

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 49 卷 第 4-5 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 49 No.4-5 Mar. 2023

交通部公路總局

中華民國 112 年 5 月 15 日



封面說明

台 14 線 30k- 九九峰與稻田

陳凱傑 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 49 卷 第 4-5 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

陳文瑞

社長

林聰利

總編輯

蘇先知

總幹事

李崇堂

編輯

陳進發 劉世桐

李忠璋 吳昭煌

劉雅玲 陳松堂

葉双福 李順成

姜宇峰 陳俊堯

謝俊雄 陳貴芳

林文雄 郭清水

詹益祥 江金璋

李宗仁 王韻瑾

5G 智慧交通服務工程

感測器驅動號誌動態控制應用

.....巫清煒、呂龍天、吳榮煌、呂旻峰(2)

高架橋優先關注橋孔安全檢測方式探討及建議

.....李俊儒、陳柏良、楊依璇、鞠志琨(35)

5G 智慧交通服務工程 感測器驅動號誌動態控制應用

巫清煒¹ 呂龍天² 吳榮煌³ 呂旻峰⁴

摘要

依據交通部公路總局（以下簡稱公總）「推動 5G 提升智慧交通服務效能與安全計畫－打造 5G 智慧公路應用服務典範」政策，於台 61 線一工處疏運重點路段設置 AI 影像辨識系統，透過路側端設備蒐集資料；搭配 5G 應用服務，掌握區域交通特性及現況目的，研提交通控制策略，以兼顧效率及安全為第一原則。此外，瞭望未來智慧交通發展趨勢，進行路口號誌控制器及號誌燈老舊汰換，將既有號誌控制器之規格及技術進行超前佈署，提升至具備智慧交通場域之後續擴充性，更能契合未來前瞻的使用性，接軌國家發展策略－車聯網服務應用，五大執行目標分別為：

1. 交通軟硬體設施更新、汰換

更換 29 處路口既有號誌控制器及號誌燈，並進行既有號誌桿件設備評估，更換老舊生鏽或基礎不穩固者，提升整體功能及安全性。

2. 建置路口 AI 影像辨識設備

於 8 處路口建置 AI 影像辨識設備，採用即時影像辨識分析技術進行交通數據調查作業。達到蒐集路口現況環境資訊、精確掌握交通號誌及車流等交通即時狀況，以期最終降低中心交控人員及現場環境間之資訊落差。

3. 研擬交控策略

提供公總交控策略所需之關鍵資料（路口辨識資訊），應用 AI 影像辨識技術所

¹ 交通部公路總局第一區養護工程處交控中心主任

² 交通部公路總局第一區養護工程處工程員

³ 華電聯網股份有限公司計畫主持人

⁴ 華電聯網股份有限公司專案經理

偵測之即時資訊進行交通特性分析，並產製建議之號誌改善措施，以改善路口壅塞，減少幹道車流停等延滯，縮短民眾行的旅行成本。

4. 5G 通訊應用服務

導入 5G 應用服務，透過 5G 超大頻寬、高可靠、低延遲及大連結等特性，提供更即時、更準確、更精緻傳遞之交通資訊服務，提升民眾快速安全的行車經驗。

5. 資安檢測服務

針對建置網路系統進行滲透測試及安全弱點掃描，評估系統是否存在安全弱點，並提供相關掃描結果，作為公總後續資安管理依據。

而一工處疏運重點路段為計畫中之台 15 線及台 61 線（西濱快速公路）沿線路口，目前面臨路側端之偵測設備功能不足，無法掌握重要道路交通資訊。故提出有效之交通改善策略，更新老舊交控設備，並配合中央政府政策，同時考量未來車聯網之發展應用，規劃軟硬體升級方案。經由過往二年的賡續作業及持續改善，已實現以下四項成果。

1. 應用 AI 人工智慧技術進行路口交通影像辨識。
2. 運用 5G 快速傳輸數據，實現現場與交控中心資訊之同步。
3. 提出符合交通環境現況之交通管理策略。
4. 契合國家車聯網發展目標，佈局未來 5G 車聯網服務之推動。

一、計畫背景與目的

依據國家科技發展中程計畫「打造 5G 智慧公路應用服務典範，導入 5G 應用服務，啟動智慧交通控制系統 3.0 服務計畫，建置高解析度攝影機，應用 5G 高速網路及 AI 分析進行大範圍即時高清影像資料蒐集及事件偵測。」之目的，結合 5G 與 AI 打造典範服務，達到智慧公路再升級，解決省道遍布、受限 4G 網傳輸、畫面延滯、影像畫面不佳等問題，有效提升公路交通安全與運作效率。

為此提出「推動 5G 提升智慧交通服務效能與安全計畫」，主要目的係應用 AI 影像辨識技術進行道路即時交通資訊蒐集，蒐集路口現況環境資訊，精確掌握交通號誌、車流等交通即時狀況，供後續交通分析與應用。導入 5G 應用服務，進行通訊環境升級並提升資料傳輸品質，提供更即時、更準確、更精緻傳遞之交通資訊服務。

為符合未來符合智慧交通發展趨勢，進行路口號誌控制器及號誌燈更換，將既有號誌控制器之規格及技術提升至具備智慧交通場域之後續擴充性，需預留未來介接車聯網之應用服務之功能。進一步整合 AI 影像偵測資訊，可作為發展智慧交通解決方案之基礎，進行主要幹道觸動連鎖續進控制，以最少停等次數、最小延滯或最大綠燈帶寬為目標，提升幹道車流運作之效率。

1.1 5G 智慧交通服務系統架構

5G 智慧交通服務系統架構係藉由智慧路側設施及寬頻通訊建置，分別於現場設施端、邊緣處理層及中心系統，協同建立 5G 智慧交通服務應用環境，其 5G 智慧交通服務系統整體架構如圖 1-1 所示。以下分別說明 5G 智慧交通服務系統中智慧號誌控制器、5G 邊緣多接取控制器（5G MEC）及 AI 影像辨識設備三大關鍵設施說明：

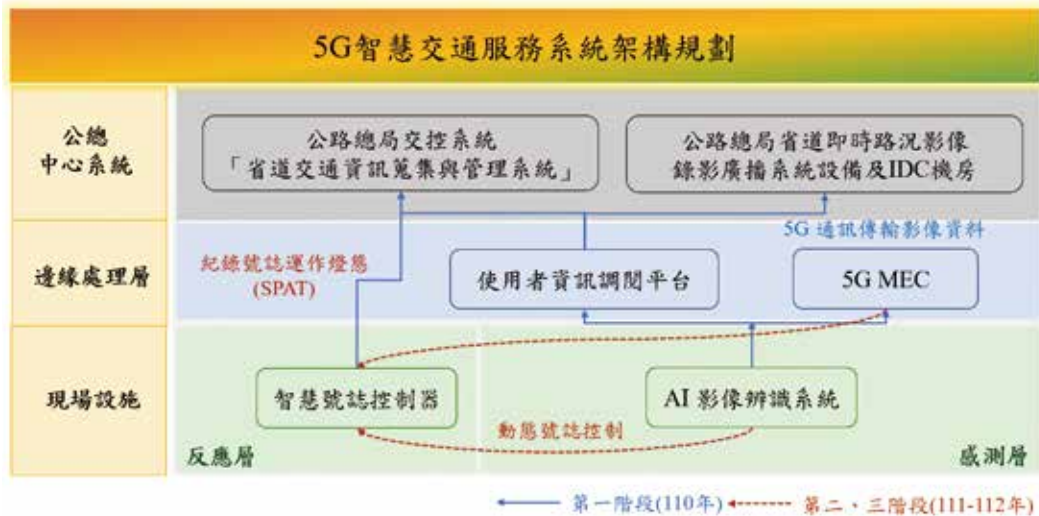


圖 1-1 5G 智慧交通服務系統整理架構圖

1. 智慧號誌控制器說明

綜觀歐、美、日各國對於智慧城市的發展，「路口」每每占有極重要的一席之地，不論是車聯網、物聯網、無人自動駕駛車輛、智慧路燈或智慧城市環境控制感測網等，路側端的監控樞紐優先考量路口位置。

我國正值站在智慧交通暨車聯網的發展浪頭上，路口號誌控制想當然爾，勢必扮演重要的執行者角色，以符合國際智慧交通發展趨勢。故藉由汰換老舊號誌控制器之機會，將國內既有號誌控制器自三十年前的規格及技術，以具有構建智慧路口基礎之規格，達到智慧交通場域 Edge 端整合設施之效能及功能擴充性。

2. 5G MEC 說明

5G MEC 為智慧路口不可或缺之元素，可接收來自號誌控制器、AI 影像辨識設備、未來車聯網之資訊，經由 5G MEC 進行資料轉換、轉譯、監控、管理及運算等動作，另外亦可做為資料蒐集之暫存空間及路側端之監控平台，未來將有益於管理單位對路側設備全生命週期之管理。

更新升級後的智慧號誌控制器，結合 5G MEC 進行多元應用微服務 (Microservices) 化、整合 AI 影像辨識設備影像辨識技術，未來將可進行主要幹道觸動連鎖續進控制，達成最少停等次數、最小延滯或最大綠燈帶寬，提升幹道車流運作之效率。

3. AI 影像辨識設備說明

即時交通資訊蒐集為交通控管中相當重要的一環，利用影像偵測加上 AI 人工智慧的運用，透過攝影機自動偵測車輛取得各車種車流量資訊，除可即時監控掌握車流狀況外，亦是作為未來道路特性與容量分析及號誌時制重整的依據。

採用之 AI 影像辨識已掌握採用邊緣運算（Edge Computing），於路側端進行即時識別分析，產出路口轉向流量、佔有率、交通事件等交通數據，有別於過往需把影像回傳中心進行辨識處理，或是倚靠人力進行交通流量調查，皆需一段工作時間方能達成數據資料有效分析。規劃於瓶頸路口設置 AI 影像辨識偵測以進行場域內之數據蒐集，既提供交控中心即時交通資料，以及評估未來交通規劃之重要依據，如圖 1-2 所示。



圖 1-2 AI 影像辨識技術應用圖

Edge AI 感測技術首要條件需要良好的偵測設備，參照運輸研究所【交通事件資訊整合服務與精進計畫（1/2）】成果中依「學習方式」、「偵測模式」以及「成本計算」等三項評估指標，分析兩種主流的 Edge AI 感測設施，其分析結果如表 1-1 所示。綜觀此三項評估指標，單槍 AI 影像辨識設備及魚眼 AI 影像辨識設備各有其優勢，經分析場域現況，評估「學習方式」、「偵測模式」以及「成本計算」效益，單槍 AI 影像辨識設備較適合智慧號誌整體控制應用。

表 1-1 蘇花路廊安全控管機制表

評估構面	評估項目	單槍 AI 影像辨識設備	魚眼 AI 影像辨識設備
學習方式	邊緣計算	Yes	Yes
	學習速度	中快	中慢
	處理速度	中快	中慢
	組合運用	少	多
偵測模式	偵測距離	遠	近
	影像使用模式	直接使用	轉換後使用
	偵測載入時間	中低	中高
	視角範圍	方向性	360 度
	攝影器材選擇性	高	低
成本計算	所需人力需求	中低	中高
	重複使用性	中高	中低
	設備成本	中低	中高
	安裝工程	快	角度複雜

二、現場 5G 智慧交通設施建置說明

如前目標及系統架構規劃所述，評估需求中的智慧號誌、AI 影像辨識設備及 5G MEC 為執行關鍵。為能精準設計設備佈設方式，針對計畫第一階段建置 AI 影像辨識設備及 5G 環境位置進行資料搜集，同時更新 29 處路口號誌控制器，並於 8 處路口配合 AI 影像辨識設備及 5G MEC 實。8 處路口之號誌種類（號誌燈種類共 3 種，3 顆燈屬 A 型、4 顆燈屬 B 型、5 顆燈屬 C 型）及路口規劃圖，如表 2-1 至表 2-8 所示。

表 2-1 交通環境說明—西濱路一段 200 巷

路口名稱	西濱路一段 200 巷
號誌種類	A 型：7 座
設備路口配置圖	

表 2-2 交通環境說明—東大路四段

路口名稱	東大路四段
號誌種類	A 型：6 座、C 型：2 座
設備路口配置圖	

表 2-3 交通環境說明—中福路及興濱路口

路口名稱	中福路及興濱路口
號誌種類	A 型：8 座
設備路口配置圖	

表 2-4 交通環境說明—天府路口

路口名稱	天府路口
號誌種類	C 型：8 座
設備路口配置圖	

表 2-5 交通環境說明—延平路二段（南端）口

路口名稱	延平路二段（南端）口
號誌種類	A 型：2 座、B 型：4 座
設備路口配置圖	

表 2-6 交通環境說明—宮口街

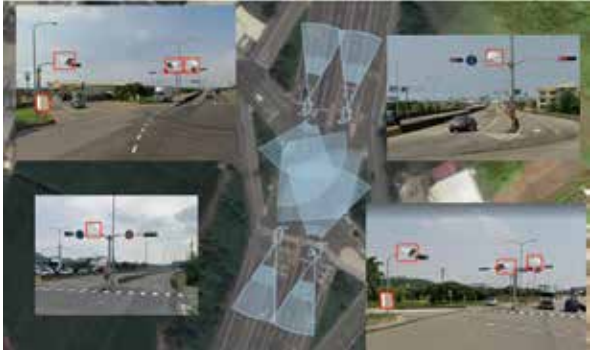

路口名稱	宮口街
號誌種類	A 型：8 座、B 型：4 座
設備路口配置圖	

表 2-7 交通環境說明—美山聯絡道

路口名稱	美山聯絡道
號誌種類	A 型：7 座、B 型：2 座
設備路口配置圖	

表 2-8 交通環境說明—香山聯絡道

路口名稱	香山聯絡道
號誌種類	A 型：6 座、B 型：5 座
設備路口配置圖	

透過上述交通場域了解，以下針對所使用之設備規劃及配置方式進行說明，設備位置及數量配置總表如表 2-9 所示。

表 2-9 設備位置及數量配置表

編號	路口位置			5G 環境路口	AI 影像辨識設備	5G MEC	智慧號誌 控制器	號誌種類 及數量		
	路線	樁號	支線					A 型	B 型	C 型
1	台 61	70K+050	鳳岡路口				1	8		4
2		71K+550	西濱路二段 265 巷口				1	8		4
3	台 15	71K+700	西濱路二段 189 巷口					8		4
4		72K+250	西濱路一段 200 巷				1	9		
5		72K+450	西濱路一段 126 巷					3		4
6		72K+600	新港 3 街				1	7		2
7		73K+500	台 68 匝道路口					2	8	
8		73K+750	東大路四段					6		2
9		74K+150	中福路及興濱路口				1	8		
10		74K+250	天府路口				1			8
11		74K+450	延平路三段 455 巷口					8		
12		74K+750	延平路 399 巷口					8		
13		74K+800	延濱路口					4	4	
14		74K+950	西濱路 189 巷口				1	8		
15		75K+100	榮濱南路口					7	1	
16		75K+700	延平路三段（北端）路口				1	5	2	
17		75K+900	西濱路 1 段 2 巷口				1	9		
18		76K+450	延平路二段（南端）口					2	4	
19		76K+800	海埔路口				1	8		
20	台 61	77K+400	海埔路 175 巷				1	7		
21		77K+430	宮口街				1	8	4	
22		78K+550	中華路五段 208 巷				1	8		4
23		78K+800	中華路五段 320 號				1	8		4
24		79K+300	美山聯絡道				1	7	2	
25		81K+200	海山路口				1	8		4
26		82K+450	長興街				1	6	2	
27		83K+580	香山聯絡道				1	6	5	
28		84K+060	南港路 52 巷				1	8		4
29		85K+090	南港路 106 巷				1	8		4
							20	192	32	48

2.1 5G 架構規劃

在指定交通路口共 8 處地點（台 61 線 73.1K~87.2K，全長約 14km）建置 5G 網路，藉由 5G 網路傳輸影像及交通資訊至公總第一區養護工程處交控中心。而 5G 採用 4G/5G 雙連結架構（EN-DC, EUTRA-NR Dual Connectivity）故須有 4G 訊號源，如圖 2-1 所示，由於市區路段路口相近，因此 5G 基地台建置七處即可涵蓋八處智慧路口範圍。以下列舉台 15 線竹港大橋與台 68 路口及新竹市東大路四段周邊 4G/5G 訊號強度如表 2-10 及表 2-11 所示。

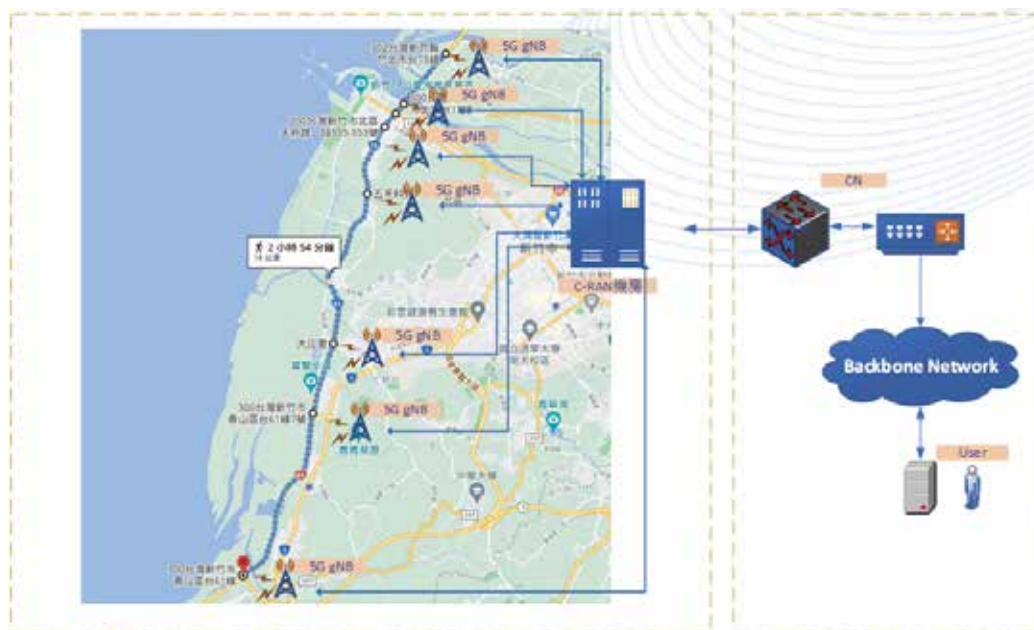
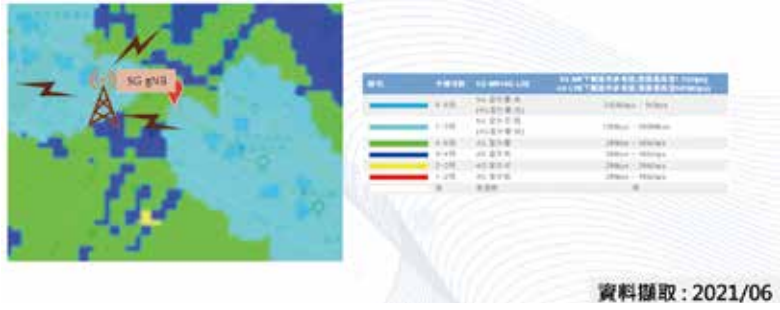


圖 2-1 5G 基地台架構及涵蓋範圍圖

表 2-10 台 15 線竹港大橋與台 68 路口周邊訊號強度

項目	項目	說明
1	地址	台 15 線竹港大橋與台 68 路口
	座標	74.8K (24.844409, 120.935944)
	訊號強度	<p>資料擷取：2021/06</p>

表 2-11 新竹市東大路四段周邊訊號強度

項目	項目	說明
2	地址	新竹市東大路四段
	座標	75.1K (24.842400, 120.934138)
	訊號強度	

2.2 5G AI 影像辨識設備應用說明

即時交通資訊蒐集為交通控管中相當重要的一環，利用影像偵測加上 AI 人工智慧的運用，透過攝影機自動偵測車輛取得各車種車流量資訊，除可即時監控掌握車流狀況外，亦是作為未來道路交通特性與容量分析及號誌時制重整的依據。

採用之 AI 影像辨識已掌握採用邊緣運算 (Edge Computing)，於路側端進行即時識別分析，產出口轉向流量、佔有率、交通事件等交通數據，有別於過往需把影像回傳中心進行辨識處理，或是倚靠人力進行交通流量調查，皆需一段時方能達成數據資料有效分析。規劃於瓶頸路口設置 AI 影像辨識偵測以進行場域內之數據蒐集，既提供交控中心即時交通資料，以及評估未來交通規劃之重要依據。

而影像分析資料包括「車種 / 車流辨識分析」、「轉向量辨識分析」、「旅行時間 (平均速率) 分析」、「紅燈到達率 / 綠燈疏解率」、「違規事件辨識分析」、「特殊事件偵測 (例如：事故、路面散落物)」外，尚包「能見度」及「停等長度」，且影像分析資料可應用於「時制優化」。

此外，雖為減少路側設備佈建需求，以降低後續公總維護營運成本，包括 5G 無線服務通訊費支出。同時必需兼顧在交通管理上資料蒐集及應用的需求，包括轉向量辨識分析及旅行時間 (平均速率) 分析。但為滿足轉向量辨識分析及旅行時間 (平均速率) 分析此二項資料需求及智慧交通即時控制應用，因此單一路口建置二個以上或更多的高解析度攝影機。同時經過長時間的討論、現勘及評估分析，路口 AI 主機及高解析度攝影機為因應「車種 / 車流辨識分析」、「轉向量辨識分析」、「紅燈到達率 / 綠燈疏解率」、「違規事件辨識分析」、「特殊事件偵測 (例如：事故、路面散落物)」、「能見度」、「停等長度」且影像分析資料可應用於「時制優化」。故佈設主線為主以降低佈設數量，除部份路口執行「時制優化規設」需輔以偵測支道車流的 AI 主機及高解析度攝影機，而路口所有 AI 主機及高解析度攝影機，藉由收攏至單一 4/5G 網路路由器或光纖通訊點位，以因應未來公總降低維護營運的成本支出。

此外，為滿足旅行時間（平均速率）分析，藉由取得路段點速度，以反應當下路段交通順暢程度。以路口單一 4/5G 網路路由器或光纖傳訊點位為起始點，考量網路及供電線（POE）的有效使用距離，於向上游路段延伸佈設 AI 主機及高解析度攝影機。其目的亦是為使其延伸佈設 AI 主機及高解析度攝影機能收攏至路口單一通訊點位，以降低未來維護營運的成本支出。

而除上述「車種 / 車流辨識分析」及「轉向量辨識分析」需滿足準確率誤差 $\pm 15\%$ 以內，檢測方法以 AI 影像辨識設備影像為基準，每 5 分鐘為一計算單位，單一路口蒐集 5 筆 5 分鐘總車流量資料，並將 AI 影像辨識設備影像結果與資料庫數據進行核對。以下以 8 處主要 AI 影像辨識路口（台 15 線 72.25K/ 西濱路一段 200 巷、台 15 線 73.75K/ 東大路四段、台 15 線 74.15K/ 中福路（東）/ 興濱路（西）、台 15 線 74.25K/ 天府路、台 15 線 76.45K/ 延平路二段、台 61 線 77.43K/ 宮口街、台 61 線 79.30K/ 美山聯絡道、台 61 線 83.58K/ 西濱連絡道）為節點，依序說明其他影像分析資料產出說明：

1. 旅行時間（平均速率）分析

架設攝影機蒐集其幹道上游之車流影像，計算路口幹道方向臨進路段之平均速率，並以該速率作為兩 AI 影像辨識路口間之路段平均速率進行旅行時間換算。

2. 紅燈到達率 / 綠燈紓解率

架設攝影機蒐集其幹道上游之車流影像，計算路口幹道方向臨進路段單位時間內之車輛到達數量，再依單位時間內紅、綠燈秒數比例計算得出紅燈到達率。綠燈紓解率係計算單位時間內，於幹道方向綠燈時通過幹道方向路口停止線之車輛數。

3. 闖紅燈違規事件偵測

架設槍機攝影機並配合交通控制器 I/O 紅綠燈時相訊號接收輔助，AI 影像辨識偵測闖紅燈車輛事件並紀錄發生時間，以利數量統計。

4. 路口違規停車事件偵測

架設槍機攝影機，以 AI 影像辨識偵測車輛於路口淨空區停滯超過特定秒數並紀錄發生時間，以利數量統計。

5. 能見度事件偵測

於易起霧路口挑選適合角度架設槍機攝影機，定時以影像辨識偵測路口影像設定區域偵測畫素異常變化量過大於特定值以上，紀錄能見度判定低下發生時間，以利數量統計。

6. 停等車隊長度

架設攝影機蒐集幹道方向臨進路段上游之車流影像，計算單位時間內自路口停止線往上游方向之路段各車道（至多四車道）最大停等車隊長度，可提供至 100m 距離

內的車輛數偵測。

2.3 現場智慧號誌控制器更新執行

全線共計有 29 處號誌燈、號誌控制器、老舊桿件之汰換更新作業。為減少現場施工執行所造成的交通影響時間，以降低統合 5G 及 AI 影像辨識設備新設建置時間為目標，依據現場號誌路口暨有群組設計，進行群組路口統合施工。

此外，在更換設備或新設安裝前，先於現場對進行需更換之交控設備及號誌的通訊功能及運作功能進行測試，並於事前將換置路口之時制計畫參數、一般日時段型態及特殊日時段型態等號誌控制器設定完成。在確認通訊功能正常及運作功能與現場一致後，進行部份切換線上運作測試，確保設備在切換為正式線上運作時，降低設備發生異常所造成施工時間延宕之機率。

具備區域網路通訊傳輸需求之路口，完成單一路口通訊功能及運作功能進行測試後，進行區域路口通訊功能及運作功能測試。在確認測試運作正常後，逐一更新既有設備或安裝新設備。將既設終端設備更新之中斷時間降至最短，並確保傳輸設備及通訊線路正常。

路口號誌燈、號誌控制器、老舊桿件之汰換更新順序，依據影響交通安全及施工時間長度提出合理更新順序。原則上，以影響交通安全較小且施工時間較長之工程優先執行，接序為影響交通安全較大且施工時間較短次之，以降低可能發生影響交通安全之例外事件發生機率。

三、5G 智慧交通資料平台與系統運作說明

依據國家科技發展中程計畫「打造 5G 智慧公路應用服務典範，導入 5G 應用服務，啟動智慧交通控制系統 3.0 服務計畫，建置高解析度攝影機，應用 5G 高速網路及 AI 分析進行大範圍即時高清影像資料蒐集及事件偵測。」之目的，結合 5G 與 AI 打造典範服務，達到智慧公路再升級，解決省道遍布、受限 4G 網傳輸、畫面延滯、影像畫面不佳等問題，以有效提升公路交通安全與運作效率。因此以 AI 影像管理平台蒐集現車交通車流資料，再依據不同時段及假日平日車流特性進行時制計畫改善，並輔以 AI 感測器驅動號誌動態控制，於單周期內即時反應現場交通車流變化，同時亦滿足台 61 主線上的車流續進需求。

3.1 AI 影像管理平台功能

目前現場所蒐集之交通資料已持續傳輸至 AI 影像管理平台，平台接收所有路口端資訊及進行資料儲存、交換。平台資料儲存包含動態時制計畫、績效等資料，且可產出各設備每月妥善率（正常運作時數 / 每月總時數），其系統平台功能架構如圖 3-1

所示。

平台使用者介面功能包含資料下載、查詢流量趨勢、查詢路口設備位置與妥善狀態、查詢路口轉向量、路段平均速率、路口攝影機影像等，其資料分析內容滿足上述所需項目。

1. 管理平台提供下列功能如圖 3-1 所示。



圖 3-1 系統平台架構

2. 智慧路口即時影像調閱功能介面如圖 3-2 所示。



圖 3-2 智慧路口即時影像調閱畫面

3. 交通流量計算：計算目前系統內各路口之交通流量與轉向量等資訊，流量圖提供各路口大型車、小型車與機車的轉向量，以數字表格進行呈現，路口交通轉向量如圖 3-3 所示。



圖 3-3 路口轉向量交通調閱畫面

4. 流量趨勢展示功能

提供各路口不同時間區段下的路段速率及轉向交通量統計圖，並可查詢歷年的歷史數據，如圖 3-4 所示。



圖 3-4 路段速率及轉向交通量調閱畫面

3.2 時制計畫改善及效益分析評估

參考交通部運輸研究所發展之「交通號誌時制重整計畫」流程進行號誌時制計畫改善及效益分析評估工作，其作業流程如圖 3-5 所示。

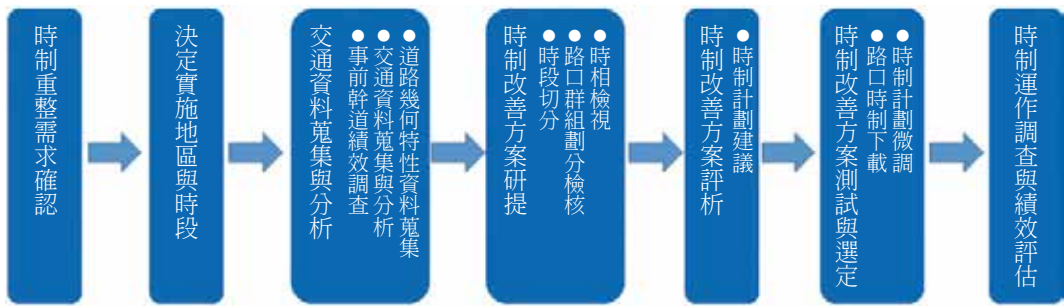


圖 3-5 時制重整作業程序

1. 時制重整需求確認

台 61 線新竹路段為國道重要替代道路，參考過去路況績效，計畫範圍內路段平日與假日常呈現車多狀態，如圖 3-6 所示。連續假日時大量車流集中湧入，經常導致壅塞、事故等狀況。瓶頸路段概述如下：

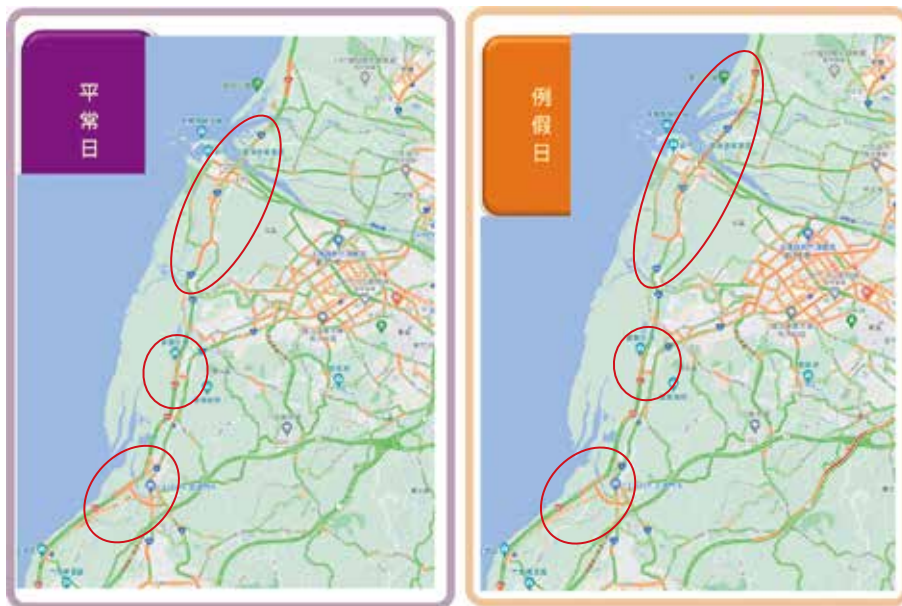


圖 3-6 路況績效

- (1) 鳳山溪橋以南路段，因車道變化，在車道縮減路段易產生壅塞，另車道頻繁變化，在車多時車輛匯出匯入行為頻繁也易產生回堵，鳳山溪橋以南路段車道變化如圖 3-7 所示。



圖 3-7 鳳山溪橋以南路段車道變化

- (2) 參考 109 年度公路平均每日交通量調查統計表，計畫範圍內及其上下游路段往北尖峰為 7:00~8:00，尖峰小時交通量由 647PCU~944PCU；往南路段為尖峰為 17:00~18:00，交通量由 570PCU~1044PCU，如表 3-1 所示。由表中可知，浸水橋以南路段交通量明顯減少，經檢視可能由於美山聯絡道為連接台 61 線與台 1 線間之重要道路，因此部分車流經由美山聯絡道進出台 61 線。

表 3-1 交通量調查統計表

地點	起迄地名	路面寬度	方向	快車道寬度	路肩寬度	尖峰小時交通量	時段	方向係數	備註
樁號	起迄樁號	(公尺)	(往)	(公尺)	(公尺)	(PCU)			
鳳鼻隧道	新豐一交流道~鳳鼻隧道	18.8	北	3.9,3.7	0.5	909	7-8	0.53	計畫範圍外
67K+000	63K+000~68K+000		南	3.7,3.7	0.7	1,044	17-18		
浸水橋	鳳鼻隧道~香山	21.8	北	3.6,3.6	2.4	944	7-8	0.55	
77K+680	68K+000~78K+000		南	3.6,3.6	2.4	774	17-18		
香山聯絡道	香山~內湖	18.8	北	3.9,3.7	0.5	647	7-8	0.53	
83K+760	78K+000~83K+700		南	3.7,3.7	0.7	570	17-18		
香山南港	內湖~崎頂	21.8	北	3.5,3.5	2.5	716	7-8	0.55	計畫範圍外
85K+220	83K+700~87K+550		南	3.7,3.8	2.2	597	17-18		

(3) 根據過去疏運資料顯示，連續假日沿線瓶頸路段，包括南寮路段、苗栗竹南~新竹香山路段，公總啟動相關路口管制措施，概述如下：

- A. 台 61 線號誌時制調整：因市區僅有雙向各 2 車道+1 機慢車道且沿途多號誌，透過號誌管控車流避免市區湧入大量車潮造成壅塞。參考 110 年 228 疏運成果簡報資料，放假日以南下車流為主，竹港大橋以北設定攔截時制，避免南下大量車流進入南寮市區，市區則增加綠燈秒數以舒緩車流，市區以南使用疏流時制，增加綠燈秒數以使車流儘快通過；收假日則以北上車流為主，竹港大橋以北設定使用紓解時制，市區設定瓶頸時制以舒緩車流，市區以南設定攔截時制，避免北上大量車流進入市區。經檢視 228 疏運時制，沿線路口號誌週期為 200 秒，路口大多數為三時相，實施號誌管制時段放假日為 9:00~14:00，收假日為 15:00~21:00。
- B. 台 68 南下改道：台 68 線南寮端交流道銜接台 15 線南下出口匝道封閉，引導南下之民眾可繼續行駛台 68 線主線至終點後，經榮濱路接台 15 線南下。
- C. 西濱交流道北上匝道封閉：竹南~香山北上路段，高速公路局封閉西濱交流

道北上匝道，透過 CMS 導引用路人續駛台 61 線北上轉香山聯絡道銜接國道 3 號，並發布北上方向國道 3 號及台 61 線旅行時間，供用路人選擇行駛路線參考。因此可預期連續假日部分北上車流經香山聯絡道往高速公路。

D. 其他：車多時發布 CMS、幸福公路 APP 及通知警廣，另外視需要派員警在重要路口進行交管，並派義交協助，以維持秩序。



圖 3-8 時制重整作業範圍

2. 決定實施地區與時段

針對台 61 線之 29 處路口進行時制計畫建議，由台 61 線 70.5K/ 鳳崗路五段起至台 61 線 88.7K/ 南港街 106 巷止。更換路口號誌控制器以符合都市交控標準化通訊協定 V3.0 版功能，並支援智慧號誌控制及安裝 5G 通訊模組。對於實施號誌時制計畫改善之區域，除了收集該區域以往相關之交通量調查資料與交通分析報告，藉由過去的歷史資料了解哪些路口、路段具備改善之條件，另外透過建置之 AI 影像辨識設備，觀察重要路口不同時段之交通變化特性，以作為實施改善策略與時段切分之依據。

3. 交通資料蒐集與分析

對於被選擇的路段與路口，先進行交通資料蒐集，藉以作為後續時制計畫建議之基礎資料，此外，為利於後續績效評估之進行，於時制計畫安裝前，進行事前績效評估，以作為時制計畫安裝後之事後績效評估比對基準。

有關交通特性資料之蒐集內容，主要包括道路幾何特性、路口時制計畫、主要路口轉向交通量、以及路段旅行時間與延滯等內容，各類資料之應用彙整如表 3-2 所示。

表 3-2 交通資料調查內容與應用說明彙整表

調查蒐集項目	資料應用說明
道路幾何特性	1. 釐清車道數量、車道轉向配置。 2. 確立道路容量。
路口時制計畫	1. 蒐集路口現況時制計畫，作為後續路口號誌時制調整依據。
路口交通量	1. 蒐集路口各方向之分車種轉向量、轉向比。 2. 做為號誌時比調整設計使用。
路段旅行時間	1. 衡量路段服務水準等級之績效評估資料。

調查方式說明如下：

- (1) 道路幾何特性：蒐集路口各方向之路段幾何特性，內容包含路口寬度、車道寬度、車道數、車道配置情形、路段長度等資料。
- (2) 現有時制計畫：針對各路口進行現有時制計畫之蒐集，由機關提供各路口現行之時制計畫，包括週期、時相、綠燈、黃燈、全紅及各路口間之時差等資料，並於現場勘查確認。
- (3) 路口交通量蒐集：於設置 AI 影像辨識設備之路口，透過 AI 影分析路口轉向交通量資料；未設置 AI 影像設備之路口，則藉由過去歷史資料或現場觀察其轉向比。
- (4) 路段旅行時間：於路線上按正常速率（代表整體車流之速率）行駛於快車道，不可任意超車或行駛慢車道之情形，於各時段內各來回行駛三趟（即由起點至迄點再折返乙次稱為一趟）並由調查員將調查車經過各主次要路口之時刻、延滯時間及延滯原因填列於調查表內。

4. 時制改善方案研提

對於建置範圍之交通號誌時制改善工作，藉由建置之 AI 影像偵測設備所偵測資料及現場勘查檢視現有路口群組劃分、時段切分以及時相選擇是否合理，以便後續資料之分析。

- (1) 控制群組劃分準則：群組劃分之準則，參考交通部運輸研究所民國 90 年所完成之「臺灣地區先進交通管理系統（ATMS）中都市交通號誌控制邏輯標準化與系統建置標準作業程序之研究—一定時式 / 動態式控制邏輯標準化」中所提之群組劃分準則，初步將以 600 公尺為劃分依據，相鄰路口間之路段長度大於 600 公尺時，即不宜將兩相鄰路口劃入同一群組內；對於面對相鄰路段之一方為雙向道系統，另一方卻為單行道系統時，亦不應將該路段兩相鄰路口納入同一控制群組之內。此外，在幹道群組路口方面，根據大型路網劃分準則初步以 20 個路口為幹道群組路口數之上限。
- (2) 群組間之時差關係：對於因車流管制方式與幾何路型不同，而劃分於不同群組的相鄰路口，若是距離小於 600 公尺則須考慮兩路口間之車流是否彼此影響，進而須調整群組與群組間之時差關係；若不同群組相鄰兩路口距離大於 600 公尺，則不須考慮兩群組間之交互影響。依前述原則，擬定群組劃分如圖 3-9 所示。

在時段切分方面，透過將設置之 AI 影像偵測設備蒐集重要路口一段時間之交通量資訊，或透過既有 VD 蒐集的流量資料作為時段劃分之依據，分析平常日及假日流量隨時間的變化狀況，將流量大小及流量型態類似的時間切分在同一個時段。

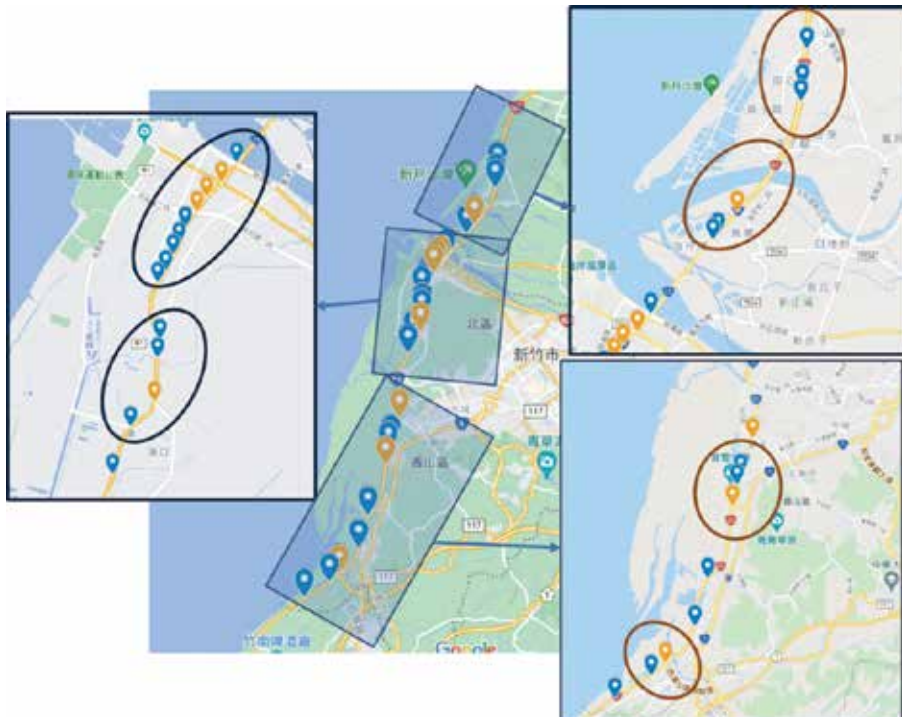


圖 3-9 群組劃分擬定

5. 時制改善方案評析

資料蒐集完備以及時段、群組、時相確認後，便可進行時制分析，檢視各路口時相、清道時間、決定最短綠燈、計算綠燈時相長度及週期，原則須大致足夠配合多數來到交叉路口的車輛通過，無太多延滯或停留，及各臨近路口方向容量與需求量之比約略相等。時制計畫在各群組中，遴選一主要路口作為該群組之基準，同群組內路口週期配合該主要路口週期，使車流於週期內通過該群組各個路口。另考慮整體幹道連鎖續進功能，在預定路段內之各群組需使用同週期，並依主要車流方向及速率，設定各群組間之時差。

6. 時制改善方案測試與選定

在時制計畫之測試與選定方面，所建議之時制計畫必須先行輸入儲存在交控中心資料庫之中，再傳送至路口執行。如果路口號誌控制器未與中心連線，則必須採用現場人工設定的方式。現場若設置有影像辨識設備，可協助交通管理人員判斷目前車流狀況，可再做細部微調，以選定最適時制計畫。

時制計畫之微調方面，則分別就人員分配與微調原則說明之。

(1) 人員分配原則

時制微調人力分成兩組，每組兩人。一組在路口觀察交通車流狀況，並以無線通訊方式聯絡另一組在交控中心待命的人員，依現場人員的指示將新的時制分配下傳至路口，路口人員則至各路口觀察交通狀況，並隨時通知中心人員微調時制計畫。

(2) 時制微調原則

- A. 綠燈第一時相：當路口出現嚴重的壅塞情形，先檢查是否第一時相的流動方向設定錯誤，比如南北向誤設定為東西向，因為此種設定錯誤往往造成立即且嚴重的壅塞情形。
- B. 綠燈時比：由於但再精準的調查也必定存在著誤差，因此根據現場路口車輛紓解的情形加以調整，以求更加符合用路人的需求是微調必經的過程。
- C. 週期：由於調整週期的長短對既定時制計畫的影響頗大，對於獨立路口而言，若現場觀察後需要調整週期，可依交通工程師之專業判斷進行微調。若是非獨立路口，則應一併考量上下游路口或是對群組路口造成的影響再進行調整。
- D. 時差：一個路口的綠燈時間也許足夠讓所有的車流紓解完畢，但是如果與上游路口間的號誌連鎖未達到續進效果，則會造成停等車隊紓解完畢之後，有一段綠燈時間沒有車流到達；或是車流到達之後已經變為紅燈時相，形成每一個路口都必須停等的情形。如此一來將造成駕駛人心理上的煩躁，間接影響行車的情緒與行為。因此同群組號誌間的連鎖是否達成續進效果，

亦為一項重要的工作。

7. 時制運作調查與績效評估

於時制改善後，提出事前事後評估檢驗之內容及項目，檢視道路交通之服務績效。就路段成效，依據所遴選的績效指標進行事前事後分析，包括路段平均旅行時間、旅行速率、及停等次數。路段平均旅行時間及停等次數之調查方式，依前述第三項調查方式調查，旅行速率則以平均旅行時間推估。

3.3 AI 感測器驅動號誌動態控制

號誌控制器採用良基號誌控制器搭配 AI 攝影機影像辨識執行仿美國 Signal Timing Manual (2008) 所定義之半觸動號誌控制 (Semi-Actuated Signal Control)。而半觸動號誌控制係指是指定時相 (Phase) 透過車輛觸動偵測器執行的交叉路口。而半觸動號誌控制非常適合在各方向交通車流需求和交通車流模式 (Traffic Patterns) 差異很大的路口。

以目前的號誌控制器技術，在號誌路口執行半觸動應用中，可透過程式傳送感測觸動通訊協定的數位訊息，或透過直接透過感測觸動結果傳送類比訊息，執行路口半觸動控制。適用在支道交通車流低於幹道車流的路口。

此外，半觸動號誌控制除了可用於改善支道交通車流低的獨立路口外，亦可運用在群組連鎖多個號誌路口中。可透過指定群組連鎖路口中的其一路口支道為觸動發起路口。在不影響群組號誌連鎖路口的運作下，達到群組號誌路口的連鎖觸動控制。

半觸動號誌控制的優點主要為對交通車流需求和模式變化能做出即時性因應處理，相對於定時控制，可減少因定時控制無有效利用而產生的停等延滯。此外，透過車輛偵測器的觸動資訊亦可以逐周期的有效分配綠燈時比時間。甚至可以跳過沒有車輛偵測器觸動資訊的時相，並允許控制器將未使用的時間重新分配給後續時相。然而，半觸動號誌控制的缺點即在於建置與維護成本高於定時控制。

以下說明觸動號誌控制的部份技術中英名詞、定義及設計實施「AI 感測器驅動號誌動態控制」所需之相關參數說明，包括圖 3-11 中的 MIN GREEN、PASSAGE GAP 及 MAX GREEN，並說明圖 3-11 的運作邏輯：

1. MIN GREEN：最小綠燈時間

時相執行綠燈時，至少需執行的最小時間。而最小綠燈時間常用於滿足駕駛者對於綠燈開始時的期望時間。此外，最小綠燈時間亦可考慮等候車隊長度的疏散時間或行人穿越路口所需之時間。而所採用之最小綠燈時間為行人穿越路口所需之時間，以行人每秒步行 0.8 公尺計算，藉此獲得各時相最小綠燈時間。

2. PASSAGE GAP (Vehicle Interval, Gap, Passage Time, Unit Extension)：車通行間距或單位綠燈延長時間

當時相執行超過最小綠燈時間後，在結束該時相前，允許連續兩輛車的最大車間距。車通行間距的設定值，主要目的為確保連續的車隊可被服務通行，但需避免過大的設定值，服務到隨機到達的自由車流。因此車通行間距時間主要考慮三個目標：

- (1) 確保等候車隊疏散。車通行間距時間需避免設置過短，而導致等候車隊疏散時，判斷為隨機自由車流而切換時相，造成延滯增加或等候車隊溢流。然而若等候車隊過長且無法創建滿足疏散車流的周期長度，則確保等候車隊疏散的目標不適用。
- (2) 滿足駕駛人期望。車通行間距時間需避免設定過長，以避免疏散等候車隊後，延長不必要的綠燈時間，而造成衝突方向的駕駛者等候難耐，造成違法。
- (3) 降低最大綠燈的使用頻率。車通行間距時間需避免設定過長，導致時常執行到最大綠燈時間，甚至少量的交通車流也執行至最大綠燈時間，而造成衝突方向的大量車流不公平的延滯增加。

而車通行間距與兩輛車的車間距關係如圖 3-10 所示，其公式說明如下：

$$PT = MAH - \frac{L_v + L_d}{1.47 V_a} \quad (3.1)$$

其中，

PT = 車通行間距或單位綠燈延長時間 ,s;

MAH = 允許連續兩輛車的最大車間距 ,s;

V_a = 平均道路速度 ,mph;

L_v = 車輛長度 (採用 6 公尺);

L_a = 偵測區長度 ,公尺;

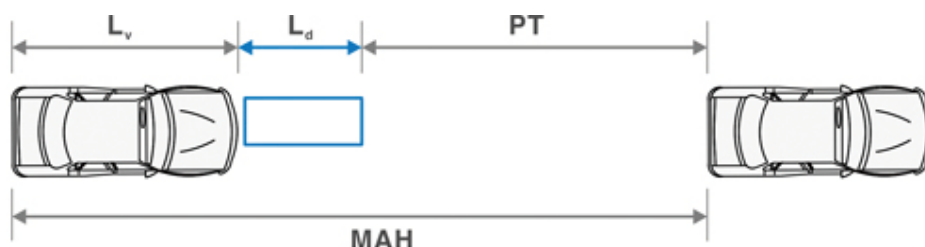


圖 3-10 車通行間距與兩輛車的車間距關係圖

參照美國 Signal Timing Manual (2008) 車通行間距與偵測器設置表，採用允許連續兩輛車的最大車間距採用 4.0 秒，偵測區長度採用 25 公尺，道路速度為每小時 55 公里，則單位綠燈延長時間為 1.9 秒，方便號誌控制器設置，則採用 2 秒設計。

3. MAX GREEN：最大綠燈時間

任一時相執行綠燈時，則開始起算允許持續執行綠燈的最大時間。而最大綠燈時間主要利用於避免支道車流延滯過大。除此之外，還可用於防止因為單一時相的車流持續延長綠燈需求或偵測觸動異常無法運作的狀況。

參照美國 Signal Timing Manual (2008) 時相區間 (Phase Interval) 內各參數執行關係，其中時相區間主要包括車行綠燈區間 (Vehicular Green Interval)、行人區間 (Pedestrian Intervals) 及車行路權變換與清道區間 (Vehicle Change and Clearance Intervals)，如圖 3-11 所示。而車行綠燈區間組成包括最小綠燈時間 (MIN GREEN)、車通行間距時間 (PASSAGE GAP) 及最大綠燈時間 (MAX GREEN)；行人區間包括行人綠燈時間 (WALK) 及行人綠閃時間 (Flashing DON'T WALK)；車行路權變換與清道區間則包括黃燈及全紅清道時間 (YELLOW CHANGE AND RED CLEARANCE)。

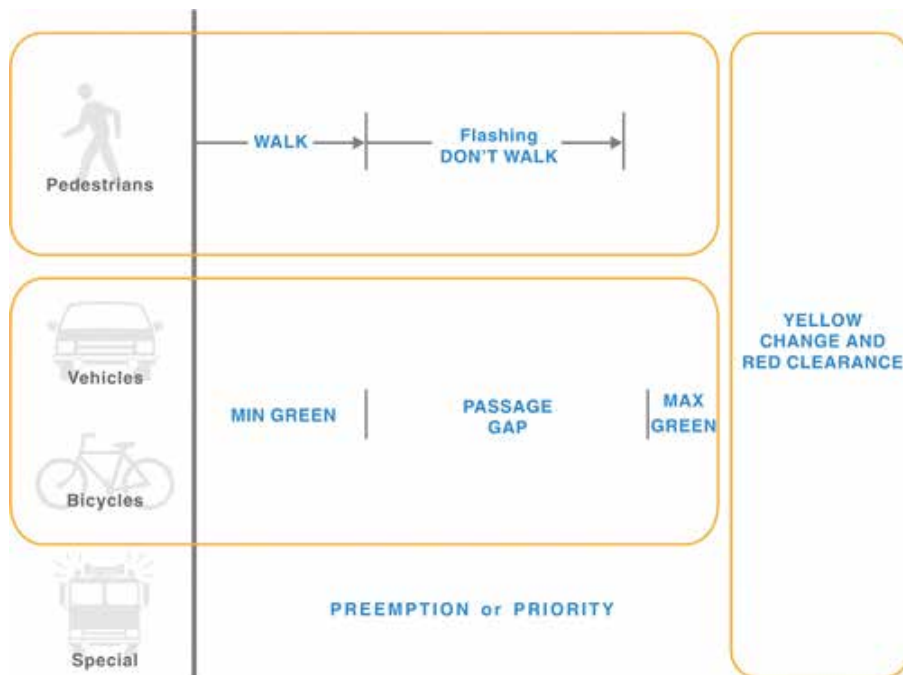


圖 3-11 時相區間內各參數執行關係示意圖

幹道時相執行觸動控制的時空圖，如圖 3-12 所示，當幹道時相開始執行綠燈時，則滿足幹道時相切換的條件有二項：

- (1) 支道有觸動車輛。
- (2) 執行至最大綠燈時間。

而實際執行時相切換的情境如下例五項：

- (1) 當幹道滿足最小綠燈時間時，則開始計數，現行時相及支道時相皆無車輛觸動，執行計數至最大綠燈時間切換時相。
- (2) 當幹道滿足最小綠燈時間時，支道時相有車輛觸動，則執行切換時相。
- (3) 當支道滿足最小綠燈時間時，且支道時相皆無車輛觸動，則執行切換時相。
- (4) 當支道滿足最小綠燈時間時，而支道時相持續有車輛觸動滿足車通行間距時間，則開始計數，若仍持續滿足車通行間距時間，則執行計數至支道最大綠燈時間時切換時相。
- (5) 當支道滿足最小綠燈時間時，而支道時相持續有車輛觸動滿足車通行間距時間，若當無法滿足車通行間距時間，則執行切換時相。

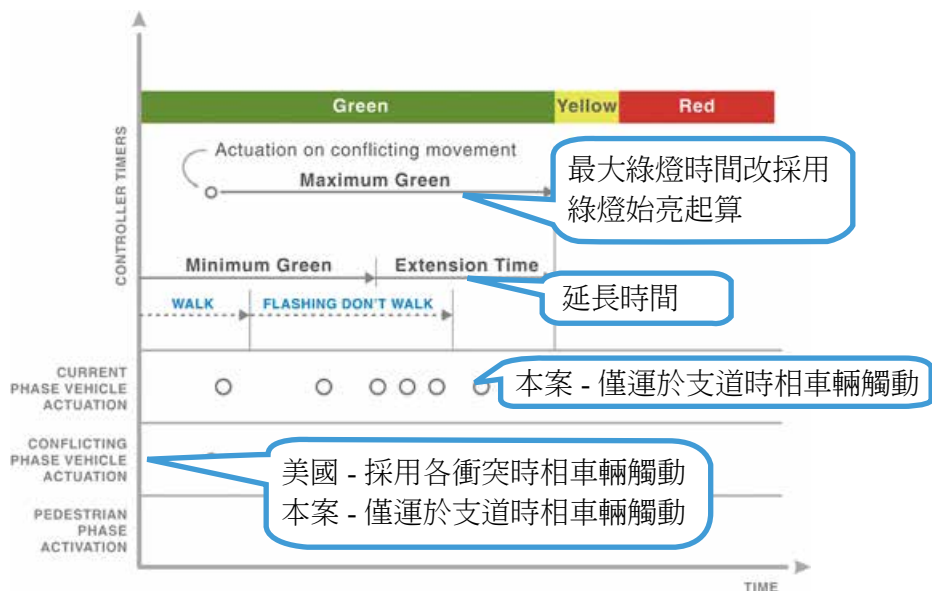


圖 3-12 時相執行觸動控制時空圖

1. 路口現況分析

分析路口現況，包括路網狀態、現況時相及現況時制計畫連鎖，其說明如下。

(1) 路網狀態

分析路網狀態如圖 3-13 所示，其說明如下：

- A. 台 61 沿線 8 處路口進行半觸動控制，在支道允許下增加幹道綠燈秒數。

B. 8 處路口中，[08] 至 [10] 之街廓長度較短，其他各路口皆在 1.7 公里以上。



圖 3-13 路網狀態圖

(2) 現況時相

分析現況時相如圖 3-14 所示，其說明如下：

- A. 多為幹道左轉保護時相。
- B. 幹道皆為分相一（P1）。
- C. 重要路口群組為 [08] 東大路至 [10] 天府路，街廓較短，時相較複雜。
- D. [19] 西濱路延平路二段包含閃光時相。

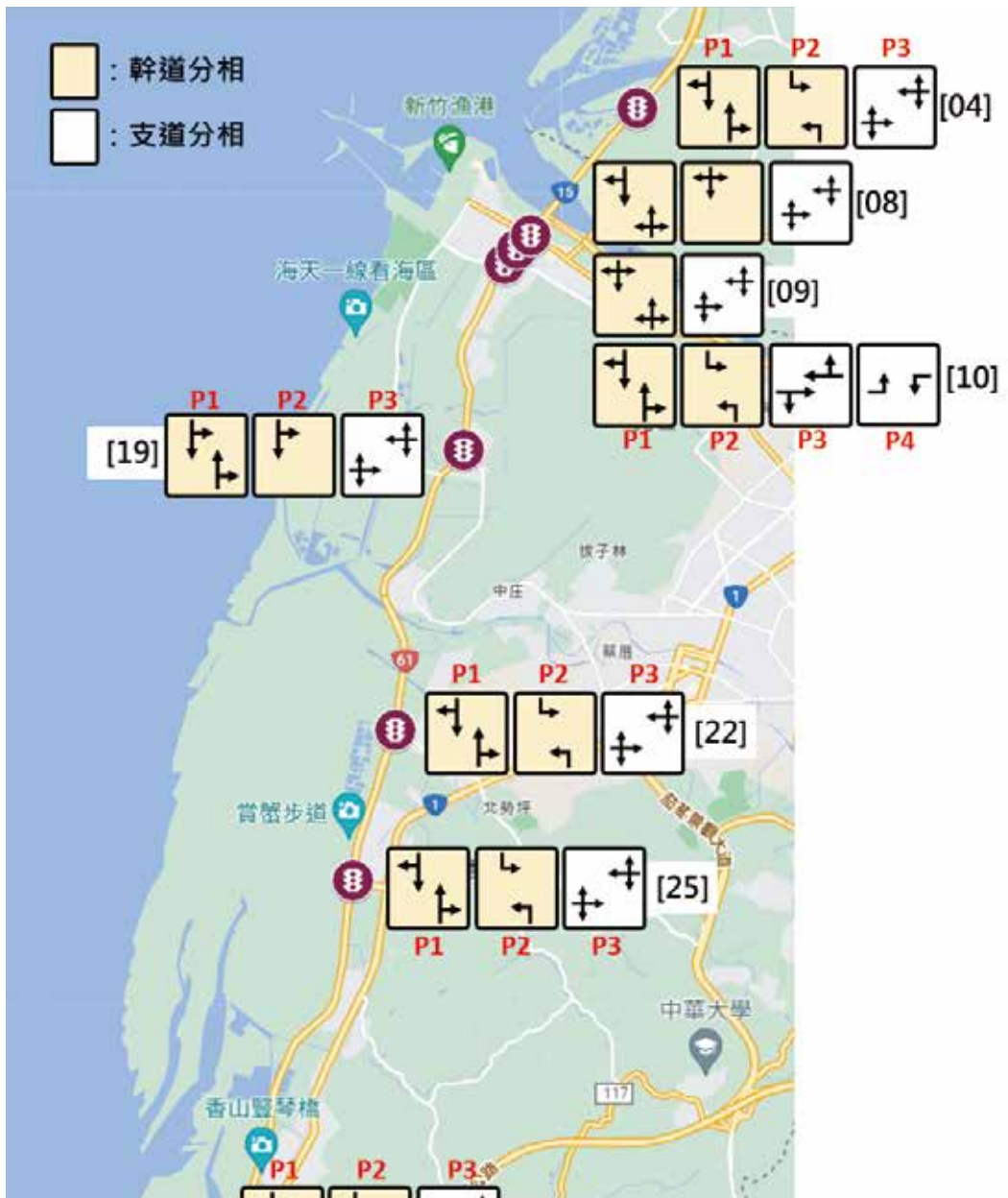


圖 3-14 現況時相圖

(3) 現況時制計畫連鎖

檢視重要路口群組 [08-10] 週期與時空圖（時差皆為 0，不納入分析），如圖 3-15 所示；夜間時段（22:00~06:00）中福路興濱路口 [09] 與上下游路口週期不同且亦非倍數關係，有可能發生不連鎖。

時段	[08]	[09]	[10]
00:00			
01:00			
02:00			
03:00	120	140	120
04:00			
05:00			
06:00		130	
07:00			
08:00			
09:00			
10:00			
11:00	150	150	150
12:00			
13:00			
14:00			
15:00			
16:00			
17:00	180	180	180
18:00			
19:00			
20:00	140	140	140
21:00			
22:00	120	140	120
23:00			

圖 3-15 重要路口群組圖

檢視綠燈帶寬如圖 3-16 至 圖 3-18 所示，綠燈帶寬由 50k/hr 估算，主線綠燈帶寬受限於路口 [10]，較多車輛應會累積於路口 [9] 與路口 [10] 之間。

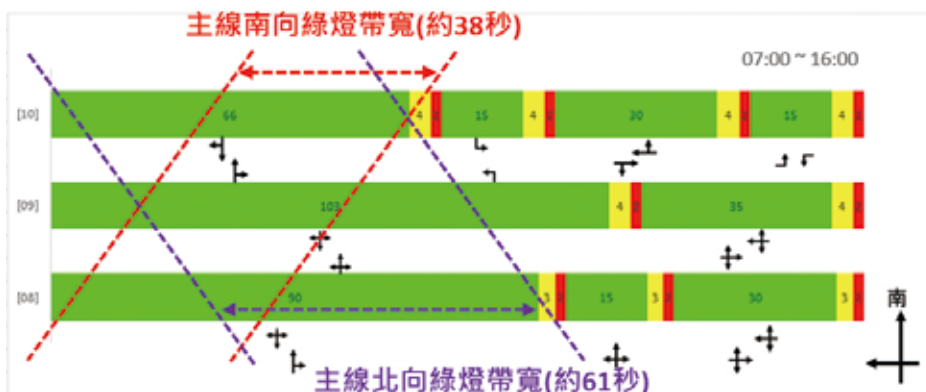


圖 3-16 綠燈帶寬分析圖 (一)

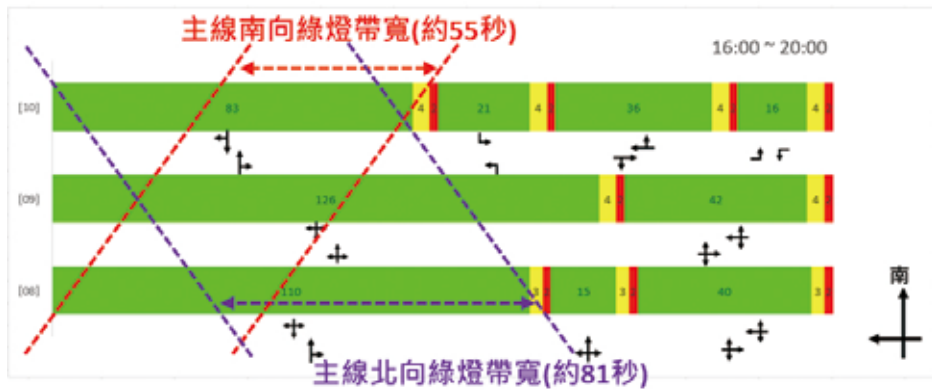


圖 3-17 綠燈帶寬分析圖（二）

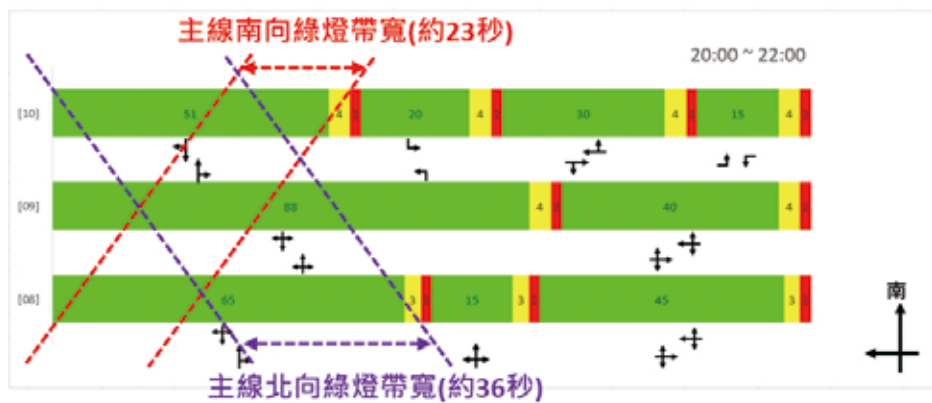


圖 3-18 綠燈帶寬分析圖（三）

2. 半觸動控制運作規劃

介接偵測器資訊，取得支道有無車狀態，當無車狀態累計秒數超過門檻值，進行幹道綠燈分相延長綠燈，支道綠燈分相減少綠燈；每週期確認，當週期運作，增減秒數維持週期，保持幹道定時時制連鎖效果，如圖 3-19 所示。

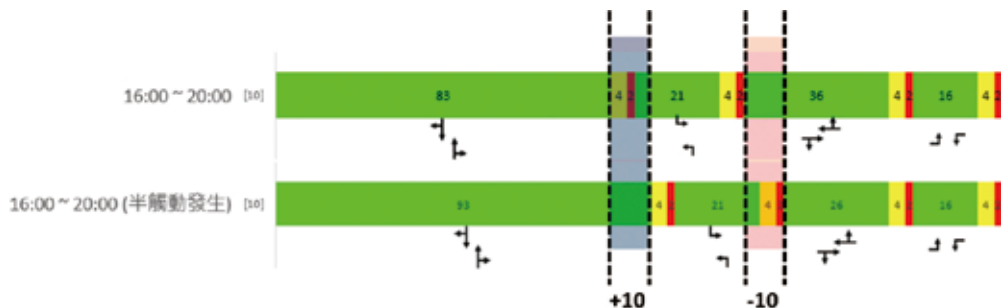


圖 3-19 半觸動控制運作規劃

3. 系統架構說明

系統架構採取邊緣運算架構，如圖 3-21 所示，其說明如下：

- (1) 透過 Switch 串聯號誌控制器、半觸動控制用 IPC 以及 AI 路口偵測設備。
- (2) 使用 Moxa NPort 串接 TC 的 RS-232 port，轉換成 RJ-45。

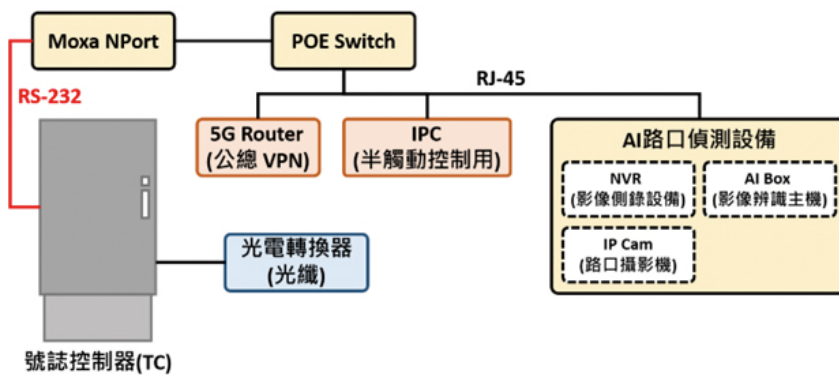


圖 3-21 系統架構圖

四、結論

5G 智慧交通服務工程以符合智慧交通發展趨勢為核心實施，執行效益依據 AI 影像辨識技術、5G 通訊應用服務、智慧號誌控制器及 5G MEC 共四項設備技術 / 應用服務功能分述，總結說明如下：

1. AI 影像辨識技術：在資料蒐集面，既有路側偵測設備涵蓋不足且無路口轉向車流偵測能力，無法掌握完整區域資訊，導入 AI 影像辨識設備後，達到 24 小時不間斷之路況資料蒐集，此外，AI 影像偵測路況資訊包括幹支道不同車種行進（左、直、右）方向作累計統計，補足過往因偵測設備不足導致交通數據蒐集不夠全面之資訊缺口。
2. 5G 通訊應用服務：在資訊傳輸面，利用 5G 大頻寬特性，可更精確掌握車流等交通即時狀況，並供後續交通分析與應用，同時解決現階段 4G 傳輸現場影像畫面容易延遲，管理單位無法即時性掌握現場路況之問題，有效降低中心交控人員及現場環境間之資訊落差。
3. 智慧號誌控制器：在硬體功能面，本服務工程為符合車聯網的發展趨勢，汰換老舊之號誌控制設備，提升號誌控制器功能以滿足未來車聯網應用功能。其進階版之號誌控制器，除符合都市交通控制通訊協定 3.0 版，更可提供未來可介接車聯網應用功能，有利於管理單位後續更新連結使用之效益。
4. 5G MEC：在服務整合應用面，5G MEC 除藉由接收號誌控制器之即時運作資訊及 AI 影像辨識設備之即時車流資訊，掌握道路即時交通控制管理狀態，實施仿美國觸動控制並結合在地幹道連鎖續進需求，以提升整體交通效益外，其多元應用微服務（Microservices）化特性，更可易於應用功能擴充，包括未來車聯網應用服務或其他動態號誌控制導入。

參考文獻

1. 交通部（2022），「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」成果報告。
2. 行政院科技會報辦公室（2021）。「我國自駕捷運（Autonomous Rapid Transit, ART）發展策略評估計畫」成果報告。
3. 吳榮煌、張佳雯、馮道亨（2020）。我國自駕車發展願景與重大議題探討。中華技術期刊，125，112-114。
4. 交通部運輸研究所（2020）。「交通事件資訊整合服務與精進計畫（2/2）」成果報告。
5. 交通部運輸研究所（2020）。「我國公共運輸車聯網實驗場域探討」成果報告。
6. 交通部運輸研究所（2019）。「交通事件資訊整合服務與精進計畫（1/2）」成果報告。
7. 交通部運輸研究所（2006）。「交通號誌時制重整計畫（I）- 標準作業程序建立」成果報告。
8. 交通部運輸研究所（2001）。「臺灣地區先進交通管理系統（ATMS）中都市交通號誌控制邏輯標準化與系統建置標準作業程序之研究一定時式 / 動態式控制邏輯標準化」成果報告。
9. National Transportation Communications for ITS（Intelligent Transportation Systems）Protocol, <https://www.ntcip.org/>
10. "ITS Architecture and Standards Updates & Interoperable Integration of Automation into the Transportation System", U.S. Department of Transportation, 2019
11. "NTCIP 1202 v03A: Object Definitions for Actuated Signal Controllers（ASC）Interface", AASHTO\ITE\NEMA, 2019
12. "Traffic Signal Timing Manual", Transportation Research Board, 2015
13. "Traffic Signal Timing Manual", U.S. Department of Transportation and Federal Highway Administration, 2008

高架橋優先關注橋孔安全檢測方式探討及建議

李俊儒¹ 陳柏良² 楊依璇³ 鞠志琨⁴

摘要

國內高架橋數量繁多，由於橋下空間多為開放民眾使用之區域，近年來發生數起高架橋混凝土塊掉落事件皆備受重視，此類事件影響民眾人身、財產安全及觀感不佳之可能性甚高，如何預防相關橋梁再發生類似情形，為各橋梁管養機關刻不容緩的工作。本文以維護管理面進行探討，期望尋找一具有效率、實用性及安全性之高架橋安全檢測方式，預知危機並預防發生，確保公共安全。本文採用敲擊回音法及手持檢驗錘敲擊法針對轄區三座具有混凝土塊掉落安全疑慮之橋梁辦理安全檢測，由敲擊回音法成果顯示混凝土內部瑕疵與短期內混凝土塊是否容易剝落無直接關聯，而手持檢驗錘將目視檢測劣化處鬆動混凝土塊敲落，可了解構件實際劣化程度及範圍，並有效排除短期內混凝土塊掉落疑慮，對於公眾安全提供即時保障，達成預期目標。

關鍵詞：橋梁檢測、非破壞檢測、敲擊回音法。

一、前言

國內多座高架橋梁屬早期竣工，迄今逐漸老化，近年已發生數起高架橋混凝土塊掉落事件如(圖 1-1)所示。

¹ 交通部公路總局第五區養護工程處斗南工務段段長
² 交通部公路總局第五區養護工程處斗南工務段工程員
³ 台灣整合防災工程技術顧問有限公司南區結構一部經理
⁴ 台灣整合防災工程技術顧問有限公司公司負責人



(1-1) 新北市新莊思源路口台 1 高架橋梁



(1-2) 台 1 高架橋梁混凝土塊砸中車輛
(新聞畫面)



(2) 臺北市民生東路口建國高架橋



(3) 台 61 線 WH06-1 高架橋南下 24K

圖 1-1 近年高架橋混凝土掉落事件情形

依據以往事件經驗，混凝土掉落主要原因有四：

1. 鄰近伸縮縫區域之構件，由於長年使用下受車量震動、橋梁伸縮、地震碰撞、伸縮縫安裝工程施工不良等因素造成開裂剝落 (圖 1-1 之 (1) 案例)。
2. 臺灣氣候降雨頻繁，水汽侵入使混凝土劣化及鋼筋鏽蝕引發剝落 (照片 1 之 (2) 案例)。
3. 沿海橋梁長年受鹽害侵襲因素，內部鋼筋鏽蝕膨脹後剝落 (照片 1 之 (3) 案例)。
4. 帽梁上殘存施工廢棄混凝土塊未清除。

由上述原因可知，混凝土塊之掉落為橋梁長年使用下，受各項因素影響產生劣化剝落後的結果。混凝土的剝落劣化發展過程中，通常可藉由目視檢測發現其表面早期劣化態樣，例如裂縫、空洞、缺陷等，混凝土內部瑕疵亦可由非破壞檢測儀器探測得知。因此，藉由良好的檢測及維護管理，應能有效預防此類事件發生。

二、優先關注橋孔

無論都會區、快速道路、高速公路之高架橋，其共通特點皆為多跨度、橋梁長度長，然而橋下空間不一定全橋範圍皆有供公眾通行或使用之區域，因此需要確實逐橋孔調查並統計橋下撥用範圍，列出「優先關注橋孔」清單，視為橋梁目視檢測重點區

域，增進後續檢測效率並確實掌握轄區整體狀況。需要注意的是，只要橋下空間是開放民眾使用即應列為重點，故跨水橋之橋下若有防汛道路、農路、河濱公園、停車場、市集等等（圖 2-1），皆應將該區域對應之橋孔範圍列為「優先關注橋孔」。



圖 2-1 開放民眾使用之橋下空間類型

臺灣橋梁交通發達及人口密度高，符合優先關注橋孔條件之橋梁眾多，除了一般目視檢測外，若每一座橋梁皆辦理詳細檢測實屬不切實際，因此可依據目視檢測中所發現之劣化嚴重程度，評估橋梁近年發生混凝土塊掉落之可能性，再以橋下空間類型、人車流量等情形，進一步細分重要性，篩選需要優先辦理安全檢測之橋梁名單及序位。本文以三座橋梁（表 2-1）為例進行篩選說明，並於後續以不同方式辦理安全檢測。

表 2-1 篩選優先辦理安全檢測之橋梁名單

項次	路線	橋梁名稱	橋梁總長 (總跨數)	優先關注橋孔 (跨數)	橋下 空間類型	橋下 人車流量
1	台 61 線	214K+102 高架橋 (154 線跨越橋) (3-2)	900M (20 跨)	S17~S36 (20 跨)	道路、空地	普通
2	台 19 線	北港大橋	469M (20 跨)	S03~S06 (4 跨)	牛墟市集、停 車場	多
3	台 61 線	金湖高架橋	480M (16 跨)	S12~S16 (5 跨)	口湖休息站、 停車場、道路	多

2.1 台 61 線 -214K+102 高架橋 (154 線跨越橋)(3-2)

本橋下方空地開放民眾自由活動，空地兩側為車輛通行之道路，全橋皆屬於優先關注橋孔範圍，由橋梁目視檢測發現橋面板及主梁有混凝土裂縫、空洞、剝落、鋼筋外露等情形。由於部份劣化區域於後續會勘時已發現有混凝土塊掉落，因此將本橋列為優先安全檢測對象，並針對全橋目視檢測劣化部位先行辦理修復，以防止再發生掉落情形殃及人車。



(1) 橋下空間



(2) 主梁混凝土劣化處 (掉落前 - 空洞)



(3) 主梁混凝土劣化處 (掉落後 - 鋼筋外露)



(4) 主梁混凝土劣化處 (修復後)

圖 2-2 台 61 線 -214K+102 高架橋 (154 線跨越橋)(3-2) 橋梁概況及劣化照片

2.2 台 19 線 - 北港大橋

本橋 S2~S6 下方為北港牛墟及停車場，本區段橋面板可見混凝土滲水白華、空洞、鋼筋外露等，由於本橋開市期間人潮及攤商眾多，列為優先安全檢測對象。



(1) 橋下空間



(2) 橋下空間 (牛墟市集開市日)



(3) 橋面板混凝土劣化處 (滲水白華)



(4) 橋面板混凝土劣化處 (空洞)

圖 2-3 北港大橋 橋梁概況及劣化照片

2.3 台 61 線 - 金湖高架橋

本橋 S12~S16 下方設有 246K 口湖休息站、便利商店、停車場及道路，假日人潮及車輛眾多，橋面板可見具有掉落疑慮之混凝土開裂、剝落情形，且開裂位置正下方即為道路，將本橋列為優先安全檢測對象以盡早排除混凝土塊掉落風險。



(1) 橋下空間



(2) 懸臂板混凝土劣化處下方為道路



(3) 懸臂板混凝土劣化處 (掉落前 - 裂縫) (4) 懸臂板混凝土劣化處 (掉落後 - 鋼筋外露)

圖 2-4 金湖高架橋 橋梁概況及劣化照片

三、優先關注橋孔安全檢測方式

3.1 敲擊回音法 (IE, Impact-Echo Method)

為掌握整體混凝土構件狀況作為後續劣化發生可能性參考，並追蹤已修補劣化部位之改善成效，本文採用非破壞檢測之敲擊回音法辦理橋梁上部構件安全檢測，利用敲擊回波測儀敲擊產生暫態應力波導入混凝土中，並接收其反射位移訊息並經由訊號轉換以判讀，當混凝土內部有瑕疵存在時，其回傳頻率將與正常混凝土構件不同 (如圖 3-1)，由此可了解混凝土內部空、蜂窩、紋等瑕疵分佈情形。

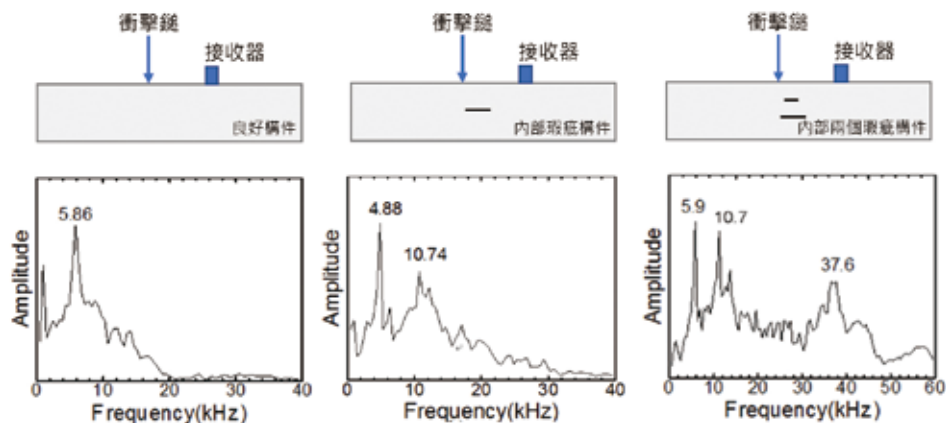


圖 3-1 敲擊回音法檢測原理及訊號示意圖

本次採用 NDE360 敲擊回波量測儀，其儀器元件如表 2 說明，檢測時以 1 公尺間距平均設置點位於橋面板、主梁等構件，由於進行全面檢測之點位甚多，每一點位施測後將訊號資訊記錄於儀器後即前往下一點位，後續於內業階段再一併進行訊號解析並歸納目標橋孔混凝土結構整體內部瑕疵分佈、區域、深度等以增進效率，工作情形及施測點位標示如 (圖 3-2) 所示。214K+102 高架橋 (154 線跨越橋)(3-2) 及北港大橋採用此法辦理上部構件全面安全檢測 (表 3-1)。

表 3-1 敲擊回音法儀器元件

項次	元件名稱		功能敘述
1	NDE-360		資料收集、分析和展示平台
2	IE 測試探頭		探頭內包含自動線圈衝擊器和位移感測器
3	IE 電纜線		電纜線，連接 IE 探頭和 NDE-360



圖 3-2 敲擊回音法工作情形及施測點位標示

3.2 手持檢驗錘敲擊法

表面良好的混凝土構件內部若有明顯瑕疵，採用一般檢測用檢驗錘敲擊時可直接由人耳辨別出異音情形，此檢測方式雖無法辨認細微瑕疵，但其輕巧方便的特性可協助檢測員於現場快速定位出明顯缺失區域並標記，作為後續加強追蹤之重點。而若為表面已發生劣化之混凝土，則人力敲打過程中的衝擊力道將使鬆動混凝土塊剝落，加以去除及清理後可有效排除短期內該部位發生混凝土掉落之可能性，並於後續依期程安排修補工作即可。敲擊檢測工作情形如(圖 3-3)所示。台 61 線 214K+102 高架橋 (154

線跨越橋) (3-2) 及台 19 線北港大橋採用此法辦理上部構件全面安全檢測；台 61 線金湖高架橋採用此法針對目視檢測劣化辦理安全檢測 (表 3-2) 。



圖 3-3 手持檢驗錘敲擊檢測辨識異音及敲除鬆方工作情形

表 3-2 各橋採用安全檢測方式及範圍

項次	路線	橋梁	優先關注橋孔	安全檢測方式及範圍	
				敲擊回音法 (IE)	手持檢驗錘敲擊
1	台 61 線	214K+102 高架橋 (154 線跨越橋) (3-2)	S17~S36	上部構件全面檢測 (間距 1 公尺平均施測)	上部構件全面檢測 (間距 1 公尺平均施測)
2	台 19 線	北港大橋	S03~S06	上部構件全面檢測 (間距 1 公尺平均施測)	上部構件全面檢測 (間距 1 公尺平均施測)
3	台 61 線	金湖高架橋	S12~S16	無	僅針對目視檢測 劣化部位敲擊

四、安全檢測成果

4.1 台 61 線 -214K+102 高架橋 (154 線跨越橋)(3-2)

本橋同時採用敲擊回音法及手持檢驗錘敲擊法辦理上部構件全面安全檢測，橋孔數量共計 20 跨 (S17~S36)。節錄部份敲擊回音法成果與構件實際照片比對可知 (圖 4-1)，混凝土構件在 (A) 輕微鋼筋外露、(B) 表面狀況尚可或 (C) 輕微白華情形下，皆可能發現內部瑕疵情形。雖內部瑕疵分佈與橋梁表面劣化現況並無一定關聯性，但由 (A) 範例可發現當表面有輕微混凝土劣化時，敲擊回音法成果顯示之瑕疵深度範圍 (0.02~0.10M) 明顯於其它範例，因此本法可作為後續定期目視檢測之重點參考，關注明顯瑕疵分佈區域是否將成為混凝土裂縫、剝落或鋼筋外露之易發區域，得以於劣化產生後辦理即時修復。

敲擊回音法所得各橋孔混凝土內部瑕疵分佈成果詳如 (圖 4-2) 及 (圖 4-3) 所示。另由手持檢驗錘敲擊相同檢測點位皆無發現異音、混凝土剝落或鬆動情形，故僅節錄單一橋孔 S17 之敲擊記錄成果如 (圖 4-4) 供參。

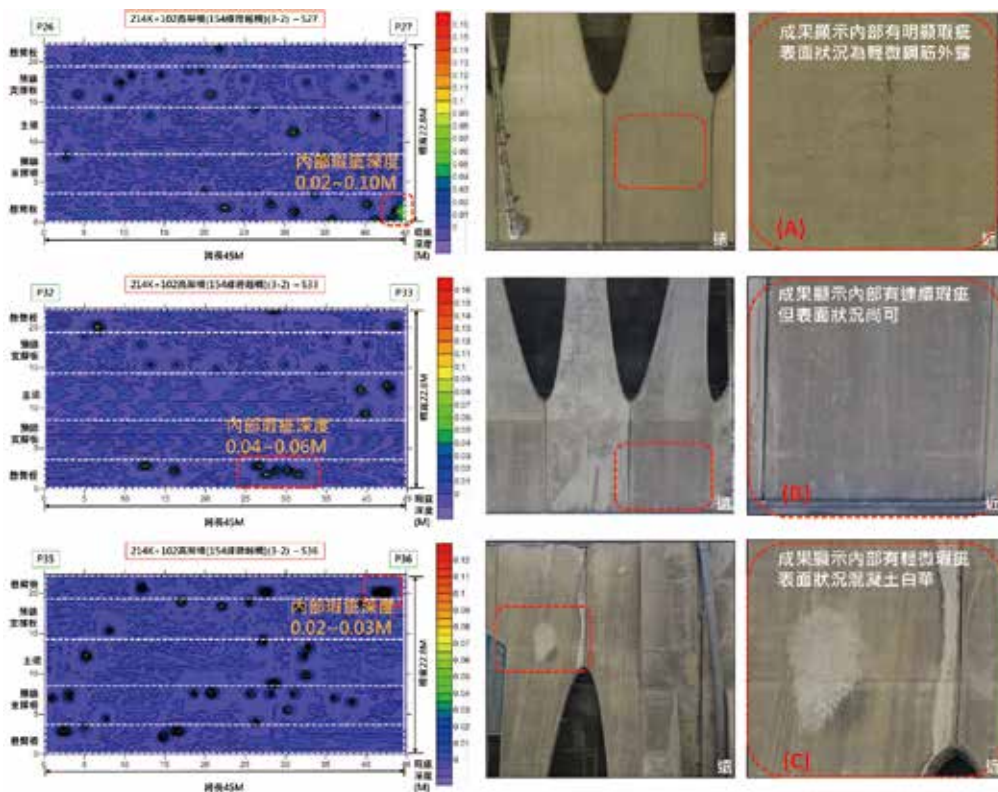


圖 4-1 214K+102 高架橋 (154 線跨越橋)(3-2) 敲擊回音法成果與構件實際照片比對

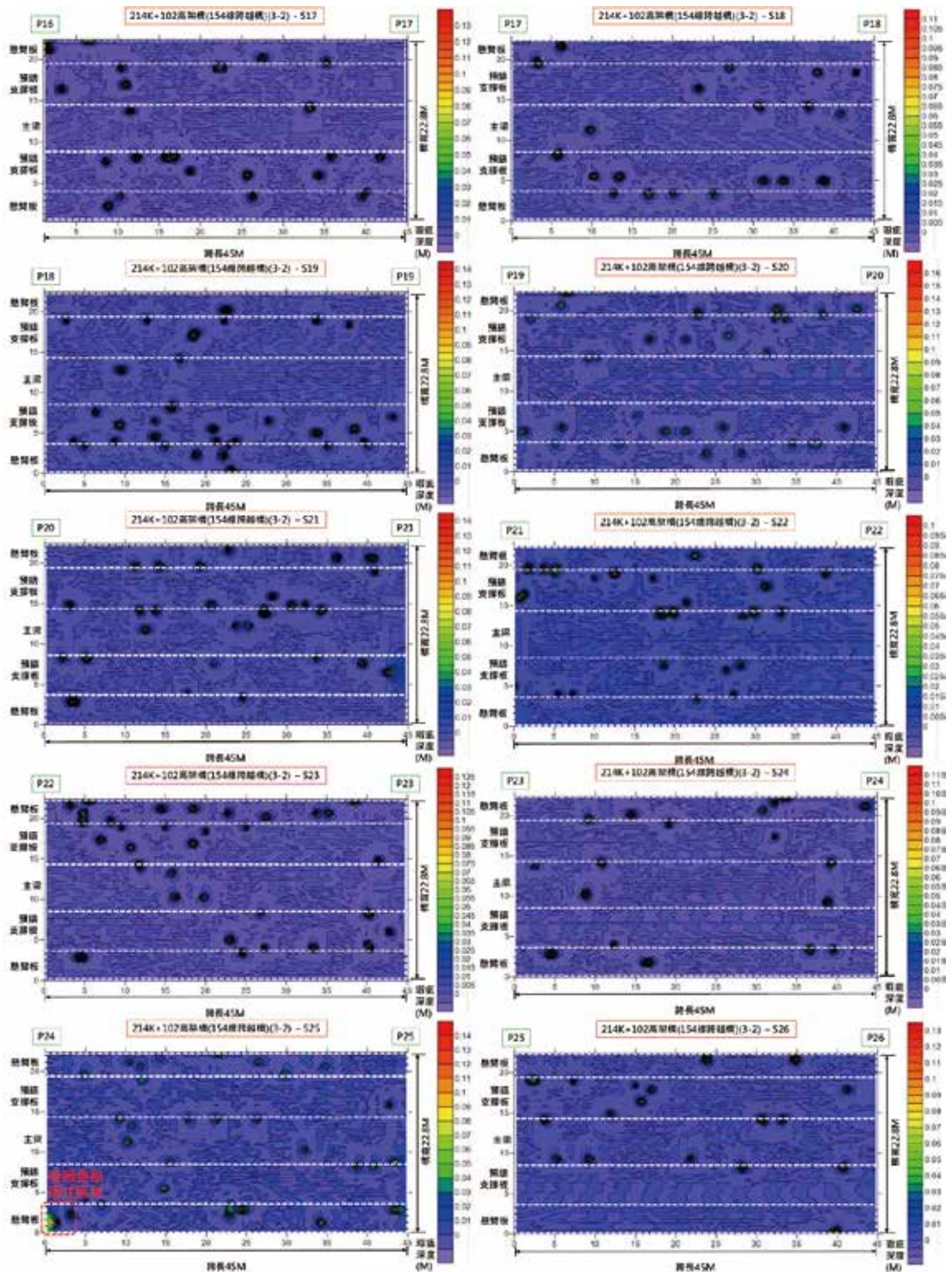


圖 4-2 214K+102 高架橋 (154 線跨越橋)(3-2) 敲擊回音法成果 (S17~S26)

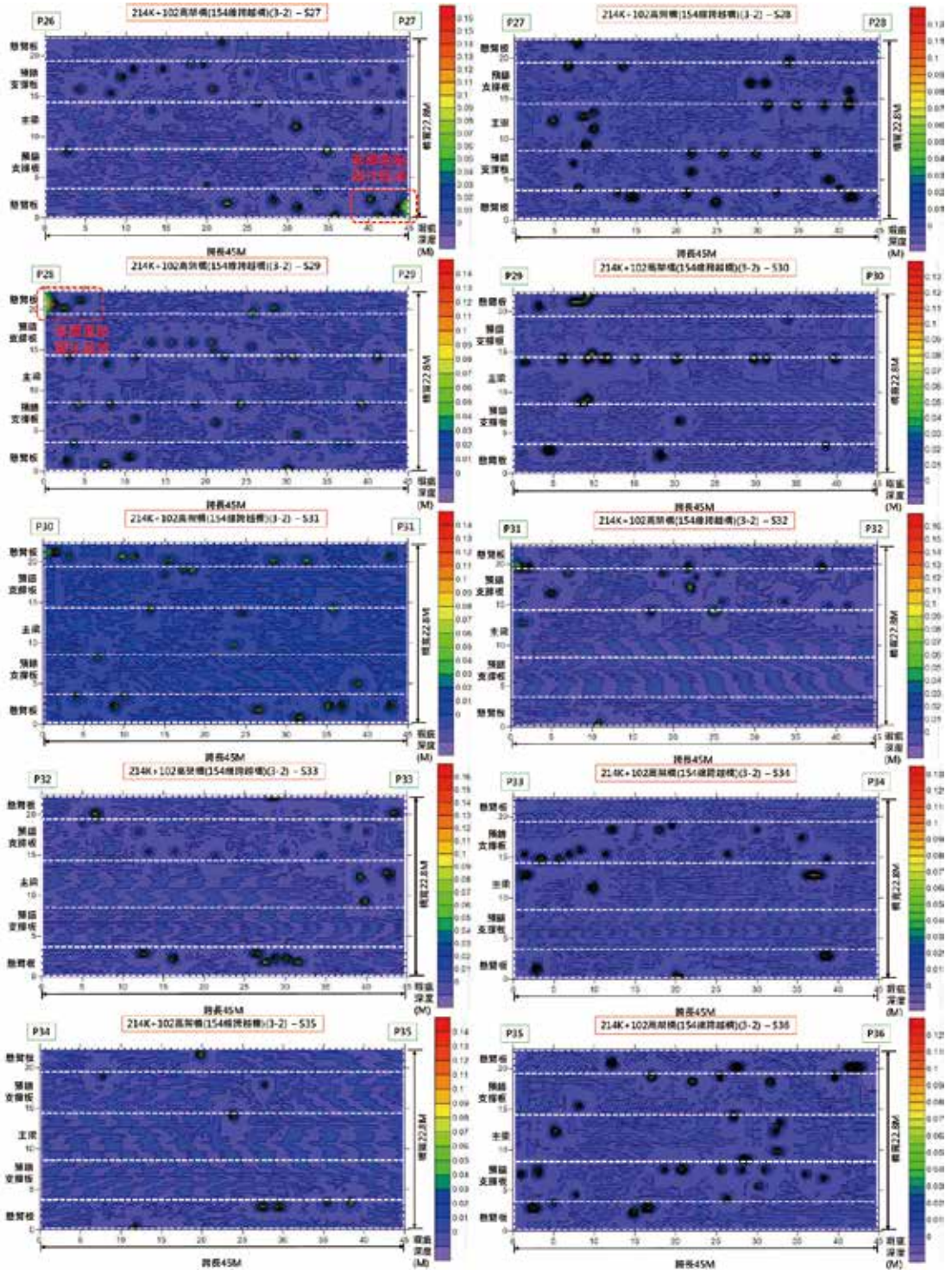


圖 4-3 214K+102 高架橋 (154 線跨越橋) (3-2) 敲擊回音法成果 (S27~S36)

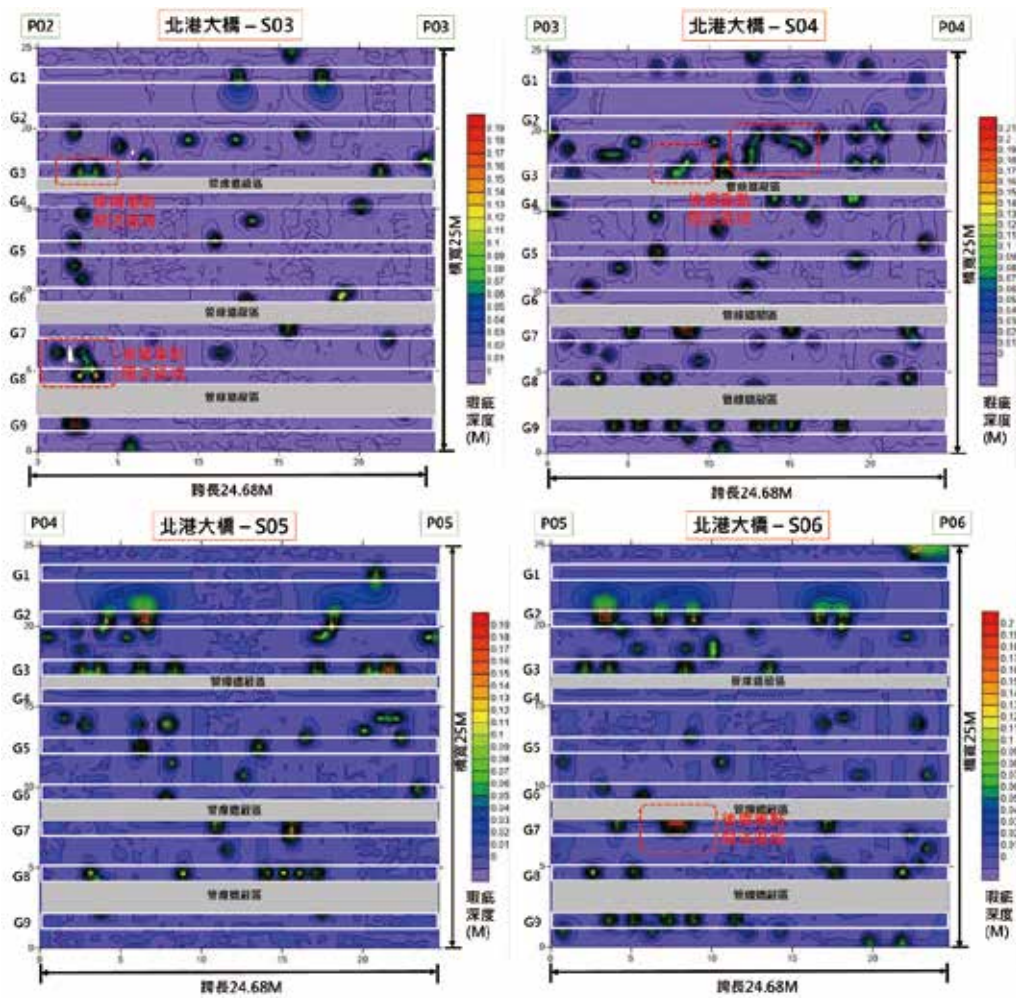


圖 4-6 北港大橋敲擊回音法成果 (S3~S6)



圖 4-8 混凝土劣化構件敲擊前後比對照片

表 4-1 金湖高架橋手持檢驗錘敲擊成果 (混凝土明顯劣化處)

S16 橋面板 G1 左側 P15+3M 混凝土剝落 - 鋼筋外露 - 錘跡(>0.4m*0.4m)3M*0.4M		
敲擊前	敲擊中	敲擊後
S16 橋面板 G9 右側 A2-15M 混凝土剝落 - 鋼筋外露 - 錘跡(>0.4m*0.4m)1.2M*0.4M		
敲擊前	敲擊中	敲擊後
S16 橋面板 G9 右側 A2-3M 混凝土剝落 - 鋼筋外露 - 錘跡(>0.4m*0.4m)3.2M*0.2M		
敲擊前	敲擊中	敲擊後

五、結論與建議

1. 常見混凝土剝落成因為內部鋼筋鏽蝕或構件碰撞等，通常可藉由目視檢測發現其表面早期劣化態樣例如裂縫、空洞、缺陷等，且由本文敲擊回音法檢測成果亦可知混凝土內部瑕疵與短期內混凝土塊是否容易剝落無直接關聯，由於相關橋梁數量眾多，為增強檢測實用性及效率性，建議優先於目視檢測劣化處及其周遭辦理安全檢測。
2. 採用手持檢驗錘直接於劣化部位敲擊進行安全檢測，可藉由敲落鬆動混凝土塊了解構件實際劣化程度及範圍，並排除短期混凝土塊掉落疑慮，對於公眾安全提供即時保障，建議採用此法作為主要安全檢測方式。然而敲落鬆方後將使內部鋼筋曝露於空氣之表面積增大，後續仍需掌握維護期程，以免導致橋梁加速劣化。
3. 敲擊回音法建議可使用於手持檢驗錘敲擊後，若有發現異音但混凝土構件表面情形良好時，用以了解內部瑕疵範圍及深度，並於後續作為目視檢測重點區域，尤其降雨時可能受雨水滲流部位，易發生水汽侵入內部導致劣化，並於後續產生混凝土裂縫、剝落等情形。

參考文獻

1. 109 年公路總局第五區養護工程處雲林縣、嘉義縣市轄區因應氣候變遷橋梁安全維持檢測工作第 2 階段 (後續擴充 -110 年度) 優先關注橋孔位置安全檢測報告書：臺灣整合防災工程技術顧問有限公司 (民國 110)。
2. 鋼筋混凝土結構物敲擊回音 縫檢測分析研究：明新科技大學 梁若暉 (民國 92)。
3. 常用非破壞檢測方法介紹與實例：朝陽科技大學 許耿蒼 (民國 110 臺中市土木技師公會研習會)。
4. 敲擊回音相位於鋼筋與裂縫檢測之應用：臺灣大學應用力學研究所 林力權 (民國 103)。

一頁廣告多詐騙

社群下單細分辨



一頁式廣告 指業者將商品所有資訊，包括商品介紹、圖片、價格、下標等，都集中在一個頁面

一頁式廣告特徵

- ❶ 多出現於社群或入口網站
- ❷ 強調貨到付款
- ❸ 價格低於市價
- ❹ 標榜7天鑑賞期
- ❺ 限時限量促銷
- ❻ 無實體聯絡電話及地址

爭議類型

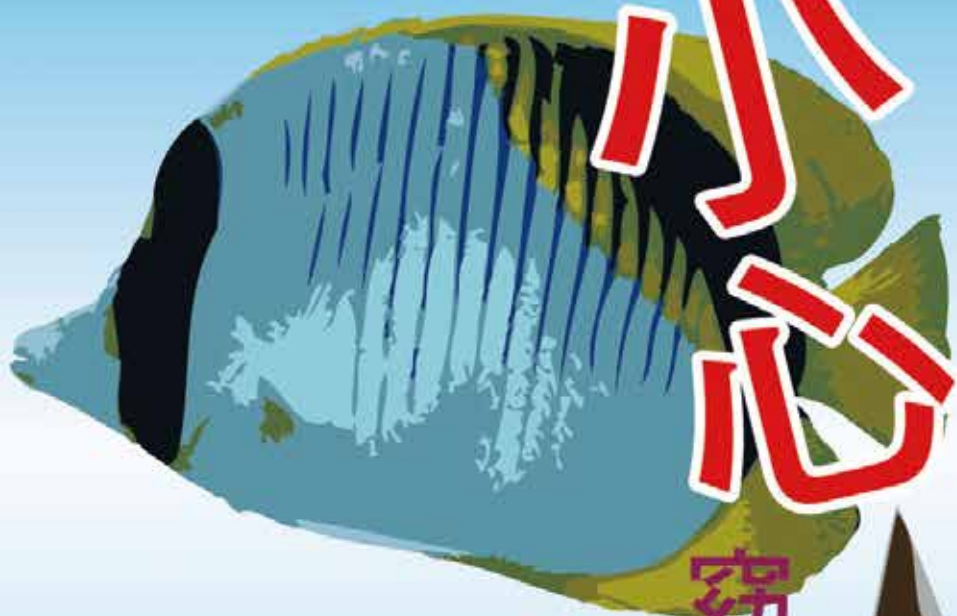
多屬跨境包裹。消費者收到後，發現商品不符或明顯瑕疵欲退貨，卻無法聯繫到賣家/託運人，或遭消極拖延，退貨退款不易。

爭議處理機制

新竹物流、統一速遞、台灣宅配通等貨運業者、統一超商及全家便利商店，均已提供跨境包裹消費爭議協處服務，可直接辦理退貨退款或協助轉知託運人處理。

提醒消費者

- ❶ 避免在一頁式廣告中購物。
- ❷ 如已付款取貨，儘速拆封查明商品有無不符或瑕疵。
- ❸ 退貨卻聯繫不上賣家或託運人，可請貨運或超商協助。
- ❹ 若仍無法解決，可至網站 (<https://cpc.ey.gov.tw/>) 進行線上申訴。



小心

窈窕美麗背後的陷阱

塑身美容消費陷阱多，小心謹慎才不會花錢又傷身！

塑身美容消費小撇步：

- ★誇大廣告不輕信
- ★產品標示看仔細
- ★刷卡消費要量力
- ★定型化契約要簽訂



行政院消費者保護處 <http://www.cpc.ey.gov.tw>
全國消費者服務專線 1950

臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：108234 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8112

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 數位應用 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 112 年 5 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：400002 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：104472 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：100003 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：台灣身心障礙生活促進協會

地 址：23586 新北市中和區中正路 988 巷 15 號

電 話：02-22227689

中華民國 112 年 5 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123轉8112)

半年新臺幣 150元
一年新臺幣 300元
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)
帳號(共14碼)：1 2 2 9 7 1 0 2 1 0 8 0 1 9

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN2004100003

定價新臺幣30元