

106-022-7922

MOTC-IOT-105- H1DA001c

跨河橋梁固床工水工模型試驗- 以中沙大橋為例(2/2)



交通部運輸研究所

中華民國 106 年 4 月

106-022-7922

MOTC-IOT-105- H1DA001c

跨河橋梁固床工水工模型試驗- 以中沙大橋為例(2/2)

著 者：賴瑞應、謝明志、胡啟文
曾文傑、白庭羿、王欣郁

交通部運輸研究所
中華民國 106 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

跨河橋梁固床工水工模型試驗：以中沙大橋為例。(2/2) / 賴瑞應等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，民 106. 04
面；公分
ISBN 978-986-05-2234-1(平裝)

1. 橋樑工程

441.8

106004978

跨河橋梁固床工水工模型試驗-以中沙大橋為例(2/2)

著者：賴瑞應、謝明志、胡啟文、曾文傑、白庭羿、王欣郁
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)26587176
出版年月：中華民國 106 年 4 月
印刷者：
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港灣技術研究中心網站
定價：250 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：1010600499 ISBN：978-986-05-2234-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

GPN: 1010600499

定價 250 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：跨河橋梁固床工水工模型試驗-以中沙大橋為例(2/2)			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN978-986-05-2234-1(平裝)	政府出版品統一編號 1010600499	運輸研究所出版品編號 106-022-7922	計畫編號 105-H1DA001c
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：賴瑞應 研究人員：謝明志、胡啟文、曾文傑、白庭昇 參與人員：王欣郁、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 105 年 01 月 至 105 年 12 月
關鍵詞：水工模型試驗、沖刷、砂腸袋、織物模板			
摘要： 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，試驗成果將提供高速公路局中工處未來施政的參考。 研究成果效益： 1. 研提橋基保護方案，提升橋基耐洪能力，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： 1. 本研究研提之橋基保護方案，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
106 年 4 月	260	250	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： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 (解密條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密) ☒ 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: Hydraulic Model Test on Crossing Bridge Protection Works - A Case Study in Zhong-Sha Bridge (2/2)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-05-2234-1(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATION NUMBER 1010600499	IOT SERIAL NUMBER 106-022-7922	PROJECT NUMBER 105-H1DA001c
DIDIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIDIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PPRINCIPAL INVESTIGATOR: Lai Jui-Ying PROJECT STAFF: M.J. Hsieh, C.W. Hu, W.J. Tseng, T.Y. Bai PROJECT TECHNICIAN: H.Y. Wang, Y.S. Chen, C.R. Lee, M.H. He PHONE:04-26587170 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2016 TO December 2016
KEY WORDS: hydraulic model test, scour, geotextile tube, fabric form			
ABSTRACT: The groundsill works of Freeway No.1 Zhong-Sha Bridge is subject to flood erosion in recent years, resulting in the destruction of part of the cross-section, thereby affecting the upper reaches of the river bed and caused pier base exposed. In order to avoid affecting the transport safety of the Zhong-Sha Bridge. This project carry out hydraulic model tests, and research appropriate improvement plan for the National Freeway Bureau laid refer to the relevant decisions of the abutment protection. The scour protection for bridge piers was investigated experimentally in the first year. The experiments of abutment protection with different cases showed that the geotextile tube engineering methods combined with fabric form was better than the others. In the second year, a large-scale plane test was carried out. The Zhong-Sha Bridge and upstream and downstream reaches was integrated into the hydraulic model test. Considering the different flood peak flow in Zhushui Creek, the test of embedded protection scheme of bridge foundation was carried out. This study can be provided abutment protection works to National Freeway Bureau for decision-making reference. Benefits of research results: 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 set up protection works in the future. Current situation in application: 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 April 2017	NUMBER OF PAGES 260	PRICE 250	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

跨河橋梁固床工水工模型試驗-以中沙大橋為例

(2/2)

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 1 號中沙大橋耐洪能力提升或改建可行性研究工作	2-1
2.2 國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作	2-3
2.3 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	2-4
2.4 跨河橋梁保護工法之研究	2-7
2.5 蛇籠保護方式對橋墩局部冲刷之影響	2-8
2.6 國 1 中沙大橋、烏溪橋及國 3 濁水溪橋墩基保護方案暨精進冲刷巡檢機制專業技術服務工作	2-10
第三章 橋梁基本資料	3-1

3.1 中沙大橋基本資料.....	3-1
3.2 歷年冲刷及維護.....	3-3
3.3 濁水溪流域概況.....	3-8
3.4 濁水溪水理特性.....	3-10
第四章 國內外橋墩保護工法資料彙整.....	4-1
4.1 橋墩冲刷機制概述.....	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 河道冲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 中沙大橋橋基冲刷對策探討.....	5-1
5.2 試驗渠槽.....	5-4
5.3 渠槽試驗條件.....	5-6
5.4 試驗佈置.....	5-11
第六章 橋墩渠槽冲刷試驗.....	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.....	6-36
第七章 平面水工模型試驗規劃與建置.....	7-1
7.1 模型範圍選定.....	7-1
7.2 模型比尺選定.....	7-1
7.3 模型用砂.....	7-4

7.4 試驗規劃與建置	7-6
第八章 水工模型預備與檢定試驗	8-1
8.1 試驗流量率定	8-1
8.2 變量流清水試驗 104 年 0808 蘇迪勒颱風流量	8-2
8.3 變量流加砂試驗 104 年 0808 蘇迪勒颱風流量	8-2
第九章 橋墩保護工法試驗	9-1
9.1 情境 1:下游潛堰無損定量流試驗	9-1
9.2 情境 2:無下游潛堰保護之定量流試驗	9-4
9.3 情境 3:無下游潛堰保護之橋基保護方案 1	9-6
9.4 情境 4:無下游潛堰保護之橋基保護方案 2	9-9
第十章 結論與建議	10-1
10.1 結論	10-1
10.2 建議	10-3
10.3 研究成果效益	10-3
10.4 提供應用情形	10-3
參考文獻	參-1
附錄一 橋梁基本資料	附 1-1
附錄二 中沙大橋橋址河床斷面測量成果	附 2-1
附錄三 期末審查意見及辦理情形說明表	附 3-1
附錄四 期末報告簡報資料	附 4-1

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	1-3
圖 2.1 地工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖	2-4
圖 2.2 中沙大橋 P10~P19 橋墩河床斷面測量成果	2-5
圖 2.3 中沙大橋 P20~P28 橋墩河床斷面測量成果	2-5
圖 2.4 中沙大橋 P29~P38 橋墩河床斷面測量成果	2-6
圖 2.5 中沙大橋 P39~P47 橋墩河床斷面測量成果	2-6
圖 2.6 試驗橋墩規格示意圖	2-7
圖 2.7 不均勻圓形橋墩之三種情況	2-9
圖 2.8 不同保護情況下之沖刷剖面	2-10
圖 3.1 中沙大橋結構拓寬、補強示意圖	3-3
圖 3.2 中沙大橋橋墩保護工	3-4
圖 3.3 中沙大橋下游固床工	3-5
圖 3.4 中沙大橋下游固床工配置圖	3-5
圖 3.5 中沙大橋下游固床工斷面示意圖	3-6
圖 3.6 中沙大橋上游及兩岸高灘地沖刷狀況	3-6
圖 3.7 中沙大橋固床工近照	3-7
圖 3.8 濁水溪流域概況圖	3-8
圖 3.9 濁水溪主流 82、90、93 年斷面 51 至 60 平均底床高程	3-12
圖 3.10 濁水溪 90、93、96、99、100 年平均高程(1-61 斷面)	3-13
圖 3.11 濁水溪 90、93、96、99、100 年平均高程(61-117 斷面)	3-13
圖 3.12 濁水溪 90、93、96、99、100 年平均高程(61-117 斷面)	3-14
圖 3.13 濁水溪 90、93、96、99、100 年深槽高程(1-61 斷面)	3-14

圖 3.14 濁水溪 90、93、96、99、100 年深槽高程(61-117 斷面).....	3-15
圖 3.15 濁水溪 90、93、96、99、100 年深槽高程(61-117 斷面).....	3-15
圖 4.1 圓柱形橋墩的局部冲刷與渦流.....	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 四河局於中沙大橋上游高灘地之保護工施作情形.....	5-2
圖 5.2 中工處於中沙大橋橋基高灘地之砂腸袋施作情形.....	5-2
圖 5.3 中工處於中沙大橋橋基高灘地之織物模板施作情形.....	5-3
圖 5.4 中工處加長潛堰護坦消能工施作情形.....	5-3
圖 5.5 渠槽斷面圖.....	5-4
圖 5.6 渠槽尾水控制閘門.....	5-5
圖 5.7 試驗渠槽配置圖.....	5-6
圖 5.8 試驗底床質粒徑分布曲線圖.....	5-8
圖 5.9 橋梁相關尺寸.....	5-11
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	5-12
圖 5.12 渠槽動床試驗段佈設示意圖	5-13
圖 5.13 流量率定曲線圖	5-14
圖 6.1 砂腸袋配合織物模板保護工	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 沖刷時間與沖刷深度之關係圖	6-4
圖 6.6 無保護工鋪設	6-6
圖 6.7 無保護工基礎沖刷情形	6-6
圖 6.8 無保護沖刷深度與範圍 3D 圖	6-7
圖 6.9 無保護工基礎沖刷坑等高線示意圖	6-7
圖 6.10 無保護工基礎沖刷縱斷面示意圖	6-8
圖 6.11 無保護工基礎沖刷橫斷面示意圖	6-8
圖 6.12 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)鋪設	6-9
圖 6.13 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)鋪設平面示意圖	6-9
圖 6.14 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)鋪設斷面示意圖	6-10
圖 6.15 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)基礎沖刷情形	6-10
圖 6.16 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)沖刷深度與範圍 3D 圖	6-11
圖 6.17 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)基礎沖刷坑等高線示意圖	6-11
圖 6.18 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)基礎沖刷縱斷面示意圖	6-12
圖 6.19 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)基礎沖刷橫斷面示意圖	6-12
圖 6.20 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)鋪設	6-13
圖 6.21 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)鋪設平面示意圖	6-13

圖 6.22 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)鋪設斷面示意圖	6-14
圖 6.23 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)基礎沖刷情形	6-14
圖 6.24 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)沖刷深度與範圍 3D 圖	6-15
圖 6.25 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)基礎沖刷坑等高線示意圖	6-15
圖 6.26 一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)基礎沖刷縱斷面示意圖	6-16
圖 6.27 一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)基礎沖刷橫斷面示意圖	6-16
圖 6.28 二層直立砂腸袋鋪設	6-17
圖 6.29 二層直立砂腸袋鋪設平面示意圖	6-17
圖 6.30 二層直立砂腸袋鋪設斷面示意圖	6-18
圖 6.31 二層直立砂腸袋基礎沖刷情形	6-18
圖 6.32 二層直立砂腸袋沖刷深度與範圍 3D 圖	6-19
圖 6.33 二層直立砂腸袋基礎沖刷坑等高線示意圖	6-19
圖 6.34 二層直立砂腸袋基礎沖刷縱斷面示意圖	6-20
圖 6.35 二層直立砂腸袋基礎沖刷橫斷面示意圖	6-20
圖 6.36 二層斜坡砂腸袋鋪設	6-21
圖 6.37 二層斜坡砂腸袋鋪設平面示意圖	6-21
圖 6.38 二層斜坡砂腸袋鋪設斷面示意圖	6-22
圖 6.39 二層斜坡砂腸袋基礎沖刷情形	6-22
圖 6.40 二層斜坡砂腸袋沖刷深度與範圍 3D 圖	6-23
圖 6.41 二層斜坡砂腸袋基礎沖刷坑等高線示意圖	6-23
圖 6.42 二層斜坡砂腸袋基礎沖刷縱斷面示意圖	6-24
圖 6.43 二層斜坡砂腸袋基礎沖刷橫斷面示意圖	6-24
圖 6.44 三層直立砂腸袋鋪設	6-25
圖 6.45 三層直立砂腸袋鋪設平面示意圖	6-25

圖 6.46 三層直立砂腸袋鋪設斷面示意圖.....	6-26
圖 6.47 三層直立砂腸袋基礎沖刷情形.....	6-26
圖 6.48 三層直立砂腸袋沖刷深度與範圍 3D 圖.....	6-27
圖 6.49 三層直立砂腸袋基礎沖刷坑等高線示意圖.....	6-27
圖 6.50 三層直立砂腸袋基礎沖刷縱斷面示意圖.....	6-28
圖 6.51 三層直立砂腸袋基礎沖刷橫斷面示意圖.....	6-28
圖 6.52 三層斜坡砂腸袋鋪設.....	6-29
圖 6.53 三層斜坡砂腸袋鋪設平面示意圖.....	6-29
圖 6.54 三層斜坡砂腸袋鋪設斷面示意圖.....	6-30
圖 6.55 三層斜坡砂腸袋基礎沖刷情形.....	6-30
圖 6.56 三層斜坡砂腸袋沖刷深度與範圍 3D 圖.....	6-31
圖 6.57 三層斜坡砂腸袋基礎沖刷坑等高線示意圖.....	6-31
圖 6.58 三層斜坡砂腸袋基礎沖刷縱斷面示意圖.....	6-32
圖 6.59 三層斜坡砂腸袋基礎沖刷橫斷面示意圖.....	6-32
圖 6.60 一層砂腸袋+織物模板鋪設	6-33
圖 6.61 一層砂腸袋+織物模板鋪設平面示意圖	6-33
圖 6.62 一層砂腸袋+織物模板鋪設斷面示意圖	6-34
圖 6.63 一層砂腸袋+織物模板基礎沖刷情形	6-34
圖 6.64 一層砂腸袋+織物模板沖刷深度與範圍 3D 圖	6-35
圖 6.65 一層砂腸袋+織物模板基礎沖刷坑等高線示意圖	6-35
圖 6.66 一層砂腸袋+織物模板基礎沖刷縱斷面示意圖	6-36
圖 6.67 一層砂腸袋+織物模板基礎沖刷橫斷面示意圖	6-36
圖 7.1 濁水溪試驗河段範圍圖.....	7-1
圖 7.2 原體砂、臨界推移力法及模型用砂級配曲線圖.....	7-5

圖 7.3 場棚試驗平面空間配置圖	7-7
圖 7.4 蛇籠示意圖	7-8
圖 8.1 流量率定曲線圖	8-1
圖 8.2 試驗地形鋪設	8-2
圖 8.3 模型施放流量歷線圖	8-3
圖 8.4 中沙大橋上、下游 500 公尺範圍之正射影像圖	8-4
圖 8.5 模型地型試驗結果	8-4
圖 8.6 現地實測水位與模型試驗水位比較圖	8-6
圖 8.7 最大沖刷橋墩 P25~P26	8-6
圖 8.8 最大沖刷橋墩 P33~P35	8-7
圖 9.1 橋基沖刷深度量測示意圖	9-2
圖 9.2 50 年重現期退水後呈現之兩深槽流路	9-3
圖 9.3 50 年重現期退水後呈現之流路與深槽區	9-5
圖 9.4 50 年重現期退水後呈現之橋墩沖刷情形	9-5
圖 9.5 50 年重現期最大沖刷橋墩沖刷深度	9-6
圖 9.6 方案 1 橋基保護範圍	9-7
圖 9.7 方案 1 保護工佈設深度	9-7
圖 9.8 方案 1(50 年重現期距)主要沖刷範圍	9-8
圖 9.9 方案 1(50 年重現期距)無保護工最大沖刷深度	9-9
圖 9.10 方案 2 橋基保護範圍	9-10
圖 9.11 方案 2 保護工佈設深度	9-10
圖 9.12 方案 2(50 年重現期距)主要沖刷範圍	9-11
圖 9.13 方案 2(50 年重現期距)最大沖刷深度	9-12
圖 9.14 方案 2(50 年重現期距)沖刷深度與範圍 3D 圖	9-12

圖 9.15 方案 2(50 年重現期距)冲刷坑等高線示意圖	9-13
圖 9.16 方案 2(50 年重現期距)基礎冲刷縱斷面示意圖	9-13
圖 9.17 方案 2(50 年重現期距)保護工露出狀況	9-14

表目錄

表 2-1 橋墩在未保護及受保護情況下之沖刷情形	2-10
表 3-1 濁水溪主流斷面 69 以下的河道平均坡度分析比較表	3-10
表 3-2 國 1 中沙大橋河床質代表粒徑表	3-11
表 3-3 民國 100 年濁水溪各分析控制點重現期距洪峰流量表	3-16
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 試驗橋墩模型規格表	5-11
表 5-2 臨界流速公式.....	5-16
表 6-1 不同鋪設方案最大沖刷深度與範圍綜整比較表	6-37
表 7-1 各重現期距水工模型試驗洪峰流量表	7-3
表 7-2 原體與模型間各物理量之比例關係	7-4
表 7-3 原體砂及模型砂粒徑比較表（單位：mm）	7-5
表 9-1 各重現期距最大沖刷深度	9-3

第一章 前言

1.1 研究緣起

國道 1 號中沙大橋位於彰化縣溪州鄉與雲林縣西螺鎮交界處，跨越濁水溪，為國道 1 號沿線極為重要的橋梁之一。民國 84 年因應濁水溪河床沖刷下降、橋基大幅裸露，國道高速公路局乃委託中興工程顧問社辦理「中沙大橋橋墩保護及增設下游潛堰工程」之規劃與設計並於民國 85 年發包施工。民國 86 年 1 月潛堰固床工完工後，歷經民國 86 年洪汛期之數次小規模洪水自上游攜運砂石而下，民國 86 年底時，深槽區段之潛堰固床工上游已回淤相當可觀的砂石量，亦直接地抬高橋址及其下游的河床高程，達到保護中沙大橋橋墩基礎的目的。近年潛堰固床工受颱風沖刷及中油管架橋部分橋墩設置保護工影響，河床流路往南北兩端沖刷，將潛堰固床工沖毀，形成南北兩主要深槽流路，其影響包括：(1)中沙大橋橋址南北兩岸受河川蜿蜒作用及潛堰固床工兩深槽流路影響，逐漸向兩岸沖刷。(2)橋下主要深槽流路產生墩基裸露狀況，甚而造成損壞。(3)潛堰固床工深槽段之南北兩段下游消能鼎塊下沉或流失。(4)潛堰固床工主體常因其上下水位差所產生之管湧作用，造成沉陷、掏空及斷裂等損壞。

為避免河床流路變化沖刷兩岸高灘地及河床下降導致橋基大幅裸露，進而影響中沙大橋行車安全，本計畫將藉由水工模型試驗，研提合宜橋基保護方案，供國道高速公路局佈設相關橋基保護工決策之參考。

1.2 研究目的

本研究目的如下：

1. 藉由水工模型試驗，研提國道 1 號中沙大橋橋基保護方案，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。

1.3 研究方法

本研究主要目的為研提國道 1 號中沙大橋橋基保護方案，供國道高速公路局未來施政之參考，以提升國道 1 號中沙大橋橋基耐洪能力，滿足運輸安全需求。

爰此，本研究第一年(104 年)先蒐集中沙大橋的相關基本資料，包括水工結構物(橋基、潛堰及相關保護工等)設計資料、水文資料、歷史颱風災害、河床質粒徑、河川治理等基本背景資料，以瞭解其沖刷問題。接著進行中沙大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。最後針對中沙大橋的橋基與河床高程現況，進行橋基沖刷保護方案之斷面(渠槽)試驗，試驗結果顯示，埋入式砂腸袋工法結合織物模板為較佳的橋基保護方案。

本研究第二年(105 年)基於第一年斷面試驗的成果，將埋入式砂腸袋工法結合織物模板的保護方案，應用於中沙大橋之平面水工模型試驗上，依據不同洪水頻率沖刷之結果，研提砂腸袋工法結合織物模板之保護方案具體之鋪設深度與範圍，提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、潛堰及相關保護工等)設計資料及現況資料蒐集
2. 水文資料、歷史颱風災害、河床質粒徑、河道斷面、河川治理等基本背景資料蒐集
3. 文獻回顧
4. 斷面水工模型試驗規劃與佈置

5. 橋墩斷面水工模型沖刷試驗
6. 平面水工模型試驗規劃與建置
7. 預備與檢定試驗
8. 中沙大橋平面水工模型沖刷試驗
9. 結論與建議

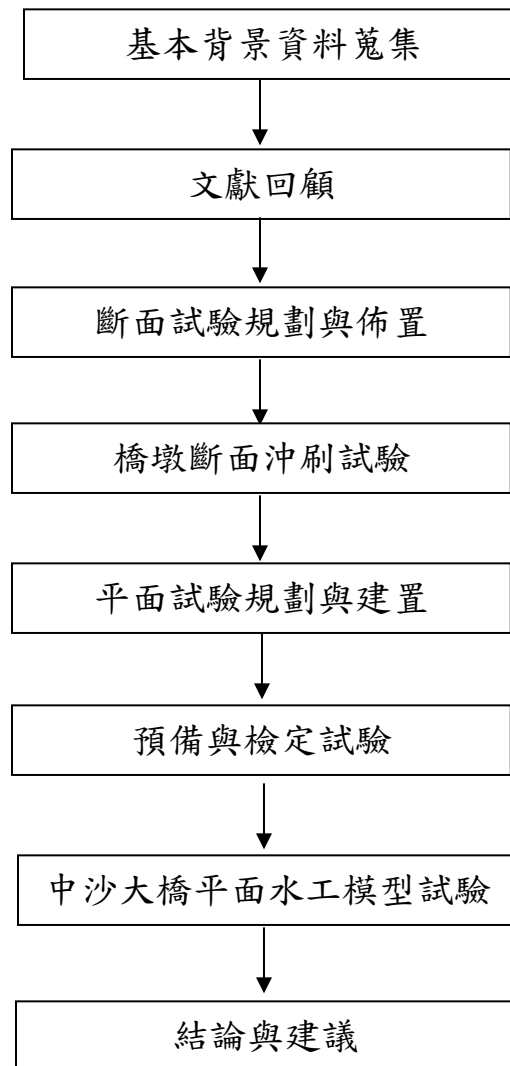


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章蒐集國道中沙大橋近幾年之相關研究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 1 號中沙大橋耐洪能力提升或改建可行性研究工作

「國道 1 號中沙大橋耐洪能力提升或改建可行性研究工作」^[10]為國道高速公路局中工處委託林同棧工程顧問股份有限公司，於 100 年完成之研究計畫。

本計畫主因於中沙大橋完工至今已 30 餘年，橋址所在之濁水溪河床在民國 78 年北部河川禁採砂石後，受河川大量採取砂石之影響，以及河道長年受沖刷之故而逐年下降；現況除了於橋墩基礎設置保護工外，另於下游處設置潛堰固床工，以避免河床持續下降而加深橋基裸露，而危及橋梁安全。然每逢汛期洪水沖刷過後，仍須持續投入龐大經費，以辦理橋基保護工及潛堰之維修工作。為長遠之計，擬減少每年維修養護成本及確保橋梁安全，國道高速公路局中工處乃委託林同棧工程顧問股份有限公司著手辦理國道 1 號中沙大橋耐洪能力提升或改建可行性研究工作，期望以工程全生命週期成本考量，進行橋基改建或加固補強之可行性評估，以確保橋梁安全與既有交通維持順暢，達到經濟效益與避免傷亡之目標。

本計畫完整蒐集中沙大橋的橋梁基本資料(如附錄一)、橋址河川水文特性及歷年河床沖刷保護等資料。對於中沙大橋的沖刷狀況及短期防治對策主要結論與建議摘要如下：

1. 近年來中沙大橋橋址處之深槽流路擺盪變遷，實係與潛堰固床工發生破損之位置密切相關；固床工一旦產生破損，水流集中沖刷此等固床工缺口處河床，繼而造成向源侵蝕，致使位於缺口處上游橋墩基礎沖刷裸露，此一般沖刷量最大可達約 3~4 公尺。
2. 中沙大橋潛堰頂高程為 EL.27.3m(原潛堰)~25.5m(99 年緊急修復工

程)間，潛堰下游處之河床高程約為 EL.23.0m。由於下游西螺大橋潛堰頂高程調降後(EL.17.0m，目前位於河床下)，下游段河床高程下降，導致目前中沙大橋潛堰固床工上下游坡降甚大，加上中油天然氣管架橋保護工影響，以致中沙大橋潛堰固床工更易於大水時破損沖刷。

3. 依據工址地質資料調查分析及前述河床沖刷深度評估結果，進行橋梁耐洪能力分析與評估，初步結果顯示潛堰未破損前，在達計畫洪水位下，現況橋梁耐洪能力評估結果應屬安全；當潛堰破損後，造成部分橋墩河床嚴重刷深，橋梁強度則有不足之疑慮。
4. 由歷年來之潛堰維修資料可知，當颱風來襲帶來大量雨量時，下游潛堰每每發生局部破損，進而危及本橋之安全；且近年來因氣候變遷，發生颱風夾帶超大豪雨之機會愈來愈大，故提升本橋之耐洪能力以確保颱風來襲時之安全，應為當務之急。另依據潛堰破損情境進行耐震評估，結果顯示基樁承载力及基樁樁體結構強度皆有不足之情形，故潛堰之維護有其必要性。
5. 未來辦理沖損之潛堰固床工區域修復整建時，全河段加長消能工長度，以因應沖損區河道已然大幅下降之困境以及主河槽之變動。消能工佈設區於下游末端設置雙排 III 型鋼鈹樁深入河床中，以增加護坦工末端抗沖刷之能力；並於下游鋼鈹樁圍堰中澆置混凝土層，以抑制跌水沖刷。另外，作為護坦之消能工前端亦施設 III 型鋼鈹樁圍堰深入河床中，以提升潛堰固床工之耐洪抗沖能力，除了可延長河床下方之滲透路徑、降低管湧(piping)發生外，主要是：即使於消能工沖毀後，作為潛堰固床工主體之混凝土塊陣列尚有另一道防衛線之保護而免於潰決。
6. 耐洪能力未提升或改建前，除需維持既有潛堰固床工功能外，可考慮裝設沖刷監測系統，以驗證颱風期間沖刷深度，做為橋梁耐洪能力提升或改建規劃設計參考；並配合橋梁監測預警系統，提供潛堰固床工修復前之橋梁沖刷安全預警、封橋與開放之決策依據，保護橋梁與通行於橋梁上之人員與車輛，維護用路人生命財產安全與

國家整體經濟發展。

2.2 國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作

「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]為國道高速公路局中工處委託國立臺灣大學，於 102 年完成之研究計畫。本計畫主因於國道 1 號中沙大橋自完工後，國道高速公路局中工處即長期投入經費進行橋基保護，以確保橋梁安全，目前存於橋梁下游的固床保護工(潛堰固床保護工)每年均投入相當多之維護費用，惟歷年颱風洪水仍常造成保護工局部有沉陷、掏空及斷裂等損壞現象。為評估可能的保護工法，期能有效減少局部冲刷，並降低維護費用，乃成立本研究計畫。本計畫針對中沙大橋所在位置之濁水溪上下游河川特性分析研判，由理論及實務專家經驗進行方案評估，研議中沙大橋橋基耐洪保護工法暨其配套措施，以經濟方式有效提升國道 1 號中沙大橋橋基中長期耐洪能力。

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

綜合上述研究成果，本計畫建議措施包括下列事項：1.中沙大橋

上游面河中沙洲整平；2.中沙大橋固床保護工護坦加長及強化尾端底床保護；3.評估中油管架橋墩保護工的影響及改善對策；4.視後續橋下游河段回淤情形，必要時抬高固床保護工缺口高程；5.橋墩及固床工安全巡檢機制的建立；6.西螺大橋下游固床工缺口兩端的殘留部分持續維護；7.辦理中沙大橋上下游河段長期變化趨勢的研究評估。

另外，本計畫也針對北側 P15~P24 橋墩間及南側 P38~P45 橋墩間之橋墩局部沖刷現象，建議可優先考量地工砂袋與其它保護工法合併應用，相關示意圖如圖 2.1 所示。

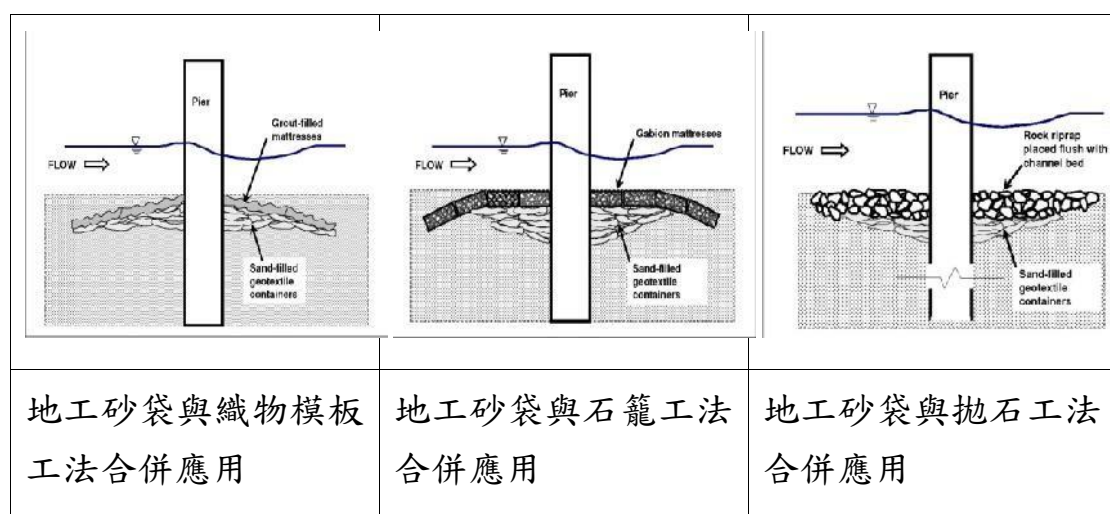


圖 2.1 地工砂袋與其它保護工法合併應用示意圖

2.3 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

「南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)」^[12]為國道高速公路局中工處於 104 年委託敦陽工程顧問有限公司辦理轄下之橋址測量工作，相關測量成果摘錄於附錄二，報告針對中沙大橋之測量成果指出，P15~P45 橋墩原建基礎有裸露情況，如圖 2.2 至圖 2.5 所示，部份基礎裸露約 0.3~0.9 公尺，尚無安全疑慮，下游潛堰與 103 年測量成果比較，尚屬完好，無明顯特別損壞之處，建議持續觀察。

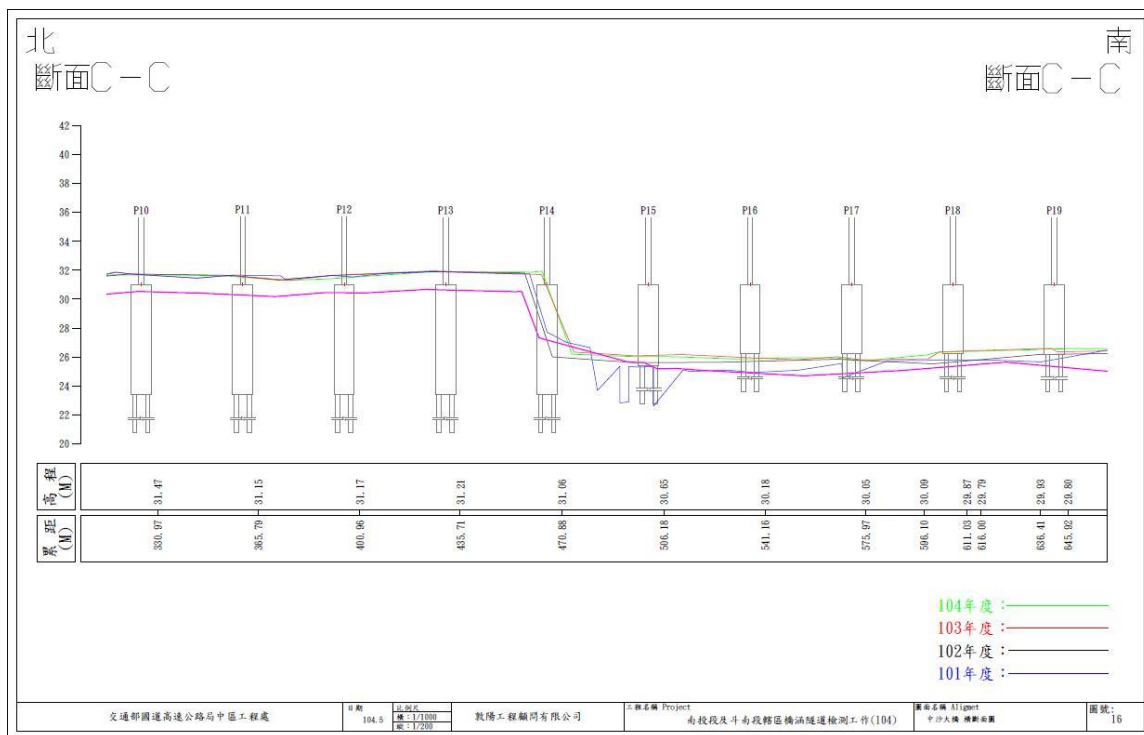


圖 2.2 中沙大橋 P10~P19 橋墩河床斷面測量成果

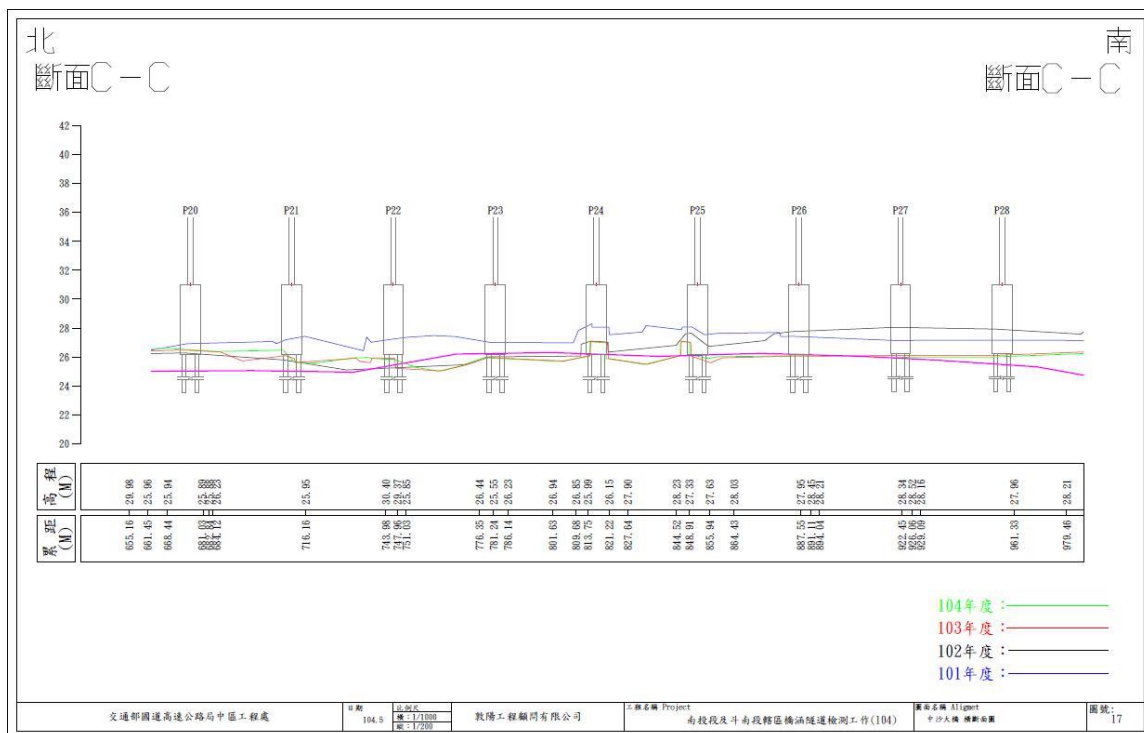


圖 2.3 中沙大橋 P20~P28 橋墩河床斷面測量成果

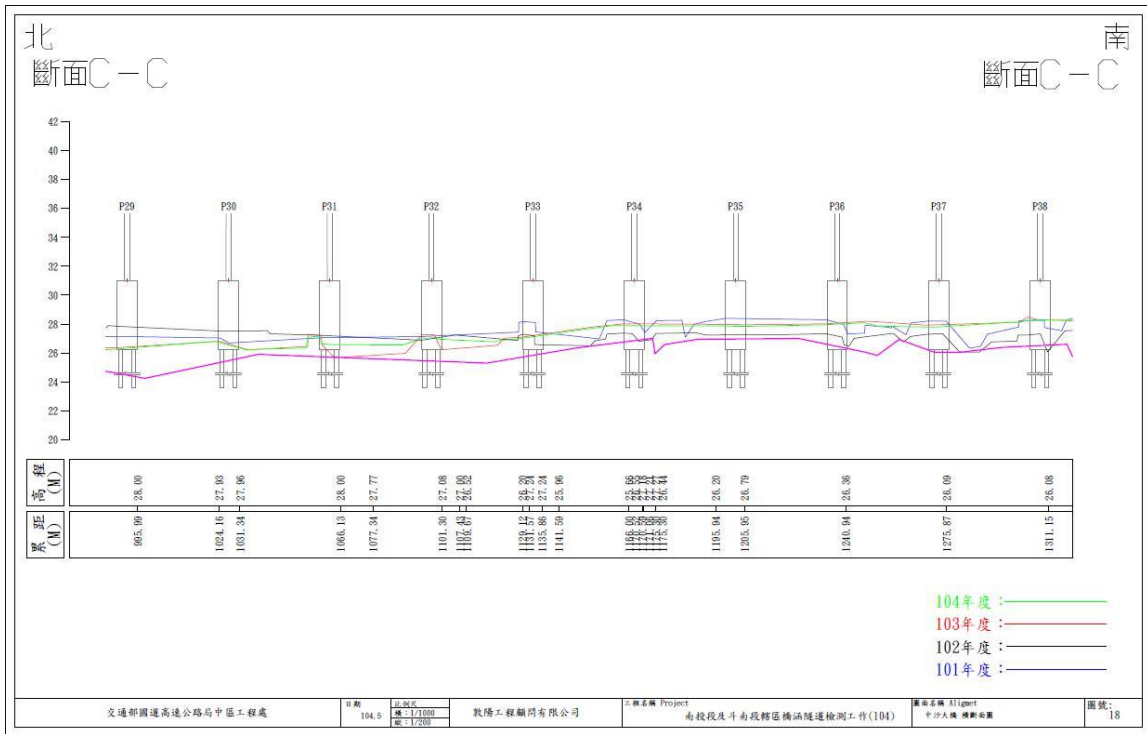


圖 2.4 中沙大橋 P29~P38 橋墩河床斷面測量成果

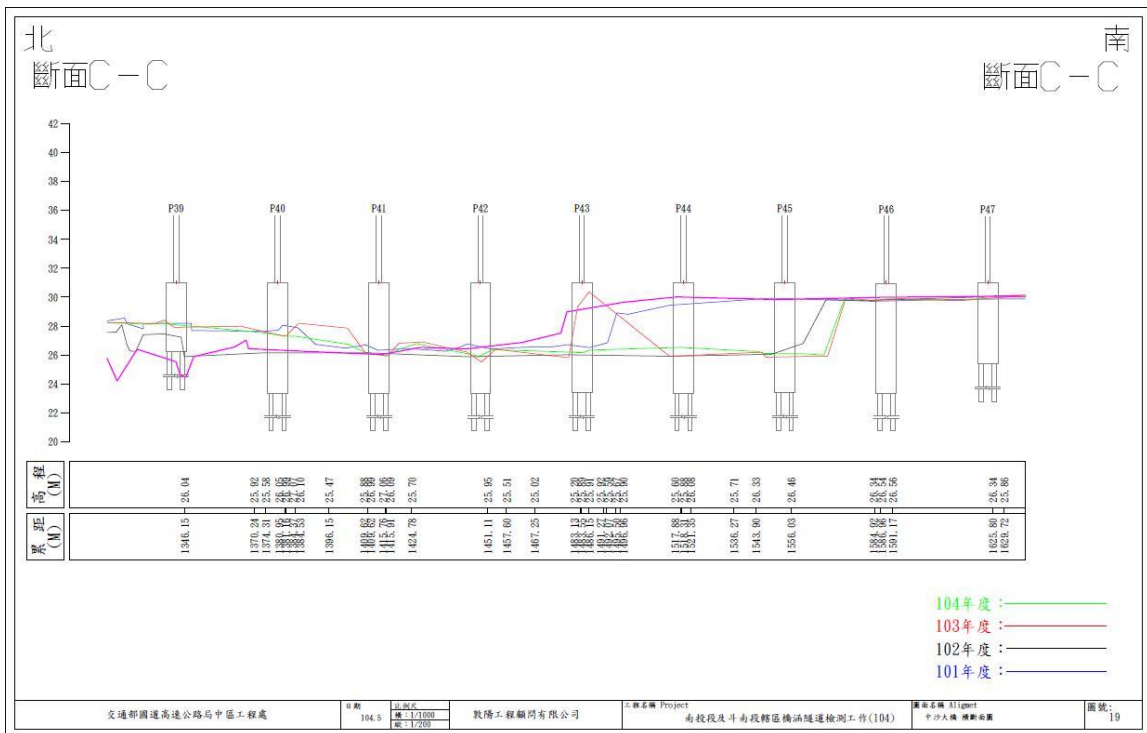


圖 2.5 中沙大橋 P39~P47 橋墩河床斷面測量成果

2.4 跨河橋梁保護工法之研究

「跨河橋梁保護工法之研究」^[14]為公路總局委託本所於 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 2.6 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。

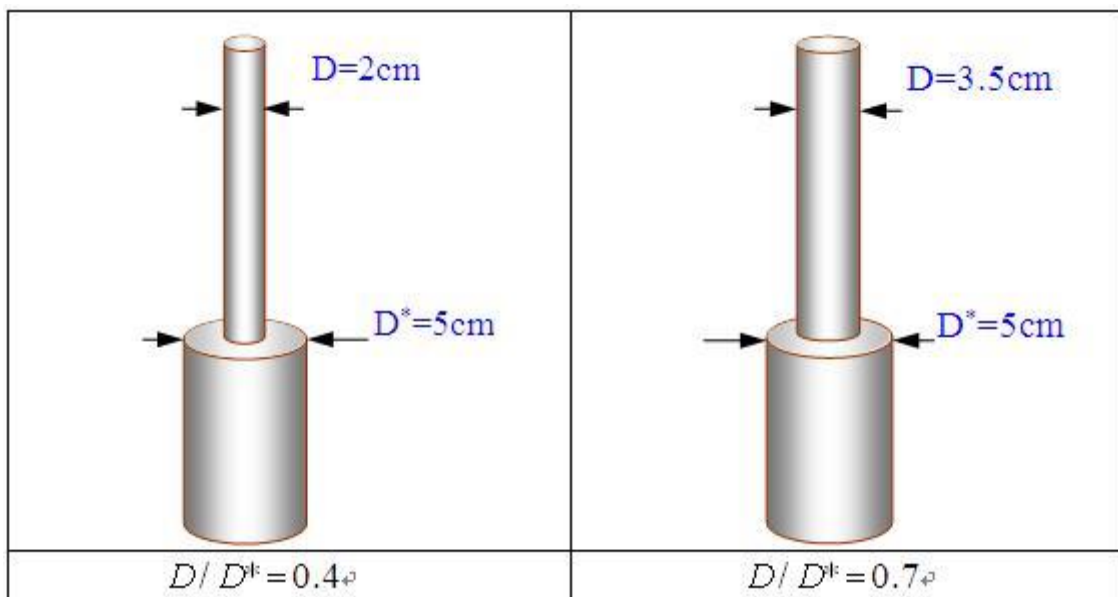


圖 2.6 試驗橋墩規格示意圖

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。

2.5 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」^[15]為周憲德教授於 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 2.7 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 。

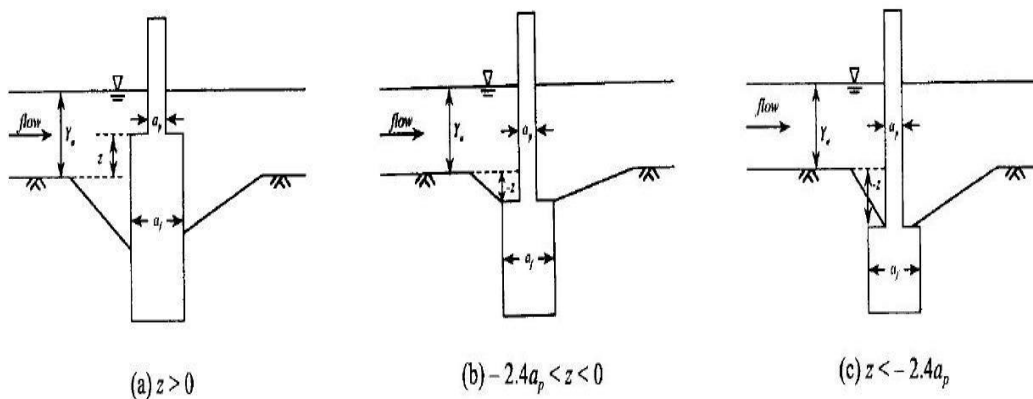


圖 2.7 不均勻圓形橋墩之三種情況

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 2.8 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。

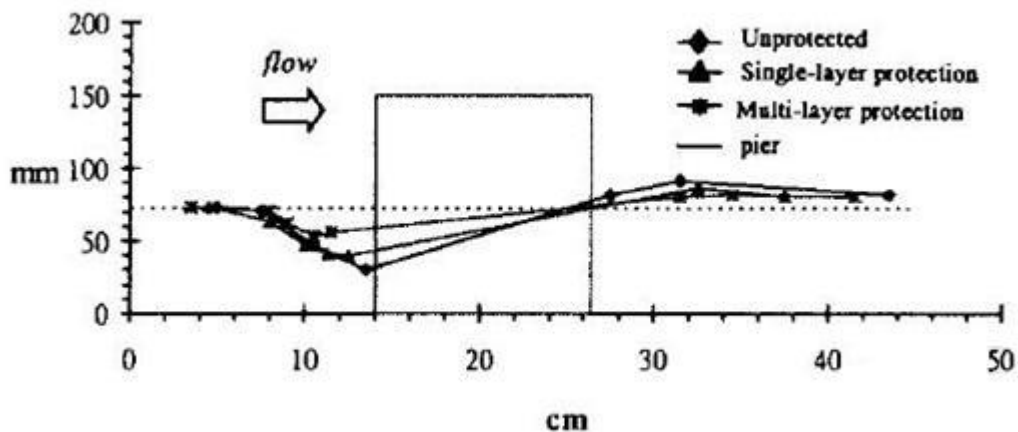


圖 2.8 不同保護情況下之沖刷剖面

2.6 國 1 中沙大橋、烏溪橋及國 3 濁水溪橋墩基保護方案暨精進沖刷巡檢機制專業技術服務工作

「國 1 中沙大橋、烏溪橋及國 3 濁水溪橋墩基保護方案暨精進沖

刷巡檢機制專業技術服務工作」^[13]為國道高速公路局中工處委託國立交通大學，於 105 年完成之第一年期研究計畫。本計畫緣起於國 1 中沙大橋、烏溪橋及國 3 濁水溪橋 3 座橋梁因長期投入經費進行橋墩保護，惟颱風豪雨仍常造成橋墩基礎、保護工或兩岸高灘地之沖刷破壞，爰此，橋基保護及巡檢機制之強化有其必要，遂成立本計畫。本計畫針對中沙大橋所在位置之濁水溪上下游河川特性分析研判，由理論及實務專家經驗進行方案評估，研議中沙大橋橋基耐洪保護工法暨其配套措施，其結論因中沙大橋橋址處之河床呈現回淤之趨勢，故耐洪安全分析中，稍小於 1 之橋墩屬於較輕微的局部沖刷造成，建議國 1 中沙大橋不須改建，而採用局部保護工法或進行補強固床工，並定期巡檢以維護橋梁安全。

第三章 橋梁基本資料

本章之基本資料主要是蒐集摘錄自「國道 1 號中沙大橋耐洪能力提升或改建可行性研究工作」^[10]「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]、「南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)」^[12]、「國 1 中沙大橋、烏溪橋及國 3 濁水溪橋墩基保護方案暨精進冲刷巡檢機制專業技術服務工作」及國道高速公路局中工處斗南工務段提供之相關資料，不足之處再輔以本所現勘之資料。

3.1 中沙大橋基本資料

一、橋梁原建基本資料

中沙大橋橫跨濁水溪中游，北起彰化縣溪州鄉，南至雲林縣西螺鎮，南北兩向結構分離，全長 2,345 公尺，分為 67 跨。跨徑配置除前後跨為 34.57 公尺外，其餘 65 跨均為 35 公尺，建造完成時為台灣最長的橋梁。中沙大橋上部結構設計，規劃單向雙車道，單側橋面寬 12.6 公尺，南北兩向橋面板有 1.9 公尺之淨距，上部結構採用五支深 2 公尺之預力 I 型簡支梁與混凝土橋面板，板厚 16 公分，下部結構採變斷面之雙柱構架式墩柱與摩擦樁基礎，橋基為 24 支直徑 60 公分之預力空心基樁(打擊式基樁)所構成，基樁長度 24 公尺。全線橋面設計高程皆相同，帽梁頂到樁帽底高度為 8.4 公尺，設計樁帽底部高程為 EL.29.21(依據竣工圖顯示，橋墩 P16 至 P39 樁帽底部竣工高程介於 EL.29.16~EL.29.31，略有調整，詳細高程請參見附錄一)，防落裝置有止震塊與防震拉條，止震塊設置於橋墩與橋台，防震拉條設置於每處伸縮縫。

二、第一階段耐震補強基本資料

民國 84 年國道高速公路局中工處有鑑於老舊橋梁易於大地震中損壞，而中沙大橋設計時韌性設計及耐震觀念尚未起步，為防範於未然，乃委託中興工程顧問公司依據 84 年公佈之「公路橋梁耐震設計規範」^[7]辦理中沙大橋之耐震能力評估與維修補強設計，此規範採用的設計地

震力將地質因素、動力反應因素均列入考量，同時規範為了確保在 475 年回歸週期的大地震下，容許產生非彈性反應，透過足夠的韌性設計細節，達到中小地震時能保持在彈性限度內，大地震不崩塌的耐震設計基本原則。為滿足規範要求，本階段耐震補強範圍包括橋柱圍束與剪力補強、帽梁與梁柱接頭剪力補強、人造橡膠支承墊置換及 P16~P39 橋墩基礎托底加樁等補強工作。第一階段耐震維修補強工程分為兩期進行，第一期工程主要進行對象為橋墩基礎耐震耐洪能力提升，第二期工程則針對墩柱進行耐震補強，詳細補強說明如下：

第一期工程：針對基礎沖刷裸露情況較嚴重的橋墩 P16~P39，進行托底補強工程，於原有基樁周圍增設 6 支直徑 100 公分之鑽掘式全套管基樁，設計長度為 20 公尺，以新樁帽包覆原有基樁，透過新設基樁及新設樁帽增加橋墩下的耐震耐洪能力。

第二期工程：橋柱及帽梁以鋼板包覆進行補強(工程範圍 P1~P66)，利用環氧樹脂具備之優越接著性能，使補強鋼板與 R.C 結構結合為一體，藉由鋼板之高承载力提高墩柱的耐震能力，補強鋼板厚度皆採用 1.3 公分，同時將橋柱及帽梁上超過 0.3mm 之裂縫灌注環氧樹脂修補，並於部分橋墩置換橡膠支承墊。

三、第二階段拓寬補強基本資料

民國 92 年為配合中山高速公路員林至高雄路段拓寬工程之三車道需求，中沙大橋亦需辦理橋梁拓寬設計，橋寬由單側 12.6 公尺拓寬為 16.32 公尺，預力大梁由 5 支增為 7 支。拓寬設計期間，台灣發生 921 集集大地震，交通部於 89 年修正橋梁耐震設計規範耐震標準，國道高速公路局中工處乃指示設計單位依據最新版橋梁耐震設計規範變更設計，同時辦理耐震評估與補強。拓寬工程於南向外側及北向外側各新設一橋墩，藉由新舊橋墩帽梁連接及拓寬部份上構連續化並與橋墩剛接，利用拓寬部份新建橋墩較大勁度來分攤原橋墩無法承受之地震力。拓寬橋墩基礎採 6 支直徑 150 公分之鑽掘式全套管基樁，設計長度 35 公尺，另外對高灘地 P1~P15 及 P40~P66 橋墩基礎，採用與耐震維修補強第一期工程相同之補強方式進行補強。各期結構拓寬、補強示

意圖如圖 3.1 所示。

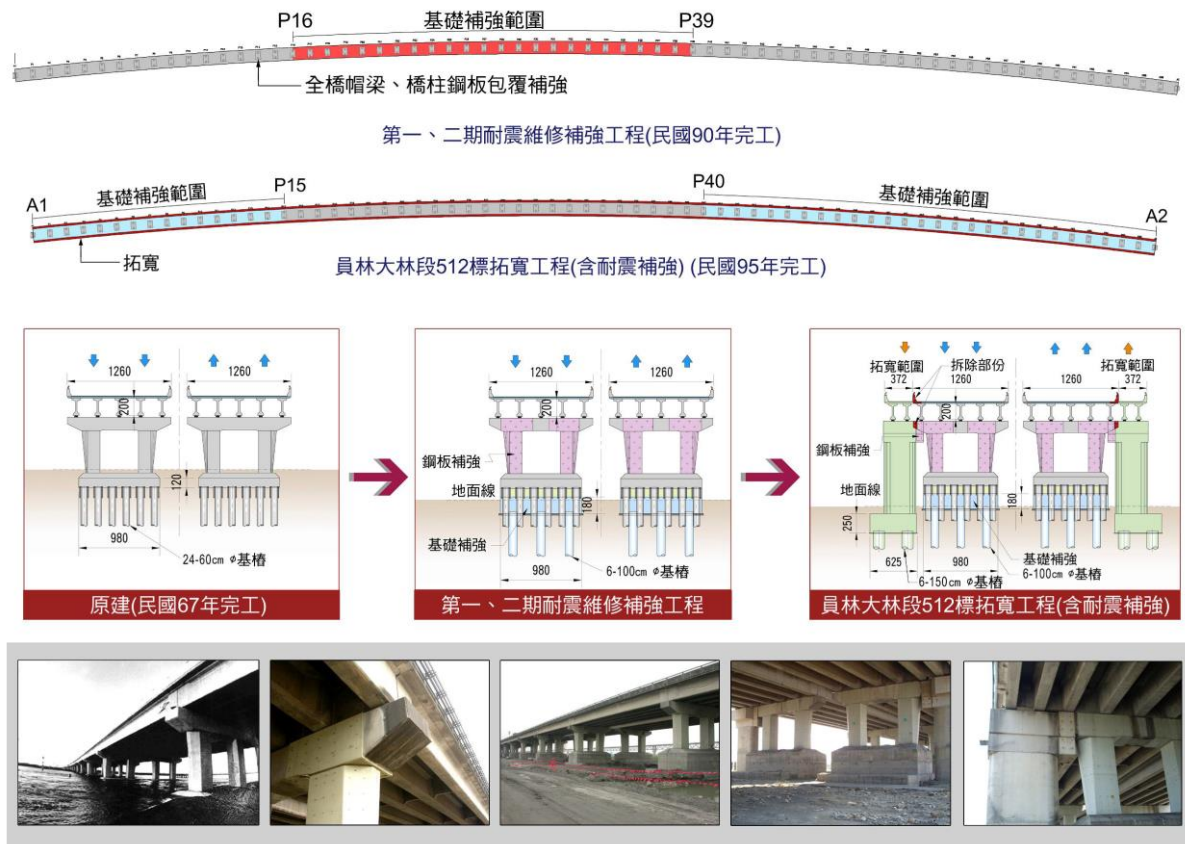


圖 3.1 中沙大橋結構拓寬、補強示意圖

資料來源：「國道 1 號中沙大橋耐洪能力提升或改建可行性研究工作」^[10]

3.2 歷年沖刷及維護

70 年代由於十大建設，砂石需求大增，造成濁水溪採砂量大增，橋墩沖刷情形趨嚴重，而民國 78 年後北部河川禁採砂石，更讓濁水溪濫採情況雪上加霜；民國 80 年艾美颱風，中沙大橋有明顯沖刷，在此之前橋墩沖刷保護以橋墩處之蛇籠、拋石為主，如圖 3.2 所示，之後則規劃設計中沙大橋下游固床保護工。民國 85 年底起中沙大橋橋墩保護除了蛇籠、拋石為主外，固床保護工亦開始擔負重要責任，如圖 3.3 至圖 3.5 所示。民國 86 年集集攔河堰完工，民國 87 年，中油管架橋(在中沙大橋與固床工之間)完工採高架形式。民國 90 年桃芝颱風期間，西螺大橋下游柔性攔砂堰潰決傾倒，而致向源侵蝕至中沙大橋下游潛

堰下游(蜂巢塊沖毀)。新的破壞造成的坡降，水理上已經對中沙大橋保護工不利。民國 90 年濁水溪中下游全面禁採砂石，對於河床沖刷獲得舒緩，然民國 93 年敏督利颱風，造成中沙大橋下游固床工潰決，民國 96 年科羅莎颱風造成固床工處形成兩處缺口。民國 98 年，中油管架橋橋墩採箱型保護，民國 101 年中沙大橋上游面兩岸高灘於近幾年部分被沖蝕，而上游面河中已形成沙洲。如圖 3.6 所示。



圖 3.2 中沙大橋橋墩保護工

資料來源：高速公路局中工處斗南工務段



圖 3.3 中沙大橋下游固床工

資料來源：農林航空測量所

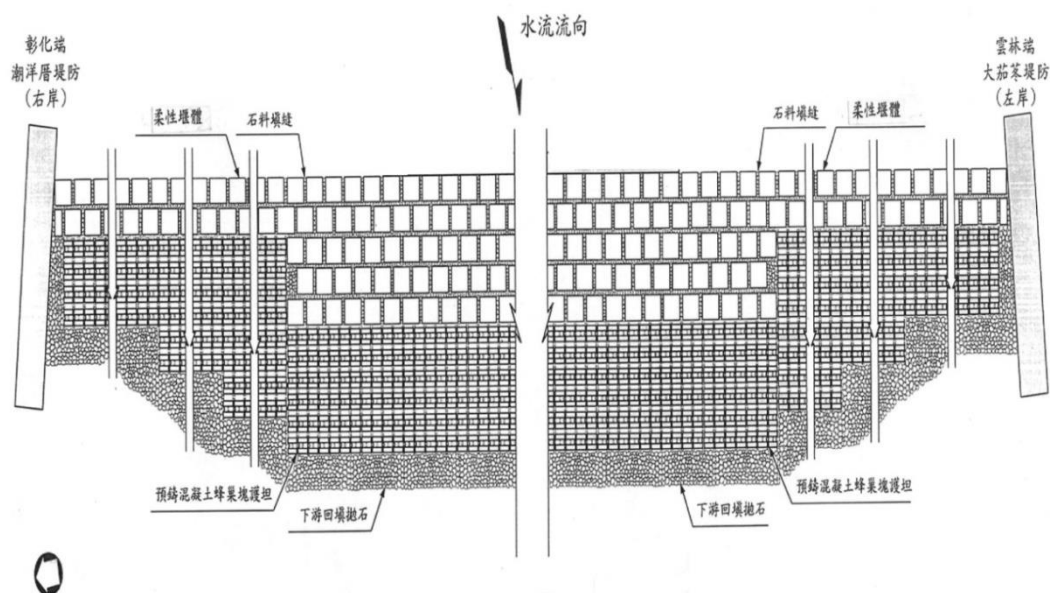


圖 3.4 中沙大橋下游固床工配置圖

資料來源：國道高速公路局中工處斗南工務段

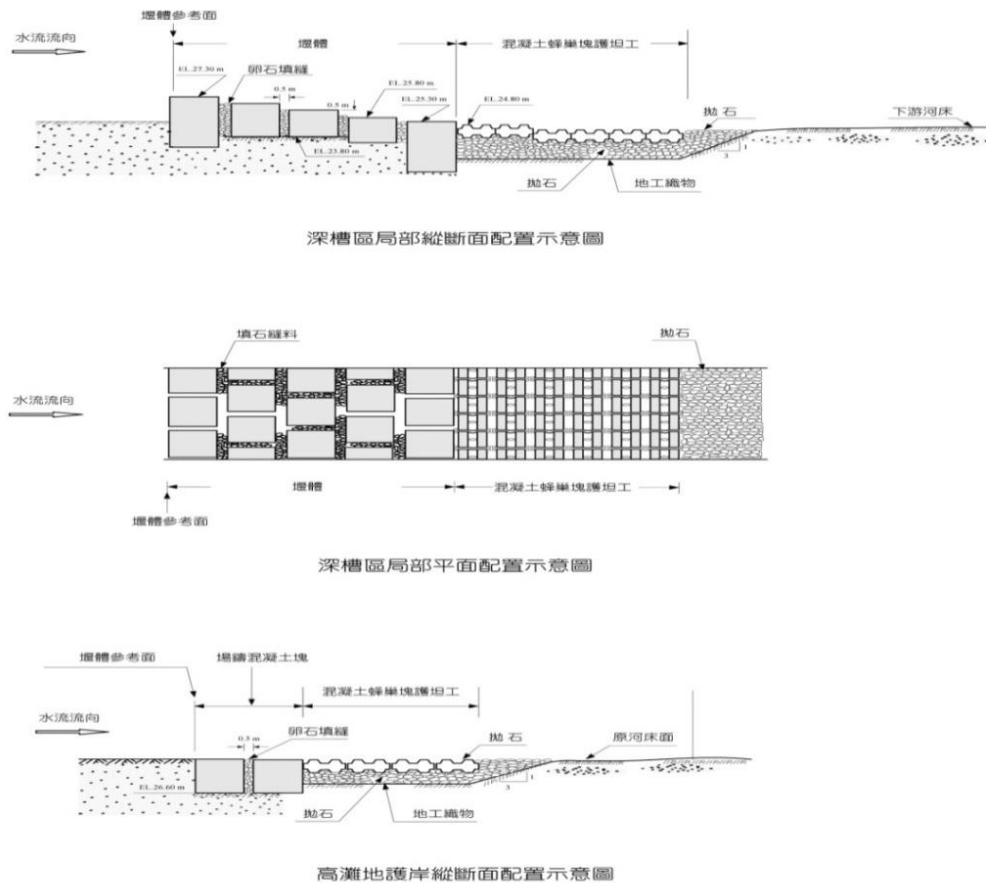


圖 3.5 中沙大橋下游固床工斷面示意圖

資料來源：國道高速公路局中工處斗南工務段



圖 3.6 中沙大橋上游及兩岸高灘地沖刷狀況

資料來源：國道高速公路局中工處斗南工務段

由圖 3.6 可以看到大橋所在位置上下游範圍內，濁水溪流路明顯的呈現辮狀流。在中沙大橋與固床工之間，則有一座中油公司的天然氣管架橋。顯然，固床工發揮著同時保護中沙大橋及天然氣管架橋的功能。由圖 3.6 可以清楚的看到，兩股越過固床工的水流在越過固床工後，立刻變成為左、中、右三股水流。在三股水流之間，明顯的夾著兩處沙洲。且在緊鄰固床工下游的位置，明顯的有橫向水流連接三股水流，如圖 3.7 所示。由圖 3.7 觀察固床工的構造，照片上顯示固床工是由混凝土塊堆砌而成，且可以明顯的分辨出新修的部分是座落在舊的固床工之上。整體固床工似有效的達成保護中沙大橋的任務，但固床工本身所形成的明顯上下游落差，則是固床工容易產生破壞，常因其上下水位差所產生之管湧作用，造成沉陷、掏空及斷裂等損壞。

中沙大橋固床工經過數次的沖毀及修補，曾有採密排切削樁截水牆來保護並加固固床工的構想，但考慮經費太高、可能會因為兩座橋以前的保護工的殘蹟影響的切削樁水密性，並進而影響保護效果、及施作後仍須長期維護固床保護工等主要因素，而放棄此構想，進而尋求以其他方式達成保護固床工的方案。



圖 3.7 中沙大橋固床工近照

資料來源：Google Earth

3.3 濁水溪流域概況

一、地理位置

濁水溪流域位於臺灣中南部，介於北緯 $23^{\circ}27'47'' \sim 24^{\circ}08'36''$ ，東經 $120^{\circ}12'01'' \sim 121^{\circ}19'26''$ 之間。主流發源於中央山脈合歡山主峰與東峰之「佐久間鞍部」標高約 3,220 公尺，上游段為霧社溪，係集合歡山西坡之水，沿北北東間之縱谷流下，於廬山附近與大羅灣溪匯流，至萬大附近又與萬大溪合流，再併丹大溪、郡大溪、巒大溪、水里溪、陳有蘭溪等支流，其下河谷漸見開擴，經集集盆地再匯納清水溝溪、東埔蚋溪與清水溪後流入彰雲平原，於彰化縣大城鄉之下海墘村與雲林縣麥寮鄉之許厝寮間流入台灣海峽。濁水溪主流全長約 186.6 公里為全省最長之河川，河道平均坡降自發源山區至出海口約為 1/55，流域面積約 3,156.9 平方公里(標高小於 100 公尺之平地面積約占 8.37%)為全省流域面積第二大之河川，全流域地形平均高度約為 1,422 公尺。流域概況如圖 3.8 所示。



圖 3.8 濁水溪流域概況圖

資料來源：「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]

二、地質

本流域地質除鼻子頭之河谷地形區為第四紀堆積層外，其它地區均屬第三紀。合歡溪、萬大溪、丹大溪及郡大溪等，均屬第三紀蘇澳相，其構成以板岩為主，有時夾有砂岩、泥灰岩或安山岩。郡大溪至陳有蘭溪河谷則屬第三紀之烏來相，地層屬水長流層、白冷層及烏石坑層，其主要構成為頁砂岩、或砂岩、或頁岩與砂岩之互層。陳有蘭溪以西之流域範圍，其地層構造較為零亂，大致屬第三紀之汐止群(岩性為暗灰頁岩及砂岩)及三峽群(岩性為白灰色砂岩、暗灰色頁岩及鈣質泥岩)。集集至清水溪間則屬第四紀巔嵴山層，岩性以軟質砂岩及礫石層為主。清水溪匯流點以下之地形屬沖積層，為砂礫層、砂土層或黏土層所構成。支流陳有蘭溪流域，下游之東部雖為砂岩及頁岩互層，但頁岩較多，崩塌現象較劇，尤以東埔至和社及大茅埔附近為甚。

三、氣象

本區域位於中低緯度之交，屬於亞熱帶氣候每年十一月至翌年四月盛行東北季風，因中央山脈阻隔，故雨量較少。而每年五月至十月間盛行西南風、雷雨及颱風，雨量豐沛。氣溫及濕度均高，夏季多雨，冬季乾旱。全區域氣候大致可分為三區：西部海岸區，季風強而雨量少；中部盆地平原區，夏季多雨，冬季乾旱；東部丘陵及山地區，夏冬有雨。西海岸及中部盆地在冬季常有長期的乾旱，尤以西海岸區為甚。本區域之降雨量除氣旋雨、雷雨及颱風外大都受季風支配，因位於中央山脈之西，東北季風盛行期間雨量少，西南季風期間則雨量豐沛。一般而言，以七、八月最為豐沛，且七、八、九月多颱風，常可導致大雨；十月至翌年四月為旱季，通常雨量僅及全年雨量的五分之一至四分之一。就年雨量而言，濁水溪流域各雨量站降雨量差異很大，從沖積扇平原之 1,223.1 公厘（西螺站）至高山區之 4,060.5 公厘（阿里山站），差距達 2,837.4 公厘，可見濁水溪流域降雨量從空間的觀點而言分佈不均。以時間而言亦分佈不均，各月份降雨量差異極大，以 10 月至次年 4 月為少雨季，5 月至 9 月為豐雨季。因受地形影響，主要有三個降雨中心，一在阿里山北坡、一在中央山脈，另一在丹大、郡大溪上游。平原地區

之平均年降雨量由西螺向二水隘口遞增，西螺之年平均降雨量約為 1,200 公厘，而二水之年平均降雨量則增加至 1,800 公厘左右，阿里山之降雨量可達 3,800 公厘以上。本區之雨型，在長期平均雨量而言，降雨集中在五至九月，其餘月份較少。在颱風暴雨時期，其雨量分佈則受颱風規模、路徑、地形而有所不同之反應，以民國 90 年桃芝颱風之降雨雨型可作為本區暴雨之雨型特性代表。

3.4 濁水溪水利特性

一、河床平均坡度

濁水溪主流發源於中央山脈(標高約 3,220 公尺)，全長約 186 公里，其中有 62.4% 之流長蜿蜒於深山峻谷之中，縱坡平均坡降為 1/152，坡陡流急屬山地型之河川。依 93 年斷面測量資料分析，彰雲大橋(斷面 86.5)至斷面 69 約 1/173，斷面 69 至中沙大橋(斷面 54.5)約 1/953，中沙大橋(斷面 54.5)至西濱大橋(斷面 12)為 1/1648，西濱大橋(斷面 12)至河口(斷面 1)為 1/2590 屬感潮河段。根據表 3-1，斷面 69 以下的河道坡度有逐漸變緩的趨勢。

表 3-1 濁水溪主流斷面 69 以下的河道平均坡度分析比較表

河道平均坡度	河段	斷面		
		93年	90年	82年
斷面69至中沙大橋	69~54.5	1/953	1/838	1/532
中沙大橋至西濱大橋	54.5~12	1/1648	1/1192	1/977
西濱大橋至河口	12~1	1/2590	1/2284	1/826

資料來源：「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]

二、河床質粒徑

依據「濁水溪流域(濁水溪本流、東埔蚋溪、清水溪及陳有蘭溪)監測工作計畫」^[17]測量報告書，濁水溪本流河床質分佈由上游往下游粒徑逐漸變小，上游雙龍橋至神龍橋平均粒徑(dm)介於 130~169 公厘間，中游神龍橋至彰雲大橋平均粒徑(dm)介於 61~154 公厘間，下游彰雲大橋至河口平均粒徑(dm)介於 4.1~99.7 公厘間。中沙大橋位於斷面 54.5，即位於彰雲大橋至河口段間，依據經濟部水利署水利規劃試驗所「濁水溪治理規劃檢討(2007)」^[18]報告，濁水溪斷面 54 之代表粒徑如表 3-2 所示，其中 D_{50} 為 3.91 公厘。此外，依據 82 年及 93 年河床質粒徑資料，82 年自斷面 52 以下至河口河段，河床質粒徑 D_{50} 介於 0.25~1.78 公厘，型態分類為砂粒；93 年自斷面 41 以下至河口，河床質粒徑 D_{50} 介於 0.31~2.37 公厘，型態分類大部份為砂粒，少數幾個斷面為礫石；自斷面 43 以上至雙龍橋河段， D_{50} 介於 1.7~55.15 公厘，型態分類大部份分類為礫石，少數幾個斷面為砂粒。由上述比較結果顯示，中沙大橋附近河床質似有粗化現象，未來其抗沖蝕之能力將逐漸升高。

表 3-2 國 1 中沙大橋河床質代表粒徑表

斷面	代表粒徑(mm)								
	D_{10}	D_{20}	D_{30}	D_{40}	D_{50}	D_{65}	D_{75}	D_{90}	D_m
54	0.35	0.68	1.19	2.17	3.91	9.27	18.42	67.73	24.93

資料來源：「濁水溪治理規劃檢討」^[18]

三、河道沖淤趨勢分析

摘錄「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」報告，臺灣大學研究團隊針對歷年濁水溪長期沖淤特性分析結果，濁水溪長期沖淤特性必須從長期的大斷面測量所計算得到的平均底床高程的變化情形加以判斷。根據民國 82 年、90 年及 93 年的三次測量結果，如圖 3.9 民國 90 與 82 年比較結果，大部份斷面呈沖刷現象。民國 93 與 90 年比較結果，大部份斷面皆呈沖刷現象，但有局部零星河段如斷面 55~58 有回淤現象。

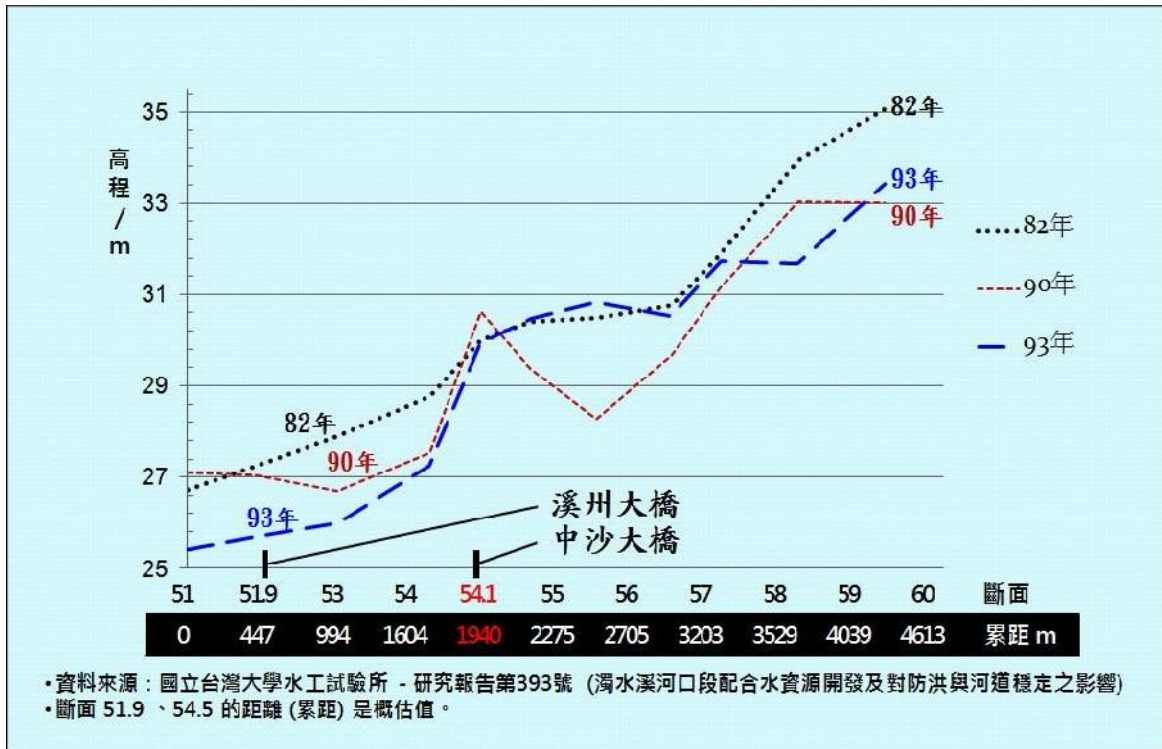


圖 3.9 濁水溪主流 82、90、93 年斷面 51 至 60 平均底床高程

為分析民國 90 年以後之河床變化，蒐集繪製濁水溪民國90、93、96、99及100年第1~117斷面之平均底床資料如圖3.10~圖3.12，繪製其深槽高程如圖3.13~圖3.15。由圖3.10~圖3.12可知，濁水溪平均河床高程在民國93年、96年均較民國90年者明顯沖刷，而民國99年、100年有回淤現象。若以圖3.13~圖3.15來看，深槽高程在民國93年刷得相對最深，96、99至100年逐年回淤。

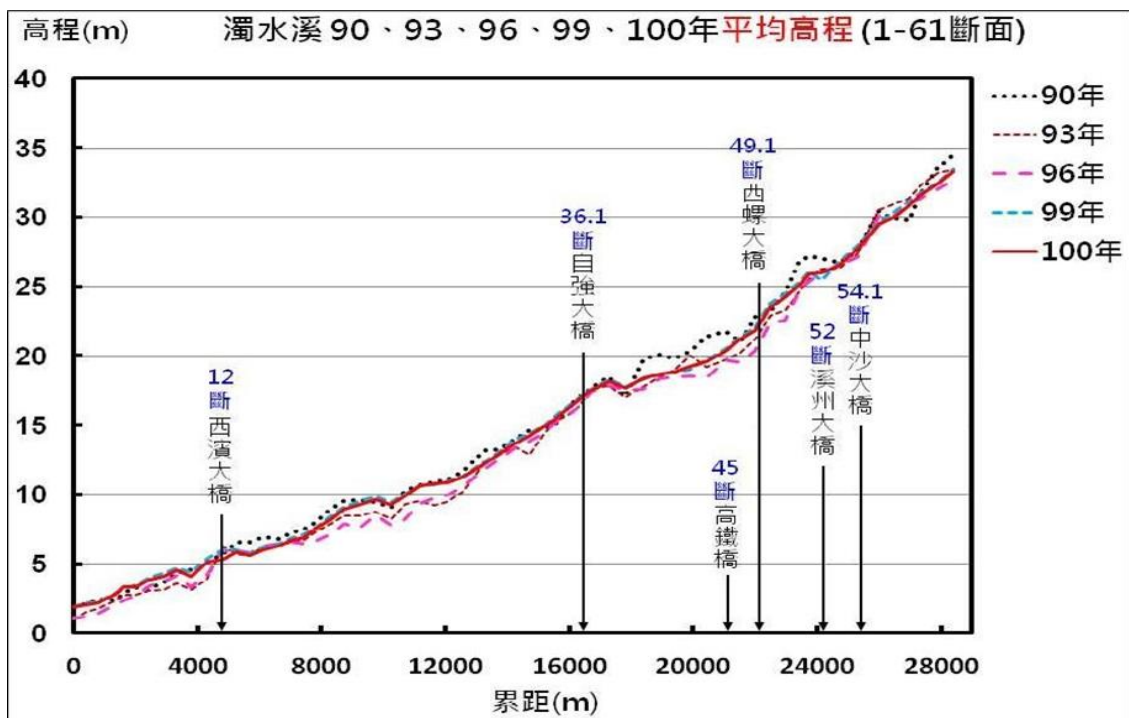


圖 3.10 濁水溪90、93、96、99、100年平均高程(1-61斷面)

資料來源：「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]

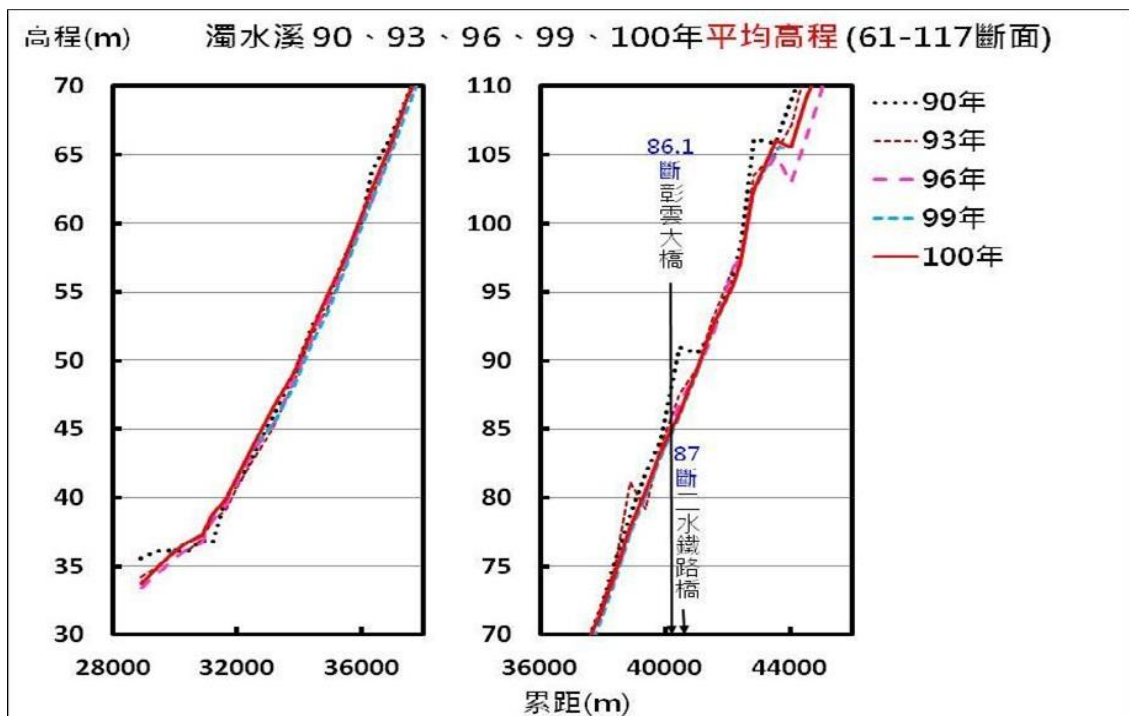


圖 3.11 濁水溪 90、93、96、99、100 年平均高程(61-117 斷面)

資料來源：「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]

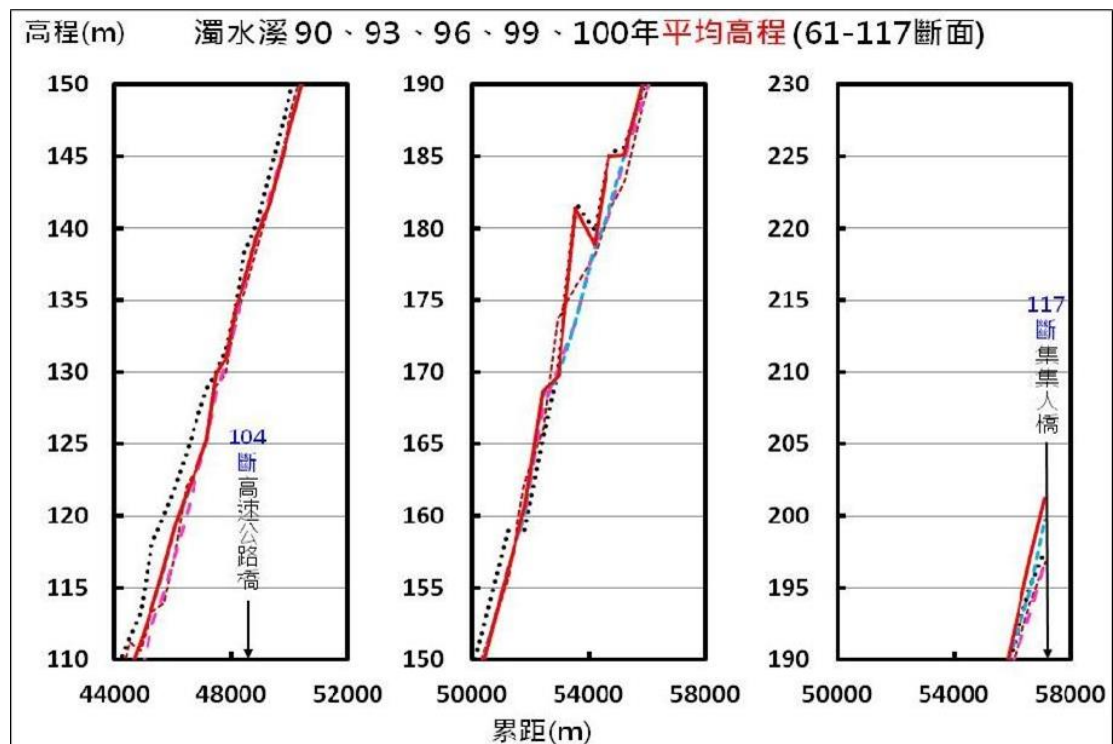


圖 3.12 濁水溪 90、93、96、99、100 年平均高程(61-117 斷面)

資料來源：「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]

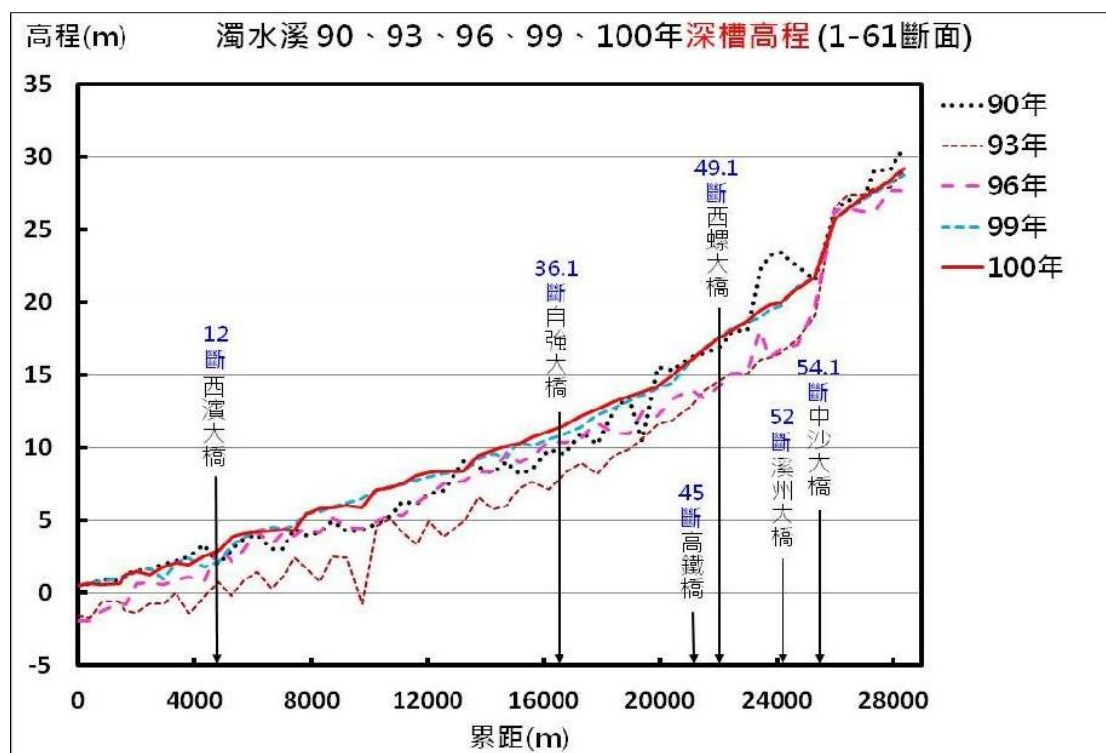


圖 3.13 濁水溪 90、93、96、99、100 年深槽高程(1-61 斷面)

資料來源：「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]

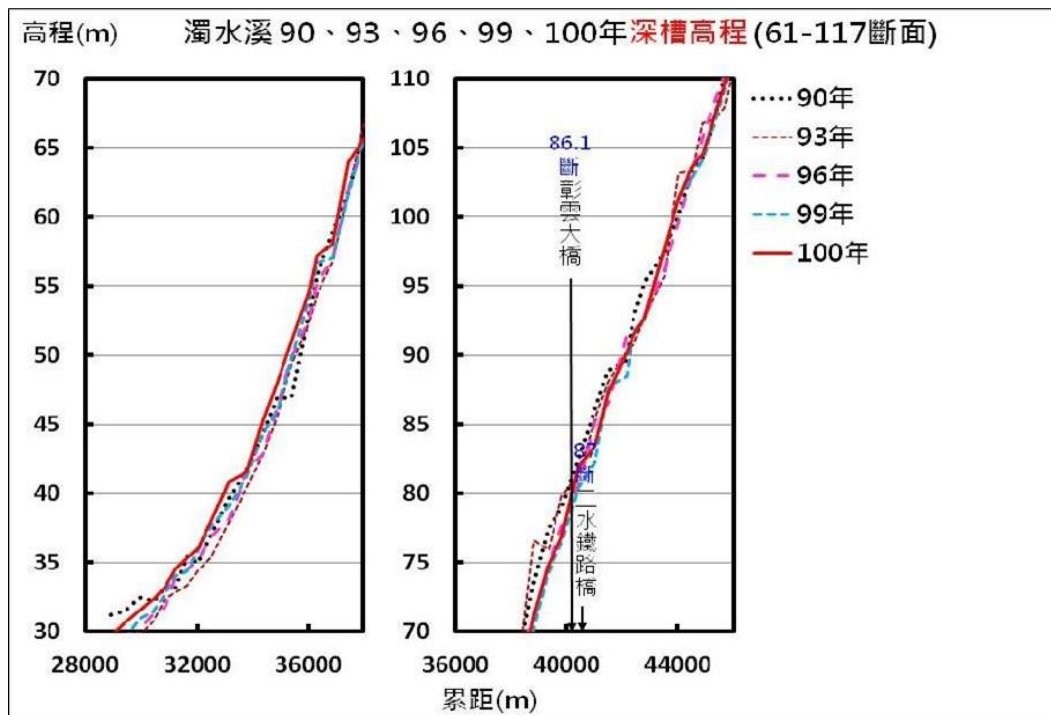


圖 3.14 濁水溪 90、93、96、99、100 年深槽高程(61-117 断面)

資料來源：「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]

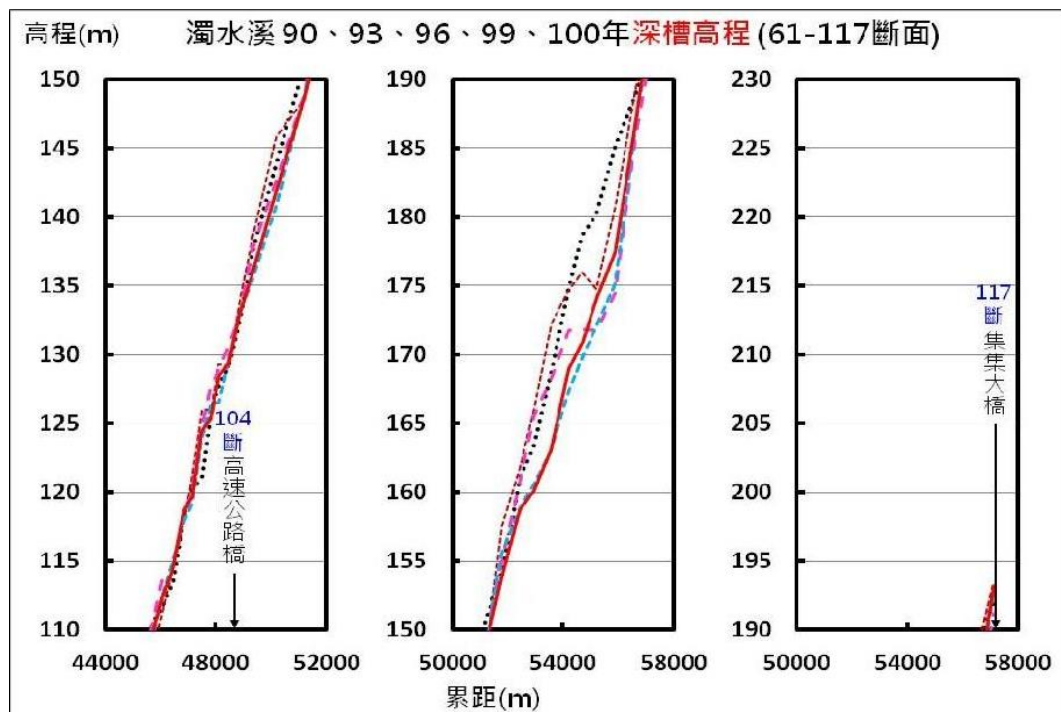


圖 3.15 濁水溪 90、93、96、99、100 年深槽高程(61-117 断面)

資料來源：「國道 1 號中沙大橋墩基冲刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]

四、濁水溪水位站與控制點流量

由水利署濁水溪流域內之水位站位置資料顯示，中沙大橋附近之水位站計有自強大橋、溪州大橋及彰雲大橋 3 處水位站，而中沙大橋介於彰雲大橋與溪州大橋間，且彰雲大橋位於中沙大橋上游側，爰此，本研究後續之平面水工模型之檢定試驗將以彰雲橋水位站之流量歷線配合中沙大橋之水位資料來進行檢定驗證。

濁水溪本流之計畫洪水量，採 100 年重現期距洪峰流量，依水規所民國 100 年完成之「濁水溪流域整理治理規劃檢討」^[20] 報告顯示，濁水溪各分析控制點重現期距洪峰流量如表 3-3 所示，其中中沙大橋之河段屬河口段，本研究後續之平面水工模型試驗之流量，將依表 3-3 之河口段各重現期流量，經模型流量比尺換算成試驗之流量來進行相關試驗。

表 3-3 民國 100 年濁水溪各分析控制點重現期距洪峰流量表

河段	重現期距(年) 單位：cms								
	200	100	50	25	20	10	5	2	1.11
河口	35,820	30,354	25,354	20,762	19,361	15,224	11,337	6,290	2,181
清水溪 匯合前	29,349	25,394	21,650	18,092	16,983	13,616	10,326	5,829	1,963
集集	27,215	23,568	20,114	16,828	15,803	12,692	9,654	5,496	1,876
龍神橋	17,927	15,773	13,665	11,591	10,927	8,871	6,787	3,801	1,096
雙龍橋	16,457	14,654	12,844	11,021	10,430	8,568	6,627	3,710	728

資料來源：「濁水溪流域整理治理規劃檢討」^[20]

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。

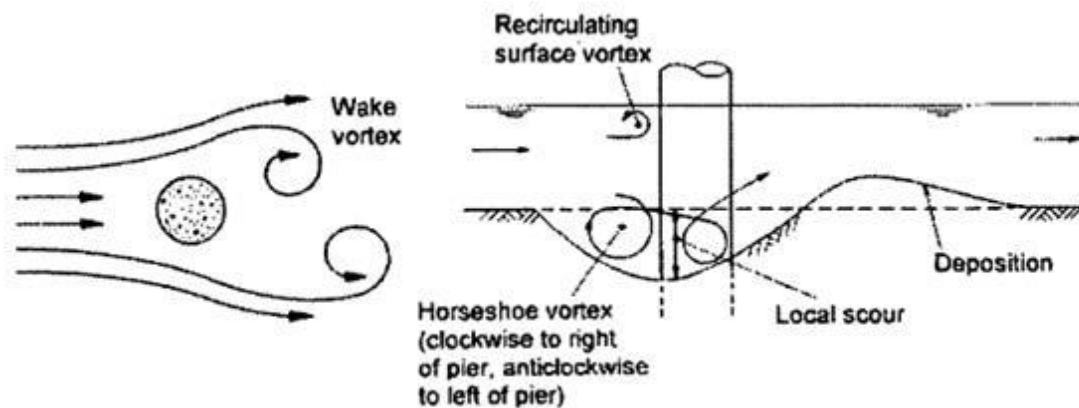


圖 4.1 圓柱形橋墩的局部沖刷與渦流

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)。

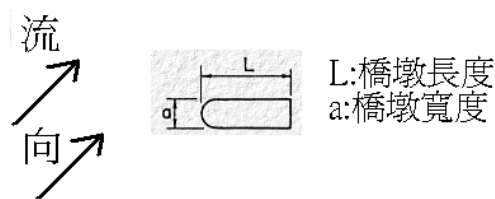


圖 4.2 橋墩長度與流向的關係圖

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)轉變成平整河床(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河道結冰或漂流木淤積

河道結冰與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。漂流木淤積或是河道結冰所造成的束縮沖刷，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

束縮冲刷的影響。

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)冲刷保護工法之研究」^[8]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」^[9]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 日碧利斯颱風的冲刷，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 冲刷裸露達 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15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	旱溪	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

資料來源：1.河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究^[8]

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^[9]

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)冲刷保護工法之研究」^[8]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冲刷，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。

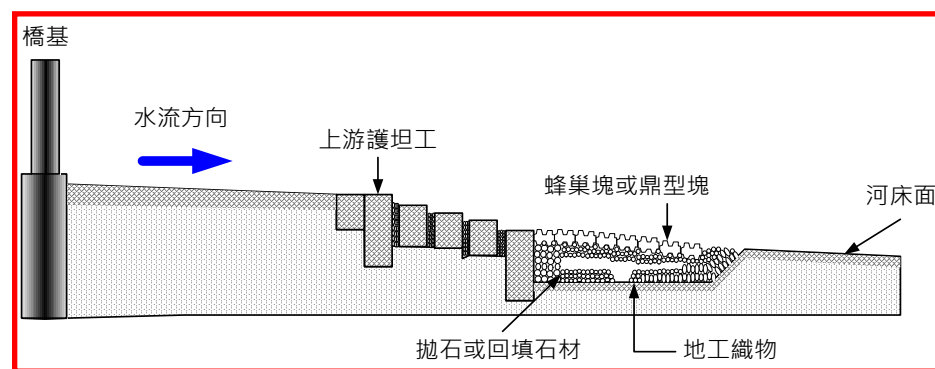


圖 4.3 柔性攔砂堰工法示意圖

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掏空而傾毀。

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。

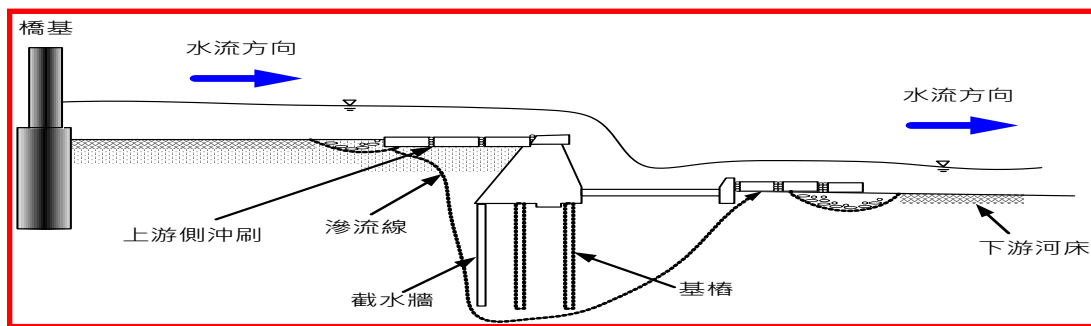


圖 4.4 剛性攔砂堰工法示意圖

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60cm×100cm，

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。

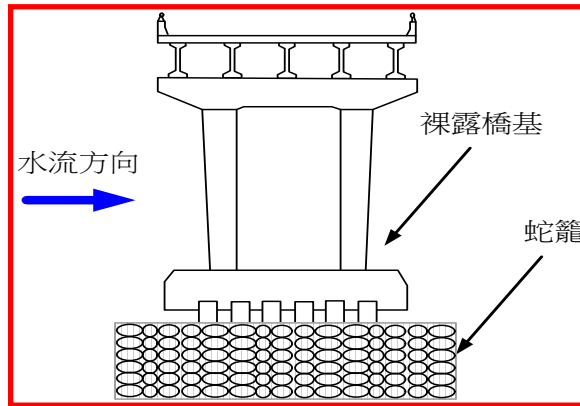


圖 4.5 蛇籠工法示意圖

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。

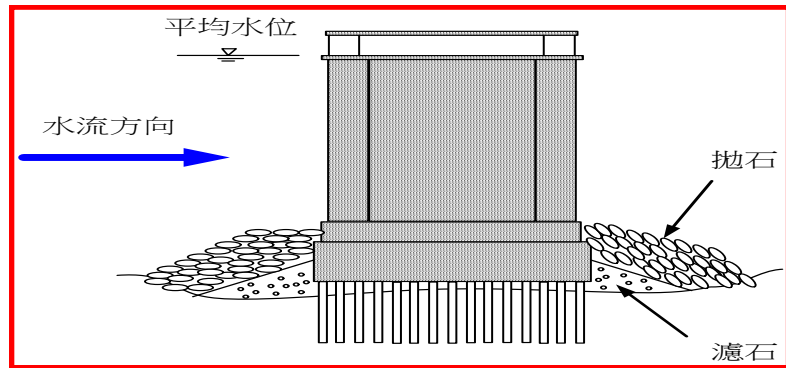


圖 4.6 拋石工法示意圖

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。

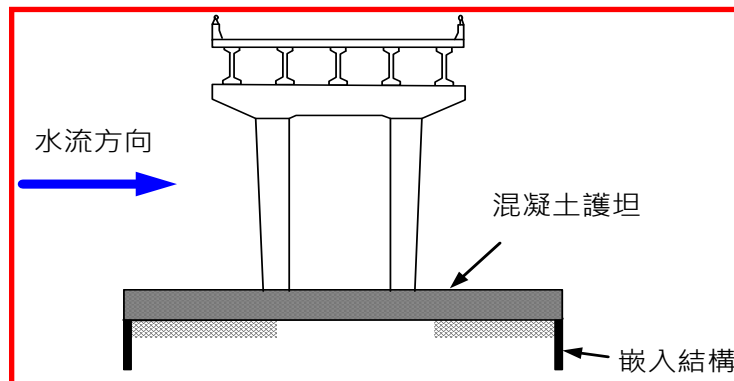


圖 4.7 混凝土護坦工法示意圖

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)。若為維持取水之穩定，尚需考量滲漏之影響；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蝕應特別注意；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，設計時可用鋼筋加以連結，以增加整體抗沖能力，此工法適用於卵礫石河床。

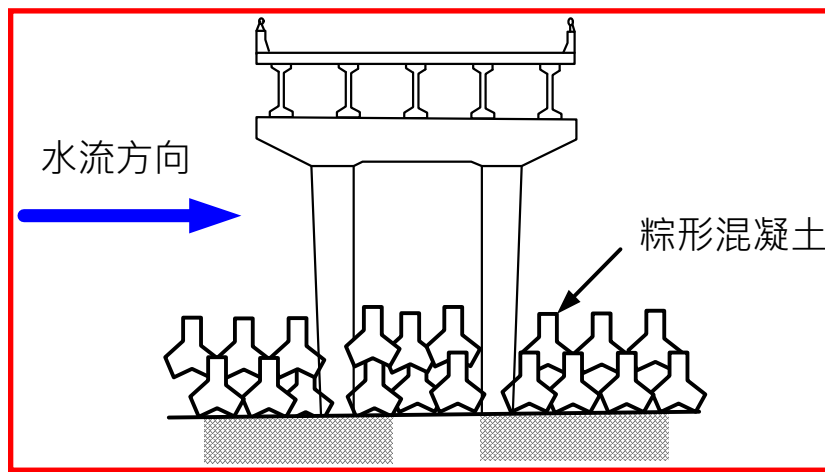


圖 4.8 混凝土排置工法示意圖

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)因水流冲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。

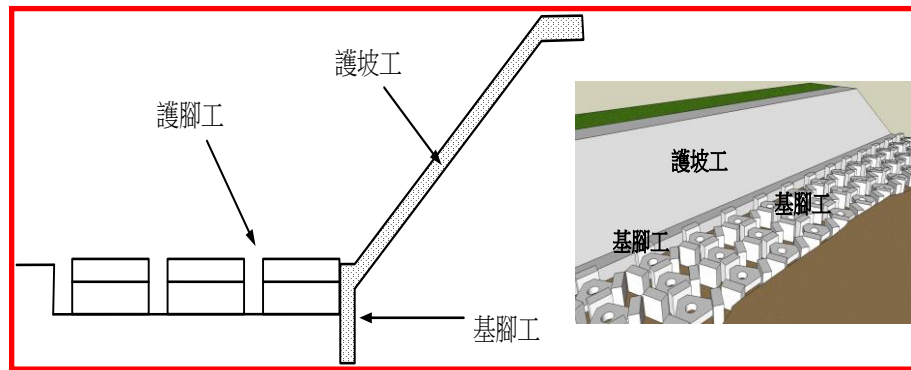


圖 4.9 護岸工法示意圖

(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土工構造物，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。

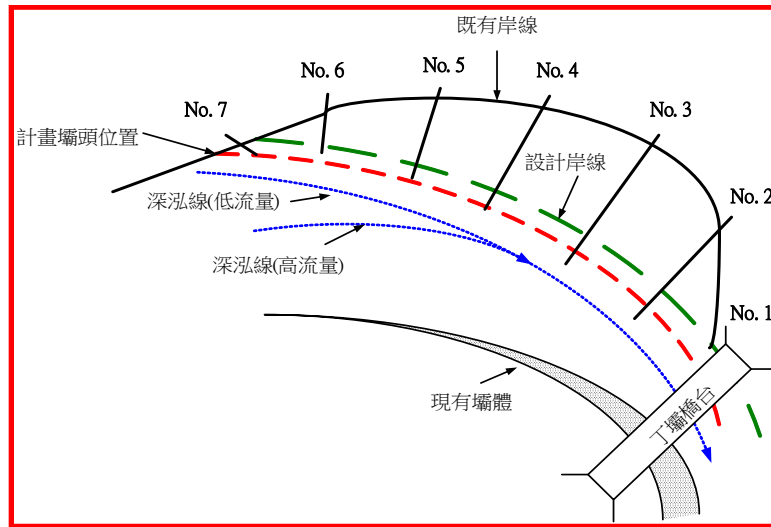


圖 4.10 丁壩工法示意圖

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)。



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。



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^[8]

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^[8]

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、鼎塊、包墩或混凝土圍繞為主。

第五章 斷面水工模型試驗規劃與佈置

本章依據國道高速公路局中工處(以下簡稱中工處)對中沙大橋近幾年之相關研究成果與橋基沖刷防治做為，來探討未來可能發生的問題，並據以規劃後續的斷面水工模型試驗，以利後續斷面試驗之進行。

5.1 中沙大橋橋基沖刷對策探討

依據中工處委託臺灣大學於 102 年完成之「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]研究報告成果顯示，目前影響中沙大橋橋基沖刷主要因素有 3 點，包括：1.橋基上游面河中形成沙洲，導致河道改變，沖刷南北岸之高灘地，造成橋基裸露。2.中沙大橋固床保護工護坦消能工長度不足，造成固床保護工破壞，影響上游橋基安全。3.受中油管架橋墩保護工影響，造成下游固床保護工的沖刷破壞。另外，針對北側 P15~P24 橋墩間及南側 P38~P45 橋墩間之橋基局部沖刷現象，建議可優先考量地工砂袋與其它保護工法合併應用來保護橋基。

依據本研究拜會中工處與現勘結果，目前四河局已完成中沙大橋上游高灘地之保護，如圖 5.1 所示，中工處也依臺灣大學的研究建議接續四河局的高灘地保護工，於上下游高灘地施做砂腸袋與織物模板保護工來保護高灘地，如圖 5.2 及圖 5.3 所示，依現勘結果顯示，目前高灘地保護工已發揮保護高灘地的作用，並間接影響河道有往河心偏移，進而沖刷上游河中沙洲的現象。另外，針對固床保護工護坦消能工長度不足問題，中工處也依據臺灣大學研究團隊之建議，加長護坦消能工，如圖 5.4 所示，據中工處表示，消能工長度增加後，確實能減緩整體固床保護工的損壞，增加其耐洪能力。至於受中油管架橋墩保護工影響部分，除持續觀察其影響外，並希望藉由下游固床保護工護坦消能工長度之增加，增加固床保護工之抗沖刷能力。由中工處近幾年對中沙大橋橋基抗沖刷的做為與成效顯示，確實已達到預期的

成果，未來針對高灘地沖刷與下游固床保護工之破壞問題，應可依據往例予以保護解決。所以未來可能發生的橋基沖刷問題，應著重在河心橋基局部沖刷造成橋基裸露的問題，基於此因素，本研究規劃後續以渠槽斷面試驗，針對中沙大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法供中工處未來施政的參據。



圖 5.1 四河局於中沙大橋上游高灘地之保護工施作情形



圖 5.2 中工處於中沙大橋橋基高灘地之砂腸袋施作情形



圖 5.3 中工處於中沙大橋橋基高灘地之織物模板施作情形



圖 5.4 中工處加長潛堰護坦消能工施作情形

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 5.5 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 5.6 所示。



圖 5.5 渠槽斷面圖



圖 5.6 渠槽尾水控制閘門

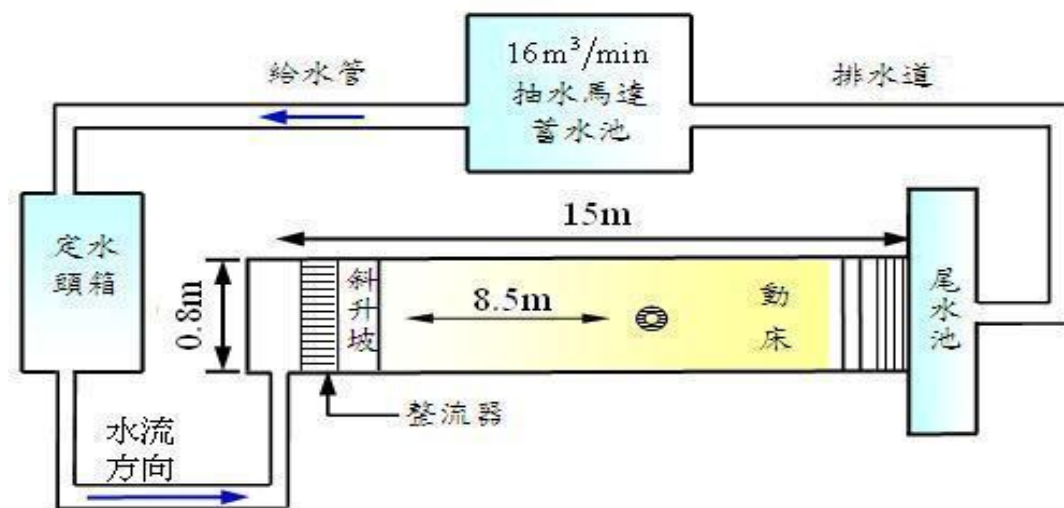
2. 供水系統

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

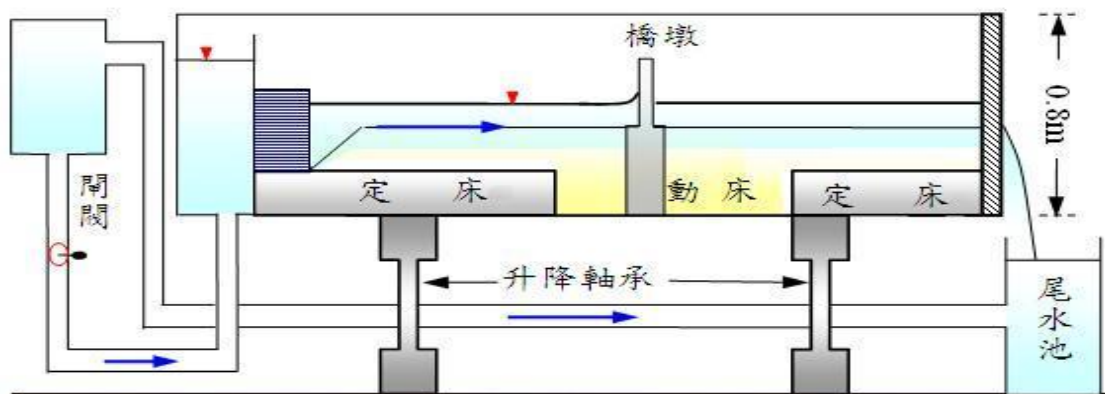
3. 流量控制

定水頭箱至渠槽間設有一顯示式管路手動矩形閘閥，可控制流量流至渠槽中。

渠槽整體主要配置如圖 5.7 所示。



(a) 頂視圖(plan view)



(b) 側視圖(side view)

圖 5.7 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，本研究之橋墩寬度(a_p)為 1.6 公分(模型縮尺採 100 分之一)，試驗水深(y)取 8.6 公分， y/a_p 大於 5 可避免水深影響試驗之沖刷深度。

(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。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，沖刷深度與深度隨 a_p/d_{50} 之減少而變小。因此，本研究取值粒徑 d_{50} 取 1.2mm，大於 0.6mm 且 $a_p/d_{50} > 133$ 。

(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 5.8 所示。

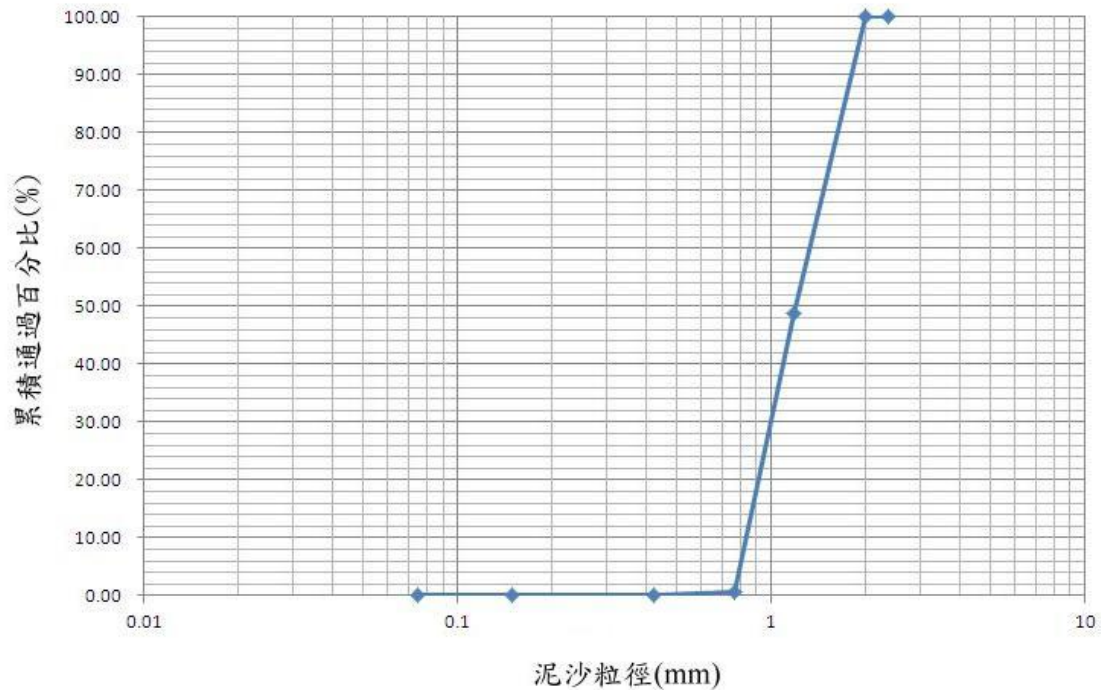


圖 5.8 試驗底床質粒徑分布曲線圖

(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. 橋墩迎水面為半圓柱形，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 8.6cm，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)，後續將以改變此兩參數來進行試驗，以獲取適宜的佈設方式。

5.4 試驗佈置

1.橋墩模型

本試驗模型忽略原墩柱之 24 支群樁，僅考慮耐震補強後之橋梁實際尺寸(如圖 5.9)以縮尺 100 分之一製作，橋墩模型規格如表 5-1 所示，模型如圖 5.10 所示。

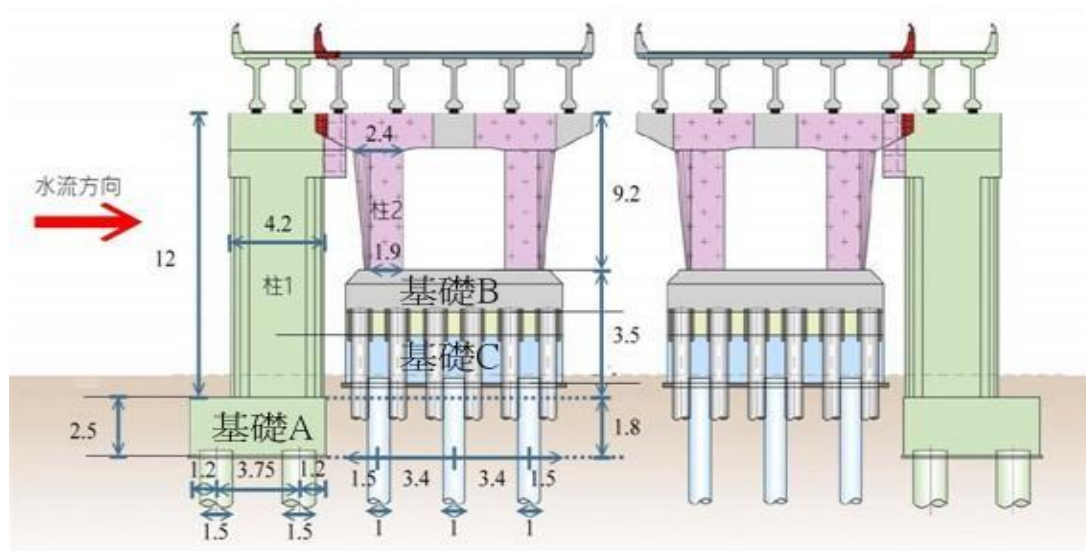


圖 5.9 橋梁相關尺寸

表 5- 1 試驗橋墩模型規格表

構件	長(CM)	寬(CM)	高(CM)
柱 1	4.2	1.6	12
柱 2	上底 2.4 下底 1.9	1.6	9.2
基礎 A	10.5	6.15	2.5
基礎 B	11.8	9.8	1.8
基礎 C	5.8	9.8	3.5
樁 (直徑=1.5cm)	20		
樁 (直徑=1.0cm)	20		



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。

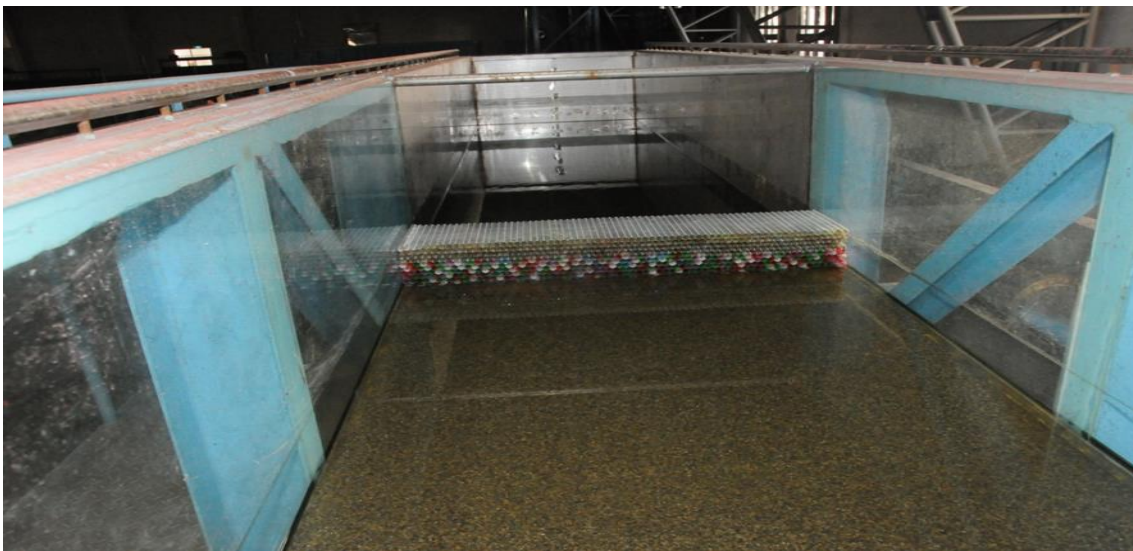


圖 5.11 吸管製成之蜂巢式整流器

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。

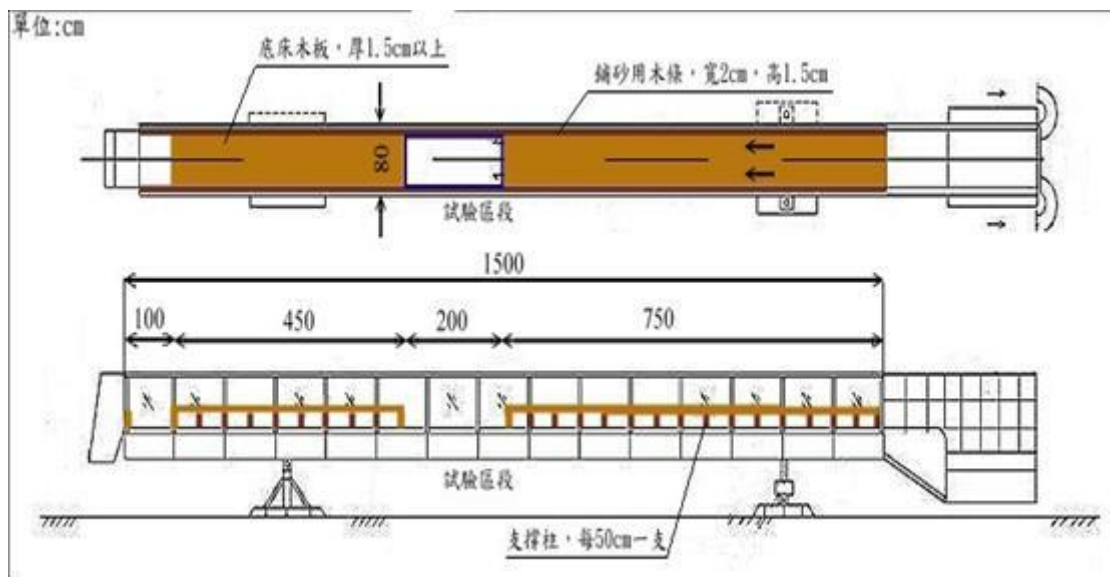


圖 5.12 渠槽試驗段佈設示意圖

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：

$$Y = 0.0013X - 0.0033 \quad ; \quad R^2 = 0.9963 \dots\dots\dots(5.1)$$

式中，Y 為流量(cms)、X 為閘閥開口大小(mm)

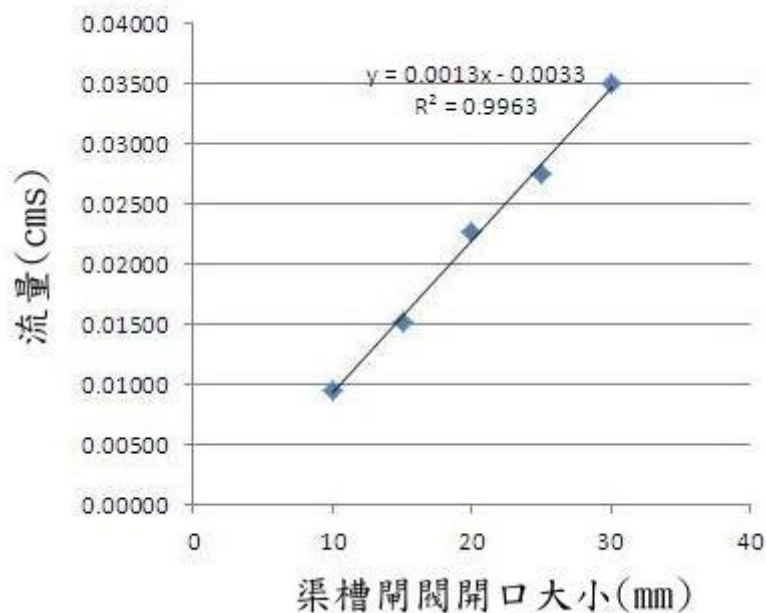


圖 5.13 流量率定曲線圖

4.臨界流速設定

目前計算臨界流速之公式有很多，如表 5-2 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 86 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 0.4182 m/s，乘上試驗渠槽寬(0.8m)及水位高(0.086m)換算流量為 0.02877 cms，所需閘閥開度由 5-1 式可得到約為

25.316 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

$$\begin{cases} u_{*c} = 0.0115 + 0.0125 D_{50}^{1.4} & , 0.1mm < D_{50} < 1mm \\ u_{*c} = 0.0115 D_{50}^{0.5} - 0.065 D_{50}^{-1} & , 1mm < D_{50} < 100mm \end{cases}$$

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 5-2 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)	$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right)$ $\begin{cases} u_{*c} = 0.0115 + 0.0125D_{50}^{1.4} & , 0.1\text{mm} < D_{50} < 1\text{mm} \\ u_{*c} = 0.0115D_{50}^{0.5} - 0.065D_{50}^{-1} & , 1\text{mm} < D_{50} < 100\text{mm} \end{cases}$	y :上游水深(mm) d_{50} :底床質粒徑(mm) V_c :臨界起動速度(m/s)
Juilen (1995)	$\begin{aligned} \hat{O}_{*c} &= 0.5 \tan \theta & d_* < 0.3 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.25d_*^{-0.6} \tan \theta & 0.3 < d_* < 19 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.013d_*^{0.4} \tan \theta & 19 < d_* < 50 \\ \hat{O}_{*c} &= 0.06 \tan \theta & d_* > 50 \end{aligned}$ $d_* = d_{50}[(G - 1)g/\bar{i}^2]^{1/3}$ $u_{*c} = [\hat{O}_{*c}(G - 1)gd_{50}]$ $\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right)$	G :底床質比重($\frac{\rho_s}{\rho_w}$) 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」^[16]

第六章 橋墩斷面水工模型沖刷試驗

本研究橋墩斷面水工模型沖刷試驗，主要目的為針對中沙大橋的橋基與河床高程現況，研提未來橋基受河水沖刷之保護方案以供後續平面試驗之參考。

6.1 橋墩保護工法

依據「國道 1 號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」^[11]及「跨河橋梁保護工法之研究」^[14]之研究成果，建議橋基以砂腸袋保護工來保護。另外，現況水利署第四河川局及中工處也在中沙大橋之上游與下游高灘地之護岸，以砂腸袋配合織物模板來保護高灘地免於河水沖刷破壞，成效似乎不錯，如圖 6.1 所示。且以施工性及經濟性評估，確實砂腸袋與織物模板可就近取得砂源製作，應該比其他蛇籠及塊石保護工等取材方便經濟，爰此，本研究採砂腸袋與織物模板來進行保護工方案試驗。



圖 6.1 砂腸袋配合織物模板保護工

6.2 試驗流程

橋墩沖刷及保護工法渠槽試驗流程如圖 6.2 所示，其試驗流程說明如下：

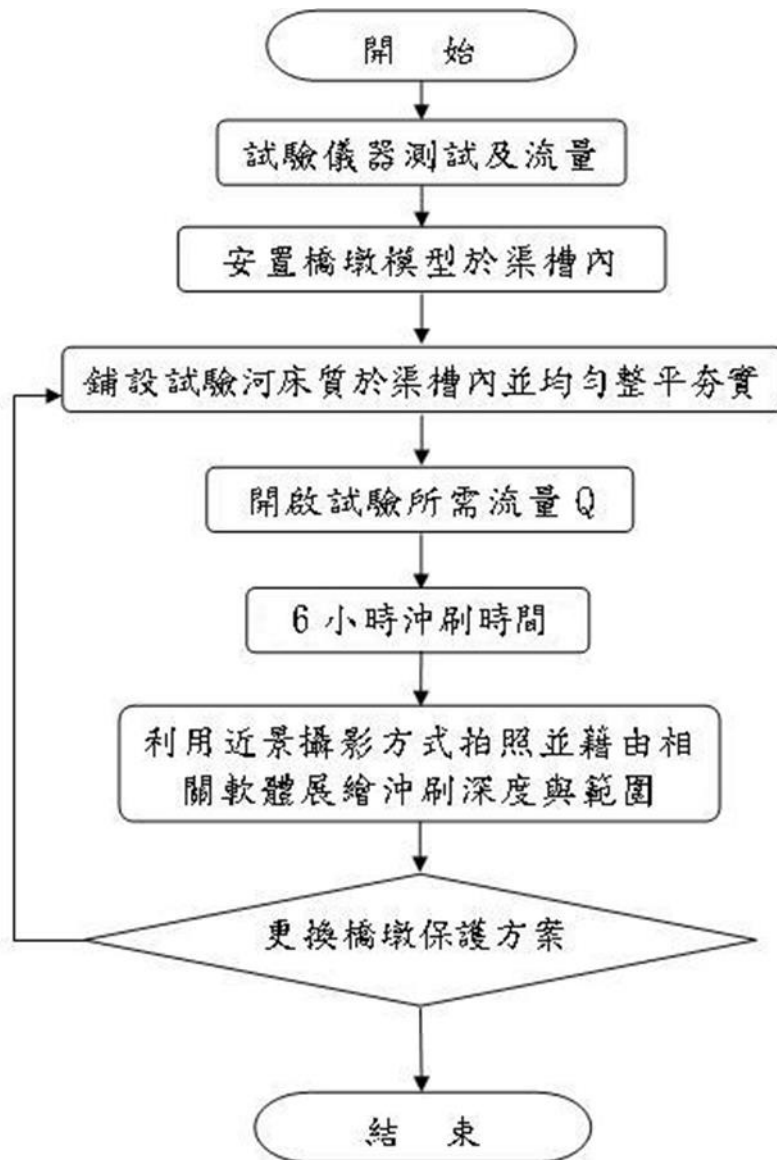


圖 6.2 橋墩保護工法渠槽試驗流程圖

1. 試驗儀器測試及流量率定

2. 試驗橋墩安置

本試驗為考慮束縮沖刷效應，故以平行雙橋墩進行試驗，在進行沖刷試驗前，先將試驗用橋墩置於渠槽動床試驗段，除控制兩橋墩之間距(35 公分)外，也須使其與渠槽兩側邊壁等距離，並確定試驗用橋墩保持鉛垂，另外，依據中工處 104 年度委託敦陽工程顧問有限公司辦理之「南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)」^[12]成果報告，針對中沙大橋之測量成果指出，P15~P45 橋墩原建基礎有裸露情況，基礎裸露約 0.3~0.9 公尺，爰此，本試驗橋基頂部將依模型縮尺 100 分之一的比例，高於河床 1 公分，相關佈置如圖 6.3 所示。

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，在每一次試驗前均將底床質充分攪拌並均勻鋪設於渠槽中，再以木板整平，如圖 6.4 所示。



圖 6.3 橋墩鋪設情形



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. 試驗沖刷時間選定

試驗沖刷時間之選定，以無保護措施之橋墩沖刷試驗中，每隔一段時間量測其墩前沖刷深度，沖刷時間與沖刷深度之關係如圖 6.5 所示。由圖中得知在沖刷時間 5~6 小時間，向下刷深跡象已有大幅減緩之趨勢，故選定 6 小時作為往後每組試驗的沖刷時間。

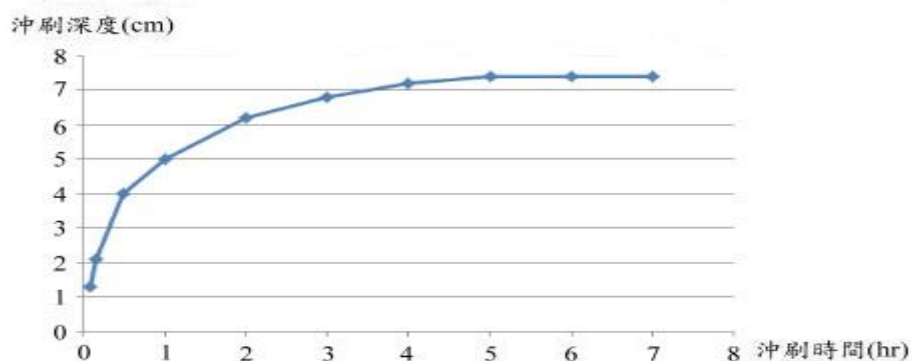


圖 6.5 冲刷時間與冲刷深度之關係圖

6. 量測沖刷深度與範圍

6 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)，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

依據周憲德教授於 88 年發表於中國土木水利工程學刊之「蛇籠保護方式對橋墩局部沖刷之影響」^[14]論文顯示，蛇籠保護工低於沖刷坑則較無保護之功效，但若高於試驗底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，因此，本研究將以無保護之橋墩先進行對照組之沖刷試驗，以瞭解其沖刷深度與範圍，以供後續相關保護工鋪設深度與範圍之參考。

1. 無保護措施

在無保護措施下如圖 6.6 所示，其沖刷結果如圖 6.7 所示，以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.8 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.9~6.11 所示。由圖可知，兩橋墩最大沖刷深度及範圍略有不同，此為鋪設之人為誤差所致。最大沖刷深度為 7.4 公分，墩基前最大沖刷橫斷面約 26.6 公分，後續保護工方案之鋪設深度將以試驗底床下 0~7.4 公分之範圍鋪設。



圖 6.6 無保護工鋪設

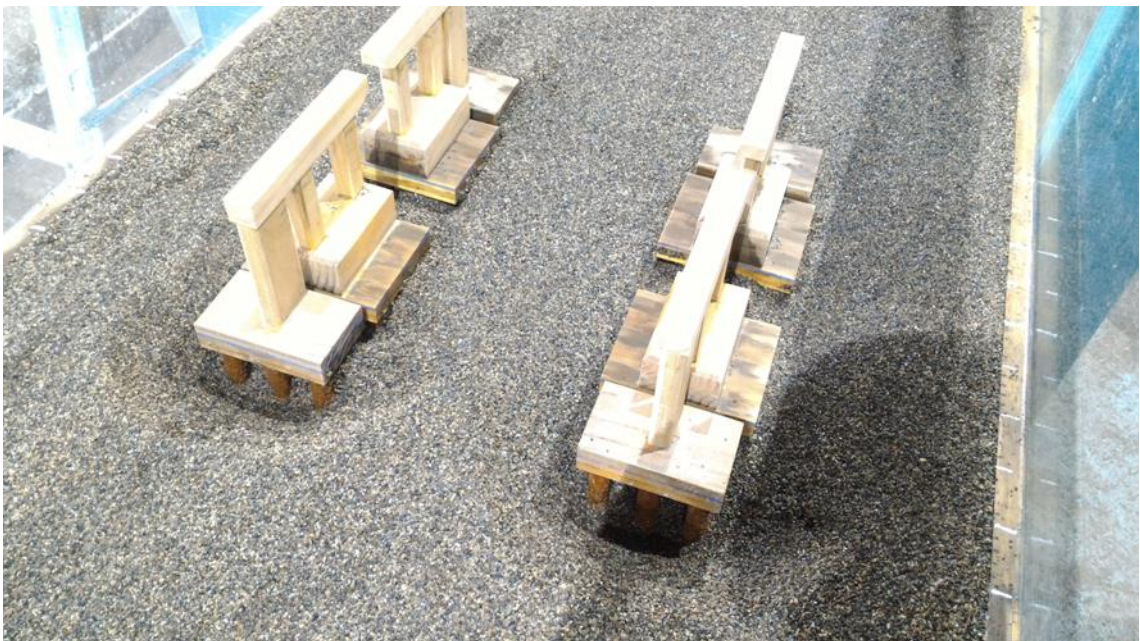


圖 6.7 無保護工基礎冲刷情形



圖 6.8 無保護沖刷深度與範圍 3D 圖

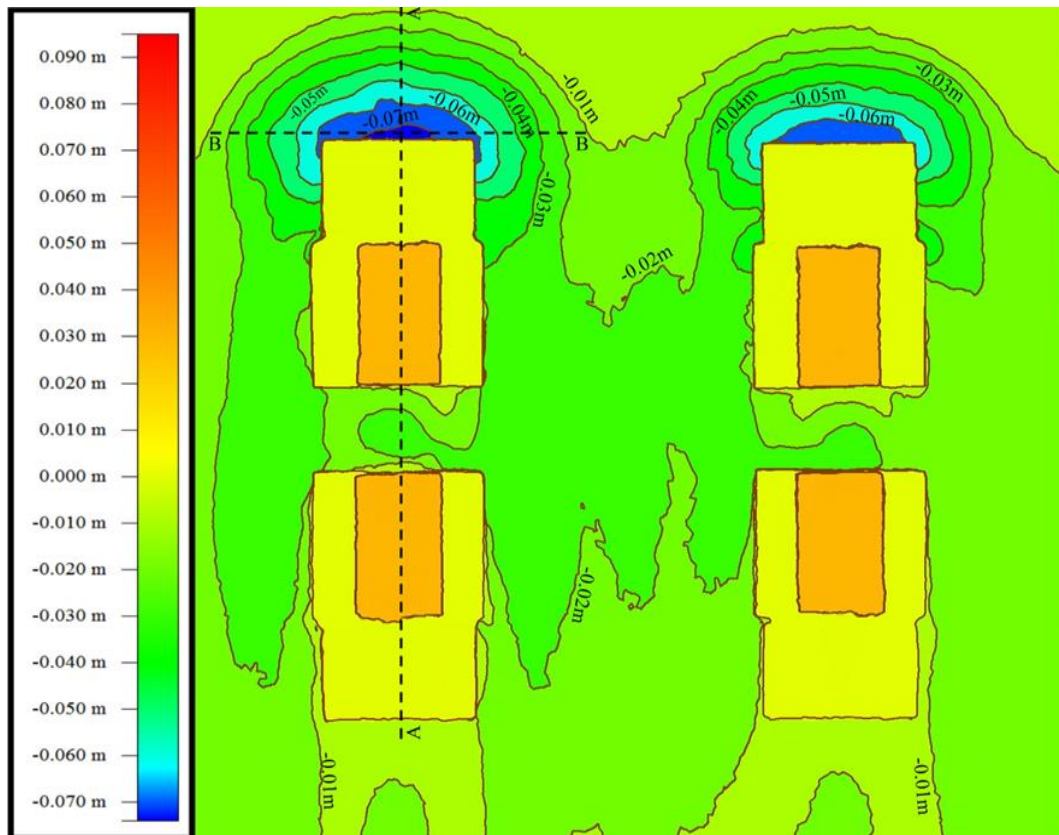


圖 6.9 無保護工基礎沖刷坑等高線示意圖

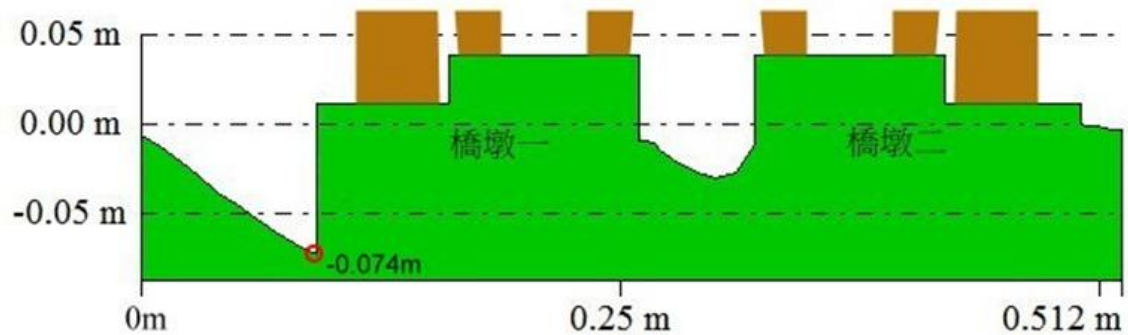


圖 6.10 無保護工基礎沖刷縱斷面示意圖

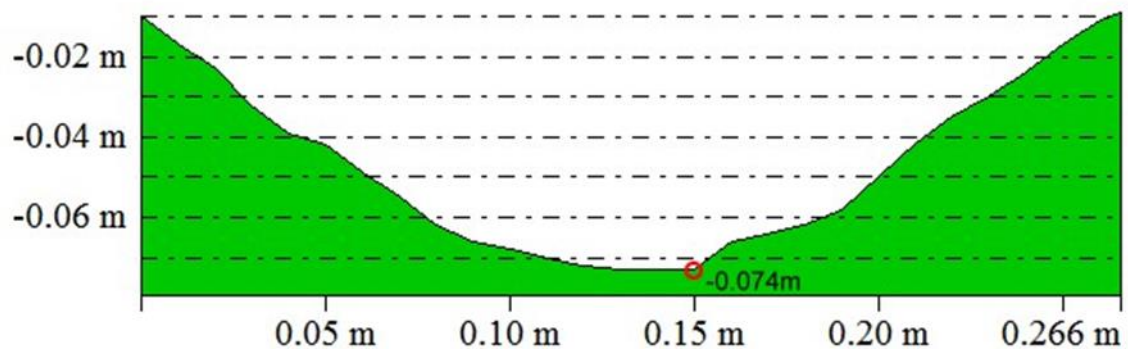


圖 6.11 無保護工基礎沖刷橫斷面示意圖

2. 鋪設一層砂腸袋(試驗底床下 0.5 公分)

鋪設一層砂腸袋(試驗底床下 0.5 公分)如圖 6.12 所示，其鋪設相關尺寸示意圖如圖 6.13 及圖 6.14 所示，其沖刷結果如圖 6.15 所示，以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.16 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.17~6.19 所示。由圖可知，兩橋墩最大沖刷深度及範圍有些差異，此為鋪設之人為誤差所致。最大沖刷深度為 5.5 公分，墩基前最大沖刷橫斷面約 26 公分，相較無保護狀態，沖刷深度與範圍均有減少。



圖 6.12 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)鋪設

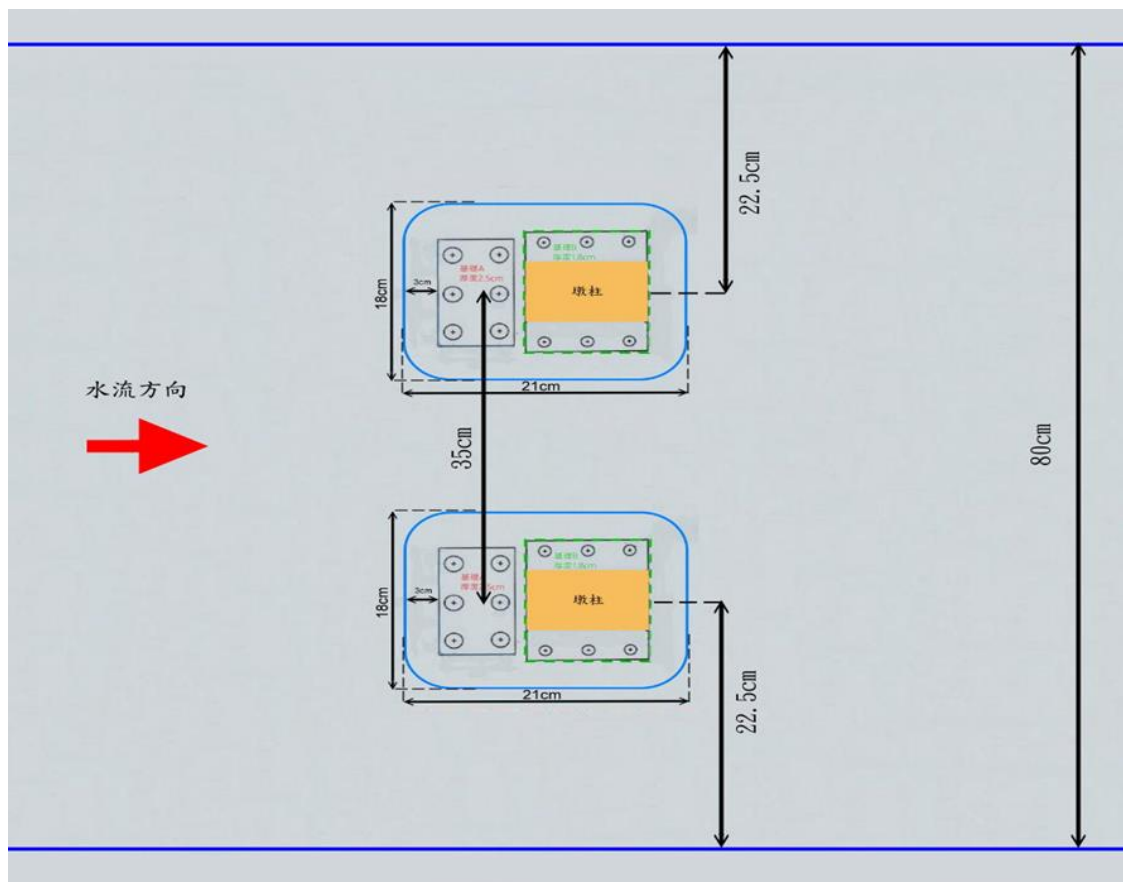


圖 6.13 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)鋪設平面示意圖

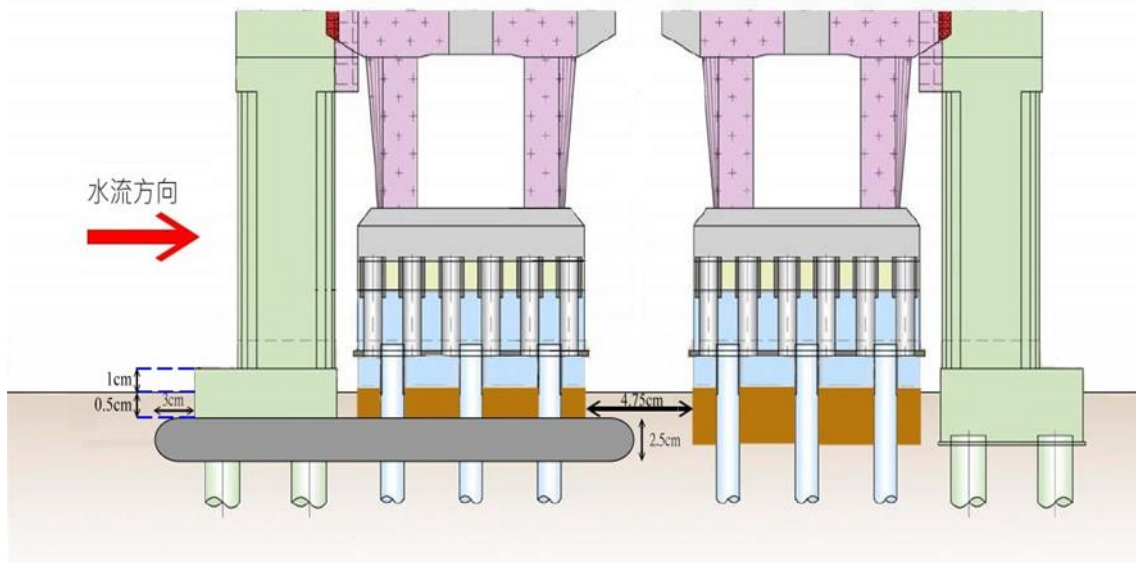


圖 6.14 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)鋪設斷面示意圖



圖 6.15 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)基礎沖刷情形

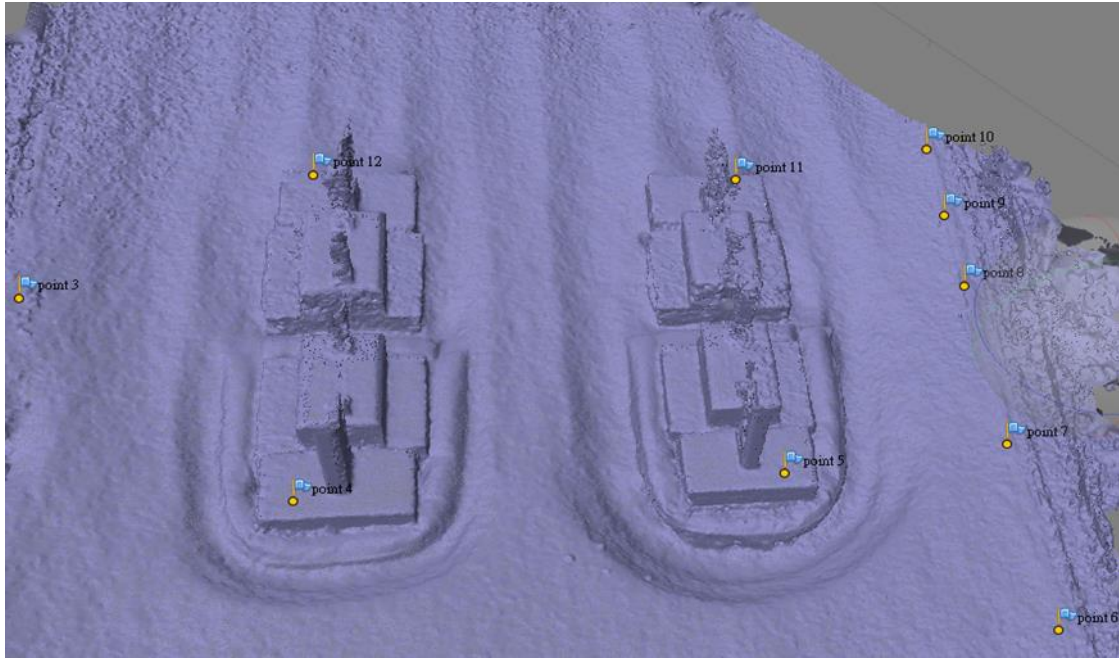


圖 6.16 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)冲刷深度與範圍 3D 圖

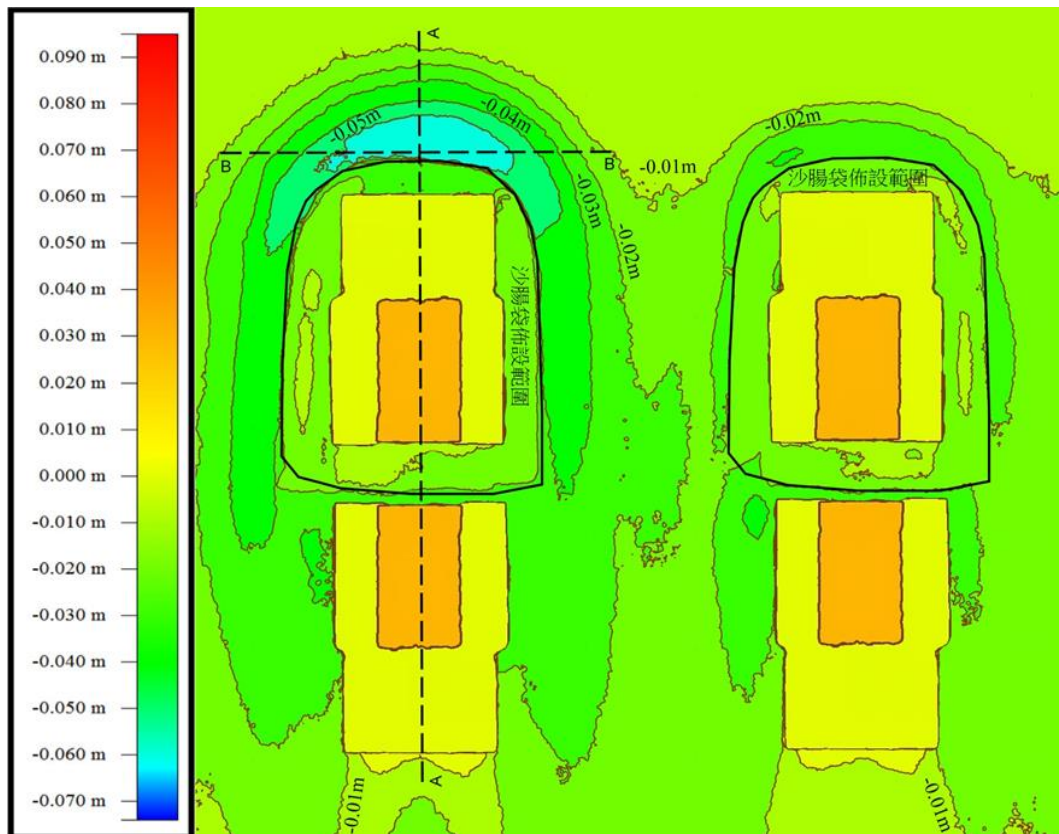


圖 6.17 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)基礎冲刷坑等高線示意圖

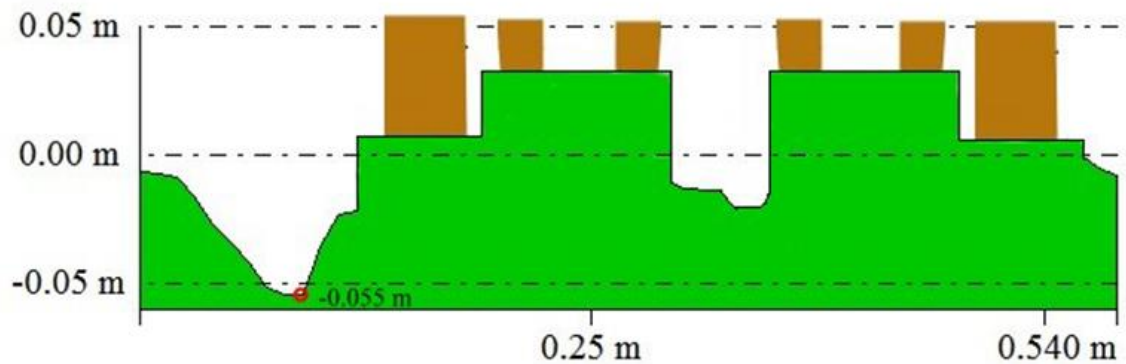


圖 6.18 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)基礎沖刷縱斷面示意圖

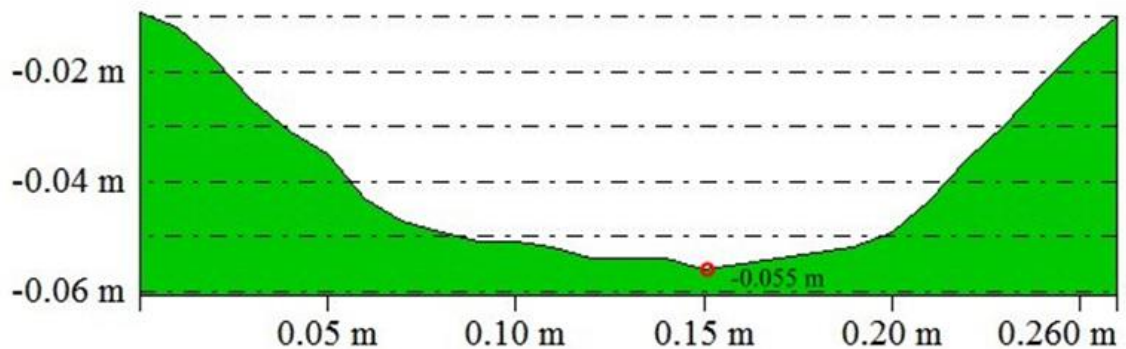


圖 6.19 一層砂腸袋(底床下 0.5 公分)基礎沖刷橫斷面示意圖

3. 鋪設一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)

鋪設一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)如圖 6.20 所示，其鋪設相關尺寸示意圖如圖 6.21 及圖 6.22 所示，其沖刷結果如圖 6.23 所示，以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.24 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.25~6.27 所示。由圖可知，兩橋墩最大沖刷深度及範圍略有不同，此為鋪設之人為誤差所致。最大沖刷深度為 4.5 公分，墩基前最大沖刷橫斷面約 23 公分，均較鋪設高程在試驗底床下 0.5 公分為佳，因此後續之砂腸袋頂部高程將以試驗底床下 1.5 公分鋪設。

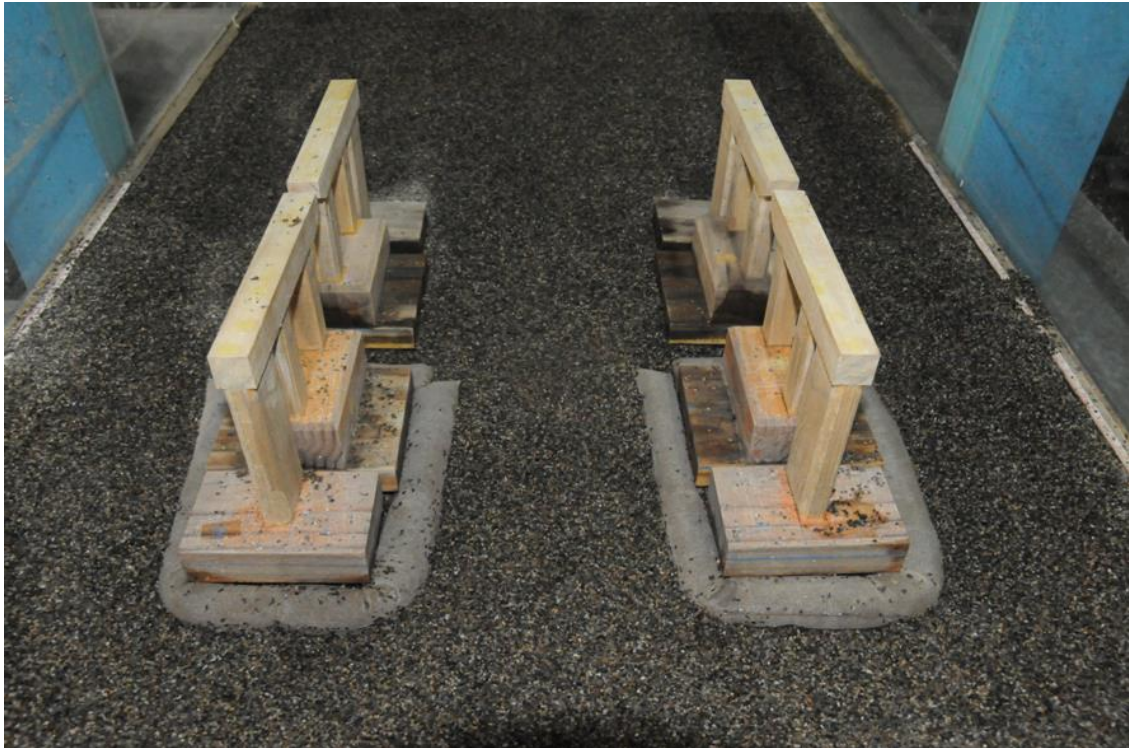


圖 6.20 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)鋪設

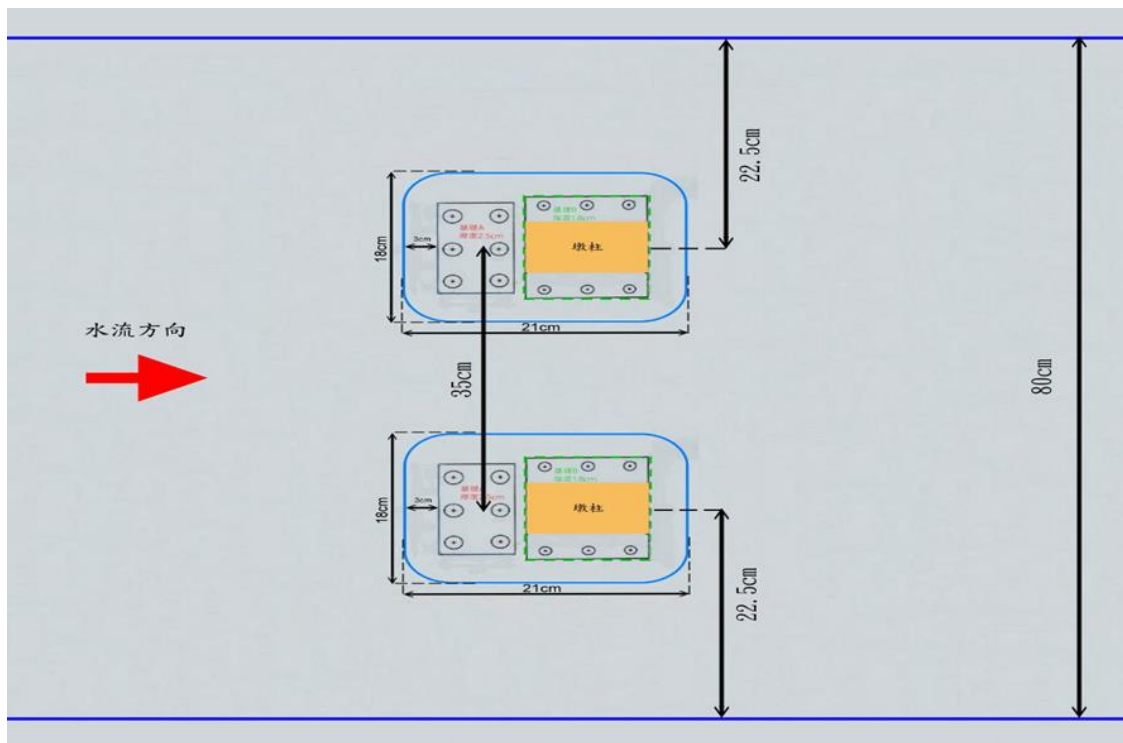


圖 6.21 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)鋪設平面示意圖

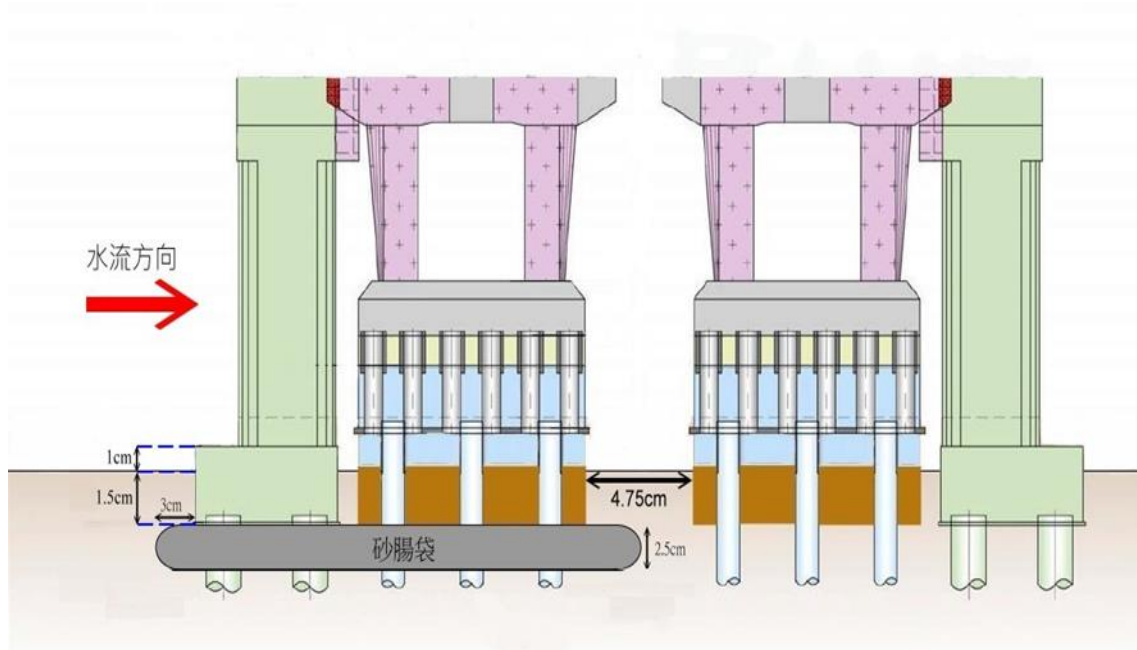


圖 6.22 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)鋪設斷面示意圖



圖 6.23 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)基礎沖刷情形

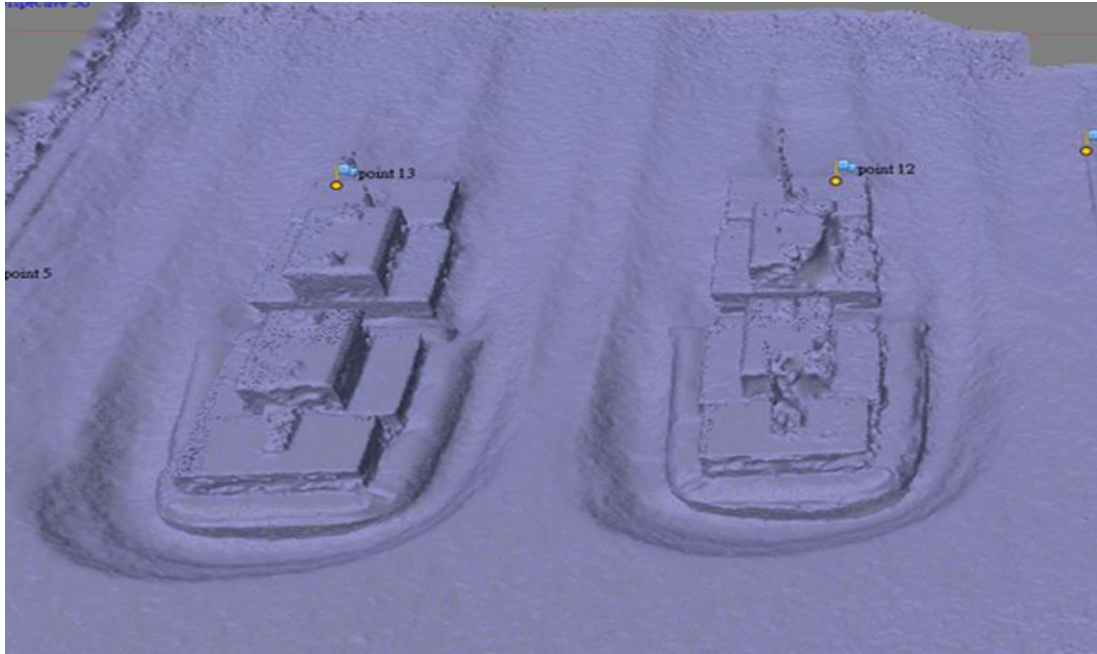


圖 6.24 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)冲刷深度與範圍 3D 圖

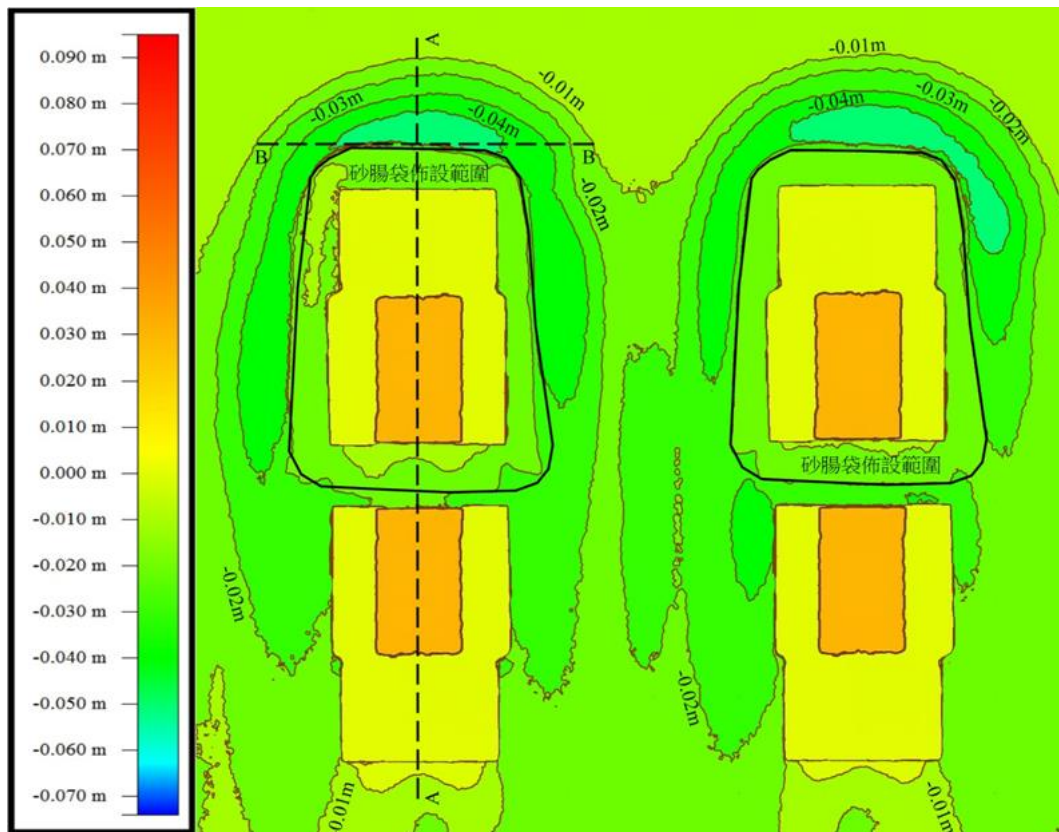


圖 6.25 一層砂腸袋(底床下 1.5 公分)基礎冲刷坑等高線示意圖

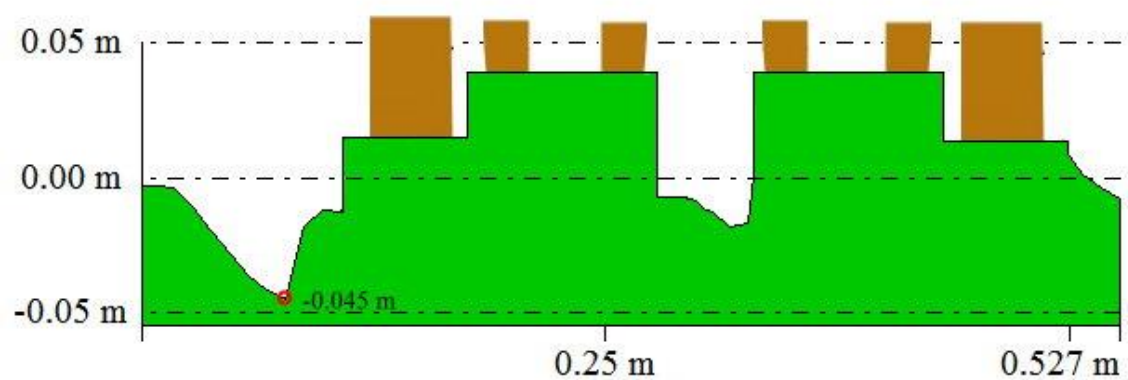


圖 6.26 一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)基礎沖刷縱斷面示意圖

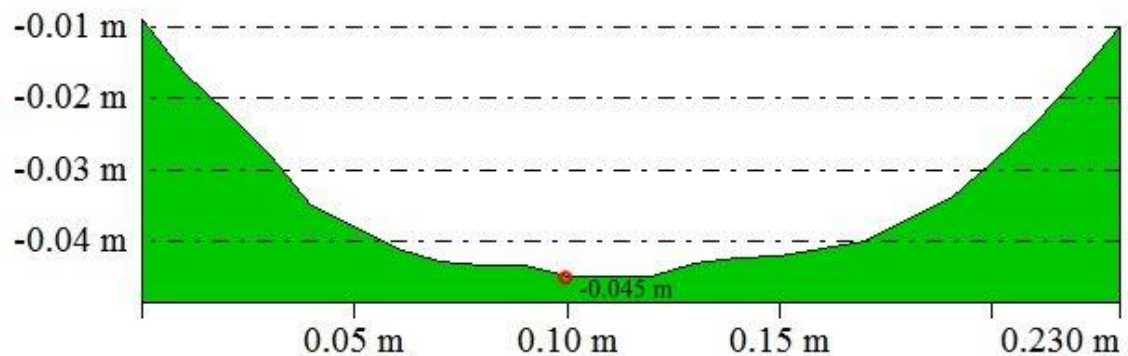


圖 6.27 一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)基礎沖刷橫斷面示意圖

4. 鋪設二層直立砂腸袋

鋪設二層直立砂腸袋，如圖 6.28 所示，其鋪設相關尺寸示意圖如圖 6.29 及圖 6.30 所示，其沖刷結果如圖 6.31 所示，以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.32 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.33~6.35 所示。由圖可知，兩橋墩最大沖刷深度及範圍略有不同，此為鋪設之人為誤差所致。最大沖刷深度為 5.6 公分，墩基前最大沖刷橫斷面約 25.1 公分，沖刷結果反而較一層砂腸袋嚴重，顯示二層直立砂腸袋的鋪設方式不佳。



圖 6.28 二層直立砂腸袋鋪設

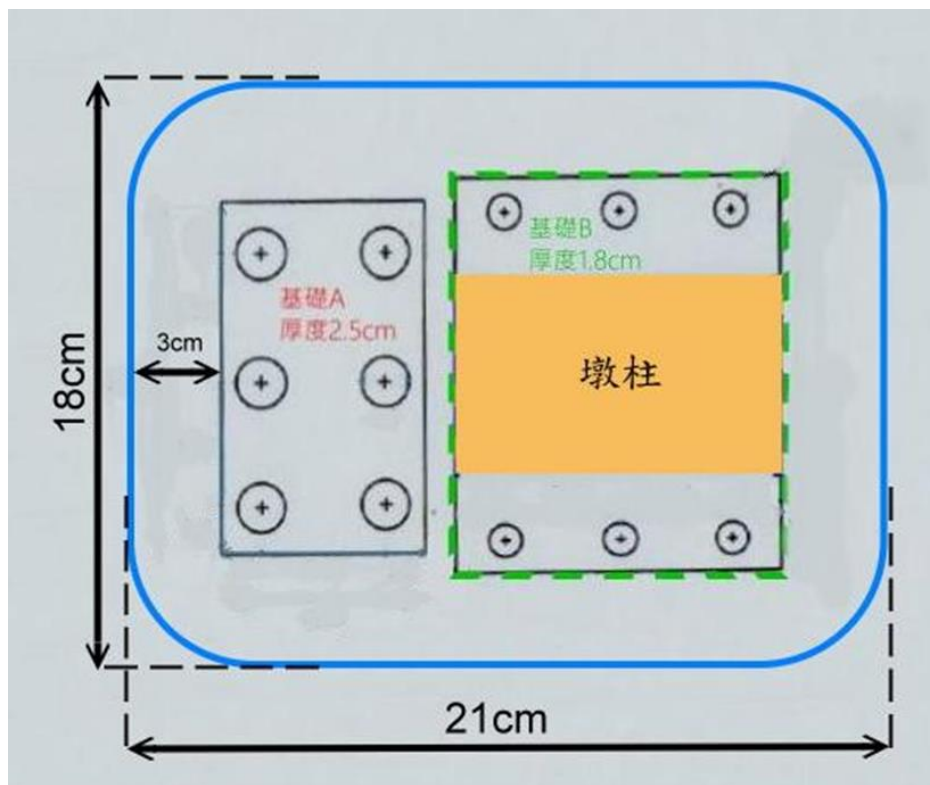


圖 6.29 二層直立砂腸袋鋪設平面示意圖

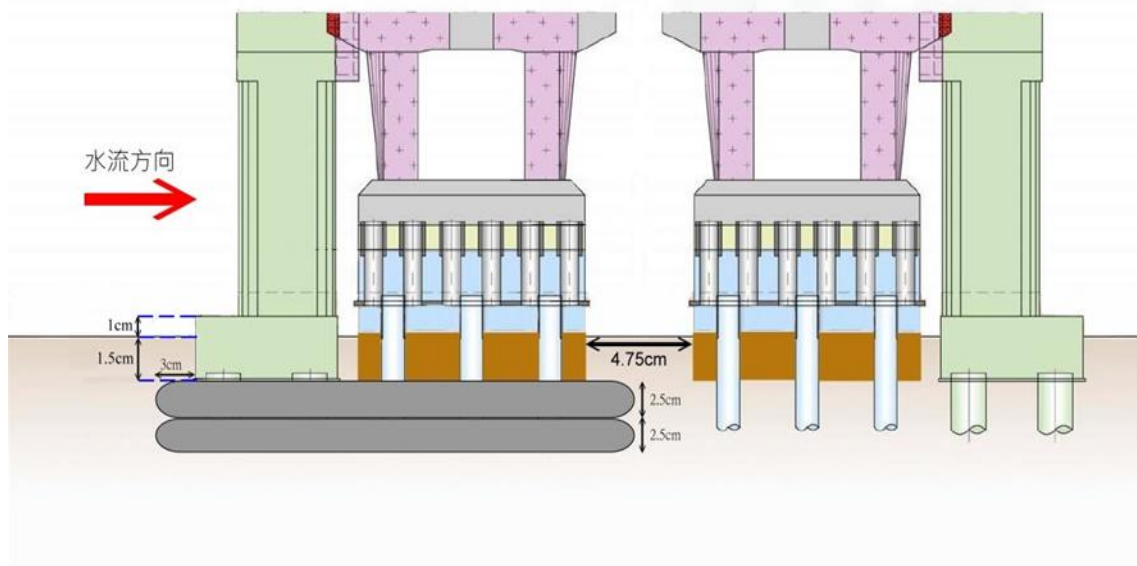


圖 6.30 二層直立砂腸袋鋪設斷面示意圖



圖 6.31 二層直立砂腸袋基礎沖刷情形

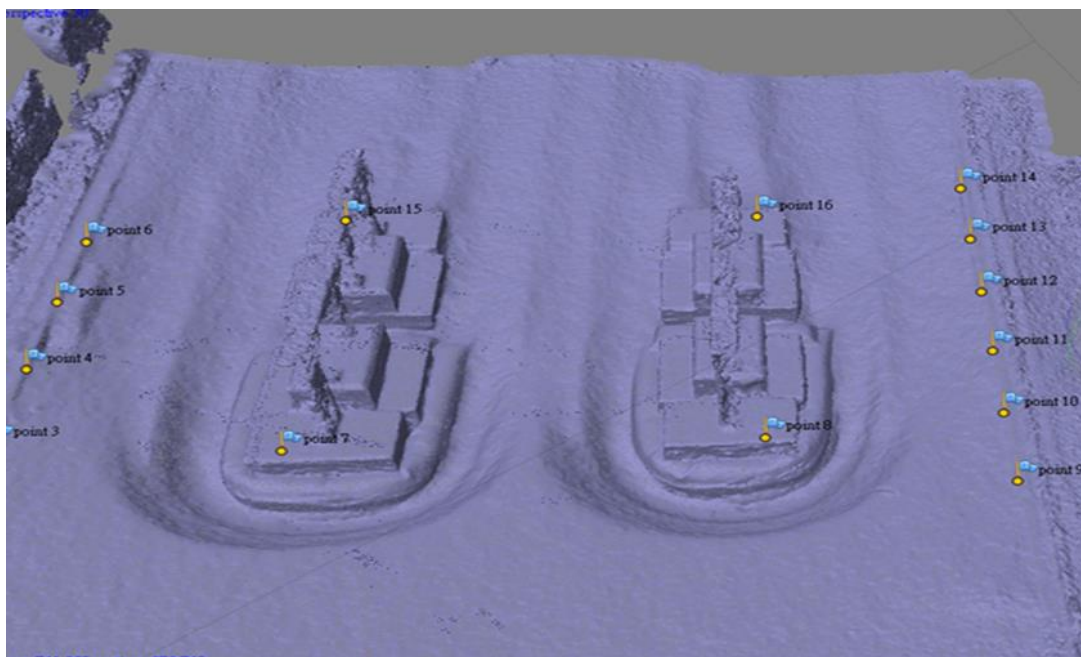


圖 6.32 二層直立砂腸袋沖刷深度與範圍 3D 圖

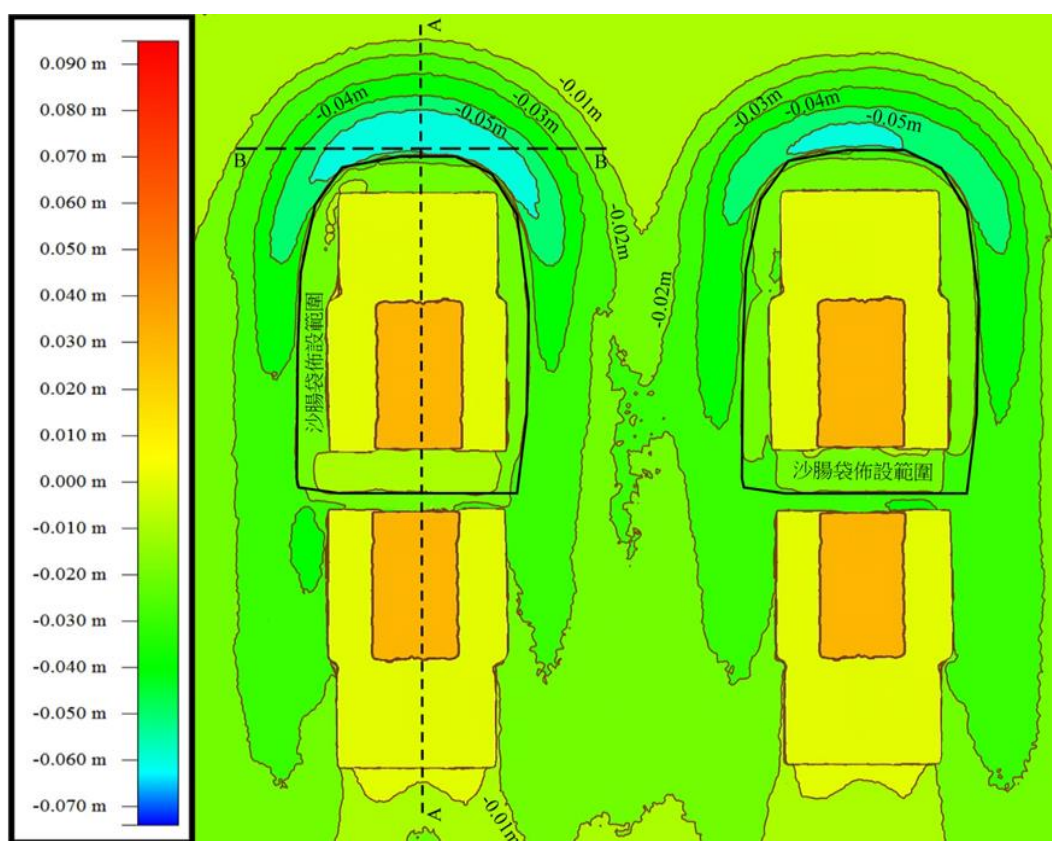


圖 6.33 二層直立砂腸袋基礎沖刷坑等高線示意圖

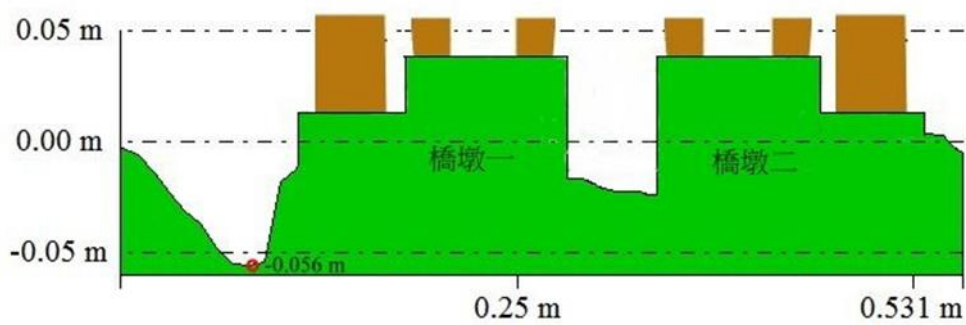


圖 6.34 二層直立砂腸袋基礎沖刷縱斷面示意圖

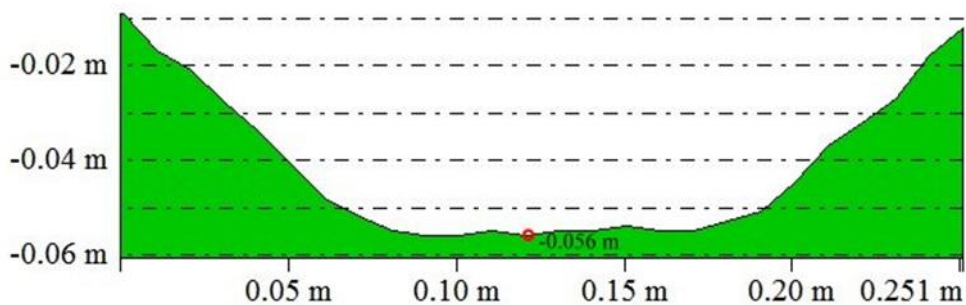


圖 6.35 二層直立砂腸袋基礎沖刷橫斷面示意圖

5. 鋪設二層斜坡砂腸袋

鋪設二層斜坡砂腸袋，如圖 6.36 所示，其鋪設相關尺寸示意圖如圖 6.37 及圖 6.38 所示，其沖刷結果如圖 6.39 所示，以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.40 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.41~6.43 所示。由圖可知，兩橋墩最大沖刷深度及範圍略有不同，此為鋪設之人為誤差所致。最大沖刷深度為 3.4 公分，墩基前最大沖刷橫斷面約 27.1 公分，均較二層直立砂腸袋佳，沖刷深度也比鋪設一層砂腸袋減少，顯示保護效果較一層砂腸袋佳。



圖 6.36 二層斜坡砂腸袋鋪設

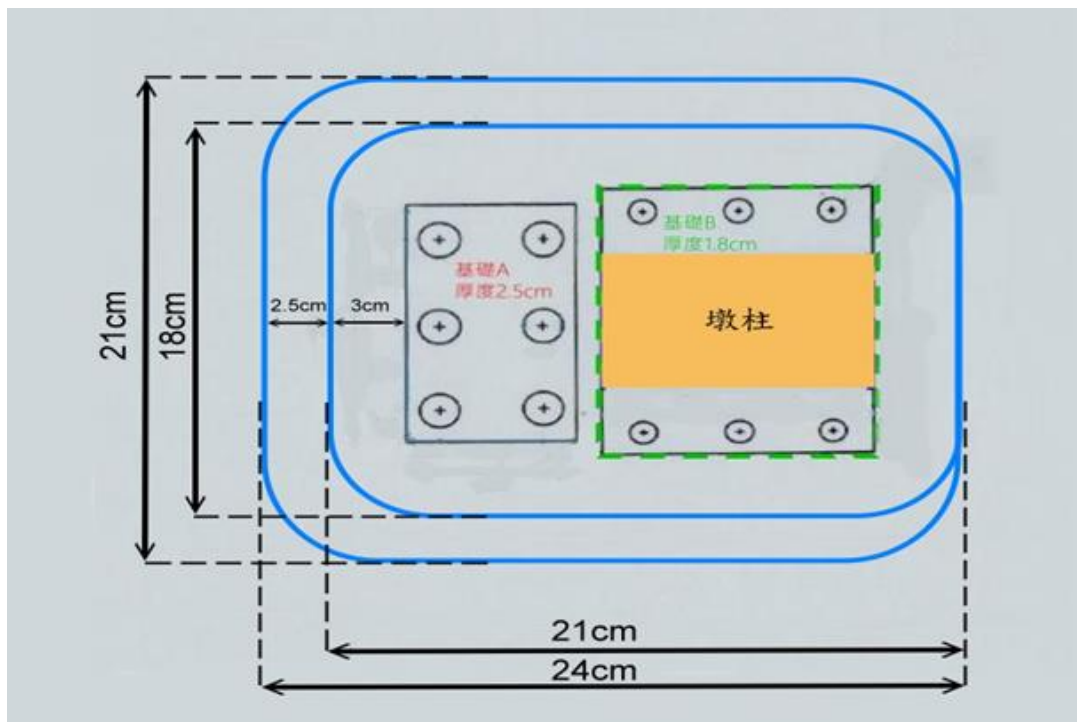


圖 6.37 二層斜坡砂腸袋鋪設平面示意圖

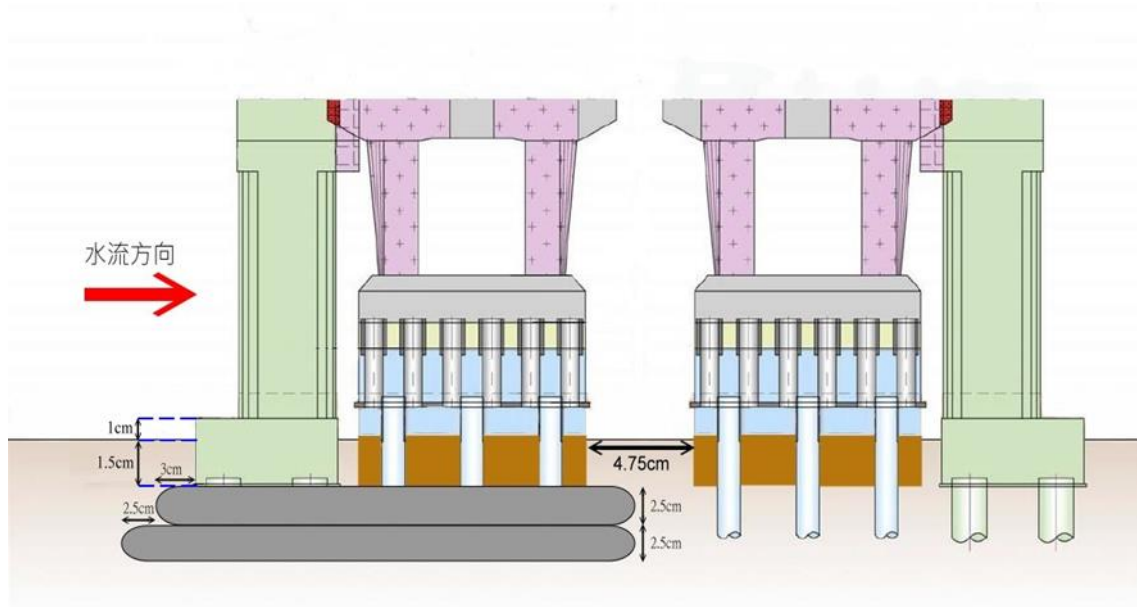


圖 6.38 二層斜坡砂腸袋鋪設斷面示意圖



圖 6.39 二層斜坡砂腸袋基礎沖刷情形

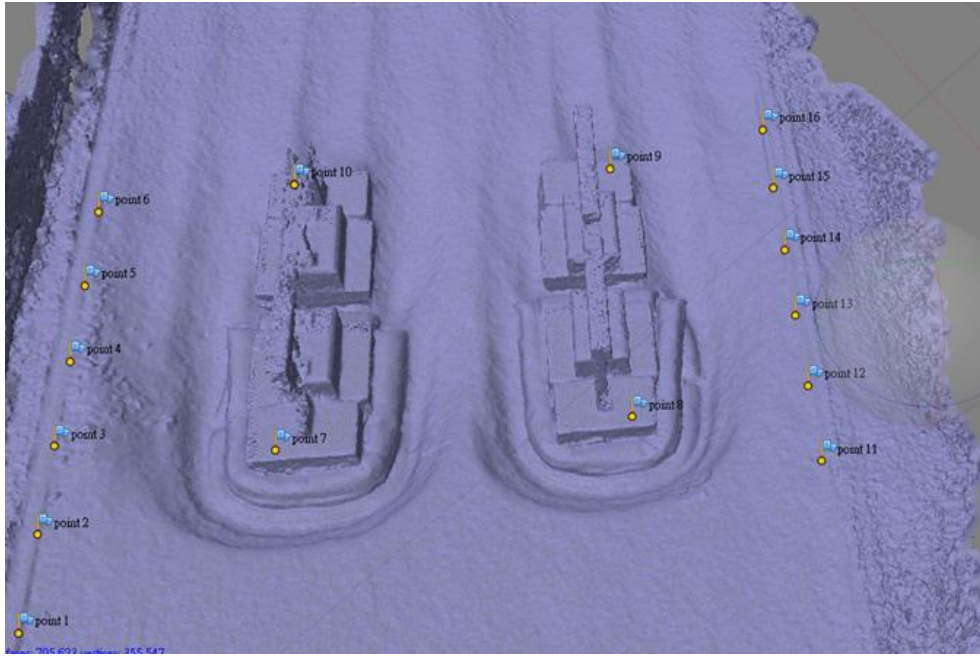


圖 6.40 二層斜坡砂腸袋沖刷深度與範圍 3D 圖

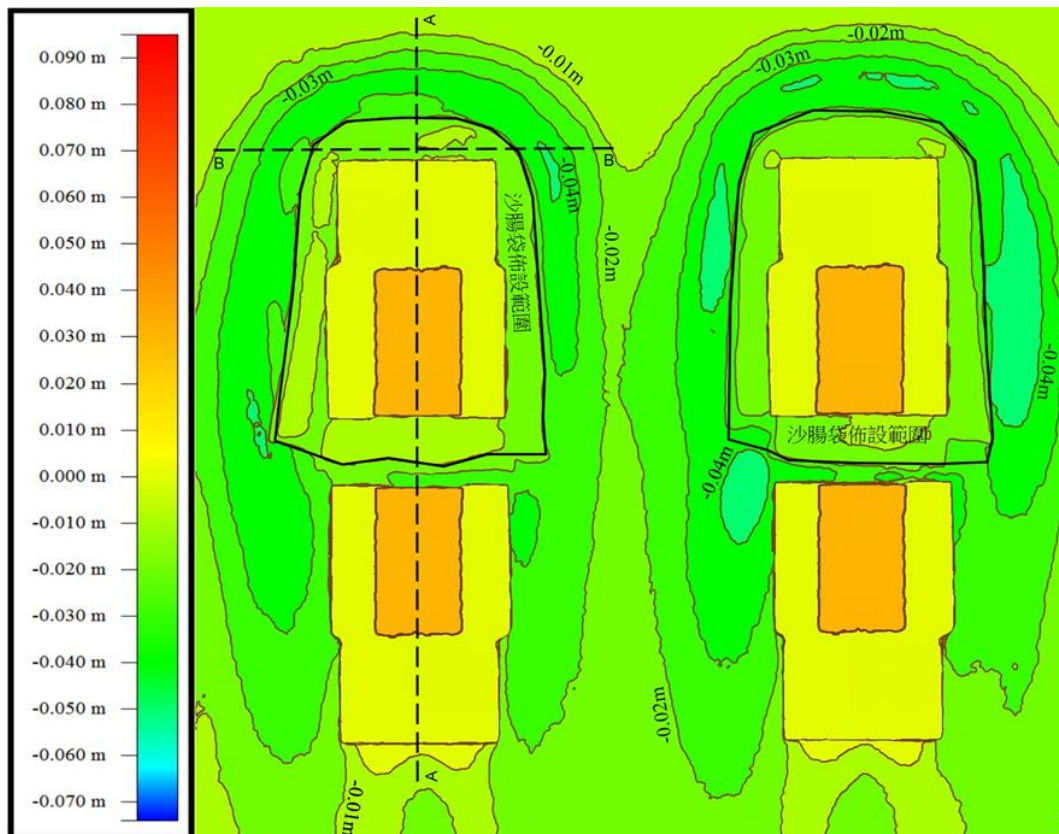


圖 6.41 二層斜坡砂腸袋基礎沖刷坑等高線示意圖

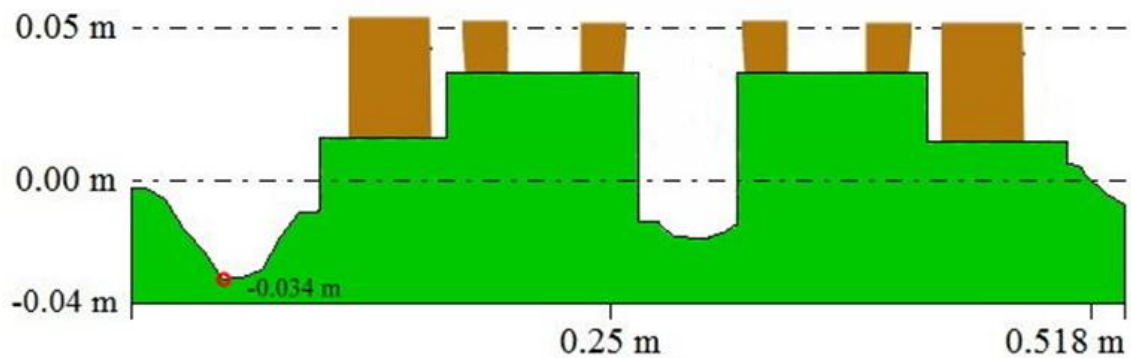


圖 6.42 二層斜坡砂腸袋基礎沖刷縱斷面示意圖

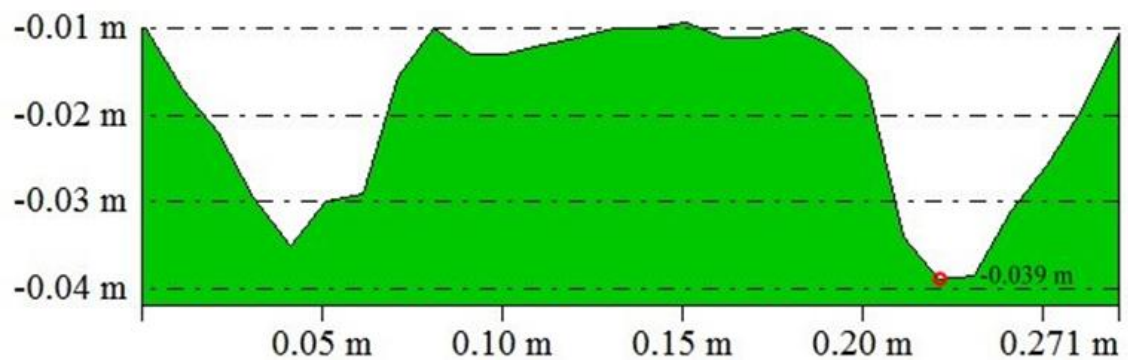


圖 6.43 二層斜坡砂腸袋基礎沖刷橫斷面示意圖

6. 鋪設三層直立砂腸袋

鋪設三層直立砂腸袋，如圖 6.44 所示，其鋪設相關尺寸示意圖如圖 6.45 及圖 6.46 所示，其沖刷結果如圖 6.47 所示，以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.48 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.49~6.51 所示。由圖可知，兩橋墩最大沖刷深度及範圍略有不同，此為鋪設之人為誤差所致。最大沖刷深度為 6.2 公分，墩基前最大沖刷橫斷面約 26.2 公分，沖刷結果反而較一層及二層砂腸袋嚴重，顯示直立式砂腸袋的鋪設方式不佳。



圖 6.44 三層直立砂腸袋鋪設

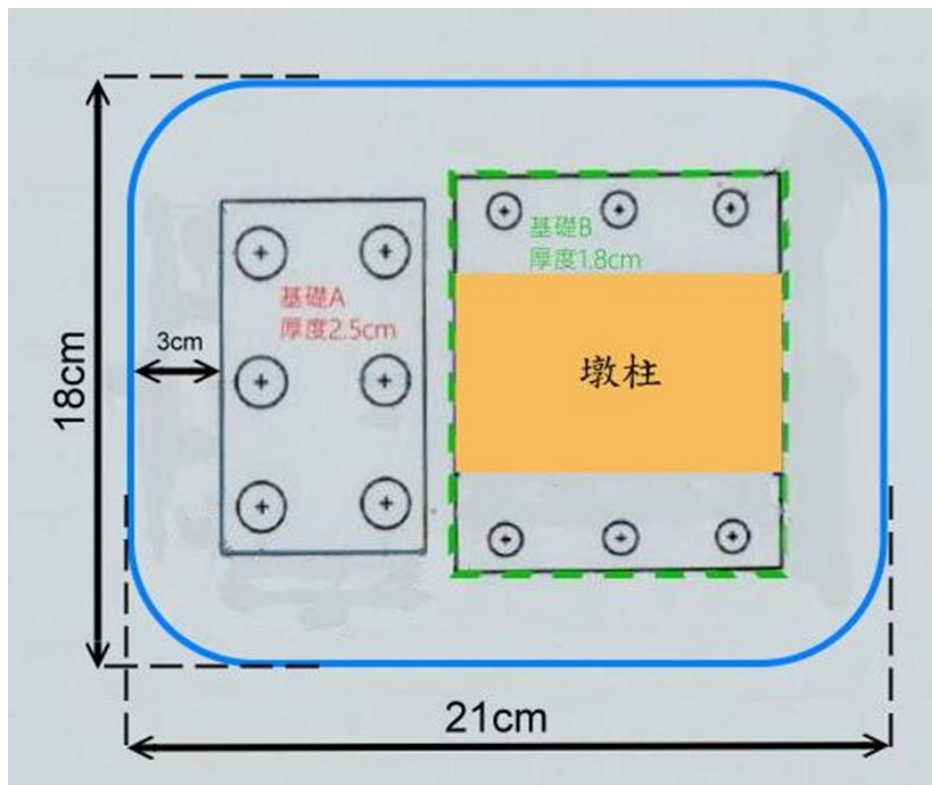


圖 6.45 三層直立砂腸袋鋪設平面示意圖



圖 6.46 三層直立砂腸袋鋪設斷面示意圖



圖 6.47 三層直立砂腸袋基礎沖刷情形



圖 6.48 三層直立砂腸袋沖刷深度與範圍 3D 圖

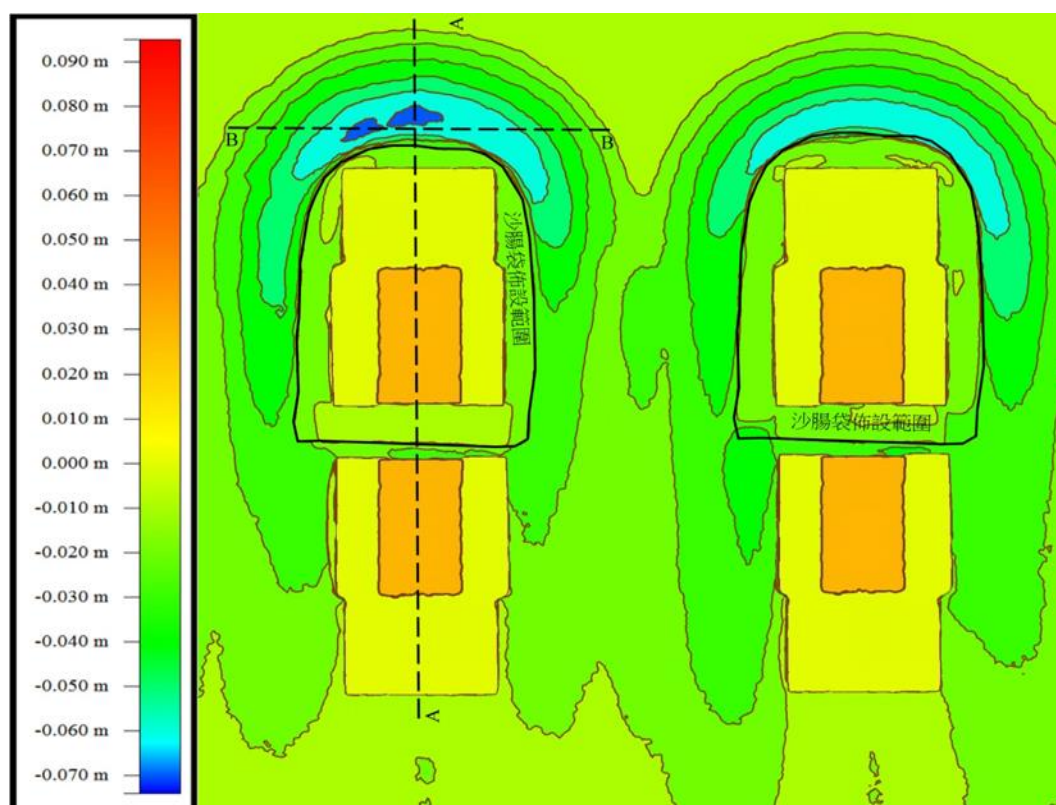


圖 6.49 三層直立砂腸袋基礎沖刷坑等高線示意圖

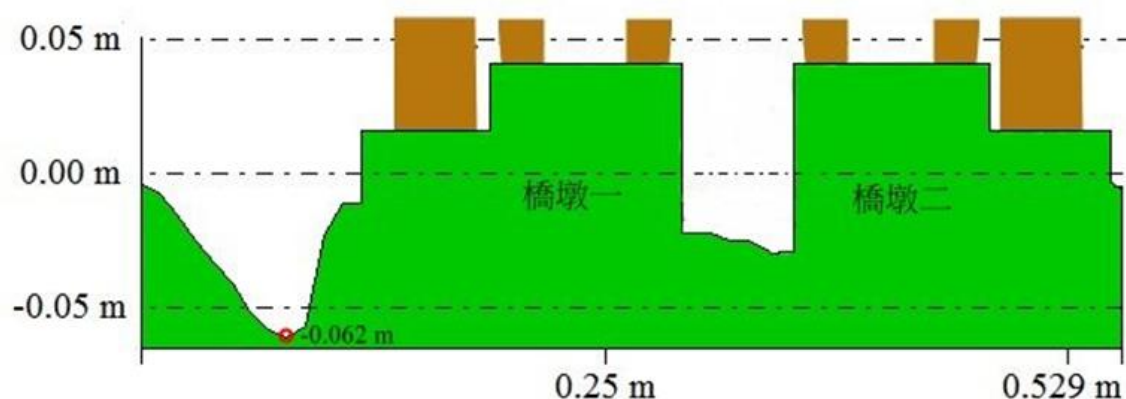


圖 6.50 三層直立砂腸袋基礎沖刷縱斷面示意圖

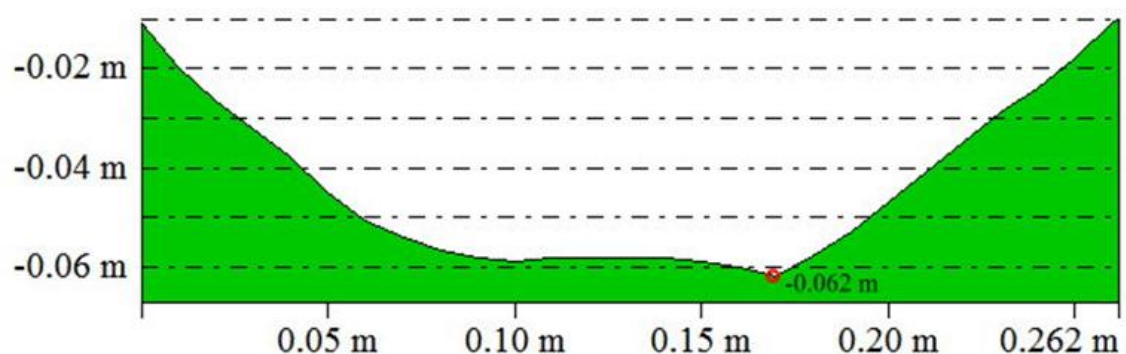


圖 6.51 三層直立砂腸袋基礎沖刷橫斷面示意圖

7. 鋪設三層斜坡砂腸袋

鋪設三層斜坡砂腸袋，如圖 6.52 所示，其鋪設相關尺寸示意圖如圖 6.53 及圖 6.54 所示，其沖刷結果如圖 6.55 所示，以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.56 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.57~6.59 所示。由圖可知，兩橋墩最大沖刷深度及範圍略有不同，此為鋪設之人為誤差所致。最大沖刷深度為 3.2 公分，墩基前最大沖刷橫斷面約 26.7 公分，沖刷深度較二層斜坡砂腸袋少，顯示保護效果較二層斜坡砂腸袋佳。



圖 6.52 三層斜坡砂腸袋鋪設

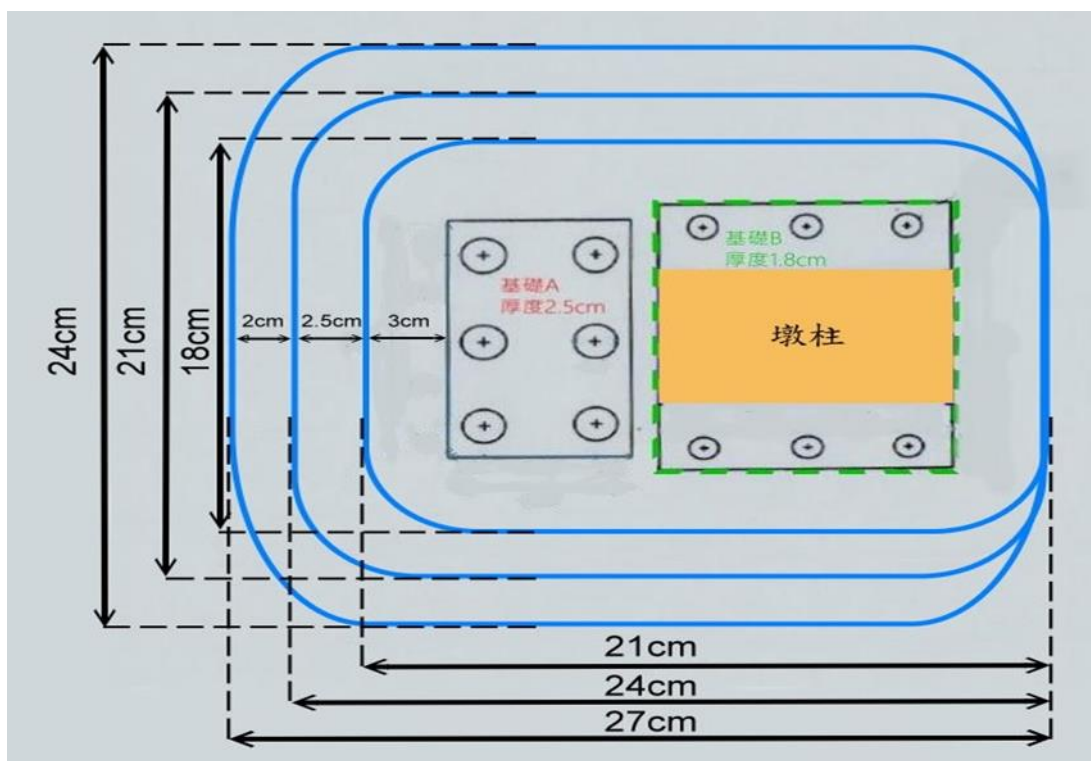


圖 6.53 三層斜坡砂腸袋鋪設平面示意圖

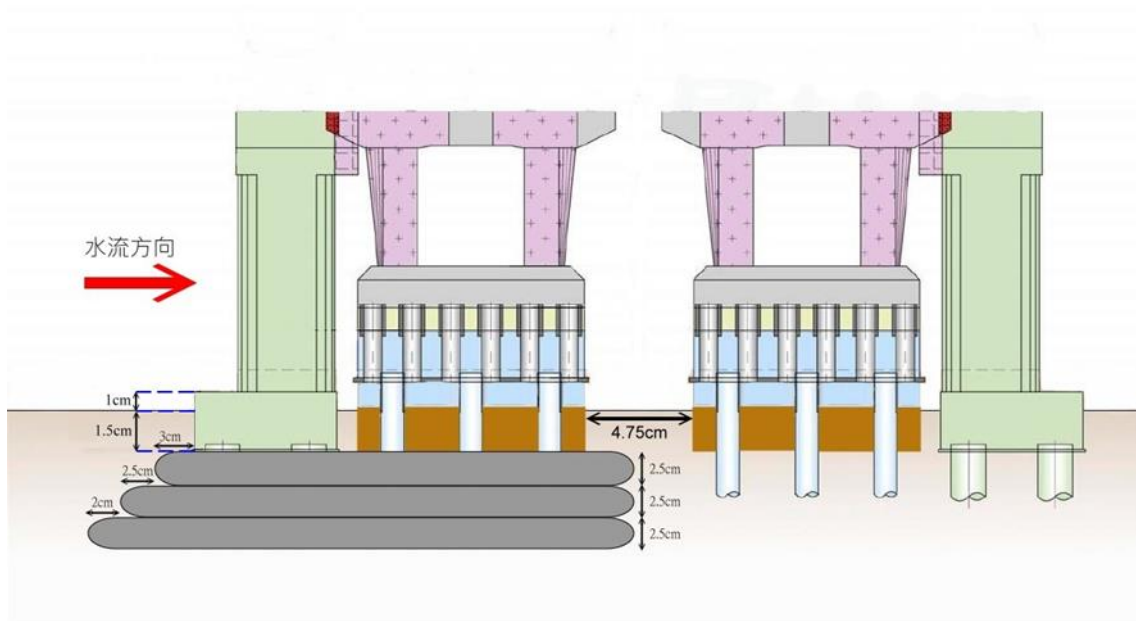


圖 6.54 三層斜坡砂腸袋鋪設斷面示意圖



圖 6.55 三層斜坡砂腸袋基礎沖刷情形



圖 6.56 三層斜坡砂腸袋沖刷深度與範圍 3D 圖

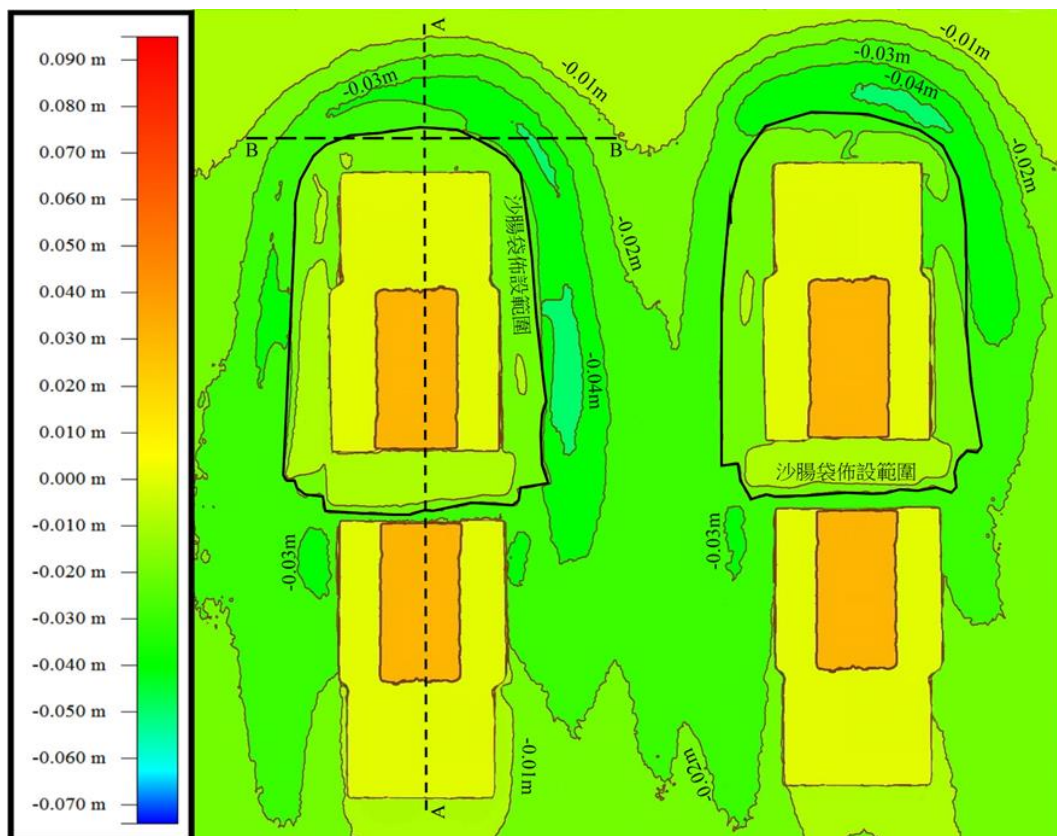


圖 6.57 三層斜坡砂腸袋基礎沖刷坑等高線示意圖

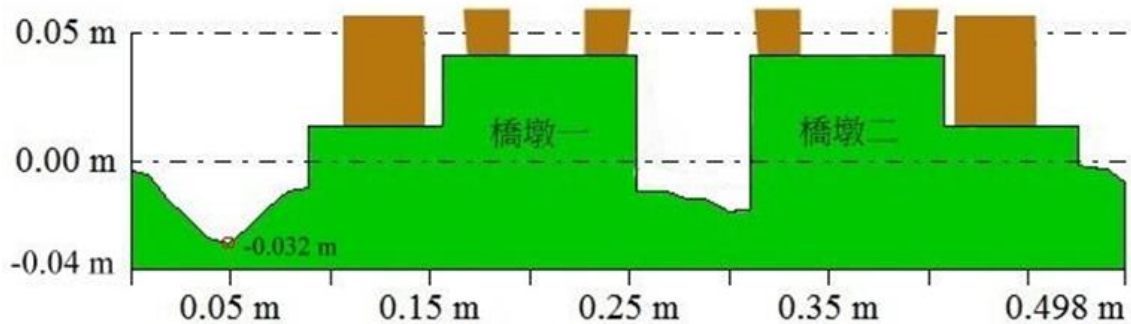


圖 6.58 三層斜坡砂腸袋基礎沖刷縱斷面示意圖

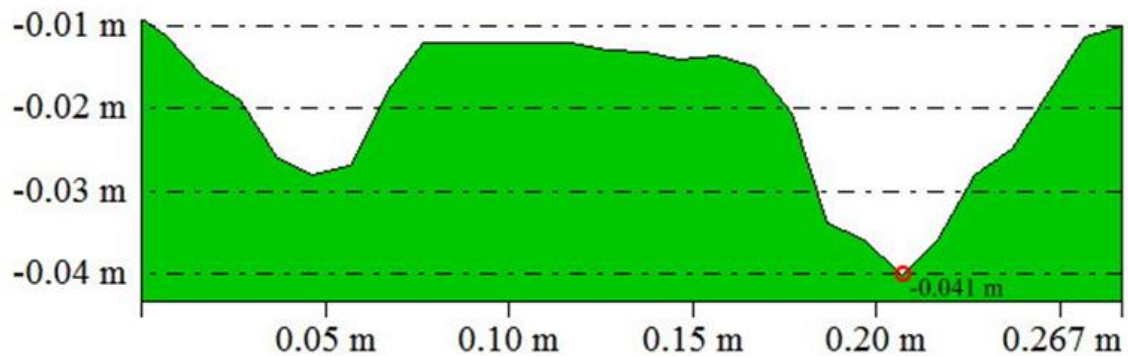


圖 6.59 三層斜坡砂腸袋基礎沖刷橫斷面示意圖

8. 鋪設一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)+織物模板

鋪設一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)+織物模板如圖 6.60 所示，其鋪設相關尺寸示意圖如圖 6.61 及圖 6.62 所示，其沖刷結果如圖 6.63 所示，由圖顯示織物模板均無露出，顯示織物模板無沖刷受損的疑慮，以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 6.64 所示，等高線圖、縱斷面剖面及橫斷面剖面圖，如圖 6.65~6.67 所示。由圖可知，兩橋墩最大沖刷深度及範圍略有不同，此為鋪設之人為誤差所致。最大沖刷深度為 2.2 公分，墩基前最大沖刷橫斷面約 19.2 公分，沖刷深度及沖刷範圍均較所有方案少，顯示此方案之保護效果最佳。

另外，本研究試著將本方案埋入高程提高 1 公分，即砂腸袋埋入

試驗底床下 0.5 公分，織物模板埋入試驗底床下約 3 公分處，試驗結果織物模板部分裸露並產生變位，顯示織物模板有沖刷受損的疑慮，故維持原鋪設方案。

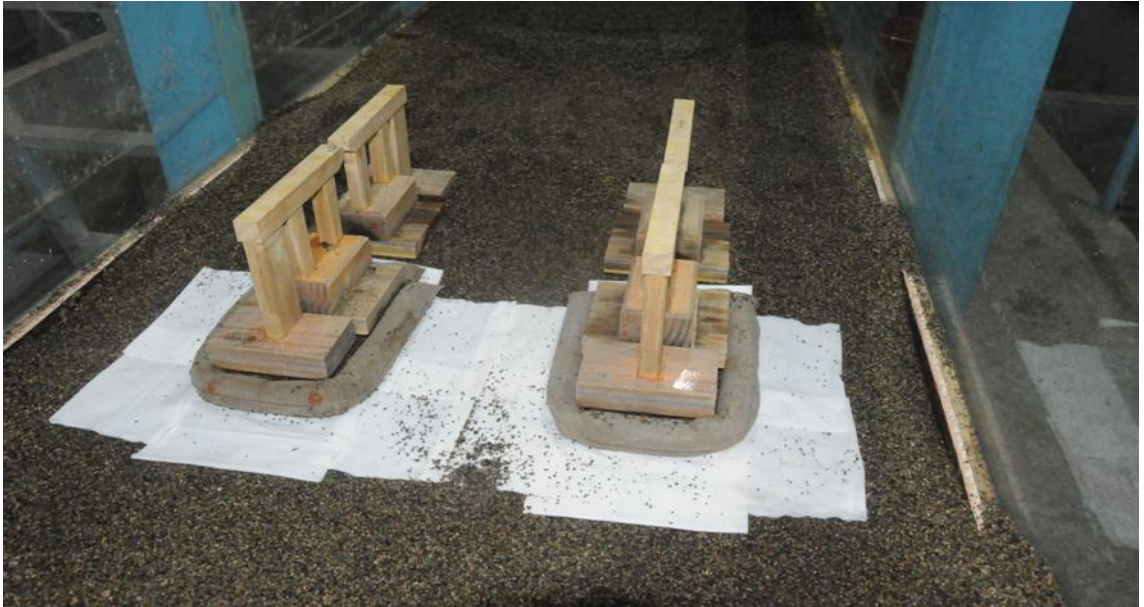


圖 6.60 一層砂腸袋+織物模板鋪設

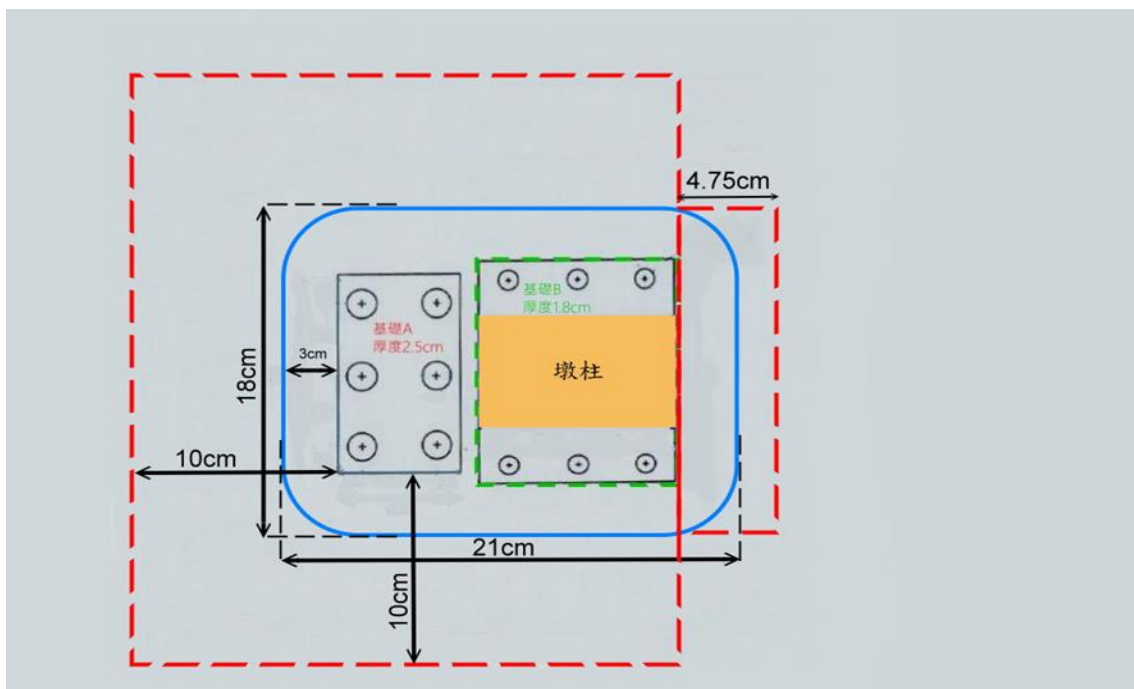


圖 6.61 一層砂腸袋+織物模板鋪設平面示意圖

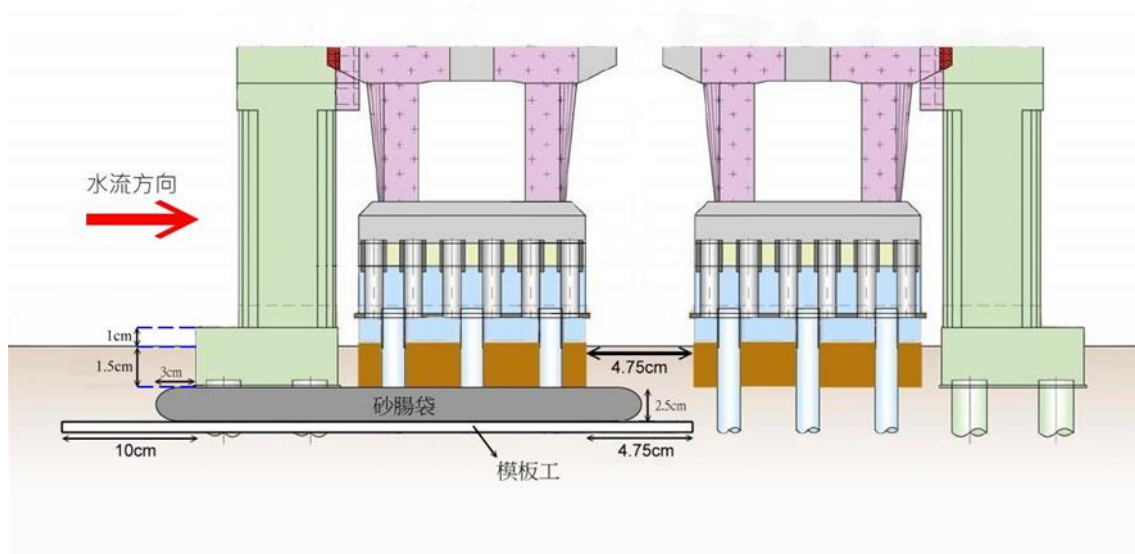


圖 6. 62 一層砂腸袋+織物模板鋪設斷面示意圖

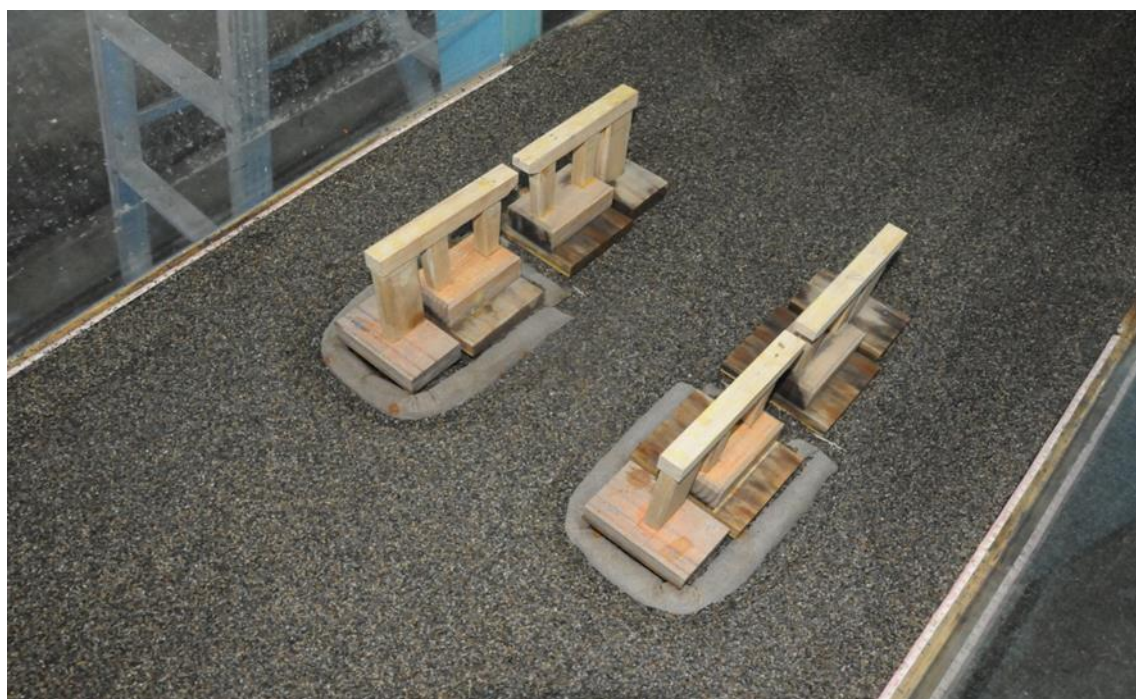


圖 6. 63 一層砂腸袋+織物模板基礎沖刷情形

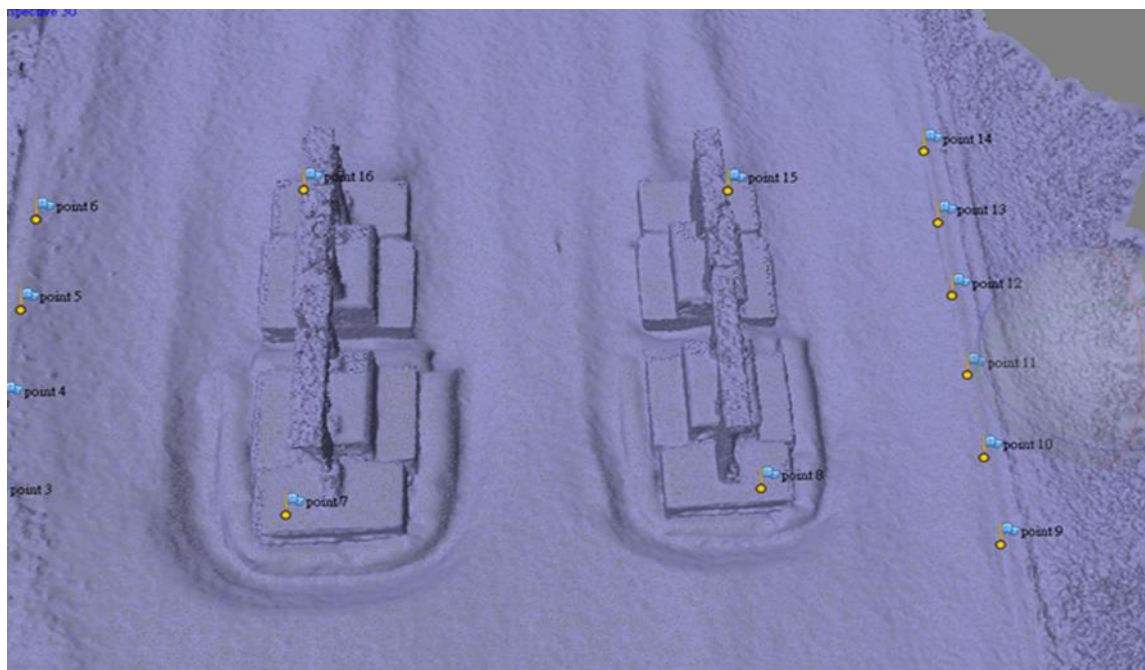


圖 6. 64 一層砂腸袋+織物模板沖刷深度與範圍 3D 圖

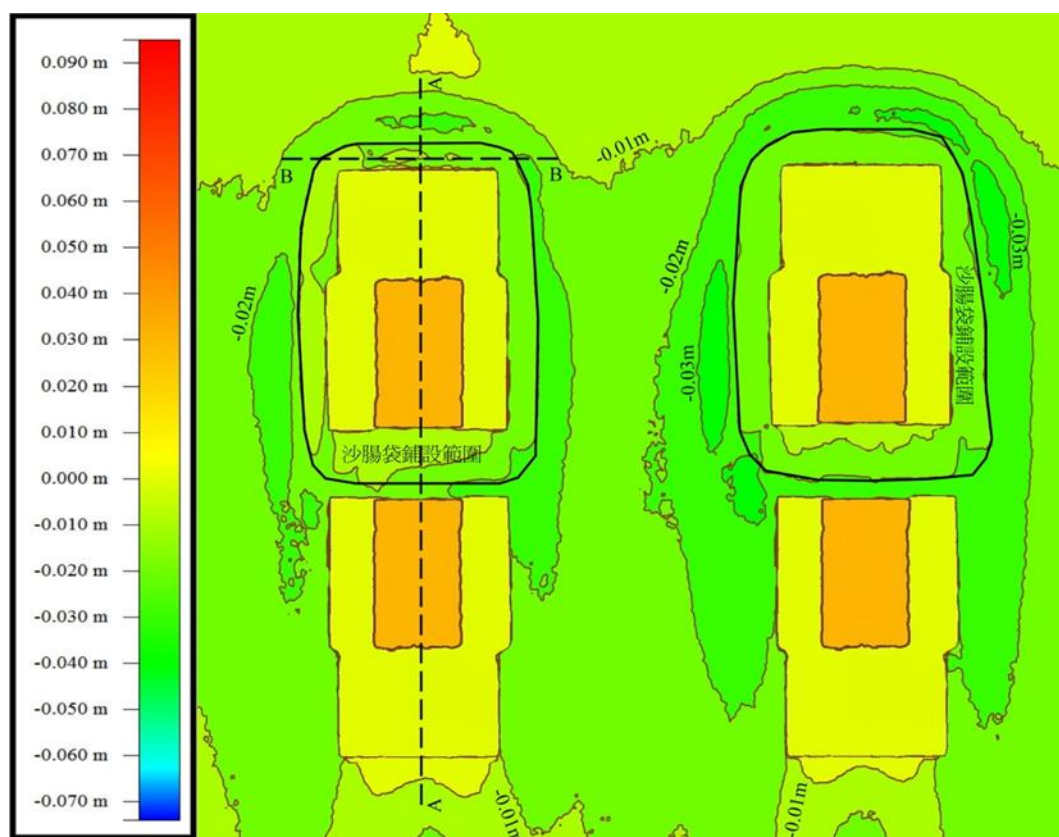


圖 6. 65 一層砂腸袋+織物模板基礎沖刷坑等高線示意圖

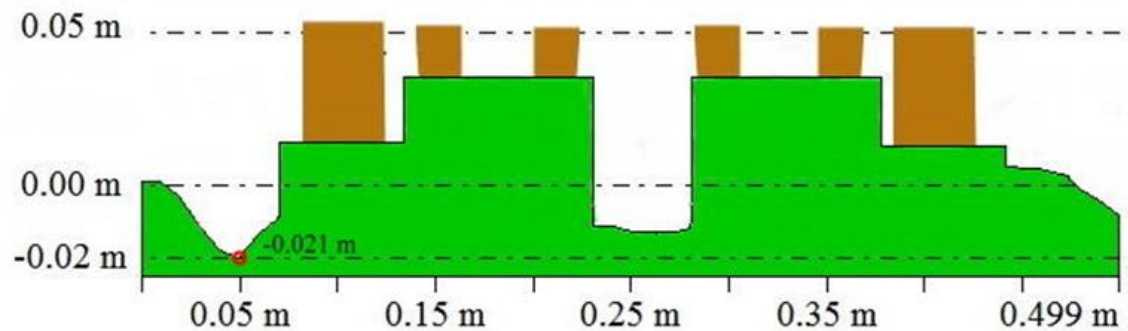


圖 6.66 一層砂腸袋+織物模板基礎沖刷縱斷面示意圖

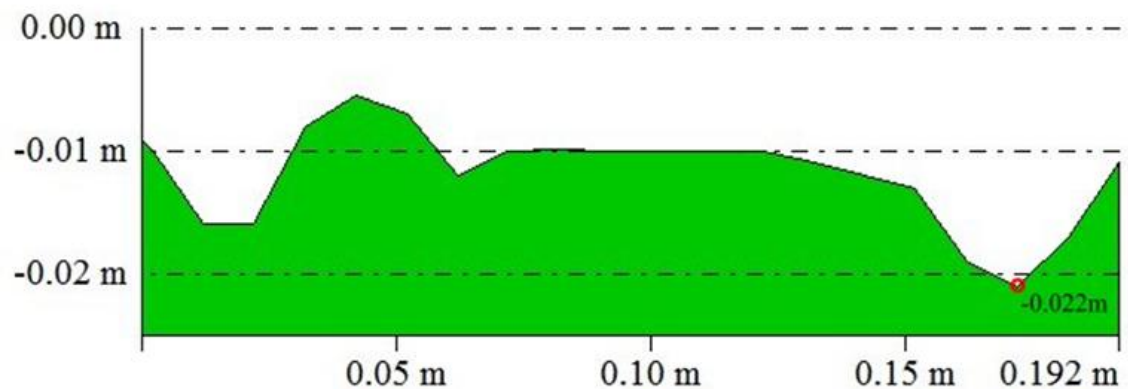


圖 6.67 一層砂腸袋+織物模板基礎沖刷橫斷面示意圖

6.4 小結

由本章 8 種鋪設方案(不考慮砂腸袋破損)的試驗結果，如表 6-1 所示，比較試驗結果顯示：

1. 保護工之頂部設置於試驗底床下 1.5 公分較設置於底床下 0.5 公分為宜。
2. 保護工之排列方式斜坡式較直立式之保護效果佳。
3. 直立式鋪設方案，三層不如二層的保護效果，二層不如一層的保護效果，顯示直立式鋪設方式，鋪的越多越深沖刷越嚴重，未來保護

工不宜以直立式之方式鋪設。

4. 斜坡式鋪設方案，三層比二層的保護效果好，二層比一層的保護效果好。
5. 所有試驗方案以一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)+織物模板之鋪設方式保護效果最佳，未來國道高速公路局中工處可以參考此方案設置保護工。

表 6-1 不同鋪設方案最大沖刷深度與範圍綜整比較表

鋪設方案	最大沖刷深度	沖刷範圍
無保護	7.4 公分	26.6 公分
一層砂腸袋(試驗底床下 0.5 公分)	5.5 公分	26 公分
一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)	4.5 公分	23 公分
二層直立砂腸袋	5.6 公分	25.1 公分
二層斜坡砂腸袋	3.4 公分	27.1 公分
三層直立砂腸袋	6.2 公分	26.2 公分
三層斜坡砂腸袋	3.2 公分	26.7 公分
一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)+ 織物模板	2.2 公分	19.2 公分

註：上述數據為一次之試驗結果

第七章 平面水工模型試驗規劃與建置

7.1 模型範圍選定

本研究以研擬國 1 中沙大橋橋基沖刷保護方案為目的，而直接影響中沙大橋橋基沖刷深度的主要因素為下游潛堰功能是否完整良好，至於中沙大橋及潛堰間的中油管架橋雖會影響潛堰的穩定，並進而影響上游中沙大橋的沖刷深度，但畢竟還是透過潛堰來影響，爰此，本研究基於經費因素及中油管架橋相關結構斷面資料取得困難等因素，並未將管架橋納入，僅以中沙大橋及下游潛堰為研究對象，其水工模型試驗範圍涵蓋「國道 1 號中沙大橋」上下游共 2 公里範圍做為研究河段，其範圍如圖 7.1 所示。



圖7.1 濁水溪試驗河段範圍圖

7.2 模型比尺選定

在確定模型平面比例尺時，既要考慮試驗水深必須大於 1.5cm，且試驗粒徑須大於 0.1mm，免得因薄層流或砂質顆粒因縮尺而小至粘

粒，導致泥砂運動特性異於原型，必然影響模型試驗的準確度。因此，為較準確地研究河道底床泥砂沖淤變化，從而較真實地反映其沖刷深度，本模型與原體須滿足幾何相似及運動相似性外還必須滿足動力相似，由明渠水流現象，原體受慣性力及重力影響較其他因素(表面張力、黏滯力及彈性力)顯著，故動力相似率以福祿數定律為基準，研擬其相關參數尺度分述如下：

1. 水平及垂直比尺

一般明渠之水深方向遠小於河寬方向及水流方向，為使模型有足夠的水深方便量測，同時受限於其它限制無法等比放大模型時，將採用幾何不等比之模型設計。因中沙大橋全長 2,345 公尺，且河床質屬較細的砂，若以水平及垂直等比尺規劃，將無法獲得可用的試驗砂，爰此，本研究考量水平與垂直比尺以不等比尺考量。考量模型試驗場地大小，及試驗砂的尺寸因素後，水平比例尺(L_r)和垂直比例尺(H_r)分別如 7.1 及 7.2 式所示，其不等比率為 3.2，依經濟部水利署水利規劃試驗所民國 100 年出版之「水工模型試驗參考手冊」^[19]之研究，不等比率應小於 6，符合相關規定。

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{156} = 0.0064 \dots\dots\dots (7.1)$$

$$H_r = \frac{H_m}{H_p} = \frac{1}{49} = 0.0204 \dots\dots\dots (7.2)$$

式中， L_m 為模型平面尺度； L_p 為原型平面尺度； H_m 模型垂直尺度； H_p 原型垂直尺度。

2. 水流運動相似

按水流運動方程式和連續方程式，可得

(1)流速比尺(重力相似條件)

$$u_r = H_r^{1/2} = \frac{1}{7} = 0.1429 \dots\dots\dots (7.3)$$

(2)水流時間比尺

$$t_r = L_r / u_r = \frac{7}{156} = 0.0448 \dots\dots\dots (7.4)$$

由上式說明模型放水試驗 1 小時，約為現場原型 22 小時之延時，考量一般颱風洪尖峰流量不會超過 12 小時，後續試驗之放水以 0.5 小時來進行相關沖刷試驗。

(3)坡度比尺

$$S_r = H_r / L_r = 3.2 \dots\dots\dots (7.5)$$

(4)流量比尺

$$Q_r = L_r H_r^{3/2} = 1.866E^{-5} \dots\dots\dots (7.6)$$

以濁水溪流域河口段各重現期距洪峰流量資料，換算本次水工模型試驗流量，如下表 7-1 所示。然而表 7-1 之 200 年重現期距洪峰流量為 35,820cms，模型洪峰流量為 0.668cms，超出本所試驗室能供給的水量(約 0.48cms)，爰此，本研究後續平面試驗之最大重現期距僅能做到 50 年之洪峰流量。

表7-1 各重現期距水工模型試驗洪峰流量表

重現期距 (年)	1.1 年	2 年	5 年	10 年	20 年	50 年	100 年	200 年
現況洪峰 流量(cms)	2,181	6,290	11,337	15,224	19,361	25,354	30,354	35,820
模型洪峰 流量(cms)	0.041	0.117	0.211	0.284	0.361	0.473	0.566	0.668

資料來源：經濟部水利署「濁水溪流域整理治理規劃檢討」^[20]

3. 雷諾數比

$$Re_r = \frac{Re_m}{Re_p} = \frac{u_r D_r}{\nu_r} = H_r^{\frac{3}{2}} = 0.0029 \dots\dots\dots (7.7)$$

4. 河床質粒徑比尺

根據目前比較常用的 shields 臨界推移力公式，即

$$\frac{\tau_c}{\gamma_w(\gamma_s - 1)D} = f_1\left(\frac{u_* D}{\nu}\right) \dots\dots\dots (7.8)$$

式中， τ_c =臨界起動剪應力($=r_w h S$; r_w 為水單位重， h 為水位高， S 為坡度)； γ_s =泥砂比重。當 $R_{e*} = u_* D/\nu \geq 70$ 時， $f_1 \approx 0.05$ 。由於本試驗係在高速水流的狀況下進行，故顆粒剪力雷諾數 $R_{e*} \geq 70$ ，且因 $(\gamma_s)_r = (\gamma_s - \gamma_w)_r = 1$ ，故由上式可得推移質粒徑比尺為

$$D_r = H_r S_r = \frac{H_r^2}{L_r} = 0.065 \dots\dots\dots (7.9)$$

根據以上計算結果，其各項相關物理量比尺關係如表 7-2 所示。

表7-2 原體與模型間各物理量之比例關係

模 型 比 例	水 平	垂 直	流 速	時 間	流 量	雷諾數	河床質 粒徑
關係式	L_r	H_r	$H_r^{1/2}$	$L_r H_r^{-1/2}$	$L_r H_r^{3/2}$	$H_r^{3/2}$	$H_r^2 L_r^{-1}$
比 例	0.0064	0.0204	0.1429	0.0448	1.866E ⁻⁵	0.0029	0.065

7.3 模型用砂

依據「濁水溪流域(濁水溪本流、東埔蚋溪、清水溪及陳有蘭溪)監測工作計畫」^[17]測量報告書，濁水溪本流河床質分佈由上游往下游粒徑逐漸變小，上游雙龍橋至神龍橋平均粒徑(dm)介於 130~169 公厘間，中游神龍橋至彰雲大橋平均粒徑(dm)介於 61~154 公厘間，下游彰雲大橋至河口平均粒徑(dm)介於 4.1~99.7 公厘間。中沙大橋位於斷面 54.5，即位於彰雲大橋至河口段間，依據經濟部水利署水利規劃試驗所

「濁水溪治理規劃檢討(2007)」^[18]報告，濁水溪斷面 54 之代表粒徑如表 3-2 所示，其中 D50 為 3.91 公厘，河床質變化比較分析結果，詳第三章第 3.4 小節。其臨界推移力法所推算之模型砂粒徑詳如表 7-3 所示

表7-3 原體砂及模型砂粒徑比較表(單位：mm)

粒徑 砂樣	D ₁₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₀	D ₅₀	D ₆₅	D ₇₅	D ₉₀
原體砂	0.35	0.68	1.19	2.17	3.91	9.27	18.42	67.73
臨界推移力法	0.02	0.04	0.08	0.14	0.25	0.60	1.20	4.40
模型用砂	0.09	0.15	0.18	0.21	0.25	0.4	0.68	1.9

由於本計畫係研究底床泥砂沖刷為主的動床模型，最主要須滿足泥砂運動的相似性。底床砂顆粒被水流沖起後可以懸浮和推移形態運動，分別遵循其相應之運動規律，惟對於有河中砂洲產生之多砂河段，其河道變化大多與推移質運移有關，即推移質主導河床變形。故本模型主要考慮推移質的影響，其懸浮質則忽略不計。

根據上述臨界推移力法求得模型用砂之粒徑，因粒徑很小，本研究以台中港之細砂混合河砂，以做為試驗用河床質及加砂用，採用之模型用砂如表 7-3 及圖 7.2 所示。

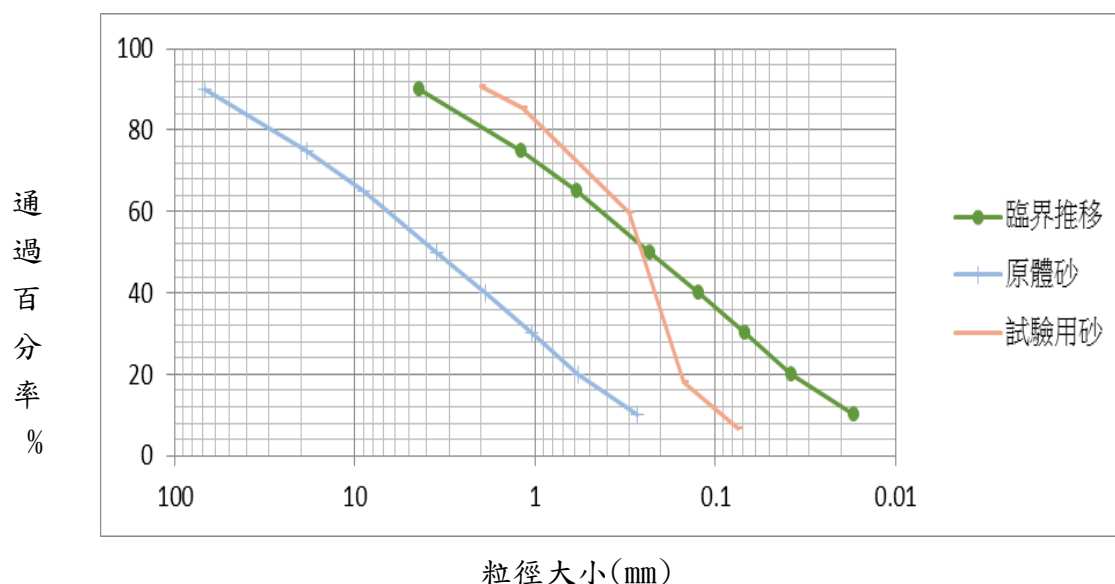


圖7.2 原體砂、臨界推移力法及模型用砂級配曲線圖

7.4 試驗規劃與建置

水工模型試驗主要在模擬濁水溪河段各重現期洪水量的中沙大橋橋基沖刷變化情形，並擬定橋基保護方案以進行沖刷試驗，探討保護方案對於橋基之沖刷改善情形。據此，本計畫按試驗場地、供水設備及使用材料等因素，規劃試驗配置並建置試驗模型。

7.4.1 試驗設備及模型規劃

本試驗設備系統包含抽水機及管路系統、1.2cms 定水頭箱、整流槽及供水、溢流、尾水、回水 14 吋管道溝系統及水工模型等 5 部分，其試驗場棚平面空間配置如圖 7.3 所示。其各試驗設備系統內容概述如下：

1. 抽水機及管路系統

抽水機為 2 組 $16\text{ m}^3/\text{min}$ (0.266cms) 低轉速(880rpm)低馬力低噪音抽水機(50HP×8P 三相 220V)，各抽水機各自獨立安裝自動灌水系統，並以 2 支 14 吋供水管路管接入水工模型定水頭箱。

2. 定水頭箱

水工模型定水頭為不鏽鋼溢流堰消能靜水能力達 1.2cms，溢流水全部流入原有回水池，供水量由人機介面操控不鏽鋼閘閥，經不鏽鋼矩形導水箱流落。

3. 整流槽

整流槽四面建置 1.2m 高磚牆，其內設置人機介面操控閘閥落水不鏽鋼消能靜水蓋箱，並於整流槽內設置流量率定閘閥。

4. 供水、溢流、尾水回水管溝系統

場棚南北兩側有供水道、溢流回水路及尾水回水路。

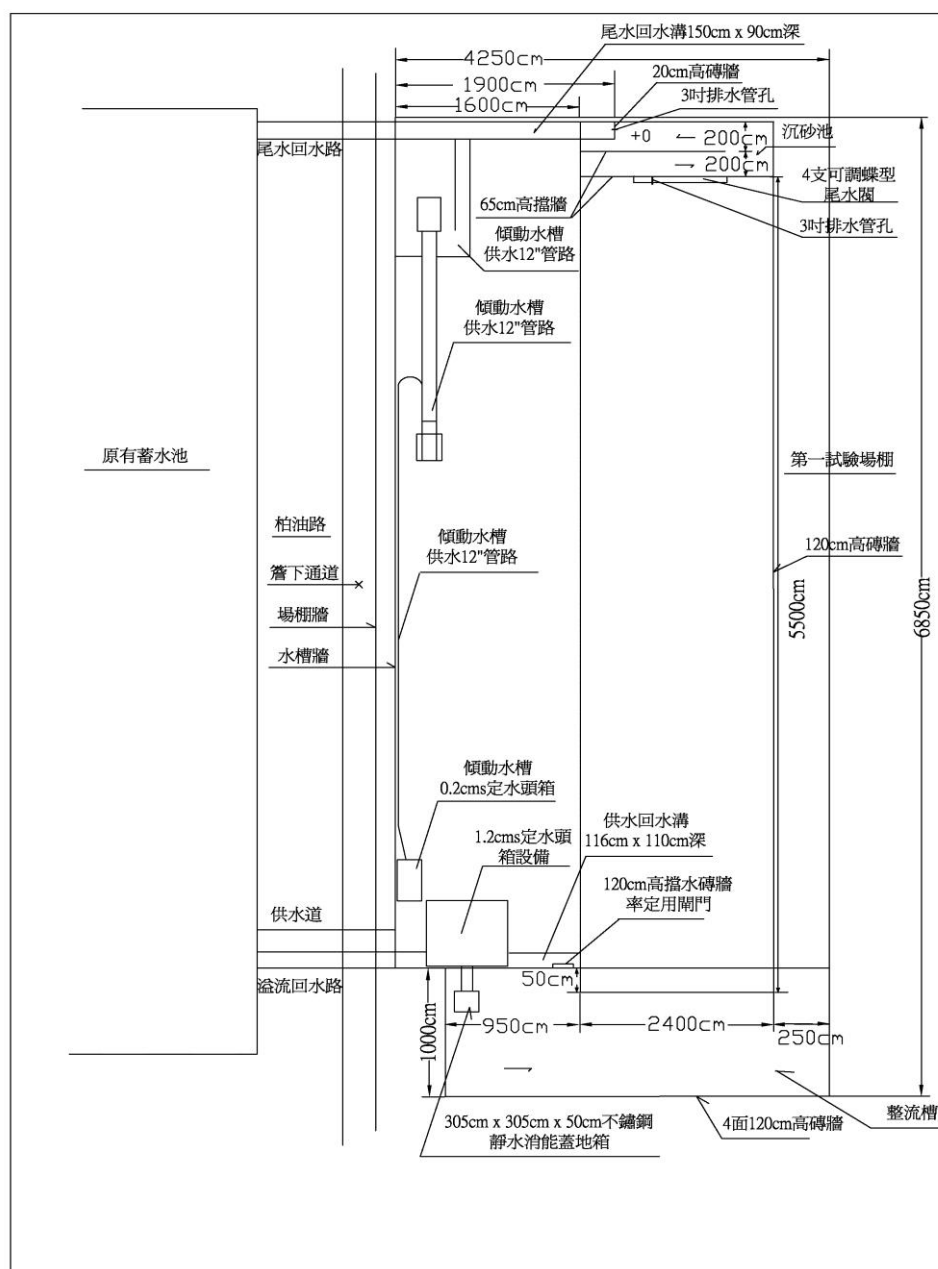


圖7.3 場棚試驗平面空間配置圖

5. 水工模型規劃

(1)水工模型四周磚牆(含整流槽)及平面放樣

本試驗範圍，橋長 2,345 公尺，河段長度為上下游約 2,000 公尺，依本研究水平比尺計算，模型左右兩側最大距離約 15 公尺，試驗區長度約為 13 公尺，考量試驗相關餘裕，故選定本次水工模

型製作場地以長 15 公尺、寬 16 公尺為界，並於預定試驗場地兩側及整流槽四周建置磚牆(0.5B 磚牆)，磚牆以水泥砂漿粉刷。隨後依據模型水平比例尺 1/156 及垂直比尺 1/49，按地形圖各等高線，於地面相關位置上進行放樣，並依試驗需求區分為漸變段、試驗段及尾水段。

(2) 水工模型漸變段

水工模型漸變段部分則設置溢流堰，其堰長度約 2,400cm、寬度為 50cm、溢流堰高度及形狀依實測地形測量資料按模型縮尺製作，係為定床。溢流口處亦增設整流設施(蛇籠)，以穩定水流。其蛇籠係以 ST 鐵網(#2cm)包覆 8 分卵石，兩側以角鋼固定，長度與溢流堰同長、厚度為 4cm，高度 120cm。蛇籠示意圖如圖 7.4 所示。

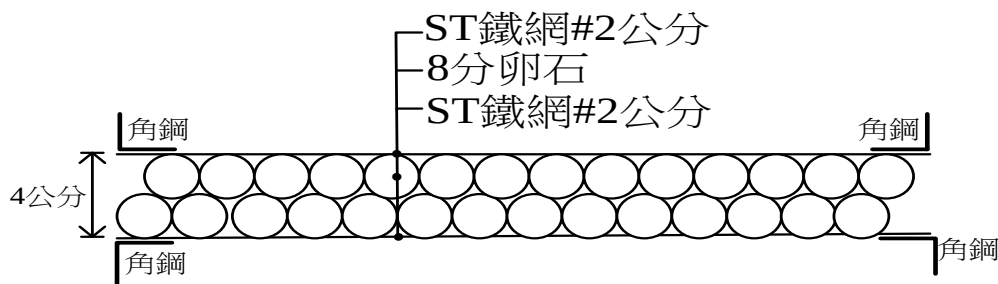


圖7.4 蛇籠示意圖

(3) 水工模型試驗段

水工模型試驗段部分，則根據國道高速公路局中區工程處提供的 105 年 5 月完成的中沙大橋上下游的斷面測量資料，作為地形鋪設的依據。另為防止模型試驗區尾端地形遭受水流入滲而坍塌，故於模型尾端之地形採用定床製作，其定床範圍長度為 0.5B 磚牆厚。

(4) 水工模型尾水段

水工模型尾水段部分則設置沉砂池，其長 20 公尺、寬 4 公尺，並於沉砂池尾端設置 30cm 高磚牆與尾水回水溝。

7.4.2 試驗模型建置

試驗模型建置項目包含橋梁模型製作、試驗砂拌合、模型漸變段製作、模型試驗段鋪設、模型尾水斷製作等，相關過程照片詳如照片 7.1～照片 7.8 所示。



照片 7.1 橋墩模型



照片 7.2 試驗砂拌合



照片 7.3 模型漸變斷製作



照片 7.4 橋墩佈置



照片7.5 模型試驗斷鋪設



照片7.6 模型試驗斷鋪設



照片7.7 尾水段製作



照片7.8 沉砂池製作

第八章 水工模型預備與檢定試驗

依據前章水工模型試驗規劃與建置之基礎布置下，本章進行水工模型預備與檢定試驗，試驗順序流程分別為試驗流量率定、變量流清水試驗(104 年 0808 蘇迪勒颱風流量)及變量流加砂試驗(104 年 0808 蘇迪勒颱風流量)，以下分述各項試驗目的、條件、過程及結果：

8.1 試驗流量率定

本試驗之流量係由定水頭箱上之閘閥所控制，水流從定水頭箱經由矩形管路送到整流槽中，利用整流槽水位上升高度計算水體體積，並除以所需時間推算流量。本試驗流量率定公式及流量率定曲線如下：

$$y = 0.0024x - 0.0063 \dots\dots\dots(8.1)$$

式中， y = 流量(cms)、 x = 矩型堰開口高度(mm)

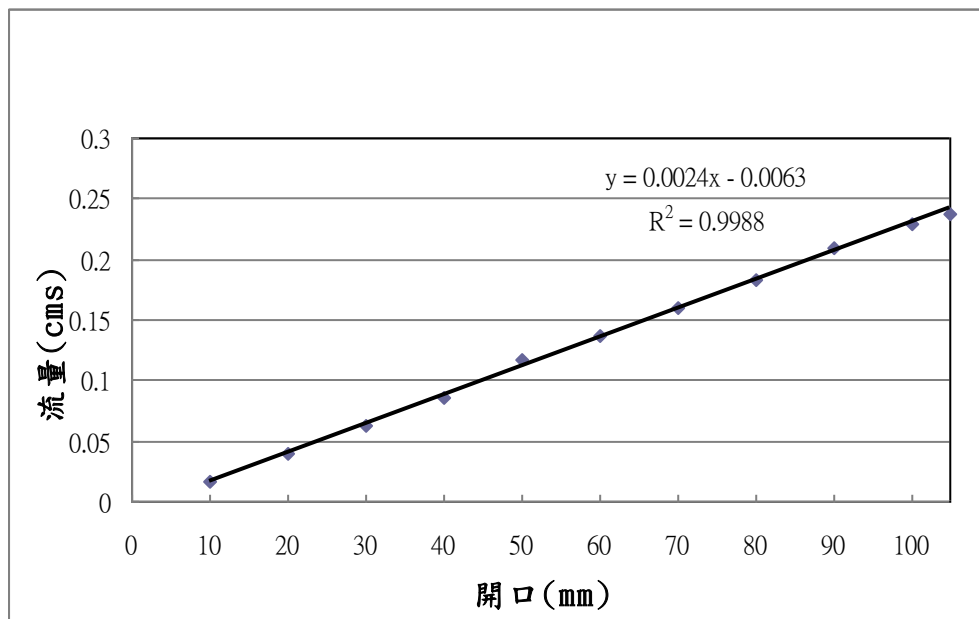


圖8.1 流量率定曲線圖

8.2 變量流清水試驗 104 年 0808 蘇迪勒颱風流量

1. 模型試驗目的

由於橋梁上下游的地形測量完整資料並非每年都有，國道高速公路局中工處於 104 年 10 月完成中沙大橋上下游 500 公尺的斷面測量，經濟部水利署第 4 河川局也於 104 年底完成濁水溪大斷面測量(前 1 期為民國 100 年)，因近幾年濁水溪並無特別大的颱洪事件發生，在此情境下，假設近幾年中沙大橋上下游地形無顯著變化之情境下，本研究以民國 104 年 10 月之中沙大橋上下游 500 公尺地形，配合水利署 4 河局之 104 年濁水溪大斷面測量資料，鋪設試驗範圍內之地形後，以 104 年 0808 蘇迪勒颱風流量下，通過各斷面及橋梁時在模型所呈現之水位是否會有漫淹至高灘地情況及了解清水流況下泥砂被沖走量體，作為估算加砂試驗之加砂量體，爰此，先進行 104 年 0808 蘇迪勒颱風清水流量模擬。

2. 模型試驗條件

(1)試驗前鋪設 104 年 10 月地形，如圖 8.2 所示。



圖8.2 試驗地形鋪設

(2)上游不加砂之變量流清水試驗，歷線與時間如圖 8.3 所示(現場時間約 21 小時、模型時間約 1 小時)。

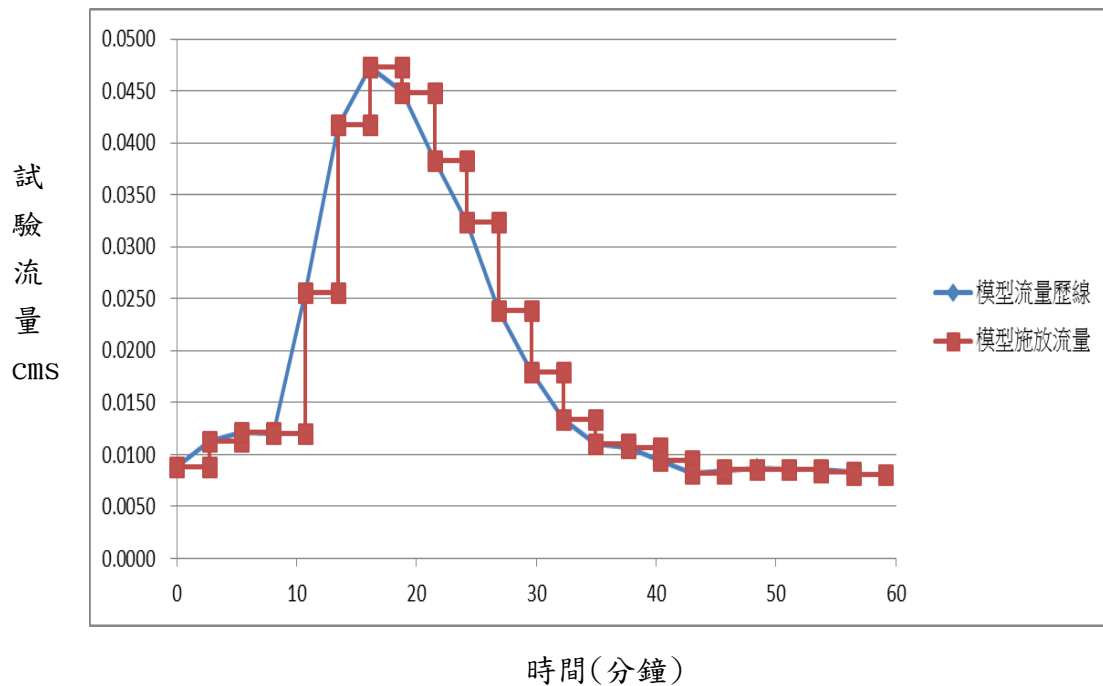


圖8.3 模型施放流量歷線圖

3.模型試驗過程

模型試驗前先施放小流量濕潤河床，隨即上游施放相當於現場 104 年 0808 蘇迪勒颱風之清水流量，試驗結束時關閉上游流量。

4.模型試驗結果

105 年 5 月中沙大橋上、下游 500 公尺範圍之正射影像圖如圖 8.4 所示，圖中顯示，中沙大橋上游因河中沙洲影響，流路分兩股流路，分別為 P22~P27 與 P32~P34 間，模型地型試驗結果，如圖 8.5 所示，流路與上游沙洲位置與現況地形相近。沖刷後流入層砂池的砂量經計算，清水試驗收砂量約 80 公斤。

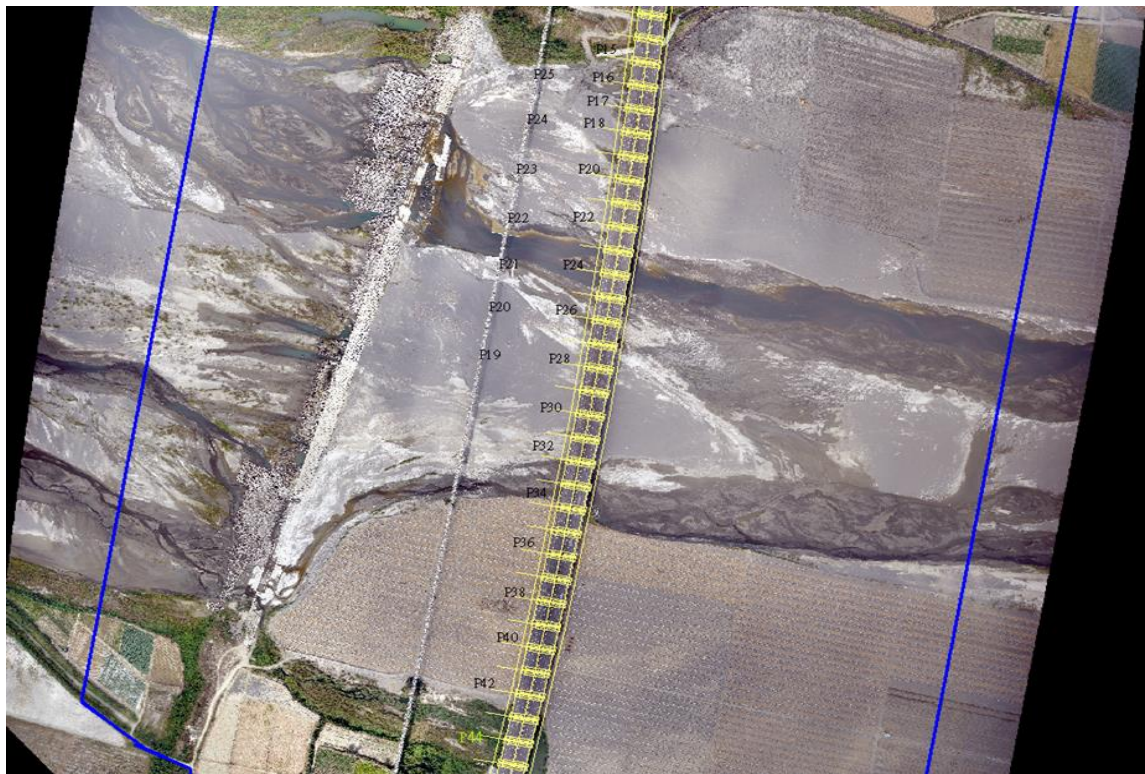


圖8.4 中沙大橋上、下游500公尺範圍之正射影像圖

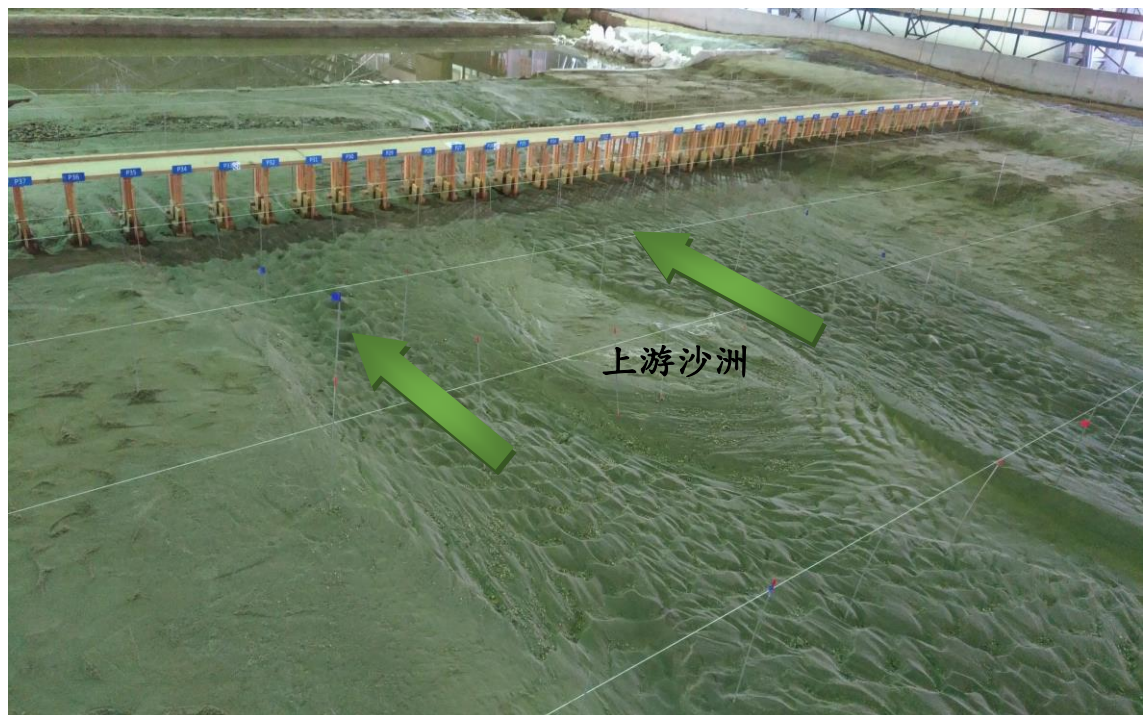


圖8.5 模型地型試驗結果

8.3 變量流加砂試驗 104 年 0808 蘇迪勒颱風下流量

1. 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為了解以民國 104 年 10 月地形鋪設後，若發生 104 年蘇迪勒颱風流量下，檢驗通過中沙大橋時所呈現水位是否會與歷史紀錄相吻合，且同時了解歷年沖刷較嚴重區段是否能由模型反應。然而本次試驗主要採取水位作為檢定項目，係因水位變化係由流體力及摩擦阻力等綜合作用下轉化而成，且又有實測資料可供比對，故進行 104 年蘇迪勒颱風加砂流量模擬，並量測水位資料。

2. 模型試驗條件

- (1)試驗前鋪設 104 年 10 月地形。
- (2)上游加砂之變量流試驗，其流量歷線與前項清水試驗相同。
- (3)模型上游 1 小時加砂量約 80 公斤(參考前次清水試驗收砂量約 80 公斤)。

3. 模型試驗過程

模型試驗前先施放小流量濕潤河床，隨即上游施放相當於現場 104 年蘇迪勒颱風下之流量，全程加砂約 80 公斤，並進而量測中沙大橋深槽水位高程，待試驗結束時關閉上游流量。本研究水位量測以標尺黏貼於深槽流路之橋墩(P34)，以單眼照相機紀錄不同時間的水位。

4. 模型試驗結果

經多次的重複試驗與上下游地形檢測與調整後，最終水位檢定結果與現地實測水位比較，詳如圖 8.6 所示，由圖可以看出試驗水位高於實測水位，最高水位誤差約為 30 公分左右(換算為現地尺度後)，此誤差經現場瞭解水位量測方式，目前中沙大橋之水位量測以量測橋墩下游之水位，而本研究之水位量測是量測橋墩上游側之水

位，故會產生此誤差，若扣除上游之湧水現象，則水位應該很接近，比對水位上升與下降趨勢也非常相似。最大沖刷橋墩範圍為 P25~P26(圖 8.7)及 P33~P35(圖 8.8)與現況流路經過之橋墩範圍相似。爰此，本研究完成試驗模型之檢定試驗。

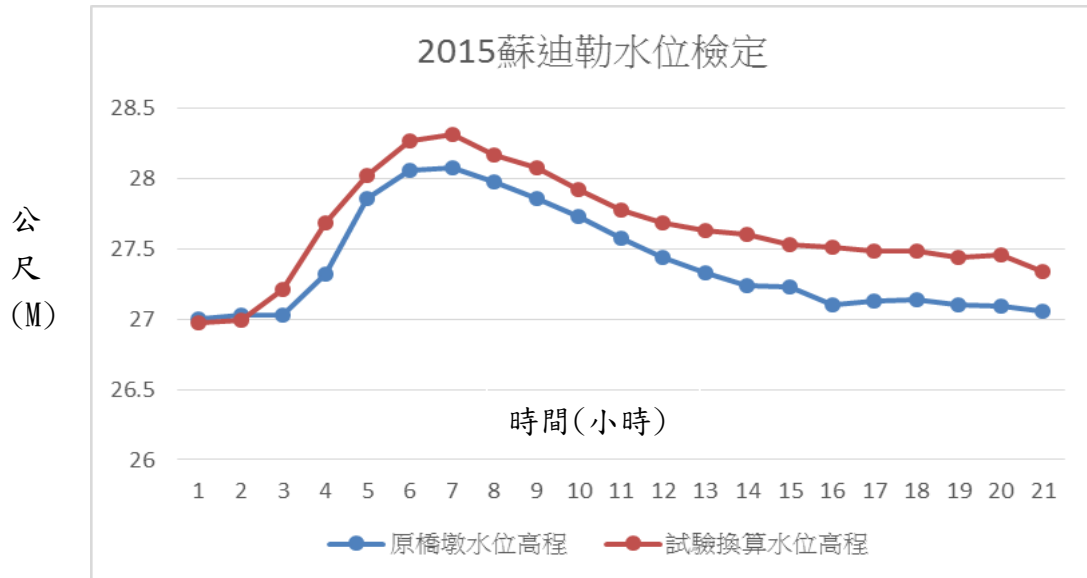


圖8.6 現地實測水位與模型試驗水位比較圖

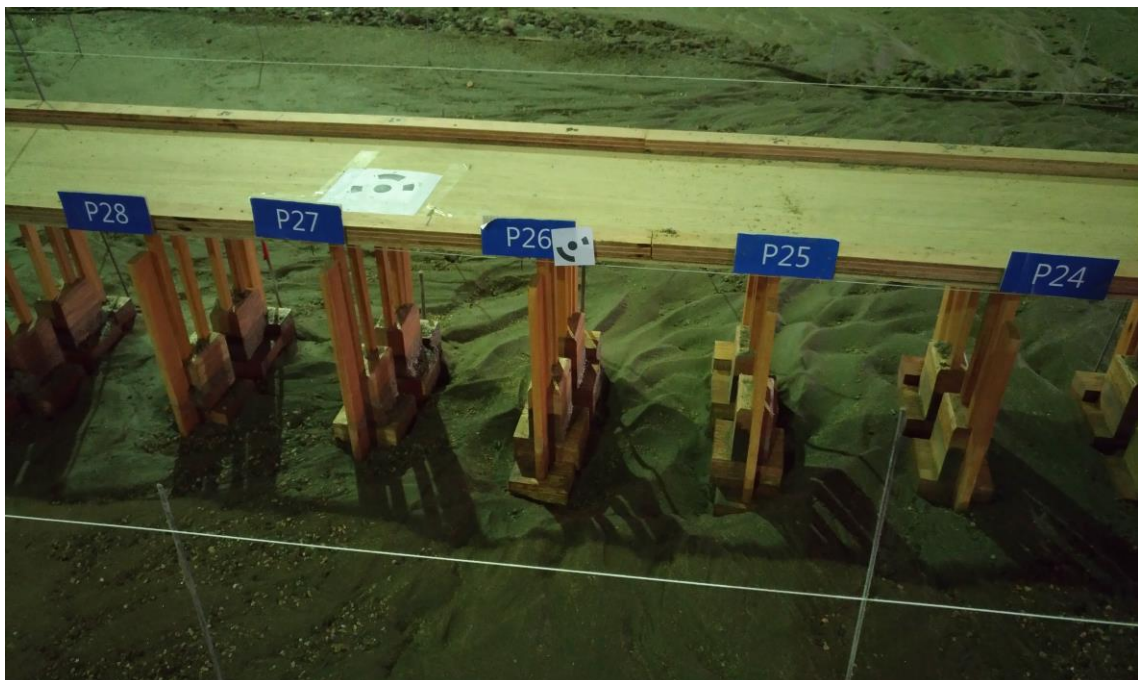


圖8.7 最大沖刷橋墩P25~P26

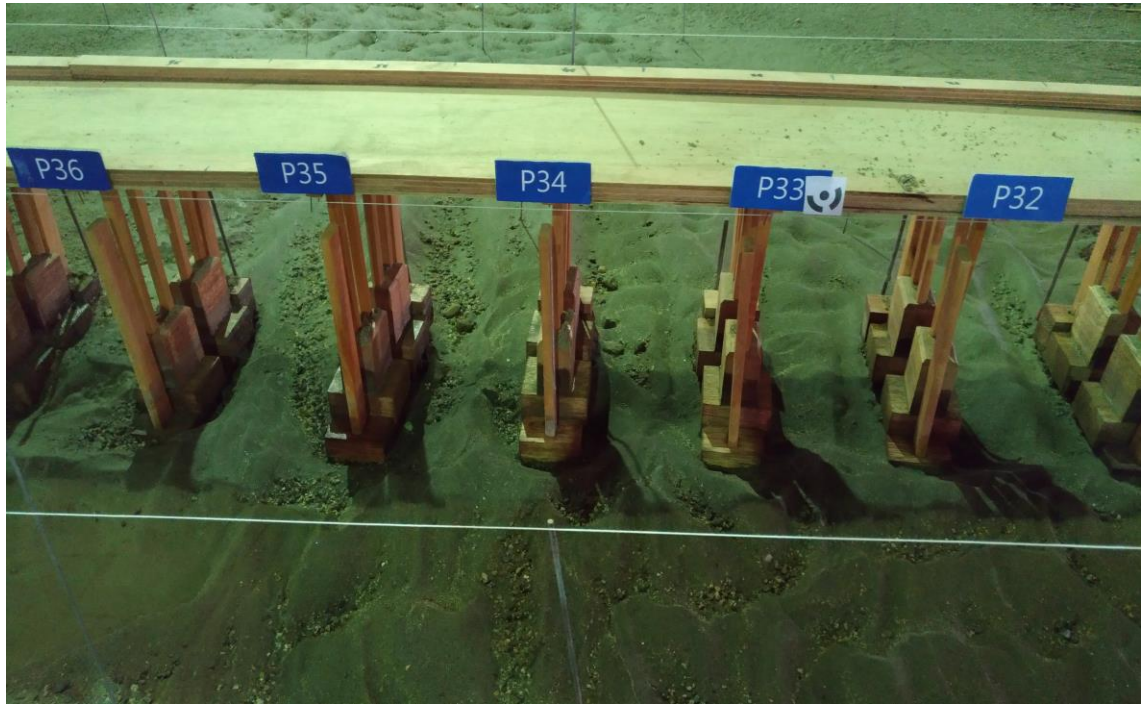


圖8.8 最大沖刷橋墩P33~P35

第九章 橋墩保護工法試驗

本項試驗主要目的是為了解以民國 104 年 10 月實測地形鋪設後，以不同重現期距(因試驗設備供水系統能量因素，僅以 1.1 年、2 年、5 年、10 年、20 年與 50 年洪水頻率之模型縮尺流量進行試驗)檢驗通過中沙大橋沖刷深度與流路變化，研判可能沖刷較嚴重區段及位置後，鋪設保護工法比較其工法效益。

9.1 情境 1:下游潛堰無損定量流試驗

1. 模型試驗條件

- (1)試驗前鋪設 104 年 10 月地形。
- (2)上游施放相當於現場 1.1 年、2 年、5 年、10 年、20 年與 50 年之重現期距流量，為得到可能最大沖刷深度，本試驗上游採不加砂試驗，共進行 6 組試驗。
- (3)模型試驗時間為 0.5 小時，模擬現地洪峰時間約 10.5 小時。

2. 模型試驗過程

模型試驗前先施放小流量濕潤河床，隨即於上游施放相當於現場 1.1 年、2 年、5 年、10 年、20 年與 50 年之重現期距流量，待試驗結束關閉上游流量後，量測各橋橋墩沖刷深度以及模型斷面地形，了解各橋墩沖刷深度與流路變化趨勢。

3. 模型試驗結果

(1)沖刷深度分析

在下游潛堰保持現況功能之情境下，中沙大橋各重現期橋墩沖刷試驗之最大沖刷深度(量測方式如圖 9.1 所示)與換算現地之沖刷深度(以橋墩補強基礎底部高程約 26.25 公尺為基準零點，往下沖刷為正值表示)如表 9-1 所示，由表中資料顯示，重現期距 1.1 年、2 年、5 年、10 年、20 年與 50 年時，中沙大橋發生最大沖刷

深度橋墩分別為 P27、P26、P26、P26、P26、P26，換算現地最大可能沖刷深度分別為 0.45m、2.10m、2.30m、2.95m、2.90m、3.00m。由試驗結果，最大沖刷深度發生於重現期 50 年之情境，橋墩補強基礎底部之基樁可能裸露 3 公尺，依基樁設計資料得知，補強基礎之基樁長度為 20 公尺，依「國 1 中沙大橋、烏溪橋及國 3 濁水溪橋墩基保護方案暨精進沖刷巡檢機制專業技術服務工作」^[13]之橋基耐洪安全評估結果，補強基礎之基樁容許沖刷深度為 10 公尺，約為基樁長度之 0.5 倍，爰此，在下游潛堰維持現況下，中沙大橋在遭遇重現期 50 年之洪水沖刷下，橋墩基礎並無安全疑慮。



圖 9.1 橋基沖刷深度量測示意圖

表9-1 各重現期距最大沖刷深度

重現期	橋墩編號	水工試驗沖刷深度 (公分)	現地沖刷深度 (公尺)
1.1	P27	0.9	0.45
2	P26	4.2	2.10
5	P26	4.6	2.30
10	P26	5.9	2.95
20	P26	5.8	2.90
50	P26	6.0	3.00

(2)流路分析

各重現期距流路變動不大，主要分成兩主深槽，如圖 9.2 所示，分別位於 P26~P27 間與 P34~P35 間，與現況之流路相近，惟河中沙洲因洪水沖刷已消失，探討流路分成兩主深槽之因素，應該與下游潛堰之兩處缺口位置有關，導致上游形成兩深槽流路。

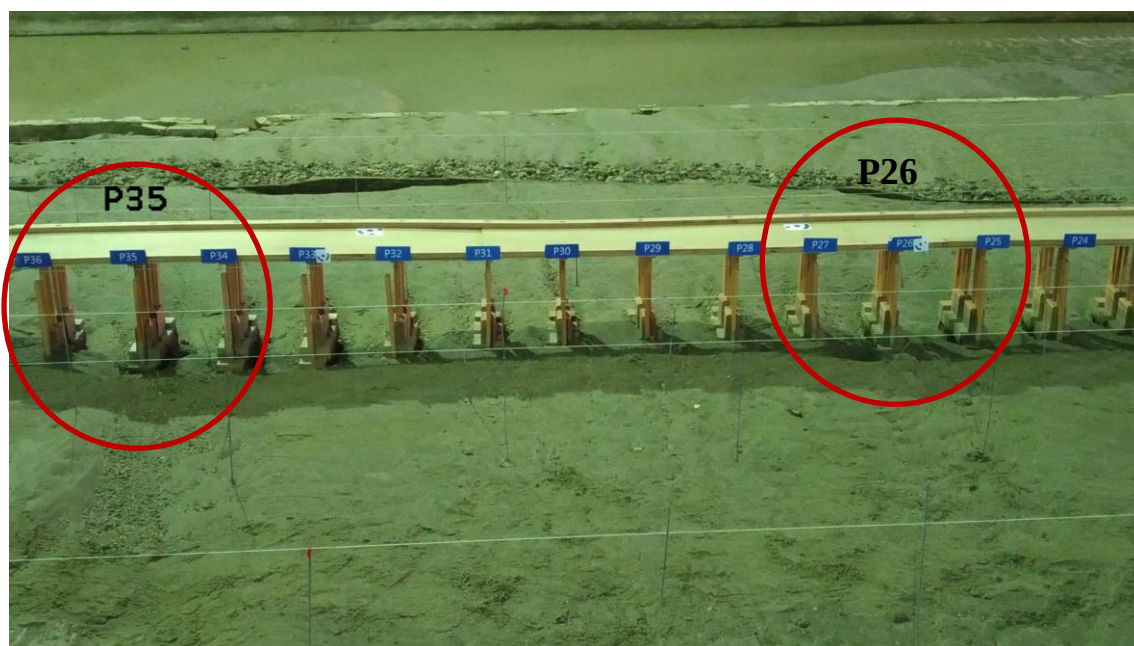


圖9.2 50年重現期退水後呈現之兩深槽流路

9.2 情境 2:無下游潛堰保護之定量流試驗

由前面小節之試驗結果顯示，在下游潛堰固床工保護下，上游之中沙大橋橋墩基礎原則上在重現期 50 年之洪峰流量沖刷下會產生最大沖刷深度，但並無安全疑慮，爰此，本節將探討在無下游潛堰固床工保護之情境下，且下游河床高程下降 3 公尺的情境下，上游中沙大橋遭遇 50 年之洪峰流量沖刷下橋墩基礎之沖刷情況。

1. 模型試驗條件

- (1)試驗前鋪設 104 年 10 月地形，下游水利署第 4 河川局編號第 55 河床斷面(距中沙大橋約 500 公尺)高程下降 3 公尺。
- (2)上游施放相當於現場 50 年之重現期距流量，為考慮可能最大沖刷量，本試驗上游採不加砂試驗。
- (3)模型試驗時間為 0.5 小時，模擬現地洪峰時間約 10.5 小時。

2. 模型試驗過程

模型試驗前先施放小流量濕潤河床，隨即上游施放相當於現場 50 年之重現期距流量，待試驗結束時關閉上游流量後，量測各橋橋墩沖刷深度以及模型斷面地形，了解各橋墩沖刷深度與流路變化趨勢。

3. 模型試驗結果

由退水後之照片顯示(如圖 9.3 所示)，中沙大橋上游之 2 深槽流路因中間沙洲沖刷消失後，2 流路匯集成 1 深槽流路，範圍介於 P26~P31 間，如圖 9.4 所示，最大沖刷橋墩發生於 P28 墩，沖刷深度約 15 公分，如圖 9.5 所示，換算現地沖刷深度約 7.5 公尺，接近臨界安全沖刷深度 10 公尺。

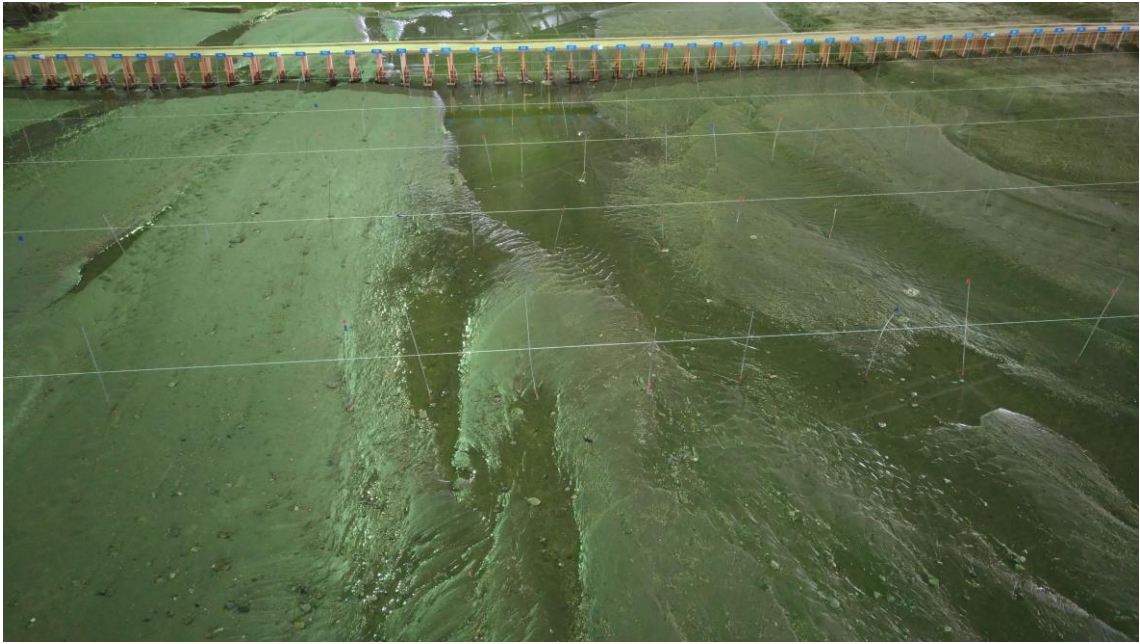


圖 9.3 50 年重現期退水後呈現之流路與深槽區

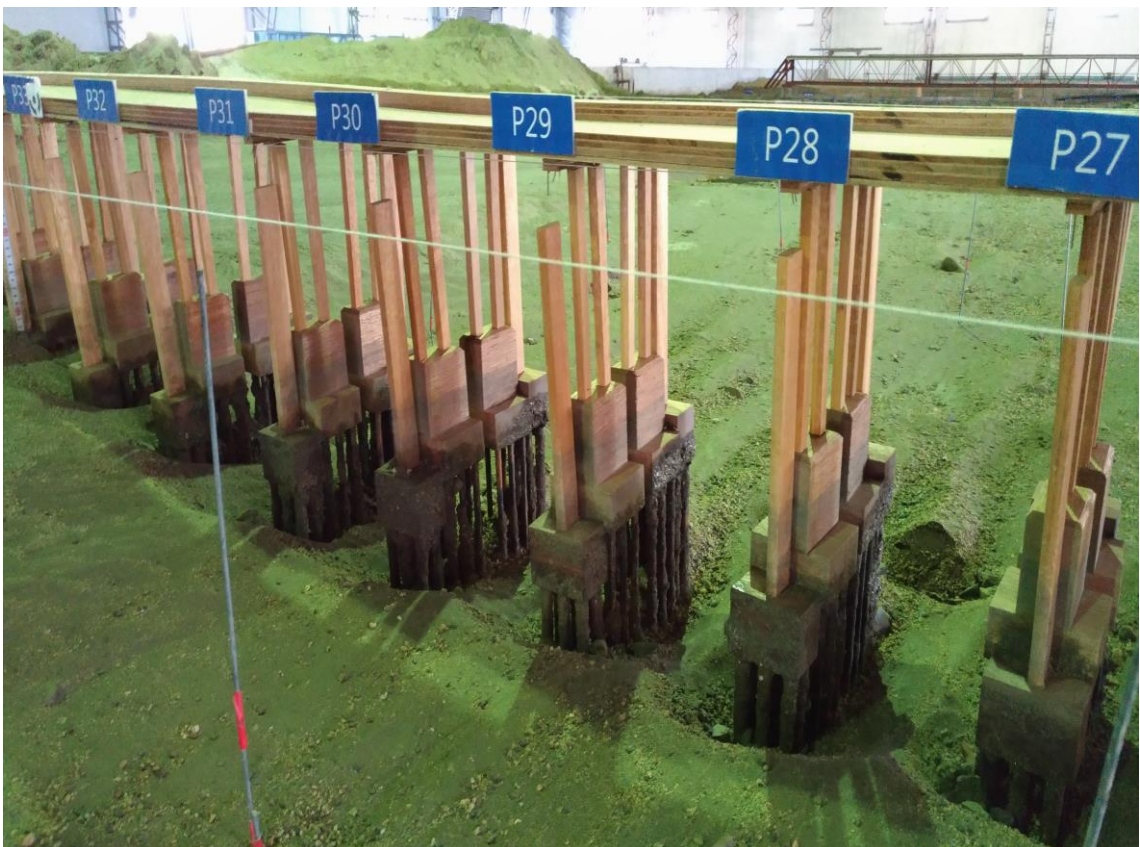


圖 9.4 50 年重現期退水後呈現之橋墩沖刷情形



圖 9.5 50 年重現期最大沖刷橋墩沖刷深度

9.3 情境 3:無下游潛堰保護之橋基保護方案 1

由前面小節之試驗結果顯示，在無下游潛堰固床工保護下，且下游河床高程下降 3 公尺的情境下，上游中沙大橋遭遇 50 年之洪峰流量沖刷下橋墩基礎發生最大沖刷 7.5 公尺之情況，接近橋基安全的臨界沖刷深度，已有安全疑慮，有必要考慮施加必要之保護工法。爰此，本節將依據斷面試驗所得到之最適保護方案(砂腸袋+織物模板)進行橋墩基礎之保護。

1. 模型試驗條件

- (1)試驗前鋪設 104 年 10 月地形，下游編號第 55 河床斷面(距中沙大橋約 500 公尺)高程下降 3 公尺。
- (2)上游施放相當於現場 50 年之重現期距流量，為考慮可能最大沖刷量，本試驗上游採不加砂試驗。
- (3)模型試驗時間為 0.5 小時，模擬現地洪峰時間約 10.5 小時。

(4)在 P26~P31 之橋基處(如圖 9.6 所示)，於橋墩補強基礎底部往下 8 公分處鋪設不織布(模擬織物模板)以防下層砂被沖刷，上層靠近橋基處以砂腸袋圍繞橋基，其作用為防止不織布被向下射流掀開造成破壞(如圖 9.7 所示)。



圖 9.6 方案 1 橋基保護範圍



圖 9.7 方案 1 保護工佈設深度

2. 模型試驗過程

模型試驗前先施放小流量濕潤河床，隨即上游施放相當於現場 50 年之重現期距流量，待試驗結束關閉上游流量後，量測各橋橋墩沖刷深度以及模型斷面地形，了解各橋墩沖刷深度與流路變化趨勢。

3. 模型試驗結果

由退水後之流路顯示，中沙大橋上游之 2 深槽流路因上游沙洲沖刷消失後，2 流路匯集成 1 深槽流路，沖刷範圍因上游地形每次鋪設會略為不同影響，此次試驗沖刷範圍擴大至 P26~P35，如圖 9.8 所示，由圖中顯示，因 P32~P35 橋基無設置保護工，導致產生很大的沖刷深度，最大沖刷深度發生於 P32，經量測最大沖刷深度為 20 公分，如圖 9.9 所示，現地可能產生 10 公尺之沖刷深度，已達容許臨界沖刷深度。

整體試驗結果顯示，橋基有保護與無保護的沖刷深度有明顯之差異，由此可證明保護工有其成效。因原保護範圍(P26~P31)不足，導致無保護之 P32~P35 橋基產生嚴重的沖刷，且部分橋基不織布已外露，於現地可能已產生破壞，爰此，判定此保護方案不適宜。

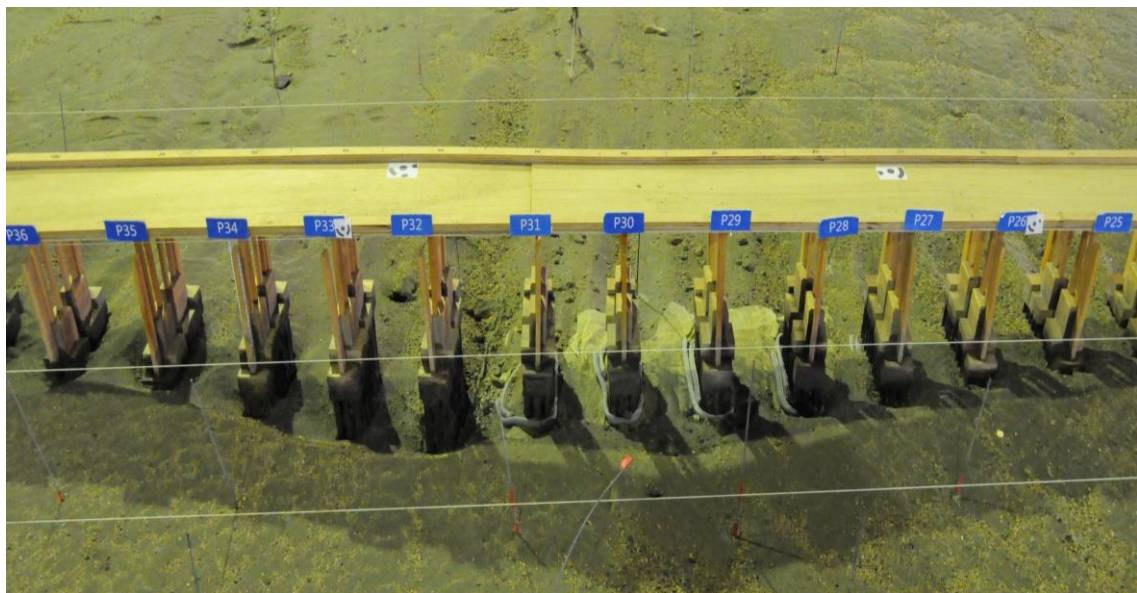


圖9.8 方案1(50年重現期距)主要沖刷範圍

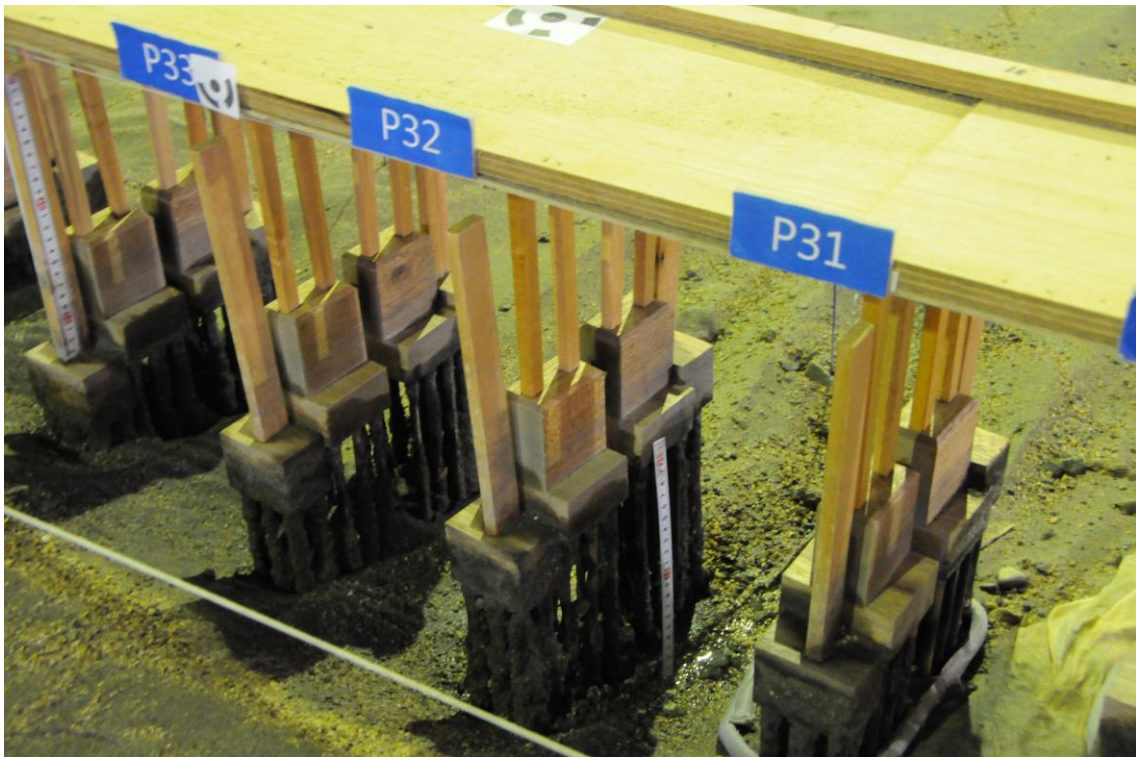


圖9.9 方案1(50年重現期距)無保護工最大沖刷深度

9.4 情境 4:無下游潛堰保護之橋基保護方案 2

由前面小節之試驗結果顯示，在無下游潛堰固床工保護下，且下游河床高程下降 3 公尺的情境下，在 P26~P31 之橋墩補強基礎底部往下 8 公分處鋪設不織布及砂腸袋(保護方案 1)，其保護範圍不足，且不織布及砂腸袋之埋設深度也不足。爰此，本節將依據方案 1 之試驗結果，擴大保護範圍及加深保護工之鋪設深度，進行 50 年重現期距流量之沖刷試驗，瞭解保護成效。

1. 模型試驗條件

- (1)試驗前鋪設 104 年 10 月地形，下游編號第 55 河床斷面(距中沙大橋約 500 公尺)高程下降 3 公尺。
- (2)上游施放相當於現場 50 年之重現期距流量，為考慮可能最大沖刷量，本試驗上游採不加砂試驗。

(3)模型試驗時間為 0.5 小時，模擬現地洪峰時間約 10.5 小時。

(4)在 P25~P35 之橋基處(如圖 9.10 所示)，於橋墩補強基礎底部往下 13 公分處鋪設不織布(模擬織物模板)以防下層砂被沖刷，上層靠近橋基處以砂腸袋圍繞橋基，其作用為防止不織布被向下射流掀開造成破壞(如圖 9.11 所示)。



圖 9.10 方案 2 橋基保護範圍



圖 9.11 方案 2 保護工佈設深度

2. 模型試驗過程

模型試驗前先施放小流量濕潤河床，隨即上游施放相當於現場 50 年之重現期距流量，待試驗結束關閉上游流量後，量測各橋橋墩沖刷深度以及模型斷面地形，了解各橋墩沖刷深度與流路變化趨勢。

3. 模型試驗結果

由退水後之流路顯示，中沙大橋上游之 2 深槽流路因上游沙洲沖刷消失後，2 流路匯集成 1 深槽流路，沖刷範圍因上游地形每次鋪設會略為不同影響，此次試驗沖刷範圍為 P26~P32，如圖 9.12 所示，最大沖刷深度橋墩發生於 P28，最大沖刷深度為 13 公分，如圖 9.13 所示，剛好是不織布及砂腸袋鋪設之位置，換算現地可能產生 6.5 公尺之沖刷深度。以近景攝影測量展繪之沖刷深度及範圍 3D 圖如圖 9.14 所示，沖刷坑等高線示意圖如圖 9.15 所示，基礎沖刷縱斷面示意圖如圖 9.16 所示。

整體試驗結果顯示，大部分保護工均未露出，最大沖刷橋墩處僅露出一小部分之砂腸袋及不織布，如圖 9.17 所示，顯示在 50 年之重現期距流量下，方案 2 之保護工法應屬可行。



圖 9.12 方案 2(50 年重現期距)主要沖刷範圍



圖 9.13 方案 2(50 年重現期距)最大沖刷深度

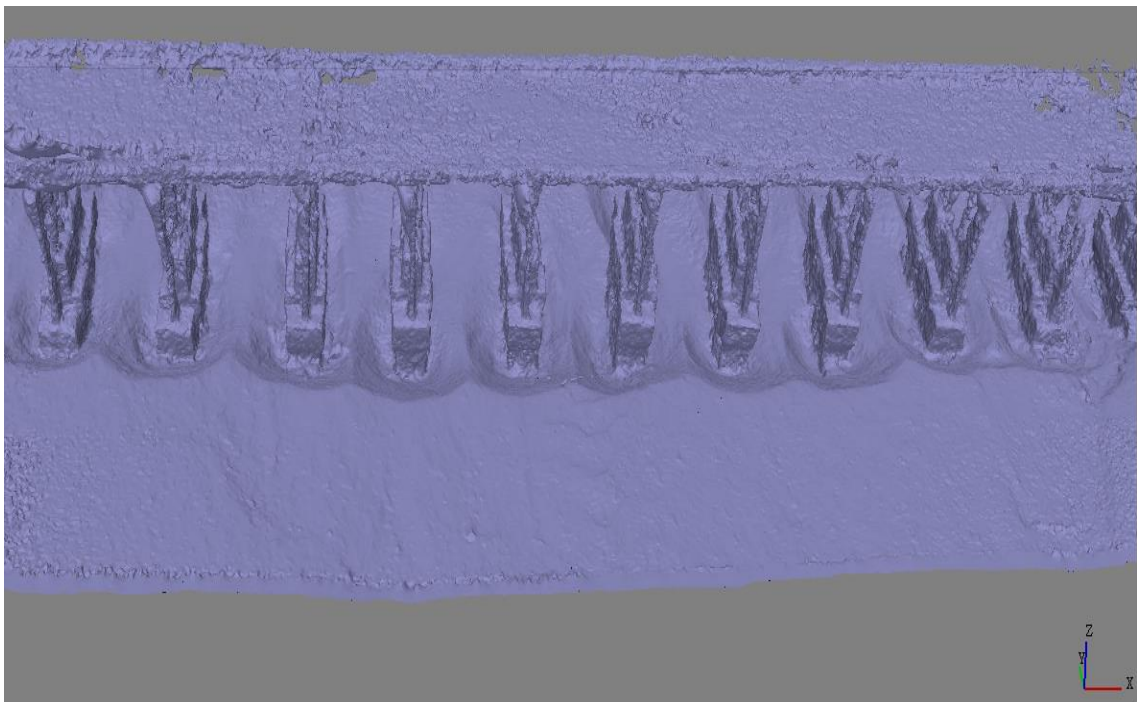


圖 9.14 方案 2(50 年重現期距)沖刷深度與範圍 3D 圖

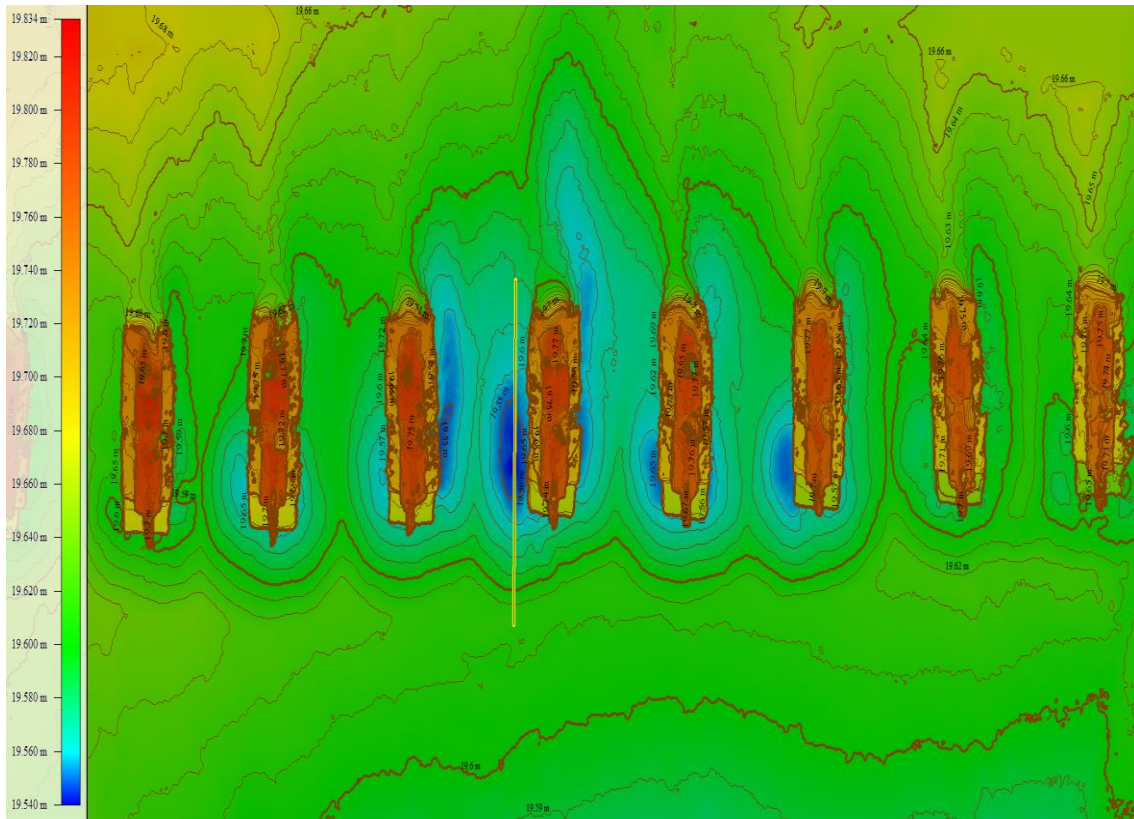


圖 9.15 方案 2(50 年重現期距)沖刷坑等高線示意圖

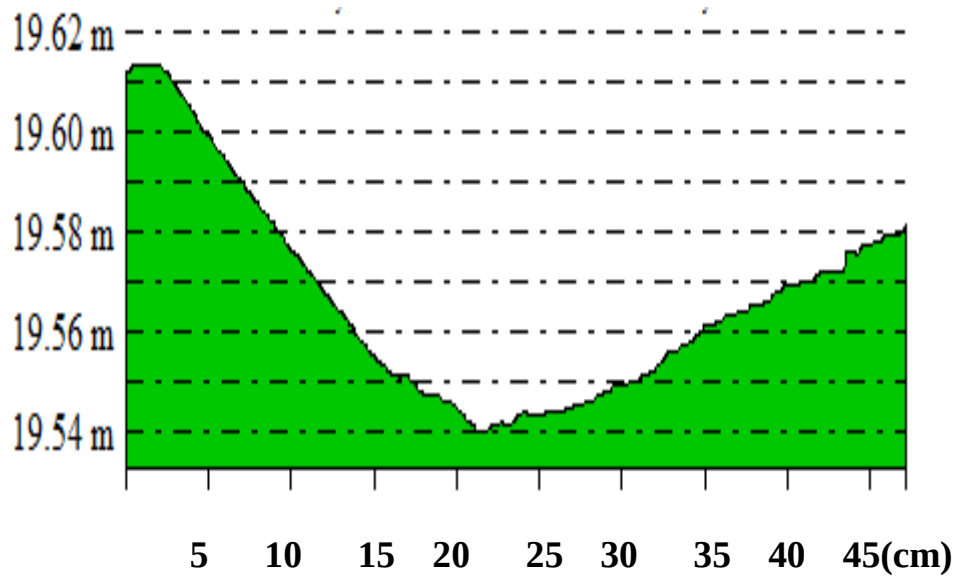


圖 9.16 方案 2(50 年重現期距)基礎沖刷縱斷面示意圖



圖 9.17 方案 2(50 年重現期距)保護工露出狀況

9.5 小節

本節平面水工模型試驗，共測試 4 種情境，以瞭解不同情境下之橋墩基礎沖刷情形，依試驗結果綜整如下：

- (1)在下游潛堰維持現況，中沙大橋在遭遇重現期距 1.1 年、2 年、5 年、10 年、20 年與 50 年之流量沖刷下，換算現地最大可能沖刷深度分別為 0.45 公尺、2.10 公尺、2.30 公尺、2.95 公尺、2.90 公尺、3.00 公尺，均遠小於橋墩基礎之最大容許沖刷深度 10 公尺。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，橋墩基礎並無安全疑慮。
- (2)在無下游潛堰固床工保護，且下游河床高程下降 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。

- (3)經由方案 1(保護工鋪設於橋墩補強基礎底部往下 8 公分)及方案 2(保護工鋪設於橋墩補強基礎底部往下 13 公分)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。

第十章 結論與建議

國道 1 號中沙大橋近年潛堰固床工受颱風沖刷及中油管架橋保護工影響，河床流路往南北兩端沖刷，將潛堰固床工沖毀，造成橋基裸露及潛堰固床工之下游消能鼎塊下沉或流失。

為避免河床流路變化沖刷兩岸高灘地及河床下降導致橋基大幅裸露，進而影響中沙大橋行車安全，高速公路局中工處於橋墩上下游高灘地施做砂腸袋與織物模板保護工來保護高灘地，也依據臺灣大學研究團隊之建議，加長潛堰固床工之消能工。由中工處近幾年對中沙大橋橋基抗沖刷的措施與成效顯示，確實已達到預期的成果，未來針對高灘地沖刷與下游固床工之破壞問題，應可依據往例予以保護解決。所以未來可能發生的橋基沖刷問題，應著重在橋基局部沖刷造成橋基裸露的問題，爰此，本研究以渠槽斷面試驗及平面水工模型試驗，針對中沙大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法供中工處未來施政的參據。

10.1 結論

1. 渠槽斷面試驗

本研究以砂腸袋及織物模板埋入橋梁基礎底床下之保護方式，進行不同鋪設方案的試驗，相關成果如下：

- (1) 保護工埋設於試驗底床下 1.5 公分較設置於底床下 0.5 公分為宜，換句話說，保護工埋設的深度原則上要有一定的深度，保護工才不易受到沖刷破壞。
- (2) 保護工之鋪設方式斜坡式較直立式之保護效果佳。
- (3) 直立式鋪設方案，3 層不如 2 層的保護效果，2 層不如 1 層的保護效果，顯示直立式鋪設方式，鋪的越多沖刷越嚴重，未來保護

工不宜以直立式之方式鋪設。

(4)斜坡式鋪設方案，3 層比 2 層的保護效果好，2 層比 1 層的保護效果好。

(5)所有試驗方案以一層砂腸袋(試驗底床下 1.5 公分)+織物模板之鋪設方式保護效果最佳，未來國道高速公路局中工處可以參考此方案之鋪設方式，來設置保護工保護橋基，以減少河水之沖刷。

2. 平面水工模型試驗

本研究因試驗設備供水量之限制，平面水工模型試驗之最大重現期距僅能做到 50 年之洪峰流量，在此限制條件下，相關成果如下：

(1)在下游潛堰維持現況之情境下，中沙大橋在遭遇重現期距 1.1 年、2 年、5 年、10 年、20 年與 50 年之流量沖刷下，換算現地最大可能沖刷深度分別為 0.45 公尺、2.10 公尺、2.30 公尺、2.95 公尺、2.90 公尺、3.00 公尺，均遠小於橋墩基礎之最大容許沖刷深度 10 公尺。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，橋墩基礎並無安全疑慮。

(2)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。

(3)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)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)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。

10.2 建議

1. 砂腸袋保護工法依據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，實務應用在材料耐久性部分可能比其他保護工法差，但隨著材料科技的進步，或許將來可以改善此缺點。
2. 未來國道高速公路局中工處欲保護橋梁基礎，除參考本研究之鋪設方案外，也可比照現階段護岸的保護方式，在砂腸袋上覆蓋一層織物模板保護，以抵抗河水及砂石之碰撞與磨耗。
3. 本研究平面水工模型試驗結果，未來國道高速公路局中工處可挑選中沙大橋適當的橋墩來進行現地試驗以驗證研究成果。

10.3 研究成果效益

1. 藉由水工模型試驗，研提國道 1 號中沙大橋橋基保護方案，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。

10.4 提供應用情形

1. 本研究研提之橋基保護方案，將提供國道高速公路局中工處未來施政的參據。
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。

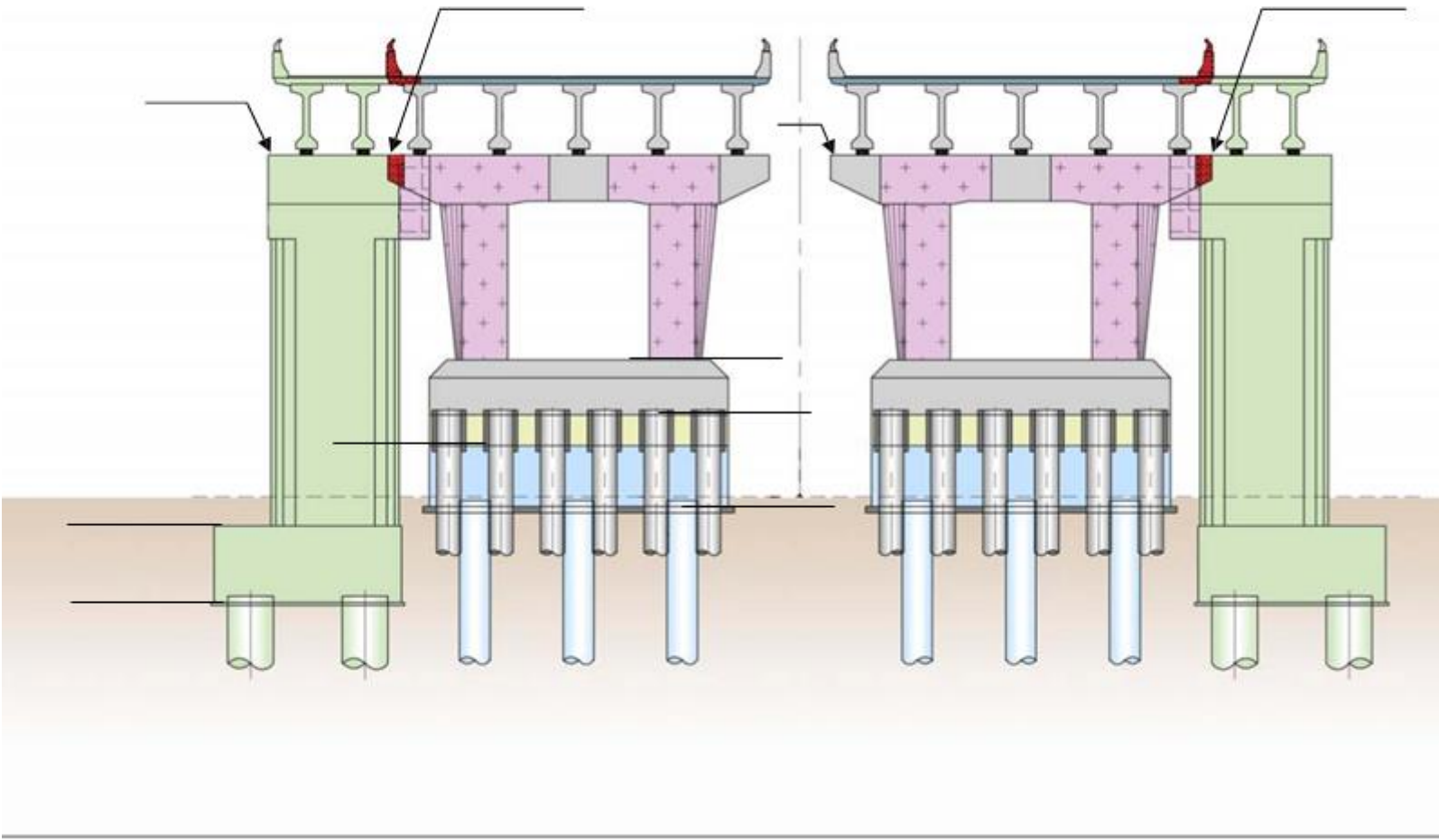
參考文獻

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，公路橋梁耐震設計規範，1995。
8. 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。
9. 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。
10. 交通部台灣區國道高速公路局中工處，「國道 1 號中沙大橋耐洪能力提升或改建可行性研究工作」，2011。
11. 交通部台灣區國道高速公路局中工處，「國道 1 號中沙大橋墩基沖

- 刷治理計畫委託技術服務工作」，2013。
- 12.交通部台灣區國道高速公路局中工處，「南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)」，2015。
 - 13.交通部台灣區國道高速公路局中工處，「國 1 中沙大橋、烏溪橋及國 3 濁水溪橋墩基保護方案暨精進沖刷巡檢機制專業技術服務工作」，2016。
 - 14.交通部運輸研究所，「跨河橋梁保護工法之研究」，2011。
 - 15.周憲德、戴華鎔、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。
 - 16.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。
 - 17.經濟部水利署第 4 河川局，「濁水溪流域(濁水溪本流、東埔蚋溪、清水溪及陳有蘭溪)監測工作計畫」，2005。
 - 18.經濟部水利署水利規劃試驗所，「濁水溪治理規劃檢討」，2007。
 - 19.經濟部水利署水利規劃試驗所，「水工模型試驗參考手冊」，2011。
 - 20.經濟部水利署水利規劃試驗所，「濁水溪流域整理治理規劃檢討」，2011。

附錄一

橋梁基本資料



中沙大橋高程表

樁號		原 建 基 礎		補 強 基 礎		拓 寬 基 礎		原 建 帽 梁 頂 部			拓 寬 帽 梁 頂 部			基 礎 厚				柱 高		帽 梁 厚 度		基 礎
		底部	頂部	底部	頂部	底部	頂部	外側	中點	內側	外側	內側	中點	原建	補強	既有合計	拓寬	原建	拓寬	原建	拓寬	分 類
		a	b	c	d	e	f	g	(g+h)/2	h	i	j	(i+j)/2	b-a	d-c	b-c	f-e					TYPE
P1	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.351	27.851	37.84	37.71	37.59	37.606	37.676	37.641	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.040	1.50	2.75	C
P2	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.384	27.884	37.84	37.71	37.59	37.642	37.712	37.677	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.043	1.50	2.75	C
P3	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.394	27.894	37.84	37.71	37.59	37.668	37.738	37.703	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.059	1.50	2.75	C
P4	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.405	27.905	37.84	37.71	37.59	37.683	37.753	37.718	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.063	1.50	2.75	C
P5	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.391	27.891	37.84	37.71	37.59	37.676	37.746	37.711	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.070	1.50	2.75	C
P6	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.394	27.894	37.84	37.71	37.59	37.724	37.794	37.759	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.115	1.50	2.75	C
P7	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.406	27.906	37.84	37.71	37.59	37.721	37.791	37.756	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.100	1.50	2.75	C
P8	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.413	27.913	37.84	37.71	37.59	37.703	37.773	37.738	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.075	1.50	2.75	C
P9	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.422	25.922	37.84	37.71	37.59	37.691	37.770	37.730	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.058	1.50	2.75	D
P10	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.431	25.931	37.84	37.71	37.59	37.699	37.778	37.738	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.057	1.50	2.75	D
P11	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.423	25.923	37.84	37.71	37.59	37.684	37.763	37.723	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.050	1.50	2.75	D
P12	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.447	25.947	37.84	37.71	37.59	37.694	37.773	37.733	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.036	1.50	2.75	D
P13	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.470	25.970	37.84	37.71	37.59	37.693	37.772	37.732	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.012	1.50	2.75	D
P14	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.428	25.928	37.84	37.71	37.59	37.688	37.767	37.727	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.049	1.50	2.75	D
P15	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.465	25.965	37.84	37.71	37.59	37.706	37.785	37.745	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.030	1.50	2.75	D
P16	E	29.232	31.032	26.222	28.022	23.481	25.981	37.84	37.71	37.59	37.716	37.795	37.755	1.80	1.80	4.81	2.50	5.178	9.024	1.50	2.75	A
P17	E	29.209	31.009	26.199	27.999	23.427	25.927	37.84	37.71	37.59	37.713	37.792	37.752	1.80	1.80	4.81	2.50	5.201	9.075	1.50	2.75	A
P18	E	29.225	31.025	26.215	28.015	23.407	25.907	37.84	37.71	37.59	37.733	37.812	37.772	1.80	1.80	4.81	2.50	5.185	9.115	1.50	2.75	A
P19	E	29.266	31.066	26.256	28.056	23.439	25.939	37.84	37.71	37.59	37.731	37.810	37.770	1.80	1.80	4.81	2.50	5.144	9.081	1.50	2.75	A
P20	E	29.316	31.116	26.306	28.106	23.490	25.990	37.84	37.71	37.59	37.735	37.814	37.774	1.80	1.80	4.81	2.50	5.094	9.034	1.50	2.75	A
P21	E	29.211	31.011	26.201	28.001	23.464	25.964	37.84	37.71	37.59	37.750	37.829	37.789	1.80	1.80	4.81	2.50	5.199	9.075	1.50	2.75	A
P22	E	29.253	31.053	26.243	28.043	23.472	25.972	37.84	37.71	37.59	37.749	37.828	37.788	1.80	1.80	4.81	2.50	5.157	9.066	1.50	2.75	A
P23	E	29.241	31.041	26.231	28.031	23.455	25.955	37.84	37.71	37.59	37.738	37.817	37.777	1.80	1.80	4.81	2.50	5.169	9.072	1.50	2.75	A
P24	E	29.241	31.041	26.231	28.031	23.471	25.971	37.84	37.71	37.59	37.759	37.838	37.798	1.80	1.80	4.81	2.50	5.169	9.077	1.50	2.75	A
P25	E	29.253	31.053	26.243	28.043	23.490	25.990	37.84	37.71	37.59	37.762	37.841	37.801	1.80	1.80	4.81	2.50	5.157	9.061	1.50	2.75	A

中沙大橋高程表																						
樁號		原 建 基 礎		補 強 基 礎		拓 寬 基 礎		原 建 帽 梁 頂 部			拓 寬 帽 梁 頂 部			基 礎 厚				柱 高		帽 梁 厚 度		基 礎
		底部	頂部	底部	頂部	底部	頂部	外側	中點	內側	外側	內側	中點	原建	補強	既有合計	拓寬	原建	拓寬	原建	拓寬	分 類
		a	b	c	d	e	f	g	(g+h)/2	h	i	j	(i+j)/2	b-a	d-c	b-c	f-e					TYPE
P26	E	29.168	30.968	26.158	27.958	23.511	26.011	37.84	37.71	37.59	37.741	37.820	37.780	1.80	1.80	4.81	2.50	5.242	9.019	1.50	2.75	A
P27	E	29.253	31.053	26.243	28.043	23.477	25.977	37.84	37.71	37.59	37.751	37.830	37.790	1.80	1.80	4.81	2.50	5.157	9.063	1.50	2.75	A
P28	E	29.317	31.117	26.307	28.107	23.477	25.977	37.84	37.71	37.59	37.767	37.846	37.806	1.80	1.80	4.81	2.50	5.093	9.079	1.50	2.75	A
P29	E	29.263	31.063	26.253	28.053	23.486	25.986	37.84	37.71	37.59	37.765	37.844	37.804	1.80	1.80	4.81	2.50	5.147	9.068	1.50	2.75	A
P30	E	29.220	31.020	26.210	28.010	23.504	26.004	37.84	37.71	37.59	37.765	37.844	37.804	1.80	1.80	4.81	2.50	5.190	9.050	1.50	2.75	A
P31	E	29.267	31.067	26.257	28.057	23.486	25.986	37.84	37.71	37.59	37.757	37.836	37.796	1.80	1.80	4.81	2.50	5.143	9.060	1.50	2.75	A
P32	E	29.242	31.042	26.232	28.032	23.483	25.983	37.84	37.71	37.59	37.746	37.825	37.785	1.80	1.80	4.81	2.50	5.168	9.052	1.50	2.75	A
P33	E	29.260	31.060	26.250	28.050	23.472	25.972	37.84	37.71	37.59	37.758	37.837	37.797	1.80	1.80	4.81	2.50	5.150	9.075	1.50	2.75	A
P34	E	29.258	31.058	26.248	28.048	23.466	25.966	37.84	37.71	37.59	37.751	37.830	37.790	1.80	1.80	4.81	2.50	5.152	9.074	1.50	2.75	A
P35	E	29.258	31.058	26.248	28.048	23.454	25.954	37.84	37.71	37.59	37.747	37.826	37.786	1.80	1.80	4.81	2.50	5.152	9.082	1.50	2.75	A
P36	E	29.248	31.048	26.238	28.038	23.429	25.929	37.84	37.71	37.59	37.729	37.808	37.768	1.80	1.80	4.81	2.50	5.162	9.089	1.50	2.75	A
P37	E	29.223	31.023	26.213	28.013	23.412	25.912	37.84	37.71	37.59	37.718	37.797	37.757	1.80	1.80	4.81	2.50	5.187	9.095	1.50	2.75	A
P38	E	29.238	31.038	26.228	28.028	23.377	25.877	37.84	37.71	37.59	37.739	37.818	37.778	1.80	1.80	4.81	2.50	5.172	9.151	1.50	2.75	A
P39	E	29.264	31.064	26.254	28.054	23.323	25.823	37.84	37.71	37.59	37.734	37.813	37.773	1.80	1.80	4.81	2.50	5.146	9.200	1.50	2.75	A
P40	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.216	25.716	37.84	37.71	37.59	37.751	37.830	37.790	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.324	1.50	2.75	D
P41	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.145	25.645	37.84	37.71	37.59	37.737	37.816	37.776	1. 0	1.80	7.51	2.50	5.200	9.381	1.50	2.75	D
P42	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.125	25.625	37.84	37.71	37.59	37.748	37.827	37.787	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.412	1.50	2.75	D
P43	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.222	25.722	37.84	37.71	37.59	37.752	37.831	37.791	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.319	1.50	2.75	D
P44	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.328	25.828	37.84	37.71	37.59	37.751	37.830	37.790	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.212	1.50	2.75	D
P45	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.423	25.923	37.84	37.71	37.59	37.759	37.838	37.798	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.125	1.50	2.75	D
P46	E	29.210	31.010	23.500	25.300	23.474	25.974	37.84	37.71	37.59	37.748	37.827	37.787	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.063	1.50	2.75	D
P47	E	29.210	31.010	25.500	27.300	23.510	26.010	37.84	37.71	37.59	37.757	37.836	37.796	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	9.036	1.50	2.75	B
P48	E	29.210	31.010	25.500	27.300	23.505	26.005	37.84	37.71	37.59	37.798	37.877	37.837	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	9.082	1.50	2.75	B
P49	E	29.210	31.010	25.500	27.300	23.507	26.007	37.84	37.71	37.59	37.767	37.846	37.806	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	9.049	1.50	2.75	B
P50	E	29.210	31.010	25.500	27.300	23.468	25.968	37.84	37.71	37.59	37.749	37.828	37.788	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	9.070	1.50	2.75	B

中沙大橋高程表

樁號		原 建 基 礎		補 強 基 礎		拓 寬 基 礎		原 建 帽 梁 頂 部			拓 寬 帽 梁 頂 部			基 礎 厚				柱 高		帽 梁 厚 度		基 礎
		底部	頂部	底部	頂部	底部	頂部	外側	中點	內側	外側	內側	中點	原建	補強	既有合計	拓寬	原建	拓寬	原建	拓寬	分 類
		a	b	c	d	e	f	g	(g+h)/2	h	i	j	(i+j)/2	b-a	d-c	b-c	f-e					TYPE
P51	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.442	27.942	37.84	37.71	37.59	37.752	37.822	37.787	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.095	1.50	2.75	C
P52	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.468	27.968	37.84	37.71	37.59	37.738	37.808	37.773	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.055	1.50	2.75	C
P53	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.498	27.998	37.84	37.71	37.59	37.718	37.788	37.753	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.005	1.50	2.75	C
P54	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.517	28.017	37.84	37.71	37.59	37.737	37.807	37.772	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.005	1.50	2.75	C
P55	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.470	27.970	37.84	37.71	37.59	37.716	37.786	37.751	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.031	1.50	2.75	C
P56	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.513	28.013	37.84	37.71	37.59	37.687	37.757	37.722	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.959	1.50	2.75	C
P57	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.540	28.040	37.84	37.71	37.59	37.700	37.770	37.735	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.945	1.50	2.75	C
P58	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.608	28.108	37.84	37.71	37.59	37.715	37.785	37.750	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.892	1.50	2.75	C
P59	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.584	28.084	37.84	37.71	37.59	37.723	37.793	37.758	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.924	1.50	2.75	C
P60	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.559	28.059	37.84	37.71	37.59	37.744	37.814	37.779	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.970	1.50	2.75	C
P61	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.589	28.089	37.84	37.71	37.59	37.738	37.808	37.773	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.934	1.50	2.75	C
P62	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.611	28.111	37.84	37.71	37.59	37.720	37.790	37.755	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.894	1.50	2.75	C
P63	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.581	28.081	37.84	37.71	37.59	37.726	37.796	37.761	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.930	1.50	2.75	C
P64	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.545	28.045	37.84	37.71	37.59	37.686	37.756	37.721	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.926	1.50	2.75	C
P65	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.525	28.025	37.84	37.71	37.59	37.666	37.736	37.701	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.926	1.50	2.75	C
P66	E	29.210	31.010	25.500	27.300	25.549	28.049	37.84	37.71	37.59	37.679	37.749	37.714	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.915	1.50	2.75	C

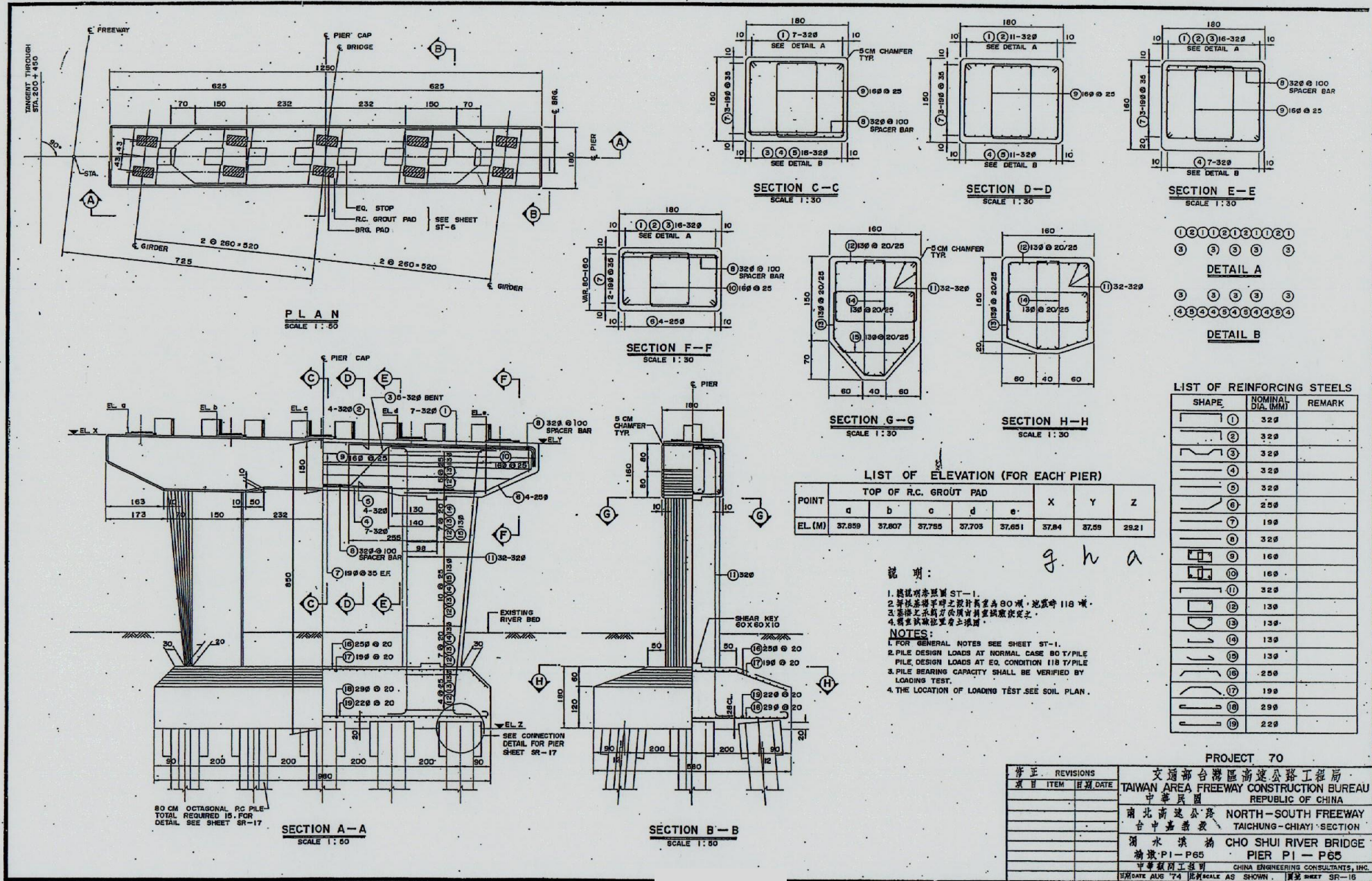
中沙大橋高程表

樁號		原 建 基 礎		補 強 基 礎		拓 寬 基 礎		原 建 帽 梁 頂 部			拓 寬 帽 梁 頂 部			基 礎 厚				柱 高		帽 梁 厚 度		基 礎
		底部	頂部	底部	頂部	底部	頂部	外側	中點	內側	外側	內側	中點	原建	補強	既有合計	拓寬	原建	拓寬	原建	拓寬	分 類
		a	b	c	d	e	f	g	(g+h)/2	h	i	j	(i+j)/2	b-a	d-c	b-c	f-e					TYPE
P1	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.365	27.865	37.84	37.71	37.59	37.616	37.686	37.651	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.036	1.50	2.75	C
P2	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.371	27.871	37.84	37.71	37.59	37.648	37.718	37.683	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.062	1.50	2.75	C
P3	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.364	27.864	37.84	37.71	37.59	37.676	37.746	37.711	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.097	1.50	2.75	C
P4	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.375	27.875	37.84	37.71	37.59	37.704	37.774	37.739	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.114	1.50	2.75	C
P5	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.396	27.896	37.84	37.71	37.59	37.681	37.751	37.716	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.070	1.50	2.75	C
P6	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.392	27.892	37.84	37.71	37.59	37.708	37.778	37.743	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.101	1.50	2.75	C
P7	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.405	27.905	37.84	37.71	37.59	37.708	37.778	37.743	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.088	1.50	2.75	C
P8	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.398	27.898	37.84	37.71	37.59	37.700	37.770	37.735	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.087	1.50	2.75	C
P9	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.396	25.896	37.84	37.71	37.59	37.710	37.789	37.749	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.103	1.50	2.75	D
P10	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.420	25.920	37.84	37.71	37.59	37.717	37.796	37.756	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.086	1.50	2.75	D
P11	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.435	25.935	37.84	37.71	37.59	37.714	37.793	37.753	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.068	1.50	2.75	D
P12	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.445	25.945	37.84	37.71	37.59	37.704	37.783	37.743	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.048	1.50	2.75	D
P13	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.473	25.973	37.84	37.71	37.59	37.698	37.777	37.737	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.014	1.50	2.75	D
P14	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.443	25.943	37.84	37.71	37.59	37.684	37.763	37.723	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.030	1.50	2.75	D
P15	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.464	25.964	37.84	37.71	37.59	37.725	37.804	37.764	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.050	1.50	2.75	D
P16	W	29.202	31.002	26.192	27.992	23.469	25.969	37.84	37.71	37.59	37.734	37.813	37.773	1.80	1.80	4.81	2.50	5.208	9.054	1.50	2.75	A
P17	W	29.232	31.032	26.222	28.022	23.437	25.937	37.84	37.71	37.59	37.729	37.808	37.768	1.80	1.80	4.81	2.50	5.178	9.081	1.50	2.75	A
P18	W	29.248	31.048	26.238	28.038	23.403	25.903	37.84	37.71	37.59	37.755	37.834	37.794	1.80	1.80	4.81	2.50	5.162	9.141	1.50	2.75	A
P19	W	29.266	31.066	26.256	28.056	23.437	25.937	37.84	37.71	37.59	37.773	37.852	37.812	1.80	1.80	4.81	2.50	5.144	9.125	1.50	2.75	A
P20	W	29.268	31.068	26.258	28.058	23.482	25.982	37.84	37.71	37.59	37.757	37.836	37.796	1.80	1.80	4.81	2.50	5.142	9.064	1.50	2.75	A
P21	W	29.218	31.018	26.208	28.008	23.467	25.967	37.84	37.71	37.59	37.759	37.838	37.798	1.80	1.80	4.81	2.50	5.192	9.081	1.50	2.75	A
P22	W	29.236	31.036	26.226	28.026	23.466	25.966	37.84	37.71	37.59	37.756	37.835	37.795	1.80	1.80	4.81	2.50	5.174	9.079	1.50	2.75	A
P23	W	29.233	31.033	26.223	28.023	23.444	25.944	37.84	37.71	37.59	37.739	37.818	37.778	1.80	1.80	4.81	2.50	5.177	9.084	1.50	2.75	A
P24	W	29.246	31.046	26.236	28.036	23.480	25.980	37.84	37.71	37.59	37.768	37.847	37.807	1.80	1.80	4.81	2.50	5.164	9.077	1.50	2.75	A
P25	W	29.302	31.102	26.292	28.092	23.492	25.992	37.84	37.71	37.59	37.779	37.858	37.818	1.80	1.80	4.81	2.50	5.108	9.076	1.50	2.75	A

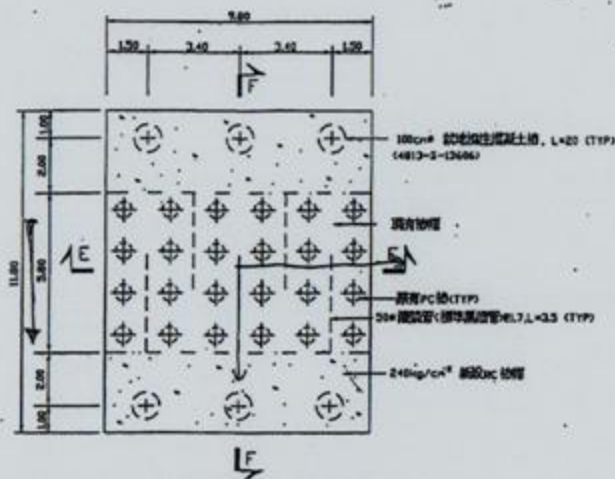
中沙大橋高程表

樁號		原 建 基 礎		補 強 基 礎		拓 寬 基 礎		原 建 帽 梁 頂 部			拓 寬 帽 梁 頂 部			基 礎 厚				柱 高		帽 梁 厚 度		基 礎
		底部	頂部	底部	頂部	底部	頂部	外側	中點	內側	外側	內側	中點	原建	補強	既有合計	拓寬	原建	拓寬	原建	拓寬	分 類
		a	b	c	d	e	f	g	(g+h)/2	h	i	j	(i+j)/2	b-a	d-c	b-c	f-e					TYPE
P26	W	29.217	31.017	26.207	28.007	23.519	26.019	37.84	37.71	37.59	37.753	37.832	37.792	1.80	1.80	4.81	2.50	5.193	9.023	1.50	2.75	A
P27	W	29.254	31.054	26.244	28.044	23.492	25.992	37.84	37.71	37.59	37.772	37.851	37.811	1.80	1.80	4.81	2.50	5.156	9.069	1.50	2.75	A
P28	W	29.302	31.102	26.292	28.092	23.485	25.985	37.84	37.71	37.59	37.767	37.846	37.806	1.80	1.80	4.81	2.50	5.108	9.071	1.50	2.75	A
P29	W	29.285	31.085	26.275	28.075	23.486	25.986	37.84	37.71	37.59	37.741	37.820	37.780	1.80	1.80	4.81	2.50	5.125	9.044	1.50	2.75	A
P30	W	29.198	30.998	26.188	27.988	23.489	25.989	37.84	37.71	37.59	37.789	37.868	37.828	1.80	1.80	4.81	2.50	5.212	9.089	1.50	2.75	A
P31	W	29.277	31.077	26.267	28.067	23.491	25.991	37.84	37.71	37.59	37.800	37.879	37.839	1.80	1.80	4.81	2.50	5.133	9.098	1.50	2.75	A
P32	W	29.255	31.055	26.245	28.045	23.495	25.995	37.84	37.71	37.59	37.762	37.841	37.801	1.80	1.80	4.81	2.50	5.155	9.056	1.50	2.75	A
P33	W	29.180	30.980	26.170	27.970	23.458	25.958	37.84	37.71	37.59	37.774	37.853	37.813	1.80	1.80	4.81	2.50	5.230	9.105	1.50	2.75	A
P34	W	29.227	31.027	26.217	28.017	23.471	25.971	37.84	37.71	37.59	37.768	37.847	37.807	1.80	1.80	4.81	2.50	5.183	9.086	1.50	2.75	A
P35	W	29.218	31.018	26.208	28.008	23.451	25.951	37.84	37.71	37.59	37.750	37.829	37.789	1.80	1.80	4.81	2.50	5.192	9.088	1.50	2.75	A
P36	W	29.264	31.064	26.254	28.054	23.461	25.961	37.84	37.71	37.59	37.767	37.846	37.806	1.80	1.80	4.81	2.50	5.146	9.095	1.50	2.75	A
P37	W	29.228	31.028	26.218	28.018	23.410	25.910	37.84	37.71	37.59	37.775	37.854	37.814	1.80	1.80	4.81	2.50	5.182	9.154	1.50	2.75	A
P38	W	29.264	31.064	26.254	28.054	23.388	25.888	37.84	37.71	37.59	37.755	37.834	37.794	1.80	1.80	4.81	2.50	5.146	9.156	1.50	2.75	A
P39	W	29.253	31.053	26.243	28.043	23.330	25.830	37.84	37.71	37.59	37.737	37.816	37.776	1.80	1.80	4.81	2.50	5.157	9.196	1.50	2.75	A
P40	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.226	25.726	37.84	37.71	37.59	37.774	37.853	37.813	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.337	1.50	2.75	D
P41	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.163	25.663	37.84	37.71	37.59	37.757	37.836	37.796	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.383	1.50	2.75	D
P42	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.123	25.623	37.84	37.71	37.59	37.779	37.858	37.818	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.445	1.50	2.75	D
P43	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.229	25.729	37.84	37.71	37.59	37.786	37.865	37.825	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.346	1.50	2.75	D
P44	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.335	25.835	37.84	37.71	37.59	37.775	37.854	37.814	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.229	1.50	2.75	D
P45	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.435	25.935	37.84	37.71	37.59	37.784	37.863	37.823	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.138	1.50	2.75	D
P46	W	29.210	31.010	23.500	25.300	23.463	25.963	37.84	37.71	37.59	37.780	37.859	37.819	1.80	1.80	7.51	2.50	5.200	9.106	1.50	2.75	D
P47	W	29.210	31.010	25.500	27.300	23.497	25.997	37.84	37.71	37.59	37.764	37.843	37.803	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	9.056	1.50	2.75	B
P48	W	29.210	31.010	25.500	27.300	23.505	26.005	37.84	37.71	37.59	37.779	37.858	37.818	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	9.063	1.50	2.75	B
P49	W	29.210	31.010	25.500	27.300	23.514	26.014	37.84	37.71	37.59	37.765	37.844	37.804	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	9.040	1.50	2.75	B
P50	W	29.210	31.010	25.500	27.300	23.474	25.974	37.84	37.71	37.59	37.736	37.815	37.775	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	9.051	1.50	2.75	B

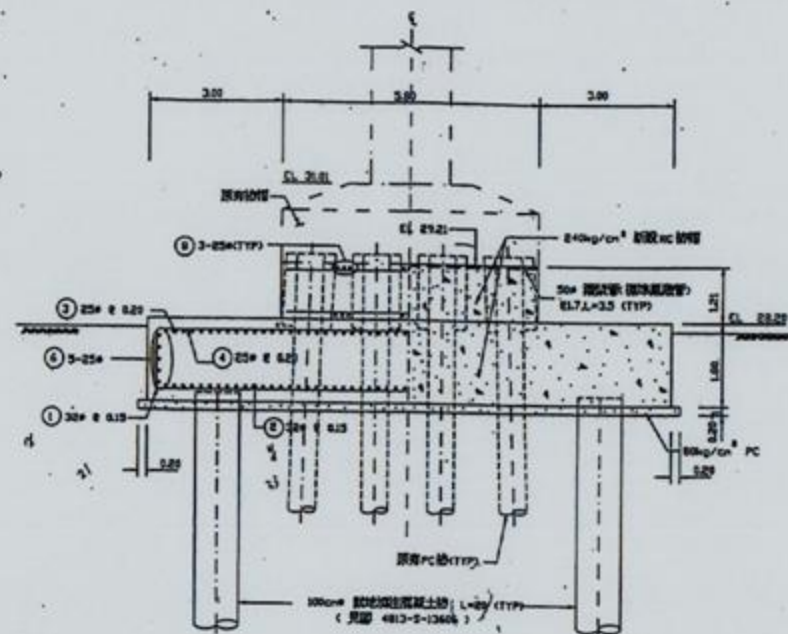
中沙大橋高程表																						
樁號		原 建 基 礎		補 強 基 礎		拓 寬 基 礎		原 建 帽 梁 頂 部			拓 寬 帽 梁 頂 部			基 礎 厚				柱 高		帽 梁 厚 度		基 礎
		底部	頂部	底部	頂部	底部	頂部	外側	中點	內側	外側	內側	中點	原建	補強	既有合計	拓寬	原建	拓寬	原建	拓寬	分 類
		a	b	c	d	e	f	g	(g+h)/2	h	i	j	(i+j)/2	b-a	d-c	b-c	f-e					TYPE
P51	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.490	27.990	37.84	37.71	37.59	37.756	37.826	37.791	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.051	1.50	2.75	C
P52	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.472	27.972	37.84	37.71	37.59	37.732	37.802	37.767	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.045	1.50	2.75	C
P53	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.493	27.993	37.84	37.71	37.59	37.720	37.790	37.755	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.012	1.50	2.75	C
P54	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.513	28.013	37.84	37.71	37.59	37.717	37.787	37.752	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.989	1.50	2.75	C
P55	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.478	27.978	37.84	37.71	37.59	37.702	37.772	37.737	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	7.009	1.50	2.75	C
P56	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.519	28.019	37.84	37.71	37.59	37.692	37.762	37.727	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.958	1.50	2.75	C
P57	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.547	28.047	37.84	37.71	37.59	37.694	37.764	37.729	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.932	1.50	2.75	C
P58	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.590	28.090	37.84	37.71	37.59	37.690	37.760	37.725	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.885	1.50	2.75	C
P59	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.594	28.094	37.84	37.71	37.59	37.700	37.770	37.735	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.891	1.50	2.75	C
P60	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.568	28.068	37.84	37.71	37.59	37.699	37.769	37.734	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.916	1.50	2.75	C
P61	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.580	28.080	37.84	37.71	37.59	37.696	37.766	37.731	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.901	1.50	2.75	C
P62	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.605	28.105	37.84	37.71	37.59	37.690	37.760	37.725	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.870	1.50	2.75	C
P63	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.571	28.071	37.84	37.71	37.59	37.707	37.777	37.742	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.921	1.50	2.75	C
P64	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.547	28.047	37.84	37.71	37.59	37.675	37.745	37.710	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.913	1.50	2.75	C
P65	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.531	28.031	37.84	37.71	37.59	37.674	37.744	37.709	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.928	1.50	2.75	C
P66	W	29.210	31.010	25.500	27.300	25.559	28.059	37.84	37.71	37.59	37.672	37.742	37.707	1.80	1.80	5.51	2.50	5.200	6.898	1.50	2.75	C



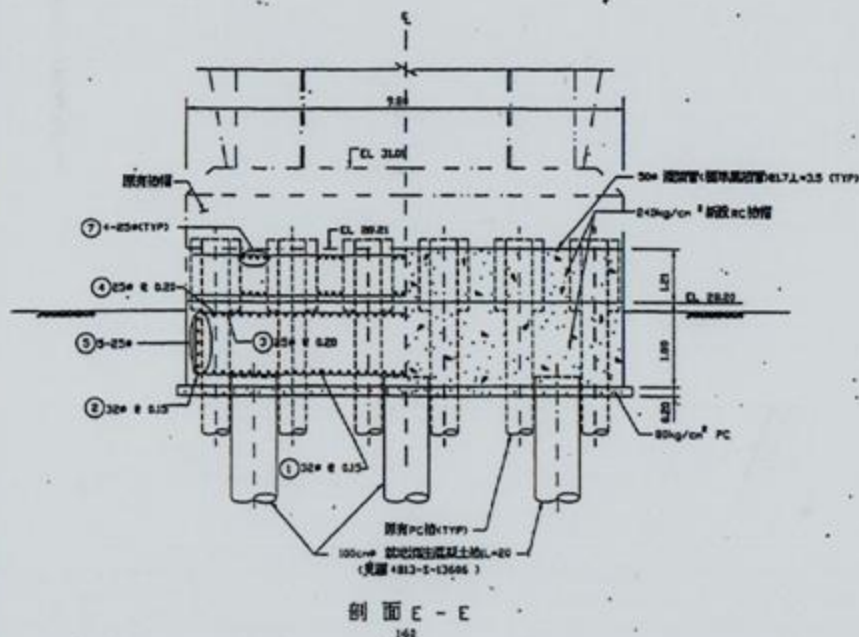
原建



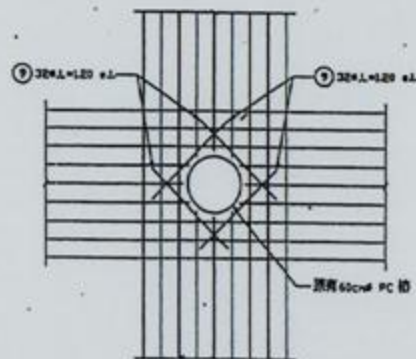
P16 ~ P39橋墩樁帽平面圖(單向)
1400



剖面 F - F
1400



剖面 E - E
1400



新設橋樁現有PC樁開口補強示意圖
1400

橋樁鋼筋數量表(單向每座)

鋼號	規格	形狀	間距	每米長	支數	總長	備註
①	30#	L 31.7 11.8	0.15	13.7	65	898.5	鋼樁及螺旋式PC樁部分
②	30#	L 31.7 11.8	0.15	13.7	70	958.6	鋼樁及螺旋式PC樁部分
③	25#	L 31.7 11.8	0.20	13.7	59	808.3	鋼樁及螺旋式PC樁部分
④	25#	L 31.7 11.8	0.20	13.7	49	671.3	鋼樁及螺旋式PC樁部分
⑤	25#	— 31.7	—	13.7	18	247.0	
⑥	25#	— 31.7	—	13.7	10	137.0	
⑦	25#	— 31.7	—	13.7	40	548.0	
⑧	25#	— 31.7	—	13.7	18	247.0	
⑨	30#	— 31.8	—	1.8	190	338.4	

附註:

1. 鋼樁直徑, 管徑為公厘或所有註明者, 所有尺寸均以公尺為單位。
2. 為使鋼樁與新設鋼樁結合, 於鋼樁土塊設計強度後以不破壞水阻進行處理。
3. 鋼樁作垂直的接合, 鋼樁又管, 以便固定鋼樁位置。
4. 鋼樁管與鋼樁管之間的接合, 鋼樁管與鋼樁管之間的接合。
5. 鋼樁直徑 ≤ 100 mm, $f_y \geq 270$ kg/cm² 且符合 CNS 540 A20M 550R 之規定。

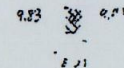
* 215mm 鋼, $f_y \geq 270$ kg/cm² 且符合 CNS 540 A20M 550R 之規定。

附錄 1-10

CC.

4

c

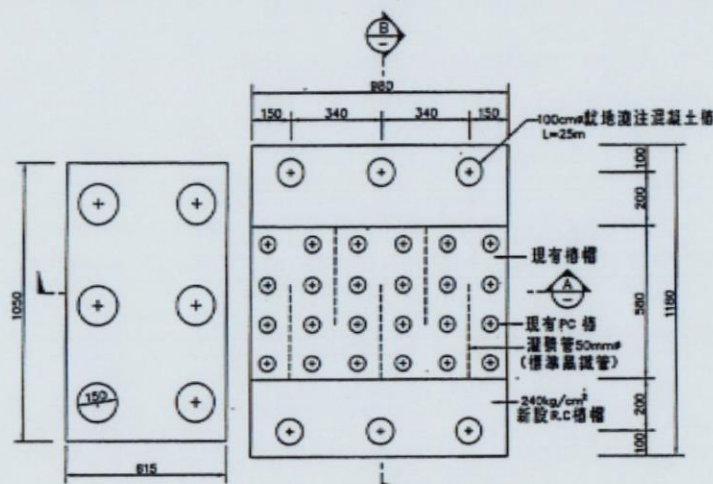


11

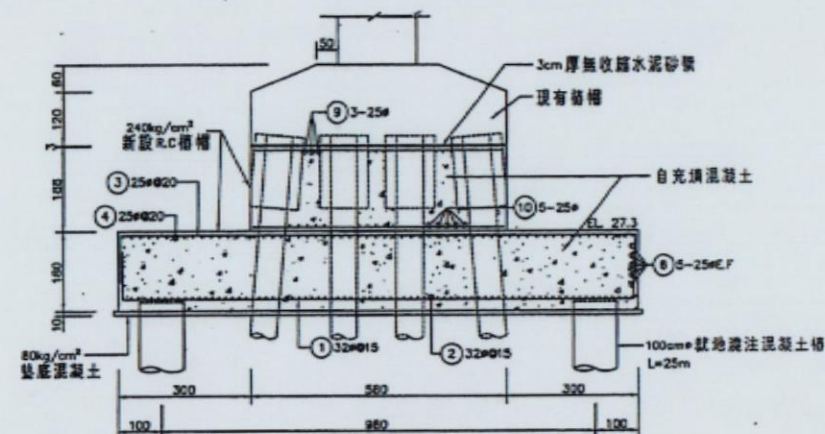
墩 號	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27
距離 (M)	4.60	4.58	4.64	4.60	4.60	4.54	4.60	4.53	4.60	4.68	4.65	4.71

墩 號	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39
距離 (M)	4.68	4.70	4.77	4.66	4.67	4.72	4.69	4.63	4.60	4.60	4.70	4.69

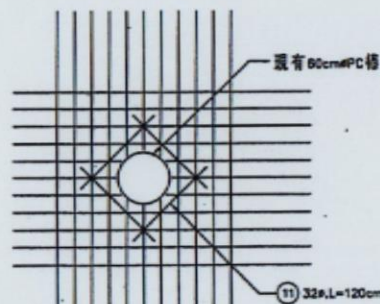
中華民國交通部 台灣區國道高速公路中區工程處	中沙大橋耐震維修補強第一期工程 竣工圖	開工	87.12.22	各部竣工尺寸詳細圖	主任技師 審定	繪圖	監造	楊明光	校核	杜俊生	總長	曾世榮
		竣工			技師 謝志宏	技師 張建芳	工務段 段長 陳維芳	課長	王陸攻	圖號	4813-S-1	



P1~P8, P47~P65 橋墩樁帽平面圖
S=1:100



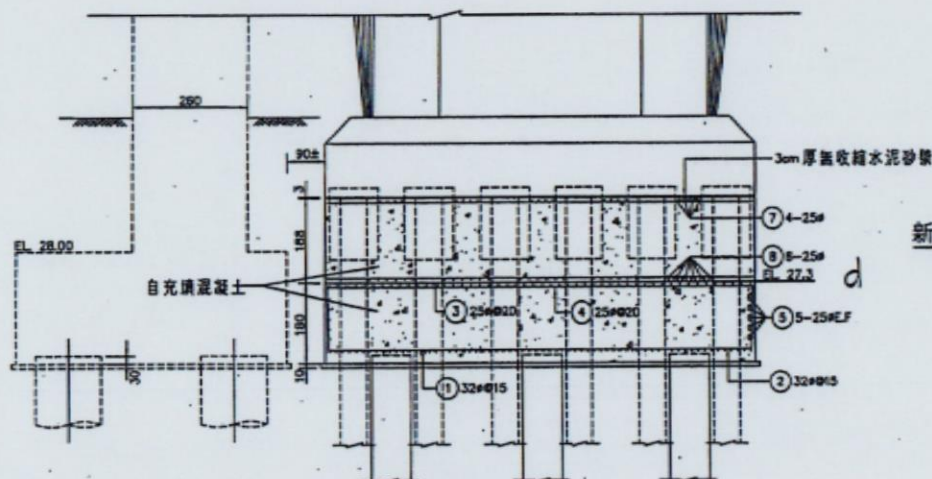
斷面圖 B
S=1:60

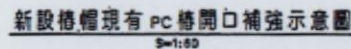
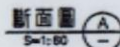
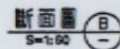
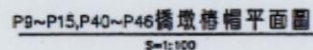


新設樁帽現有 PC 樁開口補強示意圖
S=1:60

鋼筋表

編號	直徑	形狀	備註
1	32#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
2	32#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
3	25#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
4	25#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
5	25#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
6	25#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
7	25#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
8	25#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
9	25#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
10	25#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋
11	32#	11.7	現存樁帽受壓區 PC 樁筋





註 1.原標取下 80kg/cm² 應力混凝土打除。
2.為使現有結構與新設結構結合，於混凝土結構後，以無收縮水泥砂漿進行灌漿。
3.自充填混凝土具流動性（工作性），灌漿土澆置後不攪拌，以免材料分離，自充填混凝土之工作性以坍落度表示之，設計坍落度僅限定為 35~75，工地檢驗之坍落度值大於 35cm 及小於 70cm。
4.自充填混凝土澆置，硬化後其 28 天之抗壓強度符合設計規定抗壓強度之要求。

中山高速公路員林至高雄段拓寬
中沙大橋拓建工程(第512標)

修正内容

日期

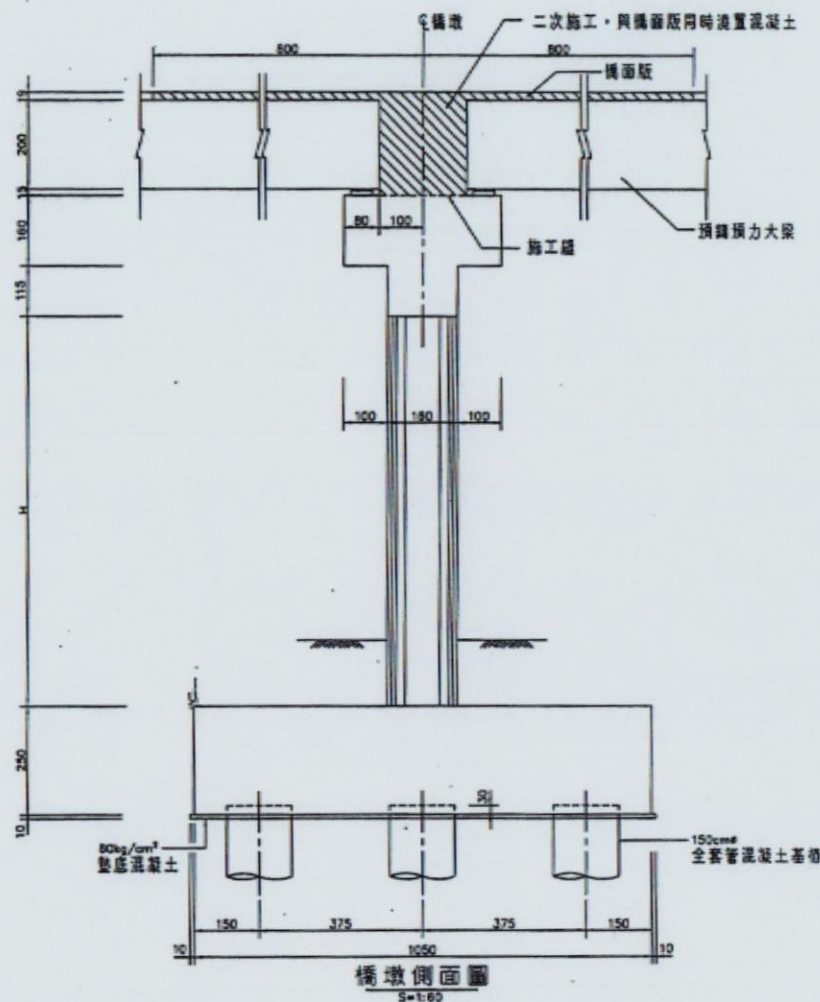
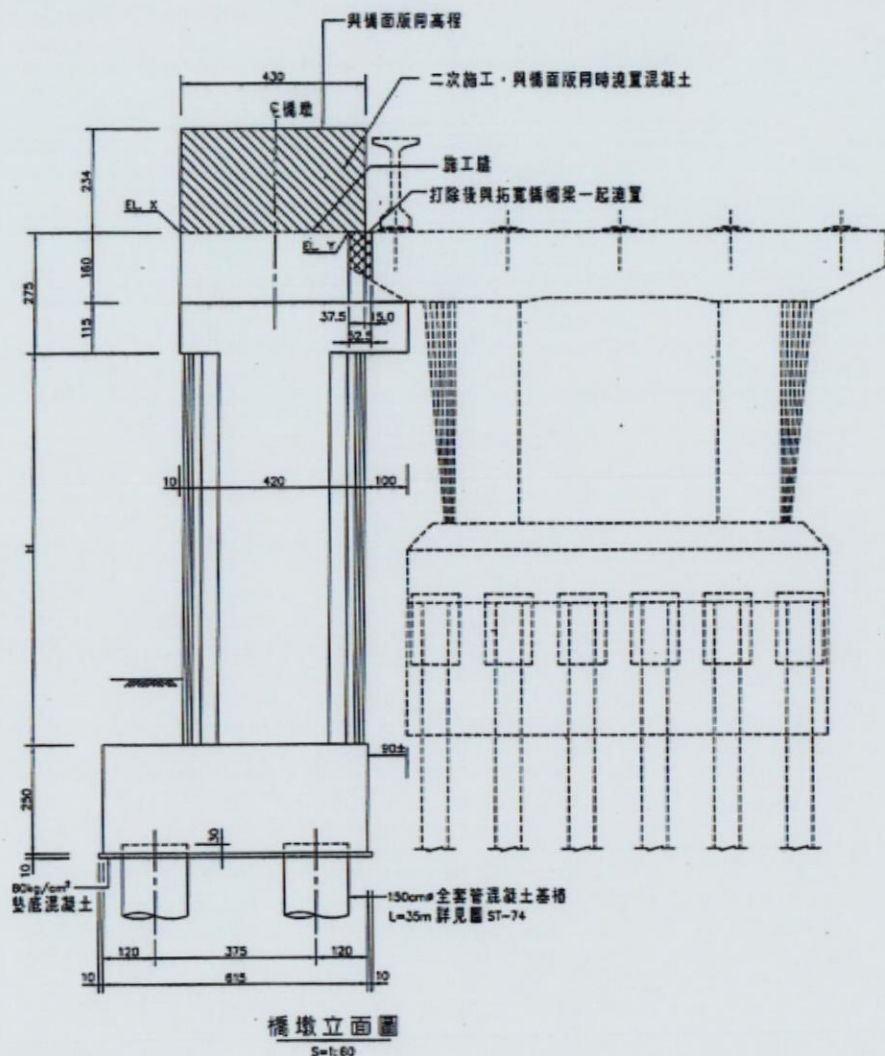
河川橋(STA.227K+601.888)
基礎補強工程植欄配筋詳圖(二)

第 512 号
竣工图

監造單位
聯達工程顧問股份有限公司

客量:	(按)
-----	-----

統一代碼：P5120-F-S\\-037-0-0



註：基樁最大設計反力
平時：258 支
地震時：585 支

說明：
1. 本圖適用於主河道區連續橋墩之橋墩
P9, P10, P12, P13, P15, P16, P18, P19, P21, P22, P24, P25, P27
P28, P30, P31, P33, P34, P36, P37, P38, P40, P42, P43, P45
P46, P48, P49
2. 本圖之 E.L.X. & E.L.Y. 適用於 E 側橋墩。
3. R.C 橋面版混凝土強度採 280 kg/cm²

中華民國交通部 臺灣區國道高速公路局 拓建工程處	中山高速公路員林至高雄段拓寬 中沙大橋拓建工程(第512標)	修正紀錄	修正內容	日期	河川橋(STA.227K+601.888) 主河道區連續橋墩詳圖(二)	第512標 竣工圖	承造商 營民工程股份有限公司	監造單位 昭達工程顧問股份有限公司		
							繪圖：(簽名)	審核：(簽名)		
							監工：(簽名)	審核：(簽名)		
							監工：(簽名)	審核：(簽名)		
							監工：(簽名)	審核：(簽名)		
					基座 CM	比例 1:60	圖號 S-023a	竣工	監工：(簽名)	審核：(簽名)

高程表 (單位: m)

樑端編號	樑梁頂部高程		柱高	鋼筋混凝土墊高		
	EL.X	EL.Y		位置	EL.a	EL.b
P1W	37.616	37.686	7.036	北側	37.733	37.770
				南側	37.733	37.770
P1E	37.606	37.676	7.040	北側	37.723	37.760
				南側	37.723	37.760
P2W	37.648	37.718	7.062	北側	37.765	37.802
				南側	37.765	37.802
P2E	37.642	37.712	7.043	北側	37.759	37.795
				南側	37.759	37.795
P3W	37.676	37.746	7.097	北側	37.793	37.830
				南側	37.793	37.830
P3E	37.668	37.738	7.059	北側	37.785	37.822
				南側	37.785	37.822
P4W	37.704	37.774	7.114	北側	37.821	37.858
				南側	37.821	37.858
P4E	37.683	37.753	7.063	北側	37.800	37.837
				南側	37.800	37.837
P5W	37.681	37.751	7.070	北側	37.798	37.835
				南側	37.798	37.835
P5E	37.676	37.746	7.070	北側	37.793	37.830
				南側	37.793	37.830
P6W	37.708	37.778	7.101	北側	37.825	37.862
				南側	37.825	37.862
P6E	37.724	37.794	7.115	北側	37.841	37.878
				南側	37.841	37.878
P7W	37.708	37.778	7.088	北側	37.825	37.862
				南側	37.825	37.862
P7E	37.721	37.791	7.100	北側	37.838	37.875
				南側	37.838	37.875
P8W	37.700	37.770	7.087	北側	37.817	37.854
				南側	37.817	37.854
P8E	37.703	37.773	7.075	北側	37.820	37.857
				南側	37.820	37.857
P9W	37.710	37.780	9.103	北側	37.846	37.883
				南側	37.846	37.883
P9E	37.691	37.770	9.058	北側	37.817	37.854
				南側	37.817	37.854
P10W	37.717	37.796	9.086	北側	37.843	37.880
				南側	37.843	37.880
P10E	37.699	37.778	9.057	北側	37.825	37.862
				南側	37.825	37.862
P11W	37.714	37.793	9.068	北側	37.840	37.877
				南側	37.840	37.877
P11E	37.684	37.763	9.050	北側	37.810	37.847
				南側	37.810	37.847

高程表 (單位: m)

樑端編號	樑梁頂部高程		柱高	鋼筋混凝土墊高		
	EL.X	EL.Y		H	位置	EL.a
P12W	37.704	37.783	9.048	北側	37.830	37.867
				南側	37.830	37.867
P12E	37.694	37.773	9.036	北側	37.820	37.857
				南側	37.820	37.857
P13W	37.698	37.777	9.014	北側	37.824	37.861
				南側	37.824	37.861
P13E	37.693	37.772	9.012	北側	37.819	37.856
				南側	37.819	37.856
P14W	37.684	37.763	9.030	北側	37.810	37.847
				南側	37.810	37.847
P14E	37.688	37.767	9.049	北側	37.814	37.851
				南側	37.814	37.851
P15W	37.725	37.804	9.050	北側	37.851	37.888
				南側	37.851	37.888
P15E	37.706	37.785	9.030	北側	37.832	37.869
				南側	37.832	37.869
P16W	37.734	37.813	9.054	北側	37.860	37.897
				南側	37.860	37.897
P16E	37.716	37.795	9.024	北側	37.842	37.879
				南側	37.842	37.879
P17W	37.729	37.808	9.081	北側	37.855	37.892
				南側	37.855	37.892
P17E	37.713	37.792	9.075	北側	37.839	37.876
				南側	37.839	37.876
P18W	37.755	37.834	9.141	北側	37.881	37.918
				南側	37.881	37.918
P18E	37.733	37.812	9.115	北側	37.859	37.896
				南側	37.859	37.896
P19W	37.773	37.852	9.125	北側	37.899	37.936
				南側	37.899	37.936
P19E	37.731	37.810	9.081	北側	37.857	37.894
				南側	37.857	37.894
P20W	37.757	37.836	9.064	北側	37.883	37.920
				南側	37.883	37.920
P20E	37.735	37.814	9.034	北側	37.861	37.898
				南側	37.861	37.898
P21W	37.759	37.838	9.081	北側	37.885	37.922
				南側	37.885	37.922
P21E	37.750	37.829	9.075	北側	37.876	37.913
				南側	37.876	37.913
P22W	37.756	37.835	9.079	北側	37.882	37.919
				南側	37.882	37.919
P22E	37.749	37.828	9.066	北側	37.875	37.912
				南側	37.875	37.912

高程表 (單位: m)

樑端編號	樑梁頂部高程		柱高	鋼筋混凝土墊高		
	EL.X	EL.Y		H	位置	EL.a
P23W	37.739	37.818	9.084	北側	37.865	37.902
				南側	37.865	37.902
P23E	37.738	37.817	9.072	北側	37.864	37.901
				南側	37.864	37.901
P24W	37.768	37.847	9.077	北側	37.894	37.931
				南側	37.894	37.931
P24E	37.759	37.838	9.077	北側	37.885	37.922
				南側	37.885	37.922
P25W	37.779	37.858	9.076	北側	37.905	37.942
				南側	37.905	37.942
P25E	37.762	37.841	9.061	北側	37.888	37.925
				南側	37.888	37.925
P26W	37.753	37.832	9.023	北側	37.879	37.916
				南側	37.879	37.916
P26E	37.741	37.820	9.019	北側	37.867	37.904
				南側	37.867	37.904
P27W	37.772	37.851	9.069	北側	37.898	37.935
				南側	37.898	37.935
P27E	37.751	37.830	9.063	北側	37.877	37.914
				南側	37.877	37.914
P28W	37.767	37.845	9.071	北側	37.893	37.930
				南側	37.893	37.930
P28E	37.767	37.846	9.079	北側	37.893	37.930
				南側	37.893	37.930
P29W	37.741	37.820	9.044	北側	37.867	37.904
				南側	37.867	37.904
P29E	37.765	37.844	9.068	北側	37.891	37.928
				南側	37.891	37.928
P30W	37.789	37.868	9.049	北側	37.915	37.952
				南側	37.915	37.952
P30E	37.765	37.844	9.050	北側	37.891	37.928
				南側	37.891	37.928
P31W	37.800	37.879	9.098	北側	37.926	37.963
				南側	37.926	37.963
P31E	37.757	37.836	9.060	北側	37.883	37.920
				南側	37.883	37.920
P32W	37.762	37.841	9.056	北側	37.888	37.925
				南側	37.888	37.925
P32E	37.746	37.825	9.052	北側	37.872	37.909
				南側	37.872	37.909
P33W	37.774	37.853	9.105	北側	37.900	37.937
				南側	37.900	37.937
P33E	37.758	37.837	9.075	北側	37.884	37.921
				南側	37.884	37.921

高程表 (單位: m)

樑端編號	樑梁頂部高程		柱高	鋼筋混凝土墊高		
	EL.X	EL.Y		位置	EL.a	EL.b
P34W	37.768	37.847	9.086	北側	37.894	37.931
				南側	37.894	37.931
P34E	37.751	37.830	9.074	北側	37.877	37.914
				南側	37.877	37.914
P35W	37.750	37.829	9.088	北側	37.876	37.913
				南側	37.876	37.913
P35E	37.747	37.826	9.082	北側	37.873	37.910
				南側	37.873	37.910
P36W	37.767	37.846	9.095	北側	37.893	37.930
				南側	37.893	37.930
P36E	37.729	37.808	9.089	北側	37.855	37.892
				南側	37.855	37.892
P37W	37.775	37.854	9.154	北側	37.901	37.938
				南側	37.901	37.938
P37E	37.718	37.797	9.095	北側	37.844	37.881
				南側	37.844	37.881
P38W	37.755	37.834	9.156	北側	37.881	37.918
				南側	37.881	37.918
P38E	37.739	37.818	9.151	北側	37.865	37.902
				南側	37.865	37.902
P39W	37.737	37.816	9.196	北側	37.863	37.900
				南側	37.863	37.900
P39E	37.734	37.813	9.200	北側	37.860	37.897
				南側	37.860	37.897
P40W	37.774	37.853	9.337	北側	37.900	37.937
				南側	37.900	37.937
P40E	37.751	37.830	9.324	北側	37.877	37.914
				南側	37.877	37.914
P41W	37.757	37.836	9.383	北側	37.883	37.920
				南側	37.883	37.920
P41E	37.737	37.816	9.381	北側	37.863	37.900
				南側	37.863	37.900
P42W	37.779	37.858	9.445	北側	37.905	37.942
				南側	37.905	37.942
P42E	37.748	37.827	9.412	北側	37.874	37.911
				南側	37.874	37.911
P43W	37.786	37.865	9.346	北側	37.912	37.949
				南側	37.912	37.949
P43E	37.752	37.831	9.319	北側	37.878	37.915
				南側	37.878	37.915
P44W	37.775	37.854	9.229	北側	37.901	37.938
				南側	37.901	37.938
P44E	37.751	37.830	9.212	北側	37.877	37.914
				南側	37.877	37.914

中華民國交通部
臺灣區國道高速公路局
拓建工程處

中山高速公路員林至高雄段拓寬
中沙大橋拓建工程(第512標)

修正紀錄

修正內容

日期

河川橋(STA.227K+501.888)

橋墩高程表(一)

第512標
擴工圖

承造商
榮民工程股份有限公司

監造單位
福建工程顧問股份有限公司

圖號: 512-11.11

高程表 (單位: m)

橋墩編號	橋梁頂部高程		柱高	鋼筋混凝土墊高	
	EL.X	EL.Y		位置	EL.a EL.b
P45W	37.784	37.863	9.138	北側	37.910 37.947
				南側	37.910 37.947
P45E	37.759	37.838	9.125	北側	37.885 37.922
				南側	37.885 37.922
P46W	37.780	37.859	9.106	北側	37.905 37.943
				南側	37.905 37.943
P46E	37.748	37.827	9.063	北側	37.874 37.911
				南側	37.874 37.911
P47W	37.764	37.843	9.056	北側	37.890 37.927
				南側	37.890 37.927
P47E	37.757	37.836	9.036	北側	37.883 37.920
				南側	37.883 37.920
P48W	37.779	37.858	9.063	北側	37.905 37.942
				南側	37.905 37.942
P48E	37.798	37.877	9.082	北側	37.924 37.961
				南側	37.924 37.961
P49W	37.765	37.844	9.040	北側	37.891 37.928
				南側	37.891 37.928
P49E	37.767	37.846	9.049	北側	37.893 37.930
				南側	37.893 37.930
P50W	37.736	37.815	9.051	北側	37.862 37.899
				南側	37.862 37.899
P50E	37.749	37.828	9.070	北側	37.875 37.912
				南側	37.875 37.912
P51W	37.756	37.836	7.051	北側	37.873 37.910
				南側	37.873 37.910
P51E	37.752	37.822	7.095	北側	37.869 37.906
				南側	37.869 37.906
P52W	37.732	37.802	7.045	北側	37.849 37.886
				南側	37.849 37.886
P52E	37.738	37.808	7.055	北側	37.855 37.892
				南側	37.855 37.892
P53W	37.720	37.790	7.012	北側	37.837 37.874
				南側	37.837 37.874
P53E	37.718	37.788	7.005	北側	37.835 37.872
				南側	37.835 37.872
P54W	37.717	37.787	6.989	北側	37.834 37.871
				南側	37.834 37.871
P54E	37.737	37.807	7.005	北側	37.854 37.891
				南側	37.854 37.891
P55W	37.702	37.772	7.009	北側	37.819 37.856
				南側	37.819 37.856
P55E	37.716	37.786	7.031	北側	37.833 37.870
				南側	37.833 37.870

高程表 (單位: m)

橋墩編號	橋梁頂部高程		柱高	鋼筋混凝土墊高	
	EL.X	EL.Y		位置	EL.a EL.b
P56W	37.692	37.762	6.958	北側	37.809 37.846
				南側	37.809 37.846
P56E	37.687	37.757	6.959	北側	37.804 37.841
				南側	37.804 37.841
P57W	37.694	37.764	6.932	北側	37.811 37.848
				南側	37.811 37.848
P57E	37.700	37.770	6.945	北側	37.817 37.854
				南側	37.817 37.854
P58W	37.690	37.760	6.885	北側	37.807 37.844
				南側	37.807 37.844
P58E	37.715	37.785	6.892	北側	37.832 37.869
				南側	37.832 37.869
P59W	37.700	37.770	6.891	北側	37.817 37.854
				南側	37.817 37.854
P59E	37.723	37.793	6.924	北側	37.840 37.877
				南側	37.840 37.877
P60W	37.699	37.769	6.916	北側	37.816 37.853
				南側	37.816 37.853
P60E	37.744	37.814	6.970	北側	37.861 37.898
				南側	37.861 37.898
P61W	37.696	37.766	6.901	北側	37.813 37.850
				南側	37.813 37.850
P61E	37.738	37.808	6.934	北側	37.855 37.892
				南側	37.855 37.892
P62W	37.690	37.760	6.870	北側	37.807 37.844
				南側	37.807 37.844
P62E	37.720	37.790	6.894	北側	37.837 37.874
				南側	37.837 37.874
P63W	37.707	37.777	6.921	北側	37.824 37.861
				南側	37.824 37.861
P63E	37.726	37.796	6.930	北側	37.843 37.880
				南側	37.843 37.880
P64W	37.675	37.745	6.913	北側	37.792 37.829
				南側	37.792 37.829
P64E	37.686	37.756	6.926	北側	37.808 37.840
				南側	37.808 37.840
P65W	37.674	37.744	6.928	北側	37.791 37.828
				南側	37.791 37.828
P65E	37.666	37.736	6.926	北側	37.783 37.820
				南側	37.783 37.820
P66W	37.672	37.742	6.898	北側	37.789 37.826
				南側	37.789 37.826
P66E	37.679	37.749	6.915	北側	37.812 37.849
				南側	37.812 37.849

中華民國交通部
臺灣區國道高速公路局
拓建工程處

中山高速公路員林至高雄段拓寬
中沙大橋拓建工程(第512標)

修正記錄

修正內容

日期

河川橋(STA.227K+601.888)
橋墩高程表(二)

第 512 標
竣 工 圖

承造商
華民工程股份有限公司

監造單位
聯達工程股份有限公司

繪圖: (圖號) 審核: (圖號)

監工: 92.11.11 監造: (圖號)

本圖不列入圖: (圖號) 圖號: (圖號)

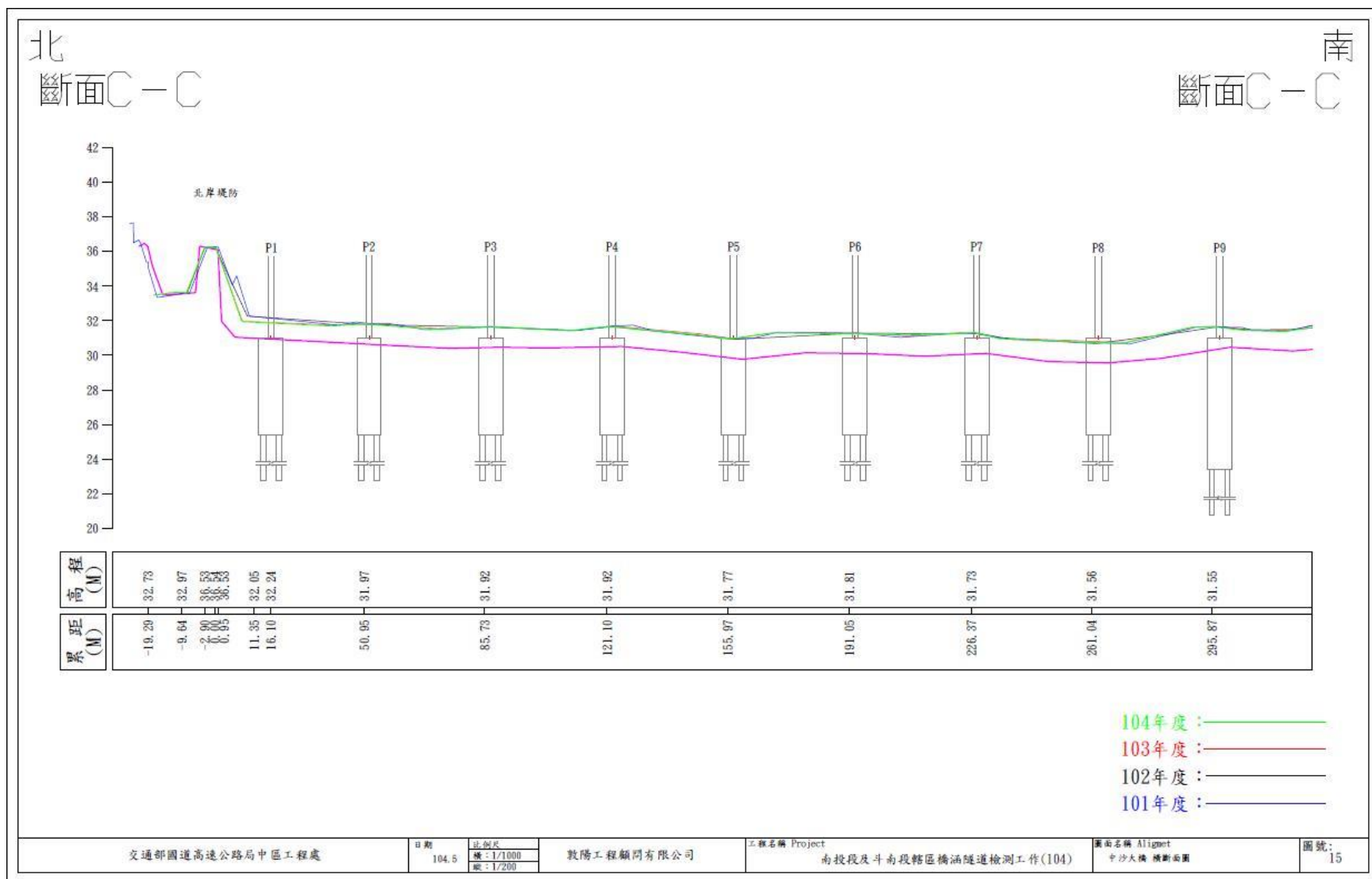
單位 比例 圖號 S-027

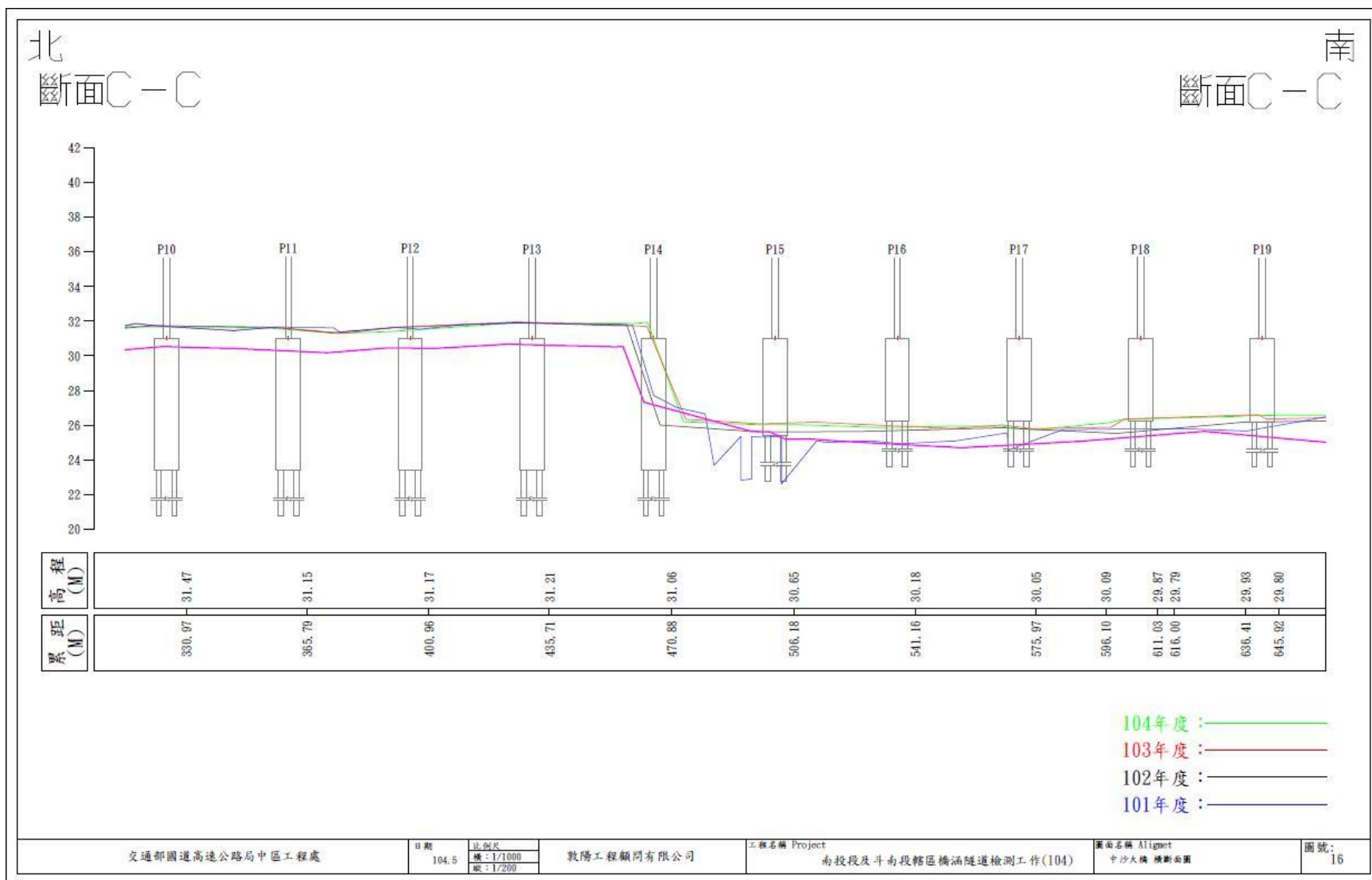
竣工

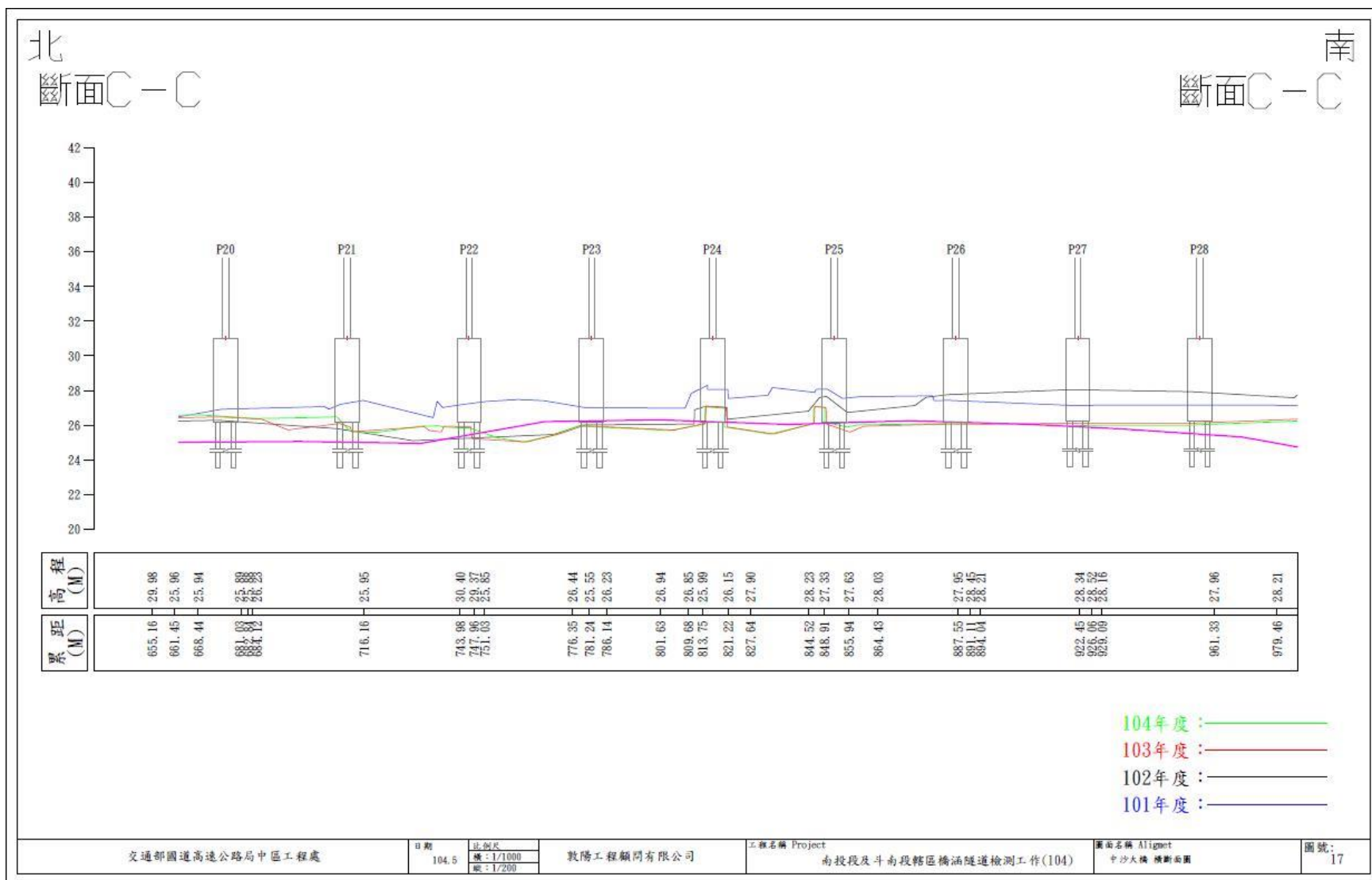
統一代碼: P5120-F-S\\-027-0-0

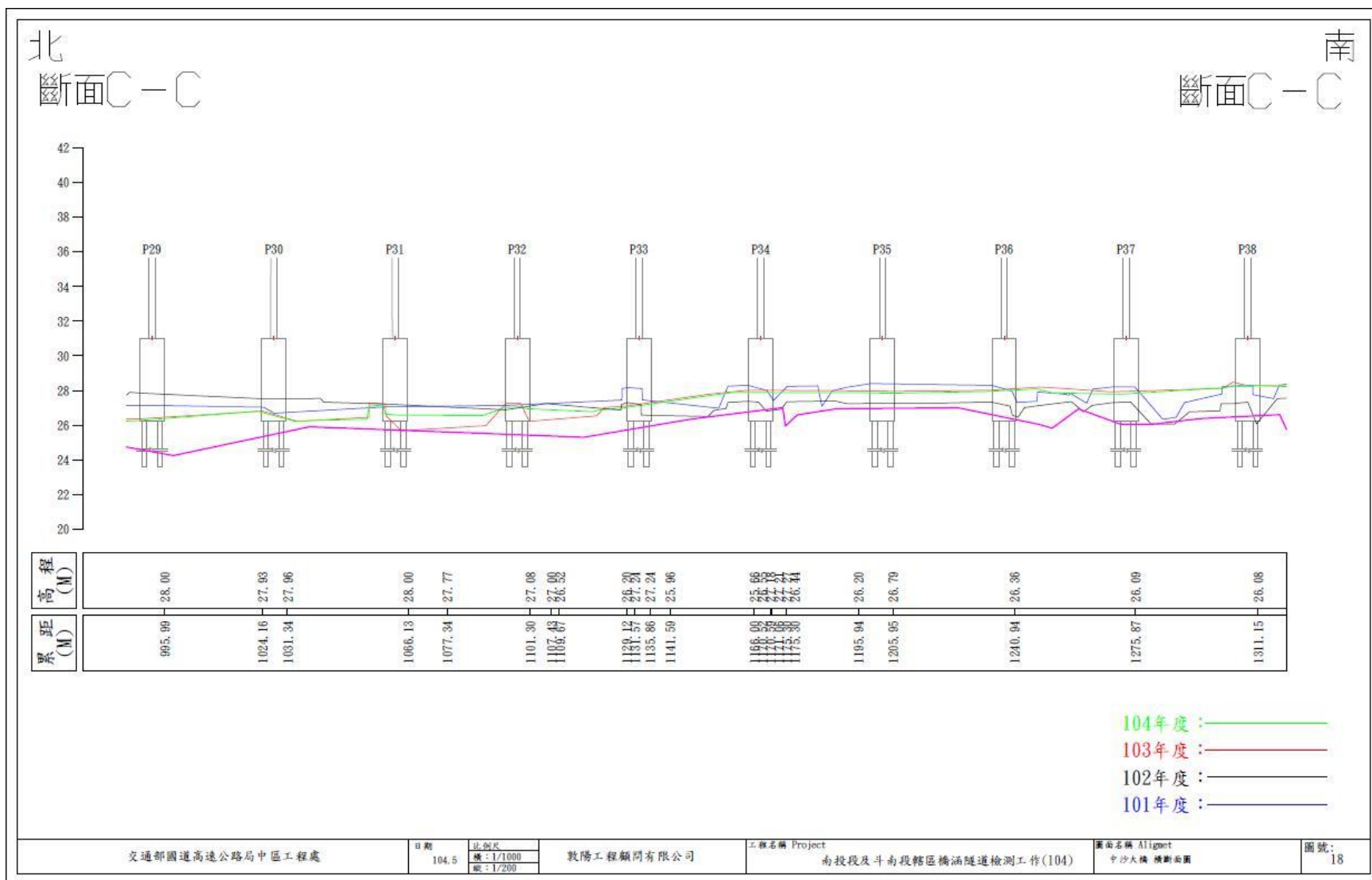
附錄二

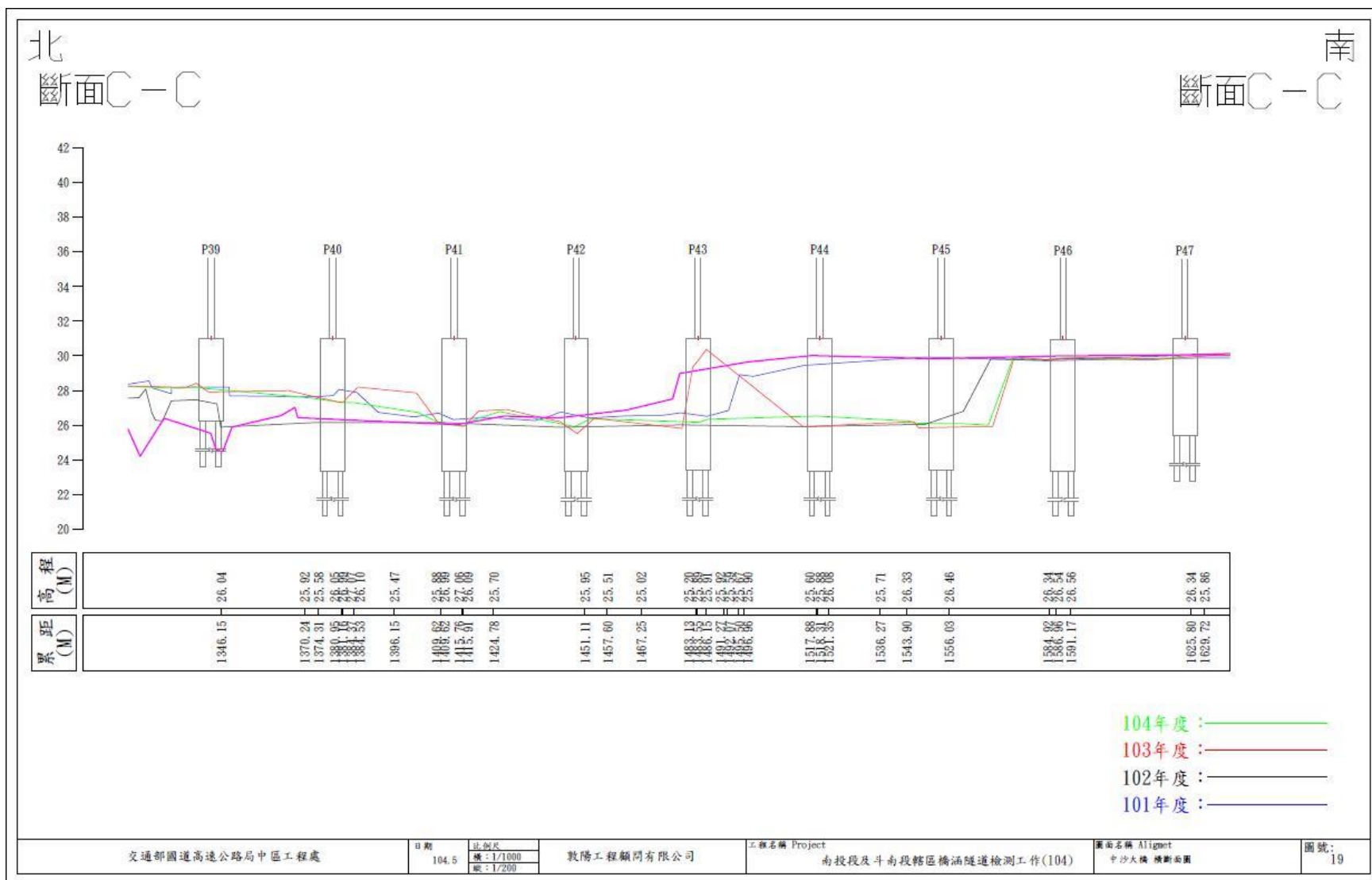
中沙大橋橋址河床斷面測量成果

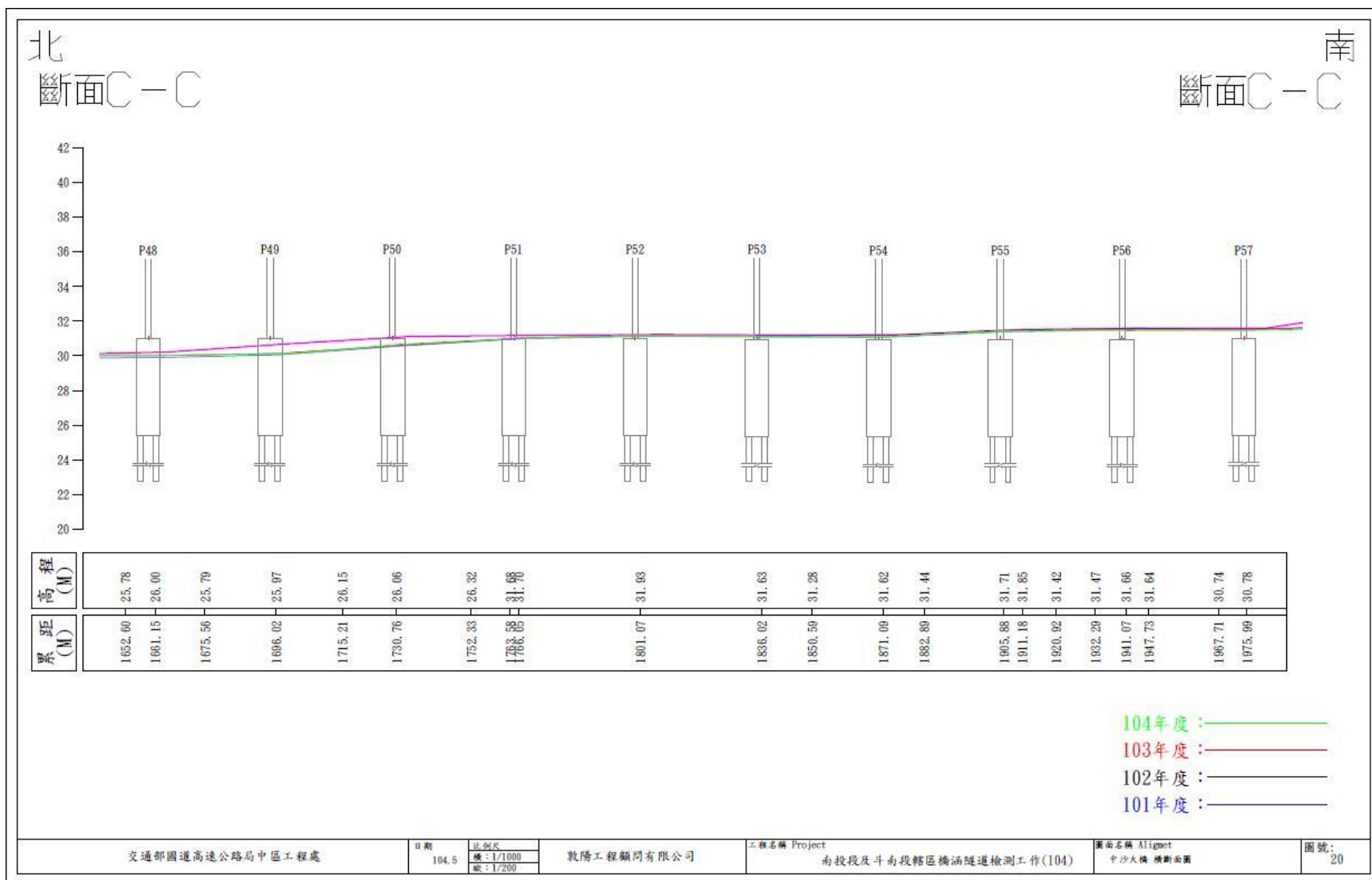


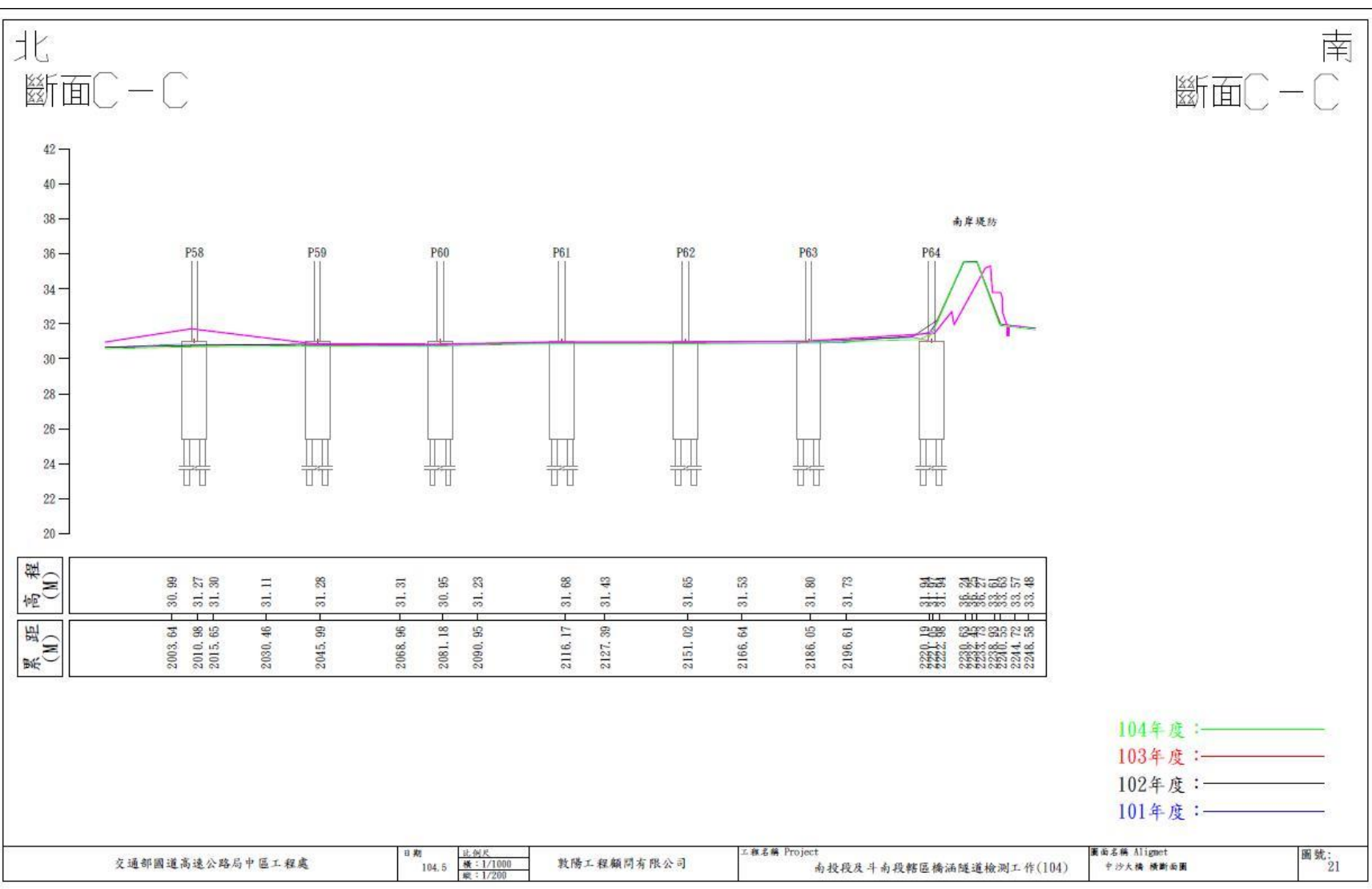


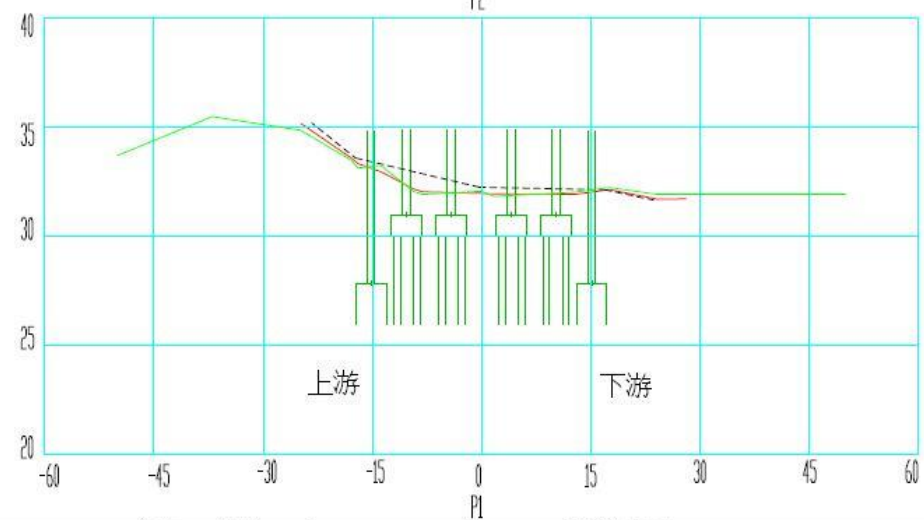
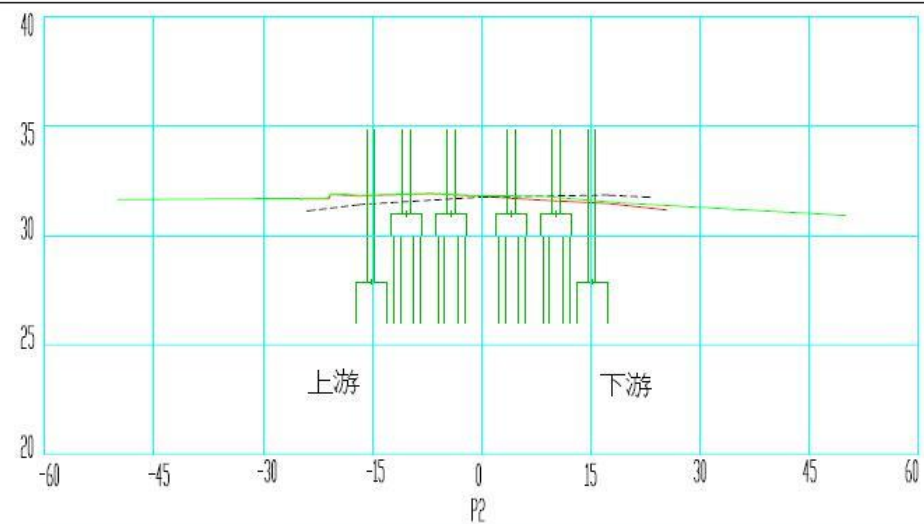






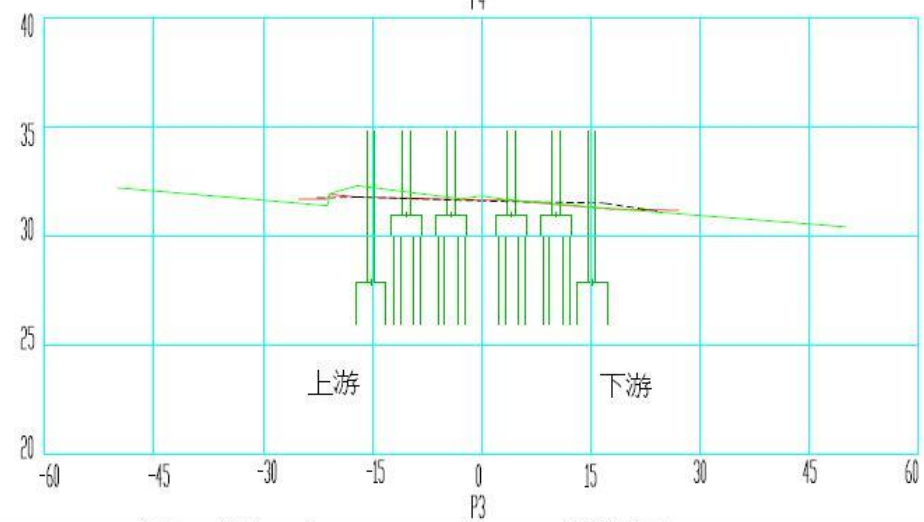
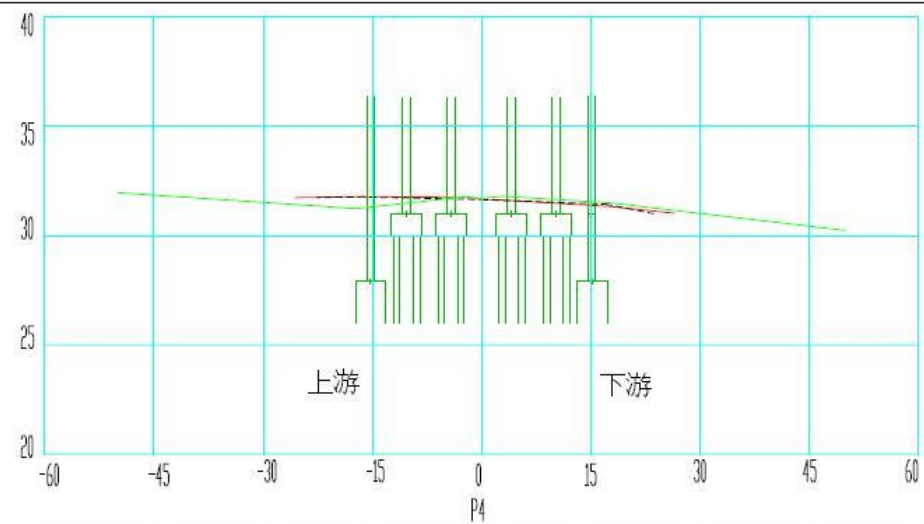






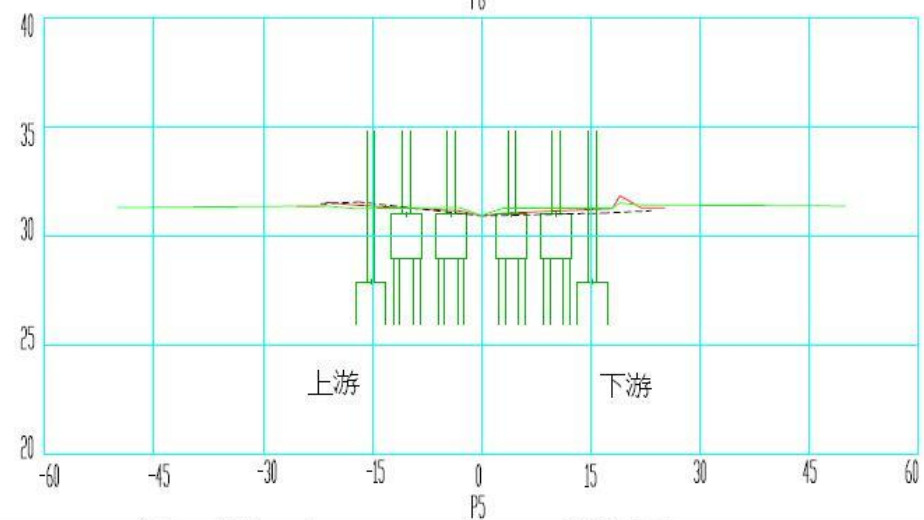
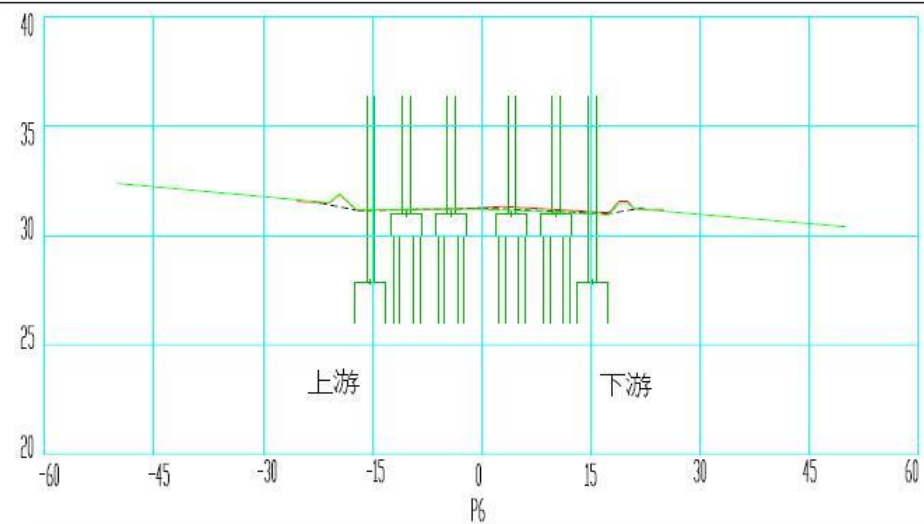
—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 01
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



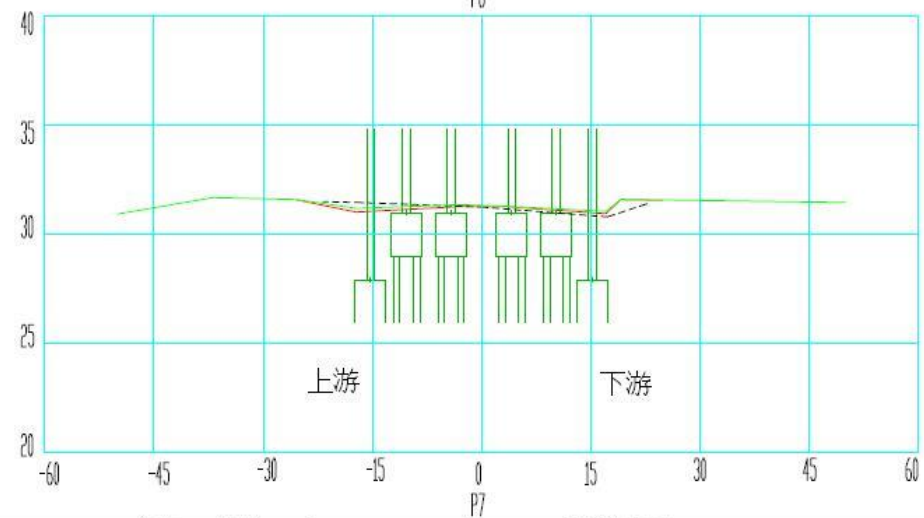
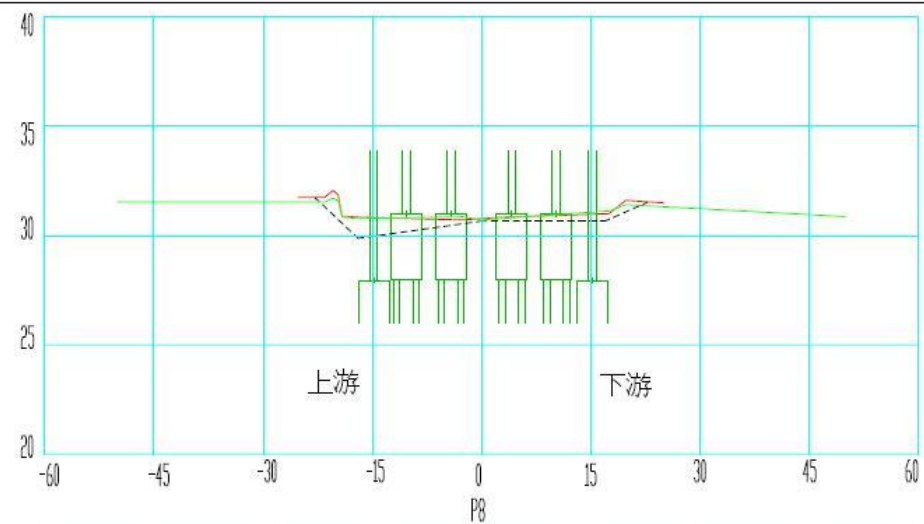
— 104 河床線
— 103 河床線
---- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 02
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



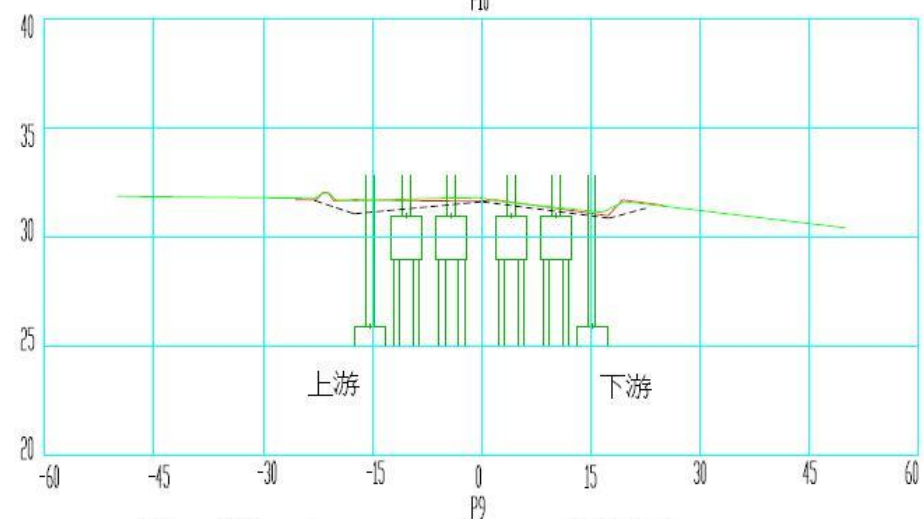
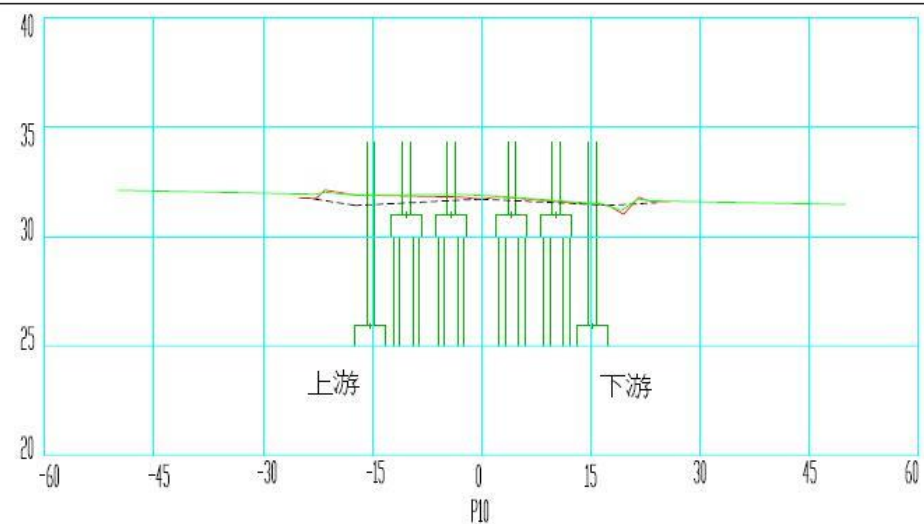
— 104 河床線
— 103 河床線
---- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 03
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



— 104 河床線
— 103 河床線
---- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 04
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



— 104 河床線
— 103 河床線
--- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處

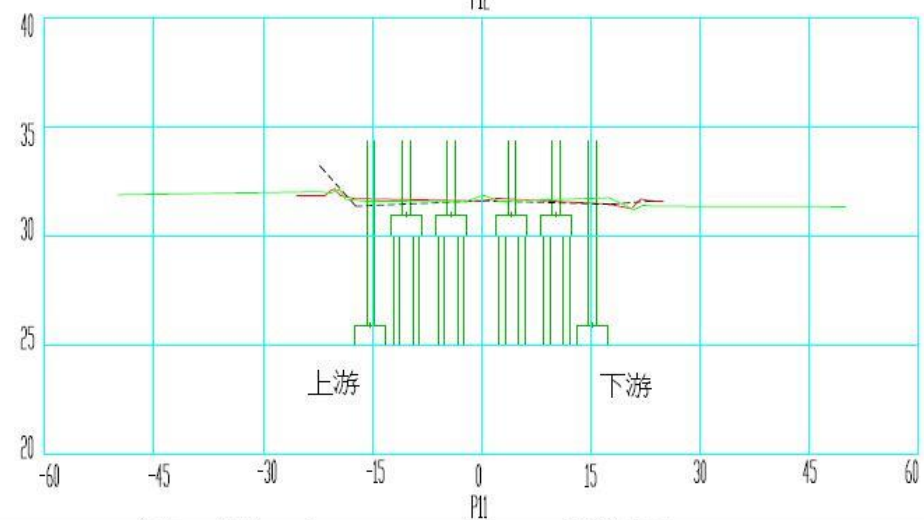
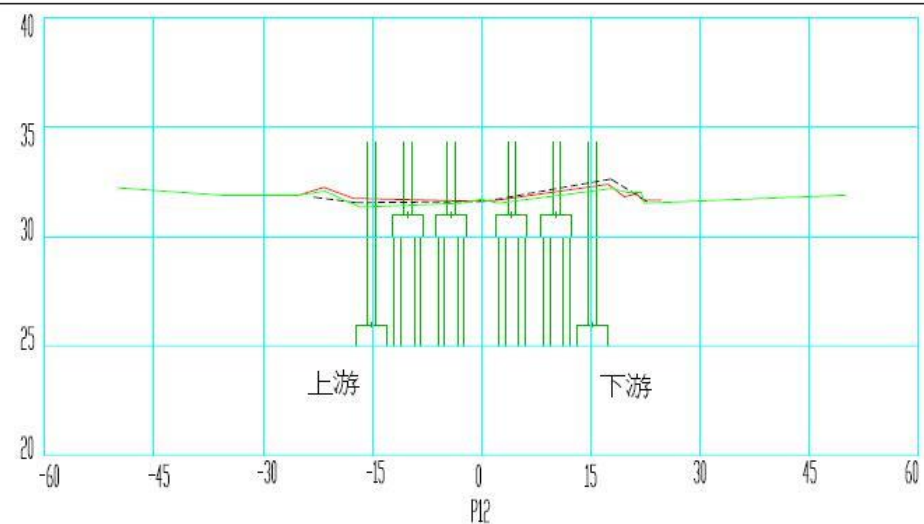
日期
104.5
比例尺
縱：1/600
橫：1/200

敦陽工程顧問有限公司

工程名稱 Project
南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

圖面名稱 Alignment
中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
05



— 104 河床線
— 103 河床線
---- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處

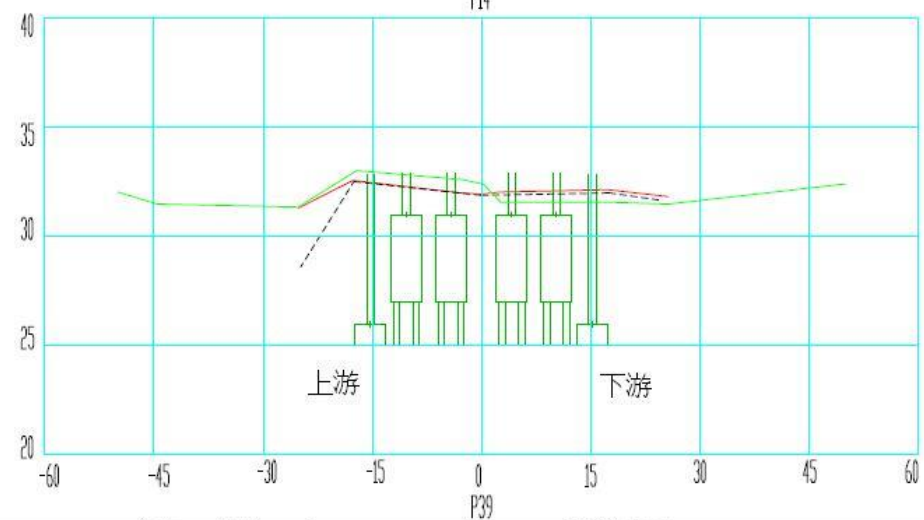
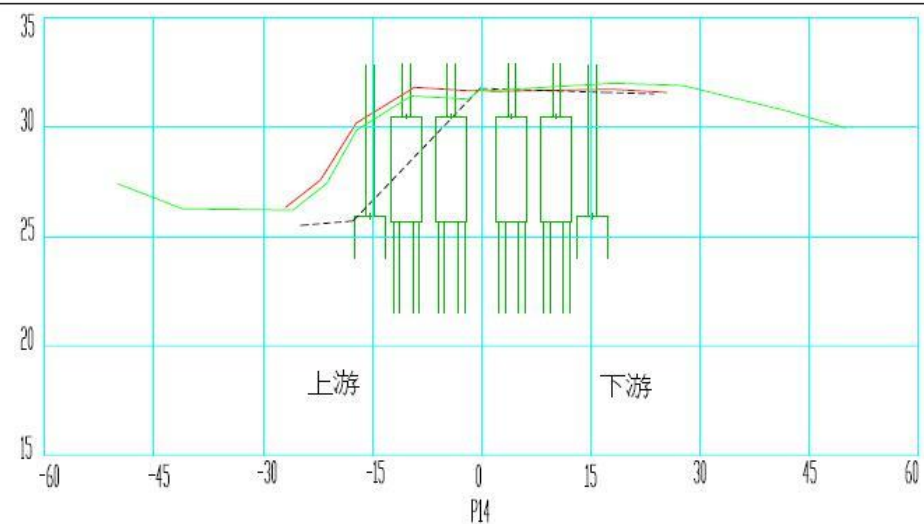
日期
104.5
比例尺
縱：1/600
橫：1/200

敦陽工程顧問有限公司

工程名稱 Project
南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

圖面名稱 Alignment
中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
06



— 104 河床線
— 103 河床線
--- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處

日期
104.5

比例尺
縮：1/600
縮：1/200

敦陽工程顧問有限公司

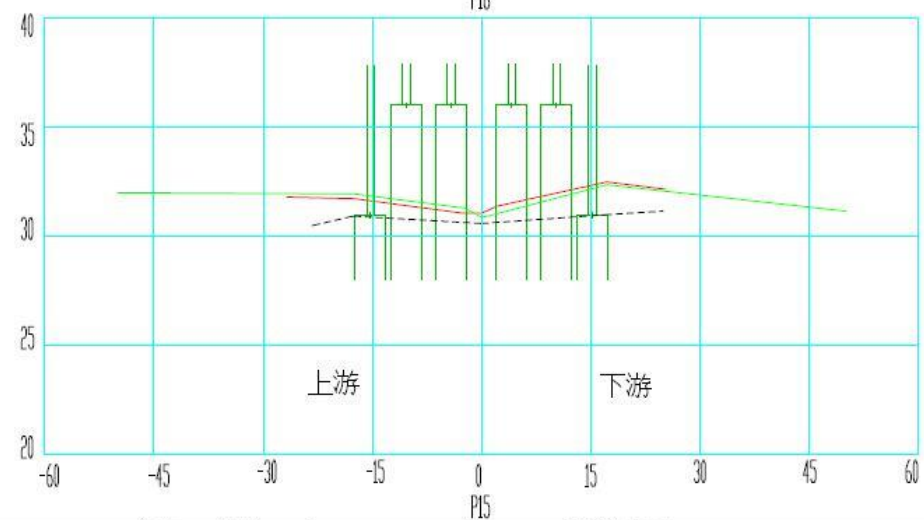
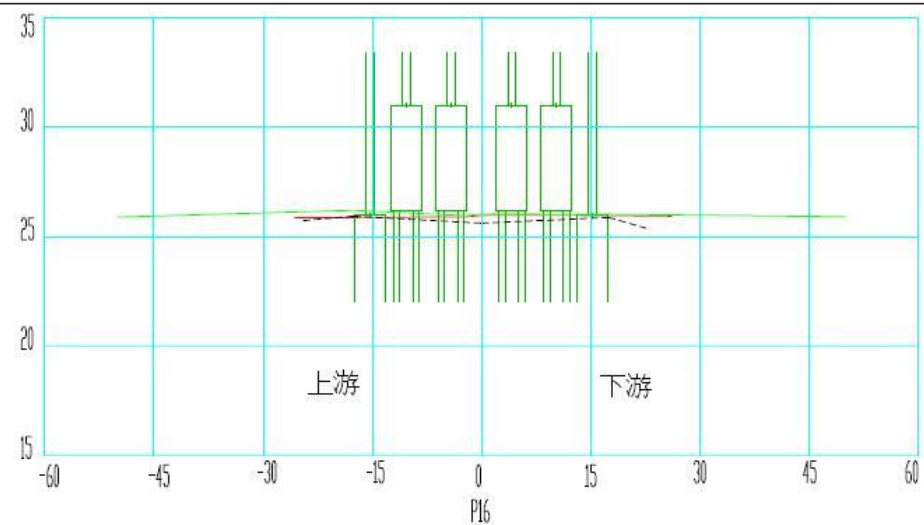
工程名稱 Project

南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

圖面名稱 Alignment

中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
07



— 104 河床線
— 103 河床線
--- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處

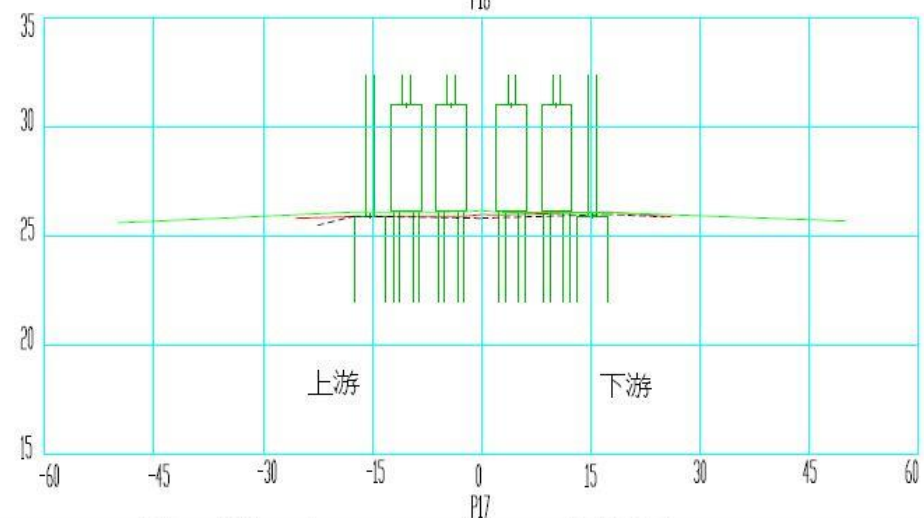
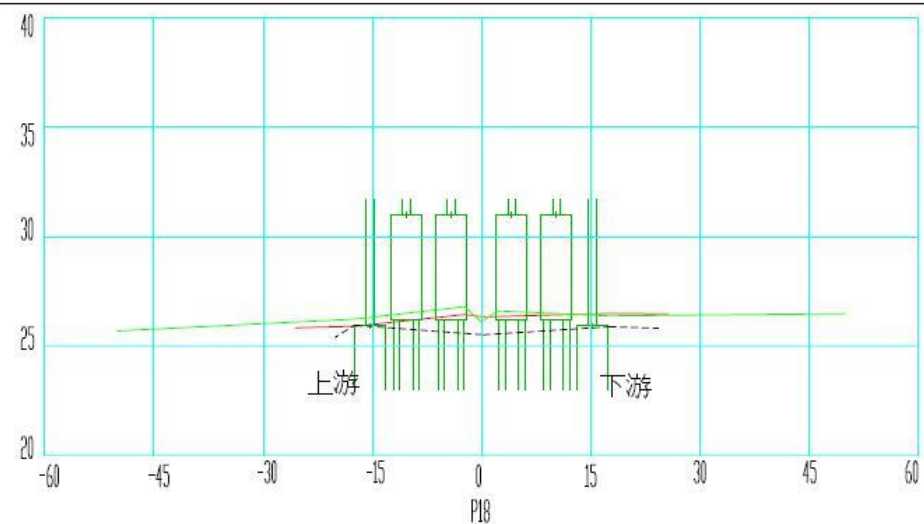
日期
104.5
比例尺
縱：1/600
橫：1/200

敦陽工程顧問有限公司

工程名稱 Project
南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

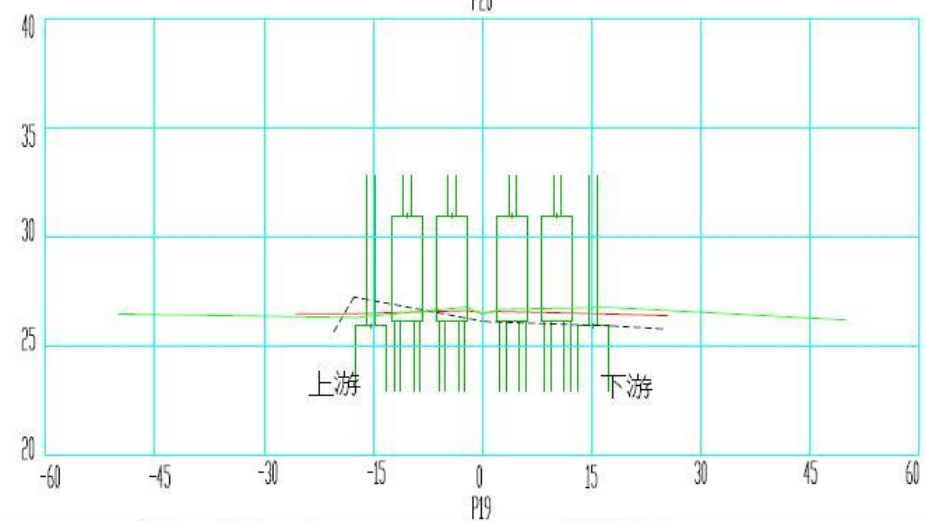
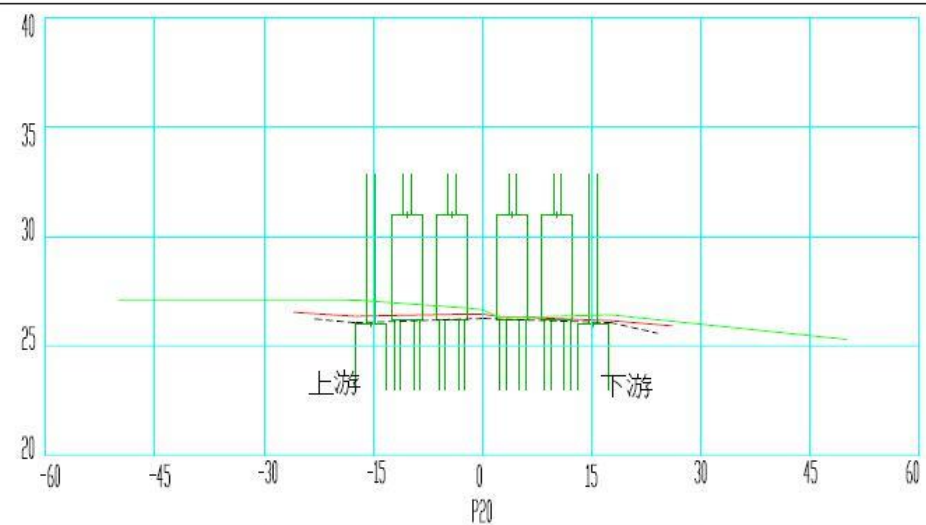
圖面名稱 Alignment
中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
08



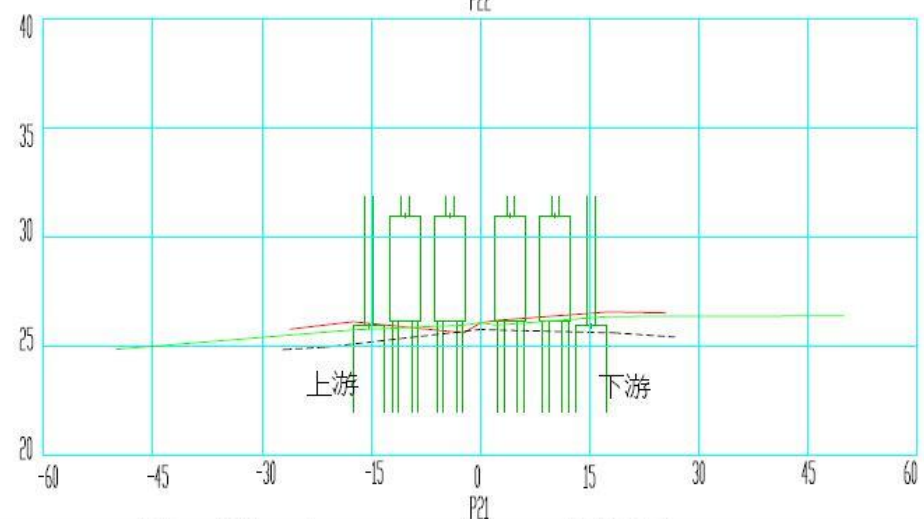
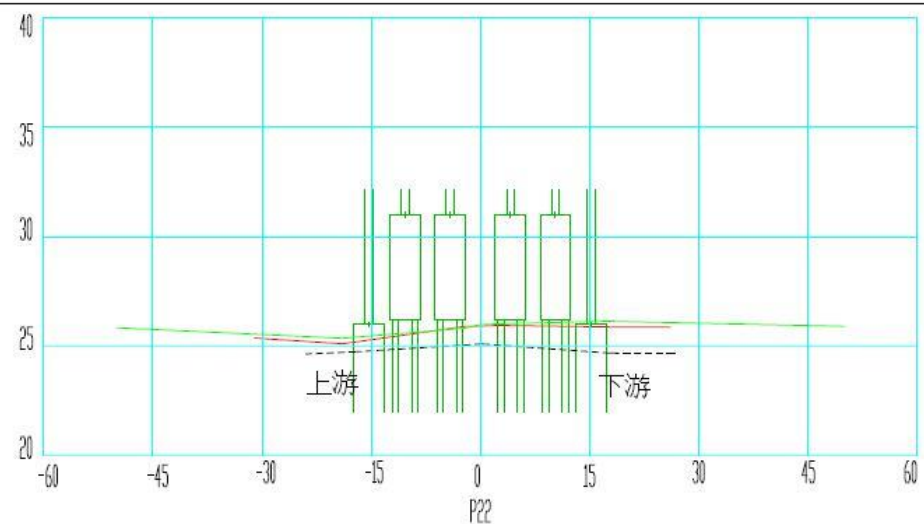
— 104 河床線
— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 09
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



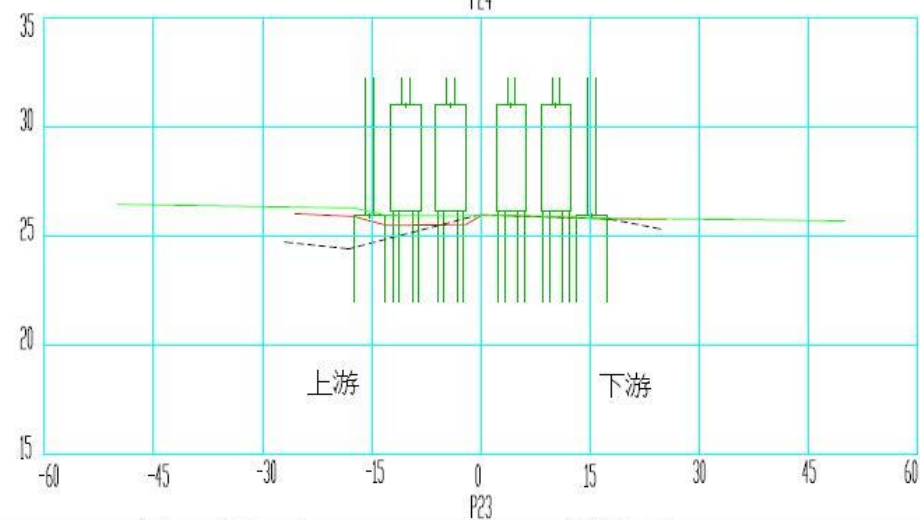
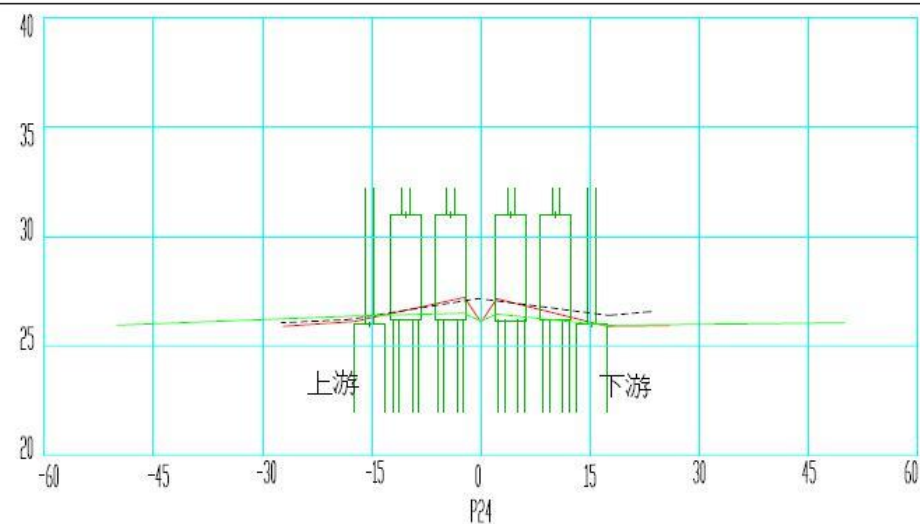
— 104 河床線
— 103 河床線
- - - 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 10
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



— 104 河床線
— 103 河床線
--- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期 104.5	比例尺 縱：1/600 橫：1/200	工程名稱 Project 敦陽工程顧問有限公司 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 11
-----------------	-------------	---------------------------	--	-----------------------------	-----------



— 104 河床線
— 103 河床線
---- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處

日期
104.5

比例尺
縱：1/600
橫：1/200

敦陽工程顧問有限公司

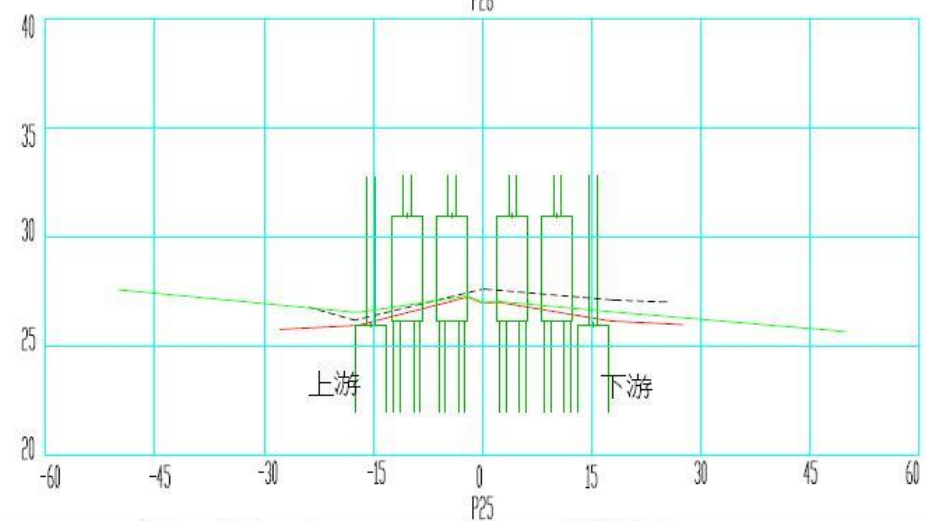
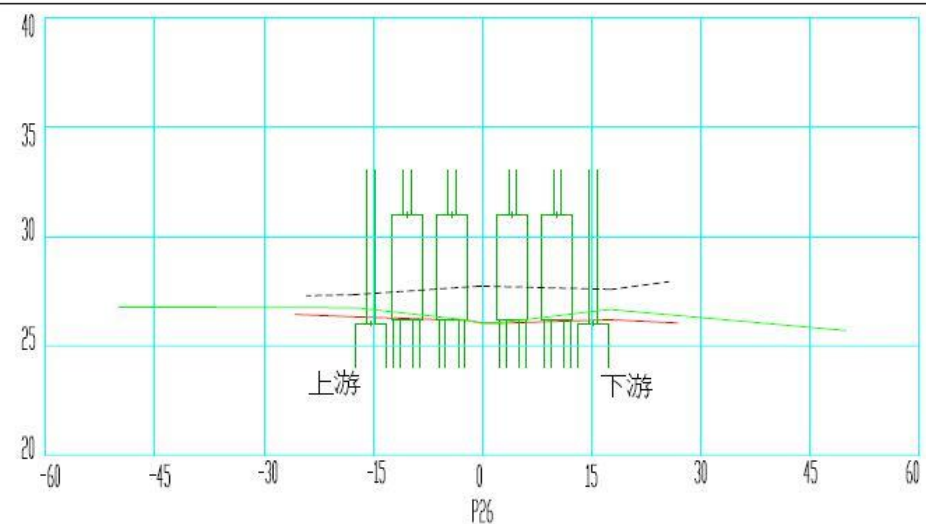
工程名稱 Project

南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

圖面名稱 Alignment

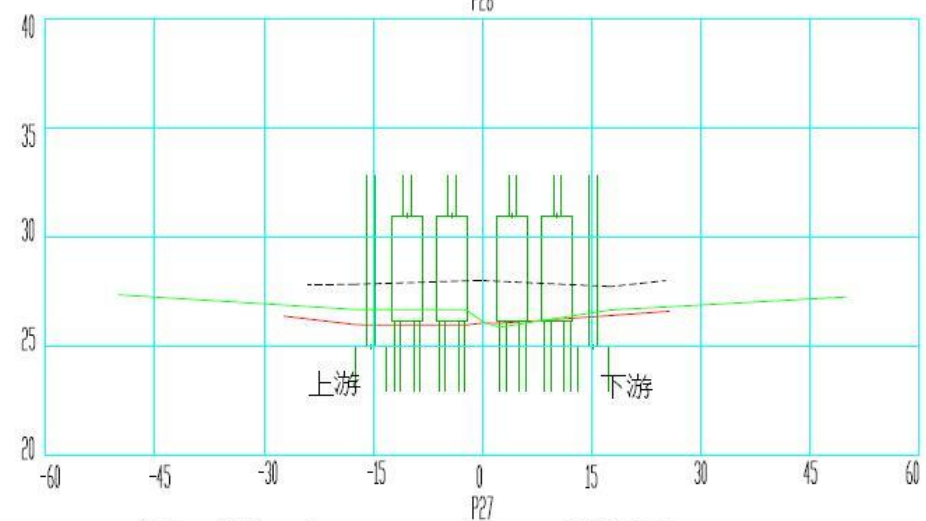
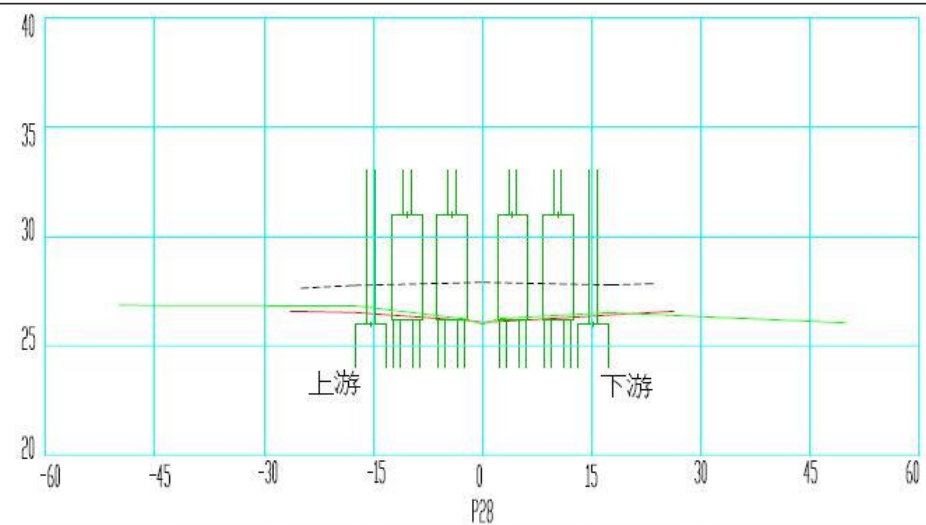
中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
12



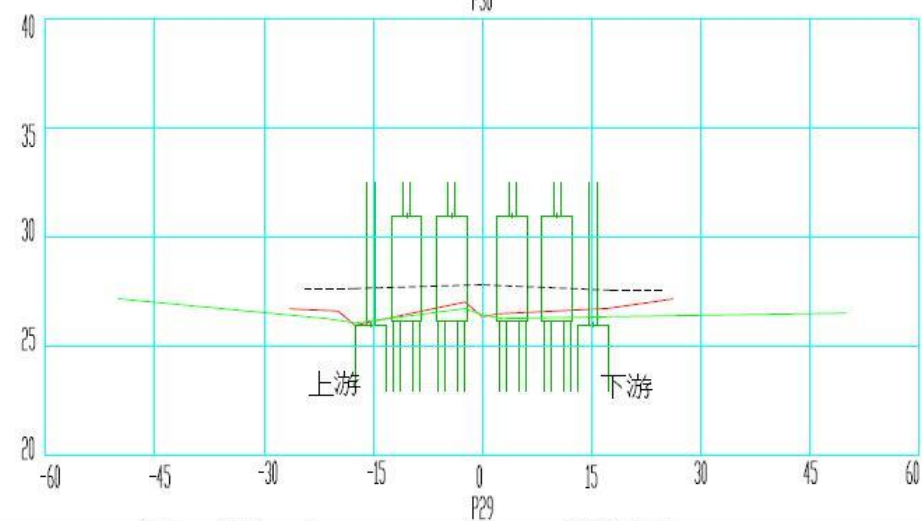
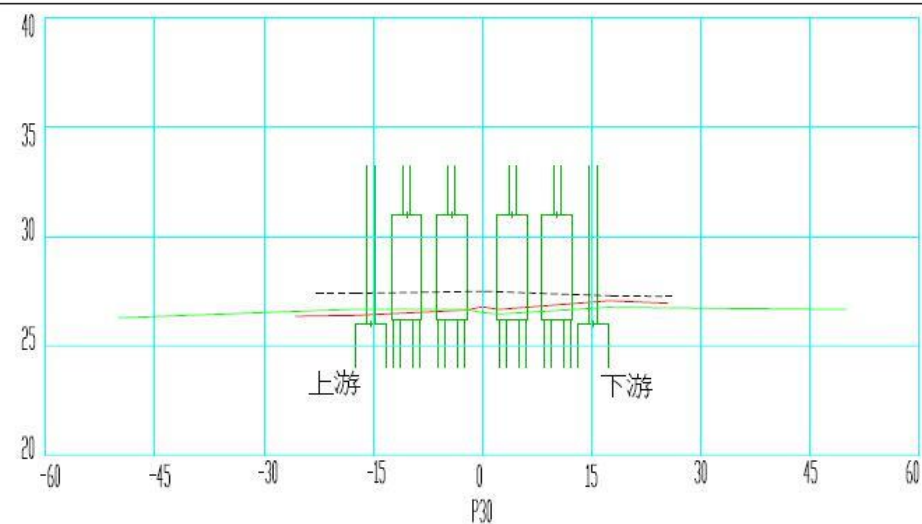
—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期 104.5	比例尺 縱：1/600 橫：1/200	工程名稱 Project 敦陽工程顧問有限公司 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 13
-----------------	-------------	---------------------------	--	-----------------------------	-----------



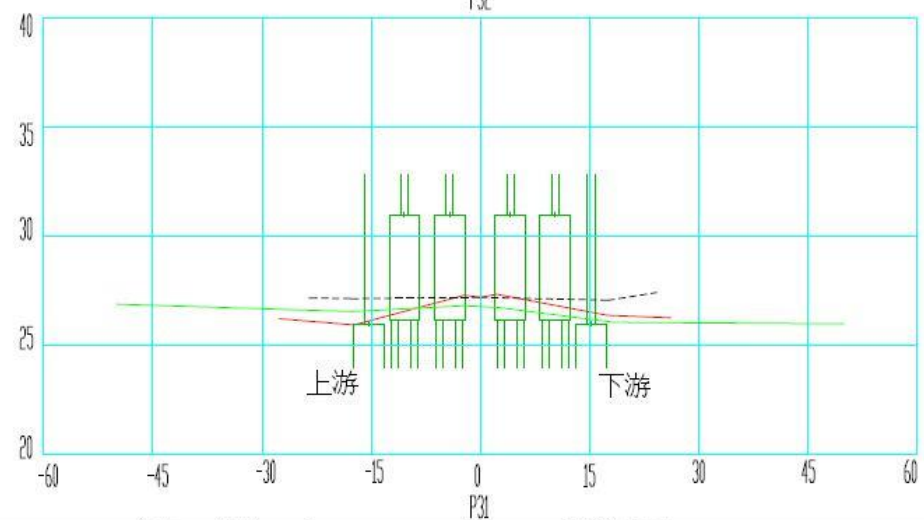
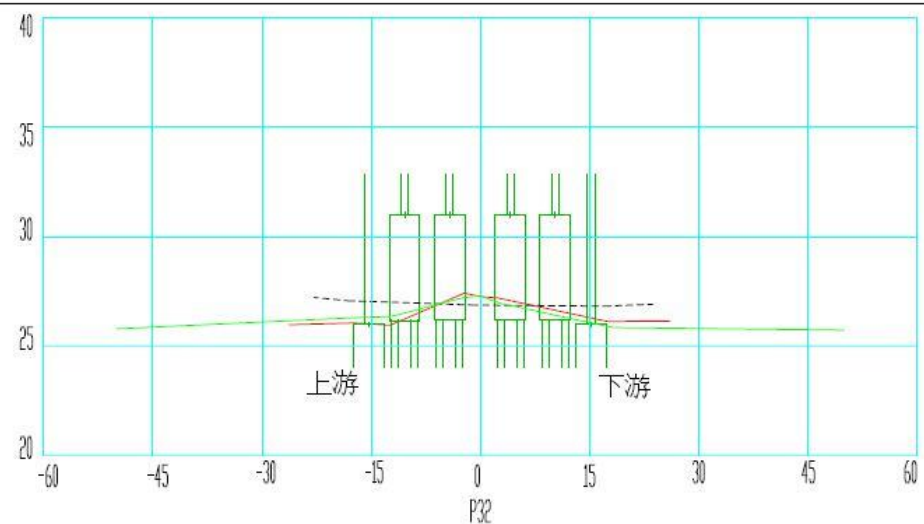
— 104 河床線
— 103 河床線
--- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期 104.5	比例尺 縱：1/600 橫：1/200	工程名稱 Project 敦陽工程顧問有限公司 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 14
-----------------	-------------	---------------------------	--	-----------------------------	-----------



—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 15
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



— 104 河床線
— 103 河床線
--- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處

日期
104.5

比例尺
縱：1/600
橫：1/200

敦陽工程顧問有限公司

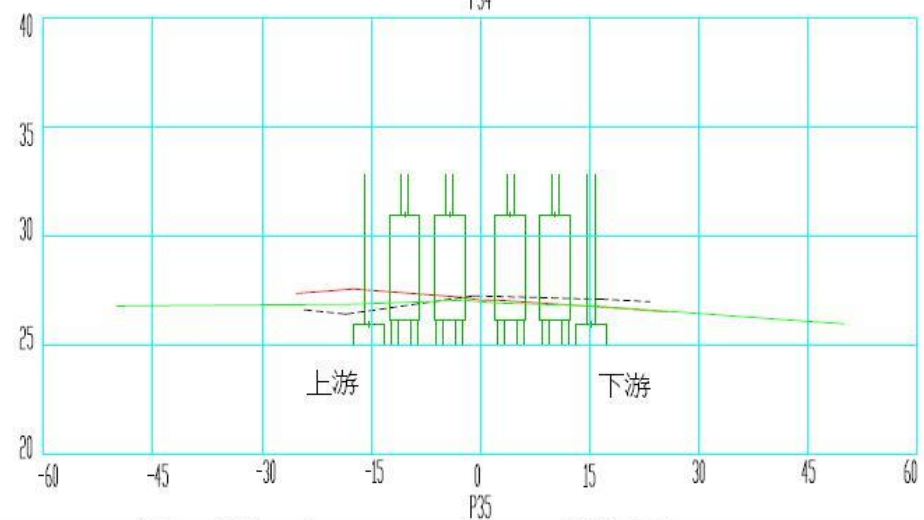
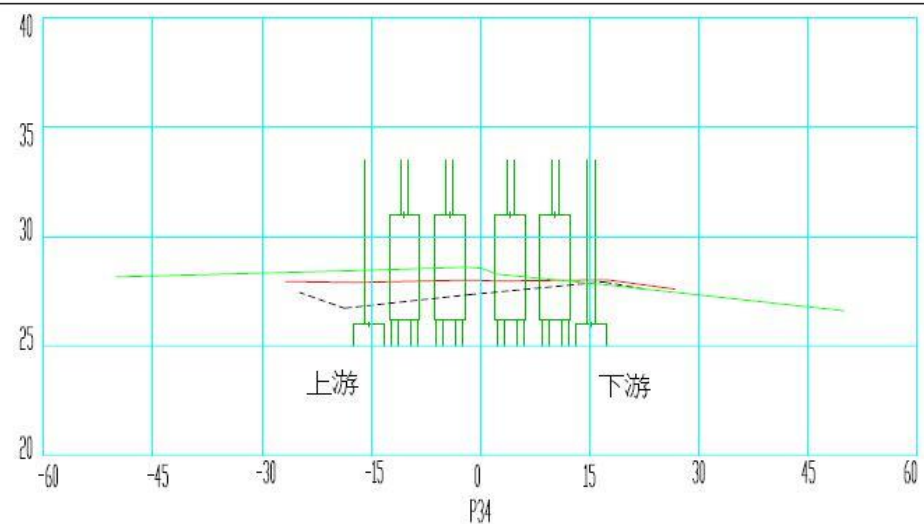
工程名稱 Project

南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

圖面名稱 Alignment

中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
16



— 104 河床線
— 103 河床線
- - - 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處

日期
104.5

比例尺
縱：1/600
橫：1/200

敦陽工程顧問有限公司

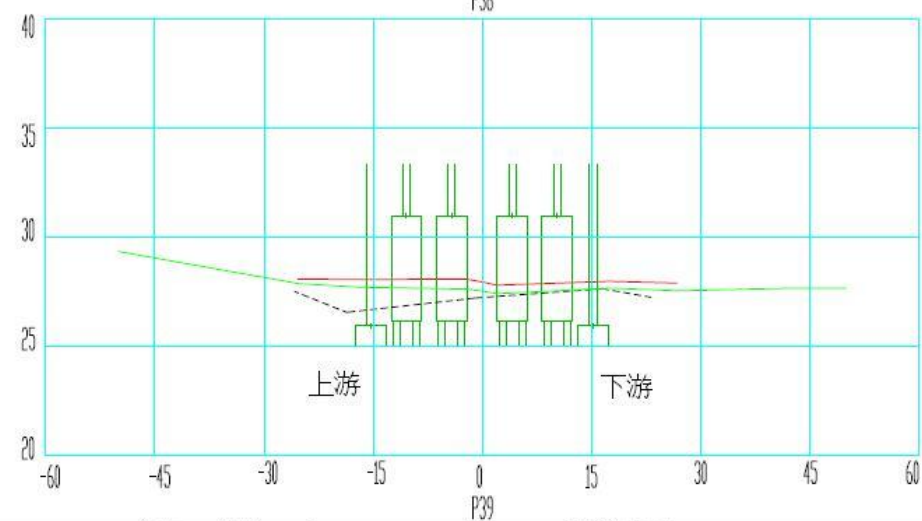
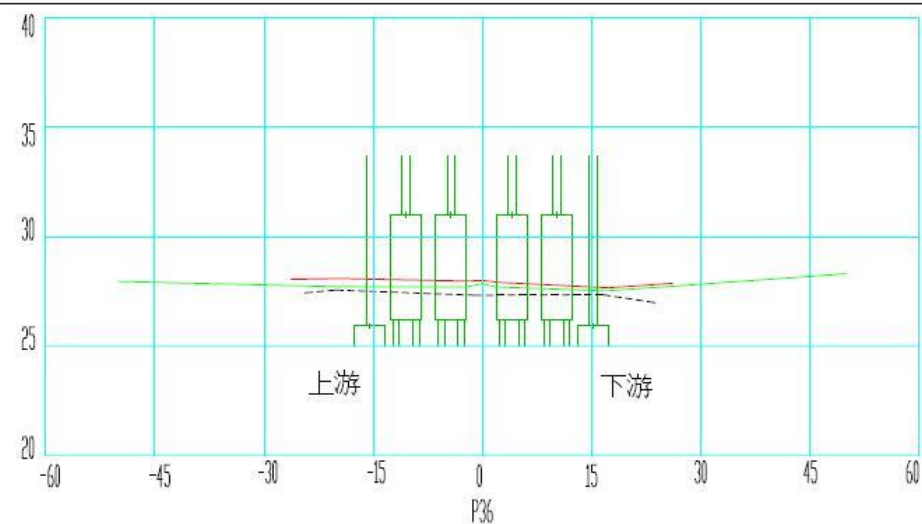
工程名稱 Project

南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

圖面名稱 Alignment

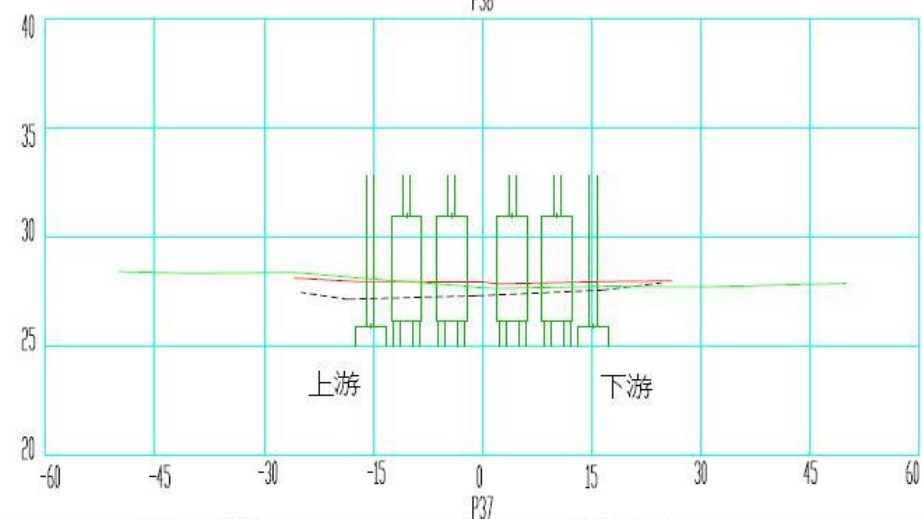
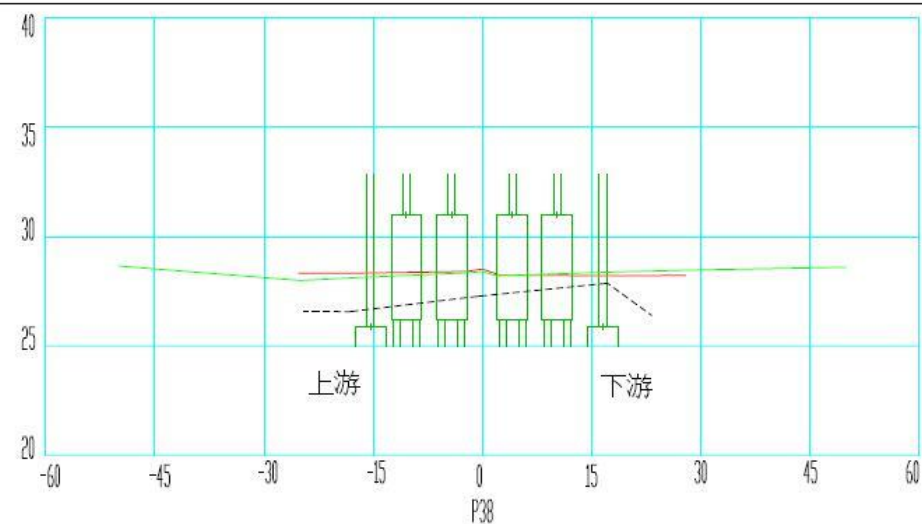
中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
17



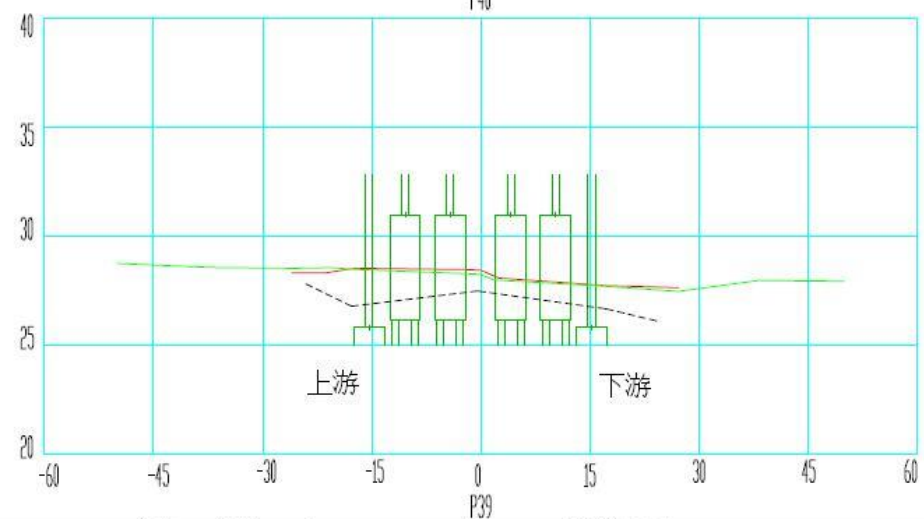
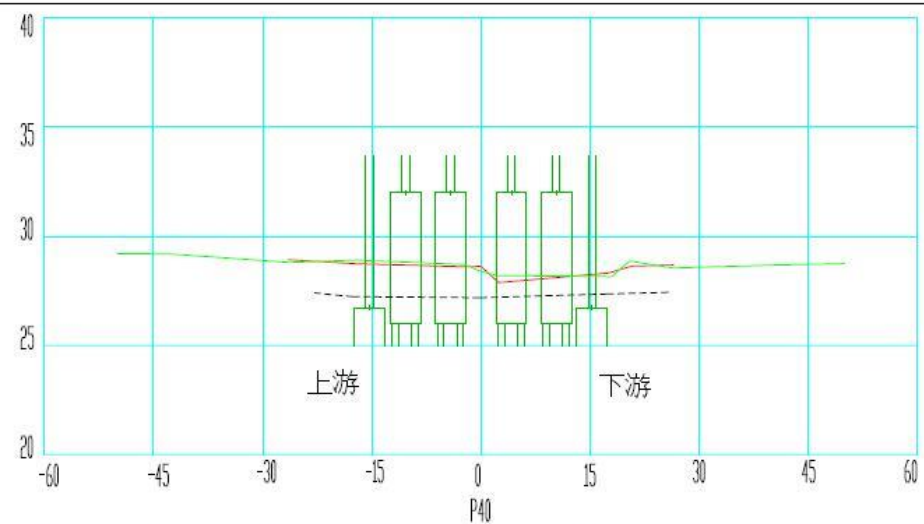
—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 18
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



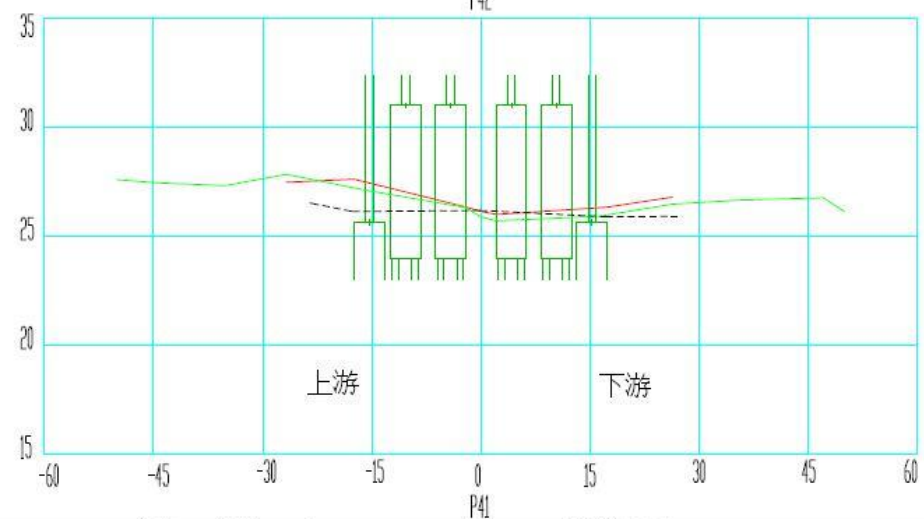
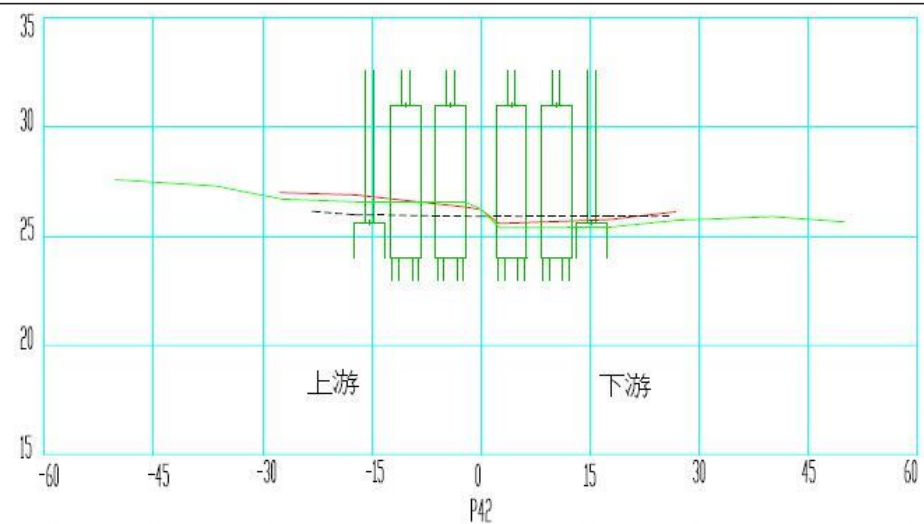
—— 104 河床線
 —— 103 河床線
 - - - - 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 19
	104.5	縱: 1/600				
		橫: 1/200				



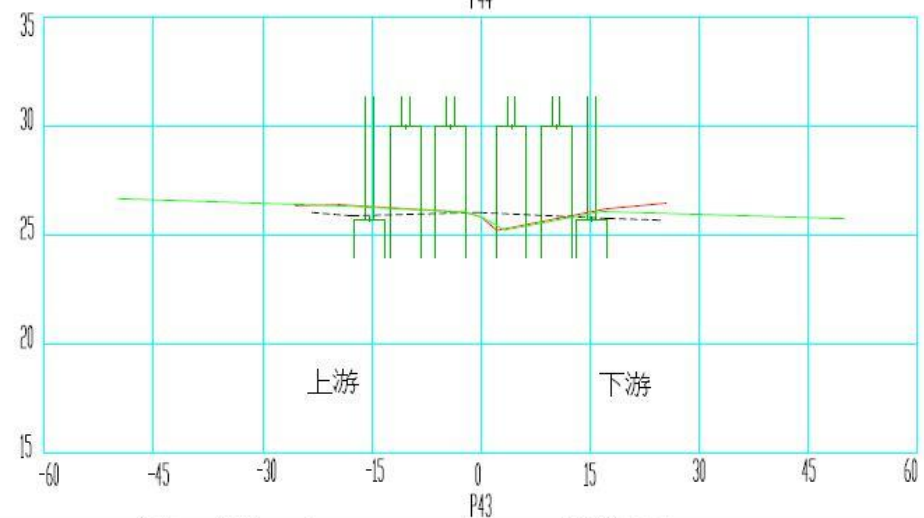
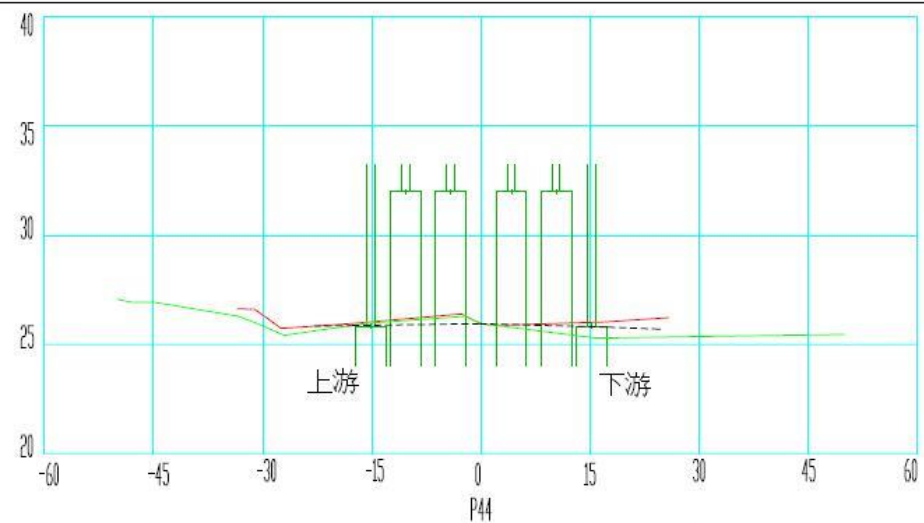
—— 104 河床線
 —— 103 河床線
 - - - - 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 20
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



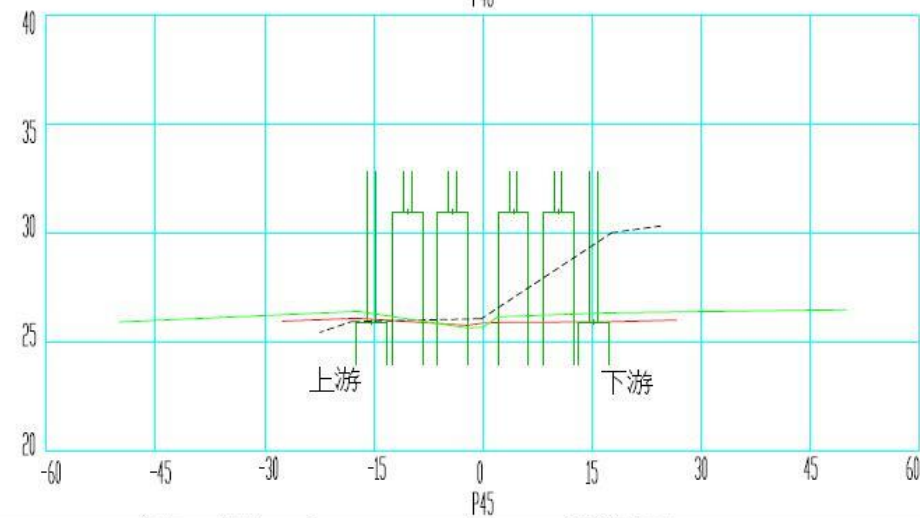
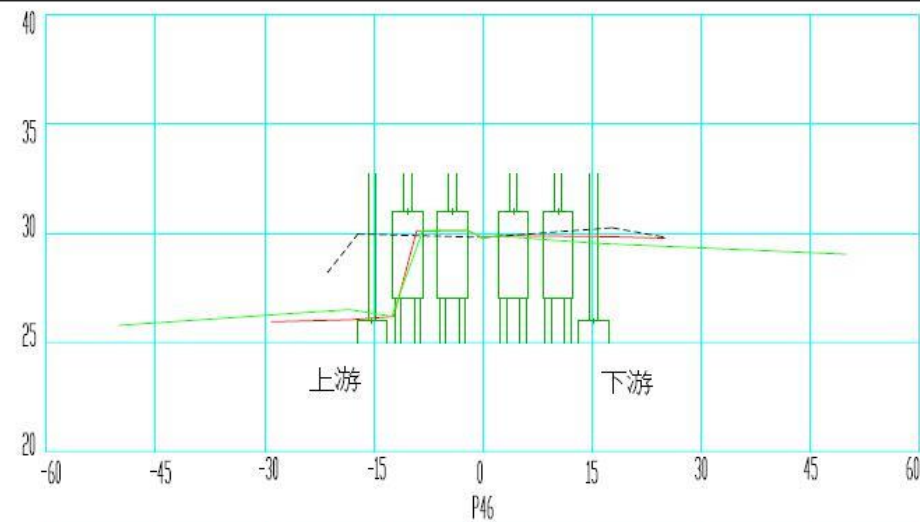
—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 21
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



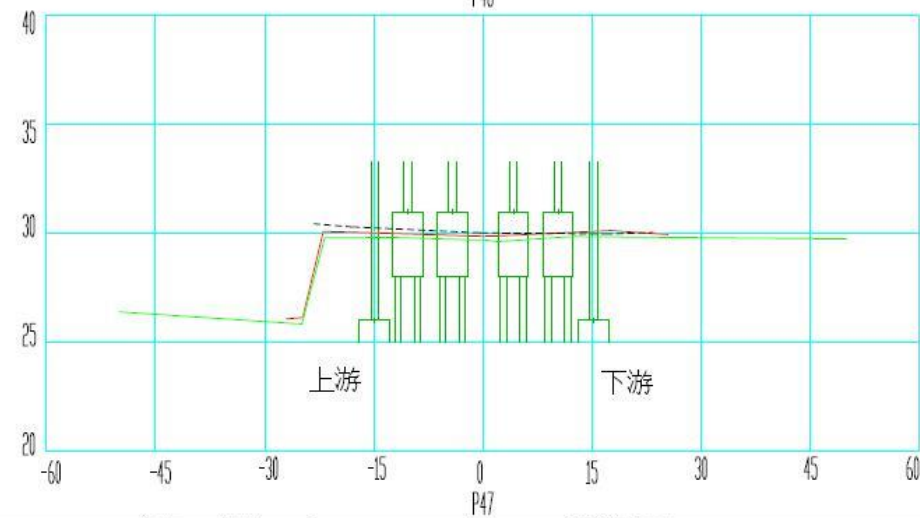
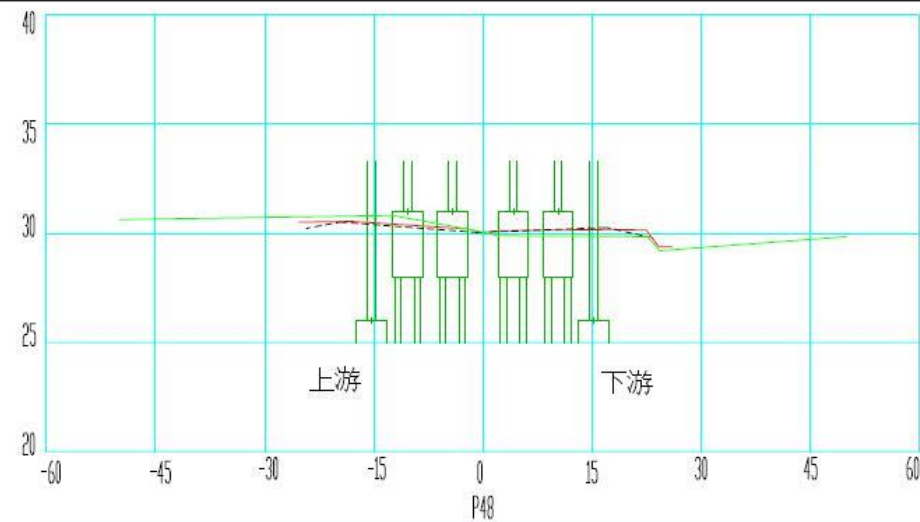
—— 104 河床線
 —— 103 河床線
 - - - - 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 22
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 23
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



— 104 河床線
— 103 河床線
- - - 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處

日期
104.5

比例尺
縱：1/800
橫：1/200

敦陽工程顧問有限公司

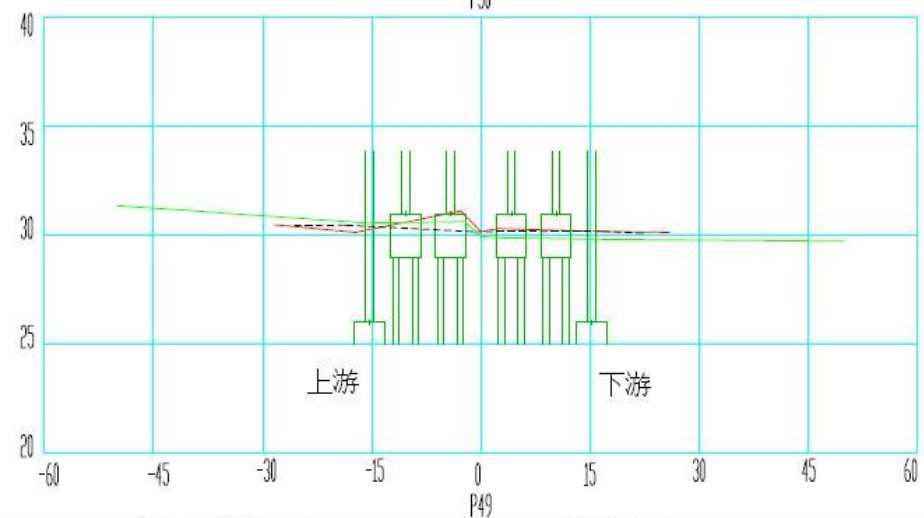
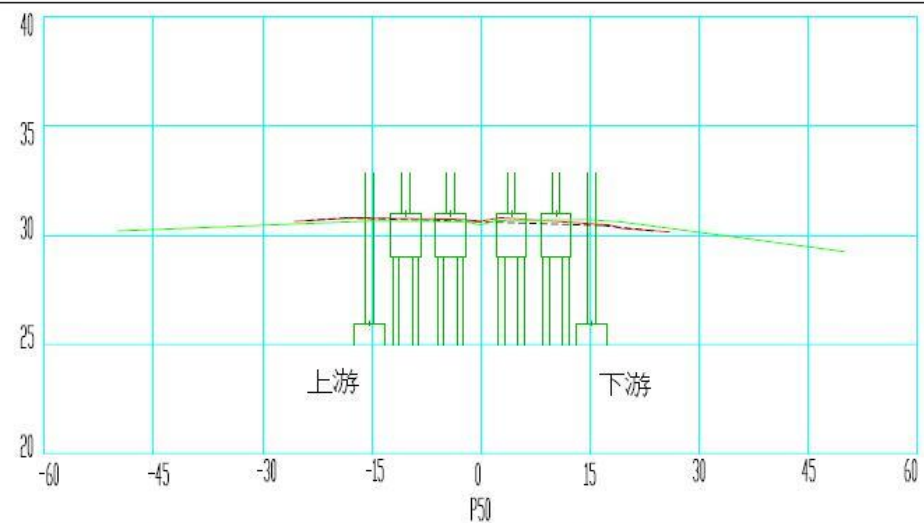
工程名稱 Project

南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

圖面名稱 Alignment

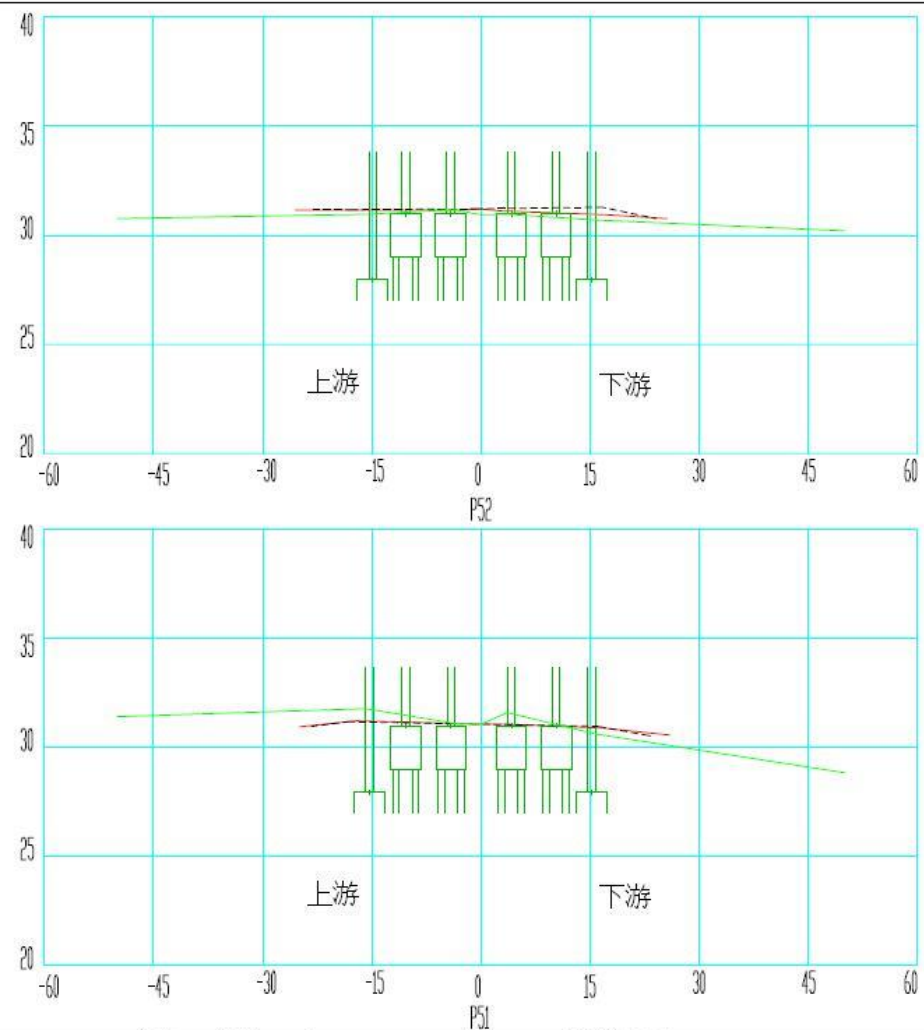
中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
24



—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 25
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



交通部國道高速公路局中區工程處

日期
104.5

比例尺
縱：1/800
橫：1/200

敦陽工程顧問有限公司

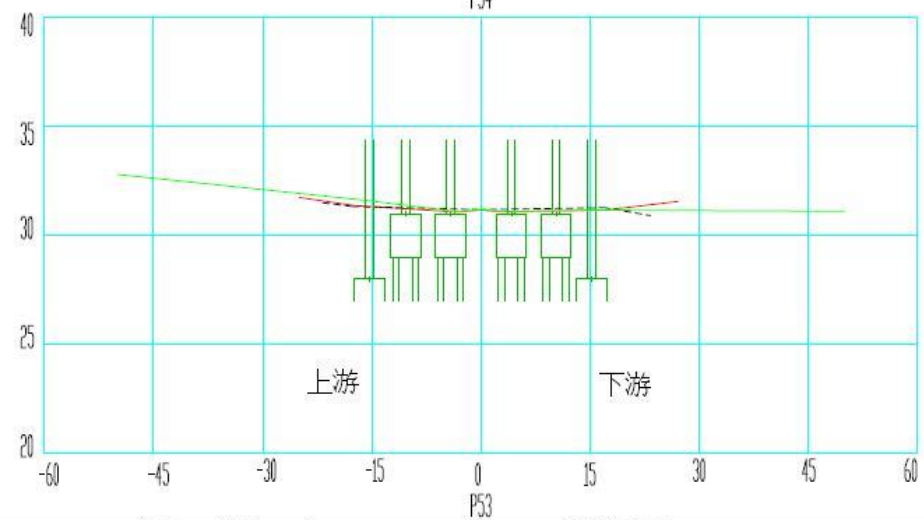
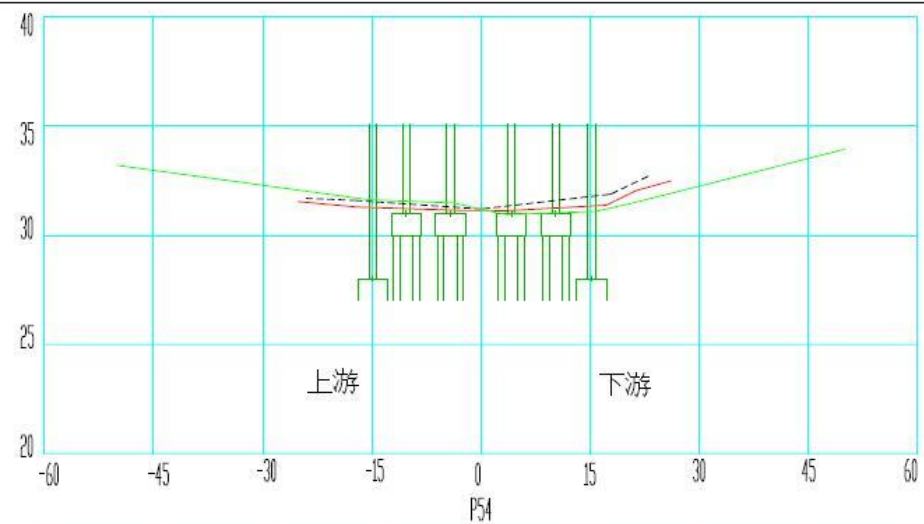
工程名稱 Project

南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)

圖面名稱 Alignment

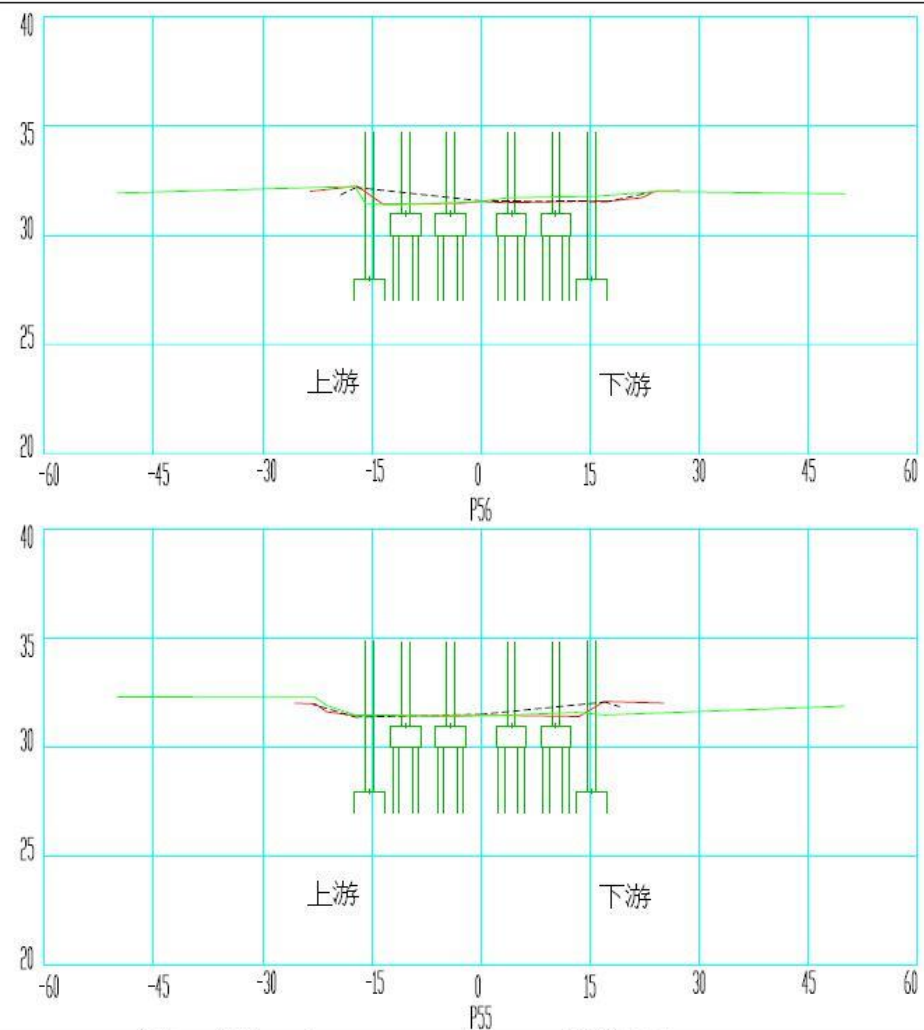
中沙大橋 縱斷面圖

圖號:
26



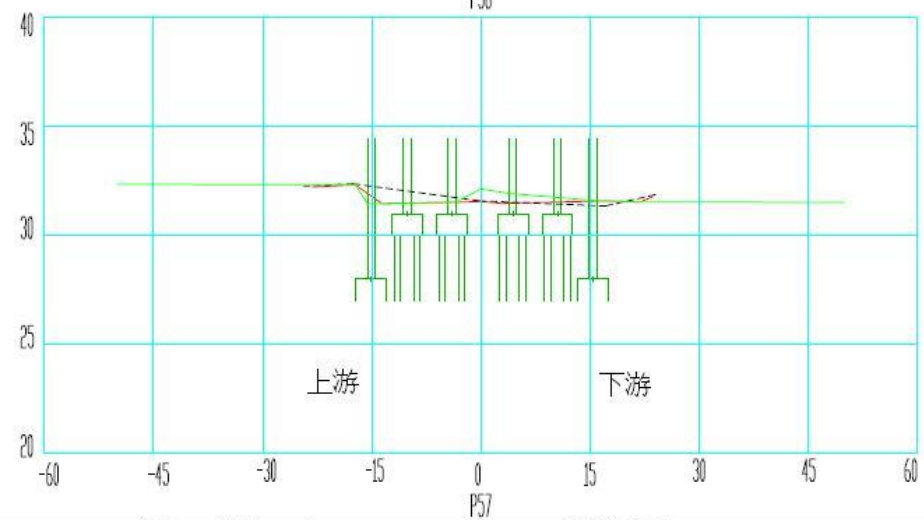
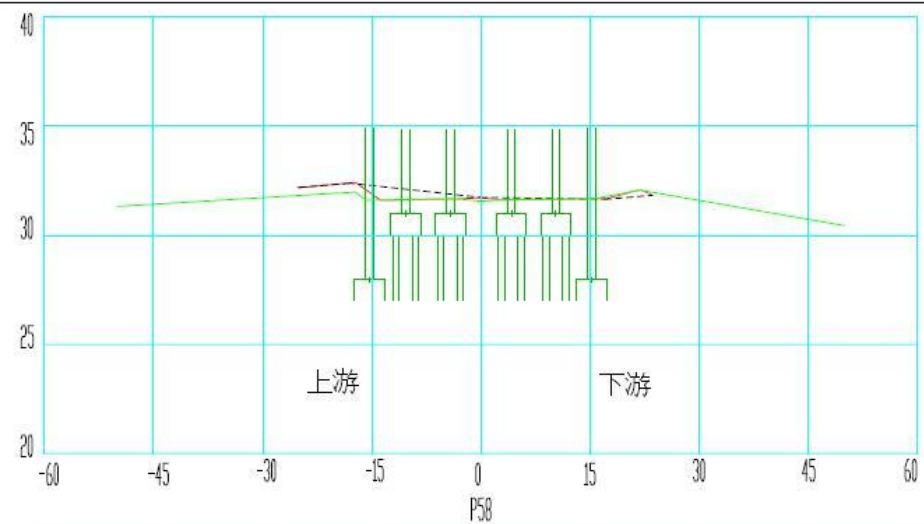
—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 27
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



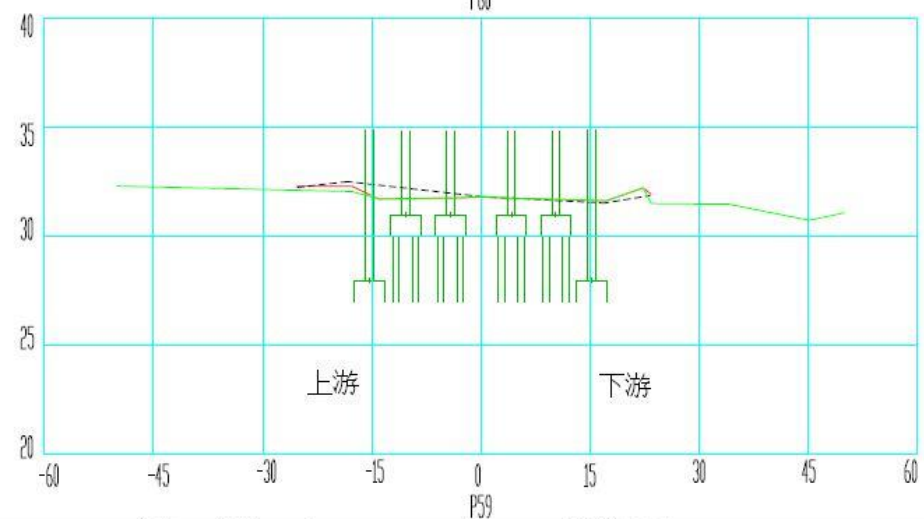
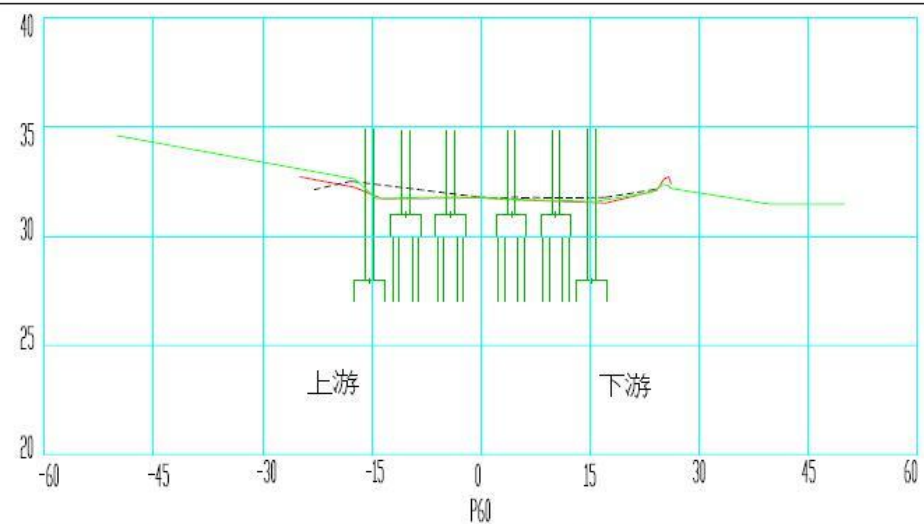
—— 104 河床線
 —— 103 河床線
 - - - - 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 28
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



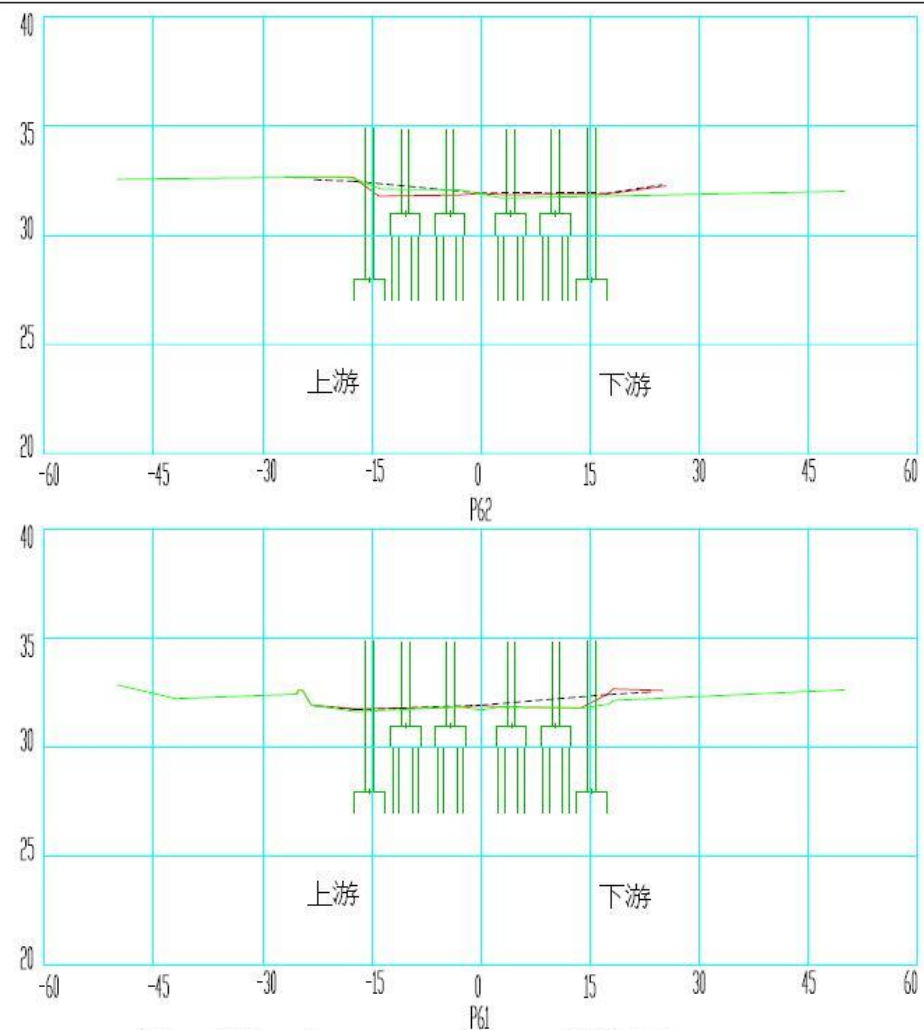
—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 29
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				

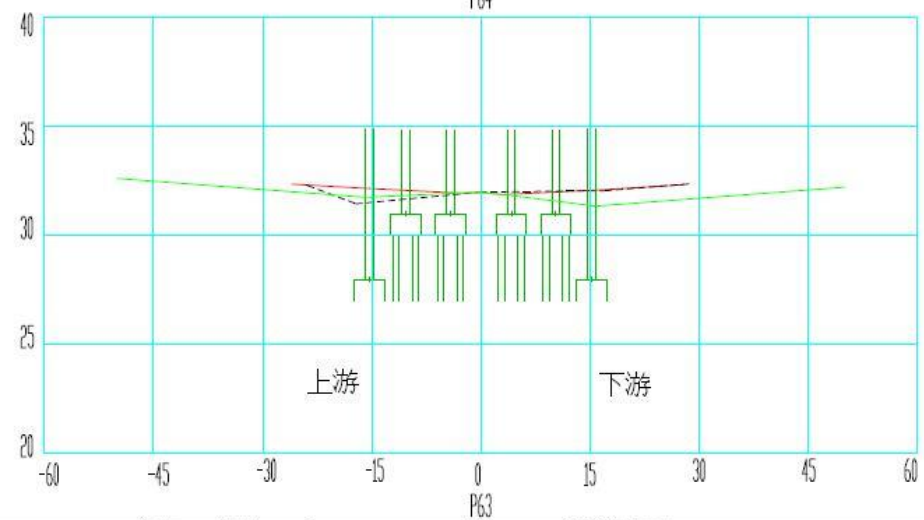
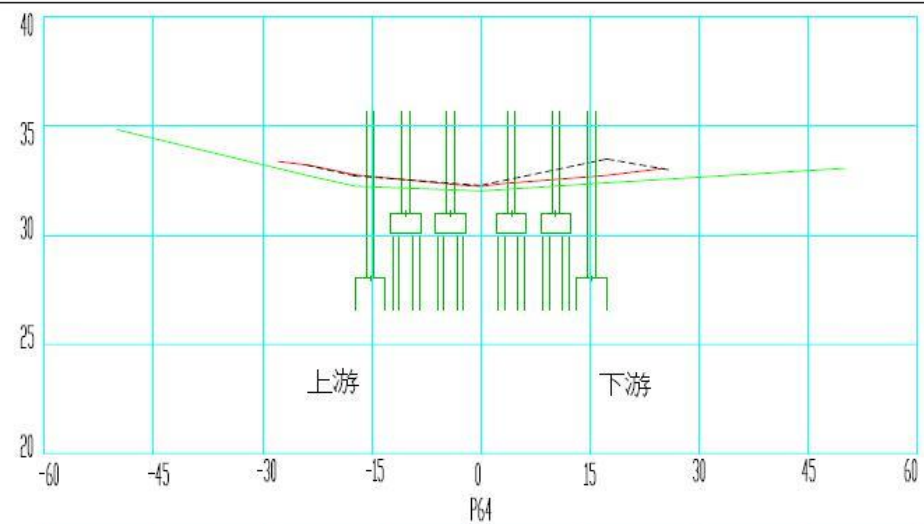


—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 30
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 31
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				



—— 104 河床線
—— 103 河床線
----- 102 河床線

交通部國道高速公路局中區工程處	日期	比例尺	敦陽工程顧問有限公司	工程名稱 Project 南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(104)	圖面名稱 Alignment 中沙大橋 縱斷面圖	圖號: 32
	104.5	縱: 1/800				
		橫: 1/200				

附錄三

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.饒書安委員	1.本研究團隊資料蒐集相當完整，值得肯定。 2.對於中油管架橋的分析模擬應納入說明。 3.未來如果有機會希望可邀請至本段分享研究成果，透過教育訓練讓橋梁工程司及主管瞭解基樁的新型態保護之方式。 4.P2-11 本處委託交大之計畫，完成時間預計時間為 106 年。 5.簡報建議增加頁碼，以利參考。	1.感謝委員肯定。 2.中油管架橋的相關保護工法，主要會影響下游潛堰固床工的穩定，對上游橋基的沖刷影響沒有潛堰固床工的影響大。本研究因無中油管架橋的相關保護工之完整資料可供建模，且礙於經費因素，故僅只模擬較為重要的潛堰。相關說明已於報告 7.1 節補充說明。 3.感謝委員肯定，本所將配合辦理，將研究成果推廣落實應用。 3.感謝委員指正，已修正為第一年期計畫。 4.遵照辦理。
2.李正道委員	1.本研究案收集資料豐富，且依據研究標的-國道 1 號中沙大橋提出具體研究成果，值得肯定。 2.本研究案以水工模型試驗方式，研提國道 1 號中沙大橋橋基保護方案，提供橋梁管理單位很好參考資料，未來如果可以將橋梁管理單位所面臨的課題，例如：施工性、經濟性及耐久性等因素納入評估考	1.感謝委員肯定。 2.感謝委員建議，納入未來研究參考辦理。

審查委員	審查意見	處理情形
	量，將有助於提升方案執行之可行性。 3.本研究案之報告內容，如果可以將研究標的-國道 1 號中沙大橋相關之位置圖或鳥瞰圖或衛星圖，加以補繪並輔助說明，將有助於檢核水工模型建置之正確性；未來建議可將周邊設施，例如：國道 1 號中沙大橋下游之水管橋、省道台 1 線新西螺大橋之橋墩(含基礎及位置)等一併納入考量，相信對研究案將有正面幫助。	3.遵照辦理，已於圖 7.1 加強標示相關位置，相關建議未來經費許可將納入考量。
3.朱我帆委員	1.建議未來可加強與橋管單位與河川局之聯繫，以廣納河床資料與治理計畫，以利模型建置。 2.簡報(16/16)建議增加流量欄位，以茲比較。 3.橋基保護方式除了針對橋基局部保護外，是否也可以考慮以上游河道整治的方式達到橋基保護的效果。 4.各方案保護工，可另以總表彙整以茲比較。 5.建議日後與橋管單位建立理論與實際結合之機制。	1.感謝委員建議，將納入未來研究之參考。 2.渠槽之各方案沖刷試驗，均採底床質之臨界啟動流速所換算之流量進行試驗，爰此各方案之流量均相同，故無比較的必要。 3.感謝委員建議，將納入未來研究之考量。 4.遵照辦理，彙整如表 6-1 所示。 5.感謝委員建議，將納入未來執行的參考。

附錄四

期末報告簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

跨河橋梁固床工水工模型試驗 -以中沙大橋為例(2/2)

報告人：賴瑞應

中華民國106年2月16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.橋基沖刷現況
- 6.渠槽沖刷試驗
- 7.平面沖刷試驗**
- 8.結論與建議



前言(1/2)

遭遇問題



前言(2/2)

目的

1. 藉由水工模型試驗，**研提國道1號中沙大橋橋基保護方案**，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**。



文獻回顧(1/2)

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。
100	跨河橋梁保護工法之研究(本所委託逢甲大學)	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、潛堰固床工法。
100	國道1號中沙大橋耐洪能力提升或改建可行性研究工作(國道高速公路局中工處委託林同棧工程顧問公司)	完整蒐集中沙大橋的橋梁基本資料、橋址河川水文特性及歷年河床沖刷保護等資料。對於中沙大橋的沖刷狀況及短期防治對策主要結論與建議摘要如下：1.潛堰之維護有其必要性。2.潛堰固床工必須加長消能工長度。
102	國道1號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作(國道高速公路局中工處委託台大)	1.中沙大橋上游面河中沙洲建議整平；2.中沙大橋固床保護工護坦建議加長及強化尾端底床保護；3.河床高程96、99至100年逐年回淤。

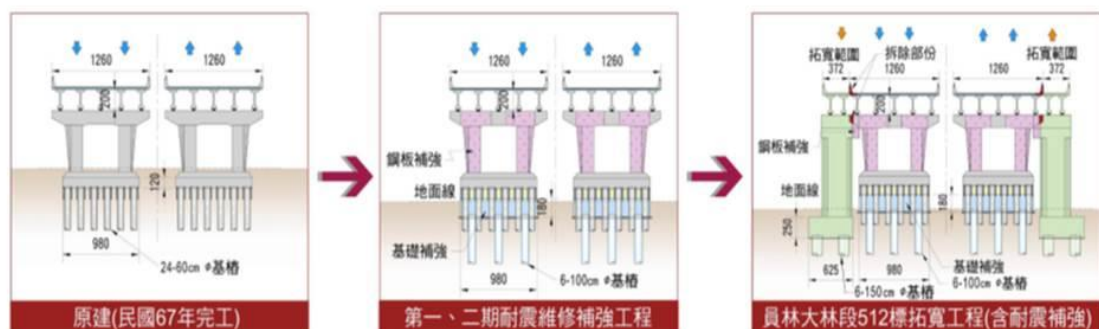
5

文獻回顧(2/2)

年	計畫名稱	摘要
104	南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作(國道高速公路局中工處委託敦陽工程顧問公司)	P15~P45橋墩基礎有裸露情況，部份基礎裸露約0.3~0.9公尺，尚無安全疑慮。
105	國1中沙大橋、烏溪橋及國3濁水溪橋墩基保護方案暨精進沖刷巡檢機制專業技術服務工作第一年期末成果報告(國道高速公路局中工處委託交通大學)	中沙大橋橋址處之河床呈現回淤之趨勢，建議國1中沙大橋不須改建，而採用局部保護工法或進行補強下游潛堰固床工，並定期巡檢以維護橋梁安全。

6

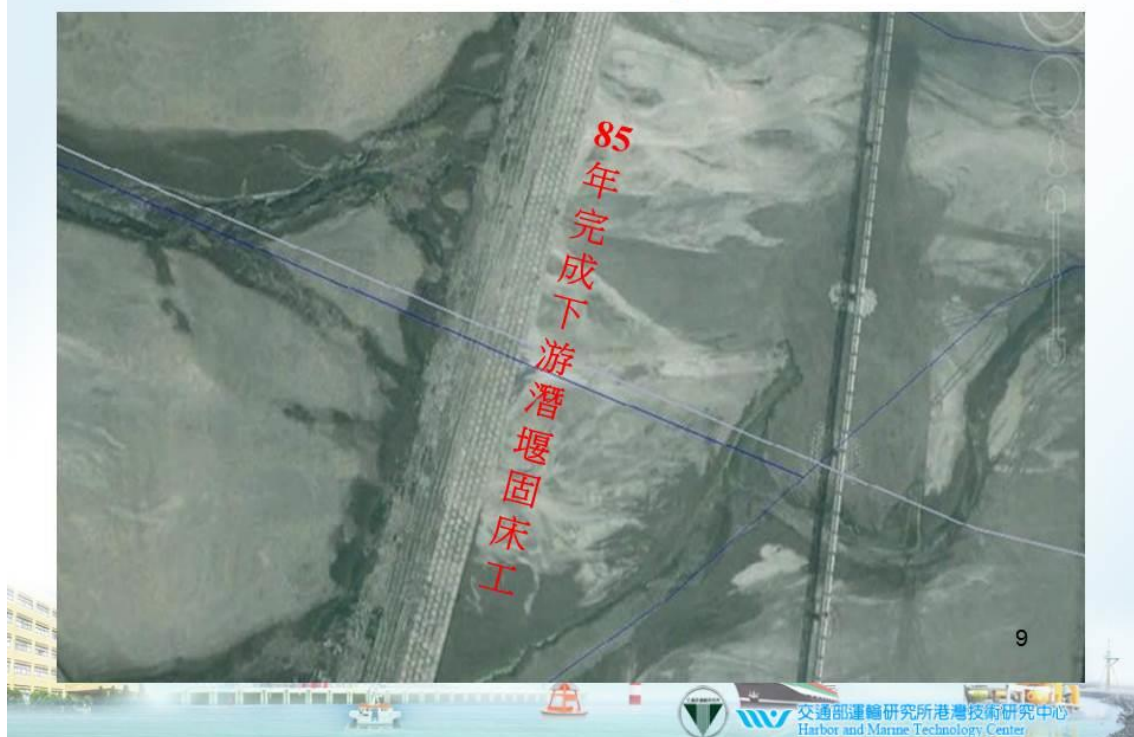
橋梁基本資料(1/4)



橋梁基本資料(2/4)



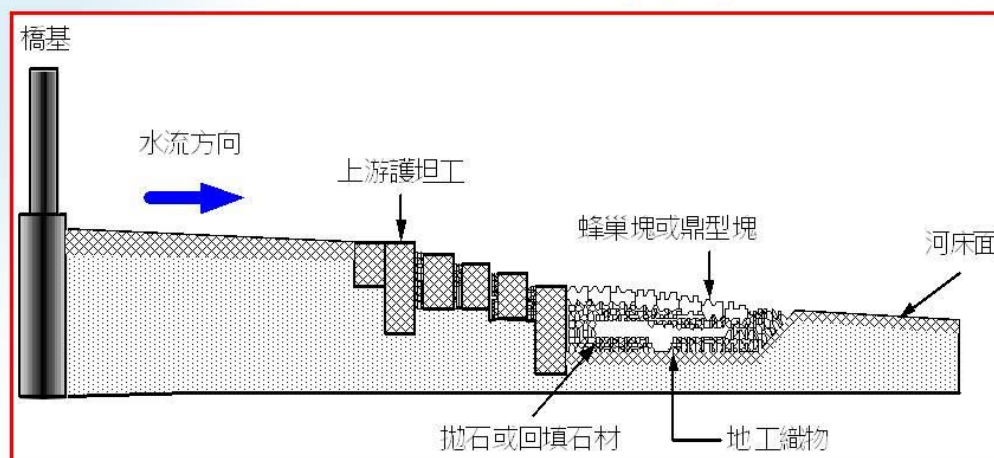
橋梁基本資料(3/4)



橋梁基本資料(4/4)



橋墩保護工法(1/8)

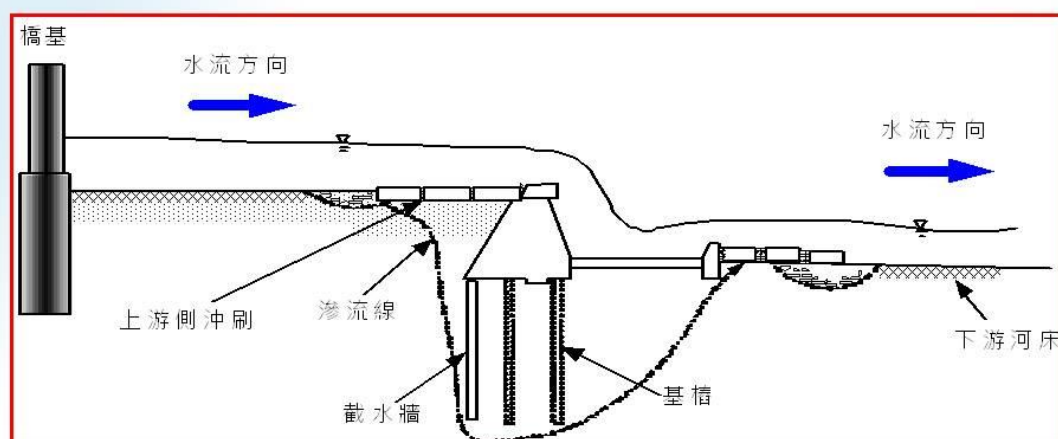


柔性攔砂堰工法示意圖

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。

11

橋墩保護工法(2/8)

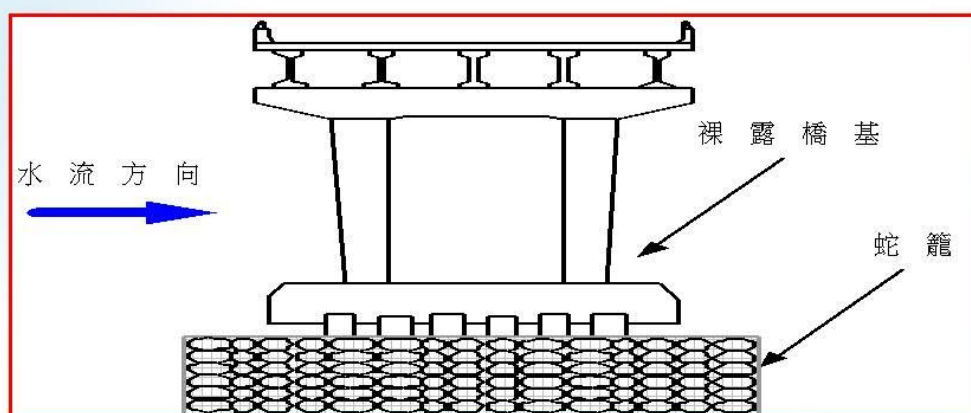


剛性攔砂堰工法示意圖

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。

12

橋墩保護工法(3/8)

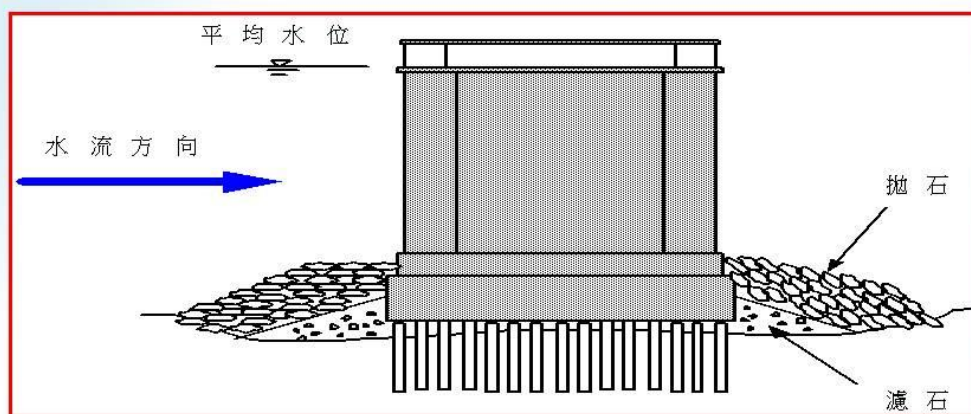


蛇籠工法示意圖

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。

13

橋墩保護工法(4/8)

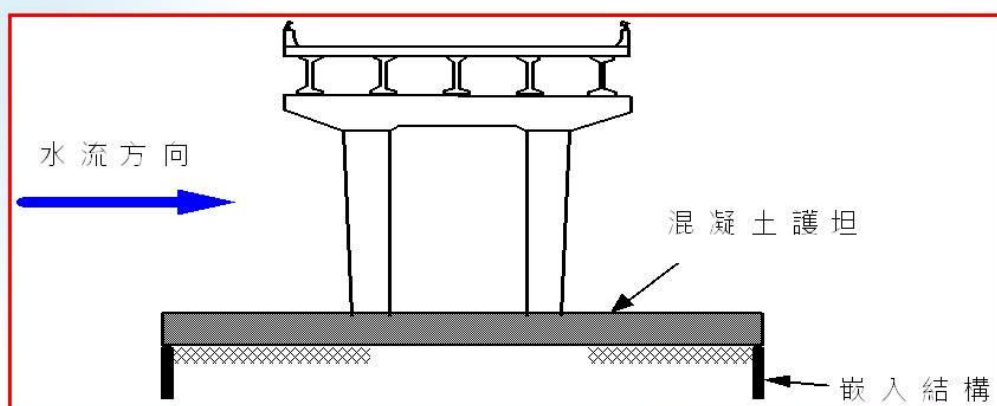


拋石工法示意圖

適用於河道較為寬廣、水深不大、坡小流緩之砂質河床。

14

橋墩保護工法(5/8)

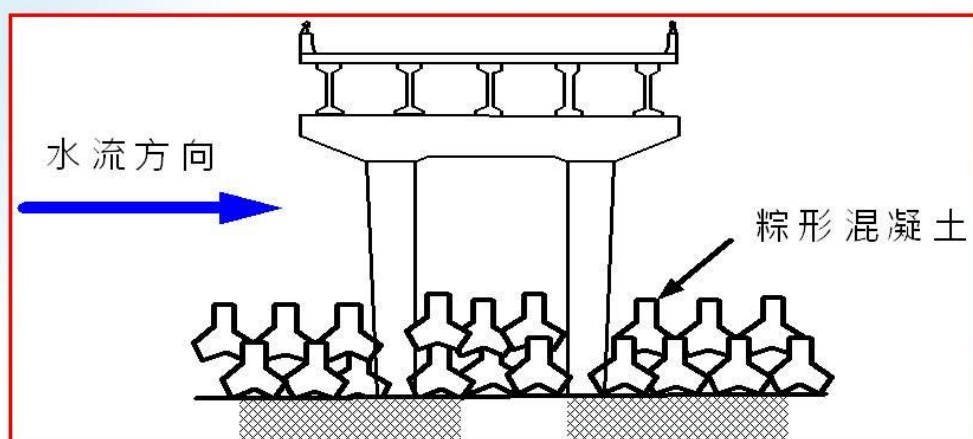


混凝土護坦工法示意圖

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。

15

橋墩保護工法(6/8)

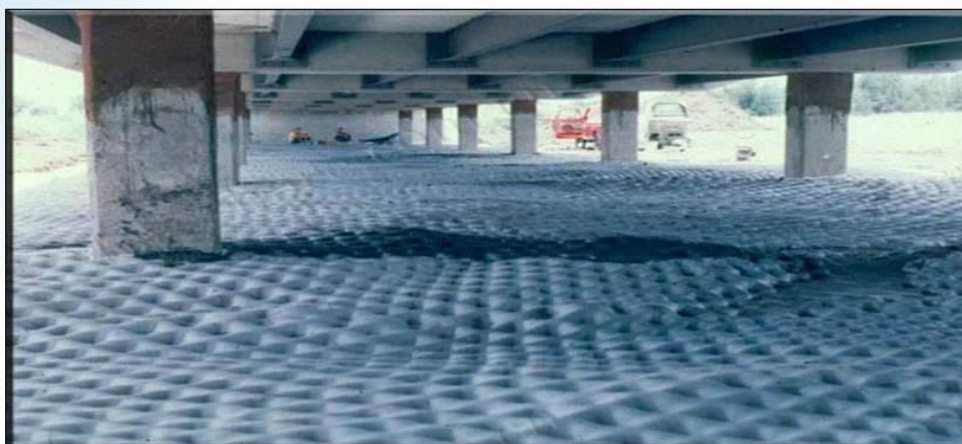


混凝土排置工法示意圖

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。

16

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，**袋體空間灌注混泥土**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。



橋基沖刷現況(1/3)

依據「國道1號中沙大橋墩基沖刷治理計畫委託技術服務工作」研究成果顯示，目前**影響中沙大橋橋基沖刷主要因素有3點**，包括：

1. 橋基**上游面河中形成沙洲**，導致**河道改變**，沖刷南北岸之高灘地，造成橋基裸露。
2. 中沙大橋固床保護工**護坦消能工長度不足**，造成固床保護工破壞，影響上游橋基安全。
3. 受**中油管架橋墩保護工影響**，造成**下游固床保護工的沖刷破壞**。
4. 針對北側 P15~P24橋墩間及南側P38~P45橋墩間之橋基局部沖刷現象，建議可**優先考量地工砂袋與其它保護工法合併應用來保護橋基**。



19

橋基沖刷現況(2/3)

高灘地保護



20



橋基沖刷現況(3/3)



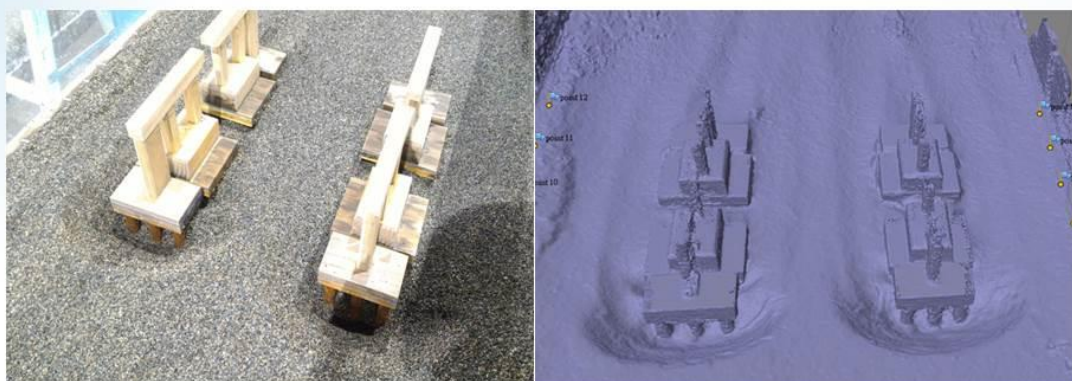
護坦消能工長度加長



21

渠槽沖刷試驗(1/16)

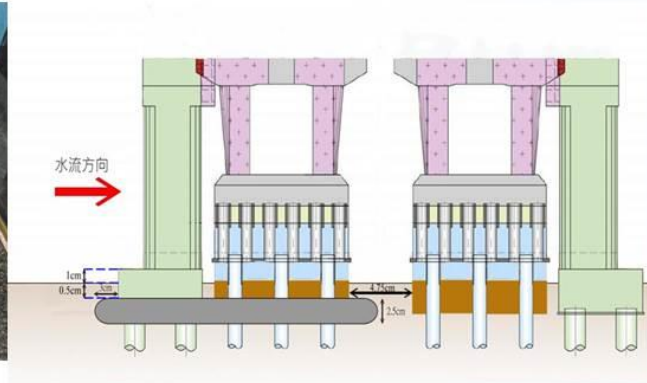
無保護工基礎沖刷(6小時)，最大沖刷深度**7.4公分**。



22

渠槽沖刷試驗(2/16)

鋪設一層砂腸袋(試驗底床下0.5公分)



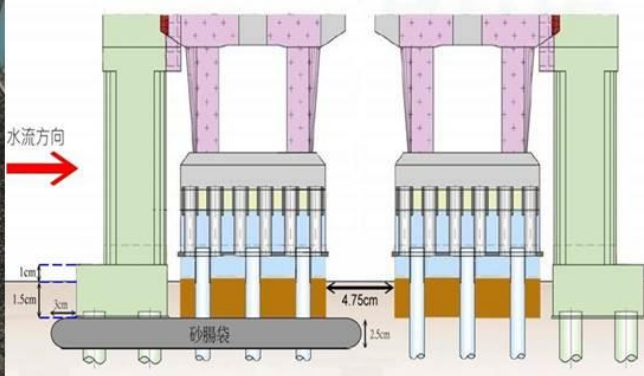
渠槽沖刷試驗(3/16)

一層砂腸袋(底床下0.5公分)沖刷，最大沖刷深度**5.5公分**。



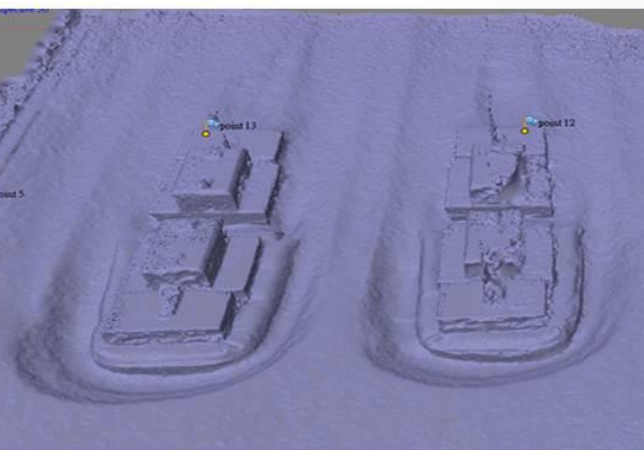
渠槽沖刷試驗(4/16)

鋪設一層砂腸袋(試驗底床下1.5公分)



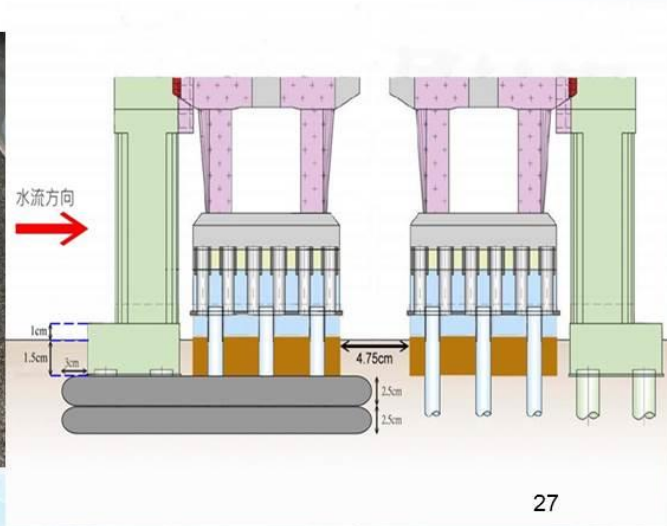
渠槽沖刷試驗(5/16)

一層砂腸袋(底床下1.5公分)沖刷，最大沖刷深度**4.5公分**。



渠槽沖刷試驗(6/16)

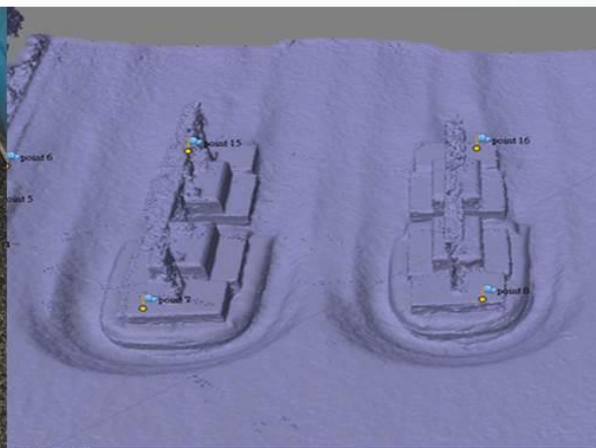
鋪設二層直立砂腸袋



27

渠槽沖刷試驗(7/16)

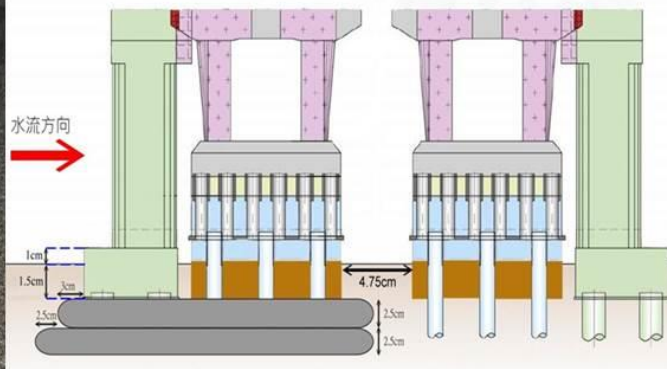
二層直立砂腸袋沖刷，最大沖刷深度**5.6公分**。



28

渠槽沖刷試驗(8/16)

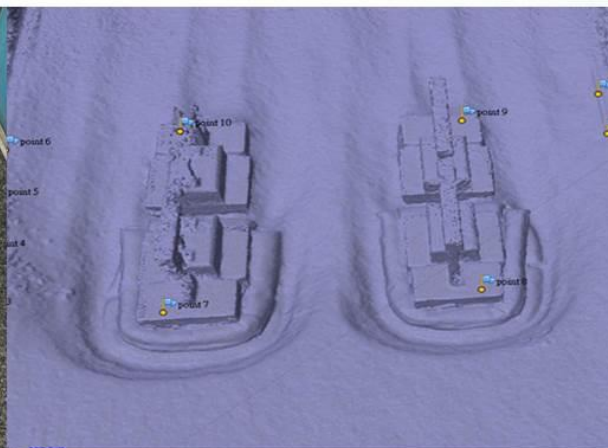
鋪設二層斜坡砂腸袋



29

渠槽沖刷試驗(9/16)

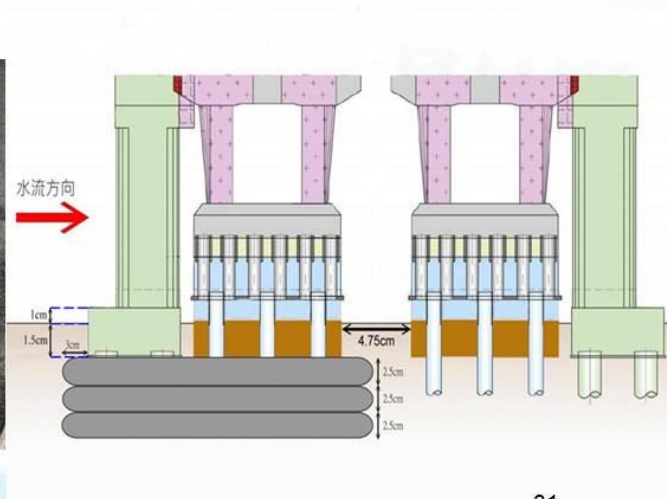
二層斜坡砂腸袋沖刷，最大沖刷深度**3.4公分**。



30

渠槽沖刷試驗(10/16)

鋪設3層直立砂腸袋



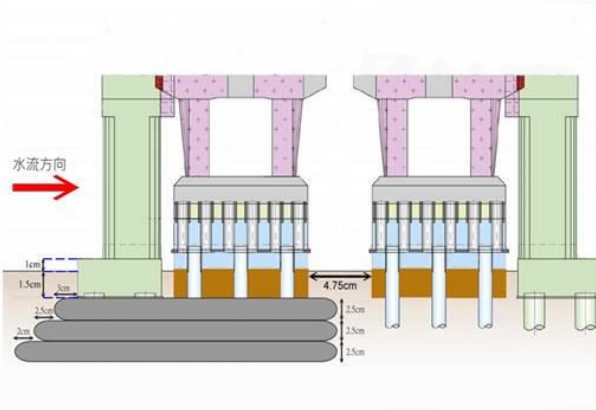
渠槽沖刷試驗(11/16)

3層直立砂腸袋沖刷，最大沖刷深度**6.2公分**。



渠槽沖刷試驗(12/16)

鋪設3層斜坡砂腸袋



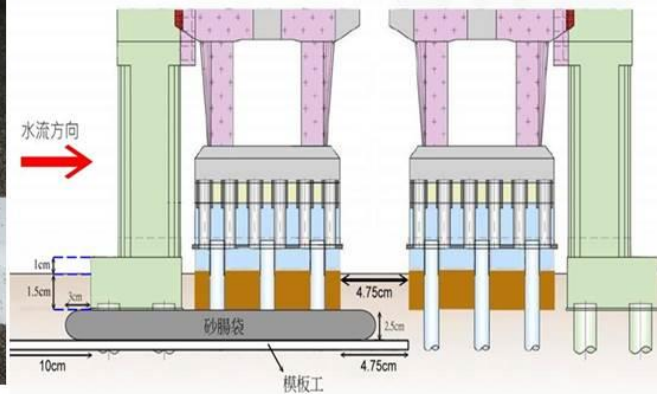
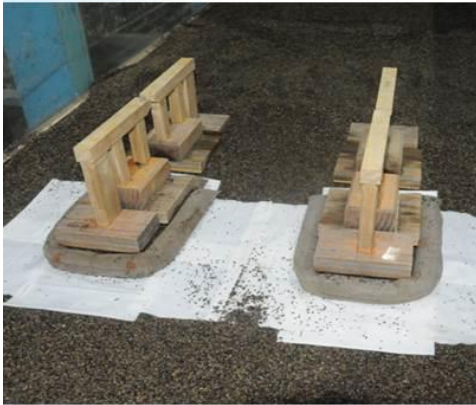
渠槽沖刷試驗(13/16)

3層斜坡砂腸袋沖刷，最大沖刷深度**3.2公分**。



渠槽沖刷試驗(14/16)

鋪設1層砂腸袋(試驗底床下1.5公分)+織物模板



渠槽沖刷試驗(15/16)

1層砂腸袋(試驗底床下1.5公分)+織物模板沖刷，
最大沖刷深度**2.2公分**。



渠槽沖刷試驗(16/16)

鋪設方案	最大沖刷深度	沖刷範圍
無保護	7.4公分	26.6公分
一層砂腸袋(試驗底床下0.5公分)	5.5公分	26公分
一層砂腸袋(試驗底床下1.5公分)	4.5公分	23公分
二層直立砂腸袋	5.6公分	25.1公分
二層斜坡砂腸袋	3.4公分	27.1公分
三層直立砂腸袋	6.2公分	26.2公分
三層斜坡砂腸袋	3.2公分	26.7公分
一層砂腸袋(試驗底床下1.5公分)+ 織物模板	2.2公分	19.2公分

平面沖刷試驗(1/22)

試驗範圍中沙大橋上下游2公里



平面沖刷試驗(2/22)

試驗比尺

原體與模型間各物理量之比例關係

模型比例	水平	垂直	流速	時間	流量	雷諾數	河床質粒徑
關係式	L_r	H_r	$H_r^{1/2}$	$L_r H_r^{-1/2}$	$L_r H_r^{3/2}$	$H_r^{3/2}$	$H_r^2 L_r^{-1}$
比例	0.0064	0.0204	0.1429	0.0448	$1.866E^{-5}$	0.0029	0.065

各重現期距水工模型試驗洪峰流量表

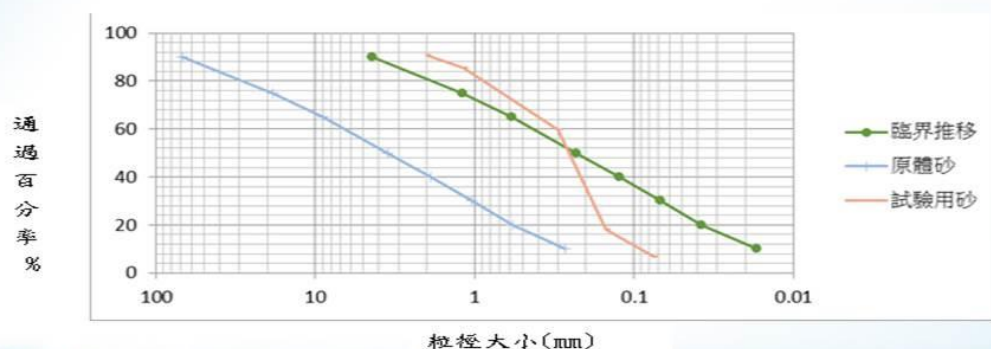
重現期距(年)	1.1年	2年	5年	10年	20年	50年	100年	200年
現況洪峰流量(cms)	2,181	6,290	11,337	15,224	19,361	25,354	30,354	35,820
模型洪峰流量(cms)	0.041	0.117	0.211	0.284	0.361	0.473	0.566	0.668

39

平面沖刷試驗(3/22)

原體砂及模型砂粒徑比較表(單位:mm)

砂樣 \ 粒徑	D_{10}	D_{20}	D_{30}	D_{40}	D_{50}	D_{65}	D_{75}	D_{90}
原體砂	0.35	0.68	1.19	2.17	3.91	9.27	18.42	67.73
臨界推移力法	0.02	0.04	0.08	0.14	0.25	0.60	1.20	4.40
模型用砂	0.09	0.15	0.18	0.21	0.25	0.4	0.68	1.9



原體砂、臨界推移力法及模型用砂級配曲線圖

40

平面沖刷試驗(4/22)

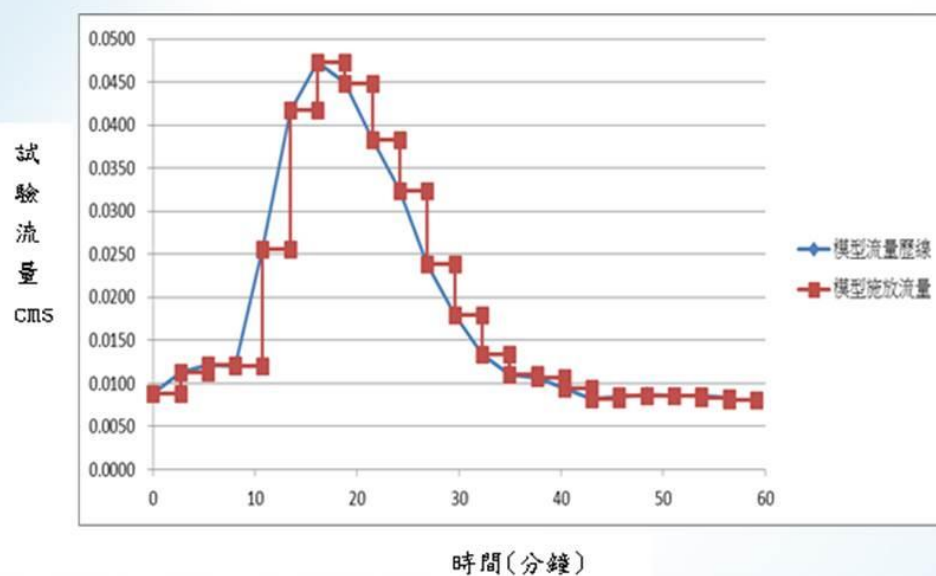
預備與檢定試驗



104年10月試驗地形鋪設

41

平面沖刷試驗(5/22)



104年0808蘇迪勒颱風之模型施放流量歷線圖

42

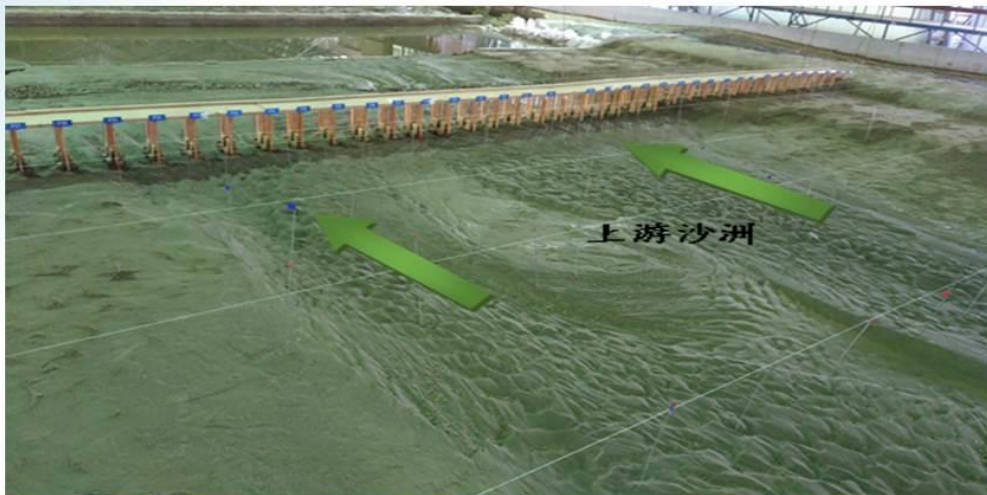
平面沖刷試驗(6/22)



中沙大橋上、下游500公尺範圍之正射影像圖

43

平面沖刷試驗(7/22)



上游沙洲

模型地形與流路試驗結果

44

平面沖刷試驗(8/22)



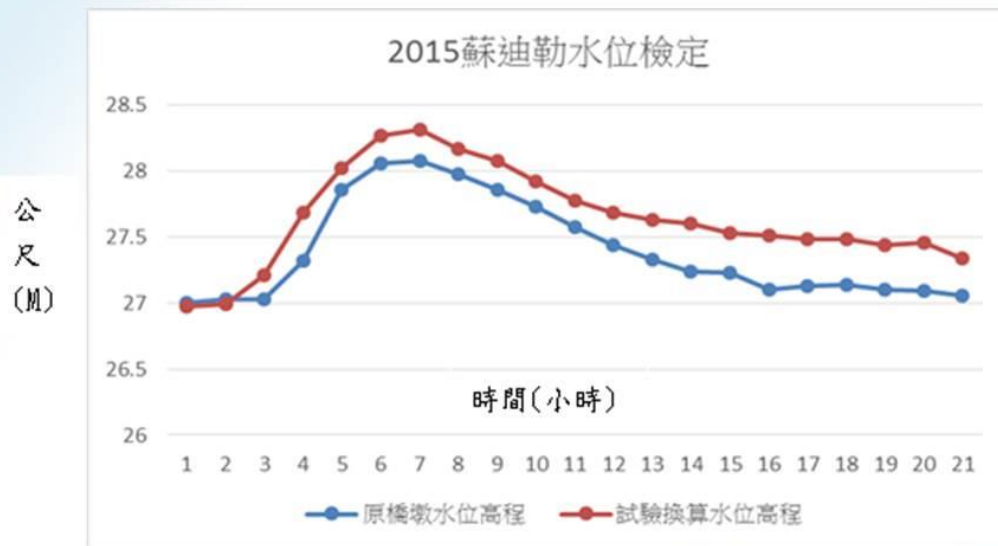
南側最大沖刷橋墩P33~P35

北側最大沖刷橋墩P25~P26



45

平面沖刷試驗(9/22)



現地實測水位與模型試驗水位比較圖



46

平面沖刷試驗(10/22)

情境1:下游潛堰無損定量流試驗

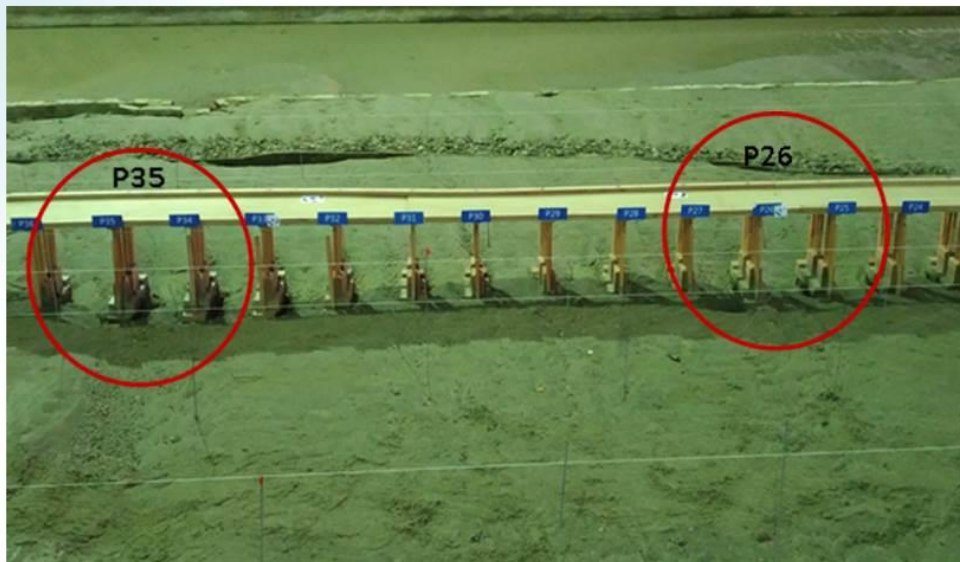
重現期	橋墩編號	模型沖刷深度 (公分)	現地沖刷深度 (公尺)
1.1	P27	0.9	0.45
2	P26	4.2	2.10
5	P26	4.6	2.30
10	P26	5.9	2.95
20	P26	5.8	2.90
50	P26	6.0	3.00

3 < 10 O.K.



47

平面沖刷試驗(11/22)

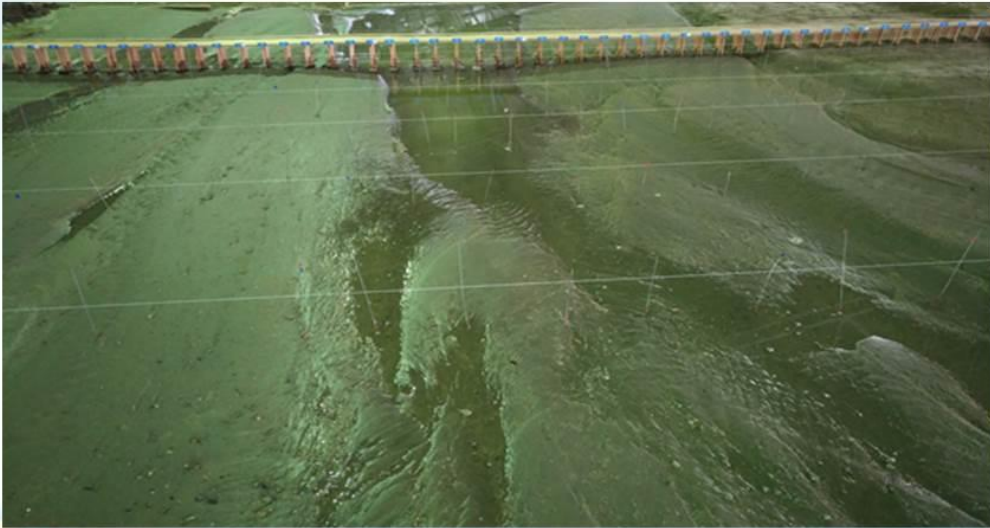


50年重現期退水後呈現之兩深槽流路

48

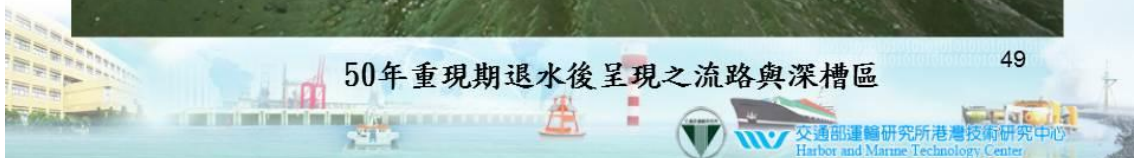
平面沖刷試驗(12/22)

情境2:無下游潛堰保護之定量流試驗



50年重現期退水後呈現之流路與深槽區

49



平面沖刷試驗(13/22)



50年重現期退水後呈現之橋墩沖刷情形

50

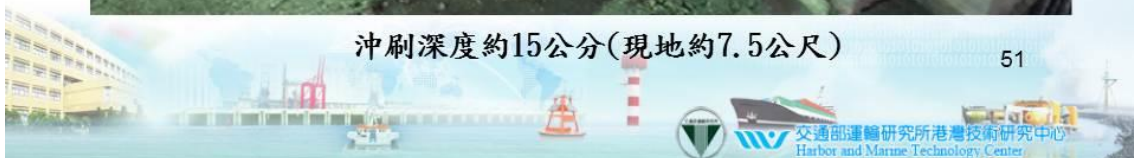


平面沖刷試驗(14/22)



沖刷深度約15公分(現地約7.5公尺)

51



平面沖刷試驗(15/22)

情境3:無下游潛堰保護之橋基保護方案1

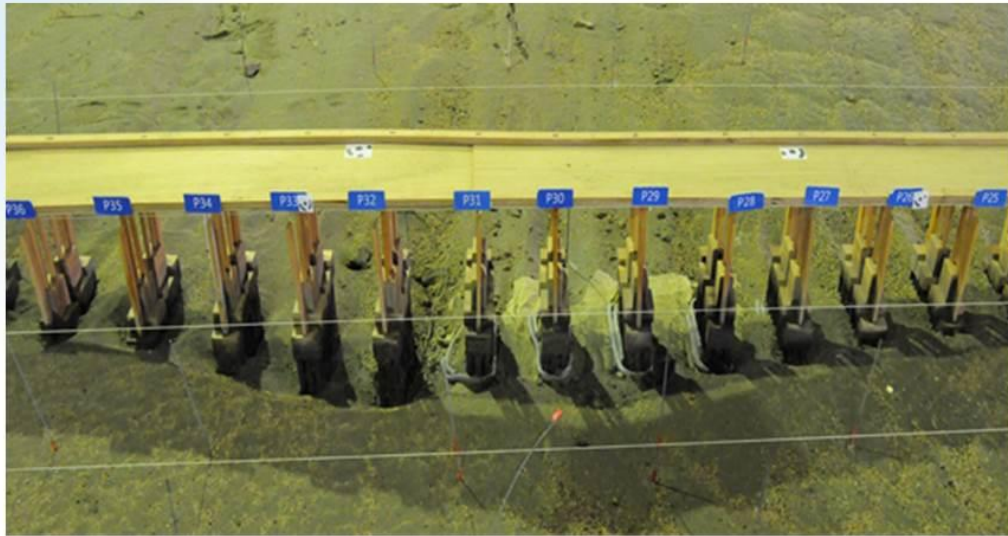


方案1橋基保護範圍P26~P31(保護工設於橋墩補強基礎底部往下8公分處)

52



平面沖刷試驗(16/22)

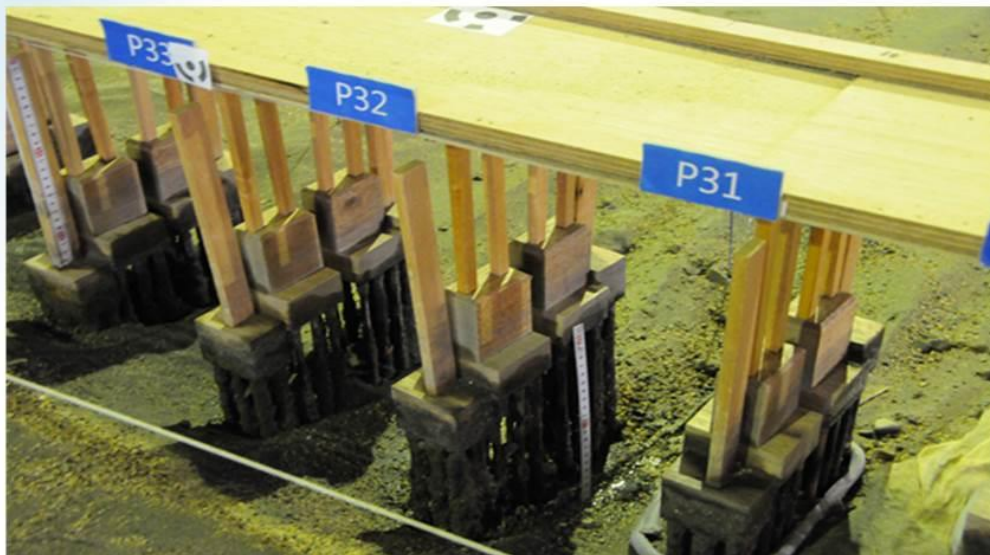


方案1(50年重現期距)主要沖刷範圍P26-P35

53



平面沖刷試驗(17/22)



方案1(50年重現期距)無保護工處，橋墩最大沖刷深度約20公分

54



平面沖刷試驗(18/22)

情境4:無下游潛堰保護之橋基保護方案2



方案2橋基保護範圍P25~P35(保護工設於橋墩補強基礎底部往下13公分處)

55



平面沖刷試驗(19/22)



方案2(50年重現期距)主要沖刷範圍P26~P32

56



平面沖刷試驗(20/22)

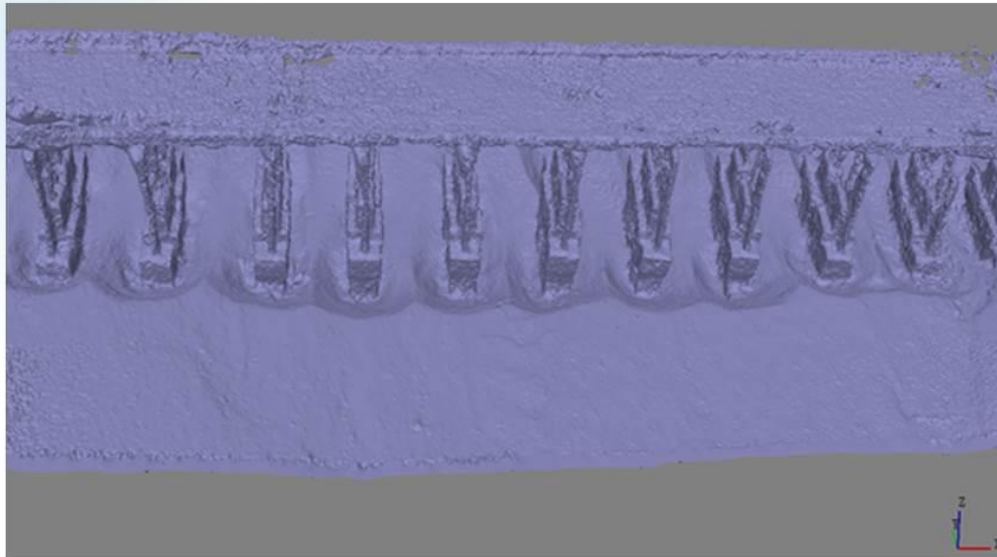


方案2(50年重現期距)橋墩最大沖刷深度約13公分

57



平面沖刷試驗(21/22)

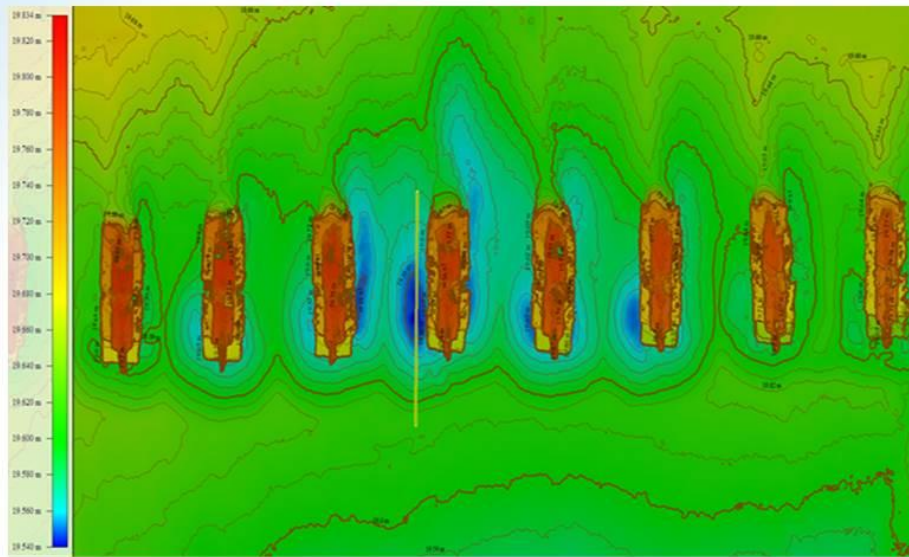


方案2(50年重現期距)沖刷深度與範圍3D圖

58



平面沖刷試驗(22/22)



方案2(50年重現期距)沖刷坑等高線示意圖

59

結論與建議(1/2)

- 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，橋墩基礎並無安全疑慮。
- 在無下游潛堰固床工保護，且下游水利署第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。
- 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)的試驗結果顯示，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之保護工法應屬有效。

60

結論與建議(2/2)

- 砂腸袋保護工法因其材料性質特性，材料耐久性部分可能比其他保護工法差，但隨著材料科技的進步，或許將來可以改善此缺點。
- 未來高公局欲保護橋梁基礎，除參考本研究之鋪設方案外，也可比照現階段護岸的保護方式，在砂腸袋上覆蓋一層織物模板保護，以抵抗河水及砂石之碰撞與磨耗，增加其耐久性。
- 本研究平面水工模型試驗結果，未來國道高速公路局中工處若能挑選中沙大橋適當的橋墩進行現地試驗，將有利驗證研究成果。

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