



行政院所屬各機關因公出國人員報告書  
(出國類別：考察)

100 年度台德技術合作訓練計畫  
「攔河堰下游河床沖刷及其防治對策研究」



服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

出國人職稱：工程員

姓名：李正楠

出國地區：德國

出國期間：民國 100 年 5 月 14 日~5 月 28 日

報告日期：100 年 8 月

行政院所屬各機關因公出國人員報告書  
(出國類別：研習)

100 年度台德技術合作人員訓練計畫  
「攔河堰下游河床沖刷及其防治對策研究」

服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

出國人職稱：工程員



姓名：李正楠

出國地區：德國

出國期間：民國 100 年 5 月 14 日~5 月 28 日

報告日期：100 年 8 月

## 出國報告審核表

|                          |   |  |
|--------------------------|---|--|
| 出國報告名稱：攔河堰下游河床沖刷及其防治對策研究 |   |  |
| 出國人姓名（2人以上，以1人為代表）       | 職稱  | 服務單位   |
| 李正楠                      | 工程員   | 經濟部水利署水利規劃試驗所  |
| 出國類別                     | <input checked="" type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習<br><input type="checkbox"/> 其他 _____（例如國際會議、國際比賽、業務接洽等）  |  |
| 出國期間：100年5月14日至100年5月28日 |   | 報告繳交日期：100年8月  |
| 計畫主辦機關審核意見               | <input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告<br><input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」）<br><input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告<br><input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備<br><input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值<br><input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦<br><input checked="" type="checkbox"/> 7.送上級機關參考<br><input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔<br><input checked="" type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：<br><input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。<br><input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告<br><input type="checkbox"/> 其他 _____<br><input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式： |  |
| 審核人                      | 一級單位主管  | 機關首長或其授權人員   |
|                          |    |  |

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

## 誌 謝

本次參訪感謝經濟部 100 年度台德技術合作訓練計畫經費支助與經濟部水利署水利規劃試驗所推薦，承蒙國際合作處王佩萍小姐協助，國立海洋大學董東璟助理教授引薦，方能順利成行。在研習過程中，在漢諾威萊布尼茲大學蒙 Schlurmann 所長、Nazarpour 博士生、Spinnreker 先生、Schimmels 博士、Schmidtke 研究員及其同仁；在羅斯托克大學蒙 Froehle 組長、Rodomski 先生及其同仁；在達姆斯達特工業大學 Zanke 所長、Diab 博士、Paudel 小姐及其同仁等人之協助、陪同參訪與討論等，使得行程順利圓滿，在此謹致上最誠摯的謝意。



# 目 錄

|                        |    |
|------------------------|----|
| 摘 要 .....              | V  |
| 第壹章 緒論 .....           | 1  |
| 一、計畫緣起 .....           | 1  |
| 二、計畫目的 .....           | 2  |
| 三、研習行程 .....           | 3  |
| 第貳章 研習過程概述 .....       | 5  |
| 一、漢諾威萊布尼茲大學 .....      | 5  |
| 二、羅斯托克大學 .....         | 7  |
| 三、達姆斯達特工業大學 .....      | 8  |
| 第參章 研習心得 .....         | 11 |
| 一、台灣地區攔河堰下游的沖刷問題 ..... | 11 |
| 二、攔河堰下游岩盤沖刷機制探討 .....  | 26 |
| 三、攔河堰下游沖刷的原因 .....     | 29 |
| 四、沖刷防治的策略方向 .....      | 30 |
| 五、防沖刷工法研究 .....        | 32 |
| 第肆章 結論與建議 .....        | 37 |
| 附錄一 研習相關照片 .....       | 1  |
| 附錄二 參考文獻 .....         | 6  |

## 表 目 錄

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 表 3-1 整體整策之短程及中、長程規劃表 .....          | 12 |
| 表 3-2 仁義潭攔河堰計畫河段治理策略表 .....          | 17 |
| 表 3-3 石岡壩現階段河床穩定方案之河道調整措施(1/3) ..... | 19 |
| 表 3-3 石岡壩現階段河床穩定方案之河道調整措施(2/3) ..... | 20 |
| 表 3-3 石岡壩現階段河床穩定方案之河道調整措施(3/3) ..... | 21 |
| 表 3-4 石岡壩現階段河床穩定方案之河岸保護措施 .....      | 22 |

## 圖目錄

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 圖 2-1 沖刷試驗水工模型試驗圖 .....              | 8  |
| 圖 3-1 集集攔河堰下游河段整體建議對策之平面規劃圖 .....    | 13 |
| 圖 3-2 仁義潭攔河堰下游河段斷面位置圖(1/2).....      | 15 |
| 圖 3-2 仁義潭攔河堰下游河段斷面位置圖(2/2).....      | 16 |
| 圖 3-3 石岡壩現階段河床穩定方案之河道調整措施工程位置圖 ..... | 23 |
| 圖 3-4 石岡壩現階段河床穩定方案之河岸保護措施工程位置圖(1/2)  | 24 |
| 圖 3-4 石岡壩現階段河床穩定方案之河岸保護措施工程位置圖(2/2)  | 25 |
| 圖 3-5 塊體抽離型沖刷示意圖 .....               | 27 |
| 圖 3-6 均勻下切型沖刷示意圖 .....               | 28 |
| 圖 3-7 槽溝下切型沖刷示意圖 .....               | 28 |
| 圖 3-8 依沖刷機制提出防治對策示意圖 .....           | 31 |
| 圖 3-9 以碟型環達到防沖刷目的示意圖 .....           | 32 |
| 圖 3-10 自填式護層防沖刷工法示意圖 .....           | 33 |
| 圖 3-11 部分灌漿拋石護層施作方式.....             | 34 |
| 圖 3-12 前樁防沖刷工法示意圖 .....              | 35 |





## 摘要

台灣山高水急的地形及水文特性等先天條件，加上近年氣候變遷，極端氣候出現機率大增，造成河床變化劇烈、跨河構造物破壞等問題日漸嚴重。而沖刷現象在攔河堰下游段尤為明顯，往往導致固床工等相關結構物失敗。

本次研習主要目的在於德國在沖刷行為及其防治對策等相關研究成果，主要參訪對象有漢諾威萊布尼茲大學(Leibniz University Hannover)的 Franzius 水利與海岸工程研究所及海岸研究中心(Forschungszentrum Küste，簡稱 FZK)、羅斯托克大學(University of Rostock)的環境工程研究所海岸工程組及達姆斯達特工業大學(Technical University Darmstadt)的水利及水資源管理所等。

本報告同時整理集集攔河堰、仁義潭攔河堰及石岡壩等國內攔河堰下游的沖刷案例，發現台灣河川坡降大、地質破碎、岩盤年代輕且強度低，加上近年極端水文事件機率增加等因素，導致軟岩河床的沖刷問題成為台灣的特有現象，國內河床沖刷的演化過程也較國外河川快速。

在沖刷課題上，一般包含整個河段的一般沖刷及特殊位置的局部沖刷。德國的主要研究重心多是放在局部沖刷部分，未見有針對攔河堰下游河段的整體沖刷防治有較具體的研究或對策。但德國基於對局部沖刷機制的探討與研究，提出許多可能的防治構想，雖然大部分仍在發展中，但對於攔河堰下游河床的沖刷防治研究，還是相當具參考價值。

**關鍵字：**沖刷、攔河堰、橋墩、德國



# 第壹章 緒論

## 一、計畫緣起

攔河堰在河床中可說是扮演一個控制點的角色，一方面易造成上游泥砂淤積，另一方面構造物下游側均有局部淘沖的情形。為改善下游的沖刷情形，設有護坦、副壩或堆置鼎塊等保護工，但常常也只是把問題延伸至下游。

若保護工不夠堅固，終將因向源沖刷影響攔河堰的穩定與安全。但若保護工過於剛性，固然可以保護主結構物，但長久下來即導致下游河段變成「峽谷型」河川，而下游河道的持續下刷，也將進一步影響下游跨河構造物的安全。

台灣破碎的地質條件，加上近年氣候變遷，造成極端氣候出現機率大增，影響所及，河床變化劇烈、跨河構造物破壞事件頻傳，河床沖刷及其防治對策研究成了一個重要的課題。

本次赴德研習「攔河堰下游河床沖刷及其防治對策研究」案，係參加 100 年度經濟部台德技術合作訓練計畫，奉經濟部國際合作處 100 年 3 月 17 日經國處字第 10003080500 號函同意辦理，研習期間自中華民國 100 年 5 月 14 日至 5 月 28 日，共計 15 天。

## 二、計畫目的

本次研習的主要目的是針對德國在河床防沖刷領域，包括沖刷機制研究、相關水工模型試驗、防沖刷策略等各研究範疇進行研習，俾作為日後水利相關規劃及應用之參考。

### 三、研習行程

| 訓練進修日期及時間<br>(Visiting Time) | 訓練進修地點<br>(Location)        | 實際訓練進修機構及訪談對象<br>(Institutions & Persons to be visited)   | 訓練進修目的及討論主題<br>(Topics for Discussion)  |
|------------------------------|-----------------------------|---|---|
| 5/14<br>2011                 | Taipei-Frankfurt<br>台北-法蘭克福 | 往程  |   |
| 5/15-5/17<br>2011            | Hannover<br>漢諾威             | <p>Franzius Institute of Hydraulic, Waterways and Coastal Engineering Leibniz University Hannover<br/>漢諾威大學 Franzius 水利與海岸工程研究所</p> <p>MSc Farhad Nazarpour<br/>PhD Candidate<br/>Leibniz Universität Hannover<br/>Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen<br/>Nienburger Straße 4<br/>D-30167 Hannover<br/>Tel: +49 (0)511.762-2371<br/>Fax: +49 (0)511.762-4002<br/>E-Mail:<br/><a href="mailto:nazarpour@fi.uni-hannover.de">nazarpour@fi.uni-hannover.de</a></p> | <p>1. Visit Franzius Institute of Hydraulic, Waterways and Coastal Engineering Leibniz University Hannover<br/>漢諾威大學水利與海洋工程研究所及相關機構參訪</p> <p>2. Inspect and learn from the laboratory facilities<br/>水工試驗室研習與觀摩</p> <p>3. Discuss and learn about the prevention measures of the river bed, flood management, etc.<br/>研習河床保護工程、防洪管理等相關課題</p> |
| 5/18-5/21<br>2011            | Rostock<br>羅斯托克             | <p>Coastal Engineering Group, Institute of Environmental Engineering, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock<br/>德國羅斯托克大學環境工程所海岸工程組</p>  | <p>1. Visit Institute of Environmental Engineering, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock<br/>羅斯托克大學環境工程系所及相關機構參訪</p> <p>2. Inspect and discuss about the protection measures of the bank<br/>護岸保護相關工程參觀及討論</p> <p>3. Discuss the urban and rural flood in lower terrains near the coastal line</p>       |

|                   |  |  |   |
|-------------------|--|--|---|
|                   |  | <p>Dipl.-Ing. Joerg Radomski<br/>         Universitaet Rostock<br/>         Institut fuer<br/>         Umweltingenieurwesen<br/>         Arbeitsgruppe<br/>         Kuestenwasserbau<br/>         Justus-von-Liebig-Weg 6, LAG<br/>         II<br/>         18059 Rostock<br/>         Tel: +49 (0)381-498 3684<br/>         Fax: +49 (0)381-498 3682<br/>         E-Mail:<br/> <a href="mailto:Joerg.Radomski@uni-rostock.de">Joerg.Radomski@uni-rostock.de</a></p> | 沿海低窪地區洪水問題研討  |
| 5/22<br>2011      | Rostock-<br>Darmstadt<br>羅斯托克-<br>達姆斯達 | 搭乘火車由 Rostock 至 Darmstadt，車程約 7~8 個小時  |   |
| 5/23-26<br>2011   | Darmstadt<br>達姆斯達特                     | <p>Institute of Hydraulic<br/>         Engineering and Water<br/>         Resources Management,<br/>         Technical University Darmstadt<br/>         達姆斯達特工業大學水利及<br/>         水資源管理系所<br/>         Dr. Reda Diab<br/>         Rundeturmstr. 1<br/>         64283 Darmstadt<br/>         Tel: +49 6151 16-2549<br/>         E-Mail:<br/> <a href="mailto:rr-diab@wb.tu-darmstadt.de">rr-diab@wb.tu-darmstadt.de</a></p>  | <p>1. Visit Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management, Technical University Darmstadt<br/>         達姆斯達特工業大學水利及水資源管理系所及相關機構參訪<br/>         2. Study and discuss about scouring affect of the downstream bed of a weir and prevention strategy<br/>         攔河堰下游河床沖刷機制及保護策略研討</p> |
| 5/27-5/28<br>2011 | Frankfurt-<br>Taipei<br>法蘭克福-<br>台北    | 返程   |   |

## 第貳章 研習過程概述

德意志聯邦共和國，簡稱德國，位於歐洲中部，由 16 個邦組成，面積 357,000 平方公里，人口約 8,200 萬人，是世界第 5 大經濟體，在科學技術等許多領域處於世界領先地位，是世界一流的強國。

本次研習的主要地點依序為德國中部的漢諾威(Hannover)、位於法蘭克福南邊約 30 公里的達姆斯達特(Darmstadt)及德國北部的羅斯托克(Rostock)等地。茲就研習過程，分述如後：

### 一、漢諾威萊布尼茲大學

研習的第一站來到位於北德平原與中德山地相交處，以辦理博覽會聞名全世界的大城—漢諾威(Hannover)，研習地點主要為漢諾威萊布尼茲大學的 Franzius 水利與海岸工程研究所，和海岸研究中心(Forschungszentrum Küste，簡稱 FZK)。

漢諾威萊布尼茲大學，即漢諾威大學，創立於 1831 年，2006 年為紀念偉大的數學家及哲學家萊布尼茲(Leibniz)，特地改名為漢諾威萊布尼茲大學。內設的學院及研究機構涵蓋自然科學、工程、人文與社會科學、法律及經濟等各領域，可說是全方位的學府，目前學生約 21,000 人。

海岸研究中心(FZK)，主要源自漢諾威萊布尼茲大學及 Braunschweig 科技大學兩校在海岸及水利工程等相關領域，長達 25 年的長期合作關係，後來於 1996 年一起成立海岸研究中心(FZK)，該中心之實驗室極具規模。

本站主要研習行程為：

(一)參觀研究所的 Schneiderberg 實驗室及 3D wave basin 實驗室

Franzius 研究所的實驗室頗具規模且研究領域相當廣泛，經由



Nazarpour 博士生及 Spinnreker 先生的協助及介紹，分別參觀了位於該研究所旁的 Schneiderberg 實驗室及位在 Marinewerder 地區的 3D wave basin 實驗室。

## (二) 相關研究交流與討論

除了參觀實驗室等硬體設備外，亦與該研究所工作同仁及研究生進行雙邊的交流。德方簡報的主題有：「水利構造物防沖刷工法研究」及「利用 PIV 系統進行規則波下圓柱體下游渦流的觀測與研究」。本人則是以「台灣的水文環境」及「排水規劃」等兩個主題進行簡報，與會者對台灣的水文環境深感興趣並多有討論。

## (三) 海岸研究中心(FZK)參訪

由 Schimmels 博士及 Schmidtke 研究員介紹 FZK 及研究重心，並參觀目前世界上最大的試驗水槽(330 公尺×5 公尺×7 公尺)。該中心目前與沖刷相關的試驗主要著重在設置於沿岸的單一基礎(例如風力發電的基礎)的沖刷機制及保護工研究。

## 二、羅斯托克大學

研習的第二站來到德國北方，為德國波羅的海三大港城之一的羅斯托克(Rostock)，參訪對象為羅斯托克大學的環境工程研究所海岸工程組。羅斯托克大學的歷史可追溯至 1419 年，是間歷史相當悠久的大學，現有 9 個學院、50 個專業單位，職員約 2,200 人，學生約 15,000 人。本站主要研習行程為：

### (一)實驗室設備參觀及研究交流與討論

由 Rodomski 先生帶領並介紹該校實驗室相關設備，並在負責人 Peter Froehle 博士的主持下，由各計畫主辦人逐項說明目前研究概況及成果。該校環境工程研究所海岸工程組的主要研究方向多著重在港灣工程、海岸防護、海象資料觀測等，這主要與羅斯托克的地理位置有關。

### (二)瓦爾諾河出口低窪地區考察

瓦爾諾河 (Warnow) 流經羅斯托克市區後，在瓦爾諾明德 (Warnemünde) 匯入波羅的海，整體地勢相對較低，近年雖無較大的災害發生，但一直是德方持續關心，且設有長期氣象觀測站的地區。

### (三)Koserow 沿岸防護工程參觀

Koserow(位於羅斯托克西邊約 150 公里處)有一處相當成功的海岸治理工程，本區所有的防護工程皆使用自然材料，例如：木樁、石頭等。此係為維護海岸生態與環境，規定區域的海岸防護工程禁用人造材料。區域內的步道邊可見說明牌，展示整治前面臨的侵蝕問題、採用策略及防治成果等，不但寓教於樂，也有成效宣導的效果。

### 三、達姆斯達特工業大學

研習第三站來到位於法蘭克福南方約 30 公里，有「科技城」之稱的小鎮—達姆斯達特(Darmstadt)，而促使達姆斯達特成為科技城的重要角色正是達姆斯達特工業大學(Technical University Darmstadt)。達姆斯達特工業大學創立於 1877 年，現有 13 個學院，學生超過 30,000 人。此站的參訪對象為該大學的水利及水資源管理所，主要行程為：

#### (一)實驗室設備參觀

由 Diab 博士協助參觀該校實驗室各項設備，並逐項說明相關的研究及探討主題，其中包括他的主要研究—橋墩沖刷試驗模型。該試驗主要是探討沖刷孔的變化情形，橋墩模型是以透明材質製成，內設雷射測距儀(laser distance sensor, LDS)，以精準量測沖刷孔隨時間的變化狀況，如圖 2-1 所示。

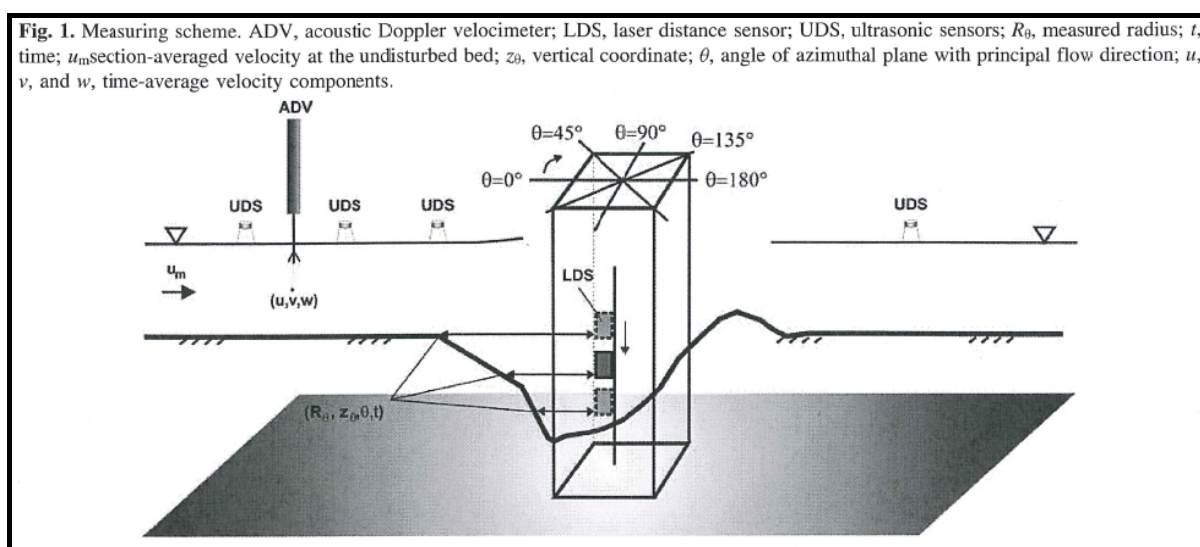


圖 2-1 沖刷試驗水工模型試驗圖

#### (二)沖刷相關研究討論與交流

在沖刷議題上，除了參觀實驗室相關試驗模型外，更與 Diab 博士對相關的研究及試驗成果進行較深入的討論。Diab 博士主要是針對橋墩周邊的沖刷行為及變化進行多面向的試驗及研究，並試著找出

其行為準則，探討因子包括：沖刷時間、橋墩形狀、水流角度及沖刷孔不同方向的差異等，但因最新的研究成果尚未發表，故婉拒了讓我將詳細資料帶回的請求。



## 第參章 研習心得

### 一、台灣地區攔河堰下游的沖刷問題

近年極端水文事件頻仍加上台灣地區地質破碎，攔河堰下游的沖刷問題日趨嚴重，而且也逐漸受到相關單位重視。國內對此議題有不少相關研究，其中又以針對集集攔河堰、仁義潭攔河堰及石岡壩等各案的探討較完整，茲整理相關研究成果如下：

#### (一)濁水溪集集攔河堰

集集攔河堰位於濁水溪中游林尾隘口，於民國 91 年蓄水運轉以來，年可掌控二十億立方公尺以上之可靠水源，配合營運管理系統及水資源調配機制，以滿足農業、工業及民生用水需求，為濁水溪水資源統籌調配之總樞紐。

攔河堰的設置對下游沉積物之供需平衡產生明顯影響，每年枯水期河川流量甚小，豐水期則洪水挾帶大量泥砂，造成堰區在洪水過後嚴重淤積，因此須藉由洪水期間進行水力排砂作業。在歷經幾場颱風暴雨後，河道產生變遷及河道中之沉積物運移發生質與量的改變，增加了水流的不穩定性及河床演變的不確定性。

因此位於攔河堰下游側由富洲堤防段起，迄至社寮堤防段之間，長達 4 公里之濁水溪主河道河床，原為數公尺~十餘公尺厚之卵礫石層所覆蓋之護甲層，目前已消失殆盡，造成主河道河床之泥、頁岩與砂岩互層嚴重裸露。

又集集攔河堰所在河段之地質條件較脆弱，下游河段在卵礫石護甲層遭沖刷流失後，岩床多為泥、頁岩與砂岩互層之岩盤，由於泥、頁岩不耐沖刷，且遇水回脹、崩解而遭沖蝕的特性，且長期風化的岩層本身具有明顯的破裂弱面(如褶皺斷層、節理裂縫或層理裂縫等)，加上水流的推動下，推移質與岩層相互撞擊與磨蝕(此情形尤在高速

水流的撞擊磨損最為嚴重)，易形成蝕溝或發展成峽谷地形。

近年已於攔河堰下游觀察到嚴重的軟岩沖刷及溯源侵蝕現象，位於其間的堤岸基腳或堰壩設施之基礎，則因水流的下切、展寬沖蝕與向源侵蝕等作用，造成部分堤防段遭受嚴重沖刷災害(包括富州堤防段、社寮堤防段、水底寮堤防與濁水堤防段、下溪墘堤防與九塊厝堤防段等)，及峽谷狀的下切地形。

本署第四河川局(2006)曾針對富州堤防~水底寮堤防段之河防安全提出整體建議對策，如圖 3-1 所示，圖中各建議事項之短程及中、長期規劃如表 3-1 所列。又本所(2007-2009)與美國國家計算水科學及工程中心(NCCHE)合作計畫中，曾以集集攔河堰上下游局部沖淤做為研究案例，並針對第四河川局(2008)擬訂之多組改善方案，藉由完成檢定驗證之 CCHE2D 模式進行各方案模擬，雖部分方案短期可減緩富洲堤防段之深槽沖刷問題，但就現階段基本資料與模擬結果而言，尚無法提出長期河道穩定之具體改善方案。

**表 3-1 整體整策之短程及中、長期規劃表**

| 建議對策位置點 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 短程      |   |   |   |   |   |   | V |   |   | V |
| 中、長期    | V | V | V | V | V | V |   | V | V |   |





## (2)八掌溪仁義潭攔河堰

仁義潭攔河堰位於八掌溪上游嘉義縣台 3 線吳鳳橋下游處，主要功能為取八掌溪溪水，經過 1.5 公里的水道導入仁義潭水庫。仁義潭水庫透過與蘭潭水庫的串聯運用，可供應大嘉義地區的公共給水及工業用水。

河道兩岸之地層最上層為台地堆積礫石層，其下以泥質砂岩及粉砂岩之沉積岩層所組成，岩性因其所含之粗細砂粒及泥質等成份比例不同，而分為砂岩及泥岩等。裸露岩盤以泥岩為主，地質年代輕，強度低，有遇水回脹、崩解等特性。當護甲層流失，岩層出露後，因膠結性不佳易受雨水沖刷，且泥岩中含大量之鹼性鹽分，使一般植物生長不易，造成邊坡易崩解而破壞。

自民國 76 年啟用迄今，攔河堰下游沖刷現象嚴重，高程差最大已達 30 餘公尺。其中又以民國 85 年賀伯颱風肆虐後最為嚴重，仁義潭攔河堰至道將圳攔河堰間河段，深槽遭刷 5~10 公尺，位於斷面 95 及 97 兩座固床工及心上橋被沖失，附近金蘭堤防及金蘭護岸被沖毀，仁義潭攔河堰靜水池受損，堰上下游河床高程差達 25 公尺，宛如瀑布。

本所(2006)曾綜合資料蒐集分析、現場調查、河性分析、數模分析及前期研究方案檢討等，將計畫河道(如圖 3-2)分為三個河段研擬治理策略及水源替代方案，各河段之現況問題、治理目標及治理策略詳如表 3-2。其中以於攔河堰下游增設消能設施與既有固床工改善列為第一優先辦理，增設 1、2 號固床工則列為第二優先辦理。

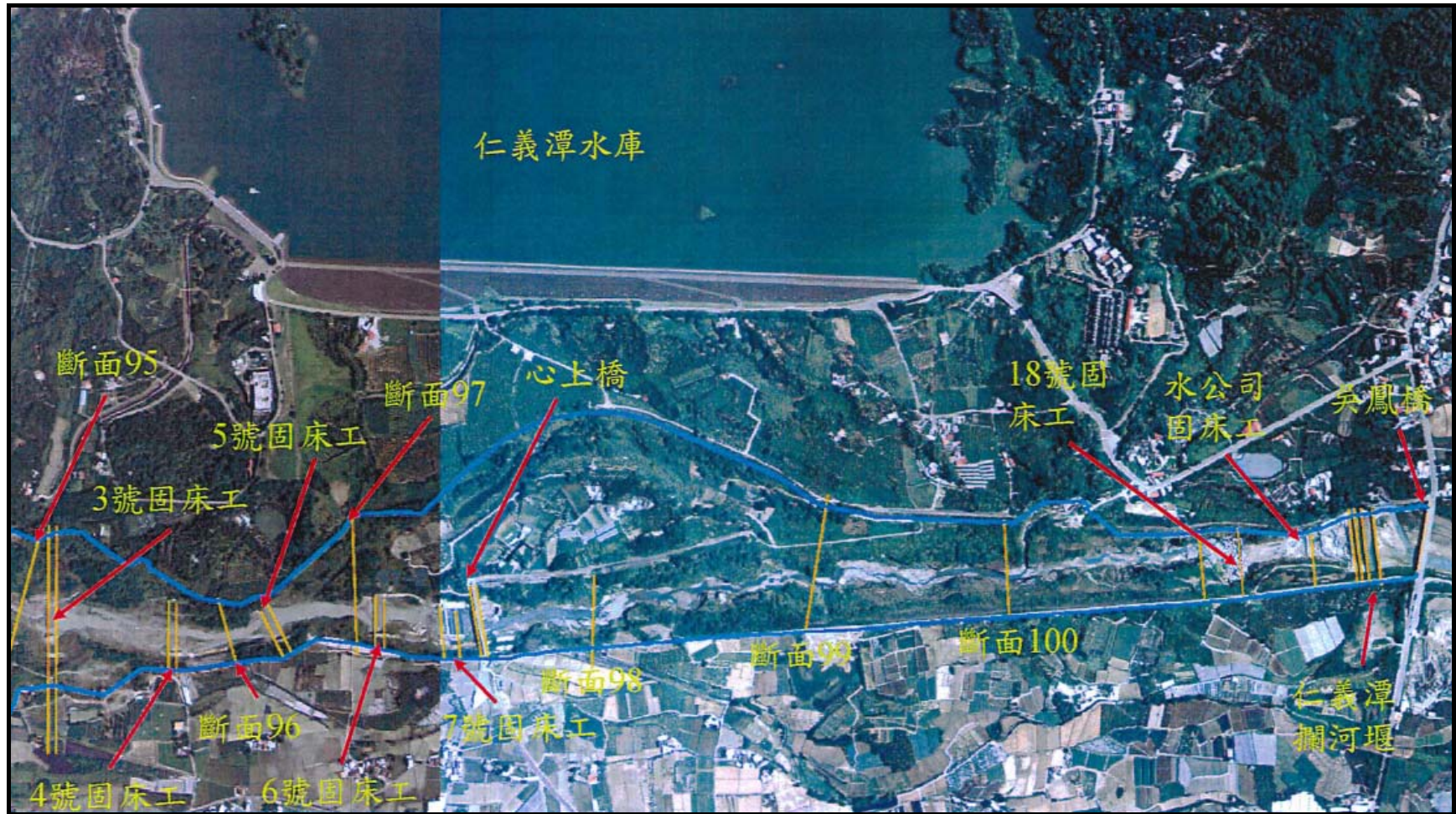


圖 3-2 仁義潭攔河堰下游河段斷面位置圖(1/2)

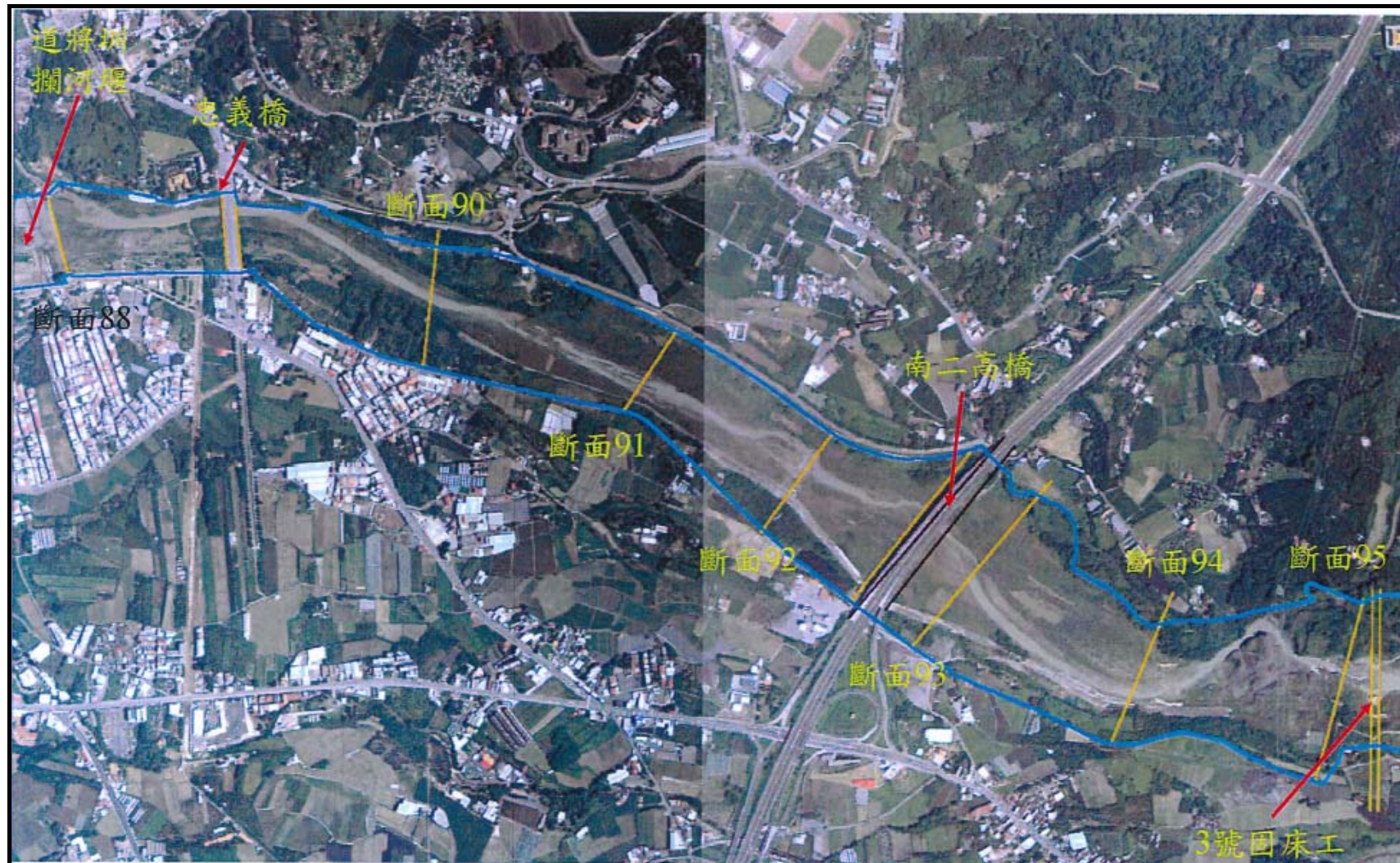


圖 3-2 仁義潭攔河堰下游河段断面位置圖(2/2)

表 3-2 仁義潭攔河堰計畫河段治理策略表

| 河段      | 仁義潭攔河堰至第 18 號固床工  | 第 18 號固床工至心上橋  | 心上橋至道將圳攔河堰                                       | 水源替代方案   |
|---------|---|--|--|--|
| 現況問題    | 攔河堰靜水池尾檻至第 18 號固床工落差達 20m，尾水高度不足，並缺乏完善之消能設施，每年洪汛時期造成大小程度不一之災害，致水公司屢次辦理災修工程，惟成效不彰，難以有效根本解決消能問題 | 本河段坡度陡、深槽狹窄，面臨持續沖刷之問題，最大之影響為第 18 號固床工安全性，一旦該固床工沖毀，則將造成水公司固床工及仁義潭攔河堰安全。其次，深槽持續沖刷亦將導致河岸邊坡穩定問題，河川周遭地下水水位恐有下降之虞  | 既有固床工下游發發現局部沖刷現象，致固床工上下游落差增大，而第三號固床工下游河道沖刷亦相當明顯  | 攔河堰靜水池尾檻至第 18 號固床工落差達 20m，未來下游如持續沖刷，將危及攔河堰安全，進而影響取水穩定，有另覓其他水源之必要 |
| 治理目標    | 維持攔河堰取水功能，免除營運管理之困擾   | 1. 穩定河道<br>2. 維持第 18 號固床工功能  | 1. 維持既有固床工功能，保護心上橋及上游河道穩定<br>2. 防止第 3 號固床工下游河道沖刷 | 仁義潭攔河堰備用水源   |
| 治理方案及理念 | 仁義潭攔河堰下游增設消能設施，降低單寬流量、消除水流能量  | 1. 仁義潭攔河堰上游分流(降低單寬流量)<br>2. 北河道分流(降低單寬流量)<br>3. 增設消能工五座(調整坡降)<br>4. 深槽拓寬(80m)及增設消能工五座(降低單寬流量及調整坡降)<br>5. 零方案 | 1. 第 3 至 7 號固床工增設消能池(消能)<br>2. 增設 1、2 號固床工(調整坡降) | 1. 利用既有觸口攔河堰改建<br>2. 鄰近水源引水                                      |

### (3)大甲溪石岡壩

石岡壩為大甲溪最下游堰壩，完工於民國 66 年，為大甲溪流域下游水資源運用樞紐，主要功能在於調節大甲溪流域尖峰發電尾水及河川水資源。自完工後便供應大台中地區與彰化縣部份地區之公共給水、工業用水、農業灌溉用水與台中港船舶用水，與台灣中部地區之經濟發展有著密不可分之關係。

近年石岡壩下游至中山高大甲溪橋之間河段河床呈現持續刷深，尤其石岡壩於 921 地震時地層抬升，使水流勢能增加，沖刷能量加大。民國 94~97 年間，新、舊山線鐵路間(斷面 31-1)平均沖刷深達 6 公尺，埤豐橋上游(斷面 35-1)平均下刷達 7 公尺。民國 97~99 年間，后豐橋下游(斷面 28)沖刷深約 3 公尺，新山線鐵路下游(斷面 30)刷深約 3.3 公尺，舊山線鐵路下游(斷面 32)則達 4.5 公尺。橋梁因沖刷恐將危及安全，且取水構造物也因河床高程變動而需不斷改變取水位置。

本所(2011)對石岡壩下游河段河床穩定方案辦理相關研究，針對沖刷河段，擬定之治理原則為：以優先穩定長期性一般沖刷情況為主，輔以各項防制局部沖刷對策。對於一般沖刷河段，因其原因包括砂源遭攔阻、地盤抬升增加水流能量及岩盤出露段之坡降調整等，建議以採補充砂源、建置消能及固床設施等治理對策。對於局部沖刷河段，因其原因包含跨河建造物局部沖刷、流路自然擺盪等，建議採用橋梁基礎保護工、河道整理營造護堤灘地等治理對策。

據此，提出之現階段河床穩定方案，共有 18 項工程措施，包含：9 項河道調整措施及 9 項河岸保護措施，內容如表 3-3 及表 3-4 所示，工程位置如圖 3-3 及圖 3-4 所示。

表 3-3 石岡壩現階段河床穩定方案之河道調整措施(1/3)

| 編號 | 工程項目                            | 數量                        | 功能  | 保護目標                                       | 權責機關            | 優先順序  | 備註  |
|----|---------------------------------|---------------------------|---|--|-----------------|-------|---|
| 1a | 中山高大甲溪橋潛堰固床工右岸加高工程              | 長 63m/<br>寬 120m/<br>高 2m | 營造居中流路  | (1)中山高潛堰固床工<br>(2)上下游兩岸灘地                  | 高公局             | 1     |   |
| 1b | 中山高大甲溪橋潛堰固床工左岸灘地加固工程            | 100 m                     | 避免水流沖刷固床工與灘地交界之弱面而造成固床工毀損                       | 中山高潛堰固床工                                   | 高公局             | 1     | 左岸加固工作主要為加強固床工及左岸灘地間連接處之穩定性   |
| 2  | 斷面 27 至斷面 28 左岸豐洲堤防低水護岸挑流丁壩設置   | 500 公尺                    | (1)營造居中流路<br>(2)減少彎岸沖刷                          | (1)斷面 27 至斷面 28 之豐洲堤防低水護岸<br>(2)舊社堤防       | 水利署第三河川局        | 1     | 可視河岸回淤情況進行灘地營造  |
| 3  | 正隆護岸挑流丁壩設置                      | 500 公尺                    | (1)營造居中流路<br>(2)減少彎岸沖刷                          | 正隆護岸                                       | 水利署第三河川局        | 2     | 可視河岸回淤情況進行灘地營造  |
| 4  | 后豐橋至新山線鐵路橋間護甲層料源補充(配合石岡壩疏浚泥砂轉運) | 31 萬立方公尺/<br>年            | (1)補充下游卵礫石沖積河川段河床質砂源<br>(2)營造河床縱坡穩定<br>(3)營造護甲層 | (1)后豐橋至新山線鐵路橋河段之防洪、跨河構造物<br>(2)下游卵礫石沖積河段河床 | 水利署第三河川局、中區水資源局 | 1 & 2 | (1)護甲層料源補充目的，為補充海線鐵路橋至新山線鐵路橋間卵礫石沖積河川段護甲層粒料，逐漸營造此河段縱坡坡度至縱斷參考高程<br>(2)護甲層粒料建議為 D85=236mm 以上泥砂<br>(3)建議以 1/100 坡度平鋪方式，常時堆放於低水河槽之水體兩岸為主、堆放於高灘地為輔<br>(4)配合每年河床變遷測量 |

表 3-3 石岡壩現階段河床穩定方案之河道調整措施(2/3)

| 編號 | 工程項目                                     | 數量        | 功能  | 保護目標                  | 權責機關             | 優先順序  | 備註  |
|----|--|-----------|---|-----------------------|------------------|-------|---|
|    |  |           |   |                       |                  |       | 資料(石岡壩下游卵礫石沖積河川段)評估成效，作為每年辦理護甲層料源補充之工程計畫擬定參考  |
| 5a | 斷面 28 至斷面 31-1 間左岸灘地開挖                   | 262 萬立方公尺 | 減少單寬流量，降低流速                               | 后豐橋至新山線鐵路橋河段之防洪、跨河構造物 | 水利署第三河川局         | 1 & 2 | (1)各斷面開挖寬度參表 6-3<br>(2)參表 6-2 縱斷參考高程開挖<br>(3)該河段灘地開挖辦理前，需先請上游新山線鐵路橋及下游后豐水管橋、后豐大橋之權管單位辦理完成橋梁灘地段之橋基深度改善措施 |
| 5b | 斷面 28 至斷面 31-1 間左岸灘地開挖後河岸之護岸新建工程         | 2,000 公尺  | 保護開挖後之河岸                                  | 后豐橋至新山線鐵路橋河段之左岸邊坡     | 水利署第三河川局         | 3     |   |
| 6  | 新山線鐵路橋固床工修復                              | 1 座       | 穩定上游段河床                                   | 新山線鐵路橋                | 鐵路局              | 2     | (1)可採分階段辦理<br>(2)可參表 6-2 縱斷參考高程設計固床工高程  |
| 7  | 新山線鐵路橋上游至斷面 31-1 右岸挑流丁壩設置並與內埔圳取水口導水路共構工程 | 500 公尺    | (1)營造居中流路<br>(2)減少頭崙山層邊坡腳沖刷<br>(3)協助內埔圳取水 | 頭崙山層邊坡                | 水利署第三河川局、台中農田水利會 | 1     | (1)可視河岸回淤情況進行灘地營造<br>(2)建議與台中農田水利會一同協商，使挑流丁壩亦可達到取水工之攔水堰效果   |
| 8  | 埤豐橋下游固床                                  | 1 座       | 營造埤豐橋至石                                   | (1)石岡壩                | 水利署第             | 1     | (1)固床工其施作由三河  |

表 3-3 石岡壩現階段河床穩定方案之河道調整措施(3/3)

| 編號 | 工程項目             | 數量  | 功能              | 保護目標                             | 權責機關                     | 優先順序 | 備註  |
|----|------------------|-----|-----------------|----------------------------------|--------------------------|------|---|
|    | 工新建工程            |     | 岡壩間岩盤沖刷基準面      | (2)埤豐橋                           | 三河川局、台中市政府               |      | 局、台中市政府分工辦理，執行方式透過研商決定<br>(2)建議設置固床工時需配合地質改良加固工程  |
| 9a | 埤豐橋至石岡壩跌水消能工新建工程 | 2 座 | 消減由石岡壩出流水流能量    | (1)石岡壩<br>(2)石岡壩下游左岸邊坡<br>(3)埤豐橋 | 水利署第三河川局、水利署中區水資源局、台中市政府 | 3    | (1)需配合右岸灘地開挖<br>(2)建議設置消能工時需配合地質改良加固工程<br>(3)相關單位分工建議：石岡壩副壩下游第 1 座跌水消能工及配合右岸灘地開挖，由中水局辦理；食水崙溪匯流口下游之跌水消能工、埤豐橋上游之固床工及配合右岸灘地開挖，由三河局辦理；污水處理廠邊坡保護及埤豐橋改建工程，由台中市政府辦理<br>(4)消能工興建時，亦需考量生態問題，進行其設計。 |
| 9b | 埤豐橋至石岡壩固床工新建工程   | 1 座 | 固定埤豐橋至石岡壩間之河床高程 | 埤豐橋至石岡壩間新建之跌水消能工                 | 水利署第三河川局                 | 3    | (1)需配合右岸灘地開挖<br>(2)建議設置消能工時需配合地質改良加固工程  |

註：

(1)河道調整措施編號 4 及 5a，因后豐橋至新山線鐵路橋間左岸灘地開挖分為第一及第二階段，第一階段開乾及右岸護甲層料源補充之優先順序為 1；第二階段開乾及右岸護甲層料源補充之優先順序則為 2。

(2)優先順序為 2 者，主要為可視河道變遷狀況，調整其辦理時程。

(3)優先順序為 3 者，則為可再研議辦理。



表 3-4 石岡壩現階段河床穩定方案之河岸保護措施

| 編號 | 工程項目                           | 數量       | 功能  | 保護目標                        | 權責機關     | 備註             |
|----|--------------------------------|----------|---|-----------------------------|----------|----------------|
| A  | 客庄堤防堤腳保護工                      | 900 公尺   | 加強堤腳抗沖刷能力                                     | 客庄堤防                        | 水利署第三河川局 | 可視河岸回淤情況進行灘地營造 |
| B  | 國道 4 號神岡高架橋橋堤外順堤               | 500 公尺   | 避免水流直接淘刷橋堤堤腳                                  | 國道 4 號神岡高架橋橋堤               | 高公局      | 可視河岸回淤情況進行灘地營造 |
| C  | 軟埤仔溪排水上游至高速鐵路橋挑流丁壩設置           | 600 公尺   | (1)加強堤腳抗沖刷能力<br>(2)改善水流沿左岸流動情況                | 豐洲堤防                        | 水利署第三河川局 | 可視河岸回淤情況進行灘地營造 |
| D  | 豐洲堤防堤腳保護工                      | 600 公尺   | 加強堤腳抗沖刷能力                                     | 豐洲堤防                        | 水利署第三河川局 | 可視河岸回淤情況進行灘地營造 |
| E  | 中山高大甲溪橋下游牛稠坑溪排水匯入口下游右岸灘地邊坡保護工程 | 500 公尺   | (1)加強邊坡抗沖刷能力<br>(2)避免右岸灘地持續淘刷後，上游水流反射沖擊左岸豐洲堤防 | (1)中山高大甲溪橋下游右岸灘地<br>(2)豐洲堤防 | 水利署第三河川局 |                |
| F  | 舊社堤防堤腳保護工                      | 1,000 公尺 | 加強堤腳抗沖刷能力                                     | 舊社堤防                        | 水利署第三河川局 | 可視河岸回淤情況進行灘地營造 |
| G  | 梅子護岸排樁基礎保護工程                   | 150 公尺   | 避免因水流淘刷邊坡基腳造成邊坡坍塌                             | 梅子護岸                        | 水利署第三河川局 |                |
| H  | 粵新堤防堤腳保護工                      | 700 公尺   | 加強堤腳抗沖刷能力                                     | 粵新堤防                        | 水利署第三河川局 |                |
| I  | 東勢河濱公園低水護岸堤腳保護工                | 1,000 公尺 | 加強堤腳抗沖刷能力                                     | 東勢河濱公園低水護岸                  | 水利署第三河川局 |                |

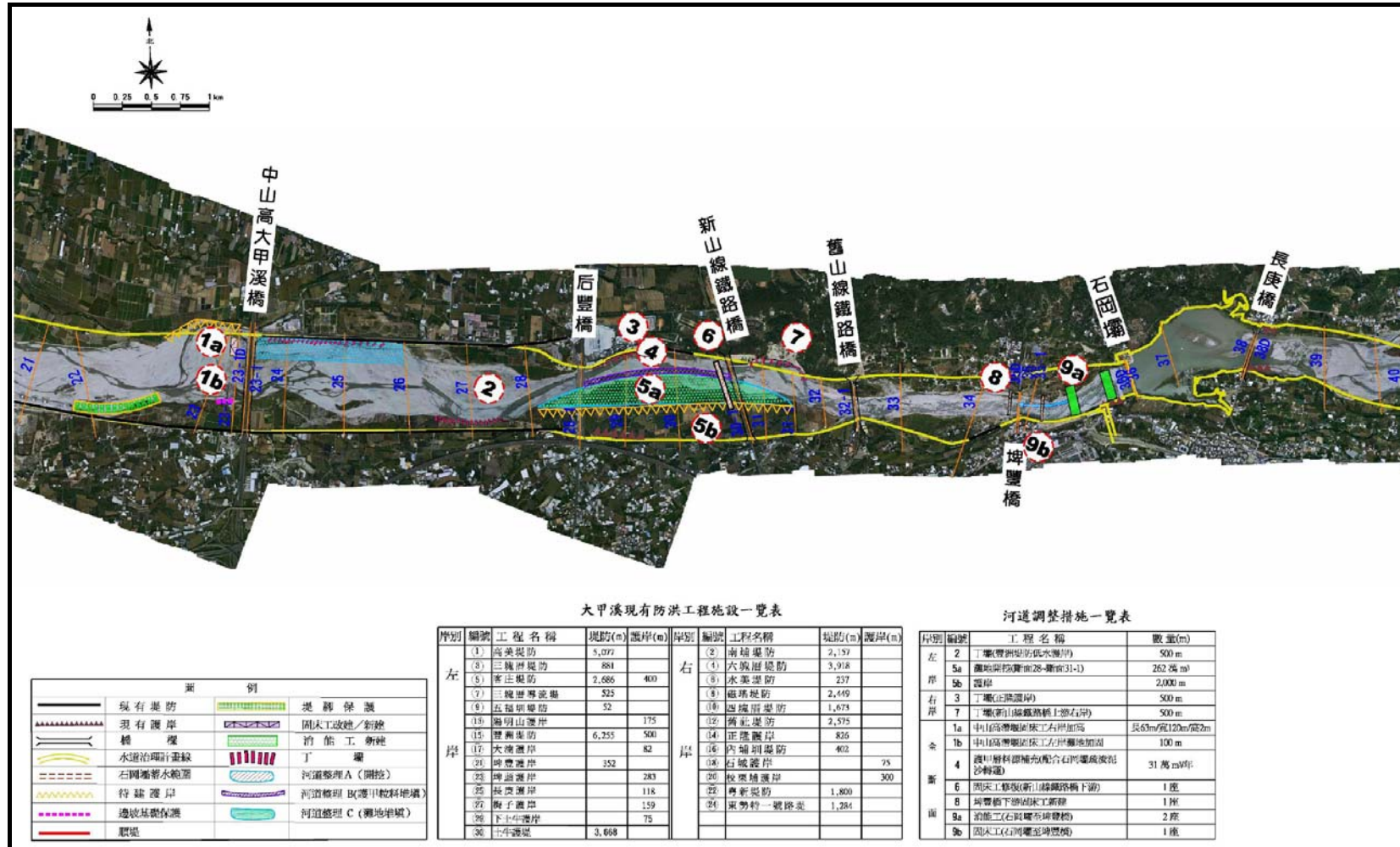
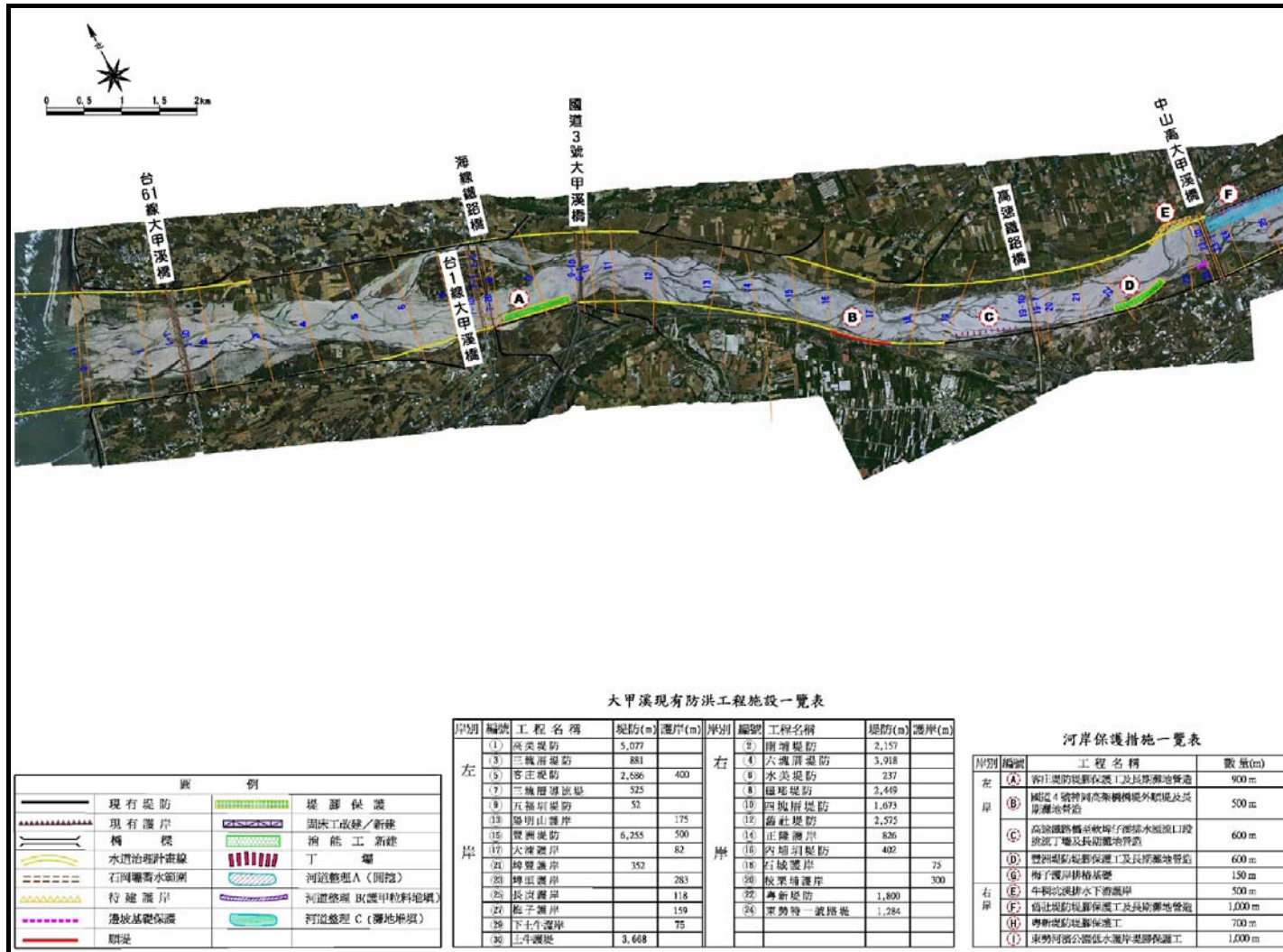


圖 3-3 石岡壩現階段河床穩定方案之河道調整措施工程位置圖



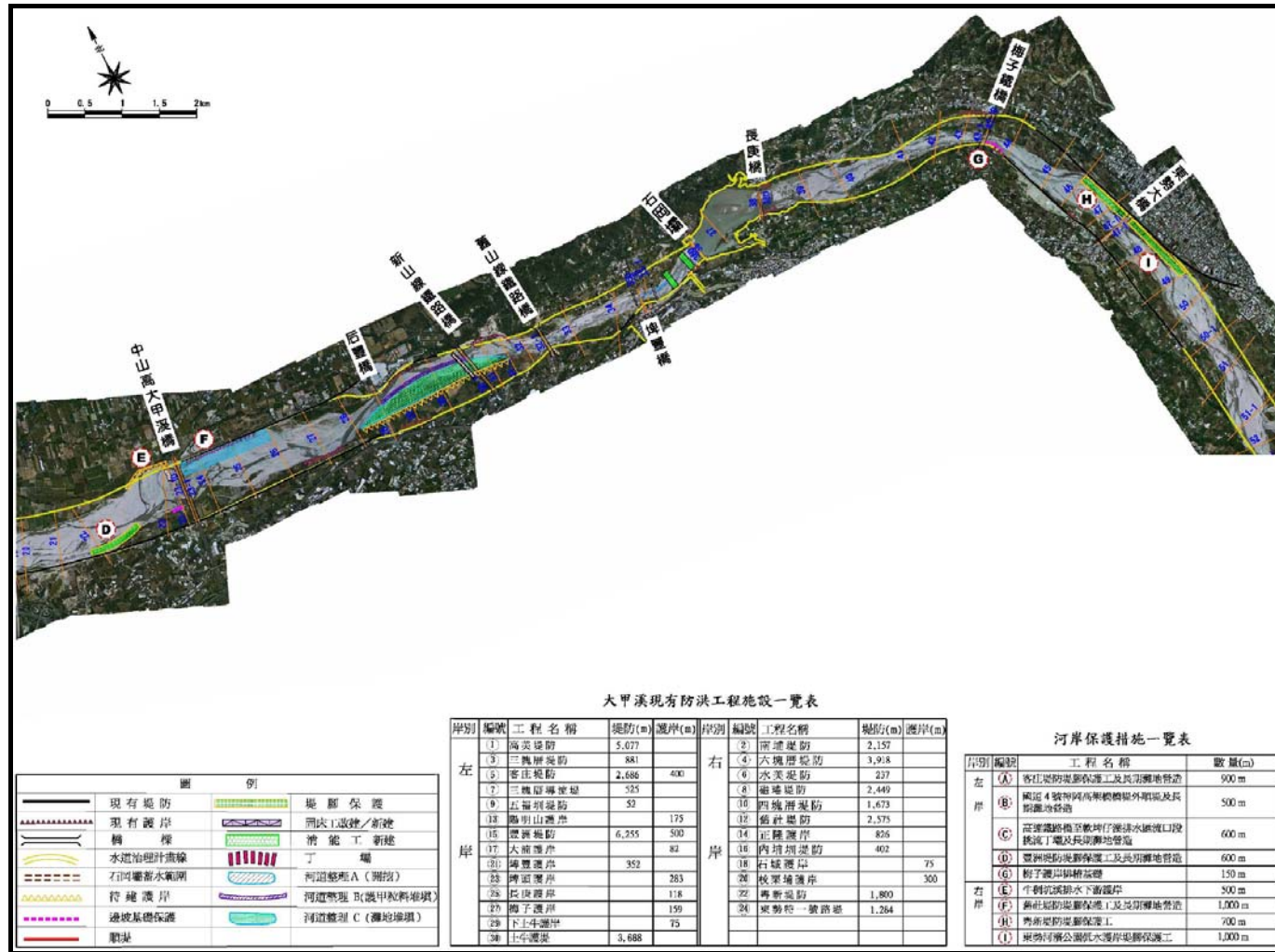


圖 3-4 石岡壩現階段河床穩定方案之河岸保護措施工程位置圖(2/2)

## 二、攔河堰下游岩盤沖刷機制探討

由以上案例整理可發現，攔河堰下游在護甲層流失導致岩盤裸露後，因台灣地質條件破碎、岩盤強度低，將致使岩床被快速向下切割形成峽谷狀之深槽流路，不但會影響下游跨河構造物安全，攔河堰本身、固床工及堤防等亦會因向源侵蝕、側向淘刷而受到影響。

本所(2010)曾對攔河堰下游岩盤局部沖刷及沖刷坑形成機制，及岩盤的抗沖蝕能力進行相關研究，藉由現場調查 8 個攔河堰下游岩盤的沖刷情形，並綜合地質、沖蝕特徵、資料蒐集比對及相關研究文獻等，探討攔河堰下游的沖刷模型。

研究發現當岩性均勻且節理不發達時，岩盤沖刷問題相對較為單純；若河床岩盤係兩種以上岩層交錯出現時(例如：砂頁岩互層)，則必須先釐清彼此間的互制行為，了解到底何種機制掌控了沖刷的速率，並找出主控沖刷之岩層與因素。研究調查發現沖刷機制可歸納與簡化為 3 類沖刷模型：

### (一)塊體抽離型

此類沖刷現象乃由塊體抽離主控的沖刷形式，其特色是岩石強度較強，遠大於節理面強度，且節理發達。岩石強度強，代表水流作用力對岩盤本身材料的磨蝕較少，且較不易因撞擊產生新裂隙。當岩石強度遠大於節理面強度，節理又發達，則節理將控制破壞型態。水流沖擊力、顆粒撞擊力、渦流及壓力波動皆會令既有節理延伸及連通；當節理連通造成塊體孤立後，經由水流拖曳力及裂縫間的水壓放大效應將塊體上舉脫離，其示意如圖 3-5。

### (二)均勻下切型

均勻逐層下切的沖刷模式主要出現在厚層頁岩、砂頁岩互層中的頁岩或是強度較弱的砂岩及粉砂岩等，其特色是岩石強度較弱，但節理不發達。岩石強度弱，代表水流造成之床面剪應力對岩盤表層磨蝕

的影響相對較大，節理不發達的岩體無特定之破壞面，水流沖擊力及顆粒撞擊力造成裂隙均勻產生，受到渦流及壓力波動之後岩盤表面產生岩石碎屑再被水流沖離，其示意如圖 3-6。

### (三)槽溝下切型

槽溝下切型主要出現在兩種以上岩層交錯出現的岩盤，通常為砂岩與頁岩交替出現的地層，岩層走向與河道平行或斜交。由於頁岩的沖蝕速率較快，當頁岩被侵蝕後，尚未侵蝕的砂岩孤立，失去了束制且凸顯範圍增加，放大了水流沖擊力、顆粒撞擊力、渦流及壓力波動對孤立砂岩的影響，造成撓曲斷裂，加速塊體脫離的潛能。意即槽溝下切型的沖刷速率與沖刷坑之發展，係由抗沖蝕能力較低的岩層主控，其示意如圖 3-7。

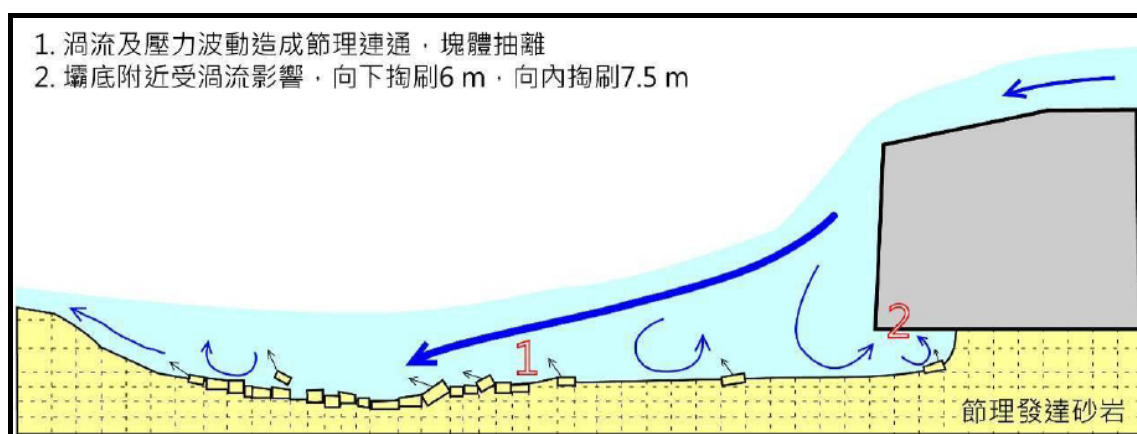


圖 3-5 塊體抽離型沖刷示意圖

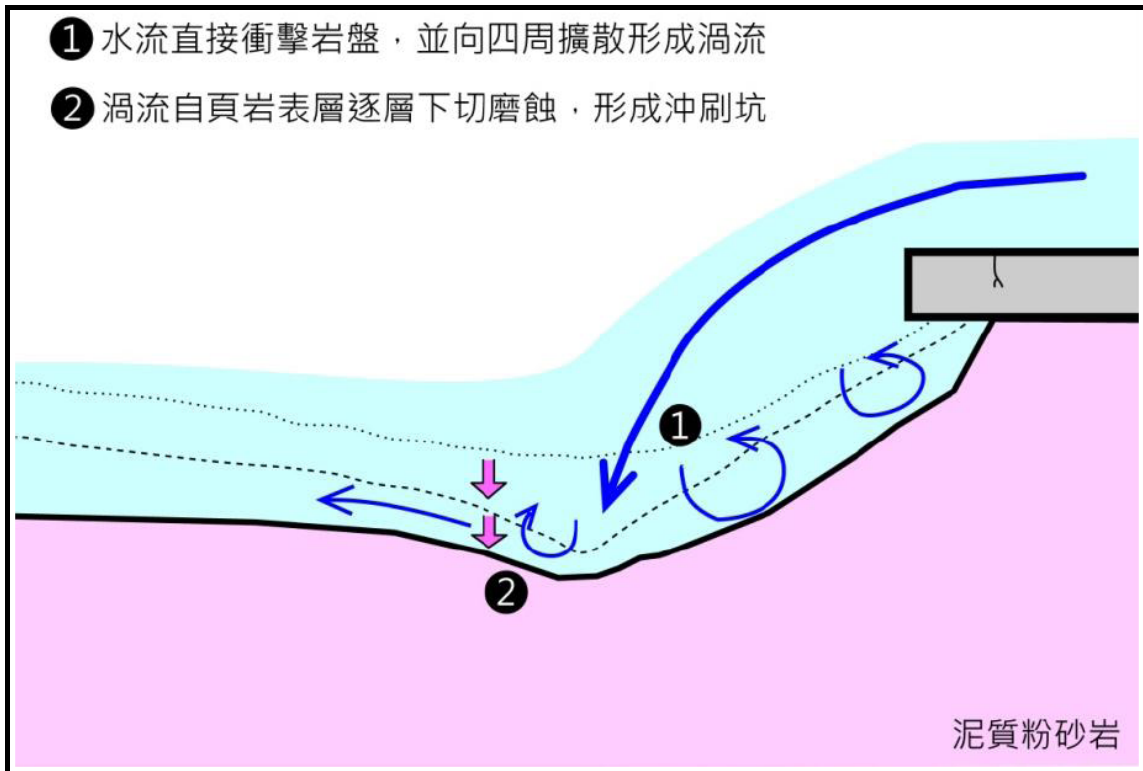


圖 3-6 均勻下切型沖刷示意圖

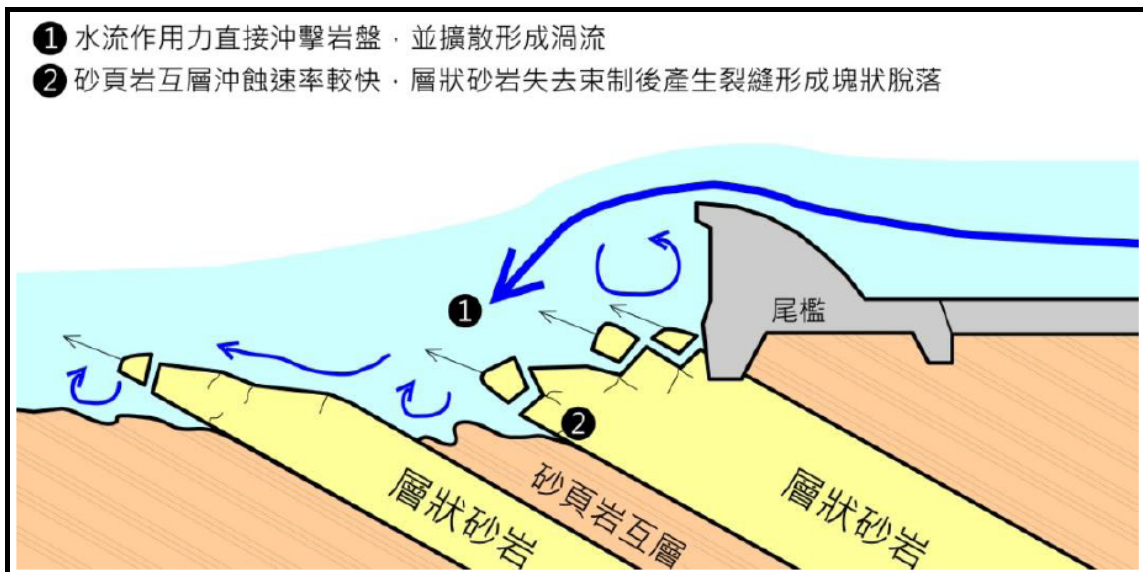


圖 3-7 槽溝下切型沖刷示意圖

### 三、攔河堰下游沖刷的原因

設置攔河堰的主要目的是為抬高水位而取水，但為什麼攔河堰設置後會容易造成下游側沖刷，由以上相關研究整理，其原因概略可分為三個面向，分述如下：

#### (一)水位抬升增加水流能量

攔河堰建造後，上游側會因蓄水而有水流流速變緩、河床淤積等情形，但下游側則會因為攔河堰抬升水位，產生額外的水頭差，造成水流勢能增加，下刷作用因此加強。

#### (二)下游土砂供應不足

在未建造攔河堰之前，河床質被水流帶到下流的同時，水流也會帶來上流的土砂補充。但設置攔河堰後則不然，攔河堰上游側因蓄水造成淤砂，導致下游側土砂供應不足，相較之下等於加速河床的沖刷速度。

#### (三)河床的抗沖蝕能力弱

下刷速度同時也受到河床抗沖蝕能力的影響，其抗沖蝕能力主要取決於河床質材料，例如顆粒大小、粒徑分佈等。一旦護甲層遭沖失後，台灣脆弱的地質條件，使得刷深趨勢持續，不易因河床岩盤裸露而趨緩。而岩盤則受到岩層強度、節理、風化程度等岩性控制，一般來說砂岩的抗沖蝕能力較頁岩或泥岩強。



## 四、沖刷防治的策略方向

透過攔河堰下游沖刷原因的探討，可釐清沖刷防治策略的可能方向，主要的防治策略可分為下列三個方向以達到沖刷防治的目的，示意如圖 3-8，概述如下：

### (一)降低或分散水流能量

水流的能量越高，流速越快，可能造成沖刷的能力也越強，若能降低水流能量，也就可以降低其沖刷能力，因此透過靜水池等減能設施、破壞流場、加大河寬以降低流速等方法，達到降低或分散水流能量的目的，可以是防沖刷策略的方向之一。

### (二)增加下游土砂供應

攔河堰的設置造成土砂被洄於上游側，下游卻因土砂供應不足而加速沖刷，若能增加下游側土砂的供應，則應該可降低沖刷作用的影響，同時也有助於改善上游側的淤積情形。

其實國內常見的活動式倒伏壩即有此功能，平時立起可抬高水位以供取水；洪水時則變成倒伏狀態，一方面可讓上游土砂往下游移動，增加下游的土砂供應；另一方面還有降低上下游水位差、減少上游淤積等效益。

### (三)加強河床抗沖蝕能力

其實傳統上以護坦、堆置鼎塊等方法保護下游河床即是為了加強河床的抗沖蝕能力。但常有相對應的問題產生：若保護工不夠堅固，可能會因向源沖刷影響攔河堰的穩定與安全；反之，若保護工太過剛性，或許可以保護主結構物，但將把水流能量失到更下游河段，造成下游流量的沖刷問題。

此外，傳統護坦工法會因水流進入護坦下，形成上舉力，造成護坦整片破壞的情形。因此理論上強化河床抗沖蝕能力應可防治沖刷，但實際應用時的工法設計實為另一個重點。

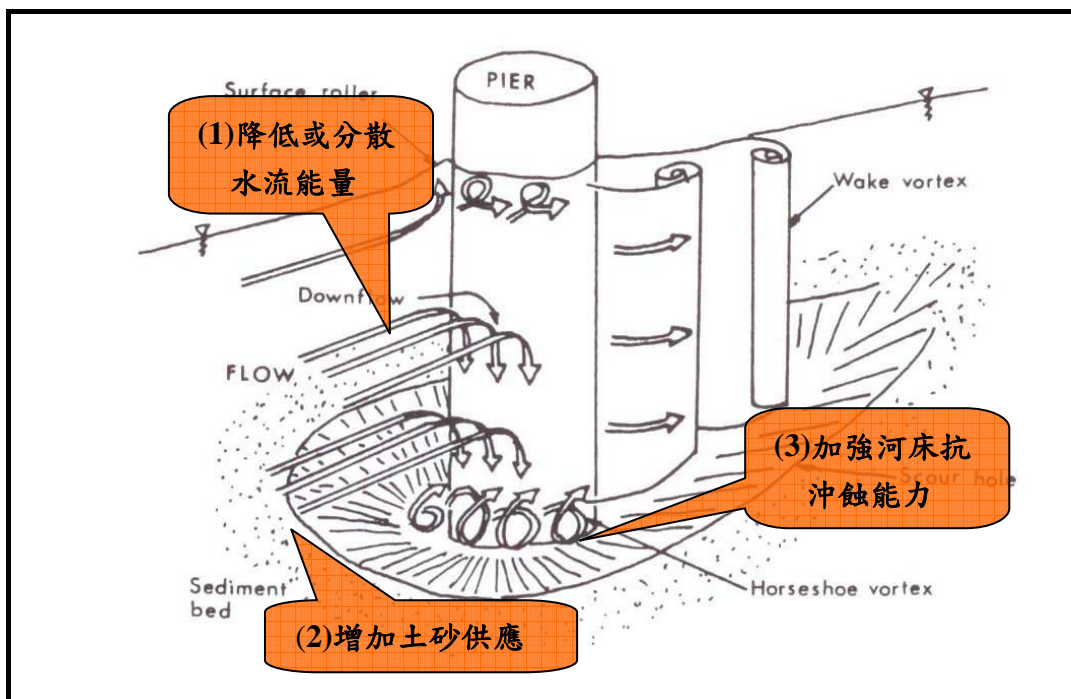


圖 3-8 依冲刷機制提出防治對策示意圖

## 五、防冲刷工法研究

德國在探討冲刷防治此主題上，目前主要的研究重心多是放在局部冲刷的部分，即構造物(例如：橋墩)周邊冲刷行為的探討與研究。因此未能帶回攔河堰下游河段整體防治的相關對策，但德國許多防治局部冲刷的基本構想，對攔河堰下游河床的冲刷防治策略研究，應該還是頗具參考價值的。

德方在防冲刷工法研究上提出的許多的構想，雖然原意多是針對局部冲刷而設計，但有不少想法應該也可以應用在攔河堰下游的冲刷防治對策上，列舉探討如下：

### (一)碟型環(disc)—以簡易構件破壞冲刷處的流場

此構想是利用一碟型環，破壞橋墩周邊流場，達到降低水流能量的目的，如圖 3-9，此法的前提是對流場的精準掌握，方能決定放置位置及大小等因子。

若應用在攔河堰上，在下游水流沖擊處加設簡單物件(例如：廢輪胎等)，或許即可有相似的功效。

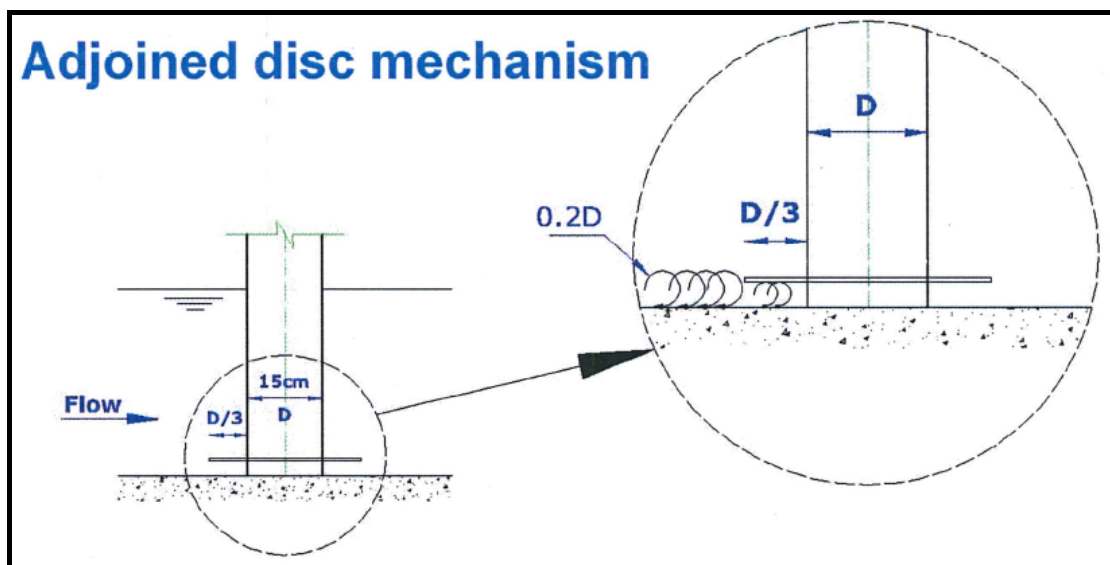


圖 3-9 以碟型環達到防冲刷目的示意圖

## (二)自填式護層(self-filling rip-rap)

自填式護層工法如圖 3-10 所示，主要是於構造物內部預留一空間，內堆放土砂，當下方原有土砂因沖刷作用被帶走，可自行補充護層，當內部土砂不足時，則可自結構物上方補充。

此構想原理簡單，雖然要應用在已完成的攔河堰上可能困難度較高，但可以應用在新建攔河堰的設計上，內部的土砂來源可取自上游側河段的清淤土砂，在防治沖刷保護結構物同時，也可補充了下游流段的土砂。

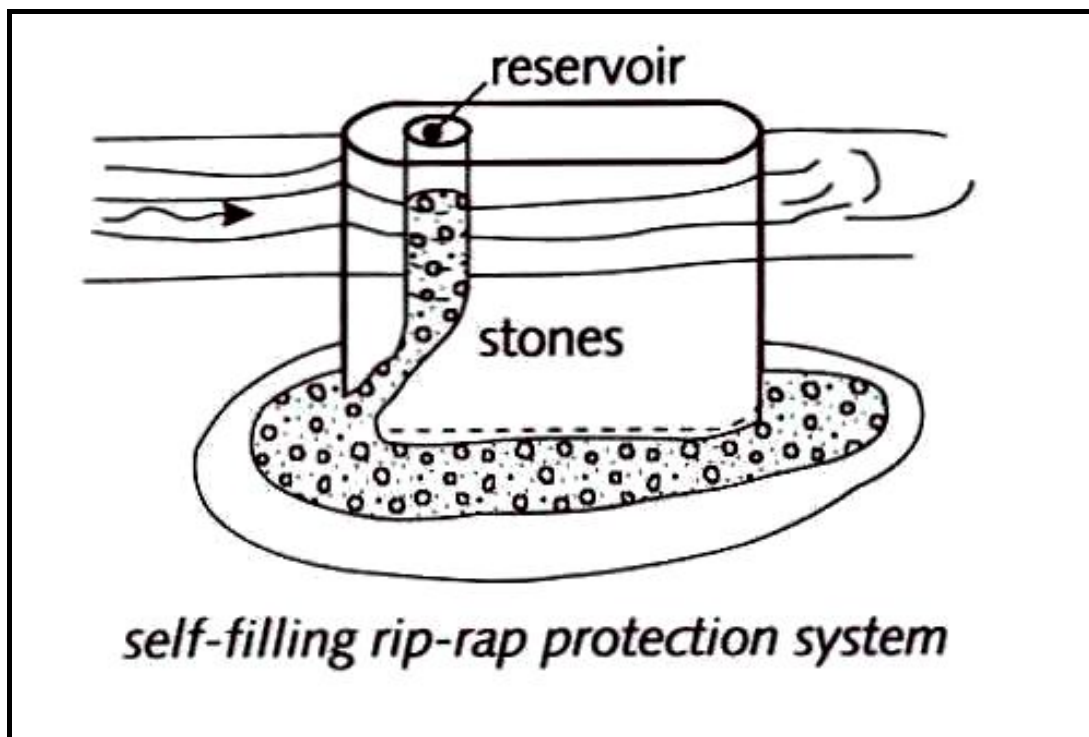


圖 3-10 自填式護層防沖刷工法示意圖

## (三)部分灌漿拋石護層(partial grouted riprap, PGR)

本工法是由德國學者 Heibaum 提出，係指在河床表面鋪設拋石並做點狀的灌漿，以保留約 30~40%的孔隙，維持拋石護層的滲透性，如圖 3-11 所示。

維持較高的滲透性可以快速消散超額孔隙水壓，以避免如同傳統護坦因為水流進入護坦下方，形成上舉力導致護坦整片破壞的情形。

且本工法相較於全面灌漿的傳統剛性保護工，相對具透水性、柔性及容許變位的特性。



圖 3-11 部分灌漿拋石護層施作方式

#### (四)前樁(front piles)—分散沖刷能量

本工法示意如圖 3-12 所示，主要是在橋墩的迎水面設置多根尺寸相對小得多的前樁，在前樁附近造成沖刷的同時，也降低了水流的能量，即將沖刷行為均勻地減緩於該區段，間接達到保護主結構物的目的。

本工法雖然較難直接應用在攔河堰下游側的沖刷防治上，但在因攔河堰設置有而沖刷問題的下流河段的橋梁等跨河構造物應有相當的參考價值。

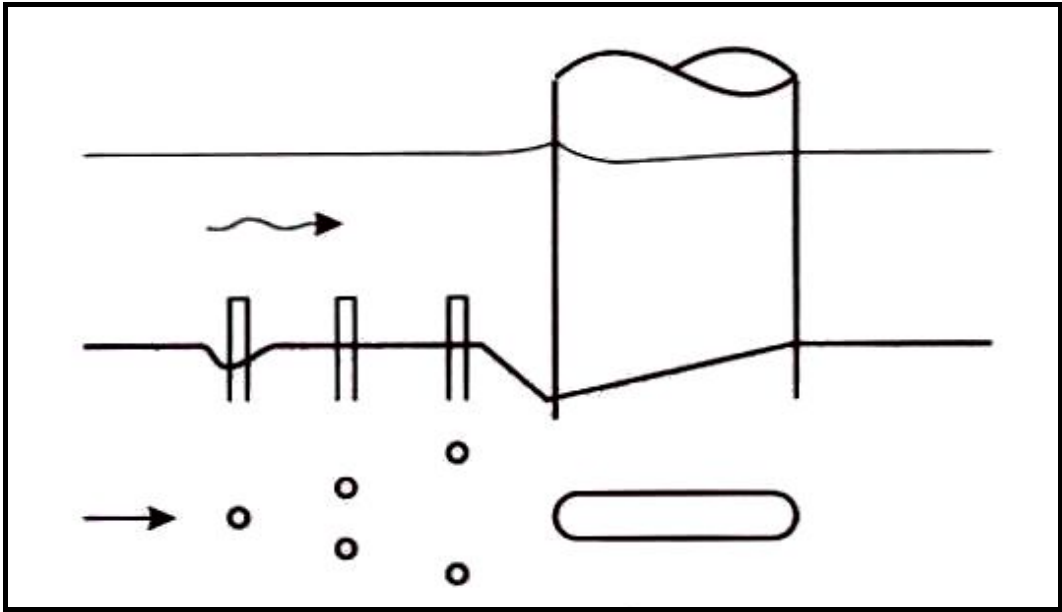


圖 3-12 前樁防沖刷工法示意圖



## 第肆章 結論與建議

- (一)在探討沖刷這個課題上，一般包含整個河段的一般沖刷及特殊位置的局部沖刷。德國的主要研究重心多是放在局部沖刷部分，這或許是因為該國大部分區域皆屬平坦地形，主要河川流量平穩、流速緩，因此對於整個河段一般沖刷的防治需求低，故此行未能獲得可應用在攔河堰下游河段的沖刷防治對策，但德國在局部沖刷上所做的相關研究及投入的資源令人印象深刻。
- (二)德國對於局部沖刷(目前多針對單一基礎構造物)的防治策略研究，研究學者已提出許多的構想，例如碟型環(disc)、自填式護層(self-filling rip-rap)、部分灌漿拋石護層(partial grouted riprap, PGR)及前樁(front piles)等構想。以上構想主要基於沖刷機制與沖刷原因等研究成果，再據以提出的因應對策(例如：降低水流能量、補充土砂供應等)，但這些防護工法目前多處於發展階段(物模試驗、數值模擬等)，尚未見到有實際應用的案例。
- (三)整理國內攔河堰下游的沖刷案例，可發現軟岩河床的沖刷問題實為台灣特有的現象之一，河川坡降大、地質破碎、岩盤年代輕且強度低，加上近年極端水文事件機率增加，導致河床沖刷的演化過程較國外河川快速，國內雖然已經開始有針對軟岩沖刷的相關研究，但尚屬不足。在數值模擬方面，本所曾藉由合作研發方式引進美國NCCHE之一維與二維模式；但在物理模型試驗方面，國內則較缺乏有關軟岩河床沖刷的物模試驗。如果能對軟岩沖刷的物理模型試驗能有進一步的研究與發展，必能對後續防治策略及相關工程擬定有極高的應用價值。
- (四)整理德國相關研究資料及國內相關文獻，對於攔河堰下游側容易造成沖刷的原因大致有三，為：(1)水位抬升增加水流能量，(2)下游土



砂供應不足，及(3)河床的抗沖蝕能力弱等；因此在沖刷防治策略上，可依據此三個方向來擬定，分別為：(1)降低水流能量，(2)增加下游土砂供應，及(3)加強河床抗沖蝕能力。

(五)因此，對於目前台灣現有攔河堰之下游段沖刷防治及改善有以下幾點初步建議：(1)攔河堰放水應避免水流過於集中，此易造成下游段局部地區沖刷嚴重，應以分散水流為主；(2)應檢討改善現有攔河堰放水與下游河川之角度，放水應與河川流向一致，避免造成放流角度沖擊河岸或下游河床，造成河性改變；(3)攔河堰下游已造成冲刷現象者，應考量相關消能設施，如：水墊消能或放寬下游河寬等，以有效削減水流能量，進而達到減緩冲刷目的。

(六)此次研習有機會參觀漢諾威等大學的水工試驗室，對於德國投注在大學的龐大資源(包括經費、場地設備等)留下深刻的印象，難怪德國能在科學技術等許多領域居世界領先地位。學術機構是國家科技發展的搖籃，應用在工程實務上的技術、工法，常有賴學術界的研發與改良。研發上的投資不一定能在短期內看到成效，但長期下來，往往是決定國家競爭力的關鍵。

# 附錄一 研習相關照片



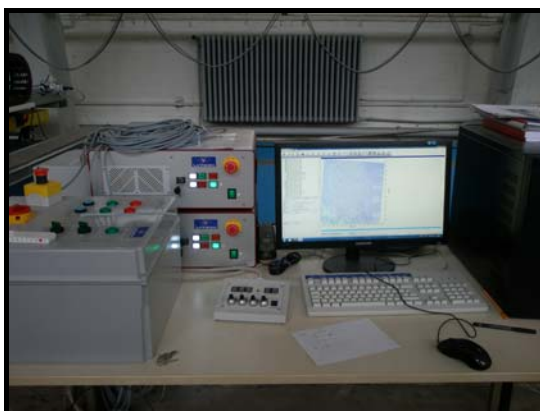
漢諾威大學實驗室內的風力發電柱基礎之渠道水工模型



漢諾威大學實驗室內的渠道水工模型的造波機



PIV(Particle Image Velocimetry)觀測系統—觀測端



PIV(Particle Image Velocimetry)觀測系統—控制端



負責 PIV 觀測系統的 Spinreker 先生



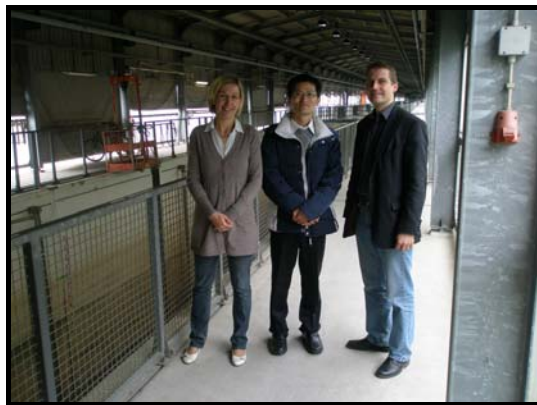
與專攻沖刷行為及防護策略的 Nazarpour 博士生合影



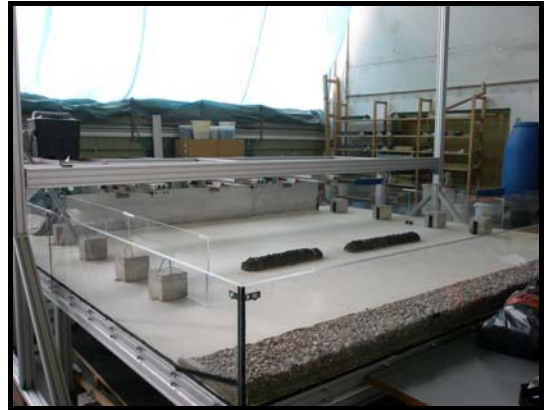
與漢諾威大學的 Schlurmann 所長合影



目前為世界最大的試驗水槽



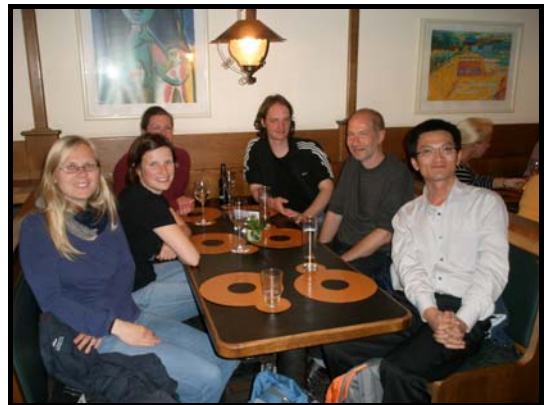
與 FZK 的 Schimmels 博士及 Schmidtke 研究員合影



羅斯托克大學實驗室中的離岸堤水工模型



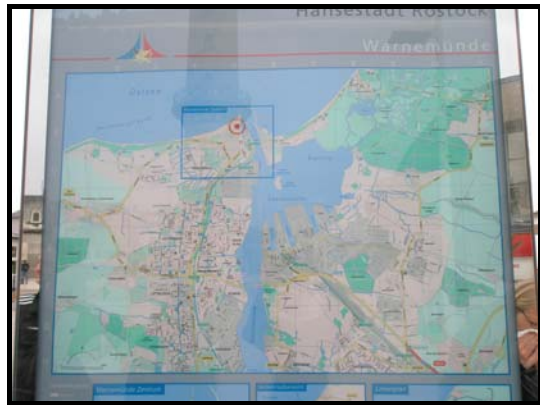
羅斯托克大學實驗室水槽等水工模型設施



與羅斯托克大學組內研究人員合影



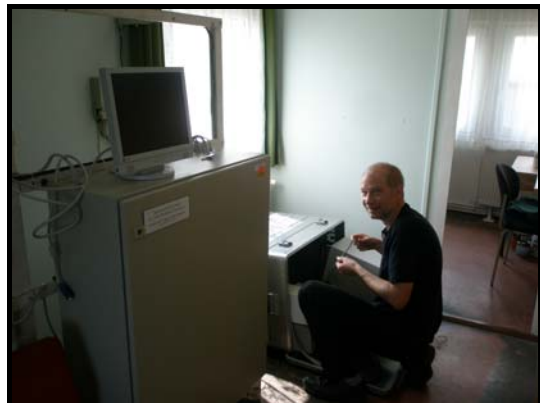
瓦爾諾明德的氣象中心



位於瓦爾諾河出口的在瓦爾諾明德地勢相對低窪



瓦爾諾明德建築物上的歷史洪痕牌



工作態度令人佩服的 Rodomski 先生



設於 Koserow 的海象觀測辦公室



以木樁進行養灘達到海岸防護目的



以離岸堤工法進行海岸防護



步道旁的說明牌離岸堤的防護成效



達姆斯達特工業大學實驗室中萊茵河某河段的水理試驗水工模型



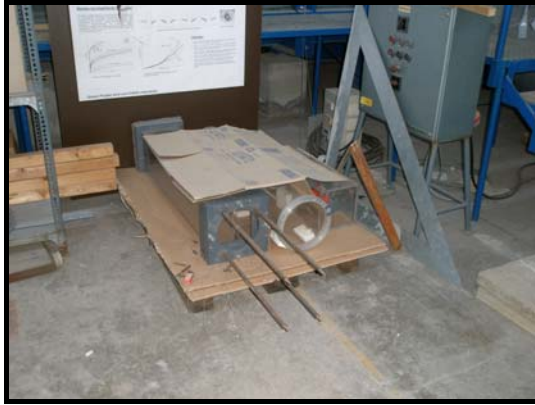
達姆斯達特工業大學實驗室中的河岸保護工設施水工模型



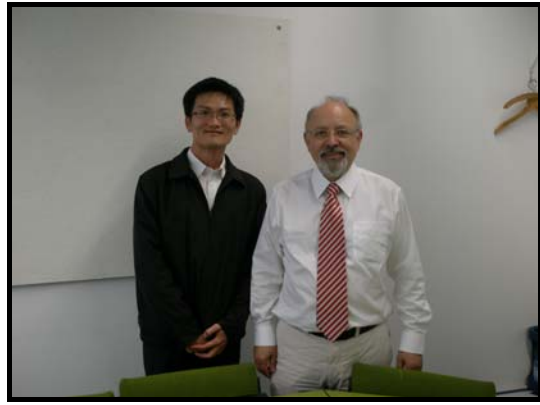
自二樓工作平台俯視整個達姆斯達特工業大學實驗室



實驗室橋墩沖刷試驗水工模型



以不同形狀的橋墩模型進行試驗以探討形狀因子的影響



與達姆斯達特工業大學 Zanke 所長合影



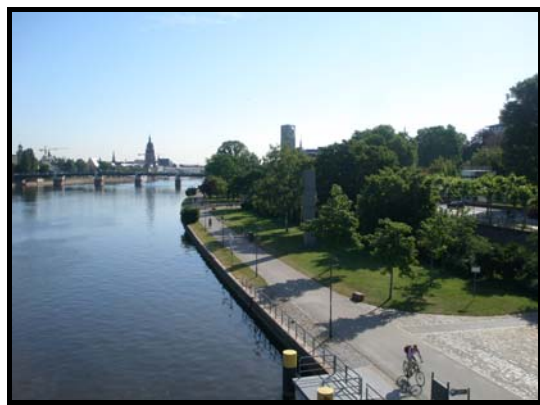
與專攻橋墩沖刷行為研究的 Diab 博士合影



漢諾威舊市區排水路兩岸綠地及親水設施規劃



河岸除綠地步道等規劃外，亦加入藝術元素



Main 河畔步道、椅子隨處可見，提供一個舒適的遊憩環境



## 附錄二 參考文獻

1. Dominic Spinnreker, 2011, Investigation of vortex generation downstream a vertical cylinder exposed to regular waves using Particle Image Velocimetry (PIV) method, PowerPoint file.
2. Farhad Nazarpour and Torsten Schlurmann, 2011, Alternatives for scour prevention around marine structures, PowerPoint file.
3. Hocine Oumeraci, 2011, Selected Research Projects using the Grosser Wellenkanal (GWK).
4. Reda Diab, Oscar Link, and Ulrich Zanke, 2010, “Geometry of developing and equilibrium scour holes at bridge piers in gravel”, Can. J. Civ. Eng. 37:544-552.
5. Stefan Schimmels, 2011, A short introduction of Forschungszentrum Küste, PowerPoint file.
6. Ulrich Zanke and Partner, 2011, Framework for Bridge Scouring Protection during extreme Typhoon Events and River Discharge, PowerPoint file.
7. 經濟部水利署第四河川局，2006，集集攔河堰下游段河道沖淤與治理策略研究。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2006，八掌溪仁義潭(攔河堰)下游沖刷河段治理方案之研析。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2009，美國國家計算水科學及工程中心河道變遷模式之引進及應用研究。
10. 經濟部水利署第四河川局，2008，集集攔河堰下游河道穩定及水流消能治理工程佈置方案。
11. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2010，設置攔河堰引致岩盤沖刷之機制與評估研究。



- 12.經濟部水利署水利規劃試驗所，2011，軟弱岩床劇烈沖蝕河段沖蝕行為之探討—以大安溪為例。
- 13.經濟部水利署水利規劃試驗所，2011，大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究。