

第一章 計畫背景及進度

1.1 計畫緣起

因應全球溫室效應與氣候變遷問題的持續升溫，節能減碳已成為各部門皆必須重視與落實的原則。目前國際碳管理重點除各組織營運範圍內的組織型碳盤查外，也逐漸重視具有完整生命週期考量的碳足跡量化；而因應碳足跡議題的工程碳排放量化評估與管制作為，近年來也開始成為英國、瑞典、美國等先進國家環保及工程主管機關共同關注的議題。

我國對於工程排碳與減碳的重視亦可由政策發展進程看出：行政院於民國 97 年核定之「永續公共工程-節能減碳政策白皮書」，為我國最早將公共工程生命週期節能減碳構想付諸於文字的政策文件；而後於民國 98 年核定「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」中，又更進一步以綠色內涵經費必須占公共工程預算一定比例為具體要求；民國 99 年又將「推動節能減碳公共工程」列為國家節能減碳總計畫中的十大標竿方案之一。接續公共工程節能減碳政策，交通部於民國 99 年公告「交通部節能減碳規劃設計參考原則」；並由其所屬研究機構運輸研究所於民國 100 年執行「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」，率先建立公路工程碳排放量評估之程序與方法。

基於前述國際潮流與國內公共工程節能減碳的政策目標，以及交通部於交通運輸工程碳排放評估原則和方法的先期探討，公路總局遂進一步以碳管理循環為考量，推動以取得國際碳足跡規範查證聲明為前提的工程碳盤查，確實瞭解國內道路工程生命週期碳排放情形，進而回饋於更多的工程設計與評估，以有效發展本土化減碳策略並達成減碳目標。

台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫(以下簡稱蘇花改計畫)為交通部回應東部民意「安全回家的路」之訴求，從「社會正義」之觀點切入，並兼顧「環境保護」之理念推動的工程計畫。為此，公路總局及蘇花公路改善工程處(以下簡稱蘇改處)以蘇花改計畫為標的，配合 A、C 段工程施作期程，於 101 年 6 月正式啟動國內第一個道路工程碳管理及施工期間碳足跡盤查工作。

藉由工程碳管理及施工期間碳足跡盤查工作之執行經驗與分年度階段性成果，將可望依據本土營建業承攬工程之特性，形成一套我國道路工程碳足跡盤查作業程序與方法；並由蘇花改計畫碳足跡量化與分析結果，研擬減碳策略、確認減碳成效，作為未來國內外道路工程於施工建造階段進行碳足跡盤查、提出環境宣告之示範。此外，透過碳足跡盤查數據資料的綜整分析，還可累積本土化碳排放係數、完成道路工程特性與碳足跡之關聯性分析，產出適當的道路工程碳足跡評估參數，作為相關工程規劃設計階段碳排放量推估之參考。

1.2 計畫目標及預期成果

一、計畫目標與執行構想

本計畫為國內第一個推動道路工程碳足跡管理、盤查及取得查證聲明之案例，計畫整體目標與執行構想如圖 1.2-1，另分項依執行程序說明於後。



圖 1.2-1 本計畫整體目標與執行構想

(一)蒐集國內外工程生命週期碳排放評估案例及減碳策略等文獻資料，並參考國內外碳足跡規範及國內工程管理實施狀況，研擬我國道路工程

碳管理架構及碳足跡盤查執程序與方法。

- (二)在蘇改處督導下，與蘇花改計畫承包商、監造單位及第三方查驗機構組成碳足跡盤查推動小組，執行工區與各級管理單位(非工區)之碳足跡盤查輔導，蒐集各類碳排放活動數據與佐證資料，並透過盤查或率定確認可用於本工程碳足跡計算之碳排放係數，完成年度碳足跡排放清冊與減碳策略研提；並於工程完工後，通過查驗機構查證，取得碳足跡查證聲明書。
- (三)計畫執行過程將探討各標承包商分工方式、各種工程類型或不同環境影響因子對於工程碳足跡之影響，進而發展不同工程特性及特定環境條件下的工程碳足跡參數；除可作為推估蘇花改計畫整體碳足跡之依據外，亦為未來其他相關工程計畫於規劃設計階段進行工程排碳與減碳方案效益評估，及於工程招標階段調整評選程序、使具備碳管理能力之承包商具有優先承攬優勢的參考。
- (四)計畫執行過程之進度報告與最終的總結報告內容，都將具體說明蘇花改計畫工程碳管理工作執行進度與成效。為此，相關成果將可透過網頁或座談會等途徑，適時、適度讓民眾了解蘇花改計畫於節能減碳考量下的努力與成果，提升蘇花改計畫環境友善形象與民眾溝通程度。

二、預期成果

根據上述目標與執行構想說明，本計畫預期成果包括：

- (一)完成道路工程碳足跡盤查執行計畫書，建立道路工程施工期間碳足跡盤查作業程序。
- (二)完成蘇花改計畫蘇澳東澳段(A段)及和中大清水段各標土建及機電照明工程，及南澳和平段(B段)機電照明工程，與全線交控工程之施工期間碳足跡盤查輔導作業。
- (三)取得蘇花改計畫蘇澳東澳段(A段)及和中大清水段(C段)範圍內各土建分標路段(蘇澳永樂段、東澳隧道段、東澳東岳段、中仁隧道段及仁水隧道段等共 5 區段)之道路工程(含土建、機電及交控)國際標準 ISO14067 碳足跡查證聲明書。

(四)建置本土道路工程施工階段碳足跡計算參數資料庫。

(五)依據實際盤查結果，推估蘇花改計畫南澳和平段(B段)各標土木工程碳足跡，並調查蘇花改計畫總體碳匯變化量，瞭解蘇花改計畫整體工程之碳排放量。

(六)建議蘇花改計畫施工期間進行減碳作為，展現整體工程減碳成效。

藉由工程碳足跡查證聲明的取得，即相當於本計畫執行碳足跡盤查的程序是一套通過國際規範符合度與國內可執行性兩項條件、適用於我國營造環境的本土化工程碳管理程序與方法。除可再作簡化、發展成為公路總局推動工程碳管理的制度外，執行過程中累積與分析的相關成果，可再應用於其他工程計畫於規劃設計階段，提升我國道路工程排碳量與減碳效益評估的準確性，以及評選減碳設計方案的效益與可行性。此外，透過本計畫執行過程中與監造單位、承包商及協力廠商或供應商等人員的長期溝通與協調，相信能夠一定程度地帶給甚而養成施工管理人員節能減碳的風氣，更可望因積極蒐集或協助盤查工程材料製造業及機具的排放資料，對於相關產業鏈產生關聯影響與效應，藉以帶動我國公共工程碳管理意識，輔助達成我國溫室氣體減量之短、中、長程目標。

1.3 計畫範圍與工作項目

計畫範圍及工作項目主要依據招標文件委託服務工作說明書內容，但因應105年度關於機電及交控工程座談會提及之盡量避免分配之建議，及考量A、C段整個區段工程之完整性，本計畫在進行發證方案評估及與機關研商後，發證方案增加A段及C段全區查證聲明書各一張。

1.3.1 計畫範圍

蘇花改計畫包括蘇澳至東澳段(以下簡稱「A段」)、南澳至和平段(以下簡稱「B段」)及和中至大清水段(以下簡稱「C段」)三個路段，除土木工程外，尚包括機電及交控工程。本計畫空間範圍即以蘇花改計畫工區範圍為主，相關管理單位之辦公範圍為輔，依據不同工作重點再作大小不同之範圍區分。

彙整本計畫執行各工作重點之空間範圍如圖 1.3.1-1 及表 1.3.1-1 所示，說明如後。

- 一、文獻資料蒐集與盤查制度之建立：文獻蒐集以綜整國內外近期資料為範圍，碳足跡盤查制度則以全計畫為考量範圍，進行規劃與建立。
- 二、實際工程碳足跡盤查輔導、檢查與查證：此部份範圍包括蘇花改計畫蘇澳至東澳(A 段)及和中至大清水(C 段)路段內之各標土建及機電照明工程、南澳至和平(B 段)路段內之機電照明工程，以及全線(含 A 段、B 段、C 段及既有台 9 線配合新增工作)之交控工程。
- 三、碳匯變化量調查：此部分範圍包括蘇花改計畫(A、B、C 段)改善路段用地範圍內之碳匯變化量。
- 四、工程碳排放量推估：此部分範圍為 B 段的各土建工程標。



*A 段及 C 段全區查證聲明書為新增項目

圖 1.3.1-1 本計畫各工作重點執行範圍示意圖

表 1.3.1-1 本計畫工作項目與範圍彙整表

區段	工程碳足跡盤查輔導作業			檢查及查證聲明	碳匯變化	工程排碳量推估
	土建標	機電標	交控標			
蘇澳至東澳段 (A 段)	A1 (蘇澳永樂段新建工程)	A4 (本項需分配至 A1、A2、A3)	全線 (含 A 段、B 段、C 段, 及既有台 9 線配合新增工作; 本項需分配至各 A、C 段各土建標及 B 段)	各標每月/年檢查	調查評估	-
	A2 (東澳隧道新建工程)			各標各 1 張查證聲明	調查評估	-
	A3 (東澳東岳段新建工程)			A 段統整 1 張查證聲明*	調查評估	-
南澳至和平段 (B 段)	-	B5		B5 每月檢查	評估	各土建標依據結算資料及 A、C 段盤查結果推估
	-					
	-					
	-					
和中至大清水段 (C 段)	C1 (中仁隧道新建工程)	C3 (本項需分配至 C1、C2)		各標每月/年檢查	調查評估	-
	C2 (仁水隧道新建工程)			各標各自 1 張查證聲明 C 段統整 1 張查證聲明*	調查評估	-

*A 段及 C 段全區查證聲明書為新增項目

1.3.2 計畫工作項目

依據招標文件之委託服務工作說明書內容，本計畫工作執行程序可分四階段，各階段重點工作項目如下：

一、分析及規劃準備階段

1. 撰寫工程碳足跡盤查執行計畫書；
2. 盤查執行計畫書應經查證機構簽認。

二、輔導及盤查階段

1. 召開啟始會議；
2. 辦理教育訓練課程；
3. 工程使用之產品碳排放活動數據資料調查或收集；

4. 進行現場訪查與輔導工作；
5. 盤查結果之分期查驗(檢查)；
6. 撰寫進度報告書；
7. 資料庫建置及分析、維護；
8. 彙整各標案年度碳足跡盤查清冊及完成預審程序；
9. 召開年度座談會；
10. 出席相關會議並提供技術諮詢。

三、查證及發證階段

1. 撰寫各標案工程碳足跡盤查總結報告及完成查證程序；
2. 辦理授證儀式。

四、成果彙整階段

1. B 段各土建標工程碳排放量推估；
2. 完成碳排放量評估及減碳成效成果報告。

1.4 計畫執行流程及方法

依據前述之計畫緣起、目標及工作項目，規劃本計畫執行流程如圖 1.4-1；工作方法與執行構想說明如後。

一、盤查執行計畫書擬訂

本計畫將參考國內外相關工程評估案例與執行內容，依據國際碳管理趨勢與碳足跡計算規範，建立我國道路工程碳足跡盤查執行計畫書。內容包括：本計畫執行碳足跡盤查輔導之標的、盤查邊界與內容項目，物料清單建立與施工建造活動數據紀錄方法、盤查表單等，作為輔導工程監造與承包商有效執行蘇花改計畫工程碳足跡盤查之依據。

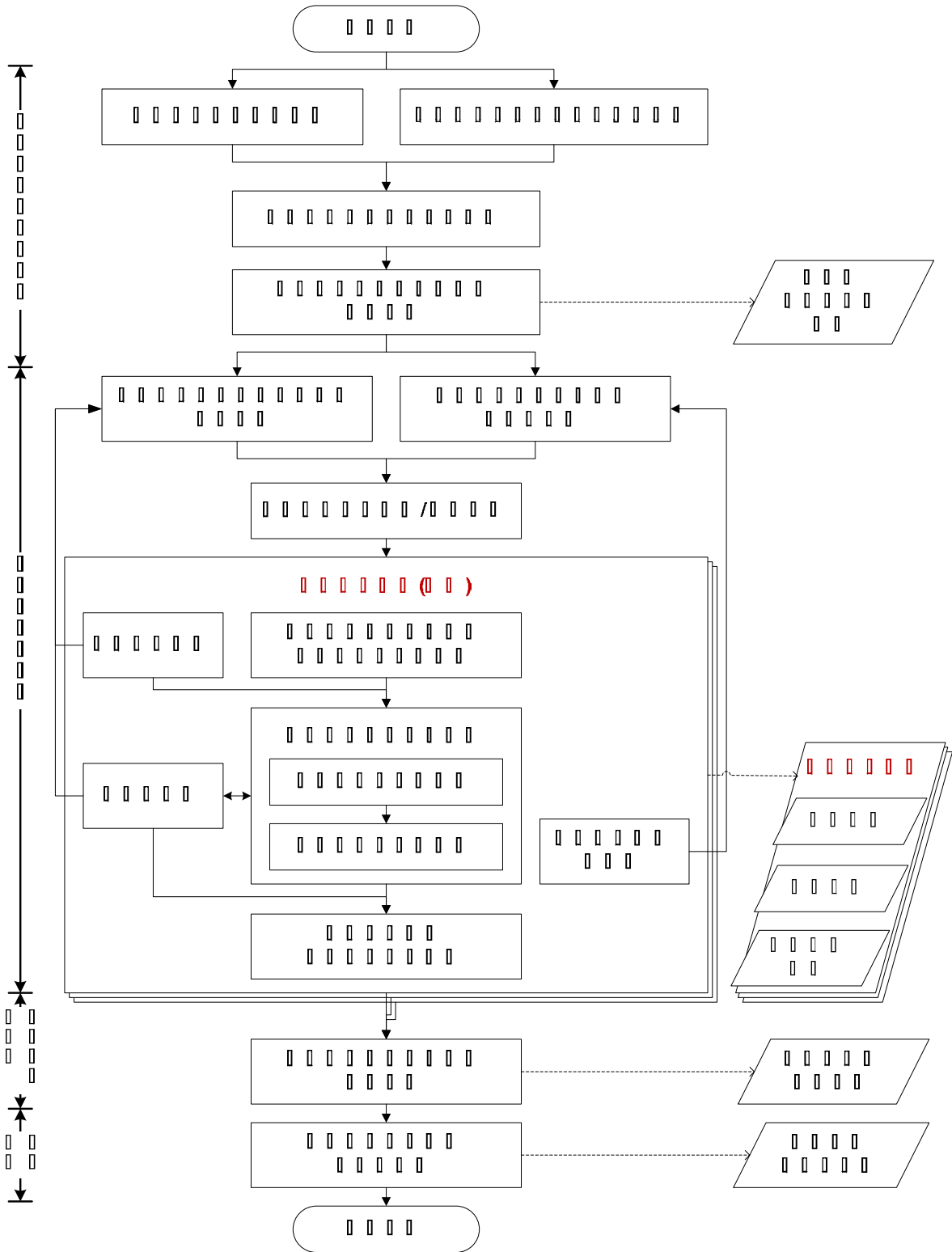


圖 1.4-1 本計畫執行流程圖

二、盤查輔導與資料處理

此階段為本計畫主要之執行工作，碳足跡之量化將以排放係數法，即「 $\text{排碳量} = \text{活動數據} \times \text{排放係數}$ 」進行。根據前述盤查計畫書所載之邊界與範疇等內容，本計畫將在蘇改處的指導下，配合工程施工時程，透過承包商進行各式碳排放活動數據蒐集、監造單位及輔導單位負責資料查核彙整、查驗機構逐月監督確認的方式，累積可用於碳足跡查證及減碳策略研析之各碳排放源活動量數據；過程中本計畫(包括輔導及查證單位)將定期及視需求不定期進行現場輔導與工區訪查。

配合活動數據蒐集的進度與狀況，將依據碳排放源項目，蒐集、率定符合本計畫碳足跡查證所需之排放係數，並進行資料建置及歸檔；每年彙整完成年度碳足跡盤查清冊並由查驗機構預審，確保歷年調查結果。此外，本計畫將持續於盤查輔導工作執行過程中，彙整國內外工程生命週期評估案例，關注相關標準及規範訂定狀況，並適當安排國際參訪，確保本工作執行內容與成果能夠與國際接軌。

本計畫將於各區段工程竣工後，彙總各工程分年度分項之碳足跡量化成果，產出各區段工程碳足跡盤查清冊及盤查總結報告書。

三、查證準備與發證作業

本作業係由輔導單位彙整各區段工程碳足跡盤查清冊及盤查總結報告書，提報予第三方查驗機構依規範要求執行查證及發證程序。

四、成果總結

本計畫於各標碳足跡盤查與查證完成後，將綜整碳足跡盤查資料累積、彙總、分析與查證之經驗，就碳足跡量化數據與相關影響因子分析結果，對於未進行碳足跡盤查之B段土建標工程進行評估，進而提出蘇花改計畫全線碳足跡及碳匯變化量盤查及推估結果，併同本計畫執行過程中落實減碳策略之成效，彙整為蘇花改計畫工程碳管理成果總結報告書，完整呈現本計畫執行成果。

1.5 計畫進度規劃及現階段執行成果

1.5.1 計畫進度規劃

本計畫自民國 101 年 6 月 1 日開始執行，至驗收完成日止。工作項目中除「工程碳足跡盤查執行計畫書」應於契約生效後 2 個月內提出之期限規定較明確外，其餘工作則是配合蘇花改計畫各標工程期限及機關書面通知後開始辦理。目前計畫預定執行之 9 標工程皆已開工，並有部分已完工(A1~A4 標)，配合本計畫委託服務工作說明書原定之各標工程預定期程，整理現階段蘇花改計畫各標實際開工與預定(實際)完工時間如表 1.5.1-1，其中 E1 標第 1 期第 1 階段已於 107 年 04 月 23 日完工。

表 1.5.1-1 蘇花改計畫各盤查標的工程預定期程及實際開工/完工情形

路段	標別(名稱)	預定期程*	實際開工時間	目前預計/實際完工時間
蘇澳至東澳段 (A 段)	A1 (蘇澳永樂段新建工程)	102.01~105.05	102.04.16	106.07.17 [▲]
	A2 (東澳隧道新建工程)	101.07~105.01	101.12.15	107.03.02 [▲]
	A3 (東澳東岳段新建工程)	101.06~104.07	101.09.17	105.04.08 [▲]
	A4 (蘇澳東澳段機電工程)	104.01~105.12	104.01.08	107.04.17 [▲]
南澳至和平段 (B 段)	B5 (南澳和平段機電工程)	103.06~106.12	105.04.27	108.11.20
和中至大清水段 (C 段)	C1 (中仁隧道新建工程)	101.05~105.04	101.11.20	已於 103.11.07 解除契約
	C1A (中仁隧道接續工程)	-	104.04.01	109.01.04
	C2 (仁水隧道新建工程)	102.01~106.10	103.06.17	108.11.18
	C3 (和中大清水段機電工程)	104.04~106.12	107.03.05	109.01.03
全線 (含 A、B、C 段及既有台 9 線配合新增工作)	E1 (交通控制系統工程)	104.01~106.12	104.02.26	109.02.18 第 1 期第 1 階段 (107.04.23 [▲])

備註：*為本計畫委託服務工作說明書表 5.4 預定期程。[▲]表已完工。

其中，C1 標已於 103 年 11 月終止契約，接續工程係以 C1A 標為名，進行原 C1 標工程範圍內未完成的施工作業；A 段已於 107 年 2 月通車。本計畫配合實際開工時間進行盤查輔導作業，而預定完工日期將會依據實際施工情形再作調整。本計畫開始迄 108 年底之預定執行進度如圖 1.5.1-1；另條列說明各主要成果繳交與應完成程序之查核點於後。

- 一、於民國 101 年 7 月 31 日提出工程碳足跡盤查執行計畫書。
- 二、自民國 101 年起，每年 7 月底前提出該年度年中進度報告書；自民國 102 年起，於每年 1 月底前提出前一年度年末進度報告書。
- 三、自民國 102 年起，於每年 3 月底前提出前一年度各標案年度碳足跡盤查清冊及預審結果報告。

1.5.2 現階段執行成果

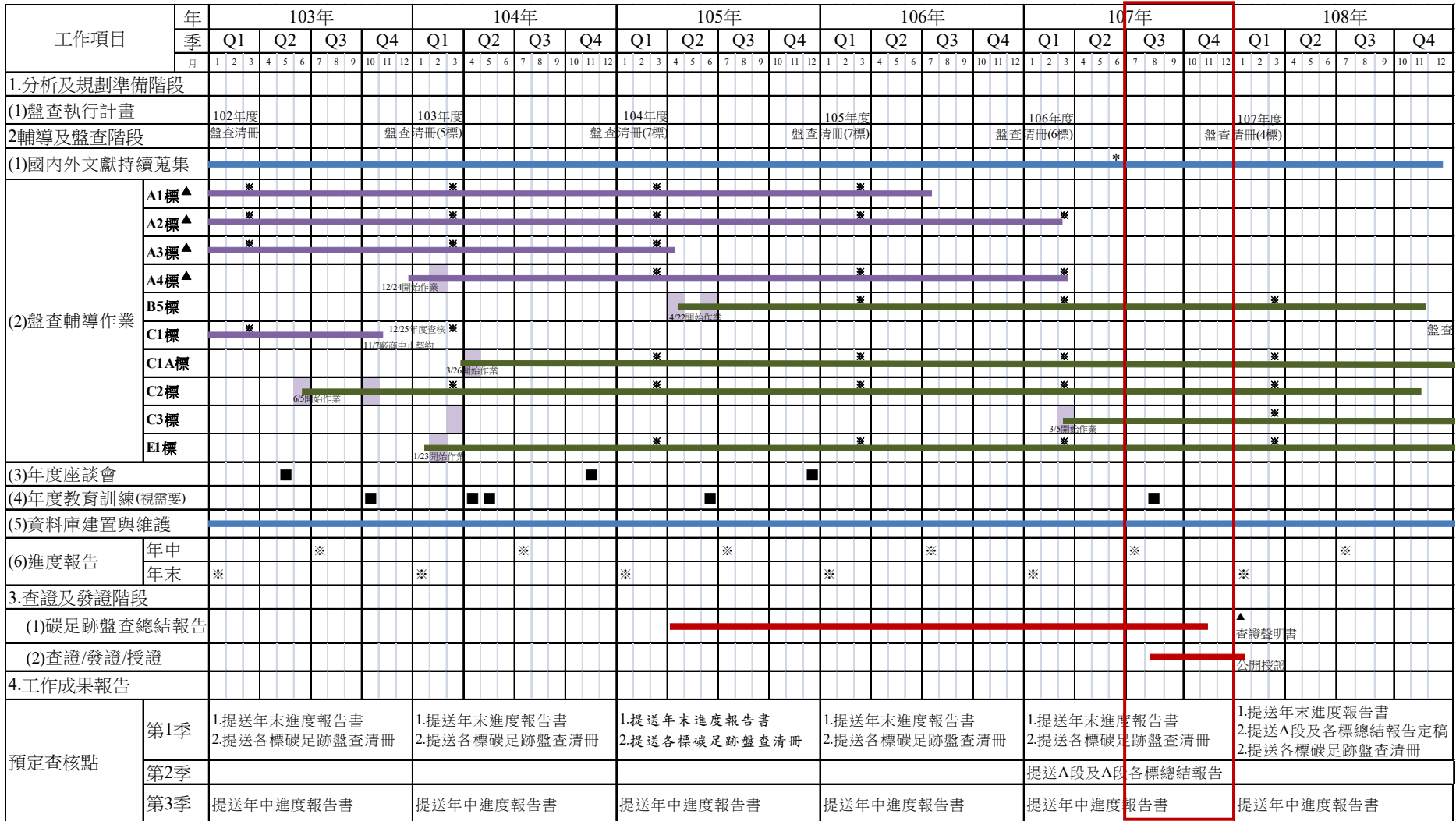
依據計畫進度規劃及目前各標工程發包及完工情形，本計畫 107 年度執行工作重點及初步成果說明如後。

一、文獻資料持續蒐集分析

本計畫持續蒐集與工程碳管理及碳足跡計算有關之標準、規範及案例，作為計畫執行之參考。相關資料蒐集與彙整成果，詳本報告第二章。重點概述如下。

盤查規範及計算指引的發展包括：ISO 14067 於 107 年 8 月公告，本計畫 A 段即以 ISO 14067:2018 進行查證及發證，後續標別亦同。

國際 EPD 系統之道路工程(Highways, streets and roads (except elevated highways))、橋梁、高架道路及隧道工程(Bridges, elevated highways and tunnels)之 PCR 皆已分別於 2018 年 1 月 10 日及 29 日公告 2.0 版及 1.0 版，橋梁、高架道路及隧道工程亦於 2018 年 10 月進版為 1.1 版。



備註：標別註記有▲為已完工、總結報告；進度報告標記 ※ 為契約規定之報告提交時間；*為出國參訪；
 ---表示為規劃期程，實際執行進度仍需依據各標施工及執行狀況調整；■為會議辦理時間，□為會議預定辦理時間(實際執行時間仍需待業主核定後確認)。

圖 1.5.1-1 本計畫預定執行進度圖

國際工程碳管理發展部分，本計畫新增綠道路評估系統說明，該系統由美國華盛頓大學發展，主要應用於道路工程之設計與施工階段，透過不同指標評析道路工程的永續作為，並量化其永續內涵，不同指標內含之相關措施可作為本計畫制度推動及減碳措施之參考。下半年度另新增兩部分內容包括工程排碳量計算器彙整及循環經濟內涵說明與案例介紹。另本計畫新增國內外工程排碳量計算工具彙整分析、循環經濟發展及美國紐澤西州高速公路重建全生命週期溫室氣體排放案例之文獻回顧，提供未來碳管理計畫發展方向。

在國內工程碳管理發展部分，工程會推動之公共工程碳排放量估算試辦作業持續進行，下水道、高公局道路工程案例陸續完成，部分案例產出之工程材料碳足跡係數並提供環保署以充實我國碳足跡係數資料庫內容；除工程會或環評要求案例外，亦有建築工程開始主動執行工程碳管理作業；環保署碳足跡係數持續發展，本計畫亦已彙整提供過去大宗工程材料之碳足跡盤查成果予環保署，供其他工程案例引用。

因應全球氣候變遷及節能減碳需求，我國「溫室氣體減量及管理法」於 104 年 7 月 1 日正式公布施行，於 105 年起陸續發布「溫室氣體減量及管理法施行細則」、106 年公告「國家因應氣候變遷行動綱領」，並於 107 年 3 月公告「溫室氣體減量推動方案」，提出我國第一期階段管制目標與各部門分配之減量目標，而後由各部門提出各自之「溫室氣體排放管制行動方案」，正式朝向減碳目標前進。

二、持續執行盤查輔導作業

A 段已於 107 年初完成盤查作業，本計畫持續進行 C 段(C1A、C2 及 C3 標)、B5 標及 E1 標之盤查輔導作業，相關盤查輔導作業執行情形及排碳量計算結果詳本報告第三章及第四章。主要工作成果說明如下。

(一)例行性盤查輔導作業

盤查輔導工作配合承包商資料蒐集及彙整時間，執行盤查及佐證資料詳細檢核，確保資料之有效性；並每月至工區現場進行現場輔導，除與承包商溝通外，並協助輔導協力廠商、供應商及機具設備供應商，

以使資料蒐集完備，並符合查證聲明取得需求。另本計畫亦依據計畫執行狀況、承包商及監造需求，持續調整表單及資料庫內容，持續進行排放係數資料建置等工作。

(二)機具油耗率調查

本計畫持續收集混凝土預拌廠之預拌車里程及油單資料，並產出方公里之單位能耗參數，持續更新預拌廠單位能耗資料；工區內大型機具，如挖土機、吊車及承包商或協力廠商自有之吊卡車及土方傾卸車等，本年度 C3 標已納入機具油耗率調查範圍，本計畫亦持續收集及更新單位油耗資料。

(三)現場輔導油耗調查結果說明

為能將盤查結果有效回饋於承包商，本計畫於現場輔導時將盤查結果資料彙整提供承包商參考。目前已每季提供承包商前項機具及公務車單位能耗資料，請承包商作為未來機具使用或車輛替換之參考，除單位能耗外。

(四)供應商現場訪查、資料彙整及 BSI 確認

為提升各標工程一級數據之比例及建立本土化工程材料碳足跡係數，本計畫已與鋼筋廠、水泥廠、預拌混凝土廠及瀝青混凝土廠取得聯繫，持續蒐集供應商排碳量資料，計算本土化工程材料排碳係數，並請查驗機構(BSI)進行資料之確認。另今年度新增支保產品製程、各型電線電纜碳足跡資料，結果詳本報告 3.3.5 及 3.36 節。經由大宗材料供應商盤查之後，107 年度本工程各土建標一級數據占比約為 74%~92%。

(五)啟動 C3 標盤查輔導作業

本計畫依據機關開始作業通知要求，於 3 月 5 日開始執行 C3 標盤查輔導作業，並已於 107 年 3 月 28 日辦理啟始會議並於於 8 月 21 日辦理教育訓練，辦理實錄詳第 3.1.5 節。

(六)A 段授證典禮

本計畫於 107 年度完成 A 段各標別及整段工程查證工作，並於

108年1月8日辦理授證典禮，相關辦理經過詳第3.1.6節。

三、工程碳足跡特性分析

本報告就所有土建標(A段及C段)、機電標(A4及B5標)及交控標(E1標)開工迄107年度之盤查結果進行工程碳足跡分析，釐清主要碳排放源，並進一步分析排放源、排放量與工程特性之關聯性。並就已通車之A段排碳量以專章進行彙整分析。另就施作中C段2標隧道進行排碳量分析，相關成果詳本報告第四章。

四、工程節能減碳措施

主要蒐集工程節能減碳措施文獻資料，提供設計或施工參考。本期新增綠道路評估系統中與減碳相關的減碳措施及指標評估標準彙整，提供工程減碳措施推動及執行參考。

而在減碳效益部分，持續進行以火車(鐵路)替代卡車(公路)之土石方運輸、以飛灰爐石粉替代水泥，及各標隧道工程以場電替代柴油發電機、大宗材料運輸距離管理之減碳成效等彙整。

另本年度新增減碳效益及減碳潛勢彙整章節，將過往資料進行彙整，一方面可瞭解蘇花改整體減碳量及可增進之減碳潛勢，隨著計畫進行，後續可更新及增加其他減碳措施資料。

五、國外參訪

本計畫盤查成果已陸續產出，故於本期前往美國西雅圖華盛頓大學綠道路基金會進行參訪及交流，本計畫藉由拜訪相關單位及人員，進行資料蒐集，作為後續節能減碳措施或其他永續議題之參考；另分享目前計畫成果及經驗，瞭解綠道路認證指標執行狀況，作為未來減碳制度推動規劃參考。詳細參訪內容詳3.1.4節。

六、現階段蘇花改計畫碳足跡彙整

本計畫執行至107年末，各標盤查及估算之累積排碳量彙整如表1.5.2-1，現階段總計排碳量為975,611 tCO_{2e}。其中A段已通車；未來其他工程陸續執行將持續更新排碳量。

表 1.5.2-1 蘇花改計畫各標累積排碳量彙整表

單位：tCO₂e(碳匯：tCO₂e/year)

分區	A 段			B 段			C 段	
土建工程	A1	A2	A3	B1	B2~B3	B4	C1A	C2
	105,345	183,535	71,513	81,115	-	37,139	192,399	87,949
機電工程	A4			B5			C3	
	6,843			7,285			225	
交控工程	E1							
	543							
管理單位	工程處、工務段、監造工程處、承商施工處							
	7,883							
營運管理	A 段			B 段			C 段	
	193,837			-			-	
總計	975,611							
碳匯	-129	-43	13	-	-	-	-	-

備註：B1 標及 B4 標為估算結果，其餘項目為實際盤查結果。

目錄

第一章 計畫背景及進度.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 計畫目標及預期成果.....	1-2
1.3 計畫範圍與工作項目.....	1-4
1.3.1 計畫範圍.....	1-4
1.3.2 計畫工作項目.....	1-6
1.4 計畫執行流程及方法.....	1-7
1.5 計畫進度規劃及現階段執行成果.....	1-10
1.5.1 計畫進度規劃.....	1-10
1.5.2 現階段執行成果.....	1-11

圖目錄

圖 1.2-1 本計畫整體目標與執行構想.....	1-2
圖 1.3.1-1 本計畫各工作重點執行範圍示意圖.....	1-5
圖 1.4-1 本計畫執行流程圖.....	1-8
圖 1.5.1-1 本計畫預定執行進度圖.....	1-12

表目錄

表 1.3.1-1 本計畫工作項目與範圍彙整表.....	1-6
表 1.5.1-1 蘇花改計畫各盤查標的工程預定期程及實際開工/完工情形.....	1-10
表 1.5.2-1 A1 標工程項目單位排碳量彙整表.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 1.5.2-2 蘇花改計畫各標累計排碳量彙整表.....	1-16

第二章 工程碳足跡評估與我國道路工程碳管理發展

自 1992 年聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)通過後，各國政府與民間組織持續推動溫室氣體減量與能源管理相關措施。目前國際間碳管理趨勢由組織型碳盤查管制開始，逐漸將盤查的範圍擴展至相關供應鏈，重視產品與服務碳足跡，以掌握完整生命週期之溫室氣體排放。

除進行碳排放量化外，另可透過碳揭露方式公開組織或產品與服務之碳排放資訊，作為社會溝通、訂定減量目標與減量承諾的基礎。

工程碳管理係以生命週期之概念進行，本計畫亦以碳足跡觀點推動道路工程碳管理與盤查。自 2008 年英國 PAS 2050 碳足跡標準公佈，國內外關於碳足跡標準、工程碳管理政策及個案研究皆持續進行中，如表 2-1 所示。部分標準、規則及工程碳排放計算之發展已於本計畫歷年之年度報告中說明，以下就本年度新增文獻資料及國內外持續推動情形進行回顧，以掌握國內外工程碳足跡評估最新趨勢，作為本計畫執行參考。

表 2-1 碳足跡標準及國內外工程碳管理發展

年度	碳足跡標準	國際工程碳管理發展	國內工程碳管理發展
2008	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PAS 2050 : 2008(英國) ▪ ISO 14067 草案 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>哥倫比亞跨河工程計畫碳排放評估(美國)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 永續能源政策綱領 ▪ 永續公共工程-節能減碳政策白皮書
2009	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TS Q0010(日本) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 重大工程碳管理計畫(英國) ▪ 施工溫室氣體減量潛勢(美國) ▪ <u>米克勒姆道路碳排放量評估(澳洲)</u> ▪ <u>再生瀝青道路鋪面工程碳排放量研究(日本)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案
2010	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 營建 PCR 基本模組(瑞典) ▪ 產品與服務碳足跡計算指引(我國) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 工程計畫碳足跡計算器(英國) ▪ 交通運輸工程溫室氣體減量策略(美國) ▪ <u>道路工程全生命週期碳足跡計畫(ADB)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 節能減碳總計畫 ▪ 節能減碳設計參考原則(各部會) ▪ 開發行為溫室氣體排放增量評估及抵換規劃(環保署)
2011	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PAS 2050 : 2011(英國) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 永續道路工程生命週期溫室 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 交通運輸工程碳排放量推估模式

年度	碳足跡標準	國際工程碳管理發展	國內工程碳管理發展
	<ul style="list-style-type: none"> WRI/WBCSD 產品生命週期計算與報告標準 	<ul style="list-style-type: none"> 氣體衝擊評估之參考工具(美國) 	<ul style="list-style-type: none"> 建立與效益分析之研究*(運研所) 公路工程碳管理架構發展及蘇花改碳排與減碳效益試算*(公路總局)
2012	<ul style="list-style-type: none"> EN 15804 永續營建工程-環境宣告-營建產品類別的核心規則(歐盟) 	<ul style="list-style-type: none"> 營建業碳管理議定書(歐洲 ENCORD) 工程計畫碳排放協議(美國) 橋梁生命週期評估(挪威) 	<ul style="list-style-type: none"> 公共工程綠色減碳指標(工程會) 蘇花改*、西濱南*及南迴工程計畫碳管理作業(公路總局)
2013	<ul style="list-style-type: none"> ISO/TS 14067 道路 PCR(瑞典) 橋梁及高架道路 PCR(義大利) 營建產品 PCR(BRE) 	<ul style="list-style-type: none"> 道路工程環境宣告(西班牙) 鐵路橋梁工程環境宣告(西班牙) 	<ul style="list-style-type: none"> 公共工程碳排放估算試辦作業(工程會：道路*、防洪、水資源、下水道*、建築、水土保持*工程) 產品碳足跡係數發展(環保署) 橋梁碳足跡 e 化系統(公路總局)
2014	<ul style="list-style-type: none"> 道路 CFP-PCR(我國)* 橋梁 CFP-PCR(我國)* 隧道 CFP-PCR(我國)* 碳足跡產品類別規則訂定、引用及修訂指引(我國) 	<ul style="list-style-type: none"> 建築產品碳標籤計畫(香港) 紐澤西州溫室氣體計算器(美國, GASCAP) 道路基礎建設計畫工具(蘇格蘭, RIPT) 聯邦公路局基礎建設排碳量評估工具(美國, FHWA) 複合橋梁工程環境宣告(瑞典) 	<ul style="list-style-type: none"> 國道 5 號頭城交流道碳排放量推估作業*(高公局) 西濱北淡江大橋碳管理作業*(公路總局)
2015	<ul style="list-style-type: none"> 建築 CFP-PCR(我國) 	<ul style="list-style-type: none"> 人行及自行車行橋梁工程環境宣告(瑞典) 道路建造及維護碳排放量計算器(英國公路局) 紐澤西高速公路重建溫室氣體生命週期評估(美國) 	<ul style="list-style-type: none"> 國道 4 號臺中環線豐原潭子段碳排放量推估作業*(國工局) 溫室氣體減量及管理法
2016	<ul style="list-style-type: none"> PAS 2080(英國) 	<ul style="list-style-type: none"> 道路建造及維護碳排放量計算器(英國公路局)-改版 「公路設計、建造及維護」之綠色採購準則(歐盟) 	<ul style="list-style-type: none"> 碳足跡應用於快速公路地工合成材料之研究*(公路總局) 國道 5 號頭城交流道碳足跡盤查作業(高公局) 臺 1 線潮州高架橋碳足跡盤查作業(公路總局) 台鐵朝枋段碳足跡盤查作業(鐵工局)
2017	<ul style="list-style-type: none"> 瀝青混凝土 PCR(美國) 道路 CFP-PCR(我國)* 橋梁 CFP-PCR(我國)* 公路隧道 CFP-PCR(我國)* 我國 CFP-PCR 改版 		<ul style="list-style-type: none"> 國道 4 號臺中環線豐原潭子段碳排放量盤查作業*(國工局)
2018	<ul style="list-style-type: none"> 道路 PCR v2.0(瑞典)-改版 		<ul style="list-style-type: none"> 國道 4 號臺中環線豐原潭子段碳排放量盤查作業*(高公局)

年度	碳足跡標準	國際工程碳管理發展	國內工程碳管理發展
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 橋梁、高架道路及隧道 PCR v1.0,v1.1(義大利)-新增隧道故為 1.x 版 ▪ ISO 14067 : 2018 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 永續運輸基礎設施管理碳足跡評估工具-公路橋梁系統(學校研究)
2019			<ul style="list-style-type: none"> ▪ 西濱北淡江大橋(第3標)碳盤查作業*(公路總局)

備註：正體字為標準或政策發展，斜體字為道路工程之個案研究，國內工程碳管理發展案例僅表列交通工程。*為中興公司執行。

2.1 碳足跡盤查規範及計算指引發展

碳足跡(Carbon Footprint)之所以成為當前排碳量評量與削減的重要評估項目，主要是為了以污染者付費的觀念、釐清排碳量歸屬問題。英國(Wiedmann and Minx, 2007)對於溫室氣體排放來源的一項調查顯示，1992年至2004年間，其全國溫室氣體排放量雖下降5%，但若加入消費所導致的間接溫室氣體排放量，則排放量反而增加18%。另有中國研究指出(Wang and Watson, 2007)：中國的總溫室氣體排放量雖已成為世界第一，但其中有高達23%的溫室氣體排放係由製造滿足先進國家生活所需產品所產生。為此，開始有以結合生命週期與碳排放量評估、釐清產品或活動全生命週期的溫室氣體排放量的方式，即所謂碳足跡的考量檢視污染者與排放源，透過系統性關連供應鏈碳排放量的方式，掌握實際排放狀況、有效促成節能減碳。

2.1.1 碳足跡盤查規範發展

目前國內外公告與碳足跡相關之標準與其發展期程如圖 2.1.1-1。自2008年英國標準協會(BSI)、碳信託(Carbon Trust)和英國環境、食品與農村事務部(Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra)聯合發佈PAS 2050 商品和服務生命週期溫室氣體排放評估規範(Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services)後，日本、我國環保署及世界資源協會(WRI)與世界企業永續發展協會(WBCSD)分別訂定碳足跡相關準則。但各項標準皆一致說明，若國際碳足跡標準(ISO 14067)公告後，將參採 ISO 標準為原則。

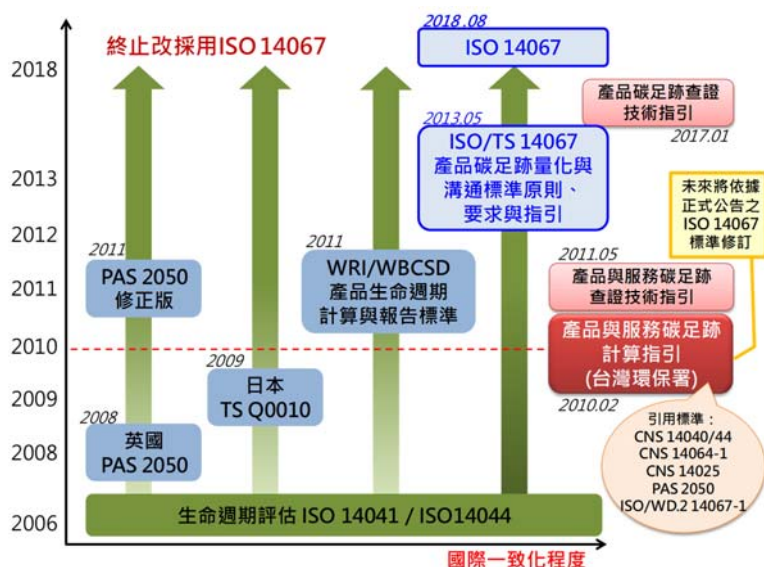


圖 2.1.1-1 碳足跡相關標準發展進程示意圖

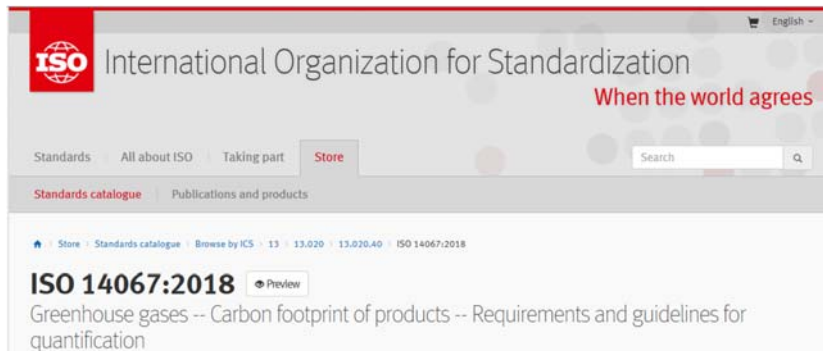
國際碳足跡標準(ISO 14067)於2012年開始發展，在成為國際標準草案(DIS版)後一直未能通過進入核准階段(FDIS版)。而後，國際標準組織於2013年5月21日以技術規範(Technical Specification，縮寫為TS)的型式，公告ISO/TS 14067：2013「產品碳足跡量化與溝通標準原則、要求與指引(Greenhouse gases - Carbon footprint of products -Requirements and guidelines for quantification and communication)」，並可以此標準作為碳足跡發證之依據。但技術規範並非正式標準，需要定期檢討、複審，以確定是否持續有效、修訂為正式標準或作廢終止，正式標準之公告仍有其需求。

2015年起國際組織啟動將ISO/TS 14067朝向正式標準發行之程序，並於2018年8月20日公開正式國際標準ISO 14067：2018，如圖2.1.1-2，本計畫即以此作為發證依據。

相較於ISO/TS 14067：2013，ISO 14067：2018更新的主要內容如下：

- 一、產品碳足跡溝通準則、要求及指引納入ISO 14026。
- 二、碳足跡查證過程準則、要求及指引納入ISO 14064-3。

- 三、刪除產品類別規則內容(原 6.2.2 節)，產品類別規則制定準則、要求及指引納入 ISO/TS 14027。
- 四、生質碳排放與移除應包含在碳足跡計算並分開報告，包含生質碳種植、生產及採收。
- 五、電力排放係數應引用供應商之特定生命週期數據。
- 六、修正名詞定義與 ISO 14040 系列一致。
- 七、新增名詞：碳足跡系統方法、全球溫度變化潛勢(GTP)、宣告單位(適用部分碳足跡 Partial CFP)及關注區域等。



資料來源：ISO 國際組織網站，2018，<https://www.iso.org/standard/71206.html>。

圖 2.1.1-2 ISO 14067 發展現況

2.1.2 國際道路與橋梁 PCR 改版

瑞典 International EPD® System 系統於 2013 年分別公告道路工程 (Highways, streets and roads(except elevated highways))與橋梁及高架道路 (Bridges and elevated highways)之產品類別規則(PCR)，此兩份 PCR 內容已於本計畫 102 年度年末進度報告說明。由於此兩份 PCR 有效期限為 3 年，1.0 版皆已於 2016 年到期。在啟動更新作業後，新版之 PCR 於 108 年陸續公開，說明如下。

一、道路工程產品類別規則

道路工程 PCR 於 2018 年 1 月 10 日公告 2.0 版(圖 2.1.2-1)，主要變

更內容係根據 PCR 基本模組及與 EN 15804 一致化進行更新，包含系統邊界設定、分配方式、功能/宣告單位、新增影響指標及額外的環境資訊等，改版後之有效期限改為 4 年。

The screenshot shows a webpage titled "HIGHWAYS, STREETS AND ROADS (EXCEPT ELEVATED HIGHWAYS)". The main content area is titled "PCR INFORMATION" and contains the following text:

This document provides Product Category Rules (PCR) for the assessment of the environmental performance of UN CPC 53211 (Highways (except elevated highways), streets, roads) and the declaration of this performance by an EPD.

This PCR has been developed with consideration to other PCR initiatives such as CEN standard EN 15804 "Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products".

This PCR document is publicly available on www.environdec.com. The PCR document is a living document. If relevant changes in the LCA methodology or in the technology for the product category occur, the document will be revised and any changes will be published on the website.

The PCR document may be downloaded in PDF format on the right side of this page. The free registration will also enable you to post comments on the PCR Forum.

On the right sidebar, under "PCR DOCUMENTS", there is a link to "PCR 2013.20 Highways, streets and roads (Version 2.0)". Under "COMMENTS ON THIS PCR", there are several comments from users dated 2014-09-17, 2013-11-20, and 2013-04-30, along with a "Start a discussion" button.

At the bottom of the page, there are two notices: "PCR updated 2018-01-10" and "Version 2.0 of this PCR was published".

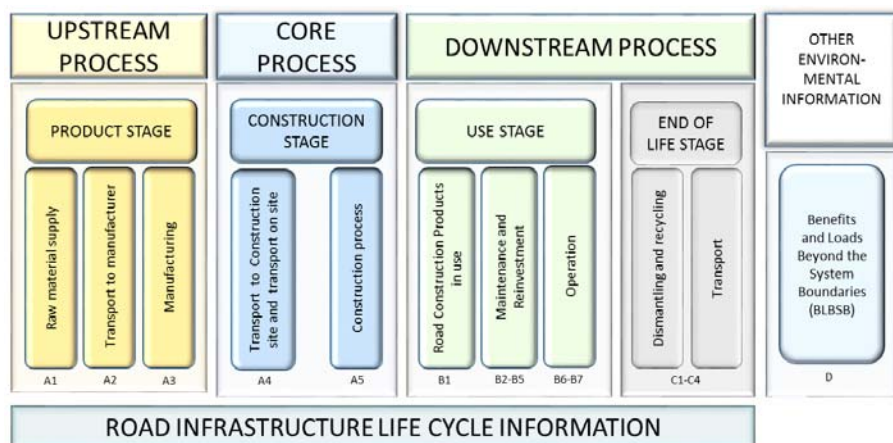
資料來源：International EPD System 網站。

圖 2.1.2-1 EPD System 道路工程產品類別規則資訊頁面

(一) 生命週期邊界

道路工程製程地圖之繪製格式與 EN 15804 一致，如圖 2.1.2-2 所示，包括道路工程之上游(A1-A3，原物料開採、運輸、製造)、核心(A4-A5，運輸至工區、施工活動)及下游(B1-B7，使用、維修、營運；C1-C4，生命週期終止)等程序。

核心模組中包含若干子系統，包括：道路鋪面、道路基礎、道路設備、道路儀控設備、隧道工程及橋梁工程；其中說明隧道及橋梁工程需遵循其特定的 PCR(產品編碼：UN CPC 53221,53222)。另外在產品邊界中明確排除道路之旅客及貨運之運輸服務(車輛排放)；廢棄與拆除(C1-C4)階段部分則可依案例特性選擇是否納入邊界，倘若排除則須於詳述排除之理由。



資料來源：International EPD® System, (2018). PCR for Highways, Streets and Roads (Except Elevated Highways), v2.0.

圖 2.1.2-2 EPD System 道路工程系統流程圖

(二)宣告/功能單位

宣告單位設定為每平方公尺道路之環境衝擊(m^2)，以溫室氣體排放為例，表示方式包括總量及單位排碳量(a total of xx kgCO₂e and as xx kgCO₂e per m² of road)。功能單位則須加註該道路之道路等級、交通量、維修頻率等資訊，以溫室氣體排放為例，表示方式包括總量及單位排碳量(a highway with an overall environmental impact of xx kg CO₂e, and xx kgCO₂e per m² highway with an AADT specified)。

二、橋梁及隧道工程產品類別規則

橋梁與高架道路 PCR 於 2016 年 11 月至 2017 年 1 月公告改版草案並開放諮詢，此次草案修訂內容將範疇(Scope)加入隧道，並修改 PCR 名稱為橋梁、高架道路及隧道(Bridges, elevated highways and tunnels)，並於 2018 年 1 月 29 日公告改版後的 PCR，為 1.0 版，改版後之有效期限亦改為 4 年；而後依據 EPD System 在 2017 年 12 月發布之通用程序指令(GPI)3.0 版，於 2018 年 10 月 26 日進版為 1.1 版，1.0 版效期延長 6 個月，至 2019 年 4 月 26 日(如圖 2.1.2-3)。

BRIDGES, ELEVATED HIGHWAYS AND TUNNELS

PCR INFORMATION

This document provides Product Category Rules (PCR) for the assessment of the environmental performance of bridges and elevated highways corresponding to UN CPC 53221, and for tunnels, UN CPC 53222 and the declaration of this performance by an EPD®.

A bridge is a structure built to span physical obstacles without closing the way underneath such as a body of water, valley, or road, for the purpose of providing passage over the obstacle. An elevated highway is a controlled-access highway that is raised above grade for its entire length. Elevation is usually constructed as viaducts, typically a long pier bridge.

PCR updated 2018-10-26

Version 1.1 of the PCR was published.

[The new version is compliant with GPI 3.0 and the latest PCR basic modules.](#) Version 1.0 is valid for a transition period of six months until 2019-04-26. Please contact the secretariat for further information.

PCR DOCUMENTS

PCR 2018:01 Bridges, elevated highways and tunnels (version 1.1)

COMMENTS ON THIS PCR

Be the first discussing this PCR

[Start a discussion](#)

資料來源：International EPD System 網站。

圖 2.1.2-3 EPD System 橋梁、高架道路及隧道工程產品類別規則資訊頁面

(一) 生命週期邊界

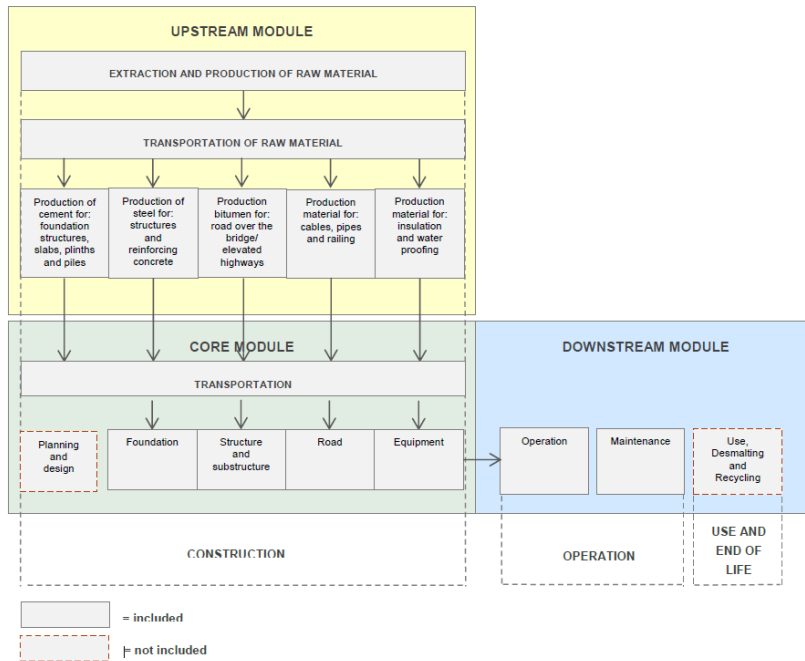
橋梁、高架道路及隧道工程之評估邊界與所含內容項目之說明亦符合 EN 15804 之格式，惟其製程地圖之內容仍較偏向橋梁及高架道路，如圖 2.1.2-4 所示。與道路工程 PCR 系統邊界之主要差異在於，除明確排除道路之旅客及貨運之運輸服務(車輛排放)，此 PCR 亦直接排除廢棄與拆除(C1-C4)階段。

核心模組主要分為四項，包括：基礎、結構與次要結構、路面及設施。其中，橋梁基礎包含腳板、磚和基樁的施工及鋼筋加工等；橋梁路面則包含應用瀝青、柏油鋪面等路面(可參考 CPC 53211 道路工程 PCR)；橋梁設施則包含包括維持橋梁與高架道路操作安全所需的裝置，例如：保護裝置(護欄、隔音屏障、野生動物圍欄等)、休息站、排水系統、交通號誌等。

核心模組中不包括：1.生產設備、建築物和其他資本財之製造；2.執行人員的差旅；3.人員上下班交通；4.研究和開發活動。

(二) 宣告/功能單位

宣告/功能單位為每公里-每年設施之環境衝擊(/km-yr)，產品環境宣告中應說明設施之寬度以及服務年限。



資料來源：International EPD® System, (2018). PCR for Bridges, Elevated Highways and Tunnels, v1.1.

圖 2.1.2-4 EPD System 橋梁、高架道路及隧道工程系統流程圖

2.2 國際工程碳管理發展

2.2.1 綠道路評估系統說明

一、綠道路評估系統簡介

綠道路評估系統由美國華盛頓大學於 2010 年所發展，主要應用於道路工程之設計與施工階段，透過不同指標評析道路工程的永續作為，並量化其永續內涵，而後由第三方(綠道路基金會)執行評估/認證。

綠道路評估手冊目前已進展為 2.0 版，當中將永續指標分為兩大類-計畫要求與自選指標。其中計畫要求(PR)之指標為基本門檻，須全數符合始能進行認證；自選指標分為五大面向，包括環境與水、施工活動、材料與設計、公共設施控制、通路及可居性等，各面向之得分比例如圖 2.2.1-1 所示。各指標名稱及得分列於表 2.2.1-1，總得分共 130 分；依照指標評估結果，認證等級分為銅級、銀級、金級以及長青級，分級標準如圖 2.2.1-2 所示。

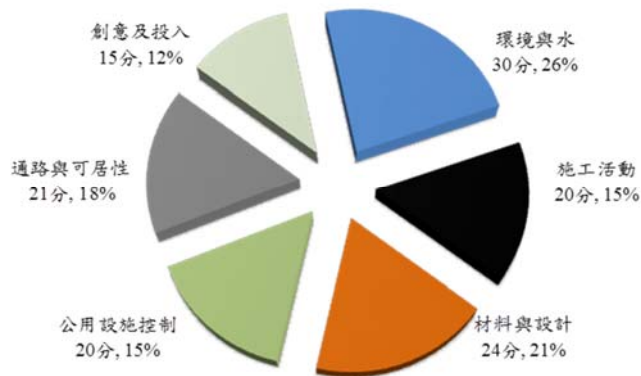










圖 2.2.1-1 綠道路指標分類及比重(2.0 版)

表 2.2.1-1 綠道路評估面向及指標(2.0 版)

面向	指標	得分	面向	指標	得分
 計畫要求	PR-1 生態衝擊分析	-	 計畫要求	PR-7 品質控制	-
	PR-2 能源及碳足跡			PR-8 污染防治計畫	
	PR-3 低衝擊發展			PR-9 廢棄物管理計畫	
	PR-4 社會衝擊分析			PR-10 施工衝擊緩解計畫	
	PR-5 社群參與			PR-11 整合公共管線	
	PR-6 生命週期成本分析			PR-12 資產管理系統	
 環境與水	EW-1 較佳定線方案	1-3	 施工活動 CA	CA-1 環境績優	1-3
	EW-2 生態連接	1-3		CA-2 環保與工安	1-2
	EW-3 棲地保育	1-3		CA-3 品質管理系統	1-3
	EW-4 土地利用強化	1-3		CA-4 機具耗油效率	1

面向	指標	得分	面向	指標	得分
EW	EW-5 植生品質	1-3		CA-5 減少工區排放量	1
	EW-6 土壤管理	1-3		CA-6 用水追蹤	1-3
	EW-7 節水管理	1-3		CA-7 快速施工	1-2
	EW-8 逕流控制	1-3		CA-8 工程倫理	1
	EW-9 改善逕流水質	1-3		CA-9 溝通與參與	1
	EW-10 油污處理	1-3		CA-10 勞工權益	1-2
	小計	10-30		CA-11 社區經濟發展	1
			小計	6-20	
 材料與設計 MD	MD-1 保留及再利用	1-5	 通路與可居性 AL	AL-1 安全稽核	1-2
	MD-2 再生材料	1-5		AL-2 安全對策	1-2
	MD-3 產品環境宣告	2		AL-3 運輸模式連接性	1-2
	MD-4 產品健康宣告	2		AL-4 通路與可及性	1-2
	MD-5 本地材料	1-5		AL-5 非機械動力運輸	1-2
	MD-6 長壽設計	1-5		AL-6 健康影響評估	2
	小計	4-24		AL-7 減噪措施	1-3
 公共設施控制 UC	UC-1 公共管線升級	1-2	 創意投入 CE	AL-8 文化與休閒	1-2
	UC-2 管線維修便利性	1		AL-9 歷史及古蹟保存	1-2
	UC-3 電動汽車設施	1-3		AL-10 美與景觀	1-2
	UC-4 能源效率	1-3		小計	9-21
	UC-5 替代能源	1-3		CE-1 完訓團隊	1-2
	UC-6 照明與控制	1-3		CE-2 創新構想	1-5
	UC-7 減少交通排放量	1-3		CE-3 卓越績效	1-5
	UC-8 減少旅行時間	1-2		CE-4 當地價值	1-3
小計	7-20	小計	4-15		



40-49分

PR + 30% VC



50-59分

PR + 38% VC



60-79分

PR + 46% VC



80分以上

PR + 62% VC

圖 2.2.1-2 綠道路認證分級標準(2.0 版)

二、綠道路先導評估流程及申請資格

先導評估之目的在於使執行工程計畫之相關單位(業主、設計、施工)熟悉綠道路評估內容，累積工程永續評估經驗。儘管對於各類永續指標的評估不若認證型計畫深入及詳細，先導評估仍可根據評估結果，產出該工程計畫之永續內涵得分與技術報告，做為未來該工程或其他工程申請認證之參考。以下三種情形需申請先導評估：

- (一)對永續內涵、綠道路評估系統不熟悉的單位，綠道路基金會建議先申請先導型評估，以熟悉綠道路相關內容，並將永續概念內化至未來工程之設計與施工規劃當中。
- (二)位於美國、加拿大、紐西蘭等國以外之工程必須申請先導評估，藉由先導計畫的評估經驗，當地評估人員以及綠道路基金會將檢視該國的相關規範及區域特色，並討論評估手冊內容在該國之適用性，決定是否做出因地制宜的調整；待該國累積至少 3 件先導評估後，該國道路工程始可申請認證型計畫。
- (三)已開始施工的工程，由於設計並未納入綠道路相關指標之考量，無法達成認證，綠道綠基金會僅接受先導評估之申請。

先導評估將針對工程一般性文件進行審查，包含：施工規範、特殊契約條款、工程預算書、環境影響評估說明書、主要結構(鋪面、橋梁)之設計報告、水利及排水設計報告、預拌混凝土/瀝青混凝土配比設計、大地工程報告。綠道路先導評估流程及各階段重點事項如圖 2.2.1-3 所示。

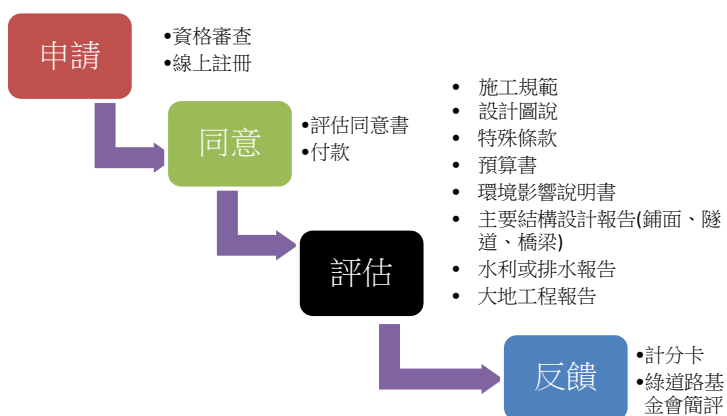


圖 2.2.1-3 綠道路先導評估流程圖

三、綠道路認證作業流程

執行一項道路工程的綠道路評估時，需要參與計畫的各單位專業人士分工投入與整合，因此該工程計畫之業主、主要設計單位、主承包商為必要之綠道路計畫團隊成員，且必要時亦須納入分項設計單位以及施工協力廠商，以確保認證作業得以執行順利。

綠道路之認證作業中，單一標段工程之作業流程不同於多標段工程。單一標段工程之認證作業流程如圖 2.2.1-4 所示。取得認證後，該計畫仍需定期提報該道路工程之績效，以取得延長使用綠道路標章之權利，主管機關亦須另提供綠道路評估系統之反饋意見。提報及反饋方式有兩種選項：自願性(每年)或強制性(每五年)，提供資料包括：線上問卷調查、水/電用量、鋪面績效及保固維修、維修排程與費用、交通量與意外事故統計、教育推廣進展、各單位意見/滿意度及社群認知。

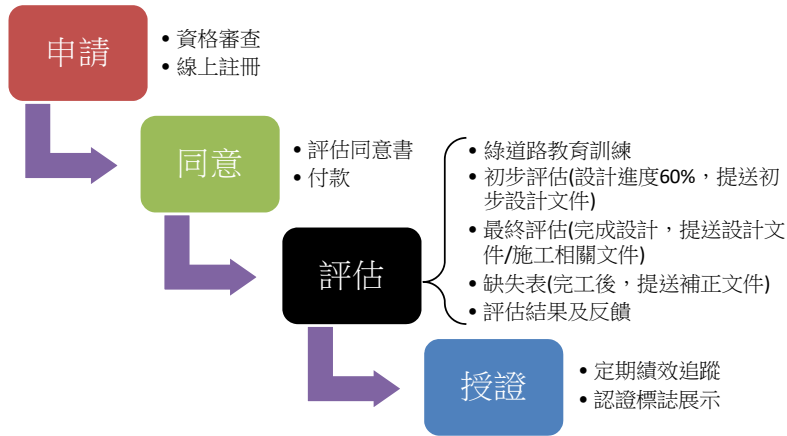


圖 2.2.1-4 綠道路認證作業流程

又針對大型且複雜之工程(如一個以上主管機關、分階段施工、數個施工標段等情形)，綠道路基金會將輔導執行單位發展「認證方案」，方案中會將該大型計畫分為較可管理、較有利認證之分段(可能與施工標段之分段不同)，以減少認證作業所需準備的文件工作，並確保該計畫可取得最佳的認證等級。大型或複雜工程之認證作業流程如圖 2.2.1-5 所示。

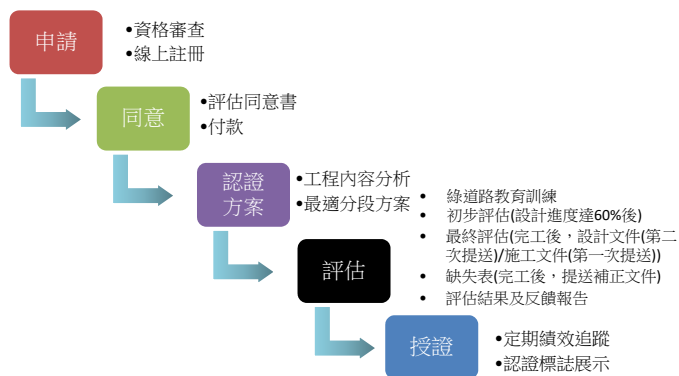


圖 2.2.1-5 綠道路大型計畫認證作業流程

2.2.2 國內外工程排碳量計算工具彙整

開發工程排碳量/碳足跡計算工具，主要目的在於協助估算或盤查排放量，進而提供辨識工程排放量與排放源之參考。依據文獻及相關工具之說明，各式計算工具之參數建立，係仰賴問卷調查、估驗計價、收集設計資料及實際活動量等方式，以取得工程活動量資訊。一般而言，工程碳足跡計算器係以工程類別區分，計算方式約可分成三類。第一類，直接提供主要材料量便可粗略概估排放量；第二類，由使用者提供基本資料、結構形式或量體變化等資訊，如道路長度、橋梁工法、基礎形式等內容，再透過計算器後端參數庫便可概估排放量；第三類，要求使用者提供施工期間詳細之內容，再藉由資料庫或使用者自行輸入之轉換參數產生排碳量。

103 年度以降，本計畫陸續收集並分析國內外工程相關碳足跡計算工具，包含英國公路局及該國環境署所開發之碳足跡計算工具、美國國家與州層級之計算模式，及國內外相關研究開發之內容等。本年度除新增不同碳足跡評估工具外，令持續彙整過往所回顧之計算器內容。以下就本年度新增與歷史彙整成果進行說明：

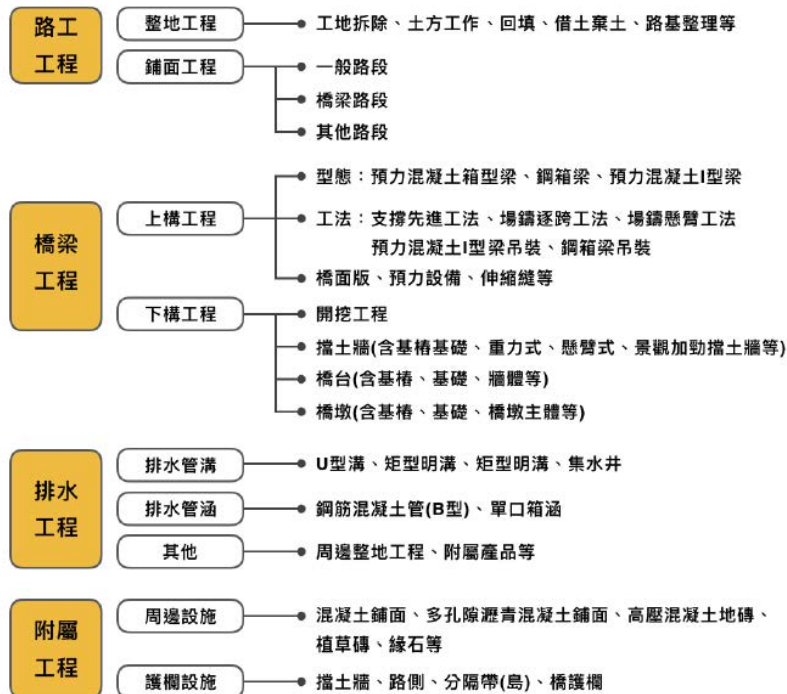
一、開發設計導向之永續運輸基礎設施管理碳足跡評估工具

永續運輸基礎設施管理碳足跡評估工具(Sustainable Transportation Infrastructure Management, STIM)，係針對公路橋梁系統所開發之碳足跡評估工具，其分析之範疇可包括原物料取得、施工建造及維護使用階段之管理等。STIM 作者認為若能可行性研究至規劃設計階段時，便導入節能減碳作為，其減量之潛勢將遠高於其他階段。因此，此工具依據橋梁工程設計階段所需之資訊，發展出可供設計人員檢視不同方案碳排放量及評估減碳效益等功能。STIM 適用之工程項目如圖 2.2.2-1，將以公路橋梁工程為主，包含路工工項、橋梁工項(上、下構)、排水工程及附屬工程等。

STIM 工具之計算架構，如圖 2.2.2-2 所示。其估算基準係仰賴工程材料、運輸作業及機具活動量。使用者可於規劃設計階段就工項及施工情境進行模擬，且系統針對各單一工項已預設參考方案(基線方案)，使用

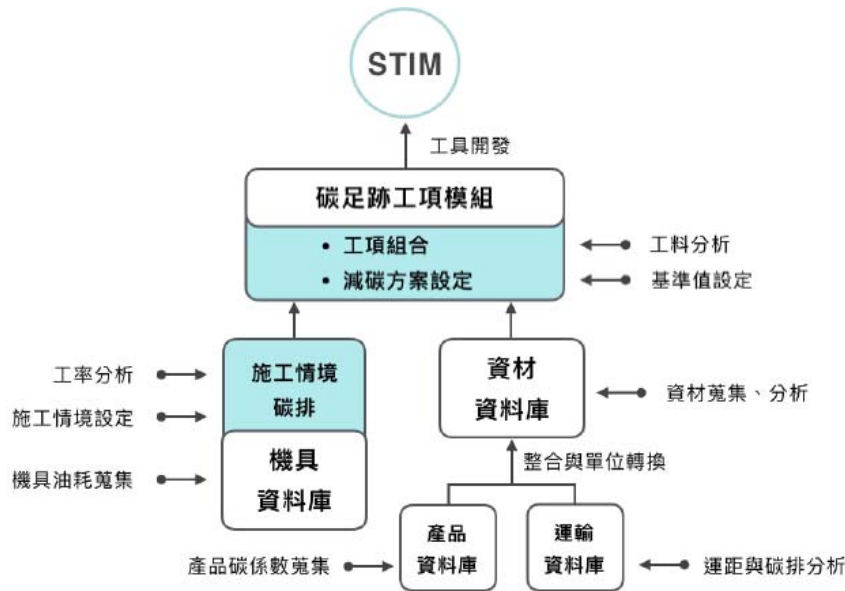
者僅需藉由參數調整之方式，便可評估欲執行方案之排碳量與參考方案之差異；另 STIM 亦可就減量、再生及就近運輸等三種減碳因子進行減量評估。

依據該篇文獻結論，STIM 仍處於初步開發階段，其數據庫與工程材料、運輸及機具之情境設定仍有待擴展(開發設計導向之道路與橋梁系統碳足跡評估工具, 2018)，相關內容本計畫將持續追蹤。



資料來源：吳冠汲、楊士賢, 2018。

圖 2.2.2-1 STIM 適用工程之項目種類



資料來源：吳冠汲、楊士賢, 2018。

圖 2.2.2-2 適用工程項目種類

三、碳足跡計算工具彙整

本計畫陸續彙整國內外工程碳排放量計算器，如表 2.2.2-1 所示。隨著碳管理制度持續發展與精進，國際上碳排放/碳足跡計算工具已逐漸由單純計算排碳量，進化至深入檢討各工程項目之差異，進而評估節能減碳效益。簡而言之，各計算器係針對不同工程標的進行開發，並可評估不同方案或工項之變化，惟各系統所考量之計算邊界與範疇不同，使用者仍必須就工程項目之特性進行檢討。

除彙整相關計算器內容外，本計畫於蘇花改碳管理計畫所開發之盤查系統，功能以輔助現場盤查填報與上傳相關佐證資料為主。此系統經長期的資料填報與多次功能擴充後，已可產出單位機具能耗、工程材料單位轉換及材料碳足跡係數等資訊，未來使用者可依據本計畫所產出參數，便可進行相關工程之排碳量及減量評估。未來可以本計畫所產出之參數為基礎，分析既有工程估驗計價系統或另行開發計算器之可能。

表 2.2.2-1 碳足跡計算工具彙整

工具名稱	發展單位	時間	資料庫型式	特色	係數來源	限制
道路工程 碳排放計算器	英國 公路局	2009	Excel	<ul style="list-style-type: none"> ● 輸入基本資料計算排碳量 (能源、材料、運輸距離) 	系統內建 無特別說明	
工程碳足跡 計算器	英國 環境署	2012	-	<ul style="list-style-type: none"> ● 考量材料機具運輸 ● 產出減碳效益 	無特別說明	
碳排放量計算器	英國 公路局	2015	Excel	<ul style="list-style-type: none"> ● 類似盤查系統 ● 須提供佐證 ● 含人員出勤移動 	系統內建 無特別說明	不含材料之原物料 運輸及製程 不含營運階段
紐澤西 溫室氣體計算器	美國 紐澤西州政府	2014	-	<ul style="list-style-type: none"> ● 考量材料機具運輸 ● 考量養護作業 ● 產出減碳效益 	<ul style="list-style-type: none"> ● 美國環保署 ● 美國能源署 ● 阿貢國家實驗室 	-
基礎建設 排碳量評估工具	美國 聯邦公路局	2014	-	<ul style="list-style-type: none"> ● 可用於初設階段 ● 考量養護作業 ● 產出減碳效益 	<ul style="list-style-type: none"> ● PaLATE 	因資料庫模式不 同，較無法與其他系 統比較
運輸基礎設施管理 碳足跡評估工具	成功大學	2018	Excel	<ul style="list-style-type: none"> ● 規劃階段模擬情境 ● 參考 PCCES 名稱 ● 可分工程項目計算結果 ● 產出減碳效益 	<ul style="list-style-type: none"> ● 環保署 ● 碳足跡資料庫 (simapro、Gabi) ● 文獻、期刊 	處於開發階段，資料 庫內容仍有待擴展

2.2.3 循環經濟

循環經濟是一個可以恢復並且可以再生的產業體系，強調以「搖籃到搖籃(Cradle to Cradle)」之精神為目標，相較於工業革命以來傳統經濟的產品設計與製造係以「搖籃到墳墓(Cradle to Grave)」的觀點不同，以下就循環經濟之定義、執行方式及應用做說明。

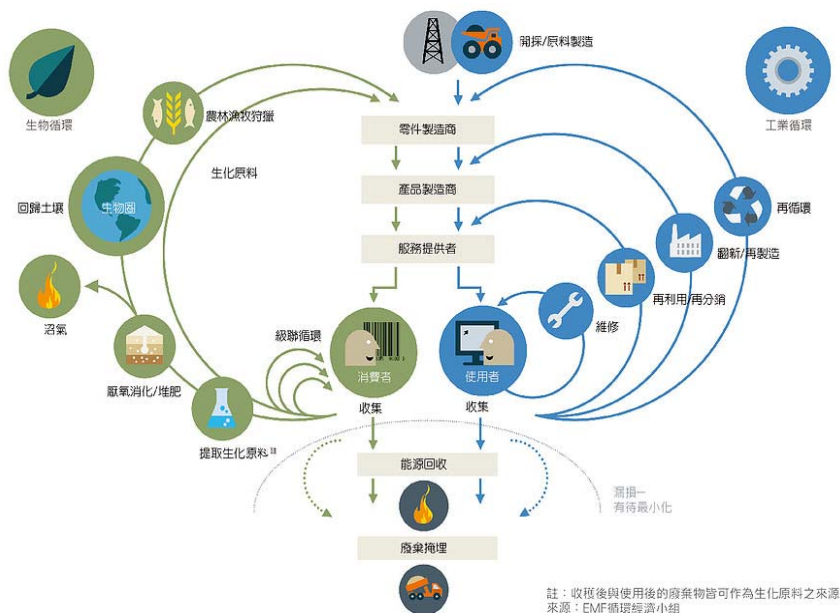
一、定義

現階段的經濟為線型消費模式(「線型經濟(Linear Economy)」)，亦即自原料加工製成產品，產品被消費者使用後丟棄成為廢棄物，如圖 2.2.3-1 所示，是以「搖籃到墳墓(Cradle to Grave)」模式進行。然而，在全球經濟快速發展下，原物料需求持續增加、開採原料成本持續成長，降低傳統經濟的競爭力。傳統的「線型經濟(Linear Economy)」轉變為「再利用經濟」並逐步朝向「循環經濟(Circular Economy)」，詳如圖 2.2.3-2，另外，本計畫亦將線型經濟與循環經濟進行比較，如表 2.2.3-1 所示；循環經濟強調結合供應鏈的力量與責任，提升生產、製造與使用階段的資源使用效率，減少清除、回收與處理的工作。



資料來源：臺灣搖籃到搖籃平台

圖 2.2.3-1 搖籃到墳墓之路



資料來源：Ellen Macarthur Foundation

圖 2.2.3-2 搖籃到搖籃之循環經濟

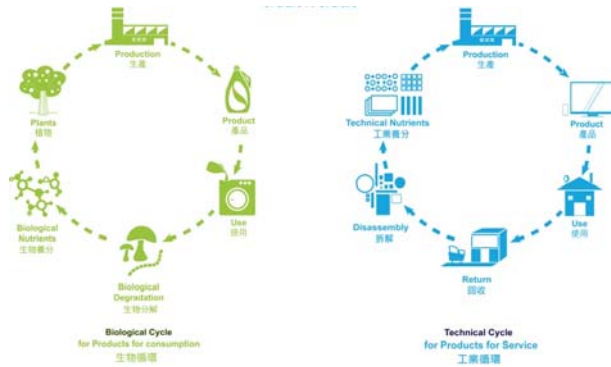
表 2.2.3-1 線型經濟與循環經濟之比較

類型	線型經濟	循環經濟
經濟模式	資源消耗	資源循環
生命週期	搖籃到墳墓	搖籃到搖籃
特色	大量生產、消費及廢棄	低消耗、低排放、高效率
效益	經濟發展	衍生研發、製造及服務等附加價值

資料來源：科技大觀園-循環經濟零廢棄的循環經濟時代；本計畫整理

二、執行方式及應用

布朗嘉教授和麥唐諾建築師 (Michael Braungart 與 William McDonough) 將搖籃到搖籃分成兩種循環系統，包括生物循環及工業循環。生物循環之產品由生物可分解的原料製成，最後回到生物循環提供養分；工業循環之產品材料則持續回到工業循環，將可再利用的材質同等級或升級回收，再製成新的產品。



資料來源：臺灣搖籃到搖籃平台

圖 2.2.3-3 生物循環與工業循環示意圖

此外，搖籃到搖籃設計理念共有三個原則，包括消除廢棄物的觀念、使用再生能源與碳管理，及創造多樣性；在碳管理部分，國際上道路工程已廣泛且普遍將爐石作為工業循環後之原物料，有關各種爐石之特性及應用如表 2.2.3-2 所示。

表 2.2.3-2 爐石特性及應用

大項	小項	特性	應用
高爐石	氣冷高爐石	水化膠結性	道路基底、鋪面
		無鹼骨材反應	混凝土骨材
	水淬高爐石	潛在膠結性	波特蘭水泥混合材料
煉鋼爐石	轉爐石與電爐石	堅硬、耐磨	瀝青混凝土材料
		水化膠結性	路面底層
		剪力強度與安息角佳	土木工程材料、地面改良材料

資料來源：Nippon Slag Association

目前國內已有許多使用高爐石粉替代水泥及轉爐石應用於海事工程及瀝青混凝土的案例，彙整如表 2.2.3-3，如此的應用將具有循環經濟及部分節能減碳之效益。

表 2.2.3-3 爐石在國內工程應用之案例彙整

項目	案例	備註	
爐石粉替代水泥	交通工程	國道 6 號高速公路	30~40%高爐石粉
		高屏溪斜張橋	30~40%高爐石粉
		台灣高鐵	30%高爐石粉
		高雄捷運 CR7 標高架系統	45%高爐石粉
	建築工程	台北 101	20~30% 高爐石粉
		高雄 85 大樓	25%高爐石粉
		高雄世運主場館	30%高爐石粉
		高屏溪水壩	40%高爐石粉
轉爐石在瀝青混凝土之應用	高雄市前鎮區道路鋪面工程		
	高速公路開道		
	國道三號		
	台南市區道路		
	中鋼、中聯資源廠內道路		
填海造陸	高雄南星計畫		

資料來源：中聯資源股份有限公司，(2018)；本計畫整理。

2.2.4 美國紐澤西州高速公路重建全生命週期溫室氣體排放案例

美國紐澤西州為實現 2050 年碳排放減量之目標，提出全球暖化應變計畫(Global Warming Response Plan, GWRP)。由於美國紐澤西州內，交通運輸相關作業所產生之溫室氣體(Green house gas, GHG)超過全州總排放量的 40%以上。因此，為了減少運輸作業之排放，GWRP 提到”建立運輸工程碳足跡計算標準”將是一項重要且具體之工作項目，此標準亦將視為未來州內評估運輸工程生命週期溫室氣體排放之主臬。

學者 Noland 與 Hanson(2011; 2014a)在思考如何”建立運輸工程碳足跡計算標準”後，進而提出運輸工程之溫室氣體計算器(Greenhouse Gas Assessment Spreadsheet for Transportation Capital Projects, GASCAP)，GASCAP 可提供使用者分析與估算直接排放與上游供應商所產生之溫室氣體(包含 CO₂, CH₄, N₂O, HFC 與 SF₆ 等)，進而評估全球暖化之潛勢，及允許工程人員從設計或階段施工角度去最小化生命週期之溫室氣體排放。

本回顧案例(Route 35)係運用 GASCAP 來取得全生命週期溫室氣體排放量，包含工程材料使用、施工機具設備使用、移機與工程材料調動、人員通勤相關的運輸活動排放、施工期間交通中斷影響之排放，以及全生命週期維護階段之工程材料排放。

一、案例基本簡介

此工程案例是 35 號公路(Route 35)位於美國紐澤西州海郡(Ocean County)內之區段。35 號公路屬四線道等級之國家州際公路(每個方向各兩個車道)，但受珊迪颶風(Sandy)之侵襲，以致 35 號公路連接伯克利鎮(Berkeley)與湯姆斯河鎮(Toms River)之區段嚴重毀損，亟需改善。35 號公路重建位置如圖 2.2.4-1 所示。

此重建案例內容涵蓋四個城市之級配、鋪面、排水和標誌結構物，該工程(契約編號：13130)總金額為 8,070 萬美元，施工期間自 2013 年 6 月 13 日至 2015 年 10 月 1 日。此案例導入溫室氣體評估之重點，旨在確定道路改建工程不同溫室氣體，及非 CO₂ 之溫室氣體排放占比。35 號公路重建區段之基本資料及評估資料來源如表 2.2.4-1 所示。

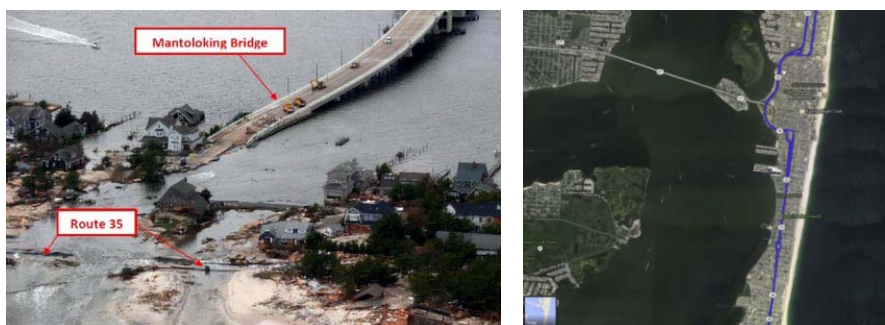


圖 2.2.4-1 美國紐澤西州 35 號公路毀損區段與位置

表 2.2.4-1 紐澤西州 35 號公路案例基本資料及來源

項目	基本資料	資料來源
道路長度	4 英里(約 6.4 公里)	工程範疇
車道數量	每個方向 2 個車道	紐澤西圖面(紐澤西州交通部, 2014 年)
車道寬度	12 英尺	工程範疇
路肩寬度	10 英尺	假設
鋪面深度	8 英寸	假設
路肩深度	2 英寸	假設
工期	762 天	紐澤西圖面(紐澤西州交通部, 2014 年)
AADT 車流量	8467 輛/天	紐澤西圖面(紐澤西州交通部, 2014 年)
卡車占比	5%	假設
分流量	主要車行方向的 53.125%	MOVES 模型內之紐澤西預設值(美國環境保護局, 2014a)
平均速度限制	32 英里/每小時	紐澤西圖面(紐澤西州交通部, 2014 年)
交叉口/英里	6	紐澤西圖面(紐澤西州交通部, 2014 年)
高程	水平	根據地區的地理位置
區域類型	城市	人口普查

二、案例範疇及邊界

本案例之溫室氣體評估範疇,係以重建工程之瀝青混凝土鋪面為主,計算範疇包含施工階段之現場熱拌、施工機具及運輸,及養護階段現場瀝青熱拌之排碳評估等,並將工程直接排放、間接排放與上游供應商所排放之溫室氣體分為工程材料、施工機具、運輸活動、施工期間交通中斷影響及未來養護等五個類別進行探討。案例範疇及邊界資料如表 2.2.4-2 所示。

表 2.2.4-2 紐澤西州 35 號公路案例範疇及邊界

分類	類別	工程材料	施工機具	運輸	交通影響	未來養護
直接排放	排放源	現場瀝青加熱	施工機具燃料用油	汽車燃料用油,冷媒逸散	汽車燃料用油	現場瀝青加熱
	溫室氣體	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、黑炭	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、HFC	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
	數據來源	GREET 模型、AP-42	NONROAD 模型	MOVES 文獻回顧之 HFC 逸散	公路手冊、MOVES	NJDOT(維護活動)、NONROAD

分類	類別	工程材料	施工機具	運輸	交通影響	未來養護
						模型、GREET 模型
間接及上游排放	排放源	原物料製造過程(包含燃料投入)	燃料提煉過程排放	燃料提煉過程排放	燃料提煉過程排放	原物料製造過程(包含燃料投入)
	溫室氣體	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、SF ₆	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、黑炭、SF ₆	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、SF ₆	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、SF ₆	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、SF ₆
	數據來源	GREET 模型	GREET 模型	GREET 模型	GREET 模型	GREET 模型
排除項目	次要材料、材料廢棄	施工機具及設備之製造、HFC 排放	車輛及運輸設備(運具)之製造	HFC 排放	未來交通影響與廢棄階段之排放	

三、案例計算假設

本案例進行溫室氣體排放評估時，針對無法取得之數據提出計算假設，假設之項目則以非工程主體項目為主。在鋪面生命週期評估中，將排除排水、照明及標誌等次要工程項目。此外，GASCAP 模型中所排除之工程材料項目，約 9% 為臨時性或重複性使用之回收材料，如告示牌、模板、路面標記、圍堰、路障、交通錐和圍籬等。由於 35 號公路之運作與否將影響交通，因此重建施工期間，因道路封閉所致交通中斷之影響亦為本案之重要假設。另外，假設道路生命週期為 50 年，評估項目並不包含未來營運階段因交通中斷影響所致之車流量估算。

針對施工機具之排放量估算，施工機具排放源係根據美國環境保護局 NONROAD 模型及加州的活動日誌數據，以進行特定施工活動的假設。本案例假設施工活動總工期為 420 日，包含景觀工程 50 日及機電交控設施安裝 20 日，另外本工程假設使用兩台馬力為 300hp 之柴油發電機，施工期間每台之使用時數為 300 小時(含夜間施工作業)。

針對運輸活動之排放量估算，本案例利用 GASCAP 模型估算工程材料運輸、勞工通勤、施工機具移機等運輸活動，並針對無實際使用量之數據提出假設。評估內容係依據標單中逐項列出之材料數量進行估算；而車輛的排放細數，則參考環保署的 MOVES 模型進行假設，而全部運輸總行駛里程則以各工程材料之運輸距離計算。

經評估，本案例各工程材料供應商約距離工地 14.6~16.0 英里，假設各工程機材之運輸距離皆在工區 20 英里內，大型材料之運具則假設為 30 噸之大貨車，小型材料則採用小貨車載運。最後，載運量則根據單價分析表中之材料體積與密度換算噸數，並假設所有車輛皆有使用空調(車用空調之冷媒逸散估計值係基於車輛的行駛時間進行估算，與車輛的行駛距離無關)，並假設車輛皆於工程施工期間持續使用之情況下進行估算。

四、案例成果分析

本案例整體溫室氣體排放結果，若以溫室氣體種類檢討如表 2.2.4-3 所示。據 GASCAP 模擬成果，上游供應商 CO₂ 排放是本工程案例最主要的排放源，高達整體排放 61.81%。至於現場直接排放部分，以 CO₂ 占比最高(占直接排放比例 99.5%)，而 HFC 與黑碳則來自設備之使用；上游供應商除 CO₂(85.55%)外，CH₄ 亦占 10.74%。

材料排放部分，如表 2.2.4-4 及所示。熱拌瀝青為排放量最高之材料，其排放占比約 57.20%(其中上游供應商占 40.36%、直接排放 16.84%)；其次分別為雜項材料彙整 17.12%、混凝土 10.51%及鋼鐵材 6.62%等。

表 2.2.4-3 紐澤西州 35 號公路案例整體溫室氣體排放結果

整體溫室氣體排放 (MTCO ₂ e)	直接排放	直接排放量占比	上游供應商排放	上游供應商排放占比	總排放量	排放量占比
CO ₂	9,591.9	98.88%	21,607.4	85.55%	31,199.3	89.24%
CH ₄	6.8	0.07%	2,712.9	10.74%	2,719.7	7.78%
N ₂ O	29.2	0.30%	881.2	3.49%	910.4	2.60%
SF ₆	0.0	0.00%	53.4	0.21%	53.4	0.15%
HFC	2.3	0.00%	0.0	0.00%	2.3	0.01%
黑碳*	73.1	0.75%	1.8	0.01%	74.9	0.21%
總計	9,701.0	100.0%	25,256.7	100.00%	34,960.0	100.00%

*黑碳係指燃燒不完全所形成之產物

表 2.2.4-4 紐澤西州 35 號公路案例各工程材料溫室氣體排放結果

工程材料	單價表內數量	上游供應商排放	上游供應商排放占比	直接排放	直接排放量占比	總排放量 (MTCO ₂ e)	排放量占比
骨材	4	326.1	1.22%	0.0	0.00%	326.1	1.22%
鋁	3	271.6	1.02%	0.0	0.00%	271.6	1.02%
熱拌瀝青*	12	10,753	40.36%	4487.1	16.84%	15240.1	57.20%
膠結材	3	259.4	0.97%	312.2	1.17%	571.6	2.14%
混凝土	14	2,798.9	10.51%	0.0	0.00%	2798.9	10.51%
金屬	8	28.9	0.11%	0.0	0.00%	28.9	0.11%
雜項	18	4,560.8	17.12%	0.0	0.00%	4560.8	17.12%
其他	5	33.6	0.13%	0.0	0.00%	33.6	0.13%
鋼筋 混凝土	10	1,042.5	3.91%	0.0	0.00%	1042.5	3.91%
鋼鐵材	28	1,764.2	6.62%	0.0	0.00%	1764.2	6.62%
電纜	10	1.5	0.01%	0.0	0.00%	1.5	0.01%
總計	115	21,840.4	81.98%	4799.3	18.02%	26639.7	100.00%

*假設熱拌瀝青工程材料加熱至華氏 325 度(約攝氏 162 度)

若依據單價分析表中之主要工程類別項目進行檢討，如表 2.2.4-5 所示。整體計算成果顯示仍以熱拌瀝青為最主要排放工項，約 53.54%，排水相關設施次之，約 16.59%，其他依序為管涵 7.78%、路緣石 6.70%及基礎 6.39%等。

表 2.2.4-5 紐澤西州 35 號公路案例各工項溫室氣體排放結果

工程材料	單價表內數量	上游供應商排放	上游供應商排放占比	直接排放	直接排放量占比	總排放量 (MTCO ₂ e)	排放量占比
熱拌瀝青 (HMA)	9	9498.7	35.66%	4764.3	17.88%	14263.0	53.54%
排水設施	15	4418.5	16.59%	0.0	0.00%	4418.5	16.59%
管涵	16	2072.7	7.78%	0.0	0.00%	2072.7	7.78%
路緣石	1	1784.4	6.70%	0.0	0.00%	1784.4	6.70%
基礎	3	1701.1	6.39%	0.0	0.00%	1701.1	6.39%
人行道、車道及安全島	5	796.2	2.99%	3.7	0.01%	799.9	3.00%
交通號誌	11	382.5	1.44%	0.0	0.00%	382.5	1.44%

工程材料	單價表內數量	上游供應商排放	上游供應商排放占比	直接排放	直接排放量占比	總排放量(MT _{CO₂e})	排放量占比
水務	6	318.1	1.19%	0.0	0.00%	318.1	1.19%
導軌	6	229.3	0.86%	0.0	0.00%	229.3	0.86%
混凝土	1	186.5	0.70%	0.0	0.00%	186.5	0.70%
衛生下水道	4	170.1	0.64%	0.0	0.00%	170.1	0.64%
非植生表層	1	50.5	0.19%	25.4	0.10%	75.9	0.29%
其他	37	231.9	0.87%	5.9	0.02%	237.8	0.89%
總計	115	21840.4	81.98%	4799.3	18.02%	26639.7	100.00%

另外，若以工程生命週期檢討，將溫室氣體排放量源區分為工程材料、施工機具、維護、運輸活動及交通影響等五類，並分析其分別之直接排放與上游供應商排放占比，如表 2.2.4-6 所示。分析結果顯示，工程材料是主要氣體產生來源，約占 76.20%，其次為運輸活動 10.88%與維護作業 10.03%，施工機具使用僅占總體排放量之 2.89%，而本案例因交通中斷影響所衍生之溫室氣體排放占比則小於 0.01%。

表 2.2.4-6 紐澤西州 35 號公路案例生命週期各階段溫室氣體排放結果

類別	直接排放	直接排放量占比	上游供應商排放	上游供應商排放占比	總排放量	排放量占比
工程材料	4,799.3	13.73%	21840.4	62.47%	26,639.7	76.20%
施工機具	834.2	2.39%	174.0	0.50%	1,008.1	2.89%
維護	998.8	2.86%	2508.4	7.17%	3,507.2	10.03%
運輸	734.3	2.10%	3070.1	8.78%	3,804.4	10.88%
交通影響	0.2	0.00%	0.9	0.00%	1.1	<0.1%
總計	7,366.8	21.07%	27593.8	78.93%	34,960.5	100.00%

2.3 國內工程碳管理推展

因應溫室氣體管制與減量潮流，我國政府自民國 97 年起即開始一系列將節能減碳概念納入政策規範的作為(如圖 2.3-1)，強調政策規劃應符合碳中和(Carbon Neutral)原則，建構碳足跡、碳揭露等制度。



圖 2.3-1 我國工程碳管理相關政策發展示意圖

過去幾年，交通部運輸研究所陸續發展交通運輸工程碳排放量評估模式建立研究、節能減碳規劃設計手冊編定等工作，公路總局亦建立道路工程碳管理循環架構，公共工程委員會更自民國 102 年起推動公共工程碳排放量估算試辦作業。以下就公共工程碳排放量估算試辦作業與其他工程碳管理案例及環保署碳足跡係數發展之推動現況進行簡要說明。關於溫管法之發展與影響說明於 2.4 節。

2.3.1 工程會試辦案例及其他計畫進度說明

一、推展歷程

接續前述國家整體政策發展，早期規劃主要係將節能減碳概念及可執行方法納入公共工程規劃考量，但對於碳排放量之量化程序、方法及實際效益並未訂定一致的基準。

為此，公共工程委員會(以下簡稱工程會)於 101 年度委託公共工程綠

色減碳指標計畫，初步完成公共工程碳排放估算模式初步研究及試算案例，而後依該研究之結論與建議，於同年 12 月召開「公共工程計畫落實節能減碳考量及二氧化碳排放量估算模式座談會」，邀請本計畫及環保署進行「蘇花改計畫工程碳排放量及減碳效益評估結果」及我國碳足跡推動進程之簡報；並於會中達成：洽請交通部、內政部、經濟部及農委會提出試辦案例之結論。

基於以上會議之結論，工程會又於民國 102 年 3 月 6 日召開試辦作業研商會議，邀請主管或經常辦理道路、防洪、水資源、下水道、建築及水土保持 6 項工程類別機關分別提出試辦工程案例，於規劃設計階段進行碳排放估算，並於施工建造階段進行碳盤查作業，正式開啟我國公共工程於規劃階段開始進行碳管理之行動，其推動流程如圖 2.3.1-1。各試辦單位將循公路總局蘇花改計畫蘇澳東澳段(A 段)及和平大清水段(C 段)模式：於設計階段先提出碳排放量評估報告，並於此期間提出工程碳盤查範圍的建議；在成本效益、空間時間範圍可行性等考量下，於工程開工後，推動盤查或調查工作。

在 102 年度交通部、內政部、經濟部、教育部、農委會等部會分別提出試辦工程，共計 20 件，如表 2.3.1-1 所示。表列試辦案例中僅本計畫為工程會推動碳排放估算試辦作業之前即開始執行相關作業之工程，且持續執行中；其餘各案例農委會水保局與經濟部水利署提出之 3 件及 6 件案例已於 102 年度完成碳排放量估算與盤查作業，並於工程會 103 年 2 月 12 日召開之第 3 次工作會議中提出執行成果及進行經驗分享。

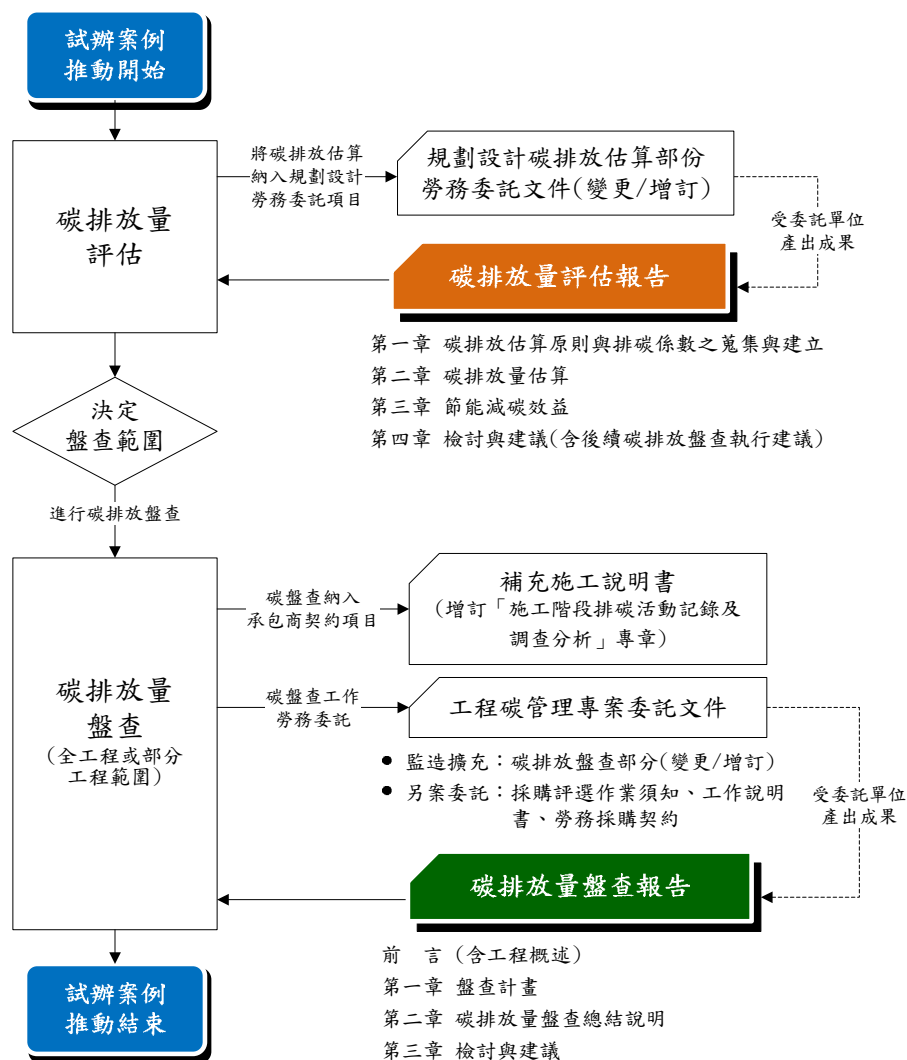


圖 2.3.1-1 公共工程碳排放量估算試辦案例推動流程

~~在 102 年度交通部、內政部、經濟部、教育部、農委會等部會分別提出試辦工程，共計 20 件，如表 2.3.1.1 所示。表列試辦案例中僅本計畫為工程會推動碳排放估算試辦作業之前即開始執行相關作業之工程，且持續執行中；其餘各案例農委會水保局與經濟部水利署提出之 3 件及~~

~~6 件案例已於 102 年度完成碳排放量估算與盤查作業，並於工程會 103 年 2 月 12 日召開之第 3 次工作會議中提出執行成果及進行經驗分享。~~

表 2.3.1-1 公共工程碳排放估算試辦工程彙整表

項次	工程類別	工程名稱	執行單位	執行狀況	部會
1	道路	台 9 線蘇花公路改善工程	公路總局	2	交通部
2	道路	國道 5 號頭城增設上下匝道改善工程	高公局	2	
3	道路	國道 4 號臺中環線豐原潭子段計畫	國工局	2	
4	水資源	石門水庫上游羅浮橋下游淤積物挖裝及附屬設施	北區水資源局	3	經濟部*
5	水資源	湖山水庫工程-湖山水庫下游梅林溪護岸修復工程	中區水資源局	3	
6	水資源	湖山水庫工程-湖南壩左岸遷建道路水土保持工程	中區水資源局	3	
7	防洪	新北市三芝區後厝海岸環境營造工程	第十河川局	3	
8	防洪	新北市淡水區油車口海岸環境營造工程	第十河川局	3	
9	防洪	鶯歌溪余厝橋上游右岸環境營造工程	第十河川局	3	
10	道路	新竹市茄苳接西濱連絡道路新闢工程	營建署	-	
11	下水道	新北市樹林地區污水下水道第一期工程第七標	新北市政府水利局	-	
12	下水道	苗栗地區污水下水道系統南苗主次幹管工程(一)	營建署下水道工程處中區分處	3	
13	下水道	臺南市永康區污水下水道系統(PB 分區)管線工程	營建署下水道工程處南區分處	3	農委會*
14	水土保持	牛欄山上游野溪整治工程	水保局	3	
15	水土保持	龍蛟溪野溪整治六期工程	水保局	3	
16	水土保持	萬得野溪整治工程	水保局	3	內政部
17	建築	內政部入出國及移民署臺中辦公廳舍新建工程	入出國及移民署	1	
18	建築	精勤樓新建工程	臺北科技大學	2	
19	建築	國立政治大學藏書空間暨學生宿舍興建工程	國立政治大學	-	教育部
20	建築	國立臺灣藝術大學多功能活動中心新建工程	國立臺灣藝術大學	2	

備註：執行狀況說明：1.估算作業執行中或已完成；2.盤查或調查作業執行中；3.試辦案例已完成；

”-“試辦作業規劃中。

執行單位：”*”表該單位持續委辦計畫進行工程碳排放量估算及調查作業。

工作會議中各委員及各方代表皆肯定工程碳排放估算試辦案例，並建議後續工程會應提供統一的規範或指引，讓試辦案例採取一致的範疇與評估方法。另多數的工程碳排放主要來自工程材料部分，當時執行碳排放估算遭遇之困難在於缺乏本土化之排碳係數，僅能以生命週期資料庫之係數來計算，後續如何提升本土化材料係數資料之數量為各界所關注之議題。

另工程會於 103 年 12 月 2 日召開第 4 次工作會議，會議中由高公局及營建署就其試辦案例執行狀況進行說明，亦請農委會水保局就其 103 年度進行之 2 個案例作成果分享，促進各單位間之經驗交流。工程會並提出「公共工程節能減碳評估檢核機制初步構想」，擬將碳排放量估算作業納入中長程個案計畫之必要檢核項目，其推動情形各工程單位應持續關注及配合。會議結論中請各單位將執行成果彙整後提交工程會，將置於工程會網站供各方參考；並請各單位持續辦理後續碳排放調查工作。

本計畫為目前公共工程推動案例中之示範案例，後續執行過程中，除依既定工作規劃、如期如質控管工程碳足跡盤查進程與結果外，亦將在必要時候，依據公路總局的指示，配合提出相關資料或成果發表予其他工程單位參考，為提升我國整體工程碳管理效益與品質盡一份心力。

二、各案例試辦狀況

經濟部水利署及農委會水保局之試辦案例皆已執行完畢，並另案辦理碳排放估算或調查等作業；該兩單位之工程碳排放量以調查方式執行，並未請第三方進行查證。

永康及南苗兩項下水道工程分別於 103 年底及 104 年初完成碳排放量估算作業，由於下水道管線工程之工程項目施作具有規律性，故採固定時間範圍之模式進行施工期間之排碳量調查，並於 105 年開始執行，預計執行 1 個月的試盤查及 6 個月的調查，將可得到下水道工程碳排放與工程特性關係之資訊。其中永康下水道工程已於 105 年 9 月底完成盤查作業，並於 106 年 5 月完成碳排放量盤查報告(定稿本)之核定；南苗下

水道工程則於 106 年 1 月中完成盤查作業，並於 106 年 9 月完成碳排放量盤查報告(定稿本)之核定。

高公局之國道 5 號頭城增設上下匝道改善工程則於 104 年下半年完成碳排放量估算作業，105 年 6 月開始執行碳足跡盤查作業，該項工程已於 107 年 12 月 30 日竣工，目前已進入盤查清冊彙整及查證作業程序，待完成查證後將可核發碳足跡查證聲明書。國工局(於 107 年 2 月整併為高公局)之國道 4 號臺中環線豐原潭子段計畫於 105 年下半年完成碳排放估算作業，並於 106 年 11 月及 12 月開始進行土建標之盤查作業，未執行盤查作業之標別將以施工過程中簡易資料蒐集及未來完工後結算資料，進行施工階段之碳排放量核算。

建築標工程則僅進行主體結構(包括基礎、樑、柱、樓板、外牆、陽台、屋頂)之鋼筋、混凝土及模板工項之調查作業，執行方式為列入承包商契約，由承包商執行；此作業範圍雖然進行主要排碳源之估算及調查，但缺基礎開挖等機具調查及裝修工程尚有部分重要工程材料並未列入調查範圍。本計畫隧道標具有機房工程，由於進行完整之建築物盤查，相關成果可與目前工程會試辦案例調查範圍作比較，提供未來建築標執行排碳量估算或調查時參考。

2.3.2 其他工程碳管理案例發展

除前述工程會推動之碳排放量估算試辦案例外，彙整目前相關單位推動之計畫及進展如表 2.3.2-1 所示，由表中可看出，各單位亦已開始注意工程碳管理之發展，並著手推動公共工程之碳盤查等作業，待相關作業執行完畢，將可取得國內各項工程與排碳量之關係，作為減碳策略研擬參考。

表 2.3.2-1 國內其他工程碳管理案例推動狀況彙整

執行單位	計畫名稱	備註
公路總局	西濱南工處西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程委託工程碳管理暨碳足跡盤查輔導及查證服務工作(101 年~107 年)	開工後才進場進行盤查輔導，未進行設計階段碳排放估算作業 WH77-A、B 及 C 標皆已

執行單位	計畫名稱	備註
		發證(ISO/TS 14067 及 PAS 2050)
公路總局	西濱南工處台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫安朔草埔段委託工程碳管理暨碳足跡盤查輔導及查證服務工作(102 年~)	盤查執行中
公路總局	第三區養護工程處台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫(金崙大鳥段)委託工程碳管理暨碳足跡盤查輔導及查證服務工作(102 年~)	盤查執行中 B1 標已發證
公路總局	西濱北工處淡江大橋第一、二標工程碳管理暨碳足跡盤查輔導及查證服務工作(104 年~)	盤查執行中
公路總局	西濱北工處淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標)(含碳足跡盤查輔導及查證)(104 年~)	工程已發包，預定 108 年 2 月 23 日開工 盤查作業規劃中
公路總局 代辦	代辦高雄機廠遷建潮州-臺 1 線高架橋工程委託碳足跡盤查輔導及查證服務工作(105 年~107 年)	開工後才進場進行盤查輔導，已發證
鐵路改建 工程局	南迴計畫潮枋段土建及一般機電工程碳管理暨碳足跡盤查技術服務(105 年~)	軌道工程
臺中市政府 都市發展局	臺中市水滄經貿園區工程碳管理作業委託專業服務案(105 年~)	區域開發工程-區段徵收 基礎工程及中央公園(清翠園)景觀工程
經濟部能 源局	綠能科技示範場域委託設計監造計畫(106 年~) (財團法人工業技術研究院代辦)	建築工程-設計階段估 算，施工階段配合計算總 碳排放量
水利署	烏溪鳥嘴潭人工湖工程 (環評要求：施工期間及營運 2 年內減少 45% 以上碳排放量)	環評要求，現為設計階 段，將規劃後續辦理方 式。

2.3.3 環保署碳足跡係數發展

為因應國內碳排放量化與減碳規劃之需求，環保署積極推動碳足跡及碳標籤制度，期望藉由產品碳排放資訊的普遍揭露，促進民眾及企業正視產品碳足跡並推動減碳作為。為使企業與相關單位在進行碳足跡量化時，能有可信賴的係數，及使下游企業有可採用的上游供應商參數，以確保碳足跡計算結果的代表性，並增加碳足跡計算的便利性及時效性，環保署自 102 年起即

著手推動本土碳足跡排放係數資料庫建置工作，預估以分年度的方式、至 107 年完成共 28 個類別、約 600 項產品碳足跡係數，其規劃發展的係數類別與子項如圖 2.3.3-1 所示。



圖 2.3.3-1 環保署規劃本土碳足跡排放係數資料庫建置內容

資料來源：蕭慧娟，2014。

由圖 2.3.3-1 顯示，與工程排碳量相關者包括：能資源、運輸服務、建材、金屬、化學品或氣體等，目前環保署已將逾百筆碳足跡排放係數公告於產品碳足跡計算服務平台中，項目詳網址：<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/LoginPage.aspx>。各類係數目前皆以相同的詮釋資料呈現，包括：名稱、碳足跡數值(kgCO₂e)、單位、技術範疇(系統邊界)、技術描述、開始日期、結束日期及區域名稱。

環保署網站上已公告部分碳足跡排放係數，包括 30 個類別、103 項子類別，總共 799 項，107 年分別於 7 月 27 日增加 47 項及 12 月 28 日增加 67 項碳足跡排放係數，包括：能源類、化學品及氣體、金屬類、化學品及氣體、電機電子類、紙類、纖維類、食用油脂類、民生相關類、住宿服務類、運輸服務類及廢棄物焚化處理服務等。

環保署目前已公告之碳足跡排各項類別中，與工程相關之排放係數類別

包括能資源、塑膠原料、金屬、化學品或氣體、建材、運輸服務、回收(爐石)、廢棄等。目前本計畫已採用之公告係數為電力、水、燃料(柴油、汽油)、氧氣、乙炔等能資源、玻璃、氮氣、樹脂及 HDPE 係數。另雖然環保署於 104 年 12 月初公告通過 FY104 第 6 次推動產品碳足跡標示審議會技術小組會議之碳係數中有包含與工程相關之鋼胚、鋼筋、水泥及混凝土等係數。但由於其生命週期邊界並不完整(未包含原料至廠家的運輸階段、包裝階段等)，且本計畫已進行完整生命週期之鋼筋、水泥及混凝土供應商盤查作業，故本計畫為充實我國碳足跡排放係數資料庫，已將盤查之大宗工程材料碳足跡係數彙整發文予環保署，包含鋼筋、水泥及預拌混凝土等 22 筆碳足跡已於 106 年 8 月 1 日公告於環保署產品碳足跡計算服務平台，提供係數內容詳本報告 3.3.4 節。

公路總局執行之西濱南八棟寮至九塊厝工程碳管理計畫，於執行過程中協助鋼筋廠商取得鋼胚及鋼筋之 ISO/TS 14067 碳足跡查證聲明書，已主動發函環保署提供經查證之鋼胚及鋼筋碳足跡係數；2.3.1 節提及之工程會試辦案例-永康下水道工程，於盤查結果完成審查後，亦彙整盤查過程中產出之工程材料碳足跡排放係數提供予環保署。上述工程碳管理計畫產出之工程材料碳足跡，皆於 106 年 8 月 1 日公告環保署碳足跡計算服務平台。預期隨著各項工程盤查之進展，我國碳足跡係數資料庫將有更多本土化工程材料碳足跡係數提供引用。

本計畫將持續關注環保署公告內容，與並查證單位確認是否有可採用之係數，在符合查證規範要求下，適時更新本計畫進行碳足跡計算時可能採用之本土化碳排放係數。

2.4 溫室氣體減量及管理法與相關子法

因應全球氣候變遷及節能減碳需求，立法院於 104 年 6 月 15 日完成「溫室氣體減量及管理法」(以下簡稱溫管法)三讀，總統並於同年 7 月 1 日正式公布施行，我國溫室氣體減量與管理邁向有正式法源依據的時代。溫管法共分 6 章 34 條，包括：總則、政府機關權責、減量對策、教育宣導與獎勵、罰則及

附則，詳細內容已於 104 年度進度報告進行說明。與工程機構相關者為溫管法第 5 條中提及政策規劃原則包括「推動國家基礎建設之低碳綠色成長方案」、第 24 條提及政府機關應推展「低碳產品標籤制度及推廣低碳產品」等，為工程機構在參與國家整體節能減碳工作中可以納入考量的重點。

另因應溫管法施行，相關子法已陸續公告，以下就相關子法推動現況及施行細則進行說明。

一、溫管法相關子法

溫管法施行後，原以空氣污染管制法(以下簡稱空污法)進行管理之溫室氣體正式轉由溫管法管制。初期，環保署首先推動現有隸屬於空污法下之子法轉換，先掌握我國溫室氣體排放基礎資料後，再據以訂定總量目標及進行總量管制。目前環保署已公告之相關法規或命令如表 2.4-1 所示。

溫管法已授權另訂子法者(諸如溫室氣體盤查登錄、查驗管理、抵換專案、效能標準、核配拍賣配售、排放交易制度等)，其細節性事項由相關子法另訂之。其中「溫室氣體排放量盤查登錄管理辦法」及「第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」，為目前本計畫在執行工程碳盤查時與大宗材料供應商(水泥、鋼筋等)協商提供相關資料之主要依據，對於建立本土化工程材料排碳參數具有很大之助益。

此外，在「第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」規定中，雖部份行業尚未列入管制對象，但後續列管對象勢必逐步增加、擴充，國內相關單位及業者皆應預作準備，以因應未來溫室氣體排放量之量化及減量之責任。

106 年 7 月才公告之「低碳產品獎勵辦法」，主要獎勵生產低碳產品之事業；該辦法所稱低碳產品，指符合下列條件之一者：1.取得中央主管機關核發碳足跡標籤(以下簡稱碳標籤)使用權，且碳足跡數值為同類型碳標籤產品中前百分之十；2.取得中央主管機關核發之碳足跡減量標籤(以下簡稱減碳標籤)使用權；3.經中央主管機關審查展期通過且具實際減碳成效之碳標籤使用權。事業提出申請後，由評審小組審查，每年選

出不同等級之數位得獎者，除頒發 10 萬至 30 萬不等之獎勵金外並將公開表揚。對於生產工程材料之廠商，取得碳標籤為符合「低碳產品獎勵辦法」之第一步，該辦法之訂定將有助於廠商配合盤查及未來產品低碳化之發展。

表 2.4-1 溫室氣體管制相關法規命令公告情形彙整

類型	名稱	公告日期	說明
施行細則	溫室氣體減量及管理法施行細則	105.01.06	依溫管法第 33 條規定訂定
法規命令	一般廢棄物掩埋場降低溫室氣體排放獎勵辦法	104.12.25	依溫管法第 27 條第 2 項規定訂定
	溫室氣體抵換專案管理辦法	104.12.31	依溫管法第 22 條第 3 項規定訂定
	溫室氣體排放量盤查登錄管理辦法	105.01.05	依溫管法第 16 條第 3 項規定訂定
	溫室氣體認證機構及查驗機構管理辦法	105.01.07	依溫管法第 16 條第 2 項規定訂定
	溫室氣體管理基金收支保管及運用辦法	105.01.30	依溫管法第 19 條第 1、5 項規定訂定
	氣候變遷行動綱領	106.02.23	依溫管法第 9 條第 1 項規定訂定
	溫室氣體排放源符合效能標準獎勵辦法	106.03.15	依溫管法第 22 條第 3 項規定訂定
	溫室氣體階段管制目標及管制方式作業準則	106.03.28	依溫管法第 11 條第 1 項規定訂定
	第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源	105.01.07	依溫管法第 16 條第 1 項規定訂定
行政規則	國家溫室氣體排放清冊審議會設置要點	105.11.10 106.02.14(修)	確保國內部門及排放源類別之溫室氣體排放統計及其相關排放係數等之數據品質
	溫室氣體減量成效認可審議會設置要點	105.01.04 105.09.09(修)	辦理抵換專案、符合效能標準獎勵及非總量管制公告之排放源自願減量申請之審議相關作業
	溫室氣體階段管制目標諮詢委員會設置要點	105.01.28 106.02.14(修)	依溫管法第 11 條第 1 項規定訂定
	低碳產品獎勵辦法	106.07.10	依溫管法第 27 條第 2 項規定訂定

二、溫管法施行細則

為利溫管法後續推動與執行，環保署於 105 年 1 月 6 日訂定發布「溫室氣體減量及管理法施行細則」(以下簡稱溫管法施行細則)，明確劃分中央及地方主管機關之主管事項，並陸續公告溫室氣體管制相關法規命令，以利溫室氣體減量與管理政策推動。

溫管法施行細則共有 16 條，第 1~3 條為說明及定義事項，第 4~14 條規範溫管法第 9~15 條要求主管機關工作之執行內容，第 15 條定義溫管法第 26 條所提之「能源供應者」，有關溫管法施行細則第 4~14 條之要求內容、執行機關及對應之溫管法法條彙整如表 2.4-2 所示。

由表中可看出中央主管機關與中央目的事業主管機關各有不同之工作分工，中央主管機關主要著重於國家政策方向確認、排放狀況掌握。中央目的事業主管機關則著重於減量計畫行動、檢討執行成果等，依據施行細則要求。中央目的事業主管機關應於**推動方案核定後 6 個月內提送行動方案**；後續須提送之資料包含**每年提送排放管制成果報告、未達成目標之改善計畫、排放量調查、統計成果及氣候變遷調適工作**；每 5 年檢討一次行動方案。

表 2.4-2 溫管法施行細則有關行政機關工作要求重點內容

施行細則法條	規範對象	法條內容重點	依據溫管法 法條
第 4 條	中央主管機關	規範國家因應 氣候變遷行動綱領 之內容	第 9 條 第 1 項
第 5 條	中央主管機關	規範溫室氣體 減量推動方案 之內容	第 9 條 第 1 項
第 6 條	中央目的事業主管機關	1.規範目的事業主管機關應於推動方案核定後 6 個月內提送 行動方案 2.規範行動方案內容 3.要求行動方案每 5 年檢討一次	第 9 條 第 3 項
第 7 條	中央目的事業主管機關	1.規範執行 排放管制成果報告 之內容 2.要求執行排放管制成果報告於每年 9 月 30 日前報請行政院核定	第 10 條 第 1 項
第 8 條	中央目的事業主管機關	1.規範未達成所屬部門溫室氣體排放管制目標，應提 改善計畫 之內容 2.要求於排放管制成果報告核定後 6 個月內提送	第 10 條 第 1 項

施行細則法條	規範對象	法條內容重點	依據溫管法 法條
第 9 條	中央主管機關	1. 規範中央主管機關應彙整各目的事業主管執行成果，於每年 12 月 31 日前向行政院報告 2. 規範報告內容	第 12 條 第 1 項
第 10 條	中央目的事業主管機關	1. 規範應於每年 8 月 31 日前提送 <u>排放量調查及統計成果</u> 予中央主管機關 2. 要求排放量調查及統計成果應包含前 2 年成果(排放量或碳匯量，及其活動數據或排放係數)	第 13 條 第 1 項
第 11 條	中央目的事業主管機關	1. 規範目的事業主管機關應執行之 <u>氣候變遷調適工作內容</u> 2. 要求每年 11 月 30 日前提送前一年調適成果予中央主管機關	第 13 條 第 1 項
第 12 條	中央主管機關	1. 規範 <u>國家清冊</u> 內容 2. 要求每年 11 月 30 日前提國家清冊，並於 12 月 31 日前公開於中央主管機關網站	第 13 條 第 2 項
第 13 條	中央主管機關	1. 規範溫室氣體 <u>國家排放報告</u> 內容 2. 要求每 3 年編撰一次溫室氣體國家排放報告，並每 3 年第 3 年 11 月 30 日前報行政院核定，並公開於中央主管機關網站	第 13 條 第 2 項
第 14 條	直轄市、縣(市)主管機關	1. 規範訂修溫室氣體管制執行方案之內容 2. 要求於推動方案及行動方案核定後 1 年內提送，並每 5 年檢討一次	第 15 條

三、溫室氣體減量推動方案

環保署依據溫管法第 9 條第 1 項規定，於 106 年 11 月公告溫室氣體減量推動方案(草案)，而後於 107 年 3 月 22 日公告核定版，啟動國家級跨部門間的減量行動。並依據溫管法第 11 條第 2 項規定，會商中央目的事業主管機關達成共識，提出我國第一期階段管制目標，設定為 109 年我國溫室氣體排放量較基準年 94 年減量 2%，即到 109 年我國溫室氣體淨排放總量降為 260.717 百萬噸二氧化碳當量(MtCO_{2e})。除了明定國家整體目標外，也參考六大部門(能源、製造、運輸、住商、農業、環境)排放責任、排放現況、減量趨勢及減量潛力等，訂定各部門分配減量目標。另規定我國電力係數應於 109 年將排放係數降低至 0.492 kgCO_{2e}/度。

有關中央機關應推動溫室氣體減量、氣候變遷調適事項，屬於交通部主辦之項目為：四、運輸管理、大眾運輸系統發展及其他運輸部門溫

室氣體減量(交通部主辦；經濟部協辦)及五、低碳能源運具使用(交通部主辦；經濟部、環保署協辦)。

1. Zero Carbon Building Ltd, (2014), Carbon Labeling Scheme for Constructon Products Assessment Guide, Ready-mixed Concrete.
1. ISO 國際組織網站，<https://www.iso.org/standard/59521.html>。(Access date: 2017/7)
2. 基礎建設-道路(Infrastructure-Road)碳足跡產品類別規則，(2017)，民國 106 年 3 月 21 日。
3. 基礎建設-橋梁(Infrastructure-Bridge)碳足跡產品類別規則，(2017)，民國 106 年 3 月 21 日。
4. 基礎建設-公路隧道(Infrastructure- Highway Tunnel)碳足跡產品類別規則，(2017)，民國 106 年 5 月 19 日。
5. International EPD System :
<http://www.environdec.com/en/PCR/Detail/?Pcr=12257%20> (Access date: 2017/7/21)
<http://www.environdec.com/en/PCR/Detail/pcr2013-20>(Access date: 2017/7/21)
2. Highways England, (2015), Highways England Carbon Tool Guidance. Online document: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/453177/Task_446_Guidance_Document.pdf>
3. Highways England, (2016), Carbon Emissions Calculation tool v1.03.<
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/553866/Task_446_Carbon_Tool_v1.03.xlsm >
4. European Commision JRC, (2016), Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance, Procurement Practice Guidance Document.
5. European Commision, (2016), Commission Staff Working Document, EU Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance.
6. European Commision, (2016), Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance, Technical Report and Criteria Proposal.
7. World Road Assocation, (2012), Life Cycle Aspects of Electrical Road Tunnel Equipment, <https://www.piarc.org/en/order-library/16911-en-Life%20cycle%20aspects%20of%20electrical%20road%20tunnel%20equipment.htm>
8. 吳冠汲、楊士賢，2018，開發設計導向之永續運輸基礎設施管理碳足跡評估工具-

公路橋梁系統(2018)，國立成功大學土木工程學系。

9. Gallivan, F., et. al., (2014), FHWA Infrastructure Carbon Estimator: Final report and user guide.
10. Robert, B. N. and Hanson, C. S, (2014), Carbon Footprint Estimator phase II Volume I - GASCAP Model
- 11.

目錄

第二章 工程碳足跡評估與我國道路工程碳管理發展.....	2-1
2.1 碳足跡盤查規範及計算指引發展.....	2-3
2.1.1 碳足跡盤查規範發展.....	2-3
2.1.2 國際道路與橋梁 PCR 改版.....	2-5
2.2 國際工程碳管理發展.....	2-9
2.2.1 綠道路評估系統說明.....	2-9
2.2.2 國內外工程排碳量計算工具彙整.....	2-15
2.2.3 循環經濟.....	2-19
2.2.4 美國紐澤西州高速公路重建全生命週期溫室氣體排放案例.....	2-22
2.3 國內工程碳管理推展.....	2-28
2.3.1 工程會試辦案例及其他計畫進度說明.....	2-29
2.3.2 其他工程碳管理案例發展.....	2-35-34
2.3.3 環保署碳足跡係數發展.....	2-362-35
2.4 溫室氣體減量及管理法與相關子法.....	2-382-37
第三章 工程碳足跡評估與我國道路工程碳管理發展.....	2-1
2.1 碳足跡盤查規範及計算指引發展.....	2-3
2.1.1 碳足跡盤查規範發展.....	2-3
2.1.2 國際道路與橋梁 PCR 改版.....	2-5
2.2 國際工程碳管理發展.....	2-7

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

2.2.1	▲ 綠道路評估系統說明	2-7
2.2.2	▲ 國內外工程排碳量計算工具彙整	2-12
2.2.3	▲ 循環經濟	2-21
2.3.1	▲ 工程	2-24
2.3	▲ 國內工程碳管理推展	2-24
2.3.1	▲ 工程會試辦案例及其他計畫進度說明	2-25
2.3.2	▲ 其他工程碳管理案例發展	2-29
2.3.3	▲ 環保署碳足跡係數發展	2-30
2.4	▲ 溫室氣體減量及管理法與相關子法	2-36

- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 字型: (符號) Times New Roman, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查
- 格式化: 預設段落字型, 使用拼字與文法檢查

圖目錄

圖 2.1.1-1	碳足跡相關標準發展進程示意圖	2-42-3
圖 2.1.1-2	ISO/TS 14067: 2013 發展現況	錯誤! 尚未定義書籤。2-5
圖 2.1.1-3	ISO 14067 發展現況	2-5
圖 2.1.2-1	基礎建設-公路隧道 CFP-PCR 生命週期範圍	錯誤! 尚未定義書籤。2-7
圖 2.1.3-1	瑞典橋梁、高架道路及隧道工程產品類別規則資訊頁面	錯誤! 尚未定義書籤。2-9
圖 2.1.3-2	瑞典交通部道路工程產品類別規則資訊頁面	2-8-2-9
圖 2.1.4-1	預拌混凝土之製程地圖	錯誤! 尚未定義書籤。2-12
圖 2.1.4-2	運輸排放之計算方法	錯誤! 尚未定義書籤。2-15
圖 2.2.1-1	道路設施計畫與採購活動各階段流程	錯誤! 尚未定義書籤。2-24
圖 2.2.1-2	道路維護計畫與採購活動各階段流程	錯誤! 尚未定義書籤。2-25
圖 2.2.2-1	英國公路局計算器評估範疇與架構	錯誤! 尚未定義書籤。2-32
圖 2.2.2-2	英國公路局碳排放計算器介面	錯誤! 尚未定義書籤。2-33
圖 2.2.2-3	道路鋪面類別碳排放活動數量填報介面	錯誤! 尚未定義書籤。2-34
圖 2.2.2-4	大宗材料使用分配功能	錯誤! 尚未定義書籤。2-35
圖 2.2.2-5	排碳量計算結果彙整功能	錯誤! 尚未定義書籤。2-35
圖 2.3-1	我國工程碳管理相關政策發展示意圖	2-292-41

圖 2.3.1-1	公共工程碳排放量估算試辦案例推動流程	<u>2-312-43</u>
圖 2.3.3-1	環保署規劃本土碳足跡排放係數資料庫建置內容	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-49</u>

表目錄

表 2-1	碳足跡標準及國內外工程碳管理發展	2-1
表 2.1.4-1	預拌混凝土之產品類型	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-11</u>
表 2.1.4-2	預拌混凝土碳足跡評估之系統邊界	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-11</u>
表 2.1.4-3	預拌混凝土產品碳足跡計算之參數與資料來源	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-13</u>
表 2.2.1-1	歐盟制定之綠色採購準則項目	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-21</u>
表 2.2.1-2	道路採購流程階段之綠色採購準則項目	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-25</u>
表 2.2.1-3	道路採購流程階段之綠色採購準則內容	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-26</u>
表 2.2.1-4	道路生命週期關鍵環境影響與歐盟 GPP 之因應方法	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-28</u>
表 2.2.1-5	綠色採購之道路生命週期評估準則(B14)	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-31</u>
表 2.2.1-1	英國公路局碳排放量計算器應填報之類別	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-34</u>
表 2.3.1-1	公共工程碳排放估算試辦工程彙整表	<u>2-332-44</u>
表 2.3.2-1	國內其他工程碳管理案例推動狀況彙整	<u>2-352-46</u>
表 2.3.3-1	環保署已公告之碳足跡排放係數	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-49</u>
表 2.4-1	溫室氣體管制相關法規命令公告情形彙整	<u>2-402-54</u>
表 2.4-2	溫管法施行細則有關行政機關工作要求重點內容	<u>2-412-56</u>
表 2.4.1-1	蘇花改營運管理階段評估邊界與範疇	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-58</u>
表 2.4.1-2	蘇花改營運管理階段排碳量估算情境	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-58</u>
表 2.4.1-3	蘇花改營運管理階段估算待確認假設情境及後續辦理方向	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-59</u>
表 2.4.2-1	蘇花改營運管理階段問卷內容彙整	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-60</u>
表 2.4.2-2	問卷回覆內容彙整	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-61</u>
表 2.4.3-1	隧道設備內容	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-63</u>
表 2.4.3-2	隧道設備生命週期彙整表	<u>錯誤! 尚未定義書籤。2-64</u>

表 2.4.4-1 A3 標營運階段評估假設情境 錯誤! 尚未定義書籤。 2-66

第三章 蘇花改計畫工程碳足跡盤查執行進度

依據本計畫招標文件中委託服務工作說明書之內容，本計畫執行實際工程碳足跡盤查輔導及檢查之範圍包括：A 段及 C 段各標土建及機電照明工程、B 段之機電照明工程，及全線(含 A 段、B 段、C 段及既有台 9 線配合新增工作)之交控工程；詳細範圍說明如表 1.3.1-1。

為符合國際標準技術規範 ISO 14067 查證之資料完整性要求，本計畫執行盤查輔導的範圍可概分為兩大部分，包括：工區(工程主體相關排碳活動及碳匯變化)，以及非工區施工管理單位(各單位因應工程管理而設置之辦公及無法區隔的住宿場所)，如圖 3-1 及表 3-1 所示。

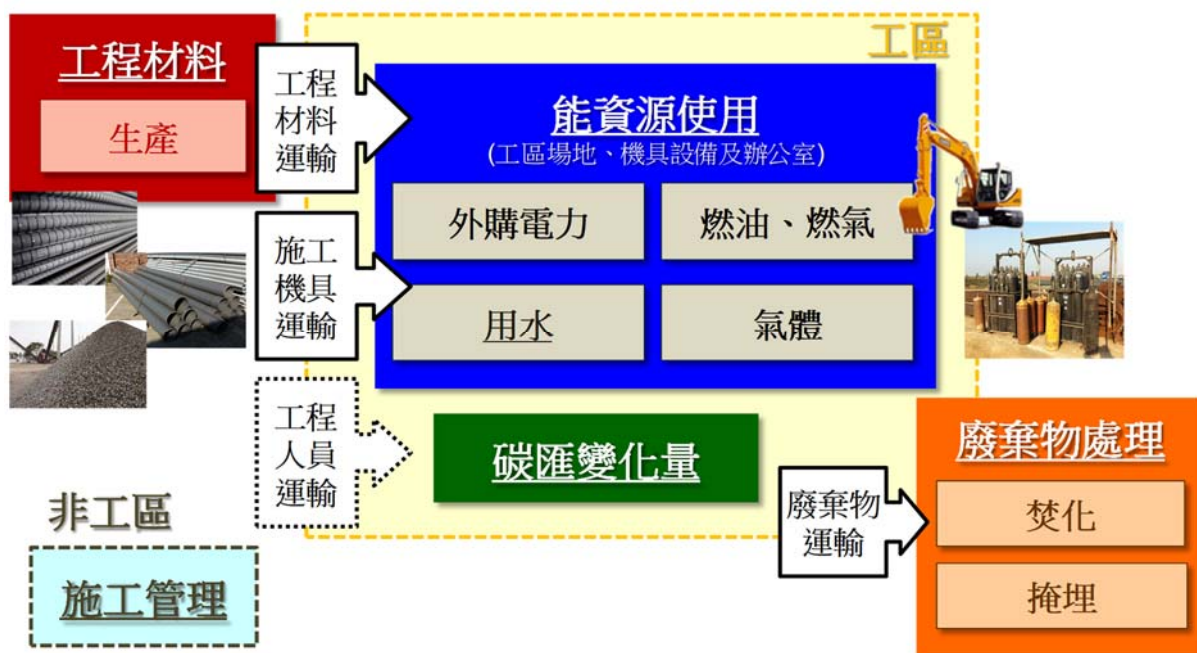


圖 3-1 工程碳足跡盤查範圍示意圖

工區施工範圍即為道路設施之建造範圍，參考碳足跡規範之原則性描述及目前國內外之道路工程產品類別規則內容，舉凡：道路鋪面、基礎、設備、儀控裝置、隧道、橋梁等主體及附屬設施建造過程中，所使用的能資源(油、氣、水、電)、工程材料生產及使用碳排放量、所產生的廢棄物處置碳排放量，以及所造成的碳匯增減量及相關運輸行為的能源耗用排碳，皆為工區碳足跡盤查之必要項目。

表 3-1 本計畫碳足跡盤查輔導範圍

盤查輔導範圍		涵蓋範圍
工區 (工程主體：含預鑄場、 預拌混凝土廠及碳匯調查)	土建	A1、A2、A3、C1(C1A)、C2
	機電	A4、B5、C3
	交控	全線(E1)
非工區(施工管理)		蘇花改工程處、蘇花改工程處各工務段、各段監造辦公室及各標承包商辦公室，與無法區隔之宿舍

工程人員上下班交通能耗在 International EPD® System 系統中營建 PCR 基本模組為排除項目，考量部分國外案例(如：英國環境署工程活動碳足跡計算器)仍有將其納入，故本計畫初期曾要求承包商配合調查，並進行排放量量化；惟調查結果顯示該項排放量占比低，且 ISO 14067 及我國公路相關 CFP-PCR 未將此部分納入，故現階段已未進行該項調查。而碳匯變化調查及量化結果將獨立表述於查證聲明中，不納入整體排放量之中。

非工區之施工管理部分係指因應蘇花改計畫所設置的管理單位，包括：蘇花改工程處、工務段及監造工程處、承包商工務所；在目前國際道路工程 PCR 和營造 PCR 基本模組中，此部分排放是否計入皆未特別強調，故本計畫團隊參與訂定相關 CFP-PCR 中也未特別就此部分提出定見。為避免後續討論調整後再追溯資料會有困難，故本計畫以年度的方式，請求各級管理單位作相關資料的蒐集並填寫年報，盡可能維持盤查資料的完整性，作為後續分析施工管理排碳量與整體工程碳足跡之關聯性的依據。本計畫也將持續追蹤國內外對於工程碳足跡盤查範圍之研商結果，比對本計畫碳足跡盤查及量化結果，進行排碳貢獻度分析，進而檢討盤查範圍並提出調整建議，作為後續完成蘇花改計畫盤查清冊彙整、通過查證程序並取得聲明之依據。

綜整目前蘇花改計畫各標工程已完工及暫定工程期程如表 3-2，本計畫即依據各標工程實際決標、開工及竣工時間執行碳足跡盤查輔導工作，分小節說明於後。

表 3-2 本計畫執行盤查輔導之各標工程期程

路段	標別(名稱)	決標時間	開始作業 通知時間	目前預定 竣工時間
蘇澳 東澳段 (A 段)	A1(蘇澳永樂段新建工程)	102.03.20	102.04.08	106.07.17*
	A2(東澳隧道新建工程)	101.11.29	101.11.30	108.03.02*
	A3(東澳東岳段新建工程)	101.06.28	101.07.13	105.04.08*
	A4(蘇澳東澳段機電工程)	103.12.19	103.12.24	107.04.17*
南澳 和平段 (B 段)	B5(南澳和平段機電工程)	105.04.12	105.04.22	108.09.05
和中 大清水 段 (C 段)	C1(中仁隧道新建工程)	101.06.07	101.06.15 開始 101.10.08 暫停 101.11.15 再開始	103.11.07 解除契約
	C1A(中仁隧道接續工程)	104.03.19	104.03.26	109.01.04
	C2(仁水隧道新建工程)	103.05.30	103.06.05	108.11.18
	C3(和中大清水段機電工程)	107.01.18	107.03.05	109.01.03
全線	E1(交通控制系統工程)	104.01.14	104.01.23	109.02.18

備註：*已竣工

3.1 工程碳足跡盤查執行進度

本年度(107 年 1 月至 12 月)主要工作項目，於行政庶務部分，包括提送 106 年度年末進度報告書與 107 年度年中進度報告書，並辦理報告審查會與完成修正報告；查驗機構查證部分，辦理 106 年度碳盤查現場查核及年度預審、完成 A 段各標(含機電標與交控標)查證程序；供應商盤查部分，進行 C2 標鋼構廠、C3 標地下油槽與 E1 標電線電纜廠之訪查及碳盤查說明；辦理會議/活動與參訪部分，與設計單位回饋及討論、參加交通部 107 年度環評追蹤考核會議、碳足跡盤查成果監造回饋及討論會議、前往美國西雅圖進行國際參訪並提交報告，及辦理 A 段各標碳足跡查證聲明書查證並於 108 年 1 月辦理授證典禮；此外，亦辦理 C3 標啟始會議與教育訓練；本年度主要執行工作期程與項目詳表 3.1-1。

除辦理前述重要事項外，本計畫仍定期以每月至少一次的方式，就已開工且未竣工的土建、機電及交控標進行盤查輔導矯正及現場訪查。

表 3.1-1 本年度主要執行工作項目

月份	主要執行工作項目
1 月	● 提送 106 年度年末進度報告書初稿
2 月	● 辦理 106 年度碳盤查現場查核
3 月	● 執行 106 年度盤查結果年度預審 ● 辦理 106 年度年末進度報告審查會 ● 辦理 C3 標啟始會議及開始進行盤查輔導作業
4 月	● 設計單位回饋及討論
5 月	—
6 月	● 提送 106 年度年末進度報告書修正報告 ● 前往美國西雅圖進行國際參訪
7 月	● 提送 107 年度年中進度報告書初稿 ● 提送美國西雅圖國際參訪出國報告
8 月	● 辦理 C3 標教育訓練 ● 辦理 A 段各標(含機電標與交控標)查證作業(1/2) ● 提交環評追蹤考核之碳排放管理簡報資料
9 月	● 參加交通部 107 年度環評追蹤考核會議 ● 辦理 A 段各標(含機電標與交控標)查證作業(2/2)
10 月	● 辦理 107 年度年中進度報告審查會 ● 辦理 C2 標供應商鋼構廠訪查及碳盤查說明 ● 辦理 C3 標供應商地下油槽訪查及碳盤查說明
11 月	● 完成 A 段各標查證程序
12 月	● 提送 107 年度年中進度報告書修正報告 ● 辦理 E1 標供應商電線電纜廠訪查及碳盤查說明 ● 辦理碳足跡盤查成果監造回饋及討論會議 ● 辦理 A 段各標碳足跡查證聲明書授證典禮

以下分節就本年度辦理之現場訪查與輔導辦理、供應商訪談、查驗機構月度查核意見彙整，及 A 段授證辦理實錄做說明。

3.1.1 現場訪查與輔導辦理

為確保各標承包商及監造單位相關人員所填報與查核之碳排放活動數據與所蒐集之佐證資料，能夠符合工程活動的實際施作情況並滿足碳足跡查證需求，本計畫自各標工程開工後，即每月至少一次前往各標工程現場，進

行文件填報輔導、討論及工區訪查。現場輔導會議主要參與人員包括：本計畫盤查輔導人員、各段監造單位碳管理專員，及各標承包商與其協力廠商等碳盤查參與人員；另工程處及工務段各標工程司亦不定期參與會議、瞭解並給予指導或工程內容釋疑。

在各標工程開工初期，現場輔導主要是以登錄清冊撰寫及日誌填報方式說明與討論為主，並對佐證資料提出型式、未來表單更新情形等作說明，加強承包商碳管理專員正確彙集與填報碳排放活動資料的能力。透過面對面地討論、系統操作流程的示範，以及透過工區巡訪、直接就各式碳排放活動項目與計量狀況及所遭遇的問題研議解決方法，著實對於提升各標碳足跡盤查資料的正確性與完整性大有幫助，並輔助本計畫順利通過查驗機構的每月文件審查。

本團隊自 102 年 4 月起，即視盤查執行狀況、工區所在位置及相關參與人員之時間，安排盤查輔導時間。A 段現場輔導在四標同時施工時盡量集合四標人員輪流於蘇澳或東澳監造工程處辦理，於 A3 標竣工後，則主要於蘇澳監造工程處辦理，並視狀況於東澳確認 A4 標施工狀況，106 年 7 月 17 日 A1 標竣工後仍於蘇澳監造工程處辦理 A 段現場輔導，惟 A4 標有部分施工區域於東澳，故本計畫依實際需要前往東澳進行現場巡訪，目前 A 段已竣工通車，A4 標最後一場現場輔導於 5 月 23 日辦理完成。

C1A 與 C2 標於和 中大清水段監造工程處辦理現場輔導會議，C3 標於 107 年 3 月開工後亦併同辦理。B5 標則於南澳監造工程處辦理；E1 標在 A 段施工期間於承包商冬山施工所辦理會議，待工區移至 B、C 段後，改至南澳監造工程處辦理。

本計畫已於每次現場輔導會議結束後以電子郵件將會議紀錄及辦理實況提供業主、承包商及監造單位參考，並上網提供民眾參與及溝通之資訊(網址：<http://suhuapmis-appa.sinotech.com.tw/baseapp/carbon/EventList.aspx>)。本年度各場次現場輔導會議主要討論內容彙整如表 3.1.1-1，會議辦理實況詳報告光碟。

表 3.1.1-1 本年度各場次現場輔導會議主要討論內容

月份	日期	標別	主要討論內容
1	15	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：請承包商提供新增工程材料之組成及單位重量資訊 ● C2 標：(1)廣昇機具運輸資料討論 (2)詢問 1/13 隧道事件是否有抽坍報告，如有抽坍報告監造將會再提供
	17	A 段	<ul style="list-style-type: none"> ● A2 標：日前提提供之抽坍處理報告為監造認可內容；另外請福清提供監造尚未認可之內容 ● A4 標：請提供管理單位樓地板面積資料
	26	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 已運進之高壓鈉氣燈具，請提供設備檢驗報告(基本設計及配光曲線測試報告)，以確認該燈具之外殼重量
	26	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 請承包商及監造未來工程材料廠驗時再告知日期
2	8	A 段	<ul style="list-style-type: none"> ● A2 標：(1)請承包商確認工程材料如有移至其他工地應填報運出 (2)承包商另提供其他抽坍處理之材料設計使用量報告，因屬於設計資料，故將採用混凝土供應商請款資料及福清計價資料計算額外之抽坍處理影響 ● A4 標：請專員核對盤點工程材料使用情形，並索取高架、路堤段用電量佐證
	8	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 經討論後，E1 標將以第一期第一次竣工日期 3 月 15 日作為 A 段工程結束日期
	12	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 億泰電纜生產 B5 標產品期間主要為 106 年 7~12 月，請協助聯繫供應商，請其提供盤查資料
	22	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：C1A 標所使用各類自鑽式岩栓，本團隊依照會議討論結果並確認後，提出後續填報方式之建議 ● C2 標：提醒承包商應填報南口鋼便橋之 H 型鋼使用量，及後續鋼覆板進場應該填報運入
3	19	A 段	<ul style="list-style-type: none"> ● A2 標：工程材料之料單數量確認 ● A4 標：要求專員合理安排工作，盡速補齊完成至竣工日之完整日誌內容
	19	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 討論人員出勤填報原則 ● 用水量情況確認結果：工務所平時主要水源為溪水或山泉水(碳盤查系統用水編號 WS-002)，若溪水或山泉水不敷使用，則使用自來水(碳盤查系統用水編號 WS-001 及 WS-003) ● 請承包商盤點開工至 107 年 3 月 15 日止，工程材料使用數量(運入-庫存=使用)，以利與碳盤查系統填報使用數量相互比對，應以實際使用量為準，作為第一期第一階段最終使用數量機具與運具油耗率分析

月份	日期	標別	主要討論內容
	19	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 武塔隧道螺桿組裝施作，由於螺桿材料屬於另料，將待該項施工結束後確認剩餘數量，再填報材料使用數量；另電纜線架材料將有領料單據，以作為材料用量填報之依據 ● 機具與運具油耗率分析
	26	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：(1)提醒混噴凝土「逾時退料」毋須填報數量 (2)請承包商蒐集北口南下線 I 型梁已完成吊裝作業之機具油耗資料；另外亦說明北口北上線 I 型梁吊裝油耗調查方式 ● C2 標：討論各類管材經清查之填報結果 ● 機具與運具油耗率分析
4	20	A 段	<ul style="list-style-type: none"> ● A2 標：與承包商確認工程材料預埋螺母、超耐磨砂漿、樹脂砂漿及耐磨砂漿資訊 ● A4 標：工程材料重量及材質佐證資料之確認
	20	B5 標	● 碳盤查系統登錄清冊、作業項目及機具使用情形之討論
	20	E1 標	● 武淵倉庫用電量資料填報一事，承包商說明因繳費單據取得有困難，僅作為材料與設備之存放，且電費已包括於房租內，故碳盤查系統上未填報；經輔導單位與查驗機構確認，因電費已包含於房租內，量化用電度數有其困難度，且排放量占比極低得排除計算
	25	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：工區訪查實測北口 I 型梁暫置區中心點到吊裝區中心點距離，共計約 0.4 公里，此數據及佐證資料(里程表照片)已提供予承包商參考 ● C2 標：請承包商確認預力地錨領料紀錄，並填報相關使用量 ● C3 標：要求承包商提供以下工務所資料，包括公務車、用水、用電、空調、冷凍及消防設備
5	17	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 討論近期機具使用情形，並至施工所量測工程材料重量 ● 提醒提供至 4 月底已核定的施工圖及計畫書
	17	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 資料填報日期與佐證日期會有跨月問題，會議中決議自 107 年 4 月起所填報資料如遇此情況，將在備註欄說明「補○年○月○日資料」 ● D1 標緊急應變中心之交控系統工程，除了包括蘇花改工程之外，亦包括其他工程；此外，碳盤查系統所填報 D1 標資料均為蘇花改工程內容，故須一併納入碳排放量計算 ● 為了如期繳交蘇花改工程 A 段交控標碳足跡盤查清冊，已請監造單位及承包商協助配合於 107 年 5 月 25 日前，完成 A 段已填報資料修改 ● 向承包商宣傳碳盤查系統功能升級後填報方式及內容

月份	日期	標別	主要討論內容
			<ul style="list-style-type: none"> ● 有鑑於本次 A 段資料盤點開工迄 107 年 3 月 15 日止資料結果發現，資料會有漏填報或誤植之情形，會議中監造單位表示，未來每季會清查運進與使用
	23	A4 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 日誌資料已完成填報
	23	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：(1)如材料為北口工區運至南口工區，應選「近運」 (2)未來隧道全線貫通後，仍由蘇建興公司負責北口工作面-NS3 及 SS4，東丕公司負責南口工作面-NN1 及 SN2，故碳足跡盤查資料填報方式與隧道貫通前相同 ● C2 標：程隆傾卸車里程提供一事，承包商表示該協力廠商車輛里程表皆已故障，輔導單位後續將以趟次及估算里程計算單位油耗量，提供予承包商 ● C3 標：經確認 5 月份已新進 2 台公務車及 2 台機車，已要求承包商盡速於線上系統登錄規格與型號等資料
6	21	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：(1)請承包商提供新增工程材料組成及重量資訊 (2)北口北上線 I 型梁吊裝機具油耗調查，與蘇建興公司協商調查方式及說明調查表填寫方式 ● C2 標：機房裝修工程所使用之預埋管材與估驗計價數量比對結果之討論 ● C3 標：與承包商確認空調、冷凍設備數量 ● 請各標承包商於 7 月 18 日前完成 107 年度上半年度日誌及佐證資料上傳，以利年中進度報告撰寫及提交
	22	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 已請承包商未來於佐證資料註明數量轉換結果，以利未來查驗機構查證時得快速確認資料之正確性 ● 提醒承包商未來辦理大同公司電纜線廠驗時，請通知輔導單位將一併進行訪廠工作 ● 請承包商提供新增工程材料-電話線組成及重量資訊
	22	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 機具使用及材料使用填報內容討論 ● 請承包商提供至 5 月底已核定的施工圖及計畫書
7	13	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 機具使用、材料使用及運輸及用水之碳盤查日誌內容討論 ● 請協助提供工程材料之重量資訊 ● 請協助詢問億泰電纜廠的企業社會責任報告(CSR)，或請通知輔導團隊最後一次廠驗時程，將陪同進廠說明碳盤查所需資料
	13	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 公務車及日誌運輸之碳盤查日誌內容討論 ● 提醒監造單位登錄新辦公室之基本資料、水、電、空調、飲水機及消防設備等 ● 歷次會議追蹤事項：武塔隧道現場小貨車已於 6 月份碳盤查系統

月份	日期	標別	主要討論內容
			登錄基本資料，並填報施作時數與行駛里程
	18	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：北口北上線 I 型梁吊裝機運具油耗調查，輔導單位已發文予承包商，屆時請確實辦理調查工作 ● C2 標：(1)請承包商詢問並提供批土組成占比 (2)請承包商確認 PVC-E(20mm)運入及使用量，並於碳盤查系統登錄 ● C3 標：(1)機具與工程材料使用情況確認 (2)請承包商及監造需告知電纜廠及支架廠廠驗時間，以讓輔導單位會同說明盤查所需資料 ● 請承包商儘速完成 107 年上半年度日誌填寫及佐證資料上傳，以利年中進度報告撰寫及提交 ● C3 標教育訓練日期更改為 8 月 21 日上午 9:50 於和中大清水段監造工程處會議室辦理 ● 和中工務段意見：(1)C1A 標南口機房之披土、水泥砂漿等工程材料請確實蒐集資料及填報；輔導單位當日於工區已請現場負責人員將相關資料回饋予新亞公司。 (2)C3 標辦公廳舍之建置是否納入盤查範圍？輔導單位將與查驗機構確認辦公廳舍之建置是否納入範疇
8	22	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：(1)請承包商提供 6 月份混凝土及噴凝土之投入報表 (2)北口北上線 I 型梁吊裝機具油耗調查，協力廠商蘇建興公司已提供油耗調查資料，待輔導單位確認資料內容後，再與協力廠商討論 ● C2 標：(1)確認南口鋼便橋高度調整使用機具之情況 (2)請承包商向威建支保廠索取廠區能資源使用資料 ● C3 標：請承包商填報工務所組合屋興建過程之機具、材料及材料運輸資料 ● 機具與運具單位油耗討論
	24	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料使用及運輸填報內容討論 ● 請承包商提供已核定的材料送審及施工圖
	24	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料使用及運輸填報內容討論 ● 提醒承包商未來大同電纜線廠驗時，請提前告知廠驗時間，以利輔導單位會同說明盤查所需蒐集資料 ● 請承包商提供 A 段工程竣工當期 E1 標估驗計價資料以供比對材料項目與數量 ● 公務車單位油耗討論
9	25	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：北口北上線 I 型梁吊裝機具用油量資料，輔導單位已彙整提供予承包商，並請承包商填報於碳盤查系統

月份	日期	標別	主要討論內容	
			<ul style="list-style-type: none"> ● C2 標：(1)確定 C2 標鋼構廠拜訪時間為 10 月 17 日 (2)請承包商盡速填報南口鋼便橋高度調整作業之機具資料 ● C3 標：(1)工務所組合屋興建過程之機具、材料及材料運輸追蹤 (2)請承包商提供軸流風機與噴流風機送審資料 	
	26	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料使用與武塔施工所用水填報內容討論 ● 請承包商提供工程材料之重量資訊 	
	26	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 請監造單位補登錄辦公室(宜蘭縣南澳鄉蘇花路二段 433 號)固定燃燒、運具、空調設備、冷凍設備、消防設備、電表及水表等基本資料 ● 承包商已於會議後提供電線電纜材料設備送審資料，此資料將作為未來供應商碳盤查資料調查使用之基礎資訊 	
	9	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工項目與材料使用填報內容討論 ● 請承包商提供工程材料重量資訊與 8 月底已核定的材料送審及施工圖 	
	18	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料及設備之使用資料填報頻率及方式，自 10 月開始可調整為填報於每月月底，除了附上既(原)有佐證資料外，亦將附上統計資料(Excel 檔)；機運具使用維持原填報方式 ● 提醒承包商未來如有新機具或運具進場，記得登錄基本資訊及填報加油量與施作時數 ● A 段工程各標分配資料討論 	
10	24	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：(1)請承包商提供 8 月份混凝土及噴凝土之投入報表 (2)請承包商協助於 10 月 29 日前完成 9 月日誌資料填報，以如期於 11 月 5 日前繳交承包商簽核版月報 ● C2 標：(1)工區現場發現裝修材，請承包商收集並填報相關資料 (2)已進行 C2 標鋼構廠現訪，並請協助提供相關資料，內容詳鋼構廠會議紀錄 (3)已告知承包商南口井基之桁架支保應依照實際施作情形填報 ● C3 標：(1)請承包商盡速確認碳盤查專員並提送公文說明 (2)要求承包商索取工務所混凝土完整進貨料單 (3)要求承包商詳細確認公務車里程數及加油單據資料 (4)10 月 23 日開始施作之倉庫組合屋，已要求工地主任收集相關資料 	
	11	22	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 機具使用與材料使用填報內容討論 ● 請承包商提供工程材料之重量資訊，輔導單位亦至現場量測部分材料重量

月份	日期	標別	主要討論內容
	22	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 本交控標 B 段、C 段、E1 標及 D1 標工區之碳足跡盤查範圍認定，將依照設計單位之細部設計圖各標範圍界定為準，而前述資料後續將由承包商提供予輔導單位；另外，提醒承包商未來竣工數量計算書分配各標數量時，請一併參考碳盤查系統填報資料，以使兩者資料較具一致性 ● 提醒承包商供應商碳盤查包括電線電纜、電纜線架及箱體等，未來如有確定之進場檢驗時間與地點請預先通知輔導單位，以利安排前往說明碳盤查工作 ● 公務車單位油耗討論
	28	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：北口機房及南口機房之工程材料運入與使用填報討論 ● C2 標：預先通知承包商後續將索取隧道分析資料 ● C3 標：(1)組合屋(公務所及倉庫)資料填報問題討論 (2)電纜線架資料填報議題討論，並請供應商提供組件重量 ● 機具與運具單位油耗討論
	22	B5 標	<ul style="list-style-type: none"> ● 公務車單位油耗討論 ● 請協助於 108 年 1 月 10 日前提供工程材料之重量資訊 ● 請承包商於 108 年 1 月 10 日前完成碳盤查年報資料
12	22	E1 標	<ul style="list-style-type: none"> ● B6 標及 B7 標之交通控制系統工程(E1 標)納入碳盤查範圍，資料填報時請承包商標註標別 ● 請承包商提供 CLSM 設計配比表 ● E1 標二期及三期施作工區範圍及資料確認 ● 提醒加油發票上註明加油時之里程數，以留下紀錄供未來查驗機構查證參考 ● 請承包商及監造於 108 年 1 月 11 日前完成碳盤查年報資料

月份	日期	標別	主要討論內容
	27	C 段	<ul style="list-style-type: none"> ● C1A 標：(1)請承包商協助提供材料組成資訊 (2)隧道已綁紮之鋼筋被鋼模拉扯而變形一事，承包商表示部分鋼筋仍可使用於其他假設工程，損壞部分將進新料施作，故工程碳足跡仍以實際鋼筋進料單進行盤查及計算 (3)請承包商及監造於 108 年 1 月 11 日前完成碳盤查年報資料 ● C2 標：持續追蹤 C2 標本年度新增工程材料內容(隧道電纜線架、機房隔柵板、防火窗/門及氧化鎂板)，並於現場輔導告知承包商須補充內容，以確保年度清冊之完整性 ● C3 標：輔導單位持續追蹤新增之倉庫組合屋可能被判定為違建，須依法拆除；經與查驗機構確認，如確認須拆除，則興建與拆除不需納入範疇 ● 請承包商及監造於 108 年 1 月 11 日前完成碳盤查年報資料

備註：A2 標於 107 年 3 月竣工；A4 標於 107 年 4 月竣工。

3.1.2 供應商訪談

本計畫自 102 年度起即開始尋求供應商協助提供材料生產之碳排放相關數據，期能透過資料蒐集、訪談乃至於盤查查證，確認本計畫主要工程材料碳足跡；除符合查證要求外，亦可提升碳足跡量化過程中一級數據的占比，強化本計畫執行成果的有效性。基於前述構想，102 年起即與相關供應商進行聯繫，以取得與工程材料排碳量相關之資訊，唯前期僅與預拌混凝土供應商取得聯繫及討論資料取得內容及方式外，其餘大宗材料供應商聯繫狀況並不順利，而後在工程處協助發文之下，自 104 年度起供應商盤查進展較為明確。

除持續對大宗工程材料進行碳足跡係數盤查外，對於機電工程主要大宗工程材料，如電纜、燈桿、不鏽鋼管及盤體等亦偕同承包商或監造人員一同進廠討論碳足跡資料蒐集內容及方式，以下依不同產品進行說明。

一、預拌混凝土

102 年度 7 月份本計畫人員赴 A2 標及 A3 標混凝土供應商宜興瞭解生產流程並進行資料需求說明，而 104 年度 1 月份則赴 A1 標混凝土供

應商享正、久屋瞭解生產流程並進行資料需求說明外，另於 C2 標混凝土大量供應及 C1A 標開始動工前，即持續尋求其共同的混凝土供應商友誠參與教育訓練，而後安排於 4 月份赴現場訪查說明資料需求；本工程 A、C 段土建標之 4 個混凝土廠皆配合提供資料。

二、水泥

水泥供應商部分則主要是透過蘇花改工程處發文與本計畫電話訪談，取得亞泥及信大 102 及 103 年度產能及組織型盤查資料後，而進行碳足跡係數計算，並於 105 年度會同查驗機構 BSI 公司進廠核對所提供資料內容，進行活動量及係數之查證。配合工程持續進行，蘇花改工程於 106 年再次發文予供應商，本計畫已完成蒐集及計算 104 年與 105 年度水泥碳足跡係數。

三、鋼筋

鋼筋供應商部分於 104 年 12 月份前往東和鋼鐵桃園廠洽詢 103 年度鋼筋產品碳足跡盤查及查證相關資料，確認資料內容及一級數據占比之計算依據；另於 105 年 1 月份初訪宜聯鋼鐵廠，亦取得該廠 102 及 103 年度全廠之產能、原物料耗材投入、能源投入及廢棄物處理等資料。

105 年度會同查驗機構 BSI 公司進廠(羅東鋼鐵廠除外)核對所提供資料內容，進行活動量及係數之查證；而東和鋼鐵桃園廠因已完成 103 年度產品碳足跡盤查聲明，故確認查證聲明書內容與 BSI 討論後，即引用其各型產品碳足跡係數，以提升蘇花改工程一級數據占比。

蘇花改工程處於 106 年發文予羅東鋼鐵廠，本計畫與供應商聯繫並取得 104 年度廠區溫室氣體盤查資料後，依據所蒐集資料及能資源分配原則，完成計算碳足跡係數。

四、瀝青混凝土

除前述大宗材料供應商外，為增加本土公路工程材料碳足跡盤查係數，本計畫循 A3、A1 標工進，於東澳北溪河川橋南下線 104 年 9 月份開始進行瀝青鋪面鋪築工程及白米高架橋工區雙向線瀝青工程鋪設前，偕同監造單位品管人員進廠訪談，請求協助彙整活動量數據。瀝青廠已

依據拜訪會議討論結果，提供出工期間之製程與現場施工機具活動紀錄，作為兩標工程瀝青混凝土碳足跡係數計算、增加一級數據占比的基礎；另外，A2 標瀝青混凝土供應商與 A1 標相同皆為鑫龍瀝青廠，故供應商亦一併提供計算所需資料。

C1A 標因台九線改道工程鋪設大量瀝青混凝土，但不及進行訪查，故由監造取得瀝青混凝土配比資料，再依據其他瀝青廠單位耗能排碳參數進行碳足跡係數估算。

五、電纜

本計畫於 105 年 12 月 16 日前往億泰電纜廠進行拜訪，討論碳足跡資料蒐集方式與內容，又於 106 年度 4 月 7 日再次進場，經與廠商討論後已取得碳足跡計算所需資料，本計畫已依此計算各規格電纜碳足跡係數，而由於億泰電纜廠拒絕查驗機構進場進行查證工作，故本計畫後續將待 C3 標電纜供應商確定後，進行資料蒐集與說明配合查證相關工作。

另外，本計畫於 107 年 12 月 7 日至 E1 標供應商大同桃園電線電纜廠訪查，向供應商說明碳盤查工作及資料需求內容，瞭解廠內能資源使用及原料來源，並提供盤查資料調查表請供應商填報，碳足跡計算結果詳見報告書第 3.3.6 節。

六、箱體

本計畫於 106 年 3 月 24 日前往士林電機參訪箱體製程流程及討論碳足跡盤查所需資料，但因廠商配合意願低尚未提供資料，本計畫除了持續與廠商協調外，待 C3 標盤體供應商及廠驗時間確定後，進行資料蒐集與說明配合查證相關工作。

七、燈桿

106 年 4 月 14 日本計畫會同廠驗作業前往中工工業燈桿廠參訪製程流程，並與工廠人員討論原物料投入種類與使用量，以及能資源分配方式，因該次燈桿生產期間為 1~3 月，廠商依據產能分配原物料及能資源數量，僅提供廠區部分資料，故無法計算碳足跡係數，後續將待 C3 標盤體供應商及廠驗時間確定後，進行資料蒐集與說明。

八、不銹鋼管

106年5月15日本計畫前往彰源不銹鋼管廠進行碳足跡資料蒐集說明，惟供應商配合意願有限，未提供相關資料，故本計畫透過企業社會責任報告書獲得組織溫室氣體盤查資料，及依據現訪討論的分配原則，進一步計算不銹鋼管單位排碳量；另外，未來待C3標不銹鋼管供應商及廠驗時間確定後，本計畫將與承包商協調，後續將偕同廠驗時程安排不銹鋼管廠之碳足跡訪查籍資料說明。

九、電纜線架

本計畫於106年9月14日拜訪B5標供應商，並提供碳足跡資料調查表，惟供應商尚未回覆資料，本計畫將持續溝通與說明資料蒐集方式；另外，本計畫將待C3標電纜線架供應商及廠驗時間確定後，進行資料蒐集與說明。

十、桁架鋼支保

本計畫於106年度12月1日及12月15日分別前往威建企業有限公司與弘浚國際企業有限公司，瞭解桁架鋼支保製程，並向供應商說明產品碳足跡調查需蒐集資料之內容，供應商已回饋調查資料，相關計算結果詳報告第3.3.5節。

十一、鋼橋結構

本計畫於107年10月17日至竝辰工業公司與瑞記公司，瞭解鋼構製程並說明資料收集需求與內容，亦討論廠區能資源分配依據，現階段正等待供應商回饋調查資料。

十二、地下油槽

本計畫於107年10月26日至大德機械工業公司，瞭解地下油槽製程並說明資料收集需求與內容，現階段已取得地下油槽重量供C3標107年度清冊參考。

本計畫後續仍將視供應商配合狀況，規劃各項工程材料供應商之訪談，期能提升蘇花改工程一級數據占比，建立本土化係數，並提供未來公共工程之數據加值應用。彙整相關供應商訪談資訊如表3.1.2-1。

本計畫開工迄今，已進行 10 餘項工程材料碳足跡盤查作業，土建標供應商配合度較高，故本計畫已完成計算部分碳足跡係數，惟機電標與交控標之供應商不願意配合提供資料與查證工作，故此部分不及土建標碳足跡係數產出之數量，本計畫將待 C3 標各供應商確定後，配合廠驗作業會同進場說明碳足跡盤查所需配合事項。

表 3.1.2-1 供應商訪談資訊

類別	供應商名稱	標別	訪談時間
預拌混凝土	宜興混凝土南澳廠	A2 標、A3 標	102.07.16
	享正混凝土廠	A1 標	104.01.23
	久屋混凝土廠	A1 標	104.01.23
	友誠混凝土廠	C1A、C2 標	104.04.23
水泥	亞洲水泥花蓮廠	C1A、C2 標	電訪
	信大水泥南聖湖廠	A1、A2、A3 標	電訪
鋼筋	東和鋼鐵桃園廠	A2、A3 標	104.12.28
	宜聯鋼筋廠	A2、A3 標	105.01.11
	羅東鋼鐵廠	A1 標、C2 標	103.12.04 105.12.16
瀝青混凝土	宜陽瀝青廠	A3 標	104.09.09
	鑫龍瀝青廠	A1 標	105.09.08
鋼橋結構	竝辰工業	C2 標	107.10.17
電纜	億泰電纜廠	B5 標	105.12.16
	億泰電纜廠	B5 標	106.04.07
	大同電纜廠	E1 標	107.12.07
箱體	士林電機(箱體)	B5 標	106.03.24
燈桿	中工工業燈桿廠	B5 標	106.04.14
不銹鋼管	彰源不銹鋼管廠	A4 標	106.05.15
電纜線架	成利(電纜線架)	B5 標	106.09.14
桁架鋼支保	威建企業有限公司	A2 標、C2 標	106.12.01
	弘浚國際企業有限公司	C1A 標	106.12.15
地下油槽	大德機械工業公司	C3 標	107.10.26

3.1.3 查驗機構月度查核意見彙整

本工程自第一個土建標工程開工之後，本計畫即每月提供盤查資料予查驗機構進行盤查資料檢核，並就當月遭遇之盤查問題進行檢討及確認後續執行方向；本年度主要問題著重於排碳量分配、排碳量計算範疇界定等問題的再次確認及討論。本年度查驗機構審查意見及本計畫辦理情形彙整如表 3.1.3-1，主要重點說明如下：

一、A 段各標別陸續竣工後碳排放量分配與查驗事宜

A2 標之查證考量有效運用人力及資料完整性，待 A2 標全期碳排放清冊完成後併 A 段全區辦理，規劃辦理查證時間為 107 年 8 月 8 日至 10 日與 8 月 20 日；另外，E1 標為蘇花改全段交通控制工程，A 段工程完成後將持續施作 B 段與 C 段範圍，為了計算與分配 A 段交通控制工程碳足跡，查驗機構建議如已有明確可區分之竣工時間(A 段竣工時間)，則可將其時間作為分界點，故本計畫於 106 年度年末進度報告審查會提出，主席裁示以 107 年 3 月 15 日作為 A 段工程碳足跡分配劃分之時間點。

二、碳盤查資料引用及填報相關事宜

E1 標武淵倉庫用電量資料填報一事，承包商說明因繳費單據取得有困難，且電費已包括於房租內，經與查驗機構確認，因電費已包含於房租內，量化用電度數有其困難度，且排放量占比極低，建議排除計算；另外，E1 標承包商盤點 A 段資料後，發現部分材料使用數量有重複填報之情形，經與查驗機構確認，依循土建標方式填報負值修正數量。

C1A 標北口南下線 I 型梁吊裝，承包商因無法協助調查機具油耗，故本計畫以推估方式估算各型機具油耗量；另外，已請承包商後續調查北口北上線 I 型梁吊裝機具油耗資料。為了提升南下線數據品質，規劃將北上線調查結果亦作為南下線機具使用之參考，而查驗機構表示，如兩者吊裝作業機具類型相同，則可作為南下線機具使用填報之佐證。

C2 標工程材料運進時即填報全部使用量，無法配合估驗計價數量填報使用量，本計畫與查驗機構討論後，未來碳盤查過程將以運進量加上前後期庫存差異作為檢視使用量是否合理之依據，而於竣工後，將以最

終驗收全工程估驗計價資料當作全部使用量。

三、擋土排樁鋼套管未拔除碳足跡計算之認定方式

C2 標南口現場發現未拔除之擋土排樁鋼套管，在碳足跡計算上因無相關秤重紀錄，故無法獲得其每單位轉換重量；經查驗機構建議，因擋土排樁鋼套管為永久設施，且已填報使用量，故可依照規格計算重量，本計畫將依此建議執行。

四、盤查過程遭遇狀況

友誠預拌混凝土廠因工安事故，107 年 3 月 6 日至 3 月 8 日期間，C1A 標緊急使用備用廠亞東預拌混凝土公司漢本廠之混/噴凝土，考量此為非常態性事件，且使用量占整體用量比例極小，查驗機構表示因活動數據使用量低，故排放係數可沿用友誠混凝土廠相同規格之混凝土排放係數。

C2 標鋼橋鋼構之運輸，將以廠商經驗之單位油耗量計算運輸排碳量，經向查驗機構確認後，可應用廠商之單位油耗量進行計算並須提供單位油耗計算準則與佐證文件以供查證。

C3 標已收集工務所建置使用機具能耗及工程材料資料，若無法與宿舍建造進行分配，查驗機構表示，如無法進行有效分配，因宿舍排放源占比量低，不造成實質影響，可一併納入排碳量計算。

表 3.1.3-1 本年度查驗機構月度查核意見及辦理情形

月份	問題及查核意見	回覆及辦理情形
1 月	A2 標： A2 標預計 107 年 2 月 7 日申請竣工，本團隊目前已就材料部分進行清點，後續將與查驗機構確認相關查核流程。107 年度查核是否不納入 A2 標，待 A2 標碳排放清冊完整後一併查驗？ →因 A2 標涵蓋部份 107 年度數據，故 107 年度查核時可先不納入 A2 標，待 A2 標全期清冊完成後再行安排查驗。	本計畫將依據查驗機構建議執行。
	E1 標： 經與 E1 標承包商及監造確認，2 月 5 日通車之後器材機具即無法進入工區施作，所有作業應於該日之前完成，僅少量之人員進入工區進行調整。是否以 2 月 5 日作為 A 段工作與 B、C 段工作之斷點(非實際申報 A 段結束日期)？	本月份現場輔導與承包商再次討論，承包商表示已有明確第一期第一次竣工時間(A 段竣工時

月份	問題及查核意見	回覆及辦理情形
	→因 2 月 5 日之後即無法進入工區施工，故可以 2 月 5 日作為 A 段工作與 B、C 段工作之斷點。	間)，故本計畫將依此竣工時間作為 A 段與其他段之分界點。
2 月	C2 標： 延續前月議題，現場發現未拔除之擋土排樁鋼套管，承包商已填報使用，惟無相關秤重紀錄，本團隊將以承包商提供規格計算重量(截斷長度 6m、直徑 1.5m、厚度 0.05m、密度 7,850kg/m ³)，請問此處理方式是否合適？ →因擋土排樁鋼套管為永久設施，且已填報使用，可依照規格計算重量。	本計畫將依據查驗機構建議執行。
	E1 標： 延續前月議題，本月份現場輔導與承包商再次討論，承包商表示已有明確第一期第一階段竣工時間(A 段竣工時間)，故本團隊將依前述時間作為 A 段與其他段之分界點。 →如已有明確可區分之竣工時間(A 段竣工時間)，則可將其時間作為分界點。	本計畫已以 107 年 3 月 15 日作為 A 段與其他段碳足跡時間邊界之區分。
3 月	E1 標： E1 標承包商表示部分材料使用數量有重複填報之情形，請問是否依循土建標方式填報負值或於誤植處修正？ →如有材料使用數量重複填報的情形，請依循土建標方式填報負值修正。	將依據查驗機構建議執行。
4 月	C1A 標： 友誠預拌混凝土廠因工安事故，3 月 6 日至 3 月 8 日期間，C1A 標緊急使用備用廠亞東預拌混凝土公司漢本廠之混/噴凝土，經統計分別為鋼纖維噴凝土共 175m ³ 、混凝土 175 共 84m ³ 、噴凝土 210S 共 59m ³ 及混凝土 245 共 79m ³ ，考量此為非常態性事件，且使用量占整體用量比例極小。請問此期間前述 4 種混/噴凝土碳排放係數，仍以友誠混凝土廠實際投入報表計算結果為準是否適宜？ →因活動數據使用量低，其排放係數可沿用友誠混凝土廠相同規格之混凝土排放係數。	依據查驗機構建議方式執行。
	E1 標： 武淵倉庫用電量資料填報一事，承包商說明因繳費單據取得有困難，僅作為材料與設備之存放，且電費已包括於房租內。 →因電費已包含於房租內，量化用電度數有其困難度，且排放量占比極低，建議排除計算。	依據查驗機構建議方式執行。
	E1 標： E1 標碳盤查項目除了材料及設備外，尚有「樣品」，而樣品會與材料及設備一併隨車運入，樣品僅為模具(不具功能性)，未來欲訂購相同材料或設備時，承包商會領取樣品給供應商確認外觀後再放置倉庫中，不會使用於工程上；經全徽公司盤點結果，目前碳盤查系統資料中之	全徽公司完成盤點一般材料與設備材料後，於 107 年 5 月 2 日回覆，「MA-Z-0018 光電設備盒」共計 1 套不屬於樣

月份	問題及查核意見	回覆及辦理情形
	<p>「MA-Z-0018光電設備盒」屬於樣品，數量共計1套。請問「樣品」是否需要填報運入及使用？</p> <p>→因樣品僅為展示性質或比對規格用，非用於工程中，該項目不需填報運入及使用。</p>	<p>品，歸類為一般材料，故運入及使用仍須納入碳足跡計算。</p>
5月	<p>C1A標：</p> <p>1.北口南下線I型梁吊裝作業承包商因無法協助調查機具油耗，故輔導單位以推估方式，估算各型機具油耗量，以作為機具使用填報時佐證資料使用，請問是否適切？</p> <p>2.後續將請承包商調查北口北上線I型梁吊裝作業機具油耗，請問此調查資料可否作為北口南下線機具使用填報之佐證(意即更新北口南下線資料)？</p> <p>→</p> <p>1.如該承包商非長期施工，可以估算方式計算各型機具油耗量，惟請進一步說明推估方式。</p> <p>2.如北口北上線梁吊裝作業機具類型與南下線相同，可作為北口南下線機具使用填報之佐證。</p>	<p>1.本計畫已提供承包商本次機具油耗量推估資料，作為資料填報之佐證。</p> <p>2.待北上線開始施作時，本計畫再檢視機具類型是否與南下線相同，若相同則將依據查驗機構建議方式執行；反之，則南下線仍維持以推估資料作為資料填報之佐證。</p>
	<p>C2標：</p> <p>請問以材料運進量與庫存量之間的差異，進一步推算實際使用量後作為管群使用量填報之依據是否適切？</p> <p>→如無實際使用量之佐證，可以材料運進量加上前後期庫存差異作為使用量之推估。</p>	<p>依據查驗機構建議方式執行。</p>
6月	<p>C2標：</p> <p>C2標部分工程材料雖有計價，但已於材料運入時即填報全部使用，故無法配合計價數量填報使用量，本團隊將持續與估驗計價資料核對。</p> <p>→如材料運入時已填報全部使用，該材料總數量將於最終驗收時與全工程估驗計價資料核對。</p>	<p>本計畫將於執行過程中持續進行資料比對，待全工程竣工後，再進行最終核對及確認。</p>
7月	<p>B5標：</p> <p>B5標電纜供應商無法配合查驗機構進行碳足跡計算結果現場查核，該供應商電纜碳足跡盤查結果是否可作為本計畫係數使用依據？是否有其他方式作為查證依據？</p> <p>→因該供應商無法配合現場查核，其盤查結果無法進行確認，建議引用適用於該材料規格之生命週期資料庫排放係數。</p>	<p>經與查驗機構再次討論後，本項目本計畫將依下列原則進行：</p> <p>1.原料及原料運輸參考供應商所提供之組成資料及主要上游供應商地址計算。</p> <p>2.蘇花改A段電線電纜製造過程能耗排碳量，參考B5標目前盤查結果，以原料加原料運輸係數值另加13%計算(13%為億泰單一廠資料，未來視資料取</p>

月份	問題及查核意見	回覆及辦理情形
	<p>問題及查核意見</p> <p>得狀況更新)。</p> <p>C3 標： 本月現輔提及 C3 標將自行興建工務所及宿舍(不同地點)，工務所及宿舍興建過程之排碳是否應納入盤查範圍？ →因工務所與該工程有直接關聯性，故工務所興建過程之排碳應納入盤查範圍；宿舍屬於非必要性附屬設施，其可排除於盤查範圍。</p> <p>E1 標： 因該車輛有少數非公務使用之情形，請承包商未來填報資料時，於備註欄註明非公務使用加油量，以區分公務與非公務加油量。承包商若可填報且註明為「非公務加油量」，請問非公務加油量不納入本工程盤查範圍是否合理？若無法區分，是否即全數納入本工程盤查範圍？ →因承包商填報加油量為總量，填報非公務加油量時亦無法區分用於公務或非公務，因非公務使用比例低，建議全數納入本工程盤查範圍。</p>	<p>得狀況更新)。</p> <p>本計畫已要求承包商收集工務所建置相關資料，將於 8 月份日誌填報。</p> <p>若無法區分公務或非公務加油量部分，將採查驗機構建議全數納入本工程盤查範圍。</p>
8 月	<p>B5 標： B5 標氣體絕緣設備裝填 1,768 公斤 SF₆ 氣體，請問此氣體使用量計算方式，是否安裝時全數使用或依據完工後之維修充填數量進行計算？ →因設備裝填氣體為第一次充填量，非逸散量，氣體絕緣設備 SF₆ 逸散量建議依原廠規格氣體逸散率計算。</p> <p>E1 標： 因無法量測「軟銅線」及「PE」各別重量，僅能獲得「軟銅線+PE」重量，請問，能否以碳排放係數較大者為代表計算碳足跡？抑或參考 B5 標供應商億泰電纜廠盤查之「PE/PVC 屋內電纜，規格：0.5-100P-PE-PVC」結果，銅線導體與 PE 絕緣體之重量占比，計算 MA-ZC-華新麗華 J16B 電話線(200 對數)之「軟銅線」及「PE」各別重量？ →因軟銅線與 PE 排放係數差異甚大，應考量以各別重量計算碳足跡排放量；另屋內電線電纜規格不同，建議取得相同規格(如 200 對數)之重量計算；如無法取得完全一致的規格，則再以類似規格推估。</p>	<p>本計畫將協商供應商提供年逸散資料作為計算依據。</p> <p>承包商已實際測量並提供 PVC、PE 及銅線三者各別重量，本計畫將以此數據作為碳足跡計算依據。</p>
9 月	<p>C3 標： 本計畫目前收集之工務所建置使用機具能耗及工程材料，如未來無法與宿舍建造進行有效分配，是否可一併納入排碳量計算？ →請確認工務所與宿舍之分配物理關係，如無法進行有效分配，因宿舍排放源占比量低，不造成實質影響，可一併納入排碳量計算。</p>	<p>本計畫將依據建議收集及確認資料。</p>

月份	問題及查核意見	回覆及辦理情形
10月	<p>C2 標： 鋼橋鋼構之運輸有收集到運輸車輛之油耗相關資料(廠商經驗值)，本計畫將以單位油耗資料計算，而非延噸公里方式推估。以廠商經驗之單位油耗量計算運輸排碳量之處理方式是否可行？ →單位油耗資料與延噸公里皆為二級數據，可應用廠商之單位油耗量進行計算並須提供單位油耗計算準則與佐證文件以供查證。</p>	<p>本計畫將依據建議收集資料。</p>
	<p>C3 標： 倉庫組合屋之興建，是否應納入盤查範疇。 →倉庫組合屋之興建如與工程有關(例如儲存工程材料或設備)，興建過程之碳排放應納入盤查範疇。</p>	<p>本計畫將依據建議收集組合屋建置相關資料。</p>
11月	<p>E1 標： 本交控標於 B 段分支 B6 及 B7 標所施作內容不影響 B 段工程之營運，請問 B6 及 B7 標內交控標施作內容是否需要納入盤查範圍？ →B6 標與 B7 標施工內容如非蘇花改工程主線，且不影響 B 段工程營運，可不納入盤查範圍；另 B6 標與 B7 標內交控標施作因包含在 E1 標，故 E1 標需將 B6 標/B7 標施工工項進行分配，並排除於盤查範圍。</p>	<p>考量本計畫契約內容規定：本計畫盤查範圍包括蘇花改工程全線之交通控制系統工程(E1 標)，且於 107 年 12 月現場輔導會議上，與本計畫承辦、監造單位及承包商討論後，B6 標及 B7 標之交通控制系統工程(E1 標)仍納入碳盤查範圍，已請承包商於資料填報時註明標別(B6 標、B7 標)。</p>
	<p>C3 標： 延續 10 月份議題，先前所提及新增之倉庫組合屋，本計畫持續追蹤得知此建物可能被判定為違建，須依法拆除。若為違建，倉庫組合屋之興建與拆除納入範疇？ →本案由於可能被判定為違建，如確認須拆除，其非本工程應存在之設施，故倉庫組合屋之興建與拆除不需納入範疇。</p>	<p>待倉庫組合屋確定須拆除後，本計畫將告知承包商此項目不需納入盤查範疇。</p>
12月	<p>E1 標： 經核對「MA-A-015 車輛偵測環路線圈」與「MA-A-015 緊急停車彎車輛偵測環路線圈」送貨單，發現約有四千米線材未填報至碳盤查系統，承包商表示該線材為兩工程材料之使用剩料，後續無法使用須全部廢棄。本計畫將此四千米線材定義為耗材，於碳盤查系統新增材料編號為「MA-A-015&016 耗材」，填報運進及使用共四千米，請問此處理方式是否可行？ →本兩筆工程材料-線材，如確認為剩料且後續將不退回至原材料供應商，則須納入盤查，可於原材料項目或</p>	<p>本計畫已新增編號「MA-A-015&016 高溫線」，並填報運進與使用量各四千米。</p>

月份	問題及查核意見	回覆及辦理情形
	新增編號填入材料運進與使用。	

3.1.4 國外參訪實錄

本計畫自 101 年 9 月正式啟動施工期間碳盤查作業開始，至今已累積相當程度之資料，除固定於各期進度報告中說明外，並於國內相關期刊發表計畫執行成果。除工程碳管理作業之持續發展外，工程材料之碳足跡、工程開發之環境永續議題亦受到關注，為確保本計畫所採用之執行方法與時俱進並蒐集新的資訊，於 107 年 6 月赴美國西雅圖，拜訪綠道路基金會與華盛頓大學，透過交流及互動，一方面分享蘇花改碳管理計畫執行之實務經驗，一方面瞭解綠道路指標對於溫室氣體排放相關策略及工程材料碳足跡發展狀況。

過程中亦安排西雅圖與波特蘭等地之綠色工程參訪，瞭解當地綠色工程現階段推動情形，以作為本計畫未來工程碳管理推展之參考。參訪時間為 6 月 7 日至 6 月 15 日，為期 9 天，參訪報告詳附錄 II。參訪行程如表 3.1.4-1，概述如下：

表 3.1.4-1 參訪行程

日期	行程內容	地點
6/7(四)	桃園機場搭機至西雅圖機場	-
6/8(五)	拜訪華盛頓大學	西雅圖(Seattle)
6/9(六)	資料整理	-
6/10(日)	資料整理	-
6/11(一)	拜訪綠道路基金會、Meador-Kansas-Ellis Trail 與 Northeast 120th Street Extension 綠道路工程參訪	雷德蒙德(Redmond)、貝靈厄姆(Bellingham)、柯克蘭(Kirkland)
6/12(二)	Sellwood Bridge 綠道路工程參訪	波特蘭(Portland)
6/13(三)	Mercer Corridor East - Phase I 綠道路工程、SR520 浮橋工程及 SR522 Bothell Crossroads 綠道路參訪	西雅圖(Seattle)、SR520 跨越華盛頓湖、SR522 位於巴薩爾 Bothell
6/14(四)	西雅圖機場搭機至桃園機場	-

日期	行程內容	地點
6/15(五)	抵達桃園機場	-

一、華盛頓大學

美國國家瀝青鋪面協會(National Asphalt Pavement Association, NAPA)於2017年公告瀝青混凝土產品類別規則，華盛頓大學土木與環境工程系教授 Joe P. Mahoney 為該產品類別規則作者之一，長期致力於道路工程材料、鋪面設計與績效評估、以及再生能源之研究；另該系之 Steve Muench 教授則為 Greenroads 創辦人之一，長期致力於鋪面工程、永續營建、生命週期評估等研究。

本計畫此次拜訪華盛頓大學工學院土木與環境工程系 Joe P. Mahoney 與 Steve Muench 教授，進行鋪面與道路工程碳管理等議題交流，拜訪情形如圖 3.1.4-1 及圖 3.1.4-2。



圖 3.1.4-1 華盛頓大學 Steve Muench 教授與本團隊合影



圖 3.1.4-2 向華盛頓大學 Steve Muench 教授說明蘇花改執行經驗

二、綠道路基金會及綠道路工程參訪

綠道路評估系統(Greenroads)由美國華盛頓大學所發展，溫室氣體排放為綠道路指標之一。綠道路評估系統應用於道路工程之設計與施工階段，透過不同指標評析道路工程的永續作為，並量化其永續內涵，依據指標達成程度，頒予不同等級之認證標章。綠道路基金會(Greenroads Foundation)成立於 2010 年，為由 8 個運輸和營造業公司贊助成立之非營利公司，致力於推動可持續發展教育和交通基礎設施建設，該基金會為綠道路評估系統之認證單位。

本計畫與綠道路基金會進行交流及互動，同時參訪多項綠道路認證案例，本次參訪工程內容包含第一個綠道路認證案例(Meador-Kansas-Ellis Trail)、最高認證分數案例(Sellwood Bridge)及先導型計畫(Mercer Corridor East - Phase I)等。

藉由與綠道路基金會交流及綠道路工程參訪，可實際瞭解各項綠道路評估指標之應用情形，並可從中獲得各指標對於溫室氣體排放管理之相關策略及未來發展方向。



圖 3.1.4-3 綠道路基金會 Jeralee Anderson 執行長與本團隊合影

三、SR520 浮橋工程參訪

SR520 浮橋為 SR520 廊道大型重建工程之一，該工程為目前世界最長的浮橋，全長 7,708.5 英尺(約 2,349.55 公尺)，於 2016 年通車取代舊有浮橋。

由於 SR520 浮橋為跨越華盛頓湖之橋梁，華盛頓湖底部為高深度軟淤泥，替代工程若採用傳統的固定式或懸索之橋梁，將大幅增加建造成本並影響周遭環境；因此，該浮橋主要特點為利用浮舟(pontoon)結構漂浮於湖面，並於湖底設置錨固定浮舟結構，藉由此設計可大幅降低工程材料使用及環境影響。

四、小結

本次參訪藉由拜訪華盛頓大學及綠道路制度建置學者，共同討論鋪面工程之減碳策略相關議題，從中獲取國際上鋪面之實際減碳作為與策略；並分享交流蘇花改碳管理執行成果與經驗，推廣台灣於工程碳管理之實務作為，獲得華盛頓大學教授之讚賞，表示台灣工程碳盤查制度相當完整並具豐富實務經驗，建議彙整發表台灣於道路工程的碳管理成果，提升公路總局及本計畫於工程碳管理之揭露程度。同時本計畫參訪綠道路及相關工程，學習吸收美國綠道路評估系統內容。

本次參訪成果可概分為工程碳盤查制度與減碳策略兩方面：

(一)制度面部分

綠道路評估系統於設計階段即須納入永續道路概念，例如環境與水指標面向考慮土方作業應最小化，以及材料與設計指標面向即考量再利用、再生材料、使用具備 EPD 之材料、本地材料及長壽設計等。

工程碳盤查於設計階段即進行各項材料碳排放估算，從中確定各材料之減碳情形，可將此評估結果做為工程發包契約條件之考量依據。另於施工過程中，綠道路評估指標包含機具耗油效率、減少工區排放及用水追蹤，與工程碳盤查之追蹤事項相同，亦須彙整各項施工機具資料，考量機具油耗率、計算工區機具排放量及記錄工區用水情形等。

兩者作業模式類似，尤其在施工部分皆需要承包商配合辦理。綠道路之資料蒐集常遭遇承辦人員變動、需要重新訓練及資料遺漏不易取得之問題；此部分因本計畫為每月向承包商蒐集資料，取得即時訊息，必要時由業主出面協調，故在執行上較綠道路順暢，亦顯示本計畫執行方法之有效性。

此外，綠道路認證作業在施工完成後執行，分數的取得除工程硬體之建置外，亦考量設施之實際操作效益，若未達設置目的，則該項目將無法得分(例如部分排水或生態設施)，扎實的作法確保綠道路認證之品質。

(二)減碳策略部分

根據工程碳盤查之結果，主要減碳來源可從材料、運輸及機具著手，例如混凝土使用飛灰爐石粉替代、大宗材料運輸距離縮減及提升工區機具油耗效率等。此部分即與綠道路評估指標相互應(詳 5.1.5 節綠道路評估指標減碳措施)，可藉由設計與施工階段各項指標進行減碳評估，此外綠道路評估系統亦考量全生命週期的概念，於必要的計畫要求指標中，要求須進行能源及碳足跡評估，此與道路工程碳盤查評估範疇相同，碳盤查範疇不僅包含原物料與施工階段，亦須將營運管理階段納入考量。

因此，本計畫瞭解各項綠道路指標對於道路的規劃、設計、施工

及營運管理階段之節能減碳思維與策略，並從中瞭解工程碳排放不僅應有全生命週期的概念，更應積極的尋求每一個環節的減碳機會。

(三)其他

本計畫於參訪路途上，發現當地的綠色工法及設施，如高速公路正採用 EPS 輕質回填工法進行改建工程，此為美國常用之工法，即使用發泡聚苯乙烯(保麗龍)取代土壤之填土工法，不僅可有效解決填土材料之不足，亦可加速並有效率的進行施工；另本計畫亦參訪位於 Snoqualmie 瀑布之水力發電廠，該廠建於 1899 年，為全球第一個全地下化之水力發電廠，利用水位的落差及地底下深度 260 英尺渦輪發電機進行發電，總計發電容量可達 53.9 兆瓦，約可供應 40,000 戶家庭用電。

經由更多先進國家的技術交流，可獲取更新的減碳技術與策略，發展擬定其他工程計畫可參考引用的排碳量評估方法及減碳建議，以協助我國建構最低碳永續的道路工程，將是本計畫後續努力的主要目標。

3.1.5 C3 標啟始會議

本計畫配合台 9 線蘇花公路和中大清水段機電工程(C3 標)開工期程，於民國 107 年 3 月 28 日辦理啟始會議。會中集結蘇花公路改善工程處、工務段、監造單位(中興工程顧問股份有限公司)、承包商(靖宜工程有限公司、盟立自動化股份有限公司)、碳足跡盤查輔導單位(中興工程顧問股份有限公司)及查驗機構(香港商英國標準協會太平洋有限公司台灣分公司)代表，共同簽署碳足跡盤查合作宣言，宣示和中大清水段機電工程施工期間工程碳管理作業正式啟動，會議流程及啟示會議照片如表 3.1.5-1 及圖 3.1.5-1。

表 3.1.5-1 C3 標啟始會議流程

時間	內容	講者
13:20~13:30	報到	
13:30~13:35	長官致詞	吳副處長明恩
13:35~13:50	輔導單位代表自我介紹	中興公司
	監造單位代表自我介紹	中興公司
	查證單位代表自我介紹	BSI 英國標準協會台灣分公司
	承包商代表自我介紹	靖宜工程有限公司 盟立自動化股份有限公司
13:50~13:55	宣讀宣言與簽署	各單位代表
13:55~14:00	團體拍照	各單位代表及與會人員



➢ 主席致詞：吳副處長明恩



➢ 輔導單位代表自我介紹：中興公司
羅經理薪又



➢ 查驗單位代表自我介紹：BSI 公司
鄭副協理仲凱



➢ 監造單位代表自我介紹：中興工程公司
程經理慶寧



➤ 承包商代表自我介紹：靖宜公司 吳董事長桂靖



➤ 承包商代表自我介紹：盟立自動化公司 廖處長文章



➤ 宣言簽署：主管單位代表(吳副處長明恩)



➤ 宣言簽署：輔導單位代表(羅經理薪又)



➤ 宣言簽署：查驗單位代表(鄭副協理仲凱)



➤ 宣言簽署：監造單位代表(程經理慶寧)



➤ 宣言簽署：承包商代表(吳董事長桂靖)



➤ 宣言簽署：承包商代表(廖處長文章)



➤ 合照：各單位代表合影



➤ 大合照：各單位與會人員合影

圖 3.1.5-2 C3 標啟始會議實錄

3.1.6 A 段授證實錄

蘇花改蘇澳東澳段(A段)已於民國 107 年 2 月完工通車，本計畫於 107 年 6 月提送盤查報告書與盤查清冊供查驗機構審查，並於 107 年底完成查證作業，為國內公共工程完成 ISO 14067:2018 之碳足跡盤查及查證首例，於 108 年 1 月 8 日辦理授證典禮，完整會議辦理實錄詳附錄IV。以下簡要說明授證典禮內容：

- 一、會議時間：108 年 1 月 8 日，上午 10:00~11:30
- 二、主持人：交通部公路總局 許副局長鈺漳
- 三、會議地點：蘇花公路改工程處會議室(宜蘭縣蘇澳鎮蘇新路 101 號)
- 四、與會單位
 - (一)公路總局
 - (二)公路總局蘇花改工程處
 - (三)榮工工程股份有限公司
 - (四)福清營造股份有限公司
 - (五)新亞建設股份有限公司
 - (六)靖宜工程有限公司
 - (七)大同股份有限公司
 - (八)全徽道安科技股份有限公司
 - (九)中興工程顧問股份有限公司
 - (十)香港商英國標準協會太平洋有限公司台灣分公司(BSI)

五、授證典禮議程

時間	內容	單位
10:00 ~ 10:15	報到	
10:15 ~ 10:20	與會來賓介紹及致詞	邵處長
10:20 ~ 10:35	盤查執行單位致詞	各承包商代表
10:35 ~ 10:40	監造單位致詞	中興公司監造代表
10:40 ~ 10:45	輔導單位致詞	中興公司代表
10:45 ~ 10:50	查證單位致詞	BSI 代表
10:50 ~ 10:53	公路總局致詞	主持人-許副局長鈺漳
10:53 ~ 11:00	蘇花改蘇澳東澳段碳足跡盤查成果說明	中興公司
11:00 ~ 11:10	頒授 ISO 14067 碳足跡查證聲明書及水晶獎座	蘇花改工程處 BSI
11:10 ~ 11:20	頒授水晶獎座	公路總局 各承包商
11:20 ~ 11:30	禮成/合影留念	全體與會人員





➤ A4 標承包商靖宜公司代表吳桂靖董事長致詞



➤ E1 標承包商大同公司代表洪偵哲經理致詞



➤ E1 標承包商全輝道安公司代表牛稷萍處長致詞



➤ A 段監造單位中興公司代表林芳輝經理致詞



➤ 碳管理輔導團隊中興公司代表羅新又協理致詞



➤ 查驗機構 BSI 公司代表蒲樹盛總經理致詞

蘇花改蘇澳東澳段碳足跡查證聲明

蘇花改蘇澳東澳段碳足跡查證聲明書授證典禮



➤ 主持人-許副局長鈺漳致詞



➤ 頒授 ISO 14067:2018 碳足跡查證聲明書



➤ 頒授水晶獎座予承包商-A1 標榮工公司



➤ 頒授水晶獎座於予承包商-A2 標福清公司



➤ 頒授水晶獎座予承包商-A3 標新亞公司



➤ 頒授水晶獎座予承包商-A4 標靖宜公司



➤ 頒授水晶獎座予承包商-E1 標大同公司



➤ 頒授水晶獎座予承包商-E1 標全徽道安公司



➤ 與會來賓合影-1



➤ 與會來賓合影-2

3.2 工程碳足跡盤查資料庫系統設計與建置

依據本計畫目的及前述已開工之各標盤查執行狀況，建置及設計碳足跡盤查活動資料蒐集系統(盤查資訊系統)及係數資訊子系統，以增進盤查效率及增加盤查資料價值，系統架構如圖 3.2-1 所示。在工程碳管理資訊系統下，除前述兩系統外，本計畫新增工程分析資料庫及碳足跡資訊管理系統，並規劃建立碳管理加值分析資料庫及後續排碳量估算資料庫系統，以下就碳足跡盤查資料蒐集程序、碳足跡盤查活動資料蒐集系統、係數資訊系統、工項分析資料庫、碳足跡資料庫及未來將持續發展之規劃說明如後。

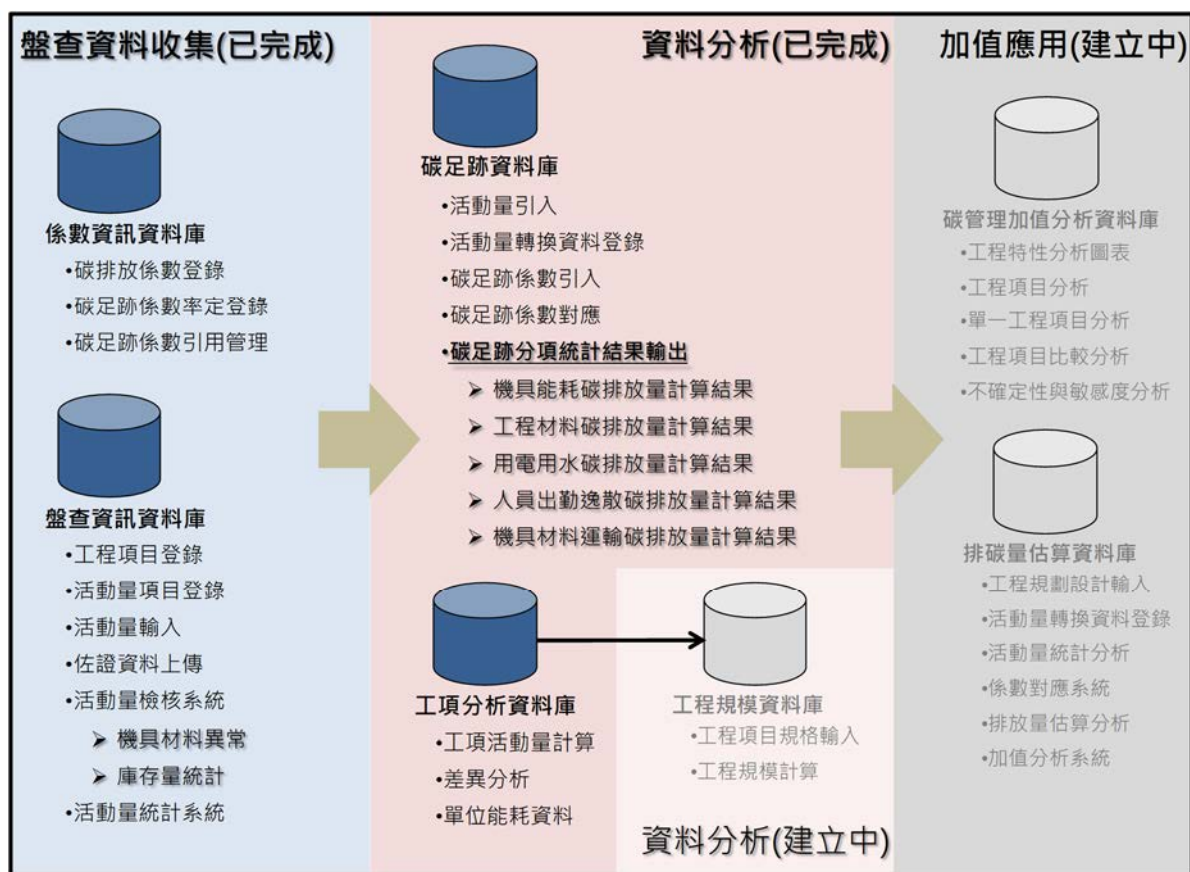


圖 3.2-1 工程碳管理資訊系統架構

3.2.1 資料蒐集程序及系統

本計畫目前偕同監造單位，與各標承包商共同協商遵循的每月資料填查日程，如表 3.2.1-1。其中，月報填報與矯正的流程與圖 3.2.1-1 之日誌填報、檢核與矯正回覆相同，僅資料確認的時間點與頻率不同。惟表 3.2.1-1 所訂之盤查資料填報日程，在過去即已遇到執行上的困難，部分承包商因人力因素曾延遲逾 1 個月以上；此類延宕狀況經監造單位催繳無效時，本計畫即採發文請求工程處協助督導的方式要求改善。

考量本計畫需長期且切實地執行才能達成碳盤查實證之目的，本計畫目前已根據不同工程特性之標別，在各式資料索取的時間掌控上進行檢討並有彈性地調整，透過訂定更細項的填寫頻率協調與追蹤，確保盤查執行結果的正確性與有效性。

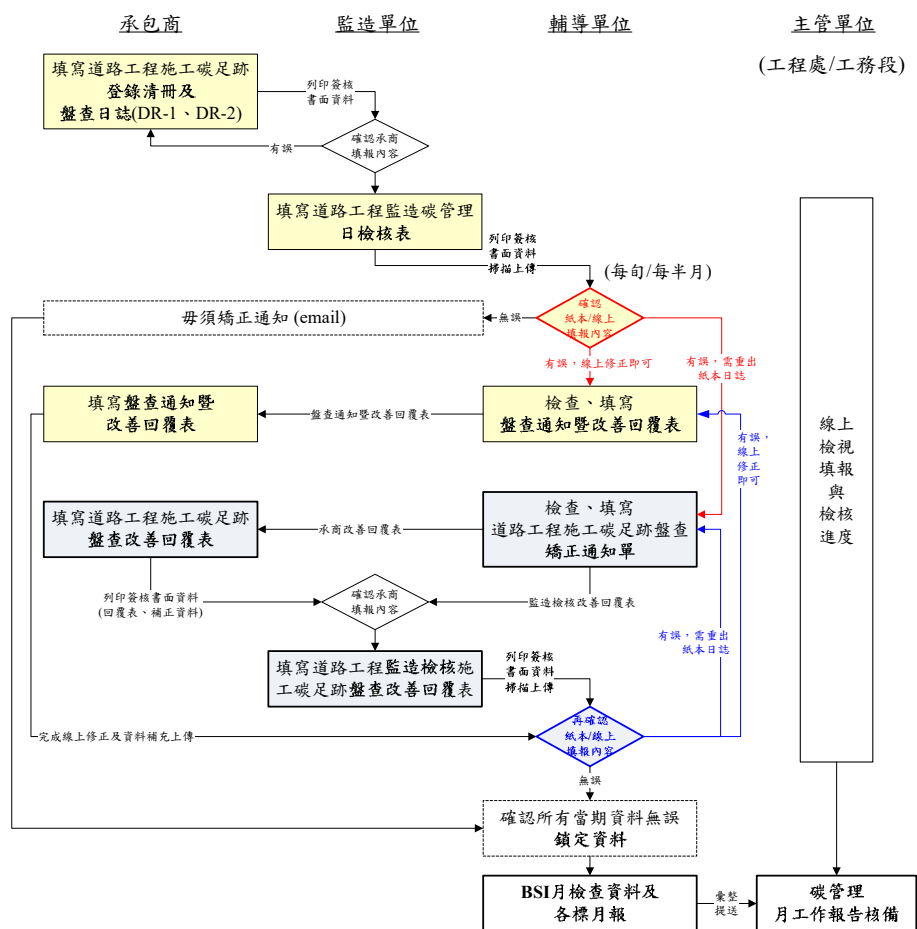


圖 3.2.1-1 碳足跡盤查日誌填報、檢核與矯正回覆流程

表 3.2.1-1 日誌及月報表單填報、提交、檢核與矯正回覆時程

表單日期	承商	監造	輔導
1~15 日日誌提送	每日提報 當期佐證資料於 16 日提出	每 2~3 日 (15 日的請於 18 日前提送)	20 日前 發出矯正通知
1~15 日日誌矯正	23 日前 完成矯正	25 日前 完成矯正檢核	28 日 完成矯正檢查 日誌資料鎖定備查
16~31 日日誌提送	每日提報 當期佐證資料於 1 日提出	每 2~3 日 (30/31 日的請於 3 日前提送)	5 日前 發出矯正通知
16~31 日日誌矯正及月報提送	7 日前 完成矯正並提送月報	9 日前 完成矯正檢核並提送月報檢核	10 日 完成矯正檢查 日誌資料鎖定備查 發出月報矯正通知
月報矯正	12 日前	13 日前	15 日前

表單日期	承商	監造	輔導
	完成月報矯正	完成月報矯正檢核	完成月報矯正檢查 月報資料鎖定備查

3.2.2 碳足跡盤查活動資料蒐集介面

為利於資料蒐集、保存及檢核，本計畫已開發承包商及監造單位碳管理專責人員使用的資料填報及檢查系統，介面包括：碳盤查登錄清冊、碳盤查日誌、碳盤查月報以及監造日/月檢核表。為使蘇花改工程監造與碳管理相關資料的內容與控管機制能有一致性，本計畫所設計之資訊系統，目前已建構於蘇花改工程 A、C 段監造資訊管理系統中，並新增 E1 標及 B5 標碳盤查活動蒐集系統網站，登入頁面及網址如圖 3.2.2-1(a)及(b)，使用者以輸入帳號及密碼方式進行驗證，進入後即依不同使用者權限使用不同功能；另 A、C 段之系統則可看到具有不同功能鍵的操作頁面，使用者可由左側欄位點選碳排盤查選項以進入碳盤查輔導系統，如圖 3.2.2-1(c)。進入碳排盤查活動數據資料蒐集系統畫面則如圖 3.2.2-2。

另依據承包商、監造、輔導單位等三種不同使用者角色，有不同的功能設計，如圖 3.2.2-3 所示，包括由承包商使用的：日誌一般、日誌運輸、登錄清冊、上傳檔案、碳盤月報及碳盤年報 6 項功能；由監造人員使用的監造檢核功能及碳盤年報 2 項功能；及供輔助輔導單位管理資料的輔導查核功能。系統功能可分為兩部分：1.資料蒐集填報；及 2.填報資料彙整及檢核，以下分別說明。

此外為了後續使用者參考以及核對，本系統亦將設計資料上傳於線上碳管理系統資料庫中，目前僅輔導單位可以瀏覽相關工程施工圖，除此之外，後續將新增工程工項規模填報欄位，以利後續自動產出單位工程項目排碳量數值使用。

一、資料蒐集填報

活動資料蒐集主要在承包商資料填報頁面，包括登錄清冊、日誌一般、日誌運輸及碳盤年報，頁面如圖 3.2.2-4 所示。其中盤查年報除承包商使用外，亦提供工程處、工務段及監造單位填報施工管理之碳排放盤

查資料。

二、填報資料彙整及檢核

盤查月報係由日誌填報之資料，經系統彙整後自動產生，如圖 3.2.2-5，該頁面中亦具有季報及年報彙整功能。

此外在登錄清冊之工程材料項下，具有工程材料庫存統計查詢頁面，提供承包商對於工程材料運入量及使用量填報資料合理性檢核參考，如圖 3.2.2-6；在登錄清冊之機具能耗項下，具有機/運具能耗統計查詢頁面，提供承包商對於使用之機/運具用油及操作時數/行駛里程等填報資料合理性參考，如圖 3.2.2-7。



蘇澳東澳段(A 段)

<http://suhua-a.secpm.sinotech.com.tw/>



和中之大清水段(C 段)

<http://suhua-c.secpm.sinotech.com.tw/>

(a) 監造資訊管理系統登入頁面



交通控制系統工程(E1 標)

<http://suhua-e.secpm.sinotech.com.tw>



南澳和平段機電工程(B5 標)

<http://suhua-b.secpm.sinotech.com.tw/>

(b) E1 標及 B5 標盤查系統登入頁面



蘇澳東澳段(A段)-盤查輔導人員畫面

和中大清水段(C段)-承包商人員畫面

(c) A段及C段登入後之系統首頁

圖 3.2.2-1 蘇花改碳排盤查活動數據蒐集資料庫系統登入頁面



蘇澳東澳段(A段)

和中大清水段(C段)



交通控制系統工程(E1標)

南澳和平段機電工程(B5標)

圖 3.2.2-2 蘇花改碳排盤查活動數據蒐集資料庫系統頁面



圖 3.2.2-3 蘇花改碳排盤查活動數據蒐集資料庫系統功能說明



(a)登錄清冊頁面

蘇花公路 改善工程監造資訊管理系統
蘇澳東澳段 【碳盤查】 wcheng15@mail.sinotech.com.tw

回至碳盤首頁 施工項目 廠商登錄 機具耗能 用電登錄 用水登錄 工程材料 植生登錄 廢氣設備 人員登錄

標別: A1 台9線蘇花公路蘇澳永樂段新建工程 計畫文件

資料過濾條件
登錄日期從 [] 至 [] 本日 昨日 本月 今年 全部
作業識別碼 [] (關鍵字) 作業名稱 [] (關鍵字) 執行查詢 清除查詢條件

每頁筆數 10 新增一筆 Excel報表輸出

登錄日期	更新日期	工區	作業識別碼	作業名稱	開始日期	完成日期	施工結束	隧道工程	備註
20130418	20130708	全工區	1020418	動員及準備	20130416	20130731	☑	☐	電子檔 地圖位置
20130418	20130510	全工區		工務所在地路權放樣及導線測量。	20130418	20130630	☑	☐	電子檔 地圖位置
20130503	20130708		1020501	辦公房舍整修	20130501	20130731	☑	☐	電子檔 地圖位置
20130514	20130604			無	20130601	20130630	☑	☐	電子檔 地圖位置
20130621	20130621			巨額工程告示牌安裝	20130620	20130630	☑	☐	電子檔 地圖位置
20130621	20130708		1020620	補充地質鑽探	20130620	20130731	☑	☐	電子檔 地圖位置
20130622	20130622			鋼筋場地平整地	20130621	20130628	☑	☐	電子檔 地圖位置
20130627	20131108	P15		施工便道鋪設	20130625	20131108	☑	☐	電子檔 地圖位置

(a-1)登錄清冊施工圖存放位置

蘇花公路 改善工程監造資訊管理系統
蘇澳東澳段 【碳盤查】 wcheng15@mail.sinotech.com.tw

首頁 日誌一般 日誌運輸 登錄清冊 上載檔案 碳盤月報 碳盤年報 監造檢核 輔導查核

標別: A2 台9線蘇花公路東澳隧道新建工程 日期: 2015/12/30 日報檔下載

作業項目 機具使用 用電 用水 材料使用 廢棄物 碳匯改變 人員出動紀錄 累計工期

工程進行情況(填入作業識別碼及作業名稱)

今日作業項目				已建檔作業項目																																																					
工區	作業名稱	備註	刪除	工區	作業名稱	刪除	備註																																																		
北口工區	北口北上(上)-4類		編輯	北口工區	#1車行聯接道																																																				
北口工區	北口北上仰拱-洞口		編輯	南口工區	#2車行聯接道																																																				
北口工區	北口機房施工		編輯	全工區																																																					
北口工區	北口南下(上)-6類		編輯	全工區	管群																																																				
南口工區	南口北上線(上)-4類		編輯	北口工區	隧道北洞口邊坡施工																																																				
南口工區	南口南下線(上)-5類		編輯	南口工區	隧道南洞口邊坡施工																																																				
全工區	水保設施		編輯	北口工區	北口北上(上) <<-加入																																																				
南口工區	東澳車場土方暫置區		編輯	北口工區	北口北上線台階開挖 <<-加入																																																				
北口工區	永樂車場土方暫置區		編輯	北口工區	開始輪數: [] 結束輪數: [] <<-輪數加入																																																				
新馬車站	新馬車站		編輯	北口工區	參考資料: 輪數: 1~31 岩體類型: 洞口 <<-輪數加入																																																				
南口工區	基礎結構S		編輯	<<-加入	北口工區	北口W1灌土埋施工																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">2015年12月</th> </tr> <tr> <th>週日</th> <th>週一</th> <th>週二</th> <th>週三</th> <th>週四</th> <th>週五</th> <th>週六</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>29 14項</td> <td>30 22項</td> <td>1 12項</td> <td>2 17項</td> <td>3 15項</td> <td>4 14項</td> <td>5 15項</td> </tr> <tr> <td>6 15項</td> <td>7 16項</td> <td>8 15項</td> <td>9 13項</td> <td>10 17項</td> <td>11 13項</td> <td>12 15項</td> </tr> <tr> <td>13 11項</td> <td>14 9項</td> <td>15 21項</td> <td>16 14項</td> <td>17 19項</td> <td>18 18項</td> <td>19 12項</td> </tr> <tr> <td>20 12項</td> <td>21 13項</td> <td>22 14項</td> <td>23 12項</td> <td>24 12項</td> <td>25 10項</td> <td>26 13項</td> </tr> <tr> <td>27 13項</td> <td>28 14項</td> <td>29 13項</td> <td>30 11項</td> <td>31 23項</td> <td>1 10項</td> <td>2 10項</td> </tr> </tbody> </table>				2015年12月							週日	週一	週二	週三	週四	週五	週六	29 14項	30 22項	1 12項	2 17項	3 15項	4 14項	5 15項	6 15項	7 16項	8 15項	9 13項	10 17項	11 13項	12 15項	13 11項	14 9項	15 21項	16 14項	17 19項	18 18項	19 12項	20 12項	21 13項	22 14項	23 12項	24 12項	25 10項	26 13項	27 13項	28 14項	29 13項	30 11項	31 23項	1 10項	2 10項	<<-加入	北口工區	電氣車道N		
2015年12月																																																									
週日	週一	週二	週三	週四	週五	週六																																																			
29 14項	30 22項	1 12項	2 17項	3 15項	4 14項	5 15項																																																			
6 15項	7 16項	8 15項	9 13項	10 17項	11 13項	12 15項																																																			
13 11項	14 9項	15 21項	16 14項	17 19項	18 18項	19 12項																																																			
20 12項	21 13項	22 14項	23 12項	24 12項	25 10項	26 13項																																																			
27 13項	28 14項	29 13項	30 11項	31 23項	1 10項	2 10項																																																			
<<-加入	北口工區	北口北上仰拱 <<-加入																																																							
北口工區	開始輪數: [] 結束輪數: [] <<-輪數加入																																																								
北口工區	參考資料: 輪數: 1~31 岩體類型: 洞口 <<-輪數加入																																																								
<<-加入	北口工區	排水工程N																																																							
<<-加入	南口工區	電氣車道S																																																							
<<-加入	南口工區	排水工程S																																																							
<<-加入	南口工區	南口機房施工																																																							
北口工區	北口南下(上) <<-加入																																																								
北口工區	北口南下線台階開挖 <<-加入																																																								

(b)碳盤查日誌頁面

蘇花公路改善工程監造資訊管理系統
蘇澳東澳段

回到碳盤首頁 年報清冊 年報填寫 上載檔案 年報報表

基本資料 固定燃燒 運具 空調設備 冷凍設備 消防設備 電表 水表 廠商/工別

每頁筆數: 10 新增一筆

登錄日期	更新日期	機關名稱	單位地址	面積單位	樓地板面積	聯絡人姓名	電話	傳真	電子郵件信箱	擁有者
編輯	2013/12/03	2015/01/26	交通部公路總局蘇花公路改善工程處	27050	平方公尺		2000#139 4244			tec
編輯	2013/12/03	2016/01/06	交通部公路總局蘇花公路改善工程處東澳工務段	27291	平方公尺	項段長授青	1102.77	6383 #108	6001	notec
編輯	2013/12/05	2014/03/26	中興工程顧問股份有限公司東澳蘇澳工程處	沈經理	2828.01	宜蘭縣南澳鄉東岳	(00)007 1568	(00) 9971560		otec
編輯	2013/12/05	2016/01/05	新亞建設開發股份有限公司東澳施工處	曾主任	719.82	宜蘭縣南澳鄉	6118	6093		otec

(c)碳盤年報頁面

圖 3.2.2-4 活動數據資料蒐集頁面

標別: A1 台9線蘇花公路蘇澳永樂段新建工程 月報報表輸出

2016 年 2 月

季別 月份

第1季 1 2 3

第2季 4 5 6

第3季 7 8 9

第4季 10 11 12

上半年

下半年

全年度

全部

月報附件影像上傳

1. 瀏覽...

2. 瀏覽...

3. 瀏覽...

4. 瀏覽...

5. 瀏覽...

6. 瀏覽...

7. 瀏覽...

8. 瀏覽...

9. 瀏覽...

10. 瀏覽...

上傳

電費單-蘇澳高壓電.pdf 刪除 檢視

電費單-白米P33.pdf 刪除 檢視

◆工程進行情況(填入作業識別碼及作業名稱)

作業識別碼	作業名稱	填寫次數	最早日期	最晚日期	明細資料
32020502P31P32	通車	7	2016/02/06	2016/02/12	明細資料
34020502P33P34	P031-P032支撐先進(U7-2)	1	2016/02/14	2016/02/14	明細資料
38020400P0037	P033-P034支撐先進(U7-4)	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
39020503P38000	P037管架橋樑柱結構	5	2016/02/05	2016/02/28	明細資料
40020410P0038	P038管架橋樑樑結構	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
40020410P0039	P039管架橋樑樑結構	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
40020410P0039	P039管架橋樑樑結構	6	2016/02/01	2016/02/28	明細資料
40020503P39000	P39管架懸臂工法	6	2016/02/01	2016/02/28	明細資料
41020400P0040	P040管架橋樑柱結構	7	2016/02/01	2016/02/28	明細資料
44020501P41P42	P041-P042擋撐(U9-2)	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
44020501P42A02	P042-A002擋撐(U9-3)	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
5702050400PS01	PS1懸臂工法	1	2016/02/13	2016/02/13	明細資料
5802050400PS02	PS2懸臂工法	1	2016/02/13	2016/02/13	明細資料
5902050401PS03	PS3邊跨	7	2016/02/02	2016/02/28	明細資料
6002050400PS04	PS4懸臂工法	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
6102050400PS05	PS5懸臂工法	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
6302050400PS07	PS7懸臂工法	12	2016/02/02	2016/02/28	明細資料
6502050400PS08	PS8懸臂工法	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
6502050400PS09	PS9懸臂工法	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
6602050400PS10	PS10懸臂工法	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
DRA0300001010	橋下排水及堤防工程	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
TUN1200001080	上行線隧道開挖與支撐	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料
TUN1200001140	下行線隧道開挖與支撐	22	2016/02/01	2016/02/29	明細資料

◆1-1機具使用(包含公務車及交通車)

機/運具編號	機/運具名稱	累計操作時數(hr)	累計行駛里程(km)	總耗能	耗能單位	填寫次數	最早日期	最晚日期	明細資料
ME-上鏟01	泵浦車(32M)	24			L	3	2016/02/01	2016/02/16	明細資料
ME-上鏟02	泵浦車(27M)	8			L	1	2016/02/05	2016/02/05	明細資料
ME-掘鑿(排)03	挖土機PC200	32			L	4	2016/02/18	2016/02/29	明細資料
ME-載明01	吊車	24		254.42	L	4	2016/02/02	2016/02/29	明細資料

圖 3.2.2-5 碳盤查月報彙整頁面



圖 3.2.2-6 工程材料庫存統計查詢頁面



圖 3.2.2-7 機具能耗統計查詢頁面

3.2.3 碳足跡係數資料庫

一、碳足跡係數資料庫概述

為有效且正確進行碳足跡計算工作，本計畫另設計與開發完成碳排放係數資料庫系統及蒐集介面，除作為本團隊人員蒐集與建置工程碳排放係數資料之介面外，亦為未來查驗機構進行蘇花改計畫碳足跡查證時的重要參考基礎。如圖 3.2.3-1 所示，本計畫目前已建立碳足跡盤查係數資料庫。蘇花改計畫所需使用之碳盤查係數皆已納入此資料庫中，可供計算連結使用；惟部分係數彙整自商業軟體，直接公開將會有版權問題，故整體排放係數資料庫僅供輔導單位使用。

目前係數資料庫之係數已可與蘇花改碳排盤查活動數據蒐集系統連結，連結型式將於後續章節說明。

資料篩選條件

係數名稱 關鍵字詞：

生產年份 全部年份

係數類別 原料(Material) 能源(Energy) 運輸(Transportation) 廢棄物處理(Waste treatment) 不分頁 分頁 10 (筆/頁)

係數查詢列表 (共203筆)

流水號	中文名稱	英文名稱	係數類別	計量單位	碳排係數	生產年份	最新年份	資料來源	時間註解	註釋資料
1	1心電纜	cable 1 wire mix	原料(Material)	m	0.0714583398	2015	2015	Gabi 6		<input type="button" value="維護管理"/>
2	3心電纜	cable 3 wire mix	原料(Material)	m	0.3456379099	2015	2015	Gabi 6		<input type="button" value="維護管理"/>
3	5心電纜	cable 5 wire mix	原料(Material)	m	0.5025944755	2015	2015	Gabi 6		<input type="button" value="維護管理"/>
4	A1標久星175II	A1-1-175II	原料(Material)	kg	0.9340000000	2016	2016	現場資料		<input type="button" value="維護管理"/>
5	A1標久星210II	A1-1-210II	原料(Material)	kg	0.0865000000	2016	2016	現場資料		<input type="button" value="維護管理"/>
6	A1標久星245II	A1-1-245II	原料(Material)	kg	0.0967000000	2016	2016	現場資料		<input type="button" value="維護管理"/>
7	A1標久星280II	A1-1-280II	原料(Material)	kg	0.1077000000	2016	2016	現場資料		<input type="button" value="維護管理"/>
8	A1標久星350SCCR2	A1-1-350SCCR2	原料(Material)	kg	0.1219000000	2016	2016	現場資料		<input type="button" value="維護管理"/>
9	A1標久星420SCC	A1-1-420SCC	原料(Material)	kg	0.1332000000	2016	2016	現場資料		<input type="button" value="維護管理"/>
10	A1標久星420早強	A1-1-420H	原料(Material)	kg	0.1358000000	2016	2016	現場資料		<input type="button" value="維護管理"/>

下頁> | 第 1 頁，共 21 頁 | 跳至第 1 頁

圖 3.2.3-1 係數資料庫頁面

二、碳足跡係數來源及新增方式說明

係數來源可以分三大類：其一是本團隊廣泛蒐集目前已公開的國內外碳排放係數資料的結果，該資料來源或所代表的邊界可能還需要進一步找到其原始文獻才能確認；其二則是生命週期評估軟體(Simapro、GaBi

等)之係數資料庫，經由本計畫人員完成率定程序、填寫詮釋資料後的係數資料；其三為本計畫藉由供應商盤查，蒐集製程相關資料後，配合可使用係數所組成之盤查係數，其資料來源或所代表的邊界皆已確認，並已完成率定程序。

新增係數方面如圖 3.2.3-2 所示，碳足跡係數資料庫可直接建立新係數，作為後續引用之基準。

工程碳足跡評估與計算係數資料管理系統

資料篩選條件

係數名稱 關鍵字詞：電

生產年份 全部年份

係數類別 原料(Material) 能源(Energy) 製程(Process) 運輸(Transportation) 廢棄物處理(Waste treatment) 不分頁 分頁 10 (筆/頁) 篩選查詢

係數查詢列表 (共 10 筆)

流水號	中文名稱	英文名稱	係數類別	計量單位	碳排係數	生產年份	最新年份	資料來源	時間註解	詮釋資料
1	1心電纜	cable 1 wire mix	原料(Material)	m	0.0714583398	2015	2015	Gabi 6		維護管理
2	3心電纜	cable 3 wire mix	原料(Material)	m	0.3456379099	2015	2015	Gabi 6		維護管理
3	5心電纜	cable 5 wire mix	原料(Material)	m	0.5025944755	2015	2015	Gabi 6		維護管理
109	不鏽鋼 (電弧爐製程, SS304)	Stainless steel (manufactured in an electric arc furnace, SS304)	原料(Material)	kg	2.0100000000	2013	2013	政府公告	盤查起訖日:20110101-20111231	維護管理
199	電力碳足跡 (2011)	Electrical carbon footprint (2011)	能源(Energy)	kWh	0.6980000000	2013	2013	政府公告	盤查起訖日:20110101-20111231	維護管理
200	電力碳足跡 (2014)	Electrical carbon footprint (2014)	能源(Energy)	kWh	0.6500000000	2016	2016	政府公告	2014/01/01 ~ 2014/12/31	維護管理
201	電力碳足跡 (2015)	Electrical carbon footprint (2015)	能源(Energy)	kWh	0.6540000000	2017	2017	政府公告	2015/01/01 ~ 2015/12/31	維護管理

圖 3.2.3-2 碳足跡係數新增方式說明

因目前新增係數全部為直接建立新係數之方式，故本報告在此說明新增係數流程，首先如圖 3.2.3-2，使用者須點選『係數資料新增』按鈕，接續以下流程進行碳足跡係數新增：

(一)輸入係數『中英文名稱』、『係數產生年份』及『係數類別』，其中係數類別分為原料、能源、製程、運輸、使用、廢棄物處理，如圖 3.2.3-3。

(二)系統將自動對於前述輸入之內容與資料庫進行模糊比對，確認無重複

建立係數，若為係數之較新版本，也可於此直接進行更新，反之若為全新係數，則可按下『新建碳足跡盤查係數』直接新增碳足跡係數。

工程碳足跡評估與計算係數資料管理系統

SECLTD\6296

首頁 碳足跡盤查係數資料庫 碳排放係數資料庫

中文名稱: 測試係數 (ex 水泥)

英文名稱: tes (ex Cement)

生產年份: 2017 (民國106年) 係數類別: 原料(Material)

能源(Energy)
運輸(Transportation)
製程(Processing)
使用(Use)
廢棄物處理(Waste treatment)

新建/查詢係數

以下列出相似的係數,請選擇:

中文名稱	英文名稱	生產年份	係數類別	相似度說明	是否更新								
測試係數	test	2017	原料(Material)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>中文名稱</th> <th>英文名稱</th> <th>生產年份</th> <th>係數更新年份</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>相同</td> <td>不同</td> <td>相同</td> <td>2017</td> </tr> </tbody> </table>	中文名稱	英文名稱	生產年份	係數更新年份	相同	不同	相同	2017	編輯
中文名稱	英文名稱	生產年份	係數更新年份										
相同	不同	相同	2017										
測試	Test	2016	原料(Material)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>中文名稱</th> <th>英文名稱</th> <th>生產年份</th> <th>係數更新年份</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>不同</td> <td>不同</td> <td>不同</td> <td>2017</td> </tr> </tbody> </table>	中文名稱	英文名稱	生產年份	係數更新年份	不同	不同	不同	2017	編輯
中文名稱	英文名稱	生產年份	係數更新年份										
不同	不同	不同	2017										

以上係數皆非選項,我要 **新建碳足跡盤查係數**

圖 3.2.3-3 碳足跡係數新增說明及系統確認

(三)確認資料年份後，依實際資料填報以下內容，如圖 3.2.3-4：

- 1.計量方式：下拉選單選擇質量、長度、延時長度、面積、體積、延時體積、能量、裝置容量、時間、運貨量、土地使用量、件數、運客量或無單位。
- 2.計量單位：依照計量方式不同，下拉選擇單位，以長度為例，對應單位包括 μm ~ km 、 inch ~ mile 。
- 3.排碳量：碳足跡係數計算值。
- 4.排碳量單位：目前可選擇 kgCO_2e 或 tonCO_2e 。
- 5.邊界：依據實際係數資料收集情形勾選盤查範疇。
- 6.邊界及一般註解：說明盤查邊界內容。
- 7.代表區域：說明資料來源。
- 8.技術說明：說明材料或其他類別之係數，所採用之製程，以竹節鋼筋為例，為說明是否為電弧爐融煉等鑄造方式。
- 9.資料來源類別：目前可下拉選擇『生命週期評估軟體』、『文獻報

告』及『現場盤查資料』。

- 10.資料來源：依據前述類別生命週期評估軟體(Simapro、Gabi、Doitpro、Ecoreport)、文獻報告(政府公告、文獻資料、學術研究、學位論文)及現場盤查資料(現場資料)不同選擇相應資料來源。
- 11.資料庫：若為生命週期評估軟體則需選擇資料庫來源。
- 12.資料等級：可依據上述資料之內容，判斷相應等級，等級由 A 最佳至 D 最不佳。
- 13.如有參考文獻或初始檔案亦須上載保存。

識別資料:	
中文名稱	測試係數
英文名稱	test
生產年份	2017
係數類別	原料(Material)
<input type="button" value="編輯識別資料"/> <input type="button" value="新增更新版本"/> <input type="button" value="刪除碳排係數"/>	
資料年份:	2017
計量方式	Mass(質量)
計量單位	pg
排放量	
排放量單位	kgCO2e
邊界	<input checked="" type="checkbox"/> 原料開採 <input checked="" type="checkbox"/> 原料開採運輸 <input checked="" type="checkbox"/> 原料生產 <input checked="" type="checkbox"/> 原料運輸 <input checked="" type="checkbox"/> 產品製造 <input checked="" type="checkbox"/> 產品運輸 <input checked="" type="checkbox"/> 產品使用 <input checked="" type="checkbox"/> 產品廢棄運輸 <input checked="" type="checkbox"/> 最終處理 <input checked="" type="checkbox"/> 基礎設施
邊界及一般註解	
更新年份	2017 (民國106年)
時間註解	
代表地區	TW(Taiwan 臺灣)
技術說明	
資料來源類別	生命週期評估軟體
資料來源	Simapro7.2
資料庫	(無指定)
資料等級	A
<input type="button" value="更新"/> <input type="button" value="取消"/>	
參考文獻:	(無附件!)
初始檔案:	(無附件!)

圖 3.2.3-4 碳足跡係數新增頁面

三、蘇花改系統與碳足跡係數連結

為使係數資料庫之係數能為盤查系統所用，本系統於『計畫使用係數設定』頁面(如圖 3.2.3-5 所示)，將先前已新增的碳足跡係數匯入，匯入方式可採單筆匯入，亦可將資料庫現有所有係數一次性加入。

工程碳足跡評估與計算係數資料管理系統

SECLTD16296

首頁 碳足跡盤查係數資料庫 碳排放係數資料庫

計畫清單: 1092C 頭城交流道增設上下

係數查詢與資料維護 碳足跡盤查係數資料庫(已率定)

係數資料新增

碳足跡盤查係數(單筆加入)

1心電纜 | cable 1 wire mix 計畫資料維護

計畫使用係數列表: 加入全部(最新版) 刪除全部 匯出Excel (系統會自動清除重複資料)

	中文名稱	英文名稱	生產年份	更新年份	計量單位	排碳量	代表地區	資料等級
刪除	1心電纜	cable 1 wire mix	2015	2015	m	0.0714583398	德國	B
刪除	3心電纜	cable 3 wire mix	2015	2015	m	0.3456379099	德國	B
刪除	5心電纜	cable 5 wire mix	2015	2015	m	0.5025944755	德國	B
刪除	A1標久屋175II	A1-1-175II	2016	2017	m3	215.1699000000	臺灣	A

圖 3.2.3-5 碳足跡係數匯入說明

已匯入蘇花改盤查系統之碳足跡係數，可於盤查系統中進行連結。因為蘇花改系統分為 A 段、C 段、B5 標及 E1 標等 4 個網頁，須各別匯入將採用之碳足跡係數，本報告以蘇花改 A 段為例進行說明。係數連結第一步為將蘇花改碳足跡匯入盤查網頁，連結方式如圖 3.2.3-6 所示，目前系統可一次匯入所有係數。

在碳足跡係數匯入各段系統之後，承包商或輔導人員即可於『工程材料』的『登錄清冊』中，將需要的工程材料與其對應的碳足跡係數進行配對，以 A3 標混凝土 420(早強)為例(如圖 3.2.3-7 所示)，承包商或輔導人員在混凝土 420(早強)的重量轉換及係數選擇頁面，搜尋相關係數，確認引用係數正確後，即可按下『對應』按鈕進行配對。其中重量轉換流程說明將於 3.2.4 節關於排放量清冊產出系統章節中再行說明。



圖 3.2.3-6 碳足跡係數匯入盤查系統說明



圖 3.2.3-7 碳足跡係數連結工程材料說明

3.2.4 碳足跡資料庫(碳排放清冊產出系統)

由前述章節可瞭解本工程採用排碳係數法以活動量乘以碳排放係數進行碳排放量計算，依據此原理，本計畫已完成碳排放量清冊產出功能，以下依序說明各子項目設計原則及完成之功能。

一、設計原則及預計完成項目

為加速年度清冊製作及正確性，本計畫依據圖 3.2-1 之架構，著手開發完整碳排放量清冊產生系統，碳排放量統計分析系統包括 5 個子頁面，機具能耗碳排放計算頁面、其他能資源使用碳排放計算頁面、工程材料碳排放計算頁面、機具材料運輸碳排放計算頁面及人員出勤逸散碳排放計算頁面，其中機具能耗、工程材料、其他能資源使用及人員出勤逸散碳排放計算頁面現階段已完成。以下分別說明各頁面設計構想及原則。

(一)機具能耗碳排放計算頁面

承包商藉由線上系統輸入各別機具之操作時數及添加油料耗能，活動量內容已存在線上系統，本計畫規劃將現有蘇花改係數資訊系統之柴/汽油及相關燃料係數資料與線上盤查系統之登錄清冊中的能源類別資訊聯結，直接計算碳排放量；而未填報添加油料耗能之機具，初步構想為於蘇花改係數資訊系統新增單位油耗資訊頁面，並於機具登錄清冊聯結以產生能耗活動量後進行計算。

(二)其他能資源使用碳排放計算頁面

現階段承包商已可於系統中填報用電及用水活動量，本計畫循機具能耗碳排放計算邏輯，將現有蘇花改係數資訊系統係數資料與線上盤查系統之登錄清冊中的類別資訊聯結，直接計算碳排放量。

(三)工程材料碳排放計算頁面

工程材料碳排放量計算系統已開發完成，承包商可以於登錄清冊中填報工程材料單位原料使用數量及相應係數，並於碳排量計算頁面產出碳排放量清冊。

(四)機具材料運輸碳排放計算頁面

機具材料運輸之活動量包含距離及重量兩參數，距離資料可由承

包商填報資料取得，重量參數方面則需分為材料及機具兩部份，材料重量資料可參考前述活動量轉換資料輸入資料取得，惟機具部份重量則需要進行填報，完成重量填報後，即可循排放係數法之計算方式計算排碳量。碳排放係數規劃將由現有係數資訊系統之運具係數與線上盤查系統之日誌運輸中的運具類別資訊聯結，作為計算基準。

(五)人員出勤逸散碳排放計算頁面

承包商已於系統中填報人員出勤活動量，本計畫循機具能耗碳排放計算邏輯，於係數資訊系統新增係數資料，並與線上盤查系統之登錄清冊中的類別資訊聯結，直接計算碳排放量。

二、機具能耗碳排放計算

由前述之活動量蒐集結果，本計畫已建置機具碳排放量計算資料產出平台，承包商在登錄機具或運具時，須增加說明機具能耗類型，如圖 3.2.4-2(a)，承包商需要於『**係數名稱**』欄位，以下拉選單選擇汽/柴油-移動/固定源；如果協力廠商使用共用油箱添加油料且無法有效分油之機具，則須先建立共用油箱，建立方式如圖 3.2.4-2(b)所示，需於**共用油箱**欄位打勾，並說明機具能耗類型，共用油箱建立完成後，該機具須於登錄頁面中的**所屬油箱**選擇先前所建立之共用油箱，以下彙整一般機具、共用油箱機具及共用油箱填報方式如表 3.2.4-1。

完成機/運具登錄及活動量填報之後，即可於機/運具碳排放量清冊產出頁面(如圖 3.2.4-3 所示)，選出**用油碳排放係數**頁面並填寫汽/柴油-移動/固定源係數後，即按下說明機具能耗類型按鈕產生機/運具碳排放量清冊，產出資料結果如圖 3.2.4-4 所示，產出內容可供計算、分析及後續查驗使用。

回清單畫面 刪除 儲存 複製成新一筆 修改資料

登錄日期: 2013/01/11 14:59:00
更新日期: 2013/01/14 16:25:50

機具編號: ME-奇聯01 已登錄16筆資料

廠商名稱:

機具名稱: 吊車

廠牌型號: TADANO

規格: 50噸

功率:

功率單位: kw

能源類別: 柴油

能耗:

能耗單位: L/hr

能耗數據品質: 推估值

機齡:

計數器:

機具能耗附件: 文獻來源報告(附表3)

共用油箱: 是

所屬油箱: <無>

係數名稱: 汽油-固定源

備註: 奇聯企業社

回清單畫面 刪除 儲存 複製成新一筆 修改資料

登錄日期: 2013/04/27 11:50:01
更新日期: 2013/05/05 11:23:25

機具編號: 長鴻-共用油箱 已登錄3筆資料

廠商名稱: 長鴻企業社 長鴻企業社

機具名稱:

廠牌型號:

規格:

功率:

功率單位: kw

能源類別: 柴油

能耗:

能耗單位: L/hr

能耗數據品質: 計算值

機齡:

計數器:

機具能耗附件: 機具油耗計算報告(附表1)

共用油箱: 是

所屬油箱: <無>

係數名稱: 汽油-固定源

備註: ME-長鴻01, ME-長鴻02, ME-長鴻04, ME-長鴻05;
ME-昶逸01, ME-昶逸02

(a)機/運具登錄頁面

(b)共用油箱建立

圖 3.2.4-1 機具登錄頁面

表 3.2.4-1 機具登錄填注意事項

欄位	共用油箱	所屬油箱	係數名稱
一般機具	-	<無>	選擇對應能源類別
共用油箱機具	-	選擇所屬共用油箱	選擇對應能源類別
共用油箱	勾選	<無>	選擇對應能源類別



圖 3.2.4-2 機具碳排放量產生頁面

機/運具編號	機/運具名稱	累計施作時數(hr)	累計行駛里程(km)	總耗能	能率單位	填寫次數	最早日期	最晚日期	係數名稱	係數名稱	係數名稱	排碳率	
436-BV	大貨車		4	4,356	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	15.16
437-BV	大貨車		1,939	5,467	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	19.03
438-BV	大貨車		5,729	9,542	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	33.21
440-BV	大貨車		8,102	10,330	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	35.95
441-BV	大貨車		6,946	9,995	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	34.78
442-BV	大貨車		2,736	3,810	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	13.26
443-BV	大貨車		3,900	6,375	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	22.19
518-BQ	大貨車		4,345	2,565	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	8.93
676-BP	履帶車		4,875	4,222	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	14.69
677-BP	履帶車		5,737	6,882	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	23.95
678-BP	履帶車		4,916	6,083	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	21.17
679-BP	履帶車		3,795	4,690	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	16.32
680-BP	履帶車		6,506	8,542	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	29.73
7525-F6	小貨車		4,044	815	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	2.84
AA101	挖土機	39		2,014	L	10	2017/1/1	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	7.01
AA103	挖土機	43.5		1,496	L	11	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	5.21
AA104	挖土機	175		5,169	L	26	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	17.99
AA105	挖土機	77.5		6,085	L	17	2017/1/4	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	21.04
AA106	挖土機	398.5		11,146	L	52	2017/1/2	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	38.75
AA107	挖土機	78		1,738	L	16	2017/1/20	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	6.04
AA108	挖土機	21.5		1,140	L	10	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	3.86
AA202	挖土機			3,570	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	11.73
AA204	挖土機			6,459	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	22.48
AA207	挖土機	508		10,205	L	55	2017/1/2	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	35.51
AA209	挖土機	544		11,490	L	72	2017/1/3	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	39.99
AA211	挖土機	607		10,935	L	72	2017/1/2	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	38.05
AA212	挖土機	506		6,528	L	59	2017/1/1	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	22.72
AA214	挖土機	620		7,840	L	68	2017/1/3	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	27.28
AA215	挖土機	784.5		7,908	L	85	2017/1/1	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	27.52
AA216	挖土機	113		2,980	L	22	2017/1/2	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	10.37
AA218	挖土機	768		12,270	L	87	2017/1/2	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	42.70
AA302	挖土機	533.5		8,527	L	62	2017/1/3	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	29.67
AA303	挖土機	380		8,060	L	53	2017/1/3	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	28.05
AA305	挖土機	729		13,414	L	88	2017/1/4	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	46.68
AA306	挖土機	152.5		4,510	L	22	2017/1/3	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	15.69
AA308	挖土機	999		17,003	L	120	2017/1/3	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	59.17
AA309	挖土機	851.5		13,245	L	92	2017/1/3	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	46.09
AB002	鑿岩機			125	L	1	2017/6/30	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	0.44
AB009	鑿岩機			5,282	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	18.38
AB014	鑿岩機			12,262	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	42.67
AB015	鑿岩機			393	L	6	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	1.37
AC001	推高機			142	L	4	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	0.49
AC006	推高機			873	L	5	2017/1/31	2017/6/30	實測	柴油-移動源	3.48	一級數據	3.04

圖 3.2.4-3 機具碳排放量產出內容

三、工程材料碳排放計算

就前述之活動量蒐集結果，本計畫已建置碳排放係數資料庫及線上系統重量轉換登錄及碳排放係數聯結功能，系統頁面內容如圖 3.2.4-4 所示，在輔導單位匯入經查驗機構查核完畢之碳排放係數後，可配合承包商所輸入的工程材料重量單位轉換資料，產出工程材料碳排放量清冊，工程材料排碳量產生頁面如圖 3.2.4-5 所示。

由圖 3.2.4-5 可以了解，輔導單位在確認數量後，即可按下『Excel 報表輸出』按鈕產生工程材料碳排放量清冊，供計算、分析及後續查驗使用。另本計畫所盤查之工程材料中，有部分為複合材料，以圖 3.2.4-5 之 MA-弘大鑫 01(速凝劑)為例，必須將其拆分為自來水及硫酸鋁鹽化合物兩項，故於表中會產生 2 個轉換係數及活動強度，此功能亦可以將複合工程材料組成內的水泥、竹節鋼筋或鍛鋼等材料整體占比及排碳量匯出，進行分析。

蘇花公路改善工程監造資訊管理系統
蘇澳東澳段 【碳盤查】 wycheng15@mail.sivotech.com.tw

回至碳盤首頁 施工項目 廠商登錄 機具耗能 用電登錄 用水登錄 工程材料 植生登錄 廠務設備 人員登錄

材料轉換參數編輯

回工程材料主畫面

材料編號: MA-宜興04
材料名稱: 混凝土280 II kgf/cm²

採多筆淨重資料累計(混凝土適用)

轉換說明	轉換係數	轉換後單位	原係數名稱	原係數	清除對應
	2387	kg(混凝土280II)	A3係宜興280II	0.1069	

新增一筆

碳盤對應資料

中文名稱: 查詢

	中文名稱	英文名稱	排碳量	計量單位
對應	1心電纜	cable 1 wire mix	0.0714583398	m
對應	3心電纜	cable 3 wire mix	0.3456379099	m
對應	5心電纜	cable 5 wire mix	0.5025944755	m
對應	A1標久星175II	A1-1-175II	0.084	kg
對應	A1標久星210II	A1-1-210II	0.0865	kg

圖 3.2.4-4 工程材料碳盤查係數蒐集資料庫系統

蘇花公路改善工程監造資訊管理系統
蘇澳東澳段 【活動量統計】 wycheng15@mail.sinotech.com.tw

回至碳盤首頁 日誌核定 年報核定 日誌綜理 耗能統計 材料庫存 差異分析 異常管理 活動強度 碳排係數 活動紀錄

標別: A3 台9線蘇花公路東澳東岳段新建工程

資料過濾條件
統計日期從 [] 至 [] 本月 上月 今年 全部
材料編號 [] (關鍵字) 材料名稱 [] (關鍵字) 執行查詢 清除查詢條件
使用量選擇 全部 有使用量 無使用量

每頁筆數 10 Excel報表輸出

材料編號	材料名稱	累計使用數量	轉換係數	活動強度	總運入量	總運出量	在場材料量	材料庫存量	材料數量單位	規格/類別
MA-弘大蠶01	速凝劑	48800	0.6 0.4	29,280 19,520	48800		48800	0	kg,kg,	
MA-弘大蠶02-1	桁架支保(5M)	52	7.2 295.3566 20	374.4 15,358.5432 1,040	52		52	0	組,組,	G150 D=5
MA-弘大蠶02-2	桁架支保(7M)	117	6.6 25 403.403	772.2 2,925 47,198.151	117		117	0	組,組,	G150 D=7
MA-弘大蠶02-3	桁架支保(9M)	81	36.26 10.5 530.873	2,937.06 850.5 43,000.713	81		81	0	組,組,	G150 D=9
MA-弘大蠶03	點焊網	15882	3.39	53,839.98	15882		15882	0	m2,m2,	5.0/100 3M*1.8M
MA-弘大蠶04	氧氣瓶	10	14.28	142.8	10		10	0	瓶,瓶,	
MA-弘大蠶05	乙炔瓶	7	5	35	7		7	0	瓶,瓶,	
MA-弘大蠶07	卜特蘭水泥	320	1,000	320,000	320		320	0	噸,噸,	第一型
MA-田大01	氧氣瓶	47	14.28	671.16	47		47	0	瓶,瓶,	
MA-田大02	乙炔瓶	23	5	115	23		23	0	瓶,瓶,	

12345678910...

圖 3.2.4-5 工程材料碳排放量計算產生頁面

四、其他能資源使用碳排放計算

依據前述說明，本計畫依據活動量資料已建置用電及用水之碳排放量計算資料產出平台，相較於機/運具及工程材料之碳排放平台，此部分碳排放量計算方式較為單純，承包商僅需按時填報工區用電及用水活動量，輔導單位則是依據當前需要選擇相應的單位用電及用水碳排放係數，承包商及輔導單位皆完成後，即可產出排放量清冊，排碳量產生頁面如圖 3.2.4-6 所示。



圖 3.2.4-6 其他能資源使用碳排放量計算產生頁面

五、人員出勤逸散碳排放計算

依據前述說明，本計畫依據活動量資料已建置人員出勤逸散之碳排放量計算資料產出平台，與前段之原理相似，在承包商完成填報及輔導單位完成係數登錄後，即可產出排放量清冊，相關排碳量產生頁面如圖 3.2.4-7 所示。



圖 3.2.4-7 人員出勤逸散碳排放量計算產生頁面

六、機材運輸碳排放計算

計算原理如前述，機具材料運輸之活動量包含距離及重量兩參數，距離資料可由承包商填報資料取得，重量參數方面則需分為材料及機具

兩部份，材料重量資料可參考前述活動量轉換資料輸入資料取得，本計畫已規劃欄位填報重量資訊，如圖 3.2.4-8，承包商可於**運輸轉換係數**欄位直接填報單位重量資訊，改欄位並可執行運算，計算重量數值，機具部份重量亦需要進行填報，填報方式與工程材料相同，完成重量填報後，即可循排放係數法之計算方式計算排碳量，清冊產出頁面如圖 3.2.4-9 所示。

回清單畫面 刪除 儲存 複製成新一筆 修改資料

登錄日期 2017/6/6 下午 01:00:15 更新日期 2018/5/8 上午 10:58:55

設備編號 MA-A-001 已登錄1筆資料

設備名稱 環路線圖式車輛偵測終端控制 功能/用途 資料收集系統

材料單位 其他

製造商/代理商名稱 麟瑞

運輸方式 陸運 產地類別 國內

製造方式 自產

出口點 - 進口點 -

設備型號

製造商/代理商 聯絡人 製造商/代理商 聯絡方式

設備能耗類別 電 設備能耗率 75

設備能耗單位 W 設備外型尺寸

概略重量 3 重量單位 KG

設備平均壽命 5 年 耗材使用

耗材更換頻率 年

備註

運輸轉換係數 (21/7)/1000 值 0.003 ton

圖 3.2.4-8 機具材料運輸重量轉換填報頁面

項目編號	項目名稱	運輸起點	運輸終點	運輸總量	運輸單位	單向最大運距(km)	輸入淨重	轉換係數	轉換後重量	活動量	運具類型	規格	係數來源	運輸係數	係數品質	排碳量
MA-宜聯05	支保架樁鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	北口	31.89	ton	15	0	1	31.89	478.35	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.0225	
MA-宜聯05	支保架樁鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	南口	96.13	ton	26.3	0	1	96.13	2,528.22	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.1191	
MA-宜聯06	仰拱鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	北口	217.68	ton	13.5	0	1	217.68	2,938.68	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.1384	
MA-宜聯06	仰拱鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	南口	57.46	ton	26.3	0	1	57.46	1,511.2	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.0712	
MA-宜聯07	機房鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	北口	6.84	ton	13.5	0	1	6.84	92.34	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.0043	
MA-宜聯07	機房鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	南口	314.4	ton	26.3	0	1	314.4	8,268.72	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.3895	
MA-宜聯08	襯砌鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	北口	877.77	ton	13	0	1	877.77	11,411.01	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.5375	
MA-宜聯08	襯砌鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	南口	679.46	ton	26.3	0	1	679.46	17,869.8	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.8417	
MA-宜聯08	襯砌鋼筋	桃園縣觀音鄉保障村8鄰草漯116號	南口	44.93	ton	128	0	1	44.93	5,751.04	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.2709	
MA-宜聯09	基樑鋼筋	台灣宜蘭縣冬山鄉大安路451號	南口	32.9	ton	26.3	0	1	32.9	865.27	大貨車	Gabi-PE	0.0471	二級數據	.0408	

圖 3.2.4-8 機具材料運輸重量轉換填報頁面

3.3 碳足跡係數計算結果

3.3.1 係數選用原則

基於碳足跡盤查結果更具代表性，在同樣符合碳足跡計算規範與查證要求的情況下，本計畫蒐集係數的來源主要有三種，包含：由資料庫或相關文獻篩選與率定之係數、國內公告碳排放係數及資料庫係數組合之半本土化係數、供應商提供產品碳足跡或進行盤查取得之本土化係數三種。以下即分別說明不同來源之係數選用原則。

一、資料庫及文獻係數

由資料庫篩選適用係數時，需瞭解該係數所代表的特性與內涵，而本計畫考量條件包括：是否符合規範要求、盤查範疇、技術、地理特性及時間性，除規範要求為必須符合的條件外，因資料庫系統以歐美國家為主，在地理特性方面，則優先採用區域性的平均值，其餘條件必須經由綜合考量後，再作出最佳化選擇。若為論文、期刊文獻或國家公告之碳足跡係數值，如同資料庫係數篩選原則，符合規範為必要條件外，亦綜合考量盤查範疇、技術、地理特性及時間性，惟此則必須優先採用國

內本土係數。

為因應國內碳排放量化與減碳規劃之需求，環保署積極推動碳足跡及碳標籤/減碳標籤制度，期望藉由產品碳排放資訊的普遍揭露，促進民眾及企業正視產品碳足跡並推動減碳作為。為使企業與相關單位在進行碳足跡量化時，能有可信賴的係數，及使下游企業有可採用的上游供應商參數，以確保碳足跡計算結果的代表性，並增加碳足跡計算的便利性及時效性，環保署自 102 年起即著手推動本土碳足跡排放係數資料庫建置工作，預估以分年度的方式、至 107 年 7 月完成共 30 個類別、約 600 項產品碳足跡係數。

環保署公告之係數資料詮釋內容包括：名稱、碳足跡數值(kgCO₂e)、單位、技術範疇(系統邊界)、技術描述、開始日期、結束日期、區域名稱及是否經查驗機構查證等。惟係數計算過程的佐證文件並未見於平台上，故目前平台上的係數是否為建議優先選用的係數，將定期與查驗機構確認。本計畫將持續於進度報告書中定期回顧環保署公告係數近況。

二、半本土化係數

我國環保署公布之溫室氣體排放係數管理表，如：電力、燃料、油品等排放係數值，部分並非考量完整生命週期之碳排放量，僅包含使用階段的直接排放，無法直接採用。因此，過去本計畫曾另從國外資料庫(SimaPro、Gabi)中蒐集同品項之原料開採、製造等階段的係數，再加上我國環保署公布之排放係數，組合出具備生命週期概念之半本土化排放係數；其中資料庫係數之選用原則如前項所述。在環保署陸續公告符合生命週期之碳足跡係數後，本計畫已暫停此項係數之計算及引用。

三、本土化係數

選用本土化係數之首要條件為符合碳足跡計算標準與評估範疇之排放係數，將優先採用經過碳足跡查證之本土化係數，另將視供應商意願及必要性，進行盤查及建立本土化係數值。供應商盤查工作在土建標主要材料供應商已逐步展開，成果詳 3.3.9 節。

3.3.2 係數資料庫系統設計與建置

為有效且正確進行碳足跡計算工作，本計畫另設計與開發完成碳排放係數資料庫系統及蒐集介面，除作為本團隊人員蒐集與建置工程碳排放係數資料之介面外，亦為查驗機構進行蘇花改計畫碳足跡查證時的重要參考基礎。已建置之係數資料庫內容詳本報告 3.2 節。

本計畫將持續依據蘇花改工程盤查產出結果，蒐集並參考國內外相關碳排放及碳足跡盤查係數資料呈現方式，以相同型式建立重要碳足跡盤查係數之詮釋資料於資料庫中，作為後續本計畫碳足跡計算與查證依據。

3.3.3 係數蒐集與分析方法說明

由工區碳排放活動項目彙整結果顯示，主要排放項目可劃分為機具燃料(汽、柴油)使用、用電、用水、工程材料及運輸等類別；我國環保署已公布具生命週期之燃料、電力及水係數，經本計畫委員審查意見要求並與查證機構確認後，本計畫優先採用環保署公告係數。以下即分別就本計畫蒐集與分析燃料、電力、水、工程材料及運輸等碳排放係數之方法作簡要說明。

一、燃料

柴油與汽油可分於固定源使用及移動源使用兩種類別，環保署自 103 年起，於產品碳足跡計算服務平台公告各類別碳排放係數，本計畫視機運具為固定源或移動源不同類別，於每半年製作碳足跡排放清冊時引用最新所對應的數據。

二、電力

環保署自 102 年起，陸續於產品碳足跡計算服務平台公告電力碳足跡係數(2016)，本計畫每半年檢視並引用該平台最新公布數據。

三、水

產品碳足跡計算服務平台公告項目包括臺北自來水事業處及臺灣自來水股份有限公司，本計畫引用臺灣自來水碳排放係數，而該平台現階段最新公布資料為臺灣自來水(2013)數據。

四、工程材料

由工程碳排放活動項目綜整結果可知，工區所用的各式材料大多係以「產品」形式編列，絕大部分並無可直接對應的產品碳足跡係數可採用。對於此類工程材料，本計畫係透過瞭解該產品的組成、原物料種類及重量百分比等，進而由各組成的碳排放係數著手，利用 3.3.1 節所述之篩選原則逐一率定分析，進而組合出現階段最完整的排放係數，並據以計算求得該產品之碳排放係數。惟此種方法對於部分需繁複加工的材料而言，尚有計算缺漏的問題待商榷，後續將以搜尋適當程序排放係數(如焊接)加入計算的方式補足。

另本計畫 104 年起陸續取得大宗材料供應商之組織型盤查或產品碳足跡查證資料，已初步產出用於本計畫各盤查標別之鋼筋、水泥、預拌混凝土及瀝青混凝土碳足跡係數，相關彙整計算與評析結果詳本報告 3.3.9 節。

五、運輸

由於材料運輸或機具運輸之車輛並非承包商自身所有，本計畫可蒐集之排放活動資料為運輸車輛之規格、運輸距離及所載運之物品種類，在無法取得對應的能耗量(油單)情況下，係由資料庫中分別蒐集不同噸數或規格之貨(卡)車滿載貨物及空車時，每單位噸公里之碳排放係數，作為本計畫運輸部分的排放係數。資料庫部分，本計畫依據 GaBi-PE 資料庫 8 種運具規格區間，選擇符合承包商填報之運具型式的係數進行計算。

另針對混凝土、土石方車輛運輸，本計畫進行實際盤查產出蘇花改計畫各標工程使用之車輛運輸排碳係數，蒐集資料內容包括：用油量、行駛里程、載運量(重量或體積)、車次等資料。相關成果詳見 4.4.1 節。

3.3.4 碳足跡係數更新

依據第 3.3.1 節係數選用原則、蒐集及分析方法，彙整本工程工區碳足跡盤查填報資料所對應之碳排放係數如表 3.3.4-1 所示。

表 3.3.4-1 工區碳排放係數彙整

類別	項目	規格	係數單位	係數	係數來源
燃料	柴油	移動源(2016)	kgCO ₂ e/L	3.3800	環保署公告
		固定源(2016)	kgCO ₂ e/L	3.3500	
	汽油	移動源(2016)	kgCO ₂ e/L	3.0100	
		固定源(2016)	kgCO ₂ e/L	2.9300	
	重油	—	kgCO ₂ e/kg	0.4331	Gabi 6.5
能源	電力(2016 年)	—	kgCO ₂ e/度	0.6600	環保署公告
	自來水(2013 年)	—	kgCO ₂ e/度	1.6600	
運輸	全拖車、大貨車	35t	kgCO ₂ e/tkm	0.0471	Gabi 6.5
	全拖車	43t	kgCO ₂ e/tkm	0.0512	Gabi 6.5
	大貨車	11t	kgCO ₂ e/tkm	0.1343	Gabi 6.5
	大貨車	17t	kgCO ₂ e/tkm	0.0729	Gabi 6.5
	大貨車(傾卸車)	20t、21t	kgCO ₂ e/tkm	0.3330	本計畫盤查
	大貨車	26t	kgCO ₂ e/tkm	0.0598	Gabi 6.5
	小貨車	3t、3.49t	kgCO ₂ e/tkm	0.1343	Gabi 6.5
	混凝土預拌車	A3 標混凝土	kgCO ₂ e/m ³	10.0520	本計畫盤查
	火車	—	kgCO ₂ e/tkm	0.0775	運研所計畫
	船運	—	kgCO ₂ e/tkm	0.0143	Gabi 6.5
	船運	國際海運貨物運輸服務(燃料油動力)	kgCO ₂ e/tkm	0.0198	環保署公告
	空運	—	kgCO ₂ e/kgkm	0.6063	Gabi 6.5
碳匯	平地造林 CO ₂ 吸收量	平均造林密度 1,500 株/公頃	kgCO ₂ e/ha 年	17.6	林務局(2013)
混凝土 相關 材料	各標使用之混/噴凝土	各類型	詳第 3.3.8 節		本計畫盤查
	鋼筋混凝土管	—	kgCO ₂ e/kg	0.1549	文獻資料
	預鑄混凝土塊	—	kgCO ₂ e/kg	0.1430	Gabi 6.5
	無收縮摻料(MV Powder)	—	kgCO ₂ e/kg	1.2078	Gabi 6.5
水泥	水泥	II 型	kgCO ₂ e/kg	0.9060	本計畫亞泥公司盤查
	水泥熟料	—	kgCO ₂ e/kg	0.9510	本計畫亞泥公司盤查
	水泥	II 型	kgCO ₂ e/kg	0.8830	本計畫信大公司盤查

類別	項目	規格	係數單位	係數	係數來源
	水泥熟料	—	kgCO ₂ e/kg	0.9260	本計畫信大公司盤查
瀝青	瀝青混凝土	1/2 密級配	kgCO ₂ e/kg	0.0833	本計畫 A3 標宜陽盤查
	瀝青混凝土	3/4 密級配	kgCO ₂ e/kg	0.0754	本計畫 A3 標宜陽盤查
	瀝青混凝土	25.0 粗級配	kgCO ₂ e/kg	0.0746	本計畫 A3 標宜陽盤查
	瀝青混凝土	3/4 密級配	kgCO ₂ e/kg	0.0850	本計畫 A2 標鑫龍盤查
	瀝青混凝土	25.0 粗級配	kgCO ₂ e/kg	0.0854	本計畫 A2 標鑫龍盤查
	瀝青混凝土	3/4 密級配	kgCO ₂ e/kg	0.0834	本計畫 A1 標鑫龍盤查
	瀝青混凝土	25.0 粗級配	kgCO ₂ e/kg	0.0912	本計畫 A1 標鑫龍盤查
	瀝青混凝土	再生瀝青	kgCO ₂ e/kg	0.0636	本計畫 C1A 標陸輝計算
瀝青粒料骨材	瀝青	—	kgCO ₂ e/kg	0.3333	Gabi 6.5
	乳化瀝青	—	kgCO ₂ e/L	0.1313	Gabi 6.5
	級配	—	kgCO ₂ e/kg	0.0344	Gabi 6.5
	輕骨材	—	kgCO ₂ e/kg	0.0052	Gabi 6.5
	砂	—	kgCO ₂ e/kg	0.0041	Gabi 6.5
竹節鋼筋	竹節鋼筋	SD420W	kgCO ₂ e/kg	0.9790	本計畫宜聯宜蘭廠盤查(103年)
	竹節鋼筋	SD280W	kgCO ₂ e/kg	0.8340	國內實盤東和桃園廠(103年)
	竹節鋼筋	SD420W	kgCO ₂ e/kg	0.8350	國內實盤東和桃園廠(103年)
	竹節鋼筋	SD420W	kgCO ₂ e/kg	0.8090	本計畫羅東鋼鐵廠盤查(104年)
金屬	不鏽鋼板	—	kgCO ₂ e/kg	3.4663	Gabi 6.5

類別	項目	規格	係數單位	係數	係數來源
	銅線	—	kgCO ₂ e/kg	3.8240	Gabi 6.5
	鋼材	—	kgCO ₂ e/kg	1.9714	Gabi 6.5
	鋼索	—	kgCO ₂ e/kg	2.1598	Gabi 6.5
	鋼管(UO)	—	kgCO ₂ e/kg	2.4623	Gabi 6.5
	鋼管(welded)	—	kgCO ₂ e/kg	2.3188	Gabi 6.5
	鋼管(德國)	—	kgCO ₂ e/kg	2.0480	Gabi 6.5
	鋼線	—	kgCO ₂ e/kg	0.6250	Gabi 6.5
	熱軋鋼板	—	kgCO ₂ e/kg	1.9460	Gabi 6.5
	鍍鋅鋼捲(板)	—	kgCO ₂ e/kg	2.4736	Gabi 6.5
	鍍鋅薄鋼管	—	kgCO ₂ e/kg	2.4059	Gabi 6.5
	鍛鋼	—	kgCO ₂ e/kg	2.3133	Gabi 6.5
	鑄鐵	—	kgCO ₂ e/kg	2.2514	Gabi 6.5
	鋁(擠壓成型材料)	—	kgCO ₂ e/kg	9.0114	Gabi 6.5
	鋁(鑄件)	—	kgCO ₂ e/kg	10.2038	Gabi 6.5
	鋁板	—	kgCO ₂ e/kg	8.8553	Gabi 6.5
廢水處理材料	高分子(聚丙烯醯胺)	—	kgCO ₂ e/kg	3.4000	Gabi 6.5
	氫氧化鈉(98%)	—	kgCO ₂ e/kg	0.1280	Gabi 6.5
	硫酸(50%)	—	kgCO ₂ e/kg	0.1293	Gabi 6.5
	硫酸(96%)	—	kgCO ₂ e/kg	0.2581	Gabi 6.5
	多元聚氯化鋁	—	kgCO ₂ e/kg	1.6440	Gabi 6.5
非金屬	乙炔(合併生產及燃燒)	—	kgCO ₂ e/kg	6.0800	環保署公告(104年)
	二氧化矽	—	kgCO ₂ e/kg	6.2002	文獻資料
	乳膠炸藥	—	kgCO ₂ e/kg	2.5162	Simapro7.2
	非鹼性速凝劑(硫酸鋁鹽粉末)	—	kgCO ₂ e/kg	0.4930	Simapro7.2
	高密度聚乙烯(HDPE)	—	kgCO ₂ e/kg	1.5955	Gabi 6.5
	PAC	—	kgCO ₂ e/kg	1.6440	Gabi 6.5
	PC	—	kgCO ₂ e/kg	4.2868	Gabi 6.5
	PE	—	kgCO ₂ e/kg	1.5955	Gabi 6.5
	PETN	—	kgCO ₂ e/kg	7.5000	Gabi 6.5
	PP 聚丙烯(顆粒)	—	kgCO ₂ e/kg	1.7264	Gabi 6.5
	PVC 材質	—	kgCO ₂ e/kg	2.1303	Gabi 6.5
	PVC 膠管	—	kgCO ₂ e/kg	3.2336	Gabi 6.5
	PU 聚氨基甲酸乙酯樹脂	—	kgCO ₂ e/kg	3.1700	Gabi 6.5
二乙醇胺	—	kgCO ₂ e/kg	2.7400	Gabi 6.5	

類別	項目	規格	係數單位	係數	係數來源
	二氧化碳	—	kgCO ₂ e/kg	6.2002	Gabi 6.5
	下水道 PVC 管	—	kgCO ₂ e/kg	2.7441	Gabi 6.5
	土壤	—	kgCO ₂ e/kg	0.0230	Gabi 6.5
	不織布	—	kgCO ₂ e/kg	1.7264	Gabi 6.5
	不飽和聚酯樹脂	—	kgCO ₂ e/kg	5.5000	環保署公告
	水玻璃	—	kgCO ₂ e/kg	1.0941	Gabi 6.5
	去漬油	—	kgCO ₂ e/kg	0.5153	Gabi 6.5
	再生料-廢玻璃容器-玻璃砂	—	kgCO ₂ e/kg	0.1200	Gabi 6.5
	油毛氈	—	kgCO ₂ e/kg	0.3662	Gabi 6.5
	油漆	—	kgCO ₂ e/kg	2.4469	Gabi 6.5
	矽膠	—	kgCO ₂ e/kg	6.2000	Gabi 6.5
	保麗龍	—	kgCO ₂ e/kg	2.8418	Gabi 6.5
	交連聚乙烯(XLPE)	—	kgCO ₂ e/kg	2.7700	Gabi 6.5
	皂土	—	kgCO ₂ e/kg	0.5215	Gabi 6.5
	矽	—	kgCO ₂ e/kg	4.9741	Gabi 6.5
	矽膠	—	kgCO ₂ e/kg	6.2000	Gabi 6.5
	玻璃纖維	—	kgCO ₂ e/kg	1.9688	Gabi 6.5
	高分子(聚丙烯醯胺)	—	kgCO ₂ e/kg	3.4000	Gabi 6.5
	高密度聚乙烯(HDPE)	—	kgCO ₂ e/kg	1.5955	Gabi 6.5
	聚對苯二甲酸乙二酯(PET)	—	kgCO ₂ e/kg	4.3652	Gabi 6.5
	聚對苯二甲酸丁二酯(PBT)	—	kgCO ₂ e/kg	4.4500	Gabi 6.5
	銅線	—	kgCO ₂ e/kg	3.8240	Gabi 6.5
	容器玻璃	—	kgCO ₂ e/kg	0.9026	Gabi 6.5
	氧氣	—	kgCO ₂ e/kg	0.1600	Gabi 6.5
	焊條	—	kgCO ₂ e/kg	20.6000	Gabi 6.5
	抄紙(表面紙板)	—	kgCO ₂ e/kg	1.1640	環保署公告
	玻璃纖維絲	—	kgCO ₂ e/kg	2.7600	環保署公告
	高密度聚乙烯	—	kgCO ₂ e/kg	2.2500	環保署公告
	焊條	—	kgCO ₂ e/kg	20.6000	環保署公告
	聚醯胺 6	—	kgCO ₂ e/kg	3.8300	環保署公告
	纖維水泥板/矽酸鈣板	—	kgCO ₂ e/kg	1.1200	環保署公告
	氮氣	—	kgCO ₂ e/kg	0.7142	Gabi 6.5
	雷管	—	kgCO ₂ e/kg	0.1010	Gabi 6.5
	聚氨酯樹脂	—	kgCO ₂ e/kg	20.3696	Gabi 6.5
	潤滑油	—	kgCO ₂ e/kg	1.0527	Gabi 6.5

類別	項目	規格	係數單位	係數	係數來源
	壓克力	—	kgCO ₂ e/kg	5.4819	Gabi 6.5
	環氧樹脂	—	kgCO ₂ e/kg	8.2500	Gabi 6.5
	膠圈(SBR)	—	kgCO ₂ e/kg	3.8672	Gabi 6.5
	橡膠	—	kgCO ₂ e/kg	3.3421	Gabi 6.5
	磚/板岩磚	—	kgCO ₂ e/kg	0.1967	Gabi 6.5

另整理表 3.3.4-1 中材料係數主要對應之工程材料或工項用途如表 3.3.4-2。

表 3.3.4-2 工區碳排放係數主要用途彙整

材料類別	係數名稱	主要使用材料
混/噴凝土 及相關材料	混/噴凝土	各標所使用之混/噴凝土
	二型水泥-亞泥	水泥
	二型水泥-信大	水泥
	級配	碎石級配、透水粒料
	輕骨材	輕骨材
	砂	砂、細級配
	無收縮摻料(MV Powder)	MV Powder
瀝青相關材料	宜陽/鑫龍瀝青混凝土	A1、A2 及 A3 標使用瀝青混凝土
	乳化瀝青	黏層及透層
金屬材料	SD420W 竹節鋼筋-宜聯宜蘭廠	竹節鋼筋、桁型支保
	SD420W 竹節鋼筋-東和桃園廠	竹節鋼筋、桁型支保
	SD420W 竹節鋼筋-羅東鋼鐵廠	竹節鋼筋
	鍍鋅鋼板	不鏽鋼板
	鍛鋼	角鋼、鋼結構
	鑄鐵	五金料件、螺絲、螺栓
	鋼材	桁型支保、鋼結構
	鋼索	預力鋼鍵
	鋼管(UO)	桁型支保、管
	鋼線	免拆模板、點焊網
熱軋鋼板	桁型支保、H 型鋼支保、鋼板	
水處理材料	高分子(聚丙烯醯胺)	水處理藥劑
	氫氧化鈉(98%)	水處理藥劑
	硫酸(50%)	水處理藥劑

材料類別	係數名稱	主要使用材料
非金屬材料	硫酸(96%)	水處理藥劑
	氯氣	水處理藥劑
	乙炔(合併生產及燃燒)	乙炔
	二乙醇胺	二乙醇胺
	PE	蘭白帆布、預力地錨、塑膠管架
	PETN	炸藥、導爆索
	PVC 材質	PVC 接頭、
	下水道 PVC 管	各類 PVC 管材
	土壤	土壤
	不織布	不織布
	水玻璃	水玻璃
	去漬油	去漬油
	自來水	水、速凝劑、瞬結劑
	多元聚氯化鋁	PUR、聚氨酯樹脂
	乳膠炸藥	乳膠炸藥
	油毛氈	油毛氈
	油漆	所有類別油漆
	非鹼性速凝劑(硫酸鋁鹽粉末)	速凝劑
	保麗龍	填縫板
	容器玻璃	玻璃、瞬結劑
	氧氣	氧氣
	銅線、PET、XLPE	電纜線材
	高密度聚乙烯(HDPE)	HDPE 管材
	雷管	雷管
	聚氨酯樹脂	聚氨酯樹脂
	二氧化矽	瞬結劑
	潤滑油	潤滑油及機具油
	橡膠	橡膠、盤式支承
	磚	磚
環氧樹脂	樹脂、填縫劑	

3.3.5 支保製程係數計算結果

桁架支保為隧道工程或井式基礎需使用的工程材料之一，蘇花改開工迄今，A1 標至 A3 標、C1A 標及 C2 標皆有使用支保，本工程之供應商目前為威建及弘浚 2 間支保供應商，以下首先表列各標支保使用工項及廠商於表 3.3.5-1，隨後分節說明資料蒐集內容及排碳量分析結果，並說明蘇花改各標排碳量變化。

表 3.3.5-1 各標支保使用情形

標別	井基支保	廠商	隧道支保	廠商
A1 標	有	弘浚	有	弘浚
A2 標	有	弘浚	有	威建
A3 標	有	弘浚	有	弘浚
C1A 標	無	—	有	弘浚
C2 標	無	—	有	威建

一、背景及蒐集資料範圍

本計畫土建工程使用之支保供應商共 2 間，包括為威建及弘浚，本計畫自工程開始即利用各式支保施工圖資料，計算支保主要原料之排碳量，經與查驗機構討論及確認，支保除了主要原料應納入計算外，製程所造成之排碳亦須納入計算，故本計畫於 106 年 12 月開始拜訪兩供應商，並進廠討論相關收集方式，在本年度(107)取得供應商所提供之相關資料後，計算製程活動量之排碳量，並產出單位製造排碳量，資料收集範疇如表 3.3.5-2，其中除了製程排碳外，本計畫一併說明計算各標支保在生產過程中，原料運輸之排放量。

表 3.3.5-2 支保排碳量計算範疇

原料(A1)		原料運輸(A2)		製造(A3)	
(已計算)		(本次估算)		(本次計算)	
項目	資料來源	項目	資料來源	項目	資料來源
竹節鋼筋	支保施工圖	竹節鋼筋	供應商提供	用電	供應商提供
鋼板	支保施工圖	鋼板	供應商提供	焊條	供應商提供

鋼管	支保施工圖	鋼管	供應商提供	CO ₂	供應商提供
鑄鐵	支保施工圖	鑄鐵	供應商提供	—	—

備註：表列(A1-A3)係對應歐盟標準 EN 15804 之表示方法。

(一)原料階段排碳

本計畫開始初期，即利用各式支保施工圖資料計算以組為單位之竹節鋼筋、鋼板、鋼管及鑄鐵重量，並配合相對應之碳足跡係數，計算支保原料段之係數。

(二)原料運輸階段排碳

本計畫於 106 年 12 月開始拜訪蘇花改兩支保供應商，取得主要材料包括竹節鋼筋、鋼板、鋼管及鑄鐵主要來源，並以 Google map 估算距離，相應距離如表 3.3.5-3 所示，本計畫配合相對應之運輸係數，即可估算支保於原料運輸階段之排碳。

表 3.3.5-3 支保原料運輸距離計算

威建			弘浚		
原料	供應商	距離(km)	原料	供應商	距離(km)
竹節鋼筋	豐興	115	竹節鋼筋	豐興	115
鋼板	中鋼	134	鋼板	志成	233
鋼管	中鋼	134	鋼管	高成	91
鑄鐵	中鋼	134	鑄鐵	高成	91

(三)製造階段排碳

前期報告中說明製造階段蒐集兩個承包商於支保製造過程中單位長度(m)支保所分配之用電、焊條及 CO₂ 投入量，兩廠 106 年度投入量資料如表 3.3.5-4，惟 A 段查證階段查驗人員建議及考量支保光面鋼筋使用量較支保長度能反映製造階段能資源及材料投入量，故後續計算將以支保光面鋼筋使用量作為分配依據，投入量資料如表 3.3.5-5，本節將保留依支保長度分配之數據，並說明兩計算方式之結果差異。

表 3.3.5-4 支保製造投入量資料(支保長度分配)

廠商	分配能耗量 (度)	焊條投入量 (kg)	CO ₂ 使用量 (kg)	支保總產量 (m)	單位能耗 (度/m)	單位焊條量 (kg/m)	單位 CO ₂ 量 (kg/m)
威建	100,140	13,200	8,200	52,557	1.905	0.251	0.156
弘浚	104,441	10,368	21,636	37,642	2.775	0.275	0.575

表 3.3.5-5 支保製造投入量資料(支保光面鋼筋使用量分配)

廠商	分配能耗量 (度)	焊條投入量 (kg)	CO ₂ 使用 量 (kg)	光面鋼筋 使用量(kg)	單位能耗 (度/kg)	單位焊條量 (kg/kg)	單位 CO ₂ 量 (kg/kg)
威建	100,140	13,200	8,200	52,557	0.103	0.015	0.029
弘浚	104,441	10,368	21,636	763,290	0.147	0.014	0.028

二、排碳量分析結果

排碳量分析結果如表 3.3.5-6(以支保長度分配)及 3.3.5-7(以支保光面鋼筋重量分配)，其中原料排碳量已於各年度清冊計算，在此則不贅述，而原料運輸排碳因各標皆有不同規格支保，而不同規格所計算之原料運輸排碳量皆不相同，本計畫將於後節說明排碳量計算結果，本節僅說明製造過程之單位排碳量計算結果，經計算支保單位長度威建支保之製造過程單位排碳量為 3.3837 kgCO₂e/m；弘浚則為 4.5682 kgCO₂e/m。單位支保光面鋼筋重量之排碳量為 0.213 kgCO₂e/kg；弘浚則為 0.2320 kgCO₂e/kg。

表 3.3.5-6 支保排碳量分析結果(支保長度分配)

廠商	項目	單位使用量 (unit/m)	係數 (kgCO ₂ e/unit)	單位排碳量 (kgCO ₂ e/m)	製造排放量係數 (kgCO ₂ e/m)
威建	用電能耗	1.905	0.66	1.2573	3.3837
	焊條使用	0.251	7.85	1.9703	
	CO ₂ 使用	0.156	1	0.156	
弘浚	用電能耗	2.775	0.66	1.8312	4.5682
	焊條使用	0.275	7.85	2.1622	

廠商	項目	單位使用量 (unit/m)	係數 (kgCO ₂ e/unit)	單位排碳量 (kgCO ₂ e/m)	製造排放量係數 (kgCO ₂ e/m)
	CO ₂ 使用	0.575	1	0.575	

表 3.3.5-7 支保排碳量分析結果(支保光面鋼筋使用量分配)

廠商	項目	單位使用量 (unit/m)	係數 (kgCO ₂ e/unit)	單位排碳量 (kgCO ₂ e/kg)	製造排放量係數 (kgCO ₂ e/kg)
威建	用電能耗	0.103	0.66	0.0678	0.2130
	焊條使用	0.015	7.85	0.1160	
	CO ₂ 使用	0.029	1	0.0293	
弘浚	用電能耗	0.147	0.66	0.0971	0.2320
	焊條使用	0.014	7.85	0.1066	
	CO ₂ 使用	0.028	1	0.0283	

三、蘇花改各標納入支保原料運輸及製造過程排碳量變化分析結果

本計畫依據蘇花改各標結算資料或請款資料，並參考本計畫所產出之排放清冊，計算支保之排碳量結果及差異，結果詳表 3.3.5-8，依據工程進度不同，各標排碳量變化約在 93.89 tCO₂e 至 662.40 tCO₂e 下，另統計支保工程材料排碳各階段之排碳量占比於圖 3.3.5-1，由圖可知，雖然納入原料運輸段及製造段排放對於整體排碳量或一及數據占比提升無明顯影響，但製造階段之排碳量已占整體支保製程排碳的 15%，占比相當顯著不應省略，代表支保製造過程及原料運輸階段之排碳，應該納入盤查，確保支保係數之完整性。

表 3.3.5-8 支保排碳量變化分析結果

標別	原料排碳 (tCO ₂ e)	原料運輸排碳 (tCO ₂ e)	製造排碳 (tCO ₂ e)	變化量 ^{*1} (tCO ₂ e)	整體支保排碳 (tCO ₂ e)
A1 標	910.04	9.01	102.09	160.89	1,070.93
A2 標	3,365.26	24.14	427.59	486.27	3,851.53
A3 標	601.27	5.25	84.95	93.89	695.16
C1A 標	2,221.86	18.77	171.96	190.73	2,412.59
C2 標	953.39	8.02	172.46	180.49	1,133.88

*1：計算原料運輸及製造排碳。

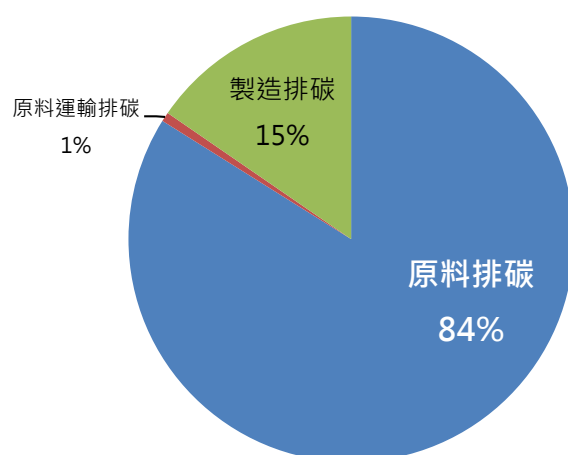


圖 3.3.5-1 支保各階段排碳占比

3.3.6 電纜係數計算結果

一、背景及蒐集資料範圍

本計畫目前使用之電線電纜供應商共 2 家，包括 B5 標機電工程供應商億泰電纜廠，及 E1 標交控工程供應商大同桃園電線電纜廠，B5 標自 105 年 12 月起開始蒐集活動量資料，而 E1 標則蒐集 105 年度活動量資料，有關資料收集範疇如圖 3.3.6-1。

電線電纜之原物料使用係依電線電纜之用途而異，各式規格之電線電纜皆包含導體及絕緣材質，另有外披、填充物、紮帶及耐火材質等原物料；各式原物料之供應商包含國外及國內廠商，此原物料之運輸包含海外運輸及國內運輸；電線電纜製程投入除包含前述原物料，於能資源使用係以電力為主要耗能來源，製程亦有自來水、液態氮及瓦斯桶之使用，此外廠內機具消耗之柴油也一併蒐集。

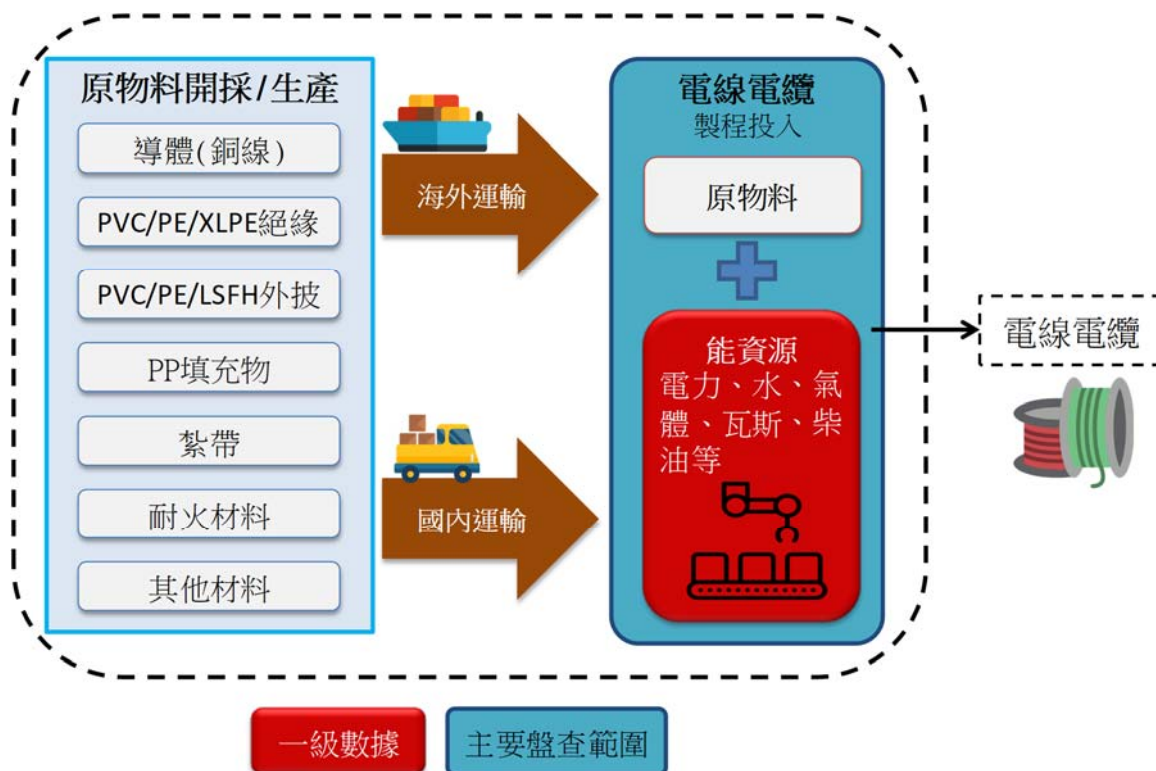


圖 3.3.6-1 電線電纜廠盤查範圍

二、盤查蒐集資料內容

本計畫蒐集億泰電纜廠各式電線電纜之總產能及B5標產品之產能；於原物料使用部分蒐集單位長度之組成及重量，並依此作為電線電纜之原物料使用量；原物料運輸請供應商提供主要原物料之進口國家，並依此假設各海運之運輸距離，其餘國內運輸原物料則保守以 80km 設定陸運運輸距離；能資源使用為供應商提供每季之電力、自來水、液態氮及瓦斯桶之使用量。

大同桃園電線電纜廠於原物料部分，蒐集各式規格之組成、組要材質及單位重量；原物料運輸蒐集供應商名稱、供應商地址、運輸情境(車輛規格)、是否為國外進口(含出口國、抵達港)，並依前述資訊假設運輸距離；能資源使用項目包括電力、自來水、液化石油氣及柴油。

三、碳足跡係數計算結果

本計畫依據前述蒐集內容，配合各式原物料及能資源碳足跡係數，計算 B5 標及 E1 標電線電纜之碳足跡，計算結果如表 3.3.6-1 與 3.3.6-2

所示。由計算結果得知，隨著電線電纜截面積或芯線之增加，碳足跡亦有提升之情形。

廠內能資源之排碳量分配方式，億泰電纜係依廠內所有規格之產品總長度進行分配，計算得單位長度之能資源排碳量為 0.34 kgCO₂e/m。能資源排碳占比分析如圖 3.3.6-2，電力為廠內能資源的主要排碳來源約有 96%，其餘氣體、柴油及瓦斯等加總僅約 4%。

大同桃園電線電纜廠能資源排碳量之分配，考量產量以公尺計時，因線材粗細差異無法完全反映排碳量，故以銅線或光纖心線投入量作為分配依據，進而計算出製造過程單位排碳量(kgCO₂e/kg)，並以此分別計算出各式電線電纜之碳足跡；另外，將各式產品進行分類並取平均值後(如表 3.3.6-3)，發現單位排碳量由高至低依序為電纜、電線、光纜，而此三類產品原物料、運輸及能資源排碳占比如圖 3.3.6-3~3.3.6-5。

表 3.3.6-1 B5 標電線電纜碳足跡

名稱	規格/類別	原物料 (kgCO ₂ e/m)	運輸 (kgCO ₂ e/m)	能資源 ^a (kgCO ₂ e/m)	碳足跡 ^b (kgCO ₂ e/m)
PVC 電線	600V 2~100mm ²	0.13~3.71	0.01~0.25	0.34	0.48~4.30
PVC/PVC 電纜	600V 3/C 3.5mm ²	0.54	0.03		0.91
XLPE 電纜	600V 4/C 5.5~8mm ²	1.12~1.56	0.06~0.09		1.52~1.99
XLPE/PVC 被覆 電力電纜	600V 1/C 5.5~250mm ²	0.24~9.38	0.02~0.63		0.60~10.35
	600V 3/C 3.5~22mm ²	0.58~2.98	0.03~0.18		0.95~3.50
XLPE/PVC 耐燃 電纜	600V 1/C 3.5mm ²	0.28	0.01		0.63
	600V 3/C 5.5mm ²	1.09	0.05		1.49
XLPE/PVC 電力 電纜	8KV 1/C 100~250mm ²	4.69~10.45	0.29~0.68		5.31~11.47
XLPE/PVC 鍍錫 銅線繞捲電纜	25KV 1/C 60~250mm ²	9.84~14.23	0.33~0.79		10.51~15.35
XLPE/PVC 耐燃 電纜	600V 4/C 5.5~14mm ²	1.40~2.77	0.07~0.16		1.81~3.26
XLPE/LSFH 耐燃	600V 1/C	0.29~9.81	0.01~0.64		0.64~10.79

名稱	規格/類別	原物料 (kgCO ₂ e/m)	運輸 (kgCO ₂ e/m)	能資源 ^a (kgCO ₂ e/m)	碳足跡 ^b (kgCO ₂ e/m)
電纜	3.5~250mm ²				
	600V 2/C 2~30mm ²	0.43~2.79	0.01~0.15		0.78~3.28
	600V 4/C 2~22mm ²	0.71~4.11	0.03~0.23		1.07~4.68
	600V 5/C 14mm ²	3.48	0.19		4.00
	600V 7/C 2mm ²	1.12	0.05		1.50
	600V 12/C 2mm ²	1.88	0.08		2.29
	600V 16/C 2mm ²	2.45	0.10		2.89
XLPE/LSFH 耐熱 電纜	600V 2/C 2mm ²	0.29	0.01		0.65
	600V 6/C 2mm ²	0.69	0.04		1.07
	600V 10/C 2mm ²	1.18	0.06		1.58
XLPE/LSFH 電力 延燃電纜	600V 1/C 3.5~200mm ²	0.18~7.38	0.01~0.49		0.53~8.21
	600V 3/C 2mm ²	0.39	0.02		0.74
	600V 4/C 14~22mm ²	2.56~3.87	0.15~0.23		3.06~4.44
	600V 5/C 14mm ²	3.16	0.19		3.69
XLPE/LSFH 銅網 隔離電纜	600V 4/C 1.25mm ²	0.46	0.01		0.82
	600V 12/C 1.25mm	1.05	0.04		1.43
XLPE/LSFH 銅網 隔離耐燃電纜	600V 2/C 1.25mm ²	0.54	0.01		0.89
	600V 3/C 1.25mm ²	0.98	0.03		1.34
PE/PVC 數位電纜	0.5-4P-PE-PVC	0.12	0.01		0.46
PE/PVC 屋內電纜	10P~100P	0.25~1.78	0.01~0.11		0.60~2.23
UL 2464 CSA 電 腦線	26AWG-4P	0.11	0.00		0.45
全波段無金屬充 膠單模光纜	2C/6C	0.20	0.01		0.56

a：資料區間為 106 年 4~12 月

b：碳足跡=原物料+運輸+能資源

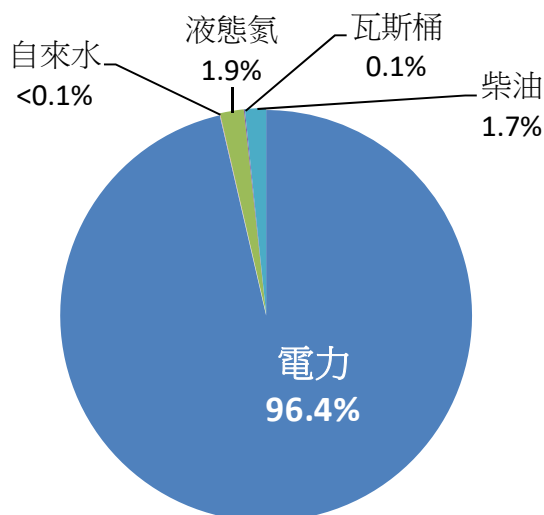


圖 3.3.6-2 B5 標電線電纜廠製程能資源排碳占比

表 3.3.6-2 E1 標電線電纜碳足跡

碳盤查編號	名稱	規格	原物料 (kgCO _{2e} /m)	運輸 (kgCO _{2e} /m)	能資源 (kgCO _{2e} /m)	碳足跡 (kgCO _{2e} /m)
MA-ZC-大同 D003B	600V PVC 電 線	5.5mm ² ×1 C	0.2318	0.0003	0.0005	0.2326
MA-ZC-大同 D004B	600V PVC 電 線	8mm ² ×1C	0.3338	0.0005	0.0007	0.3349
契約項目(尚未 使用)	600V PVC 電 線	60mm ² ×1 C	2.3400	0.0038	0.0052	2.3490
MA-ZC-大同 C002H	600V XLPE 絕 緣低煙無毒被 覆延燃電纜(多 芯)	3.5mm ² ×2 C	0.5893	0.0022	0.0006	0.5921
MA-ZC-大同 C004H	600V XLPE 絕 緣低煙無毒被 覆延燃電纜(多 芯)	8mm ² ×2C	1.0275	0.0034	0.0014	1.0323
MA-ZC-大同 D005B	600V XLPE 電 纜(單芯)	14mm ² ×1 C	0.6132	0.0020	0.0012	0.6164
MA-ZC-大同 D006B	600V XLPE 電 纜(單芯)	22mm ² ×1 C	0.9125	0.0028	0.0019	0.9172
MA-ZC-大同	600V XLPE 電	38mm ² ×1	1.5049	0.0046	0.0032	1.5127

碳盤查編號	名稱	規格	原物料 (kgCO ₂ e/m)	運輸 (kgCO ₂ e/m)	能資源 (kgCO ₂ e/m)	碳足跡 (kgCO ₂ e/m)
D007B	纜(單芯)	C				
契約項目(尚未使用)	600V XLPE 電纜(單芯)	150mm ² ×1 C	5.9962	0.0147	0.0135	6.0244
MA-ZC-大同 C002D	600V XLPE 電纜(多芯)	3.5mm ² ×2 C	0.4309	0.0038	0.0006	0.4354
MA-ZC-大同 C003D	600V XLPE 電纜(多芯)	5.5mm ² ×2 C	0.5943	0.0043	0.0010	0.5995
MA-ZC-大同 C004D	600V XLPE 電纜(多芯)	8mm ² ×2C	0.9288	0.0080	0.0014	0.9382
MA-ZC-大同 C005D	600V XLPE 電纜(多芯)	14mm ² ×2 C	1.4588	0.0136	0.0025	1.4749
MA-ZC-大同 C006D	600V XLPE 電纜(多芯)	22mm ² ×2 C	2.1131	0.0187	0.0039	2.1357
MA-ZC-大同 C007D	600V XLPE 電纜(多芯)	38mm ² ×2 C	3.5462	0.0302	0.0066	3.5829
MA-ZC-大同 A001D	全波段無金屬單模光纜	12 芯	0.2249	0.0003	0.0035	0.2288
契約項目(尚未使用)	全波段無金屬單模光纜	24 芯	0.2188	0.0003	0.0070	0.2261
MA-ZC-大同 B001D	全波段無金屬單模光纜	48 芯	0.2957	0.0003	0.0141	0.3101
契約項目(尚未使用)	全波段無金屬單模光纜	96 芯	0.3656	0.0004	0.0282	0.3942
MA-ZC-大同 G011H	600V XLPE 電纜(多芯)	0.9mm ² ×6 C	0.6202	0.0028	0.0008	0.6238
MA-ZC-大同 F002H	600V XLPE 電纜(多芯)	3.5mm ² ×3 C	0.8056	0.0034	0.0012	0.8102
MA-ZC-大同 G001H	6 芯單一束管 FRP 自持型耐燃耐彎曲單模光纜	6 芯	0.1174	0.00003	0.0018	0.1192
MA-ZC-大同 E008H	低煙無毒通信線(CAT.6, 含接頭)	—	0.1171	0.0008	0.0002	0.1181

表 3.3.6-3 E1 標電線電纜碳足跡平均值

階段 產品	原物料 (kgCO ₂ e/m)	運輸 (kgCO ₂ e/m)	能資源 (kgCO ₂ e/m)	碳足跡 (kgCO ₂ e/m)
電纜	1.1650	0.0077	0.0020	1.1747
電線	0.2276	0.0006	0.0005	0.2286
光纜	0.2127	0.0002	0.0065	0.2194

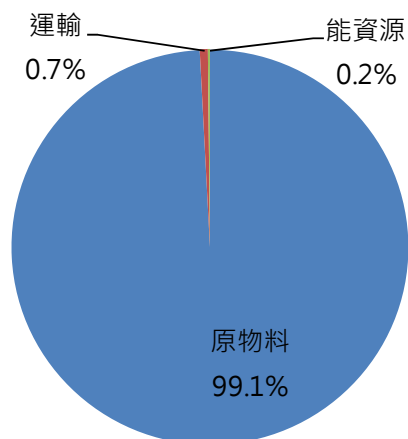


圖 3.3.6-3 E1 標電纜碳足跡排碳占比

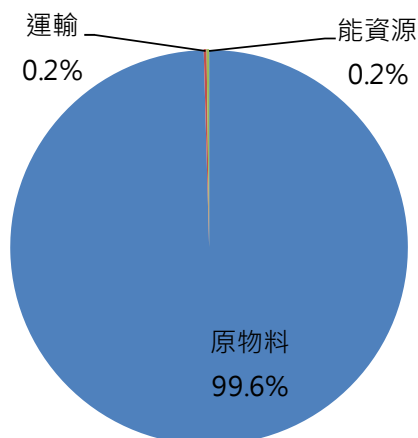


圖 3.3.6-4 E1 標電線碳足跡排碳占比

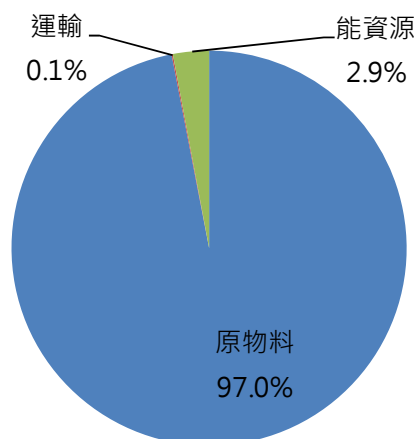


圖 3.3.6-5 E1 標光纜碳足跡排碳占比

3.3.7 瀝青混凝土

蘇花改開工迄今，已收集 2 家瀝青混凝土廠資料、推估 1 家瀝青混凝土廠現地鋪築排碳並計算排碳係數，以下先說明本計畫蒐集的資料內容，並更新 A2 標至竣工之瀝青混凝土盤查資料。

一、資料蒐集內容

經本計畫與瀝青供應商協商，廠商承諾持續提供在 A2 標現場施作期間內廠區及現地機具油耗量與原料使用量，項目如表 3.3.7-1 及表 3.3.7-2 所示。

目前供應商僅已提供 25mm 粗級配(以下簡稱粗級配)之資料，係因工程仍持續進行中，本計畫後續將持續更新資料，並增加其他規格瀝青混凝土係數。目前供應商提供之原料投入量項目有：8 分石、6 分石、3 分石、2 分石、砂、回收粉及瀝青；合計各項目重量即為本次盤查結果中用以計算單位產品碳排放的產品重量，如表 3.3.7-1。表 3.3.7-2 則為廠區及現地施作能耗及材料活動量，包括用電、用油(重油，柴油尚未提供)及鋪築材料使用量。

二、各生命週期階段排碳量分析

由前述活動資料蒐集結果配合適當之排碳係數，瀝青混凝土各階段

排碳量分析如後，本報告說明粗集配瀝青混凝土係數。本報告將分原料、原料運輸、產品製造、產品運送及現場施作各階段進行說明。

(一)原料階段

密集配瀝青混凝土於原料階段之單位重量排放量 0.0368 kgCO₂e/kg，各項原料之分配比例如圖 3.3.7-1 所示。以瀝青占比 38% 最高，各項粗骨材之占比總計約在 58%，砂則為 4% 左右，粉料則因為使用數量較低，占比小於 0.1%。

表 3.3.7-1 瀝青鋪築原料用量(鑫龍)

產品類別：3/4"密級配								(單位：ton)
月份	8分	6分	3分	2分	砂	回收粉	瀝青	合計
106.12~107.01	-	1,951.71	1,456.06	2,242.14	3,938.02	80.11	485.16	18,477.96

表 3.3.7-2 瀝青鋪築廠區及現地施作能耗及材料活動量(鑫龍)

產品類別：3/4"密級配						
月份	用電 (度)	重油 (L)	柴油 (L)	運具用油 (L)	鋪築機具用 油(L)	CRS-1 (T)
106.12~107.01	10,087.20	114,829.00	未提供	7,168.00	3,730.00	16.58

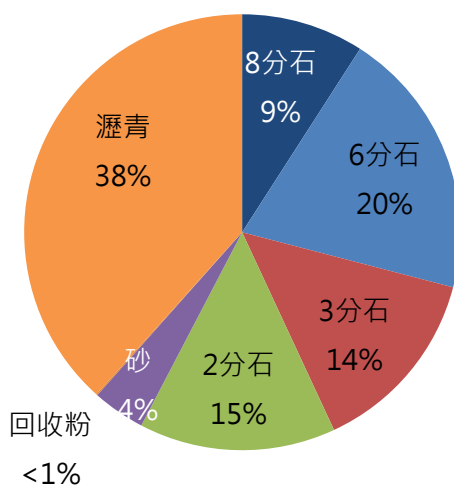


圖 3.3.7-1 瀝青混凝土原料單位排碳量占比(鑫龍)

(二)原料運輸階段

此階段係依照供應商所提供資料：級配料、砂及粉料於川寶公司運至廠區，距離約 25.6 km；瀝青則由中油桃園廠提供，運輸距離約 103 km；回收粉則為安榮礦石供應，距離約 0.21 km，配合瀝青混凝土原料使用量計算運輸排碳。結果顯示粗級配之瀝青混凝土原料運輸排碳量為 0.0015 kgCO₂e/kg。

(三)產品製造階段

此階段則是考慮瀝青混凝土生產過程之能資源使用排碳，包括電力、重油及柴油，惟供應商無法提出廠區柴油加油量資料，故目前僅計算電力及重油兩部份，經供應商提供各產品之單位重量能耗量，配合表 3.3.7-8 所列係數，加總後則粗級配瀝青混凝土之製造階段單位排碳量為 0.0454 kgCO₂e/kg。

(四)產品運送階段

由表 3.3.7-3 供應商於現場進行瀝青鋪築時使用之運具用油量計算產品運輸階段單位排碳量，可求得粗級配之瀝青混凝土於產品運輸階段單位排碳量約為 0.0024 kgCO₂e/kg。

(五)現場施作階段

由表 3.3.7-3 供應商於瀝青混凝土於現地施作時使用機具用油量及鋪築材料 CRS-1 使用量，計算粗級配瀝青混凝土於現場施作階段之排碳量為 0.0015 kgCO₂e/kg。

二、生命週期排碳量

彙整前述鑫龍瀝青混凝土生命週期各階段(原料運輸、原料使用、製程、產品運輸及現場施作)單位排碳量如表 3.3.7-3，表最右欄各階段單位排碳量加總後即為瀝青混凝土生命週期單位排碳量為 0.0876 kgCO₂e/kg。其中，製程部分碳足跡約為 0.0833 kgCO₂e/kg、使用排放部分為 0.0039 kgCO₂e/kg。

另就排碳占比進行分析，結果如圖 3.3.7-2，可知瀝青混凝土主要排碳貢獻源為產品製造及原料開採階段，兩者加總即達 94%；產品運輸及

原料運輸各約占 3%及 2%左右，現場施作約占 1%。

表 3.3.7-3 瀝青混凝土生命週期排碳量(鑫龍)

項目	製程排放(A1-A3)			使用排放(A4-A5)		合計
	原料	原料運輸	製造	產品運輸	施作	
3/4 密級配	0.0368	0.0015	0.0454	0.0024	0.0015	0.0876
	0.0833			0.0039		

備註：(1)表列(A1-A3)及(A4-A5)係對應歐盟標準 EN 15804 之表示方法。

(2)單位：kgCO₂e/kg。

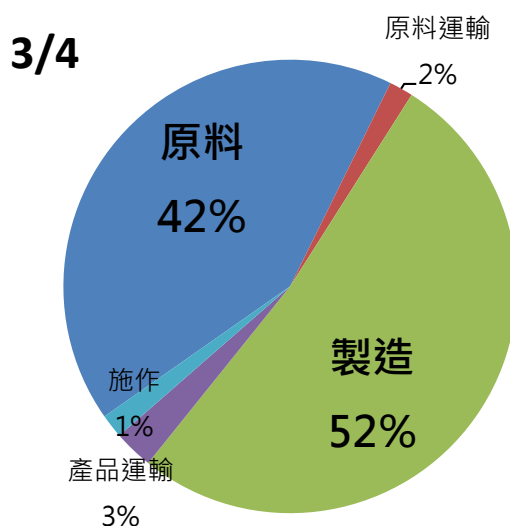


圖 3.3.7-2 瀝青混凝土各階段單位排碳量占比(鑫龍)

三、綜合評析

本計畫已進行 A1、A2、A3 及 C1A 標瀝青混凝土之碳足跡調查及計算，結果彙整如表 3.3.7-4 所示。各廠之瀝青混凝土皆以製程階段之排碳量最高，可占 90%左右；以製造(A3)過程略高，原料(A1)階段次之，其中 C1A 標改道路面採用再生瀝青，原生瀝青之使用量較低，故其原料階段之單位排碳量 0.0225 kgCO₂e/kg 較其他標別(0.0366 ~0.0393 kgCO₂e/kg)略低。

表 3.3.7-4 本計畫調查之瀝青混凝土生命週期排碳量

廠商	項目	製程排放(A1-A3)			使用排放(A4-A5)		合計
		原料	原料運輸	製造	產品運輸	施作	
A3 標 宜陽	1/2 密級配	0.0393	0.0013	0.0428	0.0086	0.0016	0.0935
		0.0833			0.0102		
	3/4 密級配	0.0389	0.0012	0.0352	0.0081	0.0042	0.0877
		0.0754			0.0123		
25mm 粗級配	0.0380	0.0012	0.0354	0.0059	0.0015	0.0820	
	0.0746			0.0074			
A1 標 鑫龍	3/4 密級配	0.0367	0.0015	0.0451	0.0024	0.0015	0.0872
		0.0833			0.0039		
	25mm 粗級配	0.0358	0.0016	0.0538	0.0029	0.0020	0.0927
	0.0912			0.0049			
A2 標 鑫龍	3/4 密級配	0.0368	0.0015	0.0454	0.0024	0.0015	0.0876
		0.0833			0.0039		
	25mm 粗級配	0.0365	0.0016	0.0473	0.0034	0.0014	0.0902
	0.0854			0.0048			
C1A 標 陸輝	再生 瀝青	0.0225	0.0003	0.0408	0.0031	0.0035	0.0702
		0.0636			0.0066		

備註：(1)表列(A1-A3)及(A4-A5)係對應歐盟標準 EN 15804 之表示方法。

(2)單位：kgCO₂e/kg

製造(A3)階段 A3 及 A1 標兩家供應商之單位排碳量亦略有差異，分析供應商提供之細部單位排碳量如表 3.3.7-5，可以看出用電及用電部分占比有很明顯之差異，經與供應商確認，兩廠區瀝青加熱製程不同，A1 標供應商以重油作為加熱能源，A3 標供應商則是以電力作為加熱能源，以製造階段單位排碳量來看，不同製程對於單位排碳量有一定程度的影響。

表 3.3.7-5 瀝青混凝土製造排碳量比較

廠商	規格	用電	重油	柴油	合計
鑫龍	3/4 密級配	0.00066	0.04441	-	0.0451
	25mm 粗級配	0.00092	0.05871	-	0.0596
宜陽	3/4 密級配	0.00467	0.02947	0.00109	0.0352
	1/2 密級配	0.00523	0.03664	0.00090	0.0428
	25mm 粗級配	0.00323	0.02995	0.00222	0.0354

備註：單位為 kgCO₂e/kg。

各標各類型(不含再生瀝青)之瀝青混凝土製程階段(A1-A3)排碳量介於 0.0833~0.0912 kgCO₂e/kg，與 GaBi 係數資料庫之係數(0.0685 kgCO₂e/kg)比較，本計畫盤查之係數較資料庫係數略高；而本計畫盤查之再生瀝青混凝土係數則略低於 GaBi 係數；差距約在-8%~18%之間。

3.3.8 混凝土係數計算結果

一、背景及蒐集資料範圍

本計畫土建工程使用之預拌混凝土供應商共 4 家 5 廠，包括為 A 段供應商宜興冬山廠及宜興南澳廠、享正混凝土預拌廠、久屋混凝土預拌廠，及 C 段供應友誠混凝土預拌廠。本計畫自 102 年 9 月開始蒐集宜興南澳廠相關活動量資料，於 104 年 2 月開始蒐集享正及久屋混凝土預拌廠相關活動量資料，於 104 年 6 月開始蒐集友誠混凝土預拌廠相關活動量資料，資料蒐集範疇如圖 3.3.8-1。

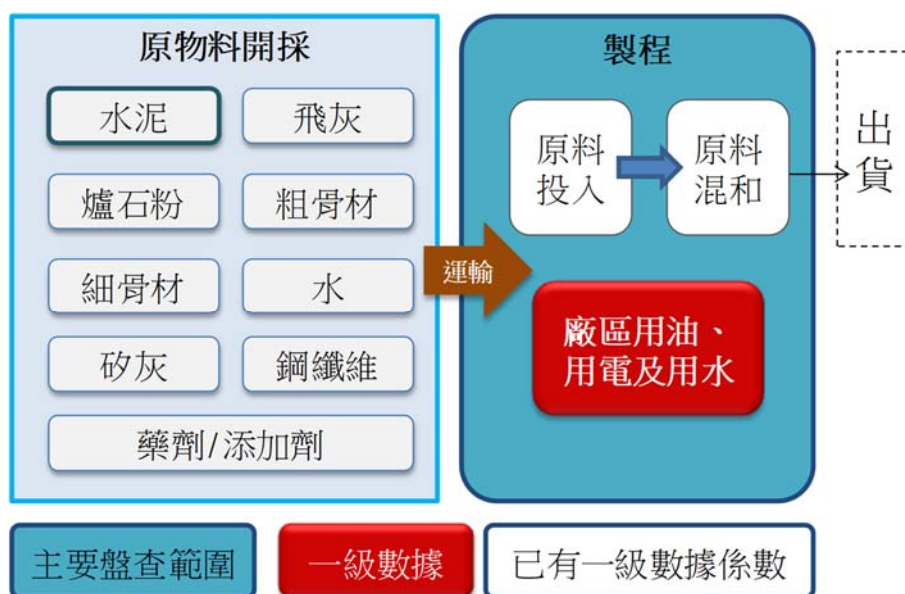


圖 3.3.8-1 混凝土預拌廠盤查範圍

活動數據資料包括各種規格預拌混凝土原料投入量、製程所使用之能耗等。各混凝土預拌廠原料開採量及運輸量，本計畫以各預拌廠提供的原料投入量作為假設並計算；運輸距離估算值如表 3.3.8-1 所示；製造過程的單位能源使用計算方式，則是以供應商廠區總能源使用量除以總出貨量計算。

表 3.3.8-1 混凝土材料投入運輸距離

單位：公里

供應商	水泥	飛灰	爐石粉	粗骨材	細骨材
宜興南澳廠	30.4	103	34.3	8.5	8.5
享正	9.2	47	34.3	8.5	8.5
久屋	9.2	47	34.3	8.5	8.5
友誠	26.5	280	42.5	9.2	9.2

二、碳足跡係數計算結果

本計畫就前述活動量蒐集結果，選用 Gabi 資料庫、中聯爐石經查證之水焯爐石粉及供應商水泥廠盤查係數，計算各標混凝土係數結果如表 3.3.8-2，發現相同強度但不同供應商提供之混/噴混凝土係數結果不一樣，

係因混/噴凝土實際投入不盡相同且能耗亦略有影響。

表 3.3.8-2 各標混/噴凝土係數盤查結果

預拌廠別	供應標別	混/噴凝土產品項目	單位重量 碳排放量 (kgCO _{2e} /kg)	單位體積 碳排放量 (kgCO _{2e} /m ³)	飛灰及爐石粉 替代率 (%)	
宜興	A1	175kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0854	200.99	45	
		210kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1027	238.24	45	
		210kgf/cm ² (II 型水泥)噴凝土	0.1750	396.70	0	
		280kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1151	273.93	45	
	A2	175kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0854	200.99	45	
		210kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1027	238.24	45	
		210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	0.1034	231.77	45	
		210kgf/cm ² (II 型水泥)噴凝土	0.1750	396.70	0	
		245kgf/cm ² (II 型水泥)坍度 15	0.1053	248.82	45	
		245kgf/cm ² (II 型水泥)坍度 17.5	0.1046	248.76	45	
		245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	0.1336	316.09	30	
		245kgf/cm ² (II 型水泥)早強	0.1827	433.33	15	
		255kgf/cm ² (II 型水泥)鋼纖噴凝土	0.2211	505.20	0	
		280kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1151	273.93	45	
		350kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1321	312.97	45	
		350kgf/cm ² (II 型水泥)SCC	0.1301	306.65	45	
		A3	175kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0833	196.87	45
			210kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0979	233.09	45
	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中		0.1140	237.18	45	
	210kgf/cm ² (II 型水泥)噴凝土		0.1757	408.68	0	
	245kgf/cm ² (II 型水泥)		0.0991	236.08	45	
	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍		0.0977	233.34	45	
	280kgf/cm ² (II 型水泥)		0.1038	246.17	45	
	350kgf/cm ² (II 型水泥)SCC		0.1164	276.37	45	
	420kgf/cm ² (II 型水泥)		0.1591	383.10	30	
	420kgf/cm ² (II 型水泥)早強		0.1809	430.50	20	
		R45 混凝土(II 型水泥)	0.1888	445.51	0	
	享正	A1	175kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0831	195.21	45

預拌廠別	供應標別	混/噴凝土產品項目	單位重量 碳排放量 (kgCO ₂ e/kg)	單位體積 碳排放量 (kgCO ₂ e/m ³)	飛灰及爐石粉 替代率 (%)
		210kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0926	217.54	45
		210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	0.1088	253.10	45
		210kgf/cm ² (II 型水泥)噴凝土	0.1765	404.09	0
		245kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1028	241.87	45
		280kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1144	269.87	45
		280kgf/cm ² (II 型水泥)水中	0.1236	287.22	45
		350kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	0.1278	298.95	45
		420kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	0.1369	321.40	45
		420kgf/cm ² (II 型水泥)早強	0.1898	449.61	25
		R45 混凝土(II 型水泥)	0.1888	445.51	0
久屋 (無 飛 灰)	A1	175kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0878	215.17	45
		210kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0969	230.54	45
		210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	0.1112	257.84	45
		245kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1042	247.75	45
		245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	0.1194	283.54	45
		280kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1150	276.81	45
		280kgf/cm ² (II 型水泥)水中	0.1204	284.58	45
		350kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	0.1294	310.92	45
		420kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	0.1410	333.99	45
		420kgf/cm ² (II 型水泥)早強	0.1442	343.50	45
友誠	C1A	175kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0782	177.58	44
		210kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0866	197.64	45
		210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	0.0958	226.56	45
		245 kgf/cm ² (II 型水泥)17.5 坍度	0.0947	217.36	45
		245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	0.1054	242.92	45
		280kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1061	245.37	45
		350 kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1182	273.53	45
		420 kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1141	266.36	45
		R45 混凝土(II 型水泥)	0.1783	415.16	0
		210kgf/cm ² (II 型水泥)噴凝土	0.1721	401.49	0
		255kgf/cm ² (II 型水泥)鋼纖噴凝土	0.1835	426.76	0
		C2	175kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0782	189.01

預拌廠別	供應標別	混/噴凝土產品項目	單位重量 碳排放量 (kgCO ₂ e/kg)	單位體積 碳排放量 (kgCO ₂ e/m ³)	飛灰及爐石粉 替代率 (%)
		210kgf/cm ² (II 型水泥)	0.0869	203.19	45
		245 kgf/cm ² (II 型水泥)17.5 呎度	0.0954	227.95	45
		245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	0.1059	247.09	40
		280kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1061	248.99	45
		350 kgf/cm ² (II 型水泥)	0.1176	279.99	44
		210kgf/cm ² (II 型水泥)噴凝土	0.1719	408.11	0
		255kgf/cm ² (II 型水泥)鋼纖噴凝土	0.1854	436.12	0

三、碳足跡係數分析

本計畫 C 段(C1A 及 C2 標)均採用友誠混凝土廠生產之混/噴凝土，而該廠生產報表僅有每日材料投入量之格式，無月報或年報彙整輸出功能，本計畫為能更精確計算碳排放係數，透過蘇改處發文予友誠混凝土廠配合更改系統軟體，以利提供月報或年報報表資料，惟友誠混凝土廠因系統軟體更換費用過高，而無法配合提供月報或年報格式之報表資料。

經本計畫與查驗機構討論後，並獲得查驗機構同意，以每月挑選 2 日日報表各規格混/噴凝土每日投入量進行統計，瞭解實際投入與設計配比之間碳排放係數的差異。

友誠混凝土廠出料機台分為兩組，故每日報表部分亦分別為混凝土與噴凝土。混凝土部分視現場實際工程施作需要進行出貨，而鋼纖維噴凝土與噴凝土 210S 為每日皆有出貨量，故本計畫以人工方式挑選 2 日作為代表進行統計。

C1A 標統計時間為 104 年 6 月至 107 年 11 月底，C2 標統計時間為 107 年 1 月至 107 年 11 月底，實際投入與設計配比所計算之混/噴凝土碳排放係數結果如表 3.3.8-3 及 3.3.8-4 所示，各規格混/噴凝土實際投入與設計配比所計算之碳排放係數差異均在正負 1% 以內，顯示實際投入與設計配比差異不大，本計畫以「實際投入碳排放係數」作為混/噴凝土碳排放量計算之使用，並將持續分析兩者之間差異。

探討碳排放係數差異之處，本計畫檢視實際投入報表與設計配比資料，發現每 m³ 混/噴凝土中之水、附加劑、粗骨材(六分石、三分石)及細骨材之實際使用量與設計配比量略有差異；進一步與友誠混凝土廠確認，廠方表示在可以符合混/噴凝土設計強度前提下，生產過程會視實際情況調整前述各材料使用量，故使得「實際投入碳排放係數」與「設計配比碳排放係數」會有些微差異。

表 3.3.8-3 C1A 標實際投入與設計配比碳排放係數比較

規格	實際投入	設計配比	差異比(%)
175 kgf/cm ²	0.07824	0.07758	0.85
210 kgf/cm ²	0.08661	0.08654	0.08
210 kgf/cm ² (水中)	0.09854	0.09851	0.03
245 kgf/cm ²	0.09471	0.09499	-0.30
245 kgf/cm ² (高坍)	0.10540	0.10516	0.22
280 kgf/cm ²	0.10613	0.10602	0.10
350 kgf/cm ²	0.11820	0.11808	0.10
420 kgf/cm ²	0.11410	0.11401	0.08
AR45	0.17828	0.17755	0.41
210 kgf/cm ² (噴凝土)	0.17208	0.17188	0.12
255 kgf/cm ² (鋼纖維噴凝土)	0.18349	0.18455	-0.57

備註：(1)差異比=(實際投入－設計配比)÷設計配比。

(2)單位為 kgCO₂e/kg。

表 3.3.8-4 C2 標實際投入與設計配比碳排放係數比較

規格	實際投入	設計配比	差異比(%)
175 kgf/cm ²	0.07818	0.07772	0.59
210 kgf/cm ²	0.08689	0.08668	0.24
245 kgf/cm ²	0.09541	0.09513	0.29
245 kgf/cm ² (高坍)	0.10585	0.10530	0.52
280 kgf/cm ²	0.10611	0.10616	-0.05
350 kgf/cm ²	0.11756	0.11822	-0.55
210 kgf/cm ² (噴凝土)	0.17189	0.17202	-0.07
255 kgf/cm ² (鋼纖維噴凝土)	0.18542	0.18469	0.39

備註：(1)差異比=(實際投入－設計配比)÷設計配比。(2)單位為 kgCO₂e/kg。

3.3.9 供應商盤查產出係數更新

本計畫至 107 年度 12 月底止已進行電纜、不鏽鋼管、燈桿、鋼筋、水泥、預拌混凝土、瀝青混凝土、鋼橋結構及地下油槽之供應商盤查，除鋼橋結構及地下油槽之工程材料碳足跡尚在蒐集資料及計算外，燈桿與盤體部分，待 C3 標供應商確定後進行，目前彙整已提供環保署之係數如表 3.3.9-1。其中鋼筋及水泥之係數大部分經由查驗機構進場查核確認，預拌混凝土則以年度查核方式確認。

另 3.3.7 節計算之瀝青混凝土係數主要為本工程瀝青鋪築期間之單次調查資料，將待查驗機構及蘇改處確認後，再彙整提供環保署係數資料庫，初步構想將分為密集配、粗級配及再生瀝青混凝土等三項係數。

電纜與不鏽鋼管本計畫已計算出單位排碳係數，電纜係數各規格係數如前面小節所述，不鏽鋼管之係數經計算為 2.78 kgCO_{2e}/kg，未來將待蒐集更多資料後，再一併提供環保署係數資料庫。

鋼筋係數部分，由於調查之 2 家供應商製程並不相同，故分為鋼兩項產品，主要為鋼胚係數為 0.678 kgCO_{2e}/kg，熱軋竹節鋼筋係數為 0.919 kgCO_{2e}/kg。

水泥係數部分，採 2 家之歷年平均值，熟料係數為 0.948 kgCO_{2e}/kg，水泥係數為 0.907 kgCO_{2e}/kg。

預拌混凝土係數部分，由於調查時間久且供應商數量多，係數並由第三方於年度查核時確認，係依據混凝土強度及飛灰/爐石粉替代率彙整可供參考之係數。

另表 3.3.9-2 為各類型材料供應商現場訪查及資料蒐集狀況彙整，為提升本計畫盤查結果之正確性及蒐集完整之本土化工程碳足跡係數資料，除土建工程大宗工程材料外，將持續針對機電/交控標使用之箱體及電纜等供應商進場訪談及協商蒐集碳足跡盤查資料。

表 3.3.9-1 提供環保署係數彙整

類型	品項名稱	排放係數	單位	備註
竹節 鋼筋	鋼胚	0.678	kg	—
	熱軋竹節鋼筋	0.919	kg	—
水泥	水泥熟料	0.948	kg	—
	水泥	0.907	kg	—
混/噴 凝土	預拌混凝土(80kgf/cm ²)	207.16	m ³	飛灰爐石粉替代率 20%；坍度 17.5
	預拌混凝土(140kgf/cm ²)	199.20	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 17.5
	預拌混凝土(175kgf/cm ²)	194.06	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 17.5
	預拌混凝土(210kgf/cm ²)	220.05	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 17.5
	預拌混凝土(245kgf/cm ²)-1	244.12	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 15~17.5
	預拌混凝土(245kgf/cm ²)-2	251.79	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 50
	預拌混凝土(280kgf/cm ²)	262.83	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 17.5
	預拌混凝土(420kgf/cm ²)	383.10	m ³	飛灰爐石粉替代率 30%；坍度 17.5
	水中混凝土(210kgf/cm ²)	242.14	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 20
	水中混凝土(280kgf/cm ²)	275.10	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 20
	早強預拌混凝土(420kgf/cm ²)-1	430.50	m ³	飛灰爐石粉替代率 20%；坍度 17.5
	早強預拌混凝土(420kgf/cm ²)-2	442.73	m ³	飛灰爐石粉替代率 25%；坍度 17.5
	早強預拌混凝土(420kgf/cm ²)-3	336.43	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍度 17.5
	自充填預拌混凝土(350kgf/cm ²)	294.56	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍流度 60-70
	自充填預拌混凝土(420kgf/cm ²)	319.86	m ³	飛灰爐石粉替代率 45%；坍流度 60-70
	噴凝土(210kgf/cm ²)	394.37	m ³	無飛灰爐石粉替代；坍度 12
鋼纖維噴凝土(255kgf/cm ²)	432.77	m ³	無飛灰爐石粉替代；坍度 18	
R45 水泥混凝土	445.30	m ³	無飛灰爐石粉替代；坍度 5	

表 3.3.9-2 各類型材料供應商盤查進度及規劃

類別	供應商名稱	標別	訪談時間	BSI 查證時間	資料收集區間
預拌 混凝土	宜興混凝土南澳廠	A2 標、A3 標	102.07.16	年度查核	103.01.01~106.12.31
	享正混凝土廠	A1 標	104.01.23	年度查核	104.01.01~106.12.31
	久屋混凝土廠	A1 標	104.01.23	年度查核	104.01.01~106.12.31
	友誠混凝土廠	C1A、C2 標	104.04.23	年度查核	104.04.01~迄今

類別	供應商名稱	標別	訪談時間	BSI 查證時間	資料收集區間
水泥	亞洲水泥花蓮廠	C1A、C2 標	—	106.6.17	102.01.01~103.12.31
	信大水泥南聖湖廠	A1、A2、A3 標	—	106.6.21	103.01.01~103.12.31
鋼筋	東和鋼鐵桃園廠	A2、A3 標	104.12.28	廠商已自行取得證書	—
	宜聯鋼筋廠	A2、A3 標	105.01.11	106.5.23 及 106.10.24 進廠 (國五碳管理計畫)	103.01.01~104.12.31
	羅東鋼鐵廠	A1 標、C2 標	103.12.04 105.12.16	A1 標清冊查核 (106.11.17)	104.03.01~104.12.31(鋼筋) 102.01.01~103.12.31(鋼胚)
瀝青 混凝土	宜陽瀝青廠	A3 標	104.09.09	年度查核	104.12.01~105.03.31(片段)
	鑫龍瀝青廠	A1 標	105.09.08	—	105.12.01~(片段)
	鑫龍瀝青廠	A2 標	—	A2 標清冊	105.12.01~(片段)
桁架鋼支 保	威建企業	A2 標、C2 標	106.12.01	—	106.01.01~106.12.31
	弘浚國際	C1A 標	106.12.15	—	106.01.01~106.12.31
鋼橋結構	竝辰	C2 標	107.10.17	—	規劃 107.10.01~108.02.28
電纜	億泰電纜廠	B5 標	105.12.16	—	106.01.01~106.12.31
	大同電纜廠	A4 標、E1 標	107.12.07	預計 108.02	105.01.01~105.12.31
燈桿	中工燈桿廠	B5 標	106.04.14	—	規劃 106.01.01~106.12.31
箱體	士林電機箱體	B5 標	106.03.24	—	規劃 106.01.01~106.12.31
	待確認	E1 標	—	—	—
不鏽鋼管	彰源不鏽鋼管	A4 標	106.05.15	A2 標清冊	104.01.01~104.12.31
電纜線架	成利	B5 標	106.09.14	—	—
地下油槽	大德機械	C3 標	107.10.26	—	—

3.4 工程碳足跡盤查執行成果說明

以下就 C1A、C2、C3、B5 及 E1 標 107 年 1 月 1 日至 107 年 12 月 31 日工程碳足跡盤查執行結果進行分小節說明，由於 A 段已竣工通車，全段工程之盤查結果詳本報告 4.3 節。因各標活動量及碳排放量內容龐大，至 106 年度年中進度報告已調整呈現內容，將活動量、單位轉換後活動量及碳排放計算結果統一於附冊以排放量清冊形式呈現，並將在 BSI 完成年度查核後已 107 年度清冊方式呈現。

3.4.1 中仁隧道接續工程(C1A)

首先簡介中仁隧道工程(含 C1 標及 C1A 標)內容，再接續說明本年度 C1A 標新增項目及碳足跡計算結果。

一、盤查範圍說明

中仁隧道工程原設計工程範圍如圖 3.4.1-1；路線由和中路堤起，以長約 1.5 公里之路工段銜接長約 3.8 公里之中仁隧道，於和仁派出所北邊山坡出露後，續以路塹路堤方式銜接台 9 線，路線全長約 5.4 公里。後因蘇拉颱風造成原設計路線隧道北口遭受土石流災害，故進行路線變更設計。

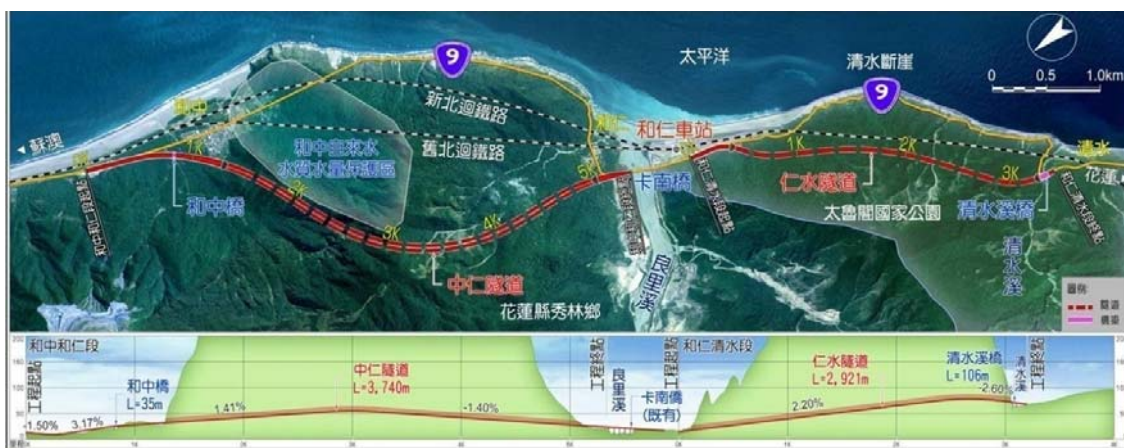


圖 3.4.1-1 中仁隧道工程原設計工程範圍示意圖

路線修正後工程範圍如表 3.4.1-1，即配合水土保持局和中溪整治工程，將路線向山側內移並增加隧道長度，以隧道型式穿越和中溪溪底。由表可知，變更重點為工程北段，改由台 9 線里程約 160k+750 處為工程起點，以約 1 公里之北路堤與橋梁路工段銜接隧道，隧道長度由約 3.8 公里增長為約 4.7 公里；南段則與原案無異。整體而言，全線將變更為 5.6 公里。

表 3.4.1-1 中仁隧道工程路線修正後構築型式配置表

標別	構築型式	設施名稱	起訖里程(m)			工程型式
C1A 標	引道	中仁隧道北路堤	0k+292.816	0k+186.07	(SB)	—
			0k+292.816	0k+206.8	(NB)	—
	橋梁	和中橋	0k+186.07	0k+296	(SB)	I 型梁
			0k+206.8	0k+319	(NB)	
	路塹	中仁隧道北路塹	0k+296	0k+300	(SB)	—
			0k+319	0k+334	(NB)	—
	隧道	中仁隧道	0k+300	5k+124.2	(SB)	雙口各單車道，鑽炸開挖
			0k+334	5k+078.5	(NB)	
	路塹	中仁隧道南路塹	5k+124.2	5k+180	(SB)	—
			5k+078.5	5k+140	(NB)	—
	路堤	中仁隧道南路堤	5k+180	5k+379.5	(SB)	—
			5k+140	5k+351.5	(NB)	—

另外，原中仁隧道工程(C1 標)因承包商履約問題而終止契約，工程處以中仁隧道接續工程(C1A 標)重新招標，本標於 104 年 4 月 1 日開工，接續原 C1 標工程繼續施作。整體工程項目涵蓋：中仁隧道、和中橋及其路堤路塹段，另有中仁隧道南北口管制站兩處建築工程及排水工程。

C1A 標本年度主要執行工項包括：隧道開挖(含人車及車行聯絡道)、仰拱工程、襯砌工程、機房工程、橋台基礎工程、墩柱工程、和中橋預力梁工程及排水工程等。

二、本年度活動數據蒐集結果

北口新增工項包括交控管路工程、PS2 橋台基礎工程、PS2 墩柱工程、PN2 墩柱工程、北上線隧道基腳開挖、北上襯砌工程、5 號人行聯絡道開挖；南口為洞口工程及 6 號及 7 號人行聯絡道開挖、2 號車行聯絡道開挖、3 號緊急停車彎等。

活動數據蒐集內容包括：機/運具使用(用油/用電)、工程材料使用、廢棄物、碳匯改變、人員出勤及運輸。詳細內容如附冊-C1A 標，以下即分項說明各類活動強度數據彙整與統計結果。

(一)機/運具使用

新增機具為北口南下線 I 型梁吊裝作業外租之曳引車、卡車起重機、伸臂伸縮卡車起重機、輪行起重機及高空作業車；運具部分為 1 輛南口之 21 噸大貨車。彙整開工迄今各工程項目與主要施工廠商對照表如 3.4.1-2 所示。

表 3.4.1-2 C1A 標各工程項目主要施工廠商

工程項目	施工廠商
北口隧道工程	蘇建興
南口隧道工程	東丕
南口襯砌工程	東丕
基樁工程	三滂
下構工程	凱泰
I 型梁吊裝	巨業起重
土石方作業	東丕、蘇建興
排水及路工工程	東丕、蘇建興、亞群
人行聯絡道	東丕、蘇建興
北口邊坡保護	蘇建興
其他	東丕、蘇建興
用電設備	東丕、蘇建興

關於蒐集之機/運具及其他用油量資料詳如附冊-C1A 標-機/運具使用與能資源使用頁面，本計畫亦彙整各型機/運具用油量及場電能耗量如表 3.4.1-3；工區用車包括曳引車、油車、客貨兩用車、保養車及壓路機。

表 3.4.1-3 C1A 標各型機/運具用油量及場電能耗量

類型	能耗量(L)	類型	能耗量(L)
工區用車	6,521.91	噴漿機	11,357.00
高空作業車	12,929.60	鏟裝機	42,516.00
支堡車	1,346.00	鑽堡機	56,283.00
挖土機	394,384.00	吊卡車	5,953.13

類型	能耗量(L)	類型	能耗量(L)
堆高機	9,949.00	泵浦車	32,988.00
起重機	522.00	大貨車、小貨車	248,596.00
場電(度)	3,308.51	用油合計(L)	823,345.64

(二)工程材料使用

本年度使用之工程材料包括：各類混/噴凝土、鋼筋、鋼線網、水玻璃、先撐鋼管、速凝劑、袋裝水泥、不鏽鋼拉線箱、A型人孔、B型人孔、C型人孔、PVC管、聚胺脂樹脂系AB劑、岩栓及組合性材料(如鋼支保)等；詳細材料活動數據清冊詳附冊-C1A標-工程材料頁面。

(三)廢棄物：無廢棄物處理，故未登錄廢棄物處理量。

(四)碳匯改變：僅有少量林地及樹木移除作業，規劃於未來取得相關資料後再行計算。

(五)人員出勤：本計畫計算人員出勤逸散係依據盤查日誌之人員出勤資料統計結果，包括東丕營造股份有限公司外業、蘇建興營造有限公司外業、東丕外勞、蘇建興外勞、三鼎工程有限公司及豐達保全股份有限公司等進行計算，總出勤人數為58,975人日。

(六)運輸(含機/運具、工程材料、廢棄物)

北口I型梁吊裝新增機具為協力廠商向外包商租用自身運入工區，且已另外於機具使用計算碳排放量，而工程材料運入物品綜整如表3.4.1-4，詳細運輸數據詳附冊-C1A標-運輸頁面。

表 3.4.1-4 C1A 標本年度運輸所用運具類型及載運物品清單

運具類型	載運物品
大貨車	點焊網、速凝劑、先撐鋼管、灌漿鋼管(重級鋼管)、橡膠支承墊、橡膠防震版、袋裝水泥、背填灌漿黑圓管、鋼筋、急結管、PVC防水膜、不織布、鋼筋續接器、H.D.PE網管、H.D.PE排水浪管、保麗龍板、鋼板...等
小客車	乳膠炸藥、導爆索...等
小貨車	接地測試拉線箱、分電箱、不鏽鋼拉線箱、鍍鋅厚鋼導線

運具類型	載運物品
	管、聚胺脂樹脂系 AB 劑、水泥漆、6 分石、磁磚... 等
半拖車	A 型人孔、B 型人孔、C 型人孔、A 型邊溝、預鑄緣石... 等
全拖車	點焊網、I 型低鹼水泥砂漿、凸型承載板、岩栓、球型墊圈、螺帽、續接器、岩桿、鑽頭、支保、主隧道鋼模、鋼筋工作架(標準段)、擴挖段鋼模、擴挖段鋼筋工作架、輔助機房鋼模、通風隔板鋼模(標準段)、避車彎通風隔板鋼模、人行聯絡道鋼模... 等
客貨兩用車	非電氣雷管、電雷管... 等
吊卡車	各式鋁百葉窗... 等
混凝土攪拌車	各類型混/噴凝土及砂漿... 等

三、本年度碳足跡盤查結果

本計畫依據前述活動數據，及對應所蒐集之碳排放係數，分別計算機/運具使用、工程材料使用、人員出勤、機/運具及工程料運輸等四類碳排放量，綜整本年度工程碳足跡計算結果如表 3.4.1-5。

總計本年度工區碳足跡約為 62,573.57tCO₂e；主要排放源為材料使用，占比約 90%；其他依排放占比大小序，分別為：機/運具(含場電)使用排放約占 10%、機材運輸排放約占<1%，及人員出勤排放約占<1%，各類碳排放量說明如下。

表 3.4.1-5 C1A 標本年度碳足跡量化結果

類別	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
工程材料	56,065.93	90
機材運輸	388.43	<1
機/運具(含場電)	6,088.53	10
人員逸散與廢棄物	30.69	<1
合計	62,573.57	100

(一)機/運具使用碳排放

機/運具使用碳排放量計算之排碳係數採用我國環保署公告之本土化係數，包括移動源柴油、固定源柴油及電力排碳係數。機/運具

使用(含場電)碳排放計算量為 6,088.53tCO_{2e}，其中場電約為 3,308.51 tCO_{2e}，占機/運具總排碳之 54%，主因為隧道開挖工程除挖土機外，大部分機具(如鑽堡、噴漿機等)皆使用場電，故場電排碳相當顯著，另彙整本年各型機具排碳量及占比如表 3.4.1-6。

表 3.4.1-6 C1A 標本年度各型機/運具及場電碳足跡計算結果

項目	碳排放量(tCO _{2e})	占比(%)
大貨車、小貨車	838.10	30
高空作業車	43.70	2
支堡車	4.55	<1
挖土機	1,333.02	48
堆高機	33.63	1
噴漿機	38.39	1
鏟裝機	143.70	5
鑽堡機	190.24	7
吊卡車	19.89	1
泵浦車	111.50	4
起重機	1.76	<1
工區用車	21.53	1
合計	2,780.01	100

備註：工區用車包括工區用車包括曳引車、油車、客貨兩用車、保養車及壓路機。

(二)工程材料使用碳排放

本年度材料使用碳排放量為 56,065.93tCO_{2e}，各類別工程材料碳排放量及占比如表 3.4.1-7，各項材料詳細之排放量詳如附冊-C1A 標-工程材料頁面。其中，材料使用排碳使用量占比最高者為混/噴凝土，約占 72%，鋼筋約占 15%，而將混/噴凝土依不同強度細分結果如圖 3.4.1-2，可以看出本年度主要使用混凝土 245 高坍及鋼筋，此兩項混凝土分別使用於隧道襯砌及通風格板工程。

(三)人員出勤碳排放

工區人員出勤碳排放源包括化糞池逸散與廢棄物處理排放，本年度工區人員總出勤人日數 58,975 人日，以化糞池碳排放係數 0.0398

kgCO₂e/人時，及一般廢棄物處理排放係數 0.504 kgCO₂e/kg 計算，求得工區化糞池溫室氣體逸散量約 18.80 tCO₂e；而處理廢棄物碳排放量則為 11.89 tCO₂e。

綜合上述 2 項人員出勤碳排放源之排放量計算結果，可得本年度人員出勤總排放量約為 30.69tCO₂e。

表 3.4.1-7 C1A 標本年度各類工程材料使用碳足跡計算結果

項目	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
混/噴凝土	40,336.59	72
鋼筋	8,461.14	15
樹脂	1,671.08	3
水泥	1,797.48	3
岩栓	969.94	2
先撐鋼管	461.15	1
炸藥	598.87	1
支保	397.65	1
鋼線網	276.65	<1
其他	515.28	1
灌漿鋼管	226.99	<1
管材	353.10	1
合計	56,065.93	100

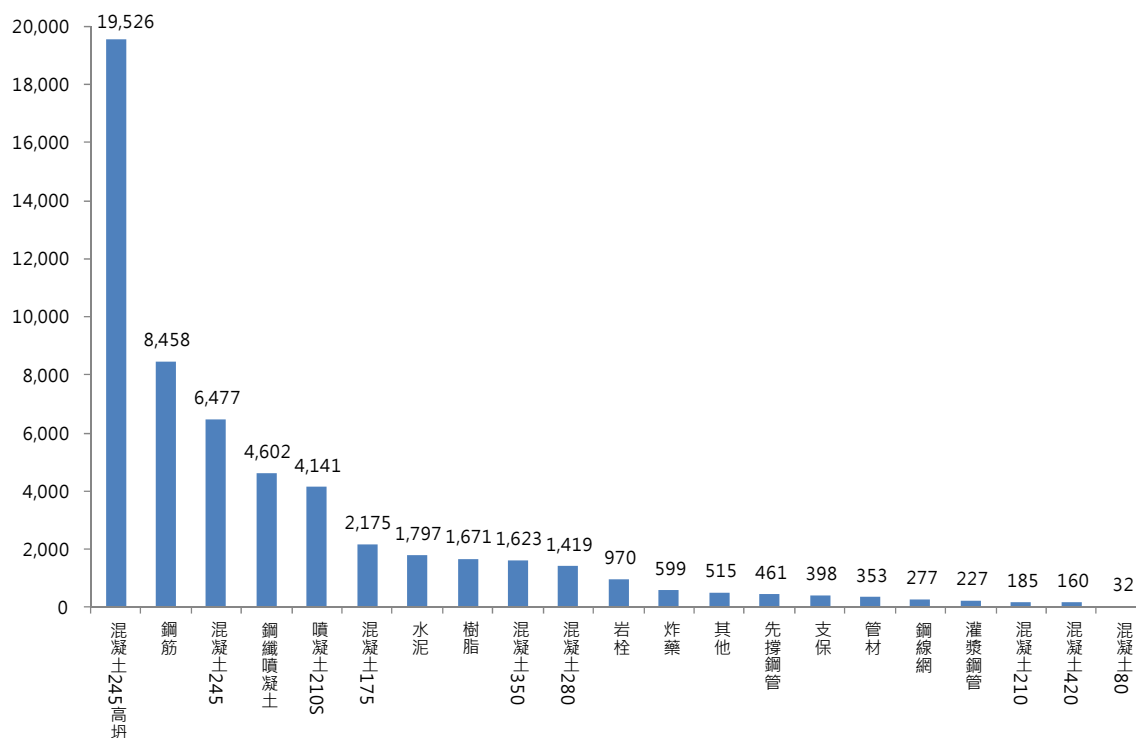


圖 3.4.1-2 C1A 標本年度各類工程材料使用碳足跡計算結果

(四)運輸(含機/運具、工程材料、廢棄物)碳排放

將碳足跡盤查日誌運輸部分填報內容逐一換算為活動強度(噸公里數, tkm), 計算方式即依據所運載物品重量、車次與距離, 計算各筆運輸活動數據; 回程部分排放量則以運入活動數據之一半估算, 故每筆日誌運輸活動數據為單趟噸公里(tkm)×1.5 計算。部分載運物品有無法計算或推估重量的情況時, 本計畫以該車輛最大載運能力估算, 再依據各趟次運具規格、分 8 類選用對應的運輸係數進行計算, 求得本年度運輸碳排放量約為 388.43 tCO₂e。

本年度各類別運輸占比詳表 3.4.1-8, 主要運輸項目為混/噴凝土, 占 70%; 其次為鋼筋占比約 11%; 其他材料包括水泥漆、點焊網、速凝劑、磁磚...等, 占比約 13%。

表 3.4.1-8 C1A 標本年度各類項目運輸碳足跡計算結果

項目	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
不銹鋼防火門	5.11	1
支保、岩栓、先稱鋼管、導線鋼管	11.25	3
百葉窗	2.45	1
其他材料	51.90	13
炸藥	0.004	<1
混/噴凝土	272.59	70
鋼筋	43.46	11
隧道鋼模	1.66	<1
合計	388.43	100

3.4.2 仁水隧道新建工程(C2 標)

本小節首先簡要介紹仁水隧道新建工程(C2 標)內容，再接續逐項說明 107 年度 C2 標各項目之新增項目及碳足跡計算結果。

一、盤查範圍說明

仁水隧道新建工程(C2 標)工程範圍如圖 3.4.2-1，全長約 3.4 公里，其中隧道段約 2.9 公里、路堤段約 0.4 公里、橋梁段約 0.1 公里。另彙整本標工程構築型式設施配置如表 3.4.2-1，包含路堤路塹、橋梁及隧道三種工程型式，其中，清水溪橋施工以箱型梁工法施作，仁水隧道則為單孔雙向 4 線道。

本標於 103 年 5 月 30 日決標，並於 103 年 6 月 17 日開工，工程項目包括仁水隧道、清水溪橋，路工工程及排水工程等。截至 107 年 12 月底止，累積工期為 1,659 天，實際進度 76.73%。本工程主要執行工項包括：邊坡降挖、邊坡保護、排水工程、隧道上半、台階、仰拱、基腳、襯砌、通風隔板、輔助機房工程及南口擋土牆、邊坡工程、南口橋台與墩柱井式基礎開挖、南口鋼便橋施作及南洞口開挖等工項。

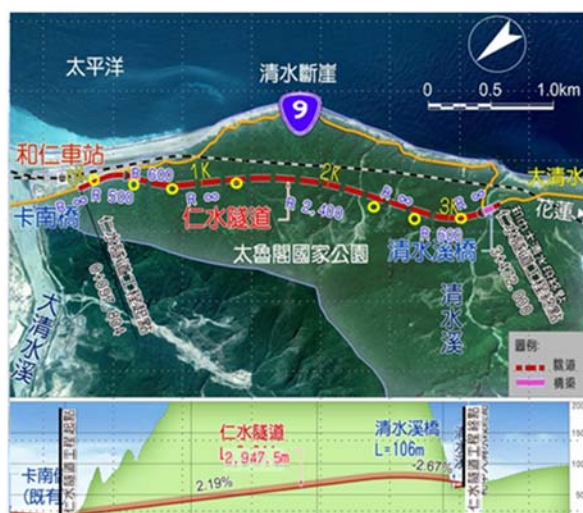


圖 3.4.2-1 仁水隧道新建工程(C2 標)工程範圍示意圖

表 3.4.2-1 仁水隧道新建工程(C2 標)工程構築型式配置表

標別	構築型式	設施名稱	起迄里程(m)		工程型式
C2 標	路堤路塹	和仁路堤	0+000.000	0+334.000	
	隧道	仁水隧道	0+334.000	3+281.500	單孔雙向
	橋梁	清水溪橋	3+273.000	3+379.000	井式基礎，箱型梁工法
	路堤路塹	大清水路堤	3+379.000	3+472.000	

二、本年度活動數據蒐集結果

活動數據蒐集內容包括：機/運具使用(用油/用電)、工程材料使用、廢棄物、碳匯改變、人員出勤及運輸。詳細內容如附冊-C2 標部分，以下即分項說明各類活動強度數據彙整與統計結果。

(一)機/運具使用

本年度 C2 標除持續進行清除掘除、地質改良、邊坡保護、排水工程、隧道開挖、南口擋土牆及鋼便橋等工項外，另新增南口開挖作業。所使用機具除新增登錄大陸工程承包商自有機具外、另新增登錄協力商堡順之機具 2 台挖土機，其餘下半年度新增工程項目乃是使用大陸工程既有機具執行；運具方面主要新增大陸工程及程隆工程共 20 台大貨車及傾卸車，C2 標開工迄今各工程內容負責之協力廠商使用狀況如表如 3.4.2-2，本年度新增或再次進場之協力廠商說明如後。

表 3.4.2-2 C2 標各工程項目主要施工廠商

工程項目	施工廠商
北/南口隧道工程	大陸/漢德
北口襯砌工程	大陸/漢德
邊坡保護	廣昇
排水及路工工程	長弘(已退場)、程隆
疏散及聯絡道	大陸/漢德
其他	三滂、煒鑫、震鑫、臻成、晁昕、堡順
用電設備	大陸、達成

- 1.三滂工程：主要負責北口機房基樁工程，原已於105年12完工退場，106年度因南口擋土牆工程再次進場，目前累積使用吊車、挖土機、動力箱及發電機等共5台機具。
- 2.堡順工程：主要負責南口鋼便橋之施作，目前進場包括：挖土機2台及發電機1台。
- 3.程隆工程：主要接續長弘負責清除掘除及土方搬運作業，使用15台傾卸車。

在土石方處理及運輸部分，開工迄104年6月前，土石方係直接由工區運至土資場，土石方運輸作業致豪公司(協力廠商)使用之機具列入盤查範圍；然其運具及將土石方外運至土資場的長弘公司(協力廠商)之傾卸車，依據與查驗機構討論之廢棄物運輸排碳量分配原則，如廢棄物處置方式為資源再利用，則其所造成的運輸排碳量不歸屬於本標工程，故傾卸車未列入盤查範圍。

104年6月份開始，土石方會先運至暫置區(和仁車站)，致豪公司使用之機具退至暫置區進行土石方作業，致豪使用之挖土機仍列入盤查範圍；由工區運至暫置區之傾卸車由長弘公司負責，故開始針對長弘傾卸車進行油單、載運方數、車次、里程資料統整，惟因後續長弘公司已停止運土工作，故106年度3月份起，已改由程隆公司進行土石方運輸工作。

C2 標所蒐集之詳細機/運具及其他能耗量資料彙整於附冊-C2 標-1.機/運具能耗與 3.其他能耗頁面，本計畫彙整各型機/運具能耗量及其他能耗量於表 3.4.2-3。

表 3.4.2-3 C2 標各類機/運具及其他能耗量

類型	能耗量(L/度)
挖土機	164,857.00
發電機(柴)	52,613.79
高空作業車	4,056.00
鑽堡	4,007.61
噴漿機	4,692.83
空壓機(柴)	23,190.33
鏟裝機	11,048.55
傾卸車	162,930.00
其他	49.00
合計(L)	427,445.11
場電(度)	2,729,220.00

(二)工程材料使用

C2 標工程所用之工程材料包括：水泥、各類混/噴凝土、竹節鋼筋、水玻璃、岩栓、圍籬、火藥、各類型支保、岩栓、先撐鋼管、以及部分組合性材料(如預力地錨等)及水泥砂漿等，詳細材料活動數據清冊詳附冊-C2 標-2.工程材料頁面。107 年上半年度因北口機房工程需要，新增抵石子、批土及水泥漆等 3 項工程材料；另因應南口邊坡及洞口工程需要，新增預力鋼索、兩型號 H 型鋼支保等 3 項工程材料，107 年下半年度則是因應南口隧道開挖及井式基礎工程，新增數組規格之支保。

(三)廢棄物：本年度無須計算之廢棄物運出。

(四)碳匯改變：本年度雖有林地及樹木移除作業，惟尚未取得相關收方資料，將待取得相關資料後計算。

(五)人員出勤：本計畫計算人員出勤逸散係依據盤查日誌之人員出勤資料

統計結果，扣除屬於承包商大陸工程之內業職員後，本年度大陸新增外勞，總出勤人數為 40,285 人日。

(六)運輸(含機/運具、工程材料、廢棄物)

C2 標本年度運具類型包括：全拖車、半拖車、大貨車、小貨車、混凝土攪拌車、吊卡車。另有一項其他，是指承包商或協力廠商以自有小貨車進行小型工程材料採購運進；此部分由於公務車油耗或協力廠商提供用油單據已列入管理單位碳足跡計算內容，故此種運輸方式不列入工區運輸碳足跡計算項目。綜整各類運具之運輸內容如表 3.4.2-4，詳細運輸數據詳附冊-C2 標-5.運輸頁面。

表 3.4.2-4 C2 標主要運輸所用運具類型及載運物品彙整

運具類型	載運物品
全拖車	H 型鋼、竹節鋼筋、岩栓材料、透空式護欄、機具、桁型鋼支保
半拖車	H 型鋼、水泥、點焊網、機具、瀝青混凝土
大貨車	鍍鋅鋼管、鋼纖維、速凝劑、地錨材料、PVC 管、水玻璃、馬歇爾管、機具
吊卡車	皂土、機具、植生土
小貨車	乙炔、氮氣、格柵板、模板、岩栓鑽頭、木板、機具
預拌混凝土車	混凝土、噴凝土
其他	速凝劑

三、本年度碳足跡盤查結果

本計畫依據前述活動強度數據，對應 3.3.3 節所蒐集之碳排放係數，分別計算機/運具使用、工程材料使用、人員出勤、機/運具及工程料運輸等四類碳排放量，綜整本年度工程碳足跡計算結果如表 3.4.2-5。

總計本年度 C2 標之工區碳足跡約為 29,913.82 tCO_{2e}；主要排放源為材料使用，占比約 86%；其他依排放占比大小序，分別為：機/運具使用排放約占 11%、運輸排放約占 3%，及人員出勤排放約占 0.07%，小於 1%，各類碳排放量說明如下。

表 3.4.2-5 C2 標本年度碳足跡量化結果

類別	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
工程材料	25,802.86	86
機材運輸	856.77	3
機/運具(含場電)	3,233.23	11
人員逸散與廢棄物	20.96	<1
合計	29,913.82	100

(一)機/運具使用碳排放

機/運具使用碳排放量計算之排碳係數採用我國環保署公告之本土化係數，包括移動源柴油、固定源柴油及電力排碳係數。機/運具使用(含場電)碳排放量為 3,233.23 為隧道開挖工程除挖土機外，大部分機具(如鑽堡、噴漿機等)皆使用場電，故場電排碳相當顯著，另彙整本年各型機具排碳量及占比如表 3.4.2-6。

表 3.4.2-6 C2 標本年度各型機/運具碳足跡計算結果

項目	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
挖土機	552.27	17
發電機(柴)	176.26	5
高空作業車	13.59	<1
鑽堡	13.43	<1
噴漿機	15.72	<1
空壓機(柴)	77.69	2
鏟裝機	37.01	1
傾卸車	545.82	17
其他	0.16	<1
場電	1,801.29	56
合計	3,233.23	100

(二)工程材料使用碳排放

C2 標本年度工程材料使用碳排放量為 25,802.86 tCO₂e，各類別工程材料碳排放量及占比如表 3.4.2-7，各項工程材料詳細之排放量請

參閱附冊-C2 標-2.工程材料頁面。工程材料使用排碳使用量占比最高者為混/噴凝土，約占 80%。另由圖 3.4.2-2 將混/噴凝土更細分為各強度，可以看出本年度主要使用鋼纖噴凝土及混凝土 245 高坍之碳排放量較高，此兩項混凝土分別使用於隧道支撐作業及隧道襯砌及通風格板工程。

表 3.4.2-7 C2 標本年度各類工程材料使用碳足跡計算結果

項目	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
混/噴凝土	20,556.69	80
岩栓材料	250.84	1
支保	524.54	2
竹節鋼筋	2,699.95	10
先撐鋼管	272.53	1
炸藥	253.60	1
其他	347.11	1
水泥	737.61	3
管幕	159.99	1
合計	25,802.86	100

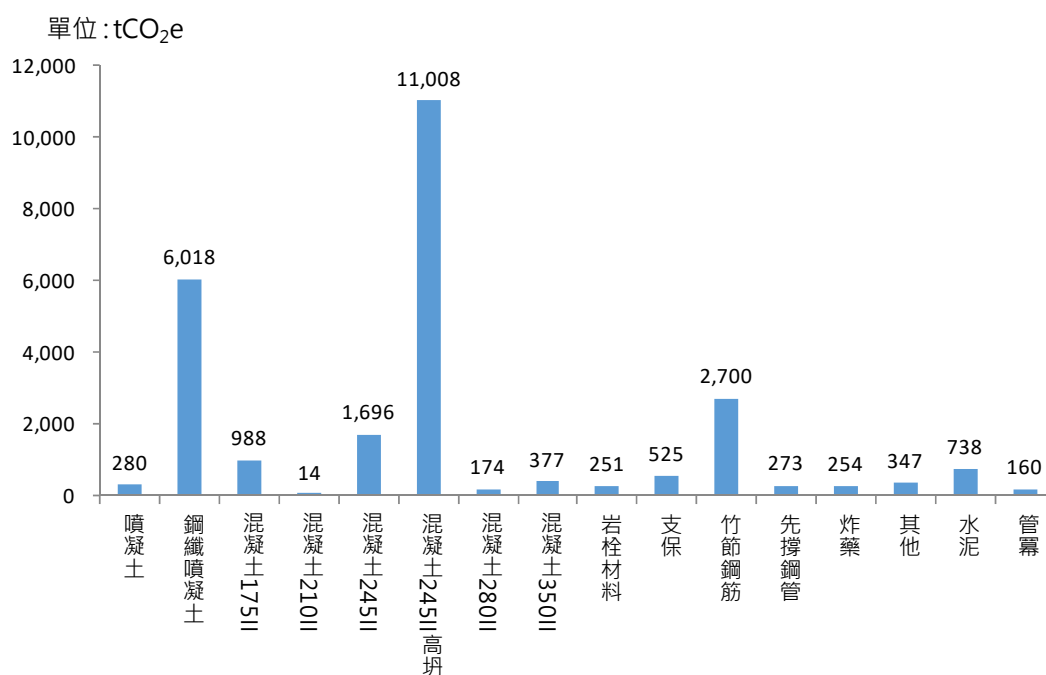


圖 3.4.2-2 C2 標本年度各類工程材料使用碳足跡計算結果

(三)人員出勤碳排放

工區人員出勤碳排放源包括化糞池逸散與廢棄物處理排放，本年度工區人員總出勤人日數為 40,285 人日，以化糞池碳排放係數 0.0398 kgCO₂e/人時，及一般廢棄物處理排放係數 0.504 kgCO₂e/kg 計算，分別求得 C2 標工區化糞池溫室氣體逸散量約 12.84 tCO₂e；而處理廢棄物之碳排放量則為 8.12 tCO₂e。

綜合 2 項人員出勤碳排放源之排放量計算結果，可得 C2 標本年度人員出勤總排放量約為 20.96 tCO₂e。

(四)運輸(含機/運具、工程材料、廢棄物)碳排放

由本章 3.3 節係數選用說明與係數計算結果，本計畫首先將 C2 標足跡盤查日誌運輸部分填報內容逐一換算為活動強度(噸公里數，tkm)，計算方式即依據所運載物品重量、車次與距離，計算各筆運輸活動數據；回程部分排放量則以運入活動數據之一半估算，故每筆日誌運輸活動數據為單趟噸公里(tkm)×1.5 計算。部分載運物品有無法計算或推估重量的情況時，本計畫以該車輛最大載運能力估算，再依據各趟次運具規格、分 8 類選用對應的運輸係數進行計算，求得 C2 標本年度運輸碳排放量約為 856.77 tCO₂e。

本年度各類別運輸占比詳表 3.4.2-8，主要碳排放來源為混/噴凝土運輸，占 96%；其次為其他工程材料，占比約 2%；再次為竹節鋼筋，占比約 1%。

表 3.4.2-8 C2 標本年度各類項目運輸碳足跡計算結果

項目	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
炸藥	10.04	1
混/噴凝土	819.78	96
竹節鋼筋	11.07	1
岩栓	2.03	<1
支保	1.69	<1
其他材料	12.16	2
合計	856.77	100

3.4.3 和中清水段機電工程(C3 標)

本節首先簡要介紹和中清水段機電工程(C3 標)內容，再接續逐項說明 107 年度各項目之新增項目及碳足跡計算結果。

一、盤查範圍說明

和中清水段機電工程(C3 標)自 107 年 1 月 18 日決標，並於 107 年 3 月 5 日開工，工程範圍如圖 3.4.3-1，主要包含和中到大清水全長 9.1 公里(含隧道、橋梁及路堤)，北起和中社區北側，以長約 4.8 公里的中仁隧道向南穿越山區，南端於和仁派出所北邊山坡出洞後，接回既有台 9 線跨越大清水溪的卡南橋北側，蘇花改路線最後一段，則是由和仁火車站南側，以長約 2.9 公里的仁水隧道往南穿過山脈至清水溪仁水隧道，全線皆位於太魯閣國家公園範圍，隧道南口再以清水溪橋及路堤路塹段銜接既有太魯閣國家公園大清水服務區，工程內容包括上述路堤路塹段及橋梁段之公路照明、隧道段之機電工程、動力配電(含電纜架及配電系統)、監控、消防給排水(含隧道水霧系統、隧道通風及排煙、機房之通風及空調、機房內部配合裝修、自來水配水池給排水設備等之供應及安裝)。

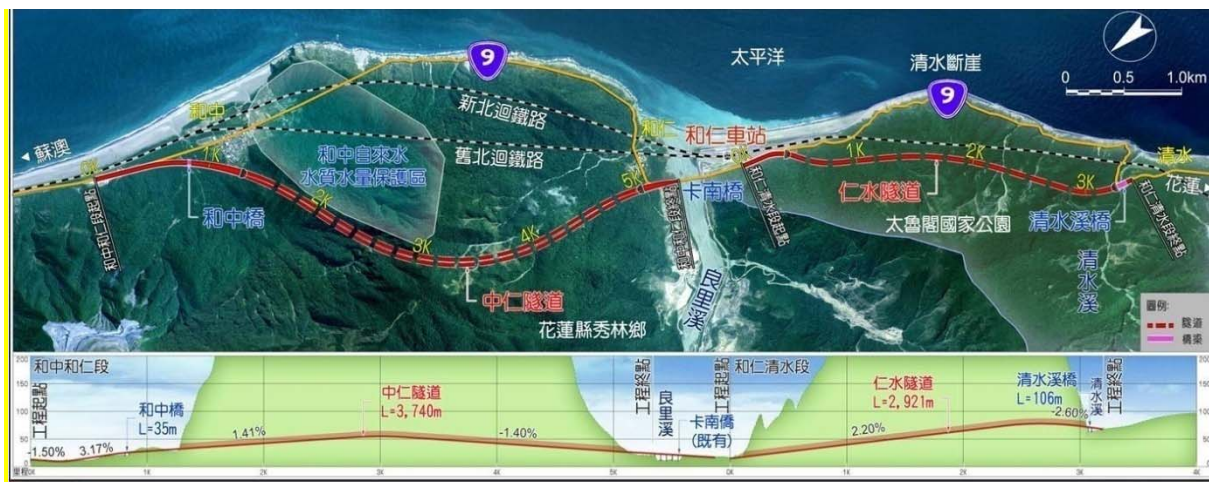


圖 3.4.3-1 和中清水段機電工程(C3 標)工程範圍示意圖

二、本年度活動數據蒐集結果

本年度主要執行工項除了人機料動員及準備作業外，目前進行組合屋興建等雜項工程項目，主要工程包括電纜線架裝設、配電盤定位等公項於 11 月及 12 月進行，另有部分不銹鋼管運入，尚未安裝。

(一)機/運具使用

本年度執行主要工項機具之能耗來源多為隧道用電，此部分已於土建標排碳量中計算，本年度 C3 標工區用油機具包括外租挖土機及吊卡車與一台堆高機，總用油量 1,620.15L，各機具用油詳附冊 C3 標清冊，另本年度 C3 標無工區用電及用水資料。

(二)工程材料使用

本年度使用材料包括混凝土、電纜線架納入排碳量計算，內容詳附冊 C3 標清冊；設備如配電盤、照明等於本年度不納入排碳量計算內容。

(三)廢棄物：本年度尚無廢棄物運出。

(四)碳匯改變：本年度尚無碳匯改變。

(五)人員出勤

依據盤查日誌之人員出勤資料統計結果，扣除屬於承包商公司內業職員後，本年度工區總出勤人員數為 679 人日。

(六)運輸(含機運具、工程材料)

C3 標本年度使用運具類型為混凝土預拌車及大貨車，運送項目包括混凝土、配電盤、不銹鋼管、照明及地下油槽。

四、本年度碳足跡計算結果

依據前節所蒐集之碳排放係數及前項綜整之 C3 標碳排放活動量，即可對應批次進行包括：機/運具使用、工程材料使用、人員出勤、機/料運輸共 4 類碳足跡量化計算。

結果顯示，C3 標 107 年年度總排放量約為 225.32 tCO₂e；來源為運輸部分，結果如表 3.4.3-1，另逐項說明各類別碳排放量計算過程與結果於後。

表 3.4.3-1 C3 標本年度碳足跡量化結果

類別	碳排放量(tCO ₂ e)	排碳占比
工程材料使用	187.74	83
運輸	31.74	14
機/運具使用	5.48	2
人員出勤(逸散、廢棄物)	0.36	<1
合計	225.32	100%

(一)機/運具使用碳排放

依據前節能耗資料，本年度機具能耗排碳量為 5.48 tCO₂e。

(二)工程材料使用碳排放

本年度使用材料包括混凝土、電纜線架，排碳量計算結果 187.74 tCO₂e。

(三)人員出勤逸散碳排放

工區人員出勤碳排放源包括化糞池逸散與廢棄物處理排放，本年度工區人員總出勤人日數為 679 人日，以化糞池碳排放係數 0.0398 kgCO₂e/人時，及一般廢棄物處理排放係數 0.504 kgCO₂e/kg 計算，分別求得 C3 標工區化糞池溫室氣體逸散量約 0.22 tCO₂e；而處理廢棄物之碳排放量則為 0.14 tCO₂e。

綜合 2 項人員出勤碳排放源之排放量計算結果，可得 C3 標本年

度人員出勤總排放量約為 0.36 tCO₂e。

(四)工程材料及機具運輸碳排放

由本章 3.3 節係數選用說明與係數計算結果，本計畫首先將 C3 標足跡盤查日誌運輸部分填報內容逐一換算為活動強度(噸公里數，tkm)，計算方式即依據所運載物品重量、車次與距離，計算各筆運輸活動數據；回程部分排放量則以運入活動數據之一半估算，故每筆日誌運輸活動數據為單趟噸公里(tkm)×1.5 計算。部分載運物品有無法計算或推估重量的情況時，本計畫以該車輛最大載運能力估算，再依據各趟次運具規格、分 2 類選用對應的運輸係數進行計算，求得 C3 標本年度運輸碳排放量約為 31.74 tCO₂e。

3.4.4 南澳和平段機電工程(B5 標)

本節首先簡要介紹南澳和平段機電工程(B5 標)內容，再接續逐項說明 107 年度各項目之新增項目及碳足跡計算結果。

一、盤查範圍說明

南澳和平段機電工程(B5 標)自 105 年 4 月 12 日決標，並於 105 年 4 月 27 日開工，工程範圍如圖 3.4.4-1，主要包含武塔高架橋、武塔隧道、南澳南溪河川橋、觀音隧道、谷風隧道、漢本高架橋、漢本路堤段、和平溪河川橋，共計 20 公里，其中包括隧道段 13.1 公里、橋梁段 4 公里、路堤/路塹段 2.9 公里。B5 標工程項目包含電力、照明、火警、監控、空調及給排水系統，以及隧道段通風與消防系統。B5 標截至 107 年 12 月底止，累計工期為 979 天，實際進度 33.31%。



圖 3.4.4-1 南澳和平段機電工程(B5 標)工程範圍示意圖

二、本年度活動數據蒐集結果

B5 標本年度主要執行工項除了人機料動員及準備作業外，主要施作工項為消防不鏽鋼管加工、消防工程、觀音/武塔隧道電力系統工程、空調系統工程、電力及控制系統及安全衛生設施等。以下即依序就：機/運具使用(用油/用電)、工程材料使用、廢棄物、碳匯改變、人員出勤和運輸共 6 類工程排放源，說明活動度數據彙整與統計結果。

(一)機/運具使用

B5 標開工至今各工項主要施工廠商如表 3.4.4-1，本年度施作工程目包含消防不鏽鋼管加工、消防工程、觀音/武塔隧道電力系統工程、空調系統工程、電力及控制系統及安全衛生設施，另有各式工程材料搬運，使用機具共 86 台，活動強度數據統計與計算結果如表 3.4.4-2，詳細機/運具能耗量彙整於附冊-B5 標。

表 3.4.4-1 B5 標各工程項目主要施工廠商

工程項目	施工廠商
消防不鏽鋼管加工	有進
電力系統工程(觀音)	邱一峰、有進、台邦
電力系統工程(武塔)	邱一峰、台邦
消防工程	有進、盛遠、甲級工程、中興電工

工程項目	施工廠商
電力及控制系統	眾孚、捷電、台邦、葉暉、士林、中華電信
安全衛生設施	星彩實業
人機料動員及準備	有進、中華電信
其他(工程材料搬運)	中華電信

表 3.4.4-2 B5 標本年度機/運具能耗活動數據

工項	機/運具類型	能耗量(L/kWh)	
		燃料/能源	數量
消防不銹鋼管加工	吊卡車、堆高機、電動砂輪機、滾溝機、鋸管機、氬焊機、電焊機、	柴油	1518.90
		汽油	77.05
電力系統工程(觀音)	昇降機、吊卡車、發電機、高空作業車、鋸管機	柴油	2,083.85
電力系統工程(武塔)	昇降機、吊卡車、發電機、高空作業車	柴油	334.55
		汽油	49.03
		用電	使用武塔隧道臨時電力
消防工程	吊卡車、昇降梯、堆高機、高空作業車、	柴油	1,159.04
電力及控制系統	發電機、吊卡車、吊車、切割機、發電機、	柴油	97.17
安全衛生設施	吊卡車、挖土機、發電機、大貨車	柴油	94.72
人機料動員及準備	堆高機、吊卡車、吊車、電纜拉線機、鋸管機、小客車、機車	柴油	33.05
		汽油	23,862.18
其他(工程材料搬運)	電動作業車、電焊機、堆高機、小客車、機車	汽油	189.34

(二)工程材料使用

B5 標本年度所使用之工程材料項目共 373 項，主要使用於不鏽鋼管加工、電力系統工程、消防工程及空調系統工程，各工項使用材料項目如表 3.4.4-3，詳細工程材料使用量彙整於附冊-B5 標。

(三)廢棄物：本年度尚無廢棄物運出。

(四)碳匯改變：本年度尚無碳匯改變。

(五)人員出勤

依據盤查日誌之人員出勤資料統計結果，扣除屬於承包商中華電信/峯典科技公司內業職員後，本年度工區總出勤人員數為5,678人日，此人數即為本年度用以計算 B5 標工區化糞池逸散與生活廢棄物處理排碳量之活動強度數據。

(六)運輸(含機運具、工程材料)

B5 標本年度使用運具類型包括：小貨車、大貨車、拖板車、海運、空運及其他，其他項目係承包商或協力廠商以自有貨車進行材料載運，主要為工區內的材料運輸(料廠至工區)，茲綜整各類運具之運輸內容如表 3.4.4-4，詳細工程材料使用量彙整於附冊-B5 標。

表 3.4.4-4 B5 標本年度運輸所用運具類型及載運物品彙整

運具類型	載運物品
小貨車	儲油槽安裝零件、公路照明零件、安衛材料
大貨車	燈桿、公路照明燈具、公路照明電源開關箱、電纜吊架、隧道燈具、配電盤與空調箱
拖板車	電線及電纜、電纜托架、不鏽鋼管
海運	氣體絕緣開關、公路照明及隧道燈具
空運	濾波器及變頻器
其他(自運)	電線及電纜

四、本年度碳足跡計算結果

依據前節所蒐集之碳排放係數及前項綜整之 B5 標碳排放活動量，即可對應批次進行包括：機/運具使用、工程材料使用、人員出勤、機/料運輸共 4 類碳足跡量化計算。

結果顯示，B5 標 107 年總排放量約為 7,142.45 tCO₂e；其中，以工程材料使用部分的排放量最大，占總排放量的 92%，機/料運輸約占 8%，其餘材料占比皆小於 1%。茲綜整各類碳足跡計算結果如表 3.4.4-5，另逐項說明各類別碳排放量計算過程與結果於後。

(一)機/運具使用碳排放

機/運具使用碳排放量計算之排碳係數採用我國環保署公告之本土化係數，包括移動源柴油、固定源柴油、移動源汽油及電力排碳係數。本年度機/運具盤碳量及占比計算如表 3.4.4-6，機/運具碳排放量合計約為 24.69 tCO₂e。

(二)工程材料使用碳排放

B5 標本年度各項材料使用碳排放量計算內容與結果如表 3.4.4-7 所示，排放量合計約為 6,553.80 tCO₂e。本年度材料使用排碳量占比最高為觀音隧道之消防不鏽鋼管，約占 56%，其次為鍍鋅鋼管 17%、電纜托架 17%，其餘材料排放量占比皆小於 2%。

表 3.4.4-5 B5 標本年度碳足跡量化結果

類別	碳排放量(tCO ₂ e)	排碳占比(%)
工程材料使用	6,553.80	92
運輸	558.54	8
機/運具使用	24.69	<1
人員出勤(逸散、廢棄物)	5.42	<1
合計	7,142.45	100

表 3.4.4-6 B5 標本年度機/運具碳足跡計算結果

機/運具類型	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
昇降機	8.40	34
吊卡車	7.81	31
發電機	6.16	25
堆高機	2.15	9
小貨車	0.17	1
合計	24.69	100

表 3.4.4-7 B5 標本年度工程材料使用碳足跡計算結果

工程材料項目	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
不鏽鋼管	3,675.93	56
鍍鋅鋼管	1,092.46	17
電纜托架	1,085.16	17
U 型槽鋼	112.99	2
水霧自動閥箱(底箱)	95.4	1
螺栓式單臂燈柱	88.26	1
電纜	74.42	1
零星材料	68.64	1
鋼性接頭	54.84	1
燈具	52.2	1
綜合消防暗箱	29.85	<1
不鏽鋼重型鋼性接頭	26.31	<1
變壓器絕緣油	23.4	<1
道路用高壓鈉氣燈具高功率安定器	20.29	<1
地下油槽	12.48	<1
其他材料	41.17	<1
合計	6,553.80	100

(三)人員出勤碳排放

工區人員出勤產生的化糞池逸散與廢棄物處理部分排放量以本年度工區總出勤人日數為 157 人日，以化糞池碳排放係數 0.0398 kgCO₂e/人時，一般廢棄處理排放係數 0.504 kgCO₂e/kg 計算，分別求得 B5 標本年度工區化糞池溫室氣體逸散量約 3.81 tCO₂e；以及一般廢棄物處理排放量約 1.61 tCO₂e。綜合 2 項人員出勤碳排放源之排放量計算結果，可得 B5 標本年度人員出勤總排放量約為 5.42 tCO₂e。

(四)運輸(含機運具、工程材料)碳排放

由本章 3.3 節係數選用說明與係數計算結果，本計畫首先將運進盤查內容逐一換算為活動強度(噸公里數，tkm)，回程部分排放量則以運入活動數據之一半估算，故每筆運輸活動數據為單趟噸公里

(tkm)×1.5 計算。此外，部分載運物品有無法計算或推估重量的情況時，本計畫以該車輛最大載運能力估算，再依據各趟次運具規格、分 8 類選用對應的運輸係數進行計算。

B5 標本年度運輸碳排放量約為 558.54 tCO₂e，各類別運輸排碳量及占比詳表 3.4.4-8。主要運輸項目為油壓氣體絕緣開關(GIS)約占 94%，其次為不鏽鋼管約占 2%及電纜 1%。

表 3.4.4-8 B5 標本年度各類別運輸碳足跡計算結果

材料項目	排碳量(tCO ₂ e)	占比(%)
油壓氣體絕緣開關(GIS)	522.84	94
不鏽鋼管	9.43	2
電纜	7.76	1
機具	2.19	<1
電纜托架	1.78	<1
隧道風門	1.75	<1
不鏽鋼接頭	1.21	<1
安衛材料	1.19	<1
燈具	1.13	<1
高壓鈉氣燈具安定器	1.07	<1
鍍鋅鋼管	0.96	<1
零星材料	0.94	<1
電動風門	0.89	<1
消防設備	0.87	<1
其他材料	4.53	<1
合計	558.54	100

3.4.5 交通控制系統工程(E1 標)

首先簡要介紹交通控制系統工程(E1 標)內容，並接續逐項說明本年度盤查數據及碳足跡計算結果。

一、盤查範圍說明

交通控制系統工程(E1 標)範圍如圖 3.4.5-1，施工地點(包括一期：蘇澳~東澳、二期：南澳~和平、三期：和中~和仁及和仁~大清水等)、公路總局第四區養護工程處轄區(包括既有台 9 線蘇澳里程約 104K+726 至崇德里程約 181K+300)等區域。

E1 標工作包含工程範圍內整體路網交通控制系統之現場勘測、系統施工設計、購料、製造、施工、安裝、測試調整及保固等。



圖 3.4.5-1 交通控制系統工程(E1 標)範圍示意圖

二、本年度盤查日誌數據彙整結果

活動數據蒐集內容包括：機/運具使用(用油/用電)、工程材料使用、廢棄物、碳匯改變、人員出勤及運輸。相關內容詳如附冊 E1 標-機運具使用，以下即分項說明各類活動強度數據彙整與統計結果。

(一)機/運具使用

本年度配合 A 段土建標竣工及部分 B 段與 C 段施工，主要使用機/運類型為發電機、客貨兩用車、小貨車、高空作業車及挖掘機；其中，剪刀式高空作業車因使用工區臨時用電，故歸類於場電中計算。

另外，經本計畫統計發現，部分機/運具於本年度未有加油紀錄，進一步與承包商確認，係因施工結束並未在工區內添加燃料之情形，故本年度將操作時數在 50 小時以下，且未有加油紀錄之機/運具活動暫不列入活動數據統計；而其他操作時數超過 50 小時但無加油紀錄的機/運具，則基於與查驗機構討論的結果，得參考其他相似之單位操

作時間能耗量，加以推估耗油量。茲彙整本年度活動數據如表 3.4.5-1。

表 3.4.5-1 E1 標本年度機/運具使用能耗彙整

類型	能耗量(L)
發電機	728.12
客貨兩用車	563.08
小貨車	882.21
框式高空工作車	18.30
合計	3,343.71

(二)工程材料使用

主要施作內容為隧道廣播、資訊顯示、有線與無線電話及車輛辨識系統等之建置，而使用較大數量之工程材料包括環路線圈、螺帽、無線電漏波同軸電纜、XLPE 電纜及通信線等，相關內容詳如附冊 E1 標-工程材料使用。

(三)廢棄物：本年度無須計算之廢棄物運出。

(四)碳匯改變：本年度尚無碳匯改變。

(五)人員出勤：本計畫計算人員出勤逸散係依據盤查日誌之人員出勤資料統計結果，總出勤人數為 5,270 人日。

(六)機/材運輸(含機運具、工程材料)

本年度使用運具類型包括：大貨車、小貨車及空運，茲綜整各類運具大宗運輸內容如表 3.4.5-2，相關內容詳如附冊 E1 標-機材運輸。

本計畫依據所運載物品重量、車次與距離，計算各筆運輸活動數據；回程部分排放量則以運入活動數據之一半估算，故每筆日誌運輸活動數據為單趟噸公里(tkm) \times 1.5 計算。部分載運物品無法取得重量時，本計畫以該運具最大載運能力估算。

表 3.4.6-2 E1 標本年度運輸所用運具類型及載運物品彙整

運具類型	載運物品
大貨車	車輛偵測環路線圈、資訊可變標誌(3X6 字, TYPE B)、緊急停車彎車輛偵測環路線圈、資訊可變標誌終端控制器、號誌燈箱(含 LED 燈)、號誌控制器、隧道洞口緊急電話機(盤體)、影像式緊急電話機(盤體)、遠端監測單元、光纖監測軟體+伺服器、車輛辨識器(一車道)、車輛辨識器(二車道)、預鑄 B 型手孔、PD 點基礎(地下引進型)、懸臂式 SIG 交通號誌構造物(SIG-A1U)、屋頂上自立式微波天線桿支架構造物(含基座)(WIT-3M)、終端設備箱體 TYPEB、PVC 電力電纜 600V 7C 3.5mm ² ...等
小貨車	類比內線分機卡(含 License)、數位內線分機卡(含 License)、類比電話機(專用電話)、數位電話機(專用電話)、專用電話中繼台(IP Phone)、核心路由器之共用單體及設備(含備援保護部份)、核心路由器之 10/100/1000 Base-Tx Ethernet 電介面模組、核心路由器之 100 Base-Fx Ethernet 光介面模組、核心路由器之 Gb Ethernet 光介面模組、接取路由器之共用單體及設備(含備援保護部份)、高速乙太網路交換器(光介面)共用單體及設備、車輛辨識器(一車道)、車輛辨識器(二車道)、機架、電纜夾具...等
空運	車輛辨識器(一車道)、車輛辨識器(二車道)、門架式車輛感測器
全拖車	4G 型號誌控制器
混凝土攪拌車	混凝土 245、低強度混凝土(CLSM)

三、本年度碳足跡計算結果

依據本計畫蒐集與引用之碳排放係數，及前述綜整之碳排放活動數據，即可計算機/運具使用、工程材料使用、人員出勤、機/材運輸等 4 類碳足跡。

結果顯示，本年度總排放量約為 208.44 tCO₂e；其中，以材料部分的排放量最大，占總排放量的 88%；其次為機/運具使用(含場電)占 7%，機材運輸約占 4%，人員出勤最小約占 1%。茲綜整各類碳足跡計算結果如表 3.4.5-3，並逐項說明各類別碳排放量計算過程與結果如后。

表 3.4.5-3 E1 標本年度碳足跡量化結果

類別	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
工程材料使用	182.23	88
機材運輸	9.24	4
機/運具使用(含場電)	14.23	7
人員出勤(逸散、廢棄物)	2.74	1
合計	208.44	100

(一)機/運具使用碳排放

採用環保署公告汽油與柴油本土化係數進行計算，各型機/運具碳排放量及占比如表 3.4.5-4，碳排放量合計約為 11.13 tCO₂e。

表 3.4.5-4 E1 標本年度各型機/運具碳足跡計算結果

類型	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
發電機	2.20	20
客貨兩用車	1.79	16
小貨車	3.07	27
框式高空工作車	0.06	1
挖掘機	4.01	36
合計	11.13	100

(二)工程材料使用碳排放

依據本年度蒐集工程材料使用量結果，各項材料使用碳排放量計算內容與結果如表 3.4.5-5 所示，本年度工程材料使用碳排放量合計約為 182.22 tCO₂e。

表 3.4.5-5 E1 標各類工程材料使用碳足跡計算結果

項目	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
線材/電纜	21.17	12
箱體	7.68	4
管線架	0.68	<1

項目	碳排放量(tCO ₂ e)	占比(%)
其他材料	96.12	53
混凝土	56.57	31
合計	182.22	100

(三)人員出勤碳排放

工區人員出勤產生的化糞池逸散與廢棄物處理，以本年度工區總出勤人日數為 5,270 人日，以化糞池碳排放係數 0.039kgCO₂e/人時，及一般廢棄物處理排放係數(宜蘭縣)0.504kgCO₂e/kg 計算，分別求得本年度工區化糞池溫室氣體逸散量約 1.68tCO₂e；以及一般廢棄物處理排放量約 1.06tCO₂e，綜合兩項碳排放源之碳排放量約為 2.74tCO₂e。

(四)機/材運輸碳排放(含機/運具、工程材料)

首先將碳足跡盤查日誌運輸部分填報內容逐一換算為活動數據(噸公里數，tkm)，再依據各趟次運具規格、分 8 類選用對應的運輸係數進行計算，求得 E1 標本年度運輸碳排放量為 9.24tCO₂e。

3.5 工程管理碳足跡計算

本報告依據各施工廠商管理單位駐所、監造工務所及蘇花改工程處與工程段所提供的年報資料，彙整之各級管理單位辦公房舍活動強度數據，配合前節 3.3.4 所蒐集之工程管理碳排放係數，則可完成工程管理碳足跡量化。以下首先說明各管理單位資料蒐集情況與活動強度，隨後分項說明各工程段之工程管理碳足跡計算結果。本年度(107)管理單位管理單位活動強度與碳排放量，隨後分節報告，上述清冊資料本計畫將一併呈現於 107 年年度清冊。

3.5.1 蘇花改工程處

茲彙整蘇花改工程處之範疇一至範疇三的各類活動強度數據如表 3.5.1-1，另擇要說明計算過程與結果。

一、直接排放

(一)固定式燃燒：依據設施別，可分為緊急發電機以及熱水器、瓦斯爐(分天然氣及液化石油氣)等。此段僅有熱水器、瓦斯爐(液化石油氣)等活動強度。

(二)移動式燃燒：依據設施別分為使用汽油之公務車能耗量。

(三)逸散：依據設施別可分為二氧化碳/乾粉滅火器、環保滅火器、空調、冰箱、化糞池等，此部份目前已由各管理單位視各自設備設置情形，填報逸散設備調查表、提供不同冷媒之填充量，其中經與查驗機構討論後，滅火器排放量目前僅計算已使用數量。另化糞池部份係以總人天為活動強度進行調查。

二、能源間接排放

能源間接排放對於辦公室而言即外購電力之總量。

三、其他間接排放

其他間接排放包含外購之用水以及因人員出勤造成的廢棄物，廢棄物依據環保署目前公布宜蘭縣 107 年平均每人每日垃圾清運量 0.391 公斤計算。

本計畫依據前述活動量強度與係數，計算分別蘇花改工程處碳足跡計算

結果如表 3.5.1-2。工程管理碳排放推估共計為 126.94 tCO₂e。

表 3.5.1-1 蘇花改工程處年報活動數據統計結果

範疇一、直接排放				
排放源類別	設施或活動別	原燃物料	活動強度	
			工程處	單位
固定式燃燒	熱水器	液化石油氣	0	公斤
移動式燃燒	公務車	汽油	18,714.37	公升
逸散	飲水機	R-134a	0.0021	公斤
	空調	R-22a	0	公斤
		R-410a	1.8737	公斤
	冰箱	R-134a	0.0050	公斤
		R-410a	0	公斤
		R-600a	0	公斤
化糞池	排泄物	11,149	人-天	
範疇二、間接排放				
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	工程處	單位
能源間接排放	電表	外購電力	91,916.00	度
範疇三、其他間接排放				
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	工程處	單位
其他	廢棄物	廢棄物 委外處理	11,149.00	人-天
	水表	水	1,372.00	度

表 3.5.1-2 蘇花改工程處管理單位碳足跡計算結果

範疇一、直接排放					
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工程處		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
熱水器、瓦斯爐	液化石油氣(L)	2.24	-	-	-
公務車	汽油(L)	3.01	18,714.37	56.33	56.33
公務車	柴油(L)	3.38	-	-	-

飲水機	R-134a (kg)	1443	0.001	0.01	0.01
空調	R-22a (kg)	2203	-	-	-
	R-410a (kg)	2101	1.8737	3.93	3.93
冰箱	R-134a (kg)	1443	0.005	<0.01	<0.01
	R-404a (kg)	3922	-	-	-
	R-600a (kg)	3	-	-	-
	R-22a (kg)	2203	-	-	-
滅火器	NaHCO ₃	0.262	-	-	-
化糞池	排泄物(人-時)	0.040	89,192	3.56	3.56
小計(tCO₂e)					63.84
範疇二、間接排放					
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工務段		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
電表	外購電力(度)	0.660	91,916	60.66	60.66
小計(tCO₂e)					60.66
範疇三、其他間接排放					
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工務段		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
廢棄物	廢棄物委外處理	0.504	4,359	2.19	2.20
水表	水	0.167	1,372	0.22	0.22
小計(tCO₂e)					2.42
總和(tCO₂e)					126.94

3.5.2 蘇澳東澳段(東澳段、監造、A2 及 A4)

因 A 段已於 107 年 2 月通車，此段年度相關管理單位包括：A2 及 A4 各標承商辦公室、監造工程處及東澳段工程處 107 年度至竣工資料。茲彙整各單位之範疇一至範疇三的各類活動強度數據如表 3.5.2-1，另擇要說明計算過程與結果於後。

一、直接排放

(一)固定式燃燒：依據設施別，可分為緊急發電機以及熱水器、瓦斯爐(分天然氣及液化石油氣)等。由 A 段資料蒐集彙整結果，此段僅有熱水器、瓦斯爐(液化石油氣)等活動強度。

(二)移動式燃燒：依據設施別分為使用汽、柴油之公務車能耗量，柴油車部份僅 A2、A4 標承包商使用。

(三)逸散：依據設施別可分為二氧化碳/乾粉滅火器、環保滅火器、空調、冰箱、化糞池等，此部份目前已由各管理單位視各自設備設置情形，填報逸散設備調查表、提供不同冷媒之填充量，其中經與查驗機構討論後，滅火器排放量目前僅計算已使用數量。另化糞池部份係以總人天為活動強度進行調查。

二、能源間接排放

能源間接排放對於辦公室而言即外購電力之總量。

三、其他間接排放

用水部分因東澳監造工程處及東澳工務段皆為租用幸福水泥房舍作為辦公室，故同樣都以山泉水為水源、無自來水使用量；目前有 A2 標工務所、A4 標工務所、監造蘇澳工程處與蘇澳工程處具有需列入碳足跡計算之接管用水量。

本計畫依據前述活動量強度與係數，計算分別 A 段工程承商、監造管理碳足跡如表 3.5.2-2。A 段工程管理碳排放推估共計為 35.07 tCO₂e。

表 3.5.2-1 蘇澳東澳段年報活動數據統計結果

範疇一、直接排放							
排放源類別	設施或活動別	原燃物料	活動強度				單位
			東澳段	監造	承包商	總和	
固定式燃燒	熱水器、瓦斯爐	液化石油氣	-	-	-	-	公斤
移動式燃燒	公務車	汽油	-	-	5,907	5,907	公升
	公務車	柴油	-	-	280	280	公升
逸散	飲水機	R-134a	0.003	-	0.001	-	公斤
	空調	R-22a	0.379	0.061	0.023	-	公斤
		R-410a	0.192	0.258	1.091	1	公斤
	冰箱	R-134a	-	-	0.007	0.007	公斤
		R-410a	-	-	-	-	公斤
		R-600a	-	-	-	-	公斤
	化糞池	排泄物	452	1,108	2,785	2,785	人-天
範疇二、間接排放							
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	東澳段	監造	承包商	總和	單位
能源間接排放	電表	外購電力	3,406	893	8,480	12,779	度
範疇三、其他間接排放							
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	東澳段	監造	承包商	總和	單位
其他	廢棄物	廢棄物委外處理	452	1,108	2,785	4,345	人-天
	水表	水	-	198	139	337	度

表 3.5.2-2 蘇澳東澳段管理單位碳足跡計算結果

範疇一、直接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工務段		監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
熱水器、瓦斯爐	液化石油氣(L)	2.24	-	-	-	-	-	-	-
公務車	汽油(L)	3.01	-	-	-	-	5907	17.78	17.78
公務車	柴油(L)	3.38	-	-	-	-	280	0.94	0.94
飲水機	R-134a (kg)	1443	0.003	0.01	-	-	0.001	<0.01	0.01
空調	R-22a (kg)	2203	0.379	0.83	0.061	0.13	0.023	0.05	1.02
	R-410a (kg)	2101	0.192	0.40	0.258	0.54	1.091	2.29	3.23
冰箱	R-134a (kg)	1443	-	-	-	-	0.007	0.01	0.01
	R-404a (kg)	3922	-	-	-	-	-	-	-
	R-600a (kg)	3	-	-	-	-	-	-	-
	R-22a (kg)	2203	-	-	-	-	-	-	-
滅火器	NaHCO ₃	0.262	-	-	-	-	-	-	-
化糞池	排泄物(人-時)	0.040	3,616	0.14	8,864	0.35	22,280	0.89	1.39
小計(tCO ₂ e)									24.38
範疇二、間接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工務段		監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
電表	外購電力(度)	0.660	3,406	2.25	893	0.59	8480	5.60	8.43
小計(tCO ₂ e)									8.43
範疇三、其他間接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工務段		監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
廢棄物	廢棄物委外處理(公斤)	0.504	3,616	0.23	8,864	0.56	22,280	1.40	2.19
水表	水	0.167	-	-	198	0.03	139	0.02	0.05
小計(tCO ₂ e)									2.24
總和(tCO ₂ e)									35.07

3.5.3 南澳和平段(B5 標、監造)

本段相關管理單位包括：南澳工務段、B5 標承商辦公室及監造工程處辦公室。年報填報之時間範圍為 107 年 1 月 1 日，至 107 年 12 月底止。茲彙整各單位之範疇一至範疇三的各類活動強度數據如表 3.5.3-1，另擇要說明計算過程與結果於後。

一、直接排放

- (一)固定式燃燒：依據設施別，可分為緊急發電機以及熱水器、瓦斯爐(分天然氣及液化石油氣)等。本段未使用緊急發電機，僅有熱水器、瓦斯爐(液化石油氣)等活動強度。
- (二)移動式燃燒：依據設施別僅有使用汽油之公務車能耗量，汽油車各管理單位都有使用，總計油量為 13,516.52 L。
- (三)逸散：依據設施別可分為二氧化碳/乾粉滅火器、環保滅火器、空調、冰箱、化糞池等，此部份目前已由各管理單位視各自設備設置情形，填報逸散設備調查表，並提供不同冷媒之填充量，其中經與查驗機構討論後，滅火器排放量目前僅計算已使用數量。另化糞池部份也完成總人天的調查結果。

表 3.5.3-1 南澳和平段年報活動數據統計結果

範疇一、直接排放							
排放源類別	設施或活動別	原燃物料	活動強度				
			南澳段	B5	監造	總和	單位
固定式燃燒	熱水器、瓦斯爐	液化石油氣	20.00	-	-	20.00	公斤
移動式燃燒	公務車	汽油	1,673.27	10,858.76	984.49	13,516.52	公升
	公務車	柴油	-	-	-	-	公升
逸散	飲水機	R-134a	0.0005	0.3000	0.1460	0.4465	公斤
	空調	R-22a	-	12.3200	1.6000	13.92	公斤
		R-410a	-	2.2400	-	2.2400	公斤
	冰箱	R-134a	-	0.0510	0.1100	0.1610	公斤
		R-404a	-	-	-	-	公斤
		R-600a	0.0004	-	-	0.0004	公斤
	滅火器	NaHCO ₃	-	-	3.50	3.50	公斤
化糞池	排泄物	-	6,287	1,721	8,008	人-天	
範疇二、間接排放							
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	南澳段	B5	監造	總和	單位
能源間接排放	電表	外購電力	42,300.00	41,080.00	49,060.00	132,440.00	度
範疇三、其他間接排放							
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	南澳段	B5	監造	總和	單位
其他	廢棄物	廢棄物委外處理	2,520.00	6,287.00	1,721.00	10,528.00	公斤
	水表	水	446.00	1,268.00	1,018.00	2,732.00	度

表 3.5.3-2 南澳和平段工程管理碳足跡計算

範疇一、直接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	南澳段		監造		承商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	
熱水器、瓦斯爐	液化石油氣(kg)	2.24	20	0.04	-	-	-	-	0.04
公務車	汽油(L)	3.01	1,673.27	5.04	984.49	2.96	10,858.76	32.68	40.68
公務車	柴油(L)	3.38	-	-	-	-	-	-	-
飲水機	R-134a (kg)	1,443	0.0005	<1	0.1460	0.21	0.3000	0.43	0.64
空調	R-22a (kg)	2,203	-	-	1.6000	3.52	12.3200	27.14	30.67
	R-410a (kg)	3,922	-	-	-	-	2.2400	8.79	8.79
冰箱	R-134a (kg)	1,443	-	-	0.1100	0.16	0.0510	0.07	0.23
	R-410a (kg)	3,922	-	-	-	-	-	-	-
	R-600a (kg)	3	0.0004	<1	-	-	-	-	<1
	R-22a (kg)	2,203	-	-	-	-	-	-	-
滅火器	NaHCO ₃	0.262	-	-	3.5	<1	-	-	-
化糞池	排泄物(人-時)	0.040	2,520	0.10	1,721	0.07	6,287	0.25	0.42
小計(tCO ₂ e)									81.48
範疇二、間接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	南澳段		監造		承商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	
電表號	外購電力(度)	0.654	42,300.00	27,66	49,060	32.09	41,080	26.87	86.62
小計(tCO ₂ e)									86.62
範疇三、其他間接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	南澳段		監造		承商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	活動強度	排碳量(tCO ₂ e)	
廢棄物	廢棄物委外處理(kg)	0.267/0.249	2,520.00	0.63	1,721	0.46	6,287.00	1.68	2.77
水表號	水(度)	0.167	446.00	0.07	1,018	0.17	1,268.00	0.21	0.46
小計(tCO ₂ e)									3.23
總和(tCO ₂ e)									171.33

二、能源間接排放

能源間接排放對於辦公室而言即外購電力之總量，用電量最大者是監造辦公室用電，約占本段管理單位總用電量之 37%。

三、其他間接排放

其他間接排放包含外購之用水以及因人員出勤造成的廢棄物，承包商及監造單位廢棄物依據環保署目前公布宜蘭縣 106 年平均每人每日垃圾清運量 0.267 公斤，南澳段則以花蓮縣 107 年平均每人每日垃圾清運量 0.249 公斤計算。

本段工程管理碳足跡計算結果如表 3.5.3-2 所示，截至 107 年 12 月底本段工程管理碳排放推估共計為 171.33 tCO_{2e}；其中，範疇一直接排放部份共計為有 81.48CO_{2e}，占總排放量 48%；範疇二外購電力之間接排放共計為 86.62 tCO_{2e}，占總排放量 50%；範疇三其他間接排放量共計為 3.23 tCO_{2e}，占總排放量 2%。

3.5.4 和 中大清水段(南澳/和平段、和中工務段、監造及 C1A~C3 標)

本段相關管理單位包括：南澳工務段辦公室、和平工務段辦公室、和中工務段辦公室、監造工程處辦公室、C1A 標、C2 標及 C3 標承包商辦公室。年報之時間範圍為 107 年 1 月 1 日至 107 年 12 月底止。茲彙整各單位之範疇一至範疇三之各類活動數據如表 3.5.4-1，另擇要說明計算過程與結果於後。

一、直接排放活動量

(一)固定式燃燒：依據設施別，可分為緊急發電機以及熱水器、瓦斯爐(分天然氣及液化石油氣)等。C 段未使用緊急發電機，僅有熱水器與瓦斯爐之液化石油氣等活動強度。

(二)移動式燃燒：依據設施別分為使用汽、柴油之公務車能耗量，C 段管理單位公務車多使用汽油，僅 C1A 標及 C2 標承商使用少數柴油公務車，C 段汽油用油量合計為 70,643.27 公升，柴油用油量合計為 8,850.76 公升。

(三)逸散：依據設施別可分為二氧化碳/乾粉滅火器、環保滅火器、空調、

冰箱、化糞池等，此部份目前已由各管理單位依據各自設備設置情形，填報逸散設備調查表，並提供不同冷媒之填充量；經與查驗機構討論後，滅火器碳排放量目前僅計算已使用數量；而化糞池部份以總人天數的調查結果作為活動量，並乘上碳排放係數後即可得到碳排放量。

二、能源間接排放活動量

能源間接排放對於辦公室而言即外購電力之總量，用電量最大者是 C1A 標承包商辦公室，包括南口保修廠、南口工務所(A 處)辦公室及北口蘇建興辦公室，約占 C 段管理單位總用電量之 47%。

三、其他間接排放活動量

廢棄物部分由於承包商內外業人員區分困難，此處將承包商出勤人天數全部歸入管理單位計算，其中 C1A 標承包商係包括新亞建設開發股份有限公司、東丕營造股份有限公司及蘇建興營造有限公司；以 C2 標承包商出勤人天數最高，其次為監造工程處、C1A 標、和中工務段及南澳工務段；用水部分彙整資料趨勢大致與出勤人天數相同，C2 標承包商明顯較高，其次為監造工程處、C1A 標及南澳工務段，而和平、和中工務段與 C3 標承包商用水量較低。

四、碳排放量

C 段工程管理碳足跡計算結果如表 3.5.4-2 所示，統計 107 年 C 段工程管理碳排放推估共計為 1,000.47tCO_{2e}；其中，範疇一直接排放部份共計為有 323.60tCO_{2e}，占總排放量 32%；範疇二外購電力之間接排放共計為 649.80 tCO_{2e}，占總排放量 65%；範疇三其他間接排放量共計為 27.07tCO_{2e}，占總排放量 3%。

表 3.5.4-1 和 中大清水段管理單位活動數據統計結果

範疇一、直接排放											
排放源類別	設施或活動別	原燃物料	活動數據								
			南澳段	和平段	和 中段	監造	C1A 標	C2 標	C3 標	總和	單位
固定式燃燒	熱水器、瓦斯爐	液化石油氣	20.00	0	40.00	1,300.00	1,170.00	3,080.00	0	5,610.00	公斤
移動式燃燒	公務車	汽油	1,673.27	1,060.60	1,578.79	20,680.83	17,894.22	24,213.40	3,542.16	70,643.27	公升
	公務車	柴油	0	0	0	0	1,796.12	7,054.64	0	8,850.76	公升
逸散	飲水機	R-134a	0.0005	0.0023	0.0009	0.0016	0.0003	0.0006	0.0006	0.0068	公斤
	空調	R-22a	0	4.1778	1.3635	4.0830	0	0.6526	0	10.2769	公斤
		R-410a	0	0	0	0	0.4497	0.4709	1.8900	2.8106	公斤
	冰箱	R-134a	0	0	0.0009	0.0007	0.0009	0.0006	0.0012	0.0043	公斤
		R-404a	0	0	0	0.0012	0	0	0	0.0012	公斤
		R-600a	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0001	0	0	0.0017	公斤
		R-22a	0	0	0	0	0.0006	0	0	0.0006	公斤
	滅火器	NaHCO ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	公斤
化糞池	排泄物	2,520.00	850.00	47,824.00	324,792.00	273,216.00	341,664.00	8,448.00	999,314.00	人-時	
範疇二、間接排放											
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	南澳段	和平段	和 中段	監造	C1A 標	C2 標	C3 標	總和	單位
能源間接排放	電表	外購電力	42,300.00	32,400.00	33,800.00	160,680.00	462,014.00	249,800.00	3,555.00	984,549.00	度
範疇三、其他間接排放											
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	南澳段	和平段	和 中段	監造	C1A 標	C2 標	C3 標	總和	單位
其他	廢棄物	廢棄物 委外處理	2,520.00	850.00	2,463.23	14,331.45	12,055.66	15,075.92	372.77	47,669.03	公斤
	水表	水	446.00	106.00	101.30	5,634.00	1,309.00	10,530.00	107.00	18,233.30	度

表 3.5.4-2 和 中大清水段管理單位碳足跡計算結果

範疇一、直接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工務段(南澳+和平+和中)		監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
熱水器、瓦斯爐	液化石油氣(L)	2.24	60.00	0.13	1,300.00	2.91	4,250.00	9.52	12.56
公務車	汽油(L)	3.01	4,312.66	12.98	20,680.83	62.24	45,649.78	137.41	212.63
公務車	柴油(L)	3.38	0	0	0	0	8,850.76	29.92	29.92
飲水機	R-134a (kg)	1,443	0.0037	<1	0.0016	<1	0.00	0.00	<1
空調	R-22a (kg)	2,203	5.5413	12.21	4.0830	8.99	0.65	1.44	22.64
	R-410a (kg)	2,101	0	0	0	0	2.81	5.91	5.91
冰箱	R-134a (kg)	1,443	0.0009	<1	0.0007	<1	0	0	<1
	R-404a (kg)	3,922	0	0	0.0012	<1	0	0	<1
	R-600a (kg)	3	0.0012	<1	0.0004	<0	0	0	<1
	R-22a (kg)	2,203	0	0	0	0	0	0	0
滅火器	NaHCO ₃	0.262	0	0	0	0	0	-	0
化糞池	排泄物(人-時)	0.040	51,194.00	2.05	324,792.00	12.94	623,328.00	24.93	39.92
小計(tCO ₂ e)									323.60
範疇二、間接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工務段		監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
電表	外購電力(度)	0.660	108,500.00	71.61	160,680.00	106.05	715,369.00	472.14	649.80
小計(tCO ₂ e)									649.80
範疇三、其他間接排放									
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	工務段		監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
廢棄物	廢棄物委外處理(公斤)	0.504	5,833.23	2.94	14,331.45	7.22	27,504.35	13.86	24.02
水表	水	0.167	653.30	0.11	5,634.00	0.95	11,946.00	1.99	3.05
小計(tCO ₂ e)									27.07
總和(tCO ₂ e)									1,000.47

3.5.5 交控工程

此段的相關管理單位包括：E1 標承包商辦公室及 E1 標監造辦公室。茲彙整各單位之範疇一至範疇三之各類活動數據如表 3.5.5-1，另擇要說明計算過程與結果於後。

一、直接排放

(一)固定式燃燒：依據設施別，此段僅有熱水器與瓦斯爐所使用之液化石油氣。

(二)移動式燃燒：依據設施別分為使用汽、柴油之公務車能耗量，E1 標承包商及 E1 標監造均使用汽油車。

(三)逸散：依據設施別可分為二氧化碳/乾粉滅火器、環保滅火器、空調、冰箱、化糞池等，此部份目前已由各管理單位視各自設備設置情形，填報逸散設備調查表、提供不同冷媒之填充量，其中經與查驗機構討論後，滅火器排放量目前僅計算已使用數量。另化糞池部份係以總人天為活動強度進行調查。

二、能源間接排放

能源間接排放對於辦公室而言即外購電力之總量；由數據綜整結果發現，用電量較大者為 E1 標承包商，推測原因為人員較多所致。

三、其他間接排放

其他間接排放包含外購之用水以及因人員出勤造成的廢棄物，廢棄物依據環保署目前公布宜蘭縣 107 年 1 月至 9 月平均每人每日垃圾清運量 1.201 公斤計算。

本計畫依據前述活動數據與係數，計算 E1 標承包商及監造管理碳足跡計算結果如表 3.5.5-2。107 年度 E1 標承包商及監造工程管理碳排放推估共計為 89.48 tCO₂e；其中，範疇一直接排放部份約占總排放量的 41%。範疇二外購電力之間接排放約占總排放量的 58%；範疇三其他間接排放量約占總排放量的 1%。

表 3.5.5-1 交控工程管理單位活動數據統計結果

範疇一、直接排放						
排放源類別	設施或活動別	原燃物料	活動數據			
			監造	E1 標	總和	單位
固定式燃燒	熱水器、瓦斯爐	液化石油氣	40.00	360.00	400.00	公斤
移動式燃燒	公務車	汽油	3,454.00	9,503.00	12,957.00	公升
	公務車	柴油	0	0	0	公升
逸散	飲水機/除濕機	R-134a	0.0004	0.0004	0.0008	公斤
	空調	R-22a	0	0.0525	0.0525	公斤
		R-410a	0.1872	0.0756	0.2628	
	冰箱	R-134a	0	0	0	公斤
		R-600a	0.0002	0.0002	0.0004	公斤
	化糞池	排泄物	47,712.00	34,752.00	82,464.00	人-時
範疇二、間接排放						
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	監造	E1	總和	單位
能源間接排放	電表	外購電力	33,440.00	65,837.00	99,277.00	度
範疇三、其他間接排放						
排放源類別	設施或活動別	排放源種類	監造	E1	總和	單位
其他	廢棄物	廢棄物委外處理	2,387.59	1,739.21	4,126.80	公斤
	水表	水	516.00	0	516.00	度

表 3.5.5-2 交控工程管理單位碳足跡計算結果

範疇一、直接排放							
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
熱水器、瓦斯爐	液化石油氣(L)	2.24	40.00	0.09	360.00	0.81	0.90
公務車	汽油(L)	3.01	3,454.00	10.40	9,503.00	28.61	39.01
公務車	柴油(L)	3.38	0	0	0	0	0
飲水機/除濕機	R-134a (kg)	1443	0.0004	0.0006	0.0004	0.0006	0.0012
空調	R-22a (kg)	2203	0	0	0.0525	0.1157	0.1157
	R-410a (kg)	2101	0.1872	0.3933	0.0756	0.1588	0.5521
冰箱	R-134a (kg)	1443	0	0	0	0	0
	R-600a (kg)	3	0.0002	<0	0.0002	<0	<0
化糞池	排泄物(人-時)	0.040	47,712.00	1.9	34,752.00	1.38	3.28
小計(tCO ₂ e)							43.86
範疇二、間接排放							
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
電表	外購電力(度)	0.660	33,440.00	22.07	65,837.00	43.45	43.45
小計(tCO ₂ e)							43.45
範疇三、其他間接排放							
設施或活動別	原燃物料(單位)	排放係數	監造		承包商		排碳量總和(tCO ₂ e)
			活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	活動數據	排碳量(tCO ₂ e)	
廢棄物	廢棄物委外處理(公斤)	0.504	2,387.59	1.20	1,739.21	0.88	2.08
水表	水	0.167	516.00	0.09	0	0	0.09
小計(tCO ₂ e)							2.17
總和(tCO ₂ e)							89.48

目錄

.....	第三章 蘇花改計畫工程碳足跡盤查執行進度	3-1
3.1	工程碳足跡盤查執行進度	3-3
3.1.1	現場訪查與輔導辦理	3-4
3.1.2	供應商訪談	3-12
3.1.3	查驗機構月度查核意見彙整	3-17
3.1.4	國外參訪實錄	3-23
3.2	工程碳足跡盤查資料庫系統設計與建置	3-32
3.2.1	資料蒐集程序及系統	3-37
3.2.2	碳足跡盤查活動資料蒐集介面	3-39
3.2.3	碳足跡係數資料庫	3-46
3.2.4	碳足跡資料庫(碳排放清冊產出系統)	3-52
3.3.1	係數選用原則	3-60
3.3.2	係數資料庫系統設計與建置	3-62
3.3.3	係數蒐集與分析方法說明	3-62
3.3.4	支保製程係數計算結果	3-70
3.4.5	電纜係數計算結果	3-74
3.3.6	瀝青混凝土	3-81
3.3.7	混凝土係數計算結果更新	3-86
3.3.8	混/噴凝土實際投入與設計配比碳排放係數比較	錯誤! 尚未定義書籤。
3.3.9	供應商盤查產出係數更新	錯誤! 尚未定義書籤。
3.4	工程碳足跡盤查執行成果說明	3-94
3.4.2	仁水隧道新建工程(C2 標)	3-95
3.4.3	和清水段機電工程(C3 標)	3-111
3.4.4	南澳和平段機電工程(B5 標)	3-103

3.4.5	交通控制系統工程(E1 標)	3-114
-------	----------------	-------

圖目錄

圖 3-1	工程碳足跡盤查範圍示意圖	3-1
圖 3.1.4-1	華盛頓大學 Steve Muench 教授與本團隊合影	3-24
圖 3.1.4-2	華盛頓大學 Steve Muench 教授與本團隊合影	3-25
圖 3.1.4-3	綠道路基金會 Jeralee Anderson 執行長與本團隊合影	3-26
圖 3.2-1	工程碳管理資訊系統架構	3-37
圖 3.2.1-1	碳足跡盤查日誌填報、檢核與矯正回覆流程	3-38
圖 3.2.2-1	蘇花改碳排盤查活動數據蒐集資料庫系統登入頁面	3-41
圖 3.2.2-2	蘇花改碳排盤查活動數據蒐集資料庫系統頁面	3-41
圖 3.2.2-3	蘇花改碳排盤查活動數據蒐集資料庫系統功能說明	3-42
圖 3.2.2-4	活動數據資料蒐集頁面	3-44
圖 3.2.2-5	碳盤查月報彙整頁面	3-44
圖 3.2.2-6	工程材料庫存統計查詢頁面	3-45
圖 3.2.2-7	機具能耗統計查詢頁面	3-45
圖 3.2.3-1	係數資料庫頁面	3-46
圖 3.2.3-2	碳足跡係數新增方式說明	3-47
圖 3.2.3-3	碳足跡係數新增說明及系統確認	3-48
圖 3.2.3-4	碳足跡係數新增頁面	3-49
圖 3.2.3-5	碳足跡係數匯入說明	3-50
圖 3.2.3-6	碳足跡係數匯入盤查系統說明	3-51
圖 3.2.3-7	碳足跡係數連結工程材料說明	3-51
圖 3.2.4-1	機具登錄頁面	3-54
圖 3.2.4-2	機具碳排放量產生頁面	3-55
圖 3.2.4-3	機具碳排放量產出內容	3-55
圖 3.2.4-4	工程材料碳盤查係數蒐集資料庫系統	3-56

圖 3.2.4-5	工程材料碳排放量計算產生頁面.....	3-57
圖 3.2.4-6	其他能資源使用碳排放量計算產生頁面.....	3-58
圖 3.2.4-7	人員出勤逸散碳排放量計算產生頁面.....	3-58
圖 3.2.4-8	機具材料運輸重量轉換填報頁面.....	3-59
圖 3.2.4-8	機具材料運輸重量轉換填報頁面.....	3-60
圖 3.3.5-1	電線電纜廠盤查範圍.....	3-75
圖 3.3.5-2	電線電纜廠製程能資源排碳占比.....	3-78
圖 3.3.6-1	瀝青混凝土原料單位排碳量占比(鑫龍).....	3-82
圖 3.3.6-2	瀝青混凝土各階段單位排碳量占比(鑫龍).....	3-84
圖 3.3.7-1	混凝土預拌廠盤查範圍.....	3-87
圖 3.3.7-2	混凝土廠排碳源占比分析.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 3.4.2-1	仁水隧道新建工程(C2 標)工程範圍示意圖.....	3-104
圖 3.4.2-2	C2 標本期各類工程材料使用碳足跡計算結果.....	3-109
圖 3.4.3-1	和中清水段機電工程(C3 標)工程範圍示意圖.....	3-112
圖 3.4.4-1	南澳和平段機電工程(B5 標)工程範圍示意圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 3.4.5-1	交通控制系統工程(E1 標)範圍示意圖.....	3-121

表目錄

表 3-1	本計畫碳足跡盤查輔導範圍.....	3-2
表 3-2	本計畫執行盤查輔導之各標工程期程.....	3-3
表 3.1.1-1	本期各場次現場輔導會議主要討論內容.....	3-6
表 3.1.2-1	供應商訪談及查證時程表.....	3-16
表 3.1.3-1	本期查驗機構月度查核意見及辦理情形.....	3-18
表 3.1.4-1	參訪行程.....	3-23
表 3.2.1-1	日誌及月報表單填報、提交、檢核與矯正回覆時程.....	3-38
表 3.2.4-1	機具登錄填注意事項.....	3-54
表 3.3.4-1	各標支保使用情形.....	3-70

表 3.3.4-2	支保排碳量計算範疇.....	3-70
表 3.3.4-3	支保原料運輸距離計算.....	3-71
表 3.3.4-4	支保製造投入量資料.....	3-72
表 3.3.4-5	支保排碳量分析結果.....	3-72
表 3.3.4-6	支保計價數量.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.3.4-7	支保排碳量變化分析結果.....	3-73
表 3.3.5-1	電線電纜碳足跡.....	3-76
表 3.3.6-1	瀝青鋪築原料用量(鑫龍).....	3-82
表 3.3.6-2	瀝青鋪築廠區及現地施作能耗及材料活動量(鑫龍).....	3-82
表 3.3.6-3	瀝青混凝土生命週期排碳量(鑫龍).....	3-84
表 3.3.6-4	本計畫調查之瀝青混凝土生命週期排碳量.....	3-85
表 3.3.6-5	瀝青混凝土製造排碳量比較.....	3-86
表 3.3.7-1	混凝土材料投入運輸距離.....	3-87
表 3.3.7-2	各標混/噴凝土係數盤查結果.....	3-88
表 3.3.8-1	C1A 標實際投入與設計配比碳排放係數比較.....	3-91
表 3.3.8-2	C2 標實際投入與設計配比碳排放係數比較.....	3-91
表 3.3.9-1	提供環保署係數彙整.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.3.9-2	各類型材料供應商盤查進度及規劃.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.2-1	仁水隧道新建工程(C2 標)工程構築型式配置表.....	3-104
表 3.4.2-2	C2 標各工程項目主要施工廠商.....	3-105
表 3.4.2-3	C2 標各類機/運具及其他能耗量.....	3-106
表 3.4.2-4	C2 標本期運輸所用運具類型及載運物品彙整.....	3-107
表 3.4.2-5	C2 標本期碳足跡量化結果.....	3-108
表 3.4.2-6	C2 標本期各型機/運具碳足跡計算結果.....	3-108
表 3.4.2-7	C2 標本期各類工程材料使用碳足跡計算結果.....	3-109
表 3.4.2-8	C2 標本期各類項目運輸碳足跡計算結果.....	3-111
表 3.4.3-1	C3 標本期碳足跡量化結果.....	3-113

表 3.4.4-1	B5 標各工程項目主要施工廠商	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.4-2	B5 標本期機/運具能耗活動數據	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.4-3	B5 標本期工程材料使用種類	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.4-4	B5 標本期運輸所用運具類型及載運物品彙整	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.4-5	B5 標本年度碳足跡量化結果	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.4-6	B5 標本年度機/運具碳足跡計算結果	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.4-7	B5 標本年度工程材料使用碳足跡計算結果	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.4-8	B5 標本年度各類別運輸碳足跡計算結果	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3.4.5-1	E1 標本期機/運具使用能耗彙整	3-122
表 3.4.6-2	E1 標本期運輸所用運具類型及載運物品彙整.....	3-123
表 3.4.5-3	E1 標本期碳足跡量化結果	3-124
表 3.4.5-4	E1 標本期各型機/運具碳足跡計算結果	3-124
表 3.4.5-5	E1 標各類工程材料使用碳足跡計算結果.....	3-124

第四章 蘇花改計畫工程碳足跡盤查結果分析

本計畫之執行目的除取得碳足跡查證聲明外，亦期能使盤查結果具備加值效益，故執行過程中將持續由實際盤查結果鑑別主要工程排放源，並透過環境因子對碳足跡之實際影響以及工程特性與碳排放量之關聯分析，提出工程碳足跡的推估參數。由於 A 段已經竣工通車，本計畫以專節進行工程碳足跡及排碳特性分析(4.3 節)；並就目前本計畫盤查範圍內尚在執行中的 2 個土建標及各 1 個之機電、交控標，分析開工迄 107 年 12 月底(以下稱迄今)之碳足跡盤查及工程特行(4.1、4.2 節)；並分析產出之單位油耗率(4.4 節)及一級數據占比狀況(4.5 節)。

4.1 工程碳足跡盤查結果分析研究

以下分小節就 2 個尚執行盤查中之土建標(C1A 及 C2 標)及 2 個交控及機電標(E1 標及 B5 標)的碳足跡盤查與計算結果，提出各工程自開工至 107 年度之碳排放源鑑別及排碳量分析，另因 C3 標開工迄今主要活動量多為管理單位之排碳，工區排碳主要以運輸為主，故本年度暫不分析。

4.1.1 仁水隧道新建工程(C1A 標)

C1A 標自開工(104 年 4 月)迄今工區碳足跡並包含 C1 標排碳量(不含工程管理單位碳足跡)盤查結果約為 192,399.43 tCO₂e，各類型排碳活動占比分析如圖 4.1.3-1。由圖可知中仁隧道工程工區碳足跡貢獻度最大者為工程材料使用之排碳量，約占 85%；排碳量占比第二的來源為機運具(含場電)使用約占 15%，運輸及逸散與廢棄物排碳量占比則分別約為 1%及小於 1%。工程材料排碳占比最為顯著，主要原因為工程材料使用量隨著工程進度持續累積以及各項隧道工作面之展開與大量材料使用，使其皆高於其他排放源所致。

另由排碳量占比最高之工程材料使用排放進一步分析，不同工程材料排碳占比如圖 4.1.3-2 所示。中仁隧道工程開工迄今之主要作業項目仍為隧道開挖作業，故用於隧道開挖支撐作業的工程材料量持續增加；由圖 4.1.2-1 顯示，工程材料中以混/噴凝土為最大宗，占 67.8%，其次為管窰鋼管，約

占 6.7%；其中管幕鋼管較大原因，主要為北口隧道開挖遭遇崩積段岩盤，其大量使用所致，另主要地改材料聚氨脂樹脂材料之使用亦占有 5.2%。

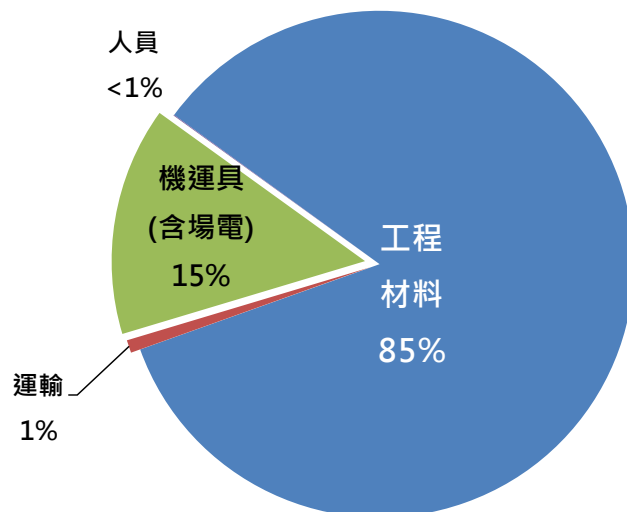


圖 4.1.2-1 中仁隧道工程開工迄今各類型排碳占工區碳足跡比例分析

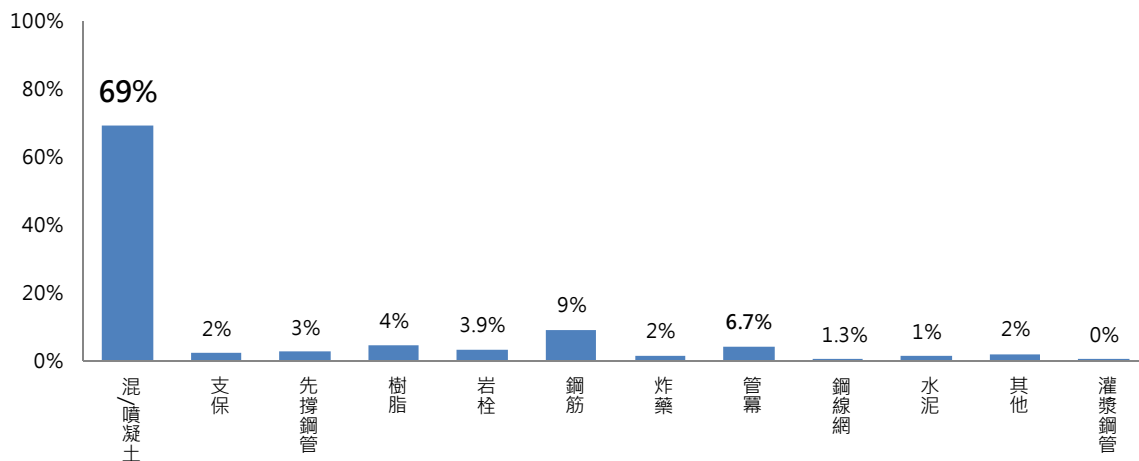


圖 4.1.2-2 中仁隧道工程開工迄今不同工程材料占比分析

另針對運輸碳足跡計算結果，分別就機具、支保、岩栓、先撐鋼管、混/噴凝土、土石方等之運輸進行排碳占比分析，結果如圖 4.1.3-3 所示。由圖可知，C1A 標約 65.1%的運輸排碳量源於工程材料運輸；其中，混/噴凝土運輸排碳約占 51.0%最高；其次為土石方運輸占 15.1%；機具運輸占 13.4%；

支保、岩栓、先撐則占約 10.6%，鋼筋則占 3.2%。目前主要以隧道內工程材料為排放大宗，但依其他隧道標的運輸排放的變化模式，混/噴凝土隨著工期持續累積，仍會有上升之趨勢。

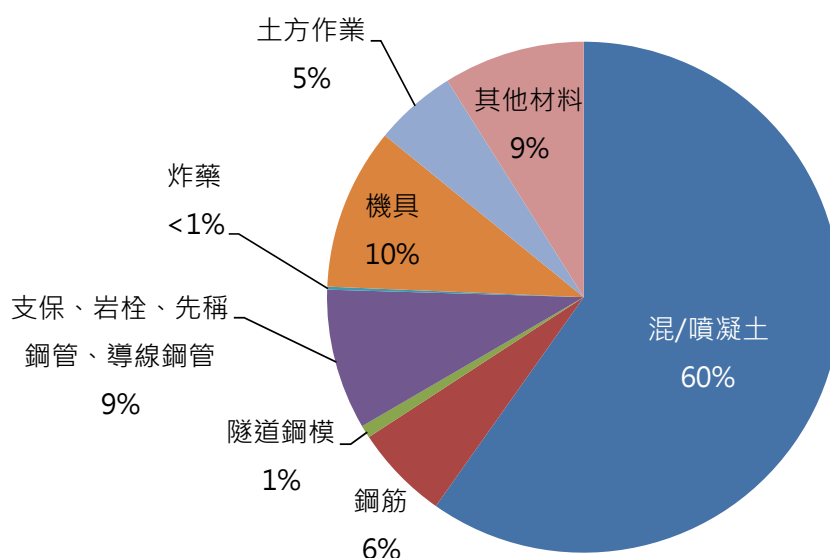


圖 4.1.2-3 中仁隧道工程開工迄今材料及機具運輸占運輸排放總量比例分析

4.1.2 仁水隧道新建工程(C2 標)

C2 標自開工(103 年 6 月)迄今工區碳足跡盤查結果約為 87,810.16 tCO₂e，各類別排碳量占比如圖 4.1.2-1。C2 標工區碳足跡貢獻比與其他工程標類似以工程材料使用排放最大，約占總排碳量之 83.4%；其次為機運具(含場電)使用排放，約占總排碳量之 14.5%，運輸排放占比約為 2%；而人員出勤之逸散與廢棄物排放占比約為 0.1%。與 C1A 標進行比較，各項排放占比差異在 2%以內，C2 標之材料略大於 C1A(含 C1 標)，而機運具則略低，與目前 C2 標襯砌工程進展較 C1A 標快有關。

另由排碳量占比最高之工程材料使用排放作進一步分析，C2 標不同工程材料排碳量占比如圖 4.1.2-2 所示。C2 標迄今主要使用之工程材料為混/噴凝土，約占工程材料排碳總量的 76.2%；其次為襯砌工程使用之鋼筋約占

11.4%；再者為水泥及炸藥，各約占 3.5%及 2.2%。

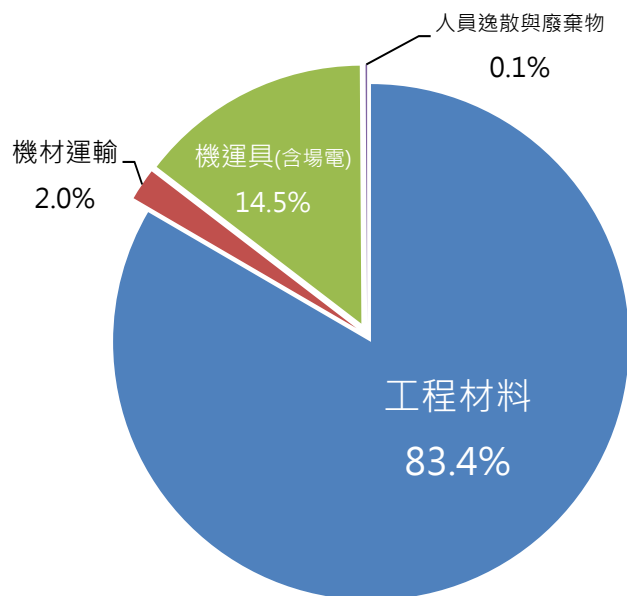


圖 4.1.2-1 C2 標開工迄今各類型排碳占工區碳足跡比例分析

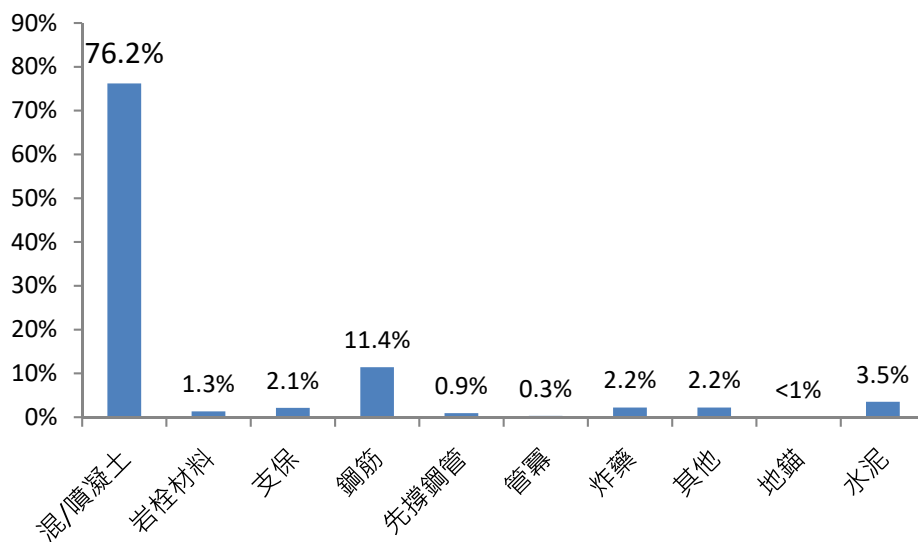


圖 4.1.2-2 C2 標開工迄今不同工程材料占材料排放總量比例分析

另就 C2 標運輸碳足跡計算結果進行分析，其機具及工程材料之運輸排碳占比如圖 4.1.2-3。由圖可知，C2 標運輸排碳的主要排放源為混/噴凝土，占比為 88%；其次為其他材料占 5%，主要為假設工程、隧道內排水工程以

及襯砌工程之鋼模工作車運入；機具運輸則占比為2%；竹節鋼筋占比為2%；其他支保、岩栓與炸藥運輸各占約1%。

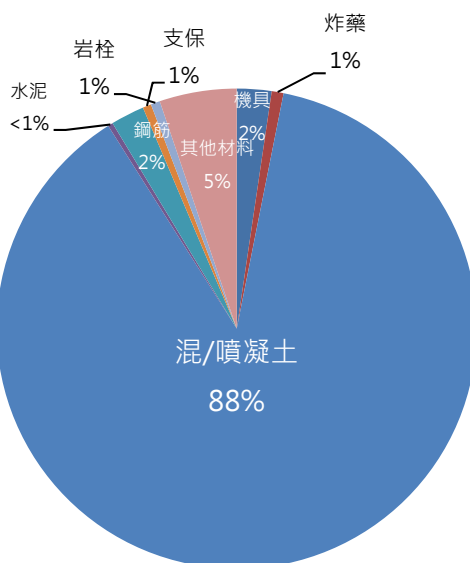


圖 4.1.2-3 C2 標開工迄今材料及機具運輸占運輸排放總量比例分析

4.1.3 南澳和平段機電工程(B5 標)

B5 標自開工(105 年 4 月)迄今工區碳足跡盤查結果約為 7,285.20 tCO₂e，各類別排碳量占比如圖 4.1.3-1。B5 標工區碳足跡貢獻以工程材料使用排放最大，約占總排碳量之 91%，其次為運輸排放 8%，而人員出勤之逸散與廢棄物排放占比約為 1%。

另由排碳量占比最高之工程材料使用排放作進一步分析，B5 標不同工程材料排碳占比如圖 4.1.3-1 所示。截至 107 年 12 月底止，主要使用之工程材料為觀音隧道之消防不鏽鋼管，約占工程材料排碳總量 56%，其次為鍍鋅鋼管 17%、電纜托架 17%，U 型鋼槽與水務自動閥箱各占約 1%，其他材料則小於 1%。

另就 B5 標運輸碳足跡計算結果進行分析，其機具及工程材料運輸排碳占比如圖 4.1.3-3。由圖可知，B5 標運輸排碳的主要排放源為油壓氣體絕緣開關(GIS)運輸，由於本年度運進之油壓氣體絕緣開關材料重量合計達 79.86 公噸，故其運輸排碳占比高達 86%，其次為不鏽鋼管 4%、電纜 4%，機具

與電纜托架則各占 1%。

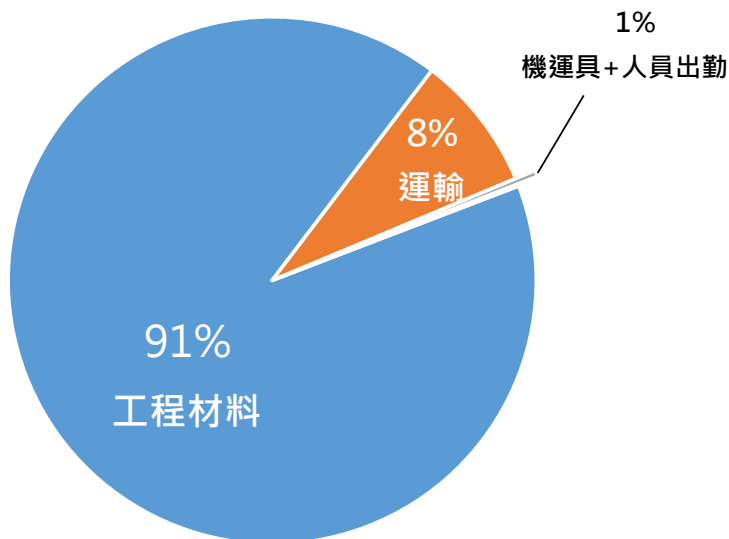


圖 4.1.3-1 B5 標開工迄今各類型排碳占工區碳足跡比例分析

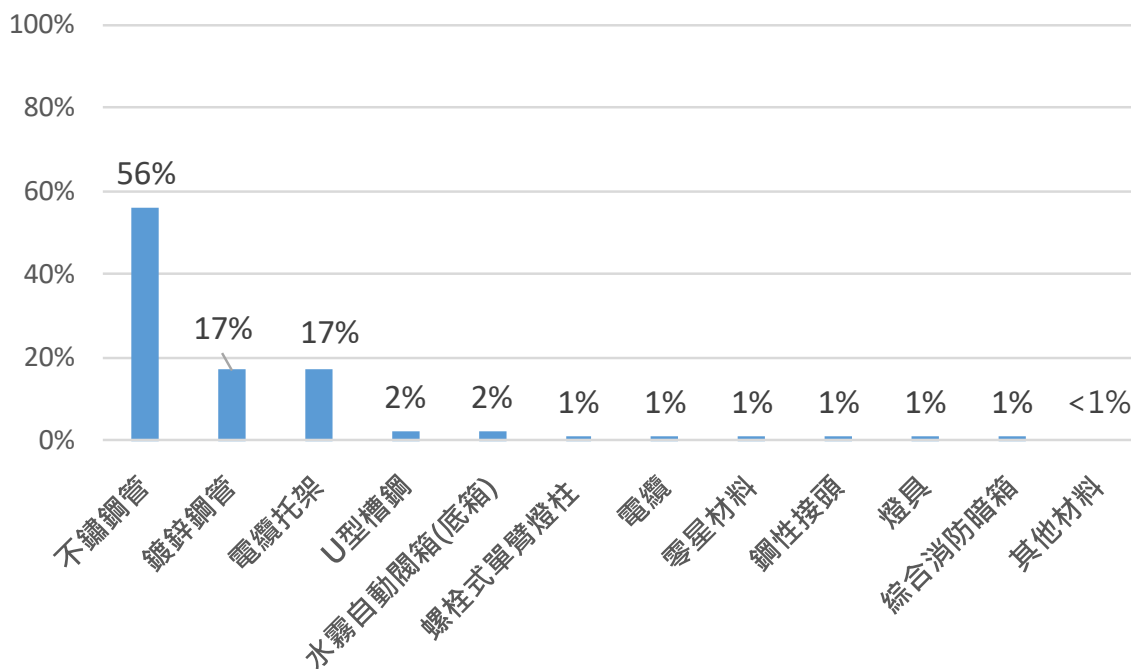


圖 4.1.3-2 B5 標開工迄今開工迄今不同工程材料占比分析

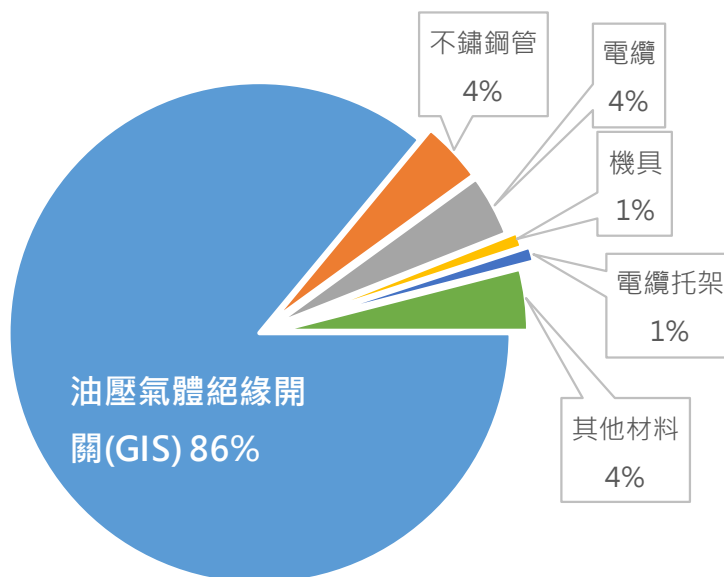


圖 4.1.3-3 B5 標開工迄今材料及機具運輸占運輸排放總量比例分析

4.1.4 交通控制工程(E1 標)

E1 標自開工迄今工區碳足跡盤查結果約為 521.35 tCO₂e，各類別排碳量占比如圖 4.1.4-1。E1 標工區碳足跡貢獻以工程材料使用排放最大，約占總排碳量之 88%；其次為機運具(含場電)排放占比約為 6%，機材運輸約占 5%，而人員出勤之逸散與廢棄物排放占比約為 1%。

另由排碳量占比最高之工程材料使用排放作進一步分析，E1 標不同工程材料排碳占比如圖 4.1.4-2 所示；由於工程項目眾多，本計畫繪製碳排放量前 20 大者，可以發現前 3 大工程項目為土木管道-E1 標、鋼結構-E1 標、閉路電視-A2 標。

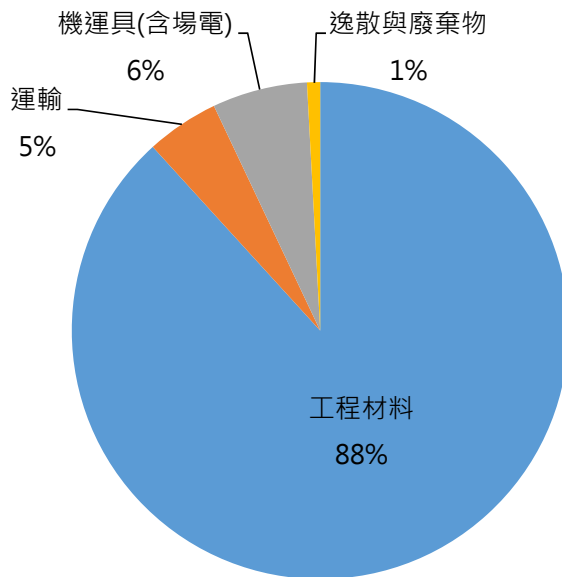


圖 4.1.4-1 E1 標開工迄今各類型排碳占工區碳足跡比例分析

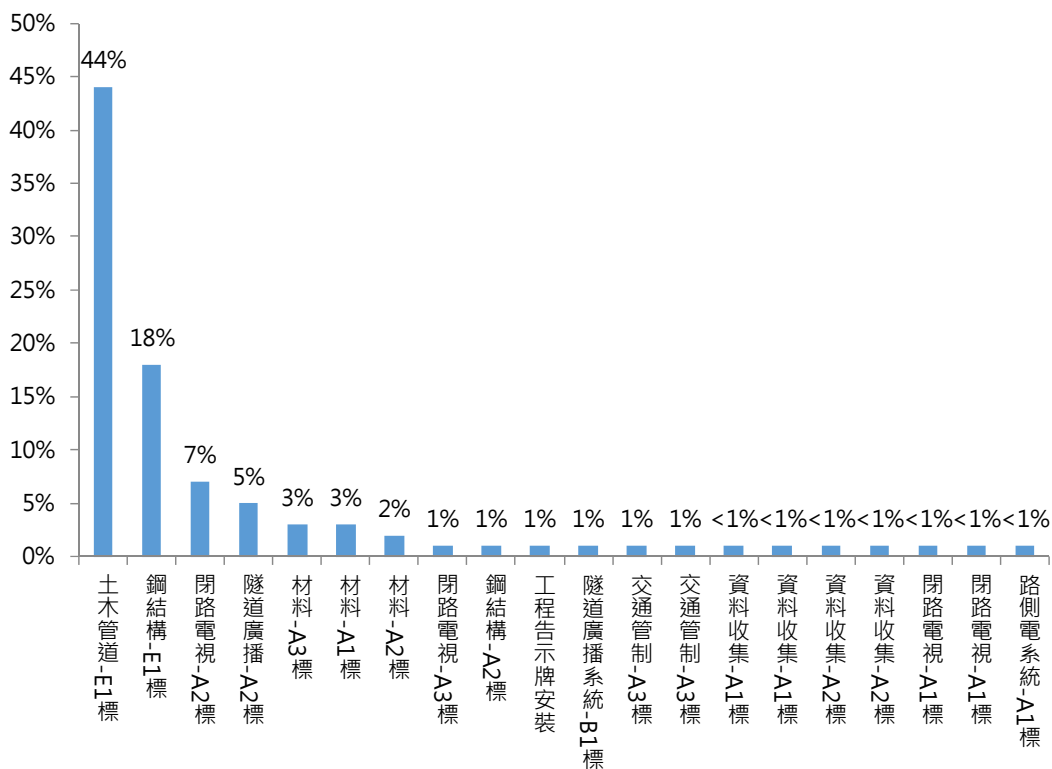


圖 4.1.4-2 E1 標開工迄今開工迄今不同工程材料排碳量

4.2 工程特性與工程碳足跡關聯分析(含環境影響因子探討)

4.2.1 各標工程特性分析

本節包括各土建標及交控工程排碳量分析結果，其中 C1A 及 C2 標所指隧道工程或隧道南/北口工程係指估驗計價中隧道開挖及支撐工程、隧道鑽孔及灌漿工程等項目；襯砌工程係指一般隧道工程之二次襯砌工程。

一、中仁隧道接續工程(C1A 標)

C1A 標開工迄今施作之工程項目可概略區分為：北口隧道工程、南口隧道工程、南口襯砌工程、和中橋工程、土石方作業、北口邊坡、排水及路工工程、人行聯絡通道、其他雜項及用電設備等，本計畫彙整各主要工程項目之施工廠商及工程材料內容於表 4.2.1-1，並依據承包商所提供之機具分油及工程材料使用記錄，計算開工迄今各工程項目之機/運具操作及工程材料碳足跡分析結果，如表 4.2.1-2 及圖 4.2.1-1；由圖顯示，開工迄今主要碳排放工程項目為北口及南口隧道工程，占機運具及工程材料碳排放的 57%；另外，考量本標別累積實際進度已超過 50%，故彙整累積實際進度與排碳量之變化如圖 4.2.1-2。

表 4.2.1-1 C1A 標各工程項目之施工廠商及工程材料

工程項目	施工廠商	工程材料
北口隧道工程	蘇建興	岩栓、支保、先撐鋼管、管冪鋼管、灌漿鋼管、水泥、水泥砂漿、鋼纖噴凝土
南口隧道工程	東丕	岩栓、支保、先撐鋼管、水泥、水泥砂漿、鋼纖噴凝土、混凝土、防水材料
南口襯砌工程	東丕	高坍混擬土、鋼筋、防水膜、不織布
北口機房工程	蘇建興	混擬土、鋼筋、防水膜、不織布、裝修材
南口機房工程	東丕	混擬土、鋼筋、防水膜、不織布、裝修材
和中橋工程	三滯、凱泰、蘇建興	水中混凝土、鋼筋、PVC 管、間隔器、混凝土、鋼筋
排水及路工工程	東丕、蘇建興、亞群	混凝土、鋼筋
人行聯絡道	東丕、蘇建興	岩栓、支保、水泥、水泥砂漿、鋼纖噴凝土
北口邊坡保護	蘇建興	預力地錨、混凝土、鋼筋

工程項目	施工廠商	工程材料
用電設備	東丕、蘇建興	—
土石方作業	東丕、蘇建興	—
其他	東丕、蘇建興	—

表 4.2.1-2 C1A 標各工程項目機/運具操作及工程材料碳足跡計算結果

工程項目	機/運具*	工程材料*	合計*	占比(%)
北口隧道工程	3,210.53	56,170.73	59,381.26	34
南口隧道工程	4,825.34	35,625.33	40,450.67	23
南口襯砌工程	738.30	25,449.57	26,187.86	15
和中橋工程	3,784.16	3,076.64	6,860.80	4
北口土石方作業	857.92	-	857.92	<1
排水及路工工程	29.26	6,078.21	6,107.47	4
人行聯絡道	233.73	2,385.38	2,619.11	2
北口護坡工程	124.22	307.35	431.57	<1
其他	2,017.66	6,477.27	8,494.94	5
用電設備	13,526.88	-	13,526.88	8
北口機房工程	134.79	5,070.92	5,205.71	3
南口機房工程	30.40	3,491.01	3,521.42	2
總計	29,513.20	144,132.42	173,645.61	100

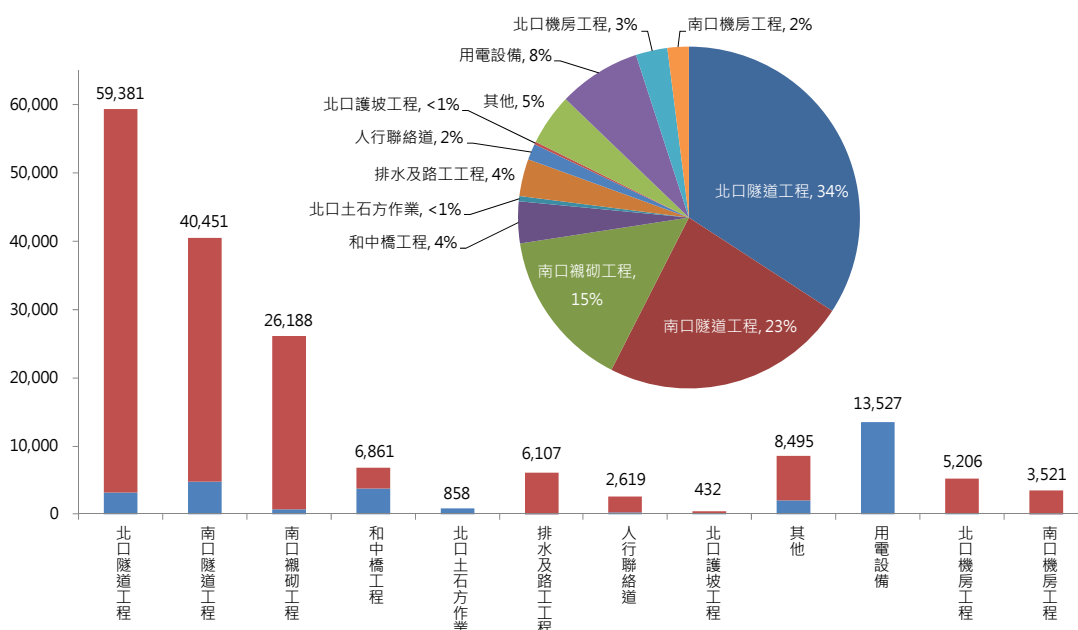
備註：*單位為 tCO₂e

圖 4.2.1-1 C1A 標迄今不同工程項目之碳排放源占比分析

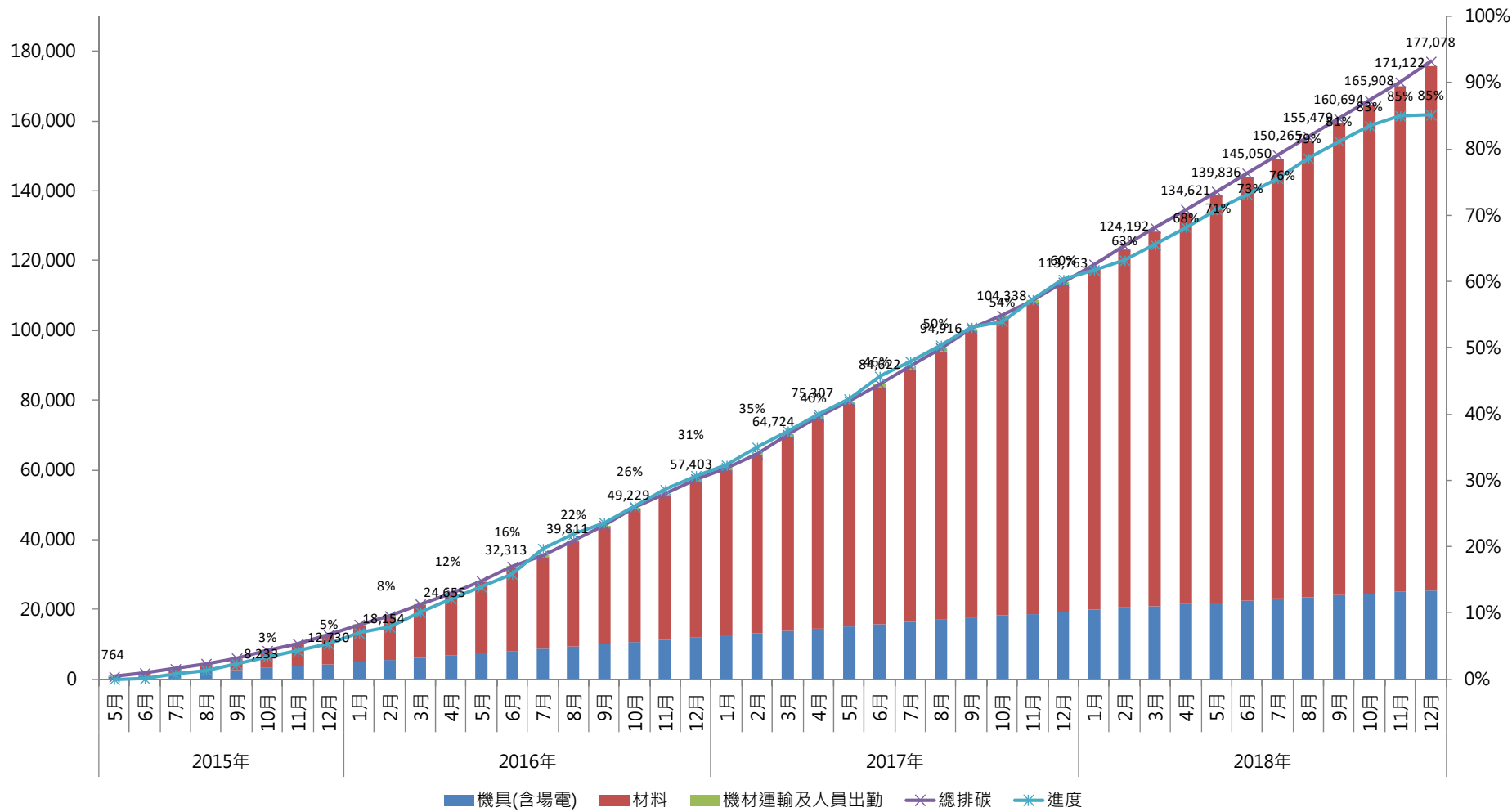


圖 4.2.1-2 C1A 標迄今進度與碳排放量變化

二、仁水隧道新建工程(C2 標)

C2 標開工迄今施作之工程項目可概略區分為：北口隧道工程、北口襯砌工程、北口隔板工程、北口邊坡保護、北口機房工程、南口隧道工程、南口邊坡保護、排水及路工工程、疏散及聯絡道、土方作業、其他雜項及用電設備等，本計畫彙整主要工程項目之施工廠商及主要工程材料內容於表 4.2.1-3，並依據承包商所提供之機具分油及工程材料使用記錄，計算開工迄今工項分類之機/運具操作及工程材料碳足跡分析結果，如表 4.2.1-3 及圖 4.2.1-3。

C2 標開工迄今主要碳排放工項為北口隧道工程，占總機運具操作及工程材料使用排放的 38%，北口襯砌工程亦已達 26%，疏散及聯絡道、用電設備及北口機房工程各占 10%、7%及 8%；其他工程約占 3%，主要包括南口擋土牆、鋼便橋、工區施工便道及其他雜項工程。

另就 C2 標請款進度、工程材料排碳量(含工程項目分配)、機具能耗排碳量、機材運輸排碳量及人員出勤逸散之排碳量計算結果如圖 4.2.1-4，由圖表可以瞭解排碳量大致上與請款進度成正比；工程項目材料排碳量方面可以看出，當主隧道進洞之後，隧道工程所使用之材料就為主要的排放來源，中後期則隨疏散及聯絡通道與北口機房的進展，工程材料排碳有部分來自兩工程項目，隨著 107 年度下半年度南口鋼橋井式基礎開始施作，亦有少量(約 45tCO₂e)的排碳量產生，預計隨著工程的推進，橋梁工程的排碳量將會提升，本計畫亦會同步更新相關資訊於後續產出之報告中。

表 4.2.1-3 C2 標各工程項目主要施工廠商及工程材料

工程項目	施工廠商	主要使用工程材料
北口隧道工程	大陸/漢德	岩栓、支保、先撐鋼管、水泥、水泥砂漿、鋼纖噴凝土
北口襯砌工程	大陸/漢德	鋼筋、混凝土、不織布、防水膜
北口隔板工程	大陸/漢德	高坍混擬土、鋼筋、防水膜、不織布
北口機房工程	大陸/漢德	鋼筋、混凝土、不織布、防水膜、裝修材
北口邊坡保護	廣昇	預力地錨、鋼筋、混凝土、乾式噴凝土

工程項目	施工廠商	主要使用工程材料
南口隧道工程	大陸/漢德	岩栓、支保、管幕鋼管、水泥、水泥砂漿、鋼纖噴凝土
南口邊坡保護	三淵、堡順	預力地錨、鋼索、岩栓、噴凝土
南口井基工程	大陸/漢德	支保、點焊網、噴凝土
排水及路工工程	長弘	鋼筋、混凝土
疏散及聯絡道	大陸/漢德	岩栓、支保、水泥、水泥砂漿、鋼纖噴凝土
用電設備	大陸、達成	
土方作業	程隆	-
其他	三淵、煒鑫、震鑫、臻成、晁昕	鋼筋、混凝土

表 4.2.1-4 C2 標各工程項目機運具操作及工程材料使用碳足跡

工程項目	機運具操作*	工程材料使用*	合計*	占比(%)
北口隧道工程	2,975.93	28,971.01	31,946.94	38
北口襯砌工程	0.49	21,957.44	21,957.93	26
北口隔板工程	-	2,440.92	2,440.92	3
北口邊坡保護	80.63	809.03	889.66	1
南口隧道工程	0.39	913.57	913.96	1
南口邊坡保護	88.34	53.57	141.92	<1
南口井基工程	16.16	45.55	61.70	<1
北口機房工程	378.76	6,535.12	6,913.88	8
排水及路工工程	109.69	498.97	608.66	1
疏散及聯絡道	530.51	8,311.58	8,842.09	10
用電設備	1,184.08	-	1,184.08	1
土方作業	329.00	2,086.27	2,415.27	3
其他	6,318.04	-	6,318.04	7
總計	12,012.02	72,623.04	84,635.06	100

備註：*單位為 tCO₂e

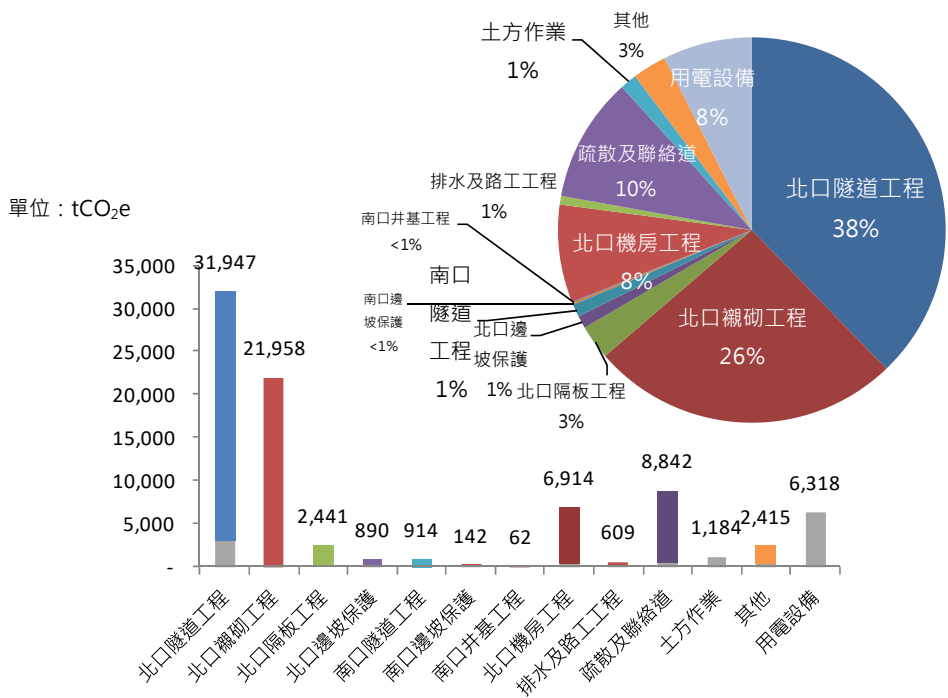


圖 4.2.1-3 C2 標迄今不同工程項目之碳排放源占比分析

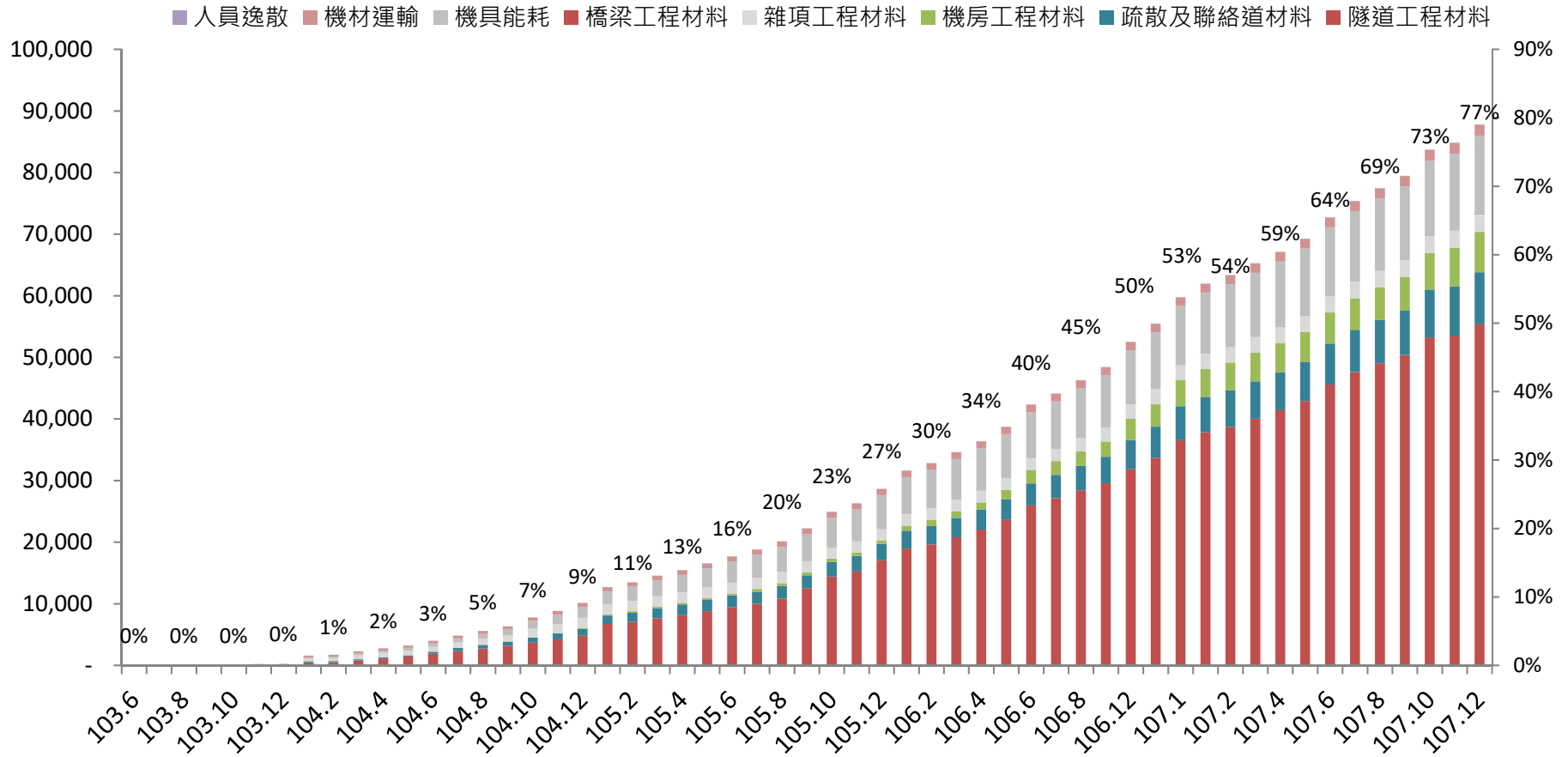


圖 4.2.1-4 C2 標迄今排碳量隨請款進度變化分析

三、交通控制工程(E1 標)

E1 標開工迄今施作之工程項目可概略區分為：交通管制系統、電纜裝設、有線/無線電話工程、閉路電視工程、隧道廣播、土木管道工程及其他雜項工程；本計畫依據承包商所填報之機運具及工程材料使用記錄，並依據工項分類統計開工迄今工程材料使用及機運具操作能耗碳排放量，碳排放量前 10 大者內容如表 4.2.1-5 及圖 4.2.1-5。

由分析結果顯示，主要碳排放源為土木管道工程，因使用預拌混凝土、瀝青混凝土、手孔及 PVC 管等之關係，約占總碳排放量的 44%，其次為鋼結構-E1 標占 18%、閉路電視-A2 標占 7%。

表 4.2.1-5 E1 標各工程項目工程材料及機/運具操作使用碳足跡計算

工項名稱	機/運具*	工程材料*	合計*	占比(%)
土木管道-E1 標	9.83	218.62	228.45	44
鋼結構-E1 標	1.47	92.93	94.40	18
閉路電視-A2 標	0.30	35.43	35.73	7
隧道廣播-A2 標	4.17	19.49	23.66	5
材料-A3 標	0.47	14.35	14.82	3
材料-A1 標	0.71	12.79	13.50	3
材料-A2 標	0.76	12.11	12.87	2
閉路電視-A3 標	0.23	6.48	6.71	1
鋼結構-A2 標	0.56	4.39	4.95	1
工程告示牌安裝	0.14	3.39	3.53	1
總計	18.64	419.98	438.62	85

備註：*單位為 tCO₂e

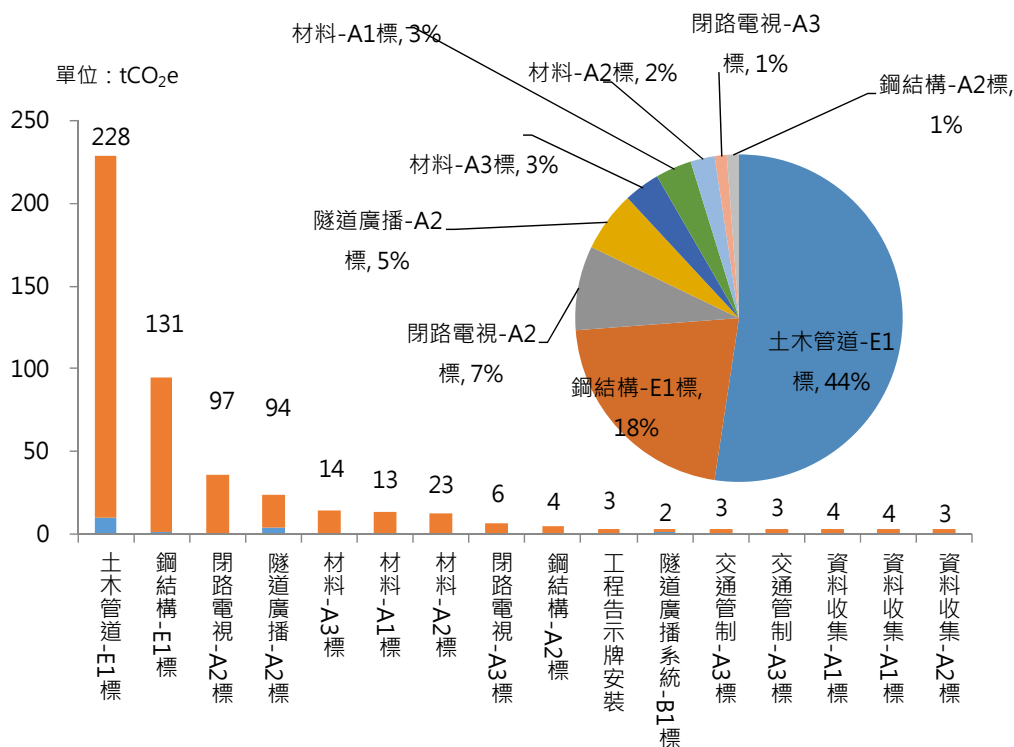


圖 4.2.1-5 E1 標迄今不同工程項目之碳排放源占比分析

4.2.2 設計工程分析建議彙整

考量工程特性排碳量分析之可利用性，並依據 106 年度年末進度報告委員之建議，本計畫於 107 年 4 月 19 日邀集公司內部執行蘇花改計畫設計之部門主管及人員，就本計畫執行成果、分析內容及設計單位之需求進行討論與交流。

另本團隊持續進行回饋交流，於 107 年 12 月 27 日就報告已新增之內容，與本工程 C 段監造進行探討，以下彙整說明討論結論及後續之應用。

一、工程項目內容及功能單位彙整

本計畫於計畫執行期間進行各工程項目之單位排碳量計算，採用之功能單位經由委員審查逐步完善，但分類方式是否符合工程特性及設計單位需求，尚有討論空間。本計畫藉此次會議機會，與設計單位討論後調整各工程項目之名稱及分析單位，結果如表 4.2.2-1，原使用名稱與設

計單位建議之名稱相同則合併顯示。

功能單位部分，樁帽/基礎層、墩柱及上構工程本計畫原採用實際混凝土用量之體積，設計單位建議應採設計值計算；整體橋梁則建議以單位面積表達；整體隧道建議增加單位長度(加註車道數)排碳量資訊，以與隧道設計進行經費初估時採用之單位一致。

表 4.2.2-1 工程類別名稱及功能單位討論結果

工項類別	原使用名稱	建議名稱	功能單位
橋梁下構	基樁		基樁面積×長度(設計值)
	井基		井基面積×長度(設計值)
	基礎層	樁帽/基礎層	體積(設計規格)
	墩柱		體積(設計規格)
橋梁上構	上構工程		橋面板面積(寬×長度) 橋梁上構混凝土體積(設計值)
整體橋梁	-		橋面板面積(寬×長度)
隧道工程	上半工程		上半斷面積
	洞台工程	台階工程	台階斷面積
	仰拱工程		仰拱斷面積
	基樑工程		基樑斷面積
	襯砌工程		淨空斷面積
	通風隔板工程		淨空斷面積
整體隧道	-		開挖斷面積 淨空斷面積 車行淨空斷面積 車行面積 長度(加註車道數)-設計單位建議新增

二、隧道及橋梁細項工程分析

在橋梁及隧道工程細項分析部分亦有進行部分討論，說明如後：

(一)橋梁細項工程

- 1.關於下構之樁基礎分析，本計畫係將基樁與樁帽分別分析單位排碳量；設計單位原建議應將基樁與樁帽合併進行分析，但本計畫考量施工作業模式及分工，本計畫仍將樁基礎之樁帽與基樁分別分析；

本計畫之基礎層尚包括直接基礎之分析結果。

- 2.關於上構若採鋼橋或 I 型梁設計體積之認定，設計單位說明可進行體積之計算，但建議可以單位橋面板面積作為功能單位；考量上構工程之應用性，本計畫將採單位橋面板面積作為功能單位。

(二)隧道細項工程

- 1.隧道細項工程單位排碳量分析如表 4.2.2-2 所示，補強及止水部分可以合稱「地質改良」。

表 4.2.2-2 隧道細項工程單位排碳量分析彙整

工作面	作業項目	單位	備註
上半	補強	m ² ×m	僅計算作用範圍 ^{*1}
	止水	m ² ×m	僅計算作用範圍 ^{*1}
	開挖	m ² ×m	上半斷面積 ^{*2*3}
	支撐	m ² ×m	上半斷面積 ^{*2*3}
台階	開挖	m ² ×m	台階斷面積 ^{*2*3}
	支撐	m ² ×m	台階斷面積 ^{*2*3}
仰拱		m ² ×m	仰拱斷面積 ^{*2*3}
基樑		m ² ×m	基樑斷面積 ^{*2*3}
襯砌		m ² ×m	隧道淨空斷面積
通風隔板		m ² ×m	隧道淨空斷面積

備註：*1：上半斷面積×作用輪數(例如：管幕鋼管 10m；灌漿鋼管 1 輪)

*2：各部分斷面積為監造所提供之設計值

*3：斷面積將乘於該岩體長度

2.隧道長度之認定

關於隧道長度之認定，確認隧道長度應含明挖段；另若有橋梁及隧道重疊部分(橋梁深入隧道內部狀況)，橋梁及隧道長度可重複計算，但需要說明計算範圍。

三、現場監造分享及討論

(一)井式基礎工法差異分析之建議

本計畫於 107 年 12 月 27 日於蘇花改 C 段現場輔導會議當日，就井式基礎開挖臨時支撐所使用不同混凝土類別之工法，先就名稱與建造監造討論，監造表示可採用混凝土工法及噴凝土工法，但建議註明係指臨時支撐之工法。

詳細排碳量及減碳量結果詳第五章()節能減碳章節，本計畫於現場探討原因及解釋內容是否適當，本計畫瞭解減碳主要源自於混凝土工法使用飛灰爐石替代水泥，進一步確認噴凝土之水泥以飛灰爐石替代的可能性，經確認本工程之規範，係禁止使用飛灰爐石粉替代噴凝土之水泥；另若以飛灰爐石粉替代，可能會降低噴凝土早期強度，與採用噴凝土工法之初衷矛盾。

最後對於支撐工法選擇時機與其確認，監造表示因為此部分為臨時支撐，非主體結構，故在不影響安全的情況下，將尊重承包商選擇，故並沒有工法優劣的差別。

(二)盤查過程之需求說明

除回饋盤查結果予監造單位外，對於已知的線上系統及更一步的上游供應商盤查需求，該日亦向其提出需求，以下表列需求及追蹤進度：

1. 因應工程分析與線上存放工程設計資料支需求，本計畫向監造索取最新版之各工項施工圖，目前已取得並轉存於線上系統，供本計畫或後續執行之參考。
2. 現場 C 段之 C1A 標及 C2 標之抽坍處理情形，分別為 C1A 標 7 次及 C2 標 2 次小規模抽坍處理，承包商表示相關資料已於線上系統中填報，後續如有需要監造將可彙整詳細額外材料使用數量予輔導單位參考。
3. 本計畫後續將針對 C3 標電纜、電纜線架及箱體等供應商進行現訪，除請監造告知廠驗時間，以利本計畫一併前往說明外，如有需要監造單位亦可配合於其他時間前往供應商說明，本計畫預計於本(108)年度 2 月下旬前往目標供應商說明及討論供應商盤查內容。

四、其他分享及討論

(一)橋梁分析結果分享及討論

本計畫於會議中分享 A1 及 A3 標橋梁單位排碳量分析結果，並提及在 A1 標中白米高架橋之單位面積排碳量較其他橋段略高；設計單位提醒，此項設計不應只考慮排碳量，需綜合考量，包括景觀、工法及結構之創新及特殊性等。另外關於 A3 標場撐工法單位面積排碳量較 A1 標略高之情形，應該與橋梁高度有關。

此外，設計單位建議考慮鋼結構回收之效益，然此部分因考量未來除非鋼結構拆除後仍維持原本之型態再利用，而非作為廢鐵重新冶煉，否則不具回收效益；本計畫考量目前 CFP-PCR 之橋梁生命週期以 50 年計，白米高架橋應仍在使用中，尚未拆除，故本計畫占不考量未來鋼結構回收之效益。

(二)隧道鋼纖噴凝土及鋼線網噴凝土之差異

本計畫依據 C1A 標隧道內支撐作業噴凝土之使用狀況，進行鋼纖噴凝土及鋼線網噴凝土不同工法、不同岩體類型之排碳量分析，並將結果回饋設計單位。設計人員提及，設計資料係依據一般條件設定，但實際執行狀況確實需依據工地現場情形調整，本計畫之執行成果將可提供參考。

(三)本工程減碳效益之考量及討論

由盤查結果顯示，本計畫之減碳效益主要來自飛灰及爐石粉替代水泥，工程在設計過程中之考量應有部分具有減碳潛力。設計單位提及可考量替代方案之影響，包括本工程設計時以高強度鋼筋替代低強度鋼筋或橋梁深入隧道之基礎開挖工法替代等，若有替代方案之設計資料，則可進行減碳量之計算；然因設計結果即已考量最佳方案，一般並無被替代方案之設計資料。未來本計畫將視設計單位可提供之資訊，進行替代方案之減碳量計算。

4.2.3 工程特性環境影響因子探討

本計畫在各期進度報告中，皆已配合工程項目完工或階段性完工進行工

項及排碳量之分析，本期已於 4.3 節統一說明 A 段之工程項目單位排碳量，本節就現場環境因素所造成工法改變或不同處理所產生之排碳量進行分析。

以下依序說明 A1 標 P33 及 P34 深基礎及隧道環境因子對於工程之影響。A1 標 P33 及 P34 深基礎將回顧說明兩基礎原設計型式之排碳量、過程中需進行地質改良之排碳量，及變更設計後之排碳量，並說明單位排碳量差異；隧道將說明東澳隧道抽坍及噴凝土使用變更對於排碳量之影響；另下半年度本計畫已收集谷風隧道抽坍處理相關資料，相關結果說明如后：

一、A1 標 P33 及 P34 深基礎設計變更之影響

A1 標 P33 及 P34 兩墩之深基礎原設計為井式基礎，施工過程發生因積水導致無法施工之情形，雖經過抽水及地質改良處理，但後續仍因地質條件較差，故需變更為樁式基礎，兩基礎之變更前後排碳量差別如表 4.2.3-1。

兩基礎原設計為井式基礎，由於施工未完成，排碳量以推估方式執行。本計畫以其他工程井式基礎之單位工程材料及單位機具排碳量盤查結果進行推估(參考 A3 標之盤查統計資料)，兩基礎若在原規劃之施工狀態下推估排碳量約為 329.74 tCO₂e。地質改良為至變更工法前實際盤查之排碳量，兩基礎平均各產生 223.57 tCO₂e 之排碳量，主要排碳來源為水泥及水玻璃等地質改良使用材料。然而，雖進行地質改良，後續仍因地質條件影響而需變更設計為樁式基礎，經實際盤查後得知兩完整之樁式基礎(含基樁及基礎層)之排碳量各為 671.20 tCO₂e 及 755.91 tCO₂e。

表 4.2.3-1 P33 及 P34 基礎工法排碳量差異分析

項目	P33		P34	
	井式基礎	樁式基礎	井式基礎	樁式基礎
規格	直徑 6 m/深度 25 m	基樁 6 支/25 m 基礎層 441m ²	直徑 6 m/深度 25 m	基樁 6 支/30 m 基礎層 420m ²
機具排碳量	14.13 ^{*1}	671.20	14.13 ^{*1}	755.91
材料排碳量	315.61		315.61	
地質改良	223.57	-	223.57	-

項目	P33		P34	
	井式基礎	樁式基礎	井式基礎	樁式基礎
總排碳量	(未含地質改良)329.74	671.20	(未含地質改良)329.74	755.91
	(含地質改良)553.31		(含地質改良)553.31	

備註：(1)*1：井基機具單位排碳以 0.02 tCO₂e/m³ 估算，材料單位排碳量以 0.45 tCO₂e/m³ 估算，資料來源為 A3 標盤查統計資料。

(2)排碳量單位：tCO₂e

由表 4.2.3-1 分析結果可知，如假設未進行地質改良即以樁式基礎進行施作，兩樁式基礎之總排碳分別為 671.20 tCO₂e 及 755.91 tCO₂e 共 1,427.11 tCO₂e，雖略大於初步推估含地質改良之井式基礎排碳量 (1,106.62 tCO₂e)，但由於當時評估持續進行地質改良也不一定可完成井式基礎之施作，故改為樁式基礎為此施工之必需。因兩基礎所在位置之地質特殊條件，與良好可執行井式基礎施工之地質條件比較，此地質條件之特殊性造成排碳量約增加 1,214.77 tCO₂e。

二、隧道抽坍對於排碳量之影響

開工迄今 A 段東澳隧道(A2 標)及 C 段中仁隧道(C1A 標)在隧道開挖過程中皆有經歷抽坍處理，本計畫於本期說明東澳隧道抽坍處理對於隧道上半工程之影響；中仁隧道目前僅發生零星之抽坍處理，故本期暫不彙整說明。

經與 A2 標承包商討論與資料收集，得知該工程自開工迄竣工總共發生 193 處抽坍，其中監造認可計 85 處，故本計畫僅就經認可之抽坍結果進行分析。85 處其中僅 29 次具抽坍處理報告(經監造認可)，其餘 56 處並無抽坍處理報告，本計畫依據 A2 標抽坍處理報告內容及與監造單位討論後，以推估方式計算 56 處之排碳量，抽坍處理使用及推估之工程材料如表 4.2.3-2。由彙整結果顯示，抽坍處理使用材料基本上與隧道上半工程之地質改良作業及支撐作業一致，僅抽坍處理額外使用噴凝土進行補噴或背填等作業。

另雖於 106 年年末進度審查會中已向承包商索取所有抽坍處理之工程材料使用數量，惟經與承包商與監造確認，對於各次抽坍處理之數量

在收集上有困難，故本期計畫仍以前述 29 次抽坍處理報告及 56 處推估結果作為抽坍處理對於隧道上半開挖排碳量之依據。

表 4.2.3-2 抽坍處理計算工程材料

對應作業類別	抽坍處理報告使用材料 (共 29 處)	抽坍處理推估使用材料 (共 56 處)
地質改良	<ul style="list-style-type: none"> ● 管幕鋼管(m) ● 先撐鋼管(m) ● 水泥砂漿(包) ● 灌漿鋼管(m) ● 聚氨酯樹脂(kg) ● 水泥(包) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 管幕鋼管(m) ● 灌漿鋼管(m) ● 聚氨酯樹脂(kg) ● 水泥(包)
支撐作業	<ul style="list-style-type: none"> ● 支保(組) ● 岩栓(支) ● 水泥砂漿(包) ● 噴凝土及點焊網(m³) ● 鋼纖噴凝土(m³) ● 速凝劑(kg) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 噴凝土及點焊網(m³) ● 鋼纖噴凝土(m³) ● 速凝劑(kg)

依據前述使用工程材料資料，本計畫彙整抽坍處理工程材料排碳量及抽坍處理對於地質改良與支撐兩作業之影響如表 4.2.3-3，由表可知依據抽坍報告(29 處)所計算之排碳量約占 40%，而以推估方式(56 處)計算之抽坍處理排碳量則占 60%；另分析外各岩體之排碳量，可以瞭解不論是以抽坍處理報告計算或推估，皆是以 VI 類岩體為主要來源。

表 4.2.3-3 抽坍處理工程材料排碳量彙整

資料來源	岩體	輪進長度 (m)	體積 (m ³)	排碳量 (tCO ₂ e)	排碳量-補強 (tCO ₂ e)	排碳量-支撐 (tCO ₂ e)	占比
抽坍報告	VI 類	112.50	7,650.00	2,098.78	1,884.42	214.35	40%
	V 類	7.60	502.00	16.24	8.70	7.54	
抽坍處理 推估	VI 類	168.00	11,438.00	3,108.37	2,863.50	244.77	60%
	V 類	10.30	680.00	101.58	95.72	5.86	
	IV 類	3.50	228.00	1.44	-	1.44	

由表 4.2.3-3 可知，抽坍處理補強排碳量於 VI 類岩體之影響約在 1,884.42~2,863.50 tCO₂e 之間，而相較於補強排碳量，抽坍處理支撐排碳量於 VI 類岩體之影響約在 214.35~244.77 tCO₂e 之間，影響較不顯著。考量各隧道所在地理環境不同，所穿過之岩體亦有所不同，故該部分所產出數值僅適合呈現該隧道抽坍處理作業對於其單位排碳量的影響，不適合作為其他隧道推估使用。

另彙整抽坍處理對於各岩體總排碳量之影響結果於表 4.2.3-4，由表可以瞭解，抽坍處理對於 VI 岩體之影響相較於其他岩體顯著，約占 VI 岩體上半排碳量的 18.49%，其餘 V 類及 IV 類岩體則較不顯著，約占 1.79%及 0.02%。

表 4.2.3-4 抽坍處理於各岩體排碳量占比彙整

岩體	VI 類	V 類	IV 類
隧道上半總材料排碳量(tCO ₂ e)	28,157.61	19,022.13	6,133.24
總抽坍材料排碳量(tCO ₂ e)	5,207.15	341.40	1.44
抽坍報告材料排碳量(tCO ₂ e)	2,098.78	239.83	-
抽坍推估材料排碳量(tCO ₂ e)	3,108.37	101.58	1.44
比例(%)	<u>18.49</u>	<u>1.79</u>	<u>0.02</u>

三、鋼纖維噴凝土與鋼線網噴凝土使用之排碳差異

噴凝土摻加鋼纖維施工，主要係利用鋼纖維之高抗拉特性可大幅提高噴凝土襯砌層材料之抗彎強度及抗壓強度；而鋼纖維噴凝土之使用為 NATM 隧道工法，並可視需要採用乾式或濕式工法施工。本工程在設計階段即規劃採用鋼纖維噴凝土作為隧道一次襯砌之施工材料。

本工程 C1A 標施工廠商因施工需要，除以鋼纖維噴凝土進行施工外，亦採用鋼線網噴凝土作為隧道支保組立後之支撐保護工程。鋼纖維噴凝土為噴凝土材料(即水泥、粒料、砂灰、水及附加劑等)加上鋼纖維拌合而成，一般是在拌合場拌合均勻後再運至現場以特殊噴嘴及機具施噴，即

所謂「濕式工法」施作，使用鋼纖維噴凝土則不需掛設鋼線網，優點為減少施作時間，加快輪進速度，對岩盤穩定有相當大的幫助，並減少空氣污染問題。

C1A 標南口施作廠商於 104 年 6 月開始隧道輪進，主要皆使用鋼纖維噴凝土進行施作，惟因實作數量超過契約施作數量，故施工廠商於北上線 3K+435.6~3K+402.3(R930~949 輪)及南下線 3K+546.7~3K+512.1 (R858~877 輪)進行鋼線網噴凝土試作，並發文函送試作報告書，請求變更以鋼線網噴凝土取代鋼纖維噴凝土進行施作，經同意後正式以鋼線網噴凝土替代鋼纖維噴凝土進行施工。

本計畫依據工程施作設計值，彙整不同岩體類別之鋼纖維噴凝土、鋼線網及鋼線網噴凝土之設計使用量如表 4.2.3-5 所示。

表 4.2.3-5 鋼纖維噴凝土及鋼線網噴凝土之設計使用量

材料名稱		岩體類別	III	IV	V	VI
鋼纖維噴凝土	用量(m ³ /m)		2.56	2.56	3.44	4.35
	厚度(m)		0.12	0.12	0.16	0.20
鋼線網噴凝土	鋼線網 (m ² /m)		21.35	21.41	43.18	43.66
	用量(m ³ /m)		3.68	3.69	4.97	6.28
	厚度(m)		0.15	0.15	0.20	0.25

本計畫為探討「鋼纖維噴凝土」及「鋼線網噴凝土」兩種工法之排碳差異，統計南口開工迄 107 年 5 月之材料使用量進行排碳量計算(工作面 NN1 於 4 月 27 日貫通、工作面 SN2 於 5 月 14 日貫通)，就各類岩體材料實際使用量、設計排碳量、實際排碳量，以及綜合分析之內容說明如下。

(一)各類岩體材料實際使用量

C1A 標南口工區鋼纖維噴凝土及鋼線網噴凝土實際使用量如表 4.2.3-6 所示，由此表分析結果可看出，不論採鋼纖維噴凝土或鋼線網噴凝土工法，隨著岩體類別越差，各項工程材料使用量呈現遞增之情

形；而在鋼線網單位使用量上，V類岩體與VI類岩體使用量較III及IV類岩體明顯增多，與設計時規劃如遇V類或VI類岩體，鋼線網使用數量是以雙層方式進行施工相符(如表 4.2.3-5 之設計資料)。

而由表 4.2.3-5 設計值內容得知，「鋼纖維噴凝土用量」及「鋼線網噴凝土用量」皆與其「厚度」成正比關係，藉由此物理關係及實際使用量，進一步計算「鋼纖維噴凝土」及「鋼線網噴凝土」實際施作厚度，如表 4.2.3-6 所示。

表 4.2.3-6 鋼纖維噴凝土與鋼線網噴凝土之實際使用量

材料名稱 \ 岩體類別		III	IV	V	VI
		鋼纖維噴凝土	用量(m ³)	11,443.00	1,742.50
	輪進長度(m)	2,083.40	379.00	191.00	15.00
	用量(m ³ /m)	5.49	4.60	10.40	19.27
	厚度(m)	0.26	0.22	0.48	0.89
鋼線網噴凝土	鋼線網(m ²)	1,142.26	37,089.10	31,206.61	1,689.65
	用量(m ³)	519.00	12,682.00	7,638.50	583.50
	輪進長度(m)	30.00	1,373.00	725.30	38.70
	鋼線網(m ² /m)	38.08	27.01	43.03	43.66
	用量(m ³ /m)	17.30	9.24	10.53	15.08
	厚度(m)	0.71	0.38	0.42	0.60

(二)設計排碳量

本計畫由表 4.2.3-5 設計使用量，及碳排放係數計算設計排碳量。碳排放係數引用自噴凝土配比資料、政府公告及生命週期評估軟體(Gabi、Simapro)資料，各項碳排放係數如表 4.2.3-7；因鋼纖維噴凝土及鋼線網噴凝土皆須搭配使用速凝劑，故一併考量其造成之排碳量。設計排碳量計算結果如表 4.2.3-8。

由表 4.2.3-8 結果得知，不論採鋼纖維噴凝土或鋼線網噴凝土工法，隨著岩體類別越差，排碳量呈現遞增之情形；當同一岩體類別時，鋼線網噴凝土排碳量亦皆大於鋼纖維噴凝土排碳量。

表 4.2.3-7 碳排放係數一覽表

材料名稱	碳排放係數	單位	碳排放係數來源
鋼纖維噴凝土	0.185	kgCO ₂ e/kg	本計畫盤查結果。以鋼纖維噴凝土配比資料、能源碳排放係數及運輸碳排放係數等組成
鋼線網	0.625	kgCO ₂ e/kg	生命週期評估軟體(Gabi)，鋼線
噴凝土	0.172	kgCO ₂ e/kg	本計畫盤查結果以噴凝土配比資料、能源碳排放係數及運輸碳排放係數等組成
速凝劑	0.660	kgCO ₂ e/kg	1.以硫酸鋁鹽(60%)及水(40%)組成碳排放係數 2.硫酸鋁鹽-生命週期評估軟體(Simapro) 3.水-環保署

表 4.2.3-8 鋼纖維噴凝土與鋼線網噴凝土之設計排碳量

材料名稱		岩體類別	III	IV	V	VI
鋼纖維噴凝土	總計(tCO ₂ e/m)		1.13	1.13	1.51	1.91
	鋼線網(tCO ₂ e/m)		0.04	0.04	0.08	0.08
鋼線網噴凝土	噴凝土(tCO ₂ e/m)		1.51	1.52	2.04	2.58
	總計(tCO ₂ e/m)		1.55	1.56	2.12	2.66

(三)實際排碳量

鋼纖維噴凝土及鋼線網噴凝土皆以實際使用數量作為活動數據(表 4.2.3-6)，並乘上碳排放係數(表 4.2.3-7)後，即可獲得實際施工時鋼纖維噴凝土及鋼線網噴凝土之工法之排碳量，各類岩體之結果如表 4.2.3-9 所示。

此外，將各岩體鋼纖維噴凝土及鋼線網噴凝土之實際排碳量，依據各岩體鋼纖維噴凝土及鋼線網噴凝土施工輪進長度兩者相除，即可得到各岩體單位排碳量，如表 4.2.3-9 所示。由實際盤查結果顯示，在III類及IV類岩體，鋼線網噴凝土之單位排碳量大於鋼纖維噴凝土，但V類及VI類岩體，則以鋼纖維噴凝土之單位排碳量大於鋼線網噴凝土。

表 4.2.3-9 鋼纖維噴凝土與鋼線網噴凝土之實際排碳量

材料名稱		岩體類別	III	IV	V	VI
鋼纖維噴凝土	總計(tCO ₂ e)		5,102.87	777.05	886.08	128.88
	總計(tCO ₂ e/m)		2.45	2.05	4.64	8.59
鋼線網噴凝土	鋼線網(tCO ₂ e)		2.20	71.40	60.07	3.25
	噴凝土(tCO ₂ e)		216.88	5,299.50	3,191.94	243.83
	總計(tCO ₂ e)		219.08	5,370.90	3,252.02	247.08
	鋼線網(tCO ₂ e/m)		0.07	0.05	0.08	0.08
	噴凝土(tCO ₂ e/m)		7.23	3.86	4.40	6.30
	總計(tCO ₂ e/m)		7.30	3.91	4.48	6.38

(四)綜合分析

彙整設計值及實際值之各岩體單位排碳量分析結果如表 4.2.3-10 所示，相關成果說明如後：

表 4.2.3-10 鋼纖維噴凝土與鋼線網噴凝土之設計與實際單位排碳量彙整

類型	材料名稱		岩體類別	III	IV	V	VI
設計值	鋼纖維噴凝土	總計(tCO ₂ e/m)		1.13	1.13	1.51	1.91
		厚度(m)		0.12	0.12	0.16	0.20
	鋼線網噴凝土	鋼線網(tCO ₂ e/m)		0.04	0.04	0.08	0.08
		噴凝土(tCO ₂ e/m)		1.51	1.52	2.04	2.58
		總計(tCO ₂ e/m)		1.55	1.56	2.12	2.66
		厚度(m)		0.15	0.15	0.20	0.25
實際值	鋼纖維噴凝土	總計(tCO ₂ e/m)		2.45	2.05	4.64	8.59
		厚度(m)		0.26	0.22	0.48	0.89
	鋼線網噴凝土	鋼線網(tCO ₂ e/m)		0.07	0.05	0.08	0.08
		噴凝土(tCO ₂ e/m)		7.23	3.86	4.40	6.30
		總計(tCO ₂ e/m)		7.30	3.91	4.48	6.38
		厚度(m)		0.71	0.38	0.42	0.60

- 1.以設計值資料而言，鋼纖維噴凝土及鋼線網噴凝土隨著岩體越佳，其排碳量呈現降低之趨勢；當為同一岩體類別時，鋼纖維噴凝土排碳量低於鋼線網噴凝土排碳量。
- 2.不論鋼纖維噴凝土或鋼線網噴凝土，當為同一岩體類別時，實際單位排碳量均高於設計單位排碳量，顯示現場實際操作與設計之間距差異。III類及IV類岩體之鋼纖維噴凝土單位排碳量低於鋼線網噴凝土排碳量，此與原設計結果呈現相同趨勢；然而V類及VI類岩體因施工過程及隧道環境等因素，鋼纖維噴凝土單位排碳量高於鋼線網噴凝土單位排碳量。此結果雖為C1A標個案狀況，但顯示工法之選擇需依據現場實際狀況進行調整，亦對於排碳量有所影響。
- 3.由設計及實際盤查結果比較，鋼纖維噴凝土於V、VI類岩體實際單位排碳量，超過設計值的3倍，差異較大；鋼纖維噴凝土於III類及IV類岩體單位排碳量差異較小，僅超過設計值1.5~2倍。而若採用鋼線網噴凝土實際值與設計值單位排碳量之差異，約差2.1~4.7倍左右，推測係現場作業需求、人員操作、施工技術等所造成。
- 4.由設計及實際盤查結果彙整「鋼纖維噴凝土」及「鋼線網噴凝土」施作厚度，如圖4.2.3-1所示，可看出不論是鋼纖維噴凝土或鋼線網噴凝土，實際施作厚度皆高於當初之設計值，且岩體越差實際施作厚度越多，才能符合施工要求。

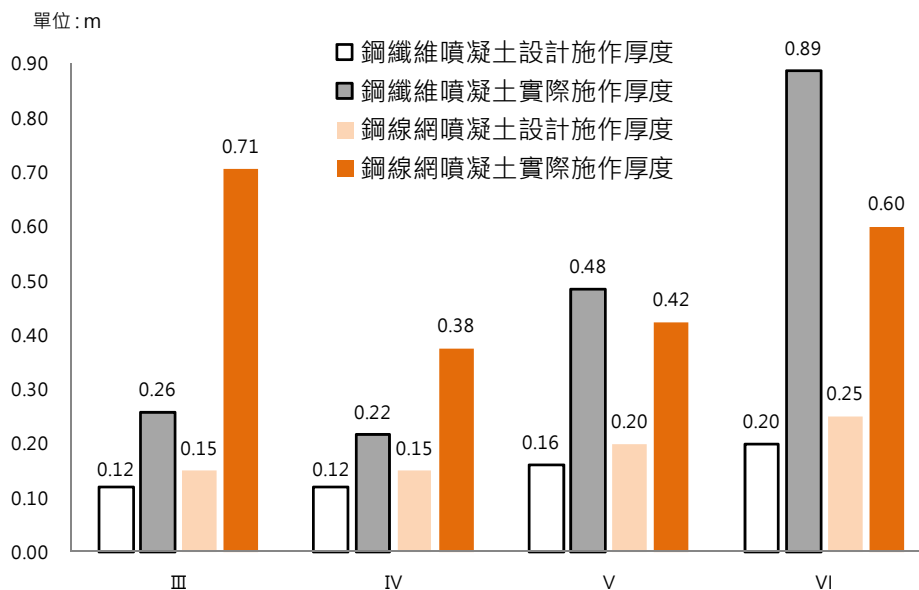


圖 4.2.3-1 鋼纖維噴凝土及噴凝土施作厚度比較圖

四、B3 標谷風隧道抽坍對於排碳量之影響

B3 標蘇花改谷風隧道新建工程範圍包含包括南下線 STA.8+200 ~ 15+805.353、北上線 STA.8+200 ~ 15+788.805，全長約 7,600 公尺。主要工程內容為觀音隧道南段(含橫坑機房 1 座)、谷風隧道(含南口機房及通風橫坑機房)、鼓音橋及漢本高架橋工程、漢本填土方路堤、排水工程及其他附屬工程等。

谷風隧道 NS3 工作面於 104 年 1 月 4 日發生頂拱抽坍災害，104 年 1 月 5 日至 1 月 10 日期間再度發生第二次抽坍並出現 1,889 公升/分鐘湧水，合計坍落土石方約 1,500 立方公尺，共 28.9 公尺主隧道遭土石坍塌。本計畫依據 B3 標抽坍處理報告內容並與監造單位討論其細節，嘗試收集 6 路段之抽坍處理(含支撐與地質改良作業)所使用之工程材料。透過表 4.2.3-11 之彙整，抽坍處理所使用材料與隧道上半工程之地質改良作業及支撐作業大致相同，僅抽坍處理需額外使用噴凝土，以進行補噴或背填等作業。

表 4.2.3-11 抽坍處理計算工程材料

對應作業類別	抽坍處理報告使用材料	活動量	單位
地質改良	管幕鋼管	3,149	支
	管幕鋼管 ABS	53	支
	先撐鋼管	180	支
	水泥	75,295	包
	聚氨酯樹脂	405,578	kg
支撐作業	H100 型鋼支保	6	組
	H125 型鋼支保	77	組
	H150 型鋼支保	105	組
	H200 型鋼支保	79	組
	H 型鋼	19	ton
	自鑽式岩栓(含砂漿)	4,013	支
	非預力岩栓(含砂漿)	1,036	支
	255(kg/cm ²)鋼纖噴凝土	2,553.60	m ³
	210(kg/cm ²)噴凝土	2,167.25	m ³
	175II(kg/cm ²)混凝土	2,476	m ³
	鋼線網	8,326.79	m ²
速凝劑	94.42	ton	

本計畫根據抽坍報告內容之位置、工程材料使用量與岩體類別計算出抽坍作業之排碳量，如表 4.2.3-12 所示。6 處抽坍作業之總排碳量為 16,316.50 tCO₂e，其中地質改良作業中使用大量高排碳係數之聚氨酯樹脂與水泥，以致其排碳量較高(約 12,120.83 tCO₂e)，占整體抽坍作業排碳量之 74.29%；H 型鋼支保、H 型鋼、噴凝土施作與各類岩栓施作等支撐作業排碳量約 4,195.67 tCO₂e，占整體抽坍作業排碳量之 25.71%，其中大量使用之自鑽式岩栓為支撐作業之主要排放源。

表 4.2.3-12 抽坍位置與岩體類別之排碳量彙整

抽坍位置	岩體類別	支撐作業排碳量 (tCO ₂ e)	地質改良作業 排碳量(tCO ₂ e)
10+768 橫坑與主線交叉段	-	431.44	0.57
10+768 NS3 *T928-T938	IV 類	902.58	1,625.30
10+768 SS4 *T980-T1058	-	1,907.37	9,048.52
10+768 SS4 *T647-T652	IV 類	143.88	-
10+768 SS4 *T1007-T1009	-	157.02	1,446.44
10+768 NS3 **I775-I788	IV 類	653.39	-
合計(tCO ₂ e)		4,195.67	12,120.83
比例		25.71%	74.29%
總排碳量(tCO ₂ e)		16,316.50	

註：*T 表示隧道上半開挖，**I 表示隧道仰拱開挖

4.2.4 隧道標工程特性分析

蘇花改工程進行碳盤查作業的各標段中，A2 標、C1A 標及 C2 標主要為隧道工程，A2 標係於 102 年 8 月開始主隧道開挖作業，於 105 年 7 月北上線及南下線貫通，並於 107 年 2 月上旬竣工；C2 標則是在 105 年度間開始進洞開挖，扣除洞口段，截至 107 年 12 月底止，上半、台階、仰拱及襯砌工程皆陸續開始進行；C1A 標為 104 年度開工，於 104 年 6 月下旬開始接續南口及北口橫坑開挖工作，截至 107 年 12 月底止，上半、台階、仰拱、基樑及襯砌工程亦皆有進行。

本計畫分項說明隧道標之工程特性分析內容，本期報告主要就目前進行施作中的 C1A 標及 C2 標進行說明，主要說明內容如下：一、工程項目分類及計算方法學；二、C1A 單位排碳量計算結果；三、C2 標單位排碳量計算結果；四、隧道上半工程單位排碳量彙整。

另雖然 C1A 標及 C2 標現階段仍僅有 7 份核定之抽坍處理成果報告書，抽坍處理作業少，故規劃待取得較多抽坍處理成果報書後，於後續年末進度報告書再行分析；而 C2 標因 186 年度亦僅有 2 次小規模抽坍處理紀錄，故

暫不進行分析。

一、工程項目分類及計算方法學

參照隧道開挖之工程項目，本計畫將隧道施工項目分為(上半工程、台階工程、仰拱工程、基樑及襯砌工程)，再依照工序特性將各工程項目進行子作業項目分類，並視情況進行岩體分類，目前隧道工程分類內容如表 4.2.4-1，並依序說明分類內容。

表 4.2.4-1 隧道施工項目分類

工程項目		作業項目	岩體分類
隧道開挖及支撐工程/ 隧道鑽孔及灌漿工程	隧道上半工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 地質改良作業 ● 開挖作業 ● 支撐作業 	是
	隧道台階工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 開挖作業 ● 支撐作業 	是
	隧道仰拱工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 僅開挖作業 	是
	基樑工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 僅說明單位排碳 	否
襯砌工程(及通風隔板)		<ul style="list-style-type: none"> ● 僅說明單位排碳 	否

(一)隧道上半工程

本計畫暫將上半開挖階段細分為地質改良、開挖及支撐3項作業，分析各項作業之材料使用與機具操作(含用電量)的活動量與排碳量差異，進而以開挖面積及長度為單位，計算單位上半開挖作業之補強、聚氨酯樹脂止水、開挖及支撐排碳量，作為後續進行本計畫各隧道工程特性與環境條件之碳排放分析比對之基準。

由於環境條件(岩體狀況)對於隧道工程的材料與機具操作有顯著影響，為隧道工程碳排放之重要影響因子，故本報告除將隧道上半工程分地質改良、開挖及支撐3項作業外，另加以洞口段及 I~VI 類岩體分析材料使用部分的排碳量差異，探討岩體條件對上半開挖之影響。

在材料使用部分，本報告係採用各項材料用量之實際值，但暫未包含因品管抽測、施作不良或材料損壞之耗損量。在機具及用電部分，機具操作時數依不同岩體之操作時間紀錄，進行不同岩體機具排放量分配。本計畫依承包商所提於各岩體之機具使用時間進行分油；而用電量部份，則是依照總用電量以各用電機具之功率與操作時數分配。各作業項目主要使用材料及機具如表 4.2.4-2。

表 4.2.4-2 上半開挖各作業項目使用材料及機具分類

開挖作業類別	主要使用材料	主要使用機具
地質改良作業	<ul style="list-style-type: none"> ● 管幕鋼管(m) ● 先撐鋼管(m) ● 水泥砂漿(包) ● 灌漿鋼管(m) ● 聚氨酯樹脂(kg) ● 水泥(包) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鑽堡機 ● 灌漿機 ● 高空作業車
開挖作業 (鑽炸及機械)	<ul style="list-style-type: none"> ● 炸藥(kg) ● 導爆索(m) ● 雷管(發) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 挖土機 ● 裝載機
支撐作業	<ul style="list-style-type: none"> ● 支保(組) ● 岩栓(支) ● 水泥砂漿(包) ● 鋼纖噴凝土(m³) ● 速凝劑(kg) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鑽堡機 ● 噴漿機 ● 灌漿機 ● 高空作業車

地質改良作業使用材料包含管幕鋼管與搭配使用之灌漿材料、先撐鋼管與搭配使用之水泥砂漿，及灌漿鋼管與搭配使用之灌漿材料，其中管幕鋼管及灌漿鋼管所使用的灌漿材料為水泥，用於固結；止水則是採用管幕鋼管及灌漿鋼管，灌漿材料為聚氨酯樹脂。開挖作業使用材料包含炸藥、導爆索及各式雷管。

支撐作業則使用支保、鋼纖噴凝土與搭配使用之速凝劑，及岩栓與搭配使用之急結管與水泥砂漿。其中，鋼纖噴凝土用量為含耗損之實際值；岩栓使用之水泥砂漿及速凝劑則為岩栓實際用量進行分配後之數值。

開挖方式分為機械及鑽炸開挖，本計畫依開挖方式及岩體分開計算單位排碳量。

(二)隧道台階工程

本計畫暫將台階開挖階段細分為開挖及支撐 2 項作業，與上半開挖分析相似，此部分將分析各項作業之材料使用與機具操作(含用電量)的活動量與排碳量差異，進而以開挖面積及長度為單位，計算單位開挖及支撐排碳量，作為後續進行本計畫各隧道工程特性與環境條件之碳排放分析比對之基準。

由於環境條件(岩體狀況)對於隧道工程的材料與機具操作有顯著影響，為隧道工程碳排放之重要影響因子，故本報告除將隧道台階開挖分開挖及支撐 2 項作業外，另加以洞口段及 I~VI 類岩體分析材料使用部分的排碳量差異，探討岩體條件對台階開挖作業之影響。

在材料使用部分，本報告係採用各項材料用量之實際值，但暫未包含因品管抽測、施作不良或材料損壞之耗損量，其中部分岩體有使用炸藥作為開挖預裂使用，惟經與監造及承包商確認，使用量較低且目前填報記錄中尚無法分列上半及台階兩部分之炸藥個別使用量，故除了明確分配台階炸藥使用量之 C2 標別外，將暫將所有炸藥使用歸類於上半開挖。在機具及用電部分，機具操作時數，依不同岩體之操作時間紀錄，執行不同岩體強度進行機具排放量分配。本計畫依承包商所提於各岩體之機具使用時間進行分油；而用電量部份，則是依照總用電量以各用電機具之功率與操作時數分配。各作業項目主要使用材料及機具如表 4.2.4-3。

表 4.2.4-3 台階開挖各作業項目使用材料機具分類

開挖作業類別	主要使用材料	主要使用機具
開挖作業 (鑽炸)	-	<ul style="list-style-type: none"> ● 挖土機 ● 裝載機
支撐作業	<ul style="list-style-type: none"> ● 支保(組) ● 岩栓(支) ● 水泥砂漿(包) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鑽堡機 ● 噴漿機 ● 灌漿機

開挖作業類別	主要使用材料	主要使用機具
	<ul style="list-style-type: none"> ● 鋼纖噴凝土(m³) ● 速凝劑(kg) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高空作業車

支撐作業使用支保、鋼纖噴凝土與搭配使用之速凝劑，及岩栓與搭配使用之急結管與水泥砂漿。其中，鋼纖噴凝土用量為含耗損之實際值；岩栓使用之水泥砂漿及速凝劑則為岩栓實際用量進行分配後之數值。

開挖作業施工方式分為機械及鑽炸開挖，本計畫依開挖方式及岩體分開計算單位排碳量。

(三)隧道仰拱工程

本計畫仰拱開挖工項，所使用之工程材料包括混凝土、噴凝土與其搭配的速凝劑與竹節鋼筋，係採用各項材料用量之實際值，但暫未包含因品管抽測、施作不良或材料損壞之耗損量。在機具部分，機具操作時數，依不同岩體之操作時間紀錄，進行不同岩體之機具排放量分配。本計畫依承包商所提於各岩體之機具使用時間進行分油。

亦由於環境條件(岩體狀況)對於隧道工程的材料與機具操作有顯著影響，為隧道工程碳排放之重要影響因子，故本報告加各類岩體分析材料使用部分的排碳量差異，探討岩體條件對仰拱工程作業之影響。因為仰拱開挖工程使用材料及機具較為單純，故本計畫暫以開挖工項囊括所有仰拱開挖所需材料及機具使用排碳量說明。

另因 C 段地質關係，較 A 段標別隧道有較少的仰拱工程，本計畫於本年度分析僅分析 C1A 標之仰拱工程內容，C2 標則因規模較小，故暫不分析。

(四)基樑(基腳)工程

蘇花改隧道工程無論有仰拱段或無仰拱皆有基樑工程，主要使用材料包括混凝土及竹節鋼筋，惟因工程項目無明確分類，且基樑並非單輪施作，故本年度暫將各岩體排碳量合併計算，僅說明工程材料及機具排碳量與施做長度。

(五)襯砌工程

襯砌工程目前僅以一平均值計算排碳量，主要使用材料包括混凝土、竹節鋼筋及防水層等材料，惟因工程項目無明確分類，且襯砌工程並非單輪施作，故本年度暫將各岩體排碳量合併計算，僅說明單位體積之工程材料及機具排碳量施做長度。

二、中仁隧道(C1A 標)各工程項目單位排碳量分析結果

以下依序以上半、台階、仰拱、基樑及襯砌工程其排碳量及單位排碳量，最後彙整隧道單位排碳量。

(一)上半工程

前節已說明上半工程可分為地質改良、開挖及支撐等 3 個作業項目工程材料及機具能耗計算內容，本計畫首先說明上半工程各作業之排碳量及施作範圍如表 4.2.4-4。

表 4.2.4-4 C1A 標上半工程各作業排碳量

工項/作業	上半-地質改良 (tCO ₂ e)	上半-開挖 (tCO ₂ e)	上半-支撐 (tCO ₂ e)	施作體積 (m ² ×m)
VI 類岩體工程材料	11,871.60	0	10,274.32	76.79×1,201.69
VI 類岩體機具能耗	1,205,781.55	615,192.98	40.18	
排碳量加總	1,217,653.15	615192.98	10,314.50	
V 類岩體工程材料	1,978.13	0	7,132.34	74.86×1,502.30
V 類岩體機具能耗	413,410.66	744,283.69	7,755.58	
排碳量加總	415,388.79	744283.69	14,887.92	
IV 類岩體工程材料	4,119.41	50.89	14,093.19	73.31×3,727.03
IV 類岩體機具能耗	539,891.73	1,621,826.51	1,483.94	
排碳量加總	544,011.14	1621877.4	15,577.13	
III 類岩體工程材料	27.12	0	5,891.27	72.88×2,148.40
III 類岩體機具能耗	136,920.01	776,308.08	0	
排碳量加總	136947.13	776308.08	5,891.27	

各岩體強度之作業單位排碳量分析結果如圖 4.2.4-1，其中地質改良方面，因為各標實際有施作之輪進不一致，本期暫以整體岩體施作

體積作為分析單位，以和開挖作業及支撐作業分析單位一致。

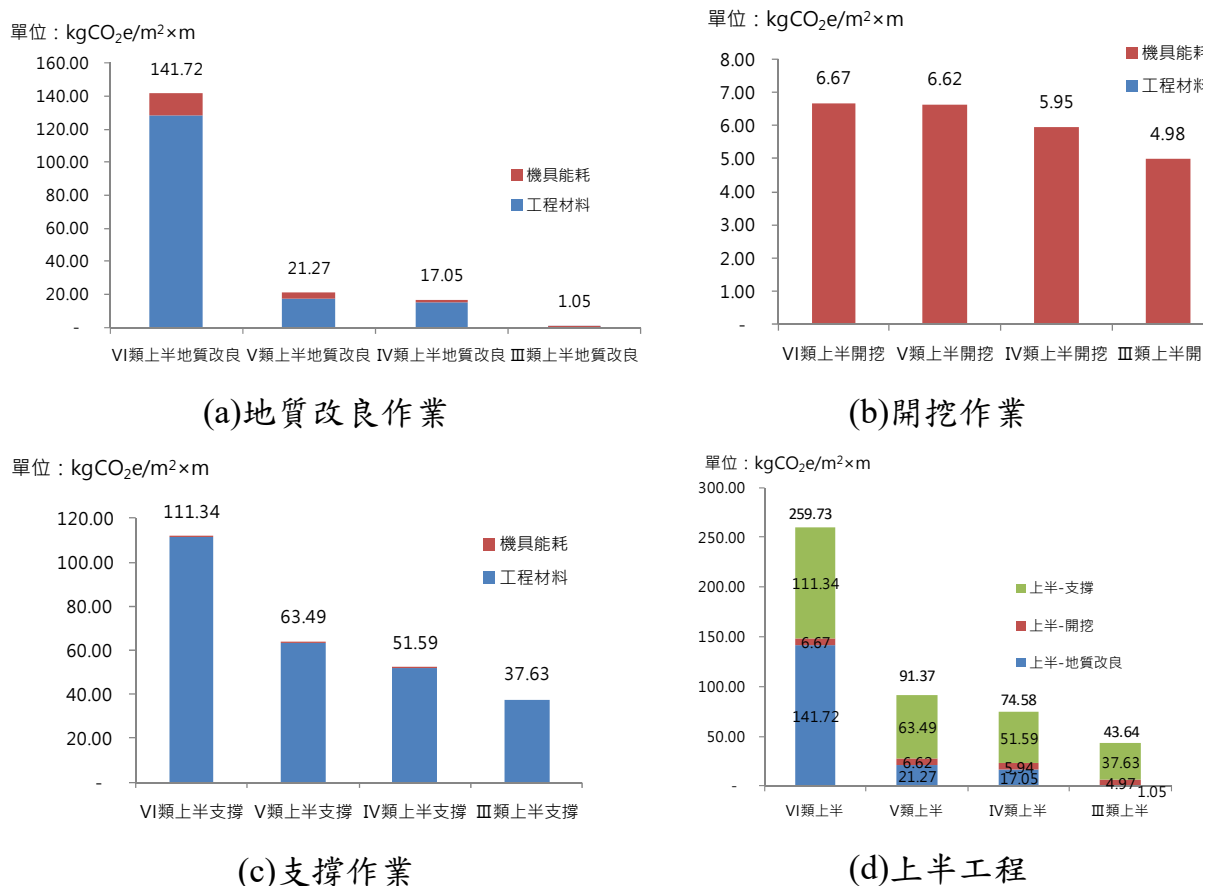


圖 4.2.4-1 C1A 標隧道上半單位排碳量

C1A 標上半工程各作業之單位排碳量皆依岩體情況變佳(IV類→III類)而單位排碳量下降，首先，地質改良各岩體強度的單位排碳量分析結果，可看到 C1A 標地質改良單位排碳量由 141.72 kgCO₂e/m²xm 下降至 1.05 kgCO₂e/m²xm；其次，C1A 標以炸藥等材料進行開挖，單位排碳量由 6.67kgCO₂e/m²xm 下降至 4.98kgCO₂e/m²xm；支撐作業單位排碳量由 111.34kgCO₂e/m²xm 下降至 37.63 kgCO₂e/m²xm，由圖 4.2.4-1(d)可以發現主要排碳量為支撐作業，其原因為使用鋼纖噴凝土之緣故。

彙整上述資料，C2 隧道標上半工程各岩體強度之單位排碳量，整體來說單位排量隨岩體變佳而下降，主要排碳源為支撐作業，其次

為地質改良作業與開挖作業。

(二)台階工程

台階工程可分為開挖作業及支撐作業兩部分，本計畫統計台階開挖工項各岩體強度的排碳量及單位排碳量分析結果如表 4.2.4-5 及圖 4.2.4-2。

台階開挖作業之工程材料排碳量及單位排碳量較機具高出許多，主要係因使用噴凝土及鋼支保所致，排碳量及單位排碳量亦隨著岩體類別由差至佳(VI類→III類)逐漸降低。

台階支撐作業主要因為鋼纖噴凝土使用的關係，單位排碳量較台階開挖作業高，而排碳量及單位排碳量之變化，亦隨著岩體類別由差至佳(VI類→III類)逐漸降低，其中，III類台階支撐單位排碳量些微大於IV類台階支撐，推測係現場人員為了配合隧道各項環境條件所致。

表 4.2.4-5 C1A 標台階工程各作業排碳量

工項/作業	台階-開挖 (tCO ₂ e)	台階-支撐 (tCO ₂ e)	施作體積 (m ² ×m)
VI類岩體工程材料	1,062.70	391.22	34.92×1,201.69
VI類岩體機具能耗	5,035.56	1,230,145.78	
排碳量加總	6,098.26	1,230,537.00	
V類岩體工程材料	156.91	394.68	34.40×1,502.30
V類岩體機具能耗	5,167.91	1,514,973.40	
排碳量加總	5,324.82	1,515,368.08	
IV類岩體工程材料	256.03	259.67	32.18×3,727.03
IV類岩體機具能耗	4,797.43	3,515,918.72	
排碳量加總	5,053.46	3,516,178.39	
III類岩體工程材料	61.43	438.13	32.08×2,148.40
III類岩體機具能耗	4,824.45	2,020,409.50	
排碳量加總	4,885.88	2,020,847.63	

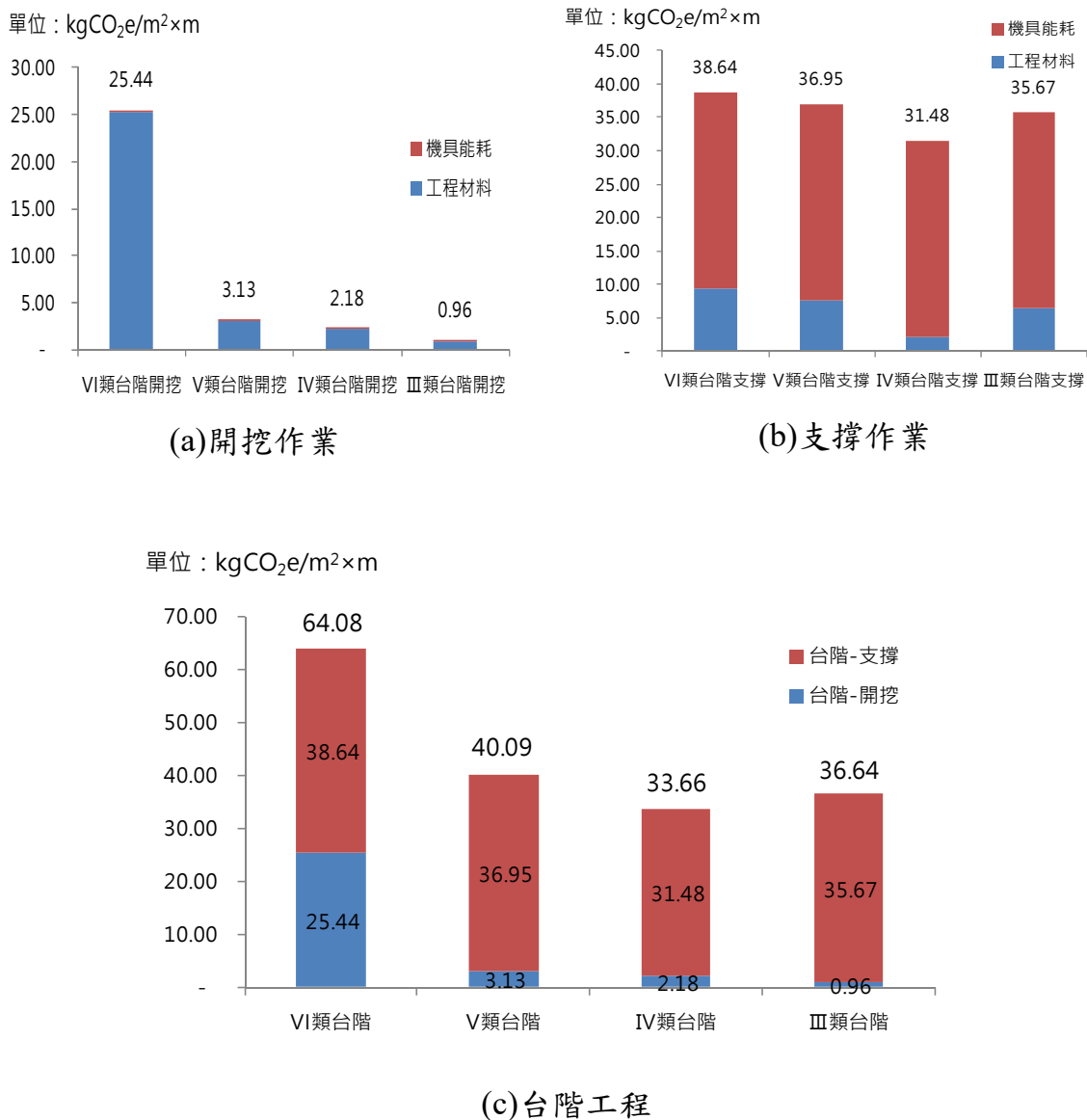


圖 4.2.4-2 C1A 標隧道台階單位排碳量

(三)仰拱工程

C1A 標仰拱工程排碳量主要分布於岩體較差之 VI 類及 V 類，此外，工程材料也較機具排碳量高出許多，其原因為使用較大量之噴凝土、鋼纖噴凝土及鋼筋所致，如圖 4.2.4-3 所示。

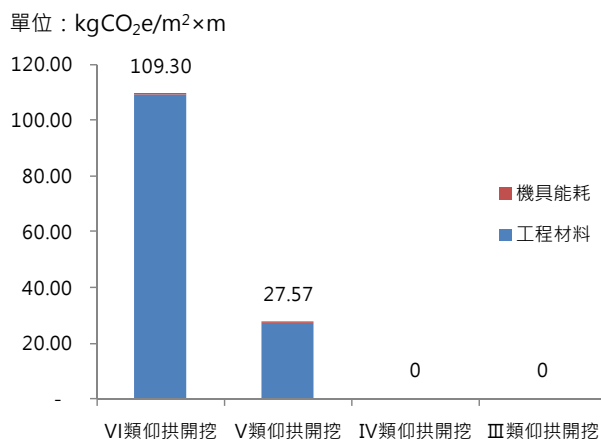


圖 4.2.4-3 C1A 標隧道仰拱開挖單位排碳量

(四)基樑工程

基樑工程單位排碳量主要以材料排碳量為主排碳量為 1,389,570 tCO₂e，若依據開挖體積 47,548.02 m²×m 計算，則單位排碳量為 29.22kgCO₂e/m²×m。

(五)襯砌工程(及隔板工程)

襯砌工程(含隔板)單位排碳量以材料排碳量為主，襯砌與隔板排碳量分別為 36,005,190.19 kgCO₂e 及 4,103,910.00 kgCO₂e，而襯砌及隔板工程之完成長度分別為 6,308.50 公尺與 4,291.50 公尺，若以完成長度分配單位排放量時，襯砌工程單位排碳量為 5,707.41 kgCO₂e/m，隔板工程單位排碳量為 956.29 kgCO₂e/m。

(六)隧道工程單位碳排放量分析彙整

彙整各類岩體強度之上半、台階、基樑、襯砌及隔板工程排碳量於表 4.2.4-6，並以隧道上半開挖斷面積計算單位排碳量，其中基樑、襯砌與隔板工程因未分岩體，故以整體上半開挖體積計算，結果如圖 4.2.4-4 所示，可以發現單位排碳量隨著岩體由差至佳而呈現減少的趨勢，主要排碳來源為上半工程及襯砌工程。

表 4.2.4-6 C1A 標隧道工項排碳量

工項/作業	上半工程 (tCO ₂ e)	台階工程 (tCO ₂ e)	基樑工程 (tCO ₂ e)	襯砌工程 (tCO ₂ e)	隔板工程 (tCO ₂ e)
VI 類岩體(tCO ₂ e)	259.73	2.91	29.22	34.50	3.93
V 類岩體(tCO ₂ e)	91.37	2.40			
IV 類岩體(tCO ₂ e)	74.59	0.66			
III 類岩體(tCO ₂ e)	43.65	1.94			
VI 類岩體體積	134,240.79		47,548.02	1,043,691.22	
V 類岩體體積	164,141.30				
IV 類岩體體積	393,164.39				
III 類岩體體積	225,496.06				

備註：(1)上半工程及台階工程之體積為各岩體上半斷面積×岩體輪進。

(2)基樑工程、襯砌工程及隔板工程之體積為整體上半開挖體積。

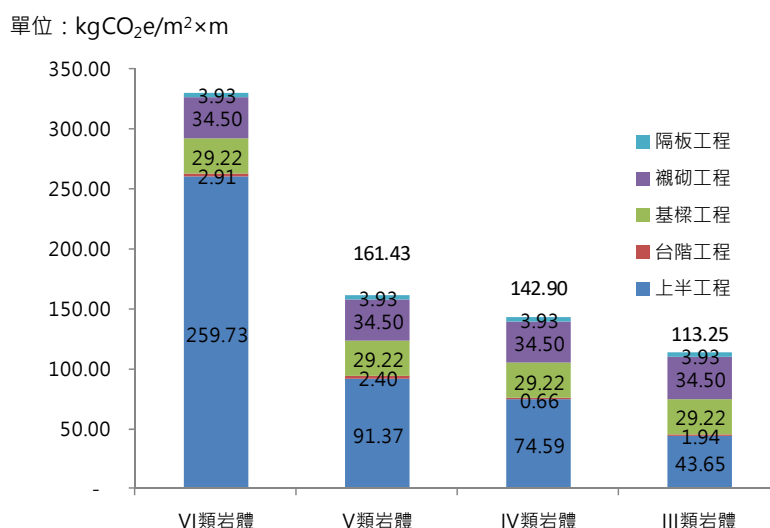


圖 4.2.4-4 C1A 標隧道單位排碳量

三、仁水隧道(C2 標)各工程項目單位排碳量分析結果

以下即隧道工程項目單位排碳量分析結果進行說明，因 C2 標開工迄今主要施作岩體為 IV 類與 III 類岩體，其他類別岩體施作輪進較短，故本年度主要就 IV 類與 III 類岩體進行說明，首先將說明由上半、台階、仰拱、基樑及襯砌工程其排碳量及單位排碳量，最後彙整隧道單位排碳量。

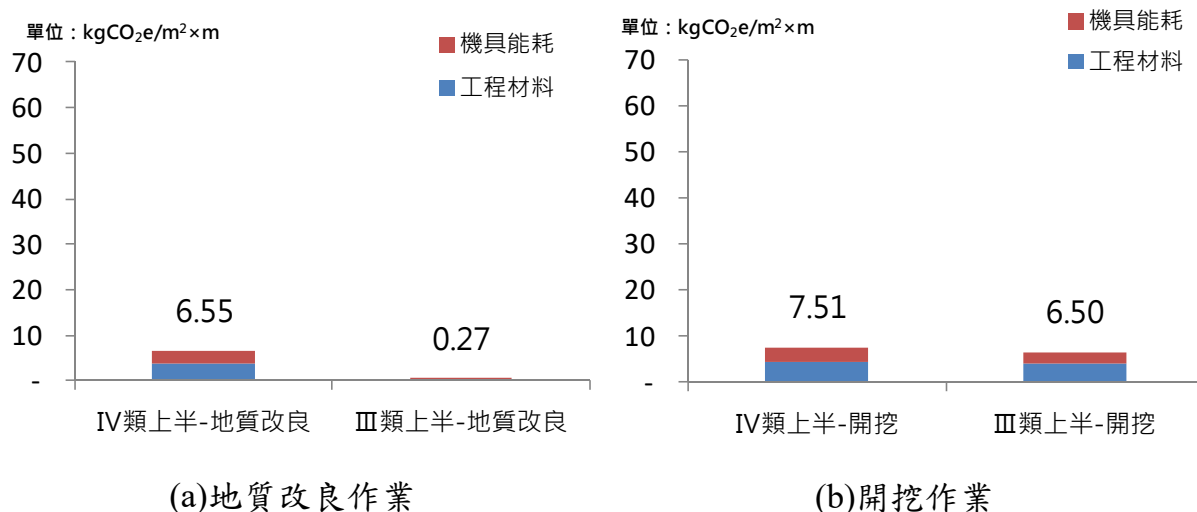
(一)上半工程

前節已說明上半工程可分為地質改良、開挖及支撐等 3 個作業項目工程材料及機具能耗計算內容，本計畫首先說明上半工程各作業之排碳量及施作範圍如表 4.2.4-7。

表 4.2.4-7 C2 標上半工程各作業排碳量

工項/作業	上半-地質改良 (tCO ₂ e)	上半-開挖 (tCO ₂ e)	上半-支撐 (tCO ₂ e)	施作體積 (m ² ×m)
IV類岩體工程材料	832.08	901.59	11,813.57	103.43×2,082.60
IV類岩體機具能耗	579.06	717.03	1,158.83	
排碳量加總	1,411.14	1,618.61	12,972.40	
III類岩體工程材料	12.70	225.41	2,202.59	101.12×568.00
III類岩體機具能耗	2.56	147.86	294.25	
排碳量加總	15.25	373.28	2,496.84	

各岩體強度之作業單位排碳量分析結果如圖 4.2.4-5，其中地質改良方面，因為各標實際有施作之輪進不一致，本期暫以整體岩體施作體積作為分析單位，以和開挖作業及支撐作業分析單位一致。



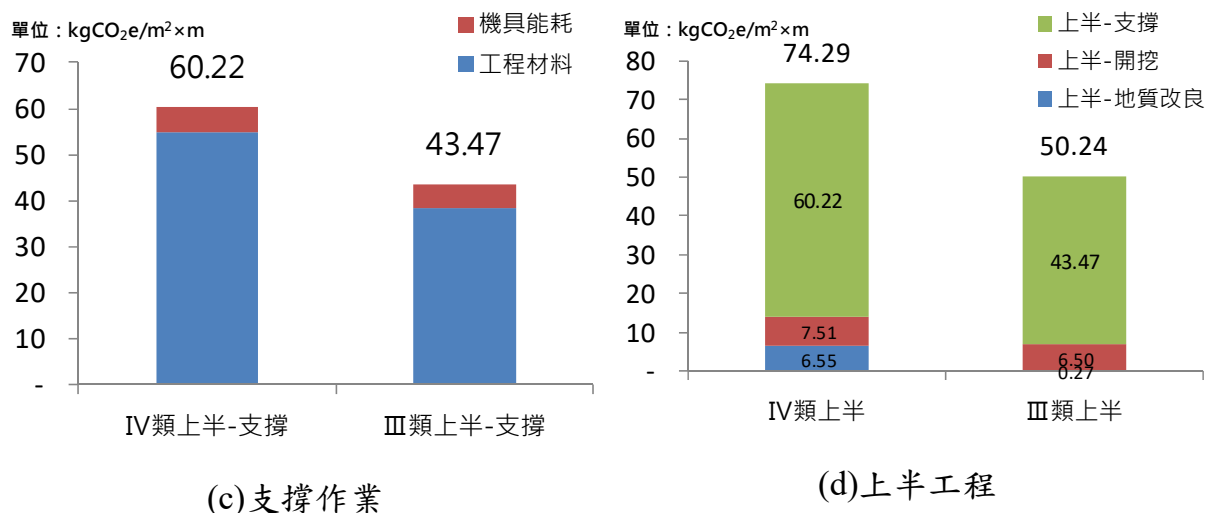


圖 4.2.4-5 C2 標隧道上半單位排碳量

C2 標由上半工程各作業之單位排碳量皆依岩體情況變佳(IV類→III類)而單位排碳量下降，首先說明地質改良各岩體強度之單位排碳量分析結果，可看到 C2 標地質改良單位排碳量由 6.55 kgCO₂e/m²×m 下降至 0.27 kgCO₂e/m²×m，單位排碳量較低的主要原因推測係因 C2 標隧道岩體較佳，地質改良作業施作頻率較低且無使用聚胺酯樹脂進行補強之緣故；C2 標皆是以炸藥等材料進行開挖，單位排碳量由 7.51 kgCO₂e/m²×m 下降至 6.50 kgCO₂e/m²×m；支撐作業單位排碳量由 60.22 kgCO₂e/m²×m 下降至 43.47 kgCO₂e/m²×m，C2 標之支撐單位排碳量較其他兩作業高(地質改良、開挖)，主要係因為使用鋼纖噴凝土之緣故，4.2.4-5(d)亦可以看出主要排放源為支撐作業。

彙整以上資料，C2 隧道標上半工程各岩體強度之單位排碳量分整體來說單位排量隨岩體變佳而下降，主要排碳源為支撐作業，地質改良則較低，主要係因為岩體較佳，較不需要補強作業之緣故。

(二) 台階工程

前節已說明台階開挖可分為開挖作業及支撐作業兩部分，本計畫將統一說明，台階開挖工項各岩體強度之排碳量及單位排碳量分析結果如表 4.2.4-8 及圖 4.2.4-6。

C2 標之台階開挖預裂炸藥使用量係有進行資料收集的，但依據

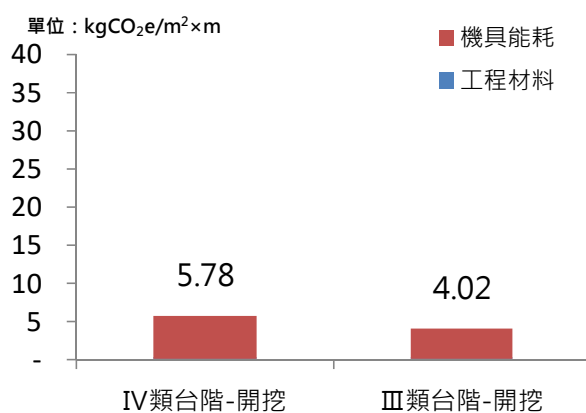
結果顯示也可以看出因為使用量極低，故排碳量及單位排碳量值皆非常小量，IV類與III類岩體排碳由 12.9 kgCO₂e 至 1.38 kgCO₂e(單位排碳量則為 0.13 kgCO₂e/m²×m 及 0.05 kgCO₂e/m²×m)，台階開挖作業主要以機具能耗為主要排碳量來源，以炸藥、導爆索及雷管為主的材料排碳量極低，這也與監造單位之說明相互呼應。

台階支撐作業主要因為鋼纖噴凝土使用的關係，單位排碳量較高，IV類與III類岩體單位排碳量由 27.56 kgCO₂e/m²×m 與 13.07 kgCO₂e/m²×m，依岩體情況變佳(IV類→III類)而下降。

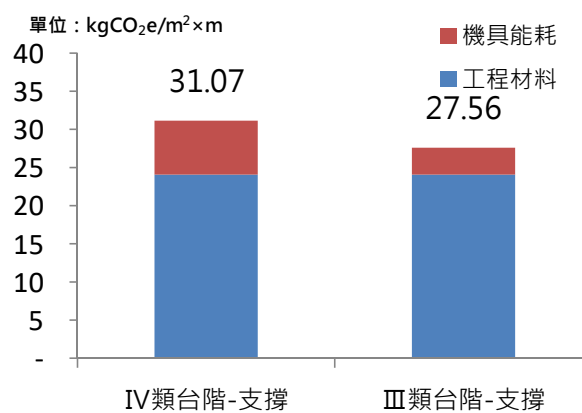
總結來說 C2 隧道標台階工程各岩體強度之單位排碳量分整體來說單位排量隨岩體變佳而下降，主要排碳源為支撐作業。

表 4.2.4-8 C2 標台階工程各作業排碳量

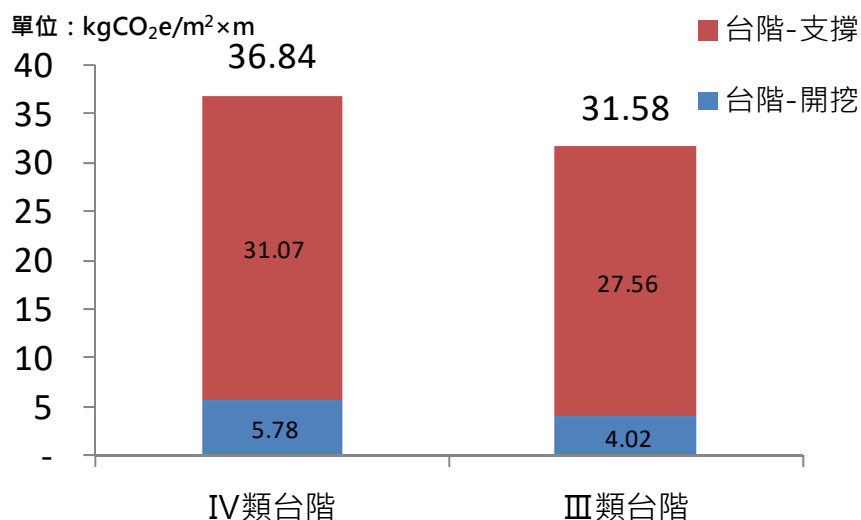
工項/作業	台階-開挖 (tCO ₂ e)	台階-支撐 (tCO ₂ e)	施作體積 (m ² ×m)
IV類岩體工程材料	12.90	2,307.95	45.91×2,082.60
IV類岩體機具能耗	539.50	662.25	
排碳量加總	552.40	2,970.20	
III類岩體工程材料	1.38	618.41	45.44×568.00
III類岩體機具能耗	102.44	92.79	
排碳量加總	103.82	711.20	



(a) 開挖作業



(b) 支撐作業



(c)台階工程

圖 4.2.4-6 C2 標隧道台階單位排碳量

(三)仰拱工程

C2 標雖有進行隧道仰拱工程，惟因為量體較小，故本年度暫不對於本隧道之仰拱工程進行分析，待後續仰拱工程量體增加，資料數量較多時再進行分析。

(四)基樑工程

基樑工程單位排碳量主要以材料排碳量為主，C2 標計算排碳量為 4,886.20 tCO₂e(4,886,198.53 kgCO₂e)，若依據開挖體積 27,419.14 m²xm(9.73x2,818)計算，則單位排碳量為 178.20kgCO₂e/m²xm。

(五)襯砌工程(及隔板工程)

襯砌工程(含隔板)單位排碳量以材料排碳量為主，C2 標計算排碳量分別為 21,956.61 tCO₂e(21,956,610.53 kgCO₂e) 及 2,440.92 tCO₂e(2,440,922.18 kgCO₂e)，若以開挖長度作為單位排放量之依據，襯砌工程單位排碳量為 7,791.56 kgCO₂e/m 及 866.19 kgCO₂e/m。

(六)隧道工程單位碳排放量分析彙整

彙整各岩體強度之上半、台階、基樑、襯砌及隔板工程排碳量於表 4.2.4-9，並以 C2 標隧道上半開挖斷面積計算單位排碳量，其中基樑、襯砌與隔板工程因未分岩體，故本計畫以整體上半開挖體積

(290,888.23 m²xm)計算，結果如圖 4.2.4-7 所示，可以看出單位排碳量由岩體變佳而減少的趨勢，而主要排碳來源為襯砌工程及隧道上半工程。

表 4.2.4-9 C2 標隧道工項排碳量

工項	IV 類 (tCO ₂ e)	III 類 (tCO ₂ e)	IV 類體積 (m ² xm)	III 類體積 (m ² xm)	體積說明
上半工程	16,002.15	2,885.37	215,403.32	57,436.16	各岩體上半斷面積x岩體輪進
台階工程	3,522.60	815.01			各岩體上半斷面積x岩體輪進
基樑工程	4,886.20		290,888.23		整體上半開挖體積
襯砌工程	21,956.61		290,888.23		整體上半開挖體積
隔板工程	2,440.92		290,888.23		整體上半開挖體積

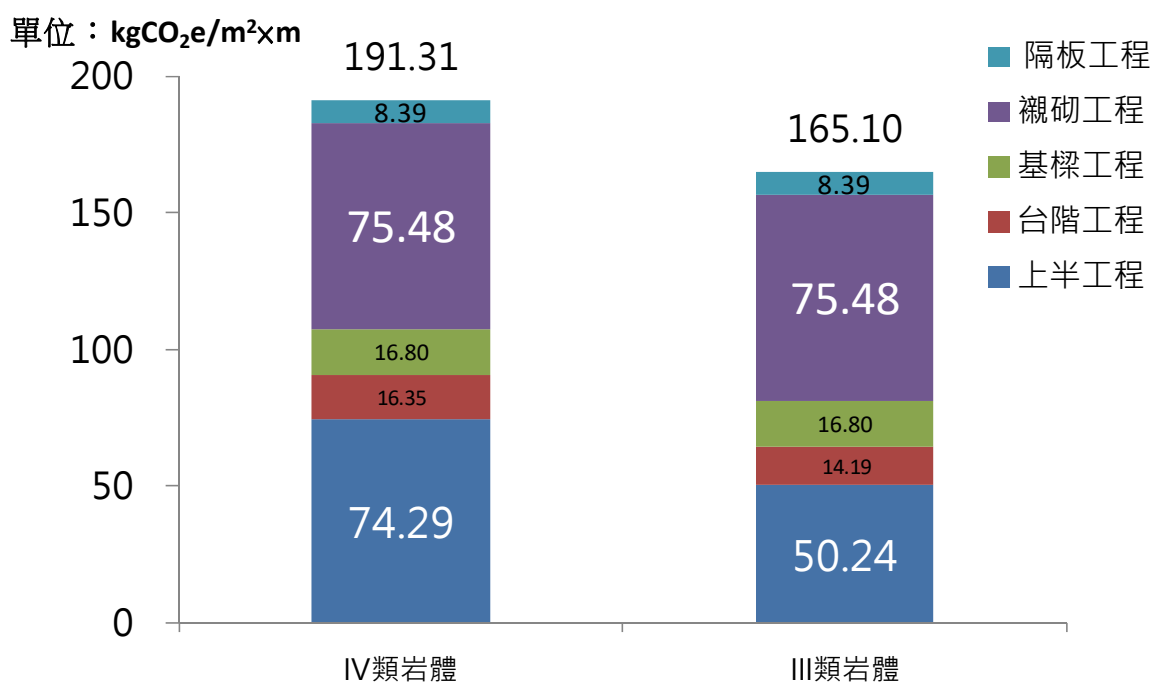


圖 4.2.4-7 C2 標隧道單位排碳量

三、C 段隧道標隧道排碳特性結果彙整(含單孔雙向及雙孔單向隧道)

A2 標之隧道因其地理位置及地質關係較為特殊，相對 C 段隧道而言差異較大，故暫不納入比較。本計畫針對岩體組成較為類似的 C 段(C1A 與 C2 標)兩隧道進行比較。C1A 與 C2 標隧道主要岩體為 IV 類及 III 類，透過盤查與排碳量分析後(圖 4.2.4-8)，可發現兩隧道上半工程之單位排碳量相近；基樑工程單位排碳量 C1A 標略高於 C2 標，其中襯砌工程，C2 標單位排碳量大約是 C1A 標的兩倍；另外，台階工程則是 C2 標之單位排碳量較高，隔板工程亦差異 2 倍。經分析，主要差距與隧道規模及其設計需求有關。此結果後續將與設計單位進行討論及確認原因。整體而言，單位排碳量以單孔雙向隧道單位排碳量高於雙孔單向之隧道，惟兩隧道工程皆持續進行施作當中，本計畫將持續收集資料，更新計算結果。

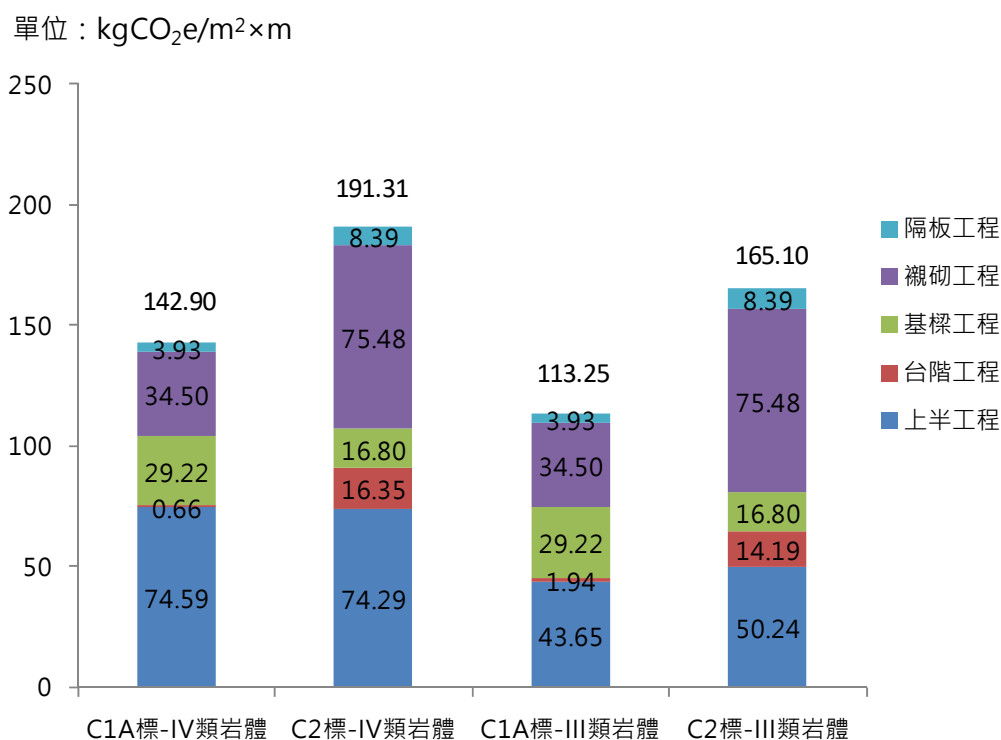


圖 4.2.4-8 C1A 標與 C2 標隧道單位排碳量比較

4.3 蘇澳東澳段(A段)碳排放量整體成果分析

蘇澳東澳段(A段)路段已於本年度2月5日通車，除了已於105年及106年竣工之A1標及A3標外，其他土建標(A2標)及機電交控標(A4標及E1標)於本年度也已陸續竣工或階段性竣工，本報告首先簡要介紹蘇澳東澳段工程內容，並說明蘇澳東澳段工程施作期間排碳量及整體生命週期碳排放量；隨後分章節說明單位排碳量計算分析結果。

4.3.1 蘇澳東澳段工程內容

一、蘇花改蘇澳東澳段整體工程範圍

蘇澳東澳段工程主要工程範圍如圖 4.3.1-1，全長約 9.4 公里；分為 A1 標(蘇澳永樂段新建工程)、A2(東澳隧道新建工程)標及 A3 標(東澳東岳段新建工程)三個土建標，另包含 A4(蘇澳東澳段機電工程)及 E1 標(蘇花改交通控制系統工程)。

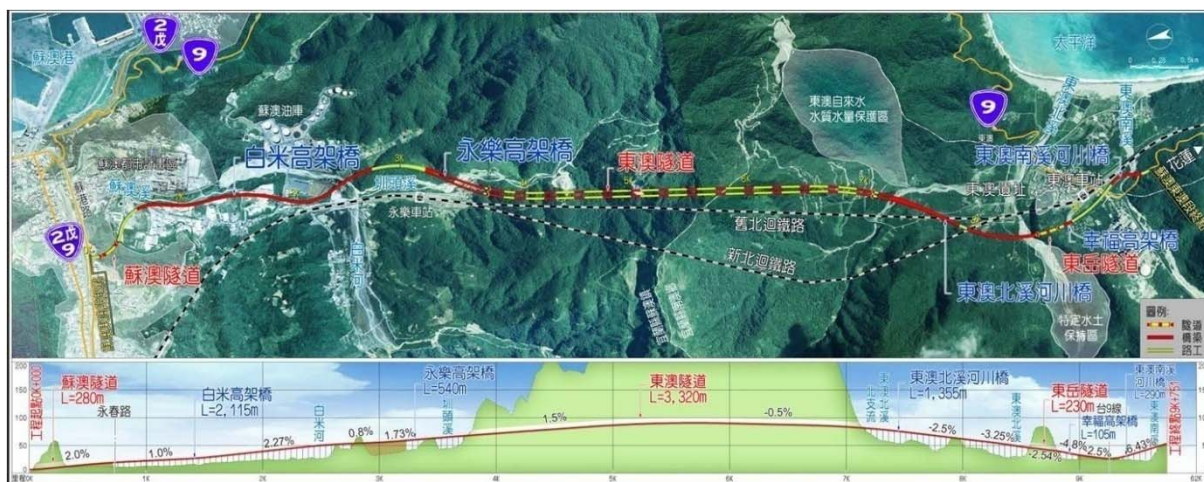


圖 4.3.1-1 蘇澳東澳段工程範圍示意圖

二、蘇花改蘇澳東澳段土建標工程內容

本計畫彙整本段工程構築型式設施配置如表 4.3.1-1，A1 標全長約 3.8 公里，其中橋梁段(白米高架橋段及永樂高架橋段)約 3.1 公里、隧道段(蘇澳隧道)約 0.3 公里、路堤路塹段約 0.4 公里，白米高架橋採合併線，上部結構多採預力混凝土箱型梁，而永樂高架橋施工以懸臂工法施作；

蘇澳隧道為雙孔各單車道隧道，採眼鏡型隧道設計，採機械開挖。

表 4.3.1-1 蘇澳東澳段主要工程型式

標別	構築型式	設施名稱	起迄里程(m)			工程型式
A1 標	路堤路塹	蘇澳隧道北路堤	0+000.000	0+052.000		
	隧道	蘇澳隧道	0+052.000	0+306.000		雙孔各單車道
	路堤路塹	蘇澳隧道南路堤	0+306.000	0+640.000		
	橋梁	白米高架橋	0+640.000	2+800.000		P1-10 為場鑄逐跨工法 P10-36 為支撐先進工法 P37-39 為懸臂工法 P40-42 為場鑄逐跨工法
	路堤路塹	永樂路塹	2+800.000	2+870.000	(SB)	
			2+800.000	2+880.000	(NB)	
	橋梁	永樂高架橋	2+870.000	3+824.000	(SB)	懸臂工法
2+880.000			3+787.000	(NB)		
A2 標	路堤路塹	東澳隧道北路堤	3+824.000	3+830.000	(SB)	-
			3+785.000	3+790.000	(NB)	
	隧道	東澳隧道	3+830.000	7+180.000	(SB)	雙孔各單車道
			3+790.000	7+170.500	(NB)	
	路堤路塹	東澳隧道南路堤	7+180.000	7+213.000	(SB)	
7+170.500			7+240.000	(NB)		
A3 標	橋梁	東澳北溪 河川橋	7+213.000	8+565.000	(SB)	懸臂工法
			7+240.000	8+565.000	(NB)	
	隧道	東岳隧道	8+560.000	8+775.000		雙孔各單車道
	路堤路塹	東岳隧道南路堤	8+775.000	8+783.000		-
	橋梁	幸福高架橋	8+783.000	8+963.000		場鑄逐跨工法
路堤路塹	幸福路堤	8+963.000	9+284.105		-	

A2 標全長約 3.5 公里，其中隧道段(東澳隧道)約 3.4 公里、路堤路塹段約 0.1 公里，包括東澳隧道北路堤、東澳隧道、東澳隧道南路堤及附屬工程，東澳隧道為雙孔各單向行車隧道，隧道近似馬蹄型之斷面，分為有仰拱段及無仰拱段，北口工區為機械開挖，南口則試岩體以機械/鑽炸開挖施工。

A3 標全長約 2.1 公里，橋梁段(東澳北溪河川橋段及幸福高架橋段)

約 1.5 公里、隧道段(東岳隧道)約 0.2 公里、路堤路塹段約 0.4 公里，東澳北溪河川橋上構採場鑄懸臂工法施工，幸福高架橋上構則採場鑄逐跨工法施工，東岳隧道為雙孔各單車道隧道，採眼鏡型隧道設計，亦以機械開挖。

三、蘇花改蘇澳東澳段機電交控工程內容

蘇澳東澳段機電工程(A4 標)工程範圍主要包含蘇澳隧道、白米高架橋、永樂高架橋、東澳隧道、東澳北溪河川橋、東岳隧道與幸福高架橋，共計 9.7 公里，工程內容包含隧道及機房機電工程的動力配電、照明、火災警報、監控與消防給排水等，以及道路段及橋梁段的公路照明。

交通控制系統工程(E1 標)於蘇澳東澳段工區之工程範圍與 A4 標相同，工程內容包含範圍內整體路網交通控制系統之現場勘測、系統施工設計、購料、製造、施工、安裝、測試調整及保固等。

4.3.2 蘇澳東澳段工程碳排放量

一、工程排碳量

工程施工碳足跡計算分為「機/運具使用」、「工程材料使用」、「工程材料及機/運具運輸」及「工地廢棄物及人員逸散」等四類。

蘇花改計畫施工排放量總計為 360,301.76 tonCO₂e，依據各類排放源分析如圖 4.3.2-1 及表 4.3.2-1 所示，以工程材料使用總排放量 318,168.54 tCO₂e(88.3%)占比最高；機具能耗(含場電)排放總排放量 33,575.60 tCO₂e(9.3%)，機具及工程材料運輸合併 8,387.82 tonCO₂e(2.3%)，其他(逸散及廢棄物)僅 238.81 tonCO₂e(0.1%)。

一併彙整蘇澳東澳段各標排放占比，由圖可知，隨著工程類型不同，排碳量特性也有所不同，A1 標及 A3 標為以橋梁為主之土建標，工程材料排放量占比約在 92%~93%左右，機具能耗占比則約在 4%~5%左右，而 A2 標為以隧道為主之土建標，雖然主要排碳量依然是以工程材料為主，但隧道標之工程材料占比則較橋梁標低，約在 83%。另因隧道開挖所使用之機具及場區臨時用電能耗較高，故可以看出 A2 標機具能耗(含

場電)之占比達 14%，約是橋梁標的 3 倍左右。

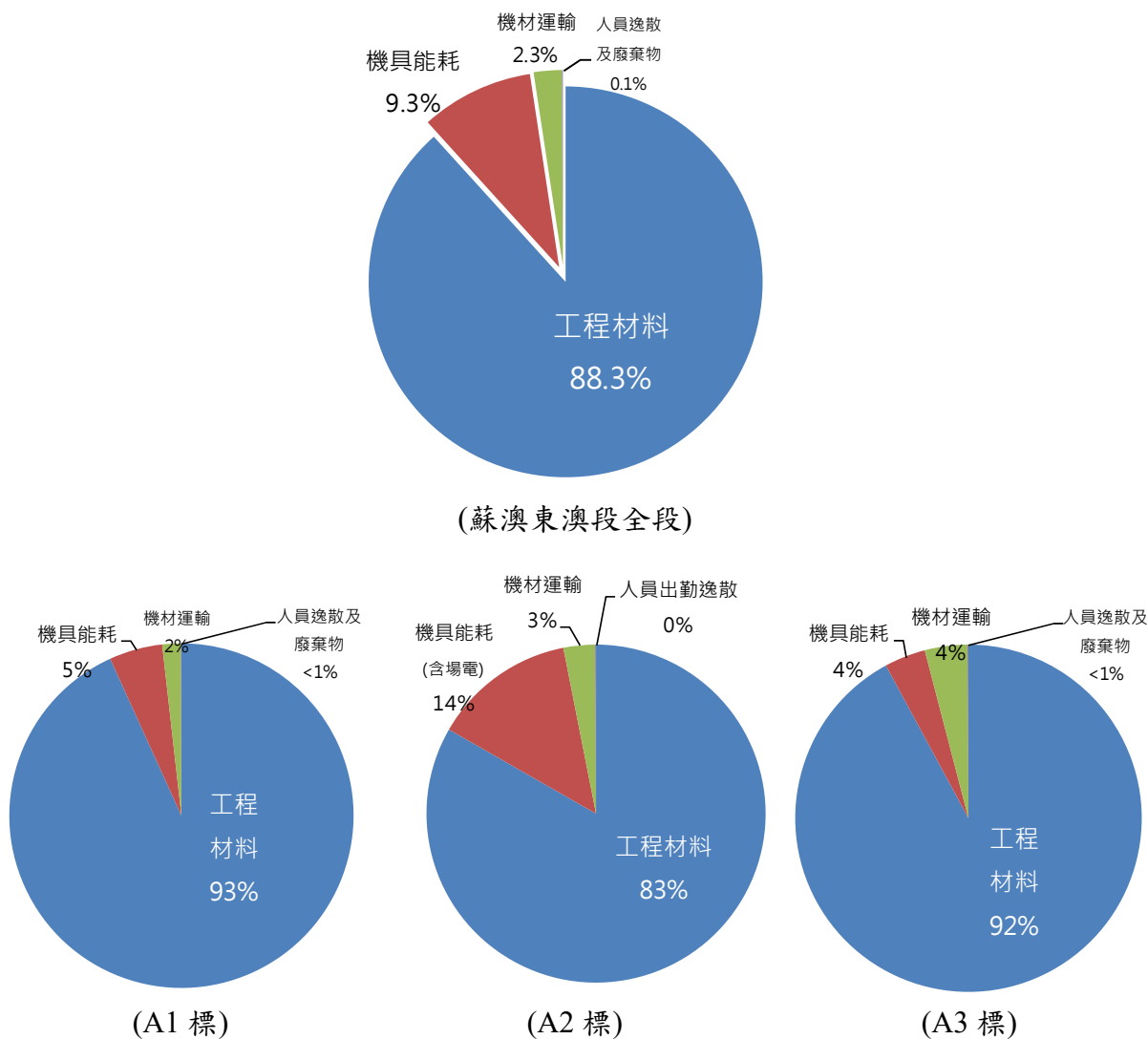


圖 4.3.2-1 工區碳足跡排放量占比

表 4.3.2-1 工區碳排放量計算結果

排放類別	排放量 (tCO ₂ e)	各標別排碳量 (tCO ₂ e)	類別排放量占比	各標別占比	標別
工程材料	318,168.54	98,138.16	87.94%	27.24%	A1 標
		152,878.09		42.42%	A2 標
		65,823.04		27.24%	A3 標
機具能耗	33,575.60	5,271.98	9.15%	1.46%	A1 標
		24,970.08		6.93%	A2 標

排放類別	排放量 (tCO ₂ e)	各標別排碳量 (tCO ₂ e)	類別排放量占比	各標別占比	標別
		2,742.98		0.76%	A3 標
機材運輸	8,387.82	1,831.90	2.84%	0.51%	A1 標
		5,552.42		1.54%	A2 標
		2,854.30		0.79%	A3 標
人員逸散及廢棄物	238.81	53.13	0.07%	0.01%	A1 標
		134.33		0.05%	A2 標
		51.35		0.01%	A3 標
總計	360,301.76	105,295.17	100.00%	29.23%	A1 標
		183,534.92		50.93%	A2 標
		71,471.67		19.84%	A3 標

由表 4.3.2-1 亦可瞭解，A2 標之碳排放量為整體工程施作之主要排放來源，排碳量占 50.93%，其次為 A1 標 29.23%，A3 標因規模較小，排碳量占 19.84%，另彙整蘇澳東澳段各標契約金額佔蘇澳東澳段總土木工程契約金額之比例於表 4.3.2-2，可以看出契約金額與排碳量之數值大致成正相關。

表 4.3.2-2 契約金額占比與排碳量占比之關係

標別	契約金額占比	土木工程排碳占比
A1	31%	29%
A2	48%	51%
A3	20%	20%

二、交控機電標排碳量分配

進一步納入機電及交控標(A4 標及 E1 標)排碳量，本計畫依據機電交控標承包商所填報施作工項及蘇澳東澳段 3 標工程估驗計價總價將機電及交控標排碳分配於 A1 標、A2 標及 A3 標。

A4 標及 E1 標承包商施工階段全期碳排放量分別為 6,830.88 tCO₂e 及 294.94 tCO₂e，分配之排碳量計算結果如表 4.3.2-3，依據承包商資料，A2 標為交控機電標施作之主要排碳分配標別，排碳量占 88.11%，A1 標

及 A3 標占比較低，分別占 6.64% 及 6.45%。

表 4.3.2-3 機電交控標碳排放量計算分配結果

單位：tCO₂e

標別	A4 標	E1 標	總計	占比
施工單位	6,830.88	294.94	7,125.82	100%
A1 標排碳	389.87	69.37	459.24	6.44%
A2 標排碳	6,103.72	174.57	6,278.29	88.11%
A3 標排碳	337.29	51	388.29	5.45%

另彙整各標土木工程與交控機電標排碳量加總結果，分析結果如表 4.3.2-3，蘇澳東澳段(A 段)工區總排碳量(土建標含交控機電標)為 367,427.58 tCO₂e，由下表可知主要交控機電標排碳量占總排碳量比例較低，約在 1%~3%之間，A2 標因為隧道標，交控機電標之主要工程如照明、通風及監控等工程項目亦於隧道施作，故占比 3%，較兩橋梁標來的高(1%)。

表 4.3.2-2 工區碳排放量計算分配結果

標別	土建標排碳 (tCO ₂ e)	占比 (%)	交控機電標排碳 (tCO ₂ e)	占比 (%)	總計 (tCO ₂ e)
A1 標	105,295.17	99%	459.24	1%	105,754.41
A2 標	183,534.92	97%	6,278.29	3%	189,813.21
A3 標	71,471.67	99%	388.29	1%	71,859.96
總計	360,301.76		7,125.82		367,427.58

4.3.3 蘇澳東澳段管理單位碳排放量

一、管理單位分配依據

本計畫管理單位排碳量除承包商外，其他係依據各標該年度請款金額與該管理單位所管理單位之標別總請款金額進行分配，舉例來說(非實際數字)，某年度 A1、A2、A3 及 A4 標分別請款 300 萬、300 萬、300

萬、100 萬共 1,000 萬，則 A 段監造該年度之管理單位排碳量則是以 300/1000、300/1000、300/1000 及 100/1000 分配給 A1~A4 標 4 標；而蘇改處東澳段因僅管理土建標(機電標 A4 標為蘇花改蘇澳段管轄)，則蘇改處東澳段該年度管理單位排碳量將以 300/900、300/900 及 300/900 方式，分配給 A1~A3 標。

二、管理單位分配結果

依據各級管理單位辦公房舍排碳量，除承包商不需依據各年度請款金額分配外，其他管理單位須配合各標各年度請款金額進行分配，本計畫依此條件完成工程管理碳足跡量化。本工程管理單位碳排放量為 3,394.43 tonCO_{2e}，各標管理單位分析如表 4.3.3-1 所示，因承包商外之管理單位係依據請款金額進行分配，故由下表可以看出排碳量最高為 A2 標，排碳量為 1,743.44 tonCO_{2e}，其次為 A1 標 911.56 tonCO_{2e}，A3 標因規模及預算較其他兩標低，故排碳量為 739.43 tonCO_{2e}。

表 4.3.3-1 本工程管理單位碳足跡計算

管理單位	A1 標排碳 (tCO _{2e})	A2 標排碳 (tCO _{2e})	A3 標排碳 (tCO _{2e})
蘇花改工程處	62.68	86.07	51.18
東澳工務段	41.97	60.51	47.31
A 段監造工程處	176.70	245.18	131.59
承包商	514.18	1,172.82	434.25
機電標管理單位(含業主)	36.00	55.50	23.30
交控標管理單位(含業主)	80.03	123.36	51.80
總計	911.56	1,743.44	739.43

另彙整蘇澳東澳段各標各類別(含土建標排碳、交控機電標排碳及管理單位排碳)之排碳量分析結果如表 4.3.3-2，蘇澳東澳段(A 段)工區盤查總排碳量為 370,133.64 tCO_{2e}，由下表可知管理單位之排碳量占比約在 1%左右，各標間無明顯差異，推測可能與各標以金額近。

表 4.3.3-2 蘇澳東澳段盤查碳排放量計算分配結果

標別	土建標排碳 (tCO ₂ e)	占比 (%)	交控機電標排碳 (tCO ₂ e)	占比 (%)	管理單位排碳量 (tCO ₂ e)	占比 (%)	總計 (tCO ₂ e)
A1 標	105,295.17	98.6%	459.24	0.5%	911.56	0.9%	106,739.74
A2 標	183,534.92	96.2%	6,278.29	2.9%	1,743.44	0.9%	190,770.76
A3 標	71,471.67	98.4%	388.29	0.6%	739.43	1.0%	72,623.14
總計	360,301.76		7,125.82		3,394.43		370,133.64

4.3.4 蘇澳東澳段營運管理期間碳排放量

依據前期報告說明之假設情境，本計畫將面相分為照明及通風(含交控)、鋪面與標線 3 個面向，並依照類別分為操作及維護/重置，計算結果如表 4.3.4-1 所示，蘇澳東澳段(A 段)營運管理期間之推估排碳量為 170,062.85 tCO₂e，主要排放來源為照明及通風(含交控)於營運管理期間操作之排碳，排碳量約 149,572.77 tCO₂e(約占 88%)，其次為同面向之維護/重置排碳，其排碳量約 12,946.02 tCO₂e(約占 8%)，其餘面向排碳量皆不高。

表 4.3.4-1 蘇澳東澳段營運管理期間碳排放量計算分配結果

A 段總計				A1 標			
排放類別	操作	維護/重置	小計	排放類別	操作	維護/重置	小計
照明及通風(含交控)	149,572.77	12,946.02	162,518.79	照明及通風(含交控)	20,262.36	2,034.66	22,297.02
鋪面	-	5,563.31	5,563.31	鋪面	-	2,037.39	2,037.39
標線	-	1,980.75	1,980.75	標線	-	1,376.32	1,376.32
總計(ton CO ₂ e)			170,062.85	總計(ton CO ₂ e)			25,710.74
A2 標				A3 標			
排放類別	操作	維護/重置	小計	排放類別	操作	維護/重置	小計
照明及通風(含交控)	111,128.00	9,069.00	120,196.00	照明及通風(含交控)	18,182.41	1,842.36	20,024.77
鋪面	-	1,477.00	1,477.00	鋪面	-	2,048.92	2,048.92
標線	-	300.65	300.65	標線	-	303.78	303.78
總計(ton CO ₂ e)			121,977.06	總計(ton CO ₂ e)			22,377.47

另彙整蘇澳東澳段全生命週期排碳量分析結果如表 4.3.4-2 及圖 4.3.4-1，

蘇澳東澳段(A段)工區盤查總排碳量為 540,267.92 tCO₂e，整體仍以土建標工程排碳量為主要碳排放來源，排碳量 360,370.77 tCO₂e 占全生命週期排碳量 67%，其次為營運管理階段排碳，排碳量 170,065.27 tCO₂e 占全生命週期排碳量 31%，主要係因全生命週期 50 年範疇內，主要排放來源隧道及道路照明、通風及交控用電與燈具更換等估算碳排放量累積量大之緣故。

表 4.3.4-2 A 段營運管理期間碳排放量計算分配結果

項目	A1 標	A2 標	A3 標	總計	占比
土建標排碳	105,295.17	183,603.93	71,471.67	360,370.77	63.82%
交控機電標排碳	533.01	5,492.40	412.04	6,437.45	1.32%
管理單位排碳	911.56	1,743.44	739.43	3,394.43	0.54%
營運管理排碳*	25,596.88	145,862.58	22,377.47	193,836.94	34.33%
總計	132,295.06	337,391.48	95,006.67	564,693.21	100.00%

*：營運管理期間排碳為推估數值

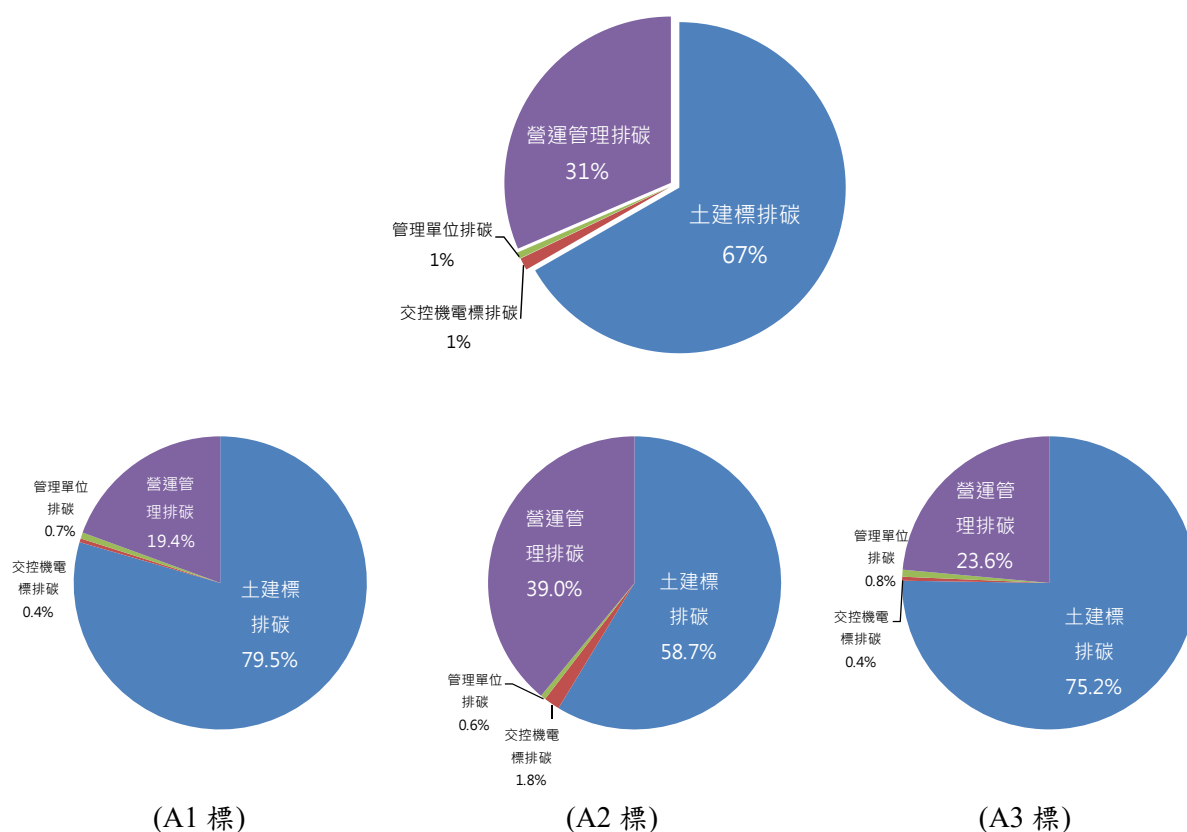


圖 4.3.4-1 A 段全生命週期碳足跡排放量占比

4.3.5 蘇澳東澳段一級數據占比計算結果

本計畫一級數據分為活動數據及碳排放係數兩方面，工程材料部分，鋼筋、混凝土及瀝青混凝土活動量係採用供應商所提供之單據，碳排放係數則採用供應商盤查之碳足跡係數，屬於一級數據；施工階段工區使用之常駐機具與管理單位，其消耗之汽油、柴油及電力係數皆為一級數據；至於其他工程材料、非常駐機具及其他工程材料運輸、廢棄物與人員逸散，以及營運管理及使用階段碳排放源之排放係數為二級數據。

本工程一級數據排碳量計算結果如表 4.3.5-1，合計為 290,668.41 tonCO₂e，約占整體排碳量之 53.8%。其中引用一級數據之工程材料排放量為 254,525.16 tonCO₂e，運輸排放量為 873.10 tonCO₂e，機具排放量為 31,788.56 tonCO₂e，管理單位排放量為 2,963.18 tonCO₂e。

表 4.3.5-1 A 段一級數據計算結果

標別		A1 標			A2 標			A3 標			A 段		
		排碳量	一級數據	占比	排碳量	一級數據	占比	排碳量	一級數據	占比	排碳量	一級數據	占比
施 工 階 段	工程材料	98,138.16	81,223.48	82.76%	154,207.34	118,785.14	77.03%	65,823.04	54,516.54	82.82%	318,168.54	254,525.16	80.00%
	機具能耗	5,271.98	4,589.37	87.05%	25,560.64	24,762.59	96.88%	2,742.98	2,436.59	88.83%	33,575.60	31,788.56	94.68%
	機材運輸	1,831.90	338.89	18.50%	3,701.62	363.96	9.83%	2,854.30	170.25	5.96%	8,387.82	873.10	10.41%
	人員逸散及廢棄物	53.13	-	0.00%	134.33	-	0.00%	51.35	-	0.00%	238.81	-	0.00%
	管理單位	911.56	778.58	85.41%	1743.44	1561.23	89.55%	739.43	623.37	84.30%	3,394.43	2,963.18	87.30%
	機電交控	533.01	35.79	6.71%	5492.40	455.77	8.30%	412.04	26.86	6.52%	6,437.45	518.42	8.05%
	營運管理	25,710.74	0.00	0.00%	121,977.06	0.00	0.00%	22,377.47	0.00	0.00%	170,065.27	0.00	0.00%
	總計	132,450.48	86,966.12	65.66%	312,816.83	145,928.69	46.65%	95,000.61	57,773.60	60.81%	540,267.92	290,668.41	53.80%

4.3.6 蘇澳東澳段數據品質分析結果(查證需求)

本工程分別依據 ISO 14067:2018 之規定進行數據品質分析，以下依序說明 ISO 14067:2018 要求之數據品質、不確定性及敏感度分系內容。

一、數據品質

參考 ILCD Handbook General guide for Life Cycle Assessment-Detail guidance、Ecoinvent Data Quality Guideline 與環保署碳足跡數據品質評估手冊第二版，本計畫採用「可靠性 R」、「完整性 C」、「時間相關性 TiR」、「地理相關性 GR」和「技術相關性 TeR」等五個品質指標，進行碳足跡數據品質指標之等級評估，每個指標依數據品質差異，分為 5 個等級(1~5 分)，各等級與相應之數據描述如表 4.3.6-1。

將排放清冊中個別投入/產出製程(process)之活動數據(activity data)與排放係數(emission factor)分別進行前述五項指標之評核，而製程 i 之各項指標數據品質計算如下式(以可靠性為例)：

$$R_i = ADDQ_{R_i} \times EFDQ_{R_i} \quad - \text{ (式 1)}$$

ADDQR_i：i 製程之活動數據品質；EFDQR_i：i 製程之排放係數品質；

製程 i 之數據品質權重 DQR_{iw} 之計算方式如下：

$$DQR_{iw} = \frac{R_i + C_i + T_{iR_i} + G_{R_i} + T_{eR_i} + X_w \times 5}{5+5} \times \frac{E_i}{E_{sum}} \quad - \text{ (式 2)}$$

R_i：i 製程之可靠性數據品質；C_i：i 製程之完整性數據品質；

T_{iR_i}：i 製程之時間相關性數據品質；G_{R_i}：i 製程之地理相關性數據品質；

T_{eR_i}：i 製程之技術相關性數據品質；E_i：i 製程之排放量；E_{sum}：總排放量

X_w：在數據品質指標中所獲得之最弱的水平(亦即最高的數值)

完成 75%以上排放量製程之 DQR 計算(A 段整體未達 75%)，再按碳足跡佔比放大回 100%，即可得整體盤查清冊之數據品質分數 DQR_{Inventory}：

$$DQR_{Inventory} = \sum_1^i DQR_{iw} \times \frac{E_{sum}}{\sum_1^i E_i} \quad - \text{ (式 3)}$$

本報告統計預拌混凝土、鋼筋、瀝青混凝土及預力鋼腱之數據品質，碳排放量為整體之 71.62%，而本盤查清冊之 DQR_{Inventory} 計算內容如表 4.3.6-2。

表 4.3.6-1 數據品質指標矩陣

指標	1(極佳)	2(佳)	3(可)	4(差)	5(甚差)
可靠性 (R)	基於實際量測，且經查證之數據	基於實際量測，未經查證之數據；或部分基於假設，且經查證之數據	部分基於合理評估，但未經查證之數據	數據採用合理評估(由該產業專家提供或執行)	不符合規範要求之評估
完整性 (C)	數據來自所有相關場址，且蒐集足夠長度之期間，足以將所有可能之波動納入考量	數據來自 50%以上相關場址，且蒐集足夠長度之期間，足以將所有可能之波動納入考量	數據來自低於 50%以下之相關場址；或來自 50%以上相關場址，但蒐集期間過短	數據來自單一相關場址；或來自數個相關場址，但蒐集期間過短	數據代表性未知；或來自數個任意場址，且蒐集期間過短
時間相關性 (TiR)	距計算時間 3 年以內	距計算時間 6 年以內	距計算時間 10 年以內	距計算時間 15 年以內	距計算時間 15 年以上，或代表時間未知
地理相關性 (GR)	數據來自與計算標的相同之特定區域	數據為自包含計算標的之更大區域之平均值	數據來自具類似生產條件之區域	數據產出區域僅具有稍微類似之生產條件	數據來自未知地區，或生產條件迥異之區域
技術相關性 (TeR)	數據來自標的企業/製程/材料	採用相同技術之標的製程/材料，但來自非標的企業之數據	採用不同技術之標的製程/材料之數據	數據引用自相似之製程與材料，但採用相同技術	數據引用自相似製程與材料，且採用不同技術

表 4.3.6-2 數據品質計算表

投入/產出 製程名稱	計算項目	可靠性	完整性	時間 相關 性	地理 相關 性	技術 相關 性	單一投入/產出 數據品質得分	碳足跡 排放占比	單一投入/ 產出 之數據權重
混凝土 175kg/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	2.59%	0.04
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 210kg/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	0.87%	0.01
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 245kg/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	6.74%	0.11
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 245 高坍 kg/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	9.14%	0.15
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 280kg/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	8.60%	0.14
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 350kgf/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	3.10%	0.05
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 420 早強 kgf/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	8.96%	0.14
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 210 水中 kg/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	1.47%	0.02
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 420kg/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	0.92%	0.01
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土 R45kg/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	0.51%	0.01
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
混凝土	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	8.55%	0.14

投入/產出製程名稱	計算項目	可靠性	完整性	時間相關性	地理相關性	技術相關性	單一投入/產出數據品質得分	碳足跡排放占比	單一投入/產出之數據權重
420kgf/cm ²	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
噴凝土 210kgf/cm ²	活動項目	1	1	1	1	1	1.6	3.78%	0.06
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
SD420W 鋼筋	活動項目	1	1	1	1	1	1.9	14.78%	0.28
	排放係數	2	2	1	2	2			
	指標得分	2	2	1	2	2			
瀝青混凝土	活動項目	1	1	1	1	1	3.2	1.62%	0.05
	排放係數	2	1	1	1	1			
	指標得分	2	1	1	1	1			
總計								71.62%	1.28
整體數據品質得分									1.79
整體數據品質等級									基本品質

4.3.7 蘇澳東澳段工程排碳特性分析

本節將首先說明蘇澳東澳段土木工程分為橋梁工程、隧道工程、路工工程及其他雜項工程等排碳量分配結果，隨後說明各標別之工程項目單位排碳量計算結果。

一、蘇花改蘇澳東澳段工程排碳特性

本計畫蘇澳東澳段包括 2 個橋梁標(A1 標及 A3 標)及 1 個隧道標(A2 標)，本計畫將運輸及人員出勤逸散之排碳進行分配，表列 3 標橋梁工程、隧道工程、路工工程及其他雜項工程之排碳量及占比於圖 4.3.7-1，由圖可知橋梁標(A1 標及 A3 標)因仍有施作蘇澳隧道及東岳隧道之緣故，橋梁工程之占比約在 74%~79%，隧道工程占比在 13%~17%；隧道標(A2 標)主要施作之工程項目為隧道工程，故排碳量占比約在 87%左右，因為隧道開挖期間執行土石方處置及其他雜項工程，故其他雜項工程占比 11%。

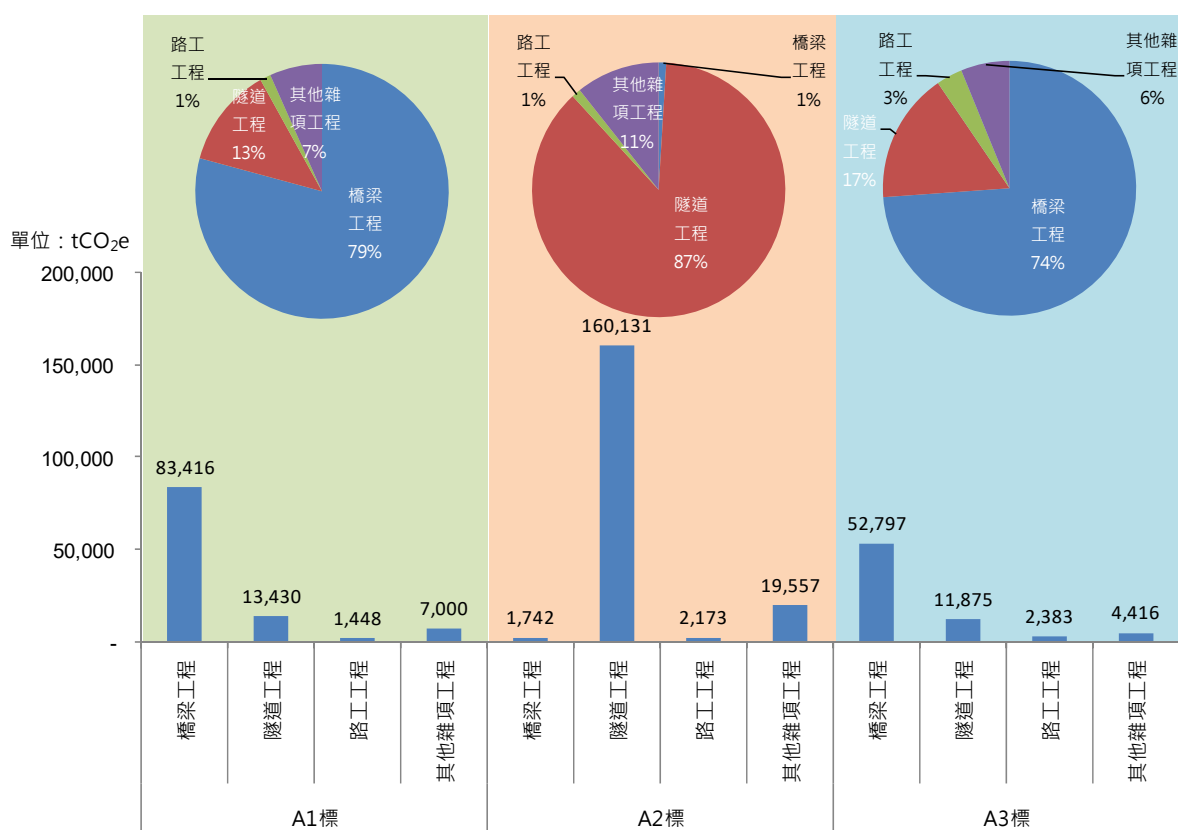


圖 4.3.7-1 A 段各標工項排碳分析

二、蘇花改 A 段工程單位長度排碳量分析

蘇澳東澳段各標各工程項目之單位長度排碳量係參考前述分配之排碳量，配合表 4.3.7-1 之 A 段各標之橋梁及隧道長度計算，單位長度之工程排碳量，其中 A1 標白米高架橋為橋梁南北向共構，本計畫一併列出單向長度及總長度，另 A1 標蘇澳隧道及 A3 標東岳隧道分南北向分別開挖，故總隧道長度為單向長度乘以 2。

單位長度排碳量之計算結果如表 4.3.7-2，表中之工程長度為橋梁起點至橋梁終點之長度或隧道起點至隧道終點之長度，其中橋梁南下線與北上線長度不同則以平均長度計算，計算結果 A1 標橋梁長度 3,091m、隧道長度 254m；A2 標隧道長度 3,366m；A3 標橋梁長度 1,519m、隧道 218m。

表 4.3.7-1 A 段工程規格

標別	構築型式	設施名稱	起迄里程(m)			工程長度(m)
A1 標	隧道	蘇澳隧道	0+052.000	0+306.000		254
	橋梁	白米高架橋	0+640.000	2+800.000		2,160
	橋梁	永樂高架橋	2+870.000	3+824.000	(SB)	954
			2+880.000	3+787.000	(NB)	907
A2 標	隧道	東澳隧道	3+830.000	7+180.000	(SB)	3,350
			3+790.000	7+170.500	(NB)	3,381
A3 標	橋梁	東澳北溪河川橋	7+213.000	8+565.000	(SB)	1,352
			7+240.000	8+565.000	(NB)	1,325
	隧道	東岳隧道	8+560.000	8+775.000		218
	橋梁	幸福高架橋	8+783.000	8+963.000	(SB)	180
			8+783.000	8+963.000	(NB)	180

可以瞭解在橋梁工程部分，A1 標橋梁單位長度排碳量為 26.99 tCO₂e/m，A3 標橋梁單位長度排碳量為 34.77 tCO₂e/m，推測可能原因為 A1 標白米高架橋段為南北向共構型式，故整體單位長度之排碳量較低；隧道工程部分，A2 標隧道為長隧道，單位長度排碳量為 47.58 tCO₂e/m，A1 標及 A3 標為短隧道，單位長度排碳量分別為 52.88 tCO₂e/m 及 54.47 tCO₂e/m，推測 A3 標因機具材料之運輸距離較遠(A3 標工地於東澳)，故分配機具材料運輸及人員出勤逸散，單位排碳量較高。

表 4.3.7-2 A 段工程單位長度排碳量

標別		工程長度 (m)	工程排碳量 (tCO ₂ e)	單位長度排碳量 (tCO ₂ e/m)
A1 標	橋梁工程	3,091	83,416	26.99
	隧道工程	254	13,430	52.88
A2 標	隧道工程	3,366	160,131	47.58
A3 標	橋梁工程	1,519	52,797	34.77
	隧道工程	218	11,875	54.47

註：此部分單位排碳量包含機具材料運輸及人員出勤逸散之排碳量

此部分所說明之單位長度排碳量僅表達各標施作每單位長度之橋梁或隧道之排碳量，影響單位排碳量的除前述原因外，設計數量、現地環境、工區地理位置及特別之景觀橋設計都將影響其數值，故僅用於表達蘇花改單位長度之排碳量數值，不適合做為其他工程估算之參考。

三、蘇花改 A 段工程單位排碳量分析

更進一步分析各標各單元或各岩體之排碳量與單位排碳量，首先彙整各標橋梁工程規格如表 4.3.7-3~4.3.7-4，4.3.7-3 為 A1 標橋梁工程規格、表 4.3.7-4 為 A3 標橋梁工程規格。

表 4.3.7-3 蘇澳永樂段橋梁工程規格

工區	單元	單元長度(m)	橋面板面積(m ²)	墩柱體積(m ³)	基礎型式	井基體積(m ³)	基礎層體積(m ³)	基樁體積(m ³)
白米高架橋	U1 (場鑄逐跨)	225.0	3015.0	(橋台)	井基	294.5		
				104.3	直基		1,080.0	
				174.6	井基	962.1		
				109.6	樁基		337.5	471.2
				117.8	樁基		213.8	471.2
	U2 (場鑄逐跨)	225.0	3015.0	150.2	樁基		315.0	314.2
				106.6	樁基		315.0	377.0
				105.2	樁基		315.0	377.0
				93.3	樁基		315.0	377.0
				94.4	樁基		315.0	377.0
	U3 (支撐先進)	225.0	3015.0	145.4	樁基		202.5	251.3
				97.2	樁基		315.0	377.0
				113.6	樁基		315.0	377.0
				93.5	樁基		315.0	377.0
				101.7	樁基		315.0	377.0
	U4 (支撐先進)	225.0	3015.0	161.8	直基		864.0	
				104.4	直基		972.0	
				110.8	直基		972.0	
				109.3	直基		972.0	
				106.5	直基		972.0	
U5 (支撐先進)	225.0	3015.0	151.7	直基		864.0		
			97.1	直基		972.0		
			103.4	直基		972.0		
			106.3	直基		972.0		
			100.1	樁基		315.0	377.0	
U6 (支撐先進)	225.0	3037.5	146.3	樁基		202.5	251.3	
			89.7	樁基		315.0	377.0	
			106.9	樁基		315.0	377.0	
			108.8	樁基		315.0	377.0	
			117.6	樁基		315.0	471.2	
U7	190.0	2546.0	163.2	樁基		202.5	314.2	

工區	單元	單元長度(m)	橋面板面積(m ²)	墩柱體積(m ³)	基礎型式	井基體積(m ³)	基礎層體積(m ³)	基樁體積(m ³)
	(支撐先進)			114.4	樁基		315.0	377.0
				137.2	樁基		315.0	377.0
				140.2	樁基		441.0	471.2
	U8 (場鑄逐跨)	140.0	1890.0	186.8	樁基		420.0	565.5
				139.9	樁基		315.0	471.2
				165.4	樁基		315.0	471.2
	脊背橋 (懸臂工法)	340.0	6290.0	235.5	樁基		756.0	706.9
				597.0	樁基		2,976.0	2,371.9
				695.0	樁基		2,976.0	2,827.4
	U9 (場鑄逐跨)	140.0	1876.0	106.9	樁基		882.0	565.5
				107.3	井基	565.5		
				106.6	井基	565.5		
永樂高架橋	U1N (懸臂工法)	265.0	2915.0	(橋台)	井基	294.5		
				272.8	樁基		2,016.0	1,963.5
				270.2	樁基		2,016.0	1,963.5
	U2N (懸臂工法)	265.0	2915.0	332.4	樁基		1,368.0	1,885.0
				290.2	樁基		1,368.0	1,885.0
				284.0	樁基		798.0	754.0
	U3N (懸臂工法)	375.0	4125.0	269.5	井基	846.7		
				248.5	井基	1,306.9		
				350.4	樁基		798.0	754.0
	U1S (懸臂工法)	275.0	3025.0	(橋台)	井基	294.5		
				269.6	樁基			
				266.2	樁基			
	U2S (懸臂工法)	260.0	2860.0	329.0	樁基			
				286.5	樁基			
				278.9	樁基		798.0	754.0
	U3S (懸臂工法)	419.0	4609.0	343.5	樁基		630.0	706.9
				359.9	樁基		798.0	754.0
				376.9	樁基		798.0	754.0
338.8				樁基		798.0	754.0	
				135.5	井基	962.1		

南北向共構

表 4.3.7-4 東澳東岳段橋梁工程規格

工區	單元	單元 長度(m)	橋面板 面積(m ²)	墩柱體積 (m ³)	基礎 型式	井基體積 (m ³)	基礎層 體積(m ³)	基樁體積 (m ³)
東澳北溪河川橋	U1N	380.0	4,370.0	(橋台)	井基	196.3		
				146.2	井基	954.3		
				219.5	樁基		1,083.0	1,508.0
				189.5	樁基		924.0	942.5
				268.2	樁基		660.0	628.3
	U2N	259.4	2,983.3	185.7	樁基		1,168.5	1,256.6
				237.7	樁基		1,083.0	1,256.6
				374.4	樁基		861.0	754.0
	U3N	395.0	4,542.5	304.9	井基	769.7		
				247.3	井基	1,113.3		
				241.8	井基	1,081.5		
				335.9	樁基		861.0	754.0
	U4N	285.0	1,667.5	228.9	樁基		1728.0	2356.2
				262.5	樁基		1728.0	2356.2
				(橋台)	井基	294.5		
	U1S	402.0	4,623.0	(橋台)	井基	196.3		
				548.5	井基	954.3		
				208.3	樁基		1083.0	1508.0
				193.0	樁基		798.0	942.5
				246.8	樁基		588.0	706.9
	U2S	270.0	2,430.0	183.5	樁基			
				235.6	樁基			
				371.8	樁基			
	U3S	395.0	3,555.0	306.6	井基	769.7		
227.3				井基	1,113.3			
229.4				井基	1,081.5			
339.2				樁基				
U4S	285.0	1,667.5	230.6	樁基				
			264.7	樁基				
			(橋台)	井基	294.5			
幸福高架橋	AN1-PN1	360.0	4,107.2	(橋台)	井基	235.6		
				130.8242	井基	654.2		
	PN2	500.0	5,402.0	62.32675	井基	654.2		
	PN3	360.0	3,816.0	109.252	井基	654.2		
	AN2	320.0	3,475.2	(橋台)	橋台			
	AN1-PN1	360.0	4,107.2	(橋台)	井基	235.6		
				132.7561	井基	654.2		
	PS2	500.0	5,402.0	64.31637	井基	654.2		
PS3	360.0	3,816.0	110.9317	井基	654.2			
AS2	320.0	3,475.2	(橋台)	橋台				

本計畫彙整蘇澳東澳段(A 段)各標之工程排碳量分配結果如表 4.3.7-5~4.3.7-6，4.3.7-5 為 A1 標橋梁各工項排碳量、表 4.3.7-6 為 A3 標

橋梁各工項排碳量。

表 4.3.7-5 蘇澳永樂段橋梁工項排碳量

工區	單元	橋面板排碳 (tCO ₂ e)	墩柱排碳 (tCO ₂ e)	基礎 型式	井基排碳 (tCO ₂ e)	基礎層排碳 (tCO ₂ e)	基樁排碳 (tCO ₂ e)
白米 高架橋	U2 (場鑄逐跨)	1,548.5	71.3	樁基		97.9	147.3
			66.3	樁基		132.2	181.3
			59.1	樁基		132.5	181.3
			64.8	樁基		131.5	181.3
			49.5	樁基		140.0	181.3
	U3 (支撐先進)	1,591.8	39.0	樁基		91.9	120.9
			90.5	樁基		163.2	181.3
			80.6	樁基		132.7	181.3
			131.1	樁基		126.6	181.3
			54.6	樁基		138.0	181.3
	U4 (支撐先進)	1,592.3	83.8	直基		311.0	
			71.1	直基		355.9	
			65.8	直基		352.1	
			79.4	直基		348.2	
			72.7	直基		344.8	
	U5 (支撐先進)	1,571.4	78.1	直基		303.2	
			47.0	直基		360.8	
			111.0	直基		350.5	
			95.6	直基		342.3	
			69.0	樁基		127.8	377.0
	U6 (支撐先進)	1,545.5	75.3	樁基		81.6	251.3
			46.7	樁基		137.5	377.0
			75.2	樁基		128.1	377.0
			75.2	樁基		131.2	377.0
93.8			樁基		134.1	471.2	
U7 (支撐先進)	1,275.7	86.5	樁基		89.0	314.2	
		81.4	樁基		131.9	377.0	
		92.3	樁基		134.8	377.0	
		115.4	樁基		199.9	471.2	
脊背橋 (懸臂工法)	10,606.0	200.0	樁基		326.3	706.9	
		598.8	樁基		1,547.9	2,371.9	
		662.3	樁基		1,567.5	2,827.4	
永樂 高架橋	U1N	1,653.9	(橋台)	井基	124.0		
			203.0	樁基		989.2	1,963.5
			229.0	樁基		978.5	1,963.5
	U2N	1,731.3	175.5	樁基		612.3	1,885.0
			191.8	樁基		646.8	1,885.0
			185.2	樁基		358.4	754.0
	U3N	2,659.4	159.8	井基	353.1		
			199.0	井基	547.6		
			232.3	樁基		354.4	754.0
			127.0	井基	547.6		

工區	單元	橋面板排碳 (tCO ₂ e)	墩柱排碳 (tCO ₂ e)	基礎 型式	井基排碳 (tCO ₂ e)	基礎層排碳 (tCO ₂ e)	基樁排碳 (tCO ₂ e)	
	U1S	1,901.8	(橋台)	井基	124.0			
			205.6	樁基				
			171.8	樁基				
	U2S	1,807.0	173.3	樁基				南北向共構
			188.6	樁基				
			182.1	樁基		353.3	754.0	
	U3S	2,906.2	185.5	樁基			267.5	
			267.3	樁基			374.3	754.0
			251.4	樁基			366.7	754.0
			256.4	樁基			390.5	754.0
			84.9	井基	401.2			

表 4.3.7-6 東澳東岳段橋梁工項排碳量

工區	單元	橋面板排碳 (tCO ₂ e)	墩柱排碳 (tCO ₂ e)	基礎 型式	井基排碳 (tCO ₂ e)	基礎層排碳 (tCO ₂ e)	基樁排碳 (tCO ₂ e)
東澳北溪河川橋	U1N	2,510.4	(橋台)	井基	110.0		
			113.4	井基	381.7		
			198.6	樁基		437.6	660.2
			138.4	樁基		352.0	388.0
			167.2	樁基		263.6	260.1
	U2N	874.4	138.4	樁基		515.7	520.2
			166.9	樁基		433.3	512.6
			231.5	樁基		324.9	317.9
	U3N	2,614.0	242.8	井基	315.6		
			201.7	井基	445.3		
			171.1	井基	432.6		
			207.5	樁基		319.2	320.2
	U4N	942.9	193.6	樁基		869.3	949.9
			229.5	樁基		915.3	960.7
			(橋台)	井基	164.9		
	U1S	2,797.8	(橋台)	井基	110.0		
			111.1	井基	381.7		
			189.9	樁基		442.0	688.1
			143.2	樁基		322.6	393.9
			158.2	樁基		210.1	290.5
	U2S	841.6	137.1	樁基			
			167.8	樁基			
			229.7	樁基			
U3S	2,573.6	245.5	井基	315.6			
		180.4	井基	445.3			
		147.5	井基	432.6			
		209.2	樁基				
U4S	899.6	194.4	樁基				
		229.8	樁基				
		(橋台)	井基	164.9			
幸	PN2	1,840.1	58.7	井基	268.2		

工區	單元	橋面板排碳 (tCO ₂ e)	墩柱排碳 (tCO ₂ e)	基礎 型式	井基排碳 (tCO ₂ e)	基礎層排碳 (tCO ₂ e)	基樁排碳 (tCO ₂ e)
福 高 架 橋	PN3		88.4	井基	268.2		
	PS2		59.8	井基	268.2		
	PS3		87.7	井基	268.2		

利用表 4.3.7-5 及 4.3.7-6 與表 4.3.7-3 及 4.3.7-4 即可計算蘇花改 A1 標及 A3 標之上構工程單位(橋面板面積)排碳量，本計畫彙整蘇澳東澳段 A1 及 A3 標上構單位排碳量於圖 4.3.7-2，由圖可知各單元會因為跨徑及橋面板寬度或其他設計因素，造成排碳量的差異，但就單位排碳量來看，除了白米脊背橋因為景觀橋有額外設計造成單位排碳量較高(1.69 tCO₂e/m²)外，逐跨場撐及支撐先進單位排碳量約在 0.50~.053 tCO₂e/m² 左右，懸臂工法方面，A1 標永樂段懸臂單位排碳量約在 0.57~.063 tCO₂e/m² 左右，而 A3 標東澳北溪河川橋段懸臂單位排碳量約在 0.51~.061 tCO₂e/m² 左右，造成懸臂工法各單元之差異，推測與現地環境及設計有關。

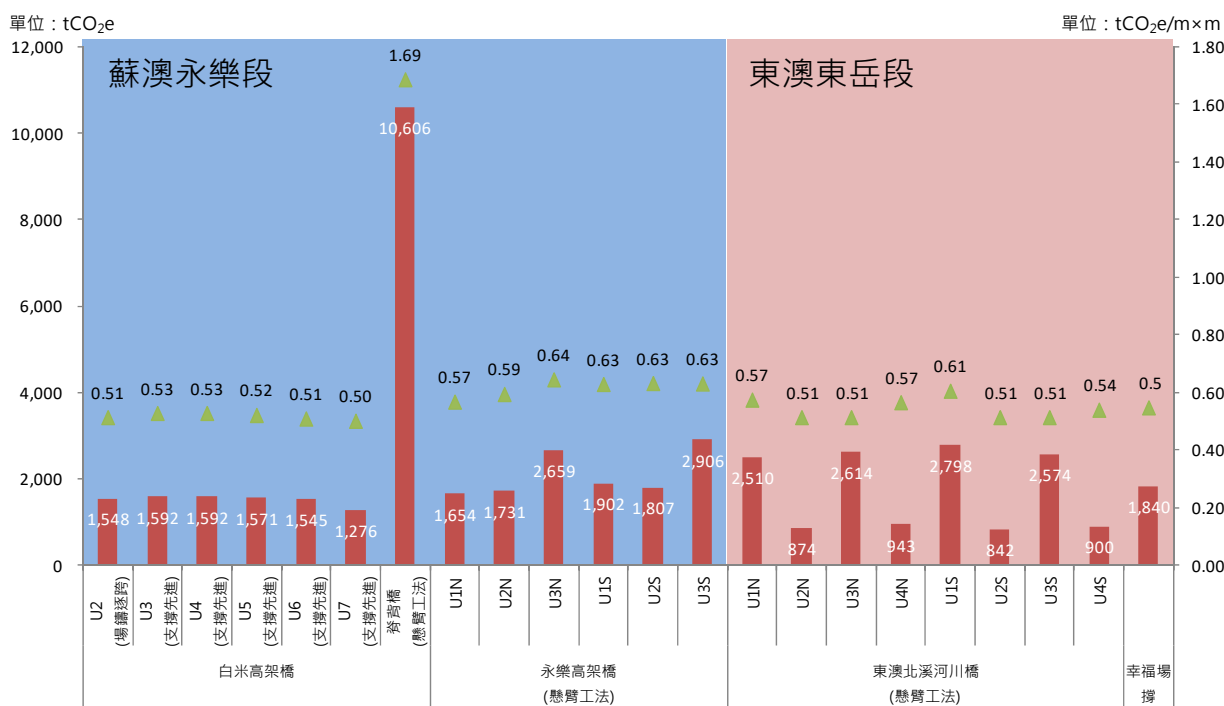


圖 4.3.7-2 A 段上構工程單位排碳量分析

另彙整蘇澳東澳段 A1 及 A3 標上構單位排碳量於圖 4.3.7-3，因下構工程考量基礎形式設計、現地環境及高程需要，各單元內之下構內容皆不相同，故在此呈現各單元下構支總排碳量及各基樁、基礎層、井基及墩柱排碳量於圖 4.3.7-3，脊背橋因景觀橋設計之緣故，排碳量較高，其他單元則因設計不同，如單元內之井基與樁基數量、樁式基礎共構及規格大小，排碳量各有高低。

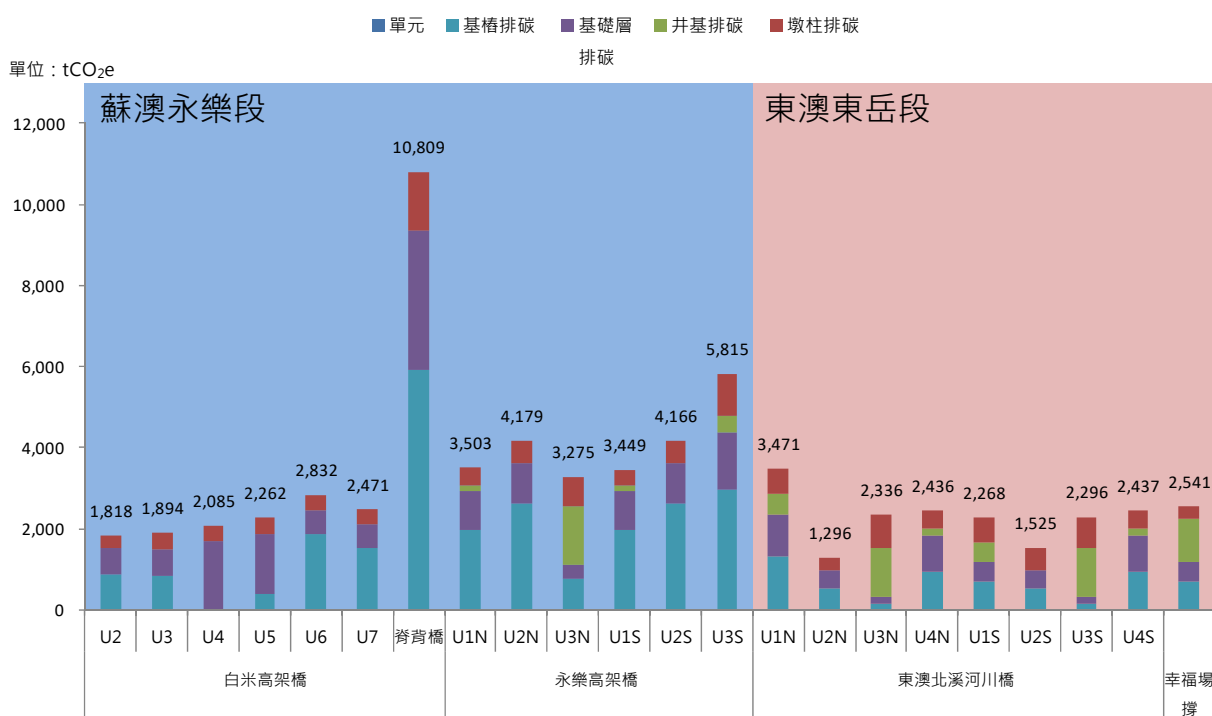


圖 4.3.7-3 A 段下構工程排碳量分析

另彙整橋梁上構工程及下構工程排碳量，並依據各單元面積計算單位面積排碳量於圖 4.3.7-4，由圖可知，無論是 A1 標或 A3 標橋梁，懸臂工法之橋梁納入下構工程後，單位面積排碳量之範圍較大，A1 標在 $1.44 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$ 至 $2.09 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$ ，A3 標則在 $0.84 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$ 至 $2.03 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$ 之間，支撐先進工法之橋梁於 A1 標之白米高架橋段，單位面積排碳量由 $1.12 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$ 至 $1.47 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$ 較為穩定，單位面積排碳量變動的可能原因包括現地高程變化造成下構所需的規模不一或者因為現地環境需求

造成設計基礎形式不同等，如前段所述單元內之井基與樁基數量、樁式基礎共構及規格大小，都會有所差異。

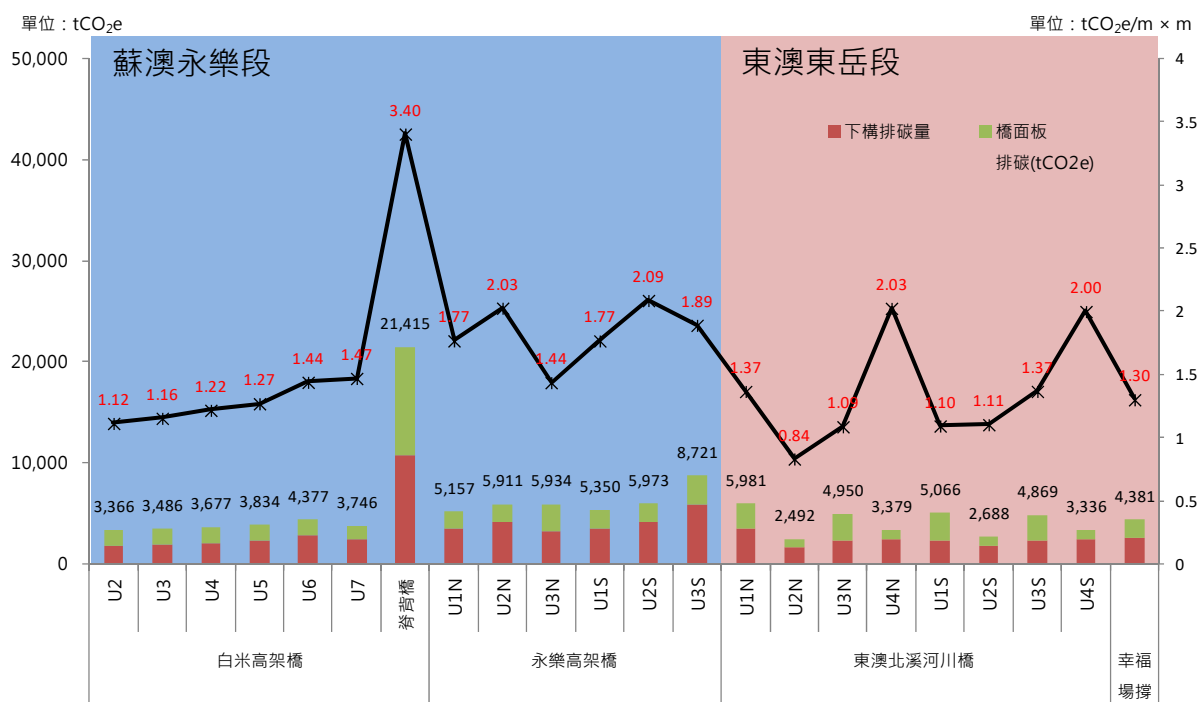


圖 4.3.7-4 A 段橋梁工程排碳量分析

隧道工程方面，本計畫首先彙整 A2 標東澳隧道、A1 標蘇澳隧道及 A3 標東岳隧道之各型單位斷面積/寬度、隧道長度及體積資料於表 4.3.7-7，斷面積分/寬度為開挖斷面積、淨空斷面積、車行徑空斷面積及車行寬度，其中東澳隧道為長隧道，故分岩體表列其開挖斷面積，另因其設置通風隔板，故在此一併表列含通風格板上區域之斷面積資料；長度方面，東澳隧道因開挖斷面積分岩體強度呈現，故該部分隧道長度分隧道強度表列，其他部分及 A1 標與 A3 標則以單一隧道長度呈現。

表 4.3.7-7 蘇澳東澳段隧道工程規格

工區	斷面積(m ²)		VI類長度 (m) ^{*1}	V類長度 (m)	IV類長度 (m)	III類長度 (m)	VI類體積 (m ³)	V類體積 (m ³)	IV類體積 (m ³)	III類體積 (m ³)
東澳隧道	開挖斷面積	VI類岩體	147.84	1,469.40			217,233.16			
		V類岩體	145.44		1,659.15			241,303.46		
		IV類岩體	113.04			1,501.20			169,692.65	
		III類岩體	113.04				1,776.70			200,834.61
	淨空斷面積-1		157.6 ^{*3}			3,320.00				523,232.00
	淨空斷面積-2 ^{*2}		130.5 ^{*3}			3,320.00				433,260.00
	車行淨空斷面積		71.76 ^{*3}			3,320.00				238,243.20
	車行寬度		9.2 ^{*3}			3,320.00				30,544.00
蘇澳隧道 ^{*4} (主要岩體為V類)	開挖斷面積		193.52			254.00				49,154.08
	淨空斷面積		120.26			254.00				30,546.04
	車行淨空斷面積		35.88			254.00				9,113.52
	車行面積		7.80			254.00				1,981.20
東岳隧道 ^{*4} (主要岩體為V類)	開挖斷面積		193.52			218.00				42,187.36
	淨空斷面積		120.26			218.00				26,216.68
	車行淨空斷面積		35.88			218.00				7,821.84
	車行面積		7.80			218.00				1,700.40

*1：此處指岩體強度

*2：指扣除通風隔板上方區域之斷面積

*3：因隧道分南北向，故斷面積×2

*4：斷面積/寬度為北南向總和

表 4.3.7-8 為前述隧道之排碳量彙整資料，其中表格中東澳隧道小計欄位將基樑、襯砌及隔板之排碳量依岩體體積分配至各岩體並加上各類岩體上半、台階及仰拱之加總排碳量數值；整體隧道排碳量則是依據表 4.3.7-2 各隧道(A1 標~A3 標隧道工程)分配整體土建工程排碳量，其排碳量含機具材料運輸及人員出勤逸散。

表 4.3.7-8 隧道工程排碳彙整

單位：tCO₂e

位置	工項	VI類岩體	V類岩體	IV類岩體	III類岩體
東澳隧道	上半	44,063.85	8,314.95	7,875.75	2,981.55
	台階	1,403.85	967.76	464.46	612.11
	仰拱	4,794.63	4,723.75	-	-
	基樑	5,956.91			
	襯砌	35,383.23			
	隔板	5,975.62			
	小計 ^{*1}	62,660.10	27,777.97	18,024.79	15,055.55
	整體隧道 ^{*2}	160,131			
蘇澳隧道	整體隧道 ^{*2}	13,430			
東岳隧道	整體隧道 ^{*2}	11,875			

*1：小計為將基樑、襯砌及隔板之排碳量依岩體體積分配至各岩體之加總數值

*2：整體隧道含機具材料運輸及人員出勤逸散

依據表 4.3.7-8 之排碳量及表 4.3.7-7 之隧道體積資料，本計畫彙整 A 段各隧道之單位排碳量於表 4.3.7-9，由表顯示分岩體之單位體積排碳量隨岩體強度 VI 類至 III 類，單位體積排碳量由 0.29 tCO₂e/m³ 下降 0.07 tCO₂e/m³；比較各隧道排碳量結果，A1 標及 A3 標之單位體積/面積排碳量相近，略高於 A2 標隧道，推測原因包括短隧道有納入導坑之排碳量，A1 標及 A3 標之隧道型式與 A2 標隧道型式不同，造成差異。

表 4.3.7-9 隧道工程排碳彙整

工區	體積/面積		單位體積/面積排碳量 (tCO ₂ e/m ³)/(tCO ₂ e/m ²)	
東澳隧道	開挖斷面積×前進米	VI類岩體	217,233.16	0.29
		V類岩體	241,303.46	0.12
		IV類岩體	169,692.65	0.11
		III類岩體	200,834.61	0.07
	淨空斷面積×前進米-1		523,232.00	0.31
	淨空斷面積×前進米-2		433,260.00	0.37
	車行淨空斷面積×前進米		238,243.20	0.67
	車行面積		30,544.00	5.24
蘇澳隧道	開挖斷面積×前進米		49,154.08	0.27
	淨空斷面積×前進米		30,546.04	0.44
	車行淨空斷面積×前進米		9,113.52	1.47
	車行面積		1,981.20	6.78
東岳隧道	開挖斷面積×前進米		42,187.36	0.28
	淨空斷面積×前進米		26,216.68	0.45
	車行淨空斷面積×前進米		7,821.84	1.52
	車行面積		1,700.40	6.98

四、蘇花改 A2 標南北口機房工程排碳量分析

A2 標東澳隧道北口及南口皆有設置機房，由每月碳盤查日誌資料，本計畫收集由機房基礎開挖、建築主結構至內部裝修之相關材料及機具活動量資料，計算南北兩機房之排碳量，表 4.3.7-10 為南北口機房型式資料及活動量計算內容，其中 A4 標與 E1 標之材料及設備，以及 A2 標可回收材未納入計算。

表 4.3.7-10 A2 標機房規格及計算範疇彙整

北口機房		南口機房	
機房型式	地下一層，地上兩層 RC 結構	機房型式	地下一層，地上兩層 RC 結構
總樓板面積	1,662.52 m ²	總樓板面積	1,731.94 m ²
計算範疇	計算內容	計算範疇	計算內容
混凝土	各型混凝土、高坍流混凝土、自充填混凝土	混凝土	各型混凝土、高坍流混凝土、自充填混凝土
竹節鋼筋	SD420W 竹節鋼筋	竹節鋼筋	SD420W 竹節鋼筋
其他	點焊網、速凝劑、接地材料、避雷針、鋼筋續接器	其他	點焊網、速凝劑、接地材料、避雷針、鋼筋續接器
止/排水材料	止水帶、油毛氈、防水氈、防水漆、砂漿	止/排水材料	止水帶、油毛氈、防水氈、防水漆、砂漿
裝修材	各型磁磚、砂漿及黏著劑、鋁合金、各型門窗	裝修材	各型磁磚、砂漿及黏著劑、鋁合金、各型門窗
預埋管	各型導線管	預埋管	各型導線管
噴凝土	噴凝土	噴凝土	噴凝土
邊坡保護	預力鋼腱	邊坡保護	預力鋼腱

排碳量計算結果如表 4.3.7-11 及圖 4.3.7-5，北口機房及南口機房單位樓地板面積排碳量分別為 1.21 tCO₂e/m² 及 1.07 tCO₂e/m²，兩機房主要排碳來源皆為混凝土及竹節鋼筋，其次為裝修材占 18%~20%，其餘預埋管、噴凝土及機具能耗則有一定比例之占比。

表 4.3.7-11 A2 標機房排碳量計算結果

北口機房		南口機房	
總排碳量 (tCO ₂ e)	1,919.76	總排碳量 (tCO ₂ e)	1,832.30
單位總樓板面積排碳量 (tCO ₂ e/m ²)	1.15	單位總樓板面積排碳量 (tCO ₂ e/m ²)	1.06
計算範疇	項目排碳量(tCO ₂ e)	計算範疇	項目排碳量(tCO ₂ e)
混凝土	14.20	混凝土	14.01
竹節鋼筋	472.61	竹節鋼筋	515.98
其他	20.86	其他	3.03
止/排水材料	899.02	止/排水材料	859.22
裝修材	297.14	裝修材	327.66
預埋管	85.07	預埋管	61.00
噴凝土	84.21	噴凝土	36.82

北口機房		南口機房	
總排碳量 (tCO ₂ e)	1,919.76	總排碳量 (tCO ₂ e)	1,832.30
單位總樓板面積排碳量 (tCO ₂ e/m ²)	1.15	單位總樓板面積排碳量 (tCO ₂ e/m ²)	1.06
計算範疇	項目排碳量(tCO ₂ e)	計算範疇	項目排碳量(tCO ₂ e)
邊坡保護	0.40	邊坡保護	0.40
機具能耗	46.25	機具能耗	14.19

其中裝修材亦有 16%~18%之占比，於一般建築物排碳量計算中，計算範疇為主要結構，包括混凝土及竹節鋼筋，有本計畫分析之結果顯示，如僅分析主要結構混凝土及竹節鋼筋，雖然以計算 70%左右之排碳量，但仍有一部分之排碳量未被納入計算，且比例不低，此部分結果可供後續建築盤查之參考。

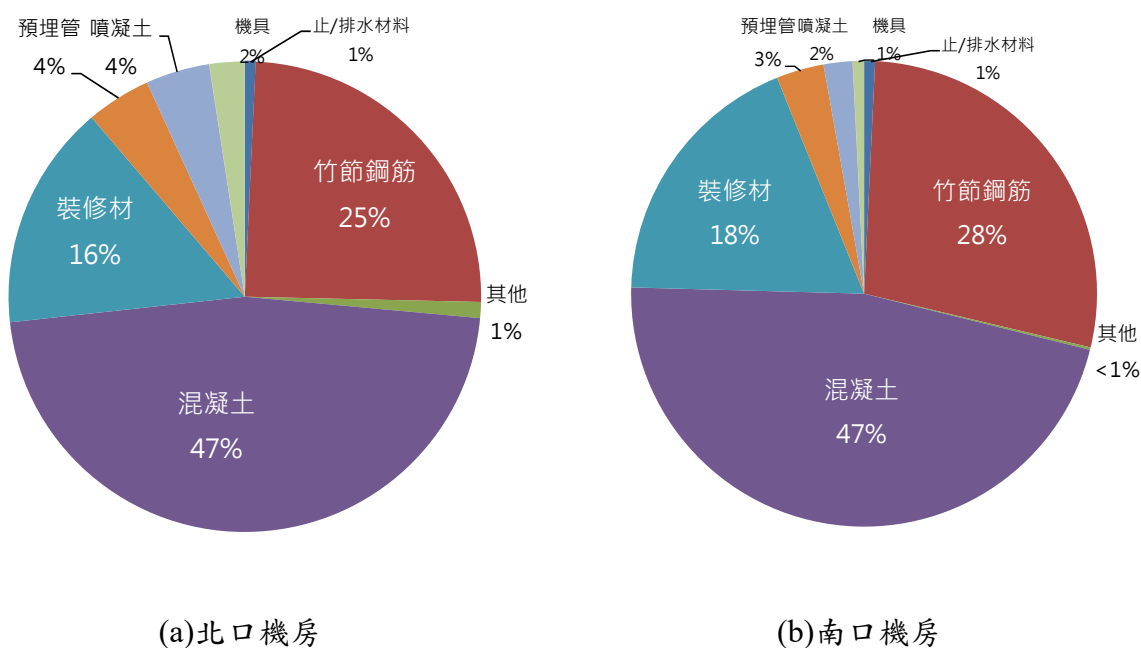


圖 4.3.7-5 A2 標機房排碳量占比分析

4.3.8 蘇澳東澳段工程項目排碳分析

本節將依序說明蘇澳東澳段各標(土建標及機電交控標)之工程項目就各標之主要工項碳足跡量化結果。

一、蘇澳永樂段

將工程材料、機具能耗與其他能耗依據所施作之工程項目包括：圍籬及便橋工程、井基工程、基樁工程、基礎及墩柱、上構、隧道、鋪面及其他雜項工程進行分類。機/運具使用能耗量及工程材料使用之排碳量依據工項分析，結果彙整如表 4.3.8-1。工程材料與機具操作使用於不同工程項目之排碳占比如圖 4.3.8-1 所示。

表 4.3.8-1 A1 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡

工程項目	機/運具操作*	工程材料*	小計*	占比(%)
圍籬及便道便橋工程	85	352	437	<1
井基工程	409	3,515	3,924	4
路塹工程	165	358	522	1
基樁工程	647	14,402	15,049	15
基礎及墩柱工程	406	23,710	24,116	23
排水工程	67	3,413	3,480	3
隧道工程	1,420	9,360	10,780	10
上構工程	319	38,550	38,869	38
鋪面工程	37	1,608	1,645	2
其他工項	1,719	2,866	4,585	4

備註：*單位為 tCO₂e

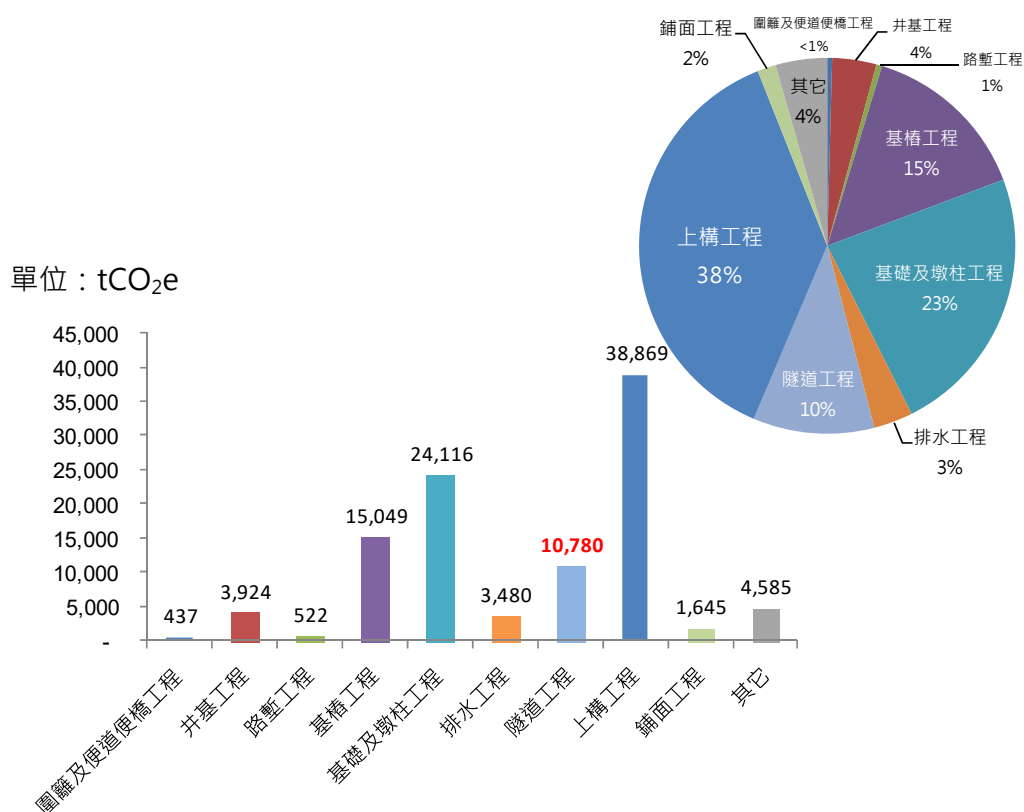


圖 4.3.8-1 A1 標不同工程項目之碳排放量及占比分析

二、東澳隧道段

A2 標開工迄今施作之工程項目可概略區分為：隧道南口工程、隧道北口工程、隧道洞口工程、北口井基及橋台作業、土石方暫置、其他雜項等工項，本計畫依據承包商所提供之機具分油及工程材料使用記錄，就開工迄今工程材料使用及機/運具操作能耗排放量依據工項彙整分析如表 4.2.8-2。

A2 標開工迄今的主要碳排放工項為隧道北口與南口工程(含人行/車行聯絡道及輔助機房)，分別占總機/運具操作及工程材料使用排放的 35% 與 25%，加入隧道洞口作業、隧道襯砌及用電設備則合計約占 80%；除了北口井基及橋台工程與持續進行的土石方暫置工程外，福清大部份機具及材料投入於隧道工程。

其餘工程項目排碳量占比最高的部份為其他雜項工程，主要係因福清目前南口機房所使用之機具材料排碳量納入其他雜項工程當中，故其

他雜項工程結算至本年度有 10%左右的排碳量占比。另整理表 4.2.8-2 各工項排碳量及占比如圖 4.2.8-2。

表 4.2.8-2 A2 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡計算

工程項目	機/運具操作*	工程材料*	小計*	占比
隧道北口工程	4,908	58,103	63,011	35
北口襯砌	54	18,827	18,881	10
隧道南口工程	6,068	38,039	44,106	25
南口襯砌	46	20,446	20,492	11
隧道洞口作業	41	498	539	<1
洞口機房	60	3,692	3,752	2
北口橋台、井基作業	346	1,387	1,733	1
土石方暫置	1,352	361	1,713	1
其他雜項	1,744	11,991	13,735	8
用電設備	11,899	-	11,899	7
共用油箱	235	-	235	<1

備註：*單位為 tCO₂e

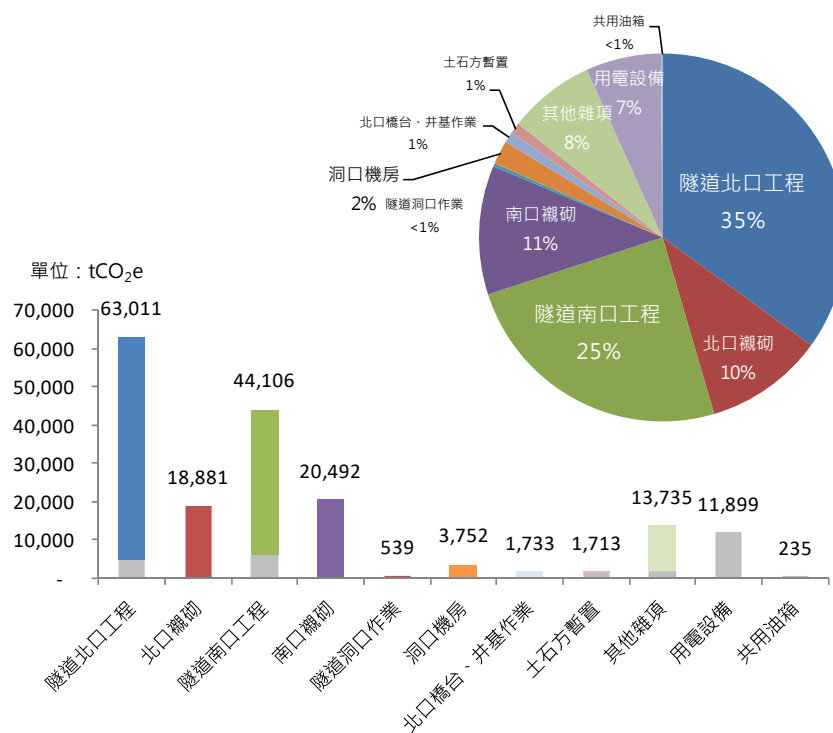


圖 4.2.8-2 A2 標不同工程項目之碳排放量及占比分析

三、東澳東岳段

工項彙整機/運具使用能耗量及工程材料使用之排碳量，結果如表 4.3.8-3 及圖 4.3.8-3。排碳量占比最高的為上構工程，占約 40.3%，其次為包括井基、基樁、基礎層及墩柱的下構工程占約 33.6%，隧道工程占 16.6%，其他道路、排水及雜項工程占比較小，約 2%~4%。A3 標工程排碳量主要來自於橋梁工程，上構及下構工程即占整體工程排碳量 74%。

表 4.3.8-3 A3 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡

工程項目	機/運具操作*	工程材料使用*	小計*	占比(%)
道路工程	126.77	2,159.31	2,286.08	3.3
排水工程	84.68	1,506.31	1,590.99	2.3
隧道工程	838.97	10,553.52	11,392.49	16.6
橋梁-上構工程	699.74	26,936.03	27,635.77	40.3
橋梁-下構工程	779.71	22,235.21	23,014.92	33.6
雜項工程	213.11	2,432.66	2,645.77	3.9
總計	2,742.98	65,823.04	68,566.02	100

備註：*單位為 tCO₂e

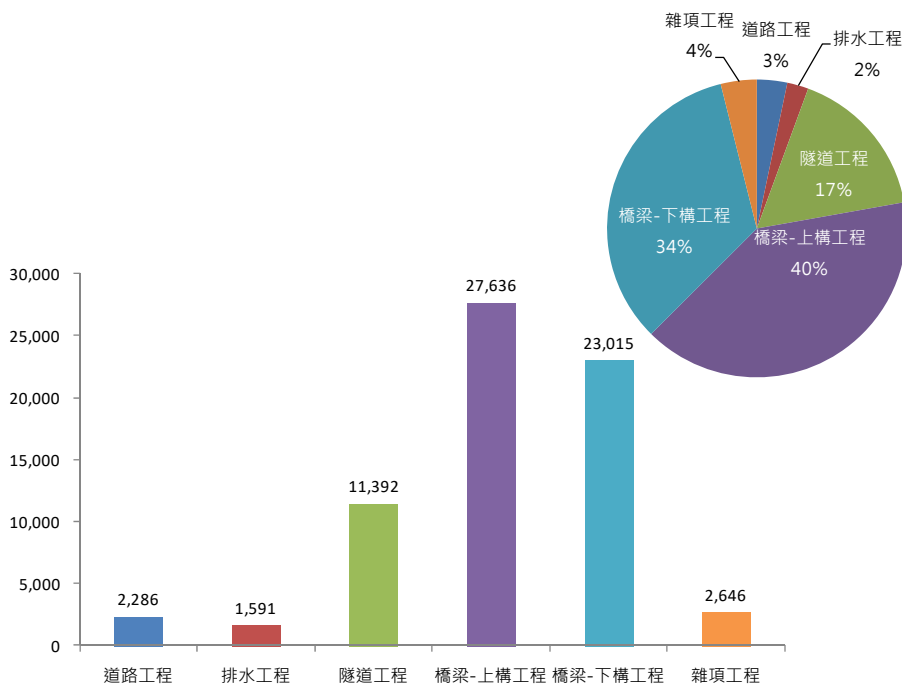


圖 4.3.8-3 A3 標土建工程之碳排放源占比分析

四、蘇澳東澳段機電工程

工項彙整機/運具使用能耗量及工程材料使用之排碳量，結果如表 4.3.8-4。排碳量占比最高的為東澳隧道工程，占約 75.86%，其次為包括告示牌工程的其他工程占約 13.15%，蘇澳及東岳隧道機房分別占 3.34% 及 2.87%，南北口隧道機房工程共占 3.87%，道路照明占比較低，約占 0.91%。

表 4.3.8-4 A4 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡

	機/運具操作*	工程材料使用*	小計*	占比(%)
北口機房施工	0.61	111.42	112.03	1.91
南口機房施工	1.10	113.40	114.50	1.96
蘇澳隧道施工	3.75	192.08	195.83	3.34
東澳隧道施工	33.47	4,408.51	4,441.97	75.86
東岳隧道施工	4.54	163.57	168.11	2.87
公路照明施作	0.54	52.60	53.14	0.91
其他工項	7.44	762.41	769.84	13.15

備註：*單位為 tCO₂e

五、E1 標蘇澳東澳段部分

E1 標開工至 107 年 3 月 15 日止，施作之工程項目可概略區分為：交通管制系統、電纜裝設、有線/無線電話工程、閉路電視工程、隧道廣播、土木管道工程及其他雜項工程；本計畫參考承包商所填報之機/運具及工程材料使用記錄，並依據工項分類統計開工迄今工程材料使用、機/運具操作能耗及碳排放量，前二十大碳排放量工項內容如表 4.3.8-5 及圖 4.3.8-4。

由分析結果顯示，主要碳排放源為土木管道工程，因使用預拌混凝土、瀝青混凝土、手孔及 PVC 管等之關係，約占總碳排放量的 51%，其次為鋼結構工程占 21%、閉路電視工程占 8%、隧道廣播工程 5%及無線電話工程 3%。

表 4.3.8-5 E1 標各工程項目工程材料及機/運具操作使用碳足跡計算

工項名稱	工程材料*	機/運具*	合計*	占比(%)
土木管道-E1 標	178.15	9.33	187.48	46
鋼結構-E1 標	75.73	1.39	77.12	19
閉路電視-A2 標	29.07	0.28	29.35	7
隧道廣播-A2 標	15.88	3.96	19.84	5
材料-A1 標	10.93	0.00	10.93	3
無線電話-A2 標	11.69	0.45	12.14	3
材料-A3 標	10.42	0.67	11.09	3
材料-A2 標	9.87	0.72	10.59	3
閉路電視-A3 標	5.28	0.22	5.50	1
鋼結構-A2 標	3.58	0.53	4.11	1
工程告示牌安裝	2.76	0.13	2.89	1
隧道廣播系統-B1 標	1.96	1.05	3.01	1
資訊顯示-A1 標	2.48	0.06	2.54	1
資料收集-A2 標	2.46	0.00	2.46	1
閉路電視-A1 標	2.28	0.08	2.36	1
交通管制-E1 標	2.30	0.00	2.30	1
路側電系統-A1 標	1.89	0.31	2.20	1
無線電話系統-B1 標	1.88	0.07	1.95	<1
有線電話-A2 標	1.38	0.60	1.98	<1
傳輸及光纖監測-A2 標	1.68	0.00	1.68	<1

備註：*單位為 tCO₂e

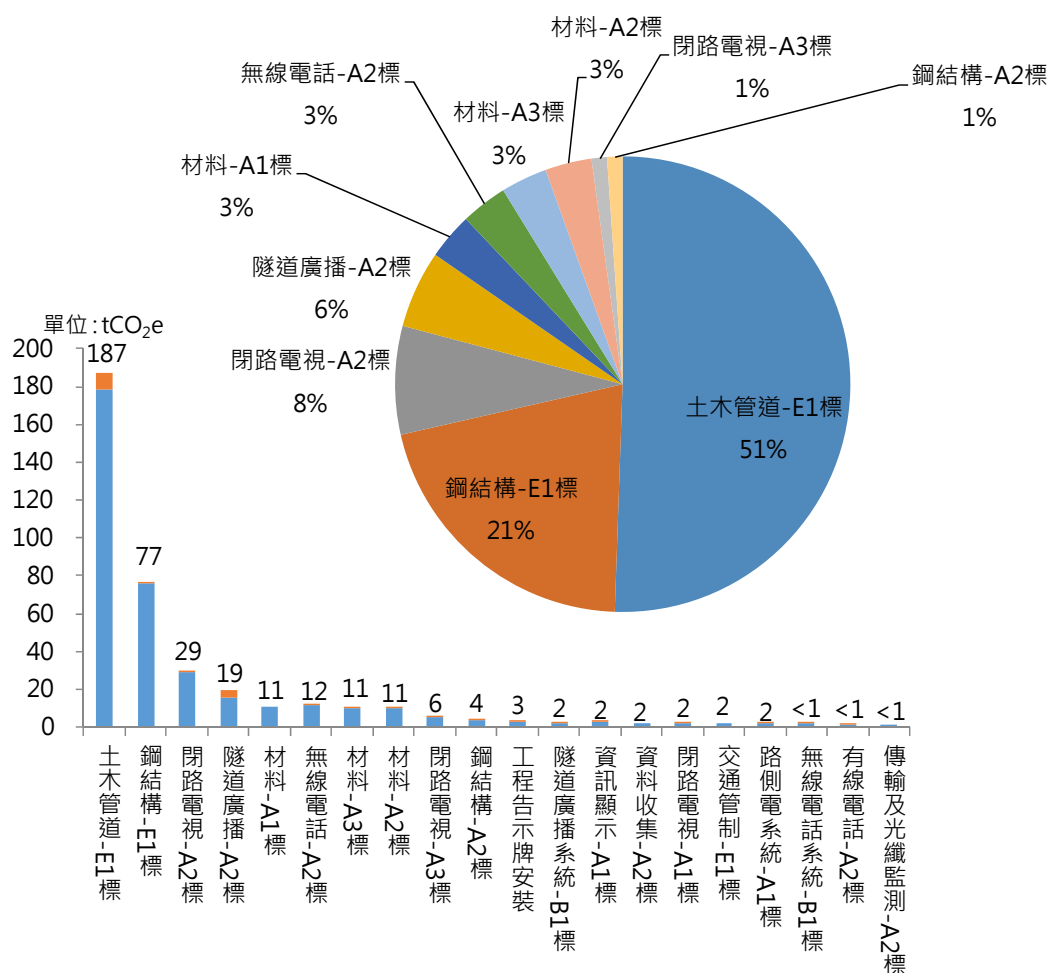


圖 4.3.8-4 E1 標不同工程項目之碳排放源占比分析

4.3.9 蘇澳東澳段各標排碳量隨時間變化資料

隨著各標工程進展，排碳量亦會隨進度上升，本計畫彙整 A 段各土建標進度(請款比例)及排碳量變化如圖 4.3.9-1 至圖 4.3.9-3，各標排碳量隨進度變化之程度雖然都不一樣，但大致上各標皆呈正相關，由前述章節 4.3.2 的表 4.3.2-2 亦可以瞭解，排碳量與契約金額比例大致呈正比，故可以推估請款金額亦大致與排碳量成正比。

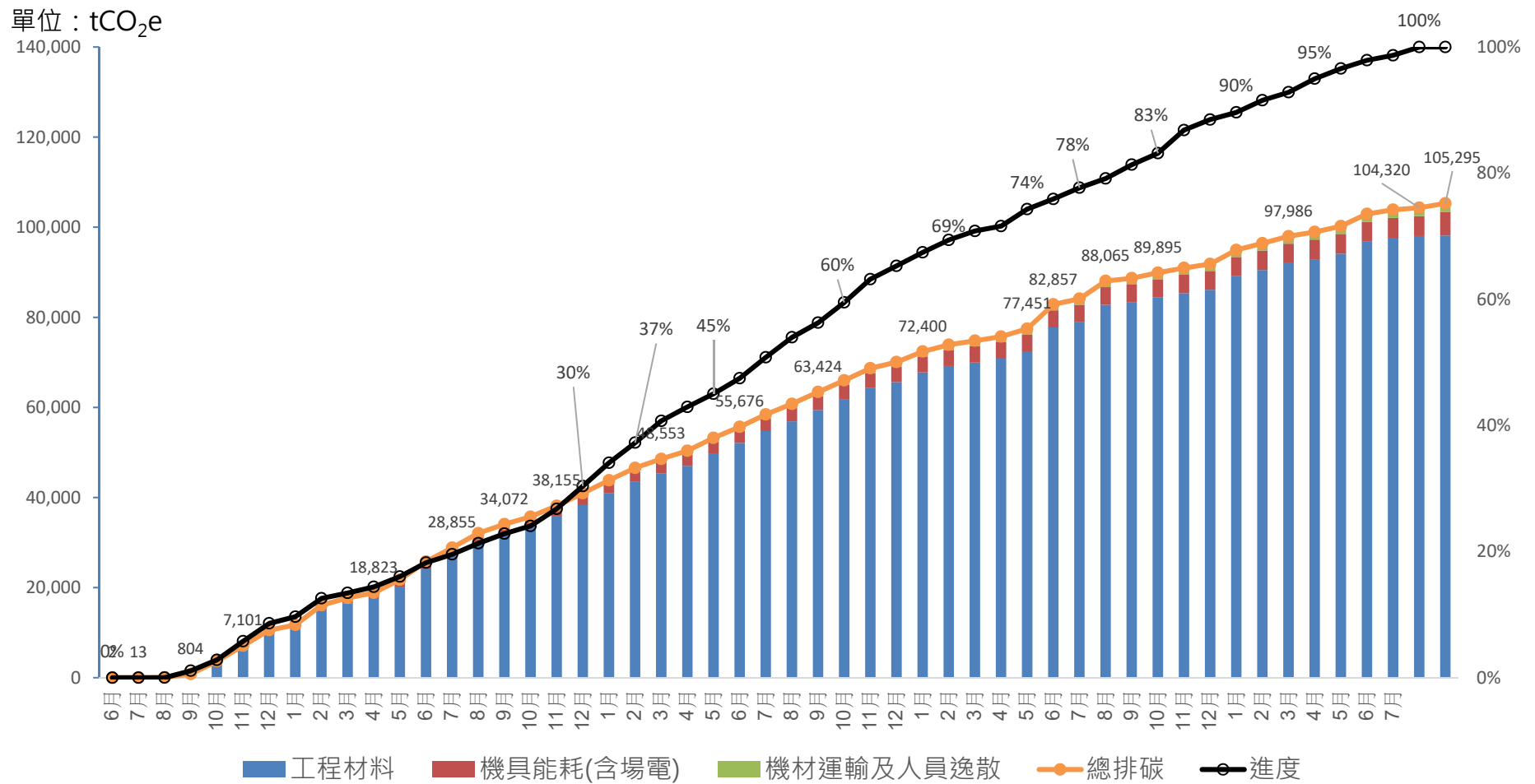


圖 4.3.9-1 A1 標土木工程之碳排放隨進度變化

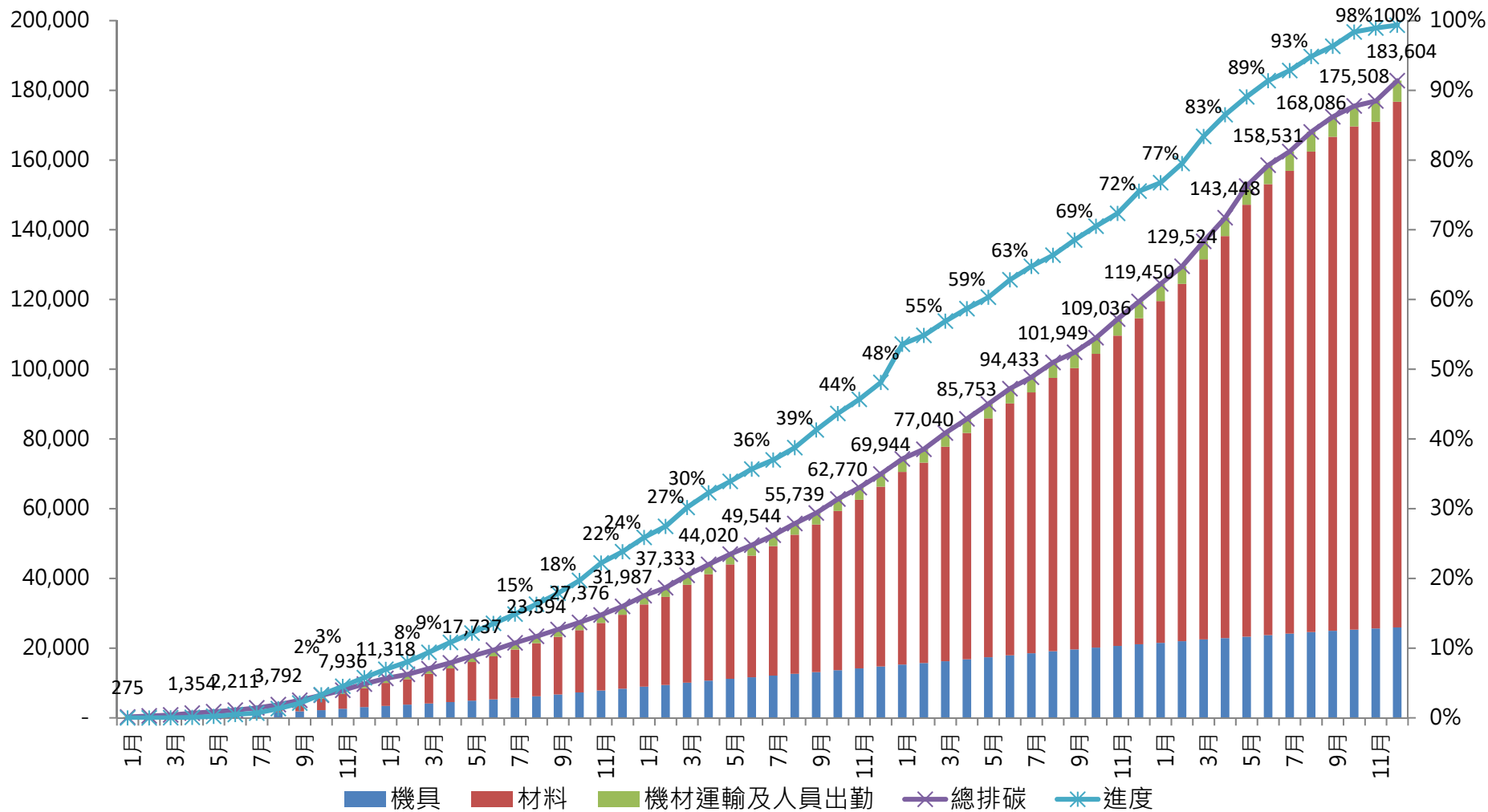


圖 4.3.9-2 A2 標土木工程之碳排放隨進度變化

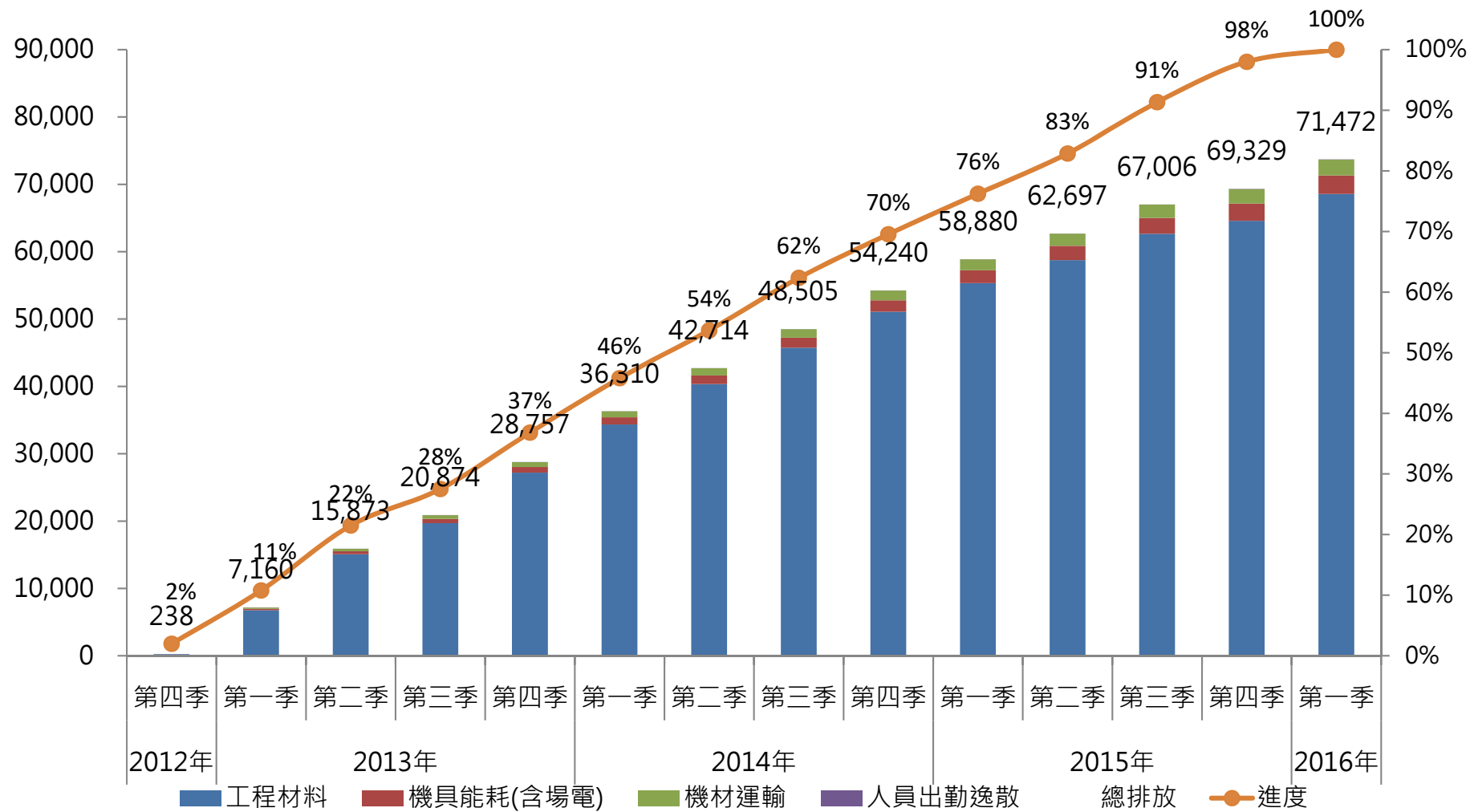


圖 4.3.9-3 A3 標土木工程之碳排放隨進度變化

4.3.10 蘇澳東澳段產出單位排碳量彙整

本計畫隨著各標工程進展，皆有陸續產出相關工程項目之分析結果，本計畫於此彙整 A 段各標產出單位排碳量資料於表 4.3.10-1 及表 4.3.10-2，後續如有更新或 C 段資料進入，一併彙整呈現。

表 4.3.10-1 A 段各工程項目單位碳排放量彙整-1

類別	工項類別	工項內容(規格)		單位	A3 標	A1 標
橋梁	下構	基樁	深度：20m	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.43	0.48
			深度：25m	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.41	0.47
			深度：30m	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.41	0.46
		井基	直徑：5m	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.56	-
			直徑：6m	tonCO ₂ e/m ² ×m	-	0.42
			直徑：7m	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.41	0.42
			直徑：8m	tonCO ₂ e/m ² ×m	-	0.42
		基礎層	直接基礎層	tonCO ₂ e/m ² ×m	-	0.36
			樁式基礎層	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.41	0.44
		墩柱	一般墩柱	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.74	0.69
			盤式支承	tonCO ₂ e/m ² ×m	1.08~9.85	4.00~18.40
	上構		逐跨工法	tonCO ₂ e/m×m	0.45	0.47
			支撐先進	tonCO ₂ e/m×m	-	0.52
			白米懸臂	tonCO ₂ e/m×m	-	1.69
			懸臂工法	tonCO ₂ e/m×m	0.52	0.62
	橋梁工程		逐跨工法	tonCO ₂ e/m×m	1.30	1.11
			支撐先進	tonCO ₂ e/m×m	-	1.28
			白米懸臂	tonCO ₂ e/m×m	-	3.40
			懸臂工法	tonCO ₂ e/m×m	1.36	1.83
	隧道	隧道	短隧道	開挖斷面積×前進米	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.26 ^{*1}
淨空斷面積×前進米				tonCO ₂ e/m ² ×m	0.42 ^{*2}	0.42 ^{*2}
車行淨空斷面積×前進米				tonCO ₂ e/m ² ×m	0.71 ^{*3}	0.71 ^{*3}
車行面積				tonCO ₂ e/m×m	3.24 ^{*4}	3.24 ^{*4}
隧道	隧道	短隧道	開挖斷面積×前進米	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.28 ^{*5}	0.27 ^{*5}
			淨空斷面積×前進米	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.45 ^{*6}	0.44 ^{*6}
			車行淨空斷面積×前進米	tonCO ₂ e/m ² ×m	1.52 ^{*7}	1.47 ^{*7}
			車行面積	tonCO ₂ e/m×m	6.98 ^{*8}	6.78 ^{*8}
道路	柔性鋪面	瀝青鋪面		tonCO ₂ e/ m ² ×m	0.11	0.14
	剛性鋪面	混凝土鋪面	厚度：0.3m	tonCO ₂ e/m ² ×m	0.48	0.40

- *1：以隧道開挖斷面積 $193.52 \text{ m}^2 \times$ 隧道長計算
 *2：以隧道淨空斷面積 $120.26 \text{ m}^2 \times$ 隧道長計算
 *3：以車行淨空斷面積 $35.88 \text{ m}^2 \times 2 \times$ 隧道長計算
 *4：以隧道車行面積 $7.8 \text{ m} \times 2 \times$ 隧道長計算
 *5：以隧道開挖斷面積 $193.52 \text{ m}^2 \times$ 隧道長計算並加入機具材料運輸及人員出勤逸散排碳
 *6：以隧道淨空斷面積 $120.26 \text{ m}^2 \times$ 隧道長計算並加入機具材料運輸及人員出勤逸散排碳
 *7：以車行淨空斷面積 $35.88 \text{ m}^2 \times 2 \times$ 隧道長計算並加入機具材料運輸及人員出勤逸散排碳
 *8：以隧道車行斷面積 $7.8 \text{ m} \times 2 \times$ 隧道長計算並加入機具材料運輸及人員出勤逸散排碳

表 4.3.10-2 A 段各工程項目單位碳排放量彙整-2

類別	工項類別	工項內容(規格)		單位		A2 標
隧道	隧道	長隧道	開挖斷面積×前進米	VI類	$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \times \text{m}$	0.29
				V類	$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \times \text{m}$	0.12
				IV類	$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \times \text{m}$	0.11
				III類	$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \times \text{m}$	0.07
		淨空斷面積×前進米-1	$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \times \text{m}$	0.31		
		淨空斷面積×前進米-2	$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \times \text{m}$	0.37		
		車行淨空斷面積×前進米	$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \times \text{m}$	0.67		
	車行面積	$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m} \times \text{m}$	5.24			
隧道機房	洞口機房	總樓地板面積		$\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m} \times \text{m}$	1.07~1.21	

*1：指扣除通風隔板上方區域之斷面積

4.3.11 蘇澳東澳段主要材料之設計量與實際盤查量排碳比較

本計畫就蘇澳東澳段土建標(A1 標、A2 標及 A3 標)主要工程材料進行設計量及實際盤查量之比較，設計量來源為土建標竣工結算資料，實際量則為實際排盤查之結果，主要比較內容為混/噴凝土及竹節鋼筋，各標排碳量計算差異，如表 4.3.11-1 所示。透過表 4.3.11-1 彙整可知，各標設計量所產生之排放量計算值皆低於盤查量所產生之排放量，A1 標與 A3 標差值約在 4,228 tCO_2e ~5,433 tCO_2e 之間，由於混凝土及竹節鋼筋使用量皆較設計量略

微增加，排放量約莫差距 9%；至於，A2 標部分，由於隧道施作難度較高且實際襯器所需量明顯高於設計量，以致噴凝土盤查排放量較設計量增加 63%，竹節鋼筋使用量略為增加，整體而言，A2 標盤查量高於設計排放量 36%。各標工程排碳量(不含營運管理期間)皆有差異，雖受限地施作及難度影響，但透過完整盤查作業反映出真實之施工狀況，著實有助於後續設計量之檢討。

表 4.3.11-1 A 段主要工程材料設計量與實際盤查量排碳差異

標別	工程材料	設計量排碳 (tCO ₂ e)	實際量排碳 (tCO ₂ e)	差異 (tCO ₂ e)	差異百分比 (%)
A1 標	混/噴凝土	37,966.91	40,093.68	2,126.77	9
	竹節鋼筋	19,339.88	22,646.41	3,306.53	
A2 標	混/噴凝土	55,635.84	90,795.96	35,160.12	36
	竹節鋼筋	10,728.96	13,050.34	2,321.38	
A3 標	混/噴凝土	28,858.00	30,414.39	1,556.39	9
	竹節鋼筋	12,184.63	14,856.66	2,672.03	

4.4 機運具單位油耗調查分析

4.4.1 常駐機運具調查結果

本計畫除針對工程排放活動量進行資料蒐集與碳足跡計算分析外，亦積極就已收集之數據資料進行加值處理。在機具能耗部份，自開工迄 107 年 11 月底期間或特定區間(A 段資料統計至竣工止)，A2、C1A、C2 及 C3 標分油記錄、A1 及 A3 標部分協力廠商配合提供的個別機具加油紀錄，進行不同類型規格之主要工程機具的能耗率分析。

計算之機具包括泵浦車、挖土機、吊卡車、吊車、混凝土預拌車、傾卸車及公務車等 7 種類型，以下即分段說明本計畫現階段完成之機具能耗率分析結果，其中部分表格油耗率可分為兩欄，左欄為單一油耗率，右欄為平均油耗率，特此說明。

一、泵浦車

A 段及 C 段混凝土泵浦車在使用模式上不同，A 段部分採用外租方式執行混凝土壓送作業，例如 A3 標協力廠商配特公司與樂志公司，當

有澆置需求時，臨時租用泵浦車使用；亦有部分是協力廠商自有泵浦車，但是以共用油箱方式加油；以上兩種模式皆無法有效計算泵浦車單位油耗。C 段中 C1A 標所用之泵浦車為自有機具，其操作量填報內容包括總泵送方數及加油量記錄，故可統計單位泵送方數之油耗；C2 標則與 A3 標相同，當有澆置需求時，才臨時租用泵浦車使用，故無法蒐集相關資料進行單位油耗計算。

符合本計畫油耗率計算條件的泵浦車有 A1 標協力廠商上鋒公司及 C1A 標承包商東丕公司與蘇建興公司，其中，A1 標雖然同樣是以租賃方式執行混凝土壓送作業，但經調查其 3 台泵浦車專供 A1 標使用，故可完整收集到總泵送方數及加油量資料。惟 A1 標自 105 年開始其泵浦車已無駐廠進行泵送作業，故 105 年後無油耗統計及更新資料，統計期間仍為其進場至 104 年 12 月底的資料，有關泵浦車單位油耗分析如表 4.4.1-1。

表 4.4.1-1 泵浦車單位油耗分析

標別	機具標別/編號	油耗率 (m ³ /L)	總能耗量 (L)	總方數 (m ³)	資料期間
A1	ME-上鋒 01(32m)平均 ⁽²⁾	3.59	22,145.07	79,500.50	102.12.31~104.12.31
C1A	MO-東丕(泵浦車)01	1.80	51,084.00	92,159.50	104.06.16~107.11.30
	MO-蘇建興(混凝土泵浦車)-13	1.63	33,499.00	54,530.00	106.06.19~107.11.30
文獻	THOMSEN 38M ⁽¹⁾	0.06	—	—	—

備註：(1)中華工程機具使用費率表(Concrete Pumpw/truck)。

(2)本計畫調查。

二、吊卡車

吊卡車油耗統計共有 A1、A3 及 C1A 標，A1 標榮工之吊卡車主要負責工區內雜項作業，A3 標樂志之吊卡車則主要為吊掛鋼筋材料作業，C1A 標蘇建興之吊卡車與 A1 標相同皆為負責工區內雜項作業，例如吊掛支保、鋼筋、機房裝修材料等材料，或執行工區臨時性作業需求。

A1 標區間為進場至 106 年 7 月中旬為止；A3 標為進場至 105 年 4

月底為止；C1A 標自 105 度開始進行機運具分油，故統計油耗區間為 105 年 1 月統計至 107 年 5 月底為止，相關資料統計結果如表 4.4.1-2。油耗結果顯示 A3 標 ME-樂志 16 油耗值 5.86 L/hr 為最大，而 A1 標 ME-榮工 002、A3 標 ME-樂志 14 及 C1A 標 MO-蘇建興(吊卡)-02 之油耗較為相近(約 3L/hr 左右)，A3 標 ME-樂志 13 及 ME-田大 03 吊卡車之油耗相較 A 段其他吊卡車較低(約 2.50L/hr 上下)，主要可能為操作時數較少而致。

另就中華工程機具使用費率表文獻得知其油耗參數為 5 L/hr，除 A3 標 ME-樂志 16 之吊卡車大於文獻值之外，其他吊卡車皆低於文獻值，而 C1A 標 MO-蘇建興(吊卡)-01 則較為接近文獻值。

表 4.4.1-2 吊卡車單位油耗分析

標別	機具編號	油耗率 (L/hr)	總能耗量 (L)	總時數 (hr)	資料期間
A1	ME-榮工 002	3.46	30,546.41	8,832.00	102.06.20~106.07.17
A3	ME-樂志 16	5.86	30,409.73	5,189.00	102.09.30~104.10.31
A3	ME-樂志 14	3.20	18,638.70	5,822.00	102.08.13~105.01.31
A3	ME-樂志 13	2.20	7,688.64	3,499.00	102.07.29~105.02.04
A3	ME-田大 03	2.64	10,907.81	4,136.00	102.03.09~103.09.30
C1A	MO-蘇建興(吊卡)-01	4.60	8,075.00	1,756.50	105.01.03~106.05.05
C1A	MO-蘇建興(吊卡)-02	3.08	17,764.00	5,771.50	105.01.01~107.11.30
文獻	LORAIN LRT-15H,15U 15T ⁽¹⁾	5.00	—	—	—

備註：(1)中華工程機具使用費率表(Truck Crane)。

三、吊車

蘇花改吊車主要用於橋梁工程(A1、A3、C1A 及 C2 標)，執行工項包括竹節鋼筋及其他橋梁工程使用材料吊掛。A1 標因為 P38 及 P39 高程及吊掛鋼板需要，故有使用 120t~700t 之吊車；C1A 標當有需求時外租吊車，故因無分油紀錄以納入統計；C2 標吊車則主要執行北口機房主體之基樁工程，有關吊車單位油耗資料統計於表 4.4.1-3。

表 4.4.1-3 吊車單位油耗分析

標別	機具編號	規格	油耗率 (L/hr)	總能耗量 (L)	總時數 (hr)	資料期間
A1	ME-鴻欣 10	45t	2.35	978.19	416	105.07.31~106.05.10
A1	ME-鴻欣 06	120t	3.32	1,434.53	432	104.11.01~105.01.31
A1	ME-鴻欣 07	400t	16.04	256.64	16	104.11.06~104.11.27
A1	ME-鴻欣 08	700t	18.96	303.28	16	104.11.06~104.11.27
A3	ME-田大 01	35t	2.82	9,166.8	3,246	102.03.01~103.05.31
A3	ME 樂志-02	60t	4.36	17,412.92	3,996	102.07.16~104.07.31
C2	ME-三鼎 01	90t	16.92	24,750	1,463	104.10.21~107.10.12
文獻 ⁽¹⁾	45 t		3.00	—	—	—
	120 t		6.00	—	—	—
	400 t		18.00	—	—	—

備註：(1)中華工程機具使用費率表。

由表 4.4.1-3 發現，90t、400t 及 700t 吊車單位油耗率約 16~19L/hr 左右，其餘規格吊車油耗率皆在 3~4L/hr 左右，可以發現 35t~120t 不同規格之吊車單位油耗率並沒有完全成正相關，推論可能與執行的工程項目內容有關；而 C2 標 90t 吊車油耗率明顯較大，可能與現場施作基樁鑽掘時，因地質因素造成反覆施工，致使能耗較為偏高。

四、挖土機

盤查範圍中各土建標都有一定挖土機用量，但 A1 標及 A3 標主要是以委託協力廠商施作的方式施工，雖有共用油箱但難以獲得機具各別分油的資料，故可供計算之機具較少。而 A2 標及 C 段因為大部分是以自有機具進行工程施作，故可供計算的機具數量較多。依據數據的充份與否，本計畫就 PC200 系列、PC300 系列及 PC400 系列等挖土機進行油耗率分析。統計目前盤查所得之各標挖土機用油量與操作時數，各機具相關數據整理如表 4.4.1-4~6。

(一)PC 200 系列

A2 標 PC200 系列數量較多，故本計畫採用油耗率平均值進行統計與比較；而 A3 標已於 105 年 4 月申請竣工，故本報告統計至竣工資料為止與其他標別進行比較；C 段因機具數量較多，故均採平均值結果與其他標別比較，相關統計資料彙整如表 4.4.1-4。

由統計資料可以發現 PC200 型油耗率約在 15L/hr 上下，進一步與文獻資料小松(KOMATSU)公司機具能耗比較，A3 與 C1A 標油耗率屬於中等輸出，而 A2 及 C2 標之油耗率屬於高等輸出。

表 4.4.1-4 挖土機 PC200 系列單位油耗分析

標別	機具規格	油耗率(L/hr)		總能耗量(L)	總時數(hr)	資料期間
		單一機具	平均值			
A2	PC200	—	17.04	1,335,456.87	78,350.00	102.04.21~107.01.31
A3	PC200	12.13	—	8,596.00	708.50	102.09.04~103.06.30
C1A	PC200	—	12.90	155,262.00	12,035.60	104.06.24~107.11.30
C2	PC200	—	18.65	46,659.06	3,460.90	102.04.21~107.12.31

標別	機具規格	油耗率(L/hr)		總能耗量 (L)	總時數 (hr)	資料期間
		單一機具	平均值			
文獻	PC200, LC-7 中等輸出 ⁽¹⁾	8.9~13.4		—	—	—
	PC200, LC-7 高輸出 ⁽¹⁾	13.4~22.3		—	—	—
	PC228, USLC-3E 0 中等輸出 ⁽¹⁾	9.0~13.5		—	—	—
	開挖機， 0.70~0.79m ³⁽²⁾	14.10		—	—	—
	挖土機，0.7m ³⁽³⁾	17.92		—	—	—
	Hydraulic Excavator KOMATSU PC200-10.8m ³⁽⁴⁾	9.00		—	—	—

備註：(1)小松(KOMATSU)公司機具能耗資料。

(2)施工規範及工料分析，第貳篇施工機具費率分析及工作量計算。

(3)交通部公路總局施工機具費率表。(4)中華工程機具使用費率表。

(二)PC300 系列

A2 標 PC300 平均油耗率為 22.74L/hr，A3 標平均油耗為 16.11 L/hr，A2 標及 A3 標與前段 PC200 系列情形相同，A2 標 PC300 之時數已改為計數器數值；A3 標已於 105 年 4 月申請竣工，故本報告統計至竣工資料為止；C1A 標 PC300 平均油耗率為 13.54L/hr。

若以各標平均值與廠商型錄所載之機具能耗資料作比較，A2 與 A3 標之平均油耗率座落於中等輸出範圍，C1A 平均油耗率座落於低等輸出範圍，C2 標之平均油耗率座落於高等輸出範圍；各標別相關資料彙整如表 4.4.1-5。

表 4.4.1-5 挖土機 PC300 系列單位油耗分析

標別	機具編號	油耗率(L/hr)		總能耗量 (L)	總時數 (hr)	資料期間
		單一機具	平均值			
A2	PC300	—	22.74	742,103.57	32,632.60	102.08.14~107.01.31
A3	ME-田大 12	20.48	16.11	25,636.20	1,251.50	102.03.08~103.07.31

標別	機具編號	油耗率(L/hr)		總能耗量 (L)	總時數 (hr)	資料期間
		單一機具	平均值			
A3	ME-配特 20	13.16		23,234.00	1,769.00	103.06.03~104.09.30
A3	ME-配特 21	14.72		10,155.20	690.00	103.08.14~104.10.31
C1A	PC300	—	13.54	296,728.00	21,915.50	104.06.13~107.11.30
C2	ME-大陸 B01	24.93	26.49	138,032.95	5,536.50	104.01.02~107.12.31
	ME-大陸 B02	23.87		125,076.86	5,240.60	104.01.25~107.12.31
	ME-大陸 B03	28.15		199,598.52	7,090.10	104.03.31~107.12.31
	ME-大陸 B04	28.14		205,510.00	7,303.00	104.08.12~107.12.31
	ME-大陸臨 04	23.23		2,788.00	120.00	104.04.24~104.05.12
	ME-大陸臨 05	14.11		1,065.00	75.50	104.04.28~104.05.14
	ME-大陸臨 08	22.02		1,057.00	48.00	104.07.01~104.07.08
文獻	低等輸出 ⁽¹⁾	10.8~15.4		—	—	—
	中等輸出 ⁽¹⁾	15.4~23.1		—	—	—
	高等輸出 ⁽¹⁾	23.1~38.5		—	—	—

備註：(1)小松(KOMATSU)公司機具能耗資料(PC300, LC-7, PC350, LC-7)。

(三)PC400 系列

目前彙整各標資料，僅 C1A 標使用 PC400 機型之挖土機，故統計之油耗率資料，並無法與其他各標挖土機進行比較，但與小松公司機具能耗資料文獻對照，可知道 C1A 標平均油耗率略低於文獻低等輸出油耗率 19.3~25.7 L/hr 之間，後續其他各標如有相同 PC400 機型，將納入油耗統計進行比較，相關資料彙整如表 4.4.1-6。

表 4.4.1-6 挖土機 PC400 系列單位油耗分析

標別	機具編號	油耗率(L/hr)		總能耗量 (L)	總時數 (hr)	資料期間
		單一機具	平均值			
C1A	ME-東丕(挖土機)-04013	12.37	14.12	58,318.00	4,713.50	104.06.11~107.11.30
	ME-東丕(挖土機)-04014	15.55		57,914.00	3,725.50	104.06.30~107.11.30
	ME-東丕(挖土機)-04015	17.71		51,412.00	2,903.80	104.06.18~107.05.18
	ME-東丕(挖土機)-04031	15.02		77,900.00	5,185.00	104.09.24~107.11.30
	ME-東丕(挖土機)-04032	14.93		77,775.00	5,210.00	104.09.09~107.11.30
	ME-東丕(挖土機)-04034	13.28		59,853.00	4,505.50	105.04.26~107.11.30
	ME-東丕(挖土機)-05004	9.97		23,182.00	2,326.00	105.03.21~107.11.30
C2	ME-長弘	11.23	18.05	6,474.78	576.50	104.03.20~104.06.28
	CH-W05					
	ME-堡順 02	24.86		1,790.00	72.00	106.11.17~106.12.31
文獻	低等輸出 ⁽¹⁾	19.3~25.7		—	—	—
	中等輸出 ⁽¹⁾	25.7~32.1		—	—	—
	高等輸出 ⁽¹⁾	32.1~48.5		—	—	—

備註：(1)小松(KOMATSU)公司機具能耗資料。(PC400, LC-7, PC450, LC-7)。

由各標使用中的挖土機油耗率得知，機具操作時數主要由現場人員以估計方式進行統計，相較於過去 C1 標及 A2 標以計數器統計時數結果，兩者操作時數之精確度尚有些落差，不過本計畫每季仍持續回饋與各標承包商進行檢視，以利承包商檢視其機具使用成本外，亦可提供未來工程機具油耗率推估之加值功能使用。

五、傾卸車

統計至 107 年 11 月底止，相近規格(20~21t)之傾卸車目前共計有 A3 標 2 台、A2 標 11 台及 C2 標 6 台可供進行油耗率彙整分析；另外，本計

畫亦針對 C1A 標南口傾卸車進行短期調查(里程表損壞)，期間為 106 年 1 月 15 至 106 年 4 月 13 日止，相關油耗率及操作數據彙整如表 4.4.1-7。

A3 標傾卸車之單位里程油耗率為 1.16km/L 及 1.24km/L，較 A2 標油耗率高，而 C2 標則在 0.65~0.94km/L 範圍之間，其油耗率平均值為 0.76 km/L 較 A2 標平均油耗率高，A3 標傾卸車油耗率與 C1A 標統計期間 106 年 10 月至 107 年 5 月結果相近，且明顯較 A2 標及 C2 標佳，C2 標及 A2 標油耗率較為相近；本計畫調查發現，影響傾卸車油耗條件較多面向，包括車齡、行駛路線、行駛路面及車重等，故不同情形皆會影響車輛油耗率表現，此部分本計畫亦將持續追蹤與分析。

表 4.4.1-7 傾卸車單位油耗分析

標別	運具編號	油耗率(km/L)		總能耗量(L)	總里程(km)	資料期間
		單一運具	平均值			
A2	北口傾卸車平均	—	0.71	32,922.00	23,326.30	區間調查資料
A2	南口傾卸車平均	—	0.72	114,006.00	81,520.90	區間調查資料
A3	MO-配特 02	1.16	1.20	2,426.62	2,818.45	102.09.30~104.11.30
A3	MO-配特 03	1.24		134,59.14	16,744.00	103.01.31~104.11.30
C1A	南口 6 輛平均 ⁽¹⁾	—	0.41	52,713.00	21,593.84	106.01.15~106.04.13
	MO-(新亞/東丕)23	1.10	1.14	17,602.00	19,428.00	106.10.31~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)24	1.16		9,951.00	11,528.00	106.10.31~107.05.31
	MO-(新亞/東丕)25	1.34		6,650.00	8,908.80	106.10.31~107.04.30
	MO-(新亞/東丕)26	1.19		15,728.00	18,757.00	106.10.31~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)27	1.35		14,241.00	19,182.00	106.10.31~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)28	1.16		6,617.00	7,672.00	106.10.31~107.05.31
	MO-(新亞/東丕)29	1.08		664.00	719.00	106.11.30~106.12.31
	MO-(新亞/東丕)30	0.76		806.00	610.00	106.12.31~107.02.28
	MO-(新亞/東丕)31	1.10		7,328.00	8,040.00	107.04.30~107.11.30
C2	MO-長弘 CH-C01	0.67		0.76	24,105.63	16,255.00
	MO-長弘 CH-C02	0.76	23,819.33		18,064.00	104.01.21~106.03.31
	MO-長弘 CH-C03	0.94	6,102.07		5,763.00	104.05.22~105.01.31
	MO-長弘 CH-C04	0.84	22,557.20		19,038.00	104.06.06~106.03.31

標別	運具編號	油耗率(km/L)	總能耗量	總里程	資料期間
	MO-長弘 CH-C05	0.65	17,124.00	11,097.00	105.01.31~106.03.31
	MO-長弘 CH-C06	0.72	15,789.00	11,419.00	105.02.29~106.03.31
文獻	15T 以上重型車 ⁽²⁾	2.01	—	—	—

備註：(1)出渣位置至洞口距離為推估平均值，洞口至土石方暫置場距離為實測值(1.2km)。

(2)美國國家科學院，降低中型及重型車輛燃油消耗率之技術方法。

六、混凝土預拌車

本計畫納入計算之混凝土供應商如表 4.4.1-8 所示，A1 標混凝土供應商主要為享正及久屋，惟久屋並未提供里程數據，故僅對享正所蒐集資料進行計算，廠內混凝土預拌車之車輛加油量、總出貨方數及每車次單趟運輸距離可供進行統計油耗率，其油耗平均值為 0.096 L/m³-km；A2 標南口工區及 A3 標混凝土供應商主要為宜興南澳廠，針對廠內混凝土預拌車之車輛加油量、總出貨方數及每車次單趟運輸距離可統計能耗平均值亦為 0.096 L/m³-km；C1A 混凝土供應商主要為友誠和平廠，廠內混凝土預拌車提供每月加油量、總出貨方數及每車次單趟運輸距離，進行能耗統計，其油耗平均值為 0.086 L/m³km，友誠、享正、宜興南澳廠油耗率相繼接近。

表 4.4.1-8 混凝土預拌車油耗分析

標別	項目	總載運方數 (m ³)	總能耗 (L)	單趟運輸里 程(km/車次)	平均油耗率 (L/m ³ -km)	資料期間
	廠商					
A1	享正	19,318.00	230,252.00	123.00	0.096	104.03~105.10
A2	宜興南澳廠	158,417.80	456,483.20	30.00	0.096	102.01~105.03
A3						
C1A	友誠和平廠	645,355.50	497,272.00	17.86	0.086	104.04~107.12

七、公務車(不包含客貨兩用車)

本計畫統計 A1、A2、A3、A4、B5、C1A、C2、C3 標公務車油耗、行駛里程資料，相關結果如表 4.4.1-9。由表內容得知機車油耗率 A1、B5、C1A 與 C2 標相近，於 30km/L 左右，而 A1 標油耗率約 22km/L 左

右表現較差。

小客車部分，進一步與經濟部能源局目前最新公告之 106 年車輛能耗指南比較，1,200c.c.~1,800c.c 間之公務車僅有 MO-大陸 01-02 與 MO-02(RCC-6507)油耗率座落於 4 級能源效率，其他標公務車油耗值皆低於 5 級能源效率；1,800.c.c.~2,400c.c.間之公務車油耗率均低於 5 級能源效率；2,400c.c.~3,000c.c.間之公務車亦均低於 5 級能源效率。

經濟部能源局所公布各項平均值主要為理論值，一般行駛油耗率將會低於理論值許多，除少數運具有大於理論值情形外，各標統計油耗率大致相近，本計畫亦將持續統計每季公務車油耗率供承包商參考。

表 4.4.1-9 公務車單位油耗分析

標別	運具編號(規格)	油耗率(km/L)		總能耗量(L)	總里程數(km)	資料期間
		單一機具	平均值			
A1	MO-RA-002(1,700c.c.)	10.22	9.70	7,930.59	81,050.00	102.04.24~106.02.28
A1	MO-RA-001(2,500c.c.)	9.17		8,724.93	80,026.00	102.04.24~106.02.28
A2	MO-1(2,000c.c.)	7.97	8.03	15,655.00	124,812.00	101.12.31~107.02.28
A2	MO-2(2,300c.c.)	8.09		17,459.50	141,240.00	102.01.31~107.02.28
A3	JP-125(1,500c.c.)	11.47	—	3,577.31	41,046.00	102.01.31~104.05.31
A4	MO-004 (2,700c.c.)	7.88	8.99	7,664.73	60,381.00	104.04.30~107.03.15
A4	MO-009 (1,600c.c.)	10.10		1,419.57	14,334.00	106.09.30~107.03.15
B5	MO-中華電信 001 (1,500c.c.)	10.95	9.07	4,800.55	52,540	105.06.01~107.12.27
	MO-中華電信 003 (2,000c.c.)	7.01		1,732.02	12,149	105.06.04~107.05.31
	MO-中華電信 004 (2,300c.c.)	8.93		6,816.15	60,889	105.06.08~107.12.28
	MO-中華電信 005 (2,300c.c.)	7.96		1,396.53	11,113	105.06.29~106.02.14
	MO-中華電信 007 (2,300c.c.)	9.68		5,927.66	57,355	106.02.23~107.12.28
	MO-中華電信 008 (2,300c.c.)	7.97		1,883.62	15,010	107.04.30~107.12.25
	MO-中華電信 010	11.03		412.07	4,543	107.10.16~107.12.27

標別	運具編號(規格)	油耗率(km/L)		總能耗量(L)	總里程數(km)	資料期間
		單一機具	平均值			
	(1,300c.c.)					
C1A	MO-(新亞/東丕)02 (2,700c.c.)	8.65	8.71	5,739.82	49,632.00	104.05.31~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)05 (2,000c.c.)	8.81		8,487.69	74,795.00	104.06.30~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)06 (2,000c.c.)	8.61		10,517.60	90,560.00	104.06.30~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)07	10.79		6,184.83	66,720.00	104.06.30~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)08 (2,700c.c.)	8.88		7,203.24	63,980.00	104.06.30~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)09 (1,500c.c.)	9.83		4,874.88	47,894.00	104.06.30~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)12	8.66		3,272.49	28,336.00	104.06.30~107.11.30
	MO-(新亞/東丕)13 (3,000c.c.)	6.09		3,276.85	19,944.00	104.09.30~106.01.31
	MO-(新亞/東丕)14 (2,500c.c.)	7.60		5,670.47	43,066.10	104.09.30~107.11.30
	MO-蘇建興-08 (2,000c.c.)	9.14		392.15	3,586.00	105.01.31~105.03.31
	C2	MO-大陸 01-01 (2,500c.c.)		9.21	8.35	3,531.61
MO-大陸 01-02 (1,600c.c.)		14.59	6,016.29	87,783.00		104.01.31~107.11.30
MO-大陸 01-03 (2,300c.c.)		9.19	5,067.15	46,542.00		104.01.31~107.11.30
MO-大陸 01-04 (2,300c.c.)		9.59	7,770.21	74,512.00		104.01.31~107.11.30
MO-大陸 01-05 (1,500c.c.)		9.16	4,648.54	42,573.00		104.01.31~105.11.30
MO-大陸 01-06 (2,300c.c.)		7.63	11,946.61	91,098.00		104.01.31~107.11.30
MO-大陸 01-07 (2,300c.c.)		7.06	5,569.00	39,302.00		104.01.31~107.11.30
MO-大陸 01-08 (1,600c.c.)		7.03	11,541.18	81,157.00		104.01.31~107.11.30
MO-大陸 01-09 (1,600c.c.)		5.83	9,810.72	57,173.00		104.01.31~107.11.30

標別	運具編號(規格)	油耗率(km/L)		總能耗量(L)	總里程數(km)	資料期間
		單一機具	平均值			
	MO-大陸 01-17 (2,300c.c.)	9.71		6,650.45	64,552.00	104.04.30~107.11.30
	MO-大陸 01-18 (2,300c.c.)	7.78		6,836.64	53,152.00	104.05.31~107.11.30
	MO-大陸 01-21 (2,300c.c.)	7.06		5,643.73	39,823.00	105.12.31~107.11.30
C3	MO-01(RCC-6501)	11.761	12.52	592.64	6,970.00	107.04.01~107.11.30
	MO-02(RCC-6507)	16.243		1,064.83	17,296.00	107.04.01~107.11.30
	MO-05(RCH-3375)	10.116		261.26	2,643.00	107.04.01~107.11.30
	MO-06(RCH-3376)	11.661		401.07	4,677.00	107.04.01~107.11.30
	MO-07(RCH-3380)	10.875		478.18	5,200.00	107.04.01~107.11.30
	MO-08(RCH-3381)	7.137		86.45	617.00	107.04.01~107.11.30
	MO-09(RCJ-2803)	9.395		192.45	1,808.00	107.04.01~107.11.30
	MO-10(RCJ-2805)	12.047		315.77	3,804.00	107.04.01~107.11.30
	MO-12(RCJ-6729)	8.983		149.51	1,343.00	107.04.01~107.11.30
A1	機車	—	22.90	1,136.02	26,587.00	102.12.31~106.07.17
A2 ⁽¹⁾	機車	—	30.84	3,285.23	101,307.50	102.07.31~107.01.31
A3	機車	—	31.93	3,935.14	129,801.00	102.01.31~105.03.15
B5	機車	—	32.63	136.88	4,423.00	105.06.01~107.11.30
C1A	機車	—	27.25	8,143.04	194,482.90	104.06.30~107.11.30
C2	機車	—	32.48	2,690.23	87,379.00	104.01.31~107.11.30
文獻 ⁽²⁾						
排氣量(c.c.)		5 級	4 級	3 級	2 級	1 級
超過 1,200c.c.~1,800 c.c.		12.9 以下	13.0~14.6	14.7~16.1	16.2~17.7	17.8 以上
超過 1,800c.c.~2,400c.c.		11.3 以下	11.4~12.8	12.9~14.1	14.2~15.5	15.6 以上
超過 2,400c.c.~3,000c.c.		9.9 以下	10.0~11.2	11.3~12.4	12.5~13.6	13.7 以上
超過 100c.c.~150c.c.		41.1 以下	41.2~46.1	46.2~51.1	51.2~56.0	56.1 以上

備註：(1)剔除未記錄里程表數據。

(2)經濟部能源局 106 年車輛能耗指南；小客車油耗測試值對應美國(FTP-75)測試方法之能源效率等級；機器腳踏車油耗測試值對應 CNS3105 測試方法之能源效率等級。

4.4.2 工項單位能耗分析

本計畫將土建標開工至 107 年 12 月止，竣工之工程項目進行單位能耗計算。橋梁部分包括上部結構、墩柱(含橋台)、基礎層、及各式基礎整體橋梁；隧道部分，依照隧道型式與斷面積型式，計算汽/柴油及用電之能耗量，本小節分析結果可提供其他工程具相同工程項目估算能耗值之參考。以下就計算內容、單位能耗及綜合評析進行說明。

一、計算內容

(一)能耗：施工期間機具施作之汽/柴油及用電量。

(二)分析項目

1.橋梁

(1)上部結構：長度×橋面積寬度

(2)墩柱(含橋台)：斷面積×長度

(3)基礎層：斷面積×長度

(4)各式基礎：斷面積×長度

(5)基樁與排樁：斷面積×長度

2.隧道：斷面積×前進米

二、單位能耗

將不同工程項目總能耗除以對應的總面積或總體積後，即可獲得單位能耗，分析結果彙整如表 4.4.2-1 至 4.4.2-3。

三、綜合評析

(一)橋梁

上部結構以施工方法來看，懸臂工法單位能耗最大，尤以 A1 標景觀橋之單位能耗高達 6.8L/mxm，而最低者為白米高架橋之 4.3 L/mxm；墩柱與基礎層部分，各座橋梁單位能耗差異不大，約介於 2.6~3.1L/m²xm 之間；各式基礎部分，白米高架橋與景觀橋因需要承載較重之上部結構體，故單位能耗亦較一般橋梁大，各為 17.2L/m²xm 與 13.5L/m²xm。本計畫亦針對施工中 C 段之基礎進行分析，現階段分析結果顯示，排樁單位能耗較基樁大，約為 3 倍左右。

(二)隧道

由表 4.4.2-3 顯示，隧道總長度與總耗能量成正比，另外，本計畫也針對 C 段正進行開挖之中仁隧道及仁水隧道分析，發現隨著開挖體積越大，用油總能耗及用電總能耗均成正比。

表 4.4.2-1 橋梁及基礎工程單位能耗彙整表

標別	橋梁名稱	上部結構(L/m×m)		墩柱【含橋台】 (L/m ² ×m)	基礎層 (L/m ² ×m)	各式基礎 (L/m ² ×m)	
		能耗	施工方法	能耗	能耗	能耗	型式
A1 標	白米高架橋	4.30	支撐先進	3.10	3.10	17.20	基樁
	景觀橋	6.80	懸臂工法				
	永樂高架橋	6.10	懸臂工法			13.50	井基
A3 標	東北溪河川橋	4.70	懸臂工法	2.60	2.60	13.20	基樁
	幸福高架橋	4.70	逐跨場撐	2.60	2.60	11.60	井基

表 4.4.2-2 C 段基樁/排樁單位能耗彙整表

標別	位置	各式基礎(L/m ² ×m)	
		能耗	型式
C1A	北口橋梁基樁	9.80	基樁
C2	機房擋土排樁	27.70	排樁

表 4.4.2-3 隧道工程單位能耗彙整表

標別	隧道名稱	隧道型式	長度(m)	斷面積型式	斷面積(m ²)	總能耗(L)	總能耗(度)	能耗 (L/m ² ×m)	能耗 (度/m ² ×m)
A1	蘇澳隧道	單孔單向 (眼鏡型)	254.00	開挖斷面積	193.52	269,719.00	1,076,550.00	5.49	21.90
A2	東澳隧道	單孔單向	3,320.00	淨空斷面積	157.60 ^{*1}	2,687,842.00	15,472,884.00	5.10	29.60
A3	東岳隧道	單孔單向 (眼鏡型)	218.00	開挖斷面積	193.52	152,439.00	471,368.00	3.60	11.20
C1A	中仁隧道	雙孔單向	4,800.00	開挖斷面積	230.23	1,440,011.73	22,934,220.00	1.30	20.75
C2	仁水隧道	單孔雙向	2,818.00	開挖斷面積	157.68	1,483,601.42	9,534,300.00	3.34	21.46

*1：因隧道分南北向，故斷面積×2

4.5 一級數據占比

本計畫於第三章內文中已說明目前各係數數據來源，針對目前蒐集之一級係數及排碳量，彙整目前蘇花改土建標各標開工迄今排碳量一級數據占比變化如表 4.5-1 圖 4.5-1。

表 4.5-1 開工迄今各標一級數據占比分析

標別	101	102	103	104	105	106	107
C2	未開工	未開工	17%	16%	60%	87%	88%
C1/C1A	13%	9%	17%	16%	65%	80%	92%
A3	10%	4%	4%	14%	81%	81%	81%
A2	0%	23%	26%	32%	74%	74%	74%
A1	未開工	5%	5%	5%	64%	79%	79%

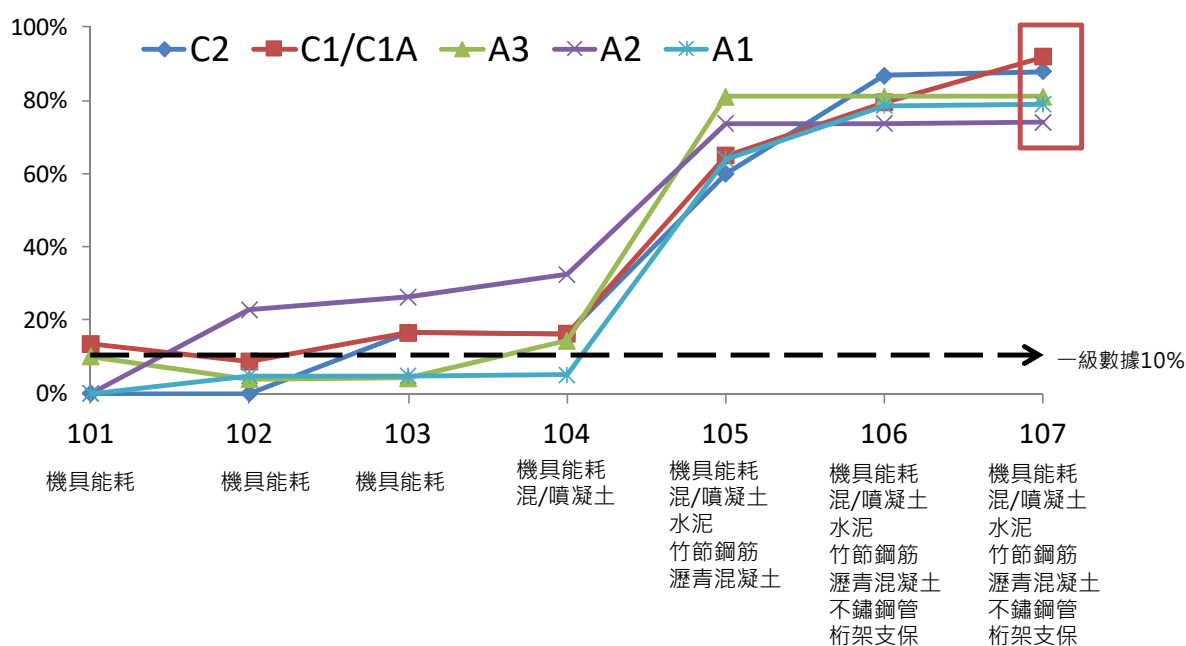


圖 4.5-1 開工迄今各標一級數據占比分析

由圖 4.5-1 可知，一級數據占比在 74%~92%之間，於 105 年度開始逐步開始主要材料供應商盤查，故占比皆有較之前僅用油用與電為一級數據的情

況相比有所提升。

另一方面，因為隧道標機具及場電使用量較其他橋梁標來的高，且場電及柴油皆為一級數據，因此在期初機具能耗的一級數據占比較其他標來的高。

由分析結果亦顯示，若未進行水泥、鋼筋及預拌混凝土供應商之實際盤查，一級數據占比僅為機具部分(101 年度~104 年度)，大幅降低一級數據之占比，顯示供應商盤查之重要性。

本計畫將持續針對各標大宗工程材料使用特性，進行碳足跡盤查，本計畫已於 106 年 12 月份分別拜訪威建及弘浚供應商，並達成共識，蒐集 106 年度桁架鋼支保碳盤查相關資料，依據前述章節之結果 107 年度一級數據占比因工程材料組成而有改變，C 段一級數據占比上升，另支保原料方面是否為一級數據，將與查驗單位確認。本計畫將收集其他工程材料內容，並持續與供應商協調，藉此提升一級數據品質，預計下期進度報告將新增 C2 標鋼橋鋼構一級數據，C2 標一級數據占比將依此上升。

目錄

第四章 蘇花改計畫工程碳足跡盤查結果分析	4-1
4.1 工程碳足跡盤查結果分析研究	4-1
4.1.1 中仁隧道工程(C1A 標及 C1 標).....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4.1.2-3 中仁隧道工程開工迄今材料及機具運輸占運輸排放總量比例分析..	錯誤! 尚未定義書籤。
4.1.2 仁水隧道新建工程(C2 標).....	4-1
4.1.3 南澳和平段機電工程(B5 標).....	錯誤! 尚未定義書籤。
4.1.4 交通控制工程(E1 標).....	錯誤! 尚未定義書籤。
4.2 工程特性與工程碳足跡關聯分析(含環境影響因子探討)	4-9
4.2.1 各標工程特性分析	4-9
4.2.2 設計單位之工程分析建議彙整	4-16
4.2.3 工程特性環境影響因子探討	4-21
4.3 蘇花改 A 段碳排放量計算結果分析	4-50
4.3.1 蘇澳東澳段工程內容	4-50
4.3.2 蘇澳東澳段工程碳排放計算結果-土建標	4-52
4.3.3 蘇澳東澳段管理單位碳排放計算結果	4-55
4.3.4 蘇澳東澳段營運管理期間碳排放計算結果	4-57
4.3.5 蘇澳東澳段一級數據占比計算結果	4-59
4.3.6 蘇澳東澳段數據品質分析結果(查證需求)	4-61
4.3.7 蘇澳東澳段工程特性分析	4-64
4.3.8 蘇澳東澳段工程項目排碳分析	4-80
4.3.9 蘇澳東澳段產出單位排碳量彙整	錯誤! 尚未定義書籤。
4.4 機運具單位油耗調查分析	4-92
4.4.1 常駐機運具調查結果	4-92
4.4.2 工項單位能耗分析	4-104
4.5 一級數據占比	4-108

圖目錄

圖 4.1.1-1	中仁隧道工程開工迄今各類型排碳占工區碳足跡比例分析.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4.1.1-2	中仁隧道工程開工迄今不同工程材料占比分析.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4.1.2-1	C2 標開工迄今各類型排碳占工區碳足跡比例分析	4-4
圖 4.1.2-2	C2 標開工迄今不同工程材料占材料排放總量比例分析	4-4
圖 4.1.2-3	C2 標開工迄今材料及機具運輸占運輸排放總量比例分析	4-5
圖 4.1.3-1	B5 標開工迄今各類型排碳占工區碳足跡比例分析	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4.1.3-2	B5 標開工迄今開工迄今不同工程材料占比分析	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4.1.3-3	B5 標開工迄今材料及機具運輸占運輸排放總量比例分析	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4.1.6-1	E1 標開工迄今各類型排碳占工區碳足跡比例分析.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4.1.4-2	E1 標開工迄今開工迄今不同工程材料排碳量.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4.2.1-2	C2 標迄今不同工程項目之碳排放源占比分析	4-14
圖 4.2.1-3	E1 標迄今不同工程項目之碳排放源占比分析.....	4-17
圖 4.3.2-1	工區碳足跡排放量占比.....	4-53
圖 4.3.4-1	A 段全生命週期碳足跡排放量占比.....	4-58
圖 4.3.7-1	A 段各標工項排碳分析	4-65
圖 4.3.7-2	A 段上構工程單位排碳量分析	4-72
圖 4.3.7-3	A 段下構工程排碳量分析	4-73
圖 4.3.7-4	A 段橋梁工程排碳量分析	4-74
圖 4.3.7-5	A2 標機房排碳量占比分析	4-79
圖 4.3.8-1	A1 標迄今不同工程項目之碳排放量及占比分析	4-81
圖 4.2.8-2	A2 標迄今不同工程項目之碳排放量及占比分析	4-82
圖 4.3.8-3	A3 標土木工程之碳排放源占比分析	4-83
圖 4.5-1	開工迄今各標一級數據占比分析	4-108

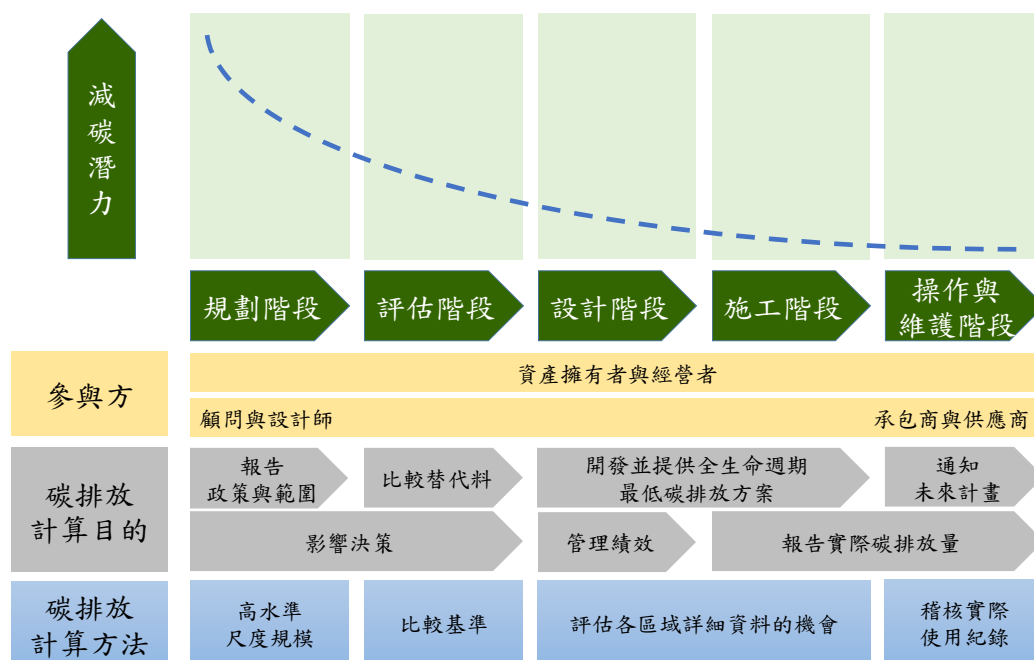
表目錄

表 4.2.1-3	C2 標各工程項目主要施工廠商及工程材料使用	4-12
表 4.2.1-4	C2 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡計算	4-13
表 4.2.1-5	E1 標各工程項目工程材料及機/運具操作使用碳足跡計算.....	4-16
表 4.2.3-1	P33 及 P34 基礎工法差異	4-22
表 4.2.3-2	抽坍處理計算材料.....	4-24
表 4.2.3-3	抽坍處理材料排碳量彙整.....	4-24
表 4.2.3-4	抽坍處理於各岩體排碳量占比彙整.....	4-25
圖 4.3.1-1	蘇澳東澳段工程範圍示意圖	4-50
表 4.3.1-1	蘇澳東澳段主要工程型式.....	4-51
表 4.3.2-1	工區碳排放量計算結果.....	4-53
表 4.3.2-2	契約金額占比與排碳量占比之關係.....	4-54
表 4.3.2-3	機電交控標碳排放量計算分配結果.....	4-55
表 4.3.2-2	工區碳排放量計算分配結果.....	4-55
表 4.3.3-1	本工程管理單位碳足跡計算.....	4-56
表 4.3.3-2	蘇澳東澳段盤查碳排放量計算分配結果.....	4-57
表 4.3.4-1	蘇澳東澳段營運管理期間碳排放量計算分配結果.....	4-57
表 4.3.4-2	A 段營運管理期間碳排放量計算分配結果.....	4-58
表 4.3.5-1	A 段一級數據計算結果.....	4-60
表 4.3.6-1	數據品質指標矩陣.....	4-61
表 4.3.6-2	數據品質計算表.....	4-63
表 4.3.7-1	A 段橋梁工程規格.....	4-66
表 4.3.7-2	A 段工程單位長度排碳量	4-66
表 4.3.7-3	蘇澳永樂段橋梁工程規格.....	4-67
表 4.3.7-4	東澳東岳段橋梁工程規格.....	4-69
表 4.3.7-5	蘇澳永樂段橋梁工項排碳量	4-70
表 4.3.7-6	東澳東岳段橋梁工項排碳量	4-71

表 4.3.7-7	蘇澳東澳段隧道工程規格	4-75
表 4.3.7-8	隧道工程排碳彙整	4-76
表 4.3.7-9	隧道工程排碳彙整	4-77
表 4.3.7-10	A2 標機房規格及計算範疇彙整	4-78
表 4.3.7-11	A2 標機房排碳量計算結果	4-78
表 4.3.8-1	A1 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡	4-80
表 4.2.8-2	A2 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡計算	4-82
表 4.3.8-3	A3 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡	4-83
表 4.3.8-4	A4 標各工程項目機/運具操作及工程材料使用碳足跡	4-84
表 4.3.9-1	A 段各工程項目單位碳排放量彙整-1	4-90
表 4.3.9-2	A 段各工程項目單位碳排放量彙整-2	4-91
表 4.4.1-1	泵浦車單位油耗分析	4-93
表 4.4.1-2	吊卡車單位油耗分析	4-95
表 4.4.1-3	吊車單位油耗分析	4-95
表 4.4.1-4	挖土機 PC200 系列單位油耗分析	4-96
表 4.4.1-5	挖土機 PC300 系列單位油耗分析	4-97
表 4.4.1-6	挖土機 PC400 系列單位油耗分析	4-99
表 4.4.1-7	傾卸車單位油耗分析	4-100
表 4.4.1-8	混凝土預拌車油耗分析	4-101
表 4.4.1-9	公務車單位油耗分析	4-102
表 4.4.2-1	橋梁及基礎工程單位能耗彙整表	錯誤! 尚未定義書籤。
表 4.4.2-2C	段基樁/排樁單位能耗彙整表	錯誤! 尚未定義書籤。
表 4.4.2-3	隧道工程單位能耗彙整表	4-107
表 4.5-1	開工迄今各標一級數據占比分析	4-108

第五章 蘇花改計畫工程節能減碳措施

由土木工程師學會報告(Paul Jowitt, etc., 2012)顯示，基礎設施工程的生命週期包括：規劃、評估、設計、施工以及操作與維護階段；當中最具減碳潛力者初期之為規劃、評估階段，至施工階段減碳潛力空間已較小。故本計畫透過工程減碳措施回顧，以瞭解設計階段相關可行之減碳方案，並思考是否可於施工施作中納入考量；另藉由實際盤查結果之彙整，並納入規劃設計階段擬定之減碳措施項目，確認減碳策略成效；未來將就工程實際施工狀況及文獻建議方案進行比較分析，以瞭解各方案於國內之適用性。以下先就工程減碳措施文獻回顧與本計畫減碳措施及預期減碳效益相關內容做說明。



資料來源：Paul Jowitt, etc., 2012；本計畫繪製。

圖 5-1 基礎設施工程碳排放減量潛勢圖

5.1 工程減碳措施回顧

道路工程的材料和線形及站點等的選擇，通常是由主管機關與工程設計單位在規劃設計階段即決定，而非承包商所能控制；然而在施工期間，承包商具有原

物料、燃料和水、電等能資源使用的控制權，則應可透過有效掌握並控管能資源與物料使用效率，達成溫室氣體排放量控制與減量。

工程承包商可控制溫室氣體排放的潛力所在如圖 5.1-1；其中可發揮較大影響的為機具設備相關的部分，如：燃料選擇、機具選擇及維護與怠速狀況、電力使用，另材料是否再利用亦為承包商可有效掌控的部分。而在材料選擇、人員交通和植被移除則屬可控制但影響力較小的部分。

主要影響項目		
燃料選擇	怠速設備	電力使用
設備維護	機具選擇	材料再利用
次要影響項目		
材料選擇	人員交通	
材料來源	植被移除	
其他影響項目		
場址選擇	結構設計與效能	

資料來源：US EPA, 2009；本計畫彙整。

圖 5.1-1 承包商活動對溫室氣體排放影響的潛力

由此可知，承包商於施工階段可施行的減碳措施，應由施工機具及工程材料兩方面著手：在機具方面，用於道路工程的機具設備類型非常廣泛，從手持設備到重型推土機、從內部的液體或氣體燃料的燃燒控制(相當於圖 5.1-1 承包商可最佳掌控的燃料與設備選擇、設備維護)，或者是從場外發電的電網提供設備電力(為圖 5.1-1 中承包商可最佳掌控的項目之一)，以及圖 5.1-1 提及承包商可最佳掌控的減少設備機具怠速時間等，都是可發展減量措施的考量點。

工程材料方面，由於工程活動的供應鏈和廢棄物管理的整個生命週期排放量都納入排碳量計算範疇，故必須考量的包括所有材料生產、運輸(相當於圖 5.1-1 中承包商可相當掌控的材料選擇與運輸)、使用和再生(為圖 5.1-1 中承包商可最佳掌控的項目之一)與處置的溫室氣體排放。

本節以下即分小節先簡要綜整自計畫開始至今所回顧之工程減碳措施內容重點，再就 105 年度新的文獻蒐集與回顧結果作更新說明。

5.1.1 工程減碳措施回顧歷程與重點

一、美國州道路及運輸官員協會及環保署工程減碳措施

美國州道路及運輸官員協會(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)於 2010 年針對交通運輸工程建造、維護及操作活動提出溫室氣體減量策略，內容建議由五個面向著手，包括：用於道路設施的電力排放管制、行駛於路上(on-road)的車輛排放管制、非行駛於路上(off-road)的機具排放管制、材料使用排放管制及交通管理。並於附件中附上相關排碳係數，如：燈具單位流明排碳量、各式車輛單位里程排碳量、各式施工機具單位工時排碳量、各式材料單位用量排碳量，以及各式燃料單位用量的排碳量等。

彙整美國環保署(US EPA)及美國州道路及運輸官員協會(AASHTO)針對工程減碳措施如表 5.1.1-1，以施工機具及工程材料兩面向進行減碳考量重點整理，並對應提出本計畫參考策略。

表 5.1.1-1 美國 EPA 及 AASHTO 工程減碳措施彙總表

面向	考量重點說明	建議措施	本計畫策略
機具	減少設備活動的數量或選用適合的機具	1. 減少機械設備使用 2. 選擇合適的機具	提供能耗數據供承包商參考檢討
	高機具設備燃料之燃燒效率或改變設備類型、更有效地操作設備	1. 減少空轉 2. 機器的定期保養 3. 人員訓練 4. 設備更新	提供建議措施供承包商參考檢討
	使用替代發動機技術和燃料	—	成本與技術考量下不建議採行
	工程進度控制與施工策略改善	—	提供建議措施供承包商參考檢討
材料	減少所使用的材料量	—	提醒減少損耗
	使用再生材料	—	工程規範考量下不建議採行
	替代性調和方法	—	工程規範考量下不採行

二、世界銀行道路建造與更新之溫室氣體排放減量策略

世界銀行亞太地區運輸部門基於其最小化道路建設和修復溫室氣體排放的目標，提出「道路建造與更新之溫室氣體排放減量報告」(2010)，旨在確定和量化目前道路建設做法的溫室氣體排放量，並從而塑造可供規劃者提出更優質道路規劃、設計方案的工具(RIADEO tool)，藉由明確的建設道路排放和成本分析，輔助更低碳的道路基礎建設開發決策。條列現階段列入 RIADEO 工具中的可行減碳策略，如表 5.1.1-2 所示。

另針對不同減碳方案類型，提出目前對於各可行措施之觀察與減量效果彙整如表 5.1.1-3。

表 5.1.1-2 世界銀行 RIADEO 工具內含之工程減碳方案

減碳面向	方案內容
各面向 All	運輸最佳化 Optimize transport
一般 General	採購與工程契約最佳化 Optimize procurement & contracts
	工區交通管理 Organize workzone traffic management
設備 Equipment/furniture (Materials, Transport, Equipment)	道路安全屏障設置地點最佳化(減少設置量) Optimize location of road safety barriers
	道路照明最佳化 Optimize street lighting
結構、鋪面及大地工程 Structures, Pavement, Earthworks (Materials, Transport, Equipment)	適用性道路線形標準的落實 Implement adapted geometrical standards
	最佳化路線，促使結構最小化 Optimise alignment to Minimise structures
鋪面 Pavement (Materials, Transport, Equipment)	超重管理 Manage overloading
	使用再生料 Use recycling
	考量礫石路或其他表面處理替代柏油/水泥混凝土鋪面 Consider gravel roads and surface treatment instead of bituminous/cement concrete pavements
	確保低粗糙度 Ensure low roughness
鋪面 Pavement (Materials, Transport)	土壤安定化 Soil stabilization
	於設計階段將維護作業納入考量 Take maintenance into account during design
	使用高模量瀝青混凝土 Use high modulus asphalt concrete
	使用溫拌或半溫拌瀝青混合物

減碳面向	方案內容
	Use warm and half warm asphalt mixes
結構 Structures (Materials, Transport, Equipment)	材料使用最佳化 Make optimal use of materials
	使用飛灰於混凝土中 Use fly ash in concrete
	確保鋼材回收 Ensure recycling of steel
大地工程 Earthworks (Transport, Equipment)	使用勞力密集技術進行開挖工作 Use labor intensive techniques for excavation

表 5.1.1-3 世界銀行道路建造與更新之減碳策略成效分析

面向	排放特性說明	減碳策略與效益分析
運輸	工料運輸排放約占總排放量之 30%，且其中有 50%來自於地區性交通 (<25 公里的運輸)	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用高效率運具，例如：採用較高荷載的大貨車可減少 50%的單位貨物運輸排放。 ● 採用其他運輸模式，例如：採用鐵路或水路替代公路運輸，長距離的單位運輸排碳約可減小 17 倍。
施工	岩石開挖較土壤開挖的排放量高 2~3 倍	<ul style="list-style-type: none"> ● 純機械開挖之單位土石方排放量約為 2.2 kgCO₂e，輕型開挖機械(light driller)配合炸藥使用約為 1.2 kgCO₂e/m³，鑽機(drilling rig)配合炸藥使用則約為 1.9 kgCO₂e/m³。顯示鑽炸開挖有明顯的減量效果使用；但鑽機為輕型開挖機械開挖生產力的 2 倍。 ● 採勞力密集度高的方法生產力較低(效率低約 250 倍)，但屬於碳中和行為，可有顯著減量。 ● 相同量體之開挖體積相對於土方填補及運輸的單位排放量約為 2 CO₂e/m³。(與開挖相近)
	生命週期考量下之混凝土鋪面排放高於瀝青混凝土鋪面，複合鋪面的排放量則介於其中；最高(厚水泥混凝土鋪面)者與最低者(瀝青鋪面)間參數差距達 1.6~3 倍	<ul style="list-style-type: none"> ● 鋪面結構最佳化，如：有效利用排放量較低的高性能瀝青混合等鋪面材料，每平方公尺鋪面的全生命週期排放(施工、維護至廢棄)約為 65~175 kgCO₂e/m²；冷混合材料與再生技術排放量較低。 ● 維護階段(以 30 年計)之排碳占比約為鋪面全生命週期排放量的 20~40%，應同時考量建造及維護間的成本與排放。 ● 考量負載規範的影響：不同的路面設計標準(流量負載可能介於 0 和 17%)可能會造成鋪面溫室氣體排放量的顯著差異高達 45%。

面向	排放特性說明	減碳策略與效益分析																				
結構	結構型式對於排放量會有直接的影響	<ul style="list-style-type: none"> ● 結構型式越複雜，則排放量將相對增加；單位橋梁工程排放量約為每單位面積橋面板 3 tCO₂e/m²；基於結構材料對於排放量的影響，特定結構可促成排放減量的比例少於 15%。 ● 鋼材是構築結構體需使用的主要工程材料，在進行排放量計算時，必須考量其排放係數的不確定性，如生產技術與所用能源的差異，可能會對於結構排放量計算結果造成達 30%的影響。 ● 綜整各典型路堤、橋梁及隧道之單位施工排放量如下；應以相同方式進行維護階段排放量分析。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>工程項目 設施類型</th> <th>路堤 (tCO₂e/km)</th> <th>橋梁 (tCO₂e/km)</th> <th>隧道 (@420tCO₂e/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>高速公路</td> <td>2,971</td> <td>74,397</td> <td>75,547</td> </tr> <tr> <td>省道</td> <td>739</td> <td>35,649</td> <td>37,773</td> </tr> <tr> <td>縣道</td> <td>191</td> <td>27,899</td> <td>30,219</td> </tr> <tr> <td>鄉間道路</td> <td>100</td> <td>20,127</td> <td>23,608</td> </tr> </tbody> </table>	工程項目 設施類型	路堤 (tCO ₂ e/km)	橋梁 (tCO ₂ e/km)	隧道 (@420tCO ₂ e/km)	高速公路	2,971	74,397	75,547	省道	739	35,649	37,773	縣道	191	27,899	30,219	鄉間道路	100	20,127	23,608
工程項目 設施類型	路堤 (tCO ₂ e/km)	橋梁 (tCO ₂ e/km)	隧道 (@420tCO ₂ e/km)																			
高速公路	2,971	74,397	75,547																			
省道	739	35,649	37,773																			
縣道	191	27,899	30,219																			
鄉間道路	100	20,127	23,608																			
道路設備及路面裝置	約有 4~23%的鋪面工程排放來自於混凝土或鋼製的阻隔裝置；木製屏障則占較低，約為 2~12%	<ul style="list-style-type: none"> ● 在安全性考量可行的情況下，於設計階段配合道路線型減少設置阻隔裝置的里程，或採用替代方案設置。 																				

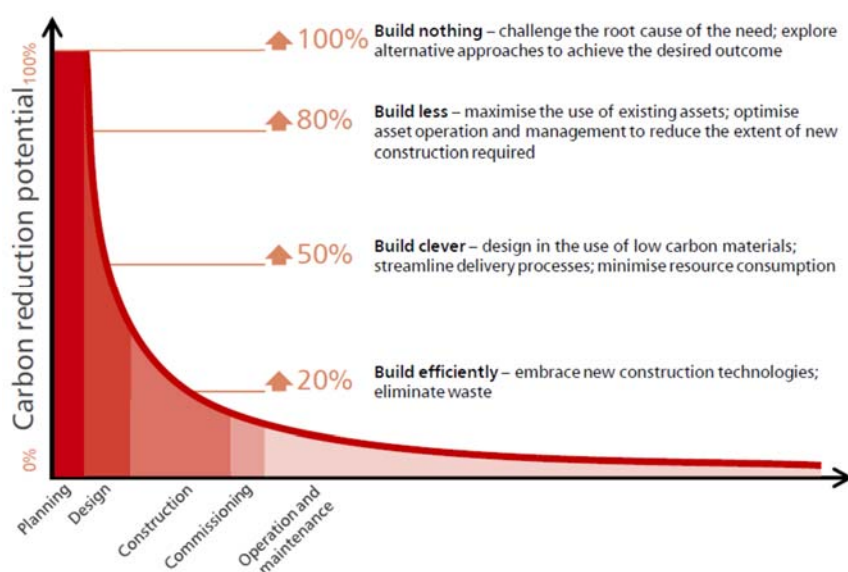
三、英國財政部基礎建設碳回顧

英國財政部(Her Majesty's Treasury, HM Treasury)為負責發展和執行英國政府的公共財政政策和經濟政策的政府部門，為回應英國政府推動低碳營造業的政策走向，於 2013 年 11 月提出英國基礎建設碳回顧 (Infrastructure Carbon Review)報告，目的在於展現基礎建設採行低碳方案的價值。

此報告內容第一章說明英國基礎設施的碳排放情況，顯示基礎建設相關碳足跡目前雖占英國整體碳足跡的 53%，但 2025 年、2050 年預計將再升高至 80%、90%；現階段而言，與基礎設施建造、營運直接相關的排放約占英國總碳足跡的 16%，但其餘 37%源於基礎建設使用的排放也都將需要靠基礎設施的改變才得以減量。

另就於基礎設施各階段減碳潛勢比例和標的有詳盡的說明：可行性

評估或規劃階段若決定採行零方案(不建造)則相當於 100%減量；設計階段前期若能採行最小規模開發方案、盡可能使用既存設施並將其營運管理效能最佳化，促使新建工程最小化，則減量潛勢在 80%以上；設計階段後期若能採行低碳考量：採用低碳材料、最佳運輸路線、資源用量最小化等，則減量潛勢在 50%以上；一旦進入施工階段，則減碳作為相形有限，即施工作業的改善或減廢等，減碳潛勢大約僅 20%；如圖 5.1.1-1。



資料來源：HM Treasury, 2013。

圖 5.1.1-1 英國基礎設施碳排放減量潛勢圖

除了由工程生命週期解析，此報告第一章還提到在供應鏈考量下、任何基礎設施的利害相關者對於減碳都有相對應的角色，例如：供應商和製造商應在材料生產技術上創新、尋求低碳化的解決方案；設計者和技術顧問應著手於低碳的設計，甚至應該在工程計畫決策前即執行，但經驗上顯示設計開始前工程的絕大部份內容皆已有定案，始得工程整體排碳和成本無法透過設計者顯著地被減少。承包商若沒有契約要求或客戶提供的激勵和獎勵，較難跳脫照舊辦理的窠臼；客戶雖希望能展示在減碳議題上的認知和實踐，並與營運管理成效作連結，但還需要規範和產業條件等的支持。

第二章重點在於介紹可減少組織和供應鏈碳排放的可行步驟，但相

較於執行面、可量化減碳量的措施，此報告所著重的是如何由組織管理切入、推動減碳管理策略的概念，主要包括五大項，包括：(一)有效的領導；(二)溝通與文化；(三)量度和管理；(四)創新和標準；及(五)商業解決方案。最後第三章則是延續第二章的 5 大組織管理面向對於基礎設施領域後續產生更廣泛變化的 10 項行動(Action)建議。

針對此份報告中：不建造即相當於 100%減量的說法，應強調是僅適用於基礎設施的開發建造具可取代性的一種減量方法。以蘇花改工程計畫為例，係在社會、經濟與環境各面向權衡與考量下，認定有其開發必要性、屬於無可替代必須推動的建設計畫，則應強調在其生命週期各階段納入低碳考量，以追求減量最大化為工程碳管理的目標，而不適合以不開發為減碳作為而抹滅建設本身的價值。

5.1.2 日本工程碳管理及減碳措施

一、日本建設工程碳管理計畫

日本為因應地球溫室氣體排放問題，內閣會議於 2007 年 6 月 1 日通過「21 世紀環境立國戰略」法案，基於日本社會之永續經營理念將以「低碳社會」，「與自然和諧相處社會」和「循環型社會」為主要構築目標。國土交通省依據「國土交通省環境行動計畫(平成 16 年 6 月)」，重新制定「環境行動計畫 2008」，在各項不同領域及減碳計畫中，由於土木、建築等相關工程之碳排放量估算占日本全產業約 20%，因此在建設工程方面進行碳管理，實施相關減碳措施，分別說明如下。

(一)建設施工減碳措施

對於建設工程之碳管理與相關的減碳措施或對策，係以採用高效率工法、使用低耗能建設材料、並且減少建設材料之使用量等方面著手，執行建設工程之發包單位或者是設計單位；現場進行工程施工計畫之施工單位等，其相關工法的選定、所使用建材、施工機具等碳排放量之計算方法等可參考由國土交通省於 2003 年制定之「建設施工における地球温暖化対策の手引き」(建設工程減碳策略手冊)同時對於工程現場直接使用施工機具者，為減低燃料的消耗量，達到節能目的，

要求管理人員必需作成機具省能操作運轉手冊，以推廣現場施工機具之節能操作運轉。

(二) 低碳機具能耗認定制度

國土交通省為達成京都議定書之減碳目標，於 2007 年 11 月提出，減少二氧化碳排放量之施工機具認證制度，於 2013 年 6 月改版，提出「低炭素型建設機械の認定に関する規程」，此規程主要是針對土木建設及河川、道路與其他設施的管理作業的機具，訂定低碳認證制度，鼓勵建設機具之製造業者，藉由提高動力傳輸效率、燃油效率等功能以達到節能省碳效果，減少碳排量，而施工業者在購置此類獲得節能認證之建設、施工機具時，也可享有低利貸款優惠。

該規程可認定為低碳建設機具者如下：

1. 具備電動機及以柴油為燃料之內燃機，可將機械動能轉為電能，並具備充電於蓄電裝置機能的機具；
2. 具備以柴油為燃料之內燃機，可將機械動能轉為電能，並具備充電於蓄電裝置機能的機具；
3. 可將蓄電裝置的電能轉為動力驅動電動機之機具；
4. 可藉電線由外部電力作為其動力驅動電動機之機具；
5. 以柴油為燃料之內燃機驅動發電機，將其電能作為動力驅動電動機之機具。

由上述幾點可知，日本的低碳機具認定標準必須是油電混合或是由電力驅動的機具，而為使機具的使用者可判斷省能效果，其油耗率評估值計算方式，係統一將機具標準動作的用電排碳量，轉換為相同排放的柴油用量，利用柴油消耗量來表示。

該規程並設有建設機具油耗率基準值(如表 5.1.2-1 所示)，作為低碳機具認證的標準，若要取得認證，須向國土交通省綜合政策局公共事業企劃調整課提出，提出後 3 個月內需審畢，並通知結果才能達到低碳機具之標準。

表 5.1.2-1 日本低碳機具油耗率基準值

標準挖斗體積 (m ³)	油耗基準值 (kg/標準動作)	油耗基準值 (L/標準動作)*	國內油耗基準值 (L/hr)**
0.25~0.36	4.3	5.2	—
0.36~0.47	6.4	7.7	—
0.47~0.55	6.9	8.3	—
0.55~0.70	9.2	11.1	8~12
0.70~0.90	10.8	13.0	9~17.92
0.90~1.05	13.9	16.7	—
1.05~1.30	13.9	16.7	23.1~38.5
1.30~1.70	19.9	24.0	32.1~48.5

備註：標準動作：機具操作 1 小時(操作 75%、行進 10%、待機 15%)。

*本計畫換算，密度以能源局民國 103 年能源統計手冊中高級柴油密度 0.8304 kg/L 計。

**國內油耗值係參考中華工程機具使用費率表。

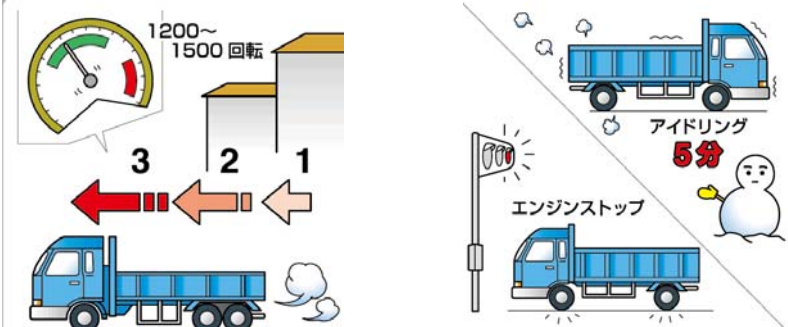

二、施工機具能減碳作法

如前所述，日本針對營建工程機具之管理特別制定了低碳機具認證制度與能耗量測定標準，國土交通省所制定之省能機具，其條件為屬於油電混合或是由電力驅動的機具。

日本所制定之低碳機具認證制度自 2007 年起公布，截至 2014 年 7 月為止，已有 30 種類之機具獲得認證，主要機具形式為挖土機，主要原因在於其政府鼓勵機具商研發，並提供了優惠貸款制度，供施工廠商購置節能機具。

此外，根據日本建設業連合會 2008 年對於建設工程施工能源之排碳比例調查，以使用柴油之現場機具排碳占 43%、卡車行駛排碳量占 26% 為最高，因此該協會針對卡車、挖土機及起重機提出了機具節能運轉的方法說明書，經過其研究團隊實際的測試，若採用該節能運轉手冊的方法操作，可有效節省燃油量，亦可減少機具的損耗汰換，考量整體效益約可減少 25% 之燃油使用費用(日本建設業連合會，2010)。以卡車及挖土機操作為例，可能的省油方案如表 5.1.2-2。

表 5.1.2-2 機具節能運轉方案

機具	省能方案
<p>卡車</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 避免不必要的空轉待機時間，停車時間超過 20 秒建議熄火 ■ 建議冬天暖車 5 分鐘即可 ■ 盡量保持一定速度行駛，避免不必要的加速急駛 ■ 將車輛維持在轉速 1,200~1,500 RPM 之間 ■ 建議在高速公路維持 80 km/hr、一般道路 50 km/hr 
<p>挖土機</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 選用挖土機的節能模式 ■ 避免不必要的空轉，五分鐘 ■ 減少迴轉角度 ■ 兩段式開挖、挖掘角度控制在 30~40 度之間 ■ 定期檢查 

資料來源：日本建設業連合会，2010。

5.1.3 橋梁工程設計減碳策略

印度學者 Saibaba (2013)以永續設計及建造為概念，探討長跨徑橋梁工程設計之地點、配置、工程材料，並提出相關施工技術之排碳減量策略，本計畫節錄各項目之相關內容說明如後。

一、地點

橋梁工程之地點選擇方式如下：

- (一) 根據既有區域的現況發展，選擇可提供交通連結、促進發展及觀光發展之場址。
- (二) 選擇對環境影響最小及土地使用最少之場址。
- (三) 選擇可節省交通時間及運輸車輛燃料使用量之場址。

二、配置

橋梁配置內容包含橋梁的型式、材料、工法、車道配置、跨度及其他主要的幾何特徵，各種配置方式皆須先經過調查，相關配置應考量之項目如下：

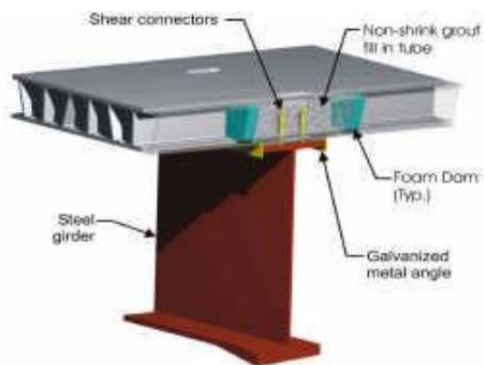
- (一) 未來新建車道之設計應避免大量修復及增設橋梁之需求。
- (二) 設置共乘(Carpool)及公車專用之車道，鼓勵高乘載車輛(High Occupancy Vehicles, HOVs)運輸方式。
- (三) 設置之專用車道可做為未來輕軌或巴士之車道用途。
- (四) 設置自行車及行人專用道。

三、工程材料

橋梁工程材料之選擇於設計階段相當重要，應針對施工場址、未來維護及回收之考量，選擇合適的材料，材料選擇方式及項目說明如後。

- (一) 選擇當地的工程材料，以減少材料運輸對環境的影響並可支持當地的經濟發展。
- (二) 一般大宗材料之混凝土，選用添加替代原料如飛灰、礦渣及其他回收原料等之混凝土。
- (三) 新型材料選用：
 1. 高性能與超高強度混凝土：具有高強度及高耐用特性，可有效降低橋梁各組件的體積，進而降低總成本及維護工作負荷。
 2. 預發泡混凝土(Prefoam concrete)：具有重量輕及施工容易之特性，但不適合用於高強度的位置。
 3. 碳封存混凝土(Carbon sequestered concrete)：材料於預鑄場使用CO₂進行養護作業，可將CO₂封存於混凝土中。

4. 自充填混凝土(Self Compacting Concrete)：自充填混凝土進行泵送作業時，可有效降低施工過程之噪音及震動。
5. 自養護混凝土(Self Curing concrete)：與聚合物混和之混凝土，當水資源缺乏時可使用此產品。
6. 水泥替代品(Cement Replacement)：利用具有豐富資源的飛灰、矽灰或 GGBFS 替代水泥材料，替代比例可高達 50%並增加材料之耐用性及耐化學性。
7. 再生材料(Recycled materials)：如利用水庫淤泥之廢棄物等再生材料，製成輕質混凝土材料等產品。
8. 玻璃纖維(Fibre Reinforced Polymer, FRP)：FRP 材料之複合橋面板適用於既有橋梁修復以及新建的橋梁，如圖 5.1.3-1 所示，其特性如下所述：
 - 良好的耐久性(抗腐蝕與抗疲勞)；
 - 重量輕，減少 80%重量(與混凝土比較)；
 - 使用壽命高，增加 2~3 倍壽命時間；
 - 快速安裝，減少一半的安裝時間；
 - 可降低生命週期成本。
9. 人造砂(Manufactured Sand)：人造砂製造的原物料來自岩石，可作為低品質的泥砂與黏土之原物料，以替代水及水泥之原料添加。
10. 輕質骨材(Synthetic lightweight aggregates)：輕質骨材可由水庫淤泥及飛灰等廢棄物製造而成，可做為混凝土之原料，其製成的混凝土強度可達 50 MPa。
11. 建材廢棄物再生之混凝土(Concrete with recycled construction wastes)：此類型之混凝土可應用於橋梁工程之擋土牆、鋪路磚、排水板及路面鋪築等。
12. 再生塑料緣石：由再生塑料製成，具重量輕的特性而易於運輸、安裝及拆解，甚至於使用壽命結束後具有回收利用的價值。



資料來源：A. Saibaba, 2013。

圖 5.1.3-1 玻璃纖維(FRP)橋面板設計與應用

四、施工技術

(一) 整體式橋梁(Integral Bridge)：無伸縮縫及支承，適用於中跨度之橋梁，如圖 5.1.3-2 所示。



資料來源：A. Saibaba, 2013。

圖 5.1.3-2 整體式橋梁案例

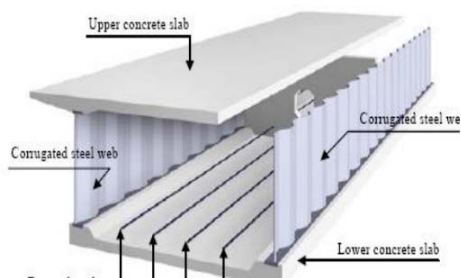
(二) 鋁合金橋面板(Aluminum alloy bridge decks)：鋁合金已廣泛應用於橋梁結構，具有重量輕、高比率的強度/重量(Strength/Weight)之特性。另考量橋梁的生命週期成本，鋁合金橋面板具有明顯的優勢，如圖 5.1.3-3。

(三) 波形鋼腹板複合橋(Corrugated steel-web composite girder bridge)：波形鋼腹板較混凝土之結構少 15%重量，如圖 5.1.3-4 所示。



資料來源：A. Saibaba, 2013。

圖 5.1.3-3 鋁合金橋面板應用



資料來源：A. Saibaba, 2013。

圖 5.1.3-4 波形鋼腹板設計及應用

(四) 預鑄橋墩(Precast Piers)：都市區域新建橋梁易造成公共交通中斷，預鑄工法可縮短施工期間並可維持周遭環境整潔，以降低鄰近區域交通之影響，如圖 5.1.3-5。



資料來源：A. Saibaba, 2013。

圖 5.1.3-5 預鑄橋墩應用

5.1.4 歐盟綠色採購之運輸減碳策略

在歐盟公路設計、建造及維護綠色採購「作業文件」中之 B16 準則為骨材運輸時二氧化碳排放之要求，屬於獎勵標準，鼓勵在主要道路要素之材料運輸過程中降低二氧化碳排放量；而在「技術報告及準則提案」文件中則有更明確之說明，以下就前述文件提及之技術及準則提案內容進行說明。

一、材料運輸二氧化碳排放之技術背景與討論

運輸大體積、大重量的材料，例如骨材(或稱粒料，包含天然、再生及二次等)是一個潛在的環境影響熱點，特別是在回收或副產品材料的運輸過程中可能會有減少溫室氣體排放的機會。骨材、預拌混凝土(骨材重量通常占 75-80%)及瀝青混凝土(骨材重量通常占 90-95%)之骨材重量很容易就會占全部運輸材料重量的 90%以上，而這些材料的運輸通常是使用卡車，因此將造成運輸車輛燃料使用的溫室氣體排放，且這些燃料使用的排放通常會高於或等於這些材料在生產過程中的排放。若這些材料的運輸距離大於 25 公里，其運輸過程中的溫室氣體排放對環境造成的影響將會是顯著的。

由該文件蒐集之文獻指出，若卡車運輸距離從 25 公里增加到 50 公里或 200 公里，瀝青混凝土運送至工地過程中的溫室氣體排放將會增加 6%到 13-29%，且用在道路底層及基層的非膠結粒料在運輸過程中的溫室氣體排放將會增加 50%到 66-89%。

另有文獻亦提及，當預拌混凝土之骨材製造的溫室氣體排放占比達到 0.8%到 5.4%時，運輸距離的變化也將會是重要的考量面，其相對於整體的溫室氣體排放將會有 3%到 20%的影響。進一步的數據顯示，雖然運輸距離變化的可能性較小，但即便如此運輸距離依舊可能有重大影響，例如卡車運輸的距離從 25 公里增加到 50 公里或 200 公里，預拌混凝土運送至工地過程中的溫室氣體排放將會增加 1.3%到 2.5-10%。根據上述的研究結果，使用回收的粗骨材來替代天然骨材的減碳成效可能會被其更大的運輸排放所掩蓋，而這個發現也被最近水泥業的生命週期評估研究所支持。

在第一次的技術報告草案中有提出單獨的材料運輸準則，但根據文獻的說法，若有一個條款僅根據承包商材料運輸的距離來罰款，將可能造成歧視行為。許多利害相關者指出並沒有必要將材料運輸的距離列為一個單獨的準則，因為運輸的成本通常直接決定運輸距離的增減。根據利害相關者的說法，回收材料及副產品的運輸距離通常比天然材料低。

另有文獻指出，回收材料的運輸距離與成本也不一定都低於天然材料，可能還有其他的影響因素，像是材料製造的排碳量及運輸的方式等，也將同時對成本及環境衝擊造成影響。大體積、大重量的工程材料，例如天然骨材、再生骨材及二次骨材等有相對較低的排碳量，卻造成相對較高的運輸排放，也因此材料運輸的方式也是該考慮的相關項目。就運輸方式來說，公路運輸的碳排放密集度是鐵路的4倍、散裝航運的37倍。

另一個議題是關於處理場收受及破碎營建廢棄物的效益，這可能會依當地對於再生骨材的需求而有所變動，因此若卡車的運輸距離較長將有可能提高再生骨材的價格。在此情況下，為了避免更高的溫室氣體排放，必須使用較低排放的大量運輸方式，像是鐵路或航運。例如鐵路設施可以用來解決地區之間再生骨材供需不平衡的問題。

關於材料和運輸之減碳，有文獻提出整合總燃料消耗及材料運輸的單位體積運輸距離的估算及監測準則；並有文獻建議將包含材料數量及運輸的溫室氣體排放(使用國家層級或國際層級的溫室氣體計算器來估算)，當作標準招標文件中要求項目的一部分。目前國際上已經有已開發或開發中的碳足跡計算方法來支持使用回收材料並將相關的運輸距離降到最低。

瑞典的交通管理局已經訂有卡車及施工機具的要求，有些施工機具已經在使用 GPS 來量測開挖及回填的土方數量(非強制性的)，然而在所有的施工機具上裝設精確的油量計是一個跟成本效益有關的問題，因此亦有討論過藉由施工機具的保養維護來量測燃料的使用量。

考量就所收到的回饋意見，且為了避免產生排除非本地供應商的情況，文件中建議將運輸重點放在溫室氣體排放量，而非材料運輸的延噸

公里。因此材料的運輸距離只能在設計階段已經有明確設計資料的時候，由設計團隊說明，對於主要的承包商來說這將會是一個明確的工作項目，他們必須提出(或改善)材料運輸計畫以使運輸每噸材料的溫室氣體排放不會超過設計的要求。

二、材料運輸二氧化碳排放(減量)之提案內容總結

在準則訂定過程中經由二次磋商，並彙整利害相關者回饋意見，作為準則內容訂定之參考，主要回饋重點包括：運輸方式應列入考量；在設計階段並不建議預先設定限制承包商的資格條件而發布一個競爭性招標，如此可能造成某些承包商可能會因為擁有特殊的權利或是當地拌合場及採石場的經營權而較具優勢，因此使用定性的永續發展計畫可能會比較合適。

依據該文件總結內容，彙整運輸減碳建議如下：

- 若骨材運輸距離大於 25 公里，其運輸過程中的溫室氣體排放對環境造成的影響將會是顯著的。
- 骨材運輸是瀝青混凝土、預拌混凝土及道路底層和基層使用骨材之主要環境影響熱點之一，並隨著運輸距離而改變；材料運輸通常對於每個道路工程都是獨特的。有關運輸距離增加對於瀝青混凝土、預拌混凝土及骨材在運輸排放所造成的影響，瀝青混凝土將會增加 6%到 13-29%；預拌混凝土將會增加 1.3%到 2.5-10%；而用在道路底層及基層的骨材則將會增加 50%到 66-89%。
- 材料的運輸方式是個特別重要的考量面。運輸這些大體積、大重量的材料通常是使用卡車，其碳密集度是鐵路的 4 倍、散裝航運的 37 倍。為了將運輸相關的排放降到最低，選擇使用較低衝擊的運輸方式，例如鐵路或航運等來運輸這些材料將會有所幫助。
- 建議將這個準則結合回收材料的準則以得到更完整的環境效益，而這始終都應該基於對當地市場狀況的瞭解(例如當地的回收能力及運輸設施等)，且藉由在邀標書中訂定並明確說明兩個準則的權重可以確保招標的有效競爭及獎勵，以達到最佳的整體環境效益。

5.1.5 綠道路評估指標減碳措施

綠道路評估系統即透過不同指標評析道路工程的永續作為，指標分為 2 大類-計畫要求及自選指標，其中自選指標又分為 5 大面向，包含材料與設計、施工活動、公共設施控制、環境與水、公共設施控制，各項指標如前述第 2 章節表 2.2.2-1 所示。

其中與減碳相關的減碳措施及指標評估標準如表 5.1.5-1 所示，計畫要求面向中，由於此面向為必要文件，綠道路案例皆需建置道路生命週期之能耗與碳排放資料；材料與設計面向部分，保留與再利用、再生材料、本地材料與長壽設計為有效降低道路之全生命週期排碳量之措施；施工活動面向即道路施工期間，減碳措施包含機具油耗效率提升、減少機具廢氣排放量、追蹤用水量及快速施工；環境與水面向部分，應儘可能減少土方作業及飲用水之使用；公共設施控制部分，則是營運期間之減碳作為，包含電動車設施、減少能源消耗、使用替代能源及減少交通運具之排放。

表 5.1.5-1 綠道路評估指標減碳作為

面向	指標	減碳作為	指標分數評估標準
計畫要求	PR-2 能源及碳足跡	<ul style="list-style-type: none"> ● 建置道路生命週期之能耗與碳排放資料庫，內容包含： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 原生/再生材料種類與總重 ✓ 材料運輸距離 ✓ 施工機具總類 ✓ 道路服務年限 ✓ 道路養護週期與方式 ✓ 生命週期之總能源使用 ✓ 總碳排放當量值 	基本門檻指標
材料與設計	MD-1 保留及再利用	<ul style="list-style-type: none"> ● 再利用既有鋪面或道路結構與材料： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 熱拌瀝青混凝土 ✓ 水泥混凝土 ✓ 未膠結顆粒/穩定基材 ✓ 結構：基礎、橋面版、橋台及牆面等 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鋪面或道路結構材料再利用體積比例達 50%、60%、70%、80%、90%分別可得 1~5 分指標分數
	MD-2 再生材料	<ul style="list-style-type: none"> ● 鼓勵使用再生材料替代原生材料： 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鋪面或道路結構再生材料重量比例(%)： ● 採膠結材、鋼筋、骨材及鋼材之再生

面向	指標	減碳作為	指標分數評估標準
		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 膠結材及鋼筋：水泥、瀝青膠泥、鋼筋、綴縫筋等 ✓ 瀝青混凝土/水泥混凝土原料與添加物 ✓ 底層、回填材料、地盤改良材料、膠結或未膠結底層 ✓ 標誌、標竿、管涵、交控構造物及護欄等 	<p>材料比例達 8%、18%、28%、38%、48%分別可得 1~5 分指標分數</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 除上述材料，統計所有使用的再生材料比例達 20%、30%、40%、50%、60% 分別可得 1~5 分指標分數
	MD-3 產品環境宣告	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用具有產品環境宣告(EPD)工程材料，提高材料造成環境衝擊的透明度 	<p>產品環境宣告(EPD)需準備下列文件，即可獲得 2 分指標分數：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 產品供應商 ● 執行單位及執行準則 ● 生命週期範疇 ● 衝擊評估指標數量 ● 產品特性和工業製程數據 ● 生命週期評估依據標準 ● 使否由獨立第三方單位撰寫 ● 是否具公正第三方單位認證 ● 第三方單位人員專業資格 ● EPD 執行費用
	MD-5 本地材料	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用鄰近區域之材料： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 選用運輸距離小於 80 公里之材料與供應商 ✓ 減少工程材料之運送距離 	<ul style="list-style-type: none"> ● 選用本地材料運輸距離小於 80 公里之材料費用比例達 50%、60%、70%、80%、90%分別可得 1~5 分指標分數 ● 記錄所有材料之運輸距離及重量，累計 95%以上重量比例時，其中最大的運輸距離小於 804km、543km、362km、241km、161km 分別可得 1~5 分指標分數
	MD-6 長壽設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 長壽設計： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 新建或重建既有鋪面設計年限採 40 年 ✓ 新建或重建既有主要結構設計年限採 75 年，或服務年限 100 年以上 ✓ 計畫範圍於 8 年內無修建計畫 ● 延長既有設施壽命，修建範圍須達計畫行車面積 95%以上，並符合下列條件： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 既有設施年齡達 8 年以上 ✓ 前次維修為 5 年以前 ✓ 近 2 年內執行過設施檢測 	<ul style="list-style-type: none"> ● 長壽設計面積占總行車面積比例 50%、60%、70%、80%、90%分別可得 1~5 分指標分數 ● 延長既有設施服務年限(比例)達 5 年(20%)、10 年(40%)、15 年(60%)分別可得 1~3 分指標分數 ● 其他加分項目可得 1 分指標分數

面向	指標	減碳作為	指標分數評估標準
		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 設施已被明文要求進行養護、維修或重建 	
施工活動	CA-4 機具耗油效率	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少施工機具之化石燃料，以天然氣、生質燃料或油電混合等新型機具/設備取代化石燃料的傳統施工機具。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 非化石燃料施工機具操作時間比例達10%以上可得1分指標分數
	CA-5 減少工區排放量	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少施工機具的廢氣量： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 提升機具燃油效率 ✓ 機具進行減排改造或引擎升級 ✓ 機具使用潔淨能源 	<ul style="list-style-type: none"> ● 具廢氣減排能力施工機具操作時間比例比例達10%以上可得1分指標分數
	CA-6 用水追蹤	<ul style="list-style-type: none"> ● 管理施工活動的用水量： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 追蹤並記錄水資源使用 ✓ 使用非飲用水源 	<ul style="list-style-type: none"> ● 紀錄施工活動的用水可得2分指標分數 ● 紀錄施工活動的用水且水源100%為非飲用水可得3分指標分數
	CA-7 快速施工	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少施工期間之交通延遲： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 施工期間不影響尖峰交通運行 ✓ 提前完工 	<ul style="list-style-type: none"> ● 交通影響最小化 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 不影響尖峰交通可得1分指標分數 ✓ 節約用路人成本本達10%以上可得1分指標分數 ● 工期減少5%、10%分別可得1~2分指標分數
環境與水	EW-6 土壤管理	<ul style="list-style-type: none"> ● 將土方作業最小化： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 不使用外運土方填方 ✓ 挖方不外運 ✓ 改善土方運輸效率 	<ul style="list-style-type: none"> ● 下述方案最每項可得1分，累計最多可得3分指標分數： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 填方不使用運進土壤 ✓ 挖方土壤不外運 ✓ 挖填方差異不超過10% ✓ 土方運輸效率改善達10% ● 下述方案最累計最多可得3分指標分數： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 遭污染土壤100%進行整治(3分) ✓ 使用堆肥改良土壤(1分) ✓ 土方堆置不超過2週(1分) ● 移除遭污染土壤(1分)
	EW-7 節水管理	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少可飲用水源之使用： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 種植不須澆灌之植生 ✓ 使用非飲用水源澆灌 ✓ 提升澆灌系統用水效率 	<ul style="list-style-type: none"> ● 下述方案最累計最多可得3分指標分數： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 使用不須澆灌之植生種類(1分) ✓ 僅使用非飲用水源進行植生澆灌(1分) ✓ 僅使用工址逕流水進行植生澆灌(1分) ● 提升用水效率達30%、60%、90%分

面向	指標	減碳作為	指標分數評估標準
			別可得 1~5 分指標分數
公共設施控制	UC-3 電動汽車設施	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少道路營運階段之汽車排放： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 電動汽車設施可行性研究 ✓ 設置電動汽車設施 	<ul style="list-style-type: none"> ● 完成電動汽車設施可行性研究可得 1 分指標分數 ● 設置電動汽車設施得 2 分指標分數
	UC-4 能源效率	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少道路營運設備之能源消耗： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 減少能源使用：安裝可減少電力需求之設備與控制系統 ✓ 能源效率提升：選用耗能最小化之用電設備 	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少營運設備能源使用比例達 20%、40%、60% 分別可得 1~3 分指標分數 ● 提升營運設備之能源效率比例達 20%、40%、60% 分別可得 1~3 分指標分數
	UC-5 替代能源	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少營運階段之化石燃料使用，使用替代能源設備 	<ul style="list-style-type: none"> ● 採用替代能源比例達 50%、100% 分別可得 1~2 分指標分數，另替代能源比例達 100% 且產生 25% 以上之電力回饋至電網可得 3 分指標分數
	UC-7 減少交通排放量	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少通車後之汽機車空氣污染及溫室氣體排放： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 表列減排方案及各方案之減量與成本 ✓ 採用碳抵換(carbon offsets)方式進行溫室氣體減量 	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少交通排放量或交通量(VMT)比例達 20%、40%、60% 分別可得 1~3 分指標分數

5.1.6 國際減碳措施執行狀況評估及彙整

本計畫彙整開工迄今收集之減碳措施，並就本工程是否採用及原因進行說明，彙整如表 5.1.6-1。本工程已參考及採行之國際減碳措施於本節與 5.2 節說明，蘇花改工程無法納入執行或者進行評估之措施則在此節說明。

施工工法方面，部分國際減碳措施多於設計階段即確定或者依據現地情況決定工法，主要決定權在設計單位，故本計畫僅回饋相關資訊予承包商，供其參考。另波形鋼腹板複合橋已納入本工程 A1 標設計之中，本計畫已於前期報告說明其成效，惟就排碳量計算結果而言，因為鋼材係數較高，另缺乏非採用波形鋼腹板之詳細設計資料(含下構之影響)，故本計畫僅計算上構波形鋼腹板複合橋之減碳效益並不明顯。

機具方面，各國皆有提出機具減碳措施，惟減碳效益較難量化，故本計畫僅提供盤查結果之油耗資料予承包商，作為承包商自主管理之參考。

材料方面，減碳措施包括減少材料使用(材料使用最佳化)、再生材料替

代及創新材料等；本工程於設計階段已採以高強度鋼筋替代低強度鋼筋之設計策略，減少鋼筋使用，其減碳效果曾於估算階段進行評估，A2、A3、C1及C2標共四個標別之減碳成效約3,737 tCO₂e，後續將再就整體盤查結果盤點實際減碳成效；另設計階段亦將飛灰及爐石粉替代水泥納入減碳措施，並由盤查結果確認相關減碳成果，內容詳5.2.2節。

運輸方面，主要為使用高效率運具(鐵路運輸替代)及縮短運輸距離，本工程設計階段已納入鐵路運輸，並計算減碳效益，內容詳5.2.1節；另運輸距離縮減方面，由於牽涉廠商材料採購價格或技術考量，僅能提供承包商參考，無法強制其執行相關策略；本計畫另評估土建標工程材料運輸排碳情形，並計算可能之減碳潛勢，內容詳5.2.4節。

表 5.1.6-1 國際減碳策略彙整及本計畫納入評估情形

面向	減碳措施	是否納入評估及原因
施工 工法	隧道鑽炸開挖	否。依據現場情況決定開挖形式
	整體式橋梁(Integral Bridge)	否。僅適合短跨距橋梁
	鋁合金橋面板	否。無納入設計
	波形鋼腹板複合橋	是。本計畫 A1 標採用
機具	減少設備活動數量、使用適合的機具	否。此部分已提供相關數據供承包商參考，惟無法量化減碳數據。
	使用高效率之機具、有效地操作設備	
	避免不必要的空轉	
	減少迴轉角度	
	兩段式開挖、挖掘角度在 30~40 度	是。設計階段已納入，A 段及 C 段之隧道工程採用場電替代柴油發電機；另估算工區中鋼筋加工場替代之可能減碳成效；相關成果詳 5.2.3 節說明。
材料	替代發動機技術及燃料	是。部分於設計時已納入考量： 各標以高強度鋼筋替代低強度鋼筋，具有實質材料減量及減碳成效，後續將再就實際執行成果進行彙整說明。 隧道剩餘渣料由承商價購作骨材使用，減少開採及運輸之排碳，後續將再就實際執行成果及資料蒐集狀況進行彙整說明。
	減少材料使用量 (使用最佳化)	

面向	減碳措施	是否納入評估及原因
		否。施工部分：已提供資訊予廠商參考，惟無法量化減碳數據
	使用再生材料 (於混凝土中使用飛灰及爐石粉)	是。設計階段已納入，飛灰及爐石粉替代水泥已計算減碳量，詳 5.2.2 節說明。
	使用溫拌或半溫拌瀝青混合物	否。國內並不普遍，設計未納入；後續將由瀝青混凝土廠實際盤查結果，嘗試分析可能之減碳效益。
運輸	使用高效率運具	是。設計階段已納入，鐵路運輸已計算減碳量，詳 5.2.1 節說明。
	選用運輸距離小於 80 公里之材料與供應商	否。僅能提供承包商參考，不具強制性。本計畫另就若採行本項措施，可能之減碳量進行評估，結果詳 5.2.4 節說明。

5.2 蘇花改工程減碳措施及預期減碳效益

目前蘇花改計畫仍有 2 個土建標持續接受盤查輔導。在各工程規劃設計及施工過程中，即採數種方案減緩工程施作之排碳影響，部分方案確實具有減碳效益。本計畫在此節以鐵路運輸替代公路運輸之土石方運輸、混凝土係數比較及飛灰/爐石粉替代水泥，及各標隧道工程以場電替代柴油發電機等方案，以實際盤查結果進行減碳效益量化說明與探討；另就工程材料運輸距離縮短進行可能之減碳效益評估，及探討井式基礎之臨時擋土支撐採用不同工法之排碳差異。

5.2.1 運輸型式替代之減碳效益

為避免本計畫工程的施工對於台 9 線蘇花公路的環境及交通造成影響，蘇花改計畫在有大量開挖土方之東澳隧道新建工程(A2 標，以下亦簡稱東澳隧道)，規劃將剩餘土方以鐵路替代公路之方式作為運輸方案，此方案確實可減少台 9 線上運土卡車數量、降低車流量並減少空氣污染物排放；但對於減碳是否具有正面效益，則由本計畫之執行過程中，建立計算方法並蒐集實際盤查資料以進一步確認。相關成果說明如後。

一、運輸替代模式

有鑒於鐵路運輸具有移轉公路重貨車之可行性，在場站位置及主管

機關可配合的情況下，A2 標東澳隧道南、北口開挖產出之碴料，自 102 年 8 月起即採以臺鐵鐵路運輸替代公路運輸，並設置暫置場供地方政府進行後續收售之方式處理；另 104 年 7 月開始，A1 標隧道開挖之部分有價料亦運至 A2 標北口以鐵路進行土方運輸。

本計畫在評估鐵路運輸替代之影響項目包括：1.運輸模式及 2.暫置場兩項，評估內容則包括運輸模式之距離縮減及鐵路替代影響及暫置場之建置及操作，相關項目皆要列入考量。

A2 標東澳隧道北口與南口鐵公路替代方案與原公路運輸方案之距離條件如表 5.2.1-1 所示。其中，北口如採鐵路運輸替代，運輸總距離約為 8.2 km，分別為鐵路 6.1 km 及公路 2.1 km；如單以公路運輸則運距約 8.5 km。南口部分如採鐵路運輸替代，則運輸總距離為 17.6 km，包含鐵路 11.9 km 與公路 5.7 km；若直接以公路運輸則需行駛 22 km。北口、南口之鐵公路運輸中的公路運輸距離，係為 A2 標盤查資料所提出之總距離除以車次的計算結果。由此可知，鐵路運輸之替代在行駛里程部份即已有減量效果。

表 5.2.1-1 東澳隧道不同運輸方案土方運輸距離

運輸方案 運輸起訖點		隧道北口 (永樂站-新馬站)		隧道南口 (東澳站-新馬站)	
		公里	公里	公里	公里
鐵路+公路運輸		8.2	公里	17.6	公里
運具型式	21 噸傾卸車	2.1	公里	5.7	公里
	柴油火車	6.1	公里	11.9	公里
公路運輸 (21 噸傾卸車)		8.5	公里	22.0	公里
運輸距離縮短		0.3	公里	4.4	公里

二、運輸排碳係數

(一)公路運輸排碳係數

公路運輸係數部份，A2 標自 104 年 1 月起開始紀錄南北口所有土方運輸傾卸車之里程數，故本計畫依此計算兩工作面傾卸車運輸排碳係數。

彙整 104 年 1~8 月、105 年 1~12 月，A2 標南北口共 11 台傾卸車之行駛里程、柴油總用量、總載運方數及車次等資料，兩工作面傾卸車載運總重、單趟里程及柴油總用量如表 5.2.1-2。其中，兩工作面載運總重係依據 A2 標實測所得之鬆方比重 2.1 ton/m³ 乘以總載運方數紀錄計算而得；並由行駛里程及車次計算單趟里程。

依據表 5.2.1-2 之內容，配合以下公式及環保署柴油碳足跡係數進行計算，則可得兩工作面傾卸卡車運輸係數分別為 0.3705 及 0.3178 kgCO₂e/tkm。

$$\text{運輸碳排係數} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{tkm}} \right) = \frac{\text{柴油總用量} \times \text{柴油係數}}{\text{載運總重量} \times \text{單趟里程}}$$

表 5.2.1-2 傾卸車參數統計結果

參數	數量	單位
北口載運總重	570,057.60	ton
南口載運總重	332,771.60	ton
北口單趟里程	65,964.30	km
南口單趟里程	81,520.90	km
北口柴油總用量	92,918.00	L
南口柴油總用量	114,006.00	L

(二)鐵路運輸排碳係數

鐵路運輸排碳係數部分，則參考交通部運研所「行車成本調查分析與交通建設計畫經濟效益評估之推廣應用」(2010)所載之係數 77.5481 gCO₂e/tkm。

本計畫計算運輸減碳措施之運輸係數內容彙整如表 5.2.1-3。

表 5.2.1-3 減碳效益計算用鐵路與公路運輸係數表

運輸類型	21 噸大貨車		柴油火車
	北口	南口	
運輸係數(kgCO ₂ e/tkm)	0.3705	0.3178	0.0775
資料來源	本計畫調查	本計畫調查	運研所(2012)

三、運輸替代減碳量

依照表 5.2.1-3 運輸係數及表 5.2.1-1 運輸里程進行計算，若於北口採鐵路運輸替代方案，每噸土方運輸排碳量約為 1.26 kgCO_{2e}；若在南口採行鐵路運輸替代方案，則每噸土方運輸排碳量約為 2.72 kgCO_{2e}。若採公路運輸，則北口之單位土方運輸排碳量約為每噸 3.15 kgCO_{2e}；南口之全公路運輸排碳則約為每噸 6.99 kgCO_{2e}，詳細計算結果如表 5.2.1-4。於北口及南口之每噸土方運輸替代之減碳量分別為 1.89 及 4.27 kgCO_{2e}。

進一步分析北口及南口以鐵公路替代公路運輸之每噸土方運輸減碳量內涵如圖 5.2.1-1；以里程減量乘以公路運輸係數為路程縮短之減碳量，其餘減碳效益則來自於鐵路替代公路運輸。在北口，每噸土石運輸減碳量的 94.0% 來自鐵路替代公路運輸；約 6% 來自因路程縮短之減碳量。在南口每噸土方減碳量 4.38 kgCO_{2e} 中，66% 之減碳量來自鐵路替代公路運輸，34% 為路程縮短之效益。結果顯示，在本工程案例中，主要減碳效益來源為鐵路替代運輸。

表 5.2.1-4 東澳隧道北口及南口鐵路替代運輸單位排放量

隧道北口 (永樂站-新馬站)	運輸每噸土石排放量 (kgCO _{2e} /ton)	替代方案減碳量 (kgCO _{2e} /ton)	減碳百分比
鐵路+公路運輸	1.26	1.89	60%
21 噸大貨車	0.79		
柴油火車	0.47		
公路運輸	3.15		
隧道南口 (東澳站-新馬站)	運輸每噸土石排放量 (kgCO _{2e} /ton)	替代方案減碳量 (kgCO _{2e} /ton)	減碳百分比
鐵路+公路運輸	2.72	4.27	61%
21 噸大貨車	1.80		
柴油火車	0.92		
公路運輸	6.99		

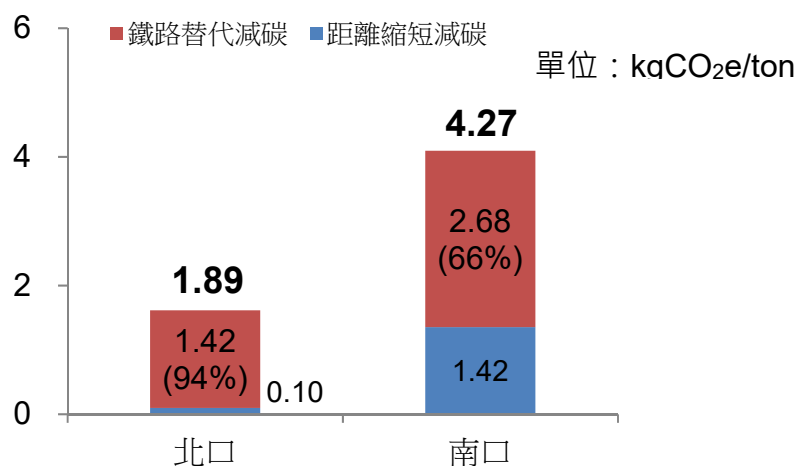


圖 5.2.1-1 運輸距離縮短及鐵路替代之減碳效益占比分析

四、暫置場之影響

前述僅考慮運具移動造成之運輸替代減碳量，尚未將暫置場所使用工程材料及土方上下火車的機具操作能耗排放納入計算。為能平衡表述鐵路替代公路運輸的整體排放差異，進一步將暫置場建造之工程材料及土方上下車的機具能耗排放也加入計算分析。

A2 標開工迄 103 年 6 月底用於 3 處土方暫置場之機具及工程材料排碳量計算結果彙整如表 5.2.1-5。暫置場材料排碳來源為暫置場設置時所用之鋼筋與混凝土等材料；機具排碳則是源於土方上下車所用之鏟裝機與挖土機能耗。

表 5.2.1-5 暫置場工程材料及機具能耗排碳量

暫置場別 \ 排放項目別	工程材料 (tCO ₂ e)	機具能耗 (tCO ₂ e)
永樂車站土方暫置區	112.89	171.06
東澳車站土方暫置區	54.56	183.49
新馬車站土方暫置區	278.62	273.90

依據蘇花改第 5 次環差報告，A2 標預估出渣總量為 1,663,000 m³，A1 標另共有 118,000 m³ 土方將運往北口永樂車站，故可得永樂車站暫置場預期之總土方運輸量為 834,000 m³、東澳車站則為 947,000 m³；又新

馬車站暫置場的建造係為整體(南、北口)出碴量所用，故預期運輸總量將為 A2 及 A1 標土方運輸總量 1,781,000 m³。

依據前述暫置土方來自永樂、東澳兩車站的比例，對新馬車站暫置場之基礎建設工程材料(暫置場地坪)排碳量進行分配；而土方上下作業之機具能耗排碳量部分，則以表 5.2.1-5 機具能耗量統計期間，永樂、東澳兩車站暫置場經鐵路運送之累計出碴重量進行分配。

由前段分配原則，可概估由東澳隧道北口與南口出碴的兩鐵路運輸路線，其土方暫置之工程材料及機具能耗排放量如表 5.2.1-6 左方。以鬆方密度 2.1 ton/m³ 換算永樂車站、東澳車站暫置場預期之總土方運輸重量，可得土方運輸單位重量材料排碳量；而機具能耗則以能耗數據取得期間之運輸土方重量作標準化。由此則可得兩路線單位重量土方運輸排碳量分別為 1.39 及 1.24 kgCO₂e/ton，以機具能耗影響較大(占比約 90%)。

表 5.2.1-6 暫置場工程材料及機具能耗單位排放量

鐵路 運輸路線	土方暫置 排放	工程材料 排碳量 (tCO ₂ e)	機具能耗 排碳量 (tCO ₂ e)	工程材料 單位排碳量 (kgCO ₂ e/ton)	機具能耗 單位排碳量 (kgCO ₂ e/ton)	單位土方運輸 排碳量小計 (kgCO ₂ e/ton)
隧道北口 (永樂站-新馬站)		243.36	292.66	0.14	1.25	1.39
隧道南口 (東澳站-新馬站)		202.71	335.81	0.10	1.14	1.24

五、整體減碳量

彙整表 5.2.1-4(僅考慮運輸減量)及表 5.2.1-6(將土方暫置場之影響納入)之單位排碳量分析如表 5.2.1-7，北口鐵公路運輸替代方案之單位排放量由 1.26 kgCO₂e/ton 增加為 2.65 kgCO₂e/ton，南口鐵公路運輸替代方案之單位排放量將由 2.72 kgCO₂e/ton 增加為 3.96 kgCO₂e/ton。南北兩工作面每公噸土方運輸減碳量分別為 0.50 及 3.03 kgCO₂e。如以此減碳量計算 A2 標施工期間土方運輸替代減碳量，北口約減碳 672 tCO₂e、南口減碳約 3,840 tCO₂e，共減碳約 4,512 tCO₂e。

表 5.2.1-7 鐵路替代運輸加入暫置場機料排放之單位排碳量及減碳量

隧道北口 (永樂站-新馬站)	運輸每噸土石排放量 (kgCO ₂ e/ton)		替代方案減碳量 及減碳百分比 (kgCO ₂ e/ton)	施工期間減碳量 (tCO ₂ e)
鐵路+公路運輸	2.65		0.50 (16%)	672
21 噸大貨車	0.72	1.26		
柴油火車	0.47			
土方暫置區(機+料)	1.39			
公路運輸	3.15			

隧道南口 (東澳站-新馬站)	運輸每噸土石排放量 (kgCO ₂ e/ton)		替代方案減碳量 及減碳百分比 (kgCO ₂ e/ton)	開工迄今減碳量 (tCO ₂ e)
鐵路+公路運輸	3.96		3.03 (43%)	3,840
21 噸大貨車	1.80	2.72		
柴油火車	0.92			
土方暫置區(機+料)	1.24			
公路運輸	6.99			

5.2.2 材料替代之減碳效益

一、盤查活動資料彙整

本計畫針對所使用的 4 個預拌混凝土供應廠商，經過積極協調，供應商皆逐月持續提供廠內製程盤查資料。依照蒐集到各類型混凝土配比原料使用量數據，就其所用之水泥、飛灰、爐石用量與該型混凝土產量進行分析，彙整出單位混凝土之水泥、飛灰、爐石用量，如表 5.2.2-1。

表 5.2.2-1 各型混凝土水泥、飛灰及爐石粉使用量彙整表

廠商	混凝土型式	設計坍度	水泥 (kg/m ³)	飛灰 (kg/m ³)	爐石粉 (kg/m ³)
A1 標久屋	175kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	162	0	131
A1 標久屋	210kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	178	0	144
A1 標久屋	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	設計坍度 20	208	0	168
A1 標久屋	245kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	194	0	157
A1 標久屋	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	設計坍度 50	236	0	191
A1 標久屋	280kgf/cm ² (II 型水泥)水中	設計坍度 20	236	0	191

廠商	混凝土型式	設計坍度	水泥 (kg/m ³)	飛灰 (kg/m ³)	爐石粉 (kg/m ³)
A1 標久屋	280kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	222	0	180
A1 標久屋	350kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	設計坍流度 60~70	264	0	213
A1 標久屋	420kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	設計坍流度 60~70	288	0	234
A1 標久屋	420kgf/cm ² (II 型水泥)早強	設計坍度 17.5	292	0	235
A1 標享正	175kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	146	25	92
A1 標享正	210kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	169	29	106
A1 標享正	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	設計坍度 17.5	208	37	131
A1 標享正	245kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	194	35	122
A1 標享正	280kgf/cm ² (II 型水泥)水中	設計坍度 17.5	244	44	153
A1 標享正	280kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	222	40	140
A1 標享正	350kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	設計坍流度 60~70	264	47	166
A1 標享正	420kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	設計坍流度 60~70	277	50	175
A1 標享正	420kgf/cm ² (II 型水泥)早強	設計坍度 17.5	416	55	82
A 段宜興	175kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	149	28	98
A 段宜興	210kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	184	33	113
A 段宜興	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	設計坍度 17.5	220	40	140
A 段宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 15	200	27	135
A 段宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	195	35	122
A 段宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	設計坍度 50	275	29	87
A 段宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)(早強)	設計坍度 15	404	35	35
A 段宜興	280kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	221	40	141
A 段宜興	350kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	262	35	178
A 段宜興	350kgf/cm ² (II 型水泥)SCC	設計坍流度 50~60	262	47	166
A 段宜興	420kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	350	150	0
A 段宜興	420kgf/cm ² (II 型水泥)早強	設計坍度 17.5	446	39	40
C1A/C2 友誠	80kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	148	17	20
C1A/C2 友誠	140kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	137	24	87
C1A/C2 友誠	175kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	145	26	92
C1A/C2 友誠	210kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	168	30	106
C1A/C2 友誠	245kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 15	190	34	120
C1A/C2 友誠	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	設計坍度 50	209	37	132
C1A/C2 友誠	280kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	219	39	138
C1A/C2 友誠	350kgf/cm ² (II 型水泥)	設計坍度 17.5	250	45	158

備註：A 段已竣工。

二、碳排放係數選用

經與查驗機構共同討論與檢視目前國內外可供參考選用之係數資料，本計畫以中聯爐石經查證公告的高爐石粉碳足跡： $0.0522 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ，及英國的乾、濕燃煤的飛灰碳足跡： $0.004 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ，進行本計畫飛灰與爐石粉替代水泥之減碳量估算。

三、飛灰與爐石粉替代之減碳量

統計開工至 107 年 11 月底止，並由表 5.2.2-1 混凝土組成中之水泥、飛灰及爐石粉用量，乘上對應碳排放係數，即可求得使用飛灰與爐石粉替代水泥所產生的減碳量如表 5.2.2-2 所示。

彙整減碳成果如表 5.2.2-3，相較於完全不採用替代材料(飛灰與爐石粉)僅採用水泥時，A1 標減碳率約為 38% 左右，減碳量達 $21,932.39 \text{ tCO}_2\text{e}$ ；A2 標及 A3 標減碳率均約為 34% 左右，減碳量分別為 $30,061.32$ 及 $16,080.67 \text{ tCO}_2\text{e}$ ；C1A 標減碳比例約 43%，減碳量為 $30,133.60 \text{ tCO}_2\text{e}$ ，C2 標減碳率亦約為 43%，減碳量為 $18,312.37 \text{ tCO}_2\text{e}$ 。

各標中以 C1A 標減碳量最大，主要係因為隧道襯砌工程使用大量之混凝土 245 高坍，其次為已竣工之 A2 標，而 C2 標隧道工程正持續進行中，預測未來減碳量將隨工程進度而累積上升。各標減碳百分比略有差異，主因受到使用之混凝土類型、配比及數量所影響，例如 A3 標雖 420II(早強)混凝土使用量大，但配比中飛灰/爐石粉替代水泥之比例低，造成工程整體使用混凝土之減碳量較低；C2 標中 80 II 混凝土亦因飛灰/爐石粉替代水泥之比例低，故減碳量亦不明顯。

依照各標工程開工迄 107 年 11 月底，以施工時間及工程總年期來呈現減碳量及換算大安森林公園固碳量而論，由彙整結果顯示，全工程近 7 年之總減碳量約為 $116,520.35 \text{ tCO}_2\text{e}$ ，如以大安森林公園年固碳量 $387 \text{ tCO}_2\text{e}$ 計算，相當於 301 座大安森林公園年固碳量。

表 5.2.2-2 飛灰與爐石粉替代水泥碳排放量與減碳量分析

廠商	混凝土型式	替代率 (%)	水泥排碳量 (kgCO ₂ e)	水泥/飛灰/爐石粉排碳量 (kgCO ₂ e)	減碳量 (kgCO ₂ e)	減碳率 (%)
A1 標久屋	175kgf/cm ² (II 型水泥)	45	743,080	429,498	313,583	36
A1 標久屋	210kgf/cm ² (II 型水泥)	45	449,939	260,018	189,921	37
A1 標久屋	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	45	458,081	264,895	193,186	36
A1 標久屋	245kgf/cm ² (II 型水泥)	45	844,311	487,854	356,457	37
A1 標久屋	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	45	289,890	167,499	122,392	37
A1 標久屋	280kgf/cm ² (II 型水泥)水中	45	125,884	72,736	53,148	37
A1 標久屋	280kgf/cm ² (II 型水泥)	45	11,236,736	6,487,768	4,748,968	37
A1 標久屋	350kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	45	1,982,715	1,147,046	835,669	36
A1 標久屋	420kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	45	435,700	251,349	184,351	37
A1 標久屋	420kgf/cm ² (II 型水泥)早強	45	9,421,385	5,456,006	3,965,378	36
A1 標享正	175kgf/cm ² (II 型水泥)	44	1,463,015	841,492	621,523	37
A1 標享正	210kgf/cm ² (II 型水泥)	44	1,077,305	620,423	456,882	37
A1 標享正	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	45	378,703	217,062	161,642	37
A1 標享正	245kgf/cm ² (II 型水泥)	45	1,743,136	998,198	744,939	37
A1 標享正	280kgf/cm ² (II 型水泥)水中	45	1,263,200	724,054	539,146	37
A1 標享正	280kgf/cm ² (II 型水泥)	45	7,818,160	4,473,662	3,344,498	37
A1 標享正	350kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	45	1,984,933	1,138,193	846,740	37
A1 標享正	420kgf/cm ² (II 型水泥)SCCR2	45	998,147	570,728	427,418	37
A1 標享正	420kgf/cm ² (II 型水泥)早強	25	12,024,614	9,150,865	2,873,749	21
A1 標宜興	175kgf/cm ² (II 型水泥)	45	6,276	3,527	2,750	38
A1 標宜興	210kgf/cm ² (II 型水泥)	44	71,001	41,012	29,988	37
A1 標宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	30	1,554,200	1,112,114	442,086	25
A1 標宜興	280kgf/cm ² (II 型水泥)	45	1,111,196	633,216	477,980	37
A2 標宜興	175kgf/cm ² (II 型水泥)	45	8,653,381	4,862,531	3,790,850	38
A2 標宜興	210kgf/cm ² (II 型水泥)	44	877,518	506,886	370,632	37
A2 標宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)	45	17,826,890	10,211,190	7,615,700	37
A2 標宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	30	42,504,810	30,414,492	12,090,317	25
A2 標宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)早強	15	7,413,844	6,347,952	1,065,892	12
A2 標宜興	280kgf/cm ² (II 型水泥)	45	3,865,582	2,202,805	1,662,778	37
A2 標宜興	350kgf/cm ² (II 型水泥)	45	6,836,703	3,916,426	2,920,276	37
A2 標宜興	350kgf/cm ² (II 型水泥)SCC	45	866,268	494,950	371,318	37
A2 標宜興	420kgf/cm ² (II 型水泥)	30	581,018	407,462	173,556	26

廠商	混凝土型式	替代率 (%)	水泥排碳量 (kgCO ₂ e)	水泥/飛灰/爐石粉排碳量 (kgCO ₂ e)	減碳量 (kgCO ₂ e)	減碳率 (%)
A3 標宜興	175kgf/cm ² (II 型水泥)	45	976,046	548,463	427,584	38
A3 標宜興	210kgf/cm ² (II 型水泥)	44	1,284,926	742,220	542,706	37
A3 標宜興	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	45	6,555,384	3,737,062	2,818,322	37
A3 標宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)	45	3,824,772	2,190,818	1,633,954	37
A3 標宜興	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	30	1,731,458	1,238,952	492,506	25
A3 標宜興	280kgf/cm ² (II 型水泥)	45	14,066,592	8,015,856	6,050,736	37
A3 標宜興	350kgf/cm ² (II 型水泥)	45	3,207,940	1,837,678	1,370,262	37
A3 標宜興	420kgf/cm ² (II 型水泥)	30	3,597,008	2,522,547	1,074,461	26
A3 標宜興	420kgf/cm ² (II 型水泥)早強	15	11,448,730	9,778,587	1,670,143	13
C1A 標友誠	140kgf/cm ² (II 型水泥)	45	3,460	1,981	1,479	37
C1A 標友誠	175kgf/cm ² (II 型水泥)	45	3,347,948	1,912,986	1,434,962	37
C1A 標友誠	210kgf/cm ² (II 型水泥)	45	1,578,850	904,093	674,757	37
C1A 標友誠	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	45	1,367,297	781,931	585,366	37
C1A 標友誠	245kgf/cm ² (II 型水泥)	45	17,793,311	10,183,656	7,609,655	37
C1A 標友誠	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	45	38,094,808	21,825,722	16,269,086	37
C1A 標友誠	280kgf/cm ² (II 型水泥)	45	5,641,497	3,232,657	2,408,840	37
C1A 標友誠	350kgf/cm ² (II 型水泥)	45	2,217,671	1,268,243	949,428	37
C1A 標友誠	420kgf/cm ² (II 型水泥)	45	467,211	267,189	200,022	37
C2 標友誠	80kgf/cm ² (II 型水泥)	20	109,510	88,316	21,194	17
C2 標友誠	140kgf/cm ² (II 型水泥)	45	30,675	17,562	13,113	37
C2 標友誠	175kgf/cm ² (II 型水泥)	45	2,141,752	1,223,777	917,975	37
C2 標友誠	210kgf/cm ² (II 型水泥)	45	328,097	187,877	140,220	37
C2 標友誠	245kgf/cm ² (II 型水泥)	45	6,805,978	3,895,269	2,910,709	37
C2 標友誠	245kgf/cm ² (II 型水泥)高坍	45	29,848,910	17,101,386	12,747,524	37
C2 標友誠	280kgf/cm ² (II 型水泥)	45	1,053,833	603,861	449,972	37
C2 標友誠	350kgf/cm ² (II 型水泥)	45	1,567,620	896,492	671,128	37
C2 標友誠	210kgf/cm ² (II 型水泥)水中	45	1,029,001	588,466	440,535	37

備註：A 段已竣工。

表 5.2.2-3 各標工程以飛灰與爐石粉替代水泥之總減碳量分析

標別	減碳量(tCO ₂ e)	減碳率(%)	施工時間	年期	大安森林公園年固碳量(座)
A1 標	21,932.39	38	102.04~106.07	4.3	56.67
A2 標	30,061.32	34	101.12~107.03	5.4	77.68
A3 標	16,080.67	34	101.09~105.04	4.1	41.55
C1A 標	30,133.60	43	104.04~107.11	3.5	77.86
C2 標	18,312.37	43	103.06~107.11	4.7	47.32
合計	116,520.35	38	101.09~107.11	7.0	301.09

5.2.3 隧道場電與發電機用油之減碳效益評估

本計畫隧道工程施作規範要求以場電作為機具動力來源，此亦為施工期間減碳措施之一，故以發電機用柴油為假設情境進行排碳量及減碳量評估；另參考不同標別施工實際狀況，亦考量橋梁標鋼筋加工場在情況允許下，可以利用臨時用電取代發電機，故本計畫新增分析此情境之減碳效益。

本節就場電及發電機用油之單位排碳量進行比較，透過量化之減碳成效，說明發電機及場電兩種情境之排碳量差異。茲就碳排放係數及減碳效益估算說明如後。

一、碳排放係數

工區使用發電機之活動量計量方式為用油量及(或)操作時數，可算出單位用油量(用油量/小時)，惟無法確定實際發電量，故盤查結果無法與場電單位排碳量(kgCO₂e/kWh)進行比較。因此，本計畫以發電機規格資料之單位功率作為計算依據，配合柴油碳足跡係數，計算發電機單位排碳量(意即碳排放係數)。

參考東元柴油引擎發電機之單位油耗 0.27 L/kWh(30-250KW)及 0.29 L/kWh(350KW)及環保署公告 2016 年之固定源柴油係數 3.35kgCO₂e/L，計算發電機單位發電量之排碳量為 0.90 kgCO₂e/kWh 及 0.97 kgCO₂e/kWh；場電碳排放係數則採用環保署公告之 0.66 kgCO₂e/kWh，有關發電機及場電之單位排碳量(意即碳排放係數)計算結果如表 5.2.3-1。

表 5.2.3-1 發電機及場電單位排碳量

類別-規格	單位排碳量 (kgCO ₂ e/kWh)	單位排碳量差距* (kgCO ₂ e/kWh)
發電機(30-250KW)	0.90	0.24
發電機(350KW)	0.97	0.31
場電	0.66	—

備註：單位排碳量差距=發電機單位排碳量-場電單位排碳量。

二、減碳效益評估

本計畫隧道工區主要以場電替代發電機發電，場電碳排放係數為環保署公告 2016 年之 0.66 kgCO₂e/kWh，低於表 5.2.3-1 所列之發電機單位排碳量。考量 A1 及 A3 標為短隧道，A2、C1A 及 C2 標為長隧道，故短隧道以發電機單位排碳量 0.97 kgCO₂e/kWh 來評估，而長隧道以發電機單位排碳量 0.90 kgCO₂e/kWh 評估，藉以與場電進行比較。

另由盤查結果，統計各標開工至 107 年 11 月底之隧道用電量，計算場電與發電機用油之減碳效益如表 5.2.3-2，各標隧道工程以場電取代發電機用油之減碳量約在 146 ~ 5,573 tCO₂e，若以 A 段已竣工工程而言，約占整體工程排碳量 0.21% ~ 2.06%，尤以隧道標工程 A2 之占比最高。

由於場電取代發電機確實有減碳效益，而短隧道由於施工時間較短，為了確實達到減碳效益，建議短隧道於工程初期即申請工區臨時用電，以減少碳排放量。

而工區中之鋼筋加工場如採用場電替代發電機之減碳效益方面，A1 標即使用場電作為竹節鋼筋加工之能耗來源，而 A3 標則是使用發電機作為其能耗來源，彙整 A1 標減碳量及 A3 標減碳潛勢如表 5.2.3-3。依據各標總竹節鋼筋使用量，計算出 A1 標減碳量為 318.00 tCO₂e，減碳量約占整體工程排碳量的 0.30%；而 A3 標減碳潛勢方面，依計算結果顯示為 176.60 tCO₂e，約占整體排碳量的 0.13%，此部分可以再次看出場電取代發電機確實有減碳效益，建議承包商在情況可行下，可於其他工程初期即申請工區臨時用電(場電)，以減少碳排放量。

表 5.2.3-2 場電與發電機用油之減碳效益評估(隧道工程)

標別	用電量 (度)	柴油發電機 排碳量 (tCO ₂ e)	場電 排碳量 (tCO ₂ e)	減碳量 (tCO ₂ e)	減碳 百分比 (%)	減碳量 占整體工程 排放量比例 (%)
A1 標永樂隧道	1,076,550	1,045.87	710.52	335.35	32.06	0.32
A2 標東澳隧道	15,472,844	13,995.19	10,212.08	3,783.11	27.03	2.06
A3 標東岳隧道	471,368	457.93	311.10	146.83	32.06	0.21
C1A 標中仁隧道	22,796,820	20,619.72	15,045.90	5,573.82	27.03	—
C2 標仁水隧道	9,424,690	8,524.63	6,220.30	2,304.34	27.03	—

備註：A 段已竣工。

表 5.2.3-3 場電與發電機用油之減碳效益評估(鋼筋加工場)

標別	竹節鋼筋 用量(t)	單位減碳量 (kgCO ₂ e/t)	減碳量/潛勢 (tCO ₂ e)	減碳量 占整體工程排放量比例(%)
A1 標永樂隧道	27,993.09	11.36	318.00	0.30
A3 標東岳隧道	15,545.36	11.36	176.60	0.13

5.2.4 蘇花改工程材料運輸減碳效益試算

依據前述章節之排碳量計算及分析結果，顯示蘇花改各土建標排碳特性除了人員出勤及逸散之占比小於 0.1% 以外，機/運具能耗、工程材料使用及運輸(含機/運具及工程材料)之排碳量占比皆大於 1%，各土建標開工迄 107 年中(或竣工)之機具及材運輸排碳量占比如表 5.2.4-1。

表 5.2.4-1 蘇花改各土建標運輸排碳占比與排碳量

標別	工程名稱	運輸排碳量 (tCO ₂ e)	運輸排碳占 總排碳量之比例(%)
A1	蘇澳永樂段新建工程	1,831.90	2%
A2	東澳隧道新建工程	5,963.82	3%
A3	東澳東岳段新建工程	2,854.30	4%
C1A	中仁隧道接續工程	1,170.08	1%
C2	仁水隧道新建工程	936.22	2%

由表 5.2.4-1 顯示，各土建標之運輸排碳量占比約在 1%~4%，排碳量則是與工程規模有關，介於 936 ~ 5,963 tCO₂e 之間。因此除了機/運具能耗及工程材料使用方面的減碳外，機具及材料運輸亦是思考的面向之一，本計畫參考歐盟綠色採購中的運輸減碳建議與綠道路的本地材料指標(MD5)，探討本工程目前主要工程材料之運輸距離大於 80 km 者，如將運輸距離降低至 80 km 之減碳潛勢。

一、各土建標主要工程材料

參考綠道路指標內容，本計畫納入探討之工程材料以大宗物料為主，如表 5.2.4-2 所示。

表 5.2.4-2 土建標主要工程材料內容及運輸範圍

材料名稱	運輸距離範圍(km)	使用標別
混/噴凝土	<80	A1-A3、C1A-C2
竹節鋼筋	8.5~419	A1-A3、C1A-C2
水泥、水泥砂漿	<80	A1-A3、C1A-C2
瀝青混凝土	<80	A1-A3、C1A-C2
級配料	<80	A1-A3、C1A-C2
鋼結構及波形鋼腹板	410	A1

由表 5.2.4-2 可知，混/噴凝土考量使用時限，供應商多靠近各土建標工區，各標運輸距離皆小於 80 km；竹節鋼筋供應商主要為東和桃園廠、羅東鋼鐵及宜聯鋼鐵，其中羅東鋼鐵及宜聯鋼鐵為宜蘭當地廠商，故採用該供應商之標別，竹節鋼筋運輸距離皆小於 80 km，而採用東和桃園廠作為竹節鋼筋之標別，此部份竹節鋼筋運輸距離大約為 150 ~ 400 km 左右；而水泥/水泥砂漿、瀝青混凝土及級配料之運輸距離方面，基本上運輸距離亦在 80 km 以下；另考量 A1 標白米脊背橋使用之鋼結構及波形鋼腹板重量亦達一定規模，達 1,232 ton，故納入評估，該項工程材料運輸至 A1 標之距離約 442 km。彙整前述運輸距離超過 80 km 之工程材料，如表 5.2.4-3 所示。

表 5.2.4-3 各土建標運輸距離超過 80 km 之工程材料

標別	工程材料名稱	距離(km)	超過距離(km)
A1 標	鋼結構、波型鋼板	410	330
A2 標	竹節鋼筋	115~141	35~61
A3 標	竹節鋼筋	103~419	23~339
C2 標	竹節鋼筋	97	17

二、運輸係數及材料重量說明

前述工程材料所採用之運具為全拖車及大貨車，運輸係數為 0.0512 kgCO₂e/tkm，本計畫將以此係數分析減碳量。另工程材料之重量，因原單位為 kg 或 ton，故無轉換之需要。

三、減碳量計算結果

依據前述之距離及係數，本計畫計算各土建標部分工程材料運輸之預估減碳量如表 5.2.4-4。

表 5.2.4-4 各土建標工程材料運輸之預估減碳量

標別	運輸距離超過 80 km 工程材料運輸排碳量(tCO ₂ e)	減碳量 (tCO ₂ e)	減碳量比 (%)	該標總運輸占比變化 (%)
A1	38.24	30.67	80%	-2%
A2	111.07	43.53	39%	-2%
A3	295.69	190.87	65%	-7%
C2	0.02	<0.01	17%	<-0.1%

A1 標超過 80 km 的工程材料為白米脊背橋之鋼結構和波型鋼板，其運輸排碳量為 38.24 tCO₂e，其餘超過 80 km 的工程材料皆為竹節鋼筋，此部分 A2 標、A3 標及 C2 標運輸排碳量分別為 111.07 tCO₂e、295.69 tCO₂e，C2 標因僅零星竹節鋼筋運輸距離超過 80 km，故排碳量僅 0.02 tCO₂e。

在假設超過 80 km 的主要材料運輸距離降為 80 km 的情境下，A1 標減碳量為 30.67 tCO₂e，相較於原本 38.24 tCO₂e 有 80% 的減碳量，主要係因原本鋼結構及波型鋼板的運輸距離達 410 km 的緣故；A2 及 A3 部

分，減碳量分別為 111.07 tCO₂e 及 295.69 tCO₂e，減碳量百分比分別為 39%及 65%，兩標皆是因為供應商為東和桃園廠，由桃園運至工區距離超過 80 km，故在運輸距離降低至 80 km 的情境下有一定的減碳量，而減碳量百分比之差距主要因為 A2 標東澳隧道分為北口及南口，工程材料運輸起迄點不同，部分竹節鋼筋於北口下料，原運輸距離較短的緣故；C2 標則是如前所述，僅零星竹節鋼筋運輸距離超過 80 km，故減碳量未超過 0.01 tCO₂e。

進一步探討減碳量對於該土建標整體運輸排碳量的影響，減碳量相對於整體運輸排碳量影響最大為 7%，最小則未達 0.1%；主要與整體運輸內容有關，A1 標主要材料運輸距離大部分小於 80 km，故僅 2%左右的影響；A2 標及 A3 標則是分別為 1.8%及 7%，主要與施工位置有關；C2 標影響則不明顯，百分比小於 0.1%。

另依據綠道路的本地材料指標(MD5)之指標內容，在此回顧蘇花改已竣工之土建標目前運輸距離小於 80 km 之運輸項目之重量占比，以及在運輸距離超過 80 km 之主要材料運輸距離皆降至 80 km 之情境下距離小於 80 km 之運輸項目之重量占比，分析結果如表 5.2.4-5。

表 5.2.4-5 各土建標主要工程材料重量占比與運輸距離關係分析表

標別	運輸距離小於 80 km 項目重量(ton)	運輸項目之重量占比 (%)	假設情境*運輸距離小於 80 km 重量 (ton)	假設情境*運輸項目之重量占比 (%)
A1	429,968	97.32	431,270	97.62
A3	320,344	91.59	337,404	96.47

假設情境*：運輸距離超過 80 km 之主要材料運輸距離皆降至 80 km

由表可知，目前 A1 及 A3 標工程材料運輸距離小於 80 km 之項目其重量皆超過 90%，主要係因蘇花改各標主要工程材料(混凝土、竹節鋼筋等)大部分採用在地或鄰近縣市廠商，故運輸距離小於 80 km，已符合綠道路的本地材料指標(MD5)要求，由此可以看出，蘇花改在機具及材料運輸上，已有一定程度之節能減碳效益。

5.2.5 井式基礎臨時擋土支撐採用不同工法之減碳效益試算

由現場實際執行狀況顯示，井式基礎臨時擋土支撐採用之工法並無強制規定，可依施工廠商經驗採用不同工法施作。本計畫探討相同規格井式基礎(直徑 9m)，但臨時擋土支撐採用桁架支保及噴凝土之工法(簡稱噴凝土工法)與採用混凝土之工法(簡稱混凝土工法)兩種不同工法之排碳量差異。由資料取得之狀況，以施工階段工程材料設計量之排碳量計算結果及單位排碳量差異，藉以瞭解可能之減碳潛勢。以下分段說明兩種工法、計算內容及排碳量計算結果，最後分析兩種工法之排碳量差異。

一、工法說明

依據兩種工法之設計內容，井式基礎主結構之混凝土及鋼筋等工程材料設計量皆相同，故本計畫僅探討井式基礎開挖期間之臨時擋土支撐所使用之工程材料差異，不同臨時擋土支撐工法之主要工程材料使用內容如表 5.2.5-1，由表可知兩工法分別使用噴凝土 210II 及混凝土 245II；噴凝土工法有使用桁架支保作為支撐，而混凝土工法則於混凝土澆置時需使用鋼模；此外兩工法皆會使用點焊網，本計畫將以表 5.2.5-1 內容作為排碳量計算基準。

表 5.2.5-1 井式基礎開挖期間臨時擋土支撐採用噴凝土與混凝土工法之工程材料彙整表

項目	噴凝土工法	混凝土工法
規格	直徑 9m；深 19.6m	直徑 9m；深 20.0m
混/噴凝土	噴凝土 210II	混凝土 245II
	速凝劑	
支保類型	桁架支保	-
其他材料	點焊網	點焊網
	-	鋼模(回收再利用)

二、工程材料活動量

兩工法之主要材料設計量彙整如表 5.2.5-2，因為點焊網在兩種工程材料之設計量單位(m²、片)與碳足跡係數計算單位(重量)不同，故本計畫

需先進行重量單位轉換，依據本計畫之盤查資料，點焊網單位重量為 3.39 kg/m² 或 39.29 kg/片，本計畫依此轉換係數計算各材料活動量，結果如表 5.2.5-3 所示。

表 5.2.5-2 噴凝土與混凝土工法之工程材料設計量彙整表

項目	噴凝土工法			混凝土工法		
	材料名稱	單位	設計量	材料名稱	單位	設計量
混/噴凝土	噴凝土 210II	m ³	84.51	混凝土 245II	m ³	86.24
	速凝劑	kg	1,690.20			
支保類型	桁架支保	組	16.00	-	-	-
其他材料	點焊網	m ²	811.30	點焊網	片	107.00
	-	-	-	鋼模(回收再利用)	kg	728.10

表 5.2.5-3 噴凝土與混凝土工法之工程材料活動量彙整表

項目	噴凝土工法			混凝土工法		
	材料名稱	單位	活動量	材料名稱	單位	活動量
混/噴凝土	噴凝土 210II	m ³	84.51	混凝土 245II	m ³	86.24
	速凝劑	kg	1,690.20			
支保類型	桁架支保	組	16.00	-	-	-
其他材料	點焊網	kg	2,750.31	點焊網	kg	4,204.46
	-	-	-	鋼模(回收再利用)	kg	728.10

三、工程材料排碳量計算

由兩工法之活動量(表 5.2.5-3)及所對應的碳足跡係數，計算兩工法之排碳量如表 5.2.5-4。關於混凝土工法於此次計算中有兩種情境，情境一未將重複使用之鋼模納入計算；情境二則是假設鋼模於該工程結束後即廢棄，計算結果為括弧內數字。係數來源方面，混/噴凝土、桁架支保係採用本計畫供應商實際盤查結果；速凝劑、點焊網及鋼模則是採用係數資料庫之係數。

由計算結果顯示，噴凝土工法之排碳量為 48.75 tCO₂e，混凝土工法則為 29.65 tCO₂e，另混凝土工法若將鋼模之排碳納入計算則排碳量為

31.34 tCO₂e。若考慮井式基礎深度，則兩工法之單位排碳量分別為 2.49 tCO₂e/m 及 1.48(1.57) tCO₂e/m。

表 5.2.5-4 噴凝土與混凝土工法工程材料排碳量彙整表

噴凝土工法					混凝土工法				
材料名稱	單位	活動量	係數	排碳量	材料名稱	單位	活動量	係數	排碳量
噴凝土 210II	m ³	84.51	0.3844	32.49	混凝土 245II	m ³	86.24	0.2406	20.74
速凝劑	kg	1,690.20	0.0004	0.61					
桁架支保	組	16.00	0.6139	9.82	-	-	-	-	-
點焊網	kg	2,750.31	0.0021	5.83	點焊網	kg	4,204.46	0.0021	8.91
-	-	-	-	-	鋼模(回收再利用)	kg	728.10	0.0023	1.69
總計				48.75	總計				29.65(31.34)
井式基礎單位長度排碳(19.6m)				2.49	井式基礎單位長度排碳(20.0m)				1.48(1.57)

備註：係數單位為 tCO₂e/unit，排碳量單位為 tCO₂e，單位長度排碳單位為 tCO₂e/m。

混凝土工法”總計”之()中數字為納入鋼模之排碳量，即為情境二之排碳量。

四、不同工法排碳量差異及減碳效益分析

由前節排碳量計算結果可以得知，混凝土工法不論是否有將鋼模之排碳量納入計算，其單位排碳量皆低於噴凝土工法。進一步分析工程材料項目排碳量，可以看出噴凝土工法除了額外使用桁架支保增加排碳量外，其噴凝土 210II 的碳足跡係數(0.3844 tCO₂e/m³)亦大於混凝土工法之混凝土 245II 碳足跡係數(0.2406 tCO₂e/m³)，主要為在本計畫中，混凝土 245II 有採用飛灰爐石粉替代水泥；另經查，因施工需求，一般在噴凝土的施工規範中禁止使用飛灰爐石粉替代水泥；故若單純就材料使用的部分，井式基礎開挖之臨時擋土支撐採用混凝土工法之排碳將較噴凝土工法低。施作一座直徑 9 m、深度約 20 m 之井式基礎所使用之工程材料排碳量差異約在 17.41 tCO₂e 至 19.1 tCO₂e，後續將視資料蒐集狀況，分析其他規格之井式基礎設計量以供參考。

依據前述結果，分析本工程 A 段直徑 9 m 之井式基礎減碳潛勢。以 A3 標 6 座之數量為例，若由噴凝土工法改採用混凝土工法，該標可能有約 104.46 tCO₂e 至 114.60 tCO₂e 之減碳潛勢。惟 A3 標總井式基礎數量為

20 座，故仍有 14 座不同規格之井式基礎尚未推估其減碳潛勢；依目前之分析結果，若井式基礎開挖之臨時擋土支撐採用混凝土工法為可行方案，A3 標 20 座井式基礎將有一定程度之減碳潛勢。

5.2.6 蘇花改工程整體節能減碳效益分析

依據前述章節之排碳量計算及分析結果，本計畫彙整目前已收集計算之減碳量及減碳潛勢的估算結果，包括鐵路運輸替代減碳量、飛灰爐石粉替代減碳量、工區臨時用電取代發電機減碳量以及運輸距離縮短之減碳潛勢；其中有關於工區臨時用電取代發電機之減碳量，考量長隧道使用發電機有其限制及疑慮，故在此僅將短隧道及鋼筋加工場兩部份納入。

彙整目前已收集之減碳措施與執行(考量)標別如表 5.2.6-1，各土建標之混凝土依照規格及配比要求，皆有將飛灰爐石粉替代納入考量；A2 標納入鐵路運輸替代；而工區臨時用電取代發電機方面，A1 標鋼筋加工場之工區臨時用電將納入考量，並考慮橋梁標短隧道之臨時用電取代發電機減碳效益。減碳潛勢方面，包括各標工程材料運輸距離縮短之減碳潛勢，另將 A3 標鋼筋加工如使用工區臨時用電之減碳潛勢納入；另本年度新增之井式基礎臨時支撐工法變更之項目，因目前尚未完整量化其減碳潛勢，故尚未納入彙整。

表 5.2.6-1 蘇花改工程採行或可行之減碳措施彙整表

標別	減碳措施	減碳潛勢
A1	飛灰爐石粉替代	工程材料運輸距離縮短 井式基礎臨時支撐工法變更
	工區臨時用電取代發電機	
A2	鐵路運輸替代	工程材料運輸距離縮短 井式基礎臨時支撐工法變更
	飛灰爐石粉替代	
A3	飛灰爐石粉替代	工區臨時用電取代發電機 工程材料運輸距離縮短 井式基礎臨時支撐工法變更
	工區臨時用電取代發電機	
C1A	飛灰爐石粉替代	工程材料運輸距離縮短
C2	飛灰爐石粉替代	工程材料運輸距離縮短 井式基礎臨時支撐工法變更

彙整本工程開工迄今之減碳量及減碳潛勢如表 5.2.6-2 及圖 5.2.6-1，目前整體減碳量為 121,892.89 tCO₂e，減碳潛勢約 441.67 tCO₂e。主要減碳量來源為飛灰爐石粉替代，約占 96%，並以 A2 標最高，此與工程完成度有關；飛灰爐石粉替代之策略執行，係因目前工業生產已朝向廢棄物資源化(再利用)及循環經濟邁進，混凝土中添加飛灰爐石粉為廢棄物之再利用及去化，對環境是具正面效益的；其他鐵路運輸替代或工區用電取代發電機，占比則較低，約占整體減碳量的 3%與 1%。減碳潛勢方面，目前主要考量內容為各標工程材料運輸距離縮短及 A3 標之鋼筋加工場以工區臨時用電取代發電機，A3 標之工程材料運輸距離縮短及場電替代之減碳潛勢相當，各標中以 A3 標具有較多之減碳潛勢。

表 5.2.6-2 蘇花改工程減碳量及減碳潛勢彙整表

標別	減碳措施	減碳量 (tCO ₂ e)	減碳潛勢	減碳潛勢 (tCO ₂ e)
A1	飛灰爐石粉替代	21,932.39	工程材料運輸距離縮短	30.67
	工區臨時用電取代發電機-隧道	377.33		
	工區臨時用電取代發電機-鋼筋加工場	318.00		
A2	鐵路運輸替代	4,512.00	工程材料運輸距離縮短	43.53
	飛灰爐石粉替代	30,061.32		
A3	飛灰爐石粉替代	16,080.67	工區臨時用電取代發電機-鋼筋加工場	176.60
	工區用電取代發電機-隧道	165.21	工程材料運輸距離縮短	190.87
C1A	飛灰爐石粉替代	30,133.60	工程材料運輸距離縮短	-
C2	飛灰爐石粉替代	18,312.37	工程材料運輸距離縮短	<0.01
總計		121,892.89	總計	441.67

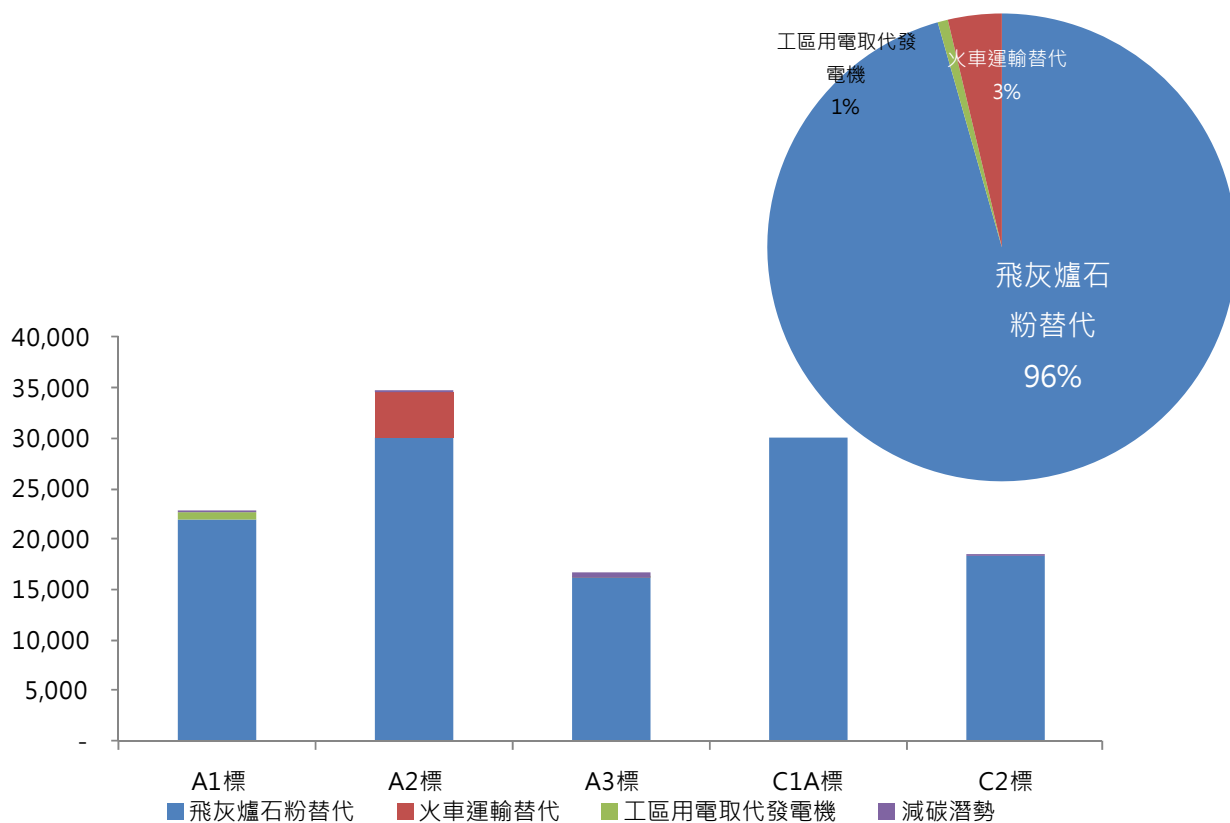


圖 5.2.6-1 蘇花改工程減碳量及減碳潛勢分析圖

目錄

.....	第五章 蘇花改計畫工程節能減碳措施
.....		5-1
5.1	工程減碳措施回顧.....	5-1
5.1.1	工程減碳措施回顧歷程與重點.....	5-3
5.1.2	日本工程碳管理及減碳措施.....	5-8
5.1.3	橋梁工程設計減碳策略.....	5-11
5.1.4	歐盟綠色採購之運輸減碳策略.....	5-16
5.1.5	綠道路評估指標減碳措施.....	5-19
5.1.6	國際減碳措施執行狀況評估及彙整.....	5-22
5.2	蘇花改工程減碳措施及預期減碳效益.....	5-24
5.2.1	運輸型式替代之減碳效益.....	5-24
5.2.2	材料替代之減碳效益.....	5-30
5.2.3	隧道場電與發電機用油之減碳效益評估.....	5-35
5.2.4	蘇花改工程材料運輸減碳效益試算.....	5-37
5.2.5	井式基礎臨時擋土支撐採用不同工法之減碳效益試算.....	5-41
5.2.6	蘇花改工程整體節能減碳效益分析.....	5-44
圖目錄		
圖 5-1	基礎設施工程碳排放減量潛勢圖.....	5-1
圖 5.1-1	承包商活動對溫室氣體排放影響的潛力.....	5-2
圖 5.1.1-1	英國基礎設施碳排放減量潛勢圖.....	5-7
圖 5.1.3-1	玻璃纖維(FRP)橋面板設計與應用.....	5-14
圖 5.1.3-2	整體式橋梁案例.....	5-14
圖 5.1.3-3	鋁合金橋面板應用.....	5-15
圖 5.1.3-4	波形鋼腹板設計及應用.....	5-15
圖 5.1.3-5	預鑄橋墩應用.....	5-15
圖 5.2.1-1	運輸距離縮短及鐵路替代之減碳效益占比分析.....	5-28

圖 5.2.6-1	蘇花改工程減碳量及減碳潛勢分析圖	5-46
-----------	------------------------	------

表目錄

表 5.1.1-1	美國 EPA 及 AASHTO 工程減碳措施彙總表	5-3
表 5.1.1-2	世界銀行 RIADEO 工具內含之工程減碳方案	5-4
表 5.1.1-3	世界銀行道路建造與更新之減碳策略成效分析	5-5
表 5.1.2-1	日本低碳機具油耗率基準值	5-10
表 5.1.2-2	機具節能運轉方案	5-11
表 5.1.5-1	綠道路評估指標減碳作為	5-19
表 5.1.6-1	國際減碳策略彙整及本計畫納入評估情形	5-23
表 5.2.1-1	東澳隧道不同運輸方案土方運輸距離	5-25
表 5.2.1-2	傾卸車參數統計結果	5-26
表 5.2.1-3	減碳效益計算用鐵路與公路運輸係數表	5-26
表 5.2.1-4	東澳隧道北口及南口鐵路替代運輸單位排放量	5-27
表 5.2.1-5	暫置場工程材料及機具能耗排碳量	5-28
表 5.2.1-6	暫置場工程材料及機具能耗單位排放量	5-29
表 5.2.1-7	鐵路替代運輸加入暫置場機料排放之單位排碳量及減碳量	5-30
表 5.2.2-1	各型混凝土水泥、飛灰及爐石粉使用量彙整表	5-30
表 5.2.2-2	飛灰與爐石粉替代水泥碳排放量與減碳量分析	5-33
表 5.2.2-3	各標工程以飛灰與爐石粉替代水泥之總減碳量分析	5-35
表 5.2.3-1	發電機及場電單位排碳量	5-36
表 5.2.3-2	場電與發電機用油之減碳效益評估(隧道工程)	5-37
表 5.2.3-3	場電與發電機用油之減碳效益評估(鋼筋加工場)	5-37
表 5.2.4-1	蘇花改各土建標運輸排碳占比與排碳量	5-37
表 5.2.4-2	土建標主要工程材料內容及運輸範圍	5-38
表 5.2.4-3	各土建標運輸距離超過 80 km 之工程材料	5-39
表 5.2.4-4	各土建標工程材料運輸之預估減碳量	5-39

表 5.2.4-5	各土建標主要工程材料重量占比與運輸距離關係分析表	5-40
表 5.2.5-1	井式基礎開挖期間臨時擋土支撐採用噴凝土與凝工法之工程材料彙整表 ..	5-41
表 5.2.5-2	噴凝土與凝工法之工程材料設計量彙整表	5-42
表 5.2.5-3	噴凝土與凝工法之工程材料活動量彙整表	5-42
表 5.2.5-4	噴凝土與凝工法工程材料排碳量彙整表	5-43
表 5.2.6-1	蘇花改工程採行或可行之減碳措施彙整表	5-44
表 5.2.6-2	蘇花改工程減碳量及減碳潛勢彙整表	5-45

第六章 後續執行規劃

本計畫執行共分為 5 個重點課題(如圖 6-1 所示)，包括前期的制度建立(課題 1)，中期的盤查輔導執行、資料庫建置及查證聲明取得(課題 2~4)，及盤查輔導執行過程中及完成後所產出之資料加值應用(課題 5)。截至本期為止，本計畫已完成道路工程碳盤查制度建立之建議(課題 1，成果詳另冊之正式工程碳足跡盤查執行計畫書)；並循中仁隧道新建工程(C1 標)、東澳東岳段新建工程(A3 標)、東澳隧道新建工程(A2 標)、蘇澳永樂段新建工程(A1 標)、仁水隧道新建工程(C2 標)、蘇澳東澳段機電工程(A4 標)、交通控制系統工程(E1 標)、中仁隧道接續工程(C1A 標)、南澳至和平段機電工程(B5 標)及和中清水段機電工程(C3 標)之開始作業通知，開始執行各標盤查輔導準備工作(課題 2)，包括辦理啟始會議、教育訓練、座談會等。而後在工程實際開工、承包商開始填報盤查資料後，每月進行現場輔導、持續且正確累積資料庫系統中的資料量(課題 3)，並已於 108 年 1 月取得 A 段查證聲明書(課題 4)，進而以數據分析結果探討與擬訂蘇花改計畫工程碳足跡減量策略(課題 5)，期能在最終本計畫執行完成後，由蘇花改計畫碳管理經驗形成一套適用於我國的道路暨公共工程碳管理模式。



圖 6-1 本計畫重點課題

以下即分節說明接續本期執行成果及未來工程規劃期程，就 108 年上半年度之工作重點、審查意見辦理情形及整體規劃以及計畫執行成果及建議說明於後。

6.1 下期工作重點

依據本報告第一章計畫預定進度，108 年上半年度預期執行之工作項目與進度管控時間點如表 6.1-1 所示，另就各項目內容概述於後。

一、盤查制度與執行流程規劃

持續依據各標工程碳足跡盤查輔導經驗，就盤查資料填報、檢核、矯正程序與時間點，以及各式表單內容進行檢討與修正，提升各式數據及佐證資料的提供、檢核與彙整分析的效率，確保工程碳足跡盤查資料品質。

二、工程碳足跡盤查相關文獻蒐集與回顧

持續追蹤國內外與工程碳足跡盤查或查證相關之參考文件及規範的發展及應用狀況、對應瑞典交通設施產品類別規則模組及道路、橋梁及隧道工程產品類別規則完成的環境宣告文件、工程會推動公共工程碳排放估算與盤查狀況及環保署碳足跡推動規範與係數資料庫之發展進度等；並持續就本計畫盤查作業所獲致之本土道路工程碳排放特性，蒐集相關工程減碳策略與成效分析方法與結果，作為後續執行期間對承包商提出可行減碳策略的參考。

三、盤查輔導與查證作業執行

持續進行本工程 5 個標別(2 個土建標、2 個機電標與 1 個交控標)的碳足跡盤查輔導工作，查證小組亦固定於每月執行前月碳足跡盤查資料的月檢查工作，確保碳足跡盤查進度與資料品質；相關進度與階段性資料蒐集與分析成果，已詳述於本報告書第三、四章。

四、A 段查證及發證作業

本計畫已於 107 年底完成 A 段各區段及 A 段全區之查證作業，並於 108 年 1 月 8 日辦理 4 張 ISO 14067:2018 查證聲明書之授證典禮，完成 A 段之證書核發作業。

表 6.1-1 108 年度上半年工作項目與查核點

工作項目	工作細項及重點	108 年						
		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月
盤查制度與執行規劃	盤查表單與系統維護、更新							
文獻蒐集與回顧	1. 制度與案例蒐集回顧							
	2. 碳足跡規範與道路工程相關產品類別規則追蹤							
	3. 工程減碳策略蒐集與回顧							
盤查輔導作業	1. C1A 標							
	2. C2 標							
	3. B5 標							
	4. C3 標							
	5. E1 標							
BSI 查證	107 年度查證							
	A 段授證							
資料庫系統維護與擴充	1. 資料庫系統功能擴充							
	2. 係數資料庫系統功能擴充							
	3. 碳足跡計算介面設計與建置							
	4. 碳足跡計算與分析邏輯建立							
工作成果提送	1. A 段盤查總結報告(108.01)							
	2. 107 年度年末報告(108.01)							
	3. 107 年度碳足跡盤查清冊及預審結果報告(108.3)							
	4. 108 年度年中報告(108.07)							

五、資料庫維護與功能擴充

目前碳盤查資料庫系統已可以自動產生排碳量清冊，本計畫將持續維護並新增系統功能，完備資料庫系統，增加碳排放量清冊產生之效率。

本計畫也將持續參照工程處、工務段及監造單位和承包商相關人員的建議與意見，檢討與改善相關資料填查或維護界面，持續提升碳足跡盤查資料資料庫系統的應用效益。

六、工作成果提送

本計畫 108 年上半年度預定提送之成果包括：在 108 年 1 月底前提送 107 年度年末進度報告書及蘇澳東澳段(A 段)總結報告定稿；在 2 月 20 至 22 日及 3 月 6 日進行 107 年度查驗機構年度預審，預計於 3 月 29 日提送 107 年度碳足跡盤查清冊及預審結果報告；並於 108 年 7 月底前提送 108 年度年中進度報告書。

6.2 審查意見辦理情形及整體規劃

6.2.1 節將就開工迄今歷次進度報告審查之委員意見辦理情形進行彙整，說明執行中意見處理規劃及辦理進度；另依據計畫執行進度、分析規劃及委員建議，於 6.2.2 節就開工迄今及後續資料彙整及分析內容，進行整體規劃說明。

6.2.1 委員意見辦理情形彙整

本計畫於附錄 I 表列前次委員意見及目前執行情形(附錄 I-1 為執行中審查意見彙整；附錄 I-2 為前次委員意見執行進度；附錄 I-3 於光碟檔案彙整歷次審查意見及執行進度)，由附錄 I-1 與附錄 I-2 首先彙整各節之意見內容、執行進度及預計完成期程於表 6.2.1-1，並於表 6.2.1-1 後逐項說明執行情形及規劃，本節僅彙整尚未執行完畢之內容，前期已執行完畢或者為逐年持續執行之內容，將不在此贅述。

表 6.2.1-1 本計畫委員歷次意見尚在執行中之彙整表

意見類別	意見內容	執行狀況
第二章 文獻回顧	國際碳足跡計算器應用及公共工程碳排放量化工具可行性	107 年度進度報告 (2.2.2 節)
第三章 盤查執行	碳盤查係數及線上系統建置及加值功能研析	持續進行
	建議以 PDCA 之方式，檢視數據和計算方式，以利後續盤查進行。	持續進行
	現場人員與設計單位回饋碳管理成果	持續進行
第四章 結果分析	谷風隧道大抽坍收集數據及分析	107 年度進度報告 (4.2.3 節-四)
	反思碳足跡盤查產出結果目的，確保執行成果能夠更具應用價值。	持續進行
	探討排碳差異之議題： (1)隧道工程 H 型支保及桁型支保 (2)鋼纖噴凝土及鋼線網與噴凝土 (3)大斷面隧道與雙孔雙向隧道。	(1)承包商現場輔導說明 (2)106 年度進度報告 (3)107 年度進度報告 (4.2.4 節)
	蘇花改碳管理計畫之結果與其他工程碳管理計畫比較分析。	108 年度進度報告
第五章 減碳措施	考量設計時力求減少量體，以達較高之減碳之作為。	-
	減碳策略分析應著重於工程技術、工程材料的影響，工程技術可能直接間接減少材料使用。	-
	國內外節能減碳文獻彙整及與蘇花改工程之差異分析。	107 年度年中進度報告

一、文獻回顧審查意見辦理情形說明(碳足跡計算器開發)

關於目前碳足跡計算器或者國內開發之計算器應用於公共工程碳排放量計算之可行性，依照目前資料蒐集成果顯示，計算器對於材料單位轉換過程仍有進步空間，資料庫及判斷模式仍需要擴充，如「開發設計導向之永續運輸基礎設施管理碳足跡評估工具-公路橋梁系統」文末結論及建議中提到其相關之數據資料庫與情境設定仍在開發中。

本團隊之線上碳盤查系統資料已收集多個工程案之內容，對於大部分工程常使用之工程材料、機具能耗等資訊，已有相當程度之資訊，惟

在單位轉換過程仍需要人為依照經驗進行判定，始能產出碳足跡計算結果，對於碳足跡清冊如何自動化或簡化其過程，可待未來相關研發案的支持。

二、盤查執行審查意見辦理情形說明

(一)碳盤查係數及線上系統建置及增值功能研析

委員提出對於線上系統增值功能之建議，本計畫彙整相關項目追蹤及完成進度說明於表 6.2.1-2。

表 6.2.1-2 線上系統增值功能委員意見執行狀況彙整表

類別	項目	執行進度
Input	盤查期間(起迄)-2017	已新增(107 年度排放清冊顯示)
	路、橋、隧之工程規模-2017	人工新增(107 年度排放清冊顯示)
	盤查範疇(LCA) -2017	已新增(107 年度排放清冊顯示)
	盤查依據(ISO 14067) -2017	已新增(107 年度排放清冊顯示)
	碳盤查係數依據資料庫-2017	人工新增(107 年度排放清冊顯示)
	資料庫編碼-2017	無法執行
	設計資料匯入-2018	已新增(儲存於線上系統)
Output	功能單位之排放當量-2017	人工更新(研析中，尚無法自動產出)
	一級數據占比-2017	人工更新(研析中，尚無法自動產出)
	基本圖表(自動產出) -2017	人工更新(開發中)
	PCCES(工料)之編碼相對應-2017	無法執行

(二)以 PDCA 方式檢視數據和計算方式，以利後續盤查進行

持續就蒐集資料的數據與佐證資料、估驗計價、設計資料及結算資料進行比對，確認數據之合理性，並由第三方查驗機構進行檢查及查證，確保資料正確性及產出資料可供後續盤查工作參考。

(三)現場人員與設計單位回饋碳管理成果

本計畫除於 107 年度上半年度與設計單位討論，回饋及分享盤查執行成果外；另於 107 年 12 月亦於現場輔導時，與現場人員進行討論、分享及回饋目前執行碳管理成果及說明配合碳盤查之需求，相關紀錄詳 4.2.2 節；此外，本計畫亦於中興公司 107 年 10 月 25 日辦理

之內部經驗傳承教育訓練回饋成果予設計及監造人員，獲得許多工程實質面之回應；未來將視狀況，在適當的時機回饋盤查成果。

三、結果分析審查意見辦理情形說明

(一)谷風隧道大抽坍排碳量數據蒐集及分析

本計畫經持續與 B 段監造聯繫，已取得抽坍相關資料，計算內容詳 4.2.3 節。

(二)反思碳足跡盤查產出結果目的，確保成果更具應用價值。

本計畫工作內容除蒐集及核對現場提供資料，以確保產出排碳量數據之品質；另在盤查結果應用方面，目前已完成機具能耗分析及不同工項之排碳量比較，提供承包商施工參考，並可作為未來其他案例推估參考數據；另亦對於各標別之相同工項進行分析比較，如不同岩層之隧道開挖作業單位排碳量，橋梁基礎、墩柱及上構之單位排碳量等，相關成果應已具有應用價值。未來將持續進行前述分析，並加註限制條件，確保成果之應用性。

(三)探討排碳差異議題：

- 1.隧道工程 H 型支保及桁型支保：已於承包商現場輔導中與承包商說明
- 2.鋼纖噴凝土及鋼線網與噴凝土：已於 106 年度進度報告中說明。
- 3.大斷面隧道與雙孔雙向隧道：於本報告第 4.2.4 節說明。

(四)蘇花改碳管理計畫之結果與其他工程碳管理計畫比較分析

本計畫為公路總局第一個啟動的碳管理計畫，蘇澳東澳段剛於 108 年 1 月完成發證；另公路總局西濱南八棟寮九塊厝工程亦已完工並取得 3 個標別及全工程之查證聲明書，此工程為高架快速道路工程，後續本計畫將就其盤查結果與本計畫執行結果進行分析比較。

四、減碳措施審查意見辦理情形說明

(一)設計時考量減少量體以達較高減碳之作為

本計畫將待更多盤查資料與碳足跡計算結果產出，量化說明工程量體與排碳間的關係，再據以提出減碳設計作為。

(二)減碳策略分析應著重於工程技術、工程材料的影響，工程技術可能直接間接減少材料使用

本計畫在探討減碳策略的過程中，基於分析結果顯示工程材料排碳占比最大，但各盤查執行標的受限於既定的設計內容，幾乎無直接減碳空間，而無法提出適當的減碳策略。考量委員之建議內容，以未來可輔助新工法或技術選擇之參考為出發點。

(三)國內外節能減碳文獻彙整及與蘇花改工程之差異分析

本計畫於報告 5.1.6 節彙整本工程於規劃及施工階段研擬之減碳措施的實際執行成果，並就其是否可行進行說明。

6.2.2 整體規劃及願景

考量本計畫為國內現階段執行工程碳足跡盤查年限最長，工程內容也最為多樣的碳管理計畫，可預期所蒐集的資料項目與數量將相對豐富但龐雜。為求有效整合分析數據、於執行過程中持續回饋具有應用價值的資訊與建議，提升本計畫執行成效，在此先依據工程進度就可分析之資料內容，羅列本計畫執行至今研議重點及待執行項目如表 6.2.2-1，土建標將隨工進陸續新增分析項目，由於 A 段已通車並核發查證聲明書，故分析項目皆已完成；C 段及機電交控標部分，因為目前工程刻正進行中，故有部分分析項目尚未進行，本計畫將待工程執行至一定程度後分析。

整體而言，本計畫之願景為：基於落實符合國際標準的碳足跡盤查程序於蘇花改工程之執行經驗，提出具體的數據分析結果(如表 6.2.2-1)，據以宣導並帶動我國公共工程生命週期與供應鏈碳管理機制及減碳作為，輔助達成我國整體節能減碳總目標。

表 6.2.2-1 本計畫研議分析項目檢核表

區段	標別	議題規劃	已完成分析內容	108 年及後續待執行項目
A 段	A1 標	基樁工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 基樁單位長度-斷面積排放 ● 基樁單位長度-斷面積機具能耗 	
		樁帽(基礎層)工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 樁帽(基礎層)單位體積-斷面積排放 ● 樁帽(基礎層)單位體積-斷面積機具能耗 	
		井式基礎工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 井式基礎單位長度-斷面積排放 ● 井式基礎單位長度-斷面積機具能耗 	
		墩柱工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 墩柱單位長度-斷面積排放 ● 墩柱單位長度-斷面積機具能耗 	
		下構工程	● 各部分單位排碳量彙整	
		上構工程	● 上構工程單位面積-斷面積排放	
		整體橋梁工程	● 整體單位面積-斷面積排放	
		短隧道工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 眼鏡型隧道碳排放特性分析 ● 整體短隧道分析 ● 整體短隧道機具能耗 	
	A2 標/隧道標	隧道下半	● 上半工程單位前進米-斷面積排放(分岩體及作業項目)	
		隧道台階	● 台階工程單位前進米-斷面積排放(分岩體及作業項目)	
		隧道仰拱	● 仰拱工程單位前進米-斷面積排放(分岩體)	
		基樑工程	● 基樑工程單位前進米-斷面積排放	
		襯砌工程	● 襯砌工程單位前進米-斷面積排放	

區段	標別	議題規劃	已完成分析內容	108年及後續待執行項目
		整體隧道	<ul style="list-style-type: none"> ● 隧道工程單位前進米-斷面積排放(分岩體) ● 整體隧道機具能耗 	
		抽坍處理	<ul style="list-style-type: none"> ● 抽坍處理之影響(分岩體) 	
	A3標	基樁工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 基樁單位長度-斷面積排放 ● 基樁單位長度-斷面積機具能耗 	
		樁帽(基礎層)工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 樁帽(基礎層)單位體積-斷面積排放 ● 樁帽(基礎層)單位體積-斷面積機具能耗 	
		井式基礎工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 井式基礎單位長度-斷面積排放 ● 井式基礎單位長度-斷面積機具能耗 	
		墩柱工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 墩柱單位長度-斷面積排放 ● 墩柱單位長度-斷面積機具能耗 	
		下構工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 各部分單位排碳量彙整 	
		上構工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 上構工程單位面積-斷面積排放 	
		整體橋梁工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 整體單位面積-斷面積排放 ● 整體短隧道機具能耗 	
		短隧道工程	<ul style="list-style-type: none"> ● 眼鏡型隧道碳排放特性分析 ● 整體短隧道分析 ● 整體短隧道機具能耗 	
	橋梁標	基樁工程	<ul style="list-style-type: none"> ● A段基樁工程排放特性綜合分析 	
		樁帽(基礎層)工程	<ul style="list-style-type: none"> ● A段樁帽(基礎層)工程排放特性綜合分析 	
		井式基礎工程	<ul style="list-style-type: none"> ● A段井式基礎工程排放特性綜合分析 	
		墩柱工程	<ul style="list-style-type: none"> ● A段墩柱工程排放特性綜合分析 	

區段	標別	議題規劃	已完成分析內容	108年及後續待執行項目
		下構工程	● A段下構工程排放特性綜合分析	
		上構工程	● A段上構工程排放特性綜合分析	
		整體橋梁工程	● A段橋梁上構排放特性綜合分析	
		短隧道工程	● A段短隧道排放特性綜合分析	
B段	B1~B4標	排碳量推估及分析	● B1排碳量推估及分析 ● B4排碳量推估及分析	● B2排碳量推估及分析 ● B3排碳量推估及分析
C段	C1/C1A標	隧道下半	● 上半工程單位前進米-斷面積排放(分岩體及作業項目)	
		隧道台階	● 台階工程單位前進米-斷面積排放(分岩體及作業項目)	●
		隧道仰拱	● 仰拱工程單位前進米-斷面積排放(分岩體)	●
		基樑工程	● 基樑工程單位前進米-斷面積排放	●
		襯砌工程	● 襯砌工程單位前進米-斷面積排放	●
		整體隧道	● 隧道工程單位前進米-斷面積排放(分岩體)	●
		抽坍處理		● 抽坍處理之影響(分岩體)
	C2標	隧道下半	● 上半工程單位前進米-斷面積排放(分岩體)	
		隧道台階	● 台階工程單位前進米-斷面積排放(分岩體)	●
		隧道仰拱	● 仰拱工程單位前進米-斷面積排放(分岩體)	●
		基樑工程	● 基樑工程單位前進米-斷面積排放	●
		襯砌工程	● 襯砌工程單位前進米-斷面積排放	●
		整體隧道	● 隧道工程單位前進米-斷面積排放(分岩體)	●
		抽坍處理		● 抽坍處理之影響(分岩體)
全區段	橋梁標	整體橋梁工程	● 橋梁標整體橋梁工程排碳特性比較	

區段	標別	議題規劃	已完成分析內容	108年及後續待執行項目
		短隧道工程	● 短隧道工程排碳特性比較	
	隧道標	整體隧道		● 隧道工程排碳特性比較
	全區各標別	進度關聯分析	● 蘇花改各標工程進度與排碳源組成占比、工項占比分析(年度報告分析)	
		承包商/協力廠商 機運具能耗	● 承包商及協力廠商主要機具/運具單位能耗 ● 承包商管理單位公務車/機車單位能耗 ● 供應商運具單位能耗	
		供應商材料 產製/運輸	● 混凝土預拌廠產品製程排放活動量蒐集分析 ■ 宜興冬山廠 ■ 宜興南澳廠 ■ 享正 ■ 久屋 ■ 友誠 ● 混凝土預拌車能耗分析 ● 瀝青混凝土廠(宜陽、鑫龍) ● 水泥廠(亞泥花蓮廠、信大南聖湖廠) ● 鋼筋廠(宜聯鋼鐵、東和桃園廠) ● 電纜廠(億泰) ● 不鏽鋼管廠(彰源) ● 支保廠(威建、弘浚)	● 燈桿廠(中工) ● 盤體(士林電機) ● 鋼橋結構廠
	減碳策略效益分析	● 飛灰爐石替代水泥(盤查量) 減碳 ● A2、A1 鐵路替代公路土方運輸減碳	● 不同類型工程減碳熱點、效益計算與結果分析(持續更新)	

區段	標別	議題規劃	已完成分析內容	108年及後續待執行項目
			<ul style="list-style-type: none"> ● 已工區臨時用電替代發電機機減碳 ● 不同類型工程減碳熱點、效益計算與結果分析 ● 井式基礎臨時支撐工法變更減碳效益 	
機電交控工程	A4、E1、B5標		<ul style="list-style-type: none"> ● 機電及交控工程項目與內容特性蒐集 ● 機電及交控工程盤查邊界確認 	<ul style="list-style-type: none"> ● 機電及交控標工程碳盤查結果分析 ● 蘇花改機電及交控工程排放與土建工程特性關聯分析

6.3 計畫執行成果及建議

本計畫自 101 年執行至今，除完成盤查制度之建置及實際執行外，經由供應商盤查，已逐步產出本土化工程材料碳足跡參數；並由輔導承包商執行盤查過程，逐步調整盤查程序；B 段未盤查標別亦陸續完工，本計畫已完成 B1 及 B4 標之排碳量推估作業，並與盤查標別比較，以瞭解本工程之排碳特性。以下就供應商執行成果及未來發展及承包商盤查配合之執行提出建議，供未來執行參考。

6.3.1 供應商盤查碳足跡盤查成果及發展

本計畫已進行大宗材料供應商盤查，並彙整可提供相關單位應用之參考資訊，如表 6.3.1-1。鋼筋、水泥及混凝土係數在 105 年初經第三方查證單位以年度查核或進場查證確認，前次審查彙整各方意見，並經主管機關及供應商同意後，已提供予環保署碳足跡計算服務平台(詳表 3.3.9-1)；瀝青混凝土係數部分，確認後再予以公開，另本年度完成支保製程碳足跡計算結果。

大宗材料(鋼筋、水泥等)之盤查區間最近年度已是 103 及 104 年，將持續蒐集新年度資料，以符合查證需求；108 年度將持續與供應商溝通，更新相關碳足跡係數年度資料。

表 6.3.1-1 本計畫產出係數(更新?)

材料	廠商	規格	碳足跡係數 (kgCO ₂ e/kg)	時間區間	是否 經第三方查證
鋼筋	宜聯鋼鐵廠	鋼筋	0.970~0.979	102~103 年	是
	羅東鋼鐵廠 (一貫製程)	鋼筋	0.809	104 年	年度查核
		鋼胚	0.654~0.709	102~104 年	年度查核
水泥	亞泥花蓮廠	熟料	0.926~0.951	102~103 年	是
		水泥	0.883~0.906		是
	信大南聖湖廠	熟料	0.968	103 年	是
		水泥	0.932		是
混/ 噴凝土	各廠	各型混/噴凝土	詳表 3.3.5-1	102~105 年	年度查核
瀝青	鑫龍(A1、A2)	3/4 密集配	0.0834	105~106 年 21 次	年度查核

材料	廠商	規格	碳足跡係數 (kgCO ₂ e/kg)	時間區間	是否 經第三方查證
混凝土		25 粗級配	0.0912	105~106 年 17 次	年度查核
	宜陽	1/2 密集配	0.0833	104 年 6 次	年度查核
		3/4 密集配	0.0754	104 年 6 次	年度查核
		25 粗級配	0.0746	104 年 5 次	年度查核
	陸輝	再生瀝青	0.0636	105 年單次	年度查核
電纜	億泰	各型電纜	0.46~15.36	105 年~106 年	年度查核
不鏽鋼管	彰源	各型不鏽鋼管	2.78	105 年	年度查核
支保製程	威建、弘浚	單位支保 光面鋼筋	0.213~0.232 (不含原料)	106 年	年度查核

6.3.2 計畫執行建議及後續規劃

一、供應商盤查

本計畫已執行至支保、各式電纜、電纜線架等工程材料之盤查作業，在 107 年度年中進度審查後，E1 標電線電纜供應商已順利進場並取得碳足跡計算所需資料，及完成電線電纜之計算碳足跡。

另考量本計畫仍需取得本土化碳足跡係數，將持續協調 C1A、C2 標瀝青混凝土供應商及 C3 標供應商，提供相關資料。

二、抽坍處理排碳量定量分析

依據蘇花改 A2 標抽坍處理之資料內容顯示，部分雖有抽坍報告可供參考計算，但無整體隧道之完整抽坍材料數量，且經與監造與承包商確認，抽坍材料之使用數量沒有於估驗計價數量中分別呈現，故建議後續工程可於進行抽坍處理時通知輔導單位，並要求承包商於填報時標註說明為抽坍處理使用。目前 C 段監造及承包商皆已了解相關狀況，對於抽坍處理項目已另外標示，以利後續資料分析。

目錄

第六章 後續執行規劃.....	6-1
6.1 下期工作重點.....	6-2
6.2 審查意見辦理情形及整體規劃.....	6-4
6.3 計畫執行成果及建議.....	6-14
6.3.1 供應商盤查碳足跡盤查成果及發展.....	6-14
6.3.2 計畫執行建議及後續規劃.....	6-15

圖目錄

圖 6-1 本計畫重點課題.....	6-1
--------------------	-----

表目錄

表 6.1-1 107 年度下半年工作項目與查核點.....	6-3
表 6.2-1 本計畫執行中之委員意見列表.....	6-5
表 6.2-2 本計畫研議重點檢核表.....	6-9
表 6.3.1-1 本計畫產出係數.....	6-14

參考文獻

- [1] A.Saibaba, (2013). Sustainable Design & Construction of Long Span Bridges.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), (2010). Greenhouse Gas Mitigation Measures for Transportation Construction, Maintenance, and Operations Activities. [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP25-25\(58\)_FR.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP25-25(58)_FR.pdf)
- [3] Arup, (2008). Sustainability of Geotechnical & Structural Assets - Review of Embodied Energy in Construction of Geotechnical Highway Structures. Project report of UK Highway Agency. http://www.highways.gov.uk/knowledge_compendium/assets/documents/Portfolio/Sustainability%20of%20sturctural%20and%20geotechnical%20assets%20-%20embodies%20energy%20-%201131.pdf
- [4] Arup, (2010). Strategic Forum for Construction & Carbon Trust, Construction Carbon 15% Target by 2012, Scoping Paper. <http://www.strategicforum.org.uk/pdf/0005%20Baseline%20carbon%20assessment%20Rev%20A%20for%20public%20release.pdf>
- [5] Agence Française de Développement, (AFD), (2012). The AFD Carbon Footprint Tool for Projects User's Guide and Methodology. <http://www.afd.fr/webdav/shared/PORTAILS/SECTEURS/CLIMAT/pdf/Carbon%20footprint%20user%20guide%20-%20007.05.2011.pdf>
- [6] Asian Development Bank (ADB), (2010). Methodology for Estimating Carbon Footprint of Road Projects, Case Study: India. ISBN: 978-92-9092-028-1. <http://www.adb.org/publications/methodology-estimating-carbon-footprint-road-projects-case-study-india>
- [7] BRE Global Ltd, (2013). Product Category Rules for Type III Environmental Product Declaration of Construction Products to EN 15804 : 2012.
- [8] Barandica, J. M., Gonzalo, F. S., Berzosa, Á., Delgado, J. A. and Acosta, F. J., (2013). "Applying Life Cycle Thinking to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Road Projects." *Journal of Cleaner Production*, 57, p79-91.
- [9] Carbon Trust, (2010). Carbon: Reducing the Footprint of the Construction Process - an Action Plan to Reduce Carbon Emissions. <http://www.strategicforum.org.uk/pdf/06CarbonReducingFootprint.pdf>
- [10] Celsa Steel Service AB, (2012). Steel Reinforcement Products for Concrete

- Environmental Product Declaration.
- [11] Celsa Steel Service AS, (2012). Steel Reinforcement Products for Concrete Environmental Product Declaration.
- [12] Celsa Steel Service OY, (2012). Steel Reinforcement Products for Concrete Environmental Product Declaration.
- [13] Celsa Steel Service A/S, (2012). Steel Reinforcement Products for Concrete Environmental Product Declaration.
- [14] Caltrans (California Department of Transportation), (1983). Energy and Transportation Systems. California Department of Transportation, Division of Engineering Services, Office of Transportation Laboratory. Sacramento, California.
- [15] Daniel, K., Hans-Jörg A., Tina K. and Martin, L. (2007). Life Cycle Inventories of Building Products, Final Report Ecoinvent Data v2.0 No. 7. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, Online-Version under: www.ecoinvent.org.
- [16] European Commission JRC, (2016), Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance, Procurement Practice Guidance Document.
- [17] European Commission, (2016), Commission Staff Working Document, EU Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance.
- [18] European Commission, (2016), Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance, Technical Report and Criteria Proposal.
- [19] European Network of Construction Companies for Research and Development, (ENCORD) (2012). Construction CO_{2e} Measurement Protocol.
- [20] Ellen Macarthur Foundation. <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>>
- [21] Fry, C., Ellis, S., McColl-Grubb, V., Griffiths, P., (2004). Calculating Carbon Emissions from Highways Agency Construction and Maintenance Activities – Scoping Paper. TRL Limited, Unpublished Project Report PR/SE/954/04.
- [22] Gallivan, F., et. al., (2014), FHWA Infrastructure Carbon Estimator: Final report and user guide.
- [23] Highways England, (2015), Highways England Carbon Tool Guidance. Online document: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/453177/>

Task_446_Guidance_Document.pdf>

- [24] Highways England, (2016), Carbon Emissions Calculation tool v1.03.<
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/553866/Task_446_Carbon_Tool_v1.03.xlsm >
- [25] HM Treasury, (2013). Infrastructure Carbon Review.
- [26] HM Treasury, (2013). Infrastructure Carbon Review. < <https://www.gov.uk/government/publications/infrastructure-carbon-review> > ISBN 978-1-909790-44-5.
- [27] Holcim Romania, (2014). Grey Cement. Environmental Product Declaration.
- [28] ISO/CNS 14040, (2006)。環境管理-生命週期評估-原則與架構。
- [29] ISO/CNS 14044, (2006)。環境管理-生命週期評估-要求事項與指導綱要。
- [30] ISO/CNS 14025, (2006)。環境標誌與宣告-第3類環境宣告原則與程序。
- [31] ISO/DIS 14067, (2012). Carbon Footprint of Products - Requirements and Guidelines for Quantification and Communication. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=59521
- [32] ISO/TS 14067 : 2013 , (2013). Greenhouse Gases - Carbon footprint of Products - Requirements and Guidelines for Quantification and Communication.
<https://www.iso.org/standard/59521.html> 。
- [33] ISO 14067 : 2018 , (2018). Greenhouse Gases - Carbon Footprint of Products - Requirements and Guidelines for Quantification.
<https://www.iso.org/standard/71206.html>
- [34] International EPD® System, (2013). General Programme Instructions (Version 2.01).
<http://www.environdec.com/it/The-International-EPD-System/General-Programme-Instructions/#.Uuc2WNIVHGg>
- [35] International EPD® System, (2013). PCR Basic Module for UN CPC 53 Constructions, Version 2.0. http://www.environdec.com/en/PCR/Detail/?Pcr=7070&id=158&eps_language=en#.UsJmtdIW1QA
- [36] International EPD® System, (2013). PCR Basic Module for UN CPC 53 Land Transport Infrastructure. <http://www.environdec.com/en/PCR/Detail/?Pcr=8800#.UsJnkdIW1QA>
- [37] International EPD® System, (2013). PCR for CPC 53211: Highways (Except Elevated Highways), Streets and Roads. <http://www.environdec.com/en/PCR/Detail/?Pcr=5952#.>

UsJn9dIW1QA

- [38] International EPD® System, (2013). PCR for CPC 53221: Bridges and Elevated Highways. Online document, <http://www.environdec.com/en/PCR/Detail/?Pcr=9377#.UsJoXNIW1QA>
- [39] International EPD® System, (2013). EPD of UN CPC 53212 Railway Bridge on the Madrid-Galicia North-Northwest High-Speed Line, “Arroyo Valchano” Railway Bridge. Acciona Infraestructuras SA. <http://www.environdec.com/en/Detail/?Epd=9342>
- [40] International EPD® System, (2013). EPD of UN CPC 53211 N-340 Road, “N-340 Road” . Acciona Infraestructuras SA. <http://www.environdec.com/en/Detail/?Epd=9697>
- [41] International EPD® System, (2014). PCR for Highways (Except Elevated Highways), Streets and Roads v1.02.
- [42] International EPD® System, (2014). PCR for Buildings.
- [43] International EPD® System, (2015). PCR Basic Module for Construction Products and Construction Services v2.0.
- [44] International EPD® System, (2018). PCR for Bridges, Elevated Highways and Tunnels, v1.0.
- [45] International EPD® System, (2018). PCR for Bridges, Elevated Highways and Tunnels, v1.1.
- [46] International EPD® System, (2018). PCR for Highways, Streets and Roads (Except Elevated Highways), v2.0.
- [47] IVL Swedish Environmental Research Institute, (2010). Life Cycle Assessment of Railways and Rail Transport-Application in Environmental Product Declarations (EPDs) for the Bothnia Line. <http://www.ivl.se/download/18.7df4c4e812d2da6a416800072122/B1943.pdf>
- [48] Kawakami, A., Nitta, H., Kanou, T. and Kubo, K., (2009). Study on CO₂ Emissions of Pavement Recycling Methods, REAAA 13th Conference. <http://www.pwri.go.jp/eng/activity/pdf/reports/kawakami090923.pdf>
- [49] Li, G., (2014). Road to Low Carbon Construction - Introduction to CIC Carbon Labeling Scheme for Construction Materials, Zero Carbon Building, Construction Industry Council.
- [50] Mukherjee, A. and Cass, D., (2011). “Organizational Challenges of Implementing

- Greenhouse Gas Emission Control Tools.” Engineering Project Organizations Conference Estes Park, Colorado. http://www.epossociety.org/EPOC2011/papers/mukherjee_cass.pdf
- [51] McGourty, K., Beimborn, E., Dunlap, K., (2009). Columbia River Crossing Greenhouse Gas Emission Analysis Expert Review Panel Report. http://www.columbiarivercrossing.org/FileLibrary/TechnicalReports/GHG_PanelReport_010809.pdf
- [52] Medgar, L. M., Michael A. N., and Martha G. V. (2010). Life Cycle Inventory of Portland Cement Manufacture, Portland Cement Association, SN2095b.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA.
- [53] NCC AB, (2014). Environmental Product Declaration for the Concept of the NCC Composite bridge.
- [54] NCC AB, (2015). Environmental Product Declaration for the Pedestrian and Bicycle Bridge 15-1787-1 over Viskan in project Road 27.
- [55] National Asphalt Pavement Association, (2017). Product Category Rules (PCR) for Asphalt Mixtures.
- [56] Nesher Israel Cement Enterprises Ltd, (2014). Portland cement - CEM II 42.5 N/AM-SLV. Environmental Product Declaration.
- [57] Nesher Israel Cement Enterprises Ltd, (2014). Portland cement - CEM II 42.5 NB-LL. Environmental Product Declaration.
- [58] Nesher Israel Cement Enterprises Ltd, (2014). Portland cement - CEM I 52.5 N NB-LL. Environmental Product Declaration.
- [59] Nippon Slag Association.< <http://www.slg.jp/e/> >
- [60] PAS 2050 : 2011, (2011). Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services. <http://www.bsigroup.com/upload/Standards%20&%20Publications/Energy/PAS2050.pdf>
- [61] PE INTERNATIONAL, GaBi Database Documentation. http://gabi-dataset-documentation.gabi-software.com/xml_data/processes/38304ac2-fdcb-4a0b-863e-8f18a98bd19f_05.00.000.xml
- [62] PAS 2080 : 2016, (2016). Carbon Management in Infrastructure.
- [63] Paul Jowitt, Adrian Johnson, Stuart Moir and Robin Grenfell, (2012). A Protocol for Carbon Emissions Accounting in Infrastructure Decisions, Institution of Civil Engineers,

- Vol. 165, Issue CE2, p89-95.
- [64] Robert, B. N. and Hanson, C. S, (2014), Carbon Footprint Estimator phase II Volume I - GASCAP Model.
- [65] Robert, B. N. and Hanson, C. S, (2015), Life-cycle greenhouse gas emissions associated with a highway reconstruction: a New Jersey case study.
- [66] Stripple, H. (IVL Swedish Environmental Research Institute), (2001). Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis. Project Report of Swedish National Road Administration. <http://www.ivl.se/download/18.2f3a7b311a7c806443800055078/B1210E.pdf>
- [67] Tung, H., Cédric, D., Anne, V., Agnès, J., Gilles, L., (2005). A Global Tool for Environmental Assessment of Roads – Application to Transport for Road Building. <http://www.ectri.org/YRS05/Papiers/Session-3bis/ventura.pdf>
- [68] TS Q0010, (2009). General Principles for the Assessment and Labeling of Carbon Footprint of Products. <http://www.cfp-japan.jp/english/specifications/pdf/CFP%20TS%20Q%200010%20En.pdf>
- [69] Trusty, W. (National Research Council Canada), (2006). The Environmental Side of Sustainability: Using Life Cycle Assessment to Assess True Performance. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc48691/nrcc48691.pdf>
- [70] The World Bank (Egis), (2010). Introduction to Greenhouse Gas Emissions in Road Construction and Rehabilitation. <http://siteresources.worldbank.org/INTEAPASTAE/Resources/GHG-ExecSummary.pdf>.
- [71] Thomas Dequidt, (2012). Life Cycle Assessment of a Norwegian Bridge. Norwegian University of Science and Technology Department of Civil and Transport Engineering.
- [72] United Nations Statistics Division, (2012). CPC Ver.2 (Central Product Classification, Ver.2). <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=25>
- [73] US Environmental Protection Agency (EPA), (2009). Potential for Reducing Greenhouse Gas Emissions in the Construction Sector.
- [74] US Environmental Protection Agency (EPA), (2010). EPA Climate Leaders Simplified GHG Emissions Calculator (SGEC), U.S. Environmental Protection Agency.
- [75] US Federal Highway Administration (FHWA), (2011). Sustainable Highways Self-Evaluation Tool. <https://www.sustainablehighways.org/>

- [76] UK (2003). Energy White Paper: Our Energy Future -Creating a Low Carbon Economy. http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/legislation/white_papers/white_paper_03/white_paper_03.aspx
- [77] UK Highways Agency, (2008). Carbon Accounting Framework: HA Carbon Accounting Tool - Explanatory Report V1 Working Draft. http://www.highways.gov.uk/business/documents/CCP-Explanatory_Report_ISSUE.pdf
- [78] UK Highways Agency, (2009). Carbon Accounting Framework: Carbon Calculation Tool Instruction Manual for Major Projects, Version 5c. http://www.highways.gov.uk/business/documents/CCT-Instruction_Manual-MP-v5c.pdf
- [79] UK Highways Agency, (2009). Carbon Accounting Framework: Carbon Calculation Tool Instruction Manual for Managing Agent Contractors (MACs), Version 5c. http://www.highways.gov.uk/business/documents/CCT-Instruction_Manual-MAC-v5c.pdf
- [80] UK Highways Agency, (2009). Carbon Accounting Framework: Carbon Calculation Tool Instruction Manual for Design, Build and Finance Operations (DBFO), Version 5c. http://www.highways.gov.uk/business/documents/CCT-Instruction_Manual-DBFO-v5c.pdf
- [81] UK Highways Agency, (2009). Carbon Management Framework for Major Infrastructure Projects e21C Project Report. <http://www.forumforthefuture.org/files/EC21-Carbon-Framework-FINAL.pdf>
- [82] US DOE, National Renewable Energy Laboratory (NREL), (2009). U.S. Life-Cycle Inventory Database.
- [83] UK Environment Agency, (2011). Carbon Calculator for Construction Activities (v3_1_2). <http://www.environment-agency.gov.uk/business/sectors/136252.aspx>
- [84] VicRoads (State Government of Victoria, Australia), (2008). Victoria's First Carbon Neutral Road Construction Project. <http://www.ipwea.com/Microsoft%20Word%20-%20Carbon%20footprint%20of%20road%20construction%20-%20060308.pdf>
- [85] VicRoads (State Government of Victoria, Australia), (2009). Calculating the Carbon Footprint of Road Construction. 2009 National Local Government Asset Mgt & Public Works Engineering Conference, Apr. 28. http://www.ipwea.org.au/AM/Template.cfm?Section=2009_National_Local_Government_Asset_Management_and_Public_Works_Conference&Template=/CM/HTMLDisplay.cfm&ContentID=8854

- [86] VotorantimCimentos, (2016).Cement. Environmental Product Declaration.
- [87] Wiedmann, T. and Minx, J., (2007). A Definition of Carbon Footprint, ISA-UK Research Report.
- [88] Wang T., and Watson T., (2007). Who Owns China’s Carbon Emissions? Tyndall Briefing Note No. 23
- [89] WRI/WBCSD, (2011). Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/Corporate%20Value%20Chain%20%28Scope%203%29%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>
- [90] WRI/WBCSD, (2011). Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Product%20Life%20Cycle%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>
- [91] World Road Assocation, (2012), Life Cycle Aspects of Electrical Road Tunnel Equipment, <https://www.piarc.org/en/order-library/16911-en-Life%20cycle%20aspects%20of%20electrical%20road%20tunnel%20equipment.htm>
- [92] Yang, R.Y. (2014). Development of a Pavement Life Cycle Assessment Tool Utilizing Regional Data and Introducing an Asphalt Binder Model, MS Thesis. University of Illinois, Urbana–Champaign, Urbana, Illinois. Accessed at: <http://hdl.handle.net/2142/50651>
- [93] Zero Carbon Building Ltd, (2013). Carbon Labeling Scheme for Construction Products Assessment Guide, Reinforcing Bar and Structural Steel.
- [94] Zero Carbon Building Ltd, (2013). Carbon Labeling Scheme for Construciton Products Assessment Guide, Portland Cement.
- [95] Zero Carbon Building Ltd, (2014), Carbon Labeling Scheme for Construciton Products Assessment Guide, Ready-mixed Concrete.
- [96] Greenroads Foundation, <<https://www.greenroads.org/>>
- [97] Greenroads Foundation, (2015). Greenroads manual, Rating System, Version 2.0.
- [98] 日本建設業連合會，(2010)。絵で見る省燃費運転マニュアル。
- [99] 中聯資源股份有限公司，2014 年度企業社會責任報告書。
- [100] 中聯資源股份有限公司，(2018)，開創台灣爐石循環經濟，歐盟創新週，2018 EU-Taiwan, Circular Economy International Conference, 04- 06 June 2018.

- [101]行政院環保署，(2011)。水泥業溫室氣體公告排放強度。<http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/search/LordiDispFull.aspx?ltype=19&lname=4110>
- [102]行政院環保署碳足跡計算服務平台，(2014)。電力碳足跡(2012)。
<http://cfp-calculate.tw/Bmodule/Inventory/Metadata2.aspx>
- [103]行政院環保署，(2010)。產品類別規則(PCR)訂定指引。<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/News/OpenWindow/OpenWinPublishItem.aspx?SerialNo=37>
- [104]行政院環保署，臺灣產品碳足跡資訊網。<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLPCR/FLPCRDoneList.aspx>
- [105]行政院環保署，(2010)。產品與服務碳足跡計算指引。<http://cfp.epa.gov.tw/download/Files/%E7%A2%B3%E8%B6%B3%E8%B7%A1%E8%A8%88%E7%AE%97%E6%8C%87%E5%BC%95.pdf>
- [106]行政院公共工程委員會，(2008)。永續公共工程-節能減碳政策白皮書(核定本)。
- [107]行政院交通部，(2010)。節能減碳規劃設計參考原則。
- [108]行政院環保署，(2010)。開發行為溫室氣體排放增量評估及抵換規劃計算指引。
- [109]行政院環保署，(2011)。產品與服務碳足跡查證技術指引。[http://ghgregistry.epa.gov.tw/upload/Tools/%E7%94%A2%E5%93%81%E8%88%87%E6%9C%8D%E5%8B%99%E7%A2%B3%E8%B6%B3%E8%B7%A1%E6%9F%A5%E8%AD%89%E6%8A%80%E8%A1%93%E6%8C%87%E5%BC%95\(100.05\).pdf](http://ghgregistry.epa.gov.tw/upload/Tools/%E7%94%A2%E5%93%81%E8%88%87%E6%9C%8D%E5%8B%99%E7%A2%B3%E8%B6%B3%E8%B7%A1%E6%9F%A5%E8%AD%89%E6%8A%80%E8%A1%93%E6%8C%87%E5%BC%95(100.05).pdf)
- [110]行政院環境保護署，環保法規網站。<http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/index.aspx>
- [111]西村氏建設マネジメント技術，(2008)。国土交通省の環境政策，2008年7月号。
- [112]交通部運輸研究所，(2012)。「交通運輸工程碳排放量評估模式建立與效益分析之研究」，研究計畫報告。ISBN: 978-986-03-2635-2
- [113]交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處，(2017)。西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程委託工程碳管理暨碳足跡盤查輔導及查證服務工作-106年度年中進度報告書。
- [114]林峻毅，(2014)。重型車油耗國際法規簡介，車輛研測資訊，103期，2014年12月，pp.2-6。
- [115]建築物(Buildings)碳足跡產品類別規則，(2015)。民國104年6月4日。
- [116]基礎建設-道路(Infrastructure-Road)碳足跡產品類別規則，(2017)。民國106年3月

21 日。

[117]基礎建設-橋梁(Infrastructure-Bridge)碳足跡產品類別規則，(2017)。民國 106 年 3 月 21 日。

[118]基礎建設-公路隧道(Infrastructure- Highway Tunnel)碳足跡產品類別規則，(2017)。民國 106 年 5 月 19 日。

[119]經濟部能源局，(2011)。99 年度電力排放係數。

[120]溫室氣體減量及管理法，(2015)。民國 104 年 7 月 1 日華總一義字第 10400077011 號。

[121]溫室氣體減量及管理法施行細則，(2016)。民國 105 年 1 月 6 日行政院環境保護署環署溫字第 1040111312 號令。

[122]蘇花公路改善工程處，(2015)。台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫(蘇澳～東澳、南澳～和平、和中～大清水)第五次環境影響差異分析報告(蘇澳～東澳段土石方數量調整)第 5 次環差報告。

[123]臺灣搖籃到搖籃平台。<<http://www.c2cplatform.tw/>>

[124]陳筠淇、王尚博，(2018)，科技大觀園-循環經濟零廢棄的循環經濟時代。