

108-020-7B11

MOTC-IOT-107- H1DA001b

國道三號大甲溪橋 橋墩保護工法研究



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 1 月

108-020-7B11

MOTC-IOT-107-H1DA001b

國道三號大甲溪橋 橋墩保護工法研究

著者：賴瑞應、胡啟文、曾文傑、鄭文揚

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 1 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究 / 賴瑞應
等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所,
民 108.01
面 ; 公分
ISBN 978-986-05-8364-9(平裝)

1. 土木工程

441

107023545

國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究

著 者：賴瑞應、胡啟文、曾文傑、鄭文揚
出版機關：交通部運輸研究所
地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版 > 中心出版品)
電 話：(04) 26587170
出版年月：中華民國 108 年 1 月
印 刷 者：采峰實業有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站
定 價：200 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市:10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1 • 電話:(02)25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010800098

ISBN：978-986-05-8364-9(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。

國道三號大甲溪橋墩保護工法研究

交通部運輸研究所

GPN: 1010800098

定價 200 元

交通部運輸研究所自辦研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-05-8364-9(平裝)	政府出版品統一編號 1010800098	運輸研究所出版品編號 108-020-7B11	計畫編號 107-H1DA001b
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：朱金元 計畫主持人：賴瑞應 研究人員：胡啟文、曾文傑、鄭文揚 參與人員：魏瓊蓉、陳義松、李春榮、何木火 聯絡電話：04-26587170 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 107 年 1 月 至 107 年 12 月
關鍵詞：沖刷、水工模型試驗、鼎形塊、織布、石籠			
摘要： <p>國3大甲溪橋之橋墩基礎，近年在颱風期間，均面臨橋墩基礎沖刷之問題，為維護用路人之行車安全，爰辦理國3大甲溪橋橋墩基礎水工模型試驗，以提供國道高速公路局未來佈設橋墩基礎保護工法決策之參考。</p> <p>本研究以長15公尺寬0.8公尺之試驗水槽，鋪設試驗底床質及橋墩基礎進行渠漕水工模型沖刷試驗。不同保護方案之試驗結果顯示，鼎形塊結合織布與石籠為較佳的橋墩基礎保護方案。</p>			
研究成果效益： <ol style="list-style-type: none"> 1. 研提橋墩基礎保護方案，提升橋墩基礎耐洪能力，滿足運輸安全需求。 2. 本研究結果可提供未來橋梁管理單位設置相關保護工決策之參考。 			
提供應用情形： <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究研提之橋墩基礎保護方案，將提供國道高速公路局未來施政的參考。 2. 本研究進行的保護工鋪設試驗案例，可提供本所及相關單位後續研究之參採。 			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
108 年 1 月	170	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。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
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: Study on the Da-Jia River Bridge of No.3 Freeway Piers Protection Works			
ISBN(OR ISSN) 978-986-05-8364-9(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010800098	IOT SERIAL NUMBER 108-020-7B11	PROJECT NUMBER 107-H1DA001b
DIDIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIDIVISION DIRECTOR: Chu Chin-Yuan PPRINCIPAL INVESTIGATOR: Lai Jui-Ying PROJECT STAFF: C.W. Hu, W.J. Tseng, W.Y. Cheng PROJECT TECHNICIAN: C.R. Wei, Y.S. Chen, C.R. Lee, M.H. He PHONE: 04-26587170 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2018 To December 2018
KEY WORDS: SCOUR, HYDRAULIC MODEL TEST, TRIBAR ARMOR, FABRIC, GABION			
ABSTRACT: <p>The Da-Jia River Bridge of No.3 Freeway faced the pier scouring problem during typhoon period in recent years. In order to avoid affecting the transport safety of the Da-Jia River Bridge, we carried out the hydraulic model tests about the bridge, and provided appropriate improvement plan for the National Freeway Bureau for decision-making reference.</p> <p>The scour protection for bridge piers was investigated experimentally in this study. The flume, with a test section of 15m long and 0.8m wide, contains a sand bed and bridge piers. The experiments of abutment protection with different cases showed that tribar armor combined with fabric and gabion engineering methods was better than the others.</p> <p>Benefits of research results:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. This study can be provided abutment protection programs to enhance the anti-flood capacity of the bridge piers, meeting the transport safety requirements. 2. This study can be provided bridge management unit to set up protection works in the future. <p>Current situation in application:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. This study can be provided abutment protection works to National Freeway Bureau for decision-making reference. 2. Different test cases can be provided as the reference for future research. 			
DATE OF PUBLICATION Jan 2019	NUMBER OF PAGES 170	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

國道三號大甲溪橋橋墩保護工法研究

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
圖目錄	VII
表目錄	XIII
第一章 前 言	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 研究目的	1-1
1.3 研究方法	1-2
1.4 研究內容與流程	1-2
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 國道跨河橋梁及臨溪路堤之雲端資料庫建置暨沖刷資料調查評估委託專業服務工作(第二年成果報告)	2-1
2.2 大甲段及苗栗段轄區橋涵檢測工作(106年)	2-11
2.3 橋墩保護工法之研究	2-18
2.4 跨河橋梁固床工水工模型試驗-以中沙大橋為例(2/2)	2-21
2.5 跨河橋梁保護工法之研究	2-24
2.6 蛇籠保護方式對橋墩局部沖刷之影響	2-26
第三章 橋梁基本資料	3-1
3.1 國3大甲溪橋基本資料	3-1

3.2 大甲溪流域概況	3-3
3.3 河段特性	3-4
第四章 國內外橋墩保護工法資料彙整	4-1
4.1 橋墩沖刷機制概述	4-1
4.2 國內橋墩及橋基保護工受損情形	4-6
4.3 國內保護工法資料彙整	4-14
4.4 國外保護工法資料彙整	4-20
4.5 河道沖刷對橋墩保護工法之影響	4-25
第五章 水工模型試驗規劃與佈置	5-1
5.1 國 3 大甲溪橋橋基沖刷對策探討	5-1
5.2 試驗渠槽	5-5
5.3 渠槽試驗條件	5-7
5.4 試驗佈置	5-12
第六章 橋墩渠槽沖刷試驗	6-1
6.1 橋墩保護工法	6-1
6.2 試驗流程	6-2
6.3 試驗成果	6-5
6.4 小結	6-27
第七章 結論與建議	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 建議	7-2
7.3 研究成果效益	7-2
7.4 提供應用情形	7-3
參考文獻	參-1

附錄一 橋梁基本資料.....	附 1-1
附錄二 期末審查意見及辦理情形說明表.....	附 2-1
附錄三 簡報資料.....	附 3-1

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	1-3
圖 2.1 106.06.06 豪雨洪水退水階段河道現況.....	2-3
圖 2.2 國 3 大甲溪橋左岸 106 年 6 月初豪雨前後比對照片.....	2-4
圖 2.3 國 3 大甲溪橋(P22R 及 P23R)106 年 6 月初豪雨前後比對照片.....	2-5
圖 2.4 106.08.11 海棠颱風後國 3 大甲溪橋上游河道現況.....	2-6
圖 2.5 國 3 大甲溪橋(P27R 及 P28R)上下游橋基樁帽裸露狀況.....	2-7
圖 2.6 國 3 大甲溪橋上游側 P24L、P25L 以及下游側 P27R、P28R 橋基 排置鼎塊保護工.....	2-8
圖 2.7 國 3 大甲溪橋下游河道 105 年 10 月所進行大甲溪客庄堤段河道 整理.....	2-9
圖 2.8 國 3 大甲溪橋於民國 106 年期間之沖刷因素及災害成因.....	2-10
圖 2.9 河道深槽區位於 P22R~P24R.....	2-12
圖 2.10 橋墩 P22R、P23R 有基礎裸露情況(106 年 3 月設置鼎形塊保 護).....	2-12
圖 2.11 大甲溪客庄堤段河道整理工程.....	2-13
圖 2.12 國 3 大甲溪河川橋歷年航照圖比對圖.....	2-14
圖 2.13 國 3 大甲溪橋 P16R~P22R 橋墩河床斷面測量成果.....	2-15
圖 2.14 國 3 大甲溪橋 P23R~P29R 橋墩河床斷面測量成果.....	2-16
圖 2.15 國 3 大甲溪橋 P30R~P33R 橋墩河床斷面測量成果.....	2-17
圖 2.16 105~106 年前後比對照片.....	2-18
圖 2.17 蛇籠+織物模板+鼎形塊.....	2-19
圖 2.18 蛇籠+織物模板+鼎形塊斷面示意圖.....	2-19
圖 2.19 蛇籠+織物模板+鼎形塊基礎沖刷情形.....	2-20

圖 2.20 蛇籠+織物模板+鼎形塊沖刷深度與範圍 3D 圖	2-20
圖 2.21 一層砂腸袋+織物模板鋪設	2-22
圖 2.22 一層砂腸袋+織物模板鋪設斷面示意圖	2-22
圖 2.23 方案 1 保護工佈設深度(基礎底部往下 8 公分).....	2-23
圖 2.24 方案 2 保護工佈設深度(基礎底部往下 13 公分).....	2-24
圖 2.25 試驗橋墩規格示意圖	2-25
圖 2.26 不均勻圓形橋墩之三種情況.....	2-27
圖 2.27 不同保護情況下之沖刷剖面.....	2-28
圖 3.1 國 3 大甲溪橋位置圖	3-1
圖 3.2 大甲河流域概況圖	3-3
圖 3.3 大甲溪主流域各河段洪水量分配圖	3-5
圖 4.1 圓柱形橋墩的局部沖刷與渦流.....	4-3
圖 4.2 橋墩長度與流向的關係圖	4-4
圖 4.3 柔性攔砂堰工法示意圖	4-14
圖 4.4 剛性攔砂堰工法示意圖	4-15
圖 4.5 蛇籠工法示意圖	4-16
圖 4.6 拋石工法示意圖	4-17
圖 4.7 混凝土護坦工法示意圖	4-17
圖 4.8 混凝土排置工法示意圖	4-18
圖 4.9 護岸工法示意圖	4-19
圖 4.10 丁壩工法示意圖	4-20
圖 4.11 韓國橋墩保護應用案例.....	4-21
圖 4.12 韓國仁川跨海大橋砂腸管配置示意圖及應用案例.....	4-22
圖 5.1 潭美颱風豪雨造成樁帽裸露.....	5-2

圖 5.2	民國 103 年汛期前完成之橋墩基礎鼎形塊保護工.....	5-2
圖 5.3	民國 106 年 6 月初豪雨後 P26R~P28R 樁帽均已裸露.....	5-3
圖 5.4	民國 106 年 8 月後 P26R~P28R 樁帽裸露狀況	5-3
圖 5.5	民國 107 年汛期前 P26R~P28R 樁帽鼎形塊保護工狀況.....	5-4
圖 5.6	渠槽斷面圖.....	5-5
圖 5.7	渠槽尾水控制閘門.....	5-6
圖 5.8	試驗渠槽配置圖	5-7
圖 5.9	試驗底床質粒徑分布曲線圖.....	5-9
圖 5.10	試驗橋墩模型照片	5-12
圖 5.11	吸管製成之蜂巢式整流器.....	5-13
圖 5.12	渠槽試驗段佈設示意圖	5-14
圖 5.13	流量率定曲線圖.....	5-15
圖 6.1	國 3 大甲溪橋墩基礎沖刷與鼎形塊流失狀況	6-1
圖 6.2	橋墩保護工法渠槽試驗流程圖.....	6-2
圖 6.3	橋墩鋪設情形.....	6-3
圖 6.4	底床鋪設情形.....	6-4
圖 6.5	現況保護措施鼎形塊鋪設斷面示意圖	6-5
圖 6.6	現況保護措施模型鋪設	6-6
圖 6.7	現況保護措施基礎沖刷情形.....	6-6
圖 6.8	現況保護措施基礎上流沖刷情形.....	6-7
圖 6.9	現況保護措施基礎下流沖刷情形.....	6-7
圖 6.10	現況保護措施沖刷 3D 模型.....	6-8
圖 6.11	現況保護措施沖淤狀況.....	6-8
圖 6.12	現況保護工基礎沖刷坑等高線示意圖	6-9

圖 6.13	現況保護工基礎沖刷縱斷面(AA')示意圖	6-10
圖 6.14	現況保護工基礎沖刷橫斷面(BB')示意圖	6-10
圖 6.15	無保護措施斷面示意圖	6-11
圖 6.16	無保護措施基礎沖刷情形	6-11
圖 6.17	無保護措施沖刷 3D 模型.....	6-12
圖 6.18	無保護措施沖淤狀況	6-12
圖 6.19	無保護措施基礎沖刷坑等高線示意圖	6-13
圖 6.20	無保護措施基礎沖刷縱斷面(AA')示意圖	6-14
圖 6.21	無保護措施基礎沖刷橫斷面(BB')示意圖	6-14
圖 6.22	方案一(一層鼎形塊)斷面示意圖	6-15
圖 6.23	方案一(一層鼎形塊)保護措施模型鋪設	6-15
圖 6.24	方案一(一層鼎形塊)保護措施上游基礎沖刷情形	6-16
圖 6.25	方案一(一層鼎形塊)保護措施下游基礎沖刷情形	6-16
圖 6.26	方案一(一層鼎形塊)沖刷 3D 模型	6-17
圖 6.27	方案一(一層鼎形塊)保護措施沖淤狀況	6-17
圖 6.28	方案一(一層鼎形塊)保護措施基礎沖刷坑等高線示意圖	6-18
圖 6.29	方案一(一層鼎形塊)保護措施基礎沖刷縱斷面(AA')示意圖	6-18
圖 6.30	方案一(一層鼎形塊)保護措施基礎沖刷橫斷面(BB')示意圖	6-19
圖 6.31	方案二(一層鼎形塊+織布)斷面示意圖	6-19
圖 6.32	方案二(一層鼎形塊+織布)織布鋪設	6-20
圖 6.33	方案二(一層鼎形塊+織布)保護措施模型鋪設	6-20
圖 6.34	方案二(一層鼎形塊+織布)保護措施上游基礎沖刷情形	6-21
圖 6.35	方案二(一層鼎形塊+織布)保護措施下游基礎沖刷情形	6-21
圖 6.36	方案二(一層鼎形塊+織布)沖刷 3D 模型	6-22

圖 6.37	方案二(一層鼎形塊+織布)沖淤狀況	6-22
圖 6.38	方案二(一層鼎形塊+織布)基礎沖刷坑等高線示意圖	6-23
圖 6.39	方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)斷面示意圖	6-24
圖 6.40	方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)保護措施模型鋪設.....	6-24
圖 6.41	方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)上游沖刷情形	6-25
圖 6.42	方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)下游沖刷情形	6-25
圖 6.43	方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)沖刷 3D 模型	6-26
圖 6.44	方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)沖淤狀況	6-26
圖 6.45	方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)基礎沖刷坑等高線示意圖 ..	6-27

表目錄

表 2-1 橋墩在未保護及受保護情況下之沖刷情形	2-27
表 3-1 國 3 大甲溪橋之橋梁基本資料表	3-2
表 3-2 國 3 大甲溪橋河段之河道治理參數表	3-4
表 3-3 國 3 大甲溪橋臨近斷面河床質平均粒徑及代表粒徑	3-4
表 3-4 國 3 大甲溪橋鄰近河段沖淤比較表	3-5
表 4-1 國內各地之橋基與保護工的受損情形及受損原因一覽表	4-7
表 4-2 美國橋基保護工法使用分布	4-23
表 4-3 紐西蘭橋基保護工法之使用分布	4-24
表 5-1 臨界流速公式	5-16
表 6-1 不同鋪設方案最大沖刷深度及下游鼎形塊穩定度比較	6-28

第一章 前言

1.1 研究緣起

臺灣河川多屬坡陡流急，在極端氣候影響下，颱洪期間，橋墩基礎受到劇烈的沖刷，常導致橋梁崩塌破壞，不僅造成交通中斷，也可能造成人民生命財產之損失。而橋梁為交通運輸與民生活動之重要管道，若因災害破壞，將嚴重影響人民的生活，也勢必對災後之聯絡、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，橋基保護工法之研究實為當前之重要課題。

國3大甲溪橋位處臺中市，北接臺中市外埔區，南接臺中市清水區，橋長約2850公尺，於民國92年竣工，橋齡僅15年，除民國93年間之艾利颱風及民國102年潭美颱風豪雨沖刷下，使南側之數座橋墩樁帽有裸露之情形外，竣工至今尚無嚴重的沖刷災害。由於河川管理單位甫於民國105年10月辦理「大甲溪客庄堤段河道整理工程」，其中P30R~P33R橋墩位於土砂培厚區，以往易受沖刷裸露之情況已有效受土砂培厚之保護。但由於水流受限於左右岸之土砂培厚影響，流路亦因而導向河心深槽，主深槽於P26R~P28R之間通過橋址中央，在深槽區單寬流量增加下，主深槽所在之橋基刷深至2~3公尺。有鑑於此，為防止未來可能之沖刷災情，國道高速公路局中工處大甲工務段遂於海棠颱風後，即著手進行沖刷防制保護工程，以確保P24L、P25L、P27R及P28R橋墩之安全。考量到國3大甲溪橋為連接南北重要的橋梁，為維護用路人之行車安全，本計畫藉由水工模型試驗，驗證既有保護工法並進而研提合宜橋基保護方案，供橋梁維管單位未來佈設相關橋基保護工決策之參考。

1.2 研究目的

本研究目的如下：

1. 藉由水工模型試驗，驗證既有國3大甲溪橋橋基保護方案及研提改善方案，以提升橋梁耐洪能力，滿足運輸安全需求。
2. 藉由不同保護工方案之水工模型試驗，可提供未來橋梁管理單位設置相關保護工決策之參考。

1.3 研究方法

本研究主要目的為研提國3大甲溪橋橋基保護方案，供橋梁維管單位未來施政之參考，以提升國3大甲溪橋橋基耐洪能力，滿足運輸安全需求。爰此，本研究首先蒐集國3大甲溪橋的相關基本資料，包括水工結構物(橋基及相關保護工等)設計資料、水文資料、河床質粒徑、河段沖淤、河道變遷、河川治理等基本背景資料，以瞭解其沖刷問題。接著進行國3大甲溪橋相關研究報告及沖刷理論文獻回顧，以規劃後續試驗對象。最後針對國3大甲溪橋的橋基與河床高程現況，進行橋基沖刷試驗，研提未來橋基受河水沖刷之保護工法，以供橋梁管理單位未來施政的參據。

1.4 研究內容與流程

本研究之主要工作項目如下所示，其工作流程如圖 1.1 所示。

1. 水工結構物(橋基及相關保護工等)設計資料及現況資料蒐集
2. 水文資料、河床質粒徑、河段沖淤、河道變遷、河川治理等基本背景資料蒐集
3. 相關計畫文獻回顧
4. 試驗規劃與佈置
5. 橋墩保護方案渠槽沖刷試驗
6. 結論與建議

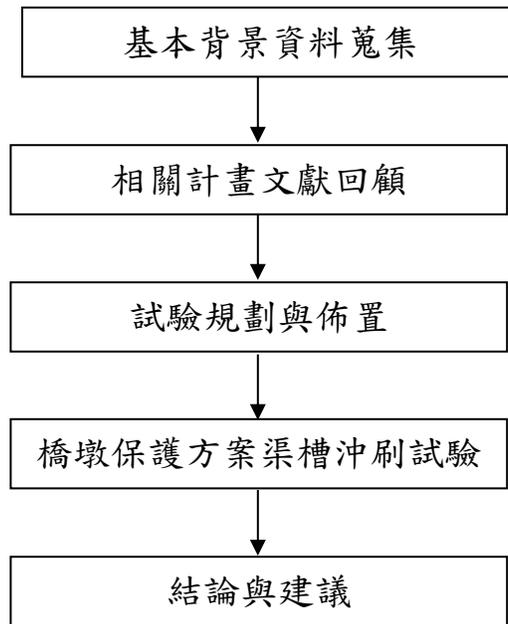


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章蒐集國 3 大甲溪橋近幾年之相關計畫及橋墩沖刷之相關研究做文獻回顧，以供後續橋墩渠槽沖刷試驗之參考依據。

2.1 國道跨河橋梁及臨溪路堤之雲端資料庫建置暨沖刷資料調查評估委託專業服務工作(第二年成果報告)

「國道跨河橋梁及臨溪路堤之雲端資料庫建置暨沖刷資料調查評估委託專業服務工作(第二年期中期成果報告)」^[11]為交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處委託彛盛工程顧問有限公司，於民國 107 年完成之成果報告。茲摘錄國 3 大甲溪橋之相關研究成果如下：

1. 沖刷歷程(含養護維修)與災因探討

回顧近年來國 3 大甲溪橋及上下游河道之沖刷情形，下游側左岸高灘地近年來因遭洪流側向侵蝕，高灘地持續崩退並影響本橋橋墩 P28R~P32R 之橋墩基礎。

圖 2.1 為國 3 大甲溪橋在民國 106 年 6 月 1 日~6 月 4 日豪雨期間洪水退卻後所拍攝之畫面，由於河川管理單位甫於民國 105 年 10 月辦理「大甲溪客庄堤段河道整理工程」，其中 P30R~P33R 橋墩位於土砂培厚區，有效保護其以往易受沖刷裸露之情況。而在橋址左岸土砂培厚範圍以外，經民國 106 年 6 月初豪雨在洪水側向侵蝕沖刷下，P26R~P28R 樁帽均已出露於河床面，高度約 1.5~2.2m 不等，其中 P28R 周圍之部分鼎塊保護工亦遭受沖刷流失，如圖 2.2 所示。

國 3 大甲溪客庄堤段經河道整理後，流路亦因而導向河心深槽，而深槽區所在之 P22R~P23R 已排置鼎塊保護工防止沖刷，經民國 106 年 6 月初豪雨侵襲下，橋基無沖刷裸露情形，已有效保護橋墩，如圖 2.3 所示。

圖 2.4 為民國 106 年 8 月上游河道現況，期間在歷經民國 106 年 6 月中旬第二波滯留鋒面及 7 月底海棠颱風所帶來之豪雨，由於水流受

限於左右岸之灘地影響，可見主深槽於 P26R~P28R 之間通過橋址中央，在深槽區單寬流量增加下，主深槽所在之橋基再略刷深至 2~3m，如圖 2.5 所示。有鑑於此，為防止未來可能之沖刷災情，國道高速公路局中工處大甲工務段遂於海棠颱風後，即著手進行沖刷防制保護工程，以確保 P24L、P25L、P27R 及 P28R 橋墩之安全。相關工程完工現況如圖 2.6 所示。圖 2.7 可見深槽流路通過橋址後，亦穩定維持於河道中央，客庄堤防前培厚之土砂保護堤防基礎免於沖刷威脅。民國 106 年期間之沖刷因素或災害成因如圖 2.8 所示。

2.沖刷(含土石流等多重災害)潛勢評估

依前述之沖刷歷程及災害因素分析結果，國 3 大甲溪橋之沖刷主因為洪水沖刷所造成，依研究團隊沖刷潛勢評估結果顯示，國 3 大甲溪橋之沖刷潛勢為「中」程度，後續應持續觀測橋基之沖刷狀況。

3.後續維修養護

本橋於民國 106 年汛期後完成國 3 大甲溪橋上游側 P24L、P25L 以及下游側 P27R、P28R 橋基鼎塊保護工程，現況於此條件下暫無維修養護之事項。

現況之深槽流路主要位於橋址之 P26R ~ P28R 間。橋基保護工施作後，水流若偏往左、右兩側較低勢弱面流動時，將對兩側產生縱向河床移動層之變化外，也將造成兩側高灘橫向侵蝕等雙重沖刷潛勢，故需持續留意觀察流路情形及該處河床升降變化，並適時予以進行相關之保護措施。。



圖 2.1 106.06.06 豪雨洪水退水階段河道現況

註：流路偏向右岸 P17R~P28R 範圍之間，對於已受土砂培厚之 P29R~P33R 則未受影響，以往橋基易受冲刷裸露之 P29R~P33R 仍位於培厚之高灘上。



圖 2.2 國 3 大甲溪橋左岸 106 年 6 月初豪雨前後比對照片

註：(a)由 105 年 5 月照片可見 P26R~P29R 仍位於灘地上，橋基未現裸露。(b)經洪水過後，P26R~P28R 樁帽均已出露於河床面，高度約 1.5~2.2m 不等，其中 P28R 周圍之部分鼎塊保護工亦遭受沖刷流失。

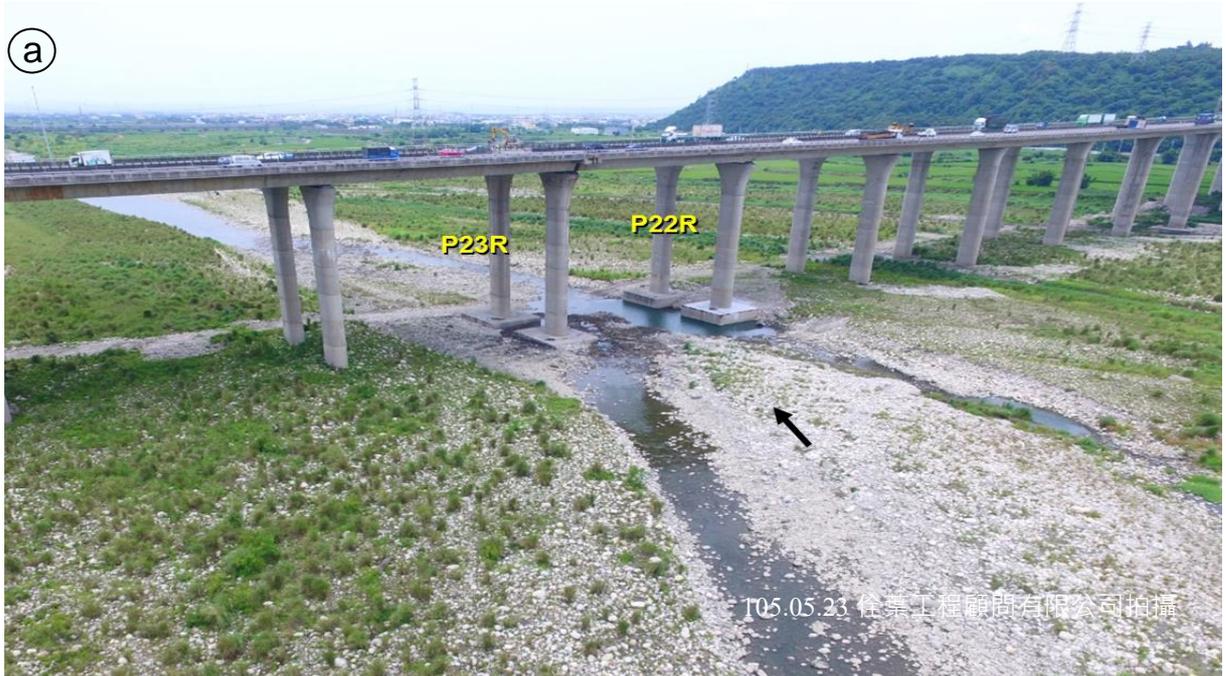


圖 2.3 國 3 大甲溪橋(P22R 及 P23R)106 年 6 月初豪雨前後比對照片

註：(a)105.05.23，P22R ~ P23R 處之橋墩基礎樁帽部分已有些許裸露。(b) 106.06.06 豪雨洪水退水階段河道現況，經以鼎塊保護後可見右岸深槽區內 P22R 及 P23R 橋基未受洪水影響，無裸露情形。



圖 2.4 106.08.11 海棠颱風後國 3 大甲溪橋上游河道現況



圖 2.5 國 3 大甲溪橋(P27R 及 P28R)上下游橋基樁帽裸露狀況

註：(a)106.08.11 國 3 大甲溪橋下游側之 P27R 及 P28R 已可見橋基樁帽裸露，深度約 2~3m。 (b)國 3 大甲溪橋上游側之 P23L~P25L 橋基樁帽亦出露於河床面，深度約 2m。



106.11.14 仝業工程顧問有限公司拍攝

圖 2.6 國 3 大甲溪橋上游側 P24L、P25L 以及下游側 P27R、P28R 橋基排置鼎塊保護工



圖 2.7 國 3 大甲溪橋下游河道 105 年 10 月所進行大甲溪客庄堤段河道整理

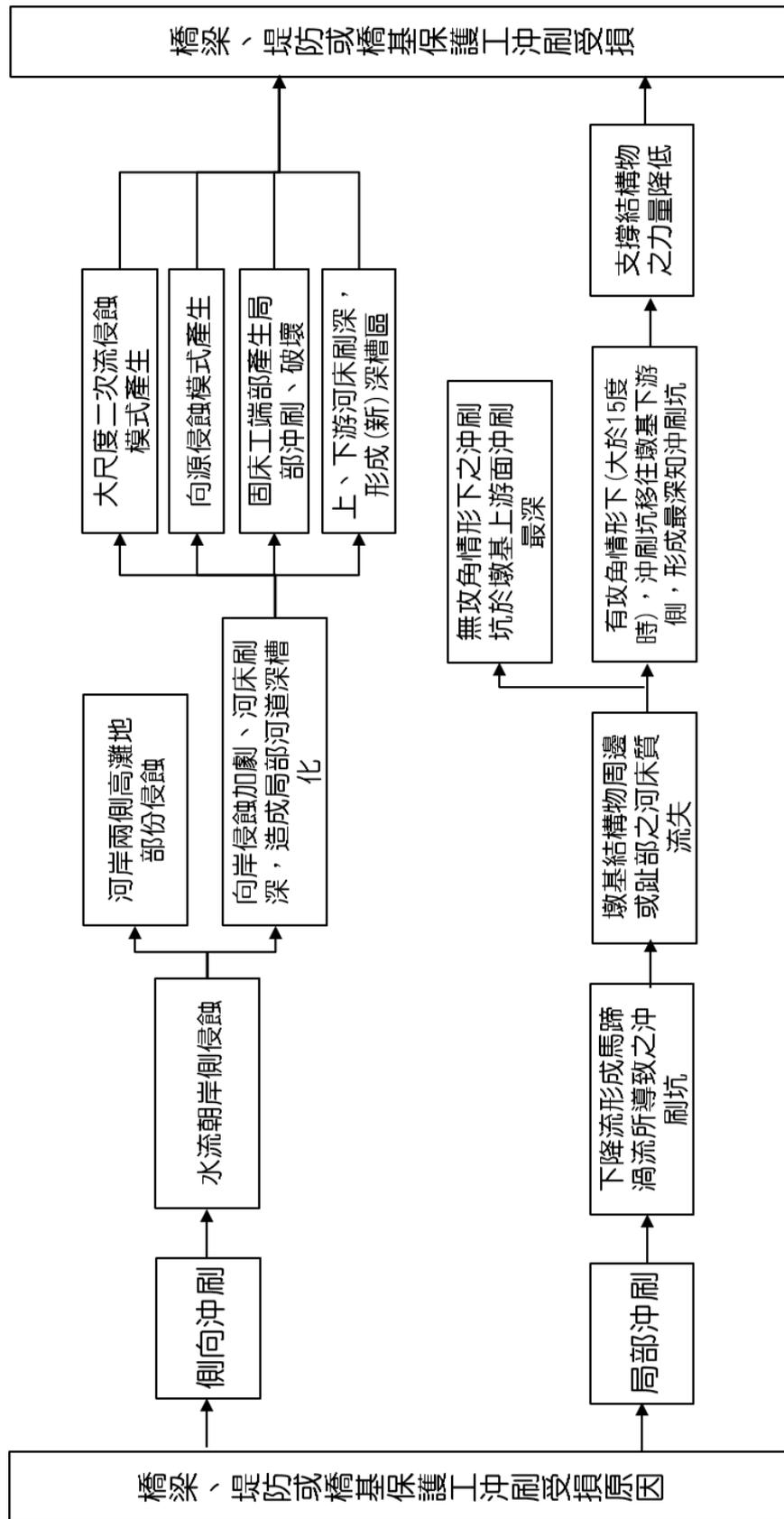


圖 2.8 國 3 大甲溪橋於民國 106 年期間之沖刷因素及災害成因

2.2 大甲段及苗栗段轄區橋涵檢測工作(106 年)

「大甲段及苗栗段轄區橋涵檢測工作(106 年)」^[10]為交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處於民國 106 年委託全葉工程顧問有限公司辦理之檢測工作，有關國 3 大甲溪河川橋河床變化分析成果摘錄如下：

本計畫利用 UAV 空拍(圖 2.9~圖 2.11)，及使用歷史數據並透過分析判釋多期衛星影像(圖 2.12)來瞭解河道之平面擺盪範圍及沖刷之情況。國 3 大甲溪橋於大甲溪下游河段，距河口之河心累距約 6.3 公里，南岸橋梁上下游側設有堤防，北岸僅上游側設有堤防，近年河道兩岸穩定維持在約 840m 之河寬，無明顯側向沖刷之情形。觀察本河段歷年航照，河相屬於辮狀河川，近年來深槽區僅微幅變遷，大致位於橋墩 P16R~P19R、P21R~P24R、P30R~33R 三個區間。而 P30R~P33R 已佈設鼎塊抑制河床下刷，現況已獲得改善。

本橋梁下游側橋墩均較上游側編號大 3 個序號，因此河川斷面測量建議係以橋梁下游側橋墩編號為準繪製各測線之縱橫斷面，故由各測線之斷面圖分析(圖 2.13~圖 2.15)，民國 105 年河道深槽區仍位於 P22R~P24R 間，無明顯變異，另比較民國 105 年 P17R、P18R、P22R、P23R、P31R 基礎裸露情況，北岸深槽較去年刷深約 1.5m，直接影響 P18R 橋墩基礎，河床線已下降至基礎版底，而現未有保護工設置，須密切觀察後續狀況；P22R 周遭河床有下刷之現象，後續已於 P22R~P23R 設置鼎塊保護；P31R 因設置鼎塊回淤狀況良好，而其餘橋墩周遭河床高程亦無太大變化。整體而言，國 3 大甲溪橋所在位置屬下游河段，河系為辮狀河流，意即有多條深槽排洪，故常造成橋梁局部橋墩基礎裸露，本橋 P16~P18、P21~P23 河道深槽沖刷情形為需注意觀察之重點。

本橋梁受民國 106 年 6 月初豪大雨影響，經大水過後，P26R~P28R 橋帽均已出露於河床面(圖 2.16)，高度約 1.5~2.2m 不等，其中 P28R 周圍之部分鼎塊保護工亦遭受沖刷流失，深槽區仍維持於 P26R~P28R 之間，目前 P24L、P25L 以及下游側 P27R、P28R 橋基均已排置鼎塊保護工，防止進一步淘刷影響橋梁安全。



圖 2.9 河道深槽區位於 P22R~P24R

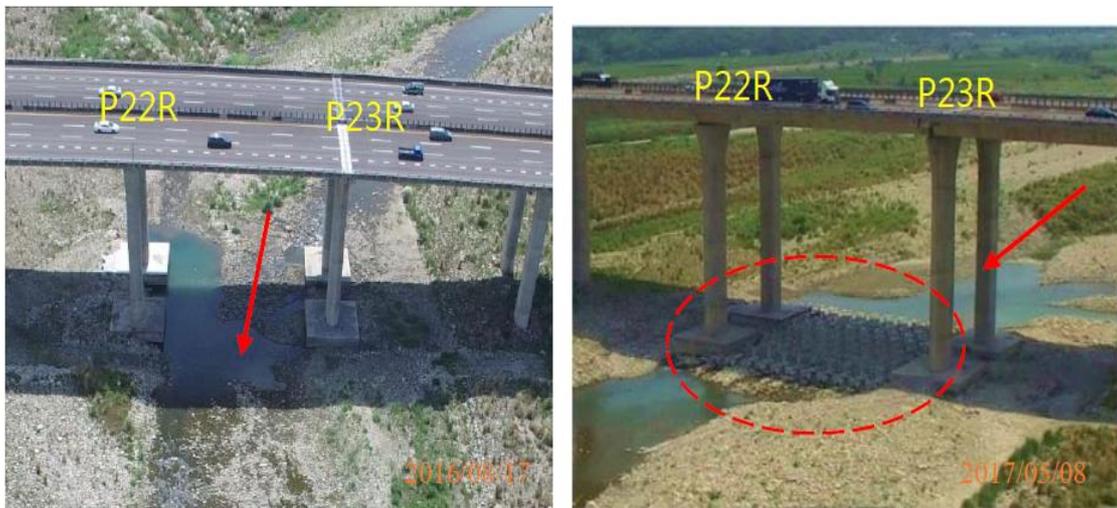


圖 2.10 橋墩 P22R、P23R 有基礎裸露情況(106 年 3 月設置鼎塊保護)

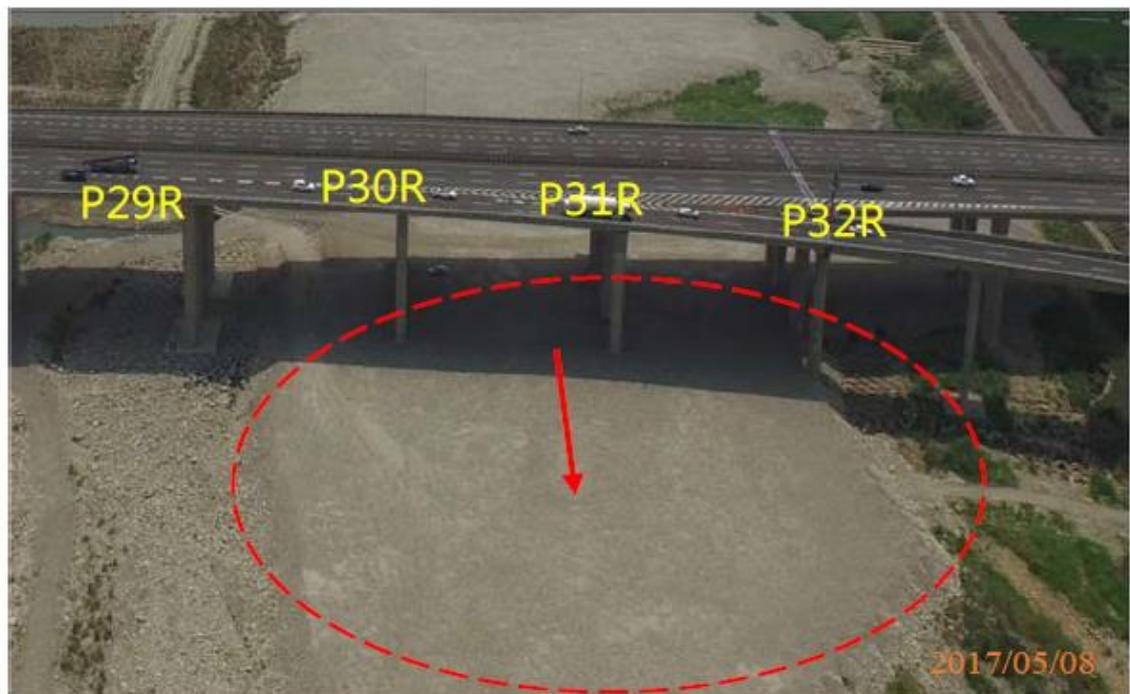


圖 2.11 大甲溪客庄堤段河道整理工程

註：第三河川局於民國 105 年 10 月辦理「大甲溪客庄堤段河道整理工程」，於橋址及其上下游區域進行河道整理，並以灘地培厚方式將流心導向河川中央，保護橋址南岸客庄堤防免於受到持續沖刷影響。



圖 2.12 國 3 大甲溪河川橋歷年航照圖比對圖

國道3號大甲溪河川橋 中心線 斷面(1/3)

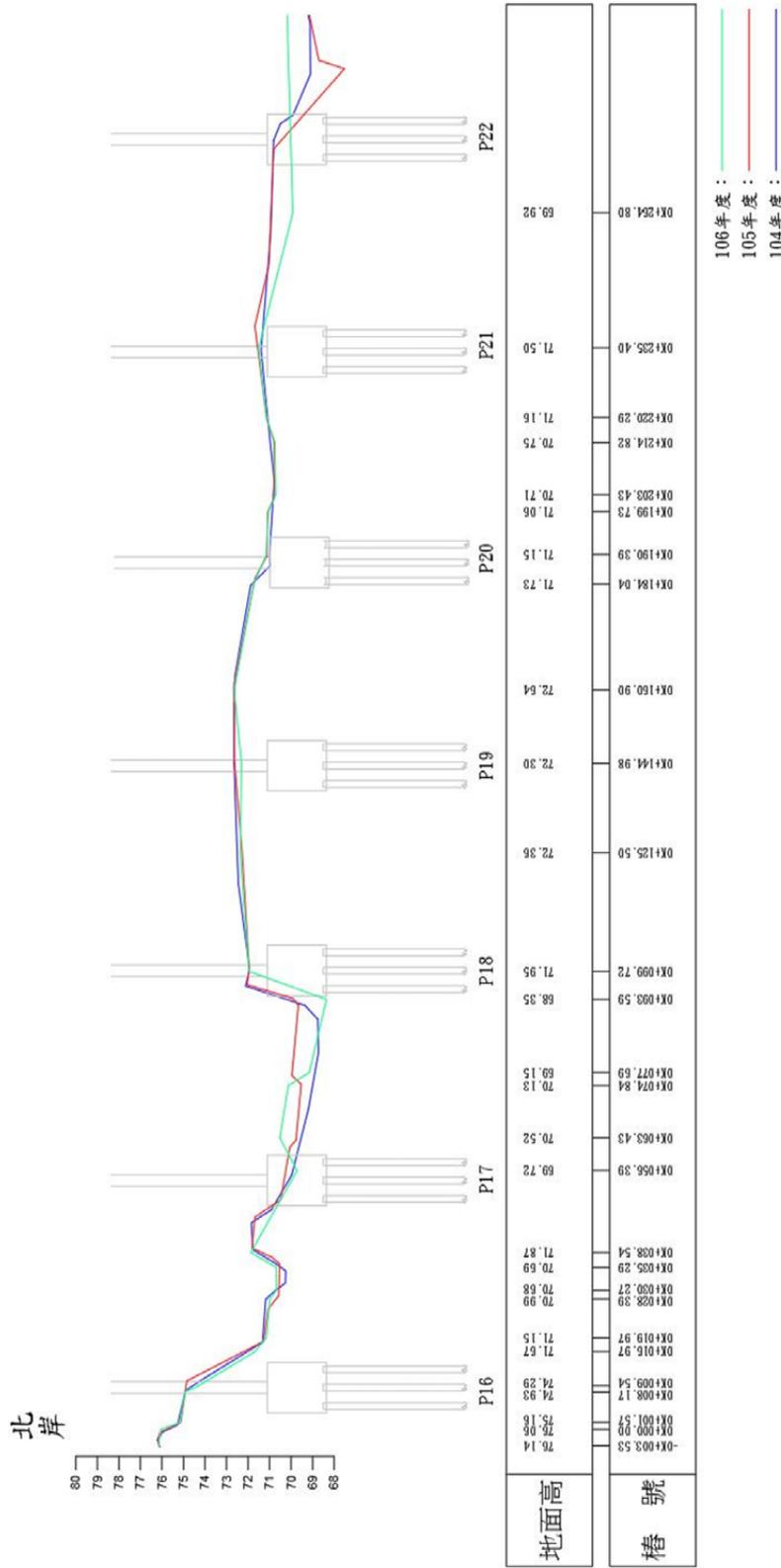


圖 2.13 國 3 大甲溪橋 P16R~P22R 橋墩河床斷面測量成果

國道3號大甲溪河川橋 中心線 斷面(2/3)

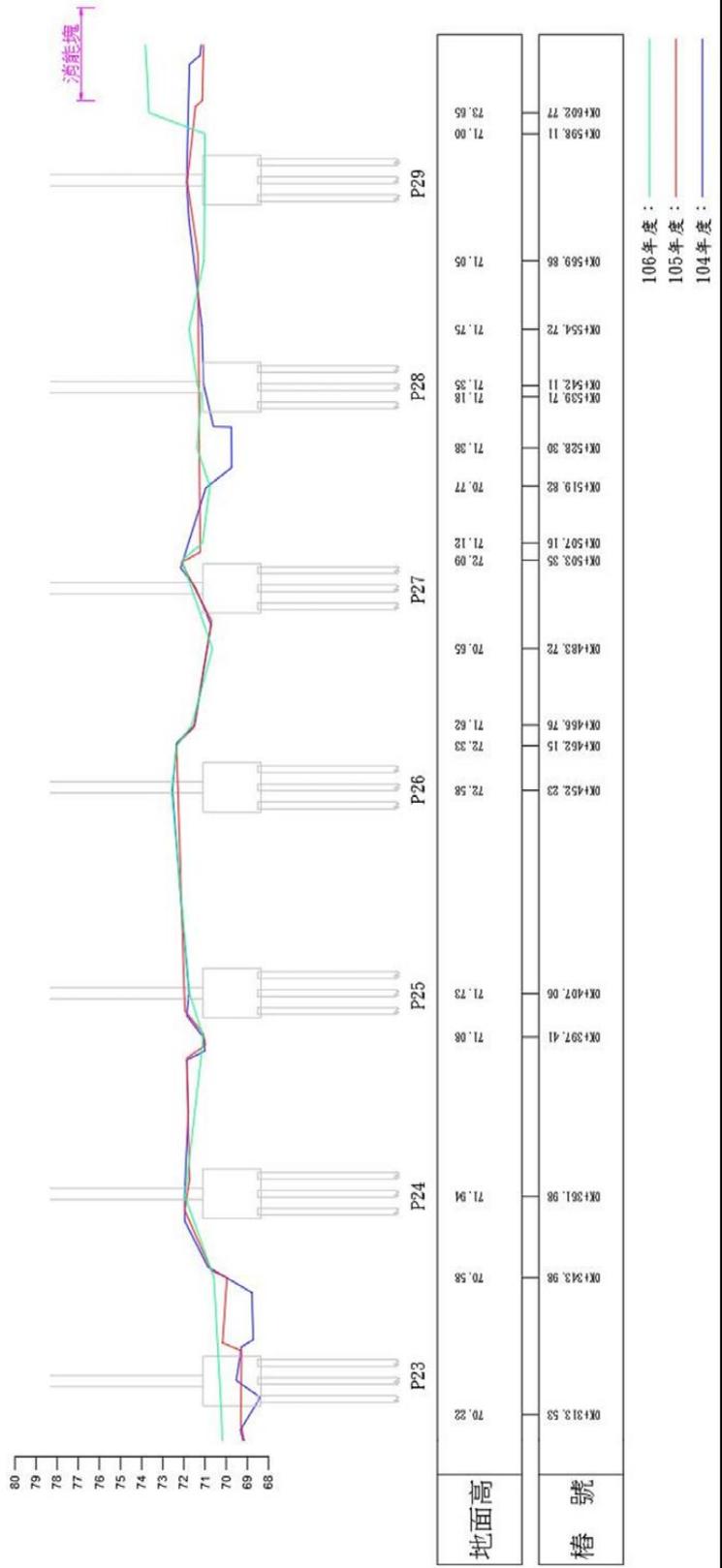


圖 2.14 國 3 大甲溪橋 P23R~P29R 橋墩河床斷面測量成果

國道3號大甲溪河川橋 中心線 斷面(3/3)

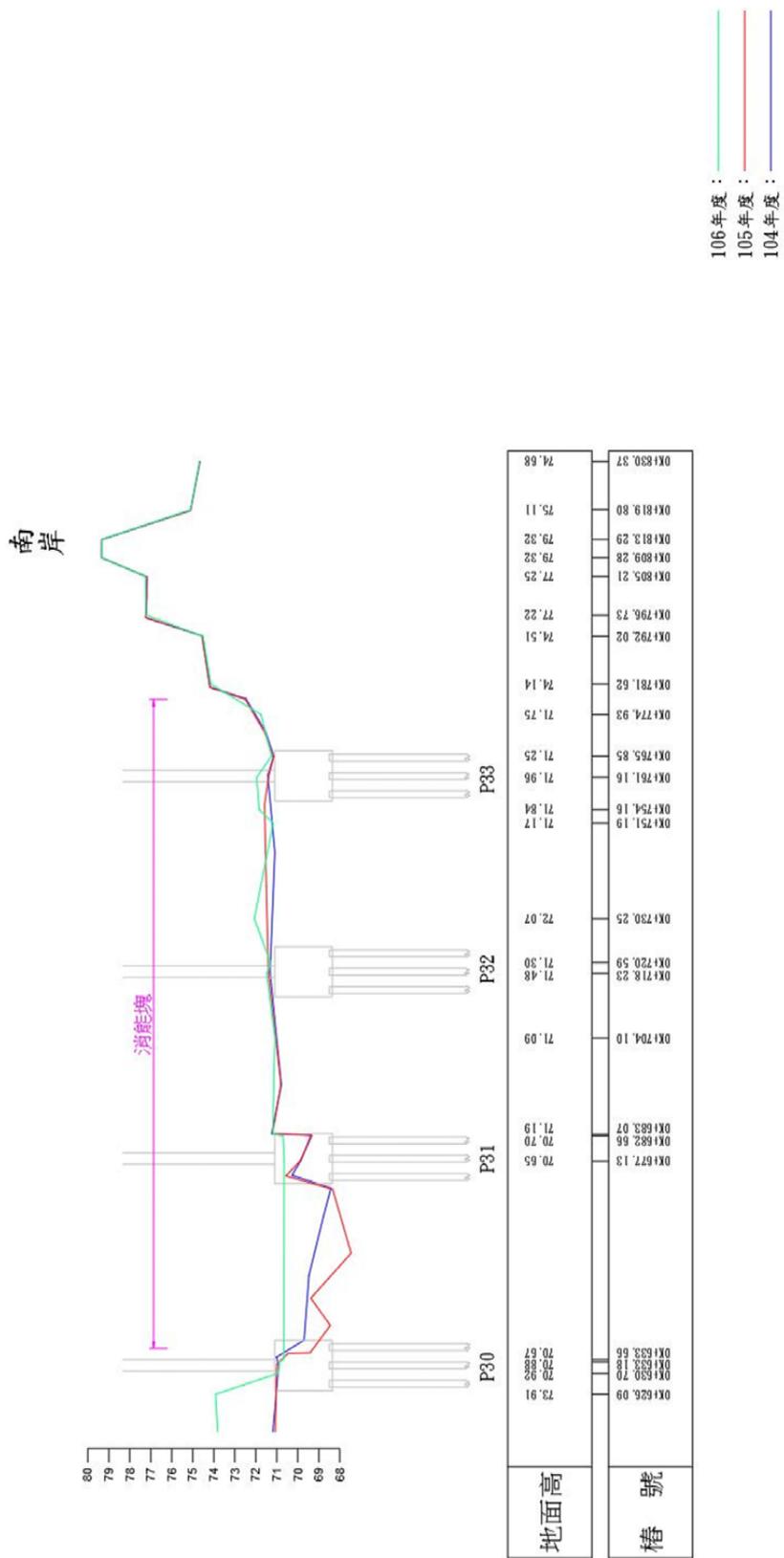


圖 2.15 國 3 大甲溪橋 P30R~P33R 橋墩河床斷面測量成果



圖 2.16 105~106 年前後比對照片

註：28R 橋墩周圍之部分鼎塊保護工遭受沖刷流失

2.3 橋墩保護工法之研究

「橋墩保護工法之研究」^[14]為本所於民國 106 年完成之研究計畫。計畫緣起主要為臺 1 線大甲溪橋經過 40 幾年的河床下降及颱風沖刷，依據歷年的河床斷面測量結果顯示，主深槽之橋墩基礎均有局部裸露，公路總局在此期間，為確保橋梁之結構安全，也進行相關的橋墩基礎保護措施，以滿足運輸安全的需求。另外，臺 1 線大甲溪橋與海線鐵路橋之間的客庄堤防曾在莫拉克颱風期間遭河水劇烈淘刷有潰堤之虞，因此水利署於民國 105 年 12 月進行土石培厚防護措施，但土石培厚將造成主深槽區改變及河道束縮，可能也會間接影響臺 1 線大甲溪橋其它基礎的沖刷。考量到臺 1 線大甲溪橋興建年份、現況及河床沖刷之影響等相關因素，為維護用路人之行車安全，本計畫藉由水工模型試驗，研提合宜橋基保護方案，供橋梁維管單位未來佈設相關橋基保護工決策之參考。相關研究成果摘要如下：

依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，比較其沖刷最大深度及沖刷坑寬度之結果顯示，以蛇籠+織物模板+鼎形塊之鋪設方式為最適宜之方案，如圖 2.17~圖 2.20 所示，其在最大沖刷深度、沖刷坑寬度及沖刷量的結果均為最小。



圖 2.17 蛇籠+織物模板+鼎形塊

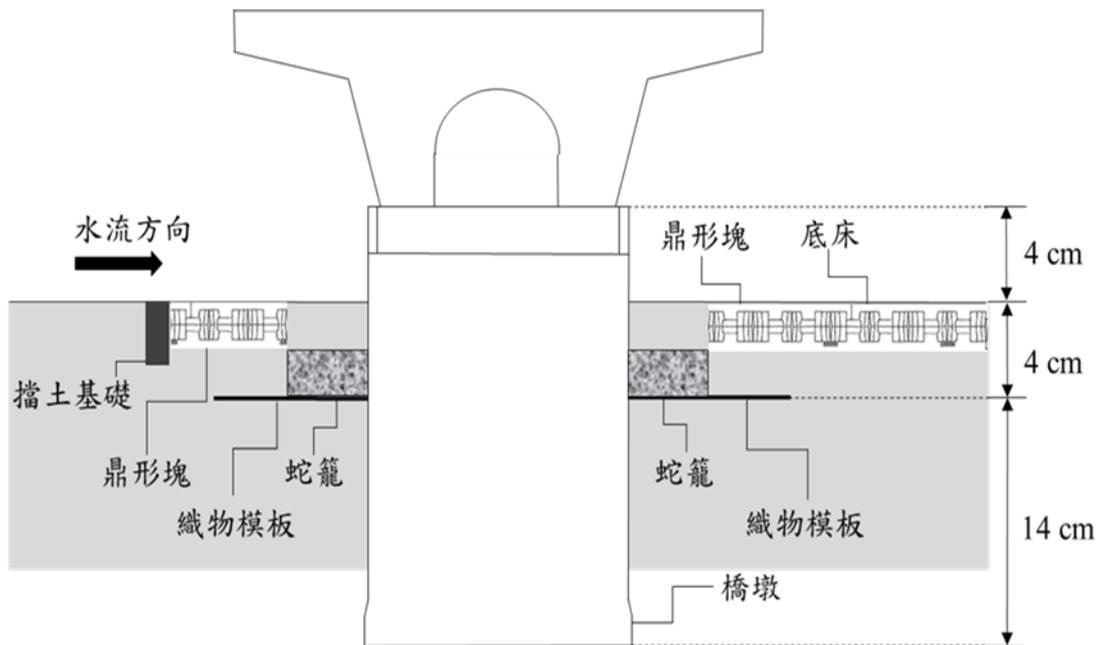


圖 2.18 蛇籠+織物模板+鼎形塊斷面示意圖



圖 2.19 蛇籠+織物模板+鼎形塊基礎沖刷情形

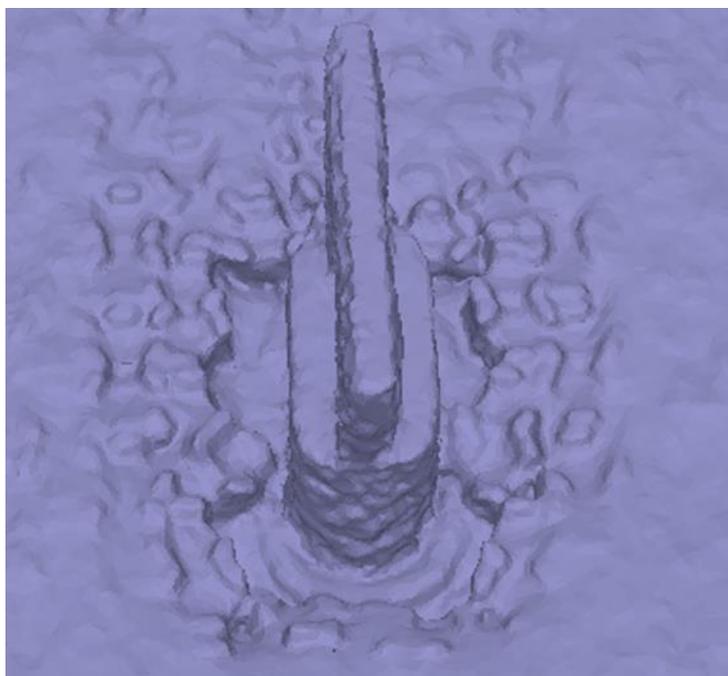


圖 2.20 蛇籠+織物模板+鼎形塊沖刷深度與範圍 3D 圖

2.4 跨河橋梁固床工水工模型試驗-以中沙大橋為例(2/2)

「跨河橋梁固床工水工模型試驗-以中沙大橋為例(2/2)」^[13]為本所於民國 105 年完成之研究計畫。計畫緣起主要為國道 1 號中沙大橋下游潛堰固床工歷年受颱風沖刷影響，造成部份斷面受沖毀而形成缺口，進而影響上游河床高程並造成墩基裸露。為避免影響中沙大橋行車安全，本計畫藉由水工模型試驗，研提合宜的橋基保護方案，供國道高速公路局佈設相關橋基保護工決策之參考。

本研究第一年進行橋墩渠漕水工模型沖刷試驗。不同保護方案之試驗結果顯示，砂腸袋工法結合織物模板為較佳的橋基保護方案。第二年進行大型平面試驗，將中沙大橋及上下游河段完整納入水工模型試驗，考量濁水溪不同洪峰流量，進行橋墩基礎埋入式保護方案試驗。相關研究成果摘要如下：

1. 在渠槽斷面試驗部分，相關研究顯示，保護工宜設置於河床下，以避免增加橋墩基礎之阻水斷面，進而增加沖刷深度，基此，本計畫之保護工法設置方式以埋入河床下之方式來鋪設。
2. 基於現地取材之考量，本計畫以砂腸袋工法進行橋墩保護工之沖刷試驗，經過不同試驗方案試驗結果，以一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)+織物模板之鋪設方式保護效果最佳，如圖 2.21~圖 2.22 所示。

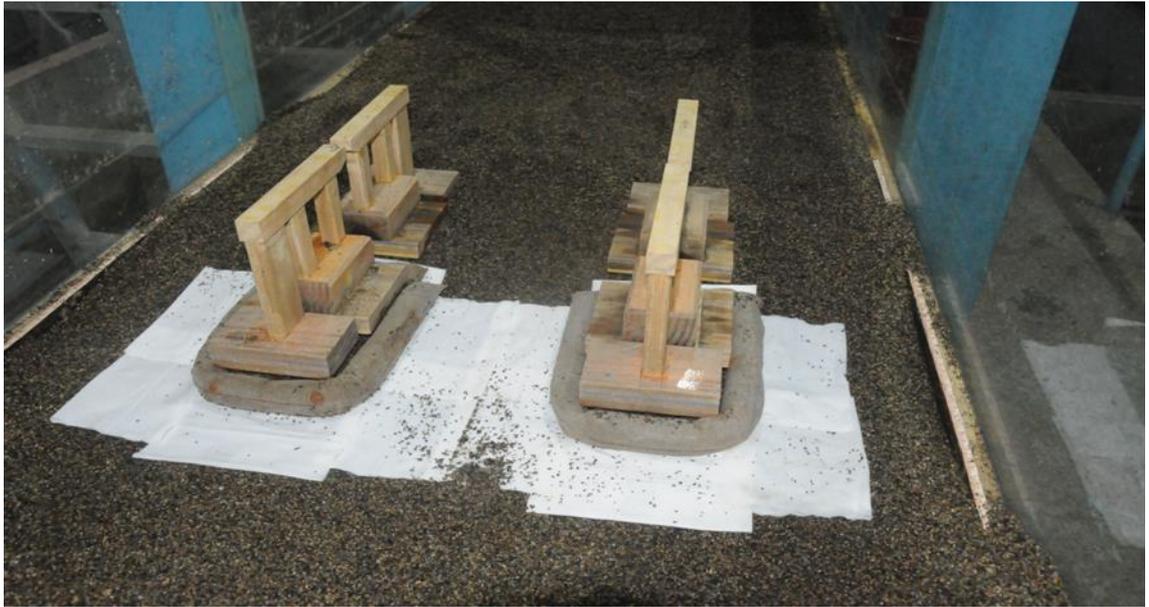


圖 2.21 一層砂腸袋+織物模板鋪設

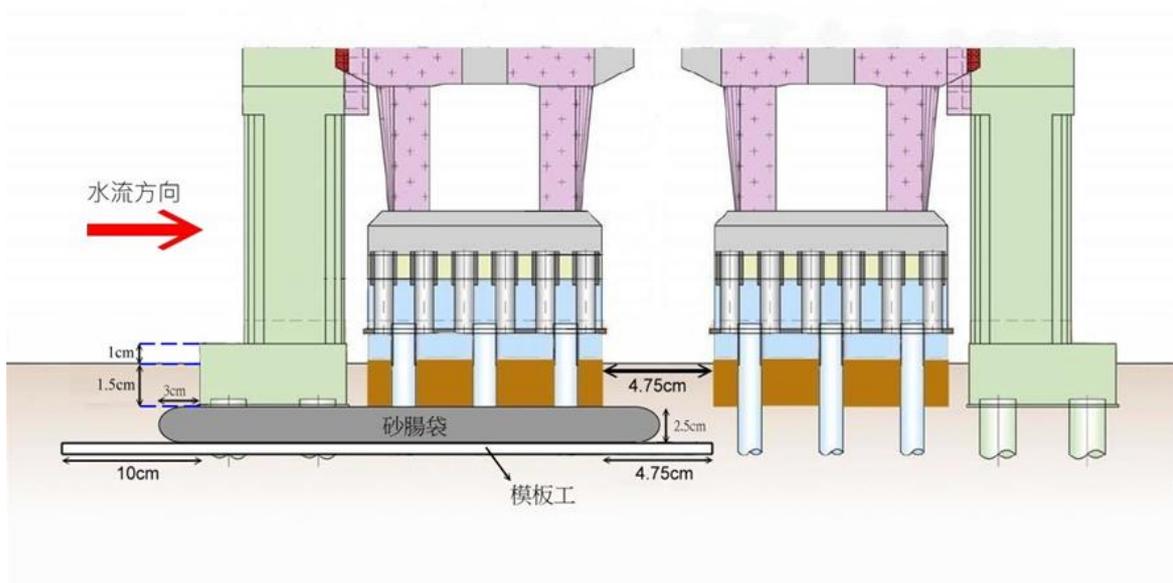


圖 2.22 一層砂腸袋+織物模板鋪設斷面示意圖

3. 在平面水工模型試驗部分，試驗結果顯示，在下游潛堰維持現況之情境下，中沙大橋在 50 年之洪水流量沖刷下，橋墩基礎應無安全疑慮。
4. 在無下游潛堰固床工保護，且假設下游水利署第 4 河川局編號第 55 河床斷面高程下降 3 公尺的情境下，上游中沙大橋遭遇

50 年之洪峰流量沖刷，橋墩基礎可能會發生換算現地最大沖刷 10 公尺之情況，已達橋基安全的臨界沖刷深度，橋梁已有安全疑慮，有必要考慮施加必要之保護工法。

5. 經由保護方案 1(保護工鋪設於橋墩補強基礎底部往下 8 公分，換算現地約 4 公尺，如圖 2.23 所示)及保護方案 2(保護工鋪設於橋墩補強基礎底部往下 13 公分，換算現地約 6.5 公尺，如圖 2.24 所示)的試驗結果顯示，方案 1 在 50 年之洪峰流量沖刷下，保護工全部裸露，因本試驗無法模擬現地材料的磨損破壞，爰此，保守評估於現地保護工應已破壞。而方案 2 在 50 年之洪峰流量沖刷下，大部分橋墩保護工均未露出，僅部分最大沖刷橋墩露出一小部分之砂腸袋及不織布，研判方案 2 之保護工法應屬可行。



圖 2.23 方案 1 保護工佈設深度(基礎底部往下 8 公分)



圖 2.24 方案 2 保護工佈設深度(基礎底部往下 13 公分)

2.5 跨河橋梁保護工法之研究

「跨河橋梁保護工法之研究」^[12]為公路總局委託本所於民國 100 年完成之研究計畫。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，作為未來相關單位設計橋墩保護工法時之參考。

本計畫在橋墩沖刷及保護工法渠槽試驗部分，係針對固定橋墩基礎，以三種不同流量、五種保護工法(格籠工法、砂腸袋工法、潛堰固床工工法、透水混凝土塊工法、橋墩開口工法)及兩種非均勻橋墩型式，如圖 2.25 所示，進行室內渠槽試驗(斷面試驗)，藉以了解非均勻橋墩於不同流量及不同保護工法情況下，局部最大沖刷深度及沖刷範圍之關係，並研評保護工法之適用性。

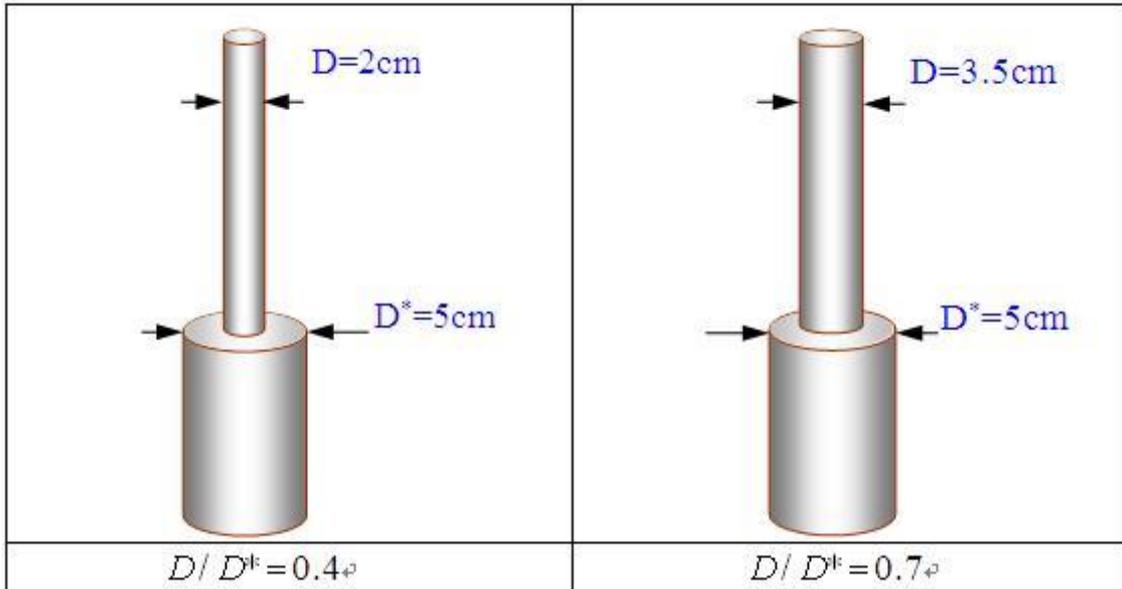


圖 2.25 試驗橋墩規格示意圖

在清水沖刷試驗且不考慮水流攻角、石頭或漂流木及工法損壞影響下，評估保護工法之保護效果、經濟性、施工難易度及耐久性等，其各評估項目評估成果如下：

1. 保護工法保護效果評估

依據保護工法渠槽試驗成果顯示，假設工法皆無損壞之情況下，其工法保護效果依序為砂腸袋工法、橋墩開口工法、格籠工法、透水混凝土塊工法、潛堰固床工工法，惟橋墩開口將造成橋墩強度下降，故需增加墩徑將使實際之防沖刷效果，恐較本次試驗數值差。

2. 保護工法經濟性評估

保護工法經濟性評估主要依據保護工法之經費預估，其中橋墩開口工法係屬新建橋墩，故費用最高，其次依序為潛堰固床工工法、透水混凝土塊工法、格籠工法、砂腸袋工法。

3. 保護工法施工難易度評估

本項目主要考量現地施工難易度，由於橋墩開口工法係屬新建橋墩，故難度最高，其次依序為潛堰固床工工法、透水混凝土塊工法、格籠工法、砂腸袋工法。

4. 保護工法耐久性評估

保護工法耐久性評估則考量材料特性，以可抗沖蝕及抗磨損為主要考量因素(耐用年限)，因潛堰固床工工法係以鋼筋混凝土製成，其穩定性與耐久性最佳，其次依序為橋墩開口工法、透水混凝土塊工法、格籠工法、砂腸袋工法。

2.6 蛇籠保護方式對橋墩局部沖刷之影響

「蛇籠保護方式對橋墩局部沖刷之影響」^[18]為周憲德教授於民國88年發表於中國土木水利工程學刊之論文，該論文針對矩形橋墩受蛇籠保護工情況下之局部沖刷進行試驗分析及探討，試驗渠道為一動床試驗水槽:長400cm、寬60cm、砂深7.4cm，渠道流況控制在亞臨界流(亦即福祿數小於1)。試驗橋墩為長12.4cm、寬4.6cm之矩形橋墩；保護橋墩之蛇籠則以長條形之不織布製成並圍繞於橋墩四周。其中影響橋墩保護效應有三個主要考量因子分別為:保護層頂端至底床高度差 z 、橋墩寬度 a_p 以及含橋墩保護層之迎水寬 a_f 。經由實驗結果得知:有蛇籠保護工之橋墩確實能減少沖刷深度，又以多階保護之方式較佳(為底部圍繞較多層且漸往上縮之型態)，其沖刷深度約可減少50%，單層保護則亦可減少20%，且在有蛇籠保護之橋墩沖刷坑之剖面變化也較為平緩。經由實驗結果比較，當蛇籠保護工低於沖刷坑則較無保護之功效，但若高於河床則會加深最大沖刷深度，故其蛇籠保護工頂層高程應位於沖刷坑內較適當。

另外，由Melville & Raudkivi所提出最大沖刷深度之推估公式中，影響橋墩局部沖刷深度以福祿數以及橋墩迎水寬為主要因子，其次為沉滓粒徑及配、橋墩形狀、水流攻角與水深。且針對圖2.26三種不均勻圓形橋墩於基礎幾何形狀對橋墩沖刷之影響提出以下幾點看法:在情況(a)近似於直徑為 a_p 之均勻圓柱基礎；而情況(b)能減少沖刷深度；情況(c)之沖刷深度會比情況(a)、(b)來的大，而情況(b)、(c)之沖刷深度其主要的影響因素為 a_p/a_f 與 z/a_p 。

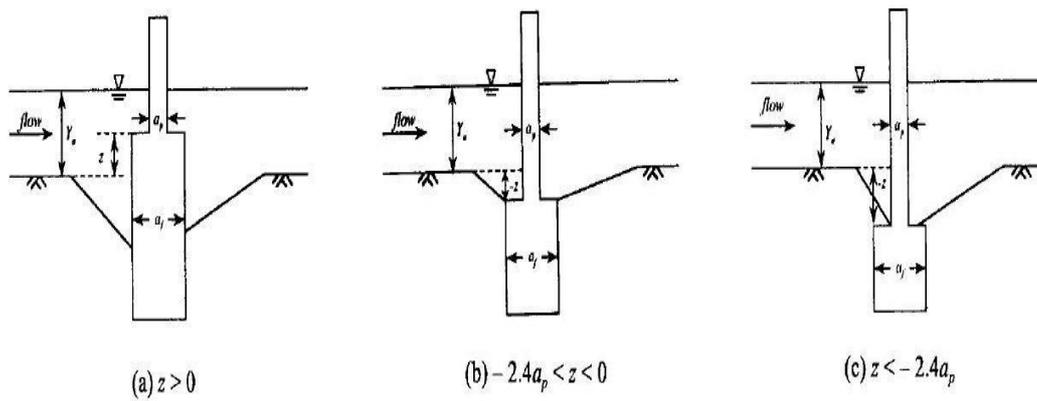


圖 2.26 不均勻圓形橋墩之三種情況

在三種不同情況之最大沖刷深度、淤積高度以及發生位置列於表 2-1，由表中可看出多階保護的狀況下可減少沖刷深度 50%，單階保護亦可減少 20%，且最大沖刷深度之位置較沒保護的情況下遠離橋墩周圍。

表 2-1 橋墩在未保護及受保護情況下之沖刷情形

	未保護 長方形橋墩	單階保護 長方形橋墩	多階保護 長方形橋墩
最大沖刷深度	43mm	35mm	20mm
位置	緊鄰橋墩前方	距橋墩前 15mm 處	距橋墩前 31mm 處
最大淤積高度	18mm	13mm	8mm
位置	距橋墩中心後 方 48mm 處	距橋墩中心後 方 61mm 處	距橋墩中心後 方 80mm 處

由圖 2.27 所示，在沖刷中心之剖面線上可看出其三者間的差異，在未保護的情況下，其沖刷較深且淤積也較高，而受保護的情況下，其沖刷深度較為平緩又以多階保護的方式較優。

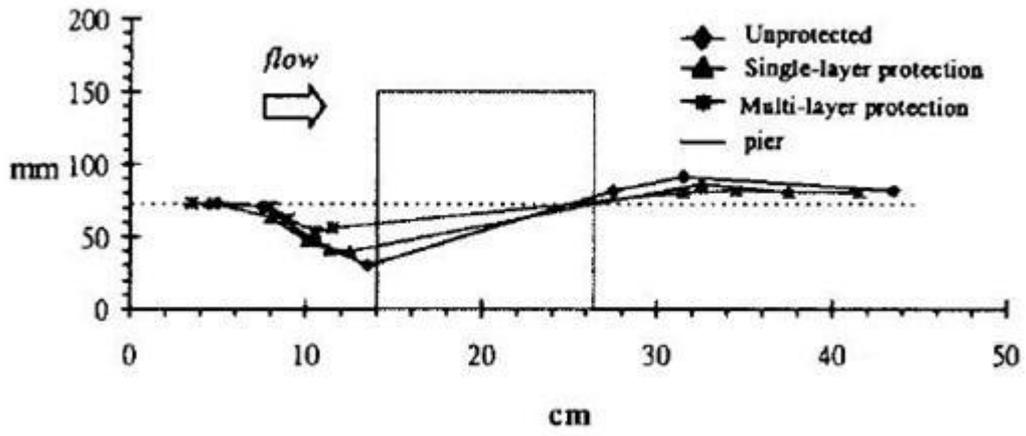


圖 2.27 不同保護情況下之沖刷剖面

第三章 橋梁基本資料

本章之基本資料主要是由國道高速公路局中區工程處大甲工務段提供之相關資料，不足之處再輔以本所蒐集之相關研究資料。

3.1 國 3 大甲溪橋基本資料

國 3 大甲溪橋位在臺中市外埔區及清水區交界處，如圖 3.1 所示，樁號起自 166 K+ 981 m 迄至 169 K + 831 m。本橋於民國 92 年竣工，總長 2,850 m，共有 68 個橋孔，橋梁基本資料如表 3-1 所示、相關工程竣工圖說如附錄一橋梁基本資料所示。



圖 3.1 國 3 大甲溪橋位置圖

表 3-1 國 3 大甲溪橋之橋梁基本資料表

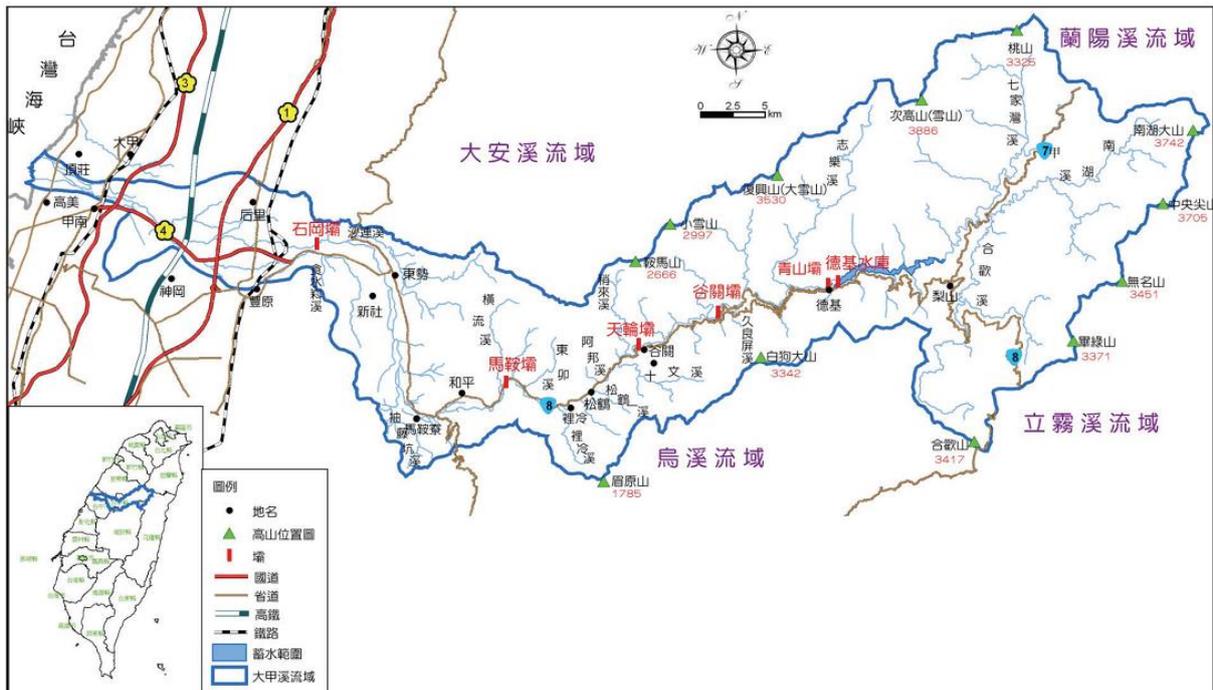
竣工 時間	民國 92 年竣工
橋梁位置 經緯度	北向： 橋頭：120.6148 °，24.3252 ° 橋尾：120.5992 °，24.3046 ° 南向： 橋頭：120.6250 °，24.3236 ° 橋尾：120.6105 °，24.3049 °
橋梁 長度	2,850 m
橋孔 數量	68 個
跨徑 長度	北向： 5@32m+3@34m+5@35m+1@38m+2@39m+7@40m+5@41m+ 2@41.5m+1@43m+8@44m+27@47m+1@50m+1@66m 南向： 1@28m+4@32m+2@32.5m+2@34m+5@35m+1@37m+4@39m+ 7@40m+5@41m+7@42m+1@43m+5@44m+27@45m+1@50m+1 @66m
基礎 形式	直接基礎與樁基礎
基礎 長度	P33R：20 m
基礎尺寸	P33R 樁帽：1100 cm×1100 cm×275 cm
基礎頂部 及 底部高程	P33R 樁帽：頂部 71.1 m，底部 68.35 m

資料來源：國道高速公路局中區工程處大甲工務段

3.2 大甲溪流域概況

大甲溪上游發源於雪山山脈之雪山(興隆山)主峰及中央山脈之南湖大山等群嶽，主流由東往西橫貫臺中縣境，於大甲區與清水區間注入臺灣海峽。本流域位處臺灣島中西部，北與大安溪為鄰，南臨烏溪，面積 1,244 平方公里，全長 124 公里，平均坡降為 1/39。

大甲溪流域之「上游」，泛指德基水庫以上之溪段，最上游為南湖溪，於松茂附近匯聚合歡溪及七家灣溪諸支流後，形成大甲溪幹流，始名大甲溪；「中游」係指德基水庫以下至馬鞍寮間之溪段，河谷受山勢挾制，幹流兩側有眾多支流來匯；「下游」則指馬鞍寮以下至河口間之溪段，幹流流出馬鞍寮後，河谷開始展寬，幹流再轉向北流經過東勢、石岡後轉向西流，始進入平原地帶，如圖 3.2 所示。



資料來源：「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總報告」^[17]經濟部水利署，2016.01

圖 3.2 大甲溪流域概況圖

3.3 河段特性

依據經濟部水利署水利規劃試驗所民國 99 年「大甲溪治理規劃檢討(天輪壩至河口河段)」^[16]，大甲溪於國 3 大甲溪橋鄰近河段之河川特性包括河道治理參數、河床質粒徑、洪水量及河段沖淤變化等整理如表 3-2~表 3-4 及圖 3.3 所示。由表 3-2 顯示，國 3 大甲溪橋之縱波降 1/88，100 年回歸期計畫洪峰流量為 10,300 cms。由表 3-3 顯示，國 3 大甲溪橋的臨近河床質代表粒徑 D_{50} 為 130.6 mm，平均粒徑 D_m 為 102.8 mm。

表 3-2 國 3 大甲溪橋河段之河道治理參數表

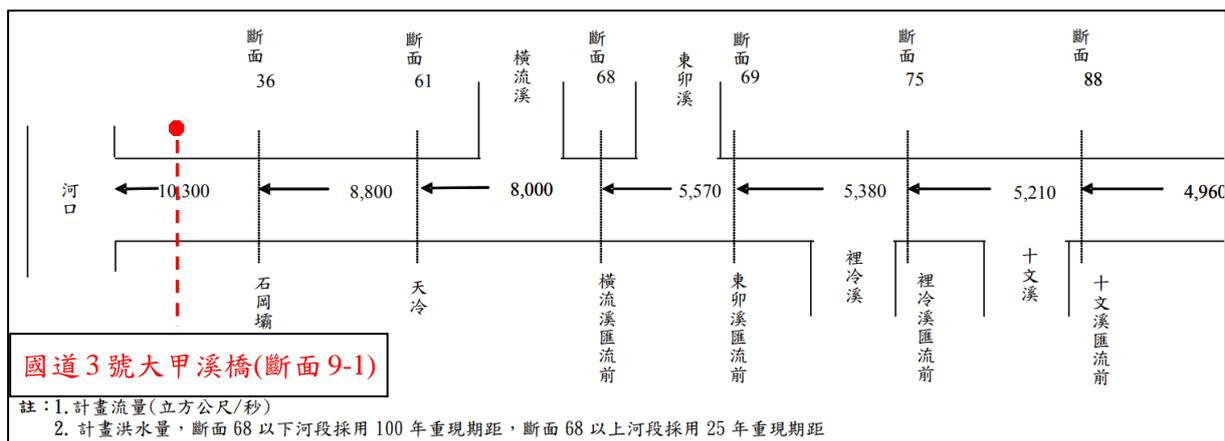
河川別	大甲溪	河川斷面編號	9-1
現況橋梁長	2850 m	計畫河寬	660 m
現況梁底高	EL 97.84-109.97 m	計畫堤頂高	EL 78.1 m
縱波降	1/88	計畫洪水位 Q_{100}	-
河道曼寧粗糙係數 n	0.04	計畫流量 Q_{100}	10,300 cms

資料來源：「大甲溪治理規劃檢討(天輪壩至河口河段)」^[16]，經濟部水利署，2010.03
及本研究整理

表 3-3 國 3 大甲溪橋臨近斷面河床質平均粒徑及代表粒徑

斷面	代表粒徑 (mm)			平均粒徑 D_m (mm)	泥砂含量(%)
	D35	D50	D65		
5	38.1	84.2	146.3	76.8	20.0
9	70.3	130.6	--	102.8	17.8
13	60.1	81.3	--	100.3	18.3

資料來源：「大甲溪治理規劃檢討(天輪壩至河口河段)」^[16]，經濟部水利署，2010.03



資料來源：「大甲溪治理規劃檢討(天輪壩至河口河段)」^[16]，經濟部水利署，2010.03

圖 3.3 大甲溪主流域各河段洪水量分配圖

表 3-4 國 3 大甲溪橋鄰近河段沖淤比較表

斷面 編號	河心距 (公尺)	河床平均高(公尺)					平均河床高程差(m)			
		82年	87年	89年	94年	97年	87-82	89-87	94-89	97-94
5	3777	38.54	36.58	34.12	32.92	36.37	-1.96	-2.46	-1.20	3.45
6	4467	43.44	46.72	44.22	43.30	43.93	3.28	-2.5	-0.91	0.63
7-1(臺1線大甲溪橋)	5384	55.38	58.50	55.24	55.19	54.49	3.12	-3.26	-0.05	-0.70
7-2(海線鐵路橋(上))	5511	59.27	58.21	57.15	56.82	56.18	-1.06	-1.06	-0.33	-0.64
8	5781	60.76	60.00	60.31	58.00	57.61	-0.76	0.31	-2.31	-0.39
9	6313	66.38	66.89	66.24	64.85	64.60	0.51	-0.65	-1.39	-0.25
9-1(國3大甲溪橋)	6574	70.08	69.85	69.32	70.41	70.79	-0.23	-0.52	1.09	0.38
10	6865	74.20	73.14	72.76	71.72	71.11	-1.06	-0.38	-1.03	-0.72
11	7372	79.44	77.94	76.11	75.57	75.98	-1.50	-1.83	-0.54	0.41

資料來源：「大甲溪治理規劃檢討(天輪壩至河口河段)」^[16]，經濟部水利署，2010.03

第四章 國內外橋墩保護工法資料彙整

4.1 橋墩沖刷機制概述

橋梁墩柱安全之最主要考量在於防止河床高程下降，避免橋墩基礎之裸露而危及橋梁安全。本節著重於橋墩沖刷的機制探討，這些內容雖然可在過去的相關報告中查詢，然而，由於研究成果不斷地更新，以及實務分析經驗的累積，許多國外的橋墩沖刷分析手冊內容，亦不斷地進行修正與更新。在美國，分析橋墩沖刷最有系統性的手冊為美國聯邦高速公路署的 Hydraulic Engineering Circular No.18^[6](以下簡稱 HEC-18)。然而，近幾年 HEC-18 就有四個版本，每個版本在橋墩沖刷實務分析作法上，都有很大的改變。本節主要蒐集美國聯邦高速公路署 HEC-18 手冊第三版(1995)與第四版(2001)的內容，並搭配其他文獻，概要說明橋墩沖刷機制。

具有橋墩的河段，總沖刷量(Total scour)包含長期沖淤量(Long-term aggradation or degradation)、束縮沖刷(Contraction scour)、局部沖刷(Local scour)、深水槽側向位移(lateral migration of the channel)。因此，計算總沖刷量模式，可表示為總沖刷量=長期沖刷量+束縮沖刷+局部沖刷+深水槽側向位移。

1. 長期沖刷量

在單一洪水事件期間，河川可能會在特定位置發生局部沖刷。然而，河川也會在某個較長的河段範圍中，有長期的河床沖刷下降趨勢；本項目的長期沖刷量係考量在橋梁工程壽命內，所發生的長期河床高程下降變化。

2. 束縮沖刷

發生在自然河道或橋梁斷面的束縮沖刷現象，會移除河床與河岸的泥砂。束縮沖刷起因於通水面積的束縮，造成通過橋梁流速與河床剪

應力的增加。

實際上，橋梁侵入灘地或河道而導致洪流束縮，係最常見的束縮沖刷情形。束縮沖刷包含清水流束縮沖刷與含砂流束縮沖刷兩種情況；含砂流束縮沖刷係發生在靠近束縮的河段，有泥砂運移的現象；清水流束縮沖刷係發生在靠近束縮的河段，沒有泥砂運移的狀況，或是上游段運移的泥砂過細。含砂流束縮沖刷常出現在洪水流量上升的階段，而沖刷坑的回淤則發生於退水階段。

此外，在中低流量的清水流束縮沖刷，會在高流量時，轉變為含砂流束縮沖刷。這種交替發生的自然情況，往往會在洪水過後的束縮沖刷量測工作中，產生了困難。

從連續方程式的觀點，當流動面積減少，會造成束縮河段平均流速與河床剪應力的增加。因此，束縮河段的沖刷力增加，造成從束縮河段所移除的泥砂量大於進入該河段的量。然而，泥砂大量移除將造成河床下降；而正值河床下降的同時，通水面積便再度恢復增加，流速與剪應力減少，直到達到相對平衡的狀態。亦即，達到進入該河段的泥砂量等於該河段所移除的泥砂量；或是河床剪應力減少，達到沒有泥砂由此河段運移的情況。其他可能造成束縮沖刷的情況包含自然河道束縮、橋梁上下游有河中砂洲形成、漂流木阻塞、河中植物、泥砂淤積形成的自然堤防...等。

3. 局部沖刷

局部沖刷係指發生在橋墩、橋台、丁壩或河岸等的河床質移除現象。由於水流加速以及水流通過結構所形成的渦流，而導致局部沖刷。局部沖刷也包含清水流與含砂流兩種流況。其中，含砂流局部沖刷是自然的循環過程，沖刷坑在洪水上升階段發生，沖刷坑的回淤在退水階段發生。如圖 4.1 所示，對於像橋墩這種結構物，靠近橋墩的水流會被轉向底床並再度捲起，在結構前端面的周圍產生馬蹄形渦流(horseshoe vortex)；這種渦流會加劇局部流速，與造成沖刷坑的泥砂沖刷。此外，由於水流從橋墩側邊分離所造成的尾跡渦流(wake vortices)

也會沖刷底床。

在沖淤過程中，最深的沖刷主要發生在結構物上游面，係因為馬蹄形渦流(horseshoe vortex)所造成的沖刷。從沖刷坑所運移的泥砂通常會向結構物的下游面淤積，造成高程比周圍的河床還高。而尾跡渦流(wake vortices)係藉由水流而向下游傳輸，可以形成若干個相似的縱向沖刷坑。如果有其他下游結構物位於第一座結構物所形成的尾跡渦流(wake vortices)影響範圍中，則這種型態的沖刷就必須要被考量。

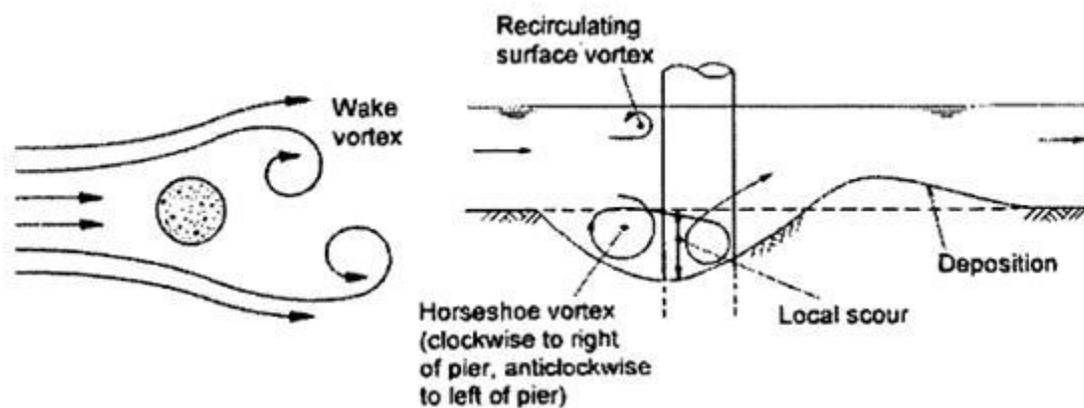


圖 4.1 圓柱形橋墩的局部沖刷與渦流

資料來源：Manual on scour at bridges and other hydraulic structures^[1]

隨著局部沖刷深度的增加，馬蹄形渦流的強度會逐漸降低，從而減少在基礎位置的輸砂率。最後，對含砂流局部沖刷而言，平衡狀態係在泥砂流入與流出之間重新建立，以及沖刷現象的停止。對清水流局部沖刷而言，沖刷停止係發生在當馬蹄形渦流產生的剪應力，等於或小於沖刷坑底部泥砂的臨界剪應力。

影響局部沖刷的各種因子，依據美國聯邦高速公路署 HEC-18 手冊，局部沖刷受以下若干項目影響，概述如下：

① 流速

流速越高則沖刷深度越深。故流況屬於超臨界流或亞臨界流，對於其沖刷特性，是有很高的影響性。

②水深

水深增加，會增加沖刷深度的 2 倍或者更高。

③橋墩寬度

橋墩寬度會直接影響沖刷深度。當橋墩寬度增加，沖刷深度隨之增加。然而，橋墩寬度增加，造成沖刷深度增加是有其限制，當橋墩寬度超過 10 公尺時，通常不會像沖刷公式的預測值那樣深。

④橋墩長度

若橋墩與流向一致，則橋墩長度對沖刷深度並無明顯影響。若橋墩與流向偏斜(如圖 4.2 所示)，則橋墩長度才會對沖刷深度有明顯的影響。例如，橋墩長度增加一倍，會造成沖刷深度增加 30~60%(與攻擊角的角度有關)。

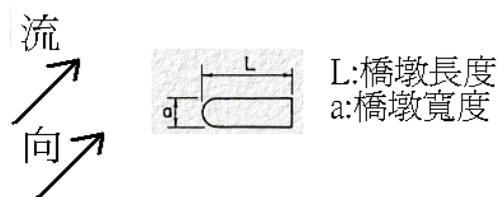


圖 4.2 橋墩長度與流向的關係圖

⑤攻擊角的角度

如同前述橋墩長度效應的說明，橋墩或橋台的攻擊角對於局部沖刷有顯著的影響效果。依據 Ahmad 的工作經驗，就如同分析丁壩角度對於壩頭局部沖刷的影響，當結構向下游傾斜 45 度角，最大沖刷深度可減少 20%；反之，當結構向上游傾斜 45 度角，最大沖刷深度會增加 10%。

⑥河床質大小

屬於砂質範圍(sand-size)的河床質對於局部沖刷深度的值較無明顯影響。同樣地，會被水流或渦流所運移的粗顆粒泥砂，也不會影響最大沖刷深度的值，所影響的僅是達到最大沖刷深度的時間。

但是，對於粗礫石(coarse gravels)、卵石(cobbles)或塊石(boulders)等非常大顆粒的河床質，則可能會在沖刷坑發生護甲效應。

沉泥(silts)與黏土(clays)等細顆粒河床，也會有如同砂質河床一樣深的沖刷坑。細顆粒材料的凝聚性僅是影響達到最大沖刷深度的時間。量測砂質河床的沖刷深度係以每小時為單位，且單一洪水事件就可能達到最大沖刷深度。對於細顆粒河床，則需要更久的時間才會達到最大沖刷深度，且可能需要經歷若干場洪水事件。

⑦橋墩與橋台的形狀

橋墩或橋台先端部的形狀，對於沖刷深度有相當的影響。流線型的橋墩前端，可減少馬蹄形渦流的強度，也因此減少橋墩沖刷。流線型的橋墩下游端，可減少尾跡渦流(wake vortices)的強度。

⑧河床型態

砂質河川的河床型態會影響局部沖刷規模。河床型態包含砂紋(ripples)、砂壟(dunes)、平整河床(plane bed)與砂浪(antidunes)等。而河床型態與粒徑分布、水力特性、流體黏滯性有關。在洪水事件的流量上升過程中，河床型態可能由砂壟(dunes)轉變為平整河床(plane bed)或砂浪(antidunes)；在洪水流量減少過程中，河床型態也可能會恢復。此外，當水溫改變或是沉泥(silts)與黏土(clays)等懸移質濃度發生變化時，河床型態也可能改變。當河床型態改變，將影響流速、輸砂率與沖刷特性。

⑨漂流木淤積

漂流木淤積會形同增加橋墩寬度，改變橋墩與橋台的形狀，增加橋台的投影長度，以及導致上下游水位落差，水流猛落；如此便加劇局部沖刷與束縮沖刷。在沖刷公式中，藉由估算漂流木淤積所造成的橋墩寬度增加或橋台長度延長等，以考量漂流木淤積效應。漂流木淤積所造成的束縮沖刷，可由束縮沖刷公式中，估算其流動阻礙量(橋墩跨距的減少寬度)，以反應對於束縮沖刷的影響。

4.2 國內橋墩及橋基保護工受損情形

本節主要參考交通部公路總局 94 年「河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究」^[7]及 98 年「公路總局莫拉克颱風 52 座受災橋梁災害蒐集與致災原因初步研判」^[8]報告調查國內橋墩及橋基保護工的受損情形，其資料彙整如表 4-1，其中包括民國 89 年 8 月 27 日碧利斯颱風的沖刷，造成臺 1 線高屏大橋橋墩 P22 之崩塌，導致橋面塌落高屏溪；民國 90 年 7 月 30 日桃芝颱風造成大規模之土石流災害，導致臺 21 線與 149 縣道沿線及附近多座橋梁毀損或破壞流失；民國 93 年 7 月 2 日敏督利颱風造成濁水溪中沙大橋柔性堰向源侵蝕，致使柔性堰潰決；民國 94 年 7 月 18 日海棠颱風造成大甲溪縱貫山線鐵路橋橋墩 P4~P6 沖刷裸露達 6~14 公尺；民國 97 年 9 月 14 日辛樂克颱風造成后豐橋斷事件，造成兩輛汽車墜落大甲溪；民國 98 年 8 月 6 日莫拉克風災中造成南部眾多橋梁受損及損毀。

表 4-1 國內各地之橋基與保護工的受損情形及受損原因一覽表

日期	橋梁名稱	所在路線	所在流域	橋基型式	橋基保護工形式	受災項目	受損原因
87.3.3	自強大橋	臺19線	濁水溪	PC基樁	(橋址)蛇籠工;(下游側)剛性堰及蛇籠工	(PC基樁)橋墩	開挖導水路引致水流匯聚於導水路而淘深並刷寬河槽、側向侵蝕
87.5.9 梅雨季洪水	霍薩溪橋	神木村村道 南投縣信義鄉	出水溪與 郝馬嘎班 溪會合處	沉箱	無	上部結構	土石流淤積之推移作用
87.6.7 梅雨季洪水	牛眠橋	臺21線	眉溪	擴展基腳	無	橋梁(上部結構 與下部結構)	擴展基腳之貫入深度相當不足
87.6.9 梅雨季洪水	自強大橋	臺19線	濁水溪	PC基樁	(橋址)蛇籠工;(下游側)剛性堰及蛇籠工	保護工	梅雨洪水匯聚於導水路而再持續地淘深並刷寬河槽、側向侵蝕
87.8.5 奧托颱風	里嶺大橋	臺22線	高屏溪	沉箱、PC基樁 (高灘地之部分橋基)	(橋址)蛇籠工;(下游側)剛性堰及蛇籠工	(沉箱)橋基	側向侵蝕引至下游側第十九號之沉箱基礎下陷
87.10.16 瑞伯颱風	新興大橋	村道 新竹縣橫山道	油羅溪	沉箱	(橋址)混凝土護坦工;(下游側)混凝土消能堰	保護工	跌水沖刷
87.10.16 瑞伯颱風	油羅溪大橋	臺3線	油羅溪	沉箱	(橋址)蛇籠工	(沉箱)橋基、保護工	水躍沖刷、側向侵蝕、流石撞擊磨損
87.10.16 瑞伯颱風	竹東大橋	臺3線	上坪溪	沉箱	(橋址)蛇籠工	(沉箱)橋基、保護工	流石撞擊磨損、水躍沖刷、
87.10.16 瑞伯颱風	竹林大橋	縣123線	頭前溪	沉箱	(橋址)混凝土護坦工;(下游側)格地樑	下游側保護工	水躍沖刷、側向侵蝕
87.10.16 瑞伯颱風	中正大橋	竹48線	頭前溪	沉箱	(橋址)混凝土護坦工;(下游側)混凝土消能池	保護工	跌水沖刷、側向侵蝕

表 4-1 國內各地之橋基與保護工的受損情形及受損原因一覽表(續)

日期	橋梁名稱	所在路線	所在流域	橋基型式	橋基保護工形式	受災項目	受損原因
87.10.16 瑞伯颱風	中山高頭 前溪橋	國道1號	頭前溪	沉箱、全套管基 樁(擴建部分)	(橋址)頂塊排置 工;(下游側)柔性堰	(沉箱及全套式樁) 橋基、保護工	側向侵蝕
87.10.16 瑞伯颱風	頭前溪大 橋	臺1線	頭前溪	沉箱、全套管基 樁(歷年修復部 分)	(橋址)蛇籠工、倒流 護岸工;(下游側)柔性 堰、護岸導流工	(沉箱)橋基、保護 工	側向侵蝕
87.10.16 瑞伯颱風	舊汶水橋	鄉道(苗栗縣 獅潭鄉)	汶水溪	擴展基腳	無	橋梁上、下部結構	擴展基腳之貫入深度相對 不足
87.10.16 瑞伯颱風	西螺大橋	縣145線	濁水溪	沉箱	(橋址)蛇籠工;(下游 側)柔性堰(含護岸)、 蛇籠工	下游側保護工	(中油管線保護工所引起 之)束縮沖刷、填縫料吸出 流失
87.10.16 瑞伯颱風	自強大橋	臺19線	濁水溪	PC基樁	(橋址)蛇籠工;(下游 側)剛性堰及蛇籠工	保護工	側向侵蝕、束縮沖刷、水躍 沖刷
87.10.16 瑞伯颱風	心上橋	鄉道(嘉義縣 中埔鄉)	八掌溪	反循環基樁	(下游側)柔性堰	保護工	側向侵蝕
87.10.16 瑞伯颱風	北里橋	村道(臺東太 麻里鄉)	太麻里溪	沉箱	(橋台四周)混凝土牆 圍繞工	橋台保護工	橋台伸入河道所引起之束 縮沖刷
89.8.27碧利 斯颱風	西螺大橋	縣145線	濁水溪	沉箱	(橋址)蛇籠工;(下游 側)柔性堰(含護岸)、 蛇籠工	橋址及下游側保 護工	填縫料流失、束縮沖刷、向 源侵蝕
89.8.27碧利 斯颱風	自強大橋	臺19線	濁水溪	PC基樁	(橋址)蛇籠工;(下游 側)剛性堰及蛇籠工	保護工	束縮沖刷、向源侵蝕
89.8.27碧利 斯颱風	高屏大橋	臺1線	高屏溪	PC空心方柱樁、 沉箱	蛇籠工、消能用之混 凝土塊	橋梁倒塌、蛇籠工	水躍沖刷→束縮沖刷

表 4-1 國內各地之橋基與保護工的受損情形及受損原因一覽表(續)

日期	橋梁名稱	所在路線	所在流域	橋基型式	橋基保護工形式	受災項目	受損原因
98.11.1 象神颱風	竹東大橋	臺3線	上坪溪	沉箱	(橋址)蛇籠工	保護工	流石撞擊磨損、水躍沖刷
98.11.1 象神颱風	里嶺大橋	臺22線	高屏溪	PC基樁、沉箱	蛇籠工	蛇籠工	水躍沖刷
90.07.30 桃芝颱風	十八重溪橋	臺21線 新中橫公路	十八重溪	沉箱基礎	無	A2橋台崩陷、橋孔阻塞、上構位移錯開	土石流所造成之挑流效應、堆積頂托作用
90.07.30 桃芝颱風	陳有蘭溪橋	臺21線 新中橫公路	陳有蘭溪	沉箱基礎	無	橋梁上構全部流失、墩柱受損	土石流所造成之挑流效應、堆積頂托作用
90.07.30 桃芝颱風	筆石橋	臺21線 新中橫公路	筆石溪	沉箱基礎	無	A2橋台與部分橋梁流失	土石流所造成之挑流效應、堆積頂托作用
90.07.30 桃芝颱風	望鄉橋	臺21線 新中橫公路	阿里不動溪	沉箱基礎	無	A2橋台與部分橋梁流失	土石流所造成之挑流效應、堆積頂托作用
90.07.30 桃芝颱風	松泉橋	臺21線 新中橫公路	和社溪	無 (單跨徑)	無	橋梁全部流失	土石流所造成之挑流效應、堆積頂托作用
90.07.30 桃芝颱風	神和橋	臺21線 新中橫公路	和社溪	擴展基腳	混凝土包墩及導流牆	橋梁全部流失	土石流所造成之挑流效應、堆積頂托作用
90.07.30 桃芝颱風	愛玉橋	臺21線 新中橫公路	野溪	無 (單跨徑)	無	橋梁全部被埋淤	土石流所造成之挑流效應、堆積頂托作用
90.07.30桃 芝颱風	初鄉橋	縣151線	東埔蚋溪	擴展基腳	無	橋孔阻塞、A1引道沖毀破壞、梁身破裂	土石流所造成之挑流效應、堆積頂托作用
90.07.30桃 芝颱風	瑞草橋	縣149乙線	清水溪	沉箱基礎	無	P3、S3、P4沖毀流失	土石流所造成之撞擊作用、洪水沖刷
90.07.30桃 芝颱風	瑞興橋	縣149線	加走寮溪	沉箱基礎	無	P1、S1、S2沖毀流失	土石流所造成之撞擊作用

表 4-1 國內各地之橋基與保護工的受損情形及受損原因一覽表(續)

日期	橋梁名稱	所在路線	所在流域	橋基型式	橋基保護工形式	受災項目	受損原因
90.07.30 桃芝颱風	龍門大橋	投53線	清水溪	全套管裝 基礎	無	A1~A6橋孔阻塞	土石流之淤積頂托作用而 阻塞橋孔
90.07.30 桃芝颱風	中二高濁 水溪橋	國道3號	濁水溪	全套管裝 基礎	無	P24~P29橋基 裸露	河岸崩塌之側向侵蝕、下游 河道之砂石開採效應
90.07.30 桃芝颱風	西螺大橋	縣145線	濁水溪	沉箱基礎	(橋址)蛇籠工;(下 游側)柔性堰(含護 岸)、蛇籠工	下游側保護工	柔性堰中間段沖失,深槽河 床高程再下降2~4公尺,橋 基裸露更為嚴重
90.07.30 桃芝颱風	高美大橋	縣184乙線	荖濃溪	沉箱基礎	蛇籠工	P10~P12蛇籠工沖 毀、橋基嚴重裸露	橋址上游側左岸高灘地之 崩塌後退而引至側向侵蝕
90.07.30 桃芝颱風	筏子溪鐵 路橋	山線鐵路	筏子溪	沉箱基礎	無	A2橋台及路堤翼 牆沖損破壞	束縮沖刷(橋台與路堤伸入 河道影響通水寬度)
90.07.30 桃芝颱風	東門橋	縣136線	早溪	擴展基腳	無	P3橋墩倒塌、S3崩 落	束縮沖刷(低水護岸之設 置)、局部沖刷(水流攻角效 應)
93.7.2~5 敏督利颱風 及西南氣流	六龜大橋	臺27線	荖濃溪	沉箱基礎	無	P2下游側下陷	彎道沖刷及水流與橢圓形 沉箱具攻角效應之局部沖 刷
93.7.2~5 敏督利颱風 及西南氣流	里港大橋	臺3線	荖濃溪	P20~P24皆為全 管裝基礎;其餘 沉箱基礎(上游 側)、15長之PC 樁基礎(下游側)	鼎型塊、蛇籠工護 岸與固床工	上游側右岸持續崩 塌而影響基礎裸露	上游側右岸持續崩塌後退, 水流將會由P19~P12之間 的高灘地繞流通過

表 4-1 國內各地之橋基與保護工的受損情形及受損原因一覽表(續)

日期	橋梁名稱	所在路線	所在流域	橋基型式	橋基保護工形式	受災項目	受損原因
93.7.2~5 敏督利颱風 及西南氣流	中沙大橋	國道1號	濁水溪	全套管裝 基礎(新) PC樁基礎 (舊)	托底工法、柔性堰 (固床工)	柔性堰潰決	向源侵蝕(源自於西螺大橋 柔性堰潰決於逃之颱風之 刷深)跌水與水躍沖刷發生 於柔性堰下游側
93.7.2~5 敏督利颱風 及西南氣流	烏溪橋	臺3線	烏溪	P1~P8皆為 全套管裝 基 礎;P9~P15 沉箱基礎	P10周邊施設排樁工 法,其他別無	P9~P11沖刷裸露 4~6公尺	彎道沖刷、及具水流攻角 效應之局部沖刷
93.8.26 艾莉颱風	油羅溪大 橋	臺3線	油羅溪	沉箱基礎	蛇籠護岸、護坦工、 混凝土塊固床工	P5~P6沖刷裸露達 8.5~9.5公尺	護坦工下游端插入河床內 之深度不足,於洪水之跌水 與水躍沖刷下,淘空護坦工 基礎而至局部沖毀
93.8.26 艾莉颱風	篤銘橋	臺8線	大甲溪	沉箱基礎 與橋台	無	橋台沖刷翼牆崩 陷	上游側彎道之水流頂沖凹 岸效應
93.8.26 艾莉颱風	蘭勢大橋	臺3線	大安溪	沉箱基礎	無	P9~P12沖刷深度 達4~7.5公尺	上游側右岸因卓蘭堤防潰 決形成彎道,導引彎曲流路 頂衝P9~P12之間造成一般 沖刷
93.8.26 艾莉颱風	龜山橋	臺6線	後龍溪	沉箱基礎	蛇籠護岸、PC護坦工	P2下陷	上游側彎道之水流頂沖凹 岸效應

表 4-1 國內各地之橋基與保護工的受損情形及受損原因一覽表(續)

日期	橋梁名稱	所在路線	所在流域	橋基型式	橋基保護工形式	受災項目	受損原因
94.7.18~21 海棠颱風及 西南氣流	高屏溪舊 鐵路橋	舊南鐵路	高屏溪	沉箱基礎	無	P9~P11沖毀崩落	河岸側向侵蝕所形成之一般沖刷、局部沖刷
94.7.18~21 海棠颱風及 西南氣流、 94.8.5 瑪莎颱風	甲仙大橋	臺20線與臺21線 共線	旗山溪	擴展基腳(淺 基礎)	RC護坦工(尾端設 有尾檻、惟無消能 工)	P3之淺基礎已局 部淘空	RC護坦工無消能設施,無法減煞護坦工下游測之跌水與水躍沖刷而致淘空護坦工基礎引致護坦工之局部破裂及橋基沖刷
94.7.18~21 海棠颱風及 西南氣流、 94.8.5 瑪莎颱風	縱貫山線 鐵路(雙軌) 大甲溪橋	縱貫山線鐵路	大甲溪	沉箱基礎	攔砂堰	P4~P6沖刷裸露達 6~14公尺	攔砂堰之消能工不足、跌水與水躍沖刷造成水流下切於易吸水崩解之泥頁岩而形成峽谷狀
94.7.18~21 海棠颱風及 西南氣流、 94.8.5 瑪莎颱風	南迴鐵路 知本溪橋	南迴鐵路	知本溪	沉箱基礎	鼎型塊陣列佈設 於P1~P7；P8~P11 的下游側	P7~P8沖刷裸露達 7~ 8.2公尺	P7~P8之間原為未施設保護工之高灘地而形成弱勢面、下游河道有採砂
94.7.18~21 海棠颱風及 西南氣流、 94.8.5 瑪莎颱風	里港大橋	臺3線	荖濃溪	P20~P24皆為 全套管裝基 礎;其餘沉箱 基礎(上游 側)、PC樁基礎 (下游側)	鼎型塊、蛇籠護岸 與固床工	上游側右岸持續 崩塌而影響基礎 裸露	上游側右岸持續崩退已使原P19~P12高灘地變成深槽

表 4-1 國內各地之橋基與保護工的受損情形及受損原因一覽表(續)

日期	橋梁名稱	所在路線	所在流域	橋基型式	橋基保護工形式	受災項目	受損原因
98.8.6 莫拉克颱風	新旗尾橋	臺28線	旗山溪	樁基礎	-	S17橋面版傾斜； S18與A2橋台流失	沖刷損毀
98.8.6 莫拉克颱風	旗尾橋	臺28線	旗山溪	沉箱基礎	-	均已流失	沖刷損毀
98.8.6 莫拉克颱風	雙園大橋	臺17線	高屏溪	樁基礎	-	S2~S16流失約459 公尺	沖刷損毀
98.8.6 莫拉克颱風	建山二橋	臺20線	荖濃溪	無	-	橋面版均已流失	土石流沖毀
98.8.6 莫拉克颱風	寶來二橋	臺20線	荖濃溪	樁基礎	-	A2橋台及S6沖毀	土石流沖毀
98.8.6 莫拉克颱風	四德橋	臺21線	旗山溪	直接基礎	-	S2~S4流失200公 尺	沖刷損毀
98.8.6 莫拉克颱風	月兒橋	臺21線	旗山溪	無	-	均已流失	沖刷損毀
98.8.6 莫拉克颱風	民生大橋	臺21線	旗山溪	直接基礎	-	均已流失	沖刷損毀
98.8.6 莫拉克颱風	六龜大橋	臺27甲線	荖濃溪	沉箱基礎	-	S1~S3流失約115.5 公尺	沖刷損毀
98.8.6 莫拉克颱風	六龜三號 橋	臺27甲線	荖濃溪	無	-	均已流失	沖刷損毀
98.8.6 莫拉克颱風	新發大橋	臺27線	荖濃溪	直接基礎	-	均已流失	沖刷損毀

4-13

資料來源：1.河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究^[7]

2.公路總局莫拉克颱風 52 座受災橋梁災害蒐集與致災原因初步研判^[8]

4.3 國內保護工法資料彙整

本節主要蒐集國內常見之各種橋墩保護工法，依據交通部公路總局 94 年「河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究」^[7]報告內容，一般臺灣西部地區橋梁所使用之橋基保護工型式可分類為：柔性攔砂堰工法、剛性攔砂堰工法、蛇籠工法、拋石工法、混凝土護坦工法、混凝土排置工法及河道治導工法等，其各工法說明概述如下：

1. 柔性攔砂堰工法

柔性攔砂堰工法係利用數量相當多之巨大混凝土長方塊以鋼筋連結相鄰兩列並交錯排開(間距為 50cm 最為頻繁)，長方塊邊長一般介於 2~5m 之間(如圖 4.3)。此工法通常構築於跨河橋梁下游不遠處，一般柔性攔砂堰各混凝土塊之上游至下游端頂面高程大多採用逐階下降，惟攔砂堰下游處須設置消能池(護坦工)，以防止因跌水造成下游河床沖刷，使得堰體崩壞。

柔性攔砂堰適用於礫石型河床，此工法具有攔阻砂石，達到河床砂石回淤之功能，間接達到河床整治的效果，惟柔性攔砂堰之興建涵蓋區域較廣，工程經費較高。

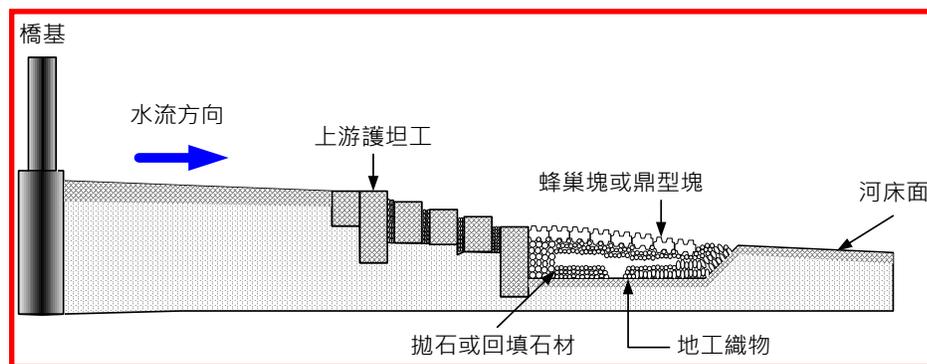


圖 4.3 柔性攔砂堰工法示意圖

2. 剛性攔砂堰工法

剛性攔砂堰工法所採用之基礎型式大致分為基樁式及重力式兩種，所謂基樁式主要的剛性堰體是以樁基礎作支撐，重力式即是採用堰體自重座落在堅固之河床上(如圖 4.4)。此工法主要可穩定河床，防止河床下降，因此僅能防止河床一般沖刷，雖穩固河床可減緩河道坡降、降低流速，間接達到消減橋墩周邊局部沖刷深度。此外，剛性堰後方消能池之消能效率及穩定性，則為此保護工設計之重點，若消能池遭沖刷破壞，將產生向源侵蝕，導致上游端堰體破壞或基礎掏空，堰體上游河床質流失，進而危及上游橋梁，此現象之沖刷情形將比未施作保護工之自然河道更為嚴重。故剛性攔砂堰消能池尾端下方之截水牆施設，將延長地下水滲流與管湧之路徑。並可防止下游河床因跌水、水躍沖刷而下降，甚至產生向源侵蝕，以防護堰體的基腳免於淘空而傾毀。

剛性攔砂堰適用於卵礫石河床或泥頁岩石河床，此工法使用年限較長具有全面攔阻砂石，達到河床砂石回淤之功能，間接達到河床整治的效果，惟易造成下游砂源填補不足，導致下游河床下降，且工程經費較高、施工上較為困難。

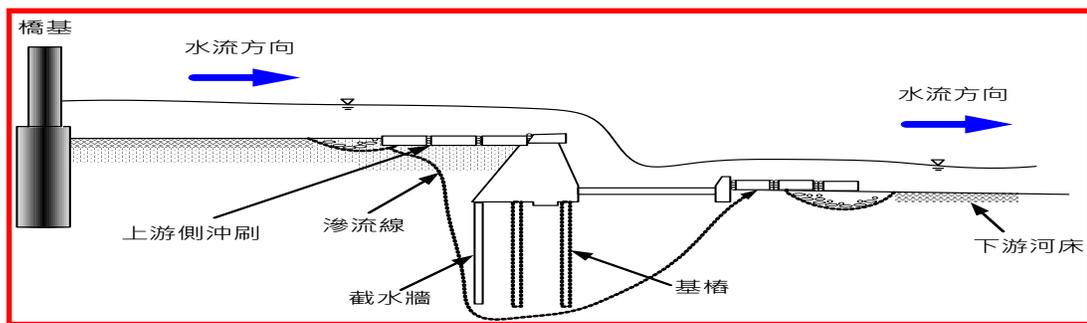


圖 4.4 剛性攔砂堰工法示意圖

3. 蛇籠工法

蛇籠工法係利用鍍鋅鐵絲，經由人工或機械編織而成之金屬網目，再內包卵石所構成之長條石籠(如圖 4.5)。一般普遍使用於橋基保護、堤防護坡與公路邊坡穩定等。國內常見之型式大致可分為甲種與乙種蛇籠工，兩者最大的差異為甲種蛇籠之斷面近似於橢圓狀，尺寸為 $60\text{cm}\times 100\text{cm}$ ，

而乙種蛇籠則為 $40\text{cm}\times 67\text{cm}$ ，至於兩者之間隔網目則皆相同。其中以甲種蛇籠工用於國內橋基保護、堤防護坡(基)與公路邊坡穩定之情況較為普遍。

蛇籠工法適用於一般砂質河川，可改善水流流況，並可搭配其它保護工法一同使用，惟蛇籠工易遭流動之卵礫石撞擊磨損且卵礫石料源尋覓不易，成本逐漸提高。

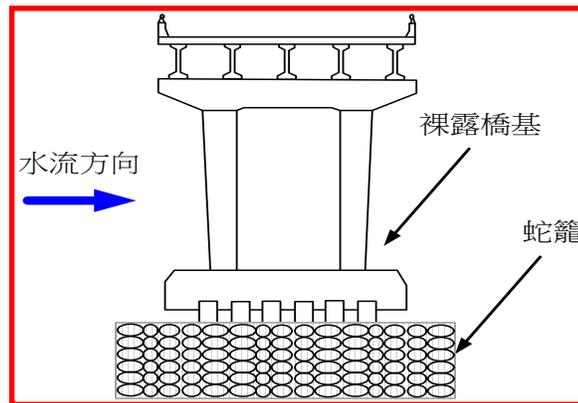


圖 4.5 蛇籠工法示意圖

4. 拋石工法

拋石工法係利用具有相當重量之卵石、岩塊、混凝土碎塊等，鋪設於遭沖蝕之河床或已裸露之橋基周邊範圍，其拋石保護工法可發揮近似護甲層的作用，可減緩或防止已沖刷之河床繼續刷深，甚至促進砂石淤積(如圖 4.6)。惟拋石個體與個體間無連結性，所能發揮之整體性護床或護基功效較差，除非拋石之體積或重量甚大，否則在較高的流速下甚易被沖失。因此本工法較適用於河道較為寬廣、水深不大、坡小流緩(流速小於 1.5m/s 以下)之砂質河床。

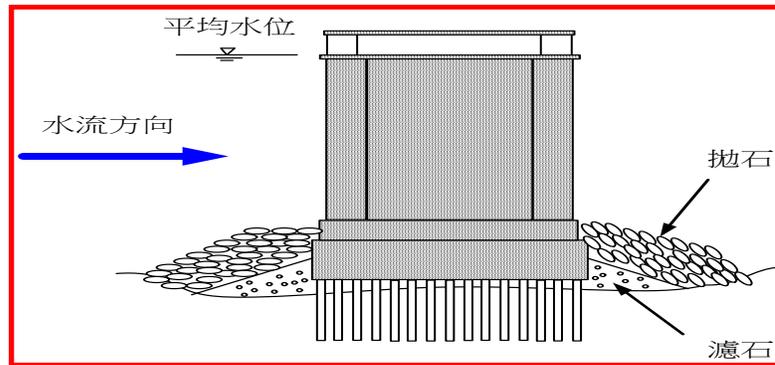


圖 4.6 拋石工法示意圖

5. 混凝土護坦工法

混凝土護坦工在河床上鋪設帶狀或片狀之(鋼筋)混凝土版，此工法可防止河床沖刷，倘被沖刷，有此覆蓋亦可防止沖刷擴大，緩和流速，防止橋基及護岸破壞(如圖 4.7)。一般而言，混凝土護坦工可鋪設於早期施作之蛇籠工、鼎形塊、混凝土方塊、異形塊或回填拋石之上，混凝土層所埋設的鋼筋亦可使用已廢棄之鋼軌或型鋼。

混凝土護坦工法施工簡單且工期較短，可立即保護橋基穩定及安全，惟護坦上下游容易產生河床沖刷，於設計時應加強上下游河床保護，此工法適用於卵礫石及軟弱岩層河床。

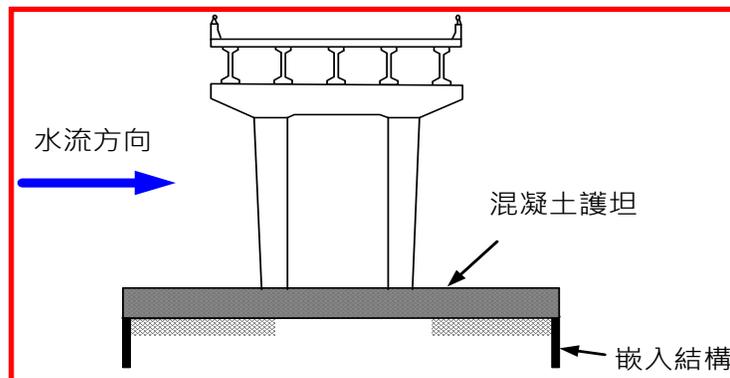


圖 4.7 混凝土護坦工法示意圖

6. 混凝土排置工法

混凝土排置工法與鼎塊排置工法及混凝土(長)方塊工法雷同，均無連結成群體而各自獨立，通常沿橋址拋放異形塊於全部深槽區或局部堆置於橋基周邊(如圖 4.8)。若為保護橋梁之安全，則對於橋墩處因束縮造成流速增加或沖刷應特別注意；若為穩定河道，則利用混凝土塊排置之設計方向挑流調整主流於河道中。

混凝土塊排置工法施工容易且容許變位傾斜，發揮柔性保護河床之能力，可立即保護橋基穩定及安全，惟局部施作易使未受保護區刷深，並導致塊體沉陷流失，設計時可用鋼筋或鋼索加以連結，以增加整體抗沖刷能力，此工法適用於卵礫石河床，大甲溪橋目前的橋基保護工法即為鼎塊排置工法。

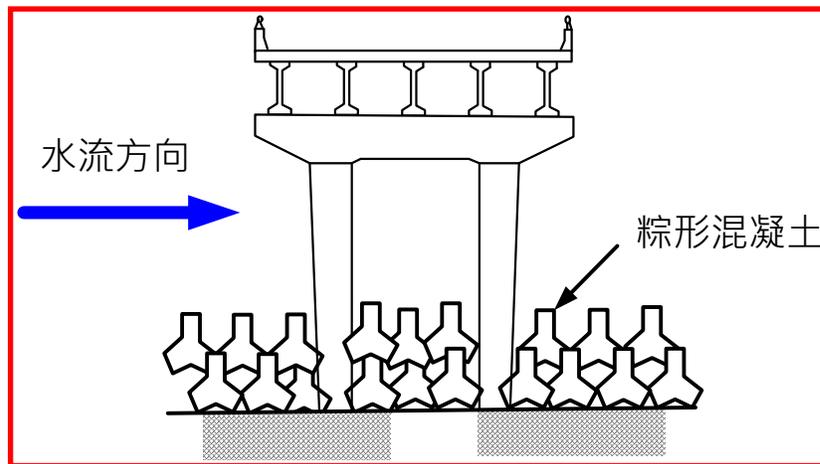


圖 4.8 混凝土排置工法示意圖

7. 河道治導工法

河道治導工可因應卵礫石或砂質河床，施設護岸工或丁壩工，若設置得宜，可調整河道流向，避免洪流直衝橋基保護工或河岸，達到保護橋梁或堤防安全。一般河道治導工法可分類為：護岸工及丁壩工，其各工法說明概述如下：

(1) 護岸工

凡於天然河川之岸側或河堤臨水面構築人工構造物以抵擋水流之衝擊，防止河岸(堤)因水流沖刷作用產生淘空崩坍，以保護河岸或堤身之安全，並深入河底構築之保護工程均廣義的稱為護岸工(如圖 4.9)。其構造型式可分為緩坡式、陡坡式及直立式等。護坡坡面與水平面所成之夾角小於安息角之護岸稱為緩坡式護岸；護坡坡面與水平面所成之夾角大於安息角之護岸稱為陡坡式護岸，護岸構造採直立者稱為直立式護岸。另護岸構造一般係由護坡、基腳及護腳三部分所構成，各部分材料可依所需功能選用，而設計時往往以不同材料混合使用以求經濟有效之目的。

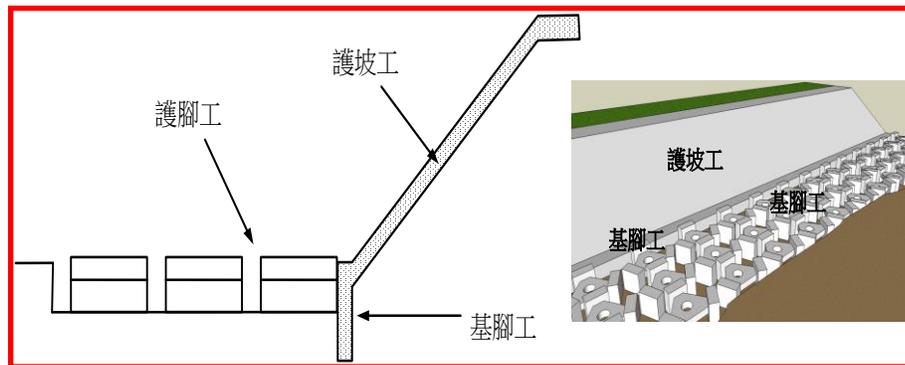


圖 4.9 護岸工法示意圖

(2) 丁壩工

丁壩係為將壩之根部深埋於堤外，而壩身自堤防突出而直伸入水流之水工構造物，藉此達到掛淤造灘或挑流等目的，並可用於防治河岸崩退(側向侵蝕)，間接達到保護橋梁(基)或攔砂堰、固床工等構造物之安全(如圖 4.10)。丁壩依作用可分為護岸丁壩與挑流丁壩；依結構可分為不透水丁壩與透水丁壩；依工法可分為排樁丁壩、鉛絲蛇籠丁壩、拋石丁壩、混凝土丁壩等。丁壩種類相當繁多，諸如排列方式、結構、壩高、間距等，因各河道條件不同而有所差異。

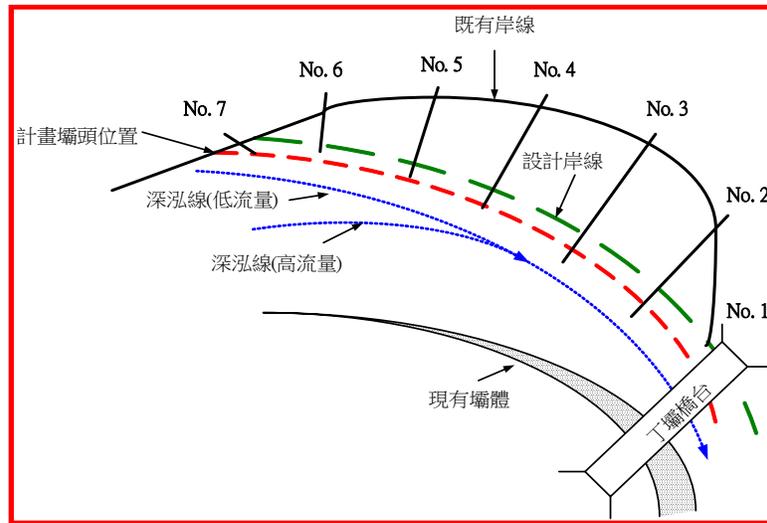


圖 4.10 丁壩工法示意圖

4.4 國外保護工法資料彙整

1. 織物模板

織物模板是利用高強度織布縫製雙層結構織袋狀物，袋體空間灌注混凝土或植生基材填充固定結構，可做為邊坡、河岸、防蝕堤防等坡面保護，不同組織形式可作為結構穩定或植生綠化之需求。織物模板具有擴張強度大、透水性佳、輕質、方便施工、填充植生基材可綠化環境、地面貼附性佳及填充水泥砂漿可護坡護岸等特性。國內大多應用於區域排水護岸及渠底保護，國外亦有應用於橋墩保護實際案例(詳如圖片 4.11)，惟因材料特性因素，若應用於橋墩基礎保護，較適用於砂質河床。



圖 4.11 韓國橋墩保護應用案例

資料來源：盟鑫工業股份有限公司

2. 砂腸管

砂腸管為兼具透水(Infiltration)與保留土壤(Soil Retention)之袋體，在水力填充後，袋中水分迅速排除，保留於內部之土壤成為一穩定之地工織物—土壤複合體，在河川，水庫淤泥整治工程中可發揮極大的環保效益。砂腸管材料為地工合成物(Geosynthetics)織造而成之高拉力纖維透水管狀袋體，其纖維主要成分為聚丙烯(polypropylene 簡稱 PP)透水織布，摺疊後體積、重量皆小，運送輕便，將袋體於現場展開後連接水力輸送管路填充現地疏浚之泥砂，可作為護堤(Dike)、碎波堤(Breakwater)、丁壩(groin)及邊坡保護(Slop Protection)等。至今於韓國亦有應用於跨海大橋橋墩保護應用實例，詳如圖 4.12，惟因材料特性因素，若應用於橋墩基礎保護，較適用於砂質河床。



圖 4.12 韓國仁川跨海大橋砂腸管配置示意圖及應用案例

資料來源：盟鑫工業股份有限公司

除此之外，根據美國橋梁管理單位於 1995 年調查 220,000 座橋梁結果顯示共 8,662 座橋梁有使用橋基保護工法，其保護工法使用比例如表 4-2 所示，表中顯示拋石工法為使用比例最高之保護工法，其次為蛇籠工法，除此之外消波塊及丁壩亦普遍被使用。

表 4-2 美國橋基保護工法使用分布

橋基保護工法	橋梁數目	百分比(%)	備註
拋石	5,913	68.26	拋石工法
自行入水拋石	72	0.83	拋石工法
混凝土漿砌石	27	0.31	混凝土護坦工或護岸工
岩塊蛇籠工	567	6.55	蛇籠工法
其他柔性護岸工	37	0.43	護岸工(河道治導工)
河道襯砌工	253	2.92	護坦工或護岸工
混凝土襯墊(護坦)	51	0.59	混凝土護坦工法
混凝土填充袋	97	1.12	-
拋岩塊護岸	79	0.91	護岸工(河道治導工)
丁壩工、彎道堰	420	4.85	護岸工(丁壩工)
(淺)基礎擴座	778	8.98	-
混凝土塊連結	6	0.07	混凝土塊排置工法
彎曲型導流板	1	0.01	-
犧牲替代樁	22	0.25	-
導流板	6	0.07	
堤防	43	0.50	護岸工(河道治導工)
攔砂堰、固床工	83	0.96	剛、柔性攔砂堰工法
摻土水泥	7	0.08	-
樁槎	1	0.01	河道治導工
水流阻滯設施	35	0.40	河道治導工

表 4-2 美國橋基保護工法使用分布(續)

橋基保護工法	橋梁數目	百分比(%)	備註
增加橋梁跨距	2	0.02	-
橫向支撐柱	5	0.06	臨時結構工法
橋梁安全警示裝置	22	0.25	-
現制交通流量、封閉橋梁	111	1.28	-
其他	24	0.28	-
總計	8,662	100	

資料來源：河川橋梁之橋墩(台)冲刷保護工法之研究^[7]

將紐西蘭所使用的橋基保護工法依其經費比例加以統計整理，其結果顯示於表 4-3。表中顯示大部分經費皆利用在拋石及蛇籠等工法。此外，紐西蘭亦常使用塊石堆置而成之固床工或攔砂堰保護橋址，並使用堤防或護岸控制河流流向。

表 4-3 紐西蘭橋基保護工法之使用分布

橋基保護工法	百分比(%) (依經費而定)
拋石搭配其他保護工	33.4
雷諾籠	17.3
拋石	14.1
拋石搭配蛇籠	5.5
托底工法	2.9
導流牆	2.8
蛇籠	1.3

蛇籠搭配其他保護工	1.1
植生	0.23
其他	6.8
可忽略之保護措施	14.6

資料來源：河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究^[7]

4.5 河道沖刷對橋墩保護工法之影響

水流、河床、橋墩及保護工之互制作用係為一動態過程，施設橋墩保護工時必然會影響河道流況，進而造成橋墩附近河床改變。故橋墩保護工須以全河道之河床穩定為考量。然而，保護工法之選用常因地制宜，且與水流狀況息息相關，並無萬能保護工法可適用於所有橋址。

一般而言，在河床嚴重下降之橋墩下游常以布置剛性攔砂堰或柔性攔砂堰(含跌水消能工)為主。束縮沖刷則採保護導流槽、護坦等工法。側向侵蝕嚴重則以丁壩挑流或以導流堤整順流路，並配合護岸工以確保邊坡穩定。橋墩局部沖刷之保護工法則以拋石、蛇籠工、砂腸袋、鼎形塊、包墩或混凝土圍繞為主。

第五章 水工模型試驗規劃與佈置

本章依據國道高速公路局中區工程處大甲工務段（以下簡稱大甲工務段）對國 3 大甲溪橋近幾年之相關橋基沖刷防治做為，來探討後續可能發生的問題，並據以規劃後續的水工模型試驗，期望能研提相關對策供大甲工務段未來施政的參據。

5.1 國 3 大甲溪橋橋基沖刷對策探討

民國 102 年 8 月 22 日潭美颱風豪雨造成國 3 大甲溪橋基礎沖刷嚴重，部分樁帽裸露(圖 5.1)恐影響橋梁基礎結構安全，大甲工務段遂採取鼎形塊吊放保護墩帽及基樁之保護工程，並於民國 103 年汛期前完成相關修復工作，以維行車及結構安全，如圖 5.2 所示。

近年來左岸高灘地因遭洪流側向侵蝕，高灘地持續崩退甚至造成客庄堤防破壞，因此河川管理單位於民國 105 年 10 月辦理「大甲溪客庄堤段河道整理工程」，其中 P30R~P33R 橋墩位於土砂培厚區，有效保護其以往易受沖刷裸露之情況。而在橋址左岸土砂培厚範圍以外，經民國 106 年 6 月初豪雨在洪水側向侵蝕沖刷下，P26R~P28R 樁帽均已出露於河床面，高度約 1.5~2.2m 不等，其中 P28R 周圍之部分鼎形塊保護工亦遭受沖刷流失，如圖 5.3 所示。

圖 5.4 為民國 106 年 8 月上游河道現況，期間在歷經民國 106 年 6 月中旬第二波滯留鋒面及 7 月底海棠颱風所帶來之豪雨，由於水流受限於左右岸之灘地影響，可見主深槽於 P26R~P28R 之間通過橋址中央，在深槽區單寬流量增加下，主深槽所在之橋基再略刷深至 2~3m。有鑑於此，為防止未來可能之沖刷災情，大甲工務段遂於海棠颱風後，即著手進行沖刷防制保護工程，以確保橋墩基礎之安全，相關工程已於 107 年汛期前完工，現況如圖 5.5 所示。



圖 5.1 潭美颱風豪雨造成樁帽裸露



圖 5.2 民國 103 年汛期前完成之橋墩基礎鼎形塊保護工



圖 5.3 民國 106 年 6 月初豪雨後 P26R~P28R 樁帽均已裸露



圖 5.4 民國 106 年 8 月後 P26R~P28R 樁帽裸露狀況



圖 5.5 民國 107 年汛期前 P26R~P28R 樁帽鼎形塊保護工狀況

由大甲工務段近幾年對國 3 大甲溪橋橋基抗沖刷的做為與成效顯示，鼎形塊保護工確實能於颱風期間達到基樁保護之預期成效，惟鼎形塊可能因洪水沖刷造成破損或流失，未來針對橋墩基礎沖刷與河床之保護應可依據往例予以持續編列預算補鋪破損或流失的鼎形塊保護工。爰此，後續本研究將規劃渠槽斷面試驗，針對國 3 大甲溪橋的橋基保護工來進行水工模型試驗，研提未來橋基的保護工鋪設方式，期望能減緩鼎形塊的流失或橋墩基礎附近的沖刷深度，以供大甲工務段未來施作保護工的參據。

5.2 試驗渠槽

試驗渠槽相關資料如下：

1. 試驗渠槽

渠槽全長 15m、寬 0.8m、深 0.8m，如圖 5.6 所示，渠槽側壁之材質為強化透明玻璃，以利於試驗進行時之觀測。渠槽尾端有一小型沉砂池用以避免試驗砂流入尾水池，後設尾水閘門(tailwater gate)，用以控制試驗水深，如圖 5.7 所示。



圖 5.6 渠槽斷面圖



圖 5.7 渠槽尾水控制閘門

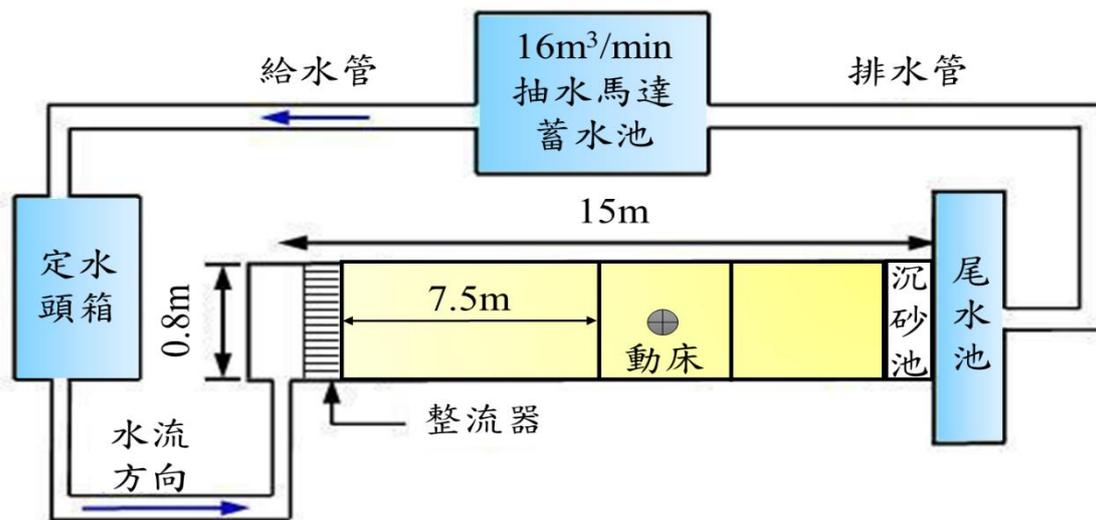
2. 供水系統

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

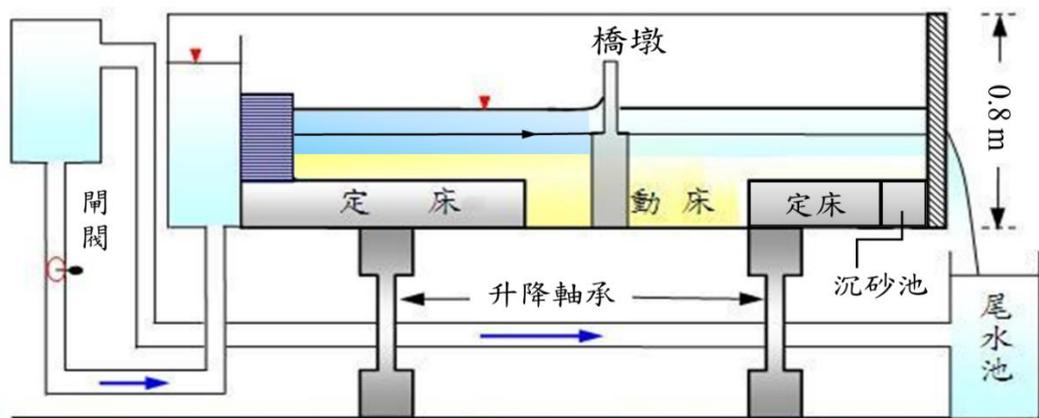
3. 流量控制

定水頭箱至渠槽間設有一顯示式管路手動矩形閘閥，可控制流量流至渠槽中。

渠槽整體主要配置如圖 5.8 所示。



(a) 頂視圖(plan view)



(b) 側視圖(side view)

圖 5.8 試驗渠槽配置圖

5.3 渠槽試驗條件

在決定試驗條件前，應先釐清影響橋墩局部沖刷深度之因素並進行因次分析以免除尺度的問題，決定試驗之相關條件，相關說明如下：

1. 影響橋墩局部沖刷深度之因素

(1)水流強度， V/V_c ：

橋墩局部沖刷依流速大小的不同可以分為清水沖刷及濁水沖刷兩種情況。清水沖刷為流速(V)小於底床質起動速度(V_c)且上游沒有底床質補充到沖刷坑時的情況。濁水沖刷為流速(V)大於底床質起動速度(V_c)且上游有底床質補充到沖刷坑時的情況。Melville(1999)^[2]指出在臨界起動速度(V_c)時有最大之沖刷深度。濁水沖刷之平均沖刷深度會小於清水沖刷深度，因此橋墩沖刷問題仍以最大清水沖刷深度為主要考慮。因此本研究將以臨界起動速度(V_c)來進行沖刷試驗。

(2)水流深度， y/a_p ：

定義為水深(y)和橋墩寬度(a_p)的比值，當此值越小，水深改變會影響沖刷深度。當此值越大，則橋墩迎水面寬度會影響沖刷深度，而與水深較無關係。Raudkivi 和 Ettema(1983)^[5]認為 y/a_p 大於 3~4 時，水深變化對沖刷的影響可以忽略，此為深水狀態；反之則為淺水狀態。因此，為避免水深影響試驗之沖刷深度，本研究之橋墩迎水面寬度為 2.5 公尺，模型縮尺採 100 分之一，迎水面寬度 a_p 為 2.5 公分，因此，試驗水深(y)取 10.2 公分， y/a_p 約為 4，水深對沖刷的影響可以忽略。

(3)底床質粗糙度， d_{50}/a_p ：

當底床質粒徑越大，其抵抗水流沖刷的能力增加，使得最大局部沖刷深度越小。反之，底床質粒徑越小，最大沖刷深度會增加。當中值粒徑 d_{50} 小於 0.6mm 時，在底床會產生沙漣現象，而影響沖刷坑的深度，因此，本研究中值粒徑 d_{50} 取 1.2mm，大於 0.6mm。底床質粗糙度及水流條件會影響臨界起動速度，Raudkivi 和 Ettema(1977)^[4]認為當 $a_p/d_{50} > 50$ 時為細顆粒，沖刷深度隨 a_p/d_{50} 之減少而變小，本研究 $a_p/d_{50} = 20.83$ ，最大沖刷深度可能略受影響，惟本研究為不同保護工方案之保護成效定性比較，在相同的試驗條件下，應不致影響本研究的比較結果。

(4)底床質均勻性， σ_g ：

底床質粒徑分配不均勻時，會在底床質表面形成護甲層現象 (armoring)，使得底床質的臨界起動速度增加。因此，橋墩局部沖刷深度會比均勻粒徑分佈時小。Raudkivi and Ettema (1977)^[4]指出在清水沖刷時，橋墩周圍局部沖刷深度隨 σ_g 增大而明顯降低，因為在 σ_g 大於 1.3 時會有護甲現象 (armoring) 產生，其會減少沖刷深度。因此，本研究透過人工篩選，得到中值粒徑 d_{50} 為 1.2mm，粒徑標準偏差等於 1.3 之試驗砂，篩分析結果如圖 5.9 所示。

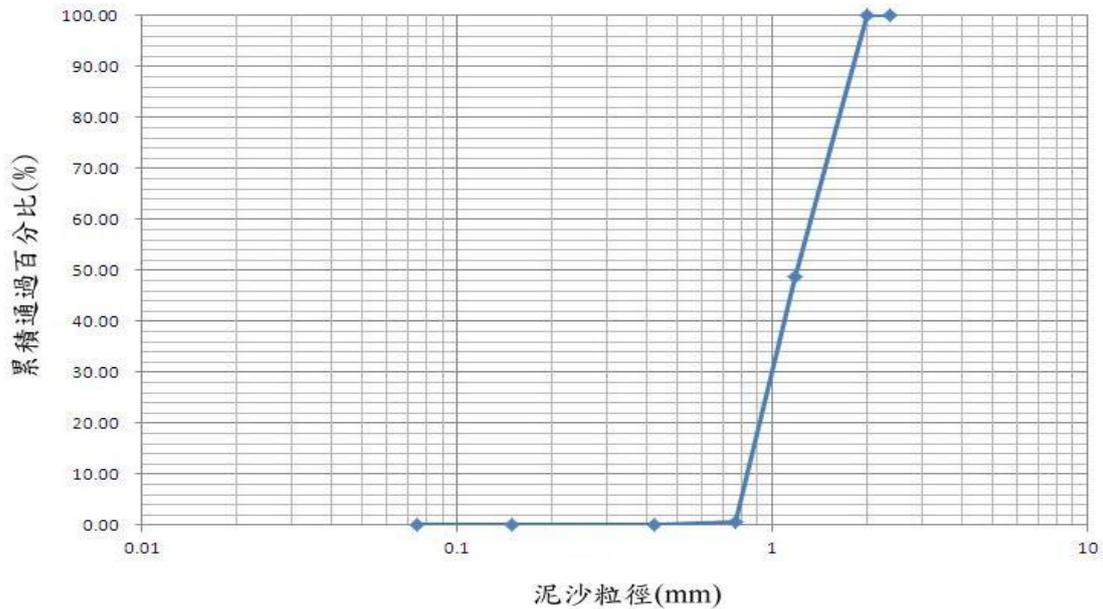


圖 5.9 試驗底床質粒徑分布曲線圖

(5)橋墩形狀：

前人大多採用圓型橋墩進行橋墩沖刷之實驗研究，其可視為標準橋墩形狀，其它不同形狀的橋墩局部沖刷深度可利用圓形橋墩之局部沖刷公式再加入修正係數。

(6)橋墩排列方式：

對於各種形狀的橋墩而言(除了圓形橋墩)，橋墩縱軸和水流方向所夾的角度定義為水流攻角。水流攻角改變，橋墩寬度與水流在垂直方向的投影面積(橋墩迎水面寬度)會隨之改變，且渦流的形式也會不同。當

水流攻角變大時，局部最大沖刷深度會增加。本研究橋墩佈設盡量與水流方向平行，所以不考慮攻角效應。

(7)時間的影響：

在清水沖刷時，局部沖刷深度隨時間慢慢增加。在濁水沖刷時，其達到平衡沖刷深度的時間要比清水沖刷來的快；但是濁水沖刷的平衡沖刷深度會因為底床沙丘之運移，而作不規則的振盪。

2.因次分析

藉由因次分析，以獲取主要影響橋墩局部沖刷的參數，以供後續橋基保護工模型佈設之依據。首先將影響橋墩局部沖刷深度的因素區分為水流條件、底床特性、橋墩與橋基特性、保護措施以及沖刷時間等主要項目。其中各項參數說明如下：

(1)水流條件：

流體密度(ρ)、上游流速(V)、上游水深(y)、重力加速度(g)、動力黏滯係數(μ)

(2)底床特性：

泥沙中值粒徑(D_{50})、底床幾何標準偏差(σ_g)、底床質密度(ρ_s)、底床質臨界流速(V_c)、底床質之黏聚性、底床質之粗糙度(K_n)、底床坡度(S)

(3)橋墩與橋基特性：

橋墩迎水面寬度(D)、橋基迎水面寬度(D^*)、橋基頂端至底床面高度(Y)、橋墩形狀係數(K_{sh})、水流攻角(α)、墩柱間距(L_d)

(4)保護措施:保護工鋪設寬度(L)、保護工埋設高度(H)

由以上敘述得知，對於橋墩周圍局部沖刷深度有許多參數影響，基於可行性的分析，將上述參數做以下幾點限制之條件：

a.試驗時，底床質為非黏聚性的均勻砂。

- b. 渠床平直且寬度足夠，無束縮現象效應。
- c. 假設渠床於沖刷時無沙漣或沙丘形成(不考慮床形阻力)，則底床粗糙度僅與底床質粒徑、流速、坡度有關。
- d. 本試驗將底床坡度固定為定值，並不考慮其對沖刷深度之影響。
- e. 橋墩迎水面為圓形先端部，其橋墩形狀係數為 1.0，且無水流攻角之問題($\alpha = 0$)。

由以上限制之條件，可將橋墩周圍局部沖刷深度與其參數影響之關係列為：

$$d_s = f(\rho, V, y, g, \mu, D_{50}, \sigma_g, \rho_s, V_c, D, D^*, Y, L_d, L, H)$$

依據白金漢π定理(Buckingham π theorem)，取 ρ, V, D 為重複變數，經過因次分析可得：

$$\frac{d_s}{D} = f\left(\frac{V^2}{gy}, \frac{\rho VD}{\mu}, \frac{D_{50}}{D}, \sigma_g, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{V_c}{V}, \frac{y}{D}, \frac{D^*}{D}, \frac{Y}{D}, \frac{L_d}{D}, \frac{L}{D}, \frac{H}{D}\right)$$

其中在明渠流中，雷諾數之影響可忽略不計($\rho VD/\mu$)，底床質之密度為定值且為均勻顆粒，試驗過程中於常溫進行，溫度變化甚小，則水的密度可視為定值，則 $\sigma_g, \rho_s/\rho$ 可不考慮，並固定水深為 10.2cm，流速設定為臨界流速，此外試驗中底床質採用單一河床質中值粒徑且橋墩迎水面寬、橋基迎水面寬以及橋墩間距為定值，則 $D_{50}/D, D^*/D, L_d/D$ 為定值，可得：

$$\frac{d_s}{D} = f\left(\frac{L}{D}, \frac{H}{D}\right)$$

依據因次分析結果，本試驗主要影響橋基沖刷深度的主要影響參數為保護工鋪設寬度(L)、保護工埋設高度(H)，後續將以此兩參數來進行試驗方案鋪設，以獲取適宜的保護方式。

5.4 試驗佈置

1. 橋墩模型

本試驗模型依據國3大甲溪橋的實際尺寸以縮尺100分之一製作，橋墩模型如圖5.10所示，單位尺寸：公分。



圖 5.10 試驗橋墩模型照片

2. 渠槽佈置

為使水流進入試驗區段時能保持平順穩定，以吸管製成之蜂巢式整流器減緩水流紊亂程度，使水流平順進入試驗區段，如圖5.11所示。

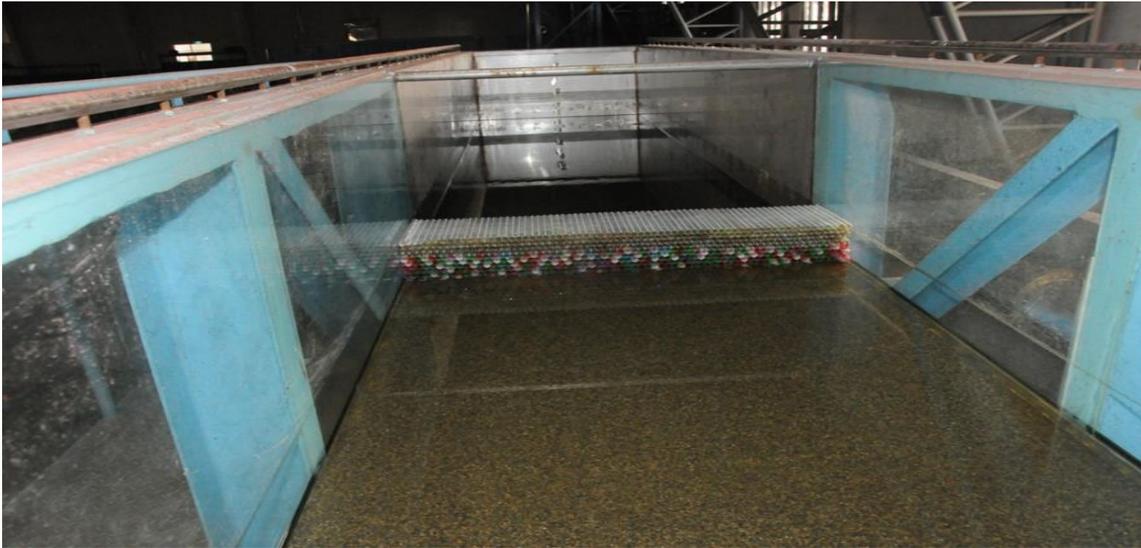


圖 5.11 吸管製成之蜂巢式整流器

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

- (1)渠寬決定量測點位置。
- (2)邊界層理論決定量測點位置。
- (3)水深決定量測位置。
- (4)速度剖面近似。

因本研究之試驗水深較低，如果以流速剖面決定完全發展段較為困難，故利用試驗區各段水深來決定完全發展段。完全發展段選定之範圍是利用平均流速 V 與泥沙臨界啟動速度 V_c 之比值，即 V/V_c 為 1.0 的情況下量測水深。經試驗觀察結果，本試驗之完全發展區段位於距入流口約 7.0 m~9.3 m 之間，因此本研究設計距入流口 7.5m 至 9.5m 之區段為試驗區，其餘為定床區，橋墩落墩於距入流口 8.5 m 處，定床區鋪設 1.5 公分之砂以保持與試驗段相同之河床糙度，詳如圖 5.12 所示。

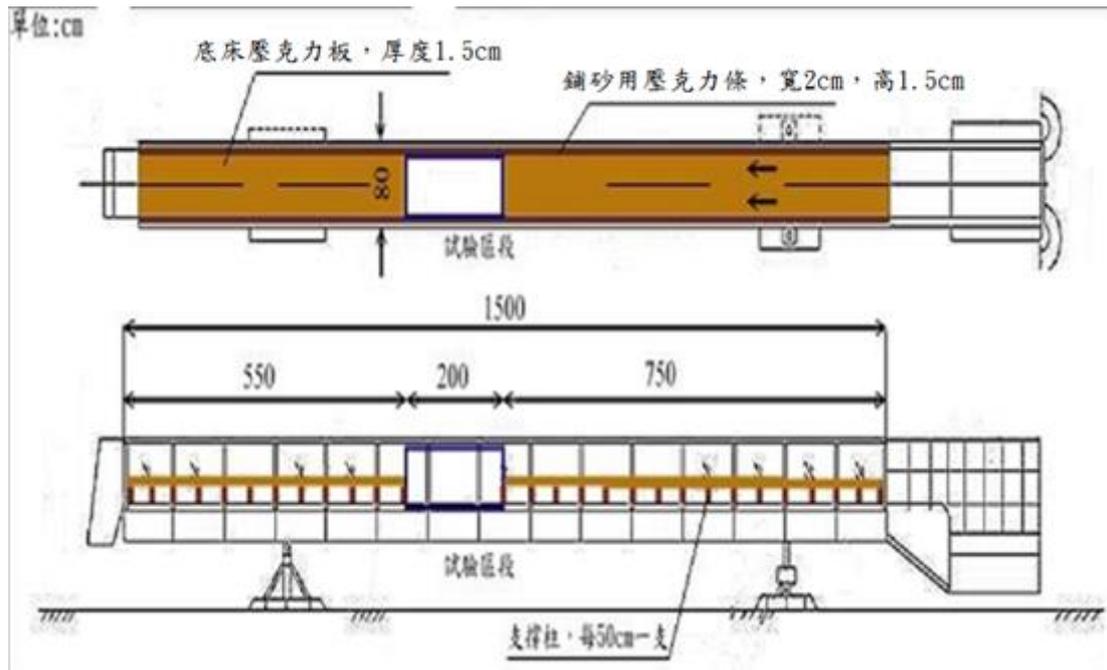


圖 5.12 渠槽試驗段佈設示意圖

3. 試驗流量率定

本試驗之流量係由給水管上之閘閥所控制，水流從定水頭箱經由給水管輸送到渠槽中，再流至尾水池，並藉由尾水池蓄水量與時間關係計算率定流量與閘閥開口之關係公式，如圖 5.13 所示。本試驗閘閥之流量率定公式率定如下：

$$Y = 0.0013X - 0.0033 ; R^2 = 0.9963 \dots \dots \dots (5-1)$$

式中，Y 為流量(cms)、X 為閘閥開口大小(mm)

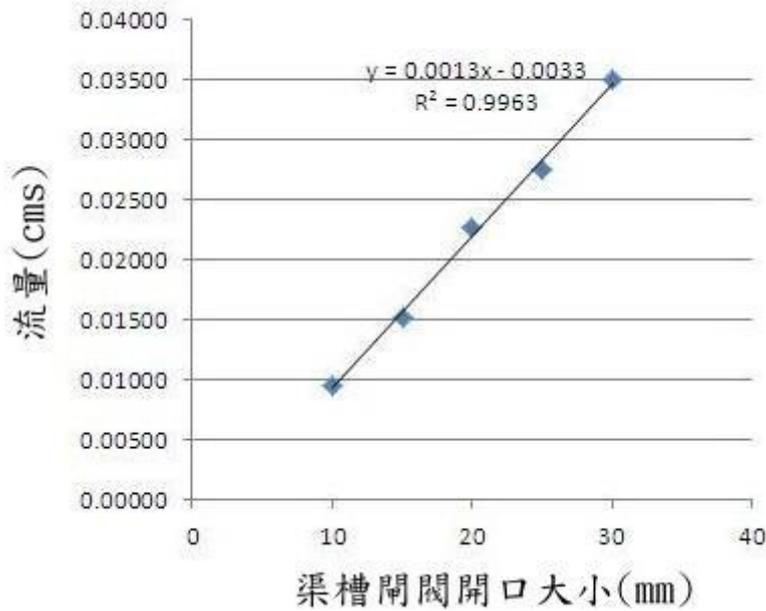


圖 5.13 流量率定曲線圖

4. 臨界流速設定

目前計算臨界流速之公式有很多，如表 5-1 所示，相關公式與其試驗室條件的不同會有差異，本研究參考過去相關文獻並依本研究之試驗室條件及公式輸入參數之取得難易評估結果，採用 Melville (1999)^[2] 回歸臨界啟動試驗數據所獲得之公式，如 5-2 式，推求本研究之試驗臨界流速(V_c)。本研究水深(y)為 102 毫米(mm)，中值粒徑(D_{50})為 1.2 毫米(mm)，代入 5-2 公式得到試驗臨界流速(V_c)為 0.4301 m/s，乘上試驗渠槽寬(0.8m)及水位高(0.102m)換算流量為 0.0351 cms，所需閘閥開度由 5-1 式可得到約為 29.5373 mm。

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{D_{50}} \right) \dots\dots\dots (5-2)$$

上式中

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

其中， V_c 為底床質臨界啟動速度， y 為試驗水深， D_{50} 為試驗砂之中值

粒徑， u_{*c} 與 V_c 之單位為m/s。

表 5-1 臨界流速公式

來源	計算公式	附註
Neill (1998)	$V_c = \left(\frac{y}{d}\right)^{0.167} [24.55(S_s - 1)d]^{0.5}$	S_s :底床質比重 y :上游水深(m) d :底床質粒徑(m) V_c :臨界啟動速度(m/s)
Melville (1999)	$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log\left(5.53 \frac{y}{d_{50}}\right)$ $\begin{cases} u_{*c} = 0.0115 + 0.0125D_{50}^{1.4} & , 0.1\text{mm} < D_{50} < 1\text{mm} \\ u_{*c} = 0.0305D_{50}^{0.5} - 0.0065D_{50}^{-1} & , 1\text{mm} < D_{50} < 100\text{mm} \end{cases}$	y :上游水深(mm) d_{50} :底床質粒徑(mm) V_c :臨界起動速度(m/s)
Juilen (1995)	$\begin{aligned} \hat{O}_{*c} &= 0.5 \tan \epsilon & d_* < 0.3 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.25d_*^{-0.6} \tan \epsilon & 0.3 < d_* < 19 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.013d_*^{0.4} \tan \epsilon & 19 < d_* < 50 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.06 \tan \epsilon & d_* > 50 \end{aligned}$ $d_* = d_{50}[(G - 1)g/i^2]^{1/3}$ $u_{*c} = [\hat{O}_{*c}(G - 1)gd_{50}]$ $\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log\left(5.53 \frac{y}{d_{50}}\right)$	G :底床質比重 $\left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right)$ d_{50} :底床質中值粒徑 θ :底床質安息角
張瑞瑾 (1995)	$V_c = \left(\frac{y}{d}\right)^{0.14} \left[29d + 6.05 \times 10^{-7} \left(\frac{10 + y}{d^{0.72}}\right)\right]^{0.5}$	S_s :底床質比重 y :上游水深(m) d :底床質粒徑
沙玉清 (1995)	$V_c = \left[0.43 \left(\frac{d}{1000}\right)^{0.75} + 1.1 \frac{1000(0.7 - n)^4}{d}\right]^{0.5} y^{0.2}$	(m) V_c :臨界起動速度(m/s) n :孔隙率

資料來源：「不均勻圓形橋墩之局部沖刷研究」^[19]

第六章 橋墩渠槽沖刷試驗

本研究橋墩渠槽沖刷試驗，主要目的為針對國 3 大甲溪橋的橋墩基礎與河床高程現況，研提未來橋墩基礎受河水沖刷之保護工法及鋪設方式，以供橋梁管理單位未來施政的參據。

6.1 橋墩保護工法

依據國 3 大甲溪橋近幾年橋墩基礎的沖刷資料顯示，目前的沖刷問題主要是橋墩基礎之沖刷及週遭的鼎形塊磨損、沉陷、流失等破壞，如圖 6.1 所示。依據本所過去之橋墩基礎保護方案研究成果顯示，以埋入式土工織物來保護橋墩基礎處底床質流失的工法似乎試驗成效不錯，另外，配合國 3 大甲溪橋的底床質考量，就近取得卵礫石製作石籠，搭配土工織物來保護橋墩基礎應為可行且經濟的保護方案，爰此，本研究採土工織物與石籠來進行保護工方案試驗。

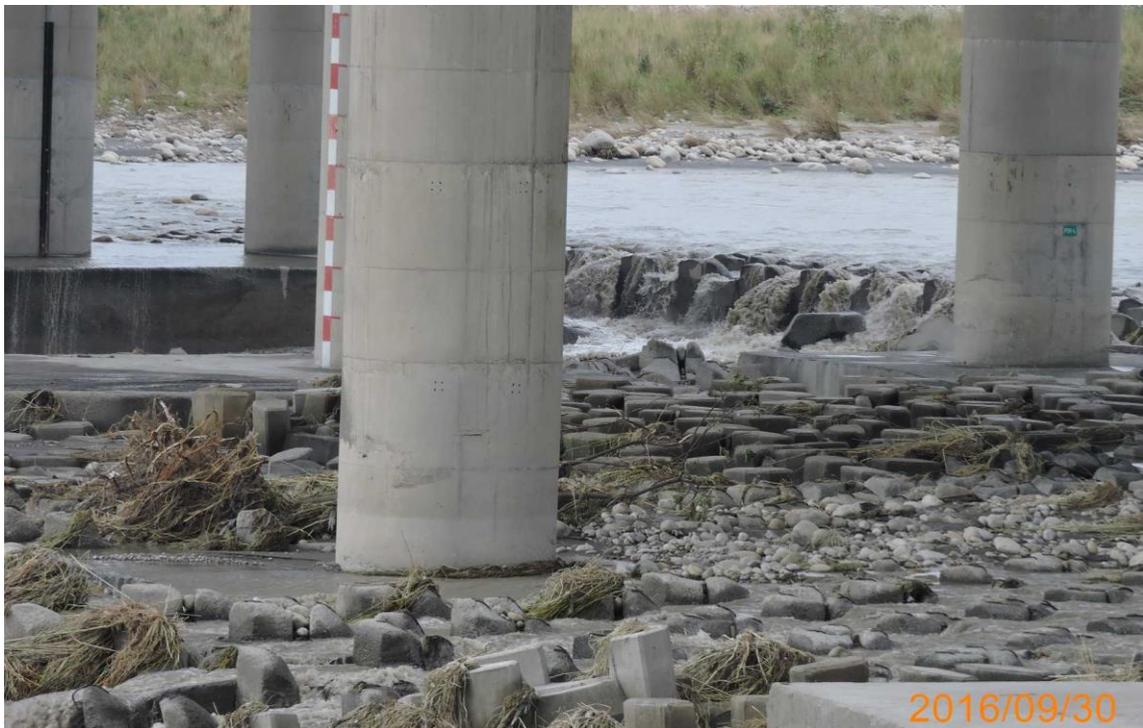


圖 6.1 國 3 大甲溪橋墩基礎沖刷與鼎形塊流失狀況

6.2 試驗流程

本研究考量設備安全因素，無法進行長時間的沖刷來模擬現地的長期沖刷所造成的連續性破壞，爰此，本研究試驗以每天 8 小時的沖刷時間來進行，並進行各方案成效的評估，試驗流程如圖 6.2 所示，各試驗步驟說明如後。

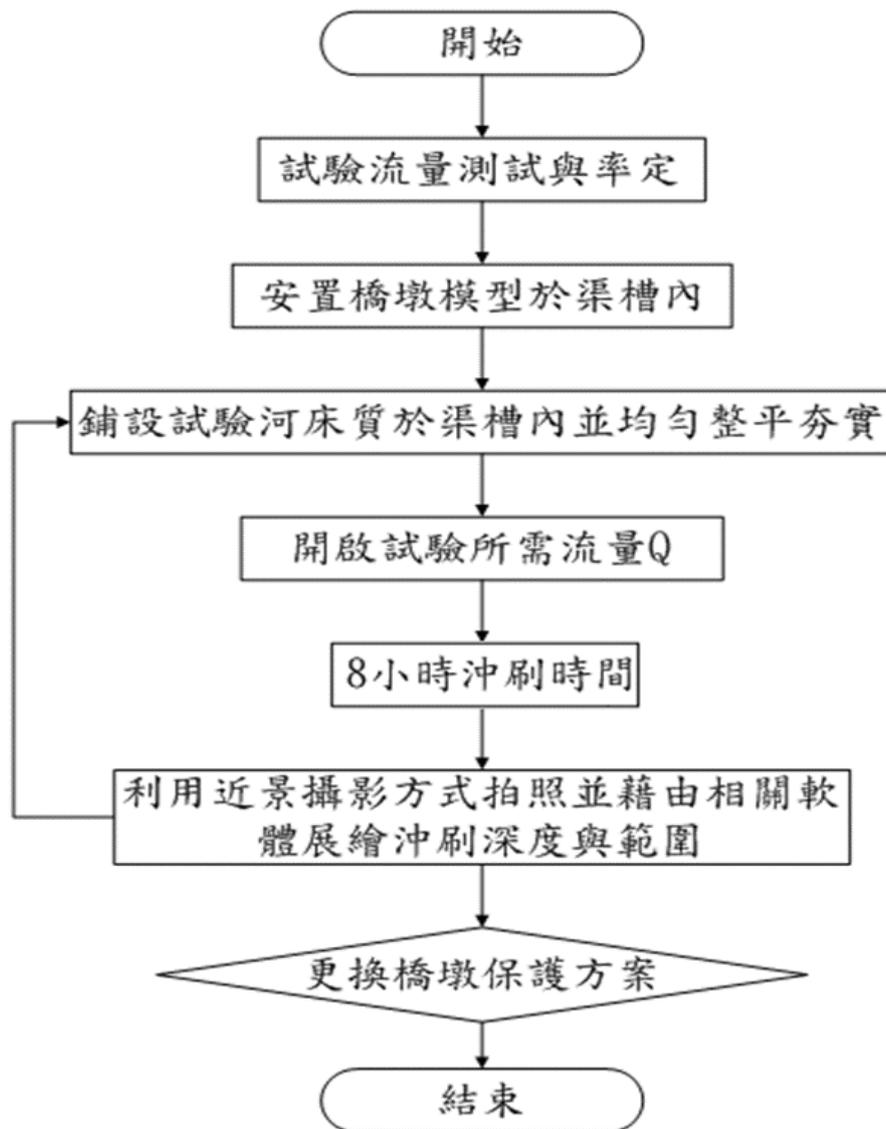


圖 6.2 橋墩保護工法渠槽試驗流程圖

1.試驗儀器測試及流量率定

2.試驗橋墩安置

在進行沖刷試驗前，先將試驗用橋墩置於渠槽動床試驗段，除控制橋墩與渠槽兩側邊壁等距離，並確定試驗用橋墩保持鉛垂，另外，依據過去的墩帽裸露狀況，深槽區之樁帽已全部裸露，如圖 5.1 所示，爰此，本計畫模型試驗鋪設以樁帽完全裸露之狀況鋪設(樁帽頂約高於試驗底床 3.8 公分)，相關佈置如圖 6.3 所示。



圖 6.3 橋墩鋪設情形

3.底床質鋪設

試驗所選用之底床質為經篩選過之均勻粒徑細砂。為確保試驗的準確性，在每一方案試驗前均將底床質均勻鋪設於渠槽中，再以木板整平，如圖 6.4 所示。



圖 6.4 底床鋪設情形

4. 試驗流量控制

利用閘閥控制流量，首先以小流量將試驗砂淹沒，並以尾水板來抬升水位到試驗水位高，再將流量慢慢增大到臨界流速之流量，固定閘閥開度，直到試驗完成，再將閘閥控制開度關閉停止進水。

5. 試驗沖刷時間

每一方案以每天沖刷 8 小時，以模擬現地汛期之沖刷破壞。

6. 量測沖刷深度與範圍

8 小時沖刷試驗結束後，關閉流量閘閥，待水排除後，以近景攝影三維重建技術(透過一般數位相機利用多視角所拍攝的多張序列影像，進行影像匹配，再經由匹配後所得之影像特徵點，以核線幾何關係進行場景重建，以大量多餘觀測進而解算求得場景空間之具體座標，並進行三維密點雲模型重建)^[15]，得到縱斷面沖刷剖面圖及沖刷坑範圍。

7. 更換橋墩保護方案並重複試驗步驟 3 至步驟 6。

6.3 試驗成果

本研究以現況保護工(鼎形塊排置工法)之鋪設，先進行對照組之沖刷試驗，以瞭解其橋墩基礎之沖刷深度與範圍；接著進行不同鋪設方案之沖刷試驗，比較各方案之優劣，以利後續研提保護工鋪設方式供橋管單位未來施政之參考。

1. 現況保護措施

現況保護措施示意圖如圖 6.5 所示，模型鋪設如圖 6.6 所示，其沖刷結果如圖 6.7~6.9 所示，可看出橋墩基礎附近之鼎形塊因下面之土砂被沖刷，導致靠近基礎之鼎形塊有滑落入沖刷坑之現象。以近景攝影測量展繪之沖刷 3D 圖，如圖 6.10 所示，沖淤狀況如圖 6.11 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.12~6.14 所示，由圖可知，最大沖刷深度為 7.5 公分。

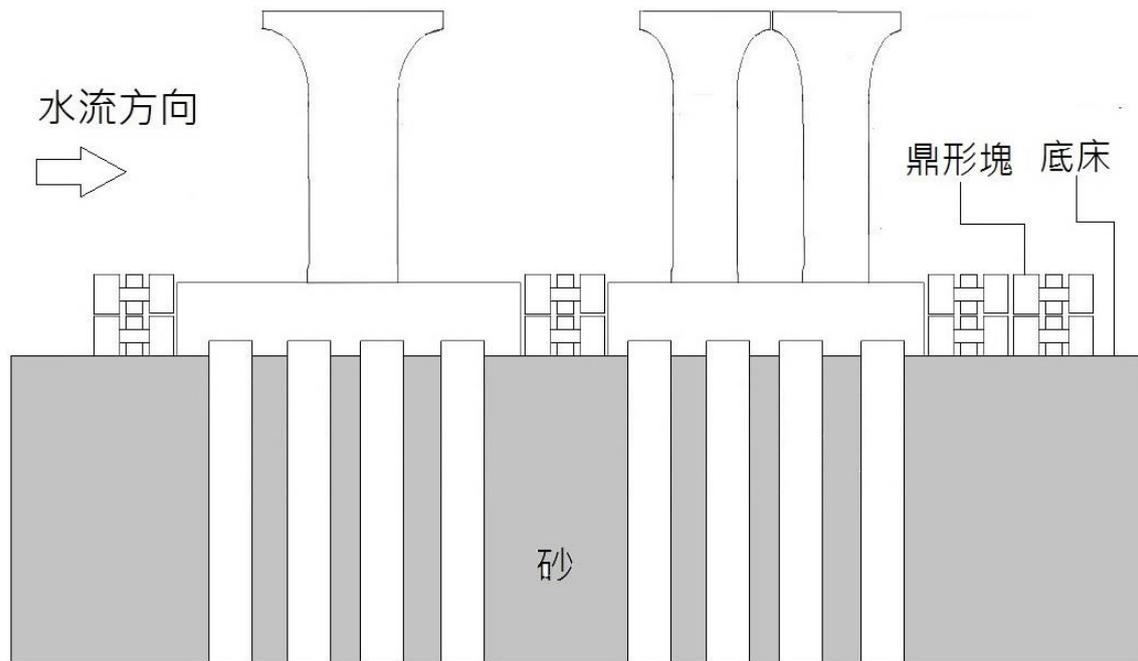


圖 6.5 現況保護措施鼎形塊鋪設斷面示意圖

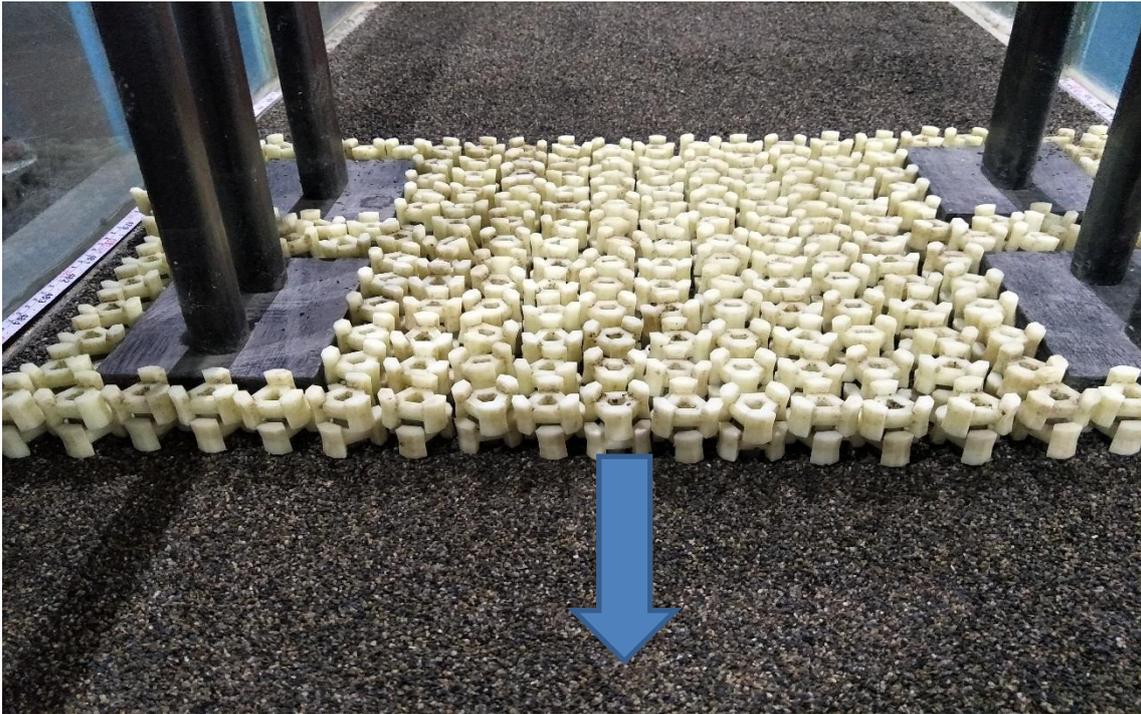


圖 6.6 現況保護措施模型鋪設

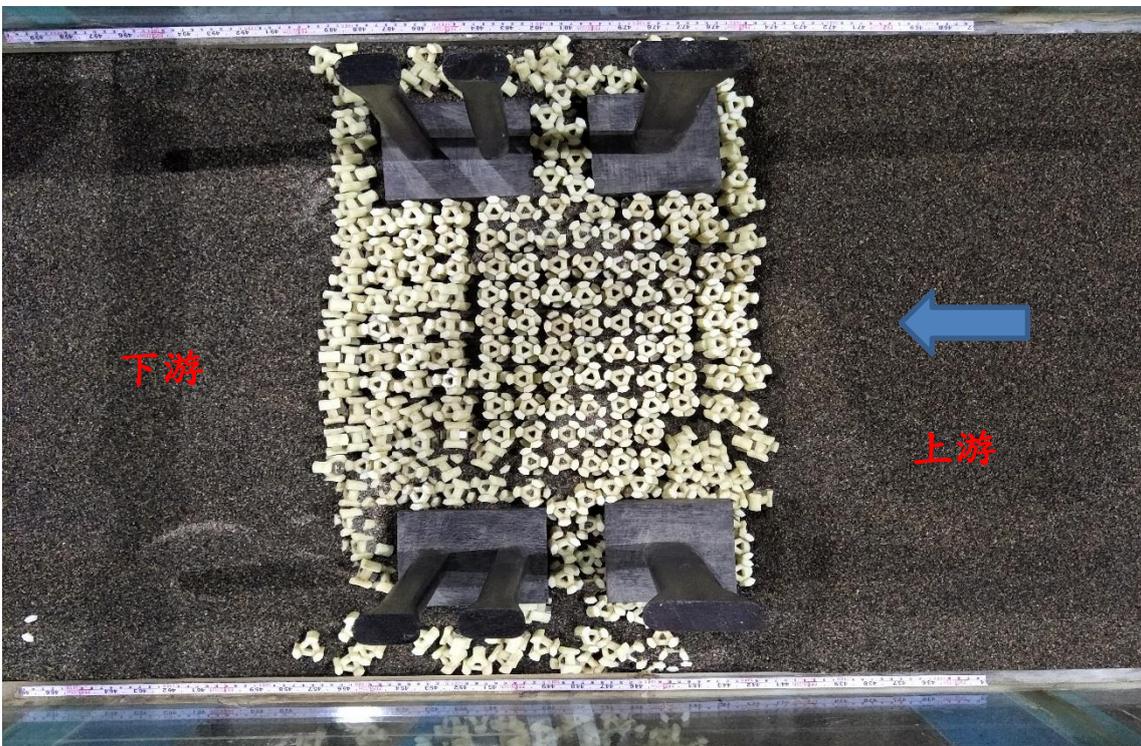


圖 6.7 現況保護措施基礎沖刷情形



圖 6.8 現況保護措施基礎上游沖刷情形



圖 6.9 現況保護措施基礎下游沖刷情形

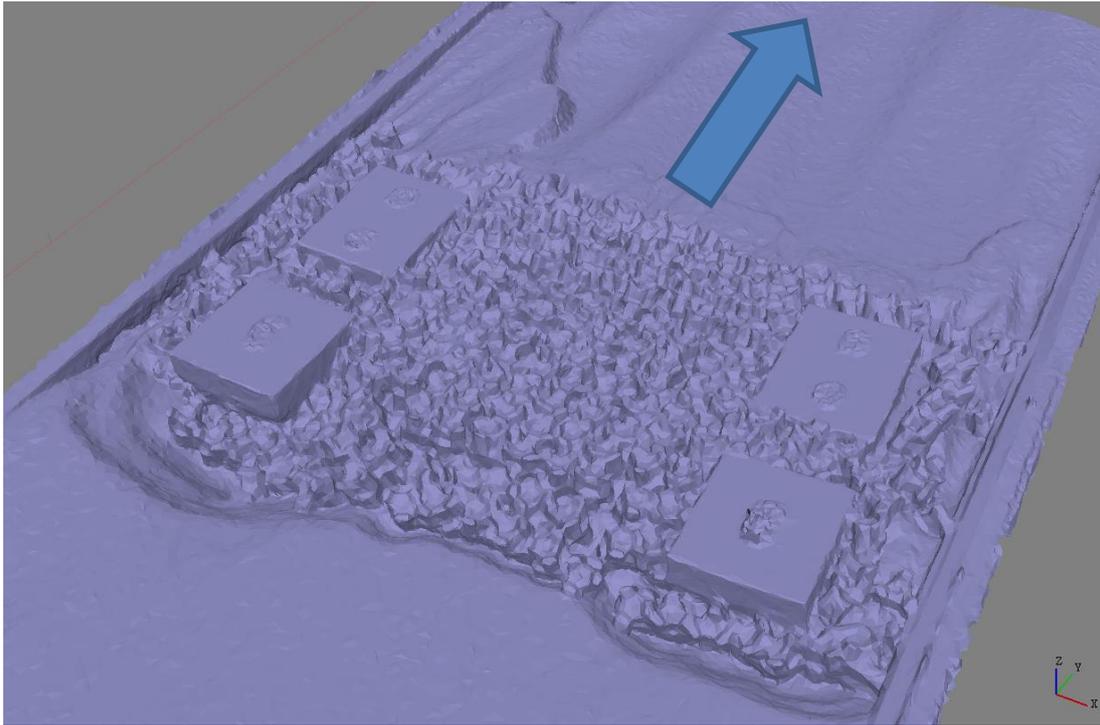


圖 6.10 現況保護措施沖刷 3D 模型

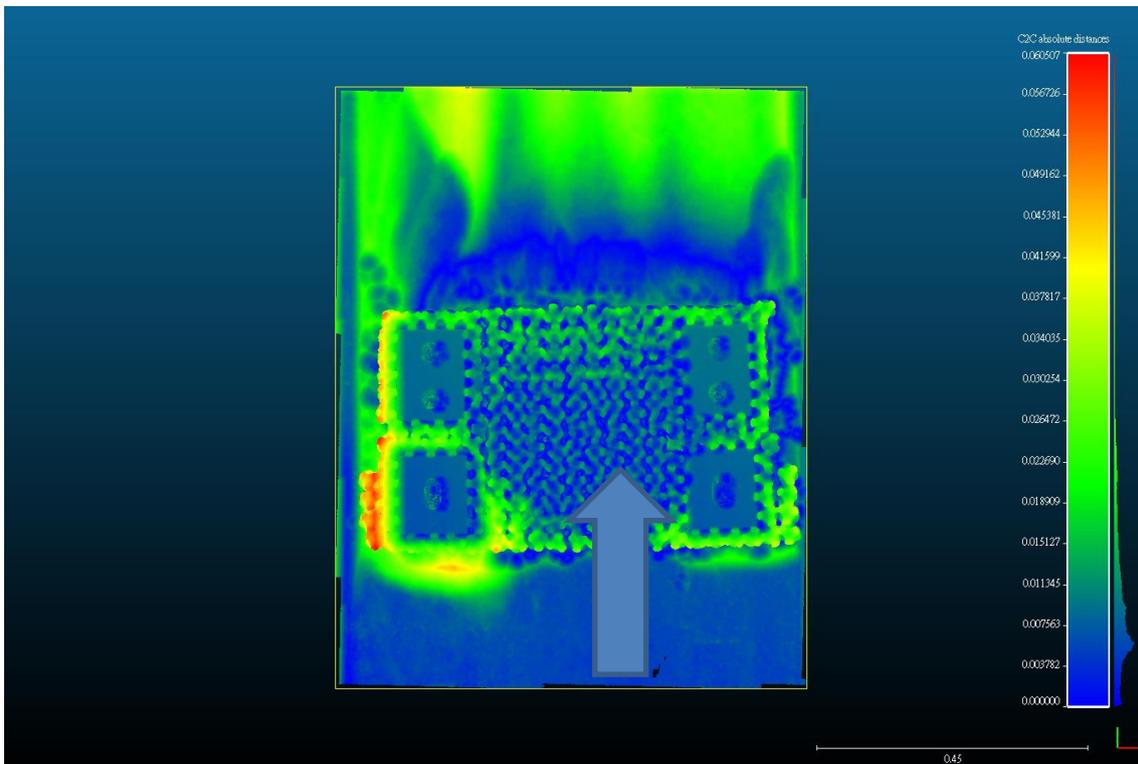


圖 6.11 現況保護措施沖淤狀況

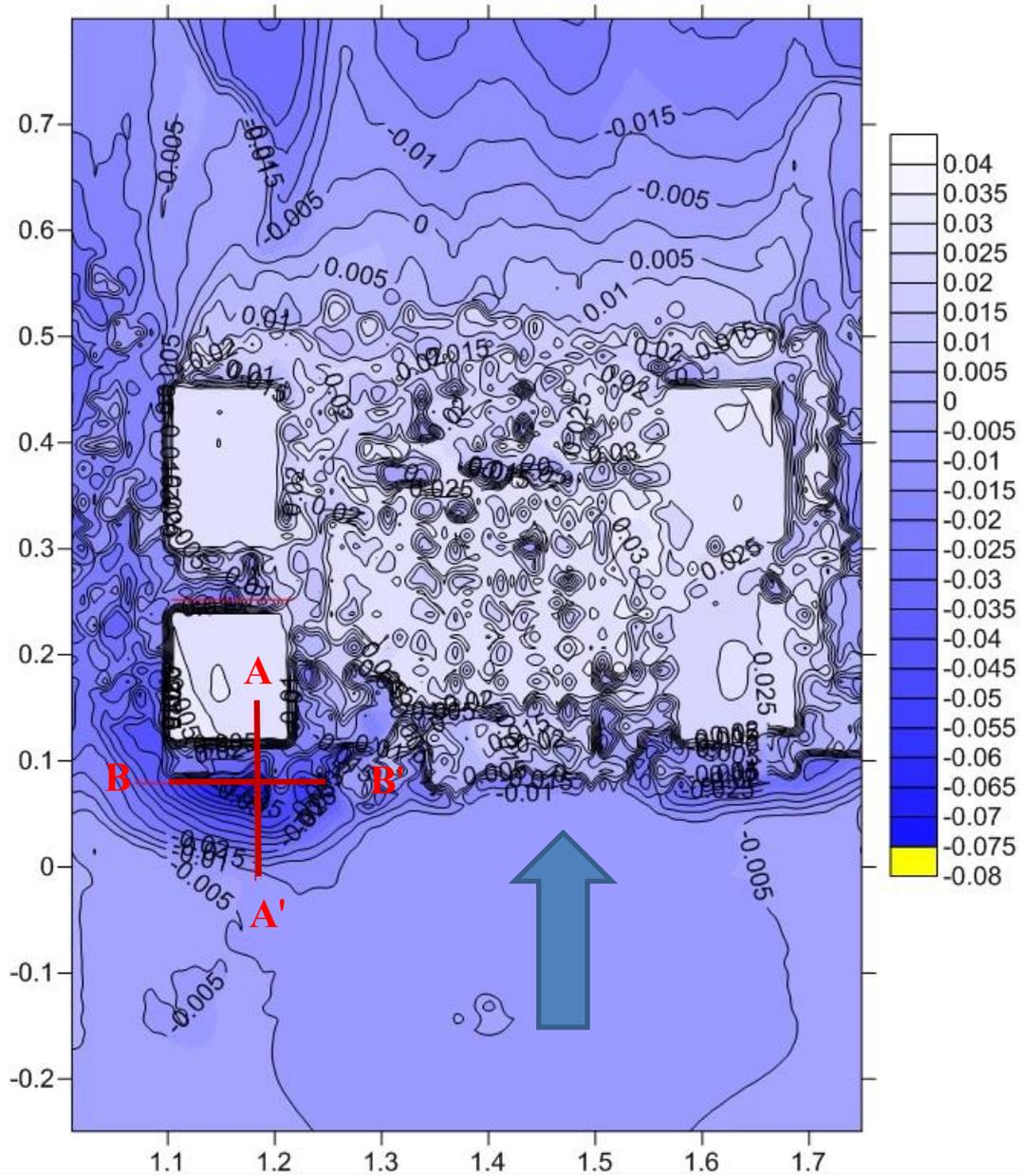


圖 6.12 現況保護工基礎沖刷坑等高線示意圖

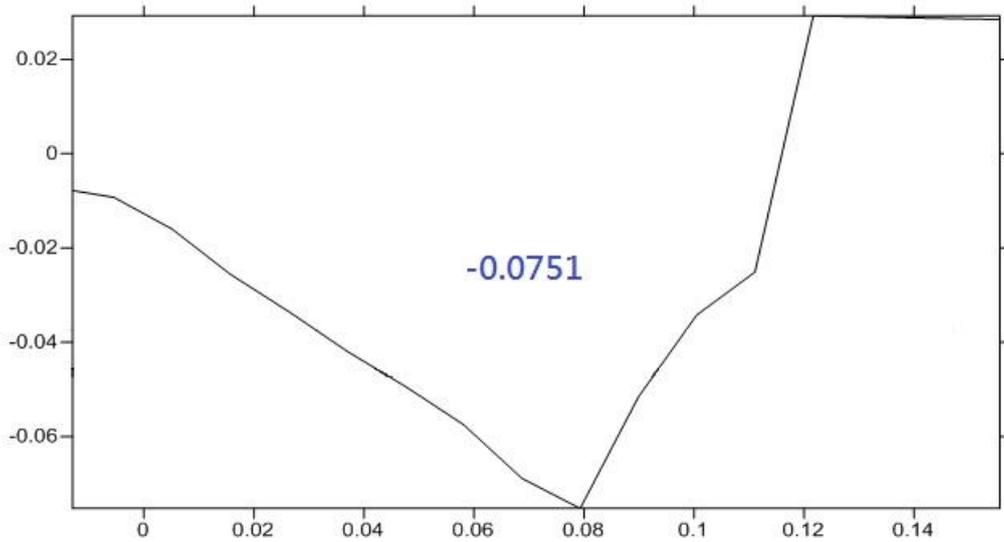


圖 6.13 現況保護工基礎沖刷縱斷面(AA')示意圖

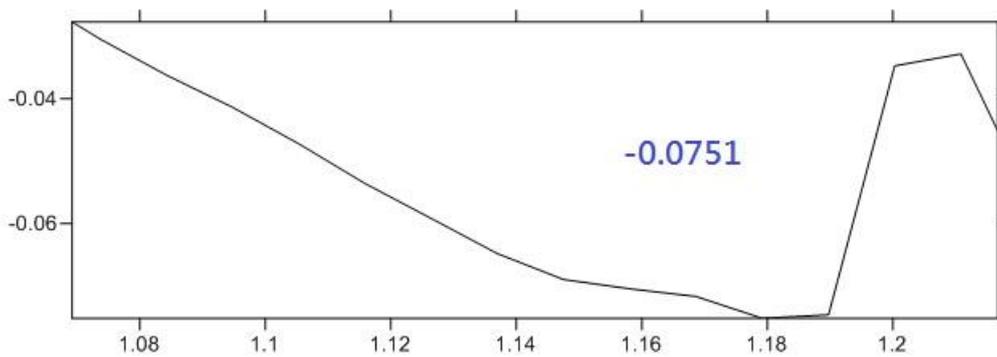


圖 6.14 現況保護工基礎沖刷橫斷面(BB')示意圖

2. 零方案(無保護工)

為驗證現況保護措施之成效，本研究移除現況之鼎形塊保護工進型沖刷試驗，以利瞭解現況保護措施之成效。示意圖如圖 6.15 所示，試驗模型如圖 6.3 所示，其沖刷結果如圖 6.16 所示，可看出橋墩基礎附近之土砂有嚴重之沖刷。以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.17 所示，沖淤狀況如圖 6.18 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.19~6.21 所示，由圖可知，最大沖刷深度為 8.7 公分，較現況保護措施增加沖刷深度約 1.2 公分，顯示現況保護措施有其保護成效。

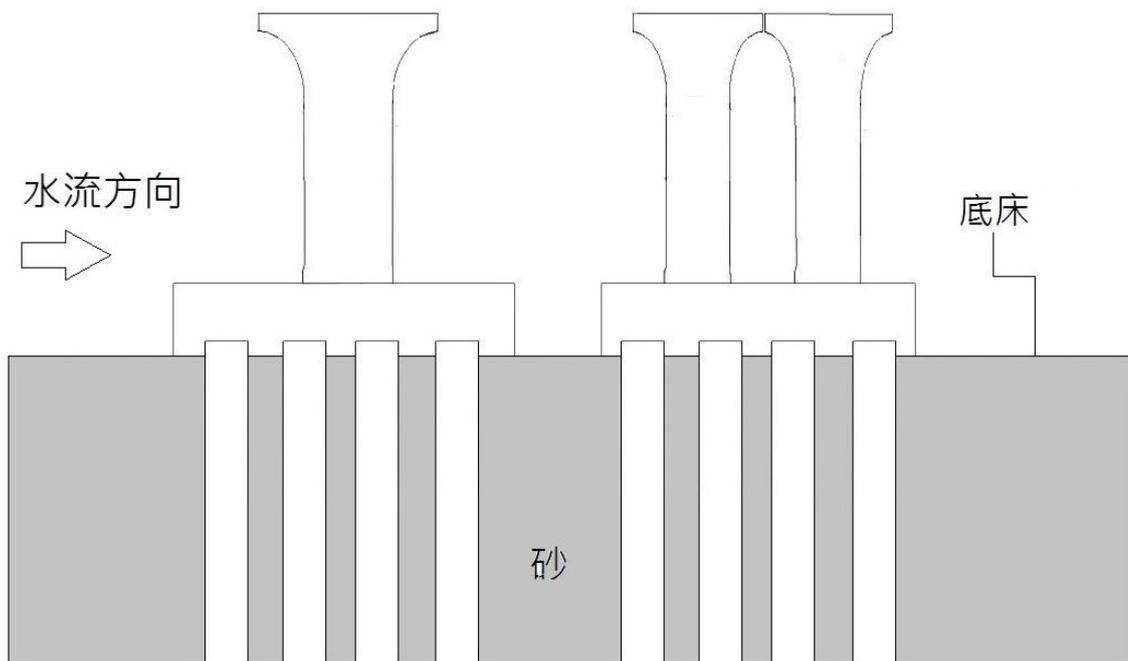


圖 6.15 無保護措施斷面示意圖



圖 6.16 無保護措施基礎沖刷情形

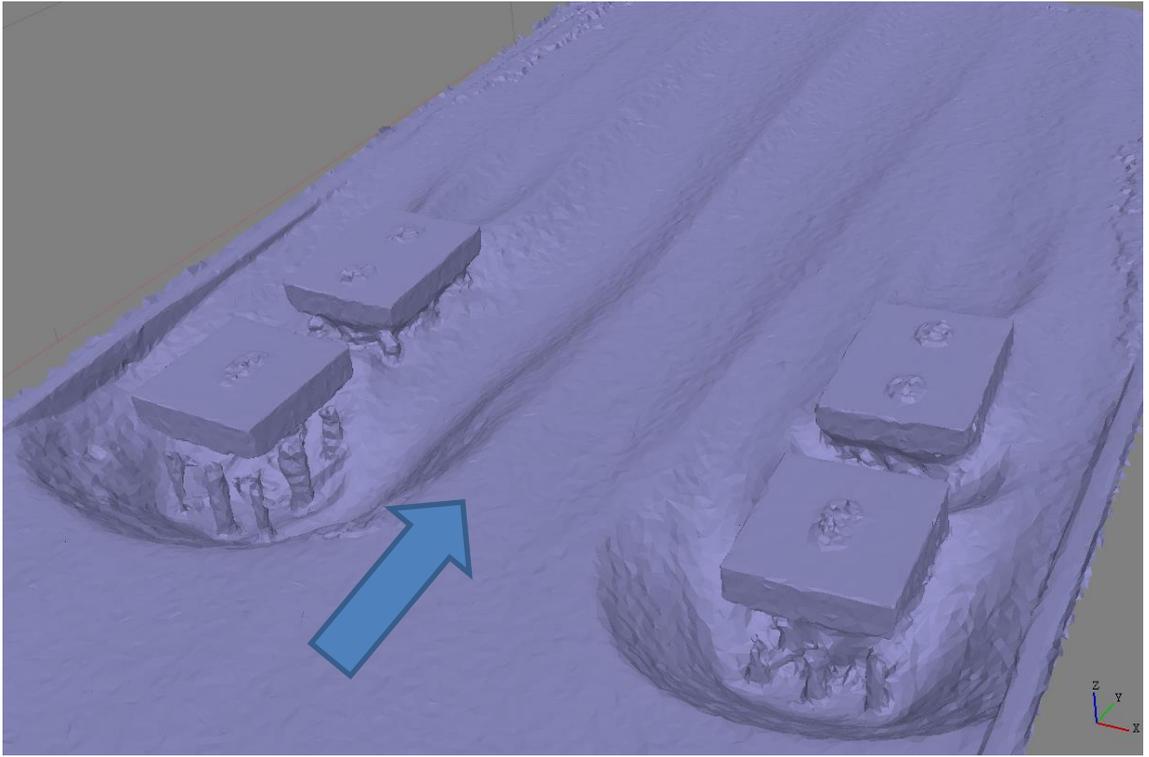


圖 6.17 無保護措施沖刷 3D 模型

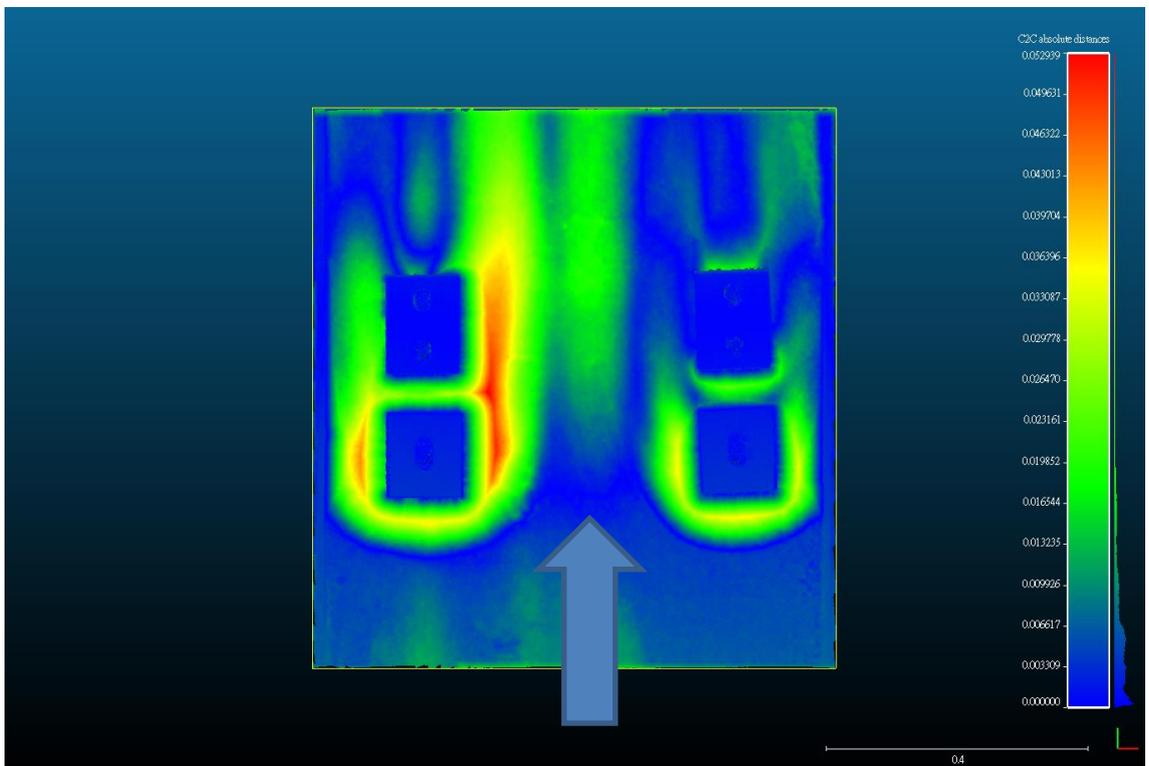


圖 6.18 無保護措施沖淤狀況

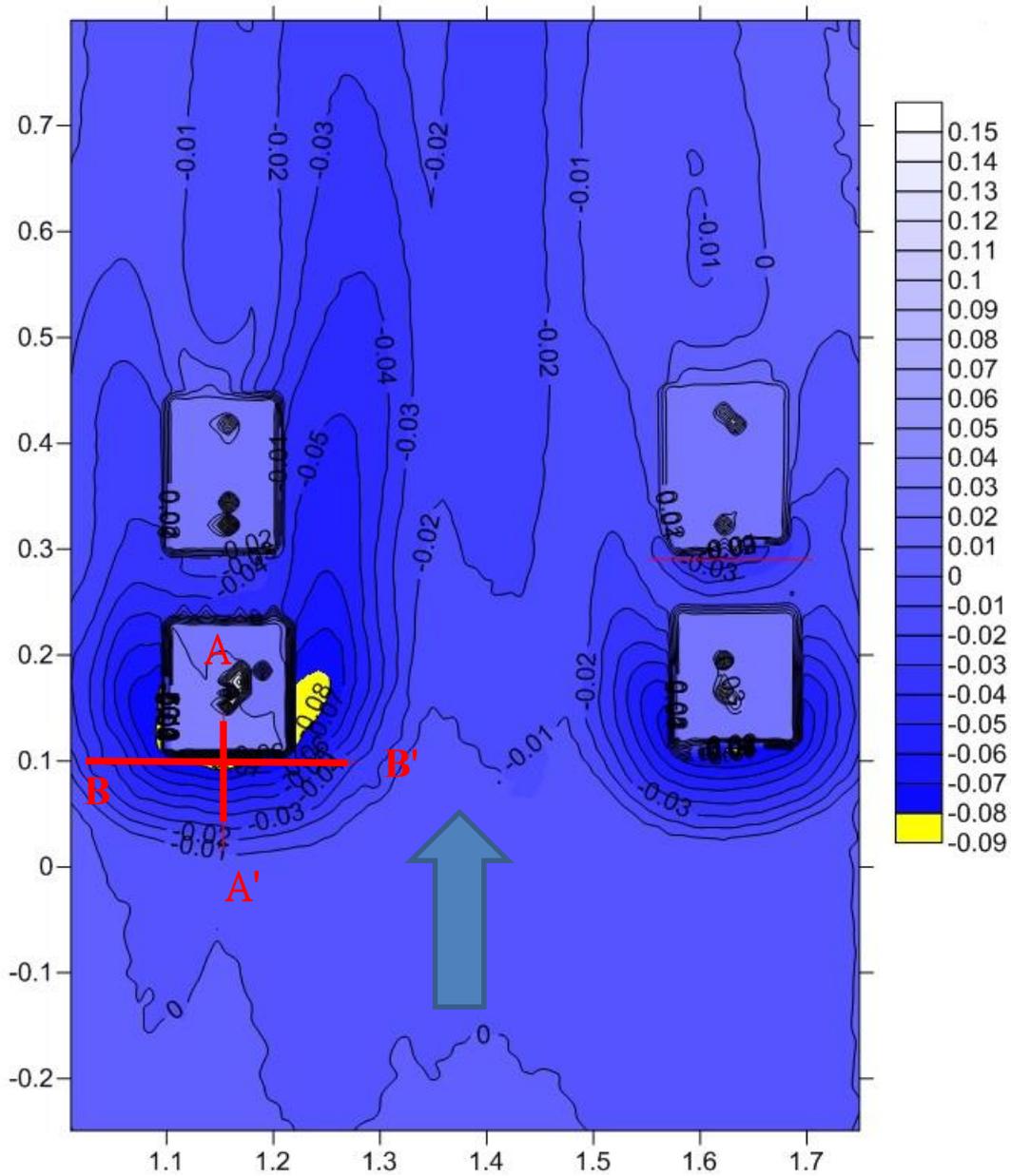


圖 6.19 無保護措施基礎冲刷坑等高線示意圖

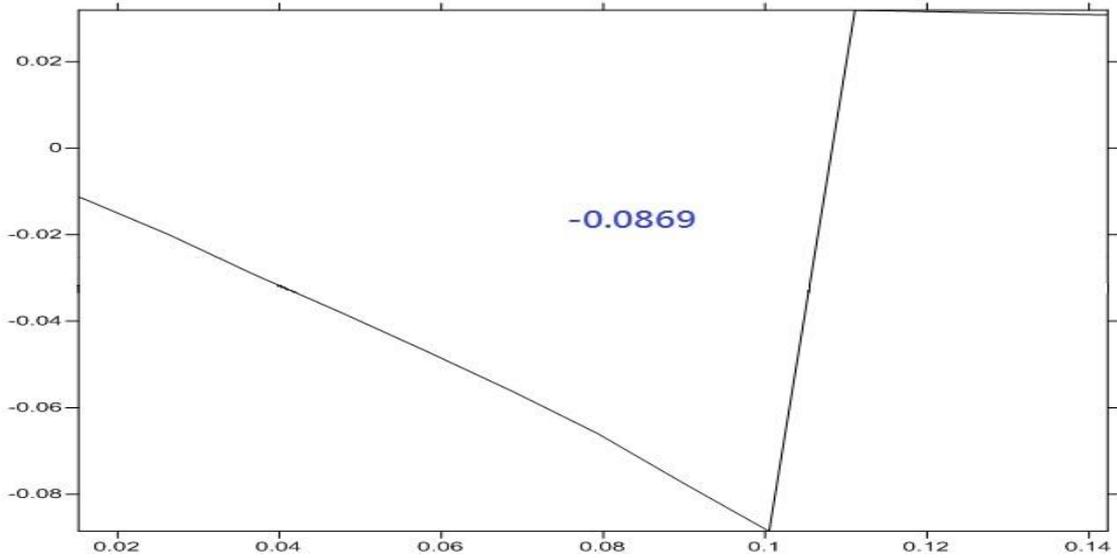


圖 6.20 無保護措施基礎沖刷縱斷面(AA')示意圖

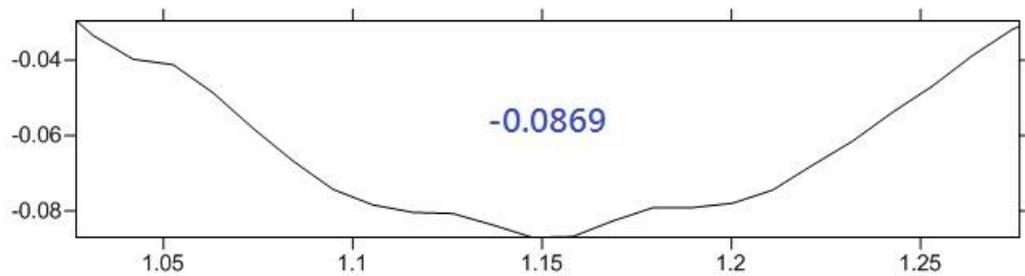


圖 6.21 無保護措施基礎沖刷橫斷面(BB')示意圖

3. 方案一(一層鼎形塊)

現況保護措施為達到與橋墩基礎樁帽高程一致，遂鋪設二層鼎形塊，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，爰此，本方案將移除一層鼎形塊，將橋墩基礎保護措施降為一層之鼎形塊保護來進行沖刷試驗。示意圖如圖 6.22 所示，試驗模型如圖 6.23 所示，其沖刷結果如圖 6.24 及圖 6.25 所示，可看出橋墩基礎附近之土砂有嚴重之沖刷。以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.26 所示，沖淤狀況如圖 6.27 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，

如圖 6.28~6.30 所示，由圖可知，最大沖刷深度為 1.4 公分，較現況保護措施大幅減少約 6.1 公分，顯示降為一層之鼎形塊保護工較現況保護措施為宜。

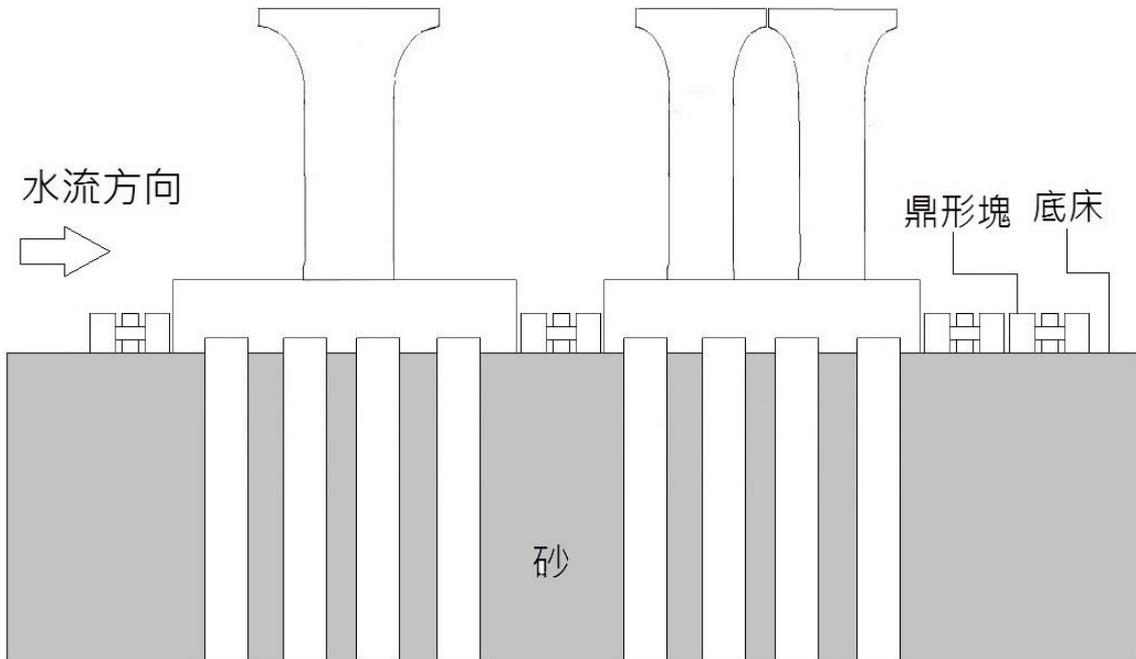


圖 6.22 方案一(一層鼎形塊)斷面示意圖

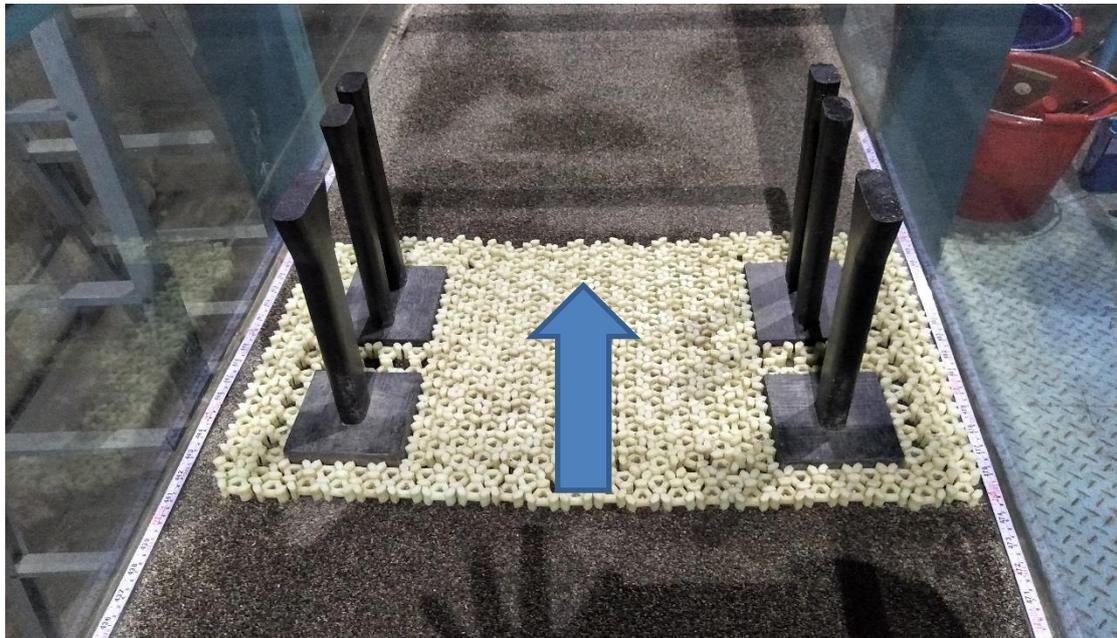


圖 6.23 方案一(一層鼎形塊)保護措施模型鋪設



圖 6.24 方案一(一層鼎形塊)保護措施上游基礎沖刷情形

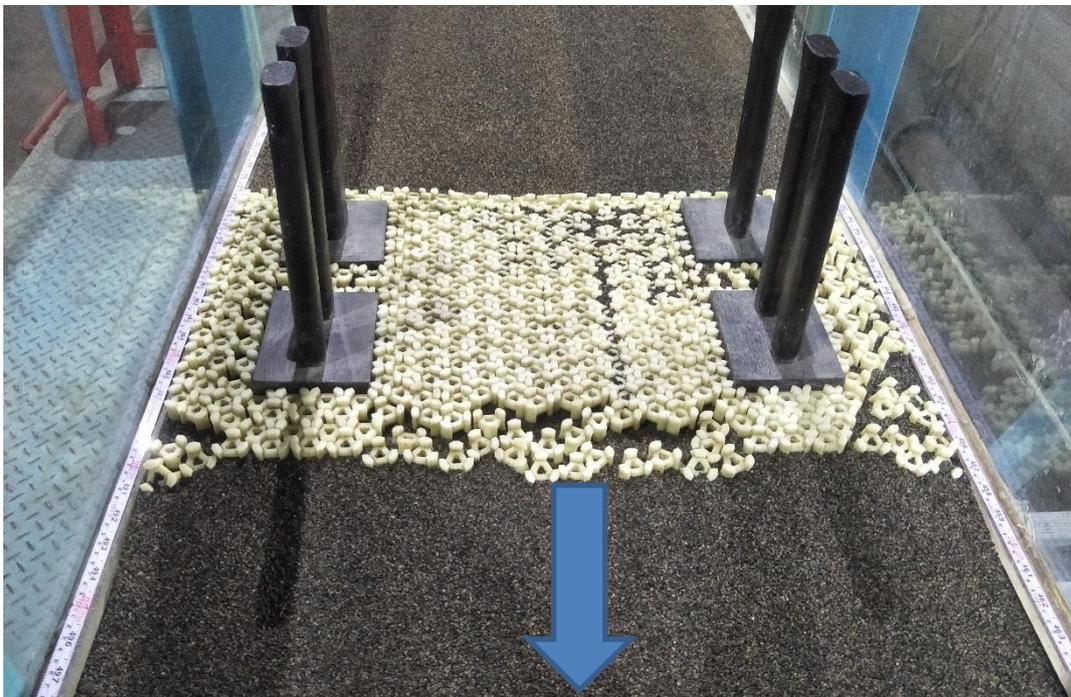


圖 6.25 方案一(一層鼎形塊)保護措施下游基礎沖刷情形

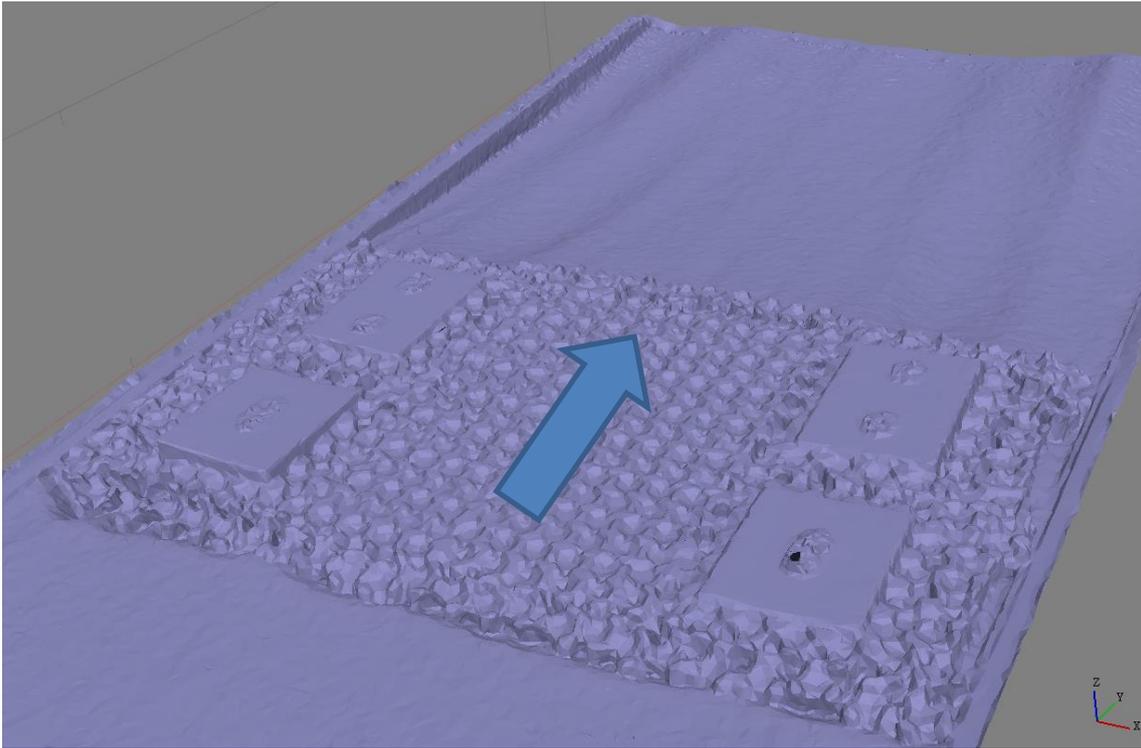


圖 6.26 方案一(一層鼎形塊)沖刷 3D 模型

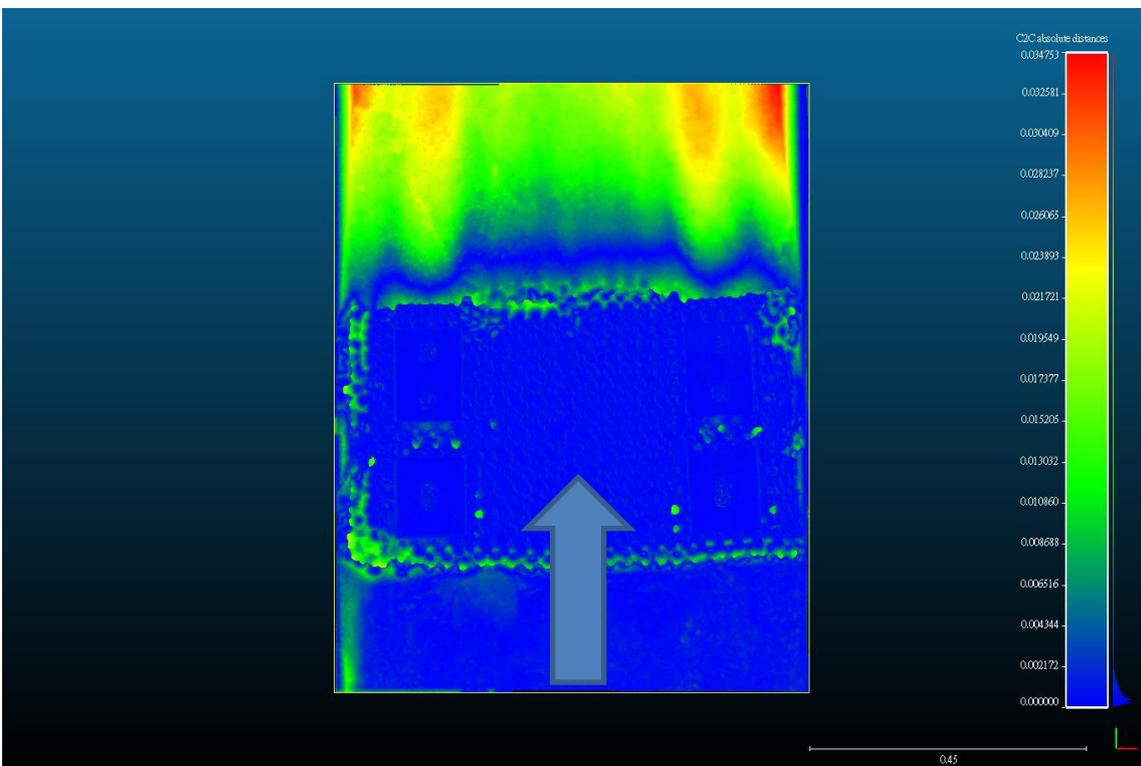


圖 6.27 方案一(一層鼎形塊)保護措施沖淤狀況

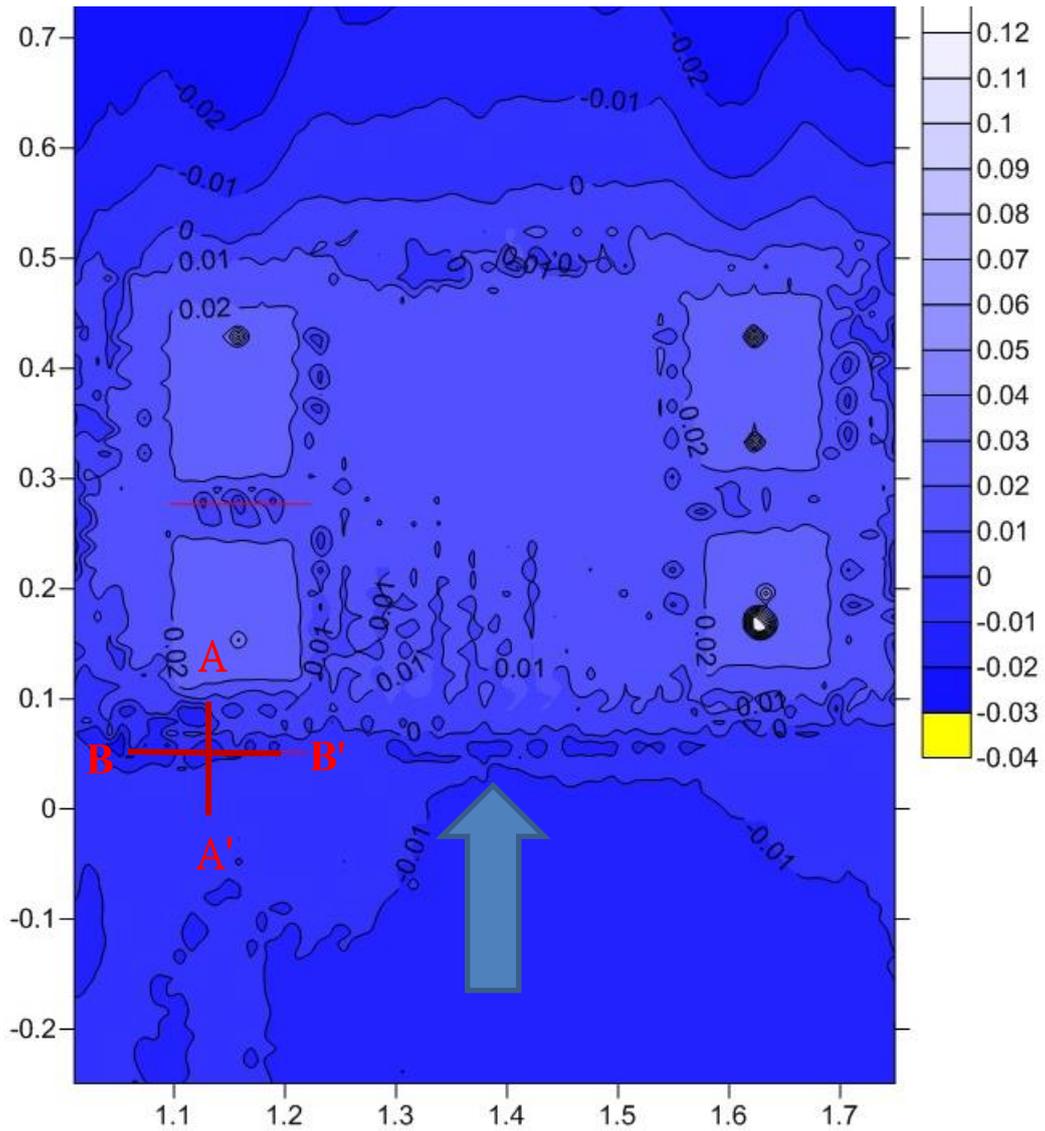


圖 6.28 方案一(一層鼎形塊)保護措施基礎沖刷坑等高線示意圖

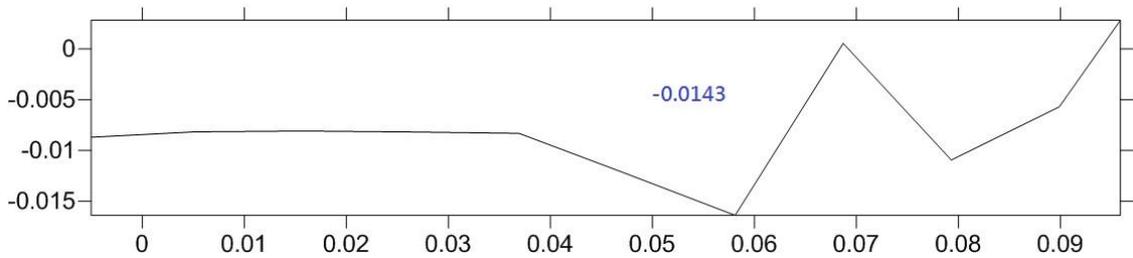


圖 6.29 方案一(一層鼎形塊)保護措施基礎沖刷縱斷面(AA')示意圖

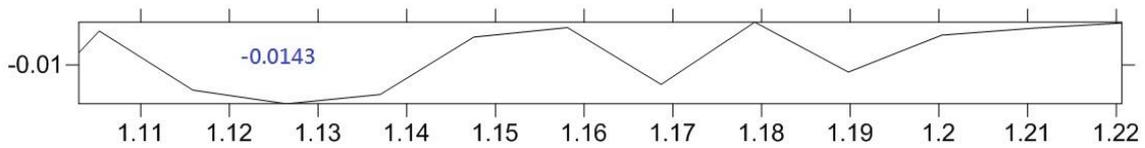


圖 6.30 方案一(一層鼎形塊)保護措施基礎沖刷橫斷面(BB')示意圖

4. 方案二(一層鼎形塊+土工織物)

為減少鼎形塊因底床質流失造成整體保護工之沉陷流失破壞，本研究在鼎形塊下鋪設一層土工織物(織布)，期望能減少底床質之沖刷流失，其鋪設示意圖如圖 6.31 所示，模型鋪設如圖 6.32 及 6.33 所示，其沖刷結果如圖 6.34 及圖 6.35 所示，由沖刷深度以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.36 所示，沖淤狀況如圖 6.37 所示，等高線圖如圖 6.38 示，由圖可知，最大沖刷深度與方案一相同，約為 1.4 公分，上下游鼎形塊之沉陷與流失也跟方案一相似。主要差異為橋墩間有鋪設織物織之底床質流失似乎有微量的減少，此可由兩方案之等高線圖 6.28 及圖 6.38 比較而得。

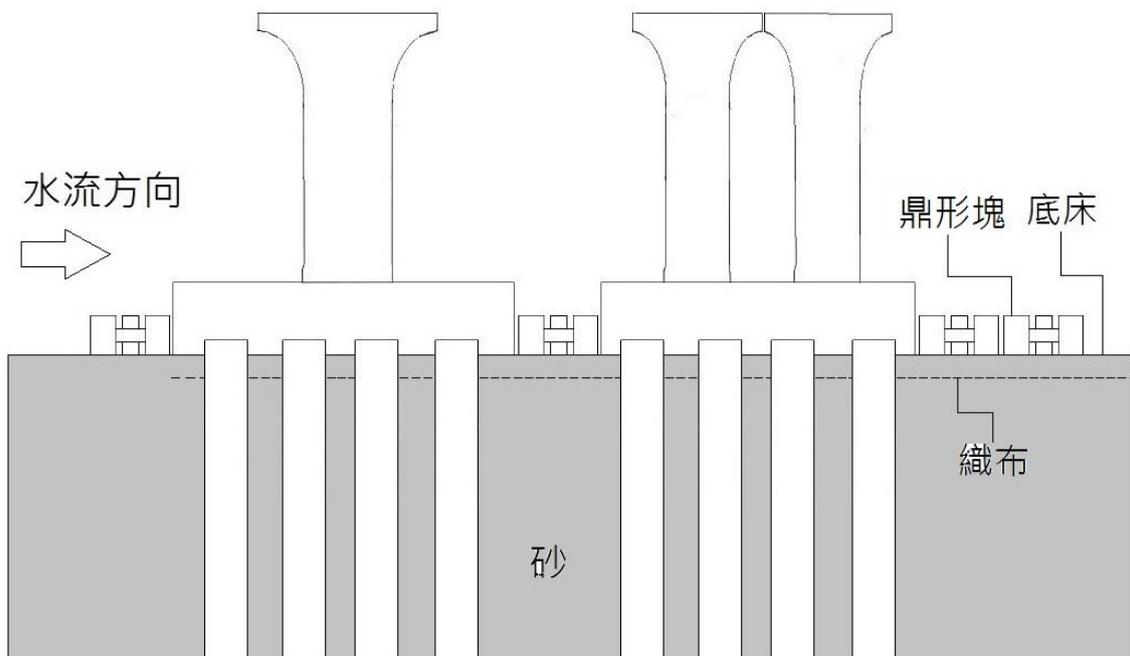


圖 6.31 方案二(一層鼎形塊+織布)斷面示意圖

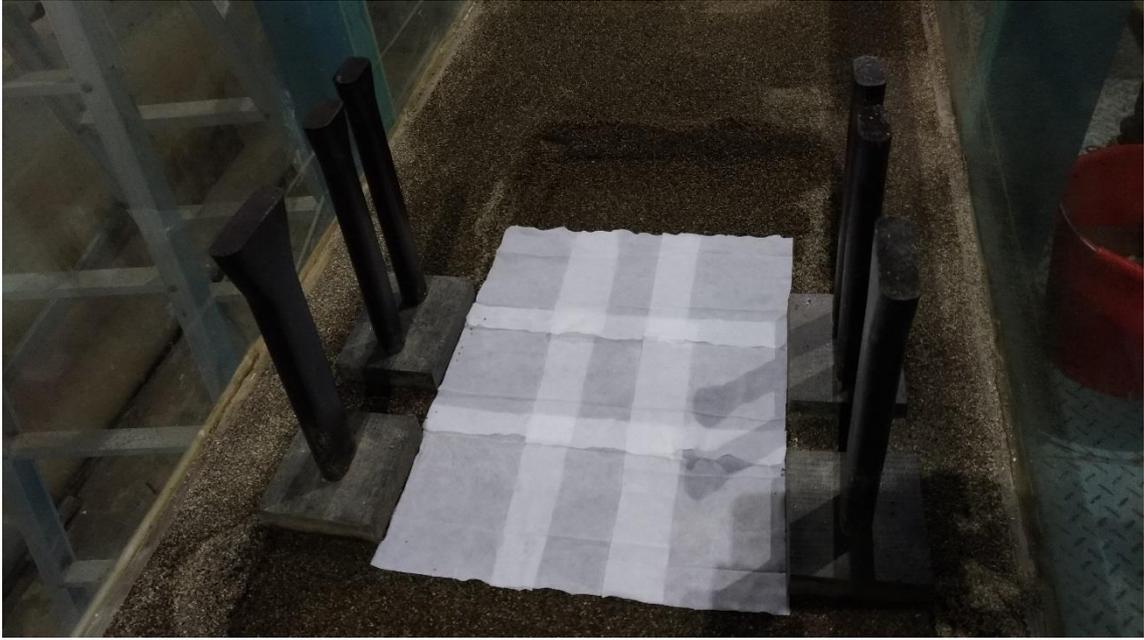


圖 6.32 方案二(一層鼎形塊+織布)織布鋪設



圖 6.33 方案二(一層鼎形塊+織布)保護措施模型鋪設

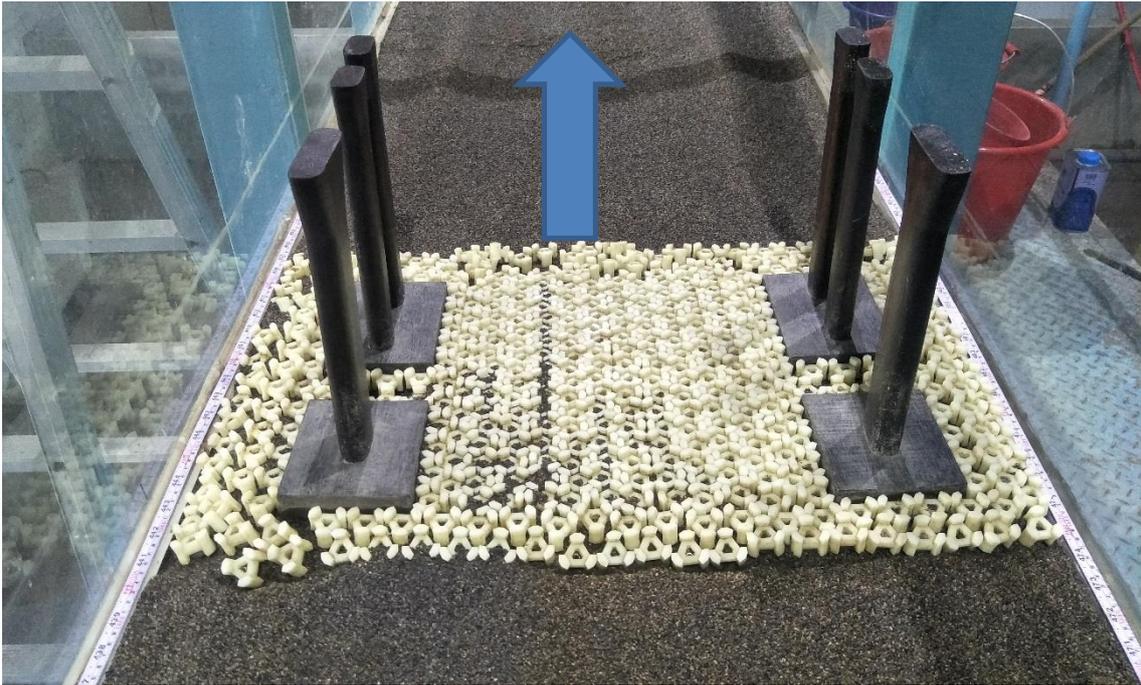


圖 6.34 方案二(一層鼎形塊+織布)保護措施上游基礎沖刷情形

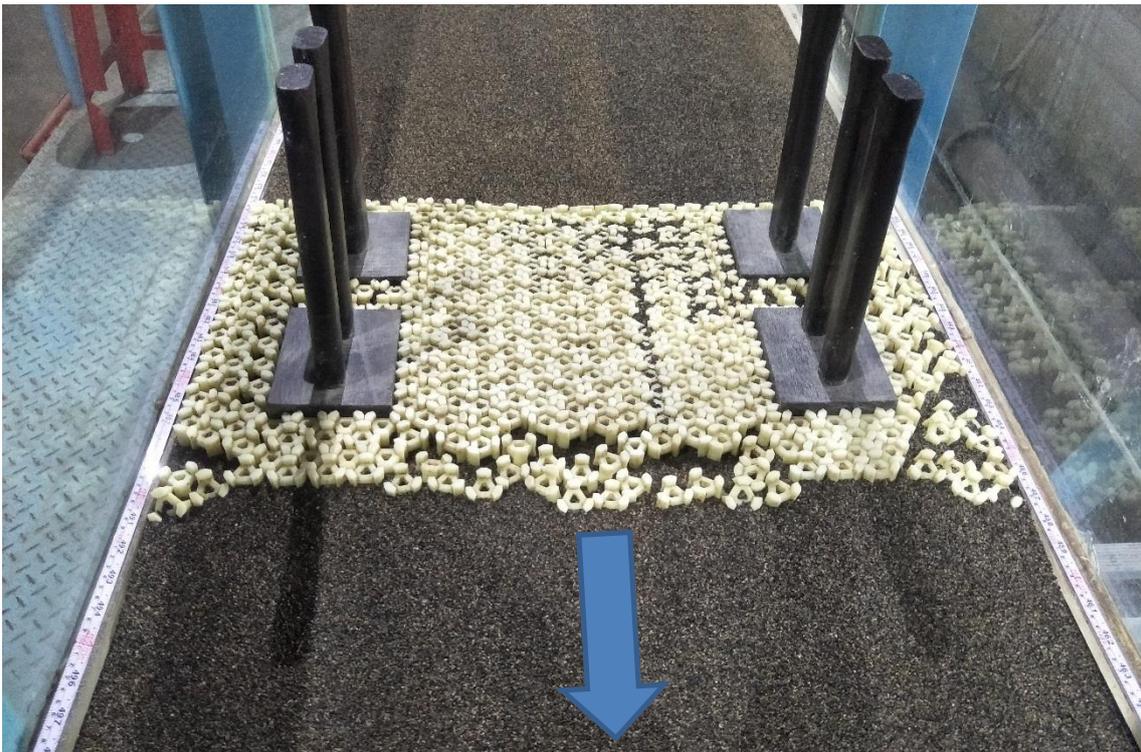


圖 6.35 方案二(一層鼎形塊+織布)保護措施下游基礎沖刷情形

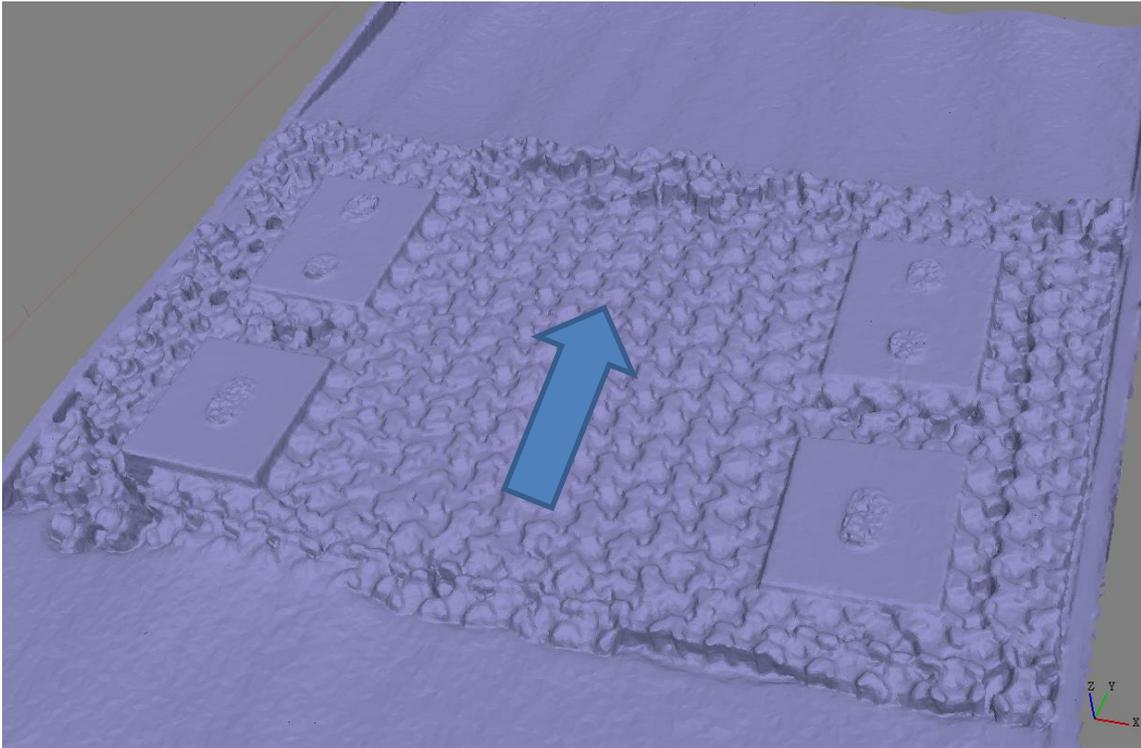


圖 6.36 方案二(一層鼎形塊+織布)沖刷 3D 模型

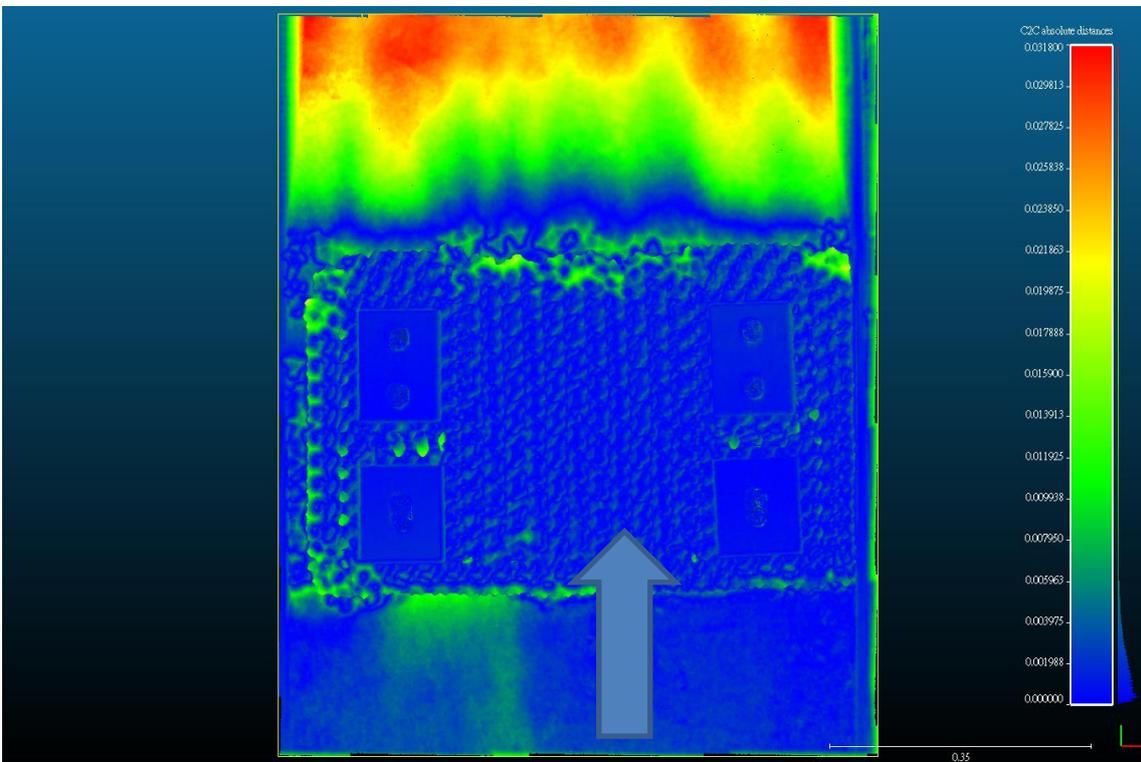


圖 6.37 方案二(一層鼎形塊+織布)沖淤狀況

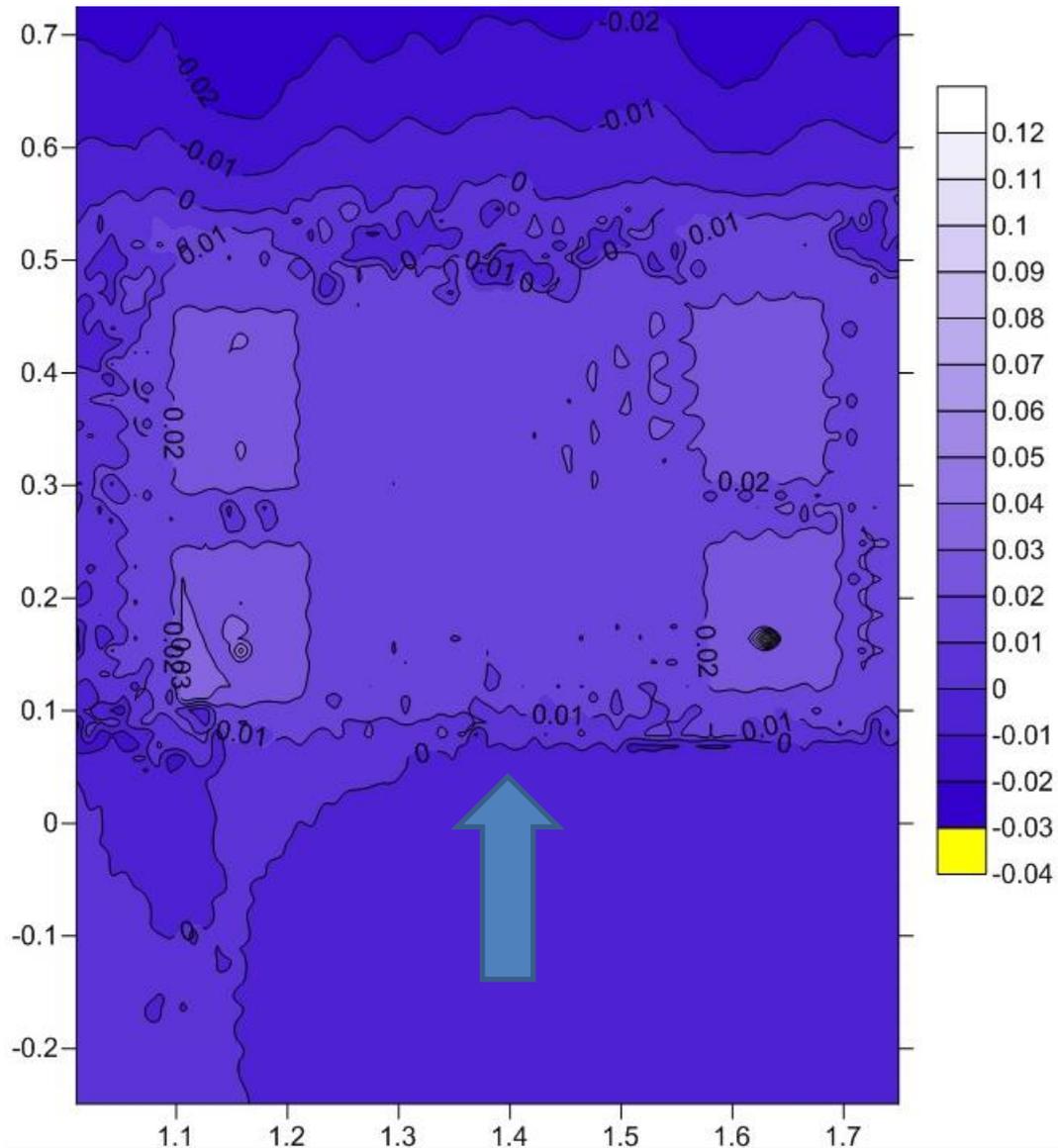


圖 6.38 方案二(一層鼎形塊+織布)基礎冲刷坑等高線示意圖

5. 方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)

依方案一及方案二之冲刷結果顯示，鼎形塊保護工下游之底床冲刷，可能會進一步往上游向源侵蝕，造成鼎形塊的滾落流失，為避免鼎形塊因向源侵蝕的流失，減少下游之底床冲刷可能是較適宜的作法，爰此，本方案在下游鋪設石籠，期望能減少鼎形塊的流失。鋪設示意圖如圖 6.39 所示，模型鋪設如圖 6.40 所示，其冲刷結果如圖 6.41 及圖 6.42 所示，由冲刷深度以近景攝影測量展繪之冲刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.43 所示，冲淤狀況如圖 6.44 所示，等高線圖如圖 6.45 示，由圖可知，

最大冲刷深度與方案一及方案二相近，約為 1.4 公分，上游鼎形塊之沉陷也跟方案一及方案二相似，惟下游之鼎形塊保持穩定無滑動，達到本方案預期的效益。

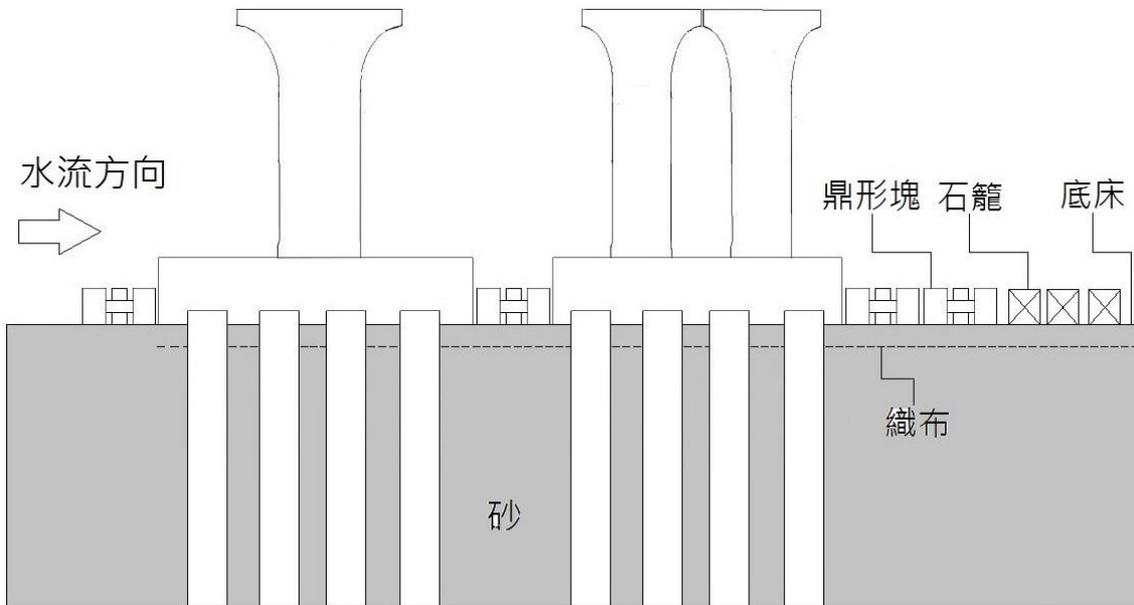


圖 6.39 方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)斷面示意圖

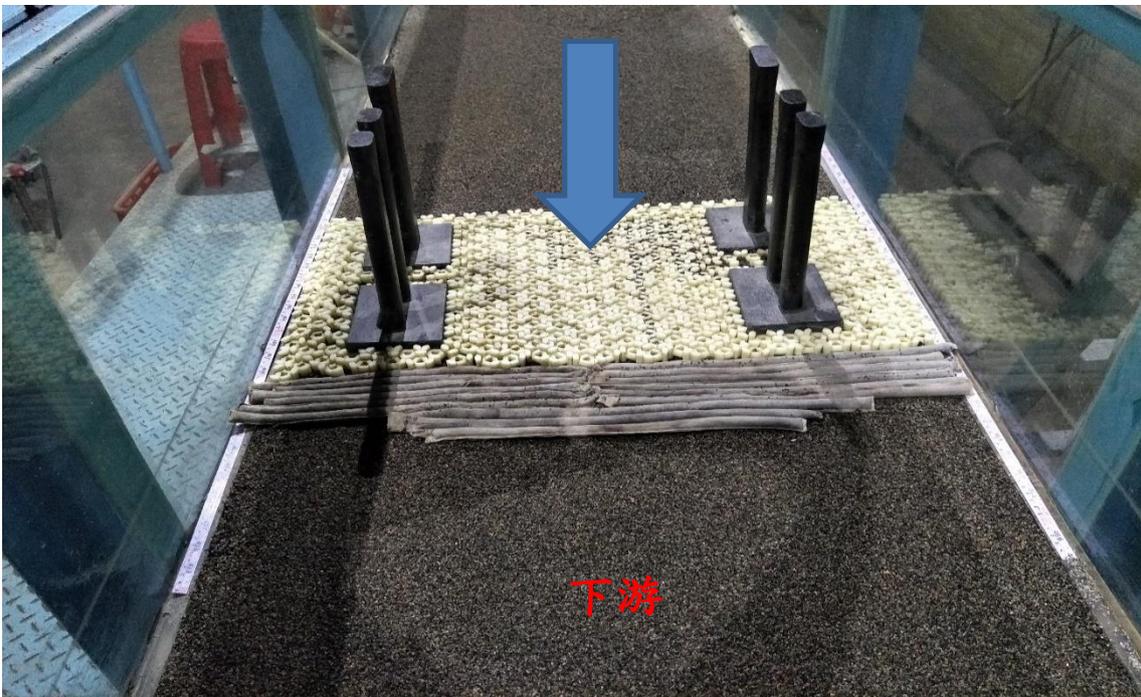


圖 6.40 方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)保護措施模型鋪設

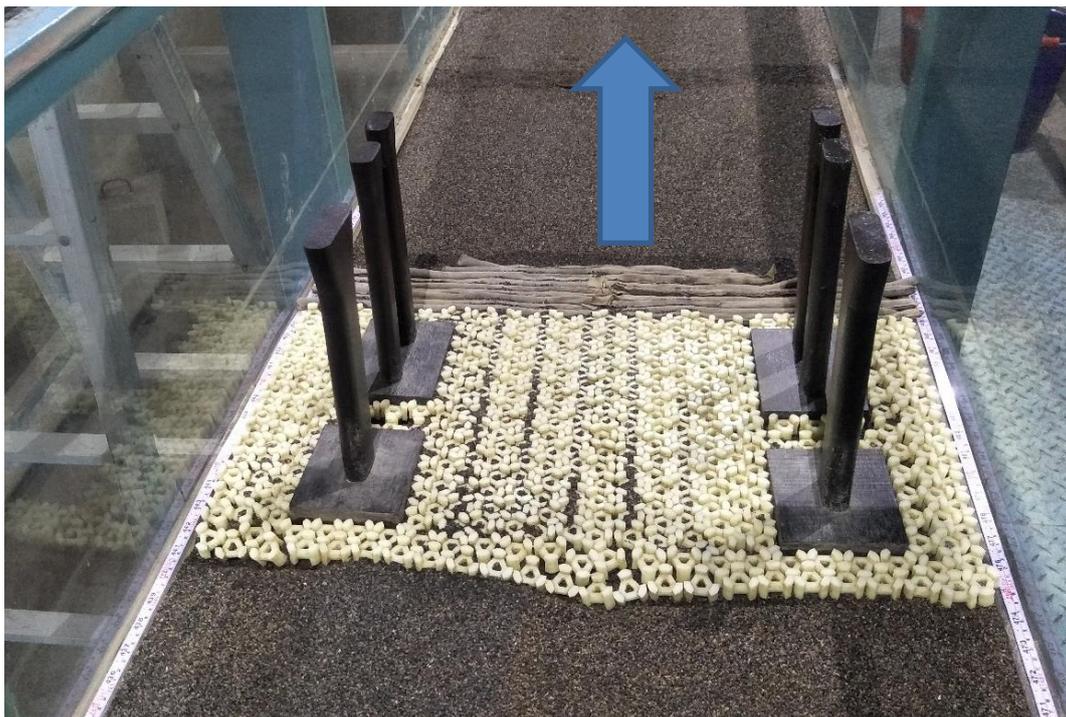


圖 6.41 方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)上游沖刷情形



圖 6.42 方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)下游沖刷情形

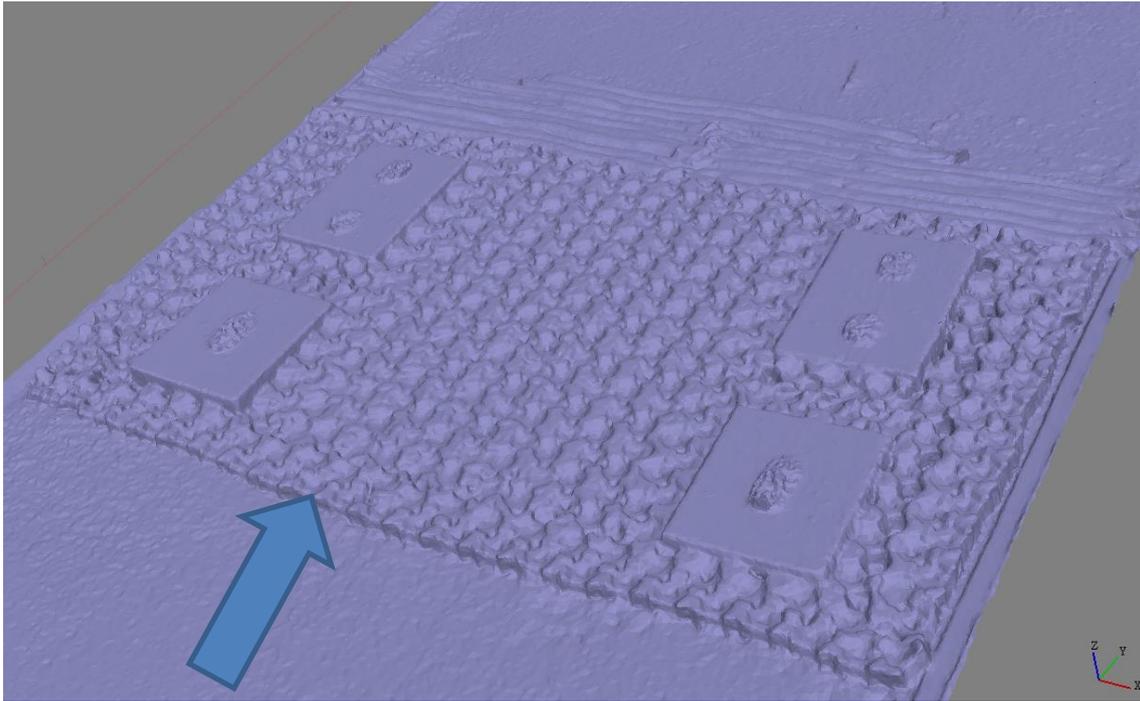


圖 6.43 方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)沖刷 3D 模型

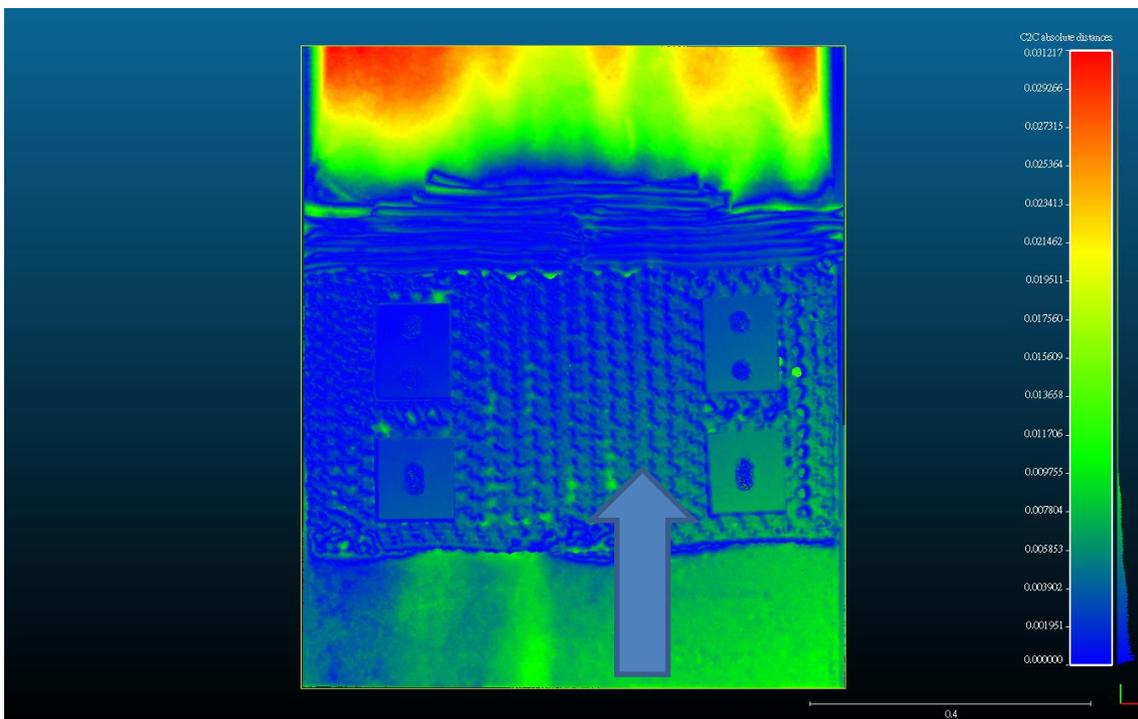


圖 6.44 方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)沖淤狀況

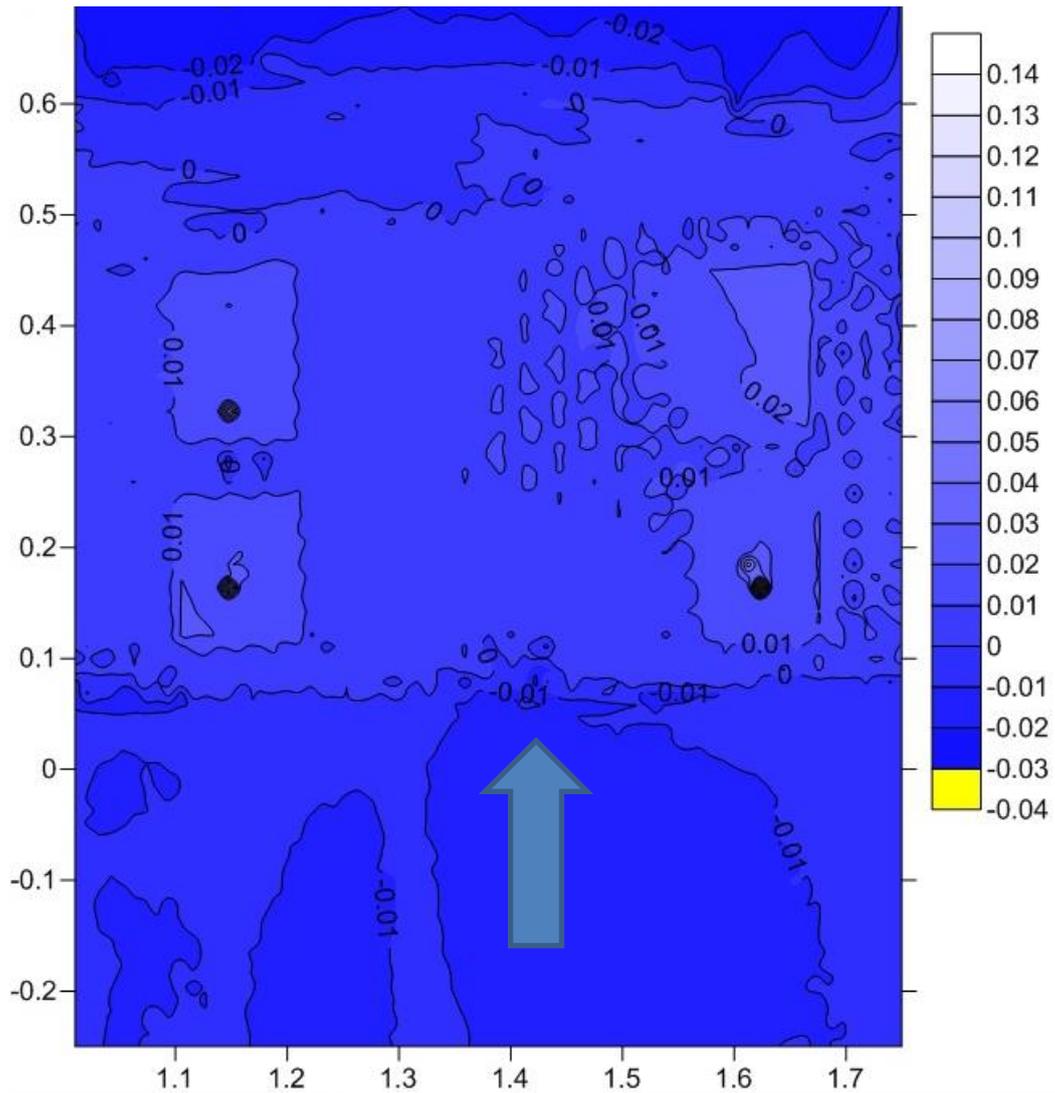


圖 6.45 方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)基礎沖刷坑等高線示意圖

6.4 小結

由本章現況保護措施鋪設方式及 4 種鋪設方案(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形塊穩定度之結果(如表 6-1)顯示：

1. 現況保護措施與零方案(無保護工)之沖刷結果顯示，現況保護措施沖刷深度小於無保護措施，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，遂鋪設二層鼎形塊，

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，爰此，方案一將橋墩基礎保護措施降為一層之鼎形塊保護，沖刷試驗結果橋墩基礎最大沖刷深度由 7.5cm 降為 1.4cm，顯示方案一優於現況保護措施。

3. 方案二與方案一主要差異為在鼎形塊基礎下鋪設織布，以期減少床質的沖刷，然沖刷試驗結果顯示，兩方案並無明顯之差異。
4. 方案三為避免下游向源侵蝕的作用，導致鼎形塊的滑落與流失，遂在鼎形塊下游鋪設石籠作為保護，試驗結果顯示確實對下游鼎形塊的穩定度有很大的成效。
5. 礙於本研究試驗時間僅 8 小時，無法模擬水流沖擊力長時間對材料之磨損破壞及連續性破壞，試驗結果可能與現況之破壞機制或許有差異，未來現地之應用建議可參考方案一、方案二及方案三之鋪設方式進行現地試驗後，再擇較優之方案據以進行大規模之保護工鋪設。

表 6-1 不同鋪設方案最大沖刷深度及下游鼎形塊穩定度比較

鋪設方案	最大沖刷深度 (cm)	下游鼎形塊 穩定度
現況保護措施	7.5	滾落移動
零方案(無保護工)	8.7	-
方案一(一層鼎形塊)	1.4	滾落移動
方案二(一層鼎形塊+織布)	1.4	滾落移動
方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)	1.4	穩定

註：上述數據為一次之試驗結果

第七章 結論與建議

國 3 大甲溪橋為連接臺中市外埔區和清水區之間的重要橋梁，全橋總長 2,850 公尺，跨越大甲溪，於民國 92 年竣工，橋齡僅 15 年，除民國 93 年間之艾利颱風及民國 102 年潭美颱風豪雨沖刷下，使南側之數座橋墩樁帽有裸露之情形外，竣工至今尚無嚴重的沖刷災害。由於河川管理單位甫於民國 105 年 10 月辦理「大甲溪客庄堤段河道整理工程」，其中 P30R~P33R 橋墩位於土砂培厚區，以往易受沖刷裸露之情況已有效受土砂培厚之保護。但由於水流受限於左右岸之土砂培厚影響，流路亦因而導向河心深槽，主深槽於 P26R~P28R 之間通過橋址中央，在深槽區單寬流量增加下，主深槽所在之橋基刷深至 2~3 公尺。有鑑於此，為防止未來可能之沖刷災情，國道高速公路局中工處大甲工務段遂於海棠颱風後，即著手進行沖刷防制保護工程，以確保 P24L、P25L、P27R 及 P28R 橋墩之安全。考量到國 3 大甲溪橋為連接南北重要的橋梁，為維護用路人之行車安全，本計畫藉由水工模型試驗，驗證既有保護工法並進而研提合宜橋基保護方案，供橋梁維管單位未來佈設相關橋基保護工決策之參考。

7.1 結論

本研究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形塊穩定度之結果(如表 6-1)顯示：

1. 現況保護措施與零方案(無保護工)之沖刷結果顯示，現況保護措施沖刷深度小於無保護措施，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，遂鋪設二層鼎形塊，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，爰此，方案一將橋墩基礎保護措施降為一層之鼎形塊保護，沖刷試驗結果橋墩基

礎最大沖刷深度由 7.5cm 降為 1.4cm，顯示方案一優於現況保護措施。

3. 方案二與方案一主要差異為在鼎形塊基礎下鋪設織布，以期減少底床質的沖刷，然沖刷試驗結果顯示，兩方案並無明顯之差異。
4. 方案三為避免下游向源侵蝕的作用，導致鼎形塊的滑落與流失，遂在鼎形塊下游鋪設石籠作為保護，試驗結果顯示確實對下游鼎形塊的穩定度有很大的成效。
5. 由於本研究無法模擬材料之磨損破壞，及水流沖擊力造成整體保護工之連續性破壞，試驗結果可能與現況之破壞機制或許有差異。

7.2 建議

1. 礙於本研究試驗時間僅 8 小時，無法模擬水流沖擊力長時間對材料之磨損破壞及連續性破壞，試驗結果可能與現況之破壞機制或許有差異，未來現地之應用建議可參考方案一、方案二及方案三之鋪設方式進行現地試驗後，再擇較優之方案據以進行大規模之保護工鋪設。
2. 鼎形塊配合織物與石籠保護工法依據本所過去的相關研究與試驗均有不錯的保護效果，但因織物與石籠其材料性質特性，實務應用其抗沖刷能力可能不如預期，但隨著材料科技的進步，或許將來可以改善此缺點。

7.3 研究成果效益

1. 藉由水工模型試驗，驗證既有國 3 大甲溪橋橋基保護方案及研提改善方案，以提升橋梁耐洪能力，滿足運輸安全需求。
2. 藉由不同保護工方案之水工模型試驗，可提供未來橋梁管理單位設置相關保護工決策之參考。

7.4 提供應用情形

1. 本研究研提之橋基保護方案，將提供橋梁維管單位未來施政的參據。
2. 本研究所進行的不同保護工鋪設試驗案例，可提供本所及相關單位後續研究之參採。

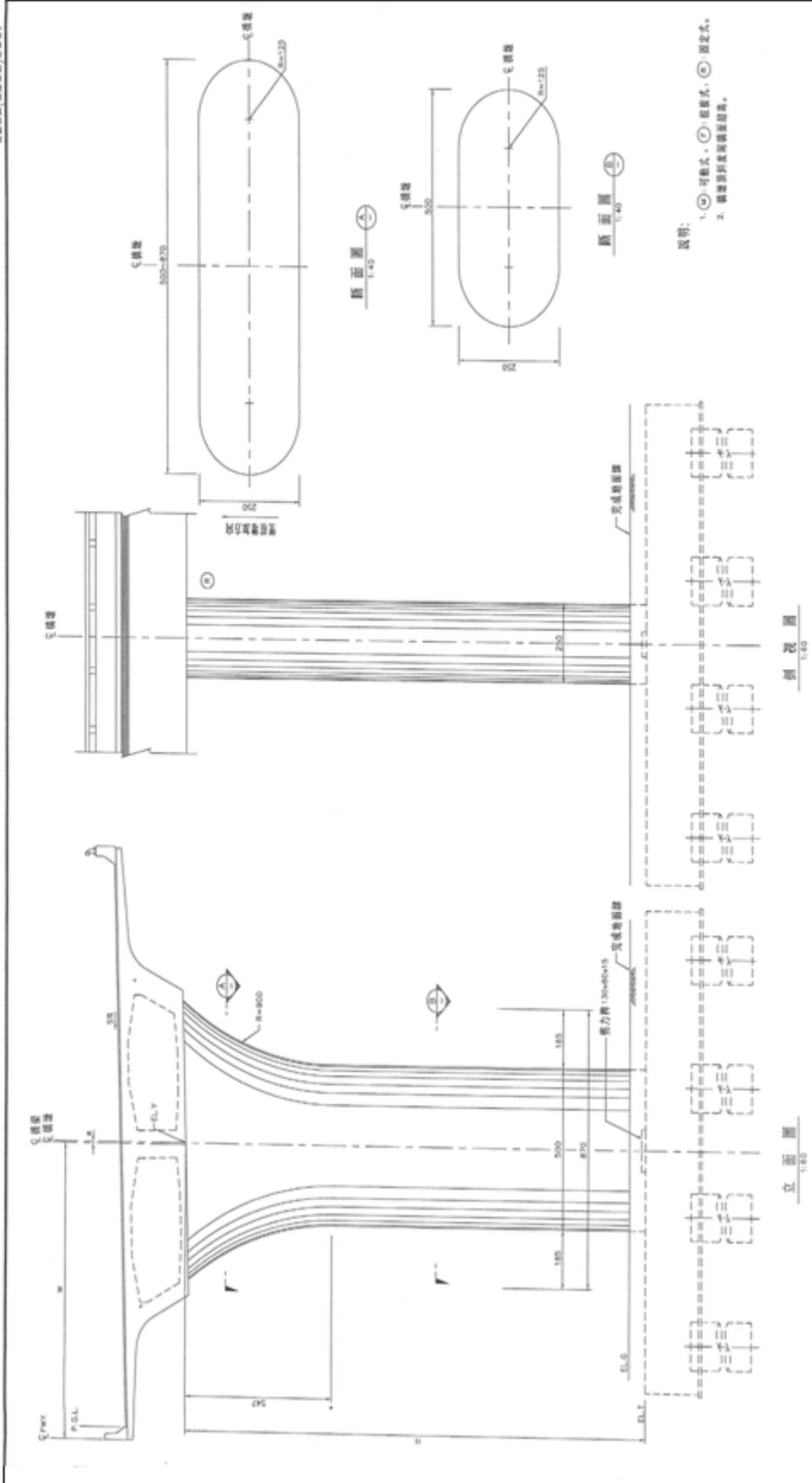
參考文獻

1. May, R.W.P., Ackers, J.C., and Kirby, A.M., Manual on scour at bridges and other hydraulic structures, Construction Industry Research and Information Association Publications, London, UK(2002)
2. Melville, B. W. and Chiew, Y. M., “Time scale for local scour at bridge piers”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.125, No.1, pp. 59~65(1999).
3. Melville, B.W. and S.E. Coleman , Bridge Scour, Water Resources Publications, Colorado, USA (2000)
4. Raudkivi, A.J. and Ettema, R.. “Effects of sediment gradation on clear water scour”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.103, No.10, pp.1209~1212 (1977)
5. Raudkivi, A. J. and Ettema, R., “Clear-Water Scour at Cylindrical Piers”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp. 713-731(1983)
6. Richardson, E.V., and Davis, S.R., Evaluating Scour at Bridges, 4thed., Hydraulic Engineering Circular No.18, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA (2001)
7. 交通部公路總局，河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究，2005。
8. 交通部公路總局，公路總局莫拉克颱風 52 座受災橋梁災害蒐集與致災原因初步研判，2009。
9. 交通部臺灣區國道高速公路局，「第二高速公路後續計畫臺中環線竣工圖」，2003。
10. 交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處，「大甲段及苗栗段轄區橋涵檢測工作(106 年)」，2017。

- 11.交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處，「國道跨河橋梁及臨溪路堤之雲端資料庫建置暨沖刷資料調查評估委託專業服務工作(第二年期中成果報告)」，2018。
- 12.交通部運輸研究所，「跨河橋梁保護工法之研究」，2011。
- 13.交通部運輸研究所，「跨河橋梁固床工水工模型試驗-以中沙大橋為例(2/2)」，2017。
- 14.交通部運輸研究所，「橋墩保護工法之研究」，2018。
- 15.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 p59-p69，2017。
- 16.經濟部水利署，「大甲溪治理規劃檢討（天輪壩至河口河段）」，2010。
- 17.經濟部水利署，「大甲河流域整體治理綱要計畫(101~104 年) 執行檢討及改善策略研擬 總報告」，2016。
- 18.周憲德、戴華鏜、陳世清，蛇籠保護方式對橋墩局部沖刷之影響，中國土木水利工程學刊第十一卷第二期 p311-p316，1999。
- 19.張藝馨，「不均勻圓形橋墩之局部沖刷研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，2000。

附錄一
橋梁基本資料

圖中之圖例以紅字標明者均為本圖
所無註明(包含圖例)之圖例。



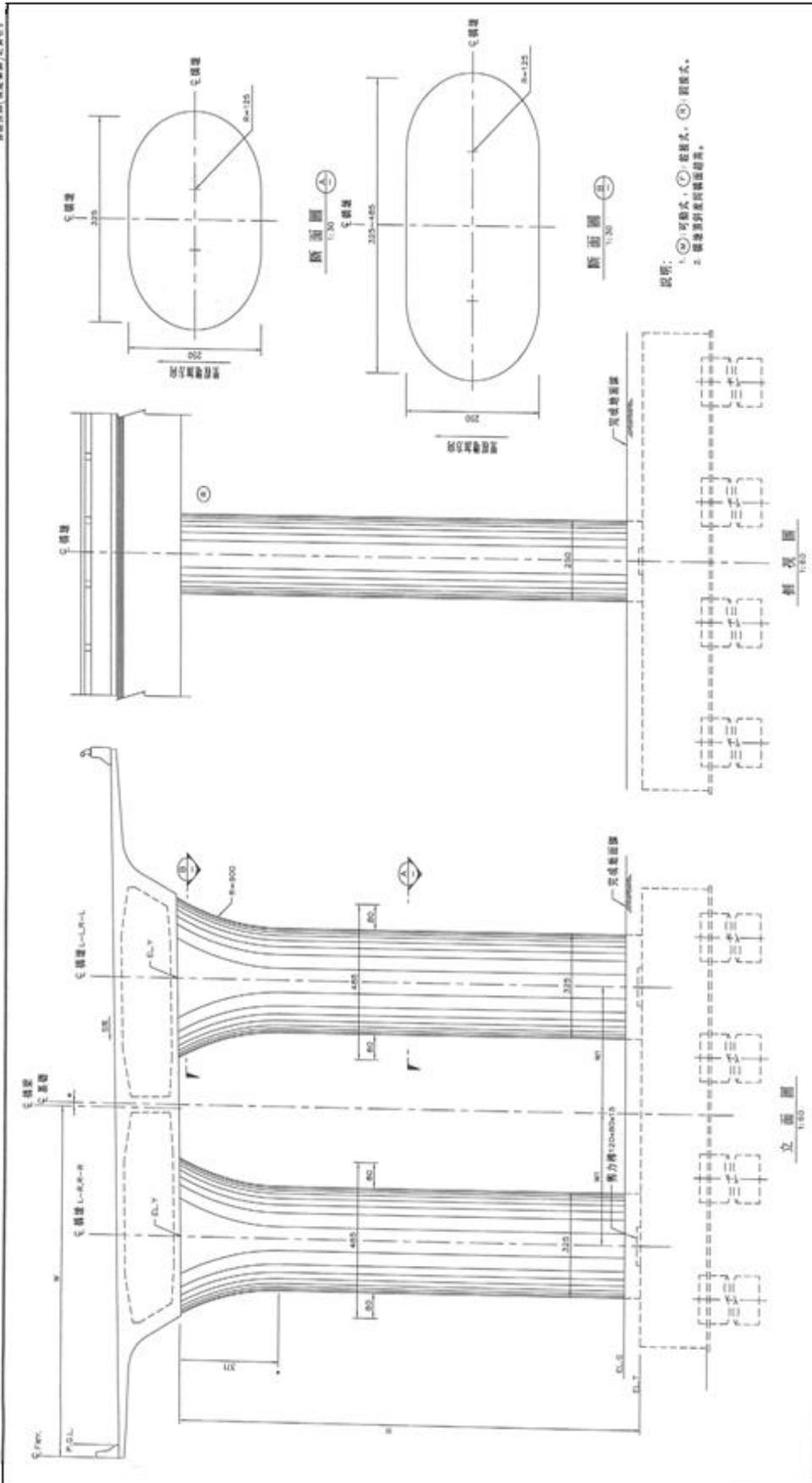
說明:
 1. (M) 可動式, (V) 固定式, (K) 固定式。
 2. 橋墩與河床接觸處應加設。

側視圖
1:10

立面圖
1:10

						圖 示 大甲溪河川橋 TPC G 橋墩詳圖		圖 號 C37-F-5-228-A-0 圖 冊 C37	
專案 交通部 公路局 第一 公路局 第一 公路局		項目/名稱 大甲溪河川橋 TPC G 橋墩詳圖		日期/版次 108/01 01		圖 示 大甲溪河川橋 TPC G 橋墩詳圖		圖 號 C37-F-5-228-A-0 圖 冊 C37	
交通大學 交通運輸工程研究所 Department of Transportation Engineering National Central University		明達工程顧問股份有限公司 Mingda Engineering Consultant Co., Ltd.		榮民工程股份有限公司 Rongmin Engineering Co., Ltd.		圖 示 大甲溪河川橋 TPC G 橋墩詳圖		圖 號 C37-F-5-228-A-0 圖 冊 C37	
第二高速公路後續計畫 台中環線竣工圖		圖 示 大甲溪河川橋 TPC G 橋墩詳圖		圖 號 C37-F-5-228-A-0 圖 冊 C37		圖 示 大甲溪河川橋 TPC G 橋墩詳圖		圖 號 C37-F-5-228-A-0 圖 冊 C37	

本圖之製圖及內容均與原圖無異，特此聲明。



華民工程股份有限公司 HUA MIN ENGINEERING CO., LTD. 100000, TAIPEI, ROC		交通部分國營事業工程局 交通部 公路局 工程處		圖名: 第二高速公路設施設計 台 中 環 線 橋 墩 工 圖	
圖號: C317-1-2-20-0-6 圖幅: 5-20	日期: 100.08.01 繪圖: 陳文輝 校核: 陳文輝	圖示: 大甲溪河川橋 TYPE N 橋墩詳圖	圖號: C317-1-2-20-0-6 圖幅: 5-20	圖名: 第二高速公路設施設計 台 中 環 線 橋 墩 工 圖	圖號: C317-1-2-20-0-6 圖幅: 5-20

附錄 1-2

單元	樁號	樁型	樁型圖式	承載力 (ton)	樁深圖式	EL. X (m)	承頂樁深 (EL. T (m))	樁頂樁深 (EL. Y (m))	樁高 (H (m))	樁型圖式	樁頂樁深 (EL. B (m))
UNIT 7	P31R-L	66K+604.0 特架樁	M	2100x1100x275	68.35	71.00	97.898	26.898	26.898	P	71.8
	P32R	66K+645.0 特架樁	M	1100x600x275	68.35	71.03	97.595	26.570	26.570	I	71.1
	P33R	66K+686.0 特架樁	R	1100x1100x275	68.35	71.10	97.912	26.812	26.812	J	72.9
	P34R	66K+738.0 特架樁	R	1200x1100x275	73.25	76.00	97.832	21.832	21.832	J	***
UNIT 8	P35R	66K+778.0 特架樁	R	1500x1300x200	69.50	71.50	97.426	25.926	25.926	D	72.50
	P36R	66K+812.0 特架樁	R	1500x1300x200	70.00	72.00	97.274	25.274	25.274	D	73.00
	P37R	66K+846.0 特架樁	M	1400x1100x200	71.00	73.00	96.549	23.549	23.549	F	74.50
	P38R	66K+880.0 特架樁	M	1400x1100x200	71.00	72.90	96.397	23.498	23.498	E	74.20
	P39R	66K+924.0 特架樁	R	1500x1300x200	70.50	72.50	96.923	24.423	24.423	D	74.20
	P40R	66K+968.0 特架樁	R	1400x1300x200	70.50	72.50	96.848	24.348	24.348	D	73.80
UNIT 11	P41R	67K+012.0 特架樁	R	1400x1300x200	71.00	73.00	96.808	23.808	23.808	D	73.10
	P42R	67K+056.0 特架樁	R	1400x1300x200	71.00	73.00	96.803	23.803	23.803	D	74.10
	P43R	67K+100.0 特架樁	R	1400x1300x200	71.00	73.00	96.834	23.834	23.834	D	74.10
	P44R	67K+144.0 特架樁	R	1400x1300x200	68.50	71.50	97.001	25.501	25.501	D	73.50
	P45R	67K+188.0 特架樁	M	1400x1300x200	69.50	71.40	96.531	25.130	25.130	E	72.70
	P46R	67K+232.0 特架樁	M	1500M 200x200	68.50	70.50	96.655	25.156	25.156	F	72.30
UNIT 13	P47R	67K+254.0 特架樁	R	1550M 100x300	67.50	70.50	96.234	25.734	25.734	B	71.70
	P48R	67K+303.0 特架樁	R	1300M 100x300	67.00	70.00	96.581	25.581	25.581	B	71.30
	P49R	67K+358.0 特架樁	M	1300M 200x200	67.00	69.50	97.446	27.946	27.946	F	70.90
	P50R	67K+406.0 特架樁	M	1300M 200x200	67.00	69.40	97.699	28.297	28.297	E	70.60
	P51R	67K+449.5 特架樁	M	1300M 200x200	67.00	69.50	96.035	26.535	26.535	E	71.00
	P52R	67K+494.5 特架樁	F	1600M 600x250	67.00	69.50	96.090	26.590	26.590	D	70.90
UNIT 15	P53R	67K+539.5 特架樁	R	1700M 600x250	67.00	69.50	96.526	30.026	30.026	D	71.20
	P54R	67K+584.5 特架樁	R	1600M 400x250	66.00	68.50	99.855	31.855	31.855	E	71.30
	P55R	67K+629.5 特架樁	R	1600M 400x250	66.00	68.40	99.855	31.855	31.855	E	69.80
	P56R	67K+674.5 特架樁	F	1600M 400x250	65.50	67.90	100.418	32.518	32.518	E	69.40
	P57R	67K+719.5 特架樁	M	2000M 200x300	64.30	67.20	100.968	33.768	33.768	F	68.40
	P58R	67K+761.0 特架樁	M	2100M 200x250	64.50	67.00	101.818	34.818	34.818	L	67.80
UNIT 17	P59R-R	67K+783.0 特架樁	R	2000M 200x250	63.50	66.00	102.456	36.456	36.456	L	68.80
	P60R-R	67K+833.0 特架樁	R	2000M 200x250	61.00	63.50	103.080	36.580	36.580	L	64.10
	P61R-R	67K+873.0 特架樁	R	1700M 100x300	62.00	65.00	103.700	36.700	36.700	L	65.60
	P62R-R	67K+913.0 特架樁	M	1300M 100x275	63.50	66.14	103.591	37.419	37.419	M	68.85
	P63R-R	67K+945.0 特架樁	M	1300M 100x275	63.50	66.14	103.591	37.419	37.419	M	68.85
	P64R-R	67K+985.0 特架樁	M	1300M 100x275	63.50	66.14	103.591	37.419	37.419	M	68.85

榮民工程顧問股份有限公司
 地址: 臺南市安平區...
 電話: 06-221-1111
 傳真: 06-221-1112
 網址: www.rongmin.com.tw

第二高麗公路增建計畫
 台中環線工程
 大甲溪河川壩
 樁墩及基樁型式索引表(二)

未校比例

圖名: 樁墩及基樁型式索引表(二)
 圖號: C017-F-5-221-0-0
 日期: 113.08.08
 繪圖: 113.08.08
 審核: 113.08.08
 核准: 113.08.08

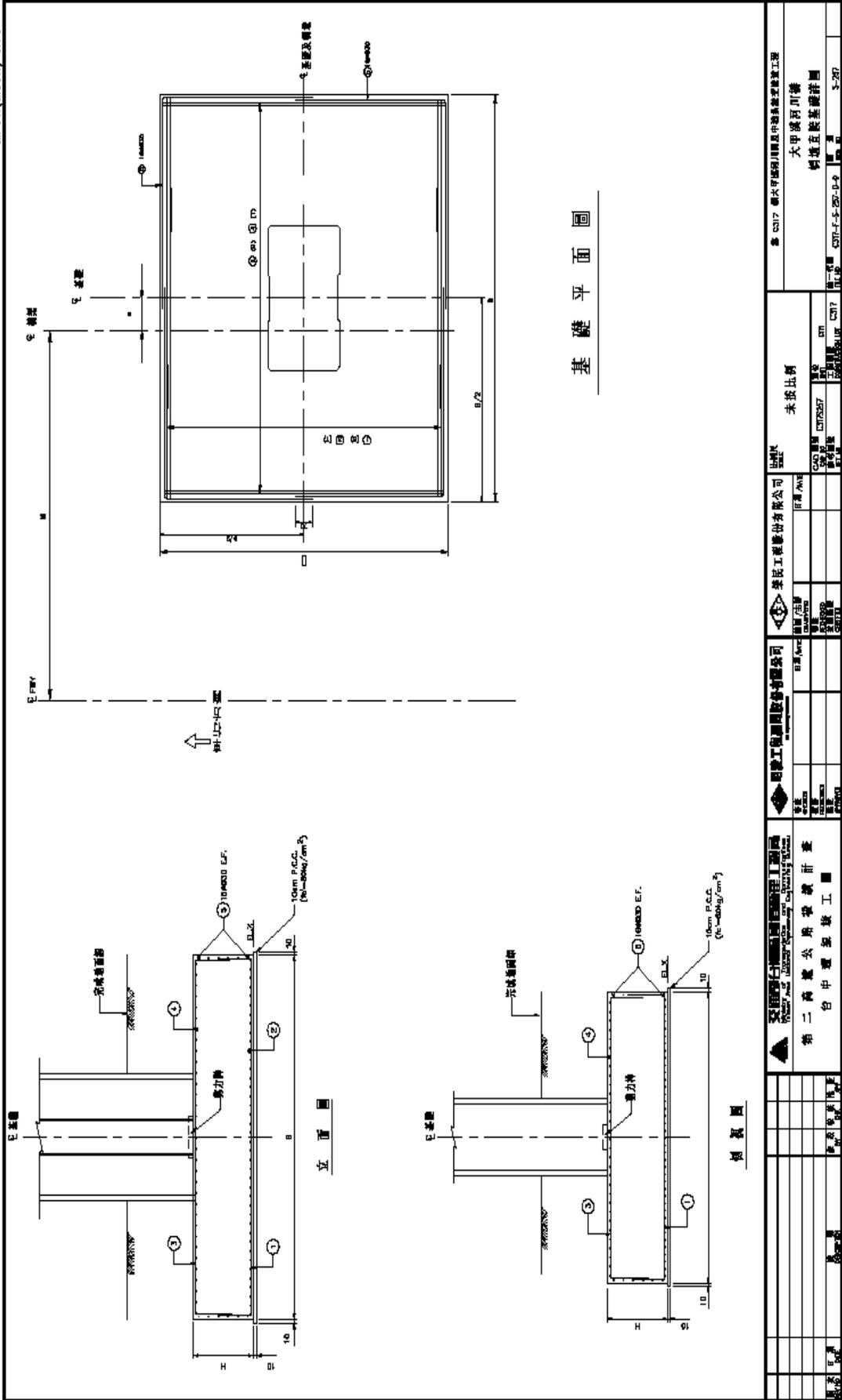
單元	聯建號數	型態	埋置型式	埋置尺寸 AsBxT (cm)	埋置圖式	埋置材料	埋置高度 EL. X (m)	埋置長度 EL. T (m)	埋置寬度 EL. Y (m)	管溝 H (m)	埋置圖式	埋置距離圖式	埋置距離 EL. G (m)
UH11A	P26L-R	66K+514.0	管蓋埋	1300x1100x275	R	68.35	71.100	88.712	28.812	H	U	71.80	
	P26L-L	66K+514.0	管蓋埋	1300x1100x275	R	68.35	71.100	88.712	28.812	H	U	71.80	
	P27L-R	66K+569.0	管蓋埋	1500x1100x275	F	68.35	71.000	98.878	27.888	P	V	72.90	
	P27L-L	66K+569.0	管蓋埋	1500x1100x275	F	68.35	71.000	98.878	27.888	P	V	72.90	
	P28L-R	66K+604.0	管蓋埋	1500x1100x275	M	68.35	71.000	98.286	27.286	P	V	72.20	
	P28L-L	66K+604.0	管蓋埋	1500x1100x275	M	68.35	71.000	98.499	27.499	P	V	72.20	
	P29L-R	66K+645.0	管蓋埋	1500x1100x275	M	68.35	71.000	98.021	27.021	O	V	73.40	
	P29L-L	66K+645.0	管蓋埋	1500x1100x275	M	68.35	71.000	98.234	27.234	O	V	73.40	
	P30L-R	66K+686.0	管蓋埋	1500x1100x275	R	68.35	71.100	98.319	27.219	H	U	73.30	
	P30L-L	66K+686.0	管蓋埋	1500x1100x275	R	68.35	71.100	98.532	27.432	H	U	73.30	
UH11D	P31L-R	66K+738.0	管蓋埋	1500x1100x275	R	73.25	76.000	98.021	22.021	H	U	***	
	P31L-L	66K+738.0	管蓋埋	1500x1100x275	R	73.25	76.000	98.238	22.238	H	U	***	
	P32L-R	66K+778.0	互聯管埋	1900x1300x200	R	69.90	71.500	97.805	26.300	L	U	72.50	
	P32L-L	66K+778.0	互聯管埋	1900x1300x200	R	69.90	71.500	98.057	26.557	L	U	72.50	
	P33L-R	66K+812.0	互聯管埋	1900x1300x200	R	70.00	72.000	97.653	25.653	L	U	73.00	
	P33L-L	66K+812.0	互聯管埋	1900x1300x200	R	70.00	72.000	97.946	25.946	L	U	73.00	
	P34L-R	66K+846.0	互聯管埋	1400x1400x200	M	71.00	73.000	96.982	23.982	F	D	74.70	
	P34L-L	66K+846.0	互聯管埋	1400x1400x200	M	71.00	73.000	98.844	23.844	F	D	74.50	
	P35L-R	66K+878.5	互聯管埋	1300x1200x200	M	70.50	72.500	96.686	24.196	E	X	74.30	
	P35L-L	66K+878.5	互聯管埋	1300x1200x200	M	70.50	72.500	97.288	24.788	E	X	74.00	
UH11E	P36L-R	67K+004.5	互聯管埋	1600x1600x200	R	71.00	73.000	97.225	24.225	D	X	74.30	
	P36L-L	67K+004.5	互聯管埋	1600x1600x200	R	71.00	73.000	97.214	24.214	D	X	74.30	
	P37L-R	67K+046.5	互聯管埋	1600x1700x200	R	71.00	73.000	97.236	24.236	D	X	74.30	
	P37L-L	67K+046.5	互聯管埋	1600x1700x200	R	71.00	73.000	97.289	24.289	D	X	74.30	
	P38L-R	67K+130.5	互聯管埋	1500x1400x200	F	69.50	71.400	96.886	25.377	E	X	73.50	
	P38L-L	67K+130.5	互聯管埋	1500x1400x200	F	69.50	71.400	97.289	25.289	E	X	73.00	
	P39L-R	67K+214.5	互聯管埋	1500x1200x200	M	69.00	70.000	97.017	26.017	F	D	72.50	
	P39L-L	67K+214.5	互聯管埋	1500x1200x200	M	69.00	70.000	96.566	26.066	F	D	71.00	
	P40L-R	67K+286.0	互聯管埋	1550x1100x300	R	67.80	70.900	88.905	26.905	B	X	71.30	
	P40L-L	67K+286.0	互聯管埋	1550x1100x300	R	67.80	70.900	88.905	26.905	B	X	71.30	
UH11F	P41L-R	67K+352.0	互聯管埋	1800x1200x200	M	67.50	68.500	97.748	28.248	F	D	70.70	
	P41L-L	67K+352.0	互聯管埋	1800x1200x200	M	67.50	68.500	97.987	28.487	F	D	71.40	
	P42L-R	67K+430.0	互聯管埋	1400x1200x200	M	66.00	70.000	98.280	28.280	E	X	71.20	
	P42L-L	67K+430.0	互聯管埋	1400x1200x200	M	66.00	70.000	98.289	28.289	E	X	71.00	
	P43L-R	67K+518.0	互聯管埋	1600x1700x200	R	67.50	69.500	88.289	28.289	D	X	70.60	
	P43L-L	67K+518.0	互聯管埋	1600x1700x200	R	67.50	69.500	100.120	30.190	D	X	70.80	
	P44L-R	67K+582.0	互聯管埋	1800x1600x200	R	68.50	88.500	100.120	30.190	D	X	70.80	
	P44L-L	67K+582.0	互聯管埋	1800x1600x200	R	68.50	88.500	100.666	30.666	D	X	69.90	
	P45L-R	67K+650.0	互聯管埋	1300x1200x200	F	66.50	68.400	100.440	32.040	E	X	68.80	
	P45L-L	67K+650.0	互聯管埋	1300x1200x200	F	66.50	68.400	100.440	32.040	E	X	68.80	

 台灣自來水股份有限公司 TAIWAN WATER SUPPLY CORPORATION 10001 台北市中正區思源街1號		 中國水務工程集團有限公司 CHINA WATER SUPPLY AND SEWERAGE ENGINEERING GROUP 10001 北京市西城區德勝門外大街2號		 華民工程股份有限公司 HUA MIN ENGINEERING CO., LTD. 10001 台北市中正區思源街1號		未檢比例 圖名: 大甲溪通川橋 橋樑及基礎型式索引表(四) 圖號: 137-F-5-271b-0-0 日期: 114.08.05	
---	--	---	--	--	--	--	--

單位	鋼管編號	直徑	鋼管形式	鋼管尺寸 AxBxT (cm)	埋設深度 EL. X (m)	埋設位置 EL. T (m)	埋設位置 EL. Y (m)	埋設位置 H (m)	鋼管形式	鋼管埋設形式	鋼管埋設位置 EL. G (m)
UNIT 1B	P59L-R	67K+733.0	直埋鋼管	1400x1000x200	88.00	67.878	100.917	33.038	M	埋	69.00
	P59L-L	67K+733.0	直埋鋼管	1400x1000x200	88.00	67.878	101.037	33.159	M	埋	69.00
	P58L-R	67K+781.0	直埋鋼管	1800x1000x200	84.30	66.300	101.853	35.553	L	埋	64.80
	P58L-L	67K+781.0	直埋鋼管	1800x1000x200	84.30	66.300	102.101	35.801	L	埋	64.80
	P57L-R	67K+793.0	直埋鋼管	1800x1000x200	84.50	68.500	102.234	35.734	L	埋	67.10
	P57L-L	67K+793.0	直埋鋼管	1800x1000x200	84.50	68.500	102.388	35.888	L	埋	67.10
UNIT 1B	P58L-R	67K+833.0	直埋鋼管	1700x1000x250	83.50	68.000	102.854	36.654	L	埋	66.80
	P58L-L	67K+833.0	直埋鋼管	1700x1000x250	83.50	68.000	102.718	36.718	L	埋	66.80
	P59L-R	67K+873.0	直埋鋼管	1700x1000x250	86.50	69.000	103.063	34.083	L	埋	69.80
	P59L-L	67K+873.0	直埋鋼管	1700x1000x250	86.50	69.000	103.058	34.058	L	埋	69.80
	P60L-R	67K+913.0	埋管	1300x1100x275	73.50	78.250	103.473	27.223	L	埋	78.85
	P60L-L	67K+913.0	埋管	1300x1100x275	73.50	78.250	103.405	27.189	L	埋	78.85
UNIT 2D	P61L-R	67K+845.0	埋管	1300x700x275	78.50	79.150	103.228	24.076	M	埋	78.85
	P61L-L	67K+845.0	埋管	1300x700x275	78.50	79.150	103.119	23.968	M	埋	78.85
	P62L	68K+877.0	埋管	1100x800x250	76.50	78.000	104.120	25.120	A	XIII	78.80
	P63L	68K+917.0	埋管	1100x800x250	84.50	87.000	104.660	17.580	D	KI	87.80
	P64L	68K+957.0	埋管	1100x1000x275	90.00	92.750	105.064	12.314	D	KI	93.35
	P65L	68K+987.0	埋管	700x700x250	88.50	94.813	104.818	6.003	E	X	98.80
UNIT 2D	A1L	65K+278.0									
	A2L	65K+389.0									
	A3L	65K+464.0									
	A34L	68K+129.0									

台灣地產工程設計有限公司 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		第二高層公路設計計畫 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.	
台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.	
台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.	
台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.		台申建設工程 TSP Engineering & Construction Co., Ltd.	

本圖以電腦繪圖方式繪製，圖中所有尺寸均以公分為準，圖中尺寸如有誤差，以圖中尺寸為準。



基礎平面圖

工程名稱 第二階段公共設施設計 台中環線工程		圖樣名稱 基礎平面圖		圖號 CS17-1-5-257-1-9		圖則 1/1		日期 108.11.15		頁數 1/1	
設計單位 台灣中興工程顧問有限公司 Taiwan Chung Hsing Engineering Consultants Co., Ltd.		監工單位 中興工程顧問有限公司 Chung Hsing Engineering Consultants Co., Ltd.		監工姓名 謝文輝		監工職稱 監工		監工日期 108.11.15		監工簽名 (Signature)	
設計人 謝文輝		繪圖人 謝文輝		校核人 謝文輝		審核人 謝文輝		日期 108.11.15		簽名 (Signature)	
設計單位 台灣中興工程顧問有限公司 Taiwan Chung Hsing Engineering Consultants Co., Ltd.		監工單位 中興工程顧問有限公司 Chung Hsing Engineering Consultants Co., Ltd.		監工姓名 謝文輝		監工職稱 監工		監工日期 108.11.15		監工簽名 (Signature)	
設計單位 台灣中興工程顧問有限公司 Taiwan Chung Hsing Engineering Consultants Co., Ltd.		監工單位 中興工程顧問有限公司 Chung Hsing Engineering Consultants Co., Ltd.		監工姓名 謝文輝		監工職稱 監工		監工日期 108.11.15		監工簽名 (Signature)	

附錄二

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

審查委員	審查意見	處理情形
1.朱委員我帆	<p>1. 試驗研究成果明確，可供實務應用參考。</p> <p>2. 本計畫斷面渠槽試驗之底床質是如何模擬大甲溪河床之卵石，請說明。</p> <p>3. 模型鋪設是否符合現況，對後續之沖刷及研究成果影響很大，針對報告 P6-3 提到模型橋墩頂安置高於底床 3.8 公分之佈設，其依據為何，請補充說明。</p> <p>4. 報告 P6-8 圖 6.11 現況保護措施沖淤狀況，因報告為黑白，無法清楚顯示沖淤狀況，建議相關沖淤圖示可以彩色印刷及加強說明，以利閱讀。</p> <p>5. 報告 P6-9 圖 6.12 現況保護工基礎沖刷坑等高線示意圖，因報告為黑白，無法清楚區別不同高程之線條，建議相關等高線圖示可以彩色印刷，以利閱讀。</p> <p>6. 建議後續可以跟高公局大甲工務段合作，進行現地試驗以驗證研究成果，以利後續之推廣應用。</p> <p>7. 本局大甲溪下游海線鐵路橋也有橋墩基礎局部沖刷問題，建議後續可以納入研究對象，研提改善對策供本局施政之參考。</p>	<p>1. 感謝肯定。</p> <p>2. 本試驗為不同保護方案之定性斷面渠槽試驗，試驗之底床質與現地之河床質粒徑無關。</p> <p>3. 本計畫依據過去的樁帽及基樁裸露狀況，如 P5-2 圖 5.1，將樁帽完全裸露予以鋪設，其樁帽頂約高於試驗底床 3.8 公分，將於報告內補充說明，詳 P6-3。</p> <p>4. 遵照辦理。</p> <p>5. 遵照辦理。</p> <p>6. 納入後續計畫參考辦理。</p> <p>7. 若未來經費及計畫許可，將納入後續計畫參考辦理。</p>

審查委員	審查意見	處理情形
2.饒委員書安	<ol style="list-style-type: none"> 1.報告資料蒐集完整，值得肯定。 2.報告 P5-5，圖 5.5 及圖 5.6 照片建議更換全尺寸圖。 3.報告 P5-12，建議增加模型尺寸。 4.建議補充採用 Melville 臨界流速公式之理由。 5.報告 P6-4，沖刷深度採用近景攝影三維重建技術，建議納入參考文獻。 6.報告 P6-14，圖 6.20 及圖 6.21 沖刷縱橫斷面示意圖之縱橫斷面為何，建議以圖標示。 7.建議未來墩柱間鼎形塊可採複合式斷面模型及末端鼎形塊埋入河床，避免向源侵蝕，以符實際。 8.建議未來於鼎形塊可將鋼索納入試驗模擬，可更貼近施工後實際情況。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.感謝肯定。 2.遵照辦理，詳 P5-5。 3.遵照辦理，詳 P5-12。 4.本計畫參考相關研究文獻及依據公式參數之取得難易，選取 Melville 臨界流速公式，將於報告內補充說明，詳 P5-15。 5.遵照辦理，詳 P6-4。 6.遵照辦理，詳 P6-9、P6-13、P6-18。 7.納入後續計畫參考辦理。 8.納入後續計畫參考辦理。
3.李委員正道	<ol style="list-style-type: none"> 1.本研究案藉由不同保護工方案之水工模型試驗，以利了解各方案之差異性，值得肯定。 2.P2-16 及 2-17：圖 2.14 及圖 2.15 右下角圖例僅列 106 年度，建議再妥為檢討。另因以黑白列印，不易辨識為何年度，建議以彩色列印為宜。 3.P3-1：圖 3.1 建議標註指北針或指北方向，以利閱讀。 4.P6-28：方案一、方案二及方案三 	<ol style="list-style-type: none"> 1.感謝肯定。 2.遵照辦理，詳 P2-16 及 P2-17。 3.遵照辦理，詳 P3-1。 4.納入後續計畫參考辦

審查委員	審查意見	處理情形
	<p>之最大沖刷深度均為 1.4cm，不分軒輊。如能將施作成本及營運之維護成本納入比較，可提供養管單位更好的參考。</p>	<p>理。</p>
<p>4.林委員雅雯</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.本計畫不僅進行試驗室水工模型試驗，還進行現場保護工施作，理論與實用皆具，成果值得肯定。 2.織物模板及砂腸管保護工法建議補充適用於何河床質。 3.水工模型試驗水深為 102mm，為何重現期流量？ 4.水工模型試驗橋墩外二側為試驗水槽邊界，水流及試驗結果是否會受水槽邊界影響？ 5.方案三為鼎形塊保護工法下游加織布及石籠，方案三構想與前二方案此處沖刷或跌水情形之關係建議補充。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.感謝肯定。 2.原則上織物模板及砂腸管保護工法，因材料特性因素，較適用於砂質河床，將於報告內補充說明，詳 P4-20 及 P4-21。 3.本試驗為不同保護方案之定性斷面渠槽試驗，試驗之水深與現地之洪峰流量無關。 4.試驗結果確實會受水槽邊界影響，爰此，本研究各方案之比較，主要探討各方案橋墩間之束縮及局部沖刷結果，受水槽邊界影響較小。 5.由試驗結果下游之鼎形塊有滾落與滑動的狀況，爰此，方案三增加下游鼎形塊之保護工，以減少鼎形塊的流失，將於報告中補充說明，詳 P6-23。

附錄三
簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

國道三號大甲溪橋 橋墩保護工法研究

報告人：賴瑞應

中華民國107年11月19日

大綱

- 1.前言
- 2.文獻回顧
- 3.橋梁基本資料
- 4.國內外橋墩保護工法
- 5.水工模型試驗規劃與佈置
- 6.渠槽沖刷試驗
- 7.結論與建議



前言(1/5)

沖刷問題



颱洪沖刷橋墩基礎

3

前言(2/5)

沖刷問題



墩帽基樁裸露

4

前言(3/5)

保護措施



民國95年鍍鋅鐵絲蛇籠加鼎形塊保護措施

5



前言(4/5)

保護措施破壞



鼎形塊流失

6



前言(5/5)

目的

1. 藉由水工模型試驗，**驗證既有國3大甲溪橋橋基保護方案及研提改善方案**，提升橋基耐洪能力，滿足運輸安全需求。
2. 藉由不同保護工方案之水工模型試驗，**可提供未來橋梁管理單位設置相關保護工決策之參考**。

7

文獻回顧

年	計畫名稱	摘要
88	蛇籠保護方式對橋墩局部沖刷之影響(周憲德等)	當蛇籠保護工低於沖刷坑則較無保護之功效，但若高於河床則會加深最大沖刷深度，故其蛇籠保護工頂層高程應位於沖刷坑內較適當。
106	橋墩保護工法之研究(運研所)	進行臺1線大甲溪橋橋墩基礎埋入式保護方案試驗，研究成果顯示，以蛇籠+織物模板+鼎形塊之鋪設方式為較佳的橋基保護方案。
106	大甲段及苗栗段轄區橋涵檢測工作(全葉工程顧問有限公司)	1.國3大甲溪橋所在位置屬下游河段，河系為辮狀河流，意即有多條深槽排洪，故常造成橋梁局部橋墩基礎裸露。2.民國106年6月初豪大雨影響，P26R~P28R 橋帽均已出露於河床面，高度約1.5~2.2m不等3.目前P24L、P25L 以及下游側P27R、P28R 橋基均已排置鼎形塊保護工。
107	國道跨河橋梁及臨溪路堤之雲端資料庫建置暨沖刷資料調查評估委託專業服務工作(第二年成果報告)(翊盛工程顧問有限公司)	1.國3大甲溪客庄堤段經河道整理後，流路導向河心深槽。2.現況之深槽流路主要位於橋址之P26R ~ P28R間。3.民國106年汛期後完成國3大甲溪橋上游側P24L、P25L以及下游側P27R、P28R橋基鼎塊保護工程，現況於此條件下暫無維修養護之事項。

8

橋梁基本資料(1/5)

竣工時間	民國92年
跨度	28~66m
總長	2,850m
基礎形式	直接基礎與樁基礎
基礎深度	20m
河川斷面編號	9-1
計畫流量 Q_{100}	10,300 cms
縱坡降	1/88



9

橋梁基本資料(2/5)



歷年航拍

10

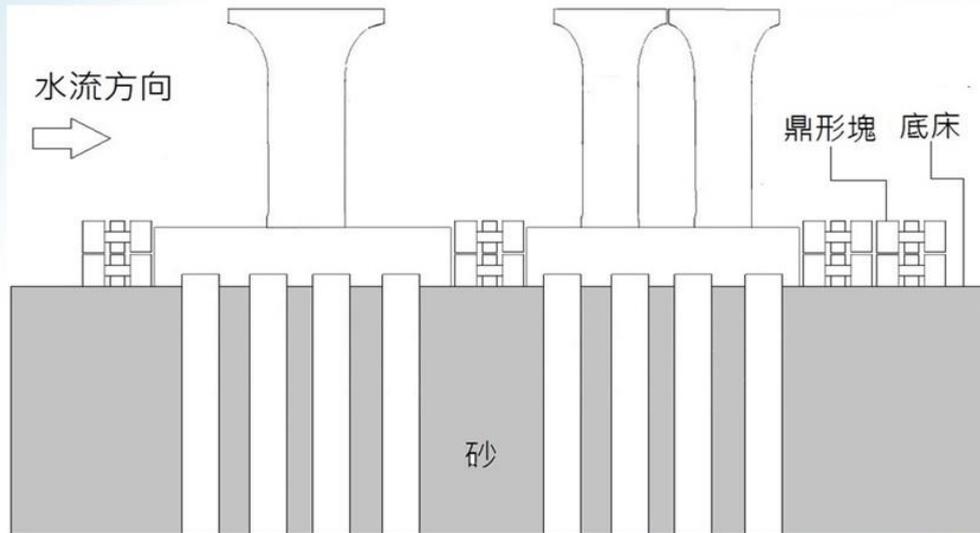
橋梁基本資料(3/5)



民國106年深槽區橋墩及保護工

11

橋梁基本資料(4/5)



深槽區橋墩及保護工斷面示意圖

12

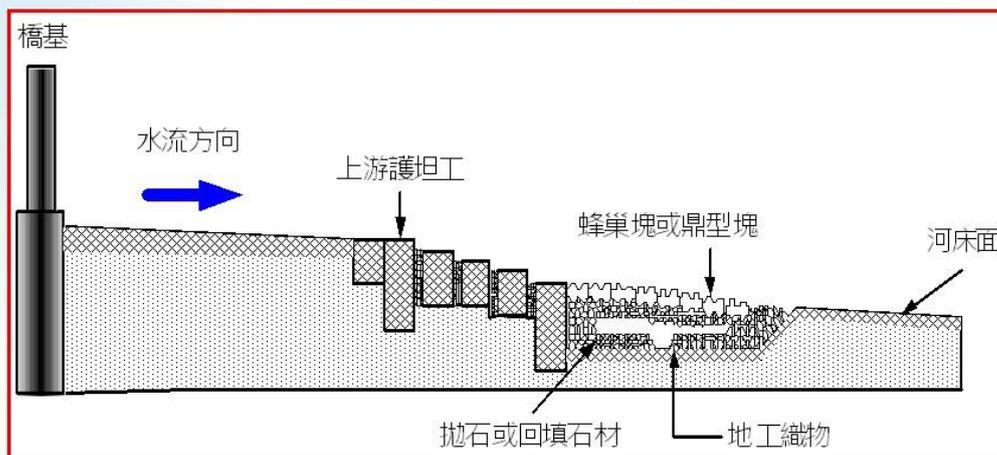
橋梁基本資料(5/5)



民國107年深槽區橋墩及保護工

13

橋墩保護工法(1/8)

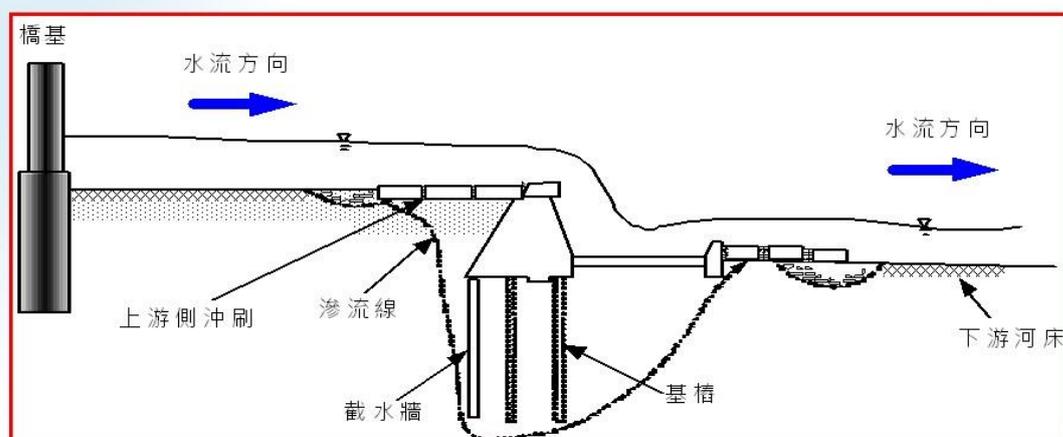


柔性攔砂堰工法示意圖

適用於礫石型河床，達到河床砂石回淤之功能，間接達到河床整治的效果，惟柔性攔砂堰之興建涵蓋區域較廣，工程經費較高。

14

橋墩保護工法(2/8)

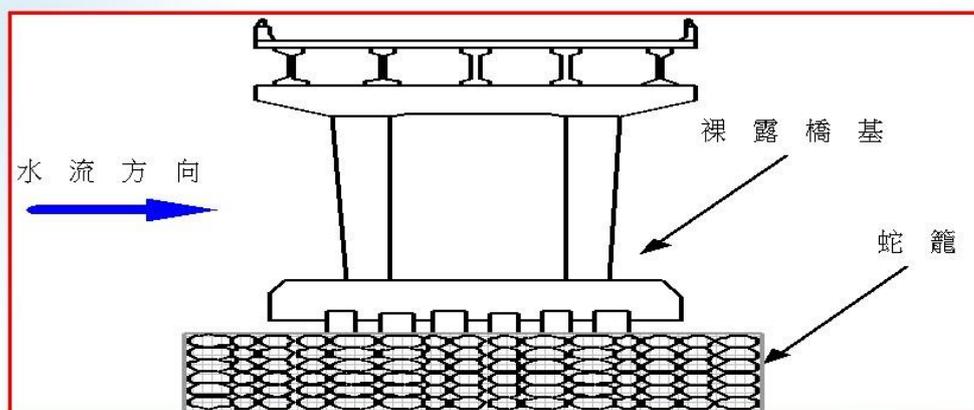


刚性攔砂堰工法示意圖

適用於卵礫石河床或泥頁岩石河床，此工法使用年限較長，具有全面攔阻砂石，達到河床砂石回淤之功能，但**工程經費較高、施工上較為困難**。

15

橋墩保護工法(3/8)

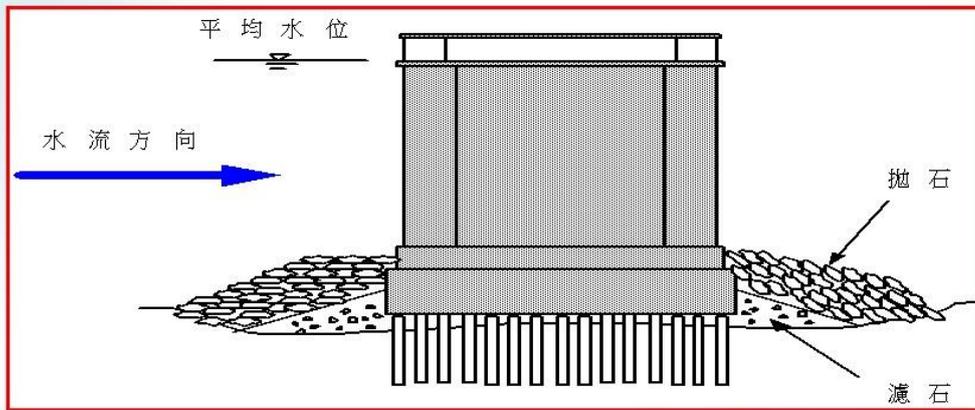


蛇籠工法示意圖

適用於一般砂質河川，並可搭配其它保護工法一同使用，惟蛇籠工易遭流動之卵礫石撞擊磨損且卵礫石料源尋覓不易，成本逐漸提高。

16

橋墩保護工法(4/8)



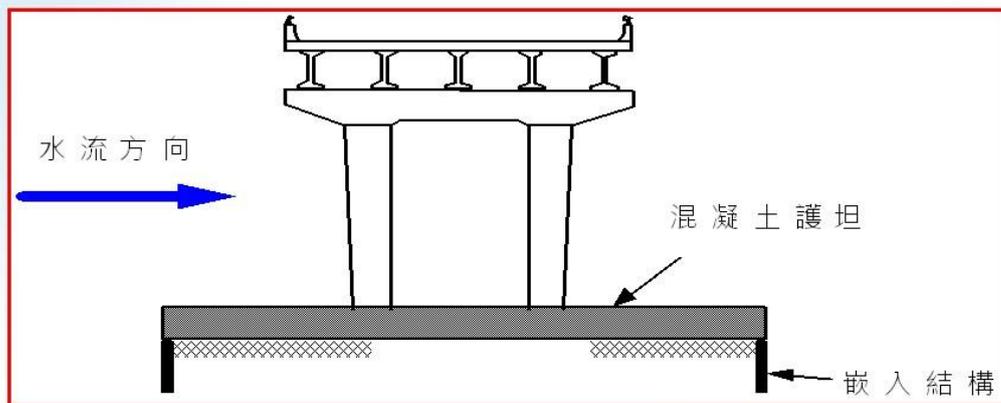
拋石工法示意圖

適用於河道較為寬廣、水深不大、坡小流緩之砂質河床。



17

橋墩保護工法(5/8)



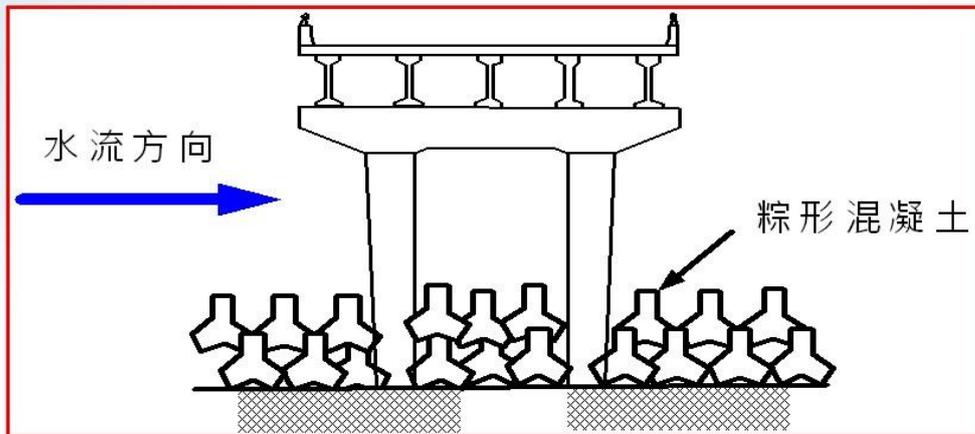
混凝土護坦工法示意圖

混凝土護坦工法施工簡單且工期較短，惟護坦上下游容易產生河床沖刷，於設計時應加強上下游河床保護，適用於卵礫石及軟弱岩層河床。



18

橋墩保護工法(6/8)



混凝土排置工法示意圖

施工容易且容許變位傾斜，發揮柔性保護河床之能力，惟局部施作易使未受保護區刷深，並導致塊體沉陷流失，**適用於卵礫石河床。**



橋墩保護工法(7/8)



織物模板工示意圖

利用高強度織布縫製雙層結構織袋狀物，**袋體空間灌注混凝土**或植生基材填充固定結構，可做為邊坡、河岸、堤防等坡面保護。



橋墩保護工法(8/8)



砂腸管配置示意圖

砂腸管為**兼具透水與保留土壤之袋體**，在水力填充後，袋中水分迅速排除，保留於內部之土壤成為一穩定之地工織物。

21

水工模型試驗規劃與佈置 (1/9)

主要沖刷問題

1. 橋梁位處大甲溪下游，屬辮狀河段，橋墩基礎隨主河道之改變，皆有局部沖刷裸露之問題。
2. 主河道鼎形塊保護工流失。



22

水工模型試驗規劃與佈置 (2/9)

國3大甲溪橋

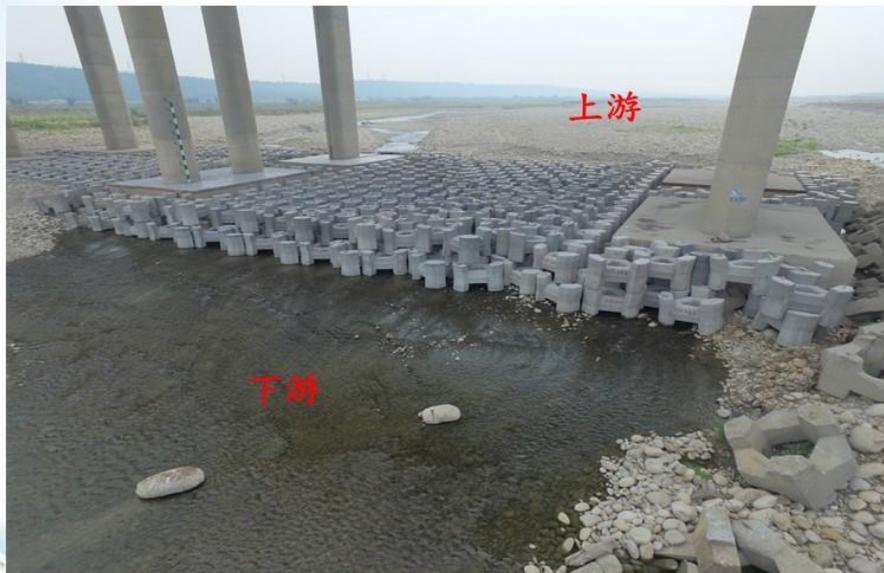


民國106年主深槽與橋基沖刷

23

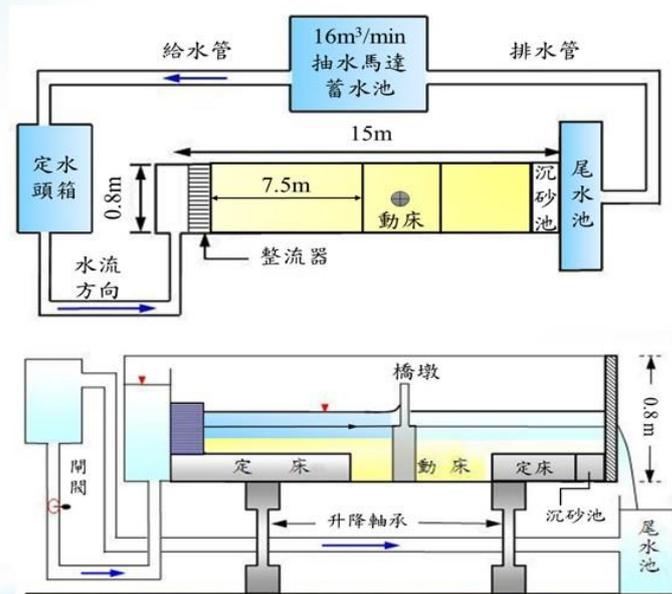
水工模型試驗規劃與佈置 (3/9)

試驗目標：驗證既有保護工及研提改善措施



24

水工模型試驗規劃與佈置 (4/9)



25

水工模型試驗規劃與佈置 (5/9)

在決定試驗條件前，應先釐清**影響橋墩局部沖刷深度之因素**並進行因次分析以獲取主要影響橋墩局部沖刷的參數，決定試驗之相關佈置，相關說明如下：

影響橋墩局部沖刷深度之因素

因次分析

- ① 水流強度， V/V_c
- ② 水流深度， y/ap
- ③ 底床質粗糙度， ap/d_{50}
- ④ 底床質均勻性， σ_g
- ⑤ 橋墩形狀
- ⑥ 橋墩排列方式
- ⑦ 時間的影響

- ① 保護工鋪設寬度(L)
- ② 保護工埋設高度(H)

26

水工模型試驗規劃與佈置 (6/9)

橋墩模型



27



水工模型試驗規劃與佈置 (7/9)

渠槽佈置

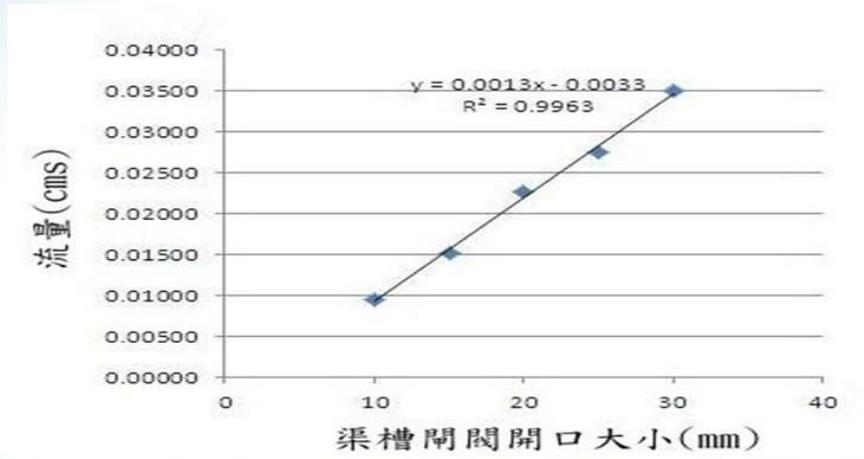


28



水工模型試驗規劃與佈置 (8/9)

試驗流量率定



29

水工模型試驗規劃與佈置 (9/9)

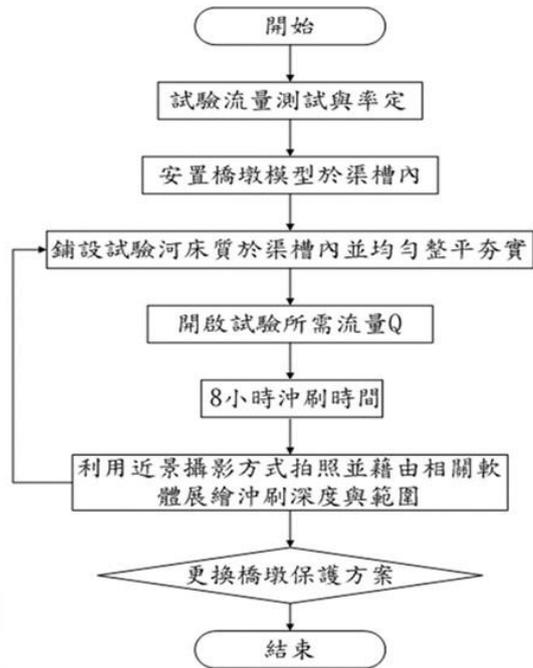
臨界流速設定

本研究水深(y)為102mm，中值粒徑(D50)為1.2mm，依據臨界流速(Melville-Coleman)公式，得到試驗臨界流速(V_c)為0.4301 m/s。

臨界流速(V_c)乘上試驗渠槽寬(0.8m)及水位高(0.102m)換算流量為0.0351 cms，所需閘閥開度約為29.5373 mm。

30

渠槽沖刷試驗(1/29)



31

渠槽沖刷試驗(2/29)

現況保護工鼎形塊鋪設情形
(比例1/100，墩帽高於底床3.8公分)



32

渠槽沖刷試驗(3/29)

現況保護工基礎沖刷(8小時)，上下游破壞情形。



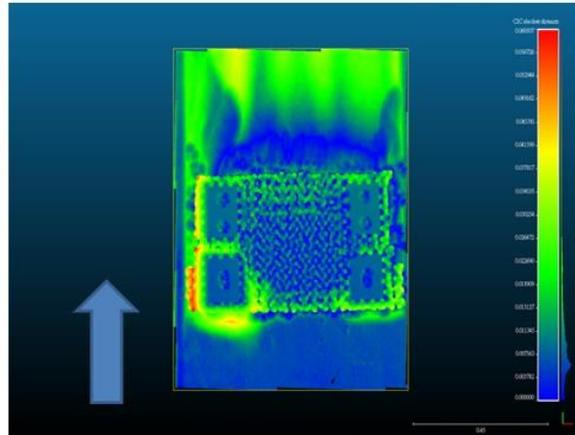
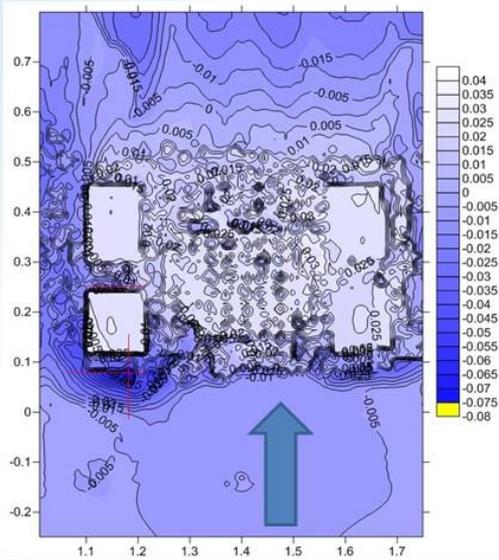
渠槽沖刷試驗(4/29)



現況保護措施沖刷3D模擬

34

渠槽沖刷試驗(5/29)

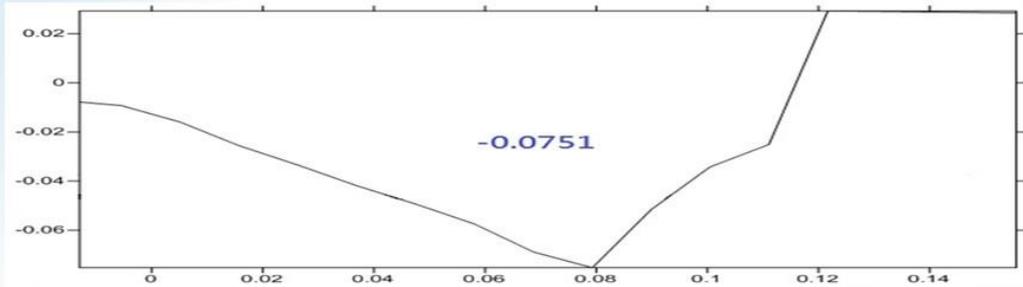


現況保護措施沖淤狀況

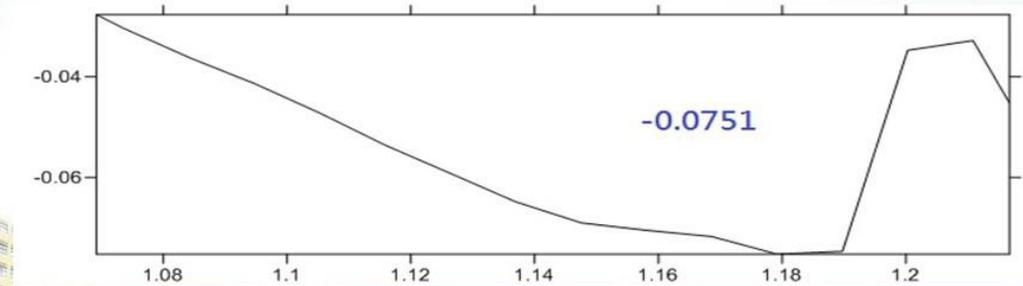
現況保護措施等高線示意圖

渠槽沖刷試驗(6/29)

現況保護工基礎沖刷(8小時)，最大沖刷深度**7.5公分**。



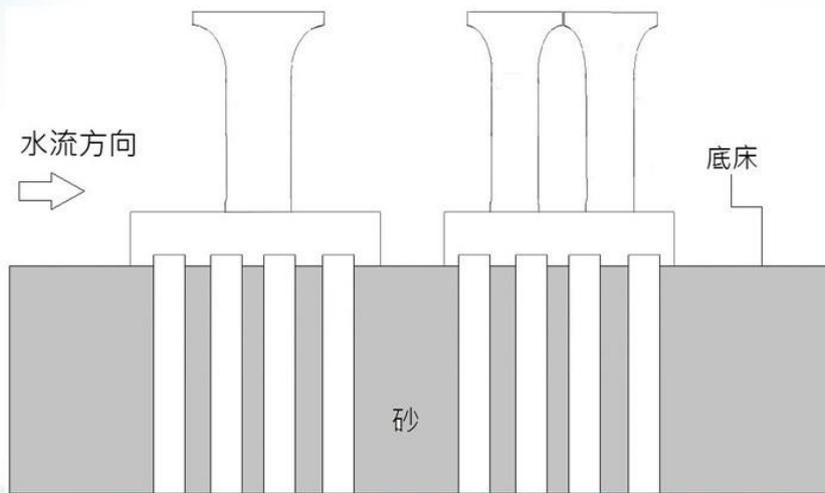
縱斷面



橫斷面

渠槽沖刷試驗(7/29)

零方案：無保護工



37

渠槽沖刷試驗(8/29)

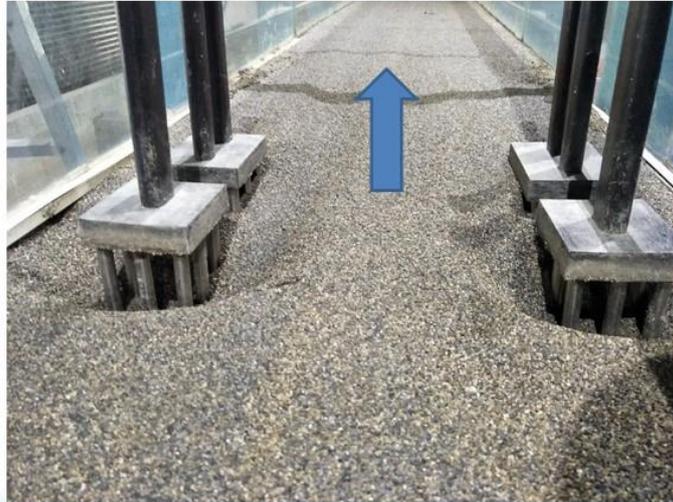
零方案：無保護工



38

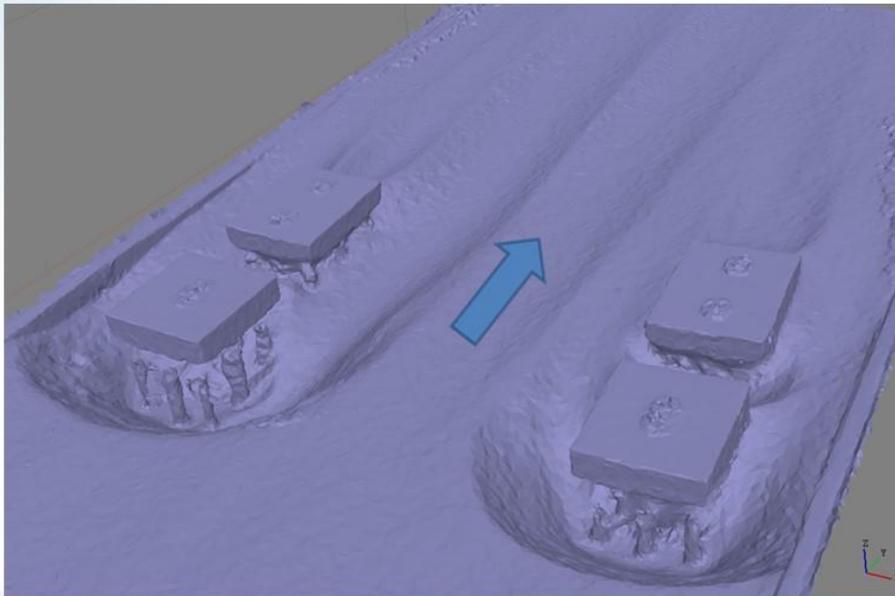
渠槽沖刷試驗(9/29)

無保護工沖刷8小時基礎裸露情形



39

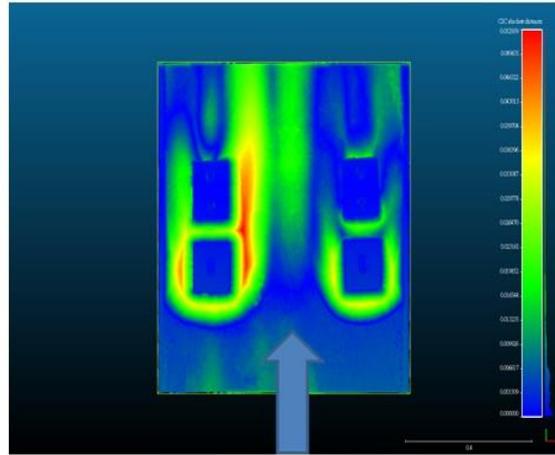
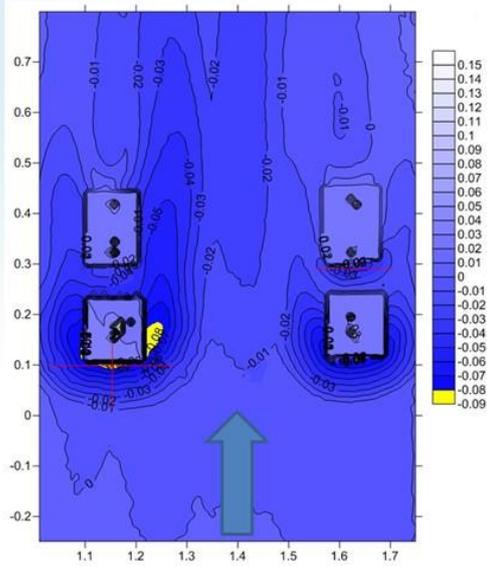
渠槽沖刷試驗(10/29)



無保護工沖刷3D模擬

40

渠槽沖刷試驗(11/29)



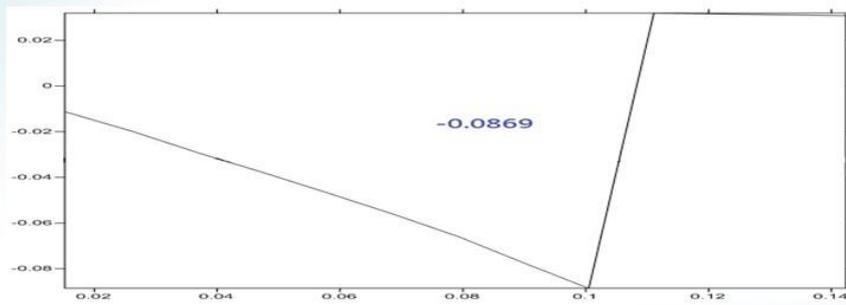
無保護工沖淤狀況

無保護工等高線示意圖

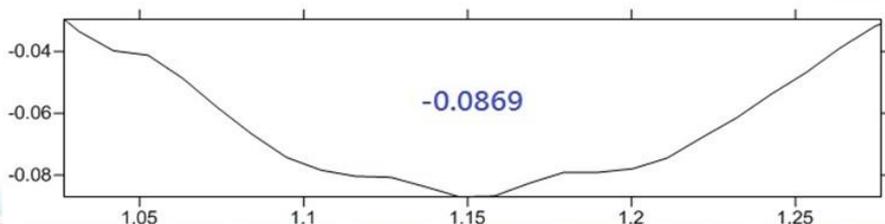
41

渠槽沖刷試驗(12/29)

無保護工基礎沖刷(8小時)，最大沖刷深度**8.7公分**。



縱斷面

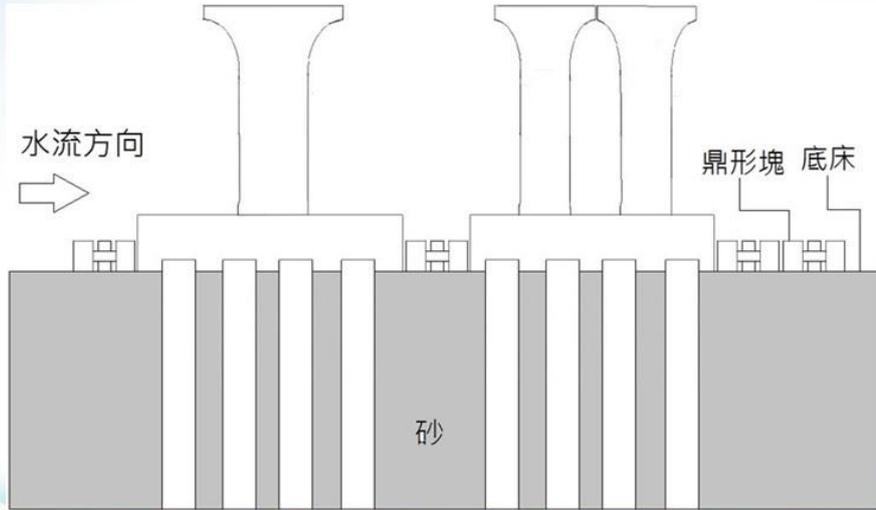


橫斷面

42

渠槽沖刷試驗(13/29)

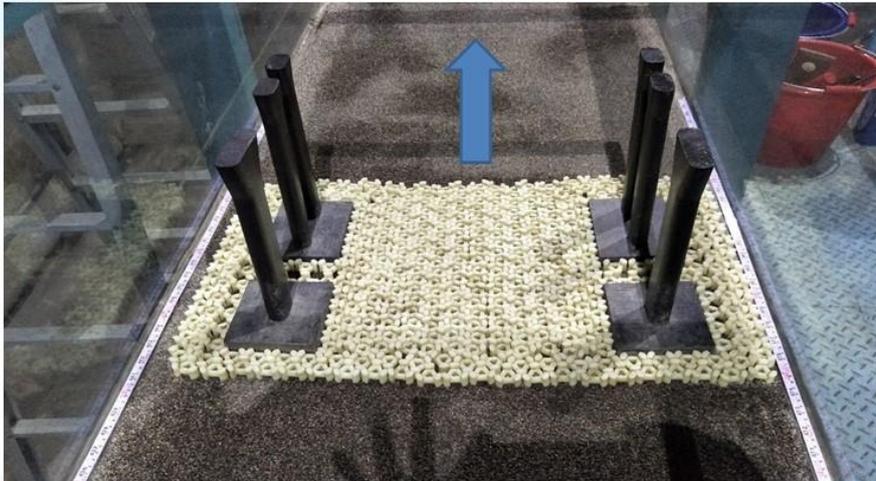
方案一：一層鼎形塊



43

渠槽沖刷試驗(14/29)

方案一：一層鼎形塊



44

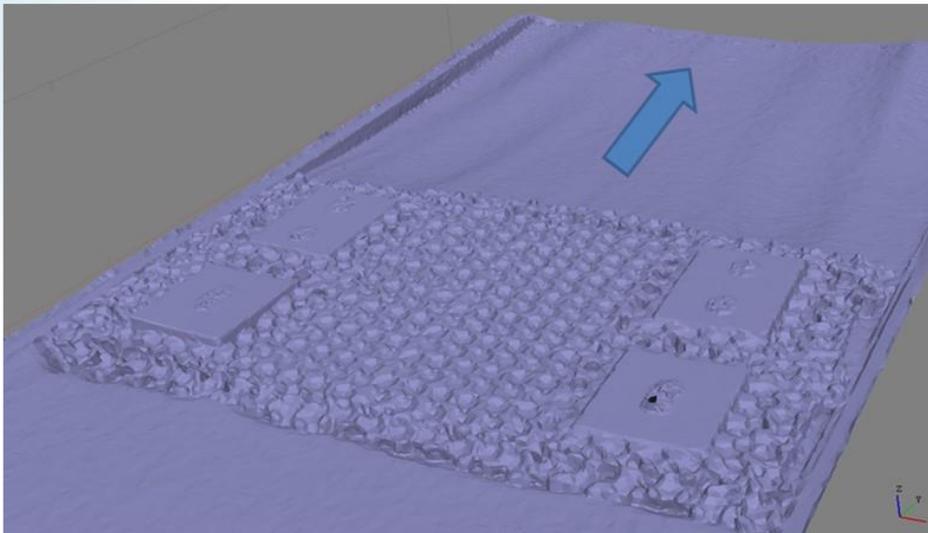
渠槽沖刷試驗(15/29)

方案一沖刷8小時，鼎形塊破壞情形。



45

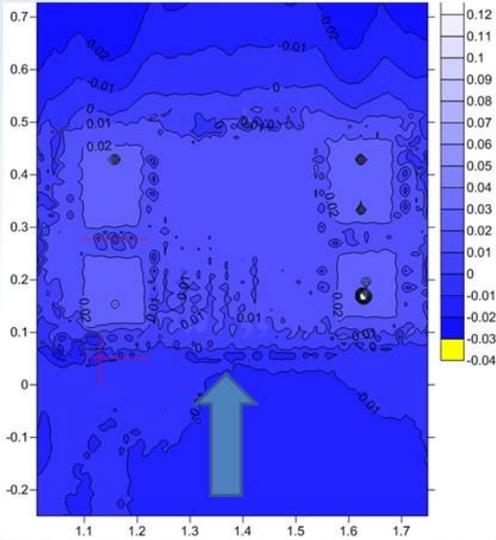
渠槽沖刷試驗(16/29)



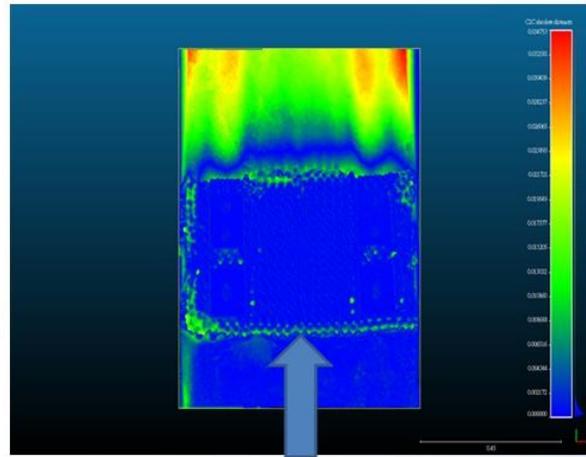
方案一沖刷3D模擬

46

渠槽沖刷試驗(17/29)



方案一沖刷等高線示意圖



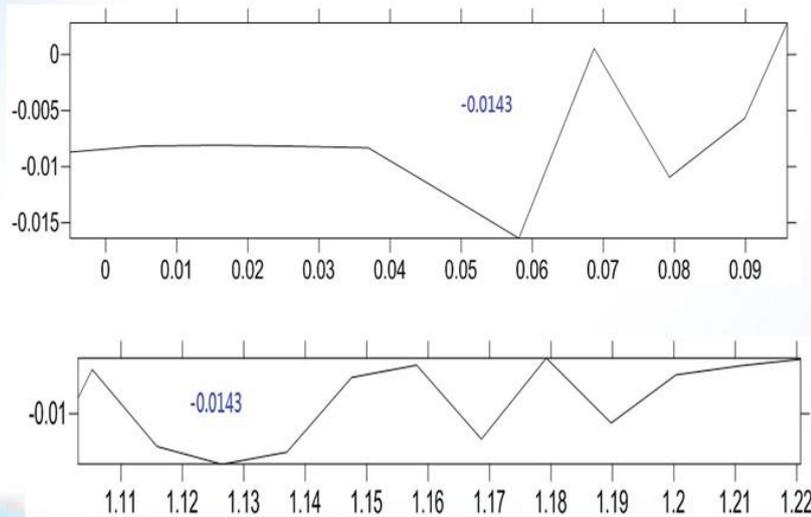
方案一沖淤狀況



47

渠槽沖刷試驗(18/29)

方案一基礎沖刷8小時，最大沖刷深度1.4公分。



縱斷面

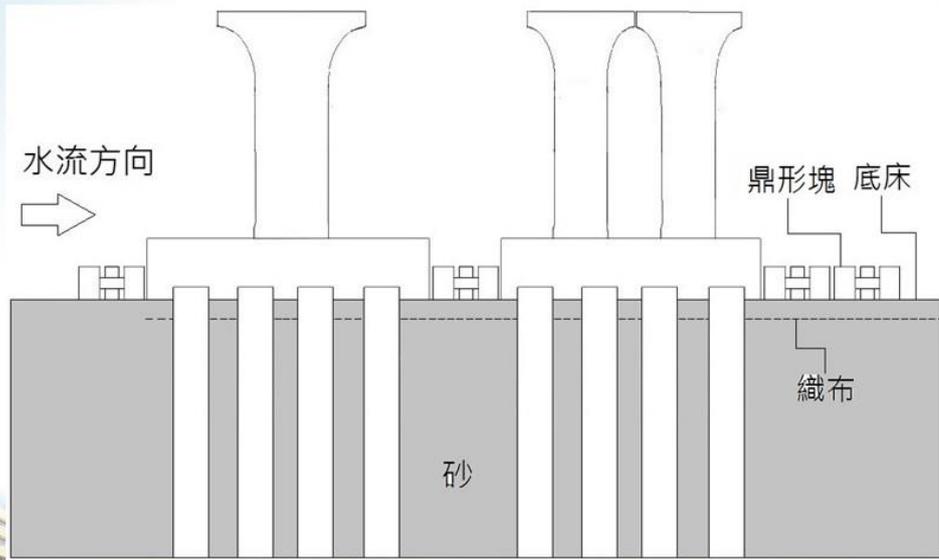
橫斷面



48

渠槽沖刷試驗(19/29)

方案二：一層鼎形塊+織布



49

渠槽沖刷試驗(20/29)

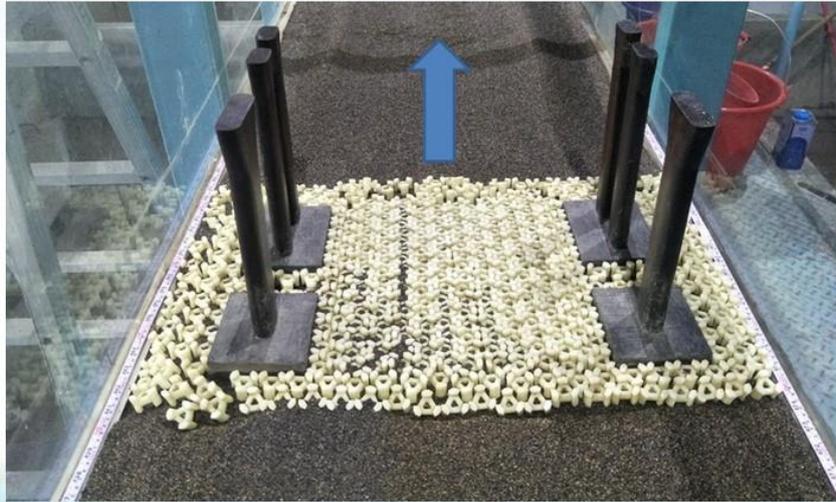
方案二：一層鼎形塊+織布



50

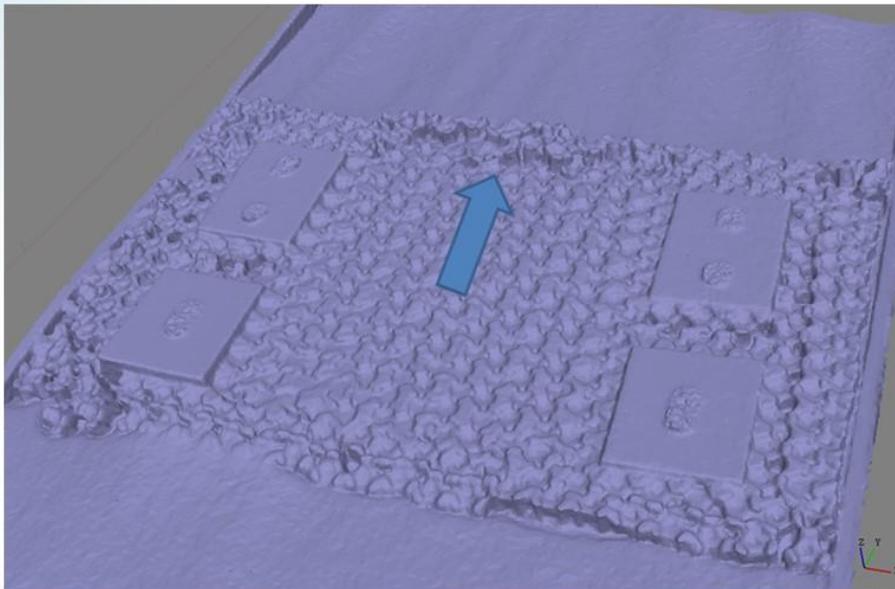
渠槽沖刷試驗(21/29)

方案二沖刷8小時，鼎形塊破壞情形，最大沖刷深度與方案一相同為1.4公分。



51

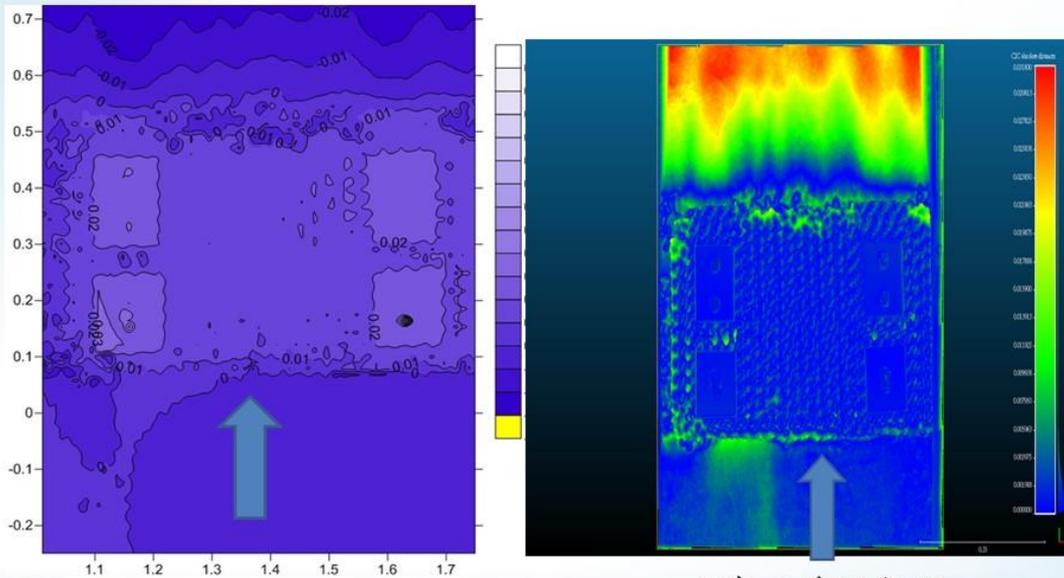
渠槽沖刷試驗(22/29)



方案二沖刷3D模擬

52

渠槽沖刷試驗(23/29)



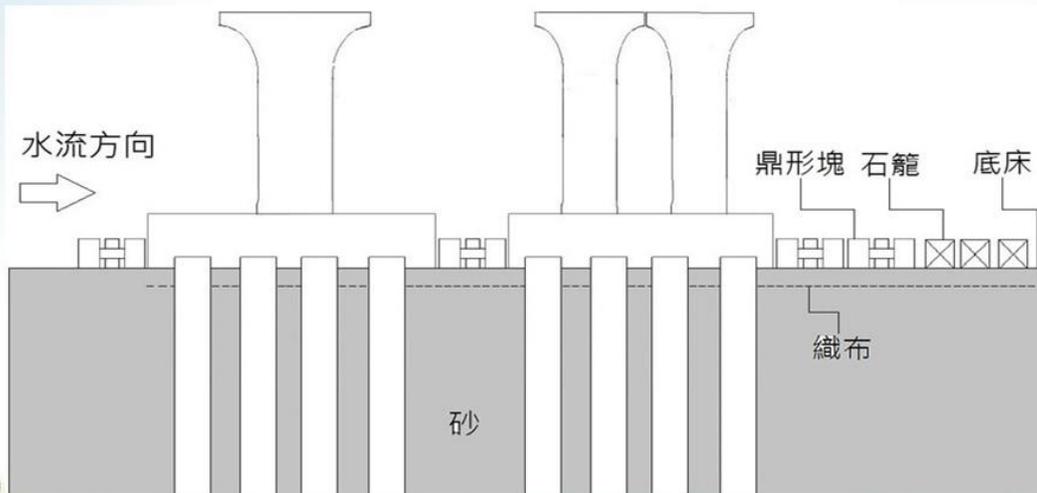
方案二沖刷等高線示意圖

方案二沖淤狀況

53

渠槽沖刷試驗(24/29)

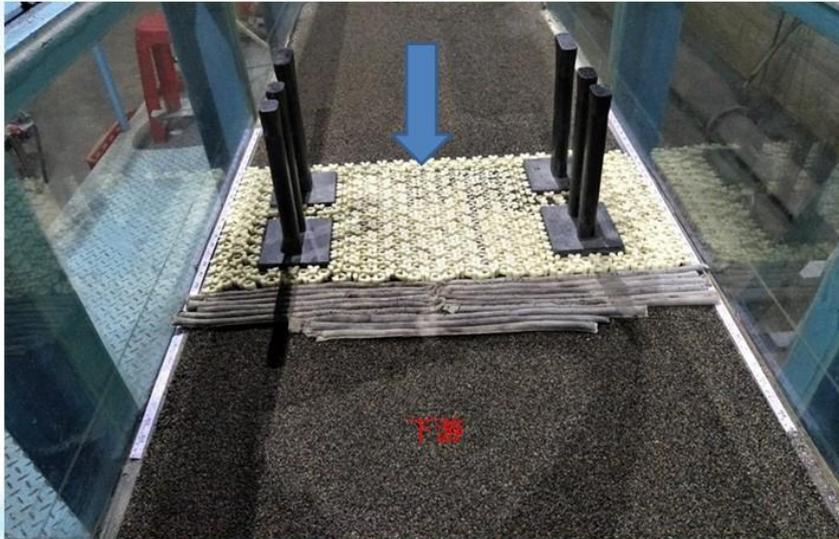
方案三：一層鼎形塊+織布+石籠



54

渠槽沖刷試驗(25/29)

方案三：一層鼎形塊+織布+石籠

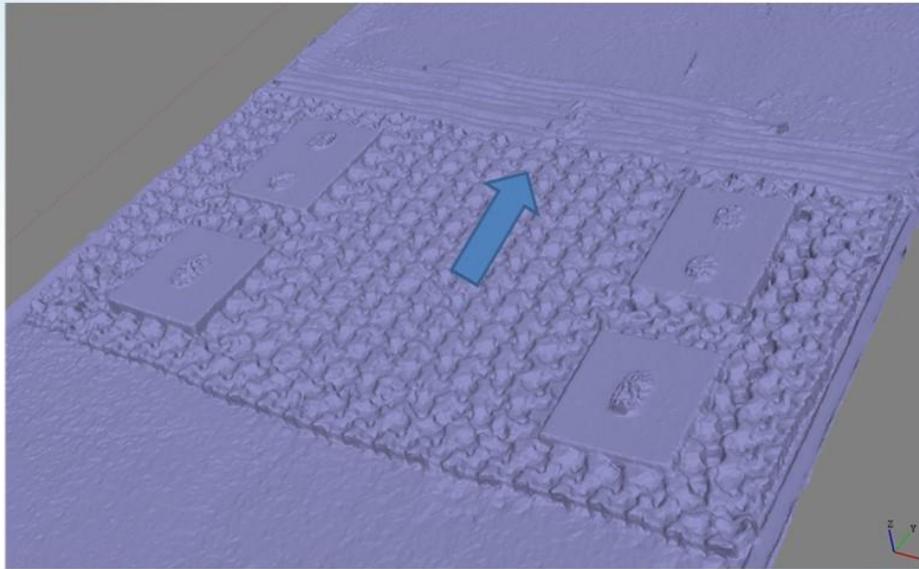


渠槽沖刷試驗(26/29)

方案三沖刷8小時，鼎形塊破壞情形，最大沖刷深度與方案一相同為1.4公分。



渠槽沖刷試驗(27/29)

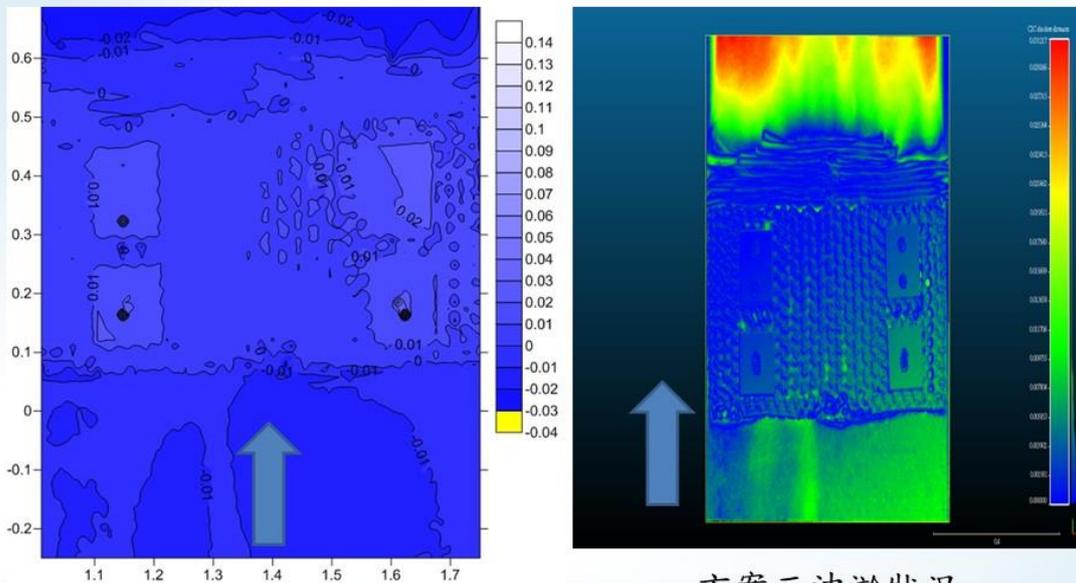


方案三沖刷3D模擬

57



渠槽沖刷試驗(28/29)



方案三沖刷等高線示意圖

方案三沖淤狀況

58



渠槽沖刷試驗(29/29)

鋪設方案	最大沖刷深度 (cm)	下游鼎形塊 穩定度
現況保護措施(二層鼎形塊)	7.5	滾落移動
零方案(無保護工)	8.7	-
方案一(一層鼎形塊)	1.4	滾落移動
方案二(一層鼎形塊+織布)	1.4	滾落移動
方案三(一層鼎形塊+織布+石籠)	1.4	穩定

59

結論與建議(1/2)

- 現況保護措施與零方案(無保護工)之沖刷結果顯示，現況保護措施沖刷深度小於無保護措施，顯示**現況保護措施有其成效**。
- **方案一(一層鼎形塊)**之保護方式，沖刷試驗結果橋墩基礎最大沖刷深度由7.5cm降為1.4cm，顯示**方案一優於現況保護措施**。
- **方案二與方案一**主要差異為在鼎形塊基礎下鋪設織布，以期減少底床質的沖刷，然**沖刷試驗結果**顯示，兩方案並無明顯之差異。
- **方案三**為避免下游向源侵蝕的作用，導致鼎形塊的滑落與流失，遂在鼎形塊**下游鋪設石籠**作為保護，試驗結果顯示**確實對下游鼎形塊的穩定度有很大的成效**。

60

結論與建議(2/2)

- 本研究試驗時間僅8小時，無法模擬水流衝擊力長時間對材料之磨損破壞及連續性破壞，試驗結果可能與現況之破壞機制或許有差異，**未來現地之應用建議可參考方案一、方案二及方案三之鋪設方式進行現地試驗後，再擇較優之方案據以進行大規模之保護工鋪設。**
- 石籠及織物保護工法依據本所過去的相關研究與試驗均有不錯的保護效果，但因其材料性質特性，實務應用其耐久性可能不如預期，但隨著材料科技的進步，或許將來可以改善此缺點。

61



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

簡報完畢
敬請指教

62



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