財團法人
中華民國水利技師公會全國聯合會
台灣省水利技師公會
台北市水利技師公會
高雄市水利技師公會

水利會訊 第二十二期 水利技師公會 民國107年11月

行政院公共工程委員會
公告之國內外專業期刊

水利會訊

第二十二期

水利技師公會

中華民國107年11月

水　利　會　訊

中華民國 107 年 11 月第二十二期

發行人／陳志明

發行所／社團法人台灣省水利技師公會

主編／李方中

助理編輯／王振宏、鄧光育、陳靖怡

社團法人中華民國水利技師公會全國聯合會

地址：22101 新北市汐止區新台五路一段 81 號 10 樓之 4
電話：（02）2698-0974　　傳真：（02）2698-0977

社團法人台灣省水利技師公會

地址：22101 新北市汐止區新台五路一段 81 號 10 樓之 4
電話：（02）2698-0980　　傳真：（02）2698-0977

社團法人台北市水利技師公會

地址：22101 新北市汐止區新台五路一段 81 號 10 樓之 4
電話：（02）2698-0975　　傳真：（02）2698-0977

社團法人高雄市水利技師公會

地址：80672 高雄市前鎮區擴建路 1-22 號 9 樓
電話：（07）8157321　傳真：（07）8157342

水利技師公會聯合資訊網：http://www.hydraulic.org.tw

石門水庫溢洪道及排砂隧道於 102 年蘇力颱風及潭美颱風期間洩洪、排砂壯觀景象。
（感謝經濟部水利署北區水資源局劉志光工程司提供拍攝照片）

承印者：宸和事業有限公司

地址：台中市烏日區中山路 1 段九如巷 68 弄 48 號

電話：（04）23385732

零售價：每冊 350 元

1. 本公會會員及贊助會員免費
2. 學生及圖書館每冊 300 元
3. 國內包裹掛號郵資：60 元
4. 郵政劃撥帳號：12982016　戶名：社團法人台灣省水利技師公會
5. 電話：（02）26980980 傳真：（02）26980977
6. 廣告刊登：請電（02）26980980
7. 本會訊寄發本會會員暨有關水利機構及從業人員

本刊文責由作者自負，版權概屬本會所有，未經本會同意之翻印與轉載均為違法行為，必依法追訴。

水利技師公會理監事名錄

社團法人中華民國水利技師公會全國聯合會第七屆理監事

理 事 長 ：陳賜賢

榮譽理事長：劉進義

常務理事：余濬、嵇質彬、吳銘哲、蔡文豪

理　　事：王存欽、吳育奇、陳宇彥、張子蕙、許載德、曾名宏、郭致亮、楊森弼、劉豐壽、羅慶瑞

常務監事：凌邦暉

監　　事：王昭文、林家輝、陳意文、張名成

顧　　問：方文銓、林冠宇、吳憲雄、陳明信、陳志明、黃衡山、劉彥忠、簡俊彥

社團法人台灣省水利技師公會第十一屆理監事

理 事 長 ：陳志明

常務理事：張名成、陳意文、劉景青、羅慶瑞

理　　事：王昭文、林家輝、施彥光、張子蕙、高忠人、曾名宏、陳明陀、陳瑞昌、楊森弼、盧建霖

常務監事：余　濬

監　　事：陳宇彥、嵇質彬、劉桂南、賴桂文

顧　　問：李方中、吳憲雄、周文祥、徐健一、姚長春、施義鑛、許時雄、陳明信、陳賜賢、鄭茂寅、簡俊彥

法律顧問：陳逸如律師

社團法人台北市水利技師公會第十一屆理監事

理 事 長 ：林冠宇

常務理事：陳正宏、陳意文

理　　事：林永祥、施彥光、陳世清、郭致亮、蔡文豪、盧建霖

常務監事：林家輝

監　　事：王存欽、林永敏

顧　　問：余　濬、李方中、林隆寬、施義鑛、凌邦暉、鄭茂寅

社團法人高雄市水利技師公會第八屆理監事

理 事 長 ：黃衡山

常務理事：詹水性、顏啟鐘

理　　事：吳怡萱、陳榮松、廖哲民、廖俊傑、蘇東龍、鐘文傳

常務監事：林尚儀

監　　事：曾武龍、溫宏鍊

(以上均以姓氏筆劃排序)

目 錄

學術天地

一、 綜合治水的新思維-以大潮州地下水補注湖為例
-江國豐、林得志 …… 1

二、 滯洪池設置實務探討-以鳳山圳滯洪池工程為例
-梁錦淵、鄭朝文 …… 20

三、 淺談潰壩分析
-林家輝 …… 47

四、 橋墩基礎防沖刷常用保護工及案例介紹
-高忠人、賴桂文、陳明陀 …… 64

五、 常用混凝土異型塊類型及應用
-高忠人 …… 94

六、 台中水資源開發模式建立與應用
-劉宏仁、徐年盛、莊啟洪、鄭文明 ……111

七、 用水計畫書審查制度的入法及其意義
-李方中、施威全 ……128

會務報導

一、 EPA SWMM5 數值模式研習會 ……137

二、 大甲溪發電廠與大甲溪流域綜合治理觀摩暨研討 …138

三、 重要公文 ……140

綜合治水的新思維-以大潮州地下水補注湖為例

江 國 豐　　林 得 志

屏東縣政府水利處處長　　黎明工程顧問股份有限公司
水利技師兼董事長

摘　要

屏東縣的林邊溪發源於中央山脈，流長44.33km，於林邊鄉、佳冬鄉界注入台灣海峽。濱海地區養殖漁業盛行，超抽地下水、地盤下陷、海水倒灌、排水不易、淹水嚴重，縣政府為抑制地盤下陷，於林邊溪沖積扇頂部來義鄉興辦「大潮州地下水補注湖」工程，本文介紹該工程的內容，並初步評估該工程的效益，發現除補注地下水、防止地盤下陷外，尚有減低林邊溪洪峰流量的防洪效益，且引用洪水補注蓄存於地下平原，將可抽取作為水資源，供公共給水與工業用水，湖區又可供休閒及裝設太陽光電，是最佳的綜合治水案例，期望全台灣的推廣。

一、 前言

林邊溪下游地區超抽地下水，造成地盤下陷、海水倒灌、排水不良、洪水成災，居民生活品質不佳，政府耗費大量資源投注於各種排水防洪設施，為抑止地盤繼續下陷，屏東縣政府興辦大潮州地下水補注湖工程，由黎明工程顧問股份有限公司設計監造，第一期計畫開發50公頃人工湖，業已完工營運中。

該地下水補注湖設置於林邊溪上游，出山谷後之右岸扇形沖積台地的頂部。攔截林邊溪雨季之洪水及平時（扣除生態基流量與水權量）流量，經沉澱後導入人工湖，用以補注地下水，最大每天可補注1,000萬m^3之地下水，期望抑止地盤下陷，減輕水災。另外，洪水蓄存於地下，可適度抽取，做為民生與工業用水，可說是綜合治水。

二、 關於林邊溪

林邊溪流域位置介於東經120度28分至120度40分，北緯22度20分至22度30分之間，北隔東港溪與隘寮溪流域，東以中央山脈與太麻里溪流域為

界，南接率芒溪流域，西鄰台灣海峽，主要支流包含瓦魯斯溪、大後溪、來社溪、尖刀尾溪、七佳溪、力力溪等，發源於中央山脈之南大武山西南麓(標高2,950公尺)，集水區高低落差大，且流路縱坡相當陡峭，河川順著節理發育，發展為V型谷之順向河，流路短促、溪床陡峻、谷深、向源侵蝕顯著；河流中、下游兩岸多有河階地與沖積扇之發育，出口處為林邊溪沖積扇。

主流林邊溪由南側支流力力溪合流而成，發源為瓦魯斯溪，匯流大後溪後向南流，於義林村來義大橋上游有支流來社溪匯入，往西南方流，並於文樂村北緣有尖尾刀溪匯入進入平原地區，再經新埤鄉箕湖村合流入林邊溪主流上新埤大橋，於屏東縣林邊鄉、佳冬鄉界注入台灣海峽，主流長度44.33公里，流域面積345.2平方公里，主流平均坡降為1/88；支流力力溪集水面積為127平方公里，平均坡降1/54。

圖1 林邊溪流域圖

目前流域內人口最多為枋寮鄉，人口密度最高則為林邊鄉，人口較聚集之區域為林邊鄉及枋寮鄉，兩者皆位於林邊溪下游出口所形成之沖積扇上。依據106年度之統計資料顯示，流域內人口總人數為89,570人（男

46,510人，女43,060人），總戶數約30,653戶。

流域年平均降雨量約2,413mm(統計至105年度)，百分之八十八集中於5~9月之豐水期。每遇颱風豪雨下游洪水氾濫，佳冬鄉羌園附近曾淹水深達2公尺。

圖2 歷次颱洪佳冬鄉羌園淹水圖

三、 林邊溪下游的地盤下陷

屏東地區地下水之開發甚早，當時沿海地下水位並無低於平均海水位之現象，隨著養殖技術突破性之發展，沿海養殖隨之擴展，造成地下水抽取量增加，屏東佳冬鄉塭豐村下陷量超過3公尺，故於民國61年開始大量管制地下水的利用，緩減下陷之情勢。

地層下陷中心早期發生於枋寮鄉，民國87年以後，移動至林邊溪出海口兩側的林邊及佳冬地區，民國83~105年累積最大下陷量超過100公分以上。

四、 地下水補注湖預期效益

(一) 增加水源供應

(二) 減緩地層下陷

(三) 抑制海水入侵

(四) 提高防洪保護

(五) 景觀美質與週邊土地價值提升

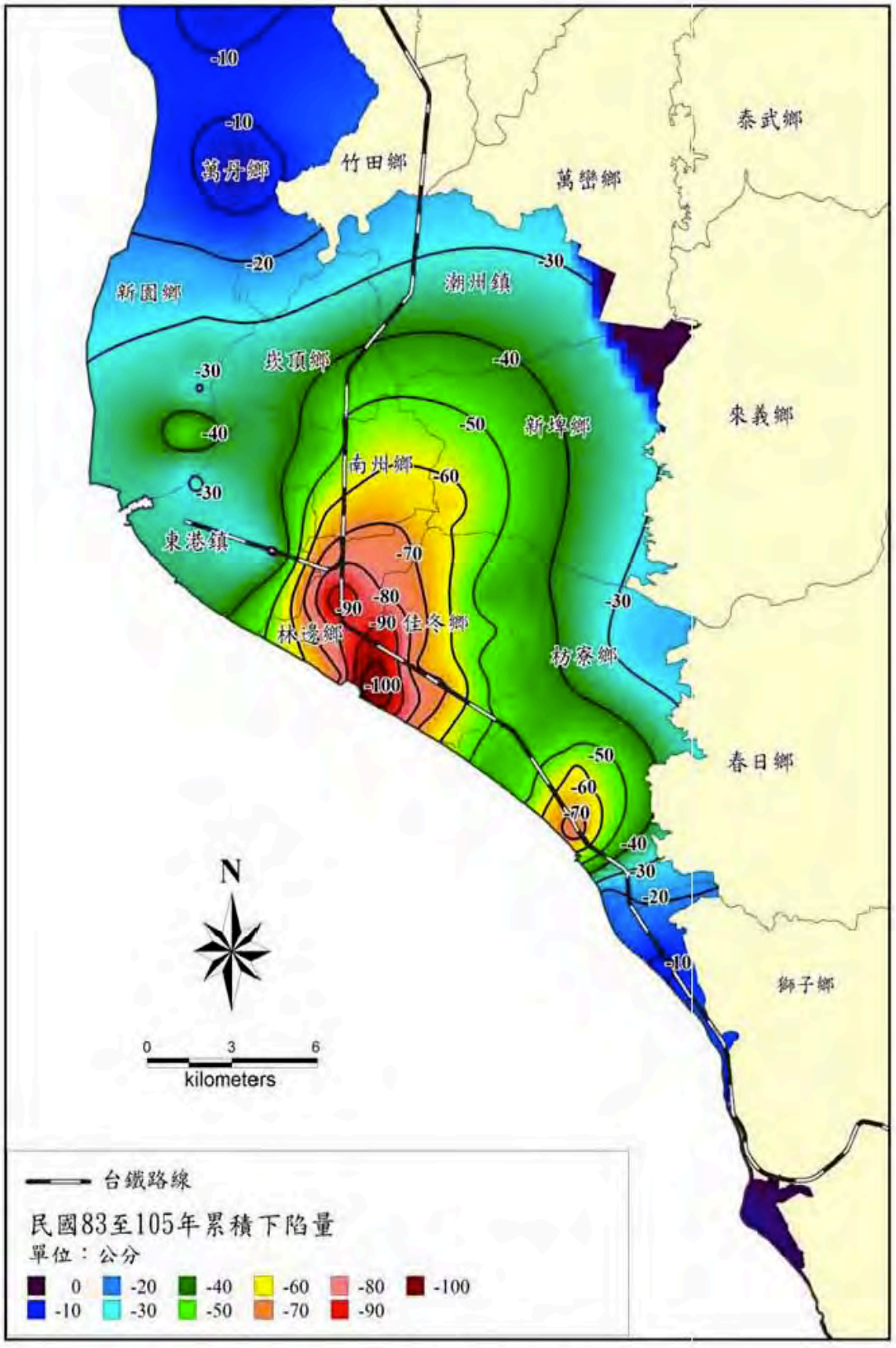


圖3 林邊溪下游區域地盤下陷圖

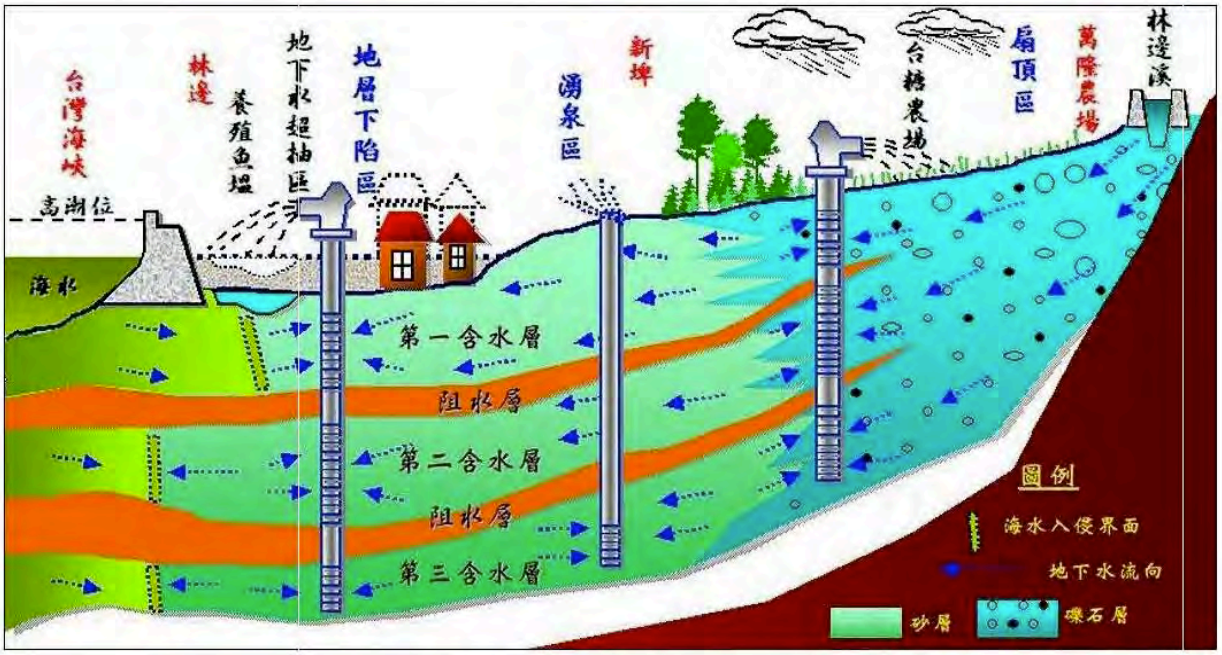


圖4 地下水補注湖示意圖

五、 整體計畫工程內容

(一) 平面佈置圖

固床工、取水工、輸水工、補注湖區(第1階段)、補注湖區(第2階段)監控系統、監控中心及觀測站井設置與觀測。

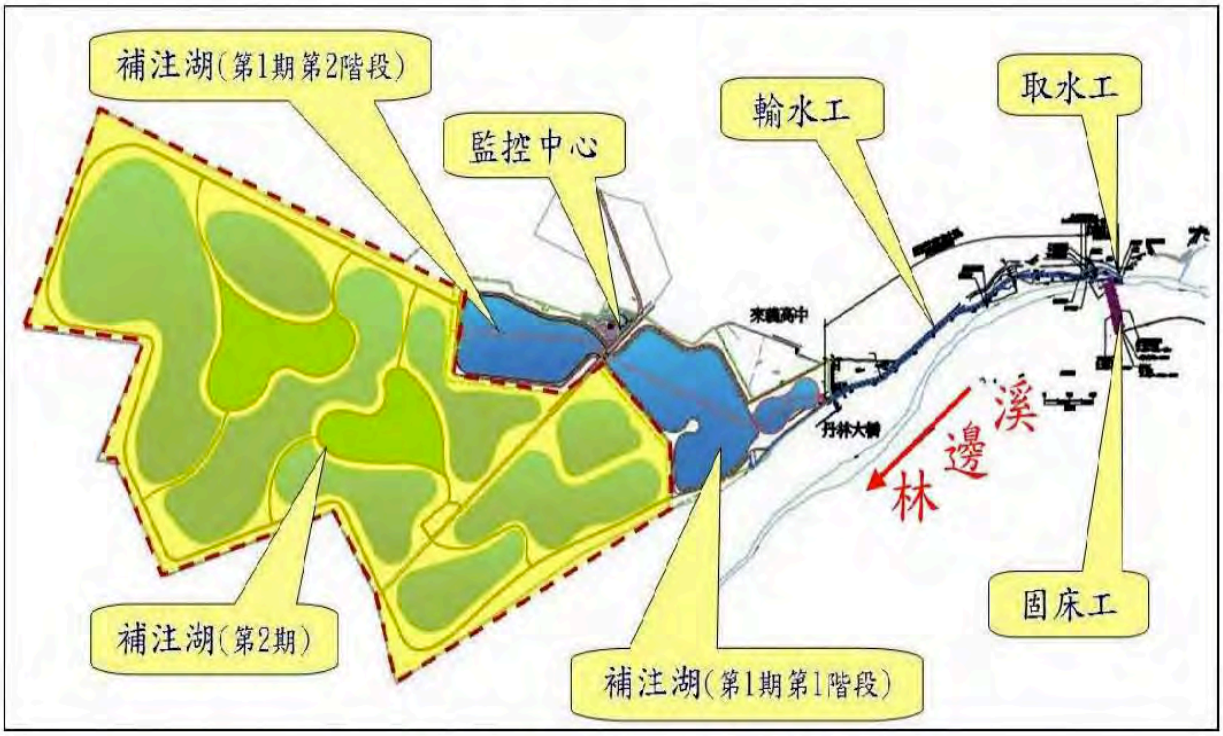


圖5 林邊溪大潮州地下水補助湖平面位置圖

(二) 航照佈置示意圖

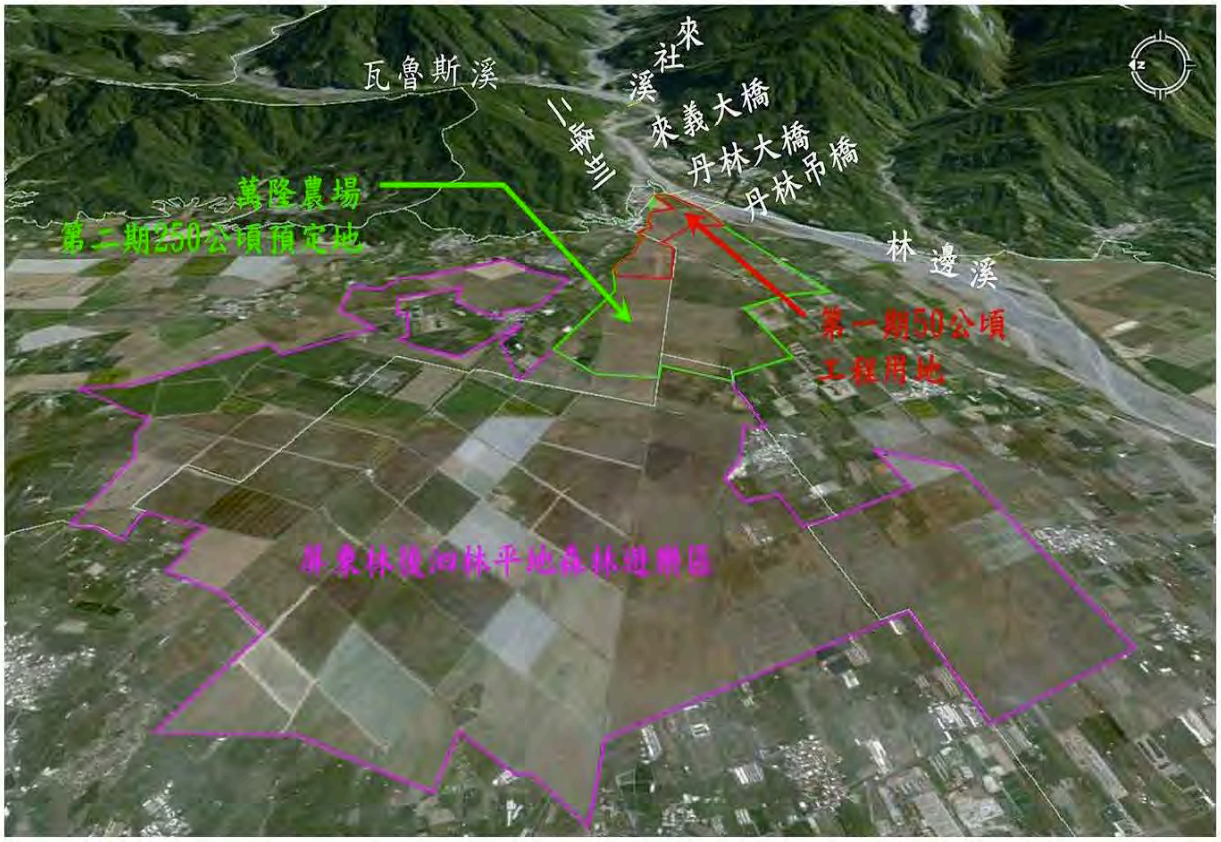


圖6 林邊溪大潮州地下水補助湖航照佈置示意圖

(三) 攔河堰固床工

1. 平面佈置圖

固床工工程包含上游TYPE.1混凝土塊(EL.99.8m、長166.5m)、下游TYPE.2混凝土塊(EL.98.0m、長146.9m)、左岸混凝土塊(TYPE.3、長33m)、混凝土格框工(EL.98.5m)及左岸坡面工銜接復舊工程。另右岸設有一排砂道，尺寸為長151.37m、寬19.4~21.0m，並設有二門寬8m、高3.8m之排砂閘門，詳細平面配置如圖7。

2. 固床工的功能

固床工之主要功能係維持一定取水所需水位，於豐水期間引取地表剩餘水，並維持河道基本生態流量。

3. 固床工-標準斷面圖

固床工之混凝土塊頂層採50cm耐磨混凝土施作， 下游側格框工內填料分三層施作，並維持其透水性，全套管基樁移至最下游第一道防線，減緩

河道下刷對結構造物影響，最下游設置異形塊埋於河床下2m，當異形塊露出時須緊急回填，確保固床工安全，固床工標準斷面如圖8所示。

4. 排砂道-縱斷面設計

排砂道上游採無護坦方式設計，由排砂座槽、閘門體、操作橋、垂直跌水工及消能池等設施組成，閘門採直提式閘門(W8.0m * H3.8m)，排砂道縱斷面如圖9所示。

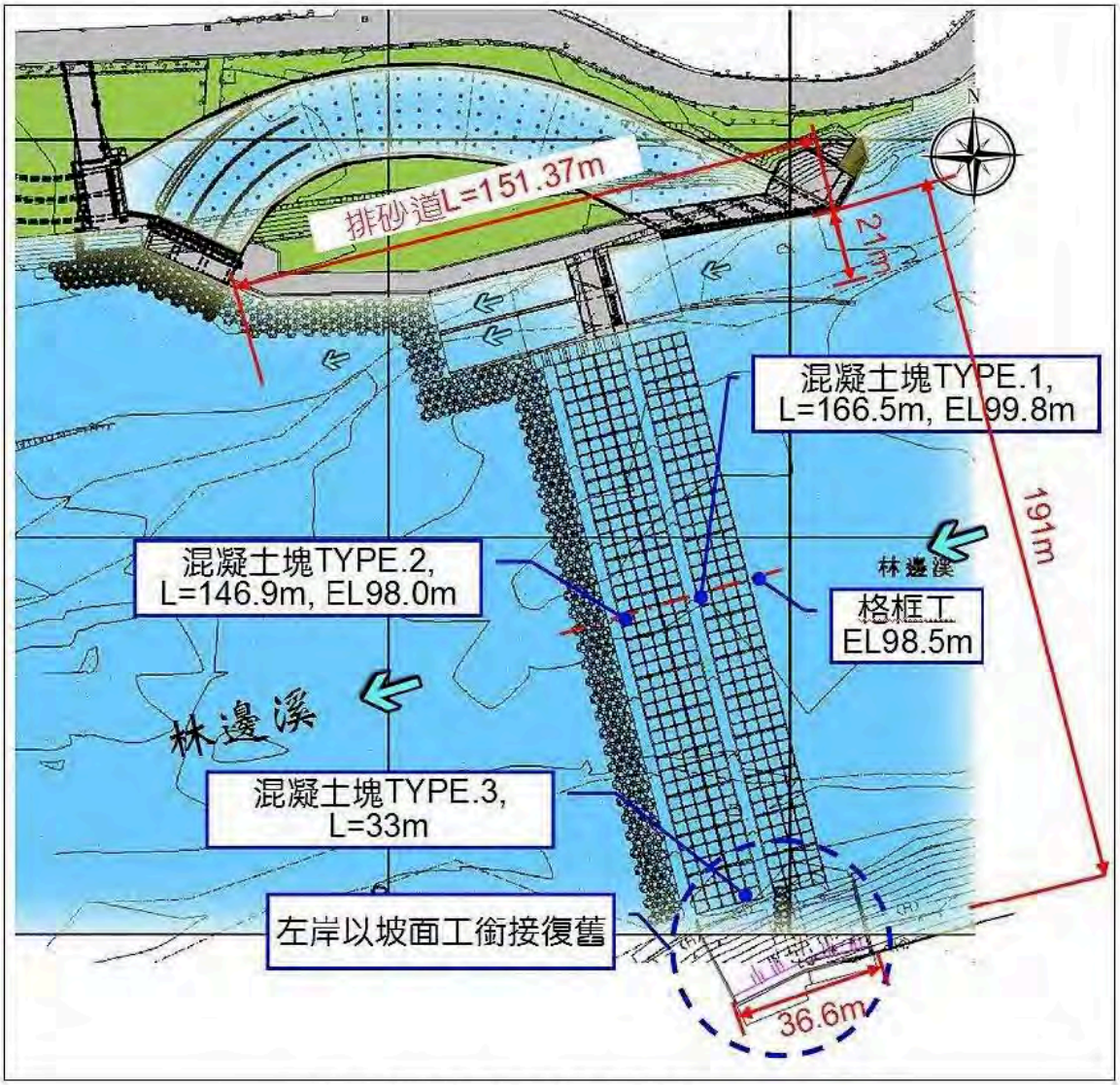


圖7 攔河堰固床工平面配置圖

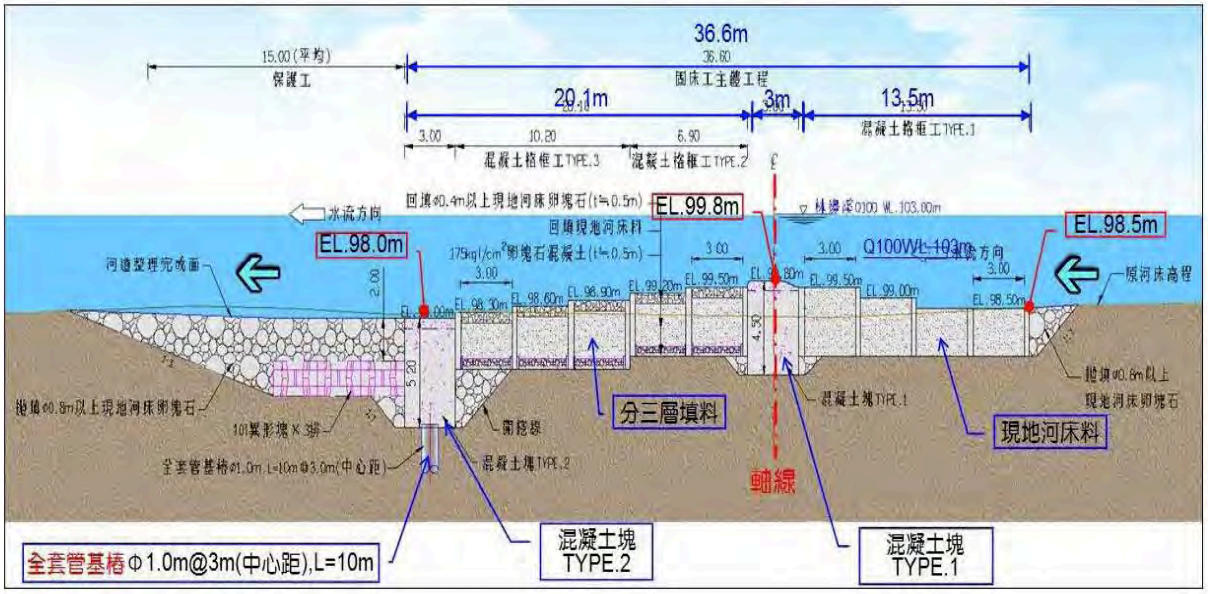


圖8 固床工標準斷面圖

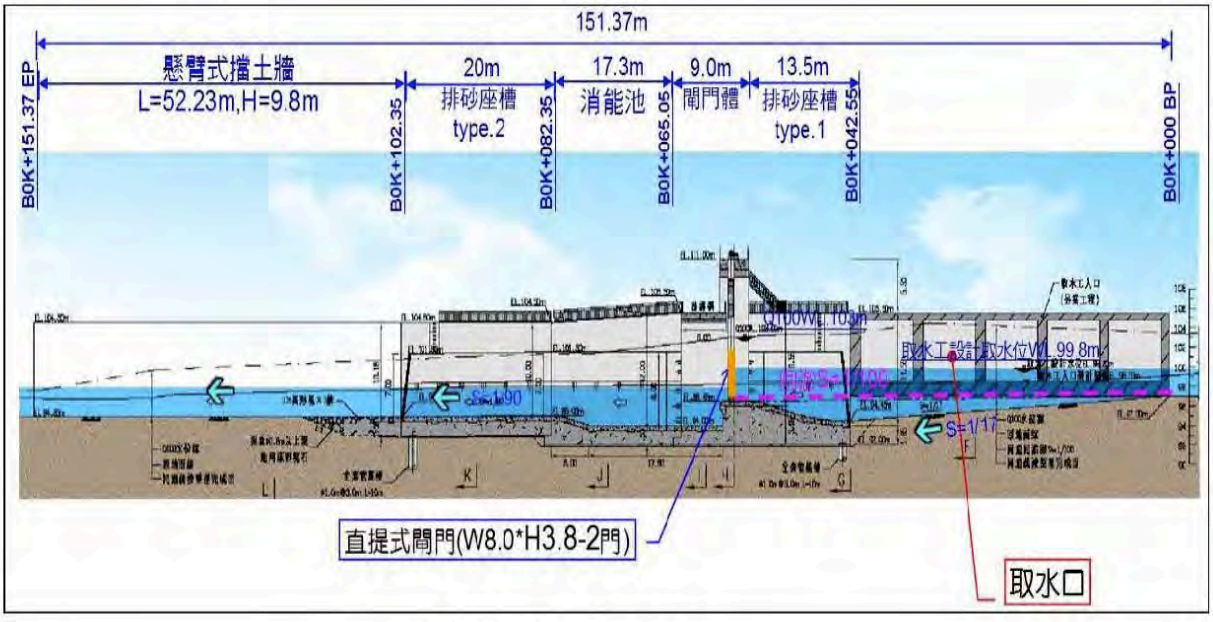


圖9 排砂道縱斷面圖

(四) 取水工

1. 平面佈置圖

取水工包含取水口(設置版橋及攔污柵)、彎曲引水渠道、沖砂閘門、制水閘門、 水尾閘門及緊急放流閘門等設施，平面佈置如圖10所示。

2. 取水工功能

本座取水工將是台灣首座彎道取水設施，主要係利用渠道過彎產生離心力分離水、砂，沖砂閘門亦具有重力排砂之功能，圖11為完工後之願景圖。

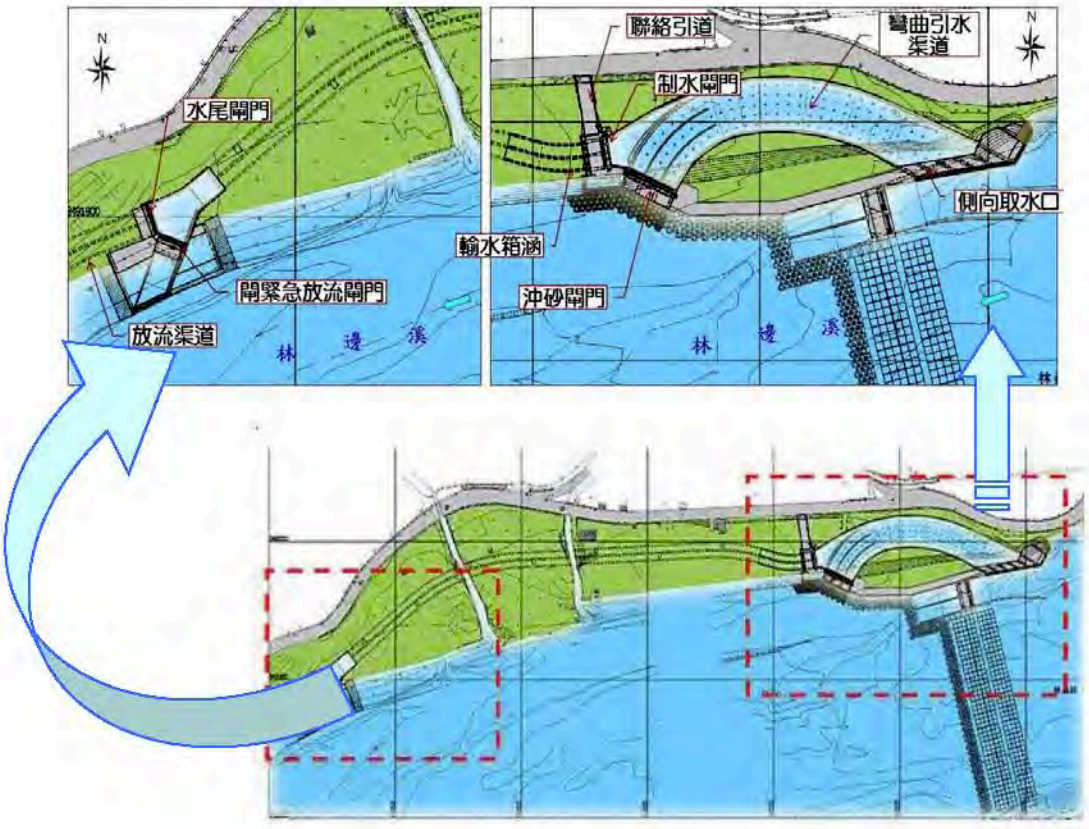


圖10 取水工平面佈置圖

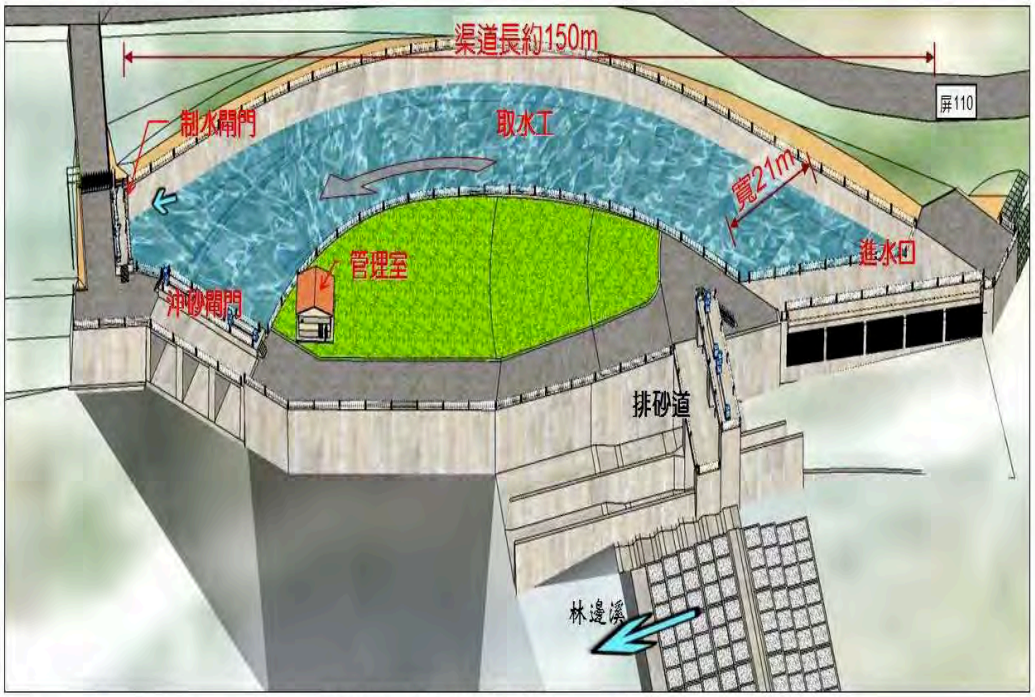


圖11 取水工完工示意圖

(五) 輸水工程

輸水工程總長990m，其中0k+070~0k+415施設於高灘地、0k+455~0k+908施設於堤外，平面佈置如圖12。輸水工程係採雙孔輸水箱涵，將輸送原水至湖區蓄存，施工期間為避免堤防產生滑動，採開挖及支撐(以型鋼支撐)並行，避免土體坍落。

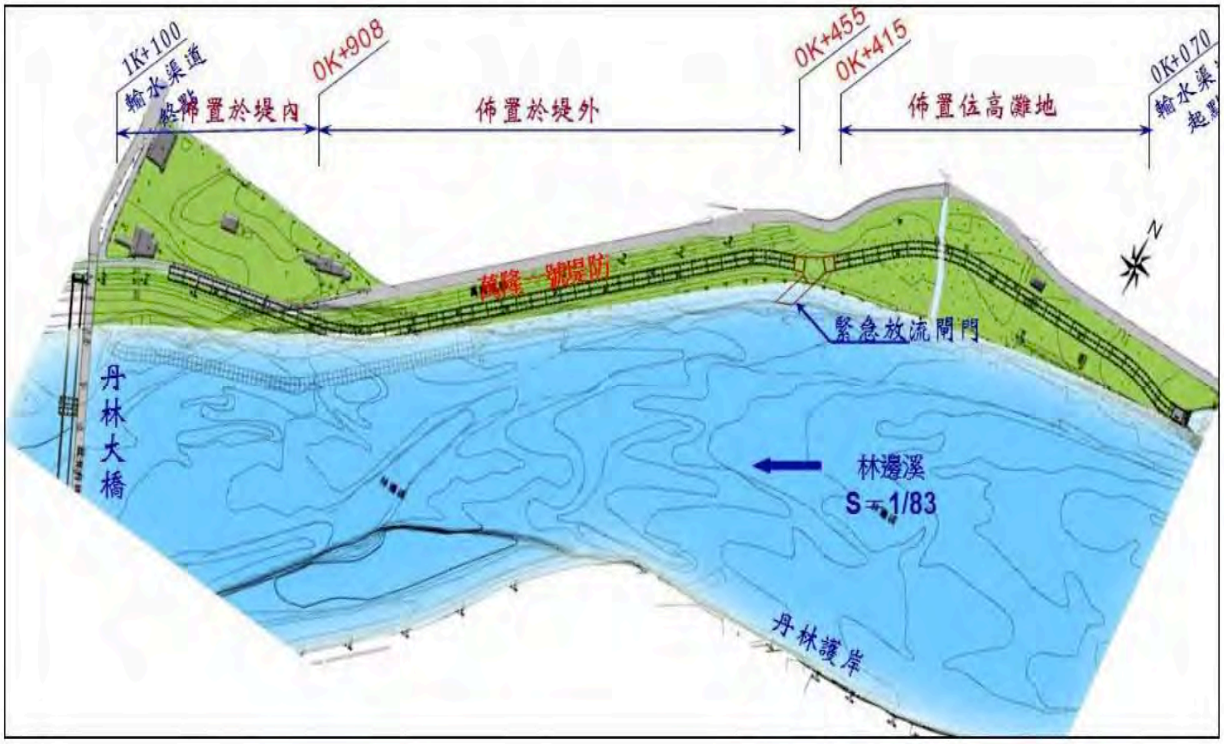


圖12 輸水工程平面佈置圖

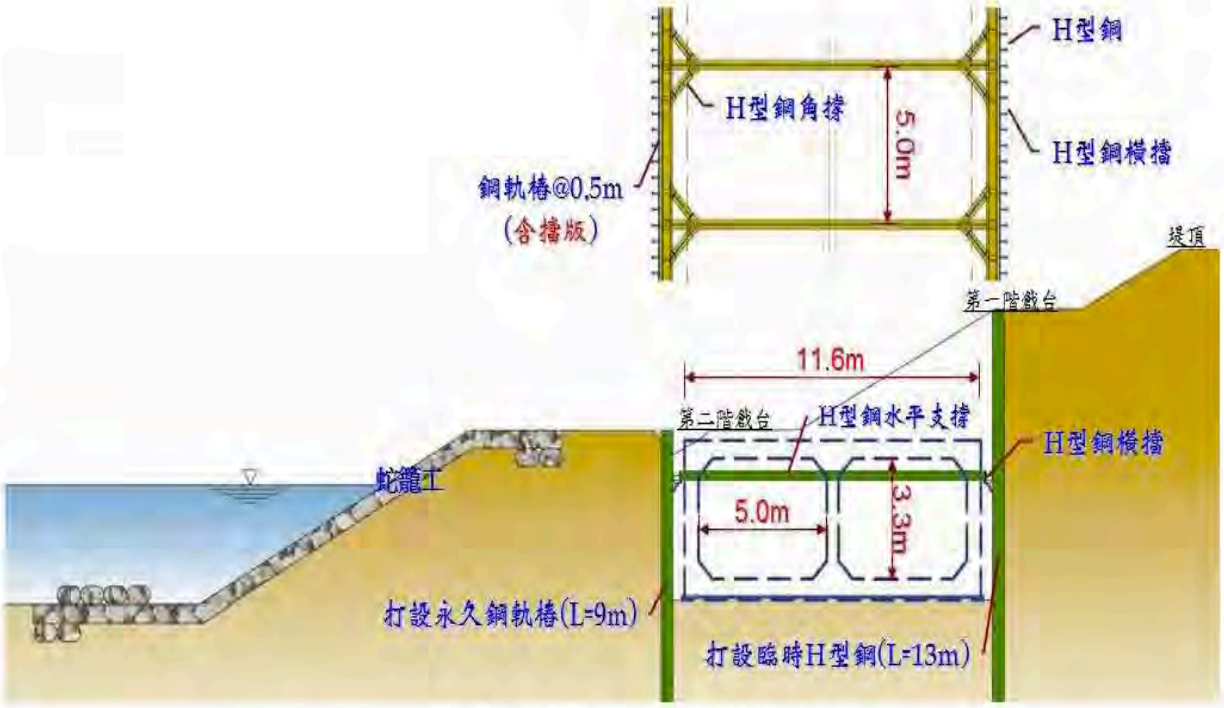


圖13 輸水工程支撐示意圖

(六) 補注湖

1. 第一期湖區工程總平面配置

第一期工程開發面積約50公頃，包含湖區面積35公頃及景觀綠地空間15公頃，工程項目有調節池、沉澱池及補注池，主要功能為滯蓄林邊溪剩餘水源滲入地表補注地下水，總平面配置示意圖如圖14所示。

2. 第一階段湖區平面圖

第一階段湖區包含輸水工尾端、靜水池、調節池(含退水路)、湖區連通箱涵、溢流堰及溢洪道第1階段補注池等工程，平面配置示意圖如圖15。

3. 第二階段湖區平面圖

第二階段湖區包含湖區連通箱涵、溢流堰及溢洪道第2階段補注池等工程，平面配置示意圖如圖16。

4. 補注湖標準斷面

補助湖坡面採S=1:3土坡，每5m設置戲台一處，水利用地道路鋪設碎石便道、環湖湖區分別設置2.5m土溝及碎石便道 。

圖14 第一期湖區工程總平面配置圖

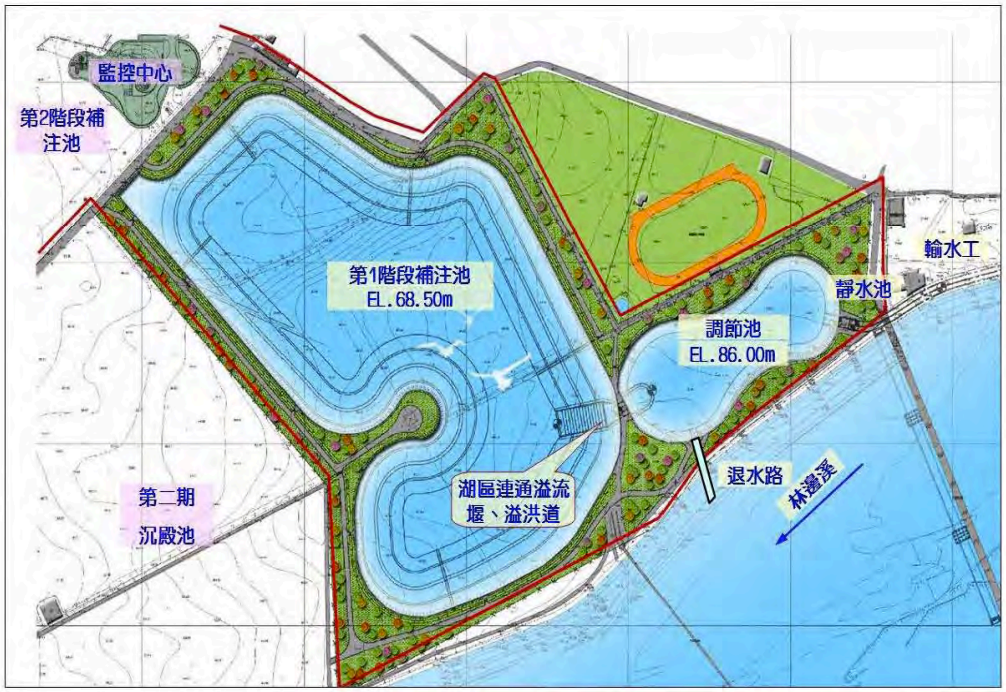


圖15 第一階段湖區平面配置圖

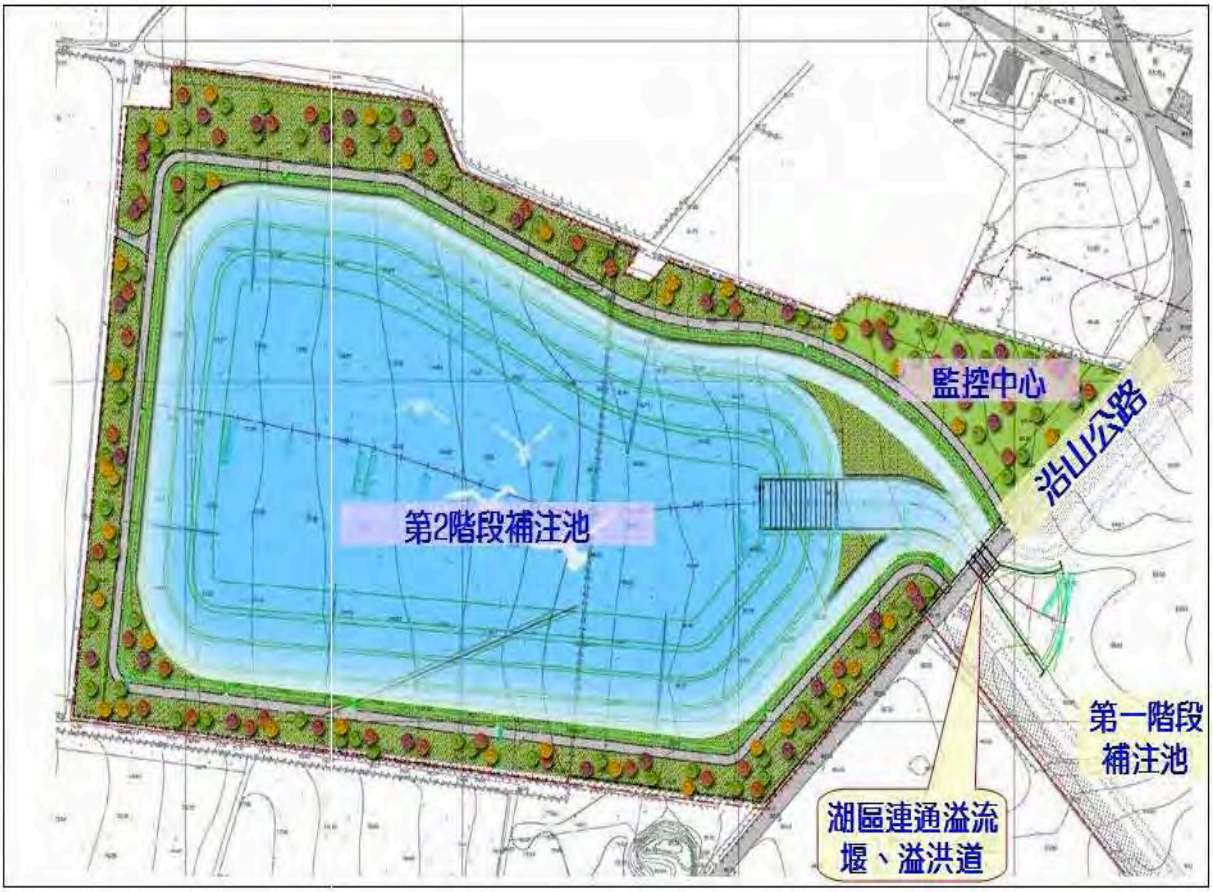


圖16 第二階段湖區平面配置圖

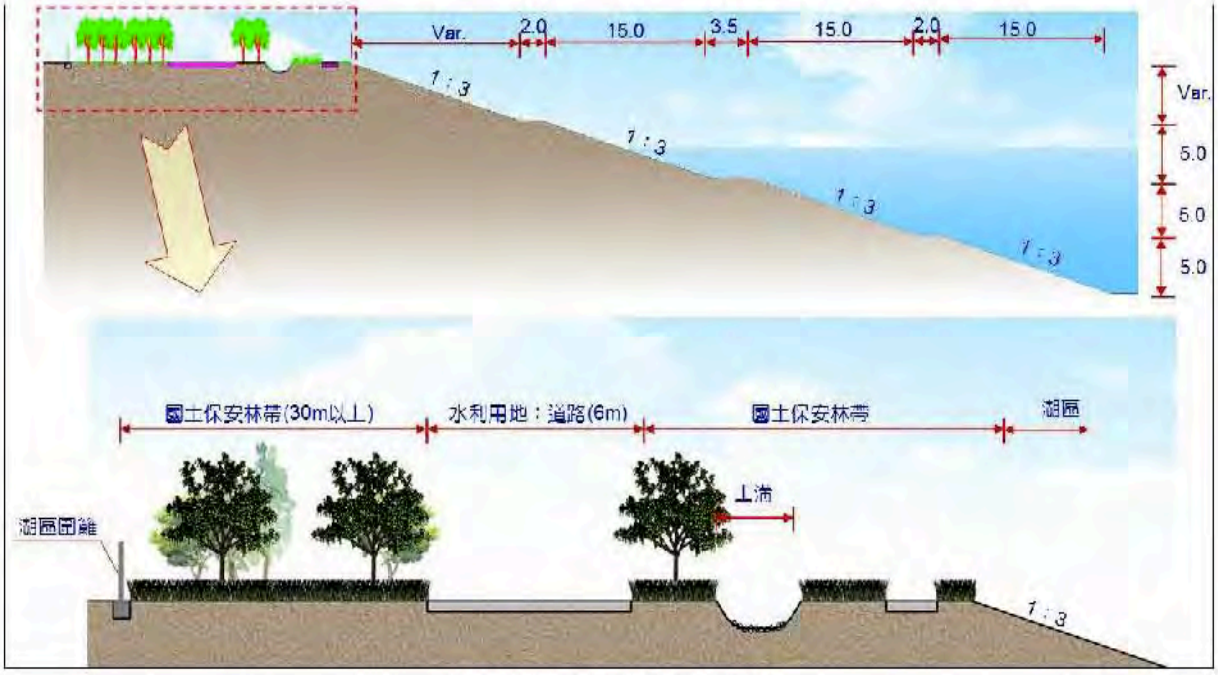


圖17 補助湖標準斷面圖

(七) 監控系統

監控系統包含水文與水質監測系統、CCTV即時監視系統、監控機房及其電力設

備。

1. 水文、水質監測系統

#1監控箱

#2監控箱

#3監控箱

#4監控箱(沉澱池)

#5監控箱(第一階)

#6監控箱(第二階)

2. CCTV即時監視系統

#1 CCTV監視設備

#2 CCTV監視設備

#3 CCTV監視設備

#4 CCTV監視設備

#5 CCTV監視設備

#6 CCTV監視設備

3. 監控機房

多媒體視聽設備架設

監控系統硬體設備

監控系統軟體

4. 電力設備

MP(控制機房)

ATS(控制機房)

60KW柴油引擎發電機(控制機房)

SMP(水尾閘門/緊急放流閘門)

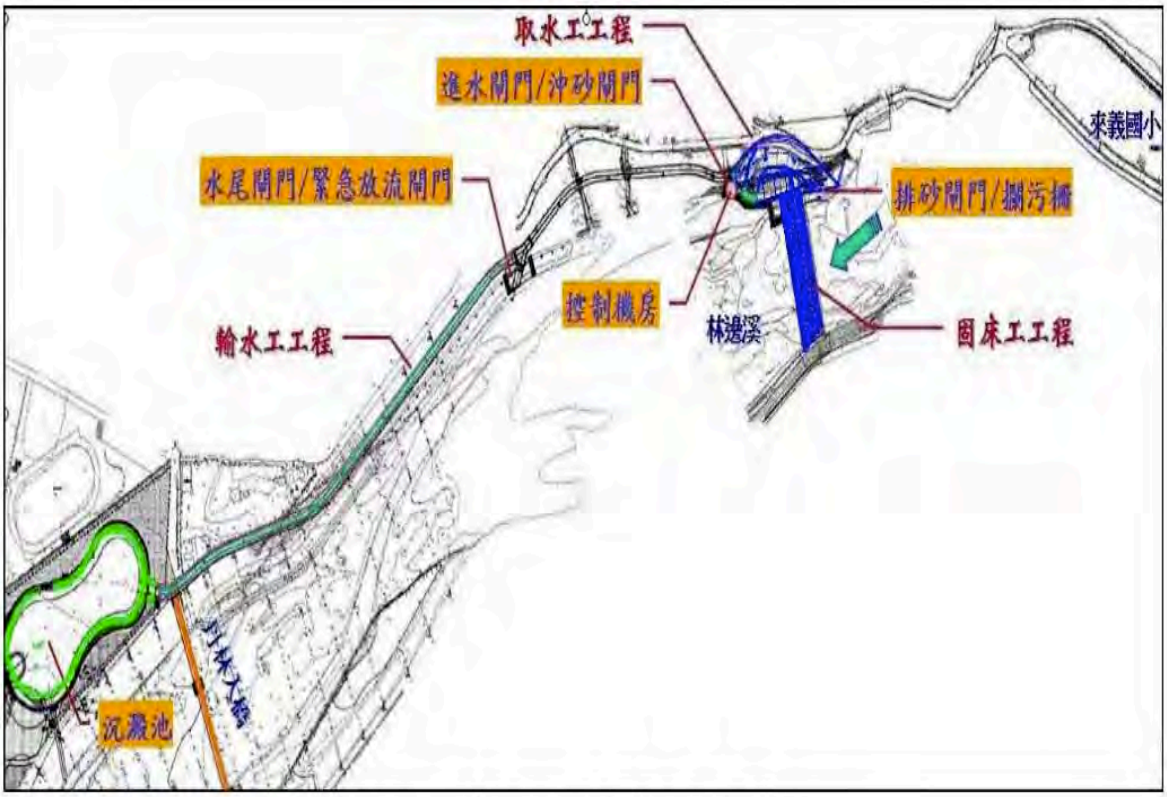


圖18 監控系統工程總平面圖(1/2)

圖19 監控系統工程總平面圖(2/2)

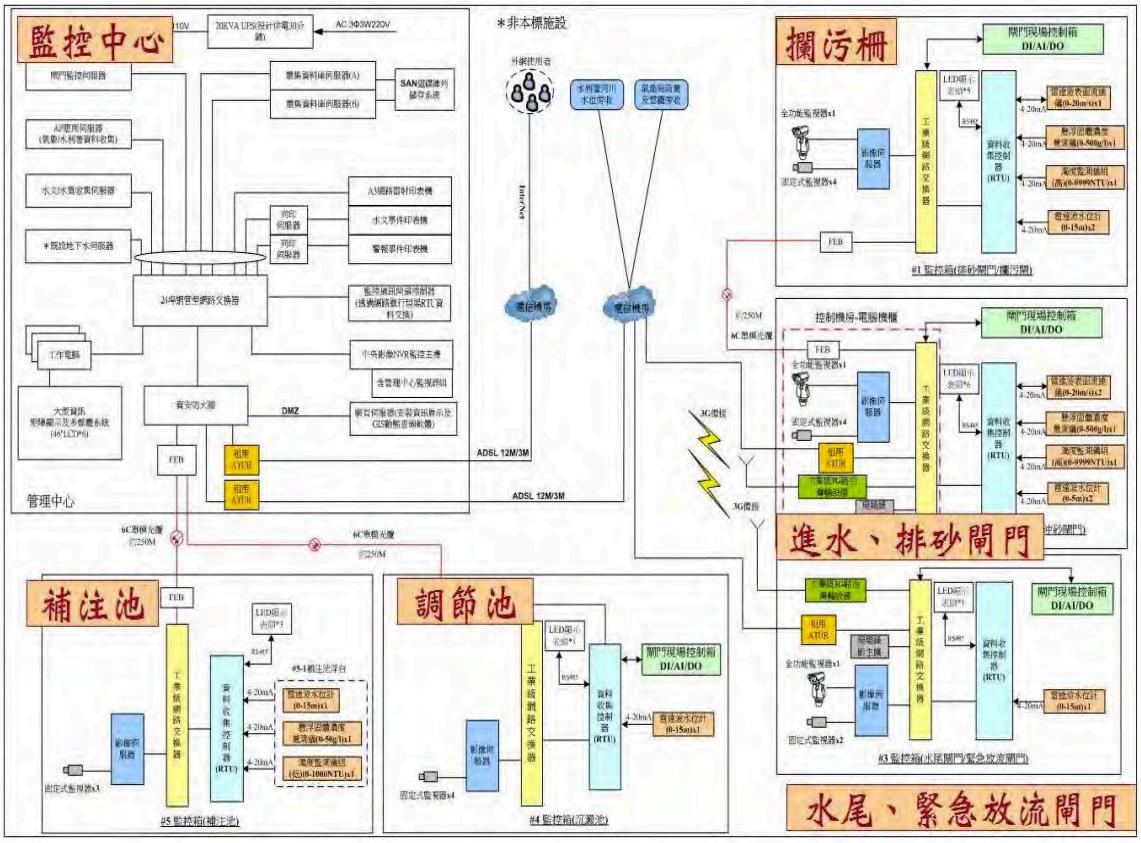
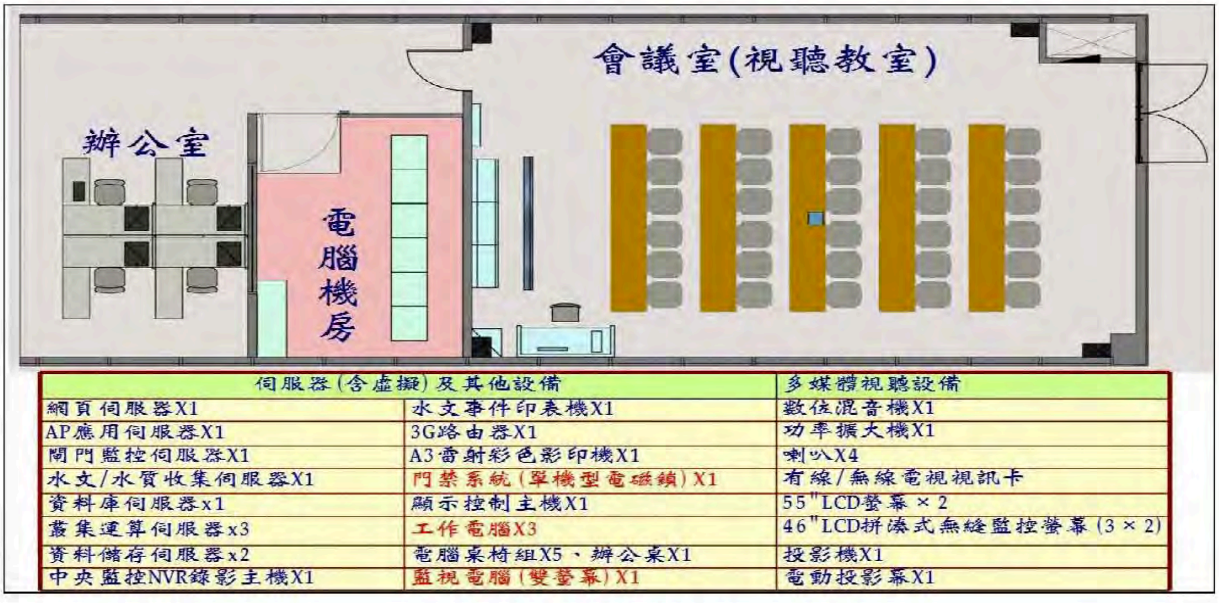


圖20 監控系統工程圖



伺服器(含虛擬)及其他設備		多媒體視聽設備
網頁伺服器X1	水文事件印表機X1	數位混音機X1
AP應用伺服器X1	3G路由器X1	功率擴大機X1
閘門監控伺服器X1	A3黑白彩色影印機X1	喇叭X4
水文/水質收集伺服器X1	門禁系統(單機型電磁鎖)X1	有線/無線電視視訊卡
資料庫伺服器x1	顯示控制主機X1	55"LCD螢幕 × 2
蓄集運算伺服器x3	工作電腦X3	46"LCD拼湊式無縫監控螢幕(3 × 2)
資料儲存伺服器x2	電腦桌椅組X5、辦公桌X1	投影機X1
中央監控NVR錄影主機X1	監視電腦(雙螢幕)X1	電動投影幕X1

圖21 監控室配置圖

(八) 水文氣象系統

本水文氣象系統於2010年建置後持續監測迄今，包含地下水觀測井儀器設備　17站(34口)、綜合氣象站(含雨量站2處)、流量監測站1站、觀測

系統(含水利署既有地下水觀測井)，各測站位置如圖22所示。

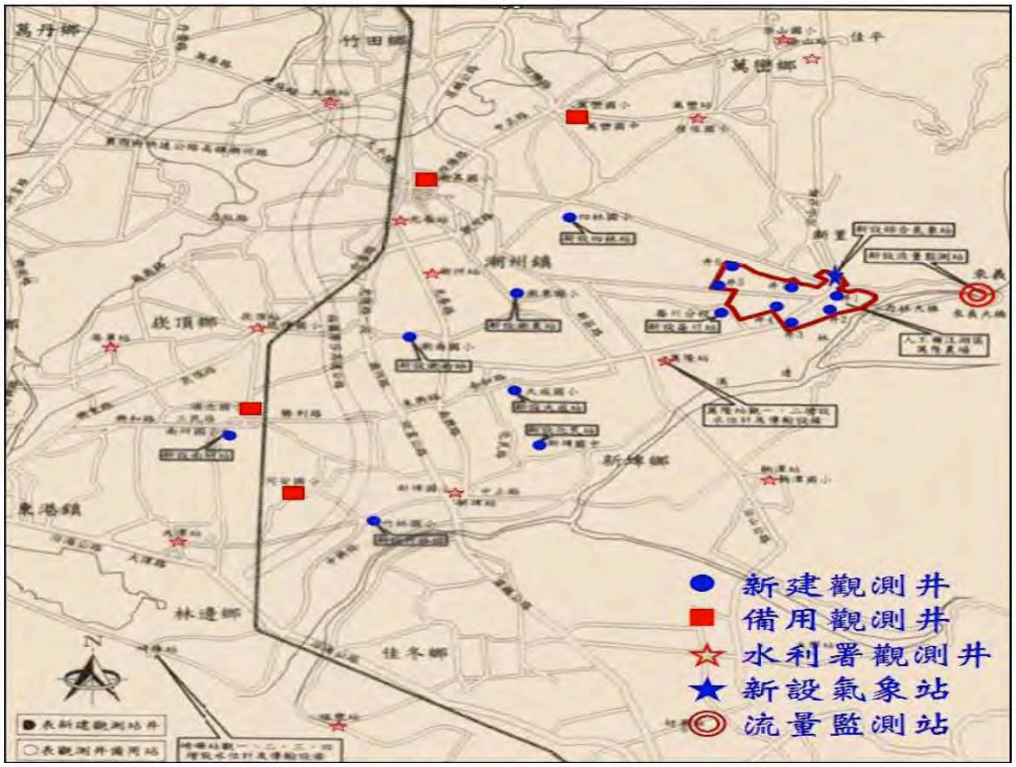


圖22 水文氣象系統安裝位置圖

(九) 施工前後衛星影像圖

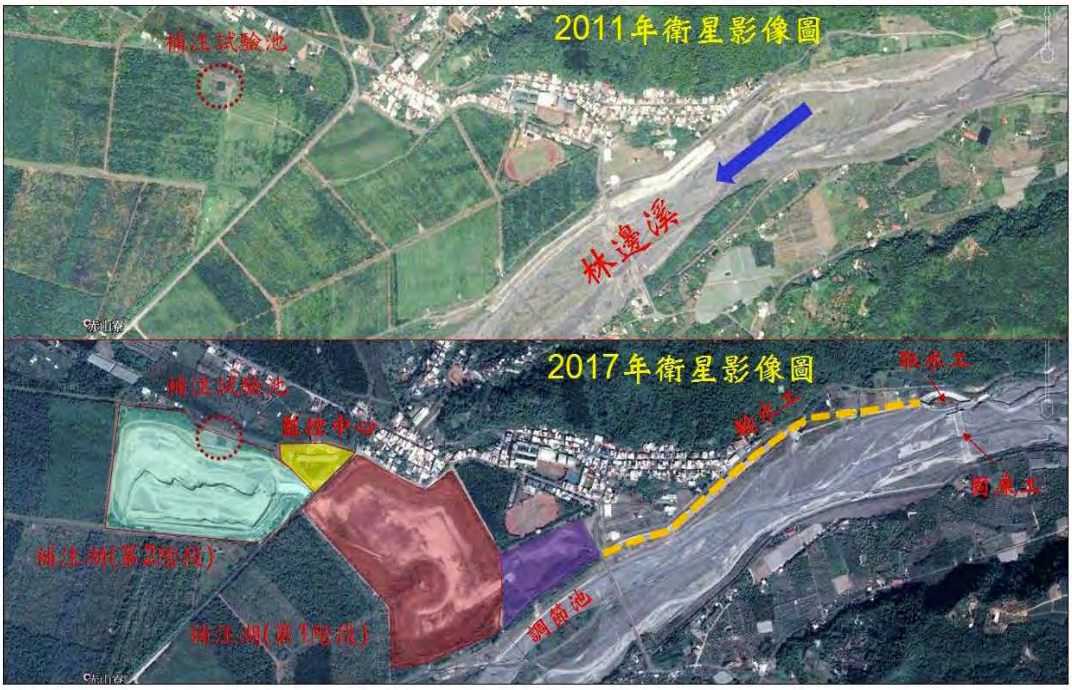


圖23 補助湖設置前後衛星影像圖

六、 效益初步評估

(一) 觀測資料分析

1. 2017年湖區完成，7/25～10/21進行引水入湖操作，引水約400hr，引水量約1,680萬m^3。
2. 2018年5～9月引水時間901hr，引水量約2,600萬m^3。
3. 以湖區水位記錄推估入滲率，第1湖區之入滲率1～5m/day，平均約3m/day。
4. 依據湖區週邊所布設的地下水位4口觀測井。2018年5月及9月所觀測之地下水位資料，9月比5月之地下水位上升18.76m～29.45m。
5. 水位觀測井：

①崙川國小（距湖區約2.9km）。

②潮東國小（距湖區約6.5km）。

③大成國小（距湖區約8.35km）。

④竹林國小（距湖區約11.6km）。

據2018年5月及9月地下水位觀測值9月比5月上升：

①崙川國小（22.14m）。

②潮東國小（8.02m）。

③大成國小（3.18m）。

④竹林國小（1.65m）。

可知距離越遠地下水位上升越小。

(二) 效益概述

1. 以上4及5項之地下水位上升，觀測期是在5～9月雨季，地下水位不全是補注湖之功，應含有降雨之地面入滲，惟確實地下水位明顯上升，減緩地層下陷應可期待。
2. 2018年5～9月引水901hr，引水量2,600萬m^3，折算平均引水8m^3/sec，但是本計畫設計最大引水量116m^3/sec，對林邊溪洪峰折減，有助提高防洪效益。
3. 將洪水蓄存於流域平原之地下，形成地下水庫，以2018年5～9月引水2,600萬m^3入滲地下蓄存，如果抽取做為水資源利用，地下水層過濾之

清水，處理費用極低。水資源的價值以4元/m^3計，價值約1億元。本第一期總工程僅14.13億元。現今地面水庫造價昂貴，環保嚴峻之時代背景下，地下水庫是另一水資源開發的途徑。

4. 湖區綠美化將是休閒活動最佳之處。
5. 南部陽光日照長，管理房屋頂及廣大湖區可開發太陽光電。

七、 結語

1. 林邊溪流域面積345.2km^2，年平均逕流量有6.9億m^3可開發利用。
2. 本計畫第一期工程業已完成，屏東縣政府將以兩年時間營運觀測研究其效益，確認效益後再開發第二期工程。第二期計畫湖區面積250公頃（第一期50公頃）開發完成後效益將大增，將是全世界最大規模的人工補注湖。
3. 臺灣中西部沿海地盤下陷與防洪問題，經濟發展水資源缺乏問題，如能借鏡林邊溪之地下水補注湖計畫，將是另一與傳統不同的綜合治水方法。

投稿 107.11.06
校稿 107.11.08
定稿 107.11.12

滯洪池設置實務探討-以鳳山圳滯洪池工程為例

梁錦淵　　鄭朝文

高雄市政府水利局 總工程司　　萬鼎工程(股)公司 水利技師

摘　要

鳳山溪排水蜿蜒流經高雄市鳳山區，是鳳山區唯一的天然河流，肩負洪患控制之第一要務。為改善鳳山都市住宅密集地區之淹水問題，於「易淹水地區水患治理計畫」中擬訂「鳳山溪排水系統治理計畫」，以堤岸改善、分流、設置滯洪池及機械抽排等治水策略，並分年分期逐步進行改善作業。本文以位於鳳山溪排水上游段之**「鳳山圳滯洪池工程」**為例，淺談滯洪池工程之設計施工相關注意事項，期望有助於日後此類工程實務之參考及應用。

一、前　言

「鳳山圳滯洪池工程」為鳳山溪排水系統治理計畫之一部分，工址位於鳳山圳下游與坐埔排水之匯流口處，與坐埔排水同屬鳳山溪排水之水系。

由於鳳山溪排水沿線部分河段通水能力未達25年重現期標準，導致每逢颱風豪雨來襲時，鳳山圳及坐埔排水常因鳳山溪排水水位頂托，洪水無法順利宣洩而漫溢過護岸造成淹水。

有鑑於本計畫範圍治水工程的迫切性，為確保本區域民眾生命財產安全，遂辦理「鳳山圳滯洪池工程」，並期能達成下列目標：

改善區域淹水情況－加強計畫滯洪效果，確保地方安全

營造優質生活環境－增加土地利用效益，促進地方發展

舉凡-公共工程的規劃興建，若要盡善盡美，須從技術面、環境面及執行面等三大面向進行評估。然而在符合經費工期要求的可「執行面」基礎下，研擬具體可行的「技術」方案，以滿足設計規範及施工安全，就目前國內工程能力而言，已非難事；但若更能從融合「環境」的角度著手，深入瞭解計畫需求及環境特色，不僅可讓生硬的結構體增加些柔和美感，亦能結合地方色彩，貼近自然。

基於上述的理念，「鳳山圳滯洪池工程」施作考量以下問題：

1. 工程之外能否增加其他附加價值?

   本工程位處廠房叢林之中，是否能為本區添一縷藍、抹一點綠？在原有的滯洪功能下，改善都市環境品質及豐富的生態資源。(樂活鳳山—滯洪公園)

2. 如何使居民不再需承受淹水之苦?

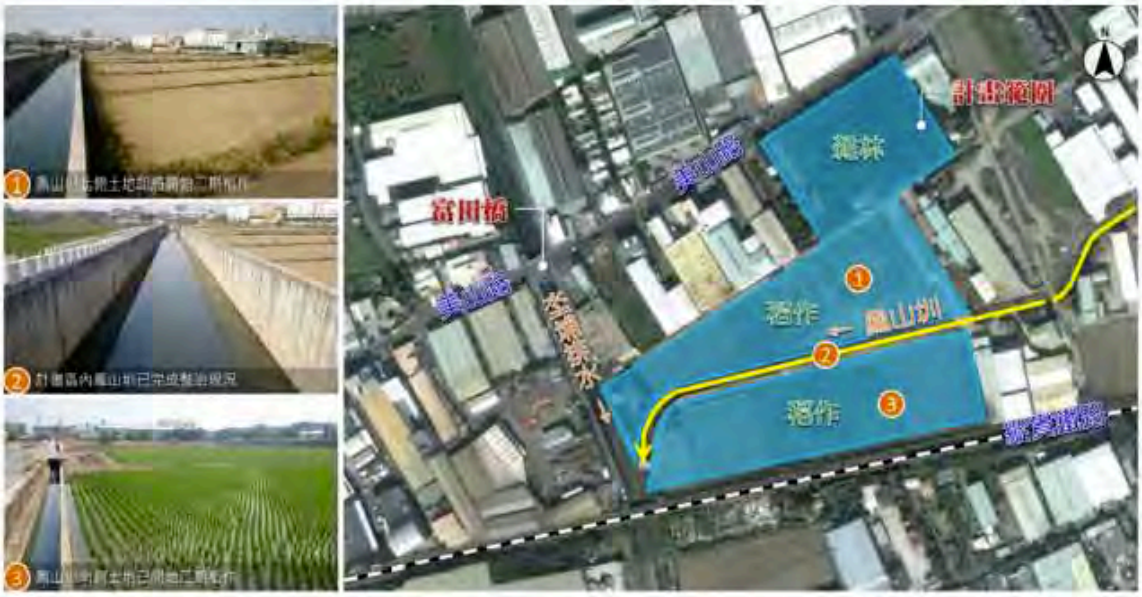
   如何藉由本工程有效解決水患問題，讓居民能安居樂業。(雨水管制—活化水路)

二、環境基本資料

2.1 自然環境現況

本計畫區面積共計約 5.04 公頃，鳳山圳由東向西穿越其中，除鄰近美山路之雜林地外，其餘均為稻作農地。

由於本計畫區鄰近鳳山市區，因而發展迅速且周邊農地許多已被開發成工業區。



1. 地形

本計畫範圍及鄰近地區地勢平坦，地表高程約介於 EL.+11.04m～EL.+13.56m，大致由坌埔排水兩側向坌埔排水傾斜。

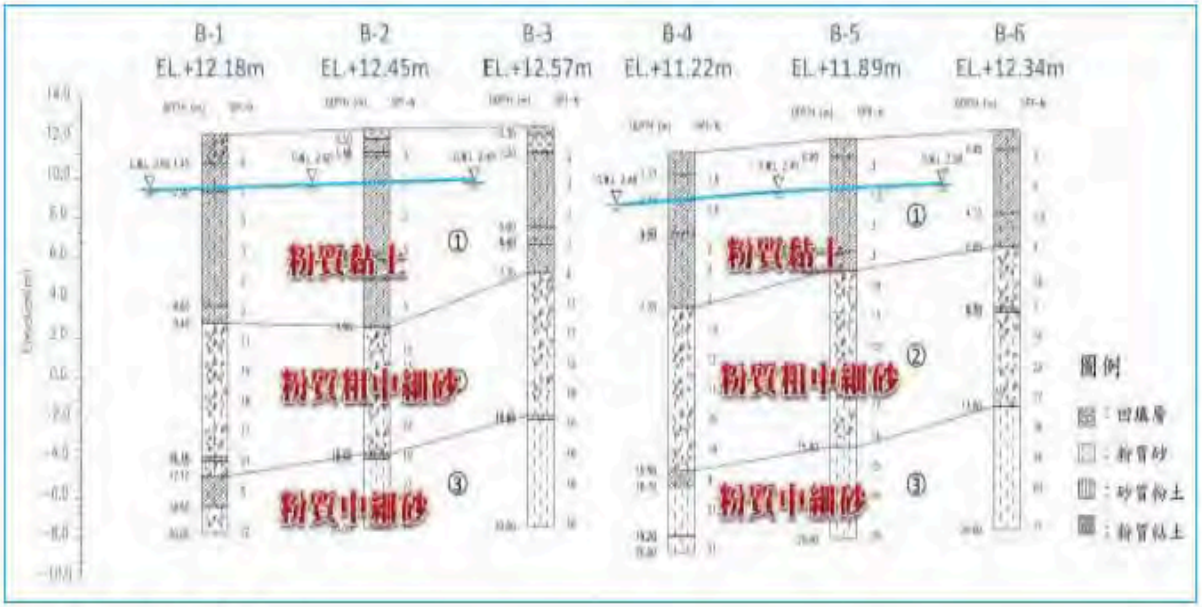
2. 土層與地下水分佈

為了解地下土層分布，本計畫於基地工址內施作 6 處深度 20m 鑽孔(B-1～B-6)。於最大鑽探深度 20 公尺範圍內，基址土層分佈可概分為 3 個主要層次。

(1)粉質粘土(CL1，GL.～GL.-7.8m)

(2)粉質粗中細砂(SM1，GL.-7.8m ～GL.-15.5m)

(3)粉質中細砂(SM2，GL.-15.5m ～GL.-20m)



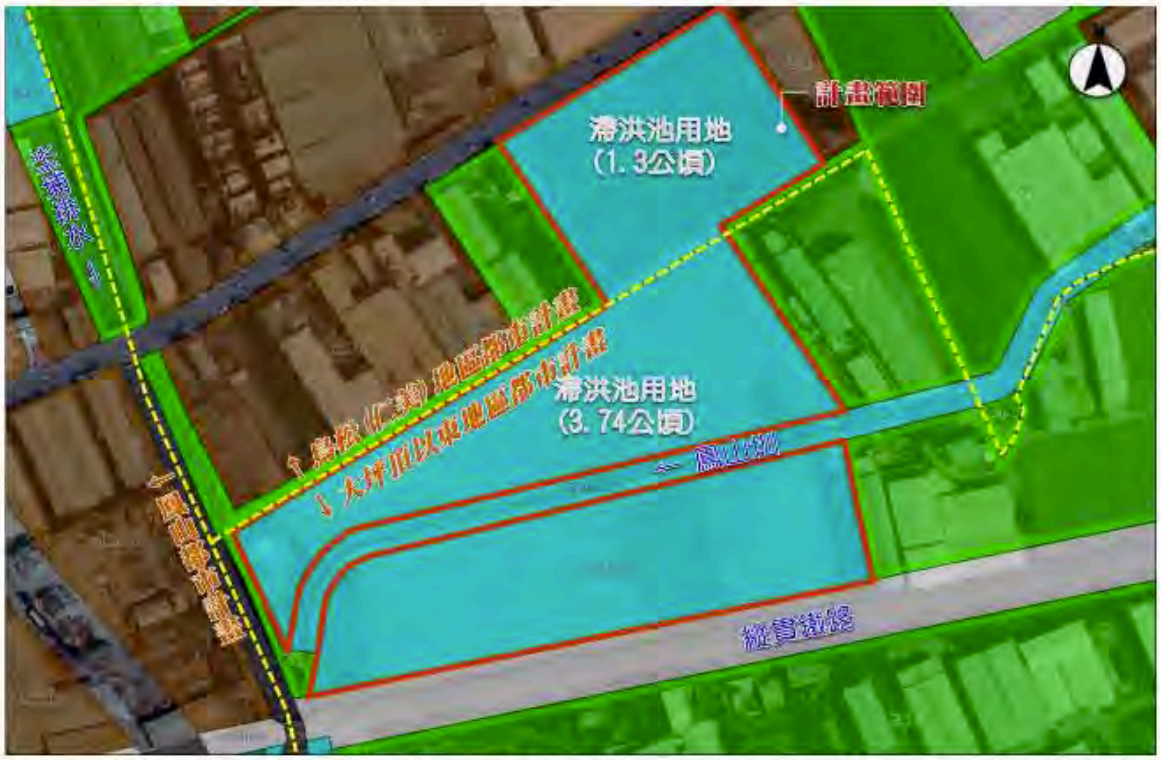
2.2 都會發展現況

1. 都市計畫內容

本計畫範圍原為農業區，分屬「烏松(仁美)都市計畫區」及「大坪頂以東地區都市計畫區」，為配合行政院核定之「易淹水地區水患治理計畫第 2 階段實施計畫」，遂由高雄市政府依法於民國 100 年前後，分別辦理都市計

畫變更，將農業區變更為滯洪池用地。

其中「變更烏松（仁美地區）都市計畫（部分農業區為滯洪池用地）（配合鳳山圳滯洪池工程）案，100 年 2 月」用地面積約為 1.30 公頃；「變更大坪頂以東地區都市計畫（部分農業區為滯洪池用地）（配合鳳山圳滯洪池工程）案，101 年 3 月」用地面積約為 3.74 公頃。



2. 土地權屬調查

本計畫區原為農業區，地上物尚屬單純，範圍跨越「烏松(仁美)都市計畫區」及「大坪頂以東地區都市計畫區」，土地權屬分述如下。

(1)烏松(仁美)都市計畫區

本區域為烏松區大腳腿段，面積約為 1.30 公頃，包括 9 筆私有土地(98%)及 1 筆公有土地(2%)。

(2)大坪頂以東地區都市計畫區

本區域為大寮區磚子磘段，面積約為 3.74 公頃， 28 筆土地全為私有土地。

3. 鄰近鐵路之開挖限制

本工程計畫範圍南側緊鄰縱貫鐵路，依據台灣鐵路局「局外單位在本局路線及設施附近施工工作要點」及「台灣鐵路管理局纜線防護須知」之要求，本計畫之開挖範圍應在距離南、北側正線 10 公尺以外。

4. 地下管線調查

(1)台電高壓電桿

台電高壓纜線多以電桿方式設置於美山路及美山路 30 巷。本計畫滯洪池在跨越美山路 30 巷之部分應注意台電高壓電桿遷改問題。

(2)自來水幹管及污水管線

本計畫區內有自來水幹管(φ1750mm)由南往北穿越計畫區，管頂高程約EL.+9.20～9.43m。美山路30巷有污水管線(φ800mm)，自前述自來水管線下方通過，管底高程約為EL.+6.05～6.14m，由於管線深度較深，對本工程無影響。

2.3 排水系統調查

1. 排水系統現況調查

鳳山圳上游銜接仁美分線，昔日為高雄農田水利會之灌溉渠道，現今已轉變為都市排水，原有排水路兩岸均為老舊之混凝土護岸，且受上游挾帶泥砂導致渠底逐年上升。

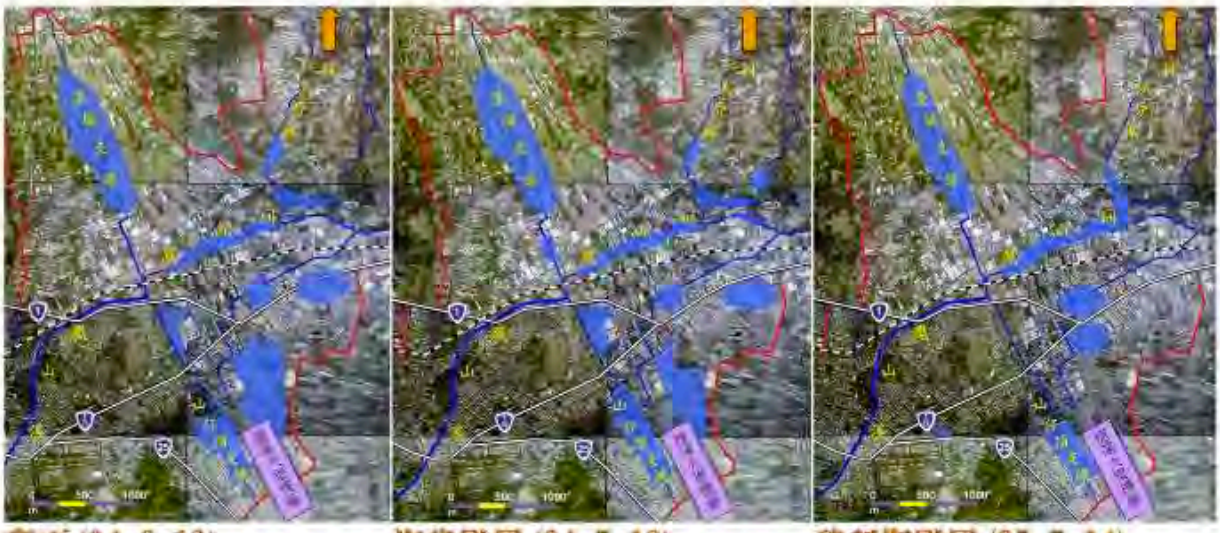
經先前改善工程及疏濬後，現況渠道寬度增加至9公尺，疏洪能力已大幅增加。

2. 灌溉系統現況調查

本計畫亦針對計畫範圍鄰近圳路進行調查，於美山路 30 巷上有圳路 A 及 B，於防汛道路上有圳路 C 及 D，於近鐵路側則有圳路 E。

3. 淹水災害調查與原因分析

本計畫區沿線淹水較為嚴重的事件有民國 94 年豪雨、海棠颱風以及民國 95 年碧利斯颱風，平均淹水深度約在 1.0m 以上。



豪雨 (94.6.12)　　海棠颱風 (94.7.18)　　碧利斯颱風 (95.7.14)

經現勘了解及蒐集相關文獻，推測該區淹水之主要因素為：

(1)受鳳山溪水位頂托

鳳山溪排水自中興橋以上至大智陸橋，通水能力介於2～10年，距本計畫工址僅約 1.5 公里，此瓶頸段常造成上游匯入鳳山溪排水的埤埔排水、鳳山圳及山仔頂排水的洪水無法順利排出。

(2)鳳山圳排水斷面不足

在鳳山溪排水水位頂托下，加上渠道泥砂淤積致渠底高程逐年升高，加劇其淹水災情。

2.4 人文景觀與休憩環境調查

1. 空間紋理分析

高雄市走過工業化的歷程，深刻感受環境污染與永續發展所代表的不同價值，因此，格外珍惜大自然留下的遺產。在水綠空間部分，由濕地生態廊道貫穿高雄南北，提供鳥類、昆蟲及植物種子自由移動的帶狀自然空間，東西向空間則由鐵路地下化後規劃之綠廊串聯。

本計畫位於與壽山、澄清湖、高屏溪等藍綠資源行程之藍綠帶黃金四邊形中央，在「珍惜大地‧永續家園」的目標下，相信能在自然與人文的共生、共存課題中取得平衡。

2. 景觀視覺分析

計畫周邊區域景觀以農田為主，再往外圍則是一系列的都市景觀，大致區分

為藍綠資源及鐵道意象，說明如下：

(1)豐富的藍綠帶及遊憩資源

以西包含壽山自然公園，以東高屏溪河濱公園，成為高雄藍綠資源的屏障，中間包含數個公園綠地，編織成一個生態空間網絡。

(2)便捷的城市運輸系統

本計畫區旁即為台鐵，鐵路地下化後將綠帶由市區往鳳山地區延伸，使得高雄市藍綠帶廊道更臻完整。

(3)本基地未來發展

本基地周邊擁有豐富資源，透過本計畫，能與周遭藍綠資源連結，在水與綠的空間中帶給居民幸福的生活。

本計畫區之特殊地理位置，可將高雄市區綠地資源藉由鐵路地下化後綠廊，成功引入鳳山地區並放點視覺景觀。

三、工程設計構想

3.1 樂活鳳山-環境風貌塑造

1. 設置遊憩休閒及環境教育設施

本計畫區整合濕地保育及環境教育的功能，運用本土原生植栽打造出生物永續發展的生態價值，並設置親水步道提供遊客生態旅遊導向的戶外休閒場所以及親近多樣生態的管道，使其成為絕佳的旅遊景點。

2. 串聯區內動線及周邊道路系統

聯外道路：滯洪池周邊設置水防道路方便維修搶險，平時則成為遊客通行之主要通道。

區內園道：利用滯洪池周邊設置環湖步道，並提供遮陰植栽，沿路設置觀鳥屋、解說牌、道路指標及觀景平台等設施。

3. 生態綠化設計

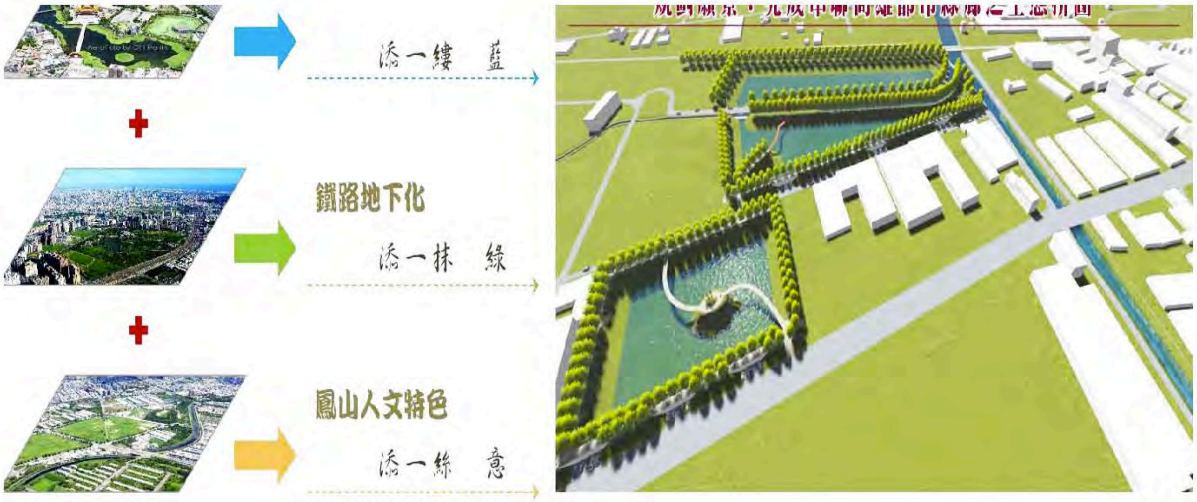
(1)符合環境特性之樹種選擇

本土植栽具有良好的生態適應性，本案滯洪池採用鳳山溪畔常見本土植栽為優先考量。

(2)以複層生態林營造生物多樣性環境

運用本土植栽並兼具食源及蜜源等特性，打造出吸引生物聚集營造生態綠化複層植栽環境。植栽選擇原則如下：

- 親水本土植栽如，水柳、穗花棋盤腳、稜果榕、雀榕、茄苳、九芎、筆筒樹。
- 鳳山溪畔常見本土植栽如，光萼野百合、象草、紫花霍香薊、山芙蓉、蓖麻等。
- 濕地植栽，栽植香蒲、蘆葦等挺水性植物，以提供水鳥避敵之場所；栽植菱角、台灣萍蓬等浮葉植物，提供水雉及秧雞等水鳥築巢之場所。

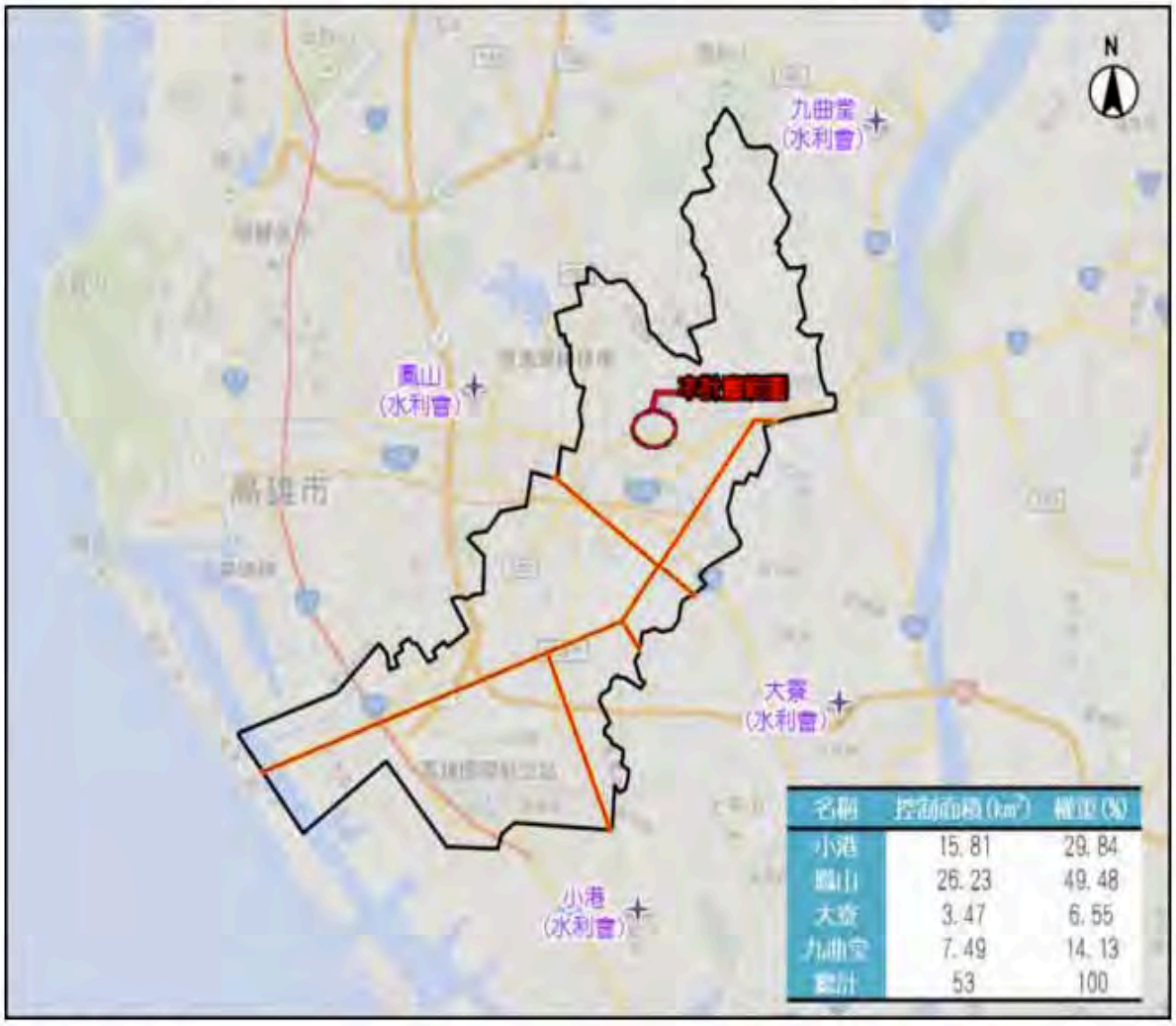


3.2 雨水管制-建立滯洪設施

1. 降雨量分析

(1)雨量站選定

依據民國 98 年 5 月「易淹水地區水患治理計畫」高雄縣管區域排水鳳山溪排水系統治理規劃報告」(以下簡稱為原規劃報告)，選定高雄農田水利會九曲堂、小港、鳳山及大寮共 4 座雨量站，進行徐昇氏多邊形法後之平均降雨資料進行分析。



名稱	控制面積(km²)	權重(%)
小港	15.81	29.84
鳳山	26.23	49.48
大寮	3.47	6.55
九曲堂	7.49	14.13
總計	53	100

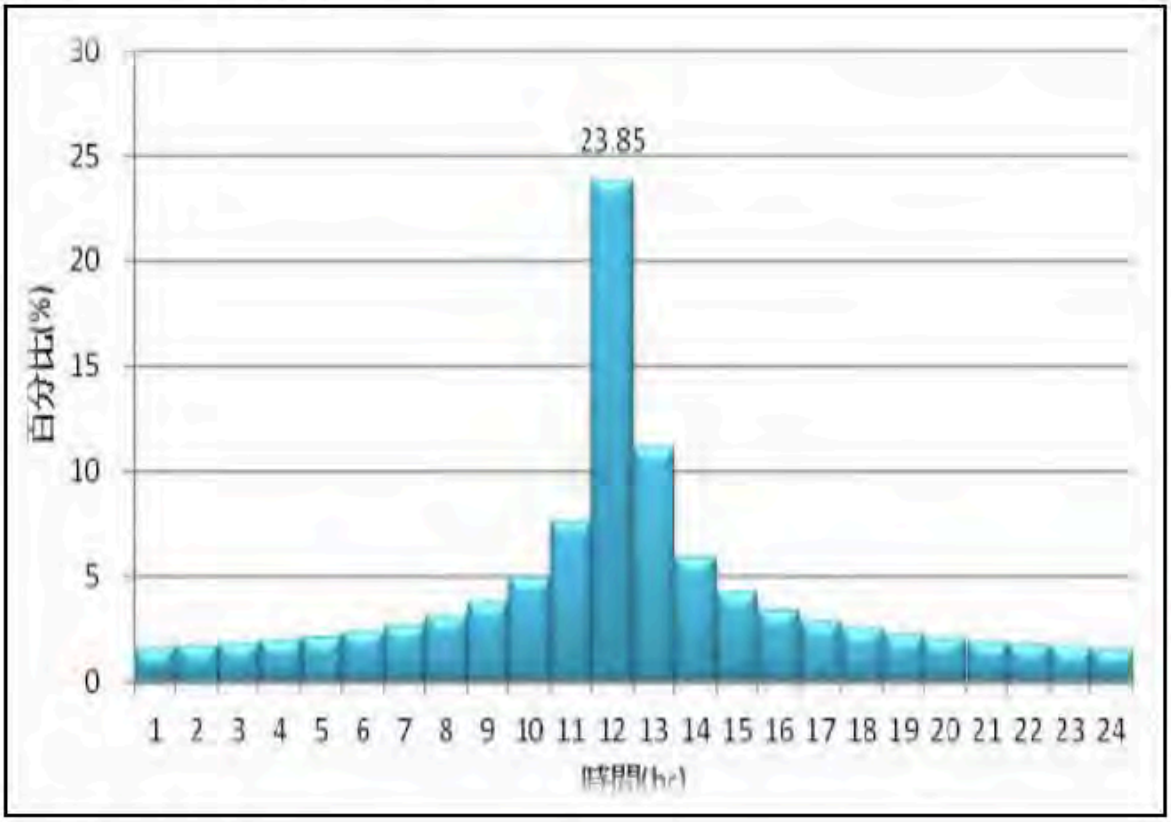
(2)頻率分析

以鳳山圳集水分區歷年平均雨量資料，分析民國 38 年至民國 103 年間之每年最大一日暴雨量，再以各種頻率分析方式推估各重現期暴雨量，即可得一日暴雨頻率分析成果。各種分析方式中，以極端值一型分布之標準差(SE)為最小，分析結果之 10 年重現期一日暴雨量為 360mm，25 年重現期一日暴雨量則為 445mm。

頻率年(年)	5	10	25	50	100	SE
二參數對數常態	278	343	429	496	565	19.3
皮爾遜三型分布	288	350	425	479	532	18.4
對數皮爾遜三型	289	349	418	467	512	20.3
極端值一型分布	293	360	445	508	570	17.2
原規劃	277	340	419	478	537	15

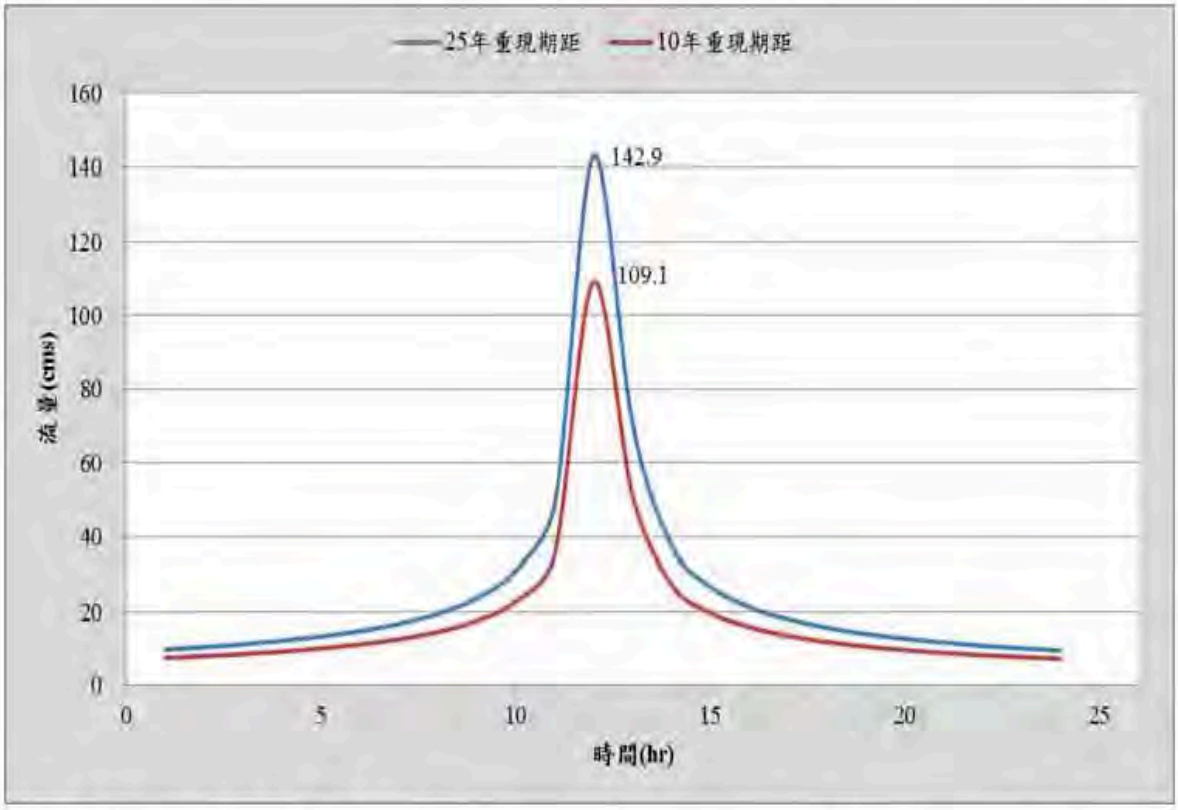
(3)雨型分析

本排水系統之降雨強度公式採用高雄站之 Horner 降雨強度公式，以推求 10 年、25 年重現期雨型分佈。



2. 洪峰流量分析

本計畫以三角形單位歷線進行 10 與 25 年重現期洪峰流量推估



3. 滯洪池設置前通水能力分析

本計畫主要蒐集鳳山圳及鄰近區域之地表逕流，經 HEC-RAS 模擬分析後，其中於 0K+180~0K+320 處之左右岸堤防高度皆不足 25 年重現期距水位。

因此本計畫的目的，即在藉由鳳山圳南北兩側滯洪池的設置，來達到降低鳳山圳水位，使其能達 10 年重現期、25 年不溢堤之保護標準。

里程	10年重現期距水位(m)	25年重現期距水位(m)	現況堤頂高(m)		檢核
			右岸	左岸	
0K+000	12.15	12.82	13.93	13.93	
0K+020	12.15	12.83	13.93	13.93	
0K+070	12.16	12.84	13.21	13.21	
0K+100	12.17	12.85	13.21	13.21	
0K+160	12.35	13.12	13.21	13.21	
0K+180	12.55	13.36	13.10	13.10	不足25年
0K+200	12.80	13.66	13.13	13.13	不足25年
0K+240	12.82	13.68	13.41	13.41	不足25年
0K+280	12.84	13.70	13.49	13.49	不足25年
0K+320	12.86	13.71	13.57	13.57	不足25年

4. 滯洪池設置後通水能力分析

(1) 滯洪設施型式

考量本工程範圍現場狀況，其南、北側滯洪池之設置採離槽式滯洪池，並考量其後續維護之便利性，採非控制式操作，入流部分採溢流堰方式引流，出口採孔口流方式排出。

(a) 溢流箱涵及溢流堰

於鳳山圳樁號 0K+240 附近設置溢流堰及溢流箱涵，其中北側為矩形溢流堰 (WxH=19mx1.5m)；南側則為溢流箱涵，為五孔箱涵(5@WxH=5@3.0mx1.5m)。

(b) 出流箱涵

鳳山圳下游端 0K+070 及 0K+035 處分別分別設置南、北滯洪池之出流箱涵(WxH=1.5mx1.5m)，其出流箱涵設置之目的為連接滯洪池與鳳山圳之構造物，並設有電動閘門及攔污柵，主要功能為防止鳳山圳之水位直接回流至滯洪池中，以確保滯洪池之有效蓄洪空間。

(c) 滯洪池池體

本計畫共有三處滯洪池，分別為北側滯洪池(一)、北側滯洪池(二)及南側滯洪池，頂部面積分別為 11,297m^2、17,269m^2 及 17,903m^2，池深皆為 4.5m，其構造採一梯形型式，考量自然邊坡穩定性其邊坡採 H:V=2:1 型式。

(2) 通水能力分析

本計畫以 HEC-RAS 模式進行滯洪池量體模擬及水理計算，說明如下:

(a) 於 10 年重現期一日降雨條件下，於北側(一)滯洪池之最大水深 3.24m，尚有 1.26m 可供蓄洪；北側(二)滯洪池之最大水深 3.24m，尚有 1.26m 可供蓄洪；南側滯洪池之最大水深 3.15m，尚有 1.35m 可供蓄洪，估算滯洪量約 128,153m^3。

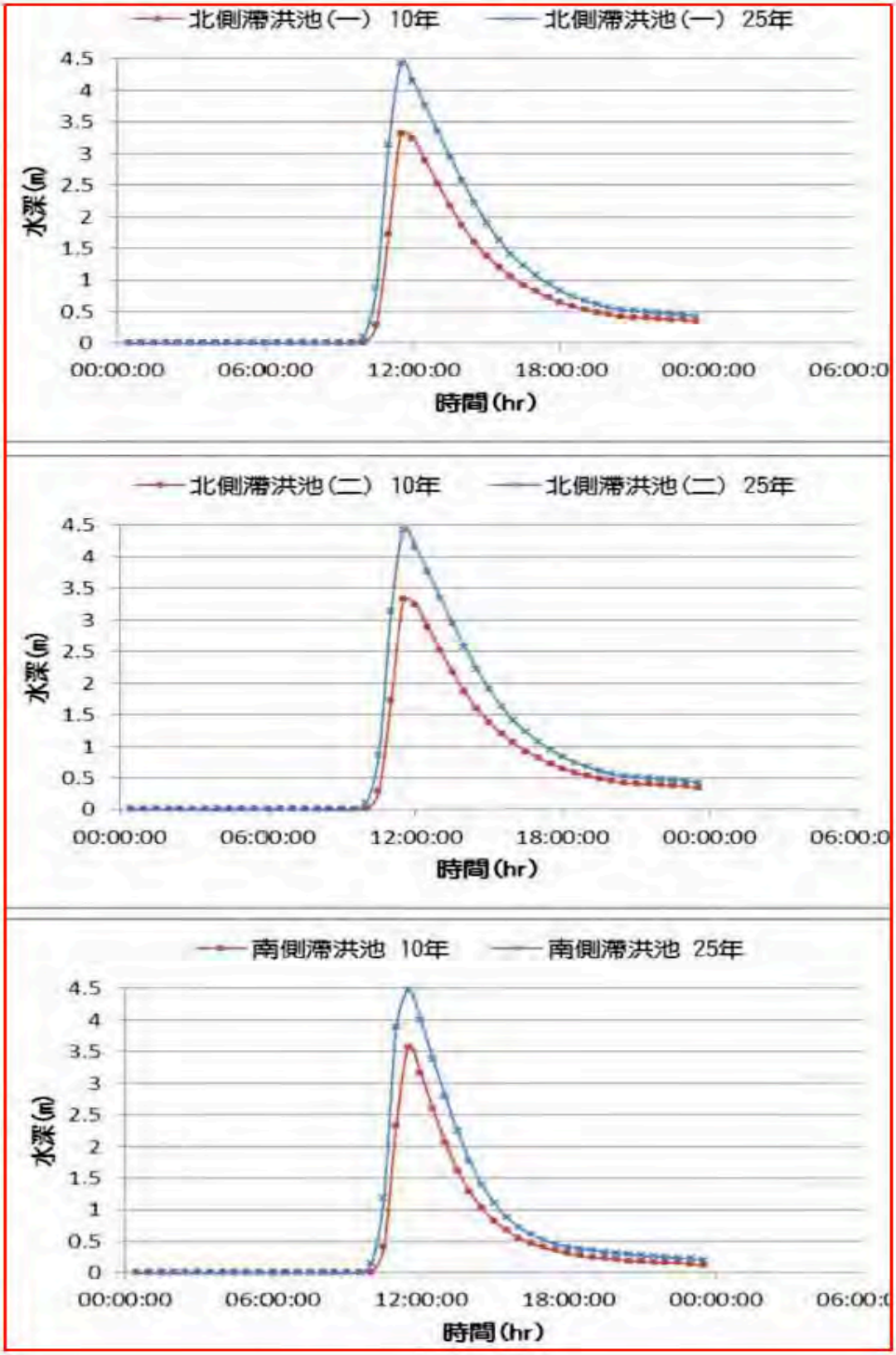
(b) 於 25 年重現期一日降雨條件下，於北側(一)滯洪池之最大水深 4.43m，尚有 0.07m 可供蓄洪；北側(二)滯洪池之最大水深 4.43m，尚有 0.07m 可供蓄洪；南側滯洪池之最大水深 4.48m，尚有 0.02m 可供蓄洪，估算滯洪量約 174,089m^3。

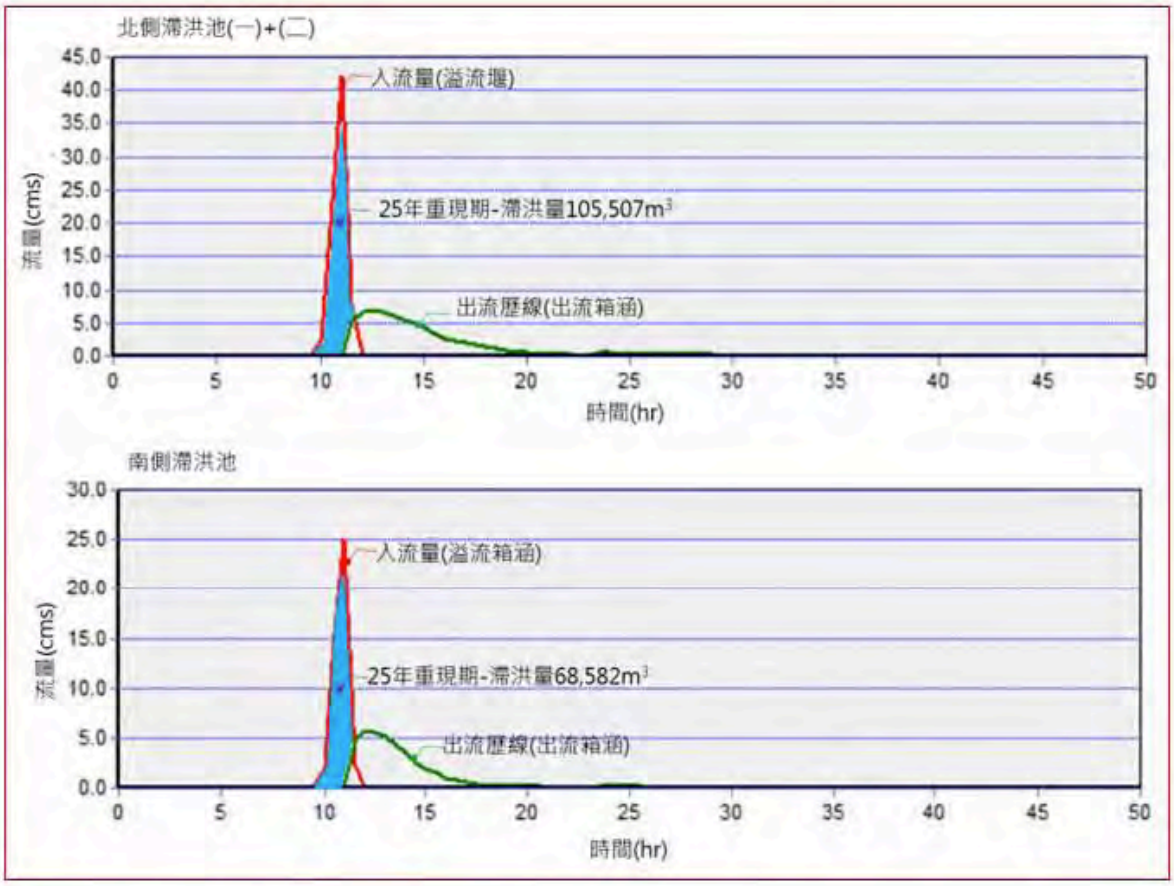
(c) 北側溢流堰及南側溢流箱涵之底部高程採 0.86H(H：堤防高程)，故當鳳山圳水位高於上述底部高程時，始有流量排入滯洪池中，其滯洪池開始發揮分洪效果約在第 10.5 小時。

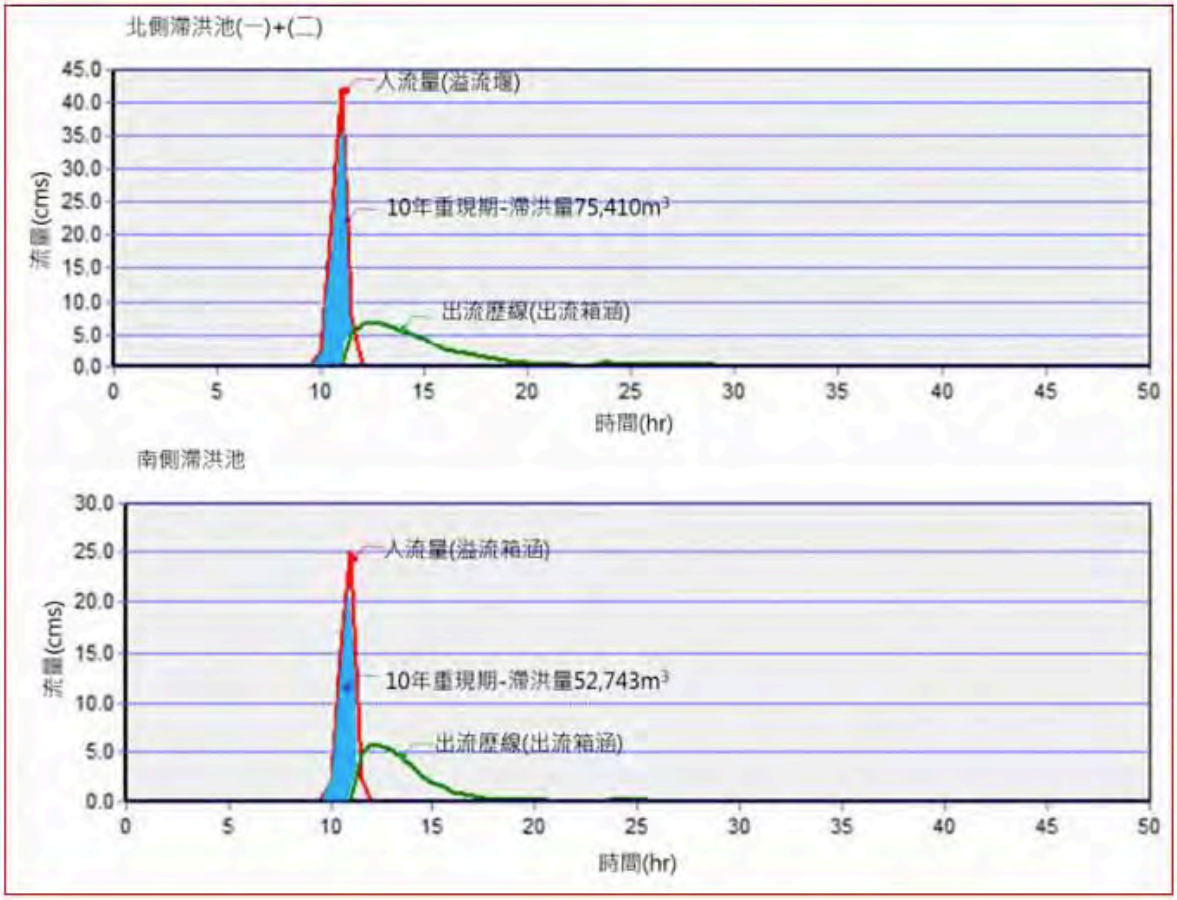
(d) 於下游設置出流箱涵，利用滯洪池與鳳山圳之水頭差，將池內蓄積之洪水排出至鳳山圳中，於 10 年重現期，控制南、北滯洪池出流量約 10.82cms；於 25 年重現期，控制南、北滯洪池出流量約 12.25cms，進

而調節鳳山圳之流量。

(e) 本計畫亦將消減洪峰流量，經滯洪池調節後，於 25 年重現期洪峰流量下，皆低於現況堤防高，滿足鳳山圳之設計標準。




北側滯洪池(一)+(二)
入流量(溢流堰)
25年重現期-滯洪量105,507m³
出流歷線(出流箱涵)
流量(cms)
時間(hr)
南側滯洪池
入流量(溢流箱涵)
25年重現期-滯洪量68,582m³
出流歷線(出流箱涵)
流量(cms)
時間(hr)


北側滯洪池(一)+(二)
入流量(溢流堰)
10年重現期-滯洪量75,410m³
出流歷線(出流箱涵)
流量(cms)
時間(hr)
南側滯洪池
入流量(溢流箱涵)
10年重現期-滯洪量52,743m³
出流歷線(出流箱涵)
流量(cms)
時間(hr)

四、工程完工概述

4.1 滯洪池工程

本工程分南北兩側，北側滯洪池 3.3 公頃，南側滯洪池約 2.2 公頃，合計面積約 5.5 公頃，總蓄水量約 17.5 萬噸，開挖深度約 3~5m。入流方式採溢流堰自然入流，退水方式採閘門管控自然退水。主要工項有(1)連通箱涵、(2)溢流堰、(3)溢流箱涵、(4)出口閘門 A、B、(5)鋼便橋。

4.2 土木工程

(1)北側滯洪池(一)維修棧道 A，約 70m、(2)北側滯洪池(二)維修棧道 B，約 63m、(3)南側滯洪池維修棧道 C，約 77m 、(4)重力式擋土牆。

4.3 景觀工程

北滯洪池(一)：設置入口廣場，池底無水，可供民眾休閒使用

北滯洪池(二)及南滯洪池：池底常時有水，四周步道連通， 兼顧生態保育與休閒遊憩。

五、實際降雨事件之考驗

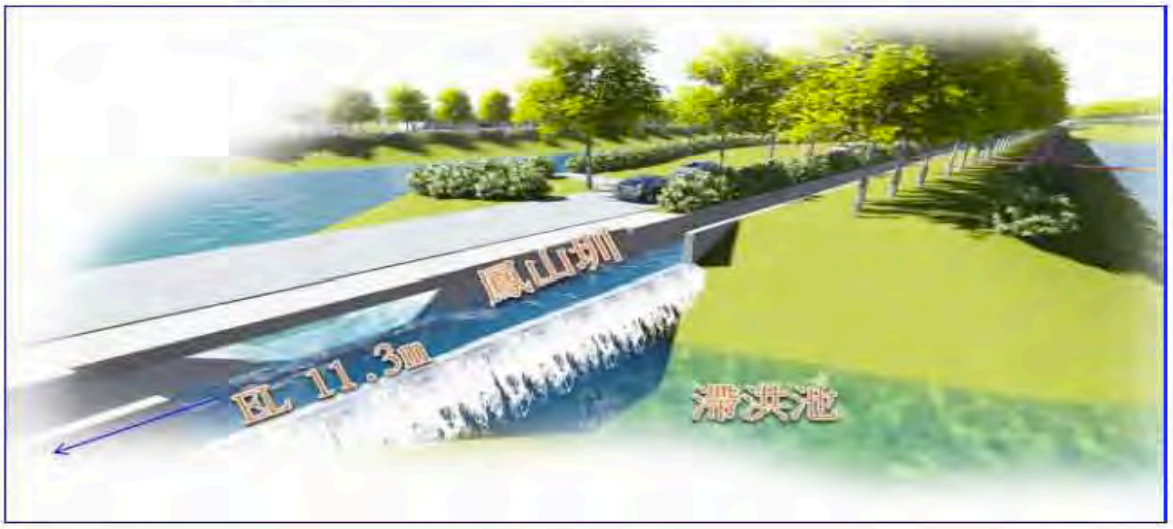
1.防洪操作機制

（1）進水

鳳山圳水位高於 EL+11.3m，鳳山圳洪水溢流至滯洪池。

（2）出水

鳳山圳水位低於 EL+11.3m，由出水口盡快排洪(出口水位 EL+ 8.5m)。



2. 實際降雨事件

(1) 1050708 尼伯特-進水高程驗證

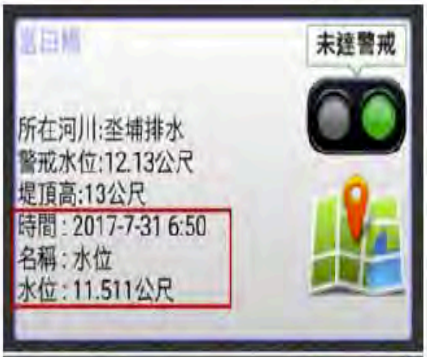
本工程開工半年後，南側滯洪池進水口剛施工完成(溢流堰高程EL+11.3m)，恰遇到尼伯特颱風來襲。經檢視當時之時雨量 92mm/hr, 大於鳳山圳排水 10 年重現期之時雨量 85.86mm/hr，滯洪池進流口有進水，符合設計之要求。

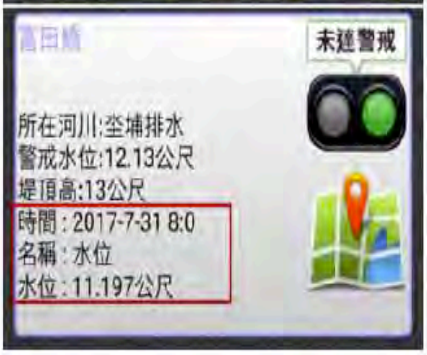
1小時

行政區	雨量站	雨量
小港區	鳳森	126(mm)
大寮區	大寮	124.5(mm)
茂林區	多納林道	121(mm)
苓雅區	苓雅	103(mm)
鳳山區	鳳山	97(mm)

(2) 1060731 海棠颱風

本工程完工 1 個月後，海棠颱風來襲，鳳山圳水位高於 EL+11.30m，鳳山圳三個滯洪池均有進水。經檢視 07/31 6:50 坌埔排水水位約 EL+11.51m(與鳳山圳水位相當)，滯洪池有進水。07/31 8:00 坌埔排水水位約 EL+11.197m，滯洪池不再進水。





(3) 1070828 高雄大豪雨

107 年 8 月 28 日高雄大豪雨事件，鳳山站 24 小時累積雨量達 350mm，約達到本滯洪池 10 年重現期一日暴雨量 360mm(25 年重現期一日暴雨量則為 445mm)。當日 08/28 7:50 坌埔排水水位約 EL+12.6m，滯洪池進水位達 EL+12m，距離堤頂 EL+13m，尚有 1m 之出水高，滯洪池未溢岸，周遭社區未淹水。

六、結論與建議

1. 透過新建鳳山圳滯洪池，削減鳳山圳之逕流量，提升鳳山圳通洪能力至 10 年重現期水位加 50cm 出水高及 25 年重現期不溢堤之保護標準。歷經施工中及建置後的歷次颱風及豪大雨考驗，顯見鳳山圳滯洪池已展現其功效，避免鳳山圳及上游仁美排水因鳳山溪水位頂托而漫溢過護岸造成淹水。
2. 北滯洪池(一)由於鄰近主要道路，故規劃為乾式滯洪池，入口意象廣場亦設置於此，兼供民眾活動使用；北滯洪池(二)及南滯洪池由於池底高程較低，也有地下水的補注，自然形成開闊而不受打擾的水域空間，吸引多種鳥類及魚類棲息，自成小型食物鏈。各滯洪池四周均設有可漫步通行之步道，搭配滯洪池南側的縱貫鐵路，提供民眾以更多角度來探索心目中的美景。
3. 利用滯洪池斜坡及堤頂空間，大量種植草皮、灌木及喬木，營造多樣化水陸濕地等藍綠帶空間。透過地下水的自然補注，營造具有自我淨化能力的濕地空間，為本區域多為輕工業區的刻板印象點綴了綠意。除了提升地區生活品質外，也成為市民平日休閒、遊憩及教育的場所。

4. 本滯洪池主要以天然護坡為池體構造，平時並提供民眾休憩使用，對於植生修剪及步道維護、鳳山圳渠道及鳳山圳滯洪池的淤積等，宜納入後續維護管理。

七、參考文獻

1. 中國土木水利工程學會環境工程委員會，下水道管渠工程設計指南，1984 年 11 月。
2. 經濟部水利署，區域排水整治及環境營造規劃參考手冊，2006 年 4 月。
3. 經濟部水利署水利規劃試驗所，滯洪池設施規劃設計參考手冊，2006 年 12 月。
4. 內政部營建署，雨水下水道系統規劃原則檢討，2010 年 1 月。
5. 內政部營建署，雨水下水道設計指南，2010 年 7 月。
6. 高雄市政府水利局，「易淹水地區水患治理計畫—高雄縣管區域排水鳳山溪排水系統治理規劃報告」，2009 年 5 月。

7. US Army Corps of Engineers，HEC-RAS River Analysis System，2002 年 4 月。
8. UEPA，STORM WATER MANAGEMENT MODEL USER' S MANUAL，2005 年 10 月。
9. UEPA，STORM WATER MANAGEMENT MODEL APPLICATIONS MANUAL，2009 年 7 月。

投稿 107.11.06
校稿 107.11.08
定稿 107.11.10

淺談潰壩分析

林家輝

台灣省水利技師公會理事

摘　要

水庫蓄存龐大水體，若發生潰決，易對水庫下游地區產生嚴重危害。預先研究潰壩歷程與影響，辦理潰壩分析，可供研訂潰壩緊急應變計畫依據，以提升水庫安全管理之終極目標。

本文簡要闡述潰壩分析之目的與依循之法規層次、潰壩分析各流程(註：包含潰壩成因分析、潰壩情境研訂、潰決模擬、河道洪水演算、淹水演算、災損評估等)等內容。

由於潰壩歷程複雜，且目前對潰壩機制之系統性了解仍有不足，雖於安評技術規範內亦建議可採用 DAMBRK 模式，再配合適當之河道洪水演算及淹水演算水理模式演算，惟考量許多潰壩演算結果差異頗大，建議讀者宜依研究對象水庫特性，參考本文或國內外其它研究建議，審慎決定採用參數。

關鍵字：水庫(Reservoir)、潰壩(Dam break)、潰壩分析(Dam break analysis)、壩安全評估(Dam Safety Evaluation)

一、潰壩分析目的

(一)潰壩分析目的

統計至民國 107 年，合計臺灣本島及離島地區已公告水庫達 93 座，位置分布如圖 1 所示，分屬不同水庫管理單位管轄。

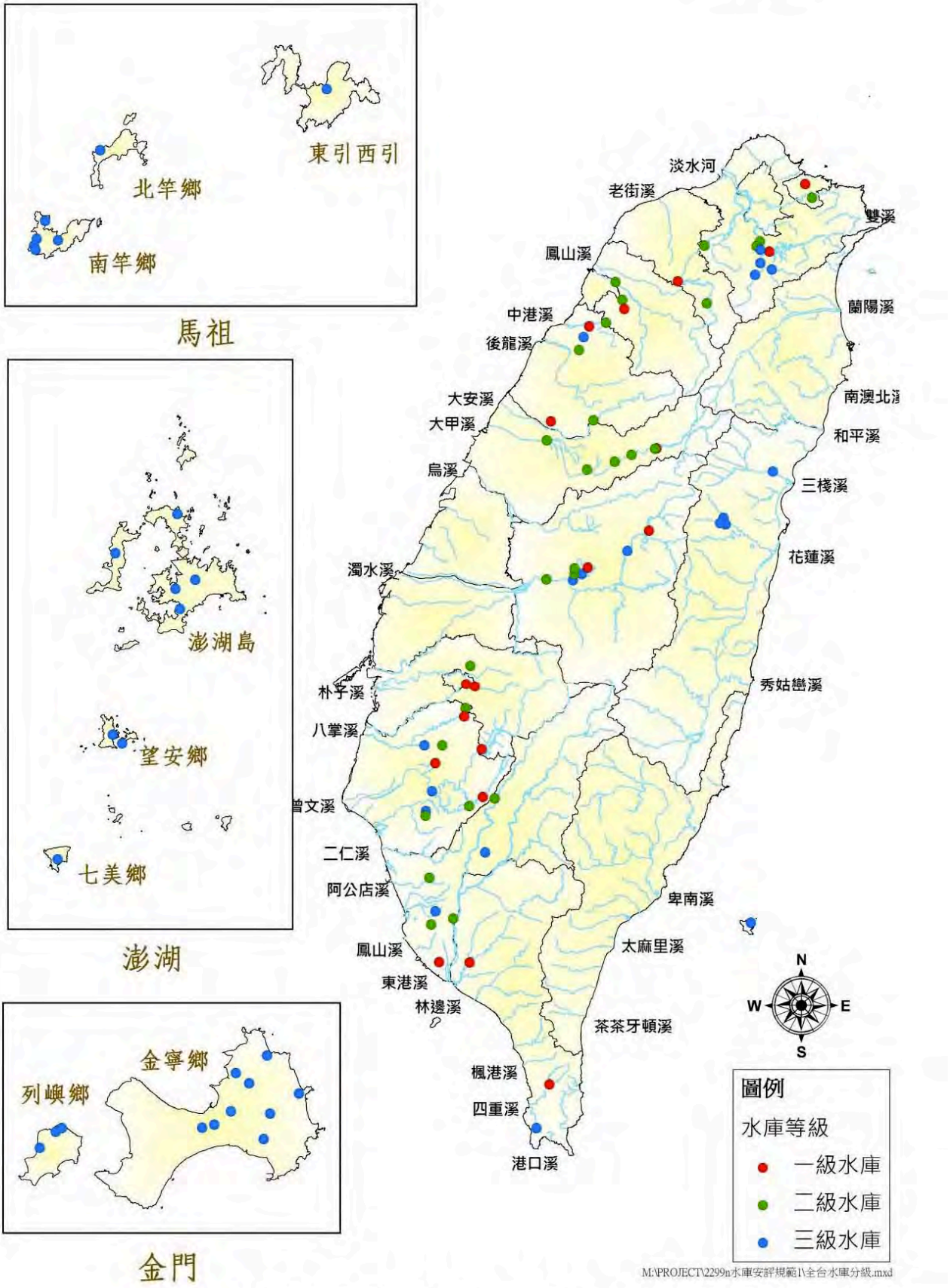


圖 1、臺灣本島及離島地區已公告水庫位置圖

水庫為水資源主要蓄存設施，可供發電、灌溉、公共給水、航運、觀光等多種用途，對社會安定與經濟發展非常重要，且所蓄存龐大水體，對水庫下游地區亦是一種風險來源。特別是部份水庫下游地區已高度發展，水庫一旦潰決，超量之潰壩洪水將快速沖向下游，勢必造成重大災損。

為加強水庫安全管理，降低潰後洪災潛勢，辦理潰壩分析，以瞭解潰壩洪水狀況、下游淹水區域、洪峰到達時間、流量、流速及水位等，並供研訂潰壩緊急應變計畫依據，此即為潰壩分析之目的。

(二)潰壩分析依循之法規層次

依國內現行相關法規定義，潰壩分析可依循之法規層次，依序說明如下：

1.水利法施行細則(民國 98 年 11 月 03 日)

第 3 條：本法第三條用詞定義如下：

…

七、蓄水：指用人為方法攔阻或蓄存、利用地面水或地下水。

第 5 條：本法所稱水庫，指水資源利用或防洪關係重大之堰、壩、人工湖與其附屬設施及蓄水範圍，並經中央主管機關公告者。

2.水利法(民國 103 年 01 月 29 日)

第 49 條：興辦水利事業人經辦之防水、引水、蓄水、洩水之水利建造物及其附屬建造物，應維護管理、歲修養護、定期整理或改造，並應定期及不定期辦理檢查及安全評估。

前項檢查及安全評估之認定範圍及細目，其辦法，由中央主管機關會商相關機關定之。

3.水利建造物檢查及安全評估辦法(民國 92 年 12 月 03 日)

第十八條：水利建造物安全評估報告應包括之內容如下：

…

十二、潰壩(決)演算及災損評估。

…

第十九條：水利建造物安全評估及潰壩(決)演算相關技術規範由中央主管機關定之。

4.水利建造物檢查及安全評估技術規範-蓄水與引水篇(民國 106 年 3 月 17 日)

…

2.2.16 潰壩演算及潰壩緊急應變計畫資料蒐集之項目

4.2.16 潰壩緊急應變計畫之複核與評估項目

第八章 潰壩(決)演算及災損評估

綜上說明可知，由母法/水利法及相關子法訂定了潰壩分析所需依循之法律層面，具體執行之技術規範在於「水利建造物檢查及安全評估技術規範-蓄水與引水篇」。以下將依此規範所訂之內容，依序說明如后各小節內。

二、潰壩分析流程

依前節所述可知，潰壩即是當水庫用來擋蓄水體之堰壩因天然或人為因素而發生潰決及造成大量洪水向下游傳遞之現象，而此超量洪水向下游傳播時，一般而言，下游河道皆難承受如此大量洪水，故洪水易溢出堤岸或造成既有堤岸破壞，進而使兩岸地區被溢潰出洪水淹沒，並造成淹水災害。

潰壩分析即是由堰壩潰決至最後下游可能淹水災害之分析歷程，藉由數值模式之演算、量化此一過程。潰壩分析流程如圖 2 所示，包含潰壩成因分析、潰壩情境研訂、潰決模擬、河道洪水演算、淹水演算、災損評估等，依序說明如后各小節內。

圖 2、潰壩分析流程圖

三、潰壩分析各流程介紹

(一)潰壩成因分析

造成潰壩之影響因素一般分為外在威脅(external threat)及內在威脅(internal threat)，包含：

1.外在威脅：極端降雨或洪水、串聯式水庫、風所產生之湧浪、地震、恐怖份子破壞活動、人為錯誤等。

2.內在威脅：壩體之潛在弱點，如地質、結構、水工機械等層面之穩定性或可靠度。

由於各水庫特性或狀況不同，故需根據可能影響因素逐一分析，是否會造成潰壩，並提出合理之評估結果，惟評估時，應先就狀況合理性逐一判識，某些原因(情境)雖然發生機率低，仍不宜先予排除，對於發生機率之考量，應於最後風險分析時再一併考量。而此一潰壩成因分析所需資料，一般可由

竣工報告、安全評估報告、特別檢查報告等蒐集而得。

茲以國內幾座不同類型水庫為例，其潰壩成因整理如表 1 所示，對於外在威脅成因，仍以洪水、地震為主，對於內在威脅成因，則各壩特性不同，如土石壩、混凝土壩、攔河堰(多閘門者)，其因素略有不同。

表 1、國內各不同類型水庫潰壩成因綜整表

水庫名稱	壩類型	潰壩成因/外在威脅	潰壩成因/內在威脅
翡翠水庫	混凝土拱壩	洪水、地震、恐怖攻擊	分塊分縫滲漏或基礎滑動、排洪設施損壞
德基水庫	混凝土拱壩	洪水、地震、恐怖攻擊	分塊分縫滲漏或基礎滑動
鯉魚潭水庫	土石壩	洪水、地震、人為操作錯誤	壩體管湧、閘門故障無法緊急洩洪
明潭下池水庫	混凝土重力壩	洪水、串聯式水庫、地震	壩體產生張力裂縫、壩基岩盤存在極細微之裂隙及不連續面(裂隙)受壓後基礎滑動
士林攔河堰水庫	混凝土重力式攔河堰/沉箱基礎	洪水、地震、人為操作錯誤	壩體基礎滑動

(二)潰壩情境研訂

潰壩情境研訂即依上述所探討出之可能潰壩成因，在適當假設下，研議潰壩時水庫各相關設施(含壩基座、邊坡、蓄水域等)之變化、影響等歷程狀況，以作為潰壩模擬之演算案例。

茲延續上述國內幾座不同類型水庫為例，其潰壩情境整理如表 2 所示。由該表中可看出，依循不同潰壩成因，各水庫所推衍出之潰壩情境亦略有不同，惟為配合災害評估，供了解水庫潰壩後可能導致之災害潛勢，大致仍以雨天潰壩(設計洪水來臨時)、晴天潰壩(地震狀況)為主要情境。

當然，其它潰壩情境仍是存在的，如在不同洪水量時，因排洪閘門故障，

導致無法順利排洪，造成洪水溢過壩頂或沖蝕溢洪道兩側邊坡，進而使壩體沖蝕破壞等案例，確有此情境發生之可能。惟因目前執行此項目的之目的，係以考量供後潰壩緊急應變計畫參考用，故於安評技術規範內，即敘明此情境分析之要求，係以發生可能最大災害之情境為主要討論方向，無需一五一十將所有情境列出。

表 2、國內各不同類型水庫潰壩情境綜整表

水庫名稱	壩類型	潰壩情境
翡翠水庫	混凝土拱壩	➢ 雨天潰壩：假設翡翠水庫遭遇設計洪水（PMF 洪峰流量為 10,500 秒立方公尺）來臨時，翡翠水庫已進入防洪運轉狀態，由於上游洪水的流入，造成水位急遽上升溢過壩頂，壩體結構因而產生潰決。 ➢ 晴天潰壩情境：假設翡翠水庫處於滿水位時，因地震或內在威脅造成壩體潰決。
德基水庫	混凝土拱壩	➢ 晴天潰壩情境：假設本水庫處於滿水位(EL 1,408m)時，因地震或內在威脅導致大壩本身不穩定，右壩座斷層開裂使岩楔失穩滑動－右側壩體分塊失穩－失穩惡化使分塊偏離壩體形成缺口－大壩潰決。 ➢ 雨天潰壩情境：假設本水庫上游入流量為設計洪水，且排洪設施閘門已開，而於最高洪水位(EL 1,409.22m)時，因大壩本身不穩定，右壩座非荷重區岩楔崩落－右側壩體分塊失穩－失穩惡化使分塊偏離壩體形成缺口－大壩潰決。
鯉魚潭水庫	土石壩	➢ 案例一：雨天潰壩，假設土石壩受最大可能洪水（PMF 3,183 秒立方公尺）來時破

水庫名稱	壩類型	潰壩情境
		壞，此時水庫水位為 EL 300m，且閘門發生故障而無法正常開啟，大壩中心部份受滲漏引起沖蝕流失而造成壩體破壞；下游大安溪為 200 年重現期洪峰流量。 ➢ 案例二：假設土石壩於滿庫時（EL.300m）受地震力破壞，造成壩體中心發生滲流，水流持續沖蝕至最大潰口產生，過程中閘門均無法正常操作，水庫上游常流入流量可忽略不計；下游大安溪為常流量。 ➢ 案例三：同上假設土石壩受地震力破壞，但水庫起潰水位為 EL 290m。 ➢ 案例四：同上假設土石壩受地震力破壞，但水庫起潰水位為 EL 270m。
明潭下池水庫	混凝土重力壩	➢ 情境一：當明湖下池水庫 PMF 來臨時，因排洪宣洩不及洪水越過壩頂，下游壩基座岩盤受水流沖刷承載力不足，導致壩體分塊傾斜毀壞而產生潰壞，而下游之明潭下池水庫則假設進入防洪運轉狀態，惟因上游潰壩洪水的流入，造成明潭下池水庫水位的急遽上升，當明湖下池水庫潰壩洪峰傳至明潭下池水庫(即水里壩)壩前時，則演算明潭下池水庫是否會因洪水溢過壩頂而有潰壩發生。 ➢ 情境二：當明潭下池水庫於 PMF 來臨時，進入防洪運轉狀態，惟因排洪宣洩不及洪水越過壩頂，下游壩基座岩盤受水流沖

水庫名稱	壩類型	潰壩情境
		刷承載力不足，導致壩體分塊傾斜毀壞而產生潰壞。 ➢ 情境三：當明潭下池水庫於非洪水時，受基礎缺陷、地震或人為破壞等因素下，壩體結構因而產生潰壞。
士林攔河堰水庫	混凝土重力式攔河堰/沉箱基礎	➢ 晴天潰壩情境：士林攔河堰處於滿水位時，因地震或內在威脅造成壩體分塊收縮縫張開或錯動、壩體分塊底面上頂水壓力過大、壩體分塊水平升層縫及垂直收縮縫開裂形成獨立區塊等，使壩體不穩定，結構因而產生潰壞。 ➢ 雨天潰壩情境：士林攔河堰上游入庫為設計洪水時，水位超出堰頂橋梁高程而溢頂，無法控制大量庫水下洩，結構因而產生潰壞。

(三)潰決模擬

潰決模擬係利用水文演算(hydrologic routing)或水力演算(hydraulic routing)方法，配合適當之潰壩缺口型式、潰壩歷時、蓄水庫起始水位及入流量等條件，以推演潰壩時之壩址出流量歷線，做為下游河道洪水演算或淹水演算之上游邊界條件。

由於潰壩歷程複雜，而描述詳盡的潰壩資料量相當少，故目前潰壩機制之系統性了解仍有不足。參考美國墾務局(1998)之研究，其將大壩潰決分析方法分為四類：

1. 比較分析(comparative analysis)：就大壩幾何形狀、庫容及型式等因子比較後，決定適當之潰壩參數與尖峰流量。
2. 預測公式(predictor equations)：以合理假設出流歷線形狀與案例研究所推出之經驗公式，用以推求尖峰流量。
3. 參數模式(parametric model)：以案例研究分析與潰壩相關之參數，

並引用水利學原理模擬計算潰壩出流歷線，例如 DAMBRK 與 SMPDBK 等。

4. 物理方法(physically based methods)：其潰壩沖蝕模式(erosion model)乃基於水利學輸沙與土壤力學等學理基礎所建立，例如 NWS-BREACH 等。

由於比較分析與預測公式類方法需仰賴大量並且詳盡的潰壩資料，但事實上描述詳盡的資料相當少，且各應用公式之計算結果經常差異頗大，而物理方法類方法雖有學理根據，但是由於目前對潰壩機制之了解仍有不足，且模式本身不穩定性仍高、參數驗證所需資料量亦不足，故此三法目前適用性不高。而參數模式類方法，雖然因參數不確定性高、決定不易，導致演算結果差別甚大，惟因其方法簡便，可以簡化之潰口變化歷程來模擬，目前廣為國外各單位所採用，DAMBRK 模式為目前最被廣泛使用之潰決模式。近年 HEC-RAS 自 v.4.1 版後，亦已納入 DAMBRK 模組，可供進行簡化式潰決模擬。

由於潰壩歷程複雜，且目前潰壩機制之系統性了解仍有不足及各方法計算結果往往差異甚大，目前國外研究傾向以簡化之潰口變化歷程來模擬，而國內亦參酌此原則，於目前安評技術規範內，建議採用世界廣泛採用之 DAMBRK 模式進行潰決演算，並提供可參採之建議參數，並建議對於潰決洪水之尖峰流量需謹慎演算與評估。

DAMBRK 模式是國內外最常應用的潰壩模式之一，其方程式為

$$Q_{db} = C_v K_{db}\left[C_{db1} b_i (H - H_b)^{1.5} + C_{db2} z (H - H_b)^{2.5}\right]$$

式中

Q_{db}　潰壩潰口流量(cms)

C_{db1}　矩形潰口堰流係數($m^{1/2}/s$)，內定值為 1.71

C_{db2}　三角形潰口堰流係數($m^{1/2}/s$)，內定值為 1.35

C_v　考慮來流速度校正因子

K_{do}　壩頂溢流流量受尾水影響之潛沒校正因子

b_i　潰壩過程中之潰口底部寬度(m)

H　水位(m)

H_b　潰壩過程中之潰口底部高程(m)

z　潰壩潰口側坡(V：H＝1：z)

又來流速度校正因子 C_v 為

$$C_v = 1.0 + 0.023 \frac{Q_{db}^2}{\left[B_d^2 \left(H - H_{bm}\right)^2 \left(H - H_b\right)\right]}$$

H_{bm}　潰壩終止時之潰口底部高程(m)

B_d　蓄水庫於壩處之寬度(m)

由上述可知，潰口的寬度、底部高程、側坡與潰壩歷時等是重要參數。目前安評技術規範對於上述參數建議，係參考美國國家氣象局(National Weather Service，NWS)所訂內容，整理如表 3 所示。

表 3、 目前安評技術規範對潰壩參數之建議

項目	建議值	壩型
潰口寬度 B	$0 \leqq B < 3d$(土壩高)	土壩、堆石壩
	0.8×壩頂長度	拱壩
	壩頂長	混凝土壩、拱壩
	一個或幾個施工壩頂寬度	砌石壩、重力壩
口門邊坡 m	$0 \leqq m = 2$	所有壩型
	$m = 0$	砌石壩、重力壩
	$\frac{1}{4} \leqq m \leqq 2$	土壩
	$1 \leqq m \leqq 2$	拱壩(未經設計)
潰決歷時 τ(h)	$0.1 \leqq \tau \leqq 3.0$	所有壩型
	$0.1 \leqq \tau \leqq 0.3$	砌石壩、混凝土壩
	$0.3 \leqq \tau \leqq 3.0$	土壩
	$0.1 \leqq \tau \leqq 0.5$	土壩(未經設計，施工質量差)
	$0.1 \leqq \tau \leqq 3.0$	拱壩

資料來源：水利建造物檢查及安全評估技術規範研訂總報告-蓄水引水篇(96 年 12 月)。

又近年來，美國聯邦能源管理委員會(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)、美國陸軍工兵團(U.S. Army Corps of Engineers, USACE)等水庫管理單位，藉由統計美國與世界上潰壩案例，依不同壩型(混凝土重力壩、混凝土拱壩、土石壩)更新整理潰壩參數(潰口寬度、潰口邊坡斜率、潰壩延時等)之建議值，如表 4、表 5 所示。由此 2 表各規範內容比較可知，潰壩參數選用皆以壩型區分，但各單位建議範圍值稍微不同，建議未來選用時可參酌採用。

由於各該組織針對潰壩參數的建議，是藉由分析不同實際潰壩案例的統計或經驗結果建議，因為分析的案例與數量不完全相同，故建議值亦不盡相同。由此亦可知，潰壩參數無絕對性，依不同的水庫特徵、破壞狀況，存在不確定性。

表 4、美國聯邦能源管理委員會對潰壩參數建議

參數	壩型	建議值
潰口平均寬度($\overline{BR}$)	拱壩	壩長
	混凝土壩、重力壩	≦0.5 壩長
	土壩、堆石壩	4 壩高~5 壩高
	壩渣、棄物堆壩	≧0.8 壩長
潰口側坡 (垂直：水平=1：Z)	拱壩	$0 \le Z \le$ 壩址山谷坡度
	混凝土壩、重力壩	Z=0
	土壩、堆石壩	$\frac{1}{4} \le z \le 1$
	壩渣、棄物堆壩	$1 \le z \le 2$
潰壞歷時 (TFH, hrs)	拱壩	$TFH \le 0.1$
	混凝土壩、重力壩	$0.1 \le TFH \le 0.3$
	土壩	$0.1 \le TFH \le 1.0$
	土壩 (無正規設計，施工不良)	$0.1 \le TFH \le 0.5$
	壩渣、棄物堆壩	$0.1 \le TFH \le 0.3$

資料來源：Engineering Guidelines For The Evaluation Of Hydropower Projects, 1993, FERC(美國聯邦能源管理委員會)。

表 5、美國陸軍工兵團對潰壩參數建議

參數	壩型	建議值
潰口平均寬度	混凝土拱壩	0.8 壩長~壩長
	混凝土重力壩	數個分塊長
	土石壩、堆石壩	0.5 壩高~5 壩高
潰口側坡（垂直：水平=1：Z）	混凝土拱壩	0~山谷邊坡斜率
	混凝土重力壩	0
	土石壩、堆石壩	0~1
潰壞歷時(hrs)	混凝土拱壩	≦0.1
	混凝土重力壩	0.1~0.5
	土石壩、堆石壩	0.1~4

資料來源：Risk Assessment For Dam Safety, Dam Failure Analysis Toolbox, September 2007, U.S. Army Corps Of Engineers(USACE)。

為探討各參數建議範圍值對潰壩出流量之影響，本研究曾以石門水庫為案例(參考石門水庫第四次安全評估之潰壩演算)，針對潰壩參數進行敏感度分析，說明如后。

石門水庫壩高 133.1 公尺、壩長 360 公尺，假設起潰水位為 EL. 245m，潰壩機制為溢頂，潰口平均寬度採 190 公尺(1.4 倍壩高)、潰口邊坡斜率為 1、潰決延時為 1 小時基準案例，分別固定其中兩種參數，將第三個潰壩參數，以建議值範圍內變化進行尖峰出流量的分析，結果如表 6 所示。

依分析結果顯示，潰壩延時對潰壩出流量的影響最大，潰壩延時愈短，代表水庫的蓄水量需要在短時間內流出，故尖峰出流量愈大；其次為潰口平均寬度，最後為潰口邊坡斜度。

表 6、潰壩參數敏感度分析列表

潰口平均寬度敏感度分析		潰口邊坡斜度敏感度分析		潰壩延時敏感度分析	
壩高(m)	133.1	壩高(m)	133.1	壩高(m)	133.1
壩長(m)	360	壩長(m)	360	壩長(m)	360

潰口平均寬度 敏感度分析		潰口邊坡斜度 敏感度分析		潰壩延時 敏感度分析	
起潰水位(EL.m)	245	起潰水位(EL.m)	245	起潰水位(EL.m)	245
潰口底部高程 (EL.m)	171	潰口底部高程 (EL.m)	171	潰口底部高程 (EL.m)	171
潰口平均寬度 (m)	*66.6~360*	潰口平均寬度 (m)	190	潰口平均寬度 (m)	190
潰口邊坡斜度(.)	1	*潰口邊坡斜度(.)*	*0~1*	潰口邊坡斜度(.)	1
潰壩延時(s)	3,600	潰壩延時(s)	3,600	*潰壩延時(s)*	*360~3,600*
尖峰出流量差異量比(%)	**+69.5**	**尖峰出流量差異比(%)**	**-9.0**	**尖峰出流量差異比(%)**	**+141**

註：尖峰出流量差異量比=(最大尖峰出流量-最小尖峰出流量)/原分析潰壩演算流量

(四)河道洪水演算

河道洪水演算係以水力演算(hydraulic routing)方法，配合適當之邊界條件及河道地文特性，模擬潰壩後洪水波傳播至下游河道時之流況，包括流量、水位、流速及洪峰到達時間等。本項屬傳統河川水力學範圍，可詳見相關研究，本文不另深入探討。

依目前安評技術規範相關建議，對於河道洪水演算與淹水演算，有建議數套水理演算模式可供選用，如表 7 所列。

表 7、目前安評技術規範建議可採用之河道洪水演算模式

模式名稱	開發者/國家	更新版本/年份	演算特性
HEC-RAS	USACE/美國	4.1/2010	一維演算
SOBEK	WL|Delft/荷蘭	2.14.001/2015	一維/二維演算
MIKE11	DHI/丹麥	/2014	一維演算
FLS	WL|Delft/荷蘭	-	二維演算
SMS	Aquaveo/美國	11.2.11/2015	二維演算
MIKE21	DHI/丹麥	/2014	二維演算

惟因近年來電腦程式發展與推廣，已有更多的水理模式可應用，本次檢討蒐集數種國內外較常應用之河道演算與淹水模擬之水理模式，列舉於表 8，可供未來選用參考。

表 8、更新潰壩演算可採用水理模式列舉表

模式名稱	開發者/國家	演算特性		
		潰壩模擬	一維演算	二維演算
HEC-HMS	USACE/美國	●	●	
HEC-RAS	USACE/美國	●	●	
MIKE11	DHI/丹麥	●	●	
MIKE21	DHI/丹麥			●
SOBEK	WL|Delft/荷蘭			●
SMS	Aquaveo/美國		●	●
CCHE2D	NCCHE/美國			●
FLO-2D	FLO-2D/美國		●	●
FESWMS-2DH	FHWA/美國			●
SEC-HY21	中興工程顧問社/台灣	●		●

另需注意一點，潰壩演算與一般常見河川水力學演算案例較不同處，在於潰壩洪水皆為急變量流，在演算上需予注意。

(五)淹水演算

洪氾區淹水演算係以水力演算(hydraulic routing)方法，配合適當之起始條件、邊界條件及洪氾區地文特性，模擬洪水溢堤(岸)後傳播至洪氾區時之流況(包括流量、水位、流速、洪水到達時間及洪峰到達時間等)，以推定淹水深度等。

淹水演算一般採用二維變量流流況模擬洪水波傳播現象。又考量所需分析影響範圍大部分會較大，一般建議計算至河口，而此時河道內之計算結果較不受邊界條件影響。

洪氾區地文特性包括地表高程、道路分佈、土地利用情況及建築結構物

(橋樑及大型建物)等。目前建議以廣泛適用之 DTM 資料為基礎，但對於河道斷面、橋樑、堤防及其他人為結構物等應儘可能以最新實測進行地形資料修正，以符合現況。必要時可由地形圖上讀取斷面資料，惟應儘可能採用 1/5000 以上之地形圖，不宜採用小於 1/10000 比例尺之地形圖。

(六)災損評估

依安評技術規範，依潰壩發生歷程，災損評估可分為：(1)搶救災應變經費、(2)受災地區損失、(3)災後重建經費等三類，由於第(1)及(3)類無法事先確定，故目前規範建議僅就(2)受災地區損失這一類進行評估。

又受災地區損失可再區分為對人口影響、經濟損失、文化資產影響及生態環境影響等層面之評估。其中文化資產影響與生態環境影響為較難計量之損失，故可調查受災範圍內之相關調查結果，以圖表呈現。人口影響則為不可回復重建之損失，可統計受災範圍內之戶籍人口作為受災人口。經濟損失可依其大致特性分為直接損失與間接損失，而由於間接損失之範圍廣泛且較難以計量，建議可先就直接損失部分進行評估。另直接損失部分可再分為(1)公共財產損失及(2)工商業損失與農漁業損失。

惟需注意，考量目前數值模式對於淹水深度 0.5 公尺以下之計算仍有相當不確定性，且該情況下危害程度相當有限，因此規範建議在大多數狀況下以淹水深度 0.5 公尺以上地區作為災損範圍，但低窪地區與沿海地區因退水不易，不在此限。

四、結語

水庫蓄存龐大水體，若發生潰決，易對水庫下游地區產生嚴重危害。預先研究潰壩歷程與影響，辦理潰壩分析，可供研訂潰壩緊急應變計畫依據，以提升水庫安全管理之終極目標。

由於潰壩歷程複雜，而描述詳盡的潰壩資料量相當少，故目前潰壩機制之系統性了解仍有不足，惟為了解潰壩影響，目前國內外多採用簡化之潰口變化歷程之潰壩模式來模擬，於安評技術規範內亦建議可採用 DAMBRK 模式，再配合適當之河道洪水演算及淹水演算水理模式，即可據以推算災損狀況及緊急應變計畫參考。

本文簡要闡述潰壩分析之目的與流程供參，惟考量潰壩演算之結果可能因參數選用不同，而結果差異很大，建議讀者宜依研究對象水庫特性，審慎決定採用參數，而此一參數採用，可參考本文或國內外其它研究建議內容。

參考文獻

1. 水利建造物檢查及安全評估技術規範-蓄水引水篇，經濟部令，97年5月5日。
2. Engineering Guidelines For The Evaluation Of Hydropower Projects, 1993, FERC。
3. Risk Assessment For Dam Safety, Dam Failure Analysis Toolbox, September 2007, U.S. Army Corps Of Engineers(USACE)。

投稿 107.11.06
校稿 107.11.08
定稿 107.11.12

橋墩基礎防沖刷常用保護工及案例介紹

高 忠 人　　賴 桂 文　　陳 明 陀

高忠人水利技師事務所 負責人　　水利技師　　禾唐工程顧問有限公司 負責人

摘 要

臺灣河川多屬坡陡流急，溪床沖淤激烈，流路演變快速，致使橋基附近河床受到劇烈的沖刷，常導致橋樑崩塌斷裂，甚而造成交通中斷，因此需經常性辦理橋基保護工程施作。本文橋基沖刷防護設計理念係以加強維護管理之方式進行保護，避免設置大型構造物而影響河防安全，設計時採用局部保護工法，以選用混凝土異型塊與混凝土護坦工法為案例，經評估橋基設置保護工後對沖刷防護具有一定成效，其工法選用型式可供日後工程師設計參考使用。

一、 前言

臺灣河川多屬坡陡流急，溪床沖淤激烈，流路演變快速，致使橋基附近河床受到劇烈的沖刷，常導致橋樑崩塌斷裂，甚而造成交通中斷。一般跨河橋梁基礎之保護工，依其性質大致可分類為橋基結構補強與沖刷防護工兩大類，而沖刷防護工又可分為局部保護及整體河床保護。其中，橋基結構補強用於橋梁基礎之承載能力的提升，以補強其使用功能；沖刷防護工用於河系環境災害因子的消減，以達橋梁保護目的。而橋基保護應用於水利工程範圍多屬於沖刷防護工，其防護工法形式各有優缺點，橋基沖刷防護可依其河川特性及沖刷潛勢選定適用工法。本文橋基沖刷防護設計理念係以加強維護管理之方式進行保護，避免設置大型構造物而影響河防安全，設計時採用局部保護工法，以選用混凝土異型塊與混凝土護坦工法為案例，評估橋基設置保護工後之成效，其工法選用型式可供日後工程師設計參考使用。

二、 國內橋墩保護工資料彙整

(一) 沖刷防護工法種類

由「橋基保護工設計規範」解說中所列表C5.3.1常用橋基保護工之防護功能和適用河川特性列表摘錄於表1。一般沖刷防護工法有柔性攔砂堰工法、

剛性攔砂堰工法、蛇籠工法、拋石工法、混凝土護坦工法、混凝土異型塊工法及貨櫃式石籠工法。

上述工法從施工及完工後的特性又可分為剛性工法及柔性工法兩種，剛性工法包括:剛性攔砂堰工法、混凝土護坦工法；柔性工法包括：柔性攔砂堰工法、蛇籠工法、拋石工法、混凝土異型塊工法及貨櫃式石籠工法。一般剛性工法的特性是較為耐久，但缺點是工程費較高，施工較複雜，一旦破壞其修復較為困難；而一般柔性工法的特性是工程費低，施工簡單，修復亦較為簡單，缺點是較不耐久，必須經常維護。

表1　常用橋基保護工之防護功能和適用河川特性列表

保護對策		防護功能				適用河川特性								
		局部沖刷	束縮沖刷	一般沖刷(縱向)	一般沖刷(側向)	適用地形	河川形態	河川規模	河彎半徑	流速	河床質	漂流物	河岸邊坡	洪水平原
沖刷防護工法	柔性攔砂堰工法	○	○	●	○	不適河口	◎	◎	◎	◎	礫砂質	◎	◎	◎
	剛性攔砂堰工法	○	○	●	○	不適河口	◎	◎	◎	◎	礫石	◎	◎	◎
	蛇籠工法	○	●	○	●	◎	◎	◎	◎	慢	◎	少	◎	◎
	拋石工法	○	●	○	●	丘陵區及河口	◎	◎	◎	◎	礫石	◎	陡峭平穩	◎
	混凝土護坦工法	○	○	○	●	丘陵區和平原	◎	◎	◎	慢	砂質	◎	陡峭平穩	◎
	混凝土異型塊工法	○	○	○	●	◎	◎	◎	◎	慢	卵礫石	◎	陡峭平穩	◎
	貨櫃式石籠工法	○	●	●	○	◎	◎	◎	◎	慢	礫砂質	◎	陡峭平穩	◎
備註：●：非常適用　○：可能適用　◎：適用各種河川特性　×：不能用														

資料來源：「橋基保護工設計規範」解說表 C5.3.1，交通部公路總局，民國 100 年。

如從保護對象的數量而分，可分為局部保護及整體保護兩種。局部保護的工法包括：蛇籠工法、拋石工法、混凝土異型塊工法及貨櫃式石籠工法；整體保護的工法包括：柔性攔砂堰工法、剛性攔砂堰工法及混凝土護坦工法。採用局部保護工法是在並非對整體橋基都有威脅的情況下，只針對少數受到水流威脅，產生局部沖刷(local scouring)的橋墩進行保護；而採用整體保護工法的時機，則是產生一般沖刷(general scouring)，整體橋墩基礎都受到威脅，例如河床有長期整體下降的趨勢時。上述工法中，除了貨櫃式石籠工法外，都是在實務上已經廣泛應用的工法。至於應用的成敗，則需視設計工程師對於各級沖刷原因的判斷掌握及是否採用正確的工法及對策。

(二) 沖刷防護工法說明

1. 柔性固床工(Flexible Weir)

柔性固床工(或稱柔性攔砂堰工法)係利用數量相當多之巨大混凝土長方塊以鋼筋連結相鄰兩列並交錯排開(間距為50cm最為頻繁)，長方塊邊長一般介於2~5m之間(圖1)。此工法通常構築於跨河橋梁下游不遠處，一般柔性攔砂堰各混凝土塊之上游至下游端頂面高程大多採用逐階下降，惟攔砂堰下游處須設置消能池(護坦工)，以防止因跌水造成下游河床沖刷，使得堰體崩壞。

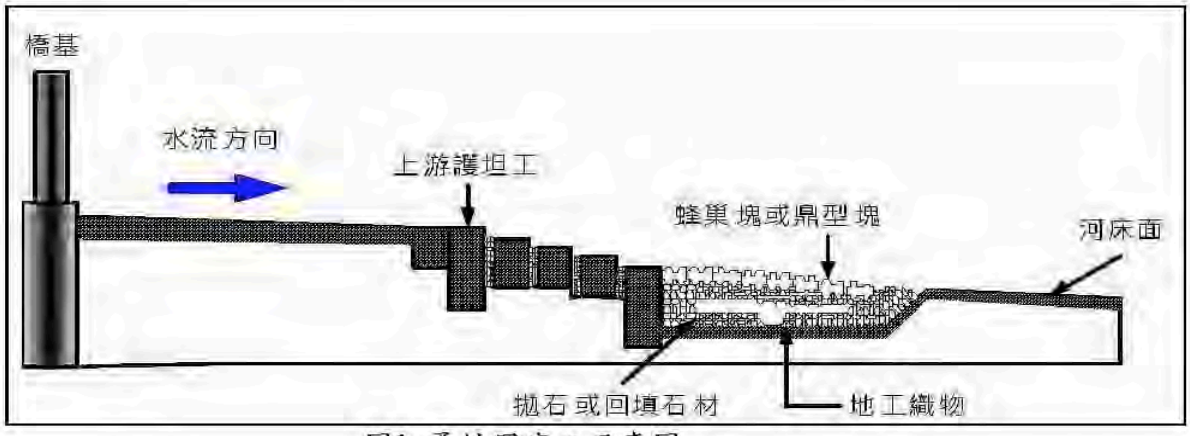


圖1 柔性固床工示意圖

2. 剛性固床工(Rigid Weir)

剛性固床工(或稱剛性攔砂堰工法)所採用之基礎型式大致分為基樁式及重力式兩種，所謂基樁式主要的剛性堰體是以樁基礎作支撐，重力式即是採

用堰體自重座落在堅固之河床上(圖2)。此工法主要可穩定河床，防止河床下降，此外，剛性堰後方消能池之消能效率及穩定性，則為此保護工設計之重點，若消能池遭沖刷破壞，將產生向源侵蝕，導致上游端堰體破壞或基礎掏空，堰體上游河床質流失，進而危及上游橋梁。故剛性攔砂堰消能池尾端下方之截水牆施設，將延長地下水滲流與管湧之路徑。並可防止下游河床因跌水、水躍沖刷而下降，甚至產生向源侵蝕，以防護堰體的基腳免於淘空而傾毀。

3. 蛇籠工法(Gabions)

蛇籠工法係利用鍍鋅鐵絲，經由人工或機械編織而成之金屬網目，再內包卵石所構成之長條石籠而成之保護工法(圖3)，一般普遍使用於橋基保護、堤防護坡與公路邊坡穩定等。國內常見之型式大致可分為甲種與乙種蛇籠工，較為普遍之尺寸為甲種蛇籠之60cm×100cm，其斷面近似於橢圓狀。

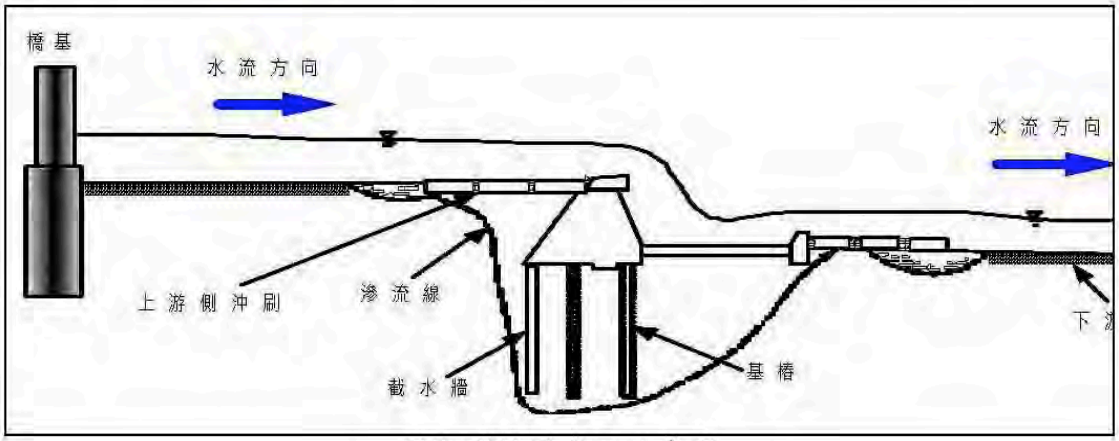


圖2 剛性固床工示意圖

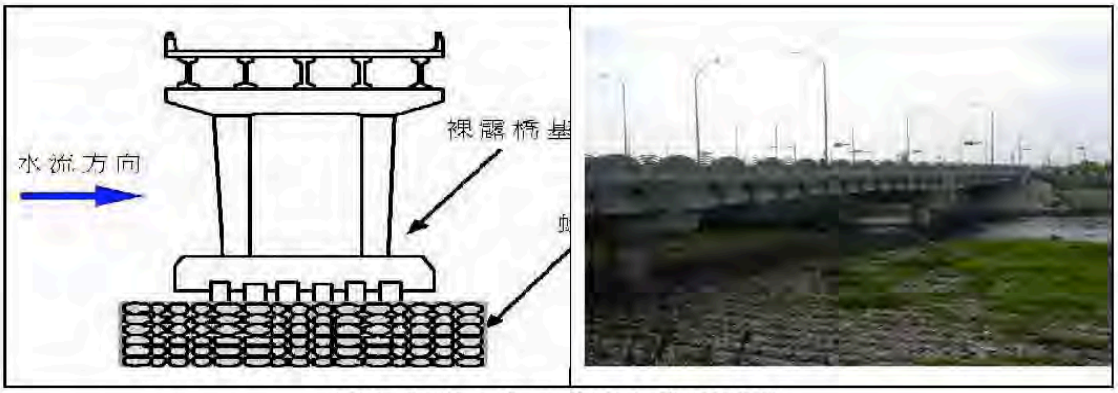


圖3 蛇籠工法示意圖與實例照片

4. 拋石工法(Dumped Riprap)

拋石工法係利用具有相當重量之卵石、岩塊、混凝土碎塊等，鋪設於遭沖蝕之河床、或已裸露之橋基周邊範圍，藉由拋石形成護甲層的作用以保護橋基周邊河床，可減緩或防止已沖刷之河床繼續刷深，甚至促進砂石淤積(圖4)。惟拋石個體與個體間無連結性，所能發揮之整體性護床或護基功效較差，除非拋石之體積或重量甚大，否則在較高的流速下甚易被沖失。因此本工法較適用於河道較為寬廣、水深不大、坡小流緩(流速小於1.5m/s以下)之砂質河床。

5. 混凝土護坦工法(Concrete Jacketing)

混凝土護坦工法在河床上鋪設帶狀或片狀之(鋼筋)混凝土版，此工法可防止河床沖刷，倘被沖刷，有此覆蓋亦可防止沖刷擴大，緩和流速，防止橋基及護岸破壞(圖5)。一般而言，混凝土護坦工可鋪設於早期施作之蛇籠工、鼎形塊、混凝土方塊、異形塊或回填拋石之上。

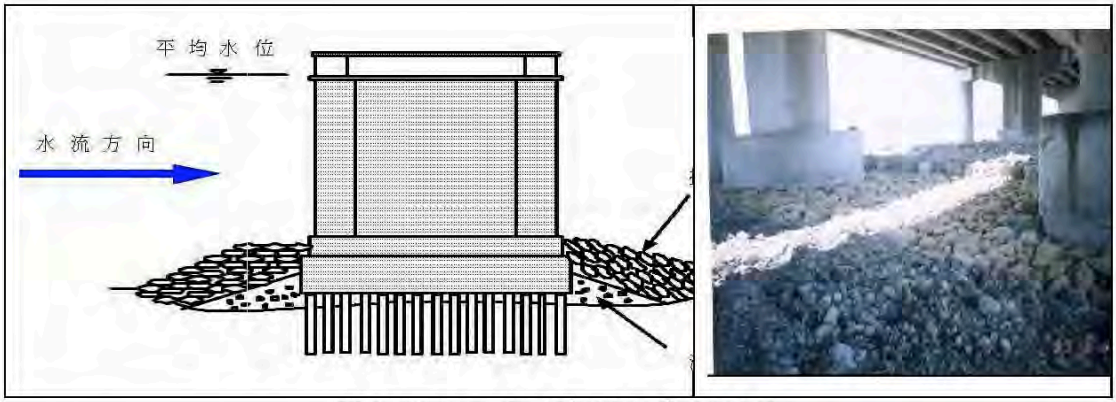


圖4 拋石工法示意圖與實例照片

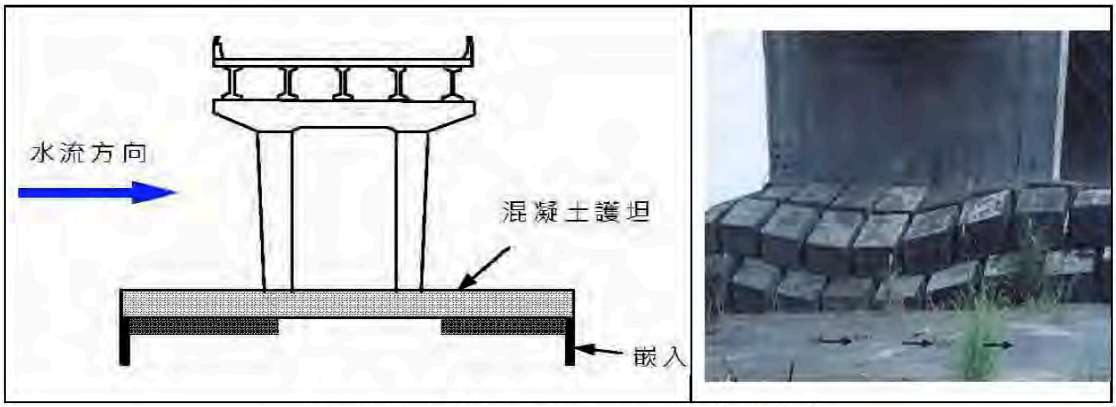


圖5 混凝土護坦工法示意圖與實例照片

6. 混凝土異型塊工法(Concrete Armor Units)

混凝土異型塊工法與混凝土護坦工法雷同，通常沿橋址拋放異形塊於全部深槽區或局部堆置於橋基周邊，一般均無連結成群體而各自獨立(圖6)。混凝土異型塊工法施工容易且容許變位傾斜，發揮柔性保護河床之能力，可立即保護橋基穩定及安全，惟局部施作易使未受保護區刷深，並導致塊體沉陷流失，設計時可用鋼筋加以連結，以增加整體抗沖能力，此工法適用於卵礫石河床。為保護橋梁之安全，對於橋墩處因束縮造成流速增加或沖蝕應特別注意。

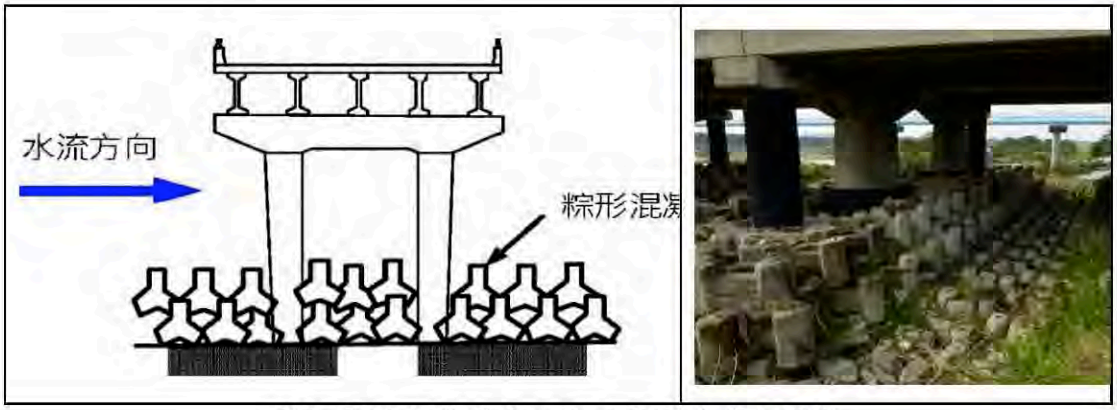


圖6 混凝土異型塊工法示意圖與實例照片

7. 貨櫃式石籠工法

貨櫃式石籠工法係將貨櫃箱頂鈑切除使其成為一個頂面露空之大型裝填物，其內可拋置卵塊石以增加重量，利用底面為大面積且長方型狀之平底，穩定座落在河床上，達到穩固河床和保護橋基目的，係為一種緊急應變工法(圖7)。貨櫃式石籠工法安全係數較低，易在中大型洪水之沖刷作用下造成破壞，致使橋基裸露更為嚴重。

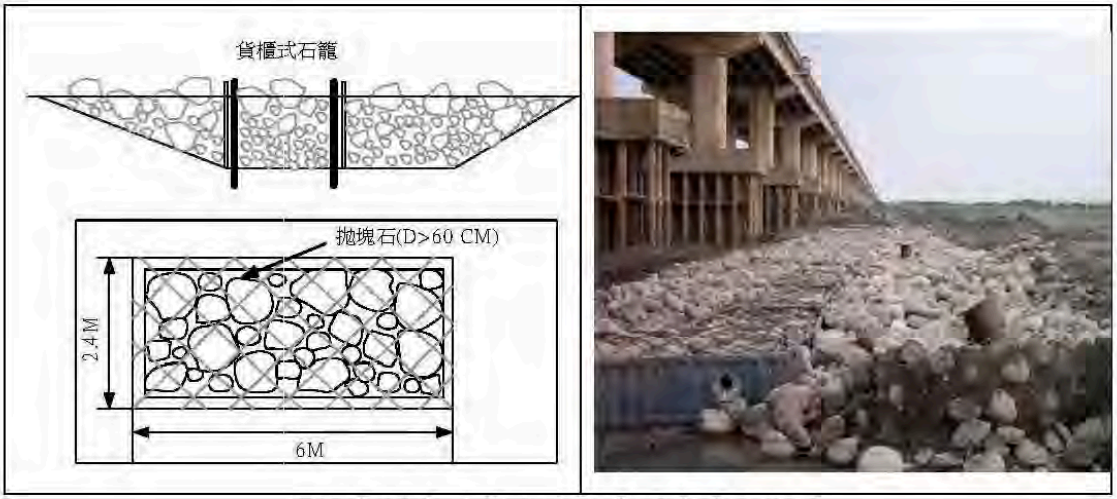


圖7 貨櫃式石籠工法示意圖與實例照片

8. 複合工法

利用前述各項中至少合併其中兩項的施作方法，或因過去所施作之保護工局部或部分發生毀損後、再以其他工法補修而形成現場具有數種保護工的情形。例如：於橋址之深槽區河床上可能同時使用鼎形(或元鼎)塊佈設與蛇籠工壓底的複合工法；於橋址處施作蛇籠工(或混凝土長方塊)、而於橋梁下游側不遠處構築柔性(或剛性)攔砂堰的複合工法。

三、 國外橋墩保護工資料彙整

(一) 沖刷防護工法種類

國外因河川特性水流相對較為緩和，橋墩保護種類使用方式與國內差異較大，根據美國橋梁管理單位於1995年調查220,000座橋梁結果(Parker et al., 1998)顯示共8,662座橋梁有使用橋基保護工法，其保護工法使用拋石工法比例佔69.3%，其次為蛇籠工法比例佔6.6%，除此之外異型塊及丁壩亦普遍被使用，使用比例如表2所示。

(二) 沖刷防護工法說明

橋墩周圍有局部淘刷產生其原因主要由於高速水流流經結構物產生渦流向下擾動並帶走河床料所造成，國內針對橋墩局部沖刷現象可優先考量較大粒徑的塊石、混凝土塊、蛇(石)籠等工法鋪設於欲保護的河床及周邊範圍，藉由人為之護甲層作用來減緩渦流下刷能量，增強河床對水流之抗沖刷能力，國外各國常用之工法有拋石工法、地工材料(砂腸袋、地工砂袋、織物模板)、石籠工法、各型混凝土異型塊排置工法等。

表2 美國橋基保護工法使用分布一覽表

橋基保護工法	橋梁數目	百分比(%)	備註
拋石	5,913	68.26	拋石工法
自行入水拋石	72	0.83	拋石工法
混凝土漿砌石	27	0.31	混凝土護坦工或護岸工
岩塊蛇籠工	567	6.55	蛇籠工法
其他柔性護岸工	37	0.43	護岸工(河道治導工)
河道襯砌工	253	2.92	護坦工或護岸工
混凝土襯墊(護坦)	51	0.59	混凝土護坦工法
混凝土填充袋	97	1.12	-
拋岩塊護岸	79	0.91	護岸工(河道治導工)
丁壩工、彎道堰	420	4.85	護岸工(丁壩工)
(淺)基礎擴座	778	8.98	-
混凝土塊連結	6	0.07	混凝土塊排置工法
彎曲型導流板	1	0.01	-
犧牲替代樁	22	0.25	-
導流板	6	0.07	-
堤防	43	0.50	護岸工(河道治導工)
攔砂堰、固床工	83	0.96	剛、柔性攔砂堰工法
摻土水泥	7	0.08	-
碼槎	1	0.01	河道治導工
水流阻滯設施	35	0.40	河道治導工
增加橋梁跨距	2	0.02	-
橫向支撐柱	5	0.06	臨時結構工法
橋梁安全警示裝置	22	0.25	-
現制交通流量、封閉橋梁	111	1.28	-
其他	24	0.28	-
總計	8,662	100.0	

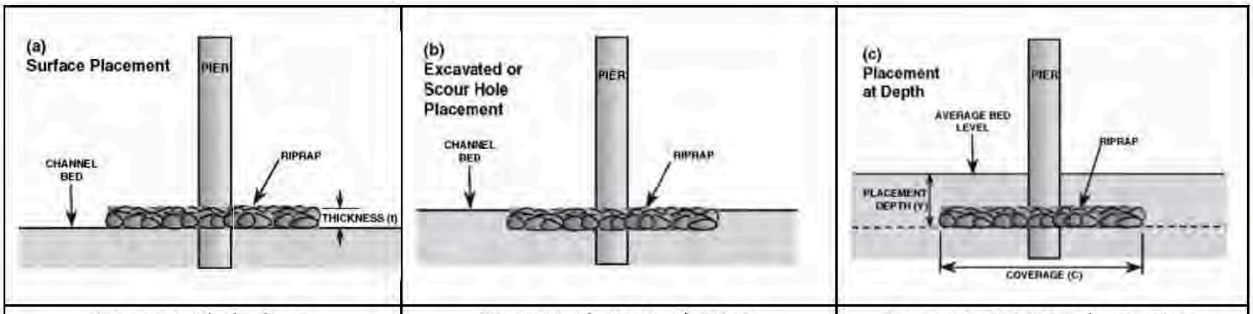
資料來源：橋墩保護工法之研究，交通部運輸研究所，民國 106 年 12 月。

此外，還有較新的相關研究，例如：上鉤式頸環，上鉤式頸環是在橋墩墩柱上設置頸環，攔阻撞擊墩柱後向下的水流，以減緩水流對基礎的直接沖刷，是屬於個別保護的剛性工法，相關工法說明如下：

1. 拋石工法(Dumped Riprap)

國外早期有關橋墩沖刷對策多採拋石工法，拋石位置可分別拋石在渠床表面上(a)，拋石於估算所得沖刷坑範圍內(b)，近期建議拋石於平均河床面下之沖刷深度位置(c)，詳圖8所示。拋石工失敗原因，通常為塊石無法承受橋墩馬蹄渦流，加上底層細粒料被掏空，最後使得塊石被水流帶走。在美國拋石被廣泛用作橋墩沖刷對策，但在歐洲卻不認為是解決橋墩沖刷最好工法，而是採用地工材料較具透水性。

此外，拋石底層同時可鋪設地工織布的複合工法，以防止細粒料掏刷，或於拋石前、後可澆置水泥砂漿，形成一層不透水層護甲層，灌漿約填充總空隙空間的1/3到1/2，詳圖9所示。



拋石於渠床表面	拋石於沖刷坑範圍內	拋石於平均河床面下之沖刷深度

資料來源：Lagasse, P.F., Clopper, P.E., Zevenbergen, L.W., and Gerard, L.G. (2007). NCHRP Report 593: Countermeasures to Protect Bridge Piers from Scour, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.

圖8 橋墩拋石工法示意圖

拋石前底層放地工織布

拋石灌漿後固結

拋石人工灌漿

資料來源：Federal Highway Administration(2009)."Bridge Scour and StreamInstability Countermeasures-Experience, Selection, and Design Guidance(Third Edition),"Hydraulic Engineering Circular No. 23 (HEC-23).

圖9 拋石複合工法示意圖

2. 擾流設施

淘刷產生原因主要由於高速水流流經結構物產生渦流向下擾動並帶走土壤所造成，擾流設施主要的防制原理是利用附屬結構降低流經主要結構水流速度或流向，進而減低沖刷能量，亦可於容易造成渦流部位，設置擾流結構，縮小渦流影響，甚或防止渦流產生(如圖10)。國內常用的渦流擾流工法，基本原理皆是以較大粒徑的塊石、人造混凝土塊或蛇籠等工法減緩渦流下刷能量，相關方法於美、日各國使用時通常會於擾流設施與原河床土壤間加設地工織物，進一步保護土壤、防止流失。

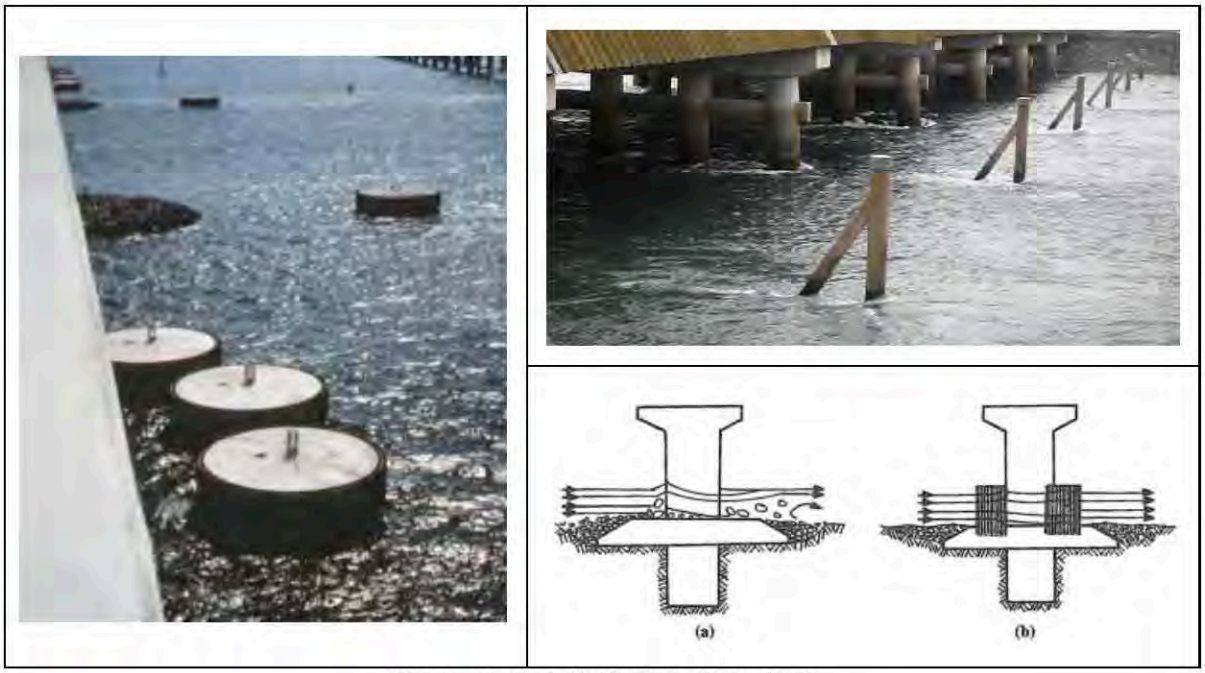


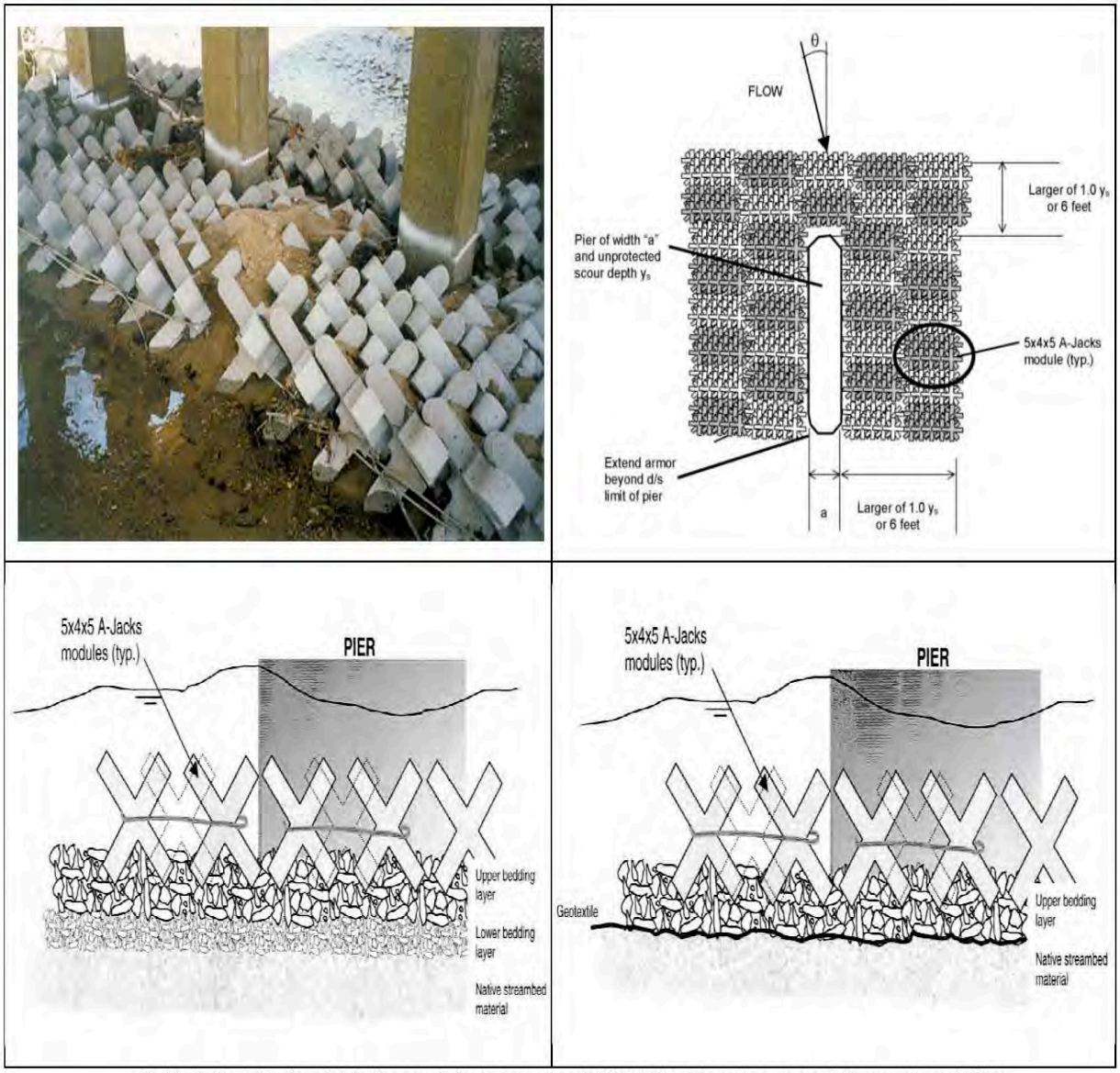
圖10 現地橋基擾流設施示意圖

3. 混凝土異型塊工法(Concrete Armor Units)

混凝土異型塊鋪設可以單獨或相互連接的組合方式，建議混凝土異型塊擺放時務必再使用鋼索捆綁其軀體，除不會容易被河川洪水沖散，並使各混凝土異型塊在構材整體性上具一體性強之狀態，另下方可搭配拋石或地工材料等方式鋪設，以減少細粒料被淘空，可獲得良好效果(圖11)。

4. 砂腸管工法

砂腸管為兼具透水(Infiltration)與保留土壤(Soil Retention)之袋體，在水力填充後，袋中水分迅速排除，保留於內部之土壤成為一穩定之地工織物-土壤複合體，在河川整治工程中可發揮極大的環保效益。砂腸管材料為地工合成物(Geosynthetics)織造而成之高拉力纖維透水管狀袋體，其纖維主要成分為聚丙烯(polypropylene 簡稱PP)透水織布，摺疊後體積、重量皆小，運送輕便，將袋體於現場展開後連接水力輸送管路填充現地疏浚之泥砂，可作為護堤(Dike)、碎波堤(Breakwater)、丁壩(groin)及邊坡保護(Slope Protection)等。至今於韓國亦有應用於跨海大橋橋墩保護應用實例，詳圖12所示。



資料來源：Federal Highway Administration(2009)."Bridge Scour and StreamInstability Countermeasures-Experience, Selection, and Design Guidance(Third Edition),"Hydraulic Engineering Circular No. 23 (HEC-23).

圖11 混凝土異型塊工法示意圖

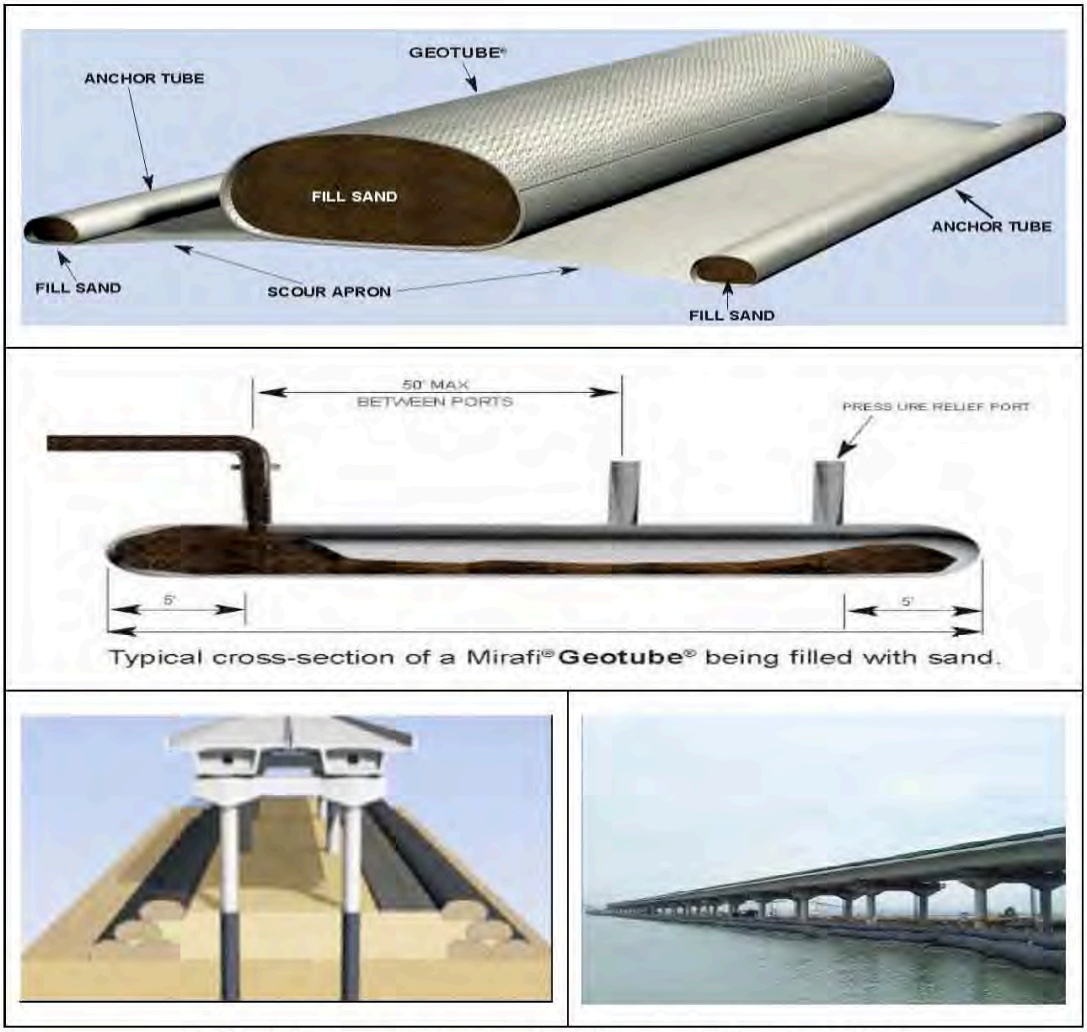


圖12 韓國仁川跨海大橋砂腸管橋墩保護工法示意圖

5. 織物模板工法(Grout-filled mattresses)

織物模板是利用高強度織布縫製雙層結構織袋狀物，袋體空間灌注混凝土或植生基材填充固定結構，可做為邊坡、河岸、防蝕堤防等坡面保護，不同組織形式可作為結構穩定或植生綠化之需求。織物模板具有擴張強度大、透水性佳、輕質、方便施工、填充植生基材可綠化環境、地面貼附性佳及填充水泥砂漿可護坡護岸等特性。國內大多應用於區域排水護岸及渠底保護，國外亦有應用於橋墩保護實際案例，鋪設寬度至少2倍墩柱寬度，坡度不大於1:2為原則，詳圖13所示。

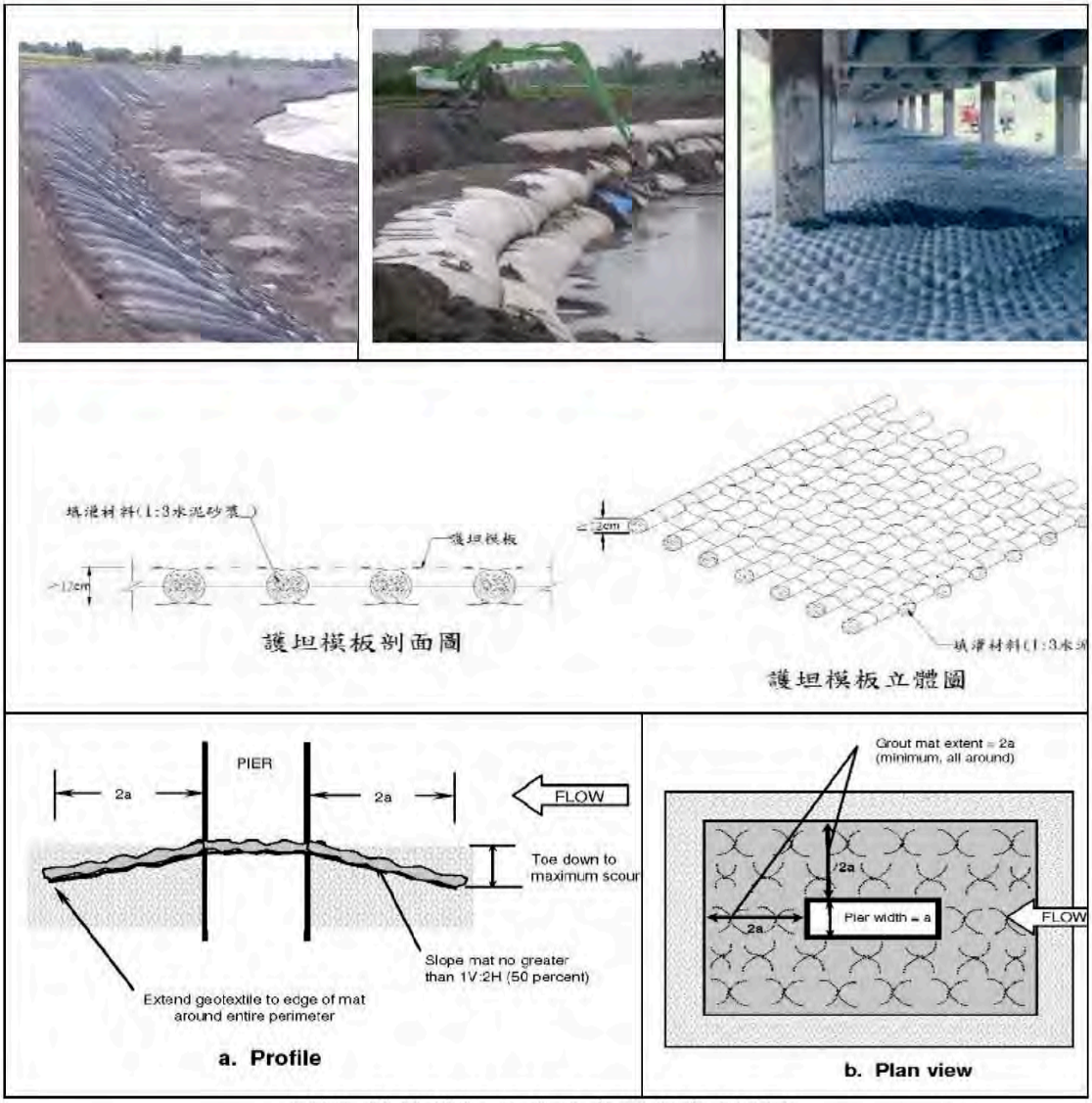


圖13 織物模板工法示意圖與實例照片

6. 地工砂袋工法(Geobag under water)

地工砂袋(Geobag)工法歐美各國亦命名為Geocontainer，地工砂袋係傳統防洪中常見砂包之放大延伸應用，係利用寬幅織布機織成雙層之袋狀織物或織布經過縫合成管子狀(腸子狀)或袋子，再現地抽砂灌入管子內，由於織布之孔隙可將水排除而保留砂土於袋內，而形成一個結構物，將其拋投入水中，而由很多地工砂袋疊堆成之一防沖刷之結構體，詳圖14所示。

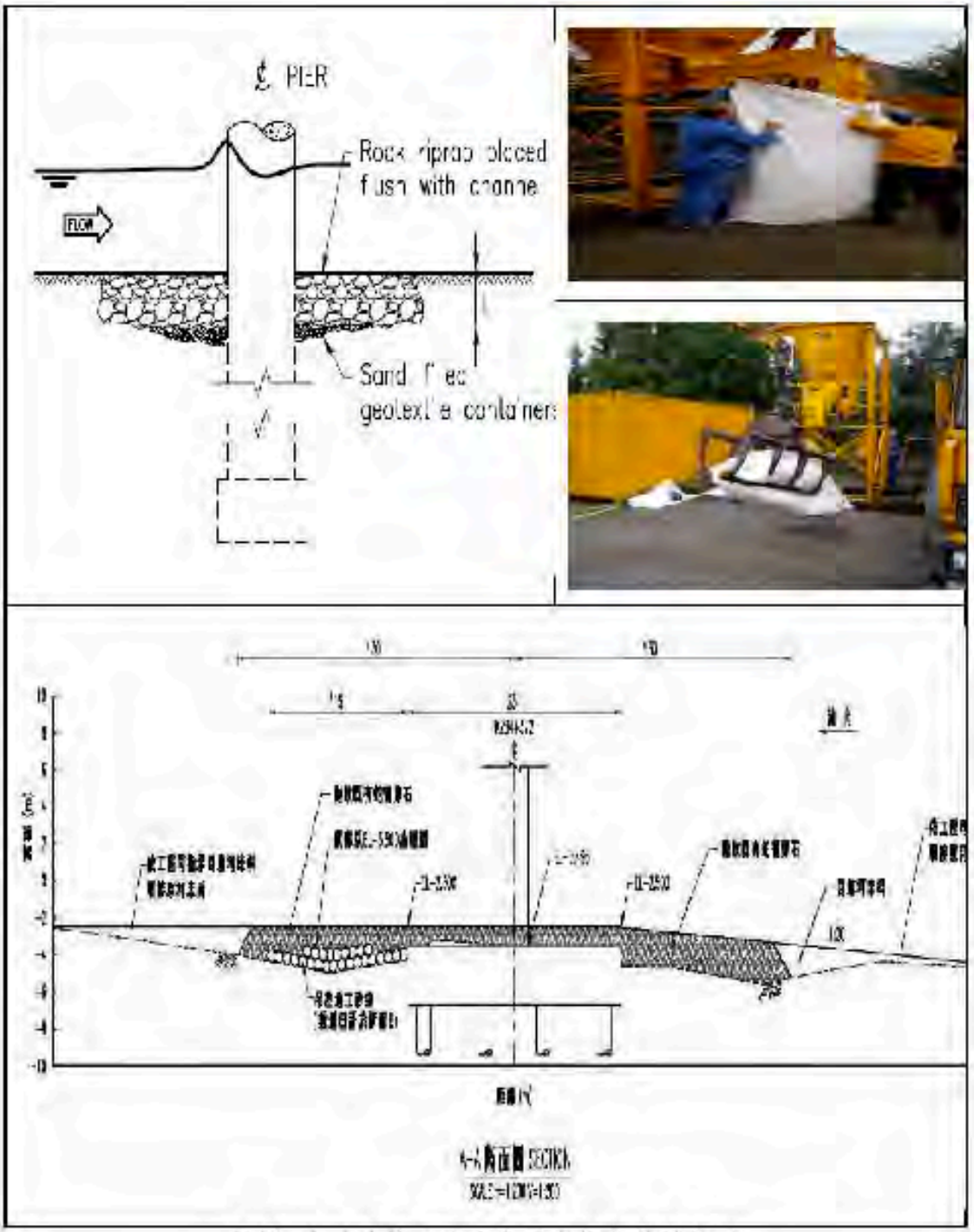
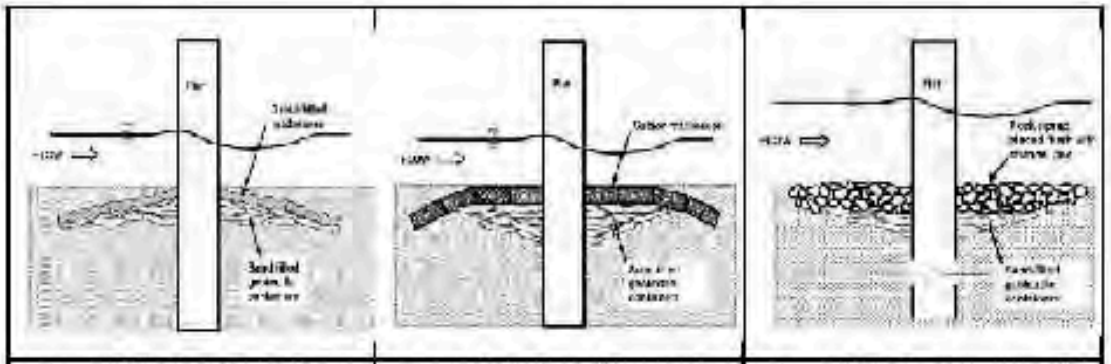


圖14 地工砂袋工法示意圖與操作裝填概況

除了上述傳統工法之外，近年來地工合成物(Geosynthetic)的優異過濾與隔離功能，於歐、美、日各國也常被應用於相關保護工法，應用時係於各工法與原河床土壤間加設地工合成物(Geotextiles)，進一步保護土壤、防止流失，圖15為地工砂袋與其它保護工法合併應用之示意圖。



地工砂袋與織物模板工法合併應用	地工砂袋與石籠工法合併應用	地工砂袋與拋石工法合併應用

資料來源：Federal Highway Administration (2009). "Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures-Experience, Selection, and Design Guidance (Third Edition), "Hydraulic Engineering Circular No. 23 (HEC-23).

圖15 地工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖

7. 上鉤式頸環工法(Protective collars)

上鉤式頸環是在橋墩墩柱上設置頸環，攔阻撞擊墩柱後向下的水流，以減緩水流對基礎的直接沖刷，是屬個別保護的剛性工法(圖16)。

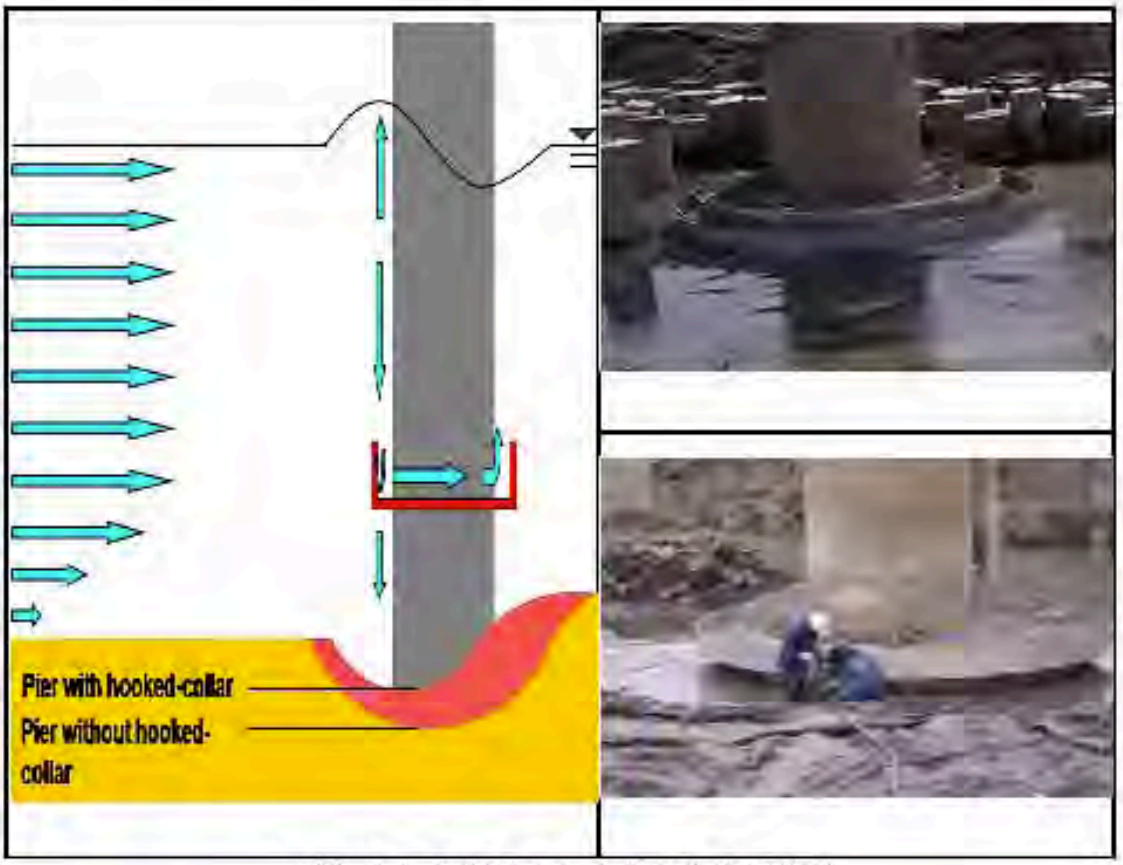


圖16 上鉤式頸環工法示意圖與實例照片

四、 橋墩局部保護工法之運用

橋墩局部性補強保護多用於河床沖刷初期橋墩裸露上不嚴重時，僅就橋墩周邊已遭沖刷之河床局部佈設構件加固，以增強河床對水流之抗沖刷能力，防止河床繼續沖刷，其方法有混凝土護坦工法、混凝土塊排置工法、拋石工法、蛇籠工法等，各防護工法之適用性及優劣點整理如表 3。

(一) 局部保護工法設計

橋梁基礎之保護設計理念，係以確保橋梁基礎受沖刷後之使用功能的正常性和安全性，和滿足原始橋梁設計使用年限為原則。因此，沖刷橋梁基礎之設計須掌握以下特性:(1)確實掌握設計所須之背景資料；(2)確實瞭解跨河橋梁之河川特性和沖刷潛勢；(3)妥善評析跨河橋基受沖刷後之穩定性。依橋基之可能致災原因，將各式橋基保護工法依沖刷防護工法進行分類，初步可以橋基保護工之防護功能和適用河川特性(河床質、流域寬度、河川曲率等)，如表1，同時可參照各型工法之優缺點及適用性(表3)，選擇適宜之工法。

表3 各局部保護工法優劣點說明表(1/2)

防護工法形式	適用範圍	優點	缺點
混凝土護坦工法	軟弱岩層 卵礫石河床	1.施工費用低廉，施工機具簡單易施工，工期較短，無須大型機具，將現場整平即可施作。 2.抗撞擊磨損能力較佳、具有相當之耐用性。 3.可於原有保護工上方直接施作。 4.常應用於卵礫石或塊石河床中。 5.對於已裸露易遭水流侵蝕剝離的軟弱泥頁岩層，能給予包覆保護，降低岩層持續風化之速度。 6.對於常有巨石或塊石撞擊、磨損之河段方可於護坦上設置防撞鋼板或橡膠輪胎增加抗磨蝕能力。	1.對下游河床造成跌水或水躍沖刷。 2.在砂質河床由於洪流的作用，混凝土護坦工的上下游河床會遭受沖刷而下降，造成護坦工下方的粒料因下游河床的刷深而形成向源侵蝕，又因為下游河床的流速相對高於護坦下方流速，造成的壓力差導致護坦下方粒料被吸出，加速護坦工的破壞。 3.護坦工與高灘地相接的邊緣未處理而造成側向侵蝕，建議以混凝土將邊坡加固。
混凝土異型塊工法	卵礫石河川 緊急搶修防護	1.混凝土塊不易磨損破壞。 2.適用於卵礫石河床。 3.各混凝土塊體隨河床高低變位傾斜，發揮柔性保護河床之能力。 4.將混凝土塊以平順、不凸出方式鋪設可發揮固床的功效。 5.鼎形塊具有高空隙率，可吸收洪水之衝擊能量，且凹凸的外型可以減緩流速及增加消能效果。 6.颱洪時橋基附近嚴重刷深之緊急臨時搶修護基工。	1.因排置混凝土塊之局部保護效果，造成未保護之(高灘地)河床被大幅刷深，導致塊體之沉陷流失。 2.塊體基部之河床料及間縫回填卵石容易流失，致使河床下降。 3.易造成側向侵蝕及水流繞道的情形，導致整體保護工破壞的結果。 4.若使用鼎塊排置工法之成本較高。 5.混凝土塊易埋入河床深處，不適用於軟弱之砂質河床。

防護工法形式	適用範圍	優點	缺點
拋石工法	河床寬淺坡小流緩之砂質河床	1.所需之設計、拋置施工與維修費用，較其他工法低廉。 2.隨周邊之外在條件而變位調整，促進砂石的淤積，增加整體穩定性。 3.重複使用性與再生性高、環境相容性高。 4.拋石料的細縫可淤積細粒料，供植被生長，增加穩定性與環境相容。 5.適用於河床寬淺、坡小流緩的砂質河床。	1.橋基周邊局部性的拋石，雖可暫時防止深槽區橋基周邊河床料的流失，但在無拋石區域水流加速的情形下，反而甚易沖蝕淘刷而漸擴及橋基處之拋石層，導致拋石層的漸次崩塌流失及河床的下降。 2.大量且大體積(尺寸較大)之拋石塊來源不易獲得。 3.不適用於河床窄深、坡陡流急之河川。

表3 各局部保護工法優劣點說明表(2/2)

防護工法形式	適用範圍	優點	缺點
蛇籠工法	卵礫石河床(須注意流石之撞擊磨損)或一般砂質河川	1.蛇籠富於饒曲性，可憑藉本身的重量而自動變位下沈。 2.若配置得宜，可改善水流通過的流況。 3.蛇籠工有較佳的穩定性及整體性。 4.可因地制宜採階梯式或河道坡度變化採取較佳型式。 5.蛇籠工與下層之拋填卵石可作為透(通)水之流路。 6.易於搭配其他的橋基保護工法。	1.相較於拋填卵石而言，蛇籠工的柔性較差。 2.工程施作經費較高。 3.蛇籠工佈置區的下游端或施作兩岸側邊緣常因向侵蝕、跌水及水躍沖刷，導致蛇籠網的拉扯破壞及局部河床質的流失。 4.於卵礫石層之河床，蛇籠工易遭流動之卵礫石磨耗而快速鏽蝕、或撞擊破裂。
河道整治工法(蛇籠保護工護岸)	流向易變遷	減緩沿岸之流速，避免水流直接沖刷河岸，使砂土、礫石沉積。	1.護岸工與河道之粗糙度相差太大，易引起流路變化、河道崩退。 2.剛性護岸工不具柔韌性，易發生裂縫，導致護岸災損。 3.個體性護岸(拋石或砌石)受水流吸引作用影響，塊(卵)石及細粒料易流失引致坍塌。 4.採用蛇籠施作之河道治導工，壽命僅有1~3年。

綜觀國內外技術報告和有關規範內容，橋梁基礎之局部保護工法眾多，如何從中挑選適合方法施作於受沖刷之不穩定橋址。如橋基周圍有局部沖刷現象，可選用拋石工法、混凝土護坦工法及混凝土異型塊工法；橋基周圍或下游短期內有沖刷下降危險，可選用拋石工法、蛇籠工法及混凝土異型塊工法；橋基旁護岸有沖刷及灘地退縮情況，可選用河道整治工法(蛇籠或石籠護岸)。上述工法可視現況地形搭配使用，但國外常用之拋石工法，由於西部河川之河床劇降、坡陡流急特性，近年來國內單純以拋石工法作為橋基保護工的案例已相當稀少；倒是利用蛇籠工施作橋基保護時，先行拋填卵石於河床之案例較多；其他如鼎形(或元鼎)塊佈設與蛇籠工壓底的複合工法，或如遇砂質地層，先行於底層鋪設地工織布，以防止細粒料掏刷，選擇流程如圖17所示。

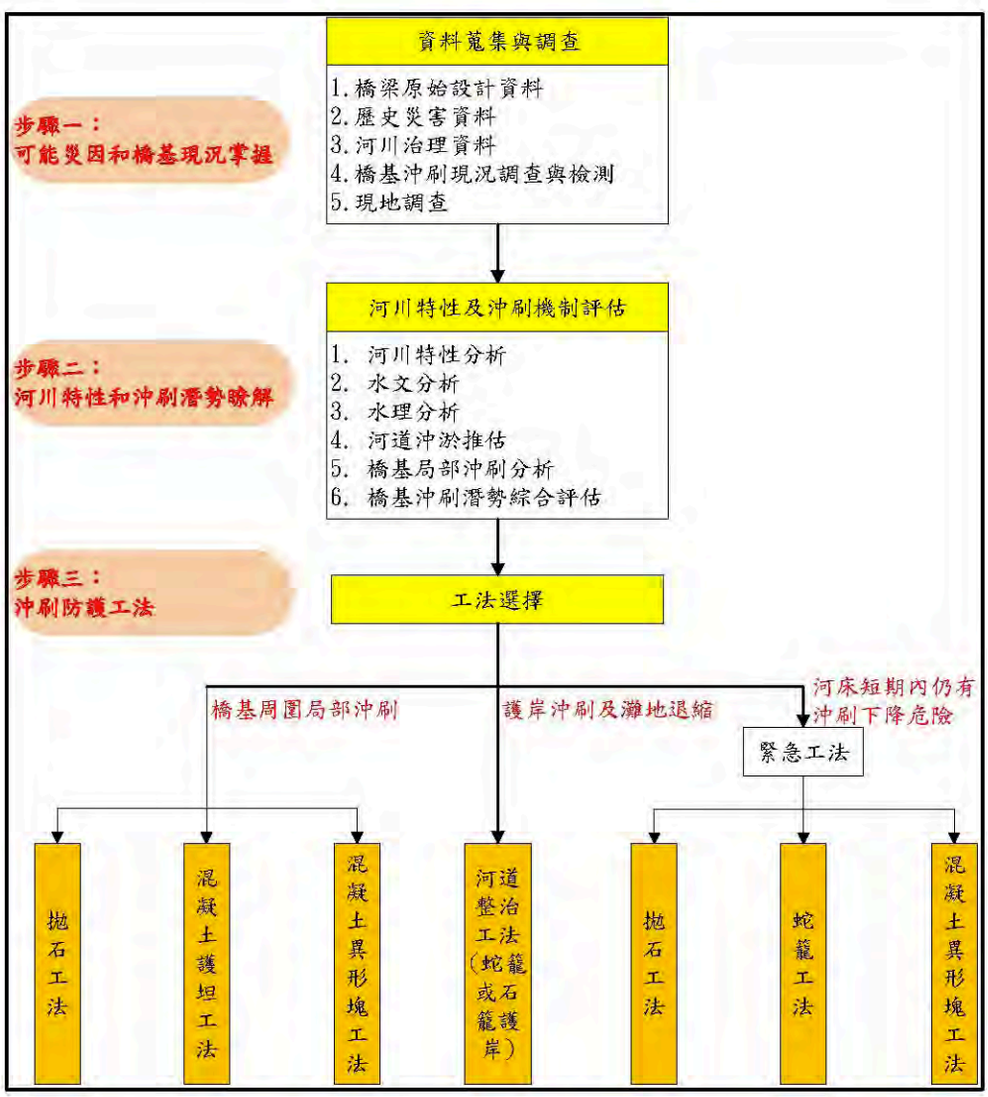


圖17 局部沖刷防護工法選擇流程圖

(二) 河川橋保護工法成效評估

1. 中港溪河川橋案例說明

(1) 災害概述

中港溪河川橋位於中港溪流域斷面 23，橋址介於平安大橋下游及頭份大橋上游，係與苗栗農田水利會尖山下圳取水堰固床工共構，以幾近垂直行水方向跨越中港溪，落墩於深槽流路，各橋墩形式採用似橢圓形橋墩，相關位置如圖 18 所示。

圖18 中港溪河川橋河段地理位置圖

中港溪河川橋於 102 年 7 月~8 月間受蘇力、潭美、康芮颱風及豪雨影響，橋址處取水堰原固床工混凝土塊泰半損毀沖失，中港溪平時流路已回復早期方式採直線方式通過橋址。其中 P50~P52 間原有固床工混凝土塊已沖失、P50 處河床回淤。102 年大斷面測量成果(見圖 19)可知 TK91+445(P52)、TK91+480(P53)兩座橋墩之基樁已露出於河床面，對橋墩潛在危害風險頗大。

(2) 保護工方案

本保護方案設計前已掌握背景資料、河川特性和沖刷機制，依各項工法優劣性判斷，本河段橋址處屬卵礫石河床，以混凝土護坦及異型塊工法較佳，拋石方式較不適用。因此，本工程於橋墩 TK91+410 至 TK91+480 間鋪設 5T 混

凝土異型塊(三和塊)，以避免河床繼續受淘刷而影響橋墩基礎安全，並於既有固床工上、下游區域進行河道整理，以使流路平順。工程佈設平面圖及斷面圖詳見圖 20、圖 21 所示。

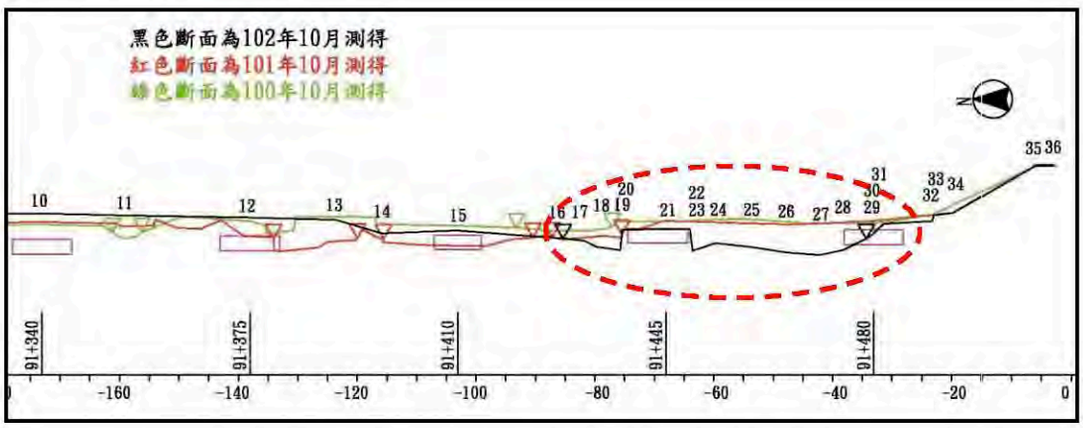


圖19 中港溪河川橋100~102年大斷面測量成果圖

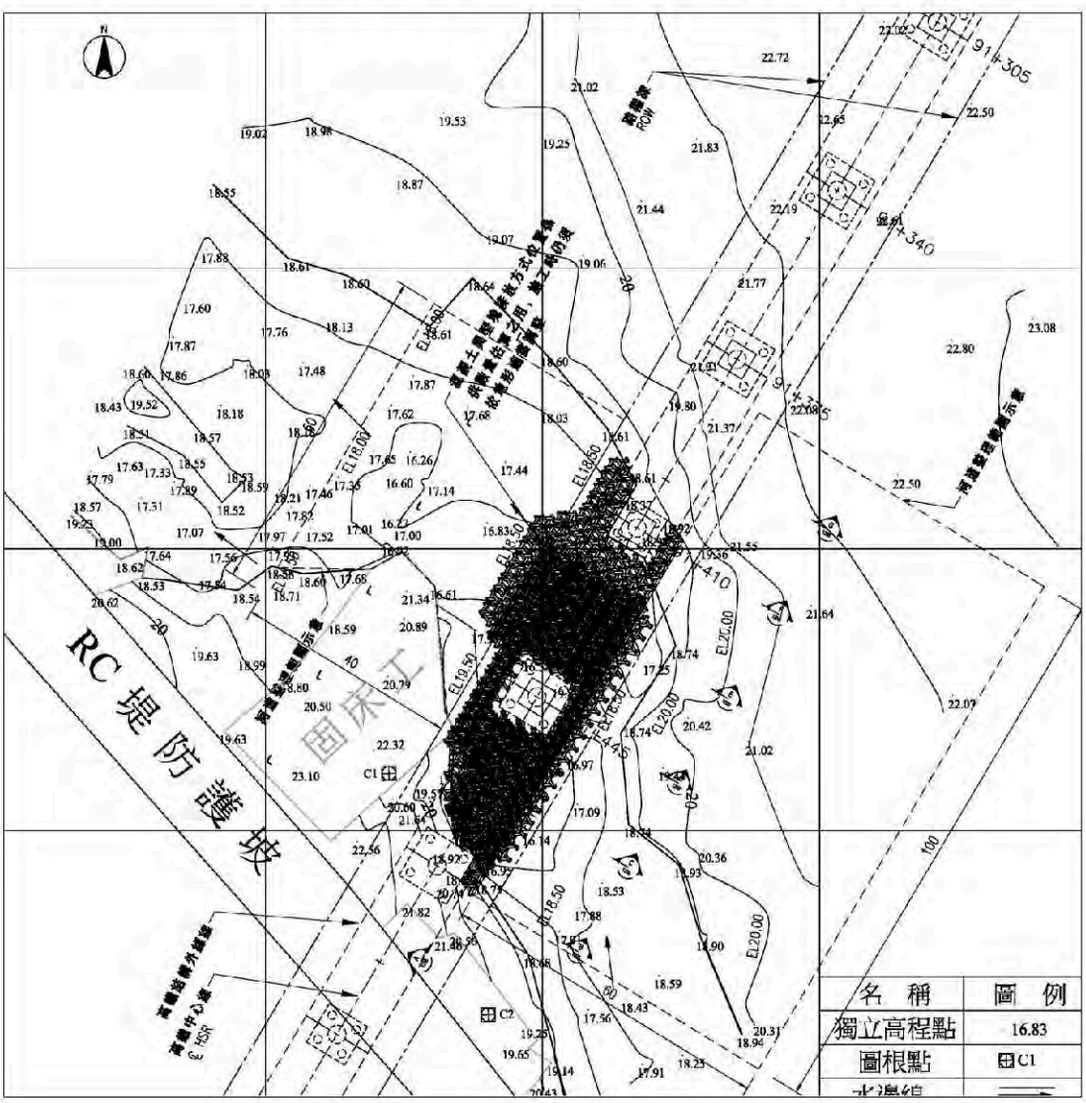


圖20 中港溪河川橋保護工平面圖

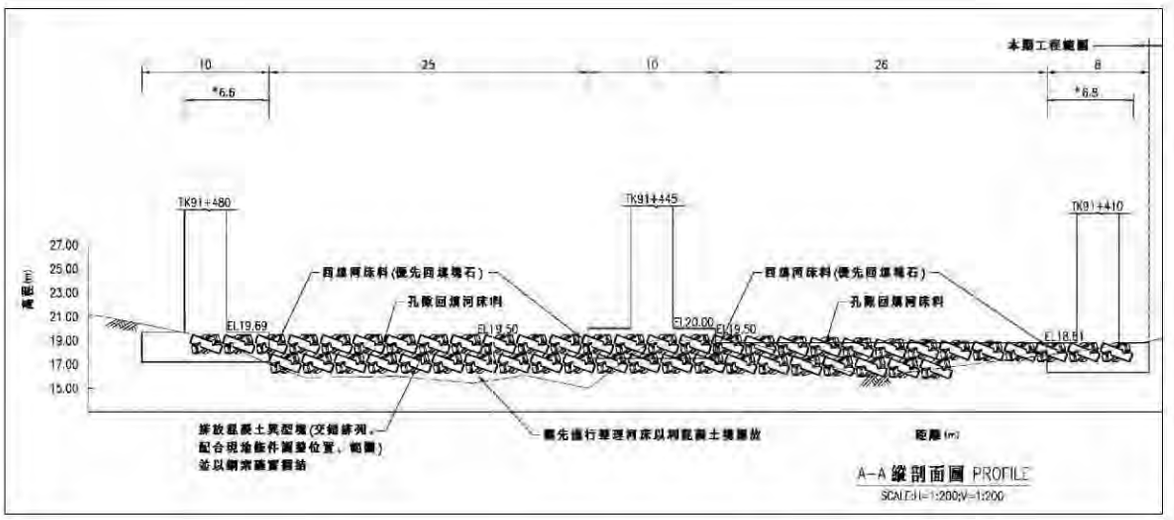


圖21 中港溪河川橋保護工斷面圖

(3) 保護工法成效評估

102 年 10 月測量結果發現 TK91+445(P52)～TK91+480(P53)間下刷達 2 公尺，基礎頂版外露情況嚴重(圖 22 照片 1)，103 年完成拋置三和塊保護工法(圖 22 照片 2)，民國 104、106 年 7 月及 12 月現勘調查發現，橋址處河床呈現整體回淤現象，而原河床呈現整體嚴重下刷現象已緩解(圖 22 照片 3、4、5)；另比對 104 年~106 年大斷面測量成果可發現橋址處河床呈現整體回淤現象，近 3 年地形無明顯變化，如圖 23 所示。顯示混凝土異型塊工法對沖刷防護具有一定成效。

2. 大甲溪河川橋案例說明

(1) 災害概述

大甲溪河川橋位於大甲溪流域斷面 19，橋址位於國道 1 號下游及國道 3 號上游，以幾近垂直行水方向跨越大甲溪下游段，共有三十座橋墩落墩於行水區內，其中共十七座位於河道深槽，相關位置如圖 24 所示。

大甲溪河床深槽流路搖擺不定，且河川橋橋墩處均有橋墩基礎版外露及既有鼎型塊流失的現象，102 年 7 月~8 月間，受蘇力、潭美、康芮颱風及豪雨影響，原以鼎型塊為主鋪設於 TK145+470 與 TK145+505 兩座橋墩間河道之保護工而流失，由 102 年大斷面測量成果(見圖 25)橋址處常時流路已南移至 TK145+470 與 TK145+505 橋墩間，此處流路呈下刷現象，最大下刷深度達 3.5 公尺，TK145+470 與 TK145+505 兩座橋墩基樁已近露出，對橋墩潛在危害風險頗大。

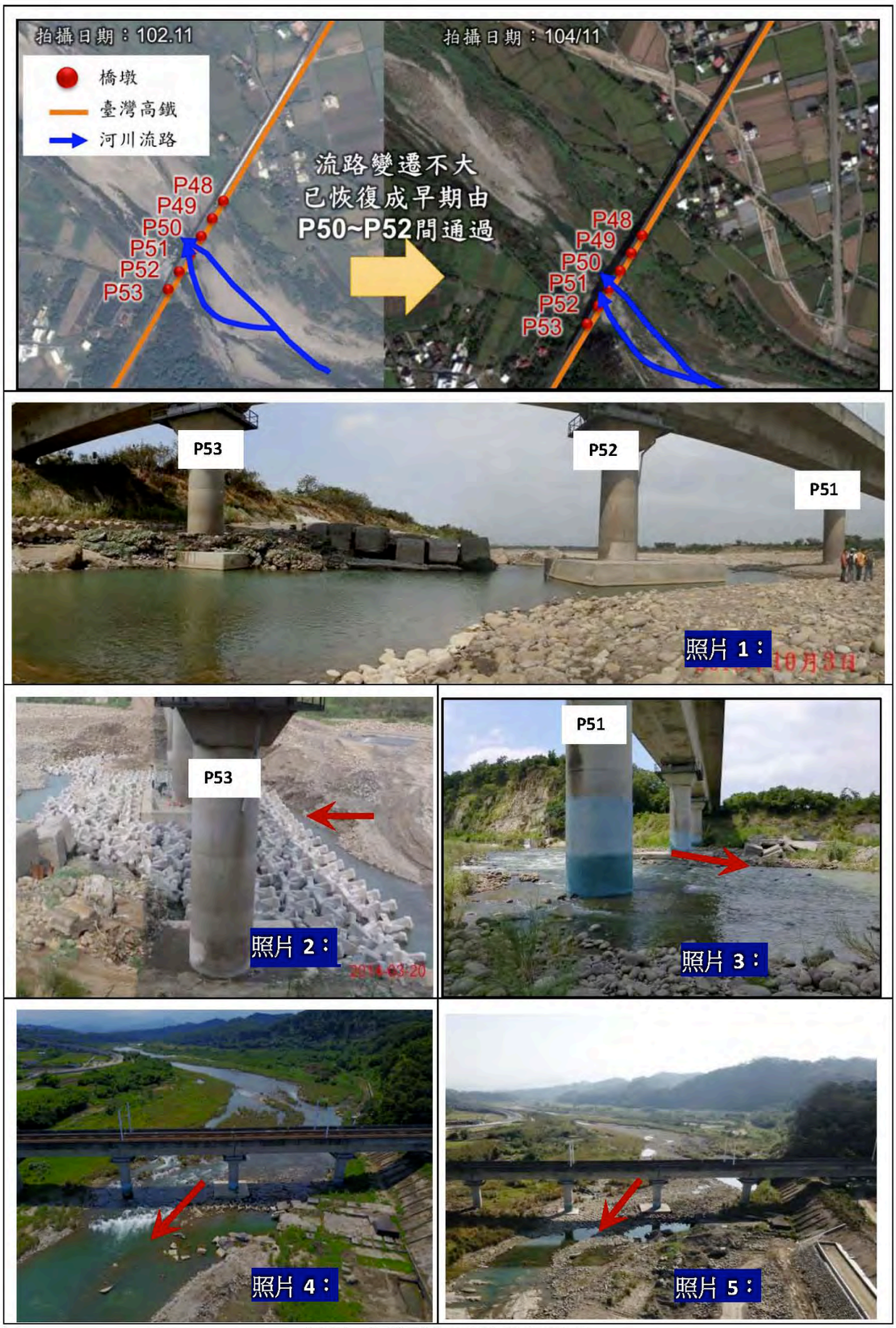


圖22 中港溪河川橋現勘照片

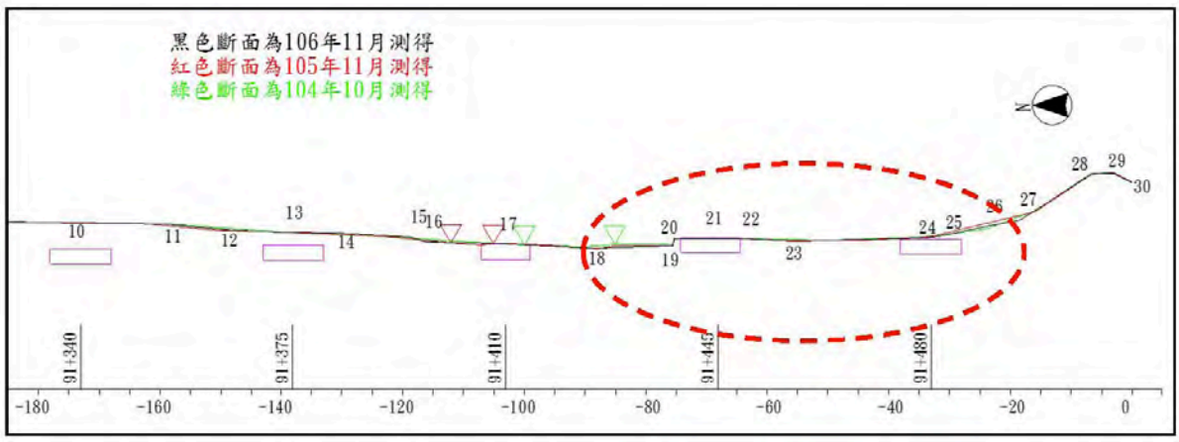


圖23 中港溪河川橋104~106年大斷面測量成果圖

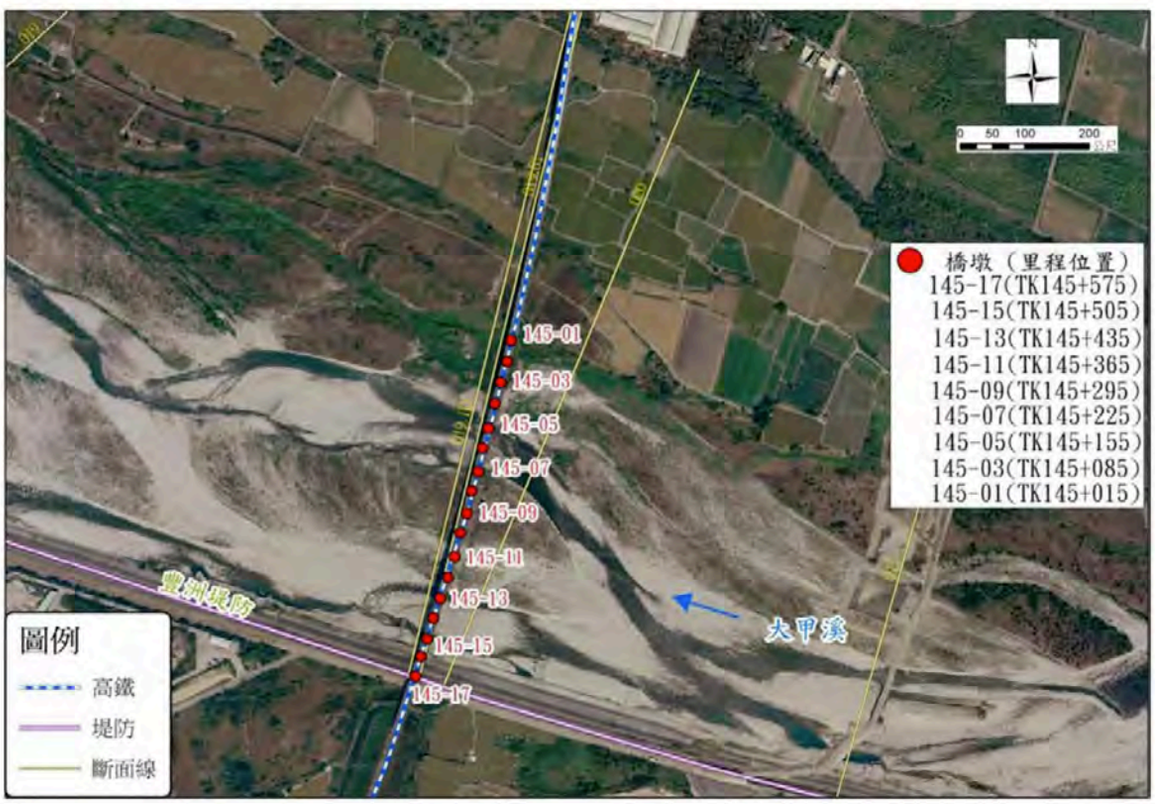


圖24 大甲溪河川橋河段地理位置圖

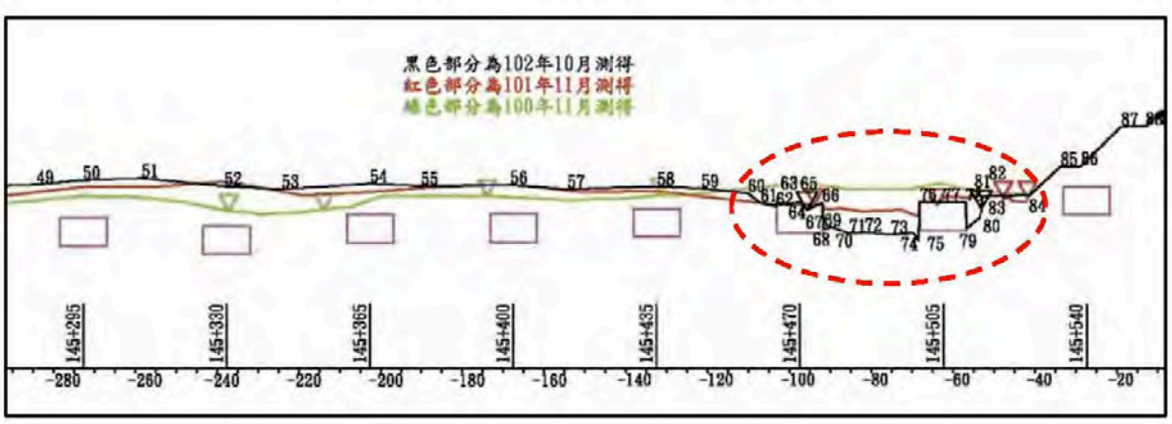


圖25 大甲溪河川橋100~102年大斷面測量成果圖

(2) 保護工方案

本保護方案設計前已掌握背景資料、河川特性和沖刷機制，依各項工法優劣性判斷，本河段橋址處屬卵礫石河床，以混凝土護坦及異型塊工法較佳，拋石方式較不適用。因此，本工程於橋墩 TK145+470 與 TK145+505 間鋪設 10T 混凝土異型塊(鼎型塊)及混凝土格框保護工，補強既有鼎型塊保護工流失之河道範圍，以避免河床繼續受淘刷而影響橋墩基礎安全。鼎型塊堆疊方式除了兩側銜接既有地形範圍內可視地形調整外，河道主深槽處至少需要兩層堆疊，最深處需有三層堆疊，另延續原施做混凝土格框保護工，增做混凝土格框保護工以增加保護效果，混凝土格框內底層鋪設石籠、中層填塊石、上層以順水流方向設置廢輪胎。工程佈設平面圖及斷面圖詳見圖 26、圖 27 所示。

(3) 保護工法成效評估

原 101 年 TK145+505 橋墩與堤腳處鋪設鼎型塊及甲種蛇籠保護工(圖 28 照片 1)，經 102 年颱風及豪雨影響過後，10 月現勘及測量結果發現 TK145+505 橋墩之北側基樁已露出河床面(圖 28 照片 2)，為避免橋墩周遭受深槽繼續刷深造成威脅，本工程局部保護方式以 10T 三腳鼎型塊及混凝土格框保護工為主，鼎型塊保護工係鋪設於 TK145+470 與 TK145+505 兩座橋墩間，補強既有鼎型塊保護工流失之河道範圍(圖 28 照片 3)，民國 104、106 年 7 月及 12 月現勘調查發現，橋址處南岸河床變動不大，而主深槽其餘橋墩間河床沖淤互現，但均高於各橋墩基礎頂版，而 TK145+470~TK145+505 間原河床呈現整體嚴重下刷現象已緩解(圖 28 照片 4、5、6)。而本次設計於混凝土格框內上層以順水流方向設置廢輪胎，現勘發現多數廢輪胎仍存在於格框內，且格框磨損情況並不嚴重，顯示混凝土格框護坦工上設置橡膠廢輪胎具有一定抗磨蝕能力。另比對 104 年~106 年大斷面測量成果可發現橋址處，近 3 年地形無明顯變化，然水流集中偏向左岸堤防側(豐洲堤防)，仍需密切觀察，如圖 28 所示。顯示混凝土異型塊工法搭配混凝土格框護坦工法對沖刷防護具有一定成效。

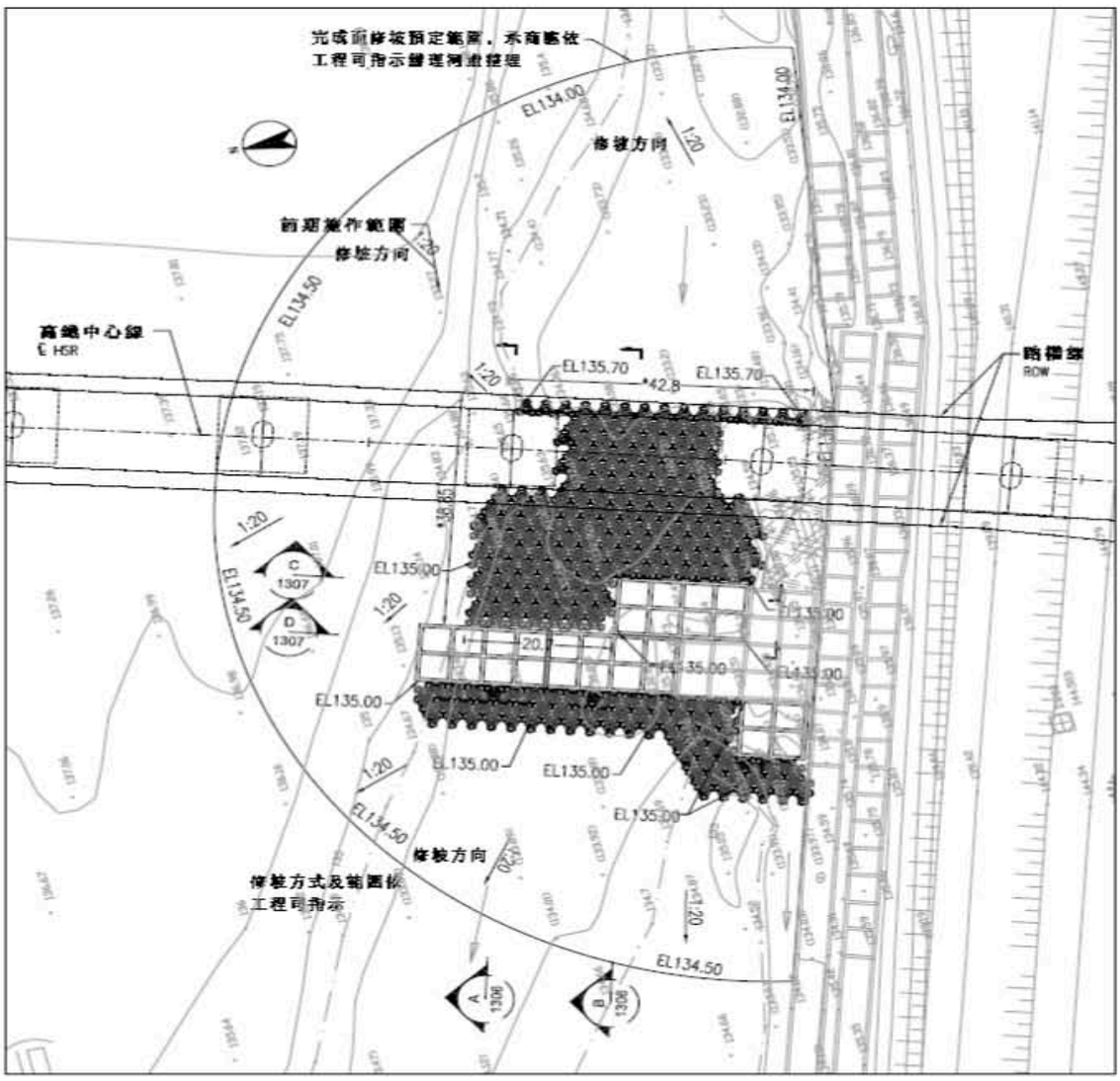


圖26 大甲溪河川橋南岸(TK145+470與TK145+505)保護工平面圖

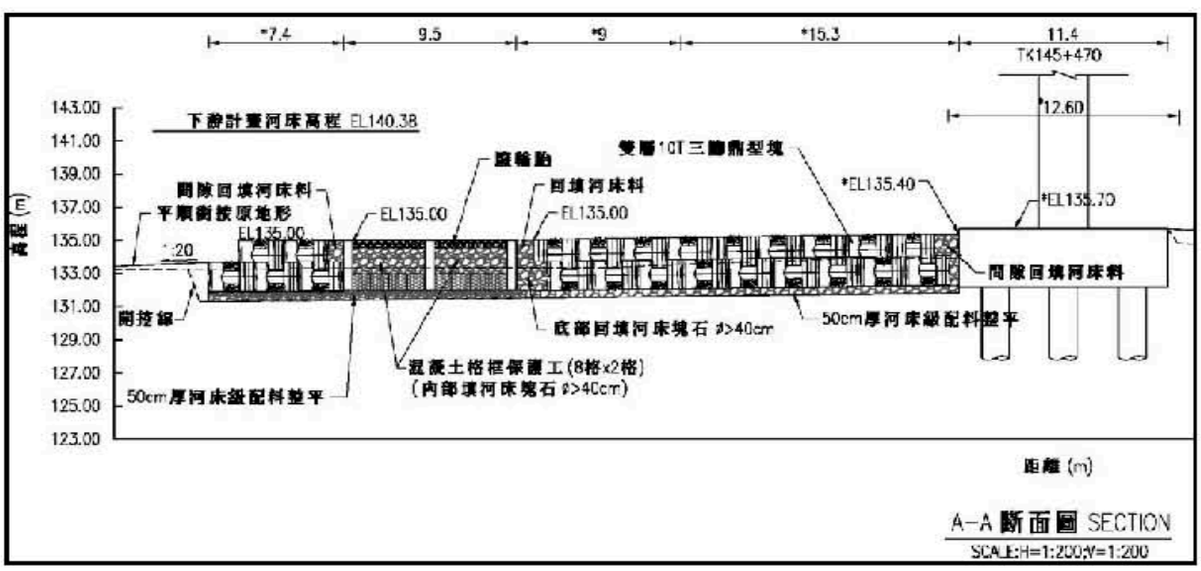


圖27 大甲溪河川橋南岸保護工斷面圖

圖28 大甲溪河川橋現勘照片

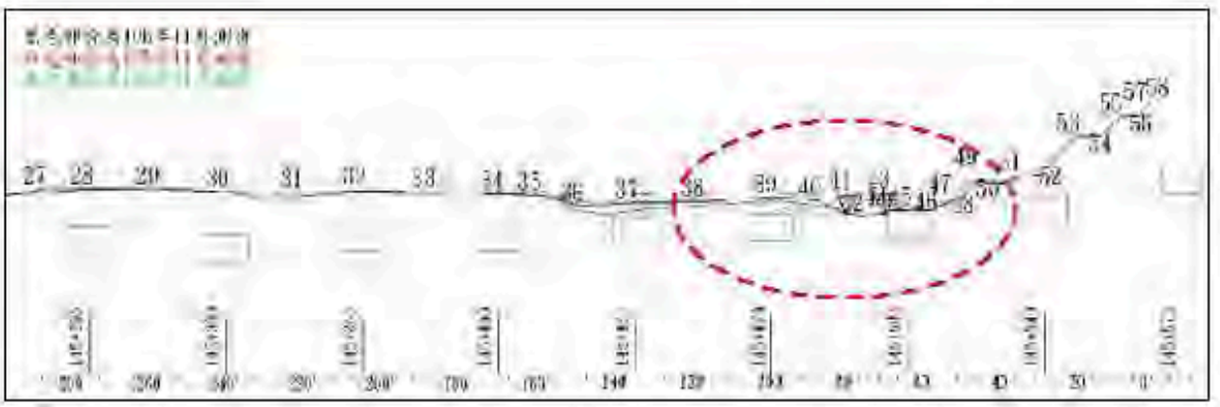


圖29 大甲溪河川橋104~106年大斷面測量成果圖

五、 結論與建議

(一) 橋墩周圍有局部淘刷產生其原因主要由於高速水流流經結構物產生渦流向下擾動並帶走河床料所造成。國內外有關橋基保護工之沖刷防護工法眾多，其工法形式各不相同，設計前須先掌握河川背景資料，判斷其防護功能屬一般沖刷、局部或束縮沖刷，再依其河川特性、沖刷潛勢評估結果，並參照各型沖刷防護工法之優缺點及適用性，選擇適宜之工法。

(二) 國內河川沖刷劇烈，流路變化大，橋墩保護單一工法較無法適用於現地條件，在卵礫石河床橋址處，可於橋址深槽區河床上同時使用異型塊佈設與蛇籠工壓底、或於異型塊下游側鋪設蛇籠護坦等複合工法；在砂質河床處，可於橋址沖刷區施作蛇籠保護工，低層鋪設透水織布，以防止細粒料掏刷。而保護工堆疊方式兩側應銜接既有地形，並進行局部河道整理使其河床面平順，以避免局部沖刷。

(三) 橋墩局部保護工法案例介紹，兩橋址處皆屬卵礫石河床，以混凝土護坦及異型塊工法較佳，其中大甲溪橋墩保護工案例以異型塊及混凝土格框保護工為主，並於混凝土格框內底層鋪設石籠，中層填塊石，上層以順水流方向設置橡膠廢輪胎，在歷經多場颱風豪雨後發現多數廢輪胎仍存在於格框內，且格框磨損情況並不嚴重，顯示混凝土格框護坦上設置橡膠廢輪胎可增加抗磨蝕能力。

(四) 臺灣河川多屬坡陡流急，溪床沖淤激烈，流路演變快速，致使橋基附近河床受到劇烈的沖刷，常導致橋樑崩塌斷裂。建議橋樑維護單位逐年辦理年度檢查及橋墩保護工程施作，俾採預防重於治療之觀念，在年度例行性之橋墩現地檢查中，即時發現對橋墩具有潛在危害之因子，在災害未發生或擴大前，基於順應自然流路之思維下，進行相關疏導及保護工程，亦儘量避免進行大規模的工程

施作而改變現地之自然流況。因此，保護工法主要目標多為維持河床面之穩定，避免有跌水、坡度變化太大的情形，順暢水流並減少橋墩基礎受淘刷，期能降低影響橋梁安全之風險。

六、 參考文獻

1. Federal Highway Administration (1989). "Design of Riprap Revetment," Hydraulic Engineering Circular No. 11 (HEC-11).
2. Federal Highway Administration (2001). "Evaluating Scour at Bridges (Fourth Edition)," Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18).
3. Federal Highway Administration (2001). "Stream Stability at HighwayStructures (Third Edition)," Hydraulic Engineering Circular No. 20 (HEC-20).
4. Federal Highway Administration (2009). "Bridge Scour and StreamInstability Countermeasures-Experience, Selection, and Design Guidance (Third Edition)," Hydraulic Engineering Circular No. 23 (HEC-23).
5. 橋基保護工設計規範，交通部運輸研究所，民國100年4月。
6. 跨河橋梁河床沖刷變化歷史資料冊建置及其相關維護管理研究，交通部公路總局，民國100年7月。
7. 河川復建工程工法檢討及技術圖說資料庫建置，經濟部水利署，民國100年12月。
8. 橋墩保護工法之研究，交通部運輸研究所，民國106年12月。

投稿 107.11.08
校稿 107.11.10
定稿 107.11.12

常用混凝土異型塊類型及應用

高 忠 人

台灣省水利技師公會理事、高忠人水利技師事務所 負責人

摘 要

混凝土異型塊是在海岸或堤岸邊放置的大型水泥塊，用來吸收海浪或大水拍打的衝擊以保護海岸或河堤，除適用於海岸、港灣、漁港、臨海填築等工程，亦可作為河川工程(護岸、堤防)及道路工程(橋基、橋墩)的沖刷保護，目前最普遍使用混凝土異型塊作為防汛搶險備料。本文參考國外混凝土異型塊擺放時再使用鋼索捆綁其軀體，應用於國內實際河川沖刷防護案例，事後調查驗證除不易被河川洪水沖散，在構材整體連結性比鋼索夾捆鋼索相連接效果更佳，可供河川沖刷防護混凝土異型塊擺放設計之參考使用。

一、 前言

混凝土異型塊的主要優點相對於拋石具有更高的穩定性，且其複雜形狀的互鎖特性，在同樣流況條件下，應用於更陡的斜坡或使用更輕的重量單元其穩定性更佳。而每一種類異型塊又有各種不同結構型態，其設計考慮因子不同，功能用途或有差異，所使用之異型塊覆蓋程度亦變化不一，國內至目前為止，有關各類型異型塊之研究，多為一些累積之經驗法則，少有理論可以依循驗證。本文即彙整常用之混凝土異型塊類型，運用於河川沖刷防護工程之種類選用時，依其施工空間考量選用可吊放或場鑄排列之異型塊，亦提供混凝土異型塊重量選用之參考，同時說明混凝土異型塊製作品質管控及施工規範與查核內容。

二、 混凝土異型塊用途及種類

國內較常見的混凝土異型塊約有一、二十種，形狀不同，功能有異，用途不一，或用以抗波或用以抗流。混凝土異型塊用途、種類及排放方式說明如下。

(一) 混凝土異型塊用途

針對天然塊石之拘限，混凝土消波護塊或異型塊(concrete armor unit,nonblock)應運而生已近七十年。對於異型塊之選擇，可以概括於三個考慮方向，即異型塊之功能性、工程之施工性、方案之經濟性。在功能性方面，主要考慮的因子有:安定性、消波或消能性、波浪溯上或越波狀況、景觀環境考慮等；在施工方面，需考慮其模板組合、混凝土澆灌、塊體儲放、運載、吊放等之難易性、水下置放方式，以及在這些過程中發生的塊體破損率等；在經濟性方面，需考慮所保護結構之型式、護塊之層積數、堆積量或亂積效應、日後之保養維護或破損修補、替代方案之預算分析等。其具備特性如下:

1. 孔隙率高，可以吸收或分散水流的能量
2. 表面粗糙，可降低反射率，消波效能良好
3. 塊體相互組合良好，安定性佳
4. 鋼模組合拆卸方便，容易搬運
5. 混凝土塊製作容易，施工方便
6. 節省材料、人力及施工時間，合乎經濟性
7. 重心低、穩定度高，不易被沖失
8. 消波性能佳，越波量少
9. 高強度設計不易破裂損壞

混凝土異型塊為人造三維形狀的大型水泥塊，使用時機為當拋石使用有限或需要大型構造來抵抗水流時，可作為河川、海岸、港灣、道路橋樑等工程之沖刷防護，而目前最普遍使用混凝土異型塊作為防汛搶險備料，不但可以汛期來臨前事先準備，搶險效果又比傳統工法有效、確實，除避免災情擴大之外、搶險施設後又可作為臨時阻絕或將來併入災後復建工程使用，可謂一舉數得。混凝土異型塊用途詳如表1。

表1 混凝土異型塊用途一覽表

適用工程	用途
河川工程	堤防、護岸、丁壩、導流堤、河床穩定、護坦、護基、攔砂壩、攔河壩、固床
海岸工程	海堤消波工、護基工、護堤工、防砂堤工、海堤護岸、護坡工離岸堤工、潛堤、海岸沖蝕之防止工
港灣、漁港工程	防波堤、防砂堤、潛堤、離岸堤、人工魚礁、坡面覆蓋
海埔地及臨海填築工程	海堤護岸基礎工程、消波工
道路工程	鐵、公路路基橋基之保護工、橋墩之保護工、臨海公路之消波工
搶險工程	受損之河防建造物(防止洪水溢堤、防止坡面崩潰、防止滲漏及破堤缺口封堵等)

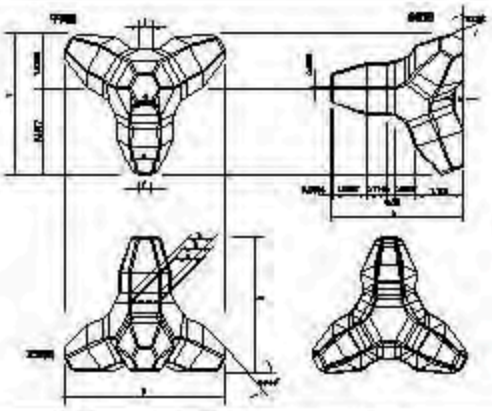
(二) 混凝土異型塊種類

國內外已知異型塊數十種，事實上到現在為止，有關異型塊之研究，其重要項目多為一些累積之經驗法則，一方面少有理論可以依循驗證，一方面現行技術仍無法提供一些為大家所滿意的量測、計數及分析方法，無論是現場或是試驗室，其結果甚受機率行為以及人為主觀因素的左右，特別是在探討塊體安定性問題，更有許多不定的因素，舉其顯而易見，而且算是比較客觀的重要問題者，如涉及材料行為及結構力學特性之塊體龜裂、破壞現象或鋼筋補強之整體效應，非僅難以試驗模擬，即使只是針對單一個實體消波塊之試驗亦甚之少見，除此之外，在施工性及經濟性上，又往往非理論或模型所可探討，其有涉略者偏向於個別之特例，缺乏系統可循，難言公正。簡而言之，異型塊之比較，在先天上即已存在許多深沈之不定之數，而其衍生結果自然是難有客觀一致的探討方法或標準，個別的研究往往考慮之因素不儘相同，一方面在模型佈置、試驗條件、數據集錄、處理、分析上已甚分歧，而更有甚者則是必須依靠一些相當主觀的試驗步驟及判定方式。

異型塊之形狀有H型、Y型、滾輪型、十字型、三腳空心鼎等，目前國內工程設計對於異型塊使用種類並無特別規定，依河川局施工補充說明書，混凝土異型塊使用原則廠商可於開工後一個月內選擇表2中之一種同噸級之混凝土異型塊，提出施工方法、設計圖說、擬修正契約各項數量及工程估價單由廠商主任技師簽認後報工程司核可後始可使用該替代之混凝土異型塊。市面上混凝土異型塊型錄大致整理如圖1所示。

表2 河、海堤常用之混凝土異型塊一覽表

河段	適用異型塊名	
	可場鑄排列	需吊放
河川上游段或水流直沖段	元鼎塊、六鼎塊、雙十塊、三腳鼎塊	三和塊、天允塊
河川中游段	元鼎塊、六鼎塊、力川塊、蜂巢塊、林克塊、三腳鼎塊	三和塊、安卡塊、天允塊、六腳塊
河川下游段	元鼎塊、六鼎塊、力川塊、蜂巢塊、林克塊、三腳鼎塊	三和塊、安卡塊、天允塊、六腳塊
海堤	—	元鼎塊、六鼎塊、力川塊、蜂巢塊、天允塊、協克塊、林克塊、三和塊、安卡塊、六腳塊、H T塊、利水塊、三腳鼎塊



協克塊平面、正面、側面

協克塊

林克塊平面、正面、側面

林克塊

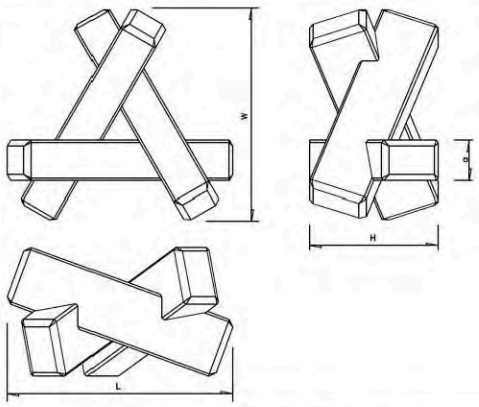
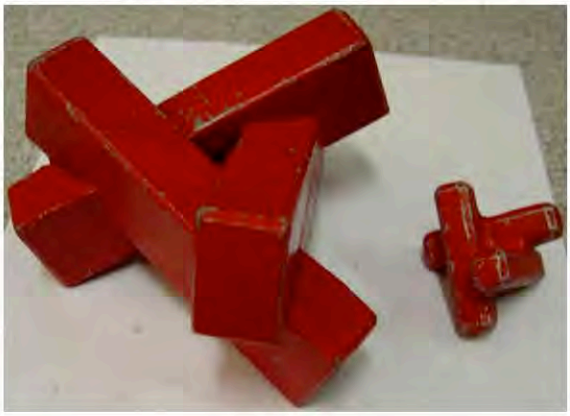
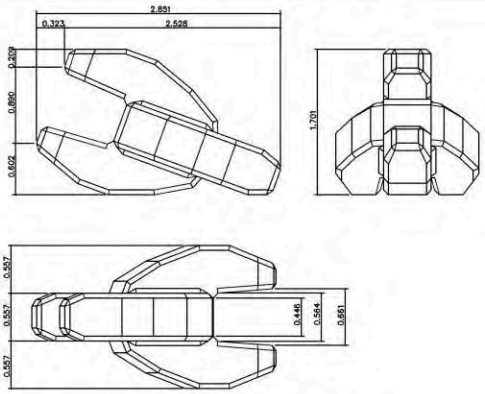
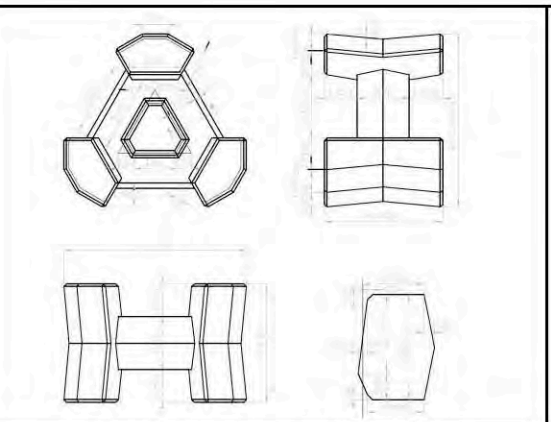
	
三和塊平面、正面、側面	三和塊
	
天允塊平面、正面、側面	天允塊

圖1 混凝土異型塊標準圖(1/3)

	
三腳鼎塊平面、正面、側面	三腳鼎塊

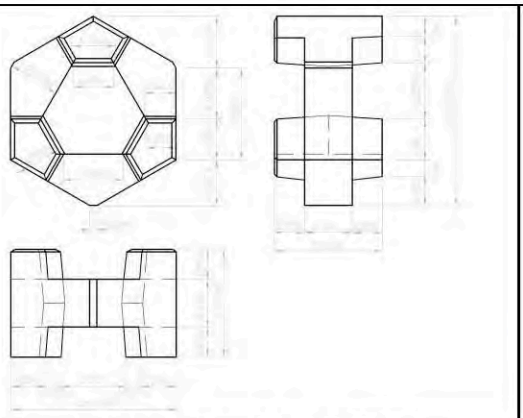
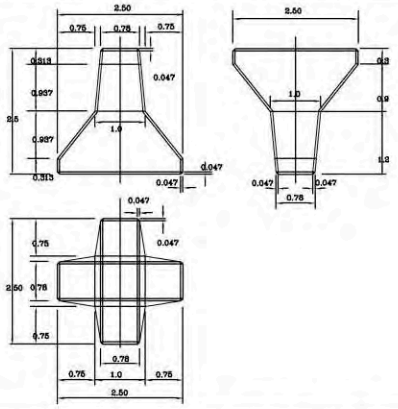
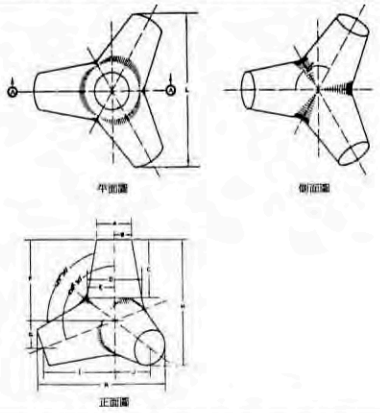
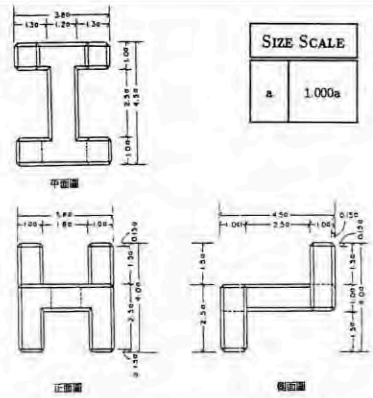
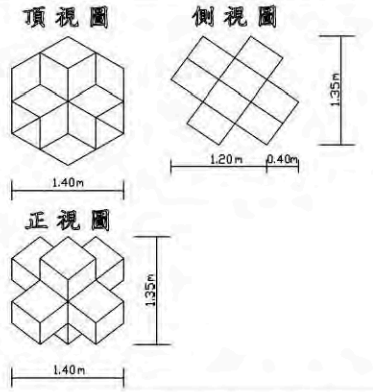
	
元鼎塊平面、正面、側面	元鼎塊
	
安卡塊平面、正面、側面	安卡塊
	
菱形塊平面、正面、側面	菱形塊

圖1 混凝土異型塊標準圖(2/3)



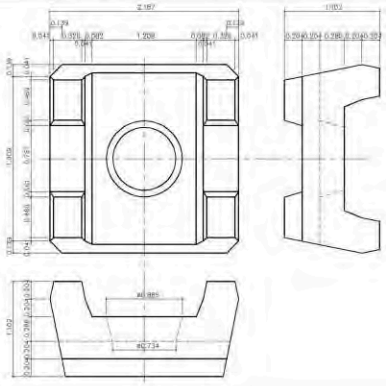
雙U塊平面、正面、側面

雙U塊

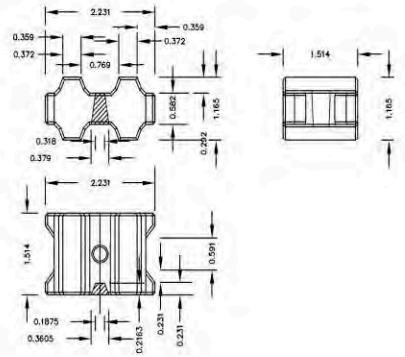


六腳塊平面、正面、側面

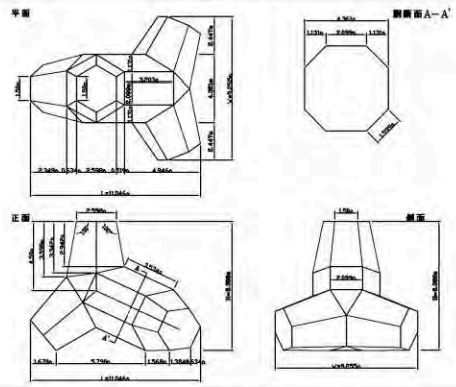
六腳塊



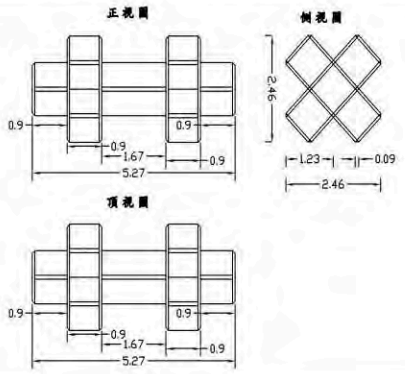
力川塊



蜂巢塊



利水塊



雙十塊

圖1 各式混凝土異型塊標準圖(3/3)

(三) 混凝土異型塊排放方式

混凝土異型塊排放方式可分為整齊排列或亂拋方式或混之，單層或雙層、單排或兩排以上排列，均須依設計圖說於規定範圍內拋放。不同的塊體形狀有其各別之適宜置放式樣，一些塊體同時具有多種排列式樣，一些則特別適合亂放。然而當注意並非規則排列一定比亂拋來得穩定，某特別排列反較亂拋不穩定，如雙十塊在亂拋時反射率反而變低，可見得亂拋時消波效果較好。

三、 混凝土異型塊應用

(一) 混凝土異型塊沖刷防護之應用

一般具有級配性的天然塊石，用於防浪的表層保護時，僅適合波高較小之護岸工程，而混凝土異型塊較適用於水流湍急、沖刷力大之卵石或砂礫質河床，不易被流失、不易被流物擊毀、不腐朽具屈撓性，常作為河川護岸及橋墩局部沖刷防護，其應用方式如下。

1. 護岸基腳護坦工

天然河川之河床有時淤高，在洪水時通常會刷深，因此基腳工處於不穩定的河床上，如果刷深深度超過基腳工設計深度，則護岸會因為基腳不穩而遭沖毀，為了穩固基腳，一般會以護坦工來加強保護。其型式包含混凝土異型塊堆置護坦工，排放方式分為整齊排列及亂拋如圖2所示。佈設原則說明如下：

(1) 一般護坦工之寬度以護坡基腳前4~10公尺左右單層佈置為宜，護坡基腳與混凝土異型塊之空間，通常以塊石或混凝土細塊填充，護基範圍以現場之土石回填至混凝土異型塊腰部為佳。

(2) 另視河川之流速、坡度等現況，在頂部或腰部以 ϕ16~19公厘之鋼筋或鋼索互相連接牢固並使之具有屈撓性。

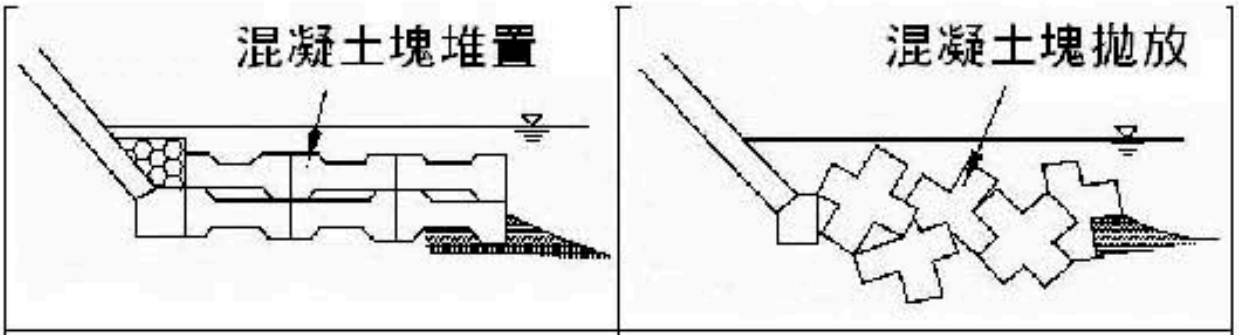


圖2 護岸基腳混凝土異型塊護坦工工法示意圖

2. 固床工下游護坦工

固床工(堰)下游側設置護坦工，為保護河床免受沖刷而設，是具有柔韌性的消能防沖設施。水流經過構造物後水流之紊動仍很強烈，流速分布(包括垂面和平面)尚未恢復到天然河道的水流狀態，對河床仍有沖刷能力。因此，在固床工下游都要設置護坦工，目的在於加固河床，消減水流能量，促進流速分布進一步調整，減小底部流速，防止河床產生嚴重的局部沖刷，並保護護坦和主體構造物的安全。

護坦工可用不同材料建造，由於水流速度經消能後向下游逐漸減小，可分段採用不同的構造型式。常用的類型有現場澆注之混凝土塊、鋪排預鑄混凝土塊等。在特殊情況下，護坦工的下面尚需鋪設反濾作用的墊層或地工織布，以防止地基土壤顆粒因水流脈動被吸出或被滲流帶出河床，固床工下游護坦工詳圖3。

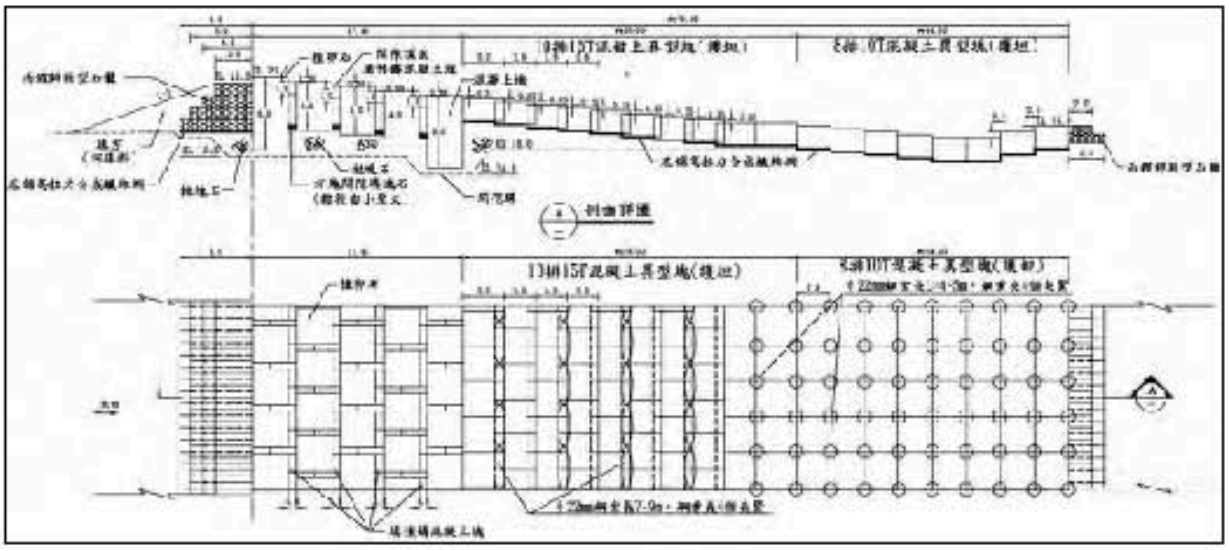


圖3 固床工下游混凝土異型塊護坦工工法示意圖

3. 橋墩局部保護工

橋墩局部保護工法多使用混凝土塊排置工法，係指利用澆置而成的混凝土，形狀如鼎形或各種非鼎形之異型塊，排置於河床或橋墩周圍，以防止沖刷之保護工法。

鼎塊排置工法係指利用鑄造或焊接成型之大量鋼模具(組合後其外型近似三腳鼎形)，於現場大量組立後、進行灌漿結固、再拆除鋼模後形成之空心混凝土塊，國內常見之鼎塊形式有三腳空心鼎形塊與元鼎塊。一般此種混凝土塊於灌漿前並未排置鋼筋於模具內，惟為考量於爾後施作於各種結構物周邊能夠發揮混凝土塊之整體連結效果，大部分在表面其中數面可穿插近似U型狀的鋼筋或預先置放鋼索穿插於模具內外，以利連結。目前國內利用鼎形(或元鼎)塊排置工法來保護橋基的案例中，大都是在主河道或深槽區及其附近沿著橋軸方向，施作一帶狀單層或多層且整齊排列之(連結)混凝土塊，在水流方向之施作寬度大多超出橋梁的寬度。採用此工法之目的是利用(連結)混凝土塊群間所發揮之群體穩定效果與粗糙表面，來抑制沖刷減消水流動能，以達成固床的功用，並進而保護水中結構物的安全。

其他非具鼎塊之外形的混凝土塊，其製作方式或連結方法某些是與鼎塊雷同，甚至均無連結成群體而個自獨立者兼而有之。通常拋放異型塊於沿橋址之全部深槽區或局部堆置於橋基周邊或排置於跌水固床工下游；然而常因橋基周邊局部的增強保護(阻力增加)，反而造成未保護之河床間流速大增，導致未保護之河床的大幅刷深、並漸淘深擴及橋基處之河床，終而引起所拋放之異型塊的翻滾流失及橋基的再次裸露。

有關混凝土異型塊排置工法之施作案例，蒐集並分析彙整中港溪、大甲溪河川橋及濁水溪中沙大橋、國道3號高速公路橋等過去之實際案例(圖4)，其中中港溪選用三和塊之原因為施工空間無法圍堰抽排，水中作業不利開挖排鼎型塊或元鼎塊，又希望採平床不要突出河床面太多，其形狀又可有效相互卡住，連結性好；其他案例因施工空間大，且可施作圍堰抽排，故可選用場鑄排列之鼎型塊。另以往異型塊排置多利用兩異型塊鋼索夾捆鋼索相連接，現勘時常發現兩異型塊連接吊環易遭受石頭撞擊而使鋼索脫落，造成塊體流失。為避免此現象發生，建議設計混凝土異型塊擺放時務必再使用鋼索捆綁

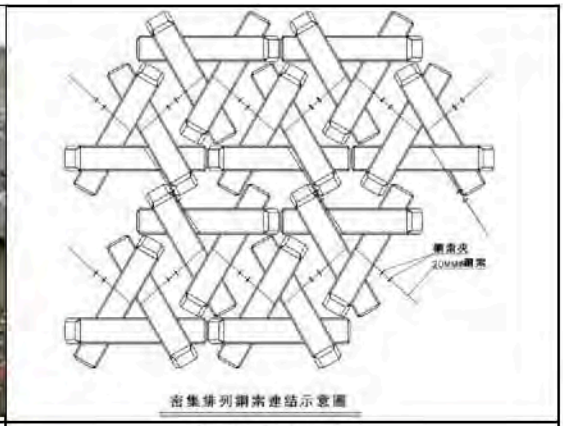
其軀體，除不會容易被河川洪水沖散，並使各混凝土異型塊在構材整體性上具一體性強之狀態，其效果更佳。

(二) 混凝土異型塊重量選用

混凝土異型塊作為沖刷防護主要以重量為依據，且應採用適合河狀之最小限度為宜，若太大則在其前端可能發生副流或漩渦，使淘深加遽。如河川上游坡降及流速大、海岸潮浪大必需選用噸數比較高的材料，但混凝土異型塊重量越大越不利搬運和吊放。橋基保護或護坦設計時混凝土異型塊重量如何選用可考量以下兩種方式：

1. 依河川特性選用

(1) 護坦工選用混凝土異型塊時，以上下平整可以互相連結具有屈撓性為必要，再依河川之流速、坡度及河床質等選用適當之型式與重量來設計佈置(表3~表5)。

<table>
<tr><td> </td><td> 
密集排列鋼索連結示意圖</td></tr>
<tr><td>中港溪河川橋</td><td>中港溪河川橋</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>大甲溪河川橋</td><td>大甲溪河川橋</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>濁水溪中沙大橋</td><td>濁水溪中沙大橋</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>濁水溪國道３號高速公路橋</td><td>濁水溪國道３號高速公路橋</td></tr>
</table>

圖4 橋墩周圍混凝土異型塊排列案例

(2) 每塊重量(公噸/塊)之選擇原則如下：

表3 混凝土異型塊依河川流速選用重量表

流速(m/sec)	1	2	3	4	5	6
異型塊(公噸/塊)	1	2	2-5	5-7	7-10	10 以上

資料來源:水利工程技術規範-河川治理篇，經濟部水利署，民國102年7月。

表4 混凝土異型塊依河川坡度(S)選用重量表

坡度(S)	1/1500以下	1/1500~1/1000	1/1000~1/500	1/500~1/100	1/100 以上
異型塊(公噸/塊)	1	2	2-5	5-7	10 以上

資料來源:水利工程技術規範-河川治理篇，經濟部水利署，民國102年7月。

表5 混凝土異型塊依河川河床質選用重量表

河床質	小石	卵石 (∮20cm以下)	卵石 (∮30cm以下)	卵石 (∮50cm以下)	卵石 (∮50cm以上)
異型塊 (公噸/塊)	1	2	2-5	5-7	10 以上

資料來源:水利工程技術規範-河川治理篇，經濟部水利署，民國102年7月。

2. 依日本護岸之力學設計法

護岸基腳護坦工或固床工下游側護坦工混凝土塊重量的計算，依照日本「護岸之力學設計法」以下式求得:

$$W_s = \alpha \left(\frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w}\right)^3 \cdot \frac{\rho_b}{g^2} \cdot \left(\frac{V_d}{\beta}\right)^6$$

上式中：

W_s：會移動下之最小混凝土塊的重量(tf或kN)；

V_d：混凝土塊之鄰近流速(m/s)；

α：依照混凝土異型塊形狀所定的係數(參照表6)；

β：將混凝土異型塊層層堆積時之比例係數(參照表6)；

ρ_w：水的密度= 102 (kgf·s^2/m^4)或1,000(N/m^3)；

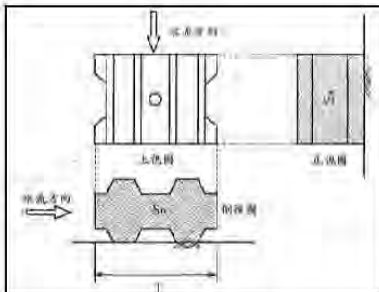
ρ_b：混凝土塊的密度= 235 (kgf·s^2/m^4)或2,300(N/m^3)

對鋼筋將混凝土塊連接在一起的情況，可利用表6中一層之情況下的β，不連接的情況以β=1為佳。再者，若固床工下游之沖刷深度預估值很大、且護坦工的長度很短，則建議將β值縮小。而設計所使用的流遠，可為護坦工下游端的下游平均流速，其應為計畫洪水相應之值。

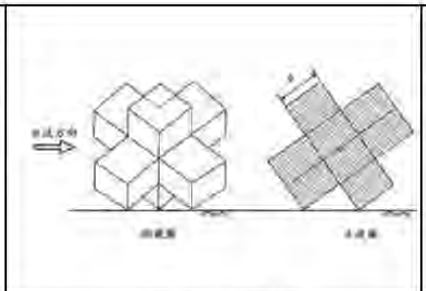
表6 各混凝土塊之比重ρ_b/ρ_w與係數α、β值

類別	模型比重ρ_b/ρ_w	係數$\alpha\times10^{-3}$	β	備註
對稱突起型	2.22	1.20	1.50	如三腳鼎塊、元鼎塊、力川塊、蜂巢塊、雙十塊等
三點支持型	2.25	0.45	2.30	如協克塊、林克塊、三和塊、菱形塊、六腳塊、利水塊等
長方形	2.09	0.79	2.80	如混凝土方塊、混凝土格框等

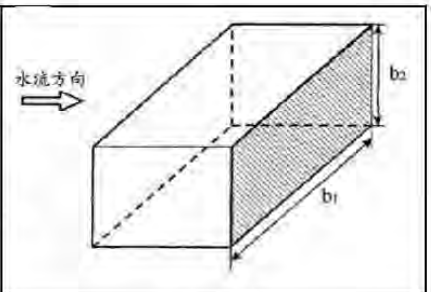
資料來源:護岸の力學設計法，山海堂株式會社，2007。



對稱突起型



三點支持型



長方形

四、 混凝土異型塊製作品質管控及施工規範與查核

(一) 混凝土異型塊品質管控

依水利署104年3月12日公告之「混凝土異型塊製作品質管控處理原則」，說明如下：

1. 模具查驗階段
   (1) 模具不得有變形之情形，且所有螺栓皆可鎖緊固定。
   (2) 澆置前應確認模具尺寸符合設計要求。

2. 澆置前準備階段
   (1) 模具應確實清理，避免留有混凝土殘渣。
   (2) 模具內側應確實塗脫模劑。
   (3) 模具所有螺栓應確實鎖緊固定，避免澆置時發生爆模。
   (4) 澆置場所之地面應確實整平。

3. 澆置階段
   (1) 混凝土澆置應持續進行，避免混凝土初凝後再澆置上一層，造成冷縫情形。
   (2) 澆置混凝土時應做適當的震動搗實，避免出現蜂窩情形。
   (3) 混凝土澆置落差超過1.5m時，應加裝卸槽或集料斗，避免產生粒料析離之情形。
   (4) 混凝土坍度應嚴加控制，避免施工人員因混凝土工作度不佳，加水改變工作度，導致混凝土強度降低。
   (5) 混凝土異型塊完成後有吊掛或連結需求者，應於適當位置設置符合強度之吊鉤。

4. 拆模及養護階段

(1) 應依混凝土配比及摻料添加情形訂定拆模時機，避免拆模時造成混凝土異型塊損傷。

(2) 混凝土異型塊灑水養護至少連續7天以上，避免乾縮裂縫產生。

(3) 拆模後之混凝土完成面有氣孔、蜂窩、水痕、乾縮裂縫、缺角或其他缺失者，應進行改善。

5. 吊(排)放階段

(1) 應依混凝土配比及摻料添加情形訂定可吊(排)放時機，避免因混凝土未達設計強度，吊(排)放時造成混凝土異型塊毀損。

(2) 吊(排)放時應避免混凝土異型塊相互碰撞，造成裂痕。

(3) 吊(排)放時發現有毀損情形，應立即停止吊(排)放，並檢討毀損原因，提出解決對策後，始得繼續吊(排)放。

(二) 混凝土異型塊施工規範

國內各混凝土異型塊型式不同，並無通用之尺寸標準，而設計慣例除型式並標示以重量，遵循公共工程委員會「施工規範第02391章防波堤」之規定，而有關異型塊製作及吊放應依「施工規範第03439章港灣用預鑄混凝土塊」相關規定施工。

1. 重量檢測

檢測以重量為丈量項目。其標稱重量指廠商型錄上所稱之消波塊重量，但實際重量不得少於標稱重量之[90%]，如型錄上稱10噸之消波塊，其實際重量不得少於9噸。

2. 澆置

(1) 每一混凝土塊須一次澆置完成，不可有接縫。

(2) 須嚴密振實，並須以外模振動機配合振實，各接縫、轉角及腳端處須充份搗實，拆模後須能獲得光滑之水泥砂漿表面。

(3) 混凝土塊須於混凝土之裹握強度大於吊放所產生之應力時，約為澆置後第10～15天方准移置，工程司認為必要時，得予以延長日期。

(4) 所有移置之吊運工具均由承包商自備。

(5) 混凝土塊拆模後須以紅漆標示製竣日期及編號。

3. 吊放

(1) 混凝土異型塊安放排列方式，依設計圖及施工說明書規定排放。

(2) 異型塊安放須互卡，異型塊之自然間隙，不得填充石塊，異型塊與基礎面間亦不得墊充塊石。

(3) 孤立之異型塊，須依照工程司指示重新安放。

(三) 混凝土異型塊施工查核

依公共工程委員會「工程施工查核作業參考基準-伍、防洪及防潮工程」，混凝土異型塊施工查核作業參考，說明如下:

1. 混凝土異型塊規格

(1) 模型表面平整、清潔，灌製前並應塗油。

(2) 模型組立應牢固緊密。

(3) 場鑄混凝土塊模型組立前基地應整平。

(4) 混凝土異型塊之灌製及保養應符施工規範要求。

2. 混凝土異型塊完成面

(1) 表面無蜂窩或空洞，角隅無明顯碎裂。

(2) 連結鋼筋或鋼索之連結或聯捆方式應正確。

(3) 混凝土異型塊排列應整齊。

五、 結論與建議

(一) 混凝土異型塊較適用於水流湍急、沖刷力大之卵石或砂礫質河床，不易被流失、不易被流物擊毀、不腐朽具屈撓性，常作為河川護岸及橋墩局部沖刷防護。混凝土異型塊作為防汛材料或沖刷防護設計主要以重量為依據，可分別依河川流速、坡度、河床質選用適當之型式與重量，並依現地實際吊放經驗選用適合的重量。

(二) 橋墩局部保護工法多使用混凝土異型塊工法，國內對於異型塊使用種類並無特別規定，設計時選用方式須因地制宜，若施工空間有限無法施作圍堰抽排，可選用直接吊放之異型塊；如施工空間足夠，且可配合圍堰施作，可選用場鑄排列之異型塊。同時可搭配蛇籠工或蛇籠工壓底，或

如遇砂質地層，先行於底層鋪設地工織布，以防止細粒料掏刷等複合工法。

(三) 一般護岸基腳工或橋墩保護工之沖刷防護選用異型塊排置工法，施工時多利用兩異型塊鋼索夾捆鋼索相連接，實務上常發現兩異型塊連接吊環易遭受石頭撞擊而使鋼索脫落，造成塊體流失。建議設計混凝土異型塊擺放時務必再使用鋼索捆綁其軀體，除不會容易被河川洪水沖散，並使各混凝土異型塊在構材整體性上具一體性強之狀態，其效果更佳。

六、 參考文獻

1. Federal Highway Administration (2009). "Bridge Scour and StreamInstability Countermeasures-Experience, Selection, and Design Guidance (Third Edition)," Hydraulic Engineering Circular No. 23 (HEC-23).
2. 日本國土開發技術研究中心:護岸の力學設計法(改訂)，山海堂株式會社，2007。
3. 水利工程技術規範-河川治理篇，經濟部水利署，民國102年7月。
4. 施工規範第02391章防波堤、施工規範第03439章港灣用預鑄混凝土塊、工程施工查核作業參考基準-伍、防洪及防潮工程，行政院公共工程委員會。
5. 混凝土異型塊製作品質管控處理原則，經濟部水利署，民國104年3月。
6. 橋墩保護工法之研究，交通部運輸研究所，民國106年12月。
7. 水波時尺或時頻分析法之比較與應用-消波塊模型試驗之比較研究，交通部運輸研究所，民國106年12月。
8. 各型混凝土異型塊型錄。

投稿 107.11.08
校稿 107.11.10
定稿 107.11.12

台中水資源開發模式建立與應用

劉宏仁　　徐年盛　　莊啟洪　　鄭文明

臺灣大學水工試驗所助理研究員　臺灣大學土木工程系兼任教授　傑美工程顧問股份有限公司資深經理　中興工程顧問股份有限公司計畫主任

摘　要

台灣地區水資源蘊藏豐沛，地面水資源與地下水資源同時開發利用，且緊密地互相影響，故必須將兩者視為一體，才能對水資源做一個完整考量，故本研究目標在建立並應用水資源開發模式以評估台中地區的水資源開發可行性方案。

本研究採用三維地下水流模擬模式 MODFLOW(Modular three-dimensional groundwater flow model)以及二維河流演算套件 SFR(Stream-Flow-Routing package)建構台中地區水資源模擬模式，律定結果台中地區水資源在抽補平衡狀態下，每年南北邊界地下水流入補注 3.49 億噸、雨水及灌溉入滲補注 4.63 億噸、河道入滲補注 6.03 億噸、河道流失 6.95 億噸、隘口地下水流失 3.49 億噸、抽水量 3.71 億噸，此水文量體與現場調查及水平衡分析結果相近。

以所建立之台中地區水資源模擬模式評估大甲溪南岸水公司水井復抽地下水 3 萬 CMD 方案，若為全年穩定抽水，則水位洩降 1.00 公尺影響範圍僅有神岡和抽水井處，因為該區的地下水上游補注來源較少，所以抽水造成的變化較大，而開發方案對下游主要為影響是減少了隘口出流量 9,506CMD，為原隘口出流量的 1.0%。若僅在 5~9 月豐水期抽水，比起全年抽水的影響小許多，所以若為保守開發，可以先進行豐水期抽水，待操作穩定後再全年抽水。

一、 前言

台灣地區水資源豐沛，且大量水資源蓄存於地下水含水層中，地面水資源與地下水資源同時應用，滿足了台灣的水資源需求。近年來由於工業與人口成長，水資源需求成長，但因地面水資源開發不易，所以轉嫁到地下水資源地大量抽用，而地下水又常是河川保育流量的重要來源，所以地面水資源與地下水資源其實是兩者一體，需要做一完整考量，應建立適當之水資源開發模式，並應用於開發方案的影響評估。

目前於屏東平原及濁水溪沖積扇地下水區已提出利用人工湖或滯洪池蓄水，並強化地面水入滲補注地下水，同時增加地面與地下水源。而為了進行水資源開發方案的影響評估，第一步需充分瞭解地面水與地下水系統，並建立具代表性之地面水與地下水模擬模式，以掌握該區域之水文量時空分布。奠基在正確的水資源系統與水文量下，才能正確的透過模式模擬評估該區域之可開發水量及其影響，依據科學化的模式評估結果才能提出合適的開發方案。

本研究以台中地區為研究區域，彙整該區域之水文資料、地質鑽探、地面水與地下水觀測、抽水量與補注量調查分析資料，針對台中地區水資源系統提出地層分層概念模式及水平衡概念模式，用於進行水平衡分析與地下水流數值模擬模式建置，以合理評估台中地區之水資源系統蓄水量、抽水量及補注量之時間與空間分布情形，並對地下含水層及河川底泥層之水文地質參數進行檢定，得到具有代表性的水資源模擬模式。最後應用模式模擬評估台中地區水資源開發方案對系統之影響。

二、 台中地區水資源系統概述

本研究以台中地區為研究區域，區域內之地面水系統主要為大甲溪與烏溪，區域內之地下水系統主要為台中盆地，分布如圖1所示。

大甲溪是臺灣中部重要的河川，源流中央尖溪發源於南湖大山東峰，流經梨山、谷關、馬鞍等聚落，流入台中市東勢區、新社區後，逐漸進入平地，後流經大甲區及大安區，最後注入臺灣海峽，流域面積1,235平方公里，居全台第八，幹流長度124.2公里，居全台第五，平均坡度1:60。大甲溪水源豐沛，年逕流量25.21 億噸，河床佈滿礫石，透水性佳。大甲溪有一段時期往南流入台中盆地，堆積了廣大的豐原沖積扇，此沖積扇之扇頂在豐原東北方，往南扇面逐漸降低。大甲溪在近期切穿大肚丘陵北緣，於溪口處堆積成大甲溪沖積扇，此沖積扇扇頂區為台中盆地主要之地下水補注區域。

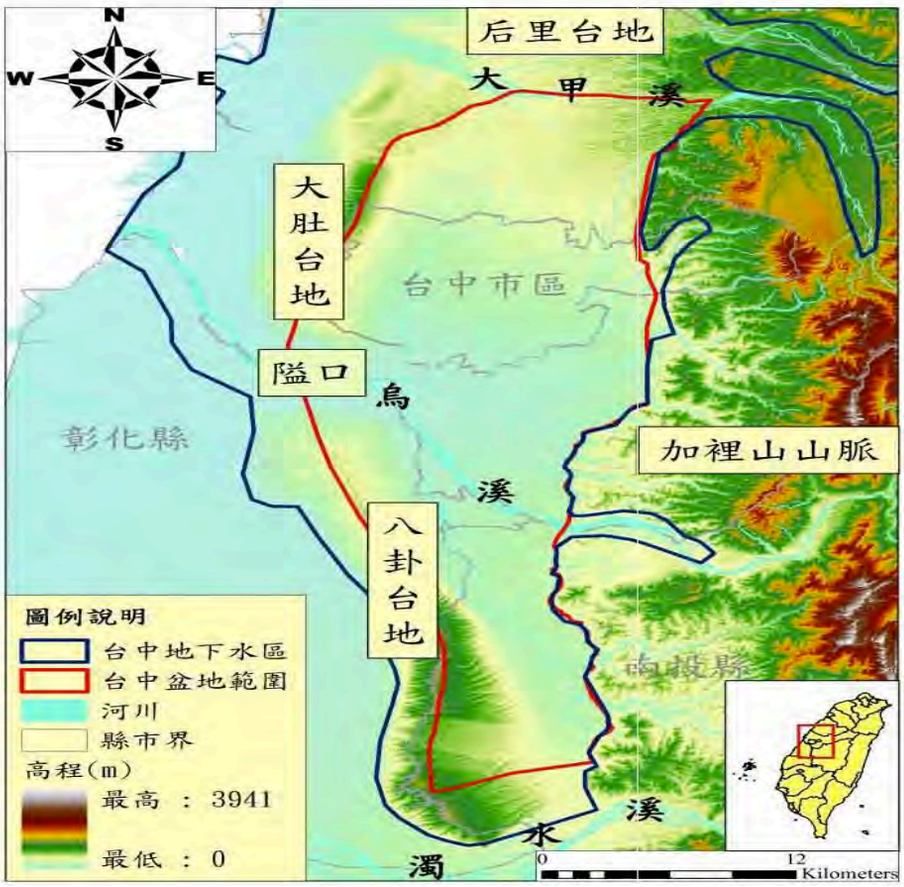


圖1 台中地區水資源系統

烏溪源於中央山脈合歡山西麓，下游河段因流經台中市大肚區，舊稱大肚溪，支流包括筏子溪、大里溪水系與貓羅溪。烏溪主流和支流交匯處，礫石多堆積形成沖積扇，於台中的辮狀流路在北邊形成豐原沖積扇，東邊有太平沖積扇，南有烏溪沖積扇。烏溪流域面積 2,025平方公里，居全台第四，幹流長度119.1 公里，居全台第六，平均坡度1:92，年逕流量 35.58 億噸，河床為礫石與砂，下游處有夾雜部分泥土。烏溪於烏溪橋處流入台中盆地，再會合貓羅溪流入烏溪。烏溪亦攜帶大量泥砂，堆積於台中盆地上，形成一範圍相當大之烏溪沖積扇。

台中盆地為介於背斜構造與車籠埔斷層間之地塹，再由近期河川流入的礫石及泥沙淤積所形成之構造盆地。其周圍地形包括北側后里台地、東側加裡山山脈及西側八卦台地和大肚台地等。盆地為近期地殼活動所形成之地形區，東側麓山帶丘陵區為南北走向車籠埔逆斷層所形成，而西側大肚及八卦台地為彰化斷層(含清水斷層)向西逆衝所產生，大肚山及八卦山的背斜構造則是在同時期地殼運動中，由彰化斷層活動所產生之褶曲構造而來。流經台中盆地之河系由北而南主要為大甲溪、烏溪河系，烏溪下游大肚台地及八卦台地之隘口處為地下水主要出口。

台中盆地四周邊界東側以車籠埔斷層為界，西側為大肚山背斜及八卦山背斜，北側為大甲溪，南側為台中盆地與濁水溪沖積扇地下水區之地下水分水嶺，此邊界範圍內即為台中盆地。台中盆地南北長約48公里，東西最寬有17公里，全區面積約549平方公里。台中盆地所包含之行政區域橫跨台中市、彰化縣及南投縣等三個行政區之局部區域，其中台中市包括中區、東區、南區、西區、北區、北屯區、西屯區、南屯區、太平區、大里區、霧峰區、烏日區、豐原區、潭子區、大雅區、神岡區、大肚區、沙鹿區等18區；彰化縣包括彰化市、芬園鄉等2個鄉鎮市；南投縣包括南投市、草屯鎮、名間鄉等3個鄉鎮市，如圖2所示。

圖2 台中盆地行政區域圖

台中盆地之沖積層係以礫石層為主要組成，其中烏溪北側盆地沖積層餘近東側麓山帶處以極粗礫石為主，往西漸為中、細礫石所取代；烏溪南側之盆地沖積層則均以粗礫石為主；至於烏溪沿線之盆地沖積層呈現砂泥互層現象，粒徑變化較大。依中央地質調查所水文地質鑽井之沉積相分析結果，台中盆地環境特徵主要為沖積扇，由北而南可細分為豐原沖積扇、太平沖積扇及烏溪沖積扇等三區。

台中盆地內有水利署自記水位站井15站及普通水位站井6站分布，其水井位置主要環伺於大肚台地、盆地東側及烏溪以北之北盆地中心，相關水井分布如圖3所示，而地質剖面資料則取代表剖面繪製如圖4與圖5。其中台中盆地之東剖面(豐洲-太平-大里-霧峰-草屯-名間)其井深平均在150~220公尺的深度，為一南北連通的厚實地下水層。在豐洲井以古大甲溪沖積扇扇頂礫石為主；南至太平井、大里井為太平沖積扇之礫石層，太平沖積扇規模較小，且受河流碎屑沉積物的影響，在河流與平原交接處有數層細顆粒沉積層，但並未構成阻水效果；盆地中段的霧峰井主要以氾濫平原的細顆粒沉積物與沖積扇礫石交互出現，其細顆粒沉積物經由氚定年及碳十四定年分析，顯示其具有上下阻隔的效果；南段名間井及草屯井則以山間谷地與沖積扇扇頂礫石、粗砂所組成，且表層有一風化土壤層覆蓋。台中盆地西剖面(豐洲-大雅-烏日-草屯)之井深平均在150~220公尺的深度，其北段與南段基本上與東側剖面相似，惟中段大雅井至烏日井地區，顆粒逐漸由礫石粗砂轉變為中細砂層及氾濫平原泥層。本研究即依此水文地質調查結果建立台中地區地下水系統之地質構造概念模式。

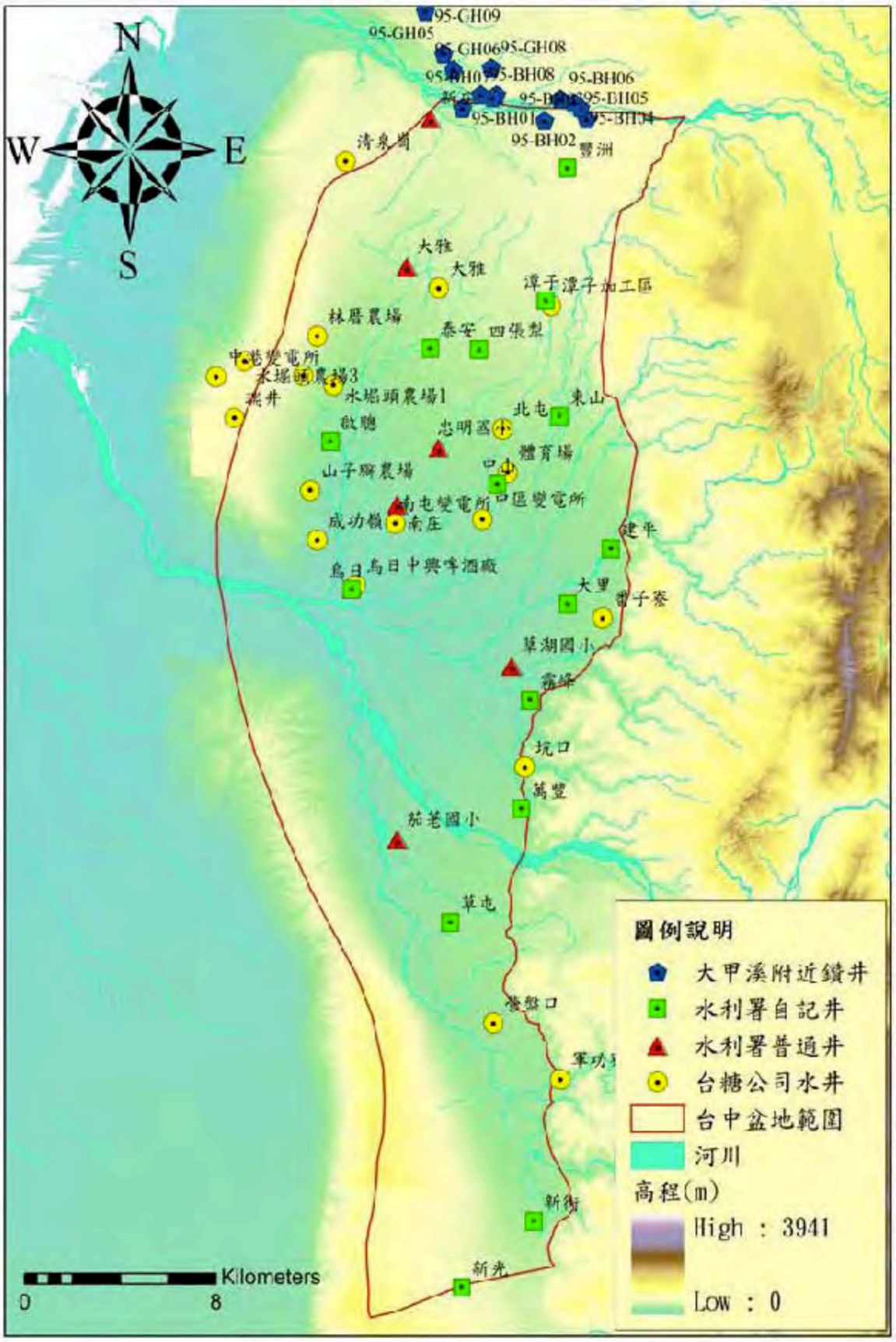


圖3 台中地區地下水觀測井分布圖

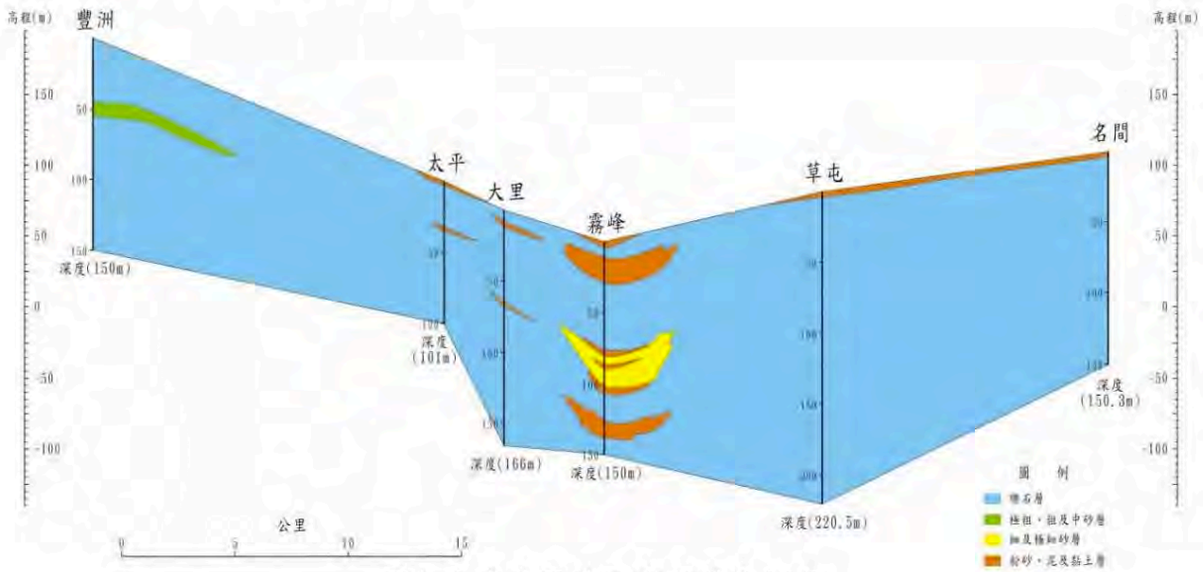


圖4 台中地區地下含水層東剖面

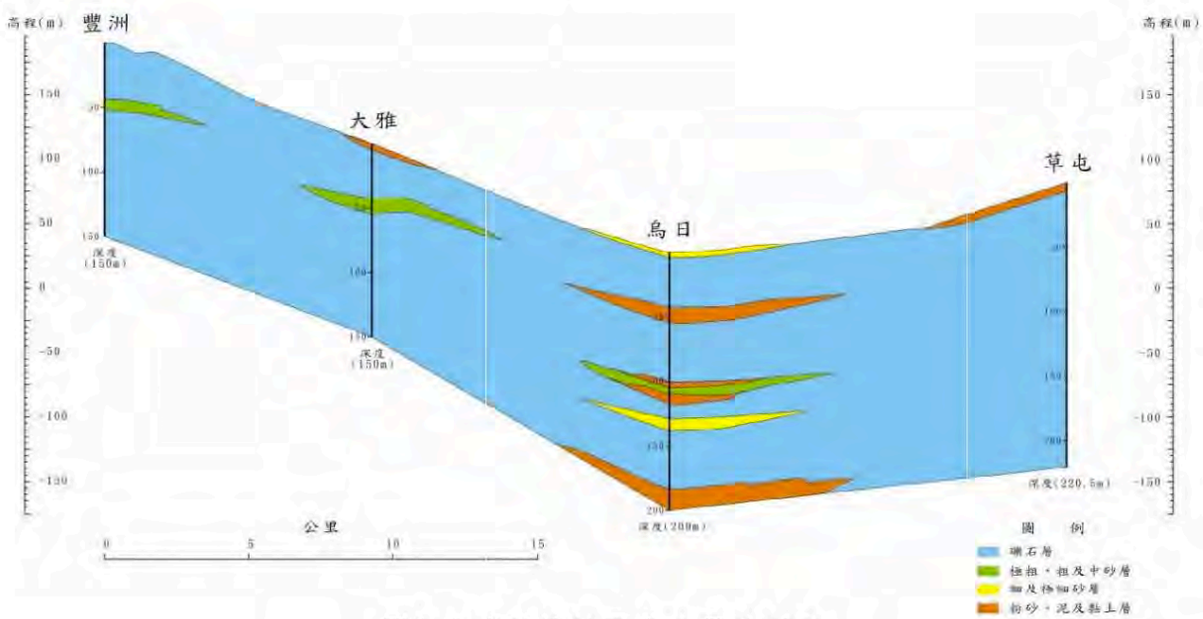


圖5 台中地區地下含水層西剖面

台中盆地地下含水層大致為礫石層單層構造，透水性相當良好，僅在盆地中段烏日、霧峰等地區明顯有分層現象產生，由地下水觀測站網針對整個盆地進行的試水試驗資料顯示，盆地地區含水層淺層之水力傳導係數(K)介於0.0012 m/min 至0.3708 m/min 之間，大部分區域皆在0.0600 m/min 以上。而深層之水力傳導之變異則較大，啟聰、烏日、霧峰、新街及新光等站之深層地下水之水力傳導係數之範圍介於0.0006 m/min 至0.0252 m/min之間，透水性則明顯較差，而盆地內側之中山站、四張犁站、大里站之水力傳導係數介於0.0552 m/min至0.0570m/min 之間，透水性相當良好；比出水率(Sy)在0.01至0.10之間，貯水係數(S)則約為10^{-4}，這些實

測之水文地質參數將做為水平衡歷線分析以及地下水流數值模式參數。河床底泥透水係數(Ks)介於5×10^{-6} cm/sec至10^{-4} cm/sec；河床底泥厚度則設定為0.5公尺。

三、 水資源模式模擬

台中地區的地下水資源緊密的與地面水資源互動，必須將兩者視為一體，對水資源做一個完整考，故本研究建立並率定台中地區模擬模式，以評估台中地區在抽水量與補注量平衡的狀態下之可開發水量。

本研究利用三維地下水流模擬模式MODFLOW結合二維河流演算套件SFR建構台中地區之水資源模擬模式，並進行模式率定以及開發方案評估。

MODFLOW為美國地質調查所(USGS)所發展的地下水流數值模式，以有限差分法FDM(Finite Difference Method)求解地下水流控制方程式，以離散計算地下水位之時空分布與變化情形。地下水流控制方程式如下所示：

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z})+W=S\frac{\partial h}{\partial t}$$

式中K為水力傳導係數 [L/T]；S為孔隙介質蓄水係數 [L^{-1}]；h為地下水位 [L]；W為地下水每單位體積之補注量(Sources)或抽水量(Sinks) [T^{-1}]；t為時間 [T]。

控制方程式式結合地下水系統之邊界條件及初始條件即可描述在非均質非等向性介質中之暫態三維地下水流動情形，亦即地下水位之分布h(x, y, z, t)。由於地下水位為時空變數，因此需對連續性空間與時間進行離散後才能以數值求解。MODFLOW是以有限差分法來進行離散處理，地下水系統將以塊狀之網格(Cell)表示。

SFR乃經由給定河川流量及河道斷面後以曼寧公式進行河道演算，其控制方程式如下所示：

$$w\frac{\partial h_s}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial L}+q=0$$

其中，w為河道頂寬[L]；hs為河川水位[L]；Q為河川流量[L^3/T]，n為曼寧係數，A為通水面積[L^2]，R為水力半徑[L]，S為水力坡降[L/L]；L為河道至最下游之長度[L]；q為單位寬度出流或入流量[L^2/T]；t為時間[T]。

SFR以曼寧公式定義水深，在由水深加上河床底部高程得到河川水位高程。河道斷面在計算時是採用由8個點構成之複式斷面，並將斷面分為三個部分，左岸、右岸與主河道。水深、寬與濕周皆由給定8個點之河川斷面資料經再經由曼寧公式計算得到。

在地面水與地下水互動的部分是使用Darcy's Law計算其交換流量，交換量方程式如下式所示：

$$Q_L = \frac{K_S wL}{m}(h_s - h)$$

其中，Q_L為河流與地下水流的交換流量[L^3T^{-1}]；KS為河床底泥之水力傳導係數[LT^{-1}]；w為河寬[L]；L為河道與地下含水層交界之長度[L]；m為河床厚度[L]。

依據相關調查資料及概念模式，建立得到台中地區水資源模擬模式如圖6所示。模式邊界設定上，北邊界大甲溪河道處給定河川流量邊界條件，而地下含水層的邊界處則為給定水頭之邊界條件，依此邊界條件模擬河道入滲補注以及區外地下水入流補注臺中盆地地下水區之情形；東邊界之車籠埔斷層處，由其附近地質材料為透水性不佳的錦水頁岩層及卓蘭砂頁岩互層，相關現地試驗結果亦顯示車籠埔斷層為一阻水邊界，故於模式中東邊界設定為零流量邊界；南邊界之名竹盆地處有地下水入流，故以邊界處之地下水監測井新光站為水位參考測站，設定為給定水頭邊界條件；西邊界在大肚背斜與八卦背斜處為板塊擠壓所造成的地層層面，會驅使地下水產生等向性，背斜稜線形成天然之地下水流分水嶺，故設定為零流量邊界條件，而中間之烏溪隘口處為臺中盆地地下水之出流口，此附近之地下水位十分接近地表，且隘口處為唯一的地下水流出口，故此邊界處假設地下水位等同於河川水位，以大肚橋水位站之河川水位設定為給定水頭邊界條件。

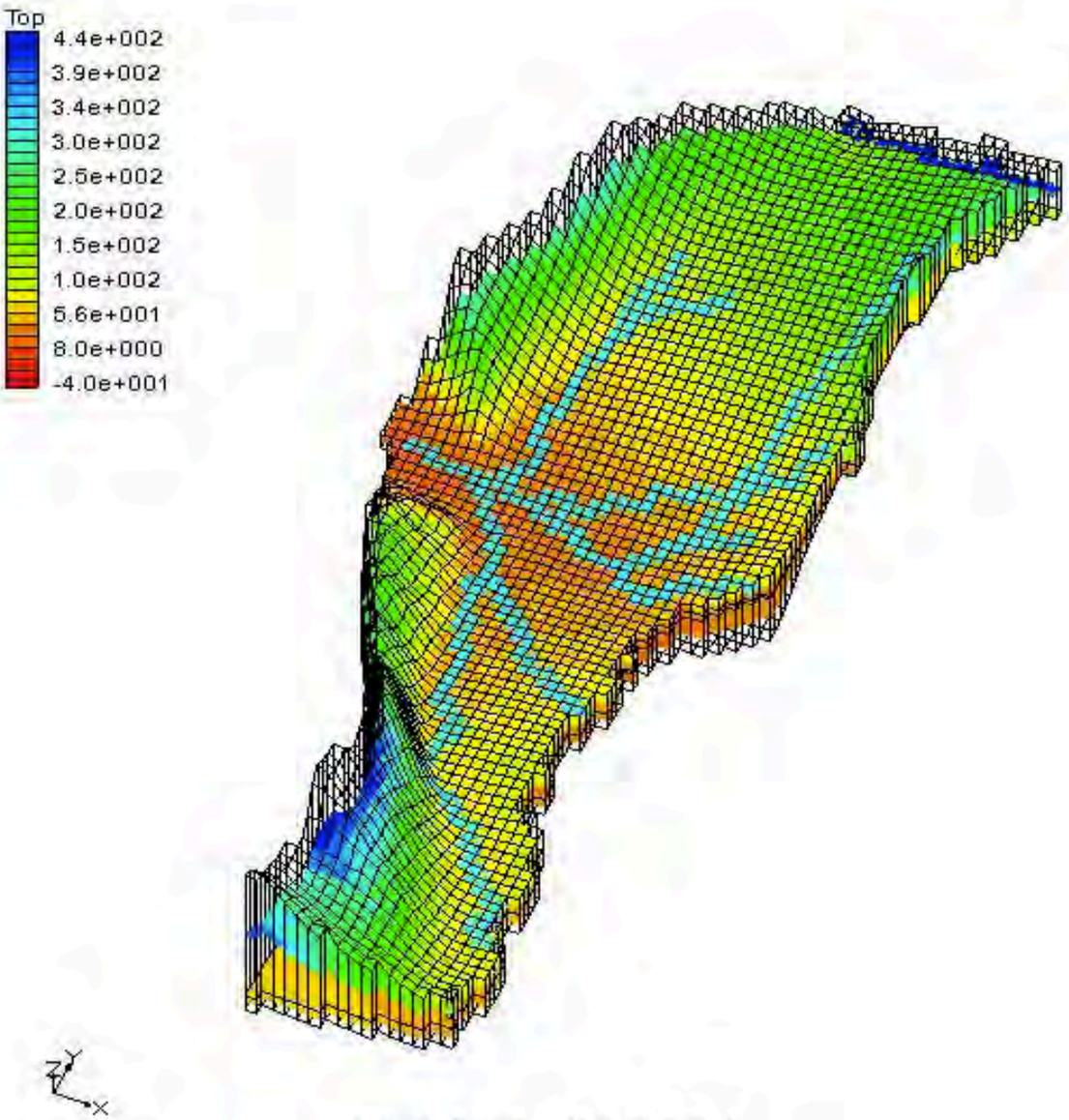


圖6 台中地區水資源模擬模式

含水層系統分層在概念上本研究將台中盆地含水層分層上分作三層，由上而下依序為含水層一、阻水層一與含水層二。其中含水層一、二涵蓋全區，但含水層一於南側軍功寮附近有局部泥層分布，其餘均為透水性良好的含水層；阻水層一僅於霧峰、烏日地區附近較為厚實發達，其於地方則無阻水效果。

含水層一之水位觀測井包括豐洲、潭子、泰安、四張犁(1)、東山、啟聰(1)、大里(1)、建平、中山(1)、烏日(1)、霧峰(1)、萬豐、草屯、新街(1)、新光(1)等15口，含水層二之觀測井包括四張犁(2)、啟聰(2)、大里(2)、中山(2)、烏日(2)、霧峰(2)、新街(2)、新光(2)等8口，由觀察同一井位但不同深度之觀測地下水位可以發現僅在霧峰及烏日井處有水位分層的現象。

水資源系統之水平衡概念模式如圖7所示，入流量部分包括北邊界河水入滲補注量及區外地下水入流補注量，南邊界處有地下水入流補注量，盆地內地表處有降雨入滲補注量及灌溉入滲補注量，而盆地內之河道處則有河床入滲補注量；出流量部分包括抽水量，盆地內河道處之地下水出滲河川量，以及隘口處之地下水出流量，此些水文量皆須透過模式模擬並結合地下水蓄水量分析結果始能合理評估。

抽水量空間分配部分，先以地下水歷線法估算之3.61億噸作為總量，並依行政區之面積大小，按比例分配各區抽水量。此抽水量僅為初始給定之合理值，後續需透過模式率定得到最佳的抽水量空間分布。

圖7 台中地區水平衡概念模式

補注量之空間分佈部分，本研究考量雨水入滲補注及灌溉入滲補注，首先雨水入滲補注的多寡取決於地表土地利用型態、土壤特性及降雨量，本研究利用美國水土保持局SCS法入滲公式中用以反映不同土地利用及土壤特性所產生的有效降雨之CN值，CN值越大代表越容易產生逕流，反之則代表入滲補注越顯著。茲將CN值分為四個等級，評分為1至4分，分數越高表補注越顯著。另本研究將臺中盆地土地利用區分為森林、綠地、農業用地、河道及不透水用地等五類，土壤特性分為砂卵礫石、砂壤土、粘土、粘壤土等四類，分別代表四類不同土壤之滲透能力。由土地利用及土壤特性結合降雨量即得到了雨水入滲補注空間權重。而灌溉入滲補注部分，考量稻田區之灌溉累積水深，水深越深補注量越大，依此可以得到灌溉入滲補注空間權重，將其乘上總補注量得到補注量的空間分布。

最後模式率定所得之平衡時之水文量，年南北邊界地下水流入補注3.49億噸、雨水及灌溉入滲補注4.63億噸、河道入滲補注6.03億噸、河道流失6.95億噸、隘口地下水流失3.49億噸、抽水量3.71億噸。模擬所得之穩態平衡條件下台中地區補注量與抽水量空間分布分別如如圖8及圖9所示。補注量空間分布以北盆地較小，而南盆地較大，因南盆地雨量較大，地表透水性較佳。北盆地近東側山區及河道處之補注量大，建築用地之補注最差。對應這樣的補注條件下，個別區域可以進行不同量體的地下水開發。

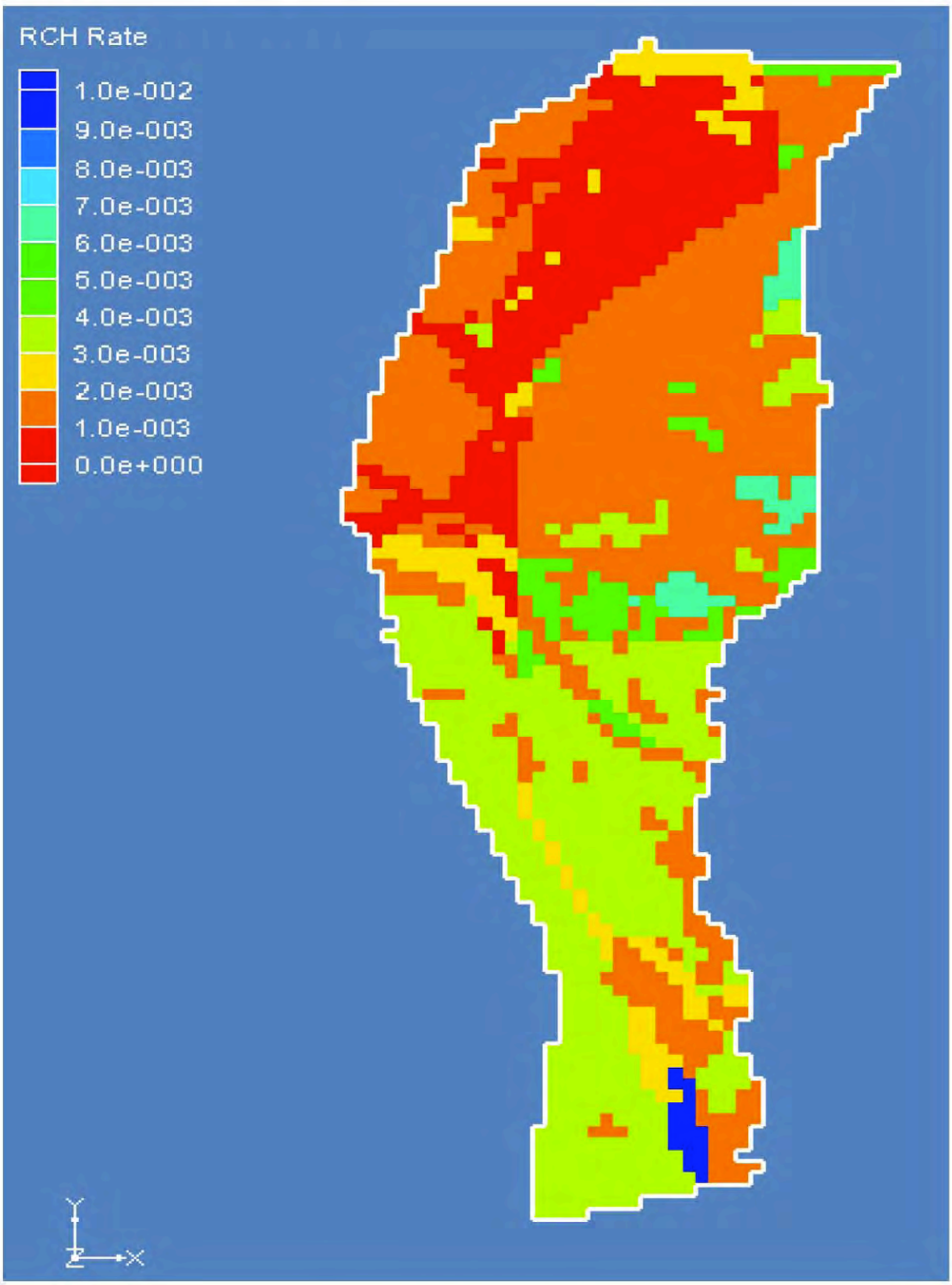


圖8 台中地區補注量空間分布

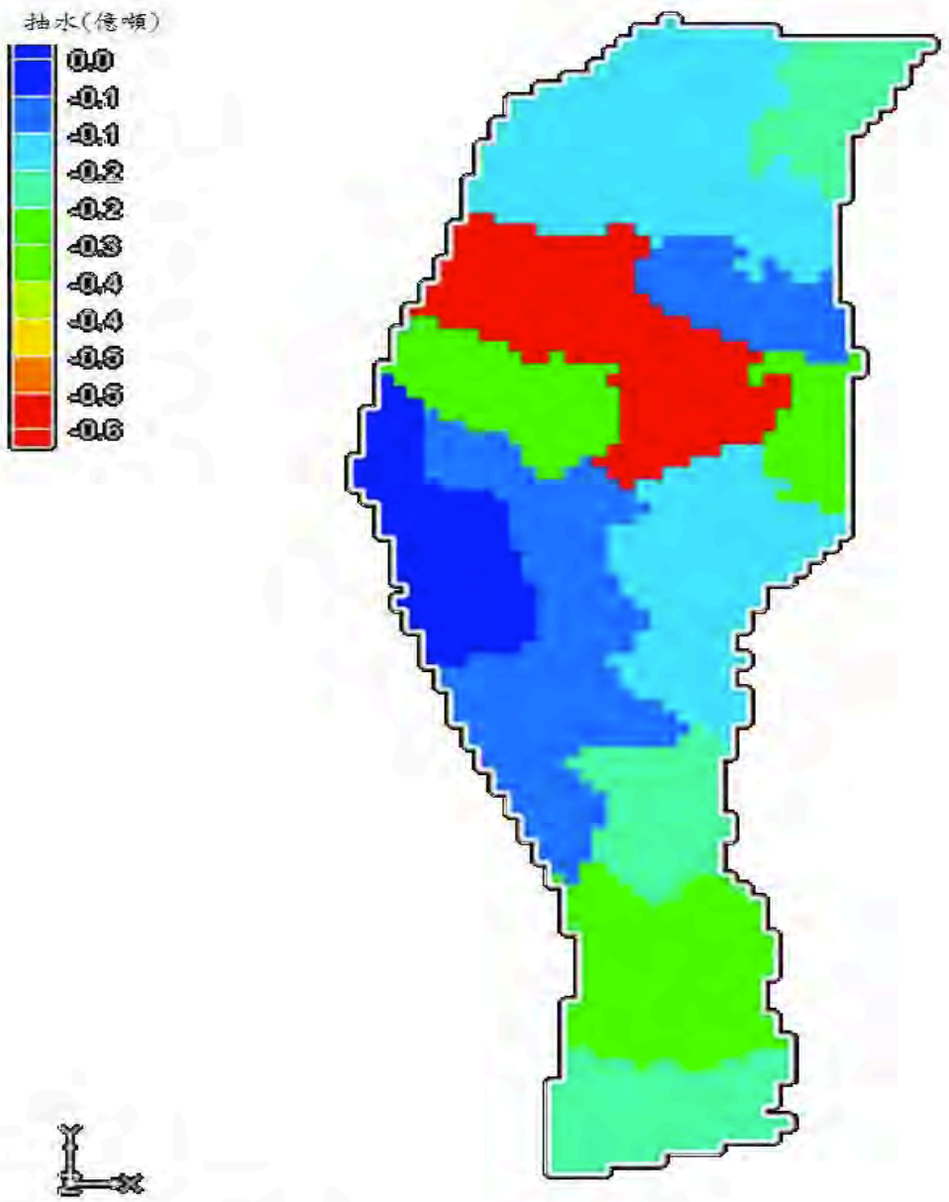


圖9 台中地區抽水量空間分布

四、 水資源開發方案評估

台中盆地地下水資源利用調查評估1~3(2009~2011)建議台中地區現況淨水場包含：四民、軍功、神岡、上楓、公館、忠義等淨水場，及豐原廠加藥供水之東寶、嘉仁與大湳等水井，其中以神岡淨水場出水能力最大約2.5萬CMD。淨水場出水能力合計約6萬CMD，現況實際抽水量約1.45萬CMD，因此仍有4萬CMD餘裕水井可配合需要進行複抽；依水井出水能力，及避開台中市政府公告潭子北屯地下水污染管制區，估計可複抽水量為3萬CMD。現有水井復抽工程總工程費為新台幣2,631萬元。

大甲溪南岸水公司水井復抽地下水3萬CMD方案，首先假設為全年穩定抽水，利

用所建立之台中地區水資源模擬模式計算當抽水量較平衡狀態增加3萬CMD時對地下水位的變化影響，如圖10所示。水位洩降0.50公尺影響範圍涵蓋神岡、豐原、潭子、大雅等地區，水位洩降1.00公尺影響範圍則僅有神岡和抽水井處，其中大楠水位洩降1.46m、神岡水位洩降11.65m、上楓水位洩降1.54m、嘉仁水位洩降1.11m，以神岡影響最大，因為該區的地下水上游補注來源較少，所以抽水造成的變化較大。開發方案對下游隘口處的地下水位沒有影響，水位洩降為0。

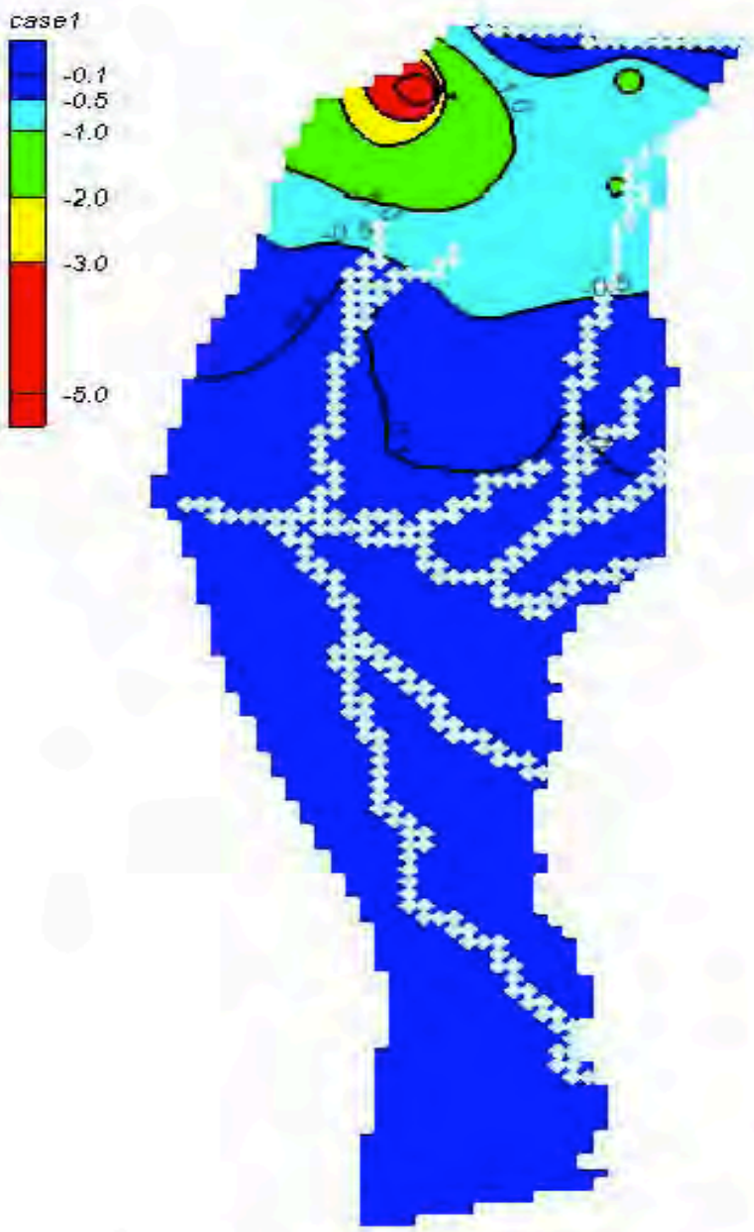


圖10 大甲溪南岸全年復抽之地下水位變化

開發抽水量3萬CMD主要為影響是減少了隘口出流量9506CMD，為原隘口出流量的1.0%，次要影響是北邊界地下水入流量增加了8412CMD，為原入流量的0.9%，大致的影響皆小於一個百分比，顯示復抽對水文量影響不大。

綜合開發案對地下水位與水文量的變化影響來看，對地下水位影響局限於水井處，對水文量的影響小，故大甲溪南岸水公司水井復抽3萬CMD為一可行之水資源開發方案。

除了全年抽水外，本研究亦考量僅在5~9月豐水期抽水，其餘時間停抽的情境，模擬的地下水位變化如圖11所示，水位洩降0.50公尺影響僅涵蓋神岡部分地區而已，而對水文量的影響則僅有0.2%，比全年抽水的影響又小了許多，所以若為保守開發，可以先進行豐水期抽水，待操作穩定後再全年抽水。

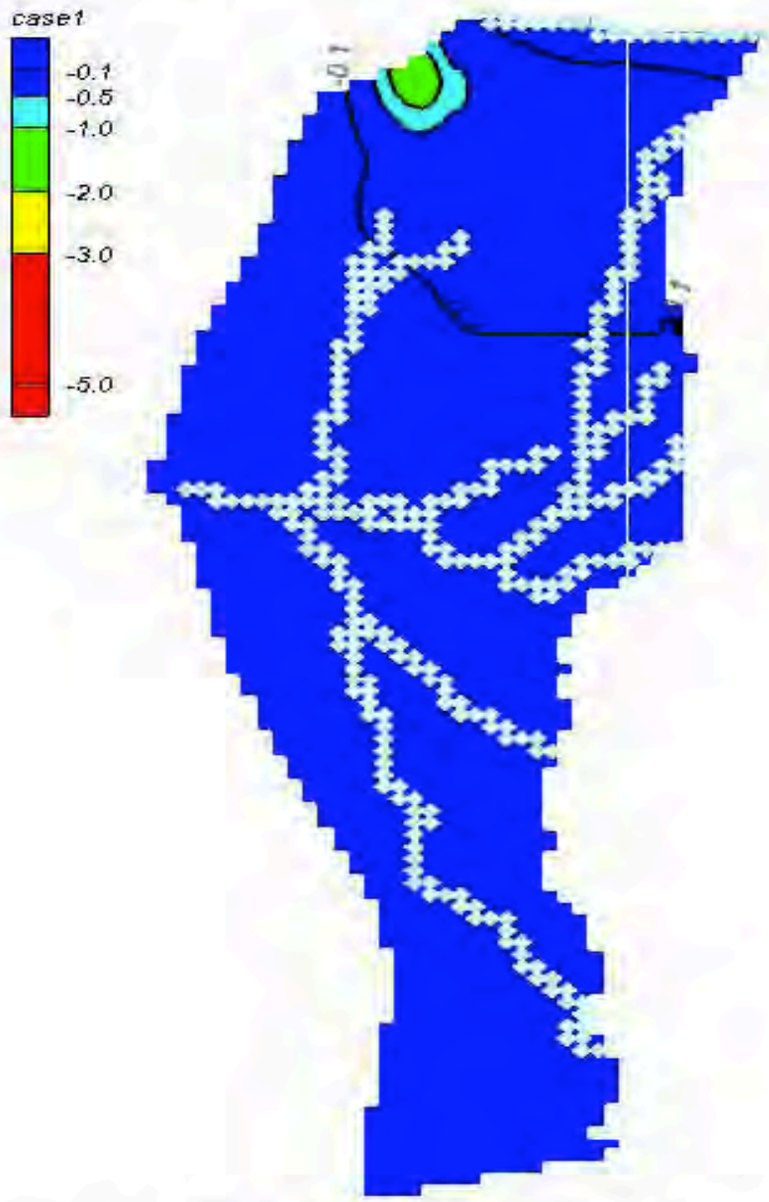


圖11 大甲溪南岸豐水期復抽之地下水位變化

五、 參考文獻

1. 經濟部水利署，「臺灣地區地下水資源」，2005。
2. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥，「以地下水歷線分析法評估濁水溪沖積扇之地下水收支」，經濟部中央地質調查所彙刊，第十九號，第 61-89 頁，2006。
3. 經濟部中央地質調查所，「台灣地區地下水觀測網第三期九十五年度水文地質調查研究計畫--地下水穩定氫、氧同位素研究 (3-3) 」，2007。
4. 交通大學防災工程研究中心，「台中盆地做為地下水庫可能性之探討」，經濟部水利署水利規劃試驗所，2007。
5. 徐年盛、江崇榮、劉振宇、黃建霖、楊艾芸，「應用地下水歷線分析與達西定律於濁水溪沖積扇水平衡分析之研究」，第七屆地下水資源及水質保護研討會，pp. B38 至 B45，2009。
6. 徐年盛、葉文工、王逸民、劉宏仁，「雲林內陸地層下陷地區地下水抽水機制之探討與評估」，水利署 99 年度委辦計畫成果發表會，pp. 3-1-1 至 8，2011。
7. 中興工程顧問股份有限公司，「台中盆地地下水資源利用調查評估(1~3) 」，經濟部水利署水利規劃試驗所，2009~2011。
8. 徐年盛、江崇榮、汪中和、劉振宇、劉宏仁、黃建霖，「地下水系統水平衡分析與補注源水量推估之研究」，2012。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「中部區域水資源規劃調配管理系統分析(2/2)」，2014。
10. 台中市政府，「台中市地下水資源管理及申請使用審查機制之研究」，2015。
11. McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W. “A Modular Three- Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model”, Technical Report, U.S. Geol. Survey, Reston, VA, 1988.
12. The Department of Defense, “Groundwater Modeling System GMS 6.0 TUTORIALS”, 2005.

投稿 107.11.06
校稿 107.11.08
定稿 107.11.10

用水計畫書審查制度的入法及其意義

李方中　　施威全

國立台灣大學水工試驗所　　經濟部水利署助理工程司
專案計畫研究員、特約研究員

摘　要

世界各國用水計畫書多附隨於水權制度。我國用水計畫書審查制度起源於環境影響評估(以下簡稱環評)審查制度。其原意為將水資源供應審查設定為環評審查的前置條件，並要求由水利主管機關配合進行審查。為了強化管理，水利主管機關雖然自行發展了用水計畫書查核制度，但在水利法規內是沒有基礎的。本文透過契約法概念的分析，認為環評審查要求附帶用水計畫書的制度特色，形成了開發人與供水機關(構)之間的一種單務契約關係，反而破壞制度目的，增加主管機關用水調度及其他後續開發人取得供水承諾的困難度。

民國(以下同)107 年《水利法》增訂第 54-3 條，納入用水計畫書審查制度，並訂有罰則，使得水利主管機關取得直接管理用水計畫書的法源。本文認為，由於我國水權制度已定型，一般人難以申請到新的水權。這項立法成果將用水計畫書審查制度由原先在供水端的管理，延伸到用水端的管理，是水資源管理制度的創新。

關鍵字：水利法、用水計畫書、用水端管理

壹、前言

我國長期以來用於解決水資源不足問題的作法具有階段性。早期，在尚未開發大型水庫，主要根據自然降雨條件決定供水制度的背景條件下，水權制度為初步管理階段。此一套制度要求用水人依法進行水權登記，並規定水量不足時用水順序的調整方式，建立取水用水秩序，來減少缺水風險造成的整體損失。

60 年代，工業起步帶動耗水產業發展，用水需求上升之問題伴隨而來。在可利用水資源總量不變但需水量增加的情形下，各標的間，水的移轉變得重要。然而，在當時的水權制度框架下，即使已經經過修正，水的移轉相對來說仍是困難的，因此政策方針轉向大規模推動水資源開發計畫。水庫的建造是最直接的水資

源開發形式，統計至 104 年，臺灣地區建造的蓄水量為千萬噸級的水庫共 21 座。其中 9 座，近半數是於 50 年至 70 年間開發的，包含：石門、曾文水庫及德基水庫等 3 座大型水庫。標誌著臺灣地區積極的水資源開發階段。

到了 80 年代，臺灣地區人民環境保護意識抬頭，且優良壩址已優先開發，水庫的開發速率不復往日，水資源開發腳步也漸趨緩慢。相關案例如：美濃水庫環評爭議（安全問題與黃蝶翠谷保育）及高屏大湖犧牲良田問題（毛豆種植與外銷專區），二者至今仍未開發；湖山水庫生態因為環境議題（八色鳥棲地）而延後開發，至 2105 年才完工蓄水等。

隨著水資源開發難度升高、蓄水建造物有效庫容逐漸減縮與工商業用水需求穩定正成長，原先單純依據《水利法》所建立的水權制度，已無法應對上述變化。此時，農業用水的水源轉向自來水使用的比例逐漸提升，水源調配的操作靈活化，要求工業用水人逐漸提高回收率等。政府的水資源政策被迫再度轉向了管理層面。因此，80 年代後期，漸漸產生用水審計的需求，進而發展出一套新的水資源管理制度—用水計畫書制度。

貳、用水審查制度的發展過程

一、用水審查制度的發軔

用水審計需求之概念最早出現於《環境影響評估法》的子法《開發行為環境影響評估作業準則》條文之規定中。《開發行為環境影響評估作業準則》於 86 年 12 月 31 日訂定（非現行版本），該版第 11 條第 1 項：「開發單位於施工及營運期間之用水，應取得供水主管機關之同意，其因缺自來水供應而自行規劃取(抽)用地面水、地下水者，應向水資源主管機關提出用水策略申請同意；若作為飲用水水源者，其水質應符合飲用水水源水質標準。」意即，開發單位若為透過供水事業取得水量者，則須取得供水主管機關之同意文件；若為自備水源者，須自行申請水權登記，同時應向水利主管機關提出「用水策略」。這個「用水策略」就是「用水計畫」的雛形。此外，上述條文中，「開發單位」指的是依「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」認定應實施環境影響評估之開發行為的單位。

因此，在 86 年即有類似於用水計畫書之用水審計案件的提出。值得注意的是，依據該準則，要提供協助的主要是供水主管機關，在當時，是內政部（《自

來水法》在 91 年才修正改由經濟部主管）。水資源（水利）主管機關經濟部是扮演協助者角色，配合辦理對象為自行取用地面水或地下水的開發單位。兩機關同時協助辦理用水審計的工作。其協助的對象為環境保護主管機關，換言之，是由環境保護主管機關發動了這個制度。

建立用水審查制度有其背景考量。環評制度在建立後就一直是最難通過的關卡，環境主管機關考慮萬一開發單位在通過環評後，卻因為水源供應不足而無法如期如量的生產，掛萬漏一，因此做此規定，期待環評制度成為開發單位申請投資的最後一關。

二、用水審查制度的接續法律化過程

為了配合執行用水審查制度，經濟部水利署早自 85 年起，開始陸續進行開發用水案的用水審查工作，其時點還在《開發行為環境影響評估作業準則》規定要提出「用水策略」的前一年，表示兩機關間早有協議要推動此制度，並以行政措施在尚無明文規定前，即要求若干政府開發案先行提出。

92 年 3 月 5 日經濟部頒佈《用水計畫書審查作業要點》（以下簡稱作業要點），明確訂定開發單位用水計畫書提送、主管機關審查、受理機關查核及審查費用收取等操作方式。

83 年 11 月 17 日修正公布《水利法施行細則》第 46 條第 1 項，明確的將「用水計畫書」一詞入法，也同時為用水審查制度在水利主管機關管轄法律內的法規命令層級找到依據。但因為尚未在法律內訂定，因此其用語仍是被動的「目的事業主管機關…得商請（水利）主管機關審查同意其用水計畫書。」但從此修正條文可以看出，水利主管機關是積極的善用環保主管機關打開的用水審計的機會，希望進一步的掌握審查開發單位的用水量。

作業要點於訂定頒布後，歷經兩次的修正，分別為 94 年的第 1 次修正與 103 年的第 2 次修正。兩次的修正當中，對於作業要點制定依據的法規、用水計畫書的審查流程、用水計畫書的填報格式、用水計畫書制度規範之用水標的、用水計畫書中各填報項目的審查標準、用水查核作業與水利主管機關行政處分對象之說明等，皆有所修改。

105 年 5 月 25 日經濟部更進一步修正《水利法》，增訂第 54-3 條並完成立法程序，正式將「用水計畫書」納入水利機關主管的管轄事務中。今 106 年 6 月

8日依據《水利法》第54-3條的授權，發佈《用水計畫審核管理辦法》（以下簡稱管理辦法），做為以水利主管機關為主導的完整的用水審查制度的執行依據。

根據上述說明，可以瞭解，用水審查制度一開始是由環境保護主管機關環保署推動的，並且是以自來水事業的主管機關內政部為主，水利主管機關經濟部為輔，協助辦理。而後，《自來水法》改由經濟部主管，全部執行的負擔都在經濟部身上，但在角色上仍是協助環保署。而「用水計畫書」在《水利法》入法後，用水審查制度就完全由水利主管機關主導了。

叁、用水計畫書的法律規定

一、《水利法》第54-3條的內容

《水利法》第54-3條的規定內容如下：

「興辦或變更開發行為，其計畫用水量達一定規模或增加計畫用水量者，開發單位於興辦或變更前，應向目的事業主管機關提出用水計畫或修正用水計畫，並由目的事業主管機關轉送中央主管機關核定。

用水計畫核定後，開發單位應依用水計畫內容辦理，並定期向中央主管機關申報用水情形；必要時中央主管機關得辦理查核。

各年期實際用水情形與用水計畫內容差異達一定比率或一定規模者，開發單位應提出差異分析報告送中央主管機關審查，並依審查結果調整用水計畫內容。實際用水情形超過終期計畫用水量者，依第一項程序辦理。

用水計畫經核定後三年內未實施開發行為，開發單位應於屆期二個月前向中央主管機關申請展期或撤案；展期期限最長為三年，並以一次為限。未辦理展期或撤案，經中央主管機關令其限期改善，屆期未改善或未於展期期限實施開發行為者，由中央主管機關廢止原核定之用水計畫。

供水單位於用水計畫或修正用水計畫核定前，不得供水予開發單位。

本法中華民國一百零五年五月六日修正之條文施行前，除農業用水外，經目的事業主管機關核定之開發行為實際用水量達一定規模，且未提出用水計畫者，中央主管機關得令開發單位或用水人限期依第一項規定程序提出用水計畫。

前六項之開發行為、開發單位、用水人、一定規模、一定比率、用水計畫與差異分析報告之內容、提送、審查、核定、展期、撤案、廢止、用水情形之申報與查核及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。」

二、罰則

《水利法》第 54-3 條的相關罰則為第 93-7 條及第 93-8 條。兩條規定內容如下。第 93-7 條：

「有下列情形之一者，處新臺幣三十萬元以上一百五十萬元以下罰鍰，並得按次處罰：

一、 開發單位於中央主管機關依第五十四條之三第一項、第三項規定核定用水計畫或修正用水計畫前，逕行用水。

二、 開發單位違反第五十四條之三第二項規定，未依核定之用水計畫內容執行。

三、 供水單位違反第五十四條之三第五項規定，於用水計畫或修正用水計畫核定前，逕行供水。」

第 93-8 條：

「有下列情形之一者，經中央主管機關令其限期改善，屆期未改善者，處新臺幣五萬元以上二十五萬元以下罰鍰，並得按次處罰：

一、 開發單位未依第五十四條之三第一項或第三項規定提出用水計畫或修正用水計畫。

二、 開發單位未依第五十四條之三第二項申報所核定用水計畫之用水情形。

三、 開發單位未依第五十四條之三第三項規定提出差異分析報告。

四、 開發單位未依第五十四條之三第四項規定期限申請展期或撤案。

五、 開發單位或用水人未依第五十四條之三第六項規定提出用水計畫。」

三、《用水計畫審核管理辦法》的重要內容

《用水計畫審核管理辦法》是依據《水利法》第 54-3 條第 7 項訂定的法規命令，依法，其內容不得違背《水利法》第 54-3 條或逾越其授權範圍。其重要內容如下：

第 2 條，定義開發行為及開發單位、計畫用水量、終期計畫用水量及實際用水量。

第 3 條，同一開發單位於毗鄰區域之分期或分區開發行為，計畫用水量應累積或合併計算。

第 4 條，確認有新增用水且其計畫用水量達前條第一項規定者，應提出或修

正用水計畫。

第 7 條，開發單位所提用水計畫應依開發行為內容及所在區域之水資源供需情勢，規劃需求用水時程及水量、供水來源及可行節約用水措施，並取得供水單位之供水同意文件或其他水源之證明文件。

第 10 條，開發單位於用水計畫核定後，應依計畫用水時程及用水量辦理，並應裝設水量自動監測設備及記錄實際用水情形。

第 12 條，用水查核作法。

第 13 條，定義實際用水情形與用水計畫內容差異達一定比率或一定規模的標準。

肆、用水計畫書入法的法律及政策意義

一、法律意義

「用水查核制度」是在作業要點中即有訂定，其規定內容主要在於受理用水計畫書的機關的核減用水量及廢止、撤銷或變更用水計畫的作法。

其規定為受理用水計畫書的機關得查核開發單位之用水情形，若有已實施開發行為之用水計畫，經查核實際用水量連續三年未達各該年度核定用水量百分之七十者，得依其開發狀況實際情形核減其各年度至終期用水量。

若查得與原核定計畫用水量或節約用水承諾等事項不符者，得要求開發或管理單位提出用水計畫差異分析。開發或管理單位未提出用水計畫差異分析，經通知限期說明後，得依其情節逕予廢止、撤銷或變更其用水計畫。

開發或管理單位自用水計畫書核定日起，三年內未取得目的事業主管機關核發之開發許可，或取得目的事業主管機關核發之開發許可後三年內未實施開發行為者，應於三年期滿前申請展延，未於期限內提出申請或展延期限屆滿者，得廢止其用水計畫書。

產生用水查核規定的原因在於用水審查制度之始，作業準則即要求「開發單位於施工及營運期間之用水，應取得供水主管機關之同意」。當自來水單位因應制度要求，且衡酌自身的供水能力而給予開發單位同意供應其申請用水量的同意書後，開發單位因而通過環評。但開發單位在通過環評後，有可能延宕建廠因而延宕生產時程因而沒有實際用水，也有可能產量低於計畫產量而用水量比預期為

低。對於這種或慢或低的用水情形，依自來水事業規定，是依據實際用水量支付水費。表面上自來水單位並不吃虧，但由於已承諾開發單位供水量，且通常開發單位仍會堅持主張隨時可能開始生產或增加生產，仍要求保有該用水量申請額度，且因為是自來水單位單方開立的同意書，開發單位毫無義務給予自來水單位補償。

從法律上來看，這類似於自來水單位與開發單位間的單務契約，只有單方（自來水單位）有如量供水的義務，卻無權利要求另一方（開發單位）在未如量用水時予以補償。反而開發單位得以主張要求自來水單位一直保留供水能量，卻沒有任何應盡義務。這不只對自來水單位不公平，從整體水資源運用的角度來說，後面還有其他新申請的開發單位等著要得到自來水單位的供水同意書，但因為供水量額度受到這些或慢或低的開發單位的主張影響，雖實際仍有多餘水量，但卻無法開立同意書予這些等待的開發單位，嚴重影響後開發者的權益，浪費水資源，也違背了建立用水審查制度目的。

根據上述分析，用水查核制度顯然有存在的必要。然而，作業要點在我國的法制上，是屬於沒有法律授權，只能規範內部而對外不生法律效力的「行政規則」。受理機關如根據作業要點的規定進行核減用水量或廢止、撤銷或變更用水計畫，正當性有餘，但法源不足。《水利法》增訂第 54-3 條，補足了用水查核制度法源不足的缺陷。

此外，《水利法》第 54-3 條第 6 項規定 105 年 5 月 6 日「修正之條文施行前，除農業用水外，經目的事業主管機關核定之開發行為實際用水量達一定規模，且未提出用水計畫者，中央主管機關得令開發單位或用水人限期依第一項規定程序提出用水計畫」，是立法上少見的「溯及既往」規定。顯見立法機關也認同行政機關「必須加強用水管理」的主張。

最後，罰則的訂定使得水利主管機關取得裁罰的權力，對於不遵守《水利法》第 54-3 條，包含管理辦法，的開發單位，可以給予合法有力的裁罰。

二、政策意義

除了水利主管機關在「用水計畫書」規定進入《水利法》後，就完全主導了用水審查制度外，管理辦法第 7 條規定：「開發單位所提用水計畫應依開發行為內容及所在區域之水資源供需情勢，規劃需求用水時程及水量、供水來源及可行節約用水措施，並取得供水單位之供水同意文件或其他水源之證明文件。」，宣

告了經濟部水利署完全改變了在 50 年至 80 年間以大量的水資源開發計畫來因應經濟成長所需大量用水的政策，改而要求開發單位必須自我辨識供水可靠度，以及準備缺水應變措施（第 8 條）。

伍、結論

我國水權制度實施多年，可核發之地面水水權幾乎都已達上限，已無可再申請的餘地。現有水權幾乎都在自來水單位、農田水利會及水利署手中。新開發單位的用水，必須由自來水單位在現有水權條件下供應，並由另外兩個體系支援。如無餘裕，則必須另行開發海淡水或利用再生水。

在此情形下，水利主管機關將一般用在水權申請制度的用水計畫書審查以及用水查核制度，改用在管理開發單位從自來水單位等水權人處取得水源供應的可能性，這項作法將用水審查制度由原先在供水端的管理作法，延伸到在用水端的管理，是水資源管理制度的一種創新。

經由本文，也可以看到推動一項新制度的歷程，由推出新作法先要求政府機關遵行，再以審查機制要求一般人民遵守，等到推行得到一定經驗後，再逐漸建立法源。

註：本文已發表於第二十一屆海峽兩岸水利科技交流研討會，2017 年 10 月 23 日~10 月 27 日，南昌。

參考文獻

1. 施威全（106）。「用水計畫書審查及查核之研究」，臺灣大學工學院土木工程學系碩士論文，臺北市，1-45。
2. 黃宏莆（104）。「有效管理與效率用水--落實用水計畫審查」。土木水利，台北市，42：4，4-8。
3. 林元鵬，湯懿真，林震哲（96）。「用水計畫書制度化推動之成果」。台灣水利，55：4，104-111。
4. 李方中（2012）。「海峽兩岸水權制度比較研究」，對外經濟貿易大學法學院博士論文。北京市。
5. 經濟部水利署（93）。「用水計畫書審查技術規範之研擬」。臺中市。
6. 經濟部水利署（94）。「已核定用水計畫書查核服務計畫（截至 93 年度止）」。

臺中市。

7. 經濟部水利署（95）。「用水計畫書查核服務系統作業（含工業用水量統計推估模式研究）」。臺中市。
8. 經濟部水利署(96)。「用水計畫書查核服務及重要產業合理用水量評估計畫」。臺中市。
9. 經濟部水利署（97）。「用水計畫書查核服務及廢水回收率之檢討評估計畫」。臺北市。
10. 經濟部水利署(98)。「用水計畫書查核電子申報建置及額定用水量檢討計畫」。臺中市。
11. 經濟部水利署（99）。「用水計畫書查核電子申報及額定用水回收率檢討」。臺中市。
12. 經濟部水利署（100）。「用水計畫書查核電子申報及民生類額定用水量調查檢討」。臺中市。
13. 經濟部水利署（101）。「用水計畫書查核電子申報及資訊系統網頁維護」。臺中市。
14. 經濟部水利署（102）。「102 年度用水計畫書查核服務」。臺中市。
15. 經濟部水利署（103）。「103 年度用水計畫書查核服務」。臺中市。
16. 經濟部水利署（104）。「104 年度用水計畫書查核服務」。臺中市。

投稿 107.11.06
校稿 107.11.08
定稿 107.11.12

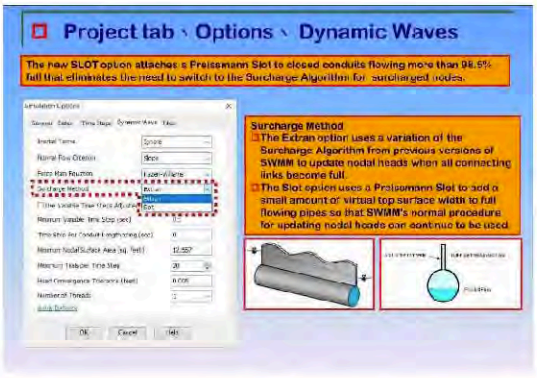
EPA SWMM5 數值模式研習會

日　　期：民國 107 年 8 月 11 日（星期六）
地　　點：國立台灣大學水工試驗所 4 樓視聽教室

因應經濟部水利署頒布「逕流分擔與出流管制」相關規定與辦法及各地方政府對排水計畫(書)內容要求與審核訂有相關條款規定，台灣省水利技師公會特開設實務性之「EPS SWMM5 數值模式」研習課程。

研習課程由陳志明理事長主講 SWMM5 功能概述、基本操作、主要構件參數說明及執行成果檢視與檔案格式，賴桂文技師介紹 SWMM5 LID 模組應用介紹及陳正宏技師以 SWMM5 應用於排水計畫案例介紹作一結尾，並共同進行綜合討論。

本課程為一實務性操作課程，現場~~並~~發放內含相關軟體與參考資料供學員使用，大部分學員均自行攜帶筆電於現場操作，並與講師互動討論。除水利技師公會會員外，另有其他科系技師及顧問公司工程人員等共有 52 位參加。



大甲溪發電廠與大甲溪流域綜合治理觀摩暨研討

大甲溪水源豐沛，其河床陡峻、位能足夠，具備優越的發電條件，水力資源蘊藏豐富，是台灣中部最重要的河川。從上游到下游，台灣電力公司在大甲溪沿線設立德基、青山、谷關、天輪等電廠及馬鞍、社寮等水力機組與相關壩堰設施，得天獨厚的大甲溪發電廠年平均發電量達 26 億度，是全臺最大的再生能源水力發電廠。

中興工程科技研究發展基金會本著推廣土木、水利、環境及回饋社會之宗旨，特於 107 年 11 月 14 日選定水力綠能發電與流域環境共生共息之大甲溪發電廠，與台電及水利署中區水資源局共同主辦「大甲溪發電廠與大甲溪流域綜合治理觀摩暨研討活動」。活動並邀請中國土木水利工程學會水資源委員會、中國工程師學會環境與能源委員會、台灣省水利技師公會等單位共同協辦。同時邀請相關工程界人士共同參與，本公會會員共計 15 名會員報名參加，期讓各界更深入了解大甲溪發電廠及流域綜合治理工程，也希望透過相互間的研討，提供相關單位日後執行參考。

活動首先安排至大甲溪發電廠參訪馬鞍壩生態園區、天輪分廠電力公園、發電機組及遙控中心。大甲溪發電廠自 102 年起轉型為生態電廠，在台灣電力公司與林務局、台中水利會等單位合作下，形成一個結合森林、水資源、電力科技與生態走廊的園區，深獲各界及在地人士的肯定。

研討會邀請主辦單位台灣電力公司大甲溪發電廠廠長楊桂浪、中水局局長陳弘山及中興工程科技研究發展基金會董事長曾參寶致詞後，緊接由台電公司大甲溪發電廠副廠長劉演鎮向講述「大甲溪發電廠開發營運與管理」；午後進行第二階段研討，由台電公司大甲溪發電廠副廠長林瑞濱講述「大甲溪發電廠谷關及青山分廠復建經驗分享」及由水利署中區水資源局局長陳弘山講述「台灣中部地區水資源調配」，會後並展開綜合研討。

活動最後安排參訪白冷大甲溪電力文物館，透過館內文物展示，讓所有與會人員更了解大甲溪發電廠之沿革，以及發電技術的發展過程，感受電廠在雙綠能發電及生態保育等方面所作的努力。

基金會董事長曾參寶致詞

與會活動人員合照

谷關及青山分廠復建經驗分享

參訪園區動態展示館

參訪天輪分廠電力公園與機組

副本

臺灣省水利技師公會
107.7.31
收文章

行政院公共工程委員會　函

地址：11010 台北市松仁路 3 號 9 樓
聯 絡 人：陳家慶
聯絡電話：(02)87897636
傳　　真：(02)87897614

221
新北市汐止區新台五路 1 段 81 號 10 樓之 4
受文者：台灣省水利技師公會

發文日期：中華民國 107 年 7 月 24 日
發文字號：工程企字第 10700226840 號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：

主旨：修正「工程採購契約範本」，其電子檔並登載於本會網站（進入首頁 https://www.pcc.gov.tw 後，點選>政府採購>招標相關文件及表格），請查照並轉知所屬機關。

說明：

一、依政府採購法第 63 條第 1 項規定，各類採購契約以採用主管機關（本會）訂定之範本為原則。

二、旨述修正主要包括再生材料之使用、僱用外籍勞工、保險之承保範圍及保險單約定事項、契約變更辦理議價程序之期限、爭議處理小組機制、柴油車輛及行車視野輔助系統規範，及設置專任工程人員以外之技師或建築師等，修正內容對照表一併公開於本會網站。

正本：總統府第三局、國家安全會議秘書處、行政院秘書長、立法院秘書長、司法院秘書長、考試院秘書長、監察院秘書長、國家安全局、行政院各部會行處署、省政府、臺灣省諮議會、直轄市政府、直轄市議會、各縣市政府、各縣市議會、各鄉鎮市區公所

副本：全國政府機關電子公布欄、中華民國全國工業總會、中華民國營造工程工業同業公會全國聯合會、臺灣區綜合營造業同業公會、台灣中小型營造業協會、社團法人台灣營造工程協會、各技師公會、各工程技術顧問商業同業公會、各建築師公會、台北市美國商會、台北市日本工商會、歐洲在台商務協會、台北韓國貿易館、法國工商會、本會各處室會組、企劃處（網站）

主任委員 吳澤成

1070731U4

副本

台灣省水利技師公會
107.10.30
收文章

行政院公共工程委員會　函

地址：11010 台北市松仁路 3 號 9 樓
聯 絡 人：陳志坤
聯絡電話：(02)87897632
傳　　真：(02)87897614

221
新北市汐止區新台五路 1 段 81 號 10 樓之 4
受文者：台灣省水利技師公會

發文日期：中華民國 107 年 10 月 23 日
發文字號：工程企字第 10700332630 號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：

裝

主旨：機關辦理技術服務採購，不宜於招標文件訂定不合理之計罰條款以免發生爭議，詳如說明，請查照。

說明：

一、邇來發現部分機關辦理技術服務採購，契約條文訂有工程流標後，不論原因而裁罰技術服務廠商之內容，例如「甲方依乙方履約結果辦理採購，經招標 3 次流標，扣罰規劃設計部分契約價金總額之百分之五之懲罰性違約金」。

二、按目前工程採購發生流廢標原因多樣，雖曾有設計妥適性、可行性或市場調查不足為原因者，惟亦有因其他因素如廠商意願、市場供需、情勢變化及專業廠商整合不易等流廢標因素之情形。爰機關應依個案情形確實檢討流廢標原因，採行必要對策及處置為宜。

訂

正本：行政院各部會行處署、直轄市政府、各縣市政府、各鄉鎮市區公所
副本：各建築師公會、各工程技術顧問商業同業公會、各技師公會、本會主任委員辦公室、副主任委員室、企劃處（網站）

線

主任委員 吳澤成

107103004