115-008-7E08
MOTC-IOT-114-H1CA001a

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4) －保護成效評估及技術推廣

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 115 年 3 月

115-008-7E08
MOTC-IOT-114-H1CA001a

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4) －保護成效評估及技術推廣

著 者：胡啟文、蔡立宏、鄭登鍵

交 通 部 運 輸 研 究 所
中 華 民 國 115 年 3 月

115

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4)—保護成效評估及技術推廣

交通部運輸研究所

GPN: 1011500188

定價 200 元

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. (4/4) : 保護成效評估及技術推廣 / 胡啟文, 蔡立宏, 鄭登鍵著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 115.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-751-5(平裝)

1.CST: 橋梁工程 2.CST: 結構工程 3.CST: 數值分析

441.815 115001463

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4)-保護成效評估及技術推廣

著　　者：胡啟文、蔡立宏、鄭登鍵

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 115 年 3 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 45 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定　　價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組•電話：(02)2349-6789

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

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

GPN：1011500188　ISBN：978-986-531-751-5 (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(4/4)－保護成效評估及技術推廣

國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN 978-986-531-751-5(平裝)	1011500188	115-008-7E08	MOTC-IOT-114-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
參與人員：陶德勇
聯絡電話：04-2658-7200
傳真號碼：04-2657-1329

研究期間
自 114 年 1 月
至 114 年 12 月

關鍵詞：沖刷、水工模型試驗、鼎型塊、地工織布、數值水理分析

摘要：

本計畫針對地工織布應用於橋墩基礎保護工法，以國道3號大甲溪河川橋為研究對象，於109年完成現地地工織布保護工法之鋪設，驗證地工織布保護工法之施工可行性，並於110-113年進行觀測，本年度(114年)除延續觀測試驗橋址鼎型塊的穩定性及成效評估外，另透過大甲溪實際觀測資料檢定及驗證數值模擬所需參數，以FLOW-3D建置試驗場址(國3號大甲溪橋)三維數值模型，以110年盧碧颱風與113年凱米颱風進行模型檢定與驗證，再以大甲溪流域所公告之不同重現期(2、5、10年…)流量進行模擬分析，評估本計畫工法之在不同重現期下之保護成果及效益分析。

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. 藉由現場試驗觀測結果，完成110~114年度本計畫工法之成效總評估。
2. 透過二維及三維數值模型建置，完成本計畫工法於不同重現期流量下之耐洪性及保護效益評估。

提供應用情形：

1.本計畫工法已於109年、111年及114年分別應用國道3號大甲溪河川橋P24L、P22L~P23L及P25L~P26L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.本計畫相關研究成果，如:本計畫工法多元分析驗證及評估方式、橋基保護採UAV觀測規劃方式、施工技術說明書與標準設計圖說、施工流程…等，可提供相關橋梁管理單位未來規劃、驗證及鋪設橋基保護工法之參考。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
115 年 3 月	324	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 (4/4)- Evaluation of Protection Effectiveness and Technology Promotion

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-531-751-5 (pbk)	1011500188	115-008-7E08	MOTC-IOT-114-H1CA001a

DIVISION: Transportation Technology Research Center
DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chi-Wen Hu
PROJECT STAFF: Teng-Chien Cheng, Heng-Yi Wu
PARTICAPATING STAFF: Te-Yung Tao
PHONE: 04-2658-7200
FAX: 04-2657-1329

PROJECT PERIOD
From January 2024
To December 2024

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 2021-2024. In this year (2025), in addition to continuing the stability monitoring and effectiveness evaluation of the tripod blocks at the test site, this study utilizes field observation data from the Dajia River to calibrate and validate parameters for numerical simulation. A three-dimensional numerical model of the test site was developed using FLOW-3D, which was calibrated and verified against data from Typhoon Lupit (2021) and Typhoon Gaemi (2024). Furthermore, simulations were performed based on various return period flows (e.g., 2, 5, and 10 years) published for the Dajia River basin to evaluate the protection outcomes and benefit analysis of the proposed method under different hydrologic conditions.

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.Based on the in-situ monitoring results, a comprehensive effectiveness evaluation of the proposed protection method was completed for the period from 2021 to 2025.

2.Through the development of 2D and 3D numerical models, the flood resistance and protection benefits of the proposed method were evaluated under various return period flows.

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 P24L, P22L~P23L, P25L~P26L of Dajia River Bridge on National Freeway No. 3. It serves as a proactive and innovative management approach for bridge management policies.

2.The research outcomes-including the multi-criteria analysis and evaluation of the proposed method, UAV-based monitoring protocols for bridge foundations, technical specifications, standard design drawings, and construction workflows-serve as a valuable reference for bridge management authorities in future planning, verification, and implementation of bridge foundation protection methods.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
Mar. 2026	324	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(4/4)

－保護成效評估及技術推廣

目 錄

中文摘要 ..... Ⅰ

英文摘要 ..... Ⅱ

目錄 ..... Ⅲ

圖目錄 ..... Ⅶ

表目錄 ..... Ⅹ Ⅲ

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 1-4

第二章 文獻回顧 2-1

2.1 地工織布於海洋環境中之工程特性 2-1

2.2 地工合成材料在永續工程之應用 2-2

2.3 模擬濁流中地工織物損傷之室內試驗 2-5

2.4 國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作 2-8

2.5 台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估 2-9

2.6 大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究 2-13

2.7 跨河橋梁保護工法之研究 2-13

2.8 河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究 2-15

2.9 本所歷年橋墩保護工法之研究 2-17
2.10 三維數值水理模式應用於橋墩底床沖刷相關文獻 2-32
2.11 小結 2-36
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 3-5
3.3 成效總評估 3-14
第四章 三維數值模型建置 4-1
4.1 FLOW-3D 簡介 4-2
4.2 數值方法 4-3
4.3 檢定與驗證方法說明 4-13
4.4 數值模擬基本資料蒐集 4-15
4.5 數值水理模型建置 4-16
4.6 各重現期下分析評估 4-26
第五章 階段性成果發表與應用情形 5-1
5.1 獲中華民國發明專利 5-1
5.2 參與「2022 台灣創新技術博覽會」發明競賽 5-3
5.3 參與交通部創新提案制度審查 5-4
5.4 參與 113 年度中華民國道路協會論文獎評選 5-5
5.5 階段性成果發表與推廣 5-6
5.6 實務應用情形 5-13
第六章 結論與建議 6-1
6.1 結論 6-1
6.2 建議 6-3

6.3 研究成果效益 6-3
6.4 提供應用情形 6-4
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 鼎型塊織布橋基保護工法施工說明書 ..... 附錄 5-1
附錄六 期末審查意見及辦理情形說明表 ..... 附錄 6-1
附錄七 簡報資料 ..... 附錄 7-1

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖 1-5
圖 2.1 土木水利工程常見的地工合成材料 2-3
圖 2.2 採用回包式加勁擋土牆之暨南大學邊坡 2-4
圖 2.3 臺中秋紅谷四周加勁擋土牆植生茂密 2-4
圖 2.4 格網箱籠之海岸保護嘗試性大型試驗現場 2-6
圖 2.5 箱籠受到海岸礫石之往復磨損而破壞 2-6
圖 2.6 直徑 1.5 m 高 1.0 m 之圓形流槽 2-6
圖 2.7 織布之損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)及流動延時(T)之關係 2-7
圖 2.8 織布損傷度(PSR)與流速(Vm)及顆粒濃度(Pc)之關係 2-7
圖 2.9 織布在不同流速下損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)關係 2-7
圖 2.10 地工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖 2-9
圖 2.11 保護工施工程序 2-11
圖 2.12 橋梁耐洪能力詳細評估分析流程 2-12
圖 2.13 檢定與驗證事件選取圖 2-14
圖 2.14 台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位歷線比較(泰利颱風) 2-16
圖 2.15 水理模組敏感度分析結果 2-17
圖 2.16 現況保護措施鼎型塊鋪設斷面示意圖 2-19
圖 2.17 現況保護措施模型鋪設 2-19
圖 2.18 無保護措施斷面示意圖 2-19
圖 2.19 無保護措施橋墩鋪設 2-19
圖 2.20 現況保護措施基礎上游沖刷情形 2-20

圖 2.21 無保護措施基礎沖刷情形 2-20
圖 2.22 一層鼎型塊+織布斷面示意圖 2-20
圖 2.23 一層鼎型塊+織布鋪設 2-20
圖 2.24 一層鼎型塊+織布保護措施模型鋪設 2-20
圖 2.25 一層鼎型塊+織布保護措施基礎沖刷情形 2-20
圖 2.26 一層鼎型塊+織布+石籠斷面示意圖 2-21
圖 2.27 一層鼎型塊+織布+石籠保護措施模型鋪設 2-21
圖 2.28 一層鼎型塊+織布+石籠沖刷情形 2-21
圖 2.29 橋墩基礎上游整地 2-24
圖 2.30 橋墩基礎下游整地及地形降階 2-24
圖 2.31 高強度織布展開並以軟石固定於樁帽上 2-24
圖 2.32 完成樁帽四周之高強度織布吊放展開及固定 2-24
圖 2.33 平面高強度織布鋪設及單元間之綁紮作業 2-24
圖 2.34 防護層織布鋪設 2-24
圖 2.35 鼎型塊吊放與排置作業 2-25
圖 2.36 鼎型塊結合地工織布保護工鋪設完成(下游側) 2-25
圖 2.37 110 年盧碧颱風事件前後數值三維地形套疊結果 2-26
圖 2.38 水工模型試驗橋墩沖刷底床變化等深圖 2-28
圖 2.39 二維數值模擬橋墩沖刷底床變化等深圖 2-29
圖 2.40 考慮土中應力傳遞法下，數值模擬與沖刷試驗結果比較 2-30
圖 2.41 以 108 年 0611 豪雨探討不同 n 值下模擬水位與實測水位情形
(二維水理模型檢定) 2-31
圖 2.42 110 年盧碧颱風模擬與實測水位比對(二維水理模型驗證)... 2-32
圖 2.43 113 年凱米颱風模擬與實測水位比對(二維水理模型驗證)... 2-32

圖 2.44 菱柱橋墩數值模擬與試驗底床沖刷結果比較 2-34
圖 2.45 菱柱橋墩數模最大沖刷深度和沉積高度與試驗數據比較 2-35
圖 2.46 圓柱橋墩數值模擬與試驗底床沖刷結果比較 2-35
圖 2.47 圓柱橋墩數模最大沖刷深度和沉積高度與試驗數據比較 2-35
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 本年度兩期試驗場址影像(往上游拍攝) 3-8
圖 3.8 本年度兩期試驗場址影像(往下游拍攝) 3-9
圖 3.9 兩期數值三維點雲模型(114/04/19 vs 114/11/23) 3-10
圖 3.10 114/04/19 與 114/11/23 兩期數值三維模型套疊結果 3-10
圖 3.11 P22L 試驗場址兩期影像比較 3-11
圖 3.12 P23L 試驗場址兩期影像比較 3-11
圖 3.13 P24L 試驗場址兩期影像比較 3-12
圖 3.14 P25L 試驗場址兩期影像比較 3-12
圖 3.15 P26L 試驗場址兩期影像比較 3-13
圖 3.16 114 年試驗場址鼎型塊損壞範圍 3-13
圖 3.17 110 年不同保護方案室內水槽試驗結果 3-14
圖 3.18 鼎型塊織布橋基保護工法標準施工流程 3-16
圖 3.19 本計畫工法實際應用範圍(國 3 大甲溪橋) 3-16
圖 3.20 試驗場址空拍圖(108 年) 3-18

圖 3.21 試驗場址空拍圖(110 年) 3-18
圖 3.22 試驗場址空拍圖(113 年凱米颱風前) 3-18
圖 3.23 試驗場址空拍圖(113 年凱米颱風後) 3-19
圖 3.24 試驗場址空拍圖(114 年 P25L~P26L 施作後) 3-19
圖 3.25 試驗場址空拍圖(114 年 11 月) 3-19
圖 3.26 113 年凱米颱風現場水位監測影像 3-21
圖 3.27 113 年凱米颱風前後拍攝影像(P22L) 3-22
圖 3.28 113 年凱米颱風前後拍攝影像(P23L) 3-22
圖 3.29 113 年凱米颱風前後拍攝影像(P25L) 3-23
圖 3.30 113 年凱米颱風前後拍攝影像(P26L) 3-23
圖 4.1 二維及三維數值模擬分析流程示意圖 4-2
圖 4.2 FLOW-3D HYDRO_2022R2 版 4-2
圖 4.3 交錯網格系統與控制體積通量示意圖 4-5
圖 4.4 多區塊結構網格示意圖 4-5
圖 4.5 FLOW-3D FAVOR 示意圖 4-6
圖 4.6 FLOW-3D 邊界選項模組 4-7
圖 4.7 FLOW-3D 六面邊界設定示意圖 4-8
圖 4.8 Tinkercad 繪圖平台製作三維模型 4-9
圖 4.9 實際場景匯入至 FLOW 3D 之展示 4-9
圖 4.10 利用 FAVOR 功能檢視匯入之 STL 模型文件 4-10
圖 4.11 檢定與驗證事件選取示意圖 4-14
圖 4.12 本計畫模擬區域數值水理地形圖(HyDEM) 4-16
圖 4.13 三維數值模型網格設置情形 4-17
圖 4.14 地工織布設置情形 4-17

圖 4.15 模擬時間擷取範圍示意圖 4-18
圖 4.16 邊界條件設定情形 4-19
圖 4.17 二維模型 09-2 斷面演算比較(本計畫 vs 水利署計畫) 4-22
圖 4.18 110 年盧碧颱風事件下沖刷模擬結果(BLC=5.7) 4-24
圖 4.19 110 年盧碧颱風事件下沖刷模擬結果(BLC=7) 4-24
圖 4.20 110 年盧碧颱風事件下沖刷模擬結果(BLC=8) 4-25
圖 4.21 110 年盧碧颱風事件前後現場沖刷情形 4-25
圖 4.22 113 年凱米颱風事件下沖刷模擬結果 4-26
圖 4.23 113 年凱米颱風事件前後現場沖刷情形 4-26
圖 4.24 Q5 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形 4-27
圖 4.25 Q5 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形 4-28
圖 4.26 Q10 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形 4-29
圖 4.27 Q10 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形 4-30
圖 4.28 Q20 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形 4-31
圖 4.29 Q20 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形 4-32
圖 4.30 Q50 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形 4-33
圖 4.31 Q50 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形 4-34
圖 4.32 Q100 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形 4-36
圖 4.33 Q100 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形 4-37
圖 5.1 中華民國發明專利證書(發明第 I759792 號) 5-2
圖 5.2 展覽期間各界參與情形 5-3
圖 5.3 發明競賽委員評審情形 5-4
圖 5.4 主辦單位頒發「銀牌獎」獎項 5-4
圖 5.5 交通部長頒發「甲等獎」獎項 5-5

圖 5.6 獲中華民國道路協會 113 年「論文獎」獎項 5-6
圖 5.7 投稿論文短摘要(111 年) 5-7
圖 5.8 論文發表情形(111 年) 5-7
圖 5.9 投稿論文短摘要(113 年) 5-8
圖 5.10 論文發表情形(113 年) 5-8
圖 5.11 期刊投稿 5-9
圖 5.12 交通部部務會議提案報告 5-11
圖 5.13 技術交流推廣情形 5-12
圖 5.14 參與「114 年災害防救科技成果展」 5-13
圖 5.15 現勘情形 5-13
圖 5.16 第 1 次施工前協調會討論情形 5-14
圖 5.17 111 年度地工織布預計鋪設範圍 5-14
圖 5.18 第 2 次施工前協調會討論情形 5-15
圖 5.19 鼎型塊織布橋基保護工法細部施工斷面圖 5-15
圖 5.20 國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 本計畫工法施工範圍 5-16
圖 5.21 國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 本計畫工法施工過程 5-17
圖 5.22 113 凱米颱風後 P25L~P26L 保護工損壞情形 5-17
圖 5.23 114 年 P25L~P26L 本計畫工法施作過程及完工情形 5-18
圖 5.24 大甲段 111 年度養護作業考評(橋梁項)積極創新作為項目 .. 5-19
圖 5.25 高公局 112 年度知識競賽獲獎情形 5-19

表目錄

表 2-1 室內試驗不同鋪設方案最大沖刷深度及鼎型塊穩定度比較 .. 2-27
表 2-2 110-111 年試驗場址鼎型塊變化情形 2-29
表 3-1 大甲溪流域各控制點不同重現期距下之流量 3-6
表 3-2 113 年凱米颱風事件後成效評估表 3-24
表 4-1 數值模擬邊界設定 4-19
表 4-2 大甲溪斷面 09-2 現況河道水理因素演算成果表(節錄) 4-21
表 4-3 本計畫河道水理演算成果表(vs 水利署計畫) 4-22
表 4-4 Flow-3D 模擬基本設定彙整表 4-23
表 4-5 113 年凱米颱風事件後成效評估表 4-28
表 4-6 模擬與實測之保護成效比較 4-29
表 4-7 Q10 重現期下織布保護成效比較 4-30
表 4-8 Q20 重現期下織布保護成效比較 4-33
表 4-9 Q50 重現期下織布保護成效比較 4-35
表 4-10 Q100 重現期下織布保護成效比較 4-37
表 4-11 各重現期下織布保護成效綜合比較 4-38
表 4-12 不同損壞情況下傳統工法與本計畫工法修復費用比較 4-40
表 5-1 例行記者會後各媒體刊登一覽表 5-10

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 3 號大甲溪橋橋墩保護工法研究」，曾針對國道 3 號大甲溪橋墩基礎保護工法進行水工模型試驗，試驗結果顯示，地工織布結合鼎型塊之保護工法，可達到保護橋墩基礎，減少基礎裸露進而確保橋梁抗沖刷能力；108 年「地工織物應用於橋墩基礎保護之可行性研究」，主要是針對目前應用於坡地保護之地工織物，包括：地工織布、織物模板、加勁格網、土石籠袋及沙腸袋等材料，是否有更適合的材料可應用於橋墩基礎的保護工法上，經該研究探討後，以地工織布做橋墩基礎的保護工法是較適宜的。109 年「地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」，針對本所過去地工織布應用於橋墩基礎保護之室內水工模型試驗成果，實際應用於大甲溪下游河段之國道 3 號大甲溪橋，並於 109 年完成現地鋪設，驗證地工織布保護工法之施工可行性。110-113 年利用 UAV 結合攝影測量技術，觀測試驗橋址並探討地工織布結合鼎型塊之保護成效，目前已有

初步結果,惟仍需透過持續性之觀測及有待超大豪雨事件來進一步驗證本計畫之保護成效。112 年已透過室內水工模型試驗結果，檢定數值模擬所需參數，並探討三維數值水理模式於模擬鼎型塊+織布之設置及可模擬程度，以及 113 年已透過現場鋪設試驗結果，檢定及建置大甲溪石岡壩下游河道二維數值模擬模式，做為本計畫後續年度(114 年)於現地保護工三維數值橋基局部沖刷模擬使用及分析之依據,據以合理模擬分析及評估現地保護工之成效，期望透過室內水工模型試驗、現場鋪設試驗及數值模擬之探討，以建立對於本工法多元分析驗證及成效評估方式，提供未來橋管單位鋪設橋墩基礎保護工法之應用參考。

1.2 研究目的

本計畫研究目的如下：

1. 藉由現地試驗之觀測，驗證地工織布保護工法之保護成效。
2. 應用本計畫前期所執行之數值水理分析模型成果基礎下，利用所蒐集之歷年河道水文及沖刷資料，驗證並建置試驗橋址處之三維數值模型，模擬評估本計畫工法在不同重現期下之保護效果。
3. 相關研究成果將可提供相關橋梁維管單位(高速公路局、公路局、臺鐵公司及縣市政府)未來施政之參考，以提升橋墩基礎耐洪能力，滿足運輸安全需求。

1.3 研究方法

本計畫以本所 109、111 及 114 年於國道 3 號大甲溪橋現地鋪設的保護工法為研究對象，進行保護工法成效的觀測與評估，並利用所蒐集之歷年河道水文及沖刷資料，驗證並建置試驗橋址處之三維數值模型，以供相關單位及本所後續研究之參考。計畫研究方法說明如下：

1. 相關文獻蒐集與回顧

蒐集國內外橋基沖刷保護工法、橋基沖刷研究案例及河道橋基數值水理分析之應用案例，以及近年國道 3 號大甲溪河川橋橋梁檢測資料、河床斷面測量資料、保護工法、颱洪災害等基本資料，大甲溪河道地形、歷年沖刷變化、流速等相關水文資料，據以彙整研析。

2. 研擬本計畫工法施工技術說明書

綜整過去於現地試驗鋪設之規劃及施作經驗，研擬規劃原則、施工流程、施工圖說、執行案例…等相關參考資料，除可供相關橋梁維護管理機關施工時之參據，亦可做為技術推廣時之詳細說明文件。

3. 試驗橋址局部沖刷數值模擬分析及評估

應用前期所建置之試驗橋址數值水理分析模型成果基礎下，利用新增蒐集之大甲溪沖刷地形、水文資料，以及專家學者所建議之評估因子或方法，建置試驗橋址局部沖刷三維數值模擬模型，期以分析現場試驗橋址保護工於不同重現期下之保護成效，藉以評估本計畫工法之耐洪性。

4. 地工織布橋基保護工法成效觀測與評估

除持續以無人飛行載具(UAV) 至試驗橋址，藉由近景攝影測量方式，進行本年度橋墩基礎周遭河床變化、鼎型塊變位或流失等指標觀測外，續以將本年度與歷年颱洪事件資料及現場觀測指標變化情形進行綜整,提出本計畫工法應用於試驗橋址之保護成效總評估，評估結果將做為技術推廣時之佐證案例。

5. 技術推廣

邀集相關橋梁維護管理機關，如高公局、公路局、臺灣鐵路公司、縣市政府、工程業界技師參與辦理技術推廣活動，說明並提供

施工技術文件。

6. 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(114 年)之主要研究內容說明如下，其研究流程如圖 1.1 所示。

1. 相關文獻及資料蒐集

相關橋基沖刷保護工法、橋基沖刷研究案例及河道橋基沖刷數值水理分析研究文獻彙整，以及蒐集大甲溪河道地形、歷年沖刷變化、流速等相關水文資料，供建置試驗橋址處三維數值模型使用。

2. 研擬本工法施工技術說明書

研擬本保護工法之規劃原則、施工流程、施工圖說、執行案例…等相關參考資料，供相關橋梁維護管理機關施作時之參據。

3. 數值水理分析與評估

基於前期所建置之試驗橋址二維數值水理分析模型，進行橋址處局部沖刷之三維數值模擬，期以分析現場試驗橋址保護工於不同可能災害情境下之保護成效，以評估本計畫工法之耐洪性。

4. 保護成效觀測

持續進行試驗橋址紀錄並以周遭河床變化、鼎型塊變位或流失情形做為觀測指標。

5. 保護成效總評估

綜整歷年颱洪事件資料及現場觀測指標變化情形，進行本工法應用於試驗橋址之保護成效總評估。

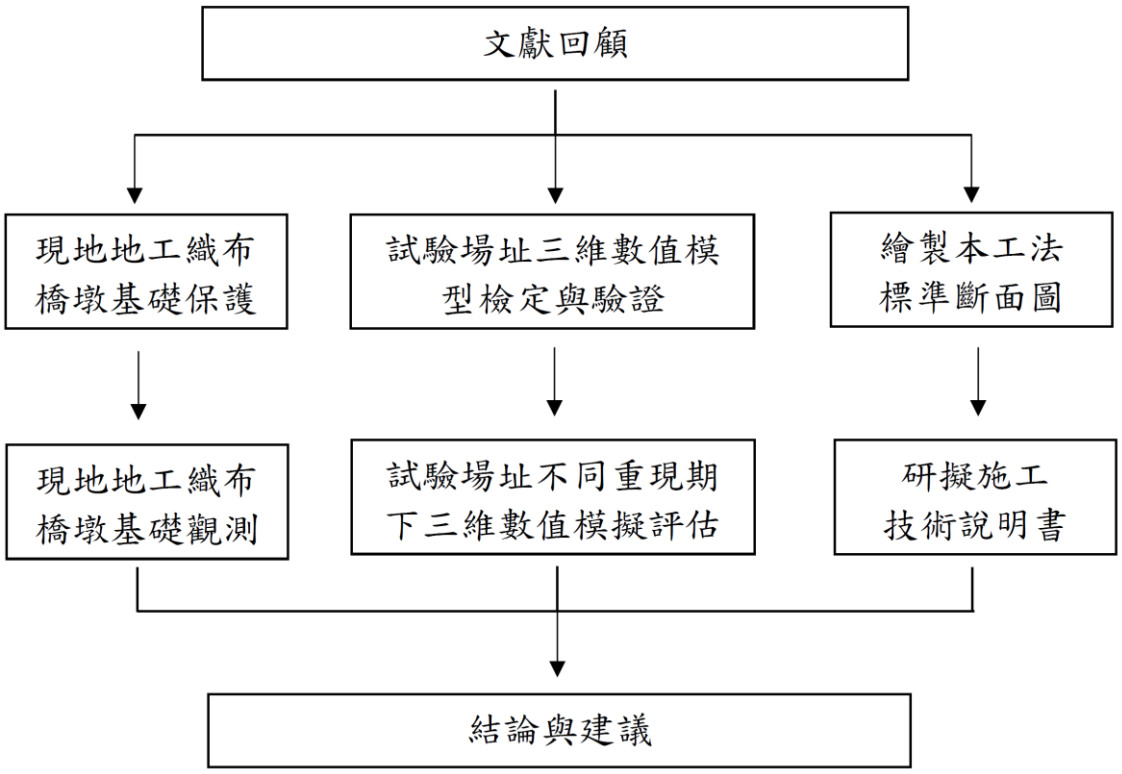

文獻回顧
現地地工織布
橋墩基礎保護
試驗場址三維數值模
型檢定與驗證
繪製本工法
標準斷面圖
現地地工織布
橋墩基礎觀測
試驗場址不同重現期
下三維數值模擬評估
研擬施工
技術說明書
結論與建議

圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

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

2.1 地工織布於海洋環境中之工程特性

「地工織布於海洋環境中之工程特性」[10]為屏東科技大學土木工程系碩士班潘坤亮先生於民國 92 年發表之碩士論文，該論文針對地工織布面對海水中或大氣中不同環境因子之作用，對材料之耐久性及工程壽命造成的影響作探討，茲摘錄相關研究成果如下：

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

該研究採用之材料為國內兩家廠商所提供，分別為 A 廠商 70KN/m(PP 織布)，B 廠商 150KN/m(PET 織布)。室外試驗部份乃根據 ASTM D5970 規定進行，室外試驗地點位於本所運技中心試驗大樓頂樓及地面之海水循環槽中，曝曬試驗區所使用之試驗架需面向正南方與水平線呈 45°角擺置，並且收集試驗區附近之中央氣象署梧棲氣象站及環境部彰化監測站（彰化市中山路二段 678 號）所監測之氣象資料等，並於民國 91 年 6 月 18 日開始試驗，每隔 1、2、4、8、12、18、24 個月將地工織布取回實驗室進行抗拉強度試驗、撕裂強度試驗及抗

穿刺強度試驗等，同時於實驗室內儲存區中將所準備好之織布一同進行上述之三種試驗，並比較兩者之差異性。

由實驗結果得知，織布受紫外線照射後，其強度折減最為嚴重，尤其是未加入抗紫外線劑之 PET 織布，於第二個月時強度折減已達一半以上，因此，織布若長期曝曬於太陽光底下，建議使用之折減係數為 1.5~1.7 之間(對織布 PP 而言)，2.0~4.2 之間(對織布 PET 而言)。另外就海水侵蝕及海水潮汐試驗而言，由目前資料顯示織布可能因海水的作用而有收縮的現象，導致織布的強度較對照組來的高，建議繼續觀測。

2.2 地工合成材料在永續工程之應用

「地工合成材料在永續工程之應用」[26]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)。

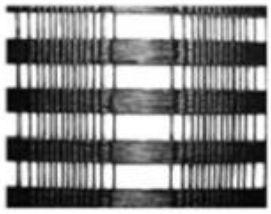
地工合成材料之功能大致可分為：加勁(reinforcement)、過濾(filtration)、排水(drainage)、隔離 (separation)、屏障(barrier)、保護(protection)、沖蝕控制(erosion control)、綜合功能(multiple functions)。在土木、水利、環工常見的地工合成材料如圖 2.1 所示。

不織布

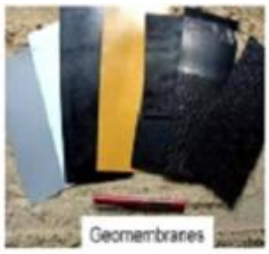
土包袋

蜂巢格網

織布



地工格網



止水膜

土石籠袋

地工沙袋

土石沙腸

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

2.3 模擬濁流中地工織物損傷之室內試驗

「模擬濁流中地工織物損傷之室內試驗」[15]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(Vm)及顆粒濃度(Pc)對強度損減率(P.S.R.)關係之實驗，結果顯示 P.S.R.與 Vm(或 Pc)大略成線性關係(圖 2.8 及圖 2.9)。此一發現亦與前期對高分子地工格網之實驗結果一致，因此，該研究結果提出下列三點供地工合成物箱籠構造物在濁流環境中之設計施工之參考：(1)顆粒之材質對地工合成物磨損之影響可以洛杉磯試驗之重量損失百分比來代表；(2)顆粒之大小與尖銳度在試驗範圍對磨損之影響不明顯；(3)磨耗損傷之時間效應可以 'Rt-method' 來預測，根據試驗結果，Rt = 18% / (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

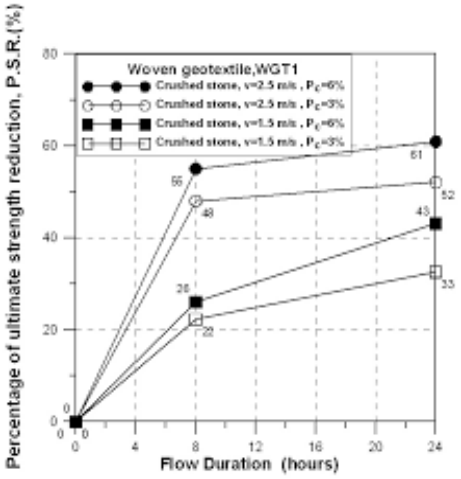


圖 2.7　織布之損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)及流動延時(T)之關係

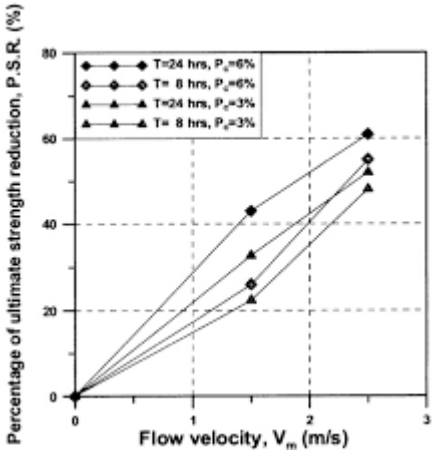


圖 2.8　織布損傷度(PSR)與流速(Vm)及顆粒濃度(Pc)之關係

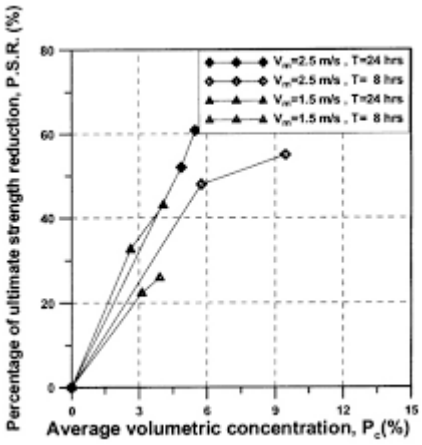


圖 2.9　織布在不同流速下損傷度(PSR)與顆粒濃度(Pc)之關係

2.4 國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作

「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」[22]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。

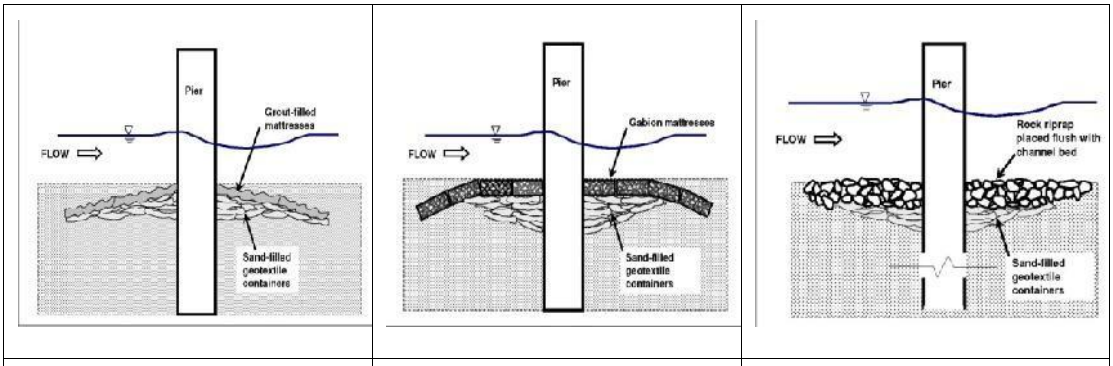
4.視後續橋下游河段回淤情形，必要時抬高固床保護工缺口高程。

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，建議可優先考量地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。



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

圖 2.10 地工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖

2.5 台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估

該研究[23]對北勢大橋實施橋基裸露應變對策、耐洪評估與流域管理進行探討，並進行橋墩保護工鋪設透水不織布之保護工序，及後續橋梁耐洪能力評估之流程，摘述如下:

北勢大橋上游側舊橋橋齡達 35 年，其 P6~P8 橋墩因局部及束縮沖刷而呈馬蹄狀之深槽，若持續沖刷裸露加劇勢必危及橋梁安全，需辦理保固補強，經專家學者建議 P8 橋墩周圍先開挖整平，鋪放透水不織布

包覆河床料，其上再排放混凝土塊穩固橋基，再擺放沖刷磚來監測橋基沖刷程度，並納入該局重點監控橋梁，以及委請專業顧問公司辦理耐洪評估工作，依流域管理之概念，以歷年颱風資料為基礎，分析後龍溪上游各集水區之雨量站特性，找出北勢大橋封橋管理之特徵雨量站，進而擬訂封橋雨量管理值。

其中，所採取之防治橋墩局部沖刷工法如下：

1.於橋墩局部沖刷深槽區馬蹄渦範圍河床下設置兩層鼎塊保護工，於鼎塊下方基礎鋪設三層不織布包裹石塊分層交疊置於底層，以防止動床之細顆粒吸出淘刷。

2.於底層不織布上吊放第一層鼎塊，第二層鼎塊則放於第一層各鼎塊之間隙，採交錯互鎖方式堆疊，提高整體穩定度。

3.鼎塊吊放完成後進行回填，回填後施設保護工高度不高於現有河床面，以避免因過多構造物干擾水流。

保護工施工程序如圖 2.11 所示。

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

1.資料蒐集。

2.河川水理分析。

3.計算橋墩最大沖刷深度。

4.計算基礎極限承載力 FS_1。

5.計算水平容許變值 FS_2。

6.計算基礎容許旋轉角 FS_3。

7.計算耐洪評估項目安全性。

8.計算橋梁之警戒水位及封橋水位。

圖 2.11　保護工施工程序

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

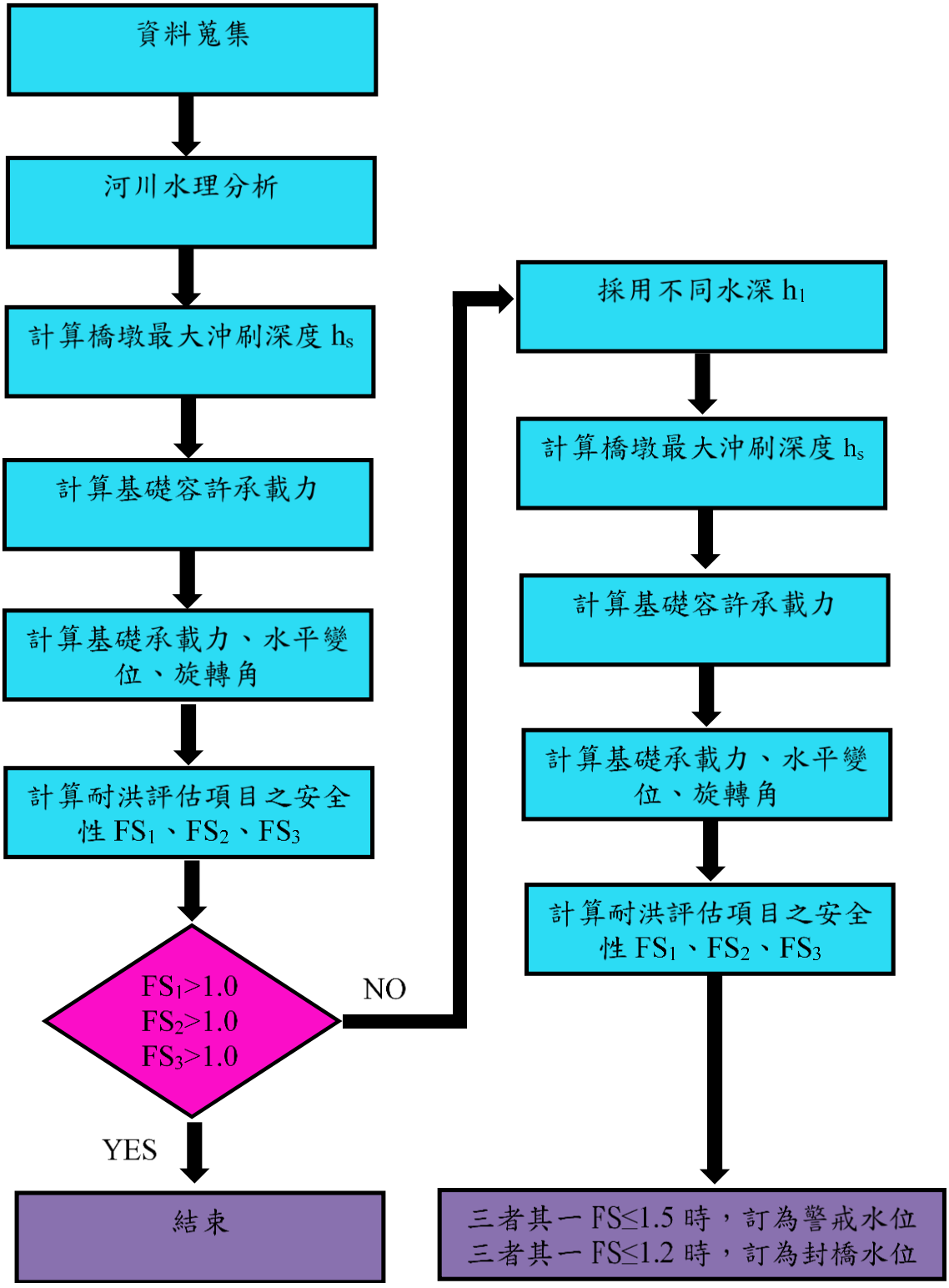


圖 2.12　橋梁耐洪能力詳細評估分析流程

2.6 大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究

因大甲溪下游河段河床持續下降，大甲溪下游段橋梁因沖刷恐將危及橋梁安全，且取水構造物也可能因河床高程變動而需不斷改變取水位置，另石岡壩下游河床岩盤出露處河道明顯有持續刷深趨勢。爰此，經濟部水利署水利規劃試驗所(水利規劃分署前身)乃於民國 97-100 年辦理「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究」[18]，期望透過數值、模型試驗研究，研提如何穩定河床之相關措施，以保護下游公共建設及居民生命財產安全。

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

2.7 跨河橋梁保護工法之研究

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

爰此，本所於民國 100 年執行「跨河橋梁保護工法之研究」[20]，透過數值模擬分析及渠槽試驗，了解橋墩及河道保護工法受水流沖刷破壞成因及規模程度，進而透過水工模型試驗提出橋河共治區橋墩保護工法及其施設方式之建議。整體工作執行內容係由國內、外橋梁保護工法相關研究文獻及橋墩沖刷理論蒐集分析出發，並執行砂質河道橋墩沖刷及石塊衝擊力試驗，深入探討橋河共治區水流流動過程與橋墩沖

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

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

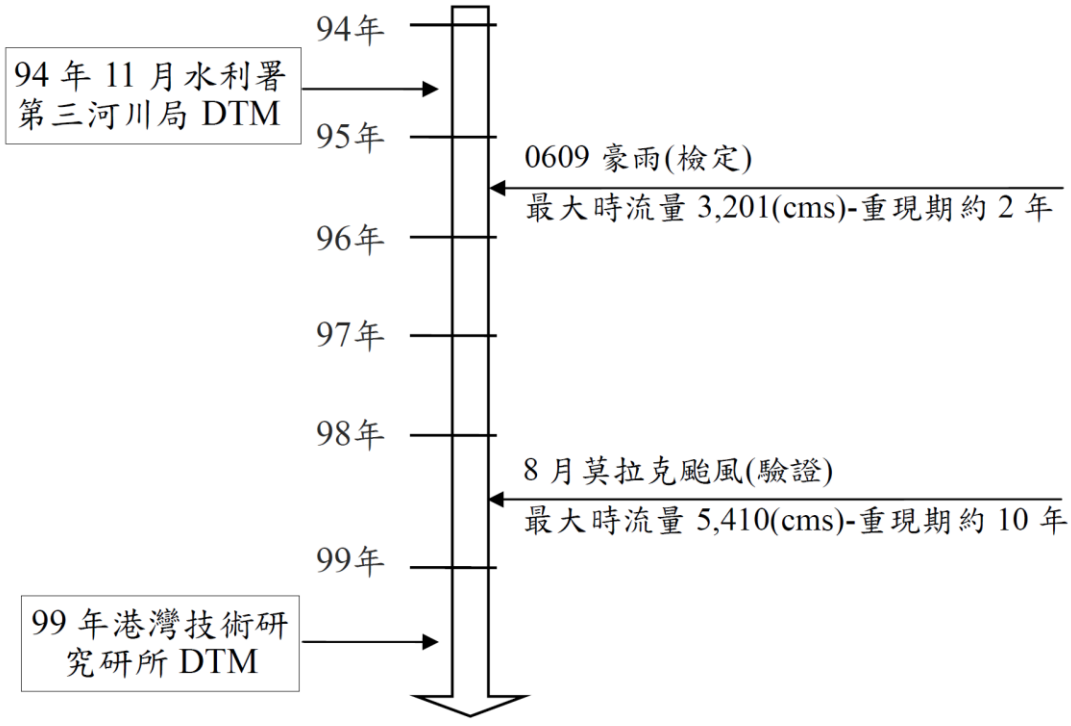


圖 2.13　檢定與驗證事件選取圖

2.8 河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究

「河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究」[21]旨在建立國道 1 號與國道 3 號跨越大甲溪橋梁橋墩之水位與沖刷深度推估模式。分析項目包含(1)應用雷達降雨預報資料提供集水區未來降雨空間變化(2)利用格網分布型降雨逕流模式分析石岡壩入流量(3)石岡壩下游橋梁數值模式的檢驗與沖刷預測。

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

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

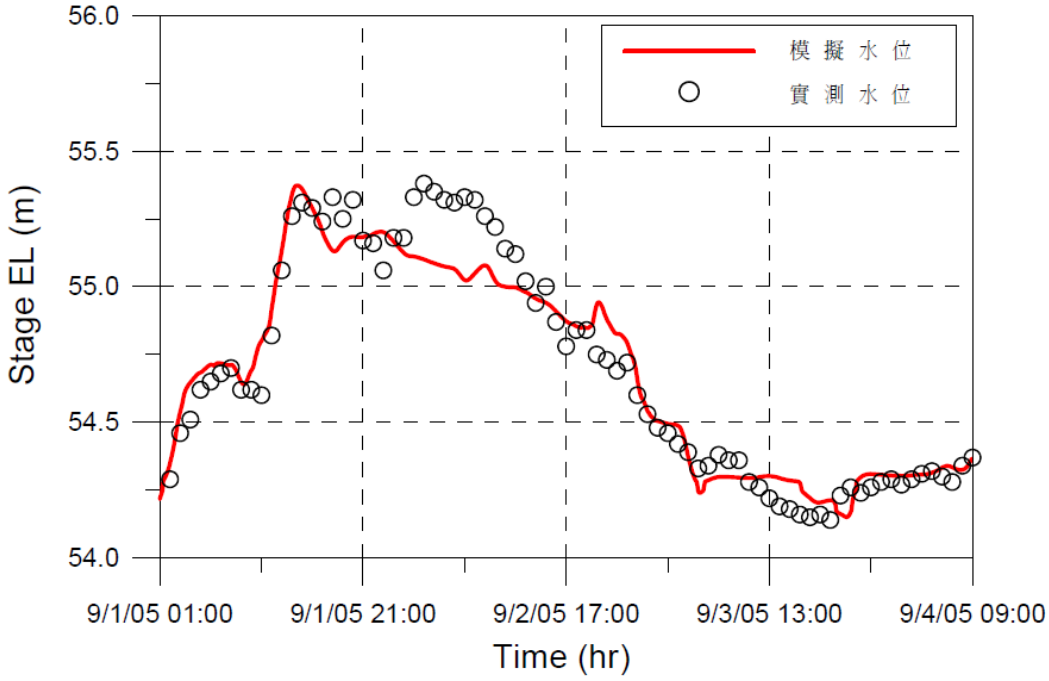
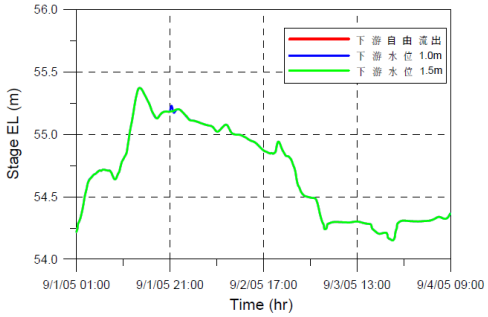


圖 2.14 台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位歷線比較(泰利颱風)

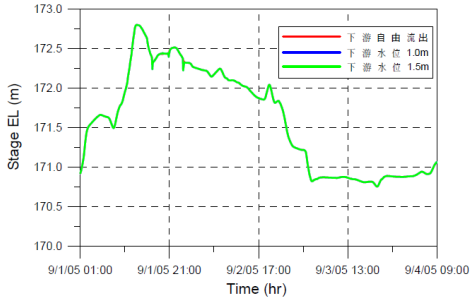
在邊界條件方面，上游採用石岡壩於泰利颱風實測放流量，最大放流量發生於 94 年 9 月 1 日 12:00，當時放流量約為 1,548cms。大甲溪河口附近並無設置潮位站，無法利用潮位記錄做為下游邊界條件，然觀察 94 年大斷面資料可發現，大甲溪河口河床最低點高程在 0 公尺以上，即河道水位受潮位影響程度可加以忽略，該研究進行水理分析作業採用下游水位邊界條件為自由流出(Open Downstream Boundary)狀態，並輔以下游潮位高程對水理計算之敏感度分析。

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

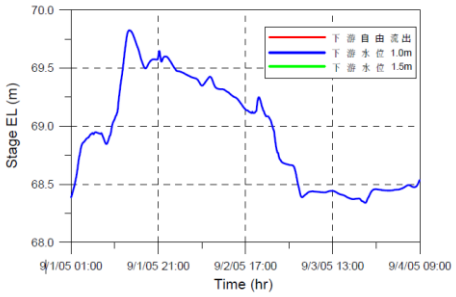
2.15(a)所示。在泰利颱風洪水過程中，可看出採用自由流出邊界條件、平均潮位 1.5 公尺與 1.0 公尺三者水位於台 1 線大甲溪橋幾乎為重合。圖 2.15(b)與 2.15(c)為國道 1 號與國道 3 號大甲溪橋，於泰利颱風洪水水位變化於不同下游邊界條件情況的比較，亦可發現不同下游邊界條件無顯著差異，由下游潮位高程對水理計算之敏感度分析結果發現，下游邊界條件變化並無導致對水理之預測結果有顯著差異，再者大甲溪出海口無設置潮位站，無法適當之邊界條件資料可取得，因此動床模組計算過程，下游邊界採用自由流出邊界條件估算。



(a) 台 1 線大甲溪橋



(b) 國 1 大甲溪橋



(c) 國 3 大甲溪橋

圖 2.15 水理模組敏感度分析結果

2.9 本所歷年橋墩保護工法之研究

整體計畫緣起係為大甲溪下游流域之橋梁管理單位，通常以鼎型塊疊放於橋墩基礎周圍來保護橋墩基礎，雖鼎型塊可達保護橋墩基礎免於遭到沖刷破壞功效，但仍有鼎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、鼎型塊底部無以卵石做基底、鼎

型塊吊放無考量鼎型塊形狀堆疊互制...等之外，最主要原因仍為鼎型塊底床粒料被沖刷所致，爰有於鼎型塊下方多鋪設一層織布來減緩沖刷之構想產生，並規劃室內橋墩水工模型及現地鋪設試驗進行驗證，以提供相關橋梁維管機關(構)(高速公路局、國營臺灣鐵路股份有限公司、公路局及縣市政府)未來設置相關保護工決策之參考，以增加用路人之行車安全

107 年度主要以水工模式試驗探討應用地工織布結合鼎型塊於橋墩基礎之可行性及保護成效，108 年度探討地工織布結合鼎型塊用於現地保護之施工性及經濟性，109 年度因適逢高公局辦理國道 3 號耐震補強工程，於基礎工程擴基補樁施作之時，商請該局於復原鼎型塊保護工前預留時間配合本所進場鋪設地工織布，得以獲取現場試驗之機會，否則倘以本所之預算額度，則因難以支應所需之現場施工費用而作罷，爰趁此難得之機會，基於過去初步研究成果，於尚未完成室內水工試驗最適鋪設斷面探討之際，即以國道 3 號大甲溪河川橋 P24L 及 P27R 為試驗橋址，進行地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設，以驗證保護工法之施工性，110 年度續以 109 年現地保護工試驗進行成效觀測與評估，進行室內水工模型試驗，接續探討鋪設斷面改善方案，並提供高速公路局中區養護分局大甲工務段納入 111 年度橋梁養護工作內執行，而雖經過 110-111 年現地觀測已獲初步驗證成果，惟仍需透過長期性之觀測及有待超大豪雨事件來進一步驗證本計畫之保護成效，爰本(112)年度續以進行現地保護工試驗成效觀測與評估，並延續前期室內水工模型試驗成果基礎下，嘗試建置三維數值水槽模型，供後續研究進行多元化分析驗證及成效評估，各年度研究成果分述如下:

1. 107 年度「國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究」

「國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究」[29]所於 107 年完成之研究計畫，係以原保護工鋪設方式及 4 種保護工鋪設方案(不考慮保護工之材料耐久性)的試驗結果，比較其最大沖刷深度及下游鼎型塊穩定度之結果顯示：

(1)現況保護措施(如圖 2.16~2.17 所示)與零方案(無保護工，如圖 2.18~2.19 所示)之沖刷結果顯示，現況保護措施最大沖刷深度 7.5cm(如圖 2.20 所示)小於無保護措施最大沖刷深度 8.7cm (如圖 2.21 所示)，顯示現況保護措施有其成效。

(2)現況保護措施為達到與橋墩基礎樁帽高程一致，遂鋪設二層鼎型塊，依本所過去的研究結果顯示，相關保護措施若高於現況河床，將會導致橋墩基礎阻水斷面增加，進一步可能增加橋墩基礎之沖刷深度，爰將橋墩基礎保護措施降為一層之鼎型塊保護，並在鼎型塊下方鋪設織布以防止下層細粒料的流失(如圖 2.22~2.24 所示)，沖刷試驗結果(如圖 2.25 所示)橋墩基礎最大沖刷深度由 7.5cm 降為 1.4cm，顯示優於現況保護措施。

(3)為避免下游向源侵蝕的作用，導致鼎型塊的滑落與流失，遂在鼎型塊下游鋪設石籠做為保護(如圖 2.26~2.27 所示)，試驗結果顯示(如圖 2.28 所示)確實對下游鼎型塊的穩定度有很大的成效。

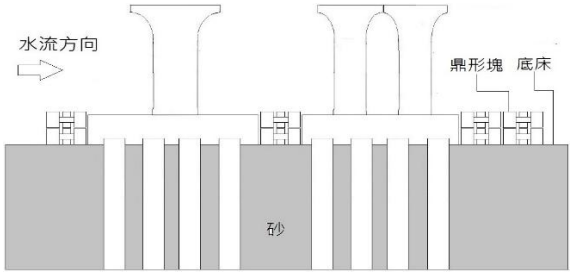


圖 2.16　現況保護措施鼎型塊鋪設斷面示意圖

圖 2.17　現況保護措施模型鋪設

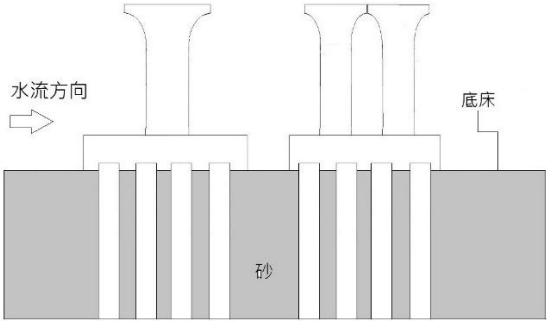


圖 2.18　無保護措施斷面示意圖

圖 2.19 無保護措施橋墩鋪設

圖 2.20　現況保護措施基礎上游沖刷情形

圖 2.21　無保護措施基礎沖刷情形

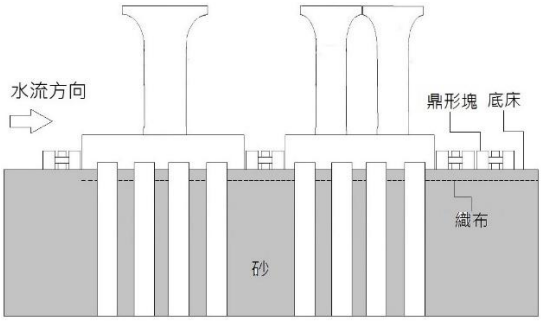


圖 2.22　一層鼎型塊+織布斷面示意圖

圖 2.23　一層鼎型塊+織布鋪設

圖 2.24　一層鼎型塊+織布保護措施模型鋪設

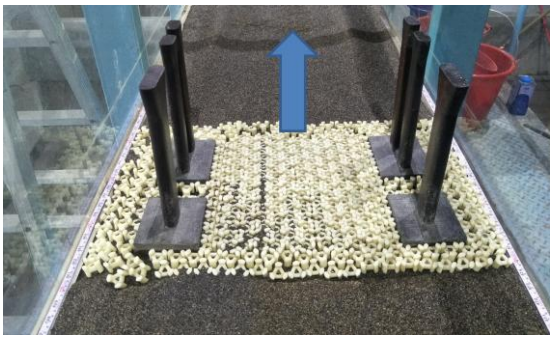


圖 2.25　一層鼎型塊+織布保護措施基礎沖刷情形

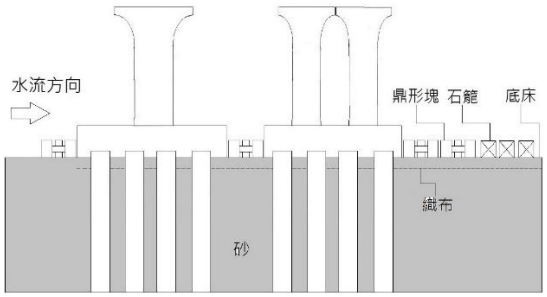


圖 2.26　一層鼎型塊+織布+石籠斷面示意圖

圖 2.27　一層鼎型塊+織布+石籠保護措施模型鋪設

圖 2.28　一層鼎型塊+織布+石籠沖刷情形

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」[30]本所於民國 108 年完成之研究計畫。計畫緣起為大甲溪下游流域之橋梁管理機關(構)(高速公路局、國營臺灣鐵路股份有限公司、公路局及縣市政府)，歷年於非汛期進行橋墩基礎保護工施作時，通常以鼎型塊疊放於橋墩基礎周圍來保護橋墩基礎，由歷年之保護成效評估，鼎型塊已達到保護橋墩基礎免於遭到沖刷破壞的功效，但仍有鼎型塊流失，河床下刷之現象發生。本所近年橋墩基礎保護工之水工模型試驗結果顯示，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，恐因河水之沖刷力過大，導致填充其內之混凝土破裂進而刺破或割破織布，而造成整個保護工的損壞。加勁格網及土石籠(袋)組在邊坡之保護應用成效都很不錯，惟加勁格網之網目太大，恐無法滿足保護細粒料河床質的需求，而土石籠(袋)組因施工繁瑣，爰此不考慮。沙腸管(袋)因需就地取材，以水力方式抽取現地之沙土來填充袋體，僅能適用於砂質河床之流域，對於卵礫石之流域，因砂源取得不易，恐需花費鉅額的工程費才能完成，較不適用於卵礫石之流域。

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

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

在地工織布之經濟性探討部分，以國道 3 號大甲溪河川橋 P27R~P28R 橋墩間及下游的鼎型塊下方地工織布試鋪的案例為例，織布鋪設費用與鼎塊的製作及吊放排置費用比較結果顯示，

織布之鋪設費用僅為鼎型塊製作及吊放費用之 5%。以經濟性評估，因目前國道 3 號大甲溪河川橋橋基之保護工費用主要為鼎型塊的製作及吊放排置之工程費，若增加鋪設織布的鼎型塊能與對照組(未鋪設織布之鼎型塊)比較，若能比對照組增加 5%之使用年限，或於生命週期能較對照組少補鋪設數量達 5%以上，則織布之鋪設有其經濟效益。

3. 109 年度「地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」

「地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究」[32]為本所於民國 109 年完成之研究計畫，係針對本所過去水工模型試驗結果，所研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，以國道 3 號大甲溪河川橋 P24L 及 P27R 為試驗橋址，進行地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設，以驗證保護工法之施工性及保護成效，提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路局、高速公路局、臺灣鐵路股份有限公司以及縣市政府等機關(構)未來施政之應用。

地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設施工步驟說明如下：

(1)整地

試驗橋址基礎耐震補強施工後，織布鋪設前先進行必要的整地工作，如圖 2.29 所示，基礎下游側地形依規劃進行降階地形整地，如圖 2.30 所示。

(2)高強度織布及防護層織布鋪設

首先將 1 單元之高強度織布吊放至樁帽上，並將其展開並以軟石固定一端於樁帽上，如圖 2.31 所示，重複上述步驟完成基礎樁帽 4 周的高強度織布吊放及固定，如圖 2.32 所示。接著進行平面高強度織布之鋪設及單元間之綁紮作業，如圖 2.33 所示。接著以相同方式鋪設防護層織布，如圖 2.34 所示。

(3)鼎型塊排置

吊放鼎型塊及排置如圖 2.35 所示。鼎型塊結合地工織布保

護工現地鋪設完成詳如圖 2.36 所示。

圖 2.29 橋墩基礎上游整地

圖 2.30 橋墩基礎下游整地及地形降階

圖 2.31 高強度織布展開並以軟石固定於樁帽上

圖 2.32 完成樁帽四周之高強度織布吊放展開及固定

圖 2.33 平面高強度織布鋪設及單元間之綁紮作業

圖 2.34 防護層織布鋪設

圖 2.35 鼎型塊吊放與排置作業

圖 2.36 鼎型塊結合地工織布保護工鋪設完成(下游側)

4. 110 年度「國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證」

「國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證」[34]為本所於民國 110 年完成之研究計畫，係針對本所過去將地工織布結合鼎型塊保護工法實際鋪設於國道 3 號大甲溪河川橋 P24L 為試驗橋址，觀測並驗證保護工法之施工性及保護成效，並透過室內水工模型試驗結果，來檢定數值模擬所需參數，以建置二維數值水理模型，建立多元分析驗證方法及成效評估經 110 年盧碧颱風事件前後現場三維地形資料套疊及現場照片交叉比對後(圖 2.37)，有鋪設地工織布試驗橋址(試驗組)相較於未鋪設地工織布之橋址(對照組)周圍鼎型塊之流失及傾斜之情形較少，初步驗證地工織布能有效減緩向下水流淘刷作用，減少鼎型塊下方河床粒料流失，以維持鼎型塊穩定性。

而經室內斷面水工模型沖刷試驗結果顯示(表 2-1)，地工織布結合鼎型塊保護工法，其保護橋梁基礎沖刷的成效優於無鋪設織布之鼎型塊保護工法，且鼎型塊流失的情況也有顯著改善，顯示鋪設地工織布有其必要性。由圍繞橋墩基礎不同排數的鼎型塊保護方案沖刷結果顯示，三排優於二排，二排優於一排，顯示未來鼎型塊鋪設圍繞橋墩基礎的排數越多越好。鼎型塊鋪設有無降階之方案比較顯示，有降階的方案優於無降階。依據本年度試驗結

果，透過現場會勘及討論方式，將相關斷面鋪設原則提供高公局中分局大甲段納入 111 年度橋梁養護工作內執行，未來將持續進行觀察，進一步驗證地工織布之效用，相關成果將提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路局、高速公路局、國營臺灣鐵路股份有限公司以及縣市政府等機關(構)未來施政之應用。

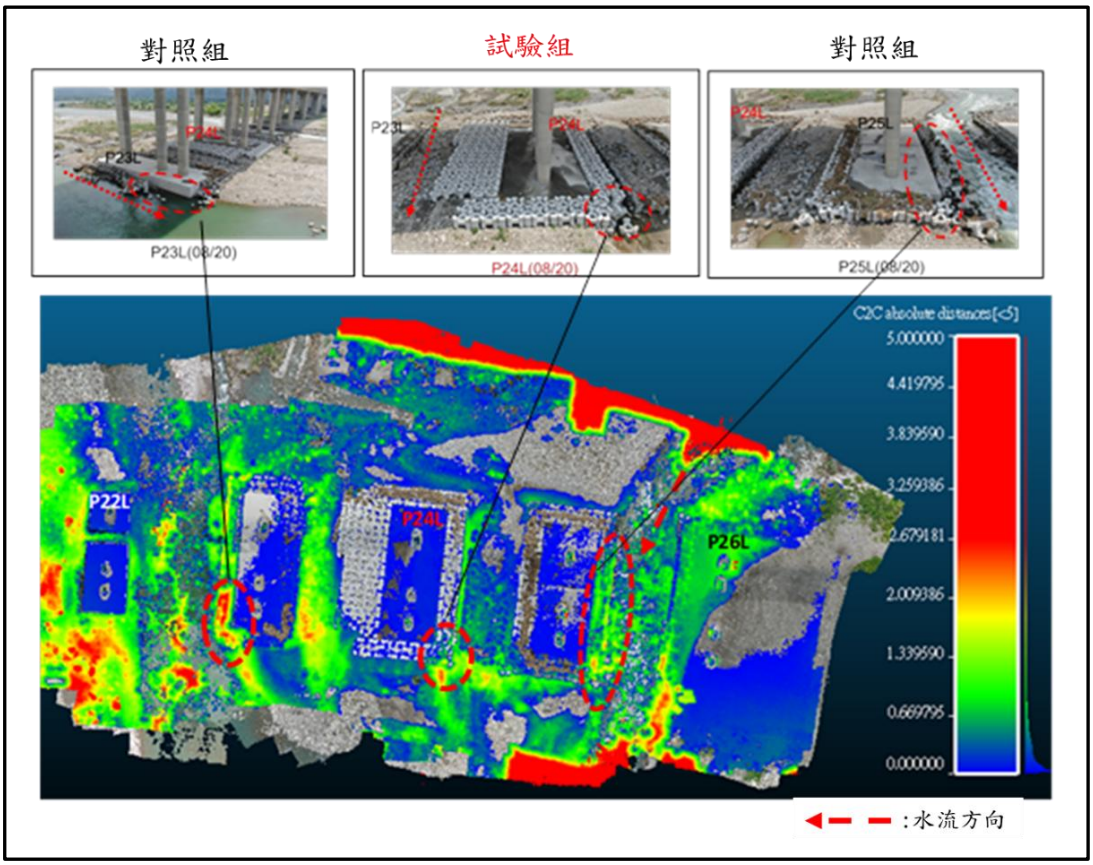


圖 2.37　110 年盧碧颱風事件前後數值三維地形套疊結果

表 2-1　室內試驗不同鋪設方案最大沖刷深度及鼎型塊穩定度比較

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

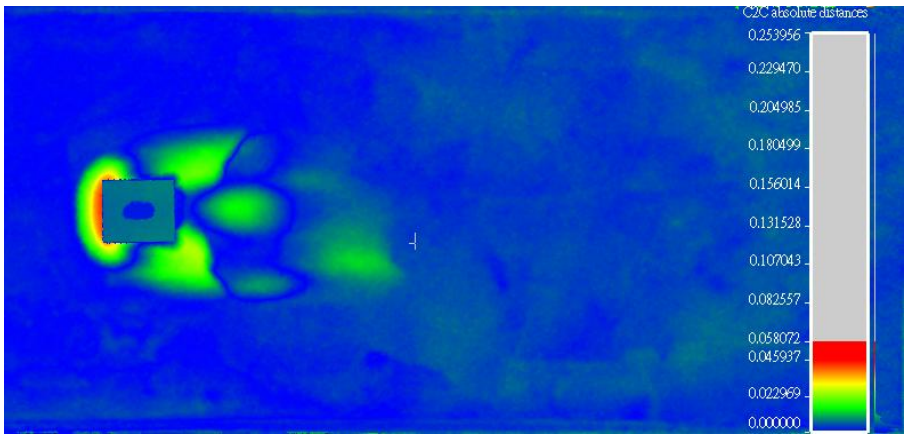
5. 111 年度「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置」

「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置」[35]為本所於民國 111 年完成之研究計畫，係針對本所過去將地工織布結合鼎型塊保護工法實際鋪設於國道 3 號大甲溪河川橋 P24L 為試驗橋址，觀測並驗證保護工法之施工性及效益評估，並透過室內水工模型試驗結果，來檢定數值模擬所需參數，以建置二維數值水槽模型，為後續多元分析驗證方法建立基礎。

在二維數值水理分析部分係採美國國家計算水科學及工程

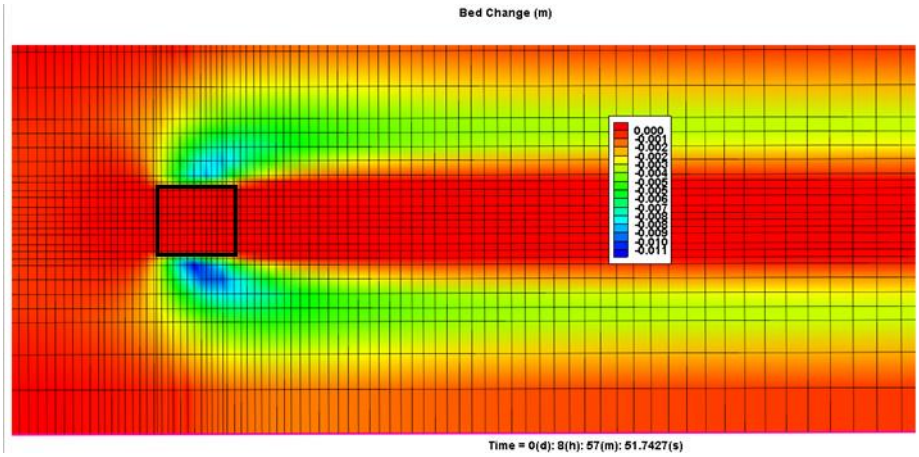
中心(NCCHE)所開發之 CCHE2D 水平二維明渠流動床模式進行模擬，水工模型試驗底床變化之結果如圖 2.38，二維數值水理分析模擬底床變化之結果如圖 2.39 所示，兩者存有差異，探究其原因係為二維數值分析模式受到水深平均之假設條件限制，其模擬結果為一較平均流場下之沖淤現象，對於水流沖擊試驗橋墩後產生之向下流場無法顯示，因此模擬結果呈現橋墩之最大沖刷位置集中於墩側區域，於墩前位置無局部沖刷，致沖刷分布與實際試驗結果差異，遂於下(112)年度計畫以三維數值分析模式模擬向下流場與局部沖刷效應，以反映真實之水流運動情形。

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



單位:cm

圖 2.38 水工模型試驗橋墩沖刷底床變化等深圖



單位:cm

圖 2.39 二維數值模擬橋墩沖刷底床變化等深圖

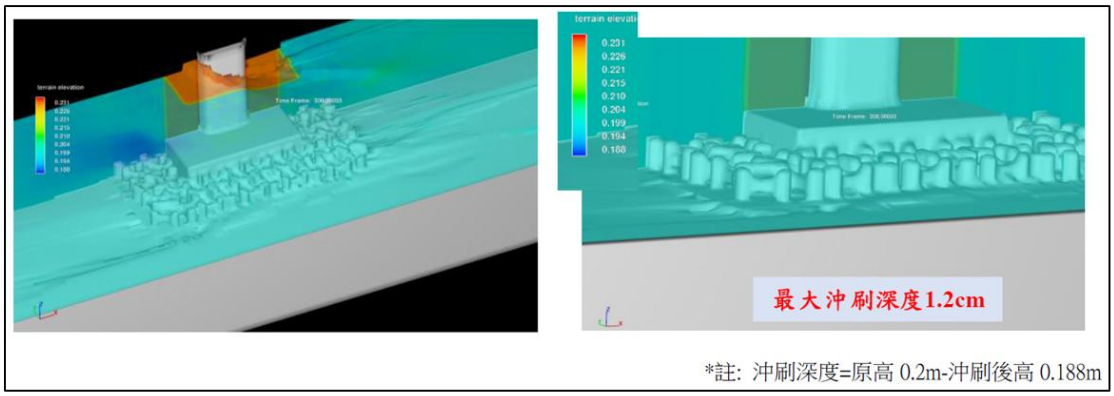
表 2-2 110-111 年試驗場址鼎型塊變化情形

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

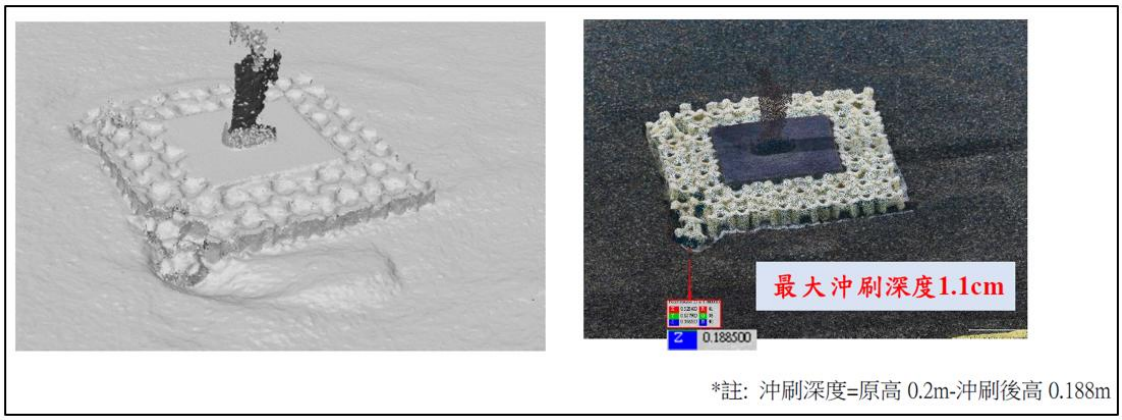
6. 112 年度「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析」

「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析」[39]為本所於民國 112 年完成之研究計畫，針對本所過去研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，選擇以大甲溪下游國道 3 號大甲溪河川橋為研究對象，規劃進行室內水工模型及現地沖刷試驗，除持續觀測試驗橋址鼎型塊的穩定性，藉以評估保護成效外，另以 FLOW-3D 建置三維數值水槽模型，以探討鼎型塊結合織布之設置方式及可模擬程度，做為後續計畫於現地保護工數值模擬使用及分析之依據，以合理模擬分析及評估現地保護工之成效。

為改善數值模式中鼎型塊與下方沉積物未能耦合分析之問題，利用土中應力傳遞法的方式，並將模擬結果與室內水工模型試驗結果進行比較，亦呈現不錯之模擬效果(圖 2.40)，其設置經驗及方式，亦已應用至本(114)年度計畫內現地保護工之三維數值模擬使用。



(a) 三維數值模擬結果(不同角度)



(b) 沖刷試驗結果(不同角度)

圖 2.40 考慮土中應力傳遞法下，數值模擬與沖刷試驗結果比較

7. 113 年度「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估」

「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)- 試驗場址數值模型建置及評估」[40]為本所於民國 113 年完成之研究計畫，針對本所過去研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，選擇

以大甲溪下游國道 3 號大甲溪河川橋為研究對象，規劃進行現地沖刷試驗及數值分析，除持續觀測試驗橋址鼎型塊的穩定性，藉以評估保護成效外，另採 CCHE2D 建置大甲溪石岡壩下游二維水理分析模型，係以石岡壩及大甲溪河口為上下游邊界，輔以 108 年的 0611 豪雨進行模型檢定(圖 2.41)，以及 110 年盧碧颱風與 113 年凱米颱風事件進行模型驗證(圖 2.42、圖 2.43)，並據以分析不同重現期下本計畫試驗場址處(國 3 大甲溪橋)之相關水理參數(流速、水位高)，做為本(114)年度計畫於現地保護工三維數值模擬沖刷使用及分析之依據，以合理模擬分析及評估現地保護工之成效。

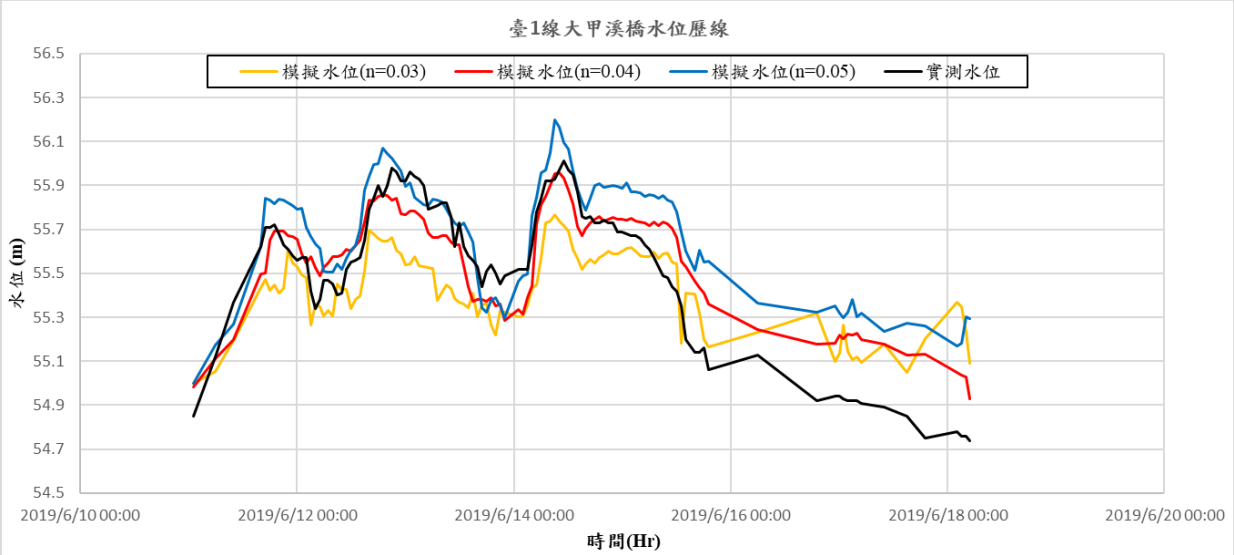


圖 4.41 以 108 年 0611 豪雨探討不同 n 值下模擬水位與實測水位情形(二維水理模型檢定)

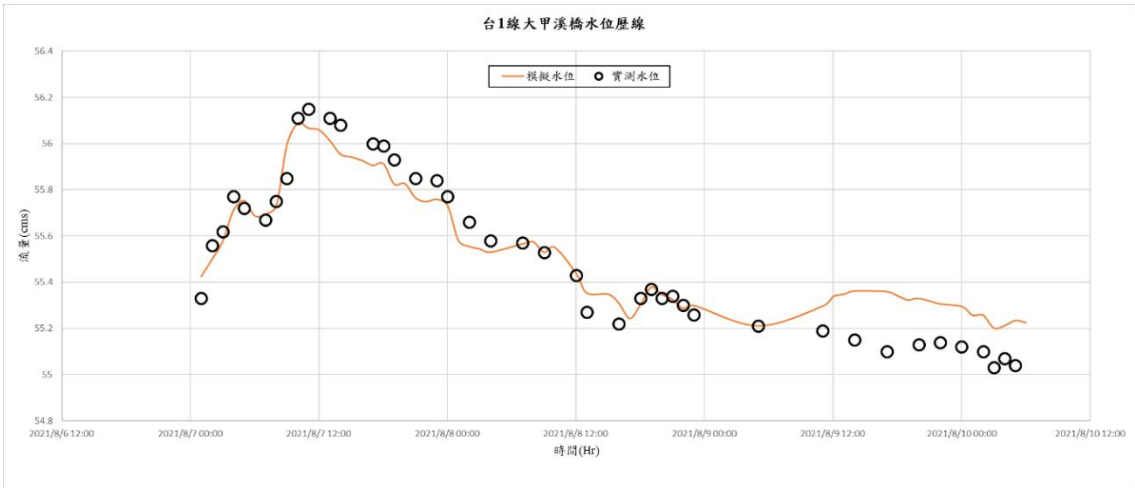


圖 2.42　110 年盧碧颱風模擬與實測水位比對(二維水理模型驗證)

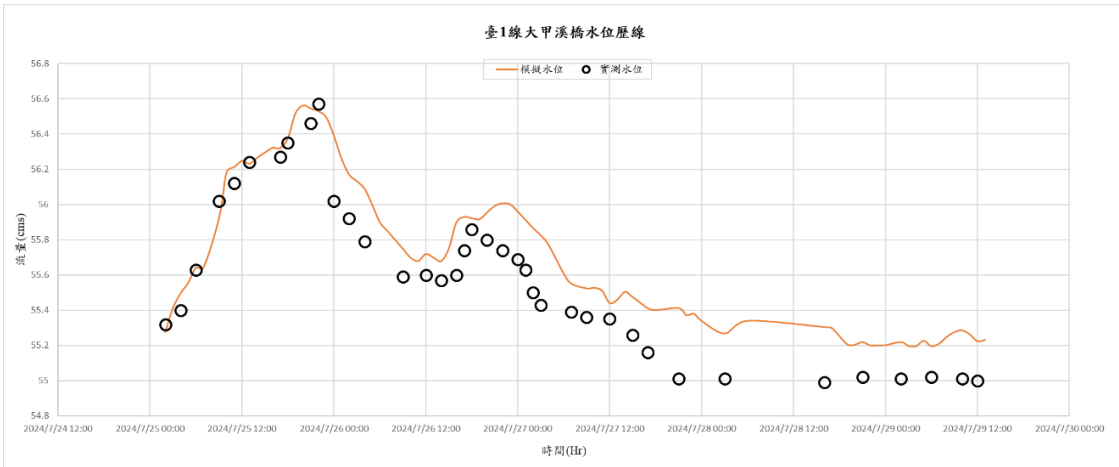


圖 2.43　113 年凱米颱風模擬與實測水位比對(二維水理模型驗證)

2.10 三維數值水理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。

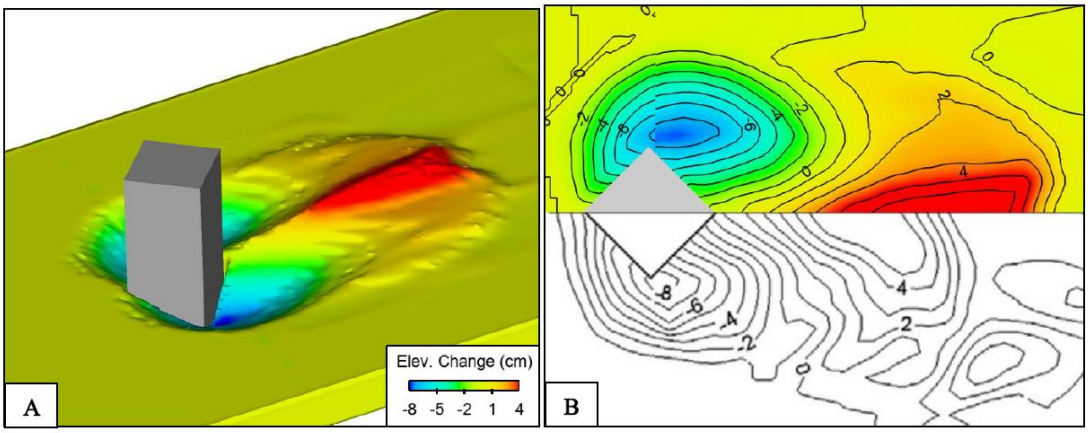
「局部沖刷對沖積河川影響之研究」[19] 為國立臺灣大學土木工程學研究所碩士班研究生陳峰琨於民國 100 年發表之碩士論文，該研究係以 FLOW-3D 數值模擬來探討局部沖刷於橋墩附近的流況變化及其物理機制，並以后豐大橋的橋梁沖刷及大甲溪河床固床保護工的間隙沖刷兩種不同現場案例進行探討，於定床的模擬中，第一根橋柱前的水深比較，其數值結果實驗結果相當吻合；於動床模擬中，有跌水沖刷的部分，主要沖刷位置會集中在橋柱前方形成一個沖刷坑，同時底床被掏刷過程中，橋柱迎水面會受到強勁的水流的流速衝擊，橋柱靠近底床部分最大，往上遞減。無跌水沖刷的部分，主要沖刷位置落在第一根橋柱周圍，其因素歸因於向下射流以及馬蹄型渦流。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」[25] 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」[17] 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)[11]參考 Khosronejad(2012)[10]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 2.44)；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 2.46)，在下游沉積高度及位置模擬上與試驗有些差異。圖 2.45 及圖 2.47 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 2.44 菱柱橋墩數值模擬與試驗底床沖刷結果比較

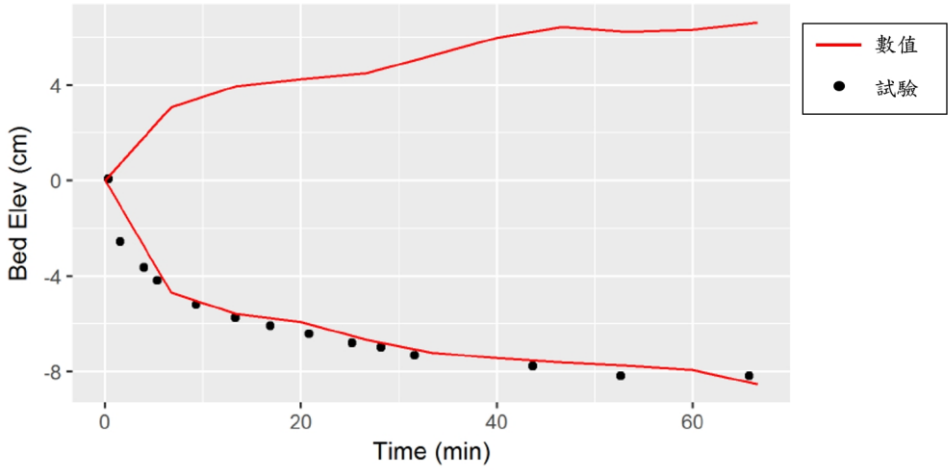
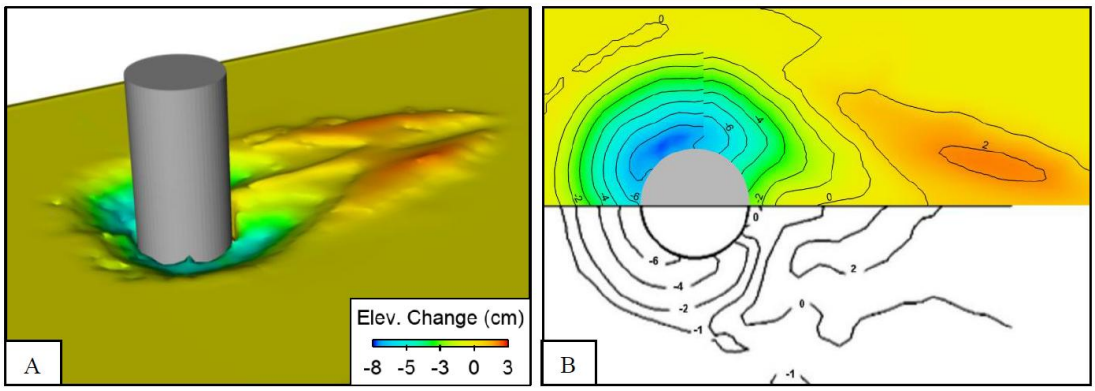


圖 2.45 菱柱橋墩數模最大沖刷深度和沉積高度與試驗數據比較



(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 2.46 圓柱橋墩數值模擬與試驗底床沖刷結果比較

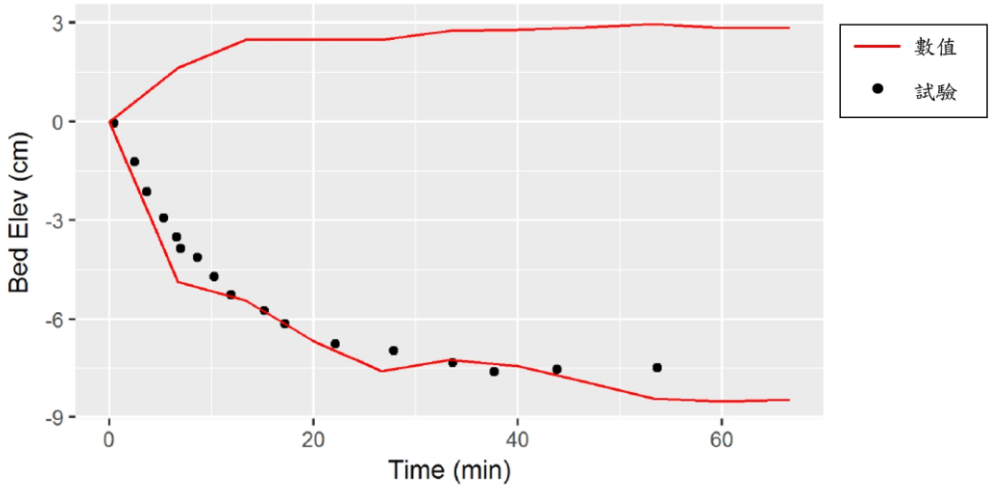


圖 2.47 圓柱橋墩數模最大沖刷深度和沉積高度與試驗數據比較

2.11 小結

本計畫工法已鋪設於國道 3 號大甲溪河川橋進行現地試驗，據以驗證並評估其保護成效，礙於現場試驗受自然環境影響，無法藉由人為介入而控制降雨條件，來獲得預期之比較效益。近年來，在科技快速發展下，電腦效能快速提升，可縮短模擬運算所需時間，各種數值模式計算模組及能力逐漸完善，各具優勢存在並廣用於模擬各類河道不同時間尺度下水理分析、沖淤模擬及局部沖刷，爰此，於現場試驗觀測期間，同步進行數值模擬之開發工作，並透過現場試驗所觀測之數據，進行模型檢定及驗證，據以建置可信任之數值分析模型，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 109、111 及 114 年分別於 P24L 基礎、P22L~P23L 及 P25L~P26L 佈設鼎型塊結合地工織布保護工法做為試驗組，另將相鄰橋墩基礎之鼎型塊(無鋪設地工織布)做為對照組，相互觀測比較相鄰橋墩基礎之鼎型塊流失情形、基礎沖刷及河道沖刷狀況來進行後續保護成效評估，以驗證本計畫研提之鼎型塊結合地工織布保護工法是否如室內水工模型試驗之結果，有較佳的保護成效。

針對保護成效觀測方法，依據本所過去運用攝影測量技術於邊坡及港區構造物量測的相關研究基礎，本計畫將採無人飛行載具(UAV)取得試驗場址影像資料，透過攝影測量技術可將影像轉換成具三維空間資訊之數值表面地形資料，利用不同時期取得的影像資料進行圖資套疊或模型檢視，相較以往以地面測量取得大面積量測結果的方式更有效率及具有一定之準確性，亦將過去僅能從尋找相片中物件變化之方式，精進成三維模型套疊之量化數據比對，可清楚快速地得知鼎型塊的變位量與流失情形、橋墩間河槽區沖刷變化量，經 110 年 8 月份盧碧颱風及 113 年 7 月份凱米颱風之降雨事件驗證，初步驗證地工織布能有效減緩沖刷，穩定鼎型塊基底粒料，減少鼎型塊流失或側傾情形，提升橋基抗沖刷能力，惟欲擴大推廣應用仍需進行持續性的觀測及超大豪雨事件來進一步驗證本計畫工法之保護成效，因此，本(114)年度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 基礎布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 年度及本(114)年度分別運用本計畫工法於 P22L~P23L 及 P25L~P26L 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，地工織布鋪設範圍如圖 3.2 所示。

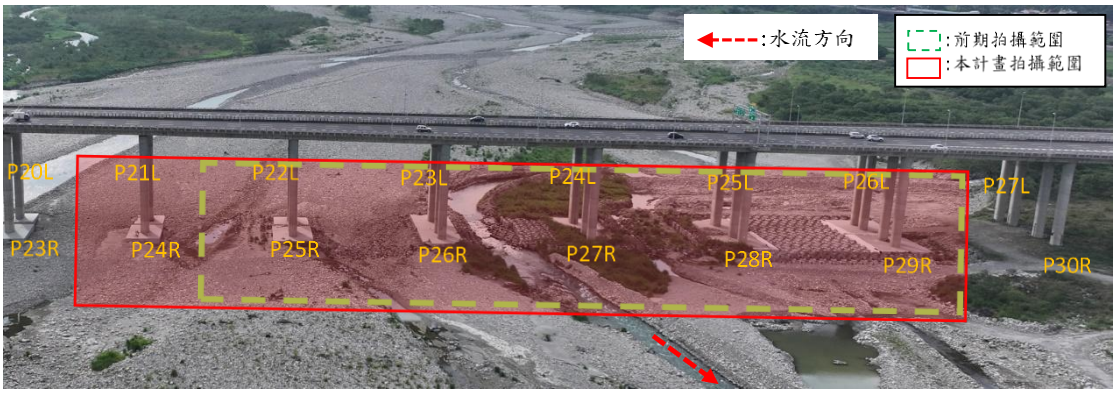


圖 3.1 航拍範圍示意圖

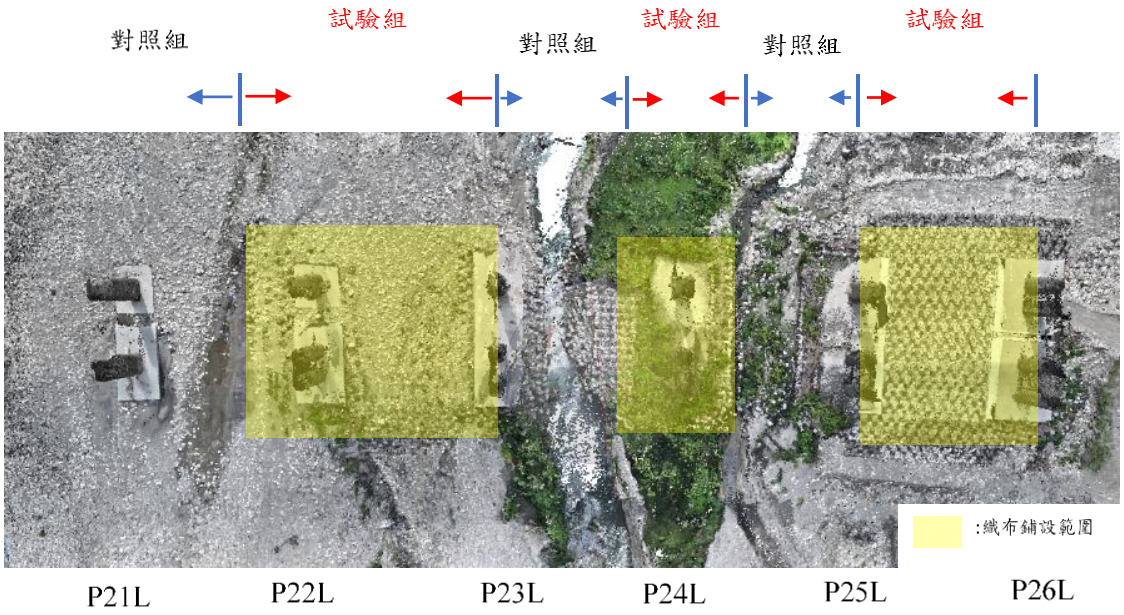


圖 3.2 地工織布鋪設範圍

2. 航線規劃及拍攝原則

繞行橋墩(單一航線單向拍攝)及於上下游側平行橋面車行方向(單一航線來回拍攝)進行橋墩基礎影像拍攝(如圖 3.3)，原則以完整拍攝到圖 3.1 範圍內橋梁基礎與上下游及橋墩間保護工影像

為主，航線上每張照片之重疊率需至少 80%左右，以鏡頭垂直朝下方式取得正射影像。

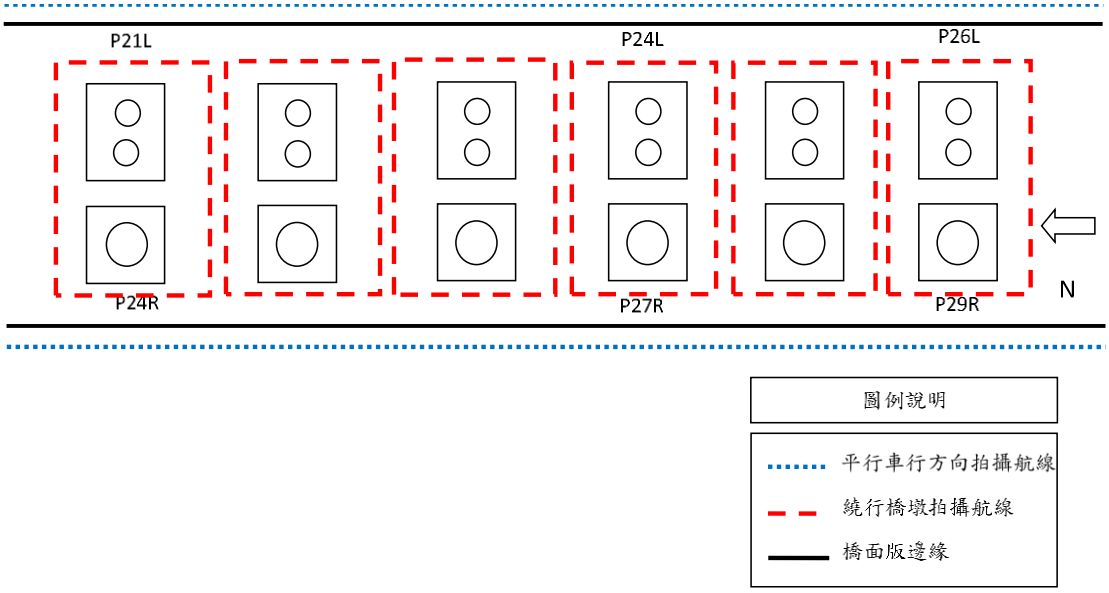


圖 3.3 航線規劃示意圖

3. 航拍申請

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

4. 控制測量

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

而控制點之位置及數量，則以需佈設於穩定不動處並均勻分布於試驗區為原則，就本試驗拍攝範圍內來看，橋墩基礎版之角隅點為俯視角度下之明顯特徵點，且適合上述之佈設需求，爰由本計畫團隊成員進場進行控制測量作業(如圖 3.4)，控制點分布如

圖 3.5 所示。

圖 3.4 現場控制測量作業情形

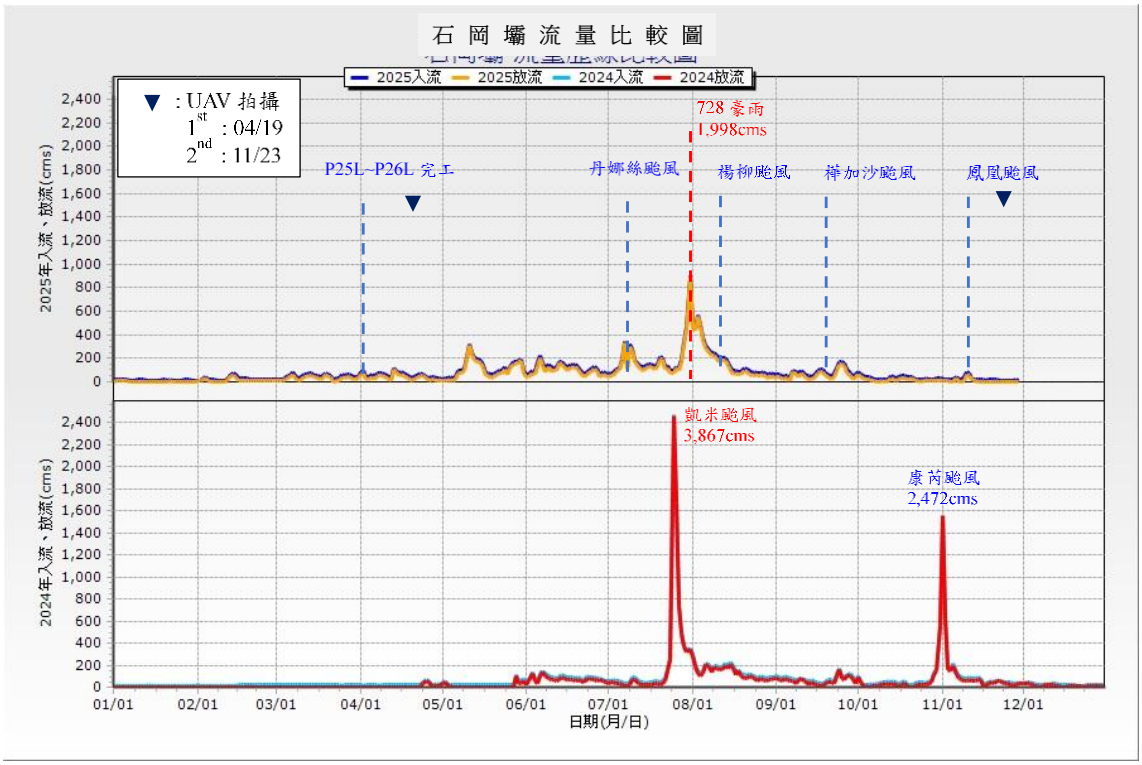
圖 3.5 控制點分布情形

5. 航拍時機

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

3.2 成效觀測

依前述航拍觀測規劃原則，本年度共計進行 2 次航拍觀測作業(如圖 3.6)，並透過前期計畫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總成效，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:114 年；下 113 年)

1. 觀測作業時間說明

(1) 第 1 次航拍觀測(114/04/19) :

高公局大甲工務段應用本計畫工法於 114 年 3 月完成國道 3 號 P25L~P26L 橋基保護工作，於颱風季前進行第 1 次航拍觀測作業記錄完工後豪雨前之初始地形，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(114/11/23) :

因丹娜絲颱風於 7 月間以罕見路徑從臺灣海峽北上襲臺，

重創雲嘉南地區，過境後並引入西南氣流，為全臺帶來可觀降雨量，查詢經濟部水利署防災資訊網最大放流量達 1,998cms(未達 2 年重現期流量，表 3-1)，並依據過去觀測經驗該流量對試驗區影響不大，故待後續超大豪雨事件再進場拍攝記錄，以進一步驗證本計畫工法之耐洪性，並據以更新保護成效數據。後續雖有數個颱風襲臺，但對於本計畫試驗區並未帶來豪大雨量，故 114 年 11 月 23 日執行本(114)年度最終觀測記錄，據以進行保護成效總評估。

表 3-1 大甲溪流域各控制點不同重現期距下之流量

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

資料來源:經濟部水利署水利規劃試驗分署
「大甲溪流域整體治理綱要計畫(101-104 年)執行檢討及改善策略研擬」(2016)[27]

2. 兩期地形套疊比較(114/04/19 vs 114/11/23):

係為瞭解本(114)年度歷次降雨事件對於試驗場址之影響，0728 豪雨事件引入西南氣流使得石岡壩最大放流量約為 1,998cms(圖 3.6)為今年之最，圖 3.7 及圖 3.8 分別為往上游及往下游方向所拍攝之照片，透過兩期數值三維模型(如圖 3.9)、點雲地形套疊之等深圖(如圖 3.10)及各橋墩兩期拍攝影像比較(如圖 3.11~3.15)，其結果說明如下:

(1) 織布無鋪設區:

由圖 3.11~圖 3.15 兩期前後影像比較可知，P25L 上游側原有沖刷坑變大(圖 3.14(a))，經比對圖 3.10 該處無劇烈變動色塊，故判釋該處鼎型塊無位移情形；而 P25L 下游側則形成沖刷坑，使得上層鼎型塊有位移之情形(圖 3.14(b))；由圖 3.10 可知

P26L~P27L 河道間有劇烈變動色塊，表示有河道沖刷已有 1.5m~3.5m 不等的沖刷(綠黃色光譜區)，再比對圖 3.15(b)可知，因河道側刷使得 P26L 左側下游處鼎型塊有明顯傾倒之情形，若將此處與 P21L~P22L 同樣為河槽區來看(圖 3.11)，因 P22L 已鋪設織布有助於河道沖刷深度的控制及鼎型塊的保護，此一現象亦符前(110 年)期[34]室內試驗所呈現之結果，如圖 3.17 所示，有鋪設織布之保護工對於河道深度控制及穩定性相較於無織布保護工提升許多。

(2) 織布鋪設區:

僅 P25L 下游因沖刷坑影響使得織布保護區角隅處有下沉之情形(如圖 3.14(b))，其餘排列完整或淤積掩埋，顯示在本年期颱洪事件下，本計畫工法可發揮其固床效果，先期本計畫工法於於 P22L~P23L 及 P24L 之橋墩上游側有淤積植生之現象，相對於未鋪設織布之鼎型塊保護工較具耐洪穩定性。

(3) 整理本年度颱洪事件保護工損壞範圍如圖 3.16 所示。

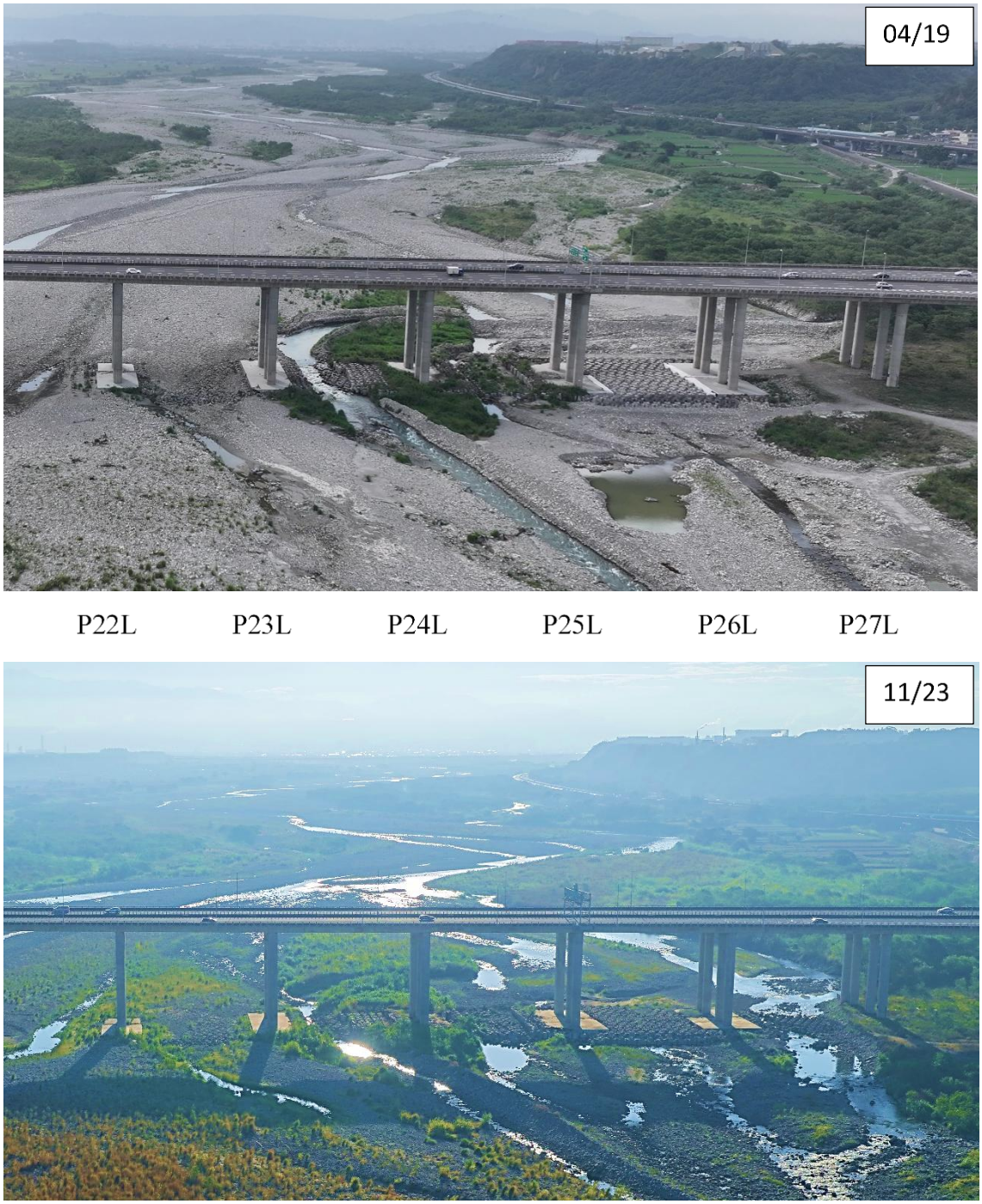


圖 3.7 本年度兩期試驗場址影像(往上游拍攝)

圖 3.8 本年度兩期試驗場址影像(往下游拍攝)

(a) 114/04/19

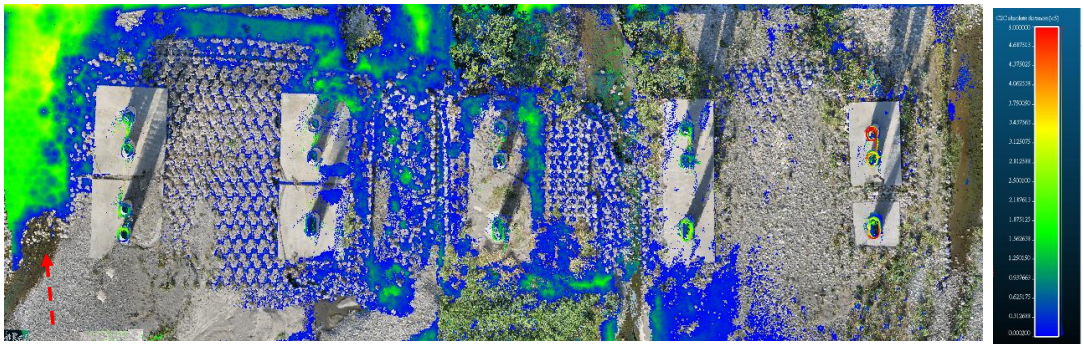
P26L P25L P24L P23L P22L

(b) 114/11/23

註:紅框處為織布鋪設位置；- - - >為水流方向

圖 3.9 兩期數值三維點雲模型(114/04/19 vs 114/11/23)

P26L P25L P24L P23L P22L



註:色塊為淘刷處；實像為淤積處

圖 3.10 114/04/19 與 114/11/23 兩期數值三維模型套疊結果(單位:m)

114/04/19　　114/11/23

(a) 往下游方向拍攝

114/04/19　　114/11/23

(b) 往上游方向拍攝

圖 3.11　P22L 試驗場址兩期影像比較

114/04/19　　114/11/23

(a) 往下游方向拍攝

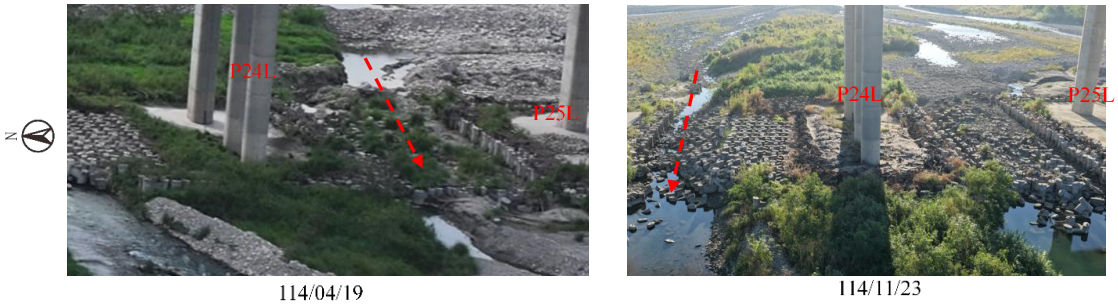
114/04/19　　114/11/23

(b) 往上游方向拍攝

圖 3.12　P23L 試驗場址兩期影像比較

114/04/19　　114/11/23

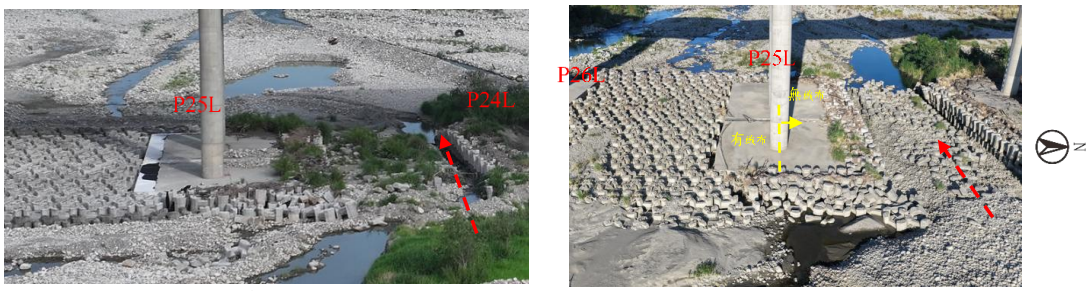
(a) 往下游方向拍攝



114/04/19　　114/11/23

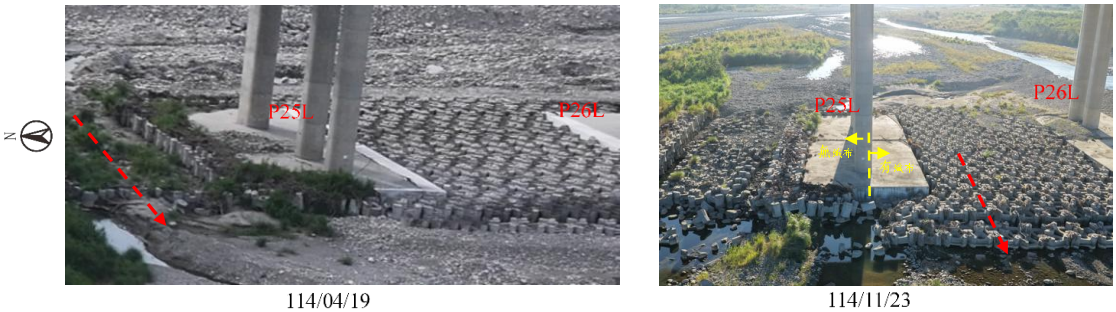
(b) 往上游方向拍攝

圖 3.13　P24L 試驗場址兩期影像比較



114/04/19　　114/11/23

(a) 往下游方向拍攝



114/04/19　　114/11/23

(b) 往上游方向拍攝

圖 3.14　P25L 試驗場址兩期影像比較

(a) 往下游方向拍攝

(b) 往上游方向拍攝

圖 3.15　P26L 試驗場址兩期影像比較

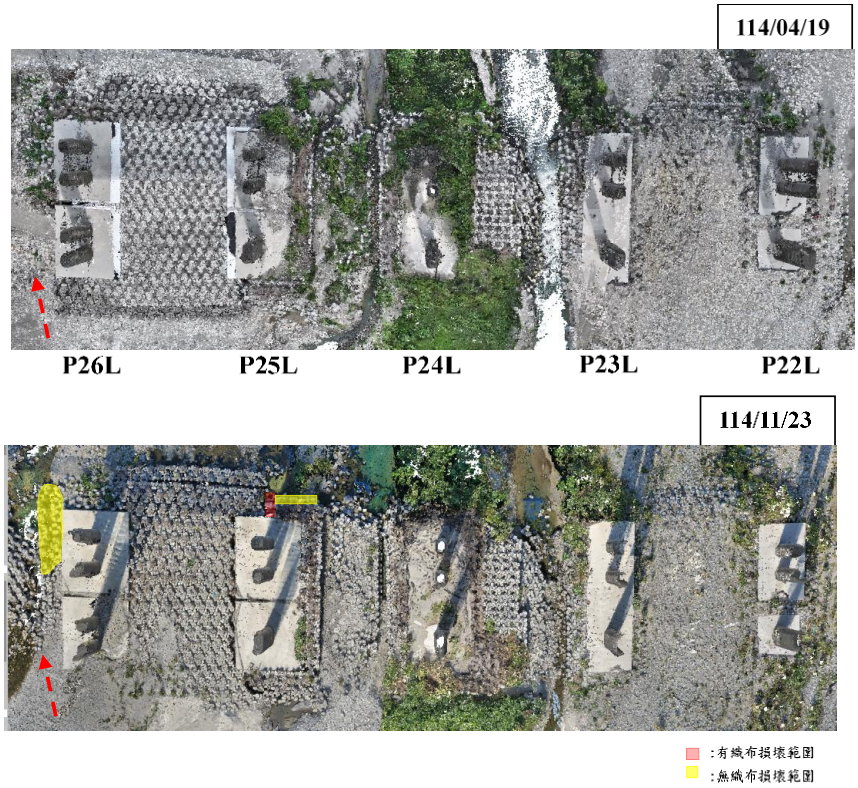
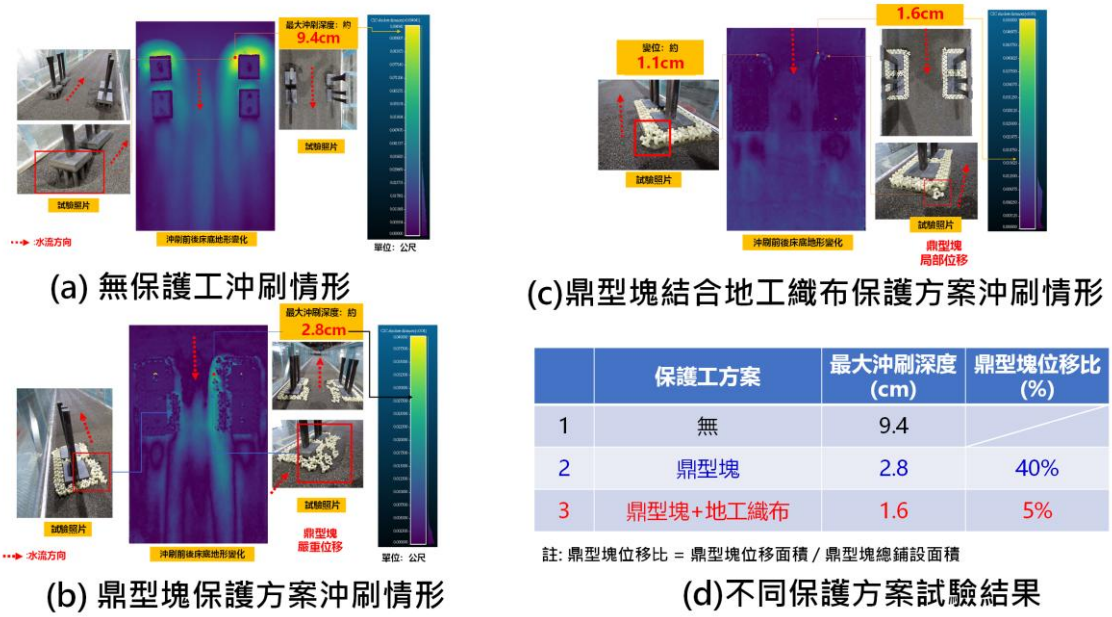


圖 3.16　114 年試驗場址鼎型塊損壞範圍



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

註: 鼎型塊位移比 = 鼎型塊位移面積 / 鼎型塊總鋪設面積

(d)不同保護方案試驗結果

圖 3.17　110 年不同保護方案室內水槽試驗結果

3.3 成效總評估

綜觀歷年觀測期間(110~114)侵臺之颱風使得石岡壩之最大放流量為 113 年凱米颱風事件，達 3,867cms(與近 10 年重要颱洪事件下石岡壩最大放流量之比較，如:97 年辛樂克颱風(造成台 13 線后豐大橋斷橋)，石岡壩最大放流量 4,225cms，約 5 年重現期的洪水量)；98 年莫拉克颱風，石岡壩最大放流量 5,410cms，約 10 年重現期的洪水量)，故將以凱米颱風為主要觀測事件，並以本(114)年度最終觀測結果進行綜合評估。

1. 增加成本:

本計畫工法現場施工之流程如圖 3.18 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，實際已施作範圍如圖 3.19 所示。

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。

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

114 年 3 月於國 3 大甲溪橋 P25L~P26L 橋墩基礎，整體工期 47 天，織布施工 7 天(7/47=15%)，整體工程經費約 300 萬，織布工項約為 24.3 萬(24.3/300=8.1%)，因增加鋪設織布層所增加之成本與工期與前 2 期施作之佔比相近。

綜上，本計畫工法因鋪設織布層所需增加之成本，整理如下:

(1) 工期:

僅增加於鼎型塊吊放前以人工進行柔性織布鋪設及搭接工項，因施作簡易、速度快，無需專業技術工人，施工技術門檻不高，約增加 12~17%左右。

(2) 經費:

僅增加織布材料費用及對應之鋪設工費用，因施工速度快、材料相對便宜，約增加 8~12%左右。

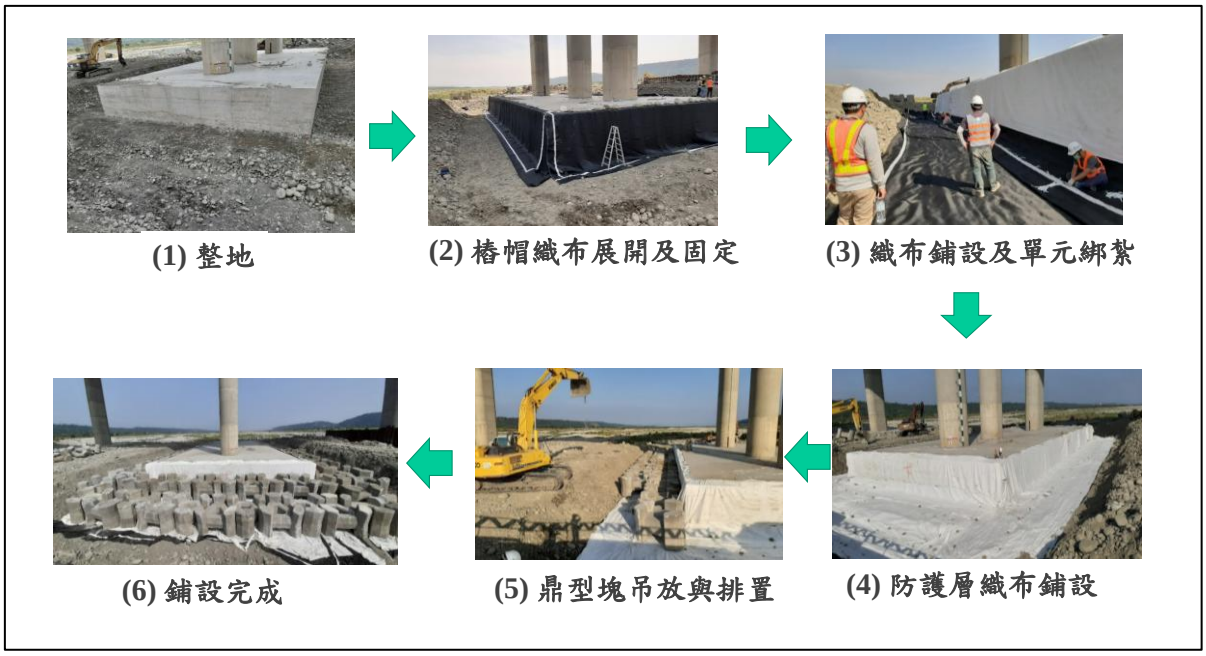


圖 3.18 鼎型塊織布橋基保護工法標準施工流程

圖 3.19 本計畫工法實際應用範圍(國 3 大甲溪橋)

2. 保護效果:

本計畫工法之施作，對於橋基可發揮固床效果，進而對河道產生阻水影響，為瞭解施作後對於河道變遷之影響，將以 109 年、111 年及 114 年 3 期計畫工法為時間點進行說明:

(1) 未施作階段:

如圖 3.20 所示，此時為尚未施作本計畫工法，此時 P24L 位於深槽區，故 109 年時選擇以該橋基做為試驗橋址進行鋪設。

(2) P24L 施作階段(第 1 期):

圖 3.21 為鋪設後第 2 年之情形，因本工法發揮固床效果，原通過 P24L 之主深槽往兩旁分開形成 2 條流路(P22L~P23L 及 P25L~P26L)，致 P23L~P25L 間上游側產生淤積並開始有植生生長。

(3) P22L~P23L 施作階段(第 2 期):

圖 3.22 為 111 年於 P22L~P23L 施作本計畫工法區後 2 年之情形，仍為 2 條流路，但原通過 P22L~P23L 間之流路因施作本工法之故，往北側移動至 P21L~P22L。

(4) 113 年凱米颱風後階段:

如圖 3.23 所示，因 P22L~P23L 及 P24L 施作本工法後發揮固床效果，仍維持 2 條流路，但原通過 P21L~P22L 間之流路往北側移動至 P19L~P20L，上游側淤積範圍從 P23L~P25L 擴大至 P22L~P25L 間。

(5) P25L~P26L 施作階段(第 3 期):

圖 3.24 為甫於 P25L~P26L 施作本計畫工法區後之情形，仍為 2 條流路，但原通過 P25L~P26L 間之流路因施作本工法之故，往北側移動至 P23L~P24L。

(6) 114 年 0728 豪雨事件後階段:

如圖 3.25 所示，因 P25L~P26L 施作本計畫工法後發揮固床效果，重新分配成 4 條流路，但原通過 P19L~P20L 間之流路往南側移動至 P21L~P22L，P23L~P24L 流路維持，並新增 P24L~P25L 及 P26L~P27L 兩條流路，相較於圖 3.24 先期施作本計畫工法於 P22L~P23L 及 P24L 之橋墩上游側有淤積植生之現象。

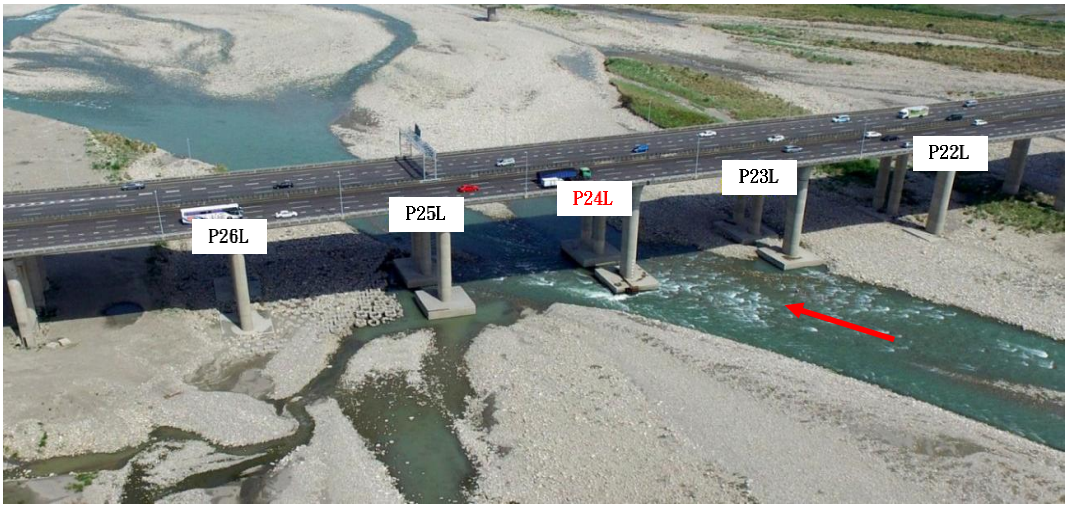


圖 3.20 試驗場址空拍圖(108 年)

圖 3.21 試驗場址空拍圖(110 年)

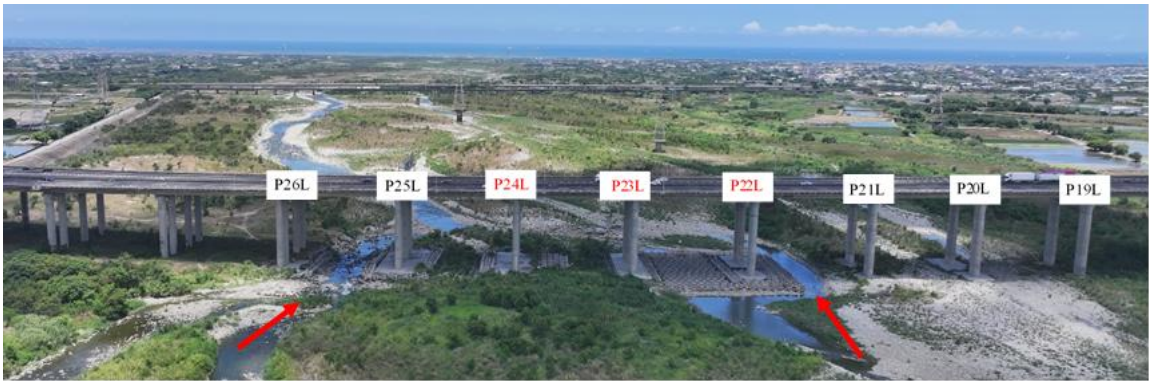


圖 3.22 試驗場址空拍圖(113 年凱米颱風前)

圖 3.23 試驗場址空拍圖(113 年凱米颱風後)

圖 3.24 試驗場址空拍圖(114 年 P25L~P26L 施作後)

圖 3.25 試驗場址空拍圖(114 年 11 月)

綜整歷年計畫降雨事件下石岡壩之各年度內最大放流量紀錄，110 年 8 月盧碧颱風(1,280cms)、111 年 5~6 月梅雨事件(825cms)、112 年蘇拉颱風(510cms)、113 年度凱米(3,867 cms)及

康芮颱風(2,472cms)帶來豐沛降雨量、本(114)年度 0728 豪雨事件(1,998cms)。由前述可知 113 年度凱米颱風為整體計畫中最大降雨事件，約為大甲溪 5 年重現期洪水量，始得以進一步驗證及評估本計畫工法之保護成效。

因此，對於現場事件之耐洪性觀測評估，則以 113 年度凱米颱風事件進行探討，最大洪峰到達本試驗橋址之現場水位情形如圖 3.26，洪水已漫淹整個試驗區。俟洪水消退後，觀察保護工留存狀況，試驗組(織布鋪設區)之部分，僅 P22L 下游局部有流失之情形(如圖 3.27 透明紅圈處)，其餘排列完整或淤積掩埋；而對照組織部分 P23L(南側)及 P23~P24L 間之鼎型塊有傾倒之情形(圖 3.28)，P25L(南側)、P26L 及 P25L~P26L 間之鼎型塊皆已流失(圖 3.29~3.30)，顯示在本次達 5 年重現期颱洪事件下，本計畫工法仍可發揮其固床效果，相對於未鋪設織布之鼎型塊保護工較具耐洪性。對於試驗區鼎型塊損壞情形及維修費用，整理如表 3-2。

綜合 110~114 年之觀測結果，在不考量相關人機具動員、假設工程，以及施作本計畫工法後水流往較脆弱橋基沖刷之維護成本的假設條件下，整體效益成本比(BCR)計算如后:

(1) 織布方案成本:

以 3 期(109 年 P24L、111 年 P22L~P23L、114 年 P25L~P26L)所執行之工程總經費:

$成本_{織布方案}$=2,480 萬元((109 年)700 萬元+(111 年)1,480 萬元+(114 年)300 萬元)

(2) 增加的成本:

織布方案的總成本會比傳統方案增加 266.3 萬元，因此織布方案增加的成本：

$成本_{增加}$=266.3 萬元((109 年)60 萬元+(111 年)183 萬元+(114 年)24.3 萬元)

(3) 節省之維修經費:

與未鋪設織布對照組相比可減少維修費用:

節省的效益=914 萬元/次以上(對照組維修費 1080 萬元-試驗組維修費 166 萬元)

(4) 效益成本比(BCR)

效益成本比(BCR)可以用來衡量織布方案相對於傳統方案的成本效益。

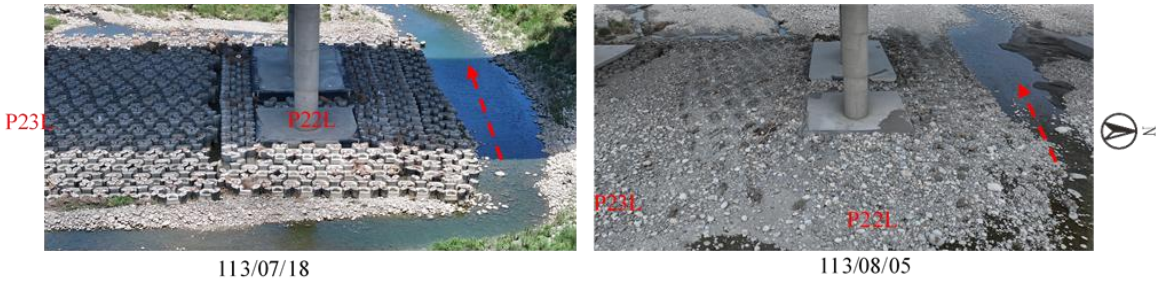
BCR 的計算公式為：

$$BCR = \frac{\text{節省的效益}}{\text{增加的成本}} = \frac{914}{266.3} \approx 3.43$$

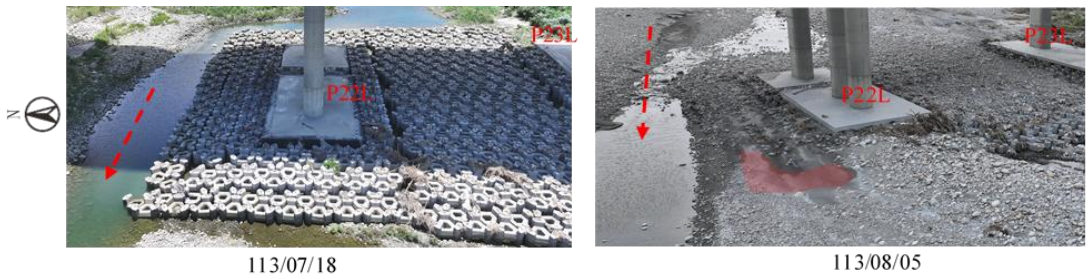
以目前 110~114 年 5 年期觀測之結果,效益成本比約達 3.43,本計畫工法之應用可具相當之保護作用，可達延長保護橋基壽命，減少維修頻率及維護經費之目的。

資料來源: 交通部高速公路局中區交通控制中心

圖 3.26　113 年凱米颱風現場水位監測影像

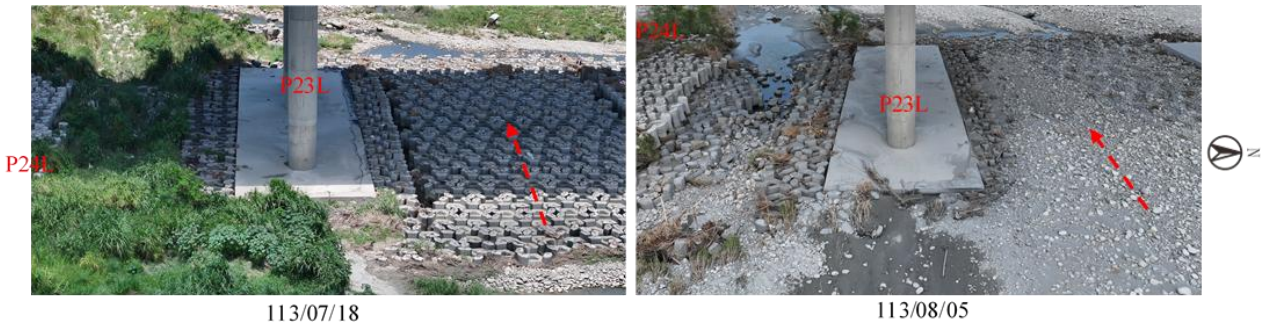


(a) 往下游方向拍攝

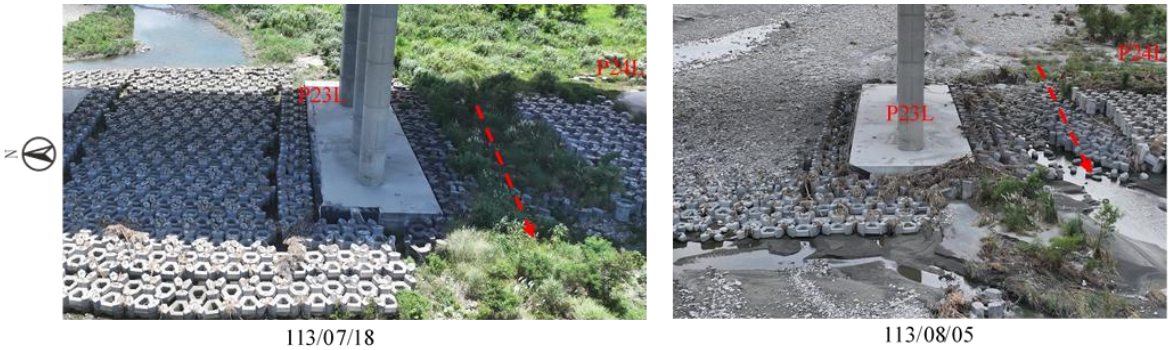


(b) 往上游方向拍攝

圖 3.27　113 年凱米颱風前後拍攝影像(P22L)



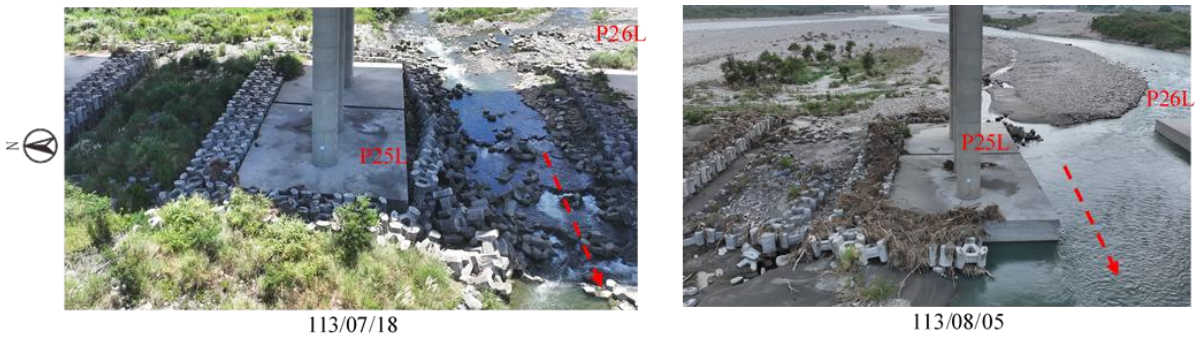
(a) 往下游方向拍攝



(b) 往上游方向拍攝

圖 3.28　113 年凱米颱風前後拍攝影像(P23L)

(a) 往下游方向拍攝



(b) 往上游方向拍攝

圖 3.29　113 年凱米颱風前後拍攝影像(P25L)

(a) 往下游方向拍攝

(b) 往上游方向拍攝

圖 3.30　113 年凱米颱風前後拍攝影像(P26L)

表 3-2　113 年凱米颱風事件後成效評估表

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

**註：

1. 鼎型塊維護單價(A)係以 1 萬/m^2 估算，故試驗組維護費用(B)為損壞面積*(A)=152*1=152 萬元，對照組維護費用(C)為損壞面積*(A)=965*1=965 萬元。

2. 試驗組總工程經費(D)為 2,180 萬元，相較傳統保護工法，所增加之織布鋪設費用(E)為 242 萬元，所增加成本佔比為 E/D*100%=242/2,180*100%≈11.1%。

第四章 三維數值模型建置

本(114)年度係以前(113)期計畫大甲溪流域石岡壩下游至河口為分析範圍進行二維水理分析(全域)，如試驗橋址(國道 3 號大甲溪橋)上下游水深、流速…等，據以提供本(114)年度三維數值沖刷模擬分析時之邊界條件(局部) ，再以大甲溪流域所公告之不同重現期(2、5、10 年…)流量模擬分析(圖 4.1)，並據以評估本工法之成效。

一般考量僅利用大斷面測量資料進行一維水理演算，於河道彎曲段或流路偏流造成流路擺向河岸、流路緊貼河岸等區域，其水流狀況較複雜且具二維特性，故較無法真實呈現其特性，為瞭解河道特性需進一步進行二維水理分析。因此，二維模擬採用美國國家計算水科學及工程中心(National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE)所開發之水平二維明渠流動床模式 CCHE-2D，其功能具設定河道模擬之基本資料(模擬時間、計算時間間距、紀錄時間間距)、起始條件、上下游邊界條件、水理條件參數、泥砂特性、粒徑分布曲線及輸砂模式等，並納入河道數值地形網格資料後執行模擬，最後模擬結果以二維分布的方式展現。

三維數值模擬則採用美國國家實驗室(Los Alamos National Laboratory,LANL)所開發之高仿真流體分析軟體 FLOW-3D，其為計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, 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 4.2 所示。

圖 4.1 二維及三維數值模擬分析流程示意圖

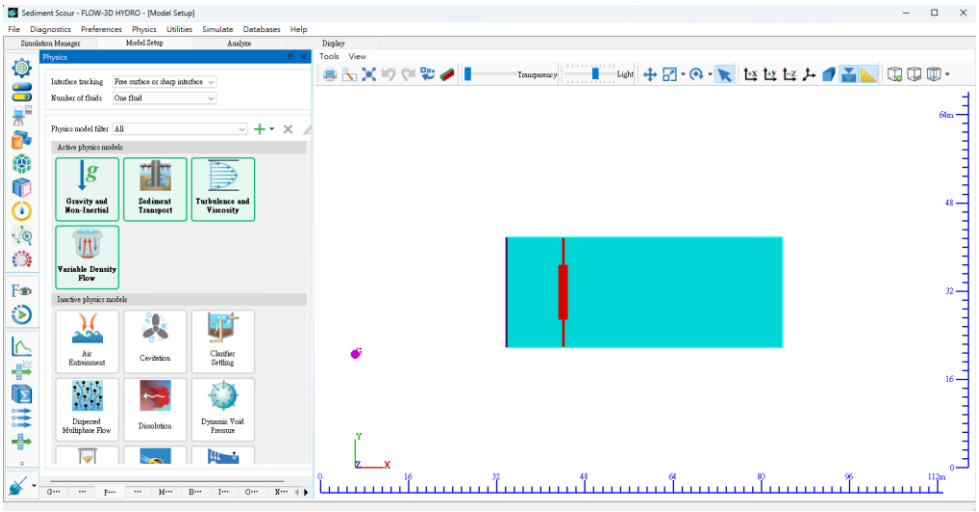


圖 4.2 FLOW-3D HYDRO_2022R2 版

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 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，將於後續章節詳述之。

4.2 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

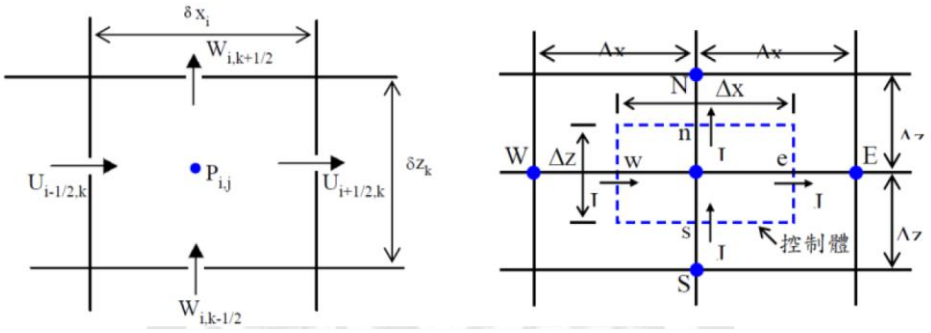
FLOW-3D 內建矩形網格網格產生器，矩形網格具有容易生成及存取之特點，而在此計算流體力學模式中，提供非均勻網格設定功能，可做為複雜流場中較彈性之網格設計。

(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 4.3(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 4.3 右)，圖 4.3

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。

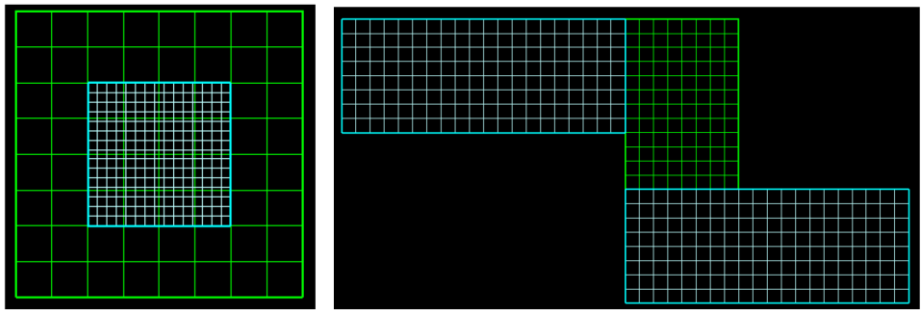


(a) 交錯網格系統　　(b) 控制體積通量

圖 4.3　交錯網格系統與控制體積通量示意圖[12]

(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 4.4 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。



(a) 槽狀網格　　(b) 鏈結網格

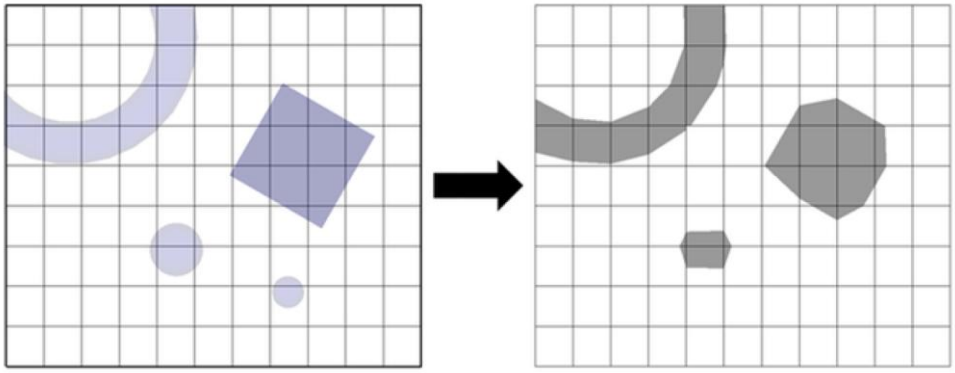
圖 4.4 多區塊結構網格示意圖[12]

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 4.5 所示。

體積分率法(Fractional Area/Volume Obstacle Representation, FAVOR^{TM})，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。



(a)定義之物體　　(b)建立之物體

圖 4.5　FLOW-3D FAVOR 示意圖[12]

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:

$$\nabla \cdot \left(\vec{A}\vec{u} \right) = 0 \tag{4-1}$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial x} + \frac{1}{V}\left(\vec{A}\vec{u} \cdot \nabla \right)\vec{u} = -\frac{1}{\rho}\nabla P + \frac{1}{\rho V}\left(\nabla \vec{A} \right) \cdot \left(\mu \nabla \right)\vec{u} + g \tag{4-2}$$

$$\left(\nabla \vec{A} \right) = \left(\frac{\partial}{\partial x} A_x, \frac{\partial}{\partial y} A_y, \frac{\partial}{\partial z} A_z \right) \tag{4-3}$$

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 4.6。

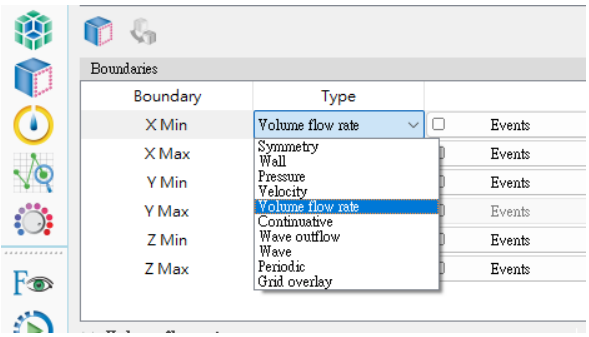


圖 4.6 FLOW-3D 邊界選項模組

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 4.7。

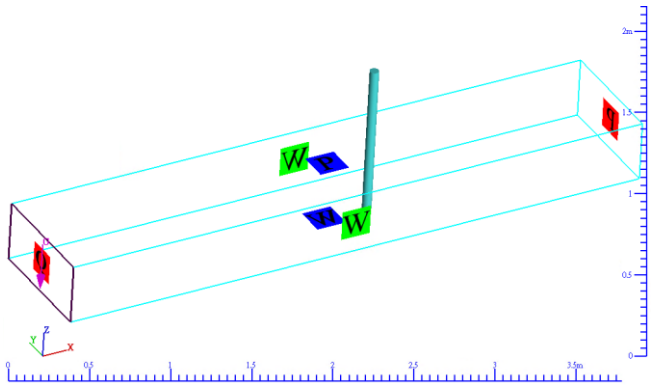


圖 4.7 FLOW-3D 六面邊界設定示意圖

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。

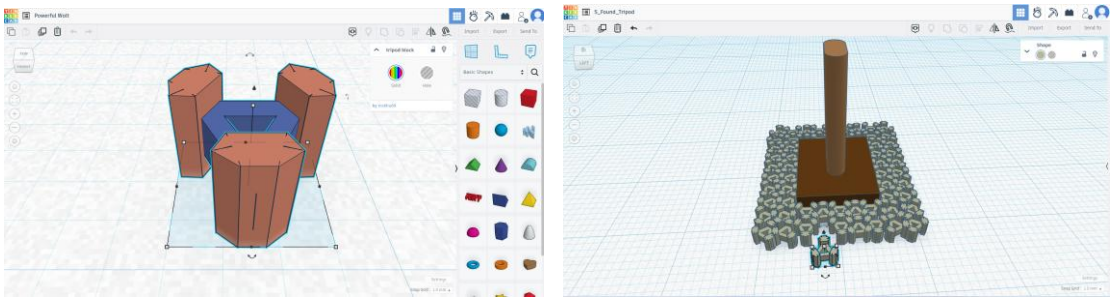
5. 數值模型建置功能

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。

(1) 結構體模型繪製導入

本計畫使用 Autodesk Tinkcad 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 4.8)，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。

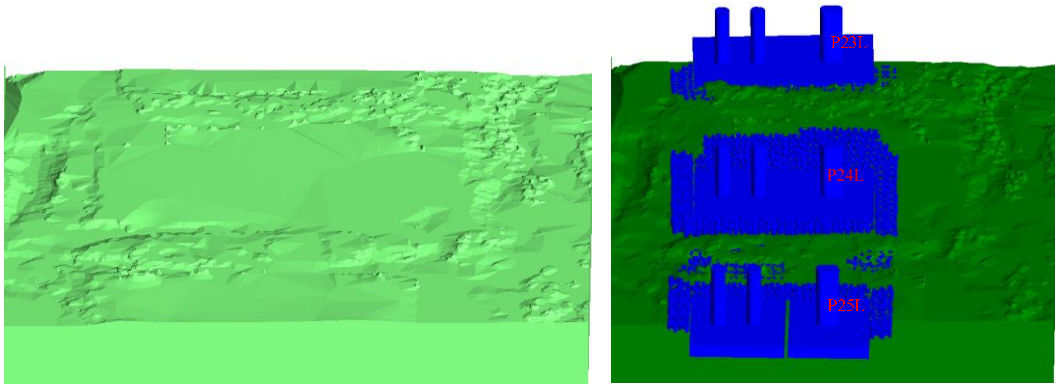


(a)繪製鼎型塊　　(b)鼎型塊保護工排列

圖 4.8　Tinkercad 繪圖平台製作三維模型

(2) 河床模型導入(TOPO2STL)

TOPO2STL 是一個在 FLOW-3D 軟體中用於將拓撲文件(Topology File)轉換成所需的.STL 格式的實用程式（Utility），即可由本計畫現場觀測影像應用攝影測量技術所製成之三維點雲資訊，將其轉換為 FLOW-3D 可讀取的.STL 格式，以便將實際地形資訊完整匯入模擬軟體做為基本河床底圖(圖 4.9(a))，使模擬條件更貼近真實情況，再將圖 4.8 所繪製之橋基及保護工 STL 文件檔匯入，將實際情形數位孿生於數值模型內。



(a)實際地形檔匯入　　(b)實際橋基、保護工及地形檔匯入

圖 4.9 實際場景匯入至 FLOW 3D 之展示

STL 文件檔案格式是以小三角面為基本單位，可離散式描述三维實體模型的表面，該文件最初應用於快速成型(Rapid Prototyping)來製作大規模三维零件或裝配模型技術上，發展迄今 STI 文件已在許多模流軟體及三维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 4.10)。

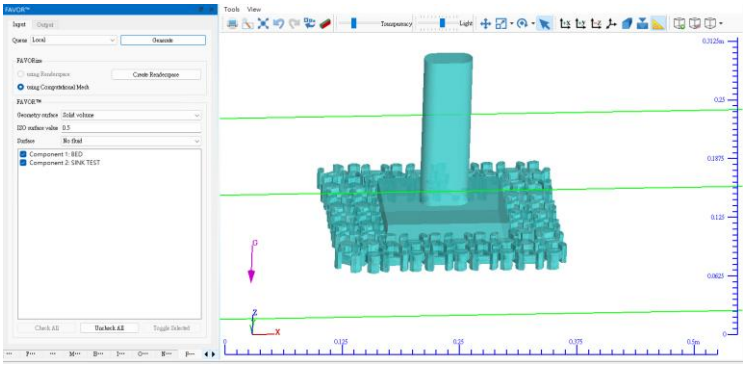


圖 4.10　利用 FAVOR 功能檢視匯入之 STL 模型文件

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，温度使用攝氏溫標(Celsiust)，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)

在此選單提供十幾種物理模組選擇，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。

(c)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℃、水密度為 1,000(kg/m^3)、黏性(Viscosity)為常數 $1x10^{-3}$(kg/m/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 4.2 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 4.2 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(Explict 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 4.2 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(Explict 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。

(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:使用質量連續方程式與動量方程式求解，如下:

質量連續方程式的一般形式為:

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

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。

卡式座標系統整理之動量方程式如下:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left(uA_x\frac{\partial u}{\partial x}+vA_y\frac{\partial u}{\partial y}+wA_z\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+G_x+f_x-b_x-\frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(u-u_w-\delta u_s)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left(uA_x\frac{\partial v}{\partial x}+vA_y\frac{\partial v}{\partial y}+wA_z\frac{\partial v}{\partial z}\right)=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+G_y+f_y-b_y-\frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(v-v_w-\delta v_s) \quad (4\text{-}5)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left(uA_x\frac{\partial w}{\partial x}+vA_y\frac{\partial w}{\partial y}+wA_z\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}+G_z+f_z-b_z-\frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(w-w_w-\delta w_s)$$

其中，U_w=(μ_w, ν_w, ω_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=(μ_s, μ_s, μ_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)，δ=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 δ=0。

4.3 檢定與驗證方法說明

1. 檢定與驗證颱洪事件的選取

二維模式的檢定與驗證係選取真實颱洪事件進行模擬，模式檢定驗證所建構的河道地形包含民國 112 年內政部國土測繪中心的大甲溪河道數值水理地形(HyDEM)(基於 108 年 LiDAR dem 底

圖再製)。因此，檢定與驗證應選取近年所發生的颱洪事件為宜。

大甲溪石岡壩到河口之間，有完整水位資料紀錄者為台 1 線大甲溪橋站，該水位站係從民國 94 年開始有水位紀錄，考量數值底圖製作及本工法設置時間，檢視該水位站近幾年的水位變化，可用於檢定及驗證之颱洪事件分別為 108 年 0611 豪雨、110 年盧碧颱風，以及 113 年凱米颱風(圖 4.11)，其二維水理分析模式檢定及驗證情形，如 2.9 節之 6 所述(圖 2.41~2.43)。

三維數值沖刷模型則以 110 年盧碧颱風及 113 年凱米颱風事件分別進行模型檢定與驗證(圖 4.11)。若驗證為可信任模型，再以二維模式於大甲溪流域所公告之不同重現期(2、5、10 年…)(表 3-1)流量模擬，可分析計算出試驗橋址(國道 3 號大甲溪橋)處上游水深、流速…等水理資料，該資料可做為三維數值沖刷模擬分析時之邊界條件，依據模擬沖刷結果，來評估本計畫工法在不同設計洪峰下之保護成效。

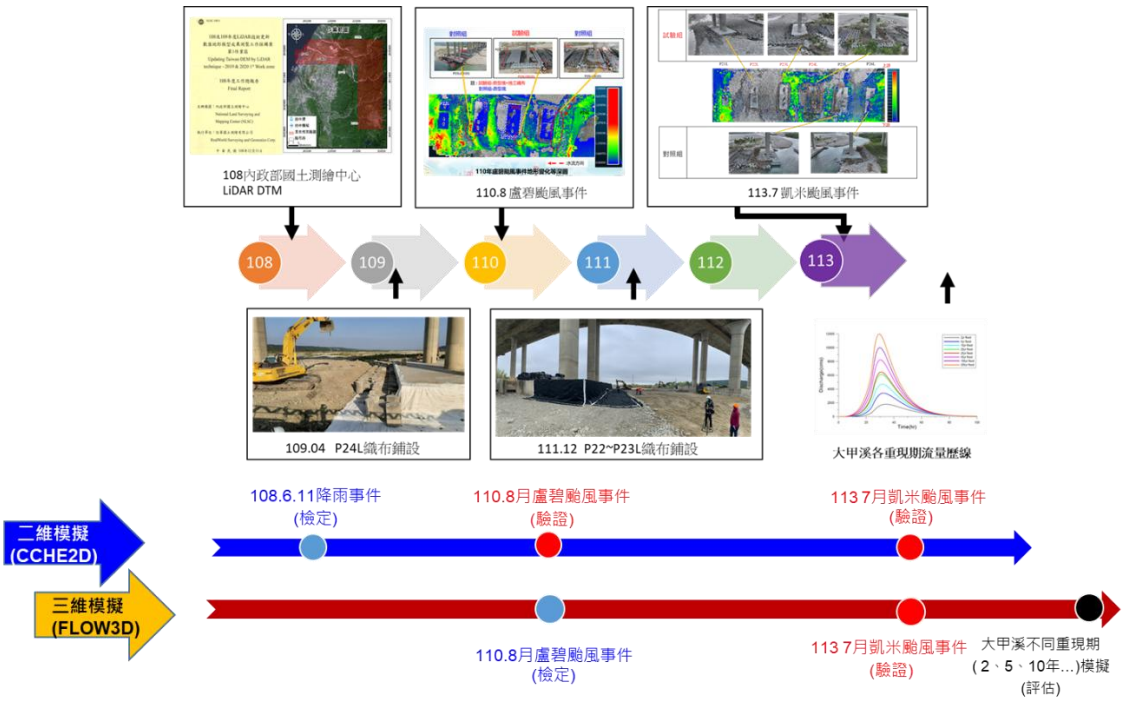


圖 4.11 檢定與驗證事件選取示意圖

2. 檢定與驗證的作法概述

前項說明三維數值沖刷模擬分別以 110 及 113 年盧碧颱風及凱米颱風做為檢定及驗證事件。數值模擬需要設定邊界條件，相關設定詳 4.5 節之 2 說明。

在檢定及驗證上，為了比對模擬的水位是否與實際水位一致，通常也必須要蒐集特定斷面的水位紀錄，但因大甲溪下游河段水利署僅在台 1 線大甲溪橋設置水位監測站，故國 3 大甲溪橋無實際水位紀錄可供比對。

因此，在模擬範圍內，颱洪事件的流量可採用石岡壩實際放流量做為上游邊界的流量設定藉由二維水理模式取得三維數值模擬所需邊界資料，而實際可供比對資料，本計畫執行期間則在相關颱洪事件有詳細的國 3 大甲溪橋地形紀錄，則可藉由該實測地形與模擬後沖刷地形進行比對，以分析模擬結果與實際情況的吻合程度，藉以驗證數值模型建置之正確性。

4.4 數值模擬基本資料蒐集

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

1. 流量資料

流量資料包含 110 年盧碧颱風事件做為檢定，113 年及凱米颱風事件做為驗證，以及大甲溪治理規劃檢討報告所公告的 Q5、Q10、Q20、Q50 及 Q100 各重現期設計流量資料(表 3-1)。

2. 重要降雨事件後試驗場址地形資料

模擬範圍內，本計畫採 110 年最大降雨事件-盧碧颱風及 113 年最大降雨事件-凱米颱風分別進行檢定與驗證，故需蒐集前述降雨事件前後的試驗場址地形，資料獲取來源則是歷年計畫內利用 UAV 所拍攝之影像資料，以及應用攝影測量技術將影像轉為三維地表地形資料(DSM)。

3. 河床地形

採用內政部「112 年及 113 年水利數值地形資料測製工作採購案（第 1 作業區）」[36] lm x 1m 數值水理地形(HyDEM)(基於「108 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作案」DEM 底圖再製)[31]為本計畫之數值模擬之河床地形資料。二維數值取石岡壩至河口段為模擬區域，三維數值則取國 3 大甲溪橋 P23L~P25L 範圍河段為模擬區域，如圖 4.12 所示。

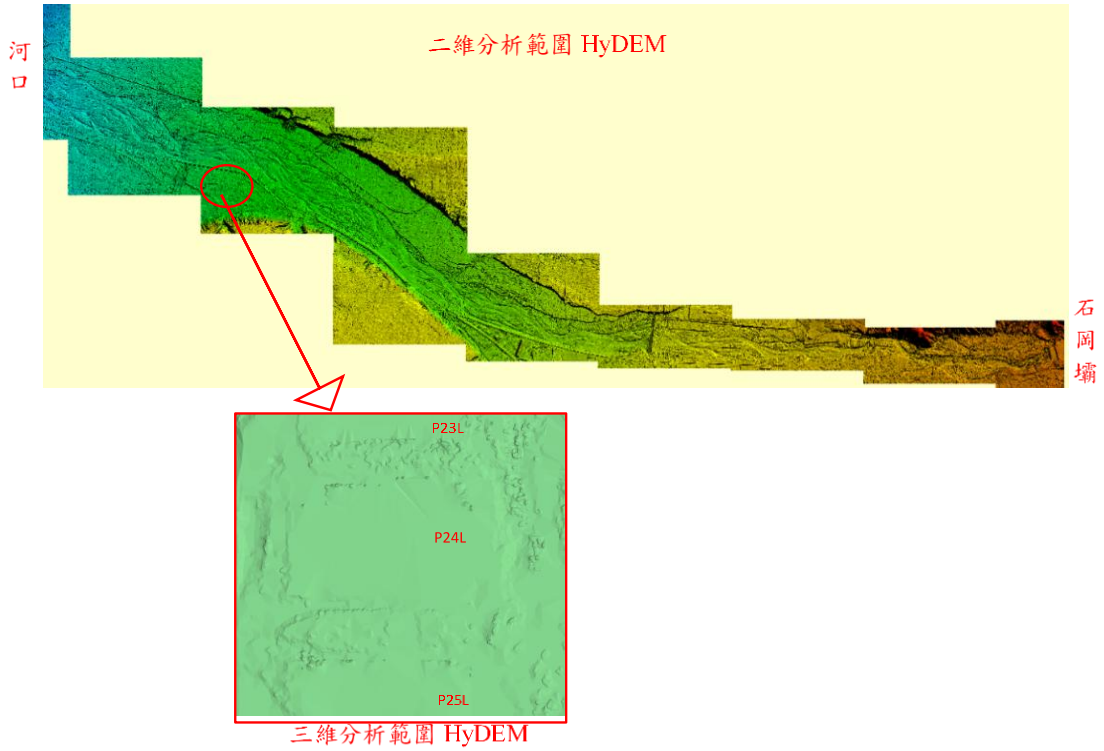


圖 4.12 本計畫模擬區域數值水理地形圖(HyDEM)

4.5 數值水理模型建置

1. 網格建置

三維數值模型建置係依 4.4 節之 3 所述取國 3 大甲溪橋 P23L~P25L 範圍河段並依實際尺寸建置，模型網格長度為 200 公尺、寬度為 70 公尺、深度為 15 公尺，分析範圍涵蓋 P24L、P23L~P24L 河道、P24L~P25L 河道，以及上下游河道，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 4.13 所示。織

布層設定則以前(112 年)期計畫[39]4.5 節之 3 方式設定，如圖 4.14 所示。

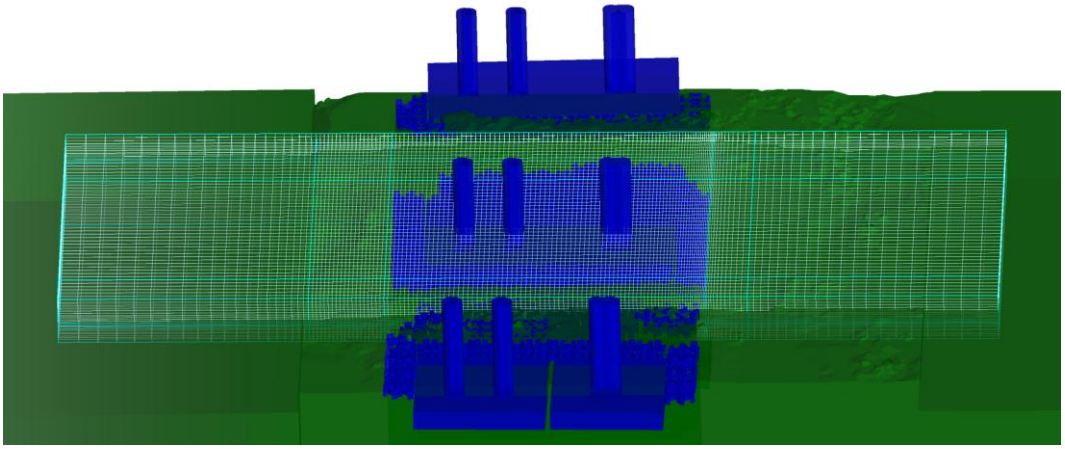


圖 4.13 三維數值模型網格設置情形

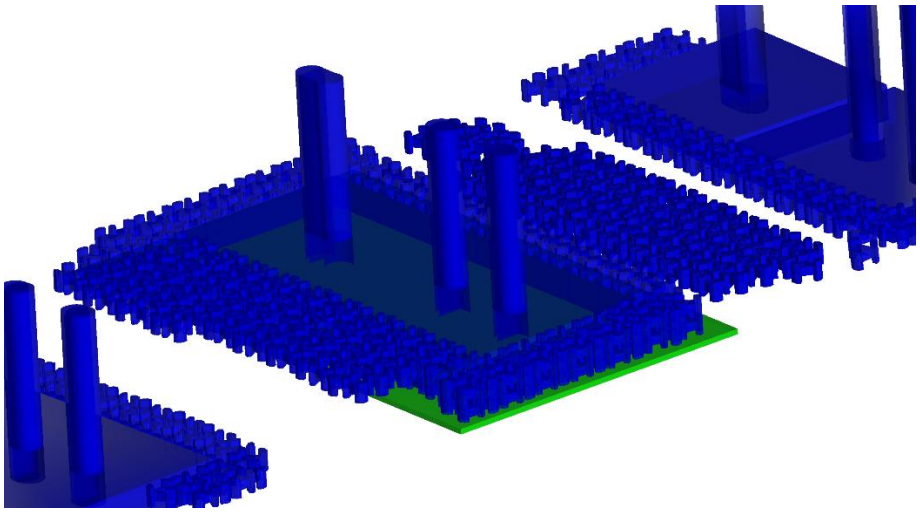


圖 4.14 地工織布設置情形

2. 數值分析主要輸入參數

主要輸入參數分為邊界條件及泥砂參數兩大部分，分述如下:

(1)邊界條件:

因颱風事件完整之流量歷線往往大於 100 小時以上，要於三維數值中將前述時間完整模擬，相當耗時沒效率，考量流量歷線中最大洪峰時刻下造成沖刷變化最具代表性，故本計畫係取流量歷線中最大洪峰流量為上游邊界輸入條件(圖 4.15)，模擬時

間為 1 小時。

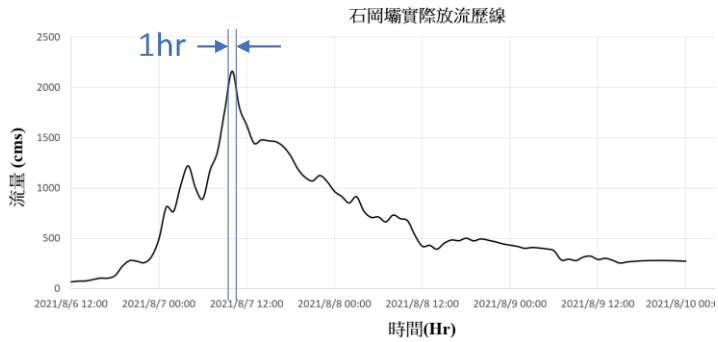
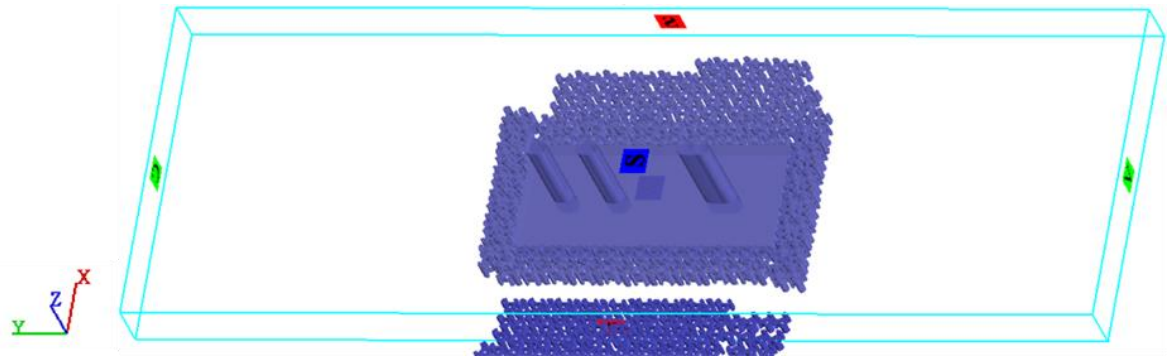


圖 4.15 模擬時間擷取範圍示意圖

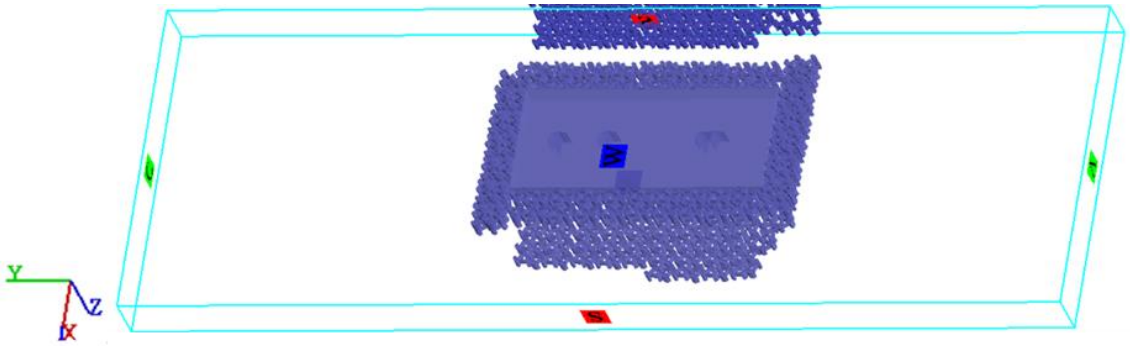
如 4.3 節之 1 所述，三維模擬係由二維數值模式獲取水位與流速資料，故上游邊界條件(X_{min})設定為 Velocity Condition(V)，並於該條件內給定水位及流速資料；因上游給定均勻流速，且係為模擬在寬廣的河道中局部沖刷行為，左、右兩側(Y_{min}、Y_{max})邊界條件採 Symmetry Condition(S)，其具切向應力為零之特性，確保橋墩周圍的流場不受網格邊界摩擦影響影響，而可合理地模擬水流在寬闊河道中的狀況；底面(Z_{min})採 Wall Condition(W)，將河床底面視為剛性壁體；模型為自由液面與大氣壓力接觸，故頂面(Z_{max})採 Pressure Condition(P)；下游流出口(X_{max})採 Continuative Condition(C)，以使水流的流速、壓力等參數能無反射並自然流出，下游的水深和流速可依據上游的沖刷和泥沙運移情況進行動態調整，從而維持模擬穩定性及過程的真實性，設定情形如表 4-1 及圖 4.16 所示。

表 4-1 數值模擬邊界設定

邊界位置	邊界選項
X_{min}	Velocity, V
X_{max}	Continuative, C
Y_{min}	Symmetry, S
Y_{max}	Symmetry, S
Z_{min}	Wall, W
Z_{max}	Pressure, P



(a) 頂視圖



(b) 底視圖

圖 4.16 邊界條件設定情形

(2)曼寧粗造度係數:

參考經濟部水利署第三河川分署「112 年度大甲溪大斷面測量計畫」[37]，採用曼寧 n 值 0.040 之建議值。

(3)河床質粒徑資料:

參考經濟部水利署水利規劃分署「大甲溪河段輸砂特性試驗研究總報告」[16]以及經濟部水利署第三河川分署「110 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量計畫」[33]之河床質調查結果，取斷面 9 (國 3 大甲溪橋斷面) D_{50} 粒徑 30.45mm，比重 2.7。

另為改善三維數值模型中鼎型塊與下方沉積物未能耦合分析之問題，利用前(112 年)期計畫[39]中所探討之土中應力傳遞法的方式增加鼎型塊下方粒料重量，以得到近似模擬之分析效果。

(4)上游來砂量設定:

參考經濟部水利署水利規劃分署「大甲溪流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(2/2) 」[24]，對於石岡壩下游段之輸砂量輸砂量邊界條件，係依據石岡壩清淤及排砂作業之研究分析流量與懸浮載輸砂量關係迴歸式(式 4-6)，另依據經濟部水利署對東部及西部河川推估推移質為懸浮質之 20%，由已知之上游流量來簡化估算上游來砂量並輸入模型。

$$Q_S = 0.0318Q^2 + 10.086Q - 9.9998 \qquad (4\text{-}6)$$

其中:懸浮載輸砂量 Q_S，單位為噸/日；流量 Q，單位為秒立方公尺。

(5)輸砂公式設定:

FLOW-3D 提供 Nielsen equation、Van Rign equation 及 Meyer-Peter and Mueller equation 等 3 種公式，做為底床沉積物移動計算使用，各公式有其適用情況，說明如下:

Nielsen equation:適用於沿岸帶(Coastal Zone)或波浪主導的環境。

Van Rign equation:適用於砂質河流中由懸移載主導的環境。

Meyer-Peter and Mueller equation: 適用於以粗顆粒為河床載主導的礫石質河床。

而大甲溪流域主要為卵礫石河床，以 Meyer-Peter and Mueller equation(MPM)做為模型沖刷公式係為合適之選項。依 FLOW-3D 2022R2 User Manual，MPM equation 中 Bed Load Coefficient(BLC)參數值建議範圍，輸送量由低到高介於 5.0~13.0 之間，其中 5.7 為手冊建議值，因其數值將影響數值模擬沖刷結果，故規劃以 110 年盧碧颱風事件來進行模型檢定。

(6)各重要降雨事件下三維上游邊界輸入值說明

依前(113 年)期計畫成果，將表 3-1 各重現期流量於石岡壩位置輸入並進行大甲溪石岡壩至河口段之二維水理演算後，再由二維演算結果中擷取三維模擬範圍上游斷面位置(圖 4.12)之流速與水位高等資料，做為三維數值模型上游 X_{min}(圖 4.16)之邊界輸入參數，據以完成橋基局部沖刷模擬及評估。

參考經濟部水利署第三河川分署「112 年度大甲溪大斷面測量計畫」[37]，節錄國 3 大甲溪橋(斷面 09-2)位置水理演算結果如表 4-2 所示，將以此結果與前期計畫所建置二維模式演算結果進行比較，如表 4-3 及圖 4.17 所示，其模擬趨勢及數值相近，可做為三維數值模型上游邊界輸入條件使用。

表 4-2 大甲溪斷面 09-2 現況河道水理因素演算成果表(節錄)

斷面	河心累距(m)	現況洪水位 Q100 及水理因素						其他重現期距洪水位(m)						備註
		洪水位(m)	通水面積(m^2)	水面寬(m)	平均流速(m/s)	能量坡降	福祿數	50 年	25 年	20 年	10 年	5 年	2 年	
09-2 國道 3 號大甲溪橋(上)	6,574	75.36	2820.01	863.03	3.79	0.0034	0.59	75.02	74.64	74.56	74.20	73.74	73.00	

表 4-3 本計畫河道水理演算成果表(vs 水利署計畫)

石岡壩放流事件	110 盧碧	Q2	113 凱米	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
尖峰放流量(cms)	1,280	2,600	3,867	4,500	5,900	7,300	8,900	10,300
水位高(m)								
112 大斷面測量計畫水利署		73		73.74	74.20	74.56	75.02	75.36
本計畫	73.2	73.4	73.6	73.66	74.05	74.45	75.05	75.43
流速(m/s)								
112 大斷面測量計畫水利署								3.79
本計畫	2	2.21	2.42	2.49	2.63	3.05	3.51	3.93

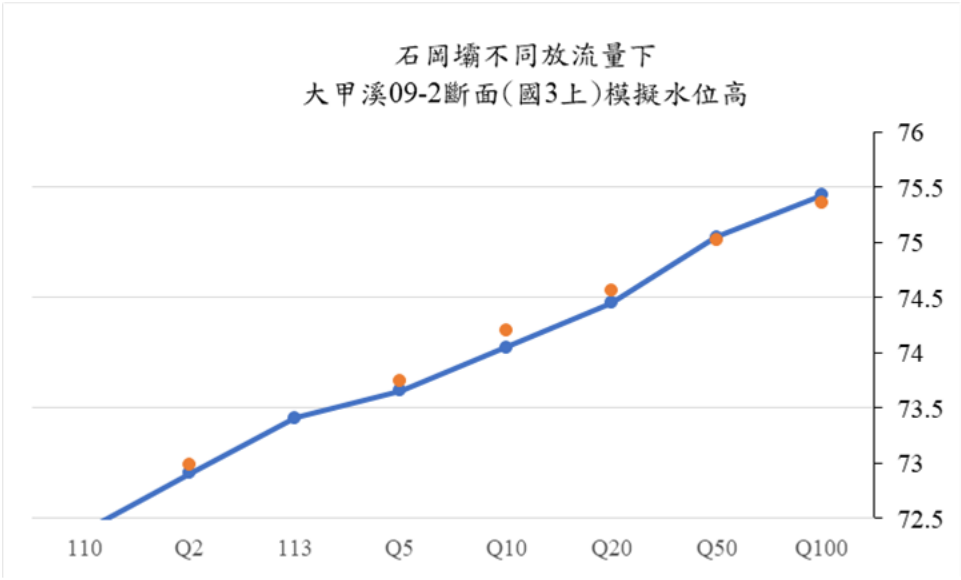


圖 4.17 二維模型 09-2 斷面演算比較(本計畫 vs 水利署計畫)

表 4-4　Flow-3D 模擬基本設定彙整表

<table>
<tr><td></td><td colspan="12">設定值</td></tr>
<tr><td>模擬時間</td><td colspan="12">1hr</td></tr>
<tr><td rowspan="2">邊界條件</td><td>X_{min}</td><td colspan="2">X_{max}</td><td>Y_{min}</td><td colspan="2">Y_{max}</td><td>Z_{min}</td><td colspan="2">Z_{max}</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>V</td><td colspan="2">C</td><td>S</td><td colspan="2">S</td><td>W</td><td colspan="2">P</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>曼寧粗造度係數</td><td colspan="12">0.040</td></tr>
<tr><td>河床質粒徑(mm)</td><td colspan="12">30.45(D_{50})</td></tr>
<tr><td>上游來砂量(噸/日)</td><td colspan="12">$Q_s=0.0318Q^2+10.086Q-9.9998$</td></tr>
<tr><td>軟體輸砂公式</td><td colspan="12">Meyer-Peter and Mueller equation</td></tr>
<tr><td rowspan="2">檢定</td><td colspan="6">H_w (水位高, m)</td><td colspan="6">V (流速, m/s)</td></tr>
<tr><td colspan="6">73.2</td><td colspan="6">2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">驗證</td><td colspan="6">水位高(m)</td><td colspan="6">流速(m/s)</td></tr>
<tr><td colspan="6">73.6</td><td colspan="6">2.42</td></tr>
<tr><td rowspan="3">分析</td><td colspan="2">Q2</td><td colspan="2">Q5</td><td colspan="2">Q10</td><td colspan="2">Q20</td><td colspan="2">Q50</td><td colspan="2">Q100</td></tr>
<tr><td>H_w</td><td>V</td><td>H_w</td><td>V</td><td>H_w</td><td>V</td><td>H_w</td><td>V</td><td>H_w</td><td>V</td><td>H_w</td><td>V</td></tr>
<tr><td>73.4</td><td>2.21</td><td>73.66</td><td>2.49</td><td>74.05</td><td>2.63</td><td>74.45</td><td>3.05</td><td>75.05</td><td>3.51</td><td>75.43</td><td>3.93</td></tr>
</table>

3.數值模型檢定及驗證

(1) 檢定工作(110 年盧碧颱風):

依 FLOW-3D 2022R2 User Manual 說明，MPM equation 中 BLC 參數建議範圍值為 5.0~13.0 之間，並以 5.7 為手冊建議值，為探討該項參數對數值模擬沖刷之影響，將規劃以 5.7、7 及 8 等 3 組參數，並依圖 4.11 以 110 年盧碧颱風事件進行檢定工作，模擬結果分別如圖 4.18、圖 4.19 及圖 4.20 所示，顯示參數值增加使得模式底床輸送量加大，P24L 下游側出現沖刷坑(BLC=8，圖 4.20)，而在 BLC5.7~7 時則影響不大。

將 3 組參數模擬結果與實際現場沖刷情形(圖 4.21)進行比較可知，110 年盧碧颱風事件僅造成 P24L 下游鼎型塊保護工左

側有移動之情形，其與 BLC5.7~7 時 P24L 下游左側(以面向下游側方向來定義左右側)有集中沖刷模擬結果一致，BLC=8 則顯示為過度沖刷，故本計畫將取 BLC=6.35(5.7~7 平均值)做為後續模擬選用參數。

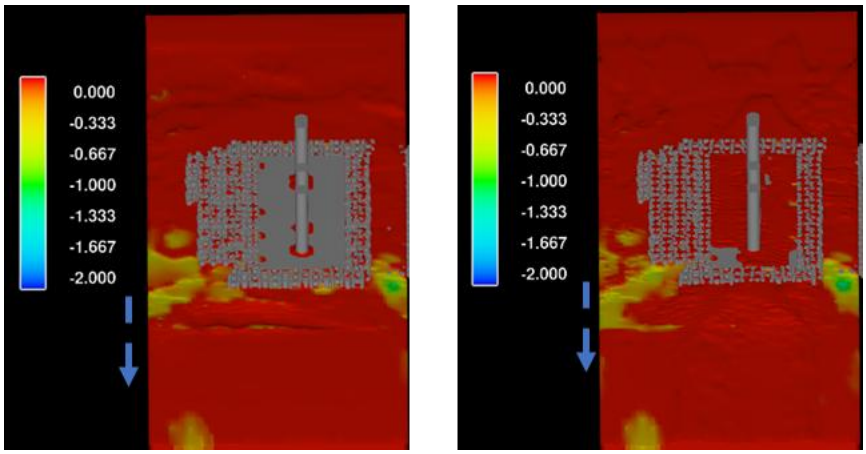


圖 4.18　110 年盧碧颱風事件下沖刷模擬結果(BLC=5.7)

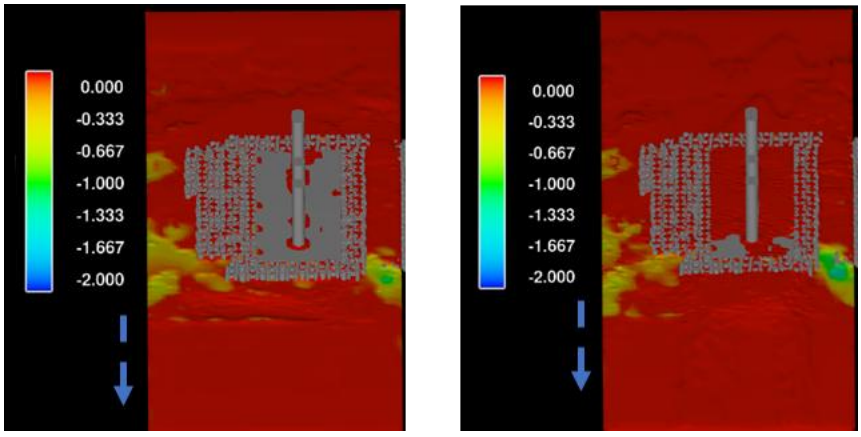


圖 4.19　110 年盧碧颱風事件下沖刷模擬結果(BLC=7)

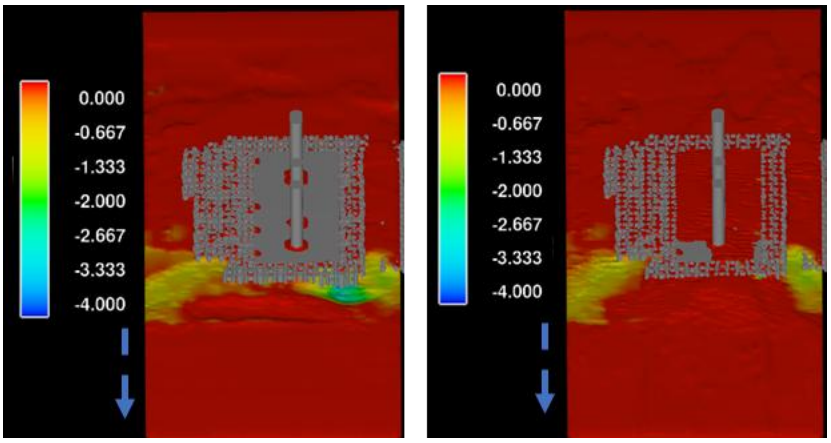


圖 4.20　110 年盧碧颱風事件下沖刷模擬結果(BLC=8)

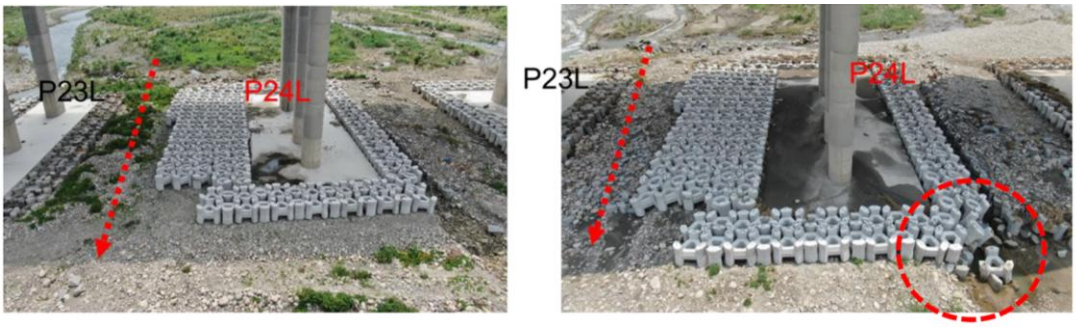


圖 4.21　110 年盧碧颱風事件前後現場沖刷情形

(2) 驗證工作(113 年凱米颱風):

依 4.3 節檢定與驗證的作法，完成模型檢定工作後，接續依圖 4.11 以 113 年凱米颱風事件進行驗證工作，將表 4-3 為 113 年凱米颱風事件對應之流速及水位高做為上游邊界輸入值、前述檢定工作之 BLC 參數值...等 4.2 節之 2 所需參數輸入並進行模擬，模擬結果如圖 4.22 所示。由圖 4.23 顯示本次事件後使得 P24L 下游左右側均有沖刷之情形，圖 4.22 模擬結果亦將此情形呈現，說明本模型在前述參數設定下，可合理分析現場沖刷情形。

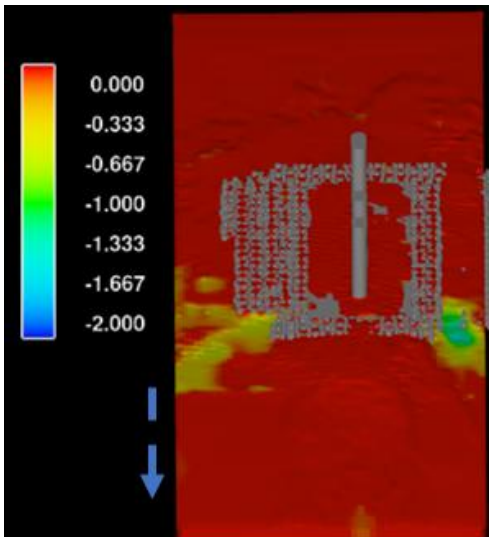


圖 4.22　113 年凱米颱風事件下沖刷模擬結果

圖 4.23　113 年凱米颱風事件前後現場沖刷情形

4.6 各重現期下分析評估

本計畫三維數值模型經 110 年盧碧颱風及 113 年凱米颱風事件檢定及驗證後，顯示該模型相關參數、邊界、地形..等相關設定，可反映現地試驗場之變化，故可透過上游不同降雨輸入條件，如表 3-1 大甲溪石岡壩下游河段 Q5、Q10、Q20、Q50 及 Q100 不同重現期設計流量，依據本模型來模擬評估本計畫工法在前述設計洪峰流量下之保護情形，並與同樣模擬條件下無鋪設地工織布保護工法(傳統工法)之模擬結果進行比較，以瞭解本計畫工法之保護成效，以彌補現場試驗無因法控制降雨條件之不足之處。

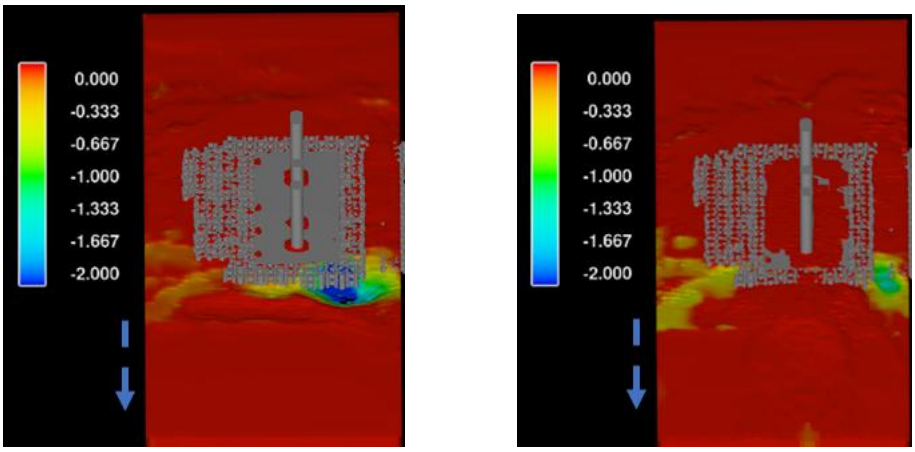
因沖刷過程河床底部係為動態變化，即河床為初始淘刷->最大淘刷->上游沉積物移動回填之過程，模擬完成狀態非最大動床沖刷之時

刻，為將此一過程於報告中呈現，故各重現期設計流量模擬展示，將以最大動床沖刷及分析完成之兩種狀態呈現，相關說明如下:

1. Q5 重現期:

(1) 傳統工法:

模擬過程如圖 4.24，P24L 下游側鼎型塊皆有沖刷之情形，最大沖刷集中在下游左側位置,最大深度可達 5m (如圖 4.24(a)),隨後逐漸回淤縮小沖刷範圍(如圖 4.24(b))。

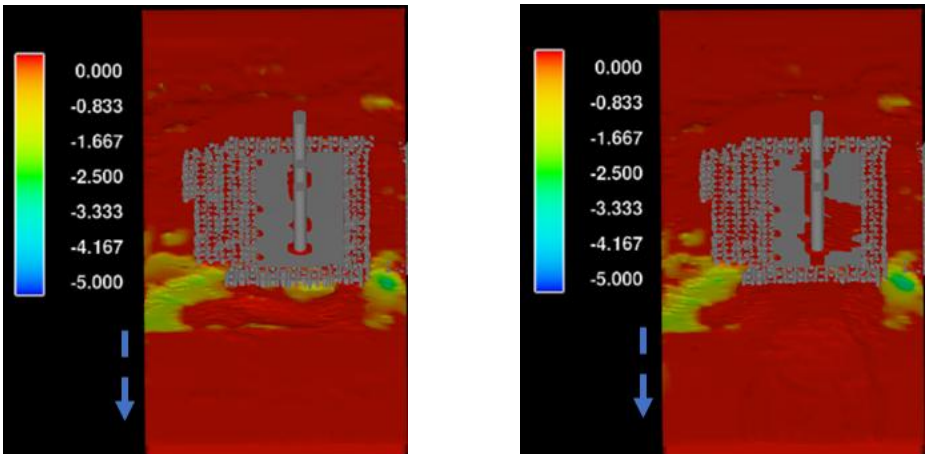


(a) (b)

圖 4.24 Q5 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形

(2) 本計畫工法:

模擬過程如圖 4.25，因織布發揮保護作用，沖刷發展位置控制在 P24L 下游鼎型塊左右側，過程中僅有接近下游側中央位置鼎型塊被沖刷之情形，深度約為 0.6m(如圖 4.25(a))，沖刷位置移動到 P24L 下游左右兩側河道間，形成深度約為 1m 之沖刷坑(如圖 4.25(b))，P24L 下游左右側角隅處鼎型塊會因沖刷坑影響而有移動之情形，因凱米颱風事件洪峰流量接近 Q5，故沖刷模擬情形差異不大。



(a) (b)

圖 4.25　Q5 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形

(3) 成效評估:

模擬過程中只要鼎型塊下方有沖刷之情形(出現色塊)即視為保護工損壞(鼎型塊傾倒或移動)進行檢視，藉由保護工損壞面積/全面積計算損壞率，來量化評估本計畫工法之保護成效，整理如表 4-5 所示，傳統工法損壞率為 15%，本計畫工法損壞率為 1.67%，約可減少 89%損壞面積。

113 年凱米颱風事件(≈Q5)試驗場址實際觀測結果如表 4-5 所示，因實際損壞率會因水流位置、方向、鼎型塊保護範圍、地形變化...等因素致數值模擬有所不同，但整體對於相對減少損壞率來說，實際觀測結果與數值模擬結果相近(表 4-6)。

表 4-5　113 年凱米颱風事件後成效評估表

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

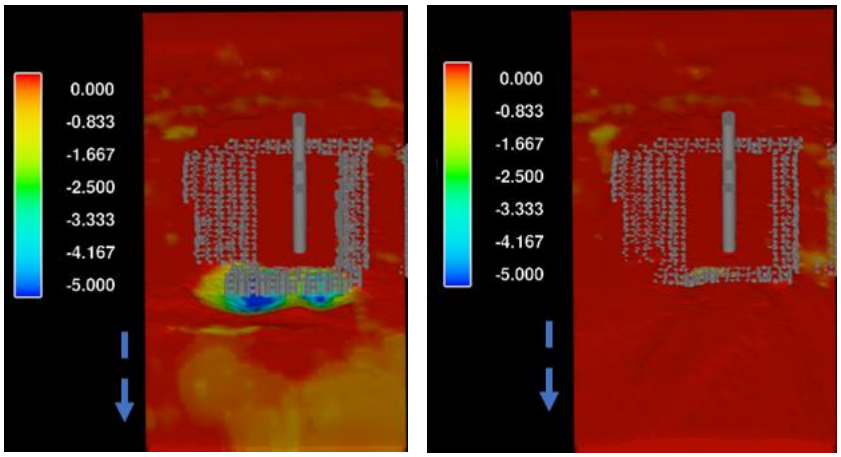
表 4-6　模擬與實測之保護成效比較

	傳統工法 損壞率(%)	本計畫工法 損壞率(%)	相對可減少 損壞率(%)
模擬(Q5)	15	1.67	89
實測(凱米颱風)	38.14	3.87	90

2. Q10 重現期:

(1) 傳統工法:

模擬過程如圖 4.26，P24L 下游側沖刷範圍加大，下游側鼎型塊完全被沖刷，並擴及 P24L 右側鼎型塊，深度最大可達 4.67m(如圖 4.26(a))，隨後逐漸回淤縮小沖刷範圍，P24L 左右兩側河道有零星沖刷(如圖 4.26(b))。

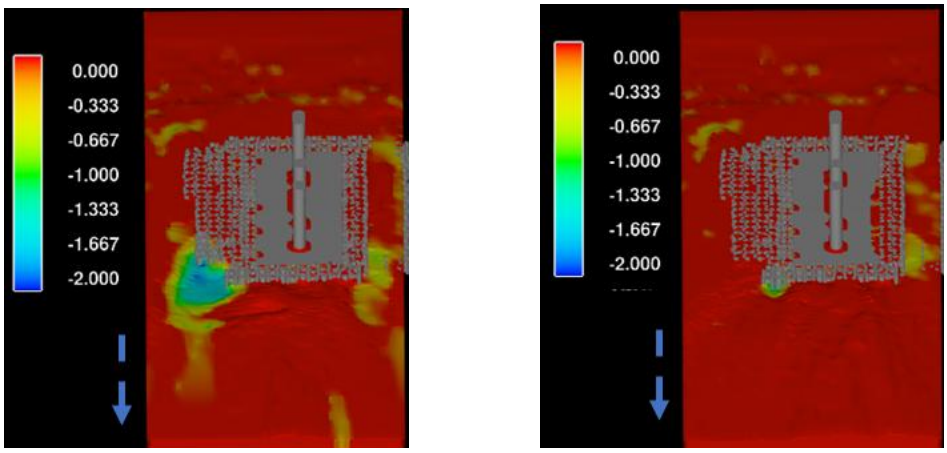


(a)　　(b)

圖 4.26　Q10 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形

(2) 本計畫工法:

模擬過程如圖 4.27，因織布發揮保護作用，減緩 P24L 下游側鼎型塊的沖刷，沖刷區域控制在 P24L 左右兩側河道，最大沖刷位置落在 P24L 下游右側角隅處，深度約為 1.8m(如圖 4.27(a))，隨後逐漸回淤縮小沖刷範圍(如圖 4.27(b))。



(a) (b)

圖 4.27　Q10 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形

(3) 成效評估:

將模擬過程中鼎型塊下方有沖刷之情形即視為保護工損壞(鼎型塊傾倒或移動)進行檢視，藉由保護工損壞面積/全面積計算損壞率，來量化評估本計畫工法之保護成效，整理如表 4-7 所示，傳統工法損壞率為 16.2%，本計畫工法損壞率為 3.3%，約可控制減少 80%損換面積。

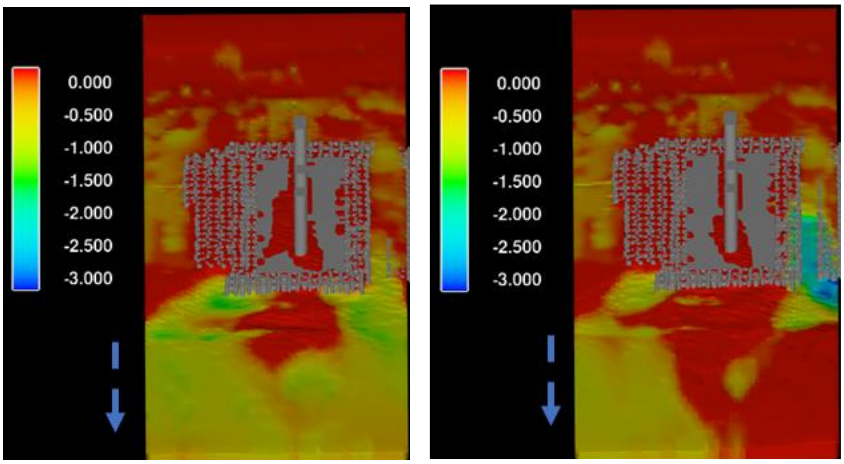
表 4-7　Q10 重現期下織布保護成效比較

	傳統工法 損壞率(%)	本計畫工法 損壞率(%)	相對可減少 損壞率(%)
模擬(Q10)	16.2	3.3	80

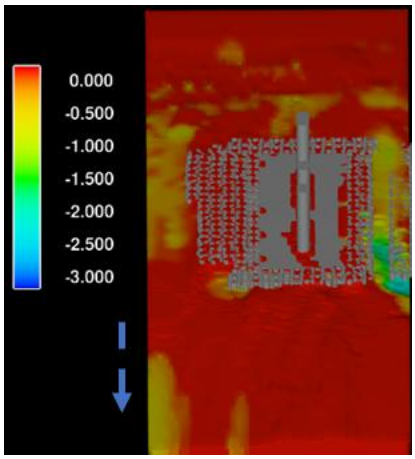
3. Q20 重現期:

(1) 傳統工法:

模擬過程如圖 4.28，沖刷區域由 P24L 下游側鼎型塊移動至兩側河道(如圖 4.28(b)(c))，最大沖刷位置位於 P24L~P25L 之河道，形成一道沖刷溝，深度最大可達 2.7m(如圖 4.28(b))，隨後逐漸回淤縮小沖刷範圍(如圖 4.28(c))。



(a) (b)

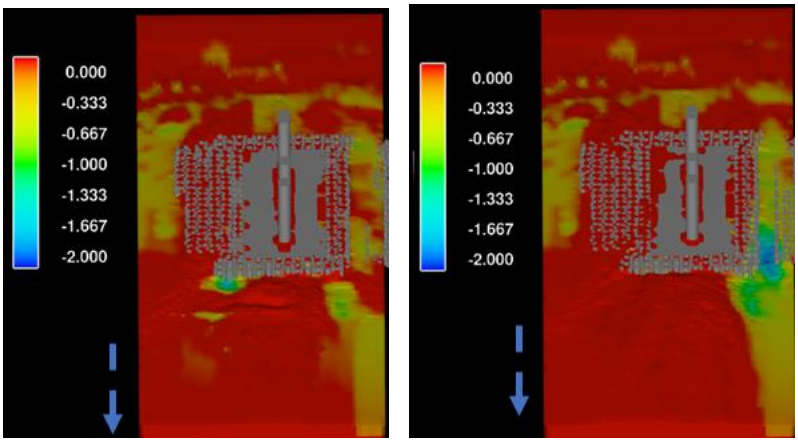


(c)

圖 4.28　Q20 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形

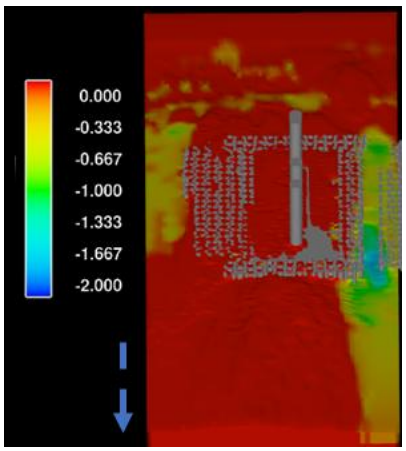
(2) 本計畫工法:

模擬過程如圖 4.29，過程中沖刷區域落在 P24L 下游右側角隅及 P24L~P25L 之河道處(如圖 4.29(a)(b))，沖刷位置與傳統工法差異不大，但因織布影響作用下，其沖刷範圍及深度皆受到控制，成縮小之趨勢發展，最大沖刷深度約為 1.9m(如圖 4.29(b))。



(a)

(b)



(c)

圖 4.29　Q20 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形

(3) 成效評估:

將模擬過程中鼎型塊下方有沖刷之情形即視為保護工損壞(鼎型塊傾倒或移動)進行檢視，藉由保護工損壞面積/全面積計算損壞率，來量化評估本計畫工法之保護成效，整理如表 4-8 所示，傳統工法損壞率為 24.5%，本計畫工法損壞率為 13.5%，約可控制減少 45%損換面積。

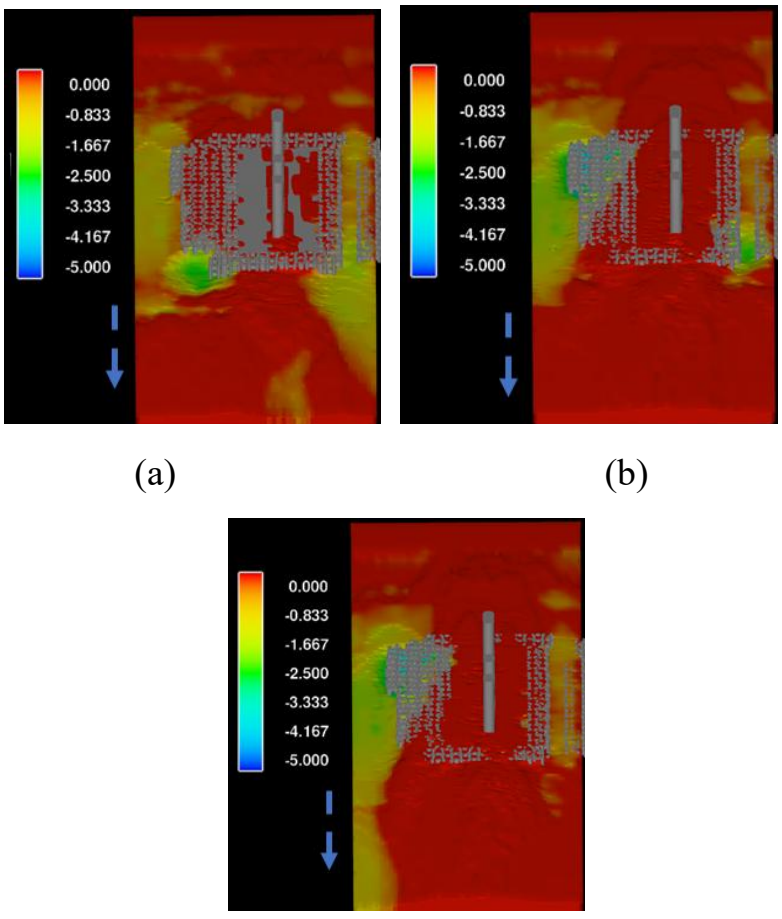
表 4-8　Q20 重現期下織布保護成效比較

	傳統工法 損壞率(%)	本計畫工法 損壞率(%)	相對可減少 損壞率(%)
模擬(Q20)	24.5	13.5	45

4. Q50 重現期:

(1) 傳統工法:

模擬過程如圖 4.30，沖刷區域由 P24L 下游側鼎型塊逐漸移動至兩側河道，最大沖刷範圍位於 P23L~P24L 之河道，P23L~P24L 河道間過程中亦形成一道沖刷溝，最大沖刷深度可達 4.36m(如圖 4.30(b))，隨後逐漸回淤縮小沖刷範圍(如圖 4.30(c))。



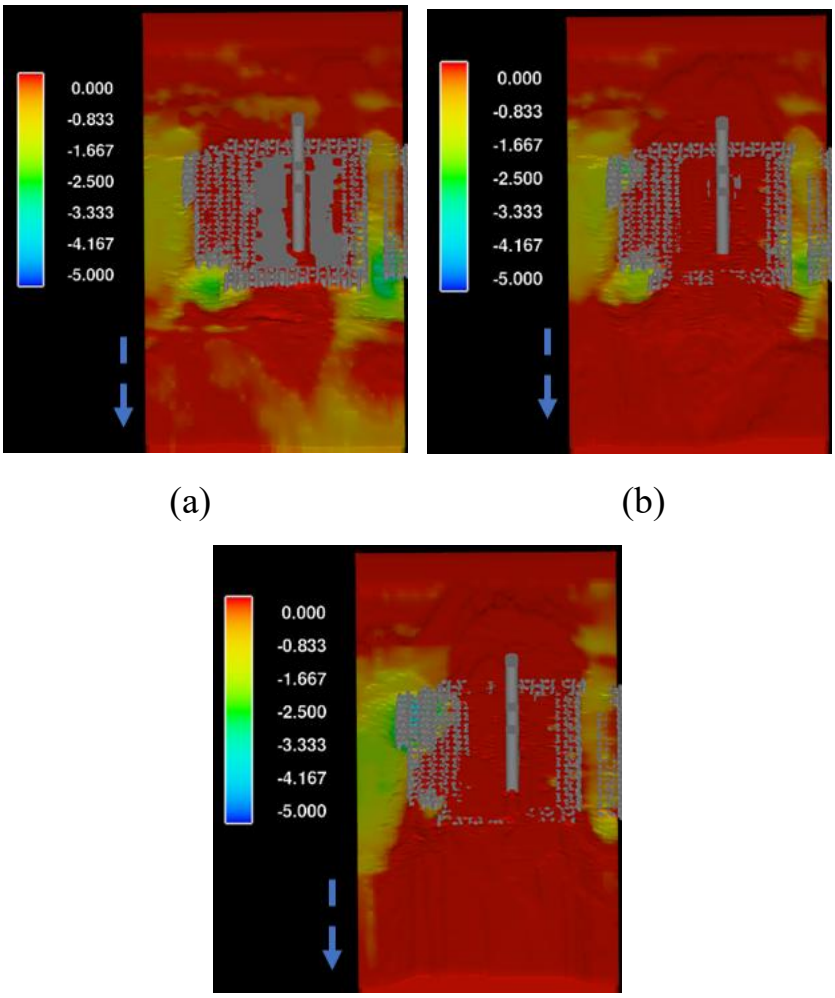
(a)　(b)

(c)

圖 4.30　Q50 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形

(2) 本計畫工法:

模擬過程如圖 4.31，沖刷區域、位置及深度與傳統工法差異不大，已不見織布保護優勢，最大沖刷深度可達 4.28m(如圖 4.31(b))，隨後逐漸回淤縮小沖刷範圍(如圖 4.31(c))。



(a) (b)

(c)

圖 4.31 Q50 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形

(3) 成效評估:

將模擬過程中鼎型塊下方有沖刷之情形即視為保護工損壞(鼎型塊傾倒或移動)進行檢視，藉由保護工損壞面積/全面積計算損壞率，來量化評估本計畫工法之保護成效，整理如表 4-9 所示，傳統工法損壞率為 61%，本計畫工法損壞率為 55%，約可

控制減少 10%損換面積。

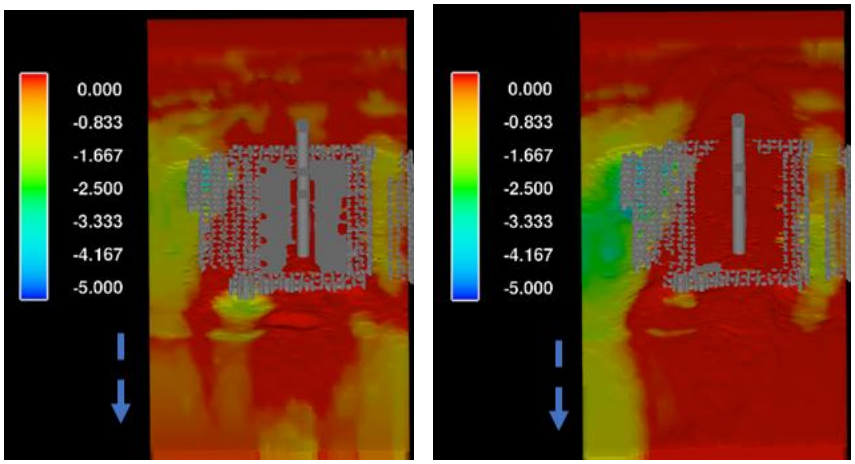
表 4-9　Q50 重現期下織布保護成效比較

	傳統工法 損壞率(%)	本計畫工法 損壞率(%)	相對可減少 損壞率(%)
模擬(Q50)	61	55	10

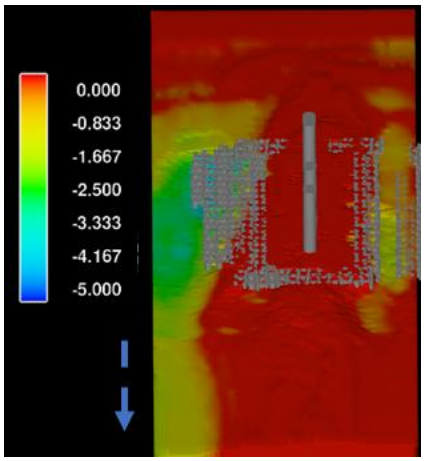
5. Q100 重現期:

(1) 傳統工法:

模擬過程如圖 4.32，P24L 下游右側鼎型塊過程中形成一沖刷坑，主要沖刷區域集中在 P24L 兩側河道，最大沖刷範圍位於 P23L~P24L 之河道，最大沖刷深度可達 4.53m(如圖 4.32(b))，隨後逐漸回淤縮小沖刷範圍(如圖 4.32(c))。



(a)　　(b)

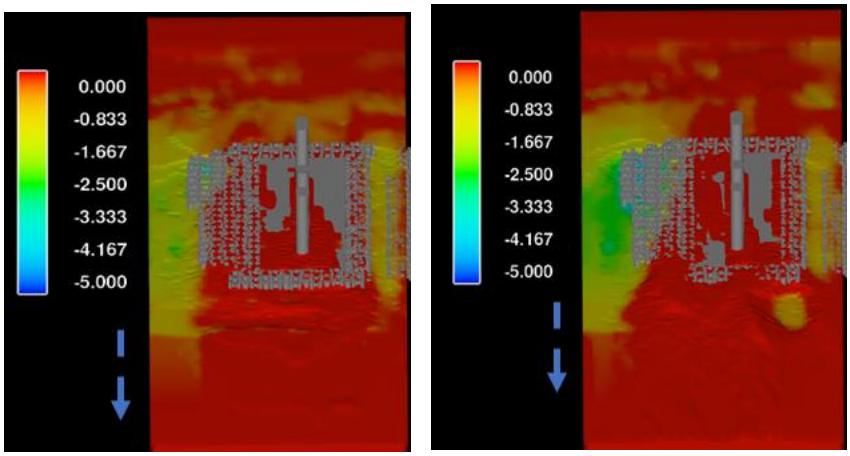


(c)

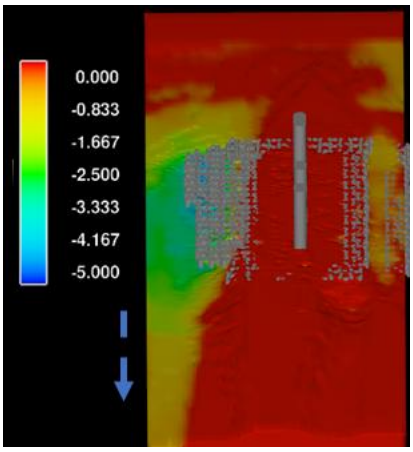
圖 4.32　Q100 重現期下傳統工法橋基保護模擬情形

(2) 本計畫工法:

模擬過程如圖 4.33，沖刷區域、位置及深度與傳統工法差異不大，已不見織布保護優勢，最大沖刷深度可達 4.23m(如圖 4.33(b))，隨後部份沖刷區域逐漸回淤(如圖 4.33(c))。



(a)　　(b)



(c)

圖 4.33　Q100 重現期下本計畫工法橋基保護模擬情形

(3) 成效評估:

將模擬過程中鼎型塊下方有沖刷之情形即視為保護工損壞(鼎型塊傾倒或移動)進行檢視，藉由保護工損壞面積/全面積計算損壞率，來量化評估本計畫工法之保護成效，整理如表 4-10 所示，傳統工法損壞率為 69.4%，本計畫工法損壞率為 65.4%，約可控制減少 5%損換面積。

表 4-10　Q100 重現期下織布保護成效比較

	傳統工法 損壞率(%)	本計畫工法 損壞率(%)	相對可減少 損壞率(%)
模擬(Q100)	69.4	65.4	5

6. 效益評估:

由前述 1~5 小節可知，在各重現期設計流量(Q5、Q10、Q20、Q50、Q100)下，有鋪設織布的鼎型塊保護工損壞率皆比無鋪設織布保護工為低。保護效果尤其是在小～中流量(Q5、Q10、Q20)下效果最顯著，相對減少幅度隨流量增加而快速下降，在 Q5、Q10 減少非常大(相對減幅約 80~90%)，到 Q20 則減幅變小(約 45%)，高流量(Q50、Q100)時相對效果很小(約 6~10%)，各重現期分析量化評估結果如表 4-11 所示。

(1)維護效益

由傳統工法模擬結果可知，在 Q5 事件時 P24L 下游側鼎型塊皆已被沖刷(圖 4.24(a))，已大幅減少對橋基之保護效果，再依過去試驗場址實務運作經驗，113 年凱米颱風後高公局大甲工務段隨即在 114 年編列維護預算，並採用本計畫工法於 P25L~P26L(原為傳統工法)進行修復工程，故定義傳統工法維修頻率為每次 Q5 事件後。

此外，由本計畫工法模擬結果可知，在 Q5、Q10 事件時織布能有效發揮其保護效果，但在 Q20 事件時相較於傳統工法僅有一半之保護效果，已減少對橋基之保護效果，故定義本計畫工法維修頻率為每次 Q20 事件後。

「N 年重現期」的事件，其定義是在任一年內發生的機率是 1/N*100%，即 5 年重現期的洪水事件一年內發生機率為 1/5*100%=20%，20 年重現期的洪水事件一年內發生機率為 1/20*100%=5%，故依上述需維修頻率與重現期發生機率原則來簡易量化估算使用效益，即使用 1 次本計畫工法可等效於使用 5 次傳統工法，可達減少維修次數，延長保護工壽命之功效。

表 4-11　各重現期下織布保護成效綜合比較

	傳統工法 損壞率(%)	本計畫工法 損壞率(%)	相對可減少 損壞率(%)
模擬(Q5)	15	1.67	89
模擬(Q10)	16.2	3.3	80
模擬(Q20)	24.5	13.5	45
模擬(Q50)	61	55	10
模擬(Q100)	69.4	65.4	5

(2)經濟效益

(2-1) 長期平均損壞減少效果

將模擬總表(表 4-11)中，各重現期流量進行發生機率加權，

綜合估算本計畫工法相較於傳統工法之整體減少率，以得到相較於簡單平均更有意義符合實際長期風險的量化減少效果。

加權減少率（Weighted Reduction Rate）計算方式如下:

$$\text{加權減少率} = \frac{\sum p_i\left(\text{無織布損壞率}_i - \text{有織布損壞率}_i\right)}{\sum p_i \cdot \text{無織布損壞率}_i} \quad (4\text{-}7)$$

$$= \frac{0.2(15-1.6)+0.1(16.2-3.3)+0.05(24.5-13.5)+0.02(61-55)+0.01(69.4-65.4)}{0.2*15+0.1*16.2+0.05*24.5+0.02*61+0.01*69.4}$$

$$= \frac{4.68}{7.759} = 0.60317 = 60.3\%$$

綜合機率加權平均來說，鋪設地工織布可使鼎型塊保護工法的長期平均損壞風險降低約 60%。

而對於不同洪水事件來說，常見或頻繁出現的中-小洪水事件（Q5、Q10、Q20），鋪設地工織布能顯著降低損壞與維護需求，具經濟與維護效益；但對極端高流量事件（Q50、Q100）其所能發揮之邊際效益相當有限。

(2-2) 長期效益成本比(BCR)

依 109 年將本計畫工法施作於國 3 大甲溪橋 P24L 橋基為案例，施工費用(不含假設性工程費用)為 700 萬元/墩，其中織布費用為 60 萬元/墩，即傳統工法施工費用為 640 萬元/墩。

因保護工損壞範圍會因水流位置、方向、鼎型塊保護範圍、地形變化…等因素而有所不同，致各種不同洪水事件下皆有可能造成保護工全毀(100%)、半毀(50%)及部分毀(30%)之情況，故以前述 3 種情況並依據前小節所述之長期平均損壞減少率(60%)，來估算本計畫工法相較於傳統工法可節省之經費，如表 4-12 所示，其平均可節省 216 萬元/墩之效益，此一節省效益亦與前期計畫[39]經實際觀測結果所估算之節省經費 200 萬元/墩相近。

因此，依數值模擬結果進行前述分析後，可估算本計畫工法長期效益成本比(BCR)，計算如下:

BCR 的計算公式為：

$$BCR = \frac{\text{節省的效益}}{\text{增加的成本}} = \frac{216}{60} = 3.6 \quad (4\text{-}8)$$

依 Q5、Q10、Q20、Q50 及 Q100 流量數值模擬分析結果，並考慮洪水發生機率加權下之長期損壞減少率，以及單墩節省經費，可估算出長期效益成本比(BCR)為 3.6(亦與 3.3 節之 2，由現場觀測所計算之短期 BCR=3.43 相近)，本計畫工法能延緩維修次數、延長保護橋基壽命減少及減少維護經費，對橋基安全性與長期維護成本均具有明確效益。

表 4-12　不同損壞情況下傳統工法與本計畫工法修復費用比較(單墩)

情況	傳統工法修復費用 (萬元)	本計畫工法修復費用 (萬元)	節省費用 (萬元)
全毀 (100%)	640 (640*100%*100%=640)	280 (700*100%*(100%-60%)=280)	360
半毀 (50%)	320 (640*50%*100%=320)	140 (700*50%*(100%-60%)=140)	180
部分毀 (30%)	192 (640*30%*100%=640)	108 (700*30%*(100%-60%)=84)	108
平均			216

第五章 階段性成果發表與應用情形

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

5.1 獲中華民國發明專利

1. 專利類型

依我國現行專利法規定，專利分為發明、新型及設計專利等三種。

(1) 發明專利

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

(2) 新型專利

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

(3) 設計專利

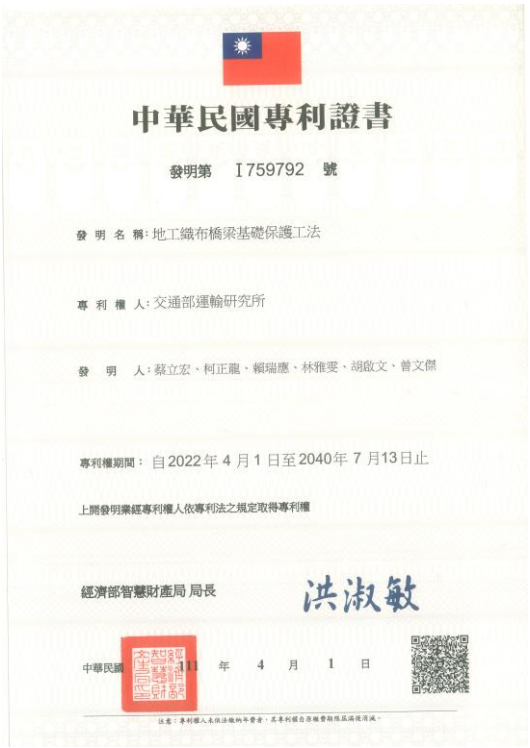
設計專利是指對物品全部或部分之形狀、花紋、色彩或其結合，透過視覺訴求的創作 其中 應用於物品之電腦圖像及圖形化使用者介面，為一種透過顯示裝置顯現而暫時存在之平面圖形，該圖形本身應屬花紋或花紋與色彩之結合的性質，亦得申請

取得設計專利。

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

2. 申請過程

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



中華民國專利證書

發明第 I759792 號

發明名稱：地工織布橋梁基礎保護工法

專利權人：交通部運輸研究所

發明人：蔡立宏、柯正龍、賴瑞應、林雅雯、胡啟文、曾文傑

專利權期間：自2022年4月1日至2040年7月13日止

上開發明業經專利權人依專利法之規定取得專利權

經濟部智慧財產局局長 洪淑敏

中華民國 111 年 4 月 1 日

圖 5.1 中華民國發明專利證書(發明第 I759792 號)

5.2 參與「2022 台灣創新技術博覽會」發明競賽

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

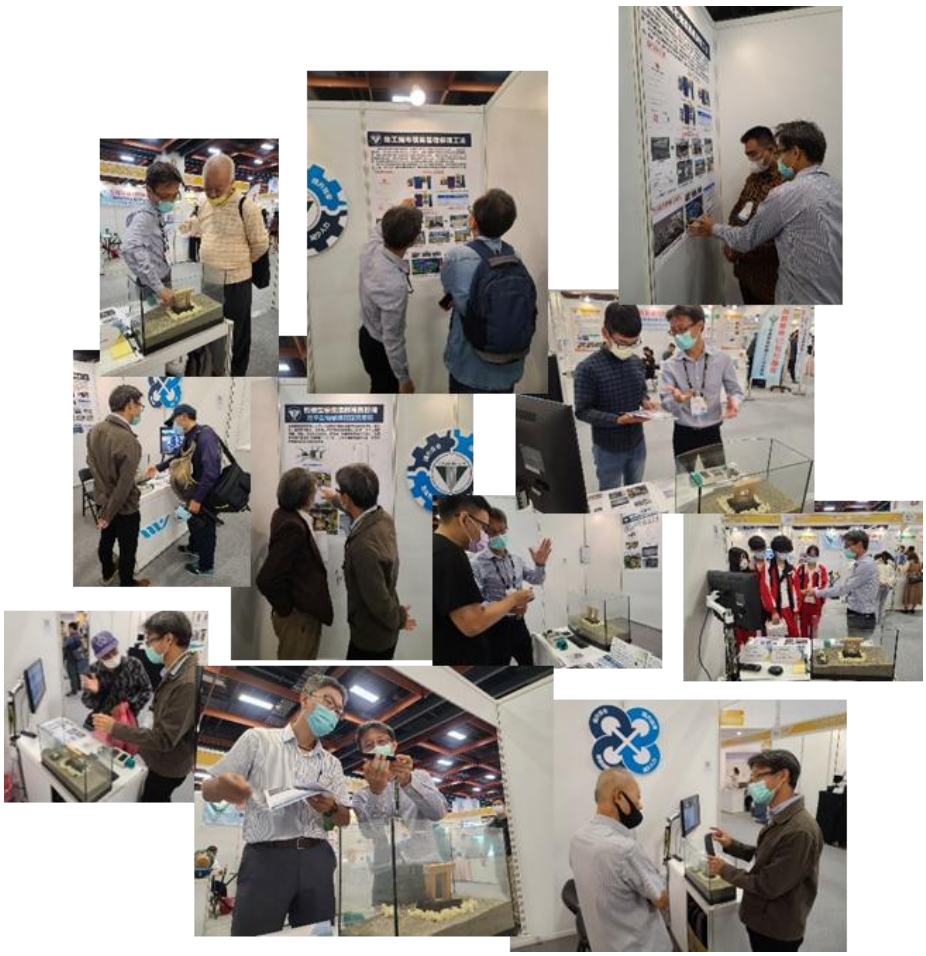


圖 5.2 展覽期間各界參與情形

圖 5.3 發明競賽委員評審情形

圖 5.4 主辦單位頒發「銀牌獎」獎項

5.3 參與交通部創新提案制度審查

為使交通部及所屬各機關(構)員工能參與機關決策及管理制度，發揮創意，研提各項創新或興革意見，進而提升行政效能，增進為民服務品質，爰依據公務人員品德修養及工作績效激勵辦法訂定「交通

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

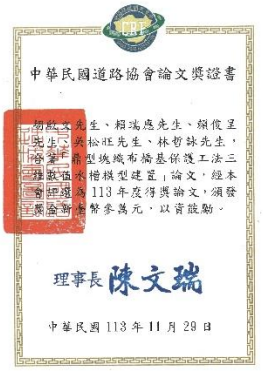
圖 5.5 交通部長頒發「甲等獎」獎項

5.4 參與 113 年度中華民國道路協會論文獎評選

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

經檢視，本計畫之 112 年度成果投稿於港灣季刊(127 期，113 年 2 月出版，論文題目「鼎型塊織布橋基保護工法三維數值水槽模型建置」)之論文符合協會評選規定，由本所推薦報名參與評選，經委員會

審議核定，榮獲該協會 113 年度「論文獎」獎項，於 113 年 11 月 29 日受獎表揚(圖 5.6)，並藉以肯定本計畫之成果。


中華民國道路協會論文獎證書

茲頒文成生、柏瑞應先生、顏俊呈先生、吳松旺先生、林智缽先生，等著「新型機織布橋基保護工法三維數值水槽模型建置」論文，經本會甄選為 113 年度得獎論文，頒發獎金新臺幣參萬元，以資鼓勵。

理事長 陳文瑞

中華民國 113 年 11 月 29 日

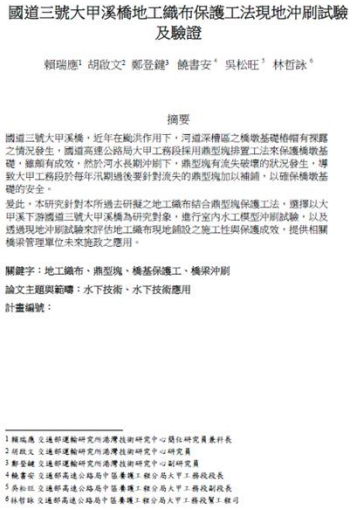
圖 5.6 獲中華民國道路協會 113 年「論文獎」獎項

5.5 階段性成果發表與推廣

1. 參與研討會

(1) 111 年「第 23 屆海洋與水下技術研討會」

本計畫階段性成果投稿於 111 年 5 月 27 日「第 23 屆海洋與水下技術研討會」並進行成果發表(圖 5.7、圖 5.8)，發表論文名稱「國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗」，適逢 COVID-19 疫情緣故，該研討會採線上及實體會議併行，藉此參與交流推廣與討論。


國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

賴瑞應[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，近年在颱洪作用下，河道深槽區之橋墩基礎椿帽有裸露之情況發生，國道高速公路局大甲工務段採用鼎型塊排置工法來保護橋墩基礎，雖頗有成效，然於河水長期沖刷下，鼎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鼎型塊加以補充，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鼎型塊保護工法，選擇以大甲溪下游國道三號大甲溪橋為研究對象，進行室內水工模型沖刷試驗，以及透過現地沖刷試驗來評估地工織布現地鋪設之施工性與保護成效，提供相關橋梁管理單位未來施政之應用。

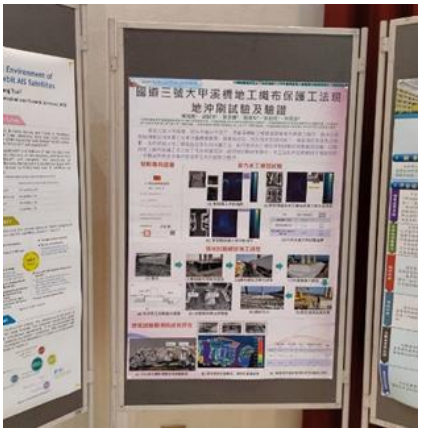
關鍵字：地工織布、鼎型塊、橋基保護工、橋梁沖刷

論文主題與範疇：水下技術、水下技術應用

計畫編號：

1 賴瑞應 交通部運輸研究所港灣技術研究中心簡任研究員兼科長
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幫工程司

圖 5.7 投稿論文短摘要(111 年)



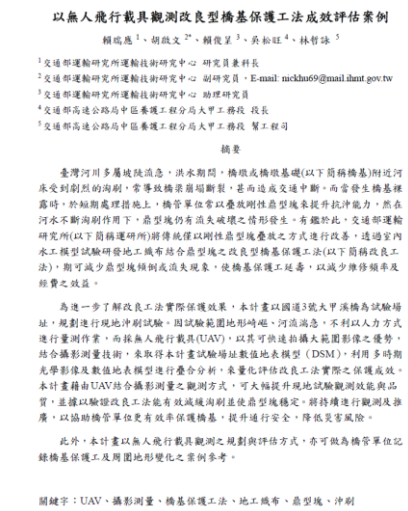
(a) 海報展覽 **(b) 簡報研討**

圖 5.8 論文發表情形(111 年)

(2) 113 年「第 42 屆測量及空間資訊研討會」

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

流討論。



以無人飛行載具觀測改良型橋基保護工法成效評估案例

賴瑞應[1]、胡啟文[2*]、賴俊呈[3]、吳松旺[4]、林哲詠[5]

[1]交通部運輸研究所運輸技術研究中心 研究員兼科長
[2]交通部運輸研究所運輸技術研究中心 副研究員，E-mail: nickhu69@mail.ihmt.gov.tw
[3]交通部運輸研究所運輸技術研究中心 助理研究員
[4]交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段 段長
[5]交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段 幫工程司

摘要

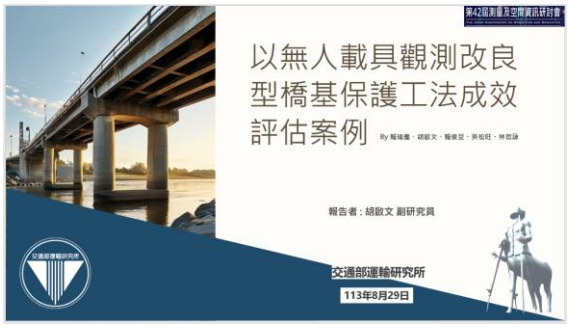
臺灣河川多屬坡陡流急，洪水期間，橋墩或橋墩基礎(以下簡稱橋基)附近河床受到刷深的沖刷，常導致橋梁基礎斷裂，甚而造成交通中斷。而當發生橋基裸露時，於短期處理措施上，橋管單位常以疊放剛性鼎型塊來提升抗沖能力，然在河水不斷沖刷作用下，鼎型塊仍有流失破壞之情形發生。有鑑於此，交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)將傳統僅以剛性鼎型塊疊放之方式進行改善，透過室內水工模型試驗研發地工織布結合鼎型塊之改良型橋基保護工法(以下簡稱改良工法)，期可減少鼎型塊傾倒或流失現象，使橋基保護工延壽，以減少維修頻率及經費之效益。

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

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

關鍵字：UAV、攝影測量、橋基保護工法、地工織布、鼎型塊、沖刷

圖 5.9 投稿論文短摘要(113 年)

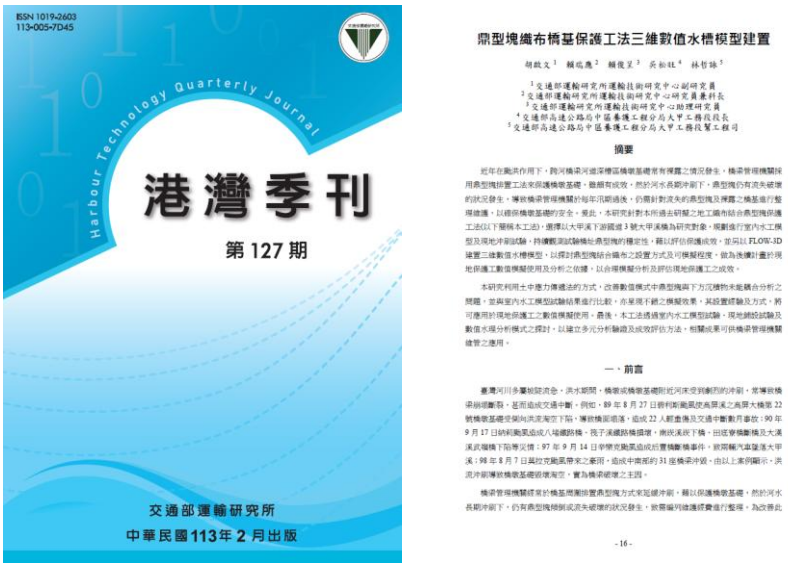


(a) 簡報 **(b) 口頭發表**

圖 5.10 論文發表情形(113 年)

2. 期刊投稿

本計畫之 112 年度研究成果，整理並撰寫論文投稿於 127 期港灣季刊，投稿論文題目為「鼎型塊織布橋基保護工法三維數值水槽模型建置」(圖 5.11)，以刊物型式進行研究成果分享與推廣。



鼎型塊織布橋基保護工法三維數值水槽模型建置

摘要

一、前言

-16-

圖 5.11 期刊投稿

3. 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	

4. 交通部部務會議

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

圖 5.12 交通部部務會議提案報告

5. 技術交流推廣

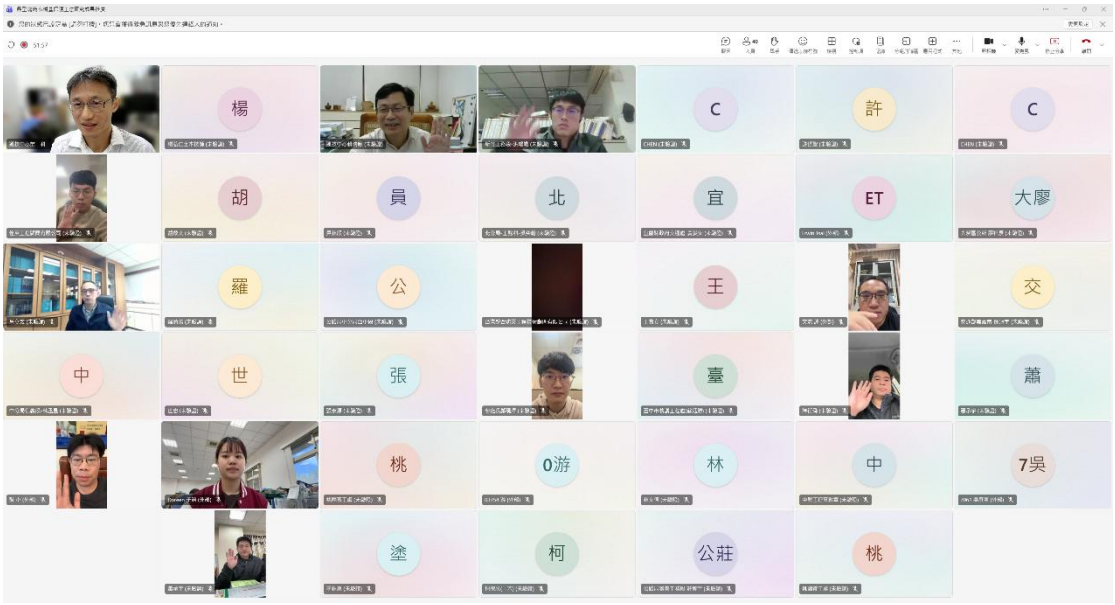
為使本計畫工法能與工程實務界有所交流並反饋，於 113 年 4 月 8 日、4 月 25 日、4 月 26 日及 4 月 30 日分別至華光工程顧問公司、劦盛工程顧問公司、中華顧問工程司及黎明工程顧問公司進行技術推廣交流，如圖 5.13(a)~(d)所示。並於 114 年 12 月 31 日將整理本計畫 4 年期總成果(室內、室外試驗、數值模擬、實務應用、施工技術說明書...)，邀集交通部部屬機關、地方政府及工程技師公會辦理技術推廣活動，提供改良之橋基保護工法給各界參考使用，如圖 5.13(e)所示。

(a)華光

(b)劦盛

(c)中華

(d)黎明



(e)技術推廣活動

圖 5.13 技術交流推廣情形

6. 災害防救科技成果展

本計畫於 114 年 11 月 21 日參與內政部消防署「114 年災害防救科技成果展」，舉辦地點於臺北車站 1F 大廳，以設置攤位展示及解說方式(圖 5.14)，藉由互動過程使民眾瞭解政府對災防工作之發展與努力，亦可將本計畫總執行成果推廣分享予民眾，以及參與本次成果展之各災防機關(構)進行交流與討論。

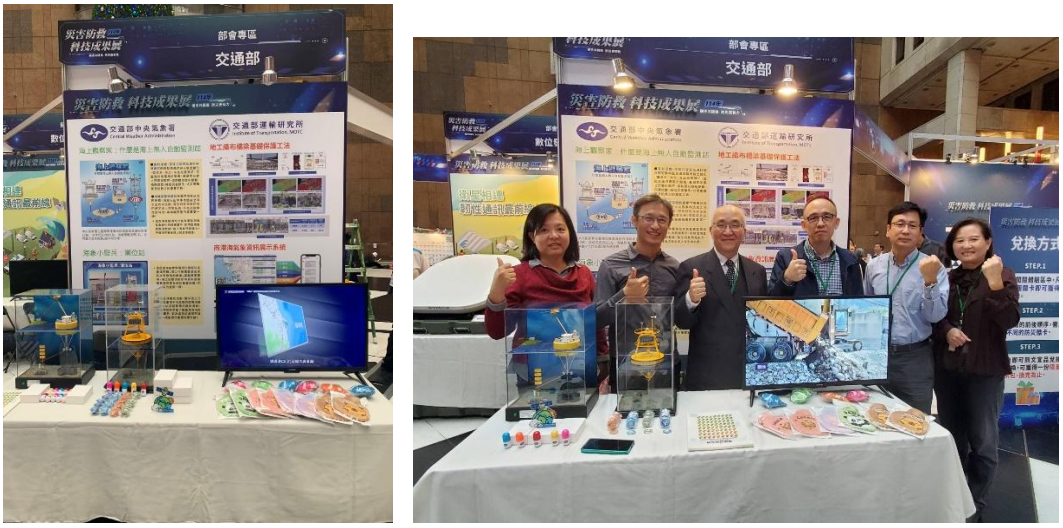


圖 5.14 參與「114 年災害防救科技成果展」

5.6 實務應用情形

1. 協助辦理國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 橋基保護工作

110 年 12 月 03 日高速公路局中區養護分局大甲工務段(以下簡稱大甲段)為辦理 111 年度橋梁維護工程預算編列作業，邀集本所與其他監測儀器佈設單位(中興大學)辦理現勘，討論相關鋪設位置、範圍及介面整合事宜(圖 5.15)，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 5.15 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 5.16)，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 5.17)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 5.16 第 1 次施工前協調會討論情形

圖 5.17 111 年度地工織布預計鋪設範圍

因施工期限緊迫，避免因介面協調不足而影響工進，111 年

03 月 18 日大甲段再邀集施工廠商、織布製造商及本所進行第 2 次施工前協調會(圖 5.18)，與生產端與施工端討論共識之細部斷面及配套之布料輸出尺寸大小、數量、施作方式、人力與機具，並於該次協調會達成共識，會後並據以制定細部施工斷面圖(圖 5.19)，以能於汛期前達成完工之目標。

圖 5.18 第 2 次施工前協調會討論情形

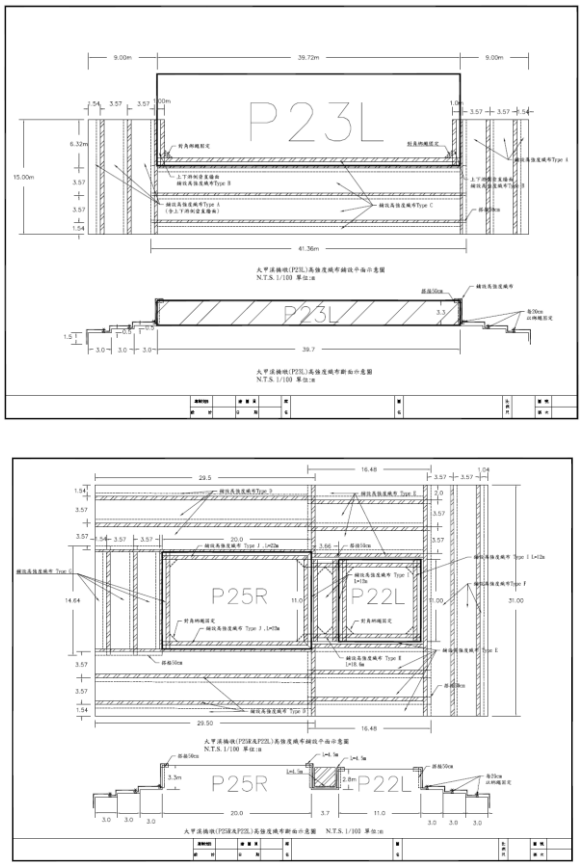
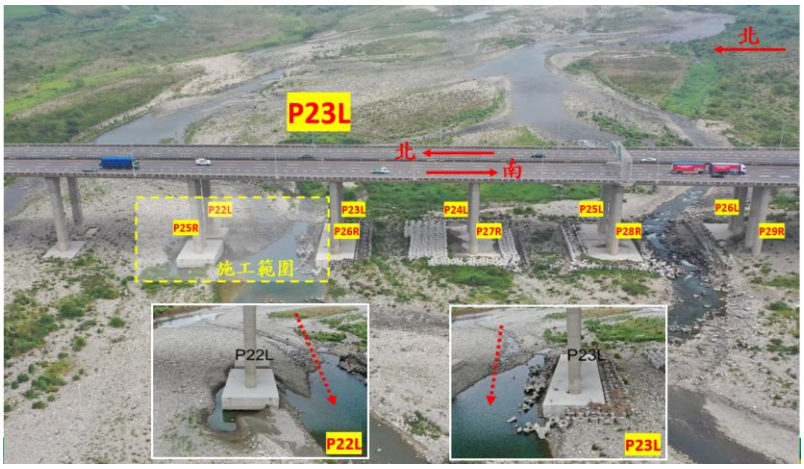


圖 5.19 鼎型塊織布橋基保護工法細部施工斷面圖

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該年汛期後執行。

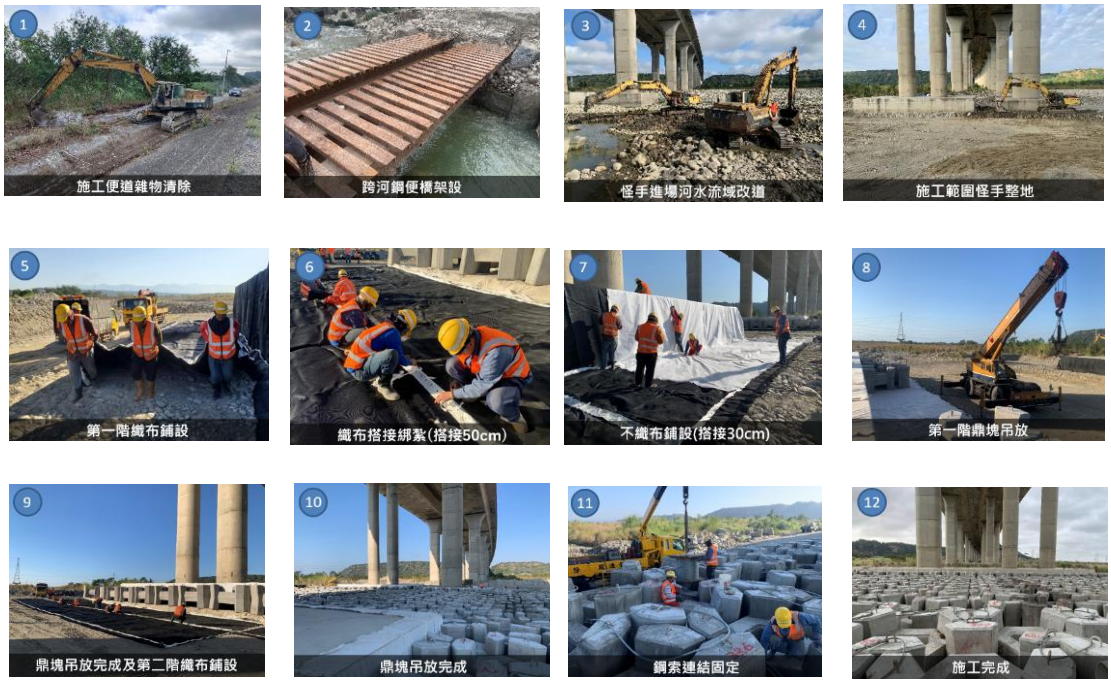
111 年 12 月 2 日正式開工，12 月 30 日完工，施工範圍如圖 5.20、施工過程如圖 5.21 所示，本次保護工程完工後，除可提供橋墩基礎保護外，亦可擴大本計畫試驗範圍，藉以增加試驗及驗證資料，提供更多資訊予後續研究進一步評估保護成效。

如第 3 章所述，113 年凱米颱風係為本計畫執行期間最大降雨事件，石岡壩放流量接近 Q5 重現期，並藉此事件更新現場觀測數據資料，結果顯示本計畫工法具有相當之保護效果，同時在此次事件後亦造成 P25L~P26L 鼎型塊保護工全部損壞流失(圖 5.22)，大甲段續採本計畫工法於 114 年 3 月完成 P25L~P26L 橋基保護工作(圖 5.23)，故已持續納入年度性橋基保護工程使用，具實務應用性。



資料來源:大甲段提供

圖 5.20 國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 本計畫工法施工範圍



資料來源:大甲段提供

圖 5.21 國 3 大甲溪橋 P22L~P23L 本計畫工法施工過程

113/07/18　　113/08/05

圖 5.22　113 凱米颱風後 P25L~P26L 保護工損壞情形

圖 5.23　114 年 P25L~P26L 本計畫工法施作過程及完工情形

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 5.24)，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 5.25)。

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 5.24 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 5.25 高公局 112 年度知識競賽獲獎情形

第六章 結論與建議

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

本計畫針對本所過去研擬之地工織布結合鼎型塊保護工法，以大甲溪下游橋梁為研究對象，於 109 年完成國道三號大甲溪橋 P24L-P27R 橋墩基礎之地工織布結合鼎型塊保護工法之現地鋪設，持續於 110~113 年進行現地保護成效的觀測與評估，並於 112 年已透過室內水工模型試驗探討三維數值水理模式於模擬鼎型塊+織布之設置及可模擬程度，113 年已完成大甲溪流域石岡壩至河口段之二維水理模型建置，前述成果可供本(114)年度計畫三維數值模式下鼎型塊+織布模型之設置方式，以及局部沖刷模擬分析時之邊界條件(以大甲溪流域所公告之不同重現期(2、5、10 年…)(表 3-1)流量模擬分析)，以模擬結果來評估本工法之在不同重現期下之保護成效，相關成果可提供大甲溪下游之橋梁管理單位如公路局、高速公路局、臺灣鐵路股份有限公司以及縣市政府等機關(構)未來施政之應用。

6.1 結論

1. 本計畫工法係為改良既有的鼎型塊保護工法，於施作工序上僅於整地後增加鋪設地工織布的工序，對於整體施工方式並無太大改變，因此，施工廠商技術門檻要求不高且具可施工性，而經過 109 年、111 年及 114 年實際施作之經驗，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 8~12%左右。

2. 本計畫執行期間，於 113 年度凱米颱風帶來豐沛之降雨量，使石岡

壩放流量達自 110 年起觀測以來之最(約 5 年重現期洪水量)，而進一步驗證本工法之耐洪性及更新保護成效數據，在試驗組(有鋪設織布)之損壞比約 4%，對照組(未鋪設織布)之損壞比約 38%，顯示本工法可提升保護工之耐洪性。

3. 整體而言，本工法以 3 期(109 年 P24L、111 年 P22L~P23L、114 年 P25L~P26L)所執行之工程總經費約為 2,480 萬元，其相對於傳統鼎型塊保護工法，所衍生增加之織布鋪設費用約為 266.3 萬元，但可減少鼎型塊流失或傾斜之現象，與未鋪設織布對照組相比可減少維修費用 914 萬元/次以上，益本比(BCR)約達 3.43。以目前 110~115 年 5 年期觀測之結果，本計畫工法之應用可具相當之保護作用，可達延長保護橋基壽命，減少維修頻率及維護經費之目的。

4. 本(114)年度計畫已完成國 3 大甲溪橋三維數值模擬分析，以不同重現期流量模擬傳統工法與本計畫工法之保護效果，藉以對照並評估本計畫工法之保護成效。透過機率加權計算其長期平均損壞風險約可降低 60%，換算為長期益本比(BCR)約可達 3.6，模擬結果顯示能延緩維修次數、延長保護橋基壽命減少及減少維護經費，對橋基安全性與長期維護成本均具有明確效益，與現場觀測分析結果趨勢相同。

5. 本 4 年期計畫首先以室內水工試驗進行概念驗證，後續再辦理現地試驗，以確認工法在實際施工中的可行性與保護性。同時，在等待現地試驗期間，同步建立數值模擬方法，用以預測並評估本計畫工法的耐洪能力與保護成效，以彌補現地試驗在上游流量無法控制、比對條件不易一致等方面不足之處。本計畫運用多元分析方法，評估本計畫工法保護成效的相關經驗與案例，並完成施工技術說明書及標準設計圖說(如附錄五)，相關執行過程及成果可供橋管機關參考應用。

6. 本計畫已透過專利申請、參與各項評獎選拔、部務會報、論文發表研討、攤位互動、成果推廣...等活動進行交流，並落實應用於高公

局年度橋梁維護業務工作。相關成果亦已獲得經濟部智慧財產局發明專利、「2022 台灣創新技術博覽會」發明競賽「銀牌獎」、交通部 112 年度創新提案制度「甲等獎」、高速公路局 112 年度知識競賽「知識品質獎」第 2 名，以及 113 年中華民國道路協會「論文獎」。

6.2 建議

1. 大甲溪流域於 97 年辛樂克颱風（石岡壩放流量 4,225cms，約 5 年重現期）造成后豐大橋斷橋事件；98 年莫拉克颱風（石岡壩放流量 5,410cms，約 10 年重現期）亦帶來顯著衝擊。相較之下，本計畫自 110 年觀測以來，113 年度凱米颱風為目前最大事件（石岡壩放流量 3,867cms，約 5 年重現期），與 98 年莫拉克颱風的規模仍有明顯差距。建議後續仍可持續進行觀測，以待超大豪雨事件(10 年以上重現期)，取得更具代表性的實測驗證資料。

2. 受限於現階段三維數值模擬軟體的能力，尚無法模擬鼎型塊在底床淘空後產生移動之耦合分析，致無法近似模擬實際沖刷發生的動態過程。建議未來可採分階段模擬方式處理，即將前一階段所得地形結果做為下一階段的初始地形輸入，以貼近真實的底床沖刷發展情形。

6.3 研究成果效益

1. 藉由現場試驗觀測結果，完成 110~114 年度本計畫工法之成效總評估。

2. 透過二維及三維數值模型建置，完成本計畫工法於不同重現期流量下之耐洪性及保護效益評估。

6.4 提供應用情形

1. 本計畫工法已於 109 年、111 年及 114 年分別應用國道 3 號大甲溪河川橋 P24L、P22L~P23L 及 P25L~P26L 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. 本計畫相關研究成果，如:本計畫工法多元分析驗證及評估方式、橋基保護採 UAV 觀測規劃方式、施工技術說明書與標準設計圖說、施工流程...等，可提供相關橋梁管理單位未來規劃、驗證及鋪設橋基保護工法之參考。

參考文獻

1. Toffaleti, F. B. “A procedure for computation of the total river sand discharge and detailed distribution, bed to surface.” Technical Report No.5, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss (1968).

2. Brownlie, W. R. “Compilation of fluvial channel data: laboratory and field.” Rep. No. KH-R-43B, W. M. Keck Lab. of Hydr. and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, Calif (1981) .

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, 59-65(1999).

4. Wu, W. M. “CCHE2D sediment transport model”, Technical Report No. NCCHE-TR-2001-3 (2001).

5. Jia, Y., Wang, S., “CCHE2D: two-dimensional hydrodynamic and sediment transport model for unsteady open channel Flows over loose bed.” , Technical Report No. NCCHE-TR-2001-1, February (2001).

6. Wu, W. and Wang, S. S. Y. “Selection and evaluation of nonuniform sediment transport formulas for river modeling.” Proc. XXXth IAHR Congress, Thessaloniki, Greece (2003).

7. Wu, W. and Wang, S. S. Y. “Depth-averaged 2-D calculation of tidal flow, salinity and cohesive sediment transport in estuaries,” Intl. J. Sediment Res., 19(3), 172–190 (2004).

8. Wu, W. and Wang, S. S. Y. “Depth-averaged 2-D calculation of flow and sediment transport in curved channels,” Int. J. Sediment Res., 19(4), 241–257 (2004).

9. Jia, Y., Y., Zhang and S. S. Y., Wang,. “Numerical modeling of bank erosion processes and its field application”, Proceedings of the International Conference of Hydroscience and Engineering, Nagoya,

Japan, 9-12 (2008).

10. 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).

11. Brian Fox, and Robert Feurich. “ CFD Analysis of Local Scour at Bridge Piers”, Flow Science Incorporation (2019).

12. Flow Science, “FLOW-3D Version 2022R2 User Manual”, Flow Science Incorporation (2022).

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. 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。

16. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「大甲溪河段輸砂特性試驗研究總報告」，2010。

17. 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。

18. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究總報告」，2011。

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. 邱永芳、謝明志、賴瑞應、林雅雯、廖清標、陳昶憲、林秉賢、張慶民、李仲强、黃進國、蔡明邑、羅冠顯，「跨河橋梁保護工法之研究」，2011。

21.邱永芳、謝明志、林雅雯、游保杉、呂珍謀、楊道昌、詹勳全、陳薇伊、毆芳郡、周容辰、陳潔、黃進國、羅冠顯、陳家隆，「河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究」，2011。

22.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。

23.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。

24.經濟部水利署水利規劃試驗所，「大甲溪流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(2/2) 」，2015。

25.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。

26.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。

27.經濟部水利署水利規劃試驗所，「大甲溪流域整體治理綱要計畫(101-104 年)執行檢討及改善策略研擬」，2016。

28.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。

29.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。

30.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。

31.內政部國土測繪中心，「108 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作案」109 年度工作總報告，2020。

32.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。

33.經濟部水利署第三河川局，「110 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量計畫-測量成果報告書」，2021。

34.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。

35.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。

36.內政部國土測繪中心，「112 年及 113 年水利數值地形資料測製工作(第 1 作業區)」112 年度工作總報告，2023。

37.經濟部水利署第三河川分署，「112 年度大甲溪大斷面測量計畫」，2023。

38.交通部公路總局，「施工說明書技術規定」，2023。

39.蔡立宏、胡啟文、鄭登鍵、賴俊呈、蔡雅芳，「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)- 橋基沖刷數值模型建置與分析」，交通部運輸研究所，2024。

蔡立宏、胡啟文、鄭登鍵、吳妲怡，「鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估，交通部運輸研究所，2025。

附錄一

專家學者座談會會議紀錄

交通部運輸研究所運輸技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：本所運技中心第一科 114 年度自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：114 年 5 月 12 日(星期一)上午 9 時 30 分

參、地點：本所運輸技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任　　紀錄：鄭登鍵

伍、出單位及人員：如簽到表

陸、與會委員意見：

一、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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1. 本工法適用於如大甲溪此類卵礫石河床，而臺灣的河川環境及地質具多樣性，在感潮區河川、泥砂或泥岩等環境是否可用其他的方式來保護橋基，建議後續可規劃針對相關的場域下橋基保護之研究。

2. 建議可建立本工法之 SOP 做為施工說明書，提示施工細節、步驟，以利後續推廣執行。

(二) 橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

目前箱內檢測還是以人力為主，無法用機器取代，本工務段可安排本案研究人員參與箱內檢測作業，實際參與執行體會實務困難及盲點。

(三) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

本工務段轄區國道 3 號竹南西至後龍段，因近海盤式支承鏽蝕嚴重，目前預計以手動或噴砂方式除鏽，若有研究參考需求可安排至現場案例蒐集。

二、柯委員永彥

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1. 現場驗證使用 UAV 進行拍攝，如何針對水下沖刷部分進行觀察？
2. 本研究大甲溪河床屬於卵礫石，若針對不同性質之河床應如何調整或可直接適用？建議後續規劃相關延續性之研究。
3. 本研究建議可將計畫施作經驗回饋修正，如於現場工法之最佳配置、注意事項、步驟等補充說明。

(二) 橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

橋梁檢測方法相當多，包涵目視檢測及非破壞性檢測，建議透過訪談及現場觀摩，聚焦於實務需求。

(三) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

本案之研究場域是否有機會擴增至離岸風電之範圍？

(四) 港灣構造物巡查檢測作業精進(4/4)-新興科技應用於其他設施巡查檢測作業

港灣構造物之管理相當重要，本研究今年度為最後一年，建議後續研究可從巡查檢測提升到監測，可節省人力並獲得更全面之資料。

(五) 港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

本研究今年做花蓮港即可蒐集 2018、2024 年震災之案例，做實際案例之對照。

(六) 氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

本研究可與臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究搭配，將 RC 構件佈放於各實驗場域做測試。

三、林委員健明

(一) 港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

1. 須因應氣候劇烈所生颱風豪雨，造成既有排水設施無法消退之積水及淹水。
2. 因應船舶大型化，碰墊規格尺寸需變大，是否影響碼頭結

構？

(二) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

碼頭水下構造物為鋼板樁或鋼管樁結構，海水腐蝕劣化因子是否有針對各港海氣候條件分別研究？

(三) 港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

1. 本研究為 5 年期研究之第 4 年，相關的資料蒐集，主要以生成式 AI 蒐集國內外液化評估之文獻，請注意 AI 工具使用之實際性。
2. 花蓮港於 113 年 0403 地震中受創嚴重，相關研究資料陸續產出，請貴中心針對潛勢液化高之碼頭，提出具體建議以減少地震所帶來之災損。

四、王委員朝正

1. 8 個計畫含括基本資料建立、資料運用方法及管制檢測技術評估與應用，符合運技中心設立之目的。
2. 建議研究成果每年發表，依查核點審查並分享研究成果。
3. 建議貴中心持續讓工作同仁接受 AI 之相關訓練。

(一) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

碳鋼及鋅去年已建立關聯性，建議今年成果能帶入進行確認，並進行 AI 學習。

(二) 氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

鋼筋混凝土之劣化，鹽份、水份不可或缺，但若水量夠大是能沖掉鹽份，建議水量、時雨量及次數列入參數。

五、楊委員秉順

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1. 橋基沖刷涉及河床質種類、河床斷面、河床高程、基礎形式等狀況有不同影響，本案經歷多年試驗與現地驗證具有效益性，建議可載明本案適用性範圍。

2. 可研議採用檢核表方式，對於有橋基沖刷之機關，只要針對檢核表內容勾選，即可知道是否可採用本方法，並於表中針對不同狀況提供織布配置建議方式，以方便依循。

(二) 橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

1. 目前箱內檢測面臨人員安全、設備限制，狀況甚多，建議可先針對不同箱內情況了解。
2. 因為箱內狀況不同，有混凝土橋、鋼構，且隔梁人孔有管線或是箱內有錨頭等狀況甚多，建議後續歸納各種狀況之適用性方式。
3. 無管線、阻礙物或高低差等影響隔梁人孔之箱內環境，可研議採自動軌道之可行性。
4. 如屬較複雜有阻礙物之箱內環境，可研議採人員先蒐集箱內高解析之照片與影片，事後採用影像標註及檢測評分等方式可行性，減少人員停留時間。

(三) 港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

本草案有規範相關土壤液化計算方式，建議可研議將港區地震液化風險評估模式精進等相關案例納入。

(四) 鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

1. 邊坡情況甚多，有落石、土石流、倒懸、危木或節理開裂等問題，建議收集資料後先研擬預計 AI 判釋之方向。
2. 以公路局而言，RHRS 已有相關檢核表與評分機制，未來如能導入 UAV 等自動判釋相關邊坡分級數值，將可迅速分類。

(五) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

1. 本案歷年對於橋梁設計具有相當的助益，惟目前僅能以腐蝕等級由設計單位採用膜厚設計或耐久性設計等考量，建議本案後續可建立各區域相關設計參數，讓設計單位更能直接採用。
2. 因關渡橋與未來淡江大橋皆位於淡水河出海口，建議可於該處新增相關試驗。

(六) 氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

1. 目前採用4種不同溫室氣體情境來研究鋼筋腐蝕速率模型計算，未來於不同現地上如何採用相關設計參數？
2. 本案提及選取一座鋼筋混凝土橋梁評估鋼筋腐蝕，是否已有選定？未來如何與模型相互驗證？

六、李委員坤哲

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1. 沖刷因子涉及流量、水深、福祿數、河床質..等等，本案目前採大甲溪案例，未來可擴充其他條件下之探討，如砂土、粉土質粒料，並據以調整織布，提升保護工耐久性。
2. 建議後續年度如繼續執行，可增加沖刷計算與水工試驗及現地試驗之比較，可推求不同條件下之成效。
3. 水利機關近年有辦理大甲溪疏濬工程,請注意地形及流況改變之影響。

(二) 橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

1. 目前橋梁箱內檢測時，人員進出人孔之墜落風險及箱內局限空間為高風險等級。
2. 國內之前嘗試過之案例包括 UAV、Lidar、橋梁檢測機器人，因箱內構件複雜、管線遮蔽物、人孔位置不一、定位等困難，有諸多問題待克服。
3. 本案研究員後續將實際進入箱內查訪,對發掘問題及工具之開發應有極大幫助。

(三) 鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

目前邊坡主管單位之邊坡分級制度有定性及定量兩部分，其分級需要大量人力進行資料之判讀及更新，如能在適當點導入 AI,並配合邊坡監測系統,將對邊坡預警及防災大有裨益。

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：上午 11 時 30 分

會議簽到表

壹、會議名稱：本所運技中心第一科 114 年度自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：114 年 5 月 12 日(星期一)上午 9 時 30 分

參、地點：本所運輸技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：蔡主任立宏 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

所外委員	簽名
林委員健明	林健明
楊委員秉順	楊秉順
吳委員松旺	吳松旺
柯委員永彥	柯永彥
李委員坤哲	李坤哲
王委員朝正	王朝正
第一科	賴瑞建 顏麗香 張道光 曹立傑 王智源 謝名 蔡鴻建 賴俊呈 黃宇強 謝幼庭 黃姮君
第二科	李修翔
第三科	林雅雯

附錄二

第 1 次工作會議紀要

114 年自行研究計畫第 1 次工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 114 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：114 年 6 月 30 日(星期一)上午 10 時至 13 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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1. 相關三維數值水理分析文獻資料之蒐集。

2. 本工法施工說明書撰擬、現場觀測執行及三維數值分析模型建置情形。

3. 階段性成果應用說明。

(二)橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

1. 國內橋梁箱型梁結構型式分類介紹。

2. 橋梁箱內檢測規定及實務問題說明。

3. 6 月專家學者諮詢及實務單位訪談內容說明。

(三)港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

1. 彙整及回顧臺灣港灣構造物設計基準發展歷程。

2. 彙整及回顧日本「港灣の施設の技術上の基準・同解說」之

變遷。

3. 調查及蒐集「港灣構造物設計基準(草案)」所參考引用國內外標準或規範之最新版本。

(四)鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

1. 已蒐集之國內外 AI 於邊坡相關研究文獻說明。

2. 專家學者諮詢及實務單位訪談規劃。

3. 國營臺灣鐵路股份有限公司邊坡分級制度介紹。

(五) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

1. 完成第 1~2 季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗工作，持續辦理第 3~4 季工作。

2. 完成出版年報與辦理研習會工作，後續工作重點在進行銅金屬關聯性分析工作。

(六)港灣構造物巡查檢測作業精進(4/4)-新興科技應用於其他設施巡查檢測作業

1. 各港區其他設施之巡檢項目與維護管理制度彙整與研析。

2. 其他設施常見之劣化項目探討。

(七)港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

1. 彙整液化評估法相關文獻，並蒐集花蓮港及安平港近 10 年新建工程所增加之地質鑽探資料。

2. 初步完成花蓮港及安平港地質鑽探資料盤點。

(八)氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

1. AR6 統計降尺度資料之篩選及資料處理流程。

2. 鋼筋混凝土腐蝕劣化評估模型之選用。

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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1.討論所蒐集文獻之適用性。

2.三維數值模型分析流程與可列入檢定及驗證事件探討。

(二)橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

1.依橋梁箱型梁結構分類，討論橋檢輔助工具之適用模式。

2.專家學者諮詢及實務訪談所蒐集之橋檢實務問題討論。

(三)港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

討論本案盤點檢討「港灣構造物設計基準(草案)」參考引用國內外標準或規範之最新版本及取得的情形。

(四)鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

1.蒐集文獻有 AI 結合數位孿生此類較為新穎之整合應用，建議針對目前 AI 於邊坡之新應用案例加強蒐集，以做為未來研究課題之發想。

2.建議持續前往案關單位進行諮詢，以瞭解實務運作及 AI 應用所在。

(五) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

1.討論關聯性研究的建模數據、主要影響因子、依區域特性建模等相關課題。

2.討論水下試片取樣分析與研究重點。

(六)港灣構造物巡查檢測作業精進(4/4)-新興科技應用於其他設施巡查檢測作業

1.討論其他設施維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準。

2.討論各港之其他設施構件劣化項目。

(七)港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

1.討論 111-113 年成果與港灣構造物維護管理系統介接的內容。

2.討論後續報告內容的加強與補充。

(八)氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

1.選用之腐蝕劣化評估模型於臺灣地區的適用性。

2.既有文獻上其他腐蝕劣化評估模型之差異性。

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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

(一)高公局大甲工務段已於今年汛期前採用本工法完成 P25L~P26L 橋基保護工作，並已據此完成今年度現場試驗區第 1 次 UAV 觀測航拍記錄初始地形,後續請持續注意降雨情形適時進場拍攝,以及注意航拍活動申請之期限。

(二)三維模型建置驗證事件之選取,考量降雨量、石岡壩放流量、試驗區影響性及觀測資料完整性，可採 113 年凱米颱風事件。

二、橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

(一)建議增加橋梁箱內檢測之檢測項目相關論述，以利聚焦並評估橋檢工具應具備之功能及實用性。

(二)建議報告蒐集並統計呈現各種類箱型梁之數量，以利評估未來橋檢工具研發之效益。

三、港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

(一)有些標準或規範需要付費購買才能取得，建議先以已經蒐集取得的最新版本之標準或規範進行盤點檢討。

(二)有關本計畫鈞長提示：「港灣構造物設計基準複審一案，涉及原提報交通部複審時未納入之新增議題，惟該等議題尚未經初審即納入複審程序，為確認其程序之適切性及實務可行性，請與綜合規劃司研商後續處理方式。」在經與綜合規劃司討論後，其建議先進行盤點，俟盤點後評估修訂內容多寡，再決定逕行辦理複審作業，還是交通部函文將基準(草案)退回本所，重新辦理基準編修及初審作業。故請於 8 月 31 日前，提供盤點資料予綜合規劃司參辦。

四、鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

(一)建議後續再持續蒐集臺灣高速鐵路股份有限公司(簡稱高鐵公司)及農業部林業與自然保育署阿里山林業鐵路及文化資產管理處(簡稱阿里山林鐵)邊坡分級相關規定，以做相互參照比較。

(二)應依照本計畫研究目的及對象，逐步收斂課題、以終為始，故建議初步蒐整鐵公路邊坡分級制度後，應歸納並分類出適合 AI 介入輔助之情境，俾後續提供實務單位參考應用。

五、114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

(一)後續可分區進行關聯性分析，探討臺灣不同大氣環境、不同腐蝕因子特性區域間的腐蝕差異性。

(二)後續可比較各年期、各港區水下金屬腐蝕差異性，以及水下金屬腐蝕與腐蝕因子間的關聯性。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(4/4)-新興科技應用於其他設施巡查檢測作業

(一)統計並分類各個港區其他設施構件之劣化項目，以瞭解設施常見損壞構件，提供後續設施維護之參考數據。

(二)建議再加強蒐集新興科技可應用在其他設施的巡檢作業案例。

七、港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

(一)請提供歷年各港液化相關研究成果予港灣設施維護管理系統介接，提供臺灣港務股份有限公司未來的應用。

(二)今年度進行花蓮港及安平港模式精進，建議運用國內、外的液化分析方法，推估花蓮港及安平港液化範圍及震陷量，提供地震速報簡訊之應用。

八、氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

(一)建議測試比較不同腐蝕劣化評估模型之差異。

(二)建議搜尋是否有臺灣本土的相關溫度及濕度等修正因子試驗資料，以利建立臺灣本土之修正因子。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科114年自行研究計畫」第1次工作會議

貳、時間：114年6月30日(星期一) 上午10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	代理研究員 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員	黃柏嘉 胡守勤 謝幼屏 張道光 曹立偉 鄭建鋒 賴俊星 黃宇強
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李作翰
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林瑞雯

附錄三

第 2 次工作會議紀要

114 年自行研究計畫第 2 次工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 114 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：114 年 8 月 28 日(星期四)上午 9 時至 12 時 40 分

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1. 文獻資料蒐集及本工法施工說明書撰擬說明。

2. 數值分析流程及三維數值分析模型檢定與驗證情形說明。

3. 階段性成果應用說明。

(二)橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

1. 蒐整橋梁箱內部檢測之檢測項目及缺失樣態說明。

2. 箱梁內部檢測作業現地觀摩內容說明。

(三)港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

1. 初步盤點並檢討草案內容。

2. 與臺灣世曦工程顧問股份有限公司討論盤點結果及後續編修方向討論。

(四)鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

1. 蒐整國內外 AI 應用於邊坡相關研究文獻。

2. 實務單位訪談紀要說明。

3. 我國鐵公路邊坡分級制度現況說明。

(五) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

1. 完成第 1~2 季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗工作，持續辦理第 3~4 季工作。

2. 初步完成銅金屬關聯性分析工作，後續將持續精進與優化模式。

(六)港灣構造物巡查檢測作業精進(4/4)-新興科技應用於其他設施巡查檢測作業

1. 探討各港區其他設施經常及特別巡查設施之劣化項目。

2. 無人機與行動應用程式應用於其他設施巡檢作業。

(七)港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

1. 建置花蓮港及安平港地質鑽探資料，並盤點、篩選液化風險評估可用資料，花蓮港共 36 筆、安平港共 193 筆地質鑽探資料。

2. 完成不同地震情境下液化潛勢比較。

(八)氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

1. 氯離子擴散係數之溫度及時間影響修正。

2. 需考量鹽害影響縣市之使用年限損失比較。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4)-保護成

效評估及技術推廣

1. 文獻引用資料之適用性。

2. 三維數值模型檢定與驗證情形，及後續可列入模擬分析之事件探討。

(二)橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

1. 依不同箱內環境適用之檢測輔助工具模式討論及比較。

2. 國外箱內檢測技術應用及現地試驗成果文獻討論。

(三)港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

1. 討論初步盤點檢討之結果，特別針對氣候變遷對於港灣影響，草案所參考引用之國外規範，於更新之版本皆已修訂相關方針、措施及策略等來調適因應。後續草案辦理修訂時，建議參考更新版之國外規範進行更新修訂，以因應氣候變遷之挑戰。

2. 討論草案參考引用之國內外規範更新版本，有關需付費才能取得之新版規範是否需進行採購。

(四)鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

1. 目前蒐集之邊坡結合 AI 應用案例及文獻，仍是以較常見之情境，例如：邊坡滑動風險評估及災害預測、劣化辨識及結構弱面分析等，建議蒐集生成式 AI 於邊坡之應用案例，以拓展思路。

2. 建議國外鐵公路邊坡分級制度可考量納入蒐整，相互比較。

(五) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

1. 討論關聯性研究於校正迴歸模式時之主要考量因素。

2. 討論關聯性模式與前期模式差異，以及未來精進模式之方向。

(六)港灣構造物巡查檢測作業精進(4/4)-新興科技應用於其他設施

巡查檢測作業

1.討論其他設施巡檢劣化項目之探討。

2.討論新興科技應用於其他設施之巡檢作業。

(七)港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

1.討論花蓮港及安平港不同地震情境下液化潛勢分析。

2.討論後續報告內容之加強與補充。

(八)氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

1.納入溫度修正氯離子擴散係數造成提前發生初始腐蝕。

2.各縣市使用年限損失差異不大，可能是因為需考量鹽害影響之各縣市年均溫相差不大。

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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

(一)請檢視高公局大甲工務段應用本工法之時間，以及更新引用水利署之斷面流速及水位資料。

(二)後續以水利署演算之大甲溪不同重現期流量進行分析模擬，評估本工法之耐洪性。

二、橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

(一)建議規劃至不同型式之箱梁進行現地觀摩，以較全面了解國內箱梁內部型態及狀況。

(二)依據箱內空間及相關構件佈設，檢測輔助工具選擇除固定軌道式、攀爬及自走式機器人外，複雜之箱內空間可研發穿戴式設備方案，輔助人員紀錄以減少檢測人員待於箱內時間。

三、港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

(一)需要付費購買才能取得之新版國內外規範，建議後續以草案參考引用較多或較常用之新版規範優先採購。

(二)經初步盤點結果，因應氣候變遷、船舶大型化、耐震規定及材料規格等因素，本草案所參考引用之國內外規範或標準，均已大幅更新，爰刻正辦理函文請交通部辦理退回草案相關事宜。俟退回後，本所將重新進行編修及初審相關作業，完成更新後再陳送交通部辦理複審。

四、鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

(一)針對所盤點之鐵公路邊坡分級制度和現況，後續如何結合 AI 應用，應在報告後面章節詳加描述兩者之間的關聯性。

(二)本案所提出適合 AI 輔助鐵公路邊坡之應用情境，後續可歸納及分類，提供其他實務單位參考應用。

五、114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

後續進行關聯性研究，可嘗試應用 AI 技術，分析金屬腐蝕速率與腐蝕因子間之關聯性。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(4/4)-新興科技應用於其他設施巡查檢測作業

(一)建議補充新興科技 UAV 應用於其他設施巡檢案例之說明。

(二)建議加強新興科技應用於其他設施之運用與維護管理巡檢作業之精進說明。

七、港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

(一)下次工作會議請補充液化風險評估之機率分析與定值分析之差異處。

(二)本計畫前期成果臺北、臺中、高雄等 3 港區之鑽探熱點圖及土壤液化潛勢圖，提供港灣設施維護管理系統介接，相關使用權

限設定要慎重，以免影響航商選擇該港埠之停靠意願。

八、氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

(一)建議再搜尋文獻是否有其他影響氯離子擴散係數之因子。

(二)後續腐蝕防治策略應朝實務應用提供建議。

(三)建議詳細列出各氣候變遷模擬情境之使用年限損失。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科114年自行研究計畫」第2次工作會議

貳、時間：114年8月28日(星期四) 上午9時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 副研究員 〃 〃 〃 副研究員 助理研究員	賴俊志 鄭登建 胡雅淳 曾文偉 謝依庭 黃宇謙 張道光 顏麗香 黃柏青 王啓穆
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李作穎
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

會議結束進用餐時間。賴瑞應

附錄四

第 3 次工作會議紀要

114 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 114 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：114 年 10 月 27 日(星期一)上午 9 時至 12 時 50 分

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1. 本工法施工說明書撰擬說明。

2. 數值分析流程及三維數值分析模型 Q5、Q10、Q20、Q50、Q100 模擬評估情形說明。

3. 階段性成果應用及技術推廣規劃說明。

(二)橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

1. 鋼箱梁內部檢測作業現地觀摩內容說明。

2. 橋梁箱內檢測輔助工具可行方案及橋檢工具開發評估說明。

(三)港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

1. 宇泰工程顧問有限公司視訊訪談盤點及後續編修方向討論。

2. 撰寫期末報告初稿。

(四)鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

1.鐵公路邊坡分級制度綜整說明。

2.邊坡分級制度結合 AI 之應用場景剖析。

(五)114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

1.完成第 1~3 季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗工作，持續辦理第 4 季工作。

2.完成第 4 次水下試片取樣工作，持續辦理水下腐蝕試驗之金屬試片腐蝕生成物清除、秤重工作。

3.規劃辦理板狀標準試片之大氣腐蝕暴露試驗。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

1.完成花蓮港及安平港不同地震情境下液化潛勢分析。

2.完成花蓮港及安平港不同地震情境下地震沉陷潛勢分布。

(七)氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

1.臨界氯離子濃度、氯離子擴散係數計算公式修正。

2.設計年限內鋼筋腐蝕量計算。

3.氯離子擴散係數縮減率計算。

4.抗氯鹽腐蝕策略分析及彙整。

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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

1.三維數值模擬時間及其與二維分析結果轉為邊界條件之討論。

2.本工法於不同重現下保護成效及保護工法鋪設方法再改良之

討論。

(二)橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

1.依橋梁箱內環境討論檢測輔助工具可行方案。

2.箱梁內部環境需求急迫性討論研發可能性及優先順序。

(三)港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

1.討論宇泰工程顧問有限公司建議基準後續編修的方式。

2.依據盤點檢討之初步成果，討論後續編修方式及初審工作。

(四)鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

1.建議多加蒐集並整理我國邊坡養護單位已實際應用 AI 輔助於邊坡之案例，以提供其他單位參考發展。

2.建議針對巡查、監測及地錨檢測等各邊坡管理手段，探討可能結合 AI 輔助應用之應用場景，並說明適用性。

(五) 114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

1.討論進行板狀試片暴露試驗的作業困難與因應方案。

2.討論進行板狀試片暴露試驗的後續執行工作內容。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

1.花蓮港及安平港不同地震情境下地震沉陷潛勢討論。

2.後續報告內容的加強與補充討論。

(七)氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

1.臨界氯離子濃度計算公式的適用條件。

2.既有混凝土橋梁抗腐蝕策略。

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(4/4)-保護成效評估及技術推廣

(一)本年度僅於年初進行一次現場拍攝作業，請儘速規劃第二次現場觀測作業，做為成效評估之依據。

(二)本計畫為第 4 年期之研究，後續請儘速規劃本工法成效總評估之說明暨技術推廣活動，以供相關橋管機關參用。

二、橋梁箱內檢測技術探討與後續研發評估

(一)建議蒐集現行橋梁箱內檢測之檢測作業執行成本，以利比較研發相關輔助工具之成本效益。

(二)橋檢人員穿戴式輔助工具可納入勞安有關議題之相關探討，提升本工具之需求及必要性。

三、港灣構造物設計基準(草案)修訂之盤點

臺灣世曦工程顧問股份有限公司及宇泰工程顧問有限公司之意見可提供辦理編修及初審作業之參考，以完備基準的內容、調整編修的方式等，俾利於基準更具實用性。

四、鐵公路邊坡分級制度結合 AI 類神經網路模型之應用探討

(一)邊坡養護單位完成之巡查工作紀錄、各項表單及蒐集大量災害及損傷影像，皆保存於其建置之邊坡全生命週期管理系統或資料庫，而目前 AI 發展日新月異，大語言模型如 ChatGPT 已蓬勃發展，使用者透過一問一答方式即能請 AI 協助判識影像、撰寫程式碼並建構專屬之 AI 模型等等，相較過往，專業門檻已降低不少，使用者僅需著重於資料之蒐集、品管、標註和處理等工作。本研究之目的應定位在盤點邊坡養護單位可供 AI 訓練之資料，協助其發想自身之 AI 應用。

(二)建議統整各邊坡養護單位之維護管理機制中，共通性之工作、項目及流程，並提供具泛用性之 AI 輔助應用場景。

五、114 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與銅金屬關聯性研究

(一)後續安裝大氣腐蝕暴露試驗之板狀試架時，建請按 CNS 規範進行安裝。

(二)試驗裝置多安裝在樓頂，易受颱風、狂風影響，建議於試架側邊增加螺栓鎖緊、底部增加水泥加固，以強化穩定性。

六、港區地震液化風險評估模式精進(4/5)-花蓮港及安平港模式精進

請依據觸發門檻加速度及高潛勢區面積分析成果，推估花蓮港及安平港區之分區地震沉陷量，並說明與花蓮港0403地震災況之差異。

七、氣候變遷下臺灣鋼筋混凝土橋梁腐蝕劣化之影響

(一)應補充耐久性設計評估公式引用依據。

(二)補充既有混凝土橋梁因應氣候變遷抗腐蝕策略。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 114 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：114 年 10 月 27 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 副研究員 助理研究員 副研究員 副研究員 副研究員	胡勝弘 謝沙浮 黃旭炎 鄭啓建 黃宇謙 賴俊至 曹文樂
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李修翔
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄五

鼎型塊織布橋基保護工法施工說明書

鼎型塊織布橋基保護工法

施工說明書

(參考範本)

114 年 12 月

目錄

項目	章名	頁數
1	鼎型塊織布橋基保護工法	共 4 頁
2	施工便道、便橋及構台	共 10 頁
3	卜特蘭水泥	共 4 頁
4	混凝土基本材料及施工一般要求	共 11 頁
5	結構用混凝土	共 11 頁
6	混凝土錨塊	共 3 頁
7	場鑄結構混凝土用模板	共 3 頁
8	混凝土養護	共 3 頁
9	職業安全衛生	共 28 頁

附錄 1　鼎型塊織布橋基保護工法設計參考圖說

附錄 2　混凝土品質管理導入無線射頻辨識(RFID)技術作業規定

第 1 章　　鼎型塊織布橋基保護工法

1.　通則

1.1　本章概要

說明鼎型塊織布橋基保護工法之材料規格、施工及檢驗等相關規定。

1.2　工作範圍

1.2.1　本章規定鼎型塊織布橋基保護工法之材料規定、準備工作及施工方法相關工作，承包商應符合設計圖說所示之尺度及位置，按規定之高程設置，並應依據設計圖說施工。

1.2.2　織布

1.2.3　非織物

1.3　相關章節

1.3.1　第 2 章--施工便道、便橋及構台

1.3.2　第 6 章--混凝土錨塊

1.3.3　第 9 章--職業安全衛生

1.4　相關準則

1.4.1　中華民國國家標準（CNS）

(1)　CNS 5610 L3080　　非織物檢驗法

(2)　CNS 5618 L3086　　非織物瑕疵檢驗法

(3)　CNS 11229 B6087　　紫外線碳弧燈式耐光性試驗器

(4)　CNS 11228 A2183　　工程用非織物

(5)　CNS 13298 A3337　　地工織物正向透水率試驗法

(6)　CNS 13299 A3338　　地工織物撕裂強度試驗法（梯形法）

(7)　CNS 13300 A3339　　地工織物抗拉力試驗法（寬幅法）

(8)　CNS 13483 A3346　　地工織物抗拉強度及伸長率試驗法（抓式法）

1.4.2　美國材料試驗協會（ASTM）

(1)　ASTM D4355　　Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles by Exposure to Light, Moisture and Heat in a Xenon　Arc-Type Apparatus

1.5　設計要求

1.5.1　地工織物設置原則為從墩帽頂部向四周鋪設至河床位置，達可環繞橋基之目的，河床處整地成階梯狀，達橋基周圍環繞之鼎型塊呈現降階式排列(降階高度建議為 50cm~鼎型塊高度一半，視地下水位高度調整)，每排鼎型塊以疊放 1 層為原則，以降低阻礙通水斷面之影響。此外，亦可併同於橋基間行水區進行設置，進行全斷面保護。本工法主要功能為利用地工織物減緩淘刷，降低保護工下方粒料流失，達穩固保護工之目的。

1.5.2　地工織物共分為 2 層，底層為織布層，主要為強度及減緩淘刷提供者；表層為非織物層(防護層織物)，主要為覆蓋織布層上，減少鼎型塊吊放過程中損傷，以及增加抗紫外線曝曬能力。

1.5.2　廠商於施工計畫書內列入「首件樣本執行計畫」，說明各主要工序（如整地、織布縫接、鼎型塊吊放）之首件施作位置、檢查日期及參與人員，作為後續大面積動員之標準依據。。

2.　產品

2.1　材料

2.1.1　土木及水利工程用織布為聚乙烯纖維、聚丙烯纖維或聚酯纖維等編織而成之織布，其物理性質須符合表 1-1 規定之標準。

表 1-1 織布物理性質

項　　目	單位	結果	依據之方法	頻率
拉力強度	kgf/m	> 2800	CNS 13300	依 3.3.3 之規定
破損前延伸率	%	< 30	CNS 13300	
起始模數	kgf/m	>20,000	CNS 13300	
正向透水率	1/sec	>0.1	CNS13298，定水頭高 5cm	

2.1.2　土木及水利工程用非織物為聚乙烯纖維、聚丙烯纖維或聚酯纖維等製成之非織物，其物理性質須符合 CNS 11228 A2183 所具物理性質之規定如表 1-2，類別則依設計圖所示。

表 1-2 非織物物理性質

項　　目	單位	依據之方法	類　　別			
			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
抗拉力	kgf（N）	CNS 11228 抓 式 法（縱向與橫向）	61.2（600）以上	81.6 (800) 以上	122.4 (11,200) 以上	163.3 (1,600) 以上
伸 長 率	%		40～100			
撕裂力	kgf（N）	CNS 11228 梯 形 法（縱向與橫向）	25.5（250）以上	35.7 (350) 以上	45.9 (450) 以上	56.1 (550) 以上
瑕　　疵	點	CNS 11228 每公尺容許扣點數	6 以下	5 以下	3 以下	2 以下
透水率	1/sec	CNS 11228	0.1 以上(註 2)			
耐紫外線 性		CNS 11228 紫外線碳弧燈連續照射 200 小時	外觀無變化，拉抗強力不得低於原規定之 90%			

註 1：瑕疵檢驗方法依 CNS 5618 每公尺容許扣點數

註 2：透水率檢驗方法依 CNS 13298 定水位高為 5cm

註 3：耐紫外線性採用紫外線碳弧燈儀器依 CNS 11229 或 ASTM D4355 規定

3. 施工

3.1 準備工作

鋪設地工織物前，須先清除鋪設面上之雜草樹木及其他雜物，並依設計圖說夯實整平鋪設面。

3.2 首件樣本示範

3.2.1 示範性質：首件樣本包含如整地平整度、織布重疊與縫接、鼎型塊排置方式或順序等。經工程司檢查核可後，賦予其示範標準性質，後續施工

應以此為準。

3.2.2 數位化標準：首件樣本核可後，應拍攝各角度彩色照片並建立「標準化施工樣張」，作為自主檢查表之附件，以利減少後續巡查與溝通人力。

3.3 織物施工方式

地工織物應以順水流或垂直水流方向貼地鋪設，鋪設過程中可利用冂型鐵絲或其他方式加以固定，鋪設後地工織物表面須力求平整，避免有皺摺情形。結構用地工織物之搭接應用手提縫紉機以同質料之縫線縫接，或用工程司認可之一般尼龍帶（線）以手工穿越環孔綁紮(地工織物製作時須預留環孔)，接縫寬度應在 50cm 以上，至於非結構用地工織物則可採搭接方式，搭接寬度應在 30cm 以上。

3.4 檢驗

3.4.1 地工織物設計數量在 10,000m^2(含)以下時，於承包商自購運入工地後，由工程 司會同承包商隨機抽取地工織物邊幅區 1m×1m 試樣 1 份後送工程司認可之檢試 驗機構辦理，其設計數量大於 10,000m^2 時，每增加 5,000m^2 增採試樣 1 份送檢， 織布檢驗項目及試驗方法係依表 1-1 規定檢驗，非織物則依 CNS 11228、CNS 5618、CNS 13298 、CNS 11229 或 ASTM D4355 等依表 1-2 之規定檢驗。

3.5 施工流程

3.5.1 依設計圖進行(1)整地成階梯式鋪面；(2)將織布層於樁帽(基礎版)頂預留約 50cm 寬度進行固定，並沿著樁帽垂直面向下垂放至河床面；(3)續於河床面進行鋪設織布並依 3.2 搭接；(4)第 1 層織布層鋪設完成後，於織布層上方鋪設非織物層並依 3.2 搭接；(5)依設計圖吊放鼎型塊並排置；(6)完工，參考流程如圖 1.1 所示。

圖 1.1 鼎型塊織布橋基保護工法施工參考流程圖

4. 計量與計價

4.1 計量

除契約另有規定外，地工織物依契約詳細價目表所列不同材料規格之單位及數量計量。

4.2 計價

4.2.1 除契約另有規定外，地工織物以依契約詳細價目表所列不同材料規格之單價及數量計價。

4.2.2 地工織物之單價包括鋪設所需之一切人工、材料、機具、設備、動力、運輸及其他為完成本工作所必需之費用在內。

4.2.3 單價包括檢驗所需之材料、運費及檢驗費用在內。

4.2.4 本章工作項目名稱及計價單位例舉如下。

工作項目名稱	計價單位
織布(註明規格)	M^2
非織物(註明規格)	M^2

〈本章結束〉

第 2 章　　施工便道、便橋及構台

1.　通則

1.1　本章概要

說明配合工程施作需要，所構築之施工便道、便橋及構台之相關規定。

1.2　工作範圍

包括辦理施工便道、便橋及構台之設計、構築及拆除復舊等相關工作

1.3　相關章節

1.3.1　第 4 章--混凝土基本材料及施工一般要求

1.3.2　第 9 章--職業安全衛生

1.4　相關準則

1.4.1　中華民國國家標準（CNS）

(1) CNS 2947 G3057 銲接結構用軋鋼料

(2) CNS 9278 G3195 冷軋碳鋼鋼板、鋼片及鋼帶

1.4.2　美國材料試驗協會（ASTM）

(1) ASTMA36/A36M Standard Specification for Carbon Structural Steel 碳結構鋼標準規範

(2) ASTMA572/A572M Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel 高強度低合金鈮釩結構鋼之標準規範

(3) ASTMF3125/F3125M Standard Specification for High Strength Structural Bolts and Assemblies, Steel and Alloy Steel, Heat Treated, Inch Dimensions 120 ksi and 150 ksi Minimum Tensile Strength, and Metric Dimensions 830 MPa and 1,040 MPaMinimum Tensile Strength 高強度結構用螺栓和組件，鋼和合金鋼，熱處理，英制尺寸為 120 ksi 和 150 ksi 最小拉伸強度，公制尺寸為 830MPa 和 1,040MPa 最小拉伸強度之標準規範

1.4.3　日本規格協會(JIS)

JIS B1186　高強度六角螺栓

1.4.4　日本鋼結構協會(JSS)

JSS II-9　結構連接用扭剪型高強度螺栓

1.4.5　目的事業主關機關相關法規

「水利法」及「河川管理辦法」

1.5　資料送審

1.5.1　施工計畫

1.5.2　結構計算書及施工圖

承包商應依設計圖說之相關規定，配合橋址基地條件、地質條件及符合施工規劃之需求，自行或委由執業技師辦理設計及繪製施工圖，結構計算書及施工圖經工程司核可後，方可據以施工。

2.　產品

2.1　材料

2.1.1　混凝土：應符合第 4 章之規定。

2.1.2　鋼材：除設計圖說另有規定外，使用再利用之鋼材者，其設計工作應力符合表 2-1 之規定。

(1) 鋼板應符合 CNS 2947 、CNS 9278 、ASTM A36 /A36M 或 ASTMA572/A572M 之規定。

(2) 主要結構之接合螺栓採用高強度螺栓，材質應符合 ASTM F3125/F3125M 之 A325、A490 或 JISB1186 之 F8T、F10T 或 JSSII-9 之 S10T 等規格產品。

(3)覆蓋板應採用壓花 H 型鋼覆工板或其他頂面具有交織紋面，可提供防滑作用之材料。

2.1.3　支撐墊條：採用合成橡膠或同類材料，墊於鋼梁與覆蓋板之間。

表 2-1 再利用鋼材之設計工作應力

應力類型	設計工作應力（kgf/cm^2）
拉應力、軸向應力、彎曲應力	1,550
壓應力、軸向應力	$1{,}126\text{-}0.0267\left(\frac{L}{r}\right)^2$，$\left(\frac{L}{r}\right) \leq 120$
型鋼腹板全斷面剪應力	1,020
型鋼腹板挫屈應力	1,130
壓應力、彎曲應力	$844{,}440/\left(\frac{L\times d}{r\times t}\right) \leq 1{,}550$

註：

L：未支撐間距長度。

d：矩形柱最短邊之尺寸，或圓柱等值斷面積開平方邊長，或梁深。

t：受壓翼板之厚度。

r：構件之迴轉半徑。

2.2 施工便道

2.2.1 除設計圖說另有規定外，承包商應鋪設足供負荷施工車輛行駛且避免揚塵之路面(如鋼板、級配粒料層、級配粒料層加瀝青混凝土面層或級配粒料層加鋼筋混凝土鋪面(含鋼線網))，並經常性加以修補及維護，以保持完整。承包商如採用其他方式施築，應符合環境保護法令各項污染防治規定。

2.2.2 除設計圖說另有規定外，施工便道之淨寬以 8m 為限，頂面應具 1%以上洩水坡度，避免積水。

2.2.3 除設計圖說另有規定外，坡度較陡地區之施工便道應以臨時擋土設施或太空包堆排填築輔助施作，其中太空包係採聚丙烯(Polypropylene、簡稱 PP)材料，以單一纖維之圓編織布製成，無接縫袋身，可抗紫外線。

2.2.4 施工便道斜坡邊緣應依設計圖說施作安全護欄及相關保護措施。

2.3 施工便橋及構台

2.3.1 除設計圖說另有規定外，施工便橋及構台之設計載重應包含自重及施工中所需材料、機具（例如起重機具、鑽掘機具、混凝土澆置機具、臨時擋土設施打設機具等）、設備、車輛、人員及產生之振動等一切載重，並由

承包商(或其委託之執業技師)負責辦理設計工作。

2.3.2 若設計圖說未規定時，施工便橋之長度、寬度應以足敷施工動線需求為限，施工構台之配置與面積則以容納各施工階段相關機具、設備及人員施工空間（含操作、材料及運輸等）為原則，並符合第 9 章之相關安衛規定。

2.3.3 施工便橋或施工構台應依設計圖說規定，設置安全護欄、車擋及安全防護網，鄰水側則應有救生圈、救生衣及救生繩索，並應定期維護保養。

2.4 環境保護、交通維持及安全設施所使用之材料，需符合施工說明書相關章節規定。

3. 施工

3.1 一般要求

3.1.1 施工便道、便橋及構台之新建與維護所使用之材料需符合施工說明書相關章節及相關環保法規之規定。如因闢建及使用導致自然地表之破壞，承包商應儘可能使其恢復原狀，並符合環保、水利及水土保持相關法令規定要求。

3.1.2 涉及水土保持區，承包商應依「水土保持計畫審核監督辦法」及相關法規辦理申請開工及施工監督等作業。

3.1.3 施工期間，主管機關至工地進行監督考核或各項稽查作業，並依環境保護或水土保持相關法令處分罰鍰或停工時，若此缺失歸責於承包商者，由承包商負責，並不得要求其他費用及工期之補償。

3.1.4 涉及水土保持區與河川行水區內之施工便道、便橋及構台等施作範圍及數量，原則不得超過設計圖示或「簡易水土保持申報書」及「河川公有地使用申請」之範圍，若因承包商施工因素，超過設計圖示範圍部分，其衍生相關變更申請及用地等費用，由承包商自行負責，另無其它給付，並不得藉此要求工期展延。

3.1.5 河川範圍之施工作業如需就近取用現地河川砂石，承包商應於施工前先向河川管理單位提出河川用地申請許可，並將核可資料提送工程司備查後，方可據以取用。河川砂石之使用仍需符合相關水利法規之規定，嚴禁擅自運離河川範圍移作他用。

3.1.6 施工便道施作位置跨越與既有通水寬度小於 2m 之小型水路，承包商應以臨時水路改道或埋設管涵方式維持原有通水功能。

3.2 施工方法

3.2.1 施工便道或施工便橋及構台之上下部結構均應自可接近之地面向前推進構築，拆除、移除時反之。

3.2.2 承包商應依據工程司核可之施工圖構築施工便道、便橋或構台，施工圖未核可前，不得動工。若施工便橋或構台之 H 型鋼支柱囿於地質條件無法順利貫入地層時，承包商得改採其他適用型式之基礎，提送詳細施工圖說，經工程司核可後，再據以施作。

3.2.3 施工便道或施工便橋於開放通車前，應由承包商會同工程司妥善檢視，得採設計載重車輛辦理試通行檢驗，以確認行車安全無虞。如有嚴重沉陷等異常情形，承包商應實施緊急處置措施，並報請工程司核可。

3.3 注意事項

3.3.1 施工中，不得將施工便橋或構台未安裝之構件或拆除後之構件任意放置。

4. 計量與計價

4.1 計量

4.1.1 「施工便道(註明鋪面型式)」依經工程司核可之實際施築面積以「M^2」為單位計量，惟未經工程司核可逕予鋪築混凝土鋪面或瀝青混凝土型式者，該施築數量不予計量。

4.1.2 覆蓋板按實作數量以「M^2」為單位計量。

4.1.3 「施工便橋」及「施工構台」之鋼構架(支柱、Ｉ型梁、橫撐材、斜撐材等)依經工程司核可之實作數量以「T」為單位計量，鋼筋混凝土基礎依相關章節規定個別計量計價。

4.1.4 螺栓、橡膠支承墊、防蝕處理、安全護欄等已包含施工便橋及構台之契約單價內，不予單獨計量。

4.1.5 太空包依實際裝設移除之數量以「個」為單位計量。

4.1.6 施工便道除經工程司核可不用復舊外，其餘需於工程完工前予以復舊。

4.1.7 如因承包商施工或規畫不當，導致施工便道、便橋或構台增加數量，不予計量計價。

4.2 計價

4.2.1 「施工便道(註明鋪面型式)」契約單價已包含路基整理及夯實、開挖與回填、抑制粉塵逸散之鋪面、標線、水路改道或埋設管涵、既有設施與現

地復原、經常維持運輸車輛良好通行及其他為完成本項工作所需之一切人工、材料、機具、設備、動力、維護、拆除、復舊、用地之租借及申請，以及其他為完成本工作所必需之費用在內，另無其他給付。

4.2.2 「施工便橋」及「施工構台」契約單價已包含鋼構架、螺栓、橡膠支承墊、防蝕處理、安全護欄等工作之製作、運輸、安裝、架設、打設、維護、修理、拆除、配合施工重覆暫拆除及架設、復舊(含地形地貌)、安全衛生設施及其他附屬工作所需之一切人工、材料、機具、設備、動力、維護、拆除、復舊、用地之租借及申請，以及其他為完成本工作所必需之費用在內，另無其他給付。

4.2.3 「施工便道(註明鋪面型式)」工作項目依實作面積經工程司檢驗合格後，給付契約單價之 50%，其餘 50%平均依工程進度達 25%、50%、75%及 100%時給付，拆除及移除之材料歸承包商所有。

4.2.4 「覆蓋板」、「施工便橋」及「施工構台」工作項目依實作數量經工程司檢驗合格後，給付契約單價之 70%，俟施工便橋或構台全部拆除、移除與復舊後給付 30%，拆除及移除之材料歸承包商所有。

4.2.5 本章工作項目名稱及計價單位例舉如下。

工作項目名稱	計價單位
施工便道(註明鋪面型式)	M^2
覆蓋板	M^2
施工便橋	T
施工構台	T
太空包	個

〈本章結束〉

第 3 章　　卜特蘭水泥

1.　通則

1.1　本章概要

說明卜特蘭水泥、水硬性混合水泥之材料、運送、儲存、及檢驗等相關規定。

1.2　工作範圍

1.2.1　卜特蘭水泥

1.2.2　水硬性混合水泥

1.2.3　取樣及試驗

1.2.4　運送及儲存

1.3　相關準則

1.3.1　中華民國國家標準（CNS）

(1)　CNS 61 R2001　　卜特蘭水泥

(2)　CNS 15286 A2290　　水硬性混合水泥

(3)　CNS 17025 Z4058　　測試與校正實驗室能力一般要求事項

1.4　定義

1.4.1　卜特蘭水泥

係以水硬性矽酸鈣類為主要成分之熟料研磨而得之水硬性水泥，通常並與一種或一種以上不同型態之硫酸鈣為添加物共同研磨。本規範適用於 CNS 61所述之十型卜特蘭水泥，即第Ⅰ型、第 II 型、第 III型、第ⅠV 型、第 V 型、第 II(MH) 型、輸氣第 II(MH)A 型、輸氣第 IA 型、輸氣第 IIA 型及輸氣第 IIIA 型；各型水泥之化學成分及物理性質應符合 CNS 61之規定。

1.4.2　水硬性混合水泥

本項水硬性混合水泥之定義、化學成分及物理性質應符 CNS 15286 所敘述混合水泥共 4 種類型之規定，即混合水泥－卜特蘭高爐水泥、混合水泥－輸氣卜特蘭高爐水泥、混合水泥－卜特蘭卜作嵐水泥、混合水泥－輸氣卜特蘭卜作嵐水泥。

任選特殊性需求：下列特殊性能需求，於型別編號後附加相關字尾。

(1)中度抗硫酸鹽侵蝕性能，附加 MS 字尾。
(2) 高度抗硫酸鹽侵蝕性能，附加HS 字尾。
(3) 中度水合熱，附加 MH 字尾。
(4) 低度水合熱，附加 LH 字尾。
(5) 輸氣，附加 A 字尾。
(6) 早強性能，附加 HES 字尾。
(7) 緩凝性能，附加 R 字尾。
(8) 減水性能，附加 WR 字尾。
(9) 減水早強性能，附加 WRH 字尾。
(10) 減水緩凝性能，附加 WRR 字尾。

1.5 資料送審

1.5.1 水泥出廠證明

(1) 運送至工地使用之袋裝或散裝水泥，應提出水泥製造商出具符合本規範水泥品質之證明文件。
(2) 預拌混凝土或預鑄混凝土產品所使用之水泥，應提出由水泥製造商、預拌混凝土製造商或預鑄混凝土製造商出具符合本規範水泥品質之證明文件。

1.6 品質保證

各種水泥均須符合所對應之 CNS 規定。

1.7 運送及儲存

1.7.1 運送

運送至工地之水泥，需提出 1.5.1 之出廠證明文件，運送之水泥應有充分防潮及防雨之覆蓋或容器。

1.7.2 退料

為確保袋裝水泥之重量，同一時間運至工地之同一批袋裝水泥，承包商應抽取 50 袋稱其質量，如其平均質量小於標示質量時，全批得予退料。
如遇下列情形亦得予退料：
(1) 水泥不符合對應之 CNS 規定。
(2) 檢驗後以散裝存於製造廠內經6 個月或以袋裝存於當地倉庫經 3 個月以後方行交貨時，應辦理重試，如重試不能符合對應之CNS規定。
(3) 袋裝之水泥，如每袋淨重與標示質量相差在 2%以上。

1.7.3 工地儲存

(1) 水泥儲存方式應便於取用、檢驗及易於識別水泥到貨批次與型式。

(2) 水泥儲存必須存於能適當防雨防潮及避免天候影響之場所。凡受潮結塊、硬化或有硬化現象之水泥，一律不得使用。

(3) 散裝水泥應儲存於密閉之容器內，已遭拒絕使用之散裝水泥儲倉或袋裝水泥，應有不得使用之明顯標示。

(4) 袋裝水泥應儲存於通風良好、防水、防濕之建築物內，或具有前述措施之適當場所。袋裝水泥應置於離地約 20cm 以上之墊板上,離牆面應在 30cm 以上，堆放高度以不超過 10 包為原則。水泥應按到貨先後順序使用。

(5) 未經抽樣完成試驗前,對已運達工地尚未使用之水泥得拒絕使用。經試驗結果，不符合本說明書規定之水泥，應迅速運離工地。

2. 產品

2.1 卜特蘭水泥應符合 CNS 61 之規定。

2.2 水硬性混合水泥應符合 CNS 15286 之規定。

3. 施工

3.1 取樣與試驗

(1) 依水泥使用數量與包裝方式及工程特性，本工程之水泥取樣頻率得依下述規定辦理：

A.不同種類水泥須分開各別辦理取樣，並以隨機取樣方式，在水泥運輸車進場時予以取樣，同時在取樣單上註明取樣時間、車號、提貨單號碼及水泥生產廠名稱等相關資料。

B.每批次至少取樣一次，每一批散裝水泥檢驗頻率以每 2,000t 取樣 1 次(餘數未達 1,000t 時併入前 1 批次處理，餘數超過 1,000t 時單獨作為 1 批次)，每一批袋裝水泥則以每 200 包取樣 1 包(餘數未達 100 包時併入前 1 批次處理，餘數超過 100 包時單獨作為 1 批次)。

C.如工程所使用散裝水泥總數量未達 200t 或袋裝水泥總數量未達 20 包時，得提送該批原廠合格檢驗報告，免辦理試驗。

(2) 承包商應提供採取樣品所需之設備，樣品之保護裝置以及運送設備

與良好之儲存。

(3) 除契約另有規定外，卜特蘭水泥之檢驗項目與要求標準依CNS 61之規定，如有

A.假凝結：C3A 及鹼。

B.水合熱：C3A。

C.抗硫酸鹽：氯離子。

之考量時則需符合 CNS 61表2之規定。

(4)水硬性混合水泥之檢驗項目與要求標準依 CNS 15286 之規定。

3.2 現場品質管理

3.2.1 除契約規定或經業主核可外，同一結構物之內，非同一工廠之產品、型別及不同種類之水泥，不可混合或交替使用。

3.2.2 除契約另有規定外，同一結構物僅能使用一種水泥，即卜特蘭水泥、水硬性混合水泥，不可混合或交替使用於同一結構物。

4. 計量與計價

4.1 計量

4.1.1 本章水泥應視為已包含於契約中其他相關工作項目，不予個別計量。

4.1.2 如契約詳細價目表單獨列項者，則以「T」、「包」計量。

4.2 計價

4.2.1 本章水泥應視為已包含於契約中其他相關工作項目之費用內，不予個別計價。

4.2.2 如契約詳細價目表單獨列項者，則以「T」、「包」計價。

4.2.3 經取樣試驗不合格，則該已使用之水泥成品應予鑿除及移除，並重新以合格之水泥重做，其一切損失與責任，概由承包商全部負擔。

〈本章結束〉

第 4 章　　混凝土基本材料及施工一般要求

1.　通則

1.1　本章概要

說明使用於混凝土結構物之水泥混凝土，其基本組成材料與混凝土之材料品質規定，及於拌和、運送、儲存（指混凝土組成材料）、檢驗及施工等之一般要求。

1.2　工作範圍

1.2.1　水泥
1.2.2　粗粒料
1.2.3　細粒料
1.2.4　混凝土拌和用水
1.2.5　化學摻料
1.2.6　礦物摻料
1.2.7　儲存
1.2.8　拌和
1.2.9　運送

1.3　相關章節

1.3.1　第 3 章--卜特蘭水泥
1.3.2　第 5 章--結構用混凝土

1.4　相關準則

1.4.1　中華民國國家標準（CNS）

(1)　CNS 61　　卜特蘭水泥
(2)　CNS 386　　試驗篩
(3)　CNS 486　　粗細粒料篩析法
(4)　CNS 489　　細粒料表面含水率試驗法
(5)　CNS 490　　粗粒料（37.5mm 以下）磨損試驗法
(6)　CNS 491　　粒料內小於試驗篩 75μm CNS 386 材料含量試驗法(水洗法)
(7)　CNS 1167　　使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法

(8) CNS 1171 粒料中土塊與易碎顆粒試驗法
(9) CNS 1174 新拌混凝土取樣法
(10) CNS 1176 混凝土坍度試驗法
(11) CNS 1231 工地混凝土試體製作及養護法
(12) CNS 1232 混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法
(13) CNS 1240 混凝土粒料
(14) CNS 3036 混凝土用飛灰及天然或煆燒卜作嵐攙和物
(15) CNS 3090 預拌混凝土
(16) CNS 3091 混凝土用輸氣附加劑
(17) CNS 3654 卜特蘭高爐水泥
(18) CNS 3691 結構混凝土用之輕質粒料
(19) CNS 5646 混凝土內之棒形振動器
(20) CNS 5647 混凝土內棒形振動器檢驗法
(21) CNS 5648 混凝土模板振動器
(22) CNS 5649 混凝土模板振動器檢驗法
(23) CNS 10990 粒料中輕質顆粒含量試驗法
(24) CNS 11270 卜特蘭飛灰水泥
(25) CNS 12283 混凝土用化學摻料
(26) CNS 12549 混凝土及水泥墁料用水淬高爐爐碴粉
(27) CNS 12833 流動化混凝土用化學摻料
(28) CNS 12891 混凝土配比設計準則
(29) CNS 13618 粒料之潛在鹼質與二氧化矽反應性試驗法(化學法)
(30) CNS 13619 水泥與粒料之組合潛在鹼質反應性試驗法(水泥砂漿棒法)
(31) CNS 13961 混凝土拌和用水

1.4.2 美國材料試驗協會（ASTM）
(1) ASTM D4791 粗粒料扁平及細長顆粒試驗法

1.5 資料送審
1.5.1 品質計畫書
1.5.2 施工計畫

2. 產品

2.1 材料

2.1.1 混凝土材料規格

混凝土各種組成材料與拌和水用量、粒料尺寸及坍度等應按照配比設計及試拌結果之數值，本款下表之各項數據僅供配比設計時之參考。

混凝土28天抗壓強度（fc'）	澆置方法	水泥用量（kg/立方公尺）	坍度範圍（cm）	最大拌和水量（公升／kg水泥）	粗粒料尺寸（mm）
140kgf/c㎡	振動式	215~235	10.0~20.0	0.62	4.75～50
175kgf/c㎡	振動式	250~275	5.0~15.0	0.62	4.75～50
210kgf/c㎡	振動式	300~325	5.0~12.5	0.48	4.75～37.5
245kgf/c㎡	振動式	325~400	5.0~12.5	0.48	4.75～37.5
	水　中	375~400	10.0~20.0	0.54	4.75～25
280kgf/c㎡	振動式	360~400	5.0~12.5	0.44	4.75～25
	水　中	400~425	10.0~20.0	0.54	4.75～25
315kgf/c㎡	振動式	430~440	5.0~12.5	0.42	4.75～25
350kgf/c㎡	振動式	450~475	5.0~12.5	0.40	4.75～25
400kgf/c㎡	振動式	475~500	5.0~12.5	0.40	4.75～25
抗彎強度=45kgf/c㎡	振動式	350~375	0~7.5	0.44	4.75～50
註:本表僅供參考，仍應以配比設計為準。					

2.1.2 水泥

(1) 不同廠牌之水泥不得混合使用於同一構造物的同一單元之混凝土。

(2) 工程使用水泥材料時，若允許使用卜特蘭高爐水泥或卜特蘭飛灰水泥，應於契約中特別註明，若未註明者，則以卜特蘭水泥為限。

(3) 水泥之物理性質及化學成分，均須照CNS 61卜特蘭水泥、CNS 3654卜特蘭高爐水泥、CNS 11270卜特蘭飛灰水泥之規定。

(4) 工程使用卜特蘭高爐水泥、卜特蘭飛灰水泥時，應以配比設計方式為主，該施工計畫未經工程司核可，不得混用卜作嵐攙和物。

2.1.3　粒料

(1) 混凝土之粗、細粒料應符合下列規定：

A.混凝土一般粒料應符合 CNS 1240 規定。

B.結構用混凝土之輕質粒料應符合 CNS 3691 規定。

(2) 細粒料中之水溶性氯離子含量應符合 CNS 1240 規定。

(3) 粗粒料中如含有下列物質將損害混凝土品質，此類物質於粗粒料中不得超出下表所列限值：

具損害混凝土品質物質	最大限值含量（重量百分比）
A.土塊及易碎顆粒（以 CNS 1171 A3035 試驗法認定）	
a. 使用於鋼筋混凝土構造物時	3.0
b. 使用於預力混凝土構造物時	2.0
B.通過 0.075mm 篩之細粒料（CNS 491 A3010 試驗法）	1.0
C.長扁片料（長徑大於短徑之 5 倍，或短徑大於厚度之 5 倍者）(參考 ASTM D4791 規範)	10.0

(4) 細粒料中之土塊及易碎顆粒物質的限值，照本款上表所列通過 0.075mm 篩之材料不得大於 5%(重量比)。

(5) 依 CNS 490 試驗法測定之粗粒料磨損率不得大於 50%。

(6) 依 CNS 1167 健度試驗法測試後之粗粒料，其平均重量損失率，使用硫酸鈉者，不得超出 12%。細粒料之平均重量損失率，使用硫酸鈉者，不得超出 10%。

(7) 細粒料之細度模數若超出配比設計值之±0.2 時，應調整用砂率（S/A），並提送施工計畫經工程司核可後方得使用。細粒料之細度模數係以停留於 CNS 386 所對應之美國 ASTM 標準篩 No.4、8、16、30、50、100 等之粒料，其累積重量百分數之和除以 100 決定之。細粒料之細度模數應在 2.3 至 3.1 之間。

(8) 粒料不得直接存放在土質地表上，應儲存於可防止水淹及避免混入表土與雜物的適當基座上，每種尺度之粒料須分開儲放。

(9) 露天儲存之粒料難免會受到日曬雨淋之影響，使粒料之含水量產生變化，必要時應做適當之處理，以符合配比設計之要求。

2.1.4　水

混凝土拌和用水應符合 CNS 13961 之規定。

2.1.5 混凝土用化學摻料

(1) 下列化學摻料應符合 CNS 12283、CNS 12833 之規定，輸氣劑應符合 CNS 3091 之規定：

A 型：減水劑。

B 型：緩凝劑。

C 型：早強劑。

D 型：減水緩凝劑。

E 型：減水早強劑。

F 型：高性能減水劑。

G 型：高性能減水緩凝劑。

(2) 化學摻料添加量及使用方法應參照製造廠商之使用說明文件之規定，使用前須提送施工計畫經工程司核可。

(3) 其他特殊用途之化學摻料，依設計圖說之規定使用。

(4) 化學摻料應儲存於可防止材料變質之容器、包裝或適當之場所，容器或包裝上應清楚標示其用途、出廠時間及製造廠商名稱等資料。

(5) 儲存期間應防止發生滲漏、溢散及揮發等情事，並須有污染防治措施，並應依照製造商建議之方式及相關工業安全法令規定儲存。

(6) 化學摻料之成分若有發生沉澱之虞，若為不穩定之溶液，使用前應依照製造商之建議方式處理或予以適當攪拌。

2.1.6 礦物摻料

(1) 礦物摻料僅用於取代水泥，除契約另有規定外，則無論礦物摻料含量多寡，皆應提送配比設計資料及施工計畫經工程司核可。

(2) 飛灰做為水泥摻料時，應符合 CNS 3036 之 F 類規定。使用時應提送施工計畫經工程司事先核可，且飛灰量不得超過水泥重量之 25%。

(3) 水淬高爐爐碴粉做為水泥摻料時，應符合 CNS 12549 之規定。使用時應提送施工計畫經工程司事先核可，且水淬高爐爐碴粉不得超過水泥重量之 65%。

2.2 品質管理

2.2.1 任何等級之混凝土配比設計經核准後，應在拌和廠試拌，其材料之來源、數量、材料級配、比例等，不得擅自變更，本款前述條件若有變更時，應將完成的新配比設計送請工程司核准。

2.2.2 新拌混凝土中之水溶性氯離子含量，不得超過下表規定之限值(CNS 3090

之規定)：

構件型式	混凝土中最大水溶性氯離子含量
A.預力混凝土	0.15kg/立方公尺
B.鋼筋混凝土	0.3 kg/立方公尺

2.2.3 試驗一般規定

(1) 依據配比設計於拌和廠試拌完成之混凝土，除混凝土坍度之檢驗及例行之粒料試驗外，本章混凝土及其基本材料之試驗及圓柱試體之試驗，應送往依標準法授權之實驗室認證機構檢驗。

(2) 承包商應負責提供製造樣品與試體所需之設備及材料，並負責運送至前目所規定之試驗機構。

2.2.4 水泥試驗

(1) 本章所使用之所有水泥材料之物理性質、化學成分及擬其符合本章規定之試驗方法及檢驗項目須照 CNS 61 之規定。

(2) 儲存之水泥出廠日期超過 30 天之檢驗及處置，須照第 3 章之「1.6.1 工地儲存」之規定。

2.2.5 粒料試驗

工程司認為必要時，得要求承包商進行 CNS 13618 或 CNS 13619（亦得兩者均包括）之試驗，若使用低鹼水泥時，得免做前述試驗。

3. 施工

3.1 準備工作

3.1.1 乾式拌和車

(1) 若因工程地點交通不便或運送時間太長，或其他特殊情況，但應提送施工計畫經工程司事先核可，得以拌和車乾拌至工地，再加水經拌和均勻後再澆置。

(2) 混凝土拌和車作為拌和機或攪拌運送車使用時，應符合 CNS 3090 有關條款之規定。

3.1.2 混凝土輸送設備

(1) 混凝土供應須有足夠之拌和容量及運送設備，以保證能圓滿完成澆置作業。此項所需之拌和量及運送量之混凝土供應效率之保證，應具體陳述於施工計畫中。

(2) 泵送機

A.應視混凝土之規格及泵送高度等施工條件，使用不致造成泵送中

混凝土之粒料產生分離之泵送機。

B.泵送機應妥為操作，使混凝土得以連續流動。輸送管之出口端應儘可能置於澆置點附近，其間之距離以不超過 150cm 為原則。

C.泵送機移位至下一構造物之澆置時，或澆置作業中有泵送機待機時間過長之情況，應立即清洗殘留於輸送管線及泵送機中之混凝土。

3.2 施工方法

3.2.1 施工期間工程司得視需要，對於混凝土之各式拌和原料隨時要求進行必要之檢驗，以查證該材料符合規範，且混凝土之拌和品質足以維持穩定。

3.2.2 拌和拌和廠之拌和方式，依照其標準之拌和作業程序。現場拌和者，參考下列方式辦理。

(1) 拌和機內之混凝土應在下一盤之新材料卸入拌和機之前全部傾出。

(2) 於水泥及粒料卸入拌和機前，先將約 10%之用水量注入。水之注入應均勻，且全部水量應在拌和時間之最初 15 秒內全部注入拌和鼓。

(3) 混凝土應拌和至顏色及稠度均勻為止。

(4) 拌和時間應為如下之任一者：

A.拌和機容量小於 1.5 立方公尺者，拌和時間不少於 60 秒為原則；容量大於 1.5 立方公尺者，拌和時間不少於 90 秒為原則。

B.依 CNS 3090 之規定做均勻度試驗。此項均勻度試驗做過後超過一年時，須重做以確定其均勻度。

(5) 依上述規定拌和完成之混凝土，其後不得再加水拌和或以其他方式改變其性質。不符合規定之混凝土應傾倒於適當棄置場所。

(6) 混凝土應按需要之數量即拌即用。

(7) 拌和之用水量應以初期試驗及試拌之結果為依據，為確保含水量維持一致，應經常進行包括坍度試驗在內之試驗。

3.2.3 混凝土澆置

(1) 混凝土澆置前，承包商應提出構造物之混凝土澆置順序計畫送請工程司認核可，原則上，混凝土應由低處向高處澆置，類似樓板之構造物，為避免澆置時載重不平均，應儘量分層平均澆置於其平面上。

(2) 鋼筋混凝土之鋼筋於澆置混凝土前，應按設計圖紮放並以適當材料或方法固定妥善，以確保澆置時不致發生鋼筋位移，並預留規定之保護層、預埋管線或材料，清除澆置範圍內之異物，經工程司檢查合格後方得封合模板及澆置混凝土。

(3) 應避免在水流中澆置混凝土。在水面下澆置混凝土時，為免於受水流之影響，應設置圍堰、澆置管或沉箱等之水密性設施，必要時應於澆置區設置供抽水機排水之導溝及集流坑。

(4) 用滑槽輸送混凝土方式之澆置，滑槽之襯裡應為光滑表面，斜度須能適合該稠度混凝土之流動，不可於滑槽上加水促使混凝土流動。滑槽之坡度較大時，出口處應有擋板或反向裝置，以防混凝土粒料分離。滑槽長度超過 600cm 者，其出口應設置承接落下混凝土之漏斗裝置。

(5) 同一構造物單元之混凝土盡可能一次澆置完成，如因施工條件或澆置時間限制而須分段澆置，致產生混凝土施工縫，須於混凝土施工計畫中事先設定。其施工方式應照設計圖所示或本章第 3.2.6 款之規定。

(6) 混凝土在澆置後，表面若微現游離水泥漿，為混凝土內部空隙已被填滿之指標，此時不得使用振動器對混凝土作大幅度之移動。

(7) 以振動搗實方式澆置混凝土時，承包商應備有高頻率內部振動器。振動器之頻率一般每分鐘約 5,000 次，棒形振動器應符合 CNS 5646 之規定，並依 CNS 5647 混凝土內棒形振動器檢驗法檢驗。

(8) 振動時盡量勿觸及模板及鋼筋，尤應小心避免使鋼筋、管道及預力鋼材發生位移。

(9) 振動器之功用主要為搗實混凝土而非用以推動混凝土之流動，振動時應使混凝土得到最大密度，但亦而不致使水泥漿及粒料產生離析及引起表面有浮水（bleeding）現象。

(10) 於既有混凝土上再澆置新拌混凝土時，須除去原有混凝土面之乳膜及其他雜物，並使表面粗糙以確保新混凝土與舊混凝土有妥善之接合。

(11) 如使用外部振動器應提送施工計畫經工程司事先核可後方可使用。外部振動器應符合 CNS 5648 之規定，並依 CNS 5649 混凝土模板振動器檢驗法檢驗。

(12) 使用外部振動器搗實時，架設外部振動器之模板須有堅固之加強支撐，以免模板因外部振動器之運轉產生位移或鬆動。

3.2.4 混凝土施工縫

(1) 混凝土施工縫僅設於設計圖說或混凝土澆置計畫所標示之位置。

(2) 澆置混凝土於緊急情況下需設置緊急施工縫時，應使用至少 30 公分長之連接鋼筋橫穿施工縫，或參照施工縫設計圖裝置伸縮縫填縫板。

(3) 施工縫設置處應於混凝土初凝前鏝成稍粗糙面。惟再次澆置混凝土前，施工縫表面上之水泥乳膜、養護劑、雜物、鬆動之混凝土屑及粒

料等應徹底清除。

(4) 水平及傾斜之施工縫，應先將表面清理溼潤後覆以水泥砂漿或環氧樹脂砂漿。水泥砂漿應與混凝土之水灰比相同，在澆置水泥砂漿或混凝土前應保持澆置面濕潤。鋪設環氧樹脂砂漿前，應以樹脂原液為底液均勻塗刷於乾燥之施工縫混凝土表面。

(5) 沿預力鋼材方向，應避免設置施工縫。

3.3 檢驗

3.3.1 所有結構混凝土於澆置時，須製作抗壓強度試驗所需之混凝土圓柱試體。

3.3.2 抗壓強度試驗

(1) 混凝土圓柱試體應在卸料口取樣製作，並依照 CNS 1174 A3038 及 CNS 1231 A3044 所規定之程序取樣。

(2) 每種混凝土澆置之取樣組數如下：

每天(或累計)澆置數量	取樣組數
50 立方公尺以下	詳說明
50～200 立方公尺	1
200～400 立方公尺	2
400～600 立方公尺	3
以下依此比例增加取樣組數	

註:

A.每天澆置數量在 50 立方公尺以下者免做圓柱試體，惟結構 物不適合鑽心取樣做抗壓試驗者仍須製作圓柱試體，且累計澆置數量會超過 50 立方公尺時，仍應依表列數量進行取樣製作圓柱試體。

B.未製作圓柱試體之混凝土結構物應依工程主辦機關規定列為鑽心抽驗對象。

(3) 每組圓柱試體之數目為 3 個，每個試體皆應於規定之齡期試驗其 fc’。但工程總金額大於(含)新台幣 2000 萬元之工程，每組圓柱試體之數目為 5 個，每個試體皆應於規定之齡期試驗其 fc’ 。

(4) 合格標準:

合格標準:圓柱試體於規定齡期試驗之抗壓強度（fc'），若符合下列規定，則其所代表已澆置之混凝土即為合格：

A.任何連續三次強度試驗結果之平均值等於或超過規定強度 fc'。

B.每次強度試驗結果皆等於或超過規定強度 fc'- 35kgf/c ㎡ 。

C.圓柱試體個數超過 25 個時，其偏差係數低於或等於百分之二十。

(5) 未達合格標準之措施

A.混凝土圓柱試體不合格時，則該試體所代表之混凝土及其連帶部份安全受影響之結構體視為不合格應拆除重做。

B.如執行單位或承包商對該部份混凝土試體之強度有懷疑時，得辦理混凝土鑽心試驗(以一次為限，試驗單位由主辦機關指定)，經加做混凝土鑽心試驗者，以該混凝土鑽心試驗為準，其拆除重做範圍同混凝土鑽心試體不合格時。

C.所需一切費用概由承包商負擔。

D.路面工程不合格者得以加鋪方式辦理，惟加鋪厚度不得小於原設計厚度，加鋪長度不得少於 50 公尺，並於加鋪範圍外繼續抽驗至合格為止。

3.3.3 坍度試驗應依照 CNS 1176 A3040 進行，試驗頻率不得少於抗壓強度試驗組數。工程司得要求認為必要之頻率作試驗。

3.3.4 混凝土試體製作後至少應在工地室內靜置及保護 24 小時後再運到實驗室，試體應在實驗室以水濕方式養護至進行抗壓試驗為止。

3.3.5 7 天齡期試體之抗壓強度係預測 28 天抗壓數值之指標；工程司可參考 7 天齡期試體之抗壓強度結果，如 7 天抗壓強度不佳時，工程司得要求承包商會同檢查全盤拌和操作情形及各組成材料之供應狀況。

3.3.6 28 天試體抗壓試驗之合格標準，依第 5 章之 3.7 及 3.8 項規定。

3.4 現場品質管理

3.4.1 混凝土自加水攪拌開始，經過 90min 而仍未澆置者即不得使用。如混凝土有添加緩凝劑時，上述時間得酌予調整但應提送施工計畫經工程司事先核可。

3.5 坍度許可差

3.5.1 坍度之許可差應符合下列之數值：

(1) 配比設計坍度小於 100mm 時，許可差為±25mm。

(2) 配比設計坍度大於 100mm 時，許可差為±38mm。

4. 計量與計價

4.1 計量

本章之工作不予個別計量，其計量併入第 5 章「結構用混凝土」或相關章節之適用項目內計量。

4.2 計價

本章之工作不予個別計價，其計價併入第 5 章「結構用混凝土」或相關章節之適用項目內計價。

〈本章結束〉

第 5 章　　結構用混凝土

1.　通則

1.1　本章概要

說明場鑄混凝土之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

1.2　工作範圍

包括混凝土之工地輸送、澆置、養護、表面修飾及檢驗等相關工作。

1.3　相關章節

1.3.1　第 4 章--混凝土基本材料及施工一般要求

1.3.2　第 7 章--場鑄結構混凝土用模板

1.3.3　第 8 章--混凝土養護

1.4　相關準則

1.4.1　中華民國國家標準（CNS）

(1) CNS 1174 A3038 新拌混凝土取樣法

(2) CNS 1176 A3040 混凝土坍度試驗法

(3) CNS 1231 A3044 工地混凝土試體製作及養護法

(4) CNS 1232 A3045 混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法

(5) CNS 1238 A3051 混凝土鑽心試體及鋸切長條試體取樣法

(6) CNS 3090 A2042 預拌混凝土

1.5　資料送審

1.5.1　品質計畫書

1.5.2　施工計畫

(1) 承包商應於混凝土澆置前提出詳細之混凝土澆置計畫，包括每一部位之澆置分塊大小、澆置順序、澆置之終端及施工縫位置等其內容至少應包括下列項目。

A.概要：包含結構型式、工區地形、道路狀況及運輸時間。

B.拌和廠：包含拌和廠地點、產能、拌和車數量或攪拌車數量。

C.機具設備：包含泵送機、振動機、照明設備及發電機等之規格與數量。

D.澆置順序：縱向、橫向及水平順序。

E.接縫：預定位置及作法。

F.養護方法及時機。

G.緊急應變措施。

H.附圖：

a.拌和車或攪拌車由拌和廠往返工區之路線圖。

b.工區配置圖：澆置範圍及泵送機動線。

(2) 承包商應依據第 4 章之要求提報有關混凝土配比、施工材料、方法及設備等資料，經工程司核可後始可進行本章相關工作。

(3) 工程司得視氣溫、冷卻效應、熱應力、養護情況及所用水泥類型可能引起混凝土急速硬化等狀況，要求承包商修正計畫澆置之混凝土量。

(4) 緊急搶修工程或混凝土總數量未達 500m^3 之工程，得採用較前述 1.5.2(1)要求為簡易之混凝土澆置計畫。

1.5.3 廠商資料

1.5.4 紀錄文件

(1) 紀錄表單：列表顯示混凝土中每種組成成分之重量。

(2) 預拌混凝土之出貨單，填寫內容如下：

A.預拌混凝土廠名。

B.證明憑單次序號數。

C.日期及車輛號碼。

D.承包商名稱。

E.工程名稱及地點。

F.混凝土種類或名稱。（包括規定強度、坍度及最大粒徑）

G.混凝土數量（m^3）

H.裝車時刻。

I.礦物摻料之型式、來源及重量。

J.化學摻料之種類及數量。

2. 產品

2.1 材料

混凝土之材料須符合設計圖說及第 4 章規定。

2.2 設備

2.2.1 混凝土輸送機具應能維持輸送過程中混凝土之均質性。

2.2.2 拌和機至澆置地點之間應設置能保持連續輸送且不致造成混凝土材料析離之輸送設備。

2.2.3 吊桶

(1) 吊桶必須配合水平、垂直轉運機具及適當能量之吊裝設備以便吊卸，其裝置應妥為設計。

(2) 裝填至卸出之時間不得超過 30 分鐘。

(3) 吊桶卸料口至受料處之高差應在 2m 以內。

2.2.4 混凝土泵送機

(1) 泵送機不得增設暗管(水管)，承包商應確實檢查並留存紀錄(含車輛號碼)。經檢查合格之泵送機，不得任意更換之。

(2) 泵送機之泵送能力應能克服輸送至澆置地點之泵送阻力並能滿足澆置作業之需求。

(3) 混凝土以泵送機輸送後不得有析離現象，且坍度仍應符合施工要求。

(4) 泵送過程中輸送管震動不得影響模板之安全、已紮妥鋼筋之定位及鋼筋與未硬化混凝土之握裹。

(5) 混凝土泵送過程中應防止塞管。若有塞管，管內混凝土應予以清除廢棄。

(6) 輸送管出口應適時移動以使卸出之混凝土均勻散佈，避免落料點混凝土水平移動過遠造成混凝土材料析離。

(7) 泵送機應妥為操作，使混凝土得以連續流動。輸送管之出口端應儘可能置於澆置點附近，其間之距離不得大於 150cm。

2.2.5 可調管

(1) 柔性管之管徑應大於 10cm 及最大粒徑之 5 倍為原則，並防止混凝土材料析離。

(2) 柔性管之設置應使混凝土得以連續流動，且其出口與最終澆置點之距離於水平及垂置方向均不得大於 150cm。鄰近伸縮縫處之水平距離不得大於 90cm。

(3) 柔性管每次使用後應清洗乾淨。

2.2.6 輸送帶

(1)輸送帶以水平設置為原則，其最大斜度為 15°，且總長不得超過 300m。

(2)輸送帶卸料端應裝置水泥漿刮取設施，以防止混凝土中水泥漿被皮帶迴轉而帶走流失。

(3) 輸送帶進料及卸料端應設置擋板及漏斗，以防止混凝土材料析離。

(4) 輸送帶上應加罩覆蓋以防混凝土水份大量蒸發及溫度升高。

2.2.7 滑槽

(1) 滑槽之襯裡表面應光滑。

(2) 滑槽之設置應使混凝土能連續流動。

A.原則上坡度不得陡於垂直向 1 比水平向 2（V：H=1：2），亦不得緩於垂直向 1 比水平向 3（V：H=1：3）。

B.若滑槽必須使用較大之坡度時，其出口端應設置擋板或以漏斗承接，以避免混凝土材料析離。

(3) 滑槽出口到澆置面之高差不得超過 1m，出口處應使用漏斗串接垂直落管。

(4) 滑槽或其表面應使用不吸水及不黏漿之材料製作，襯裡不可採用鋁質金屬。

(5) 滑槽使用後應以水清洗乾淨，以免混凝土硬化堆積於其上。清洗滑槽後之水不得流入構造物範圍內。

2.2.8 手推車

(1) 手推車之輸送距離不得超過 60m。

(2) 手推車須鋪設走道板，使行走路線平順。走道板應鋪設於支架上，且不得影響鋼筋之正確位置。

(3) 裝料時應儘可能使混凝土垂直卸落於盛料斗中央。

3. 施工

3.1 準備工作

3.1.1 澆置前之準備

(1) 既有混凝土表面之處理

若混凝土係澆置於已施築之混凝土表面，該表面應打毛並清除乾淨，並在澆置前，予以充分潤濕。

(2) 將基礎土壤整平夯實，依設計圖說鋪設底層或墊層材料，以便於排紮鋼 筋及安裝模板。

(3) 模板及鋼筋

A.模板及鋼筋應依相關規定施工，且應於澆置混凝土前清理乾淨，模板面不得有積水，鋼筋不得有浮銹。

B.混凝土內之預埋物，應依照設計圖說位置準確定位並妥為固定，使於澆置混凝土時不致發生位移。

C.澆置混凝土前所有鋼筋組立應紮固妥善，並應具有規定之保護層

厚度，以確保鋼筋最佳之位置。

(4) 澆置混凝土前，應先清除接觸面之雜物。

A.岩石面：以高壓水噴射清洗，並清除積水。

B.土壤表面：將表面整平並清除多餘的水、泥土及其他有機物質。當在原有地表或開挖面土層澆置混凝土，若發現有不合設計圖示規定之表層，應先換料夯實，夯實工作應達到相關規範要求。

C.其接觸面有必要增加其黏結性時，則應使用檢驗合格之接著劑。

(5) 澆置前之通知澆置混凝土應於 24 小時前通知工程司，結構體之模板、鋼筋、埋設物等經工程司檢查符合規定後始可澆置混凝土。若未通過檢查，承包商應即時進行改善並延後澆置時間，經再次申請檢查獲得工程司核可，方得澆置混凝土。

3.1.2 混凝土之輸送

(1) 混凝土輸送係指自拌和完成卸出至其注入模板前之過程。

(2) 混凝土之輸送應與現場澆置作業配合，適當控制其速率。

(3) 混凝土之輸送不得產生雜質污染、粒料分離或材料漏少之情形。

(4) 混凝土輸送過程中，除另有規定外不得添加任何物質。

(5) 輸送設備在使用前後必須清除內部之殘留物及清洗不潔表面。

(6) 輸送設備與混凝土接觸面不得採用鋁或鋁合金材料製造。

3.2 施工方法

3.2.1 一般規定

(1) 為確保混凝土品質，預拌車或泵送機於澆置過程中不得有任意加水情事，承包商應全程確實監督並留存紀錄。

(2) 所有混凝土需在新拌時及初凝前澆置完畢，已部分硬化之混凝土應予廢棄不准加水重新拌和使用。

(3) 水平構材或水平斷面之混凝土，必需待支承之垂直構材或斷面之混凝土已固結及收縮完成後方可澆置。

(4) 混凝土應連續澆置，且應於混凝土拌和後於規定時間內澆置。

(5) 混凝土應以適當之厚度分層澆置，並應於下層混凝土凝結前澆置上層混凝土，以免形成冷縫或脆弱面。上下層之澆置間隔時間不得超過 45 分鐘。巨積混凝土澆置每層厚度 20～50cm。

(6) 澆置柱之混凝土應使用可調長度柔性管。

(7) 遇陽光曝曬、暑溫或寒溫、大風等因素，應採取保護措施後，方可澆置 混凝土。

(8) 在澆置混凝土期間及澆置後 24 小時內，除非有妥善排水坑設施與混凝土分開，不得進行抽水。

(9) 斜面構造物應由下往上澆置混凝土，避免未凝固之混凝土產生裂縫。

3.2.2 高溫之澆置作業

(1) 周圍溫度超過 32℃以上時，應於澆置混凝土前，將模板及鋼筋等以水加以冷卻，降溫至 32℃以下，方可開始澆置混凝土。

(2) 為避免澆置後混凝土之溫度高於 32℃時，應採取下列措施保護已澆置之混凝土：

A.防止混凝土直接受到日曬。

B.採用冷水噴灑或以溼潤之粗麻布或粗棉墊覆蓋，使模板保持潮溼。

3.2.3 暴露於海水之混凝土澆置作業

(1) 如使用場拌混凝土，其拌和時間不得少於 2 分鐘。

(2) 在最低水位與最高水位之間，應避免有施工接縫，上述兩水位間新澆置之混凝土，在 30 天內應不使與海水接觸。

3.2.4 搗實

(1) 混凝土澆置時即應確實搗實，鋼筋、預埋件周圍及模板角落處之混凝土應確實搗實。

(2) 原則上應使用內振動器，內振動器應具 8,000 次/分鐘以上之高頻率振動，如為感應電動機直接連接時則應為 7,000 次/分鐘以上之高頻率振動。若振動器係電力操作則應備有燃料操作之振動器備用。

(3) 外部振動器應經工程司核可後方可使用，具 3,000 次/分鐘以上或符合施工需求之高頻率振動，惟其模板須豎立堅固以免因外部振動產生位移或裂開。

(4) 振動時應避免在混凝土表面造成乳沫及積水。

(5) 所有混凝土澆置 15 分鐘內，應即使用振動器振動，但振動時不可觸及模板及鋼筋，以避免鋼筋、預埋管件及預力鋼材發生位移。

(6) 分層澆置混凝土搗實時應確實將振動器插至先澆置之下層混凝土內，插入深度約為 10cm，以免過度振動。

(7) 振動之面積應僅及於新澆置之混凝土內，振動距離應均勻分佈，最遠不得超過有效振動半徑之 1.5 倍。

(8) 若模板內振動之方式可能造成預埋件之損壞，即不得使用內部振動機。

3.2.5 接縫

(1) 水平與垂直施工縫之位置及細節應依施工圖說或混凝土澆置計畫所

標示位置施工。

(2) 施工縫設置處應於混凝土初凝前鏝成稍粗糙面。惟再次澆置混凝土前，施工縫表面上之水泥乳膜、養護劑、雜物、鬆動之混凝土屑及粒料等應徹底清除。

(3) 清理混凝土表面時應避免損及止水帶。

(4) 於緊急情況，需增設施工縫時，應使用鋼筋橫穿施工縫，並依工程司指示辦理。

(5) 需填充填縫材之接縫，以及作為施工縫之表面應予保護。養護劑不得沾染黏結面。

3.2.6 開口、預埋件及其他需求

(1) 應依設計圖說之規定，提供及安裝埋件。

(2) 於混凝土澆置前，應確認所有相關埋件之正確尺度及位置，並作成確認紀錄備查。

3.2.7 混凝土顏色

外露部分混凝土之養護劑或脫模劑一經核可，承包商不得以任何因素改變混凝土之均勻顏色。

3.3 檢驗

3.3.1 除契約另有規定外，各項材料及施工之檢驗項目如表 5-1。

表 5-1 各項材料及施工之檢驗

名稱	檢驗項目	依據之標準	規範之要求	頻 率
新 拌混凝土	水溶性氯離子含量	CNS 3090 依水溶法	≦0.15kg/m^3	每澆置日一次
混凝土	坍度試驗	CNS 1176	依設計圖及規範之要求	不少於抗壓強度試驗組數
	抗壓強度試驗	CNS 1174 CNS 1231 CNS 1232		依 3.3.2 規定辦理

3.3.2　每組圓柱試體之數目

(1) 除另有規定外，在混凝土輸送至澆置位置，取樣製作混凝土圓柱試體，每組取樣製作 2 個試體，工程司得依附錄 2「混凝土品質管理導入無線射頻辨識(RFID)技術作業規定」導入無線射頻辨識(RFID)技術。用於檢驗混凝土抗壓強度之樣本量不得小於以下規定：

A.一般混凝土：每批次澆置之混凝土，每 120m³ 取樣 1 組，餘數不足 120m³ 取樣 1 組。

B.預力混凝土：每批次澆置之混凝土，前 100m³ 取樣 2 組，每增加 100m³ 取樣 1 組，餘數不足 100m³ 取樣 1 組。

(2) 若因拆模版等施工控制需要或結構物開放使用時間，應另外增加必要之試體個數，在適當齡期試驗強度。

(3) 每批次數量係指同一日、同配比且連續澆置之數量而言，「同一日」之適用範圍，包括同一構造物跨日連續澆置的情形。

(4) 墊底混凝土由承包商自行依前述取樣頻率辦理取樣送驗，工程司不需會同辦理取樣送驗。

3.3.3　任一組圓柱試體之代表數量

(1) 同一次連續澆置混凝土之個別構造物，依其可予計價之數量(非拌和廠出料單數量)為該次構造物之混凝土代表數量(以 Qt 表示)。

(2) 進行 3.3.3(1)作業時，依 3.3.2(1)所製作之圓柱試體組數，以 N 表示。

(3) 前述該次構造物之混凝土代表數量(以 Qt 表示)，除以該次之圓柱試體組數 (N)，即為任一組圓柱試體之代表數量(Q,Q=Qt/N)。

3.3.4　合格標準

合格之標準說明如下：

(1) 任一組試驗結果為依 3.3.2(1)製作之試體抗壓強度之平均值(以 M 表示)。

(2) 任一組試驗結果(M)不低於規定強度(fc')時，其所代表之混凝土數量(Q)為合格；該次澆置構造物之混凝土各組試驗結果(M)均不低於規定強度(fc')時，即該次澆置構造物之混凝土計價數量(Qt)均為合格；前述數量依契約詳細價目表所列單價計價。

3.3.5　不合格但有條件接受之研判及處理

(1) 任一組圓柱試體試驗結果(M)低於規定強度(fc')，但不低於規定強度(fc')之 90% 時，其所代表之混凝土數量(Q)為不合格但有條件接受，依表 5-2 規定辦理。

表 5-2 各組試驗結果(M)之減價百分比

各組試驗結果(M)	減價百分比
≧1.00 fc'	0%
= 0.97 fc'	2.5%
= 0.94 fc'	7.5%
= 0.90 fc'	15%

註：各組試驗結果(M)介於表列數值之間者，按表列規定之比例計算減價百分比。（計算至小數點以下一位）

(2) 依 3.3.6(2)辦理鑽心試驗，其鑽心試驗結果為可接受時，依表 5-3 規定辦理。

表 5-3 鑽心試驗結果之減價百分比

鑽心試驗結果	減價百分比
≧1.00 fc'	0%
= 0.97 fc'	2.5%
= 0.94 fc'	7.5%
0.85~0.90 fc'	15%

註：各組鑽心試驗結果平均值介於表列數值之間者，按表列規定比例計算減價百分比。（計算至小數點以下一位）

3.3.6 不合格之研判及處理

(1) 該次澆置構造物混凝土有任一組試驗結果(M)低於規定強度(fc')時，其所代表之混凝土數量(Q)為不合格，除可依 3.3.5 辦理者外，低於規定強度（fc'）90%時，該組所代表之混凝土數量(Q)及其連帶安全受影響之結 構體，應予拆除重做，拆除重做之費用及衍生費用，概由承包商負擔。

(2) 如工程司或承包商對 3.3.6(1)之混凝土試驗結果(M)懷疑時，得要求辦理鑽心試驗（鑽心試驗以一次為限，試驗單位由甲方指定）。其試驗方法依 CNS 1238 辦理，鑽心試體直徑至少為 94mm 或粗粒料標稱最大粒徑 2 倍(兩者取大值)，若因構件尺度或鋼筋淨間距限制無法取得至少為 94mm 直徑之試體，應於試驗報告中敘明理由，且至少

取直徑為 5cm 試體。每一混凝 土強度可疑處應取 3 個代表性試體，取樣位置由工程司決定，以對結構體影響最小為原則。若試驗前發現試體於取出或處理過程中有損壞之現象時，應重新取樣。鑽心試體之平均強度低於規定強度（fc'）之 85％或任一試體之強度低於規定強度（fc'）之 75％時，則其所代表之混凝土為不合格，應依 3.3.6(1)規定辦理，反之則代表鑽心試驗結果為可接受，依 3.3.5(2)規定辦理。鑽心試驗之費用由提出者負擔。

(3) 不合格之混凝土構造物及其連帶安全受影響之結構體應於收到工程司之通知後 30 日內拆除重做。

3.3.7 非常態時之處理

(1) 抗壓強度試驗若有遺漏時，推定試體之試驗結果不合格，並按 3.3.6(1)規定辦理。

(2) 澆置試體之試驗結果異常，經工程司核可後得加做鑽心試驗，並按 3.3.6(2) 規定辦理。

3.4 清理

3.4.1 污染之避免及清除

(1) 施工中應保護混凝土構造物不受結構鋼構件之鐵銹或其他物質之污染。

(2) 若發生污染，應將污染去除，並使混凝土恢復原有之顏色。

3.5 保護

3.5.1 混凝土養護應依第 8 章之規定辦理。

3.5.2 混凝土澆置後至少 7 天內，應保護混凝土不受天候侵害，包括雨水、日曬及過高或過低溫度。

3.5.3 保護混凝土凝結過程不受干擾，混凝土充分硬化至足以承擔載重前，不得施 加載重。

3.5.4 與海水接觸之橋墩基礎構件，於混凝土澆置後 7 天內或回填前應持續抽排水，以避免氯離子滲透進混凝土內。

4. 計量與計價

4.1 計量

4.1.1 本章工作以「M^3」或其他單位計量。

4.1.2 因可歸責於承包商責任而需修補之混凝土，不予計量。

4.2 計價

4.2.1 本章工作依契約詳細價目表所列項目單價計價，該項單價已包括所需之一切人工、材料、機具、設備、動力、運輸、RFID 標籤之植入及讀取，以及其他為完成本項工作所必需之費用在內。

4.2.2 混凝土表面修飾未獲工程司核可前，該結構體之混凝土相關估驗計價項目，以其工作項目金額之 0%為上限計付，其餘價款需表面修飾工作經工程司核 可後再行計付。

4.2.3 本章工作項目名稱及計價單位例舉如下：

工作項目名稱	計價單位
結構用混凝土，預拌，註明規格	M^3
結構用混凝土，(預拌，水中)，註明規格	M^3

〈本章結束〉

第 6 章　　混凝土錨塊

1.　通則

1.1　本章概要

本章係說明混凝土錨塊製作與施放之相關規定。

1.2　工作範圍

本項工作包括錨塊之製造、運搬、臨時儲存、吊放與聯結整理等事項。錨塊型式、排列位置方法及詳細尺寸須按設計圖施工，並依本說明書之規定辦理。

1.3　相關章節

1.3.1　第 3 章－卜特蘭水泥

1.3.2　第 4 章－混凝土基本材料及施工一般要求

1.3.3　第 5 章－結構用混凝土

1.3.4　第 7 章－場鑄結構混凝土用模板

1.3.5　第 8 章－混凝土養護

2.　產品

2.1　混凝土錨塊

2.1.1　除契約另有規定外，混凝土錨塊之混凝土，應符合本說明書第 4 章「混凝土基本材料及施工一般要求」相關規定。

2.1.2　錨塊與錨塊間之聯結方式及材料規格，依設計圖規定或工程司核可辦理。

3.　施工

3.1　準備工作

3.1.1　承包商應於施工前 2 星期內提送場地設施、施工程序、預定進度表及品管作業程序等施工計畫，並就其構件項目詳述施工方法，繪製施工佈置圖，送請工程司核定。

3.1.2　施工期間若需封閉或調整車道，應事先檢具書面資料向主管單位申報，經核准後始得實施，但不能因工程司之核准而減免或解除承包商應負之

責任。

3.1.3 承包商對須使用具專利之設計、設備、材料或施工之方法時，應先合法取得專利所有人之同意，其使用之一切責任應由承包商負責。如因侵害專利權而發生訴訟、損害、賠償等，均由承包商自行負責及處理，與甲方無涉。

3.2 錨塊之製作

3.2.1 錨塊之澆置其所需場地大小與設備設施、模板數量、混凝土供應、搗實與養護（Curing）、氣象條件、運輸機具及吊放起重機種類等作業均影響施效率，承包商須於施工計畫詳加考量，以符實際需要。

3.2.2 模板限鋼製，其構造應易於組拆，底部模板應堅強，接縫必須密接且不得變形。承包商於製模之前，應先將模板設計圖送請工程司認可後施行之。

3.2.3 模板之拆卸，除工程司另有指示外，原則上邊模滿 1 天以上，底模滿 2 天以上。

3.2.4 每一錨塊混凝土之澆置，應一次澆置完成，不得設施工縫。錨塊施做時工程司認為有必要時，得要求承包商於模板外增設震動器搗實。

3.3 起吊

吊放錨塊應用適當吊具，承包商應檢具作業方式說明經工程司認可後施行之；倘承包商採用吊索，應於澆置混凝土時埋設吊環或吊扣。，並須預先提出吊環或吊扣及吊索設計圖，經工程司同意後施工。若須於吊放完成後修改吊環，須設置隔離措施，以避免切割及焊接時所產生之火星掉落燒損地工織布。

3.4 運搬與儲存

錨塊於拆模時應用紅漆標示製竣日期及編號，以便搬運時檢查強度是否足夠。一般須在澆置完成後滿 7 天且強度無虞並經工程司同意後方可吊移錨塊。

3.5 吊放及聯結整理

3.5.1 吊放錨塊之前，承包商應提送吊放計畫及排列方法，經工程司認可後施工。

3.5.2 錨塊應於澆注完竣滿 14 天後，方可吊放，工程司認為有必要時，得予延長日期；吊放之前，應於吊放之坡面設置樣板，作為準繩，並須經工程

司之認可。

3.5.3 錨塊裝車（船）搬運時，應注意吊置順序，使車（船）保持平衡，不致傾斜翻覆。

3.5.4 承包商應依設計圖所示位置及範圍安置混凝土錨塊。

3.5.5 混凝土錨塊吊放時應小心平緩輕置於安放位置，不得驟然衝擊吊放或拖移，以免損及橋梁及地工織布，否則承包商應負責修復。

3.5.6 吊放機具如吊車、吊船、吊桿及鋼索等概由承包商自備。

3.5.7 吊放前應注意鋼索、吊具等之安全檢查及施吊時應注意鋼索是否將混凝土塊充分繫緊，並使吊起之塊體儘量保持平衡，以免發生意外。

3.5.8 吊放時，必須使塊與塊間平整且能互相完全卡住；吊放施工應小心從事，勿使錨塊遭受衝擊碰損。

3.5.9 除另有規定外錨塊彼此間之孔隙，不得嵌填塊石。

3.5.10 吊妥之錨塊，不得有孤立現象，否則應將附近各錨塊吊起重新安放。

4. 計量與計價

4.1 計量

混凝土錨塊以「塊」計量。

4.2 計價

以契約詳細價目表「混凝土錨塊（註明型式）」工作項目之單價計價，吊放不合格或有破損者，概不予計價。每塊單價包括製造、養護、運搬、儲存、吊放、聯結整理及其他有關工作等所需之一切直接、間接工料、運搬、設備、工具及場地整理租金維護等費用，另無其他給付。

工作項目名稱	計價單位
混凝土錨塊（註明型式）	塊

〈本章結束〉

第 7 章　　場鑄混凝土結構用模板

1.　　通則

1.1　　本章概要

說明建造鋼筋或無鋼筋之各種場鑄混凝土構造物所用模板及附屬設施等之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

1.2　　工作範圍

1.2.1　模板及支撐架之設計計算書及工作圖、材質說明及強度試驗證明、支撐件之材質、型式、實品樣本、規範及施工說明書等資料之送審。

1.2.2　模板及支撐架之功能、材料、設計與製造

1.2.3　模板及支撐架之安裝、清理

1.3　　相關章節

1.3.1　第 4 章－「混凝土基本材料及施工一般要求」

1.4　　資料送審

1.4.1　承包商應檢具模板及支撐架之設計計算書及工作圖送請工程司核可後始可施設，該工作圖須清楚表示構材之尺寸、排架、支柱、間隔柱（Stud）、橫梁、縱梁、環（Collar）、螺栓、楔、撐桿、混凝土澆置速度及擬採用之模板繫筋（Form Tie）及柱箍（Column Clamp）等工程細節，且結構應力分析所據之假設、尺寸、材料性質等資料均應詳實示於設計計算書及工作圖，工程司之核可亦不免除承包商對模板及支撐架之數量及強度所應負之一切責任。

1.4.2　橋梁臨時支撐架：承包商應提報臨時支撐架之材質說明及強度試驗證明等送請工程司核可，並負責所有模板支撐設施之設計與製作，並於施工前依施工時之實際載重、振動力、衝擊力及施工期間支撐設施可能承受之風力與地震力等提報細部分析設計計算書及繪製工作圖，併同支撐件之材質、型式、實品樣本、規範及施工說明書等送請工程司核可後始可施工。

2.　　產品

2.1 功能

若模板支撐設施未能發揮應有功能而導致任何生命及財產損失，或本工程永久結構物之損害及影響工期時，概由承包商負全部民事及刑事責任。

2.2 材料

2.2.1 用於暴露面、防水處理表面、不完全封閉處及不完全埋藏於地面下之混凝土表面之模板均須採防水夾板、防水合板或金屬模板等清水模板，混凝土澆置前彎曲或有裂紋之木料或模板均不得採用。三角形填角或切角板條須採乾淨、直紋並於各邊刨光之木料，曲面則須以合板、金屬等合適材料構成。

2.2.2 模板箍（Form Clamp）或螺栓係用以固定模板，俾於澆置混凝土時無走樣移動之情事，且不得使用鉛絲扭絞固定法。

2.2.3 支承橋梁臨時支撐架之基礎若為混凝土結構，其混凝土品質應符合第 4 章—「混凝土基本材料及施工一般要求」規定。

2.3 設計與製造

2.3.1 模板應具充分強度以支持新澆置之混凝土而不發生顯見之撓度，混凝土之單位重量以 2,400 kg/m^3 估算。

2.3.2 支撐架之設計與組立須能穩固地承載荷重，其屬承載上部結構者須能承受上部結構混凝土全部一次澆置之荷重，若混凝土需施加預力，則其設計與搭建需能承受因施預力而增加之一切荷重。

3. 施工

3.1 安裝

3.1.1 支撐架須穩固立於堅實基礎上並防止基礎下陷及鬆軟，組立時應依設計圖或工程司指示設置拱勢，並需考慮因乾縮或沉落之影響而予調整。

3.1.2 模板之安裝應符合設計圖所示樣線且平順而正確，其內面應使所澆置混凝土於拆模後能符合設計圖所示形狀及尺寸。模板須光滑及不漏漿且能符合設計樣線及高程，並具足夠強度俾於混凝土澆置時不變形。與預鑄梁結合處之封閉澆置（Closing Pour）之暴露面模板應與梁模板相同或等效之質料及型式，俾混凝土外觀一致。除設計圖或工程司另有指示外，暴露之稜角均須以不小於 2cm×2cm 之三角形填角（Triangular Fillet）斜切以防止混凝土漿流出並保持光滑平順之線條。模板裝設時應使其接縫方向符合構造物之主要線向（General Line），梁及板之模板裝設時應依工

程司指示設置拱勢，墩柱模板之接縫痕跡則應成對稱。

3.1.3 混凝土澆置前模板內之泥土、石屑、鋸屑、鐵釘等雜質均須清除，且內表面須塗工程司認可之模板油或其他同等塗劑，俾模板能與澆置後凝固之混凝土面順利脫離且不得造成混凝土色調之差異。已用過之模板再度使用前亦須澈底清除泥土、混凝土漿等雜物。

3.1.4 螺栓或模板箍之強度及數量須足以防止模板移動及變形，預鑄構材之吊錨（Lifting Anchor）可預先裝設，螺栓、模板箍及吊錨於拆除時須於混凝土表面內挖除或剪去 2cm 以上再予整平，俾該等金屬埋於混凝土內。表面模板須以堅硬之橫撐垂直於板肋（Stud）裝設，模板箍均須緊繫於橫撐上。

3.1.5 模板及支撐架之組立應以構造物完成後能符合設計圖所示之高程及樣線為準，承包商應採適宜之千斤頂、楔或拱勢板條（Camber Strip）將模板或拱架正確裝設以符合所需高程、坡度及拱勢，混凝土澆置前或其中若有沉陷應即時矯正。

3.2 清理

3.2.1 封模前應將內部所有鬆散無用之物質清除乾淨，而模板拆除後暴露之混凝土面須即予養護與保護以免受損。

3.2.2 預鑄構材混凝土澆置後若有充分養護及保護並經工程司同意後可於翌日拆除其側模。

4. 計量與計價

4.1 計量

4.1.1 「模板」係以「平方公尺」為計量單位，以經認可之混凝土構造物與模板接觸之面積為準。

4.1.2 支撐架費用已包含於各類模板契約單價內，不另計付，惟場鑄混凝土箱形梁之支撐架費用係包含於該工法混凝土之契約單價內。

4.2 計價

4.2.1 契約詳細價目表之各類模板之契約單價已包含模板之材料、製作、裝設與拆除、支撐與支撐架、損耗及完成本項工作所需一切人工、機具設備等費用，另無其他幾付。

〈本章結束〉

第 8 章　　混凝土養護

1.　　通則

1.1　　本章概要

說明水泥混凝土養護之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

1.2　　工作範圍

包括水泥混凝土澆置後，以濕治法、養護劑、蒸氣養護等方法進行之養護等 相關工作。

1.3　　相關章節

第 5 章--結構用混凝土

1.4　　相關準則

1.4.1　　中華民國國家標準（CNS）

(1) CNS 2178 A2032 混凝土用液膜養護劑

(2) CNS 8188 A3138 混凝土養護材料保持水份能力檢驗法

(3) CNS 13961 A2269 混凝土拌和用水

1.5　　資料送審

1.5.1　　品質計畫

1.5.2　　施工計畫

1.5.3　　廠商資料

(1) 液膜養護劑型錄、使用說明書等技術文件。

(2) 液膜養護劑產品出廠證明、檢驗合格證明。

2.　　產品

2.1 材料

2.1.1 養護用水應符合以下條件之一：

(1) 飲用水(比照 CNS 13961 混凝土拌和用水規定辦理)。

(2) 不得含有害量之油、酸、有機物等且氯化物(Cl-)含量不大於 500ppm。

2.1.2 養護劑應符合 CNS 2178 規定。

2.1.3 養護用覆蓋材料

不可使用含殘留有害物質之粗麻布、塑膠布及地工織物等覆蓋材料及細砂。

3. 施工

3.1 施工方法

3.1.1 一般規定

(1) 混凝土澆置初凝後，適當時間內應予養護（包括一般養護、液膜養護及蒸氣養護），以保持混凝土水份及維持適宜之溫度，以利水化作用進行。

(2) 一般混凝土適宜養護溫度應在 15℃～38℃範圍。溫度太低時應採用遮蓋、 保溫、加溫等方法，溫度太高時則應採用遮蔭、灑水等方法，以維持適 宜之養護溫度。

(3) 使用液膜養護須先報經工程司核可後，方可據以施工，並於鋪築瀝青混 凝土鋪面前，先行去除混凝土表面之液膜養護劑。

3.1.2 一般養護

(1) 採用滯水法進行養護作業，應使混凝土表面在規定養護期間內保持浸於水中。

(2) 採用噴水法進行養護作業，使用噴霧機於混凝土表面連續噴霧，使其經常保持在濕潤狀態。

(3) 採用濕物覆蓋法進行養護作業，混凝土表面以工程司核可之覆蓋材料如粗麻布、塑膠布、地工織物等及細砂等完全覆蓋，覆蓋材料應直接鋪蓋 於混凝土表面上，並隨時保持濕潤。

(4) 一般混凝土養護時間不得少於 7 天，使用早強水泥或早強劑之混凝土養護時間不得少於 3 天。

(5) 除設計圖說另有規定或經工程司核可外，位於嚴重鹽害區或極嚴重鹽害區之混凝土構造物，於混凝土澆置後 7 天內或回填前應持續抽排水，以避免氯離子滲透進混凝土內。

3.1.3 液膜養護

(1) 混凝土表面修飾後、水漬消失前立即於混凝土表面加噴液膜養護劑，以防混凝土水份蒸發，液膜養護劑養護完成應易於清除，使用量應參照材料廠商技術文件之規定並須經工程司核可。

(2) 混凝土表面若須接合新澆置之混凝土或塗裝其他面層，如油漆、防

潮層或不透水層者，不得使用蠟、脂類之養護劑。施工縫處亦不得使用養護劑。

(3) 養護劑塗敷完成後應保護不致受損至少 10 天，若有受損則應補行塗敷養 劑。

(4) 使用養護劑造成混凝土表面斑紋或斑點現象，應即停止使用並改採其他養護方法，直到造成瑕疵之原因消失為止。

3.1.4 混凝土保護

(1) 混凝土於養護期間應防止有害之載重、擾動、撞擊及振動。

(2) 修飾之混凝土表面應妥善保護，不使其受施工設備或材料及雨水或流水損害。

3.2 檢驗

3.2.1 除契約另有規定外，液膜養護劑之檢驗項目如表 8-1。

表 8-1 液膜養護劑檢驗表

名稱	檢驗項目	依據之方法	規範之要求	頻率
液膜養護劑	保持水分能力	CNS 8188	72 小時水份逸失之重量不得超過 0.55kg/m^2	檢附 1 年內檢驗合格證明文件。

3.2.2 工程司核可之混凝土養護方法承包商應確實執行，如產生乾縮裂縫時，承包商應提出改善計畫，報經工程司核可後進行修補。

4. 計量與計價

4.1 計量

本章之工作不予個別計量。

4.2 計價

本章之工作不予個別計價，其費用已包括於有關混凝土計價之項目內。

〈本章結束〉

第 9 章　　職業安全衛生

1. 通則

1.1　本章概要

說明辦理職業安全衛生各項工作之設施、施工、檢驗、罰則等相關規定。

1.2　工作範圍

包括職業安全衛生之準備工作、執行業務所需之人員、組織、儀器、設備及其他所需之一切措施。職業安全衛生設施之佈設與撤除、人員之派遣、操作、檢驗及罰則等相關工作。

1.3　相關準則

1.3.1　中華民國國家標準（CNS）

(1) CNS 1261 Z1001 高壓氧氣鋼瓶安全規章
(2) CNS 1336 Z3001 工業用防護頭盔
(3) CNS 1387 Z2003 消防－手提滅火器－性能及構造
(4) CNS 3504 Z2019 安全面具
(5) CNS 4750 A2067 鋼管施工架
(6) CNS 6700 M2076 簡便氧氣呼吸器
(7) CNS 6701 M2077 安全帶（繫身型）
(8) CNS 7174 Z2031 個人眼睛防護具－熔接及相關技術用濾光鏡－透光度要求及使用
(9) CNS 12546 Z2076 電氣作業用絕緣手套
(10) CNS 14252 Z2115 安全網
(11) CNS 14253-1 Z2116-1 個人擒墜系統–第 1 部:全身背負式安全帶
(12) CNS 14798 T5019 拋棄式醫用防護衣－性能要求
(13) CNS 16079-1 Z2154-1 臨時工作設備－安全網－第 1 部：安全要求及試驗法
(14) CNS 16079-2 Z2154-2 臨時工作設備－安全網－第 2 部：掛設位置範圍之安全要求
(15) CNS 20345 Z2137 個人防護具－安全鞋

1.3.2　目的事業主管機關相關法規

(1) 勞動部「職業安全衛生法」
(2) 勞動部「職業安全衛生法施行細則」
(3) 勞動部「營造安全衛生設施標準」
(4) 勞動部「職業安全衛生設施規則」
(5) 勞動部「起重升降機具安全規則」
(6) 勞動部「危險性工作場所審查暨檢查辦法」
(7) 勞動部「勞動檢查法」
(8) 勞動部「勞動基準法」
(9) 勞動部「加強公共工程職業安全衛生管理作業要點」
(10)經濟部與內政部會銜頒布「事業用爆炸物管理條例」
(11)內政部「消防法」

1.4 資料送審

職業安全衛生管理計畫

2. 產品

2.1 承包商應依職業安全衛生法令及契約規定設置相關安全衛生設施，並經常加 以維護，個人防護具維護頻率應於施工前每日檢查，其餘依契約規定辦理。

2.2 使用產品其功能應完善，有損壞必須換新。

參考設施例舉如下:

(1) 警示燈(含基座及蓄電瓶)
(2) 黃色警示帶
(3) 急救設備
    A.急救箱(含消毒藥、繃帶、夾板及其他急救用品)
    B.氧氣急救器及氧氣鋼瓶(CNS 1261)
    C.擔架
(4) 滅火器(CNS 1387)
(5) 個人防護器具

承包商應依作業環境之需要，備妥適當個人防護具，並負責確認使其常保堪用狀態。

A.頭部防護:安全帽。(CNS 1336)
B.眼臉防護:防護眼鏡、防護面具。(CNS 3504)

C.足部防護:安全鞋。(CNS20345)

D.呼吸防護:氧氣呼吸器、空氣呼吸器、輸氣管面罩。(CNS 6700)

E.手部防護:電氣作業用絕緣手套。(CNS12546)

F.防毒口罩，與化學物品作業時之衛生防護衣。(CNS 14798)

G.電銲、氣銲之遮光防護具。(CNS 7174)

H.安全帶、安全索。(CNS 6701、CNS 14253-1)

I.反光背心。

J.其他因作業場所條件特殊而需要之設備。

3. 施工

3.1 除工程契約另有規定外，有關本工程施工之一切許可之證照申請、作業費及其規費等，其所需費用已列於本工程契約相關工程項目內，承包商除應依照有關規定辦理外並應將其許可證照影印本及其他應提供之資料送請工程司核可。

3.2 工程司得定期或不定期赴工地實施稽核承包商執行安衛各項作業辦理情形，如發現有執行不力或不符合有關規定之缺失時，除依照本章『罰則』辦理外，承包商應立即改善。

3.3 工地發生與本工程有關之下列事件者，承包商應填具相關報表在法定時間內向工程所在地之主管單位陳報外，並立即通報工程司，及將善後處理及改善情形提送工程司。

(l) 公共危害事故。

(2) 交通阻斷或交通傷亡事故。

(3) 違規被查處事件。

(4) 經大眾媒體報導者。

3.4 本章責任範圍

(1) 除另有規定者外係以工程契約及其附件所標示(包括既有、新建及配合本工程所需繞道、改道等道路)與法令規定本工程施建目標所涵蓋之工地範圍為原則;而在工程範圍外從事與本工程有關之基樁製作、料具加工等作業，承包商當依有關法令辦理。

(2) 規範期間係自本工程訂約之日起至保固責任結束之日止。

3.5 施工要求

3.5.1 承包商必須遵照相關法令規章與契約規定，確實辦理安全衛生管理工作，同時應使全體員工瞭解本工程之特性與地域性，並於適當場所張貼有關安全衛生標語、海報、工作守則等及加強安全衛生管理與維護，俾以消弭勞工職業災害。

3.5.2 承包商應加強實施作業門禁管制（人、車進場管控紀錄）確實巡視、指揮及連繫調整管控，並對各項危害因素於施工前告知協力廠商及作業勞工，並施以危害認知之安全常識教育。

3.5.3 承包商應確實實施自動檢查及安衛教育訓練並善用協議組織會議中，進行缺 失項次探討及檢討改善對策，且於趕工協調會中就各分項作業潛在危害因素，事先做風險評估及制訂各工項自主檢查點，並列入紀錄備查，期以發揮功效。

3.5.4 承包商應確實建立作業前、中、後之標準作業程序，及確實依該作業程序落實執行。

3.5.5 承包商應加強實施作業管制、指揮、巡視、指導及監督等統合安全管理，並就可能發生之危害因素，作業前告知勞工，並採取必要之防範措施。

3.5.6 承包商應依「職業安全衛生管理辦法」及「加強公共工程職業安全衛生管理作業要點」規定，設置合格職業安全衛生管理人員，設置原則如下：

(1)若所設置之安全衛生管理人員為契約詳細價目表編列設置之人員或勞工人數在 100 人以上者，其所設置安全衛生管理人員，則為專職管理人員，應常駐工地執行業務，不得兼任其他法令所定專責（任）人員或從事其他與職業安全衛生無關之工作。

(2)若承包商勞工人數未滿 100 人者，其設置之職業安全衛生管理人員不以專職為限，惟施工期間應於工地執行業務，且不可跨標案於其他工地工作。

(3)勞工人數依「職業安全衛生管理辦法」第 3-2 條規定計算，並以施工期間最高年平均勞工總人數（含尖峰期、離峰期）計算。

(4)承包商所設置職業安全衛生管理人員因故無法執行業務時，承包商應即指定代理人執行業務。代理人至少需具備與原規定職業安全衛生管理人員相同之資格，並將資格證件書面提報監這單位核轉工務段核定。其代理期間不得超過 30 個日曆天。

3.5.7 承包商應依規定僱用及報備合格各施工階段相關作業主管常駐工地，並督導辦理有關各施工階段相關作業等事項，如各施工階段相關作業主管請假或因故無法駐守工地時，承包商應事先覓妥合格各施工階段相關作

業主管或指定適當代理人於當天代理其職務並報備，各施工階段相關作業主管離職時應副 知工程司。

3.5.8 依規定應有「作業主管」到場指揮之工項，各作業主管之數額、配置應合理並確實到場全程指揮作業。

3.5.9 承包商於提送施工計畫時，應納入職業安全衛生計畫及繪製相關設施之施工詳圖等項目。

3.5.10 承包商應禁止僱用非法外勞並依法替所僱勞工投保勞工保險，並應建立入場查核管制之機制，對未投保之勞工應管制其進場作業，以落實職業安全衛生管理。

3.5.11 承包商應做好工區人員、車輛之進出場管制措施，並納入自動檢查紀錄。

3.5.12 承包商應就本工程施工性質、施工動態，並依據工程司「施工安全衛生監督查核計畫」，確實於各施工作業流程訂定「自主檢查點」，並明訂應檢查之項目及標準後，據以辦理檢查。

3.5.13 承包商承作本工程應對有何「高風險作業」之工作項目，擬訂防範對策，並確實掌控，以維施工安全。例如懸臂工作車鋼棒直徑統一採取設計最大尺寸，以免因誤用較小尺寸而產生勞工災害。

3.5.14 承包商於施作「高風險作業」前應事先提報工程司會同辦理施工安全檢驗，經檢驗核可後始可辦理後續作業。承包商若於假日施作高風險作業項目，應事先向工程司提出書面申請(包含人員管制總表、承包商監督人員、現場施工人員及相關安全衛生設備，且承包商之工地主任及安衛人員必須在現場)，經工程司核可後據以施工，並由工程司加強假日施工稽核。

3.5.15 於颱風期間，承包商應依附錄 2「颱風期間防災檢查重點」，確實加強各項防颱措施。

3.5.16 承包商於每日施工前應辦理「勤前教育（含工地預防災變及危害告知）」，並明確登載於「公共工程施工日誌」。

3.6 個人防護具之使用

3.6.1 承包商應依作業環境之需要，備妥適當個人防護具，並負責確認堪用狀態。

3.6.2 凡進入工區之所有人員均應正確佩戴安全帽及其他必要之防護具，承包商除於工地提供上述設備外，並應督導進入工區人員佩戴及使用。

3.6.3 在開放大眾車輛通行道路上之工作人員，應穿反光背心。

3.7 消防防護

3.7.1 承包商應視工作場所建築物及儲存物料之危險程度、潛在火災種類、四周環境與溫度之情況設置消防設備。

3.7.2 消防設備及系統應放置於取用方便之明顯處所，並用紅色或紅白相間條紋及指標確實標明其位置，且應保持堪用狀態。

3.7.3 承包商對設置之消防設備應依法規規定實施自動檢查並作成紀錄，且將消防設備存放地點及安全門、安全梯位置與疏散路線繪製於圖面上，懸掛於施工人員經常出入之場所。

3.7.4 消防設備之設置應符合消防法有關規定。

3.7.5 承包商應依照消防法及有關法令規章，對消防設備確實標明保養及換裝日期，並由保養人員簽字。

3.7.6 嚴格禁止人員在可燃物生產、儲存、使用的場所吸煙或亂丟煙蒂，承包商應於明顯位置設置『嚴禁煙火』標示牌並告知員工。

3.7.7 在切割與銲接作業時，應防止赤熱之鐵屑觸及可燃物引發火災。

3.7.8 有危險物或有油類、可燃性、粉塵等其他危險物存在之虞之配管、儲槽、油桶等容器，從事熔接、熔斷或使用明火之作業或有發生火花之虞之作業，應事先消除該等物質，並確認無危險之虞。

3.7.9 乙炔及氧氣等鋼瓶應直立安穩置放並加固定及裝妥護蓋，貯存場所其周圍 2m 內不得放置有煙火及著火性、引火性物品。

3.7.10 可燃性氣體、有毒性氣體及氧氣之鋼瓶，應分開貯存，貯存場所應有適當警戒標示。

3.8 露天開挖

3.8.1 承包商僱用勞工從事開挖作業，為防止地面之崩塌及損壞地下埋設物致有危害勞工之虞，應事前就作業地點及其附近，施以鑽探或其他適當方法從事調查，在開挖前，應先會同相關單位辦理會勘調查地下管線位置及高程，並留下位置記號。

3.8.2 所有開挖之邊緣應有完善支撐設施，或適當安全之斜坡，以維工地安全。

3.8.3 開挖作業時承包商於每日作業前和每次大雨、颱風或地震及其他足以增加危險性之情事發生後，應指派專人檢查作業地點及其周圍附近之地面有無裂隙及其他狀況(如有無湧水，土壤含水狀況、地層凍結狀況及其變化等)，並根據檢查結果採取必要之安全措施，於安全無慮後始得繼續施工。

3.8.4 從事露天開挖作業，其垂直開挖最大深度承包商應妥為設計及防範崩塌

或土石飛落危害事故等發生。開挖深度超過 1.5m 者，應設置擋土支撐。但地質特殊或採取替代方法，經專任工程人員或委由相關執業技師簽認其安全性者，且經工程司核可者，不在此限。

3.8.5 有地面水、地下水湧出時，除了其他支撐系統應有滲水管制之處理及設置排水設施，若滲水可能造成開挖崩塌、侵蝕或擋土支撐等破壞之虞時，承包商應使勞工退避至安全場所。

3.8.6 承包商僱用勞工從事擋土支撐之構築作業，應指派經訓練合格之擋土支撐作業主管，辦理下列事項：

(1) 決定作業方法，直接指揮作業。
(2) 檢查材料工具、器具等，並汰換不良品。
(3) 監督勞工確實使用安全帽及安全帶。
(4) 禁止與作業無關人員進入作業現場。
(5) 發現有因地面水、地下水湧出等影響擋土支撐工程之虞時，應即使作業勞工退避。
(6) 監督打樁機械、起重機械等於作業時，防止觸及鄰近高壓電線或妨礙交通安全。

3.8.7 從事露天開挖作業，為防止損壞地下管線致危害勞工及危害公共安全之虞時，承包商應會同管線單位採取懸吊或支撐該管線或予以移設等必要措施，並指派專人於現場指揮施工，以維工作人員安全。

3.8.8 擋土牆、板樁、橫擋及臨時支撐之材料必須處於良好使用情況，不得有顯著之損傷、變形或腐蝕、移位及脫落。

3.8.9 凡在結構物基礎下層附近挖掘有安全之虞時，須經工程司核可後，始得施工。

3.8.10 進行開挖裝載或回填作業時，承包商應視開挖地點、地質及深度規劃安全距離以維護機具、施工人員及行人之安全。

3.8.11 開挖地區均應有護欄、圍籬或其他安全設施，以防止人員跌落。

3.8.12 開挖出之土石應隨時清理，不得堆積於開挖面之上方或開挖深度之坡肩寬度範圍內。

3.8.13 遇有缺氧或異常氣體之開挖地區，應提送詳細安全作業計畫，經工程司核可後始得施工。

3.9 工作梯

3.9.1 橋梁工程、建築工程或具有高低差之工作場所，承包商應設置工作梯。

3.9.2 工作場所須設置工作梯者，應依下列規定辦理:

(1) 工作地點每 25 人應有一架工作梯。

(2) 如經常雙向通行，則每一通行方向應有一架工作梯。

3.9.3 工作梯除以欄杆圍住者外，不可設置於通道、門口或可能因其他活動而移動之任何地點。

3.9.4 工作梯必須高過工作台面 1m，使用人踏上或離開梯子時，仍可手握梯子之上部，工作梯應使用堅固材料並須確實加以固定栓牢，以免滑動。

3.9.5 作業中有可能接觸到電力系統時，不得使用金屬梯。

3.9.6 同一工作梯的所有腳踏橫擋之間距、強度、大小及形狀均應一致。

3.10 施工架

3.10.1 施工架包含工作梯、工作台。

3.10.2 施工架之底座或基腳應堅固，並能承載預計之最大載重而不致沈陷或移動，其底座不得以不穩定之物體如桶類、箱盒、磚頭、石頭等當作支撐物。

3.10.3 施工架及其組件應依「營造安全衛生設施標準」第四章「施工架及施工構台」之規定設計並設置。

3.10.4 施工架上之工作台、走道或其他供人員站立及行走之表面，應保持水平，並不得堆積其他物品。

3.10.5 施工架上之工作台應設欄杆或使工作人員佩掛安全帶以防止人員跌落。施工架設置欄杆之標準:

(1) 高度應不小於 90cm，欄杆支柱間距 2.5m 以下。

(2) 上欄杆與走道面之間應設中欄杆、腳趾板及杆柱，其上欄杆、中欄杆及地盤面與樓板面間之上下開口距離，應不大於 55cm。

(3) 為防止工具或材料之掉落而傷及下方工作人員，應於工作面周圍設防護網。

3.10.6 施工架上之工作台欄杆之設計及製造，應能承受任何方向 75kg 之重量而無顯著變形之強度；橋台、橋墩、帽梁、建築工程或特殊作業場所應設置工作台，其寬度不小於 40cm。

3.10.7 鋼管式之施工架組件，不得以銲接、氣割或任何其他方法改裝。

3.10.8 施工架之各工作層應有工作梯供其通達。

3.10.9 施工架組立前應妥為檢查、整修，使用中應隨時保持堪用狀態及保持其安全性。

3.10.10 承包商對於懸吊式施工架、懸臂式施工架或凸梁式施工架及高度 5m 以上施工 架之構築、拆除及重組等組配作業，應選任經訓練合格之施工

架組配作業主管負責監督指揮施工，辦理下列事項：

(1) 分配及在場監督勞工作業。

(2) 檢查材料、工具、器具等，並汰換不良品。

(3) 將作業時間、範圍及順序等告知作業勞工。

(4) 禁止與作業無關之人員進入作業區域。

(5) 強風、大雨、大雪等惡劣天候，實施作業預估有危險之虞時，如遭受10分鐘的平均風速每秒10m以上強風或時雨量達40mm或日雨量達80mm以上之大雨等惡劣氣候實施作業導致危險之虞時，即停止作業。

(6) 固定或拆除施工架材時，應設寬度在30cm以上，足夠強度之施工架踏板，並使勞工佩掛安全帶。

(7) 吊升或卸放材料、器具、工具等，應使勞工使用吊索、吊帶等不得拋擲。但已設有安全措施，不致危害勞工時，不在此限。

(8) 構築使用之材料有突出之釘類均應釘入或拔除。

(9) 對於使用之施工架，事前依『營造安全衛生設施標準』及其他安全規定檢查後，始得使用。

(10)檢查勞工使用安全帽或安全帶。

3.10.11 施工架斜籬搭設、直井或人孔侷限空間作業、吊裝台吊運等特殊高處作業，應一併使用背負式安全帶及捲揚式防墜器。

3.10.12 工作場所邊緣及開口所設置之護欄，應符合「營造安全衛生設施標準」第20條其杆柱、杆件之強度及錨錠，應使整個護欄具有抵抗於上欄杆之任何一點，於任何方向加以75kg 之荷重，而無顯著變形之強度。

3.10.13 承包商所使用之鋼管施工架（含單管施工架及框式施工架），須符合CNS 4750及設置防止墜落災害設施。

3.10.14 承包商採用框式施工架時，其組立與拆除應採用安全之組、拆工法，並依行　政院勞動部所訂定「框式施工架作業安全指引及檢查重點」辦理，以保障勞工作業之安全。應由專任工程人員或委由相關執業技師，依結構力學原理妥為設計，置備施工圖說及強度計算書，經簽章確認後，據以執行。

3.10.15 高度7m以上且立面面積達330m^{2}施工架之構築，承包商應由專任工程人員或委由相關執業技師事先就預期施工時之最大荷重，依結構力學原理妥為安全設計，並簽章確認強度計算書，據以執行。施工架之構築應繪製施工圖說及建立按施工圖說施作之檢查機制。

3.11　安全網

3.11.1 橋梁工程之上部結構、建築工程或特殊作業場所施工時應設置安全網，承包商應依據現場需求、安全衛生有關法令規章佈設，以維護工地安全。

3.11.2 安全網使用繩索之抗拉強度應符合勞動部「營造安全衛生設施標準」第 22 條 所列 CNS 14252 或 CNS 16079-1 及 CNS 16079-2 之一規定，提送合格證明書， 並應經常檢查及維護(必要時應更換新品)，以確保安全。

3.11.3 材料、垃圾、碎片、設備或工具等掉落於安全網上應即清除。安全網及其組件每週應檢查一次。有磨損、劣化或缺陷之安全網不得繼續使用。

3.12 人體墜落、物體飛落、災害之防範措施

3.12.1 高度在 2m 以上工作場所邊緣及開口部分，勞工有遭受墜落危險之虞者，應設有適當強度之圍欄、握把、覆蓋等防護措施。前項措施顯有困難，或作業之需要臨時將圍欄等拆除，應採取使勞工使用安全帶等防止因墜落而致勞工遭受危險之措施。

3.12.2 高度在 2m 以上之處所進行作業，勞工有墜落之虞者，應以架設施工架或其他方法設置工作台。但工作台之邊緣及開口部分等，不在此限。設置工作台有困難時，應採取張掛安全網、使勞工使用安全帶等防止勞工因墜落而遭致危險之措施。

3.12.3 工作人員於鐵皮、瓦、木板、茅草、塑膠等材料構築之屋頂作業時，為防止勞工踏穿墜落，應於屋架上設置適當強度，且寬度在 30cm 以上之踏板或裝設安全網。

3.12.4 工作人員於高差在 1.5m 以上之場所作業時，應設置安全之上下設備。

3.12.5 使用之移動梯應具堅固之構造，不得有顯著之損傷、腐蝕，寬度應在 30cm 以上並應採防滑、防轉動之措施。

3.12.6 使用之合梯應具堅固之構造，不得有顯著之損傷、腐蝕，梯腳與地面角度在 75 度內，且兩腳間應有繫材扣牢，並設安全梯面。

3.12.7 使用梯式施工架應具備適當強度，置於座板或墊板上，並將梯腳紮結，兩梯連接使用時應疊接 1.5m 以上並紮牢。

3.12.8 有墜落危險之工作場所應設警告標示，並禁止非工作人員進入。

3.12.8 船舶運輸勞工不得超載，水上作業時應穿救生衣，並設監視人員及救生設備。

3.12.9 自高度 3m 以上之場所投下物體有危害勞工安全之虞時，應設置適當之滑槽及承受設備，並指派監視人員。

3.12.10 工作場所有物體飛落之虞者，應設置防止物體飛落設備，並應使工作人

員佩戴安全帽。

3.12.11 作業有表土崩塌或土石崩落之虞時，應使表土保持安全之坡度；土石有飛落之虞，應予清除或設臨時擋土樁、擋土支撐，並設有排除雨水、地下水等設施。

3.12.13 為防止坑內落盤、落石或側壁崩塌等危害工作人員，應設置支撐或清除鬆動石塊等。

3.12.14 物體有倒塌、崩塌及飛落之虞處，應有監視人員及適當裝備，從事警戒指揮。

3.12.15 僱用勞工從事模板支撐及鋼構組配作業時，應指派訓練合格之模板支撐及鋼構組配作業主管辦理下列事項：

(1) 分配及現場監督勞工作業。

(2) 檢查材料、工具、器具等，並汰換不良品。

(3) 監督勞工確實使用安全帽及安全帶。

3.12.16 混凝土澆置作業時，承包商應監視模板支撐之安全。

3.12.17 凡於高度 2m 以上之高處作業或使用高空作業車之作業，作業勞工必須全程配戴安全帶並勾掛於安全母索，承包商於施工前必須拍攝防墜設施及正確配戴安全帶照片傳輸至工程司核可後方可繼續施工，施工過程中施工廠商亦應隨 時依照工程司之要求拍攝照片傳輸至工程司核可。

3.13 車輛機械

承包商對於車輛機械之煞車裝置、控制盤、排氣系統、傳動裝置、轉向系統、電工系統、燈光、液壓等各項裝置，應依交通有關法規規定辦理。

3.13.1 除非所有人員已遠離該機械，(駕駛員等依規定就位者除外)否則不得啟動。

3.13.2 車輛系營建機械，除乘坐席位外，於作業時不得搭載工作人員；作業半徑及附近有危險之虞之場所應以交通錐及連桿圈圍，禁止人員進入。

3.13.3 應注意遠離帶電導體，以免感電（觸電）。

3.13.4 工作人員不得搭載於堆高機之貨叉所承載貨物之托板、撬板及其他堆高機（乘坐席以外）部分。但停止行駛之堆高機，已採取防止勞工墜落設備或措施者，不在此限。

3.13.5 車輛系營建機械於駕駛者離開座位時，應將吊斗、貨叉等置於地面，並將原動機熄火、煞車及放置車輪擋塊等，防止該機械滑走。

3.13.6 夜間無人看守之機具，不得妨礙交通，其周圍應有適當之警告燈號或圍籬，以標明此處有此等機具。

3.13.7 駕駛各種機具於停車離開時，均應扣上停車煞車，機具原則禁止停放於有滑落危險之虞之斜坡。但已採用車輪阻塊或其他阻擋設備者，不在此限。

3.13.8 推土機及刮運機之刮刀、裝載機之裝斗、傾卸貨車裝斗及類似機具，於修理或無人看守時，刀斗均應放到底或墊好。

3.13.9 後視不良之各種機具不得操作，下列情況者除外:

(1) 裝有後退警告音響者。

(2) 後退時有人指揮，無安全顧慮者。

3.13.10 牽引機具應有操作室或棚蓋，以防止操作人員被振出，或受墜落物體或重物掉落之傷害。

3.13.11 控制傾倒裝置之操作桿，必須有防止意外啟動或傾倒之安全裝置。

3.13.12 工地所有使用中之機具至少均應配備 1 具化學乾粉或二氧化碳滅火器(視情形而定)，並於任何時間均為堪用狀態。

3.13.13 工地使用之機具，每輪工作均應至少檢查下列配件、系統或其他附件(視情形而定)，確定其保持安全之運作狀態:

(1) 煞車系統、轉向系統(停車、運轉及緊急煞車)。

(2) 輪胎、履帶。

(3) 喇叭。

(4) 聯結裝置。

(5) 駕駛操作系統。

(6) 警示系統。

(7) 燈光(頭燈、工作燈、方向燈等)。

(8) 雨刷。

(9) 滅火器。

(10)起重裝置要有吊重限度之標示(其限度及限制)。

(11)機具之安全盤安全情況。

3.13.14 依「職業安全衛生管理辦法」第 4 章「自動檢查」，每年辦理機械之整體定期　檢查、每月辦理規定事項定期檢查，於開始使用、拆卸、改裝或修理時，應　依規定實施重點檢查及每日作業前檢點等事項，承包商必須留下書面紀錄， 以備工程司隨時查驗。

3.14 危險性機械與設備

使用危險性機械與設備時，除依照「車輛機械」項所列相關規定外，並應依　照下列各項規定辦理：

3.14.1 承包商應依「職業安全衛生法」第 8 條使用中央主管機關認可之驗證機構驗證　合格之機械。

3.14.2 危險性機械為符合中央主管機關所定一定容量以上之下列機械：

(1) 固定式起重機。

(2) 移動式起重機。

(3) 人字臂起重桿。

(4) 升降機。

(5) 營建用提升機。

(6) 吊籠。

(7) 其他經中央主管機關指定具有危險性之機械。

註:

1.對於起重升降機具之設備及有關措施，應依起重升降機具有關安全規則辦理。

2.對於起重升降機具之作業，應規定一定之運轉指揮信號，並指派專人負責辦理。

3.14.3 危險性設備為符合中央主管機關所定一定容量以上之下列設備：

(1) 鍋爐。

(2) 壓力容器。

(3) 高壓氣體特定設備。

(4) 高壓氣體容器。

(5) 其他經中央主管機關指定者。

註:

1.對於鍋爐及壓力容器設備及有關措施，應依鍋爐及壓力容器有關安全規則之規定辦理。

2.對於高壓氣體之製造、儲存、消費等，應依高壓氣體設備及容器有關安全規則之規定辦理。

3.15 吊車及起重機具安全

使用吊車、起重機具時，除按照「車輛機械」項所列相關規定外，並應依照　下列規定辦理：

3.15.1 吊車、起重機具及類似之起重裝置必須依照現行法令規章辦理檢查與簽證合格始得使用；並將有關證件隨車存放備查。

3.15.2 承包商並應注意下列事項:

(1) 使用吊車、起重機具，應遵照製造廠商之規範及限制。

(2) 吊車、起重機具，必須於明顯處標示其製造者名稱、日期、最高負荷、額定速度、危險之警告或指示，且此等標示必須在作業手操作時視線清晰。

(3) 吊車、起重機具之操作手及配合人員應有一定之運轉指揮信號。

(4) 凡有下列所述狀況之鋼索均不得用於工地。

A.鋼索一撚間有 10%以上素線截斷者。

B.直徑減少達公稱直徑 7%以上者。

C.有顯著變形或腐蝕者。

D.已扭結者。

(5) 吊車或起重機具轉動上部結構之背後(平衡重量)旋轉半徑內應加以圍護，以防止人員受到吊車之撞擊。

(6) 吊車或起重機操作室之所有窗戶，均應配裝安全玻璃或其同等品，並應保持清潔及透明。

(7) 吊車或起重機具之操作室內應有必要之滅火器裝置。

(8) 吊車不可在下列之任何電力分配線路或輸送線路之規定距離內操作，除非該等系統確認已經停電，或此一作業事先已計畫妥當，且有合格人員在場監督者。

電　壓(千伏特)	最小距離(m)
0.75~ 50	3.0
50 ~ 75	3.5
75 ~ 125	4.0
125 ~ 175	4.5
175 ~ 250	5.0
250 ~ 370	6.5
370 ~ 550	8.5
550 ~ 1,000	13.0

此一距離係依據美國職業安全衛生管理局(U.S OccupationalSafety and Health Adminstration(OSHA))所定之規則(2gCFR1926.550)。

(9) 承包商在未取得製造廠商之書面同意前，吊車或起重機具不得做任何修改或增添，以免影響其吊重能力或安全操作系統，如有修正或改變，非經檢查機構再檢查合格，不得繼續使用，其荷重、操作及指示之標示牌、標籤或印有標誌名牌等均應配合改正。

(10)吊車或起重機具之原始安全係數，在任何情況下均不得減少。

(11)吊車放在駁船上、平台上或其他類似場所，因須維持其安全限度而

減少額定載重時，則吊車之操作室必須張貼所改變之載重能量。

(12)吊車及起重機具設備之吊鉤或吊具，應有防止吊舉中所吊物體脫落之裝置。

(13)承包商對於經中央主管機關指定具有危險性機械或設備，非經檢查機構或中央主管機關指定之代行檢查機構檢查合格，不得使用;其使用超過規定期間者，非經再檢查合格，不得繼續使用。

(14)經中央主管機關指定具有危險性機械或設備之操作人員，承包商應僱用經中央主管機關認可之訓練或經技能檢定合格人員擔任。

3.15.3 起重機具應具備 1 機 3 證（移動式起重機檢查合格證、操作人員及從事吊掛作　業人員之安衛訓練結業證書)，除操作人員外，應至少隨車指派起重吊掛作業人員 1 人（可兼任指揮人員)。膠輪式起重機具行駛一般道路上，依相關規 定辦理。

3.15.4 20m 以下高處作業，宜使用於工作台即可操作之高空工作車或搭設施工架等方式作業，不得以移動式起重機加裝搭乘設備搭載人員作業。但使用道路或鄰接道路作業者，不在此限。

3.15.5 嚴禁使用高空工作車作為勞工作業時之上下設備，避免作業勞工曝露在不安全的環境中。

3.15.6 承包商必須明列安全作業監看人員名冊及其職責、職能(受訓合格之相關專業訓練)，報請工程司核可。為確保勞工施工安全，起重機機具吊掛作業時，必須增設安全作業監看人員，監看人員不進入交通錐及連桿圈圍之範圍內，並協助吊掛手指揮監看周遭環境及制止勞工不安全行為。

3.15.7 吊車、起重機具應實施荷重試驗及安定性試驗，確認安全後，方得使用。荷重試驗係指將相當於該起重機額定荷重 1.25 倍之荷重置於吊具上，實施吊升、直行、旋轉或必要之走行等動作之試驗。安定性試驗，指使該起重機於最不利於安定性之條件下，將相當於額定荷重 1.27 倍之荷重置於吊具上所實 施之試驗。

3.15.8 使用移動式起重機吊掛搭乘設備或吊升人員作業時，應依下列規定辦理：

(1) 搭乘設備及懸掛裝置，應妥予安全設計，並事前將其構造設計圖、強度計算書及施工圖說等，委託中央主管機關認可之專業機構簽認。

(2) 起重機載人作業前，應先以預期最大荷重之荷物，進行試吊測試，將測試荷物置於搭乘設備上，吊升至最大作業高度，保持 5 分鐘以上，確認其平衡性及安全性無異常。

(3) 起重機載人作業進行期間，不得走行。進行升降動作時，勞工位於搭乘設備內者，身體不得伸出箱外。

(4) 起重機載人作業時，應採低速及穩定方式運轉，不得有急速、突然等動作。當搭載人員到達工作位置時，該起重機之吊升、起伏、旋轉、走行等裝置，應使用制動裝置確實制動。

(5) 起重機載人作業時，應指派指揮人員負責指揮。

3.16 臨時用電

3.16.1 應由合格執照之電氣技術人員或公司，從事工地用電設備之安裝維護及管理工作，並依規定設置警告標誌。

3.16.2 工作人員不得接近電力線路任何部分，以免工作時發生感電事故，除非已停電、電路接地、有效之絕緣或其他核可之方法保護之。

3.16.3 同一工作地區，如有不同之電壓、頻率、可攜帶式延長電纜、不同電路之插頭等均應採專用插座且不得互換使用。

3.16.4 工地使用之延長線至少為3線式電纜,其供應負載不得超過其額定電流,並嚴禁跨越高壓線，以確保安全。

3.16.5 延長線應加保護，以免因往來交通、銳角、突出物、門挾或其他原因而導致破損。

3.16.6 延長線不可用U 型釘固定或掛在釘上或用鐵線掛住。

3.16.7 用於露天工地之插頭及插座應具備防水性能，並應連接到備有合格之漏電斷路器或其相同作用之接地系統。

3.16.8 通過工地之電纜及線槽，凡可造成人員傷害者，應加絕緣保護或架高以免受損，並明顯警示其路徑。

3.16.9 破損或燒焦之電線或電纜應立即換新，並定期檢查。

3.16.10 承包商對於電氣設備裝置及線路，應依電業法規有關規定辦理，所使用電氣材料及電線等，應符合國家標準規格。

3.16.11 承包商之工作人員應遵照上揭事項妥善管理與防護，若發生任何災害，均應由承包商負責。

3.16.12 加強檢查電銲機之自動電擊防止裝置，發電機及臨時用電電氣設備應設置漏　電斷路器，並由專業電工人員負責檢查及隨時上鎖。

3.17 河道等鄰水施工作業

3.17.1 承包商應依據施工情況配合環境氣候、時段需要配備相關涉水工作所需如救生衣、救生圈（袋）、拋繩槍、繩索、安全帶、防護網、梯、橡皮艇、輸送母索、急救箱等之勞工安全防護及急救配備與用具，並隨時督促相關人員使用。

3.17.2 應於施工前對參與之勞工施予教育訓練，其內容包括：緊急通報、防護具之使用與逃生演習等。

3.17.3 應於工區設立緊急事故通報系統告示牌，明列各通報系統電話及聯絡人員。

3.17.4 每日施工前承包商應對相關安全衛生設施進行自動檢查，檢查合格後始可施工。

3.17.5 應隨時注意天候狀態，易受大雨影響產生洪水致危害勞工安全之河段，施工地點上游應設置預警設施，以提供施工人員及施工機具有足夠之時間撤離工地至安全地點。

3.18 職業安全衛生報備文件

3.18.1 承包商應先辦妥下列事項，始可施工，逕行施工者，除暫停支付本工程全部工程估驗款（估驗時應檢附核定之設置或變更文件）外，另依 3.22 節罰則相關規定辦理。

(1)設置合格職業安全衛生管理單位(人員):

A.勞工人數 30 人以上者，承包商應依「職業安全衛生管理辦法」及「加強公共工程職業安全衛生管理作業要點」規定，填寫「職業安全衛生管理單位(人員)設置（變更）報備書」；勞工人數未滿 30 人者，填寫機關「職業安全衛生人員設置(變更)報備書」（詳表 9-1）。

B.於申報之開工日前，將上述報備書及表 9-1 規定應附資格證件，書面提報監造單位核轉工務段或工程處依權責核定。

C.勞工人數 30 人以上者，須依規定登錄職業安全衛生人員資料及報請當地勞動檢查機構備查，俟當地勞動檢查機構正式備查後，將該備查文件影印本補送委託監造單位、工務段及工程處。

D.勞工人數 100 人以上者，承包商除應依前第 A.B.及 C.款規定辦理外，並應增設職業安全衛生管理單位。

E.以上 A.B.C.D.，承包商應依有關規定確實辦理，人員異動或工程變更時，亦同。

(2)承包商應依據「職業安全衛生法」第 26 條規定，接受機關於工程施工前所告知有關工作環境、危害因素暨職業安全衛生法有關規定應採取之各項措施;倘有代辦工程者，請逕洽委辦單位辦理該管工作之告知手續，事後應將該項告知憑證送交甲方工務單位備查。

表 9-1 勞工人數未滿 30 人之「職業安全衛生人員設置(變更)報備書」

(參考用表，相關內容依實際情形調整)

<table>
<tr><td rowspan="5">申請欄</td><td>工程(作)名稱</td><td colspan="2"></td><td>工程(作)編號</td><td></td><td>施工地點</td><td colspan="2"></td><td>預定開工日期
預定完工日期</td><td colspan="2">年 月 日
年 月 日</td></tr>
<tr><td rowspan="2">承包商</td><td>名稱</td><td colspan="2"></td><td>工作場所負責人</td><td></td><td rowspan="2">電話</td><td colspan="2">(公司)</td><td rowspan="2">施工期間最高年平均勞工總人數(本報備書僅適用於未滿 30 人者)</td><td rowspan="2">人</td></tr>
<tr><td>地址</td><td colspan="2">□□□-□□</td><td>契約金額</td><td></td><td colspan="2">(工地)

(手機)</td></tr>
<tr><td colspan="10">職 業 安 全 衛 生 人 員</td></tr>
<tr><td colspan="2">姓名：</td><td colspan="3">電話:
(手機)</td><td colspan="5">身份證號碼:
(僅第 1 聯填寫，第 2-6 聯請勿填寫)
住址:□□□-□□</td></tr>
<tr><td colspan="10">本人對於契約規定職業安全衛生人員,「施工期間應於工地執行業務，且不 可跨標案於其他工地工作」，已充分瞭解並願意確實遵行。 職業安全衛生人員(親自簽名)：</td></tr>
</table>

應附資格證件:

1.職業安全衛生人員合格證書、以承包商為投保單位之勞工保險人被保險投 保資料表（列印期限為所送報備資料前 1 個月內）及在職回訓證明影本各乙份。

2.勞工人數未滿 5 人之廠商在職業工會加保勞保者，如由負責人自行擔任職業 安全衛生業務主管者另附營利事業登記證印印本。若係另外聘僱合格人員 擔任業務主管者，在估驗付款時並需提出給付工資之憑證。如有虛偽不實之情事，承包商並應負一切法律及契約責任。

本工程確實由○○○擔任職業安全衛生人員，如有虛偽不實之情事，本公司願意負一切法律及契約責任。

以上所填內容均屬實。

廠商:(公司印信)　　負責人簽章:　　申請日期: 年 月 日

工務段審查或核定欄	審查或核定意見	□ 授權工務段發包工程、 □一次付款工程、□工期 30 天以下工程、 □緊急、災害、搶修工程。本報備書由工務段核定。 □非屬以上 4 類之情形，本報備書須陳報工程處核定。		
		□ 同意 □ 同意轉陳 □ 無法同意，理由：		
		核定(轉陳)日期: 年 月 日	文號:	
	監	監造工程司(師)	安全衛生工程司(師)	段長(主任)

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">造單位</td><td>委託監造單 位</td><td>工務段</td><td>委託監造單 位</td><td>工務段</td><td>委託監造單位</td><td>工務段</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">工程處核定欄</td><td rowspan="2">核定意見</td><td colspan="6">□ 同意
□ 無法同意，理由：</td></tr>
<tr><td colspan="4">核定日期： 年 月 日</td><td colspan="2">文號:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">工程處</td><td colspan="2">安全衛生工程司</td><td colspan="2">科長</td><td colspan="2">處長</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="8">註：
1.本報備書由承包商填寫一式 6 份（含附件）送機關監造單位。
2.（1）凡授權工務段發包工程。（2）1 次付款工程。（3）工期 30 天（含）以下工程。（4）緊急、災害、搶修工程等 4 種情形之 1 者，由工務段核定（變更亦同）。工務段核定後應即簽會工程處勞安科、主管科各存乙份。
3.不屬第 2 項工程者，工務段應將 6 份報備書轉陳工程處核定（變更亦同）。經核定後，工程處主管科與勞安科各抽存 1 份(或副本函送)，工務段留存 3 份（1 份存檔、1 份函復承包商、1 份附於工程估驗內作為支付估驗工程之憑證）。
4.所稱職業安全衛生人員包括職業安全衛生業務主管、職業安全管理師、職業衛生管理師、職業安全衛生管理員、其設置標準應依「職業安全衛生管理辦法」規定辦理。</td></tr>
</table>

3.18.2　承包商應在工地備妥下列文件備查:

(1) 報經檢查機構備查之「職業安全衛生工作守則」。

(2) 職業安全衛生管理單位(人員)設置（變更）報備書核可文件。

(3) 協議組織表與會議紀錄。

(4) 緊急災變及防災防範方法等組織及搶救通報系統。

(5) 各項自動檢查紀錄。

(6) 危險性機械或設備操作人員執照。

(7) 危險性機械或設備檢查合格證。

(8) 依據「職業安全衛生法」第 26 條規定之『告知』紀錄。

(9) 職業安全衛生教育訓練及預防災害訓練等紀錄。

(10)各項相關作業主管及特殊作業人員合格證書。

(11)進場及作業管制表。

(12)其他有關主管機關規定之相關資料。

3.19　營造工程危險性工作場所有關規定:

承包商應依據行政院最新修訂之「危險性工作場所審查及檢查辦法」有關規定辦理申請檢查，俟審查通過後，始可動工，並將核可函影本及施工計畫與施工安全評估報告書提報機關施工單位核轉工程處備查。承包商需預估審查

所費時間事先提送，若因提送及審查等因素有所延誤致無法動工，皆為承包商之責任。

承包商應確實依送審通過之危險性工作場所之施工計畫、施工安全評估報告書圖說內容施工，並委由專任工程人員考量現地風力、地震力、使用活載重、靜載重及加載地表土壤承載力等加以設計簽認，所有施工人員應確實了解其施工作業內容，並納入自動檢查紀錄。

承包商對經審查合格之危險性工作場所，若於施工過程中變更主要分項施工方法時，應就變更部分重新評估後，報經原檢查機構審查通過，始得動工。

(1) 承包商應於工程得標後填具以下資料，並備齊有關證件在規定期限前向當地勞動檢查機構申請審查或檢查，否則依本章『罰則』辦理。

A.丁類工作場所審查申請書。

B.施工計畫。

C.施工安全評估報告書。

(2) 申請審查或檢查所需時間業已估計於工程契約工期內，非經勞動檢

查機構審查或檢查合格，不得使勞工在該場所作業，若因而發生事故或延誤工期時，概由承包商自行負責。

(3) 經審查或檢查合格後，承包商應將其核可之公文影印本及附件各乙份報經機關施工單位核轉工程處備查，併作為工程契約之附件。

(4) 有關「施工安全評估報告書」之製作，承包商應依實際需要組成施工安全評估小組為之，(該小組其中 1 人應為施工安全評估訓練合格人員)或委託曾受施工安全評估訓練合格之執業技師或技術顧問機構為之，並指定適當人員參與,其委託所需經費,概由承包商自行負責，不得要求增列。

3.20 承包商依行政院勞動部發布「加強公共工程職業安全衛生管理作業要點」第十二條規定應辦下列安全衛生監督查核事項：

3.20.1 承包商應就各層級之管理組織、檢查人員資格及人力配置報請甲方核備。

3.20.2 承包商應依本工程各施工分項作業訂定檢查計畫及實施方式。

3.20.3 承包商於訂定檢查計畫應明列安全衛生監督查核之查驗點、檢查項目、內容、判定基準、檢查頻率、檢查人員及檢查後之處理方式與改善追蹤之紀錄。

3.20.4 承包商應就施工架、支撐架、擋土設施等假設工程、起重機具組拆，及具有墜落、滾落、感電、倒塌崩塌、局限空間危害之虞之作業項目，應列為檢查重點並製作紀錄備查。

3.20.5 承包商應於各分項作業施工前，就施工程序設定安全衛生查驗點，並落實自主檢查及製作紀錄備查。承包商檢查不合格，不能進行後續施工。

3.20.6 承包商於施工中、驗收或使用前，應分別實施必要之檢查，以確認其使用安全性能之效能；該相關執行紀錄自查核日起保存至保固責任結束之日止，並置放工務所隨時備查。

3.20.7 檢查人員未能有效執行安全衛生監督查核者，經工程主辦機關通知後，應即更換之。

3.20.8 承包商檢查人員因檢查不實致甲方受損或遭主管機關罰鍰時，則依工程契約規定辦理。

3.21 其他安衛設施及管理維護費

承包商除應按本章應辦事項辦理外，尚包括有為執行安全衛生相關法令規章等業務所需之行政管理、管理人員、組織、儀器、設施及其他無法細列之工作項目，以及依據安全衛生法令規章之有關規定在施工期間所

需之一切工地管理與維護等費用，本項應辦之參考項目例舉如下:

(1) 勞安器材專櫃。

(2) 勞工健康檢查及行政管理(含相關人事費、各類表報製作、規定案件申請作業費及其規費等)。

(3) 安全衛生標語(海報)。

(4) 個人防護具。

(5) 消防設備。

(6) 滅火器。

(7) 標示牌。

(8) 電銲面罩(手套)。

(9) 安全照明燈。

(10) 急救設備及人員。

(11) 保險費。

(12) 職安教育訓練、宣導、活動、會議等費用。

(13) 除預算中已列有工程項目外其他必要之設施。

(14) 施工期間所需之一切工地管理與維護。

3.22 罰則

工程司對安衛項目實施定期或不定期稽核（督導）時，承包商應配合辦理事項及未依法令規章辦理或有其他缺失未依限改善時之罰則。

3.22.1 工程施工應辦之安全衛生措施，承包商應依本施工說明書及工程契約中之工程項目以及政府頒布相關法令規章確實辦理並實施自動檢查。工程司定期或不定期赴工地實施稽核或複核時，承包商工地負責人或代理人及其職業安全衛生管理人員應主動配合辦理，如未到場配合辦理，工程司得逕行稽核或複核。

3.22.1.1 承包商於例假日休假前加強工區各項安全措施之檢查，提送安全措施檢查表照實填報，並經工程司核可後，方可於例假日施工。

3.22.2 工程司稽核或複核結果有不符規定項目，除即通知承包商在規定期限內改善外，其不符規定項目並視情節按照下列規定處罰：

3.22.2.1 承包商工作人員在工地未正確佩戴安全帽及穿戴反光背心時：

(1) 第一次罰款 3,000 元。

(2) 第二次起不限同一人，按實際未佩戴人數每人罰款 3,000 元。

3.22.2.2 (1) 承包商未依 3.5.6 及 3.18.1 規定辦理者，每日罰款 1,000 元。未辦妥報備而逕行施工者，每日罰款 2,000 元。

(2)有下列情形者，視為未設置合格人員，依前款規定罰款：

A.表 9-1 規定需檢附之資料缺漏時，於接獲機關書面通知翌日起 3 個工作天內未補正。

B.提報設置之人員不符合規定資格遭退件。

C.原任管理人員因故無法執行業務時，承包商未於發生翌日起 3 個工作天內，將代理人資格證件書面提報工程司核可。

3.22.2.3 承包商未依「職業安全衛生法」第 26 條規定接受工程司辦理之『告知』而逕行施工者，每 15 日罰款 6,000 元，施工工期未滿 15 日者，以 15 日計算。

3.22.2.4 其他不符規定項目經通知承包商限期改善，仍未辦理者，按工程契約金額之不同分別罰款如下：

(1) 契約金額未滿 1 千萬元者，每項次罰款 3,000 元。

(2) 契約金額 1 千萬元以上者，每項次罰款 5,000 元。

3.22.3 稽核單位發文通知承包商於工程估驗款扣抵繳納罰款;當月經稽(複)核結果應罰款者，最遲於次月 20 日完成，未依限辦理者，暫停支付工程估驗款，至罰款抵繳為止。

3.22.4 同一標工程經稽核或複核已改善完成之項目,嗣後如再發生同一缺失時,應即依規定罰款。惟工地如稽核發現涉有「勞動檢查法」第 28 條所述有立即發生危險之虞之工作缺失者，第一次起即予以開罰，不受重複缺失始罰款之限制，且應立即停工，俟改善完成後再行施工。以上均得連續處罰。

3.22.5 各項經複核仍未改善完成之項目應連續罰款並再複核，至缺失改善完成為止。

3.22.6 安全衛生罰款之總和,以不超過本工程契約中安全衛生項目費用之總價。

3.22.7 工地安全衛生事項因執行不當，經主管機關查獲處罰或通知改善時，應由承包商負擔罰款並負責改善，倘同一缺失再遭主管機關告發者，改善未完成前得暫時停止支付估驗款。

3.22.8 工程契約中，因安衛缺失事項未改善遭連續罰款累計達契約安衛費用總價而仍未依限改善者，得暫停支付工程估驗款，至改善完成為止。

3.22.9 經罰款或暫停支付工程估驗款之處分，有關安全衛生等各項缺失仍未依限改善者，工程司得要求承包商撤換不適任人員。

3.22.10 施工期間如發生重大職業災害者，經機關通知缺失改善仍未改正者，機關得隨時要求撤換承包商職業安全衛生人員或工地主任之不適任人員，承包商應即照辦。

3.22.10.1 發生需通報機關之職業災害、虛驚事故，承包商如未於 30 分內通報機關工程司者，罰款新臺幣 10,000 元整。

3.22.11 因承包商施工場所依契約設計圖說規定應有之安全衛生設施因欠缺或不良，致發生重大職業災害經勞動檢查機構通知停工，並經機關認定屬查驗不合格情節重大者，為政府採購法第 101 條第一項第八款所定情形之一，機關得依政 採購法第 101 條至第 103 條規定處理。

3.22.12 施工作業中如有違反相關法令規章，且有立即性危險之可能時，經工程司書面通知仍未依限改善者，得要求承包商暫停相關部分之施工，至改善完成經工程司核可後始得復工，必要時得僱工代為處理，所需費用由承包商負擔並在該工程估驗款中扣抵，不足部分由履約保證金或差額保證金扣抵。

3.22.13 如經工程司稽核時，發覺缺失或未落實事項，經通知後應於期限內改善，仍未改善者除應依前述罰則處罰外，並得終止契約。

3.22.14 承包商不得因接受本章規定之處罰而向工程司提出延長工期或補(賠)償之要求。

3.22.15 承包商有下列情形之一者，除應限期改善外，每次罰款，並得連續處罰至改善完成：

(1) 發生重大意外事故、虛驚事故（可歸責於承包商者），造成第三人生命安全、財產損失、工程中斷或阻斷交通車流，每次罰款新臺幣 3 萬元整。

(2) 因承包商安衛設施不足或檢查不實，致發生重大職災，每次罰款新臺幣 10 萬元整。

(3) 因承包商安衛設施不足或檢查不實，致發生須住院治療之非重大職災，每次罰款新臺幣 3 萬元整。

前項罰款繳納方式同 3.22.3 節規定，職業災害罰款之總和，以不超過本工程契約中安全衛生項目費用之總價。

3.22.16 機關本部辦理工程勞安督導，相關缺失及建議事項，承包商未依列管時程完成改善，亦無申請展延，依下列規定罰扣懲罰性違約金，懲罰性違約金以點數計，每點計罰額度：巨額採購以上之工程（依採購法施行細則第 6 條認定工程規模）為新台幣 8,000 元，查核金額以上未達巨額採購之工程為新台幣 4,000 元，1 千萬元以上未達查核金額之工程為新台幣 2,000 元，未達 1 千萬元之工程 為新台幣 1,000 元。並得於承包商應得之工程估驗款扣抵，懲罰性違約金罰扣累計總金額，以安全衛生項目費用總額為上限：

(1) 承包商經工程司書面通知之缺失未於期限內(第 1 次)改善完成且未經機關核可展期者，每日罰扣懲罰性違約金 1 點。

(2) 再限期(第 2 次，限期不得超過第 1 次限期天數)仍未改善完成者，按日罰扣懲罰性違約金 2 點。

(3) 再限期(第 3 次，限期不得超過第 2 次限期天數)仍未改善完成者，按日罰扣懲罰性違約金 4 點，並得暫停支付工程估驗款至改善為止。

(4) 倘改善結果未臻完備，遭機關退還修正者(2 次以上，含第 2 次)，除依前款規定限期改善外，同時每次併罰扣懲罰性違約金 2 點。

(5) 未於期限內(第 3 次限期)改善完成或改善結果未臻完備情形嚴重者，工程司得要求承包商撤換職業安全衛生人員或工地主任之不適任人員。

3.22.17 機關任何單位對承包商開出之安衛缺失罰款，如發現承包商有將罰款轉嫁協力廠商或勞工之情形，將立即撤換工地主任及安衛人員。

3.22.18 對承包商安衛缺失除罰款外，次日於勞工上工時起，由承包商工地主任再召開所有施工人員及管理人員辦理教育訓練 2 小時，再有相同情形則訓練 4 小時，第 3 次 6 小時依此類推，並請承包商將教育訓練相關資料併同缺失改善報 告提報工程司核可。

3.23 安全衛生設施之首件檢查

(1)主體工程例如橋梁下部結構、上部結構、明隧道頂版結構及其他作業等施工過程中具重複性架設安全衛生設施時，於各類工法之第 1 座基礎、第 1 根墩柱、帽梁及各橋梁工法第 1 跨徑或明隧道第 1 單元頂版等所屬之安衛設施完成時，稱為首件樣本並賦予其示範標準性質。

(2)首件樣本應符合法規及規範所規定之各項安全衛生設施要求，並報請工程司檢查。查驗核可後，後續安衛工作即以此為樣本作為標準繼續施作。若無法符合法規及規範要求時，應改善至工程司同意為止。

(3)辦理安全衛生設施首件檢查前，廠商應提送首件自主檢查報告，並檢附相關資料，包括安全衛生設施施工詳圖(圖說)、自主檢查表、出廠證明或檢(試)驗報告及彩色照片等。

4. 計量與計價

4.1 計量

本章工作以「式」或其他單位計量。若契約項目未列者，則各項工作視為已包括於契約總價內。

4.2 計價

4.2.1 本章工作依契約詳細價目表所列項目單價計價。該單價已包括所需人工、材料、機具及為完成本工作所需一切費用在內。若契約項目未列者，則各項工作視為已包括於契約總價內。

4.2.2 本章各工作項目應經檢查合格並符合規定後，按下列方式估驗付款:

(1) 量化計價之工作項目，應依實際需要及有效使用設置，並按實作數量及工程契約之付款辦法計價給付。

(2) 以「式」為單位之工作項目，按工程實際進度百分比及工程契約之付款辦法計價給付。

(3) 施工中如因甲方因素而致工程局部或全面停工，基於實際需要，承包商仍應繼續辦理安全衛生各項作業之管理與維護時，得就工程契約內相關等以「式」計價之工程項目經費，向機關提出申請按未完成部分所需之工程費、核定展延工期天數與本工程契約金額、工程契約工期之比例調整給付(如計算式)，其他原因概不調整。

調整給付金額＝一式項目契約金額 ×｛1+〔(未完成部分所需之工程費)/(工程契約金額)〕×〔(核定展延工期天數)/(工程契約工期)〕｝

4.2.3 其他安衛設施及管理維護費

承包商除應按前述各章節應辦事項確實辦理外，尚包括為執行安全衛生相關法令等業務所需之安全衛生資料提供（承包商於工區內應辦事項）、行政管理費（含相關人事費、各類表報製作、規定案件申請作業及其規費）、設施暨其他無法細列之工作項目等費用，以及在施工期間所必需之一切工地管理與維護。

4.2.4 本章工作項目名稱及計價單位例舉如下。

工作項目名稱	計價單位
巨額工程安全衛生告示牌	面
安全衛生告示牌	面
出入口守衛亭	座
夜間照明燈具	盞
停電自動照明燈	盞
用電設備絕緣防護網	M^2
防墜物垂直護網	M^2

安全網	M^2
覆網	M^2
安全護欄	M
橋墩上下設備	組
垂直開口護欄	M
攔截落物防護網	M^2
斜籬	M
豎井吊升設備	式
氣體檢知警報系統	式
通風設備費	式
通訊器材費	式
活動廁所	座
迴旋式工作梯	M
動力救生船	艘
救生圈	個
救生衣	件
鋁板緊急通報告示牌	個
水位監視標尺	具
簡易警報器材	組
警報器	具
連絡器材(對講機)	具
1/2”安全母索	KG
3/8”安全母索	KG
安全母索掛鉤	件
施工架	「式」或「M^2」
其他安衛設施及管理維護費	式

〈本章結束〉

附錄 1

鼎型塊織布橋基保護工法設計參考圖說

一.高強度織布

1.高強度織布規格說明(或同等品)：廠商提供之材料符合以下規範要求者皆視為同等品，廠商不得以提供之材料強度大於規範要求而另行追加費用。

2.本工程所使用之織布有短期曝曬於陽光下之風險，故供料商需提供織布具耐紫外線之物性證明，可提供九年內依照ASTM D5970 之標準程序由TAF認證試驗室或國立學術單位進行戶外鋪曬試驗，經實際戶外鋪曬200小時後之縱向強度殘留率需大於90%以上，或其他經業主核可之同等級以上可資證明其抗紫外線物性能力之相關試驗或品質證明。

3.打孔織帶與母材縫合車製2道，打孔織帶寬度為10cm開孔間距約10cm，車縫長度同布長L。

表1

項次	項目	單位	規範之要求	依據之方法
(1)	拉力強度	kgf/m	>2800	CNS 13300
(2)	破損前延伸率	%	<30	CNS 13300
(3)	起始模數	kgf/m	>20,000	CNS 13300
(4)	正向透水率	1/sec	>0.1	CNS13298，定水頭高5cm

二.防護層織物

1.防護層織物規格說明(或同等品)：採用CNS 11不織布為防護層織物，廠商提供之材料符合以下規範要求者皆視為同等品，廠商不得以提供之材料強度大於規範要求而另行追加費用。

2.承包商於材料施工前應檢附不織布樣品及經TAF認證試驗室或國立學術單位檢驗合格之試驗報告供監造單位及業主審核，各項數值大於規範要求者皆可視為同等品。

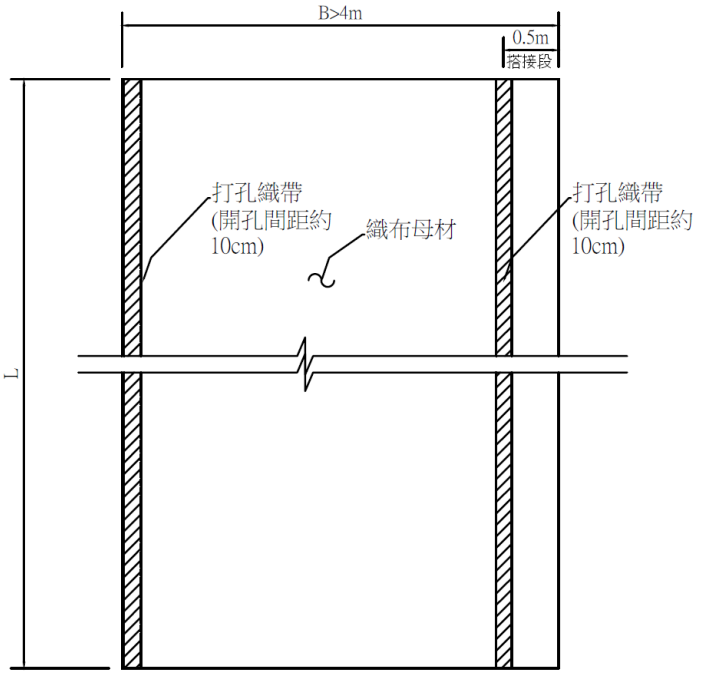
表2

項次	項目	單位	規範之要求	依據之方法
(1)	抗拉力	kgf(N)	>81.6(800)	CNS 11228抓式法(縱向與橫向)
(2)	伸長率	%	40~100	
(3)	撕裂力	kgf(N)	>35.7(350)	CNS 11228梯形法(縱向與橫向)
(4)	透水率	1/sec	>0.1	CNS13298，定水頭高5cm

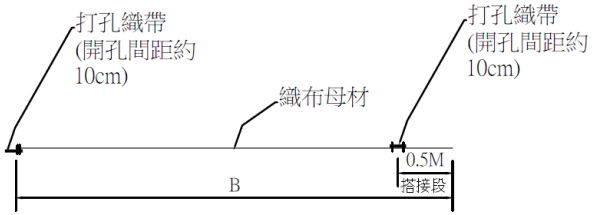
三.檢驗

1.地工織物設計數量在10,000m2(含)以下時，於承包商自購運入工地後，由工程司會同承包商隨機抽取地工織物邊幅區1m×1m試樣1份後送工程司認可之檢試驗機構辦理，其設計數量大於10,000m2時，每增加5,000m2增採試樣1份送檢，織布檢驗項目及試驗方法係依表1規定檢驗，非織物則依CNS 11228、CNS 5618、CNS 13298 、CNS 11229或ASTM D4355等依表2之規定規定檢驗。

2.試驗室或學術單位可執行之上述項目具一半以上項目有TAF認證者，即視為符合試驗室送驗資格，並可執行所有項目之試驗。



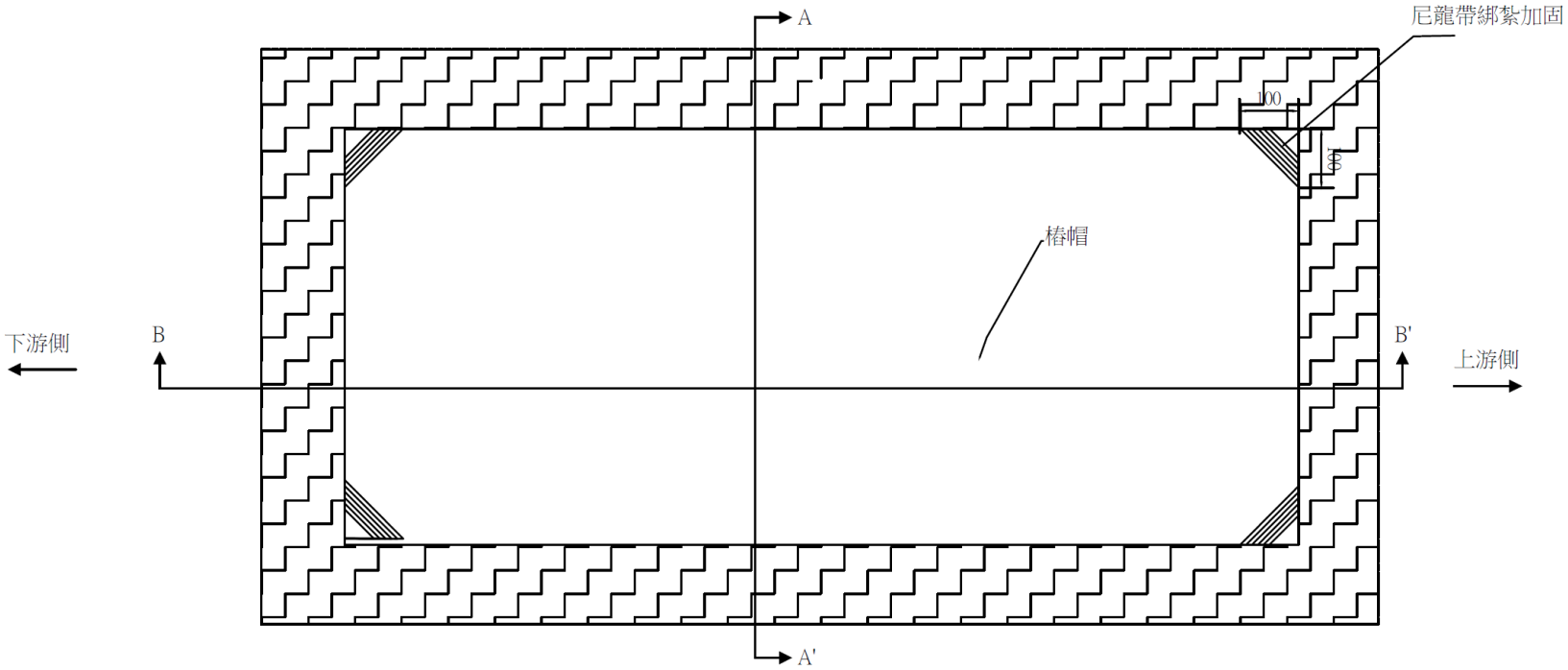
高強度織布平面展開圖



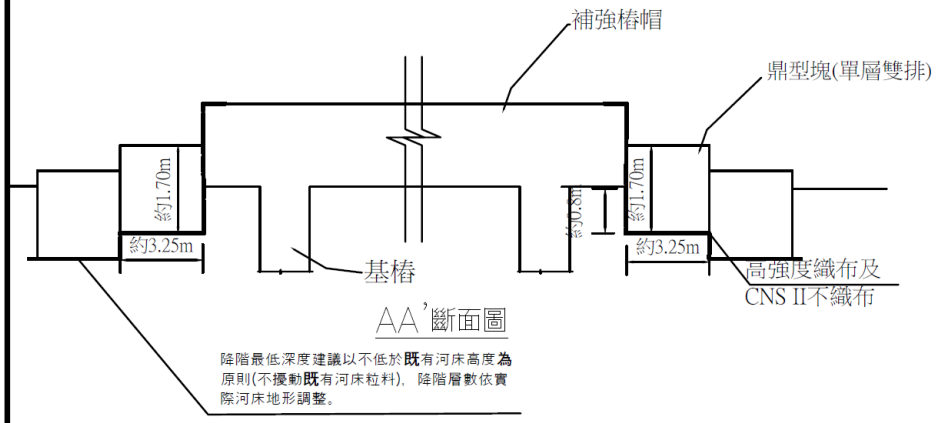
高強度織布斷面圖

附錄 5-81

專業技師		繪圖員		案名	圖名	地工織布規範	比例尺		圖號	㊀
設計		日期							頁次	

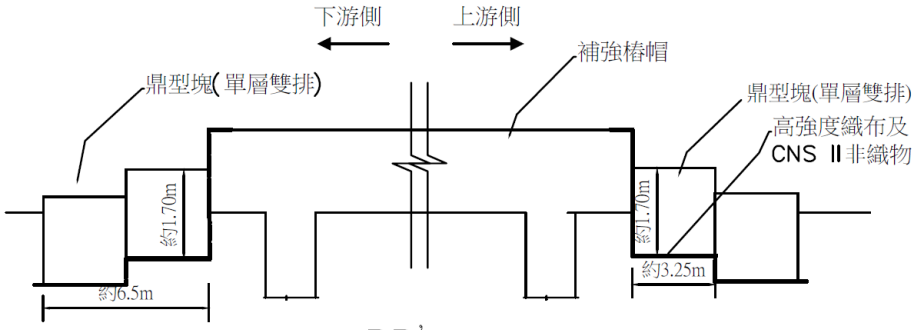


平面配置圖　單位:cm



AA'斷面圖

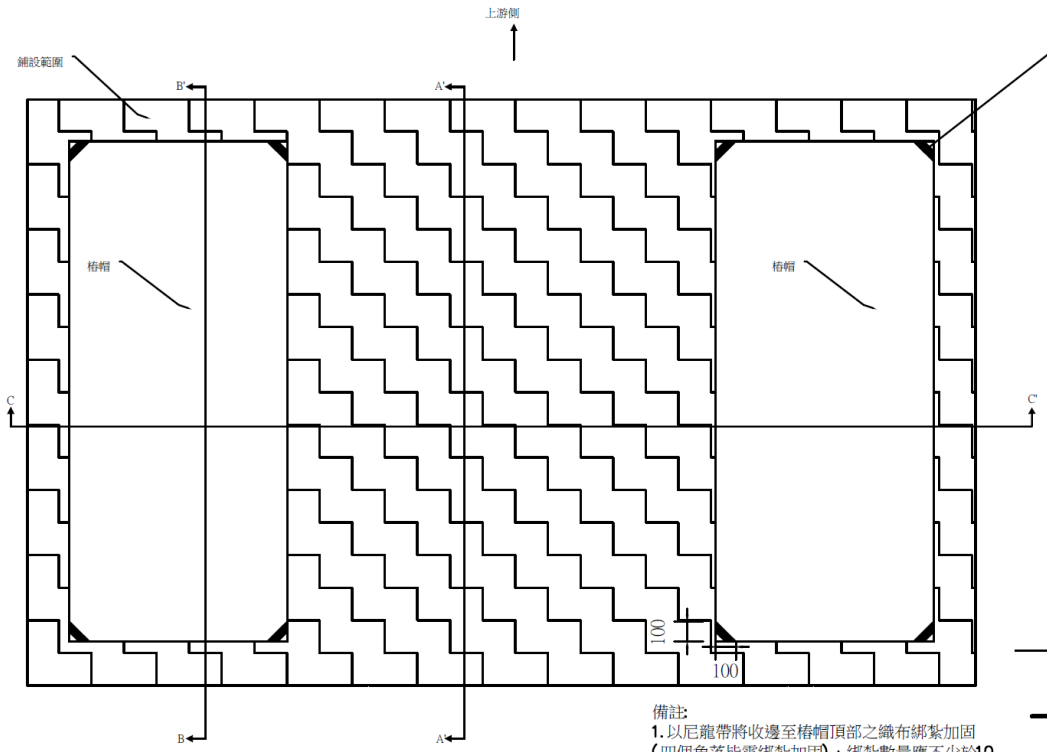
降階最低深度建議以不低於既有河床高度為原則(不擾動既有河床粒料)，降階層數依實際河床地形調整。



BB'斷面圖

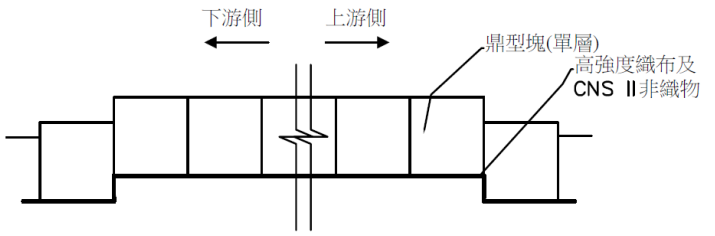
備註: 鋪設採雙層鋪設上層非織物下層高強度織布,高強度織布須採50cm搭接綁紮,非織物置於高強度織布上採30cm自然搭接不綁紮.

	單位名稱		繪圖員		案名	圖名	地工織布鋪設示意圖(橋墩基礎)	比例尺	圖號
	設計		日期						頁次

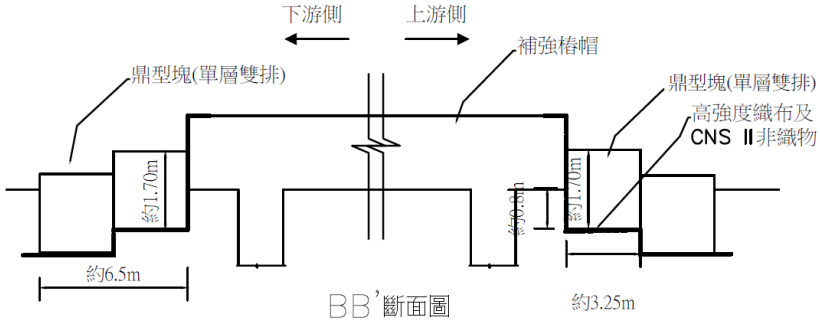


平面配置圖　單位:cm

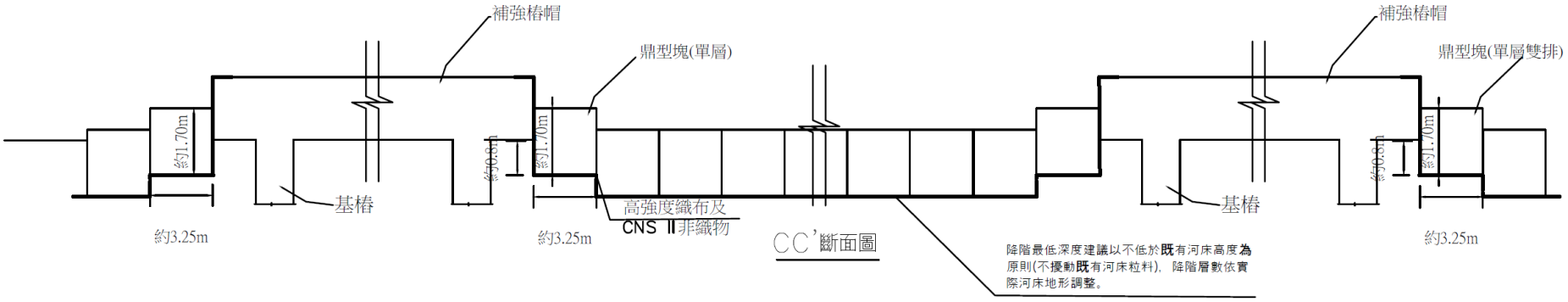
備註:
1.以尼龍帶將收邊至椿帽頂部之織布綁紮加固(四個角落皆需綁紮加固)，綁紮數量應不少於10條鋪設採雙層鋪設上層不織布下層高強度織布,高強度織布須採50cm搭接綁紮,不織布置於高強度織布上採30cm自然搭接不綁紮.



AA'斷面圖



BB'斷面圖



CC'斷面圖

降階最低深度建議以不低於既有河床高度為原則(不擾動既有河床粒料)，降階層數依實際河床地形調整。

	專業校核		繪圖員		案名	圖名	地工織布鋪設示意圖(橋基及河床)	比例尺	圖號
	設計		日期						頁次

附錄 2

混凝土品質管理導入無線射頻辨識(RFID)技術作業規定

混凝土品質管理導入無線射頻辨識(RFID)技術作業規定

一、 目的：為提升品管作業效率、增進監造單位人力資源運用及確保取樣試體正確性，導入無線射頻辨識(RFID)技術，訂定本作業規定，供廠商及監造單位遵循。

二、 名詞定義：

(一)、RFID：無線射頻辨識 (Radio Frequency Identification)，藉由無線電訊號識別特定目標並讀寫相關數據。

(二)、RFID 標籤：係指「低頻射頻微晶片」或「超高頻 UHF(Ultra High Frequency)晶片」。

(三)、讀取器(Reader)：係指辨識標籤識別碼之設備。

(四)、唯一識別碼：係指「低頻射頻微晶片」之 UID (Unique ID)或「超高頻 UHF 晶片」之 TID (Tag ID)碼。

(五)、易水解墊紙：係指短纖維、抗拉強度低、吸水力強且吸水後容易分解碎裂之紙張，未吸水時監造單位應作簽認識別。

(六)、簽認條：係指登載混凝土試體取樣日期、地點及強度等相關資訊，拆模後得以有效識別之紙張。

(七)、易碎貼紙：係指易破碎標籤材質，材質本身易碎，黏貼後無法完整撕起，貼紙可用筆簽名後，黏貼於試體上。

(八)、膠帶：市售透明膠帶。

(九)、緩衝包裝：係指減緩試體受衝擊和震動，確保其外形和功能完好而設計的具有緩衝減震作用的包裝。緩衝材料如泡棉、氣柱袋或氣泡布等，有效地吸收能量並分散作 用力而保護試體。

(十)、取樣：工地現場取樣製作或鑽取試體之過程。

(十一)、送驗：試體送至 TAF 實驗室之過程。

三、 涉及契約約定之混凝土試體檢驗，應依下列步驟辦理：

(一)、混凝土圓柱試體

1. 廠商須依混凝土澆置計畫預估取樣數量，由甲方備妥所需 RFID 標籤、讀取器、易水 解墊紙及試體簽認條；廠商備妥取樣設備(模具、鐵鏟、搗棒、木槌及鏝刀)及取樣紀錄表(詳附表)。
2. 廠商會同監造單位現地取樣，混凝土圓柱試體製模並植入 RFID 標籤：

(1).廠商製作混凝土圓柱試體。

(2).廠商將 RFID 標籤植入已製作完成混凝土試體頂面約 1～2 公分深，整平試體表面。

(3).依序鋪設簽認條及易水解墊紙。

3. 廠商讀取及登載 RFID 標籤唯一識別碼並由監造單位校核：

(1).廠商以讀取器掃描 RFID 標籤，將唯一識別碼及試體編號登載於取樣紀錄表，交由監造單位攜回。

(2).若無法讀取時，該組試體廢棄，重新取樣、製模及植入 RFID 標籤。

(3).廠商第一次拍照存檔(照片應能清楚辨識試體資訊)，並傳送監造單位。

4. 辦理混凝土圓柱試體初期養護。

5. 混凝土圓柱試體拆模，進行養護作業：

(1).廠商於試體拆模前第二次拍照存檔(照片應能清楚辨識試體資訊)，並傳送監造單位。

(2).監造單位比對二次照片正確性及易水解墊紙完整性。

(3).拆模後試體依規定進行養護作業。

6. 混凝土圓柱試體由廠商自行送驗或委託 TAF 實驗室至工地收件。

7. TAF 實驗室辦理混凝土圓柱試體抗壓強度試驗，試驗報告備註欄登載試體編號及 RFID 標籤唯一識別碼。

(二)、混凝土鑽心試體

1. 廠商須依混凝土鑽心試體取樣數量，由甲方備妥所需 RFID 標籤、讀取器及易碎貼紙； 廠商備妥取樣設備(鑽心機具)、膠帶、剪刀、油性筆及取樣紀錄表(詳附表)：

(1).準備易碎貼紙，並於現場取樣至黏貼前完成填寫，記載內容以可清楚辨識為主，至少需包含工程名稱、取樣位置、試體編號、取樣日期、監造及廠商簽名欄位。

2. 廠商會同監造單位辦理混凝土鑽心試體取樣，廠商黏貼 RFID 標籤、易碎貼紙及膠帶：

(1).廠商鑽心取樣並將試體表面擦乾。

(2).廠商先將易碎貼紙黏貼於 RFID 標籤之上，再將易碎貼紙及 RFID 標籤一併黏貼至混凝土鑽心試體側面，再貼附膠帶於易碎貼紙上。

3. 廠商讀取及登載 RFID 標籤唯一識別碼並由監造單位校核：

(1).廠商以讀取器掃描 RFID 標籤，將唯一識別碼及試體編號登載

於取樣紀錄表，交由監造單位攜回。

(2).若無法讀取時，該組 RFID 標籤廢棄，更換 RFID 標籤並重新黏貼之。

(3).廠商對已包覆完成混凝土鑽心試體第一次拍照存檔(照片務必包括 RFID 標籤及易碎貼紙，且應能清楚辨識試體資訊)，並傳送監造單位。

4. 外層包覆緩衝包裝，避免 RFID 標籤於運送過程中碰撞破壞。

5. 混凝土鑽心試體由廠商自行送驗或委託 TAF 實驗室至工地收件。

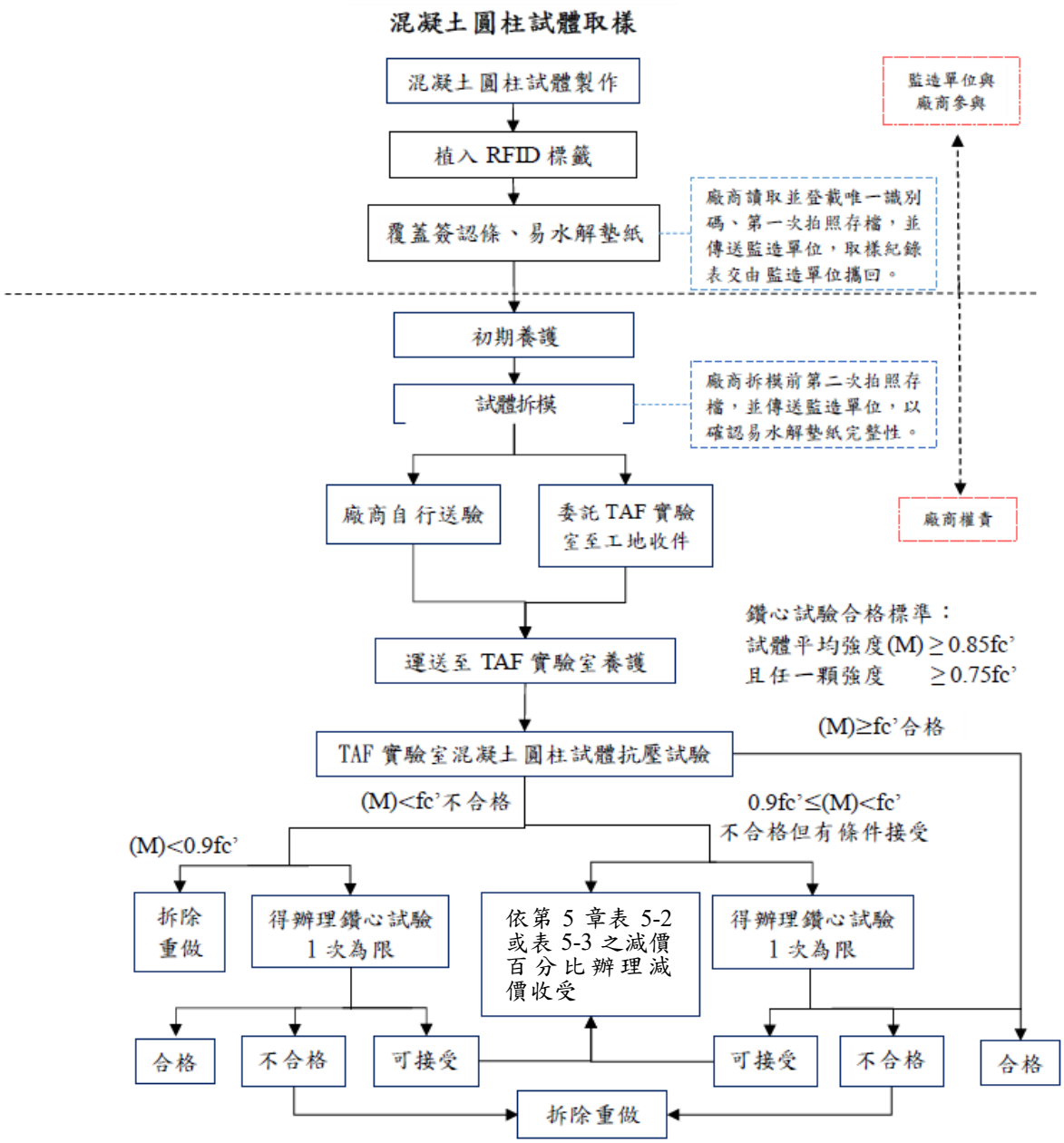
6. TAF 實驗室辦理相關試驗，試驗報告備註欄登載試體編號及 RFID 標籤唯一識別碼：

(1).廠商對已包覆完成混凝土鑽心試體第二次拍照存檔(照片務必包括 RFID 標籤及易碎貼紙，且應能清楚辨識試體資訊)，並傳送監造單位。

(2).TAF 實驗室依程序進行試驗。

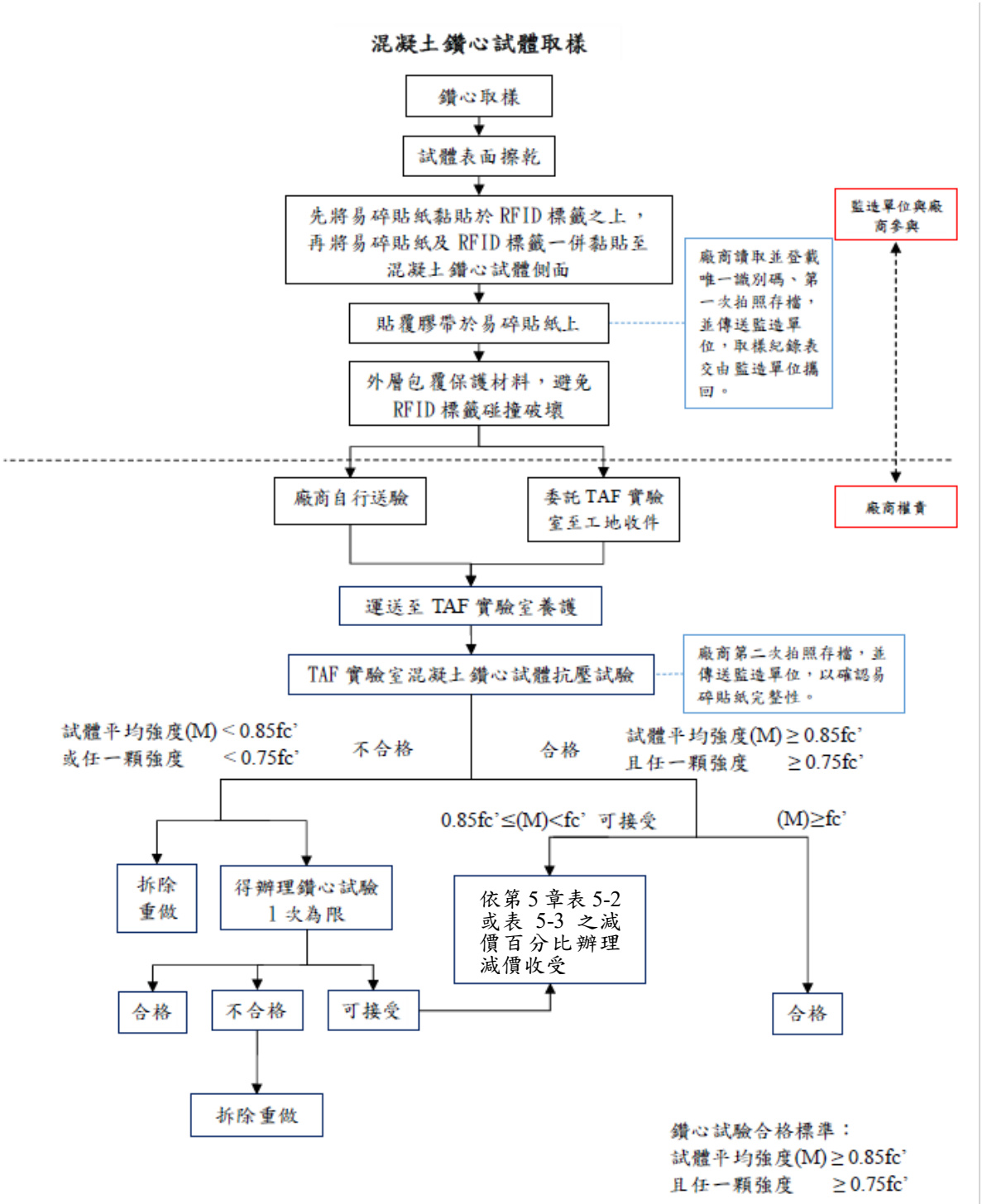
參考規定：

1. 行政院公共工程委員會「公共工程施工品質管理作業要點」。
2. 交通部公路總局「施工說明書技術規定」。



註：TAF 實驗室於試驗報告備註欄登載試體編號及唯一識別碼。

附圖 1 混凝土圓柱試體取樣、送驗及合格判定流程圖



註：TAF 實驗室於試驗報告備註欄登載試體編號及唯一識別碼。

附圖 2 混凝土鑽心試體取樣、送驗及合格判定流程圖

混凝土試體取樣紀錄表　　附表

取樣日期時間：＿＿＿＿＿＿＿＿　表單編號：＿＿＿＿＿＿＿＿

取樣試體型式：□混凝土圓柱試體 □混凝土鑽心試體

工程名稱：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

承 包 商：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

供料預拌混凝土廠：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

結構部位：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

設計強度：＿＿＿＿＿＿＿＿　取樣數量：＿＿＿＿＿＿＿＿

廠商取樣人員簽名：＿＿＿＿＿＿＿＿

聯絡電話：＿＿＿＿＿＿＿＿　電子信箱：＿＿＿＿＿＿＿＿

監造單位人員簽名：＿＿＿＿＿＿＿＿

聯絡電話：＿＿＿＿＿＿＿＿　電子信箱：＿＿＿＿＿＿＿＿

試體製作人員簽名：＿＿＿＿＿＿＿＿

序號	廠商登載		備註
	試體編號	RFID 標籤唯一識別碼	
1			
2			
3			
4			
5			
6			

備註：廠商登載試體編號及 RFID 標籤唯一識別碼後，交由監造單位攜回。

附錄六

期末審查意見及辦理情形說明表

期末審查意見及辦理情形說明表

審查意見	辦理情形
陳天賜委員	
1.本計畫從 107 年起發想進行地工織布結合鼎型塊之保護工法研究，持續進行迄今，獲得豐碩成果，得到諸多獎項肯定。從水工試驗、現地試驗及數值模擬分析，可瞭解本計畫創新工法對橋基保護效果，且甚具成本效益。	感謝委員肯定。
2.現地試驗，目前已經過 113 年凱米颱風石岡壩流量 5 年重現期驗證。在極端氣候下未來發生豪大雨頻次、強度可能會增加，仍應持續觀測設置鼎型塊織布之橋基保護效果，此部分可採持續與高公局中分局合作。	感謝委員建議，考量極端氣候影響，目前已列入 115 年度預算執行，後續年度將與高公局中分局洽談。
3.設置鼎型塊織布之橋基是否因有較佳之保護效果，致橋基前淤積植生，且發生河水改道往較脆弱處沖刷，因此原設置保護之橋基無河水沖刷得以保持完好，反而改道沖刷之橋基需要再施作保護，如此所估算之成本效益應有前提假設。	感謝委員建議，已補充假設條件說明如 P3-20。
4.在成果推廣面，已應用可能之管道向外宣導，應有相當成效，惟本研究需求單位為橋梁管理機關(構)，應使其瞭解如需進行橋基加固保護，本工法是為較佳選項，以擴大實作範圍，運輸技術研究中心可提供技術支援。	感謝委員建議，本計畫成果已於 114.12.31 邀集交通部部屬機關(構)、地方政府及工程技師公會辦理成果推廣說明活動，並提供相關技術說明文件及聯絡資訊提供支援。
吳松旺委員	

1.報告書 6.1 結論，109、111、114 年實作經驗，工期增加 12~17%，經費增加 8~12%，對比傳統工法，損壞約為 4.9 vs 38%，可降低經常性損壞及 2 次施工進場。	感謝委員肯定。
2.角隅處仍是損壞造成之弱面，未來有無加強方式(材料或工法)。	感謝委員建議，因本計畫為 4 年期最後 1 年計畫，對於角隅處之補強處理需基於試驗基礎來建議為宜，將納入後續新興計畫討論。
3.已有建立施工流程(含工序、尺寸、注意事項)及費用概估，未來如何標準化降低動員人力。	感謝委員建議，於附錄施工說明文件第 1 章補充「首件樣本」機制，以降低人力重疊與錯誤動員情形。
4.上游近年無相關清淤增厚工程，建議持續觀測河川管理單位有無相關影響橋基保護工程。	感謝委員建議，將持續連繫河川管理單位取得近年相關河川整理工程資料。
5.跌水設置可有效降低破壞機率(抵抗水躍)。	感謝委員建議，本工法斷面配置上即是以階梯式鼎型塊排列方式來降低水躍破壞問題。
6.織布鋪設搭配既有鼎型塊擺放可降低颱洪期間動床影響。	現場觀測資料係為降雨事件後河床沖刷回淤後之情形，無法取得動床變化觀測資料，透過三維數值分析可模擬動床沖刷過程，經報告第四章比較有無織布之案例，分析顯示有鋪設織布方案可減緩動床沖刷影響。
7.本案颱洪期間結合 CCTV，沖刷粒子檢監測，颱洪前後利用 UAV 進行比對，有效判斷影響範圍。	感謝高公局行控中心提供 CCTV 資料，得以了解試驗區於洪峰期間之河川狀態，並利用 UAV 配合攝影測量技術得到試驗區面狀量化變化資訊，並輔以 CCTV 及現場拍攝影像協助判釋，以有效判斷影響範圍。

石武融委員	
1.本研究利用鼎型塊下方鋪墊地工織布以防止細粒料淘刷流失，進而增加鼎塊穩定性。經室內實驗、數值模擬與現地實際施作觀測結果得知成效良好，且施工成本低，屬於應用面極高之工法。本報告亦提供成本估算、施工說明書等資料有助未來應用參考。	感謝委員肯定。
2.鼎型塊與地工織布之間的介面摩擦係數通常低於混凝土與河床質之間的摩擦係數。建議補充說明在洪水流速極大時,鼎型塊是否會因底部摩擦力不足而產生滑動破壞。	本工法地工織物系統分為兩層，表層為「非織物層」，具有較為粗糙且具纖維抓力的表面，能提供比平滑織布更高的介面摩擦力。另鼎型塊以「階梯狀」排列，利用高差形成機械式阻抗，再於施工說明文件內建議每排鼎型塊以「疊放 1 層」為原則，來降低阻礙通水斷面之影響，進而減小洪水對鼎型塊產生的水平推力，降低外力作用而降低滑動破壞的風險。
3.大甲溪屬於礫石河川，洪峰期間推移質包含大量巨石。建議報告提供現場地工織布是否在推移質作用下容易磨損，特別在鼎塊群布置邊緣區，是否有如撕裂、穿孔等物理性破壞。	感謝委員建議，以目前觀測結果，試驗區鼎型塊多為土石回淤覆蓋之情形，爰無法觀測到織布破壞情形，將列為後續觀測重點。
4.大甲溪河床粒徑分布範圍極廣，數值模式中對於底床粗糙度及推移質傳輸公式的選用較為敏感。目前曼寧 n 值採用河川平均值 0.04，建議可補充利用現地河段粒徑推算之數值。	感謝委員建議，查閱相關文獻資料多以 0.04 值為分析參數，且本計畫數值模式亦進行檢定及驗證作業，爰採 0.04 為曼寧 n 值採用值。
5. UAV 進行抗沖成效分析時僅能獲得退水段部分回淤後的沖刷深度，建議補充	感謝委員建議，相關動床最大沖刷深度估算值及比較評估，已於 4.6 節

洪峰段的可能最大沖刷深度估算值，較能精確評估保護工效應及自身穩定性。	內討論之。
6.現地試驗顯示 P25L～P26L 在 113 年凱米颱風後有損壞情形，特別在鼎塊區上下游端點處容易產生局部沖刷。建議於施工說明內補充保護工邊界需做額外處理之建議。	感謝委員建議，因本計畫為 4 年期最後 1 年計畫，對於端點處容易產生局部沖刷之處理需基於試驗基礎來建議為宜，將納入後續新興計畫討論。
7.部分文字有誤(P4-31，減少 45%損壞*面積)，出版前建議再次校稿勘誤。	已修正，如 P4-31。
李俊穎委員	
1.計畫經數值及現地試驗，並完成施工技術說明書，其成果亦推廣至實際業務單位施作，成效顯著。	感謝委員肯定。
2.建議後續持續追蹤現地試驗成效。	感謝委員建議，考量極端氣候影響，目前已列入 115 年度預算執行。
蔡世璿委員	
1.圖 3.4 中，因研究需要至河床野外進行現地測量，現地地況具未知性與多變性，為提升作業安全與風險控管，建議後續若仍有相關測量業務，於現地作業規劃中補充人員防護著裝原則，並視環境條件配置防止生物侵害(如防蟲、防蛇等)、足部防護(如防穿刺、防滑之安全鞋/長靴)等裝備，以確保作業人員安全。	感謝委員建議，後續如有相關測量作業將納入考量。
2.第四章 Flow3D 模擬的基本設定方式，建議可以統整為「Flow-3D 模擬基本設定」彙整表，將主要參數與設定方式統一列表，提升內容可讀性。	感謝委員建議，已調整如 4.5 節。

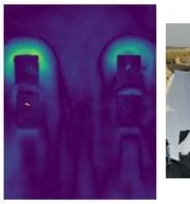
3.用語或內文修正建議: (1)內文出現「國 3 大甲溪橋」,建議統一為「國道 3 號大甲溪橋」或者全文格式一致。 (2)P3-1 缺頁碼,同頁的最後段倒數第 2 行,「本計畫工法「於及』P22L～P23L」是否為冗字? (3) P4-1 「Computational Fluid Dymnamics」應為「Dynamics」建議再檢視全文是否有誤繕。	感謝委員建議，已修正如 P3-1 及 P4-1 所示。
賴瑞應委員	
1.因數值模擬軟體尚無法完全耦合模擬鼎型塊在底床淘空後產生的動態移動，雖採土中應力傳遞法來近似處理，但建議未來研究可朝分階段模擬的方式，將前一階段淘空後的實際地形做為下一階段的初始地形輸入，以更貼近真實的沖刷發展情形。	感謝委員建議，將納入後續新興計畫考量。
2.報告未明確量化織布在洪水期間受到濁流中卵礫石的磨損程度（Abrasion Damage），由於織物在濁流中會因顆粒濃度、流速和延時產生強度折減,建議後續可配合現場觀測來得知織布的實際使用壽命與耐久性。	感謝委員建議,考量極端氣候影響，目前已列入 115 年度預算繼續執行現場觀測作業，將於作業階段適時觀測織布使用情形。
3.目前最大觀測事件(113 年凱米颱風)僅約 5 年重現期,而透過數值模擬結果可知本工法對 Q50 或 Q100 的效益邊際遞減,建議可持續運用 UAV 觀測技術,待更具代表性的超大豪雨事件發生後,及時收集實測數據，以驗證本工法在高流量極限條件下的實際保護效果。	感謝委員建議,考量極端氣候影響，目前已列入 115 年度預算繼續執行現場觀測作業，以實際驗證本工法在高流量極限條件下的保護效果。

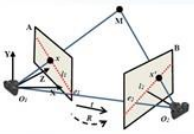
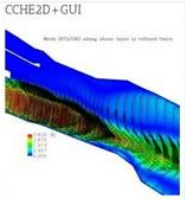
附錄七

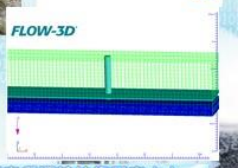
簡報資料

114年度自辦計畫期末報告審查會議

鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4)-保護成效評估及技術推廣





報告人：胡啟文

114年12月19日

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

大　綱

一、前言

二、文獻回顧與資料蒐集

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

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

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。

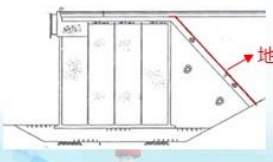
斷橋事件(橋基嚴重裸露)

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**。

鼎型塊保護工

鼎型塊保護工流失情形

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。



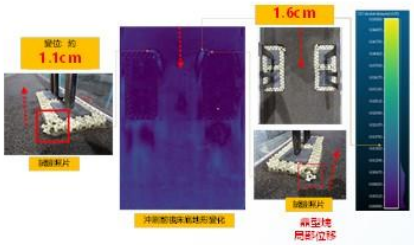
沉箱式碼頭斷面圖

鼎型塊+地工織布斷面圖

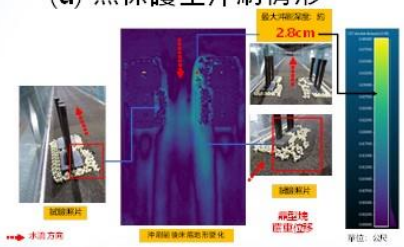
01 前言

◆室內水工模型試驗結果

(a) 無保護工沖刷情形



(c)鼎型塊結合地工織布保護方案沖刷情形



(b) 鼎型塊保護方案沖刷情形

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

註: 鼎型塊位移比 = 鼎型塊位移面積 / 鼎型塊總鋪設面積

(d)不同保護方案試驗結果

01 前言

◆工作內容

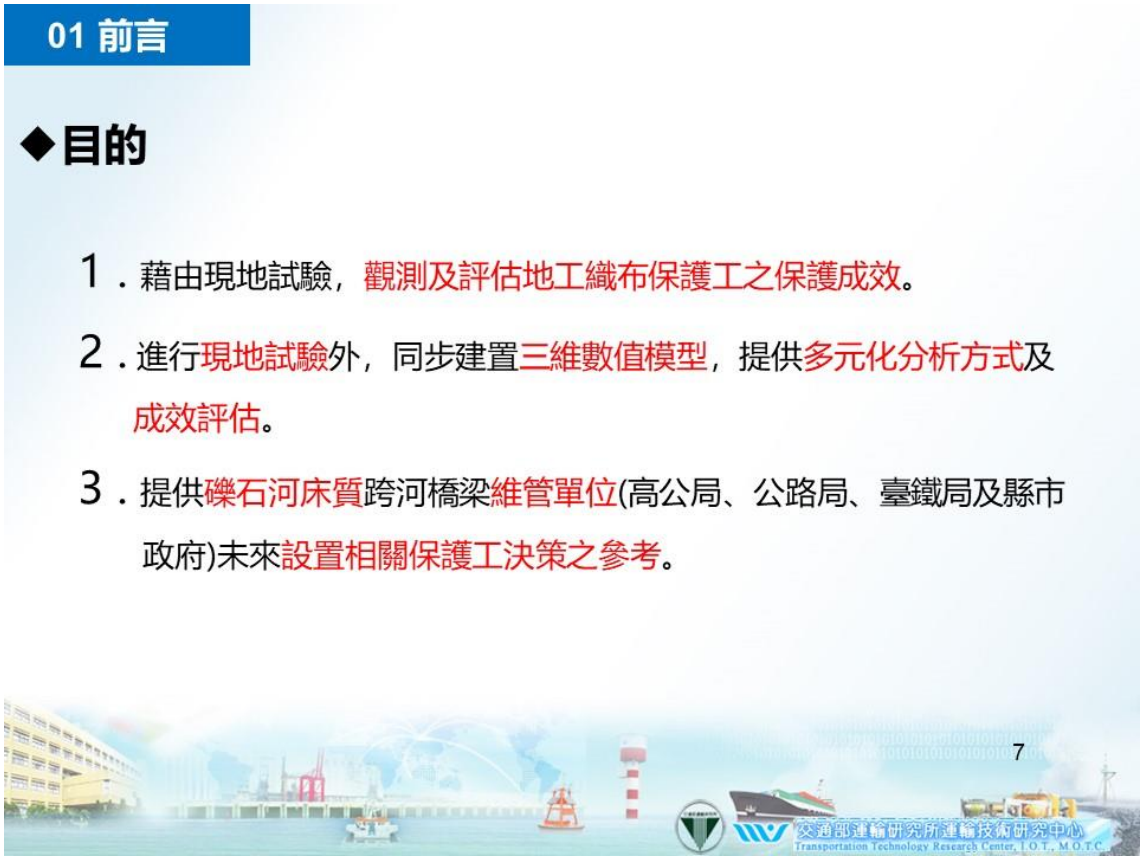
1. 109年、111年及114年年分別於國道3號大甲溪橋P24L、P22L~P23L及P25L~P26L橋墩完成現地鋪設，並持續性地進行觀測及成效評估。
2. 本年度(114年)除延續現場試驗觀測評估外，同步建置試驗場址三維數值模型。

本工法應用之情形

P24L
(109)

P22L~P23L
(111)

P25L~P26L
(114)



二、文獻回顧與資料蒐集

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.

02 文獻回顧與資料蒐集

經費:405仟元
來源:本所業務費

➢ 整體計畫綱要

- ➢ 111-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
- ➢ 112-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
- ➢ 113-鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)
  -試驗場址數值模型建置及評估
- ➢ 114-鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(4/4)
  -保護成效評估及技術推廣

02 文獻回顧與資料蒐集

1.石岡壩歷史放流資料(水利署中區水資源分署)

向水利署中區水資源分署申請108~114年重要降雨事件下，石岡壩放流歷線(時流量)資料，做為二維水理分析模式之上游邊界條件使用。

2.大甲溪流域整體治理網要計畫(101-104年)執行檢討及改善策略研擬（105_經濟部水利署水利規劃分署)

→石岡壩Q2~Q200洪峰流量歷線

分署長莊曜成

第三河川分署同意函

控制點	集水區面積(km²)	重現期距(年)							
		2	5	10	20	25	50	100	200
河口	1244.1	2,600	4,500	5,900	7,300	7,570	8,900	10,300	11,500
石岡壩	1095.4	2,200	3,800	5,000	6,200	6,430	7,600	8,800	9,800
天冷	955.5	1,980	3,400	4,500	5,600	5,820	6,900	8,000	8,840
橫流溪匯流前	907.4	1,910	3,290	4,330	5,370	5,570	6,590	7,630	8,490
東卵溪匯流前	877.6	1,840	3,180	4,180	5,190	5,380	6,370	7,380	8,210
裡冷溪匯流前	848.4	1,780	3,080	4,040	5,020	5,210	6,160	7,130	7,940
十文溪匯流前	784.8	1,700	2,930	3,850	4,780	4,960	5,870	6,790	7,560

石岡壩Q2~Q200洪峰流量歷線

02 文獻回顧與資料蒐集

3. 110年度大甲溪大斷面測量計畫(110_經濟部水利署第三河川分署)

→河床質粒徑(D_{50})、河床質物理性質

表 94 大甲溪河床質平均粒徑及代表粒徑分析成果表

孔號	斷面號	平均粒徑(公釐)	代表粒徑 d(mm) d10	d20	d30	D35	D40	D50	D65	D75	d90	最大石塊(公釐)	砂質含量(%)	備註
1-	斷 1	73.64	0.19	0.41	1.74	11.03	17.78	35.20	76.24	119.66	201.51	340.00	28.95	-
1-1	護甲層	79.25	0.23	0.47	2.15	11.33	18.03	37.49	87.03	140.28	210.22	310.00	29.31	-
1-2	底層	70.48	0.18	0.36	1.48	10.86	17.63	34.12	73.07	111.09	196.96	340.00	28.74	-
2-	斷 5 左	28.30	0.11	0.17	0.21	0.23	0.25	0.29	0.47	0.62	110.31	310.00	73.45	-
2-1	斷 5 左護甲層	27.57	0.14	0.20	0.26	0.29	0.33	0.43	0.57	15.12	145.32	220.00	69.21	-
2-2	斷 5 左底層	28.70	0.10	0.15	0.19	0.21	0.23	0.26	0.38	0.54	100.09	310.00	75.76	-
3-	斷 5 右	118.41	0.31	0.54	19.72	42.43	53.50	75.65	155.39	190.18	324.79	380.00	25.25	-
3-1	斷 5 右護甲層	134.67	0.28	0.44	0.60	10.20	37.09	111.92	193.10	245.69	348.59	360.00	31.83	-
3-2	斷 5 右底層	100.02	0.34	0.69	10.74	47.43	55.13	70.53	134.15	172.74	305.61	380.00	31.45	-
4-	斷 9 左	70.79	0.33	0.58	1.34	5.65	13.84	30.45	64.32	107.30	209.42	330.00	33.44	-
4-1	斷 9 左護甲層	81.65	0.25	0.49	8.64	16.14	24.13	42.89	89.45	131.00	226.48	320.00	25.76	-
4-2	斷 9 左底層	64.27	0.40	0.63	1.09	1.92	8.61	22.57	54.66	77.00	201.55	330.00	38.05	-
5-	斷 9 右	94.04	0.17	0.43	3.27	12.67	18.84	38.94	99.72	155.41	297.54	330.00	26.94	-
5-1	斷 9 右護甲層	118.09	0.23	0.57	19.32	32.48	47.73	82.83	147.69	191.80	326.32	320.00	24.48	-
5-2	斷 9 右底層	80.30	0.15	0.36	1.24	9.03	13.76	25.95	66.45	123.75	276.76	330.00	28.34	-
6-	斷 13 左	74.63	0.27	0.52	2.34	8.50	16.16	34.48	66.54	112.11	240.39	330.00	31.90	-
6-1	護甲層	89.99	0.22	0.44	6.57	17.72	28.61	55.86	111.31	152.90	251.82	310.00	28.13	-
6-1	底層	65.51	0.32	0.56	1.87	4.65	11.71	26.74	53.92	72.30	227.36	330.00	34.14	-
7-	斷 13 右	79.71	0.56	3.61	11.53	16.08	21.32	35.76	69.10	124.12	250.54	320.00	19.44	-
7-1	護甲層	46.31	0.40	1.93	9.61	12.57	15.53	23.45	40.67	58.29	150.20	210.00	22.87	-
7-2	底層	93.94	0.83	4.03	13.16	19.06	27.29	47.30	99.88	156.59	276.06	320.00	17.98	-
8-	斷 17 左	109.93	0.58	8.54	18.75	27.18	35.84	66.49	150.18	185.66	288.95	360.00	17.02	-
8-1	護甲層	95.03	0.46	4.30	17.09	23.91	31.87	58.76	128.74	169.02	241.42	305.00	19.61	-

本計畫河段河床質粒徑分析表

表 95 大甲溪河床質細粒料物性分析成果表

斷面	層別	比重	粒徑分類% 礫石	砂	粉土	黏土
斷 1	護甲層	2.73	5	87	7	1
	底層	2.72	4	85	9	2
斷 5 左	護甲層	2.73	0	95	4	1
	底層	2.74	0	94	5	1
斷 5 右	護甲層	2.74	2	91	5	2
	底層	2.74	2	97	2	0
斷 9 左	護甲層	2.73	9	84	6	1
	底層	2.69	4	94	2	0
斷 9 右	護甲層	2.75	4	88	7	1
	底層	2.75	4	81	13	2
斷 13 左	護甲層	2.71	4	92	4	0
	底層	2.70	8	89	3	0
斷 13 右	護甲層	2.74	16	76	7	1
	底層	2.73	18	66	14	2
斷 17 左	護甲層	2.70	8	88	4	0
	底層	2.70	18	79	3	0
斷 17 右	護甲層	2.72	1	96	2	1
	底層	2.72	0	93	6	1
斷 21 左	護甲層	2.72	8	87	4	1
	底層	2.72	10	86	4	0
斷 21 右	護甲層	2.71	5	92	2	1
	底層	2.73	10	88	2	0

本計畫河段河床質物理性質

02 文獻回顧與資料蒐集

4. 112年度大甲溪大斷面測量計畫(112_經濟部水利署第三河川分署)

→本計畫河段曼寧粗糙係數(n=0.040)、國3大甲溪橋位置水理演算結果

5.大甲溪流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(104_經濟部水利署水利規劃分署)

→上游來砂量公式

斷面	河心距(m)	現況洪水位Q100及水理因素 洪水位(m)	通水面積(m^2)	水面寬(m)	平均流速(m/s)	能量坡降	福祿數	其他重現期距洪水位(m) 50年	25年	20年	10年	5年	2年	備註
09-2 國道3號大甲溪橋(上)	6,574	75.36	2820.01	863.03	3.79	0.0034	0.59	75.02	74.64	74.56	74.20	73.74	73.00	

國3大甲溪河道水理因素演算成果表(節錄)

8、上游輸砂量邊界條件

數值模式需給定上游輸砂量邊界條件，而上游輸砂量邊界條件通常採用水文站實測懸浮質（Suspended Load）及流量資料進行迴歸分析而得出流量—泥砂量關係曲線。

上游輸砂量邊界條件依據石岡壩清淤及排砂作業之研究分析流量與懸浮質輸砂量關係迴歸式，其中懸浮質輸砂量 Q_s 單位為噸/日，流量 Q 單位為秒立方公尺：

$$Q_s = 0.0318Q^2 + 10.086Q - 9.9998$$

依據水資會對東部及西部河川推估推移質為懸浮質之20%（經濟部水資會，民國 75 年，台灣西部河川輸砂量推估研究；經濟部水資會，民國 72 年，台灣東部區域重要河川輸砂量研究）

上游懸浮質輸砂公式

三、地工織布現地試驗成效評估

03 成效評估方法

現地試驗規劃(1/2)

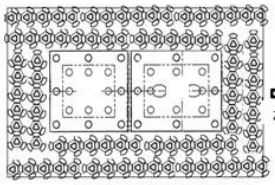
- 109年3月4日會同高公局及國道3號大甲溪橋橋基耐震補強工程監造與施工等單位，現勘國道3號大甲溪橋橋址，評估本所後續橋墩基礎保護工法現地試驗橋址。

03 成效評估方法

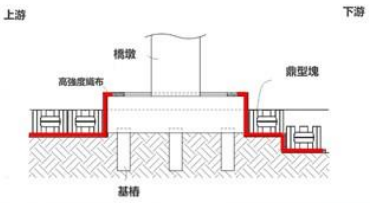
現地試驗規劃(2/2)

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

地工織布



地工織布鋪設於鼎型塊下



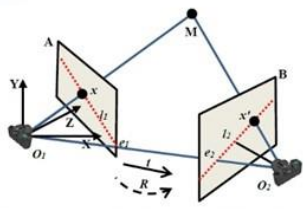
鼎型塊及地工織布鋪設**平面**示意圖

鼎型塊及地工織布鋪設**斷面**示意圖

03 成效評估方法

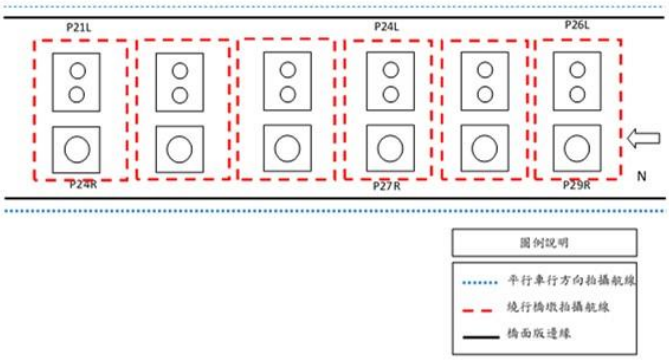
◆現地觀測方法

- 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

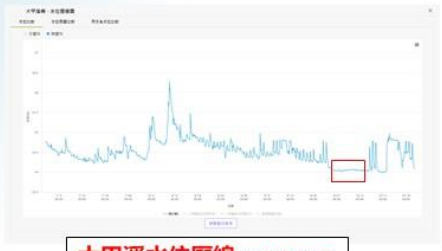
場景空間與影像之核線幾何關係圖



03 成效評估方法

◆ 地面控制測量

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



大甲溪水位歷線(資料來源:水利署)

整理後之控制點座標資料

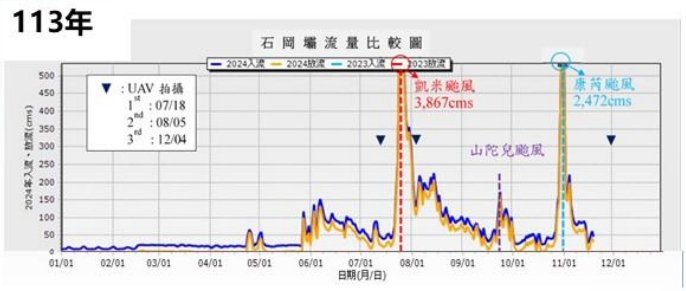
現場作業情形

03 成效評估方法

◆ UAV拍攝時機

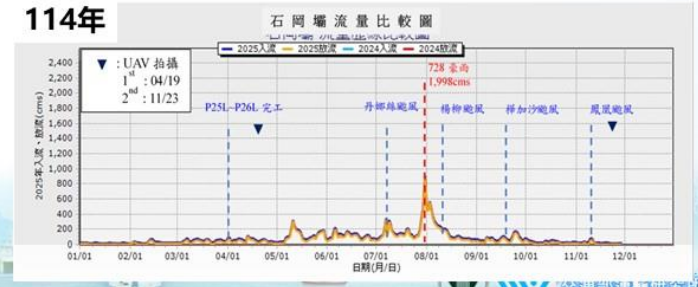
試驗區上游石岡壩放流歷線

113年



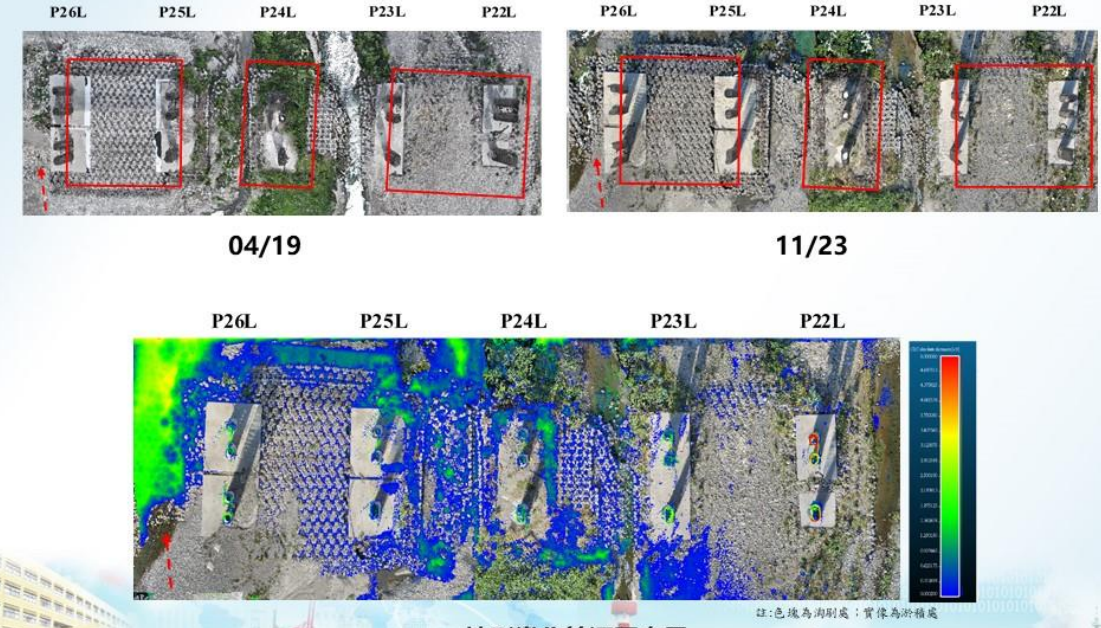
底圖資料來源:經濟部水利署石岡壩管理中心網頁

114年



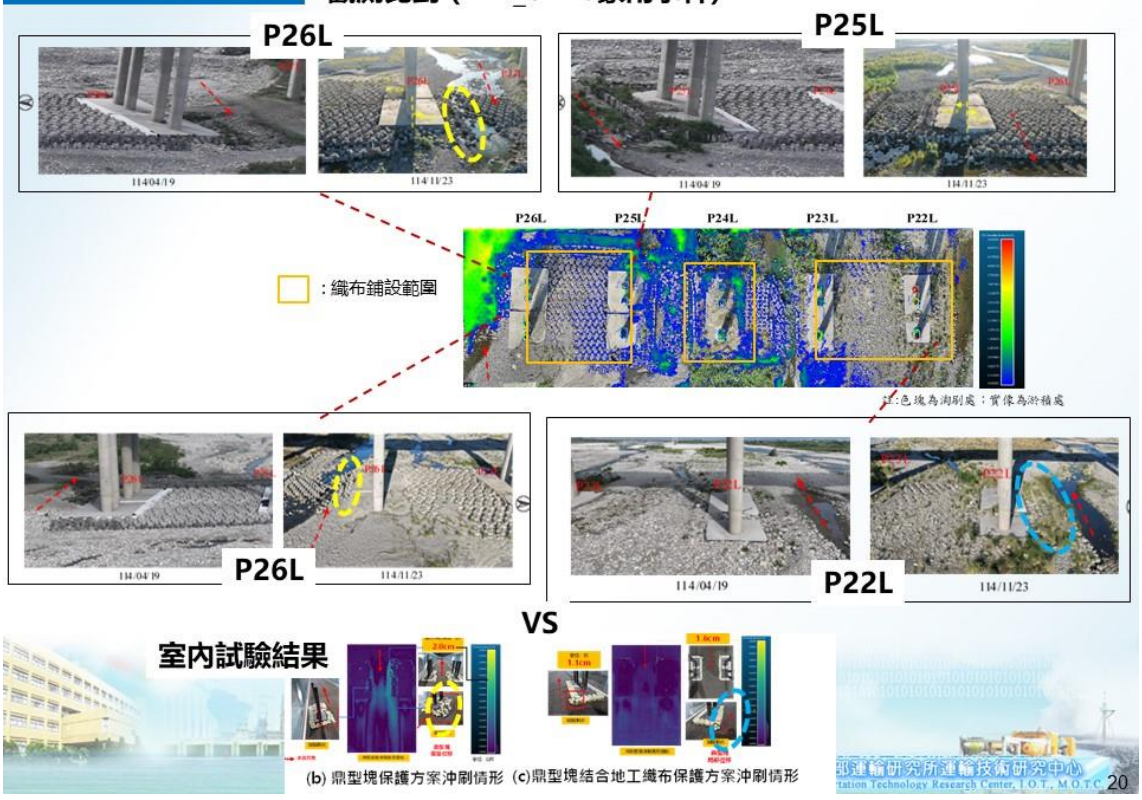
03 成效評估(114)

觀測比對 (114_0728豪雨事件)



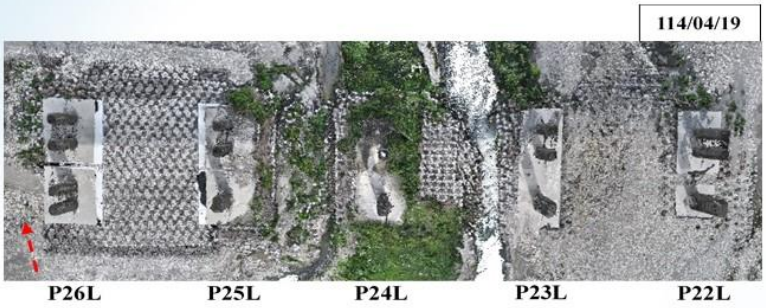
03 成效評估(114)

觀測比對 (114_0728豪雨事件)



03 成效評估(114)

114年試驗場址鼎型塊損壞範圍



03 成效評估(114)

觀測比對 (114_0728豪雨事件)

往下游方向拍攝(航拍)

03 成效總評估　凱米颱風現場影像及洪峰流量比較

控制點	集水區面積 (km2)	重現期距(年) 2	5	10	20	25	50	100	200
河口	1244.1	2,600	4,500	5,900	7,300	7,570	8,900	10,300	11,500
石岡壩	1095.4	2,200	3,800	5,000	6,200	6,430	7,600	8,800	9,800
天冷	955.5	1,980	3,400	4,500	5,600	5,820	6,900	8,000	8,840
橫流溪匯流前	907.4	1,910	3,290	4,330	5,370	5,570	6,590	7,630	8,490
東卯溪匯流前	877.6	1,840	3,180	4,180	5,190	5,380	6,370	7,380	8,210
裡冷溪匯流	848.4	1,780	3,080	4,040	5,020	5,210	6,160	7,130	7,940
十文溪匯流前	784.8	1,700	2,930	3,850	4,780	4,960	5,870	6,790	7,560

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

1. 與過去重要颱洪事件比較
   - < 2008辛樂克 = 4,225cms （后豐斷橋）
   - > 2009莫拉克 = 3,546cms
2. 本次事件(凱米颱風3,867cms)接近大甲溪5年重現期流量(Q_5)。

03 成效總評估　◆ 觀測比對 (113凱米颱風)-損壞範圍

三維點雲模型(正視圖)　下游

P26L　P25L　P24L　P23L　P22L　P21L

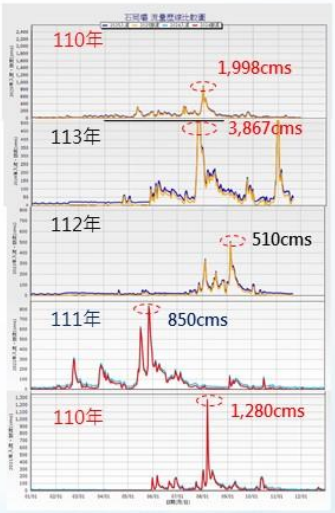
：有織布損壞範圍
：無織布損壞範圍
上游

橋基保護型式	保護面積(m²)	損壞面積(m²)	損壞比(%)
有織布	3,930	152	3.87
無織布	2,530	965	38.14

03 成效總評估

◆評估結果:

因113年度凱米颱風造成石岡壩之放流量為本計畫執行觀測以來之最，接近大甲溪5年重現期之洪水量，可據以更新本計畫工法對於橋梁基礎保護效果之數據。



試驗區上游石岡壩近4年放流歷線

增加成本:

- 109年(P24L)，工期12.5%，經費10%。
- 111年(P22L~P23L)，工期16.7%，經費12%。
- 114年(P25L~P26L)，工期15%，經費8.1%。
- 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8~12%左右。

保護效果:

- 3期(109年P24L、111年P22L~P23L、114年P25L~P26L)工程總經費2,480萬元，所增加之織布鋪設費用約為266.3萬元。
- 減緩保護工破壞現象，維修費用可減少914萬元/次以上，益本比(BCR)約達3.43。
- 以目前4年期(110~113)觀測之結果，本計畫工法具相當之保護作用，達延長保護工壽命，減少維修頻率及維護經費之效。

**維修費用計算方式=對照組維修費-試驗組維修費
=1,080萬元166萬元
=914萬元

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.
25

四、數值水理分析模型建置與分析

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.

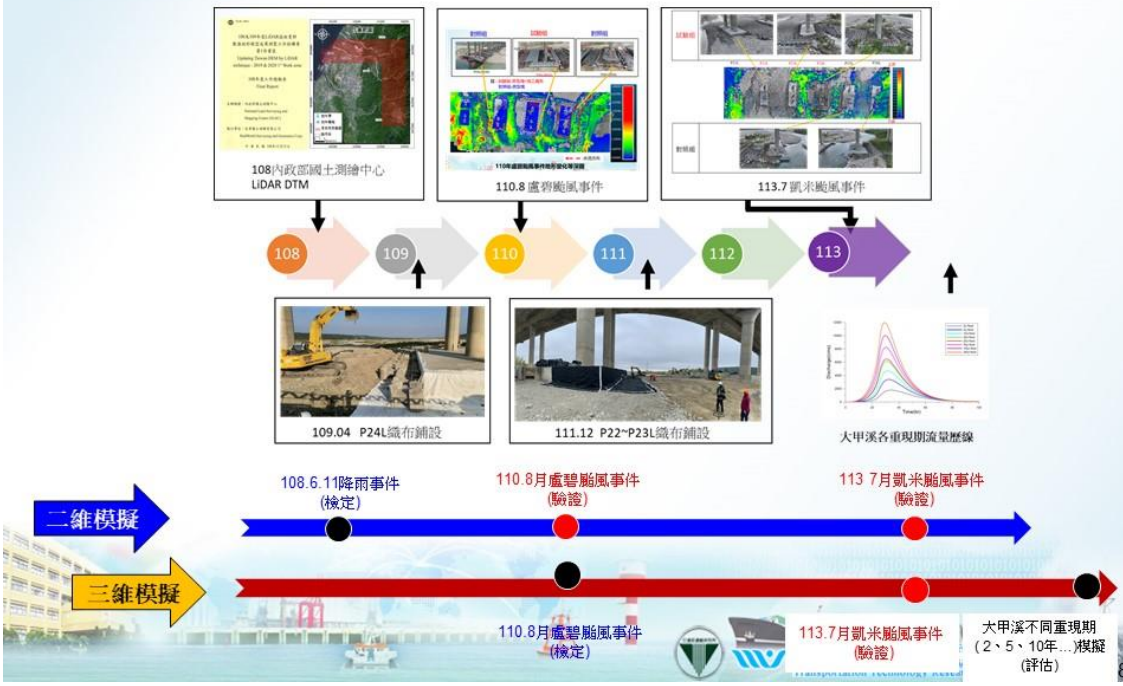
04 數值水理分析模型建置與分析

- 113年計畫-全域-二維，以上游控制點(石岡壩)做為邊界，輸入真實流量歷線，計算取得下游試驗橋址附近之水理資料，如流速、水位等。
- 114年計畫-局部-三維，建置試驗橋址處之橋墩、河床地形及頂型塊之三維模型，以二維模式計算所得之水理資料做為邊界條件，以進行三維局部橋基沖刷模擬。

本計劃數值模擬分析流程示意圖

04 數值水理分析模型建置與分析

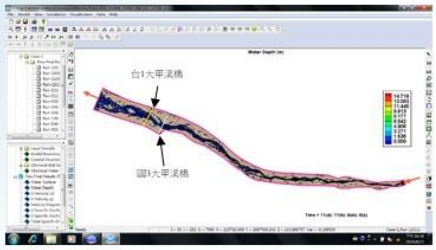
◆ 檢定與驗證事件選取



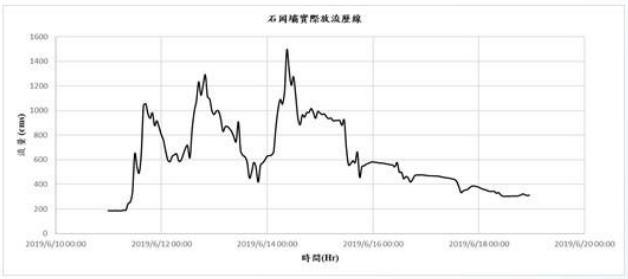
04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 二維水理模型檢定結果

檢定資料:台1線大甲溪橋水位監測站

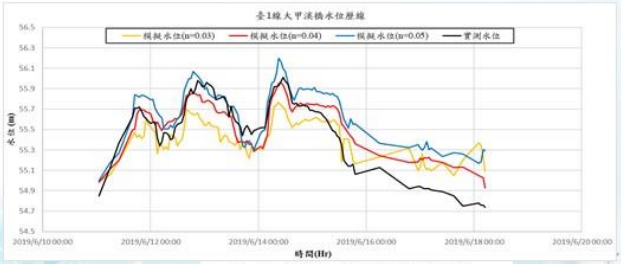


二維水理模型(石岡壩至大甲溪出海口)



106年0611豪雨石岡壩放流歷線

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

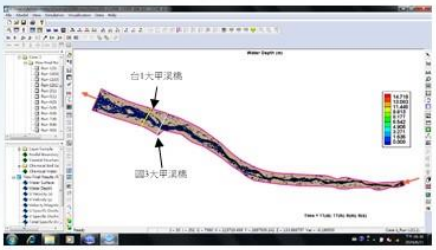


不同n值下模擬水位與實測水位比對

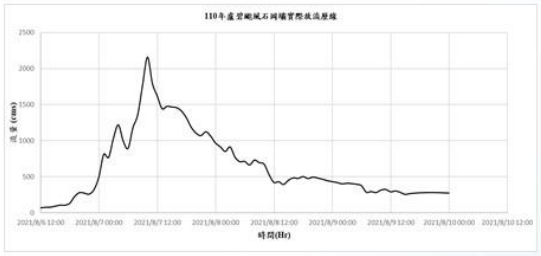
04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 二維水理模型檢定結果(110盧碧颱風)

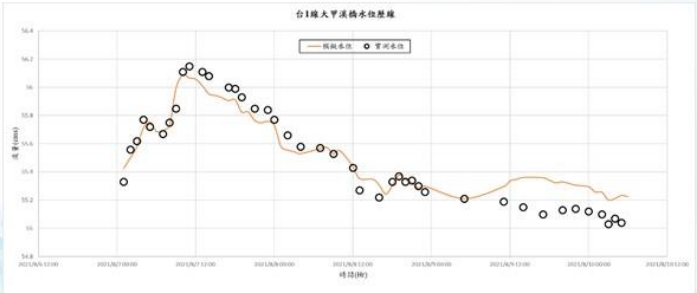
檢定資料:台1線大甲溪橋水位監測站



二維水理模型(石岡壩至大甲溪出海口)



110年盧碧颱風石岡壩放流歷線

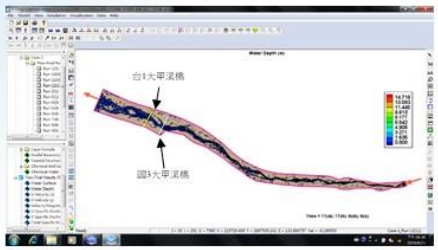


模擬與實測水位歷線比較 (110盧碧颱風降雨事件)

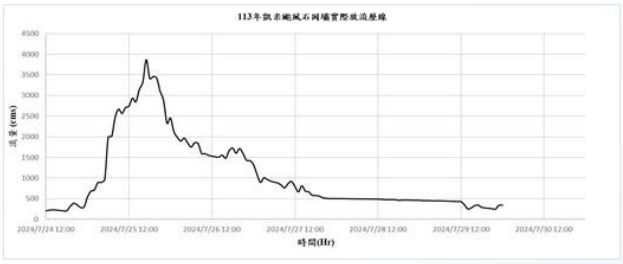
04 數值水理分析模型建置與分析

◆二維水理模型檢定結果(113凱米颱風)

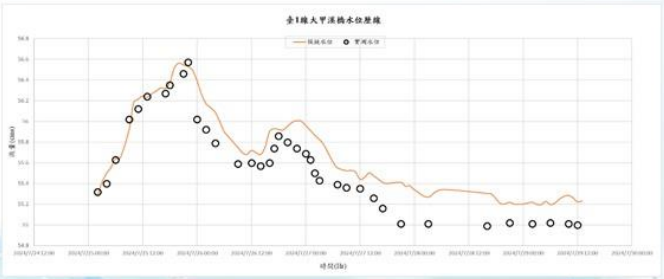
檢定資料:台1線大甲溪橋水位監測站



二維水理模型(石岡壩至大甲溪出海口)



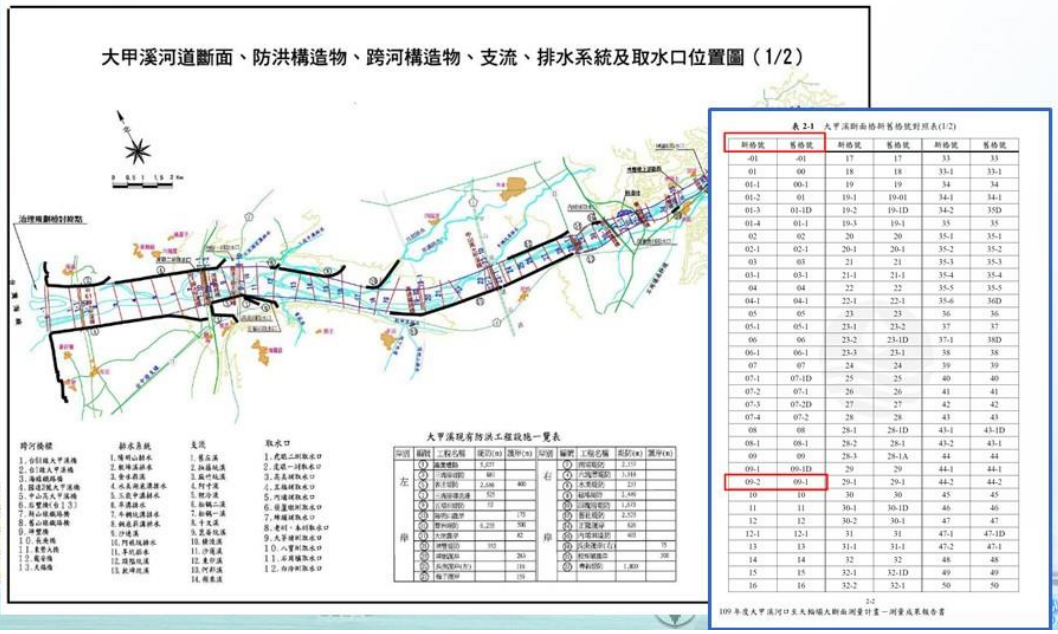
113年凱米颱風石岡壩放流歷線



模擬與實測水位歷線比較 (113凱米颱風降雨事件)

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 各重現期大甲溪09-2斷面(國3上)水位高及流速模擬結果(2D)



04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 各重現期大甲溪09-2斷面(國3上)
水位高及流速模擬結果(2D)

From 112年度大甲溪大斷面測量計畫成果報告

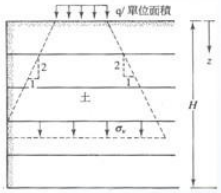
石岡壩放流事件	110盧碧	Q2	113凱米	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
尖峰放流量(cms)	1,280	2,600	3,867	4,500	5,900	7,300	8,900	10,300
水位高(m)								
112大斷面測量計畫水利署		73		73.74	74.20	74.56	74.64	75.02
本研究	73.2	73.4	73.6	73.66	74.05	74.45	75.05	75.43
流速(m/s)								
112大斷面測量計畫水利署								3.79
本研究	2	2.21	2.42	2.49	2.63	305	3.51	3.93

04 數值水理分析模型建置與分析

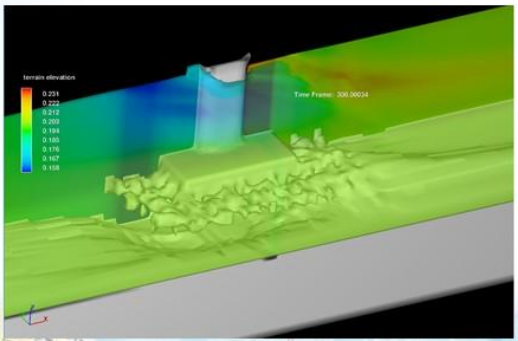
✓ 112年自辦計畫

◆ 數值水理分析-矩形樁基礎+鼎型塊分析結果

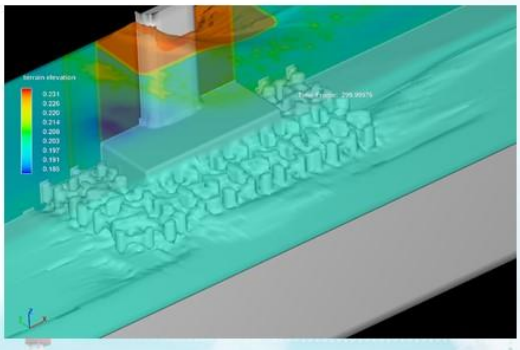
➢ 鼎型塊下方土體有無考量土中應力增量之比較



2:1土中應力傳遞法



無土中應力增量



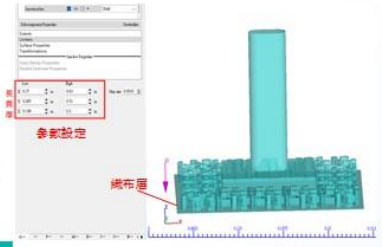
有土中應力增量

04 數值水理分析模型建置與分析

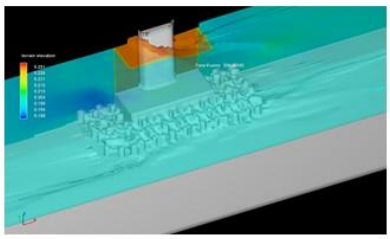
✓ 112年自辦計畫

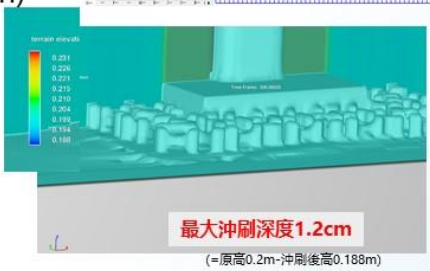
◆ **矩形樁基礎+鼎型塊+地工織布分析結果**

➢ 數值模擬 vs 試驗 (沖刷時間5min)



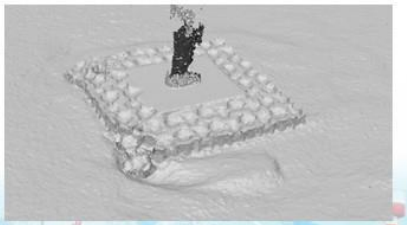
數值模擬

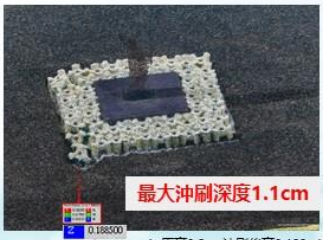




(=原高0.2m-沖刷後高0.188m)

試驗



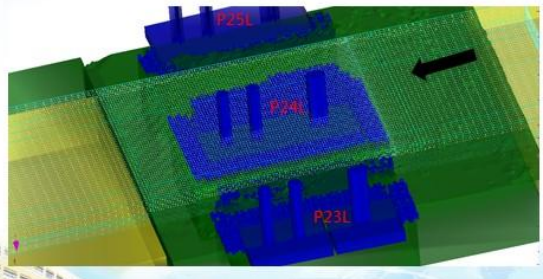


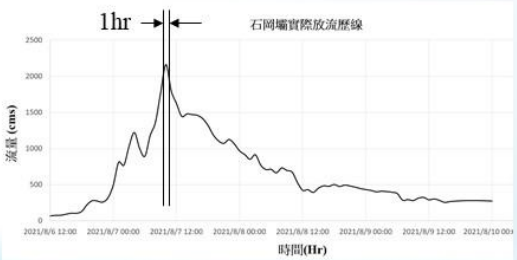
(=原高0.2m-沖刷後高0.189m)

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ **現地三維數模建置**

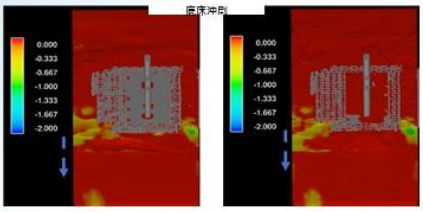
- **檢定- 110盧碧颱風事件**
- **驗證- 113凱米颱風事件**
- **將P24L橋墩基礎、鼎型塊位置及現地地形，依實際尺寸進行建模。**
- **網格由兩側至橋墩處逐漸加密。**
- **模擬時間:最大尖峰放流量1hr。**



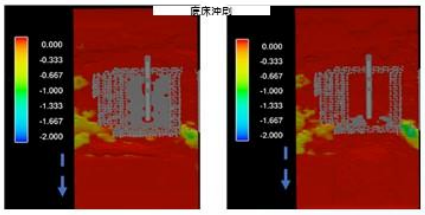


04 數值水理分析模型建置與分析

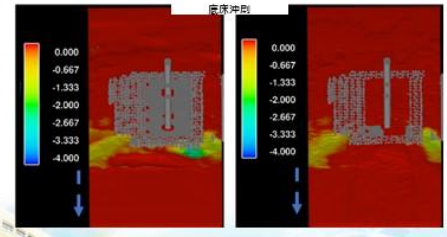
◆ 現地三維數模檢定- 110盧碧 颱風事件



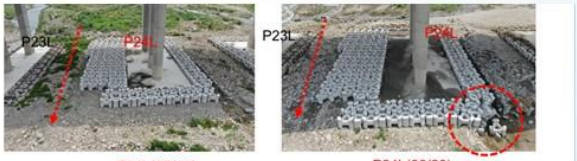
BLC=5.7



BLC=7



BLC=8



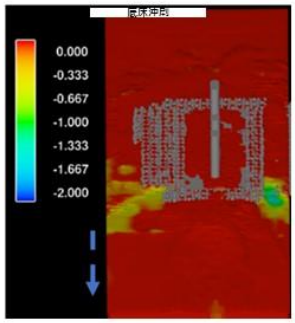
P24L(07/16) 現地-盧碧前

P24L(08/20) 現地-盧碧後

取BLC (5.7~7平均值) =6.35

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 現地三維數模驗證- 113凱米颱風事件



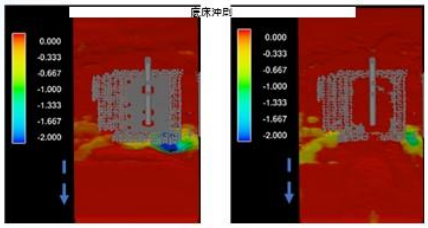
113/07/18 現地-凱米前

113/08/05 現地-凱米後

04 數值水理分析模型建置與分析

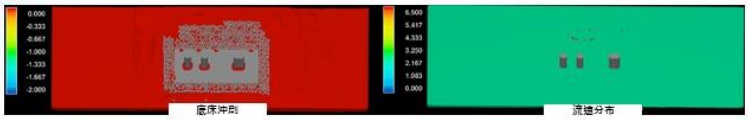
◆ 不同重現期三維模擬結果-Q5

無織布

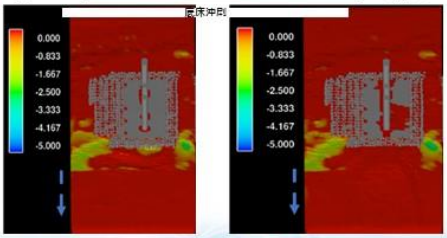


橋基保護型式	保護面積(m²)	損壞面積(m²)	損壞比(%)
無織布	650	97.5	15
有織布	650	7.2	1.67

➡ 減少損壞面積89%

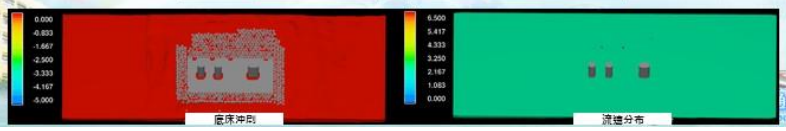


有織布



113年凱米颱風事件後成效評估表

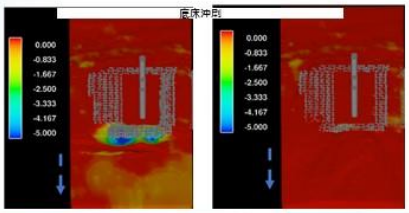
橋墩編號	放置最型塊面積(m²)	損壞面積(m²)	損壞比(%)	維修費用(萬元)	有無鋪設地工織布
試驗組	3,930	152	3.87	152	有
對照組	2,530	965	38.14	965	無

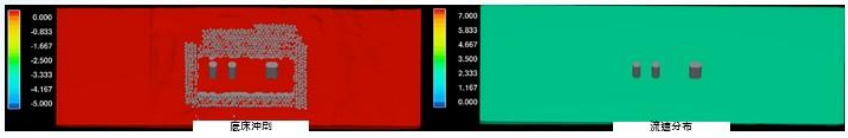


04 數值水理分析模型建置與分析

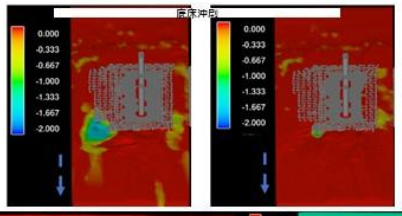
◆ 不同重現期三維模擬結果-Q10

無織布



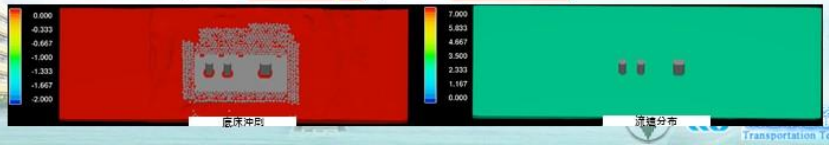


有織布



橋基保護型式	保護面積(m²)	損壞面積(m²)	損壞比(%)
無織布	650	105	16.2
有織布	650	22	3.3

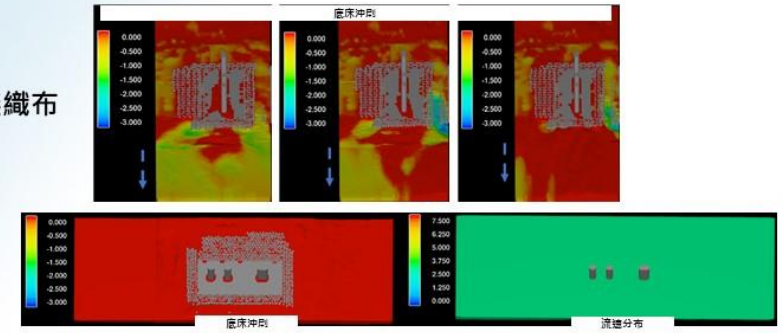
➡ 減少損壞面積80%



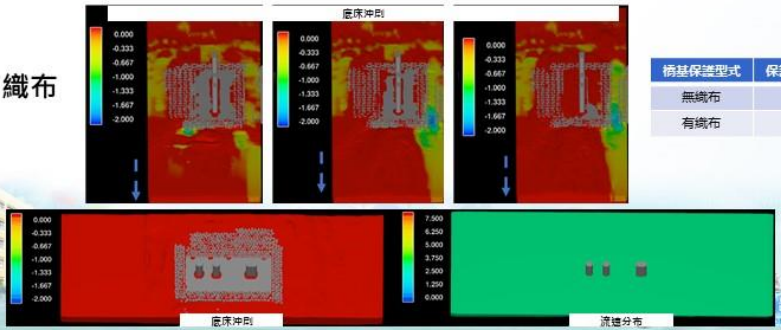
04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 不同重現期三維模擬結果-Q20

無織布



有織布



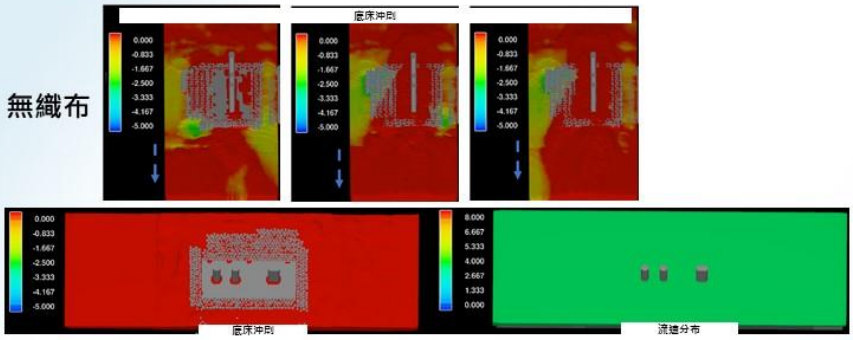
橋基保護型式	保護面積(m²)	損壞面積(m²)	損壞比(%)
無織布	650	159	24.5
有織布	650	88	13.5

➡ 減少損壞面積45%

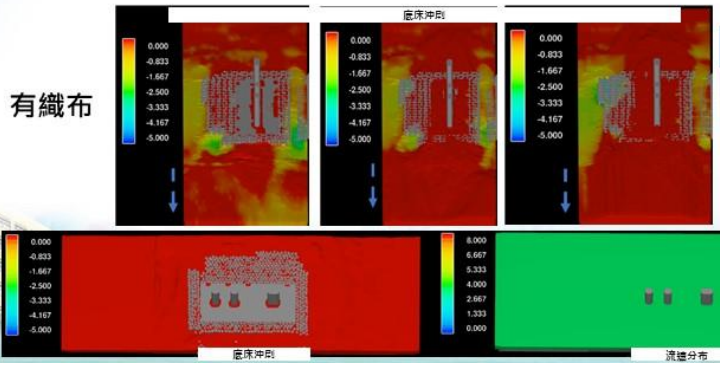
04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 不同重現期三維模擬結果-Q50

無織布



有織布



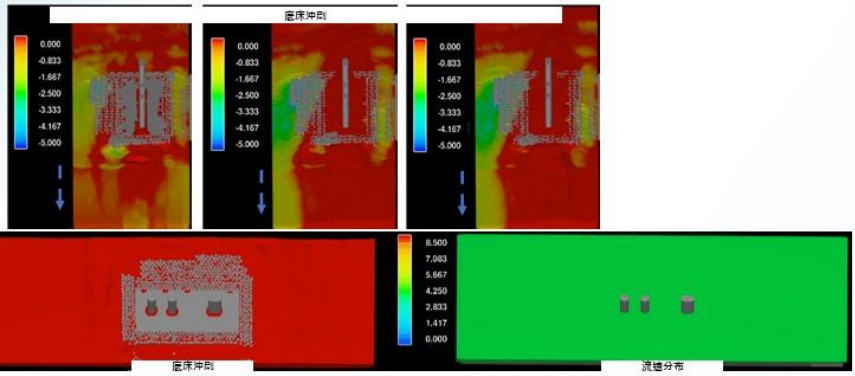
橋基保護型式	保護面積 (m²)	損壞面積 (m²)	損壞比(%)
無織布	650	396	61
有織布	650	355	55

➡ 減少損壞面積10%

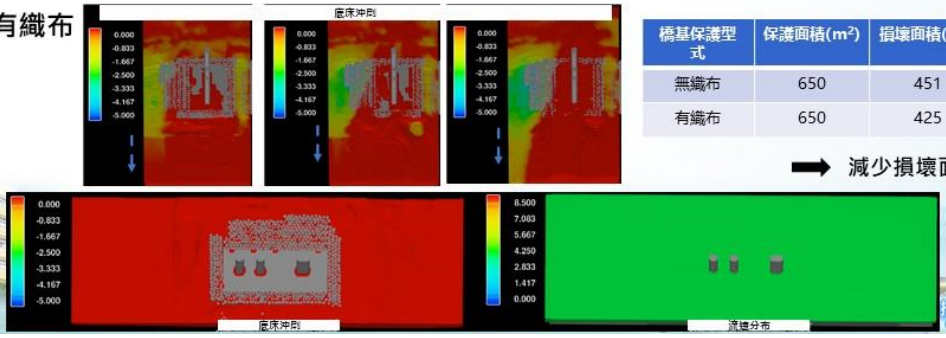
04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 不同重現期三維模擬結果-Q100

無織布



有織布



橋基保護型式	保護面積(m^2)	損壞面積(m^2)	損壞比(%)
無織布	650	451	69.4
有織布	650	425	65.4

➡ 減少損壞面積5%

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ 不同重現期三維模擬結果-效益評估

- 在小～中流量(Q5、Q10、Q20)下保護效果效果最顯著，相對減少幅度隨流量增加而快速下降:
  1. Q5、Q10減少非常大(相對減幅約80~90%) 。
  2. Q20則減幅變小(約45%)。
  3. 高流量(Q50、Q100)時相對效果很小(約6~10%)。

各重現期下織布保護成效綜合比較表

	傳統工法損壞率(%)	本計畫工法損壞率(%)	相對可減少損壞率(%)
模擬(Q5)	15	1.67	89
模擬(Q10)	16.2	3.3	80
模擬(Q20)	24.5	13.5	45
模擬(Q50)	61	55	10
模擬(Q100)	69.4	65.4	5

維護效益

- 傳統工法維修頻率-次/Q5
- 本計畫工法維修頻率-次/Q20
- 「N年重現期」的事件-任一年內發生的機率是1/N*100%
- Q5發生機率=20%，Q20發生機率=5%，簡易量化估算使用效益，即使用1次本計畫工法可等效於使用5次傳統工法，可達減少維修次數，延長保護工壽命之功效。

04 數值水理分析模型建置與分析

◆ **不同重現期三維模擬結果-效益評估**

經濟效益

- 長期平均損壞減少效果，加權減少率=60.3%
- 以保護工全毀(100%)、半毀(50%)及部分毀(30%)之3情況，估算平均可節省216萬元/墩之效益，與實際觀測結果所估算之節省經費200萬元/墩相近。
- 長期效益成本比(BCR)=3.6，與現場觀測所計算之短期BCR=3.43相近
- 本計畫工法，對橋基安全性與長期維護成本均具有效益。

不同損壞情況下傳統工法與本計畫工法修復費用比較（單墩）

情況	傳統工法修復費用 (萬元)	本計畫工法修復費用 (萬元)	節省費用 (萬元)
全毀 (100%)	640 (640*100%*100%=640)	280 (700*100%*(100%-60%)=280)	360
半毀 (50%)	320 (640*50%*100%=320)	140 (700*50%*(100%-60%)=140)	180
部分毀 (30%)	192 (640*30%*100%=640)	108 (700*30%*(100%-60%)=84)	108
平均			216

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) TSAI, LI-HUNG；柯正龍 (TW) KO, JENG-LONG；賴瑞應 (TW) LAI, JUI-YING；林雅雯 (TW) LIN, YA-WEN；胡啟文 (TW) HU, CHI-WEN；曾文傑 (TW) TSENG, WEN-CHIEH
【71】申請人：交通部運輸研究所　INSTITUTE OF TRANSPORTATION, MOTC
臺北市松山區敦化北路 240 號

發明公開公報

【19】中華民國　【12】專利公報　(B)
【11】證書號數：I759792
【45】公告日：中華民國 111 (2022) 年 04 月 01 日
【51】Int. Cl.：*E02D31/00 (2006.01)*　*E02D3/00 (2006.01)*
E01D22/00 (2006.01)
發明　全 6 頁

【54】名　稱：地工織布橋梁基礎保護工法
【21】申請案號：109123693　【22】申請日：中華民國 109 (2020) 年 07 月 14 日
【11】公開編號：202202698　【43】公開日期：中華民國 111 (2022) 年 01 月 16 日
【72】發明人：蔡立宏 (TW) TSAI, LI-HUNG；柯正龍 (TW) KO, JENG-LONG；賴瑞應 (TW) LAI, JUI-YING；林雅雯 (TW) LIN, YA-WEN；胡啟文 (TW) HU, CHI-WEN；曾文傑 (TW) TSENG, WEN-CHIEH
【71】申請人：交通部運輸研究所　INSTITUTE OF TRANSPORTATION, MOTC
臺北市松山區敦化北路 240 號

專利公報

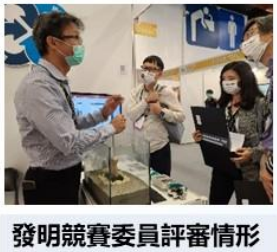
專利證書

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:本所公關室彙整

05 階段性成果應用

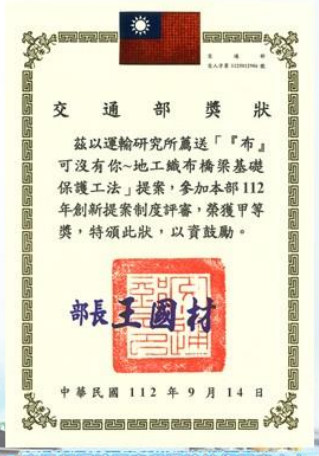
◆落實應用

- 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。


交 通 部 獎 狀

茲以運輸研究所篤送「『布』可沒有你~地工織布橋梁基礎保護工法」提案，參加本部112年創新提案制度評審，榮獲甲等獎，特頒此狀，以資鼓勵。

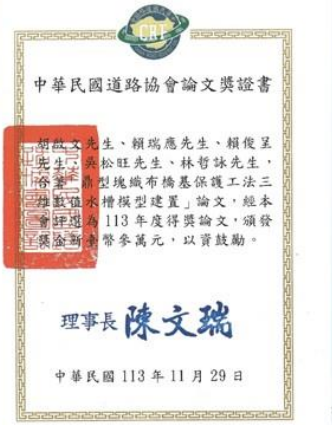
部長 王國材

中華民國 112 年 9 月 14 日

05 階段性成果應用

◆ 成果參獎

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


中華民國道路協會論文獎證書

[redacted]先生、賴瑞應先生、賴俊呈先生、吳松旺先生、林哲詠先生，[redacted]鼎型塊織布橋基保護工法三維數值水槽模型建置」論文，經本會評選為113年度得獎論文，頒發獎金新臺幣參萬元，以資鼓勵。

理事長 陳文瑞

中華民國 113 年 11 月 29 日

05 階段性成果應用

◆部務會報

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

05 階段性成果應用

◆研討會成果發表

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

05 階段性成果應用

◆跨機關合作 成果共營共享

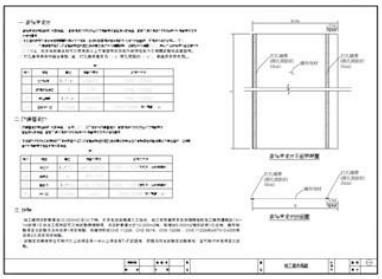
本計畫所執行之階段性成果亦共享予合作機關-高公局大甲工務段做為111年度養護作業考評(橋梁項)跨機關合作積極創新作為，以及提報參與高公局112年度知識競賽，獲「知識品質獎」第2名。

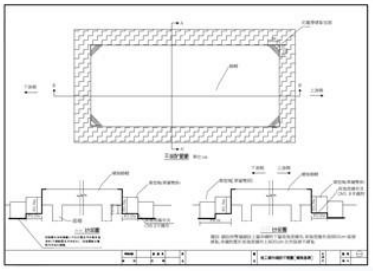
養護作業考評(橋梁項)跨機關積極創新作為項目

獲「知識品質獎」第2名

05 階段性成果應用

◆編擬施工技術說明書及基本設計圖說

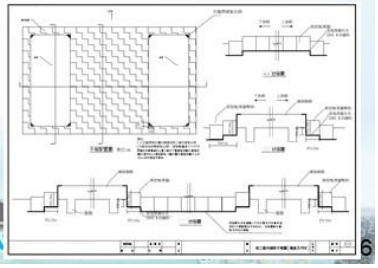




目錄

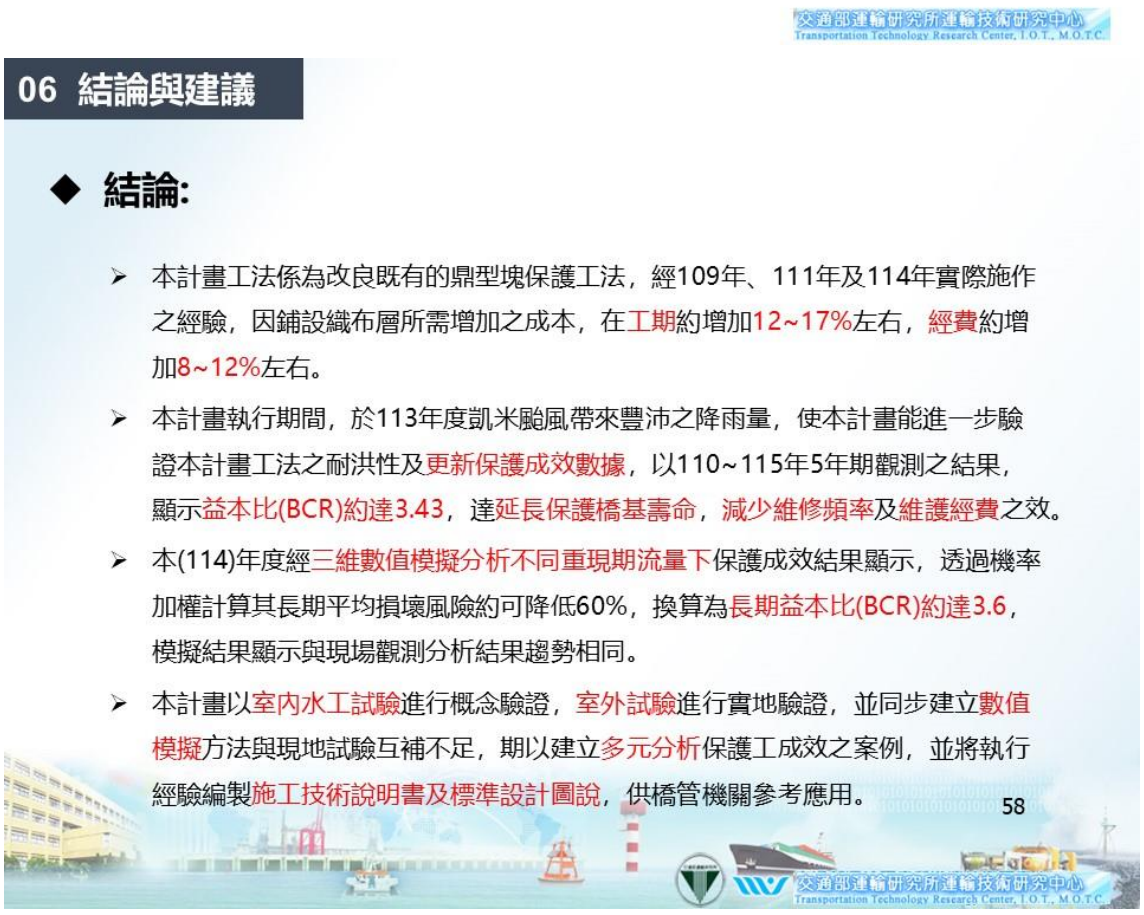
項目	章名	頁數
1	鼎型塊織布橋基保護工法	共 4 頁
2	施工便道、便橋及構台	共 10 頁
3	卜特蘭水泥	共 4 頁
4	混凝土基本材料及施工一般要求	共 11 頁
5	結構用混凝土	共 11 頁
6	混凝土錨塊	共 3 頁
7	場鑄結構混凝土用模板	共 3 頁
8	混凝土養護	共 3 頁
9	職業安全衛生	共 28 頁

附錄 1　鼎型塊織布橋基保護工法設計參考圖說
附錄 2　混凝土品質管理導入無線射頻辨識(RFID)技術作業規定



預計114/12/31辦理本計畫工法推廣活動

六、結論與建議


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.
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、111年及114年實際施作之經驗，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8~12%左右。
本計畫執行期間，於113年度凱米颱風帶來豐沛之降雨量，使本計畫能進一步驗證本計畫工法之耐洪性及更新保護成效數據，以110~115年5年期觀測之結果，顯示益本比(BCR)約達3.43，達延長保護橋基壽命，減少維修頻率及維護經費之效。
本(114)年度經三維數值模擬分析不同重現期流量下保護成效結果顯示，透過機率加權計算其長期平均損壞風險約可降低60%，換算為長期益本比(BCR)約達3.6，模擬結果顯示與現場觀測分析結果趨勢相同。
本計畫以室內水工試驗進行概念驗證，室外試驗進行實地驗證，並同步建立數值模擬方法與現地試驗互補不足，期以建立多元分析保護工成效之案例，並將執行經驗編製施工技術說明書及標準設計圖說，供橋管機關參考應用。
58
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.

06 結論與建議

◆ 建議:

- 大甲溪流域於97年辛樂克颱風(石岡壩放流量4,225cms，5年重現期)造成后豐大橋斷橋事件；98年莫拉克颱風(石岡壩放流量5,410cms，10年重現期)，而本計畫自110年觀測以來，113年度凱米颱風為最大觀測事件(石岡壩放流量3,867cms，約5年重現期)，其與98年莫拉克颱風事件仍有差距，建議後續仍可持續進行觀測，以待超大豪雨事件(10年以上重現期)，取得更具代表性的實測驗證資料。
- 受限於現階段三維數值模擬軟體的能力，尚無法模擬鼎型塊在底床淘空後產生移動之耦合分析，致無法近似模擬實際沖刷發生的動態過程。建議未來可採分階段模擬方式處理，即將前一階段所得地形結果做為下一階段的初始地形輸入，以貼近真實的底床沖刷發展情形。

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.

簡報完畢

敬請指教

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.