

114-013-7D82

MOTC-IOT-113-H1CA001a

鼎型塊織布橋基保護工法之現地 試驗與成效評估(3/4)-試驗場址 數值模型建置及評估



交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

114-013-7D82

MOTC-IOT-113-H1CA001a

鼎型塊織布橋基保護工法之現地 試驗與成效評估(3/4)-試驗場址 數值模型建置及評估

著 者：胡啟文、蔡立宏、鄭登鍵、吳姮怡

交通部運輸研究所

中華民國 114 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
(3/4)：試驗場址數值模型建置及評估/ 胡啟文，
蔡立宏，鄭登鍵，吳姮怡著. -- 初版. -- 臺北市：
交通部運輸研究所，民 114.03

面；公分

ISBN 978-986-531-648-8 (平裝)

1.CST: 橋梁工程 2.CST: 結構工程 3.CST:
數值分析

441.815

114001723

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及
評估

著者：胡啟文、蔡立宏、鄭登鍵、吳姮怡

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 (中文版>數位典藏>中心出版品)

電話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 114 年 3 月

印刷者：綠凌興業社

版(刷)次冊數：初版一刷 46 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科技及資訊組•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 F1•電話:(02)2518-0207

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

GPN：1011400202

ISBN：978-986-531-648-8 (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：1011400202

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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-648-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1011400202	運輸研究所出版品編號 114-013-7D82	計畫編號 MOTC-IOT-113-H1CA001a
本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：胡啟文 研究人員：鄭登鍵、吳姮怡 參與人員：陶德勇 聯絡電話：04-2658-7200 傳真號碼：04-2657-1329			研究期間 自 113 年 1 月 至 113 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號大甲溪河川橋為研究對象，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110-112年進行觀測，本年度(113年)除延續觀測試驗橋址鼎型塊的穩定性及成效評估外，另透過大甲溪實際觀測資料檢定及驗證數值模擬所需參數，以CCHE2D建置大甲溪流域石岡壩至河口段之二維水理模型，做為後續年度計畫於現地保護工三維局部沖刷數值模擬時所需之水理資料，以合理模擬分析及評估現地保護工之成效。 本計畫透過室內水工模型試驗、現地鋪設試驗及數值水理分析模式進行探討，以建立多元分析驗證及成效評估方法，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局、高速公路局、臺灣鐵路股份有限公司以及縣市政府等機關(構)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. 已完成大甲溪流域石岡壩至河口段之二維水理模型建置，可做為未來建立多元分析驗證方式之基礎。			
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號大甲溪河川橋P22L、P23L及P24L橋墩基礎保護工作及提供橋管政策上之積極創新管理作為。 2. 本計畫所進行的室內水工模型試驗方案、現地橋址保護工鋪設案例及數值模擬案例，可提供本所及相關單位後續研究之參採。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
114 年 3 月	204	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 (3/4)- Construction of Numerical Models for Test Sites and Effectiveness Evaluation			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-648-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011400202	IOT SERIAL NUMBER 114-013-7D82	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-113-H1CA001a
DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chi-Wen Hu PROJECT STAFF: Teng-Chien Cheng, Heng-Yi Wu PARTICIPATING STAFF: Te-Yung Tao PHONE: 04-2658-7200 FAX: 04-2657-1329			PROJECT PERIOD From January 2023 To December 2023
KEY WORDS: scour, hydraulic model test, tripod block, geotextile, numerical simulation			
Abstract: 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 2021-2023. In this year (2024), the continuation to observe the tripod block stability on the bridge under test and assess the effectiveness. Meanwhile, a 2-D hydrodynamic model for the Dajia River basin, from Shigang Dam to the river mouth, was constructed using CCHE2D. The parameters required for 2-D hydrodynamic model were calibrated and validated using actual observation data. In subsequent plans, the hydrodynamic parameters for 3-D numerical simulations can be obtained from this 2-D hydrodynamic model. This approach enables more reasonable simulation and evaluation results. This project establishes a comprehensive verification and assessment methodology through indoor hydraulic model tests, on-site laying experiments, and numerical hydraulic analysis models. This methodology can be applied 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 Railway Corporation, Ltd and county/city governments, which has bridges in the downstream of Dajia River to apply in future. Benefits of Research Results: 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. 2. The 2-D hydrodynamic model for the Dajia River basin, from Shigang Dam to the river mouth, has been completed. This will be provided varied methods of analysis and effectiveness assessment. Application Availability: 1. The geotextile in combination with tripod block protection construction method proposed in this project has been applied in the laying on Pier P22L, P23L & P27L of Dajia River Bridge on National Freeway No. 3. It serves as a proactive and innovative management approach for bridge management policies. 2. The proposed methodology in this project will be provided as reference and adoption by the Institute and other related agencies.			
DATE OF PUBLICATION Mar. 2025	NUMBER OF PAGES 204	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(3/4)

-試驗場址數值模型建置及評估

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XIII
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 土工織布於海洋環境中之工程特性.....	2-1
2.2 土工合成材料在永續工程之應用.....	2-2
2.3 模擬濁流中土工織物損傷之室內試驗.....	2-5
2.4 國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作.....	2-8
2.5 台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估.....	2-9
2.6 大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究.....	2-13
2.7 跨河橋梁保護工法之研究.....	2-13
2.8 河道水位與橋墩冲刷推估模式之建立研究.....	2-15

2.9 本所歷年橋墩保護工法之研究	2-17
2.10 小結	2-30
第三章 地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	3-18
第四章 二維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 二維數值模型建置條件與方式	4-13
4.3 檢定與驗證方法說明	4-15
4.4 數值模擬基本資料蒐集	4-16
4.5 參數設定	4-19
4.6 檢定工作(108 年 0611 豪雨)	4-23
4.7 驗證結果	4-24
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 參與交通部創新提案制度審查	5-4
5.4 參與 113 年度中華民國道路協會論文獎評選	5-5
5.5 階段性成果發表與推廣	5-6
5.6 實務應用情形	5-10
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 專家學者座談會會議紀錄	附錄 1-1
附錄二 第 1 次工作會議紀要	附錄 2-1
附錄三 第 2 次工作會議紀要	附錄 3-1
附錄四 第 3 次工作會議紀要	附錄 4-1
附錄五 期末審查意見及辦理情形說明表	附錄 5-1
附錄六 簡報資料	附錄 6-1

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	2-3
圖 2.2 採用回包式加勁擋土牆之暨南大學邊坡	2-4
圖 2.3 臺中秋紅谷四周加勁擋土牆植生茂密	2-4
圖 2.4 格網箱籠之海岸保護嘗試性大型試驗現場	2-6
圖 2.5 箱籠受到海岸礫石之往復磨損而破壞	2-6
圖 2.6 直徑 1.5 m 高 1.0 m 之圓形流槽	2-6
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.....	2-7
圖 2.8 織布損傷度(PSR)與流速(Vm)及顆粒濃度(Pc)之關係.....	2-7
圖 2.9 織布在不同流速下損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)關係	2-7
圖 2.10 地工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖	2-9
圖 2.11 保護工施工程序	2-11
圖 2.12 橋梁耐洪能力詳細評估分析流程	2-12
圖 2.13 檢定與驗證事件選取圖	2-14
圖 2.14 台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位歷線比較(泰利颱風).....	2-16
圖 2.15 水理模組敏感度分析結果	2-17
圖 2.16 現況保護措施鼎型塊鋪設斷面示意圖	2-19
圖 2.17 現況保護措施模型鋪設	2-19
圖 2.18 無保護措施斷面示意圖	2-19
圖 2.19 無保護措施橋墩鋪設	2-19
圖 2.20 現況保護措施基礎上游沖刷情形	2-20
圖 2.21 無保護措施基礎沖刷情形	2-20

圖 2.22 一層鼎型塊+織布斷面示意圖	2-20
圖 2.23 一層鼎型塊+織布鋪設.....	2-20
圖 2.24 一層鼎型塊+織布保護措施模型鋪設	2-20
圖 2.25 一層鼎型塊+織布保護措施基礎沖刷情形	2-20
圖 2.26 一層鼎型塊+織布+石籠斷面示意圖.....	2-21
圖 2.27 一層鼎型塊+織布+石籠保護措施模型鋪設	2-21
圖 2.28 一層鼎型塊+織布+石籠沖刷情形.....	2-21
圖 2.29 橋墩基礎上游整地.....	2-24
圖 2.30 橋墩基礎下游整地及地形降階	2-24
圖 2.31 高強度織布展開並以軟石固定於樁帽上	2-24
圖 2.32 完成樁帽四周之高強度織布吊放展開及固定.....	2-24
圖 2.33 平面高強度織布鋪設及單元間之綁紮作業	2-24
圖 2.34 防護層織布鋪設.....	2-24
圖 2.35 鼎型塊吊放與排置作業	2-25
圖 2.36 鼎型塊結合地工織布保護工鋪設完成(下游側).....	2-25
圖 2.37 110 年盧碧颱風事件前後數值三維地形套疊結果	2-26
圖 2.38 水工模型試驗橋墩沖刷底床變化等深圖	2-28
圖 2.39 二維數值模擬橋墩沖刷底床變化等深圖	2-29
圖 2.40 考慮土中應力傳遞法下，數值模擬與沖刷試驗結果比較	2-30
圖 3.1 航拍範圍示意圖	3-2
圖 3.2 地工織布鋪設範圍	3-2
圖 3.3 航線規劃示意圖	3-3
圖 3.4 現場控制測量作業情形	3-4
圖 3.5 控制點分布情形.....	3-4

圖 3.6 本計畫航拍觀測時間與石岡壩放流歷線之關係.....	3-5
圖 3.7 凱米颱風前後現場情形(往上游拍攝).....	3-7
圖 3.8 凱米颱風前後現場情形(往下游拍攝)	3-8
圖 3.9 兩期數值三維模型(113/07/18 vs 113/08/05)	3-8
圖 3.10 113/07/18 與 113/08/05 兩期數值三維模型套疊結果	3-9
圖 3.11 P22L 凱米颱風前後期拍攝影像.....	3-9
圖 3.12 P23L 凱米颱風前後期拍攝影像	3-10
圖 3.13 P24L 凱米颱風前後期拍攝影像	3-10
圖 3.14 P25L 凱米颱風前後期拍攝影像	3-11
圖 3.15 P26L 凱米颱風前後期拍攝影像	3-11
圖 3.16 凱米颱風後試驗場址鼎型塊損壞範圍及面積	3-12
圖 3.17 康芮颱風前後現場情形(往上游拍攝).....	3-13
圖 3.18 康芮颱風前後現場情形(往下游拍攝)	3-14
圖 3.19 兩期數值三維模型(113/08/05 vs 113/12/04).....	3-14
圖 3.20 113/08/05 與 113/12/04 兩期數值三維模型套疊結果	3-15
圖 3.21 P22L 康芮颱風前後期拍攝影像	3-15
圖 3.22 P23L 康芮颱風前後期拍攝影像	3-16
圖 3.23 P24L 康芮颱風前後期拍攝影像	3-16
圖 3.24 P25L 康芮颱風前後期拍攝影像	3-17
圖 3.25 P26L 康芮颱風前後期拍攝影像	3-17
圖 3.26 鼎型塊織布橋基保護工法施工流程	3-19
圖 3.27 試驗場址空拍圖(108 年)	3-20
圖 3.28 試驗場址空拍圖(110 年)	3-20
圖 3.29 試驗場址空拍圖(113 年凱米颱風前).....	3-21

圖 3.30 試驗場址空拍圖(113 年凱米颱風後).....	3-21
圖 3.31 113 年凱米颱風現場水位監測影像	3-23
圖 4.1 CCHE2D 模式計算流程圖	4-7
圖 4.2 主分析模式下載介面	4-12
圖 4.3 模型網格生成模組下載介面	4-12
圖 4.4 免費版本以申請會員制下載	4-13
圖 4.5 二維橋梁數值模擬方法流程圖	4-14
圖 4.6 數值模擬分析流程示意圖	4-15
圖 4.7 檢定與驗證事件選取示意圖	4-16
圖 4.8 台 1 線大甲溪橋水位監測站資料查詢	4-18
圖 4.9 本計畫模擬區域位置圖	4-18
圖 4.10 本計畫模擬區域數值水理地形圖(HyDEM).....	4-19
圖 4.11 108 年 0611 豪雨石岡壩放流歷線	4-24
圖 4.12 不同 n 值下模擬水位與實測水位比對	4-24
圖 4.13 110 年盧碧颱風石岡壩實際放流歷線	4-25
圖 4.14 110 年盧碧颱風下模擬水位與實測水位比對	4-25
圖 4.15 113 年凱米颱風石岡壩實際放流歷線	4-26
圖 4.16 113 年凱米颱風下模擬水位與實測水位比對	4-27
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 交通部長頒發「甲等獎」獎項	5-5
圖 5.6 獲中華民國道路協會 113 年「論文獎」獎項.....	5-6

圖 5.7 投稿論文短摘要(111 年).....	5-6
圖 5.8 論文發表情形(111 年).....	5-7
圖 5.9 投稿論文短摘要(113 年).....	5-7
圖 5.10 論文發表情形(113 年).....	5-8
圖 5.11 期刊投稿.....	5-8
圖 5.12 交通部部務會議提案報告	5-10
圖 5.13 現勘情形.....	5-10
圖 5.14 第 1 次施工前協調會討論情形	5-11
圖 5.15 111 年度地工織布預計鋪設範圍	5-11
圖 5.16 第 2 次施工前協調會討論情形	5-12
圖 5.17 鼎型塊織布橋基保護工法細部施工斷面圖	5-12
圖 5.18 國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 橋基保護工作施工範圍	5-13
圖 5.19 國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 橋基保護工作施工過程	5-13
圖 5.20 大甲段 111 年度養護作業考評(橋梁項)積極創新作為項目 ..	5-14
圖 5.21 高公局 112 年度知識競賽獲獎情形	5-14

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 ..	2-27
表 2-2 110-111 年試驗場址鼎型塊變化情形	2-29
表 3-1 大甲溪流域各控制點不同重現期距下之流量	3-6
表 3-2 113 年凱米颱風事件後成效評估表	3-23
表 4-1 模擬範圍內斷面各重現期的水位	4-17
表 4-2 水理演算參數設定	4-20
表 4-3 泥砂相關參數設定值	4-22
表 5-1 例行記者會後各媒體刊登一覽表	5-9

第一章 前言

1.1 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」，曾針對國道三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，地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「地工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」，主要是針對目前應用於坡地保護之地工織物，包括：地工織布、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，以地工織布做橋墩基礎的保護工法是較適宜的。109 年「地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」，針對本所過去地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三號大甲溪橋，並於 109 年完成現地鋪設，驗證地工織布保護工法之施工可行性。110-112 年利用 UAV 結合攝影測量技術，觀測試驗橋址並探討地工織布結合鼎型塊之保護成效，目前已有

初步結果，惟仍需透過持續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。112 年已透過室內水工模型試驗結果，檢定數值模擬所需參數，並探討三維數值水理模式於模擬鼎型塊+織布之設置及可模擬程度，做為本計畫後續年度(113~114 年)於現地保護工數值模擬使用及分析之依據，據以合理模擬分析及評估現地保護工之成效，期望透過室內水工模型試驗、現場鋪設試驗及三維數值模擬之探討，以建立對於本工法多元分析驗證及成效評估方式，提供未來橋管單位鋪設橋墩基礎保護工法之應用參考。

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. 應用前期所執行之數值水理分析模型成果基礎下，利用所蒐集之歷年河道水文及沖刷資料，驗證並建置試驗橋址處之數值水理分析模型，提供不同災害情境下之模擬分析使用。
3. 相關研究成果將可提供相關橋梁維管單位(高速公路局、公路局、臺鐵公司及縣市政府)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 及 111 年於國道三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，並利用所蒐集之歷年河道水文及沖刷資料，驗證並建置試驗橋址處之數值水理分析模型，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

蒐集國內外橋基沖刷保護工法、橋基沖刷研究案例及河道橋基數值水

理分析之應用案例，以及近年國道3號大甲溪河川橋橋梁檢測資料、河床斷面測量資料、保護工法、颱風災害等基本資料，大甲溪河道地形、歷年沖刷變化、流速等相關水文資料，據以彙整研析。

2. 試驗橋址數值水理模型建置與分析

應用前期所執行之數值水理分析模型成果基礎下，利用所蒐集之歷年河道水文及沖刷資料，做為數值模型相關水文參數及邊界條件設定之參據，建立可行之試驗橋址數值水理分析模型，以供後續橋基沖刷模式使用。

3. 地工織布橋墩基礎保護工法成效觀測與評估

持續以無人飛行載具(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裸露深度與保護工法穩定度比較探討，以量化方式評估地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(113 年)之主要研究內容說明如下，其研究流程如圖 1.1 所示。

1. 相關文獻及資料蒐集

相關橋基沖刷保護工法、橋基沖刷研究案例及河道橋基沖刷數值水理分析研究文獻彙整，以及蒐集大甲溪河道地形、歷年沖刷變化、流速等相關水文資料，供建置試驗橋址處數值水理模型使用。

2. 保護成效觀測

持續進行試驗橋址紀錄並以周遭河床變化、鼎型塊變位或流失情形做為觀測指標。

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，以量化方式評估地工織布保護工法之成效。

4. 建置數值水理模型

應用前期所執行之數值水理分析模型成果基礎下，利用所蒐集之歷年河道水文及沖刷資料，驗證並建置試驗橋址處之數值水理分析模型，提供不同災害情境下之模擬分析使用。

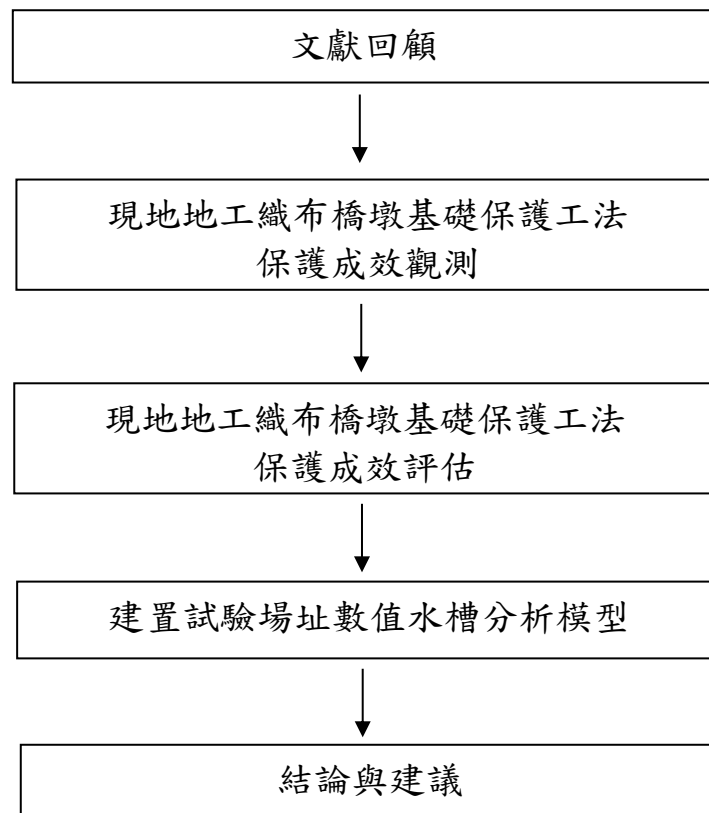


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章蒐集過去地工織布、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 地工織布於海洋環境中之工程特性

「地工織布於海洋環境中之工程特性」^[10]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，該論文針對地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：

地工織布為地工合成材料的一種，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。地工織布用於護岸工程可防止水流淘蝕所造成的基腳淘空，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，並未考慮地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運技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署梧棲氣象站及環境部彰化監測站（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 個月將地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。

2.2 地工合成材料在永續工程之應用

「地工合成材料在永續工程之應用」^[18]為國立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，該論文針對地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：

所謂地工合成材料(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。地工合成材料可依其產品種類區分為：地工織物(geotextiles; woven & nonwoven)、地工格網(geogrids)、地工格室(geocells)、地工流網(geonets)、垂直排水帶(geodrains)、排水管(geopipes)、地工磚(geofoams)、地工毯 (geomats)、地工止水膜(geomembrances)、地工皂土毯(Geosynthetic Clay Liners, GCL)、地工複合材(geocomposites)及其他新興產品(Geo-others)。

地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 臺中秋紅谷四周加勁擋土牆植生茂密

2.3 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」^[11]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

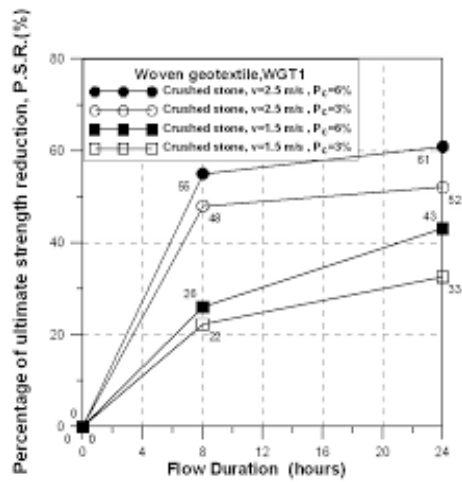


圖 2.7 織布之損傷度(PSR)與顆粒濃度(P_c)及流動延時(T)之關係

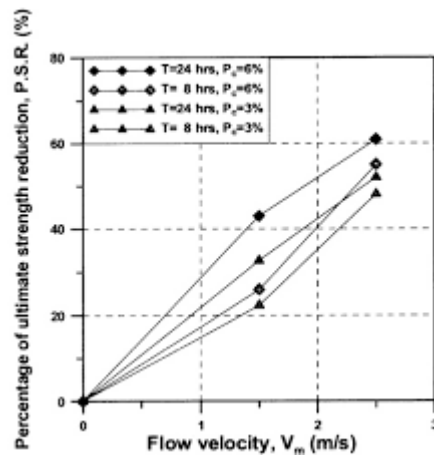


圖 2.8 織布損傷度(PSR)與流速(V_m)及顆粒濃度(P_c)之關係

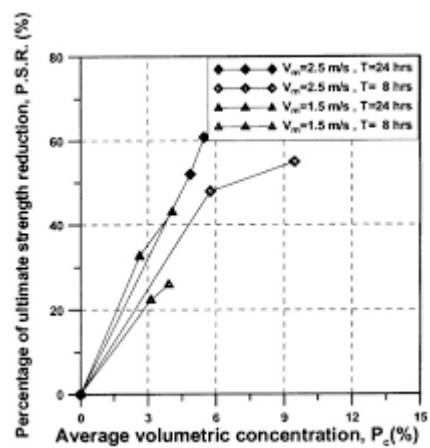


圖 2.9 織布在不同流速下損傷度(PSR)與顆粒濃度(P_c)關係

2.4 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」^[16]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、淘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。

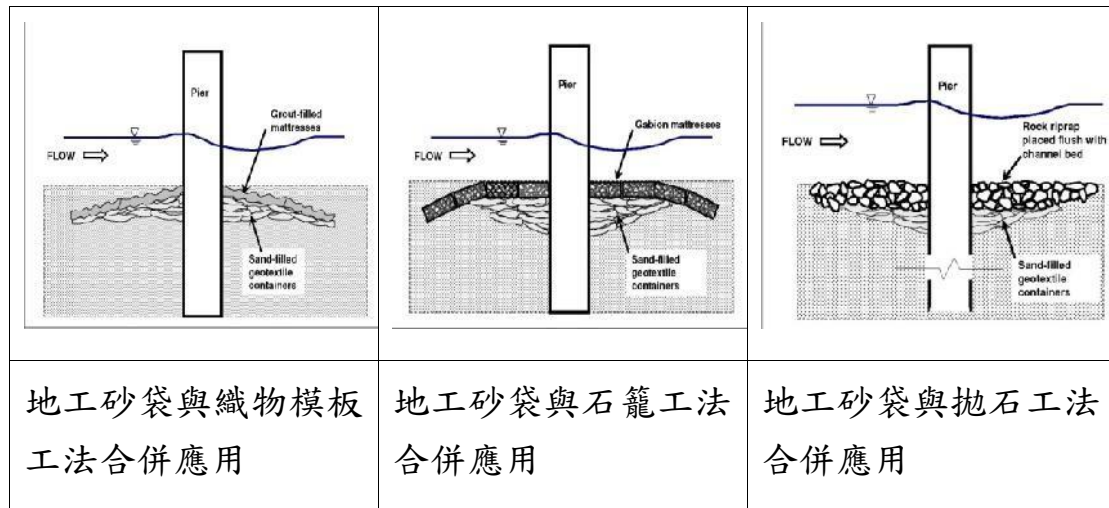


圖 2.10 土工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖

2.5 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^[17]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淘刷。
- 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。



整地



鋪設織布(第 1 層)



織布層間石塊鋪設



鼎塊置放

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，做為公路局應變水情管理值。

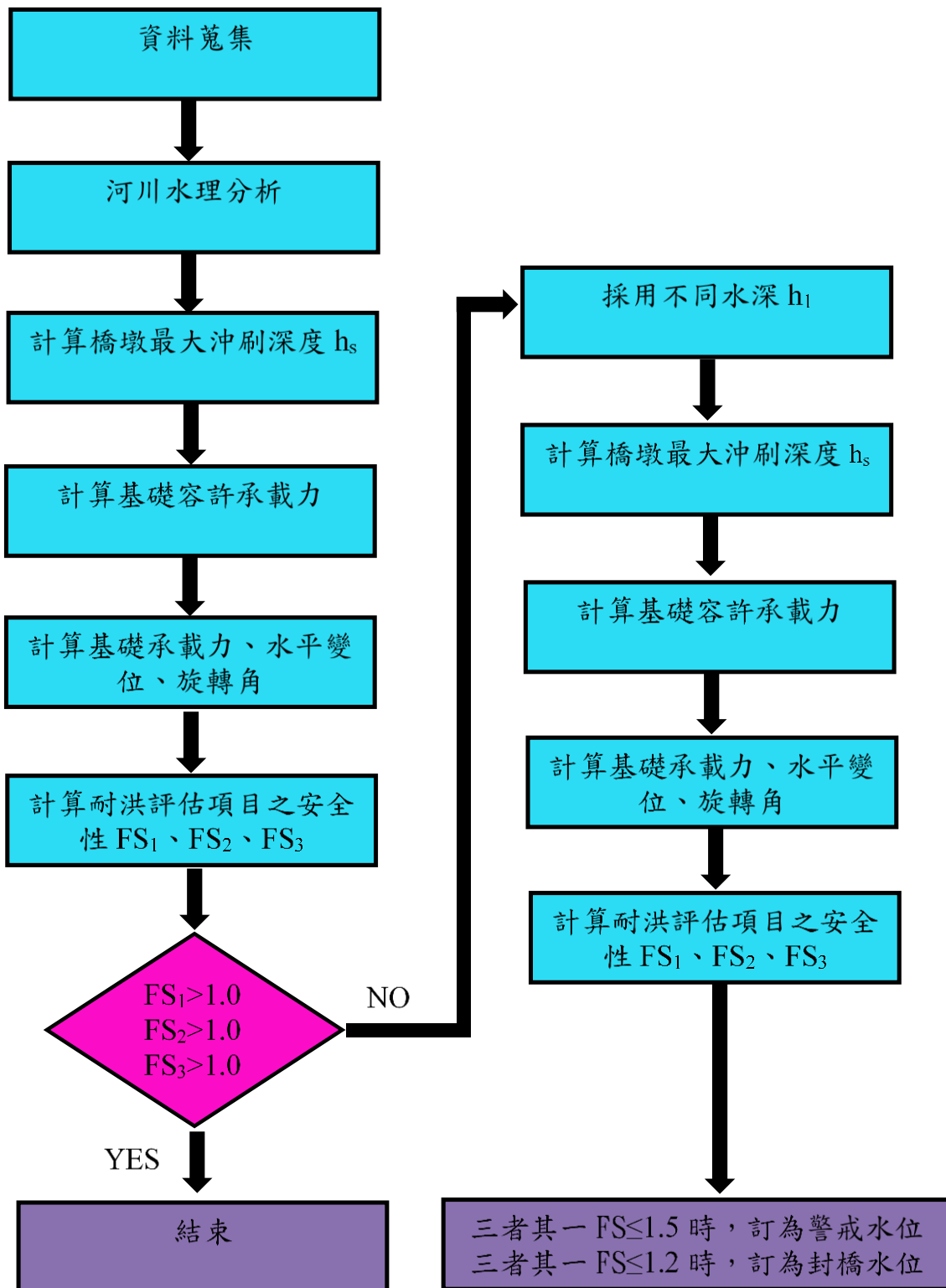


圖 2.12 橋梁耐洪能力詳細評估分析流程

2.6 大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究

因大甲溪下游河段河床持續下降，大甲溪下游段橋梁因沖刷恐將危及橋梁安全，且取水構造物也可能因河床高程變動而需不斷改變取水位置，另石岡壩下游河床岩盤出露處河道明顯有持續刷深趨勢。爰此，經濟部水利署水利規劃試驗所(水利規劃分署前身)乃於民國 97-100 年辦理「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究」^[13]，期望透過數值、模型試驗研究，研提如何穩定河床之相關措施，以保護下游公共建設及居民生命財產安全。

該研究共分 4 年期執行：第 1 期計畫乃經由河道現況及斷面、河床質測量調查，並透過數模(一維 HEC-RAS4.0 及二維 SEC-HY21)分析，評估短期河道沖淤情形，研提短期河床穩定方案；第 2 期除長期河床穩定方案之模擬與評估外，並需進行水工模型試驗之方案研擬、規劃設計與建置；第 3 期主要為水工模型現地試驗，而數模亦需配合水工模型試驗結果進行修正及檢討；第 4 期則為水工模型河道穩定方案試驗，並與數模結果比較檢討後，研提河道穩定計畫及工程規劃。

2.7 跨河橋梁保護工法之研究

臺灣河川多屬坡陡流急，於洪水期間，橋墩或橋基之河床受到劇烈的沖刷，常導致橋梁傾倒而造成交通中斷的情況。然而因橋台、橋墩及橋基保護工之現場沖刷問題相當複雜，無法純靠現場調查或數值模擬單方面努力就可以解決，惟有結合水工模型試驗技術，實際了解橋梁保護工法的災害遞移能力及對河床演變之影響，方能針對橋台及橋墩沖刷防治工法相關問題進行妥善之探討。

爰此，本所於民國 100 年執行「跨河橋梁保護工法之研究」^[14]，透過數值模擬分析及渠槽試驗，了解橋墩及河道保護工法受水流沖刷破壞成因及規模程度，進而透過水工模型試驗提出橋河共治區橋墩保護工法及其施設方式之建議。整體工作執行內容係由國內、外橋梁保護工法相關研究文獻及橋墩沖刷理論蒐集分析出發，並執行砂質河道橋墩沖刷及石塊衝擊力試驗，深入探討橋河共治區水流流動過程與橋墩沖

刷之互制現象，最後以水工模型試驗輔以數值模擬加以驗證，最後提出橋河共治區橋墩保護工法及其施設方式之建議，做為相關單位設計橋墩保護工法參考。

該研究數值模擬係採採用美國國家計算水科學中心(National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE)發展的二維河川水理演算模式 CCHE2D 做為數值模式分析工具。其檢定與驗證的作法係以民國 95 年的 0609 豪雨做為檢定，民國 98 年莫拉克颱風做為驗證(如圖 2.13)。進行河道數值模擬需要設定邊界條件，邊界條件又可分為上游邊界與下游邊界:上游邊界條件係給定流量歷線，下游邊界條件係給定水位歷線。為了比對模擬的水位是否與實際水位一致，通常也必須要蒐集特定斷面的水位紀錄。颱洪事件的流量可採用石岡壩實際放流量做為上游邊界的流量設定，而大甲溪石岡壩到河口之間，有完整水位資料紀錄者為台 1 線大甲溪橋站，藉由該實測水位與模擬的水位進行比對，以分析模擬結果與實際情況的吻合程度。

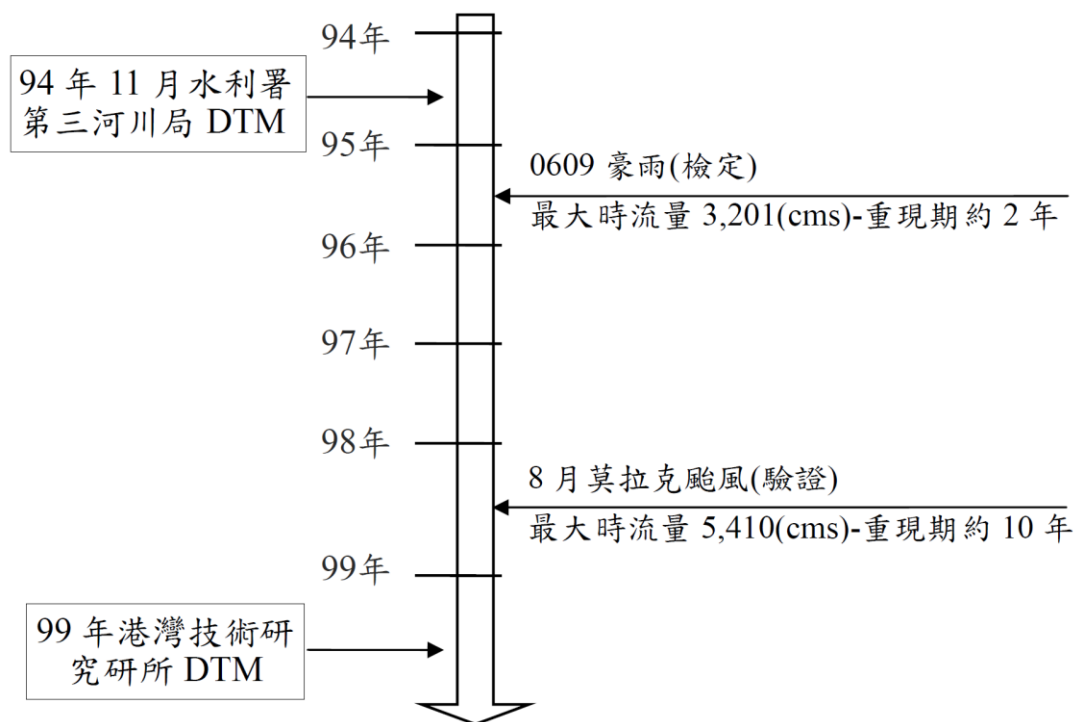


圖 2.13 檢定與驗證事件選取圖

2.8 河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究

「河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究」^[15]旨在建立國道 1 號與國道 3 號跨越大甲溪橋梁橋墩之水位與沖刷深度推估模式。分析項目包含(1)應用雷達降雨預報資料提供集水區未來降雨空間變化(2)利用格網分布型降雨逕流模式分析石岡壩入流量(3)石岡壩下游橋梁數值模式的檢驗與沖刷預測。

在雷達降雨預報資料應用方面，主要是提供降雨逕流模式所需要的空間降雨分布，利用支撐向量機迴歸法與 Kriging 空間誤差修正法估算各地區雨量分布，以掌握雨量的空間變化特性。在格網分布型降雨逕流模式方面，利用各格網的相關地文因子(地表高程、邊界長度、地表坡度、土地利用與入滲參數)與相關颱風場次資料所估算的模式參數，並能成功的模擬出其他歷史颱風事件的石岡壩入流量，配合石岡壩的操作規則即可提供橋梁數值模式所需要的石岡壩放流量。

橋梁數值模式選用 CCHE1D 模式做為一維動床水理模擬模式，水理演算模式的驗證，以民國 94 年的泰利颱風事件紀錄與石岡壩放水量進行演算，水位模擬與實測趨勢頗為相近(圖 2.14)。動床水理模式模擬石岡壩放流後下游河道之洪水歷程，僅模擬之洪峰水位值稍略高於觀測之峰值，洪峰到達時刻與實際狀況十分吻合，因此可合理的模擬下游河道水位變化。一般沖刷的分析中，利用民國 97 年辛樂克颱風的觀測資料檢驗，動床模組具備模擬大甲溪颱風事件的能力，可合理預測水位與底床變化。同時以民國 94 年斷面資料與歷史颱風事件模擬下游河道在民國 97 年的可能沖淤現象，發現其結果在計畫範圍的國道 1 號與國道 3 號大甲溪河川橋處的沖淤狀況與民國 97 年調查結果吻合，其相關研究成果可以提供橋梁管理單位在颱風期間做為沖刷預警之用。

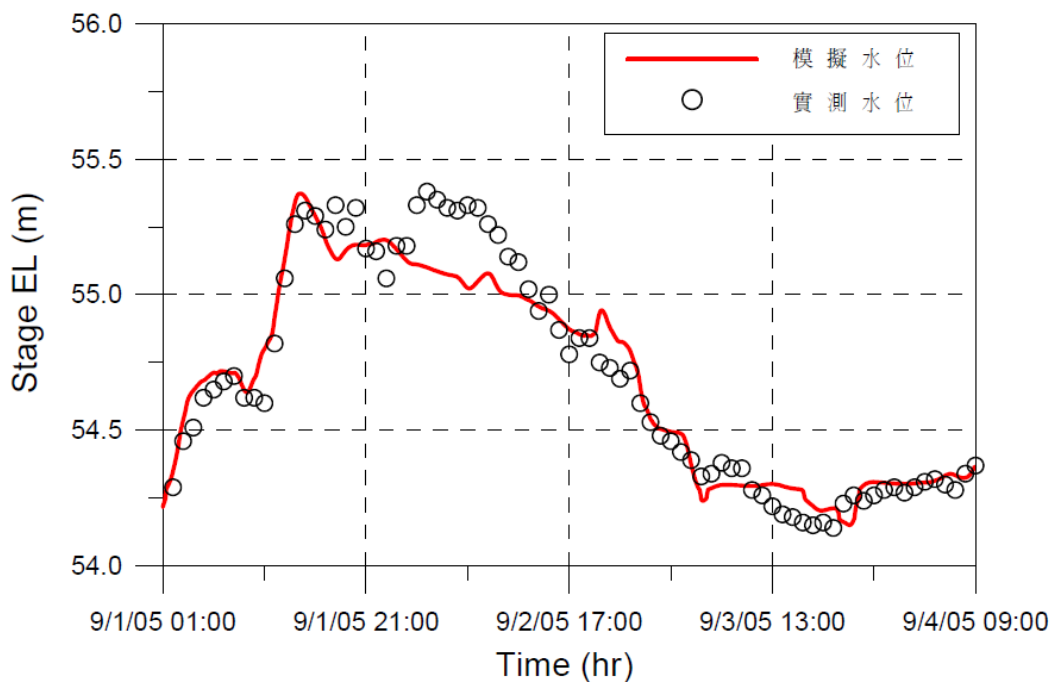
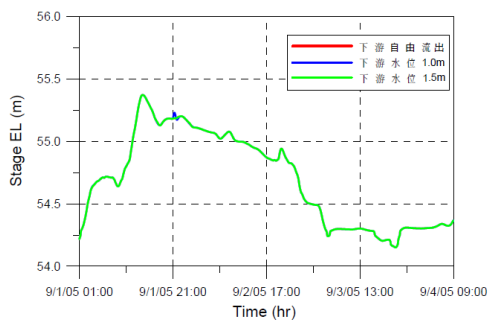


圖 2.14 台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位歷線比較(泰利颱風)

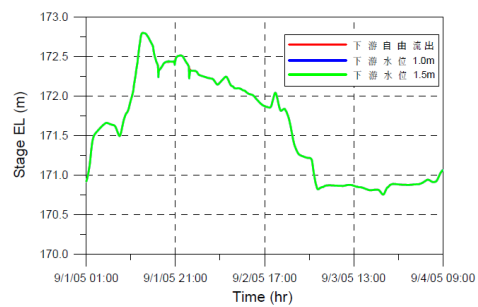
在邊界條件方面，上游採用石岡壩於泰利颱風實測放流量，最大放流量發生於 94 年 9 月 1 日 12:00，當時放流量約為 1,548cms。大甲溪河口附近並無設置潮位站，無法利用潮位記錄做為下游邊界條件，然觀察 94 年大斷面資料可發現，大甲溪河口河床最低點高程在 0 公尺以上，即河道水位受潮位影響程度可加以忽略，該研究進行水理分析作業採用下游水位邊界條件為自由流出(Open Downstream Boundary)狀態，並輔以下游潮位高程對水理計算之敏感度分析。

水理模組敏感度分析，由於大甲溪下游出海口潮位不易獲得，為瞭解下游潮位邊界條件對整體計算結果的影響，乃進行水理模組下游邊界條件敏感度分析。在模式敏感度分析中，主要進行不同之下游邊界潮位進行比較，分析過程是建構在檢定案例中之相同模擬條件下，僅改變該分析參數值。採用與水理模組測試與檢定相同之底床大斷面與河道糙度值，模擬颱風設定為泰利颱風，僅改變下游之潮位，分別採用大甲溪下游出海口平均潮位 1.5 公尺及 1.0 公尺進行分析，模擬台 1 線大甲溪橋於泰利颱風期間水位變化與前述之自由流出邊界條件比較如圖

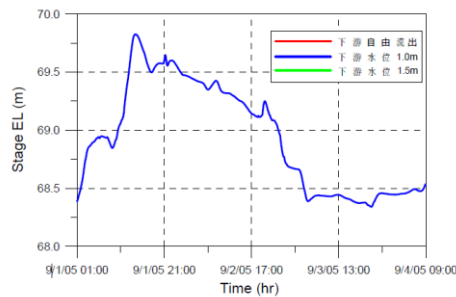
2.15(a)所示。在泰利颱風洪水過程中，可看出採用自由流出邊界條件、平均潮位 1.5 公尺與 1.0 公尺三者水位於台 1 線大甲溪橋幾乎為重合。圖 2.15(b)與 2.15(c)為國道 1 號與國道 3 號大甲溪橋，於泰利颱風洪水水位變化於不同下游邊界條件情況的比較，亦可發現不同下游邊界條件無顯著差異，由下游潮位高程對水理計算之敏感度分析結果發現，下游邊界條件變化並無導致對水理之預測結果有顯著差異，再者大甲溪出海口無設置潮位站，無法適當之邊界條件資料可取得，因此動床模組計算過程，下游邊界採用自由流出邊界條件估算。



(a) 台 1 線大甲溪橋



(b) 國 1 大甲溪橋



(c) 國 3 大甲溪橋

圖 2.15 水理模組敏感度分析結果

2.9 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機關(構)(高速公路局、國營臺灣鐵路股份有限公司、公路局及縣市政府)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 號大甲溪河川橋 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 110-111 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(112)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，嘗試建置三維數值水槽模型，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」^[21]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：

(1)現況保護措施(如圖 2.16~2.17 所示)與零方案(無保護工，如圖

2.18~2.19 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 2.20 所示)小於無保護措施最大沖刷深度 8.7cm (如圖 2.21 所示)，顯示現況保護措施有其成效。

(2)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 2.22~2.24 所示)，沖刷試驗結果(如圖 2.25 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。

(3)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做為保護(如圖 2.26~2.27 所示)，試驗結果顯示(如圖 2.28 所示)確實對下游鼎型塊的穩定度有很大的成效。

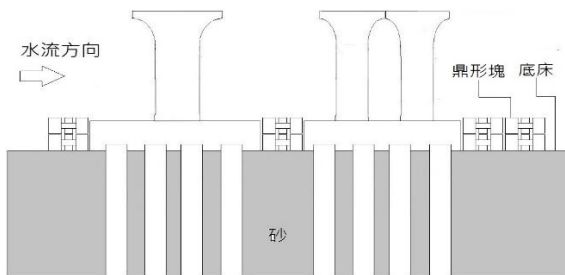


圖 2.16 現況保護措施鼎型塊鋪設斷面示意圖



圖 2.17 現況保護措施模型鋪設

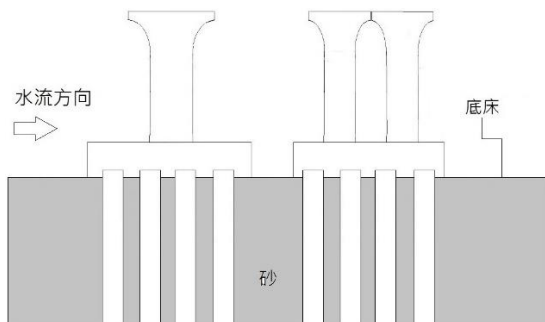


圖 2.18 無保護措施斷面示意圖



圖 2.19 無保護措施橋墩鋪設



圖 2.20 現況保護措施基礎上游冲刷情形



圖 2.21 無保護措施基礎冲刷情形

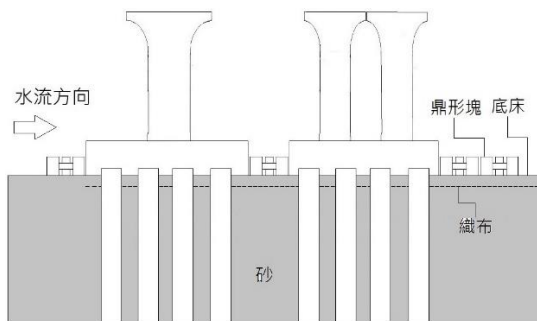


圖 2.22 一層鼎型塊+織布斷面示意圖



圖 2.23 一層鼎型塊+織布鋪設



圖 2.24 一層鼎型塊+織布保護措施模型鋪設

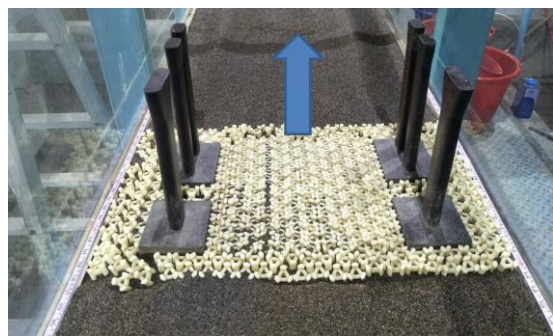


圖 2.25 一層鼎型塊+織布保護措施基礎冲刷情形

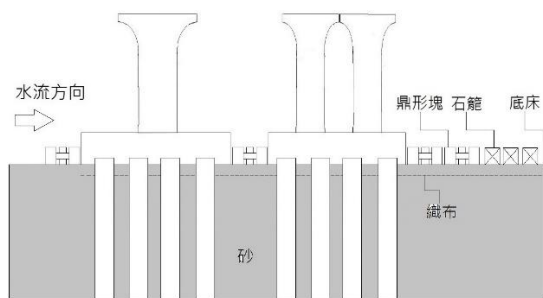


圖 2.26 一層鼎型塊+織布+石籠
斷面示意圖

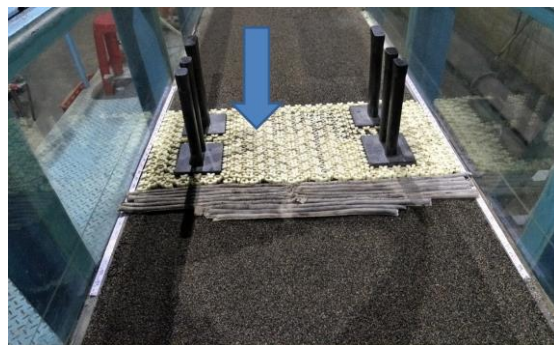


圖 2.27 一層鼎型塊+織布+石籠
保護措施模型鋪設



圖 2.28 一層鼎型塊+織布+石籠冲刷情形

2. 108 年度「地工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」

「地工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」^[22]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機關(構)(高速公路局、國營臺灣鐵路股份有限公司、公路局及縣市政府)，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冲刷破壞的功效，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，地工織物結合鼎型塊、石籠等，可達到保護河床(固床)的功效，惟目前針對地工織物應用於橋墩基礎保護之研究及案例較缺乏，多為地工織物應用於邊坡水土保持工程之案例，爰針對地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，研析地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。

針對目前常見的地工合成材料的特性探討結果顯示，地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，恐因河水之冲刷力過大，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。

國內過去利用地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 號大甲溪河川橋 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 號大甲溪河川橋 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 號大甲溪河川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」^[24]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 號大甲溪河川橋 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局、高速公路局、臺灣鐵路股份有限公司以及縣市政府等機關(構)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 2.29 所示，基礎下游側地形依規劃進行降階地形整地，如圖 2.30 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 2.31 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 2.32 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 2.33 所示。接著以相同方式鋪設防護層織布，如圖 2.34 所示。

(3)鼎型塊排置

吊放鼎型塊及排置如圖 2.35 所示。鼎型塊結合地工織布保護工現地鋪設完成詳如圖 2.36 所示。



圖 2.29 橋墩基礎上游整地



圖 2.30 橋墩基礎下游整地及地形降階



圖 2.31 高強度織布展開並以軟石固定於樁帽上



圖 2.32 完成樁帽四周之高強度織布吊放展開及固定



圖 2.33 平面高強度織布鋪設及單元間之綁紮作業



圖 2.34 防護層織布鋪設



圖 2.35 鼎型塊吊放與排置作業



圖 2.36 鼎型塊結合地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」^[25] 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 號大甲溪河川橋 P24L 為試驗橋址，觀測並驗證保護工法之施工性及保護成效，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 2.37)，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淘刷作用，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公局中分局大甲段納入 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局、高速公路局、國營臺灣鐵路股份有限公司以及縣市政府等機關(構)未來施政之應用。

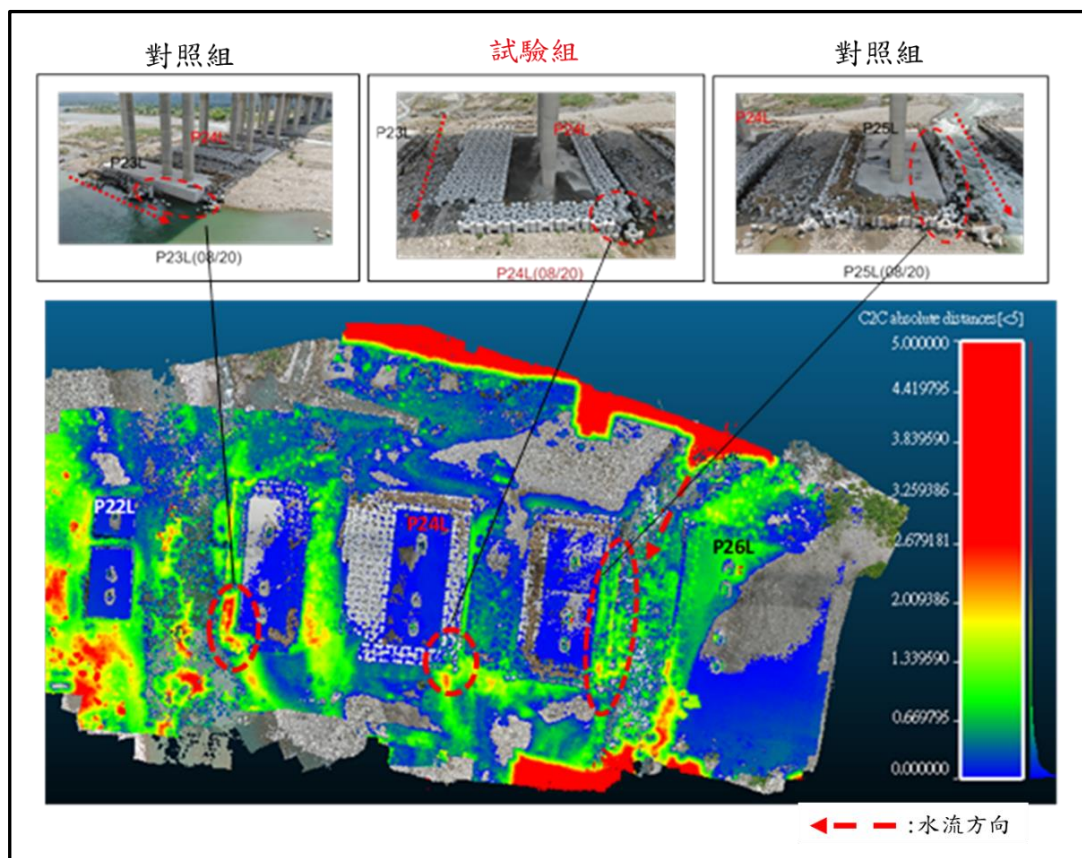


圖 2.37 110 年盧碧颱風事件前後數值三維地形套疊結果

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	地工織布鋪設情形	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 (河槽區部分粒料淘刷)
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淘刷
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 (河槽區部分粒料淘刷)

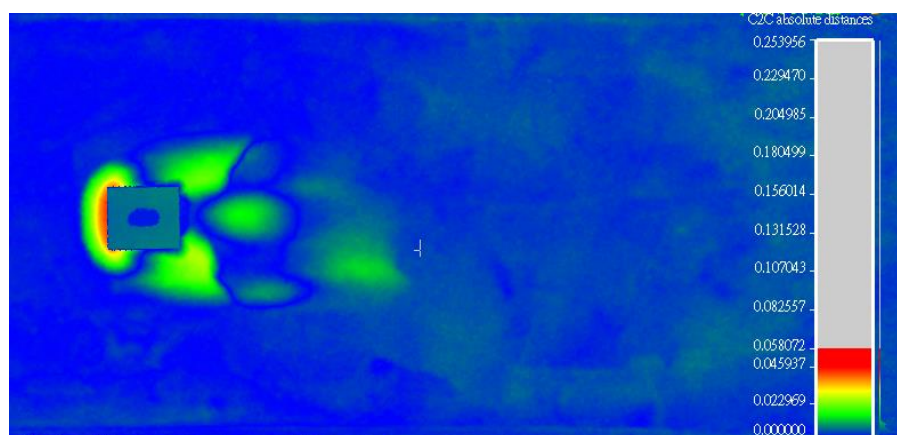
5. 111 年度「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置」

「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」^[26]為本所於民國 111 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 號大甲溪河川橋 P24L 為試驗橋址，觀測並驗證保護工法之施工性及效益評估，並透過室內水工模型試驗結果，來檢定數值模擬所需參數，以建置二維數值水槽模型，為後續多元分析驗證方法建立基礎。

在二維數值水理分析部分係採美國國家計算水科學及工程中心(NCCHE)所開發之 CCHE2D 水平二維明渠流動床模式進行模擬，水

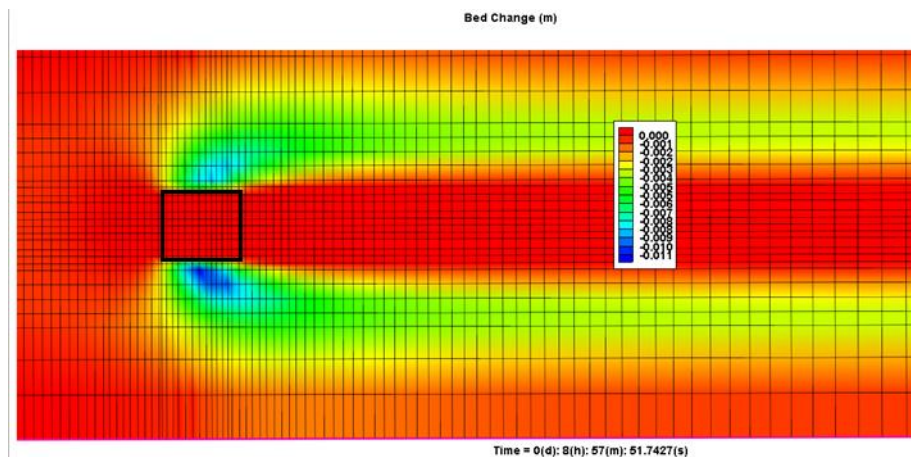
工模型試驗底床變化之結果如圖 2.38，二維數值水理分析模擬底床變化之結果如圖 2.39 所示，兩者存有差異，探究其原因係為二維數值分析模式受到水深平均之假設條件限制，其模擬結果為一較平均流場下之沖淤現象，對於水流沖擊試驗橋墩後產生之向下流場無法顯示，因此模擬結果呈現橋墩之最大沖刷位置集中於墩側區域，於墩前位置無局部沖刷，致沖刷分布與實際試驗結果差異，爰本(112)年度計畫將以三維數值分析模式模擬向下流場與局部沖刷效應，以反映真實之水流運動情形。

在成果效益部分，經 110~111 兩個年度現地試驗橋址觀測結果顯示，以 P24L 為例，本保護工法相較於傳統鼎型塊保護工法所增加之工期為 1 日(約佔總工期 12.5%)、施工成本增加 60 萬元/墩/次(約佔總經費 10%)，與相鄰未鋪設織布的兩墩(P23L 及 P25L)比較，其損壞比可明顯改善，約可減少維修費用 200 萬元/墩/次以上(表 2-2)，可達延長保護橋基壽命，減少維修頻率之目的。



單位:cm

圖 2.38 水工模型試驗橋墩沖刷底床變化等深圖



單位:cm

圖 2.39 二維數值模擬橋墩沖刷底床變化等深圖

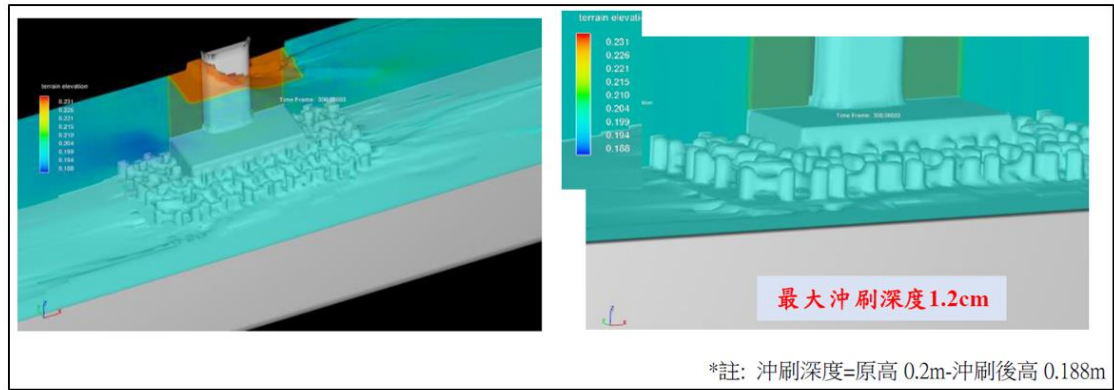
表 2-2 110-111 年試驗場址鼎型塊變化情形

橋墩編號	放置鼎型塊面積(m ²)	損壞面積(m ²)	損壞比(%)	維修經費(萬元)	有無鋪設地工織布
P23L	567	290	51	284	無
P24L	650	25	4	26	有
P25L	694	233	34	232	無

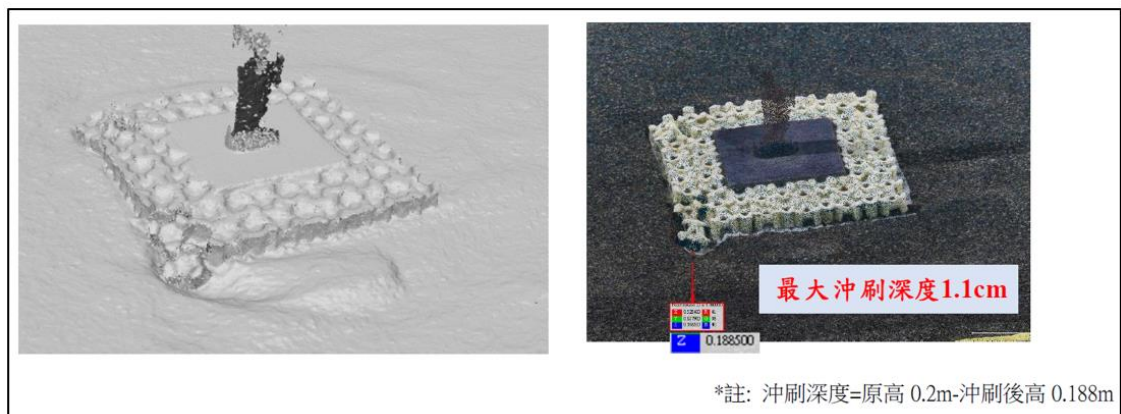
5. 112 年度「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析」

「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析」^[29]為本所於民國 112 年完成之研究計畫，針對本所過去研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，選擇以大甲溪下游國道 3 號大甲溪河川橋為研究對象，規劃進行室內水工模型及現地沖刷試驗，除持續觀測試驗橋址鼎型塊的穩定性，藉以評估保護成效外，另以 FLOW-3D 建置三維數值水槽模型，以探討鼎型塊結合織布之設置方式及可模擬程度，做為後續計畫於現地保護工數值模擬使用及分析之依據，以合理模擬分析及評估現地保護工之成效。

為改善數值模式中鼎型塊與下方沉積物未能耦合分析之問題，利用土中應力傳遞法的方式，並將模擬結果與室內水工模型試驗結果進行比較，亦呈現不錯之模擬效果(圖 2.37)，其設置經驗及方式，將可應用於現地保護工之數值模擬使用。



(a) 三維數值模擬結果(不同角度)



(b) 沖刷試驗結果(不同角度)

圖 2.40 考慮土中應力傳遞法下，數值模擬與沖刷試驗結果比較

2.10 小結

本計畫工法已鋪設於國道 3 號大甲溪河川橋進行現地試驗，據以驗證並評估其保護成效，礙於現場試驗受自然環境影響，無法藉由人為介入而控制降雨條件，來獲得預期之比較效益。近年來，在科技快速發展下，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，爰此，於現場試驗觀測期間，同步進行數值模擬之開發工作，並透過現場試驗所觀測之數據，進行模型檢定及驗證，據以建置可信任之數值分析模型。

依前述所蒐集應用在大甲溪河川水理分析之相關文獻案例上，美國國家計算水科學中心(NCCHE)所發展的河川水理演算模式，可獲得穩定的模擬結果或趨勢，同時因本計畫位置與文獻案例相同，相關設置參數亦可參用。在延續前期現地試驗觀測成果基礎下，來建置符合本計畫所需之大甲溪石岡壩下游河段數值水理模型，做為後續計畫於現地保護工橋墩基礎局部沖刷數值模擬時邊界條件取得之來源，以合理模擬分析及評估現地保護工之成效，提供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、109 及 111 年分別於 P24L~P25L 間河道、P24L 基礎及 P22L~P23L 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 110 年 8 月份盧碧颱風及 113 年 7 月份凱米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進行持續性的觀測及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(113)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

前期計畫原以 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，因高公局於 111 年度運用本計畫工法於 P21L~P22L 基礎進行保護工作，相較於前期計畫試驗組區域擴大，因此兩側拍攝範圍也隨之擴大，右岸增加

1 跨距的拍攝範圍，若以國 3 大甲溪橋橋墩編號標記，則為上游側 21L~26L(下游側 24R~29R)，共計涵蓋 6 座橋墩基礎範圍如圖 3.1 所示，土工織布鋪設範圍如圖 3.2 所示。

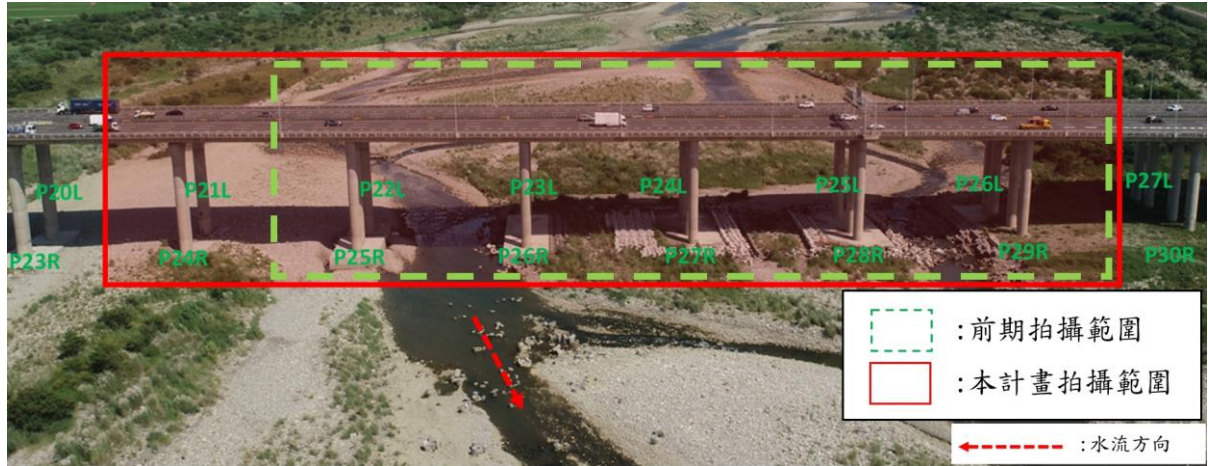


圖 3.1 航拍範圍示意圖

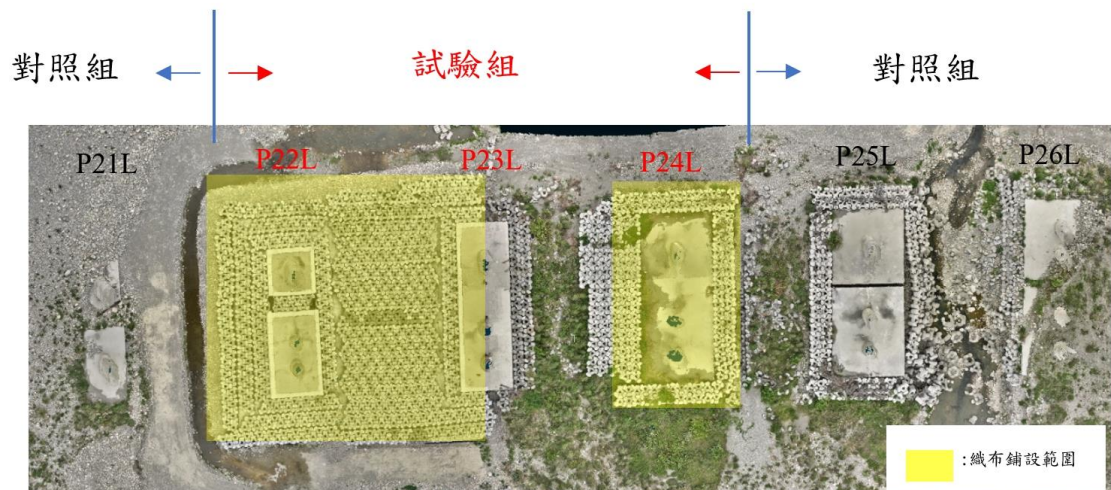


圖 3.2 土工織布鋪設範圍

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 3.3)，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射影像。

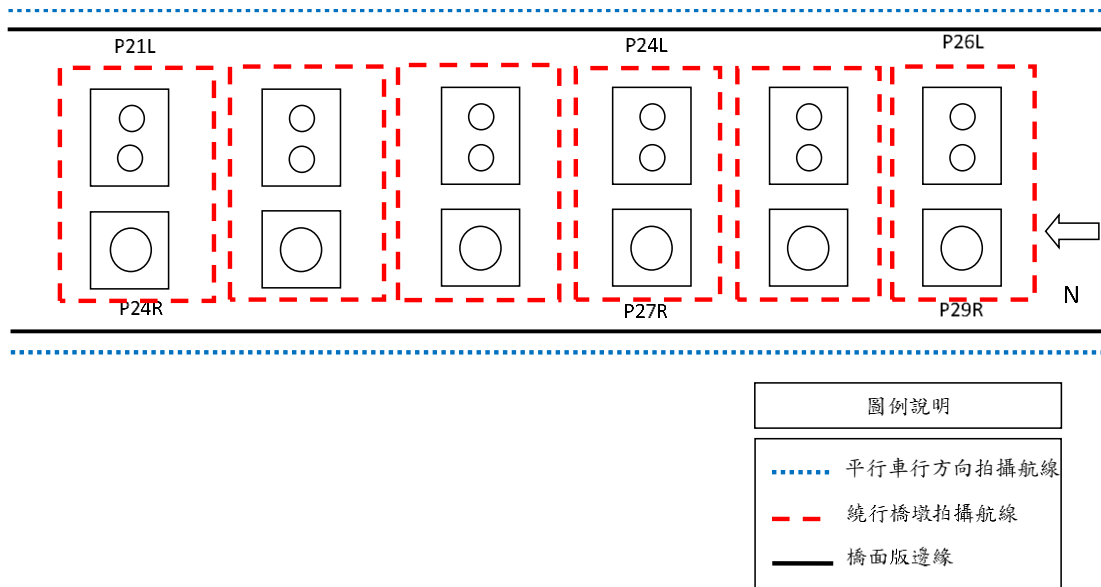


圖 3.3 航線規劃示意圖

3. 航拍申請

因本試驗場址位於臺中國際機場之航道上，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布於試驗區為原則，就本試驗拍攝範圍內來看，橋墩基礎版之角隅點為俯視角度下之明顯特徵點，且適合上述之佈設需求，爰由本計畫團隊成員進場進行控制測量作業(如圖 3.4)，控制點分布如圖 3.5 所示。



圖 3.4 現場控制測量作業情形



圖 3.5 控制點分布情形

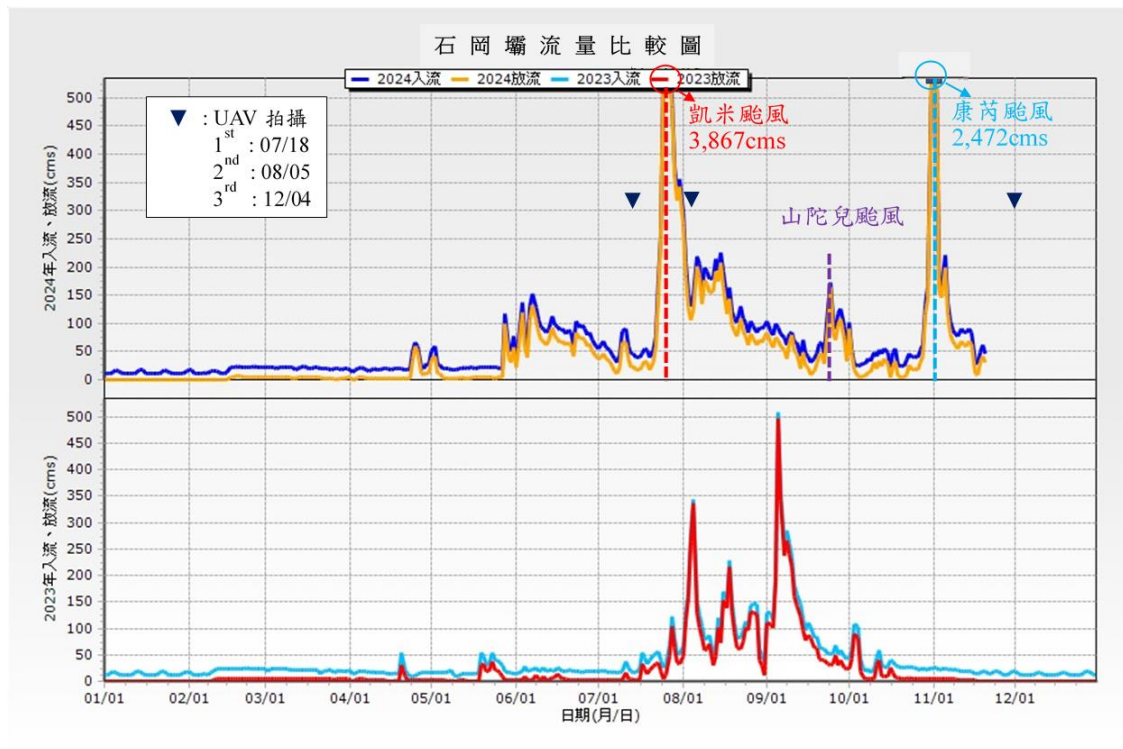
5. 航拍時機

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，本年度共計進行 2 次航拍觀測作業(如圖 3.6)，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：經濟部水利署中區水資源分署石岡壩管理中心網頁

圖 3.6 本計畫航拍觀測時間與石岡壩放流歷線之關係
(上:113 年；下 112 年)

1. 觀測作業時間說明

- (1) 第 1 次航拍觀測(113/07/18):於颱風季前進行第 1 次航拍觀測作業記錄初始地形，以供後續降雨事件過後地形套疊分析之基準。
- (2) 第 2 次航拍觀測(113/08/05): 因 7 月凱米颱風襲臺，帶來可觀降雨量，使得石岡壩自本計畫執行以來所觀測到之最大放流量，查詢經濟部水利署防災資訊網最大放流量達 3,867cms，對應大甲溪治理規劃檢討報告所公告的流量(表 3-1)，該流量約為 5 年重現期的洪水量(與近 10 年重要颱洪事件下石岡壩最大放流量之比較，如:97 年辛樂克颱風(造成台 13 線后豐大橋斷橋)，石岡壩最大放流量 4,225cms，達 5 年重現期的洪水量)；98 年莫拉克颱風，石岡壩最大放流量 5,410cms，達 10 年重現期的洪水量)，且本次洪水量為本計畫自 110 年起觀測以來之最，將可進一步驗證本計畫工法之耐洪性，並據以更新保護成效數據，故

於災後 113/08/05 進場進行第 2 次航拍觀測作業，以觀測此次降雨事件對試驗區保護工之影響。

- (3) 第 3 次航拍觀測(113/12/04) :因 11 月初康芮颱風過境，亦帶來豐沛之降雨量，查詢經濟部水利署防災資訊網石岡壩最大放流量達 2,472cms 的放流事件，對應大甲溪治理規劃檢討報告所公告的流量(表 3-1)，該流量約為 2 年重現期的洪水量，因此時太平洋上接連幾個颱風生成，加上東北季風影響，使得天候條件及試驗場址河川水位不適合觀測，為維觀測品質，俟天候條件良好及現場河床恢復低水位後，始進場進行第 3 次航拍觀測作業，遂於 113/12/04 進場拍攝以觀測此次降雨事件對試驗區保護工之影響。

表 3-1 大甲溪流域各控制點不同重現期距下之流量

控制點	集水區面積(km ²)	重現期距(年)							
		2	5	10	20	25	50	100	200
河口	1244.1	2,600	4,500	5,900	7,300	7,570	8,900	10,300	11,500
石岡壩	1095.4	2,200	3,800	5,000	6,200	6,430	7,600	8,800	9,800
天冷	955.5	1,980	3,400	4,500	5,600	5,820	6,900	8,000	8,840
橫流溪匯流前	907.4	1,910	3,290	4,330	5,370	5,570	6,590	7,630	8,490
東卯溪匯流前	877.6	1,840	3,180	4,180	5,190	5,380	6,370	7,380	8,210
裡冷溪匯流前	848.4	1,780	3,080	4,040	5,020	5,210	6,160	7,130	7,940
十文溪匯流前	784.8	1,700	2,930	3,850	4,780	4,960	5,870	6,790	7,560

資料來源:經濟部水利署水利規劃試驗分署
「大甲溪流域整體治理綱要計畫(101-104 年)執行檢討及改善策略研擬」(2016)^[19]

2. 兩期地形套疊比較(113/07/18 vs 113/08/05):

本次比較係為瞭解 8 月初凱米颱風降雨事件對於本試驗場址之影響，圖 3.7 及圖 3.8 分別為往上游及往下游方向所拍攝之照片，比對照片可初步得知本次洪水量已使試驗橋址周圍河床地形發生極大變化，凱米颱風過境使得石岡壩最大放流量約為 3,867cms(圖 3.6)，達大甲溪 5 年重現期的洪水量，相較於 110 年盧碧颱風過境石岡壩最大放流量 1,280cms 約為 3 倍之流量，將可更新本計畫執行觀測以來之保護成效數據，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 3.11~3.15)，其結

果說明如下：

- (1)織布無鋪設區：因石岡壩最大放流量為 3,867cms，達大甲溪 5 年重現期的洪水量，使得河床粒料產生大量推移現象，P23L(南側)及 P23~P24L 間之鼎型塊有傾倒之情形(如圖 3.12)，P25L(南側)(如圖 3.14)、P26L 及 P25L~P26L(如圖 3.15)間之鼎型塊皆已流失。
- (2)織布鋪設區：僅 P22L 下游局部有流失之情形(如圖 3.11 透明紅圈處)，其餘排列完整或淤積掩埋，P24L 亦排列完整(如圖 3.13)，顯示在本次颱風事件下，本計畫工法可發揮其固床效果，並於 P22L~P24L 橋墩下游側有回淤之現象，相對於未鋪設織布之鼎型塊保護工較具耐洪性。



圖 3.7 凱米颱風前後現場情形(往上游拍攝)



圖 3.8 凱米颱風前後現場情形(往下游拍攝)



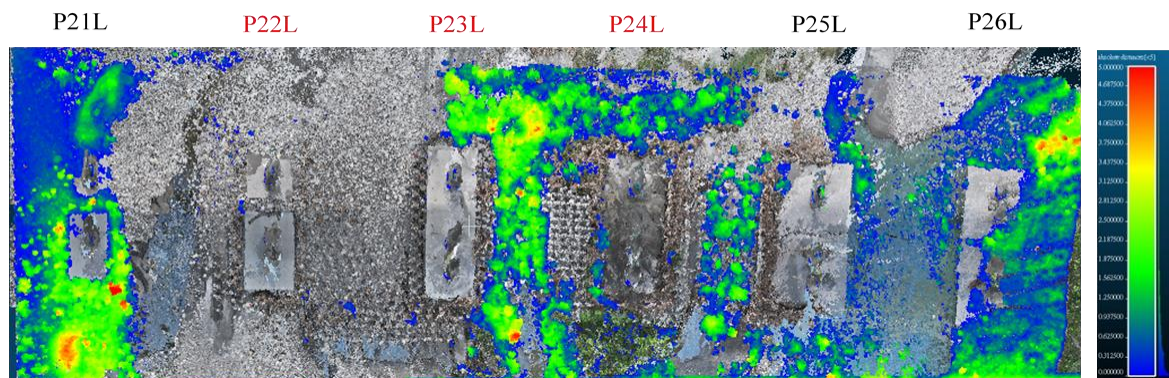
(a) 113/07/18



(b) 113/08/05

*紅框處為織布鋪設位置、-->為水流方向

圖 3.9 兩期數值三維模型(113/07/18 vs 113/08/05)

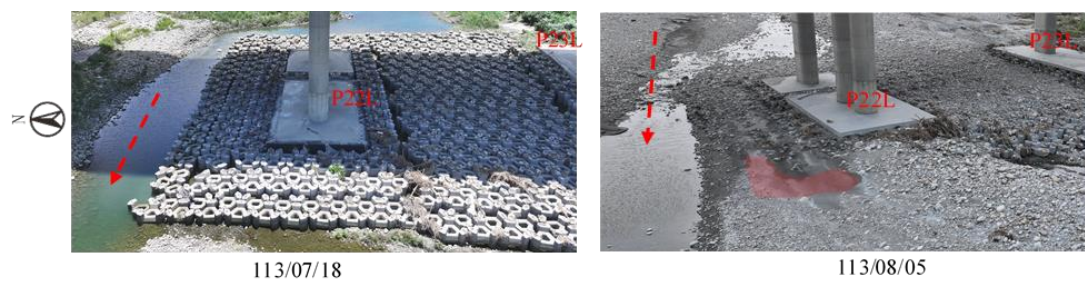


註:色塊為淘刷處；實像為淤積處

圖 3.10 113/07/18 與 113/08/05 兩期數值三維模型套疊結果(單位:m)

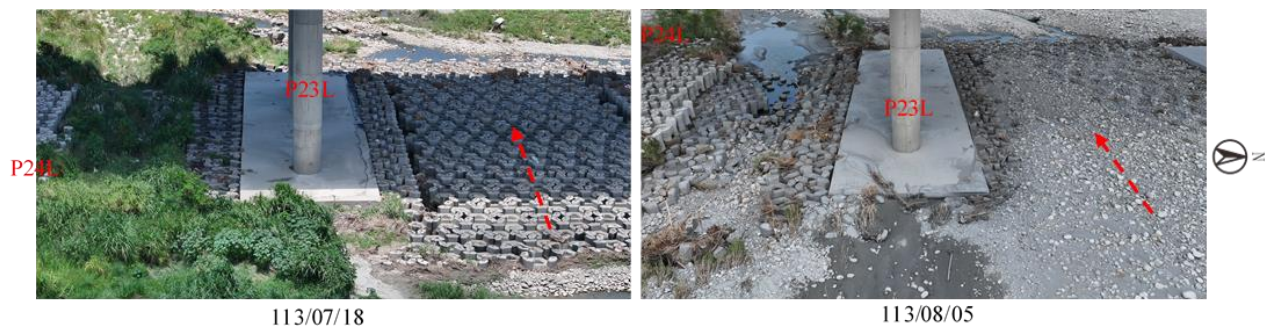


(a)往下游方向拍攝



(b)往上游方向拍攝

圖 3.11 P22L 凱米颱風前後期拍攝影像



(a) 往下游方向拍攝



(b) 往上游方向拍攝

圖 3.12 P23L 凱米颱風前後期拍攝影像



(a) 往下游方向拍攝



(b) 往上游方向拍攝

圖 3.13 P24L 凱米颱風前後期拍攝影像



113/07/18



113/08/05

(a) 往下游方向拍攝



113/07/18



113/08/05

(b) 往上游方向拍攝

圖 3.14 P25L 凱米颱風前後期拍攝影像



113/07/18



113/08/05

(a) 往下游方向拍攝



113/07/18



113/08/05

(b) 往上游方向拍攝

圖 3.15 P26L 凱米颱風前後期拍攝影像

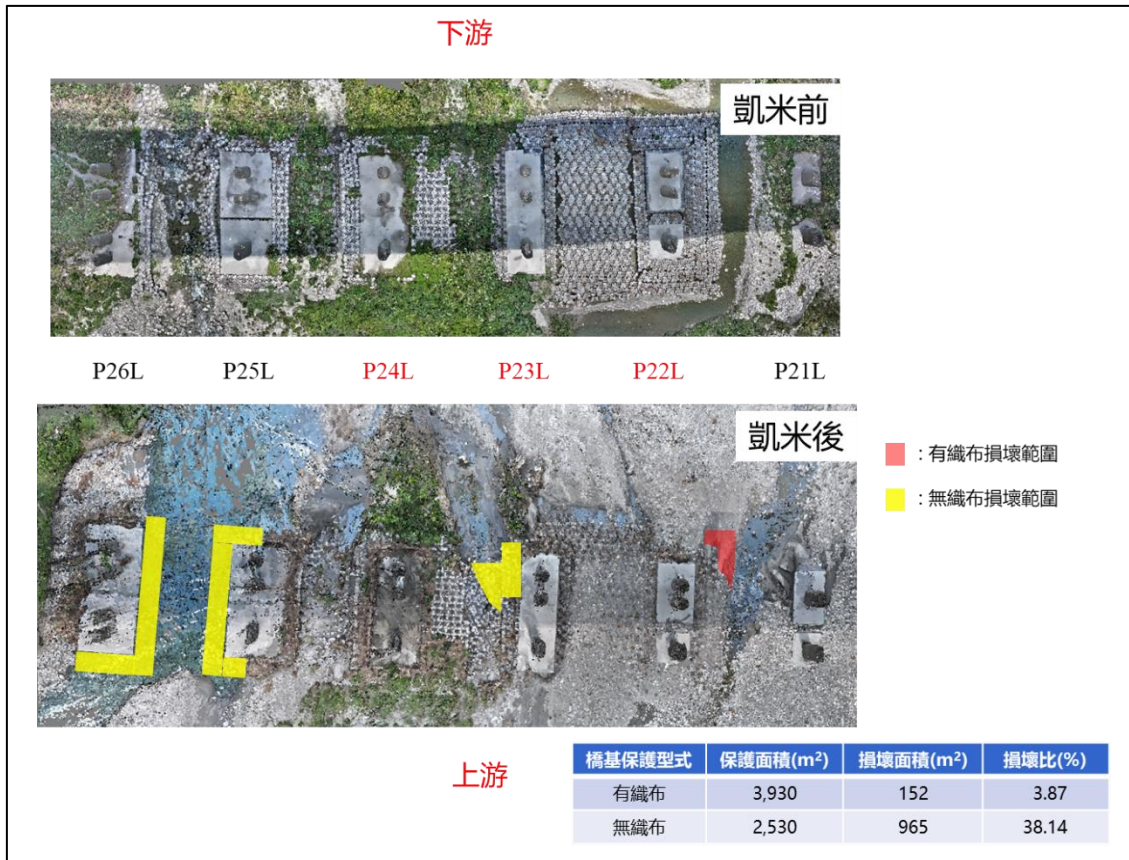


圖 3.16 凱米颱風後試驗場址鼎型塊損壞範圍及面積

3. 兩期地形套疊比較(113/08/05 vs 113/12/04):

本次比較係為 11 月初康芮颱風過境，亦帶來較豐沛之降雨，石岡壩最大放流量為 2,472cms 的放流事件，達大甲溪 2 年重現期的洪水量，透過與 08/05 所記錄之地形資料進行比較，以瞭解本次降雨事件對試驗區保護工之影響，圖 3.17 及圖 3.18 分別為往上游及往下游方向所拍攝之照片，兩期數值三維模型(如圖 3.19)、點雲地形套疊之等深圖(如圖 3.20)及各橋墩兩期拍攝影像比較(如圖 3.21~3.25)，其結果說明如下:

- (1)織布無鋪設區:由圖 3.19 及 3.20 可知，事件前後鼎型塊並無變化之情形(因凱米颱風期間已大量流失)，於 P25L 上游側則有覆土淘刷之情形(如圖 3.20 中 P25L 上游處綠色區塊，以及圖 3.24(a))。

(2)織布鋪設區:由圖 3.19 及 3.20 可知，事件前後鼎型塊並無變化之情形，P22L~P23L 間僅覆蓋於保護工上之表土有淘刷及淤積之情形(圖 3.20，P22L~P23L 間色塊(淘刷)及實像(淤積)互現)，而於保護工下游側則有淤積情形(圖 3.20，P22L~P23L 間下游側為實像(淤積)，以及圖 3.22(b))，另在 P24L 上下游側之植生較事件前茂盛，顯示本工法可發揮固床效果。



圖 3.17 康芮颱風前後現場情形(往上游拍攝)



圖 3.18 康芮颱風前後現場情形(往下游拍攝)



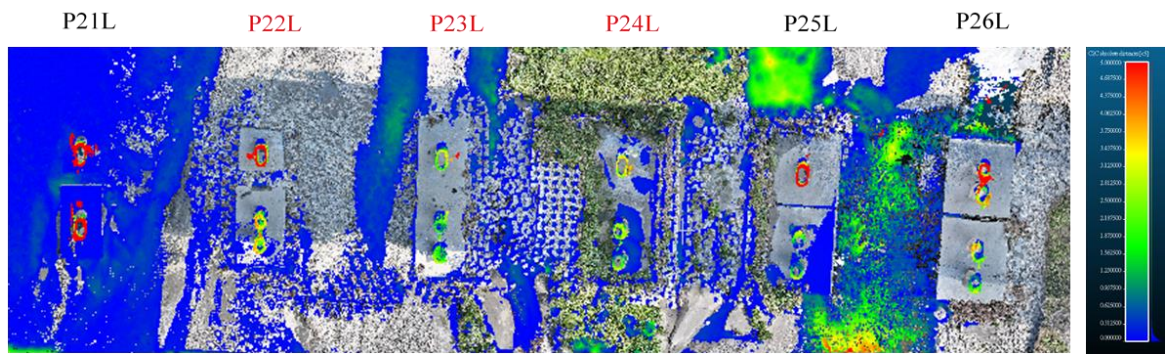
(a) 113/08/05



(b) 113/12/04

*紅框處為織布鋪設位置、-->為水流方向

圖 3.19 兩期數值三維模型(113/08/05 vs 113/12/04)



註:色塊為淘刷處；實像為淤積處

圖 3.20 113/08/05 與 113/12/04 兩期數值三維模型套疊結果(單位:m)

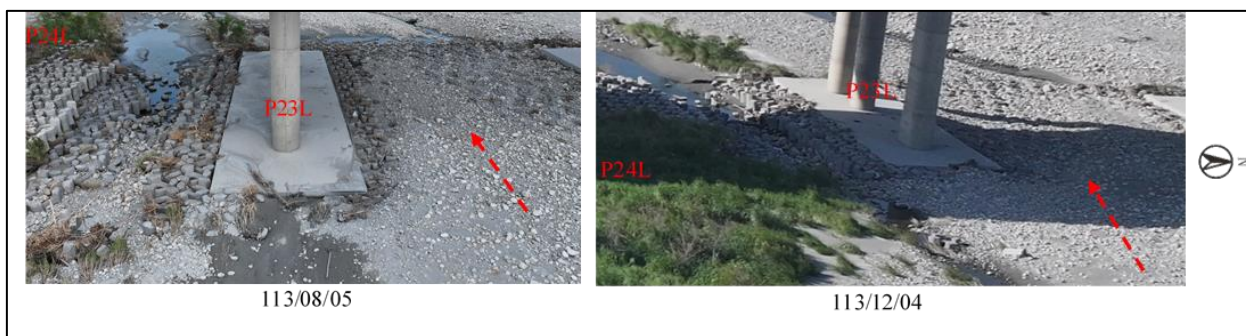


(a) 往下游方向拍攝



(b) 往上游方向拍攝

圖 3.21 P22L 康芮颱風前後期拍攝影像



(a) 往下游方向拍攝

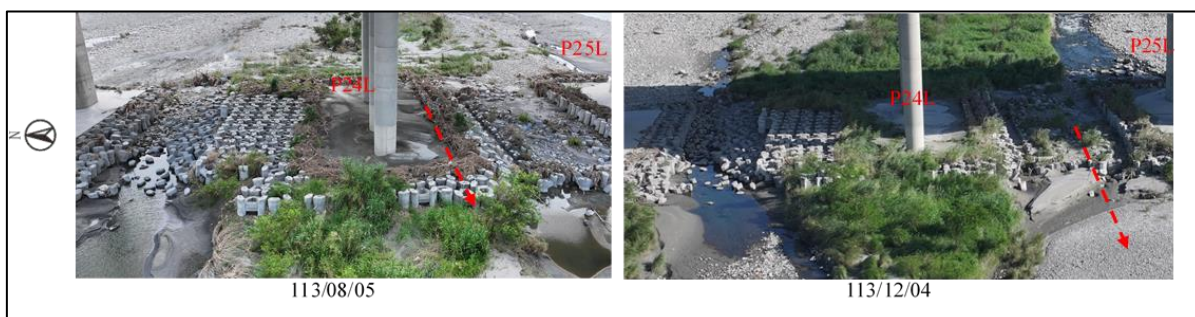


(b) 往上游方向拍攝

圖 3.22 P23L 康芮颱風前後期拍攝影像



(a) 往下游方向拍攝

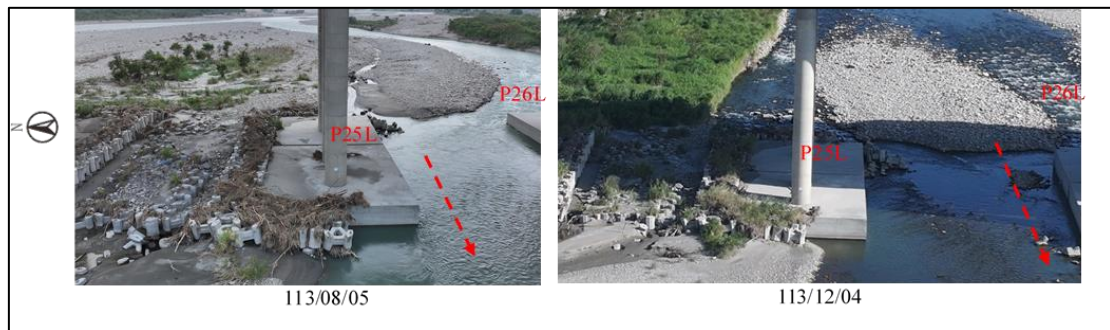


(b) 往上游方向拍攝

圖 3.23 P24L 康芮颱風前後期拍攝影像



(a) 往下游方向拍攝(P25L 上游側覆土淘刷)



(b) 往上游方向拍攝

圖 3.24 P25L 康芮颱風前後期拍攝影像



(a) 往下游方向拍攝



(b) 往上游方向拍攝

圖 3.25 P26L 康芮颱風前後期拍攝影像

3.3 成效評估

因本年度侵臺之颱風造成石岡壩之放流量為本計畫執行觀測以來之最，最大可達大甲溪 5 年重現期之洪水量，可據以更新本計畫工法對於橋梁基礎保護效果之數據。

1. 增加成本:

本計畫工法現場施工之流程如圖 3.26 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 109 年實際鋪設施作於國 3 大甲溪橋 P24L 橋墩基礎之結果，鋪設地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，透過經實際鋪設施作後，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。

另 111 年底擴增試驗區於國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 橋墩基礎，整體工期 30 天，織布施工 5 天($5/30=16.7\%$)，整體工程經費約 1,480 萬，織布工項約為 183 萬($183/1480=12\%$)，因增加鋪設織布層所增加之成本與工期與第 1 期施作之佔比相近。

綜上，本計畫工法因鋪設織布層所需增加之成本，整理如下:

- (1) 工期: 僅增加於鼎型塊吊放前以人工進行柔性織布鋪設及搭接工項，因施作簡易、速度快，無需專業技術工人，施工技術門檻不高，約增加 12~17% 左右。
- (2) 經費: 僅增加織布材料費用及對應之鋪設工費用，因施工速度快、材料相對便宜，約增加 10~12% 左右。

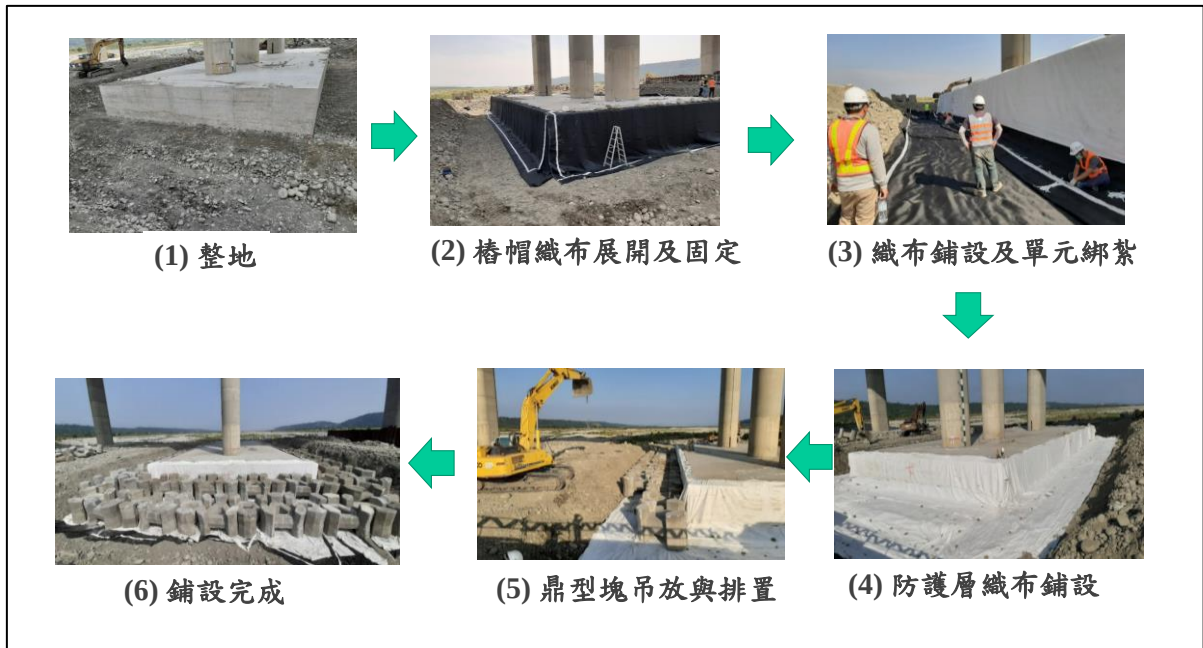


圖 3.26 鼎型塊織布橋基保護工法施工流程

2. 保護效果:

本計畫工法之施作，對於橋基可發揮固床效果，進而對河道產生阻水影響，為瞭解施作後對於河道變遷之影響，將以 109 年及 111 年 2 期計畫工法為時間點進行說明：

- (1) 未施作階段: 如圖 3.27 所示，此時為尚未施作本計畫工法，此時 P24L 位於深槽區，故 109 年時選擇以該橋基做為試驗橋址進行鋪設。
- (2) P24L 施作階段(第 1 期): 圖 3.28 為鋪設後第 2 年之情形，因本工法發揮固床效果，原通過 P24L 之主深槽往兩旁分開形成 2 條流路(P22L~P23L 及 P25L~P26L)，致 P23L~P25L 間上游側產生淤積並開始有植生生長。
- (3) P22L~P23L 施作階段(第 2 期): 圖 3.29 為 111 年擴增試驗區後 2 年之情形，仍為 2 條流路，但原通過 P22L~P23L 間之流路因施作本工法之故，往北側移動至 P21L~P22L。
- (4) 113 年凱米颱風後階段: 如圖 3.30 所示，因 P22L~P23L 及 P24L 施作本工法後發揮固床效果，仍維持 2 條流路，但原通過

P21L~P22L 間之流路往北側移動至 P19L~P20L，上游側淤積範圍從 P23L~P25L 擴大至 P22L~P25L 間。

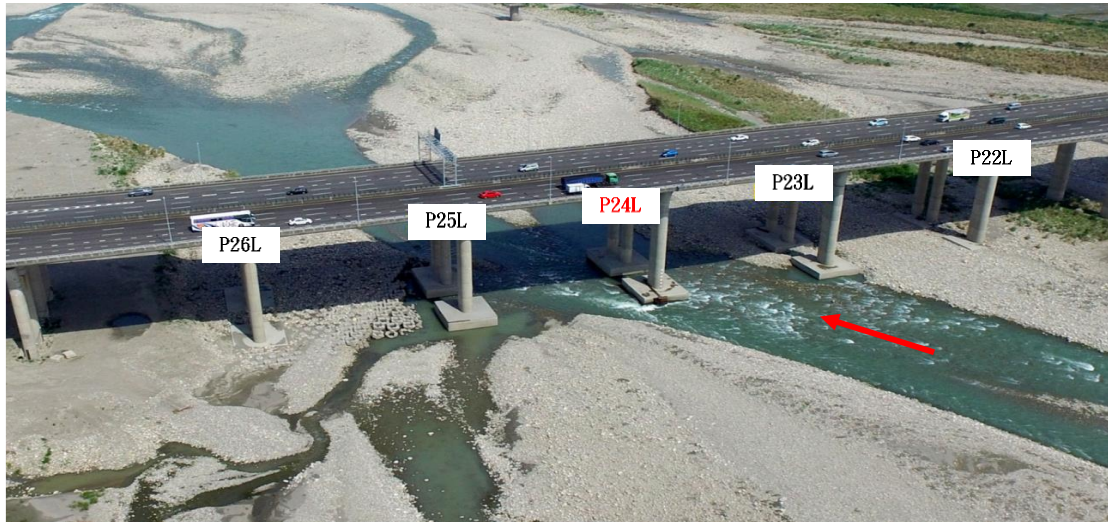


圖 3.27 試驗場址空拍圖(108 年)



圖 3.28 試驗場址空拍圖(110 年)

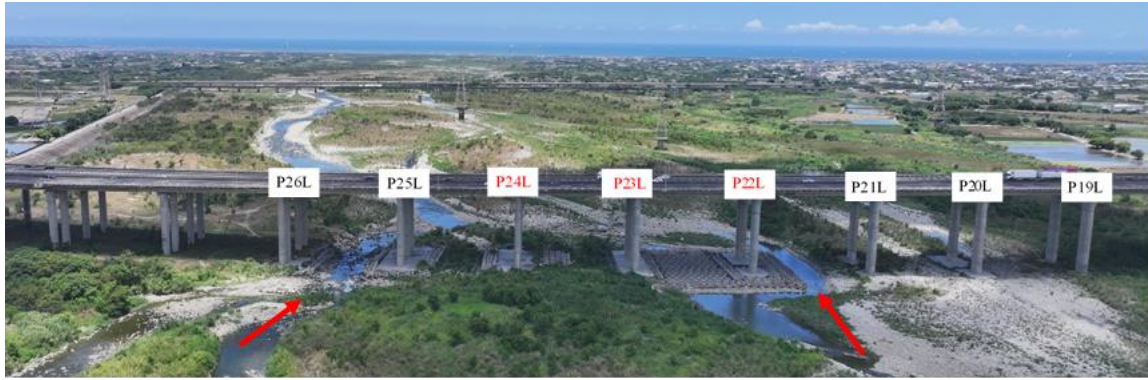


圖 3.29 試驗場址空拍圖(113 年凱米颱風前)



圖 3.30 試驗場址空拍圖(113 年凱米颱風後)

綜整前期計畫颱風事件下石岡壩之最大放流量紀錄，110 年 8 月盧碧颱風(1,280cms)、111 年 5~6 月梅雨事件(825cms)、112 年蘇拉颱風(510cms)、至今(113)年度始有凱米(3,867 cms)及康芮颱風(2,472cms)帶來豐沛降雨量，分別達大甲溪 5 年及 2 年重現期洪水量，得以進一步驗證及評估本計畫工法之保護成效。

以今(113)年度凱米颱風事件進行探討，最大洪峰到達本試驗橋址之現場水位情形如圖 3.31，洪水已漫淹整個試驗區。俟洪水消退後，觀察保護工留存狀況，試驗組(織布鋪設區)之部分，僅 P22L 下游局部有流失之情形(如圖 3.11 透明紅圈處)，其餘排列完整或淤積掩埋；而對照組織部分 P23L(南側)及 P23~P24L 間之鼎型塊有傾倒之情形，P25L(南側)、P26L 及 P25L~P26L 間之鼎型塊皆已流失，顯示在本次達 5 年重現期颱洪事件下，本計畫工法仍可發揮其固床效果，相對於未鋪設織布之鼎型塊保護工較具耐洪性。對於試驗區鼎型塊損壞情形

及維修費用，整理如表 3-2。

因此，整體效益成本比(BCR)計算如下：

(1)織布方案成本：

以 2 期(109 年 P24L、111 年 P22L~P23L)所執行之工程總經費：

成本_{織布方案}=2,180 萬元((109 年)700 萬元+(111 年)1,480 萬元)

(2)增加的成本：

織布方案的總成本會比傳統方案增加 242 萬元，因此織布方案增加的成本：

成本_{增加}=242 萬元((109 年)60 萬元+(111 年)183 萬元)

(3)節省之維修經費：

與未鋪設織布對照組相比可減少維修費用：

節省的效益=813 萬元/次以上(對照組維修費 965 萬元-試驗組維修費 152 萬元)

(4)效益成本比(BCR)

效益成本比(BCR)可以用來衡量織布方案相對於傳統方案的成本效益。

BCR 的計算公式為：

$$BCR = \frac{\text{節省的效益}}{\text{增加的成本}} = \frac{813}{242} \approx 3.36$$

以目前 110~113 年 4 年期觀測之結果，效益成本比約達 3.36，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，減少維修頻率及維護經費之目的。



資料來源：交通部高速公路局中區交通控制中心

圖 3.31 113 年凱米颱風現場水位監測影像

表 3-2 113 年凱米颱風事件後成效評估表

橋墩編組	放置鼎型塊面積(m ²)	損壞面積(m ²)	損壞比(%)	維修費用(萬元)	有無鋪設地工織布
試驗組	3,930	152	3.87	152	有
對照組	2,530	965	38.14	965	無

**註：

1. 鼎型塊維護單價(A)係以 1 萬/m² 估算，故試驗組維護費用(B)為損壞面積*(A)=152*1=152 萬元，對照組維護費用(C)為損壞面積*(A)=965*1=965 萬元。
2. 試驗組總工程經費(D)為 2,180 萬元，相較傳統保護工法，所增加之織布鋪設費用(E)為 242 萬元，所增加成本佔比為 E/D*100%=242/2,180*100%≈11.1%。

第四章 二維數值水理分析模型建置

本計畫係以大甲溪流域石岡壩下游至河口為分析範圍進行水理分析，據以進行試驗橋址(國道 3 號大甲溪河川橋)橋基保護工模擬評估，而一般考量僅利用大斷面測量資料進行一維水理演算，於河道彎曲段或流路偏流造成流路擺向河岸、流路緊貼河岸等區域，其水流狀況較複雜且具二維特性，故較無法真實呈現其特性，為瞭解河道特性需進一步進行二維水理分析。

本計畫採用美國國家計算水科學及工程中心(National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE)所開發之水平二維明渠流動床模式 CCHE-2D，CCHE2D 模式包含 Mesh Generator 與 CCHE-2D 主程式兩部分。Mesh Generator 功能為形成模擬河道的數值網格(Numerical Mesh)為主，包含多種整合性的網格形成方法。CCHE-2D 主程式功能為設定河道模擬之基本資料(模擬時間、計算時間間距、紀錄時間間距)、起始條件、上下游邊界條件、水理條件參數、泥砂特性、粒徑分布曲線及輸砂模式等，並納入河道數值地形網格資料後執行模擬，最後模擬結果以二維分布的方式展現。

4.1 CCHE2D 模式理論及數值方法

CCHE2D 模式適用於變量流(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)^[1]、Jia (2001)^[2]、Jia (2008)^[3]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：

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

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

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，η 為水面高程，ρ 為水之密度，h 為局部水深，f_{Cor} 為科氏力參數，τ_{xx}、τ_{xy}、τ_{yx}、τ_{yy} 為水深積分之雷諾剪應力，τ_{bx}、τ_{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 η 為水面高程，ζ 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，∂ζ/∂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：

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

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：

$$v_t = A_{xy} C_s \kappa u_* h \quad (4-5)$$

式中 u_* 為剪力速度， κ 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：

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

式中，

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

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：

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

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 $k-\varepsilon$ 紊流模式：

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

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

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

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

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

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：

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

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， ε_s 為泥砂之擴散係數； α_d 為懸浮載之延散係數(non-equilibrium adaptation coefficient)； D_{sxx} 、 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)； ω_{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 δ 為推移載區域之厚度； $\bar{c}_{bk}$ 為推移載區域之平均濃度； α_{bx} 、 α_{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)^[4]，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， δ_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。

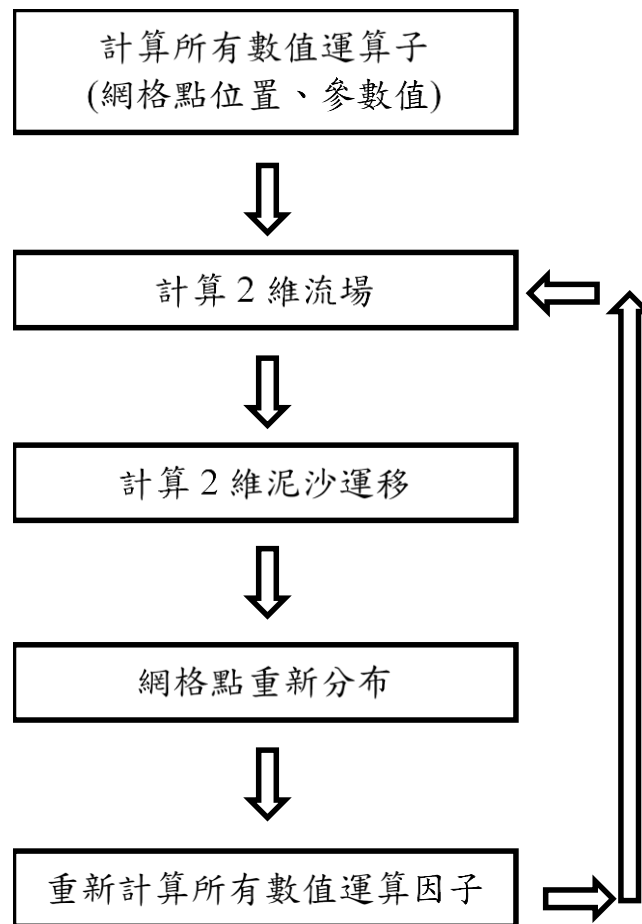


圖 4.1 CCHE2D 模式計算流程圖

此外，CCHE2D 模式可模擬凝聚性沈澱(Wu and Wang, 2004)^[5]，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, 2004)^[6]，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 4 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^[7]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：

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

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

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

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

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

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

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， τ_b 為底床剪應力， τ_{ck} 為某粒徑 k 啟動之臨界剪應力， ε_k 為某粒徑 k 的隱顯參數， ω_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 Toffaleti(1968)^[8]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。

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

ε_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：

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

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

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

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)^[9]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。

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。

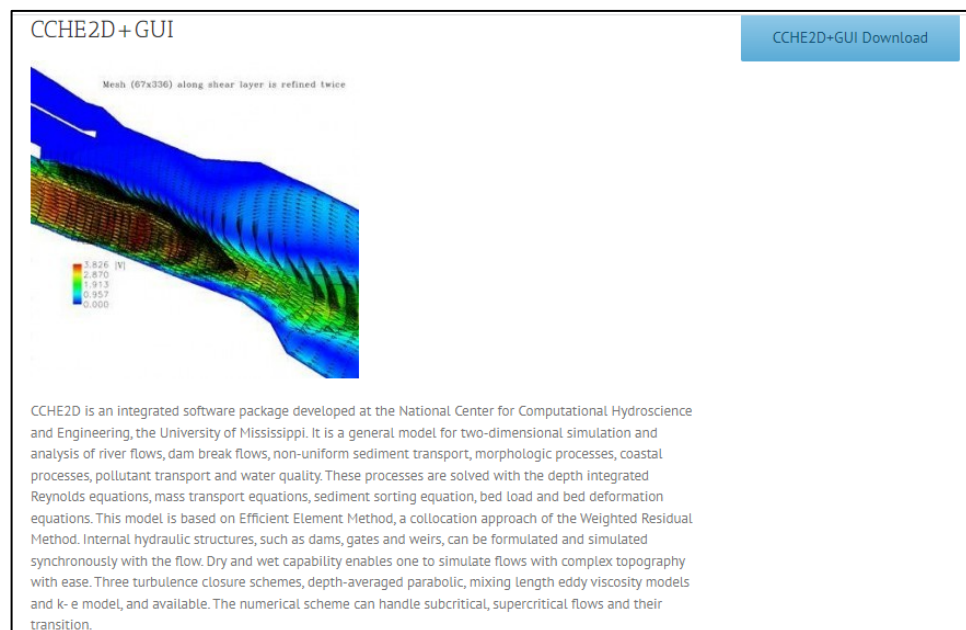


圖 4.2 主分析模式下載介面

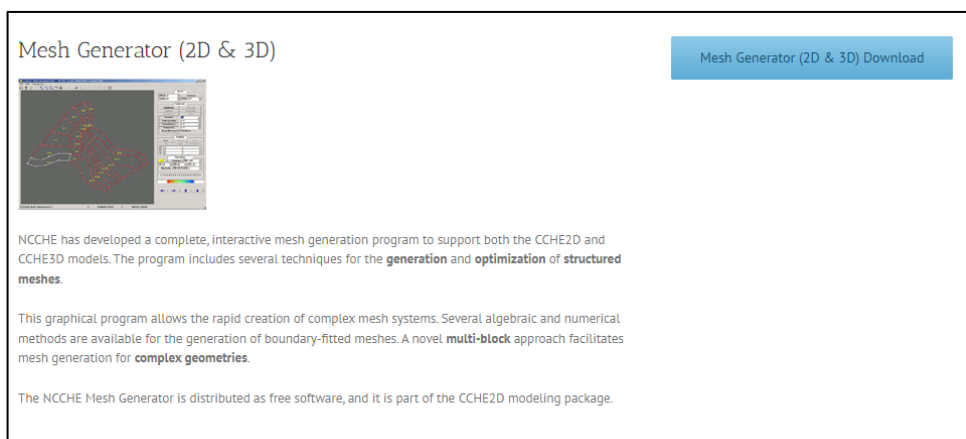


圖 4.3 模型網格生成模組下載介面

The screenshot shows the NCCHE website with a dark blue header containing the logo and name. A navigation menu includes Home, People, Research, Services, Software, Education, Employment, and About. The main content area is titled 'Let us know who you are' and contains a registration form. The form includes fields for Name (First and Last), E-mail, Location, Institution, Software Interest (a dropdown menu with 'CCHE2D-Std' selected), and a large text area for Problem / Research Areas. At the bottom, there is a checkbox for 'I am not a robot' and a CAPTCHA image.

圖 4.4 免費版本以申請會員制下載

4.2 二維數值模型建置條件與方式

二維水理模式模擬方法流程如圖 4.5 所示。將所需要的河床地形資料、上下游邊界條件、水理及泥沙參數分布建檔，輸入 CCHE2D 中，調整曼寧粗糙係數 n 值，對河道水理現象及輸砂進行模擬。將模擬結果與實測的橋梁水位相比較，於合理範圍內調整參數至與實測結果相符，再以此率定之參數進行其他颱風事件模擬及驗證。

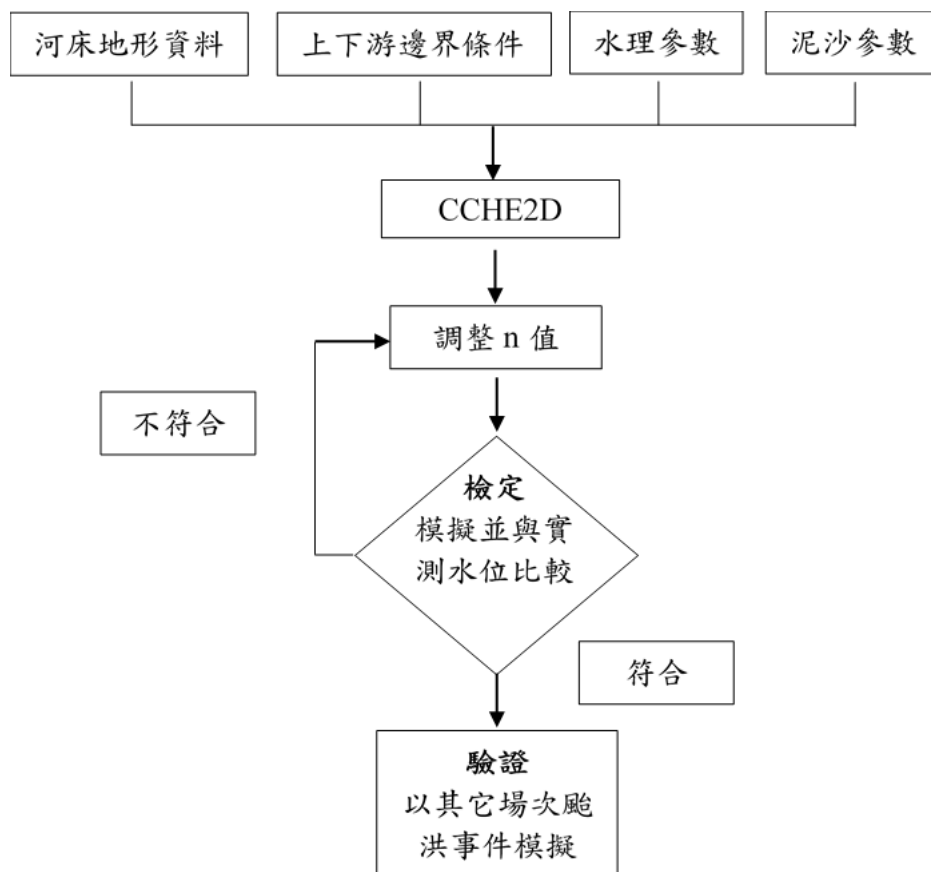


圖 4.5 二維橋梁數值模擬方法流程圖

二維數值係以石岡壩至大甲溪河口區段做為模擬範圍，參考「大甲溪河段輸砂特性試驗研究總報告」^[12]，於模擬區段內無重要匯入支流，故邊界條件僅以石岡壩放流量為主要輸入邊界，出海口為輸出邊界。

二維數值模擬在本年度計畫中的重點，係以水理演算河道水理特性(全域)，如試驗橋址(國道 3 號大甲溪河川橋)上下游水深分布、流速變化…等，並據以提供後續(114 年)三維數值模式本工法沖刷模擬分析時之邊界條件(局部)，再以大甲溪流域所公告之不同重現期(2、5、10 年…)流量模擬分析(圖 4.6)，並據以評估本工法之成效。



圖 4.6 數值模擬分析流程示意圖

4.3 檢定與驗證方法說明

1. 檢定與驗證颱風事件的選取

模式的檢定與驗證係選取真實颱風事件進行模擬，模式檢定驗證所建構的河道地形包含民國 112 年內政部國土測繪中心的大甲溪河道數值水理地形(HyDEM)(基於 108 年 LiDAR dem 底圖再製)。因此，檢定與驗證應選取近年所發生的颱風事件為宜。

大甲溪石岡壩到河口之間，有完整水位資料紀錄者為台 1 線大甲溪橋站，該水位站係從民國 94 年開始有水位紀錄，考量數值底圖製作及本工法設置時間，檢視該水位站近幾年的水位變化，可用於檢定及驗證之颱風事件分別為 108 年 0611 豪雨、110 年盧碧颱風，以及 113 年凱米颱風，如圖 4.7 所示。

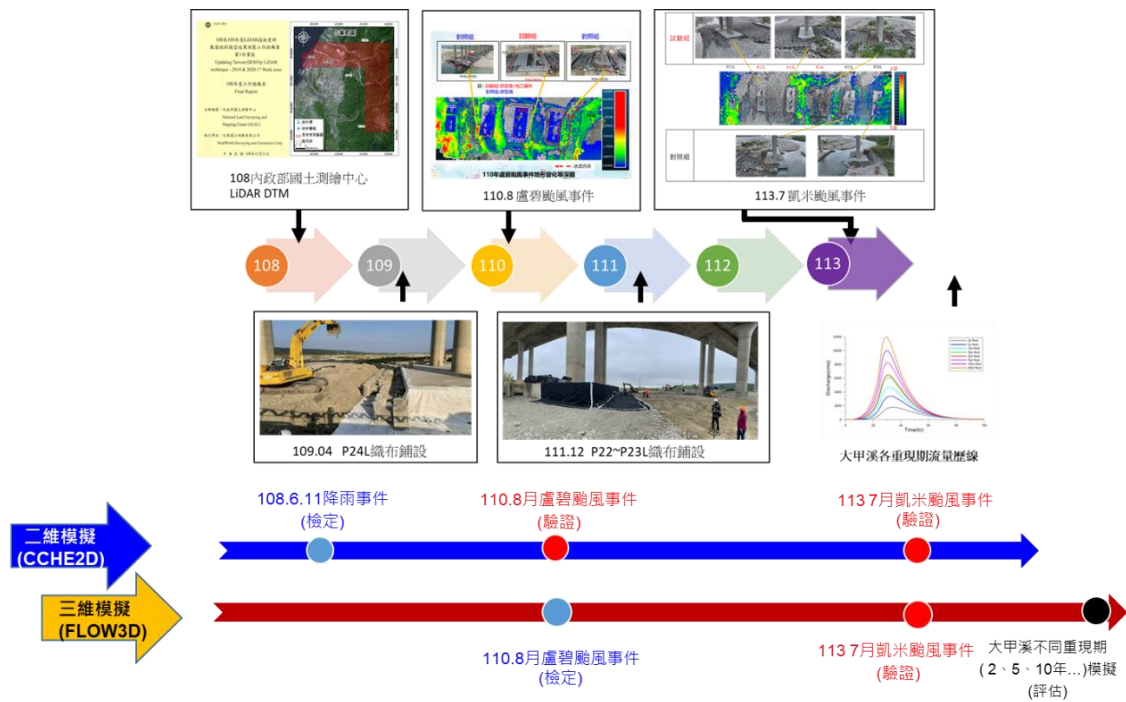


圖 4.7 檢定與驗證事件選取示意圖

2. 檢定與驗證的作法概述(二維水理演算)

前項說明 108 年的 0611 豪雨做為檢定，110 及 113 年盧碧颱風及凱米颱風做為驗證。進行河道數值模擬需要設定邊界條件，邊界條件又可分為上游邊界與下游邊界；上游邊界條件係給定流量歷線，下游邊界條件係給定水位歷線。為了比對模擬的水位是否與實際水位一致，通常也必須要蒐集特定斷面的水位紀錄。

在模擬範圍內，颱風事件的流量可採用石岡壩實際放流量做為上游邊界的流量設定。颱風事件在台 1 線大甲溪橋有詳細水位紀錄，藉由該實測水位與模擬的水位進行比對，以分析模擬結果與實際情況的吻合程度。

4.4 數值模擬基本資料蒐集

本年度計畫蒐集建構模擬所需的相關項目包括流量資料、水位資料及河道地形，分述如下：

1. 流量資料

流量資料包含 108 年的 0611 豪雨做為檢定，110 及 113 年盧碧颱風及凱米颱風的流量以及大甲溪治理規劃檢討報告所公告的流量資料(表 3-1)。

2. 水位資料

模擬範圍內，大甲溪治理規劃檢討報告所公告的水位資料(表 4-1)，以及台 1 線大甲溪橋水位監測站資料(圖 4.8)。

表 4-1 模擬範圍內斷面各重現期的水位

斷面	100 年	50 年	25 年	20 年	10 年	5 年	2 年
5	38.03	37.69	37.31	37.22	36.78	36.14	35.10
6	46.14	45.83	45.61	45.55	45.32	45.03	44.45
7	54.23	54.01	53.65	53.59	53.26	52.85	52.23
7-1 大甲溪公路橋（下）	58.08	57.77	57.45	57.39	57.06	56.67	56.07
7-1 大甲溪公路橋（上）	59.42	59.05	58.67	58.59	58.14	57.65	56.86
7-2 海線鐵路橋（下）	59.65	59.39	59.06	58.99	58.62	58.30	57.65
7-2 海線鐵路橋（上）	61.36	60.75	60.38	60.30	59.84	59.34	58.55
8	62.01	61.57	61.26	61.18	60.73	60.28	59.59
9	68.33	68.19	67.98	67.93	67.64	67.28	66.42
9-1 第二高速公路橋（下）	73.50	73.26	73.00	72.92	72.60	72.15	71.19
9-1 第二高速公路橋（上）	75.63	75.26	74.88	74.80	74.21	73.72	72.60
10	75.71	75.34	74.98	74.90	74.36	73.89	72.80
11	79.37	79.07	78.77	78.71	78.31	77.78	77.41
12	84.91	84.39	83.65	83.51	82.81	82.26	81.61
13	93.45	93.45	93.45	93.45	93.45	93.45	93.45

資料來源：大甲溪治理規劃檢討（天輪壩下游至河口河段）

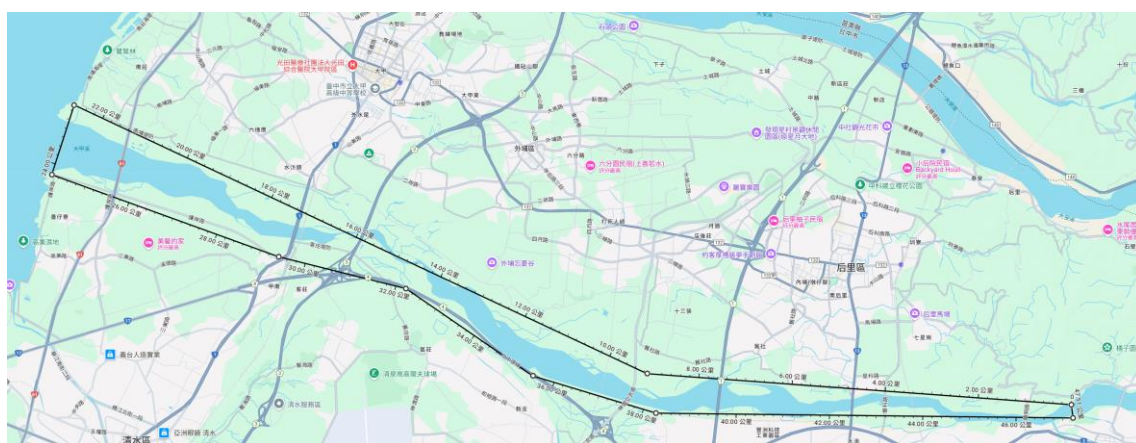


資料來源:經濟部水利署水文資訊網整合服務系統

圖 4.8 台 1 線大甲溪橋水位監測站資料查詢

3. 河道地形

地形分別採用內政部「112 年及 113 年水利數值地形資料測製工作採購案（第 1 作業區）」^[27] 1m x 1m 數值水理地形(HyDEM)(基於「108 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作案」dem 底圖再製)^[23] 為本計畫採用之地形資料。模擬區域之位置圖(石岡壩至河口)及數值水理地形圖(HyDEM)，如圖 4.9 及圖 4.10 所示。



底圖來源:Google Map

圖 4.9 本計畫模擬區域位置圖

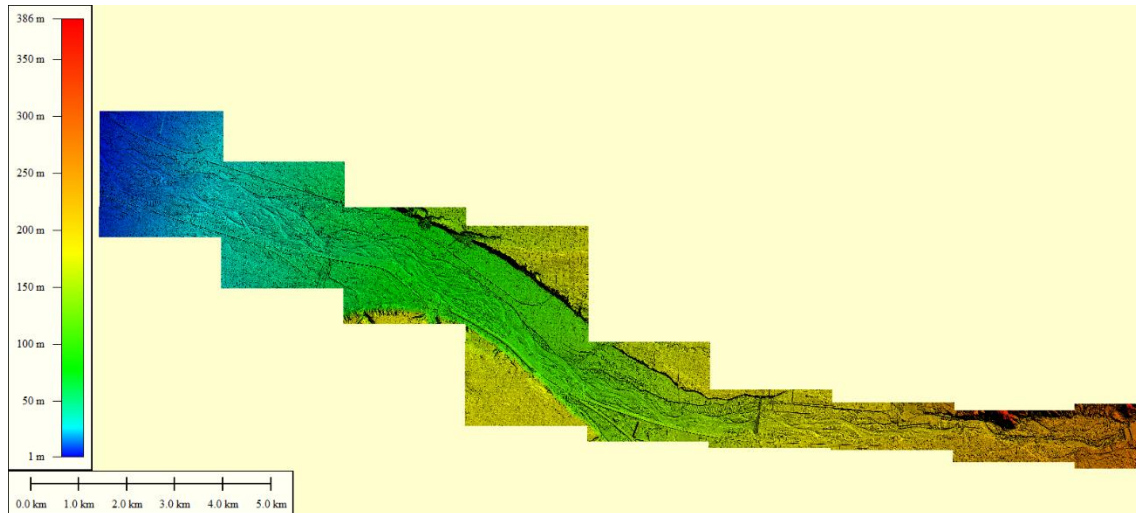


圖 4.10 本計畫模擬區域數值水理地形圖(HyDEM)

4.5 參數設定

包含水理演算參數、泥砂參數及邊界條件 3 項，分述如下：

1. 水理參數設定(Flow Parameters)

CCHE2D 模式的起始條件包含底床高程、水位，以及曼寧 n 值(河床糙度, Bed Roughness)等。底床高程水理參數之設定包含計算時間、記錄時間、時間間隔、紊流模式，以及流體特性等如表 4-2 所示。

一般而言，水理演算參數的曼寧 n 值會直接反應水流阻力；因糙度(n 值)越大，河床阻力越大，流速減低，而水位抬升。因此，在模式檢定中，可調整河床糙度，使得模擬水位能夠趨近合理的水位值。

過去大甲溪設定河床糙度的相關計畫，如「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究」^[13]河床糙度率定驗證結果，曼寧 n 值分佈在 0.03~0.045 之間，而「跨河橋梁保護工法之研究」^[14]以曼寧 n 值為 0.04，做為檢定參考，並考量河床大多由礫石、砂土等粗顆粒所組成，因此再酌以增加曼寧 n 值為 0.05 進行檢定測試，爰此本計畫參考上述參數資料，以曼寧 n 值為 0.03、0.04、0.05 共 3 組參數值進行檢定。

表 4-2 水理演算參數設定

項目	設定值	說明
Simulation times(sec)	模擬時間，依據流量歷線時間設定	如採用 110 年盧碧颱風事件石岡壩放流量歷線。
Time steps (sec)	10	演算時間間距 $\Delta t=10(\text{sec})$
History file	360	每演算 360 個步驟(step)(1 小時)，自動記錄模擬結果。 $360(\text{step}) \times 10(\text{sec/step}) \times 3600(\text{sec}) = 1(\text{hr})$ 。
Bed Roughness	檢定 0.03、0.04 與 0.05	河床糙度會直接反應水流阻力；糙度越高，河床阻力越大，流速減低，而水位抬升。
Turbulence Model	Parabolic Eddy Viscosity Model	拋物線渦流粘滯係數公式。
Turbulent viscosity	1.0	設定 5 就代表由前項 Parabolic Eddy Viscosity Model 算出來結果，再乘上 5 倍，放大紊流效應。通常可設為 1。
Wall slipness coefficient	0.7	建議值
Depth to consider dry(m)	0.15	此為乾點與濕點的水深分界，當節點水深高於 0.15(m)，則以濕點的方式進行計算。
Time Iteration Method	Method 1	Method 1、Method 2、Method 3，分別代表低、中、高的疊代數目。當第二項的 Δt 越大，則此值也隨之加大
重力加速度 (m/sec ²)	9.8	建議值
Von Karman constant	0.41	建議值
運動黏滯係數 (m ² /sec)	0.000001	建議值

2. 泥砂參數

泥砂參數如表 4-3 所示，部分參數亦依據現有資料或考慮的模擬現象加以設定，如輸砂模式採用同時考量推移質與懸浮質輸砂的模組、泥砂比重固定 2.65、最大淤積與沖刷限制在±90 公尺等。

動床模擬過程中，當河床受到沖刷或淤積所造成的地形改變，會立即反應在水位的模擬值；因此，在模式檢定中，可調整與河床變化有關的參數，使得模擬水位能夠趨近合理的水位值。依據「CCHE2D Sediment Transport Model」(Weiming Wu, 2001)推移質與懸浮質對於河床的改變可表示為：

$$(1-p') \frac{\partial z_{bk}}{\partial t} = \alpha \omega_{sk} (C_k - C_{*k}) + \frac{1}{L_t} (q_{bk} - q_{b*k})$$

式中； p' 為孔隙率； $\partial z_{bk} / \partial t$ 為底床隨時間的改變量； ω_{sk} 為泥砂沉降速度； C_k 為深度平均的懸移質濃度； C_{*k} 為深度平均的懸移質平衡濃度； q_{bk} 為推移質的輸砂率； q_{b*k} 為推移質的平衡輸砂率； α 為 Adaptation Factor for suspended load； L_t 為 Adaptation Length of bed-material load 與模式中給定的 L_b 為 Adaptation Length of bed load，兩者在實質上有些差異。

上式可看出對於懸移質濃度變化造成底床改變，係由 α 值所調控；而推移質輸砂率變化造成底床改變，係由 L_t 值(或 L_b 值)所調控。此外，針對 α 值與 L_b 值，過去相關模擬已得到應用的經驗。依據「CCHE2D Sediment Transport Model」(Weiming Wu, 2001)， L_b 值應為泥砂運移、床型與渠道幾何型態的函數；若床型主要為砂丘(sand dune)的型態，則 L_b 值採用砂丘的長度，約為 7.3 倍的水深。若床型主要為交互沙洲(alternate bar)的型態， L_b 值採用交互沙洲的長度，大約是 6.3 倍的渠道寬度。對於 α 值，過去通過理論公式計算， α 值通常會大於 1；然而，實際應用的 α 值多小於 1。例如 Han et al.(1980)與 Wu and Li(1992)建議，沖刷強烈 α 值可採用 1，淤積強烈 α 值可採用 0.25，弱的沖刷與淤積可採用 0.5。

表 4-3 泥砂相關參數設定值

項目	設定值	說明
Number of Bed Layers	3	建議值
Minimum Mixing Layer Thickness	0.2	建議值
輸砂模式 (Transport Model)	Total load as Bed load plus Suspended Model	同時考量推移質與懸浮質輸砂的模式
Sediment Simulation Mode	Fast bed change with unsteady flow	變量流情況下的輸砂計算
Adaptation Length for Bedload (Lb)	1000	此值與推移質輸砂量變化，所造成的底床變化有關
Adaptation Factor for suspended load (α)	1.0	沖刷強烈 α 值可採用 1.0
Schmidt number	1.0	與泥砂的紊流擴散項有關
泥砂比重	2.65	建議值
Time steps to adjust flow	1	
Erosion/Deposition limit	0.01	為避免泥砂沖淤過於劇烈的設定值
Erodibility	YES	底床沖刷
最大沖刷厚度	-90(m)	
最大淤積厚度	+90(m)	

3. 邊界條件

邊界條件方面，上游採用石岡壩於各重要颱風事件實測放流量。而下游因大甲溪河口附近並無設置潮位站，無法利用潮位記錄做為下游邊界條件，由相關文獻如「河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究」^[15]可知大甲溪河口河床最低點高程若在 0 公尺以上，即河道水位

受潮位影響程度可加以忽略，而查 112 年大斷面資料可發現^[28]，大甲溪河口河床最低點高程在 0 公尺以上，本計畫水理分析下游水位邊界條件採自由流出(Open Downstream Boundary)狀態。

4.6 檢定工作(108 年 0611 豪雨)

以 108 年 0611 豪雨做為模式檢定案例，檢定前述 3 組參數，找出符合實際水位變化趨勢者。如圖 4.11 所示，108 年 0611 豪雨石岡壩放流量大多集中在 600~1,500 cms 之間，將各組參數的模擬水位與實測水位比對，表示於圖 4.12。以下說明相關特性：

1. 圖 4.11 為石岡壩實際放流量歷線，圖 4.12 黑線為台 1 線大甲溪橋的實測水位歷線。整體而言，實測水位會隨著放流量起伏變化。
2. 各組參數的模擬水位有下列特性：
 - (1)不同 n 值下，實測水位共有 3 次壅高現象，模擬水位對於放流量增加而使水位上升的特性皆有掌握。
 - (2)不同 n 值下，模擬水位與實測水位趨勢相似，但模擬值的部分則有所差異，如表 4-2 所述，河床糙度(n 值)會直接反應水流阻力；糙度越高，河床阻力越大，流速減低，而水位抬升，圖 4.12 則反映出此一物理特性， $n=0.03$ 時(橘線)整體模擬水位偏低； $n=0.05$ 時(藍線)模擬水位在第 2 峰值較為吻合外，其餘皆有偏高之趨勢； $n=0.04$ 時(紅線)第 2 峰值模擬水位未較 $n=0.05$ 佳外，其整體之吻合度則有不錯之表現，故本計畫將採 $n=0.04$ 做為後續驗證分析之選用參數。

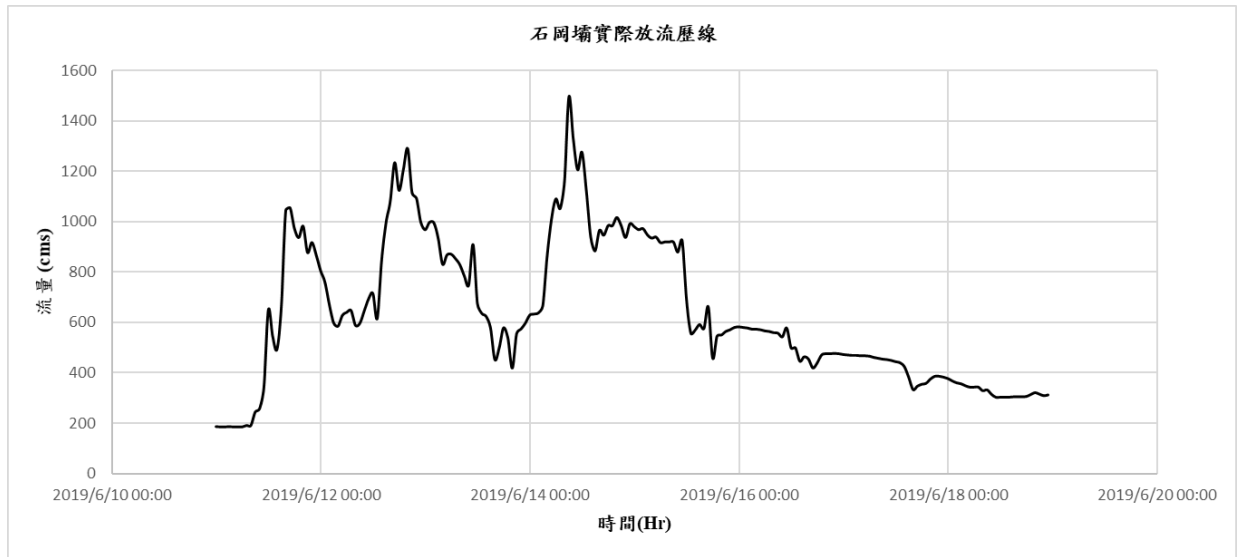


圖 4.11 108 年 0611 豪雨石岡壩放流歷線

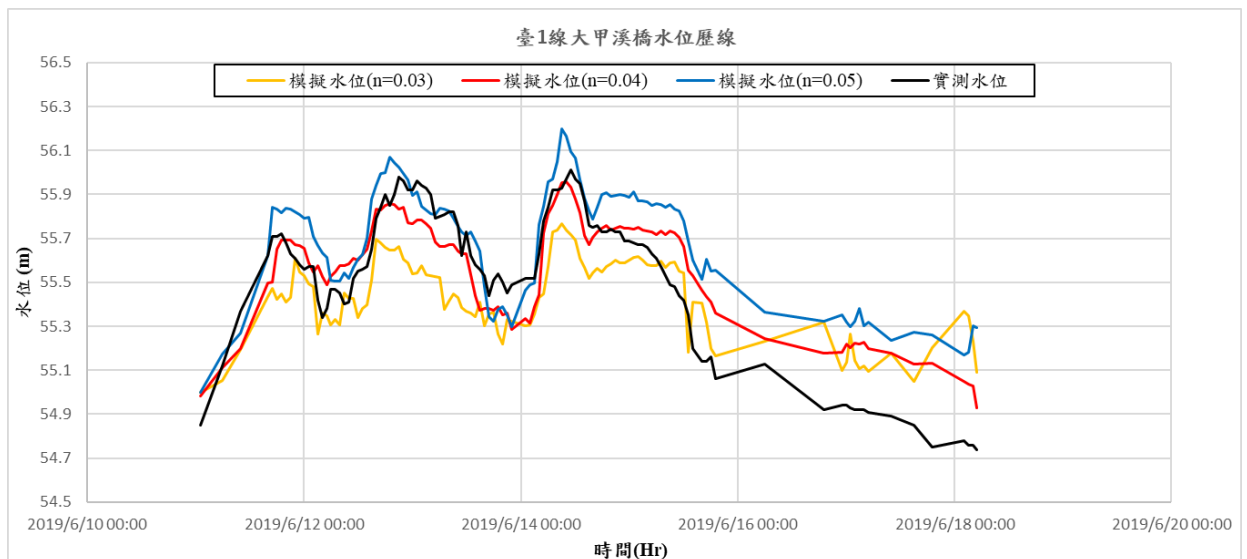


圖 4.12 不同 n 值下模擬水位與實測水位比對

4.7 驗證結果

以 110 年盧碧颱風及 113 年凱米颱風做為模式驗證案例，以前述所檢定的參數進行設定，模擬水位變化，再以盧碧颱風期間台 1 線大甲溪橋水位站實測水位來進行驗證，來評估本計畫所建置之分析模型之合理性，結果分述如下：

1. 110 年盧碧颱風事件

如圖 4.13 所示，110 年盧碧颱風石岡壩放流量大多集中於 1,000~2,200(cms)之間；110 年 8 月 7 日上午 10 時出現時流量的最大值 2,195(cms)，該流量大約為大甲溪流域公告之 2 年重現期洪水量。圖 4.14 黑點為台 1 線大甲溪橋的實測水位歷線，整體而言，實測水位會隨著流量起伏變化。

圖 4.14 橘線為採用 n 值為 0.04 的水位模擬結果，並與實測水位比對，模擬水位仍符合實際流量與實測水位的起伏變化趨勢。實測水位最大值為 56.15(m)，模擬水位最大值為 56.07(m)，誤差為 0.08(m)。



圖 4.13 110 年盧碧颱風石岡壩實際放流歷線

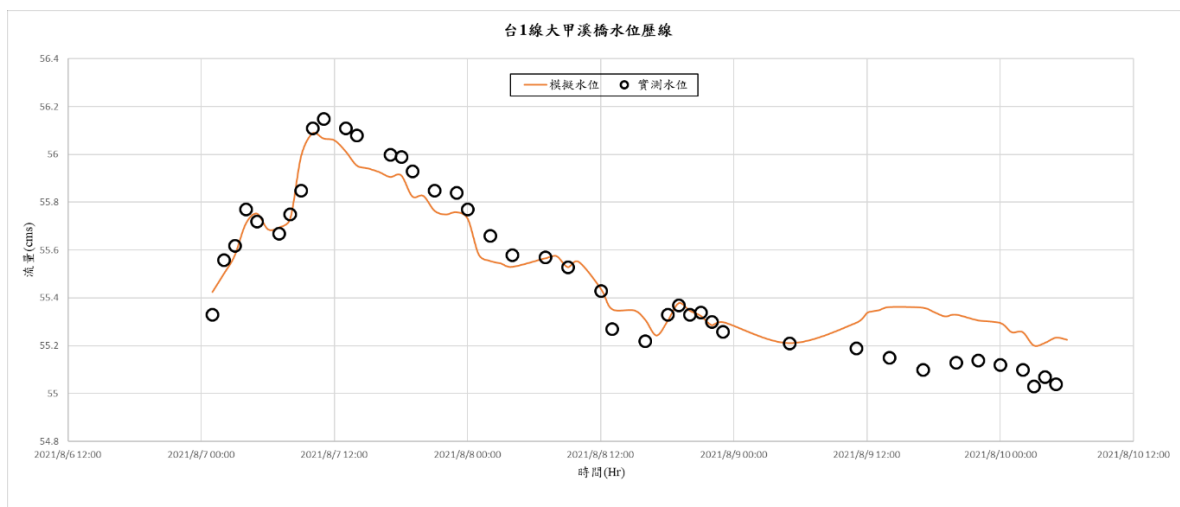


圖 4.14 110 年盧碧颱風下模擬水位與實測水位比對

2. 113 年凱米颱風事件

如圖 4.15 所示，113 年凱米颱風石岡壩放流量大多集中於 1,000~3,900(cms)之間；113 年 7 月 25 日下午 5 時出現時流量的最大值 3,867(cms)，該流量達大甲溪流域公告之 5 年重現期洪水量。圖 4.16 黑點為台 1 線大甲溪橋的實測水位歷線，整體趨勢上實測水位會隨著流量起伏變化。

圖 4.16 橋線為採用 n 值為 0.04 的水位模擬結果，並與實測水位比對，模擬水位與 110 年盧碧颱風事件結果相似，亦符合實際流量與實測水位的起伏變化趨勢。實測水位最大值為 56.57(m)，模擬水位最大值為 56.56(m)，誤差為 0.01(m)。

綜上所述，本計畫二維水理分析模式經 110 年盧碧颱風及 113 年凱米颱風事件，已驗證採用 n 值為 0.04 的模擬結果仍可符合實際水位變化情況，將採用此二維模型進行演算提供後續(114 年)計畫之局部沖刷三維數值模擬時所需之邊界條件及相關參數設定之參考。

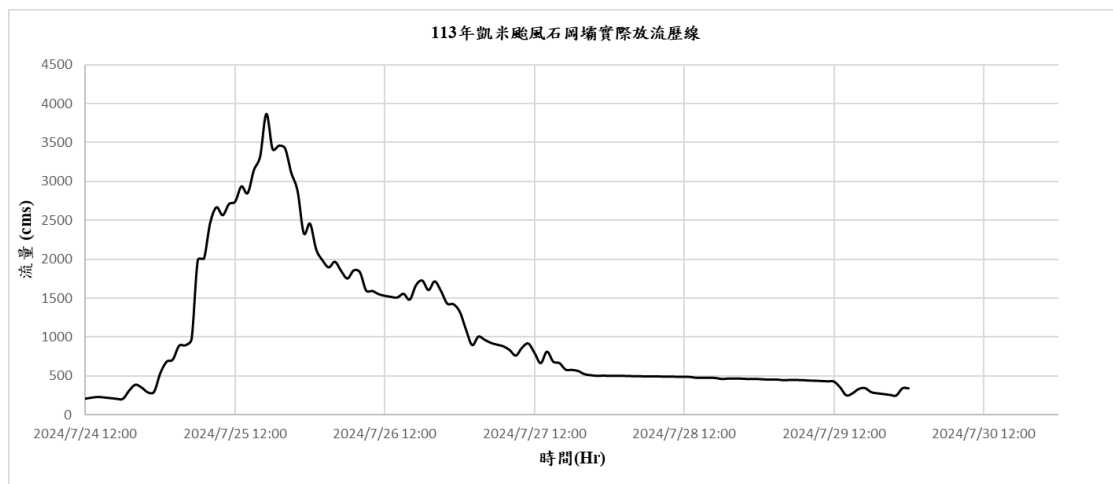


圖 4.15 113 年凱米颱風石岡壩實際放流歷線

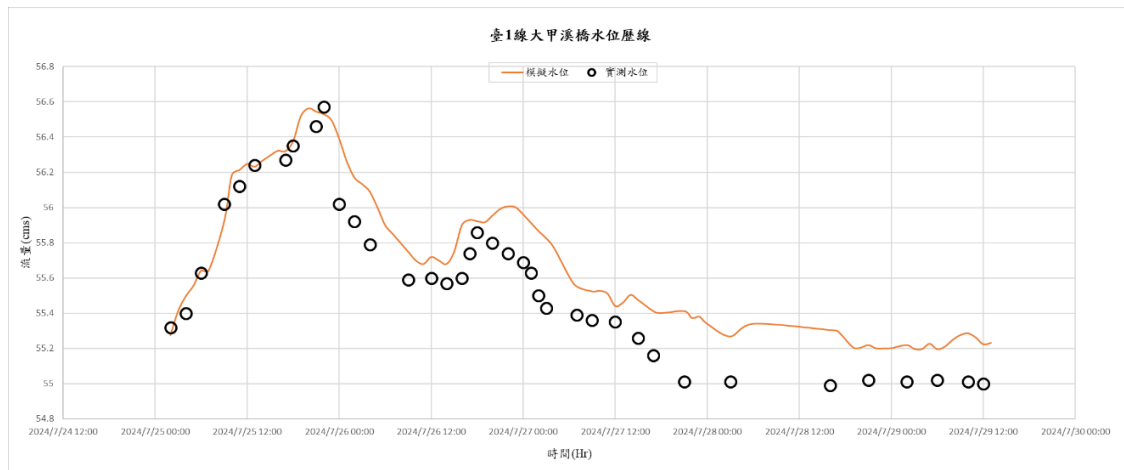


圖 4.16 113 年凱米颱風下模擬水位與實測水位比對

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。

(1)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。

(2)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。

(3)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 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。

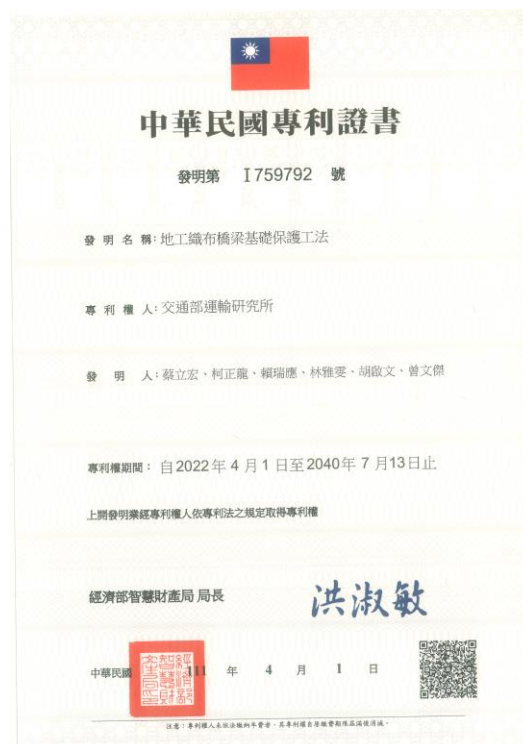


圖 5.1 中華民國發明專利證書(發明第 I759792 號)

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)。

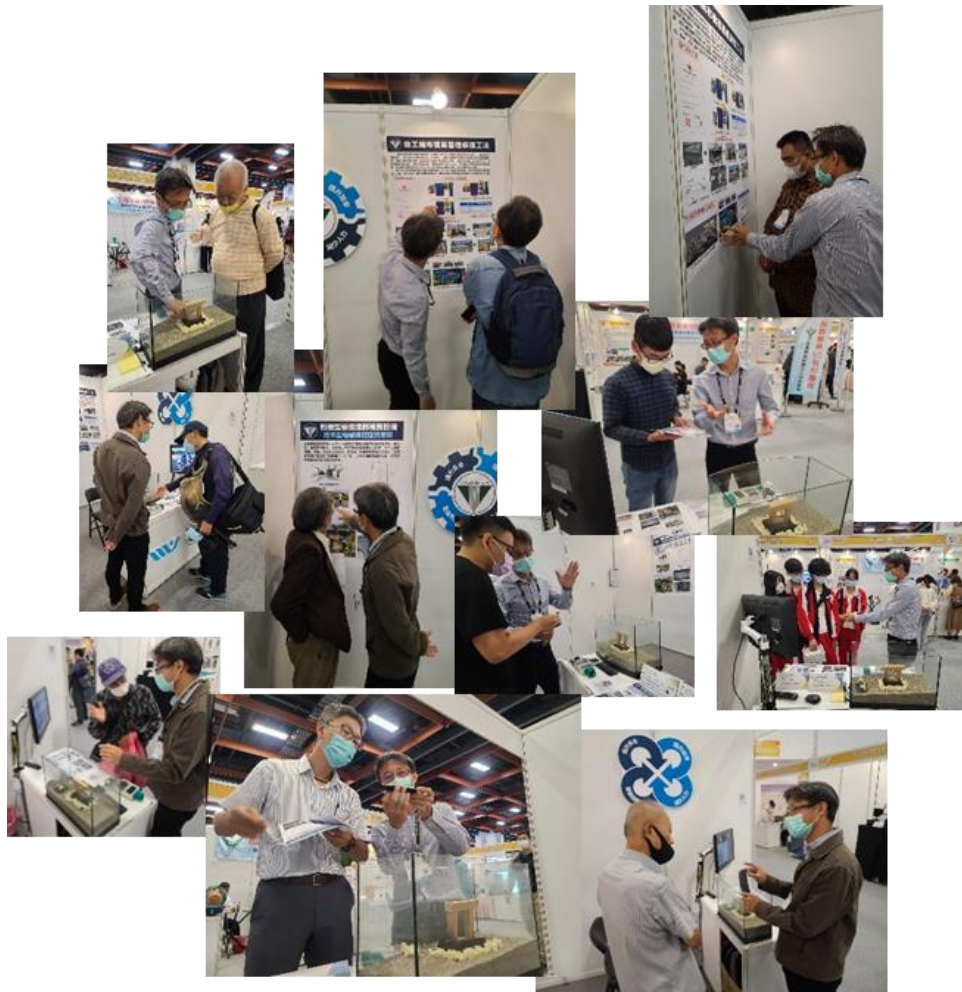


圖 5.2 展覽期間各界參與情形



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 參與交通部創新提案制度審查

為使交通部及所屬各機關(構)員工能參與機關決策及管理制度，發揮創意，研提各項創新或興革意見，進而提升行政效能，增進為民服務品質，爰依據公務人員品德修養及工作績效激勵辦法訂定「交通部創新提案制度實施計畫」，其提案範圍係以近 2 年內業經採行確具

實際執行成效之提案(詳見前述實施計畫第三點)，每 2 年辦理 1 次提案審查，由交通部設提案審查小組，就創新想法參考來源、提案緣起、實施過程、實際執行成效、曾獲頒獎項情形等進行評比，經本所內部初步評比推薦代表，再與交通部其它各所屬機關(構)進行評比，本計畫獲該提案制度 112 年度「甲等獎」，並於 9 月 14 日次部務會報中由部長親自授獎(圖 5.5)。



圖 5.5 交通部長頒發「甲等獎」獎項

5.4 參與 113 年度中華民國道路協會論文獎評選

中華民國道路協會為激勵與道路有關之工程、運輸、管理及機械等學術與技能之研究風氣，特依據該協會評獎委員會組織簡則第七條設置論文獎，接受近 2 年內在其它國內外相關領域已刊載之論文，論文性質需以實務性之研究為主，在交通學理、道路工程建設、運輸經營與管理、機械及車輛製造等各方面具有新發現與實用價值者。

經檢視，本計畫之 112 年度成果投稿於港灣季刊(127 期，113 年 2 月出版，論文題目「鼎型塊織布橋基保護工法三維數值水槽模型建置」)之論文符合協會評選規定，由本所推薦報名參與評選，經委員會審議核定，榮獲該協會 113 年度「論文獎」獎項，於 113 年 11 月 29 日受獎表揚(圖 5.6)，並藉以肯定本計畫之成果。

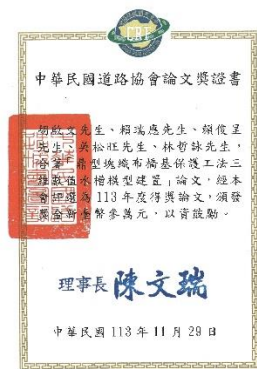


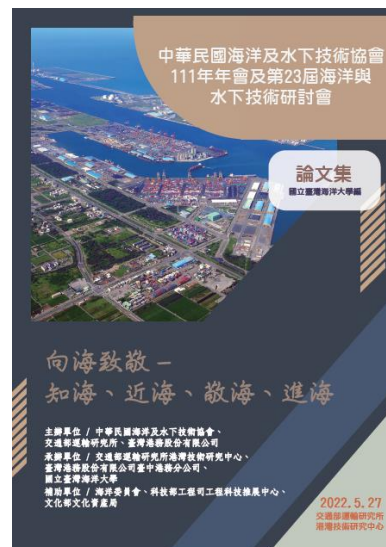
圖 5.6 獲中華民國道路協會 113 年「論文獎」獎項

5.5 階段性成果發表與推廣

1. 參與研討會

(1) 111 年「第 23 屆海洋與水下技術研討會」

本計畫階段性成果投稿於 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 5.7、圖 5.8)，發表論文名稱「國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗」，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

賴瑞德¹ 胡啟文² 鄭登輝³ 饒書安⁴ 吳松旺⁵ 林哲詠⁶

摘要

國道三號大甲溪橋，近年在颱洪作用下，河道深槽區之橋墩基礎結構有冲刷之情況發生，造成高速公路大甲工務段採用織布保護工法來保護橋墩基礎，雖有成效，然於河水長期冲刷下，應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應型塊加以補植，以確保橋墩基礎的安全。

因此，本研究針對本所過去研擬之地工織布結合應型塊保護工法，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與保護成效，提供相關機關管理單位未來施作之應用。

關鍵字：地工織布、應型塊、橋墩保護工、橋梁冲刷

論文主題與範疇：水下技術、水下技術應用

計畫編號：

¹ 賴瑞德 交通部運輸研究所海洋技術研究中心副研究員兼科長

² 胡啟文 交通部運輸研究所海洋技術研究中心研究員

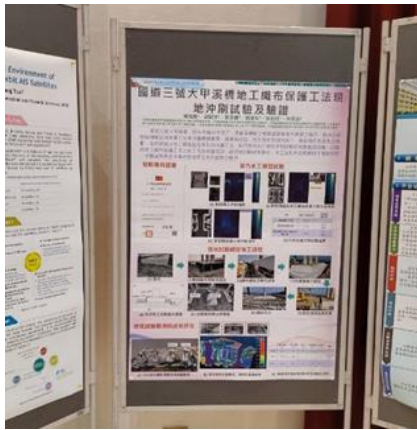
³ 鄭登輝 交通部運輸研究所海洋技術研究中心副研究員

⁴ 饒書安 交通部運輸研究所中區專職工程師分局大甲工務段科長

⁵ 吳松旺 交通部運輸研究所中區專職工程師分局大甲工務段副科長

⁶ 林哲詠 交通部運輸研究所中區專職工程師分局大甲工務段專工、技師

圖 5.7 投稿論文短摘要(111 年)



(a) 海報展覽



(b) 簡報研討

圖 5.8 論文發表情形(111 年)

(2) 113 年「第 42 屆測量及空間資訊研討會」

本計畫以 UAV 結合攝影測量技術應用橋基保護之觀測與記錄，相關執行過程、作業方式與成果，投稿於 113 年 8 月 29 日「第 42 屆測量及空間資訊研討會」「測繪新科技與跨域應用」子題中，進行論文口頭報告(圖 5.9、圖 5.10)，論文題目為「以無人載具觀測改良型橋基保護工法成效評估案例」，因本計畫偏設施維護管理範疇，藉此次研討會之機會進行跨領域分享與交流討論。



以無人飛行載具觀測改良型橋基保護工法成效評估案例

顧瑞恩¹、胡啟文²、賴俊呈³、吳鈞旺⁴、林智謙⁵

¹交通部運輸研究所運輸技術研究中心 研究員兼科長

²交通部運輸研究所運輸技術研究中心 副研究員, E-mail: nickhu69@mail.ntust.gov.tw

³交通部運輸研究所運輸技術研究中心 助理研究員

⁴交通部高速公路局中區養護工程分隊大甲工務段 段長

⁵交通部高速公路局中區養護工程分隊大甲工務段 幫工班

摘要

臺灣河川多屬坡陡流急，洪水期間，橋墩或橋墩基礎(以下簡稱橋基)附近河床受到劇烈的冲刷，常導致橋梁崩塌斷裂，甚而造成交通中斷。而當發生橋基裸露時，於短期處理措施上，橋管單位常以疊放拋石型護塊來提升抗沖能力，然在河水不斷冲刷作用下，壩型護塊仍有流失破壞之情形發生。有鑑於此，交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)將傳統僅以剛性壩型護塊疊放之方式進行改善，透過室內水工模型試驗研發施工織布結合壩型護塊之改良型橋基保護工法(以下簡稱改良工法)，期可減少壩型護塊傾倒或流失現象，使橋基保護工法更趨完善，以減少維修頻率及經費之效益。

為進一步了解改良工法實際保護效果，本計畫以國道3號大甲溪橋為試驗場址，規劃進行現地冲刷試驗。因試驗範圍地形崎嶇、河流湍急，不利以人力方式進行量測作業，而採無人飛行載具(UAV)，以其可快速拍攝大範圍影像之優勢，結合攝影測量技術，來取得本計畫試驗場址數值地表模型(DSM)。利用多時期光學影像及數值地表模型進行疊合分析，來量化評估改良工法實際之保護成效。本計畫藉由UAV結合攝影測量之觀測方式，可大幅提升現地試驗觀測效能與品質，並藉以驗證改良工法能有效減緩冲刷並使壩型護塊穩定，將持續進行觀測及推廣，以協助橋管單位更有效率保護橋基，提升通行安全，降低災害風險。

此外，本計畫以無人飛行載具觀測之規劃與評估方式，亦可做為橋管單位記錄橋基保護工法及周圍地形變化之案例參考。

關鍵詞：UAV、攝影測量、橋基保護工法、施工織布、壩型護塊、冲刷

圖 5.9 投稿論文短摘要(113 年)

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	

4. 交通部部務會議

本計畫於 112 年 9 月 14 日交通部第 1885 次部務會報中提案(圖 5.12)，報告說明本計畫工法之發想、試驗及試辦成效，並推廣予本部部屬機關(構)參用。

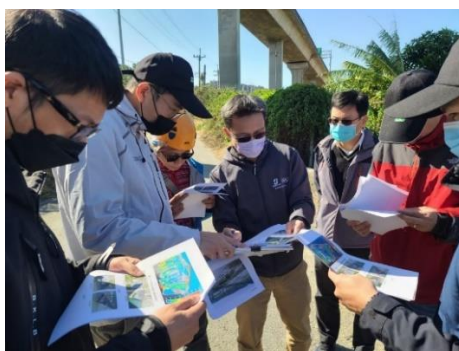


圖 5.12 交通部部務會議提案報告

5.6 實務應用情形

1. 協助辦理國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 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 5.13)，本所於會後依現勘討論結果初擬相關鋪設規劃、參考預算及斷面標準圖說資料，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 5.13 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 5.14)，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(圖 5.15)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。



圖 5.14 第 1 次施工前協調會討論情形



圖 5.15 111 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 5.16)，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 5.17)，以能於汛期前達成完工之目標。



圖 5.16 第 2 次施工前協調會討論情形

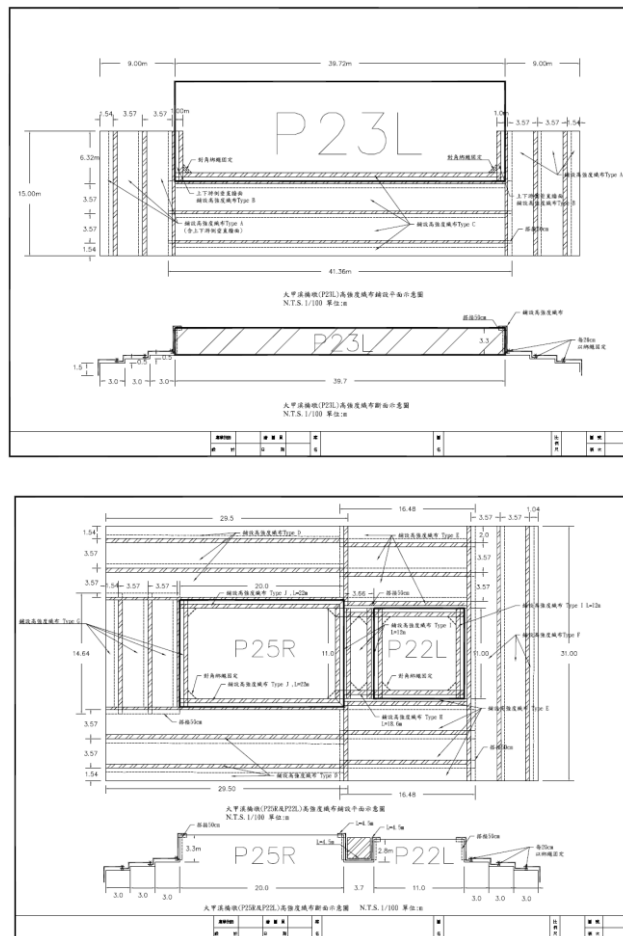


圖 5.17 鼎型塊織布橋基保護工法細部施工斷面圖

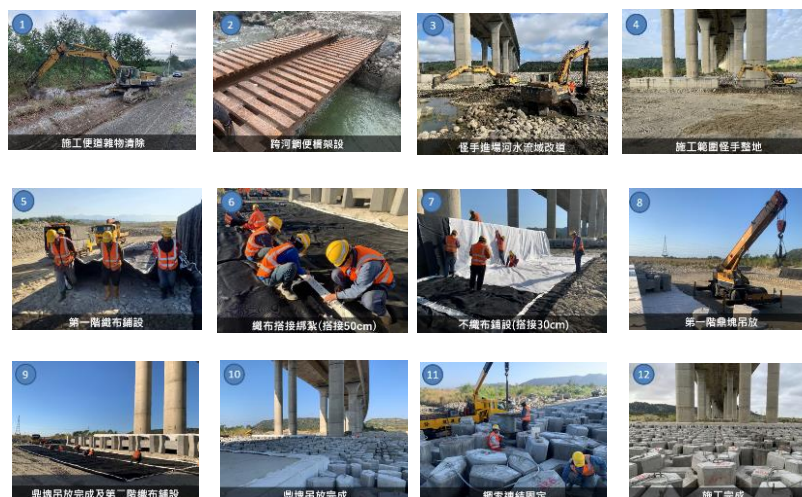
然因 4 月份的降雨造成大甲溪主河道水量較大，施工便道不易施作，難以達成於汛期完成施工之目標，因此大甲段將施工作業調整至今年汛期後執行。

111 年 12 月 2 日正式開工，12 月 30 日完工，施工範圍如圖 5.18、施工過程如圖 5.19 所示，本次保護工程完工後，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。



資料來源:大甲段提供

圖 5.18 國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 橋基保護工作施工範圍



資料來源:大甲段提供

圖 5.19 國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 橋基保護工作施工過程

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各工務段 111 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 5.20)，以及由大甲段提報參與高速公路局 112 年度知識競賽，獲「知識品質獎」第 2 名(圖 5.21)。

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。



資料來源:大甲段提供

圖 5.20 大甲段 111 年度養護作業考評(橋梁項)積極創新作為項目



資料來源:大甲段提供

圖 5.21 高公局 112 年度知識競賽獲獎情形

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 年完成國道三號大甲溪橋 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，持續於 110~113 年年進行現地保護成效的觀測與評估，並於 112 年已透過室內水工模型試驗探討三維數值水理模式於模擬鼎型塊+織布之設置及可模擬程度，113 年已完成大甲溪流域石岡壩至河口段之二維水理模型建置，前述完成之成果，分別可提供後續(114 年)三維數值模式下鼎型塊+織布模型之設置方式，以及局部沖刷模擬分析時之邊界條件，再以大甲溪流域所公告之不同重現期(2、5、10 年…)(表 3-1)流量模擬分析，來評估於不同洪水量下本工法之保護成效，相關成果可提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路局、高速公路局、臺灣鐵路股份有限公司以及縣市政府等機關(構)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且具可施工性，而經過 109 年及 111 年底實際施作之經驗，因鋪設織布層所需增加之成本，在工期約增加 12~17%左右，經費約增加 10~12%左右。
2. 本(113)年度凱米颱風帶來豐沛之降雨量，使石岡壩放流量達本計畫自 110 年起觀測以來之最(5 年重現期洪水量)，而進一步驗證本工法之

耐洪性及更新保護成效數據，在試驗組(有鋪設織布)之損壞比約 4%，對照組(未鋪設織布)之損壞比約 38%，顯示本工法可提升保護工之耐洪性。

3. 整體而言，本工法以 2 期(109 年 P24L、111 年 P22L~P23L)所執行之工程總經費約為 2,180 萬元，其相對於傳統鼎型塊保護工法，所衍生增加之織布鋪設費用約為 242 萬元，但可減少鼎型塊流失或傾斜之現象，與未鋪設織布對照組相比可減少維修費用 813 萬元/次以上，益本比(BCR)約達 3.36。以目前 110~113 年 4 年期觀測之結果，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，減少維修頻率及維護經費之目的。
4. 本年度計畫已完成大甲溪流域石岡壩至河口段之二維水理模型建置，將可提供三維數值局部沖刷模擬分析時之邊界條件，再以不同重現期流量模擬分析，評估本工法之保護成效，配合現場試驗觀測結果，提供多元分析驗證之成果。
5. 本計畫已將階段性成果透過專利申請、參與各項評獎活動、部務會報及論文發表研討，進行推廣交流並落實應用於高公局年度橋梁維護業務工作，已獲得經濟部智慧財產局發明專利、「2022 台灣創新技術博覽會」發明競賽「銀牌獎」、交通部 112 年度創新提案制度「甲等獎」、高速公路局 112 年度知識競賽「知識品質獎」第 2 名，以及 113 年中華民國道路協會「論文獎」。

6.2 建議

1. 大甲溪流域於 97 年辛樂克颱風(石岡壩放流量 4,225cms，5 年重現期)造成后豐大橋斷橋事件；98 年莫拉克颱風(石岡壩放流量 5,410cms，10 年重現期)，而本計畫自 110 年觀測以來，今(113)年度凱米颱風為最大觀測事件(石岡壩放流量 3,867cms，5 年重現期)，其與 98 年莫拉克颱風事件仍有差距，後續有待超大豪雨事件(10 年重現期)及擴增試驗區來進一步評估及驗證。

2. 本計畫工法雖經現場試驗結果驗證在 2 年及 5 年重現期洪水量下，能提升保護能力，但對於超大豪雨事件(10 年重現期以上)之耐洪性為何?尚有賴天候狀況來驗證，屬人為不可控之因素，故將以先前年度計畫之數值分析經驗及成果為基礎，於後續年度應用於現地試驗數值模擬分析，以補在沒有超大豪雨事件發生之情形下，提供另一合理之分析方式來進一步評估耐洪性。

6.3 研究成果效益

1. 藉由現場試驗觀測結果，完成 110~113 年度地工織布結合鼎型塊保護工法之成效評估。
2. 已完成大甲溪流域石岡壩至河口段之二維水理模型建置，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 號大甲溪河川橋 P22L、P23L 及 P24L 橋墩基礎保護工作及提供橋管政策上之積極創新管理作為。。
2. 本計畫所進行的室內水工模型試驗方案、現地橋址保護工鋪設案例及數值模擬案例，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 (2001).
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 (2004).
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 (2004).
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.潘坤亮，「地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。
- 11.黃景川，「模擬濁流中地工織物損傷之室內試驗」，成大研發快訊第六卷第八期，2008。
- 12.經濟部水利署水利規劃試驗所，「大甲溪河段輸砂特性試驗研究總報告」，2010。
- 13.經濟部水利署水利規劃試驗所，「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究總報告」，2011。
- 14.邱永芳、謝明志、賴瑞應、林雅雯、廖清標、陳昶憲、林秉賢、張慶民、李仲強、黃進國、蔡明邑、羅冠顯，「跨河橋梁保護工法之研究」，2011。
- 15.邱永芳、謝明志、林雅雯、游保杉、呂珍謀、楊道昌、詹勳全、陳薇伊、歐芳郡、周容辰、陳潔、黃進國、羅冠顯、陳家隆，「河道水位與橋墩冲刷推估模式之建立研究」，2011。
- 16.交通部高速公路局中區養護工程分局，「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」，2013。
- 17.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。
- 18.周南山，「地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。
- 19.經濟部水利署水利規劃試驗所，「大甲溪流域整體治理綱要計畫(101-104 年)執行檢討及改善策略研擬」，2016。
- 20.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。
- 21.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。
- 22.賴瑞應、胡啟文、曾文傑，「地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。
- 23.內政部國土測繪中心，「108 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作案」109 年度工作總報告，2020。
- 24.賴瑞應、黃宇謙、莊凱迪、林佳欣，「地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。
- 25.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。
- 26.蔡立宏、賴瑞應、胡啟文、鄭登鍵、黃宇謙、黃昱翔，「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，2023。
- 27.內政部國土測繪中心，「112 年及 113 年水利數值地形資料測製工作（第 1 作業區）」112 年度工作總報告，2023。
- 28.經濟部水利署第三河川分署，「112 年度大甲溪大斷面測量計畫」，2023。
- 29.蔡立宏、胡啟文、鄭登鍵、賴俊呈、蔡雅芳，「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)- 橋基沖刷數值模型建置與分析」，交通部運輸研究所，2024。

附錄一

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 113 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：112 年 4 月 23 日(星期二) 下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：黃宇謙

伍、出單位及人員：如簽到表

陸、與會委員意見：

一、王委員錦榮

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 橋基保護是維持橋梁結構安全最重要的一環，本研究利用地工織布鋪設與鼎型塊結合，既可保護橋基，也可減少鼎型塊之流失，效益顯著，應可推廣應用，建議建立長期觀測，進一步驗證使用性及探討後續如何再精進。
2. 本工法是否可運用於港區橋梁？建議後續可評估。

(二) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究，對港灣結構物之防蝕工法具有指導性之指標，可提供公共工程金屬結構物防蝕設計、延長使用壽齡及降低維護成本之應用，故本案有其推動的必要性及可行性。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 港灣構造物巡檢作業是港口管理機構日常工作之一，如何利用新興科技來進行實有必要性。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 港區土地碼頭大部分均由填海造陸而成，故地震時土壤液化有其風險性，例如：0403 花蓮地震，花蓮港確實產生土

壤液化，並對碼頭造成破壞，爰此，針對港區地震液化風險的評估研究，確有必要性。

2. 建議本研究可長期進行，並建立臺灣各商港液化風險模式及因應對策，未來以建置碼頭、防波堤高液化風險資料庫為最終目標。

二、何委員鴻文

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 本案研究成果對於橋梁維管單位未來辦理橋基保護工作有助益，後續建議能依國 3 大甲溪橋試辦成效提出適用河段、織布規格、鋪設及固定綁紮方式等指南。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 本案研究成果有助於檢測空間受限之橋梁檢測工作，未來申請專利建議需對目前已實際使用之檢測設備差異性及未來專利使用原則慎予評估。
2. 本工法是否可運用於港區橋梁？建議後續可評估。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 運用透地雷達於道路養護巡查並應用 AI 辨識將為未來趨勢，本案擬整合常用廠牌之資料前處理問題，將對後續 AI 辨識影像資料庫建置有助益。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 臺灣地區颱風、地震、豪雨頻繁，UAV 應用於邊坡防災之研議建議除公路主管單位外，亦可結合其他單位，例如：農業部農村發展及水土保持署、林業及自然保育署等。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 研究成果建議可納入交通部相關規範。

三、吳委員松旺

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 大甲溪近年較無劇烈沖刷，相關驗證成果仍需視未來降雨規模持續進行追蹤。

2. 本年度公路管理單位仍將繼續進行橋墩鼎塊保護，後續可配合研究討論相關現地鋪設，以達理論及實務合作。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 建議可配合定期橋檢作業，持續研討合適之工具與方式，例如：鋼箱梁內部檢測。

(三) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 公路管理單位使用 UAV 多是針對路權內邊坡，針對單一場址路權外邊坡非屬公路單位管養，然若需整體分析建議可一併納入資料蒐集。

四、林委員震華

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 橋梁監測資料，例如：水位、流速等，建議回饋數值模擬進行驗證，另可考量不同環境情境之模擬。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 建議蒐集開放式橋梁及封閉式橋梁之比例，藉以思考後續工具的研發或如何搭配其他檢測工具。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 建議可調查各式相關軟體的通用性，並取得不同單位的透地雷達使用資料，以增加資料量和 AI 學習之相容性。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 建議可針對有監測儀器之邊坡進行探討，以和 UAV 影像辨識結果進行比較及相互驗證。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 建議納入在該環境中公共設施材料進行比對，探討其腐蝕速率變化以及如何回饋至防蝕和延壽，降低維護成本。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤

設施巡查檢測作業

1. 建議建立防波堤透地雷達資料庫，並比對震後或其他災害發生時之變化。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 建議配合鑽探報告及透地雷達檢測資料，並可於地震前後及地盤改良前後等進行比對。

五、張委員欽森

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 本研究計畫共分 111~114 四年執行，之前尚有 107~110 年的相關研究，運技中心同仁前前後後耗費八年時間進行本項研發工作，其中包括水工模型試驗、現場實作測試、數值模擬等作業，值得肯定。也希望本項研究最後能有良好成效，並實際推廣到相關政府單位來引用。
2. 有關採用鼎型塊作為橋基保護工雖為一般橋樑河川慣用型式，惟因後續機關執行時，依採購法規定需有同等品之規定，以避免有綁標之嫌，因此，建議研究成果分析盡量可以較通則參數訂定此工法之材料型式，以利後續機關執行。
3. 相關文獻及資料收集僅提到河道地形、歷年沖刷變化及流速等資料，建議應再增加相關河川流量、輸沙量及水位等水文資料，並進行必要之極值統計分析，以利試驗結果可對應後續設計所需採用之回歸期條件。
4. 運技中心言往華光推廣本研究成果時，曾提到本保護工法適用於卵礫石層，對砂質地地形較不適用，在建置數值模式時對卵礫石層之模擬及試驗地形之重現合理性應是模式較為困難之處，也將攸關模式未來推測之成果，希望中心同仁多多費心思考相關議題，必要時可拜往業界或學術界，共同討論研究。
5. 建議本計畫可納入相關國內外經驗公式分析結果比較，如

中興大學林呈教授對此領域有許多研究成果，除可進一步驗證國內適用之經驗公式之可行性外，另亦可作為該工法量化評估成效之參考。

6. 地工織物之強度訂定，不織布與織布之結合方式(織布防紫外線功能之確保)，消波塊類型及其排列方式等均將影響橋墩基礎之保護效果，例如：三腳鼎塊型錄中橋墩保護方式、Shore Protection Manual 中對於垂直樁(Vertical Piles)遭受波浪或水流沖刷之保護方式等，宜再研究。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 感謝蔡主任率領研究團隊到華光來分享本項研發成果，會中雙方進行相關技術及意見交流，希望對雙方都能有所助益。近期華光將爭取公路局橋樑檢測及耐震評估工作，以及鐵道局高架橋樑檢測業務，若能順利取得標案，將會適時與運技中心協商，應用此項研究成果在實際檢測工作之可行性。
2. 前次推廣會議中，華光同仁曾建議鏡頭影像納入尺寸之可行性，以便在檢測時可即時判斷構件之劣化情形，及是否需再進一步仔細檢測之必要性。
3. 在簡報中，辦理方式之推廣活動提到「評估本橋檢工具後續精進方向，或研發新型橋檢工具之可行性」，依以往工作經驗，港埠棧橋碼頭面板底部及港外碼頭連絡棧橋底部之檢測，各有其檢測之難處與限制，例如：棧橋碼頭面板底部或空間狹小，易受潮汐漲退影響，或碼頭縱深較深等；港外碼頭棧橋底部以往係以搭船並配合施工架方式進行檢測，需克服潮汐及風浪之影響，檢測作業都十分不方便，除耗時外，成果亦不易掌握。建議可思考納入後續研究之方向。
4. 計畫名稱為「公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣」，但文獻回顧中為何係以蒐集鐵路橋梁的相關資料為標的？
5. 水管橋之檢測作業，沒有行車動線，如何考量應用於此類

橋檢工作？

6. 申請專利之目的為何？可能會影響未來研發成果之推廣與使用。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 目前運用透地雷達檢測辨識地下管線及孔洞等的位置正確率僅 60%，且與雷達波長有關，探測深度約 2~5 米，因此，如何蒐集及整理成正確的訓練樣本，提供後續人工智慧進行 AI 辨識，應是關鍵課題。
2. 透地雷達影像如若受到干擾訊號，都需要利用處理軟體進行消除，增益等方式處理，各廠牌透地雷達的分析應用軟體，可能有所差異，透過與業界或學者等訪談了解，應是正確之方向，可藉此加強後端由 AI 判別之能力。
3. 各道路面層、基層、底層及下方土層等層面及材料的差異所造成的圖像特徵不盡相同，是否能夠針對此差異分類蒐集，以利後續研究之進行。
4. 未來人工智慧辨識 AI 成果，建議應與實地資料比對，建立檢核方法及標準。
5. 不同廠牌之透地雷達，其執行後之成像有何不同？

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 建議能建立 UAV 邊坡空拍標準作業程序(SOP)，例如：解析度設定、飛行任務規劃（例：不同飛行高度條件以滿足相近之地面解析度）、大面積災區之分區任務規劃……等。
2. 針對裸露型落石邊坡之浮落石、張力裂縫之 AI 深度學習之訓練樣本，建議可先找開源資料集，並納入本地訓練樣本，一起進行模型訓練，以提升 AI 辨識之成效。
3. 邊坡防災之危險因子多，且非常複雜，建議可以納入：坡度、坡向、地質條件等其它因素進行整體性之判斷，其中坡度、坡向可利用 UAV 成果進行 DEM 計算取得。
4. 未來建議評估利用 Insar 之資料進行 AI 訓練之可能。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 本研究包含大氣腐蝕及水下腐蝕，自 96 年開始執行大氣腐蝕、104 年加入水下腐蝕，應累積足夠多資料可做比對，目前研究是否都是針對該年度的腐蝕進行分析，建議可加入歷年分析以了解大氣腐蝕環境及水下環境的長年趨勢。
2. 建議補充試驗對應之腐蝕因子，如螺旋金屬暴露試驗主要所得之腐蝕因子為何？
3. 簡報 35 頁有辦理大氣腐蝕環境調查取樣維護作業，但並無辦理水下腐蝕環境調查作業說明。
4. 計畫有說明大氣腐蝕因子，但是否針對水下腐蝕因子進行調查並分析，請補充說明。建議補充目前所研析之腐蝕因子有哪些，是否有針對流速及水溫對水下腐蝕之影響。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 建議可與港務公司討論調整防波堤劣化度判定標準，依據「港灣構造物維護管理手冊」，部分判定標準過於嚴苛，例如：沉箱部分劣化判定標準 2 及 3 是規定 3mm 之裂紋；而沉箱量體大，3mm 之裂紋判定為缺損尺度有失比例原則、差異過大，且沉箱大部分位於水下，透過水下攝影判斷 3mm 之裂紋難度高。另外，上部工亦有類似之規範，1cm 之裂紋可能為施工所致，且並不影響防波堤功能，建議可適度調整。
2. Insar 對於防波堤位移及沉陷具良好檢測功效，並建議未來可以考量採用衛星影像辨識、LiDAR、高密度水深測量等方式，初步判斷防波堤是否損傷、沉陷等等，可降低人工巡查成本及落海之風險。
3. 建議防波堤進行檢修時，將檔案蒐整及歸類可納入應辦工作項目中，以利後續 5 年一次結構安全檢核之正確性及延續性。
4. 相關資料中均未提及新興科技是那些項目，是否有預想項目？

5. 拋石防波堤之破壞通常由堤腳沖刷開始，導致消波塊移動及滑落，然人工巡檢僅能執行水面上之目視，初步判斷是否有異常情形，而水面下部分則需由潛水伕下水檢查，但因水流及波浪影響，潛水伕基於安全不容易接近防波堤檢視，因此，多音速測量應可被納入考量進行水面下結構物是否移動之佐證工具，提供參考。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 研究名稱所指精進定義是否僅為納入新建工程增加之地質資料，建議定義清楚是否僅為新增液化分析資料？
2. 研究項目及內容中，除液化潛能之評估及推估液化後沉陷量外，是否能增加其他可能造成碼頭損害之評估？例如：側潰行為造成之損害等。
3. 港務公司目前針對港區碼頭、後線地坪及倉棧皆有依最新規範進行載重評估，亦包括液化下狀況之評估。本精進模式是否應參考其目前執行方式進行？以利接軌及後續港務公司維管應用。

六、游委員中榮

(一) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 發明專利的標的較廣，通常是物質、物品、方法、材料及其用途的描述，新型專利的標的則僅及於物品之形狀、構造或組合的創作，建議可以發明專利為主。
2. 取得專利後，建議供我國研究機構或企業在我國管轄區域內製造或使用為優先，並鼓勵於橋檢相關專案推廣使用，提升國內橋檢技術發展。
3. 此橋檢設備的適用性為何？一般 I 型梁、T 型梁其 Girder 背面是否可以檢測？

(二) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 提醒應用 AI 需要辨識者對於異徵的知識，並且樣本和基礎圖資需標準化。
2. 透地雷達管線資料或許比較容易取得，就個人所知已經有

數個地方政府例如：臺北市、新北市、桃園市、台中市等，有利用透地雷達調查管線，並與管線資料庫作比對，或許有機會可以取得透地雷達斷面資料提供 AI 訓練，惟縣市政府應無圖像前處理的經驗。

3. 是否可以取得適當的地下孔洞模式以做為 AI 訓練？據悉臺北市新工處似有相關資料，資訊供參。

(三) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 建議明確定義判釋標的，例如：落石坡、緩坡、人工邊坡，因其破壞機制皆有所不同。另外欲判釋的邊坡特徵，例如：坡面植生、坡頂坡面裂縫、浮石、岩石解理、人工邊坡構造設施等，亦需考量。
2. UAV 影像取得並非一定是由機關自行拍攝，有可能是委外辦理，不同 UAV 影像取得則需要標準化，建議可評估設定航線自行飛行取得影像。
3. 建議提出 UAV 影像取樣率、航高、路線、拍攝角度、是否有參考比例(地面控制點)、取樣範圍(公路維管單位的關注範圍)和影像製作方式等建議。

(四) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 據悉港務公司有委託臺灣大學利用 UAV 結合 AI 進行港區設施自動化調查，建議可以蒐集資料參考。
2. 建議納入 InSAR 評估港灣構造物長期監測沉陷之技術。

(五) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 液化潛勢評估方式有好幾種，是否能從數種評估方法中提出在地化、適合高雄港的液化潛勢評估方法供港務公司參考？據悉新版的基礎設計規範有數種液化潛勢分析方法，現行港灣設計規範似乎只有 Seed 法，或許不同的研究成果可以提供給港務公司，提供設計規範修改的參考依據。
2. 本計畫是否有包含液化後地盤沉陷的分析？是 Ishihara & Yoshimine 法或是 Tokimatsu and Seed 法？

3. 通常港灣地質改良作業會於前後各進行鑽探，並確認地質改良的成果，而且地質改良的範圍不一定是全區皆行，有些是在公共區先行辦理，其他等相關單位規劃進駐後(例如：中油)，再依據需求進行地質改良設計並評估液化潛勢，因此所蒐集的資料需注意此類狀況。

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 4 時 30 分

會議簽到表

壹、會議名稱：本所運技中心第一科 113 年度自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：113 年 4 月 23 日(星期二)下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：蔡主任立宏 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

所外委員	簽名
王委員錦榮	王錦榮
何委員鴻文	何鴻文
吳委員松旺	吳松旺
林委員鎮華	林鎮華
張委員欽森	張欽森
游委員中榮	游中榮
本所運輸技術研究中心 柯副主任正龍	柯正龍
第一科	賴瑞豐 許松海 胡哲文 郭登鍵 張道光 曾文偉 黃宇謙
第二科	李俊翔
第三科	林雅雯

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整併成 1 個 pdf 檔，可至「https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge_pdf」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供陳核)

附錄二

第 1 次工作會議紀要

113 年自行研究計畫第 1 次工作會議紀要

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：113 年 6 月 26 日(星期三)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 數值水理分析及文獻蒐集。
2. 數值模型分析流程及檢定與驗證事件選取。
3. 階段性成果應用。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 相關智慧財產權及專利法規、專利申請程序，及專利地圖分析之相關研究文獻彙整。
2. 各構件之研發設計內容盤點，評估專利申請之可行性。
3. 本橋檢工具推廣應用工作執行進度。
4. 推廣活動回饋意見彙整。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 國內常用透地雷達廠牌、型號及其資料處理軟體彙整。

2. 支援相容各廠牌透地雷達分析應用軟體(第三方軟體)之基本資訊彙整。

3. 專家學者訪談，訪談對象包括國內透地雷達代理商、業界專家及學界專家。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. UAV 結合 AI 於邊坡之相關研究文獻蒐集。

2. 公路局訪談摘要。

3. 邊坡維護管理機制及防災流程探討。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗取樣維護作業，完成 112 年第 4 季、全年與 113 年第 1 季，大氣腐蝕劣化因子化學分析及金屬試樣酸洗工作。

2. 完成 112 年度試驗資料綜整分析工作，並將資料擴增於資料庫，公開於本中心網站供外界查詢。

3. 完成撰寫及出版「2023 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」工作，提供相關單位選用金屬材料與防蝕工法應用。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 各港區防波堤之巡檢項目與維護管理制度彙整與研析。

2. 防波堤常見之劣化項目探討。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 液化評估法相關文獻彙整。

2. 高雄港近 10 年新建工程之地質鑽探資料蒐集。

3. 完成高雄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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 討論文獻相關數據之引用應確認其適用性。
2. 討論數值模擬分析流程與檢定與驗證事件選取。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 討論國內橋梁檢測相關設備專利發明現況。
2. 討論推廣活動各橋檢廠商之回饋意見。
3. 討論本橋檢工具後續精進方向及實務需求。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 討論蒐集透地雷達檢測數據資料之方式，及蒐集過程中會遇到的困難。
2. 討論透地雷達檢測數據資料儲存格式，及如何讀取並顯示人員可以判釋之訊號圖像。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 討論現行公路邊坡維護管理機制及防災流程。
2. 討論已蒐集之公路邊坡基本資料、分級、災害類型及監測手段。
3. 討論公路局實務單位針對 UAV 結合 AI 進行加值應用之想法。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 討論去年新增之十八王公橋試驗點的腐蝕情況與取樣事宜。
2. 討論腐蝕試驗點之氯鹽試架安裝工作。

(六)港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 討論防波堤維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準。

2. 討論各港之防波堤構件劣化項目。

(七)港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 討論土壤液化評估相關方法。

2. 討論地質鑽探資料建置後，如何盤點及篩選。

3. 討論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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

(一)梅雨季甫過，請視現場水位條件，安排於合適時間進行今年度現場試驗區第 1 次 UAV 觀測航拍，以觀測並記錄現場地形變化情形。

(二)大甲溪石岡壩下游河段水理分析屬大範圍分析，請以二維模擬為宜；試驗橋址局部沖刷屬小範圍分析，請以三維模擬為宜，以有效率及合理分析評估本計畫工法之成效。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

(一)橋檢人員回訓課程進行推廣時，設計調查問卷提供回訓學員填寫，持續蒐集第一線橋檢實務人員對本橋檢工具之專業意見及後續精進建議，並調查橋檢工作之實務需求。

(二)依所蒐整推廣活動回饋意見，評估橋檢工具後續精進方向，並依實務需求，研擬後續研究計畫研發新式橋檢工具之可行性。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

(一)對可能蒐集到之透地雷達檢測數據資料進行分類，如：訊號圖像(圖片檔案)、原始資料(Raw Data，二進位檔案格式)等，並分析不同類別數據資料對於訓練 AI 之助益。

(二)後續報告中對於透地雷達儲存格式(二進位檔案格式)進行相關說明。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- (一)依所蒐整之公路局優先關注邊坡曾經或正在應用 UAV 之狀況資料，釐清其邊坡災害類型及空拍影像數量，並以國內外文獻為借鏡，持續研析合適公路局之 UAV 結合 AI 切入課題及方法。
- (二)UAV 可實現酬載更換，以達更廣泛之情境使用。除蒐集 UAV 搭載光學鏡頭產製高解析度影像後進行之加值應用研究外，可擴大蒐集 UAV 搭載熱顯像、紅外線及 LiDAR 等結合 AI 之文獻。
- (三)依公路局提供轄下各分局管理之中高風險邊坡資訊，針對邊坡維護數量較多之山地工務段，安排後續訪談，並藉以瞭解實務需求和研究著力點，達以終為始之目的。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- (一)研究成果後續可整理成論文，投稿防蝕研討會或港灣季刊。
- (二)新增之十八王公橋試驗點腐蝕數據可提供維管單位參採。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- (一)統計並分類各防波堤構件之劣化項目，以瞭解防波堤常見損壞構件，提供後續防波堤維護之參考數據。
- (二)水下之防波堤構件之檢測診斷項目可以探討用多音束與 ROV 來進行相關劣化度的判釋。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

- (一)報告中呈現高雄今年新增港區之地質鑽探資料，應包含其新、舊資料之分佈區域，以利瞭解其分佈是否能滿足高雄港區液化評估之需求。
- (二)今年度進行高雄港模式精進，除增加地質鑽探資料外，建議運用國內、外之液化分析方法，推估高雄港液化範圍及震陷量，提供地震速報簡訊之應用。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：113 年 6 月 26 日(星期三) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

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
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 張道光 副研究員 謝妙燭 副研究員 周啟文 副研究員 曾文平 副研究員 鄭登建 副研究員 黃子瑋 助理研究員 賴俊呈 王培源	
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李俊穎
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄三

第 2 次工作會議紀要

113 年自行研究計畫第 2 次工作會議紀要

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：113 年 8 月 26 日(星期一)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 現場觀測成果說明。
2. 數值模型分析流程及二維模型檢定成果說明。
3. 階段性成果應用說明。
4. 後續研究項目說明。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 鐵道橋梁及箱涵橋梁檢測國內外文獻蒐集彙整。
2. 橋檢工具專利申請評估結果說明。
3. 橋檢工具推廣應用工作執行進度說明。
4. 推廣活動回饋意見彙整。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 探討數據資料前處理方法(程序)及前處理過程中會遭遇之問題及困難，並初步研擬解決對策。
2. 辦理專家訪談針對國內外應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，及數據資料之前處理方法，詢問相關專業看法及意見。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 公路局邊坡資訊調查及蒐集情形說明。
2. 公路局邊坡維護管理機制及防災流程探討。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗的取樣維護、化學分析及金屬試樣酸洗工作，第 3 季工作辦理中。
2. 構建鋅金屬腐蝕速率與主要大氣腐蝕因子間的迴歸模式。
3. 後續工作項目說明。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 各港區防波堤經常及特別巡查設施之劣化項目之探討。
2. 多音束水深測量與行動應用程式應用於防波堤巡檢作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 建置高雄港地質鑽探資料，並盤點、篩選可用資料共 891 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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 今年度凱米颱風帶來可觀之降雨量，對於本計畫試驗區成效驗證有相當的幫助，對於整體量化成效之數據亦可藉此事件

更新。

2. 對於本次凱米颱風事件下，石岡壩放流量及試驗區河床水位高之物理量，可建立通用性詞語或對等概念，便於對外說明使用。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 討論博大公司協助本橋檢工具專利申請評估結果。
2. 討論本橋檢工具於橋檢人員回訓課程推廣之問卷回饋意見。
3. 討論本橋檢工具於鐵道橋梁應用之可行性。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 討論蒐集透地雷達數據資料時，透地雷達的原始資料(Raw Data)要如何取得。
2. 討論若蒐集的透地雷達數據資料不足給AI進行訓練學習時，利用「生成對抗網路(GAN)」生成AI訓練學習資料的可能性。

(四)UAV結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 討論現行公路局邊坡維護管理機制及防災流程。
2. 討論公路局邊坡應用UAV、LiDAR等科技巡檢實際案例。

(五)113年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 討論迴歸模式之模式構建、解釋變數選定。
2. 討論後續迴歸模式之模式精進、解釋與預測工作。

(六)港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 討論防波堤巡查檢測劣化項目與水下定期檢測劣化度探討。
2. 討論新興科技應用於防波堤巡檢作業。

(七)港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 討論高雄港不同地震情境下液化潛勢分析。

2. 討論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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

(一)凱米颱風事件後可驗證設置織布之保護效果，其中 P23 橋墩恰為左右各半採用傳統及織布保護工法之區域，相當適合做為本計畫工法效果之說明。

(二)請依所規劃之後續工作項目執行。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

(一)鐵道橋梁之交通可及性與公路橋梁不同，應考量執行橋檢工作相關設備運送及人員之交通方式，以完整評估本橋檢工具於鐵道橋梁應用之可行性，建議接洽鐵道橋梁維管單位，並安排現場橋檢工作觀摩，以瞭解鐵道橋梁檢測實務之進行概況。

(二)本橋檢工具之後續精進方向，應以滿足橋檢公司及橋檢人員之實務需求，並請瞭解相關客製化所需成本，以利後續推廣工作之說明。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

(一)蒐集透地雷達數據資料時，透地雷達的原始資料(Raw Data)雖然大多由乙方掌握，請探討函請甲方要求其廠商(乙方)提供檢測的透地雷達原始資料(Raw Data)之可行性。

(二)後續請探討利用「生成對抗網路(GAN)」生成 AI 訓練學習資料的可行性。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

(一)依現況調查資料，公路局各工務段邊坡曾經或正在應用 UAV 進行空拍之數量約有 77 處，本計畫過往已訪談公路局北分局、中

分局等轄下工務段，建議再安排其他分局進行訪談，以廣泛瞭解不同區域之實務需求。

- (二)本計畫已整理公路局科技應用邊坡案例，並提出目前使用 UAV 搭載光學鏡頭或 LiDAR 主要進行之應用場景、優點和適用條件，後續於進行研析 UAV 結合 AI 深度學習影像判識方法之工作項目時，請以相關應用場景如何搭配 AI 輔助為切入點進行探討。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- (一)後續可運用構建的迴歸模式進行金屬腐蝕速率預測。
- (二)在選擇解釋變數時，可檢視腐蝕速率與腐蝕因子之散佈圖。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- (一)多音束水深測量在防波堤水下定期檢測劣化度判定(護面塊與護基塊)問題，建議可再探討其適用性。
- (二)防波堤水下與水上沉箱壁體與消波塊構件之檢測診斷項目，可以探討用 UAV 與 ROV 新興科技來進行相關劣化度的判釋。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

- (一)請補充液化風險評估之機率分析與定值分析之差異處。
- (二)高雄港洲際二期(倉儲物流區及散雜貨碼頭)由於地質鑽探資料太少，建議高雄港不同地震情境下液化潛勢比較圖中，洲際二期暫時不要分析液化潛勢。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：113 年 8 月 26 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

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
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員 副研究員	胡懿 謝少屏 蔡登鍵 王瑞源 賴俊呈 張道光 黃宇瑞 曾文傑 顏震香
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李信穎
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄四

第 3 次工作會議紀要

113 年自行研究計畫第 3 次工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：113 年 11 月 4 日(星期一)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：黃烟宏

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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 113 年度前 3 季現場試驗觀測結果。
2. 二維數值模型建置情形。
3. 階段性成果應用。
4. 後續研究項目。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 本案橋檢工具專利申請作業進度。
2. 本案橋檢工具推廣工作執行狀況及進度。
3. 推廣活動回饋意見彙整。
4. 研發新型橋檢工具需求及規劃。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 透地雷達數據資料前處理過程遭遇之問題及初步解決對策。
2. 草擬合作研究計畫「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路潛在下孔洞訊號圖像之研究」研究主題與重點。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. AI 深度學習技術探討。
2. UAV 結合 AI 深度學習影像判識方法。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 完成第 1~3 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗的取樣維護、化學分析及金屬試樣酸洗工作，第 4 季工作辦理中。
2. 構建鋅金屬腐蝕速率與主要大氣腐蝕因子間的迴歸模式，並應用模式進行鋅金屬腐蝕速率預測及腐蝕環境分類等級預測。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 依維護管理制度執行防波堤巡檢作業時所遭遇之問題。
2. 新興科技 UAV、多音束水深測量與水下無人載具應用於防波堤巡檢作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 高雄港不同地震情境下液化潛勢分析結果。
2. 高雄港不同地震情境下地震沉陷潛勢分布結果。

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(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 二維模型參數率定選用。
2. 河床大斷面資料導入。
3. 三維模式參數率定及驗證。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 本案橋檢工具授權及推廣模式。
2. 推廣活動回饋意見及本案橋檢工具功能精進方向。
3. 新型橋檢工具研發需求及後續規劃。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 保存數據資料、資料庫以及資料庫的不同及其必要性。
2. 對於透地雷達的訊號圖像而言，採用標註異常訊號特徵與標註正常訊號特徵做為 AI 訓練學習方式之優缺點。

(四)UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 分辨式 AI 及生成式 AI 之基本原理、代表模型及資源需求等。
2. 生成式 AI 應用於影像辨識之適用性及切入點。

(五)113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 迴歸模式的 R^2 值、以模式進行預測時的預測區間信賴水準。
2. 港區腐蝕因子調查數據的分析與應用，以及後續模式的精進方向。

(六)港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 防波堤水下與陸上巡檢作業時所遭遇問題。
2. 應用新興科技強化防波堤之巡查與檢測作業。

(七)港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 高雄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(3/4)-試驗場址

數值模型建置及評估

- (一) UAV 航拍勞務案，於完成康芮颱風事件之地形紀錄後，於 11 月下旬著手辦理相關結案驗收事宜，以利年度會計結算作業執行。
- (二) 請依所規劃之後續研究事項積極辦理，並如期於 11 月底前提交期末報告初稿。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- (一) 如未來本案橋檢工具有精進或客製化之規劃，應將本案彙整之實務需求建議提供予本工具精進改良之執行單位或廠商，提升本橋檢工具應用價值，且符合應用單位之實際需要。
- (二) 如未來規劃針對箱型橋梁內部檢測研發新式橋檢工具，應先完整調查箱型橋梁內部構造樣態及橋梁環境狀況，並充分瞭解檢測作業需求。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

本計畫所探討蒐集透地雷達數據資料的 2 種方式，其中蒐集他人已完成之探（檢）測或試驗數據資料這個方式，不論是在蒐集的過程還是在進行資料前處理的過程，都會產生困難和問題，雖然這些問題本計畫有初步研擬相關解決的對策或建議，但是並沒有實際的執行經驗，建議將蒐集他人已完成之探（檢）測或試驗數據資料這個方式納入後續的合作研究計畫實際執行，以確認是否能透過這個方式蒐集到質量都適合訓練 AI 的數據資料。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- (一) 依照本研究應用 AI 深度學習結合 UAV 空拍影像輔助影像判識之目的，可依蒐集之資料量及品質，決定運用單一或多個 AI 模型，針對不同階段來予以協處。
- (二) 建議針對 UAV 如何取得較為精良之資料成果、影像處理方式以及可結合 AI 深度學習影像判識之課題進行梳理，呈現一套架構流程圖，俾供應用單位及本所後續參採。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- (一)後續可因應不同區域特性，構建相對應的關聯模式，並將風速、風向、雨量等氣象因子的影響納入模式。
- (二)後續可就特定地區的二氧化硫、氯鹽調查結果做進一步的深入分析。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- (一)建議加強新興科技應用於防波堤設施構件劣化項目對應於檢測項目的表單。
- (二)建議補充新興科技 UAV 與多音束水深測量應用於巡檢案例的說明。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

請依據觸發門檻加速度及高潛勢區面積分析成果，推估高雄港區之分區地震沉陷量，俾更新高雄港地震簡訊災況初評內容，並說明與原來地震簡訊災況初評內容之差異。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：113 年 10 月 31 日(星期四) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

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
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員 副研究員 助理研究員 副研究員	曾文傑 謝幼屏 張道光 鄭登建 賴俊呈 胡啟文 黃炳宏 黃才瑞
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李修穎
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄五

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.本段於國 3 大甲溪橋有佈設無線沖刷粒子監測沖刷情形，相關資料可提供予本計畫使用。	感謝高公局中分局大甲段協助提供資料。
2.今年凱米颱風事件後，在成效評估之部分，除本工法發揮固床效果外，建議在內文中可將造成回淤之情形補充敘述。	感謝委員建議，已補充敘述於 P3-7。
3. P3-12，第 1 期(P24L&P27R)與第 2 期(P22L~P23L)從工期與經費分別來看，各增加 12~17%及 10~12%，內文所提該工法所需技術要求不高，建議可以增加為什麼所增加工期及經費的原因，這樣更能支持以上(所需技術要求不高)之論點。	感謝委員建議，已調整如 P3-18。
4. P4-16，圖 4.7 檢定與驗證事件選取示意圖內容所顯示藍紅線，建議可以個別標註是由哪個軟體分析，以利讀者閱讀。	感謝委員建議，已標註預計使用之分析軟體，修改如圖 4.7 所示。
5. P4-24~P4-27，提到由石岡壩放流量，針對 110 盧碧颱風及 113 年凱米颱風以水位現況去模擬曼寧 n 值，雖然 n 值採 0.04 後從數據顯示理論與實際差距僅 0.1m 不到，但看圖 4.12 不同 n 值下模擬水位與實際水位比對，到了最後階段模擬水位有偏高現象，而有落差，這樣 n 值採 0.04 是否恰當？	其原因應為所使用之軟體有網格數量限制，網格計算精度隨之受限(P4-11)，高流量時水位壅高為齊高之狀態，表面一致，而低流量時水位降低，河床地形之影響因網格精度不高無法詳細呈現於計算中，致模擬與實測有所落差。但因整體模擬結果，趨勢一致，高流量下對應之水位峰值相近，後續分析亦採峰值條件進行模擬，故檢定結果為可行情形。

6.內文所提「國道3號大甲溪橋」，請修正成「國道3號大甲溪河川橋」；P3-14，圖3.17 資料來源請修正「交通部高速公路局中區交通控制中心」。	感謝委員建議，相關用語已修正。
楊秉順委員	
1.針對河床質種類、鼎塊鎖固方式、擺放方式不同，效果不同，建議可持續研究相關變因的影響程度。	感謝委員建議，對於鼎塊置放方式已於110年計畫進行探討，現場試驗方案為前述計畫測試後之最佳置放方式，並輔以大甲段慣用作法，以鋼索將鼎塊串接，增加穩定性。另因河床質不同，亦有不同之沖刷機制，本工法適用於礫石型河床，對於砂質型河床，已規劃於後續年度探討之。
2.鼎塊會因現地流速狀況，影響下沉或沖走，建議後續建立預測模組，針對雨量、流速、水位等，提前預測3小時、6小時或24小時之鼎塊流失比率，提早掌握橋梁安全性。	感謝委員建議，如圖4.7所示，後續計畫已規劃以不同重現期進行模擬，藉以探討不同流量下本工法之流失率。
3.鼎塊擺放可能影響河道變遷，建議可以納入歷史河道變遷，以了解鼎塊對於河道阻水的影響。	感謝委員建議，已補充說明如P3.20~3.21所示。
4.建議可新增即時感測河道沖淤狀況，以利了解動床最深大時刻，與回淤速率與時間點。	委員所提建議，需佈設相關感測器，礙於經費限制，難以進行回淤速率與時間點分析。
溫志中委員	
1.研究成果豐碩，具實用性，利用數值模式瞭解河道之特性變化有助於現場狀況之分析，值得肯定。	感謝委員肯定。

2.建議河道平面之量測有助於掌握於颱風期間之河道變化。	感謝委員建議，本計畫已採 UAV 結合攝影測量技術於颱風前後進行大範圍平面量測，並取得水利署大斷面量測及大甲段橋基河床斷面量測資料輔助之。
3.石岡壩與大甲溪橋間流況受人工結構物、植生等干擾，建議可測試不同流量下水位之分析，以利掌握其變化。	感謝委員建議，本計畫於二維數值模式檢定及驗證階段係以不同流量下對臺 1 線水位監測站進行分析，其模擬結果亦呈現可行之狀態。
4.建議未來可持續評估重現期距 10 年以上之流量，以預估可能之變化。	感謝委員建議，如圖 4.7 所示，後續計畫已規劃以不同重現期(2、5、10 年...)進行模擬，以評估可能之變化。
李俊穎委員	
1.本計畫藉由現地試驗及數值模式加以探討，期間發表文章獲獎，成果豐碩值得肯定。	感謝委員肯定。
2.建議可再將圖 3.10 局部放大，討論試驗組及對照組損壞面積範圍。	感謝委員建議，已增加試驗組及對照組損壞面積範圍，如圖 3.16。
3.第四章建議增加模擬範圍及網格相關說明，以及區間是否有其他小支流匯入。	感謝委員建議，已補充說明如 P4-11、P4-14。
4.建議後續研究也可針對目前鋪設地工織布材料脆化的情形來討論，探討耐候性的課題。	感謝委員建議，地工織布材料係可抗 UV 照射，以增加在暴曬環境下之耐脆性，而本工法施作係埋設於土砂之下，已隔離曝曬，爰無脆化之虞。
林雅雯委員	
1.本案以 CCHE2D 進行二維數值模擬，以臺 1 大甲溪橋流量驗證，建議後續檢核	感謝委員建議，本計畫已將 110 年

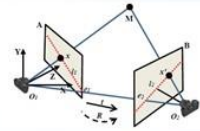
2D 模擬國 3 大甲溪橋情形。	盧碧颱風事件及 113 凱米颱風事件進行模式驗證，如 4.7 節。
3. P4-18，河道地形是否為 108 年地形，建議補充說明。	為使數值地形與真實地形一致，內政部推出數值水理地形圖 (HyDEM)，該圖資係基於原始 DEM 再製而成，而內政部對於本計畫模擬區最近圖資係為 108 年以 LiDAR 技術所量測之數值地形模型，以補充敘述於 P4-18。
4. 3D 模擬之邊界輸入條件及模擬範圍地形是否已具足？	如 4.2 節所述，二維模型建立係提供三維模擬之邊界條件，地形則已蒐集內政部 HyDEM、水利署河川大斷面測量資料、大甲段河床斷面量測資料、本所 UAV 航拍量測地形資料等，已足夠提供後續三維模擬所需。
賴瑞應委員	
1. 本計畫完成 113 年凱米颱風保護成效評估，驗證本計畫研發的保護工法確實有其保護成效，對於後續的推廣很有說服力。	感謝委員肯定。
2. 針對凱米颱風驗證的論述，建議可以強調本計畫研發的新工法不僅能減少鼎型塊的變位流失，還造成颱風後保護工法周遭河床質回淤的效果，這對後續的橋墩基礎穩固有很大的助益。	感謝委員建議，已補充相關論述如 P3-7 所示。
3. 113 年共執行 3 次 UAV 觀測，惟報告書中僅有凱米颱風觀測資料，未見康芮颱風觀測情形?請補充。	因康芮颱風過後天氣不穩定，使得現場水位偏高，若進行航拍作業觀測品質較為不佳，爰至 12 月 4 日方進場拍攝，加上資料分析彙整，不及初稿報告印製，已補充如 P3-12~P3-17 所示。

4.表 3-2 之表名建議調整，以與表格內容一致。	感謝委員建議，已調整如表 3-2 所示。
5. P5-5，請補充 113 年度中華民國道路協會論文獎之獲獎論文題目。	感謝委員建議，已補充，如 P5-5 所示。

附錄六

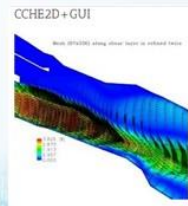
簡報資料

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)- 試驗場址數值模型建置及評估



報告人：胡啟文

113年12月26日



大綱

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



一、前言

01 前言

◆緣起

1. 台13線后豐大橋因**長期冲刷基礎嚴重裸露**，於97年辛樂克颱風過境期間，發生斷橋事件，造成人員傷亡。
2. 橋梁管理單位常以疊放鼎型塊來保護橋墩基礎，然於**河水長期冲刷下，鼎型塊仍有流失破壞之情形發生**。
3. 為解決鼎型塊流失問題，**參考港灣構造物之沉箱式碼頭設計，以地工織布避免背填粒料流失之構想**，研擬於鼎型塊下增加一層地工織布之方式來**減緩冲刷**，藉以穩固鼎型塊基底粒料，減少鼎型塊流失之問題，提升保護橋基之成效及耐久性。



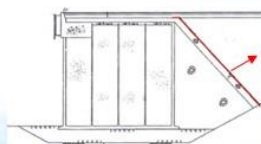
斷橋事件(橋基嚴重裸露)



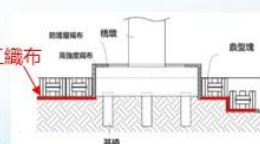
鼎型塊保護工



鼎型塊保護工流失情形



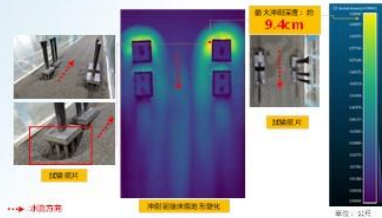
沉箱式碼頭斷面圖



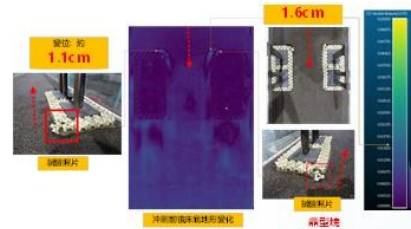
鼎型塊+地工織布斷面圖

01 前言

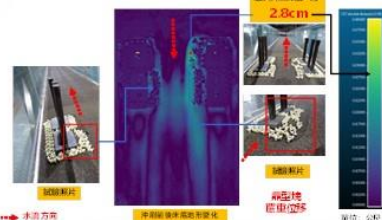
◆ 室內水工模型試驗結果



(a) 無保護工冲刷情形



(c) 鼎型塊結合地工織布保護方案冲刷情形



(b) 鼎型塊保護方案冲刷情形

	保護工方案	最大冲刷深度 (cm)	鼎型塊位移比 (%)
1	無	9.4	
2	鼎型塊	2.8	40%
3	鼎型塊+地工織布	1.6	5%

註: 鼎型塊位移比 = 鼎型塊位移面積 / 鼎型塊總鋪設面積

(d) 不同保護方案試驗結果



01 前言

◆ 工作内容

1. 109年及111年分別於國道3號大甲溪橋P24L及P22L~P23L橋墩完成現地鋪設，並持續性地進行觀測及成效評估。
2. 本年度(113年)除延續現場試驗觀測評估外，同步建置試驗場址數值水理分析模型。



P24L
(109)



P22L~P23L
(111)



◆目的

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. 進行現地試驗外，同步建置三維數值水理分析模型，提供多元化分析方式及成效評估。
3. 提供礫石河床質跨河橋梁維管單位(高公局、公路局、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

02 文獻回顧

1. 大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究-水工模型試驗研究總報告(100_水利規劃試驗所)

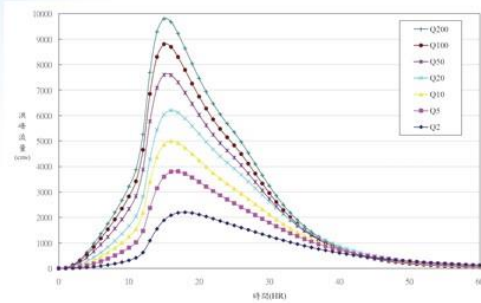


圖 2-3 石岡壩各重現期距洪峰流量歷線圖

2. 河道水位與橋墩冲刷推估模式之建立研究(100_運輸研究所)

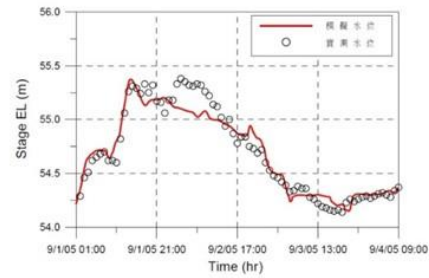


圖 5.2 台 1 線大甲溪橋於泰利颱風期間之模擬與實測水位歷線比較

02 文獻回顧

3. 跨河橋梁保護工法之研究(100_運輸研究所)

表 5-4 泥沙相關參數設定值

項目	設定值	備註
Number of Bed Layers	3	建議值
Minimum Mixing Layer Thickness	0.2	建議值
輸砂模式 (Transport Model)	Total load as Bed load plus Suspended load Model	同時考量推移質與懸浮質輸砂的模式。
Sediment Simulation Mode	Fast bed change with unsteady flow	變量流情況下的輸砂計算
Adaptation Length for Bedload (L_b)	檢定 1000 與 1500 兩種	此值與推移質輸砂量變化，所造成的底床變化有關。
Adaptation Factor for suspended load (α)	1.0	冲刷強烈 α 值可採用 1.0
Schmidt number	1.0	與泥沙的紊流擴散係數有關。
泥沙比重	2.65	建議值
Time steps to adjust flow	1	
Erosion Deposition limit	0.01	為避免泥沙冲刷過於劇烈的設定值。
Erodibility	YES	底床冲刷
最大冲刷厚度	-90(m)	
最大淤積厚度	+90(m)	

表 5-3 水理演算參數設定

項目	設定值	說明
Time steps (sec)	10	演算時間間距 $\Delta t=10(\text{sec})$
History file	360	每演算 360 個步驟(step)(1 小時)，自動記錄模擬結果。 $360(\text{step}) \times 10(\text{sec}/\text{step}) = 3600(\text{sec}) = 1(\text{hr})$
Bed Roughness	檢定 0.04 與 0.05 兩種	河床糙度會直接反應水流阻力；糙度越高，河床阻力越大，流速減低，而水位抬升。
Turbulence Model	Parabolic Eddy Viscosity Model	拋物線渦流粘滯係數公式。
Turbulent viscosity coefficient	1.0	設定 5 號代表由前項 Parabolic Eddy Viscosity Model 算出來結果，再乘上 5 倍，放大紊流效應，通常可設為 1。
Wall slipness coefficient	0.7	建議值
Depth to consider dry(m)	0.15	此為乾點與濕點的水深分界，當節點水深高於 0.15(m)，則以濕點的方式進行計算。
Time Iteration Method	Method 1	Method 1、Method 2、Method 3，分別代表低、中、高的疊代數目，當第二項的 Δt 越大，則此值也隨之加大。
重力加速度	$9.8(m/\text{sec}^2)$	建議值
Von Karman constant	0.41	建議值
運動粘滯係數	$0.000001(m^2/\text{sec})$	建議值

三、地工織布現地試驗成效評估

交通部運輸研究所運輸技術研究中心
Transportation Technology Research Center, I.O.T., M.O.T.C.

03 成效評估

現地試驗規劃(1/2)

- 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。

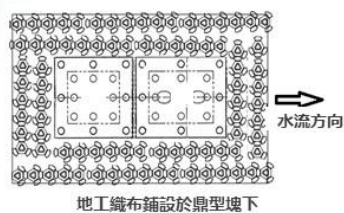


03 成效評估

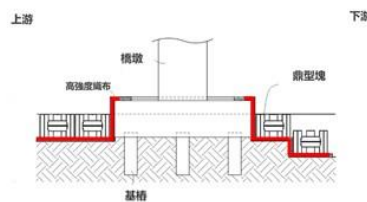
現地試驗規劃(2/2)

- 地工織布(Geotextile)係將聚丙烯纖維(PP)利用織造方法所製成，具**高強度、高透水性、耐腐蝕及抗紫外線**等特性之面狀材料，**不具汙染性，材質柔韌，便於施工**。
- 相較於傳統鼎型塊保護工法，**僅增加於鼎型塊吊放前鋪設地工織布之工序**。
- 橋基下游側採**降階**跌水消能方式規劃。

地工織布



地工織布鋪設於鼎型塊下



鼎型塊及地工織布鋪設斷面示意圖



下游側

鼎型塊及地工織布鋪設平面示意圖



03 成效評估

◆ 擴增試驗試驗範圍-111年底完工



底圖來源：高公局大甲段



03 成效評估

◆ 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壩型塊變位與流失之量化資料，藉以評估保護成效。



03 成效評估

◆ 地面控制測量

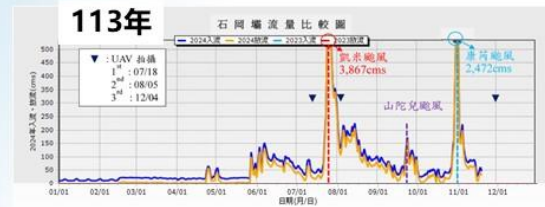
- 控制測量:做為攝影測量尺度及座標基準校正，並提供在同一座標系統下套疊比對分析使用。



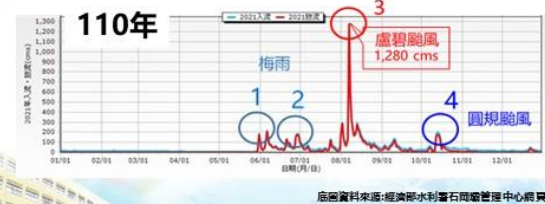
03 成效評估

◆ UAV拍攝時機

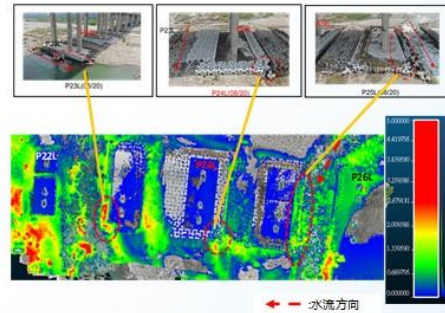
試驗區上游石岡壩放流歷線



VS



110年盧碧颱風事件-觀測結果



儀器編號	設置類型/堆面 積(m ²)	面積(m ²)	面積比(%)	維修經費(萬元)	有無編設 施工織布
P23L	567	200	51	284	無
P24L	650	25	4	26	有
P25L	604	233	34	232	無

03 成效評估

凱米颱風現場影像及洪峰流量比較



控制點	集水區面積 (km ²)	重現期(年)							
		2	5	10	20	25	50	100	200
河口	1244.1	2,600	4,500	5,900	7,300	7,570	8,900	10,300	11,500
石岡壩	1095.4	2,200	3,800	5,000	6,200	6,430	7,600	8,800	9,800
大甲	955.5	1,980	3,400	4,500	5,600	5,820	6,900	8,000	8,800
橋頭溪匯流前	907.4	1,910	3,290	4,330	5,370	5,570	6,590	7,630	8,490
龜潭溪匯流前	877.6	1,840	3,180	4,180	5,190	5,380	6,370	7,380	8,210
楓冷溪匯流前	848.4	1,780	3,080	4,040	5,020	5,210	6,160	7,130	7,940
十八溪匯流前	784.8	1,700	2,930	3,850	4,780	4,960	5,870	6,790	7,560

1. 與過去重要颱風事件比較

< 2008辛樂克 = 4,225cms (后豐斷橋)

> 2009莫拉克 = 3,546cms

2. 本次事件(凱米颱風3,867cms)達大甲溪5年重現期流量(Q₅)。

03 成效評估

觀測比對 (113凱米颱風)

往下游方向拍攝(航拍)



凱米前

P26L P25L P24L P23L P22L P21L



凱米後



03 成效評估

觀測比對 (113凱米颱風)

往上游方向拍攝(航拍)



凱米前

P21L P22L P23L P24L P25L P26L



凱米後



03 成效評估

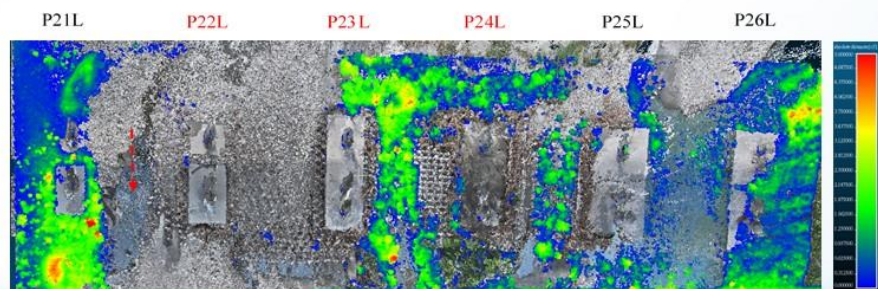
觀測比對 (113凱米颱風)



凱米前



凱米後



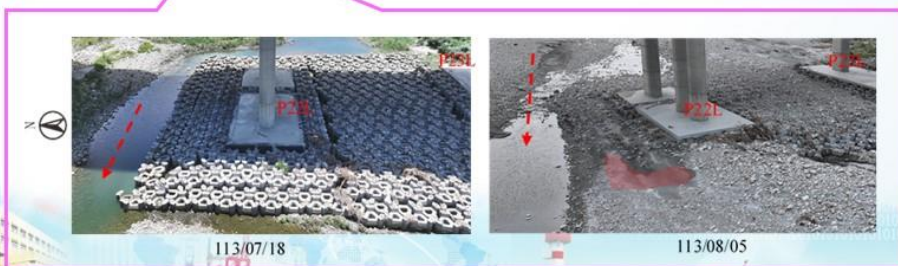
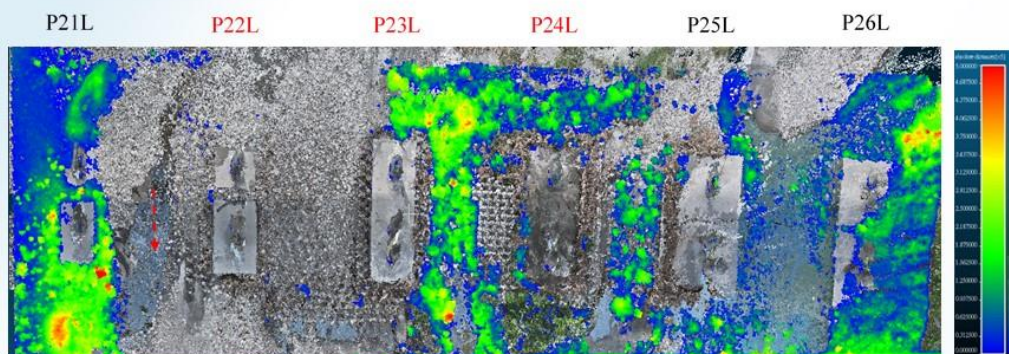
地形變化等深圖套疊

註：色塊為冲刷處；實線為淤積處



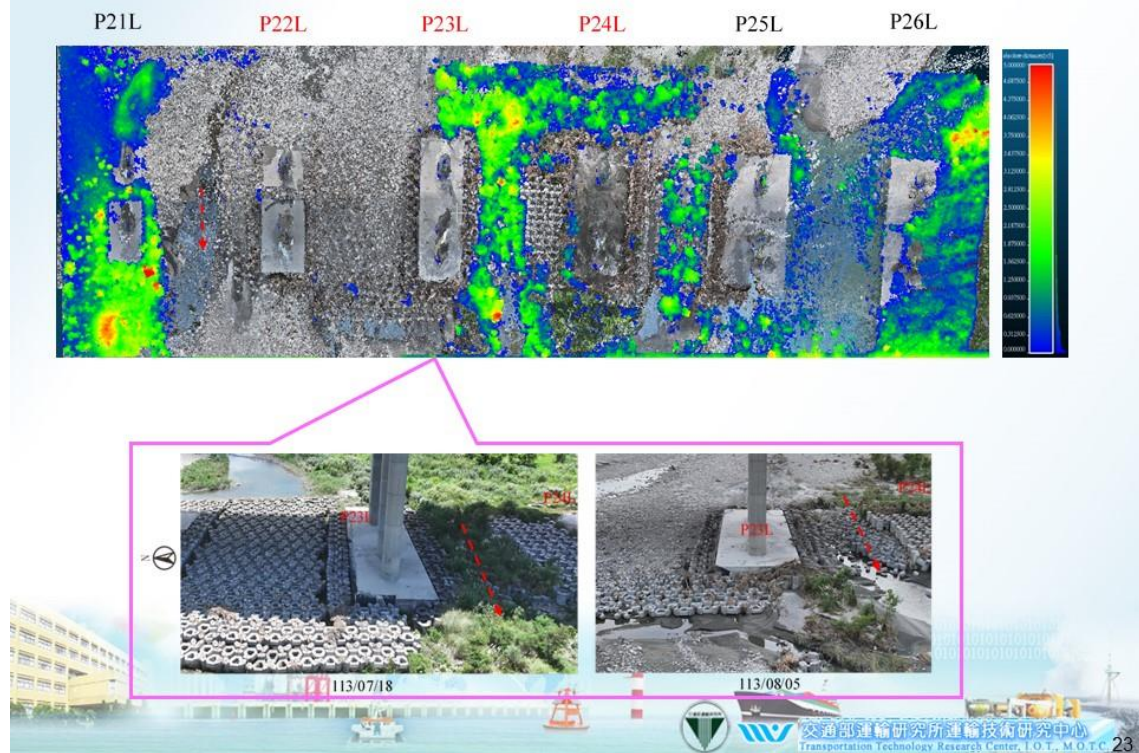
03 成效評估

觀測比對 (113凱米颱風)-各橋基現狀P22L



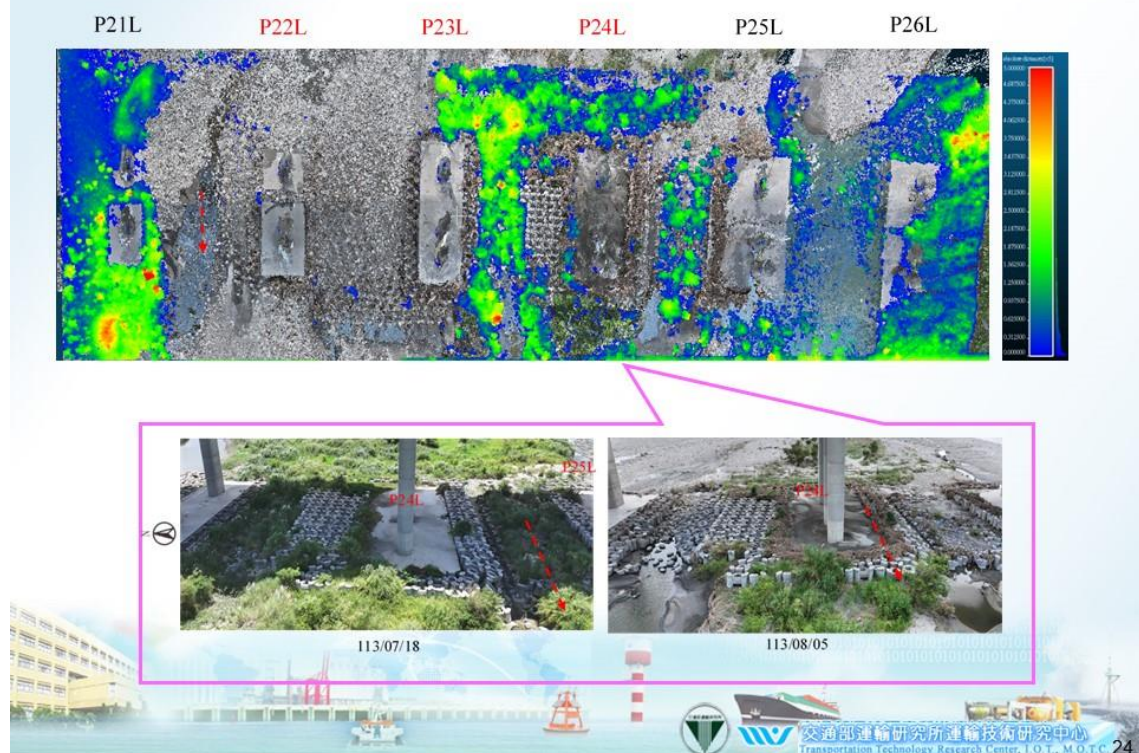
03 成效評估

觀測比對 (113凱米颱風)-各橋基現狀P23L



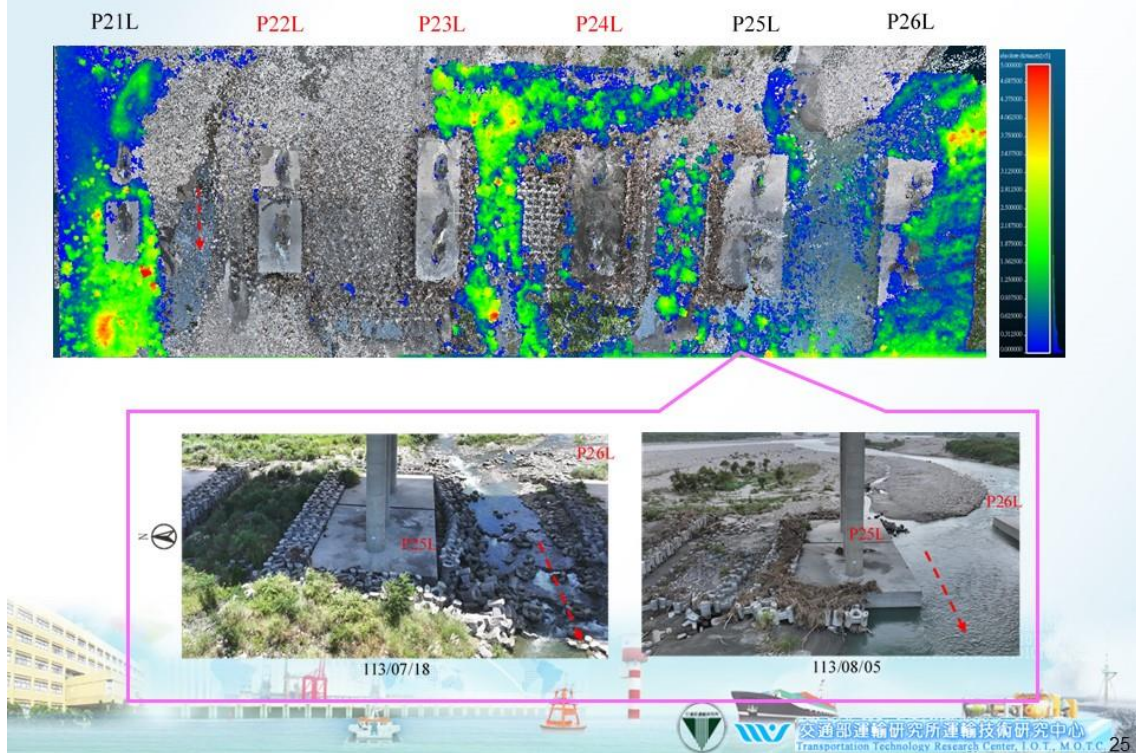
03 成效評估

觀測比對 (113凱米颱風)-各橋基現狀P24L



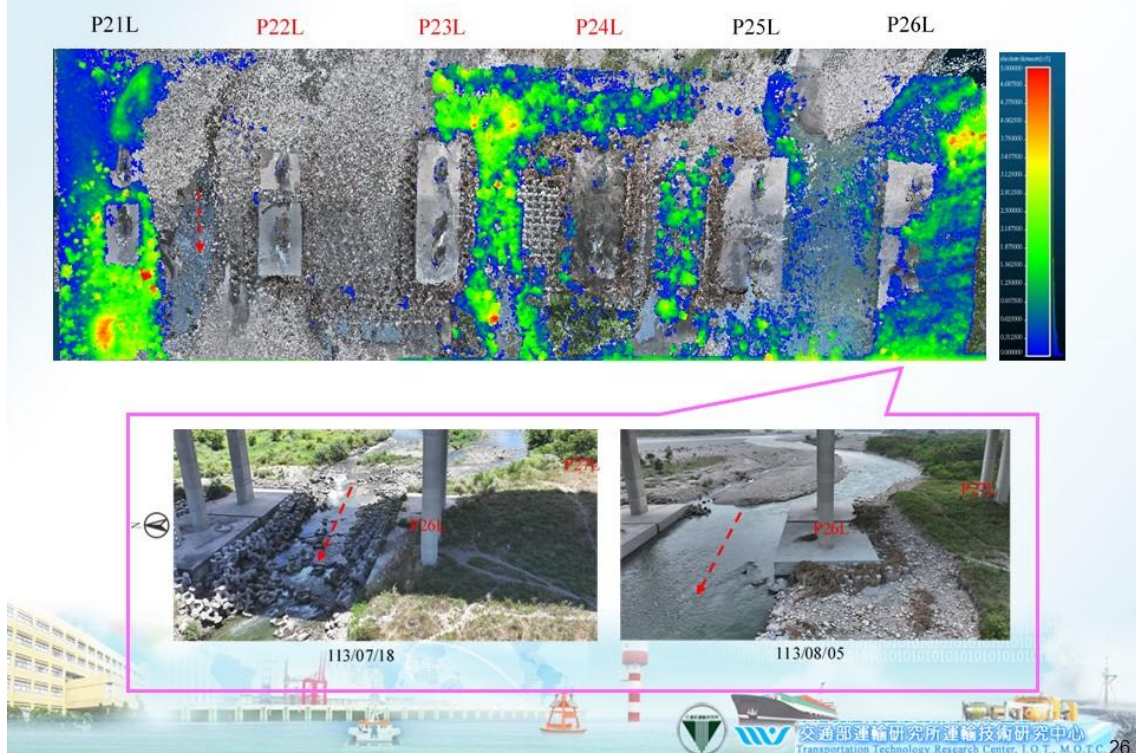
03 成效評估

觀測比對 (113凱米颱風)-各橋基現狀P25L



03 成效評估

觀測比對 (113凱米颱風)-各橋基現狀P26L



◆ 觀測比對 (113凱米颱風)-損壞範圍

三維點雲模型(正視圖)

下游

橋基保護型式	保護面積(m ²)	損壞面積(m ²)	損壞比(%)
有織布	3,930	152	3.87
無織布	2,530	965	38.14



P26L P25L P24L P23L P22L P21L



凱米後

■ : 有織布損壞範圍
■ : 無織布損壞範圍

上游



03 成效評估

◆ 評估結果:

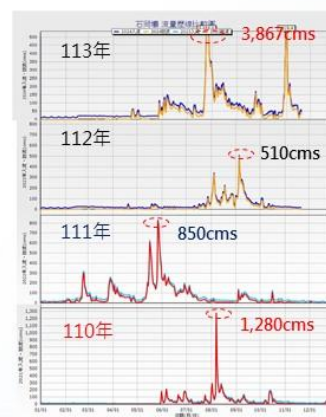
因本年度侵台之颱風造成石岡壩之放流量為本計畫執行觀測以來之最，最大可達大甲溪5年重現期之洪水量，可據以更新本計畫工法對於橋樑基礎保護效果之數據。

增加成本:

- 109年(P24L)，工期12.5%，經費10%。
- 111年(P22L~P23L)，工期16.7%，經費12%。
- 本計畫工法因鋪設織布層所需增加之成本，工期的部分約增加12~17%左右，經費的部分約增加10~12%左右。

保護效果:

- 2期(109年P24L、111年P22L~P23L)工程總經費2,180萬元，所增加之織布鋪設費用約為242萬元。
- 減緩保護工破壞現象，維修費用可減少813萬元/次以上，本益比約達3.36。
- 以目前4年期(110~113)觀測之結果，本計畫工法具相當之保護作用，達延長保護工壽命，減少維修頻率及維護經費之效。



試驗區上游石岡壩近4年放流歷線

113年凱米颱風事件成效評估表

橋樑編號	設置織布面積(m ²)	損壞面積(m ²)	損壞比(%)	維修費用(萬元)	有無鋪設土工織布
試驗組	3,930	152	3.87	152	有
對照組	2,530	965	38.14	965	無



四、數值水理分析模型建置與分析

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 問題與對策

◆ 問題:

- 大甲溪主流從石岡壩到河口距離達23km、面積19km²、上下游河床高程差265m，若全域以三維數值分析以10*10*10m網格分析 ≈ 490萬格，需要耗費極大運算資源及時間，相當沒有效率。

◆ 改善對策:

- **全域-二維**，以上游控制點(石岡壩)做為邊界，輸入真實流量歷線，計算取得下游試驗橋址附近之水理資料，如**流速、水位**等。
- **局部-三維**，建置試驗橋址處之橋墩、河床地形及頂型塊之三維模型，以**二維模式計算所得之水理資料做為邊界條件**，以進行**三維局部橋基冲刷模擬**。

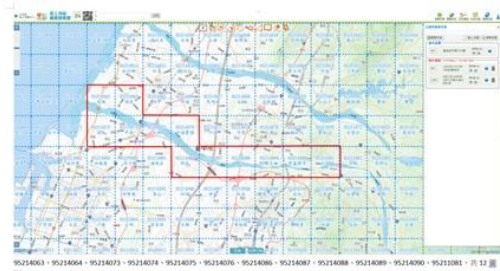


04 數值水理分析模型建置與分析

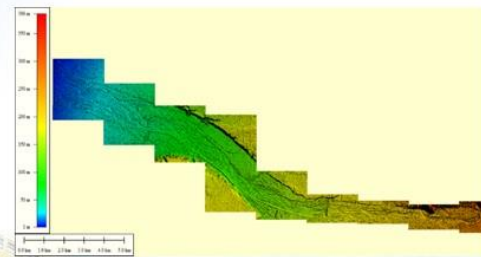
◆ 資料蒐集(1/3)

- ✓ 內政部地政司-大甲溪石岡壩下游河道DTM資料

已向內政部地政司圖資供應平台申請(1mx1m)數值水理地形(HyDEM)圖資(列管圖資,基於108DEM底圖再製),做為二維及三維數模分析基本河床底圖使用。



申請範圍及圖幅數



本計畫模擬區域數值水理地形圖(HyDEM)

申請計畫書

內政部同意函

出具資料管制同意書

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 資料蒐集(2/3)

- ✓ 水利署第三河川分署-大甲溪河床大斷面測量資料

向水利署第三河川分署申請107、109、110及112年大甲溪河床大斷面測量資料,獲同意並於113.3.27索取資料,做為三維橋基局部冲刷數值模擬驗證使用。

檔案應用申請書

第三河川分署同意函

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 資料蒐集(3/3)

✓ 水利署中區水資源分署-石岡壩歷史放流資料

已向水利署中區水資源分署申請108、109、110、111及112年重要降雨事件下，石岡壩放流歷線(時流量)資料，獲同意並於113.3.27索取資料，做為二維水理分析模式之上游邊界條件使用。

✓ 水利署水文資訊網整合服務系統-臺1線大甲溪橋水位站歷史量測資料

可線上下載重要降雨事件下，臺1線大甲溪橋水位站每小時水位高程變化資料，做為二維水理分析模式之檢定及驗證使用。



第三河川分署同意函

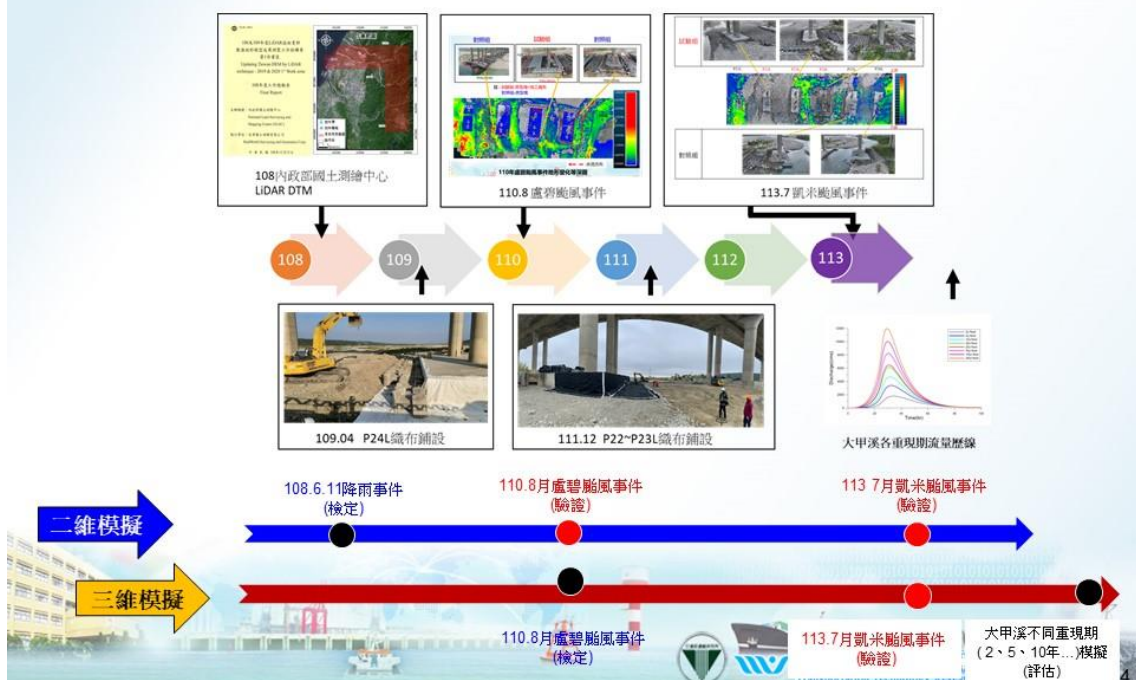


水利署水文資訊網整合服務系統
(水位站歷史資料查詢結果)



04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 檢定與驗證事件選取



04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 二維水理模型檢定(CCHE2D)

參考過去大甲溪設定河床糙度的相關計畫:

1. 「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究」河床糙度率定驗證結果，曼寧 n 值分佈在0.03~0.045之間
2. 「跨河橋梁保護工法之研究」以曼寧 n 值為0.04，做為檢定參考
3. 考量大甲溪河床大多由礫石、砂土等粗顆粒所組成，因此再酌以增加曼寧 n 值為0.05進行檢定測試

爰此本計畫參考上述參數資料，以曼寧 n 值為0.03、0.04、0.05共3組參數值進行檢定。

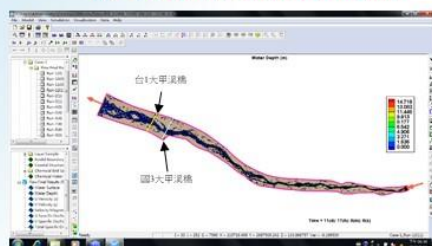
項目	設定值	說明
Simulation time (sec)	模擬時間，依據流量歷線時間設定	如採用110年盧碧颱風事件石岡壩放流量歷線。
Time steps (sec)	10	演算時間間距 $\Delta t=10(\text{sec})$ 每演算360個步驟(step)(1小時)，自動記錄模擬結果。
History file	360	$360(\text{step}) \times 10(\text{sec/step}) \times 3600(\text{sec}) = 1(\text{hr})$ 。
Bed Roughness	檢定0.03、0.04與0.05	河床糙度會直接反應水流阻力；糙度越高，河床阻力越大，流速減低，而水位抬升。
Turbulence Model	Parabolic Eddy Viscosity Model	拋物線渦流粘滯係數公式。
Turbulent viscosity	1.0	設定5就代表由前項Parabolic Eddy Viscosity Model算出來結果，再乘上5倍，放大紊流效應，通常可設為1。
Wall slipness coefficient	0.7	建議值
Depth to consider dry(m)	0.15	此為乾點與濕點的水深分界，當節點水深高於0.15(m)，則以濕點的方式進行計算。
Time Iteration Method	Method 1	Method 1、Method 2、Method 3，分別代表低、中、高的疊代數目。當第二項的 Δt 越大，則此值也隨之加大
重力加速度 (m/sec ²)	9.8	建議值
Von Karman constant	0.41	建議值
運動粘滯係數 (m ² /sec)	0.000001	建議值



04 數值水理分析模型建置與分析

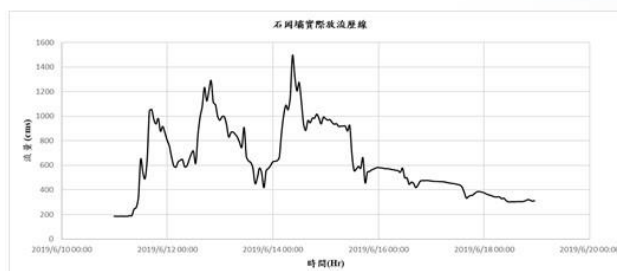
◆ 二維水理模型檢定結果

檢定資料:台1線大甲溪橋水位監測站



二維水理模型(石岡壩至大甲溪出口)

1. 不同 n 值下，實測水位共有3次壑高現象，模擬水位對於放流量增加而使水位上升的特性皆有掌握。
2. 不同 n 值下，模擬水位與實測水位趨勢相似，而模擬值則有所差異，河床糙度(n 值)會直接反應水流阻力；糙度越高，河床阻力越大，流速減低，而水位抬升，模擬結果反映出此一物理特性。
3. $n=0.03$ 時(藍線)整體模擬水位偏低。
 $n=0.05$ 時(藍線)模擬水位在第2峰位較為吻合外，其餘皆有偏高之趨勢
 $n=0.04$ 時(紅線)第2峰位模擬水位未較 $n=0.05$ 佳外，其整體之吻合度則有不錯之表現，故本計畫將採 $n=0.04$ 做為後續驗證分析之選用參數。



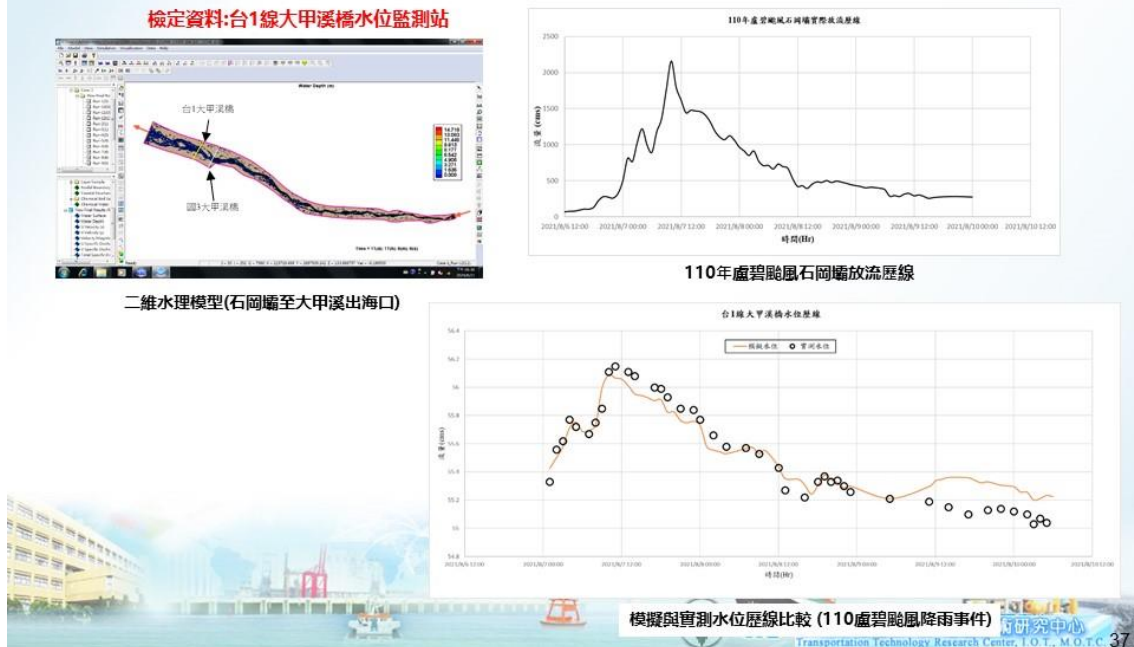
106年0611豪雨石岡壩放流歷線



不同 n 值下模擬水位與實測水位比對

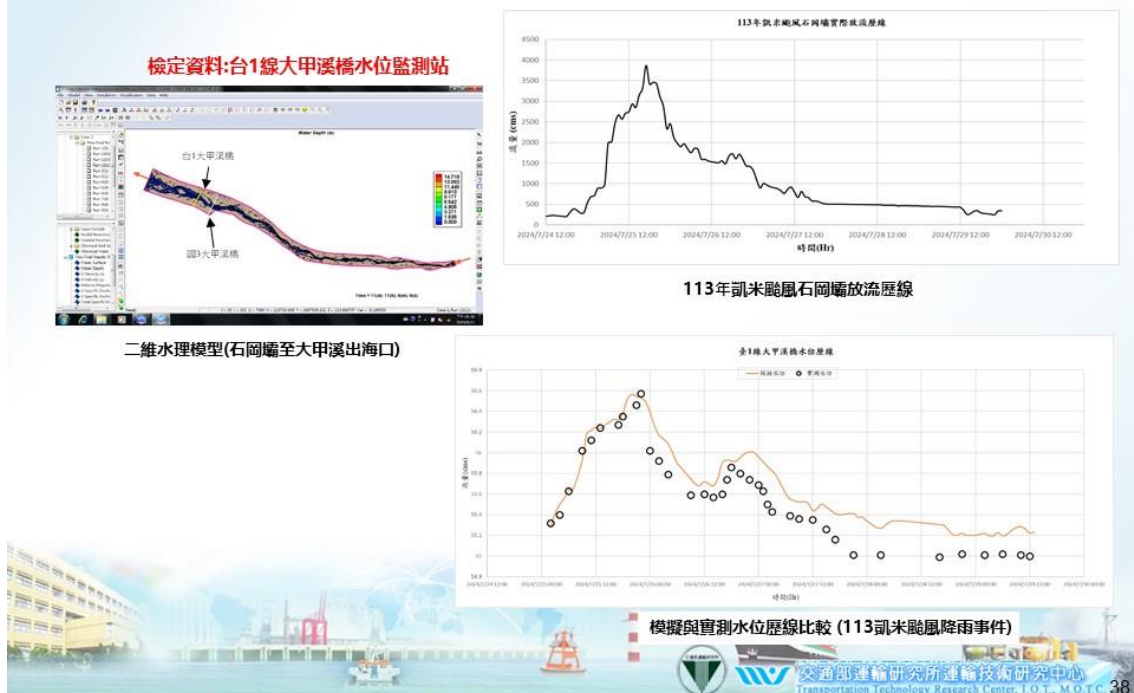
04 數值水理分析模型建置與分析

◆二維水理模型檢定結果(110盧碧颱風)



04 數值水理分析模型建置與分析

◆二維水理模型檢定結果(113凱米颱風)



五、階段性成果應用

05 階段性成果應用

◆ 111年獲智財局發明專利

【19】中華民國 【12】發明公開公報 (A)
【11】公開編號：202202698 申請實體審查：有
【43】公開日：中華民國 111 (2022) 年 01 月 16 日
【51】Int. CL: E02D31/00 (2006.01) E02D3/00 (2006.01)
E01D22/00 (2006.01)

【54】發明名稱：地工織布構架基礎保護工法
【21】申請案號：109123693 【22】申請日：中華民國 109 (2020) 年 07 月 14 日
【72】發明人：蔡立宏 (TW) TSAL LI-HUNG；柯正龍 (TW) KO JENG-LONG；賴瑞惠 (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 340 號

發明公開公報

【19】中華民國 【12】專利公報 (B)
【11】證書號數：I759792
【43】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：地工織布構架基礎保護工法
【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) TSAL LI-HUNG；柯正龍 (TW) KO JENG-LONG；賴瑞惠 (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 340 號

專利公報



專利證書

05 階段性成果應用

◆ 參與創技術發明競賽

- 111年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

Transportation Technology Research Center, I.O.T., M.O.T.C. 41

05 階段性成果應用

◆ 交通部例行記者會

- 111/10/18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。



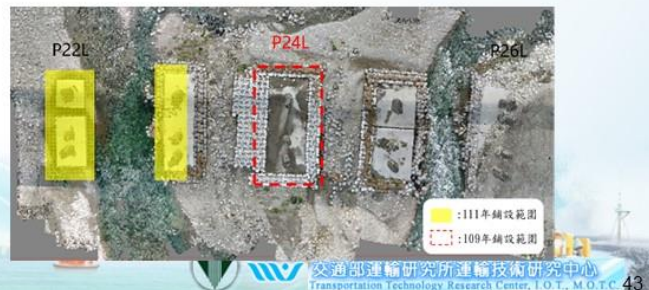
	新聞標題	刊登媒體
1	橋梁基礎保護新工法 提升橋梁抗沖刷能力	民眾日報
2	抗橋梁沖刷地工織布加分 運研所新工法獲專利	中央社
3	研發橋梁基礎保護新工法 交通部運研所獲專利	NOWnews今日新聞
4	保護橋基新工法！加一層「地工織布」有效減少9成維修	中國時報
5	運研所新工法提升橋樑基礎抗沖刷能力 獲發明專利	自由時報
6	運研所保護橋基新工法 獲專利及創新技術銀牌	中央廣播電台
7	橋梁基礎保護新工法 提升抗沖刷能力	台灣新生報

資料來源:本所公開室彙整

05 階段性成果應用

◆ 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。



05 階段性成果應用

◆ 創新提案

- 112/9/6參與交通部112年創新提案制度審查獲「甲等獎」，並於112/9/14 1885次部務會報中由部長親自授獎。
- 創新提案題目-「布」可沒有你~地工織布橋梁基礎保護工法。



05 階段性成果應用

◆ 成果參獎

- 113/11/29獲中華民國道路協會頒發「論文獎」表揚。
- 參獎論文-鼎型塊織布橋基保護工法三維數值水槽模型建置。



05 階段性成果應用

◆ 部務會報

- 112/9/14於1885次部務會報提案，報告說明並推廣予本部部屬機關(構)參用。
- 提案題目-橋基保護工法之研發與應用。



05 階段性成果應用

◆ 研討會成果發表

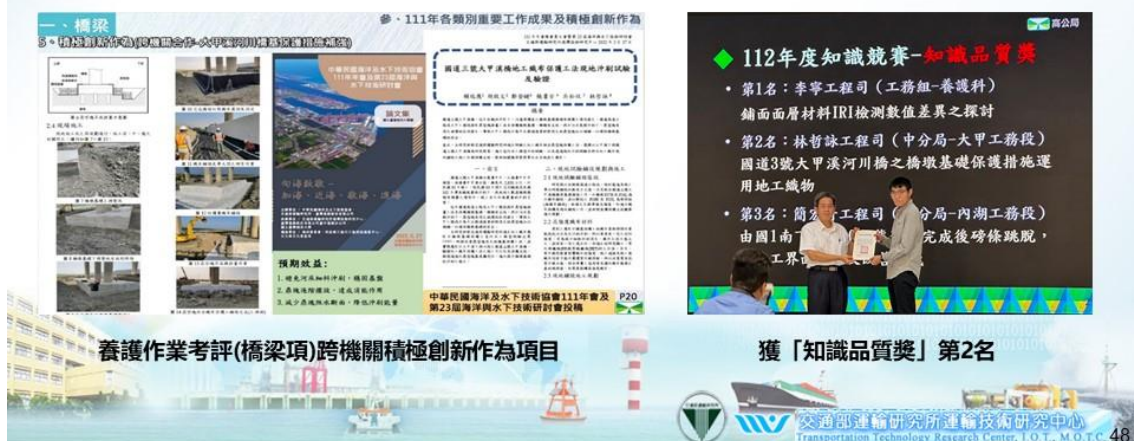
- 111年「第23屆海洋與水下技術研討會」-國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗。
- 113年「第42屆測量及空間資訊研討會」-以無人載具觀測改良型橋基保護工法成效評估案例。



05 階段性成果應用

◆ 跨機關合作 成果共營共享

本計畫所執行之階段性成果亦共享予**合作機關-高公局大甲工務段**做為**111年度養護作業考評(橋梁項)跨機關合作積極創新作為**，以及提報參與高公局**112年度知識競賽**，獲「**知識品質獎**」第2名。



六、結論與建議

06 結論與建議

◆ 結論:

- 本計畫工法係為改良既有的鼎型塊保護工法，經109年及111年底實際施作之經驗，因鋪設織布層所需增加之成本，在工期約增加12~17%左右，經費約增加10~12%左右。
- 本年度凱米颱風帶來豐沛之降雨量，使本計畫能進一步驗證本計畫工法之耐洪性及更新保護成效數據，損壞比-試驗組:對照組4%:38%，顯示本工法可提升保護工之耐洪性。
- 整體而言，本計畫工法以2期110~113年4年期觀測及驗證結果，本益比約達3.36，達延長保護橋基壽命，減少維修頻率及維護經費之效。
- 本年度計畫已完成大甲溪流域石岡壩至河口段之二維水理模型建置，將可提供三維數值橋基局部冲刷模擬時之邊界條件，再以不同重現期流量模擬分析，合理評估本工法之耐洪程度，配合現場試驗觀測結果，提供多元分析驗證之成果。



◆ 建議:

- 大甲溪流域於97年**辛樂克颱風**(石岡壩放流量**4,225cms**, 5年重現期)造成后豐大橋斷橋事件; 98年**莫拉克颱風**(石岡壩放流量**5,410cms**, 10年重現期), 而本計畫自110年觀測以來, 今(113)年度**凱米颱風**為最大觀測事件(石岡壩放流量**3,867cms**, 5年重現期), 其與98年莫拉克颱風事件**仍有差距**, 後續有待**超大豪雨事件(10年重現期)**及**擴增試驗區**來進一步評估及驗證。
- 本計畫工法雖經現場試驗結果驗證在**2年及5年重現期**洪水量下, 能提升保護能力, 但對於**超大豪雨事件(10年重現期以上)**之耐洪性為何?尚有賴**天候狀況**來驗證, 屬人為**不可控之因素**, 故將以先前年度計畫之數值分析經驗及成果為基礎, 於後續年度應用於現地試驗數值模擬分析, 以**補**在沒有**超大豪雨事件**發生之情形下, 提供另一合理之分析方式來進一步評估耐洪性。



簡報完畢
敬請指教

