

南迴鐵路趕工及通車回憶

嚴啟昌*

壹、南迴鐵路簡介

南迴鐵路自屏東枋寮至台東。全長約九十八公里，為台灣環島鐵路網之最後一段，俞國華內閣任內列為國家十四項建設之一。

該路自屏東枋寮南行至枋山，然後闢建多座隧道貫穿中央山脈東行至台東之大武，再沿東海岸北上，經大竹、太麻里、知本至台東。

南迴鐵路因須貫穿中央山脈，故隧道特多，全線共有大小隧道三十五座，總長約三十九公里，佔整個路線長度約百分之四十。其中最長者為 8,070 公尺之「中央隧道」，目前為台灣地區最長之鐵路隧道。

貳、南迴鐵路之難題及其解決原則

七十九年十月二十五日，為蘇花公路全線解除行車管制，我陪同當時交通處林處長思聰先生乘旅行車自蘇澳至花蓮，途中林先生告訴我，外傳我將繼任省交通處長，接任後將面臨十大難題，南迴鐵路能否趕工在八十年底完成通車，亦乃重大難題之一。因南迴鐵路係於六十九年七月動工，迄今施工已十多年，外界及省議會對一再延遲工期輒有責難，省府於一年前曾公開向省議會承諾，該路訂八十年底通車，不能再延。

我於七十九年十一月五日上任，二十二日即偕有關人員專程前往察看南迴鐵路工程進行情形。早上在枋寮南迴鐵路工程處聽取簡報，隨即前往工地查勘。前兩任工程處處長工程界前輩瞿福亨先生及林理岩先生亦遠道蒞臨參加會勘工作，令人心感。惟當時之工程處處長周麗生先生，因高血壓關係未能前往工地乃由副處長蔡紹陽、郭榮松二先生陪同查勘。

依據會勘結果，顯示南迴鐵路能否於八十年底如限通車，其最主要之關鍵問題有以下五端：

一、枋山四號隧道

枋山四隧道為一長僅 156 公尺之單線隧道，民國七十五年六月間隧道下導坑開挖完成時，突

* 曾任公路局局長、省府交通處處長、立法委員、行政院顧問，現任立法院顧問

然發生「抽心」現象。因為該隧道上方之覆蓋土層厚僅約 20 公尺，下導坑開挖後，上方覆蓋土太厚，無法形成拱力作用，因而下坍，俗稱「抽心」。

枋山四號隧道發生抽心現象，不但使整個工程停頓，且亦連帶影響隧道上方山坡之穩定，當時緊急應變措施乃是將已開挖之下導坑用土方回填，暫時維持隧道與山坡之穩定。

枋山四號隧道補救措施，經與工地人員商討，決定以下二點：

——隧道上方邊坡施做鋼筋混凝土格床護面加以穩定，格床施做自下而上，並以岩錨固定之。

——隧道上半部改以明挖方式移去覆土，然後構築鋼筋混凝土拱圈，凝固後，再在其上回填覆土，如此對上邊坡亦有穩定作用。

枋山四號隧道發生「抽心」事件歷時已 4 年多，技術方面之補救措施已如上述，簡單可行，但事涉變更後之單價問題，則惟恐所謂「圖利」之嫌，故遷延數年未能解決。對此，我乃作以下原則性之決定：

——工程單價儘量尊重顧問工程司意見，但應與近期有關工程之發包單價作一比較，並考慮本工程之特殊情況。

——請審計機關派員蒞臨工地，瞭解實情。

——議價不成，則應立即另行發包辦理。

二、大竹三號隧道

大竹三號隧道長僅 158 公尺，緊鄰台九線南迴公路樁號 434 公里處之上方。該隧道於七十六年五月開工，雖用各種工法勉強完成隧道主體工程，但隧道南口上邊坡時常發生坍方，包括隧道在內前後約有 500 公尺之山坡有向海邊側滑動之趨勢，鐵路路基及隧道下方之各式擋土構造物都發生明顯之傾斜現象，情況至為嚴重。

會勘後，我們一行數人就在附近監工房進行研商補救措施，其結論為：

——隧道南端施作鋼筋混凝土隧道 50 公尺，以避開洞口上邊坡之坍方；隧道北端依實際地形研判可縮短 8 公尺，隧道總長變更為 200 公尺。

——隧道南口上方邊坡整治原則上採用格式護面並以岩錨固定。

——台九線公路改線向海邊外移，長約 500 公尺，由我負責洽請公路局同意。然後利用原有公路路基建造成鋼筋混凝土擋土牆，牆後填土，高度接近鐵路路基，以此作為公路路堤擋住前述南迴鐵路山坡向外之滑動現象。

——按上述原則授權工程處逕行委託外界辦理設計工作，並限八十年元月中開始施工。

三、中央隧道工程

中央隧道為南迴鐵路最長之雙線隧道，總長 8,070 公尺，早於七十三年三月十五日開工。施工期中雖遭遇落盤、湧水、擠壓等許多重大困難，但承包單位為輔導會所屬之榮民工程管理處，實力雄厚，施工經驗豐富，前述許多困難終於一一克服。我到交通處服務不久，即預聞該隧道工

程導坑全線即將貫通，乃安排省府連主席前往主持此一重大工程之貫通典禮，主席因勻不出時間，要我主持；我告訴主席，此係全國工程上之歷史性事件，作為政治人物不可錯失此一重大機緣，連先生接受了我的意見，於七十九年十二月二十四日親臨中央隧道西口，主持該隧道的導坑貫通典禮，全國報章大部分以頭條新聞，報導此一工程盛事。

中央隧道全線導坑既已貫通，隧道本身之一切地質及環境狀況已全部展現，後續之隧道擴大開挖，混凝土襯砌以及附屬工程等，自可憑以往經驗按步就班進行，雖然我們不能完全排除往後施工中之某些變數，但由於隧道導坑已全線貫通，即使有變數產生，亦有足夠之時間與適當方法加以克服。所以我個人認為南迴鐵路能否在八十年底通車，中央隧道工程已不是關鍵問題。

四、全線軌道鋪設

鐵路軌道之鋪設在台灣地區僅台灣鐵路局人員有此實務經驗，南迴鐵路之鋪軌工作人員大部分係由台鐵現職員工擔任，並以約僱方式徵召若干台鐵退休員工協助。我與鋪軌隊隊長孫德模先生面談，發現如按當時進度，鋪軌工作無法於八十年底前完成，我乃洽鐵路局抽調一部自動鋪軌機至南迴鐵路工程處，以加速鋪軌工作之進行，七十九年十一月二十日南迴鐵路最後一根鋼軌始完成銜接。

五、人事問題

南迴鐵路工程處部分人員係由鐵路局及交通處調用，部分人員則屬派用及約聘僱人員。鑒於南迴鐵路工程行將告一段落，派用及約僱人員對其未來出處難免心感不安，影響工作士氣甚鉅。我到南迴鐵路工程處視察時，乃召集該處主要幹部主動宣佈以下各點，以安定員工情緒：

——請南迴鐵路工程處立即草擬「東部鐵路改善工程處組織規程」（該組織規程定案時改稱為東部鐵路改善工程局），呈報交通處，以便轉報上級早日核定。

——東部鐵路改善計畫已經定案，總工程費為 486 億元。約為南迴鐵路經費之兩倍，工期預定七年，南迴工程處原班人馬將轉往東部鐵路改善工程處繼續工作，很多人員將有晉升機會，不必擔心未來出路問題。

——南迴工程處對現職人員出缺採取「不補」政策我原則同意，但此時對派用及約聘僱人員不宜採取遣散措施，因為他們在南迴都有了良好的工程經驗，即使留用閒置一段時間也沒有關係，除非是平常工作不力人員。

我的以上宣佈對於安定人心深信有很大助益，對南迴鐵路能如期於八十年底通車自然發生很大的助力。而且我前述的宣佈，以後都一一兌現。

此外，我應解決者乃為南迴鐵路工程處處長人選更迭問題。由於當時周麗生處長身體欠佳，似乎不宜繼續主持南迴鐵路繁劇的趕工大計，但其屆齡退休日期為八十年三月一日，如即予更換，在人情難免會招物議。經我深思結果，認為距南迴鐵路預定通車時日已無多，處長一職非即調整不可，乃請交通處人事室黃主任再盛兄向周處長麗生兄轉達。周免兼南迴鐵路處長，回任交通處簡任技正原職，並代表我常駐南迴鐵路工程處，督導南迴鐵路重點工程趕工，處長一職，則

由副處長蔡紹陽升任。上述人事安排獲得了周麗生兄的同意，蔡紹陽先生乃於八十年一月一日繼任了南迴鐵路工程處處長一職。

前述南迴鐵路難題最令我關懷者乃為「大竹三號隧道」問題，為此我曾數度前往工地察看工程進行情形，由於時間關係有兩次係搭直昇機逕飛工地附近，然後步行前往察看。八十年一月二十六日我曾在省府首長會議中報告，大竹三號隧道施工順利，南迴鐵路年底通車沒有問題；連主席為鼓勵士氣，亦於八十年十月三日前往大竹三號隧道視察，親身目覩此一關鍵性工程之順利進展，亦甚感欣慰。

參、通車典禮日期決定經過

南迴鐵路前述種種難題經一年之努力，終於完全克服，除部分站房，通訊設施及號誌工程外，其他主體工程均於八十年十一月中全部完成。省府因此乃有在十二月底前舉行「通車典禮」之構想，以兌現省議會之承諾。

為避開省議會交通部門質詢及省政總質詢，通車典禮日期乃定為十二月十六日。當時並未有立即營運構想，正式營運擬留待通訊設備及號誌工程完成以後再議，此為有關人員之共識。

肆、交通部派員履勘同意每天往返各一班次

「南迴鐵路通車典禮」日期決定，並預定延後再行營運，消息傳出後，台東各界反應極為強烈，要求典禮後立即經續營運，經與鐵路局陳局長世芳研商，初步擬議自十二月十七日起每天往返高雄台東各二班次，當然應以獲得交通部履勘核准為先決條件。

交通部於十二月十日派高級人員一行蒞臨南迴鐵路履勘，勘後該部履勘小組負責人於記者會中公開發佈。

一、依目前工程進度原則同意採枋寮至大麻里站間作一閉塞區間每天往復各一班次，最高時速 60 公里之下行車。

二、枋野二號橋落山風問題，繼續觀測改善，早日完成預防設備，目前先設置限速標誌慢行通過。

不意交通部履勘小組回部簽報上述結論時，未獲其同官接受，以致演成後續之許多風波。

伍、「環島之旅」南迴路上

李總統登輝先生得悉南迴鐵路已可通車，乃決定乘火車作「環島之旅」。筆者於十二月十三日在羅東往蘇澳途中，奉 連主席永平先生電召囑於下午二時前趕至台東火車站會合，乃搭直昇機前往，並在「環島之旅」車上會同陳世芳局長與簡部長又新先生討論南迴鐵路通車問題。以簡先生聰明才智，自然澈底瞭解南迴鐵路「往復各一班次」並無所謂安全問題，簡先生當時所強調者乃為依照鐵路法第十六條是否合法問題，茲將鐵路法第十六條摘錄於下：

鐵路法第十六條：

「鐵路興建應依交通部核定期限開工竣工：因故不能依限期開工或竣工時，應申請交通部核

准展期」。「全部或一段工程完竣，應先報請交通部派員履勘，經核准後方得行車。」

據簡部長在專車上告知，彼認為第十六條中所謂「工程完竣」就是要跟設計圖一樣才算完竣（即全部完竣之意），因為南迴鐵路僅主體工程完竣，所以不算全部完竣，如果核准行車，則屬違法。

我與陳局長世芳兄均認為鐵路法第十六條規定交通部派員履勘，其立法要旨應在行車安全問題。主體工程完成，如安全無礙，應可核准「行車」；且台東各界盼望殷切，乃一再請求簡部長同意交通部履勘小組實地履勘後所作每天往復一班次之決定，但未為簡部長所接受。簡部長並云，本案核准之權在交通部而非路政司，彼對履勘小組所作之決定已予否決云云。

陸、通車典禮盛況空前

南迴鐵路於八十年十二月十六日舉行通車典禮，上午在枋寮剪綵，由郝院長、連主席、郭主委婉容、簡部長又新及省議會簡議長明景共同主持。然後典禮專車開往台東新站，沿途各站民眾列隊揮小國旗歡呼，並鳴放鞭炮，熱鬧非常。尤其在太麻里及知本兩站場面熱烈，使專車不得不停，政府首長自郝院長以下均下車向歡迎之民眾致意，筆者拙筆只能以「盛況空前」四字形容。已故立委黃河清兄在車上對郝院長說：「此種場面你在西部花費二千億也辦不到！」而數度向郝院長及簡部長說：「明天就讓鐵路局往復各開一班車吧！開一次班車那裡有甚麼安全顧慮！」河清兄之先翁黃占岸先生為省議員前輩，當時縱橫議壇甚負盛名，與筆者頗為熟稔。不意數日後河清兄以心臟病突逝，回首前塵，不勝唏噓。

在台東新站舉行典禮前，台東各界對翌日是否繼續行車至表關切，以饒立委穎奇為首之各界人士向郝院長等首長進言，要求十七日起繼續試車一週歡迎民眾參觀，在座首長均領首。

為使高雄、台東兩地民眾，各有參觀南迴鐵路四天之機會，交通處主動將「試車」延長為八天，十二月廿五日為行憲紀念日，又再延長一天，因此南迴鐵路自十二月十六日通車典禮後，一共「試車」九天，幾乎車車載滿，未發生部方所擔心之安全問題。與正式營運之差別，僅在「試車」期間為免費通行而已。試車載客不算「違法」，售票載客則屬「違法」，真是匪夷所思。

柒、臨時營業的由來

八十年十二月十九日行政院院會中郝院長指定政委郭南宏先生負責協調南迴鐵路營運事宜。郝院長指示之原則為「合法、安全、便民。」

郭先生於當日下午召集有關人員開會商討並作成決議於下：

- 一、依鐵路法第二十六條工程期間臨時營業規定，每日行駛一往返列車。
- 二、行車安全由鐵路局負責，路線及施工安全由南迴鐵路工程處負責。

郭政委作成上述決定後，要求與會之交通部高級主管人員立即召開記者會宣佈上述決定。但未為部方接受，且堅持依法無據之要求，即臨時營業乃須由交通部履勘後核定。

為息事寧人計，郭先生不得已，乃通知交通處及鐵路局緊急作業，向交通部申請「臨時營業」

之履勘，公文送達交通部時，一再遭部方退件、補件之不斷折磨，此中曲折、艱辛經過，殊不足為外人道也。

捌、臨時營業履勘

交通部接受交通處「臨時營業」之申請，於十二月二十三日指派高級人員多人並有台北記者多人隨行蒞臨南迴鐵路作第二次履勘；交通處派副處長及專員各一人陪同；鐵路局由總工程司率主任秘書及運、工、機、電四位處長陪同；南迴鐵路工程處自處長以下重要主管均陪同；場面浩浩蕩蕩，顯示此次履勘之權威性。

履勘歷時兩天（十二月廿四、廿五日），並在晚上開會作冗長之討論，「隔行如隔山」，旨哉斯言。

十二月二十五日晚上，履勘小姐領隊宣佈：「對於本次履勘所見，將由本小組整理成報告書後，提供本部作為是否核准臨時營業之參考。」

玖、秘密會議與六點改善事項

八十年十二月二十九日星期日上午九時，交通部於電信總局數據通信大樓召開有關南迴鐵路臨時營業會議，由簡部長又新親自主持，該會議時間及地點事先均保密，大眾傳播無人獲悉，故稱之為「秘密會議」。

「秘密會議」出席人員除交通部、交通處、鐵路局、南迴鐵路工程處有關人員外，交通部亦邀請郭政務委員南宏、四位已退休之鐵路局局長陳樹曦、范銳、董萍、張壽岑諸先生參加。會議歷時約五小時，除極少數交通部人員認為，臨時營業與鐵路法規定有出入外，其餘發言者如退休之四位鐵路局局長、及總工程司均認為「臨時營業」不但沒有「法」的問題，而且每日僅往復一個班次，即在枋寮—台東區間內只有一部列車行車根本沒有所謂安全問題，均主張應即核准「臨時營業」。政務委員郭南宏先生發言最為直率而憤慨，他說：

「我是政務委員，沒有權力，但希望有權力的人，今天要作一明確的決定，否則不但貽笑國人，亦將貽笑於國際。」

為維持上級權威，會議主席之結論為：原則准予臨時營業，但應先完成以下所述之「六點改善事項」：

- 一、中央隧道西正線之鋪軌工程為施工及行車安全，至少應於臨時營業前完成需重機械（如怪手、卡車）作業之工作。
- 二、部分邊坡工程仍在繼續施工，除應對沿線邊坡全面檢查、補救，中央隧道已佈設之線路亦應儘速接通每一公里設置之電話機，以便因應緊急事故之及時使用。
- 三、關於通訊設備，據測試結果，於大鳥及金崙兩隧道形成死角，宜趕工完成有線電話設備或臨時佈設通訊電話補救。中央隧道已佈設之線路亦應儘速連接每一公里之電話機，以便因應緊急事故之及時使用。

- 四、臨時營業前，運務設施鐵路局應全面接管，負起安全管理及使用之權責。
- 五、在號誌系統及通訊系統工程未完成前，臨時營業期間，為加強安全及利於緊急應變，列車機班應派雙人乘務。
- 六、落山風問題之處理：除應儘速設置擋風網外，臨時營業前應於有落山風之虞處（例如枋野二號橋）設妥風速監測及顯示系統，俾列車依顯示按運轉規章行駛，以確保行車安全。

拾、第三次履勘後核准臨時營業

經過上述之「秘密會議」後，交通部乃於八十年十二月三十一日函示交通處，要求辦理前述之所謂「六點改善事項」。容我說些不客氣的話，南迴鐵路主體工程完成後，曾經通行總統列車，舉行通典禮時中央政府大官及民代亦乘專車行經全線，典禮後開放民眾免費達九天之久，並未發生任何事故，於今在往返一班次原則下辦理臨時營業有何安全顧慮可言？所謂「六點改善事項」，不外是無中生有，為維持面子自找台階而已！

上述之所謂「六點改善事項」，交通處責成南迴鐵路工程處於五天內（即八十一年元月五日前）辦理完成。交通部又於元月九日派員履勘，元月十一日函示同意臨時營業，鐵路局乃於元月十二日開始臨時營業。

拾壹、省議會質詢風波

前述有關南迴鐵路通車問題，省府交通處與交通部磋商期間，適值省議會連續舉行二十多天交通部門質詢及省政總質詢，南迴鐵路通車問題不但成為質詢之焦點，亦為大眾媒體之重大話題。有關省議員之質詢大部均由我答復，我心中雖對交通部不滿，但答復時均以尊重上級為原則，認為交通部依法有核准之權。絕大部分省議員質詢時均對交通部有尖刻之批評。茲舉中國時報於八十年十二月三十一日刊載省議會議長簡明景於三十日之談話一則如後：

拾貳、簡明景：過程曲折有如上演「鬧劇」

認使民眾看得眼花撩亂殊不值得，盼爭議早歇儘速通車。

南迴鐵路通車典禮後遲遲未能展開營運，省議會議長簡明景三十日「開講」，指南迴所引起的種種曲折都是很「無聊」的事，有如演「鬧劇」一樣，看得大家都眼花撩亂，殊不值得。

簡議長說，交通部履勘變化無常，如果真如所說安全有問題，又為什麼讓李總統環島視察，難道李總統的安全不重要？又如落山風問題，應該在十一年前開工興建前就要考慮的，如今談落山風豈非一刮風就不要通車？

簡議長說，一個工程要百分之百完美是不可能的，安全問題應信賴專家的判斷，否則絕對各有看法永遠談不完，幸好最近已告一段落，希望儘快可以通車，以不要再重演這種不好看的戲。

簡議長為人十分謙沖，素為省府各級人員所敬重，彼亦為南迴鐵路通車典禮剪綵人之一（其餘為郝院長、連主席、郭主委及簡部長）。因省議員不斷質詢有關南迴鐵路通車事宜，激於義忿，

而有上述談話。據簡議長面告，報章刊載之日上午，台北有關方面即有電話向其婉轉解釋，並謂因鐵路局內部有人反對，故未核准南迴鐵路通車云云。

拾參、風從那裡來

八十一年一月十三日星期一晚上，為省議會省政總質詢結束後之第三天，省府首長照例餐敘，以解總質詢中之抑鬱。南迴鐵路剛好於前一天開始「臨時營業」，連主席堅邀我與其同席，席間，連先生數度為我舉杯並要求其他首長為我舉杯。他說，此次質詢省議員問題大部分集中於南迴鐵路，大部分均由嚴處長作答，因此省府各首長在此次總質詢中過得相當輕鬆。連先生又對我說，你是工程師出身，沒有心機，這次南迴鐵路通車經過情形甚為艱辛，你最好能把它寫出來，留一記錄。我說，正在撰寫中，不久即將完稿。連又問，題目是什麼，我順口答說：「風從那裡來」，舉座聞之，皆大笑。不久我的「風從那裡來」完成，全文約一萬五千言，僅以打字方式印製約三十本，以「限閱」方式分送長官及好友。

拾肆、感想

南迴鐵路一日往復一班次行車，就常識判斷，適法與安全均無問題，便民更無論矣！不意有權的人小題大作，置常識於不顧，將細微末節當做政治權術。曲曲折折不識大體，貽笑國人，回憶及此，擲筆長嘆。

八十年十二月二十八日，中央日報「政海微言專欄」刊有「決策與執行」一短文，批評南迴鐵路通車的事。作者神來之筆，刻劃官場情況，令人嘆為觀止。茲於本文之末，摘錄其精要，以示欽羨之忱。

拾伍、決策與執行

（八十年十二月二十八日中央日報「政海微言」專欄）

南迴的「不通」，真是不通得令人納悶。「通車之後還須試車」云云，更是玩「文字魔術」沒話找話。

交通部是否在造「矮屋簷」，讓人家「身到屋簷下，不得不低頭」？

但願現在不會再有那種「一朝權在手，便把令來行」的陋習，否則「愈到下面鞋愈小」，讓那些挽袖子幹活的人左右不自在可又何苦呢？

開放・整合・前瞻 ～ 建置公路防救災 GIS 決策支援系統

陳守強*

摘要

本系統係以「臺北市山坡地空間管理 Taipei Earth 服務系統」暨「Safe Taipei 防救災資訊整合平台」等 Google Earth 應用創意為藍圖，建置全國性公路防救災地理資訊整合平台，用以發揮決策支援功能。系統後台已連結包括中央氣象局、水土保持局、經濟部水利署、交通部運研所、成功大學福衛二號快速應變團隊、美國太空總署、美國中央地質調查所等機關的網路服務。系統前台則以 Google earth 虛擬地球儀，作為展示各機關防救災地理資訊之共同平台，亦唯有整合性地理資訊方能發揮綜效、支援決策。另有關公路災情即時通報，係仰賴公路總局各區養護工程處第一線同仁不辭勞苦風險，於勘災後儘速通報至公路防救災資訊系統，再介接展示於本系統。

關鍵字：Google Earth、GIS、地理資訊、決策支援

一、前言～緣起雲端

去年莫拉克風災重創台灣，根據國家災害防救科技中心 NCDR 災情統計，有關道路災情方面，省道有 79 災點、縣道有 57 災點；橋梁災情方面，共計 196 座損毀包括橋面版流失、橋面版位移及變形、橋面傾斜、橋墩沖毀、受土石流淹沒等；至於高雄縣甲仙鄉小林村 170 戶平靜山村，則於 2009 年 8 月 9 日清晨因獻肚山深達 84 公尺的深層崩塌，與緊接而來旗山溪堰塞湖潰決，一瞬間自地球消失，震撼國際。

交通部公路總局痛定思痛，即著手建置「公路防救災 GIS 決策支援系統」，該系統從「雲端概念」出發，以 Google Earth 虛擬地球儀，來整合各政府機關「山水路橋人災」等地理資訊圖資於共同展示平台，我們深刻體認到防救災的關鍵在資訊戰，且為了因應氣候變遷下的極端強降雨事件，與隨之而來的複合型災害，各機關權管之各項災害預警資訊必須整合，本系統現已是本局暨所屬各區養護工程處（含 32 個工務段）防汛期間公路防救災之效率工具。

* 交通部公路總局救災指揮中心正工程司，前臺北市政府產業發展局專員

二、開架式系統

本系統之概念模式（conceptual model）為開放式藍圖（詳圖 1），係以綜合流域治理觀念，從上而下蒐集情資，山、水、路、橋、人、災等六項為第一層，再逐層往下切割堆疊，其中之靜態圖資如流域、水系、易淹水地區、淹水潛勢區域、土石流潛勢溪流圖、疏散避難圖、堰塞湖位置.....等，係取得 ArcGIS 的 SHP 檔再轉換成 KML 檔使用；動態資訊如衛星雲圖、雷達回波圖、累積雨量圖、即時雨量觀測、定量降水預報係介接自中央氣象局，土石流黃色警戒、紅色警戒係介接自水土保持局土石流防災應變系統，水位觀測、水庫水情係介接自水利署防災資訊服務網等網路服務。此外，本系統還介接了全球即時地震（USGS）與全球即時颶風（Hurricanes - Live positions），其中也提供臺灣相關資訊。

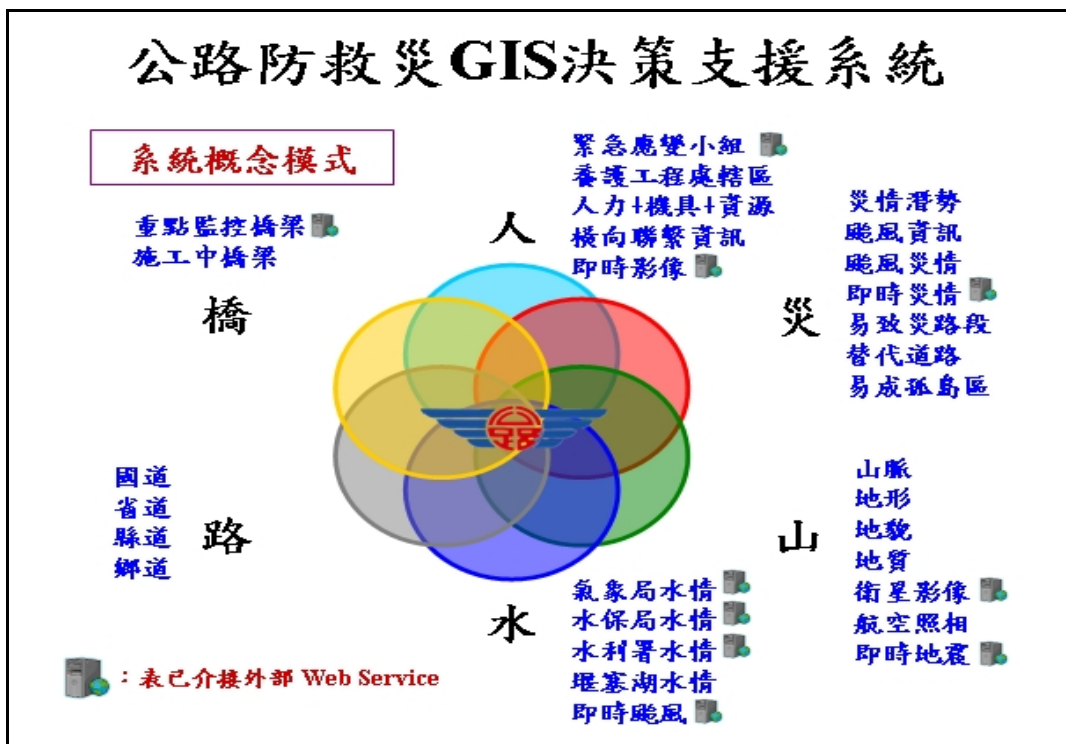


圖 1. 系統概念模式

至於，各級道路路網係取自交通部運輸研究所，而公路即時災情之後台為運研所公路防救災資訊系統 Bobe，完整的系統圖層索引詳如表 1，使用者可以把前述圖層索引表當作 Window「檔案總管」來使用，每一個圖層就是資料夾，開啓、關閉、新增、刪除、更名、移動資料夾都輕而易舉；由於每一種圖層都是單一獨立的模組（module），因此，你可以照自己的習慣或喜好，任意重組圖層架構，這好比在玩 LEGO 樂高積木一般，愛怎麼組裝就怎麼組裝，是非常使用者導向（user-friendly）的一個系統。或者，你可以把個別圖層當作是電子郵件、或手機的聯絡人，你可以自由規劃群組與通訊錄。

表 1. 系統圖層索引

公路防救災GIS決策支援系統圖層索引表					
第一層	第二層	第三層	圖資來源	資料更新	分級管制
LOGO	-	-	-	-	-
山	台灣地圖(含路網)	全部	公路總局	靜態	公開資訊(加註來源)
	五大山脈	全部	台大何燦群	靜態	公開資訊(加註來源)
	斷層	全部	中央地質調查所	靜態	公開資訊(加註來源)
	百岳	全部	台大何燦群	靜態	公開資訊(加註來源)
	福衛二號影像(莫拉克災後)	全部	國家太空中心 成大福衛二號快速應變團隊	靜態	限防救災業務使用
	即時地震(全球)	全部	USGS,美國地質調查所	動態即時	公開資訊(加註來源)
水	氣象局	累積雨量圖	中央氣象局	動態即時	公開資訊(加註來源)
		衛星雲圖			
		定量降水預報			
		雷達回波圖			
		雨量			
	水保局	土石流潛勢溪流圖	水土保持局	靜態	公開資訊(加註來源)
		疏散避難圖		靜態	公開資訊(加註來源)
		土石流觀測站		靜態	公開資訊(加註來源)
		土石流黃色警戒		動態即時	公開資訊(加註來源)
		土石流紅色警戒		動態即時	公開資訊(加註來源)
		土石流保全對象		靜態	限防救災業務使用
	水利署	各河川局管轄範圍	水利署	靜態	公開資訊(加註來源)
		流域資訊		靜態	公開資訊(加註來源)
		水位站		動態即時	公開資訊(加註來源)
		流系		靜態	公開資訊(加註來源)
		水庫		動態即時	公開資訊(加註來源)
		易淹水地區		靜態	公開資訊(加註來源)
		嚴重地層下陷地區		靜態	公開資訊(加註來源)
淹水潛勢區域	靜態	公開資訊(加註來源)			
堰塞湖(莫拉克災中)	全部	林務局	靜態	限防救災業務使用	
陶塞溪堰塞湖位置與影響地點	全部	林務局	靜態	限防救災業務使用	
即時颶風(全球)	全部	NASA,美國太空總署	動態即時	公開資訊(加註來源)	
路	國道	全部	交通部運輸研究所 Google公司	靜態	公開資訊(加註來源)
	省道	全部	交通部運輸研究所 Google公司	靜態	公開資訊(加註來源)
	縣道	全部	交通部運輸研究所 Google公司	靜態	公開資訊(加註來源)
	鄉道	全部	交通部運輸研究所	靜態	公開資訊(加註來源)
	重點監控橋梁	全部	公路防救災資訊系統	動態即時	限防救災業務使用
橋	重點監控橋梁說明	全部	公路總局	靜態	公開資訊(加註來源)
	封橋封路標準作業程序	全部	公路總局	靜態	公開資訊(加註來源)
	施工中橋梁	全部	公路總局	靜態	公開資訊(加註來源)
	緊急應變小組	全部	公路防救災資訊系統	動態即時	限防救災業務使用
人	養護工程處轄區	全部	公路總局	靜態	公開資訊(加註來源)
	人力+機具+資源	全部	公路防救災資訊系統	動態即時	限防救災業務使用
	橫向聯繫資訊	行政單位	公路總局	靜態	限防救災業務使用
		村里長(幹事)	公路總局	靜態	限防救災業務使用
		醫院	健保局	靜態	公開資訊(加註來源)
		派出所	交通路網數值地圖	靜態	公開資訊(加註來源)
		消防隊	交通路網數值地圖	靜態	公開資訊(加註來源)
	縣市界圖層	加油站	交通路網數值地圖	靜態	公開資訊(加註來源)
		全部	交通路網數值地圖	靜態	公開資訊(加註來源)
		國道路況	高公局網站	動態即時	公開資訊(加註來源)
		省道路況	公路總局網站	動態即時	公開資訊(加註來源)
	即時影像	縣道路況	公路總局網站	動態即時	公開資訊(加註來源)
		土石流監看攝影機	農委會土石流防災資訊網	動態即時	公開資訊(加註來源)
邊坡監測		中央地質調查所 青山工程顧問公司網站	動態即時	公開資訊(加註來源)	
水利署監視影像中心		水利署	動態即時	公開資訊(加註來源)	
颶風路徑與災情潛勢		全部	國家災害防救科技中心	靜態	限防救災業務使用
災	歷史颶風資訊	全部	中央氣象局	靜態	公開資訊(加註來源)
	歷史颶風災情	全部	公路防救災資訊系統	靜態	限防救災業務使用
	即時災情	全部	公路防救災資訊系統	動態即時	限防救災業務使用
	易致災路段	全部	公路總局	靜態	限防救災業務使用
	替代道路	全部	公路總局	靜態	限防救災業務使用
	易形成孤島區域	全部	公路總局	靜態	限防救災業務使用
	道路中斷影響村里	全部	國家災害防救科技中心	靜態	限防救災業務使用
	系統聯絡資訊	全部	公路總局	靜態	公開資訊(加註來源)
系統資訊	版本更新內容	全部	公路總局	靜態	公開資訊(加註來源)
	系統使用說明	全部	公路總局	靜態	公開資訊(加註來源)
	GIS決策支援系統檢覈聯絡窗口	全部	公路總局	靜態	限防救災業務使用

三、一站式資訊服務

總統在莫拉克風災過後曾指示：災害有時非人力所能抗拒，要懂得避災、離災，防救災工作要料敵從寬、禦敵從嚴、超前部署、預置兵力、隨時防救。以九九年九月九日莫蘭蒂颱風來襲為例，公路總局應變小組始終全神注視各國颱風路徑預測，在當天下午三點鐘，台東縣知本測站單日累積雨量已達 289 釐米，颱風從先前的遲滯轉而偏北，該縣已發布 28 條土石流黃色警戒、2 條紅色警戒，省道台 20 線利稻鋼便橋已封閉、台 23 線東河鄉北源村已發生路基缺口達 20 公尺之災情，未來 12~24 小時降雨預測，仍將集中在臺灣東部、南部（詳圖 2），有關前述各項地理資訊，本系統可提供一站式服務（One-stop Services），好讓指揮官能掌握狀況、預為因應。

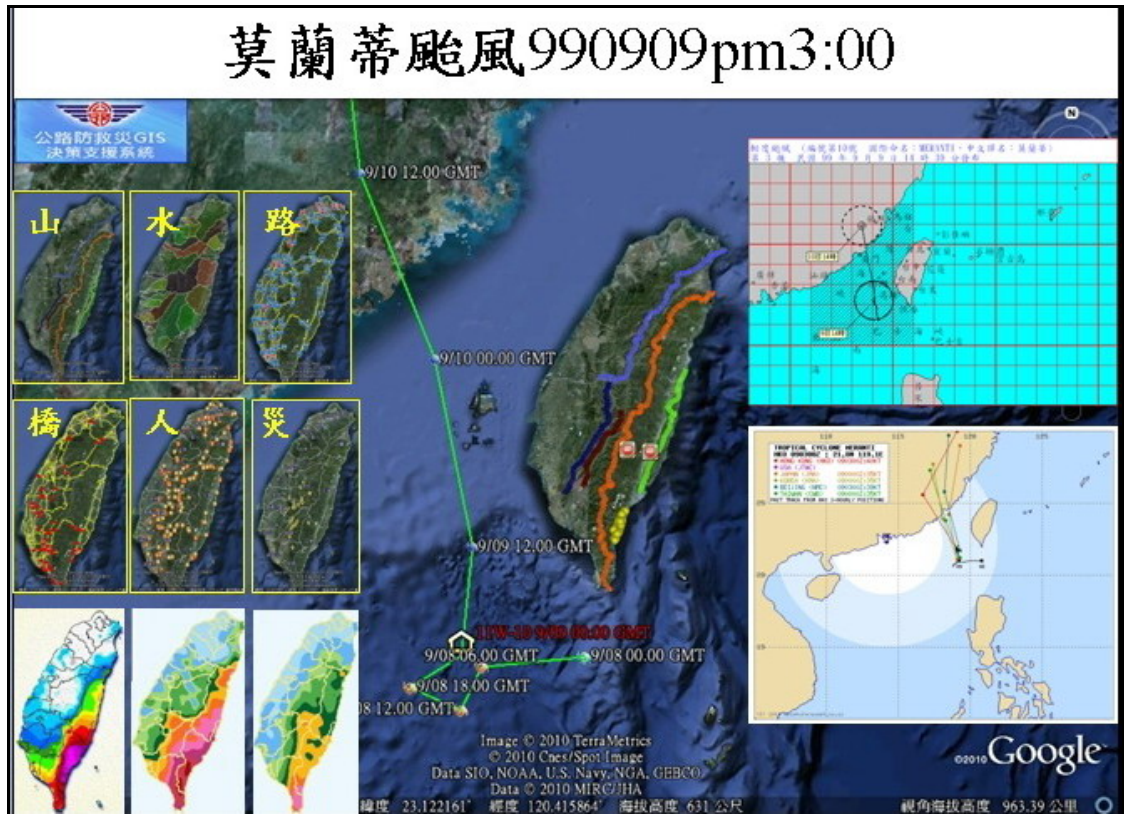


圖 2. 莫蘭蒂颱風災中情資研判

本系統以「流域」觀點，引進國家災害科技中心對各種颱風路徑與省道災情潛勢之關連性圖資（詳圖 3），發現莫蘭蒂颱風似為先走路徑 5，再轉路徑 7。若如此，省道台 20 線屬於紅色高風險，果然利稻鋼便橋有災情發生（詳圖 4）；至於，省道台 9 線南迴路段屬於黃色中度風險到藍色低風險，此時，水保局土石流防災中心也已發布了 30 條土石流警戒。另值得一提，利稻鋼便橋位處台東縣海端鄉，係莫拉克風災後列管 33 處易致災路段之一，關山工務段預警性封閉係 9 月 9 日上午 8:50，並在 9:30 實際封橋，颱風海上陸上颱風警報係 10:00 發布，足徵用路人安全是本局最優先之考量。

NCDR 颱風路徑與省道災情潛勢

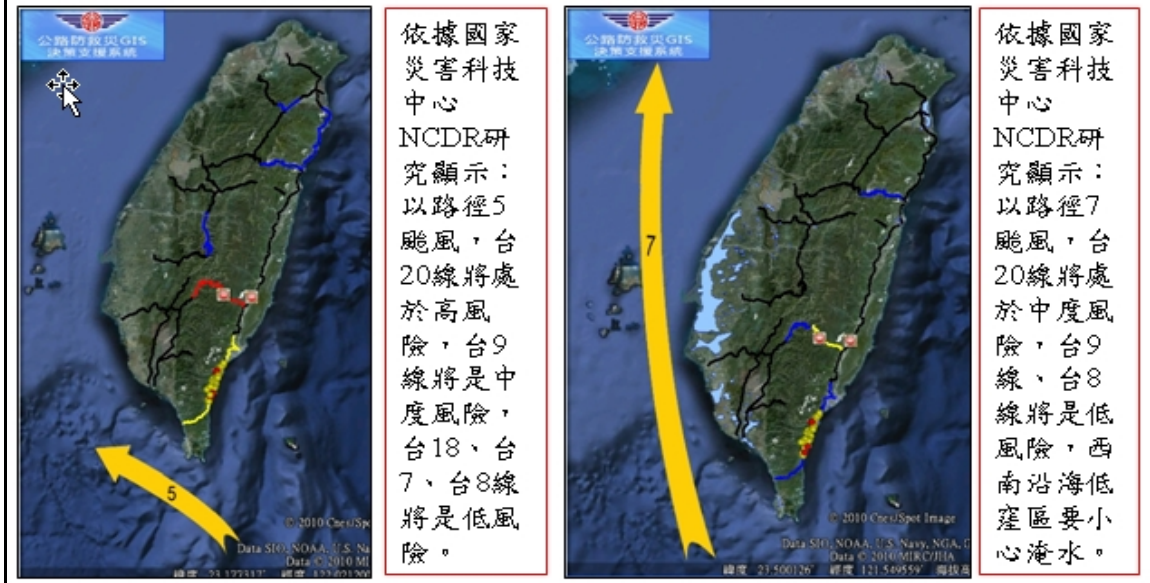


圖 3. 不同颱風路徑與省道災情潛勢

莫蘭蒂颱風 990909pm3:00

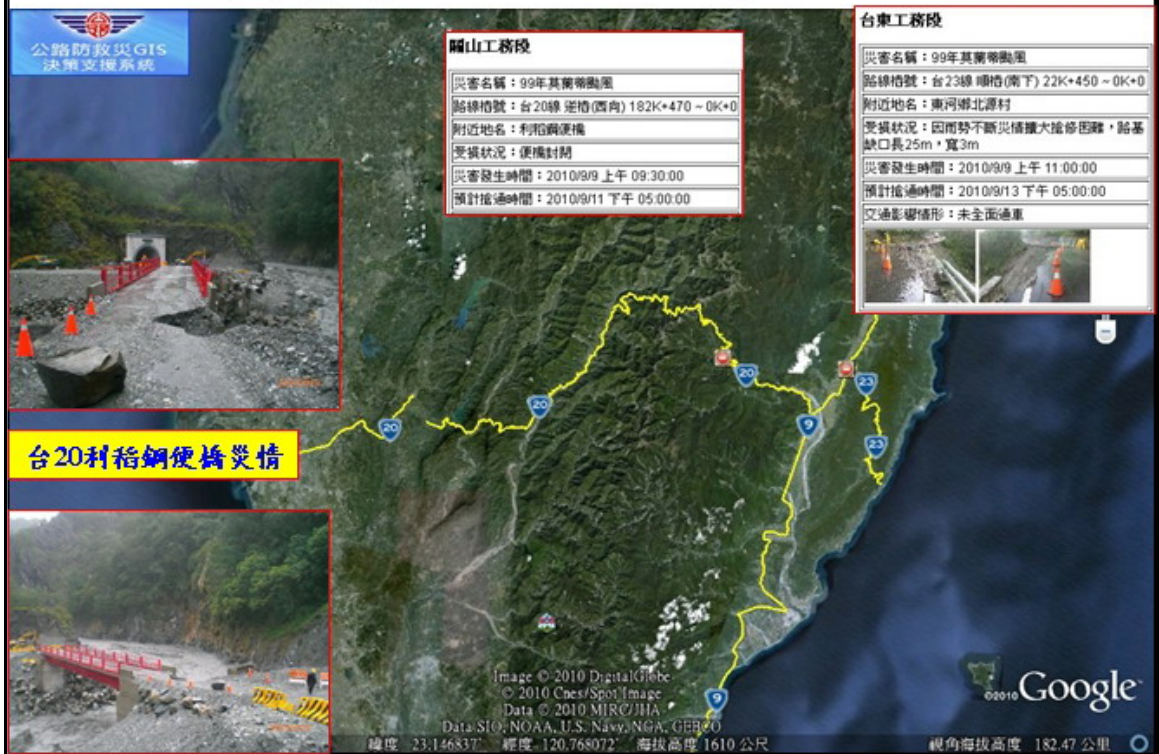


圖 4. 省道台 20、台 23 線災情通報

四、掌握水情災情

隨著颱風轉進水情災情亦不斷變化，到下午 6 點以後，土石流警戒已從三個小時前的 28 黃 2 紅，一變而成 3 縣市 11 鄉鎮 42 村里共有 86 條土石流黃色警戒，台東縣 4 鄉鎮 8 村里已發布 16 條土石流紅色警戒；至於公路災情，也新增了省道台 20 線於高雄縣勤和至復興的溪底便道涵管沖毀，還有台 24 線於屏東縣三地門鄉與霧台鄉交界處的伊拉橋溪底便橋沖毀。至於，警戒流域也從卑南河流域，再增加高屏溪流域、曾文溪流域、東港溪流域、四重溪流域（詳圖 5）。

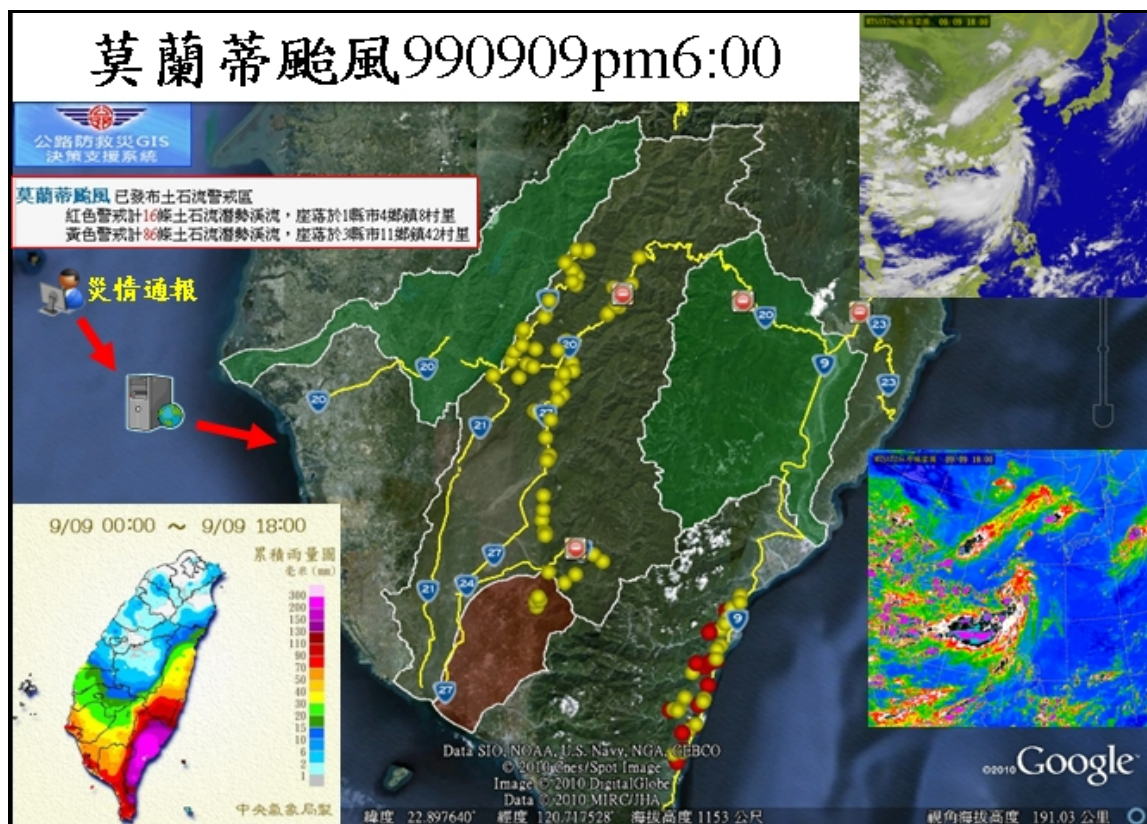


圖 5. 公路災情通報與土石流警戒

特別值得注意的是台 24 線伊拉橋溪底便道的沖毀，由於沒有替代道路，已造成屏東縣霧台鄉吉露村、霧台村、阿禮村變成孤島，原本受影響人口戶數應為 530 戶 1739 人，惟颱風來襲前由於許多村民已經辦理遷出，故實際受影響人口已大幅降低至約 250 人（詳圖 6），而潮州工務段於風雨中已開始搶修，預計 9 月 12 日搶通。由於溪底便道抗災能力較弱，從中央氣象局發布颱風警報到便道沖毀，前後不過 8 小時，應變時間並不多，足見「自主性」與「預防性」的疏散撤離非常重要。中央與地方政府應該通力合作，對於高災害潛勢地區應落實 總統「避災、離災」之指導原則。



圖 6. 孤島災情通報



圖 7. 水庫洩洪通報

此外，使用本系統時請特別注意，各項即時水情與災情訊息並不會自動更新數據畫面，必須由 user 利用 Google Earth 側欄，在資料夾上（例如水庫）點擊滑鼠右鍵，從彈跳視窗中去作「重新整理」動作，舉例莫蘭蒂颱風於 9 月 9 日下午 6 點，由於恆春半島持續豪雨，四重溪上游的牡丹水庫水位上升至 138.96 公尺（滿水位 142 公尺），已開始作調節性洩洪，下游的縣道 199 及屏東縣車城鄉應該警戒（詳圖 7），若 user 忘了作重新整理，系統畫面將停滯不變。至於未來將嘗試撰寫若干 API 應用程式介面，讓系統於一定時間間隔後，「自動」去後台資料庫下載資訊，經處理後於前台顯示畫面。

五、重點監控路橋

目前本局轄管有 58 座重點監控橋梁，已訂有警戒水位與警戒雨量，一旦情況有變，運研所的臺灣地區橋梁管理資訊系統便會自動傳送簡訊通知守橋人員作必要處置；而莫拉克風災過後，分布在濁水溪、八掌溪、曾文溪、高屏溪、卑南溪等重點警戒流域裡，有 33 處易致災路段，也訂有上游雨量站或水位站之警戒值與行動值。舉例跨越北隘寮溪的台 24 線伊拉橋溪底便道，其參考雨量站係上游的阿禮站，其警戒基準值為時雨量 15 釐米、或 24 小時累積雨量 30 釐米、或水位達涵管便道 3/4 時；其行動基準值為時雨量 20 釐米、或 24 小時累積雨量 60 釐米、或水位達涵管便道頂時（圖 8），該溪底便道 24 小時有派員看守。

今年 9 月 1 日臺灣本島附近有萊羅克、南修、康伯斯等三颱風伺、情況詭譎，因得知中央氣象局即將發布萊羅克陸上颱風警報，故本局第三區養護工程處潮州工務段，已啟動封路封橋預警機制，上午 0 時 6 分時先以簡訊通報霧台鄉長、三地門鄉長、瑪家鄉長、村長、村幹事、民政課長、社會課長、警政單位分局長、分駐所長、消防單位.....等 50 人。



圖 8. 台 24 線伊拉橋溪底便道應變機制

表 2. 潮州工務段伊拉橋溪底便道應變紀錄

990901 萊羅克颱風省道台 24 線伊拉橋溪底便道應變表	
通報時間	簡訊內容
2010/9/1 00:06	氣象局預計 09010230 發布陸上颱風警報台 24 線伊拉橋溪底便道已啟動警戒機制，請依權責啟動後續應變作為，潮州段許通盛 0928-353602
2010/9/1 00:13	氣象局預計 09010230 發布陸上颱風警報台 24 線溪底便道已啟動警戒機制，請依權責啟動後續應變作為，潮州段許通盛 0928-353602
2010/9/1 07:22	09010720 台 24 線 32k+890 溪底便道涵管水位已達 3/4 封閉警戒值，請依權責啟動後續應變作為，潮州段許通盛 0928-353602
2010/9/1 07:58	目前水位已達滿管本段於 09010800 封閉台 24 線伊拉橋溪底便道，請依權責啟動後續應變作為，潮州段許通盛 0928-353602
2010/9/1 07:59	目前水位已達滿管本段於 09010800 封閉台 24 線伊拉橋溪底便道，請依權責啟動後續應變作為，潮州段許通盛 0928-353602
2010/9/1 10:10	台 24 線伊拉橋溪底便道因河水暴漲，溪底便道 09011000 沖毀，持續封閉，預計 09051800 搶通，潮州段許通盛 0928-353602

當日上午 7 時 22 分時，經觀察上游雨量站累積雨量雖未達警戒值，但現場涵管水位已達 3/4 警戒值，潮州段隨即發布封閉警戒簡訊，至上午 8 時，便道涵管水位已達滿管，遂立即依應變基準封閉並發布封閉簡訊，至上午 10 時許，便道即被沖毀。有關本次應變作為，其原始簡訊傳送時間與內容已自公路防救災資訊系統中下載，並經整理詳如表 2，從發布颱風警報到便道沖毀歷時約 8 小時，所幸工務段應變得宜，並沒有任何人員傷亡。

此外，施工中橋梁，本局也非常重視其防汛準備，已比照重點監控橋梁模式，建置 GIS 資訊（詳如圖 9），各區養護工程處、新工工程處第一線人員於颱風防汛期間，將嚴密觀察水情，必要時將採取各項應變措施，以避免人員傷亡。以上預警應變作為須由守路守橋人員反覆演練，對於各項警戒基準值與行動基準值於每次颱風過後，亦應進行檢討與修正，若一切運作得宜，才能發揮預警效果，惟尚未足以視為「預警系統」。



圖 9. 施工中橋梁防汛期間應變作為

六、合縱連橫 運用科技

防救災無法單打獨鬥，2010 年 8 月間由本局救災指揮中心邀請水土保持局土石流防災中心、經濟部水利署水利防災中心，針對「防救災 GIS 系統資訊交流與整合」召開會議，並獲得共識：「基於共同推動防救災業務，與會各單位同意在遵守國家機密保護法、個人資料保護法，有分級管制等原則下，循行政程序交換防災資訊與圖資，並加強橫向聯繫，以利保護國人生命財產之安全」。

此外，本系統中已載入行政單位、村里長（幹事）、災害緊急應變小組（應變中心）聯繫電話等資訊，至於醫院、派出所、消防隊、加油站的 GPS 位置與名稱、地址、電話、所在鄉鎮市等屬性描述也儘量齊全。

災後等風雨過去，應儘速取得災區衛星影像、航空照相、或其他空中載具所攝影像，並作超大貼圖 Super-Overlay，將有助於災情規模研判、致災原因探討、動員救災、災後復建等工作。感謝成功大學福衛二號快速應變團隊提供 web 超連結，再結合 Google Earth 高度剖面工具，可以印證日本 NHK 組團的 17 位專家，研判小林村是毀於深達 84 公尺的深層崩塌與旗山溪堰塞湖潰決，應該所言不虛（詳如圖 10）。

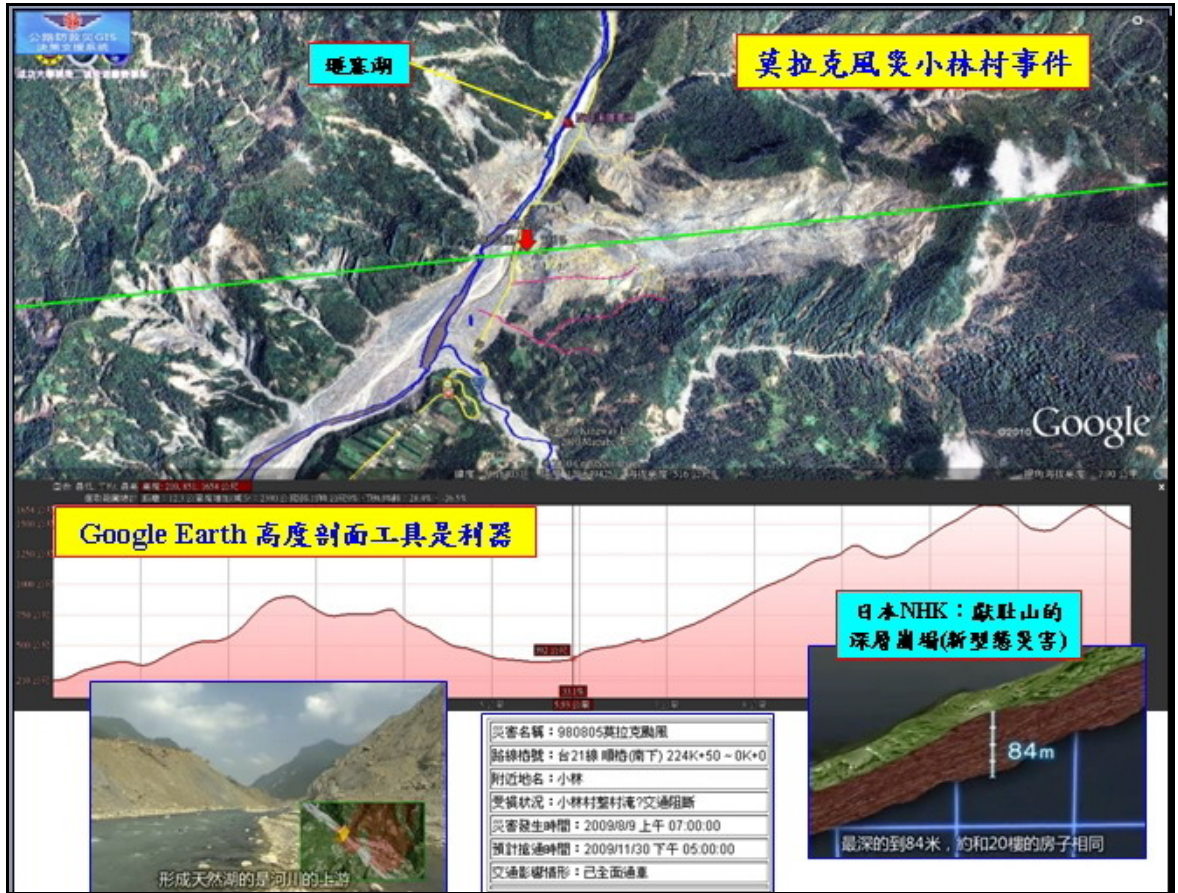


圖 10. 日本 NHK 專題～深層崩塌之襲擊

七、測不準原理

在量子力學裡，有一個定理叫「測不準原理」，又叫「不確定性原理」，若借用這個原理來看防救災，其實也相當適切，而本系統之不確定性略如下：

- (一) 氣象資料由中央氣象局直接提供，雨量站資料約 10 分鐘會更新一次，但並非每個雨量站都會等時間間隔提供，部份時段可能會有資料未更新之情形。
- (二) 水情資料由水利署直接提供，水位站資料約 10 分鐘會更新一次，但因每個水位站的資料傳輸設備不同，故並非每個水位站都可以於固定時間提供資訊，因此部份水位站的資料間隔會超過 10 分鐘。此外，水庫資料係由水庫管理人員，依水庫管理作業程序鍵入洩洪資訊，因此未洩洪期間，水庫資訊可能是空白。
- (三) 本系統之即時觀測資料，係介接自各機關所提供的網路服務，未再做任何檢覈或校驗。此外，有關公路即時災情部分，由於幅員遼闊，所有災情必須在勘災確認後，才能至公路防救災資訊系統作通報，故會有時間差存在。

(四) 有關重點監控橋梁與易致災路段的上游參考雨量站，其擇定是否允當，尚待一次又一次颱風來檢定；此外，由於雨量站在空間上並非均勻分布，且河川級序、集水分區、地形效應等因素並未掌握，加上雨量、流量、水位三者間之關係也未率定，整個系統實未能做到「早期預警」。

未來，縱然上開問題全獲解決，然而，天有不測風雲，防救災工作的挑戰依然嚴峻。以去年莫拉克颱風為例，省道台 24 線在屏東縣霧台鄉吉露村附近，原本對這個路段威脅最大的應該是編號 DF001 的土石流潛勢溪流，不過，事實上影響最大的卻是「強降雨」所造成的大規模邊坡崩塌（詳如圖 11）。

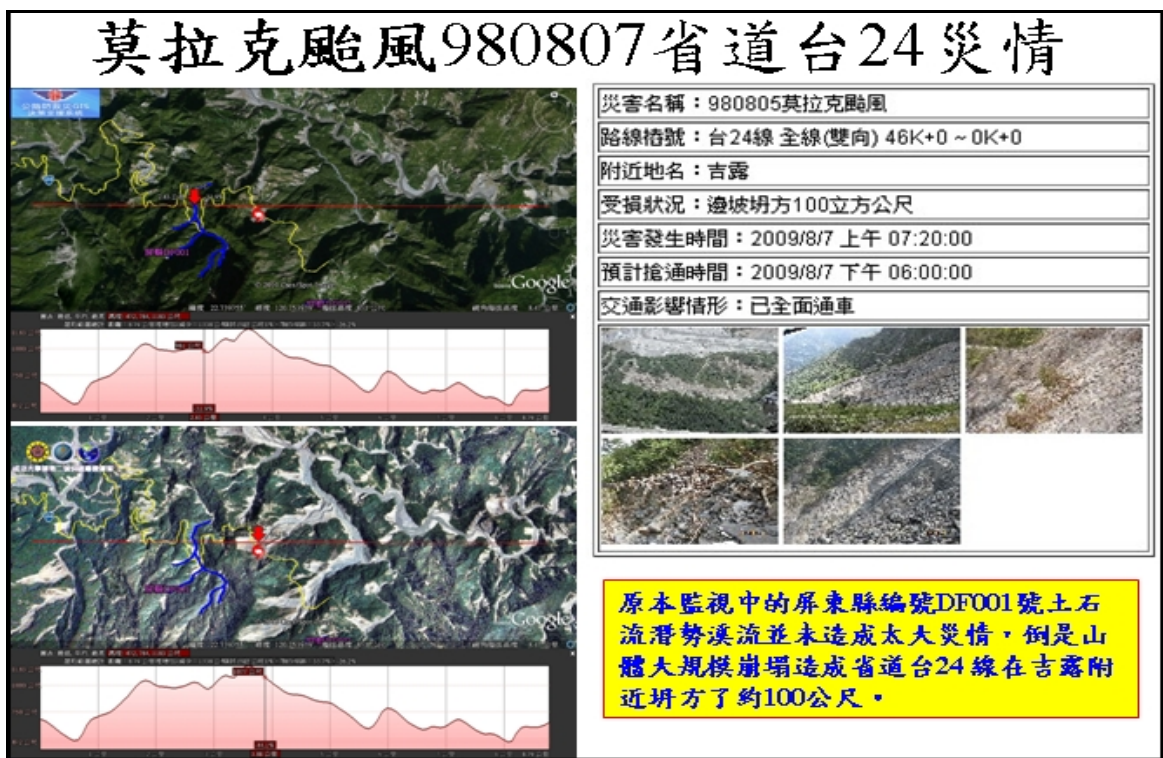


圖 11. 強降雨造成省道台 24 線邊坡崩塌

此外，莫拉克颱風的強降雨所引發的土石流與邊坡崩塌，除了在小林村附近形成堰塞湖外，在旗山溪更上游處也形成另一處堰塞湖，距離下游高雄縣那瑪夏鄉民生村的保全對象約 7 公里，一旦上游地區持續降雨，地方政府縱然這時候想進行疏散，恐怕風雨交加中也不容易辦到。另外，台東縣太麻里溪上游包盛社的堰塞湖，當時也十足威脅了下游金峰鄉與太麻里鄉的安危（詳如圖 12）。

然而，莫拉克風災會是臺灣最後一次的極端水文事件嗎？恐怕多數人的答案會是否定的。甚至有不少學者專家曾表示，極端氣候災害有常態化的趨勢，這是危言聳聽嗎？如果成真？那麼，防救災的新思惟是什麼？

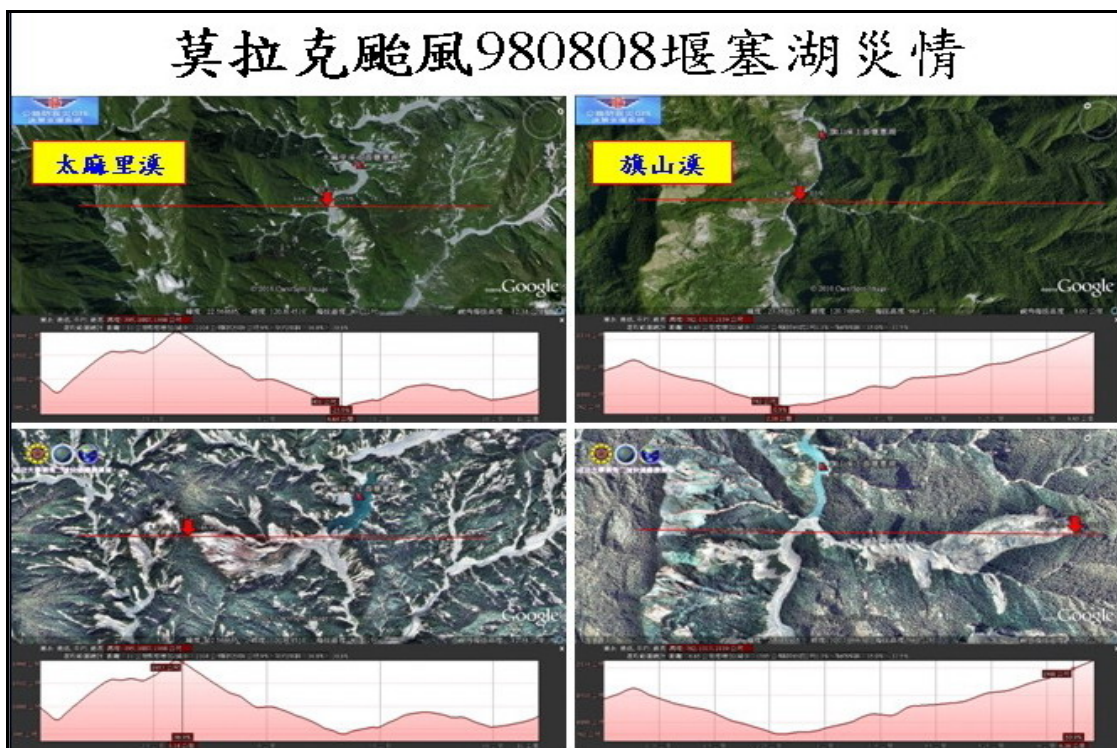


圖 12. 強降雨造成坡崩塌並形成堰塞湖

八、結論與建議～新思惟

莫蘭蒂颱風已於 990910am10:00 解除海上陸上颱風警報，局長一直帶領大家「守住」路橋(詳如圖 13)，所幸未造成嚴重災情。本系統自 99 年建置以來，已歷經 0523、0528、0726 等三次豪雨災情，與南修、萊羅克、莫蘭蒂等三次颱風考驗，目前本系統尚處發展初期，比較像是資訊整合平台，未來將朝結合運算模組、圖層分析模組等方向發展；此外，尚須取得或介接地形、流域地質、地質災害潛勢、莫拉克災後崩場地分布等圖資，並期盼能有更多協作者參與建構此系統；最後，發展成 PPGIS 公眾參與式之地理資訊系統，讓政府與民間有一個溝通對話的平台，所以，要走的路還很遠。

此外，公路建設營運的四環節「規劃」、「新建」、「養護」與「防救災」，環環相扣，上位規劃若未能考慮全球暖化、氣候變遷、強降雨增強、新型態災害、複合型災害....等新因素，問題就會不斷往後送，讓最後一道關卡，屬於下位的防救災去防守。長此以往，能持續「守住」嗎？現在應該已是時候，該從思惟、政策、組織、法令、規範、標準作業程序、地理資訊系統、人力規劃與調度.....一起檢視並迅速調整。



圖 13. 局長坐鎮災害應變中心與視訊會議

九、參考文獻

1. 陳守強 (2007), 坡地管理好幫手 Google Earth, 臺北產經季刊 2007 年冬季號, 第 85~90 頁。
2. 陳守強 (2009), 臺北市山坡地空間管理 Taipei Earth 服務系統, 97 年度臺北市政府創意提案會報成果彙編, 第 6~9 頁。
3. 陳守強 (2010), 試建立 Safe Taipei 防救災資訊整合平台, 中華道路第 49 卷第 2 期, 第 61~72 頁。
4. 陳守強 (2010), 交通部公路總局「公路防救災 GIS 決策支援系統」, 行政院主計處政府機關資訊通報第 275 期, 第 3~8 頁。
5. 陳守強 (2010), 電腦與我, 交通部部務會報第 1424 次會議紀錄, 第 81~82 頁。
6. 國家災害防救科技中心, <http://map2.ncdr.nat.gov.tw/morakot/index.htm>, 莫拉克災害專區。
7. 日本 NHK 電視台, <http://www.nhk.or.jp/special/onair/100627.html>, 八八莫拉克風災~深層崩壞之襲擊。
8. 中央氣象局, <http://www.cwb.gov.tw/V6/index.htm>, 氣象服務網。
9. 水土保持局, <http://246.swcb.gov.tw/default-4.asp>, 土石流防災資訊網。
10. 經濟部水利署, http://fhy.wra.gov.tw/Pub_Web/index.aspx, 防災資訊服務網。
11. 交通部運輸研究所, <http://bobe.thb.gov.tw/>, 公路防救災資訊系統。
12. Integrated Multi-Agency Tropical Cyclone Forecast (Western North Pacific and South China Sea), <http://asiatcforecast.co.cc/>, 整合多機構熱帶氣旋預測。

從施工觀點論公路橋梁設計審查注意事項

陳進發*

摘要

本文主要係以公部門主管橋梁之立場，由橋梁施工經驗回饋於規劃設計階段宜考量之重點工項，避免不當之設計原則造成惡性循環，間接使下部結構之過度設計合理化而造成浪費及施工困難與工期加長，爰此，本文由橋梁設計、上部結構、下部結構從設計與施工交互驗證說明審查重點事項。

壹、橋梁設計

一、連續梁橋設計機制

以多跨連續橋梁為例，建構一振動單元分析模型係設計者於設計原則階段必需與審查者充份溝通之關鍵課題，主要原因為該模型涉及決定橋梁跨徑、支承型式配置、落墩位置、柱高等設計條件，間接影響日後設計之合理性考量，例如支承配置不當致溫度變化控制橋柱斷面作用彎距、支承變位導致未預期之應力行為、落墩不當致長短柱效應造成短柱承受過大的集中水平地震力...等。爰此，欲檢討預力梁設計常有之錯誤，則必需先行了解其設計機制與規範規定之精神。

(一) 振動單元分析模型

公路總局經辦之橋梁可分為陸上橋與跨河橋兩種，其中以三至五跨連續橋設計最多，七跨以上之連續橋因伸縮量及溫度變化之考量，較少採用。本文以五跨連續之振動單元模型說明其設計機制。

如圖 1，審查者須認知 1.多跨連續梁兩端因為溫度伸縮緣故必須配置活動支承。2.下構部份，墩柱與基礎若為固接，柱底可產生塑鉸（或彈性地震力），且結構模擬時應考量土壤互制，設置彈簧支承。其餘有關上構支承型式、各墩柱高度、各跨跨徑長度均係可與設計者就地形關係、耐震設計需求、合理設計充份溝通討論。以下謹先行介紹其設計機制。

*公路總局局長室正工程司

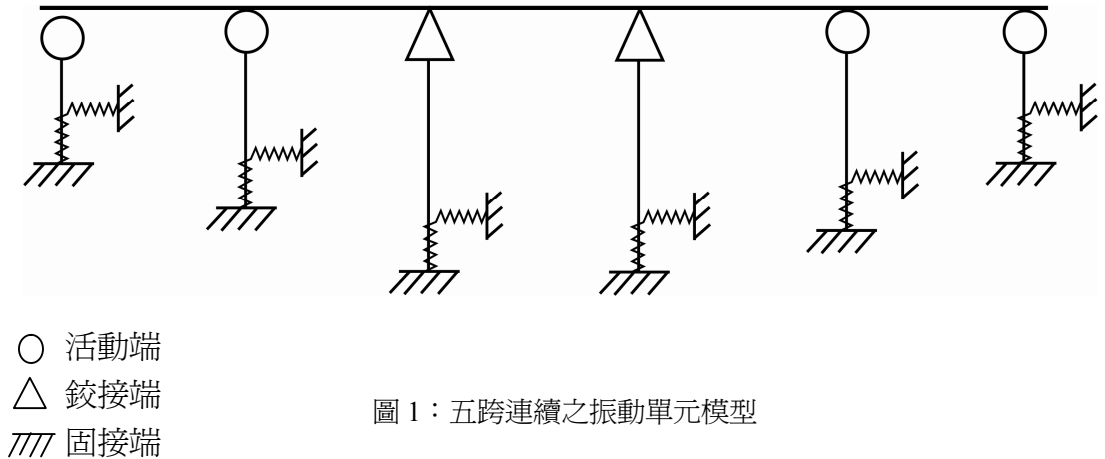


圖 1：五跨連續之振動單元模型

橋梁上構之載重組合依「公路橋梁設計規範」第二章及「公路橋梁耐震設計規範」第四章辦理，約有十餘種組合，現行計算軟體均已考量其各種組合之計算，審查者無須刻意檢核，必須特別請設計者說明的是何種組合控制設計，以利判斷該振動單元模型是否合理。橋梁活載重經由橋面版傳遞至主梁，主梁型式如為箱梁則由勁度較大之腹版(箱梁底板相對受力甚小)傳至端隔梁，再由端隔梁依支承型式之不同下傳至墩柱頂部，於此階段支承之設計必須先了解規範，依耐震規範第 4.4 節規定：「固定支承之設計，其地震力引致之水平剪力，應依塑鉸產生後之支承水平力計算之」，換言之，規範係期望地震力作用下結構系統破壞於柱底(此觀點設計界仍存有爭議)。而墩柱頂部之作用力依各墩高度及斷面之不同下傳至柱底，此時通常是設計地震力控制(或溫度效應造成墩柱變位之作用力，二者取大值)，所以柱底主筋係依設計地震力($P_d = ZICW/1.2 \alpha_y F_U$)作用下設計，亦因如此，設計地震力係彈性地震力除以 1.2(超額強度比 P_U/P_y)及起始降伏地震力放大係數(α_y)與結構系統之韌性(F_U)，此即橋柱設計時鋼筋要求須可焊鋼筋之緣由，因為僅可焊鋼筋 CNS560 規定超額強度比須大於 1.25 以上。再者，耐震規範考量實際鋼筋混凝土之韌性容量，故柱底圍束鋼筋之設計係依 V_p ($V_p = M_p/H$, $M_p = 1.3M_n$, $M_n =$ 實際斷面及配筋量計算所得之抵抗彎矩, $H =$ 柱高)或 V_U (彈性地震力 $P_e = ZICW$ 作用下之剪力)最先到達者設計。於墩柱底部下傳至基礎之作用力，耐震規範規定須以柱底產生塑鉸後傳至基礎之作用力，惟此作用力，審查者必須了解塑鉸彎矩(M_p)係與柱斷面與柱底配筋量有直接關係，另塑鉸剪力(V_p)係塑鉸彎矩除以柱高，因此基礎(含基樁)設計即是以靜載重、塑鉸彎矩、塑鉸剪力為作用力計算所須規模及配筋。但是仍有特殊情況，例如因設計者超額設計配筋量($A_{S \text{ design}} \gg A_{S \text{ req.}}$)致塑鉸彎矩大於彈性地震力之作用彎矩(M_U)時，則以 M_U 、 V_U 設計基礎，此時基礎設計將變成非常不經濟。

同樣於垂直行車方向(橫向)，因結構行為之需求(橫向為強軸)支承於橫向須固定，故所有支承於橫向之設計若非固接即為鉸接，其設計機制為每一橋墩柱均會承受上構下傳之作用力。

(二) 設計常見錯誤態樣

1. 地面線未充份反應實際地形地貌致橋台、墩選位不當

以河谷地形為例，橋台位置研選不當，即造成陡峭山坡大挖大填，業主並且須負擔整治邊坡之大筆費用，對於日後養管單位之巡查維護亦是一大惡夢，以北部某工程為例，因橋梁落墩於坡址處，致施工時需臨時挖除坡趾施作基礎，其臨時擋土設施及監測儀器於連續豪雨過後，產生異常變位及應力變化，當時雖未持續惡化，且工程亦已完竣通車，惟數年後卻產生崩坍事故，檢討肇事成因，很難不連結到施工與設計。爰若非於初設階段前查明，一但進入細部設計，橋台位置想變更，對於設計者而言將造成相當大之困擾。因此審查者於初步設計階段宜謹慎檢核。而墩位研選不當，最常見之狀況係設計者為配合各跨跨徑一致，而落墩於深槽區，無形間造成開挖圍堰之費用暴增，且不利水理。另一狀況為落墩於堤防區，同樣對於破堤防護費用及將來之防護措施均會增加總工程費，審查者如能事先查覺，要求設計者調整跨徑配置，不僅節省大筆假設工程費用，施工亦容易。惟應如何事先查覺？以避免上述情況發生，可要求設計者於初設階段以前即行將橋台、墩基礎左、中、右三條地面線依實套繪於橋梁立面圖供審查者審核。

2. 橋型研選不當導致整體設計具爭議性

以某工程為例，因地方政府極力要求某跨河橋應設計為景觀橋，設計者不察，提報地方政府選擇之橋型未分析其可行性，以致地方政府決定採 RC 拱橋橋型，於設計階段時，因水理需求及大跨徑拱橋之梁底高程限制導致跨河段橋面須拉高 20 公尺，影響陸上段主線橋梁須一併拉高，整體縱坡形狀變成高低起伏之 M 形，亦增加相當龐大之工程經費與困難度。分析該案例，主要在於橋型方案未搭配縱斷研析，即先行決定橋型，屬於典型之錯誤態樣。另一案例，其橋型係選擇長跨徑變斷面箱型梁（懸臂工法施工），依設計者稱，長跨徑變斷面橋梁最能表現橋梁之美，惟實際施工完成，卻發現該座橋梁整體比例毫無美感且量體之大，感覺極為笨重，分析其原因，主要在於橋柱高度過短與跨徑比例不相稱，且柱頭梁深高達 6 公尺，整體感覺不僅無法表現變斷面之美，反而突顯柱頭塊之巨大量體。

3. 結構單元支承或柱斷面配置不當導致結構設計受溫度控制

任一橋梁結構單元於結構計算時，均須考量規範規定之載重組合，倘若臨界狀況非常態，則審查者應進一步了解係因何種配置引起，如能調整回歸常態，則工程經費將較合理。如若無法調整並非表示該單元配置不合理，而係審查者必須明確了解關鍵因素所在，落實審查制度，避免設計者設計浮濫。舉例而言，五跨連續橋梁如圖 1，若邊跨橋墩支承固定一墩，則總計固定三墩，此時如墩柱高度不高且柱斷面大，將因溫度效應橋梁伸縮造成墩柱變位，因柱斷面慣性矩大所造成之彎矩相對大至足以控制結構設計（註：因 $M=EI \delta / l^3$ ，若柱高 l 短且柱斷面 I 值大，柱頂些微變位 δ ，將導致彎矩大於設計地震力造成之作用彎矩），因此如非絕對必要應將支承放開一墩以活動支承設計，俾使橋梁設計回歸地震控制的常態而非溫度控制。另外墩柱高度亦不宜差異過大，以圖 1 為例，假設鉸接支承之中間二墩，因河谷地形以致墩柱一高一低差異過大，則整體振動單元分析，將造成短柱承受過大的集中水平地震力，長柱不受力，極為不合理，審查者應避免

此種設計定案。

貳、上部結構

橋梁上構係依據規範規定之各種載重組合計算成果取控制值設計，並且分為施工階段與服務階段，當然施工階段之設計必須搭配所選定之工法及施工順序各階段計算，以支撐先進工法為例，若一振動單元跨徑不對稱則順里程樁號推進與逆里程樁號推進其各跨推進施工預力計算結果並非一致，基本上，由小跨徑往大跨徑方向推進對於施工較有利。再以箱梁為例，因結構需求，於腹版配置預力鋼腱以抵消橋梁外力產生之彎矩，惟若二個箱室以上之大梁，則須特別注意側腹版施拉預力後之拱度與中間腹版施拉預力後之拱度若無法配合，橋面版常產生縱向裂縫，尤其以橋面寬度不大之情況為最，審查者應特別請設計者計算檢核。

一、設計機制

依規範規定之載重組合（含耐震設計規範）約有十餘種組合，其種類計可分為靜重、活重、衝擊荷重、風力、地震力及其他可能存在之作用力。其力學傳遞機制係由橋面版承受可能作用於其上之作用力，再依橋面支承之不同分為外懸臂橋面版與內跨橋面版，將作用力分佈於所支承之縱梁，就 I 型梁橋而言，縱梁亦可分為外縱梁與內縱梁，而設計者常忽略者為懸臂橋面版與外縱梁之結構行為，因為懸臂橋面版之作用力主要傳遞於外縱梁承受（註：就懸臂橋面版之輪重分佈係考量外縱梁與第一支內縱梁以簡支承計算分佈於外縱梁），而若其使用用途未予釐清，則可能產生設計不當情事。舉例說明，東部某一跨河橋梁，因橋梁橫斷面為與路工段銜接，於車道外側預留約 1.5 公尺之綠帶，惟若該綠帶將來因交通量之需求變更為車道時，則該懸臂橋面版之結構強度將因未考量活重分佈而產生裂縫，爰此，審查者應於設計階段即充份與執行單位溝通釐清將來可能之用途變更，俾維結構安全，一般而言，懸臂橋面版寬度以內縱梁間距之一半，最為恰當，上例之設計其內縱梁間距為 1.75 公尺，所以其懸臂版寬度最好介於 0.9 公尺左右較適宜。

縱梁藉由橫隔梁之加勁，將結構作用力傳遞於梁端橫梁（即端隔梁），再經由柱頂支承型式之不同傳遞至下構。因此相形比較之下，支承強度即顯得非常重要，惟一般於設計階段，設計者於該項著墨甚少，主要係認為該由材料廠商提出計算說明，此觀念不甚恰當，因有部份設計條件及設計需求，設計者並未註明清楚，致施工階段，監造單位亦不明瞭該審查那些項目，常就廠商所提資料審查，而忽略設計者將設計責任轉移至廠商之部份。

二、設計常見錯誤態樣

（一）預力梁錨碇區（端塊）補強筋設計

錨碇區之產生來自於所施拉預力自支壓板傳遞至大梁均勻分佈斷面之距離，因應力流之傳遞方向會產生橫向拉力，依據混凝土應力區分佈狀況，可分為局部區域（Local Zone）及一般區域（General Zone），局部區域係於支壓板後方沿載重軸方向之矩形錐體，主要是高壓應力之爆裂區

(應力常高達 500kg/cm^2 以上)其尺寸與所採用預力系統廠商所提供之端錨型式、尺寸、中心距、邊距及預力施拉階段之最大值有密切之關係，由於該區所受應力已超出預力混凝土起拉強度，因此必需有系統廠商採經荷重傳遞試驗合格之端錨搭配施工計畫計算所需之防爆鋼筋，以提高局部區域中混凝土之抗壓強度，否則於施拉預力時，混凝土常出現裂紋而導致失敗，因此局部區域之設計責任係由系統廠商所負責。

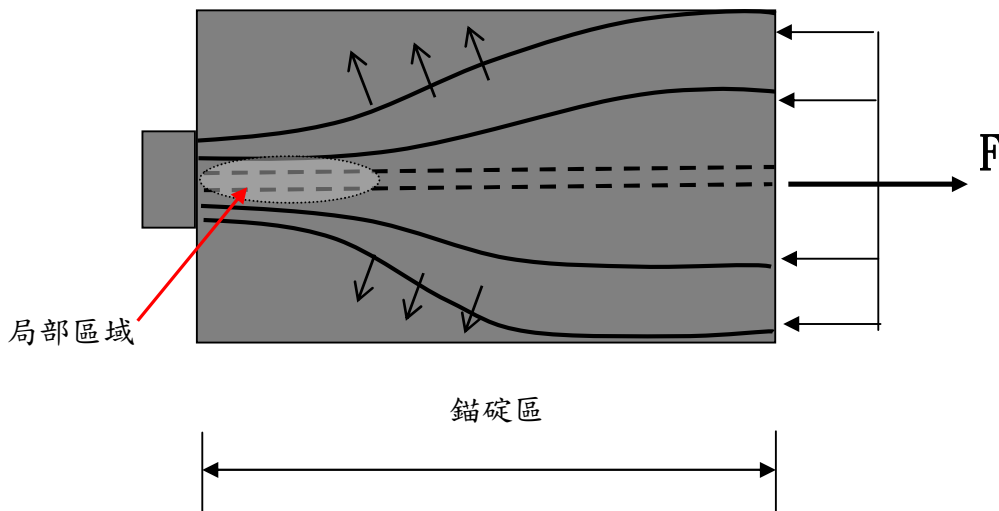


圖 2：預力梁錨碇區示意圖

另局部區域以外之一般區域，直接與鋼腱線形設計有關，其所產生之應力屬張應力，因此一般區域之配筋設計係由設計公司所負責。而設計者之錯誤觀念通常以為錨碇區均係由預力系統廠商負責設計，最後忽略一般區域配置拉力筋之重要性。以圖 3 為例，鋼腱因錨碇需要，導致曲線配置時，即有非正交軸之水平分量，對混凝土而言，即會產生拉應力，所以出現如下所示之六種拉力，爰設計者應設計對應此六種拉力之補強筋，錨碇區混凝土方不致產生裂縫。

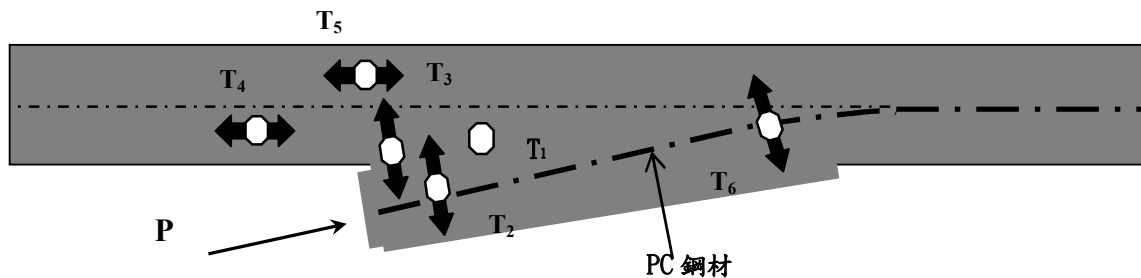


圖 3：鋼腱配置之混凝土應力分佈示意圖

既然局部區域之規模與所採用預力端錨規格有關，於設計階段設計者自然無法指定廠牌及端錨尺寸，而以功能及效益訂定，惟整體之結構安全責任決不能因此而將責任卸責予系統廠商，爰此，於設計圖說應再規定系統廠商之施工計畫書應經原設計公司之認可，而非業主，主要目的是由設計者檢核是否符合設計原意。綜上，歸納如下，局部區域由系統廠商設計，一般區域由設計公司設計，最後系統廠商之設計仍由設計者負責整合與檢核。

(二) 預力端錨錨錐體規格

依 90 年版部頒橋梁設計規範規定，錨碇裝置依其承壓規定之不同，可分為一般錨碇裝置與特殊錨碇裝置，以力學觀點而言，一般錨碇裝置可說是單一承壓面，亦即僅為一平面支壓板，而特殊錨碇裝置則為多重承壓面，主要功能在於分散混凝土壓力並縮小支壓板尺寸進而減小端塊量體。本節重點主要在於錨碇局部區域之承壓強度，採一般錨碇裝置者有效混凝土承壓強度部頒規範列有公式計算，採特殊錨碇裝置混凝土承壓強度則須由試驗驗證，並無法由公式計算。因此，目前公部門之施工技術規範一般均採所謂之型式檢驗。亦即指該系列產品之檢驗報告，計可分為靜載重試驗、荷重傳遞試驗、動載重試驗等，依產地國之規範其試驗種類與規定略有不同。於 96 年以前以歐洲之 FIP 試驗與美國 AASHTO 之試驗建議較受公部門接受，惟須特別注意其試驗規定之試體強度與所設計之混凝土起拉強度 (f_{ci}) 之關係，及試體尺寸與端錨最小中心距、邊距之關係，一般監造單位與系統廠商大都忽略此部份，導致型式檢驗報告不具代表性，尤其設計公司於受委託審核型式檢驗報告時，更應詳實檢核，如 FIP 建議荷重傳遞試驗規定達到破壞時混凝土試體的平均抗壓強度不可大於現場施加全部預力時混凝土的最小特徵抗壓強度之 1.3 倍及混凝土 28 天齡期的特徵抗壓強度之 0.95 倍。97 年以後本局已採 EOTA (European Organization for Technical Approvals) 之檢驗方式，於施工說明書內載明各項檢試驗頻率與標準。

因此對於錨錐體規格無須過度詳細規定其細部內容，只要符合試驗規定且設計之結構尺寸足夠容納 (該產品之最小中心距、邊距規定) 即可，通常設計者忽略此點，造成詳細規定其規格或一味抄襲舊例而限制公平競爭。另一重點則是未考量市售端錨最小中心距、邊距規定，造成錨碇區塊尺寸無法容納所設計之端錨數量。

(三) 隔梁設計

以箱梁為例，主要縱向力學桿件為腹版，因此於跨徑適當間隔配置有中隔梁連結各腹版以達加勁之效，而於梁端配置端隔梁更為重要，不僅係加勁梁腹版，更是橋梁單元所有應力傳遞至墩柱支承之重要桿件，依其設計機制，係以如圖 4 之振動單元模型分析計算，而實際端隔梁設計斷面之支承位置設計者通常會配置於梁腹版下方，以確保梁端支承無垂直向變位並符合所模擬之振動單元模型。以北區某工程為例，其橋梁為五跨連續三箱室箱梁結構，設計階段為考量橋下行車空間與淨高限制，以端隔梁取代墩柱帽梁，並向兩側各懸伸 2.4m 座落於墩柱支承，因其墩柱配置須考慮橋下行車空間，所以 22.8m 之橋面空間設計三墩，橫向跨徑 (墩柱間距) 為 10.2m，亦

因如此端隔梁支承位置遂無法依梁腹版位置配置，而原本三箱室箱梁有四根腹版，一般應配有四座支承，因無帽梁結構，亦縮減為三座支承，每一支承間距為 10.2m，如此之力學行為與上開之振動單元模型分析差異甚大，且端隔梁 22.8m 無設計橫向預力，最明顯則為梁端腹版處已有垂直向變位，而分析模型是無垂直向變位，連帶梁腹版之縱向預力（縱向）產生之縱向變位未予考量，導致端隔梁、腹版、底版均出現規則性裂縫，此即未考慮端隔梁與縱向箱梁諧和變位之故，因其變位行為相當複雜，如無把握設計者應儘量避免此種設計，尤其是無帽梁之結構設計，倘實無法避免亦應以 3D 模型分析較為保守。

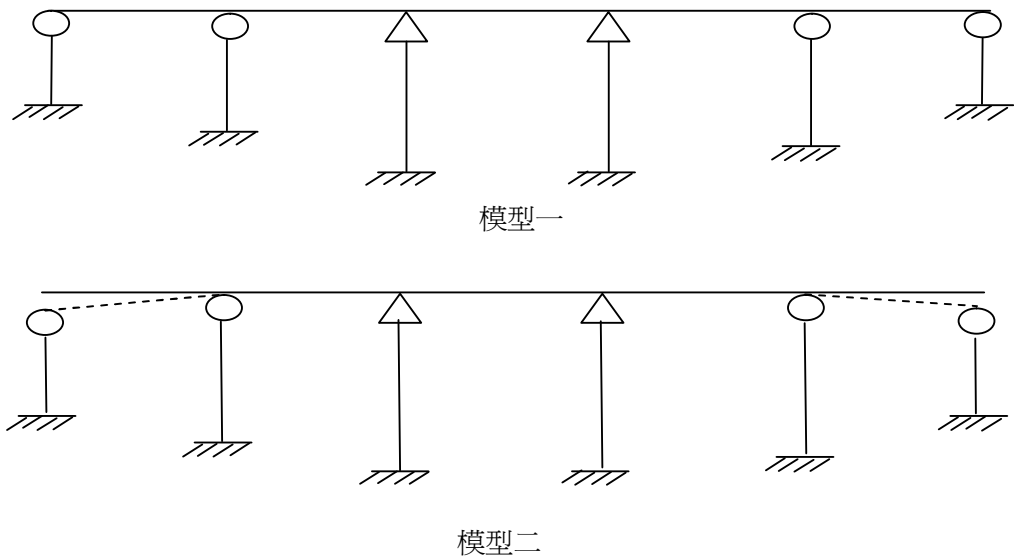


圖 4：支承配置不當影響振動單元模型之差異示意圖

參、下部結構

跨河橋梁下部結構施工難易度決定該工程是否能提前或如期完工，爰此，許多因施工所產生之爭議或變更設計，應有一明確且具體之回饋機制以利修正下次設計，避免重覆再犯，此部份通常為公部門所疏忽，以下僅就筆者之工地經驗舉例說明：

一、基樁深度設計

舉凡下部結構之深基礎，其變異因素是最高的，除複雜之地質不確定性外，還需考量機具能量是否足夠，否則一旦發包後，眼見工程進度無法推展影響工作團隊士氣外，廠商更會提出縮短基樁長度之要求，而通常業主如主張縮短長度，則常引致其他檢舉案之困擾，因設計審查與監造並非同一人，而需背負變更設計責任的卻是監造，亦因如此，於設計階段監造同仁應更仔細予以審查及表達意見，以下即就基樁深度有無過度設計，可就基樁設計計算書中要求設計公司就以下課題主動說明：

- (一) 群樁效率：如有審查設計計算書，即可發現設計公司一般之基樁排列方式，所得群樁效率約 0.68 左右，甚而筆者曾於東西向快速道路標案中，還發現有 0.52 之設計，以此邏輯推斷，業主買 2 支基樁，實際上只能使用 1 支，那為何不只買 1 支就好，因此，只要要求設計公司，業主要求之群樁效率不得小於 0.7 以下，那自然設計公司必需要重新排列或檢討承載層所貢獻之承載力。
- (二) 柱底塑鉸區設計：此區域之設計鋼筋量 (A_{sd}) 如大於需求鋼筋量太多 (A_{sr})，則依規範規定，基礎設計應以由柱底產生塑鉸所需之彎矩 (M_p)、軸力、剪力 (V_p) 為設計基準，因此基礎規模變大了，最重要的惡性循環是 M_p 加上 P ，所產生基樁所需之最大荷重亦伴隨增加，基樁深度當然就跟著加深，因此柱底塑鉸區設計鋼筋量不宜也不應大於需求鋼筋量 1.1 倍以上。
- (三) 地質承載層之承載力：依規範地下調查計畫；於每一下部構造之結構單元，包括：橋台、橋墩、擋土牆、基礎...至少需施鑽一孔...。爰於設計階段已有充足之地質資料供設計者研判，業主應要求設計公司將設計之樁深繪製於地質柱狀圖旁，以利檢核，尤其應與設計資料中所使用之 N 值相互檢核，定可使設計趨近合理化。

二、基礎規模：

目前跨河橋梁依水利法相關規定，為防止淘刷而裸露，基礎高程有愈來愈深之趨勢，既然深度無法避免，為了施工容易，基礎規模不宜過大，其規模基準尚無量化標準，惟若從施工角度思考，應考量其內支撐應如何配置，過於擁擠之基礎施工是無法快速，舉例而言，基礎底層筋必需有 5 位鋼筋工以每根鋼筋挑上肩再翻挑數根基樁柱頭筋後固定，如此工率來自於施作空間的不友善，而基礎施工為防汛考量，確又是必需要全力趕工，設計階段如無詳予考量討論，則無法提供友善空間供施工者快速施工，如基礎防撞鋼板之排列焊接、基礎回填中之支撐拆卸等工項。

三、防撞鋼板設計：

本工項筆者係要提供基樁之防撞鋼板設計回饋，以直徑 2 公尺之基樁，為預防日後基樁裸露遭溪流漂流木或石塊撞擊而破裂，有些工程會設計約 10 公尺深之防撞鋼板，施工前工地會先將 10 公尺長之防撞鋼板（兩組半圓）先焊接在最後一節鋼筋籠上，再吊運入全套管中準備灌漿。設計圖中常被忽略的細節是各項規格化的產品尺寸，每一環節是否能順利套入安裝，直徑 2 公尺之基樁為使完成斷面達到 2 公尺，其鑽掘套管係外徑 2 公尺，如此套管扣除兩側管壁厚度淨空剩約 1.95 公尺，而設計防撞鋼板外徑為 1.90 公尺，看似合理，惟基樁施工之全套管是由一節一節栓接固定對接而成，為減少下鑽摩擦力對接螺栓必需內縮，母螺栓置於管內，而母螺栓再加上管壁厚度，內部淨空即告不足，防撞鋼板便無法下套至設計位置。

四、帽梁形狀設計：

公路橋梁設計載重一致，其帽梁規模與形狀應儘量模組化及規格化，使市場上能大量流通予人租借，避免每一工程均產製數套帽梁鋼模後，再予以融化銷毀，不僅浪費業主之製作費用，對於趕工工地而言，因成本考量，最後要徑確是在等帽梁鋼模之組裝與拆卸。

肆、結語

台灣地處西太平洋颱風及環太平洋地震帶，經常發生颱風、暴雨、地震、土石流等，對公路建設造成嚴重損害，一旦重要橋梁或維生道路遭受天然災害侵襲，對人民生命財產及社會經濟活動將造成重大損失與威脅。隨著國家經濟高度成長，人員交流及物資運輸需求與日俱增，公路通行之可靠度與安全度之提昇實為刻不容緩之要務，因此，近年來政府挹注相當多之經費辦理橋梁改建，尤其跨河橋梁之興建速度更是社會殷切期待，其所代表之意義不僅僅是政府對人民之承諾，亦代表著一條安全回家的路，而肩負著這神聖使命的相關同仁，壓力是極為沉重。曾經公共工程委員會為解決此一問題，大力提倡本局採行統包制度施工，無非係藉助過往施工經驗辦理設計，進而施工順利，免除變更設計煩雜之程序困擾，而本局對於橋梁工程之施工，亦不乏施作4年以上之跨河橋梁或因支撐失敗而打除重作之案例，爰此，希藉由本文發揮拋磚引玉之效，提醒橋梁設計者，施工經驗回饋之重要性。



園地公開 歡迎投稿

泥岩護坡工程之追蹤探討

呂玉萍*、劉正川**、伍振男***

摘要

台灣西南部泥岩地區，坡面沖蝕嚴重，護坡工程成效很難達成。本研究針對 1992 年 8 月成立之泥岩「田寮試驗區」探討其中符合經濟且具有成效的泥岩邊坡保護方法提供工程單位採用之參考。該工址係由交通部台灣區國道新建工程局、中華顧問工程司及行政院國家科學委員會委託，對於泥岩有研究之專家學者，所施做一個全比例尺邊坡整治之實驗場地，完工迄今約 17 年，試驗完後未曾有過任何維護保養，一直保持在自然撫育的狀態。本研究收集歷年來之雨量紀錄及現場觀測之結果，經由整理分析探討其整體性之成效，亦運用問卷調查之方式進行調查，以了解產、官、學界之專家學者，對於泥岩挖方邊坡四種保護工法實務上之評價，經與專家學者討論評估後，提出分別以施工成本、施工時間、施工技術、施工效益、施工機率、環境生態等六個層面探討，並對專家學者及工程實務界分別問卷調查，分各群組加以統計分析。經研究結果顯示，泥岩挖方邊坡四種保護工法其最適工法之優先順序為：水土保持植生排水工法、陡坡蓋頂法、加勁擋土牆法、綠色防水封面法+岩錨。

最後本研究也認為水土保持植生排水工法長遠而言，較具經濟效益、且維護成本低廉，對環境景觀美化及保護效果較佳，對生態保護具有連續性及永續性。

關鍵字：泥岩護坡、植生工法。

一、前言

泥岩，其軟如泥，其硬如石。台語俗稱海粘土；由字意隱示泥岩屬海中沈積之粘土，因岩化作用而生成的岩石（許琦、劉慶輝，2003）。

泥岩區因其地質屬海相沉積岩化而成的岩石，所以變成寸草難生的惡地地形，再加上台灣西南部氣候乾濕分明、雨量集中，使得泥岩坡面沖蝕情況嚴重、植生極為困難，尤其是坡度較大的泥岩邊坡，表面幾乎難以植生。

根據農委會林務局農林航空測量所，以航測技術對西南部泥岩裸露地所做的調查得知，西南

* 國立嘉義大學土木與水資源工程學系碩士研究生

** 國立嘉義大學土木與水資源工程學系教授

*** 交通部公路總局第五區養護工程處處長

部泥岩的裸露面積從民國 56 年的 2,532.58 公頃增至民國 76 年的 3,836.28 公頃，於二十年間裸露面積擴大了 1.51 倍之多，而裸露地的坡向以東南向、南向及西南向的增加率最大，坡度則集中於 30~40 度之間。因此每逢雨季來臨時，裸露泥岩邊坡土壤沖蝕極為嚴重。（林務局農林航空測量所，1988）

西南部泥岩層厚約五千公尺，地層依地質年代由下而上可分為中新世之鹽水坑頁層與茅埔頁層、上新世的北寮頁岩及南化頁岩（古亭坑層）以及更新世的關廟層（六雙層及二重溪層）（耿文溥，1981）。其中以六雙層及下部古亭坑層之地理分佈最廣，分別據有本區之西及東半邊，二重溪及上部古亭坑層則居二者之間，各地層之年代及性質概述於表 1。

表 1 台灣西南部地區泥（頁）岩地層之性質（耿文溥，1981）

地質年代	地層	岩石性質
更新世	關廟層 (六雙層及二重溪層)	疏鬆細粒至粉砂質塊狀厚層淺灰色砂岩，夾青灰色泥岩。底部及頂部夾石灰岩層。局部含薄礫岩層。
上新世	南化泥岩 (古亭坑層)	青灰及暗灰泥岩，夾少量薄砂岩，風化後形成惡地。頂部為青灰色泥岩與鬆砂岩之互層夾石灰岩層。
	北寮頁岩	暗灰色或青灰頁岩及砂質頁岩主，夾有黃褐色泥質砂岩薄層。局部夾有灰色粉砂岩及細砂岩頁岩互層。
中新世	茅埔頁岩	黑色頁岩為主，夾有灰色泥質砂岩，及細粒砂岩。
	鹽水坑頁岩	里灰色頁岩為主，含有黃灰色砂岩或石灰質砂岩，砂岩多呈扁豆狀。

二、研究區域概述及工法介紹

1、研究區域概述

本研究選定「田寮試驗區」之四種泥岩挖方邊坡保護工法於 17 年後逐一作整理，並探討後續維護管理過程中可能遭遇之問題及解決對策，作為爾後推廣此工法時之參考依據。

該研究藉由國工局及中華顧問工程司於 1992 年委託一群對泥岩有研究之專家學者於高雄縣田寮鄉 184 線公路（現為台 28 線 21k+490）右側產業道路（如圖 1）做現場之全比例尺挖方邊坡保護工程之研究。此計畫之目的為當時規劃中的南二高，部份路線會通過台灣西南部泥岩地區，地質狀況最不穩定的南化泥岩區（古亭坑層），為使將來更能掌握公路邊坡的安定性，希望研究之結果對當時即將開工之南二高工程有所助益。

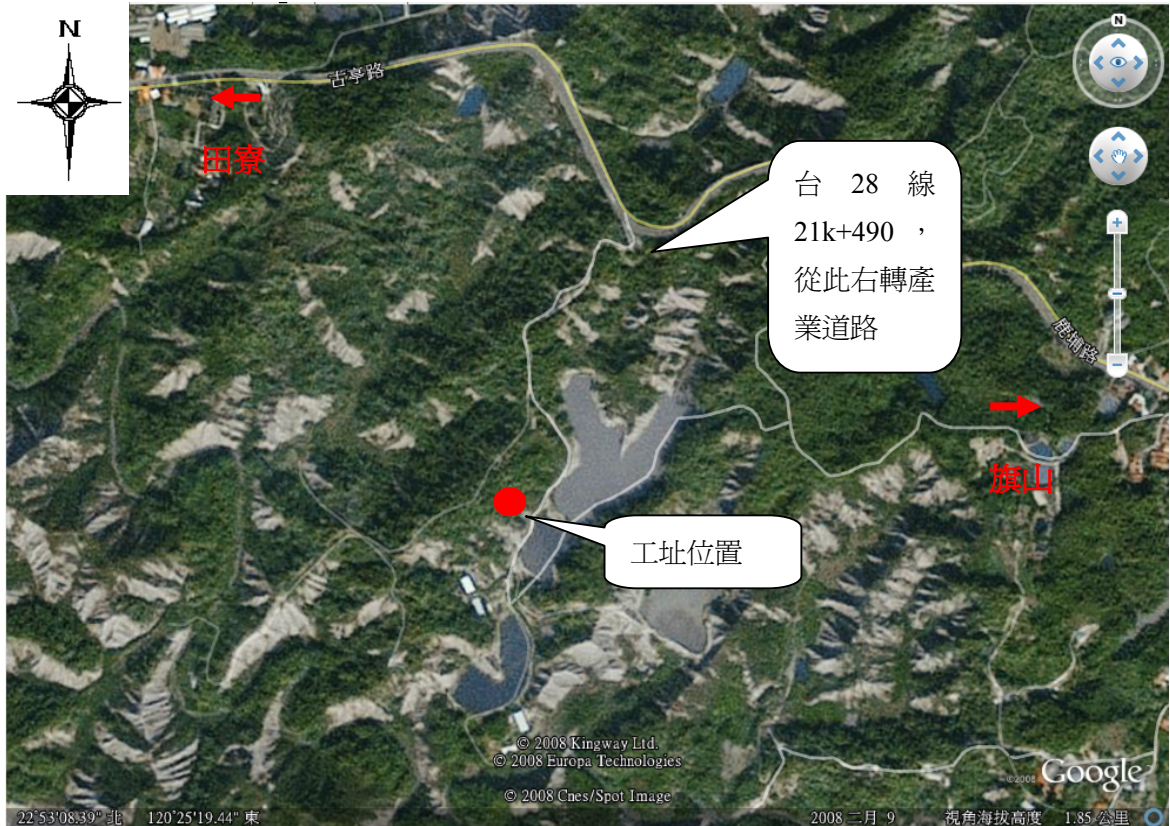


圖 1 工區地理位址圖(改繪自 Google Earth)

2、研究區域各種工法介紹

該計畫乃結合了一群專家針對泥岩挖方邊坡保護方法做一番研究，除了改進一些既有工法外，另外也發展一些新的工法。茲將四種工法介紹如下：

2-1 綠色防水封面工法+岩錨

在考慮到泥岩吸水後會產生回脹、崩解的問題，因此，採用阻隔外來水份的方法，以綠色防水材料將泥岩坡面完全封閉以避免坡面發生崩解沖蝕，並參考關廟層之泥岩上方有砂岩覆蓋，因此，在每階坡面頂上設置混凝土平台形成蓋岩作用，並可進行適當綠化工程，稱之綠色防水封面工法+岩錨（交通部台灣區國道新建工程局，1992）。

綠色防水封面工法+岩錨之設計考量涵蓋了防水、排水、綠化及施工經濟性等四大方面。依此理念規劃各項細部設計工作與施工方式。詳細之工法內容說明如下：

- 一、施工期：本案約使用 215 天。
- 二、施工經費：本工法之單價為每平方公尺 924 元。

三、施工方式：

- a、坡面之設計：將試驗坡面之外形採用階段式坡面，總共有 3 個階段，各階坡面高約 4~5 公尺。不同階段之坡面間設有平台，以方便人員維護，並設置植生溝及排水溝。坡面之坡度在減少挖方的考量下採用 45° 及 60° 兩種角度之坡面型式。
- b、防水保護系統之設計：為達到阻隔泥岩與水之接觸，本計劃採用瀝青及塗布瀝青防水層之工程織布為材料，來設計防水保護系統。
- c、排水系統之設計：在坡面上設置縱向洩水溝，平台上則設計橫向排水以排除地面水，在坡面及平台處裝設排水帶。
- d、植生工程之設計：在平台頂及各階平台上，設置植生溝，栽植耐旱、生長迅速、多年生之蔓藤類植物。
- e、擋土設施之設計：於坡頂處設計乙座擋土牆，為防止鄰接坡頂處之坡地土石沖蝕或崩落進入試驗區（交通部台灣區國道新建工程局，1992）。

綠色防水封面工法+岩錨 完工照片（如照片 1）



照片 1 綠色防水封面工法+岩錨（交通部台灣區國道新建工程局，1994）

2-2 陡坡蓋頂法

陡坡蓋頂法之設計採用坡頂加蓋水泥構造物法來造成泥岩陡坡之穩定。旨在印証並觀察構成

本省西南部地區之泥岩其邊坡流失可否藉簡易工程方法加以穩定（交通部台灣區國道新建工程局，1995）。詳細之工法內容說明如下：

一、施工期：本案約使用 181 天。

二、施工經費：本工法之單價為每平方公尺 108 元。

三、施工方式：

a、坡面之設計：

對坡面採取下列三種設計：階段式坡面，總共有 3 個

1、當坡面小於 30 度時，採用原邊坡進行植生。

2、當坡面介於 30-55 度時，採用階段式護坡。

3、當坡面大於 55 度，維持原狀或加強坡頂保護。

b、堆蓋之設計：泥岩先搗散再以 $(Ca^{+3} + Si^{+4})$ 材料處理，做為岩坡堆蓋之底層材料，其上覆柏油或再加水泥板以為保護。

c、堆高之設計：以施工機械臂可及為原則，約五米。而岩坡除為 30 度以下者施與綠化植生外，餘均僅採用噴灑柏油層被護，降低自然之風化流失量（交通部台灣區國道新建工程局，1992）。

陡坡蓋頂法之施工照片（如照片 2）



照片 2 陡坡蓋頂法（交通部台灣區國道新建工程局，1994）

2-3 水土保持植生排水法

水土保持植生排水法於 81 年 3 月底施工至 81 年 4 月 6 日完成主要植生工法計有挖穴配合鋪網噴植法、挖淺溝配合植生帶鋪植法、挖淺溝配合肥束袋鋪釘及導入複層植被、地質深層處理法等五種處理別，隨後因配合坡面排水工程的修改工作，先後以鋪釘截留束和速成草皮等方式進行修補工作及兩次的微生物追施（交通部台灣區國道新建工程局，1995）。詳細之工法內容說明如下：

一、施工期：本案約使用 240 天。

二、施工經費：根據植生方法之不同，單價可由每平方公尺 100 元至 546 元。

三、施工方式：

a、坡面之設計：整坡成 1:1.5 之坡面，坡面每隔 5 公尺即設置一階段，階段採寬 1.2 公尺之內斜式階段。共有四層邊坡，五層階段產生。

b、排水系統之設計：整個試驗區之工程設施總計有混凝土跌水 18 個，截洩溝 207 公尺，洩槽 108 公尺。

c、植生工程之設計：

(1) 邊坡斜長採 5-7m 構築一道截水溝。

(2) 邊坡斜率採 1:1.5 左右為原則。

(3) 直溝間隔在 20-30m 之間構築一條。

(4) 採用植生工法

a、噴植法：

在第一、第二階段由於坡度較陡，採行挖穴、鋪網、客土、噴植、覆蓋不織布稻草席。

b、穴播配合植生帶鋪植：

本試區第三、四階段為挖方，坡度約 1:1.5 採用挖穴（每平方公尺約 3-4 穴 20cm×10cm）來有效儲放肥料、泥炭土及草種等，其上鋪植生帶。

c、穴播配合肥束袋鋪植：

本試區第五、六階段鋪植肥束袋其為一長 1m 直徑 10-20cm，由多孔隙棉質布縫製成一長圓袋狀體。其內裝填材料以泥炭土為主，混合遲效性肥料、保水劑及草種等。

d、複層植被：

1. 以種子種植：山番石榴、山鹽青及山水柳。

2. 用苗木種植：馬櫻丹、油桐樹、小葉桑、龍船花、紫薇及蔓黃金菊等（交通部台灣區國道新建工程局，1992）。

水土保持植生排水法之完工照片（如照片 3）



照片 3 水土保持植生排水法（交通部台灣區國道新建工程局，1994）

2-4 加勁擋土牆法

由於南二高在泥岩區施工時，爲了基礎之穩定，可能不用填方地基，因此在實際工程進行中，由挖方產生之棄土必需尋找一種妥善的棄土堆置法。因此，在計劃實驗工地內將一山坳作爲棄土場，挖方產生之廢土都堆置在內，並用一加勁擋土牆保護棄土區，以免棄土在下雨時被沖刷流入水溝或路面上造成不良之水土保持示範（交通部台灣區國道新建工程局，1995）。詳細之工法內容說明如下：

一、施工期：本案約使用 15 天。

二、施工經費：本案所作的 4.5m、高 40m 長，總工程費 1,444,850 元。之單價爲每平方公尺 8026.9 元。

三、施工方式：

採用地工織物（Geotextile）與地工格網（Geogrid）兩種加勁材提供加勁需求，配合適當選擇回填料與擋土包，滿足加勁與過濾排水設計需求，設計回包式加勁擋土牆，同時藉著植生溝表面排水系統的建立以穩定泥岩挖方棄土區邊坡。亦包含植被護坡工法（交通部台灣區國道新建工程局，1992）。

加勁擋土牆之完工照片（如照片 4）



照片 4 擋土牆（交通部台灣區國道新建工程局，1992）

3、研究區域現況

該試驗計畫經過 2-3 年之施工結束後，邊坡保護工程之各種工法經過 15 年來一直都沒有單位維護保養。經本研究於民國 97 年開始赴工址蒐集資料、實地拍照建檔，研究期間又經歷了 98 年 8 月 7 日~8 月 10 日台灣史上最大的降雨-莫拉克颱風，創下於高屏地區共降約 2600mm 之雨量（經濟部水利署，2009）（如表 2），可說是對各種工法之有效性作了一次最嚴厲的考驗。現將現況加以歸納分析詳細評估後，就目前狀況依工法分述如下：

3-1. 綠色防水封面法+岩錨：

由現地調查出目前坡面不穩定，防水不織布劣化及破損不堪使用狀況，而使得泥岩層裸露、風化及沖蝕，如照片 9（e）所示。

綠色防水封面法歷年照片：



照片 9 (a) 1992.08



(b) 1994.08



(c) 2008.11.27 (本研究拍攝)

(交通部台灣區國道新建工程局，1994、1995)



(d) 2009.04.05 (本研究拍攝)



(e) 2009.08.20 (本研究拍攝)

3-2. 陡坡蓋頂法：

坡面不斷崩落、土石產生後退，邊坡沖蝕剝落嚴重而使得加勁高拉力鋼筋外露；並使得泥岩層裸露、風化及沖蝕，如照片 10 (e) 所示。

陡坡蓋頂法歷年照片：



照片 10 (a) 1992.08



(b) 1994.08



(c) 2008.11.27 (本研究拍攝)

(交通部台灣區國道新建工程局，1994、1995)



(d) 2009.04.05 (本研究拍攝)



(e) 2009.08.20 (本研究拍攝)

3-3. 水土保持植生排水法：

坡面植生穩定、排水系統保持完整，且因大量植生而使得具生態多樣性，如照片 11 (e) 所示。

水土保持法歷年照片：



照片 11 (a) 1992.08



(b) 1994.08



(c) 2008.11.27 (本研究拍攝)

(交通部台灣區國道新建工程局，1994、1995)



(d) 2009.04.05 (本研究拍攝)



(e) 2009.08.20 (本研究拍攝)

3-4. 加勁擋土牆法：

目前擋土牆尚屬穩定，惟地工織物因長期陽光之紫外線照射與溫度變化已出現劣化，以及小面積坡面曾有著火痕跡；另地工格網變形斷裂，如照片 12 (e) 所示。本計畫之初擋土牆面植生因無維護已呈現泥岩裸露毫無綠意生態可言，其排水管損壞排水效果不良。

棄土區加勁擋土牆歷年照片：



照片 12 (a) 1992.08



(b) 1994.08



(c) 2005.11

(a、b 交通部台灣區國道新建工程局，1992、1995) (c 由中原大學張達德教授提供)



(d) 2009.04.05 (本研究拍攝)



(e) 2009.08.20 (本研究拍攝)

4、小結語

「田寮試驗區」之四種泥岩挖方邊坡保護工法於 1992 年 8 月完成，完工至今（2010 年）約 17 年，由於泥岩工程完工後受雨量影響甚大，因此評估各工法之效益時，雨量資料很重要。本研究詳細的雨量資料則選擇距試驗地約 3 公里之高雄縣田寮鄉古亭坑雨量站(經度：120°23'38" E 緯度：22°53'42" N)之雨量資料。

期間以 98 年 8 月莫拉克颱風豪大雨不歇，光是 7、8 日兩天就降下台灣山區半年平均雨量，大幅改寫歷年來 10 大單日最大降雨紀錄，嘉義及高屏山區自動雨量站 8 日單日累積雨量超過 1000mm。此外阿里山站在 8 日降下 1161.5 毫米，9 日更降下 1165.5 毫米，創台灣所有氣象站中單日最大雨量紀錄。這種暴雨加上台灣脆弱的地質，當然帶來南部地區嚴重的土石流、坍方、地滑等地變。但針對此次颱風災害就目前工址現況調查發現各種工法中以水土保持植生排水法之工法並無多大損失，足見其成效為最好 (照片 8)

表 2 為民國 85 年~98 年古亭坑雨量站之單日暴雨及二日暴雨量表。表 3 為南部地區近 15 年每年總雨量比較表。

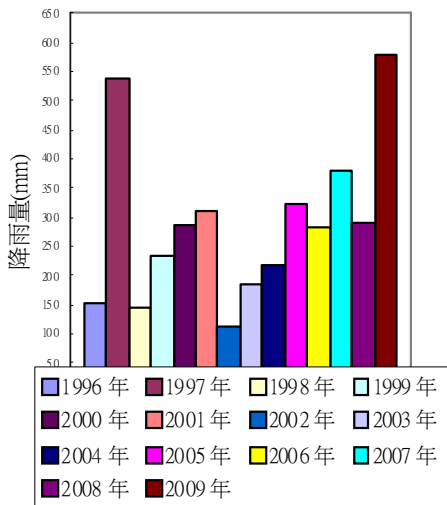


圖 2 1996 年~2009 年古亭坑雨量站雨量比較圖(中央氣象局提供)

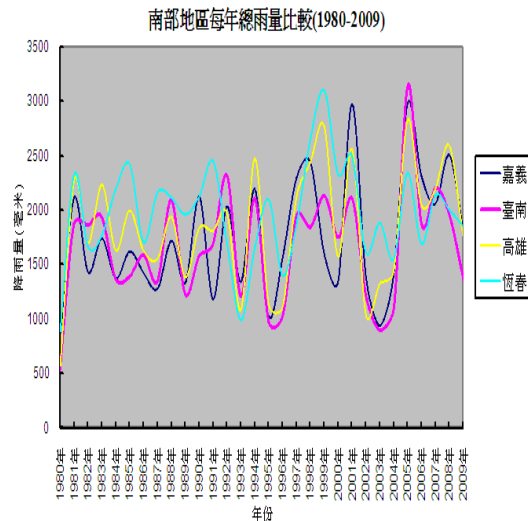


圖 3 南部地區近 15 年每年總雨量比較圖(中央氣象局提供)

表2 高雄縣田寮鄉古亭坑雨量站雨量資料(中央氣象局提供)

單位：mm

年/項目	單日暴雨量	二日暴雨量	颱風名稱
1996 年	153.0	228.5	賀伯颱風
1997 年	539.5	762.0	
1998 年	142.5	214.0	
1999 年	234.5	327.0	
2000 年	286.0	355.5	碧利斯颱風
2001 年	310.0	332.0	納莉颱風
2002 年	112.5	150.5	娜克莉颱風
2003 年	184.0	189.0	莫拉克颱風
2004 年	216.0	368.0	敏督利颱風
2005 年	322.0	607.5	海棠颱風
2006 年	284.5	374.5	碧利斯颱風
2007 年	380.0	505.0	
2008 年	291.5	489.5	卡玫基颱風
2009 年	577.0	753.5	莫拉克颱風

表3 南部地區近15年每年總雨量比較(中央氣象局提供)

單位：mm

年/地區	嘉義	臺南	高雄	恆春
1992 年	2,039.6	2,324.7	1,973.7	1,696.6
1993 年	1,347.8	1,211.3	1,083.5	994.2
1994 年	2,197.6	2,106.5	2,470.0	1,651.4
1995 年	1,028.9	977.6	1,134.1	2,099.0
1996 年	1,566.2	1,025.8	1,107.4	1,400.5
1997 年	2,297.9	1,949.6	2,118.4	1,866.0
1998 年	2,446.7	1,846.8	2,433.9	2,650.3
1999 年	1,603.6	2,135.2	2,763.6	3,100.0
2000 年	1,351.5	1,754.4	1,569.0	2,327.1
2001 年	2,979.7	2,556.5	2,556.5	2,494.6
2002 年	1,392.1	1,212.1	1,037.5	1,613.9
2003 年	941.1	898.5	1,326.0	1,881.5
2004 年	1,411.0	1,107.9	1,439.5	1,549.5
2005 年	2,985.6	3,148.5	2,821.4	2,339.1
2006 年	2,317.8	1,867.2	2,045.5	1,690.1
2007 年	2,063.9	2,207.3	2,194.0	2,139.8
2008 年	2,510.6	1,950.0	2,591.3	2,004.5
2009 年	1,816.7	1,366.6	1,756.3	1,854.3

歷年來不同時間研究區域現地邊坡與現況之對照圖如照片 5、6、7、8、9、10、11、12 所示。
全景歷年照片：



照片 5 1993 年 11 月 4 日拍攝



照片 6 2008 年 11 月 27 日（本研究拍攝）

（交通部台灣區國道新建工程局，1993）



照片 7 2009 年 04 月 05 日本研究拍攝
（雨季來臨前之照片）



照片 8 2009 年 08 月 20 日本研究拍攝
（雨季後之照片-莫拉克颱風後）

三、研究方法與流程

本研究爲了達成研究目的尋求台灣坡地之癌—西南部泥岩之邊坡穩定及植生問題，因此建構山區道路安全改善時，以研究對象泥岩挖方邊坡「田寮試驗區」四種保護工法作研究分析，求取最適化整治方式之準則，本研究運用「價值工程」中常用之矩陣分析法與簡單加權法，就構面、學者專家之選定狀況、因子選擇、權重加以制定，並透過問卷調查結果以求得工程界所認定之最佳邊坡保護工法。研究流程如圖 4。

3-1 保護工法（構面）與評估因子

本研究訪談專家學者及資深工程師，基於實務面考量綜合各方意見依價值工程研究分析結果，初步將泥岩各種挖方邊坡保護工法整合篩選出評估整治功效之較具有代表性六個影響因子。（如表 4）

表 4 四個主要受評（構面）工法之六個因子

工法（構面）	問題（因子）
1.綠色防水封面法	1.施工成本。 2.施工時間。 3.施工技術。 4.施工效益。 5.施工機率。 6.環境生態。
2.陡坡蓋頂法	
3.水土保持植生排水法	
4.加勁擋土牆法	

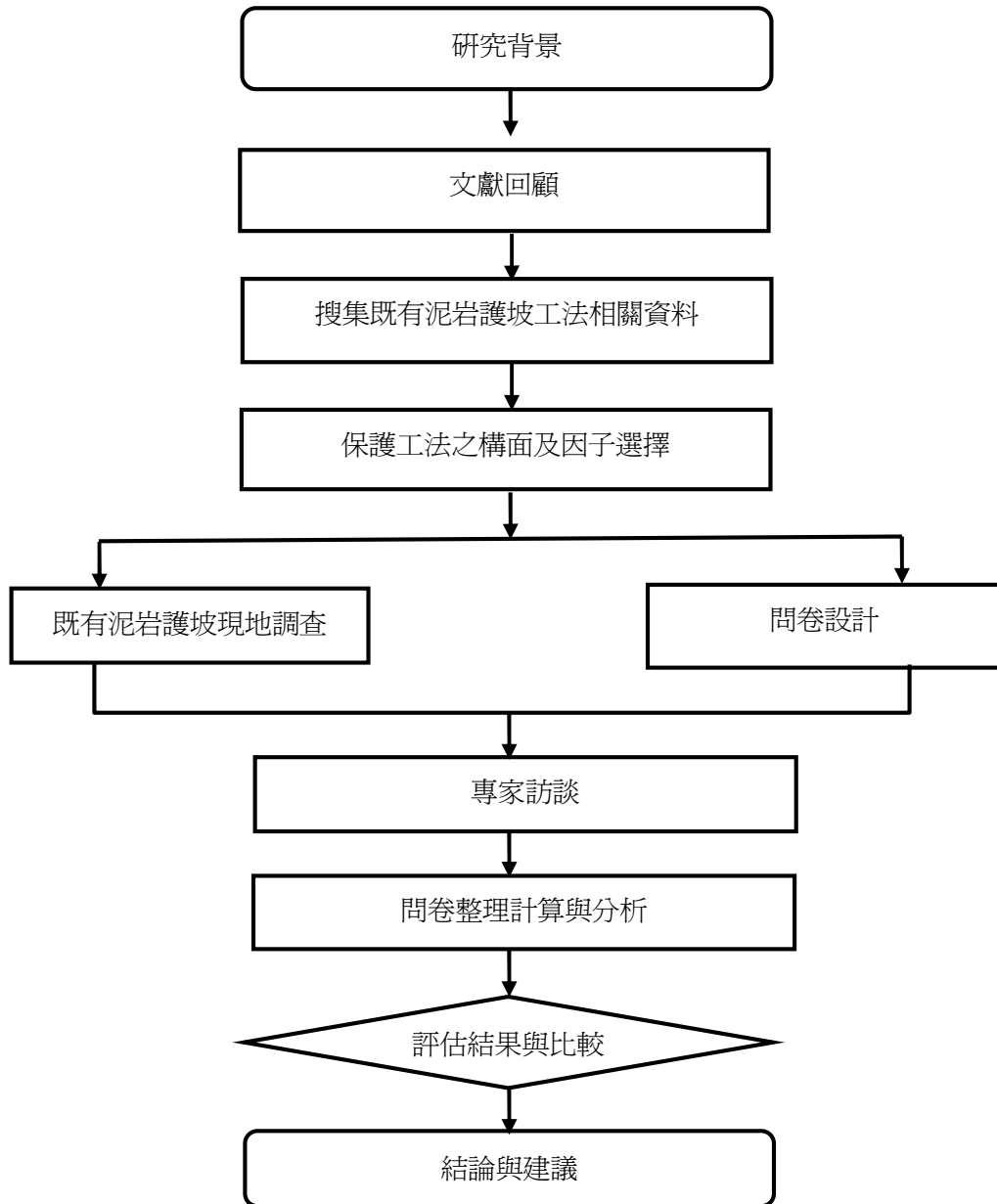


圖 4 研究流程圖

3-2 專家權重制定

為借重學者專家之經驗與學識作為問卷權重之準則，以成對比較分析法設計成專家問卷以調查專家之權重，獲得學者專家個人的思維和專門技術以收集思廣益之效，亦可得到專家獨立判斷之品質。

本研究所使用一種客觀決定各評估因子權重的方法，稱之為成對比較分析法，運用專家訪談所求得之專家指定權重。

3-3 問卷調查權重

將問卷結果所得之評估因素，製成一般問卷，寄發予前述之產、官、學界填寫，再將產、官、學界之資料意見，再帶入運算軟體中，以求得最後問卷調查調查權重的總分數。

3-4 問卷分析法

本問卷分析係採「價值工程」中常用之矩陣分析法與簡單加權法。

四、問卷規劃、設計及內容

4-1 問卷分析法

問卷調查內容設計之目的是為了解專家學者及工程實務界對本研究之泥岩挖方邊坡四種保護工法於若干年後對其施工施工成本、時間、技術、效益、機率及環境生態等等藉由回收問卷之資料逐一作整理探討分析，以求取最適化整治方式之準則。

本研究係依下列步驟規畫設計問卷調查內容，流程如圖 5。

(一) 蒐集整理泥岩護坡工法資料

定期赴工址實地拍照，並建檔以作為問卷參照照片。

(二) 與專家訪談形成問卷研究架構

分為二部份，一為完成專家訪談權重問卷部份；二為依照專家意見完成一般問卷調查初稿。

(三) 預試及發送問卷調查

根據泥岩護坡工法特性設計能最有效取得所需資訊的問卷內容；之後經過初步測試成功後將問卷送請工程實務界（包含產、官、學）施測對象填答，再加以統計分析。

4-2 問卷內容項目

本研究問卷部份分為二部份，一為專家訪談問卷；另一部份為一般工程產業實務界（產、官、學）內容之各項項目。詳細內容分述如下：

(一) 專家訪談問卷內容之各項項目

使用成對比較分析法將評估因子經由兩兩比較，決定其相對的重要性，最後並依據其相對重要性以計算其權重的方法，即完成本研究專家訪談所求得之專家指定權重。

(二) 一般工程產業實務界（產、官、學） 內容之各項項目

- a、受訪者基本資料。
- b、針對泥岩護坡工程各因子考量。
- c、泥岩護坡工程評分表。

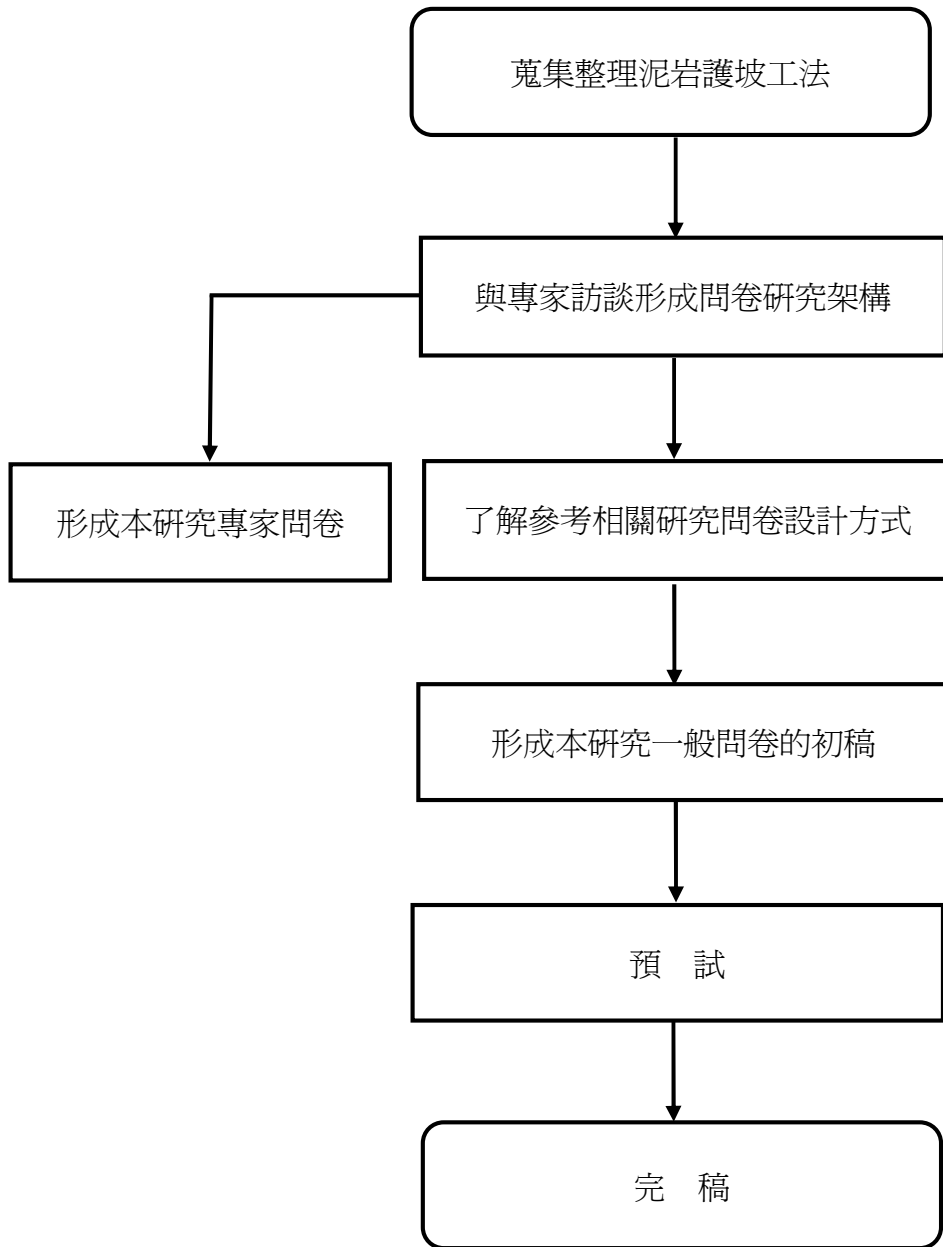


圖 5 問卷規畫設計流程圖

4-3 問卷資料統計分析

(1) 問卷成果分析

問卷發放共 150 份，回收問卷共 120 份（詳如圖 6），問卷回收率 80.00 %；扣除未完整作答及無通過鑑別度檢驗之無效問卷 23 份後，有效問卷 97 份，問卷有效率 81.00 % 統計，詳如圖 7 所示。

$$\text{問卷回收率} = 120 \div 150 = 80.00\%$$

$$\text{問卷有效率} = 97 \div 120 = 81.00\%$$

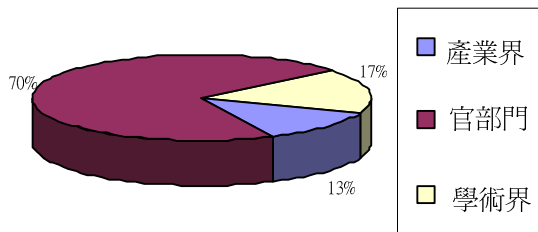


圖 6 回收份數

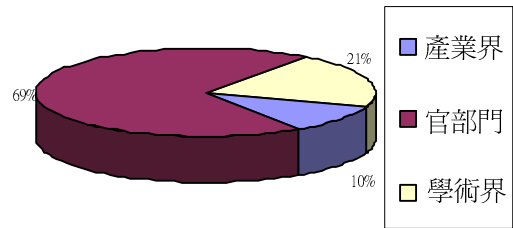


圖 7 通過鑑別度檢驗有效問卷

(2) 以專家權重計算成果分析

由專家問卷調查獲得之權重發現五位專家對於**施工**效益因子之權重值極為一致屬性高度重視，權重值總分高達 31 分，六大因子權重值由大至小依序為施工效益特性（D）、施工技術特性（C）、環境生態特性（F）、施工成本特性（A）、施工時間特性（B）及施工機率特性（E），詳如圖 8、9、10、11 所示。

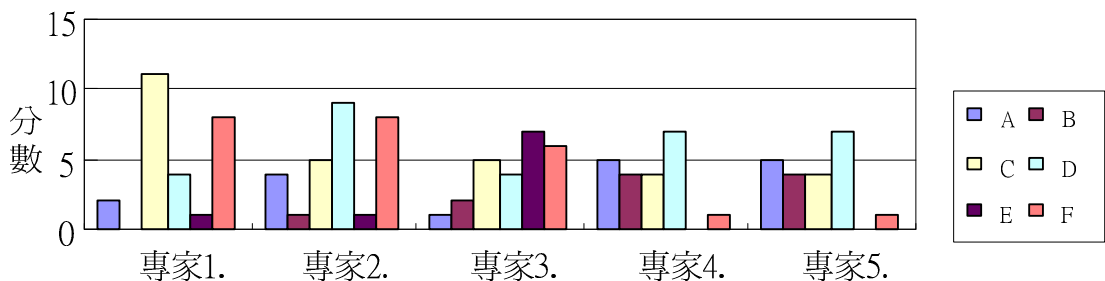


圖 8 專家權重因子分數圖

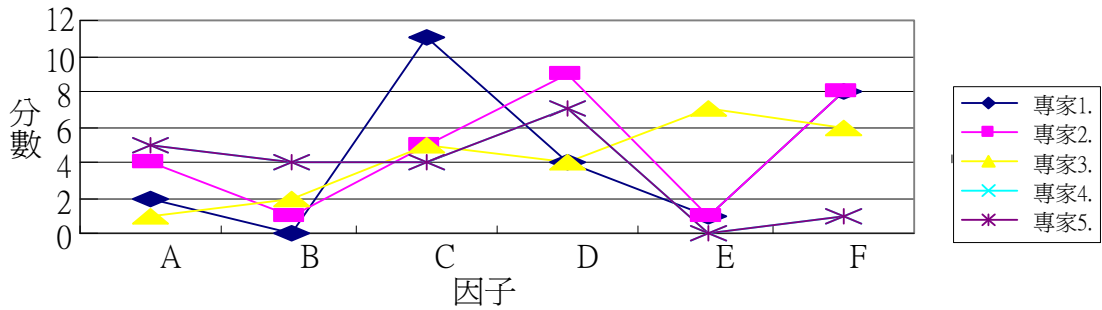


圖9 專家權重因子分數曲線圖

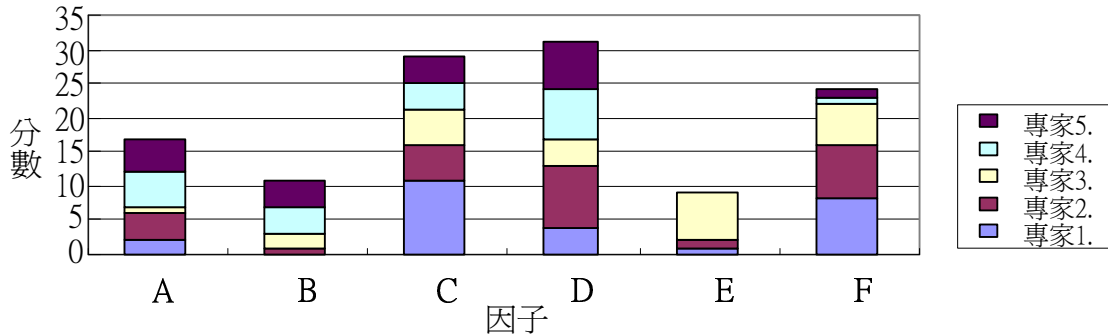


圖10 專家權重因子比較圖(一)

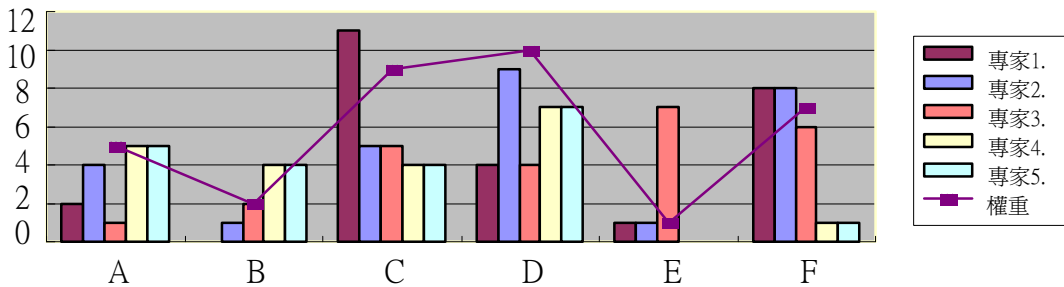


圖11 專家權重因子比較圖(二)

專家權重計算所求得問卷總分之結果，由圖 12 顯示：

1. 針對產業界而言較偏好水土保持植生排水工法且由圖中可顯示得分最高，依序為陡坡蓋頂法、加勁擋土牆法、綠色防水封面法+岩錨。
2. 針對官部門而言較偏好水土保持植生排水工法且由圖中可顯示得分最高，依序為加勁擋土牆法、陡坡蓋頂法、綠色防水封面法+岩錨。
3. 針對學術界而言較偏好水土保持植生排水工法且由圖中可顯示得分最高，依序為加勁擋土牆法、陡坡蓋頂法、綠色防水封面法+岩錨。
4. 綜上而言水土保持植生排水工法得到一致性為本研究中最適工法。（詳如圖 13）

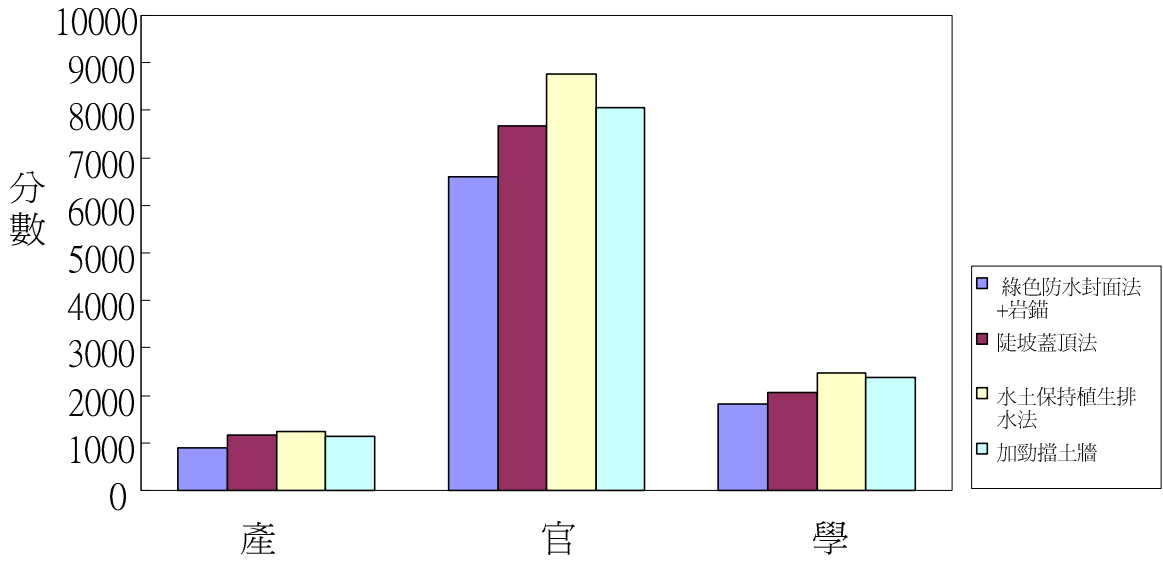


圖 12 專家權重分數分佈圖

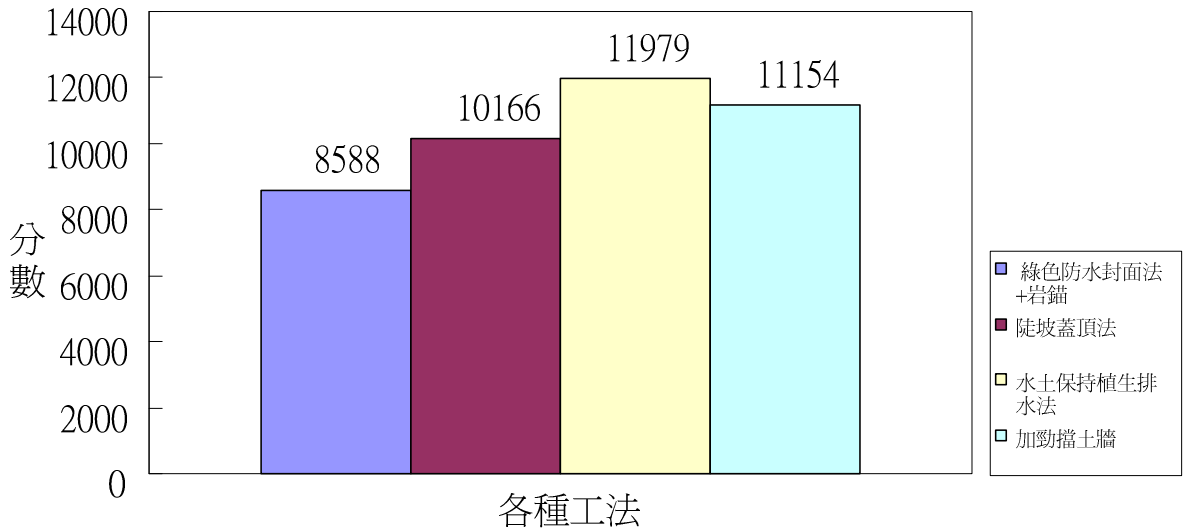


圖 13 專家權重分數總分圖

(3) 以一般權重計算成果分析

由問卷中得知產、官、學界對各因子重視程度，由圖 14 顯示：

1. 針對產業界而言較偏好環境生態且由圖中可顯示得分最高，依序為施工效益、施工技術、施工成本、施工時間、施工機率。
2. 針對官部門而言較偏好施工效益且由圖中可顯示得分最高，依序為環境生態、施工技

術、施工成本、施工機率、施工時間。

3. 針對學術界而言較偏好施工效益且由圖中可顯示得分最高，依序為環境生態、施工機率、施工技術、施工時間、施工成本。

綜合整體問卷調查獲得之權重發現產、官、學專家對於六大因子權重值由大至小依序為施工效益特性（D）、環境生態特性（F）、施工技術特性（C）、施工成本特性（A）、施工機率特性（E）、施工時間特性（B），詳如圖 15。

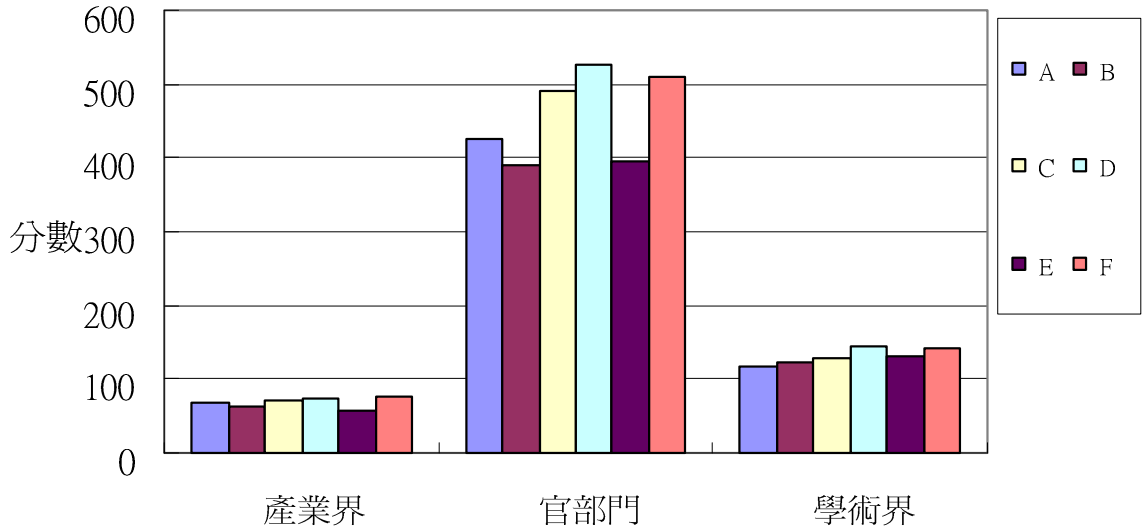


圖 14 一般問卷權重因子分數圖

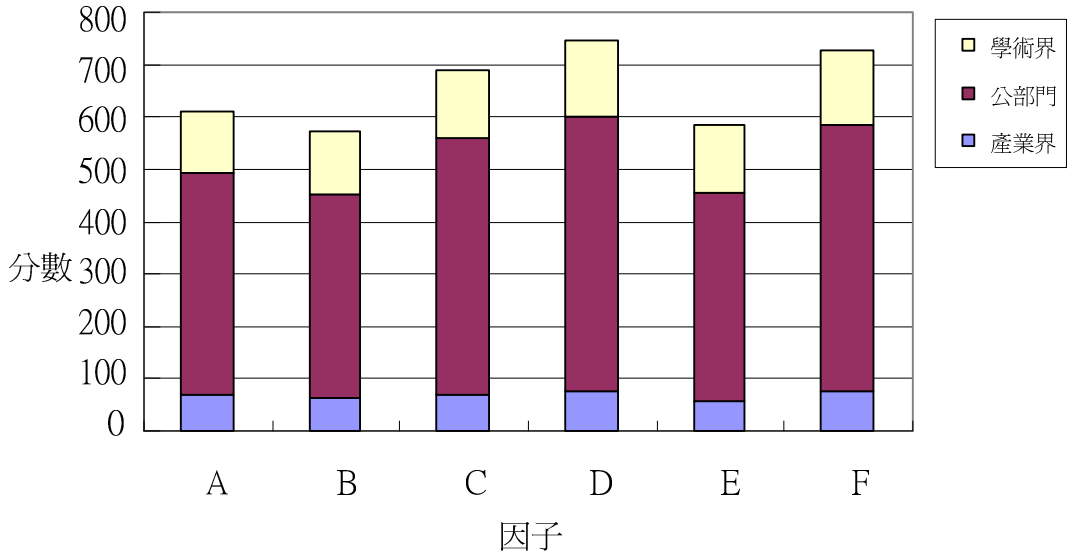


圖 15 一般問卷權重因子分數柱狀圖

問卷權重計算所求得問卷總分之結果，由圖 16 顯示：

1. 針對產業界而言較偏好水土保持植生排水工法且由圖中可顯示得分最高，依序為陡坡蓋頂法、加勁擋土牆法、綠色防水封面法+岩錨。
2. 針對官部門而言較偏好水土保持植生排水工法且由圖中可顯示得分最高，依序為加勁擋土牆法、陡坡蓋頂法、綠色防水封面法+岩錨。
3. 針對學術界而言較偏好水土保持植生排水工法且由圖中可顯示得分最高，依序為加勁擋土牆法、陡坡蓋頂法、綠色防水封面法+岩錨。

綜上而言水土保持植生排水工法得到一致性為本研究中最適工法，詳如圖 17。

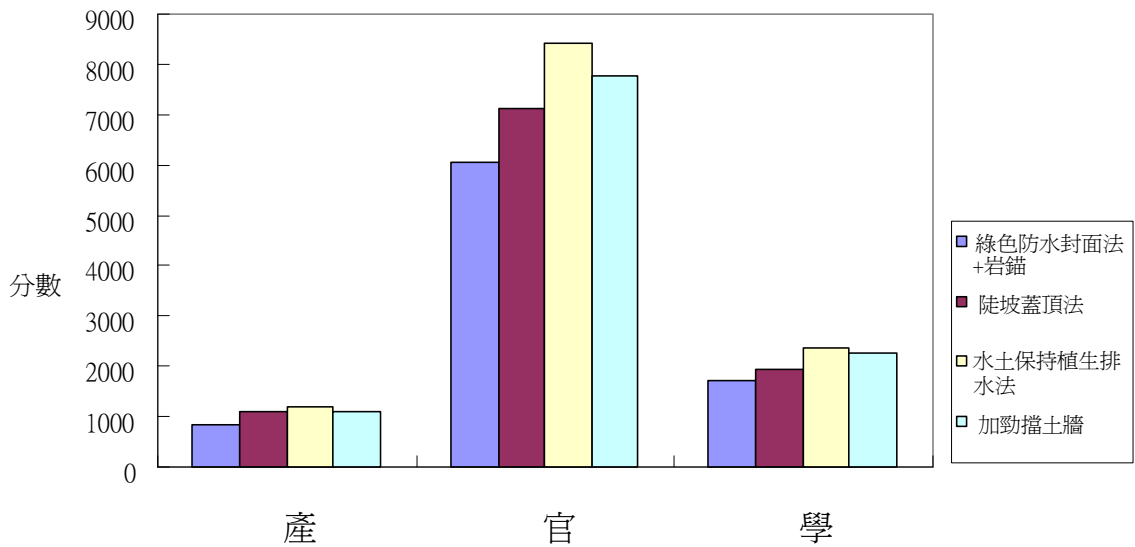


圖 16 一般問卷分數分佈圖

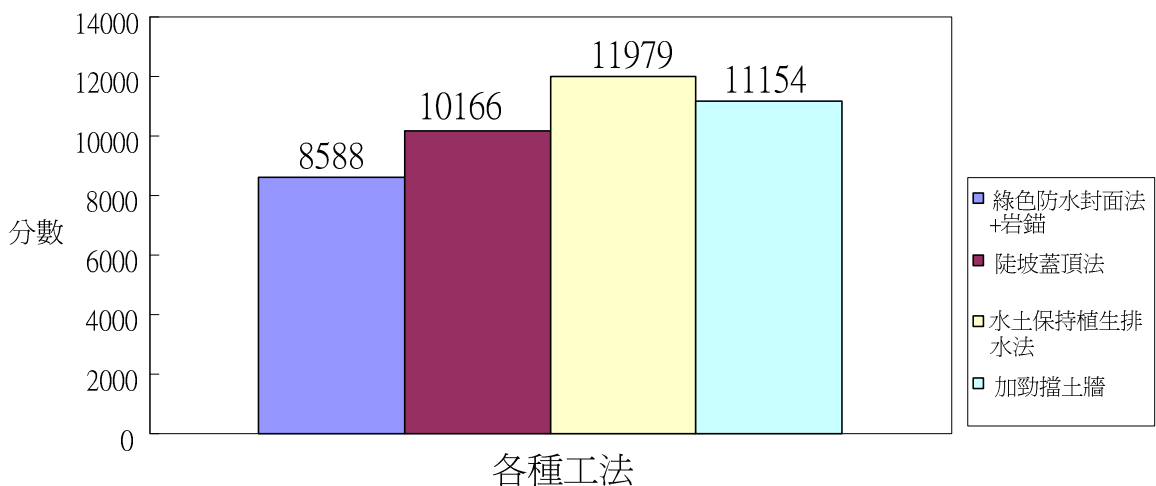


圖 17 一般問卷總分數圖

(4) 綜合成果分析

不論由專家權重或問卷權重分數比較圖中顯示出水土保持植生排水法，為本研究中代表泥岩護坡之最適之工法，詳如圖 18。

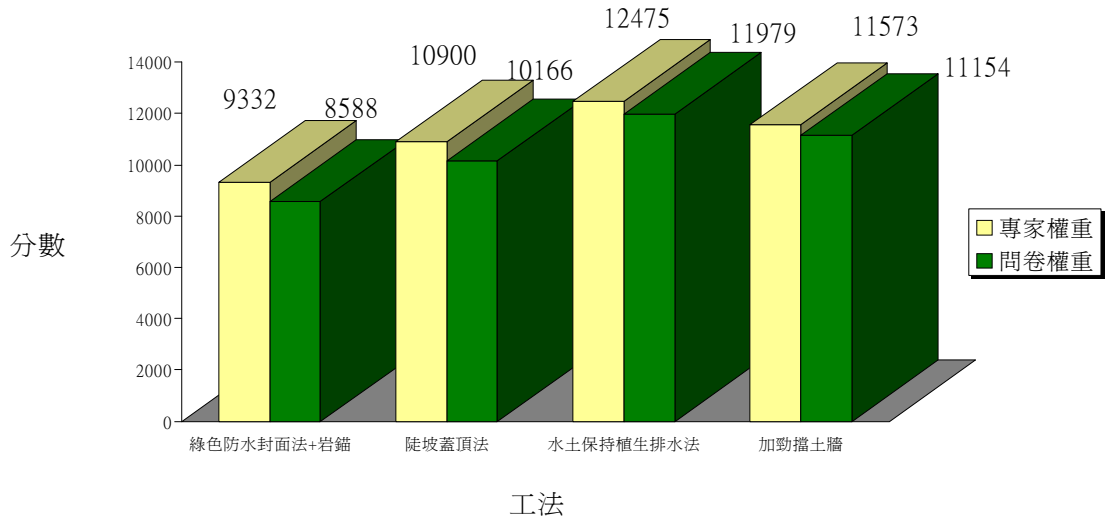


圖 18 專家及問卷總分比較圖

五、結論

本研究係探討於 1992 年 8 月完工之「田寮試驗區」四種泥岩挖方邊坡保護工法，藉由專家、學者的意見設計評估項目，並利用問卷方式調查分析而得到以下結論：

1. 本研究之泥岩挖方邊坡保護工程就穩定方法可分為綠色防水封面工法+岩錨、陡坡蓋頂法、水土保持植生排水工法與加勁擋土牆法四種工法。綠色防水封面工法+岩錨與陡坡蓋頂法易會產生地貌的潛勢變化造成工程構造物之崩解等缺點；加勁擋土牆法較具施工效益，但其費用龐大不符經濟效益；另水土保持植生排水工法在施工效益較為緩慢，但長遠而言，較具經濟效益、且維護成本低廉美化成果較佳，並具生態景觀連續性及永續性。
2. 由專家訪談及問卷調查結果，對於六個影響全種因子以施工效益之權重，獲得一致看法屬性最為重要程度。
3. 根據現地調查結果於邊坡穩定性方面，以水土保持植生排水工法較佳，歷經 17 年後及在豪大雨過後坡面較少沖蝕，邊坡則未發現任何破壞現象，這點與問卷調查結果相符。
4. 在地質災害頻傳之泥岩及砂頁岩互層，若邊坡坡面之坡度較大且坡長較長，加上雨季集中，種種嚴苛之不利條件考驗下，坡面之保護工法除了植生護坡外，尚須配合適當的工程技術方可達成互補的功效。

- 5.水土保持植生排水法之植生草種，應盡量選用在地原生草種以融合當地生態及提高經濟效益。
- 6.加勁擋土牆工法施作，1992 年其單價為每平方公尺 8026.9 元。於本研究中泥岩護坡工法中（綠色防水封面法+岩錨單價約為每平方公尺 924 元。陡坡蓋頂法單價約為每平方公尺 108 元，水土保持植生排水法單價約為每平方公尺 100 元至 546 元。）屬於單價偏高，若能進行大面積施作則能降低本工法之成本，提高其經濟效益。
- 7.邊坡整治，若能因地制宜搭配使用二種以上之工法同時施作，較能獲得較高的經濟效益

參考文獻

中文部份

1. 交通部台灣區國道新建工程局，「泥岩挖方邊坡保護工程試驗研究」，第一期，1992。
2. 交通部台灣區國道新建工程局，「泥岩挖方邊坡保護工程試驗研究」，第二期，1994。
3. 交通部台灣區國道新建工程局，「泥岩挖方邊坡保護工程試驗研究」，第三期，1995。
4. 林務局農林航空測量所，「台灣西南部地區泥岩（青灰石）裸露地面積航測調查」，1988。
5. 經濟部水利署，「莫拉克颱風水文分析報告」，2009。
6. 中央氣象局資訊服務網站。
7. 許琦、劉慶輝，「簡易格網式泥岩護坡」，南部軟岩區邊坡穩定工法(II)論文集，台南，第 47~70 頁，2003。
8. 耿文溥，「台南以東丘陵區之地質」，經濟部中央地質調查所彙刊，第 1 號,1-32 頁，1981。

英文部份

9. Wang Y.1970, Clay Mineralogy of the Gutingkeng Mudstone, Southern Taiwan, ACTA. Geo. Taiwanica, pp9-19
- 10.Bergen, S.D., Bolton, S.M., and Fridley, J.L., 2001, Design Principles for Ecological Engineering, Ecological Engineering, No. 18, pp.201-210
- 11.Adolfo Cano, Rau´ l Navia, Javier Montalvo,Ibone Amezaga,2002, Local topoclimate effect on short-term cutslope reclamation success, No. 18, pp.489-498
- 12.Xiaoping Li , Liquan Zhang, Zheng Zhang, Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China No. 26, pp.304-314