

113-012-7D51

MOTC-IOT-112-H1CA001a

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

中華民國 113 年 3 月

113-012-7D51

MOTC-IOT-112-H1CA001a

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

著 者：胡啟文、蔡立宏、鄭登鍵
賴俊呈、蔡雅芳

交通部運輸研究所

中華民國 113 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
(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析/ 胡啟文,
蔡立宏, 鄭登鍵, 賴俊呈, 蔡雅芳著. -- 初版.
-- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 113.03
面 ; 公分

1.CST: 橋梁工程 2.CST: 結構工程 3.CST:
數值分析

441.815

113001469

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

著 者：胡啟文、蔡立宏、鄭登鍵、賴俊呈、蔡雅芳

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>本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 113 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資訊組•電話：(02)2349-6789

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

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

GPN：1011300226

ISBN：978-986-531-561-0(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。

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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-561-0 (平裝)	政府出版品統一編號 1011300226	運輸研究所出版品編號 113-012-7D51	計畫編號 MOTC-IOT-112-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、賴俊呈、蔡雅芳 參與人員：陶德勇、楊經楠、劉煥明 聯絡電話：04-2658-7200 傳真號碼：04-2657-1329			研究期間 自 112 年 1 月 至 112 年 12 月
關鍵詞：沖刷、水工模型試驗、鼎型塊、織布、數值水理分析			
摘要： 本計畫針對地工織布應用於橋墩基礎保護工法，以國道3號大甲溪橋為研究對象，於109年完成現地地工織布保護工法之鋪設，驗證地工織布保護工法之施工可行性，並於110-111年進行觀測，本年度(112年)除延續觀測試驗橋址鼎型塊的穩定性及成效評估外，另透過室內水工模型試驗結果檢定數值模擬所需參數，以FLOW-3D建置三維數值水槽模型，藉以探討鼎型塊+織布之條件設置及模擬程度，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。 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. 延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，建置鼎型塊+織布三維數值水理分析模型，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
113 年 3 月	208	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 (2/4)- Establishment and Analysis of Numerical Model for Bridge Foundation Scour			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-561-0 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300226	IOT SERIAL NUMBER 113-012-7D51	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-112-H1CA001a
DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chi-Wen Hu PROJECT STAFF: Teng-Chien Cheng, Chun-Cheng Lai, Ya-Fang Tsai PARTICIPATING STAFF: Te-Yung Tao, Ching-Nan Yang, Huan-Ming Liu 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 2021-2022. In this year (2023), besides the continuation to observe the tripod block stability on the bridge under test and assess the effectiveness, the parameters needed for numeric simulation will also be tested with the results by indoor hydraulic model test to build a 3-D numeric hydraulic model. We aim to discuss the feasibility and configuration methods of simulating the tripod block&geotextile within 3-D numerical hydraulic model. In subsequent projects, this discussion will contribute to utilizing three-dimensional numerical simulations for assessing the effectiveness of on-site geotextile protection, ensuring reasonable simulation analysis results and effectiveness evaluations. 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 building of the tripod block&geotextile 3-D numeric hydraulic model is based on the results of indoor hydraulic model tests at previous stage will be provided varied methods of analysis and effectiveness assessment. 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. 2024	NUMBER OF PAGES 208	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

(2/4)-數值水理分析模型建置

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	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 土工織物在山區道路邊坡保護之應用.....	2-1
2.2 土工織布於海洋環境中之工程特性.....	2-2
2.3 土工合成材料在永續工程之應用.....	2-3
2.4 模擬濁流中土工織物損傷之室內試驗.....	2-6
2.5 國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作.....	2-9
2.6 台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估.....	2-10
2.7 本所歷年橋墩保護工法之研究.....	2-14
2.8 三維數值水理模式應用於橋墩底床沖刷相關文獻.....	2-25

2.9 小結.....	2-28
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.....	3-12
第四章 數值水理分析模型建置.....	4-1
4.1 FLOW-3D 簡介.....	4-1
4.2 FLOW-3D 控制方程式.....	4-2
4.3 數值方法.....	4-12
4.4 室內水工模型水槽試驗.....	4-21
4.5 數值水理模型建置.....	4-29
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 階段性成果發表與推廣.....	5-5
5.5 實務應用情形.....	5-8
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	2-4
圖 2.2 採用回包式加勁擋土牆之暨南大學邊坡	2-5
圖 2.3 臺中秋紅谷四周加勁擋土牆植生茂密	2-5
圖 2.4 格網箱籠之海岸保護嘗試性大型試驗現場	2-7
圖 2.5 箱籠受到海岸礫石之往復磨損而破壞	2-7
圖 2.6 直徑 1.5 m 高 1.0 m 之圓形流槽	2-7
圖 2.7 織布之損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)及流動延時(T)之關係.....	2-8
圖 2.8 織布損傷度(PSR)與流速(Vm)及顆粒濃度(Pc)之關係.....	2-8
圖 2.9 織布在不同流速下損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)關係	2-8
圖 2.10 地工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖	2-10
圖 2.11 保護工施工程序	2-12
圖 2.12 橋梁耐洪能力詳細評估分析流程	2-13
圖 2.13 現況保護措施鼎型塊鋪設斷面示意圖	2-15
圖 2.14 現況保護措施模型鋪設	2-15
圖 2.15 無保護措施斷面示意圖	2-15
圖 2.16 無保護措施橋墩鋪設	2-15
圖 2.17 現況保護措施基礎上游沖刷情形	2-16
圖 2.18 無保護措施基礎沖刷情形	2-16
圖 2.19 一層鼎型塊+織布斷面示意圖	2-16
圖 2.20 一層鼎型塊+織布之鋪設	2-16
圖 2.21 一層鼎型塊+織布保護措施模型鋪設	2-16

圖 2.22 一層鼎型塊+織布保護措施基礎沖刷情形	2-16
圖 2.23 一層鼎型塊+織布+石籠斷面示意圖	2-17
圖 2.24 一層鼎型塊+織布+石籠保護措施模型鋪設	2-17
圖 2.25 一層鼎型塊+織布+石籠沖刷情形	2-17
圖 2.26 橋墩基礎上游整地	2-20
圖 2.27 橋墩基礎下游整地及地形降階	2-20
圖 2.28 高強度織布展開並以軟石固定於樁帽上	2-20
圖 2.29 完成樁帽四周之高強度織布吊放展開及固定	2-20
圖 2.30 平面高強度織布鋪設及單元間之綁紮作業	2-20
圖 2.31 防護層織布鋪設	2-20
圖 2.32 鼎型塊吊放與排置作業	2-21
圖 2.33 鼎型塊結合地工織布保護工鋪設完成(下游側)	2-21
圖 2.34 110 年盧碧颱風事件前後數值三維地形套疊結果	2-22
圖 2.35 水工模型試驗橋墩沖刷底床變化等深圖	2-24
圖 2.36 二維數值模擬橋墩沖刷底床變化等深圖	2-24
圖 2.37 菱柱橋墩數值模擬與試驗底床沖刷結果比較	2-27
圖 2.38 菱柱橋墩數模最大沖刷深度和沉積高度與試驗數據比較	2-27
圖 2.39 圓柱橋墩數值模擬與試驗底床沖刷結果比較	2-27
圖 2.40 圓柱橋墩數模最大沖刷深度和沉積高度與試驗數據比較	2-28
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 兩期數值三維模型(112/04/18 vs 112/08/23).....	3-7
圖 3.8 112/04/18 與 112/08/23 兩期數值三維模型套疊結果.....	3-7
圖 3.9 各橋墩兩期拍攝影像(112/04/18 vs 112/08/23).....	3-9
圖 3.10 兩期數值三維模型(112/08/23 vs 112/10/03).....	3-10
圖 3.11 112/08/23 與 112/10/03 兩期數值三維模型套疊結果.....	3-10
圖 3.12 各橋墩兩期拍攝影像(112/08/23 vs 112/10/03).....	3-12
圖 3.13 鼎型塊織布橋基保護工法施工流程.....	3-13
圖 3.14 110 年盧碧颱風現場水位監測影像(已漫淹整個試驗區).....	3-14
圖 3.15 110 年盧碧颱風後對試驗組(織布鋪設區)P24L 之影響.....	3-14
圖 3.16 110 年盧碧颱風後對照組(無織布鋪設區)P23L 之影響.....	3-15
圖 3.17 110 年盧碧颱風後對照組(無織布鋪設區)P25L 之影響.....	3-15
圖 4.1 FLOW-3D HYDRO_2022R2 版.....	4-1
圖 4.2 流體體積法之自由液面示意圖.....	4-5
圖 4.3 二維直角網格面積和體積比例係數計算示意圖.....	4-5
圖 4.4 FLOW-3D 沉積物傳輸模式物理過程示意圖.....	4-9
圖 4.5 交錯網格系統與控制體積通量示意圖.....	4-14
圖 4.6 多區塊結構網格示意圖.....	4-14
圖 4.7 FLOW-3D FAVOR 示意圖.....	4-15
圖 4.8 FLOW-3D 邊界選項模組.....	4-16
圖 4.9 FLOW-3D 六面邊界設定示意圖.....	4-17
圖 4.10 Tinkercad 繪圖平台製作三維模型.....	4-18
圖 4.11 利用 FAVOR 功能檢視匯入之 STL 模型文件.....	4-18
圖 4.12 水槽斷面圖.....	4-22

圖 4.13 水槽尾水控制閘門	4-22
圖 4.14 試驗水槽配置圖	4-23
圖 4.15 試驗橋墩模型照片	4-24
圖 4.16 吸管製成之蜂巢式整流器	4-25
圖 4.17 水槽試驗段佈設示意圖	4-26
圖 4.18 流量率定曲線圖	4-26
圖 4.19 試驗砂物理性質試驗情形	4-28
圖 4.20 底床試驗砂粒徑分布曲線	4-29
圖 4.21 數值水理模型網格設置情形	4-30
圖 4.22 邊界條件設定情形	4-31
圖 4.23 數值模擬結果與試驗結果之比較	4-31
圖 4.24 水槽試驗不同時間下沖刷結果(方柱體)	4-33
圖 4.25 水槽試驗與數值模擬在不同時間下沖刷結果比較(方柱體) ..	4-33
圖 4.26 水槽試驗(上)與數值模擬(下)沖刷地形比較(10min，方柱 體)	4-34
圖 4.27 水槽試驗不同時間下沖刷結果(圓柱體)	4-35
圖 4.28 水槽試驗與數值模擬在不同時間下沖刷結果比較(圓柱體) ..	4-35
圖 4.29 水槽試驗(上)與數值模擬(下)沖刷地形比較(10min，圓柱 體)	4-36
圖 4.30 鼎型塊數值模型在不同網格下數化情形	4-37
圖 4.31 數值模型取半對稱分析	4-37
圖 4.32 全域流況分析-流體穩定情形	4-38
圖 4.33 局部網格細化模擬分析	4-38
圖 4.34 2:1 土中應力傳遞法	4-39

圖 4.35 有無考量土中應力增量後數值模擬結果之比較.....	4-40
圖 4.36 方形基礎+鼎型塊保護工數值模擬結果(不同角度).....	4-40
圖 4.37 方形基礎+鼎型塊保護工水槽試驗結果	4-41
圖 4.38 地工織布設置情形	4-42
圖 4.39 方形基礎鼎型塊+織布保護工數值模擬結果(不同角度).....	4-42
圖 4.40 方形基礎鼎型塊+織布保護工水槽試驗結果	4-43
圖 4.41 水槽試驗(下)與數值模擬(上)沖刷地形比較(10min，鼎型塊+織布)	4-43
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 投稿論文短摘要	5-6
圖 5.7 論文發表情形	5-6
圖 5.8 交通部部務會議提案報告	5-8
圖 5.9 現勘情形	5-8
圖 5.10 第 1 次施工前協調會討論情形	5-9
圖 5.11 111 年度地工織布預計鋪設範圍	5-9
圖 5.12 第 2 次施工前協調會討論情形	5-10
圖 5.13 鼎型塊織布橋基保護工法細部施工斷面圖	5-11
圖 5.14 國 3 大甲溪橋 P21L~P22L 橋基保護工作施工範圍	5-12
圖 5.15 國 3 大甲溪橋 P21L~P22L 橋基保護工作施工過程	5-12
圖 5.16 大甲段 111 年度養護作業考評(橋梁項)積極創新作為項目 ..	5-13
圖 5.17 高公局 112 年度知識競賽獲獎情形	5-13

表目錄

表 2-1 室內試驗不同鋪設方案最大沖刷深度及鼎型塊穩定度比較 ..	2-22
表 2-2 110-111 年試驗場址鼎型塊變化情形	2-25
表 3-1 110 年盧碧颱風事件後試驗場址鼎型塊變化情形	3-15
表 4-1 臨界流速公式	4-27
表 4-2 物理性質試驗所取得之參數	4-29
表 4-3 數值模擬邊界設定	4-30
表 4-4 數值模擬主要泥砂參數	4-31
表 4-5 依 2:1 傳遞法所得鼎型塊下不同深度所對應之密度	4-39
表 4-6 土工織布材料規格表	4-41
表 5-1 例行記者會後各媒體刊登一覽表	5-7

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

驗橋址並探討地工織布結合鼎型塊之保護成效及研擬鋪設改善方案，已獲初步結果，惟仍需透過長期性之觀測及有待超大豪雨事件來進一步驗證本計畫之保護成效。111 年「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」除持續進行現場試驗觀測外，並探討二維數值水理分析模式之可行性。另本計畫保護工法因具有創新應用性，於該年度獲經濟部智慧財產局「發明專利」及 2022 台灣創新技術博覽會發明競賽「銀牌獎」。本計畫(112 年)將透過建置三維數值水槽模型、室內水工模型試驗及持續觀測現場試驗，進行多元分析驗證及成效評估，做為未來橋管單位鋪設橋墩基礎保護工法之應用。

1.2 研究目的

本計畫研究目的如下：

1. 藉由現地試驗之觀測，驗證地工織布保護工法之保護成效。
2. 延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，建置三維數值水槽模型，藉以探討鼎型塊+織布之條件設置及模擬程度，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。
3. 相關研究成果將可提供相關橋梁維管機關(構)(高速公路局、臺灣鐵路股份有限公司、公路局及縣市政府)未來施政之參考，以提升橋墩基礎耐洪能力，滿足運輸安全需求。

1.3 研究方法

本計畫以本所 109 年於國道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，並以室內水工模型試驗結果，建置三維數值水槽模型，以供相關單位及本所後續研究之參考。計畫研究方法說明如下：

1. 相關文獻蒐集與回顧

相關橋基沖刷工法及三維數值水理分析研究文獻蒐集與彙整。

2. 建置數值水理模型

延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，建置三維數值水槽模型，供後續研究進行多元化分析驗證及成效評估。

3. 地工織布橋墩基礎保護工法成效觀測與評估

以無人飛行載具(UAV) 至試驗橋址，藉由近景攝影測量方式，進行橋墩基礎周遭河床變化、鼎型塊變位或流失等指標觀測。依據觀測數據，進行試驗橋墩基礎與鄰近橋墩基礎的保護工法穩定度比較探討，以評估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(112 年)之主要研究內容說明如下，其工作流程如圖 1.1 所示。

1. 相關文獻及資料蒐集

蒐集國內外橋基保護工法、橋基沖刷及三維數值水理分析之應用案例，據以彙整研析。

2. 保護成效觀測

以無人飛行載具(UAV) 至試驗橋址，藉由近景攝影測量技術，以國道 3 號大甲溪橋橋墩基礎(P21L~P26L)周遭河床變化、鼎型塊變位或流失等變化為指標進行觀測。

3. 保護成效評估

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

4. 建置數值水理模型

以室內水工模型試驗成果為基礎，做為數值模型相關水文參數及邊界條件設定之參據，建立可行之三維數值水槽分析模型，以供後續橋基冲刷模式使用。

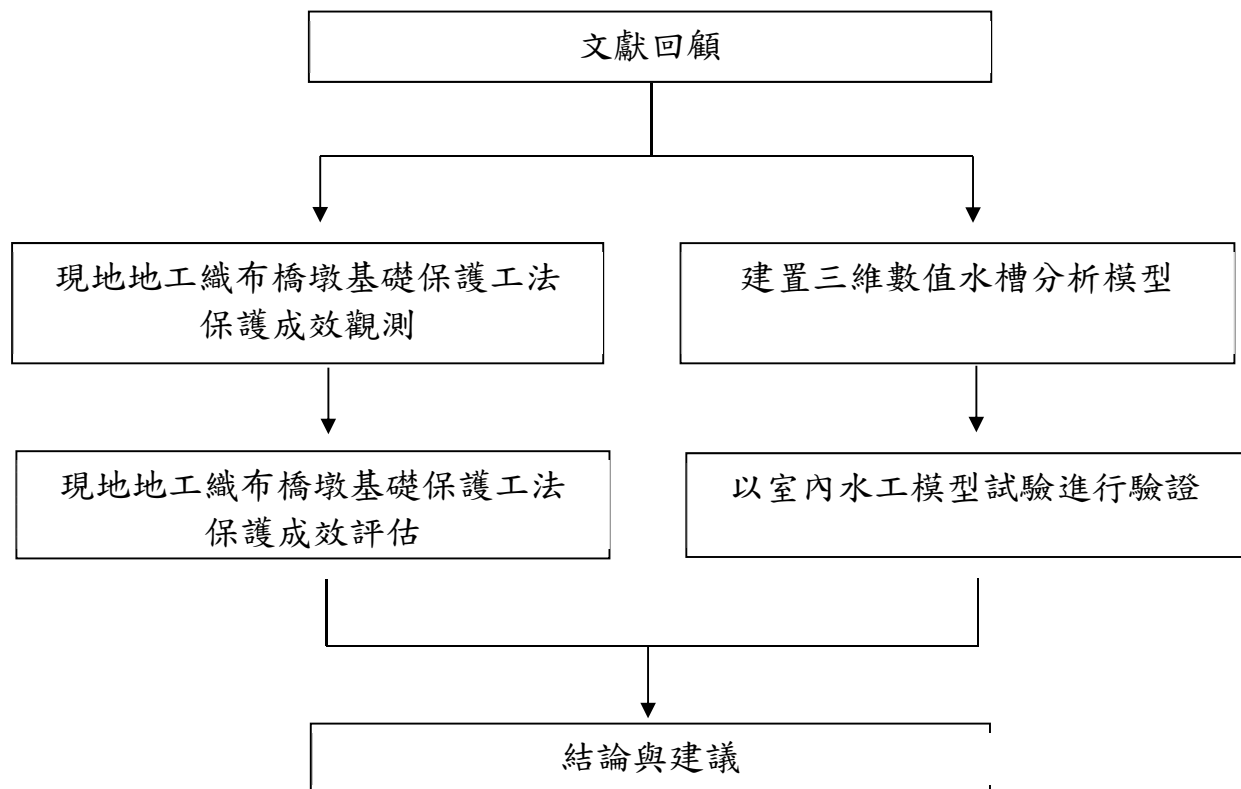


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章蒐集過去地工織布、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 地工織物在山區道路邊坡保護之應用

「地工織物在山區道路邊坡保護之應用」^[15]為正修科技大學營建工程研究所單明陽副教授於民國 97 年發表於現代營建之論文，該論文針對地工織物之材料特性、山區道路破壞機制及地工織物應用於山區道路邊坡保護案例做探討，茲摘錄相關研究成果如下：

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

2.2 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」^[13]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掏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。

2.3 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」^[24]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。

不織布



土包袋



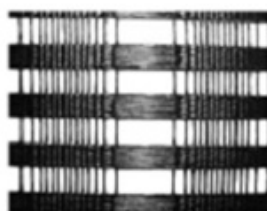
蜂巢格網



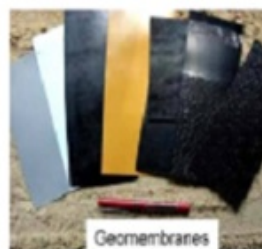
織布



土工格網



止水膜



土石籠袋



土工沙袋



土工沙腸



織物模板



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

2.4 模擬濁流中地工織物損傷之室內試驗

「模擬濁流中地工織物損傷之室內試驗」^[16]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 ‘ R_t -method’來預測，根據試驗結果， $R_t = 18\% / (\text{對數時間循環})$ 。



圖 2.4 格網箱籠之海岸保護嘗試性大型試驗現場



圖 2.5 箱籠受到海岸礫石之往復磨損而破壞



圖 2.6 直徑 1.5 m 高 1.0 m 之圓形流槽

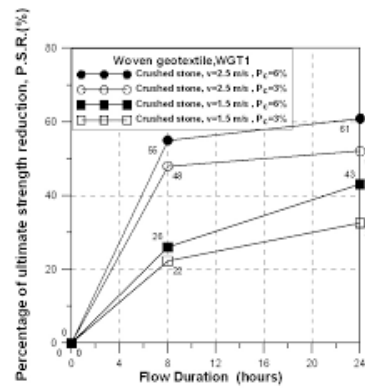


圖 2.7 織布之損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)及流動延時(T)之關係

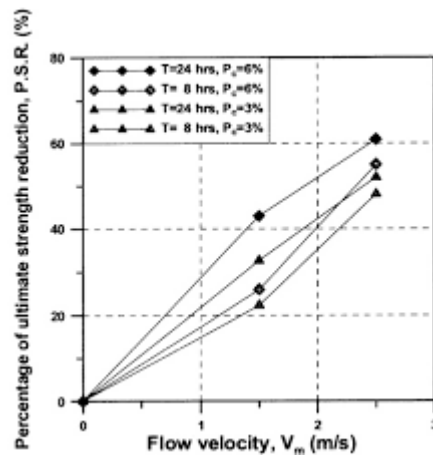


圖 2.8 織布損傷度(PSR)與流速(Vm)及顆粒濃度(Pc)之關係

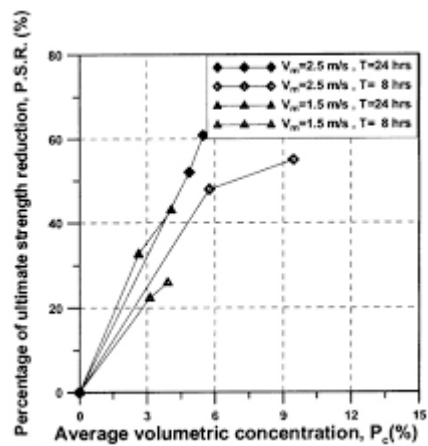


圖 2.9 織布在不同流速下損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)關係

2.5 國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作

「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」^[21]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。

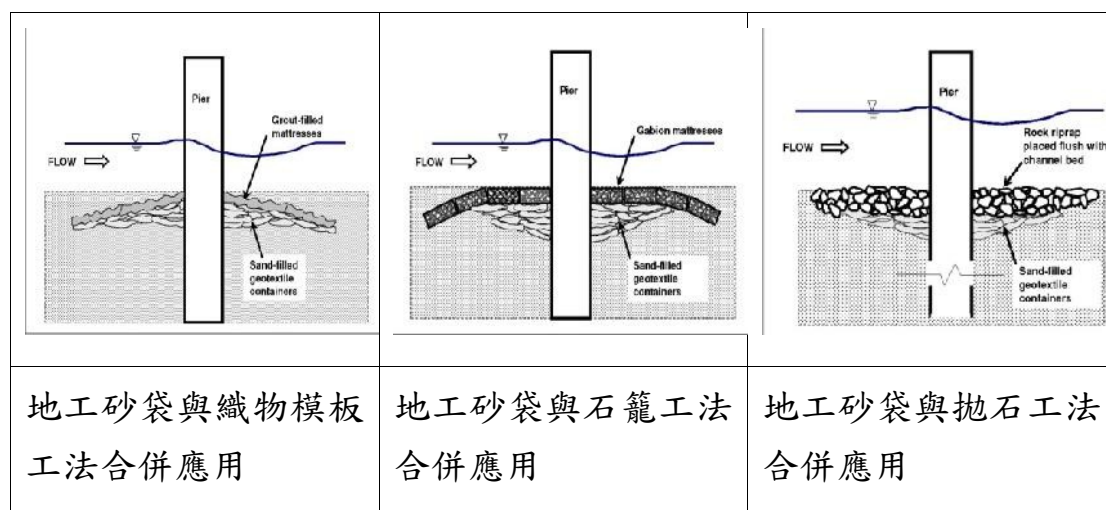


圖 2.10 土工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖

2.6 台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估

該研究^[22]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冲刷工法如下：

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

保護工施工程序如圖 2.11 所示。

另提出橋梁耐洪能力詳細評估流程，考慮冲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) 計算橋墩最大冲刷深度
- (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，作為公路局應變水情管理值。

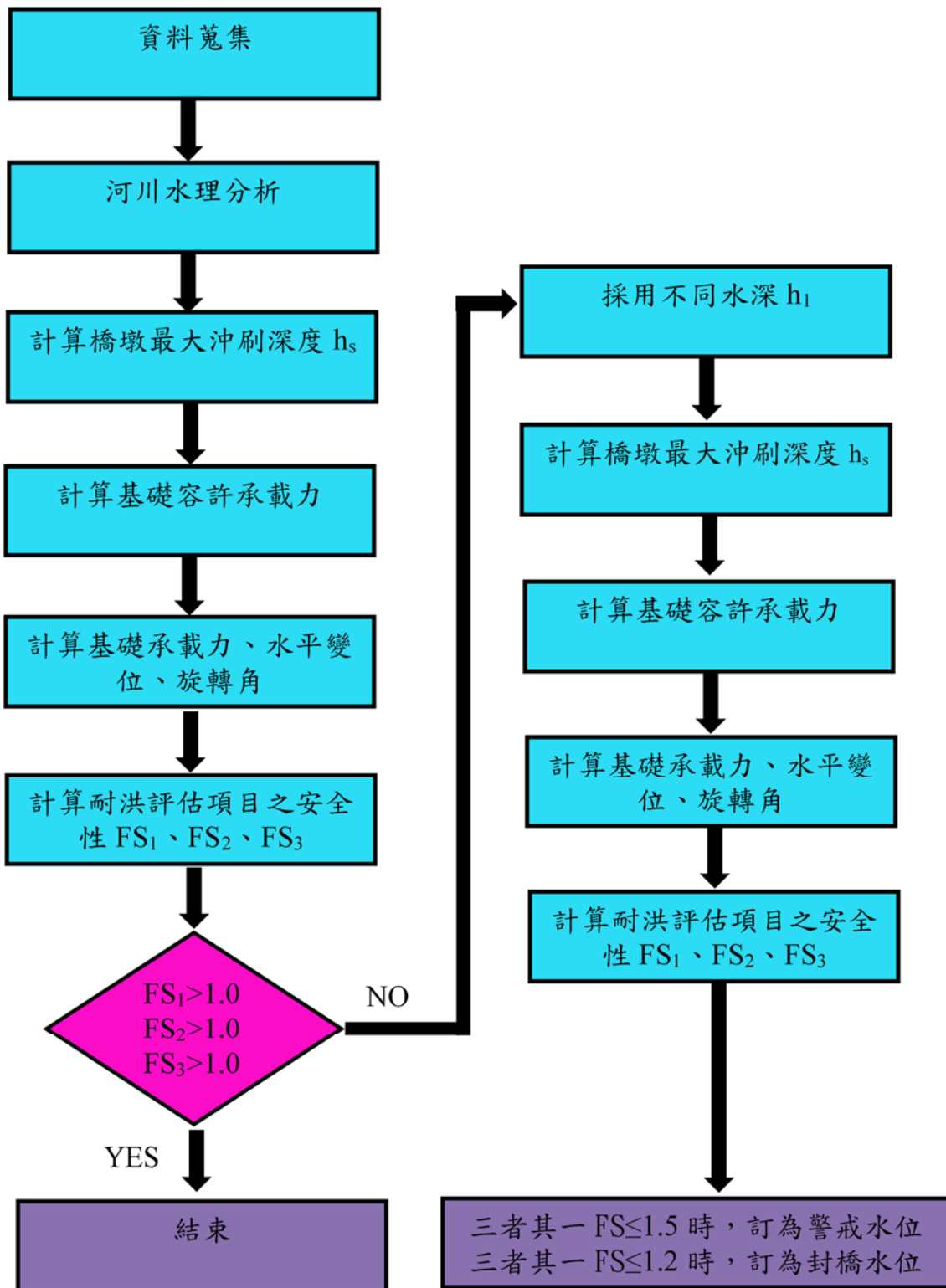


圖 2.12 橋梁耐洪能力詳細評估分析流程

2.7 本所歷年橋墩保護工法之研究

整體計畫緣起係為大甲溪下游流域之橋梁管理單位，通常以鼎型塊疊放於橋墩基礎周圍來保護橋墩基礎，雖鼎型塊可達保護橋墩基礎免於遭到沖刷破壞功效，但仍有型塊傾倒或流失之問題，造成前述問題因素眾多，除吊裝前置整地不確實、鼎塊底部無以卵石做基底、鼎型塊吊放無考量鼎型塊形狀堆疊互制...等之外，最主要原因仍為鼎型塊底床粒料被沖刷所致，爰有於鼎型塊下方多鋪設一層織布來減緩沖刷之構想產生，並規劃室內橋墩水工模型及現地鋪設試驗進行驗證，以提供相關橋梁維管機關(構)(國道高速公路局、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」^[26]所於 107 年完成之研究計畫，係以原保護工鋪設方式及 4 種保護工鋪設方案(不考慮保護工之材料耐久性)的試驗結果，比較其最大沖刷深度及下游鼎型塊穩定度之結果顯示：a.現況保護措施(如圖 2.13~2.14 所示)與零方案(無保護工，如圖 2.15~2.16 所示)之沖刷結果顯示，現況保護措施最大沖刷深度 7.5cm(如圖 2.17 所示)小於無保護措施最大沖刷深度 8.7cm (如圖 2.18 所示)，顯示現況保護措施有其成效。b.現況保護措施為達到與橋墩基礎樁帽高程一致，遂鋪設二層鼎型塊，依本所過去的研究結果顯示，相關保護措施若高於現況河床，將會導致橋墩基礎阻水斷面增加，進一步可能增加橋墩基礎之沖刷深度，爰將橋墩基礎保護措施降為一層之鼎型塊保護，並在鼎型塊下方鋪設織布以防止下層細粒料的流失(如圖 2.19~2.21 所示)，沖刷試驗結果(如圖 2.22 所示)橋墩基礎最大沖刷深度由 7.5cm 降為 1.4cm，顯示優於現況保護措施。c.為避免下游向源侵蝕的作用，導致鼎型塊的滑落與流失，遂在鼎型塊下游鋪設石籠作為保護(如圖 2.23~2.24 所示)，試驗結果顯示(如圖 2.25 所示)確實對下游鼎型塊的穩定度有很大的成效。

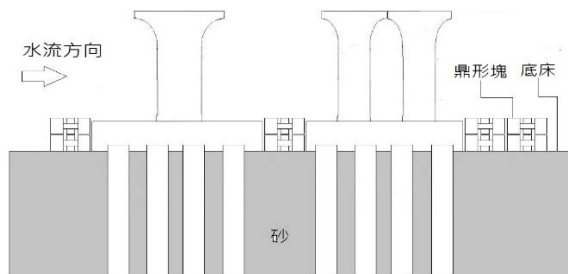


圖 2.13 現況保護措施鼎型塊鋪設斷面示意圖



圖 2.14 現況保護措施模型鋪設

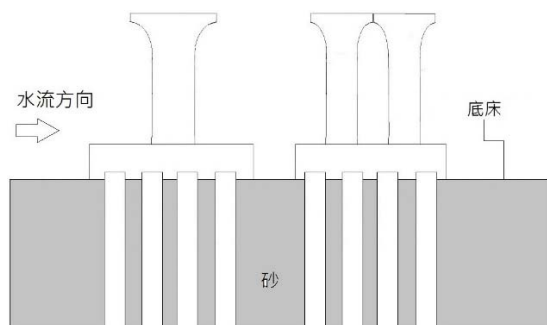


圖 2.15 無保護措施斷面示意圖



圖 2.16 無保護措施橋墩鋪設



圖 2.17 現況保護措施基礎上游冲刷情形



圖 2.18 無保護措施基礎冲刷情形

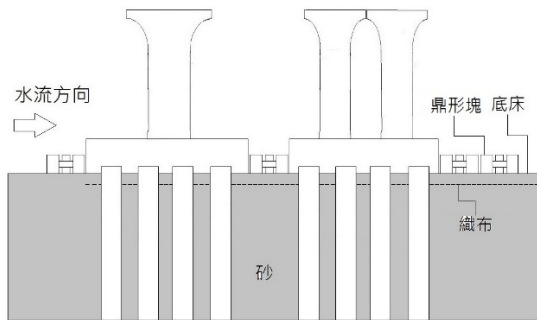


圖 2.19 一層鼎型塊+織布斷面示意圖



圖 2.20 一層鼎型塊+織布鋪設



圖 2.21 一層鼎型塊+織布保護措施模型鋪設

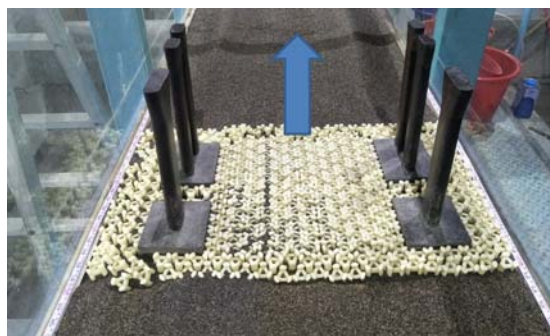


圖 2.22 一層鼎型塊+織布保護措施基礎冲刷情形

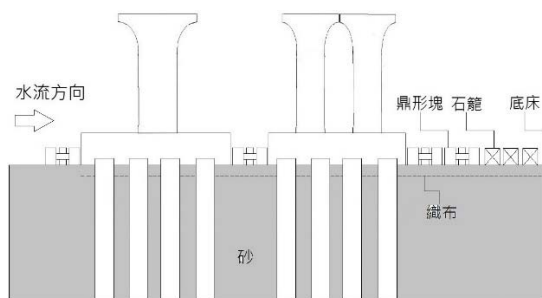


圖 2.23 一層鼎型塊+織布+石籠
斷面示意圖



圖 2.24 一層鼎型塊+織布+石籠
保護措施模型鋪設



圖 2.25 一層鼎型塊+織布+石籠冲刷情形

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」^[27]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)(國道高速公路局、臺灣鐵路股份有限公司及公路局)，歷年於非汛期進行橋墩基礎保護工施作時，通常以鼎型塊疊放於橋墩基礎周圍來保護橋墩基礎，由歷年之保護成效評估，鼎型塊已達到保護橋墩基礎免於遭到冲刷破壞的功效，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 號大甲溪橋 P27R~P28R 橋墩間及下游的鼎型塊下方地工織布試鋪的案例得知，地工織布之鋪設其施工性是可行的，惟日後針對實務面遭遇的水下施工問題、單元間的搭接及織布上游的回包施作簡化問題，若能尋求相關的解決方案，則能增進地工織布橋墩基礎保護工之施工性。

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

組增加 5%之使用年限，或於生命週期能較對照組少補鋪設數量達 5% 以上，則織布之鋪設有其經濟效益。

3. 109 年度「地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」

「地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」^[29]為本所於民國 109 年完成之研究計畫，係針對本所過去水工模型試驗結果，所研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，以國道 3 號大甲溪橋 P24L 及 P27R 為試驗橋址，進行地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設，以驗證保護工法之施工性及保護成效，提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路局、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 2.26 所示，基礎下游側地形依規劃進行降階地形整地，如圖 2.27 所示。

(2)高強度織布及防護層織布鋪設

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

接著以相同方式鋪設防護層織布，如圖 2.31 所示。

(3)鼎型塊排置

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



圖 2.26 橋墩基礎上游整地



圖 2.27 橋墩基礎下游整地及地形降階



圖 2.28 高強度織布展開並以軟石固定於樁帽上



圖 2.29 完成樁帽四周之高強度織布吊放展開及固定



圖 2.30 平面高強度織布鋪設及單元間之綁紮作業



圖 2.31 防護層織布鋪設



圖 2.32 鼎型塊吊放與排置作業



圖 2.33 鼎型塊結合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」^[30] 為本所於民國 110 年完成之研究計畫，係針對本所過去將地工織布結合鼎型塊保護工法實際鋪設於國道 3 號大甲溪橋 P24L 為試驗橋址，觀測並驗證保護工法之施工性及保護成效，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 2.34)，有鋪設地工織布試驗橋址(試驗組)相較於未鋪設地工織布之橋址(對照組)周圍鼎型塊之流失及傾斜之情形較少，初步驗證地工織布能有效減緩向下水流掏刷作用，減少鼎型塊下方河床粒料流失，以維持鼎型塊穩定性。

而經室內斷面水工模型沖刷試驗結果顯示(表 2-1)，地工織布結合鼎型塊保護工法，其保護橋梁基礎沖刷的成效優於無鋪設織布之鼎型塊保護工法，且鼎型塊流失的情況也有顯著改善，顯示鋪設地工織布有其必要性。由圍繞橋墩基礎不同排數的鼎型塊保護方案沖刷結果顯示，三排優於二排，二排優於一排，顯示未來鼎型塊鋪設圍繞橋墩基礎的排數越多越好。鼎型塊鋪設有無降階之方案比較顯示，有降階的方案優於無降階。依據本年度試驗結果，透過現場會勘及討論方式，將相關斷面鋪設原則提供高速公路局中區養護分局大甲工務段納入 111 年度橋梁養護工作內執行，未來將持續進行觀察，進一步驗證地工織布之效用，

相關成果將提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路局、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。

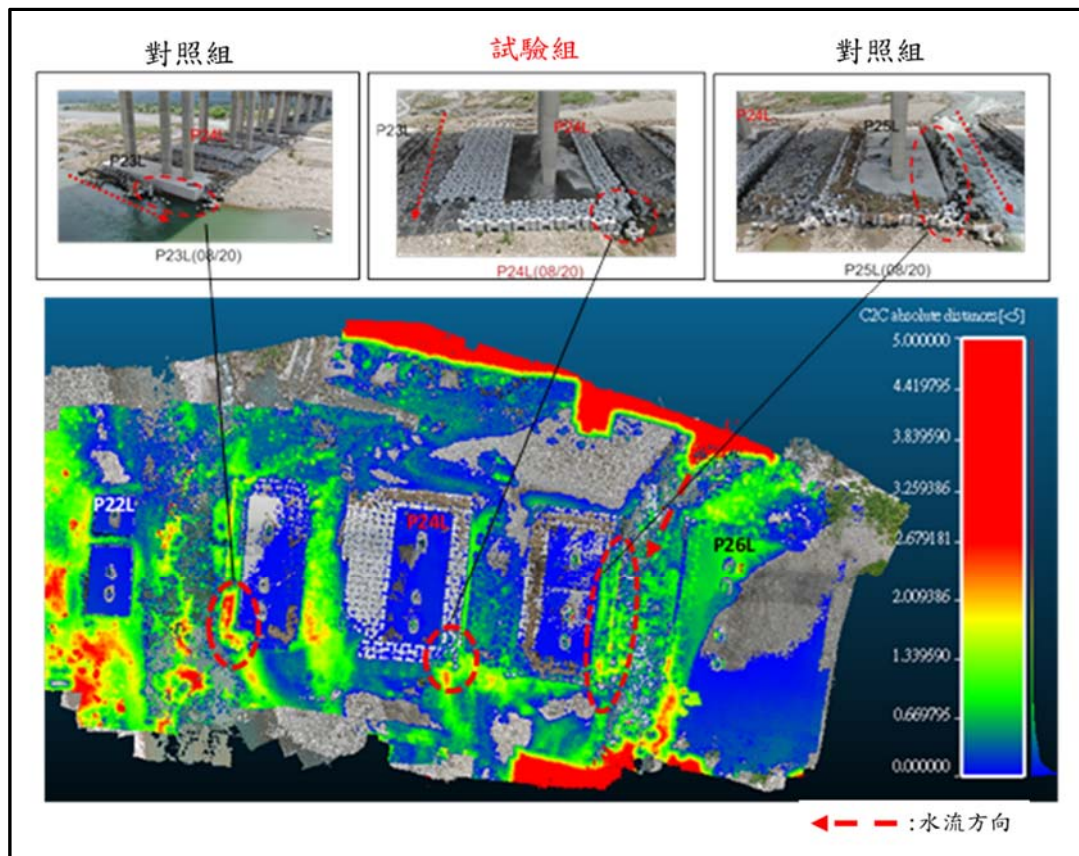


圖 2.34 110 年盧碧颱風事件前後數值三維地形套疊結果

表 2-1 室內試驗不同鋪設方案最大沖刷深度及鼎型塊穩定度比較

方案	鼎型塊鋪設情形	土工織布鋪設情形	最大沖刷深度	鼎型塊穩定度
1	N/A	N/A	9.4 cm	-
2	2 排環繞，無降階	N/A	2.8 cm	嚴重-河槽區鼎塊大範圍側傾
3	2 排環繞，無降階	平鋪於鼎型塊下 (直接接觸)	2.7 cm	明顯-迎水面局部鼎塊側傾(河槽區部分粒料掏刷)
4	2 排環繞+降階	N/A	1.9cm	輕微-迎水面局部鼎塊側傾

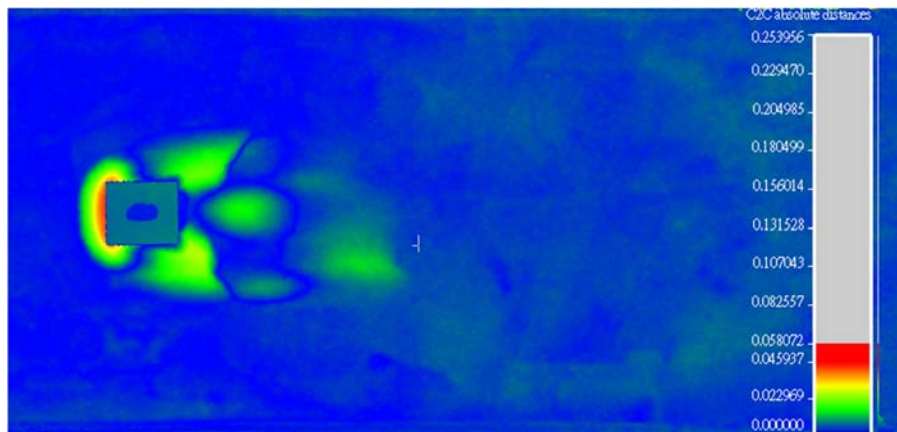
5	2 排環繞，僅下游側降階	N/A	2.2cm	明顯-迎水面及河槽區鼎塊局部側傾
6	2 排環繞，僅下游側降階	平鋪於鼎型塊下(直接接觸)	1.6cm	輕微-迎水面鼎塊局部側傾
7	3 排環繞，無降階	N/A	2.8cm	輕微-迎水面鼎塊局部側傾
8	3 排環繞，無降階	平鋪於鼎型塊下(直接接觸)	1.3cm	輕微-迎水面鼎塊基礎粒料局部掏刷
9	N/A	斜鋪於自然開挖面上，並以試驗砂填平	7 cm	-
10	2 排環繞，無降階	斜鋪於自然開挖面上，並以試驗砂填平	1.5cm	明顯-迎水面全部鼎塊側傾
11	1 排環繞	斜鋪於自然開挖面上，並以試驗砂填平	2.3cm	明顯-迎水面局部鼎塊側傾(河槽區部分粒料掏刷)

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)-數值水力分析模型建置」

「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水力分析模型建置」^[32]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，並透過室內水力模型試驗結果，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。

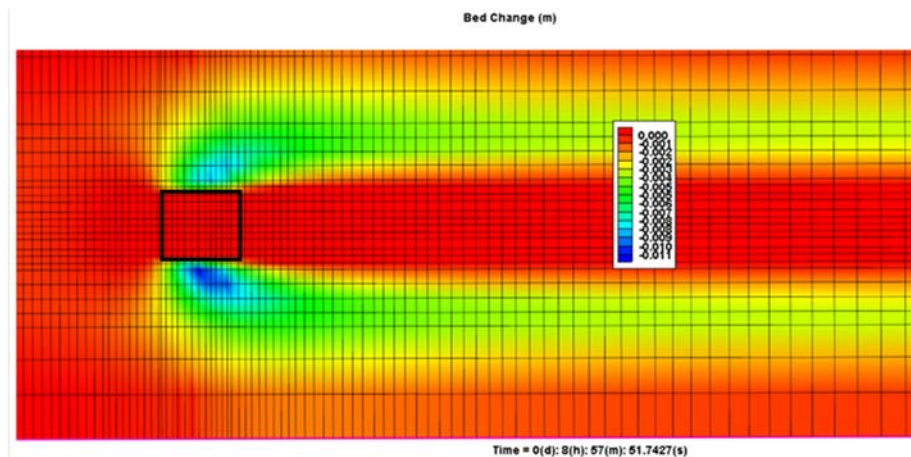
在二維數值水力分析部分係採美國國家計算水科學及工程中心(NCCHE)所開發之 CCHE2D 水平二維明渠流動床模式進行模擬，水力模型試驗底床變化之結果如圖 2.35，二維數值水力分析模擬底床變化之結果如圖 2.36 所示，兩者存有差異，探究其原因係為二維數值分析模式受到水深平均之假設條件限制，其模擬結果為一較平均流場下之沖淤現象，對於水流沖擊試驗橋墩後產生之向下流場無法顯示，因此模擬結果呈現橋墩之最大沖刷位置集中於墩側區域，於墩前位置無局部沖刷，致沖刷分布與實際試驗結果差異，爰本(112)年度計畫將以三維數值分析模式模擬向下流場與局部沖刷效應，以反映真實之水流運動情形。

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 2.35 水工模型試驗橋墩冲刷底床變化等深圖



單位:cm

圖 2.36 二維數值模擬橋墩冲刷底床變化等深圖

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

2.8 三維數值水力模式應用於橋墩底床沖刷相關文獻

「環圈堆保護橋墩之試驗及其三維流場之數值模擬」^[14] 為國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士班研究生陳建宇於民國 96 年發表之碩士論文，透過水工試驗探討保護工對於橋墩基礎底床沖淤變化的影響，然因試驗場地限制，致難以使用儀器量測流速，爰採 FLOW-3D 模擬底床周圍流場，以探討不同保護工配置對橋墩保護之成效，結果顯示正向水流雖會被保護工分為左右兩股高速水流於兩側渠道，但在保護工後形成廣大的流速緩區，而涵蓋整個橋墩周圍，達保護橋墩基礎的功效。

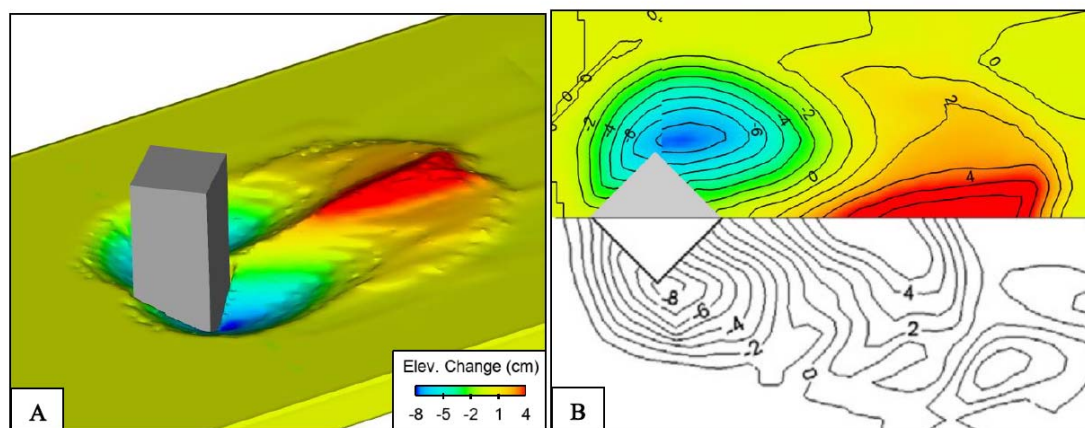
「局部沖刷對沖積河川影響之研究」^[19] 為國立臺灣大學土木工程學研究所碩士班研究生陳峰琨於民國 100 年發表之碩士論文，該研究係以 FLOW-3D 數值模擬來探討局部沖刷於橋墩附近的流況變化及其物理機制，並以後豐大橋的橋梁沖刷及大甲溪河床固床保護工的間隙沖刷兩種不同現場案例進行探討，於定床的模擬中，第一根橋柱前的水深比較，其數值結果實驗結果相當吻合；於動床模擬中，有跌水沖刷的部分，主要沖刷位置會集中在橋柱前方形成一個沖刷坑，同時底床被掏刷過程中，橋柱迎水面會受到強勁的水流的流速衝擊，橋柱靠近底床部分最大，往上遞減。無跌水沖刷的部分，主要沖刷位置落在第一根橋柱周圍，其因素歸因於向下射流以及馬蹄型渦流。而固床工的間隙沖刷模擬，當底床設置為固床時，可以發現不論在何種大小流量下都會在第三階部分產生一個明顯的 Z 方向流速，並於固床工邊緣產生明顯的渦流。

「應用 FLOW-3D 模擬橋墩周圍流場及底床沖刷之研究」^[23] 為國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士班研究生劉家齊於民國 104 年發表之碩士論文，係利用 FLOW-3D 模擬橋墩周圍流場及沖刷之情形，以定量流況下非均勻橋墩沖刷之模型試驗對數值模式進行驗證，結果顯示 FLOW-3D 數值模式可以合理模擬橋墩沖刷情形。

「環圈柱橋墩保護工周圍流場之研究」^[18] 為私立逢甲大學水利工程與資源保育研究所碩士班研究生林志遠於民國 109 年發表之碩士論文，該研究係以環圈柱橋墩基礎保護工法(具有彈性的橡皮環圈組成具透水性之類圓柱體，設置於橋墩上游，利用其不規則表面糙度及多孔隙透水特性以削弱水流對橋墩的衝擊能量)為對象，利用 FLOW-3D 模擬環圈柱保護工與橋墩周圍之流場，以瞭解設置與未設置橋墩保護工時之流場變化及其特性，提出較理想之保護工配置模式，期能減緩橋墩沖刷，進而解決落橋問題。模擬結果顯示，設置任何配置形式之環圈柱保護工均較未設置時能有效保護橋墩基礎。當環圈柱之直徑與橋墩同寬時，水流繞流過環圈柱後，不會直接衝擊橋墩前緣，可得到最佳保護效果。此外，於高水位時環圈柱將潛沒於水中，當水流越過環圈柱頂部後產生向下射流現象，加劇垂向流速之能量，對於環圈柱下游底床產生較大之沖刷深度，不利於橋墩安全。因此環圈柱設置須高於水面，才能達到預期效果。

Brian et al.(2019)^[10]參考 Khosronejad(2012)^[7]三維定速水流之圓柱和菱柱橋墩沖刷試驗的試驗結果，於相同試驗條件下利用 FLOW-3D 進行模擬比較，菱柱橋墩模擬的最大沖刷深度為 8.5cm，與試驗值 8.3cm 相差不到 3%，而橋墩下游的沉積模式部分，模擬的最大沉積高度為 6.0cm，與試驗值 5.5cm 相差不到 9%(圖 2.37)；圓柱橋墩數值模擬的沖刷坑的平均深度約為 7.5cm，接近橋墩前部約 60 度的位置，與最大試驗沖刷深度 6.7cm 相差不到 12%，而在橋墩下游最大沉積高度為 2.9cm，與試驗量測的 4.1cm 相差不到 30%，數值模擬沉積的位置相對於試驗較為向下游偏移(圖 2.39)，在下游沉積高度及位置模擬上與試驗有些差異。圖 2.38 及圖 2.40 分別為菱柱橋墩及圓柱橋墩數值模擬與試驗的最大沖刷深度隨時間變化的情況，整體而言，其模擬值與試驗值發展上呈現趨勢相近之結果，可合理模擬床載運、搬運、沉降…等型態下之三維

動床分析。



(a) 沖刷和沉積的立體等深圖 (b) 數值模擬 (上方) vs 試驗 (下方)

圖 2.37 菱柱橋墩數值模擬與試驗底床沖刷結果比較

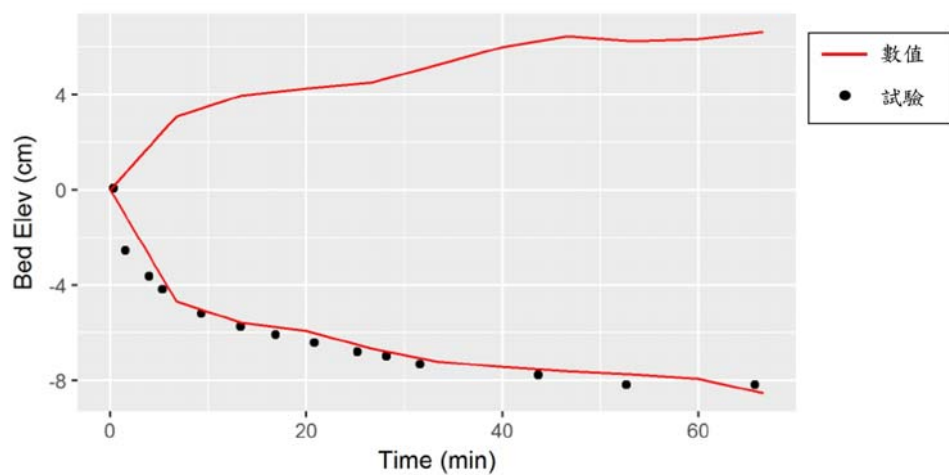
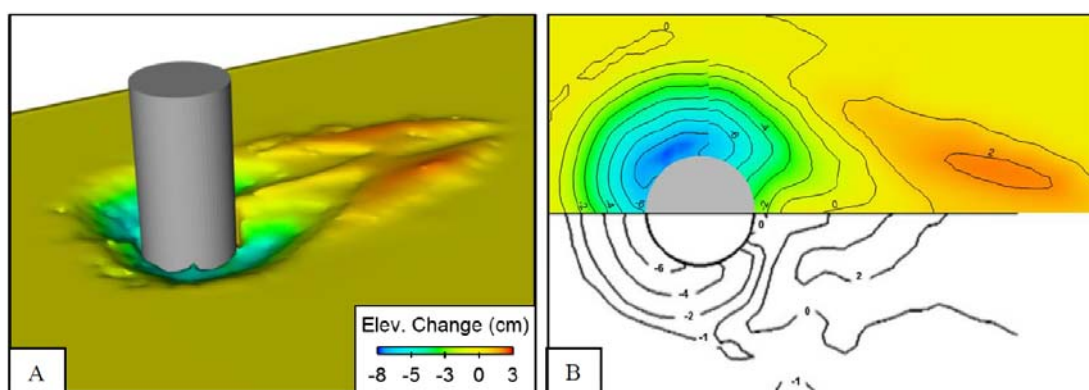


圖 2.38 菱柱橋墩數模最大沖刷深度和沉積高度與試驗數據比較



(a) 沖刷和沉積的立體等深圖 (b) 數值模擬 (上方) vs 試驗 (下方)

圖 2.39 圓柱橋墩數值模擬與試驗底床沖刷結果比較

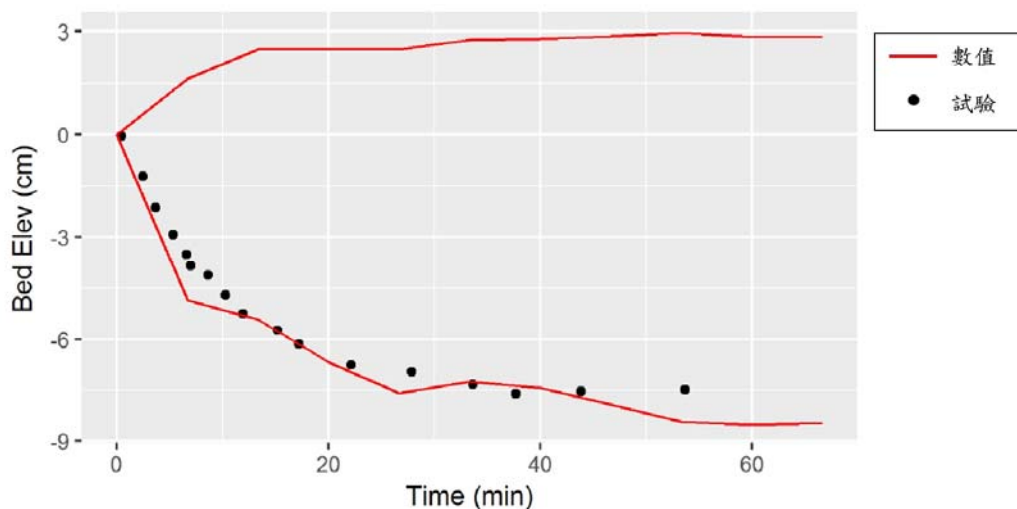


圖 2.40 圓柱橋墩數模最大沖刷深度和沉積高度與試驗數據比較

2.9 小結

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

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

於模擬各類河道不同時間尺度下水理分析、沖淤模擬及局部沖刷，依前述文獻應用案例，可知 FLOW-3D 使用於河道及室內渠槽試驗之數值模擬上皆可獲得穩定的模擬結果或趨勢，可做為本計畫將延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，來建置三維數值水槽模型，後續將使用該數值軟體做為本計畫主要建置數值水理模型之應用工具，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，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持續進行長期性的觀測及有待超大豪雨事件來進一步驗證本計畫工法之保護成效，因此，本(112)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。

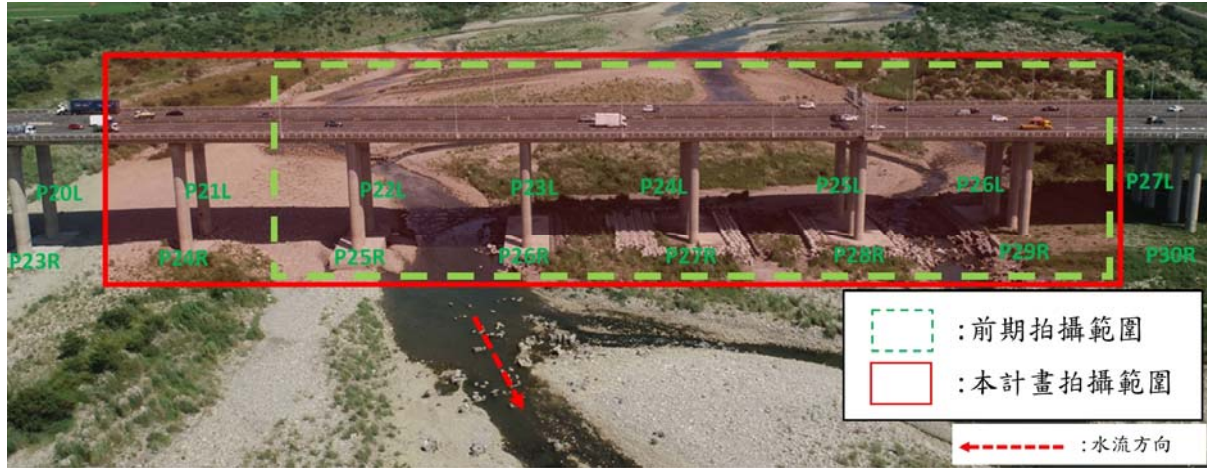


圖 3.1 航拍範圍示意圖

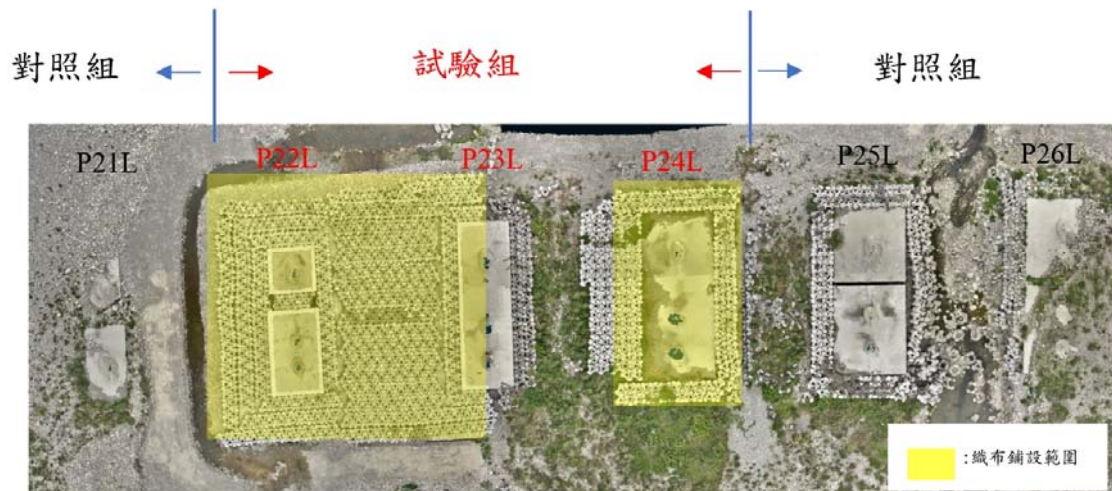


圖 3.2 土工織布鋪設範圍

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。

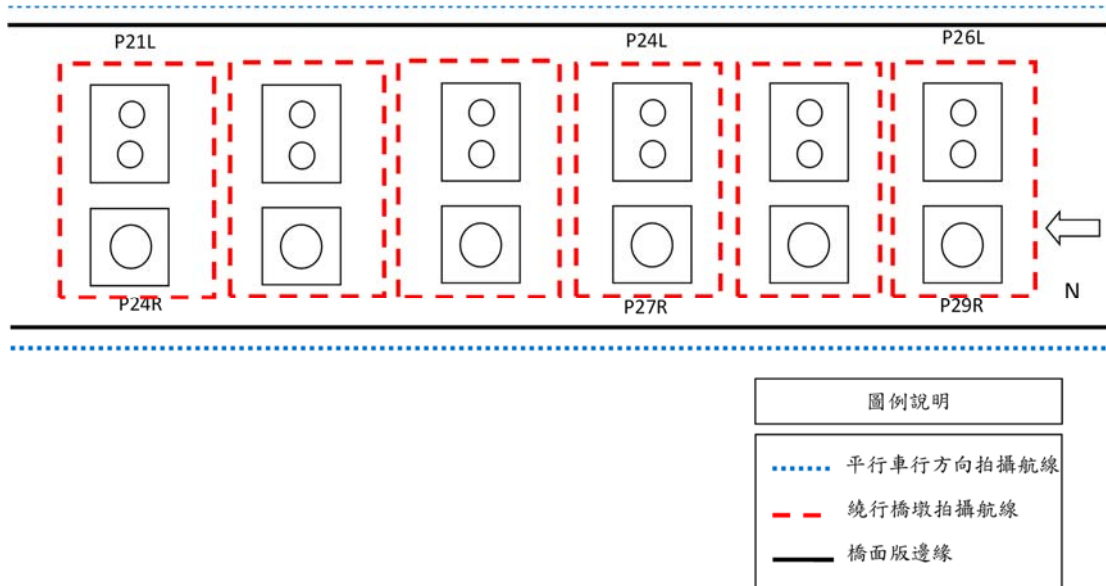


圖 3.3 航線規劃示意圖

3. 航拍申請

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

4. 控制測量

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

而控制點之位置及數量，則以需佈設於穩定不動處並均勻分布於試驗區為原則，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

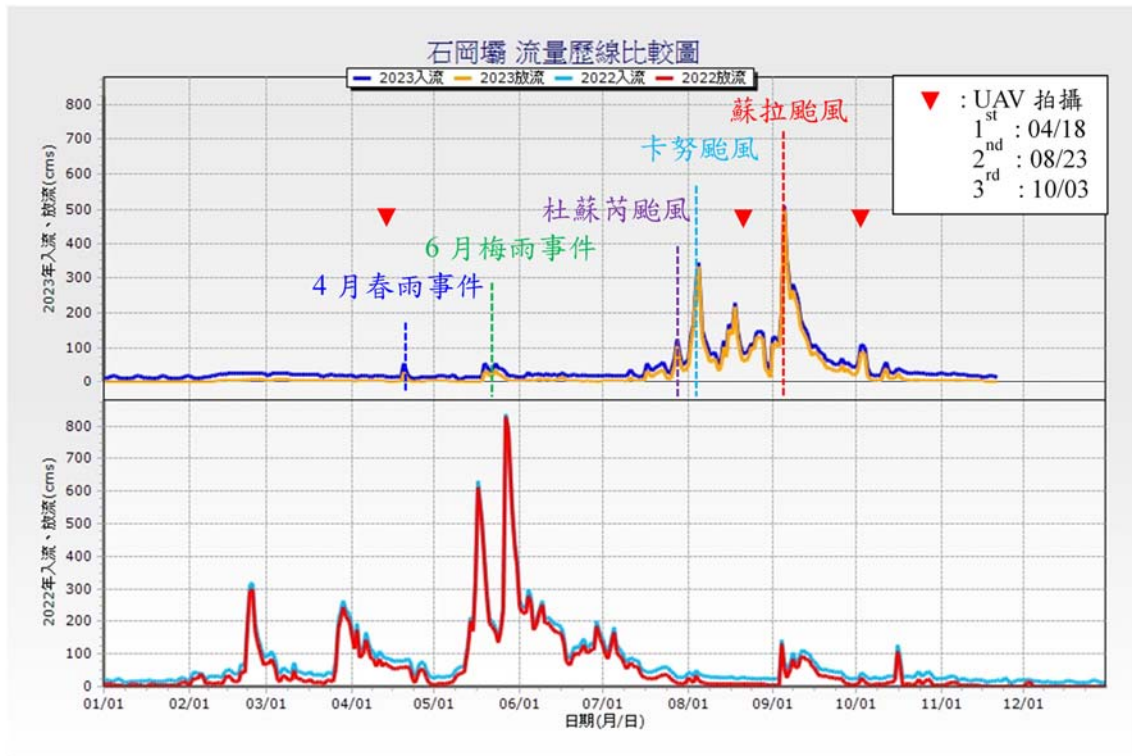
5. 航拍時機

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，本計畫共計進行 3 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:112 年；下 111 年)

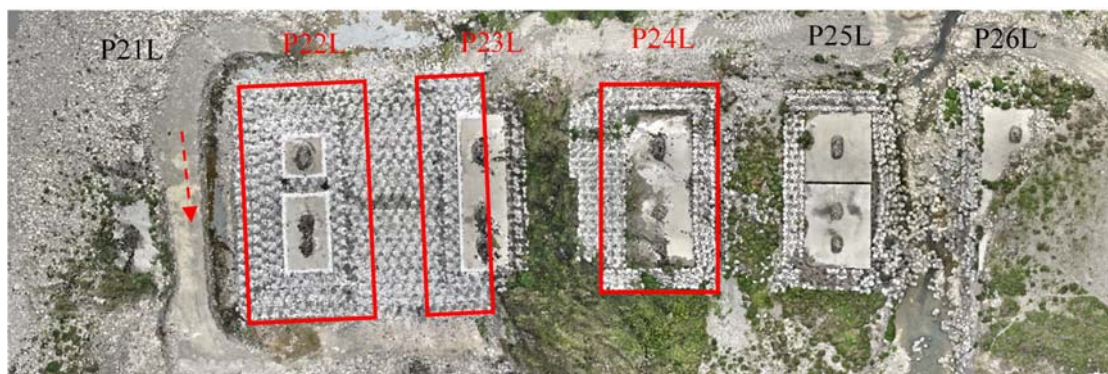
1. 觀測作業時間說明

- (1) 第 1 次航拍觀測(112/04/18)：因高公局於 111 年底完成 P21L~P22L 橋墩基礎保護工程，因此本年度計畫試驗區範圍擴增，相較前期計畫所拍攝記錄之地形已大幅改變，已不符後續地形套疊之需求，故於 4~6 月春、梅雨季節來臨前，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(112/08/23)：因 8 月底杜蘇芮颱風及卡努颱風接續過境，使石岡壩有較大之放流量，故於 112/08/23 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(112/10/03):因 9 月初蘇拉颱風過境，帶來較豐沛之降雨，為今年度石岡壩最大的放流事件，俟現場河床恢復低水位後，始進場進行第 3 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。

2. 兩期地形套疊比較(112/04/18 vs 112/08/23):

本次比較係為瞭解 8 月初卡努颱風降雨事件對於本試驗場址之影響，如圖 3.6，卡努颱風過境使得石岡壩最大放流量約為 350cms (110 年盧碧颱風 1,280cms)，透過兩期數值三維模型(如圖 3.7)、點雲地形套疊之等深圖(如圖 3.8)及各橋墩兩期拍攝影像比較(如圖 3.9)，僅造成河床幾處小規模之粒料沖刷(無鋪設鼎型塊處，如圖 3.8 綠色區塊)，而本計畫試驗區之保護工則無明顯之位移。



(a)112/04/18



(b)112/08/23

*紅框處為織布鋪設位置、-->為水流方向

圖 3.7 兩期數值三維模型(112/04/18 vs 112/08/23)

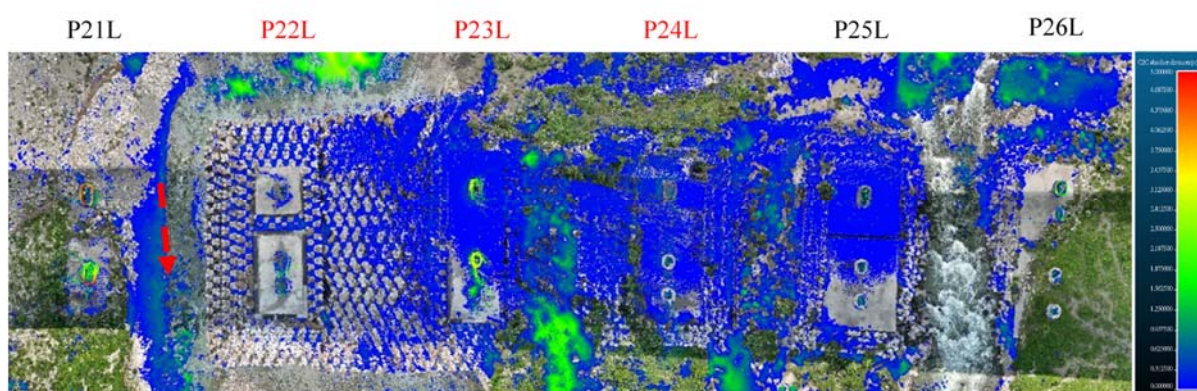


圖 3.8 112/04/18 與 112/08/23 兩期數值三維模型套疊結果(單位:公尺)



112/04/18



112/08/23

(a) P22L~P23L



112/04/18



112/08/23

(b) P24L

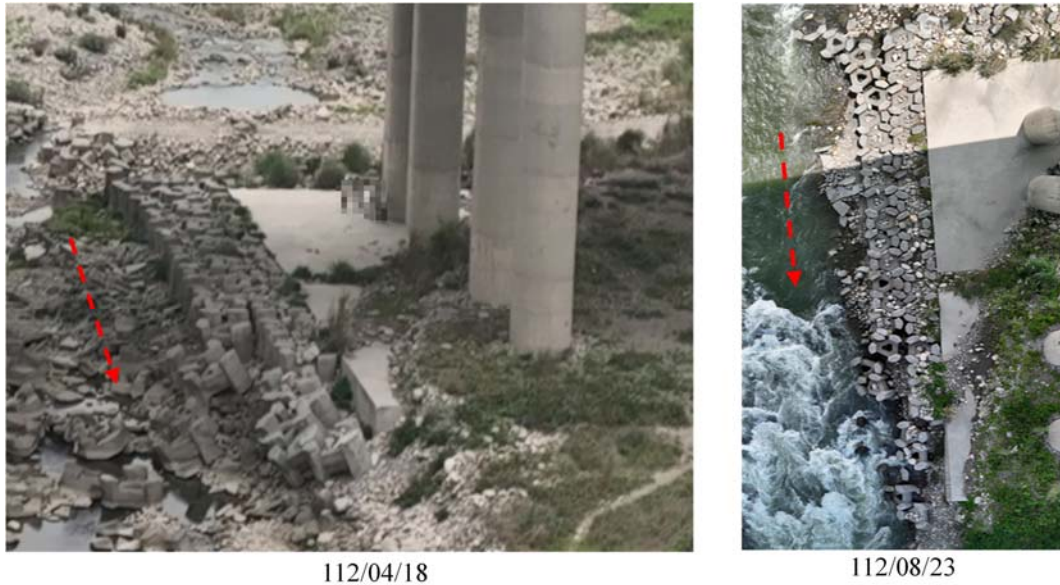


112/04/18



112/08/23

(c) P25L

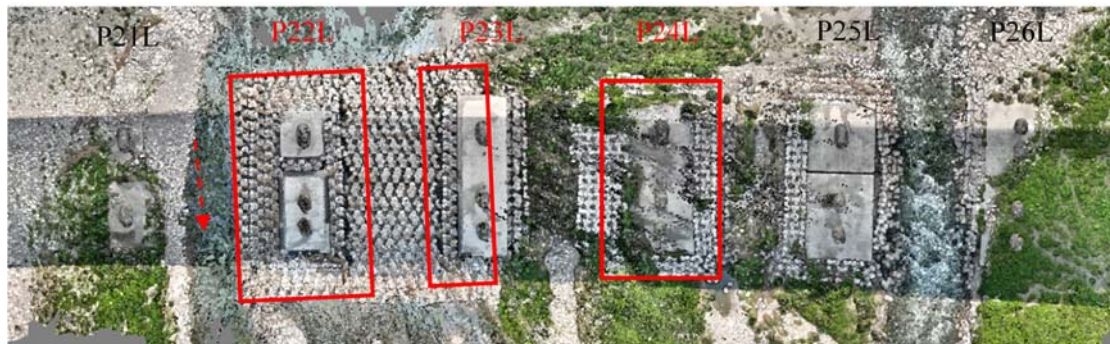


(d)P26L

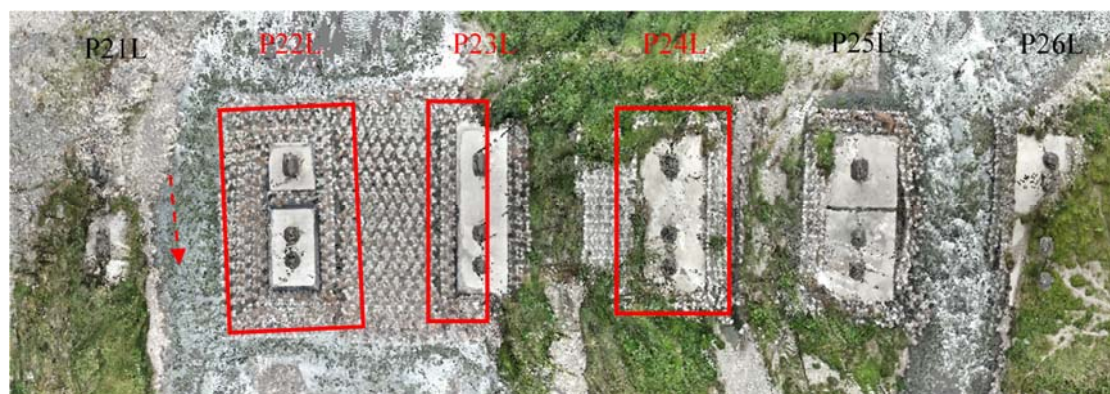
圖 3.9 各橋墩兩期拍攝影像(112/04/18 vs 112/08/23)

3. 兩期地形套疊比較(112/08/23 vs 112/10/03):

本次比較係為 9 月初蘇拉颱風過境，帶來較豐沛之降雨，為今年度石岡壩最大的放流事件，透過與 08/23 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，本次與前次兩期數值三維模型(如圖 3.10)、點雲地形套疊之等深圖(如圖 3.11)及各橋墩兩期拍攝影像比較(如圖 3.12)，由圖 3.6 石岡壩放流歷線可知，蘇拉颱風過境使得石岡壩之最大放流量約為 510cms (110 年盧碧颱風 1,280cms)，根據前期計畫之觀測經驗應不會造成試驗區太大變化，而透過觀察點雲地形套疊之等深圖 (圖 3.11)及現場拍攝影像 (圖 3.12)之比對情形亦符合前述說法，河床區無明顯之粒料沖刷，試驗區鼎型塊亦無太大影響，並未呈現明顯之位移。



(a)112/08/23



(b)112/10/03

*紅框處為織布鋪設位置、-->為水流方向

圖 3.10 兩期數值三維模型(112/08/23 vs 112/10/03)

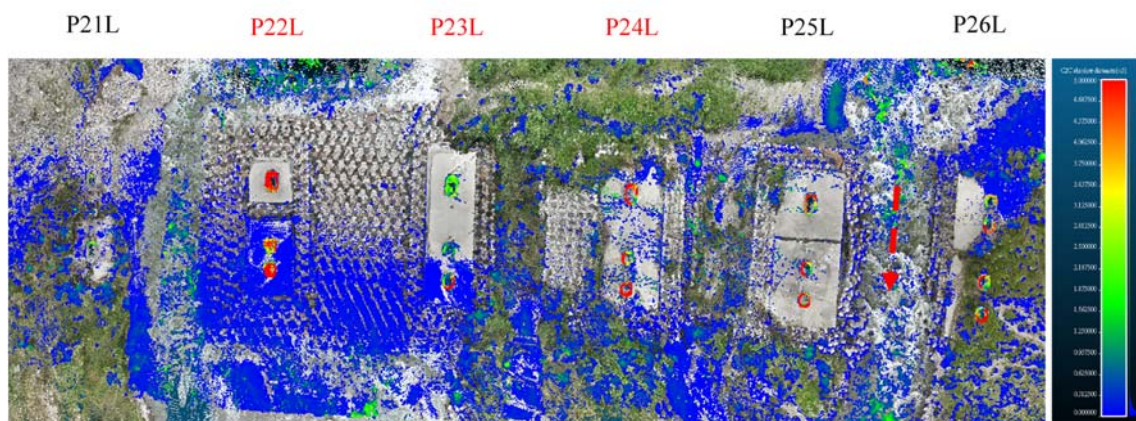


圖 3.11 112/08/23 與 112/10/03 兩期數值三維模型套疊結果(單位:公尺)



112/08/23



112/10/03

(a) P22L~P23L

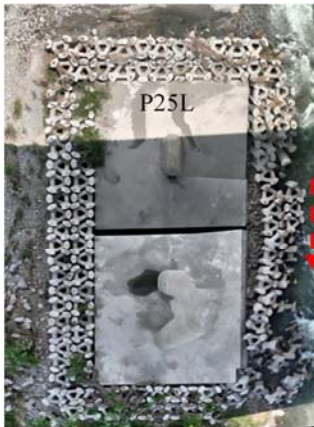


112/08/23



112/10/03

(b) P24L

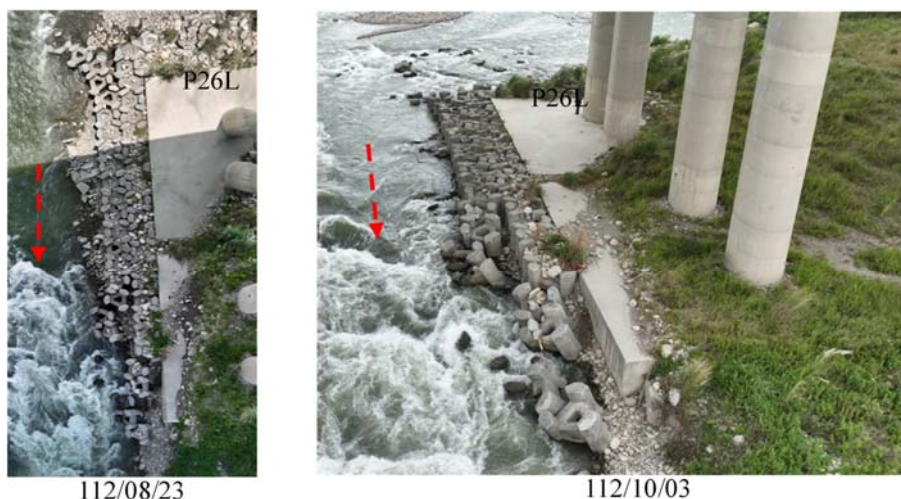


112/08/23



112/10/03

(c) P25L



(d)P26L

圖 3.12 各橋墩兩期拍攝影像(112/08/23 vs 112/10/03)

3.3 成效評估

本計畫工法現場施工之流程如圖 3.13 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 期施作之占比相近。

綜上，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。



圖 3.13 鼎型塊織布橋基保護工法施工流程

本計畫共進行 3 次之現場 UAV 觀測作業，因本年度所發布之颱風對於中部地區並無造成較大之降雨事件，由圖 3.6 可知本年度石岡壩最大放流量仍低於去(111)年最大之放流量，於去年度觀測之結果對於試驗區並無影響，因此於本年度石岡壩之放流量情形下，可預判對於試驗區應不會產生影響，經本年度 3 次觀測紀錄比較結果可知，符合前述之結果。

另本年度雖無較大之放流事件，但於 P21L 與 P22L 間深槽區有擴大之情形，是否會造成 P21L 側刷問題，而產生橋基裸露之情形，值得養護單位注意並著手研擬相關養護作業。

在保護成效部分，綜整前期計畫之觀測紀錄，近 2 年(111~112)因中部地區無較大之降雨事件產生，故以於前(110)年 8 月盧碧颱風事件進行探討(石岡壩放流量達 1,280cms，河床水位亦已漫淹至 P23L~P25L 間形成沖刷作用(圖 3.14))，以試驗組(織布鋪設區)P24L 來看，已造成下游側局部鼎型塊傾斜(圖 3.15)之現象，對照組(P23L、P25L)僅以鼎型塊而無鋪設織布保護下，鼎型塊流失及傾斜的狀況較為嚴重(圖 3.16、3.17)，試驗區鼎型塊變化情形，整理如表 3-1。

整體而言，以試驗組 P24L 橋址為例，本計畫工法之應用雖增加約 60 萬元/墩/次之成本，但可減少鼎型塊流失或傾斜之現象，與相鄰兩墩比較可減少維修費用 200 萬元/墩/次以上。以目前 110~112 三個年度觀測之結果，本計畫工法之應用可具相當之保護作用，可達延長保護橋基壽命，減少維修頻率及維護經費之目的。



資料來源:交通部國道高速公路局交通控制中心

圖 3.14 110 年盧碧颱風現場水位監測影像(已漫淹整個試驗區)

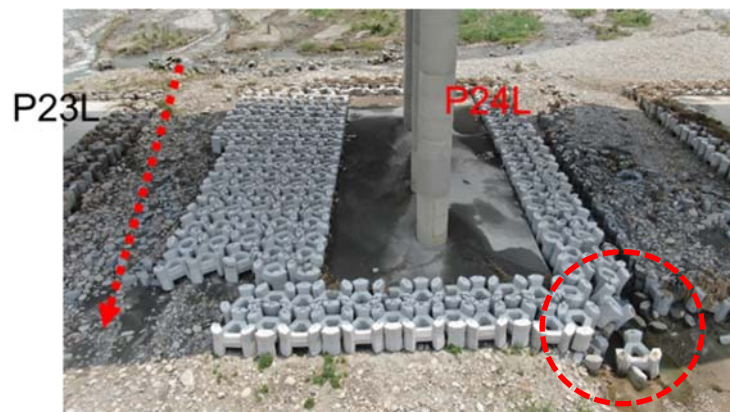


圖 3.15 110 年盧碧颱風後對試驗組(織布鋪設區)P24L 之影響

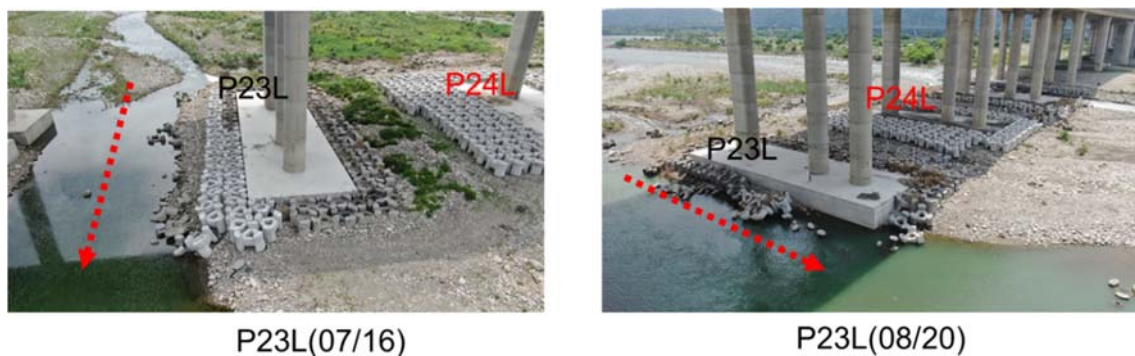


圖 3.16 110 年盧碧颱風後對照組(無織布鋪設區)P23L 之影響

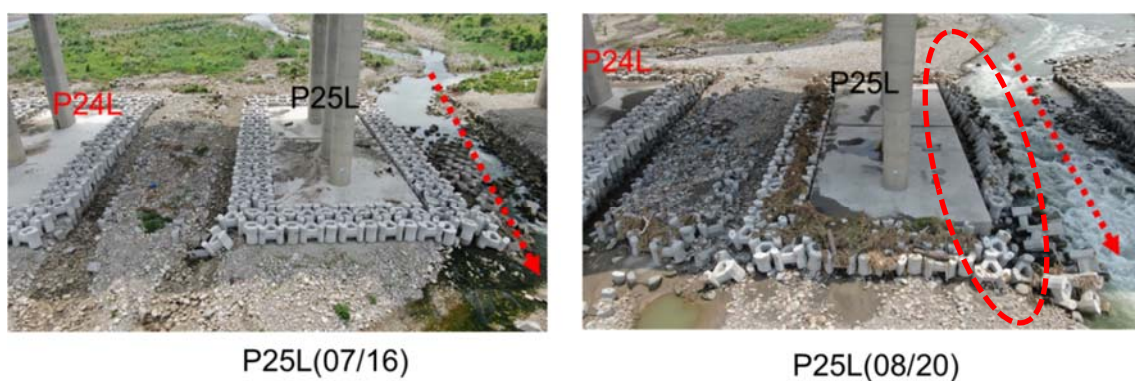


圖 3.17 110 年盧碧颱風後對照組(無織布鋪設區)P25L 之影響

表 3-1 110 年盧碧颱風事件後試驗場址鼎型塊變化情形

橋墩編號	放置鼎型塊面積(m 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

**註: 經費計算係以 109 年試驗橋址(P24L)施工費用來計:

- 1.織布項目費用約為 60 萬元(A)，整體工程費用約為 700 萬元(B)，鼎型塊保護工施作費用(C)=A-B 約為 640 萬元，織布所增成本約占 10%左右(A/C*100%)。
- 2.維修經費(D)估算方式，為鼎型塊保護工施作費用(C)*損壞比(E)、D=C*E，P24L 橋墩維修經為 630 萬元*4%=26 萬元，其餘橋墩則依其與 P24L 鼎型塊鋪設面積之比例計算之。

第四章 數值水理分析模型建置

本章係以介紹 FLOW-3D 模式理論及數值方法、水工模型試驗、主要試驗參數取得、三維數值水理模型驗證及建置過程進行說明及探討。

4.1 FLOW-3D 簡介

1963 年美國國家實驗室(Los Alamos National Laboratory,LANL)的 Dr. C. W Hirt 開創提高流體力學穩定性與流體自由表面跟蹤技術 (Volume of Fluid, VOF) 等方法。1980 年 Dr.Hirt 於美國新墨西哥州 Alamos 成立 Flow Science Inc.，開發由 Fortran 為原始碼所編寫之新一代高仿真流體力學模型，並於 1985 年正式推出 FLOW-3D 流體分析軟體。

FLOW-3D 為計算流體力學(Computational Fluid Dymnamics, CFD)軟體。採用之數值模擬技術可藉由輸入不同物理參數和數值模擬方式，計算流體在多維多物理量運動下的流動及熱傳現象其特有的體積分率法(Fractional)計算技術，提供真實且詳盡的自由液面與流場資訊，可做為流固體耦合運動試驗的模擬實驗室。隨軟體視窗化技術逐漸更新，FLOW-3D 亦不斷優化其視窗，提供更直觀更簡便之介面操作，如圖 4.1 所示。

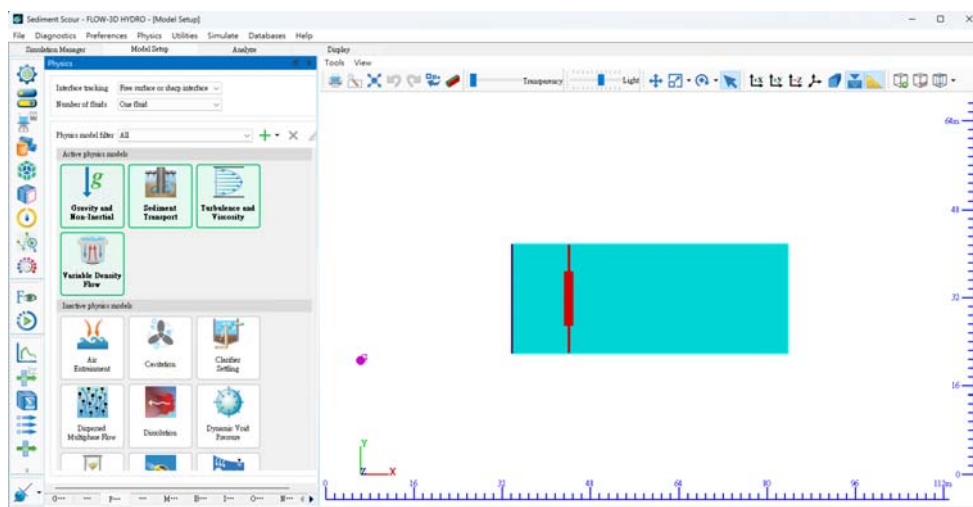


圖 4.1 FLOW-3D HYDRO_2022R2 版

FLOW-3D 計算的方式為將流體空間分割為矩形結構網格，每個網格包含多個相互關聯要素，其節點用來儲存未知的參數，如：壓力、溫度及速度...等，組成的數值空間可以用來表示原來的物理空間。流體運動方程式方面，則使用有限差分法(Finite difference method, FDM)建立控制方程的離散化，定義出流體參數、設置邊界條件與求得數值解。

為了計算網格有效的離散物理空間，在網格內每個離散點上的值代表著每個流體參數，因為實際物理參數在空間中是連續性的，在網格內節點與節點間取得適當的距離將可以得到有代表性的結果來描述真實的情況。細化網格可增加模擬的精確度，但也易造成系統資源的負擔，故使用者必須在精準度與效率間取得平衡。FLOW-3D 具有多區塊網格系統(Multi-Block Grid)，可將龐大且多餘的網格數量縮減，以達加速運算效能，減少不必要的資源浪費，使網格可擁有更多元且精準之分配。

矩形網格結構之優點除較易發展數值計算方法外，對於計算原始物理問題及計算結果之準確性與穩定性亦較佳。然而矩形網格對於複雜的幾何形狀與曲線並無法精確地描述邊界位置，為增強幾何物件的邊界描述，FLOW-3D 採體積分率法(Fractional Area/Volume Obstacle Representation, FAVOR)，運用控制體積(control volume)的觀念，使網格與幾何形狀可獨立運行，同時保有簡單易運算的正交網格及精確描述複雜幾何模型之特性。FLOW-3D 採流體體積法(Volume of Fluid, VOF)模擬自由液面變化，主要包括流體體積函數的定義、解決流體體積傳輸方程式，以及在自由液面上設定邊界條件三個面向。有關 FLOW-3D 控制方程式、數值方法、邊界條件...等將分別詳述於本章後續章節中。

4.2 FLOW-3D 控制方程式

FLOW-3D 的理論基礎在於質量守恒方程式、動量方程式(即 Navier-Stokes 方程式)，以及能量不滅方程式...等完整之理論基礎及數值結構，因此可應用在絕大部分的流體流動。

1. 質量連續方程式

質量連續方程式的一般形式為：

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (4-1)$$

其中 V_F :流體體積比、 ρ :流體密度、 R_{DIF} :紊流擴散項、 R_{SOR} :質量源項，(u,v,w)分別為 xyz 方向的流體速度、 (A_x, A_y, A_z) 分別為 xyz 方向流動的通量面積比。

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_\rho A_y \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \xi \frac{\rho \nu_\rho A_x}{x} \quad (4-2)$$

其中 $\nu_\rho = C_p \mu / \rho$ 、 μ :動量擴散(momentum diffusion)係數(如黏度)、 C_p :紊流施密特數(turbulent Schmidt number)倒數的常數。 ξ :座標系統指標，當使用卡式座標系統時(Cartesian coordinates)， $\xi=0$ ；當使用圓柱座標系統時(cylindrical coordinates)，則 $\xi=1$ 。

在式(4-1)中，等號右邊最後一項 R_{SOR} 可以被當作密度源項。對於求解可壓縮流體時，則必須該式給定密度傳輸方程式。對於不可壓縮流，流體密度 ρ 是常數，則式(4-1)可簡化為不可壓縮流的情況。

$$\frac{\partial}{\partial x}(u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(w A_z) = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (4-3)$$

2. 動量方程式

卡式座標系統整理之動量方程式如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \end{aligned} \quad (4-4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s)$$

其中， $U_w=(\mu_w, \nu_w, \omega_w)$:流場中模擬物體之運動速度、 (G_x, G_y, G_z) :物體之加速度、 $U_s=(\mu_s, \nu_s, \omega_s)$ 是流體表面速度、 δ :壓力源項形式指標，當為靜壓力時(static pressure)， $\delta=1.0$ ；當為停滯壓力時(stagnation pressure)，流體進入計算領域之流速為 0，則 $\delta=0$ 。 (f_x, f_y, f_z) 為 xyz 方向

的黏滯項，即

$$\begin{aligned}
\rho V_F f_x &= w_{sx} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy}) \right\} \\
\rho V_F f_y &= w_{sy} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xy}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{yz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} + A_y \tau_{yy}) \right\} \\
\rho V_F f_z &= w_{sz} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xz}) \right\}
\end{aligned} \tag{4-5}$$

其中， τ_{ij} 代表流體剪應力(shear stress)，第一下標 i 為作用面，第二下標 j 為作用方向，各流體剪應力分量如下：

$$\begin{aligned}
\tau_{xx} &= -2\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \\
\tau_{yy} &= -2\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{u}{x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \\
\tau_{zz} &= -2\mu \left\{ \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \\
\tau_{xy} &= \tau_{yx} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right\} \\
\tau_{yz} &= \tau_{zy} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right\} \\
\tau_{zx} &= \tau_{xz} = -\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right\}
\end{aligned} \tag{4-6}$$

3. 流量體積法

自由液面(free surface)會隨著時間改變，在數值方法中處理起來相當不易。流體體積法(Volume of Fluid, VOF)是對自由表面或二種流體介面的一種數值處理方法，提供了經由固定網格追蹤流體介面的方法以準確處理介面。

流體體積法為 Hirt and Nichol(1981)^[2]所創，係將計算之網格點另外再定義一個流體比例函數 $F(x,y,z,t)$ ， F 將隨時間變化以反映表面之

變動。 F 之位置與壓力等變數相同，皆位於網格中心點，其值介於 0~1 之間，當 $F=1$ 表示流體完全充填；反之，當 $F=0$ 表示沒有流體；當 F 介於 0~1 之間表示部分充填，而其部分充填的元素就是流體介面，如圖 4.2 所示。

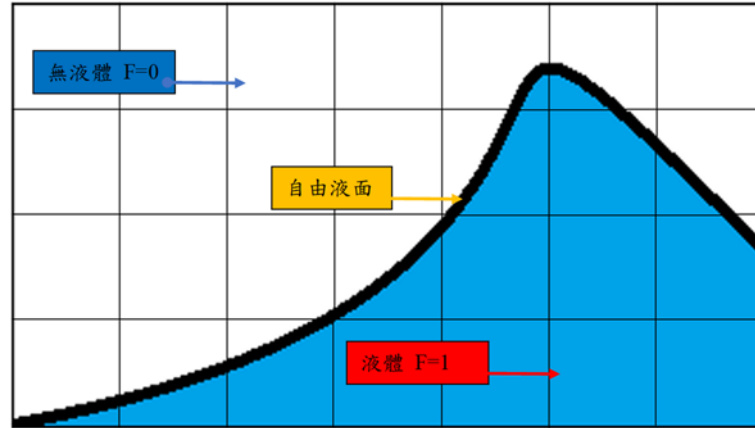


圖 4.2 流體體積法之自由液面示意圖

而 F 函數值之控制方程式為：

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \nabla \cdot (F \vec{u} A_f) = 0 \quad (4-7)$$

其中， V_f :體積比、 A :面積比、 $\vec{u}$:流速。

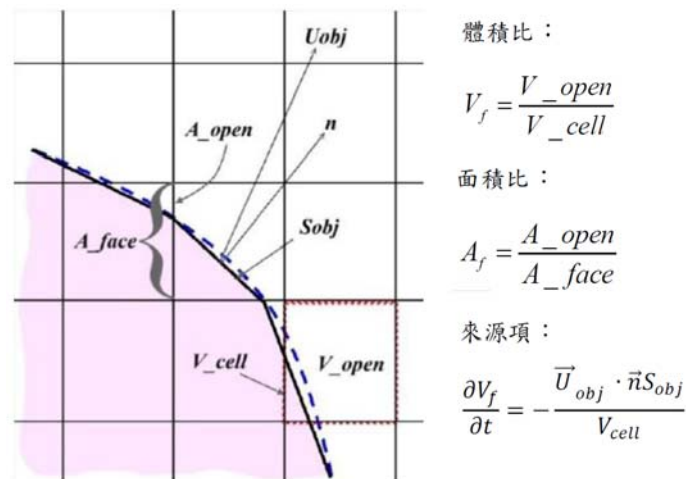


圖 4.3 二維直角網格面積和體積比例係數計算示意圖^[17]

由於自由表面會隨時間而移動，因此每一網格之 F 值也跟變化才能映此表面之變動。目前大部分的 CFD 軟體，在自由液面運動的計算，

多是根據此一方法進行開發。而 FLOW-3D 在自由液面的模擬更加完整，稱為 TrueVOF，使得網格建立容易、減少記憶體的使用量及電腦計算時間，亦可使網格元素可以有效的適應一般的幾何形狀。

如圖 4.3 所示，虛線表示自由液面之真實形狀， A_f 和 V_f 表示自由液面在計算網格所佔之比例（著色區）， S_{obj} 為表面積， $\vec{n}$ 為表面向量， $\vec{U}_{obj}$ 為自由液面在網格間移動之速度， V_{cell} 為每一立方網格之總體積。

4. 紊流模式

一般而言，紊流是指混亂，不穩定的流體運動，發生於沒有足夠穩定力量(也就是黏滯力不足)的流況下。在高雷諾數的狀態下，隨著流體擾動的不穩定自然而然地發生。這種現象很容易發生於射流等快速移動的黏性流體。

理想的情況下，我們在網格解析度足以補抓到各種細節時，能模擬各種紊流起伏情況下的質量和動量的守恒。然而因為受限於計算機內存和處理時間的限制，在實踐上較為困難，因此，必須借助於簡化模式來描述紊流在平均流體特性上的影響。

在 FLOW-3D 中，共提供了 5 種紊流模式，分別是 Prandtl 混合長度模式、單一方程，二方程之 $k - \varepsilon$ 和 RNG 模式，以及大渦流模擬模型 (LES 模式)。部分紊流模式提供模擬包含與非慣性加速度之浮力效應 (buoyancy effects)。Prandtl 混合長度模式與單一方程模式為經驗方程式，完全使用現有與過去的速度場計算紊流能量；二方程之 $k - \varepsilon$ 和 RNG 模式則另加入消散率之考量計算，大渦流模擬模型主要模擬流場中的大渦旋，基於局部剪應力計算紊流黏滯力。

單一方程紊流運輸模式包含了與紊流速度擾動相關之紊流動能傳輸方程式

$$k_T = \frac{1}{2} \left(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2} \right) \quad (4-8)$$

其中 u', v', w' 為對應 xyz 方向上與混亂紊流擾動有關的流體速度。

傳輸方程式包含紊流能量的對流與散。紊流能量乘積是由於剪應

力和邊界的影響，能量衰減是由於黏滯力損失伴隨著紊流漩渦，以上這些全都包含在模式當中。浮力的產生只發生於當流體為不均勻密度，這包含了重力和非慣性加速度的影響。

傳輸方程式為：

$$\frac{\partial k_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial k_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right\} = P_T + G_T + Diff_T - \epsilon_T \quad (4-9)$$

其中， K_T 為紊流動能， V_F ， A_x 、 A_y 、 A_z 為 FLOW-3D 中 FAVOR 方程式之參數， P_T 為紊流動能生成項

$$P_T = \frac{\mu C_{spro}}{\rho V_F} \left[\begin{aligned} &2A_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2A_y \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2A_z \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \\ &+ \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \left(A_x \frac{\partial v}{\partial x} + A_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) \\ &+ \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} + A_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ &+ \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \left(A_z \frac{\partial v}{\partial z} + A_y \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \right] \quad (4-10)$$

其中， C_{spro} 為紊流參數，其設值為 1.0。而浮昇產生項為

$$G_T = -CRHO \left(\frac{\mu}{\rho^3} \right) \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial x} + R^2 \frac{\partial \rho}{\partial y} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial z} \right) \quad (4-11)$$

而 $CRHO$ 為另一個紊流係數，其預設值為 0，但模擬與熱氣的浮昇流體有關的問題時則設定為 2.5。另擴散項可寫成

$$Diff_T = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_k A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_k A_y R \frac{\partial k_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_k A_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right) + \xi \frac{\nu_k A_x k_T}{x} \right\} \quad (4-12)$$

其中， ν_k 為擴散係數，係根據局部紊流黏性推估。使用者定義數 RMTKE 為滯度的乘數用來計算紊流傳播係數(預設值為 1.0，除在 RNG 模式下為 1.39)。消散率 ϵ_T ，在 Prandtl 混合長度模式中與紊流動能 K_T 有關。

$k - \epsilon$ 模式包含兩個對於紊流能量 K_T 的傳輸方程式與其消散項 ϵ_T ，是一個較為廣泛應用的模式， $k - \epsilon$ 模式在許多不同的流體條件下已經被證實提供了合理的近似值^[1]。然而必須增加傳輸方程式求解紊流消散

項 ε_T :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right\} \\ &= \frac{CDIS1 \cdot \varepsilon_T}{k_T} (P_T + CDIS3 \cdot G) + Diff_\varepsilon - CDIS2 \frac{\varepsilon_T^2}{k_T} \end{aligned} \quad (4-13)$$

其中， $CDIS1$ 、 $CDIS2$ 和 $CDIS3$ 為使用者可調整之無因次參數，在 $k - \varepsilon$ 模式中，其預設值分別為 1.44、1.92 及 0.2。而消散傳播 $Diff_\varepsilon$ 為

$$Diff_\varepsilon = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_\varepsilon A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_\varepsilon A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_\varepsilon A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right) + \xi \frac{\nu_\varepsilon A_x \varepsilon_T}{x} \right\} \quad (4-14)$$

在 FLOW-3D 中，另外提供 RNG 紊流模式，此模式應用適當的統計方法得出平均的紊流數量，如紊流能量和其消散率。RNG 模式所運用之方程式類似於 $k - \varepsilon$ 模式所運用的方程式，但方程式中的常數在標準 $k - \varepsilon$ 模式中是以實驗方法獲得，而在 RNG 模式中則進一步以理論推演其值，一般來說 RNG 模式比 $k - \varepsilon$ 模式更為廣泛的應用，特別是在需要更加精確描述低強度紊流和強剪力流體區域，RNG 模式都能正確算出紊流特性，RNG 在 $CDIS1$ 的預設值也不同于 $k - \varepsilon$ 模式中的預設。

於紊流模式之選擇上，LES 模式則要極細的網格，所占資源與計算時間大，故不考量。RNG 與 $k - \varepsilon$ 模式適合低強度紊流和強剪力流體區域，而本計畫冲刷試驗區位於完全發展的近穩定均勻流區域中，較不適用上述模式之適用情境，而 Prandtl 混合長度模式適合在全發展的近穩定均勻流使用，較符合本計畫分析情境，故選用該模式進行紊流模式分析，而不選用 FLOW-3D 較為建議的 RNG 模式。

5. 沉積物模式

FLOW-3D 中最多可同時對 10 種不相同之沉積物進行模擬，並可針對每種沉積物調整粒徑與密度等相關參數，達到模擬不均匀分布或是沉積物密度變化之狀況。在數值模型中，沉積物可做為底床，當沉積物做為底床時會在 FAVOR 中表示成可侵蝕之固體對象，與流體動力學中對於固體之表示方法相同，其形態變化受沉積

物質質量守恆，以及 Exner 方程式控制，該方程式表示如下：

$$\phi \frac{\partial z}{\partial t} = \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} + D_{own} - E \right) \quad (4-15)$$

其中， ϕ :最大填充率(Maximum packing fraction)、 z :底床高度(Bed elevation)、 q_b :代表單位寬度的體積底床載傳輸率(Volumetric bedload rate per unit width)，公式中分別考慮 xy 兩方向， D_{own} :代表沉積物向下沈積之通量(Downward sediment deposition flux)，而 E :代表沉積物被向上淘刷的通量(Upward entrainment flux)。

公式(4-15)中各參數之意義可參考圖 4.4，底床載運輸代表沉積物沿著河道橫向傳輸且未被帶入流體變成懸浮載之物理過程，沉積物被淘刷入流體成為懸浮載，以及從懸浮載沉積回底床載分別由 E 及 D_{own} 表示，兩者速率共同影響沈積載與底床載之間之交換，此外安息角則定義淘刷發生前之最大穩定角度。

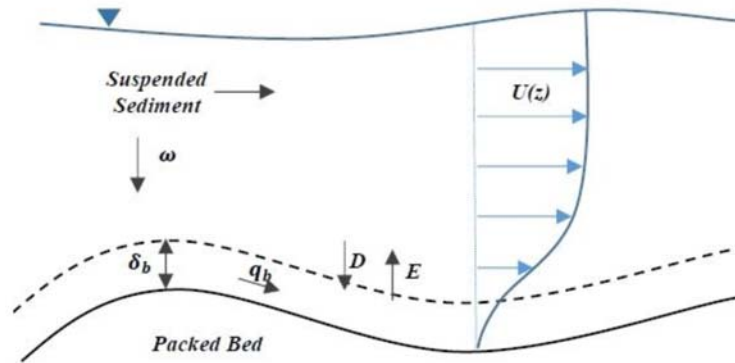


圖 4.4 FLOW-3D 沉積物傳輸模式物理過程示意圖^[10]

對於流體中含有懸浮沉積之網格，轉換為網格中液體含有之沉積物濃度表示可利後續計算，假設單位網格內濃度、密度與黏度均勻。若要計算出懸浮泥沙濃度，可對不同沉積物求解各自之傳輸方程式，該方程式可表示如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (u_s C) = \nabla \cdot \nabla (A_j C) \quad (4-16)$$

其中， C :懸浮泥沙濃度(Suspended sediment concentrton)、 u_s 與懸浮載之速度(Suspended sediment velocity)有關。

(1) 底床載

床載遷移率會針對不同沉積物個別計算，會影響底床載變成懸浮載前所受之臨界剪應力，該參數可參考 Meyer-Peter Muller(1948)之方程式決定，預設值為 8.0，建議在低傳輸時調整為 5.0，高傳輸時調整為 13.0

床載遷移率公式可表示如下：

$$q_b = \phi_B \sqrt{\|g\| \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) D_{50}^3} \quad (4-17)$$

其中，無因次項中 ϕ_B 為底床載傳輸率(Dimension bedload transport rate)，可從三種不同情況中挑選。

為計算各網格之底床載傳輸運動，需先計算底床載之厚度(Van Rijn,1984)，並把體積底床載輸送速率 $q_{b,i}$ 轉換為底床載速度。

底床載厚度公式可表示如下：

$$\frac{z}{D_{50}} = 0.3 D_{50}^{0.7} \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)^{0.5} \quad (4-18)$$

其中， z 之外的參數皆為無因次項， τ :剪應力(Dimensionless shear stress)， τ_c :臨界剪應力(Critical shear stress)。

底床載速度公式可表示如下：

$$u_{bedload} = \frac{q_b}{z_i c_b f_b} \quad (4-19)$$

其中， $u_{bedload}$:底床載速度(Bedload velocity)， C_b :不同沈積物所佔之體積分數(Volume fraction of species)， f_b :臨界堆積分數(Critical packing fraction)。

(2) 懸浮載(Suspended Load)

流體與沉積物之交互作用中，沉積物會有兩種同時發生之微小過程，第一種為沉積物之底床載被淘刷至流體中，第二種為流體中懸浮載沉積成底床載，兩者共同影響著底床載與懸浮載之淨交換率，在淘刷現象中顆粒離開底床之後運動速度會提升，其運動速度變化基於 Mastbergen 和 Van Den Berg(2003)所提出之數值模型，該公式可表示如下：

$$E = \alpha_i n_b d_{50}^{0.3} (\tau - \tau_c)^{1.5} \sqrt{g d_{50} (s - 1)} \quad (4-20)$$

其中， E :淘刷率、 α_i :淘刷率之係數、預設值為依據 Mastbergen and Von den Berg(2003)數據設定為 0.018、 n_b :表面曲面法線向量、 d_{50} :沉積物無因次之粒徑、 s :比重。

堆積或沉降速率與有效沉降速度及近底床懸浮泥沙濃度有關，沉積物從懸浮載沉降成底床之速率可表示如下：

$$D_{\text{own}} = \omega_i C_i \quad (4-21)$$

其中， ω_i :垂直沉降速度、 C_i :近底床處懸浮泥沙之濃度。垂直沉降速率依據 Soulsby(1997)所描述，假設沉降運動沿重力方向，公式可表示如下：

$$\omega_i = \frac{v_f}{d_i} \left[(10.36^2 + 1.049 d_{50}^{0.5}) - 10.36 \right] \quad (4-22)$$

其中， v_f :流體之運動黏度。該沉降方程式對流體中沉積物之相對運動做出解釋，懸浮載之垂直沉降速度為沉降速度加上流體與沉積物混和之平均速度，若要進一步修改沉降速度以解釋濃度效應(Richardson, 1954)，可參考 Richardson-Zaki 相關性，FLOW-3D 中亦有開放使用者修改原代碼來調整淘刷及沉積之公式。

(3) 剪應力計算

前節所述之底床載傳輸及淘刷速率均需選擇紊流模式，要定

義這兩個方程式需在邊界附近之條件使用對數定律，其方程式可表示如下：

$$\frac{u_b}{\tau} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{y}{C_s D_{50}} \right) + 8.5 \quad (4-23)$$

其中， u_b :近底床處水流流速、 u' :代表剪應力、 k :馮卡門常數 (Von Karmen constant)，一般為 0.41、 y :與牆壁之距離、 C_s :粗度乘積。公式(4-23)可在不需要層流底層完全被小網格填滿來提供流速相關資訊下，計算出剪切速度，以及因此而產生之剪應力。

對於水體粗糙表面，牆壁邊界函數被定義成一個包含粗糙度高之變數，該變數依據(Nikuradse)標準砂等粗糙度決定，粗糙度高與水體粗糙表面及附加紊流有關，在模式計算中 C_s 為用來把 d_{50} 轉換為粗糙度高之函數，亦可用以計算底床剪應力並轉換為無因次剪應力值。

沉積物初始運動條件是用各種沉積物之臨界無因次剪應力值 τ_c 而訂，使用者若想增加流體向上移動並減少沉積物向下方向移動之 τ_c 值，可依據公式(4-24)坡度效應(Soulsby, 1997)修改 τ_c 值。

坡度效應可表示如下：

$$\frac{\tau'_c}{\tau_c} = \frac{\cos\psi \sin\beta + \sqrt{\cos^2\beta \tan^2\phi_i - \sin^2\psi \sin^2\beta}}{\tan\phi_i} \quad (4-24)$$

其中， τ'_c :與斜坡調節相關之臨界剪應力、 Ψ :流體與坡度間之角度、 β :底床角度、 ϕ_i :沉積物之安息角。

4.3 數值方法

1. 離散方法

FLOW-3D 主要以有限差分法(或有限體積法)之數值方法來離散前節中所描述的控制方程式。

方程式中大部分的項，使用當時的時間軸計算局部變量，即所謂的顯式法。另軟體亦同時提供隱式法求解，然而此一簡單而有效的數值計

算技巧，仍需使用受到限制的時間步長，以保持計算結果的穩定性和精度。而壓力和速度透過隱式法耦合下一時刻之動量方程式中壓力項以及質量(連續性)方程式的速度項。這種半隱式法的有限差分可有效解決計算效率過低和不可壓縮流的問題，但卻也導致耦合方程組必須透過迭代求解。

FLOW-3D 提供三個壓力迭代技巧，其中較簡單的是超鬆弛法(successive over-relaxation, SOR)，對於幾何形狀較簡單、網格均勻分布的問題有較好的計算效率。在某些情況下需要更多的隱式法，求解時，則採用 SADI(special alternating-direction, line implicit)法，此方法可有效處理較大網格長寬比問題。最後是 FLOW-3D 最新加入的壓力求解方法 GMRE(genralized minimal residual method)，能有效處理複雜或狹長的計算區域，對於大長寬比的格網收斂性良好，但記憶體需求較大。本計畫選用 FLOW-3D 預設之 GMRE 法。

2. 網格處理法

FLOW-3D 內建矩形網格網格產生器，矩形網格具有容易生成及存取之特點，而在此計算流體力學模式中，提供非均勻網格設定功能，可做為複雜流場中較彈性之網格設計。

(1) 交錯網格(Staggered grid)

一般數值模擬所採用之網格可分成二類，一為所有變數都位於同一點的非交錯網格(non-staggered grid)，另外則為各變數互相錯開各自擁有儲存點之交錯網格(staggered grid)。Flow-3D 採用 Harlow and Welch (1965) 所提出之 MAC (Marker And Cell)法做為交錯網格之配置。如圖 4.5(左)所示，將各網格視為一個控制體積，純量變數計算點(P)位於控制體中央，速度分量(向量項)分別置於控制體積表面，且 U、W 各自有以其為中心之控制體積體系。在 Patankar(1980)一書中用方位節點編號 E、W、N、S、e、n、w、s 來表示變數計算點號和變數之控制體積控制面編號，各變數計算點之四面鄰近計算點 E、W、N、S，而 e、w、n、s 表示各變數之控制體積的四個控制面(如圖 4.5 右)，圖 4.5 之關係為 $U_E = U_{i+1/2,k}$ ； $U_W = U_{i-2/2,k}$ ； $W_N = U_{i,k+1/2}$ ； $W_S = U_{i,k-1/2}$ ；

$\Delta x = \delta x_i / 2$ 及 $\Delta z = \delta z_k / 2$ ，而各變數在計算點上和在各控制體積控制面上之關係為 $\phi_e = (\phi_E + \phi_P)/2$ ； $\phi_w = (\phi_W + \phi_P)/2$ 及 $\phi_s = (\phi_S + \phi_P)/2$ 。

交錯網格因壓力配置在速度之控制體積的控制面上，在數值觀點上成為速度變化之自然驅動力，如此可避免在非交錯網格下所可能產生之不合物理現象的棋盤狀(checkerboard)速度場或壓力場解。

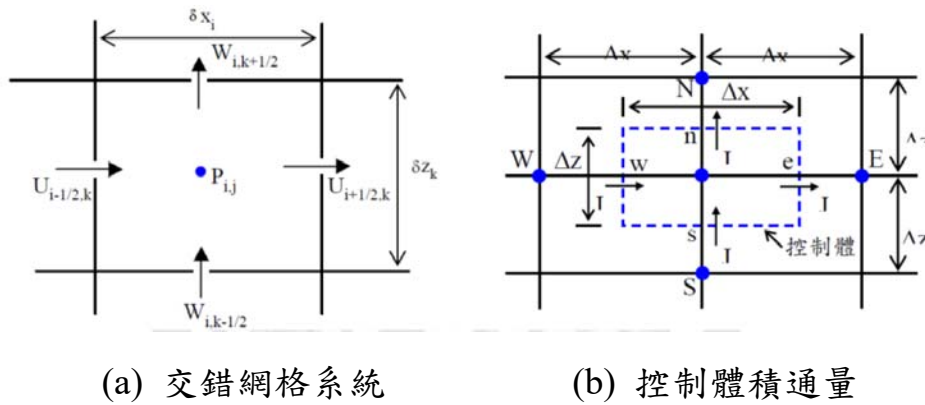


圖 4.5 交錯網格系統與控制體積通量示意圖^[17]

(2)多區塊結構網格

FLOW-3D 除了提供均勻及非均勻之網格設計功能，同時可建置多區塊結構網格(Multi-block Grids)，如圖 4.6 所示，網格與幾何形狀自動耦合，可以有效的節省網格數目，加快運算的收斂性。

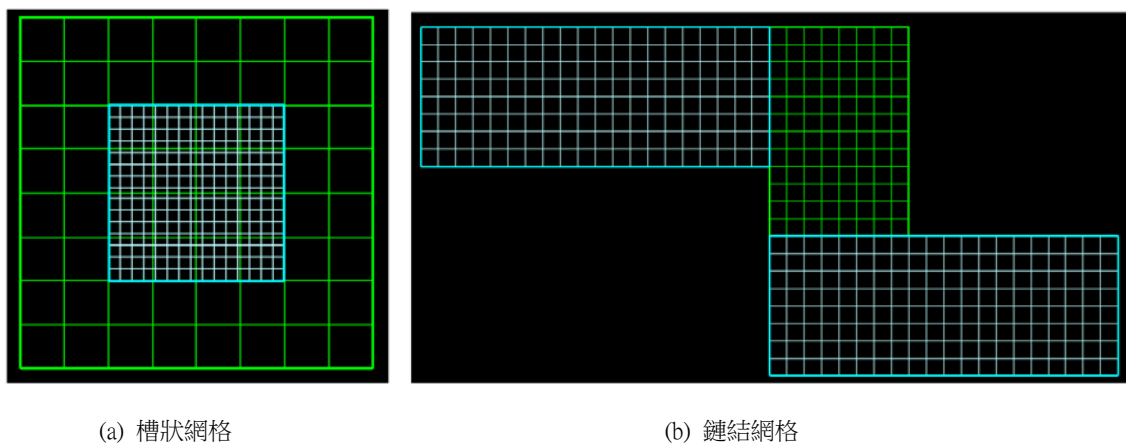


圖 4.6 多區塊結構網格示意圖^[14]

3. 障礙物處理法

較常見的數值離散方法有:有限差分法(Finite Difference Method, FDM)、有限體積法(Finite Volum Method, FVM)、有限解析法 Finite Analytic Method, FAM)、有限元素法(Finite Element Method, FEM)和邊界元素法(Boundary Element Method, BEM)...等。

其中有限差分法離對流、擴散項，概念清晰，計算簡單，並能嚴格保證物理量的守恆，故 FLOW-3D 數值方法採用有限差分法。有限差分法最大缺點在於其建立的網格屬於方形，面積主要根據網格線性分布，至少需要一個格點才可以描述幾何存在，且幾何角點如果位於格點中間，角點將無法顯示，如圖 4.7 所示。

體積分率法 (Fractional Area/Volume Obstacle Representation, FAVORTM)，運用控制體積(Control Volume)的觀念，使網格與幾何形狀完全獨立。此方法比可變形網格(Deformation Mesh)的方法還要簡單，避開了冗長的整理網格與幾何形狀的工作，使結構體保有簡單規則的網格，即使模型非常複雜，也能夠精確的描述外型。

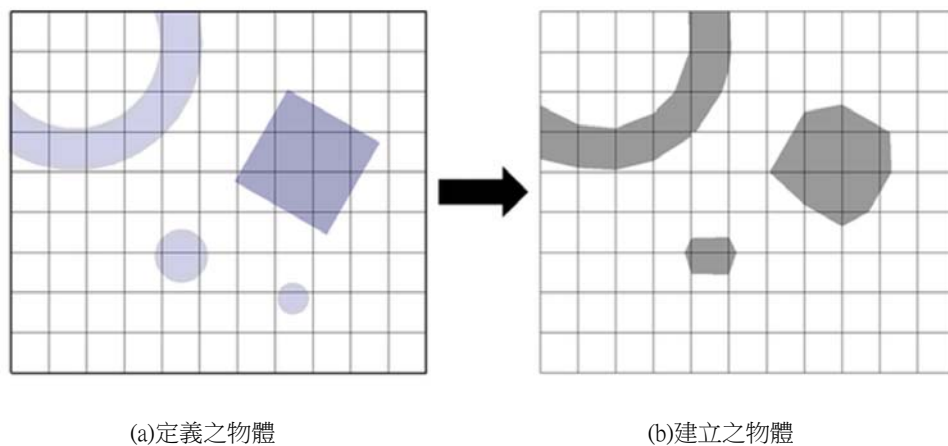


圖 4.7 FLOW-3D FAVOR 示意圖^[11]

FAVOR 定義矩形網格內一般幾何形狀的區域，每一個矩形立方體六個面的流通面積比與自由出入的體積，以此矩形立方體所構成之網格定義複雜的幾何形體。這些部分面積與體積將會結合到有限體積的運動方程式中，如:在二個元素的共有面上，對流的質量、動量與能量通量必須包含此面，以讓流體自由通過的面積當做一個乘數，若沒有可讓流體自由通過的面積，則不可能有對流的通量。FAVOR 的優點在於

它提供建立模型時的彈性。對於不可壓縮、黏性流而言，FAVOR 以下列方程組表示：

$$\nabla \cdot (\vec{A}\vec{u}) = 0 \quad (4-25)$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial x} + \frac{1}{V} (\vec{A}\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \frac{1}{\rho V} (\nabla \vec{A}) \cdot (\mu \nabla) \vec{u} + g \quad (4-26)$$

$$(\nabla \vec{A}) = \left(\frac{\partial}{\partial x} A_x, \frac{\partial}{\partial y} A_y, \frac{\partial}{\partial z} A_z \right) \quad (4-27)$$

其中， $\vec{A}$:相關於流體可自由通過的部分面積、 V :可自由進出的部分體積， ρ :密度、 P :壓力、 $\vec{u}$:速度、 μ :流體的黏滯數、 g :重力。

4. 初始條件與邊界條件

開始數值模擬計算時，需先給定初始條件及邊界條件，FLOW-3D 共有 10 種邊界選項，分別為對稱性(Symmetry)、連續性(Continuative)、給定壓力(Specified pressure)、網格重疊區(Grid overlay)、造波(Wave)、屏障(Wall)、週期(Periodic)、給定速度(Specified velocity)、流出(Outflow)及體積流率(Volume flow rate)，如圖 4.8。

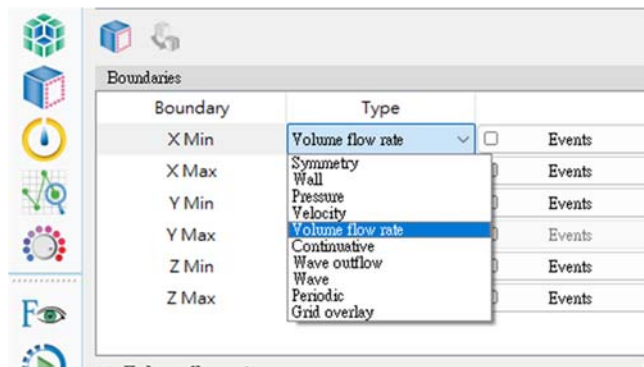


圖 4.8 FLOW-3D 邊界選項模組

FLOW-3D 一般將計算區域畫分成六面體，分別為上游(X_{min})、下游(X_{max})、底部(Z_{min})、頂部(Z_{max})、左(Y_{min})及右(Y_{max})，共 6 個邊界,如圖 4.9。

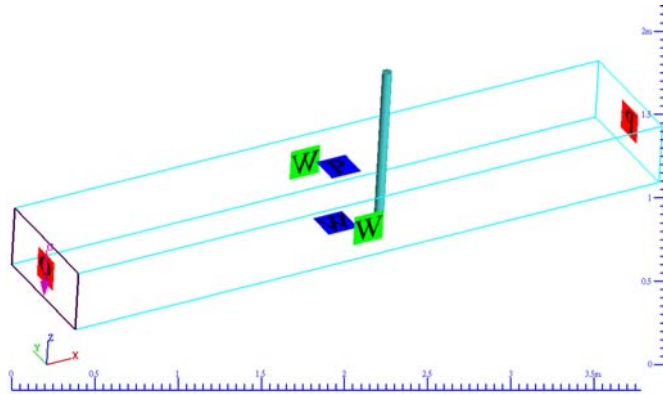


圖 4.9 FLOW-3D 六面邊界設定示意圖

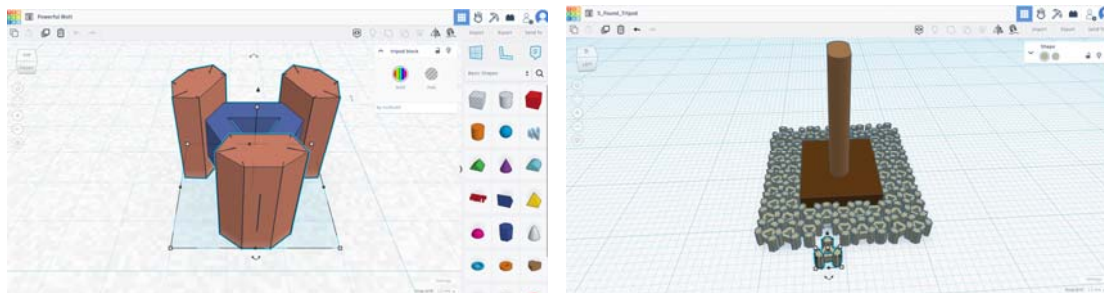
一般數值模型試驗的上游設定邊界多為流體流入或造波邊界，設定方式各有所不同，但模擬條件初始流場皆為靜止狀態。

5. 數值模型建置功能

FLOW-3D 內建簡單的模型可以建置，如球體、圓柱體、圓錐體、立方體及環形體，但對於較複雜的形體，則需借助其它繪圖軟體來建置。FLOW-3D 有提供一項非常方便之功能，能藉由其它繪圖軟體所繪製的複雜形體，匯出成*.stl 文件檔，即可直接匯入至數值模擬圖台上。本計畫因有鼎型塊之複雜型體，且多塊並須排列之需求，故須透過第三方繪圖軟體進行繪製後，再匯入 FLOW-3D 使用之。

本計畫使用 Autodesk Tinkercad 線上繪圖平台軟體繪製模型，此平台為以工程繪圖、輔助設計製造和 3D 動畫軟體聞名的 Autodesk（歐特克）公司所提供，該公司於 2013 年併購了線上 3D 造型設計軟體公司“Tinkercad”後，以雲端服務的方式提供免費、簡單易用、可直接在網頁瀏覽器中操作的 3D 造型設計平台，使用者可在該平台上設計並共享，為國際上主流之三維模型繪圖平台之一。

先運用 Tinkercad 繪圖平台設定基本單位，接著依照實體建立幾何形體模型(如圖 4.10)，完成整體模型後可直接匯出成 STL 文件檔，再利用 FLOW-3D 匯入 STL 功能來讀取模型。



(a)繪製鼎型塊

(b)鼎型塊保護工排列

圖 4.10 Tinkercad 繪圖平台製作三維模型

STL 文件檔案格式是以小三角面為基本單位，可離散式描述三維實體模型的表面，該文件最初應用於快速成型(Rapid Prototyping)來製作大規模三維零件或裝配模型技術上，發展迄今 STL 文件已在許多模流軟體及三維實體模型的領域中廣泛的應用，所匯入的 STL 模型，可利用前節所述之通度係數法所開發之 FAVOR 功能，來檢視此模型之形狀及外觀(如圖 4.11)。

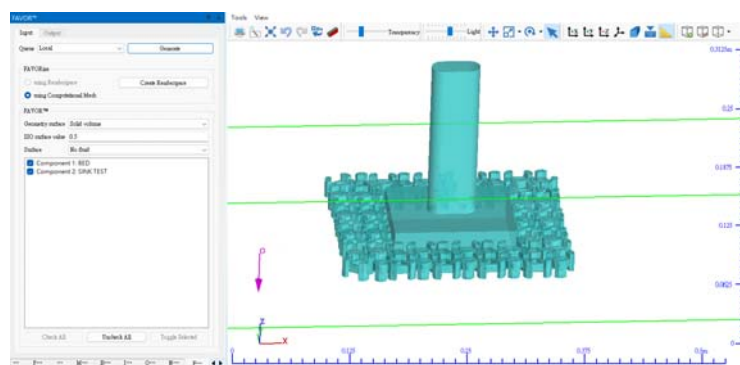


圖 4.11 利用 FAVOR 功能檢視匯入之 STL 模型文件

6. FLOW-3D 模擬流程

一個模擬案例的建立主要分為模式建立與分析，FLOW-3D 擁有簡單明確的模式操作介面，僅需依照面順序設定皆可完成建模，並於模擬後選擇所需之物理特性進行輸出與資料分析，以下針對 FLOW-3D 介面設定流程進行簡要說明。

(1) 模式建立(Model Setup)

(1-1) 基本環境設定(Global)

在此選單裡設定基本數值模擬設定如:模擬時間、單位制、壓縮流或不可壓縮流，皆可在此模組選單中進行調整，本計畫單位為 SI 制，溫度使用攝氏溫標(Celsius)，選擇二項流模式，並設定流體為不可壓縮(Incompressible)。

(1-2) 物理模組(Physics)

在此選單提供數十種物理模組選擇，在本計畫採用三個主要物理模組:(a)重力(Gravity)，設定之重力為 Z 方向-9.81(m/s) (負號表向下)；(b)紊流與黏性 (Turbulence and Viscosity)，此為紊流模式所依據之基本理論，本計畫採 Prandtl 混合長度模式，詳請參見 4.2 節之 4；(c)變密度流(Variable Density Flow)，此模式為二項流模式中自動開啟之模式，加入了熱傳方程式的計算；(d)輸砂模式(Sediment Transport)，為模擬沉積物沖刷所需開啟之模式，最多可同時設定 10 種不相同之沉積物參數(粒徑、密度、底床載係數、安息角...)進行模擬，達不均勻分布或是沉積物密度變化之模擬。

(1-3) 流體選擇(Fluids)

此模組為調整流體的各種物理性質之選單，本計畫使用攝氏 25 °C、水密度為 $1,000(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、黏性(Viscosity)為常數 $1 \times 10^{-3}(\text{kg}/\text{m}/\text{s})$ 。

(1-4) 幾何(Geometry)

此模組中可設置模擬中各種結構物的大小、位置與結構物，且能針對各個結構物的物理特性做細部調整。

(1-5) 網格 (Mesh)

此模組中可控制網格的切割與大小，依據結構物大小跟敏感性之需求進行調整。

(1-6) 邊界設定(Boundary Conditions)

此模組為設定各邊界的邊界條件，邊界條件之設定請詳見 4.3

節之 4。

(1-7) 初始條件(Initial Conditions)

設定模擬初始條件如始水深、大氣壓力...等，初始條件之設定請詳見 4.3 節之 4。

(1-8) 輸出設定(Output)

FLOW-3D 輸出資料有 3 種資料選項(a) Restart data、(b) History data、(c) Selected data，前 2 個資料選擇為基本資料，若所需的物理資料沒出現在前 2 個資料中，可在 Selected data 裡選擇所需的物理量。另亦可在此模組內調整各資料之擷取頻率。

(1-9) 數值方法(Numerics)

此模組提供時間步長(Timestep size)、壓力求解(Pressure solver)、黏滯力求解(Viscous stress solver)、對流求解(Advection solver)、流體介面計算法(Volume-off-fluid advection)、二項流介面滑移(Two-fluid interface slip)、對流項處理(Momentum advection)，以及流體流動求解(Fluid flow solver)等選項之設定。

(a)時間步長:為避免數值計算不穩定，選定顯式法(Explicit method)計算時，必須限制時間步長。若將模式執行設定自動時間步長時，則將在不違反穩定條件或超過設定之最大時間步長的條件下，盡可能調整較大的時間步長。當壓力和/或溫度迭代次數超過模式中有關迭代次數選項的相關設定時，時間步長的大小也將自動減少。一般狀況下，時間步長在維持穩定之條件下，自動以 5%的幅度增加或減少來調整，本計畫採 FLOW-3D 建議使用之自動時間步長設定，以維較佳的計算合理性。

(b)壓力求解:選用預設之 GMRS 系統，有關壓力求解之方法說明請參見 4.3 節之 1。

(c)黏滯力求解與對流求解:有顯式/隱式法之選項，顯式法

(Explicit method)結果較為準確，當幾何與流場較簡單可有效且快速的計算，屬較簡易的數值處理執行方法，但需使用較小的時間間距(stability critria)，以滿足穩定條件；隱式法(Implicit method)相較於顯式法可允許較大的時間間距，但通常需要迭代求解。本計畫採 FLOW-3D 預設之顯式法進行模擬。

(d)流體介面計算法:FLOW-3D 會依據模擬問題而選擇不同的VOF 自由液面計算方式，詳請參見 4.2 節之 3。

(e)二項流介面滑移:為允許空氣與水在介面上的速度滑移。

(f)對流項處理:為求較佳運算效率，選用內定之一階速度對流動量方程式。

(g)流體流動求解:使用動量方程與連續方程求解，詳請參見 4.2 節之 1 及 2。

(2) 分析

經由前節各模式建立後，則可由 FLOW-3D 之分析介面中的 Text output 選項中，選擇所需資料(如:自由液面、壓力、速度...等)輸出成 txt 檔後，再利用 Matlab 等資料處理軟體進行後處理，得到如:資料圖、作用力計算、OWC 效能計算...等。

4.4 室內水工模型水槽試驗

1. 試驗水槽

(1) 水槽尺寸

水槽全長 15m、寬 0.8m、深 0.8m，水槽側壁之材質為強化透明玻璃，以利於試驗進行時之觀測。水槽尾端有一小型沉砂池用以避免試驗砂流入尾水池，後設尾水閘門(tailwater gate)，用以控制試驗水深，如圖 4.12、4.13 所示。



圖 4.12 水槽斷面圖



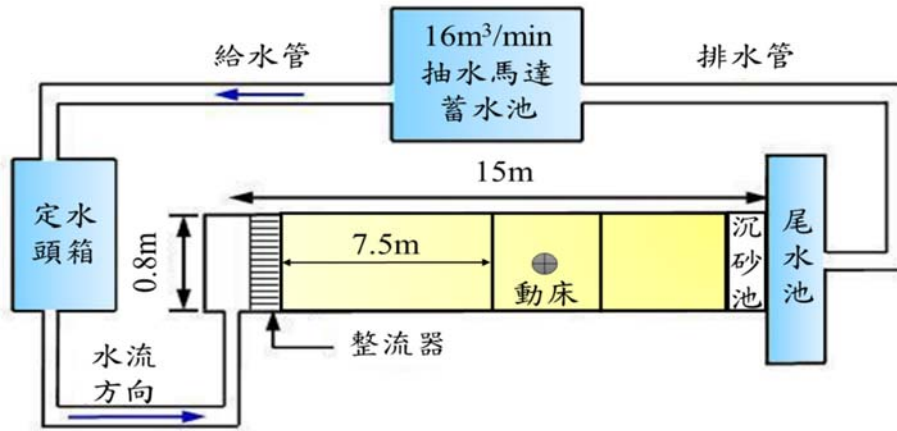
圖 4.13 水槽尾水控制閘門

(2) 供水系統

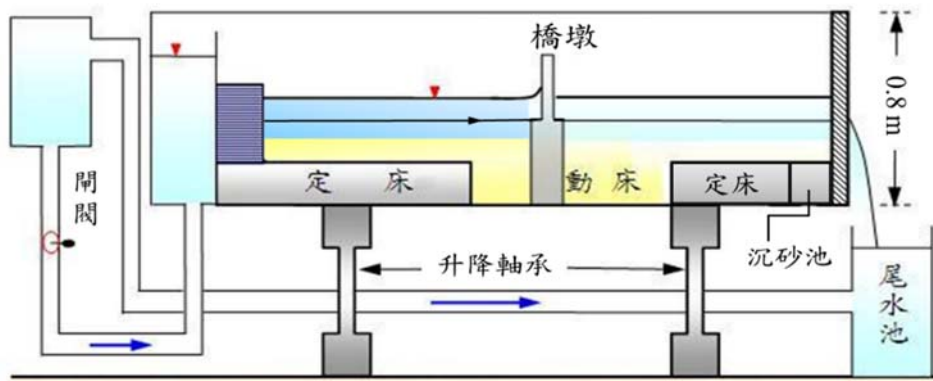
以 $16\text{m}^3/\text{min}$ 之抽水馬達從蓄水池中抽水，經由給水管送至定水頭箱，以供應水量至水槽中。水流經水槽後流入尾水池，再經由排水道流進蓄水池，形成一供水循環系統。

(3) 流量控制

定水頭箱至水槽間設有一顯示式管路手動矩形閘閥，可控制流量流至水槽中，水槽整體主要配置如圖 4.14 所示。



(a) 頂視圖(plan view)



(b) 側視圖(side view)

圖 4.14 試驗水槽配置圖

2. 試驗佈置

(1) 橋墩模型

本試驗模型依據國道 3 號大甲溪橋的實際尺寸以縮尺 100 分之一製作，橋墩模型如圖 4.15 所示，單位尺寸：公分。



圖 4.15 試驗橋墩模型照片

(2) 水槽佈置

為使水流進入試驗區段時能保持平順穩定，以吸管製成之蜂巢式整流器減緩水流紊亂程度，使水流平順進入試驗區段，如圖 4.16 所示。

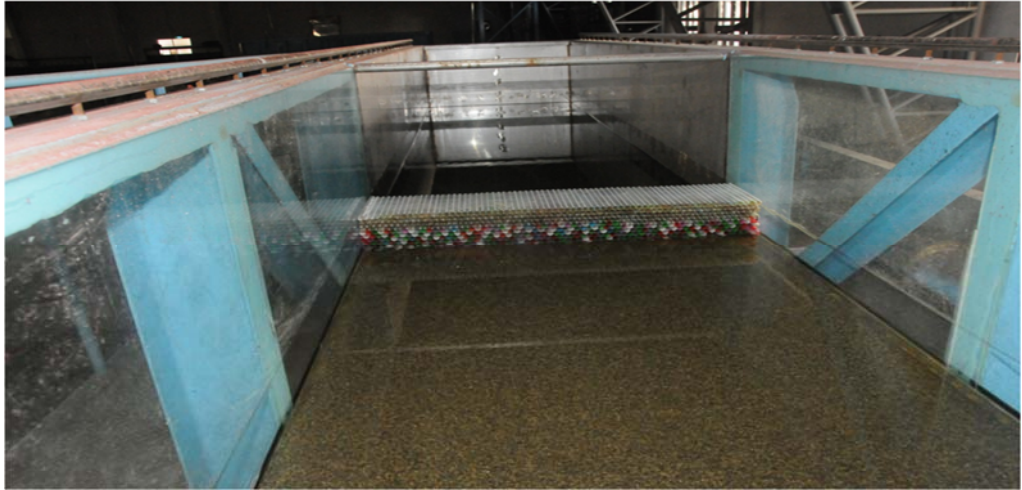


圖 4.16 吸管製成之蜂巢式整流器

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

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

本計畫因試驗水深較低，如果以流速剖面決定完全發展段較為困難，故利用試驗區各段水深來決定完全發展段。完全發展段選定之範圍是利用平均流速 V 與泥沙臨界啟動速度 V_c 之比值，即 V/V_c 為 1.0 的情況下量測水深。經試驗觀察結果，本試驗之完全發展區段位於距入流口約 7.0 m~9.3 m 之間。因此，設計距入流口 7.5m 至 9.5m 之區段為試驗區，其餘為定床區，橋墩落墩於距入流口 8.5 m 處，定床區鋪設 1.5 公分之砂以保持與試驗段相同之河床糙度，詳如圖 4.17 所示。

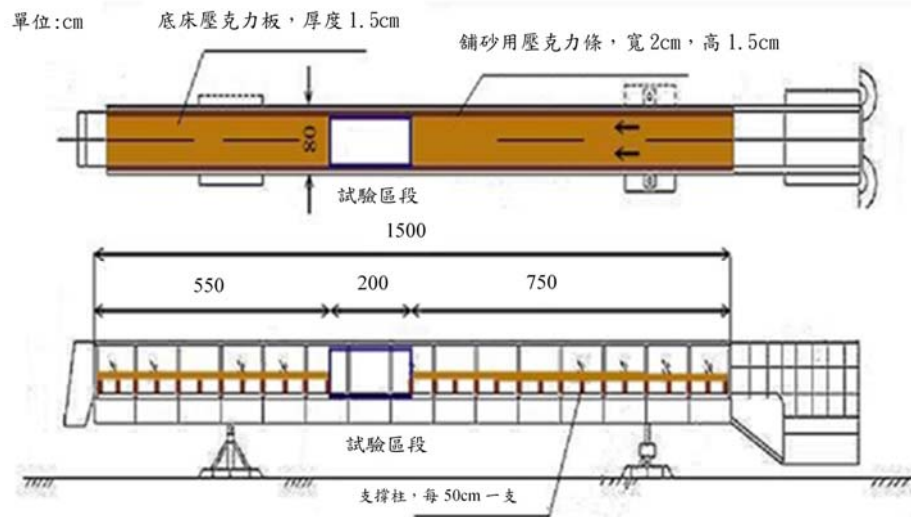


圖 4.17 水槽試驗段佈設示意圖

(3) 試驗流量率定

本試驗之流量係由給水管上之閘閥所控制，水流從定水頭箱經由給水管輸送到水槽中，再流至尾水池，並藉由尾水池蓄水量與時間關係計算率定流量與閘閥開口之關係公式，如圖 4.18 所示。本試驗閘閥之流量率定公式率定如下：

$$Y = 78X - 198 ; R^2 = 0.9963 \quad (4-28)$$

式中，Y 為流量(L/min)、X 為閘閥開口大小(mm)

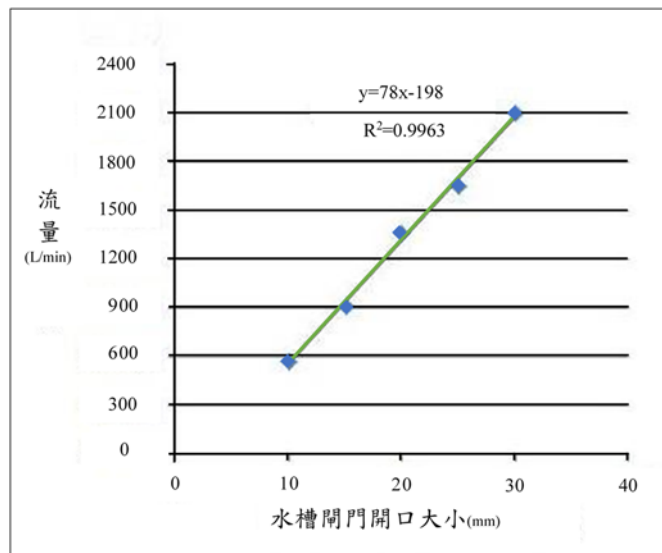


圖 4.18 流量率定曲線圖

(4) 臨界流速設定

目前計算臨界流速之公式有很多，如表 4-1 所示，相關公式與其試驗室條件的不同會有差異，本計畫參考過去相關文獻並依本計畫之試驗室條件及公式輸入參數之取得難易評估結果，採用 Melville (1999)^[3] 回歸臨界啟動試驗數據所獲得之公式，如 4-36 式，推求本計畫之試驗臨界流速(V_c)。本計畫水深(y)為 102 毫米(mm)，中值粒徑(d_{50})為 1.3 毫米(mm)，代入 4-29 式得到試驗臨界流速(V_c)為 0.4515 m/s，乘上試驗水槽寬(0.8m)及水位高(0.102m)換算流量為 2,208 L/min，所需閘閥開度由 4-28 式可得到約為 30.85 mm。

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right) \quad (4-29)$$

上式中

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

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

表 4-1 臨界流速公式

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

	$u_{*c} = [\hat{\theta}_{*c}(G-1)gd_{50}]$ $\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right)$	
張瑞瑾 (1995)	$V_c = \left(\frac{y}{d} \right)^{0.14} \left[29d + 6.05 \times 10^{-7} \left(\frac{10+y}{d^{0.72}} \right) \right]^{0.5}$	Ss:底床質比重 y:上游水深(m) d:底床質粒徑(m)
沙玉清 (1995)	$V_c = \left[0.43 \left(\frac{d}{1000} \right)^{0.75} + 1.1 \frac{1000(0.7-n)^4}{d} \right]^{0.5} y^{0.2}$	Vc:臨界起動速度(m/s) n:孔隙率

資料來源：「不均勻圓形橋墩之局部沖刷研究」^[12]

3. 試驗砂物理性質試驗

為取得數值水理模型輸入所需之泥砂參數，將試驗砂取樣，進行物理性質分析試驗，如圖 4.19 所示，完成後所取得之物理性質參數如圖 4.20 及表 4-2 所示，並做為數值模擬分析所需輸入之主要參數之用。



圖 4.19 試驗砂物理性質試驗情形

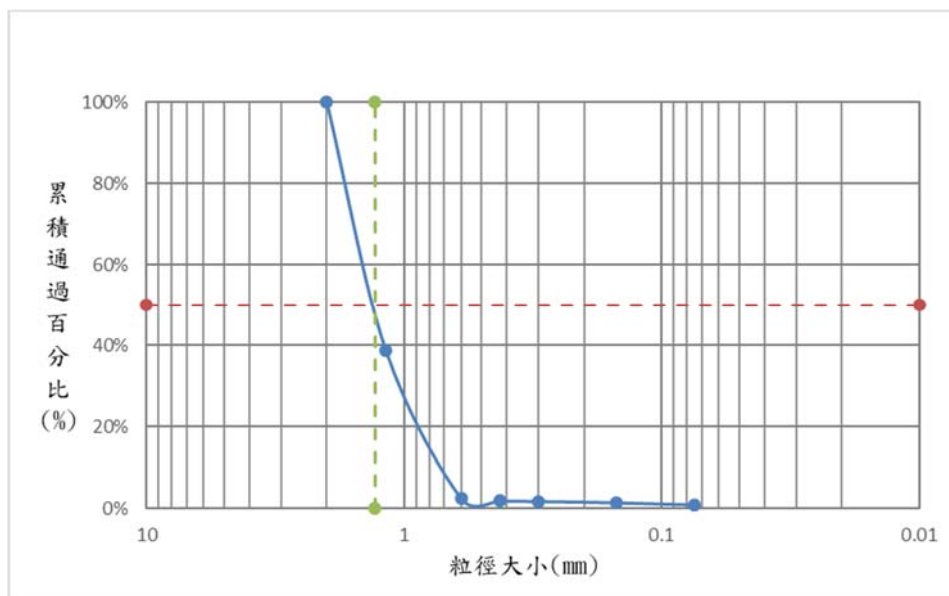


圖 4.20 底床試驗砂粒徑分布曲線

表 4-2 物理性質試驗所取得之參數

乾單位重(r_s)	孔隙比(e)	中值粒徑(d_{50})
2.44 (t/m^3)	0.638	1.3 (mm)

4.5 數值水理模型建置

1. 網格建置

數值模型建置係依 4.4 節室內水工模型水槽試驗尺寸建置，水槽總長度為 15 公尺、寬度為 0.8 公尺，距入流口 7.5m 至 9.5m 之區段為試驗區做為動床沖刷使用，其餘為定床區，橋墩則設置於試驗區內(如圖 4.14)，動床區內橋墩周圍之水理分析為主要探討範圍，為節省網格使用量並使運算效率化，採漸進式網格方式建立分析模型，將網格由邊界逐漸向橋墩密集化，模型網格設置如圖 4.21 所示。

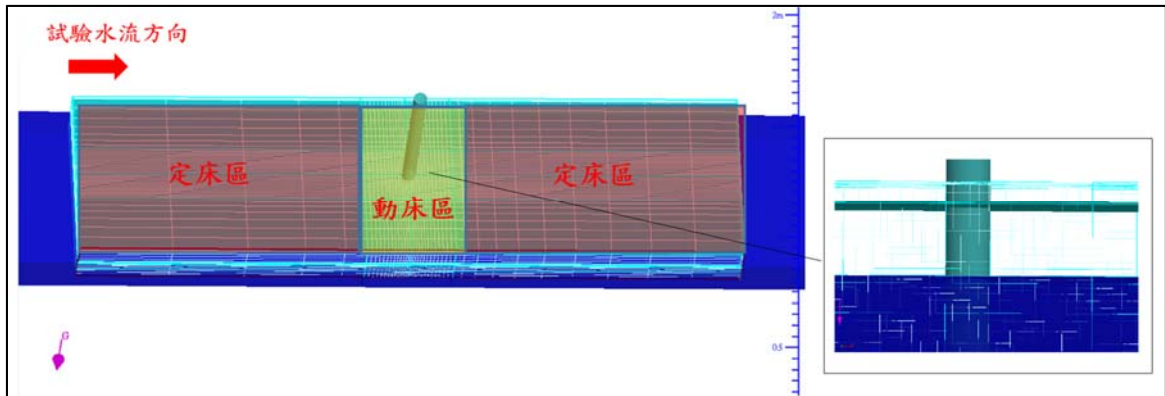


圖 4.21 數值水理模型網格設置情形

2. 數值分析主要輸入參數

主要輸入參數分為邊界條件及泥砂參數兩大部分，分述如下：

(1) 邊界及初始條件：

本計畫係模擬試驗水槽橋墩模型在定流量下之沖刷分析，初始條件給定固定水位(10.2cm)及標準大氣壓力，上游為固定流量輸入，故以固定體積流率(Volume flow rate, Q)設定邊界條件，左、右及底面為試驗水槽壁體，故將此三面之邊界設定為屏障邊界(Wall, W)；試驗水槽為 open channel，下游放水口為自由流出，係直接與大氣接觸，故以給定壓力(Specified pressure, P)設定為邊界條件，設定情形如表 4-3 及圖 4.22 所示。

表 4-3 數值模擬邊界設定

邊界位置	邊界選項
Xmin	Volume flow rate, Q
Xmax	Specified pressure, P
Ymin	Wall, W
Ymax	Wall, W
Zmin	Wall, W
Zmax	Specified pressure, P

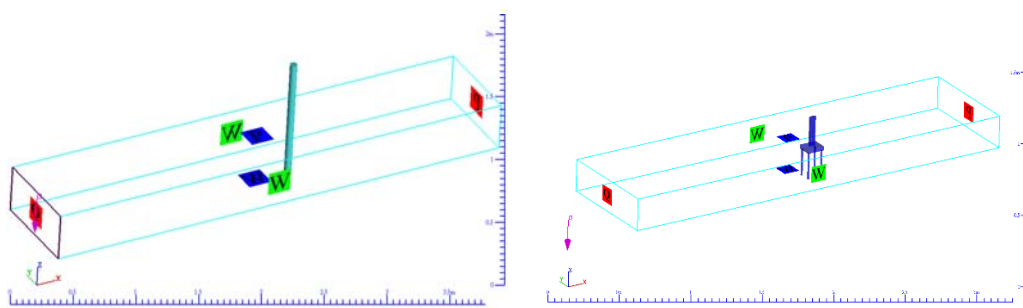


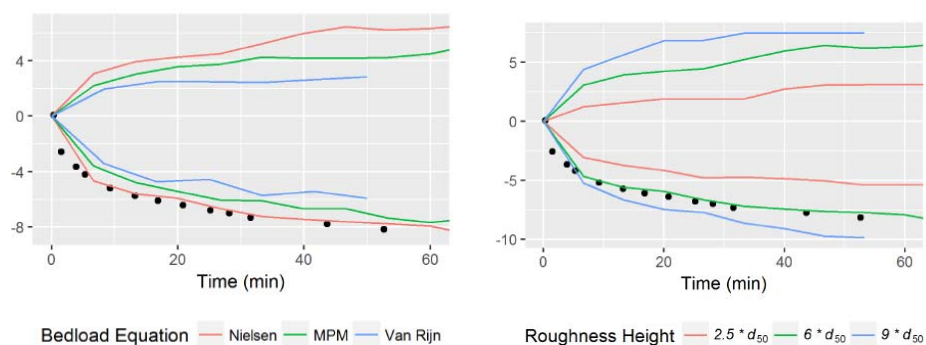
圖 4.22 邊界條件設定情形

(2)主要泥砂參數:

有關沉積物沖刷模組所需之主要參數包含粒徑(d_{50})、乾密度(ρ_d)、底床糙度/ d_{50} 比(Bed roughness/ d_{50} ratio, n/d_{50})及沖刷公式...等,如 4.5 節之 3 的實驗結果, d_{50} 取 1.3mm、 ρ_d 取 2.44t/m³,而 n/d_{50} 及推移載公式(Bedload equation)之選用則參考 Brian et al.(2019) [10]利用 FLOW-3D 進行三維定速水流之圓柱和菱柱橋墩沖刷試驗的模擬結果,在 $n/d_{50}=6$ 及選用 Nielsen 沖刷公式,有較好之吻合性,如圖 4.23 所示,因本計畫模擬背景與該文獻相近,故取前述參數進行模擬分析。

表 4-4 數值模擬主要泥砂參數

ρ_d	d_{50}	n/d_{50}
2.44 (t/m ³)	1.3(mm)	6



(a)不同推移載公式

(b)不同糙度

圖 4.23 數值模擬結果與試驗結果之比較^[10]

3.數值水力分析模型驗證及建置

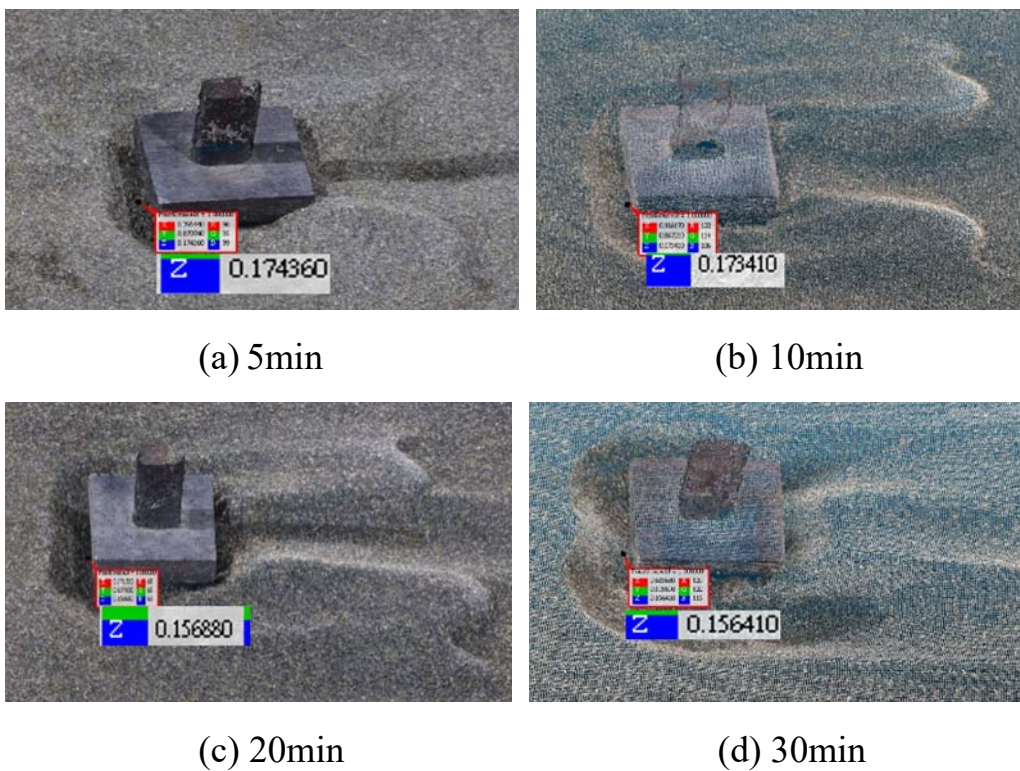
(1) 沖刷模擬驗證:

本計畫參照 Brian Fox(2019)對於菱形及圓形柱之沖刷試驗與數值模擬結果之探討方式，利用本所室內試驗水槽進行方形及圓形柱之沖刷試驗，並以 FLOW-3D 進行模擬來調整及驗證數值模型之準確性，待完成驗證性測試後，再據以進行鼎型塊織布保護工之數值模擬分析。

(1-1) 三維數值模擬方柱體沖刷驗證

應用 FLOW-3D 沉積物模式對方柱體進行模擬，並參考實際試驗調整數值水槽相關參數後，進行試驗與數值模擬比較。本計畫水槽試驗共規劃 4 組沖刷時間，為 5min、10min、20min 及 30min，並將沖刷情形以攝影測量方式記錄三維地形(DSM)，如圖 4.24 所示，5min、10min、20min 及 30min 沖刷時間下最大沖刷深度分別為 2.6cm、2.7cm、4.3cm 及 4.4cm，而數值模擬分析的部分，因可連續時間輸出結果，可將該結果製成各時間點所對應之最大沖刷深度之關係，並將水槽試驗沖刷數據，併同整理如圖 4.25 所示，可觀察出水槽試驗結果與數值模擬之結果，在最大沖刷深度趨勢及數據呈現上，有不錯之模擬結果。

利用 FLOW-3D 後處理模組(POST)，將 10min 模擬結果製成沖刷深度之等深圖，並將同樣沖刷時間下之水槽試驗沖刷深度等高線圖，兩者進行比較(如圖 4.26)，可觀察出最大沖刷位置皆位於上游側角隅處，沖刷坑的形狀皆為圓弧形，整體而言，儘管實驗與數值理論存在一定差距，仍可反應出最大沖刷深度、位置與形狀，對於柱體後方淤積之情形亦有模擬出來。



*註: Z 為最大沖刷深度高程值，底床原始高程(H)為 0.2m，各組最大沖刷深度之計算為(H-Z)

圖 4.24 水槽試驗不同時間下沖刷結果(方柱體)

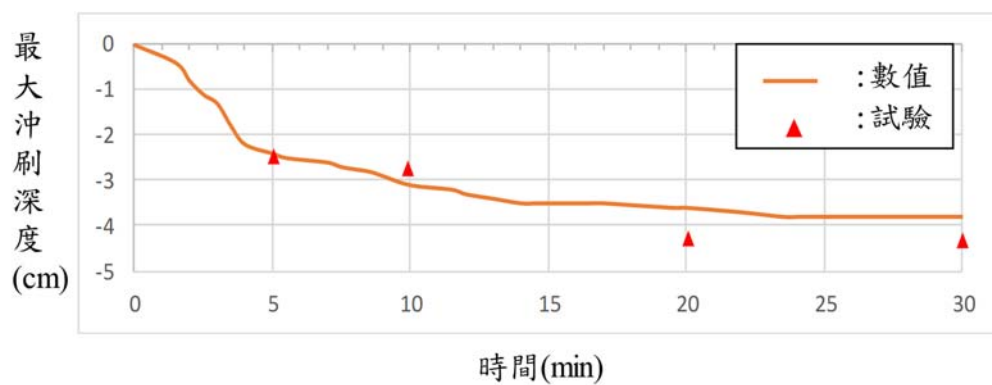


圖 4.25 水槽試驗與數值模擬在不同時間下沖刷結果比較 (方柱體)

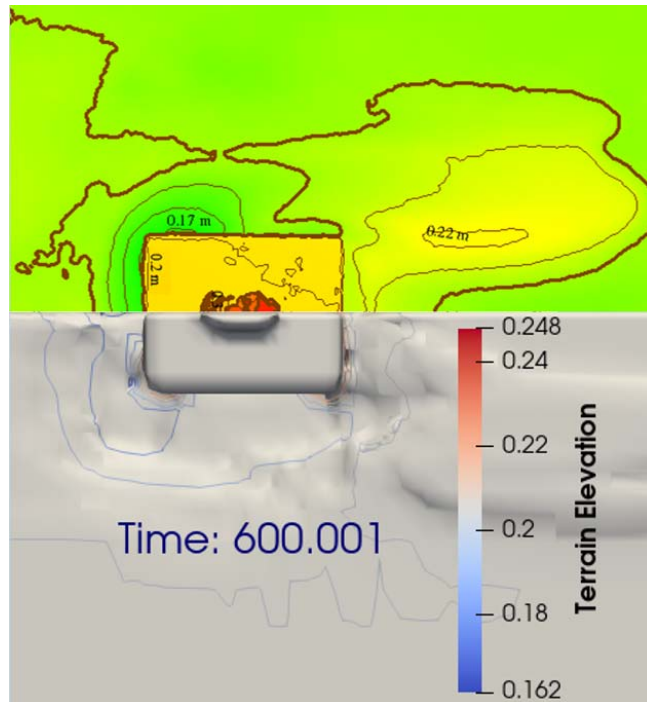
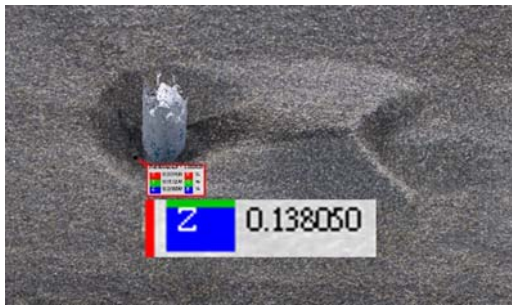


圖 4.26 水槽試驗(上)與數值模擬(下)沖刷地形比較(10min，方柱體)

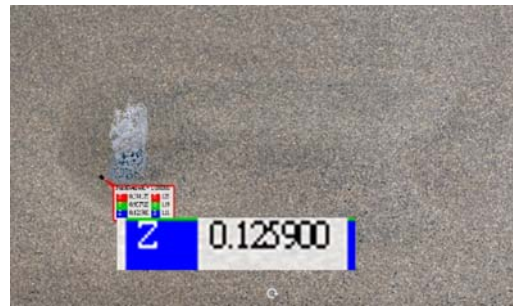
(1-2) 三維數值模擬圓柱體沖刷驗證

依前述方柱體沖刷驗證之規劃，進行試驗與數值模擬比較，其 5min、10min、20min 及 30min 共 4 組水槽試驗沖刷時間沖刷情形之三維地形(DSM)，如圖 4.27 所示，5min、10min、20min 及 30min 沖刷時間下最大沖刷深度分別為 6.2cm、7.4cm、8.1cm 及 8cm，而數值模擬結果所製成各時間點所對應之最大沖刷深度之關係，以及水槽試驗沖刷數據，併同整理如圖 4.28 所示，可觀察出水槽試驗結果與數值模擬之結果，其在最大沖刷深度趨勢及數據同方柱體模擬結果，皆可模擬出相似之結果。

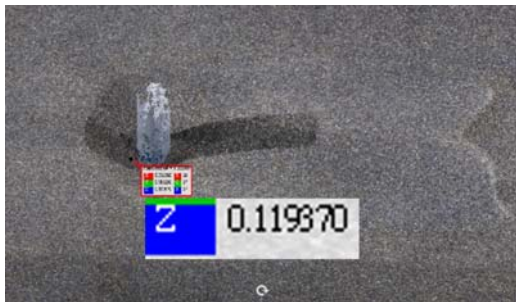
利用 FLOW-3D 後處理模組(POST)，將 10min 模擬結果製成沖刷深度之等深圖，並將同樣沖刷時間下之水槽試驗沖刷深度等高線圖，兩者進行比較(如圖 4.29)，可觀察出最大沖刷位置皆位於上游側頂弧處附近，沖刷坑的形狀皆為圓弧形，整體而言，仍可反應出最大沖刷深度、位置與形狀。



(a) 5min



(b) 10min



(c) 20min



(d) 30min

*註: Z 為最大冲刷深度高程值, 底床原始高程(H)為 0.2m, 各組最大冲刷深度之計算為(H-Z)

圖 4.27 水槽試驗不同時間下冲刷結果(圓柱體)

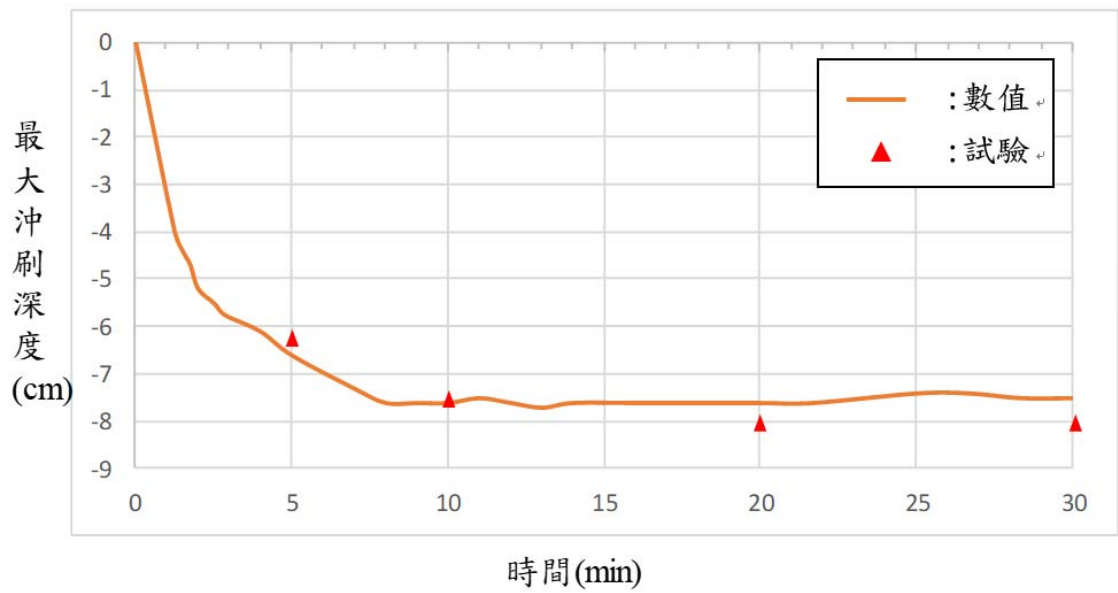


圖 4.28 水槽試驗與數值模擬在不同時間下冲刷結果比較 (圓柱體)

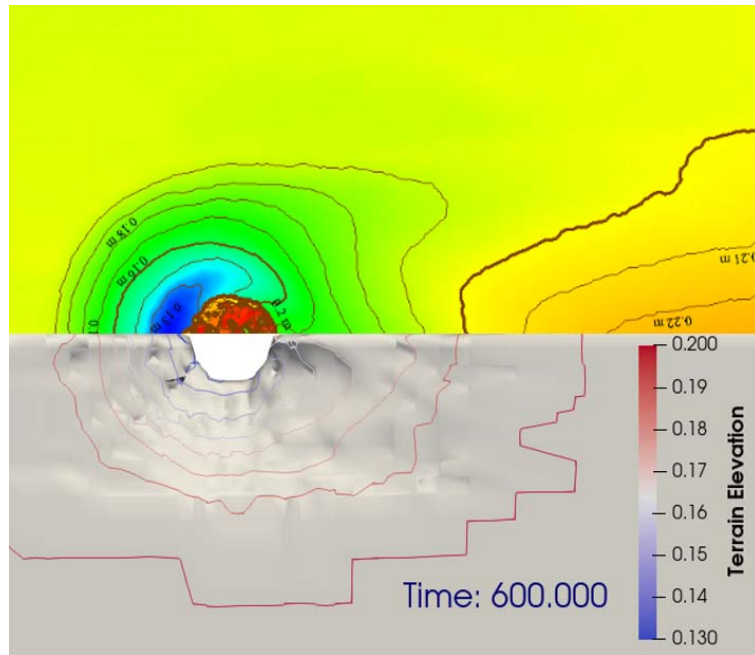


圖 4.29 水槽試驗(上)與數值模擬(下)沖刷地形比較(10min，圓柱體)

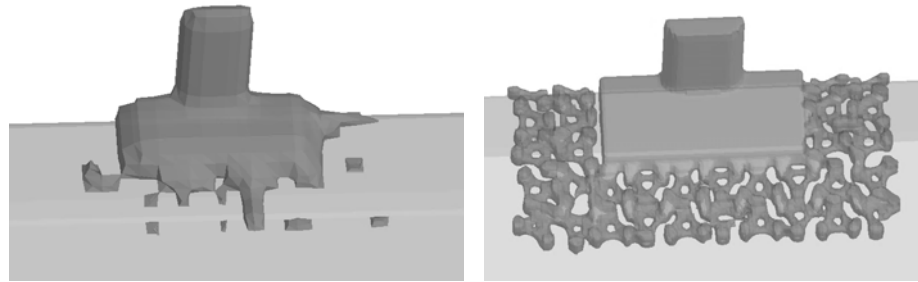
(2) 鼎型塊織布三維數值沖刷模型建置:

經前小節利用方柱及圓柱體進行驗證分析，確認相關初始條件、邊界條件及參數設定適用性後，續以國 3 大甲溪橋相同型式之方柱體為橋墩模型，並配置鼎型塊及地工織布保護工進行模擬，以探討 FLOW-3D 於模擬鼎型塊及地工織布保護工之設置及可模擬程度，做為後續計畫年度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。

(2-1) 鼎型塊保護工三維數值沖刷模擬

- (a) 網格效率化設定:因本模型左右對稱，模擬結果亦為對稱情形下，可沿 X 向取半側模型分析，切割軸之邊界則調整為對稱邊界(Symmetry, S)(圖 4.30)，減少一半網格之分析量；另鼎型塊屬多邊形複雜形體，雖可利用 FLOW-3D 所提供之 FAVOR™ 功能將複雜鼎型塊外型精確的描述，但因鼎型塊體積相較於橋柱體小，需透過加密網格方式方能將其外型完整數化出來(圖 4.31)，卻會導致運算量增加而費時，使得模擬效率降低，因此，可運用 FLOW-3D Retart 功能，先以較少網格數進行全域的流況模擬(取得流速、水位等資

料)，俟穩定後(圖 4.32)，再將分析區域縮小並加密網格，進行局部(柱體及保護工區域)冲刷模擬分析(圖 4.33)，如此可將全域流況模擬資料做為局部分析之邊界條件，以確保能在完整描述鼎型塊外型下，來增加運算速度，提升分析效率。



(a) 網格未加密前

(b) 網格加密後

圖 4.30 鼎型塊數值模型在不同網格下數化情形

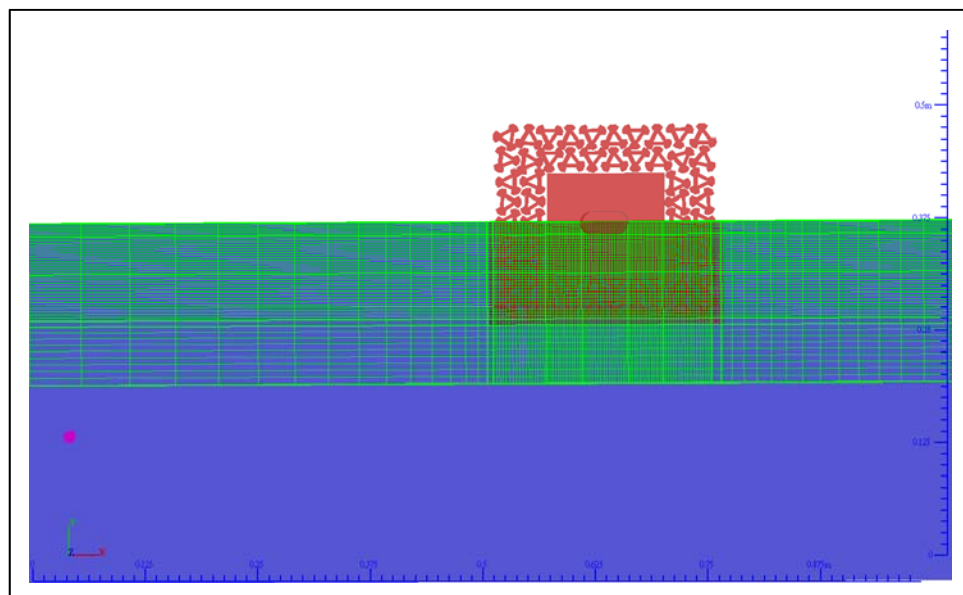


圖 4.31 數值模型取半對稱分析

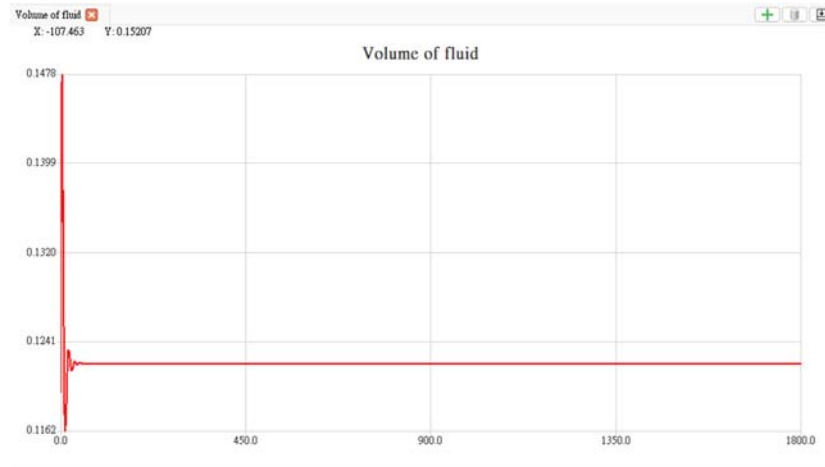


圖 4.32 全域流況分析-流體穩定情形

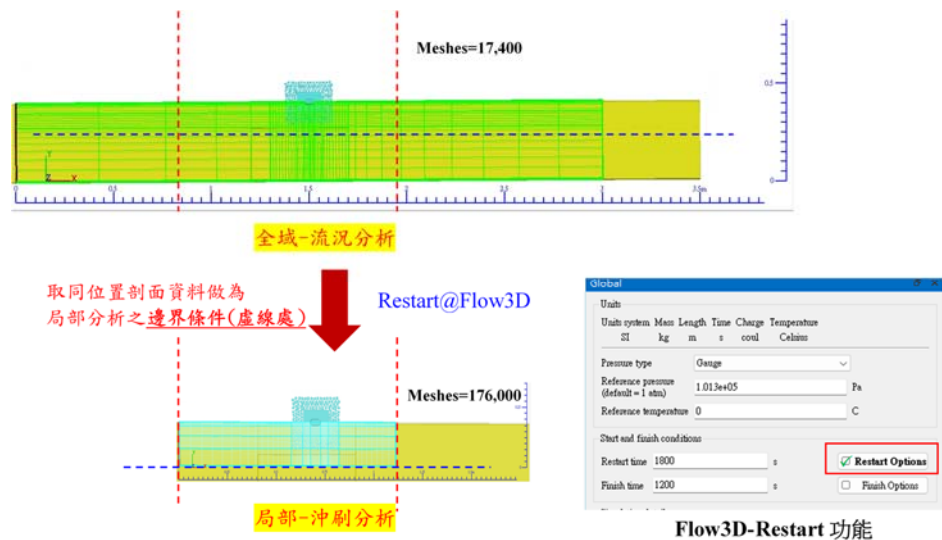


圖 4.33 局部網格細化模擬分析

- (b) 鼎型塊下方沉積物參數設定: FLOW-3D 雖有沉積物模式可進行沖刷模擬，但相關保護工(鼎型塊、地工織布)模擬分析之模組，目前尚未有對應之模組可供應用，因此未能模擬當鼎型塊基底粒料被沖刷流失後，鼎型塊會隨之下沉之耦合分析情形，而使得分析時鼎型塊與橋墩基礎視為一體，且為無質量狀態之阻水物體。然在實際物理狀態下，鼎型塊保護工法施作後，會因自身重量使得底下粒料單位體積的重量而加大，即粒料密度加大，而地表加載對於土中不同深度應力增量之計算，則參考土壤力學 2:1 應力傳遞法

(圖 4.34)，來換算鼎型塊下方不同深度所對應之密度(表 4-5)，並據以應用在數值模式鼎型塊下方沉積物參數之設定上，而得到近似模擬之分析效果。

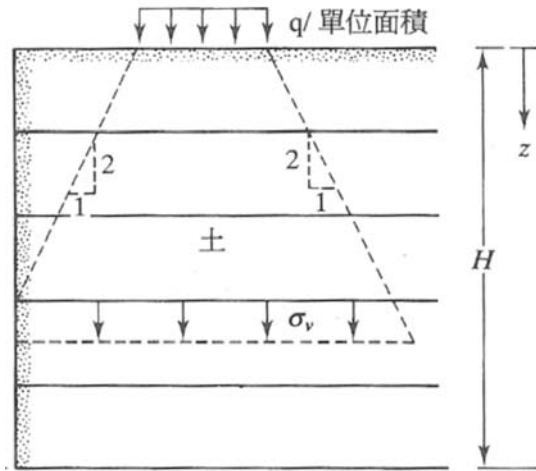


圖 4.34 2:1 土中應力傳遞法

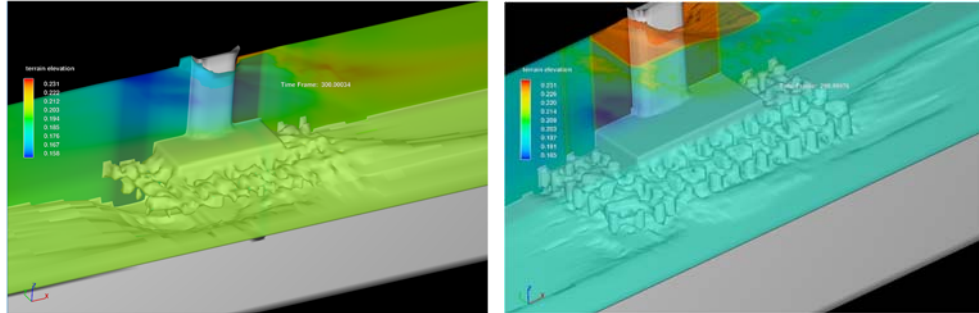
表 4-5 依 2:1 傳遞法所得鼎型塊下不同深度所對應之密度

Z(cm)	dq _z (g/cm ²)	平均dq _z (g/cm ³)	Block+dq _z (g/cm ³)
0.1	3.25	2.90	5.34
0.2	3.16		
0.3	3.08		
0.4	3.00		
0.5	2.92		
0.6	2.85		
0.7	2.78		
0.8	2.72		
0.9	2.65		
1	2.59		
1.1	2.53	2.30	4.74
1.2	2.48		
1.3	2.42		
1.4	2.37		
1.5	2.32		
1.6	2.27		
1.7	2.22		
1.8	2.18		
1.9	2.13		
2	2.09		

*註: Z 為深度、dq_z 為應力增量、Block 為鼎型塊，底床粒料原單位重為 2.44(t/m³)

(c) 有無考量土中應力增量之比較:圖 4.35(a)為無考量土中應力增量之模擬結果，圖 4.35(b)為有考量土中應力增量之模擬結果，可觀察出前者產生大範圍之沖刷坑，後者則有減緩沖

刷之現象，其與鼎型塊保護工實際設置後之保護情形相同，說明本數值模型在考量土中應力增量之設定上，可達相近之模擬結果。

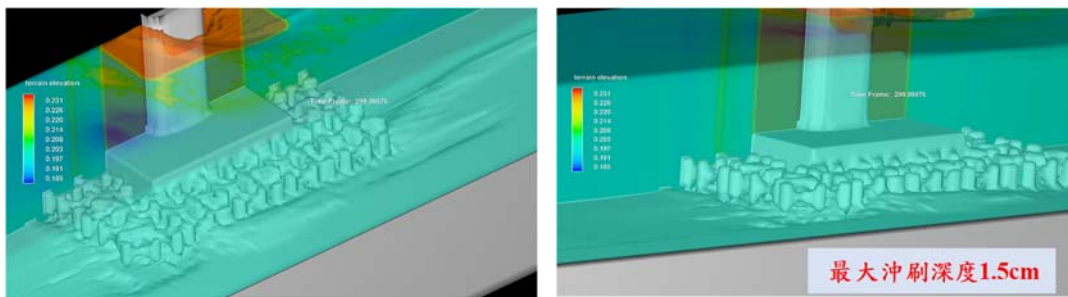


(a) 無考量應力增量

(b) 有考量應力增量

圖 4.35 有無考量土中應力增量後數值模擬結果之比較

(d) 數值沖刷模擬結果:依據前述測試結果之方式進行相關邊界條件、網格及參數等調整設定後，進行數值沖刷模擬，並與水槽試驗結果進行比較，確認模擬成效，圖 4.36 為數值模擬之結果，圖 4.37 為水槽試驗之結果，可觀察出除無法呈現鼎型塊因沖刷而下沉之耦合結果外，其在最大沖刷深度及周圍沖刷與淤積之情形，兩者相近，其模擬結果已有一定參考價值。



*註: 沖刷深度=原高 0.2m-沖刷後高 0.185m

圖 4.36 方形基礎+鼎型塊保護工數值模擬結果(不同角度)



*註：冲刷深度=原高 0.2m-冲刷後高 0.183m

圖 4.37 方形基礎+鼎型塊保護工水槽試驗結果

(2-2) 鼎型塊織布保護工三維數值冲刷模擬

(a) 土工織布(Geotextiles)參數設定:如前述因 FLOW3D 目前尚未發展保護工(鼎型塊、土工織布)模擬分析之模組，仍嘗試尋求以近似模擬的方式來設置，表 4-6 為織布之材料規格，其正向透水率為 $0.4(s^{-1})$ ，以白努利公式(Bernoulli's principle)求水頭差後，估算滲透量對於通過流量相當微小($<1\%$)，故在織布層之設置將忽略滲透行為，於鼎型塊下方設置一薄層(1mm)模型區域(圖 4.38)，藉以得到設置織布減緩淘刷之近似模擬效果。

表 4-6 土工織布材料規格表

項目	測試規範	單位	規格	
			MD	CD
抗拉強度	CNS13300	kN/m	≥ 250	≥ 250
極限延伸率	CNS13300	%	≤ 30	≤ 30
貫入強度(CBR)	ASTM D6241	N	≥ 30000	
正向透水率	CNS13298	s^{-1}	≥ 0.40	
有效開孔徑(AOS)	CNS14262	mm	≤ 0.425	

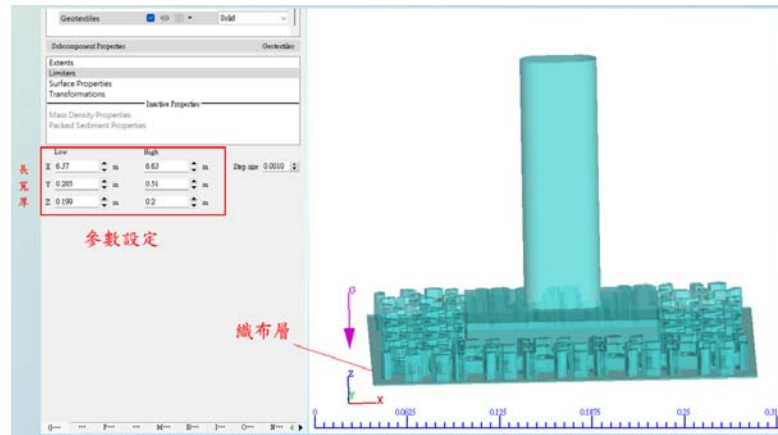
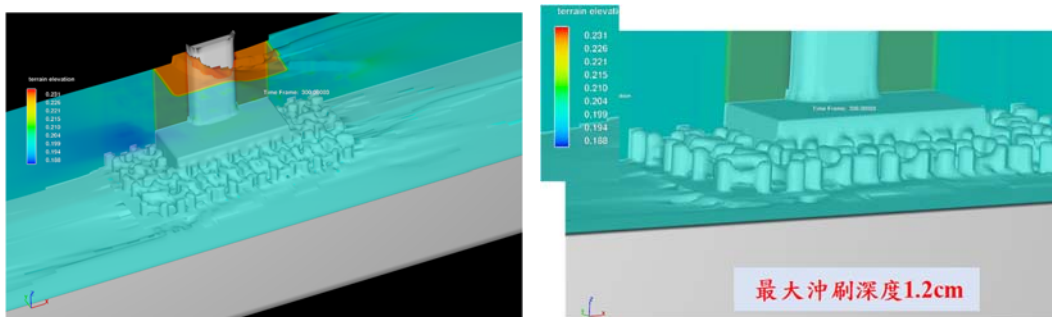


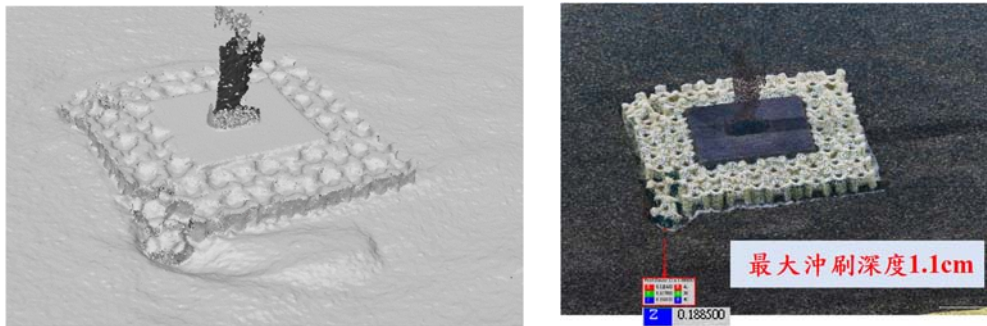
圖 4.38 土工織布設置情形

(b) 數值沖刷模擬結果:依據前述測試結果之方式進行相關邊界條件、網格及參數等調整設定後，進行數值沖刷模擬，並與水槽試驗結果進行比較，確認模擬成效，圖 4.39 為數值模擬之結果，圖 4.40 為水槽試驗之結果，圖 4.41 為兩者沖刷地形比較圖，可觀察出除無法呈現鼎型塊及土工織布因沖刷而下沉之耦合結果外，在上游側角隅皆為最大沖刷坑之位置，鼎型塊側邊皆有發展淤積之情形，因此模擬結果在最大沖刷深度數值及周圍沖刷與淤積之情形，兩者相近，有不錯之模擬結果，亦有一定參考價值。



*註: 沖刷深度=原高 0.2m-沖刷後高 0.188m

圖 4.39 方形基礎鼎型塊+織布保護工數值模擬結果(不同角度)



*註：沖刷深度=原高 0.2m-沖刷後高 0.188m

圖 4.40 方形基礎鼎型塊+織布保護工水槽試驗結果

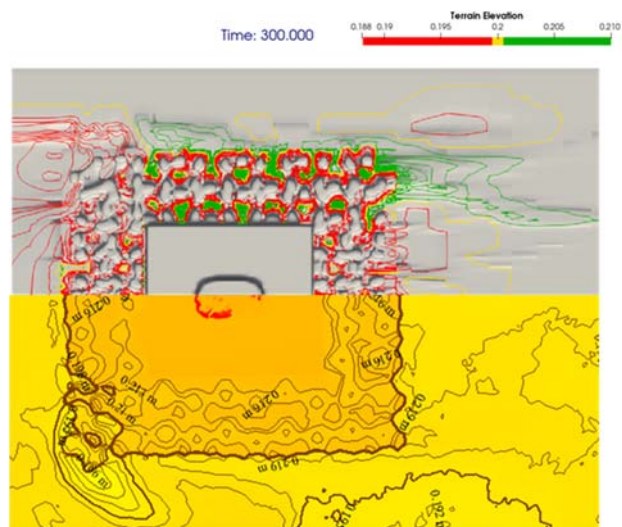


圖 4.41 水槽試驗(下)與數值模擬(上)沖刷地形比較(10min，鼎型塊+織布)

第五章 階段性成果發表與應用情形

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

5.1 獲中華民國發明專利

1. 專利類型

依我國現行專利法規定，專利分為發明、新型及設計專利等三種。

(a) 發明專利

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

(b) 新型專利

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

(c) 設計專利

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

申請取得設計專利。

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

2. 申請過程

相較於新型專利係採形式審查，發明專利則須經過實體審查才能取得專利權，因此申請作業上較為嚴謹且耗時，本案係始於 109 年 5 月辦理發明專利申請，歷經兩次實體審查與答辯申復(第 1 次審查 110 年 2 月、第 2 次審查 110 年 8 月)，透過前述兩次答辯申請，將本工法之發明理念、技術性及應用性...等觀點，詳述解說與國內外同質性專利之不同之處(即創新性)，終於去(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。

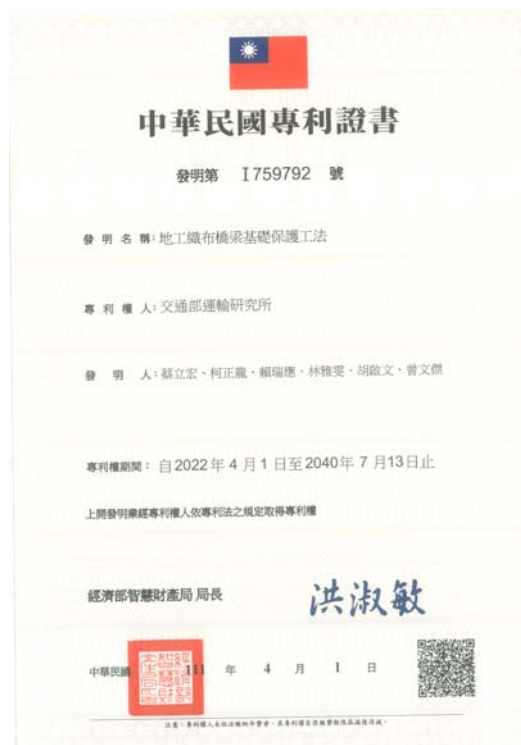


圖 5.1 中華民國發明專利證書(發明第 I759792 號)

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)。

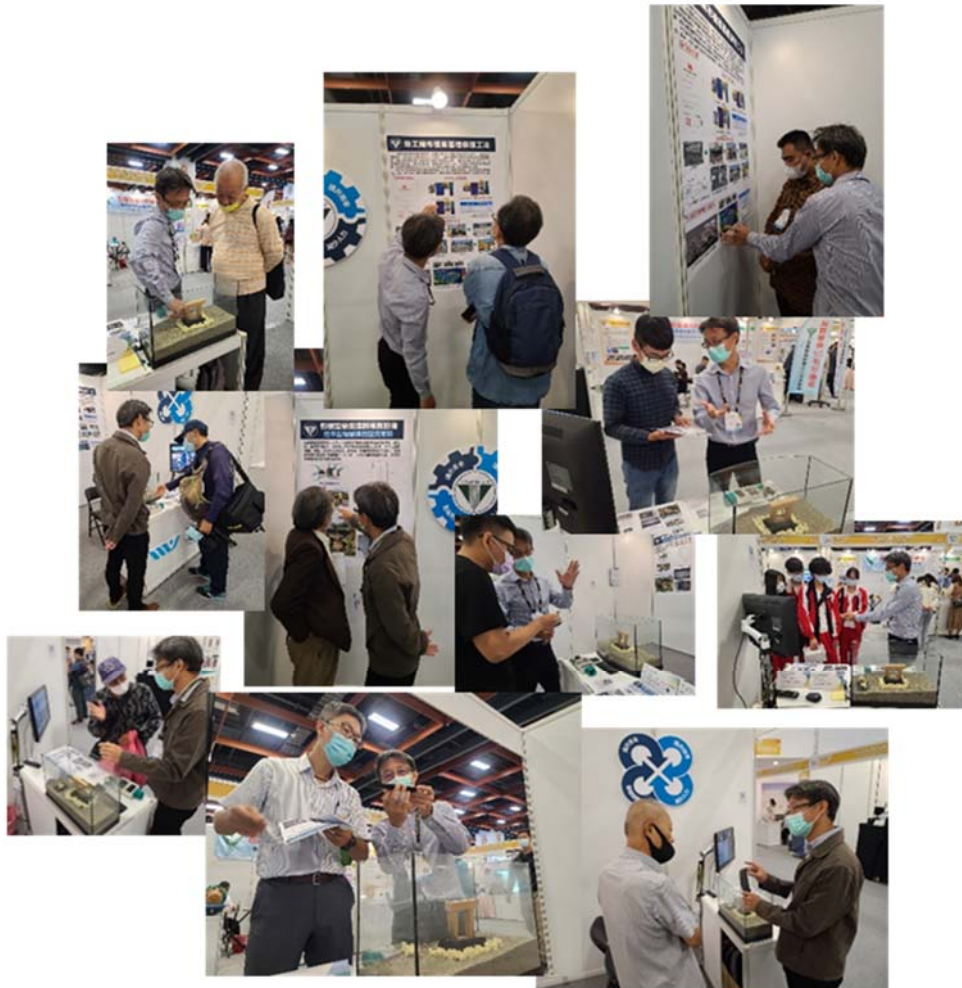


圖 5.2 展覽期間各界參與情形



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 階段性成果發表與推廣

1. 參與研討會

本計畫成果投稿於 111 年 5 月 27 日「第 23 屆海洋與水下技術研討會」並進行成果發表(圖 5.6、圖 5.7)，適逢 COVID-19 疫情緣故，該研討會採線上及實體會議併行，藉此參與交流推廣與討論。



國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

賴瑞應¹ 胡啟文² 鄭登鍵³ 饒書安⁴ 吳松旺⁵ 林哲詠⁶

摘要

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

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

關鍵字：地工織布、燕型塊、橋基保護工、橋梁冲刷

論文主題與範疇：水下技術、水下技術應用

計畫編號：

¹ 賴瑞應 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任研究員兼科長

² 胡啟文 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

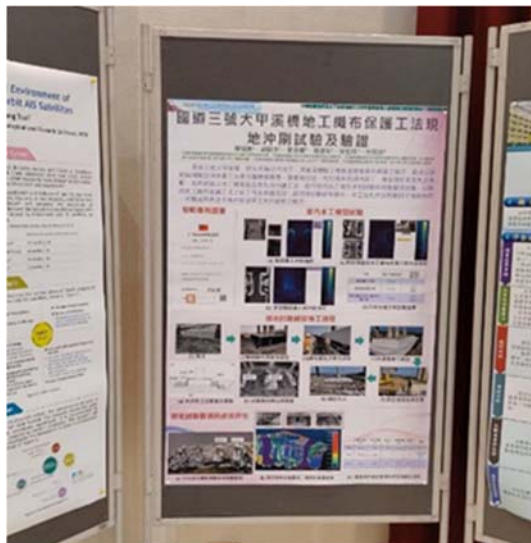
³ 鄭登鍵 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

⁴ 饒書安 交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段段長

⁵ 吳松旺 交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段副段長

⁶ 林哲詠 交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段工務組

圖 5.6 投稿論文短摘要



(a) 海報展覽



(b) 簡報研討

圖 5.7 論文發表情形

2. 交通例行記者會

本計畫於 111 年 10 月 18 日舉行例行記者會，新聞稿題目為「橋

基加固剛柔並濟工法-鼎型塊+地工織布」，將目前階段性成果透過記者會及發布新聞稿方式進行發表，會後各媒體刊登彙整如表 5-1 所示。

表 5-1 例行記者會後各媒體刊登一覽表

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

3.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

5.8)，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。

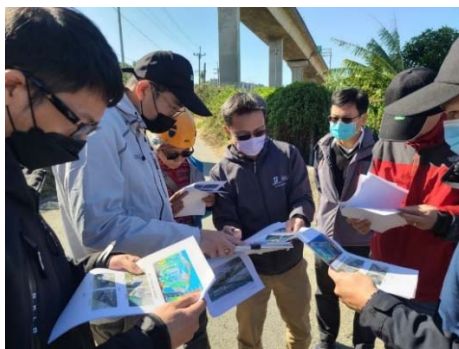


圖 5.8 交通部部務會議提案報告

5.5 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 5.9)，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 5.9 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 5.10)，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 5.11)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 5.10 第 1 次施工前協調會討論情形



圖 5.11 土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

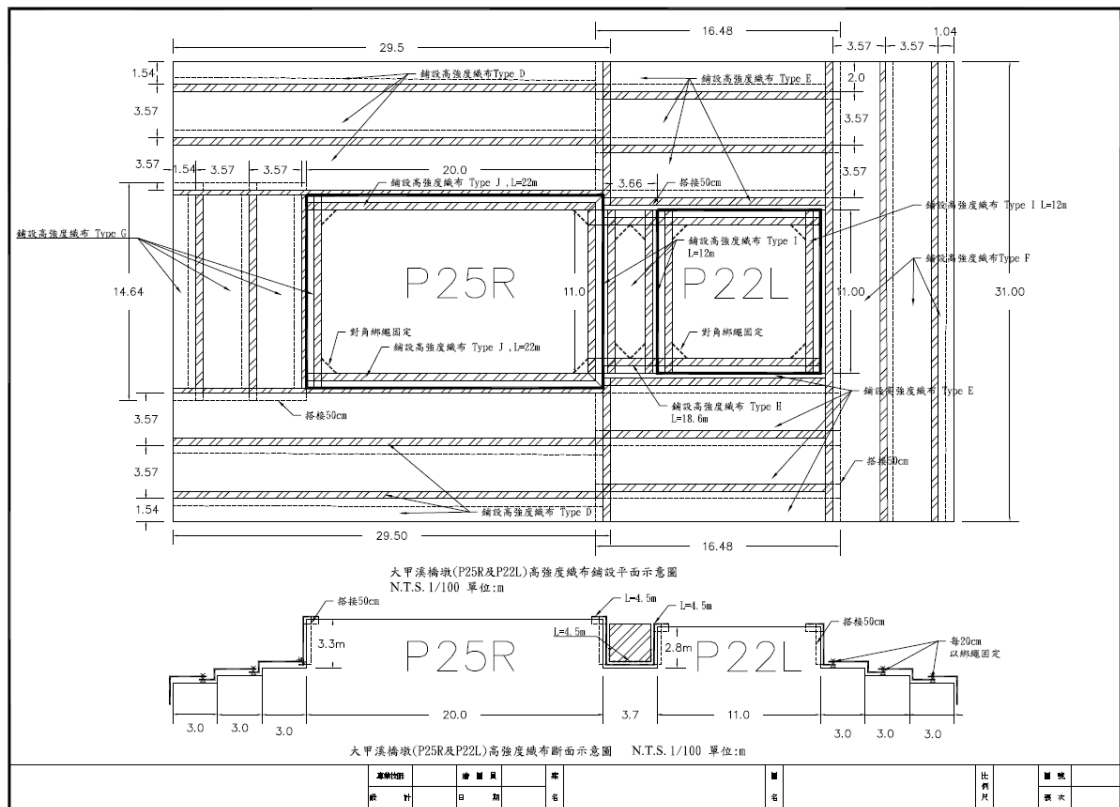


圖 5.13 鼎型塊織布橋基保護工法細部施工斷面圖

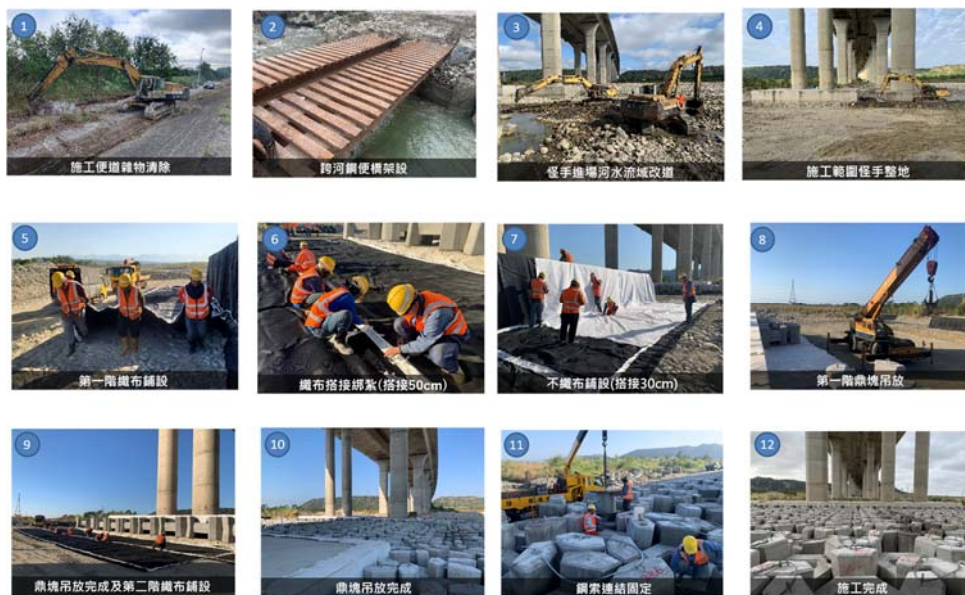
然因 4 月份的降雨造成大甲溪主河道水量較大，施工便道不易施作，難以達成於汛期完成施工之目標，因此大甲段將施工作業調整至今年汛期後執行。

111 年 12 月 2 日正式開工，12 月 30 日完工，施工範圍如圖 5.14、施工過程如圖 5.15 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 5.14 國 3 大甲溪橋 P21L~P22L 橋基保護工作施工範圍



資料來源:大甲段提供

圖 5.15 國 3 大甲溪橋 P21L~P22L 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 5.16)，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 5.17)。

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 5.16 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 5.17 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，於 110~112 年年進行現地保護成效的觀測與評估，並藉由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，做為後續計畫年度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，以提供多元分析驗證及成效評估方式，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。

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(112)年度因石岡壩放流量相較於前 2 年為小，可推測對於試驗區並不會造成太大影響，而經本(112)年度之觀測結果，亦符合前述之趨勢，對於保護成效之評估，尚有待大豪雨事件來進一步驗證。

3. 整體而言，以 P24L 為例，本工法之應用雖增加約 60 萬元/墩/次之成本，但可減少鼎型塊流失或傾斜之現象，與相鄰兩墩比較可減少維修費用 200 萬元/墩/次以上，以目前 110~112 三個年度觀測之結果來看，本工法可具相當之保護作用，達延長保護橋基壽命，減少維修頻率及維護經費之目的。
4. 本計畫以前期室內水工模型試驗累積成果為基礎，規劃執行本(112)年度水工試驗並用於驗證及建置三維數值水理模型，探討模擬鼎型塊+織布之設置及可行性，做為未來建立多元分析驗證方式之基礎。
5. 本計畫工法具技術創新，能應用於實務處理問題，達成所預期的發明目的，已獲得經濟部智慧財產局發明專利、「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」，以及高速公路局 112 年度知識競賽「知識品質獎」第 2 名。
6. 本計畫透過推廣交流、協助預算編列及施工規劃，落實應用至高公局 111 年度橋梁維護業務，辦理橋基保護工作。相關執行過程及階段性成果共營共享，發揮 1+1>2 的成效及示範。

6.2 建議

1. 大甲溪流域於 97 年辛樂克颱風過境造成后豐大橋斷橋事件時，石岡壩放流量達 3,528cms，本計畫近 3(110~112)年之觀測紀錄中，於 110 年盧碧颱風過境期間，為石岡壩最大之放量事件(1,280cms)，其與 97 年辛樂克颱風放流量仍有相當差距，後續將有待超大豪雨事件及擴增試驗區來進一步評估及驗證其成效後，再行擴大推廣應用。
2. 本計畫工法雖經初步驗證具有一定之保護能力，其耐洪程度尚有待大豪雨事件來驗證，故本年度藉由探討鼎型塊+織布於三維數值模式之設置及可行性，後續將延續本年度之經驗與成果，應用於現地試驗數值模擬分析，以補在沒有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，完成地工織布結合鼎型塊保護工法之成效評估。
2. 已完成建置鼎型塊+織布三維數值水槽模型，可做為未來建立多元分析驗證方式之基礎。
3. 上述之計畫研究成果，可提供相關橋梁管理單位未來鋪設橋墩基礎保護工法之參考。

6.4 提供應用情形

1. 本計畫研提之地工織布結合鼎型塊保護工法，已於 109 年及 111 年應用國道 3 號大甲溪橋 P22L、P23L 及 P24L 橋墩基礎保護工作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. Rodi, W., Turbulence Models and Their Application in Hydraulics - A State of the Art Review. International Association of Hydraulic Research publication, 104p (1980).
2. Hirt, C. W. and B. D. Nichols, "Volume of Fluid Method for the Dynamics of Free Boundaries", Journal of Computational Physics, Vol. 39, pp. 201-225 (1981) .
3. 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).
4. Flow Science. "Multi-Block Gridding Technique for FLOW-3D", Flow Science Incorporation , FSI-02-TN59-R2 (2014).
5. J. A. Vasquez, and B. W. Walsh, "CFD Simulation of Local Scour in Complex Piers Under Tidal Flow", 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment (2009) .
6. S. Abdelaziz¹, M.D. Buil¹, and P. Rutschmann¹, "Numerical Investigation of Flow and Sediment Transport around a Circular Bridge Pier", 34th IAHR World Congress - Balance and Uncertainty (2011).
7. Khosronejad, A., S. Kang, and F. Sotiropoulos. "Experimental and Computational Investigation of Local Scour around Bridge Piers", Advances in Water Resources, Vol.37, pp. 73-85 (2012).
8. A. Bayón-Barrachina, D. Valero, F. Vallès-Morán, and P.A. López-Jiménez, "Comparison of CFD Models for Multiphase Flow Evolution in Bridge Scour Processes", 5th International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures (2014).
9. M. Ghasemi, and S. Soltani-Gerdefaramarzi, "The Scour Bridge Simulation around a Cylindrical Pier Using Flow-3D", Ghasemi and

- Soltani / Journal of Hydrosiences and Environment 1(2), pp.46-54 (2017).
10. Brian Fox, and Robert Feurich. “CFD Analysis of Local Scour at Bridge Piers”, Flow Science Incorporation (2019).
 11. Flow Science. “FLOW-3D Version 2022R2 User Manual”, Flow Science Incorporation (2022).
 12. 周憲德、張藝馨，「不均勻圓形橋墩之局部沖刷研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2000。
 13. 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。
 14. 詹錢登、陳建宇，「環圈堆保護橋墩之試驗及其三維流場之數值模擬」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，2007。
 15. 單明陽、李振卿，「地工織物在山區道路邊坡保護之應用」，現代營建第 343 期，44-48 頁，2008。
 16. 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。
 17. 許泰文、賴堅戊，「波浪於粗粒徑斜坡底床傳遞之試驗與數值研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文，2009。
 18. 王傳益、林志遠，「環圈柱橋墩保護工周圍流場之研究」，逢甲大學水利工程與資源保育學系士論文，2010。
 19. 楊德良、陳峰琨，「局部沖刷對沖積河川影響之研究」，國立臺灣大學工學院土木工程學系碩士論文，2011。
 20. 許榮中、陳俞任，「以 Flow-3D 模擬內孤立波越過障礙物之行為」，國立中山大學海洋環境及工程學系碩士論文，2012。

- 21.交通部高速公路局中區養護工程分局，「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」，2013。
- 22.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。
- 23.詹錢登、劉家齊，「應用 FLOW-3D 模擬橋墩周圍流場及底床沖刷之研究」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，2015。
- 24.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。
- 25.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。
- 26.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。
- 27.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。
- 28.李忠潘、吳倉慶，「Flow-3D 應用於波場中柱體的波力研究」，國立中山大學海洋環境及工程學系碩士論文，2020。
- 29.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。
- 30.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。
- 31.許泰文、崔瀚堂，「應用 Flow-3D 探討離岸機單樁基礎受波浪作用下之淘刷行為」，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文，2022。

32. 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。

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 112 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：112 年 4 月 24 日(星期一) 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：賴俊呈

伍、出單位及人員：如簽到表

陸、與會委員意見：

一、林委員鎮華

(一) 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

1. 鼎型塊排列方式亦會影響沖刷深度，建議可探討。
2. 是否有設置現場水位及流速監測設備？
3. 本工法設置於橋墩 P24L 有淤積之效果，保護成效如何量化？

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

1. 透地雷達 AI 辨識，需要大量資料進行訓練、測試。
2. 目前深度學習以 CNN 為主，故可做圖像識別。
3. 若要即時識別，建議需建置雲端運算。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異辨識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 邊坡多尺度主要針對那些圖像？將會影響其適用性、實務應用。
2. 邊坡影像是以處理前/後為基準資料進行學習？

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 本計畫以碳鋼金屬於大氣曝露下做腐蝕關聯性探討，如何應用於鋼筋混凝土及鋼構。
 2. 腐蝕劣化因子如何回饋至實務構件？
- (五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業
- 港區為地上物、水中物如何即時回饋、即時影像？
- (六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進
- 港區大多為回填土層，是否有相關監測如水位計、地下土壤含水量及土壤層次監測。

二、 謝委員明志

港研中心一科 112 年 6 項自辦計畫，在計畫書裡每個計畫的緣起、目的、研究範圍、利害關係人、工作內容及作業時程，都有詳實的描述，是一份架構完整，描述清晰的計畫書。

- (一) 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
- 本計畫是橋梁沖刷數值模型建置分析，分 4 年執行，是個循序漸進的計畫，規劃完整，且計畫完成後產出之三維水理分析模型具有實用性。
- (二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討
- 本計畫是透地雷達應用於省道巡查及 AI 辨識應用，為未來合作計畫的先期研究，藉此可先打下後續研究需求，更能明確知道目的及預期成效。
- (三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討
- 本計畫是空拍影像、深度學習在邊坡地貌變異判識之應用，符合交通部年度施政重點，引進新興科技，值得鼓勵。
- (四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

腐蝕環境與碳鋼金屬關聯性，為本土環境資料的調查，全臺灣只有港研中心有這類資料庫的建置，應持續推動。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

本計畫是港灣構造物巡查檢測作業精進，也引入新興科技，應用於巡檢及風險判識，是個值得鼓勵的研究業務。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

本計畫是港區地震液化風險評估模式精進，針對臺北港進行評估，除了進行地工資料庫更新，也新增了這幾年國內外的液化分析方法，應會更加精確的推估，值得持續推動。

三、 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 (2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

本計畫成果產出之技術指引具有實用性，另地工織布之耐久性為何？

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

本計畫期待可擴及使用範圍至省道以外道路。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

本計畫之利害關係人建議增列各縣市政府。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

本計畫建議其成果提供交通部技監室辦理橋梁相關設計規範訂定之參考。

四、 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 (2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 本計畫是多年期的計畫，在第 1 年的計畫即與高公局中

區分局大甲工務段密切的配合，在國道 3 號大甲溪橋現場設置鼎型塊織布橋基保護工法，目前已初步驗證有效減緩向下沖刷作用，尚待長期性觀測及超大豪雨事件來驗證，大甲工務段會持續配合本計畫。

2. 建議本計畫能擬訂鼎型塊織布橋基保護工法現場佈設的標準作業程序，讓現場佈設時有所依循。

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

無論省道或者是國道都是線型的，都有一定的長度，標的物很大，所以建議目標要收斂，比如說在行車舒適度不佳的路段做試驗，要收斂調查，這樣對道路主管機關來說會更有幫助。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 無論是省道或是國道尚需注意路權以外的邊坡，路權外的邊坡產生變異(開發行為)間接影響到省道或國道的邊坡，因為邊坡是一體的，不會說崩塌到國道的路權內就不崩塌，所以建議本計畫需把路權外的邊坡狀況納入探討。
2. 另大甲工務段轄區亦有邊坡場址，例如：後龍至苑裡路段，可提供本計畫做為探討的標的，或是若需要相關空拍圖資進行分析和訓練，也可洽詢大甲工務段提供、合作。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

大甲工務段所轄管國道是最靠近海邊，若是本計畫有需要到大甲工務段的轄區來設置觀測站(點)，大甲工務段樂意配合。

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。

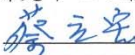
捌、散會：下午 4 時 10 分

會議簽到表

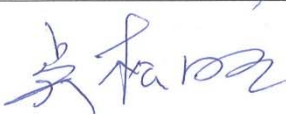
壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：112 年 4 月 24 日(星期一)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 

伍、出席單位及人員：

出席單位及人員	簽名
王委員錦榮	請假
林委員鎮華	
吳委員松旺	
何委員鴻文	
謝委員明志	

出席單位及人員	簽名
本所港灣技術研究中心 柯正龍副主任	柯正龍
本所港灣技術研究中心 第一科	賴瑞集 胡錦文 張道光 謝少輝 鄭堃鏗 曾文傑 黃子強 賴俊呈
本所港灣技術研究中心 第二科	李俊穎
本所港灣技術研究中心 第三科	林雅雯

附錄二

第 1 次工作會議紀要

112 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 112 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：112 年 6 月 28 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(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 三維數值水理分析及文獻蒐集情形說明。
2. 本年度試驗區 UAV 第 1 次地形觀測辦理情形說明。
3. FLOW 3D 教育訓練辦理情形，及三維數值模型初步建置情形說明。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

1. 蒐集並研析交通部公路總局(研究對象)省道養護巡查作業相關規定、柔性路面鋪面損壞分類、現象及原因。
2. 透地雷達應用於「地下埋設物及不明物體調查」、「地下水位深度及含水量變化探測」及「人工智慧辨識透地雷達訊號圖像」相關研究之文獻回顧。
3. 112 年 3 月 21 日訪談交通部公路總局陳進發總工程司，瞭解

研究對象在政策面上對本計畫的看法及提供相關意見。

4. 112 年 5 月 24 日訪談交通部公路總局第一區養護工程處陳俊堯處長，瞭解研究對象在管理面上對本計畫的看法及提供相關意見。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 蒐集彙整國內外 AI 應用於邊坡之相關文獻。
2. 辦理本案專家學者訪談。

(四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，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 111 年第 4 季、全年與 112 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. 精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫，完成 111 年度大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗資料綜整分析並繪製等位圖，並將相關資料擴增於「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」資料庫，並公開於本中心網站供外界查詢。
3. 完成撰寫及出版「2022 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。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施
巡查檢測作業

1. 彙整港區各型式碼頭的巡檢項目。
2. 彙整與探討碼頭常見的劣化項目。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 彙整液化評估法相關文獻。
2. 蒐集臺灣港務股份有限公司於臺北港近 10 年新建工程所增

加之地質鑽探資料。

3. 蒐集經濟部中央地質調查所於臺北港之地質鑽探資料。

4. 初步完成臺北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(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 討論文獻所提數模參數敏感性分析，其背景條件與本計畫之差異及適用性。

2. 討論渠槽試驗除規劃使用 GoPro 縮時攝影外，可增加其它監測設備，如流速計。

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初探

1. 討論訪談透地雷達領域之業界專家，蒐集業界對於本計畫執行及 AI 智慧化判識應用之看法。

2. 討論後續於「AI 智慧化辨識透地雷達訊號圖像可行性探討」章節中，如何蒐集 AI 訓練之相關資料及建立 AI 訓練資料庫。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 討論邊坡原始資料取得、資料處理方法及 AI 模型建置於後續的實務應用。

2. 討論 AI 監督式學習、非監督式學習及半監督式學習優缺點。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 討論工業區碳鋼金屬腐蝕與二氧化硫關聯性。

2. 討論金屬腐蝕與腐蝕因子關聯性相關文獻。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施

巡查檢測作業

1. 討論碼頭維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準。
2. 討論各港之碼頭構件劣化項目。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 討論土壤液化評估相關方法。
2. 討論地質鑽探資料盤點、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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

(一)試驗區 UAV 觀測航拍活動於今年度 4 月初獲民航局申請許可，申請期間一次為 3 個月，迄今即將到期，請提醒委外廠商儘早再提出下一段申請，以避免下次豪大雨事件後，無法進場航拍觀測，影響計畫執行。

(二)請依所規劃之後續研究事項積極辦理。

二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

本計畫係為後續合作研究計畫的先期研究，需確認應用單位的需求、想法且要能落地應用。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

(一)建議依專家訪談提供之意見，於本計畫探討未來何種邊坡型式或破壞類型應用 AI 介入判識較具可行性和實務應用性，以利後續再以此為基礎進行深入探究。

(二)若時間允許建議可針對公路總局及轄下工程處、工務段、高速

公路局和相關利害關係人等皆安排進行訪談，藉以瞭解實務需求和後續研究著力點，達以終為始之目的。

四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

- (一)建議找出金屬腐蝕與大氣腐蝕因子氯鹽、二氧化硫間的關聯性。
- (二)後續建立碳鋼金屬與環境因子迴歸模式時，建議說明模式中各環境因子對金屬腐蝕的影響是否符合腐蝕理論。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

- (一)建議統計並分類各型式碼頭構件的劣化項目，瞭解碼頭常見的損壞構件，提供後續碼頭維護的參考數據。
- (二)建議彙整各港區特別巡查的構造物遭撞損的意外事故資料與劣化項目。

六、港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

- (一)今年針對臺北港進行液化評估，除進行地工資料庫更新，也建議運用近年來國內、外的液化分析方法，推估臺北港液化範圍及深度，提供地震速報之應用。
- (二)請於第 2 次工作報告時，呈現今年新增臺北港區的地質鑽探資料，其新、舊資料之分佈區域，以利瞭解其分佈是否能滿足臺北港區液化評估之需求。

附錄三

第 2 次工作會議紀要

112 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 112 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：112 年 8 月 28 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(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 112 年度前 3 季現場試驗觀測結果說明。

2. 三維數值模型建置情形。

3. 後續工作項目說明。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

1. 探討透地雷達如何應用於省道一般道路柔性鋪面養護巡查及其可行性。

2. 訪談交通部公路總局(以下簡稱公路總局)第二區養護工程處彰化工務段陳禎康段長及中華大學土木工程系林鎮華助理教授之摘要說明。

3. 後續工作項目說明。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 探討邊坡破壞類型及遙測技術適用性。
2. 彙整公路邊坡維管機制與訪談公路邊坡維管單位。
3. 後續工作項目說明。

(四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

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。
2. 進行碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析。
3. 後續工作項目說明。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 檢討碼頭設施維護管理制度與構件劣化標準。
2. 新興科技行動應用程式應用於碼頭巡檢作業。
3. 後續工作項目說明。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 建置臺北港地質鑽探資料，並盤點、篩選可用資料共 148 筆地質鑽探資料。
2. 完成不同地震情境下液化潛勢比較。
3. 後續工作項目說明。

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(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 討論三維數值分析結果，提供橋梁維管單位應用之方式。

2. 補充三維數值模型建置之模型尺寸及穩定沖刷時間說明。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探

1. 討論透地雷達可以檢測探查之道路下潛在損壞因素，除了孔洞外，尚可檢測探查路基問題、回填材料問題、地下水及滲漏水等問題。

2. 討論不同廠牌透地雷達檢測後所輸出的訊號圖像，對於後續 AI 智慧化辨識的影響。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異辨識之初探
(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 討論訪談公路邊坡之實務單位看法及需求。

2. 討論後續 AI 切入實務應用之方向及目標。

(四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 討論以迴歸分析法進行碳鋼金屬腐蝕與環境因子關聯性分析過程中的相關考量。

2. 討論教育訓練辦理方式，以及在網站上展示的腐蝕成果。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 有關維護管理制度定期檢測與詳細檢測的探討。

2. 討論行動應用程式應用在碼頭巡檢作業。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 討論土壤液化評估相關方法。

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(2/4)-橋基沖刷

數值模型建置與分析

(一)請儘速辦理部務會報相關資料簽報作業，另創新提案請妥為準備以爭取佳績。

(二)請依所規劃之後續研究事項積極辦理。

二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

(一)透地雷達可以檢測探查道路下潛在損壞因素不只有孔洞，建議可以針對公路養護手冊所列的柔性鋪面損壞樣態進行探討，探討透地雷達檢測切入的可行性。

(二)本計畫研究對象是公路總局，主要應用對象是道路主管機關，建議可以將研究成果投稿至公路相關的期刊。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

(一)過去訪談多針對公路總局，亦可針對交通部高速公路局進行訪談，藉以瞭解實務需求和應用遙測技術於邊坡巡查之機制。

(二)本研究可針對不同尺度空拍影像後續如何結合 AI 應用之方向進行整理探討和適用性分類。

四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

(一)在建立碳鋼金屬與環境因子迴歸模式的分析過程中，若模式配適度不佳，可考慮同時納入氯鹽、二氧化硫，或採用分季資料分析等不同方法來改善模式。

(二)進行迴歸模式校正時，可補充說明變數轉換、模式轉換的理由依據。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

後續請再探討新興科技應用於碼頭巡檢作業之設施構件劣化度判定標準之適用性，並增加與比較新興科技之應用案例。

六、港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

- (一)請使用最新的臺北港配置現況圖資，以利後續臺北港液化風險評估分析。
- (二)下次工作會議請補充液化風險評估 Cetin 機率法，以利瞭解機率分析與定值分析之差異處。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：112 年 8 月 28 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心2樓簡報室

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
本所港灣技術研究中心	副主任	柯正光
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員 助理研究員 副研究員 副研究員 研究員 研究員	曾文輝 胡啟文 賴俊生 鄭登輝 黃育謙 張道光 謝必昇
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李俊穎
本所港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：112 年 6 月 28 日(星期三) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心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
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員 副研究員 研究員 研究員 副研究員 助理研究員	謝幼屏 胡哲了 黃子騫 曾文傑 張道光 鄭登鍵 賴俊星 王浩翔 顏碩香
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李修穎
本所港灣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

112 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 112 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：112 年 10 月 27 日(星期五)下午 2 時至 5 時

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：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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 112 年度前 3 季現場試驗觀測結果。

2. 三維數值模型建置情形-矩形樁基礎+鼎型塊，矩形樁基礎+鼎型塊+織布。

3. 階段性成果應用。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

1. 透地雷達應用於省道一般道路柔性鋪面養護巡查可行性及落地應用對策。

2. 應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像的可行性。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 公路邊坡維管機制與流程彙整。
2. 公路邊坡結合 AI 之加值應用。
3. 空拍影像處理技術。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 112 年第 1~3 季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗工作。
2. 碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 依維護管理制度執行碼頭巡檢作業時所遭遇之問題。
2. 新興科技行動應用程式與水下無人載具應用於碼頭巡檢作業。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

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

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

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

1. 織布具透水性，建議可將織布分離成幾小塊來模擬透水性。
2. 數值軟體雖無對應之保護工模組可應用，但利用土中應力增加方式來近似模擬，其模擬結果與試驗結果接近，說明具有其可行性，後續可再諮詢相關專家。

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探

1. 透地雷達檢測省道柔性鋪面於經常性或重複性損壞路段之成

因，相較採用現場直接開挖方式有其優勢。

2. 應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，在市售商業軟體及客製化專案研發方式之區別。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 訪談公路邊坡之實務單位看法及後續切入方向。
2. 後續年度工作內容及目標。

(四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 碳鋼金屬腐蝕與腐蝕因子關聯模式建立後的模式說明、應用與推廣。
2. 探討臺灣不同環境下金屬腐蝕差異性的方法。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施
巡查檢測作業

1. 碼頭巡檢作業時所遭遇問題。
2. 應用新興科技強化港灣構造物之巡查與檢測作業。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 臺北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(2/4)-橋基沖刷
數值模型建置與分析

- (一)國道 3 號大甲溪橋橋墩 UAV 航拍勞務案，若 11 月中旬時無預期之颱風消息，可於 11 月下旬著手辦理相關結案驗收事宜，以利主計年度結算作業執行。
- (二)請依所規劃之後續研究事項積極辦理，並如期完成提交期末報

告初稿。

二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

- (一)透地雷達檢測省道柔性鋪面經常性或重複性損壞的成因具有一定的成效及優點，因此應用於省道養護巡查的「特別檢查」是可行的且符合交通部公路局之需求。
- (二)應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，目前在臺灣市面上有相關的商業軟體可使用，但選擇性不多，也有依使用者需求進行客製化專案研發的方式，若要應用 AI 辨識道路下潛在損壞因素，則使用客製化專案研發的方式較為合適。
- (三)本計畫為後續合作計畫的先期計畫，故對於後續合作計畫時程、內容等需詳加規劃考量，俾利能落地應用。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

- (一)針對空拍影像之處理方法應考量不同尺度載具及其搭載儀器間的區別，並對本案欲蒐集之公路邊坡影像進行適用性探討。
- (二)經處理之邊坡空拍影像如何挑選適當之 AI 深度學習模型進行訓練，以獲得較佳的結果，係本研究之精隨所在，建議於期末報告中強化敘述。
- (三)今年度已針對交通部公路局和交通部高速公路局進行實務單位訪談，建議後續可依實務單位意見延續相關研究課題，以配合實務需求並結合現行邊坡巡檢之機制。

四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

後續研究可分區進行關聯性統計分析，探討臺灣各地區不同大氣環境、不同污染特性區域間的腐蝕差異性。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

請加強新興科技應用於碼頭的檢測與維護管理作業的精進說明，
並請掌握時效撰寫研究成果報告。

六、港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

請依據觸發門檻加速度及高潛勢區面積分析成果，推估臺北港區
之分區地震沉陷量，俾提供更新臺北港地震簡訊災況初評內容。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：112 年 10 月 27 日(星期五) 下午 2 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 副研究員 助理研究員	黃子謙 謝少屏 張道光 曾文傑 胡哲文 賴俊呈
本所運輸技術研究中心第二科	副研究員	李俊穎
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.目前大甲溪南岸已設置鼎型塊展示場，並搭配3種型式(既有河床粒料、石籠、鋪設織布)，可進一步觀察10噸鼎型塊於這3種不同型式下部承壓效果，及織布抗UV效果。	感謝委員協助於設置鼎型塊展示場，提供實體展示各工法之差異性。
2.橋墩樁帽角隅處為常見之沖刷弱面，針對該處是否有考量補強織布層數？	如委員所述，最大沖刷通常發生於角隅處，係為底部粒料被淘刷所致，依過去經驗，單層織布已有效減少粒料被淘刷，此問題可從改變織布斷面配置及設置高程之規劃來改善，此規劃已施作於110年擴大試驗區內，將至少1m織布埋入底床，藉以延緩側刷現象。此外，任何保護工法仍有其極限，終有損壞之時，本工法之研發旨在延長保護壽命，以減少公帑支出。
3.本案研究場域為大甲溪，屬於卵礫石河床，鋪設加勁材料是否可運用於細粒料河床或感潮區橋梁下部易沖刷區？	本計畫工法僅適用於卵礫石河床，細粒料砂質河床則因無卵礫石互鎖效應而容易產生淘刷，而使鼎型塊傾倒而流失，至於感潮河段若屬卵礫石河床則應可適用。
4.如可，相關室內水工模型試驗條件可否增加漲退潮之條件(浮力因素、滲流)模擬施工前之工法可行性，降低實際工法之失敗性。	室內水工模型試驗可調整尾水板高程來模擬漲退潮之條件對本工法之影響。因織布為面狀材料，若有水則會漂浮無法鋪設，若鋪設於感潮河段，施工階段除阻隔上游河水外，需

	增加考量下游潮水之阻水方式。
陳文信委員	
1.依據 110 年「國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷及驗證」已獲得初步成果，後續應建立施工標準作業程序，以確保施工品質及保護成效。	感謝委員肯定，本計畫已初擬相關施工標準圖說及流程，如報告 P.5-10~P.5-11，未來將會依實際施作所遇到之問題，持續更新相關圖說及流程提供參考。
2. P1-4，本次計畫主要係為建置三維數值水槽分析模型，因此整體研究應係觀測現地保護工法歷經不同流況所產生之行為表現，包含沖刷深度及影響範圍等，進而取得相關參數，故建議研究流程圖中「保護成效評估」應修改為保護行為及參數分析。	感謝委員意見，本年度計畫主要分成現地保護成效觀測與評估，以及建置三維數值水槽模型兩部分，現地保護成效係以室外試驗歷次觀測比對進行評估，三維數值模型係則以室內水工試驗結果進行模式驗證，以探討織布+鼎型塊於三維數值之設置方式與可模擬程度，做為後續應用於現場(室外)模擬分析時之基礎，已調整流程圖(圖 1.1)加強說明。
3. P2-12，圖 2.11，保護工施工程序，各階段照片建議以文字說明，另施工照片似乎無法得知不織布包裹石塊分層交疊，建議可補充說明。	感謝委員建議，已修正如圖 2.11 所示。
4. P2-20，鼎型塊排置施工，織布鋪設於地面距離樁帽寬度是否設定最小寬度，且於後續水工試驗，是否將相關距離等比例縮小，以符合現地，進而確保分析模式正確性。	織布係自樁帽頂部連續鋪設至地面，無最小寬度之設定，故室內水工試驗亦無此需求。
5. P2-28，小結第 1 段第 7 行，本計畫織布是由橋墩「墩帽」上緣往下鋪設，建議應修改為橋墩「樁帽」。	感謝委員指正，已修正如 P2-28。

6.P3-8，(a) P22L～P23L，112/4/18 及 112/8/23 兩張照片，請檢核其紅色箭頭是否為水流方向，並確認水流方向是否正確，另依照照片所示，是否增加通水遮斷面積率。	經檢視，紅色箭頭為水流方向且方向正確，因照片拍攝角度不同，而呈現出不同箭頭方向。工法排置上有將通水斷面納入考量，故不排置過高鼎型塊，而以 1 層鼎型塊並向深槽區降階排置為原則進行規劃，降低通水遮斷面積之影響。
7.針對鄰深槽區河道擺盪側刷，採用地工織布之橋墩，其側向抵抗能力可加以探討。	委員所提建議亦為本計畫成效評估欲探討項目之一。
8.P4-8，本計畫採用紊流模式為 Prandtl 混合長度模式，該模式適合於全發展之近穩定均勻流，請補充適用本計畫分析情境說明，以及水槽試驗如何確保流況為穩定均勻流。	水工試驗之穩流配置及完全發展流況之檢驗如 P4-24~P4-25，故採 Prandtl 混合長度模式。
9.P4-42，請補充說明於數值分析時，地工織布與鼎型塊、地工織布與土壤之邊界條件如何設定。	FLOW-3D 採 FAVOR 方式將幾何形體面積與體積結合到運動方程式中進行分析計算，故地工織布與鼎型塊、地工織布與土壤間無需設置邊界條件。
溫志中委員	
1.計畫內容豐富、探討面相完整，實屬不易。	感謝委員肯定。
2.計畫中以現場結合實驗室，加上數值模擬方式評估，可有效建立多元之評估方式，以合理探討分析結果。	感謝委員肯定。
3.在水槽試驗中，試驗結果大於數值模擬結果，可再評估模擬參數與試驗之吻合度。	感謝委員建議，將納入後續計畫考量。

4.流量率定公式單位建議將 cms 調整為 L/min，可增加判讀。	感謝委員建議，如 P4-26，已調整為 L/min，以利判讀。
5.現場觀測部分，建議未來可增加鋪設區沉陷量觀測。	感謝委員建議，現場觀測係以 UAV 結合攝影測量方式進行，可獲取三維地表模型(DSM)資料，亦可進行高程(沉陷量)觀測。
李俊穎委員	
1.本計畫已有發明專利及獲獎等階段成果，值得肯定。	感謝委員肯定。
2.建議在 4.5 之 1 網格建置，可再補述不同區域的網格大小，及與結構物旁情形。	感謝委員建議，已增加細部網格於圖 4.21。
3.建議在 4.5 之 2 輸入參數能以表列方式呈現，以利討論。	感謝委員建議，已增加表 4-4。
4.在鼎型塊下方沉積物設定及織布數值模擬上，後續可再蒐集是否有相關論文，另可評估單一鼎型塊及織布之沖刷試驗及數值模擬。	感謝委員建議，將納入後續計畫辦理。
林雅雯委員	
1.P4-43 建議鼎型塊+織布 FLOW-3D 數值模擬結果與試驗室結果定性或定量比較，如 P4-36 圖 4.29 沖刷地形比較。	感謝委員建議，已修正，如 P.4-19。
2.不管是數值模擬、試驗室試驗、現地航拍測量皆為局部區域的結果，建議了解實際上土工織布鋪設後對主河道或流況是否有影響。	鼎型塊為本計畫之觀測指標，故分析時皆取局部區域進行討論，於每次航拍觀測時亦會進行試驗區與主河道俯拍全景圖，藉以了解主河道流況變化，以 P24L 保護案例來說，該橋墩原本為深槽區，經施作本工

	法後，深槽區有往北側移動之趨勢。
3.目前 FLOW3D 數值模擬為驗證與試驗室結果的一致性，後續的案例模擬規劃及探討議題為何?預計得到何應用成果?	本工法經現地試驗結果初步驗證可強化鼎型塊基底粒料穩定性，惟仍需透過超大豪雨事件來進一步驗證耐洪性。故除透過現場試驗方式來驗證外，本計畫嘗試建置三維數值模型來提供另一種評估方式，但鼎型塊+織布保護工於數值模式中該如何設置及可模擬程度為何?尚不清楚，故今年度先以室內水工模型試驗結果來探討數值模擬之可行性，以獲取相關設置方式及經驗，做為後期計畫應用於現地試驗場址數值模擬使用及分析之依據，以獲得合理模擬結果，期透過多元分析方式來評估本工法之成效，並據以推廣說明。

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(2/4)- 橋基冲刷數值模型建置與分析



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**長期沖刷基礎嚴重裸露**，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**河水長期沖刷下，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沖刷**，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。



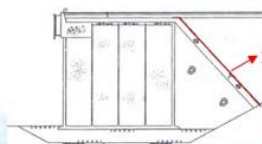
斷橋事件(橋基嚴重裸露)



鼎型塊保護工



鼎型塊保護工流失情形



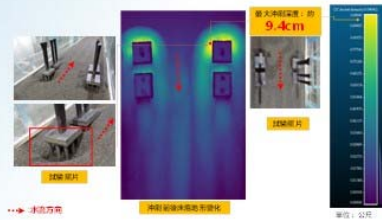
沉箱式碼頭斷面圖



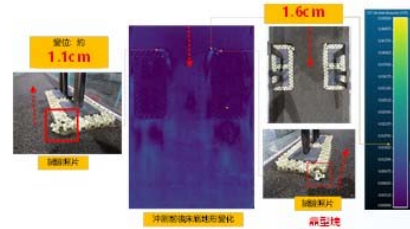
鼎型塊+地工織布斷面圖

01 前言

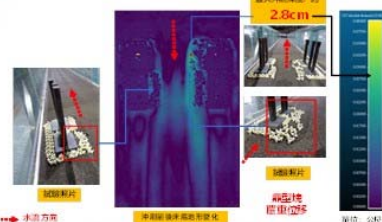
◆ 室內水工模型試驗結果



(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 = 鼎型塊位移量 / 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(112年)除延續現場試驗觀測評估外，建置三維數值水力分析模型。



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. 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. 提供大甲溪下游相關橋梁維管單位(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

年度	計畫名稱	內容摘要
92	地工織布於海洋環境中之工程特性(潘坤亮)	織布受紫外線照射後，其強度折減嚴重，尤其是未加入抗紫外線劑之PET織布，於第二個月時強度折減已達一半以上。
102	台13甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估(呂正安)	實施橋基裸露應變對策、流域管理與耐洪評估進行探討，並鋪設透水不織布做為橋墩防治局部冲刷之保護工法，及以力學分析提出橋梁耐洪能力詳細評估之流程，訂定警戒及封橋水位。
107	國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究(本所)	本研究以國3大甲溪橋現況保護工法與4種保護工鋪設方案的室內水工模型試驗結果比較，以壩型塊下方鋪設織布以防止下層細粒料的流失，冲刷試驗結果優於現況保護措施及其他保護方案。
109	地工織布應用於橋墩基礎保護之冲刷模擬研究(本所)	以國3大甲溪橋P24L及P27R為試驗橋址，進行地工織布結合壩型塊保護工法之現地鋪設，以驗證保護工法之施工性及保護成效，並提出建議之施工步驟。
110	國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地冲刷試驗及驗證(本所)	現地試驗經盧碧颱風事件後，初步驗證地工織布能有效減緩向下水流冲刷作用，減少壩型塊下方河床粒料流失，以維持壩型塊穩定性。
104	應用 FLOW-3D 模擬橋墩周圍流場及底床冲刷之研究(劉家齊)	利用FLOW-3D模擬橋墩周圍流場及冲刷之情形，以定量流況下非均勻橋墩冲刷之模型試驗對數值模式進行驗證，結果顯示 FLOW-3D 數值模式可以合理模擬橋墩冲刷情形。
108	CFD Analysis of Local Scour at Bridge Piers (Brian Fox)	將定速水流之圓柱及菱柱橋墩冲刷試驗的試驗結果，與相同試驗條件下利用FLOW-3D進行模擬比較，結果顯示無論是菱柱橋墩或是圓柱橋墩數值模式的模擬結果皆與冲刷試驗結果非常接近。

02 文獻回顧

➤ CFD Analysis of Local Scour at Bridge Piers - By Brian Fox et al (2019).

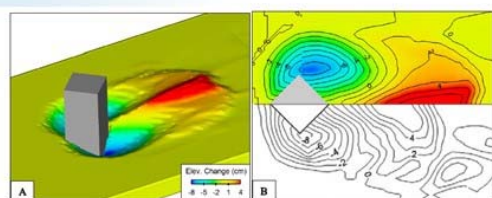


Figure 2. Equilibrium bed elevation changes predicted by the numerical model for the diamond pier. (A) Isometric view of scour and deposition adjacent to the pier. (B) Comparison between numerical results (top) vs physical model measurements (bottom).

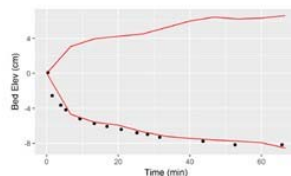


Figure 3. Comparison of numerical model results of maximum scour depth and deposition height with physical model measurements (circles) for the diamond pier case.

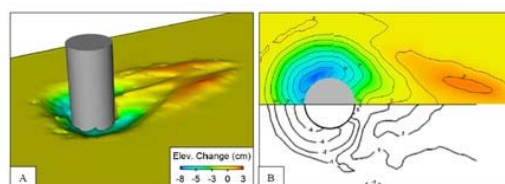


Figure 4. Equilibrium bed elevation changes predicted by the numerical model for the cylindrical pier. (A) Isometric view of scour and deposition adjacent to the pier. (B) Comparison between numerical results (top) vs physical model measurements (bottom).

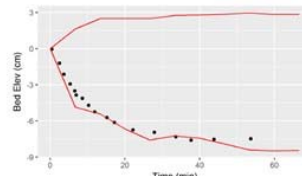


Figure 5. Comparison of numerical model results of maximum scour depth and deposition height with physical model measurements (circles) for the cylindrical pier case.

Flow-3D 模擬結果 vs 試驗結果

三、地工織布現地試驗成效評估

03 成效評估

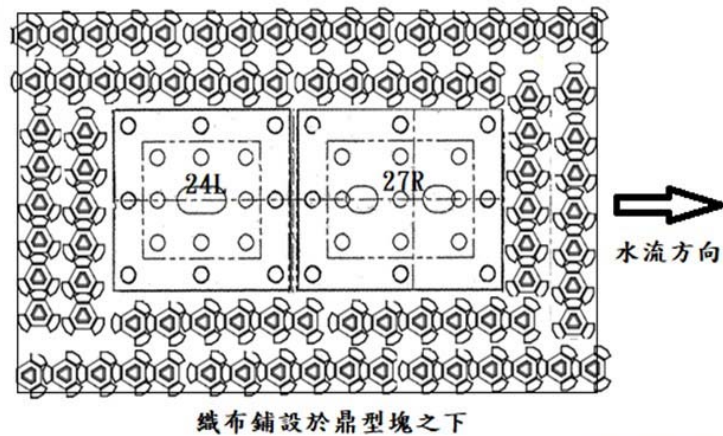
◆ 現地試驗規劃(1/3)

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



03 成效評估

◆ 現地試驗規劃(2/3)

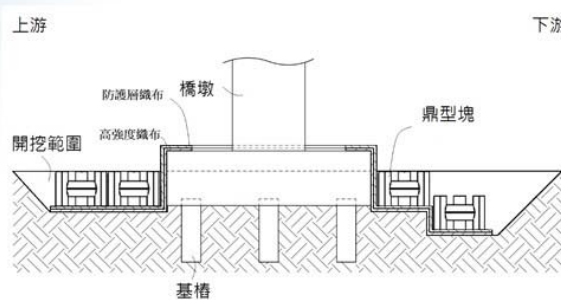


鼎型塊及織布鋪設平面示意圖

13

03 成效評估

◆ 現地試驗規劃(3/3)



鼎型塊及織布鋪設斷面示意圖

14

03 成效評估

◆ 擴增試驗試驗範圍-111年底完工

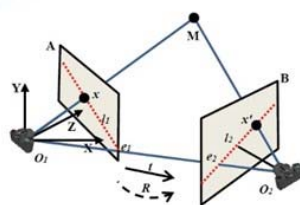


底圖來源：高公局大甲段

03 成效評估

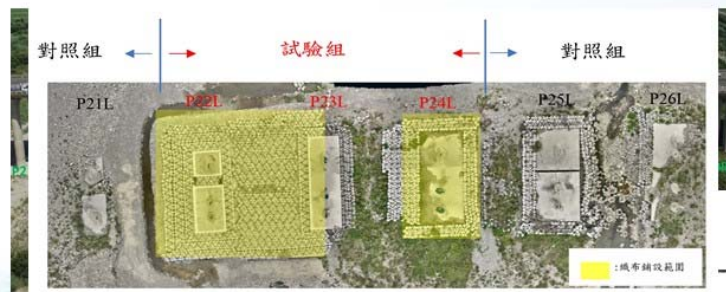
◆ 現地觀測方法

- 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鼎型塊變位與流失之量化資料，藉以評估保護成效。



攝影測量原理

場景空間與影像之核線幾何關係圖



地工織布鋪設範圍

03 成效評估

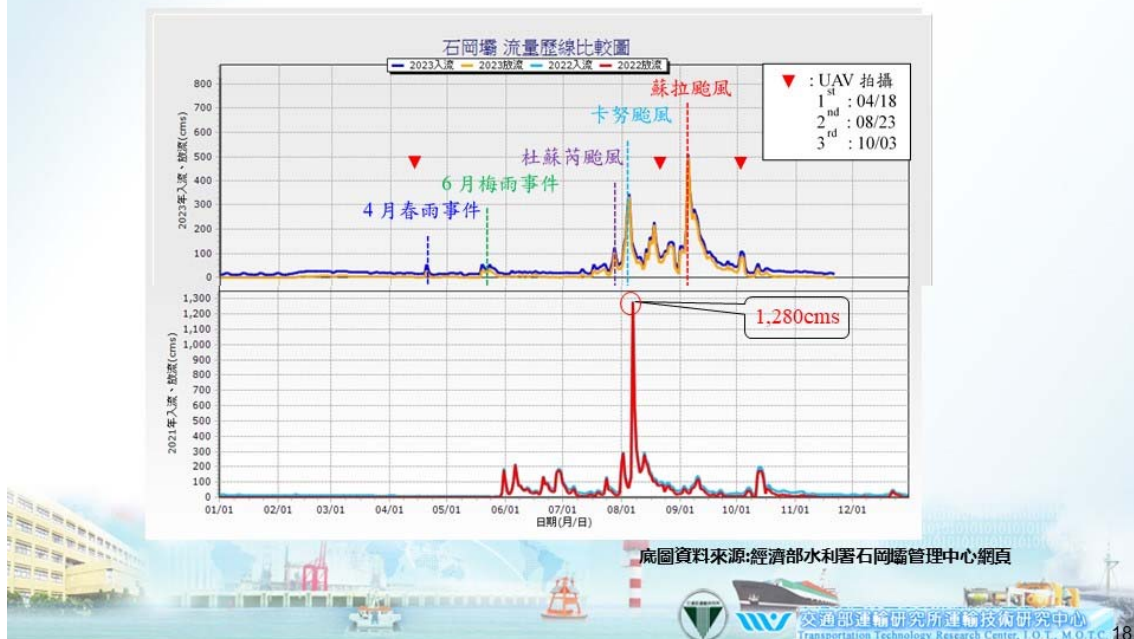
◆ 地面控制測量

- 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

◆ 試驗區上游石岡壩放流歷線(上:112年; 下:110年)



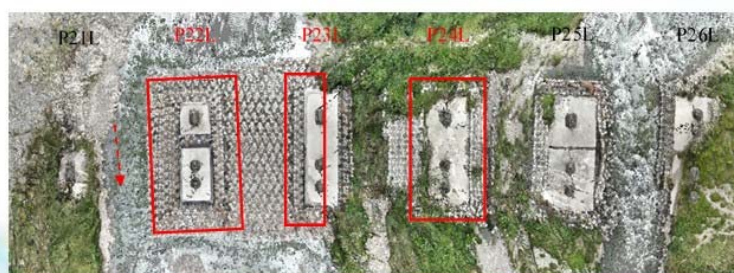
03 成效評估

◆ 觀測比對 (112/08/23 vs 112/10/03)



112/08/23

*紅框處為織布鋪設位置



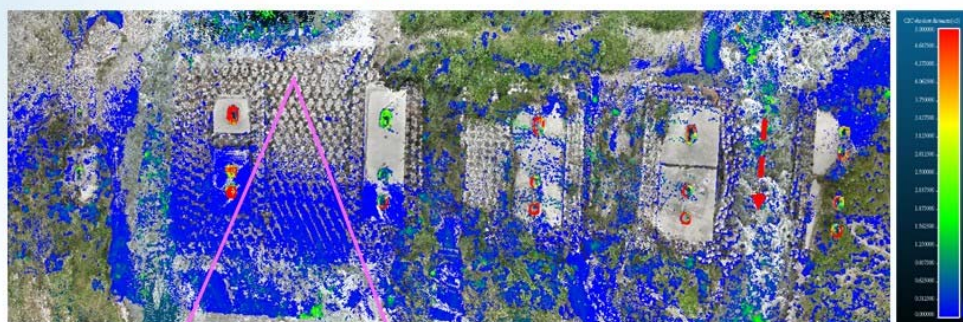
112/10/03

112年蘇拉颱風事件後



03 成效評估

P21L P22L P23L P24L P25L P26L



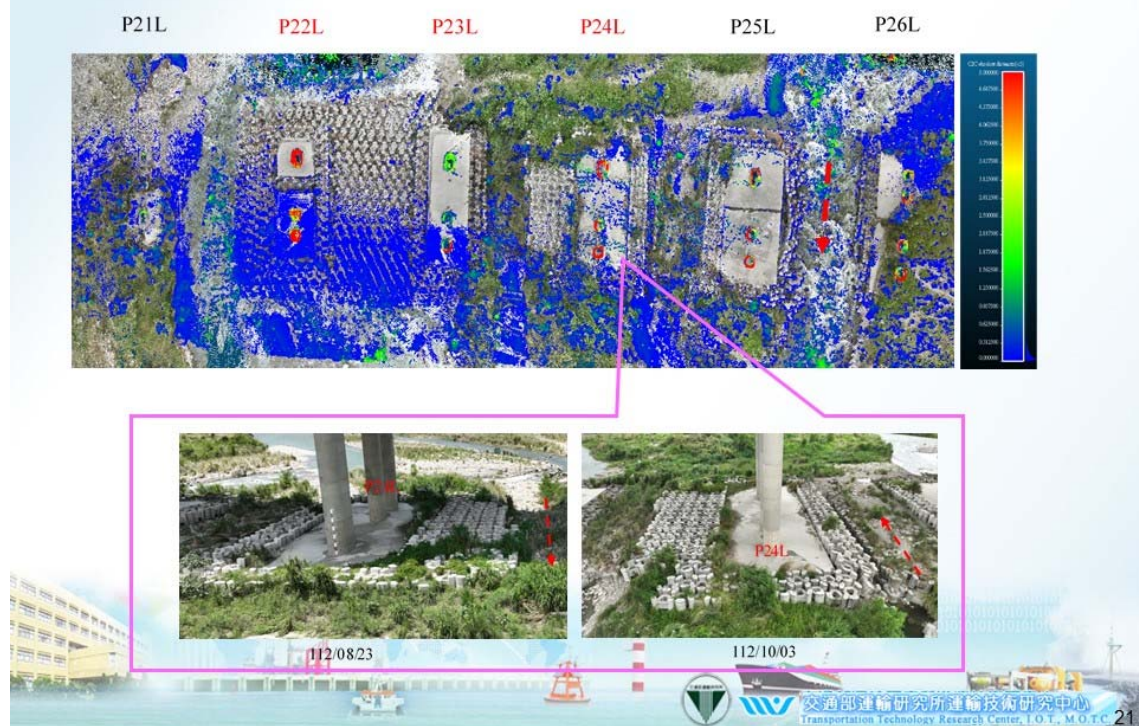
112/08/23



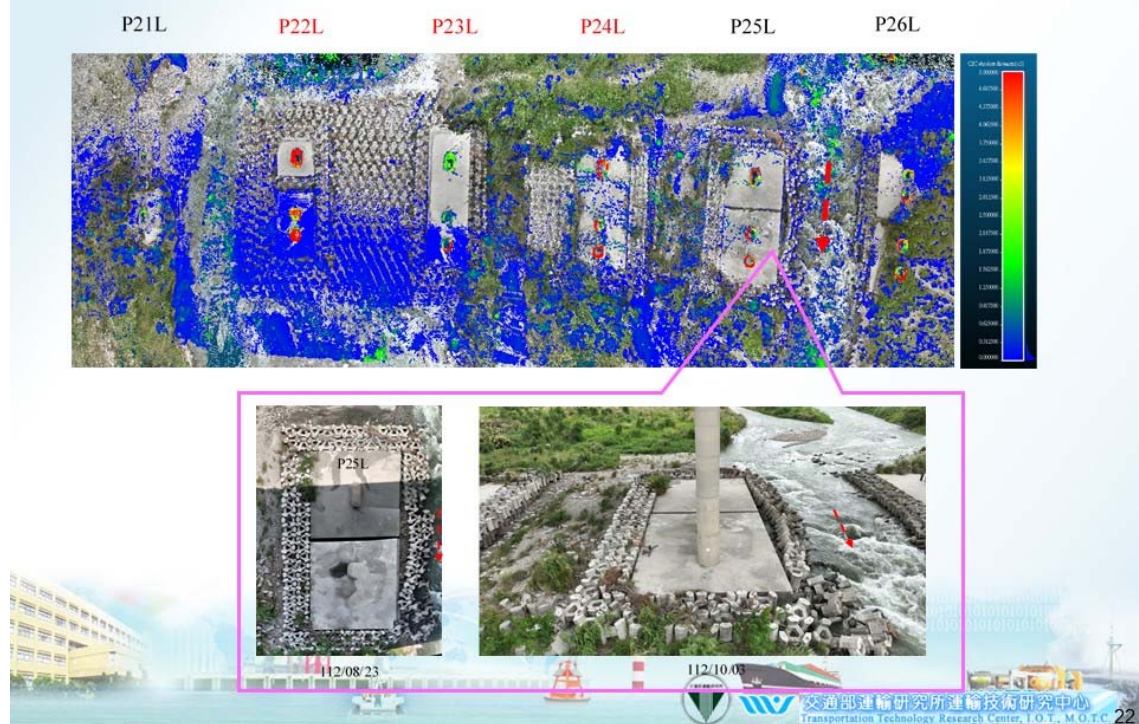
112/10/03



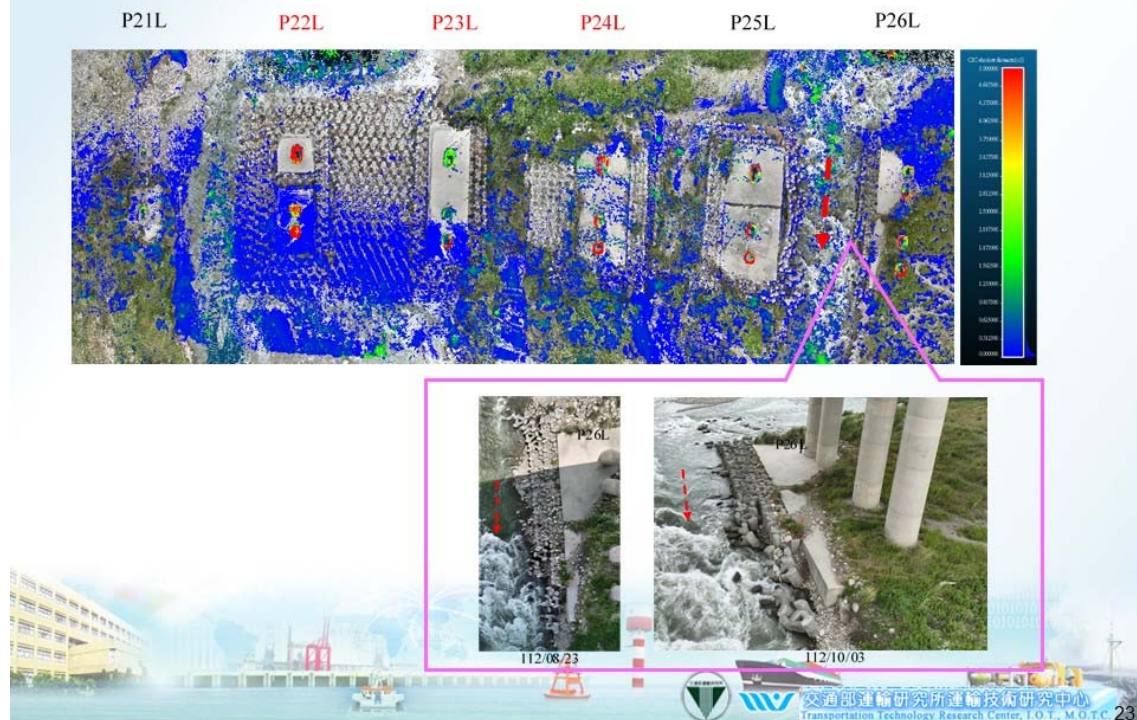
03 成效評估



03 成效評估



03 成效評估



03 成效評估

◆ 成效評估:

- 本年度共進行3次之現場UAV觀測作業，因中部地區相較於往年無較大之降雨事件（石岡壩最大放流量-112<111<110年度），經3次觀測紀錄比較結果可知，本年度之降雨事件對於試驗組及對照組均無影響，致未能比較織布之保護成效。
- 以計畫之整體觀測紀錄(110~112)來看，110年8月盧碧颱風為最大降雨事件，該事件已造成本計畫試驗組及對照組有明顯之影響，故以該事件進行成效評估。



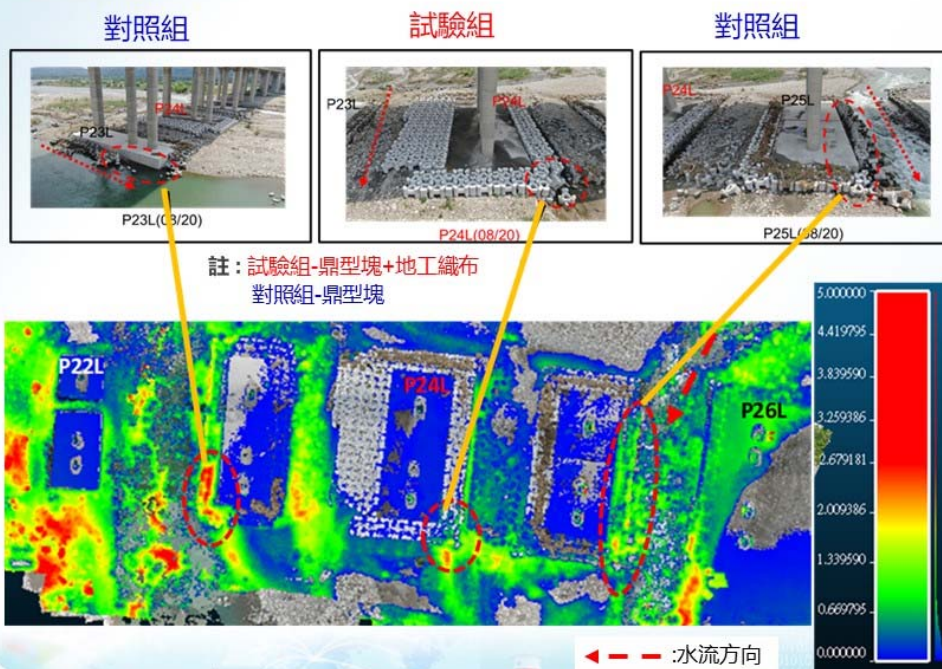
03 成效評估

◆ 所增成本(以P24L為例)



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

03 成效評估



03 成效評估

➤ 盧碧颱風事件後成本效益說明

1. 增設地工織布成本約增加10%左右。
2. 鋪設織布雖增加成本約60萬元/墩/次，但與相鄰兩墩比較可減少維修費用200萬元/墩/次以上。

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

註：經費計算係以109年試驗橋址(P24L)施工費用來計：

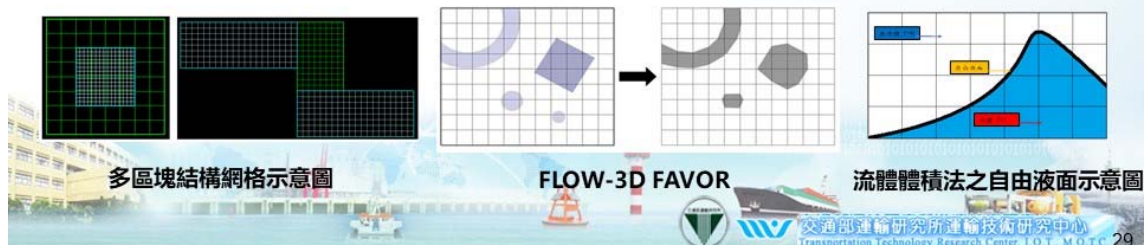
1. 織布項目費用約為60萬元(A)，整體工程費用約為700萬元(B)，鼎型塊保護施工費用(C)=A-B約為640萬元，織布所增成本約占10%左右(A/C*100%)。
2. 維修經費(D)估算方式，為鼎型塊保護施工費用(C)*損壞比(E)，D=C*E，P24L橋墩維修經費為630萬元*4%=26萬元，其餘橋墩則依其與P24L鼎型塊鋪設面積之比例計算之。

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

◆ FLOW-3D簡介

- 為Flow Science Inc.，於1985年所推出高仿真流體力學模型分析軟體。
- 為計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)軟體，可藉由輸入不同物理參數和數值模擬方式，計算流體並提供真實且詳盡的自由液面與流場資訊，於FLOW-3D不斷優化其視窗介面，提供更直觀更簡便之操作。
- 具有多區塊網格系統(Multi-Block Grid)，可將龐大且多餘的網格數量縮減，以達加速運算效能，減少不必要的資源浪費，使網格可擁有更多元且精準之分配。
- 採體積分率法(Fractional Area/Volume Obstacle Representation, FAVOR)，運用控制體(control volume)的觀念，使網格與幾何形狀可獨立運行，同時保有簡單易運算的正交網格及精確描述複雜幾何模型之特性。
- FLOW-3D採流體體積法(Volume of Fluid, VOF)模擬自由液面變化，主要包括流體體積函數的定義、解決流體體積傳輸方程式，以及在自由液面上設定邊界條件三個面向。



04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值水理分析規劃

1. 以圓形橋基(A)及矩形樁基礎(B)斷面渠槽沖刷試驗結果進行參數驗證。
2. 以矩形樁基礎+鼎型塊(C)，以及矩形樁基礎+鼎型塊+織布(D)進行沖刷試驗，藉由與室內試驗結果來探討FLOW3D於模擬鼎型塊+織布之設置及可模擬程度，做為後續計畫年度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。



04 數值水理分析模型建置與分析

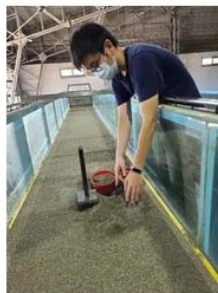
◆ 土壤物性試驗-取得 r_s 及 e 參數



	濕土重(g)	乾土重(g)	容器重(g)	$W_s(t/m^3)$	$W_w(t/m^3)$	$r_{sat}(t/m^3)$	$r_d(t/m^3)$	V_v	V_s	e	$r_s(t/m^3)$
1	1124.93	949.20	327.89	621.31	175.73	1.76	1.38	175.73	275.86	0.64	2.25
2	1118.90	932.90	296.90	636.00	186.00	1.82	1.41	186.00	265.59	0.70	2.39
3	1154.10	958.90	326.92	631.98	195.20	1.83	1.40	195.20	256.39	0.76	2.46
平均										0.68	2.37

04 數值水理分析模型建置與分析

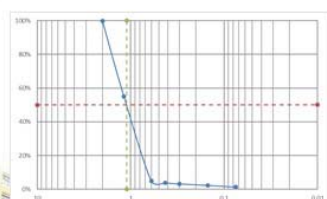
◆ 粒徑分析試驗-取得 D_{50} 參數



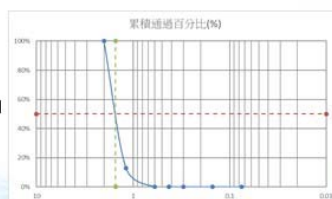
取樣



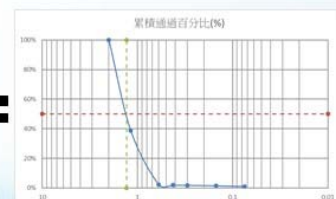
秤重



原試驗槽砂 $D_{50}=1.2\text{mm}$



補砂 $D_{50}=1.52\text{mm}$



混合砂 $D_{50}=1.3\text{mm}$

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值模型建置(圓形基礎)

沖刷模式(Sediment Transport)參數設定視窗

試驗水流方向

定床區 動床區 定床區

FLOW 3D分析模組

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.

04 數值水理分析模型建置與分析

➤ CFD Analysis of Local Scour at Bridge Piers - By Brian Fox et al (2019).

Flow 3D 模擬結果 v.s 試驗結果

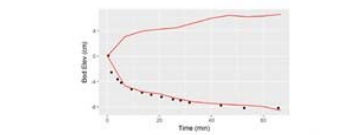
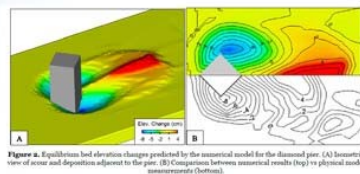


Figure 3. Comparison of numerical model results of maximum scour depth and deposition height with physical model measurements (circles) for the diamond pier case.

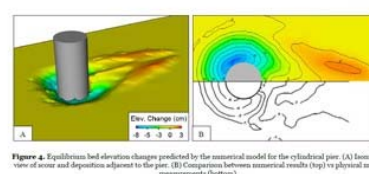
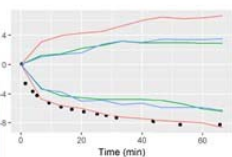
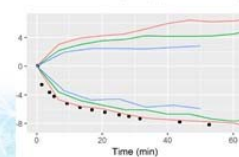


Figure 5. Comparison of numerical model results of maximum scour depth and deposition height with physical model measurements (circles) for the cylindrical pier case.

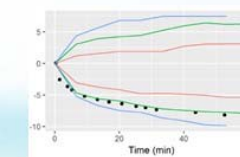
Flow 3D 參數敏感性分析



不同Mesh Size



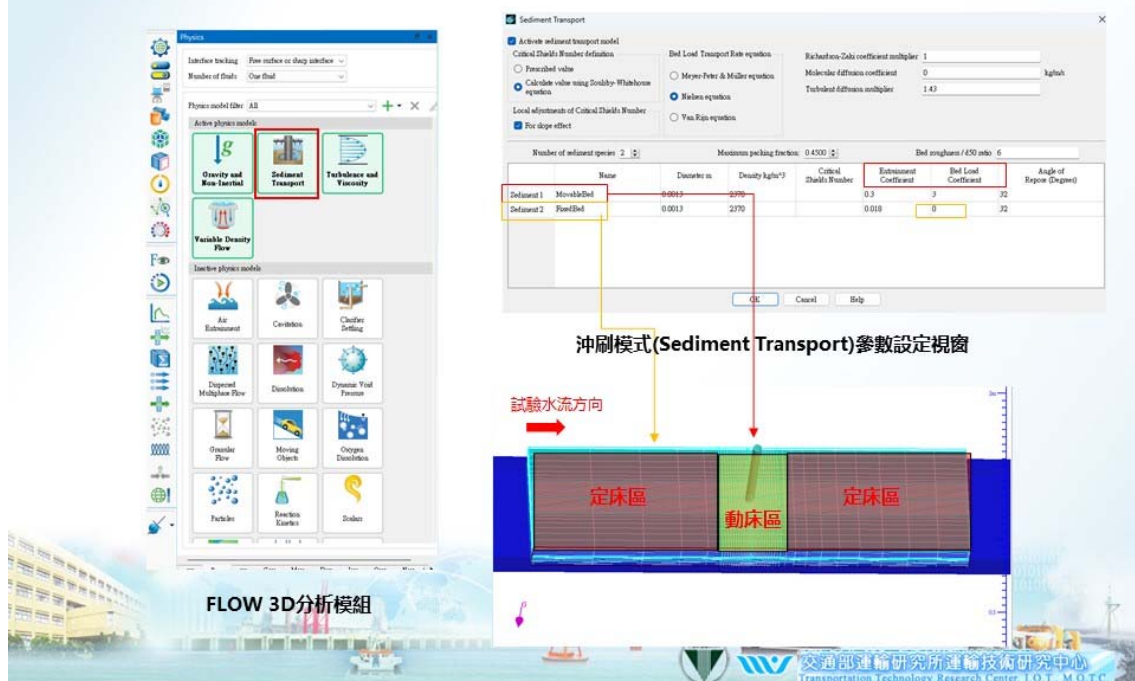
不同沖刷公式



不同底床粗糙度

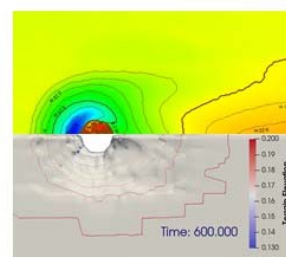
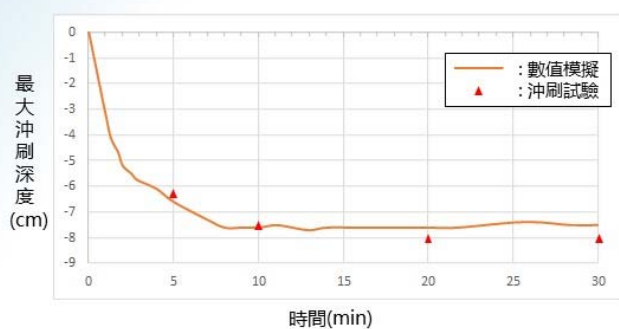
04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值模型建置(圓形基礎)



04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值模型驗證結果(圓形基礎)



10min沖刷試驗比較
(上:沖刷試驗; 下:數值模擬)



5min沖刷試驗

(最大沖刷深度6.2cm
=原高0.2m-沖刷後高0.138m)



10min沖刷試驗

(最大沖刷深度7.4cm
=原高0.2m-沖刷後高0.126m)



20min沖刷試驗

(最大沖刷深度8.1cm
=原高0.2m-沖刷後高0.119m)

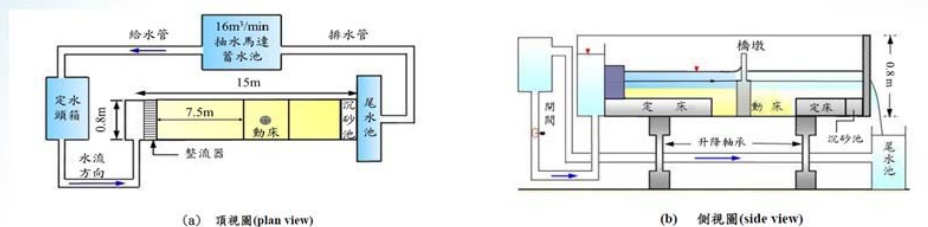


30min沖刷試驗

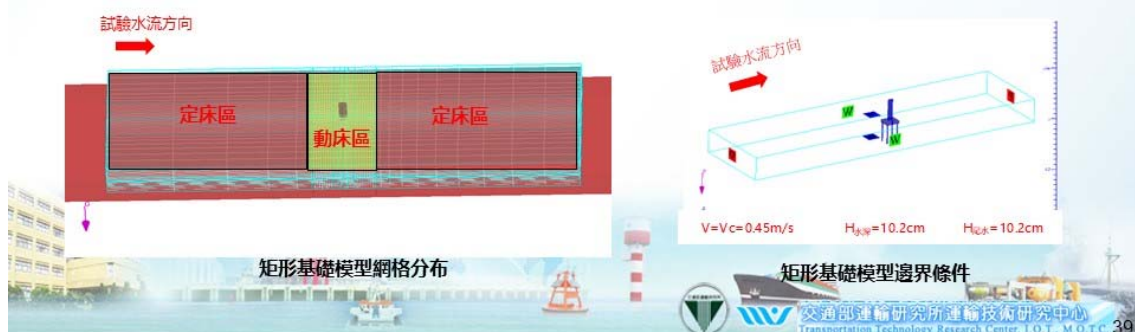
(最大沖刷深度8cm
=原高0.2m-沖刷後高0.12m)

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值模型建置(矩形基礎)

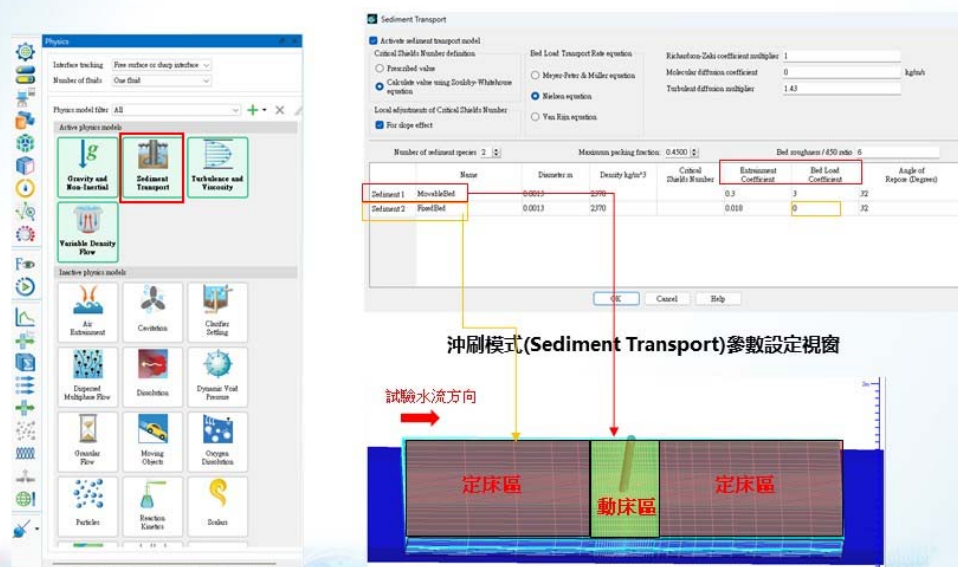


水工試驗渠槽配置圖



04 數值水理分析模型建置與分析

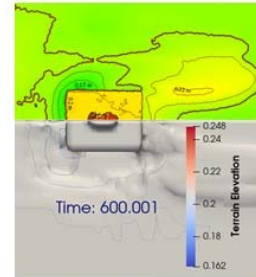
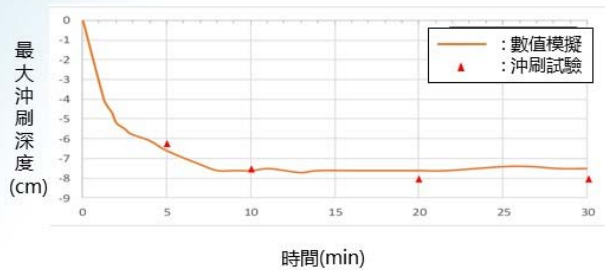
◆ 數值模型建置(矩形基礎)



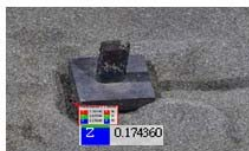
FLOW 3D分析模組

04 數值水理分析模型建置與分析

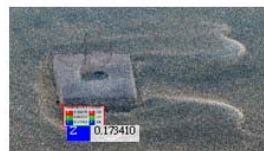
◆ 數值模型驗證結果(矩形基礎)



10min冲刷試驗比較
(上:冲刷試驗; 下:數值模擬)



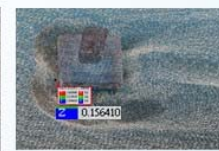
5min冲刷試驗
(最大冲刷深度2.6cm
=原高0.2m-冲刷後高0.174m)



10min冲刷試驗
(最大冲刷深度2.7cm
=原高0.2m-冲刷後高0.173m)



20min冲刷試驗
(最大冲刷深度4.3cm
=原高0.2m-冲刷後高0.157m)



30min冲刷試驗
(最大冲刷深度4.4cm
=原高0.2m-冲刷後高0.156m)

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值水理分析規劃



(A) 圓形橋基 **OK**

+



(B) 矩形版樁基礎 **OK**

→



(C) 矩形樁基礎+鼎型塊

+



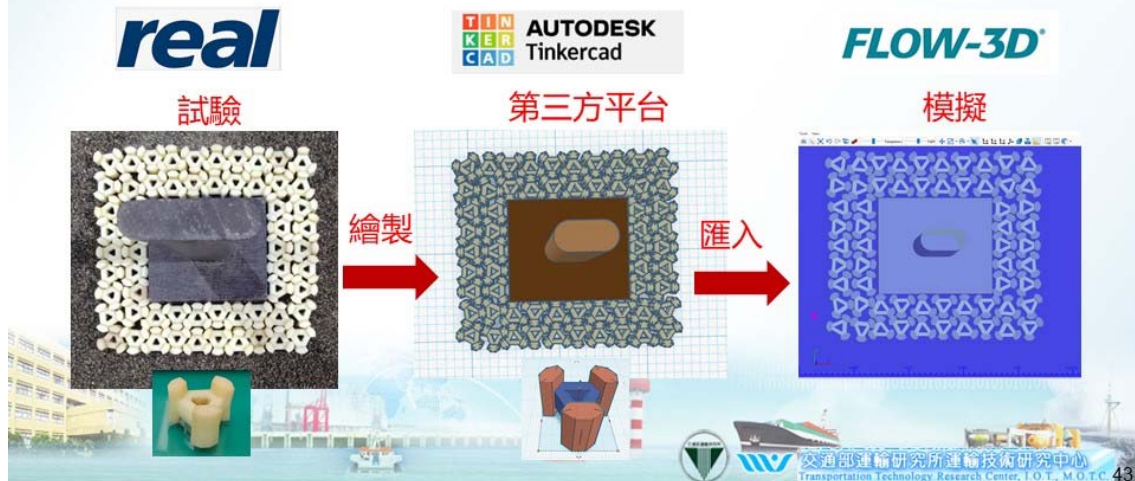
(D) 矩形樁基礎+鼎型塊+織布



04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值水理分析-複雜基礎模型設置

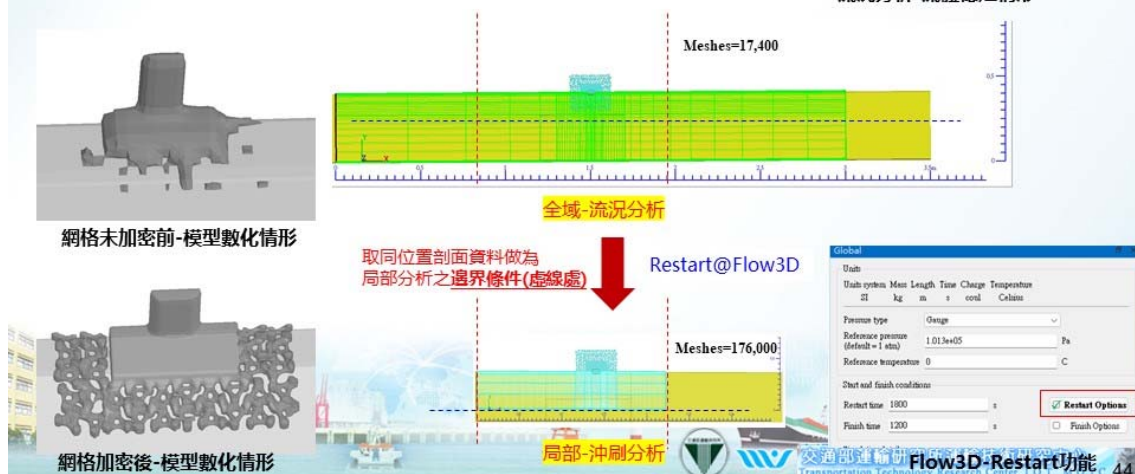
FLOW3D僅提供簡易幾何形狀建模工具，鼎型塊係屬複雜形狀，將透過線上免費3D繪圖平台(AUTODESK Tinkercad)等比例繪製鼎型塊，並於該平台依實排鋪鼎型塊於矩形基礎周圍，接續將排鋪完成之成果輸出成模型檔(STL)，匯入FLOW3D使用。



04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值水理分析-網格效率化設定

1. 先進行全域流況分析(取得流速、水位等資料)，俟穩定後，再將分析區域縮小並加密網格，進行局部冲刷分析。
2. 運用Restart功能，將全域流況分析資料做為局部分析之邊界條件，以節省運算時間，提升分析效率。

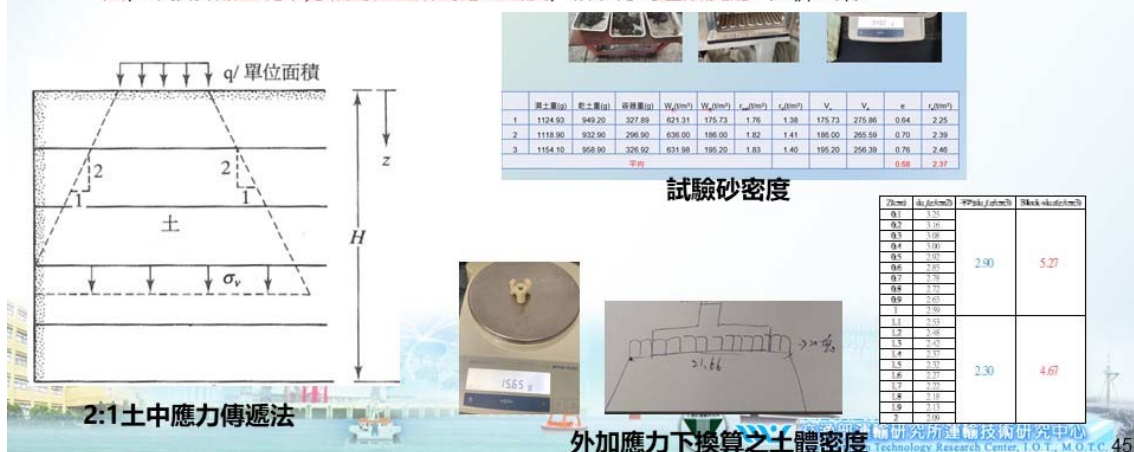


04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值水理分析-鼎型塊下方土體參數設定

FLOW3D目前尚未發展保護工(鼎型塊、土工織布)模擬分析之模組，因此未能模擬基底粒料冲刷流失後，鼎型塊隨之下沉之耦合分析情形，分析時鼎型塊與橋墩基礎視為一體，且為一無質量狀態之阻水物體。

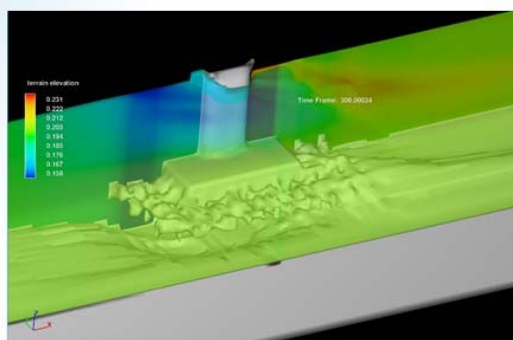
實際應用上，鼎型塊保護工法係利用自身重量使得底下粒料緊密化後來減緩冲刷流失之情形，因此於水理分析模式之設定上，則利用土壤力學-外加載重對土中應力增量之2:1傳遞法，來換算鼎型塊下方相對位置所對應之密度，藉以得到近似模擬之分析效果。



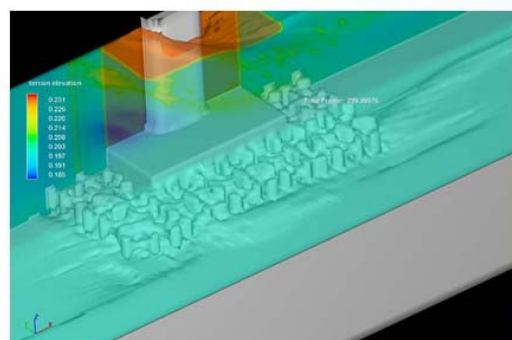
04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值水理分析-矩形樁基礎+鼎型塊分析結果

- 鼎型塊下方土體有無考量土中應力增量之比較



無土中應力增量



有土中應力增量

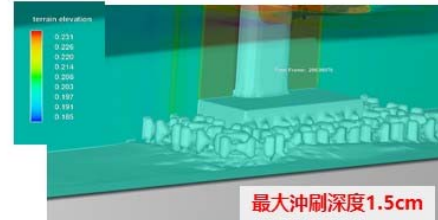
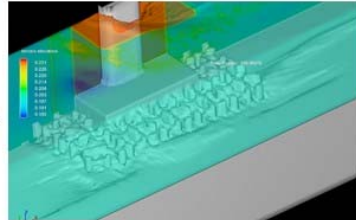


04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值水理分析-矩形樁基礎+鼎型塊分析結果

➤ 數值模擬 vs 試驗 (沖刷時間5min)

數值模擬



(=原高0.2m-沖刷後高0.185m)

試驗



(=原高0.2m-沖刷後高0.183m)

04 數值水理分析模型建置與分析

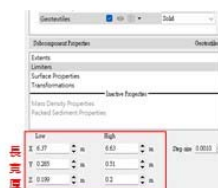
◆ 數值水理分析-地工織布(Geotextiles)參數設定

織布之正向透水率為 $0.4(s^{-1})$ ，以白努利公式(Bernoulli's principle)求水頭差後，估算滲透量對於通過流量相當微小($<1\%$)，故在織布層設置上將忽略滲透行為。

設置上則直接於鼎型塊下方設置一薄層(1mm)模型區域，藉以得到織布減緩向下沖刷水流之近似模擬分析效果。

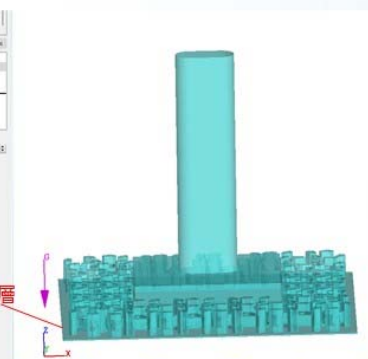
項目	測試規範	單位	規格	
			MD	CD
抗拉強度	CNS13300	kN/m	≥250	≥250
極限延伸率	CNS13300	%	≤30	≤30
貫入強度(CBR)	ASTM D6241	N	≥30000	
正向透水率	CNS13298	s^{-1}	≥0.40	
有效開孔徑(AOS)	CNS14262	mm	≤0.425	

地工織布材料規格表



參數設定

織布層



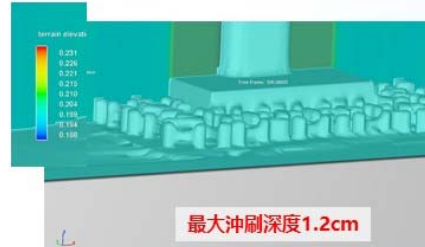
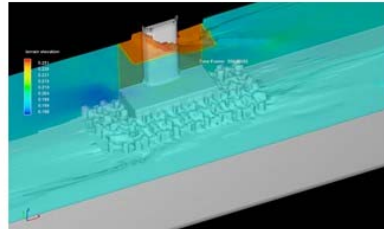
地工織布設置情形

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 數值水理分析-矩形樁基礎+鼎型塊+土工織布分析結果

➤ 數值模擬 vs 試驗 (沖刷時間5min)

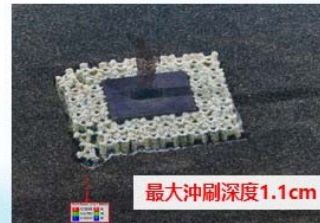
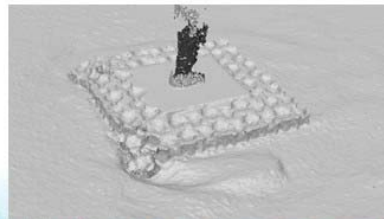
數值模擬



最大沖刷深度1.2cm

(=原高0.2m-沖刷後高0.188m)

試驗



最大沖刷深度1.1cm

(=原高0.2m-沖刷後高0.189m)

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：地工織布橋梁基礎保護工法
 【21】申請案號：109123693 【22】申請日：中華民國 109 (2020) 年 07 月 14 日
 【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 240 號

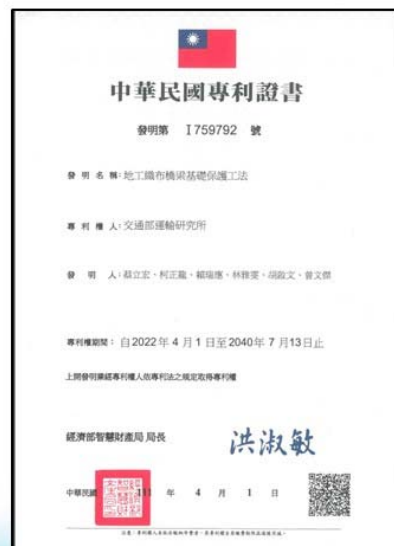
發明公開公報

【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：地工織布橋梁基礎保護工法
 【21】申請案號：109123693 【22】申請日：中華民國 109 (2020) 年 07 月 14 日
 【11】公開編號：202202698 【43】公開日期：中華民國 111 (2022) 年 01 月 16 日
 【72】發明人：蔡立宏 (TW) 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 240 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



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

◆ 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

◆ 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。

The collage consists of three main parts:

- Left Panel:** A poster titled "111年各類別重要工作成果及積極創新作為" (Important work results and innovative achievements in various categories for 111). It features several photographs of bridge maintenance work, including workers on bridges and close-ups of bridge components. Text on the poster includes "橋梁養護作業考評(橋梁項)跨機關積極創新作為" and "預期效益: 1. 避免橋梁材料劣化, 橋梁品質 2. 橋梁結構穩定, 避免意外發生 3. 減少橋梁維護成本, 降低沖刷影響".
- Right Panel:** A photograph of an award ceremony. A man in a white shirt is presenting a certificate to a man in a dark suit. The certificate is for the "112年度知識競賽-知識品質獎" (112nd Knowledge Competition - Knowledge Quality Award). The text on the certificate lists the winners: 1st place: 李寧工程司 (工務組-養護科), 2nd place: 林智詠工程司 (中分局-大甲工務段), 3rd place: 簡文輝工程司 (中分局-內湖工務段). The certificate also mentions "國道3號大甲溪河川橋之橋墩基礎保護措施運用地工織物" (Application of geotextiles for bridge pier foundation protection measures on National Route 3 Dajia River Bridge).
- Bottom Panel:** A banner with the text "養護作業考評(橋梁項)跨機關積極創新作為項目" (Project for innovative and active cooperation across agencies for bridge maintenance work evaluation) and "獲「知識品質獎」第2名" (Received 2nd place in the "Knowledge Quality Award"). The banner also features the logo of the "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.) and the number "57".

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。
- 以P24L為例，本工法之應用雖增加約60萬元/墩/次之成本，但可減少維修費用200萬元/墩/次以上，以近3年(110~112)觀測之結果，具相當保護作用，可達保護工延壽、減少維修頻率及維護經費之目的。
- 本年度計畫以前期室內水工模型試驗累積成果為基礎，規劃執行水工試驗並用於驗證及建置三維數值水理模型，探討以數值軟體模擬鼎型塊+織布之設置及可行性，做為未來建立多元分析驗證方式之基礎。
- 透過推廣交流、協助預算編列及施工規劃，落實應用至高公局111年度橋梁維護業務，辦理橋基保護工作，相關執行過程及階段性成果共營共享，發揮1+1>2的成效及示範。



06 結論與建議

◆ 建議:

- 大甲溪流域於97年辛樂克颱風過境造成后豐大橋斷橋事件時，石岡壩放流量達3,528cms，與本計畫近3年(110~112)之觀測紀錄中，110年石岡壩最大放流量為1,280cms，仍有相當差距，後續將有待超大豪雨事件及擴增試驗區來進一步評估及驗證其成效後，再行擴大推廣應用。
- 本計畫工法雖經初步驗證具有一定之保護能力，其耐洪程度尚有待大豪雨事件來驗證，故本年度藉由探討鼎型塊+織布於三維數值模式之設置及可行性，後續將延續本年度之經驗與成果，應用於現地試驗數值模擬分析，以在沒有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



