 交通部公路總局蘇花公路改善工程處
臺 9 線蘇花公路山區路段改善計畫

水文地質模式檢測及區域水資源環
境影響分析委託專業服務工作

工作計畫書

 財團法人中興工程顧問社

中華民國 101 年 10 月

目錄

第一章 概述	1
1.1 緣由.....	1
1.2 計畫目的.....	2
1.3 研究範圍及工作內容.....	2
第二章 工作執行構想與流程	5
2.1 工作執行構想.....	5
2.2 工作流程.....	7
第三章 工作執行計畫	9
3.1 資料蒐集分析.....	9
3.2 施工期間水文地質觀測.....	21
3.3 水文地質資料蒐集與整合儲存.....	35
3.4 隧道鄰近區域三維水文地質模式之補充建立與整合.....	36
3.5 隧道鄰近區域水文地質模型檢討修正與驗證.....	41
3.6 隧道施工對水資源環境影響評估.....	46
第四章 工作組織與時程	54
4.1 工作組織.....	54
4.2 工作時程.....	54
第五章 預期成果	57

圖目錄

圖 2.2-1 工作執行流程圖	8
圖 3.1-1 計畫區範圍既有雨量站及流量站位置圖	15
圖 3.1-2 樟林雨量站月平均降雨資料統計圖	16
圖 3.1-3 蘇花路廊內既有鐵路隧道排水量觀測結果圖(摘自公路總局 「蘇花路廊隧道施工湧水對地表、水文環境之影響及因應研 析」, 2010).....	17
圖 3.1-4 本計畫區範圍精度 40m×40m 之數位高程地形圖.....	20
圖 3.2-1 雨量站安裝示意圖	23
圖 3.2-2 既有鐵路隧道洞口排水渠道現況	25
圖 3.2-3 河川流量站雷達波水位計/流速計安裝示意圖	30
圖 3.2-4 河川流量站計讀&電源供應裝置安裝示意圖	30
圖 3.2-5 河川流量站預計設置地點現況	31
圖 3.2-6 本計畫增設地下水位觀測井位置示意圖	34
圖 3.3-1 資訊整合平台建置操作畫面構想	36
圖 3.4-1 觀音隧道水文地質模型建置初步構想	38
圖 3.4-2 谷風隧道水文地質模型建置初步構想	39
圖 3.4-3 觀音隧道三維水文地質模型數值分析網格	41
圖 3.4-4 谷風隧道三維水文地質模型數值分析網格	41
圖 3.5-1 斷層帶可能型態示意圖(摘自洪如江, 1991)	44
圖 3.5-2 東澳隧道沿線之區段出水量及累積出水量之初步評估結果	45
圖 3.6-1 曾文越引隧道廣域三維水文地質之初步分析結果	47
圖 3.6-2 曾文越域東引水隧道施工過程之暫態湧水分析結果	48
圖 3.6-3 水文地質單元(i, j, k)與其相鄰單元之水平衡示意圖	49
圖 3.6-4 曾文越域東引水隧道施工地下水位洩降分析結果剖面圖	51
圖 3.6-5 雪山隧道營運階段之孔隙水壓與單點水量觀測儀器	53
圖 3.6-6 雪山隧道營運階段之導坑出水量自動觀測記錄	53
圖 4.1-1 工作團隊組織架構圖	54
圖 4.2-1 計畫執行時程概估表	56



表目錄

表 3.1-1 本計畫研究範圍各工程地質調查報告初步彙整一覽表	10
表 3.1-2 本計畫研究範圍相關地質文獻資料初步彙整一覽表	11
表 3.1-3 計畫區範圍既有雨量站彙整一覽表	14
表 3.1-4 本計畫研究範圍既有河川流量站彙整表	18
表 3.2-1 施工期間水文地質觀測工作項目彙整表	21
表 3.2-2 既有鐵路隧道排水溝渠現況	24
表 3.2-3 本計畫研究範圍既有鑽孔地下水位觀測結果表	33

第一章 概述

1.1 緣由

位在板塊交界帶之臺灣，地質構造與水文地質條件複雜，加上台灣地區雨量充沛，使得山岳地區地下水儲量豐富。臺9線蘇花公路山區路段改善計畫穿梭於蘇澳至大清水間之山岳與海岸沿線，並以8座隧道穿越沿線山嶺地區，計畫區所經過之變質岩區，為台灣地質條件最為複雜之區域。

設計階段雖已分別針對蘇澳-東澳路段之東澳隧道、和中-大清水路段之中仁隧道與仁水隧道分別建立隧道鄰近區域三維水文地質模式，同時對施工期間可能對鄰近區域地下水資源與水文地質環境所造成之影響進行評估。惟由國道5號雪山隧道與東部鐵路改善線新永春隧道之施工經驗可知，山岳地區複雜之地下水文地質條件，實不易在設計階段事先精確掌握，隧道施工期間不排除仍有遭遇滲湧水之可能性，除影響施工安全與工程進度外，地下水滲流改變亦可能影響地表環境，使民眾對隧道工程是否造成周圍水資源環境衝擊產生疑慮。

針對隧道施工與鄰近區域地下水資源及水文地質環境可能之影響互動關係，諸如水文地質環境對隧道可能之施工影響、隧道施工對鄰近區域地下水資源環境所造成之短期變化，以及未來營運階段對區域地下水資源環境可能之影響等，實有必要透過施工期間之水文地質觀測與相關資料蒐集，對隧道鄰近區域之水文地質模式進一步檢討與回饋驗證，並進行隧道施工可能出水問題研判。相關觀測、檢討與研判結果，可提供施工廠商作為研擬有效因應對策之參考，以期能降低隧道施工風險，同時亦可藉以釐清隧道施工與營運對於周遭環境水文條件及區域地下水資源可能造成之影響。爰此，責臺9線蘇花公路山區路段改善計畫之蘇花公路改善工程處乃委託辦理「臺9線蘇花公路山區路段改善計畫-隧道水文地質模式檢測與區域水資源環境影響分

析委託專業服務工作」(以下簡稱本計畫)。財團法人中興工程顧問社(以下簡稱中興社)長期致力於隧道工程研究，對於隧道之規劃、設計、施工、營運等全生命週期各階段之施工技術與關鍵問題均有完整豐富之研發成果，近年來亦積極從事水文地質及地下水調查分析工作，掌握隧道三維水文地質模式分析及鄰近區域水資源環境影響評估技術。中興社本著「誠信、樸實、高品質、高效率」之企業文化，組成專業工作團隊，經公開評選接獲本計畫。

1.2 計畫目的

本計畫目的主要係以量化科學方式，透過施工前背景資料蒐集及施工期間水文地質變化觀測，檢討建立符合實際情形之隧道鄰近區域三維水文地質模式，進一步研判隧道施工可能遭遇之滲湧水問題，分別進行隧道近域及廣域模式分析，釐清隧道施工與周圍區域水資源環境影響關係，提供主管機關及地方民眾參考。

1.3 研究範圍及工作內容

本計畫預計執行期程配合臺9線蘇花公路山區路段改善計畫施工期間，自民國101年9月至民國106年8月止，共計5個年度。工作範圍為蘇澳至大清水間之計畫路段改善沿線及鄰近地區，包含蘇澳-東澳段、南澳-和平段及和中-大清水段三個主要施工路段。工作內容分述如下：

1. 資料蒐集分析

(1) 地質資料：

- a. 既有地質探查與文獻資料
- b. 施工中隧道開挖地質紀錄

(2) 氣象資料：

- a. 施工前至少5年內之既有雨量站資料
- b. 施工期間既有雨量站資料

- (3) 水文資料：
 - a. 既有鐵路隧道排水量資料
 - b. 施工前至少 5 年及施工期間之既有河川流量站資料
- (4) 既有地下水位井觀測資料
- (5) 地形圖與 DTM 資料
2. 施工階段水文地質調查
 - (1) 隧道內出水量觀測：
 - a. 隧道開挖面出水量觀測資料蒐集
 - b. 隧道洞口總出水量觀測資料蒐集
 - (2) 雨量觀測：
 - a. 增設 2 座自記式雨量站
 - b. 自記式雨量站資料蒐集下載
 - (3) 既有鐵路隧道排水量觀測
 - (4) 河川流量觀測：
 - a. 增設 5 座自記式河川流量站
 - b. 自記式河川流量站資料蒐集下載
 - (5) 地下水位觀測：
 - a. 隧道洞口地下水位觀測資料蒐集
 - b. 增設 8 座自記式地下水位觀測井，並辦理岩盤透水試驗
 - c. 自記式地下水位觀測井資料蒐集下載
 - d. 篩選設計階段既有地下水位觀測井可量測者並進行量測
3. 隧道鄰近區域三維水文地質模式之補充建立與整合
4. 隧道鄰近區域水文地質模型檢討修正與驗證
 - (1) 5 座長隧道三維水文地質模式檢討與修正
 - (2) 隧道可能湧水問題評估檢討修正
 - (3) 地下水文地質分區與分層劃分檢討
5. 隧道湧水對水資源環境之影響評估：



(1) 施工階段：

- a. 近域湧水分析模式
- b. 廣域水資源環境影響評估模式
- c. 隧道鄰近敏感區域地下水水位洩降評估
- d. 區域地下水淨補注量影響評估

(2) 完工營運階段：

- a. 長期區域水資源環境影響評估
- b. 營運階段資料蒐集與水文地質觀測計畫研提

第二章 工作執行構想與流程

2.1 工作執行構想

深入瞭解本計畫之目的、範圍與工作內容後，依據招標文件所設定之工作項目，擬訂本計畫工作執行之構想，以下就各要項加以說明：

1. 專業工作團隊之組成

中興社於充分瞭解本計畫工作內容及計畫目標後，立即籌組工作團隊，工作團隊成員包含中興社內具隧道工作、觀測儀器安裝測讀、水文地質調查分析等經驗之研究人員。由於本計畫涉及隧道工程、水文地質調查、數值模擬分析及水資源環境等不同領域學門之專業知識，因此，中興社針對本計畫以專案組織方式來執行，團隊組織包含計畫管理、品質保證及各專業工作小組。

在計畫管理階層設計畫主持人及計畫協同主持人各一人，主要執掌計畫監督、管制、協調、工作時程與進度掌控、並提供維持計畫運作之一切行政支援，亦兼負教育訓練品質的督導，並負責計畫成果之品質管理及文件管制與工作時程之控管；另設計畫督導人二人，協助計畫主持人辦理計畫督導、協調及工作整合等事宜。各專業工作小組之執行則甄選適任之各類專長研究員與工程師參與工作，各分組組長負責辦理計畫工作之執行、協調、資料文件管理及成果報告審核等。

2. 工作組織之建立

本計畫設主持人一人，由蕭富元博士擔任，並因應本計畫專業領域屬性，特邀請國內水文地質及地下水調查分析領域專家李振誥特聘教授擔任本計畫協同主持人，協助本團隊水文地質模式分析及水資源環境影響評估工作。

本團隊依專業技術類別分成四個工作小組，分別為：(1)水文地質資料蒐集與工作聯繫組、(2)觀測儀器安裝維護與資料下載作業

組、(3)三維水文地質模式建立與檢討修正模擬組、(4)隧道出水與區域水資源環境影響評估組。各分組將經由工作檢討聯繫會議，隨時掌握工作品質與進度，建立一個具有最佳運作功能之團隊，以最適當之人力，在各項工作任務上發揮最高成效。各工作小組之任務分配分述如下：

- (1) 水文地質資料蒐集與工作聯繫組：負責蒐集並整理分析本計畫所需之水文地質基本資料，包括氣象局雨量資料、水利署河川流量資料、鐵路局既有鐵路隧道洞口排水量及蘇花改各隧道開挖地質記錄、施工遭遇困難地質狀況、隧道內及隧道洞口出水量觀測等資料，並綜理本計畫相關協調、整合、時程掌控與成果提送等事宜。並與各標案隧道施工包商及相關單位進行密切聯繫與協調，以即時取得所需資料供後續分析研判。
- (2) 觀測儀器安裝維護與資料下載作業組：由中興社電子試驗室研究人員組成，負責本計畫施工階段水文地質調查儀器之安裝、測讀、維護與修復等工作，儀器項目包括自記式雨量站、自記式河川流量站、自記式地下水位觀測井等，另人工測讀之觀測儀器則亦由該小組人員負責，包括既有鐵路隧道洞口出水量觀測及設計階段既有地下水位觀測井篩選量測等工作。
- (3) 三維水文地質模式建立與檢討修正模擬組：負責本計畫沿線5條長隧道(東澳隧道、觀音隧道、谷風隧道、中仁隧道及仁水隧道)之三維水文地質模式整合補充建立工作，並配合施工期間所揭露之水文地質狀況與觀測結果，進行模式之檢討修正與驗證等工作，確保所建立之水文地質模式具正確性與適用性。
- (4) 隧道出水與區域水資源環境影響評估組：負責隧道近域湧水分析、廣域水資源影響分析、隧道鄰近敏感區地下水位洩降評估、區域地下水淨補注量影響評估等工作，研判施工期間之區域水資源環境變化情形，並釐清隧道施工與鄰近水文環境影響

關係。同時負責本計畫總結報告之長期區域水資源環境影響評估，以及營運階段資料蒐集與水文地質觀測計畫研提工作。

此外，本計畫人員亦將不定期至施工現場，與現地作業人員、業主、監造、隧道施工包商等進行討論並交換意見，以確保評估結果與實際狀況符合。

2.2 工作流程

依據招標文件所設定之工作項目，擬訂本計畫工作執行流程如圖 2.2-1 所示。

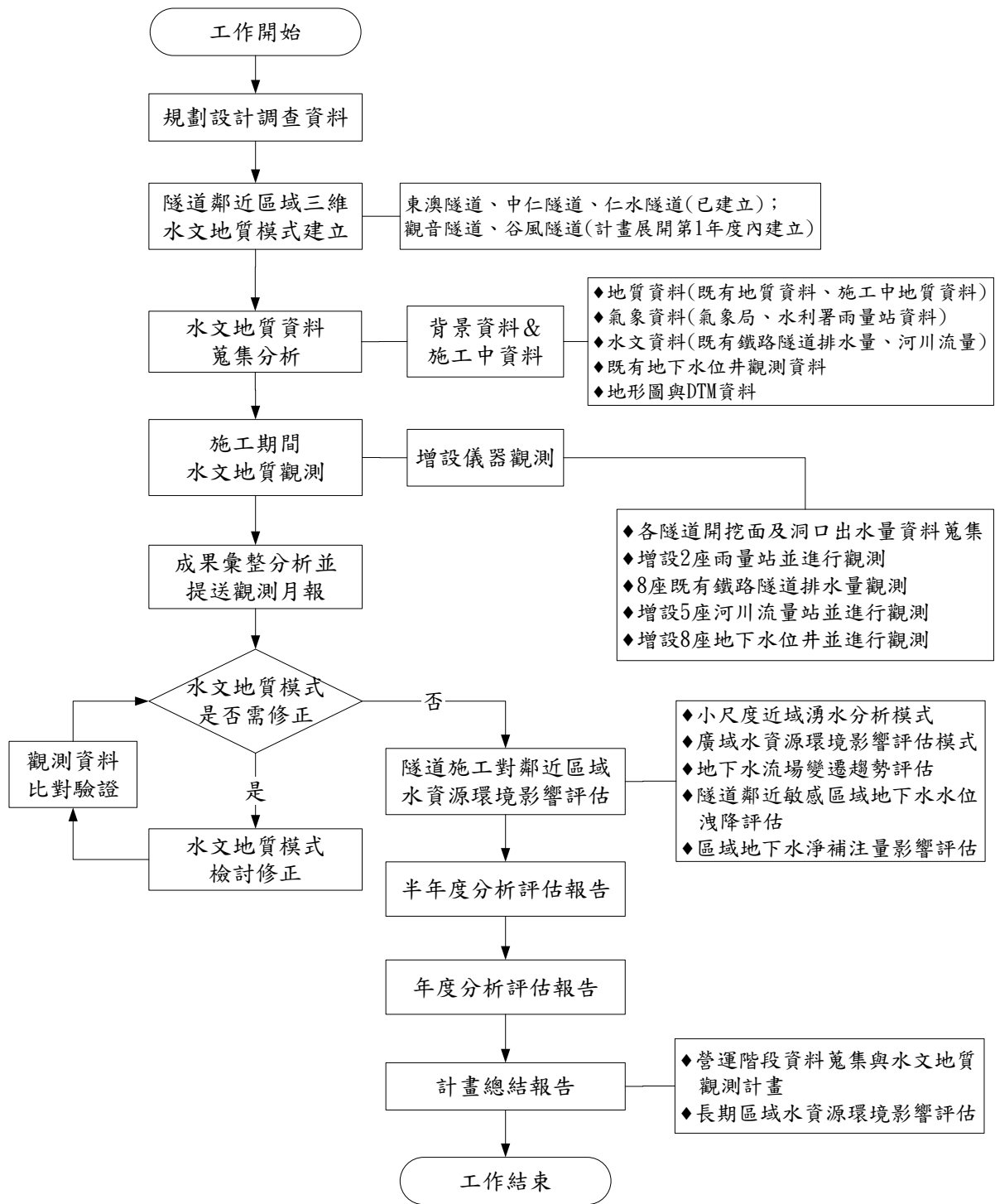


圖 2.2-1 工作執行流程圖

第三章 工作執行計畫

3.1 資料蒐集分析

臺灣河川具坡陡流急之特性，尤其東部區域更為顯著，河川豐水期與枯水期之流量變化十分劇烈，通常須以數水文年或更長期之觀測資料，才能歸納出較具分析意義之結果，造成水文地質觀測資料蒐集上之困難。本項工作主要為蒐集計畫區內水文地質基本資料，包括地質資料、氣象資料、水文資料、地下水位資料、地形圖與DTM等。工作內容及執行方法說明如下：

1. 既有地質資料及施工中隧道開挖記錄

(1) 既有地質探查與文獻資料

蒐集本計畫及鄰近地區既有之地質調查與研究相關文獻資料，以及相關工程計畫，包含蘇花高速公路、北迴鐵路、東改線及蘇花改等計畫於各階段所完成之地質探查報告與施工紀錄，彙整各項水文地質相關調查、試驗與紀錄成果，如隧道沿線地質模式、透水試驗成果、鑽孔地下水位深度、地質破碎帶分布及特性等相關資料，以作為執行後續工作及評估之基本參考資料。

本團隊初步蒐集所得各階段相關工程計畫成果報告及文獻資料彙整如表 3.1-1 及表 3.1-2，未來於工作期間將持續本項資料蒐集工作。

表 3.1-1 本計畫研究範圍各工程地質調查報告初步彙整一覽表

工程計畫	工作名稱	時間
北迴鐵路	永春隧道(北口工區)膨脹性岩盤之施工現狀報告與施工對策	1977
	永春隧道南口地下水調查報告	1977
	臺灣北迴鐵路谷風隧道 32K+600m 附近地滑對策檢討報告	1978
	北迴鐵路工事記錄	1980
	北迴鐵路完工報告(上、中、下冊)	1982
東部鐵路改善北迴線工程	東部鐵路改善北迴線新永春新建工程—規劃路線初步評估報告	1993
	新南澳隧道地質震測、鑽探及南澳、崇德站場基地鑽探工作報告書	1995
東部鐵路改善北迴線工程	北迴雙線新清水暨新崇德隧道新建工程—地質與檢測工作總結報告	1996
	東部鐵路改善北迴線新永春新建工程規劃設計工作—8K+058 處突發性湧水崩坍補充地質調查工作報告	2000
	東部鐵路改善北迴線新觀音隧道新建工程—地質記錄研判分析工作總結報告	2001
	北迴雙線新南澳隧道新建工程—隧道地質、計測及爆破分析總結報告書	2001
	北迴雙線新永春隧道新建工程—地質工作、爆破檢測、水壓水量量測作業總結報告書	2003
國道東部高速公路	國道東部公路蘇澳花蓮段工程規劃—大地工程調查地質調查綜合評估報告	1999
	國道東部公路蘇澳和平段工程初步設計暨配合工作—大地工程調查地表地質調查紀實報告	2003
	國道東部公路蘇澳和平段工程初步設計暨配合工作—隧道通過地下湧水區及地質弱帶評估報告	2003
	國道東部公路蘇澳和平段工程初步設計暨配合工作—大地工程調查綜合評估報告	2003
	國道東部公路蘇澳和平段工程細部設計暨配合工作—大地工程調查綜合評估報告	2004
	國道東部公路和平新城段工程細部設計暨配合工作—大地工程調查綜合評估報告	2005

表 3.1-1(續) 本計畫研究範圍各工程地質調查報告初步彙整一覽表

工程計畫	工作名稱	時間
國道東部 高速公路	國道東部公路和平新城段工程細部設計暨配合工作—大地工程調查紀實報告	2005
臺9線蘇花公路 山區路段改善 計畫	台9線蘇花公路山區路段改善計畫—可行性研究與工程規劃暨優先路段工程設計工作—大地工程調查綜合評估報告	2010
	台9線蘇花公路山區路段改善計畫可行性研究與工程規劃暨優先路段工程設計工作—大地工程調查紀實報告	2010
	台9線蘇花公路山區路段改善計畫可行性研究與工程規劃暨優先路段工程設計工作—蘇花路廊隧道施工湧水對地表、水文環境之影響及因應研析成果報告	2011
	台9線蘇花公路和中大清水段工程委託地質探查服務工作—工程地質鑽探報告書	2011
	台9線蘇花公路蘇澳東澳段工程委託地質探查服務工作—工程地質鑽探報告書	2012

表 3.1-2 本計畫研究範圍相關地質文獻資料初步彙整一覽表

作者	發表年份	文獻內容
張石角	1981	「北迴隧道谷音隧道災變之工程地質調查與處理」，工程環境會刊，第二期，第55-62頁。
詹新甫	1981	「臺灣北迴隧道沿線地面地質與主要隧道地質剖面」，經濟部中央地質調查所彙刊，第1號，第89-101頁。
詹新甫，莊文星、莊德永	1983	「北迴隧道內大南澳片岩之岩石研究」，經濟部中央地質調查所彙刊，第二號，第71-94頁。
賴典章	1986	「蘇花公路拓寬工程地質調查研究」，土工技術，第16期，第63-79頁。
焦中輝	1991	「臺灣東部和平地區之地質構造及其演化」，國立臺灣大學地質學研究所碩士論文。
林啟文，林偉雄、高銘健	1993	「南澳圖幅及說明書」，經濟部中央地質調查所，五灣分之一臺灣地質圖。

表 3.1-2(續) 本計畫研究範圍相關地質文獻資料初步彙整一覽表

作者	發表年份	文獻內容
陳其瑞	1996	「臺灣的大理岩」，經濟部中央地質調查所，臺灣地質之八。
陳福勝，何泰源、趙基勝	1996	「台9線清水隧道安全評估勘查報告」，臺灣公路工程，第22期，第8卷，第11-32頁。
賴典章、費立沅、江崇榮	2003	「臺灣地區地下水分區特性」，水文地質調查與應用研討會論文集，第1-24頁，台北
林銘郎、黃燦輝、蔣序元	2003	「新永春隧道湧水段水文地質之探討」，第三屆兩岸結構與大地工程研討會論文集，台北。
曾何騰、孫荔珍	2003	「新永春隧道工程地質調查」，新永春隧道巨量湧水處理工程技術研討會論文集，文三，第1-15頁。
傅子仁、查念祖、薛文城	2004	「新永春隧道高壓湧水段處理過程之探討」，岩石力學與工程學報，第24卷，第2期。
邱琳濱、李勝宗	2004	「國道東部公路蘇澳花蓮段隧道規劃設計之探討」，岩石力學與工程學報，第23卷，增刊2，第5207-5213頁。
王執明、藍晶瑩	2005	「臺灣的片麻岩」，經濟部中央地質調查所，臺灣地質之五。
陳肇夏	2008	「臺灣的變質岩」，經濟部中央地質調查所，臺灣地質之十一。
羅偉、劉佳玫、楊昭男、王執明	2009	「新城圖幅及說明書」，經濟部中央地質調查所，五灣分之一臺灣地質圖。
林啟文，高銘健	2009	「蘇澳圖幅及說明書(第二版)」，經濟部中央地質調查所，五灣分之一臺灣地質圖。
林銘郎、王泰典、李佳翰、黃燦輝、鄭富書、洪如江	2011	「變質岩區隧道工程地質特性探討」，變質岩區隧道施工技術研討會。
Tai-Tien Wang, Fu-Shu Jeng, Wei Lo	2011	Mitigating large water ingresses into the New Yungchuen Tunnel, Taiwan, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol.70, pp.173-186.

表 3.1-2(續) 本計畫研究範圍相關地質文獻資料初步彙整一覽表

作者	發表年份	文獻內容
邵厚潔、張財榮、楊家正、陳重吉、陳正勳	2012	「台 9 線蘇花公路改善計畫隧道課題與環境生態因應」，土工技術，第 131 期，第 87-96 頁。
陳營富、王泰典	2012	「蘇花公路修築養護的演進與其受沿線工程地質特性的影響」，土工技術，第 131 期，第 47-58 頁。
羅偉、何恭睿	2012	「臺灣中央山脈東翼地質區和平溪以南的地質調查與地質特性」，土工技術，第 131 期，第 15-22 頁。
林啟文	2012	「中央山脈北部和平溪以北地區地質」，土工技術，第 131 期，第 7-14 頁。

(2) 施工中隧道開挖地質紀錄

本計畫改善路線共長約 38.4 公里，其中隧道約佔 23.4 公里。變質岩地質變化劇烈，隧道實際開挖所揭露之地質狀況，可能與設計階段時有所差異，本項工作即針對計畫沿線各隧道施工期間施工廠商所辦理之開挖地質紀錄及施工遭遇困難地質狀況等資料進行蒐集，以作為本計畫水文地質模式檢討修正與驗證之參考依據。由於隧道開挖面與施工廠商甚多，導致聯繫介面複雜與品質狀況不一，因此本團隊將指派專員經常前往施工現場與各工務所、監造單位及施工廠商聯繫，主動蒐集資料彙整至本計畫觀測月報，並瞭解施工實際情況，研判資料可靠度與其應用，提供水文地質模式檢討修正與驗證之參考依據。

2. 氣象資料

蒐集計畫區內及鄰近地區施工前與施工期間之氣象站觀測資料，包括氣象局與水利署所設置之氣象站或雨量站。所蒐集之資料將至少包含施工前 5 年內之觀測資料，若儀器設站不滿 5 年，則蒐集自設站起之所有觀測資料。經初步檢核，計畫區附近既有

之雨量站(參見表 3.1-3 及圖 3.1-1)，共計有氣象局雨量站 8 座，水利署雨量站 3 座。施工期間之氣象局雨量站資料將逐月進行採購蒐集，水利署第一河川局所屬雨量站部分，則配合該局觀測資料釋出之規定與時程，辦理相關資料之蒐集。所蒐集之雨量資料可作為評估地下水補注量、隧道內湧水水量、降雨與河川流量關係之基本背景資料。

本團隊因先前曾辦理本區域之水文地質相關調查計畫，已完成部分區域之雨量蒐集與統計工作，圖 3.1-2 為 1980~2010 年南澳地區樟林雨量站之歷年降雨資料統計結果，結果顯示雨量主要集中在 8-11 月，研判應受颱風及東北季風影響所致，全年平均年雨量約 2899mm，高於臺灣平均年降雨量(2502mm)及東部地區平均年降雨量(2543mm)(資料參考自臺灣水文年報，2010)，顯示本計畫區降雨豐沛。

表 3.1-3 計畫區範圍既有雨量站彙整一覽表

站名	氣象局站號	水利署站號	所屬單位	記錄年份
蘇澳	467060		氣象局	1981~至今
東澳嶺	C1U840		氣象局	2011.7.1~至今
東澳	C0U760		氣象局	2004.6.1~至今
烏石鼻	C1U830		氣象局	2011.1.1~至今
觀音海岸	C1U850		氣象局	2011.1.1~至今
和中	C0T9D0		氣象局	2004.6.1~至今
富世	C0T9C0		氣象局	2004.6.1~至今
布洛灣	C1T830		氣象局	1994~至今
大濁水	01U230	2500P003	水利署第一河川局	1952~至今
武塔	01U470	2510P009	水利署第一河川局	1979~至今
樟林	01U450	2510P010	水利署第一河川局	1980~至今

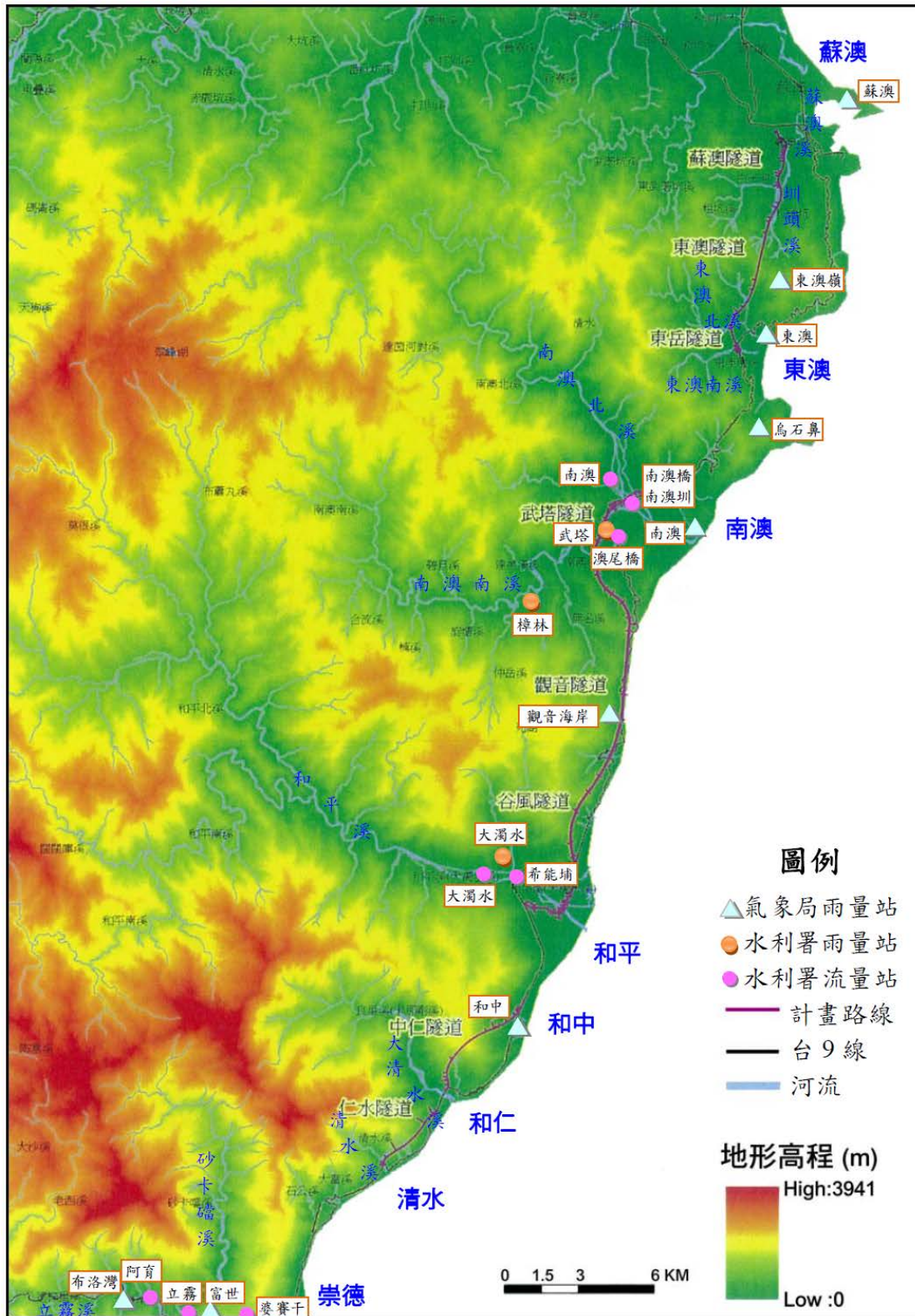


圖 3.1-1 計畫區範圍既有雨量站及流量站位置圖

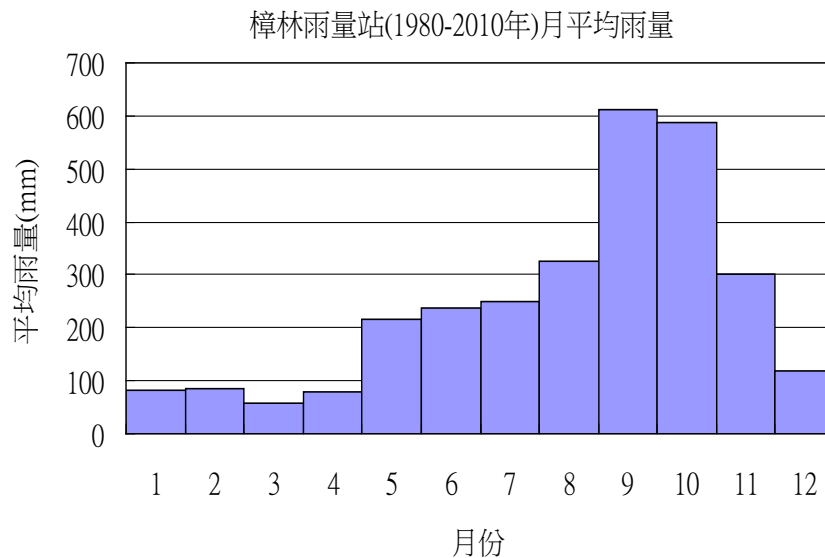


圖 3.1-2 樟林雨量站月平均降雨資料統計圖

3. 水文資料

本項工作蒐集施工前與施工期間之相關水文資料，包括鄰近計畫區之既有鐵路隧道排水量資料及計畫區內河川流量資料，說明如下：

(1) 既有鐵路隧道排水量資料

蒐集以往各相關計畫所量測之北迴鐵路及東改線既有隧道之洞口排水量觀測資料，以作為後續施工期間既有鐵路隧道排水量觀測參考背景值。

目前蘇花路廊內既有鐵路隧道洞口排水溝有地下水流出者，主要為蘇澳三號、新蘇澳二及三號、永春、新永春、南澳隧道、新南澳、新武塔、觀音、谷風、新觀音、和平、新和平、和仁、新和仁、清水及新清水等隧道，其他隧道洞口之排水量則極微量或無流水情形。根據本團隊所蒐集及現地勘查結果，蘇花路廊內既有隧道排水量觀測結果參見圖 3.1-3，其中以新永春隧道及新觀音隧道持續有較明顯出水量，新永春隧道最大出水量仍可達約 50 噸/分鐘左右，而新觀音隧道之最大出水量亦約達 30 噸/分鐘左右。

本計畫到執行期間將依合約規定，每月派員至出水量較顯著之永春、新永春、南澳、新南澳、觀音、新觀音、和平、新和平等8條隧道蒐集出水量資料。

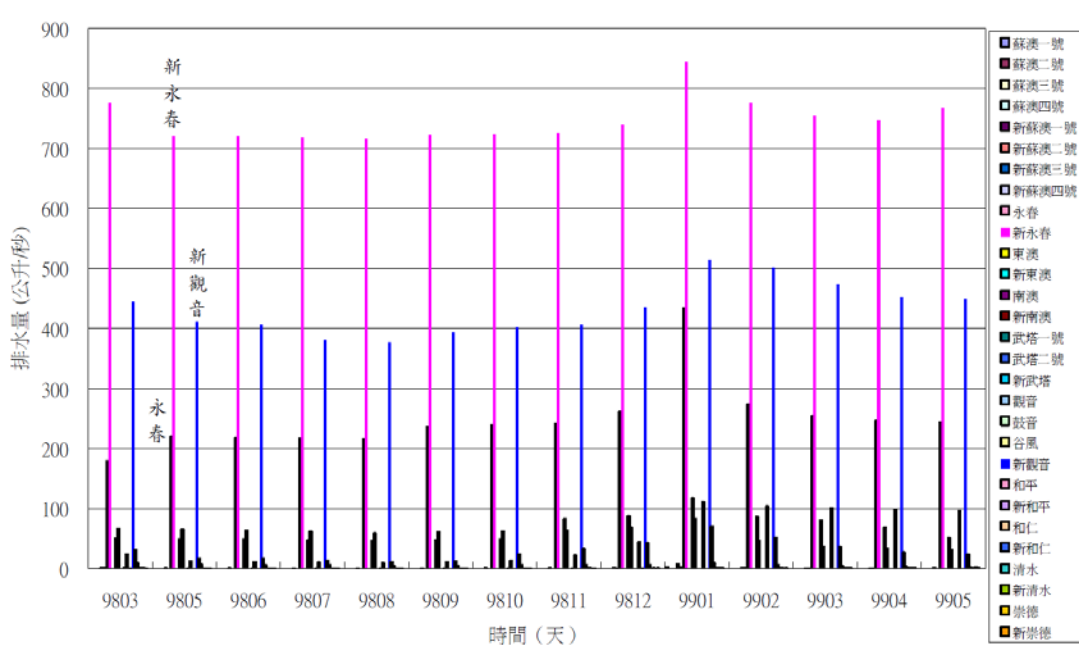


圖 3.1-3 蘇花路廊內既有鐵路隧道排水量觀測結果圖(摘自公路總局「蘇花路廊隧道施工湧水對地表、水文環境之影響及因應研析」，2010)

4. 既有河川流量站資料

針對本計畫區鄰近地區既有流量站(參見表3.1-4及圖3.1-1)蒐集其施工前與施工期間之流量觀測資料，以作為後續評估地下水補注量、隧道內出水量與水文環境變化間關係等之基本資料。所蒐集之資料至少將包含施工前5年內之觀測資料，若儀器設站不滿5年，則蒐集自設站起之所有觀測資料。根據資料顯示，計畫區內河川之枯水期為3-5月，而9-12月為豐水期，與一般臺灣河川於11月至翌年4月為枯水期之情形不同，研判主要因冬季受東北季風影響降雨所致。目前計畫區內仍在運作中之流量站為和平溪之希能埔(2500H003)流量站、南澳溪北溪之南澳橋(2510H006)及南澳圳(2510H007)兩流量站、以及南澳南溪之澳尾橋(2510H004)流量站，

將於施工期間持續蒐集其流量觀測資料，蒐集頻率則配合水利署第一河川局觀測資料釋出之規定與時程辦理蒐集。

表 3.1-4 本計畫研究範圍既有河川流量站彙整表

站名	站號	量測河川	所屬單位	管理單位	記錄年份
希能埔	2500H003	和平溪	水利署	第一河川局	1975~2000, 2002~2010
澳尾橋	2510H004	南澳南溪	水利署	第一河川局	1974~2000, 2002~2010
南澳橋	2510H006	南澳北溪	水利署	第一河川局	1999~2000, 2002~2010
南澳圳	2510H007	南澳北溪	水利署	第一河川局	1999~2000, 2002~2009
大濁水	2500H001	和平溪	水利署	第一河川局	1937~1939, 1941
希能埔 (左)	2500H009	和平溪	水利署	第一河川局	1992
南澳	2510H002	南澳北溪	水利署	第一河川局	1947, 1951
澳尾橋 (合)	2510H005	南澳北溪	水利署	第一河川局	1975~2000
南澳圳	2510H008	南澳北溪	水利署	第九河川局	1995~1998
阿育	2460H002	立霧溪	水利署	第九河川局	1939~1942
力霧	2460H003	立霧溪	水利署	第九河川局	1952, 1954~1957
婆賽干	2460H004	立霧溪	水利署	第九河川局	1937~1938

5. 既有地下水位井觀測資料

蒐集計畫區內相關工程計畫在不同規設階段所鑽設之地下水位觀測井觀測資料，作為本計畫評估區域初始地下水位之參考依據。計畫區內歷年來於東部鐵路改善計畫、國道東部高速公路、蘇花改可行性研究及蘇花改細設等階段所鑽設之地質探查孔數量

甚多，除水平孔外，均有地下水位觀測值，但資料零散於各不同時期成果報告，本工作將彙整蒐集各階段報告鑽孔地下水位資料，建立區域地下水位背景資料。

6. 地形圖與DTM資料

蒐集計畫區及鄰近地區相關之地形圖與數位地形模型(DTM)資料，作為基本地形立體模型架構建立之依據。圖 3.1-4 為所初步所蒐集之 40m×40m 之計畫區地形圖資料，可供作為水文模型初步建置之所需。後續將進一步蒐集更高精度之地形圖 DTM 資料，以因應本計畫隧道三維水文地質模式施工中檢討與修正需求。

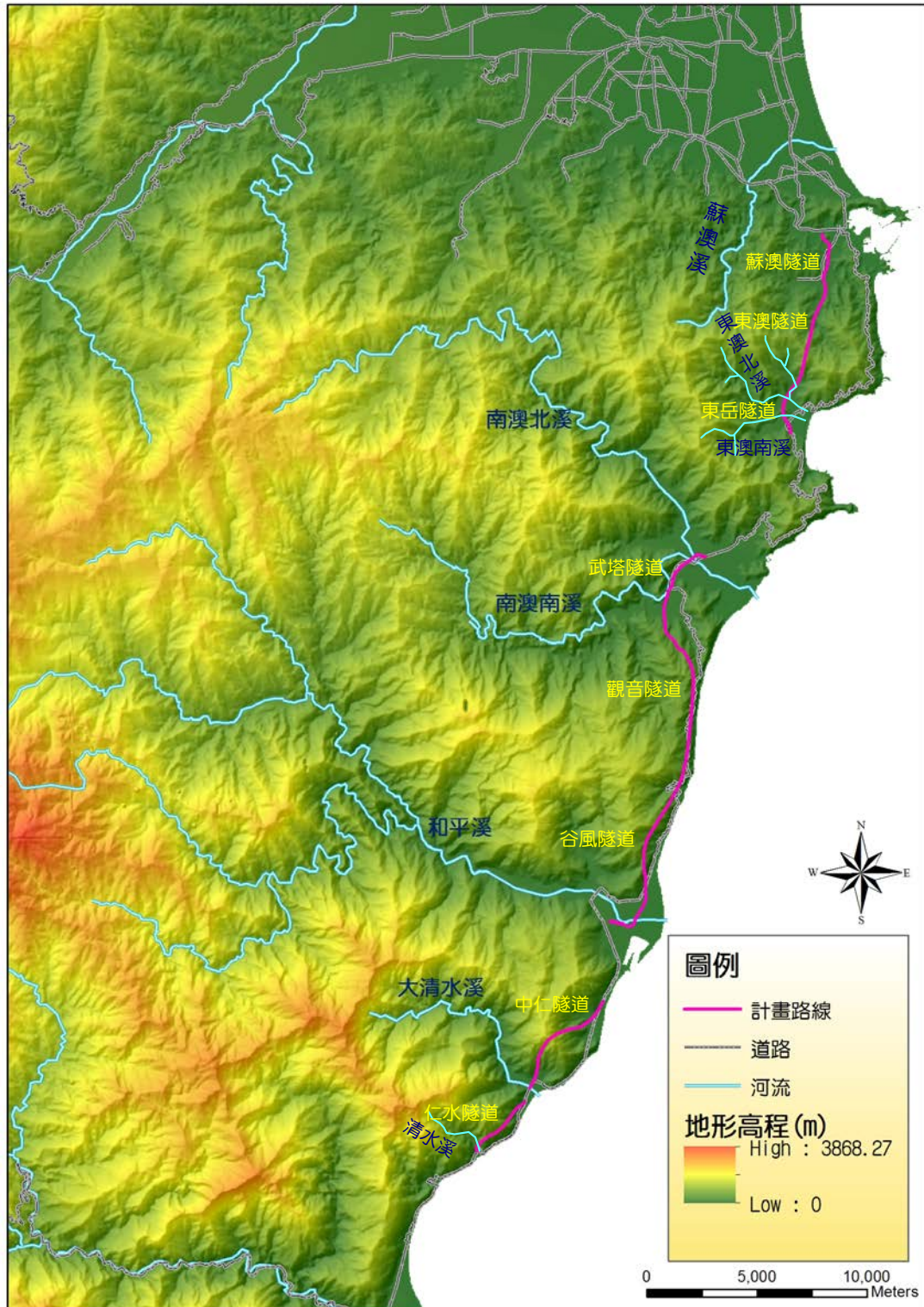


圖 3.1-4 本計畫區範圍精度 40m×40m 之數位高程地形圖

3.2 施工期間水文地質觀測

施工期間水文地質觀測資料，如隧道開挖地質狀況、隧道出水量、降雨量、河川流量、地下水位變化等，可提供三維水文地質模式之回饋修正，並進一步對隧道沿線之水文地質模型及參數進行最佳化調整，使數值分析結果能以最佳方式與現況契合，同時釐清隧道施工與區域水資源環境影響關係。施工期間水文地質觀測工作項目，彙整於表 3.2-1。

表 3.2-1 施工期間水文地質觀測工作項目彙整表

觀測項目	觀測位置	觀測方式	觀測頻率	備註
隧道內出水量觀測	隧道開挖面附近及隧道洞口	由隧道施工廠商依施工規範辦理	每日一次	由隧道施工廠商量測
雨量觀測	東澳隧道北口側	自記式	連續觀測 每月下載一次	本委託案執行
	中仁隧道南口側 (或仁水隧道南口側)			
既有鐵路隧道排水量觀測	永春隧道與新永春隧道	人工量測	每月一次	本委託案執行
	南澳隧道與新南澳隧道			
	觀音隧道與新觀音隧道			
	和平隧道與新和平隧道			
河川流量觀測	圳頭溪	自記式	連續觀測 每月下載一次	本委託案執行
	東澳北溪			
	鼓音溪			
	大清水溪(良里溪)			
	清水溪			

表 3.2-1(續) 施工期間水文地質觀測工作項目彙整表

觀測項目	觀測位置	觀測方式	觀測頻率	備註
地下水位 觀測	隧道洞口地下水位	由隧道施工 廠商依施工 規範辦理	由隧道施工 廠商依施工 規範辦理	由隧道施 工廠商量 測
	既有地下水位井	人工量測	每月一次	本委託案 執行
	增設計畫地下水位 觀測井 8 座	自記式	連續觀測 每月下載一 次	

1. 隧道內出水量觀測

包括隧道開挖面出水量及隧道洞口總出水量兩項觀測工作，因隧道內屬施工廠商負責之工區範圍，因此本兩項工作已納入隧道工程契約工作項目內，由隧道工程施工承攬廠商負責施作，量測頻率為每日至少觀測1次。本團隊於計畫執行期間將廠商所提供之資料彙整，一併評估分析，納入每月觀測月報。

2. 雨量觀測

針對計畫觀測與分析資料需求，在計畫開始第一年度增設2座雨量觀測站，其一設置於東澳隧道北口側，另一處雨量觀測站則將設置於中仁隧道南口側或仁水隧道南口側。(儀器設備包括傾斗式雨量計、資料紀錄盒、太陽能電源供應系統及儀器箱各一組)其安裝示意圖如圖3.2-1所示，以自記式儀器自動紀錄觀測資料，並每月進行資料之蒐集下載。

本計畫將安裝之傾斗式雨量筒、記錄器及太陽能供貯電設備規格包括：

- (1) 傾斗式雨量筒直徑 8 英寸，外殼以防鏽防蝕抗紫外線之材料製成。
- (2) 最高量測精度為 0.01 英吋(0.254mm)之雨量。

- (3) 紀錄器附帶計時裝置，計時誤差不得超過每月一分鐘。
- (4) 紀錄器含備用電源，在不供應外加電源下仍能保持至少一個月紀錄器之運作。
- (5) 太陽能供貯電系統之貯電設備，需能供應在記錄器電源耗盡狀況下，連續紀錄一個月所需之電力，且其太陽能板之充電能力，需能在正常晴天狀態下，七天內將貯電用電池充電至飽滿狀態。
- (6) 儀器箱需符合 IPX67 之防水等級。

為確保雨量計之正確運作，將於雨量站安裝時提供安裝紀錄表，對雨量筒之安裝高度、垂直度、淨空範圍與功能測試等，提供詳實紀錄，每次進行資料下載作業時，亦將對雨量計之過濾設備、垂直度、排水性能等進行檢核，藉以排除可能之誤差，使雨量紀錄正確詳實。

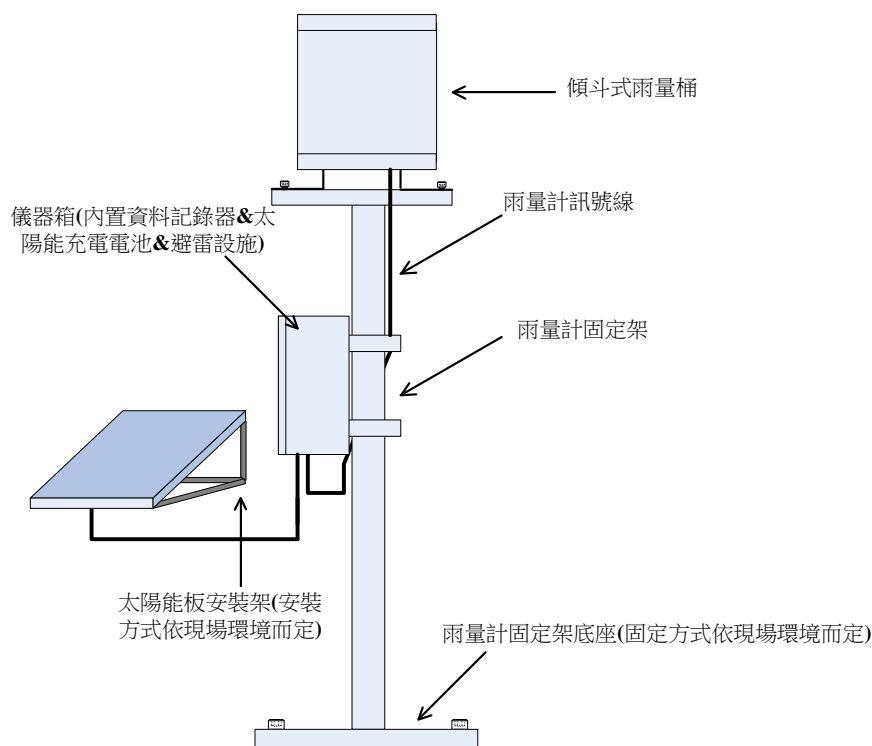


圖 3.2-1 雨量站安裝示意圖

3. 既有鐵路隧道排水量觀測

施工期間針對8座既有鐵路隧道(永春隧道、.新永春隧道、南澳隧道、新南澳隧道、觀音隧道、新觀音隧道、和平隧道、新和平隧道)持續量測其排水量。依據本團隊之現地勘查結果，上述隧道排水溝渠現況如表3.2-2及圖3.2-2所示。本團隊於委託案執行之5年期間將持續觀測，量測方式採人工量測，觀測頻率為每月1次。

鐵路隧道排水量觀測方式將視各隧道洞口狀況、排水渠道斷面大小、位置、排水量之多寡等，選擇適當之量測方式，方法大致包括：

- (1)目視未發現可量測水量。
- (2)排水溝渠有水排出，但因溝渠斷面不規則，且水量相對較小，則可以固定容量(V)之容器量測注滿容器所需之時間(t)，即可計算流量為 $Q=V/t$ 。
- (3)排水溝渠有水排出，且溝渠斷面規則時，以流速計量測排水渠道中間段之表面流速，參考其斷面尺寸 A，再依據曼寧公式或校正後之水文經驗公式歸估平均流速 v，即可計算流量 $Q=vA$ 。
- (4)排水溝渠有水排出，且溝渠斷面規則時，可設置 V 型、U 型或矩形量水堰，依水流流過堰體之高度，依據校正後之經驗公式計算瞬時流量。

表 3.2-2 既有鐵路隧道排水溝渠現況

隧道別	南/北口	排水渠道數			現況	備註
		東側	西側	中間		
永春隧道	北口			1	固定斷面渠道	
	南口			1	固定斷面渠道	
新永春隧道	北口	1	1		固定斷面渠道	
	南口			1	固定斷面渠道	

表 3.2-2(續) 既有鐵路隧道排水溝渠現況

隧道別	南/北口	排水渠道數			現況	備註
		東側	西側	中間		
南澳隧道	北口	1	1		固定斷面渠道	
	南口	1	1		固定斷面渠道	
新南澳隧道	北口	1	1		固定斷面渠道	
	南口	1	1		固定斷面渠道	
觀音隧道	北口	1	1			
	南口	1	1			
新觀音隧道	北口			1	固定斷面渠道	
	南口			1	固定斷面渠道	
和平隧道	北口	1	1		固定斷面渠道	
	南口	1	1		固定斷面渠道	
新和平隧道	北口			1	排水量較小	
	南口	1	1		未發現排水	
合計		20		6	共 26 座溝渠	



(a)永春隧道北口排水渠道



(b)永春隧道南口之排水渠道

圖 3.2-2 既有鐵路隧道洞口排水渠道現況



(c)新永春隧道南口排水渠道



(d)新觀音隧道北口現況



(e)觀音隧道北口排水渠道



(f)南澳隧道北口排水渠道



(g)南澳隧道南口排水渠道



(h)新南澳隧道北口排水渠道

圖 3.2-2(續) 既有鐵路隧道洞口排水渠道現況



(i)新南澳隧道南口排水渠道



(j)新和平隧道南口排水渠道

圖 3.2-2(續) 既有鐵路隧道洞口排水渠道現況

4. 河川流量觀測

由於既有之流量站未能涵蓋計畫區內所有主要河川集水區，因此將針對計畫區內5條河川(包括圳頭溪或其支流、東澳北溪、鼓音溪、大清水溪(良里溪)、清水溪)，在計畫開始第一年度，增設5座流量觀測站，安裝地點以於橫跨上述五條溪流之橋梁側面為原則，每處包含雷達波水位計、雷達波流速計、資料紀錄器、太陽能電源供應系統以及儀器箱各一具，標準記測頻率為每10分鐘量測一次，安裝示意如圖3.2-3及圖3.2-4所示，擬採用之規格為：

- (1) 雷達波水位計之有效量測距離不小於 30 公尺，且其精度不大於 ± 1 公分。
- (2) 雷達波流速計之量測範圍包括 0.3m/s~8m/s，精度不大於 0.1m/s。
- (3) 資料紀錄器之紀錄容量不小於每 10 分鐘紀錄 1 次，連續紀錄

60 日以上之記憶體容量。

- (4) 太陽能貯電系統之蓄電池容量能提供全系統以 10 分鐘量測 1 次之頻率運作下，連續工作 45 天以上之能力。
- (5) 太陽能板之供電能力，能提供系統之蓄電池，在晴天 15 天內將蓄電池充電至飽滿狀態之能力。
- (6) 儀器箱及相關接頭，均能提供 IPX67 之防水等級。

預計安裝流量站河川之現況與架設計畫分述如下：

- (1) 圳頭溪：圳頭溪上游現況如圖 3.2-5 (a)所示，目前既有橫跨溪流之橋梁及攔砂壩等設施已遭土石流損毀，上游河床路段仍堆積大量砂石，現勘時發現上游路段砂石車進出頻繁，地形地貌恐有隨時變化之虞，若於該地架設河川流量站，除架設難度高外，該流量站之資料連續性及資料參考性極易遭外來原因中斷。經於圳頭溪流域範圍實地現勘後，預計將河川流量站架設於下游段之中油蘇澳油庫壹號橋(圖 3.2-5(b))上，該橋亦屬於圳頭溪流域之下游，但距出海口尚有 2.5 公里以上，不易受海水倒灌、潮汐等因素影響；其次，該段溪流已經過整治，河川斷面變動較小，造成流量估算誤差之變因相對較小，且中油公司於該橋頭設有保全人員，儀器受到破壞之機會甚低，對日後河川流量監測資料之連續性亦較有保障，因此預計將圳頭溪之河川流量監測站改設於此處。
- (2) 東澳北溪：東澳北溪為坡陡流急，河川流量變化甚大之臺灣東部典型河川(圖 3.2-5(c))，現勘時發現該河川屬乾涸狀態，河床遍佈卵礫石，但與當地河川監理單位探詢後得知東澳北溪於降雨時水量甚大，常造成下游與東澳南溪交會處土石堆積而釀災，因此下游河川段經常性地進行土石清理工作。預計將流量站架設於東澳北溪之中上游段之橋梁，該土石清理工作尚不至

對流量監測作業造成影響。

- (3) 鼓音溪：鼓音溪位於臺9線南澳至和平路段路旁之觀音廟附近(即觀音隧道南口與谷風隧道北口銜接處)，觀音廟之北側設有觀音一號橋；南側之觀音二號橋(圖 3.2-5 (d))即為本計畫將監測之鼓音溪河床。現勘後發現，鼓音溪流經觀音號二號橋附近係以箱涵方式通過，其斷面十分平整，故流量站將架設於此處，必要時將再加設水尺進行雙重檢核。
- (4) 大清水溪：大清水溪橋長約三百公尺，河床距橋面高度約十餘公尺，為本計畫擬新設河川流量站中斷面最寬者(圖 3.2-5(e))。現勘時發現該斷面水流出露處約有 4 至 5 處，且常因颱風或暴雨後改變水流出露位置。為使該處河川流量站能確實量測到出露流水之流速與水面高度，雷達波流速計及水位計之固定架將設為可移動式(如圖 3.2-3 所示)，預留其纜線，如安裝後主流位置改變，則於新主流位置上方新設牆面固定架後，即可將量測設備移動至新的水流出露處，以確保監測資料之有效性及持續性。
- (5) 清水溪：清水橋長僅約十公尺，溪流量穩定(圖 3.2-5(f))，儀器架設及資料擷取作業相對單純，但因該處位在仁水隧道洞口處，未來隧道施工時與流量觀測或許可能出現干擾情形，此部分於實際執行階段將與施工廠商進一步協調與溝通。

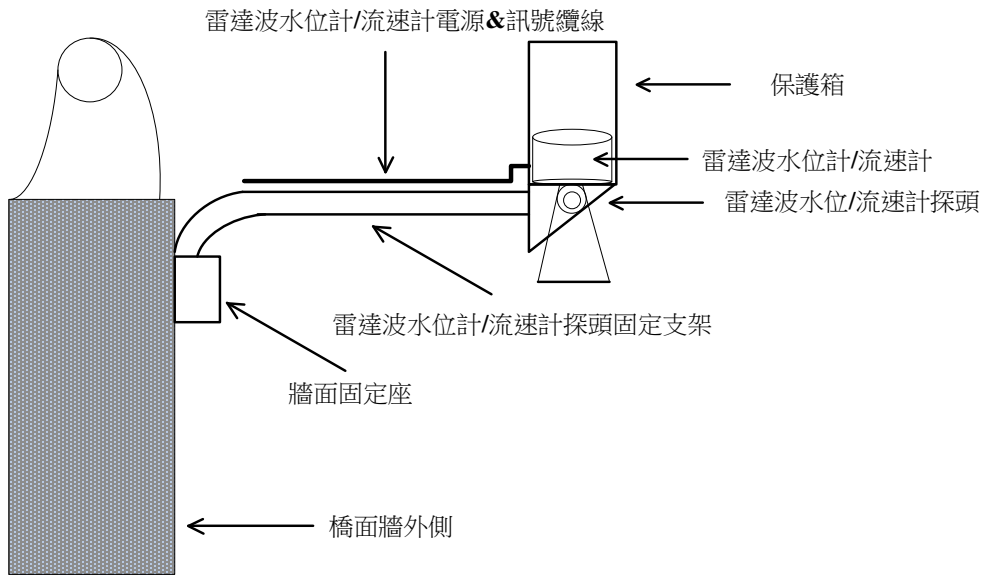


圖 3.2-3 河川流量站雷達波水位計/流速計安裝示意圖

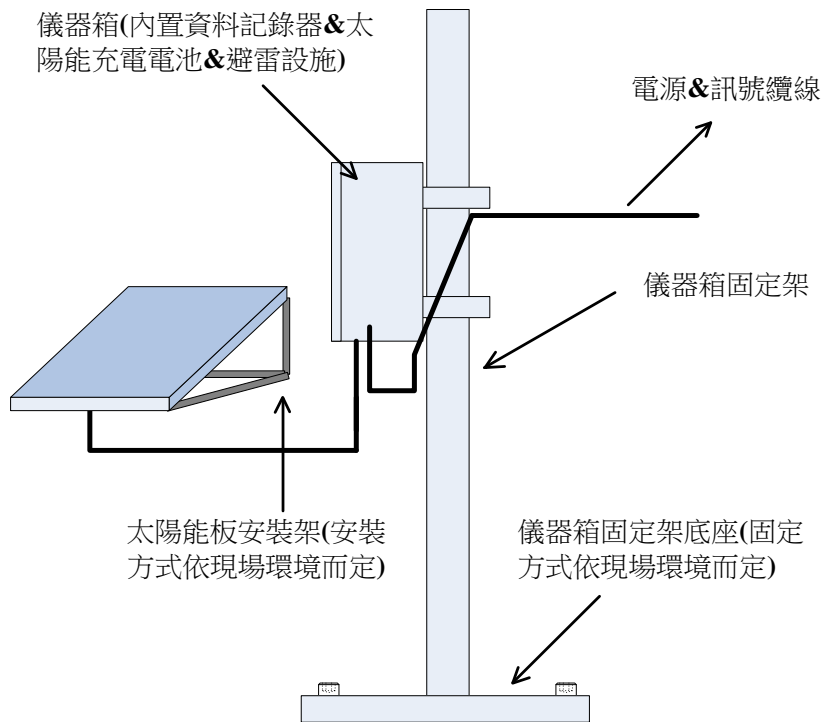


圖 3.2-4 河川流量站計讀&電源供應裝置安裝示意圖



(a) 圳頭溪上游現況



(b) 圳頭溪下游蘇澳油庫壹號橋



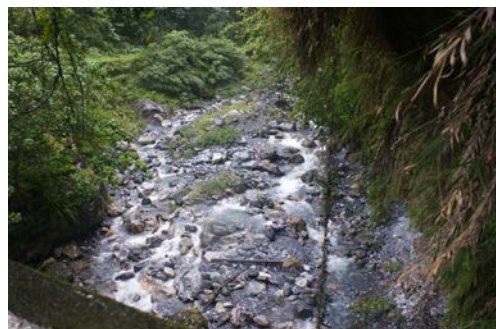
(c) 東澳北溪現況



(d) 橫跨鼓音溪觀音二號橋現況



(e) 大清水溪現況



(f) 清水溪流況

圖 3.2-5 河川流量站預計設置地點現況

5. 地下水位觀測

本工作項目包括：(1)隧道洞口地下水位觀測、(2)隧道沿線及周邊地區地下水位觀測等工作，分別說明如下：

(1) 隧道洞口地下水位觀測

本計畫於各隧道工程契約之監測項目中，已納入洞口邊坡地下水位觀測井之工項，由隧道承包廠商負責施工期間之隧道洞口地下水位觀測作業。本計畫需定期將廠商所提供之資料彙整，納

入每月提送之觀測月報。

(2) 隧道沿線及周邊地區地下水位觀測

在計畫開始第一年度，首先將設彙整規階段所鑽設之地下水位觀測井，視觀測井現況及路況，篩選其中需量測且可量測者，以人工方式持續進行觀測，另再視上述可觀測之既有水位井數量及分布狀況，選擇適當地點增設必要之地下水位觀測井，供本計畫觀測施工期間區域性及重點區位地下水位之變化情況。增設地下水位井數量為8座，每孔孔深為50公尺，安裝自記式地下水位計，自動紀錄施工期間地下水位變化情形，在地下水位觀測井鑽孔過程，同時辦理岩盤透水試驗(Lugeon Test)，以獲取岩盤透水特性資料，供三維水文地質模式分析之參數率定之用。

規設階段所鑽設之探查孔數量雖甚多，但經資料彙整檢視後，發現有許多鑽孔係位在隧道洞口或橋基基礎所在，後續施工時將無法繼續量測；另依據本團隊之現勘結果發現計畫區近期受風災影響，發生嚴重之土石流災害，導致許多水位井遭土石流掩埋或毀損，另亦有部分水位井則因鑽探時所開鑿之施工便道毀損或植生茂密，無法到達孔口位置進行量測，初步彙整可繼續量測之既有水位井僅有4孔，如表3.2-3所示，將以人工方式持續進行觀測。

對於本計畫將增設之8孔自記式地下水位觀測井，經考量上述既有可繼續觀測之水位井位置分布、計畫區道路路況、以及三維水文地質模式分析所需等因素，現勘後初步選定8處較具代表性之地下水位觀測井位置(如圖3.2-6所示)，安裝自記式地下水位計，觀測頻率設定為每10分鐘一筆，自動記錄施工期間地下水位變化情形。

表 3.2-3 本計畫研究範圍既有鑽孔地下水位觀測結果表

計畫名稱	鑽孔編號	孔深 (m)	孔位座標		孔口高 程(m)	地下 水位 深度 (m)	地下水位 高程(m)
			E	N			
蘇澳東澳 段工程探 查	BT-05-01	200	335103	2716414	381.98	57	324.98
蘇花改 可行性研 究與工程 規劃	PD-4	300	329247	2701390	235.12	18	217.12
	PB-6	30	324089	2684901	43.25	20.41	22.84
	PB-7	30	321873	2682954	42.54	11.51	31.00

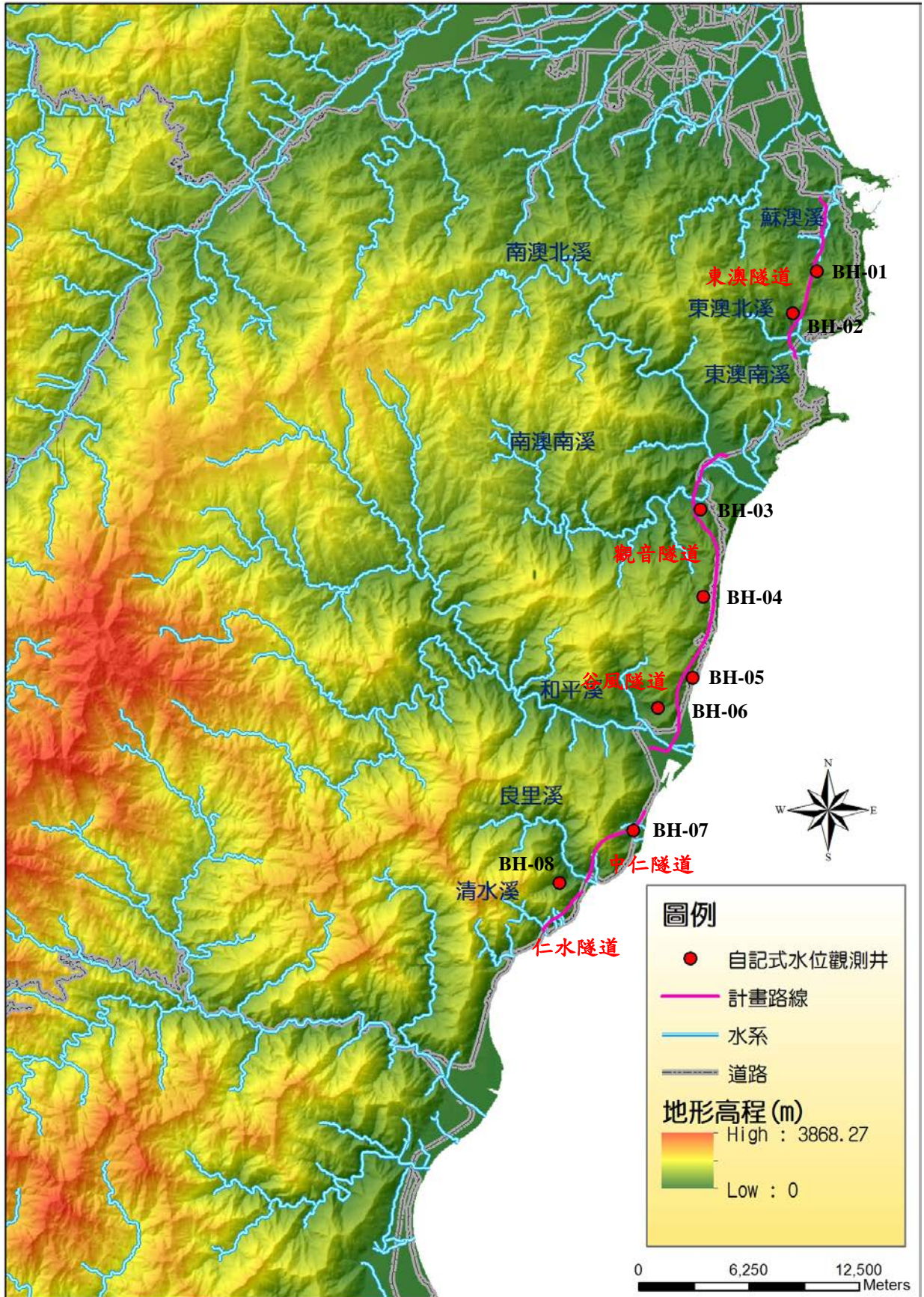


圖 3.2-6 本計畫增設地下水位觀測井位置示意圖

3.3 水文地質資料蒐集與整合儲存

隧道沿線及鄰近區域之水文地質資料蒐集與整理分析，為隧道施工與區域水資源環境影響研判之重要依據。本計畫調查面積廣闊，所蒐集之水文地質資料包括雨量資料、流量資料、地下水位資料、既有隧道排水量資料、隧道地質資料等。資料蒐集時程涵蓋施工前5年及工程施工工期(5年)，前後時間計超過10年，累積蒐集之資料量將極為龐大繁瑣。

傳統紙本之資料儲存方式，資料零散於各期報告，雖後期報告已彙整參考前期資料，但紙本資料之長期保存與查閱不易，珍貴之資料常於計畫結束後即束諸高閣，實則本計畫所蒐集分析之資料，對後續完工營運階段亦具參考價值。因此本計畫將採用資料庫方式進行資料儲存，包括觀測結果數據資料庫及開挖面地質影像資料庫(惟需施工廠商提供開挖面影像照片)，資料庫優點為：(1)避免資料零散重複存放、(2)避免資料前後不一致、(3)資料連結查閱快速容易、(4)資料可共享。其中資料庫之可共享特性，提供多個使用者/程式可同時存取資料庫，本計畫將進一步開發資訊整合平台(如圖 3.3-1 所示)，透過網路傳遞訊息之即時特性，使主管機關可於異地遠距離在資訊整合平台上即時查閱最新量測資料與分析處理結果，作有效管理與運用。本項工作將於計畫將視計畫執行第一年度所獲得之資料格式與內容，於計畫執行第二年度規劃資訊整合平台整體架構，並於同年度開發建置資訊整合平台之初步雛形，後續則將依平台資料實際運作與使用回饋情形進行改版。

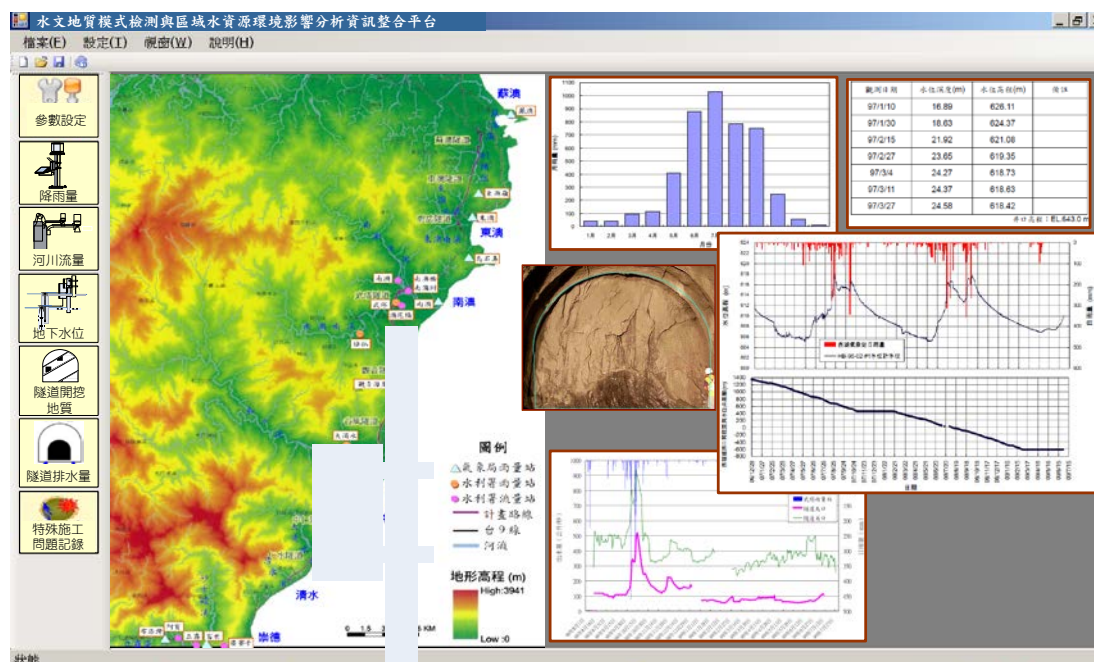


圖 3.3-1 資訊整合平台建置操作畫面構想

3.4 隧道鄰近區域三維水文地質模式之補充建立與整合

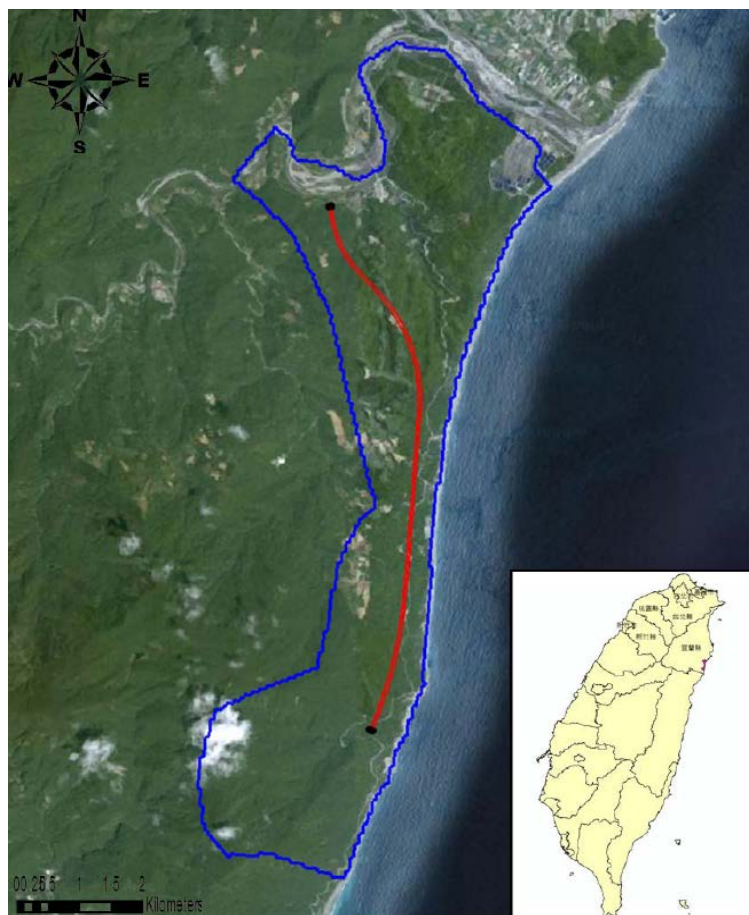
臺9線蘇花公路山區路段改善計畫全線計有8座隧道，其中蘇澳隧道、東岳隧道及武塔隧道3座隧道，為長度均不及500公尺之短隧道，岩覆較淺，隧道出水影響較輕微，故本計畫隧道鄰近區域三維水文地質模式之建立，乃針對東澳隧道、觀音隧道、谷風隧道、中仁隧道及仁水隧道等5座岩覆較深之長隧道。其中東澳隧道、中仁隧道與仁水隧道於設計階段已建立鄰近區域三維水文地質模式，因此本項工作乃整合此3座隧道之水文地質模式建立概念、理論與方法，補充建立觀音隧道與谷風隧道之鄰近區域三維水文地質模式，使計畫5座長隧道之鄰近區域水文地質模式能在統一概念下建立，並採用一致之分析理論與方法，進行隧道可能湧水問題評估及周圍地下水資源環境影響分析。

模式之補充建立將於計畫開始後第一年度內完成，並於第一次半年度分析評估報告中提出初步成果。模式建立主要步驟如下：

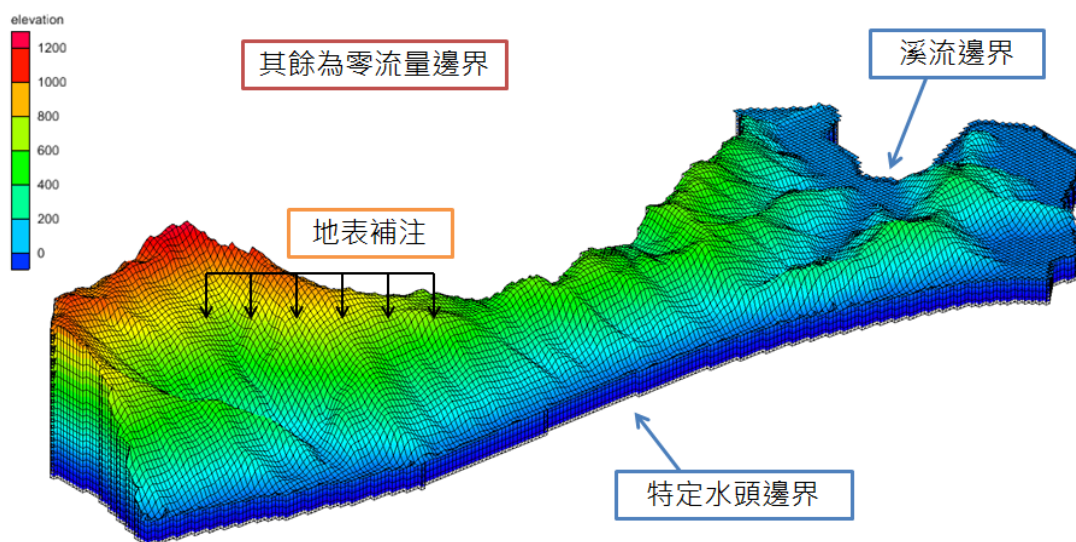
1. 研究範圍劃定

範圍之劃定參考隧道沿線鄰近區域之水文地質狀況，包括地表水系、地層及地質構造分布等，並結合高精度地表數值高程資料，將隧道沿線劃分出適當之子集水區作為分析範圍，以進一步引入地形及水系等邊界條件。

觀音隧道之研究區範圍主要涵蓋南澳南溪集水區，北邊臨南澳溪，而谷風隧道研究區範圍則涵蓋和平溪集水區，南邊臨和平西。建構研究區域代表性之水文地質概念模型時，引入山脊稜線、河川等自然邊界，再透過含水層之分層、分區，設定適當之研究範圍邊界及給定合理之邊界條件值。依據上述原則，觀音及谷風隧道初步設定之研究區如圖 3.4-1(a)及圖 3.4-2(a)所示。



(a) 研究區範圍劃分

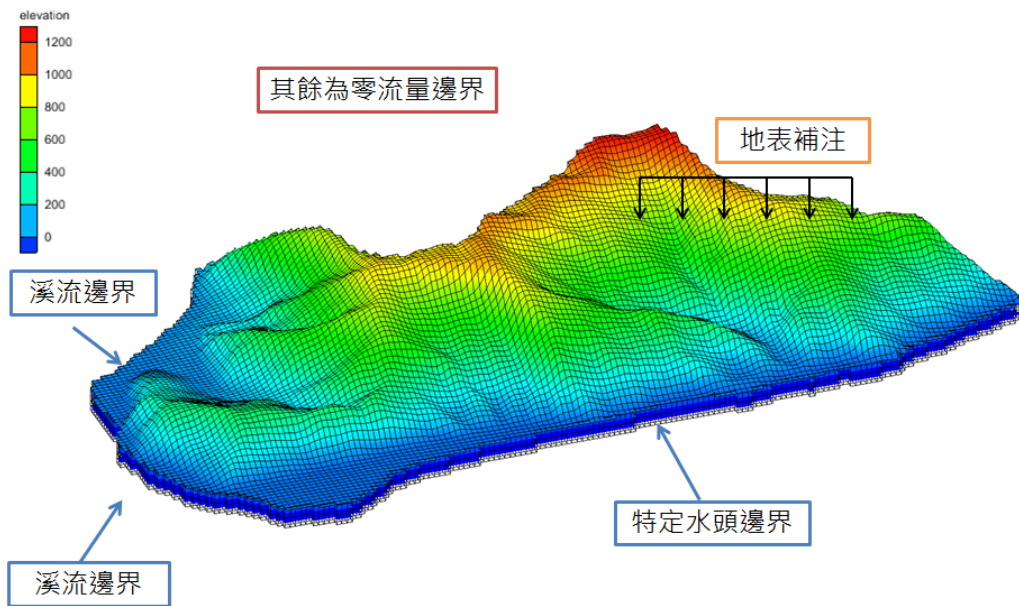


(b) 邊界條件設定

圖 3.4-1 觀音隧道水文地質模型建置初步構想



(a) 研究區範圍劃分



(b) 邊界條件設定

圖 3.4-2 谷風隧道水文地質模型建置初步構想

2. 邊界條件設定

邊界條件設計對於模式建立與分析結果有關鍵之影響。針對觀音隧道及谷風隧道之三維水文地質模式補充建立，其邊界條件設定，初步將先引入山脊稜線零流量邊界、海岸線特定水頭邊界及溪流邊界，後續再依據相關調查資料取得之進度與精度，修正調整邊界條件，初步構想如圖 3.4-1(b)及圖 3.4-2(b)所示。

3. 初始條件設定

初始條件設定初步擬參考調查規劃階段之鑽孔地下水位量測結果，將鑽孔之地下水位量測結果與地表高程進行迴歸可得以下之關係式：

$$h_w = 0.87 \times h - 0.97$$

其中為地下水位高程(單位：公尺)，而 h 則為地表高程(單位：公尺)。迴歸所得之相關係數 $r^2=0.97$ ，顯示兩者相關性相當高。

4. 數值模型建置

觀音隧道及谷風隧道之三維數值模型建置，係採用與東澳隧道、中仁隧道與仁水隧道三維水文地質模式相同之 GMS (Groundwater Modeling System)地下水分析軟體。數值模型網格建置原則有二：(1)模型網格之布置以能精確且有效的代表研究範圍及鄰近地區之水文地質與地下水水文狀況為主要考量，同時將儘可能兼顧網格數量以縮短運算時間；(2)數值模型網格大小受制於地下水流速、含水層透水性、計畫目標精度及分析運算時間等因素，不宜過小或過大，否則易造成分析運算發散或產生過大誤差。

此外模型地層之分層係根據既有地質資料(包括地質鑽探及現地試驗結果)，進行水文地質單元劃分。依據現有資料，觀音隧道及谷風隧道研究區概分為以下數類水文地質單元，分別為黑色片岩、綠色片岩、矽質片岩、大理岩、變質燧石、沖積層、台地堆積層、沖積扇堆積層、樟樹山斷層、觀音斷層、谷音斷層、谷

風斷層、層間破碎帶等水文地質單元。透過 GMS 軟體，本團隊已完成觀音隧道及谷風隧道之三維數值模型初步建置，如圖 3.4-3 及圖 3.4-4 所示。

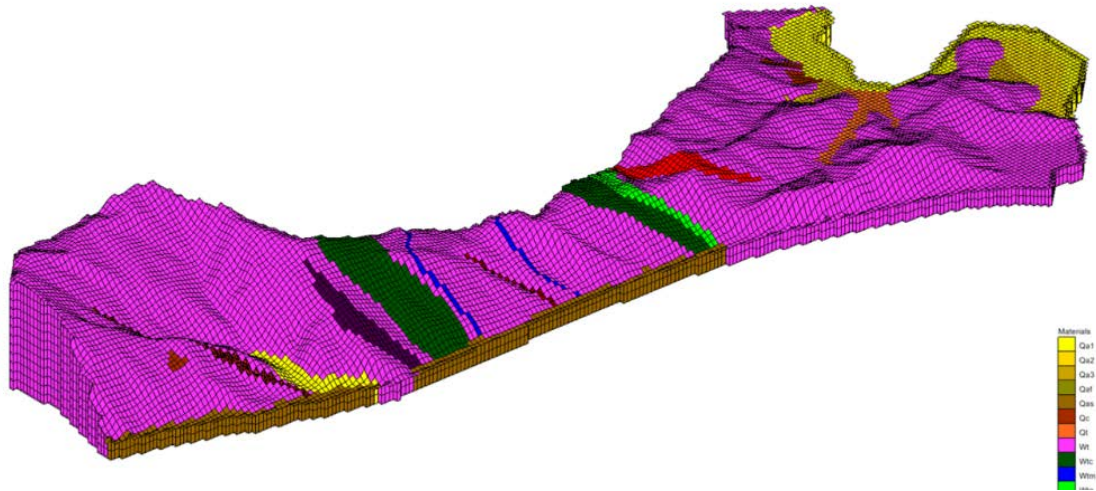


圖 3.4-3 觀音隧道三維水文地質模型數值分析網格

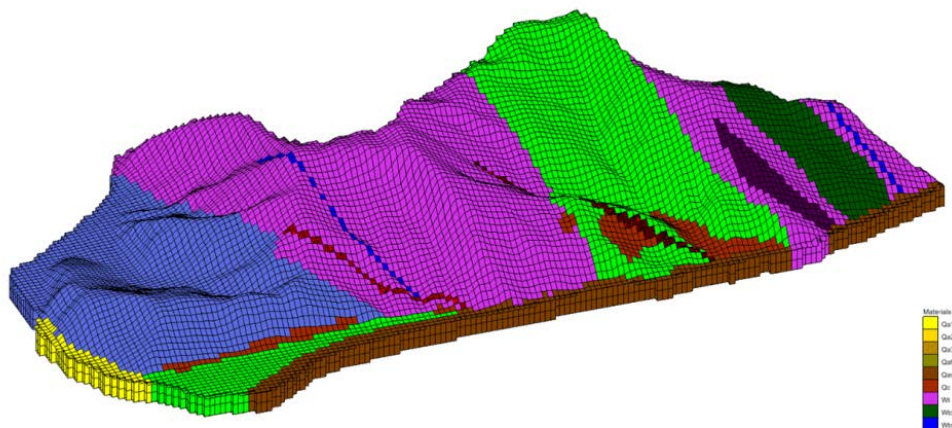


圖 3.4-4 谷風隧道三維水文地質模型數值分析網格

3.5 隧道鄰近區域水文地質模型檢討修正與驗證

本項工作將依據施工期間所蒐集之隧道開挖地質紀錄(包含岩性、層界位置、斷層及破碎帶位置及寬度、斷層破碎帶內材料等)及本計畫施工期間水文地質觀測成果(包含降雨量、河川流量、地下水位變化、隧道出水量等)，率定並驗證設計階段及計畫初期所整合建立之各隧道鄰近區域三維水文地質模式及隧道可能遭遇之出水問題評估，並檢討地下水文地質分區(地下水邊界)與分層(含水層與阻水層)之劃分等課題，進一步檢視修正先前建立之隧道鄰近區域三維水文地

質模型及水文地質參數之適用性，配合隧道施工進度，適時修正各隧道施工可能遭遇之出水問題、剪裂帶瞬間湧水量等評估，以提供因應措施參考。

計畫執行期間每半年提出檢討修正成果，並納入半年度及年度分析評估報告。檢討修正項目分述如下：

1. 三維水文地質模式檢視修正

山岳隧道水文地質模式係由水文地質觀點出發，將地下水文地質分區與分層，給定各水文地質單元相對應所需水文參數，透過地下水流動平衡分析運算，將複雜之物理環境簡化為理想化之概念模式。可能影響三維水文地質模式擬真程度之因子甚多，除上述兩項不確定性較高之因子外，模式邊界條件設定、網格大小、地形起伏、異向性考量、水文地質模式選用(如等效孔隙介質模式、雙孔隙介質模式、分離裂隙模式等)、地下水位設定、地下水補注量評估等因子亦會影響分析結果。因此本項工作將在水文地質模式建立並進行穩態或暫態分析後，進一步與本計畫觀測所得之現地水文地質資料及隧道施工所揭露之地質狀況比對，檢視模式對實際情況之擬真程度，並進行上述各項影響因子必要之調整與修正，重新進行模式率定，使分析模擬結果更趨完善，並使預測精度達合理可接受之程度。

2. 水文地質分析參數

三維水文地質模式所需之相關分析參數包含滲透係數或水力傳導係數(Hydraulic conductivity, K)、儲水係數(Storage coefficient, S)、流通係數(Transmissivity, T)及孔隙率(porosity)等。由於模式中各水文地質單元之代表性水文地質參數評估不易，且其為影響模式分析結果適用與否之重要因子。

水文地質分析參數除透過參數敏感度分析及相關經驗外，初步推估乃參考現地試驗或文獻資料(環評階段參數資料、蘇花高階

段辦理之透水試驗及蘇花改計畫等)。後續則再進一步透過施工期間之隧道出水量觀測、地下水位井水位變化、降雨量及河川流量監測等地下與地表水文地質長期觀測資料，進行參數之修正率定，以獲得能符合現地實際狀況之代表性參數。參數率定方式將採自動參數估計法進行，自動參數估計法係透過數值程式以規則的方式反覆調整各項參數，使目標函數最小化。本計畫將採用 GMS 程式提供之 MODFLOW 2000 PES 模組自動參數估計模組進行模式率定，以獲得更具代表性之水文地質參數。

3. 水文地質分區與分層劃分

水文地質分區主要為釐定地下水水文地質邊界，而水文地質分層則主要為釐定計畫區內之主要含水層與阻水層。水文地質分區與分層劃分主要依下列原則來進行：

(1) 含水層分區原則

—含水層邊界：地下水含水層厚度常隨地形起伏變化而變薄或變厚，其在接近邊界時常變薄而終於自然消失，消失處即為含水層之邊界。

—地質構造邊界條件：因大地應力作用，岩層發生斷裂及移動造成斷層破碎帶，而斷層帶常可截斷含水層之側向延伸，若斷層本身不透水，或斷層另一側為不透水，均可形成含水層之邊界。一般而言，斷層破碎帶可能會遭遇以下兩種情形(參見圖 3.5-1)分別為：

i. 斷層因角礫大小混雜，孔隙裂隙多、導水性較好，斷層帶本身構成一高角度與含高地下水水頭之含水層帶。

ii. 斷層帶因兩側岩石高度剪動擠壓，核心區經常是低滲透性的斷層泥阻隔兩側之含水層，甚至造成受壓含水層，以致一旦隧道開挖穿過斷層泥所構成的阻水層，則可能突然發生大量湧水。

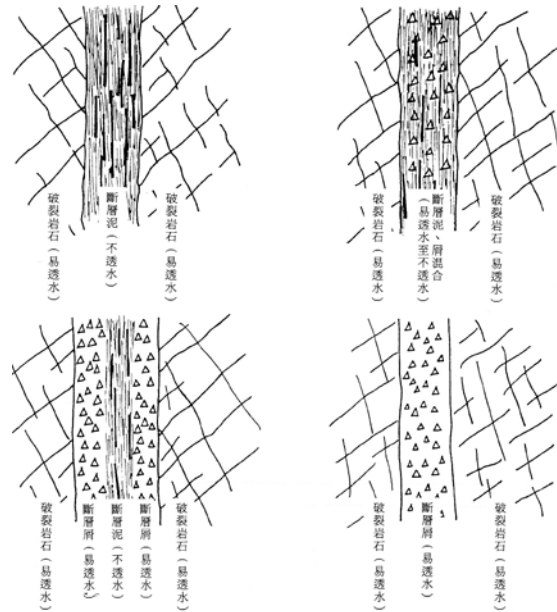


圖 3.5-1 斷層帶可能型態示意圖(摘自洪如江，1991)

(2) 含水層分層原則

含水層分層之層次劃分將從區域性之尺度來考量，亦即各層應有相當之厚度，若細分過多層次，則水文地質參數之評估與後續分析邊界之決定亦隨之存在相當之困難，故分層工作必須掌握區域性主要岩性分層結構，將次要之細節捨棄。分層原則大致如下：

- 利用厚層並延展較佳之岩層(如大理岩、片岩等)作為分層之依據。
- 互相連通且滲透性相近之含水層可視為同一層。
- 薄層或延展不佳之層次則略去不計，再繪製地層斷面，以顯示地下水層之分層概況。
- 斷層破碎帶因常截斷含水層內地下水之側向流動性而成為一儲水層，可視為接近垂直之高角度分層。

4. 隧道可能遭遇之滲湧水問題評估

隧道施工可能之滲湧水量評估，模式主要將根據達西定律，考量隧道開挖所產生之水力梯度、岩層透水性及隧道斷面積，評

估隧道開挖在未施作襯砌或灌漿止水相關措施等情形下裸岩之區段出水量，並將各區段出水量累計為累積出水量。

圖 3.5-2 即為東澳隧道在設計階段透過三維水文地質模式所研判之可能滲湧水初步分析結果，結果顯示可能之滲湧水區域主要皆集中在斷層破碎帶或透水性較高之大理岩段。雖在設計階段已進行隧道施工可能遭遇之滲湧水問題評估，但因本計畫水文地質條件及相關參數之設定存在相當之不確定性與變異性，實際施工時可能出現與初步評估結果不盡相符之湧水情形。如本計畫鄰近之碧海水力發電工程頭水隧道及北迴東改線新永春隧道，均遭遇設計預期外之地質狀況而出現大量湧水與隧道抽坍問題。因此，本項工作將依據本計畫施工期間水文地質調查及隧道施工實際遭遇之出水量觀測結果，進行模式滲湧水問題評估之檢討與修正，並進一步提出未施工段修正後之評估結果，以供施工廠商參考因應。

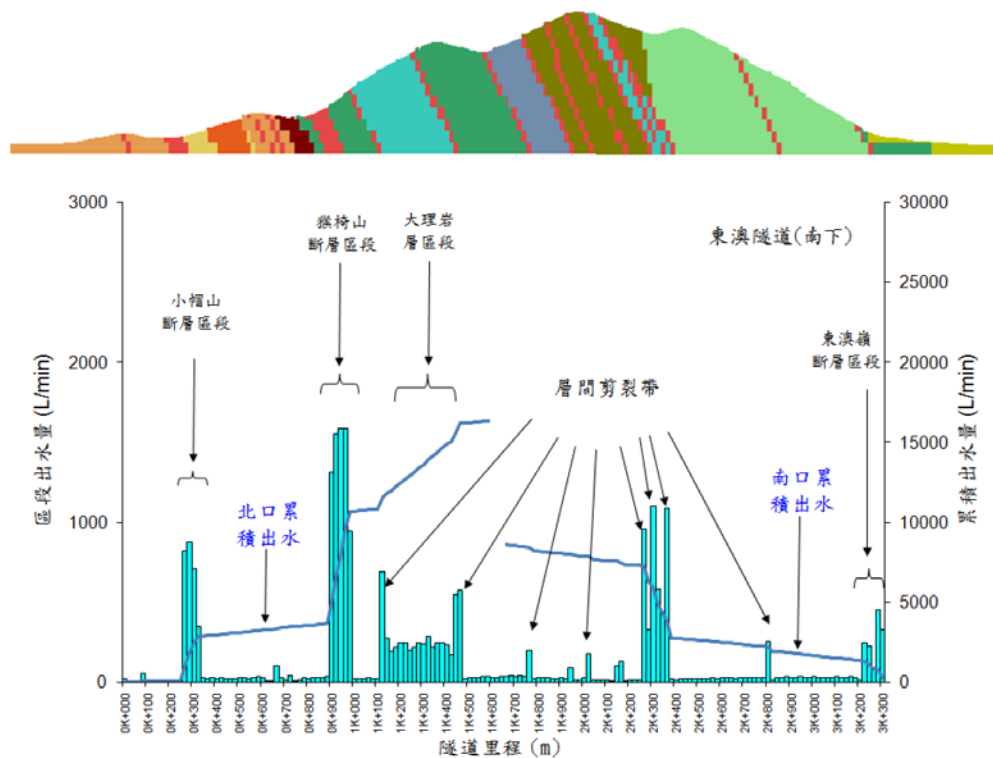


圖 3.5-2 東澳隧道沿線之區段出水量及累積出水量之初步評估結果 (摘自台 9 線蘇花公路蘇澳東澳段工程委託地質探查服務工作-工程地質鑽探報告書, 2012)

3.6 隧道施工對水資源環境影響評估

1. 施工階段

為釐清蘇花改隧道施工對鄰近區域水資源環境可能之影響關係，本計畫將視隧道施工可能影響區域，分別建立小尺度之近域湧水分析模式及較大區域之廣域水資源環境影響評估模式；再依據本計畫所蒐集之相關觀測資料進行模式率定，以進一步確保模式預測地下水流場變遷趨勢之準確性，此外，觀測資料亦可作為研判隧道施工對鄰近水文環境影響之依據參考。

分析模式之代表性及正確性符合需求後，進一步針對施工期間隧道開挖湧水所造成之水資源環境衝擊，進行影響分析，分析項目包括隧道鄰近敏感區域之地下水水位洩降評估及區域地下水淨補注量影響評估。針對本項影響評估之大尺度廣域模式分析、小尺度近域模式分析、隧道鄰近敏感區域之地下水水位洩降評估及區域地下水淨補注量評估等工作，分別說明如下：

(1) 大尺度廣域模式分析：

廣域模式分析旨在評估本計畫所在區域及其周邊範圍地下水流動特性，其邊界條件依所在位置地形特性、地質特性及地下水水位變化決定。一般而言，區域性尺度水文地質概念模式邊界條件主要由大區域水文地質構造來提供，包括山脊稜線、河川、岩性、地質構造等，地形、岩層走向及地質構造為流場主要的控制因子，故本計畫所採用之區域模式將著重在流場之模擬，並採用等效孔隙介質模式進行分析。

本項工作將採用 GMS 三維地下水軟體進行穩態及暫態地下水流動分析。圖 3.6-1 為中興社在「曾文水庫越域引水工程計畫-引水隧道水文地質模式檢測與區域水資源環境影響分析委託案」所進行之隧道施工前、後之廣域地下水流場穩態分析結果，透過分析結果可瞭解該隧道工程地下水流場變化較大處主要發生於高

水頭(高岩覆)與透水係數較大之區域(斷層破碎帶)，除鄰近隧道周圍之地下水朝隧道軸線方向流入之變化外，其他區域地下水流場變化不顯著。將應用相同之方法於本計畫，透過蘇花改隧道施工前、後之廣域地下水總水頭及地下水流況分布變化情形，研判隧道施工對研究範圍內地下水資源之影響程度。

另根據本計畫鄰近隧道工程案例經驗(北迴線東改鐵路隧道及台電碧海水力發電工程頭水隧道)顯示，本區隧道開挖通過變質岩不同岩性交接處時(如大理岩與片麻岩交接處)易出現較大之湧水情形，因此本團隊亦將透過隧道開挖前進時之暫態地下水流動分析，瞭解掌握隧道開挖施工通過不同岩層或地質構造時之地下水流場變化，除可提供作為隧道開挖可能遭遇之湧水問題評估外，亦可作為隧道施工與周圍水資源環境影響研判參考。圖 3.6-2 為曾文水庫越域引水隧道施工之暫態分析結果，由圖中可知該隧道縱向之地下水流場變化主要侷限於隧道半徑約 200m 範圍以內，另於隧道開挖面前方之地下水流場則受隧道開挖面湧水之影響而有顯著變化，特別是位於高水頭位置且突破剪裂泥阻水層之瞬間。

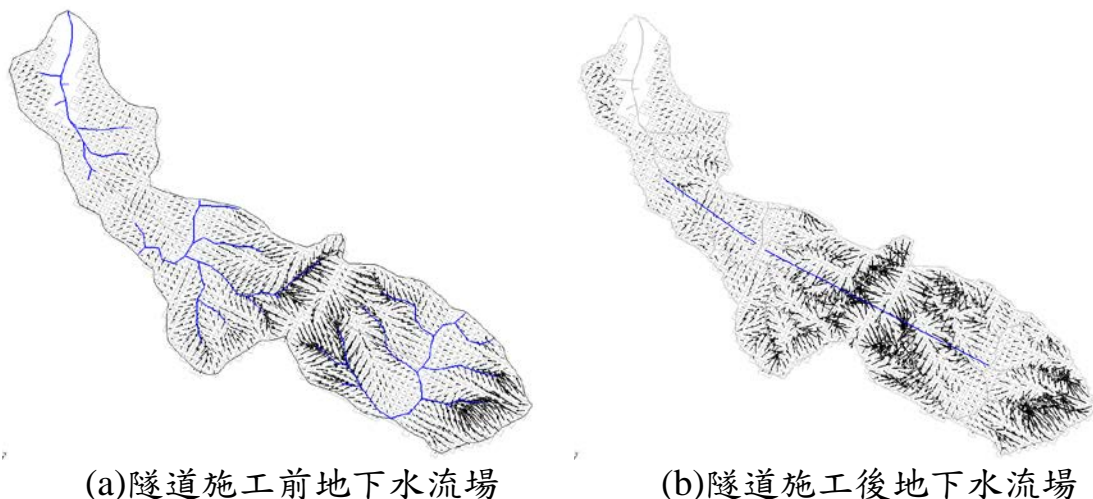
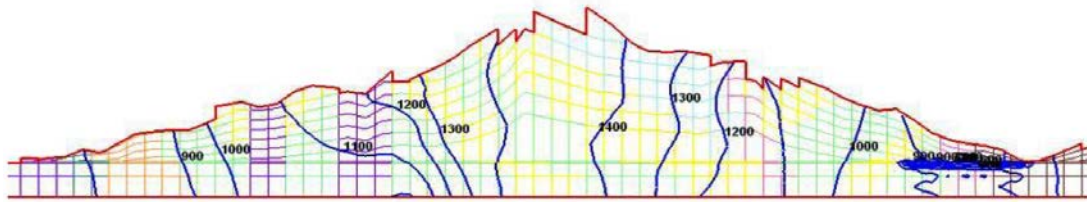
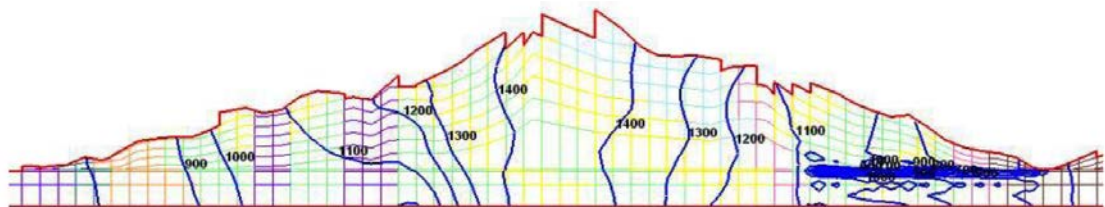


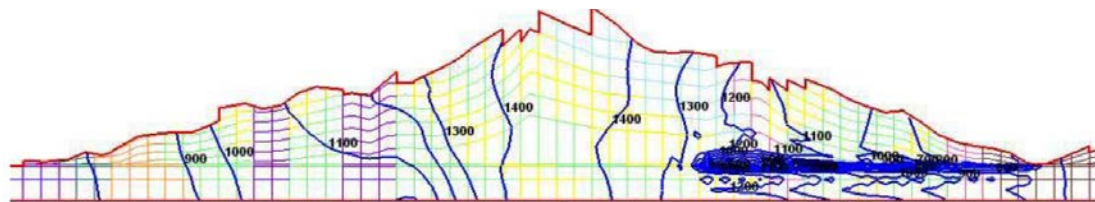
圖 3.6-1 曾文越引隧道廣域三維水文地質之初步分析結果



(a) 隧道開挖至 1000m 時之暫態湧水分析結果前視圖



(b) 隧道開挖至 2000m 時之暫態湧水分析結果前視圖



(c) 隧道開挖至 3000m 時之暫態湧水分析結果前視圖

圖 3.6-2 曾文越域東引水隧道施工過程之暫態湧水分析結果

(2) 小尺度近域模式分析

小尺度近域模式分析係將分析研究範圍侷限於隧道所關注之局部區段，重新調整模型尺寸及網格密度，將大區域水文地質模式所求得之場址附近水頭分布作為小尺度近域分析之邊界條件或初始條件。透過水文地質模式之尺度轉換，可將隧道施工過程所獲得之細部水文地質探查與試驗資料納入考量，進行小區域範圍內兼具正確性與精確性之隧道湧水量分析。在探討開挖面之瞬間湧水量評估時，將採暫態模式分析，其原理係透過達西定律推估隧道開挖面位置數值網格之各方向湧水量，推得單位時間內各方向之流量 \bar{q} 為：

$$\bar{q} = \bar{K} \cdot \Delta\bar{A} \cdot \frac{\Delta\bar{h}}{\Delta\bar{L}} \quad (1)$$

式中， \bar{K} 、 $\Delta\bar{A}$ 及 $\Delta\bar{L}$ 分別為水文地質單元(i, j, k)與各方向(\bar{i} , \bar{j} , \bar{k})相

鄰網格單元之滲透係數平均值、水頭差值及網格中心距離； $\Delta \bar{A}$ 為各方向相鄰網格之橫斷面面積(各水文地質單元網格之相關位置可參考圖 3.6-3 所示)。

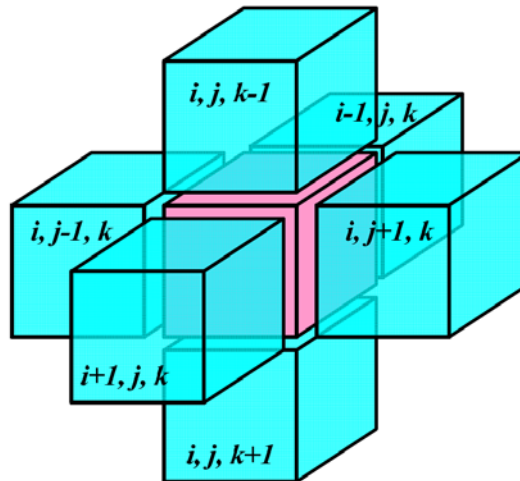


圖 3.6-3 水文地質單元(i, j, k)與其相鄰單元之水平衡示意圖

假設當隧道開挖至特定區段時，開挖面位置之水文地質單元網格(i, j, k)之初始水頭為 $h(i, j, k, t_{k-1})$ 。進一步透過隧道水文地質模式暫態分析(可設定為數分鐘至數小時之暫態分析，以模擬開挖面瞬間湧水)，可推得於開挖面通過後極短暫時間內該網格之水頭值為 $h(i, j, k, t_k)$ ，而其鄰近單元之水頭值依上、下、左、右、前、後之順序，分別可推得為 $h(i, j, k-1, t_k)$ 、 $h(i, j, k+1, t_k)$ 、 $h(i, j-1, k, t_k)$ 、 $h(i, j+1, k, t_k)$ 、 $h(i+1, j, k, t_k)$ 與 $h(i-1, j, k, t_k)$ 。將上述各單元之水頭值與其水文地質參數代回公式(1)，即可評估開挖面位置水文地質單元之各方向湧水量。若開挖面細分成多個水文地質單元網格，則透過線性疊加方式將各網格之各向湧水量平衡並加總，以推估瞬間湧水量。至於開挖面之穩定湧水量評估，則將透過廣域模式分析求得隧道開挖前之地下水水頭分布，再以此水頭分布作為開挖模擬之初始條件進行穩態分析，於求得開挖後之穩態流場，進一步透過公式(1)推估開挖面或特定區段之穩定湧水量。

(3) 區域地下水淨補注量影響評估

地下水補注量估計，基本上可利用(1)集水區河川與地下水補排之關係來探討推估，或利用(2)計畫區附近氣象站水文資料估計而得。其中(1)法主要利用河川流量資料與流量歷線，在不考慮集水區水文地質變異狀況之假設下，採消退曲線位移法或基流資料估計法加以推估；而(2)法主要利用計畫區附近氣象站水文資料估計而得，不考慮附近河川或湖泊間之補注，所需水文資料包括年平均降雨量及蒸發量。一般而言，(1)法較適用於山岳區之地下水補注量估計，而(2)法較適用於平原區。

由於本計畫研究範圍主要為位在山區，因此採用前述(1)法進行蘇花改隧道沿線區域地下水補注量評估，採用美國地質調查所所發展之 PART 程式(Rutledge,1998)，利用河川流量分割法，經由分析河川流量資料與流量歷線，利用基流分離技術將基流量由河川流量中分離出來，並依據地下水水平衡理論，將河川集水區視為一完整封閉系統，河川基流量即為地下水之水平排出量，亦即地下水自然補助量。

(4) 隧道鄰近敏感區域之地下水水位洩降評估

隧道開挖將造成地下水流場改變，地下水流由開挖前隨地形分布之重力流動型態，轉變為受隧道開挖水頭洩降所產生之水力梯度影響，而由四周朝向隧道軸線方向流動。對於隧道鄰近敏感區域之地下水水位洩降評估，主要透過本計畫施工期間之水文地質觀測及所建置之三維水文地質模式之 MODFLOW 模組，分析評估隧道出水對鄰近敏感區地下水水位洩降影響，並依據水平衡概念，藉由比較隧道之年總出水量與隧道行經集水區之地下水年補注量(入滲深度×集水區面積)，若比例極低(如 1%至 2%)，就地下水淨補注量觀點而言，隧道開挖對鄰近水文環境之影響甚微，惟湧水量若集中於特定區域，則需再進一步檢討地下水位洩降之

問題。

圖 3.6-4 為本團隊在曾文水庫越域引水隧道之特定區域地下水位洩降分析結果，由分析結果可研判隧道開挖通過斷層帶時，若未能控制隧道之出水，長期將使地下水位將出現明顯之洩降，影響區域地下水資源環境。

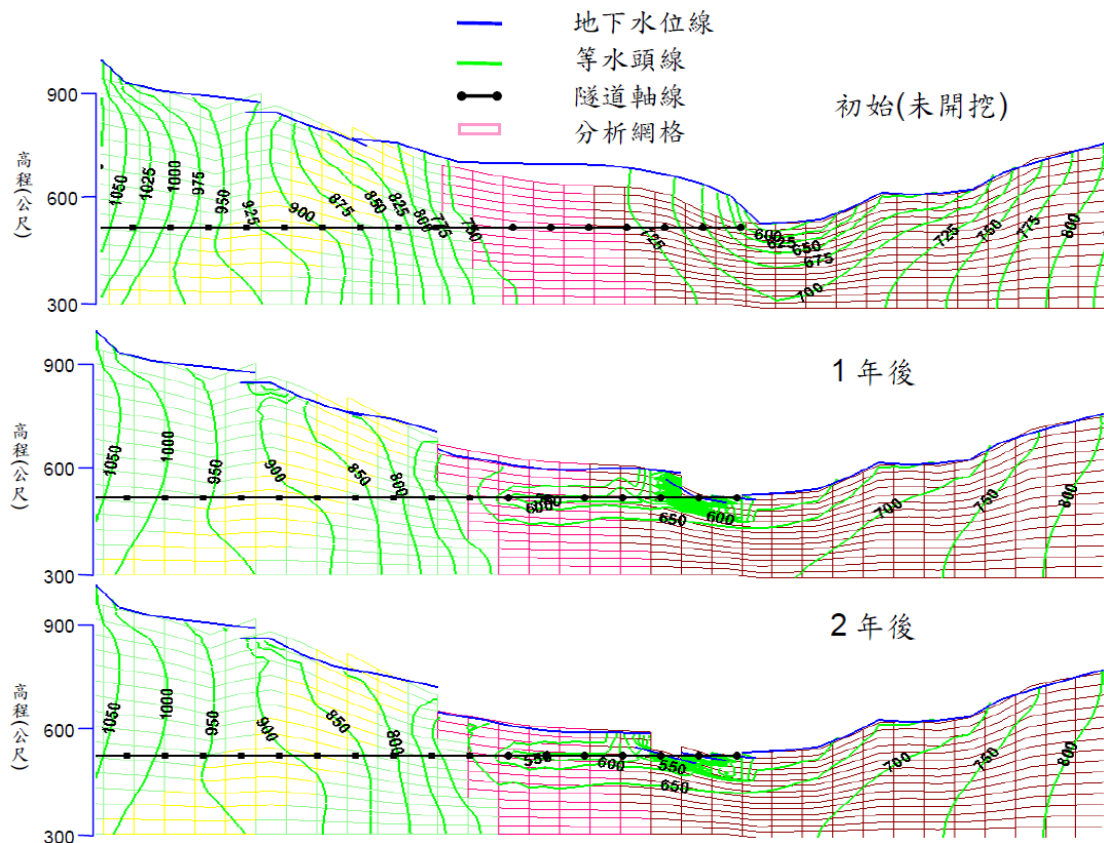


圖 3.6-4 曾文越域東引水隧道施工地下水位洩降分析結果剖面圖

2. 完工營運階段之影響評估

針對隧道完工後沿線鄰近地區之地下水位之恢復狀況，以及隧道營運期間如有持續長期排水，其對鄰近區域水資源環境資影響等，有必要於完工營運時仍進行持續性之觀測與評估。本項工作將於計畫執行完成後，依據執行觀測與分析評估之結果，於總結報告中研擬提營運階段具體之實施建議與計畫內容，其主要內容包括：

(1) 長期區域水資源環境影響評估

依據本計畫施工期間所蒐集及觀測之資料，以及各隧道鄰近區域水文地質模式驗證分析結果，進一步據以辦理隧道沿線及周邊地區長期水資源環境變化與影響分析預測，透過各種可能之情境模擬以了解長期營運期間區域水資源環境之可能變化趨勢，包括隧道沿線地下水位恢復狀況、隧道若有長期排水對鄰近區域之水資源環境及運用之影響等課題，提出建議對策供主管機關決策制定之參考。

(2) 營運階段資料蒐集與水文地質觀測計畫

由生命週期之角度出發，工程各階段均有其獨特之考量，故完善之監測計畫應綜合當時情況及其未來可能衍生之問題，作通盤之考量作通盤之考量再據以擬定，例如營運期間安裝儀器之可能性、長期觀測之可能性及必要性、儀器之維護問題、資料之代表性問題等，必須盡早提出其方案比較，以提供主管機關決策之依據。

本計畫將結合最新之風險管理理念，依據施工所遭遇之問題及本計畫之研究成果，於計劃期間視需要進行長期觀測必要性評估並及時提出相關建議，例如預留儀器安裝管溝等，以提供施工因應。

除針對施工期發生之問題所作之建議外，亦將針對營運階段之需求，檢討應持續蒐集之資料種類，大致包括氣象局之雨量資料、水利署之河川流量資料，以及本計畫所裝設之隧道鄰近區域雨量站、地下水位觀測井、河川流量站等自記式觀測儀器等；另將視情況建議是否需進行其他資料蒐集，例如蘇花改隧道洞口總出水量觀測、水樣採取分析或隧道內特定區段出水量觀測與水壓觀測等。圖 3.6-5 及圖 3.6-6 為雪山隧道完工營運至今仍持續觀測隧道內出水量與水壓之資料。



圖 3.6-5 雪山隧道營運階段之孔隙水壓與單點水量觀測儀器



圖 3.6-6 雪山隧道營運階段之導坑出水量自動觀測記錄

第四章 工作組織與時程

4.1 工作組織

中興社將動員社內具隧道工作、觀測儀器安裝測讀、水文地質調查分析等經驗之研究人員共同辦理本計畫工作。此外，中興社針對本計畫以專案組織方式來執行，團隊組織包含計畫管理、品質保證及各專業工作小組。計劃組織詳圖4.1-1。

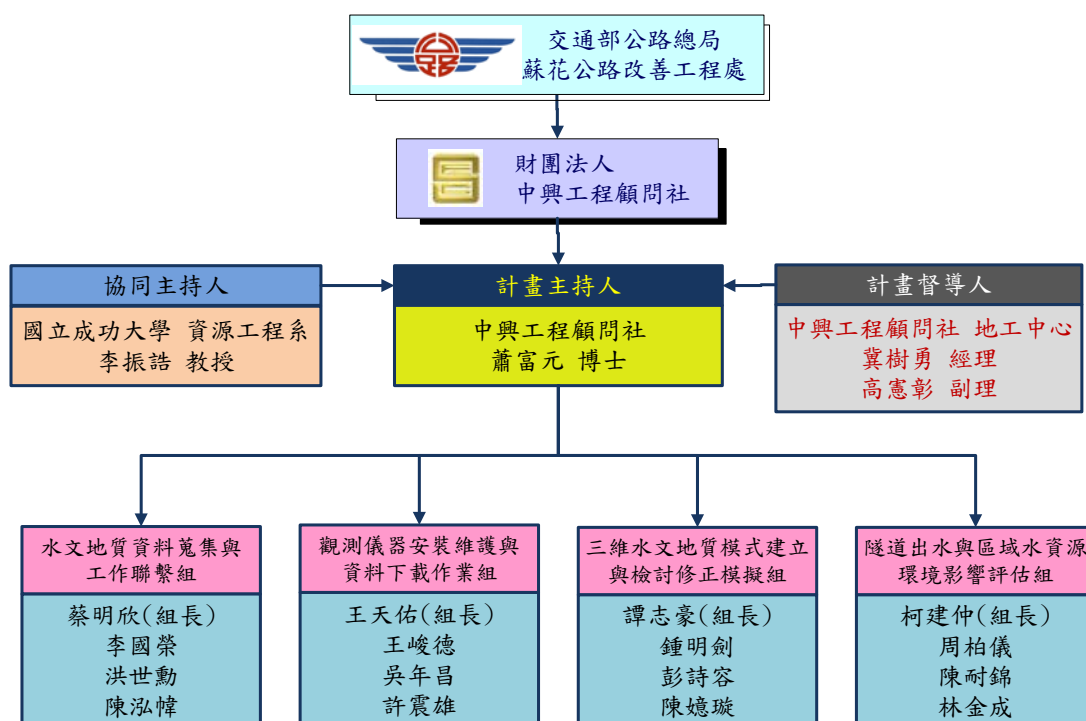


圖 4.1-1 工作團隊組織架構圖

4.2 工作時程

委託案執行期程配合臺9線蘇花公路山區路段改善計畫施工期間，自民國101年9月至民國106年8月止，共計5年。其中例行性的成果提送包括每月10日前，彙整前一月份之觀測資料與初步統計分析結果，提送觀測月報，而計畫開始第一年底及各年度7月底前，則彙整委託工作項目成果，進行資料統計分析，與相關課題之評估探討，提



送半年度分析評估報告，並進行簡報；計畫開始第二年起之各年度結束後，於次年1月底前彙整整年度各項工作成果，提送年度分析評估報告，並進行簡報；最後依計畫期程執行完成後之第一個1月底前綜合計畫執行期間之所有觀測資料、以及分析評估成果，經綜合評估後提出總結報告，並進行簡報。全計畫各工作要項之工作時程詳表4.2-1。

表 4.2-1 計畫執行時程概估表

期程 工作項目	101年				102年				103年				104年				105年				106年				
	9月	第4季	第1季	第2季	第3季	第4季	第1季	第2季	第3季	第4季	第1季	第2季	第3季	第4季	第1季	第2季	第3季	第4季	第1季	第2季	第3季	第4季	8月	9月	
資料蒐集分析																									
施工期間觀測儀器安裝																									
施工期間水文地質觀測與儀器維護																									
隧道鄰近區域三維水文地質模式之補充建立與整合																									
隧道鄰近區域水文地質模型檢討修正與驗證																									
隧道湧水對水資源環境影響評估																									
觀測月報撰寫提送																									
半年度分析評估報告撰寫提送																									
年度分析評估報告撰寫提送																									
計畫總結報告撰寫提送																									

圖 4.2-1 計畫執行時程概估表

第五章 預期成果

1. 水文地質資料蒐集與觀測

蒐集建立計畫區隧道施工前之水文地質背景資料庫，並於計畫執行期間，持續蒐集新增之觀測資料，包含既有觀測儀器及本計畫新增儀器觀測。每月彙整前一月份觀測資料與初步統計分析結果，提出觀測月報，其內容除觀測資料之初步統計分析外，若發現異常狀況可能影響隧道工程施工時，則提出預警。

2. 隧道鄰近區域水文地質模式建立與驗證

於計畫展開第一年度內，建立沿線5座主要隧道之三維水文地質初步模式，後續配合施工期間水文地質觀測結果，進行模式之檢討、修正與驗證，並每半年定期彙整工作成果，進行資料統計分析與相關課題評估探討，提送半年度分析評估報告及年度分析評估報告，同時進行成果簡報。

3. 隧道施工與鄰近區域水資源環境影響關係研判

根據施工期間之觀測資料與相關各項課題評估(如近域湧水分析評估、廣域水資源環境影響評估、隧道鄰近敏感區域地下水水位洩降評估、區域地下水淨補助量影響評估等)，研判隧道施工與鄰近區域水資源環境影響關係，並定期將研判結果納入半年度分析評估報告及年度分析評估報告。本計畫全部工作完成後，綜合計畫執行期間所有觀測資料及分析評估成果，提交計畫總結報告，總結報告之內容同時包含隧道完工營運階段之長期區域水資源環境影響評估，以及所應辦理之觀測分析工作具體實施計畫。

4. 調查分析結果發表與分享

針對本計畫各階段之成果，不定期彙整並撰寫相關研究成果論文，於研討會或相關期刊上發表，使本計畫寶貴之工程經驗與技術分析能夠文獻化，成為相關學術領域與工程案例之重要參考。