

112-012-7D29

MOTC-IOT-111-H1CA001a

鼎型塊織布橋基保護工法之現地  
試驗與成效評估(1/4)-數值水理  
分析模型建置



交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

112-012-7D29

MOTC-IOT-111-H1CA001a

# 鼎型塊織布橋基保護工法之現地 試驗與成效評估(1/4)-數值水理 分析模型建置

著者：胡啟文、蔡立宏、賴瑞應、鄭登鍵  
黃宇謙、黃昱翔

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估  
(1/4)-數值水理分析模型建置/ 胡啟文, 蔡立  
宏, 賴瑞應, 鄭登鍵, 黃宇謙, 黃昱翔著. -- 初  
版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 112.03  
面 ; 公分

ISBN 978-986-531-481-1 (平裝)

1.CST: 橋樑工程 2.CST: 結構工程 3.CST:  
數值分析

441.815

112001090

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

著 者：胡啟文、蔡立宏、賴瑞應、鄭登鍵、黃宇謙、黃昱翔

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw) (中文版> 數位典藏> 本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 112 年 3 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市:104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話:(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011200155

ISBN：978-986-531-481-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

GPN: 1011200155

定價 200 元

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-481-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1011200155	運輸研究所出版品編號 112-012-7D29	計畫編號 MOTC-IOT-111-H1CA001a
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：賴瑞應、胡啟文 研究人員：鄭登鍵、黃宇謙、黃昱翔 參與人員：王培源、李春榮、何木火 聯絡電話：04-26587176 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 111 年 1 月 至 111 年 12 月
關鍵詞：沖刷、水工模型試驗、鼎型塊、織布、數值水理分析			
摘要： 本計畫針對地工織布應用於橋墩基礎保護工法，以國道3號大甲溪橋為研究對象，於109年完成現地地工織布保護工法之鋪設，驗證地工織布保護工法之施工可行性，並於110年進行觀測，本年度(111年)除延續觀測試驗橋址鼎型塊的穩定性及成效評估外，透過室內水工模型試驗結果檢定數值模擬所需參數，以建置二維數值水理模型，建立多元分析驗證方法及成效評估，做為橋管單位鋪設橋墩基礎保護工法之應用，相關成果可提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路總局、高速公路局、臺灣鐵路管理局以及縣市政府等單位未來施政之應用。			
研究成果效益：			
1. 藉由現地試驗，驗證地工織布結合鼎型塊保護工法之成效，提供橋梁管理單位未來設置相關保護工決策之參考。 2. 延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，建置二維數值水理分析模型，提供多元化分析方式及成效評估。			
提供應用情形：			
1. 本計畫研提之地工織布結合鼎型塊保護工法，已鋪設於國道3號大甲溪橋P24L-P27R橋墩。 2. 本計畫研擬之地工織布保護工法鋪設斷面及施工方式，可提供本所及相關單位後續之參採。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
112年3月	287	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Performance Assessment on Geotextile Protection Construction Method (1/4)-On-site Scour Test for hydraulic model building			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-481-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011200155	IOT SERIAL NUMBER 112-012-7D29	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-111-H1CA001a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jui-Ying Lai, Chi-Wen Hu PROJECT STAFF: Teng-Chien Cheng, Yu-Cian Huang, Yu-Xiang Huang PARTICIPATING STAFF: Pei-Yuan Wang, Chun-Jung Lee, Mu-Huo Ho PHONE: 04-26587176 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD From January 2022 To December 2022
KEY WORDS: scour, hydraulic model test, tripod block, geotextile, numerical simulation			
<p><b>Abstract:</b></p> <p>This project is to investigate the application of geotextile in the method of pier foundation protection and finished the laying by on-site geotextile protection construction method on the research subject hereof, which is Dajia River Bridge on National Freeway No. 3, to verify the feasibility of exercising the geotextile protection construction method. Observation was conducted in 2021. In this year (2022), besides the continuation to observe the tripod block stability on the bridge under test and assess the effectiveness, the parameters needed for numeric simulation will also be tested with the results by indoor hydraulic model test to build a 2-D numeric hydraulic model and establish multivariate-analysis verification method and effectiveness assessment to serve as applications by bridge administrations to the exercise of pier foundation protection construction methods. The results will be provided for the bridge administrations, such as Directorate General of Highways, National Freeway Bureau, Taiwan Railways Administration and county/city governments, which has bridges in the downstream of Dajia River to apply in future.</p> <p><b>Benefits of Research Results:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. The verification, by on-site test, on the effectiveness of geotextile in combination with tripod block protection construction method will be provided as reference for bridge administrations in making decision in protection construction methods in future.</li> <li>2. The building of 2-D numeric hydraulic model is based on the results of indoor hydraulic model tests at previous stage will be provided varied methods of analysis and effectiveness assessment.</li> </ol> <p><b>Application Availability:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. The geotextile in combination with tripod block protection construction method proposed in this project has been applied in the laying on Pier P24L-P27R of Dajia River Bridge on National Freeway No. 3.</li> <li>2. The laying cross-section and construction method by the geotextile in combination with tripod block protection construction method proposed in this project will be provided as reference and adoption by the Institute and other related agencies.</li> </ol>			
DATE OF PUBLICATION Mar. 2023	NUMBER OF PAGES 287	PRICE 200	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估 (1/4)-數值水理分析模型建置

## 目 錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	II
目錄 .....	III
圖目錄 .....	XI
表目錄 .....	XVII
第一章 前 言 .....	1-1
1.1 研究緣起 .....	1-1
1.2 研究目的 .....	1-2
1.3 研究方法 .....	1-2
1.4 研究內容與流程 .....	1-3
第二章 文獻回顧 .....	2-1
2.1 土工織物在山區道路邊坡保護之應用 .....	2-1
2.2 土工織布於海洋環境中之工程特性 .....	2-2
2.3 土工合成材料在永續工程之應用 .....	2-3
2.4 模擬濁流中土工織物損傷之室內試驗 .....	2-6
2.5 國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作 ....	2-9
2.6 台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估 .....	2-10
2.7 本所歷年橋墩保護工法之研究 .....	2-14
2.8 應用二維水理模式評估河道演變之研究 .....	2-31
2.9 CCHE2D 模式應用於蜿蜒複式河槽變遷之研究 .....	2-32
2.10 導流板應用於橋墩沖刷保護之數值模擬研究 .....	2-37

2.11 小結.....	2-39
第三章 土工織布保護工法保護成效觀測與評估.....	3-1
3.1 航拍觀測規劃.....	3-1
3.2 成效觀測.....	3-4
3.3 成效評估.....	3-13
第四章 數值水理分析模型建置.....	4-1
4.1 CCHE2D 模式理論及數值方法.....	4-1
4.2 室內水工模型渠槽試驗.....	4-12
4.3 數值水理模型建置.....	4-20
第五章 階段性成果發表與應用情形.....	5-1
5.1 獲中華民國發明專利.....	5-1
5.2 參與「2022 台灣創新技術博覽會」發明競賽.....	5-3
5.3 參與研討會及例行記者會成果發表.....	5-4
5.4 實務應用情形.....	5-7
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-2
6.3 研究成果效益.....	6-3
6.4 提供應用情形.....	6-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 專利公報.....	附錄 1-1
附錄二 專家學者座談會會議紀錄.....	附錄 2-1
附錄三 第 1 次工作會議紀要.....	附錄 3-1
附錄四 第 2 次工作會議紀要.....	附錄 4-1
附錄五 第 3 次工作會議紀要.....	附錄 5-1

附錄六 期末審查意見及辦理情形說明表.....	附錄 6-1
附錄七 簡報資料.....	附錄 7-1



## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖 .....	1-4
圖 2.1 土木水利工程常見的地工合成材料.....	2-4
圖 2.2 採用回包式加勁擋土牆之暨南大學邊坡.....	2-5
圖 2.3 臺中秋紅谷四週加勁擋土牆植生茂密.....	2-5
圖 2.4 格網箱籠之海岸保護嘗試性大型試驗現場.....	2-7
圖 2.5 箱籠受到海岸礫石之往復磨損而破壞.....	2-7
圖 2.6 直徑 1.5 m 高 1.0 m 之圓形流槽.....	2-7
圖 2.7 織布之損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)及流動延時(T)之關係 .....	2-8
圖 2.8 織布損傷度(PSR)與流速(Vm)及顆粒濃度(Pc)之關係 .....	2-8
圖 2.9 織布在不同流速下損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)關係 .....	2-8
圖 2.10 地工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖 .....	2-10
圖 2.11 保護工施工程序 .....	2-12
圖 2.12 橋梁耐洪能力詳細評估分析流程 .....	2-13
圖 2.13 現況保護措施鼎型塊鋪設斷面示意圖.....	2-15
圖 2.14 現況保護措施模型鋪設.....	2-16
圖 2.15 無保護措施斷面示意圖.....	2-16
圖 2.16 無保護措施橋墩鋪設.....	2-17
圖 2.17 現況保護措施基礎上游沖刷情形.....	2-17
圖 2.18 無保護措施基礎沖刷情形.....	2-18
圖 2.19 一層鼎型塊+織布斷面示意圖 .....	2-18
圖 2.20 一層鼎型塊+織布之鋪設 .....	2-19
圖 2.21 一層鼎型塊+織布保護措施模型鋪設 .....	2-19
圖 2.22 一層鼎型塊+織布保護措施基礎沖刷情形 .....	2-20
圖 2.23 一層鼎型塊+織布+石籠斷面示意圖 .....	2-20

圖 2.24	一層鼎型塊+織布+石籠保護措施模型鋪設 .....	2-21
圖 2.25	一層鼎型塊+織布+石籠沖刷情形 .....	2-21
圖 2.26	橋墩基礎上游整地.....	2-24
圖 2.27	橋墩基礎下游整地及地形降階.....	2-25
圖 2.28	高強度織布展開並以軟石固定於樁帽上.....	2-25
圖 2.29	完成樁帽 4 周之高強度織布吊放展開及固定.....	2-26
圖 2.30	平面高強度織布鋪設及單元間之綁紮作業.....	2-26
圖 2.31	防護層織布鋪設.....	2-27
圖 2.32	鼎型塊吊放與排置作業.....	2-27
圖 2.33	鼎型塊結合地工織布保護工鋪設完成(下游側).....	2-28
圖 2.34	110 年盧碧颱風事件前後數值三維地形套疊結果 .....	2-29
圖 2.35	DLFM 彎道動床模擬結果底床變動( $\Delta Z/h_0$ )地形圖 .....	2-34
圖 2.36	DLFM 彎道動床實測底床變動( $\Delta Z/h_0$ )地形圖 .....	2-34
圖 2.37	Run 1 岸壁變形比較圖 .....	2-35
圖 2.38	Run2 岸壁變形比較圖 .....	2-36
圖 2.39	無導流板配置方案下流速場分布圖.....	2-37
圖 2.40	導流板配置方案下流速場分布圖 .....	2-38
圖 3.1	航拍範圍示意圖.....	3-2
圖 3.2	航線規劃示意圖.....	3-2
圖 3.3	現場控制測量作業情形.....	3-3
圖 3.4	控制點分布情形.....	3-4
圖 3.5	本計畫航拍觀測時間與石岡壩放流歷線之關係.....	3-5
圖 3.6	兩期數值三維模型(110/10/21 vs 111/06/16) .....	3-7
圖 3.7	110/10/21 與 111/06/16 兩期數值三維模型套疊結果 .....	3-8
圖 3.8	各橋墩兩期拍攝影像(111/10/21 vs 111/06/16).....	3-9

圖 3.9	兩期數值三維模型(110/06/16 vs 111/10/27)	3-11
圖 3.10	111/06/16 與 111/10/27 兩期數值三維模型套疊結果	3-12
圖 3.11	各橋墩兩期拍攝影像(111/10/21 vs 111/06/16)	3-12
圖 3.12	鼎型塊織布橋基保護工法施工流程	3-14
圖 3.13	110 年盧碧颱風現場水位監測影像(已漫淹整個試驗區)	3-15
圖 3.14	110 年盧碧颱風後對試驗組(織布鋪設區)P24L 之影響	3-16
圖 3.15	110 年盧碧颱風後對照組(無織布鋪設區)P23L 之影響	3-16
圖 3.16	110 年盧碧颱風後對照組(無織布鋪設區)P25L 之影響	3-16
圖 4.1	CCHE2D 模式計算流程圖	4-6
圖 4.2	主分析模式下載介面	4-11
圖 4.3	模型網格生成模組下載介面	4-11
圖 4.4	免費版本以申請會員制下載	4-12
圖 4.5	渠槽斷面圖	4-13
圖 4.6	渠槽尾水控制閘門	4-13
圖 4.7	試驗渠槽配置圖	4-14
圖 4.8	試驗橋墩模型照片	4-15
圖 4.9	吸管製成之蜂巢式整流器	4-16
圖 4.10	渠槽試驗段佈設示意圖	4-17
圖 4.11	流量率定曲線圖	4-17
圖 4.12	試驗砂物理性質試驗情形	4-19
圖 4.13	底床試驗砂粒徑分布曲線	4-20
圖 4.14	數值水理模型網格設置情形	4-21
圖 4.15	入流邊界條件輸入介面	4-22
圖 4.16	出流邊界條件輸入介面	4-22
圖 4.17	泥砂參數輸入介面	4-23

圖 4.18 ADV 流速計 .....	4-25
圖 4.19 流速量測點位置分布圖 .....	4-25
圖 4.20 數值模擬流速分布圖(n=0.016).....	4-26
圖 4.21 數值模擬流速分布圖(n=0.020).....	4-27
圖 4.22 數值模擬流速分布圖(n=0.021) .....	4-27
圖 4.23 數值模擬流速分布圖(n=0.022).....	4-28
圖 4.24 數值模擬流速分布圖(n=0.023).....	4-28
圖 4.25 數值模擬流速分布圖(n=0.024).....	4-29
圖 4.26 數值模擬流速分布圖(n=0.026).....	4-29
圖 4.27 Case1 底床變化平面分布及斷面圖 .....	4-38
圖 4.28 Case2 底床變化平面分布及斷面圖 .....	4-38
圖 4.29 Case3 底床變化平面分布及斷面圖.....	4-39
圖 4.30 水工模型試驗橋墩沖刷三維模型 .....	4-41
圖 4.31 水工模型試驗橋墩沖刷底床變化等深圖 .....	4-41
圖 4.32 二維數值模擬橋墩沖刷底床變化等深圖.....	4-41
圖 5.1 中華民國發明專利證書(發明第 I759792 號).....	5-2
圖 5.2 展覽期間各界參與情形.....	5-3
圖 5.3 發明競賽委員評審情形.....	5-4
圖 5.4 主辦單位頒發「銀牌獎」獎項.....	5-4
圖 5.5 投稿論文短摘要.....	5-5
圖 5.6 論文發表情形 .....	5-5
圖 5.7 現勘情形 .....	5-7
圖 5.8 本計畫工法建議之標準施工圖說.....	5-8
圖 5.9 第 1 次施工前協調會討論情形.....	5-9
圖 5.10 111 年度地工織布預計鋪設範圍 .....	5-10

圖 5.11	第 2 次施工前協調會討論情形.....	5-11
圖 5.12	鼎型塊織布橋基保護工法細部施工斷面圖.....	5-12
圖 5.13	第 3 次施工前協調會討論情形.....	5-12
圖 5.14	本所協助大甲段 111 年度橋墩基礎保護工作討論歷程.....	5-13
圖 5.15	大甲段年度養護作業考評(橋梁項)積極創新作為項目.....	5-13



## 表目錄

表 2-1 室內試驗不同鋪設方案最大沖刷深度及鼎型塊穩定度比較	2-30
表 2-2 各二維水理模式比較表	2-32
表 2-3 導流板至墩前觀測點流速差異表	2-38
表 2-4 墩側觀測點流速差異表	2-39
表 3-1 110 年盧碧颱風事件後試驗場址鼎型塊變化情形	3-17
表 4-1 臨界流速公式	4-18
表 4-2 物理性質試驗所取得之參數	4-20
表 4-3 曼寧粗糙係數	4-23
表 4-4 各量測點與橋墩距離	4-25
表 4-5 水工模型試驗各點實測流速	4-26
表 4-6 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.016)	4-30
表 4-7 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.020)	4-31
表 4-8 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.021)	4-32
表 4-9 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.022)	4-33
表 4-10 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.023)	4-34
表 4-11 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.024)	4-35
表 4-12 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.026)	4-36
表 4-13 臨界流速檢定參數規劃表	4-37
表 4-14 不同流量下平均流速與底床變化情形表	4-39
表 5-1 例行記者會後各媒體刊登一覽表	5-6



# 第一章 前言

## 研究緣起

臺灣河川多屬坡陡流急，洪水期間，橋墩或橋墩基礎附近河床受到劇烈的沖刷，常導致橋梁崩塌斷裂，甚而造成交通中斷。例如 89 年 8 月 27 日碧利斯颱風使高屏溪之高屏大橋第 22 號橋墩基礎受側向洪流淘空下陷，導致橋面塌落，造成 22 人輕重傷及交通中斷數月之事故；90 年 9 月 17 日納莉颱風造成八堵鐵路橋、筏子溪鐵路橋之損壞，南崁溪崁下橋、田底寮橋斷橋及大漢溪武嶺橋下陷等災情；97 年 9 月 14 日辛樂克颱風造成后豐橋斷橋事件，致兩輛汽車墜落大甲溪；98 年 8 月 7 日莫拉克颱風帶來之豪雨，造成中南部約 31 座橋梁沖毀。由以上案例顯示，洪流沖刷導致橋墩基礎之毀壞淘空，實為橋梁破壞之主因。

由於橋梁為交通運輸與民生活動之重要管道，若因災害破壞，勢將對災後之聯絡、急難救助與物資運輸造成重大衝擊，嚴重影響救災工作之進行，因此，橋梁保護工法之研究實為當前之重要課題。

本所 107 年「國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究」<sup>[4]</sup>，曾針對國道 3 號大甲溪橋墩基礎保護工法進行水工模型試驗，試驗結果顯示，土工織布結合鼎型塊之保護工法，可達到保護橋墩基礎，減少基礎裸露進而確保橋梁抗沖刷能力；108 年「土工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」<sup>[5]</sup>，主要是針對目前應用於坡地保護之土工織物，包括：土工織布、織物模板、加勁格網、土石籠袋及沙腸袋等材料，是否有更適合的材料可應用於橋墩基礎的保護工法上，經該研究探討後，以土工織布做橋墩基礎的保護工法是較適宜的。109 年「土工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」<sup>[6]</sup>，針對本所過去土工織布應用於橋墩基礎保護之室內水工模型試驗成果，實際應用於大甲溪下游河段之國道 3 號大甲溪橋，並於 109 年完成現地鋪設，驗證土工織布保護工法之施工可行性。110 年「國道 3 號大甲溪橋土工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證」利用 UAV 結合攝影測量技術，觀測試驗橋址並探討土工織布結

合鼎型塊之保護成效及研擬鋪設改善方案，目前已有初步結果，惟仍需透過長期性之觀測及有待超大豪雨事件來進一步驗證本計畫之保護成效，爰本計畫(111年)將透過建置數值水理分析模型、室內水工模型試驗及持續觀測現場試驗，進行多元分析驗證及成效評估，做為未來橋管單位鋪設橋墩基礎保護工法之應用。

## 1.2 研究目的

本計畫研究目的如下：

1. 藉由現地試驗之觀測，驗證地工織布保護工法之保護成效。
2. 延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，建置二維數值水理分析模型，提供多元化分析方式及成效評估。
3. 相關研究成果將可提供相關橋梁維管單位(高速公路局、臺灣鐵路管理局、公路總局及縣市政府)未來施政之參考，以提升橋墩基礎耐洪能力，滿足運輸安全需求。

## 1.3 研究方法

本計畫以本所 109 年於國道 3 號大甲溪橋現地鋪設的保護工法為研究對象，進行保護工法成效的觀測與評估，並以室內水工模型試驗結果，建置二維數值水理分析模型，以供相關單位及本所後續研究之參考。

計畫研究方法說明如下：

### 1. 相關文獻蒐集與回顧

相關地工織布應用、橋基保護工法及數值水理分析研究文獻蒐集與彙整。

### 2. 建置數值水理模型

延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，建置二維數值水理分析

模型，供後續研究進行多元化分析驗證及成效評估。

### 3. 土工織布橋墩基礎保護工法成效觀測與評估

以無人飛行載具(UAV) 至試驗橋址，藉由近景攝影測量方式，進行橋墩基礎周遭河床變化、鼎型塊變位或流失等指標觀測。依據觀測數據，進行試驗橋墩基礎與鄰近橋墩基礎的保護工法穩定度比較探討，以評估土工織布保護工法之成效。

### 4. 召開專家學者座談會

邀集專家學者及應用單位座談，聽取相關建議及需求，以供計畫後續執行與改善的參考。

## 1.4 研究內容與流程

本計畫(111 年)之主要研究內容說明如下，其工作流程如圖 1.1 所示。

### 1. 相關文獻及資料蒐集

蒐集國內外橋基保護工法、土工織布及數值水理分析之應用案例，據以彙整研析。

### 2. 保護成效觀測

以無人飛行載具(UAV) 至試驗橋址，藉由近景攝影測量技術，以國道 3 號大甲溪橋橋墩基礎(P22L~P26L)周遭河床變化、鼎型塊變位或流失等變化為指標進行觀測。

### 3. 保護成效評估

依據觀測數據，進行試驗橋墩基礎與鄰近橋墩基礎的裸露深度與保護工法穩定度比較探討，以量化方式評估土工織布保護工法之成效。

### 4. 建置數值水理模型

以室內水工模型試驗成果為基礎，做為數值模型相關水文參數及邊界條件設定之參據，建立可行之二維數值水槽分析模型，以供後續橋基沖刷模式使用。

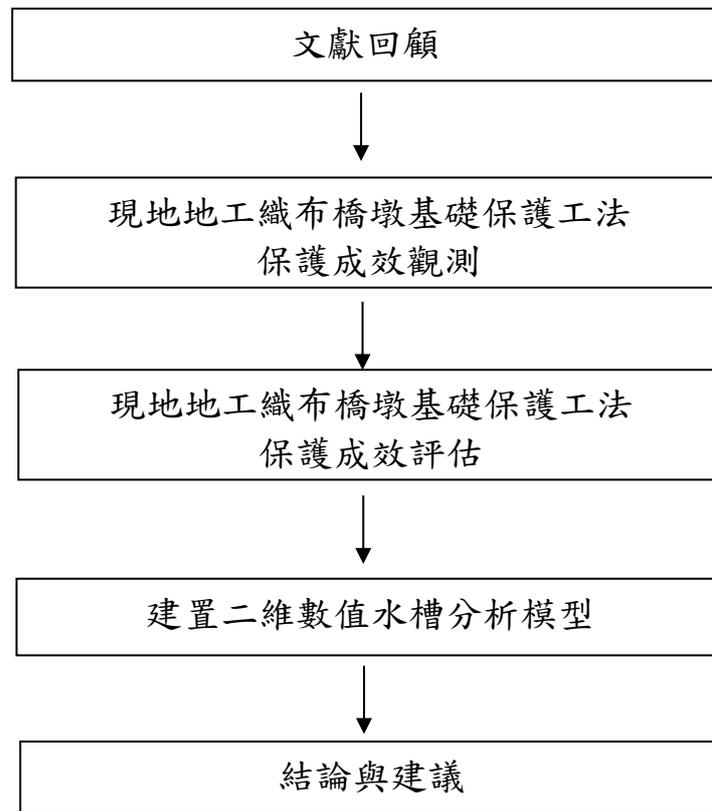


圖 1.1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本章蒐集過去土工織布、相關橋墩基礎保護工法及數值水理分析之應用案例之相關文獻做回顧，據以彙整研析。

### 2.1 土工織物在山區道路邊坡保護之應用

「土工織物在山區道路邊坡保護之應用」<sup>[10]</sup>為正修科技大學營建工程研究所單明陽副教授於民國 97 年發表於現代營建之論文，該論文針對土工織物之材料特性、山區道路破壞機制及土工織物應用於山區道路邊坡保護案例做探討，茲摘錄相關研究成果如下：

土工織物(Geotextile)屬於高分子合成材料，統稱為土工合成物(Geosynthetic)，是一種具有透水性之織物，係用於土壤、岩石、地表或其它與土工技術有關之材料，做為人造產品、結構或系統之一部份。臺灣地處板塊交界，地質複雜脆弱，致使天然災害頻繁，而山區闢建道路工程，主要交通設施包括道路、邊坡、橋梁及隧道，常因規劃設計不當或不足造成破壞，損及人民生命財產。該研究係以山區道路闢建時考量坡面保護工或擋土工法，選擇符合生態環境與景觀保護的方式，針對高雄市台 20 線、台 21 線山區道路，每逢災害後邊坡復建或新建採用地工織物包括加勁擋土牆、掛網植生及箱型石籠進行修建，各種工法均有其利弊，亦各有成功與失敗案例。研究結果以工法的技術比較與效益分析顯示，邊坡保護工法以土工織物掛網植生效果良好，且適用坡度大於 45° 的土質邊坡，掛網植生除了可以有效保護坡面防止崩塌，對於坡度小於 45° 之崩積土或淺層崩塌坡面有良好抑制效果。土工織物箱型石籠裝填腐質土或現地礫石，設置於路肩邊溝坡趾間其透水性佳，能有效抑制道路下坡段崩塌。擋土工採用加勁擋土牆，其施工快速可做為緊急搶修工法，且可以承受較大不均勻之沉陷，耐震性佳，坡面植生綠化情形良好。

## 2.2 土工織布於海洋環境中之工程特性

「土工織布於海洋環境中之工程特性」<sup>[11]</sup>為屏東科技大學土木工程系碩士班潘坤亮先生於民國 92 年發表之碩士論文，該論文針對土工織布面對海水中或大氣中不同環境因子之作用，對材料之耐久性及工程壽命造成的影響作探討，茲摘錄相關研究成果如下：

土工織布為土工合成材料的一種，主要材料為聚合物，目前已廣泛的被運用於相關工程中，如大地工程、公路工程、環境工程、水利工程及其它與土石、地下水等相關工程。土工織布用於護岸工程可防止水流掏蝕所造成的基腳掏空，但海水中含有許多化學物質或大氣中之溫度、濕度、太陽光之紫外線等均會影響材料之耐久性及工程壽命，尤其是紫外線它對材料的影響最大。然而在施工設計的考量上多採用國外專家建議之安全係數做為規劃設計之依據，但是在國外專家建議之折減因子，並未考慮土工織布受紫外線照射或海水侵蝕或海水潮汐作用後之強度變化情形所造成的強度折減，所以為了更進一步了解織布受紫外線照射或海水侵蝕或海水潮汐作用後之影響，將進行室外試驗及室內對照試驗，以了解兩者之間關係，並推求其折減因子。

該研究採用之材料為國內兩家廠商所提供，分別為 A 廠商 70KN/m(PP 織布)，B 廠商 150KN/m(PET 織布)。室外試驗部份乃根據 ASTM D5970 規定進行，室外試驗地點位於本所港研中心試驗大樓頂樓及地面之海水循環槽中，曝曬試驗區所使用之試驗架需面向正南方與水平線呈 45°角擺置，並且收集試驗區附近之中央氣象局梧棲氣象站及環保署彰化監測站（彰化市中山路二段 678 號）所監測之氣象資料等，並於民國 91 年 6 月 18 日開始試驗，每隔 1、2、4、8、12、18、24 個月將土工織布取回實驗室進行抗拉強度試驗、撕裂強度試驗及抗穿刺強度試驗等，同時於實驗室內儲存區中將所準備好之織布一同進行上述之三種試驗，並比較兩者之差異性。

由實驗結果得知，織布受紫外線照射後，其強度折減最為嚴重，尤其是未加入抗紫外線劑之 PET 織布，於第二個月時強度折減已達一半以上，因此，織布若長期曝曬於太陽光底下，建議使用之折減係數為

1.5~1.7 之間(對織布 PP 而言), 2.0~4.2 之間(對織布 PET 而言)。另外就海水侵蝕及海水潮汐試驗而言, 由目前資料顯示織布可能因海水的作  
用而有收縮的現象, 導致織布的強度較對照組來的高, 建議繼續觀測。

## 2.3 土工合成材料在永續工程之應用

「土工合成材料在永續工程之應用」<sup>[12]</sup>為臺灣大學土木工程系周南山教授於民國 105 年發表於中華民國環境工程學會之論文, 該論文針對土工合成材料因在生產過程中及其生命週期中較傳統土木工程材料(如鋼筋、混凝土)更節能減碳, 且具有易植生綠化、耐久性等特性, 適合於永續土木工程之應用, 並舉相關案例作說明, 茲摘錄相關研究成果如下:

所謂土工合成材料(geosynthetics), 根據美國材料試驗協會(ASTM)定義為:利用聚合物原料所製造而成的平面狀產品, 可與土壤、岩石等天然材料結合, 形成一種人造的工程結構物或系統。土工合成材料可依其產品種類區分為: 土工織物(geotextiles; woven & nonwoven)、土工格網(geogrids)、土工格室(geocells)、土工流網(geonets)、垂直排水帶(geodrains)、排水管(geopipes)、土工磚(geofoams)、土工毯(geomats)、土工止水膜(geomembrances)、土工皂土毯(Geosynthetic Clay Liners, GCL)、土工複合材(geocomposites)及其他新興產品(Geo-others)。

土工合成材料之功能大致可分為: 加勁(reinforcement)、過濾(filtration)、排水(drainage)、隔離(separation)、屏障(barrier)、保護(Protection)、沖蝕控制(erosion control)、綜合功能(multiple functions)。在土木、水利、環工常見的地工合成材料如圖 2.1 所示。



圖 2.1 土木水利工程常見的地工合成材料

臺灣流行的回包式加勁擋土牆提供了邊坡綠化的典範(圖 2.2 及圖 2.3)。利用地工合成材料加勁土壤結構以取代傳統 RC 結構，可以減少碳排放量，甚至在生命週期中因植物光合作用釋放的氧氣，可以平衡生產過程中排放的二氧化碳，而達到零排放的目標(即碳中和)，因此是永續且綠色的工法。



圖 2.2 採用回包式加勁擋土牆之暨南大學邊坡



圖 2.3 臺中秋紅谷四週加勁擋土牆植生茂密

## 2.4 模擬濁流中地工織物損傷之室內試驗

「模擬濁流中地工織物損傷之室內試驗」<sup>[13]</sup> 為國立成功大學土木工程學系黃景川教授於民國 97 年發表於成大研發快訊之論文，該論文針對地工合成物在濁流中磨損之問題，探討不同粒徑與材質之顆粒對地工織物磨損程度之影響，茲摘錄相關研究成果如下：

模擬濁流中高分子地工材料磨耗損傷為將高分子材料應用於嚴苛環境、配合就地取材、發揮永續環境利用重要工作之一。該研究為地工合成物箱籠之海岸保護嘗試性大型計畫之一部份，現地試驗如圖 2.4 所示。高分子材料編織之箱籠受到海岸礫石之往復磨損而破壞(如圖 2.5)，而有效率的室內模擬試驗可免除現場觀測之費力、費時過程，為研發抗磨損新材料不可或缺的一環。該研究利用前期所研發之圓形流場試驗槽(圖 2.6)，對於一高強度之高分子地工織物，探討濁流中顆粒濃度、流速、延時等因素對地工織物強度損傷之定量影響。研究結果發現織物之強度折減率與濁流之延時成非線性關係(圖 2.7)，損傷部位集中於立體編織之凸出處。另對於流速( $V_m$ )及顆粒濃度( $P_c$ )對強度損減率(P.S.R.)關係之實驗，結果顯示 P.S.R.與  $V_m$ (或  $P_c$ )大略成線性關係(圖 2.8 及圖 2.9)。此一發現亦與前期對高分子地工格網之實驗結果一致，因此該研究結果提出下列三點供地工合成物箱籠構造物在濁流環境中之設計施工之參考：(1)顆粒之材質對地工合成物磨損之影響可以洛杉磯試驗之重量損失百分比來代表；(2)顆粒之大小與尖銳度在試驗範圍對磨損之影響不明顯；(3)磨耗損傷之時間效應可以 'Rt-method' 來預測，根據試驗結果， $R_t = 18\% / (\text{對數時間循環})$ 。



圖 2.4 格網箱籠之海岸保護嘗試性大型試驗現場



圖 2.5 箱籠受到海岸礫石之往復磨損而破壞



圖 2.6 直徑 1.5 m 高 1.0 m 之圓形流槽

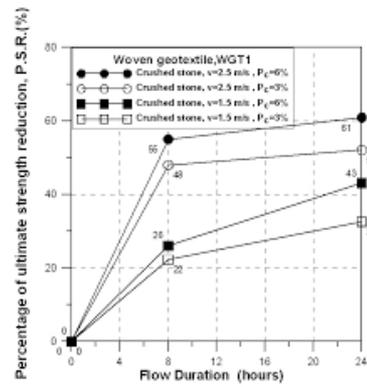


圖 2.7 織布之損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)及流動延時(T)之關係

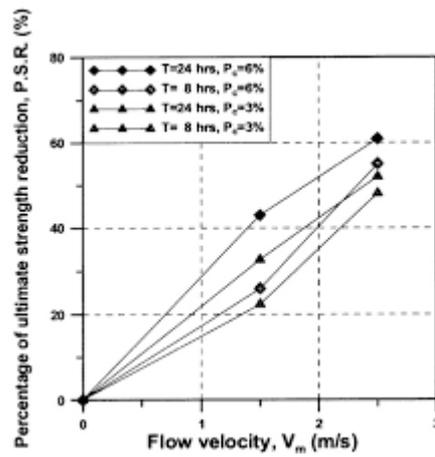


圖 2.8 織布損傷度(PSR)與流速( $V_m$ )及顆粒濃度( $P_c$ )之關係

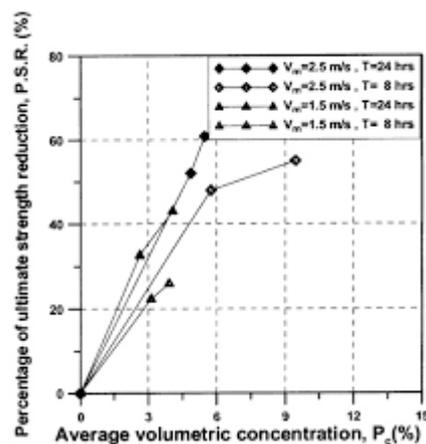


圖 2.9 織布在不同流速下損傷度(PSR)與顆粒濃度( $P_c$ )關係

## 2.5 國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作

「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」<sup>[14]</sup>交通部高速公路局中區養護工程分局委託國立臺灣大學，於 102 年完成之研究計畫。本計畫係因國道 1 號中沙大橋自完工後，高速公路局中區養護工程分局即長期投入經費進行橋基保護，以確保橋梁安全，並經年性投入相當多經費進行橋梁下游的固床保護工(潛堰固床保護工)之維護，惟歷年颱風洪水仍常造成保護工局部有沉陷、掏空及斷裂等損壞現象。為評估可能的保護工法，期能有效減少局部沖刷，並降低維護費用，乃辦理該研究計畫，係針對中沙大橋所在位置之濁水溪上下游河川特性分析研判，由理論及實務專家經驗進行方案評估，研議中沙大橋橋基耐洪保護工法暨其配套措施，以經濟方式有效提升國道 1 號中沙大橋橋基中長期耐洪能力。

該計畫觀察濁水溪長期泥沙運移趨勢，實地勘查自強大橋以上至中沙大橋河段現況河床及流路變化情形，比對水利署第四河川局歷年河床大斷面測量資料，並衡量濁水溪上游未來來砂趨勢及河川局管理濁水溪情形，研判西螺大橋至中沙大橋之間的河床已有回淤趨勢。經水理分析，中沙大橋固床保護工現況護坦長度不足，尾端的保護也不夠，底床細料容易流失，影響護坦工的安定，如能在下游河床已漸回淤的基礎上，儘速加長護坦工長度，並強化尾端的保護，使現有固床保護工得以保全，將來視下游回淤情形進一步將固床工缺口加高，則中沙大橋的橋墩安全可保無虞。由於上游來砂量增加，中沙大橋上游面河中形成廣大沙洲，民眾於沙洲上種植西瓜，河流深槽流路分成左右兩股，此種態勢加深部分橋墩的局部沖刷，左右深槽侵蝕兩岸既有高灘地也有不利影響，因此該計畫建議高公局應儘速協調水利署第四河川局同意，將上游面河中沙洲整平，使洪水能全面平順通過中沙大橋斷面，除降低單寬流量減少局部沖刷外，尚可促進下游河床的加速回淤。

綜上，該計畫建議措施包括下列事項：1.中沙大橋上游面河中沙洲整平；2.中沙大橋固床保護工護坦加長及強化尾端底床保護；3.評估中油管架橋墩保護工的影響及改善對策；4.視後續橋下游河段回淤情

形，必要時抬高固床保護工缺口高程；5.橋墩及固床工安全巡檢機制的建立；6.西螺大橋下游固床工缺口兩端的殘留部分持續維護；7.辦理中沙大橋上下游河段長期變化趨勢的研究評估。

另外，該計畫也針對北側 P15~P24 橋墩間及南側 P38~P45 橋墩間之橋墩局部沖刷現象，建議可優先考量土工砂袋與其它保護工法合併應用，相關示意圖如圖 2.10 所示。

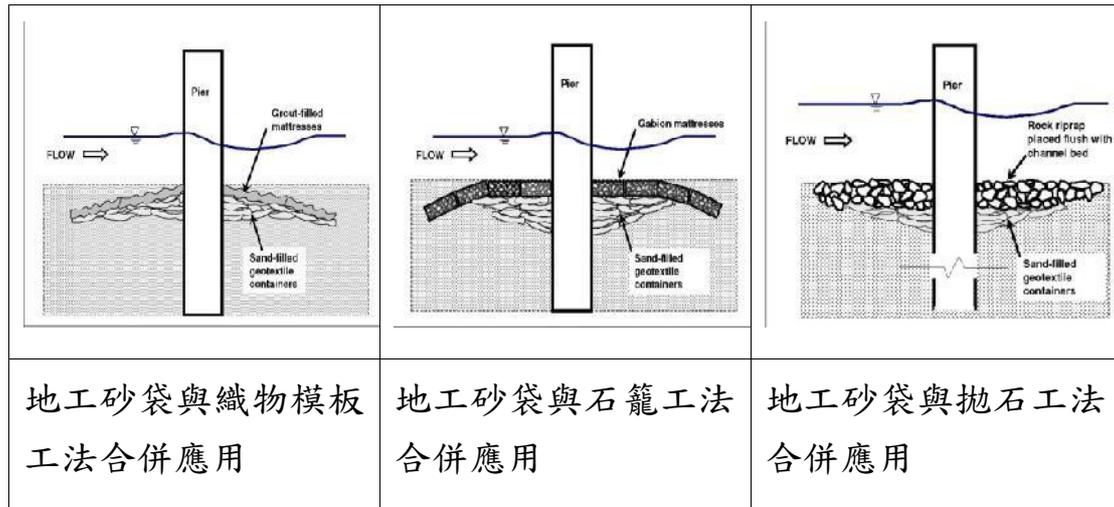


圖 2.10 土工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖

## 2.6 台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估

該研究<sup>[15]</sup>對北勢大橋實施橋基裸露應變對策、耐洪評估與流域管理進行探討，並進行橋墩保護工鋪設透水不織布之保護工序，及後續橋梁耐洪能力評估之流程，摘述如下：

北勢大橋上游側舊橋橋齡達 35 年，其 P6~P8 橋墩因局部及束縮沖刷而呈馬蹄狀之深槽，若持續沖刷裸露加劇勢必危及橋梁安全，需辦理保固補強，經專家學者建議 P8 橋墩周圍先開挖整平，鋪放透水不織布包覆河床料，其上再排放混凝土塊穩固橋基，再擺放沖刷磚來監測橋基沖刷程度，並納入該局重點監控橋梁，以及委請專業顧問公司辦理耐洪評估工作，依流域管理之概念，以歷年颱風資料為基礎，分析後龍溪上游各集水區之雨量站特性，找出北勢大橋封橋管理之特徵雨量站，進而擬訂封橋雨量管理值。

其中，所採取之防治橋墩局部沖刷工法如下：

- (1) 於橋墩局部沖刷深槽區馬蹄渦範圍河床下設置兩層鼎塊保護工，於鼎塊下方基礎鋪設三層不織布包裹石塊分層交疊置於底層，以防止動床之細顆粒吸出掏刷。
- (2) 於底層不織布上吊放第一層鼎塊，第二層鼎塊則放於第一層各鼎塊之間隙，採交錯互鎖方式堆疊，提高整體穩定度。
- (3) 鼎塊吊放完成後進行回填，回填後施設保護工高度不高於現有河床面，以避免因過多構造物干擾水流。

保護工施工程序如圖 2.11 所示。

另提出橋梁耐洪能力詳細評估流程，考慮沖刷狀況下計算基礎構造容許承载力，再由靜載重、活載重、風力及水流壓力等，計算基礎所需之承载力，以計算耐洪評估安全性係數 FS 及訂定橋梁之警戒水位及封橋水位，其分析可分為 8 個步驟(如圖 2.12 所示)

- (1) 資料蒐集
- (2) 河川水理分析
- (3) 計算橋墩最大沖刷深度
- (4) 計算基礎極限承载力  $FS_1$
- (5) 計算水平容許變值  $FS_2$
- (6) 計算基礎容許旋轉角  $FS_3$
- (7) 計算耐洪評估項目安全性
- (8) 計算橋梁之警戒水位及封橋水位



圖 2.11 保護工施工程序

依據以上評估流程在不同水深之情形下，當承载力、水平變位及旋轉角等三項其中一項之安全係數(FS)小於等於 1.5，則訂定為警戒水位，安全係數小於等於 1.2，則訂定為封橋水位。依求得之警戒及封橋水位反推流量及其對應之特徵雨量站之雨量值，作為公路總局應變水情管理值。

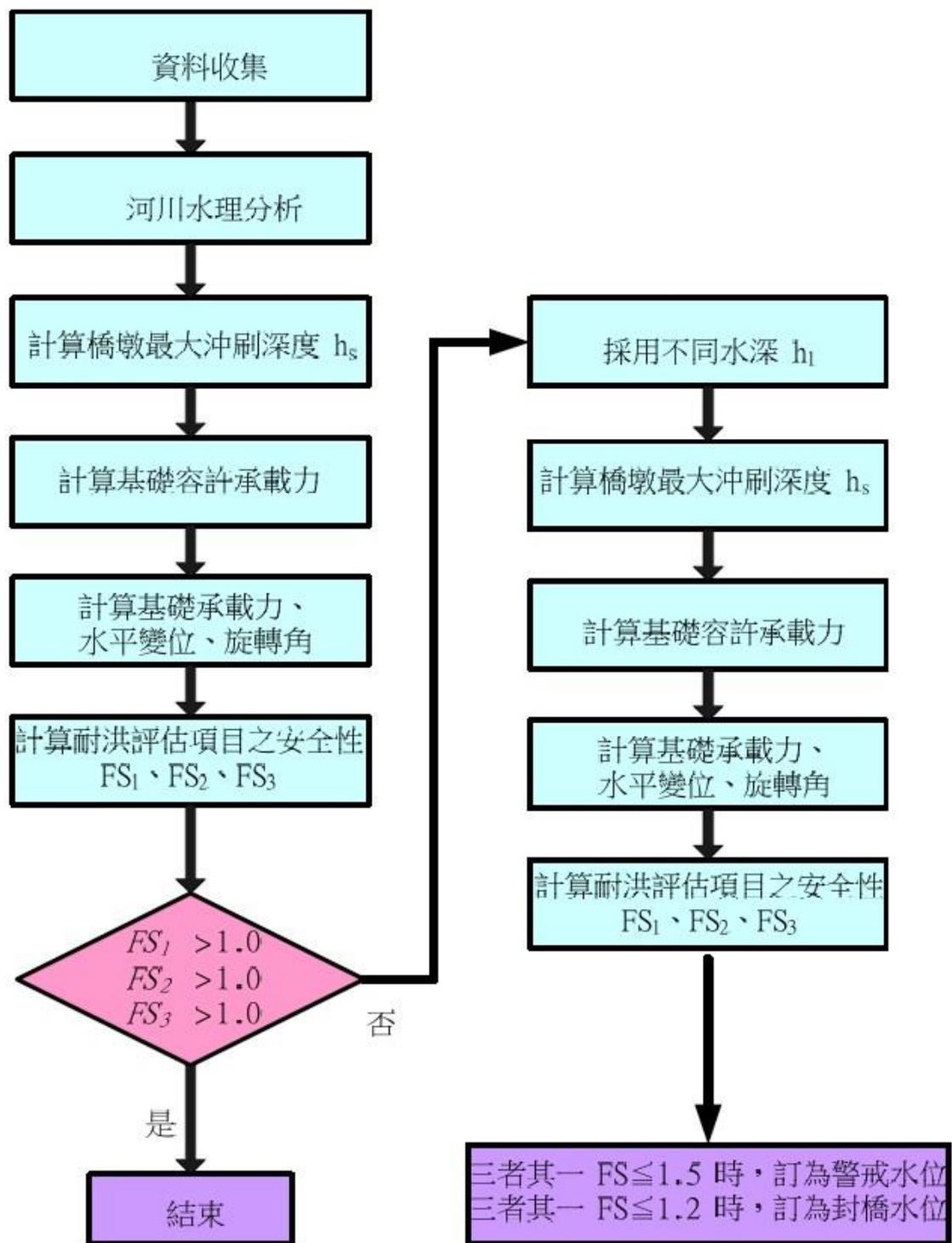


圖 2.12 橋梁耐洪能力詳細評估分析流程

## 2.7 本所歷年橋墩保護工法之研究

整體計畫緣起係為大甲溪下游流域之橋梁管理單位，通常以鼎型塊疊放於橋墩基礎周圍來保護橋墩基礎，雖鼎型塊可達保護橋墩基礎免於遭到沖刷破壞功效，但仍有型塊傾倒或流失之問題，造成前述問題因素眾多，除吊裝前置整地不確實、鼎塊底部無以卵石做基底、鼎型塊吊放無考量鼎型塊形狀堆疊互制...等之外，最主要原因仍為鼎型塊底床粒料被沖刷所致，爰有於鼎型塊下方多鋪設一層織布來減緩沖刷之構想產生，並規劃室內橋墩水工模型及現地鋪設試驗進行驗證，以提供相關橋梁維管單位(國道高速公路局、臺灣鐵路管理局、公路總局及縣市政府)未來設置相關保護工決策之參考，以增加用路人之行車安全

107 年度主要以水工模式試驗探討應用地工織布結合鼎型塊於橋墩基礎之可行性及保護成效，108 年度探討地工織布結合鼎型塊用於現地保護之施工性及經濟性，109 年度因適逢高公局辦理國道 3 號耐震補強工程，於基礎工程擴基補樁施作之時，商請該局於復原鼎塊保護工前預留時間配合本所進場鋪設地工織布，得以獲取現場試驗之機會，否則倘以本所之預算額度，則因難以支應所需之現場施工費用而作罷，爰趁此難得之機會，基於過去初步研究成果，於尚未完成室內水工試驗最適鋪設斷面探討之際，即以國道 3 號大甲溪橋 P24L 及 P27R 為試驗橋址，進行地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設，以驗證保護工法之施工性，110 年度續以 109 年現地保護工試驗進行成效觀測與評估，進行室內水工模型試驗，接續探討鋪設斷面改善方案，並提供高速公路局中區養護分局大甲工務段納入 111 年度橋梁養護工作內執行，而雖經過 110 年現地觀測已獲初步驗證成果，惟仍需透過長期性之觀測及有待超大豪雨事件來進一步驗證本計畫之保護成效，爰本(111)年度續以進行現地保護工試驗成效觀測與評估，並延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，嘗試建置二維數值水理分析模型，供後續研究進行多元化分析驗證及成效評估，各年度研究成果分述如下：

### 1. 107 年度「國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究」

「國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究」<sup>[16]</sup>所於 107 年完成之研

究計畫，係以原保護工鋪設方式及 4 種保護工鋪設方案(不考慮保護工之材料耐久性)的試驗結果，比較其最大沖刷深度及下游鼎型塊穩定度之結果顯示：a.現況保護措施(如圖 2.13~2.14 所示)與零方案(無保護工，如圖 2.15~2.16 所示)之沖刷結果顯示，現況保護措施最大沖刷深度 7.5cm(如圖 2.17 所示)小於無保護措施最大沖刷深度 8.7cm (如圖 2.18 所示)，顯示現況保護措施有其成效。b.現況保護措施為達到與橋墩基礎樁帽高程一致，遂鋪設二層鼎型塊，依本所過去的研究結果顯示，相關保護措施若高於現況河床，將會導致橋墩基礎阻水斷面增加，進一步可能增加橋墩基礎之沖刷深度，爰將橋墩基礎保護措施降為一層之鼎型塊保護，並在鼎型塊下方鋪設織布以防止下層細粒料的流失(如圖 2.19~2.21 所示)，沖刷試驗結果(如圖 2.22 所示)橋墩基礎最大沖刷深度由 7.5cm 降為 1.4cm，顯示優於現況保護措施。c.為避免下游向源侵蝕的作用，導致鼎型塊的滑落與流失，遂在鼎型塊下游鋪設石籠作為保護(如圖 2.23~2.24 所示)，試驗結果顯示(如圖 2.25 所示)確實對下游鼎型塊的穩定度有很大的成效。

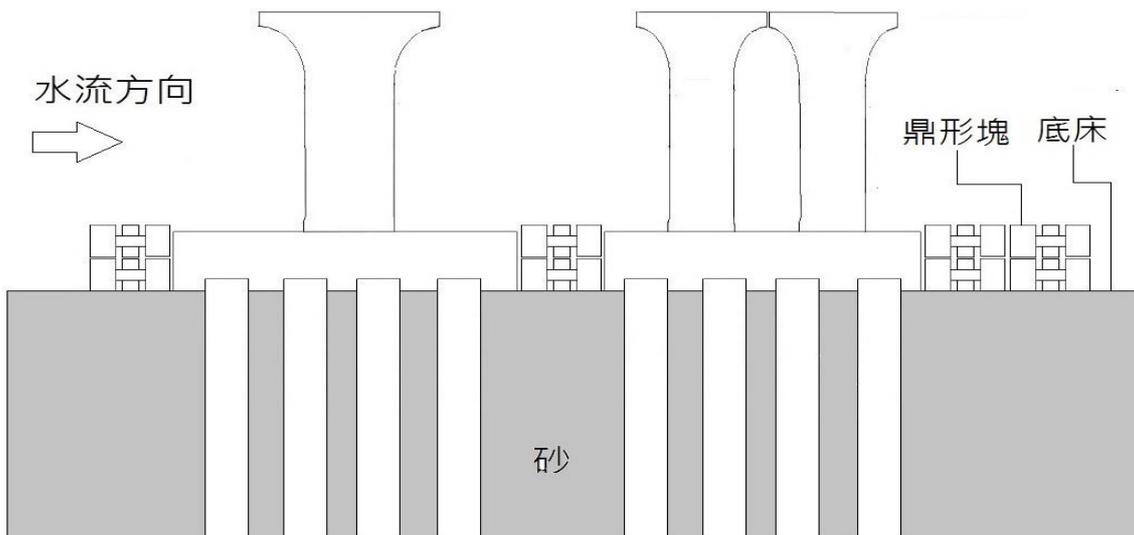


圖 2.13 現況保護措施鼎型塊鋪設斷面示意圖



圖 2.14 現況保護措施模型鋪設

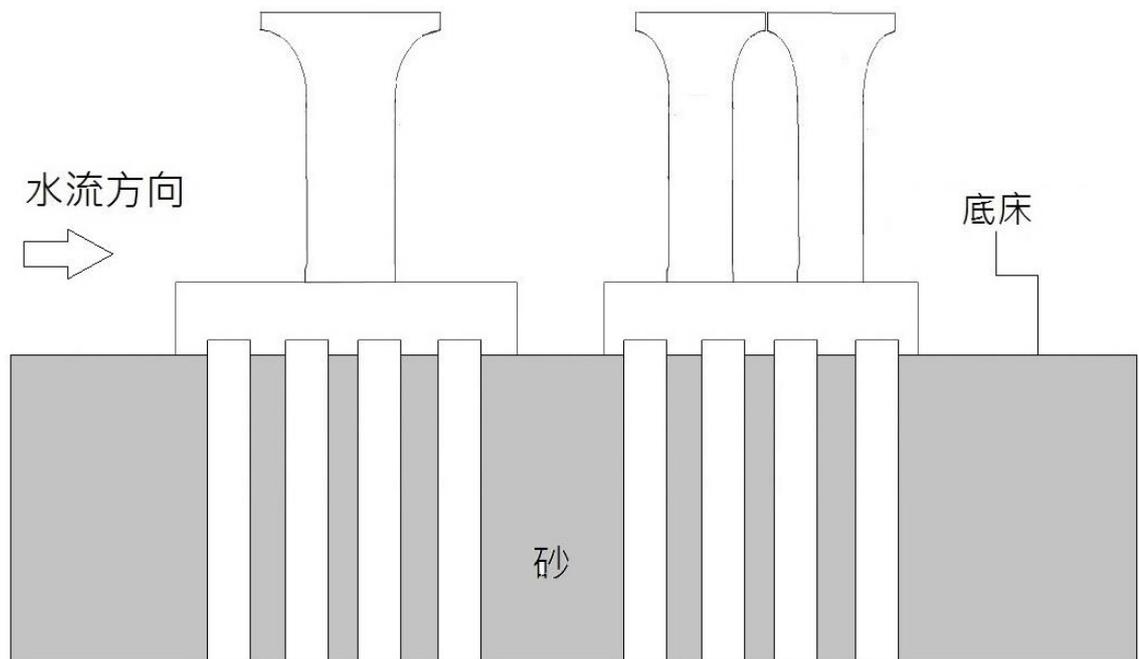


圖 2.15 無保護措施斷面示意圖



圖 2.16 無保護措施橋墩鋪設



圖 2.17 現況保護措施基礎上游沖刷情形



圖 2.18 無保護措施基礎沖刷情形

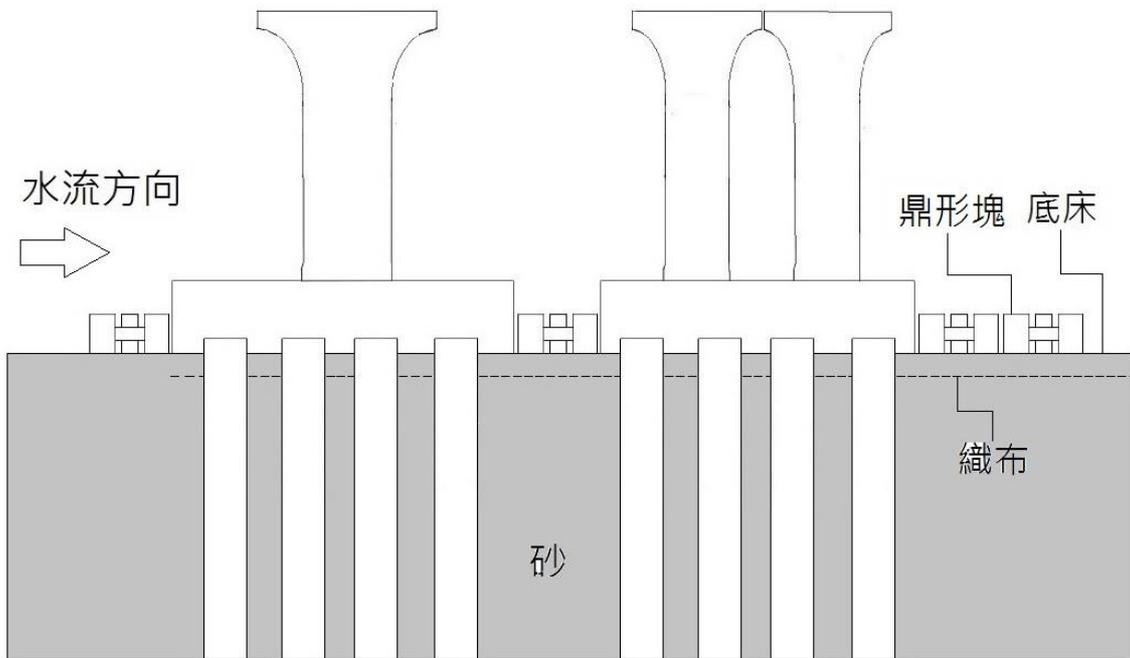


圖 2.19 一層鼎形塊+織布斷面示意圖

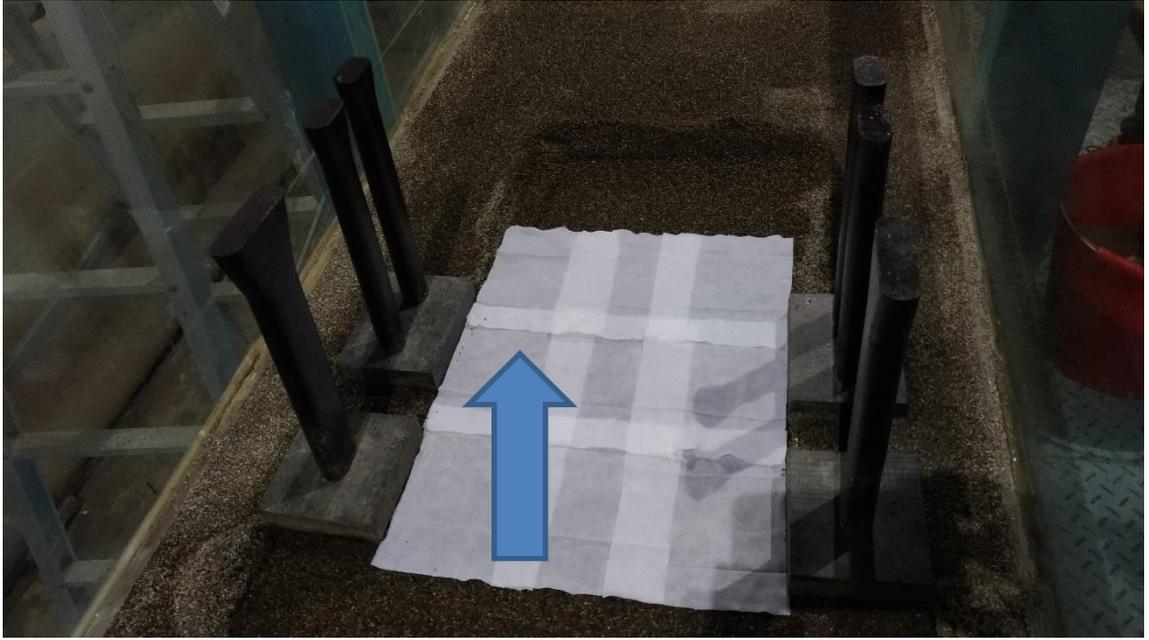


圖 2.20 一層鼎型塊+織布之鋪設



圖 2.21 一層鼎型塊+織布保護措施模型鋪設

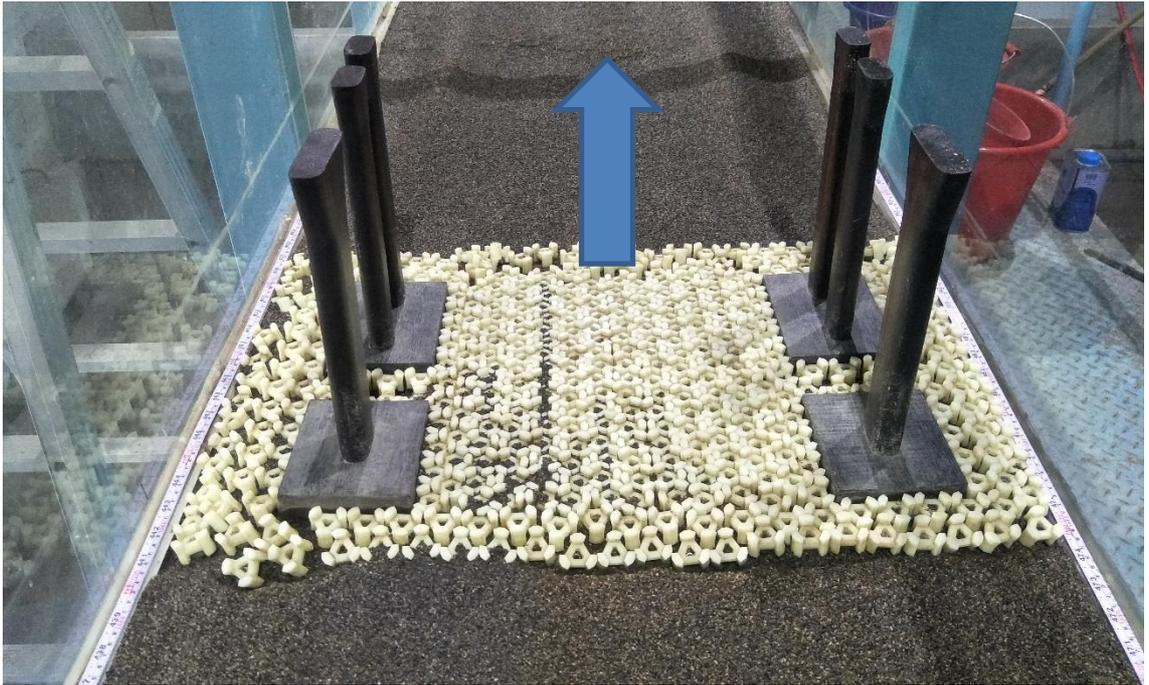


圖 2.22 一層鼎型塊+織布保護措施基礎沖刷情形

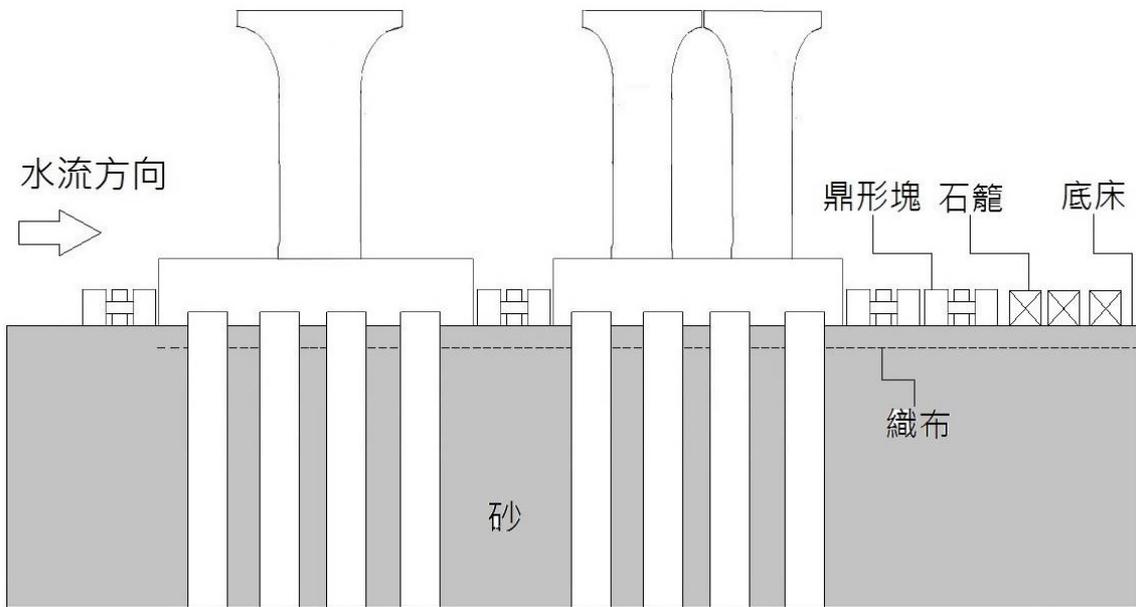


圖 2.23 一層鼎型塊+織布+石籠斷面示意圖

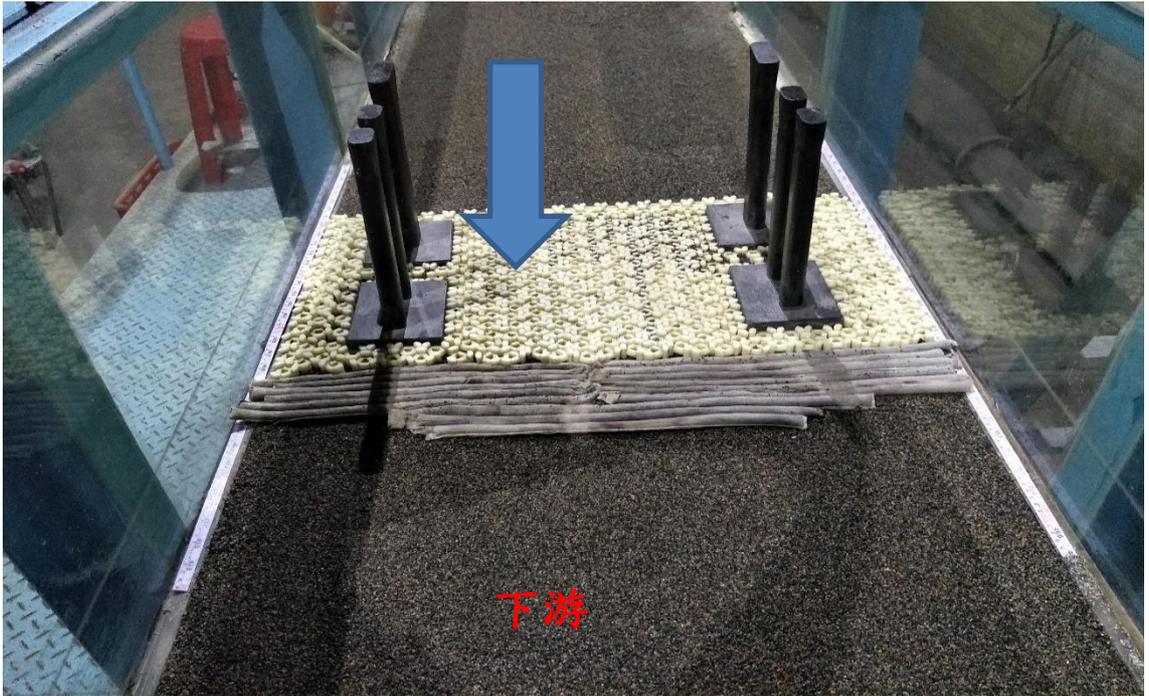


圖 2.24 一層鼎型塊+織布+石籠保護措施模型鋪設



圖 2.25 一層鼎型塊+織布+石籠沖刷情形

## 2. 108 年度「土工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」

「土工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」<sup>[17]</sup>本所於民國 108 年完成之研究計畫。計畫緣起為大甲溪下游流域之橋梁管理單位(國道高速公路局、臺灣鐵路管理局及公路總局)，歷年於非汛期進行橋墩基礎保護工施作時，通常以鼎型塊疊放於橋墩基礎周圍來保護橋墩基礎，由歷年之保護成效評估，鼎型塊已達到保護橋墩基礎免於遭到沖刷破壞的功效，但仍有鼎型塊流失，河床下刷之現象發生。本所近年橋墩基礎保護工之水工模型試驗結果顯示，土工織物結合鼎型塊、石籠等，可達到保護河床(固床)的功效，惟目前針對土工織物應用於橋墩基礎保護之研究及案例較缺乏，多為土工織物應用於邊坡水土保持工程之案例，爰針對土工織物應用於橋墩基礎保護工以施工性及經濟性進行探討，研析土工織物應用於橋墩基礎保護工之可行性，做為未來橋管單位施設橋墩基礎保護工法之參考。

針對目前常見之土工合成材料的特性探討結果顯示，土工織布之材料特性符合保護河床質土壤的需求，不論其河床質為砂質河床或礫石河床均適用，其中以強度及耐久性考量，採聚丙烯纖維(PP)之織布較採用聚酯纖維(PET)之織布優。織物模板雖適用於邊坡、河岸與海岸堤防等保護工程，惟應用於橋墩基礎之保護上，恐因河水之沖刷力過大，導致填充其內之混凝土破裂進而刺破或割破織布，而造成整個保護工的損壞。加勁格網及土石籠(袋)組在邊坡之保護應用成效都很不錯，惟加勁格網之網目太大，恐無法滿足保護細粒料河床質的需求，而土石籠(袋)組因施工繁瑣，爰此不考慮。沙腸管(袋)因需就地取材，以水力方式抽取現地之沙土來填充袋體，僅能適用於砂質河床之流域，對於卵礫石之流域，因砂源取得不易，恐需花費鉅額的工程費才能完成，較不適用於卵礫石之流域。

國內過去利用土工織物應用於橋墩基礎之保護工案例不多，主要是應用在下游潛堰之消能護坦保護及高灘地之保護。而國外過去雖有織物模板及沙腸管直接應用於橋墩基礎的保護案例，惟保護工法之選用常需因地制宜，未來應用還是須視環境特性選取適宜之材料來進行

相關保護工之施作。

在地工織布之施工性探討部分，由本所民國 107 年於國道 3 號大甲溪橋 P27R~P28R 橋墩間及下游的鼎型塊下方地工織布試鋪的案例得知，地工織布之鋪設其施工性是可行的，惟日後針對實務面遭遇的水下施工問題、單元間的搭接及織布上游的回包施作簡化問題，若能尋求相關的解決方案，則能增進地工織布橋墩基礎保護工之施工性。

在地工織布之經濟性探討部分，以國道 3 號大甲溪橋 P27R~P28R 橋墩間及下游的鼎型塊下方地工織布試鋪的案例為例，織布鋪設費用與鼎塊的製作及吊放排置費用比較結果顯示，織布之鋪設費用僅為鼎型塊製作及吊放費用之 5%。以經濟性評估，因目前國道 3 號大甲溪橋橋基之保護工費用主要為鼎型塊的製作及吊放排置之工程費，若增加鋪設織布的鼎型塊能與對照組(未鋪設織布之鼎型塊)比較，若能比對照組增加 5%之使用年限，或於生命週期能較對照組少補鋪設數量達 5% 以上，則織布之鋪設有其經濟效益。

### 3.109 年度「地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」

「地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」<sup>[18]</sup>為本所於民國 109 年完成之研究計畫，係針對本所過去水工模型試驗結果，所研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，以國道 3 號大甲溪橋 P24L 及 P27R 為試驗橋址，進行地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設，以驗證保護工法之施工性及保護成效，提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路總局、高速公路局、臺灣鐵路管理局以及縣市政府等單位未來施政之應用。

地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設施工步驟說明如下：

#### (1) 整地

試驗橋址基礎耐震補強施工後，織布鋪設前先進行必要的整地工作，如圖 2.26 所示，基礎下游側地形依規劃進行降階地形整地，如圖 2.27 所示。

#### (2) 高強度織布及防護層織布鋪設

首先將 1 單元之高強度織布吊放至樁帽上，並將其展開並以軟石固定一端於樁帽上，如圖 2.28 所示，重複上述步驟完成基礎樁帽 4 周的高強度織布吊放及固定，如圖 2.29 所示。接著進行平面高強度織布之鋪設及單元間之綁紮作業，如圖 2.30 所示。

接著以相同方式鋪設防護層織布，如圖 2.31 所示。

### (3) 鼎型塊排置

吊放鼎型塊及排置如圖 2.32 所示。鼎型塊結合地工織布保護工現地鋪設完成詳如圖 2.33 所示。



圖 2.26 橋墩基礎上游整地



圖 2.27 橋墩基礎下游整地及地形降階



圖 2.28 高強度織布展開並以軟石固定於樁帽上



圖 2.29 完成樁帽 4 周之高強度織布吊放展開及固定



圖 2.30 平面高強度織布鋪設及單元間之綁紮作業



圖 2.31 防護層織布鋪設

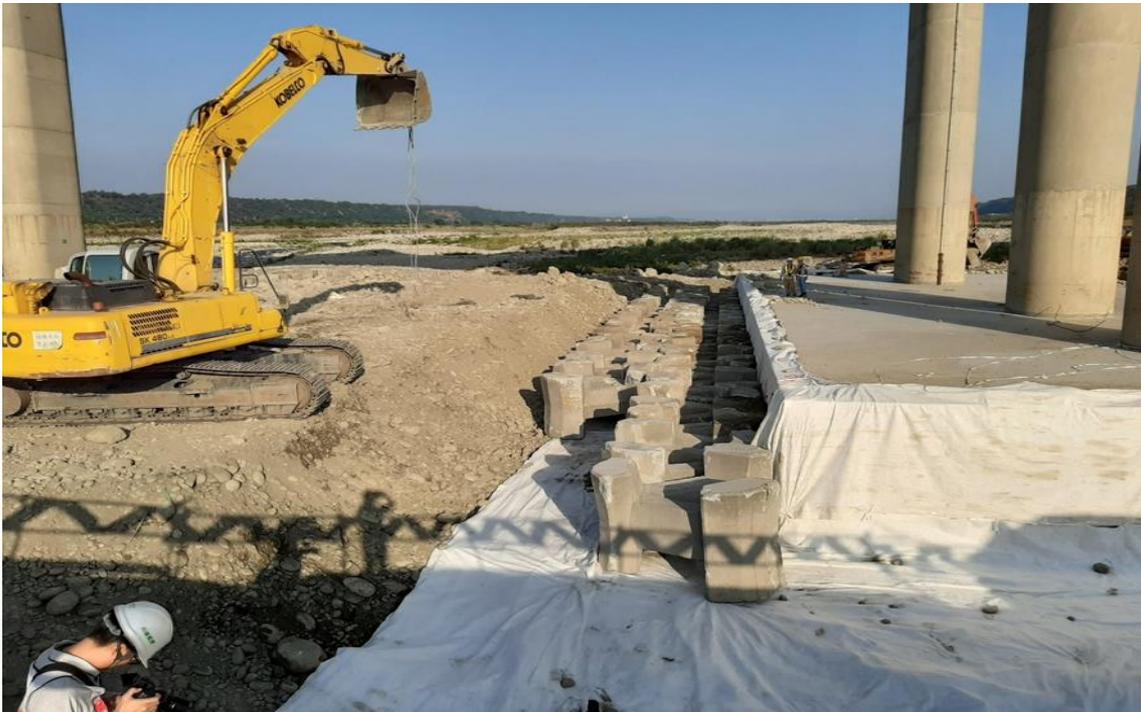


圖 2.32 鼎型塊吊放與排置作業



圖 2.33 鼎型塊結合土工織布保護工鋪設完成(下游側)

#### 4. 110 年度「國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證」

「國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證」<sup>[19]</sup>為本所於民國 110 年完成之研究計畫，係針對本所過去將地工織布結合鼎型塊保護工法實際鋪設於國道 3 號大甲溪橋 P24L 為試驗橋址，觀測並驗證保護工法之施工性及保護成效，經 110 年盧碧颱風事件前後現場三維地形資料套疊及現場照片交叉比對後(圖 2.34)，有鋪設地工織布試驗橋址(試驗組)相較於未鋪設地工織布之橋址(對照組)周圍鼎型塊之流失及傾斜之情形較少，初步驗證地工織布能有效減緩向下水流掏刷作用，減少鼎型塊下方河床粒料流失，以維持鼎型塊穩定性。

而經室內斷面水工模型沖刷試驗結果顯示(表 2-1)，地工織布結合鼎型塊保護工法，其保護橋梁基礎沖刷的成效優於無鋪設織布之鼎型塊保護工法，且鼎型塊流失的情況也有顯著改善，顯示鋪設地工織布有

其必要性。由圍繞橋墩基礎不同排數的鼎型塊保護方案沖刷結果顯示，三排優於二排，二排優於一排，顯示未來鼎型塊鋪設圍繞橋墩基礎的排數越多越好。鼎型塊鋪設有無降階之方案比較顯示，有降階的方案優於無降階。依據本年度試驗結果，透過現場會勘及討論方式，將相關斷面鋪設原則提供高速公路局中區養護分局大甲工務段納入 111 年度橋梁養護工作內執行，未來將持續進行觀察，進一步驗證地工織布之效用，相關成果將提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路總局、高速公路局、臺灣鐵路管理局以及縣市政府等單位未來施政之應用。

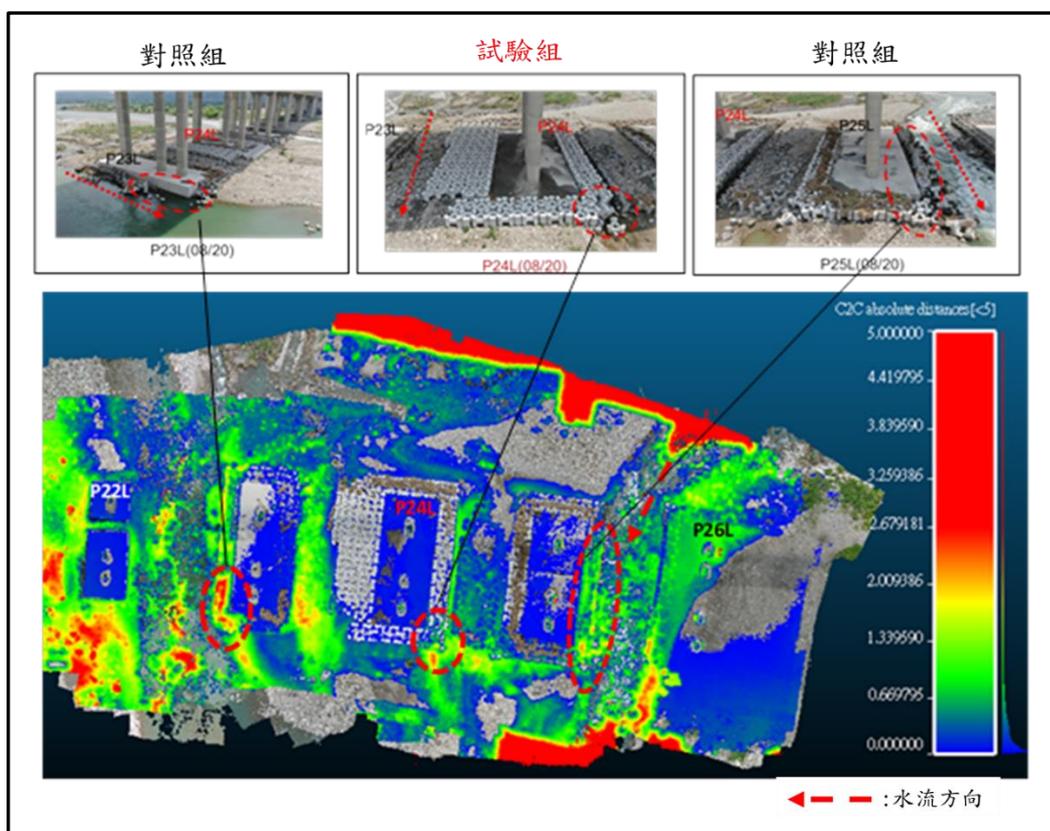


圖 2.34 110 年盧碧颱風事件前後數值三維地形套疊結果

表 2-1 室內試驗不同鋪設方案最大沖刷深度及鼎型塊穩定度比較

方案	鼎型塊鋪設情形	土工織布鋪設情形	最大沖刷深度	鼎型塊穩定度
1	N/A	N/A	9.4 cm	-
2	2 排環繞，無降階	N/A	2.8 cm	嚴重-河槽區鼎塊大範圍側傾
3	2 排環繞，無降階	平鋪於鼎型塊下 (直接接觸)	2.7 cm	明顯-迎水面局部鼎塊側傾(河槽區部分粒料掏刷)
4	2 排環繞+降階	N/A	1.9cm	輕微-迎水面局部鼎塊側傾
5	2 排環繞，僅下游側降階	N/A	2.2cm	明顯-迎水面及河槽區鼎塊局部側傾
6	2 排環繞，僅下游側降階	平鋪於鼎型塊下 (直接接觸)	1.6cm	輕微-迎水面鼎塊局部側傾
7	3 排環繞，無降階	N/A	2.8cm	輕微-迎水面鼎塊局部側傾
8	3 排環繞，無降階	平鋪於鼎型塊下 (直接接觸)	1.3cm	輕微-迎水面鼎塊基礎粒料局部掏刷
9	N/A	斜鋪於自然開挖面上，並以試驗砂填平	7 cm	-
10	2 排環繞，無降階	斜鋪於自然開挖面上，並以試驗砂填平	1.5cm	明顯-迎水面全部鼎塊側傾
11	1 排環繞	斜鋪於自然開挖面上，並以試驗砂填平	2.3cm	明顯-迎水面局部鼎塊側傾 (河槽區部分粒料掏刷)

## 2.8 應用二維水理模式評估河道演變之研究

「應用二維水理模式評估河道演變之研究」<sup>[20]</sup> 為中興大學水土保持學系碩士班盧錫彥先生於民國 101 年發表之碩士論文，該論文係因隨科技進步許多水理數值模式計算能力亦隨之逐漸完善，探討利用二維水理模式作為模擬河道受水流影響所造成的底床變化，進而判釋河道演變的趨勢，茲摘錄相關研究成果如下：

為了解河道受水流影響所造成的底床變化，一般採取實際採樣河道底床高程分佈，判釋河道演變的趨勢。近年來，科技快速發展下，許多數學模式計算能力逐漸完善，如 CCHE2D、FESWMS-2DH、FLO-2D、HIVEL2D、MIKE-21...等，並進行各模式詳細比較(表 2-2)，該研究係利用二維水理模式(CCHE2D)作為模擬水理、輸砂之應用工具，並制定河寬、主深槽高程、主深槽偏移量、河道斷面積及辮狀指數等五種河道特性因子，量化後評估河道演變之趨勢，研究以大甲溪石岡壩下游河段作為研究對象，進行不同來水、輸砂量以及時間尺度下之模擬方案，探討不同的河道穩定因子對長期動態模擬之影響。首先針對數學模式的水、砂控制方程組進行率定、驗證工作，率定係模擬 94 年泰利颱風水位歷程，比對實際水位資料，另外以 93 年數值高程地形(DEM)作為初始地形，模擬 93 至 94 年主要颱風洪水流量對河道演變之影響，以模擬成果比對 94 年實測大斷面資料完成驗證工作。率定、驗證之模擬結果皆有良好趨勢，模式於水理演算之水位吻合實際水位歷線，模擬之底床床型變化亦與實測大斷面有相同之趨勢，故顯示 CCHE2D 具備模擬颱風洪事件之能力，能合理預測底床變化。在長期動態模擬成果上，以河道特性因子量化分析結果，大甲溪石岡壩下游增加輸砂量時，河道演變穩定性越高；河道展寬時流路較可能呈現明顯多岔流路形式；大甲溪石岡壩下游河道底床受垂向侵蝕影響較大，水流能量作用於垂直方向相對於水平方向來得多。研究成果對未來河道演變相關議題與河道整治工程、規劃皆有參考價值。

表 2-2 各二維水理模式比較表

模式名稱	流況模擬					圖形 介面 (GUI)	免費 授權
	穩定流	變量流	混合流	超臨界流	亞臨界流		
CCHE2D	V	V	V	V	V	V	V
FESWMS- 2DH	V	V	V	V	V		V
FLO-2D	V	V	V	V	V	V	
HIVEL2D	V	V	V	V	V		V
MIKE-21	V	V	V	V	V	V	
模式名稱	流況模擬					研發單位	
	均一 粒徑	級配 粒徑	非平衡 輸砂	河岸沖刷	河工結構		
CCHE-2D	V	V	V	V	V	美國密西西比大學國家 計算水科學及工程中心	
FESWMS- 2DH					V	美國運輸部聯邦高速公 路局 (FHWA)	
FLO-2D	V	V				美國 FLO-2D Software, INC.	
HIVEL2D	V	V				美國陸軍工兵團水道實 驗站 (WES)	
MIKE-21	V	V				丹麥水利研究所(DHI)	

資料來源：盧錫彥(2012)，應用二維水理模式評估河道演變之研究

## 2.9 CCHE2D 模式應用於蜿蜒複式河槽變遷之研究

「CCHE2D 模式應用於蜿蜒複式河槽變遷之研究」<sup>[21]</sup> 為陽明交通大學土木工程學系碩士班李岱玲女士於民國 101 年發表之碩士論文，該論文係因台灣的蜿蜒河川於汛期間，洪水漫過高灘地時，在兩岸堤防之間形成蜿蜒複式河槽，因此有關蜿蜒複式河槽主深槽變遷及河床沖淤方面需要更深入的分析，茲摘錄相關研究成果如下：

該研究探討蜿蜒複式河槽溢岸流及未溢岸流對河道穩定及深槽變遷之影響。藉由二維動床模式 CCHE2D 模擬實驗室彎道試驗，了解二次流機制在彎道段之特性，圖 2.35、圖 2.36 為 CCHE2D 模式動床模擬及實測之 DLFM 彎道底床變動( $\Delta Z/h_0$ )地形圖(DLFM 為 Sutmuller 和 Glerum (1980)於荷蘭臺夫特科技大學流體力學實驗室(Laboratory of Fluid Mechanics)所作之室內 180°彎道水槽試驗)。其中，實測結果的最大淤積處位於進入彎道後 1/4 彎道處，同時也是沖刷程度最大的區域，以凸岸來說，淤積範圍經過彎道頂點後逐漸減少，直到彎道末端與直接道相接處又有些微的增加。凹岸沖刷的分佈與凸岸淤積的分佈相近，但沖刷的程度較淤積大一些。

在考慮岸壁沖刷機制，模擬正弦連續彎道河道側向變形過程，如圖 2.37、圖 2.38 為 Rahman (1997)實驗結果、Nagata (2000)模擬結果及 CCHE2D 模擬結果岸壁變形比較圖，可以看出兩模擬結果的位置與趨勢皆與實測資料相似，顯示 CCHE2D 對於室內水工模型試驗的模擬結果良好。

溢岸流的研究中，針對三組不同流量及不同上游來砂條件進行模擬，並應用於曾文溪下游之複式斷面河道，探討不同流況下整體河床沖淤趨勢，由溢岸流及未溢岸流之模擬結果可知，在未溢岸流情況下，深槽流量對主深槽之側向變形影響最大。當流量增加為滿灘流後，洪水平原流量愈大，深槽蜿蜒產生的離心力相對減弱，水流受蜿蜒深槽影響愈低，可提供未來河川治理之參考。

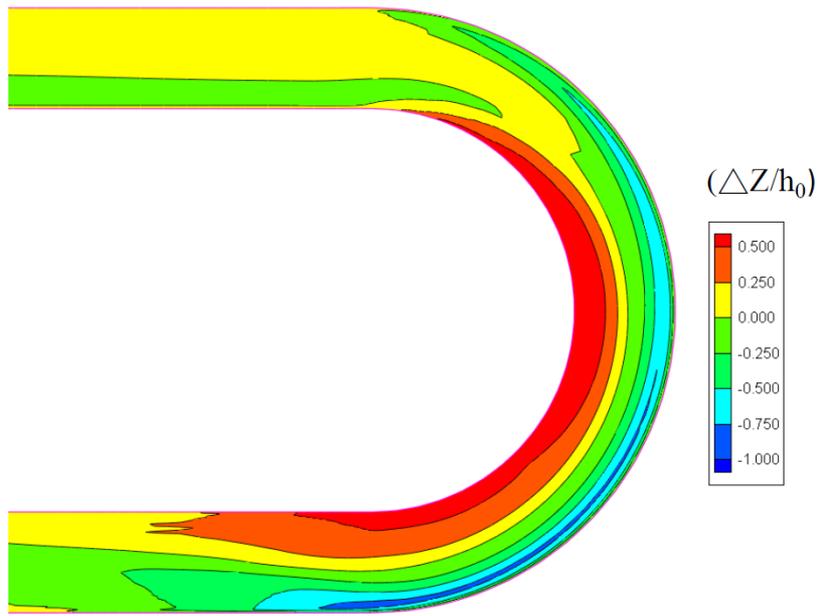


圖 2.35 DLFM 彎道動床模擬結果底床變動( $\Delta Z/h_0$ )地形圖

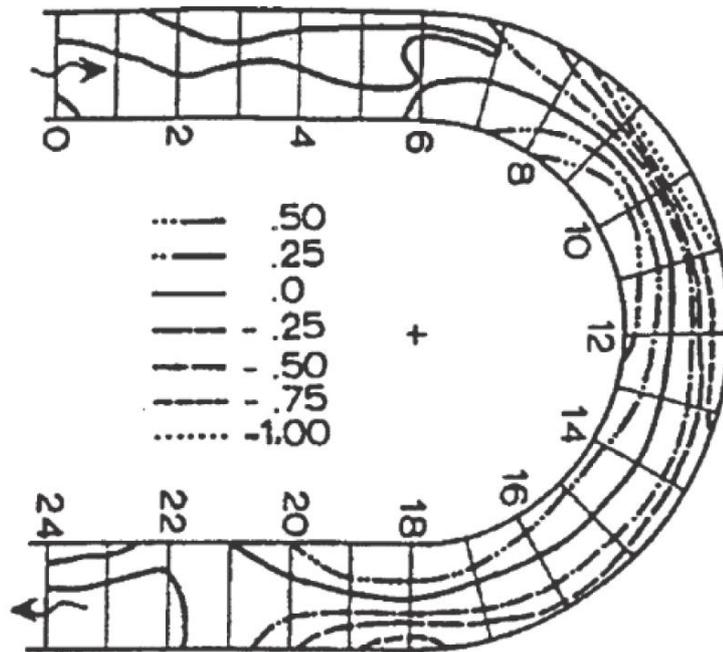
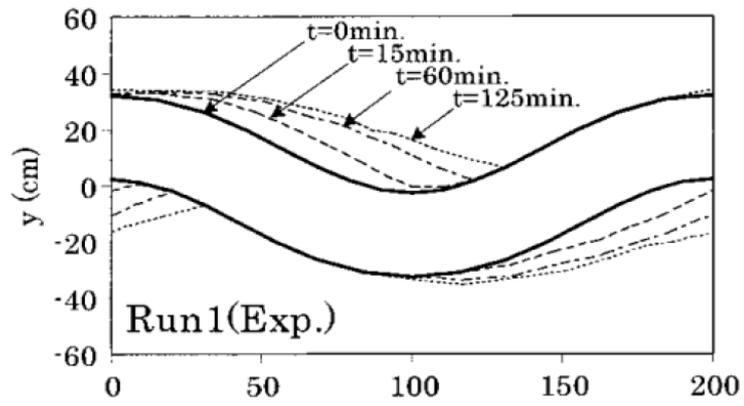
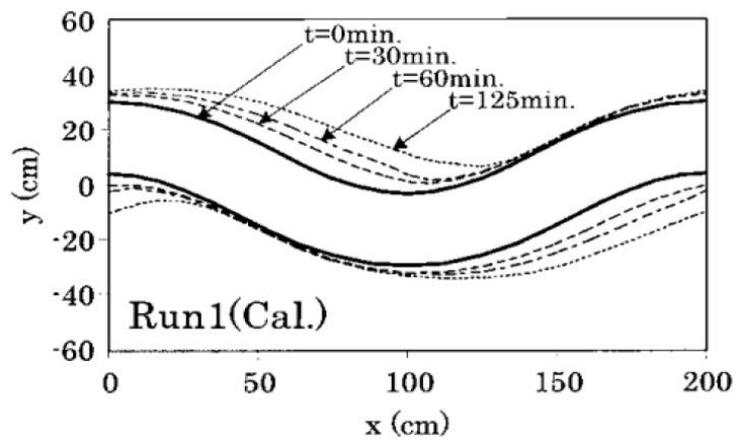


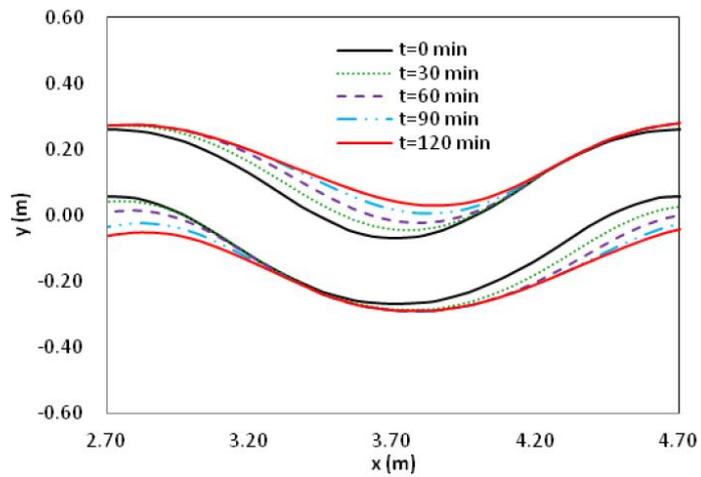
圖 2.36 DLFM 彎道動床實測底床變動( $\Delta Z/h_0$ )地形圖



(a) Rahman (1997) 實驗結果

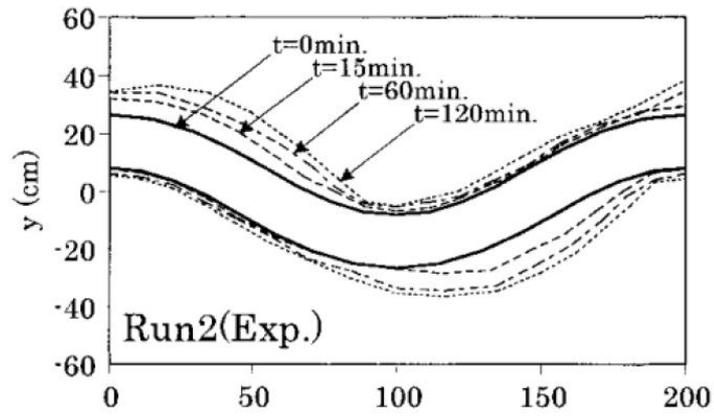


(b) Nagata (2000) 模擬結果

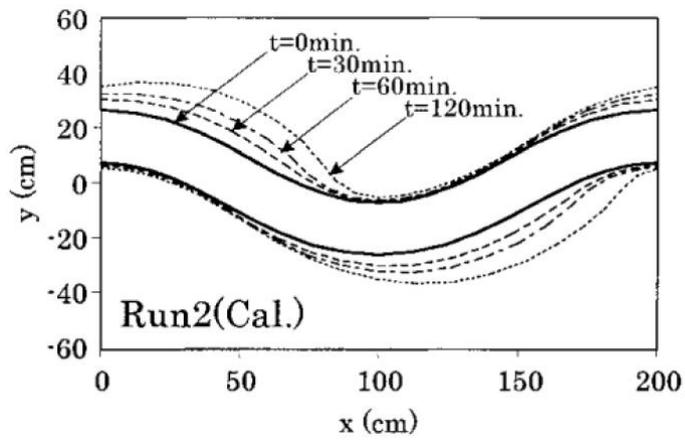


(c) CCHE2D 模擬結果

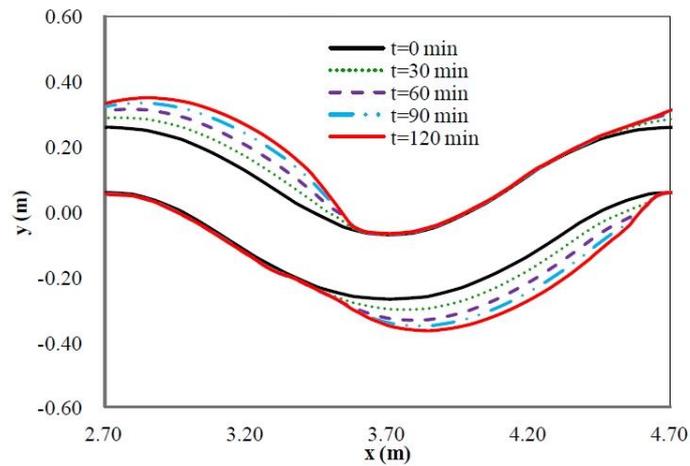
圖 2.37 Run 1 岸壁變形比較圖



(a) Rahman (1997) 實驗結果



(b) Nagata (2000) 模擬結果



(c) CCHE2D 模擬結果

圖 2.38 Run2 岸壁變形比較圖

## 2.10 導流板應用於橋墩沖刷保護之數值模擬研究

「導流板應用於橋墩沖刷保護之數值模擬研究」<sup>[22]</sup> 為陽明交通大學土木工程學系碩士班簡健晉先生於民國 101 年發表之碩士論文，該論文係針對台灣跨河構造物橋梁基礎保護主要以增加橋墩周遭底床糙度等護床方法來減緩基腳沖刷，而國外逐漸興起其他的橋墩保護方法，如：潛板、導流板...等透過改變流場來減少水流沖擊橋墩造成的局部沖刷，爰以數值水理方式進行模擬探討，茲摘錄相關研究成果如下：

該研究係透過 CCHE2D 模式取得之水理參數透過經驗公式進行橋墩沖刷深度推估，並以 CCHE3D 模式模擬橋墩局部流場情形，將流速量化探討導流板配置對橋墩流場之影響。模擬結果在流速分布方面(圖 2.39、圖 2.40)，水流受到導流板影響將沖刷區域由橋墩前方移至導流板前方，且流速流經導流板後即大幅減少，降低向下射流的強度。另在不同流量的情況下，導流板對墩前(node9263)流速減少率均可維持在 50% 上下(表 2-3)，而墩側部分(node10286、node10323)則可維持在 30% 以上(表 2-4)，可有效抑制造成橋墩局部沖刷的主要因子。

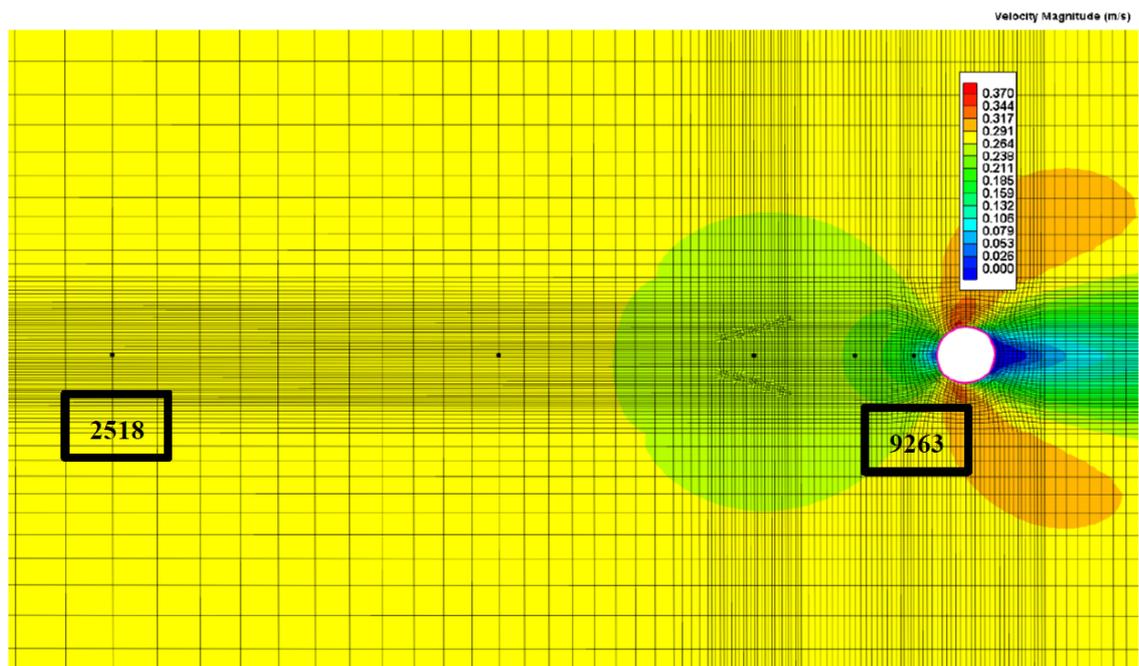


圖 2.39 無導流板配置方案下流速場分布圖

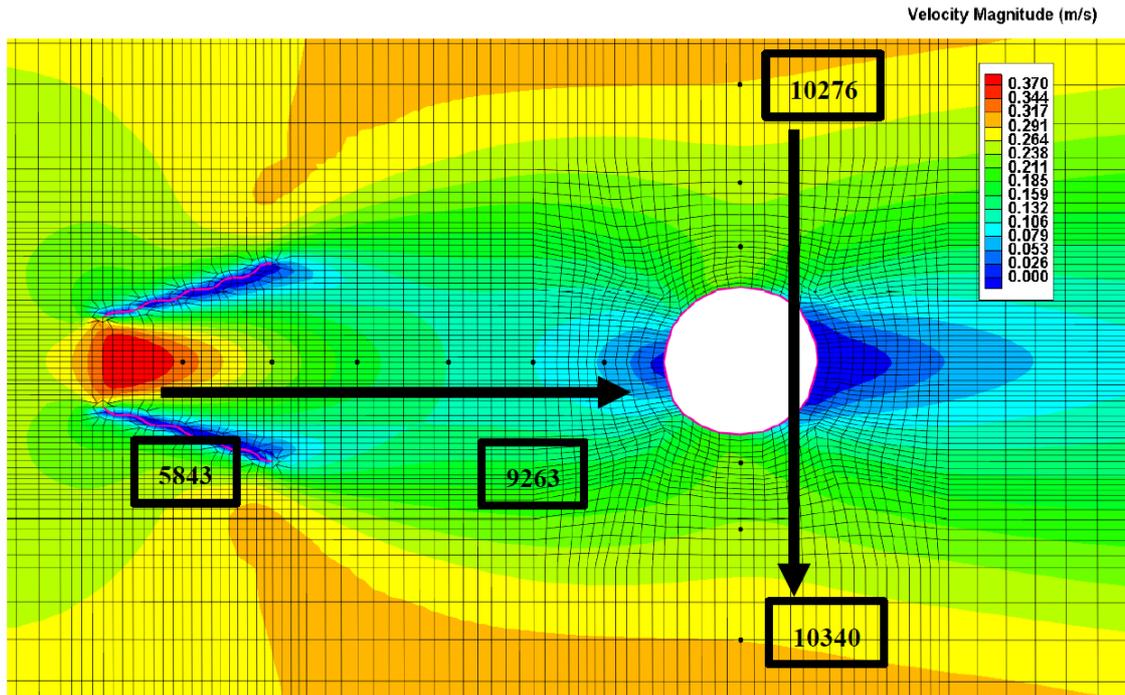


圖 2.40 導流板配置方案下流速場分布圖

表 2-3 導流板至墩前觀測點流速差異表

	流速 (m/s)					
node	5843	6793	7459	8029	8598	9263
case 0	0.256	0.252	0.245	0.232	0.206	0.150
case 3	0.325	0.233	0.167	0.129	0.105	0.073
流速差異(%)	+26.79%	-7.67	-31.84	-44.34	-49.10	-51.02
case 1	0.266	0.261	0.254	0.241	0.214	0.156
case 4	0.335	0.239	0.171	0.131	0.106	0.075
流速差異(%)	+26.06	-8.49	-32.72	-45.40	-50.33	-52.13
case 2	0.227	0.223	0.218	0.206	0.184	0.135
case 5	0.280	0.201	0.144	0.110	0.089	0.063
流速差異(%)	+23.37	-9.98	-33.72	-46.72	-51.68	-53.63

表 2-4 墩側觀測點流速差異表

node	流速 (m/s)					
	10276	10280	10286	10323	10333	10340
case 0	0.2974	0.3106	0.3267	0.3122	0.3118	0.2940
case 3	0.2846	0.2386	0.2161	0.1964	0.2224	0.2852
流速差異(%)	-4.31	-23.18	-33.85	-37.10	-28.67	-3.01
case 1	0.3061	0.3199	0.3376	0.3241	0.3218	0.3026
case 4	0.2899	0.2473	0.2277	0.2081	0.2321	0.2904
流速差異(%)	-5.29	-22.70	-32.55	-35.79	-27.86	-4.05
case 2	0.2591	0.2712	0.2861	0.2731	0.2715	0.2552
case 5	0.2448	0.2113	0.1959	0.1787	0.1980	0.2446
流速差異(%)	-5.54	-22.11	-31.52	-34.57	-27.08	-4.15

## 2.11 小結

地工織布應用於橋墩基礎保護工法之案例不多，以台 13 甲線北勢大橋橋墩基礎保護工法為例，該保護工法於鼎型塊下方基礎鋪設三層不織布包裹石塊分層交疊置於底層，以防止動床之細顆粒吸出掏刷。此方式與本計畫過去以地工織布置於鼎型塊之下以保護鼎型塊下之土壤不被沖刷進而穩定鼎型塊之原理一致，主要差異為該工法使用強度較低之不織布，本計畫使用高強度高透水性的織布，有較優之抗沖刷能力。另外，本計畫織布之鋪設是由橋墩墩帽上緣往下鋪設，如圖 2.29 所示，織布與樁帽及基樁不會有縫隙，織布可以保護其下的土壤或細顆粒不被水流沖走，而台 13 甲線北勢大橋橋墩基礎保護工法之不織布是沿著樁基鋪設，不織布與樁基間會有縫隙，河水衝擊橋墩產生向下射流時，會由縫隙將不織布下層的土壤或細顆粒帶走，而造成上層的鼎型塊不穩定而流失破壞。另外，由於台 13 甲線北勢大橋已於 108 年完成改建，改建前之保護工法係為短期之保護對策，爰此，較為遺憾的是，該橋所施作之橋墩基礎保護工法已隨改建工程進行而撤除，無法現勘及無後續保護成效資料可供本計畫的保護工法進行比較。

近年來，科技快速發展下，電腦效能快速提升，可縮短模擬運算所需時間，各種數值模式計算模組及能力逐漸完善，各具優勢存在並廣用

於模擬各類河道不同時間尺度下水理分析、沖淤模擬及局部沖刷，依前述文獻應用案例，可知 CCHE2D 使用於河道及室內渠槽試驗之數值模擬上皆可獲得穩定的模擬結果或趨勢，適用範圍(表 2-2)對於各類流況模擬(穩定流、變量流、混合流、超臨界流、亞臨界流)及動床模擬(均一粒徑、級配粒徑、非平衡輸砂、河岸沖刷、河工結構)，相較於其他數值模式更為廣泛，並提供圖形介面(GUI)供使用者方便操作易上手及直覺化的圖形展示，以及免費授權使用，對於本計畫將延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，來建置二維數值水理分析模型之目的，CCHE2D 符合本計畫之需求，後續將使用該數值模式做為本計畫主要建置數值水理模型之應用工具，並逐年擴展分析對象及內容，提供本計畫工法多元化分析驗證及成效評估方式。

## 第三章 地工織布保護工法保護成效觀測與評估

本章主要係以本計畫前已於 107 及 109 年分別於 P24L~P25L 間河道及 P24L 基礎周圍佈設鼎型塊結合地工織布保護工法做為試驗組，另將相鄰橋墩基礎之鼎型塊(無鋪設地工織布)做為對照組，相互觀測比較相鄰橋墩基礎之鼎型塊流失情形、基礎沖刷及河道沖刷狀況來進行後續保護成效評估，以驗證本計畫研提之鼎型塊結合地工織布保護工法是否如室內水工模型試驗之結果，有較佳的保護成效。

針對保護成效觀測方法，依據本所過去運用攝影測量技術於邊坡及港區構造物量測的相關研究基礎，本計畫將採無人飛行載具(UAV)取得試驗場址影像資料，透過攝影測量技術可將影像轉換成具三維空間資訊之數值表面地形資料，利用不同時期取得的影像資料進行圖資套疊或模型檢視，相較以往以地面測量取得大面積量測結果的方式更有效率及具有一定之準確性，亦將過去僅能從尋找相片中物件變化之方式，精進成三維模型套疊之量化數據比對，可清楚快速地得知鼎型塊的變位量與流失情形、橋墩間河槽區沖刷變化量，經去(110)年 8 月份盧碧颱風之降雨事件驗證，初步驗證地工織布能有效減緩沖刷，穩定鼎型塊基底粒料，減少鼎型塊流失或側傾情形，提升橋基抗沖刷能力，惟欲擴大推廣應用仍需透過長期性之觀測及有待超大豪雨事件來進一步驗證本計畫工法之保護成效，因此本(111)年度將依循前期計畫觀測方法續以觀測並評估保護成效。

### 3.1 航拍觀測規劃

#### 1. 航拍範圍

因本計畫於 P24L~P25L 間河道及 P24L 基礎周圍佈設鼎型塊結合地工織布保護工法做為試驗組，並將相鄰鼎型塊(無鋪設地工織布)及未施作保護工之橋墩基礎做為對照組來進行比對，因此，規劃以試驗組為中心，向左及右岸至兩側灘地為拍攝範圍，以國 3 大甲溪橋橋墩編號標記，則為上游側 22L~26L(下游側 25R~29R)，共計涵蓋 5 座橋墩基礎

範圍，如圖 3.1 所示。



圖 3.1 航拍範圍示意圖 ←----- :水流方向

## 2. 航線規劃及拍攝原則

繞行橋墩(單一航線單向拍攝)及於上下游側平行橋面車行方向(單一航線來回拍攝)進行橋墩基礎影像拍攝(如圖 3.2)，原則以完整拍攝到圖 3.1 範圍內橋梁基礎與上下游及橋墩間保護工影像為主，航線上每張照片之重疊率需至少 80%左右，以鏡頭垂直朝下方式取得正交影像。

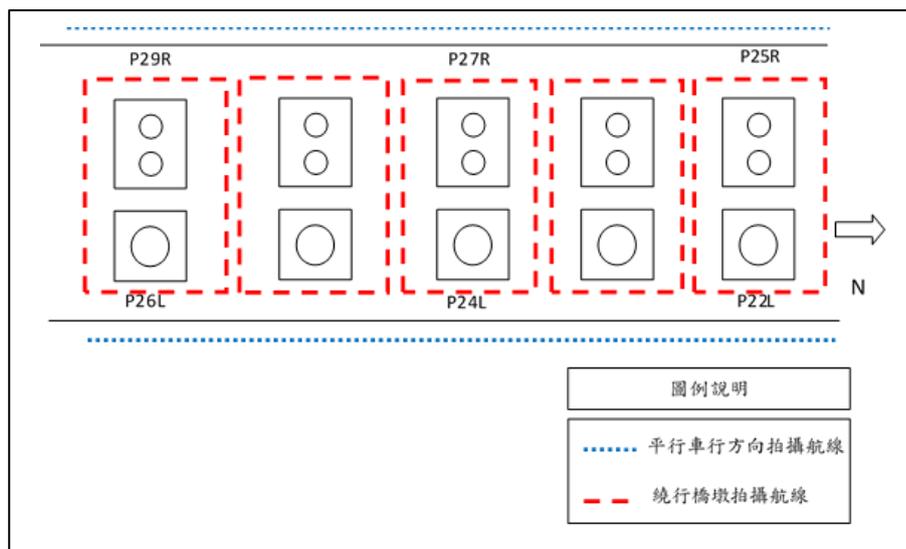


圖 3.2 航線規劃示意圖

### 3. 航拍申請

因本試驗場址位於中部國際機場之航道上，屬禁航區，爰依「遙控無人機管理規則」第 31 條第一項規定於航拍活動 15 日前，檢附計畫書提出申請，報請民航局會商目的事業主管機關同意，取得民航局同意後始得進行試驗場址航空拍攝測量作業。

### 4. 控制測量

施作控制測量之目的在於使拍攝後之影像可進行尺度及座標基準校正，將相對三維空間資料轉換為絕對空間資料，並透過控制點之約制，方能確保不同時期數值三維模型於同一座標系統上進行套疊分析比對，以瞭解試驗區鼎型塊及河道表面地形變化趨勢。

而控制點之位置及數量，則以需佈設於穩定不動處並均勻分佈於試驗區為原則，就本試驗拍攝範圍內來看，橋墩基礎版之角點為適合上述之佈設條件，爰由本計畫團隊成員進場進行控制測量作業(如圖 3.3)，控制點分布如圖 3.4 所示。



圖 3.3 現場控制測量作業情形



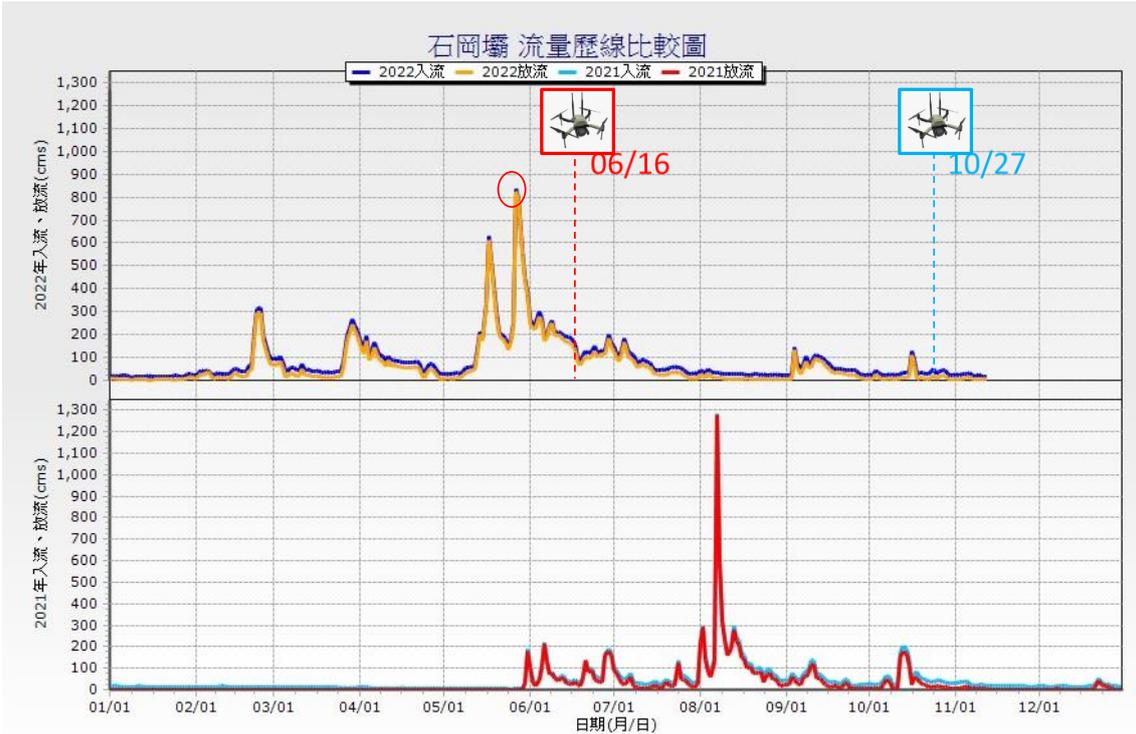
圖 3.4 控制點分布情形

## 5. 航拍時機

於汛期前拍攝一次做為原始地形資料，因本試驗橋址位處於大甲溪石岡壩下游區段，其河床水位及流量深受石岡壩壩體安全操作有關，爰每遇豪大雨或颱風事件等重要降雨事件後，將視石岡壩放流情形進場進行航拍觀測，記錄於降雨事件後試驗區表面地形變化情形。

## 3.2 成效觀測

依前述航拍觀測規劃原則，本計畫共計進行 2 次航拍觀測作業(如圖 3.5)，並透過歷次觀測所得之數值三維模型進行套疊比對分析，據以瞭解地工織布之保護成效，說明如下：



底圖資料來源:經濟部水利署石岡壩管理中心網頁

圖 3.5 本計畫航拍觀測時間與石岡壩放流歷線之關係

(上:111 年；下 110 年)

### 1. 觀測作業時間說明

- (1) 第 1 次航拍觀測(111/06/16):本次作業係為觀測 5~6 月梅雨季節間，共有 2 次重要之降雨事件對於現場之影響，致石岡壩有較大放流量，最大放流量達 825cms(去(110)年度最大放流量為 1,280cms)，故於 111/06/16 進行第 1 次航拍觀測作業。
- (2) 第 2 次航拍觀測(111/10/27):因本(111)年度所發布之颱風對於中部地區並無造成較大之降雨事件，7~10 月間石岡壩放流量皆未大於 5~6 月間之梅雨事件，依據去年度執行經驗判斷 7~10 月間石岡壩放流量對於試驗區並無影響，故未於颱風事件過後即進場拍攝，而適逢高公局預訂於汛期後 11 月規劃進場進行橋基保護工程，屆時會改變試驗區附近橋址之地形，因此於 111/10/27 進場進行第 2 次航拍觀測作業。

## 2. 套疊比對(111/06/16 vs 110/06/16):

本次比對係為瞭解 5~6 月間梅雨事件對於本試驗場址之影響，透過兩期數值三維模型(如圖 3.6)、點雲地形套疊之等深圖(如圖 3.7)及各橋墩兩期拍攝影像比較(如圖 3.8)，在本次降雨事件石岡壩放流量為 825cms(110 年盧碧颱風 1,280cms)情形下，對於本計畫試驗區影響較明顯位置，在於 P23L 上游處、P25L 上游處及 P26L 下游處鼎型塊有位移情形(圖 3.7，紅圈處)，但對於 P24L 橋址鼎型塊並無影響，顯示本計畫保護工法具一定保護成效。



(a)110/10/21



(b)111/06/16

\*紅框處為織布鋪設位置

圖 3.6 兩期數值三維模型(110/10/21 vs 111/06/16)

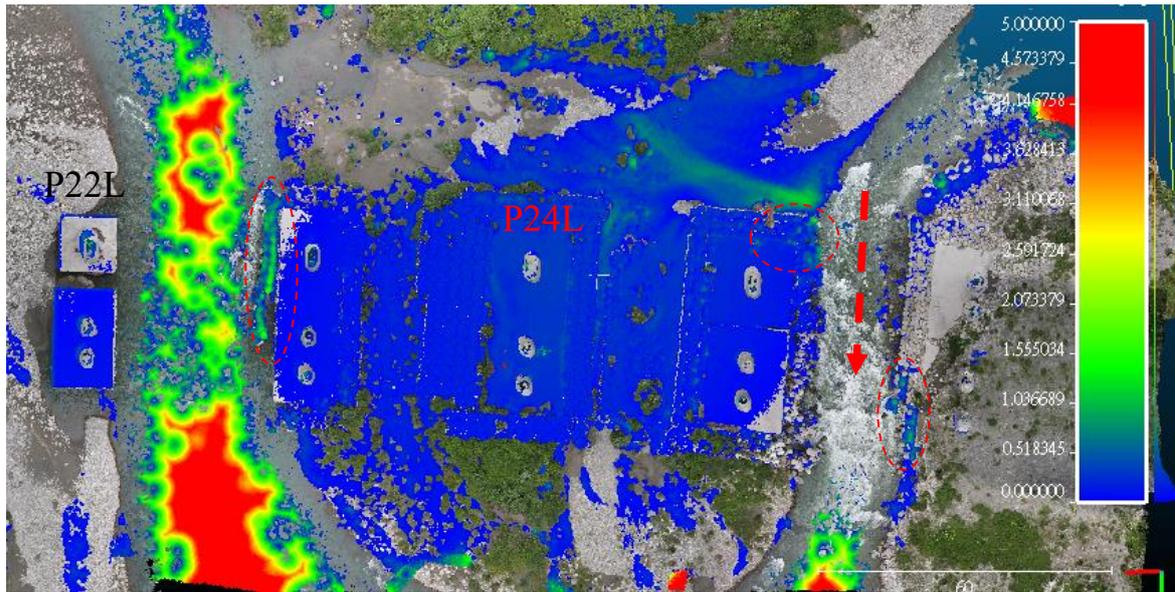
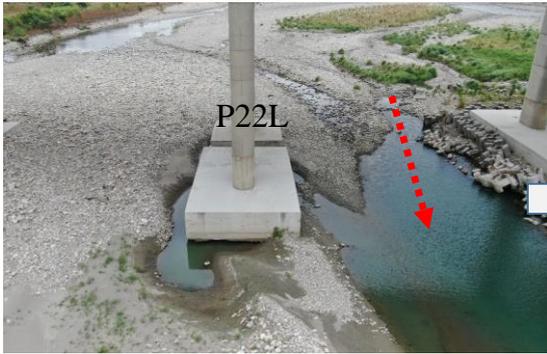


圖 3.7 110/10/21 與 111/06/16 兩期數值三維模型套疊結果(單位:公尺)



P22L(11/10/21)



P22L(11/06/16)

(a) P22L



P23L(11/10/21)



P23L(11/06/16)

(b) P23L

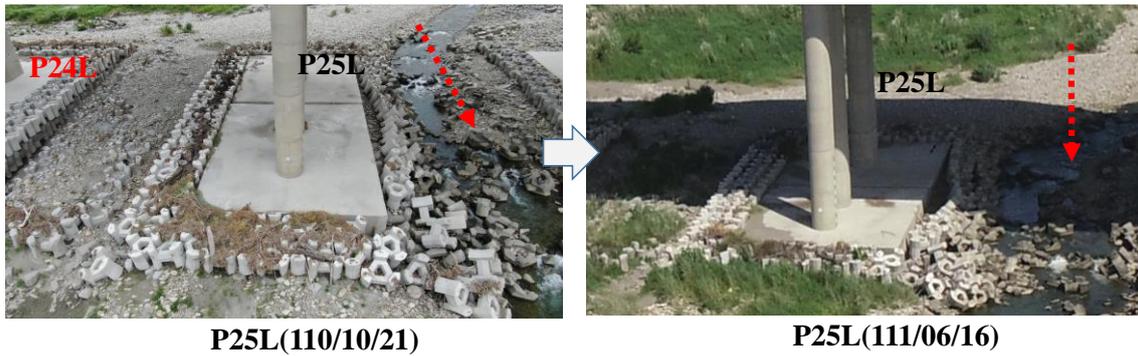


P24L(11/10/21)

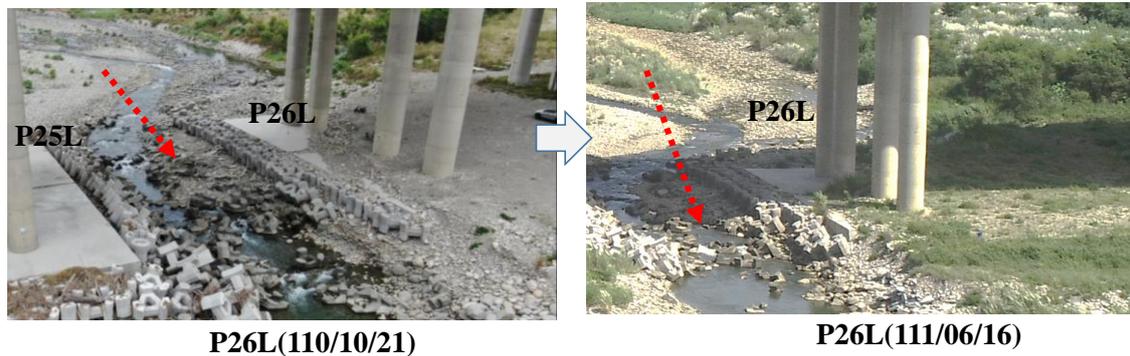


P24L(11/06/12)

(c) P24L



(d)P25L



(e)P26L

圖 3.8 各橋墩兩期拍攝影像(111/10/21 vs 111/06/16)

### 3. 套疊比對(111/06/16 vs 111/10/27):

本次係為高公局橋基保護施工作業前之地形觀測，並瞭解 5~6 月間梅雨事件後本試驗場址之變化情形，透過兩期數值三維模型(如圖 3.9)、點雲地形套疊之等深圖(如圖 3.10)及各橋墩兩期拍攝影像比較(如圖 3.11)，由圖 3.5 石岡壩放流歷線可知，因 5~6 月間梅雨事件後石岡壩無較大放流量，根據前期觀測經驗應不會造成試驗區太大變化，透過觀察點雲地形套疊之等深圖 (圖 3.10)及現場拍攝影像 (圖 3.11)之比對情形亦符合前述說法，對於本計畫試驗區鼎型塊並無太大影響。另補充說明，圖 3.10 中鼎型塊區域上出現之明顯色塊(綠、黃色系)係為植被生長所致，而非鼎型塊位移之現象。



(a)111/06/16



(b)111/10/27 \*紅框處為織布鋪設位置

圖 3.9 兩期數值三維模型(110/06/16 vs 111/10/27)

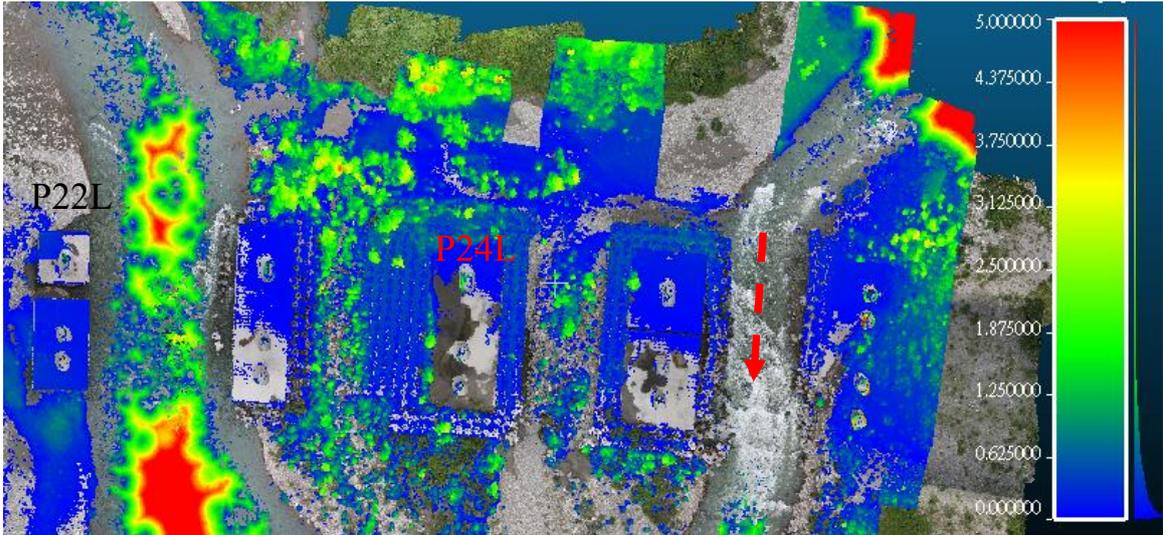


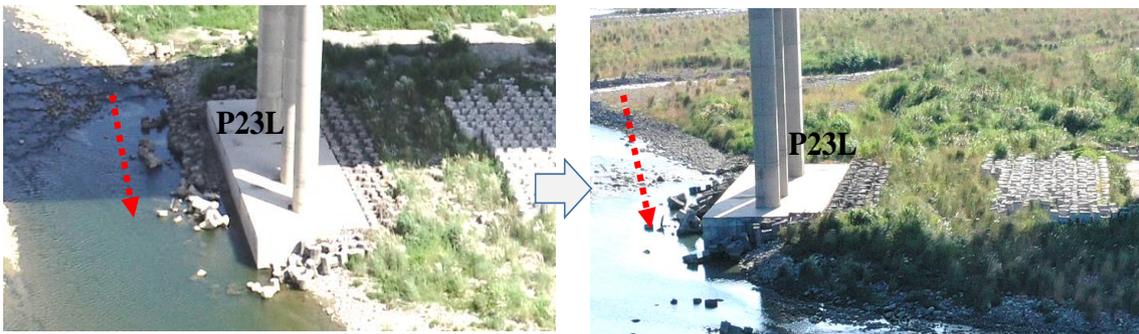
圖 3.10 111/06/16 與 111/10/27 兩期數值三維模型套疊結果(單位:公尺)



P22L(111/06/16)

P22L(111/10/27)

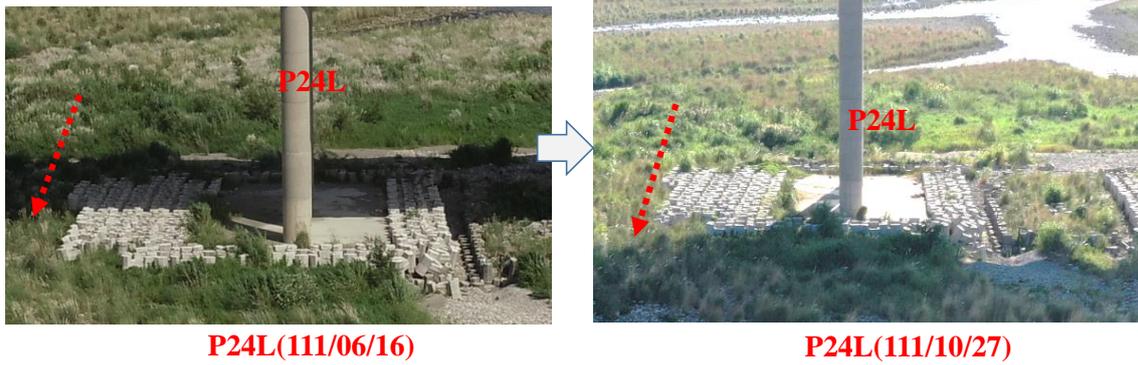
(a) P22L



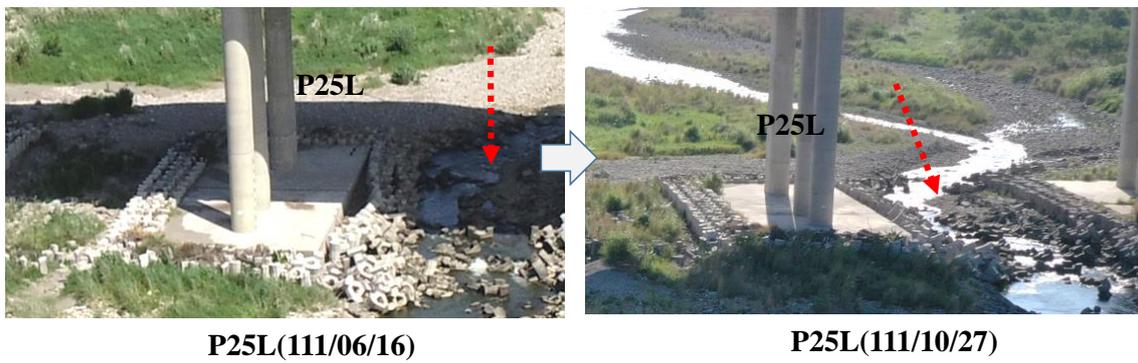
P23L(111/06/16)

P23L(111/10/27)

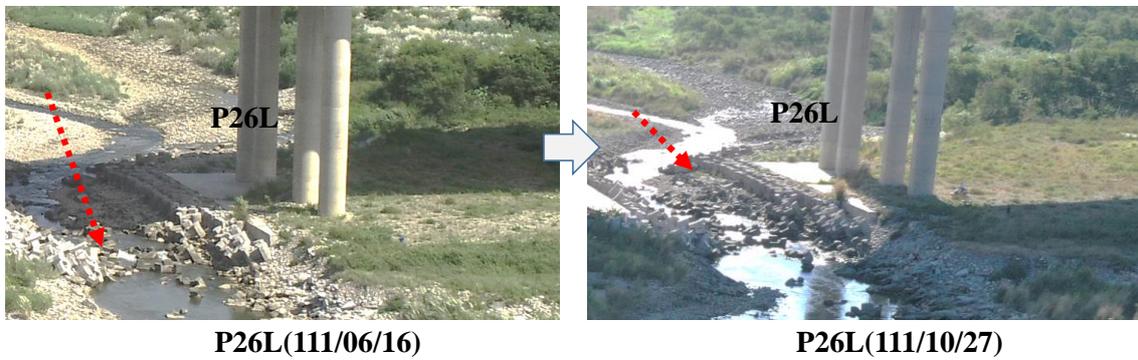
(b) P23L



(c)P24L



(d)P25L



(e)P26L

**圖 3.11 各橋墩兩期拍攝影像(11/10/21 vs 11/06/16)**

### 3.3 成效評估

本計畫工法現場施工之流程如圖 3.12 所示，相較於既有的鼎型塊保護工法施作工序，僅於整地完成後增加鋪設地工織布的工序，整體施工方式並無太大改變，因此對於施工廠商技術門檻要求不高。經過實際

鋪設施作，鋪設土工織布所需之時間為 1 個工作天，而鼎型塊保護工法施作所需時間約為 8 工作天，因此增加織布鋪設工序約占整體工期 12.5% 左右。經實作證明本工法具可施工性，而所增加之施工成本約 10% (織布及鋪設費用 / 鼎型塊工法費用) 左右。



圖 3.12 鼎型塊織布橋基保護工法施工流程

本計畫共進行 2 次之現場 UAV 觀測作業，因本年度所發布之颱風對於中部地區並無造成較大之降雨事件，致 7~10 月間石岡壩放流量皆未大於 5~6 月間之梅雨事件，經檢視 5~6 月份梅雨事件石岡壩放流量已達 825cms，為本年度計畫區最大降雨事件，故以該次梅雨事件做為主要探討對象，由圖 3.6、圖 3.7 及圖 3.8 比較結果顯示，在本次降雨事件石岡壩放流量為 825cms 情形下，造成 P23L 上游處、P25L 上游處及 P26L 下游處鼎型塊有位移情形(圖 3.7，紅圈處)，但對於 P24L 橋址鼎型塊並無影響，顯示本計畫保護工法具一定保護成效。

另於梅雨事件後 P25L 與 P26L 間河道開始擴大，並於 P25L 上游處已開始產生墩前局部沖刷之情形；而 P22L 則因今年度上游石岡壩無較大放流量，且該橋墩非河道之攻角，因此產生回淤之情形，但若遇去(110)年度盧碧颱風事件之流量，亦會使得回淤之覆土被沖刷，而再次產生橋基裸露之情形，值得養護單位注意並著手研擬相關養護作業。

而相較於去(110)年 8 月盧碧颱風事件(石岡壩放流量達 1,280cms(圖 3.5),河床水位亦已漫淹至 P23L~P25L 間形成沖刷作用(圖 3.13)),以試驗組(織布鋪設區)P24L 來看,已造成下游側局部鼎型塊傾斜(圖 3.14)之現象,而觀察本年度梅雨事件石岡壩放流量相較於去年度盧碧颱風事件為小,可推測對於試驗組 P24L 之影響亦會隨之減少,而經本年度試驗區之觀測結果,亦符合前述之趨勢;另以去年度之觀測結果可知(圖 3.15、3.16),對照組(P23L、P25L)僅以鼎型塊而無鋪設織布保護下,鼎型塊流失及傾斜的狀況較為嚴重,而無鼎型塊保護之 P22L 橋墩,則有較嚴重之局部沖刷情形產生,試驗區鼎型塊變化情形整理如表 3-1。

整體而言,以試驗組 P24L 橋址為例,本計畫工法之應用雖增加約 10%左右之施工成本,但可減少鼎型塊流失或傾斜之現象,所需維修面積約可減少 90%左右( $[1 - \frac{\text{有鋪設地工織布需維修面積}}{\text{無鋪設地工織布需維修面積}}] * 100\%$ ),以目前 110~111 兩個年度觀測之結果,本計畫工法之應用可具相當之保護作用,可達延長保護橋基壽命,減少維修頻率之目的。



資料來源:交通部高速公路局中區養護工程分局中區交通控制中心

圖 3.13 110 年盧碧颱風現場水位監測影像(已漫淹整個試驗區)

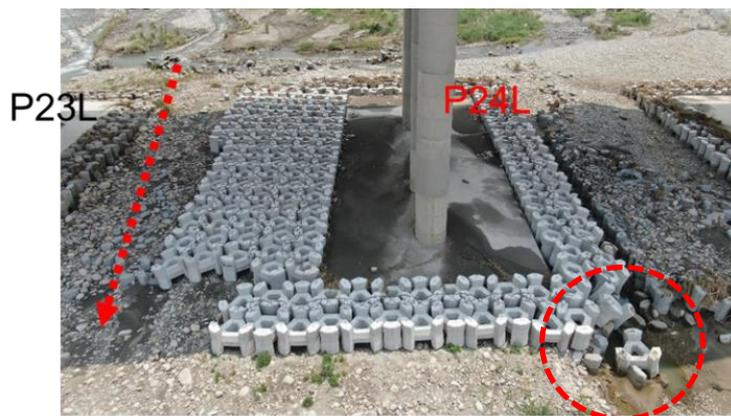


圖 3.14 110 年盧碧颱風後對試驗組(織布鋪設區)P24L 之影響



P23L(07/16)



P23L(08/20)

圖 3.15 110 年盧碧颱風後對照組(無織布鋪設區)P23L 之影響



P25L(07/16)



P25L(08/20)

圖 3.16 110 年盧碧颱風後對照組(無織布鋪設區)P25L 之影響

表 3-1 110 年盧碧颱風事件後試驗場址鼎型塊變化情形

橋墩 編號	放置鼎型塊 面積(m <sup>2</sup> )	流失面積 (m <sup>2</sup> )	流失比 (%)	傾斜面積 (m <sup>2</sup> )	傾斜比 (%)	需維修面 積(m <sup>2</sup> )	有無鋪設 地工織布
P23L	567	197	34.74	93	16.40	290	無
P24L	650	無	無	25	2.30	25	有
P25L	694	92	13.26	141	20.32	233	無



## 第四章 數值水理分析模型建置

本章係以介紹 CCHE2D 模式理論及數值方法、水工模型試驗、試驗參數取得、數值水理模型建置及參數檢定過程進行說明及探討。

### 4.1 CCHE2D 模式理論及數值方法

CCHE2D 模式是一套水平二維明渠流動床模式，由美國國家計算水科學及工程中心(NCCHE)所開發，適用於變量流(unsteady)與紊流(turbulent flow)流況，此模式亦具有處理均勻和非平衡輸砂條件之能力。此外，模式包含三種紊流封閉演算法(turbulent closure schemes)用以解決不同流況和不同精度，可以處理河道之乾溼點問題，並可供使用者在非流動邊界設定全滑移、無滑動和指數型滑移之條件。以下摘錄由 NCCHE 所發表之 Wu (2001)<sup>[1]</sup>、Jia (2001a)<sup>[2]</sup>、Jia (2008)<sup>[3]</sup>等相關報告，說明模式水理及輸砂模式理論。

CCHE2D 模式水理模組採用交錯格網求解連續方程式之水位，特別之速度校正法來求解系統方程式；變量流模擬採用隱式時間推進法求解，乾濕點問題之處理採用移動邊界法；紊流模式部分，除了兩種零方程渦黏滯模式，還可考慮 k-ε 紊流模式；懸浮載傳輸為求解對流傳輸方程式，推移載傳輸採用非平衡輸砂方程式，且考慮底床坡度與彎道二次流效應。

#### 1. 水理模式

許多明渠流都為淺水波問題，垂直方向之運動通常可忽略，對於明渠水力問題而言，水深積分之二維控制方程式通常都允許合理及有效地被採用，在卡式座標下水深積分之動量方程式可表示如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho h} \left( \frac{\partial h \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor} v \quad (4-1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{\rho h} \left( \frac{\partial h \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{Cor} u \quad (4-2)$$

式中， $u$  與  $v$  為  $x$  與  $y$  方向水深積分後之速度分量， $t$  為時間， $g$  為重力加速度， $\eta$  為水面高程， $\rho$  為水之密度， $h$  為局部水深， $f_{Cor}$  為科氏力參數， $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{yx}$ 、 $\tau_{yy}$  為水深積分之雷諾剪應力， $\tau_{bx}$ 、 $\tau_{by}$  為底床剪應力，由於此版本模式不考慮風力，因此忽略水表面之剪應力，自由水面之高程藉由求解水深積分之連續方程式，假設  $\eta$  為水面高程， $\zeta$  為底床高程，連續方程式可表示如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0 \quad (4-3)$$

由於底床改變量遠小於水理之變化，此方程式廣泛被應用在計算二維模式之自由表面高程，當底床高程受到沖淤影響急速改變時， $\partial \zeta / \partial t$  項不為零且應考慮之。

式(4-1)、(4-2)中之雷諾剪應力取決於 Bousinesq 之假設，與水深積分流場之主要應力變化渦黏滯係數有關：

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u'_i u'_j} = \rho \nu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (4-4)$$

渦黏滯係數為流體之函數，且與流體性質有關，在 CCHE2D 模式中採用兩種方法計算渦黏滯係數，第一種方式為使用水深積分拋物線渦黏滯係數公式：

$$\nu_t = A_{xy} C_s \kappa_* h \quad (4-5)$$

式中  $u_*$  為剪力速度， $\kappa$  為馮卡門係數(0.41)， $h$  為水深， $A_{xy}$  為渦黏滯係數之校正係數，預設值為 1 且其值介於 1-10 間。除此之外，可採用深度積分之混合長度模式計算渦黏滯係數：

$$\nu_t = \bar{l}^2 \sqrt{2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2} \quad (4-6)$$

式中，

$$\bar{l} = \frac{1}{h} \int kz \sqrt{\left(1 - \frac{z}{h}\right)} dz = kh \int_0^1 \zeta \sqrt{(1 - \zeta)} d\zeta \approx 0.267kh \quad (4-7)$$

沿著垂直方向之水深積分速度梯度可解釋為底床表面之紊流效應，(4-6)式中決定之渦黏滯係數在均勻流況下可忽略為零，在缺乏其他項之情況下，渦黏滯係數可視為與均勻流相同，假設流速沿著水深方向為對數分佈，其垂直梯度可表示為：

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{u_*}{\kappa z} \quad (4-8)$$

將式(4-8)積分，可得水深垂直梯度之積分，可表為：

$$\overline{\frac{\partial U}{\partial z}} = \frac{1}{h} \int \frac{\partial U}{\partial z} dz = \frac{u_*}{h\kappa} \int_{z_0}^{\eta} \frac{1}{z} dz = C_m \frac{u_*}{h\kappa} \quad (4-9)$$

式中 U 為總速度，mC 為係數，mC 不直接計算，此係數可以某種方式給定，使得式(4-8)能夠取代式(4-12)中之所有水平方向速度梯度，此係數給定為 2.34375。除了上述兩種零方程渦黏滯模式，還可考慮採用 k-ε 紊流模式：

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right] = P - \varepsilon + P_{kV} \quad (4-10)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] = c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P - c_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} + P_{\varepsilon V} \quad (4-11)$$

$$P = -\overline{u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = v_t \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right] \quad (4-12)$$

$$P_{kV} = C_k \frac{U_*^3}{h} \quad , \quad P_{\varepsilon V} = C_\varepsilon \frac{U_*^4}{h^2} \quad (4-13)$$

$$U_* = \sqrt{c_f (u^2 + v^2)} \quad , \quad C_k = \frac{1}{\sqrt{c_f}} \quad , \quad C_\varepsilon = 3.6 \frac{c_{2\varepsilon}}{c_f^{3/4}} \sqrt{c_\mu} \quad (4-14)$$

式中  $c_\mu=0.09$ 、 $\sigma_k=1.0$ 、 $\sigma_\varepsilon=1.3$ 、 $c_{\varepsilon 1}=1.44$ 、 $c_{\varepsilon 2}=1.92$ ，渦黏滯係數

可由下式計算：

$$v_t = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4-15)$$

$P_{kV}$ 、 $P_{\varepsilon V}$  增加於二維模式中，用來模擬由於底床摩擦所造成之紊流能量與消散。

## 2. 輸砂模式

對輸砂模式來講，通常可分離為推移載與懸浮載，或依泥砂來源角度，可區分為河床質載與沖洗載。因此，CCHE2D 模式使用兩種概念計算總載之輸砂行為，其一為分離推移載與懸浮載，其二合併為河床質載(一般地形變遷動床模式模擬時忽略沖洗載對床形影響)，前者之控制方程式如下所示。

懸浮載之對流傳輸方程式：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hC_k)}{\partial t} + \frac{\partial(UhC_k)}{\partial x} + \frac{\partial(VhC_k)}{\partial y} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left[ h \left( \varepsilon_s \frac{\partial C_k}{\partial x} + D_{sxk} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ h \left( \varepsilon_s \frac{\partial C_k}{\partial y} + D_{syk} \right) \right] + \alpha_d \omega_{sk} (C_{*k} - C_k) \end{aligned} \quad (4-16)$$

式中  $C_k$  為某一粒徑  $k$  懸浮載之水深平均濃度； $C_{*k}$  為某一粒徑  $k$  平衡條件下懸浮載之水深平均濃度， $\varepsilon_s$  為泥砂之擴散係數； $\alpha_d$  為懸浮載之延散係數(non-equilibrium adaptation coefficient)； $D_{sxk}$ 、 $D_{syk}$  為水深方向非均勻流速與泥砂濃度所造成之消散通量(the dispersion terms due to the effect of secondary flow)； $\omega_{sk}$  為泥砂粒徑  $k$  之沈降速度。

非平衡推移載輸砂方程式可表示如下：

$$\frac{\partial(\delta \bar{c}_{bk})}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_{bx} q_{bk})}{\partial x} + \frac{\partial(\alpha_{by} q_{bk})}{\partial y} + \frac{1}{L} (q_{bk} - q_{b*k}) = 0 \quad (4-17)$$

式中  $\delta$  為推移載區域之厚度； $\bar{c}_{bk}$  為推移載區域之平均濃度； $\alpha_{bx}$ 、 $\alpha_{by}$  為推移載運動之餘弦函數，通常假設沿著底床剪應力方向，但當考慮彎道二次流效應與陡坡之重力影響時需做調整； $q_{bk}$  為某一粒徑  $k$  推

移載之實際輸砂率； $q_{b*k}$ 為粒徑  $k$  推移載輸砂能力； $L$  為泥砂非平衡調適長度。

底床改變可由下式計算：

$$(1 - p'_m) \left( \frac{\partial z_b}{\partial t} \right)_k = \alpha \omega_{sk} (C_k - C_{*k}) + \frac{1}{L} (q_{bk} - q_{b*k}) \quad (4-18)$$

式中  $p'_m$  為河床質孔隙率； $\left( \frac{\partial z_b}{\partial t} \right)_k$  為某一粒徑  $k$  之底床改變率。

CCHE2D 模式中有四種輸砂公式可計算  $C_{*k}$  與  $C_{b*k}$ ，此四種輸砂公式之挑選經由數十個實驗與現場資料檢定驗證而得 (Wu and Wang, 2003)<sup>[4]</sup>，可考慮非均勻輸砂之各種效應，此四種輸砂公式又可寫成以下一般化形式：

$$C_{*k} = p_{bk} C_k^* ; \quad q_{b*k} = p_{bk} q_{bk}^* \quad (4-19)$$

式中  $q_{bk}$  為混合層之床質粒徑分佈， $q_{bk}^*$  與  $C_k^*$  分別為某一粒徑  $k$  之潛勢推移載、懸浮載輸砂量。

床質粒徑分佈通常沿著垂直方向變化，因此不沖刷層以上之河床可再切割為數層，最上層定義為混合層，此層與移動之泥砂直接參與交換，在混合層中之粒徑分佈可以下式計算：

$$\frac{\partial(\delta_m p_{bk})}{\partial t} = \left( \frac{\partial z_b}{\partial t} \right)_k + p_{bk}^* \left( \frac{\partial \delta_m}{\partial t} - \frac{\partial z_b}{\partial t} \right) \quad (4-20)$$

式中， $\delta_m$  為混合層厚度； $\frac{\partial z_b}{\partial t}$  為底床總變形率，由  $\frac{\partial z_b}{\partial t} = \sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial z_b}{\partial t} \right)_k$  累加計算， $N$  為代表粒徑總數；當  $\frac{\partial \delta_m}{\partial t} - \frac{\partial z_b}{\partial t} > 0$ ，式中  $p_{bk}^*$  可由混合層之床質分佈  $p_{bk}$  替代之，反之當  $\frac{\partial \delta_m}{\partial t} - \frac{\partial z_b}{\partial t} \leq 0$ ， $p_{bk}^*$  為混合層下層粒徑  $k$  所佔之百分比。模式計算流程可表示如圖 4.1 所示。

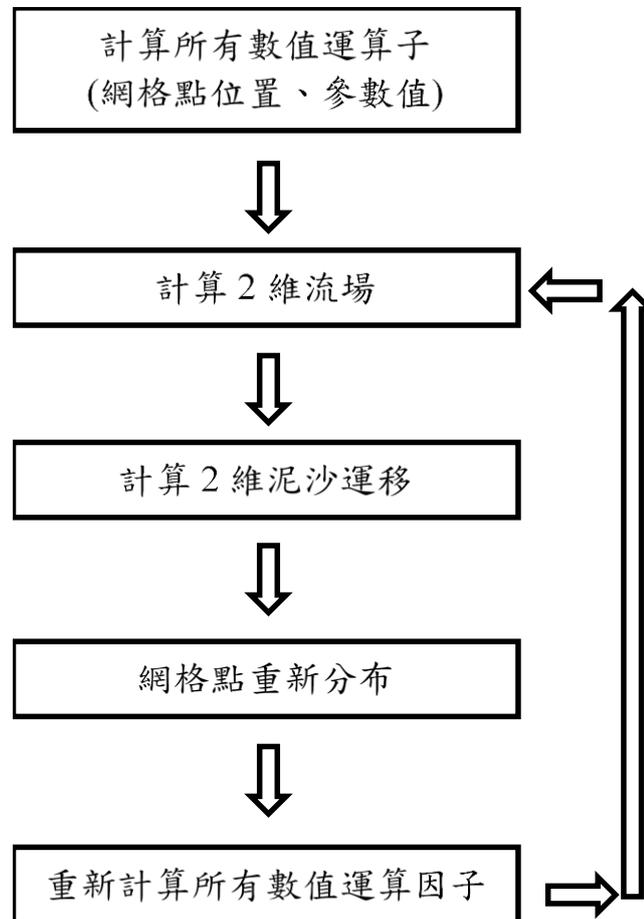


圖 4.1 CCHE2D 模式計算流程圖

此外，CCHE2D 模式可模擬凝聚性沈澱(Wu and Wang, 2004b)<sup>[5]</sup>，可考慮植生影響之水流與輸砂作用，考慮彎道之二次流效應輸砂(Wu and Wang, 2004a)<sup>[6]</sup>，並且能模擬岸壁基腳沖刷與破壞過程。

### 3. 輸砂公式

目前版本之 CCHE2D 模式中，共有四種輸砂公式可供使用者依不同需求來選取使用，分別為 SEDTRA module、Wu et al's formula、Modified Ackers and White's formula、Modified Engelund and Hansen's formula，以下對各公式加以介紹。

(1) SEDTRA module (Garbrecht, Kuhnle and Alonson, 1995)

本模組可依不同底床粒徑，來選取合適之輸砂公式求取河床質載輸砂量，當床質粒徑介於 0.01mm~0.25mm，使用 Laursen's (1958) formula；介於 0.25mm~2.0mm，使用 Yang's (1973) formula；介於 2.0mm~50.0mm，使用 Meyer-Peter and Mueller's (1948) formula。

河川底床質載輸砂量可由  $C_{*t} = \sum_k p_k C_{*k}$  來計算，其中  $C_{*t}$  為河床質載輸砂能力(ppmw)， $C_{*k}$  為某 k 粒徑之輸砂能力(ppmw)， $p_k$  為某一粒徑 k 佔總粒徑的百分比。

同時為了模擬非均勻輸砂中底床床質之隱顯效應(hiding and exposure)，應用(4-20)式計算出某 k 粒徑之臨界水流強度，其中  $d_k$  為粒徑 k 之平均值， $d_m$  為底床質之平均粒徑，而 x 為一經驗參數。

$$d_{ek} = d_k \left( \frac{d_k}{d_m} \right)^{-x} \quad (4-21)$$

本輸砂模組藉由 Brownlie(1981)之實驗數據<sup>[7]</sup>來進行檢定驗證，共有 5,263 組實驗室資料及 1,764 組現地觀測資料，其中現地資料皆是在相同或極相似狀況下進行測量。

(2) Wu, Wang and Jia's (2000) Formula

此輸砂公式應用隱顯參數(hiding and exposure factor)來建立非均勻輸砂之啟動門檻、推移載及懸浮載，將推移載及懸浮載加總即為所需之河床質載輸砂量，其輸砂公式表示如下：

$$\frac{q_{bk}}{p_{bk} \sqrt{(\gamma_s / \gamma - 1) g d_k^3}} = 0.0053 \left[ \left( \frac{n}{n} \right)^{3/2} \frac{\tau_b}{\tau_{ck}} - 1 \right]^{2.2} \quad (4-22)$$

$$\frac{q_{sk}}{p_{bk}\sqrt{(\gamma_s/\gamma-1)gd_k^3}} = 0.0000262 \left[ \left( \frac{\tau}{\tau_{ck}} - 1 \right) \frac{U}{\omega_k} \right]^{1.74} \quad (4-23)$$

$$\tau_{ck} = 0.03\varepsilon_k(\gamma_s - \gamma)d_k \quad (4-24)$$

$$\varepsilon_k = \left( \frac{p_{ek}}{p_{hk}} \right)^m \quad (4-25)$$

$$p_{hk} = \sum_{j=1}^N p_{bj} \frac{d_j}{d_k + d_j} \quad (4-26)$$

$$p_{ek} = \sum_{j=1}^N p_{bj} \frac{d_k}{d_k + d_j} \quad (4-27)$$

其中 $q_{bk}$ 及 $q_{sk}$ 分別為某粒徑 $k$ 之推移載與懸浮載單位寬度輸砂量( $m^2/s$ )， $p_{bk}$ 為某粒徑 $k$ 所佔總粒徑之百分比， $n$ 為糙度係數曼寧 $n$ 值， $n'$ 為相對糙度曼寧 $n$ 值， $\tau_b$ 為底床剪應力， $\tau_{ck}$ 為某粒徑 $k$ 啟動之臨界剪應力， $\varepsilon_k$ 為某粒徑 $k$ 的隱顯參數， $\omega_k$ 為某 $k$ 粒徑之沉降速度， $m$ 為實驗參數(模式設定為0.6)，本輸砂公式之粒徑適用範圍介於0.01mm~250mm。

同時為了模擬非均勻輸砂中底床床質之隱顯效應(hiding and exposure)，應用(4-20)式計算出某 $k$ 粒徑之臨界水流強度，其中 $d_k$ 為粒徑 $k$ 之平均值， $d_m$ 為底床質之平均粒徑，而 $x$ 為一經驗參數。

上述公式在均勻輸砂之檢定驗證上，是從Brownlie(1981)之實驗數據挑出1,859組河床質載資料來進行比較；對於推移載輸砂量，又再從1,859組23資料中挑出1,345組推移載資料來進行比較調整。

在非均勻輸砂之檢定驗證上，挑選自Toffaletti(1968)<sup>[8]</sup>之實驗

數據，分別是來自三組不同實驗團隊：Nomicos、Einstein-Chien、Vanoni-Brooks 於 RioGrande River、Middle Loup River、Niobrara River 及 Mississippi River 的實驗結果。

(3) Modified Ackers & White's formula (Proffitt & Sutherland,1983)

本輸砂公式應用 Bagnold 之水流功率概念及相似性理論推導而成，但由於原始公式會超量預測輸砂量，HR Wallingford (1990)將原始公式加以修正，使粒徑適用範圍更為廣泛。

$$F_{gr,k} = \varepsilon_k \frac{U_*^n}{[(\gamma_s/\gamma-1)gd_k]^{1/2}} \left[ \frac{V}{\sqrt{32} \log(10h/d_k)} \right]^{1-n} \quad (4-28)$$

$\varepsilon_k$  為校正係數(correction factor)，表示如下：

$$\varepsilon_k = \begin{cases} 1.30, & d_k/d_u > 3.7 \\ 0.53 \log(d_k/d_u) + 1.0, & 0.075 < d_k/d_u \leq 3.7 \\ 0.40, & d_k/d_u \leq 0.075 \end{cases} \quad (4-29)$$

其中  $d_k$  為某粒徑  $k$  之平均值， $d_u$  為相對粒徑。

$$G_{gr,k} = C \left( \frac{F_{gr,k}}{A} - 1 \right)^m \quad (4-30)$$

$$G_{gr,k} = \frac{C_k h}{p_{bk} d_k \gamma_s / \gamma} \left( \frac{U_*}{V} \right)^n \quad (4-31)$$

其中  $C_k$  即為總輸砂濃度(ppmw)。

本公式經與 Proffitt and Sutherland 之實驗數據比較，其輸砂量跟實驗數據相似度較高，但跟現地案例結果比較，其精準度較差。

(4) Modified Engelund & Hansen's 1967 Formula (with Wu et al's correction factor, 2000)

本公式應用 Bagnold 之水流功率概念及相似性理論推導而成，並導入 Wu et al., 2000)輸砂公式之校正係數來調整隱顯作用

在非均勻輸砂中之影響，公式如下：

$$f' \phi_k = 0.1 (\varepsilon_k \tau_{*k})^{5/2} \quad (4-32)$$

$$f' = \frac{2gSd}{U^2} ; \tau_{*k} = \tau_0 / [(\gamma_s / \gamma) d_k] ; \varepsilon_k = \left( \frac{p_{ek}}{p_{hk}} \right)^{0.45} \quad (4-33)$$

$$\phi_k = q_{r*k} / \left[ p_{bk} \sqrt{(\gamma_s / \gamma - 1) g d_k^3} \right] \quad (4-34)$$

本計畫前期渠槽試驗於水流強度影響橋墩局部沖刷深度探討之部分，係考量橋墩局部沖刷依流速大小的不同可以分為清水沖刷及濁水沖刷兩種情況：1. 清水沖刷為流速(V)小於底床質起動速度( $V_c$ )且上游沒有底床質補充到沖刷坑時的情況；2. 濁水沖刷為流速(V)大於底床質起動速度( $V_c$ )且上游有底床質補充到沖刷坑時的情況。Melville(1999)<sup>[9]</sup>指出在臨界起動速度( $V_c$ )時有最大之沖刷深度，而濁水沖刷之平均沖刷深度會小於清水沖刷深度，因此即以臨界起動速度( $V_c$ )之清水沖刷下，所能獲得最大沖刷條件來進行試驗，探討不同鼎型塊織布配置方案對於橋墩沖刷之影響。

本計畫係以前期渠槽試驗結果做為檢定所建置之數值水理模型，清水沖刷即可視為上游輸砂量極小為可忽略的情形，前述四種輸砂公式之選用對於模擬分析結果影響不大，因此在數值分析模擬底床運動情形，則以模式所預設之 Wu, Wang and Jia's (2000) Formula 輸砂演算公式做為主要分析方法。

#### 4. CCHE2D 模式軟體取得方式

CCHE2D 現已轉為商業軟體，但亦提供免費版本以會員制供人下載使用，其商業版與免費版之差異主要在於模式模擬網格數限制，因臺灣野溪均屬小型河道，故免費版即足以進行模擬，目前 NCCHE 官方網站所提供免費版網格模擬限制約 5,000

格，取得網址為 <https://www.ncche.olemiss.edu/downloads/>，下載介面如圖 4.2、4.3、4.3 所示。

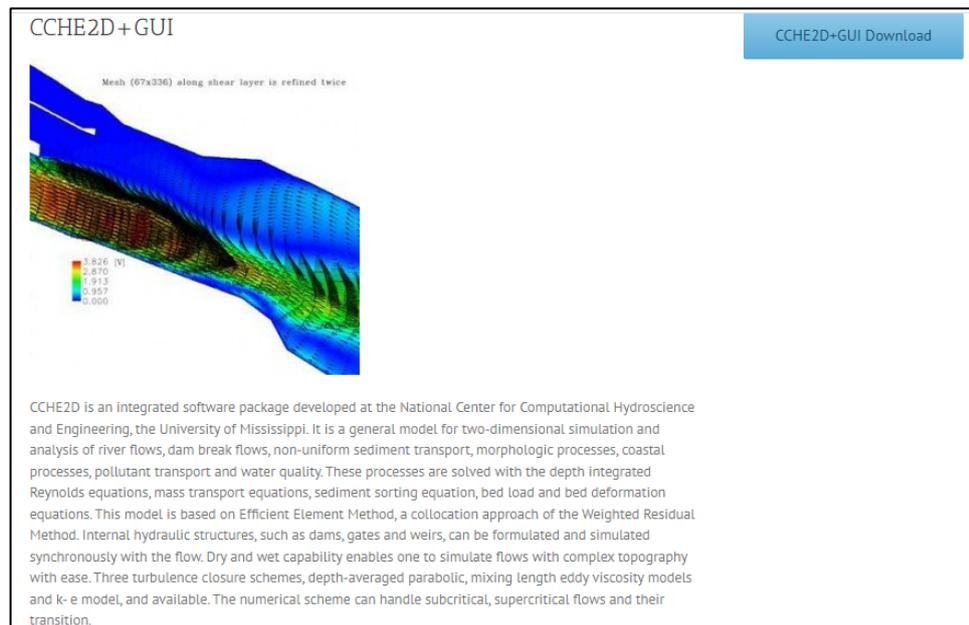


圖 4.2 主分析模式下載介面

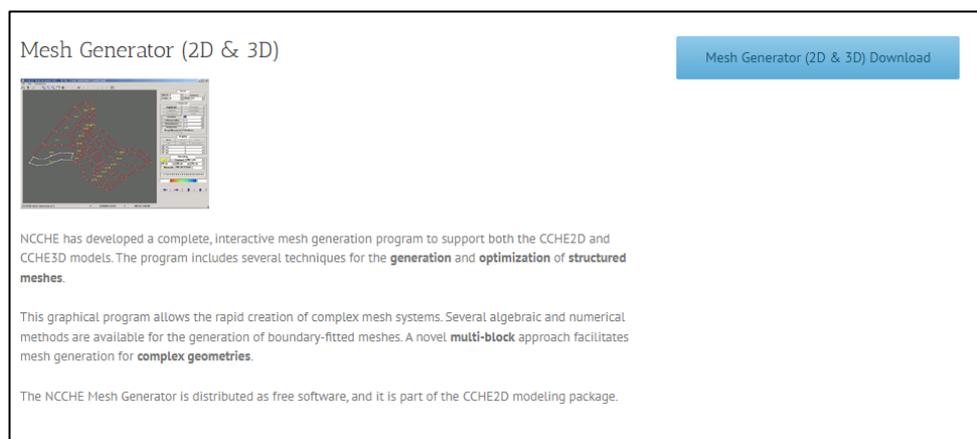


圖 4.3 模型網格生成模組下載介面

National Center for Computational Hydroscience and Engineering  
The University of Mississippi

Home People Research Services Software Education Employment About

Let us know who you are

As a research institution, NCCHE is keen to know a little bit about the people/agencies who are interested in our software. It is also helpful for us to know the types of problems and research areas in which you plan to use the software. With this knowledge, we may better focus our software development efforts in order to better serve the community. With this in mind, please tell us a little bit about yourself!

Name \*

First Last

E-mail (you must provide a valid email address) \*

Location \*

Institution

Software Interest \*

CCH2D-3ad

Problem / Research Areas

我不是機器人

圖 4.4 免費版本以申請會員制下載

## 4.2 室內水工模型渠槽試驗

### 1. 試驗渠槽

#### (1) 渠槽尺寸

渠槽全長 15m、寬 0.8m、深 0.8m，渠槽側壁之材質為強化透明玻璃，以利於試驗進行時之觀測。渠槽尾端有一小型沉砂池用以避免試驗砂流入尾水池，後設尾水閘門(tailwater gate)，用以控制試驗水深，如圖 4.5、4.6 所示。



圖 4.5 渠槽斷面圖



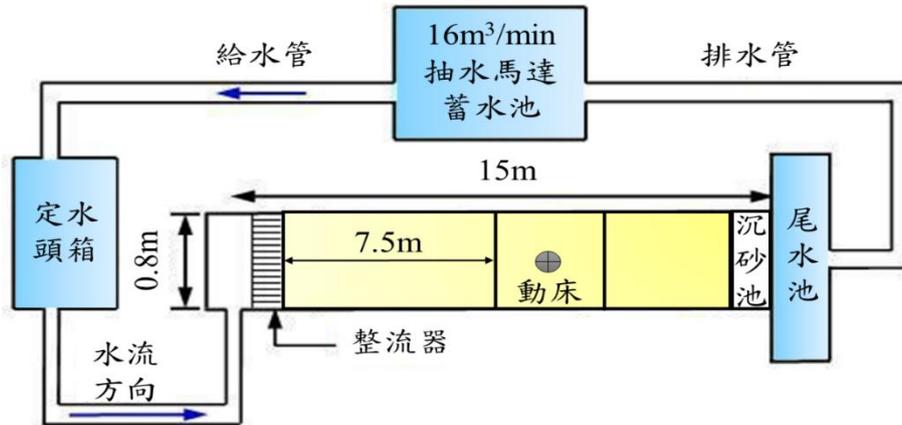
圖 4.6 渠槽尾水控制閘門

### (2) 供水系統

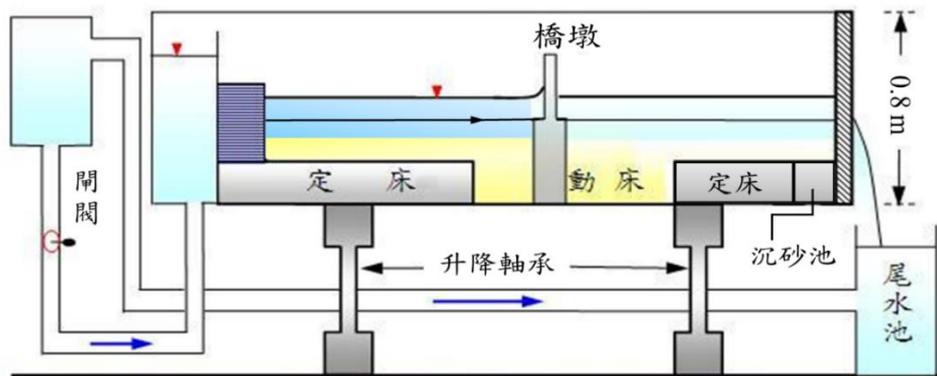
以  $16\text{m}^3/\text{min}$  之抽水馬達從蓄水池中抽水，經由給水管送至定水頭箱，以供應水量至渠槽中。水流經渠槽後流入尾水池，再經由排水道流進蓄水池，形成一供水循環系統。

### (3) 流量控制

定水頭箱至渠槽間設有一顯示式管路手動矩形閘閥，可控制流量流至渠槽中，渠槽整體主要配置如圖 4.7 所示。



(a) 頂視圖(plan view)



(b) 側視圖(side view)

圖 4.7 試驗渠槽配置圖

## 2. 試驗佈置

### (1) 橋墩模型

本試驗模型依據國道 3 號大甲溪橋的實際尺寸以縮尺 100 分之一製作，橋墩模型如圖 4.8 所示，單位尺寸：公分。



圖 4.8 試驗橋墩模型照片

(2) 渠槽佈置

為使水流進入試驗區段時能保持平順穩定，以吸管制成之蜂巢式整流器減緩水流紊亂程度，使水流平順進入試驗區段，如圖 4.9 所示。

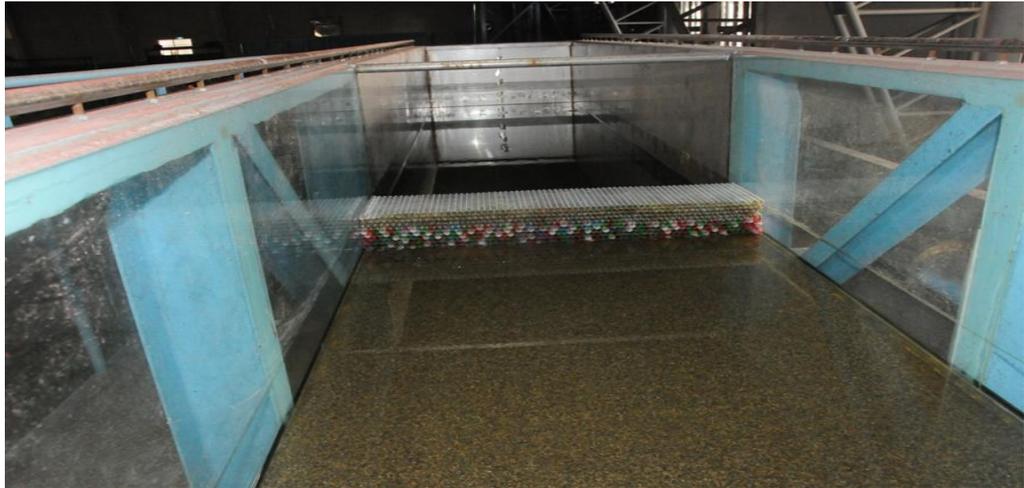


圖 4.9 吸管製成之蜂巢式整流器

另外，速度分佈方程式之基本假設為均勻流，而在流況尚未完全發展的情況下所量測的資料，並不適用於分析。故在選定試驗段位置之前，須先確認試驗區段之流況為完全發展 (fully development) 流況。而對於完全發展流況之檢驗，常用的方法有以下四種：

- (a) 渠寬決定量測點位置。
- (b) 邊界層理論決定量測點位置。
- (c) 水深決定量測位置。
- (d) 速度剖面近似。

本計畫因試驗水深較低，如果以流速剖面決定完全發展段較為困難，故利用試驗區各段水深來決定完全發展段。完全發展段選定之範圍是利用平均流速  $V$  與泥沙臨界啟動速度  $V_c$  之比值，即  $V/V_c$  為 1.0 的情況下量測水深。經試驗觀察結果，本試驗之完全發展區段位於距入口約 7.0 m~9.3 m 之間。因此，設計距入口 7.5m 至 9.5m 之區段為試驗區，其餘為定床區，橋墩落墩於距入口 8.5 m 處，定床區鋪設 1.5 公分之砂以保持與試驗段相同之河床糙度，詳如圖 4.10 所示。

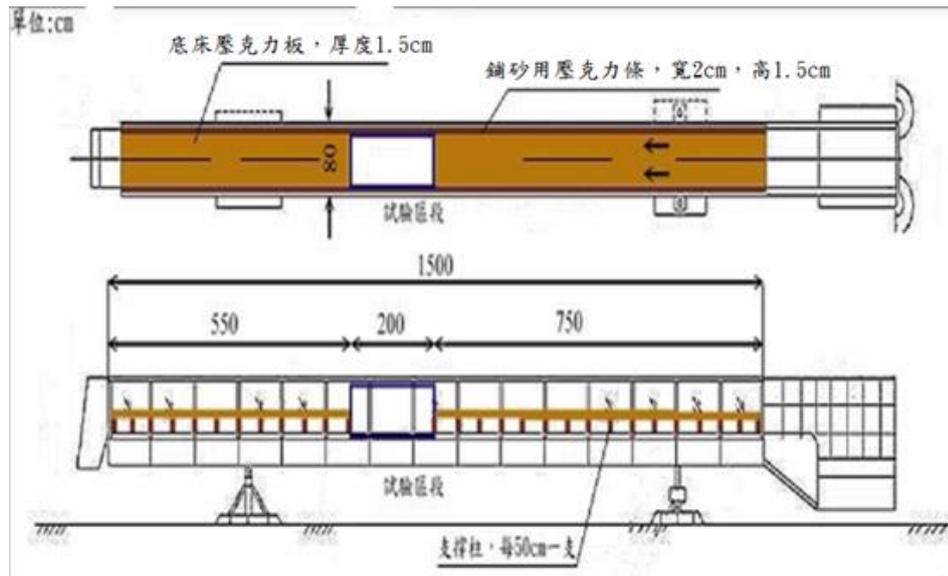


圖 4.10 渠槽試驗段佈設示意圖

(3) 試驗流量率定

本試驗之流量係由給水管上之閘閥所控制，水流從定水頭箱經由給水管輸送到渠槽中，再流至尾水池，並藉由尾水池蓄水量與時間關係計算率定流量與閘閥開口之關係公式，如圖 4.11 所示。本試驗閘閥之流量率定公式率定如下：

$$Y = 0.0013X - 0.0033 \quad ; \quad R^2 = 0.9963 \quad (4-35)$$

式中，Y 為流量(cms)、X 為閘閥開口大小(mm)

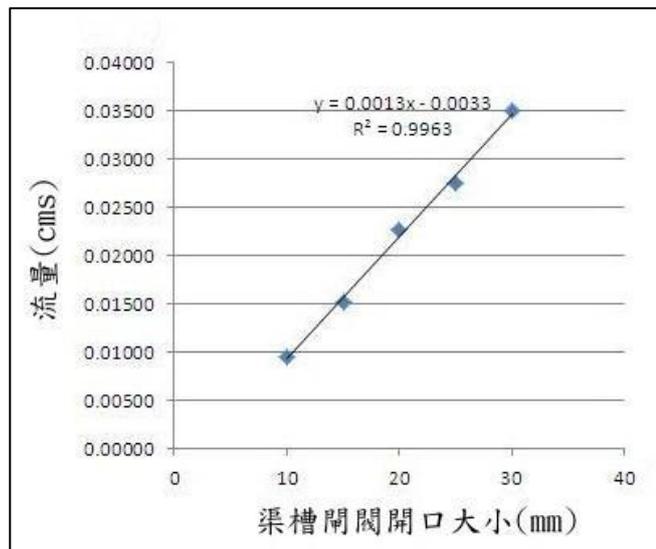


圖 4.11 流量率定曲線圖

#### (4) 臨界流速設定

目前計算臨界流速之公式有很多，如表 4-1 所示，相關公式與其試驗室條件的不同會有差異，本計畫參考過去相關文獻並依本計畫之試驗室條件及公式輸入參數之取得難易評估結果，採用 Melville (1999)<sup>[1]</sup> 回歸臨界啟動試驗數據所獲得之公式，如 4-36 式，推求本計畫之試驗臨界流速( $V_c$ )。本計畫水深( $y$ )為 102 毫米(mm)，中值粒徑( $D_{50}$ )為 1.3 毫米(mm)，代入 4-36 式得到試驗臨界流速( $V_c$ )為 0.4515 m/s，乘上試驗渠槽寬(0.8m)及水位高(0.102m)換算流量為 0.0368 cms，所需閘閥開度由 4-35 式可得到約為 30.85 mm。

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left( 5.53 \frac{y}{D_{50}} \right) \quad (4-36)$$

上式中

$$\begin{cases} u_{*c} = 0.0115 + 0.0125D_{50}^{1.4} & , 0.1\text{mm} < D_{50} < 1\text{mm} \\ u_{*c} = 0.0305D_{50}^{0.5} - 0.0065D_{50}^{-1} & , 1\text{mm} < D_{50} < 100\text{mm} \end{cases}$$

其中， $V_c$ 為底床質臨界啟動速度， $y$ 為試驗水深， $D_{50}$ 為試驗砂之中值粒徑， $u_{*c}$ 與 $V_c$ 之單位為m/s。

表 4-1 臨界流速公式

來源	計算公式	附註
Neill (1998)	$V_c = \left( \frac{y}{d} \right)^{0.167} [24.55(S_s - 1)d]^{0.5}$	$S_s$ :底床質比重 $y$ :上游水深(m) $d$ :底床質粒徑(m) $V_c$ :臨界啟動速度(m/s)
Melville (1999)	$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left( 5.53 \frac{y}{d_{50}} \right)$ $\begin{cases} u_{*c} = 0.0115 + 0.0125D_{50}^{1.4} & , 0.1\text{mm} < D_{50} < 1\text{mm} \\ u_{*c} = 0.0305D_{50}^{0.5} - 0.0065D_{50}^{-1} & , 1\text{mm} < D_{50} < 100\text{mm} \end{cases}$	$y$ :上游水深(mm) $d_{50}$ :底床質粒徑(mm) $V_c$ :臨界起動速度(m/s)
Juilen (1995)	$\begin{aligned} \hat{O}_{*c} &= 0.5 \tan \theta & d_* < 0.3 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.25d_*^{-0.6} \tan \theta & 0.3 < d_* < 19 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.013d_*^{0.4} \tan \theta & 19 < d_* < 50 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.06 \tan \theta & d_* > 50 \end{aligned}$ $d_* = d_{50} [(G - 1)g/i^2]^{1/3}$ $u_{*c} = [\hat{O}_{*c} (G - 1)gd_{50}]$	$G$ :底床質比重( $\frac{\rho_s}{\rho_w}$ ) $d_{50}$ :底床質中值粒徑 $\theta$ :底床質安息角

	$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left( 5.53 \frac{y}{d_{50}} \right)$	
張瑞瑾 (1995)	$V_c = \left( \frac{y}{d} \right)^{0.14} \left[ 29d + 6.05 \times 10^{-7} \left( \frac{10+y}{d^{0.72}} \right) \right]^{0.5}$	Ss:底床質比重 y:上游水深(m) d:底床質粒徑(m)
沙玉清 (1995)	$V_c = \left[ 0.43 \left( \frac{d}{1000} \right)^{0.75} + 1.1 \frac{1000(0.7-n)^4}{d} \right]^{0.5} y^{0.2}$	Vc:臨界起動速度(m/s) n:孔隙率

資料來源：「不均勻圓形橋墩之局部沖刷研究」<sup>[17]</sup>

### 3. 試驗砂物理性質試驗

為取得數值水理模型輸入所需之泥砂參數，將試驗砂取樣，進行物理性質分析試驗及篩分析試驗，如圖 4.12 所示，完成後所取得之主要物理性質參數為乾單位重( $r_s$ )、孔隙比( $e$ )、中值粒徑( $D_{50}$ )，並做為數值模擬分析參數輸入之用，如圖 4.13 及表 4-2 所示。



圖 4.12 試驗砂物理性質試驗情形

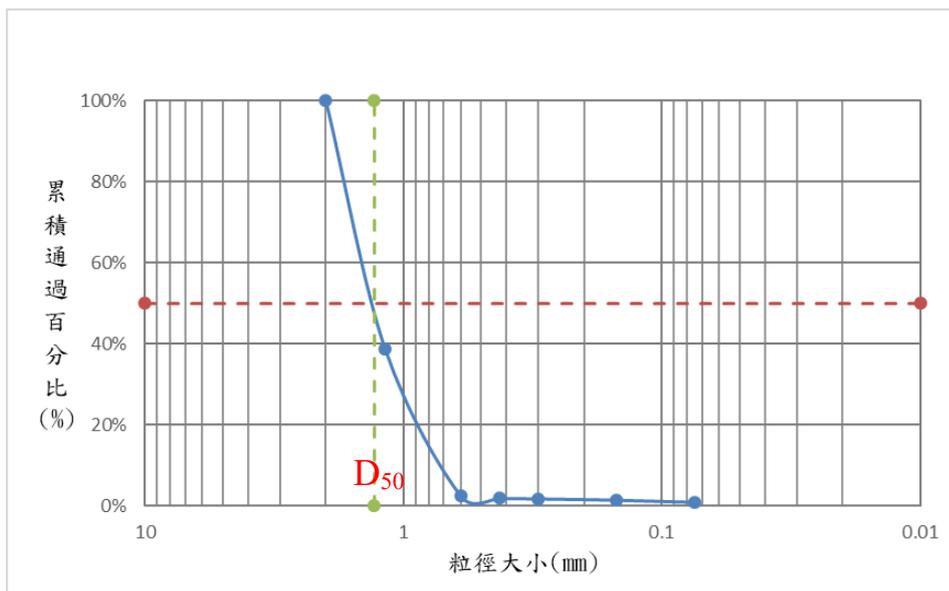


圖 4.13 底床試驗砂粒徑分布曲線

表 4-2 物理性質試驗所取得之參數

乾單位重( $r_s$ )	孔隙比( $e$ )	中值粒徑( $D_{50}$ )
2.44 (t/m <sup>3</sup> )	0.638	1.3 (mm)

### 4.3 數值水理模型建置

#### 1. 網格建置

數值模型建置係依 4.2 節室內水工模型渠槽試驗尺寸建置，渠槽總長度為 15 公尺、寬度為 0.8 公尺，距入口 7.5m 至 9.5m 之區段為試驗區，其餘為定床區，橋墩則設置於試驗區內(如圖 4.10)，因本計畫所使用之 CCHE2D 模式為免費版本，有模擬網格數量之限制，而試驗區內橋墩周圍之水理分析為主要探討範圍，為節省網格使用量並使運算效率化，採漸進式網格方式建立分析模型，將網格由邊界逐漸向橋墩密集化，模型網格設置如圖 4.14 所示。

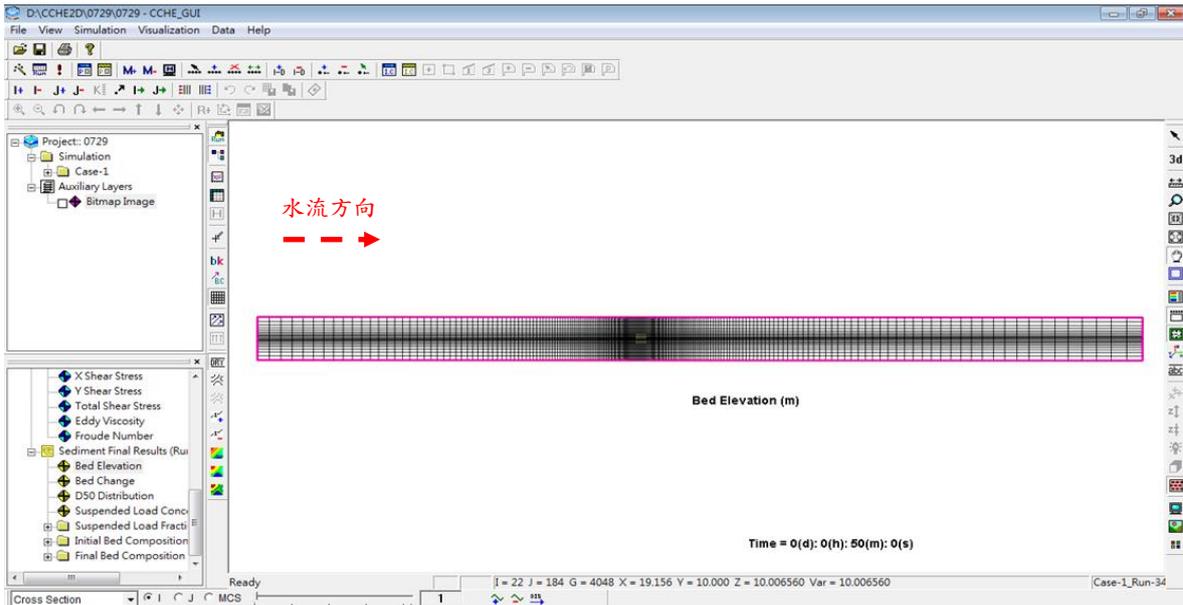


圖 4.14 數值水理模型網格設置情形

## 2. 數值分析主要輸入參數

主要輸入參數分為邊界條件及泥砂參數兩大部分，分述如下：

### (1) 邊界條件：

分為上游入流邊界條件與下游出流邊界條件。入流邊界條件分為水流與泥砂之入流條件，其中水流入流部分分為定量流(Total Discharge)及變量流(Discharge Hydrograph)；泥砂入流部分分為懸浮載(Suspended Load)與推移載(Bedload)，如圖 4.15 所示，變量流為各時間點對應流量之流量歷線，模擬計算時依據不同設計頻率年給予相對應之流量歷線。出流邊界條件設定如圖 4.16 所示，設定可分為自由出流(Open Boundary Condition)、固定水深(Water Surface Level)或已知水位歷線(Stage Hydrograph)。



圖 4.15 入流邊界條件輸入介面

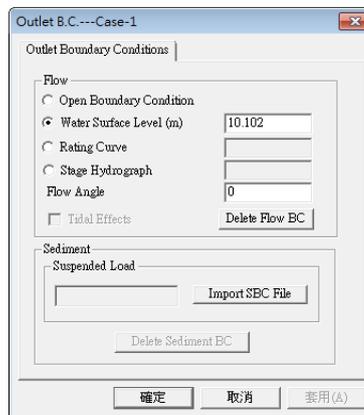
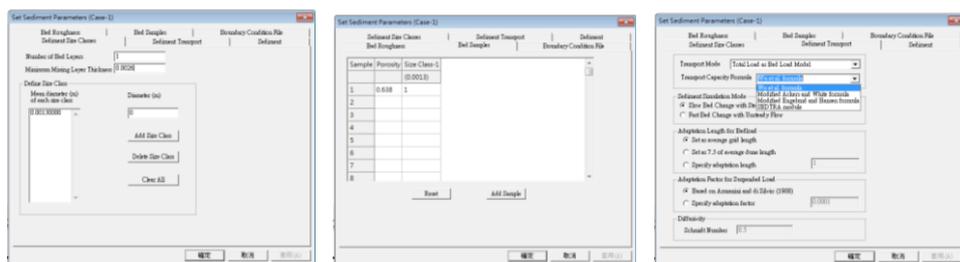


圖 4.16 出流邊界條件輸入介面

考量本計畫水工模型試驗採臨界流速之清水沖刷，係以採固定閘閘輸入水量，尾水端以閘門控制試驗水深，故數值分析模式之水流入流條件為定量流、泥沙入流條件為清水流，而出流條件為固定水深。

(2) 泥砂參數:

包含粒徑、孔隙率及輸砂公式設定如圖 4.17 所示，泥砂粒徑設定因底床粒徑資料均勻，故以單層泥砂粒徑進行模擬，而混合層厚度 (Minimum Mixing Layer Thickness) 則依據 CCHE2D User Manual 建議值為代表粒徑  $D_{50}$  之 2 倍設置。



(a) 粒徑 (b) 孔隙率 (c) 輸砂公式

圖 4.17 泥砂參數輸入介面

床底糙度表係參考行政院農業委員會水土保持局「水土保持手冊」曼寧粗糙係數如表 4-3 所示，因水工模型試驗係為砂質土，因此本計畫依該表中「砂壤、黏壤土溝身整齊者」項所建議之曼寧粗糙係數(n)平均值 0.020 為數值分析模式起始輸入值，並調整 n 值進行參數檢定。

表 4-3 曼寧粗糙係數

無內面工者	n 值範圍	平均值	無內面工者	n 值範圍	平均值
黏土質溝身整齊者	0.016~0.022	0.020	不平滑岩床	0.035~0.040	0.040
砂壤、黏壤土溝身整齊者	—	0.020	漿砌磚	0.012~0.017	0.014
稀疏草生	0.035~0.045	0.040	漿砌石	0.017~0.030	0.025
全面密草生	0.040~0.060	0.050	乾砌石	0.025~0.035	0.033
雜有直徑 1~3 公分小石	—	0.022	有規則土底兩岸砌石	—	0.025
雜有直徑 2~6 公分小石	—	0.025	不規則土底兩岸砌石	0.023~0.035	0.030
平滑均勻岩床	0.030~0.035	0.0325	純水泥漿平滑面	0.010~0.014	0.012

### 3. 數值水理分析模型建置及模擬

#### (1) 曼寧粗糙係數(n)檢定:

水工模型試驗床底糙度係以曼寧粗糙係數(n)做為代表參數，如表 4-3 所示 n 值為一建議範圍參數值，n 值的大小會影響流速，本計畫將透過調整數值模型的 n 值，檢視在不同 n 值下對於流速的變化進行試驗橋墩區流速檢定。

本計畫使用之流速測量儀為 ADV 流速計，此類流速計為一根據都卜勒原理之感應系統所設計之流速計，如圖 4.18，且適用於高精度的三維流速量測，透過探針量測 XYZ 方向之流速(紅標即為 X 軸方向)，將訊號線傳回電腦，並以軟體圖擷取匯出成所需資料。

量測點之規劃係以試驗橋墩區周圍為主，量測點分布如圖 4.19，各點與橋墩基礎版邊緣距離如表 4-4，並藉由數值水理模型輸入不同  $n$  值之條件下(參考表 4-3，規劃以  $n=0.016$ 、 $0.020$ 、 $0.021$ 、 $0.022$ 、 $0.023$ 、 $0.024$ 、 $0.026$ )，將數值模式各點流速與水工模型試驗實際量測結果進行比較，以檢定符合本計畫所建置之數值水理模型參數選用。

水工模型試驗各點流速量測結果如表 4-5 所示，各量測點於數值模擬流速分布圖上之位置如圖 4.20~4.26 所示、於不同  $n$  值下數值模擬分析後各點流速與水工試驗實測流速差異及均方根誤差(RMSE)分析結果如表 4-6~4-12 所示。

經檢視結果比對情形，當  $n$  值為  $0.022$  時，整體均方根誤差(Total RMSE)為最小，整體誤差為  $3.94\%$ ，並參循「水土保持手冊」所建議之曼寧粗糙係數表(表 4-3)，本計畫底床性質屬該表所描述「砂壤、黏壤土溝身整齊者」性質相近，檢定所得  $n$  值亦於建議範圍值內，屬合理之數值，故採曼寧粗糙係數( $n$ )  $0.022$  做為本計畫建置數值水理模型所需輸入之參數值。



圖 4.18 ADV 流速計

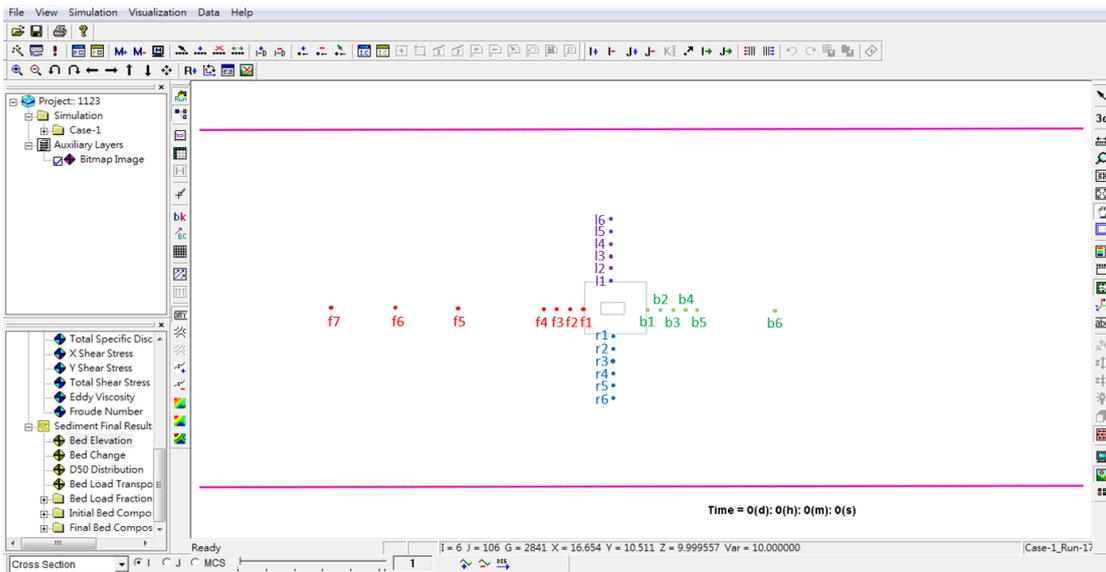


圖 4.19 流速量測點位置分布圖

表 4-4 各量測點與橋墩距離

墩前	f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6	f 7
距離(inch)	0	1	2	3	10	15	20
墩後	b 1	b 2	b 3	b 4	b 5	b 6	

距離(inch)	0	1	2	3	4	10	
墩側(左)	l1	l2	l3	l4	l5	l6	
距離(inch)	0	1	2	3	4	5	
墩側(右)	r1	r2	r3	r4	r5	r6	
距離(inch)	0	1	2	3	4	5	

表 4-5 水工模型試驗各點實測流速

墩前	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7
流速(m/s)	0.255	0.330	0.370	0.375	0.423	0.425	0.425
墩後	b1	b2	b3	b4	b5	b6	
流速(m/s)	0.050	0.061	0.078	0.106	0.108	0.211	
墩側(左)	l1	l2	l3	l4	l5	l6	
流速(m/s)	0.498	0.495	0.485	0.478	0.470	0.454	
墩側(右)	r1	r2	r3	r4	r5	r6	
流速(m/s)	0.493	0.487	0.483	0.486	0.483	0.462	

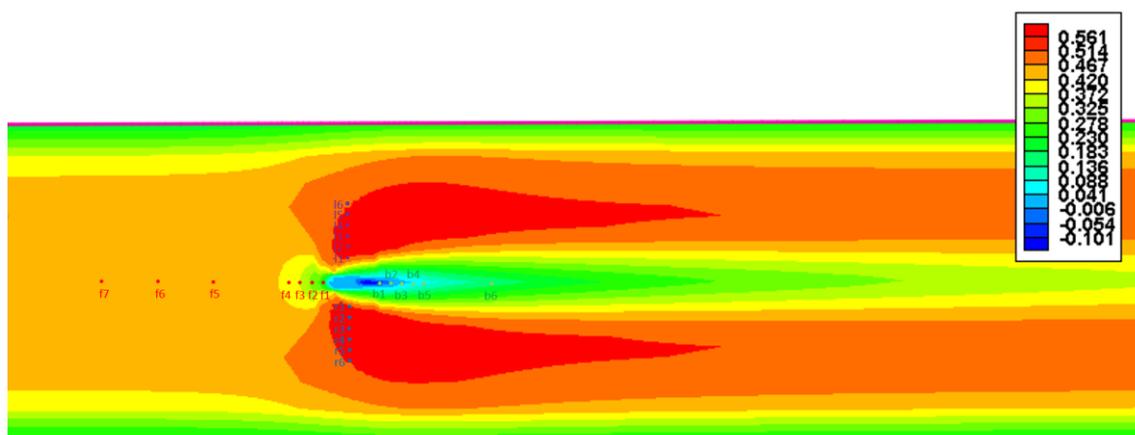
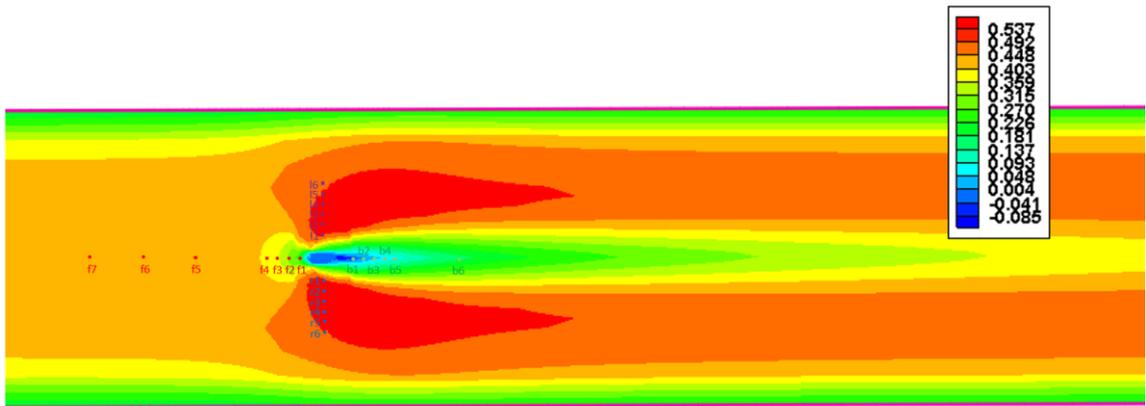
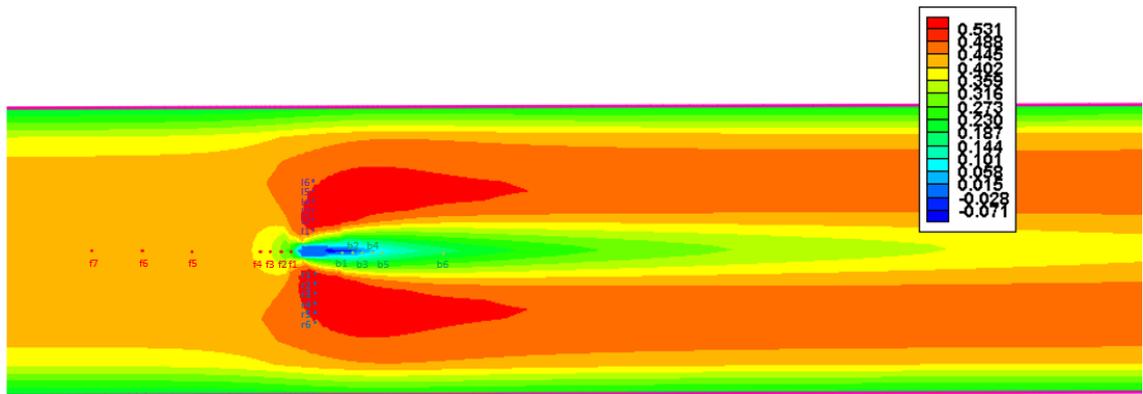


圖 4.20 數值模擬流速分布圖(n=0.016)



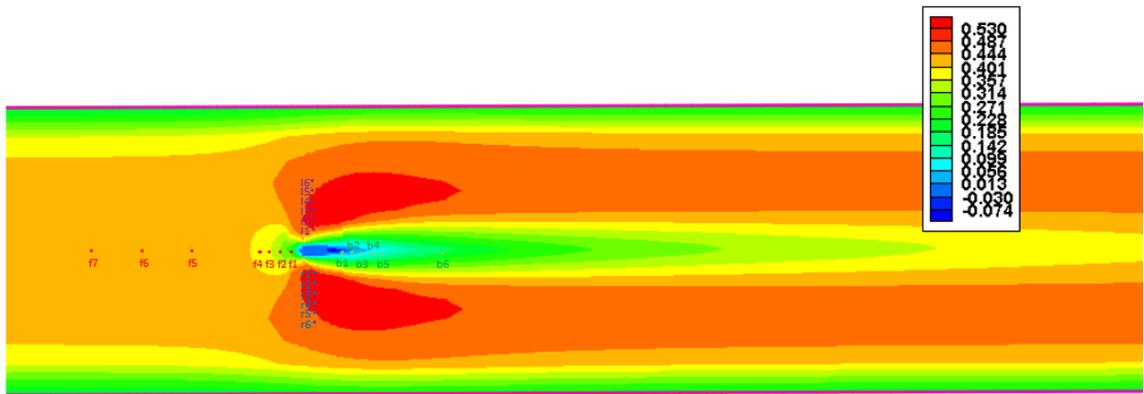
Time = 0(d): 0(h): 60(m): 0(s)

圖 4.21 數值模擬流速分布圖(n=0.020)



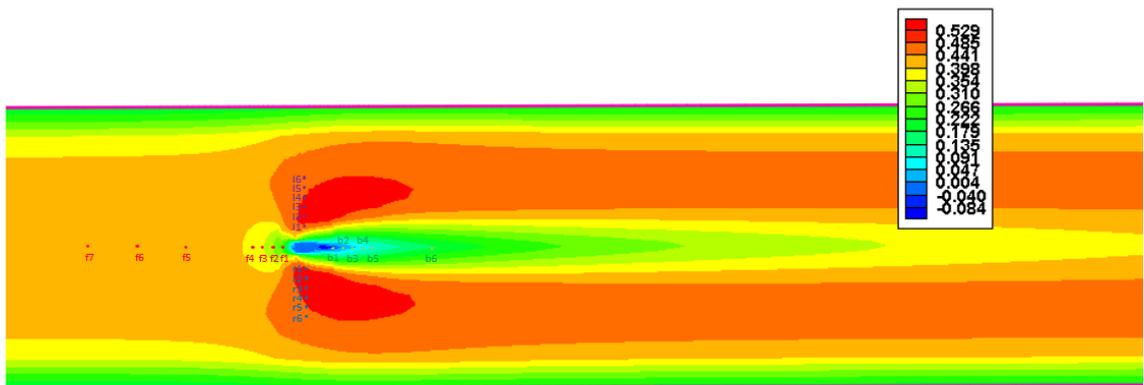
Time = 0(d): 0(h): 60(m): 0(s)

圖 4.22 數值模擬流速分布圖(n=0.021)



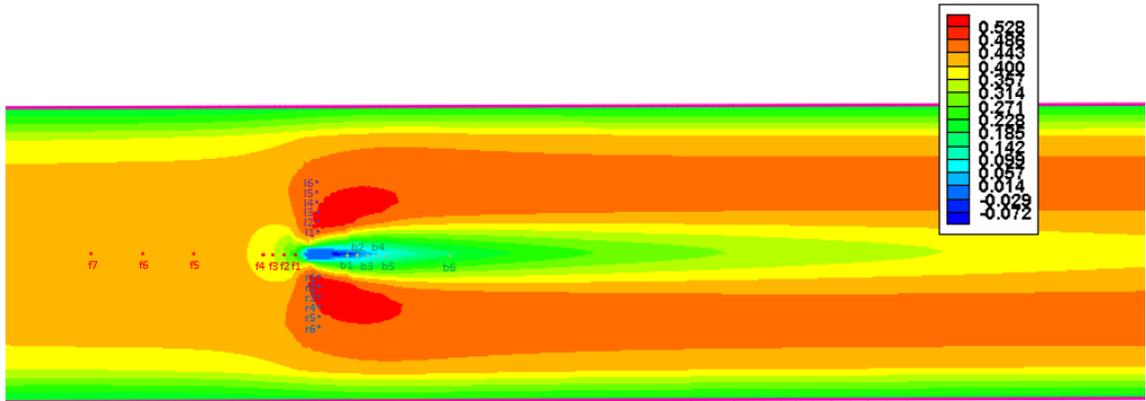
Time = 0(d): 0(h): 60(m): 0(s)

圖 4.23 數值模擬流速分布圖(n=0.022)



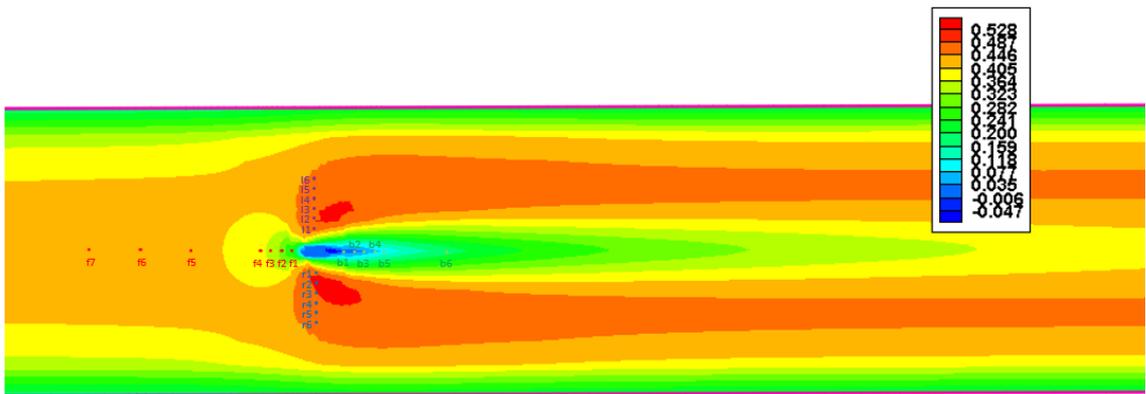
Time = 0(d): 0(h): 60(m): 0(s)

圖 4.24 數值模擬流速分布圖(n=0.023)



Time = 0(d): 0(h): 60(m): 0(s)

圖 4.25 數值模擬流速分布圖(n=0.024)



Time = 0(d): 0(h): 60(m): 0(s)

圖 4.26 數值模擬流速分布圖(n=0.026)

表 4-6 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.016)

量測點位	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f RMSE	Total RMSE	
水工流速 (m/s)	0.255	0.330	0.370	0.375	0.423	0.425	0.425	6.80%	12.70%	
數值流速 (m/s)	0.273	0.333	0.381	0.406	0.455	0.460	0.461			
誤差(%)	-7.26%	-0.86%	-2.93%	-8.10%	-7.63%	-8.28%	-8.31%			
量測點位	b1	b2	b3	b4	b5	b6		b RMSE		
水工流速 (m/s)	0.050	0.061	0.078	0.106	0.108	0.211		21.90%		
數值流速 (m/s)	0.049	0.043	0.053	0.078	0.100	0.179				
誤差(%)	2.76%	29.55%	31.69%	26.57%	7.44%	15.23%				
量測點位	l1	l2	l3	l4	l5	l6		l RMSE		
水工流速 (m/s)	0.498	0.495	0.485	0.478	0.470	0.454		8.23%		
數值流速 (m/s)	0.531	0.533	0.530	0.517	0.513	0.490				
誤差(%)	-6.51%	-7.72%	-9.28%	-8.29%	-9.18%	-8.05%				
量測點位	r1	r2	r3	r4	r5	r6		r RMSE		
水工流速 (m/s)	0.493	0.487	0.483	0.486	0.483	0.462		8.39%		
數值流速 (m/s)	0.532	0.535	0.533	0.519	0.515	0.499				
誤差(%)	-8.05%	-9.88%	-10.32%	-6.80%	-6.58%	-8.00%				

表 4-7 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.020)

量測點位	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f RMSE	Total RMSE	
水工流速 (m/s)	0.255	0.330	0.370	0.375	0.423	0.425	0.425	6.27%	11.83%	
數值流速 (m/s)	0.272	0.332	0.379	0.404	0.452	0.457	0.458			
誤差(%)	-6.75%	-0.43%	-2.44%	-7.57%	-7.01%	-7.64%	-7.66%			
量測點位	b1	b2	b3	b4	b5	b6		b RMSE		
水工流速 (m/s)	0.050	0.061	0.078	0.106	0.108	0.211		21.17%		
數值流速 (m/s)	0.057	0.043	0.056	0.079	0.100	0.180				
誤差(%)	-13.23%	28.34%	27.90%	25.61%	7.51%	14.85%				
量測點位	l1	l2	l3	l4	l5	l6		l RMSE		
水工流速 (m/s)	0.498	0.495	0.485	0.478	0.470	0.454		7.40%		
數值流速 (m/s)	0.527	0.529	0.526	0.513	0.509	0.486				
誤差(%)	-5.84%	-6.92%	-8.45%	-7.43%	-8.31%	-7.17%				
量測點位	r1	r2	r3	r4	r5	r6		r RMSE		
水工流速 (m/s)	0.493	0.487	0.483	0.486	0.483	0.462		5.81%		
數值流速 (m/s)	0.520	0.522	0.518	0.511	0.506	0.482				
誤差(%)	-5.60%	-7.14%	-7.31%	-5.11%	-4.67%	-4.34%				

表 4-8 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.021)

量測點位	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f RMSE	Total RMSE
水工流速 (m/s)	0.255	0.330	0.370	0.375	0.423	0.425	0.425	2.70%	5.60%
數值流速 (m/s)	0.259	0.319	0.364	0.388	0.433	0.437	0.438		
誤差(%)	-1.72%	3.35%	1.52%	-3.29%	-2.43%	-2.98%	-2.98%		
量測點位	b1	b2	b3	b4	b5	b6		b RMSE	
水工流速 (m/s)	0.050	0.061	0.078	0.106	0.108	0.211		10.61%	
數值流速 (m/s)	0.053	0.052	0.069	0.092	0.114	0.191			
誤差(%)	-5.44%	14.77%	11.78%	12.74%	-5.93%	9.57%			
量測點位	l1	l2	l3	l4	l5	l6		l RMSE	
水工流速 (m/s)	0.498	0.495	0.485	0.478	0.470	0.454		2.40%	
數值流速 (m/s)	0.503	0.504	0.501	0.489	0.484	0.463			
誤差(%)	-0.90%	-1.95%	-3.35%	-2.31%	-3.10%	-1.96%			
量測點位	r1	r2	r3	r4	r5	r6		r RMSE	
水工流速 (m/s)	0.493	0.487	0.483	0.486	0.483	0.462		2.01%	
數值流速 (m/s)	0.499	0.502	0.498	0.490	0.483	0.456			
誤差(%)	-1.30%	-3.12%	-3.21%	-0.71%	-0.06%	1.40%			

表 4-9 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.022)

量測點位	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f RMSE	Total RMSE	
水工流速 (m/s)	0.255	0.330	0.370	0.375	0.423	0.425	0.425	2.37%	3.94%	
數值流速 (m/s)	0.256	0.316	0.361	0.384	0.429	0.433	0.434			
誤差(%)	-0.51%	4.26%	2.48%	-2.29%	-1.41%	-1.94%	-1.94%			
量測點位	b1	b2	b3	b4	b5	b6		b RMSE		
水工流速 (m/s)	0.050	0.061	0.078	0.106	0.108	0.211		7.37%		
數值流速 (m/s)	0.052	0.062	0.072	0.095	0.115	0.191				
誤差(%)	-3.92%	-3.12%	7.34%	10.28%	-7.06%	9.54%				
量測點位	l1	l2	l3	l4	l5	l6		l RMSE		
水工流速 (m/s)	0.498	0.495	0.485	0.478	0.470	0.454		1.37%		
數值流速 (m/s)	0.497	0.499	0.496	0.483	0.479	0.457				
誤差(%)	0.22%	-0.85%	-2.20%	-1.15%	-1.92%	-0.78%				
量測點位	r1	r2	r3	r4	r5	r6		r RMSE		
水工流速 (m/s)	0.493	0.487	0.483	0.486	0.483	0.462		1.45%		
數值流速 (m/s)	0.494	0.499	0.494	0.484	0.479	0.459				
誤差(%)	-0.34%	-2.40%	-2.24%	0.52%	0.94%	0.80%				

表 4-10 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.023)

量測點位	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f RMSE	Total RMSE
水工流速 (m/s)	0.255	0.330	0.370	0.375	0.423	0.425	0.425	2.46%	5.98%
數值流速 (m/s)	0.253	0.313	0.357	0.380	0.424	0.429	0.429		
誤差(%)	0.73%	5.18%	3.39%	-1.31%	-0.38%	-0.90%	-0.90%		
量測點位	b1	b2	b3	b4	b5	b6		b RMSE	
水工流速 (m/s)	0.050	0.061	0.078	0.106	0.108	0.211		11.75%	
數值流速 (m/s)	0.060	0.053	0.073	0.096	0.117	0.192			
誤差(%)	-20.22%	12.22%	6.18%	8.96%	-8.68%	8.76%			
量測點位	l1	l2	l3	l4	l5	l6		l RMSE	
水工流速 (m/s)	0.498	0.495	0.485	0.478	0.470	0.454		0.80%	
數值流速 (m/s)	0.492	0.493	0.490	0.478	0.473	0.452			
誤差(%)	1.33%	0.22%	-1.12%	-0.06%	-0.81%	0.33%			
量測點位	r1	r2	r3	r4	r5	r6		r RMSE	
水工流速 (m/s)	0.493	0.487	0.483	0.486	0.483	0.462		1.83%	
數值流速 (m/s)	0.489	0.491	0.489	0.476	0.471	0.450			
誤差(%)	0.81%	-0.84%	-1.20%	2.17%	2.42%	2.60%			

表 4-11 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.024)

量測點位	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f RMSE	Total RMSE
水工流速 (m/s)	0.255	0.330	0.370	0.375	0.423	0.425	0.425	2.87%	4.56%
數值流速 (m/s)	0.250	0.310	0.354	0.377	0.420	0.424	0.425		
誤差(%)	1.77%	5.98%	4.26%	-0.38%	0.60%	0.10%	0.13%		
量測點位	b1	b2	b3	b4	b5	b6		b RMSE	
水工流速 (m/s)	0.050	0.061	0.078	0.106	0.108	0.211		8.19%	
數值流速 (m/s)	0.057	0.058	0.076	0.100	0.121	0.200			
誤差(%)	-13.03%	3.77%	2.60%	5.54%	-12.42%	5.13%			
量測點位	l1	l2	l3	l4	l5	l6		l RMSE	
水工流速 (m/s)	0.498	0.495	0.485	0.478	0.470	0.454		1.32%	
數值流速 (m/s)	0.486	0.488	0.485	0.473	0.468	0.447			
誤差(%)	2.37%	1.28%	-0.04%	1.03%	0.30%	1.43%			
量測點位	r1	r2	r3	r4	r5	r6		r RMSE	
水工流速 (m/s)	0.493	0.487	0.483	0.486	0.483	0.462		2.90%	
數值流速 (m/s)	0.482	0.484	0.481	0.469	0.464	0.443			
誤差(%)	2.08%	0.63%	0.38%	3.60%	3.93%	4.15%			

表 4-12 數值模擬與實測各點流速差異及均方根誤差(n=0.026)

量測點位	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f RMSE	Total RMSE
水工流速 (m/s)	0.255	0.330	0.370	0.375	0.423	0.425	0.425	4.25%	7.90%
數值流速 (m/s)	0.245	0.305	0.348	0.370	0.412	0.416	0.416		
誤差(%)	3.87%	7.62%	5.96%	1.46%	2.57%	2.10%	2.12%		
量測點位	b1	b2	b3	b4	b5	b6		b RMSE	
水工流速 (m/s)	0.050	0.061	0.078	0.106	0.108	0.211		14.23%	
數值流速 (m/s)	0.066	0.063	0.080	0.101	0.121	0.195			
誤差(%)	-31.12%	-3.24%	-2.69%	4.47%	-12.46%	7.31%			
量測點位	l1	l2	l3	l4	l5	l6		l RMSE	
水工流速 (m/s)	0.498	0.495	0.485	0.478	0.470	0.454		3.31%	
數值流速 (m/s)	0.476	0.477	0.474	0.462	0.458	0.437			
誤差(%)	4.39%	3.46%	2.20%	3.24%	2.52%	3.61%			
量測點位	r1	r2	r3	r4	r5	r6		r RMSE	
水工流速 (m/s)	0.493	0.487	0.483	0.486	0.483	0.462		5.06%	
數值流速 (m/s)	0.471	0.472	0.469	0.457	0.453	0.432			
誤差(%)	4.33%	3.04%	2.83%	5.98%	6.29%	6.50%			

(2) 臨界流速  $V_c$ :

如 4.2 節表 4-1 所示，水工模型試驗之臨界流速計算係以經驗公式所得，並參考過去相關文獻並依試驗室條件及參數之取得難易度，係採用 Melville (1999) 經驗公式推求臨界流速( $V_c$ )，因惟經驗公式所推求之數值多有不確定性，是否於數值水理分析模型中亦為臨界流速之條件，因此本計畫將透過參數調整進行探討，檢定參數規劃如下表 4-13 所示。

因數值模型通水面積固定，因此參數規劃上係以三種不同入流流量來控制水流流速，Case1 為水流流速為臨界流速之入流量( $V=V_c$ )，Case2 為降低入流量，因此水流流速小於臨界流速

( $V < V_C$ )，Case3 為增加入流量，因此水流流速大於臨界流速 ( $V > V_C$ )，藉由數值水理分析之底床變化結果，來探討經驗公式所推求之臨界流速之適用性。

表 4-13 臨界流速檢定參數規劃表

	邊界條件		粒料參數			平均流速 (m/s)
	入流設定採 固定流量 (cms)	出流設定採 固定出水高 (m)	$D_{50}$ (mm)	$R_s$ (t/m <sup>3</sup> )	e	
<b>1</b>	0.0368	0.102	1.3	2.44	0.638	0.45
<b>2</b>	0.0358	0.102	1.3	2.44	0.638	0.442
<b>3</b>	0.0378	0.102	1.3	2.44	0.638	0.462

Case1 分析後底床變化情形如圖 4.27 所示，穩定後之底床變化量為 0.001296m，Case2 分析後底床變化情形如圖 4.28 所示，穩定後之底床變化量為 0.001012m，Case3 分析後底床變化情形如圖 4.29 所示，穩定後之底床變化量為 0.001621m，其分析結果整理如表 4-14 所示。

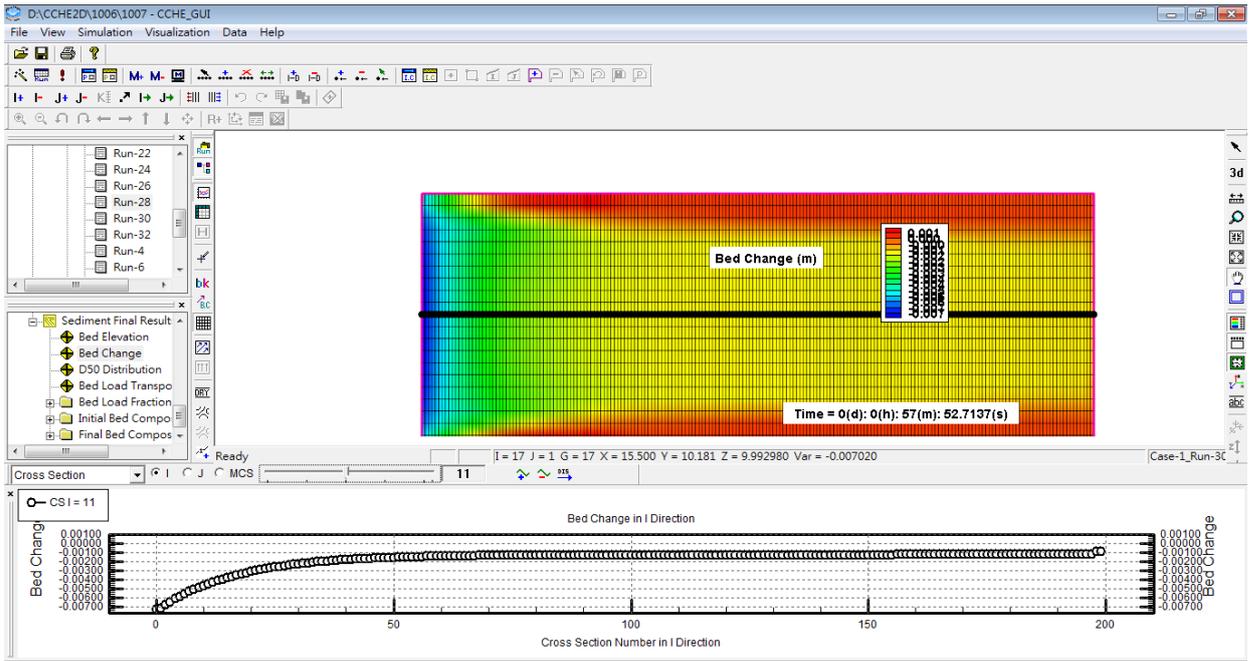


圖 4.27 Case1 底床變化平面分布及斷面圖

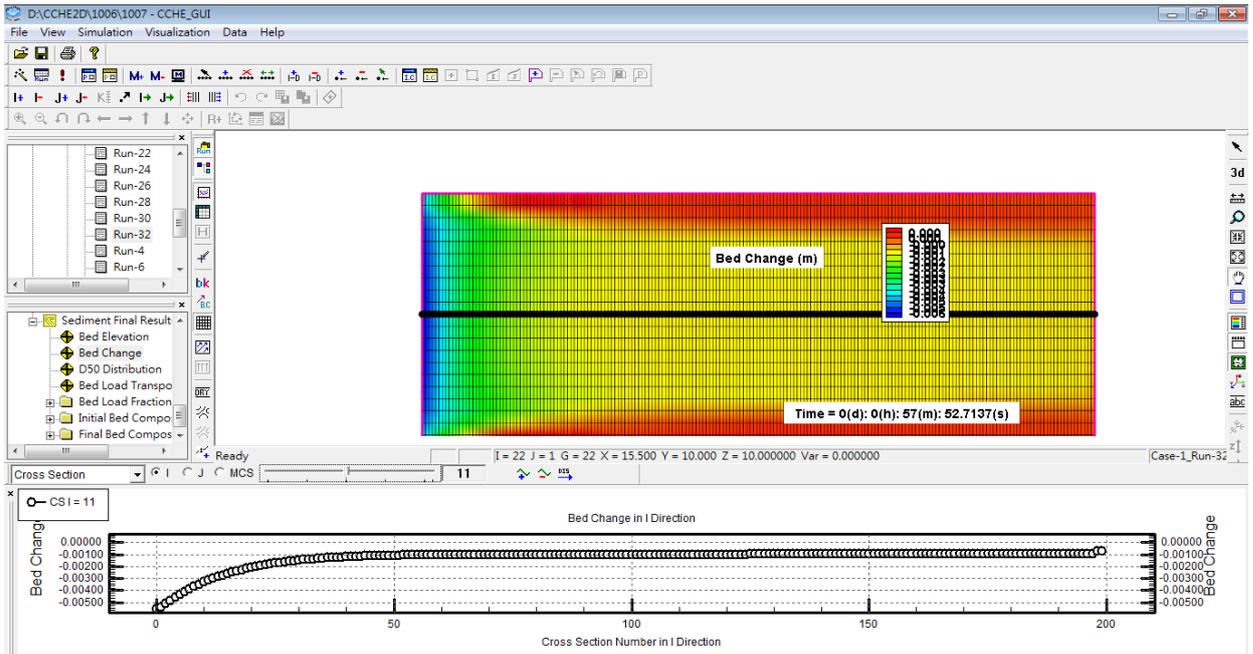


圖 4.28 Case2 底床變化平面分布及斷面圖

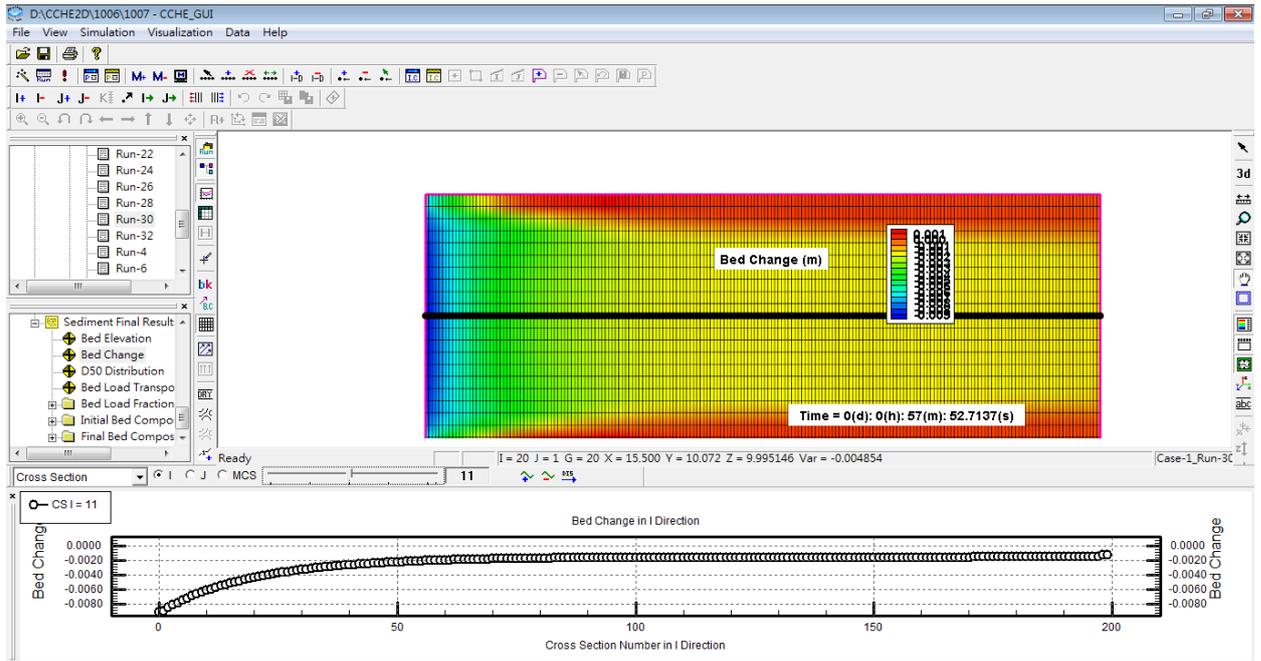


圖 4.29 Case3 底床變化平面分布及斷面圖

表 4-14 不同流量下平均流速與底床變化情形表

	流量(cms)	$V_{avg}(m/s)$	$D_{chg}(mm)$
1	0.0368	0.45	1.296
2	0.0358	0.442	1.012
3	0.0378	0.462	1.621

因本計畫數值模式中值粒徑( $D_{50}$ )為 1.3mm，將以  $D_{50}$  做為判斷底床質是否開始流動之門檻值，即若底床變化量( $D_{chg}$ )>1.3mm，可視為該流速已達底床質啟動速度( $V > V_c$ )；反之，若底床變化量( $D_{chg}$ )<1.3mm，則可視為該流速未達底床質啟動速度( $V < V_c$ )。因此，Case2 因  $D_{chg}$  為 1.012mm<1.3mm，可視為未達底床質啟動速度，Case3  $D_{chg}$  為 1.621mm>1.3mm，則已達底床質啟動速度，而 Case1  $D_{chg}$  為 1.296mm $\div$ 1.3mm，接近底床質啟動狀態，此時流速可視為臨界流速( $V_c$ )。

由表 4-14 可知，Case1 之流速為 0.0368(cms)，與 4.2 節藉由 Melville (1999)經驗公式所推求之臨界流速相符，適用於本計畫所建置數值水理分析模型。

### (3)底床沖刷模擬:

依據前述檢定結果，以及前期水工模型試驗之水理條件，進行本計畫數值水理分析，模擬於臨界流速( $V_c$ )下受清水沖刷後底床變化情形進行探討。

水工模型試驗結果以攝影測量技術建置之三維數值模型如圖 4.30 所示，底床變化結果如圖 4.31 所示，數值水理分析模擬所得之底床變化結果如圖 4.32 所示，兩者存有差異，水工模型試驗之於橋墩前周圍皆有沖刷之現象，尤以橋墩水流迎擊面(墩前)之沖刷最為明顯，相較於數值水理模擬結果，沖刷現象僅存在於橋墩兩側，墩前則無沖刷現象，模擬與實際試驗結果存有差異。

於真實流場下，泥砂除水平方向運動外，也具有水深方向之三維流場運動特性，當遇水工結構物，鄰近處之流體為了通過結構物，流速與流向為因應改變，於床底與結構物交界區域產生局部沖淤行為。而因二維數值分析模式由於受到水深平均之假設條件限制，其模擬結果為一較平均流場下之沖淤現象，對於水流沖擊試驗橋墩後產生之向下流場無法顯示，因此模擬結果呈現橋墩之最大沖刷位置集中於墩側區域，於墩前位置無局部沖刷，致沖刷分布與實際試驗結果差異。

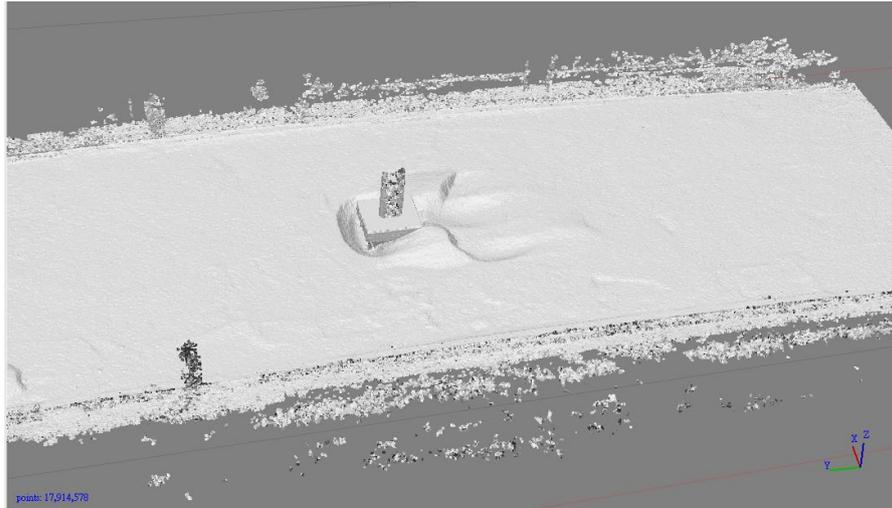
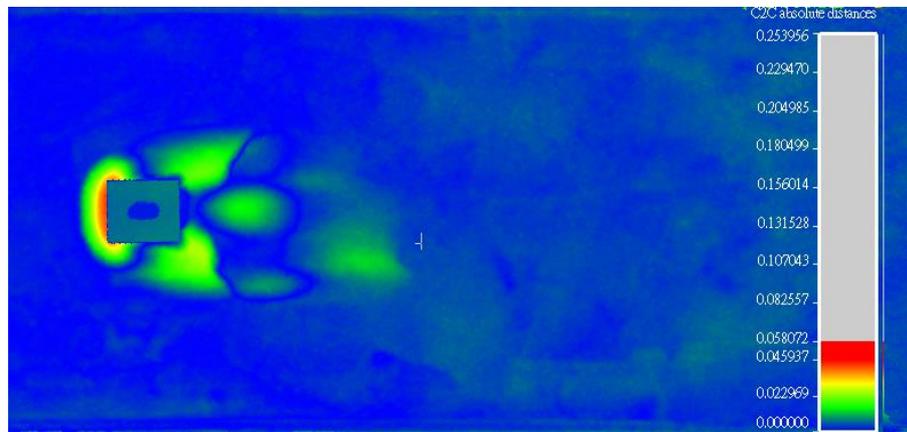
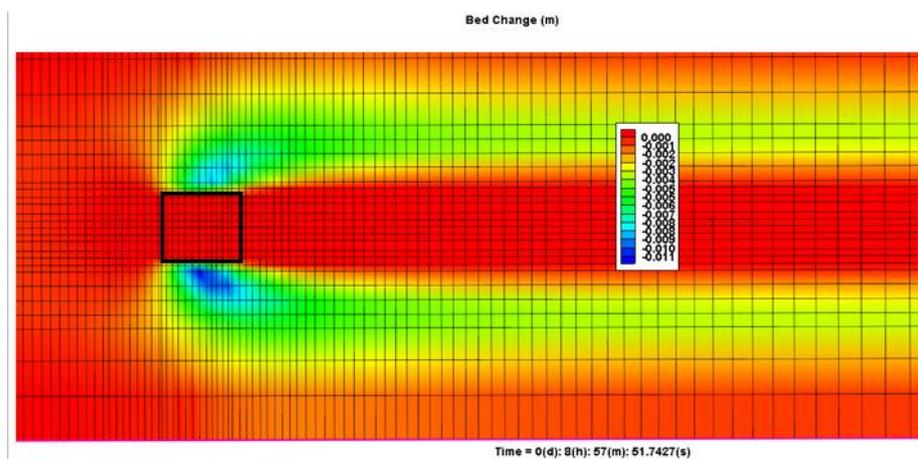


圖 4.30 水工模型試驗橋墩沖刷三維模型



單位:cm

圖 4.31 水工模型試驗橋墩沖刷底床變化等深圖



單位:cm

圖 4.32 二維數值模擬橋墩沖刷底床變化等深圖



## 第五章 階段性成果發表與應用情形

本所長期以來扮演交通部智庫角色，協助交通部政策擬訂、統合協調運輸決策與執行計畫、支援各級運輸行政技術與研發創新，相關研究成果若可落實應用將協助部屬機關決策及維護管理之參採，本章將針對本計畫相關研究成果發表推廣及階段性成果應用情形進行說明。

### 5.1 獲中華民國發明專利

#### 1. 專利類型

依我國現行專利法規定，專利分為發明、新型及設計專利等三種。

##### (a) 發明專利

發明是指利用自然界中固有的規律所產生之技術思想的創作，以產生功效，解決問題，達成所預期的發明目的。專利法所指的發明必須具有技術性(technical character)，即發明解決問題的手段必須是涉及技術領域的技術手段。

##### (b) 新型專利

申請專利之新型必須是利用自然法則之技術思想，佔據一定空間的物品實體，且具體表現於物品上之形狀、構造或組合的創作。亦即新型專利係指基於形狀、構造或組合之創作，所製造出具有使用價值和實際用途之物品。

##### (c) 設計專利

設計專利是指對物品全部或部分之形狀、花紋、色彩或其結合，透過視覺訴求的創作 其中 應用於物品之電腦圖像及圖形化使用者介面，為一種透過顯示裝置顯現而暫時存在之平面圖形，該圖形本身應屬花紋或花紋與色彩之結合的性質，亦得申請取得設計專利。

本計畫工法係透過改良既有施工技術工法，嘗試解決既有鼎型塊保護工法沖刷問題而進行研發，其發明目的符合上述專利類型中「發明專利」之規定，而朝此專利項目辦理申請之作業。

## 2. 申請過程

相較於新型專利係採形式審查，發明專利則須經過實體審查才能取得專利權，因此申請作業上較為嚴謹且耗時，本案係始於 109 年 5 月辦理發明專利申請，歷經兩次實體審查與答辯申復(第 1 次審查 110 年 2 月、第 2 次審查 110 年 8 月)，透過前述兩次答辯申請，將本工法之發明理念、技術性及應用性...等觀點，詳述解說與國內外同質性專利之不同之處(即創新性)，於今(111)年 2 月終獲中華民國發明專利之審定(圖 5.1)，藉此證明本工法具技術創新，能解決實務問題，達成所預期的發明目的。

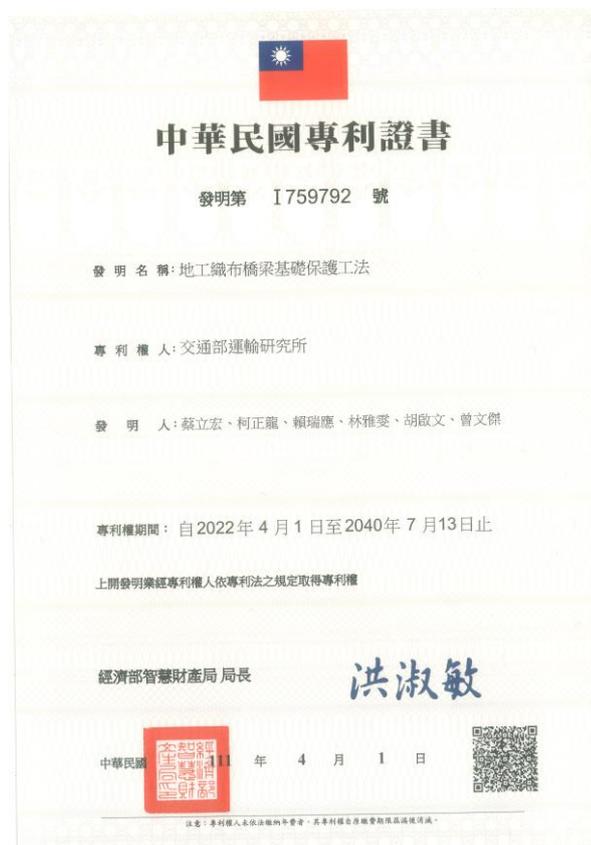


圖 5.1 中華民國發明專利證書(發明第 I759792 號)

## 5.2 參與「2022 台灣創新技術博覽會」發明競賽

「2022 台灣創新技術博覽會」(原台北國際發明暨技術交易展)係由政府 10 部會聯合主辦，外貿協會及工研院共同執行，為能呈現產學研創新技術能量，驅動產業升級轉型，連結國際技術交流，為各領域創新技術成果展覽、交流及競賽之年度盛事，本所就本工法之創新價值、功能與實用性、實施成本、技術應用廣度、技轉性...等特點，報名參展與競賽，透過為期 3 日(111 年 10 月 13 日~10 月 15 日)設攤展覽方式與各界進行交流與推廣(圖 5.2)，並透過委員實質審查過程闡述發明理念及應用性(圖 5.3)，經評比後於參賽的 500 多件發明作品獲頒「銀牌獎」之獎項(總獎項計有鉑金獎、金牌獎、銀牌獎、銅牌獎)(圖 5.4)。



圖 5.2 展覽期間各界參與情形



圖 5.3 發明競賽委員評審情形

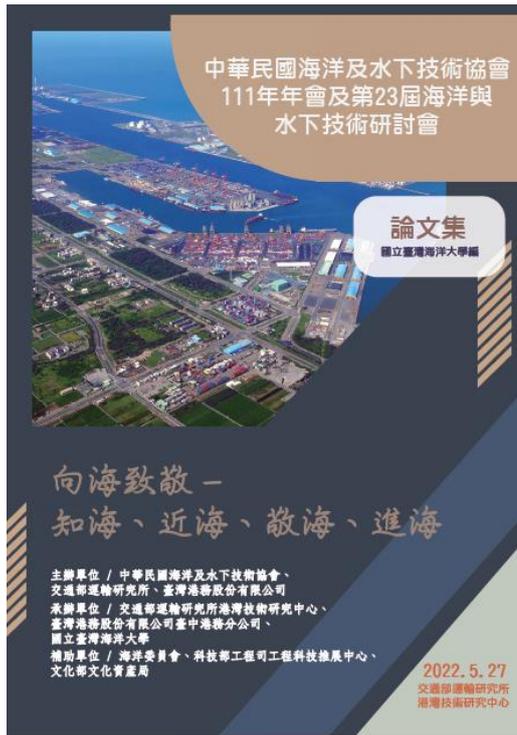


圖 5.4 主辦單位頒發「銀牌獎」獎項

## 5.3 參與研討會及例行記者會成果發表

### 1. 參與研討會

本計畫成果投稿於 111 年 5 月 27 日「第 23 屆海洋與水下技術研討會」並進行成果發表(圖 5.5、圖 5.6)，適逢 COVID-19 疫情緣故，該研討會採線上及實體會議併行，藉此參與交流推廣與討論。



### 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

賴瑞應<sup>1</sup> 胡啟文<sup>2</sup> 鄭登鍵<sup>3</sup> 饒書安<sup>4</sup> 吳松旺<sup>5</sup> 林哲詠<sup>6</sup>

#### 摘要

國道三號大甲溪橋，近年在颱風作用下，河道深槽區之橋墩基礎結構有裸露之情況發生，國道高速公路局大甲工務段採用燕型塊排置工法來保護橋墩基礎，雖頗有成效，然於河水長期沖刷下，燕型塊有流失破壞的狀況發生，導致大甲工務段於每年汛期過後要針對流失的燕型塊加以補鋪，以確保橋墩基礎的安全。

爰此，本研究針對本所過去研擬之地工織布結合燕型塊保護工法，選擇以大甲溪下游國道三號大甲溪橋為研究對象，進行室內水工模型沖刷試驗，以及透過現地沖刷試驗來評估地工織布現地鋪設之施工性與保護成效，提供相關橋梁管理單位未來施政之應用。

關鍵字：地工織布、燕型塊、橋基保護工、橋梁沖刷

論文主題與範疇：水下技術、水下技術應用

計畫編號：

- 1 賴瑞應 交通運輸研究所港灣技術研究中心主任研究員兼科長
- 2 胡啟文 交通運輸研究所港灣技術研究中心研究員
- 3 鄭登鍵 交通運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
- 4 饒書安 交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段段長
- 5 吳松旺 交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段副段長
- 6 林哲詠 交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段幫工組員

圖 5.5 投稿論文短摘要



(a) 海報展覽



(b) 簡報研討

圖 5.6 論文發表情形

## 2.交通例行記者會

本計畫於 111 年 10 月 18 日舉行例行記者會，新聞稿題目為「橋基加固剛柔並濟工法-鼎型塊+地工織布」，將目前階段性成果透過記者會及發布新聞稿方式進行發表，會後各媒體刊登彙整如表 5-1 所示。

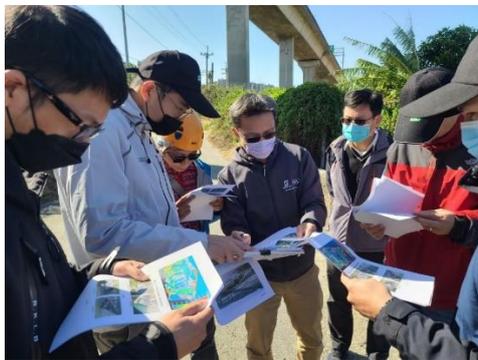
表 5-1 例行記者會後各媒體刊登一覽表

	新聞標題	刊登媒體	新聞連結
1	橋梁基礎保護新工法 提升橋梁抗沖刷能力	民眾日報	
2	抗橋梁沖刷地工織布加分 運研所新工法獲專利	中央社	
3	研發橋梁基礎保護新工法 交通部運研所獲專利	NOWnews 今日新聞	
4	保護橋基新工法！加一層「地工織布」有效減少 9 成維修	中國時報	
5	運研所新工法提升橋樑基礎抗沖刷能力 獲發明專利	自由時報	
6	運研所保護橋基新工法 獲專利及創新技術銀牌	中央廣播電台	
7	橋梁基礎保護新工法 提升抗沖刷能力	台灣新生報	

## 5.4 實務應用情形

### 1. 協助辦理橋基保護工作

110 年 12 月 03 日高速公路局中區養護分局大甲工務段(以下簡稱大甲段)為辦理 111 年度橋梁維護工程預算編列作業，邀集本所與其他監測儀器佈設單位(中興大學)辦理現勘，討論相關鋪設位置、範圍及介面整合事宜(圖 5.7)，本所於會後依現勘討論結果初擬相關鋪設規劃、參考預算及標準圖說資料(圖 5.8)，協助大甲段規劃及預算編列參考。



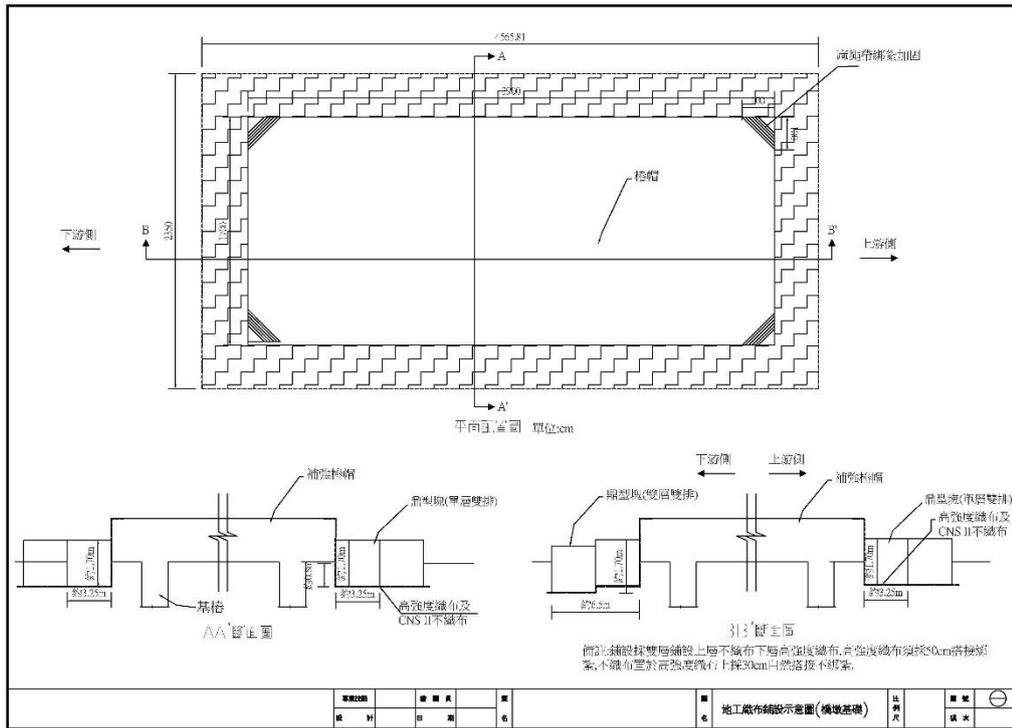
(a) 本所進行工法說明



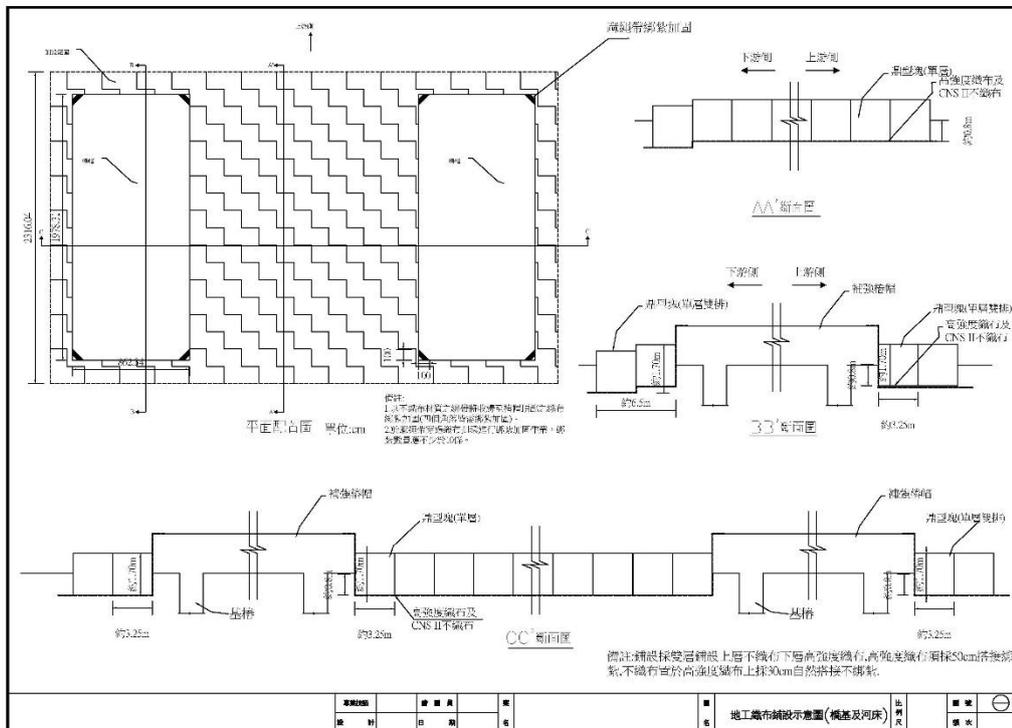
(b) 鋪設方式討論

圖 5.7 現勘情形

111 年 03 月 09 日大甲段邀集施工廠商及本所進行第 1 次施工前協調會(圖 5.9)，並由本所協助說明工區現況沖刷情形，以及就所規劃之鋪設範圍(P22L 及 P23L，圖 5.10)與細部斷面圖與施工廠商進行討論施工性及汛期前完工之可行性。



(a) 地工織布鋪設示意圖(橋墩基礎)



(b) 地工織布鋪設示意圖(橋基及河床)





圖 5.10 111 年度地工織布預計鋪設範圍

因施工期限緊迫，避免因介面協調不足而影響工進，111 年 03 月 18 日大甲段再邀集施工廠商、織布製造商及本所進行第 2 次施工前協調會(圖 5.11)，與生產端與施工端討論共識之細部斷面及配套之布料輸出尺寸大小、數量、施作方式、人力與機具，並於該次協調會達成共識，會後並據以制定細部施工斷面圖(圖 5.12)，以能於汛期前達成完工之目標。

前述橋基保護工程因 4 月份降雨造成現地主河道水量較大，施工便道不易施作，難以於汛期完成施工，因此大甲段將施工作業調整至今年汛期後(111 年 11 月後)辦理施工，俟完工後，除可提供橋墩基礎保護外，亦可擴大本計畫試驗範圍，藉以增加試驗及驗證資料，提供更多資訊予後續研究進一步評估保護成效。

汛期過後，大甲段預計於 111 年 12 月 1 日進場施作，為確認橋墩基礎保護措施整治工程施工相關事宜，爰於 111 年 11 月 14 日再邀集施工廠商、監造單位、橋檢廠商、織布製造商及本所進行第 3 次施工前協調會(圖 5.13)，進行討論並確認相關施工細節，討論歷程如圖 5.14 所示。

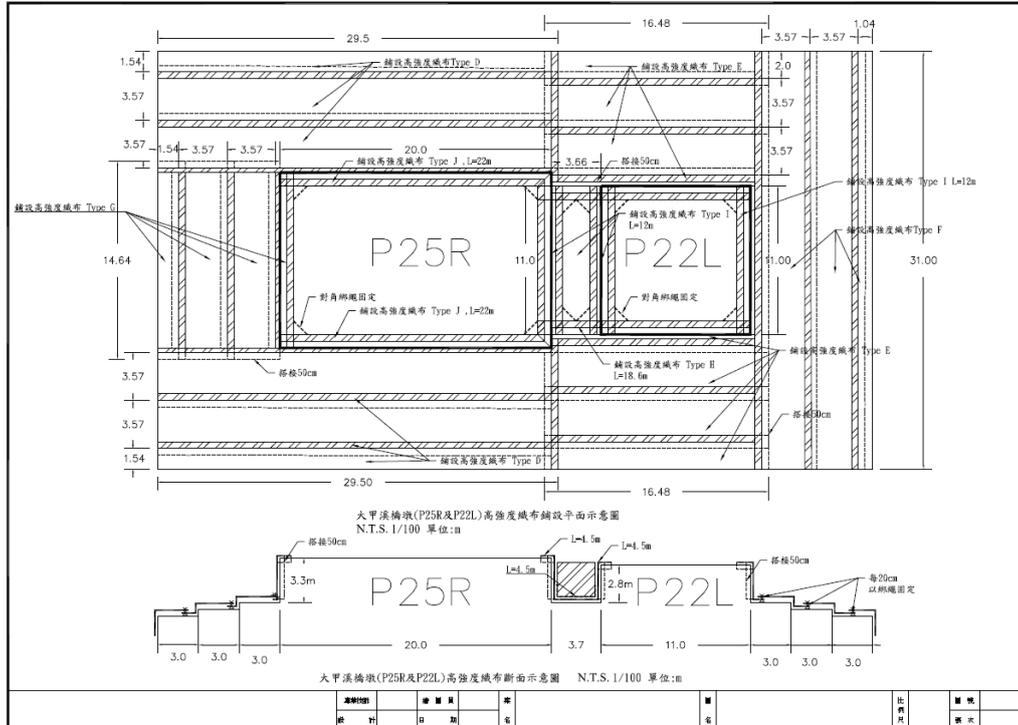
## 2. 成果共營共享

本計畫所執行之階段性成果亦共享做為大甲段於高速公路局對工務段年度養護作業考評(橋梁項)跨機關合作積極創新作為項目之一(圖 5.15)。

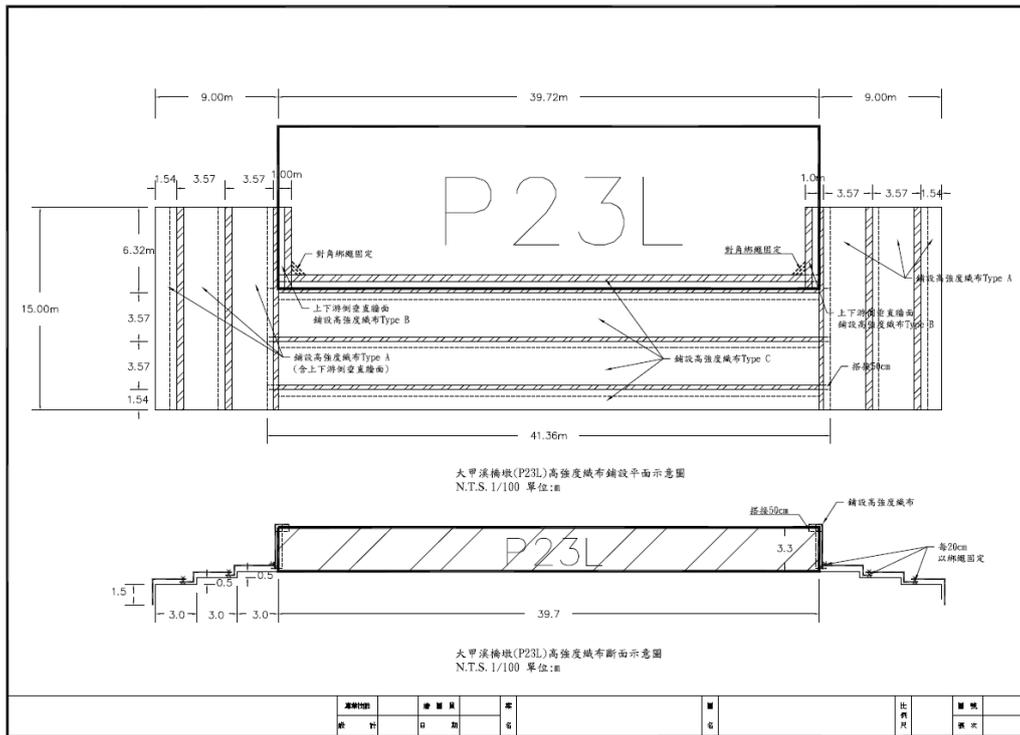
本計畫係為本所自辦性質之研究，研究資源有限，感謝大甲段於計畫執行期間提供參考資料、試驗橋址及現場施工之協助，透過此一合作機制發揮 1+1>2 的成效及示範。



圖 5.11 第 2 次施工前協調會討論情形



(a) P22L



(b)P23L

圖 5.12 鼎型塊織布橋基保護工法細部施工斷面圖



圖 5.13 第 3 次施工前協調會討論情形





## 第六章 結論與建議

臺灣河川多屬坡陡流急，洪水期間，橋墩或橋基附近河床受到劇烈的沖刷，常導致橋梁崩塌斷裂，甚而造成交通中斷。由於橋梁為交通運輸與民生活動之重要管道，若因災害破壞，勢將對災後之聯絡、急難救助與物資運輸造成重大衝擊，嚴重影響救災工作之進行。因此，橋梁保護工法之研究實為當前之重要課題。

本計畫針對本所過去研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，以大甲溪下游橋梁為研究對象，於 109 年完成國道 3 號大甲溪橋 P24L-P27R 橋墩基礎之地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設，於 110 年及本(111)年進行現地保護成效的觀測與評估，並透過室內水工模型試驗結果，來檢定數值模擬所需參數，以建置二維數值水理模型，建立多元分析驗證方法及成效評估，做為橋管單位鋪設橋墩基礎保護工法之應用，相關成果可提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路總局、高速公路局、臺灣鐵路管理局以及縣市政府等單位未來施政之應用。

### 6.1 結論

1. 本計畫工法係為改良既有的鼎型塊保護工法，於施作工序上僅於整地後增加鋪設地工織布的工序，對於整體施工方式並無太大改變，因此施工廠商技術門檻要求不高，而經過實際鋪設施作，驗證本工法具可施工性，所增加之工期約 12.5%左右、施工成本約 10% 左右。
2. 以試驗組(織布鋪設區)P24L 來看，相較於去(110)年 8 月盧碧颱風事件造成下游側局部鼎型塊傾斜之現象，而觀察本(111)年度梅雨事件石岡壩放流量相較於去(110)年度盧碧颱風事件為小，可推測對於試驗組 P24L 之影響亦會隨之減少，而經本(111)年度試驗區之觀測結果，亦符合前述之趨勢，對於 P24L 橋址鼎型塊並無影響。

3. 以對照組(僅設鼎型塊而無鋪設織布區)P23L、P25L 來看，以去(110)年度之觀測結果可知，鼎型塊流失及傾斜的狀況較為嚴重，而經本(111)年度試驗區之觀測結果，雖無較大降雨事件之流量，但仍持續發生鼎型塊位移之情形。
4. 整體而言，以 P24L 為例，本工法雖增加約 10%左右之施工成本，但可減少鼎型塊位移之現象，以目前 110~111 兩個年度觀測之結果，所需維修面積約可減少 90%左右，顯示可具相當之保護作用，可達延長保護橋基壽命，減少維修頻率之目的。
5. 本計畫以前期室內水工模型試驗成果為基礎，規劃執行本(111)年度水工試驗並用於檢定數值模擬所需參數，經分析探討已建置二維數值水理模型，做為未來建立多元分析驗證方式之基礎。
6. 本計畫工法具技術創新，能應用於實務處理問題，達成所預期的發明目的，已獲得經濟部智慧財產局發明專利及「2022 台灣創新技術博覽會」發明競賽「銀牌獎」。
7. 本計畫透過推廣交流、協助預算編列及施工規劃，落實應用至高公局 111 年度橋梁維護業務，辦理橋基保護工作。

## 6.2 建議

1. 大甲溪流域於 97 年辛樂克颱風過境造成后豐大橋斷橋事件時，石岡壩放流量達 3,528cms，110 年盧碧颱風石岡壩放流量為 1,280cms，仍有相當差距，後續將有待超大豪雨事件及擴增試驗區來進一步評估及驗證其成效後，再行擴大推廣應用。
2. 本計畫工法目前係以卵礫石河床地質環境進行規劃及應用，對於砂質河床適用性尚需進一步探討及驗證。
3. 因二維數值分析模式模擬結果為一較平均流場下之沖淤現象，對於水流沖擊試驗橋墩後產生之向下流場無法呈現，致分析結果與水工

試驗結果有所差異，後續將精進以三維數值分析模式模擬向下流場與局部沖刷效應，以反映真實之水流運動情形。

### 6.3 研究成果效益

1. 藉由現場試驗觀測結果，完成地工織布結合鼎型塊保護工法之成效評估。
2. 已完成建置二維數值水理模型，可做為未來建立多元分析驗證方式之基礎。
3. 上述之計畫研究成果，可提供相關橋梁管理單位未來鋪設橋墩基礎保護工法之參考。

### 6.4 提供應用情形

1. 本計畫研提之地工織布結合鼎型塊保護工法，已於 109 年及 111 年應用國道 3 號大甲溪橋 P22L、P23L 及 P24L 橋墩基礎保護工作。
2. 本計畫所進行的室內水工模型試驗方案及現地橋址保護工鋪設案例，可提供本所及相關單位後續研究之參採。



## 參考文獻

1. Wu, W.M. “CCHE2D sediment transport model”, Technical Report No. NCCHE-TR-2001-3 (2001).
2. Jia, Y., Wang, S., “CCHE2D: two-dimensional hydrodynamic and sediment transport model for unsteady open channel Flows over loose bed.”, Technical Report No. NCCHE-TR-2001-1, February (2001a).
3. Jia, Y., Y., Zhang and S.S.Y., Wang,. “Numerical modeling of bank erosion processes and its field application”, Proceedings of the International Conference of Hydrosience and Engineering, Nagoya, Japan, September, 9-12 (2008).
4. Wu, W. and Wang, S.S.Y. “Selection and evaluation of nonuniform sediment transport formulas for river modeling.” Proc. XXXth IAHR Congress, Thessaloniki, Greece (2003).
5. Wu, W. and Wang, S. S. Y. “Depth-averaged 2-D calculation of tidal flow, salinity and cohesive sediment transport in estuaries,” Intl. J. Sediment Res., 19(3), 172–190 (2004b).
6. Wu, W. and Wang, S. S. Y. “Depth-averaged 2-D calculation of flow and sediment transport in curved channels,” Int. J. Sediment Res., 19(4), 241–257 (2004a).
7. Brownlie, W.R. “Compilation of fluvial channel data: laboratory and field.” Rep. No. KH-R-43B, W.M. Keck Lab. of Hydr. and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, Calif (1981) .
8. Toffaleti, F.B. “A procedure for computation of the total river sand discharge and detailed distribution, bed to surface.”” Technical Report No.5, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss (1968).
9. Melville, B. W. and Chiew, Y. M., “Time scale for local scour at bridge piers”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.125, No.1, pp.

59~65(1999).

10. 單明陽、李振卿，「土工織物在山區道路邊坡保護之應用」，現代營建第 343 期，44-48 頁，2008。
11. 潘坤亮，「土工織布於海洋環境中之工程特性」，屏東科技大學土木工程系碩士論文，2003。
12. 周南山，「土工合成材料在永續工程之應用」，中華民國環境工程學會電子報，2016。
13. 黃景川，「模擬濁流中土工織物損傷之室內試驗」，成大研發快訊第六卷第八期，2008。
14. 交通部高速公路局中區養護工程分局，「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」，2013。
15. 呂正安、李坤哲、賴芝亭，「台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估」，臺灣公路工程第 39 卷第 8 期，2013。
16. 賴瑞應、胡啟文、曾文傑，「國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究」，交通部運輸研究所，2019。
17. 賴瑞應、胡啟文、曾文傑，「土工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」，交通部運輸研究所，2020。
18. 賴瑞應、黃宇謙、莊凱迪、林佳欣，「土工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」，交通部運輸研究所，2021。
19. 蔡立宏、賴瑞應、胡啟文、鄭登鍵、黃宇謙、莊凱迪、劉文琪，「國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證」，交通部運輸研究所，2022。
20. 詹勳全、盧錫彥，「應用二維水理模式評估河道演變之研究」，中興大學水土保持學系碩士論文，2012。

21. 葉克家、李岱玲，「CCHE2D 模式應用於蜿蜒複式河槽變遷之研究」，交通大學土木工程學系碩士論文，2012。
22. 葉克家、石棟鑫、簡健晉，「導流板應用於橋墩沖刷保護之數值模擬研究」，陽明交通大學土木工程學系碩士論文，2021。
23. 邱永芳、賴瑞應、胡啟文，「近景攝影測量應用於渠槽試驗底床量測之探討」，中國土木水利工程學刊，第四十四卷第六期，59-69 頁，2017。
24. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「美國國家水科中心河道三維動床數值模式之引進及應用研究總報告」，2015。



附錄一

專利公報



【19】中華民國 【12】專利公報 (B)

【11】證書號數：I759792

【45】公告日：中華民國 111 (2022) 年 04 月 01 日

【51】Int. Cl. : E02D31/00 (2006.01) E02D3/00 (2006.01)  
E01D22/00 (2006.01)

發明 全 6 頁

【54】名稱：地工織布橋梁基礎保護工法

【21】申請案號：109123693 【22】申請日：中華民國 109 (2020) 年 07 月 14 日

【11】公開編號：202202698 【43】公開日期：中華民國 111 (2022) 年 01 月 16 日

【72】發明人：蔡立宏 (TW) TSAI, LI-HUNG；柯正龍 (TW) KO, JENG-LONG；賴瑞應 (TW) LAI, JUI-YING；林雅雯 (TW) LIN, YA-WEN；胡啟文 (TW) HU, CHI-WEN；曾文傑 (TW) TSENG, WEN-CHIEH

【71】申請人：交通部運輸研究所 INSTITUTE OF TRANSPORTATION,  
MOTC

臺北市松山區敦化北路 240 號

【74】代理人：林坤成

【56】參考文獻：

TW I325910

TW 200702525A

CN 203782647U

審查人員：王怡婷

【57】申請專利範圍

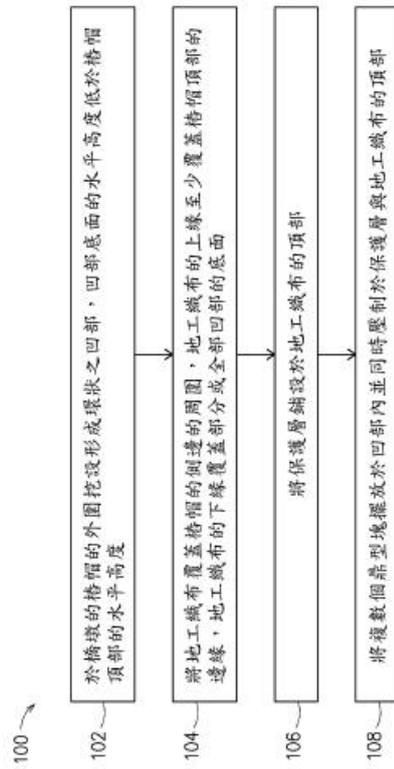
1. 一種地工織布橋梁基礎保護工法，包括以下步驟：
  - (a)於橋墩的樁帽的外圍挖設形成環狀之凹部，該凹部底面的水平高度低於該樁帽頂部的水平高度；
  - (b)將地工織布覆蓋該樁帽側邊的周圍，該地工織布的上緣至少覆蓋該樁帽頂部的邊緣，該地工織布的下緣覆蓋部分或全部該凹部的該底面；
  - (c)將保護層鋪設於該地工織布的頂部；以及
  - (d)將複數個鼎型塊擺放於該凹部內並同時壓制於該保護層與該地工織布的頂部。
2. 如請求項 1 之地工織布橋梁基礎保護工法，其中該地工織布是由複數地工織布單元相互連接構成。
3. 如請求項 2 之地工織布橋梁基礎保護工法，其中該複數地工織布單元是藉由綁紮相互連接。
4. 如請求項 1 之地工織布橋梁基礎保護工法，其中該保護層為不織布。
5. 如請求項 1 之地工織布橋梁基礎保護工法，其中該保護層是由複數保護層單元連接構成。
6. 如請求項 1 之地工織布橋梁基礎保護工法，其中該地工織布是以經緯方式編織而成之織布。
7. 如請求項 1 之地工織布橋梁基礎保護工法，其中該地工織布的材質為聚丙烯纖維(PP)。
8. 如請求項 1 之地工織布橋梁基礎保護工法，其中該樁帽的底部設有複數基樁，該凹部的深度到達該基樁。

圖式簡單說明

圖 1 為本發明之一實施例之流程圖。

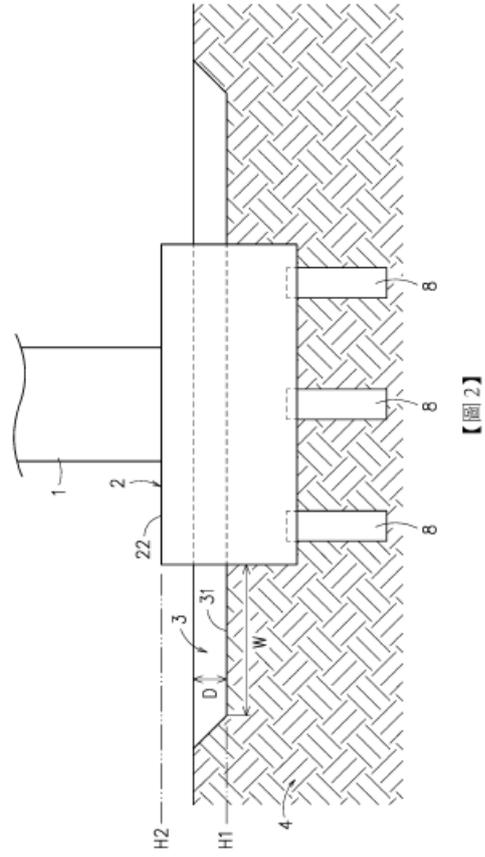
(2)

- 圖 2 為本發明形成凹部的剖面結構示意圖。
- 圖 3 為本發明鋪設土工織布的剖面結構示意圖。
- 圖 4 為本發明鋪設保護層的剖面結構示意圖。
- 圖 5 為本發明擺放鼎型塊的剖面結構示意圖。



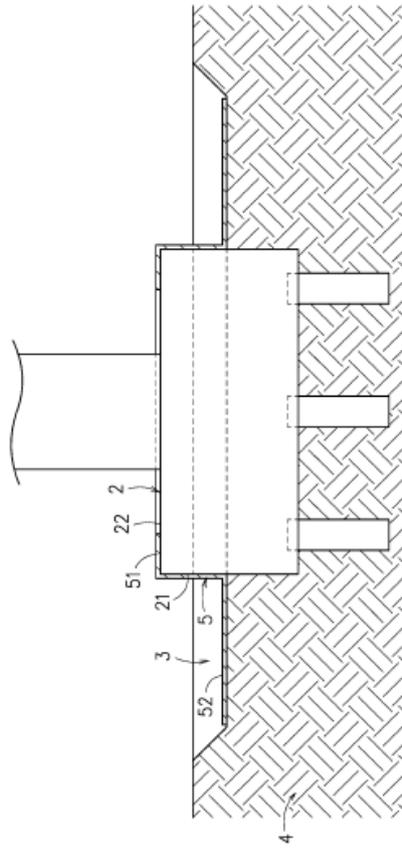
【圖 1】

(3)



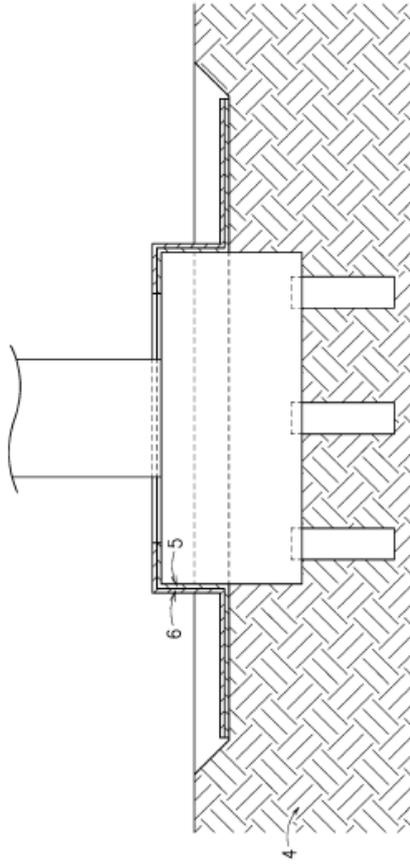
【圖 2】

(4)



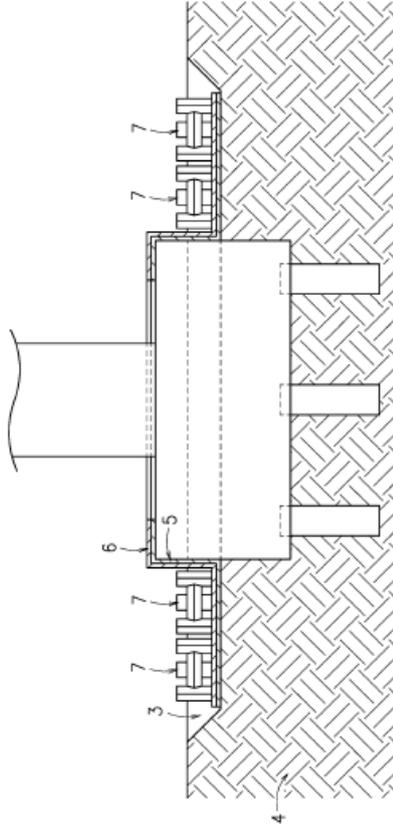
【圖 3】

(5)



【圖 4】

(6)



【圖 5】

## 附錄二

### 專家學者座談會會議紀錄



## 交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：111 年 4 月 26 日(星期二) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 紀錄：鄭登鍵

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

### 一、朱金元委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 各年度甘梯圖之工作項目宜更精準。
2. 斷面試驗或現場橋址記錄河床變化、鼎型塊變位或流失情形，宜作三維之量化紀錄。
3. 斷面水槽試驗，建議每次試驗都能全程錄影，尤其在鼎型塊或地工織布即將變位或流失之過程，可於成果說明時清楚呈現。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 在 110 年合作計畫結束即研究擴大應用範圍，是很棒的計畫。
2. 建議對於執行現況探討可就前期研究沒處理的部分深入即可。
3. 加強前期研究成果推廣應用之執行情形，並研究如何精進，畢竟科技發展很快。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探

#### (1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 相關 UAV 及山區道路崩塌研究，中心已有相當豐碩之前期研究成果，宜先探討其執行應用情形。
2. 本研究對象建議以山區道路或東部地區易崩塌路段為主，較能突顯成果。
3. 除後續應用於巡查作業外，建議未來能朝預警機制建立等賡續進行。

#### (四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

1. 本中心進行二十餘年持續性之腐蝕調查建置研究，支持繼續進行。
2. 原始資料紀錄越詳細越好。例如：樣本放置/收取/試驗時間，以作為後續分析使用。
3. 建議未來應用 AI 分析技術，作為後續不同地區金屬材料選用，構造物壽命評估及維護評估使用。

#### (五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 集中精力於相關新興科技應用案例，蒐集分析可行性應用評估，對於維護管理制度，檢查項目劣化標準等都有多年的探討，除非有必要才再花時間探討。
2. 檢測結果之自動辨識及判讀，後續維護之優先順序自動排序對於節省相關人力及提昇檢測精度可能更為重要。
3. 各項新興科技包括水下機器人都要在本計畫建置？從計畫經費概估表看不出來，如都用現成的東西，建議縮短期程。

#### (六) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 在原有之地理資訊系統(GIS)已有各種評估方法或液化潛勢評估方法，該系統已技術轉移給港務公司，如果有新的鑽探資料，應由港務公司人員自行建置資料，進行評估。
2. 如有更新的建築技術規則，也許可以增加此評估方法或調

整相關參數進行比較。

3. 建議期程縮短，評估方法建立後，示範 1 個地點即可，其餘技轉給港務公司，自行建置評估。

## 二、王錦榮委員

### (一) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

P.19，本案在召開專家學者座談會，建議先找臺鐵員工巡查員座談，確認問題的癥結，及人工智慧辨識的重點，避免產生運用上之盲點。

### (二) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

1. 建議仿照前期(108-110 年)，以每 3 年為一個研究年期進行長期調查及研究，除可建立更完整的材料腐蝕環境，並可分析各類金屬材料腐蝕變化，並藉此建立環境變遷對應材料腐蝕之變化。
2. 臺灣各港口之水質、環境均有明顯差異，建立各港均應有試驗站，以利比對，分析水質、環境差異對腐蝕之影響性，建立影響因子。
3. 建議增加教育訓練之場次，以利港務公司更多同仁了解研究成果及後續因應作為。
4. 建議長期可以制定一套港灣金屬結構物(設施)全生命週期之防蝕、保養、維護管理手冊或規範。

### (三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 本計畫對於未來港務公司執行各類港灣構造物之巡查檢測作業非常有助益，建議可否擴大研究規模，以縮短本研究計畫年期，例如:碼頭+防舷材，防波堤+海堤分兩年完成。
2. 港灣構造物巡查檢測項目與劣化判定標準，感謝運研所先前協助建立，建議 111 年可以重新檢視更新，並導入科技巡檢，以利更準確掌握構造物之現況。
3. 未來檢測巡查導入新興科技應用是必然的趨勢，建議加速

推動，港公司全力支援與配合，包括由港公司編列經費來擴大辦理。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港近期正加速南填區之圍堤造地，建議一併納入評估，以做為後續工程設計之檢討參考。
2. 臺北港及高雄港，此兩港近期已有完成新填土地，建議此二港口之液化風險評估，可併在 112 年來辦理。

三、 朱我帆委員

(一) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 本案 2 週前與本局機務單位會議，申請調用復興號車箱一輛，做為今年研究案系統模組化安裝測試，車箱之外觀、尺寸已經研究單位現場勘查確認，調用之車箱預計 5 月上旬可運至大甲站。
2. 因車箱前、後構造不同，為考量日後維修車兩側牽引之採作便利，請研究單位應以輕巧、拆裝方便、穩固為主。若裝設於車底，則以易於調整設備角度及更換設備為重點。
3. 待設備安裝於車箱後，可先日間於大甲站側線測試，如成效良好則可改為夜間於正線測試，相關期程請研究單位再與本段確認。
4. 本案初期以時速 60 公里為測試目標，請研究單位評估最高測試車速，本局再予研究是否可連掛於日間列車運轉測試。
5. 前案因裂縫缺失態樣製作不易，辨識效果受限，本年度請研究單位可再提升此功能之成效。

(二) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

金屬材料腐蝕環境調查，因本局車站、橋梁均有相關結構，希能將其納入貴所之研究。

四、 饒書安委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 第 1 年工作及後續年度規劃，請考量本分局大甲段實際於國道 3 號大甲溪橋之橋墩基保護工程，原預計定於 111 年汛期前施工，惟考量目前現地主河道水量較大之施工便道目前較難施工，且整體施工工期約兩個月(P22~P23 及 P25-26 各約 1 個月)，將調整於今年汛期後(111.11~111.12)辦理施工，以上期程提供貴中心參考調整研究期程。
2. 有關計畫 111 年預計辦理之二維或三維之數值模擬水槽分析模型，建議未來可多蒐集相關文獻模擬成果。
3. 另外有關 UAV 結合攝影量測技術，後續相關成果希望可洽取供本段養護管理參考，作為兩機關合作成果。
4. 未來若有到現地因涉及國道主線安全，進場請先洽本局承辦人，除考量安全外並可提供本段橋梁承辦人共同參予研討並提升本同仁專業能力。
5. 最後還是肯定港研中心規劃 4 年度研究案，對於國道 3 號大甲溪橋墩保護工程的持續深入模擬與現地相互驗證，對於產官學合作建立良好機制。
6. 有關橋基保護工程分析模擬之成果，建議可辦理教育訓練提供本分局橋梁維護人員及顧問公司學習參考，或由本分局共同協助辦理及經費負擔。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 主要工作項目中，巡檢成效如何？前期成果中，人工智慧辨識成功率有多高？當前遇到的問題是辨識種類增加，還是準確率提高？
2. 各種入侵物的樣態中，如果沒有足夠訓練影像樣本，如何進行？

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

本研究若有需要，高速公路局大甲段可全力配合，不過裸露坍塌地國道目前較少，建議增納其他模式如局部滑移及改善比對等。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

有關金屬材料腐蝕環境調查建議可將國道3號竹南路段或和美路段增列國道位置隔音牆設點納入長期觀測。

五、張志新委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 有關保護成效觀測研究項目第一年到第四年的工作項目都是持續進行記錄周遭變化，鼎型塊流失情形。建議應多論述如何應用科研技術進行量化，量化頻率為何?量化範圍?並且在四年中有何進步的發展。
2. 第4年工作項目，本工法技術指引，該項工作沒有出現在第1~3年對應工作項目，若保護成效有限如何辦理技術指引與技術移轉?應經過如何的認證或是專利申請始可進行技術移轉?
3. 是不是僅限鼎型塊的應用?
4. UAV 對於水下紀錄如何克服?

(二) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 本研究應釐清適用影像，若以計畫書相關需求建議以衛星影像為主較為合適。
2. 承上，衛星影像用於邊坡裸露判識已有前人研究之豐碩成果，建議應藉以此為基礎，再思考本案如何更強化及精準打擊。
3. 目前判識仍須結合現地地貌特徵，才能為崩塌地研判之可能，建議未來可思考如何解決及突破此問題。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 前期成果為何？
2. 研究項目內容中 P.37 港灣構造物巡檢項目與劣化判定標準之彙整。從兩行的內容文字彙整既有巡檢項目、構件劣化標準。似乎是距離計畫執行還有很長的路要走？
3. 建議盡速釐清前述項目與標準，選擇適合的新興應用科技作為技術提升的研發。
4. 除目前提出的方法外 InSAR 合成孔徑雷達影像適合於小位移變形的偵測可以嘗試看看。

#### (四) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 港區的液化風險不會有太大改變，會改變的是這些年新增設施，抗液化的風險或是易損性有不同，應朝向新增設備或設施抗液化風險評估及其對策研擬。
2. 經濟部中央地質調查所持續更新全臺液化潛勢，建議同樣是政府資源，可以採用中央地質調查所的系統新增鑽探資料，即可完成液化評估。

### 六、許書王委員

#### (一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 橋基保護工法監測，應確保在需要監測時，相關設備均能使用。
2. 橋基周邊環境會隨降雨條件改變，此對於室內模擬或實驗是否應注意。

#### (二) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

P.37 新興科技應用於巡查檢測作業部分，由於港灣構造物其環境或有不同，對於研究時，建議針對不同環境最有利的科技產品應用，而不限於用單一科技應用於所有港灣構造物。

### 七、鄭志宏委員

#### (一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

土工織布之耐久性為何?建議納入評估。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 建議可針對臺鐵的巡察需求，先檢討使用的設備，如小構件的巡查，以無人車巡查可能較符合需求，大範圍大面積巡查，可優先檢討無人機運用，它物入侵等緊急應變處理，可考慮以 CCTV 搭配電子圍籬。
2. AI 辨識技術仍需要持續學習改善正確率，建議可納為持續研究討論改善正確率的做法。

(三) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究：

1. 建議團隊可考慮港口條件的特性，將生物影響及海象外力的影響列為變因來探討。
2. 港口金屬防蝕之工法，現階段常用鍍鋅工法、塗漆、鋁陽極塊等，其使用有一定的壽齡，因此如何提升使用壽齡，建議可納入本案研究。

(四) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 港灣構造物巡查檢測作業，以由運研所協助建置了線上使用系統，因此未來智慧化運用於巡查作業後，其巡查結果仍應納入該系統中管理，建議團隊研議如何讓系統互相結合，減少人為作業的程序。
2. 新興科技研究案例中，建議可將側掃聲納納入研究。本公司在研究水下 ROV 過程中，側掃聲納可在高濁度的環境下，取代高精攝影機的功能，傳回鋼板樁式碼頭及棧橋式碼頭的影像以供辨別。
3. 港口碼頭常附著生物蚌殼等，影響判別(版厚檢測需要先去除海生物才能執行)，建議可一併考慮如何解決。

(五) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港、高雄港、臺北港等，近期都有填海造地行為，造地材料常用均質、粉質砂岩等，且填築完成初期尚未完成

壓密行為，容易發生液化及沉陷，建議此高風險區域可優先討論。

2. 查以前團隊報告，也一併調查及研究港口的沉陷情形，109年的報告，又以布袋港沉陷最高，建議可併本案持續研究。

柒、 結論：

感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁將委員意見納入參採，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：下午 12 時 10 分

### 會議簽到表

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：111 年 4 月 26 日(星期二)上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

出席單位	簽名
朱金元委員	
王錦榮委員	王錦榮(視訊)
朱我帆委員	朱我帆(視訊)
饒書安委員	饒書安(視訊)
張志新委員	張志新(視訊)
許書王委員	許書王(視訊)
鄭志宏委員	鄭志宏(視訊)

<p>本所港灣技術研究中心 柯正龍副主任</p>	<p>柯正龍</p>
<p>本所港灣技術研究中心 第一科</p>	<p>賴瑞應 張道光 謝幼屏 曾文傑 吳怡文 潘建明 黃宇端 鄭望健 莊凱迪</p>
<p>本所港灣技術研究中心 第二科</p>	<p>李俊穎</p>
<p>本所港灣技術研究中心 第三科</p>	<p>林雅雯</p>



## 附錄三

### 第 1 次工作會議紀要



# 111 年 6 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：111 年 6 月 27 日(星期一)上午 9 時 30 分至 12 時 20 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：本所港灣技術研究中心第一科

紀錄：莊凱迪

## 壹、討論議題/計畫名稱

### 一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

- 1.前期成果應用說明。
- 2.二維數值水理分析模式比較及文獻蒐集。
- 3.完成試驗區 UAV 觀測採購案。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

- 1.進行臺鐵局 5 項主要軌道檢查作業的檢查頻率、檢查內容探討。
- 2.綜整軌道巡查作業各檢查項目之檢查方法與維修處理方法，探討臺鐵局在軌道檢查上不同於高鐵、捷運之特性。

3.進行軌道巡查紀錄表分析，探討徒步(機車)查道、主管乘車巡查時主要檢查到的軌道問題，以及各項問題的發生頻率。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1.航測技術比較及相關空拍影像取得管道和成本蒐整。

2.深度學習影像辨識技術探討。

3.卷積神經網路(CNN)架構探討。

(四)111年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1.大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，於3月31日已進行全島111年第1季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，4月8日已完成第1季金屬酸洗化學分析試驗，預計6月底完成第2季大氣腐蝕劣化因子調查取樣。

2.5月15日完成2021年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報。並提供中華民國防蝕工程學會產、官、學、研各界參用交流。

3.111年5月27日完成投稿第23屆海洋與水下技術研討會，題目為「臺灣商港2年期水下金屬材料腐蝕調查研究」。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1.整理與彙整港灣構造物維護管理機制。

2.港灣構造物巡查檢測項目與劣化判定標準之彙整。

3.持續蒐集國內外相關新興科技應用巡檢案例。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1.蒐集彙整液化評估法相關文獻。

2.5月函文臺灣港務公司，蒐集臺中港近10年新建工程所增加之地質鑽探資料；6月蒐集地調所臺中港地質鑽探資料。

3.初步完成臺中港地質鑽探資料盤點。

## 二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

### (一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

- 1.本案執行 2 維數值水理分析、斷面渠槽沖刷試驗及 UAV 現場拍攝評估地工織布成效，工作項目相當充實，後續請補充前述三者之相關性。
- 2.第三科有購置 MIKE-21 程式，可提供分析使用。
- 3.GoPro 之縮時攝影規劃因角度及流體混濁度可能影響拍攝成果，請思考因應對策。

### (二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

- 1.本案建議先針對人工智慧影像辨識可執行之項目先做篩選，再擇與安全性相關性較高之項目做深入探討。
- 2.在各項問題發生頻率分析之後，可將哪些項目對軌道安全影響較高、哪些較低整理出來，做為後續研究之方向。

### (三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

水土保持局建置之 BigGIS 巨量空間資訊系統蒐整邊坡衛星、航拍及 UAV 等空拍影像，建議了解該系統操作流程及圖資影像介接使用方式，以供後續研究之參用。

### (四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

- 1.請補充公務單位高速公路局應用臺灣腐蝕環境分類資訊系統之應用實例。
- 2.本所工業區試驗點及主要大氣腐蝕因子之關聯性討論。

### (五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

- 1.維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準之討論。
- 2.新興科技應用於巡查檢測作業，在港務公司目前應用的情形。

#### (六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

- 1.地質鑽探資料盤點、篩選討論。
- 2.土壤液化評估相關方法討論。
- 3.後續報告內容的加強與補充討論。

### 貳、重點紀要/主要結論

#### (一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

試驗區 UAV 觀測採購案已完成採購，後續至現場進行拍攝時，請同仁注意相關安全防護工作。

#### (二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

本案目的以 AI 輔助臺鐵局巡查，可考量 AI 特性、臺鐵局的巡查設備、巡查方式、巡查需求等因素，評估後，先將不適合 AI 執行項目排除，再就 AI 可輔助項目做深入探討。

#### (三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

請依研究標的決定採用之影像，並瞭解相關影像取得的難易，若無法符合研究需求，亦可考量自行或委外拍攝，以取得研究所需的圖資。

#### (四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

請彙整臺灣工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子資料，並於第 2 次工作會議進行說明。

#### (五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

- 1.後續請補充探討目前港務公司在新興科技應用於巡查檢測作業之項目。
- 2.在探討新興科技應用案例過程，請同步分析港務公司目前在巡檢之需求與執行上困難，以利後續精進巡查檢測作業。

#### (六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

針對今年新增的臺中港區的地質鑽探資料，請於第 2 次工作報告呈現新、舊資料的分佈區域，以利瞭解其分佈，並探討是否能滿足臺中港區液化評估的需求，若有區域鑽探資料不足之處，可再洽詢臺中港務分公司索取。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：111 年 6 月 27 日(星期一) 上午 9 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 賴瑞其代

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
港灣技術研究中心第一科	副研究員 研究員 研究員 研究員 助理研究員 =	曾文輝 吳冠廷 謝幼輝 張道光 胡啓文 莊凱迪 黃宇謙 王瑞源
港灣技術研究中心第二科		請假
港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

符序橋  
顏麗香  
黃淑鈴  
孫學夏

## 附錄四

### 第 2 次工作會議紀要



# 111 年 8 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：111 年 8 月 29 日(星期一)上午 9 時 0 分至 12 時 10 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

## 壹、討論議題/計畫名稱

### 一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

- 1.近期保護成效觀測說明。
- 2.二維數值水理分析模式參數選用、模型建置及暑期工讀生協助與學習事項說明。
- 3.階段性成果應用說明。
- 4.後續研究項目說明。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

- 1.學習進行影像辨識的程式語言 Python，理解 AI 影像辨識程式實際執行與作業情形。
- 2.學習 AI 影像辨識的理論基礎、Yolo 模式架設、應用限制，做

為評估各巡查項目應用 AI 影像辨識可能性的依據。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-  
影像蒐集及辨識演算法架構探討

- 1.影像取得管道說明。
- 2.深度學習網路模型探討。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

- 1.8 月 8 日至 9 月 30 日進行全島及離島 111 年第 3 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣及水下金屬第 5 年取樣作業。
- 2.彙整臺灣工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子進行關聯性統計分析。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

- 1.既有的港灣構造物的巡查檢測的項目與各構件劣化的判定檢測標準之探討。
- 2.新興科技應用港灣構造物巡查檢測之案例(UAV, ROV)之探討。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

- 1.建置臺中港地質鑽探資料,包括:港研中心地工資料庫 168 筆、港務公司鑽探報告 155 筆、地調所地質資料庫 21 筆,共計 344 筆,並盤點、篩選可用資料共 311 筆地質鑽探資料。
- 2.完成不同地震情境下液化潛勢比較。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

- 1.數值模式參數係延續先前計畫之試驗參數,相關文獻引用已有一段時間,可再持續蒐集比對更新。

2.數值模式各項參數可將參數敏感性分析之探討納入規劃考量。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

- 1.今年研究重點在評估可擴大應用之軌道巡查項目，宜優先處理。
- 2.本研究重點在提出後續研究方向，影像辨識部分交由合作研究團隊去執行。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-  
影像蒐集及辨識演算法架構探討

辦理執行計畫過程仍應以交通部利害關係人如：公路邊坡相關轄管單位，為後續執行應用及預期效益為主要評估對象。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

- 1.工業區金屬腐蝕材料與環境因子關聯性統計分析討論(以彰濱工業區為例)。
- 2.後續報告內容的加強與補充討論。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

- 1.維護管理設施之巡查檢測之構件劣化度判斷問題之討論。
- 2.新興科技應用於港灣構造物巡檢之案例補充。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

- 1.土壤液化評估相關方法討論。
- 2.後續報告內容的加強與補充討論。

## 貳、重點紀要/主要結論

### 一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

數值模式為避免有 GIGO(Garbage in,garbage out)的情形，若有需

要可適時安排尋求相關專家學者進行訪談與指導。

## 二、應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

請依期程完成各主要工作項目(如擴大應用之軌道巡查項目),影像辨識理論與程式可再慢慢精進。

## 三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

建議訪談公路邊坡管理單位或相關工程顧問公司等專家學者,以利了解相關應用需求和適合蒐集影像之場址。

## 四、111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

建議透過統計結果及相關顯著性分析,建立腐蝕預測關係式,也可探討是否可套用於其他試驗站之可行性,另外,數據品管也需加強。

## 五、港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

請探討新興科技應用於港灣設施巡檢作業之設施構件劣化度判定標準之適用性,並增加補充與比較新興科技之應用案例。

## 六、港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

請補充舊的地震液化風險評估模式與新的評估模式 NCEER 法與 HBF 法之比較,以利瞭解其評估模式精進之處。

### 會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：111 年 8 月 29 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：視訊會議

肆、主持人：賴瑞應科長(視訊)

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心本部	副主任	柯正龍
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員  副研究員 副研究員 即退研究員	謝幼屏 張道光 曹三宇 鄭登鍵 羅建明(視訊) 黃子騫
本所港灣技術研究中心第二科		請假
本所港灣技術研究中心第三科		林雅雯

顏研香



## 附錄五

### 第 3 次工作會議紀要



## 111 年 10 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：111 年 10 月 25 日(星期二)上午 9 時 0 分至 12 時 10 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

### 壹、討論議題/計畫名稱

#### 一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

- 1.近期保護成效觀測。
- 2.二維數值水理分析模式參數選用及數值模式臨界流速( $V_c$ )之探討。
- 3.階段性成果應用。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

- 1.分析徒步查道各巡查項目之危安問題肇因、潛在危安態樣及危安案例。
- 2.評估徒步查道各巡查項目採人工智慧辨識技術輔助巡查作業之可行性。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-  
影像蒐集及辨識演算法架構探討

- 1.影像蒐集原則及資料庫建立。
- 2.專家學者訪談內容說明。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

- 1.完成第 3 季大氣腐蝕氯鹽、二氧化硫化學分析及金屬酸洗試驗。
- 2.完成臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港等水下金屬試片銹層清除作業與金門料羅及水頭港水下金屬試驗片取樣作業。
- 3.工業地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析說明。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

- 1.新興科技應用港灣構造物巡查檢測之案例(UAV、ROV、AI、透地雷達)說明。
- 2.港灣構造物巡查檢測作業精進案例說明。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

- 1.臺中港不同地震情境下液化潛勢分析。
- 2.臺中港不同地震情境下地震沉陷潛勢分布。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

- 1.數值水理模式之斷面流量為均勻流或是穩定流，兩者流況不同，分析結果亦會不同。
- 2.請補充說明數值模式分析工具之詳細介紹，並於期末報告中呈現。

3.可嘗試分析探討於鋪設不織布下，對於臨界流速( $V_c$ )之影響。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1.危安態樣分析可進一步就各項目產生的問題依嚴重性、發生頻率做風險分析。

2.道床檢查、軌枕檢查，後續可考慮採用車載光達來輔助巡查。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-  
影像蒐集及辨識演算法架構探討

後續可先找出易致災或高風險邊坡所在路段，再以該路段去蒐集其邊坡多期多尺度影像，以提升資料庫建立效率。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

工業區金屬材料與大氣腐蝕劣化因子之統計分析關聯性討論。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1.新興科技應用水下港灣設施的檢測問題。

2.後續工作項目與報告內容。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1.臺中港不同地震情境下地震沉陷潛勢。

2.後續報告內容的加強與補充。

**貳、重點紀要/主要結論**

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

(一)應將甘特圖放入簡報中，以瞭解計畫執行進度，據以管控。

(二)建議製作研究過程相關成果影片，做為後續成果推廣、教育訓練、研討會...等活動展示使用。

二、應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

AI除進行影像辨識外，亦可進行聲音、振動辨識，建議後續年度可將影像辨識與聲音、振動辨識結合，以達到更佳辨識結果。

### 三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

建議未來參照訪談專家學者之內容，結合多期邊坡地貌比對並納入氣象、地質因子及地面監測儀器資料等，進行邊坡崩落類型及預測可能土方量之加值應用。

### 四、111年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

請彙整分析工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子資料，並於期末報告進行說明。

### 五、港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

請加強新興科技應用於港灣設施巡檢的運用與維護管理巡檢作業精進的說明，並請掌握時效撰寫研究成果報告。

### 六、港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

請依據門檻加速度及高潛勢區面積，推估臺中港區之分區震陷量，俾提供更新臺中港地震簡訊災況初評內容。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：111 年 10 月 25 日(星期二) 上午 9 時

參、地點：視訊會議

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心本部	主任	蔡立宏
	副主任	柯正靜
本所港灣技術研究中心第一科	研究員	甘敏
	研究員	謝妙潔
	研究員	曹文傑
	研究員	張道光
	副研究員	張建明
	副研究員	吳金鍊
	助理研究員	黃道謙 王瑞博 顏碩香
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李玲娟
本所港灣技術研究中心第三科		請假



## 附錄六

### 期末審查意見及辦理情形說明表



## 期末審查意見及辦理情形說明表

審查意見	辦理情形
吳松旺委員	
1.河床現地水流、滲流現象及水位上升之影響均會對織布產生施工及成效影響，另鋪設場域之尺度也會影響颱風期間橋基之整體動床，本案未來研究是否會納入考量？	感謝委員建議，如委員所述施工現場狀況及鋪設尺度會影響整體動床變化，因現地試驗需相當人力及經費，相關影響探討若以數值模式分析探討會較適宜，將納入後續考量。
2.河川橋下游側之鼎型塊傾倒因素眾多，如吊裝前置整地不確實、鼎塊底部無以卵石做基底、鼎型塊吊放無考量鼎型塊形狀堆疊互制，建議可納入相關本案使用織布之原因陳述。	感謝委員指正，已補充於報告 2.7 節。
3.P.5-7 針對國 3 大甲溪橋歷年辦理橋基保護工作，可以時間軸方式呈現數據、保護標的、歷經颱風後之成效。	P.5-7 係為說明 111 年度大甲段橋基保護工作執行相關討論過程，非歷年保護工作，已參照委員建議將討論過程及重點以時間軸方式呈現，如圖 5-12。
4.織布材料鋪設於河床上，經常需要受到現場環境之影響，如施工機具、人為加工損傷、鼎塊壓重後之損傷，未來有無施工準則及流程方式。	感謝委員建議，本計畫已初擬相關施工標準圖說及流程，如報告 P.5-8~P.5-9，未來將會依實際施作所遇到之問題，持續更新相關圖說及流程提供參考。
5.建議後續推廣使用可建立簡易估算表，如費用、織布使用面積、鼎塊需求數量。	感謝委員建議，後續將依實際鋪設之案例建立簡易估算方式，做為推廣使用。
6.鼎塊吊放較常使用於較大規模之橋基保護工程，本案所使用織布可否利用現場	委員所提意見係針對小範圍損壞進行修補之建議方式，可用小型機具

回包卵石進行保護作業？如針對樁帽四周進行織布鋪設及卵石回鋪進行橋基保護。	達隨壞隨修之功效，用織布回包卵石之作法亦為石籠保護工法之概念，石籠可由現場人工鐵絲纏繞加固，織布回包之耐衝擊性、合適置放位置、現場如何回包加固...等議題，有待進一步探討。
7.P.3-5 觀測作業時間順序請釐清。	已修正，如 P.3-5。
8.P.3-15 資料來源請修正名稱。	已修正，如圖 3-13。
9.未來有無評估織布鋪設之使用年限（經颱風拉扯、現地狀況）。	感謝委員建議，本計畫僅執行觀測 2 年，後續倘有足夠之觀測時間及相關颱風數據將納入評估。
10.P.3-11(b)日期應為 111/10/27。	已修正，如 P.3-11。
11.P.3-13 圖 3.11(11/10/21)有誤，請修正。	已修正，如 P.3-13。
朱我帆委員	
1.經水工模型及數值模型試驗，再應用於公路橋址鋪設，並經近 2 年現址觀測，頗具保護橋基功效，理論與實務可結合。	感謝委員肯定。
2.曾參加「臺灣創新技術博覽會」並得獎，且獲得專利，更印證本研究案之創新應用。	感謝委員肯定。
3.可研議建立標準圖、規範及材料單價，以供相關單位參考。	感謝委員建議，本計畫將會持續更新所擬之相關施工標準圖說及流程，亦將依實際鋪設之案例建立簡易估算方式，做為後續推廣使用及參考。
溫志中委員	

1.報告內容豐富具實用性及研究性。	感謝委員肯定。
2.可以此深化延續後續年度之研究。	感謝委員肯定。
3.未來建議可延伸至三維數值模擬分析。	感謝委員建議，後續將以三維數值模擬分析進行探討。
4.建議可模擬不同配置突出水面結構物之沖刷效應，以驗證模型使用之正確性。	感謝委員建議，委員所提意見係為探討不同參數及結構配置對於墩前沖刷之影響，因受限於二維數值分析模式為平均流場之沖淤現象，對於水流沖擊試驗橋墩後產生之向下流場無法呈現，後續將精進以三維數值分析模式模擬向下流場與局部沖刷效應，以驗證模型之正確性。
賴瑞應委員	
1.本計畫研究成果透過申請專利、參與發明競賽、發表論文、發布記者會及協助高公局辦理年度橋基保護維護工作，將研發成果對外發表及落實應用，肯定本計畫的研究成果。	感謝委員肯定。
2.報告第 4-21 頁，圖 4.14 數值水理模型網格設置情形，建議標註水流方向並檢視網格設定是否與實際水工模型渠槽配置一致。	感謝委員指正，已檢視並增加標註說明，如圖 4.14。
3.建議將今年 11 月參與高公局中區養護分局大甲工務段第 3 次施工前協調會情形納入定稿報告。	感謝委員指正，已納入，如 P.5-10。
4.建議後續能持續將所研發的橋基保護工法持續推廣應用於其它的橋梁維護管理機關，以提升橋基抗沖刷能力，確保行車安全。	感謝委員建議，本計畫工法雖於試驗期間初步驗證能提高橋基抗沖刷能力，然於該驗證期間試驗場址未發生較大之颱風事件，尚有待超大

	豪雨之洪水量來進一步驗證，待確認保護成效後再行擴大推廣。
李俊穎委員	
1.計畫水深如何決定，請說明?	本計畫係承前期室內水工試驗研究基礎辦理，因水深(y)和橋墩寬度( $a_p$ )的改變會影響沖刷深度，此值越大，沖刷深度則主要受橋墩迎水面寬度影響，而與水深較無關係，Raudkivi和 Ettema(1983)認為 $y/a_p$ 大於 3~4 時，水深變化對沖刷的影響可以忽略，因此，取 $y/a_p$ 為 4 來避免水深影響試驗之沖刷深度。本計畫水工試驗模型之橋墩迎水面寬度為 2.5 公分，當 $y/a_p$ 為 4，則試驗水深為 10.2 公分。
2.數值模式之示意及成果圖，建議加註水流方向，便以判讀。	感謝委員建議，已增加標註說明於圖 4.14。
3.本計畫數值模擬入流條件採清水流沖刷，於沖淤分析之泥沙條件如何給定?	本計畫所使用數值分析模式並無清水流之設定條件，因此於沖淤分析時給定趨近於 0 之泥沙輸入值來替代模擬。
4.流速檢定建議可改為 n 值檢定，較為符合探討之內容。	感謝委員建議，已修正，如 P.4-23。
林雅雯委員	
1.報告第 4-20 頁試驗室實驗結果建議補充。	感謝委員建議，已修正，如 P.4-19。
2.報告第 4-41 頁建議以試驗室及數值模擬沖刷深度等值圖對照比較。	感謝委員建議，已修正，如 P.4-41。

<p>3. 試驗室建議可利用粒子圖像測速 PIV(Particle Image Velocimetry)更進一步了解流速及沖刷行為。</p>	<p>感謝委員建議，將蒐集該技術相關資料後，評估做為後續研究工具之可行性。</p>
--	---



## 附錄七

### 簡報資料



## 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效 評估(1/4)-數值水理分析模型建置



### 大綱

- 一、前言
- 二、文獻回顧
- 三、土工織布現地試驗成效評估
- 四、數值水理分析模型建置
- 五、階段性成果應用
- 六、結論與建議



## 一、前言(1/3)

- 大甲溪下游之橋梁管理單位以鼎型塊疊放保護橋墩基礎，但仍有鼎型塊流失，河床下刷之現象，本所近年橋墩保護工水工模型試驗結果顯示，土工織布結合鼎型塊，可達到保護橋墩基礎的功效。



## 一、前言(2/3)

- 109年本所於國道3號大甲溪橋完成現地鋪設，驗證土工織布保護工法之施工可行性，並於110年進行觀測。
- 本年度(111年)除延續觀測試驗橋址鼎型塊的穩定性及成效評估外，並建置二維數值水理分析模型。



## 一、前言(3/3)

- 1.藉由現地試驗，觀測及評估地工織布保護工之保護成效。
- 2.建置二維數值水理分析模型，提供多元化分析方式及成效評估。
- 3.提供大甲溪下游相關橋梁維管單位(高公局、公路總局、臺鐵局及縣市政府)未來設置相關保護工決策之參考。



## 二、文獻回顧

年度	計畫名稱	內容摘要
92	地工織布於海洋環境中之工程特性(潘坤亮)	織布受紫外線照射後，其強度折減嚴重，尤其是未加入抗紫外線劑之PET織布，於第二個月時強度折減已達一半以上。
102	台13甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估(呂正安)	實施橋基裸露應變對策、流域管理與耐洪評估進行探討，並鋪設透水不織布做為橋墩防治局部沖刷之保護工法，及以力學分析提出橋梁耐洪能力詳細評估之流程，訂定警戒及封橋水位。
107	國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究(本所)	本研究以國3大甲溪橋現況保護工法與4種保護工鋪設方案的室內水工模型試驗結果比較，以鼎型塊下方鋪設織布以防止下層細粒料的流失，沖刷試驗結果優於現況保護措施及其他保護方案。
109	地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究(本所)	以國3大甲溪橋P24L及P27R為試驗橋址，進行地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設，以驗證保護工法之施工性及保護成效，並提出建議之施工步驟。
110	國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證(本所)	現地試驗經盧碧颱風事件後，初步驗證地工織布能有效減緩向下水流掏刷作用，減少鼎型塊下方河床粒料流失，以維持鼎型塊穩定性。
101	CCHE2D模式應用於蜿蜒複式河槽變遷之研究	藉由CCHE2D模擬實驗室彎道試驗，了解二次流機制在彎道段之特性，模擬結果的位置與趨勢皆與實測資料相似，顯示CCHE2D對於室內水工模型試驗的模擬結果良好。
101	導流板應用於橋墩沖刷保護之數值模擬研究	以CCHE2D取得之水理參數透過經驗公式進行橋墩沖刷深度推估，並以CCHE3D模式模擬橋墩局部流場情形，將流速量化探討導流板配置對橋墩流場之影響，結果顯示可有效抑制造成橋墩局部沖刷的主要因子。



### 三、地工織布現地試驗成效評估(1/13)

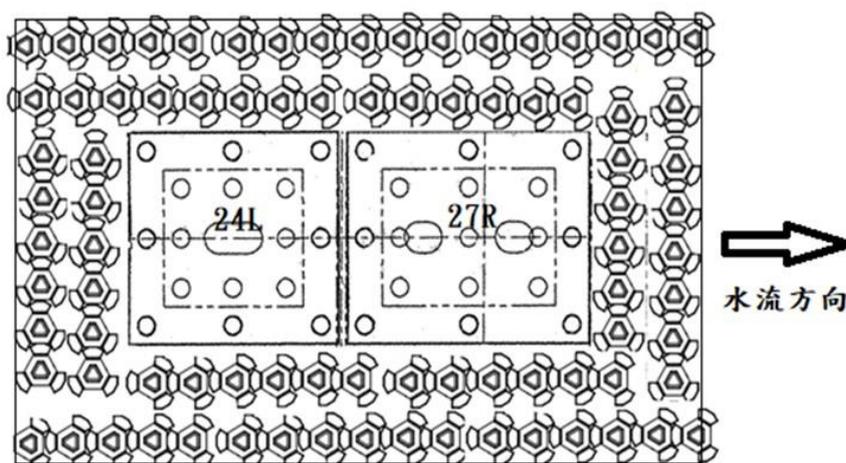
#### ◆ 現地試驗規劃(1/3)

- 109年3月4日會同高公局及國道3號大甲溪橋橋基耐震補強工程監造與施工等單位，現勘國道3號大甲溪橋橋址，評估本所後續橋墩基礎保護工法現地試驗橋址。



### 三、地工織布現地試驗成效評估(2/13)

#### ◆ 現地試驗規劃(2/3)

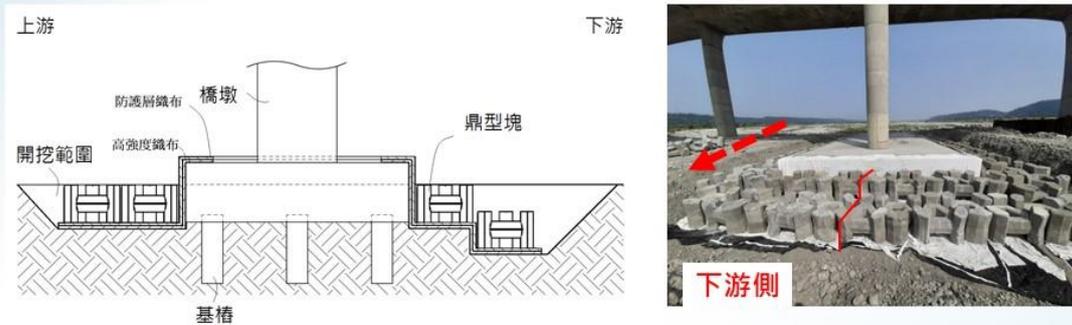


織布鋪設於鼎型塊之下

鼎型塊及織布鋪設平面示意圖

### 三、土工織布現地試驗成效評估(3/13)

#### ◆ 現地試驗規劃(3/3)



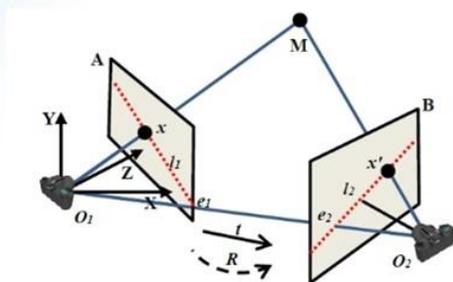
鼎型塊及織布鋪設斷面示意圖



### 三、土工織布現地試驗成效評估(4/13)

#### ◆ 現地觀測方法

- 應用攝影測量技術，搭配UAV取得試驗場址影像，將影像轉換成具三維空間資訊之數值表面地形資料，利用不同時期地形資料套疊，可快速地得知大範圍鼎型塊變位與流失之量化資料，藉以評估保護成效。



場景空間與影像之核線幾何關係圖

航拍範圍示意圖



### 三、土工織布現地試驗成效評估(5/13)

#### ◆ 地面控制測量

- 控制測量:做為攝影測量尺度及座標基準校正，並提供在同一座標系統下套疊比對分析使用。

**大甲溪水位歷線(資料來源:水利署)**

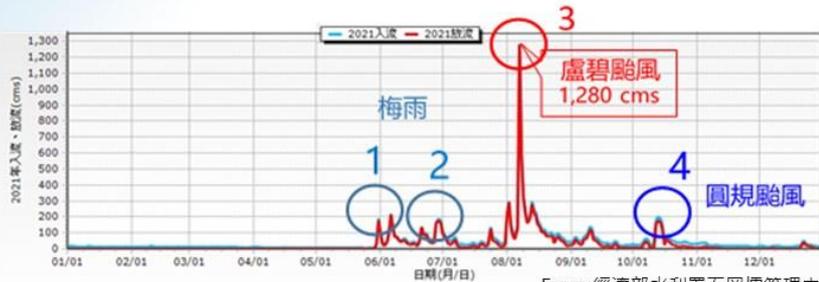
日期	X	Y	Z	備註
2011	185.7124	110.9826	20.0148	201005
2012	182.5268	109.9904	19.9920	191005
2013	186.0111	109.1262	20.0112	201010
2014	184.2553	101.1211	19.9866	191012
2015	184.4112	100.8709	19.9850	191018
2016	185.0812	100.0531	19.9678	181004
2017	188.2011	117.3253	19.7168	181126

**整理後之控制點座標資料**

點號	X	Y	Z	備註
CP1	285.4424	321.4282	19.9684	1805
CP2	282.2024	116.7494	20.0001	201011
CP3	252.4264	252.4968	19.9781	1805
CP4	243.2091	268.0968	20.0270	201111
CP5	262.2021	409.5811	20.1020	201011
CP6	321.0181	309.7781	19.9211	191005
CP7	211.8172	328.8054	21.0000	211001
CP8	213.7366	318.3124	21.0000	211011
CP9	212.4481	304.1611	20.1198	181119
CP10	2108.2711	208.0584	20.1113	181119
CP11	212.2811	311.5281	20.0104	201010
CP12	210.0084	311.0054	20.1015	201010
CP13	219.4393	309.2618	20.0193	201010
CP14	218.4811	448.5442	20.7010	

**現場作業情形**

### 三、土工織布現地試驗成效評估(6/13)

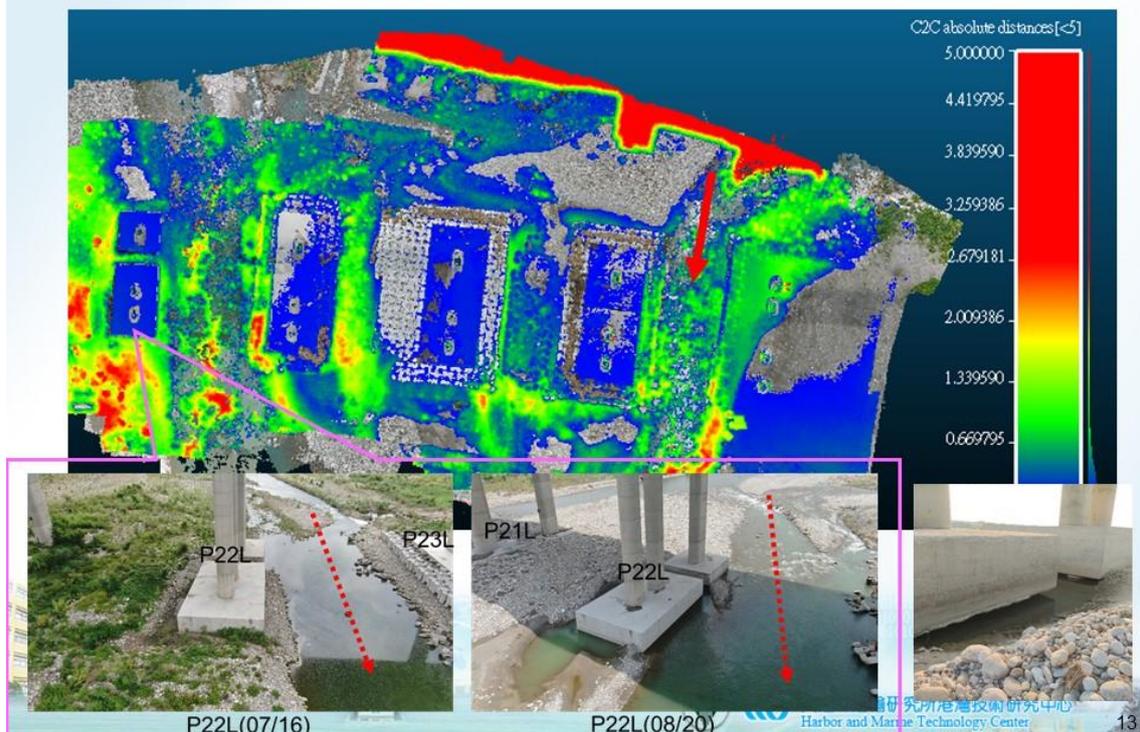


試驗區上游石岡壩110年放流歷線

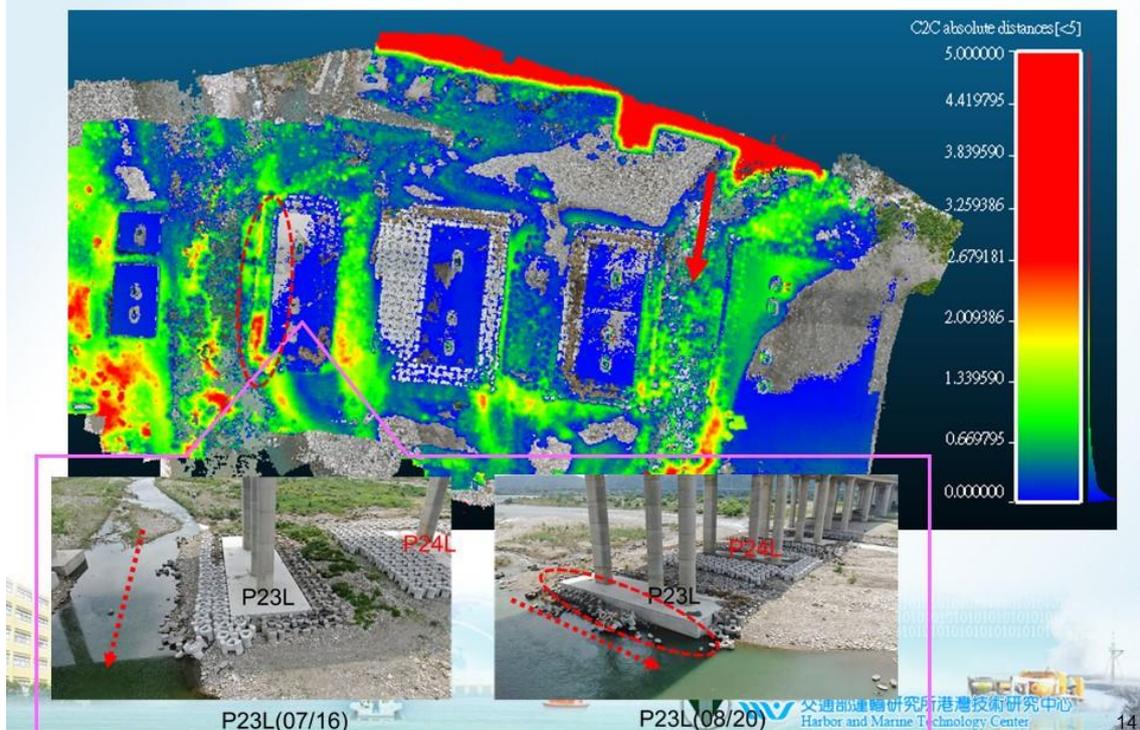
From:交通部國道高速公路局交通控制中心

**110年盧碧颱風試驗區現場水位監測影像(已漫淹整個試驗區)**

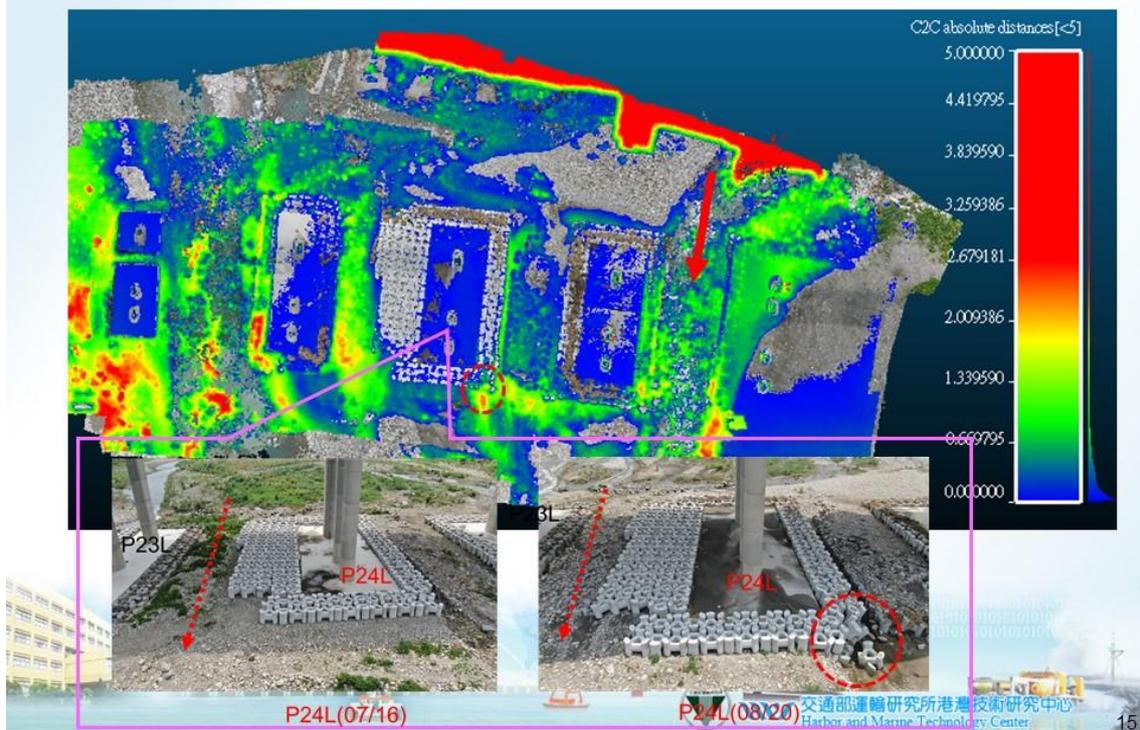
### 三、土工織布現地試驗成效評估(7/13)



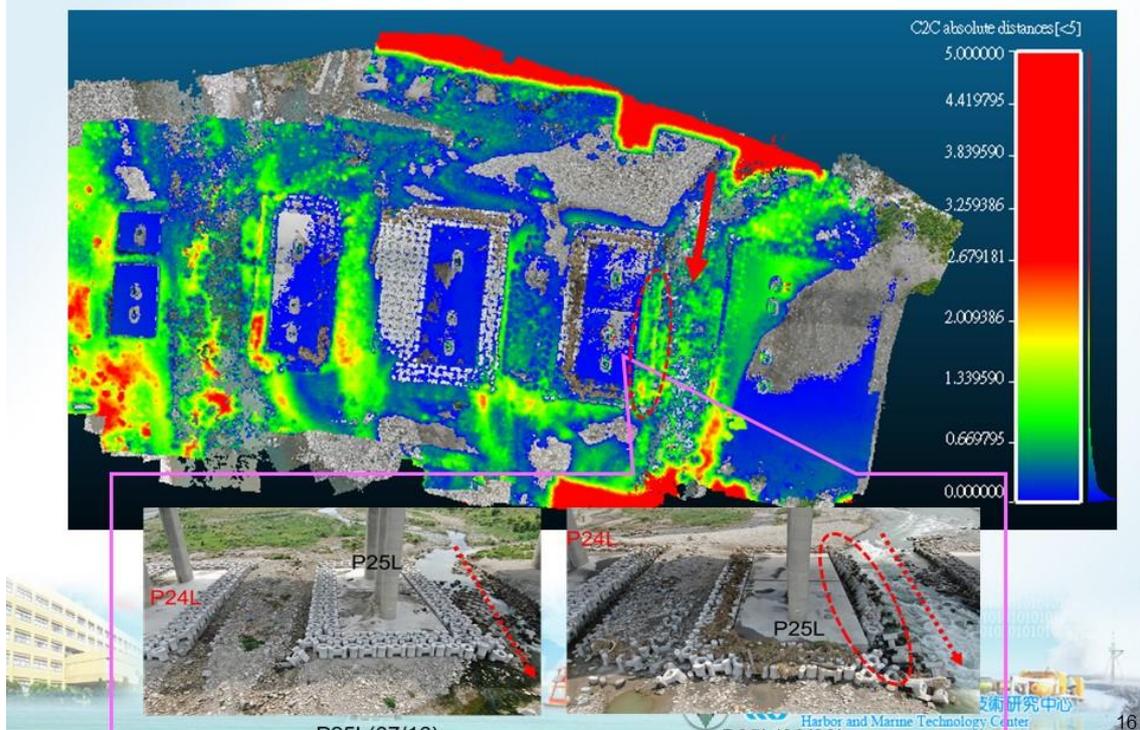
### 三、土工織布現地試驗成效評估(7/13)



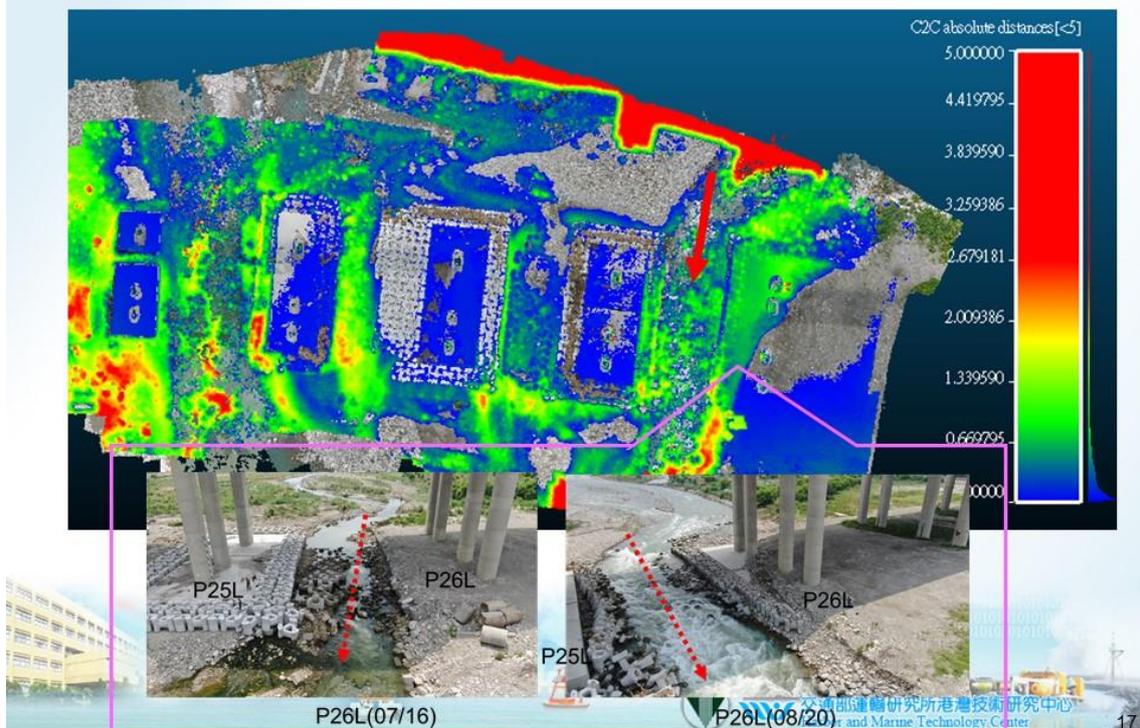
### 三、地工織布現地試驗成效評估(7/13)



### 三、地工織布現地試驗成效評估(7/13)

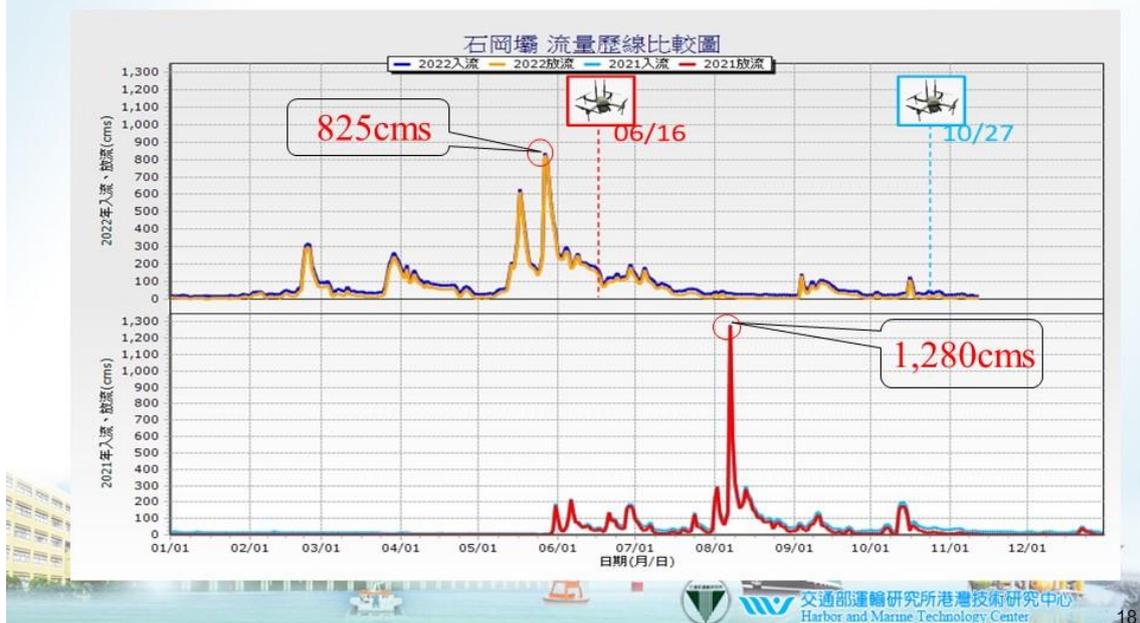


### 三、土工織布現地試驗成效評估(7/13)



### 三、土工織布現地試驗成效評估(8/13)

◆ 試驗區上游石岡壩放流歷線(上:111年；下:110年)



### 三、地工織布現地試驗成效評估(9/13)

#### ◆觀測比對(110/10/21 vs 111/06/16)



110/10/21

\*紅框處為織布鋪設位置



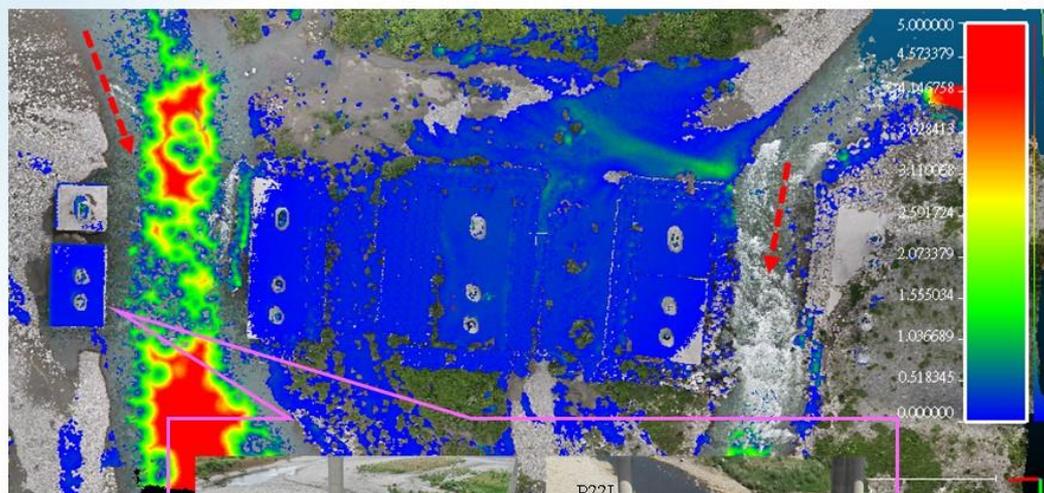
111/06/16

111年5~6月梅雨事件後

交通部運輸研究所 港灣技術研究中心  
Harbor and Marine Technology Center

19

### 三、地工織布現地試驗成效評估(10/13)



P22L(110/10/21)

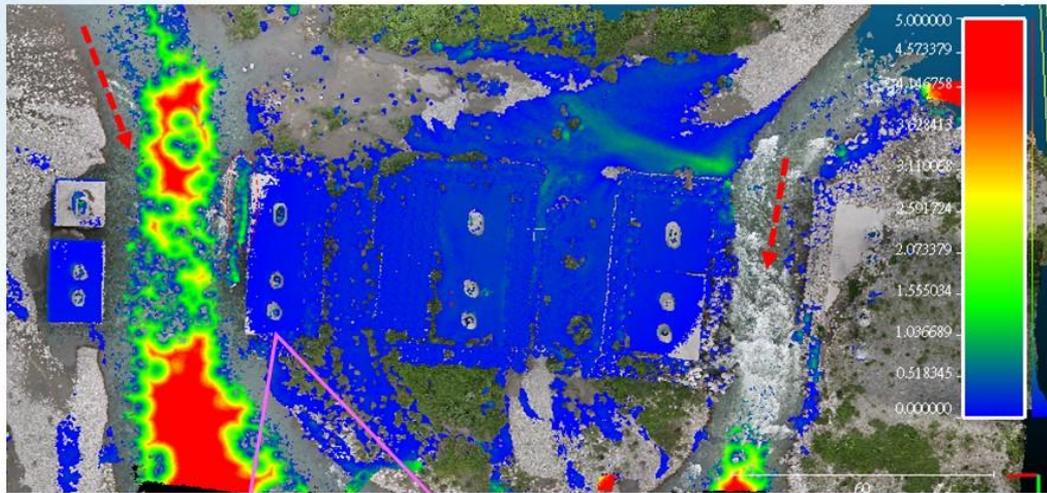


P22L(111/06/16)

交通部運輸研究所 港灣技術研究中心  
Harbor and Marine Technology Center

20

### 三、土工織布現地試驗成效評估(10/13)



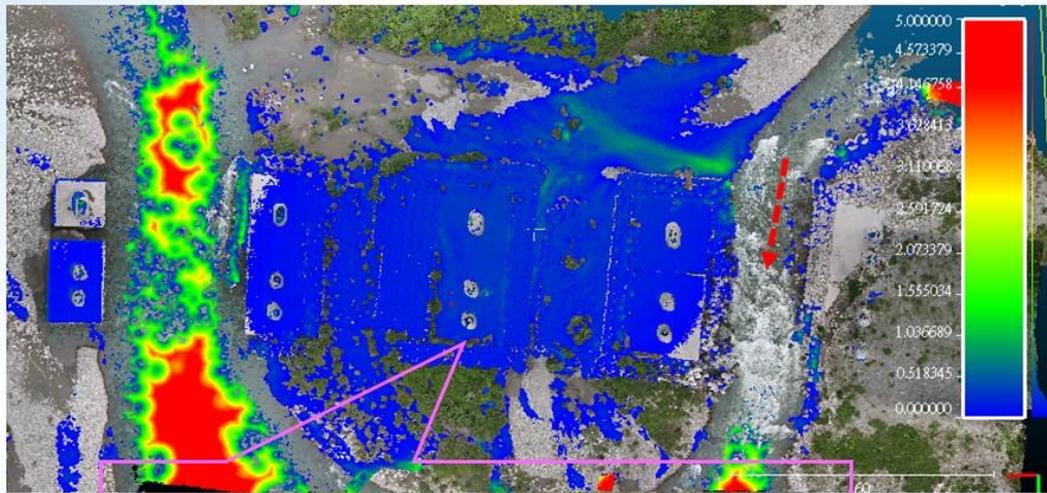
P23L(110/10/21)



P23L(111/06/16)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心  
Harbor and Marine Technology Center

### 三、土工織布現地試驗成效評估(10/13)



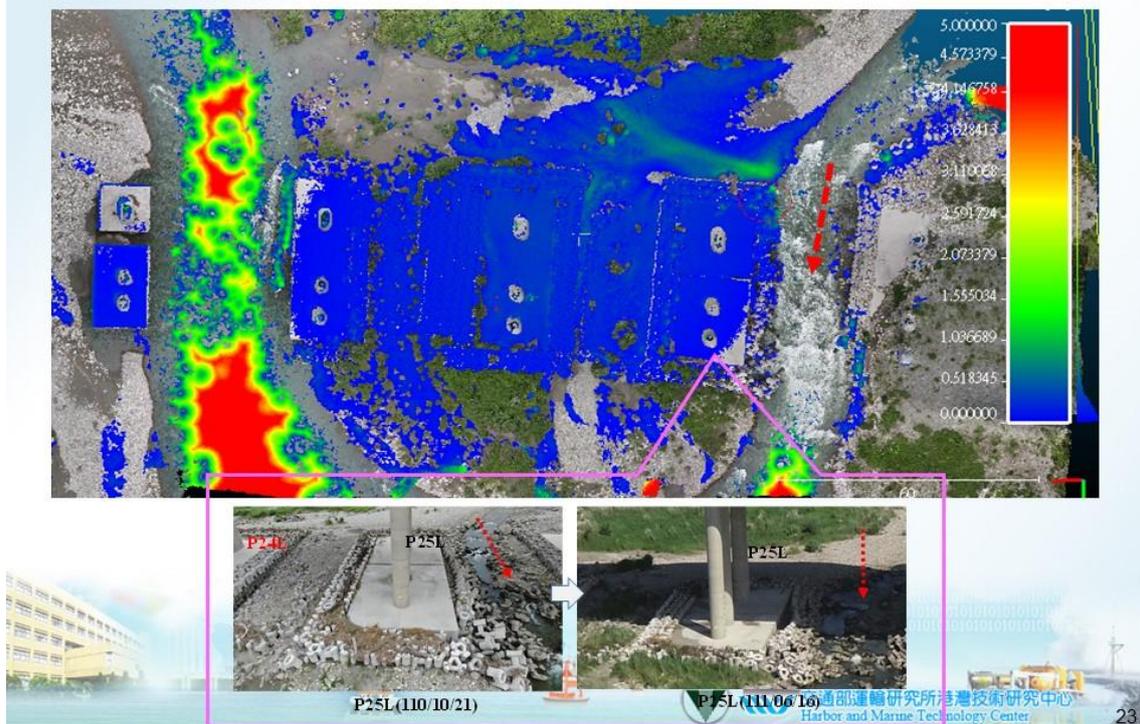
P24L(110/10/21)



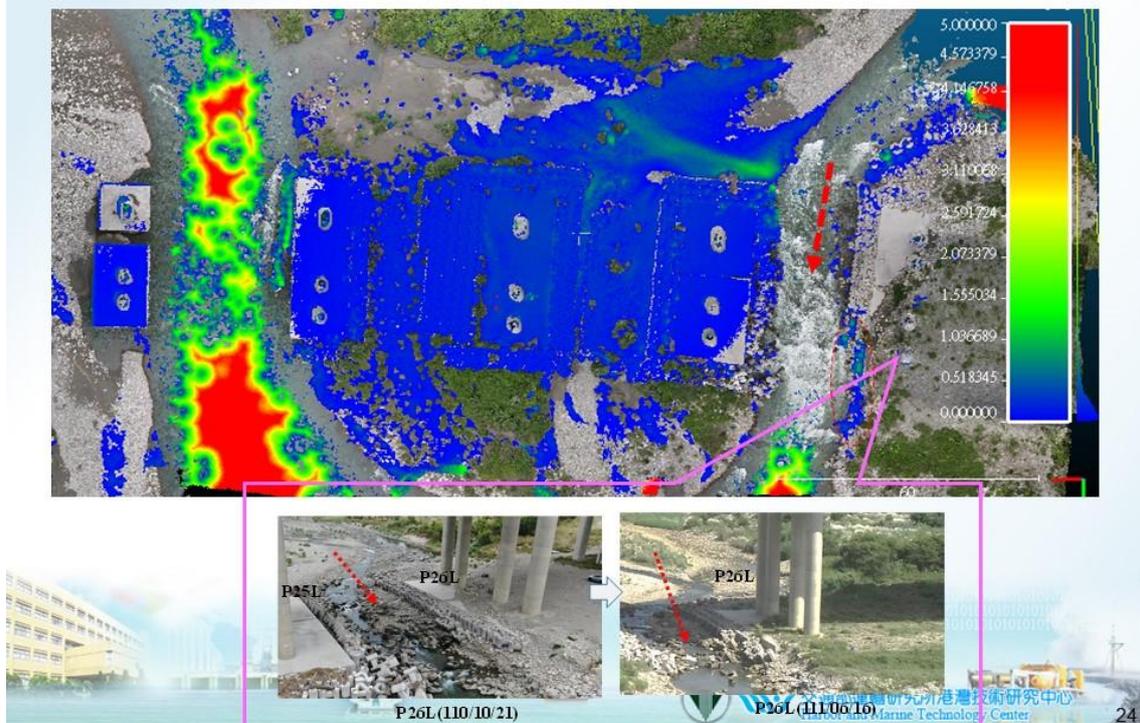
P24L(111/06/16)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心  
Harbor and Marine Technology Center

### 三、土工織布現地試驗成效評估(10/13)



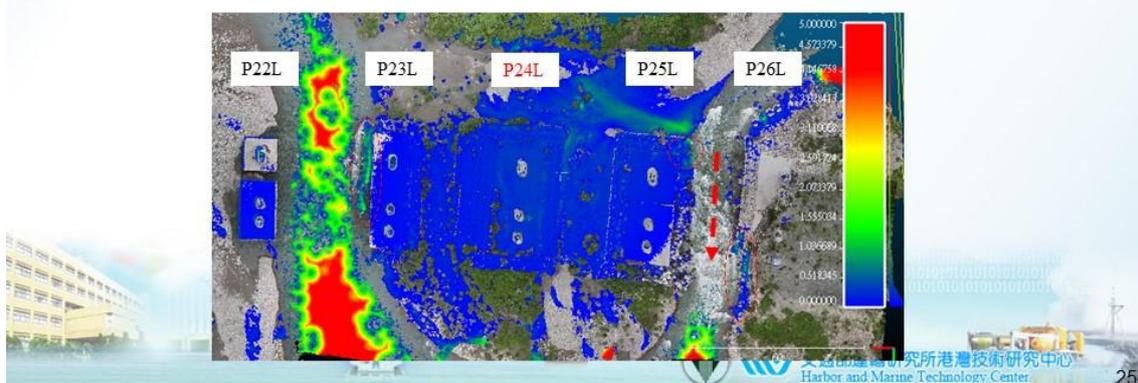
### 三、土工織布現地試驗成效評估(10/13)



### 三、土工織布現地試驗成效評估(11/13)

#### ◆ 成效評估:

- 經檢視本年度**最大降雨事件**(5~6月梅雨事件，石岡壩放流量825cms)，造成**P23L上游處、P25L上游處及P26L下游處鼎型塊有位移情形**，但對於**P24L橋址鼎型塊並無影響**，顯示本計畫保護工工具一定保護成效。
- 梅雨事件後**P25L與P26L間河道開始擴大**，於**P25L上游處墩前有局部沖刷情形**；**P22L**因今年石岡壩無較大放流量，且非河道之攻角，有**回淤**之現象，但若遇較大流量，亦會使得回淤之覆土再次被沖刷，而有橋基裸露之情形。



### 三、土工織布現地試驗成效評估(12/13)

#### ◆ 施工步驟與所增成本



(1) 整地



(2) 樁帽織布展開及固定



(3) 織布鋪設及單元綁紮



(4) 防護層織布鋪設



(5) 鼎型塊吊放與排置



(6) 鋪設完成

織布鋪設:1天; 鼎型塊保護工法:7天, 織布鋪設工序約占整體工期**12.5%**。  
 施工成本約增加**10%**(連工帶料)。

### 三、土工織布現地試驗成效評估(13/13)

#### ◆ 成本效益

➢ 盧碧颱風事件後試驗場址**鼎型塊**變化情形

橋墩編號	放置鼎型塊面積(m <sup>2</sup> )	流失面積(m <sup>2</sup> )	流失比(%)	傾斜面積(m <sup>2</sup> )	傾斜比(%)	需維修面積(m <sup>2</sup> )	有無鋪設土工織布
P23L	567	197	34.74	93	16.40	290	無
P24L	650	無	無	25	2.30	25	有
P25L	694	92	13.26	141	20.32	233	無

註: 1.本計畫保護工法**成本約增加10%**(織布及鋪設費用 / 鼎型塊工法費用)。  
2.可減少鼎型塊流失或傾斜之現象，**所需維修面積約可減少90%**([(1-有鋪設土工織布需維修面積/無鋪設土工織布需維修面積]\*100%)，達延長保護橋基壽命，減少維修頻率之效果。



### 四、數值水理分析模型建置(1/16)

#### ◆ 二維數值水理分析模式比較

模式名稱	流況模擬					圖形介面(GUI)	免費授權
	穩定流	變量流	混合流	超臨界流	亞臨界流		
CCHE-2D	V	V	V	V	V	V	V
FESWMS-2DH	V	V	V	V	V		V
FLO-2D	V	V	V	V	V	V	
HIVEL2D	V	V	V	V	V		V
MIKE-21	V	V	V	V	V	V	
模式名稱	動床模擬					研發單位	
	均一粒徑	級配粒徑	非平衡輸砂	河岸沖刷	河工結構		
CCHE-2D	V	V	V	V	V	美國密西西比大學國家計算水科學及工程中心	
FESWMS-2DH					V	美國運輸部聯邦高速公路局(FHWA)	
FLO-2D	V	V				美國FLO-2D Software, INC.	
HIVEL2D	V	V				美國陸軍工兵團水道實驗站(WES)	
MIKE-21	V	V				丹麥水利研究所(DHI)	

資料來源：盧錫彥(2012)，應用二維水理模式評估河道演變之研究

## 四、數值水理分析模型建置(2/16)

### ◆ CCHE2D數值水理分析軟體概述

- 為美國國家計算水科學中心(Nationl Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE)所研發二維輸砂模式。
- 1. 計算理論:採用**有效元素法**，透過計算交錯網格的水位值求解連續方程式，以移動邊界法處理乾、濕點交界之問題，以時間推進方式求解變量流流況。
- 2. 輸砂模組:可進行**均勻與非均勻的輸砂計算**，在河床上可調整成**動床、定床與岩盤動床**；而泥砂的沖淤厚度可被給定，河道的沖淤及護甲現象均可模擬。
- 3. 數值模式:包含**網格模型建置**模式(CCHE2D\_MESH)與**模擬計算**模式(CCHE2D\_GUI)。
- CCHE2D\_MESH模式:可直接匯入**數值高程模型(DEM)**，建立網格後進行內插以形成所需之地形，也可**自行建立設計模型高程**完成地形。
- CCHE2D\_GUI模式:為主要模擬所使用之計算程式，提供GUI操作介面給定模型之**初始條件、水理參數及輸砂參數**以進行模擬，並提供**圖形化成果呈現**。



29

## 四、數值水理分析模型建置(3/16)

### ◆ 數值模型主要輸入參數

邊界條件



入流設定



出流設定

泥砂參數



粒徑(D<sub>50</sub>)



粒料孔隙率(e)



粒料單位重(r<sub>s</sub>)

30

## 四、數值水理分析模型建置(4/16)

- ◆ 取得 $r_s$ 及 $e$ 參數  
( $r_s=2.44t/m^3$ 、 $e=0.638$ )

土壤物性試驗



- ◆ 取得 $D_{50}$ 參數  
( $D_{50}=1.3mm$ )

粒徑分析



## 四、數值水理分析模型建置(5/16)

- ◆ 入流條件考量計算

- 依本計畫之試驗室條件及公式輸入參數之取得難易評估結果，採用Melville (1999) 公式，推求本計畫之試驗臨界流速( $V_c$ )。
- 本計畫水深( $y$ )為102毫米(mm)，中值粒徑( $D_{50}$ )為1.3毫米(mm)。
- 代入Melville 公式得到試驗臨界流速( $V_c$ )為0.4515 m/s，乘上試驗渠槽寬(0.8m)及水位高(0.102m)換算流量為0.0368 cms。

### 各家臨界流速計算公式

來源	計算公式	附註
Neil (1998)	$V_c = \frac{y}{d}^{0.167} 2455 S_b^{-1} d^{0.5}$	$S_b$ : 底床質比重 $y$ : 上游水深(m) $d$ : 底床質粒徑(m) $V_c$ : 臨界啟動速度(m/s)
Melville (1999)	$V_c = 5.75 \log 5.53 \frac{y}{d_{50}}$ $u_* = 0.0115 + 0.0125 D_{50}^{1.4}$ · $0.1mm < D_{50} < 1mm$ $u_* = 0.0305 D_{50}^{0.5} - 0.0065 D_{50}^{-1}$ · $1mm < D_{50} < 100mm$	$y$ : 上游水深(mm) $d_{50}$ : 底床質粒徑(mm) $V_c$ : 臨界啟動速度(m/s)
Foth (1995)	$Q_c = 0.5 \tan \theta$ · $d < 0.3$ $Q_c = 0.25 d^{0.6} \tan \theta$ · $0.3 < d < 19$ ( $\frac{cm^3}{m}$ ) $Q_c = 0.013 d^{1.4} \tan \theta$ · $19 < d < 50$ $Q_c = 0.06 \tan \theta$ · $d > 50$ $d = d_{50} G - 1 g / \theta^{1/3}$ $u_* = O_c G - 1 g^{d_{50}}$ $V_c = 5.75 \log 5.53 \frac{y}{d_{50}}$	$G$ : 底床質比重 $\theta$ : 底床質安息角
張瑞理 (1995)	$V_c = \frac{y^{0.14}}{d} 29d + 6.05 \times 10^{-7} \frac{10+y}{d^{0.72}}$	$S_b$ : 底床質比重 $y$ : 上游水深(m) $d$ : 底床質粒徑(m) $V_c$ : 臨界啟動速度(m/s) $n$ : 孔隙率

### Melville 公式

$$\frac{V_c}{u_*} = 5.75 \log \left( 5.53 \frac{y}{D_{50}} \right)$$

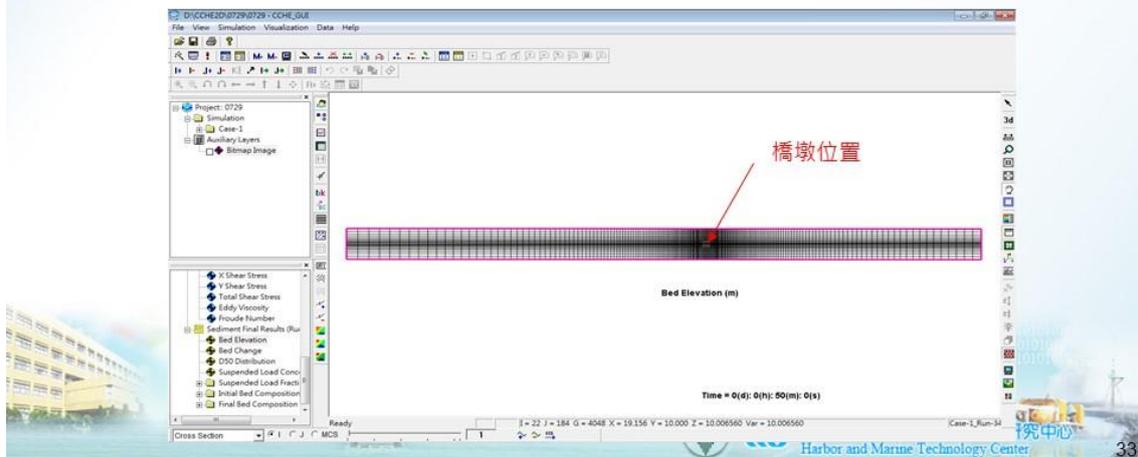
上式中

$$\begin{cases} u_* = 0.0115 + 0.0125 D_{50}^{1.4} & \cdot 0.1mm < D_{50} < 1mm \\ u_* = 0.0305 D_{50}^{0.5} - 0.0065 D_{50}^{-1} & \cdot 1mm < D_{50} < 100mm \end{cases}$$

## 四、數值水理分析模型建置(6/16)

### ◆ 網格建置原則

- CCHE2D為免費但有網格數量限制(上限5,000格)。
- 鄰近橋墩區之沖刷模擬為主要探討範圍，為節省網格使用量及讓運算效率化，採漸進式網格方式建立分析模型，將網格由邊界逐漸向橋墩區密集化。



## 四、數值水理分析模型建置(7/16)

### ◆ 試驗橋墩區流速檢定(1/3)

- 水工模型試驗係為砂質土，因此依「水土保持手冊」曼寧粗糙係數表中，「砂壤、黏壤土溝身整齊者」項所建議之曼寧係數平均值0.020，為數值分析模式起始輸入值，增減調整n值進行參數檢定。

曼寧粗糙係數表

無內面工者	n 值範圍	平均值	無內面工者	n 值範圍	平均值
黏土質溝身整齊者	0.016~0.022	0.020	不平滑岩床	0.035~0.040	0.040
砂壤、黏壤土溝身整齊者	—	0.020	漿砌磚	0.012~0.017	0.014
稀疏草生	0.035~0.045	0.040	漿砌石	0.017~0.030	0.025
全面密草生	0.040~0.060	0.050	乾砌石	0.025~0.035	0.033
雜有直徑 1~3 公分小石	—	0.022	有規則土底兩岸砌石	—	0.025
雜有直徑 2~6 公分小石	—	0.025	不規則土底兩岸砌石	0.023~0.035	0.030
平滑均勻岩床	0.030~0.035	0.0325	純水泥漿平滑面	0.010~0.014	0.012

資料來源:「水土保持手冊」



交通部運輸研究所港灣技術研究中心  
Harbor and Marine Technology Center

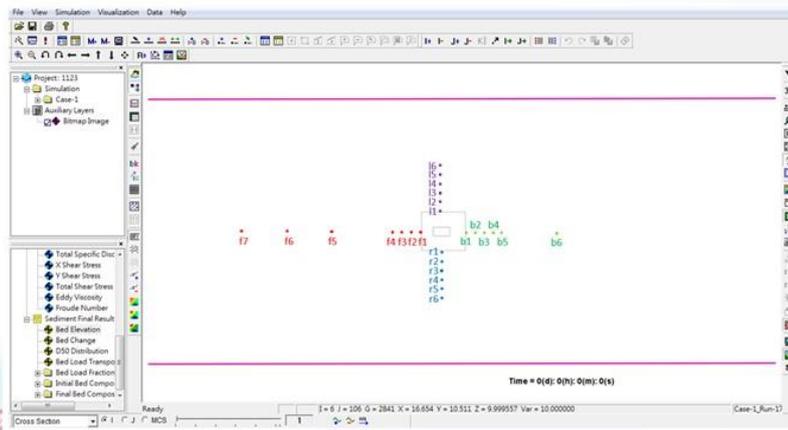
## 四、數值水理分析模型建置(8/16)

### ◆ 試驗橋墩區流速檢定(2/3)

- 以都卜勒原理之感應系統所設計之流速計，透過探針量測XYZ方向之流速。
- 量測點之規劃係以試驗橋墩區周圍為主，藉由數值水理模型輸入不同n值之條件下，將數值模式各點流速與水工模型試驗實際量測結果進行比較，以檢定符合本計畫所建置之數值水理模型參數選用。



ADV 流速計



流速量測點位置分布圖

## 四、數值水理分析模型建置(9/16)

### ◆ 試驗橋墩區流速檢定(3/3)

- 經檢視結果比對於不同n值下數值模擬分析各點流速與水工試驗實測流速均方根誤差(RMSE)，當n值為0.022時，整體均方根誤差(Total RMSE)為最小(3.94%)。
- 參循「水土保持手冊」曼寧粗糙係數表，檢定所得n值於該表「砂壤、黏壤土溝身整齊者」項的建議範圍值內，且與本計畫水工試驗底床性質相近，屬合理之數值，故採曼寧粗糙係數(n) 0.022做為本計畫建置數值水理模型所需之參數值。

n	0.016	0.020	0.021	0.022	0.023	0.024	0.026
Total RMSE	12.70%	11.83%	5.60%	3.94%	5.98%	4.56%	7.90%



## 四、數值水理分析模型建置(10/16)

### ◆ 臨界流速 $V_c$ 探討(1/5)

- Melville (1999) 公式，係為推求臨界流速( $V_c$ )之經驗公式，是否適用於數值水理模式？
- 驗證參數規劃如下表：

	邊界條件		粒料參數		
	入流設定 採 <u>固定流量</u> (cms)	出流設定 採 <u>固定出水高</u> (m)	$D_{50}$ (mm)	$r_s$ (t/m <sup>3</sup> )	e
1	0.0368	0.102	1.3	2.44	0.638
2	0.0358 ↓	0.102	1.3	2.44	0.638
3	0.0378 ↑	0.102	1.3	2.44	0.638

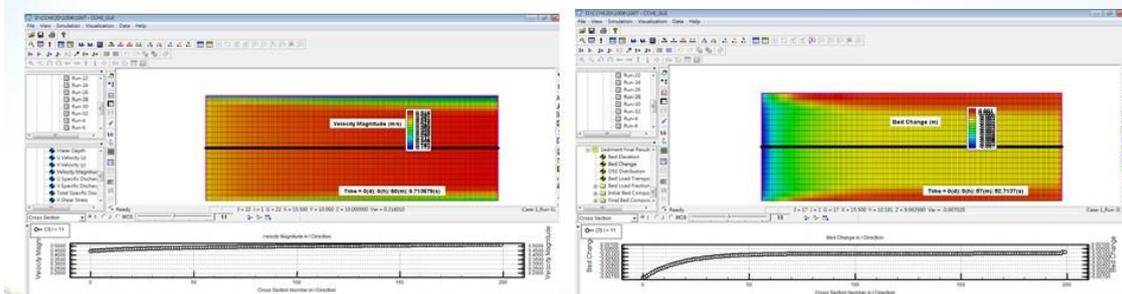


## 四、數值水理分析模型建置(11/16)

### ◆ 臨界流速 $V_c$ 探討(2/5)

- Case1:

$$Q = 0.0368 \text{ cms}$$



流速分布情形( $V_{avg}=0.45\text{m/s}$ )

底床變化情形( $D_{chg}=0.001296\text{m}$ )

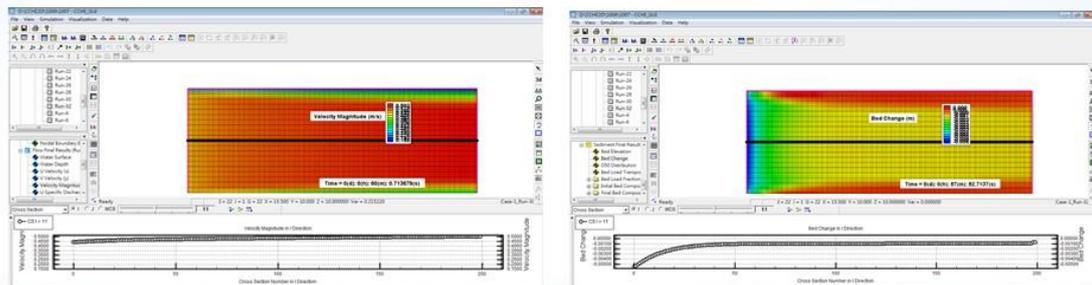


## 四、數值水理分析模型建置(12/16)

### ◆ 臨界流速 $V_c$ 探討(3/5)

#### ➤ Case2:

$$Q = 0.0358 \text{ cms}$$



流速分布情形( $V_{avg}=0.442\text{m/s}$ )

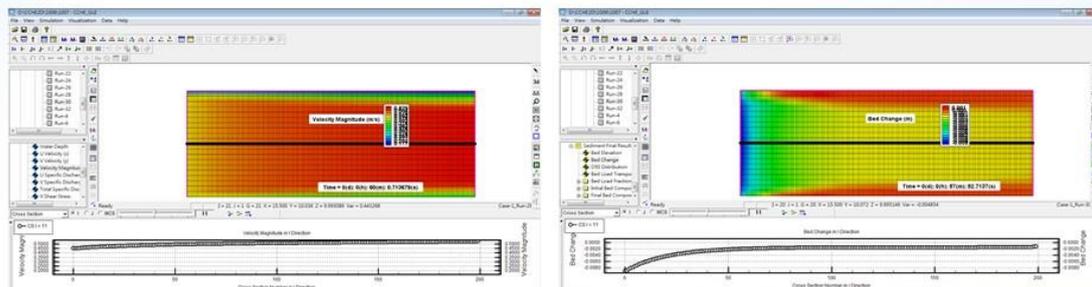
底床變化情形( $D_{chg}=0.00101\text{m}$ )

## 四、數值水理分析模型建置(13/16)

### ◆ 臨界流速 $V_c$ 探討(4/5)

#### ➤ Case3:

$$Q = 0.0378 \text{ cms}$$



流速分布情形( $V_{avg}=0.462\text{m/s}$ )

底床變化情形( $D_{chg}=0.00162\text{m}$ )

## 四、數值水理分析模型建置(14/16)

### ◆ 臨界流速 $V_c$ 探討(5/5)

	流量(cms)	$V_{avg}$ (m/s)	$D_{chg}$ (mm)	
1	0.0368	0.45	1.296	≈1.3mm
2	0.0358 ↓	0.442	1.012	<1.3mm
3	0.0378 ↑	0.462	1.621	>1.3mm

#### ➤ 分析結果:

- 1.因本試驗中值粒徑( $D_{50}$ )=1.3mm，可以此粒徑大小做為判斷底床質是否開始流動之門檻值，即若底床變化>1.3mm，可視為該流速已達底床質啟動速度( $V > V_c$ )；反之，若底床變化<1.3mm，可視為該流速未達底床質啟動速度( $V < V_c$ )。
- 2.經驗公式所得之 $V_c$ 適用於本數值水理模式。

## 四、數值水理分析模型建置(15/16)

### ◆ 主要參數綜整

本計畫數值水理模式所採用之主要參數表

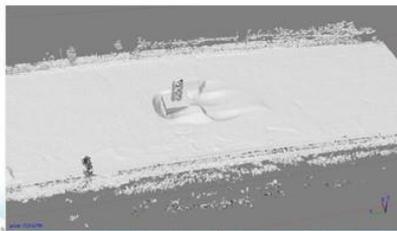
邊界條件		粒料參數			
入流設定 採 <u>固定流量</u> (cms)	出流設定 採 <u>固定出水高</u> (m)	$D_{50}$ (mm)	$r_s$ (t/m <sup>3</sup> )	e	n
0.0368	0.102	1.3	2.44	0.638	0.022

$D_{50}$ :中值粒徑； $r_s$ :乾土單位重；e:孔隙率；n:曼寧粗糙係數

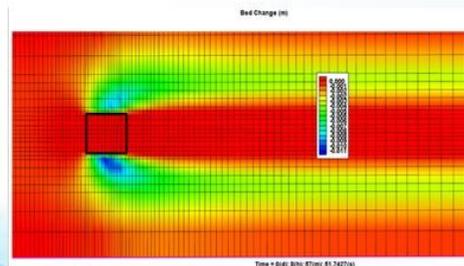
## 四、數值水理分析模型建置(16/16)

### ◆ 底床沖刷模擬:

- 水工模型試驗:橋墩前周圍皆有沖刷之現象,尤以橋墩水流迎擊面(墩前)之沖刷最為明顯。
- 數值水理模擬結果:沖刷現象僅存在於橋墩兩側,墩前則無沖刷現象。
- 模擬與實際試驗結果存有差異,因二維數值分析模式由於受到水深平均之假設條件限制,其模擬結果為一較平均流場下之沖淤現象,對於水流沖擊試驗橋墩後產生之向下流場無法顯示,因此模擬結果呈現橋墩之最大沖刷位置集中於墩側區域。



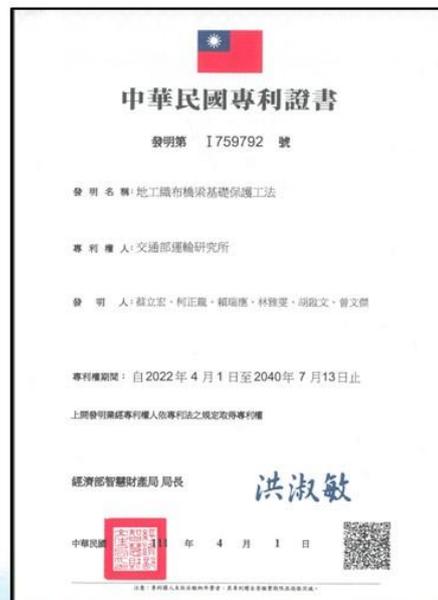
水工模型試驗底床變化結果



數值模擬底床變化結果

## 五、階段性成果應用(1/4)

### ◆ 獲智財局發明專利



中華民國專利證書

發明第 I759792 號

發明名稱: 地工織布橋梁基礎保護工法

專利權人: 交通部運輸研究所

發明人: 蘇立宏、柯正龍、賴瑞德、林雅雯、胡政文、曾文傑

專利權期間: 自2022年4月1日至2040年7月13日止

上開發明業經專利權人依專利法之規定取得專利權

經濟部智慧財產局 局長

洪淑敏

中華民國 111 年 4 月 1 日

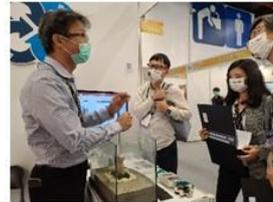
## 五、階段性成果應用(2/4)

### ◆ 參與創技術發明競賽

- 10/13~10/16參加「台灣創新技術博覽會」發明競賽，本計畫獲銀牌獎之獎項。



展覽期間各界參與情形



發明競賽委員評審情形



頒發「銀牌獎」獎項

45

## 五、階段性成果應用(3/4)

### ◆ 交通部例行記者會

- 10/18交通部例行記者會
- 橋基加固剛柔並濟工法-鼎型塊+地工織布。



	新聞標題	刊登媒體
1	橋梁基礎保護新工法 提升橋梁抗沖刷能力	民眾日報
2	抗橋梁沖刷地工織布加分 運研所新工法獲專利	中央社
3	研發橋梁基礎保護新工法 交通部運研所獲專利	NOWnews今日新聞
4	保護橋基新工法！加一層「地工織布」有效減少9成維修	中國時報
5	運研所新工法提升橋樑基礎抗沖刷能力 獲發明專利	自由時報
6	運研所保護橋基新工法 獲專利及創新技術銀牌	中央廣播電台
7	橋梁基礎保護新工法 提升抗沖刷能力	台灣新生報

資料來源:本所公關室彙整

46

## 五、階段性成果應用(4/4)

### ◆ 落實應用

- 協助辦理高公局大甲段**111年度橋梁維護工程施工規劃**、**施工協調**、**施工圖說製作**等工作。
- **跨機關合作**，**成果共營共享**。



## 六、結論與建議(1/2)

### ◆ 結論:

- 經過**實際鋪設**，本工法具**可施工性**，相較於既有施工方式並無太大改變，施工廠商技術門檻要求不高。
- 經110~111年觀測結果，本工法雖增加約**10%左右之施工成本**，但可減少鼎型塊位移之現象，所需**維修面積約可減少90%左右**，顯示可具相當之保護作用，可達延長保護橋基壽命，減少維修頻率之目的。
- 以前期室內水工模型試驗成果為基礎，**檢定數值模擬所需參數**，**完成建置二維數值水理模型**，做為未來建立多元分析驗證方式之基礎。
- 透過**推廣交流**、**協助預算編列及施工規劃**，**落實應用至高公局111年度橋梁維護業務**，辦理橋基保護工作。



## 六、結論與建議(2/2)

### ◆ 建議:

- 大甲溪流域於97年辛樂克颱風過境造成后豐大橋斷橋事件時，石岡壩放流量達3,528cms，110年石岡壩最大放流量為1,280cms，仍有相當差距，後續將有待超大豪雨事件及擴增試驗區來進一步評估及驗證其成效後，再行擴大推廣應用。
- 本計畫工法目前係以卵礫石河床地質環境進行規劃及應用，對於砂質河床適用性尚需進一步探討及驗證。
- 因二維數值分析模式模擬結果與水工試驗結果有所差異，後續將精進以三維數值分析模式模擬向下流場與局部沖刷效應，以反映真實之水流運動情形。



49

簡報完畢  
敬請指教



50

