

104-37-7812

MOTC-IOT-103- H1DA007c

跨河橋梁安全分析與水位監測之 研究 (2/2)



交通部運輸研究所

中華民國 104 年 5 月

104-37-7812

MOTC-IOT-103- H1DA007c

跨河橋梁安全分析與水位監測之 研究 (2/2)

著 者：林雅雯、胡啟文、羅冠麟

交通部運輸研究所

中華民國 104 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

跨河橋梁安全分析與水位監測之研究. (2/2) / 林雅雯,
胡啟文, 羅冠麟著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研
所, 民 104.05
面 ; 公分
ISBN 978-986-04-4542-8(平裝)

1.橋樑工程

441.8

104004806

跨河橋梁安全分析與水位監測之研究(2/2)

著 者：林雅雯、胡啟文、羅冠麟
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 104 年 5 月
印 刷 者：群彩印刷科技股份有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站
定 價：150 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：1010400391

ISBN：978-986-04-4542-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

跨河橋梁安全分析與水位監測之研究
(2/2)

交通部運輸研究所

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：跨河橋梁安全分析與水位監測之研究 (2/2)			
國際標準書號 ISBN978-986-04-4542-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1010400391	運輸研究所出版品編號 104-37-7812	計畫編號 103- H1DA007c
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：林雅雯 研究人員：謝明志、胡啟文、羅冠麟 聯絡電話：04-26587191 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 103 年 01 月 至 103 年 12 月
關鍵詞：一維水理分析、橋梁安全分析、橋梁水位監測			
摘要： 臺灣地理環境特殊，中央山脈高峰處超過 3000 公尺，但東西最寬處僅約 150 公里，造成臺灣河川坡度陡、流速急的現象，加上颱風豪雨的侵襲，面對目前及未來更為嚴峻的氣候變化挑戰，如何提高跨河橋梁安全性，颱風豪雨前如何了解跨河橋梁安全性，亟需研究。 本研究於大甲溪石岡壩下游橋梁安裝水壓計以了解颱風期各橋址之水位，並藉以驗證一維水理分析結果，一維水理分析以 102 年 7 月蘇力颱風、102 年 8 月潭美颱風及康芮颱風為例，得到石岡壩下游后豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 大甲溪橋各橋址處水位並與監測值做比較驗證，再進行各橋各頻率年流量可能沖刷深度推估，最後將大甲溪石岡壩以下跨河橋梁做為案例分析其基礎耐洪安全係數，研究成果期能提供橋樑管理單位進行颱風可能災害之預警參考。 研究成果效益： 1. 本研究利用橋梁安裝水壓計以了解颱風期各橋址之水位，並藉以驗證一維水理分析結果。 2. 本研究建立大甲溪石岡壩以下一維水理分析模式並驗證。 3. 本研究建立各頻率年流量下各橋之水位、流速、可能沖刷深度及安全係數推估。 提供應用情形： 1. 本研究建立各頻率年流量下各橋之水位、流速、可能沖刷深度及安全係數推估，期能提供橋樑管理單位進行颱風可能災害之預警參考。 2. 本研究建立之水位監測，可提供本所及學術單位研究分析及驗證使用。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
104 年 5 月	210	150	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: Safety Evaluation and Water level Monitoring of River-crossing Bridges (2/2)			
ISBN 978-986-04-4542-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010400391	IOT SERIAL NUMBER 104-37-7812	PROJECT NUMBER 103- H1DA007c
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-wen Lin, PROJECT STAFF: Ming-jyh Hsieh, Chi-wen Hu, Guan-lin Luo PHONE:04-26587191 FAX:04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2014 TO December 2014
KEY WORDS: one-dimensional hydrodynamic calculations, bridge safety evaluation, bridge water level monitoring			
ABSTRACT: Due to the geographical specificity in Taiwan that the Central Mountain Range runs from the north to the south at an elevation over 3,000 meters but only 150km wide between the east edge and the west edge, the slope of rivers is quite steep and its speed rapid. Typhoons and heavy rains frequently occur during July and August each year. The challenge is even more severe in facing the Global Climate Change now and in the future. Therefore, there is an urgent need of a comprehensive research on how to enhance the bridge safety as well as to evaluate the safety of river-crossing bridge before typhoon and heavy rain. In this study, water level monitoring had been installed on the pier of 8 bridges at Dajia River to record the water level during typhoon. The water level records can be used to verify the results of one-dimensional hydrodynamic calculations. With the testing of the flood in 2013, the CCHE1D model can be used to simulate the flow and water level well. The study estimated the water level, velocity, and scour depth of bridge for every frequent flow and calculated the stability of bridges' pier. The results of this study will provide early warning of bridge damage for the bridge administrative department. Benefits of research results: 1. The water level monitoring's data can help us to figure out the water level during typhoon. The data also can be used to verify the results of one-dimensional hydrodynamic calculations. 2. The study set up the CCHE1D model for Dajia River and its verification. 3. The study estimated the water level, velocity, and scour depth of bridge for every frequent flow and calculated the stability of bridges' pier at the downstream of Dajia River. Current situation in application: 1. The results of this study, the water level, velocity, and scour depth of bridge for every frequent flow and calculated the stability of bridges' pier, will provide early warning of bridge damage for the bridge administrative department. 2. The water level monitoring's data in this project can be used for further study and planning.			
DATE OF PUBLICATION May 2015	NUMBER OF PAGES 210	PRICE 150	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

跨河橋梁安全分析與水位監測之研究(2/2)

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XI
第一章 計畫緣起及目的.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 計畫目的.....	1-1
1.3 計畫範圍.....	1-2
第二章 大甲溪跨河橋梁水位監測.....	2-1
2.1 水壓計及安裝位置.....	2-1
2.2 水壓計安裝方式.....	2-2
2.3 水壓計安裝及維護.....	2-5
2.4 水壓計監測結果.....	2-19
第三章 大甲溪跨河橋梁一維水理分析.....	3-1
3.1 動床水理模式.....	3-1
3.2 蘇力颱風水理分析.....	3-2
3.3 潭美颱風水理分析.....	3-10
3.4 康芮颱風水理分析.....	3-14
3.5 水理模組敏感度分析.....	3-20
3.6 沖刷深度之計算.....	3-22
3.7 各頻率年流量可能沖刷深度推估.....	3-27

第四章 大甲溪跨河橋梁安全分析	4-1
4.1 公路橋梁設計規範之水流利規定	4-1
4.2 沉箱極限分析模式	4-1
4.2.1 沉箱傾覆分析模式建立	4-4
4.2.2 沉箱承載分析模式建立	4-5
4.3 基樁承載分析模式	4-6
4.4 橋梁耐洪能力分析案例	4-8
4.4.1 新山線鐵路橋 P4 橋梁基礎耐洪能力分析	4-8
4.4.2 后豐大橋 PB 橋梁基礎耐洪能力分析	4-15
4.4.3 國道 1 號大甲溪橋 P12E 橋梁基礎耐洪能力分析	4-21
4.4.4 高鐵大甲溪橋 P20 橋梁基礎耐洪能力分析	4-28
4.4.5 國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋梁基礎耐洪能力分析	4-35
4.4.6 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋梁基礎耐洪能力分析	4-43
4.4.7 台 1 線大甲溪橋 P32 橋梁基礎耐洪能力分析	4-49
4.4.8 台 61 線大甲溪橋 P39 橋梁基礎耐洪能力分析	4-54
4.5 橋梁耐洪能力分析比較	4-61
4.5.1 新山線鐵路橋 P4 橋梁基礎耐洪能力比較	4-61
4.5.2 后豐大橋 PB 橋梁基礎耐洪能力比較	4-62
4.5.3 國道 1 號大甲溪橋 P12E 橋梁基礎耐洪能力比較	4-63
4.5.4 高鐵大甲溪橋 P20 橋梁基礎耐洪能力比較	4-63
4.5.5 國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋梁基礎耐洪能力比較	4-64
4.5.6 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋梁基礎耐洪能力比較	4-65
4.5.7 台 1 線大甲溪橋 P32 橋梁基礎耐洪能力比較	4-66
4.5.8 台 61 線大甲溪橋 P39 橋梁基礎耐洪能力比較	4-67

第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 建議	5-2
5.3 研究成果之效益	5-2
5.4 提供政府單位應用情形	5-2
參考文獻	參-1
附錄一 期末審查意見及辦理情形說明表	附錄 1-1
附錄二 期末報告簡報資料	附錄 2-1

圖 目 錄

圖 1.1 大甲溪流域雨量站分佈位置圖.....	1-3
圖 1.2 大甲溪流域等雨量線.....	1-3
圖 1.3 大甲溪流域水位站分佈圖.....	1-5
圖 1.4 大甲溪流域堰壩位置.....	1-7
圖 1.5 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 1)	1-11
圖 1.6 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 9)	1-11
圖 1.7 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 25) ...	1-11
圖 1.8 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 46) ...	1-12
圖 1.9 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 63) ...	1-12
圖 1.10 大甲溪石岡壩下游河床平均高程縱斷面圖(1990-2012 年)	1-15
圖 2.1 水壓計安裝橋梁位置圖.....	2-1
圖 2.2 壓力式波浪儀.....	2-2
圖 2.3 壓力式波浪儀溫度及壓力感測器.....	2-2
圖 2.4 鐵架以焊接方式固定.....	2-3
圖 2.5 鐵架以螺栓方式固定.....	2-3
圖 2.6 保護蓋設計詳圖.....	2-4
圖 2.7 水壓計安裝(102 年 7 月 10 日)	2-5
圖 2.8 水壓計及鐵架遺失(102 月 11 月 27 日)	2-5
圖 2.9 水壓計安裝(102 年 7 月 10 日)	2-6
圖 2.10 儀器表面破損更換水壓計，並將鐵架加焊保護蓋及更改水壓計 安裝位置(102 年 10 月 7 日)	2-6
圖 2.11 拆解舊水壓計換新電池後再次安裝(103 年 6 月 20 日)	2-7

圖 2.12 水壓計安裝(102 年 7 月 10 日)	2-8
圖 2.13 水壓計取回並安裝新水壓計(102 年 8 月 19 日)	2-8
圖 2.14 保護蓋加裝(102 年 9 月 14 日)	2-8
圖 2.15 拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝 (103 年 6 月 20 日)	2-9
圖 2.16 水壓計安裝(102 年 7 月 10 日)	2-10
圖 2.17 水壓計取回(102 年 9 月 9 日)	2-10
圖 2.18 現場新設安裝水壓計一組(103 年 6 月 20 日)	2-11
圖 2.19 水壓計安裝(102 年 9 月 14 日)	2-12
圖 2.20 拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝 (103 年 6 月 20 日)	2-13
圖 2.21 水壓計安裝(102 年 9 月 14 日)	2-14
圖 2.22 拆解舊水壓計換新電池後再次安裝(103 年 6 月 20 日)	2-15
圖 2.23 水壓計安裝(102 年 7 月 11 日)	2-16
圖 2.24 更換水壓計安裝位置安裝新水壓計並加焊保護蓋 (102 年 10 月 7 日)	2-16
圖 2.25 拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝 (103 年 6 月 23 日)	2-17
圖 2.26 水壓計安裝(102 年 7 月 11 日)	2-18
圖 2.27 水壓計及鐵架取回(102 年 11 月 20 日)	2-18
圖 2.28 現場新設安裝水壓計一組(103 年 6 月 23 日)	2-19
圖 2.29 蘇力颱風期間西濱大橋水壓計實測水位.....	2-20
圖 2.30 蘇力颱風期間西濱大橋模擬與實測水位比較.....	2-20
圖 3.1 蘇力颱風期間石岡壩放流歷線過程.....	3-4

圖 3.2	蘇力颱風期間台中港潮位歷線.....	3-6
圖 3.3	蘇力颱風期間后豐大橋模擬與實測水位比較.....	3-8
圖 3.4	蘇力颱風期間國 1 大甲溪橋模擬與實測水位比較.....	3-8
圖 3.5	蘇力颱風期間國 3 大甲溪橋模擬與實測水位比較.....	3-9
圖 3.6	蘇力颱風期間台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位比較.....	3-9
圖 3.7	潭美颱風期間石岡壩放流歷線過程.....	3-12
圖 3.8	潭美颱風期間后豐大橋模擬與實測水位比較.....	3-12
圖 3.9	潭美颱風期間國 1 大甲溪橋模擬與實測水位比較.....	3-13
圖 3.10	潭美颱風期間國 3 大甲溪橋模擬與實測水位比較.....	3-13
圖 3.11	潭美颱風期間台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位比較.....	3-14
圖 3.12	康芮颱風期間石岡壩放流歷線過程.....	3-17
圖 3.13	康芮颱風期間后豐大橋模擬與實測水位比較.....	3-18
圖 3.14	康芮颱風期間國 1 大甲溪橋模擬與實測水位比較.....	3-18
圖 3.15	康芮颱風期間國 3 大甲溪橋模擬與實測水位比較.....	3-19
圖 3.16	康芮颱風期間台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位比較	3-19
圖 3.17	台 61 線西濱大橋下游邊界潮位敏感度測試.....	3-20
圖 3.18	下游邊界潮位變化底床高程敏感度測試.....	3-21
圖 3.19	下游邊界潮位變化底床高程敏感度測試(續)	3-21
圖 4.1	沉箱基礎/土壤/水流互制示意圖	4-5
圖 4.2	沉箱圓形基礎之有效接觸面積.....	4-6
圖 4.3	圓形基礎之 α 與 e/r 之關係圖	4-6
圖 4.4	群樁基礎受力機制圖	4-7
圖 4.5	新山線鐵路橋橋梁立面圖	4-9

圖 4.6 后豐大橋橋梁立面圖.....	4-15
圖 4.7 國道 1 號大甲溪橋橋梁側視圖.....	4-22
圖 4.8 高鐵大甲溪橋梁橋墩圖.....	4-28
圖 4.9 高鐵大甲溪橋梁基礎圖.....	4-29
圖 4.10 國道 3 號大甲溪橋梁立面圖.....	4-35
圖 4.11 國道 3 號大甲溪橋梁樁基礎平面配置圖.....	4-36
圖 4.12 國道 3 號大甲溪橋梁基樁圖.....	4-36
圖 4.13 海線鐵路大甲溪橋梁立面圖.....	4-44
圖 4.14 台 1 線大甲溪橋 P32 大甲溪橋梁立面圖.....	4-49
圖 4.15 台 1 線大甲溪橋 P32 大甲溪橋梁基礎圖.....	4-50
圖 4.16 台 61 線大甲溪橋橋墩圖.....	4-55
圖 4.17 台 61 線大甲溪橋基礎圖.....	4-56

表 目 錄

表 1-1 大甲溪流域雨量站站況	1-4
表 1-2 大甲溪流域水位站站況	1-5
表 1-3 大甲溪流域各河段不同頻率的洪峰流量	1-6
表 1-4 河床質平均粒徑與代表粒徑(1983 年).....	1-8
表 1-5 河床質平均粒徑與代表粒徑(2008 年)	1-9
表 1-6 大甲溪各年度之平均河床高程值	1-16
表 1-7 國道 1 號及國道 3 號大甲溪橋梁附近防洪構造物歷年受損情形	1-17
表 1-8 橋址處 101 年至 102 年平均河床高程差值及谿線高程差值	1-19
表 3-1 石岡壩於蘇力颱風(2012)期間放流量紀錄(cms)	3-3
表 3-2 台中港於蘇力颱風期間潮位紀錄(m)	3-5
表 3-3 粒徑區間設定	3-6
表 3-4 河床質採樣分析成果(擷錄斷面 1)	3-7
表 3-5 石岡壩於潭美颱風(2012)期間放流量紀錄(cms)	3-11
表 3-6 石岡壩於康芮颱風(2013)期間放流量紀錄(cms)	3-16
表 3-7 不同重現期距之石岡壩河段放流邊界條件 (cms).....	3-29
表 3-8 各重現期距水位新山線鐵路橋最大水位、流速及局部沖刷深度 推估	3-31
表 3-9 各重現期距水位后豐橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估(m)	3-31
表 3-10 各重現期距水位國道 1 號大甲溪橋最大水位、流速及局部沖刷 深度推估	3-31

表 3-11 各重現期距水位高速鐵路橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估	3-32
表 3-12 各重現期距水位國道 3 號大甲溪橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估	3-32
表 3-13 各重現期距水位海線鐵路橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估	3-32
表 3-14 各重現期距水位台 1 線大甲溪橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估	3-33
表 3-15 各重現期距水位台 61 線大甲溪橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估	3-33
表 4-1 基礎底面之形狀影響因素	4-2
表 4-2 支承力因素	4-2
表 4-3 沈箱容許承载力之安全係數(公路橋梁設計規範，2009)	4-3
表 4-4 新山線鐵路橋 P4 橋墩各重現期距之承載安全係數計算	4-15
表 4-5 后豐大橋 PB 橋墩各重現期距之承載安全係數計算	4-21
表 4-6 國道 1 號大甲溪橋 P12E 橋墩各重現期距之承載安全係數計算	4-28
表 4-7 高鐵大甲溪橋 P20 橋墩各重現期距之承載安全係數計算 ..	4-35
表 4-8 群樁慣性矩計算表	4-40
表 4-9 國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋墩各重現期距之承載安全係數計算	4-43
表 4-10 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋墩各重現期距之承載安全係數計算	4-48
表 4-11 海線鐵路大甲溪橋 P37 墩各重現期距之傾覆安全係數計算	4-48
表 4-12 台 1 線大甲溪橋 P32 橋墩各重現期距之承載安全係數計算	

.....	4-53
表 4-13 台 1 線大甲溪橋 P32 墩各重現期距之傾覆安全係數計算 ..	4-54
表 4-14 台 61 線大甲溪橋 P39 橋墩各重現期距之承載安全係數計算 ..	4-60
表 4-15 台 61 線大甲溪橋 P39 橋墩各重現期距之傾覆安全係數計算 ..	4-61
表 4-16 新山線鐵路橋 P4 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表 ..	4-62
表 4-17 后豐大橋 PB 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表	4-62
表 4-18 國道 1 號大甲溪橋 P12E 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表 ..	4-63
表 4-19 高鐵大甲溪橋 P20 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表	4-64
表 4-20 國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表 ..	4-64
表 4-21 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋墩 101 年及 102 年承載安全係數比較表	4-65
表 4-22 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋墩 101 年及 102 年傾覆安全係數比較表	4-65
表 4-23 台 1 線大甲溪橋 P32 橋墩 101 年及 102 年承載安全係數比較表	4-66
表 4-24 台 1 線大甲溪橋 P32 橋墩 101 年及 102 年傾覆安全係數比較表	4-66
表 4-25 台 61 線大甲溪橋 P39 橋墩 101 年及 102 年承載安全係數比較表	4-67
表 4-26 台 61 線大甲溪橋 P39 橋墩 101 年及 102 年傾覆安全係數比較表	4-67

第一章 計畫緣起及目的

1.1 計畫緣起

臺灣地理環境特殊，中央山脈高峰處超過 3000 公尺，但東西最寬處僅約 150 公里，造成臺灣河川坡度陡、流速急的現象，加上颱風豪雨的侵襲，面對目前及未來更為嚴峻的氣候變化挑戰，跨河橋梁如何提高安全性，颱風豪雨前如何了解跨河橋梁安全性，亟需研究。

本研究於大甲溪石岡壩下游橋梁安裝水壓計以了解颱風期各橋址之水位，並藉以驗證一維水理分析結果，一維水理分析以 102 年 7 月蘇力颱風、102 年 8 月潭美颱風及康芮颱風為例，得到石岡壩下游后豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 大甲溪橋各橋址處水位並與監測值做比較驗證，再進行各橋各頻率年流量可能沖刷深度推估，最後將大甲溪石岡壩以下跨河橋梁做為案例分析其基礎耐洪安全係數，研究成果期能提供橋樑管理單位進行颱風可能災害之預警參考。

1.2 計畫目的

本計畫進行大甲溪跨河橋梁不同重現期距之一維水理分析、橋梁安全分析及水位監測，研究項目包含：

1. 大甲溪跨河橋梁水位監測。
2. 大甲溪跨河橋梁一維水理分析。
3. 大甲溪跨河橋梁各頻率年流量可能沖刷深度推估。
4. 大甲溪跨河橋梁安全分析。

本計畫期能藉由大甲溪跨河橋梁安全相關技術，讓橋梁管理單位掌握橋梁狀況，達到減少颱風災害所造成的損失，並滿足橋梁安全需求，並藉由水位監測探討，可提供相關分析之驗證參考依據。

1.3 計畫範圍

本計畫研究範圍為大甲溪流域，水位監測由上游天福大橋至西濱大橋，水理分析為分析大甲溪石岡壩以下跨河橋梁，以下將針對本研究區域進行概述。

1. 大甲溪流域概況

大甲溪為臺灣第四大河，位於台灣本島中部西側，流貫臺灣西部，南北分別和烏溪與大安溪為鄰；大甲溪主幹長度 124km，流域面積 1,235.7km²，其中山地占 90%，大部份地形都屬於山地是典型的急流河川。流域最上游源自南湖溪，流至松茂附近匯入合歡溪及七家灣溪後，始稱為大甲溪。隨後大甲溪流經梨山、佳陽，到達見之後河幅變寬，並呈帶狀溪谷；再經谷關、白冷、馬鞍寮、東勢後，流入平原地形地區；大甲溪過石岡後蜿蜒即向西流，於清水鎮與大安鄉接壤處流入臺灣海峽。

大甲溪流域因山高河短，平地少，呈東高西低，坡度頗大的形勢。其主流河口段尚保持約 1/90 的河床坡降，為臺灣主要河川中最急流的河川。由於河床坡陡，落差極大，且流量均勻豐沛，因此其單位河長所蘊藏的水力高居全臺灣河川的首位，為臺灣水資源最豐富的河川，亦為水力發電的重心。

大甲溪不但提供臺灣第一條東西橫貫公路的路幅，而且也提供穩定的電源，為臺灣早年經濟開發的重要基石。但 1999 年 9 月 21 日的集集大地震，嚴重摧殘大甲溪流域。2004 年 7 月 2 日敏都利颱風後的強烈西南氣流帶來近年罕見豪雨，更造成大甲溪嚴重洪汛，沿溪兩岸山區邊坡大規模崩塌，土石流肆虐，中橫公路中斷，電廠及發電設施嚴重受創。

(1) 水文氣象

大甲溪流域地勢依山臨海，地形形狀屬窄長條型，為南北窄、東西長，東西向的上下游相距約 100km，地形高度相差約

2,000m，對氣候則有顯著影響。流域位於臺灣中部北迴歸線北方，屬於亞熱帶氣候區，冬季時受大陸性冷氣團籠罩，東北季風盛行，惟受到雪山山脈及中央山脈的阻擋，故下游地區雨量較少，而上游地區因有部分潮濕水氣越過蘭陽溪谷經思源啞口進入本流域，致雨量較多；夏秋兩季因西南風籠罩及颱風來襲，常帶來豪雨及陣雨。

大甲溪流域中目前仍有進行雨量收集的有 15 站，測站的分布與等雨量線如圖 1.1 與圖 1.2 所示，站況列於表 1-1。本流域的平均年雨量約為 2,200mm，平均月雨量的分佈，以 5 月至 9 月豐水期的降雨量最多，約佔全年總降雨量的 67%，枯水期則僅占 33%，各月雨量分佈與臺灣地區其他地區類似，流域內的降雨具有以平地向山地遞增。



圖 1.1 大甲溪流域雨量站分佈位置圖

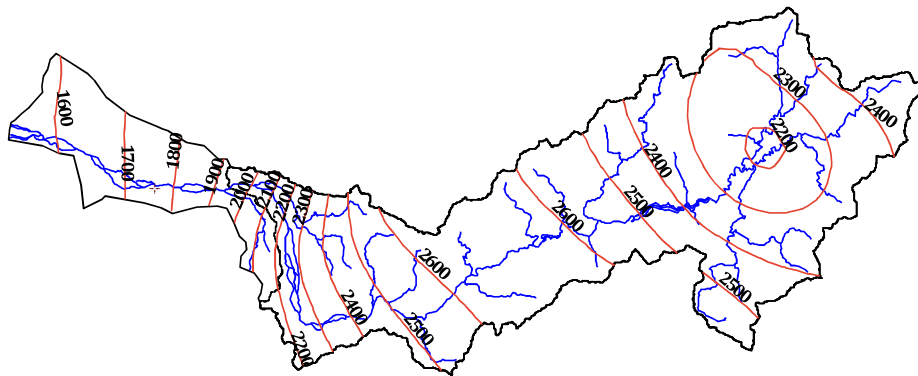


圖 1.2 大甲溪流域等雨量線

表 1-1 大甲溪流域雨量站站況

氣象局站號	站名	地址	標高(m)	記錄年份
01F100	八仙山(1)	臺中市和平區	1600.00	1989~
C0F860	梨山	臺中市和平區	1980.00	1990~
C0T790	大禹嶺	花蓮縣秀林鄉	2565.00	1996~
C1F850	東勢	臺中市東勢區	320.00	1990~
C1F870	上谷關	臺中市和平區	1045.00	1990~
C1F890	稍來	臺中市和平區	2010.00	1990~
C1F910	新伯公	臺中市東勢區	440.00	1990~
C1F920	石岡	臺中市石岡區	280.00	1990~
C1F930	大甲	臺中市大甲區	90.00	1990~
C1F940	雪嶺	臺中市和平區	2605.00	1990~
C1H850	翠巒	臺中市和平區	2297.00	1993~
C1F9C0	白冷	臺中市和平區	619	1997~1997,2000~
C1F9D0	白毛臺	臺中市新社區	613	1997~1997,2000~
C1F9E0	龍安	臺中市新社區	537	1997~1997,2000~
C1F9G0	慶福山	臺中市東勢區	782	1997~1997,2000~

(2) 流量

河川流量參考「中區水資源永續經營管理策略規劃」(經濟部水利署, 2006), 統計 1959 年至 2005 年大甲溪流域平均年逕流量約為 67.71cms, 相當於 21.35 億 m^3 , 而流域平均年雨量約為 2,200mm (統計自 1959 年至 2005 年止) 折算體積為 27.37 億 m^3 , 概估流域平均逕流係數約為 0.78。再者, 大甲溪在流入德基水庫前最重要的水文站為松茂, 其平均年逕流量約為 7.7 億 m^3 。一般而言, 以 5 月到 10 月為豐水期, 其逕流量約為 15.50 億 m^3 , 佔全年總逕流量 21.35 億 m^3 的 72.6%; 11 月至翌年 4 月為枯水期, 其逕流量約為 5.85 億 m^3 , 占 27.4%。為豐枯的月流量區別與臺灣地區的平均情況類似。目前大甲溪流域水位站站況如圖 1.3 與表 1-2 所示。



圖 1.3 大甲溪流域水位站分佈圖

表 1-2 大甲溪流域水位站站況

站號	站名	地址	集水面積(km ²)	標高(m)	記錄年份
1420H034	七家灣	臺中市和平區	110.71	1629	1991~
1420H035	松茂	臺中市和平區	417.08	1433.5	1982~1982,1985~1988,1990~1999,2007~
1420H037	白鹿橋	臺中市和平區	916	533	1991~2001,2004~
1420H043	合歡	臺中市和平區	128.56	1471.85	1987~2004,2007~
1420H048	有勝溪	臺中市和平區	31.12	1594.5	1996~
1420H049	大甲溪橋	臺中市清水區		57.5	2005~
1420H052	天輪後池		870.95		2000~2001,2003~2005,2007~
1420H054	谷關大橋	臺中市和平區			2006~
1420H055	東勢大橋	臺中市東勢區		332.67	2007~
1420H056	后豐大橋	臺中市后里區		217.86	2007~
1420H057	松鶴橋	臺中市和平區			2006~

洪水量部份，經濟部水利署曾分析本流域中、下游河段各控制點的頻率洪峰流量，列於表 1-3。根據臺灣電力公司的水文氣象年報，大甲溪松茂站的紀錄最大洪峰流量為 2,834.62cms，係在 94 年 10 月龍王颱風時所發生，其次為 2004 年 7 月敏督利颱風時的 17,28.64cms，而石岡壩在敏督利颱風時的瞬間尖峰進流量更高達 5,815cms，為本流域的破紀錄洪水。

輸砂量部份，大甲溪流域上游有德基水庫，其下有青山壩、谷關壩、天輪壩、馬鞍壩及石岡壩等水工結構物的攔蓄，加上水土保持的持續進行，因此如不考慮近年來的異常氣候條件，則在臺灣地區的主

要河川中，大甲溪的平均年輸砂量為屬於較低者。經濟部水利署在其水文年報上，曾分析本流域的平均年輸砂量約為 4.03 百萬公噸。目前有含砂量紀錄者，以德基水庫上游松茂站的 49,253ppm 為最大，係在 1995 年 8 月 31 日肯特颱風時所發生的。

表 1-3 大甲溪流域各河段不同頻率的洪峰流量

單位：cms

河段	上游			中、下游						
重現期 (年)	七家 灣	南胡	松茂	十文 溪匯 流前	裡冷 溪匯 流前	東卯 溪匯 流前	橫流 溪匯 流前	天冷	石岡壩	河口
集水面 積(km ²)	110.71	125.65	417.08	784.8	848.4	877.6	907.4	955.5	1,095.4	1,244.1
2	134	168	588	1,700	1,700	1,760	1,910	1,980	2,200	2,600
5	290	314	1,100	2,930	2,940	3,040	3,290	3,400	3,800	4,500
10	410	436	1,480	3,850	3,870	4,010	4,330	4,500	5,000	5,900
20	535	572	1,880	4,780	4,800	4,970	5,370	5,600	6,200	7,300
50	703	775	2,420	5,870	5,890	6,090	6,590	6,900	7,600	8,900
100	833	950	2,840	6,790	6,820	7,050	7,630	8,000	8,800	10,300
200	966	1,140	3,270	7,560	7,590	7,850	8,490	8,840	9,800	11,500

統計年份：1959~2005 年

摘自經濟部水利署「大甲溪治理規劃報告(1993)」及「大甲溪河川區域勘測報告(2003)」

(3) 颱風

臺灣位於太平洋西岸，經常受到西太平洋風的侵襲，根據中央氣象局的資料統計，從 1926 年到 2005 年間，侵襲臺灣的颱風（含對臺灣有直接影響者）共有 392 次，而通過本流域或自附近及北部海面經過對本流域具影響的颱風亦達 152 次，約佔總發生次數的 39%。

以往暴雨洪水對臺灣的威脅極大，為臺灣最大的天然災害。大甲溪流域的暴雨主要源自颱風、梅雨、雷陣雨及東北季風等，其中以颱風豪雨的影響最大。

(4) 水庫與重要水利設施

大甲溪流域內主要的水源調節設施為德基水庫與石岡壩，

台電公司於這兩設施間設有一系列水力發電廠，因應其發電需求，並設有青山壩、谷關壩、天輪壩、馬鞍壩、馬鞍後池堰等調節池，以調整水量確保各電廠可穩定發電，大甲溪流域各水庫堰壩位置如圖 1.4 所示。

石岡壩位於大甲溪中游，可說是大甲溪水源運用的樞紐，為大臺中地區公共給水的主要來源。1999 年 921 震災造成石岡壩第 16、17、18 號排洪門及重力壩斷裂等重大災損後，中區水資源局已於 2001 年完成壩體等修復及保護工作，並恢復石岡壩供水能力，修復後已開始運作。



圖 1.4 大甲溪流域堰壩位置圖

2. 河床質特性

1983 年大甲溪曾辦理斷面 68 以下河段之河床質採樣分析調查(經濟部水利署水利規劃試驗所，2005)，詳如表 1-4 所示。其調查結果顯示，此段河床粒徑組成之縱向變化不大，各斷面河床底質平均粒徑在 71mm 至 115mm 間，砂質含量約在 10%~20%之間，河床屬卵石或塊石河床。另外，「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」(經濟部水利署水利規劃試驗所，2009)於 2007 年 12 月曾經對本計畫相關之河段進行河床質採樣分析，見表 1-5。其調查結果顯示，於河口至石岡壩段介於 81 mm 至 136 mm 之間；底

層之平均粒徑，於河口至石岡壩段介於 41 mm 至 106 mm 之間；石岡壩下游主深槽或高灘地/河中砂洲之粒徑差異有限。

1983 年與 2008 年河床質平均粒徑變化顯示，大甲溪坡度陡、流速快，河床質粒徑並無明顯往下游粒徑愈小之趨勢，歷年床質平均粒徑變化差異不大。將兩次河床粒徑比較繪如圖 1.5 至圖 1.9，取斷面編號 1、9、25、46、63 為代表，其鄰近結構物分別為台 61 線大甲溪橋、國道 3 號大甲溪橋、國道 1 號大甲溪橋、東勢大橋、天福大橋。

表 1-4 河床質平均粒徑與代表粒徑(1983 年)

斷面	代表粒徑 (mm)			平均粒徑 D_m (mm)	泥砂含量(%)
	D_{35}	D_{50}	D_{65}		
1	39.8	84.2	148.4	89.5	18.6
5	38.1	84.2	146.3	76.8	20.0
9	70.3	130.6	-	102.8	17.8
13	60.1	81.3	-	100.3	18.3
17	49.8	93.7	152.0	82.3	18.4
21	89.6	167.3	-	114.3	10.1
25	67.8	111.0	187.7	90.8	19.6
29	67.4	141.3	-	106.3	19.1
33	29.3	54.2	105.6	71.3	18.5
41	42.0	90.0	203.0	93.5	15.1
46	25.7	82.0	172.4	85.6	29.5
50	91.1	60.0	-	114.7	13.8
54	30.0	68.0	154.0	83.0	23.0
58	33.8	62.0	182.6	87.7	17.8
63	21.5	38.0	100.0	71.5	28.2
68	13.9	28.0	49.0	50.1	25.6

資料來源：「大甲溪流域聯合整體治理規劃檢討」，2005 年 12 月。

表 1-5 河床質平均粒徑與代表粒徑(2008 年)

試坑編號	平均 粒徑 D _m (mm)	各代表粒徑(mm)									最大粒 徑(mm)	粒徑4.76以 下砂質含量 (%)
斷面	D _m (mm)	D ₁₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₃₅	D ₄₀	D ₅₀	D ₆₅	D ₇₅	D ₉₀		
93-1(護甲層)	91.1	2.3	10	28	38	47	65	180	230	315	320	15.9
93-1(底層)	78.1	2.7	10	18	24	40	60	100	140	230	250	15.1
84(護甲層)	103.6	3.2	19	43	60	80	105	160	215	309	320	11.9
84(底層)	63.8	0.9	3.1	10	13	20	33	70	102	220	250	24.2
74-75(護甲層)	137	20	43	80	108	130	160	208	240	302	300	7.1
74-75(底層)	95.5	0.8	8	30	40	50	79	130	180	280	280	17.1
68(護甲層)	57.3	0.7	3	10.8	20	26	37	60	90	145	150	22.2
68(底層)	63	0.8	3.3	10.5	21	28	41	60	90	145	150	22.3
67-1(護甲層)	90.8	2.7	6	13	20	24	44	120	180	235	230	17.1
67-1(底層)	47.3	2	4	10	11	16	28	43	70	105	200	22.7
65(護甲層)	87.5	2.5	7	10.8	24	32	54	103	140	220	230	16.5
65(底層)	69.4	2	4.8	10	16	24	42	79	103	170	200	20.6
63(護甲層)	123.2	13	40	76	90	103	135	200	228	302	310	7
63(底層)	73.8	2	4.2	12	20	27	42	93	145	270	280	21.2
58(護甲層)	104.6	2	40	67	78	87	100	140	170	290	310	11.0
58(底層)	85.4	0.5	6	18	23	30	50	100	143	215	310	18.9
54(護甲層)	82.8	0.9	8.3	23	32	40	50	120	182	290	460	17.1
54(底層)	40.1	0.4	1.7	3	4	5.4	13	40	57	110	460	38
50(護甲層)	92	2	12	30	40	50	73	140	200	300	350	14.8
50(底層)	62.8	2	5	13	17	21	32	60	90	170	350	19.2
46(護甲層)	102.5	0.4	20	60	73	83	100	140	170	270	280	16.5
46(底層)	91.7	0.3	0.8	20	40	55	84	120	150	240	280	27.5
41(護甲層)	82.4	0.6	3.4	16	26	40	70	115	150	265	350	22.3
41(底層)	100.8	1.6	8.3	24	34	46	73	115	146	235	350	16.6
33(護甲層)	101.6	3	13	43	51	61	83	130	150	230	250	11.8
33(底層)	74.6	0.4	1	9	13	20	50	90	120	200	200	29.3
32 左上(護甲層)	104	0.3	4	40	60	90	140	225	270	335	350	14.5
32 左上(底層)	89.8	2.8	8.4	23	43	74	115	220	300	335	350	14.5
32 左下(護甲層)	104.3	0.2	6	40	60	90	140	230	290	330	370	19.5
32 左下(底層)	87.2	0.8	7	22	34	50	80	170	235	320	370	18.0

資料來源：「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」期末報告修正稿，2009年7月。

表1-5(續) 河床質平均粒徑與代表粒徑(2008年)

試坑編號	平均 粒徑 D _m (mm)	各代表粒徑(mm)									最大粒 徑(mm)	粒徑4.76以下 砂質含量(%)
斷面	D _m (mm)	D ₁₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₃₅	D ₄₀	D ₅₀	D ₆₅	D ₇₅	D ₉₀		
29 左(護甲層)	87.8	0.6	4	18	30	41	72	140	190	300	300	21.6
29 左(底層)	70.9	0.5	1.9	4	8	13	37	80	115	202	230	31.9
29 右(護甲層)	89.4	1	10	31	44	78	90	160	230	318	320	16.2
29 右(底層)	99.2	2	10	30	40	50	80	128	175	230	290	15.5
25 右(護甲層)	124.6	0.8	50	94	120	128	160	238	300	320	320	13.0
25 右(底層)	83.4	0.6	6	30	42	60	86	125	190	295	300	18.5
25 左(護甲層)	126.7	4	30	72	100	120	160	220	265	320	400	11
25 左(底層)	79.9	0.4	4	18	24	34	49	115	160	295	400	21.2
21 右(護甲層)	98.7	0.8	24	40	50	6	90	150	200	300	390	15.3
21 右(底層)	90.9	0.4	4	27	10	56	100	170	240	320	390	20.7
21 左(護甲層)	103.3	3	24	50	60	74	92	120	141	220	290	11.9
21 左(底層)	85.1	0.5	12	40	50	63	100	180	280	330	330	16.8
17 左(護甲層)	85.2	3	12	30	40	46	60	100	130	210	250	13.2
17 左(底層)	52.4	0.2	0.4	1	2	3.3	9.7	60	100	225	250	44.1
17 右(護甲層)	92.0	2	21	50	60	70	100	200	270	310	270	12.8
17 右(底層)	91.6	0.4	10	40	52	67	100	130	220	308	300	19.1
13(護甲層)	84.4	0.6	5	22	30	40	60	100	130	210	210	19.9
13(底層)	50.5	2.3	6	13	18	22	33	50	70	125	170	17.4
13 左(護甲層)	121.5	5	45	80	90	110	125	180	215	300	300	9.7
13 左(底層)	86.2	0.6	6	21	30	41	62	100	135	210	210	18.9
9 右(護甲層)	93.1	2	12	30	40	50	72	135	195	295	300	15.8
9 右(底層)	40.7	0.5	2	4	5	8	16	40	60	105	180	33.6
9(護甲層)	129.2	0.4	50	93	115	130	170	220	275	320	320	13.0
9(底層)	104.3	0.3	0.7	40	50	68	100	175	200	290	290	23.9
5 右(護甲層)	115.1	0.6	47	68	78	88	105	140	180	240	240	12.9
5 右(底層)	97.9	0.5	10	40	51	69	100	160	230	320	320	18.4
5 左(護甲層)	135.8	0.3	74	100	115	130	165	205	230	305	310	15.2
5 左(底層)	105.5	0.3	20	70	88	100	125	200	265	320	320	18.6
1(護甲層)	118.6	0.6	30	60	73	90	135	185	215	300	270	14.4
1(底層)	84.7	0.5	12	23	32	40	63	125	190	300	200	15.3

資料來源：「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」期末報告修正稿，2009年7月。

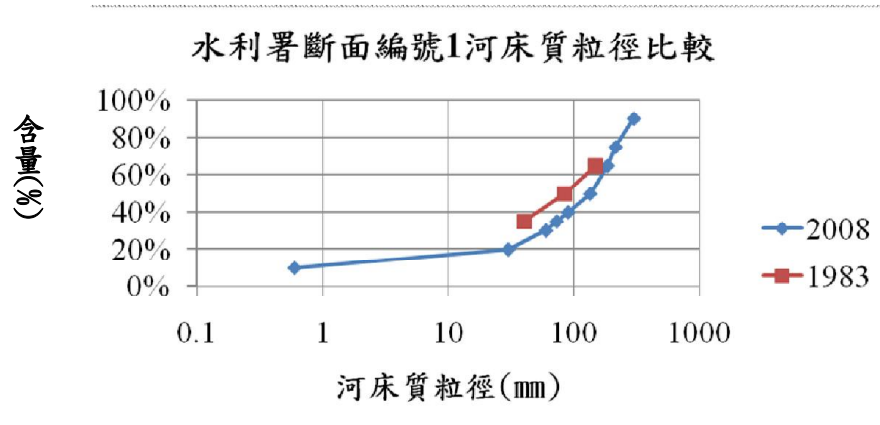


圖 1.5 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 1)

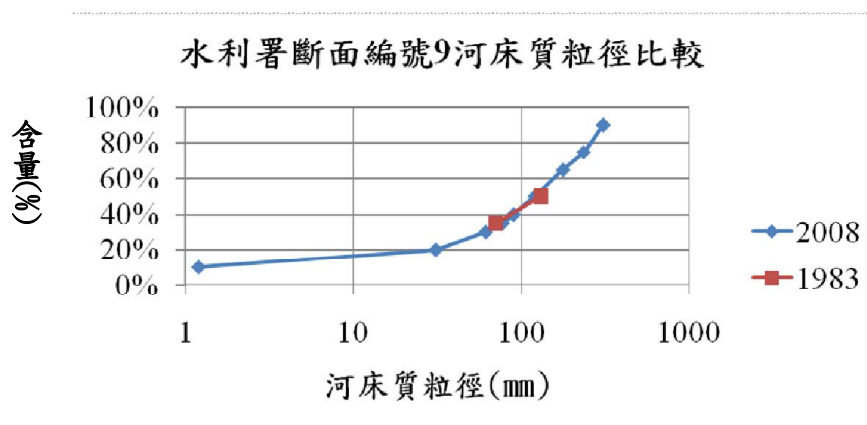


圖 1.6 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 9)

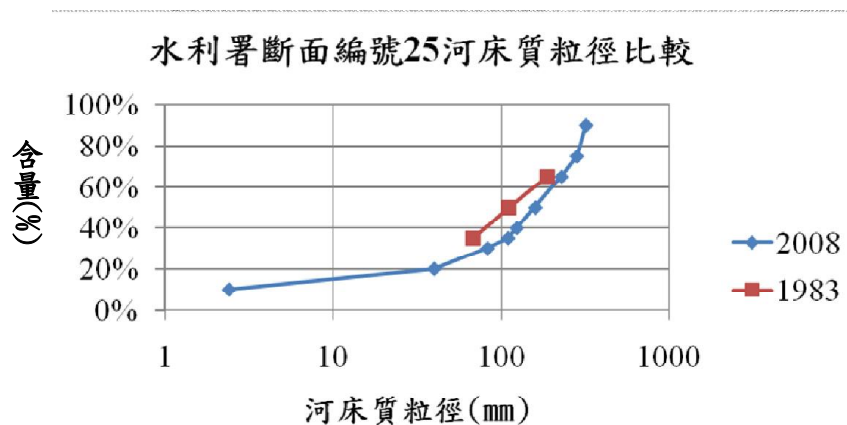


圖 1.7 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 25)

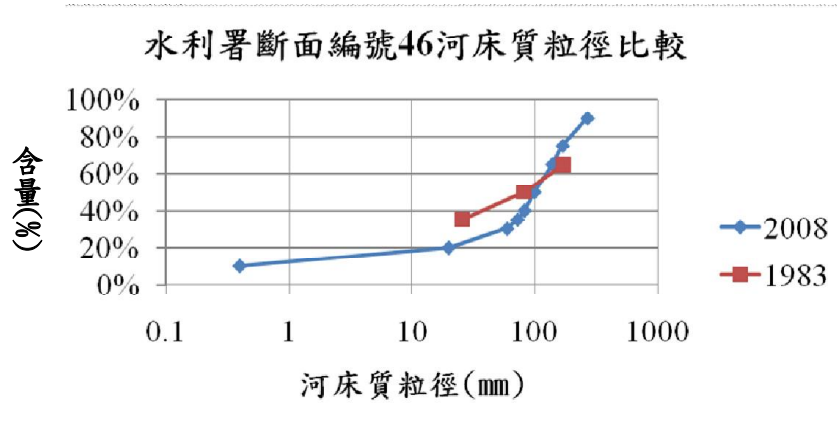


圖 1.8 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 46)

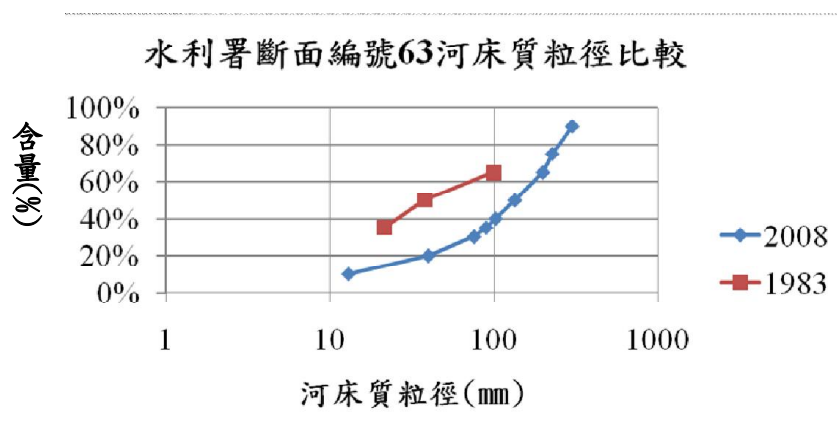


圖 1.9 大甲溪 1983 年與 2008 年河床質粒徑比較圖(斷面編號 63)

3. 河道沖淤變動趨勢

依據所蒐集之大甲溪河道歷年斷面資料(1990 年、1998 年、2000、2003 年、2004 年、2005 年、2008 年及 2012 年)，整理歷年河道高程變化情形，詳見圖 1.10，平均河床高程值詳見表 1-6。觀察大甲溪河道高程變化可以發現，雖然各斷面因局部地形特性差異而有沖淤互現情況，但整體河道沖淤變化大致以 2000 年作為分野，2000 年以前河道呈現沖刷趨勢，爾後轉為淤積趨勢，分析主要原因可能為 921 地震上游崩落之土砂，藉由河道往下由輸送的緣故，以下針對各斷面之河道高程有顯著變化之時間與情況加以說明。

(1) 1990 年至 1998 年間

除台 1 線大甲溪橋下游約 1 公里內呈現淤積情況外，其餘河段則為沖刷。其中高程變化較劇烈處為斷面 4 附近及斷面 15 至國道 1 號大甲溪橋間，斷面 4 之累積沖刷量達 4 公尺，斷面 15 至國道 1 號大甲溪橋間最大沖刷可達 8 公尺(斷面 20 處)，斷面 33 最大沖刷量可達 2 公尺。

(2) 1998 年至 2000 年間

1999 年發生 921 地震且車籠埔斷層通過埤豐橋上游處，石岡壩處地層抬升達 10 公尺，埤豐橋至石岡壩河段有地層抬升現象。其餘河段普遍呈現沖刷現象，斷面 27 最大沖刷亦可達 6 公尺，斷面 19 處最大沖刷亦可達 8 公尺。

(3) 2000 年至 2005 年間

國道 1 號大甲溪橋上游因 1999 年橋梁潛堰固床工完工影響，有明顯淤積現象；石岡壩於 921 地震時之地層抬升，水流能量水頭增高，而造成石岡壩下游河段主要呈現沖刷情況；新山線鐵路橋(斷面 30-1)，受下游內埔圳攔河堰遭敏督利颱風沖毀及河道本身泥岩地質條件易受沖刷影響，河床高程下降，最大沖刷可達 7 公尺；高速鐵路橋上游有明顯淤積現象；其餘斷面則為沖淤互現情況。

(4) 2005 年至 2008 年間

因受河道上游河床沖刷影響，水流挾帶泥砂於河口附近沉積，造成台 1 線大甲溪橋下游斷面 6 以下至河口間，平均河床高度上升高度約在 0.6 至 3.5 公尺之間；斷面 7 至國道 1 號大甲溪橋間，則無明顯沖淤行為，屬於沖淤互見情況；斷面 28(后豐橋)附近因橋樑相關工程施工影響導致河床明顯掏刷情況，平均河床高度下降深度最大可達 5.6 公尺；另外，后豐橋至石岡壩河段，仍因河道本身泥岩地質條件持續維持沖刷情狀，甚至在斷

面 35-1(埤豐橋上游處)平均河床高度下降深度可達 8.6 公尺。

(5) 2008 年至 2012 年間

河口(斷面-1)至中山高大甲溪橋(斷面 23-1)河段屬辮狀河槽，河道中有多處河心砂洲，其中於大甲溪公路橋(斷面 7-1)有較大型河中砂洲。流路於低流量時沿既有河槽辮狀分流。流路於高流量下受河道高灘地地勢影響，在高速公路橋(斷面 23-1)下游偏向左岸，至大甲溪公路橋(斷面 7-1)處受河中砂洲影響分為兩路後合流出河口。高速公路橋(斷面 23-1)至石岡壩(斷面 36)河段主深槽較為明確，無辮狀分歧，流路主要受地勢影響。后豐橋(斷面 28-1)至石岡壩(斷面 36)河段左岸為台地，但於大湳堤防與舊山線鐵路橋之間地勢較低，部份地區易遭洪水浸淹，且河岸淘刷嚴重，需新建社子堤防及護岸加以保護。此外，后豐橋於 2008 年辛樂克颱風時沖毀，於 2009 年 6 月完成橋梁改建工程並且開放通車，下游后豐橋便道將作為透水性固床工保留並持續維護，而上游之自來水管線則於 2010 年 7 月完成自來水管橋興建工程，完工後，取代原有橫越河床之自來水管線，原自來水地下管線部份拆除，僅保留右岸部份管線兼做丁壩使用。工程完工後，持續維護后豐便道、后豐橋及自來水管橋安全，成為重要課題。近年針對后豐橋的治理措施則是保留后豐便道做為透水性固床設施、后豐大橋改建及自來水管橋新建等。

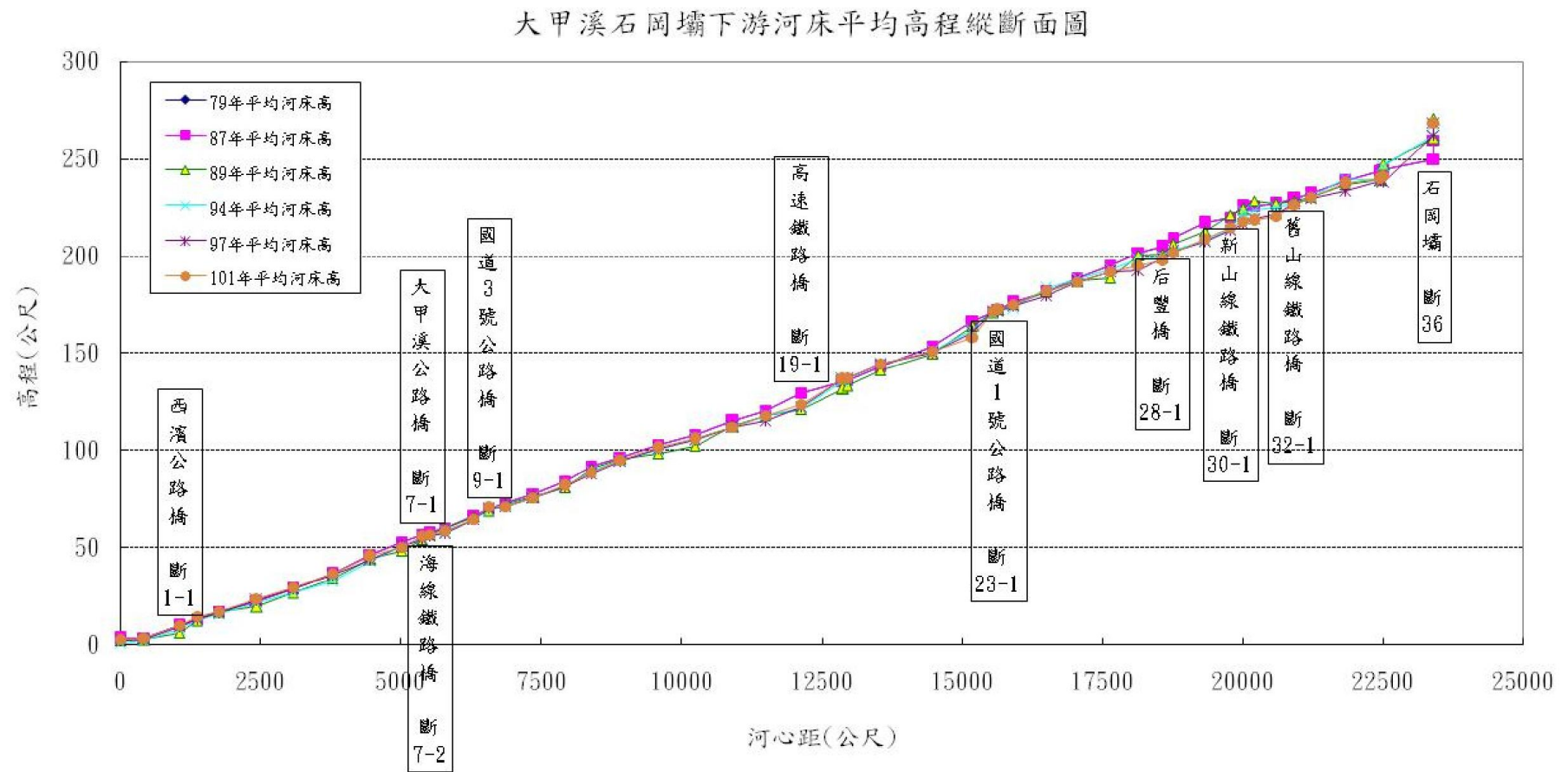


圖 1.10 大甲溪石岡壩下游河床平均高程縱斷面圖(1990-2012 年)

表 1-6 大甲溪各年度之平均河床高程值

河心距(m)	平均河床高程(m)					
	1990 年	1998 年	1999 年 921 地震後	2005 年	2008 年	2012 年
0	4.07	3.4	2.26	1.11	2.18	3.18
445	7.44	3.69	2.72	2.13	2.83	3.78
1068	13.09	9.8	6.35	8.23	9.36	9.95
1375	15.97	13.62	12.38	12.47	13.57	14.82
1762	19.59	17.29	16.96	15.99	16.76	17.11
2442	27.07	22.71	19.48	21.77	22.74	23.73
3087	33.43	28.66	26.66	26.63	28.86	29.51
3777	38.54	36.58	34.12	32.92	36.37	36.64
4467	43.44	46.72	44.22	43.3	43.93	45.48
5021	50.28	53.12	48.58	50.88	50.75	50.47
5384	55.38	57.13	54.16	54.67	54.49	56.1
5511	59.27	58.2	56.78	56.17	56.18	56.91
5781	60.76	60	60.31	58	57.61	58.97
6313	66.38	66.89	66.24	64.85	64.6	64.86
6574	70.08	69.85	68.9	69.33	70.79	71.33
6865	74.2	73.14	72.76	71.72	71	71.45
7372	79.44	77.94	76.11	75.57	75.98	75.9
7918	85.3	84.41	80.9	81.38	81.77	81.94
8394	91.49	92.12	90.56	89.49	88.03	88.62
8925	95.71	96.48	96.1	94.88	94.65	95.31
9583	105.09	103.12	98.74	100.44	100.72	101.44
10237	111.83	108.17	102.59	105.92	105.86	105.92
10926	117.72	115.06	112.58	112.04	111.81	112.38
11505	125.57	120.85	117.84	117.73	115.47	117.96
12132	133.55	129.66	121.32	122.05	122.42	123.8
12884	143.12	135.31	131.86	135.65	136.53	136.61
12884	143.12	135.31	132.08	136.17	-	-
12971	144.23	135.96	133.32	136.97	137.6	137.52
13557	148.3	143.11	141.41	144.37	144.62	144.57
14469	159.86	153.63	150.04	150.84	150.35	151.12
15201	167.19	166.92	164.28	162.4	160.54	158.43
15555	172.33	171.45	171.11	170.55	171.79	171.89
15655	173.78	172.73	172.78	171.57	172.13	172.36
16491	183.02	181.31	181.54	183.39	179.94	182.25
17067	188.64	188.8	187.31	187.8	186.52	186.77
17653	195.34	195.25	188.82	193.44	191.88	192.33
18153	202.54	202.08	200.72	198.27	192.61	195.27
18575	206.72	204.79	201.11	199.73	199.45	197.69
18776	209.37	209.88	206.15	203.32	202.26	201.94
19340	216.7	217.11	212.8	208.09	207.36	209.23
19781	221.21	220.16	221.5	213.88	213.62	215
20016	223.61	225.54	224.35	222.33	216.91	218.27
20211	225.26	226.03	228.71	224.12	219.51	218.39
20601	228.56	227	227.28	225.32	221.83	220.86
20943	231.1	229.54	228.52	227.39	227.24	226.77
21217	234.37	232.16	230.64	230.39	229.68	230.32
21824	240.23	238.51	236.84	240.12	233.75	237.23
22476	243.69	243.92	239.27	238.97	238.84	239.87
22516	245.75	244.83	247.01	246.62	238.03	241.54
23418	250.41	249.83	260.77	262.11	262.11	-

4. 河道歷史災害

大甲溪流域石岡壩以下，因地勢較低，河道的災害型態屬自然環境因素加上颱風誘發之洪水災害為主，近期所發生的歷史災害紀錄如表 1-7 所示。國道 1 號及國道 3 號附近河道在 93 年 7 月敏督利颱風及 8 月之艾莉颱風、94 年之馬莎颱風及 97 年之辛樂克颱風等都有發生災情。

表 1-7 國道 1 號及國道 3 號大甲溪橋梁附近防洪構造物歷年受損情形

構造物名稱	發生時間	發生原因	災害情形
國道 1 號下游 右岸	93 年 7 月 1 日 至 93 年 7 月 4 日	敏督利颱風 (七二水災)	水流沿潛堰固床工之法線方向沖擊北岸高灘地，因地勢以及慣性力影響水流走向而沖刷形成彎岸。
	93 年 8 月 23 日	艾利颱風	水流持續沖刷使彎岸退後、曲率變小。
	94 年 8 月 4 日 至 94 年 8 月 6 日	馬莎颱風	水流沿著繞過潛堰北側之流路持續沖刷北側高灘地，致使高灘地持續受沖刷而形成彎岸。
國道 3 號下游 客庄堤防	97 年 9 月 11 日 至 97 年 9 月 16 日	辛樂克颱風	造成國道 3 號下游、海線鐵路橋上游之客庄堤防部份段因堤腳淘刷、堤防未能承受自重而沈陷，造成堤面破裂；另海線鐵路橋下之客庄堤防可能亦受大型混凝土撞擊而造成破損。

國道 1 號大甲溪橋方面，93 年 7 月敏督利颱風造成下游之水流沿潛堰固床工之法線方向沖擊北岸高灘地，因地勢以及慣性力影響水流走向而沖刷形成彎岸；93 年 8 月艾利颱風水流持續沖刷使彎岸退後、曲率變小；94 年 8 月馬莎颱風造成水流沿著繞過潛堰北側之流路持續沖刷北側高灘地，致使高灘地持續受沖刷而形成彎岸。國道 3 號下游之客庄堤防，因為 97 年 9 月辛樂克颱風帶來之洪水導致堤防部份段因堤腳淘刷、堤防未能承受自重而沈陷，造成堤面破裂，海線鐵路橋下之客庄堤防可能亦受大型混凝土撞擊而造成破損。

5. 高潛勢危險河段或堤防

經濟部水利署 100 年「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究總報告」中針對防洪、跨河及引水構造物，依據歷年河道斷面

測量資料，訂定各構造物之風險量化標準。對防洪構造物之風險因子，需包含縱向之河床沖淤率及橫向之灘地寬度、河岸沖刷率、流路變遷情況；跨河構造物之風險因子，則與河床沖淤率、橋基深度相關；引水構造物之風險因子，則包括河床沖淤率及流路變遷情況。依據風險量化標準，檢討大甲溪治理計畫河段各防洪、跨河及取水構造物之受災風險，得出石岡壩至河口段短期內有高受災風險之構造物包括：客庄堤防、國道 4 號橋堤、豐洲堤防、舊社堤防、正隆護岸、內埔圳堤防、埤豐護岸等 4 座堤防，及后豐橋及新山線鐵路橋等 2 座橋梁。

對此，河段近年之治理措施，在河口至中山高大甲溪橋河段包括：客庄堤防堤面修復、國道 4 號神岡高架橋橋堤採排樁及格框式護腳保護、豐洲堤防修復並以丁壩、格框式護腳及混凝土護坦等方式保護、高速鐵路橋下游至軟埤溪排水匯流口河段及國道 4 號神岡高架橋斷面 16～18 河段，以河道中央疏浚土砂方式，並運移至左岸進行河道整理，以及豐洲堤防堤腳灘地培厚等。

在國道 1 號大甲溪橋至舊山線鐵路橋段治理措施，包括：國道 1 號大甲溪橋潛堰固床工修復、舊社堤防以丁壩及格框式護腳保護、豐洲堤防低水護岸建置石籠邊坡保護工、保留后豐便道做為透水性固床設施、后豐大橋改建及自來水管橋新建、內埔圳堤防及內埔圳取水口修復、內埔圳抽水站設置、新山線鐵路橋換底工程、頭嵙山層邊坡坡腳以石籠工保護等。

舊山線鐵路橋至石岡壩段河段近年之治理措施，包括：舊山線鐵路橋 P1~P2 建置微型樁固床工、埤豐橋左岸橋台修復工程、石岡壩下游左岸污水處理場建置階梯混凝土式邊坡、其坡腳採基樁、巨積混凝土及丁壩工保護、石岡壩副壩破損處以混凝土鑲補、石岡壩疏浚泥砂轉運至石岡壩下游以補充下游河床粒料等。

上述高受災風險構造物，其管理單位近年來亦已進行保護措施。未來仍需持續觀察構造物附近河床之沖刷情況。

6.橋址處河床高程變動情形

依據水利署第三河川局提供「102 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告書」(102 年 12 月)測量結果，橋址處 101 年至 102 年平均河床高程差值及谿線高程差值如表 1-8 所示，平均河床高程差值於海線鐵路橋為上升 0.56m，其餘橋址處皆下降 0.01~0.69m 不等，谿線高程差值於后豐大橋為上升 0.33m，海線鐵路橋為上升 0.92m，其餘橋址處皆下降 0.86~4.27m，台 1 線大甲溪橋平均河床高程下降 0.69m，谿線高程下降 4.27m 為幅度最大。

表 1-8 橋址處 101 年至 102 年平均河床高程差值及谿線高程差值

橋址	斷面號	101 年平均河床高(m)	102 年平均河床高(m)	102 年-101 年平均河床高程差值(m)	101 年谿線高(m)	102 年谿線高(m)	102 年-101 年谿線高程差值(m)
新山線鐵路橋	30-1	215	214.44	-0.56	212.39	211.54	-0.85
后豐大橋	28-1	197.69	197.2	-0.49	195.95	196.28	0.33
國 1 大甲溪橋	23-1	172.36	172.2	-0.16	169.91	167.81	-2.1
高速鐵路橋	19-1	136.61	136.6	-0.01	134.05	131.56	-2.49
國 3 大甲溪橋	9-1	71.33	71.15	-0.18	69.12	67.78	-1.34
海線鐵路橋	7-2	56.91	57.47	0.56	51.82	52.74	0.92
台 1 線大甲溪橋	7-1	56.1	55.41	-0.69	53.88	49.61	-4.27
台 61 線大甲溪橋	1-1	14.82	14.65	-0.17	12.42	11.56	-0.86

第二章 大甲溪跨河橋梁水位監測

2.1 水壓計及安裝位置

本計畫水壓計首次安裝期間為 102 年 5 月至 9 月，安裝橋梁為天福大橋、東勢大橋、新山線鐵路橋、后豐大橋、國道 1 號大甲溪橋、國道 3 號大甲溪橋、海線鐵路橋、西濱大橋，共 8 座，橋梁位置圖如圖 2.1 所示。

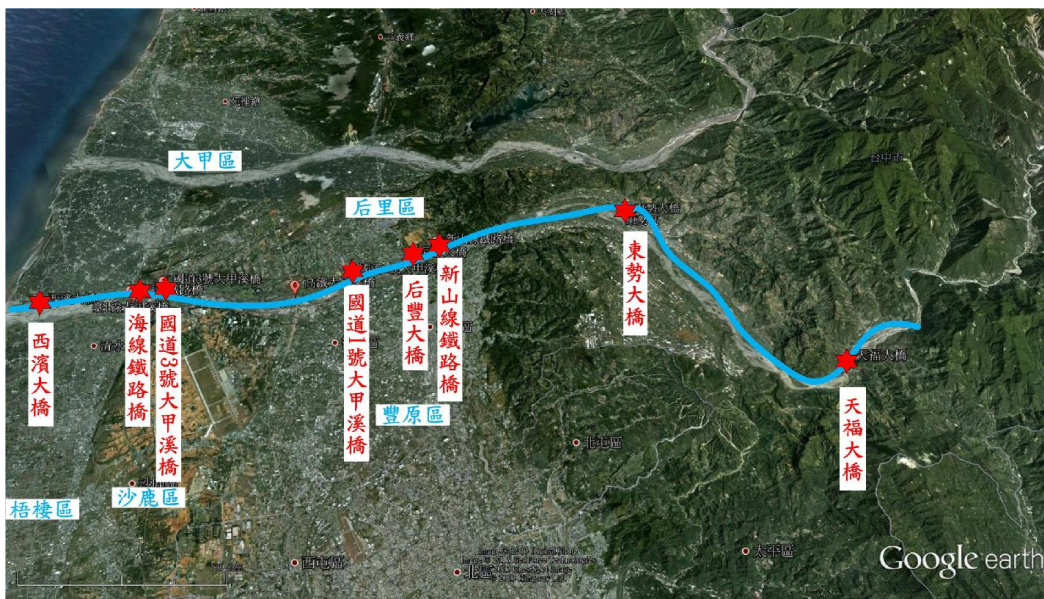


圖 2.1 水壓計安裝橋梁位置圖

本計畫水壓計採用壓力式波浪儀(簡稱 S700)為一水下自錄儀器(詳圖 2.2)，配有溫度及壓力感測器(詳圖 2.3)，及 4MB 記憶體，可獨立紀錄資料或配合其他儀器使用。

壓力式波浪儀俱大量資料儲存功能，耗電量低，可作定時資料採集或連續式長期置於偵測現場，可應用於海洋波浪、海洋潮位、水庫、湖泊、河川、地下水、養殖場、環保工業等水位水溫連續資料紀錄。

儀器規格為外徑 105mm、筒高 475mm、重量 5kgs in air、記憶體 4KB、電池 1 號鹼性電池(8 顆)。



圖 2.2 壓力式波浪儀



圖 2.3 壓力式波浪儀溫度及壓力感測器

2.2 水壓計安裝方式

本計畫設計一鐵架固定壓力式波浪儀(S700)，然而橋墩表面有包覆鋼板及混凝土(未包覆鋼板)兩種形式，針對以上兩種形式鐵架採下列方法作為固定方式：

焊接方式：若固定位置為鋼版區域，則使用焊接方式使鐵架與橋墩固定，如圖 2.4 所示，銲接處為長方形鋼板邊緣以點焊方式處理，為避免儀器遺失，有部份橋梁場址螺栓處亦點焊固定。

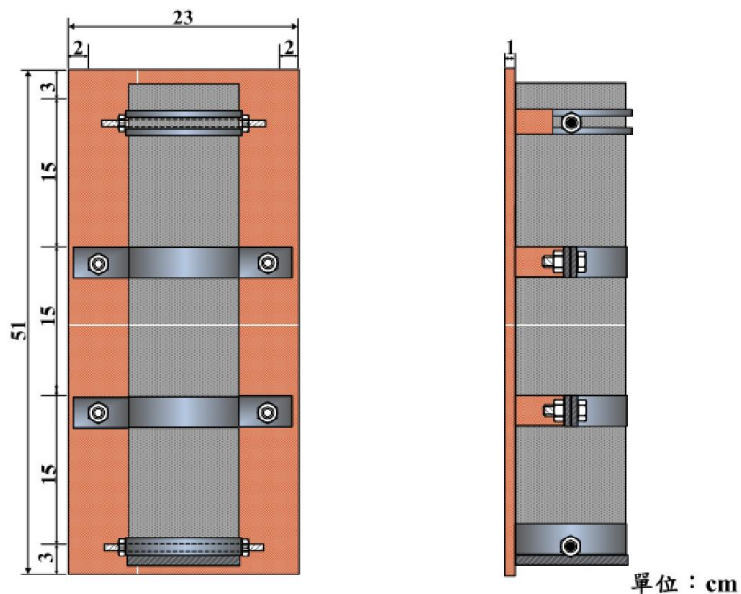


圖 2.4 鐵架以焊接方式固定

螺栓方式：若固定位置為混凝土區域，則使用螺栓方式使鐵架與橋墩固定，如圖 2.5 所示。

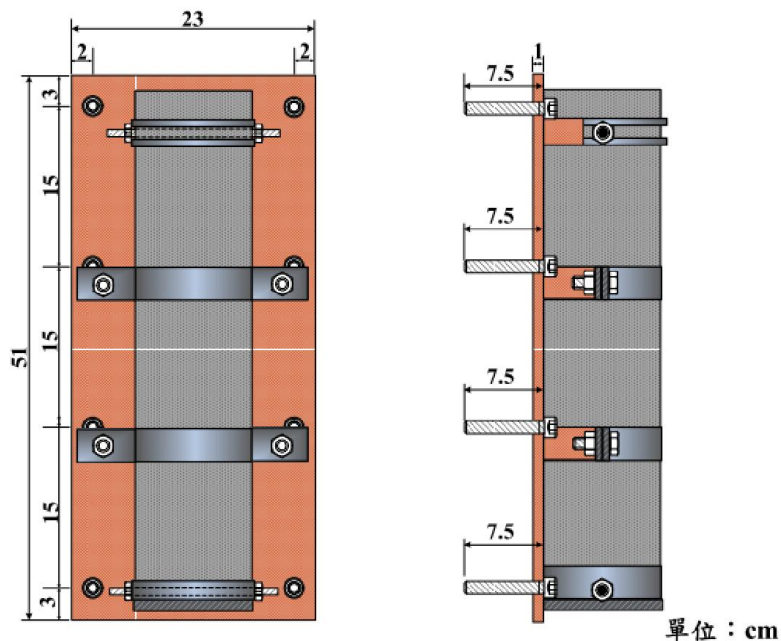


圖 2.5 鐵架以螺栓方式固定

保護蓋：為防止水壓計受洪水伴隨著石塊衝擊而損壞，另行設計保護蓋加裝於鐵架，保護蓋與橫條焊接，共分三等分，於現場施工安裝水壓計時一併安裝完成，保護蓋以 0.6mm 鐵板製成，如圖 2.6 所示。

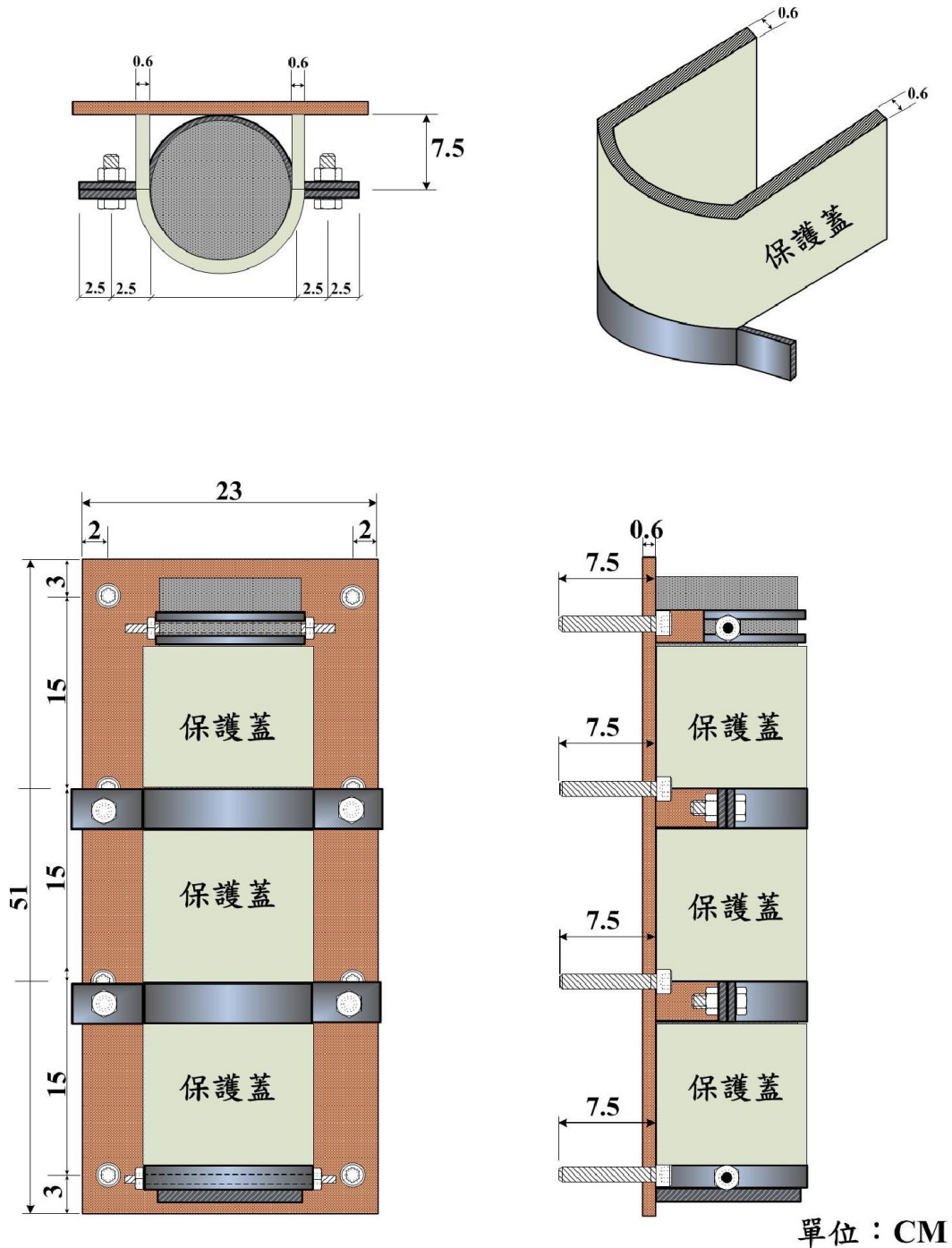


圖 2.6 保護蓋設計詳圖

2.3 水壓計安裝及維護

天福大橋水壓計安裝橋墩為 P2，安裝日期為 102 年 7 月 10 日，儀器編號為 0521-1，取樣頻率為 5min/一筆，固定方式為螺栓固定，未加裝保護蓋，儀器於 7 月 13 日蘇力颱風後遭掩埋，於 11 月 27 日現場開挖後發現水壓計及鐵架皆遺失，日後解決對策：將水壓計加裝保護蓋並提高裝設高程，如圖 2.7 及 2.8 所示。

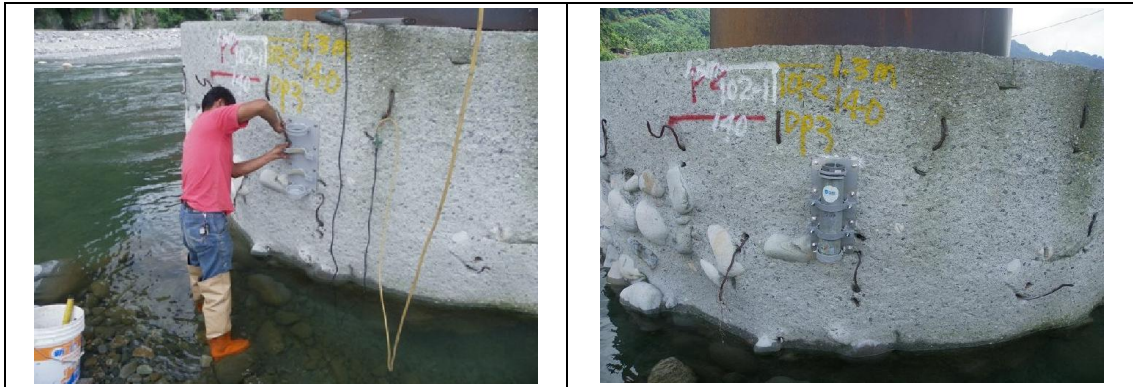


圖 2.7 水壓計安裝(102 年 7 月 10 日)



圖 2.8 水壓計及鐵架遺失(102 月 11 月 27 日)

東勢大橋水壓計安裝橋墩為 P3，安裝日期為 102 年 7 月 10 日，儀器編號為 0509-1，取樣頻率為 5min/一筆，固定方式為焊接固定，未加裝保護蓋，儀器於 7 月 13 日蘇力颱風後已表面破損，於 10 月 7 日將儀器編號 0509-1 取回，更換儀器編號 0521-3 水壓計，並將鐵架加焊保

護蓋以及更改水壓計安裝位置，取樣頻率為 1min/一筆，如圖 2.9 及 2.10 所示。103 年因應颱風洪期之到來，於 6 月 20 日至現場拆解舊水壓計換新電池後再次安裝，如圖 2.11 所示。



圖 2.9 水壓計安裝(102 年 7 月 10 日)



圖 2.10 儀器表面破損更換水壓計，並將鐵架加焊保護蓋及更改水壓計安裝位置(102 年 10 月 7 日)



圖 2.11 拆解舊水壓計換新電池後再次安裝(103 年 6 月 20 日)

新山線鐵路橋水壓計安裝橋墩為 P5，安裝日期為 102 年 7 月 10 日，儀器編號為 0521-1，取樣頻率為 5min/一筆，固定方式為焊接固定，未加裝保護蓋，儀器於 7 月 13 日蘇力颱風後依舊完好，於 8 月 19 日至現場取回儀器並原位置更換新水壓計儀器編號 0521-3，取樣頻率為 1min/一筆並於 9 月 14 日至現場加裝保護蓋，如圖 2.12 至 2.14 所示。103 年因應颱風洪期之到來且原設置位置略為過高，於 6 月 20 日至現場拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝，如圖 2.15 所示。



圖 2.12 水壓計安裝(102 年 7 月 10 日)



圖 2.13 水壓計取回並安裝新水壓計(102 年 8 月 19 日)



圖 2.14 保護蓋加裝(102 年 9 月 14 日)



圖 2.15 拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝 (103 年 6 月 20 日)

后豐大橋水壓計安裝橋墩為 PB，安裝日期為 102 年 7 月 10 日，儀器編號為 0509-2，取樣頻率為 5min/一筆，固定方式為焊接固定，未加裝保護蓋，儀器於 7 月 13 日蘇力颱風後外觀破損，經確認已損壞，安裝位置並已形成一深潭，於 9 月 9 日至現場取回損壞之水壓計，如圖 2.16 及 2.17 所示。103 年因應颱洪期之到來，於 6 月 20 日至現場新設安裝水壓計一組，如圖 2.18 所示。



圖 2.16 水壓計安裝(102 年 7 月 10 日)



圖 2.17 水壓計取回(102 年 9 月 9 日)



a. 安裝水壓計腳架



b. 新做保護蓋並安裝水壓計

圖 2.18 現場新設安裝水壓計一組(103 年 6 月 20 日)

國道 1 號大甲溪橋水壓計安裝橋墩為 P21-2，安裝日期為 102 年 9 月 14 日，儀器編號為 0510-1，取樣頻率為 1min/一筆，固定方式為焊接固定，有加焊保護蓋，如圖 2.19 所示。103 年因應颱風期之到來且原設置位置略為過高，於 6 月 20 日至現場拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝，如圖 2.20 所示。



圖 2.19 水壓計安裝(102 年 9 月 14 日)



圖 2.20 拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝 (103 年 6 月 20 日)

國道 3 號大甲溪橋水壓計安裝橋墩為 P33-R，安裝日期為 102 年 9 月 14 日，儀器編號為 0521-2，取樣頻率為 1min/一筆，固定方式為螺栓固定，有加焊保護蓋，如圖 2.21 所示。103 年因應颱風洪期之到來，於 6 月 20 日至現場拆解舊水壓計換新電池後再次安裝，如圖 2.22 所示。

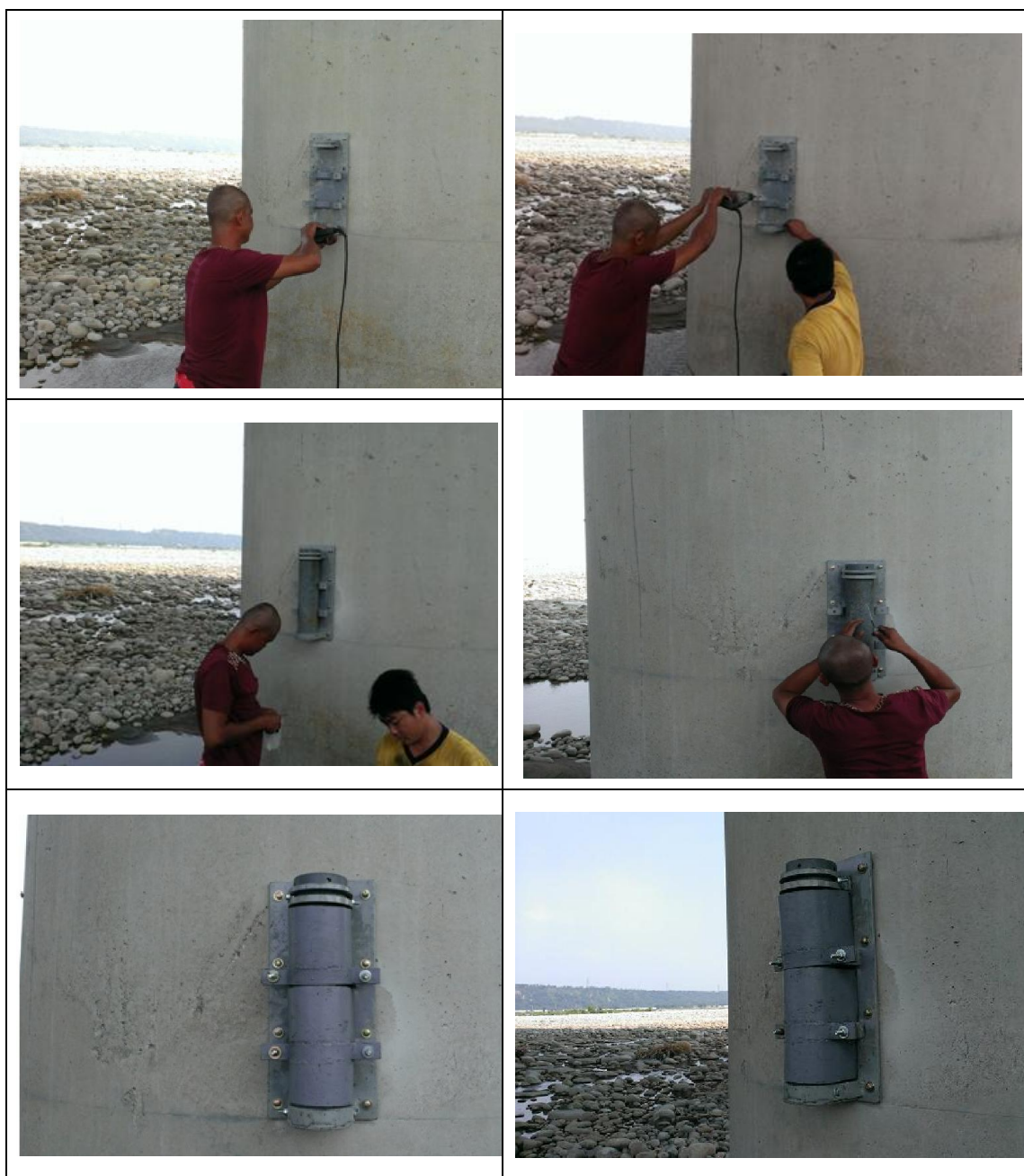


圖 2.21 水壓計安裝(102 年 9 月 14 日)



圖 2.22 拆解舊水壓計換新電池後再次安裝(103 年 6 月 20 日)

海線鐵路橋水壓計安裝橋墩為 P38，安裝日期為 102 年 7 月 11 日，儀器編號為 1003-2，取樣頻率為 1min/一筆，固定方式為螺栓固定，未加保護蓋，儀器於 7 月 13 日蘇力颱風後外觀破損，經確認已損壞，於 10 月 7 日至現場取回損壞之水壓計，更換水壓計安裝位置安裝新水壓計並加焊保護蓋，如圖 2.23 及 2.24 所示。103 年因應颱風期之到來且原設置位置略為過低，於 6 月 23 日至現場拆解舊水壓計換新電池提高高程後再次安裝，如圖 2.25 所示。



圖 2.23 水壓計安裝(102 年 7 月 11 日)



圖 2.24 更換水壓計安裝位置安裝新水壓計並加焊保護蓋
(102 年 10 月 7 日)



a. 拆解舊水壓計



b. 水壓計安裝位置更動



c. 換新電池後再安裝水壓計

圖 2.25 拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝(103 年 6 月 23 日)

西濱大橋水壓計安裝橋墩為 P39，安裝日期為 102 年 7 月 11 日，儀器編號為 0517-1，取樣頻率為 1min/一筆，固定方式為螺栓固定，未加裝保護蓋，儀器於 7 月 13 日蘇力颱風後遭掩埋，於 11 月 20 日現場人工開挖方式取回水壓計及鐵架，水壓計表面無破損，經確認水壓計功能正常，如圖 2.26 及 2.27 所示。103 年因應颱風洪期之到來，於 6 月 20 日至現場新設安裝水壓計一組，如圖 2.28 所示。



圖 2.26 水壓計安裝(102 年 7 月 11 日)



圖 2.27 水壓計及鐵架取回(102 年 11 月 20 日)



a. 新做儀器固定座及保護蓋 1 座並安裝水壓計腳架



c. 安裝水壓計

圖 2.28 現場新設安裝水壓計一組(103 年 6 月 23 日)

2.4 水壓計監測結果

西濱大橋水壓計安裝橋墩為 P39，安裝日期為 102 年 7 月 11 日，儀器編號為 0517-1，取樣頻率為 1min/一筆，固定方式為螺栓固定，未加裝保護蓋，儀器於 7 月 13 日蘇力颱風後遭掩埋，於 11 月 20 日現場人工開挖方式取回水壓計及鐵架，水壓計表面無破損，經確認水壓計功能正常，取得水壓計蘇力颱風期間之水壓紀錄，換算為水位高程如圖 2.29 所示，縱座標為水位之高程 EL.，高程由量測之水位加上現場測量水壓計位置並以竣工圖上所標基礎頂高程相加推算而得。

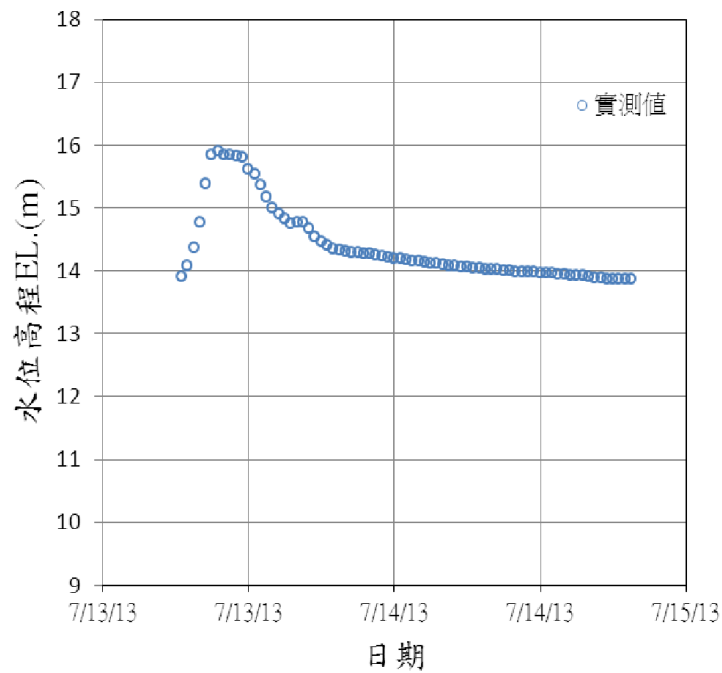


圖 2.29 蘇力颱風期間西濱大橋水壓計實測水位

水壓計蘇力颱風期間之水壓紀錄，換算為水位高程後與一維水理分析模擬值比較如圖 2.30 所示，水理分析西濱大橋水位模擬結果與實測值結果相似。

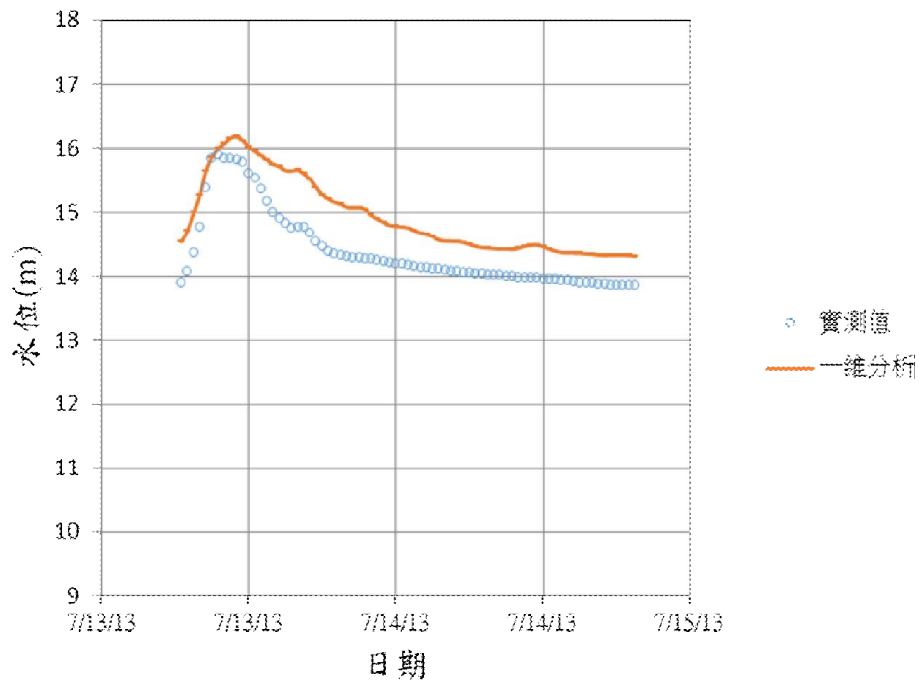


圖 2.30 蘇力颱風期間西濱大橋模擬與實測水位比較

第三章 大甲溪跨河橋梁一維水理分析

3.1 動床水理模式

由於臺灣河川坡陡流急，流量之豐枯差異懸殊，加上颱風暴雨導致高含砂水流與河床沖刷嚴重等特性，常見之動床水理模式存在不同程度之適用性問題。以水利工程常用美國陸軍工程師團水文工程中心發行之 HEC-RAS 模式為例，其 2008 年 5 月 HEC-RAS 4.0 正式版本，改進了若干 3.1.3 版本之問題，並在功能上主要增加了動床輸砂模擬分析(Sediment Transport/Movable Bed Analysis)、河床沖淤分析(Sediment Impact Analysis Method,SIAM)水質分析、閘門開啟關閉設定、滿管壓力流模擬、泵浦啟動關閉設定、河道設計/修正工具、地理資訊系統參照工具(Geo-Referencing Tools)等功能，但受限於入流條件輸入組數(100 組)，無法滿足計算時距短、入流輸入組數多的需求。動床水理模式之選定需考量河段特性，並以模式可靠度、計算快速、方便操作、取得容易及輸入資料完整性為主要原則，並以其功能是否滿足本計畫需求及程式獲得之難易做為模式評選依據，茲依據需求功能項目及滿足需求之模式進行逐級篩選。綜合研判結果且經由篩選，基於超臨界、亞臨界流混合流況計算能力，考慮短期與長期河川網路沖淤過程之模式，本計畫選擇美國密西西比大學國家計算水科學及工程中心發展之 CCHE1D 模式做為一維動床水理模擬模式。

藉由動床水理模式搭配不同之輸砂公式，可得到不同輸砂公式之模擬底床縱剖面，進行輸砂公式適用可行性評估。以研究範圍內歷年之大斷面資料，避開人為干擾事件，如：清淤作業，利用研究範圍上下游最近之流量水位測站為上下游邊界條件，以水理模式分析河床沖淤特性，評估洪水過程河床沖刷之程度。選擇以歷史颱風事件為基準，進行水理模擬床形比對，藉以評估輸砂公式之適用性。

3.2 蘇力颱風水力分析

以經濟部水利署 101 年 12 月量測之河道大斷面資料建置程式模擬所需之河道模型，並採用 102 年蘇力颱風作為模擬颱風，以後豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 大甲溪橋之水利署及高公局實測水位進行模擬驗證。

- (1) 底床大斷面：測試與檢定之底床採用「101 年度大甲溪、筏子溪大斷面測量工作計畫」成果報告之實測大斷面資料，模擬範圍自上游石岡壩(斷面 36)至出海口(斷面-1)。
- (2) 模擬颱風：2013 年蘇力颱風期間，挑選出颱風過程完整流量上升與下降歷線(102/7/12 至 102/7/14)，共 70 筆資料，總延時約 3 天。
- (3) 邊界條件：採用石岡壩於蘇力颱風實測放流量，蘇力颱風期間石岡壩放流記錄與放流歷線分別繪如表 3-1、圖 3.1，最大放流量發生於 2013/7/13 10:00，放流量約為 6701.34cms。而下游水位邊界條件為台中港潮位資料，如表 3-2、圖 3.2 所示。
- (4) 河道糙度值：河床糙度參考 2009 年經濟部水利署「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」，於石岡(斷面 36)至新山線鐵路橋(斷面 30-1)段之曼寧 n 採用 0.040，新山線鐵路橋至大甲溪出海口(斷面 1)段之曼寧 n 採用 0.035。
- (5) 河床質粒徑資料及粒徑區間：採用「100 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告」之河床質採樣分析成果，本次模擬將粒徑資料分為 12 區間，如表 3-3 及表 3-4 所示。

表 3-1 石岡壩於蘇力颱風(2012)期間放流量紀錄(cms)

時間	流量	時間	流量	時間	流量
2013/7/12 00:00	92.15	2013/7/13 06:00	1465.79	2013/7/14 12:00	541.12
2013/7/12 01:00	89.78	2013/7/13 07:00	2481.48	2013/7/14 13:00	536.44
2013/7/12 02:00	69.24	2013/7/13 08:00	4819.93	2013/7/14 14:00	518.92
2013/7/12 03:00	68.94	2013/7/13 09:00	5896.18	2013/7/14 15:00	496.32
2013/7/12 04:00	68.78	2013/7/13 10:00	6701.34	2013/7/14 16:00	505.72
2013/7/12 05:00	67.84	2013/7/13 11:00	5391.28	2013/7/14 17:00	498.31
2013/7/12 06:00	68.16	2013/7/13 12:00	4488.96	2013/7/14 18:00	471.87
2013/7/12 07:00	68.16	2013/7/13 13:00	3730.02	2013/7/14 19:00	493.16
2013/7/12 08:00	68.16	2013/7/13 14:00	3170.46	2013/7/14 20:00	465.99
2013/7/12 09:00	68.16	2013/7/13 15:00	3379.13	2013/7/14 21:00	446.34
2013/7/12 10:00	68.16	2013/7/13 16:00	2527.1		
2013/7/12 11:00	68.16	2013/7/13 17:00	1704.85		
2013/7/12 12:00	68.16	2013/7/13 18:00	1676.11		
2013/7/12 13:00	68.16	2013/7/13 19:00	1518.7		
2013/7/12 14:00	68.16	2013/7/13 20:00	1562.07		
2013/7/12 15:00	68.16	2013/7/13 21:00	1245.55		
2013/7/12 16:00	68.16	2013/7/13 22:00	1098.3		
2013/7/12 17:00	68.16	2013/7/13 23:00	1098.3		
2013/7/12 18:00	68.16	2013/7/14 00:00	988.72		
2013/7/12 19:00	68.16	2013/7/14 01:00	922.51		
2013/7/12 20:00	68.16	2013/7/14 02:00	746.61		
2013/7/12 21:00	68.16	2013/7/14 03:00	773.54		
2013/7/12 22:00	68.16	2013/7/14 04:00	721.27		
2013/7/12 23:00	68.16	2013/7/14 05:00	643.36		
2013/7/13 00:00	68.16	2013/7/14 06:00	627.33		
2013/7/13 01:00	68.16	2013/7/14 07:00	611.63		
2013/7/13 02:00	429.47	2013/7/14 08:00	586.85		
2013/7/13 03:00	449.39	2013/7/14 09:00	676.44		
2013/7/13 04:00	533.05	2013/7/14 10:00	696.58		
2013/7/13 05:00	913.15	2013/7/14 11:00	557.68		

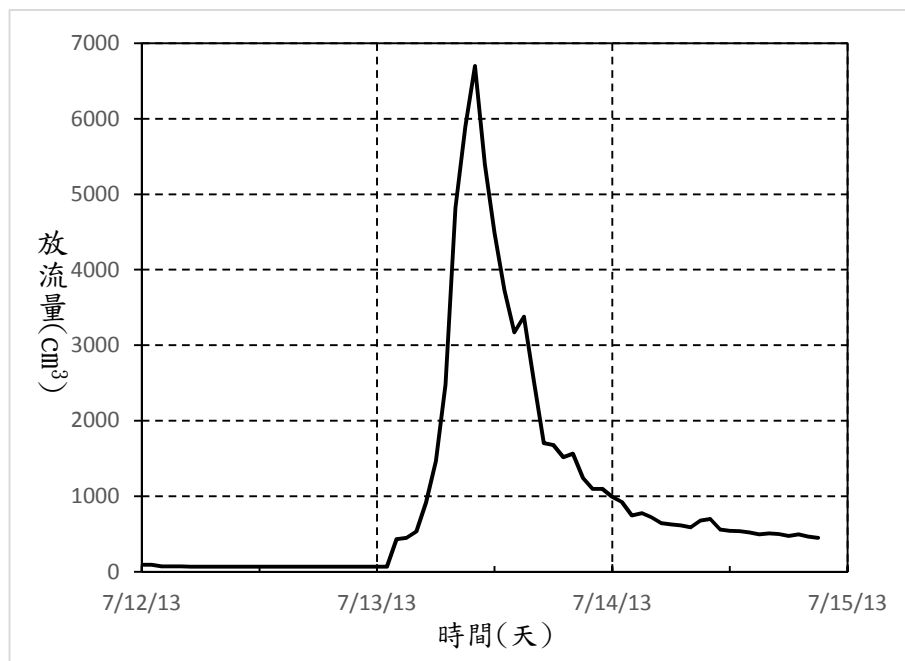


圖 3.1 蘇力颱風期間石岡壩放流歷線過程

表 3-2 台中港於蘇力颱風期間潮位紀錄(m)

時間	潮位	時間	潮位	時間	潮位
2013/7/12 00:00	4.5	2013/7/13 06:00	2.85	2013/7/14 12:00	3.28
2013/7/12 01:00	4.92	2013/7/13 07:00	2.21	2013/7/14 13:00	4.18
2013/7/12 02:00	4.84	2013/7/13 08:00	1.72	2013/7/14 14:00	4.7
2013/7/12 03:00	4.38	2013/7/13 09:00	1.99	2013/7/14 15:00	4.7
2013/7/12 04:00	3.58	2013/7/13 10:00	2.59	2013/7/14 16:00	4.36
2013/7/12 05:00	2.57	2013/7/13 11:00	3.35	2013/7/14 17:00	3.64
2013/7/12 06:00	1.68	2013/7/13 12:00	4.07	2013/7/14 18:00	2.71
2013/7/12 07:00	1.21	2013/7/13 13:00	4.77	2013/7/14 19:00	1.72
2013/7/12 08:00	1.22	2013/7/13 14:00	4.88	2013/7/14 20:00	1.1
2013/7/12 09:00	1.76	2013/7/13 15:00	4.57	2013/7/14 21:00	0.86
2013/7/12 10:00	2.62	2013/7/13 16:00	3.81		
2013/7/12 11:00	3.61	2013/7/13 17:00	2.96		
2013/7/12 12:00	4.46	2013/7/13 18:00	1.71		
2013/7/12 13:00	4.93	2013/7/13 19:00	0.98		
2013/7/12 14:00	4.81	2013/7/13 20:00	0.68		
2013/7/12 15:00	4.29	2013/7/13 21:00	0.73		
2013/7/12 16:00	3.38	2013/7/13 22:00	1.44		
2013/7/12 17:00	2.29	2013/7/13 23:00	2.44		
2013/7/12 18:00	1.36	2013/7/14 00:00	3.57		
2013/7/12 19:00	0.81	2013/7/14 01:00	4.39		
2013/7/12 20:00	0.72	2013/7/14 02:00	4.87		
2013/7/12 21:00	1.15	2013/7/14 03:00	4.84		
2013/7/12 22:00	2.08	2013/7/14 04:00	4.41		
2013/7/12 23:00	3.22	2013/7/14 05:00	3.63		
2013/7/13 00:00	4.27	2013/7/14 06:00	2.71		
2013/7/13 01:00	5.08	2013/7/14 07:00	1.92		
2013/7/13 02:00	5.17	2013/7/14 08:00	1.31		
2013/7/13 03:00	5.08	2013/7/14 09:00	1.14		
2013/7/13 04:00	4.5	2013/7/14 10:00	1.51		
2013/7/13 05:00	3.69	2013/7/14 11:00	2.28		

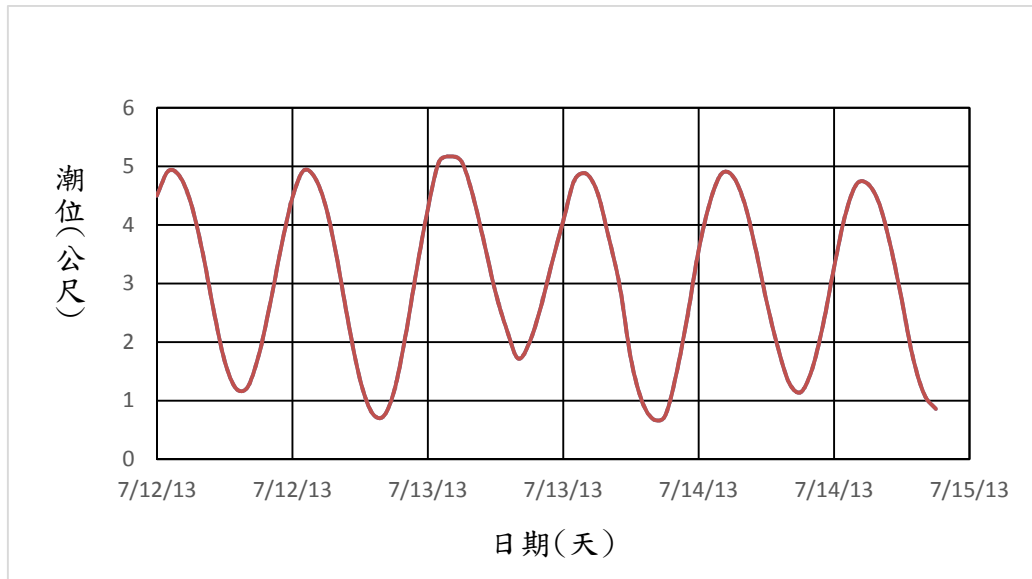


圖 3.2 蘇力颱風期間台中港潮位歷線

表 3-3 粒徑區間設定

區間編號	粒徑大小範圍(mm)
1	0.01~0.85
2	0.85~2
3	2~4.76
4	4.76~9.52
5	9.52~19.1
6	19.1~38.1
7	38.1~76.2
8	76.2~152
9	152~203
10	203~305
11	305~457
12	457~610

表 3-4 河床質採樣分析成果(擷錄斷面 1)

大甲溪 1 斷面停留篩百分比(%)			
篩號	粒徑別 (公厘)	百分比%	累計百分比%
24"	610		
18"	457	0.0	0.0
12"	305	17.6	17.6
8"	203	14.9	32.5
6"	152	10.7	43.2
3"	76.2	15.4	58.6
1½"	38.1	10.6	69.2
¾"	19.1	8.2	77.4
3/8"	9.52	6.5	83.9
No.4	4.76	1.8	85.7
No.10	2	0.9	86.6
No.20	0.85	1.5	88.1
No.40	0.425	4.0	92.1
No.60	0.25	2.8	94.9
No.100	0.149	2.5	97.4
No.200	0.075	1.5	98.9
底盤		1.1	100.0
計		100.0	

蘇力颱風的模擬結果，將后豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 線大甲溪橋位置之模擬與實測水位歷線比較繪如圖 3.3 至圖 3.6。圖 3.3 為后豐大橋颱風期間模擬之水位歷線，模擬結果反應洪峰上升與退水之現象。由石岡壩放流歷線顯示，洪水上升段於 7 月 13 日 1:00 至 7 月 13 日 10:00 需時 9 小時；洪水下降斷於 7 月 13 日 10:00 至 7 月 14 日 0:00 需時 14 小時，流量為單峰歷線。洪峰自石岡壩流出經 5.6 公里後到達后豐大橋，將監測水位繪於圖上，其水位歷線顯示為雙峰歷線，模擬之洪峰水位值略低於觀測值。圖 3.4 及圖 3.5 國道 1 號及國道 3 號橋梁監測值皆較模擬值為低。圖 3.6 為台 1 大甲溪橋洪峰到達

前水位上升的變化與洪峰到達的時間及水位完全為模式所掌握，2013/7/13 11:00 後洪水退水的過程模式也能有合理的描述，唯退水時期因颱風期間瞬時流量激增，河川水位暴漲，與地下水位產生落差，導致退水水位降低速度較快使模擬值略有些微高估，整體模擬結果仍在可接受範圍內。

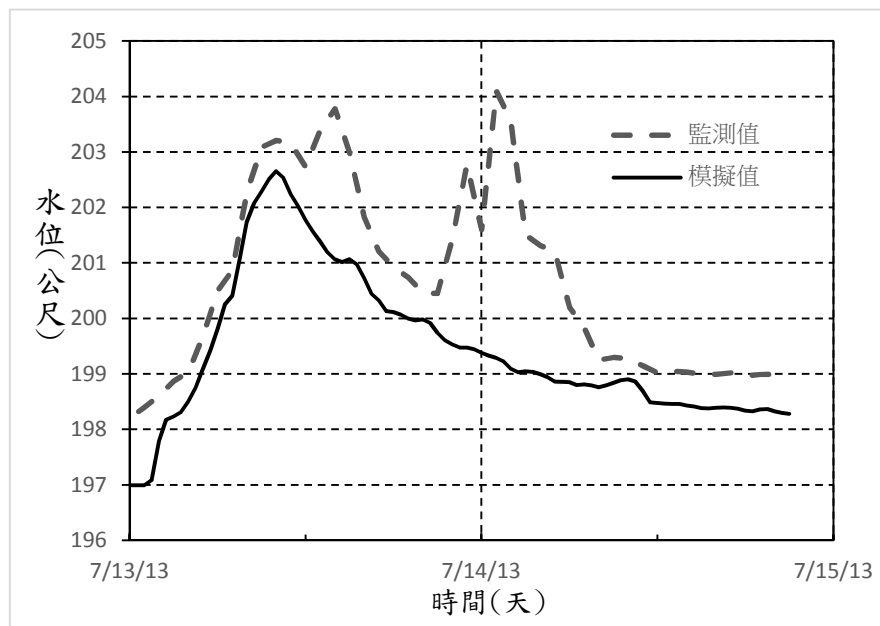


圖 3.3 蘇力颱風期間后豐大橋模擬與實測水位比較

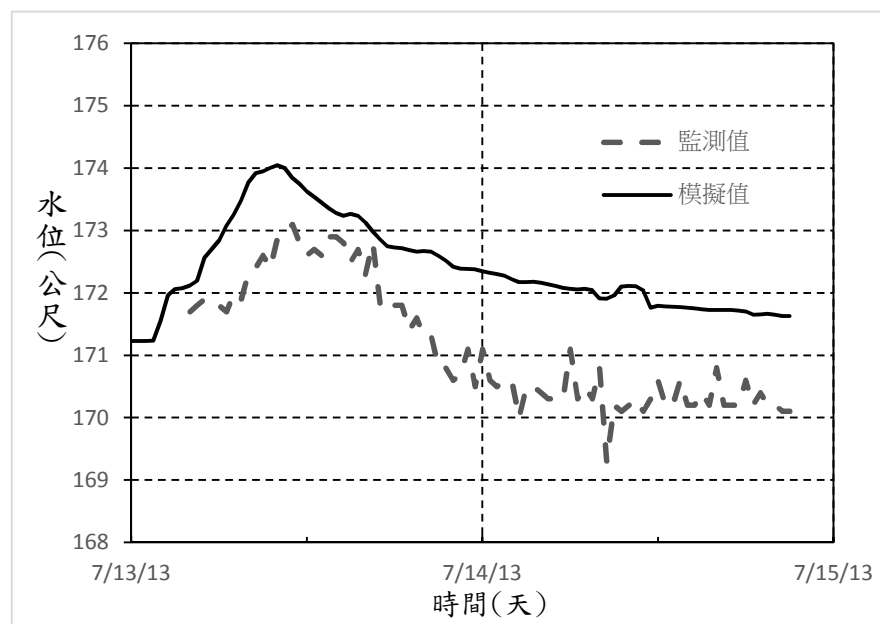


圖 3.4 蘇力颱風期間國 1 大甲溪橋模擬與實測水位比較

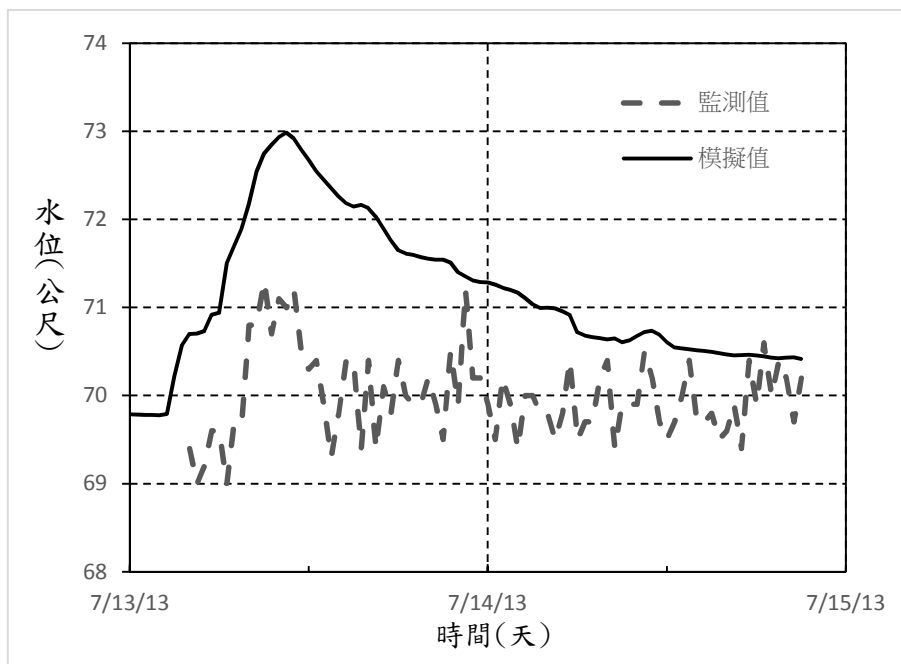


圖 3.5 蘇力颱風期間國 3 大甲溪橋模擬與實測水位比較

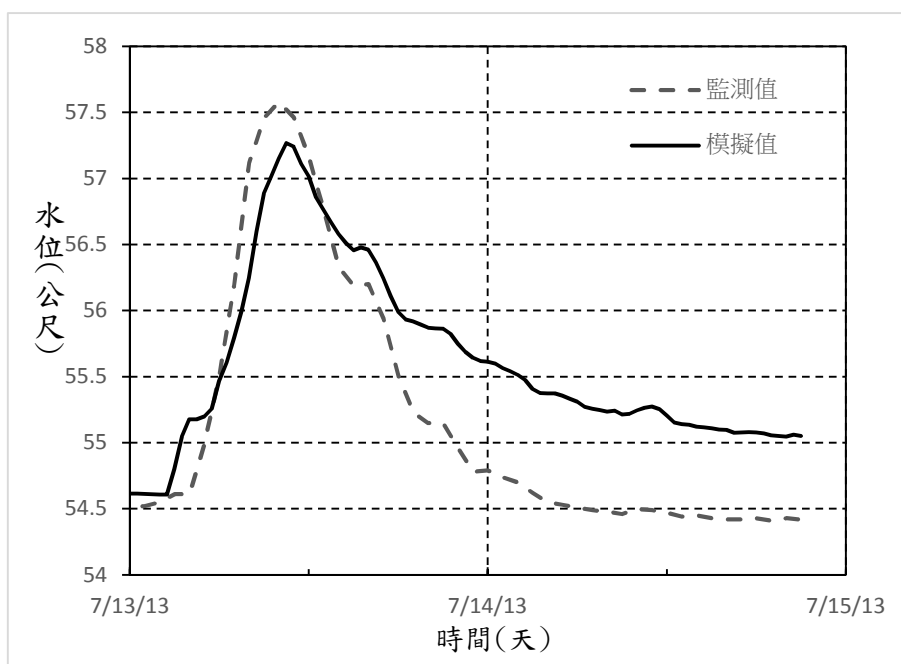


圖 3.6 蘇力颱風期間台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位比較

3.3 潭美颱風水力分析

以經濟部水利署 101 年 12 月量測之河道大斷面資料建置程式模擬所需之河道模型，並採用 102 年潭美颱風作為模擬颱風，以後豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 大甲溪橋之水利署及高公局實測水位進行模擬驗證。

- (1) 底床大斷面：測試與檢定之底床採用「101 年度大甲溪、筏子溪大斷面測量工作計畫」成果報告之實測大斷面資料，模擬範圍自上游石岡壩(斷面 36)至出海口(斷面-1)。
- (2) 模擬颱風：2013 年潭美颱風期間，挑選出颱風過程完整流量上升與下降歷線(102/8/19 至 102/8/22)，共 96 筆資料，總延時約 4 天。
- (3) 邊界條件：採用石岡壩於蘇力颱風實測放流量，蘇力颱風期間石岡壩放流記錄與放流歷線分別繪如表 3-5、圖 3.7，最大放流量發生於 2013/8/22 06:00，放流量約為 2392.63cms。而下游水位邊界條件為自由出流。
- (4) 河道糙度值：河床糙度參考 2009 年經濟部水利署「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」，於石岡(斷面 36)至新山線鐵路橋(斷面 30-1)段之曼寧 n 採用 0.040，新山線鐵路橋至大甲溪出海口(斷面 1)段之曼寧 n 採用 0.035。
- (5) 河床質粒徑資料及粒徑區間：採用「100 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告」之河床質採樣分析成果，本次模擬將粒徑資料分為 12 區間，如表 3-3 及表 3-4 所示。

表 3-5 石岡壩於潭美颱風(2012)期間放流量紀錄(cms)

時間	流量	時間	流量	時間	流量	時間	流量
2013/8/19 00:00	128.72	2013/8/20 06:00	166.68	2013/8/21 12:00	215.6	2013/8/22 18:00	883.52
2013/8/19 01:00	128.72	2013/8/20 07:00	163.39	2013/8/21 13:00	229.28	2013/8/22 19:00	796.06
2013/8/19 02:00	129.24	2013/8/20 08:00	160.53	2013/8/21 14:00	336.04	2013/8/22 20:00	918.5
2013/8/19 03:00	130.27	2013/8/20 09:00	157.13	2013/8/21 15:00	869.34	2013/8/22 21:00	741.79
2013/8/19 04:00	144.57	2013/8/20 10:00	155.15	2013/8/21 16:00	403.83	2013/8/22 22:00	861.77
2013/8/19 05:00	142.83	2013/8/20 11:00	154.14	2013/8/21 17:00	672.5	2013/8/22 23:00	734.53
2013/8/19 06:00	141.66	2013/8/20 12:00	154.14	2013/8/21 18:00	687.72		
2013/8/19 07:00	140.19	2013/8/20 13:00	155.15	2013/8/21 19:00	936		
2013/8/19 08:00	138.61	2013/8/20 14:00	155.64	2013/8/21 20:00	992.49		
2013/8/19 09:00	137.42	2013/8/20 15:00	156.63	2013/8/21 21:00	884.91		
2013/8/19 10:00	141.85	2013/8/20 16:00	157.13	2013/8/21 22:00	797		
2013/8/19 11:00	142.32	2013/8/20 17:00	172.12	2013/8/21 23:00	890.4		
2013/8/19 12:00	138.66	2013/8/20 18:00	191.89	2013/8/22 00:00	858.08		
2013/8/19 13:00	138.33	2013/8/20 19:00	184.82	2013/8/22 01:00	1124.03		
2013/8/19 14:00	138	2013/8/20 20:00	180.32	2013/8/22 02:00	1402.75		
2013/8/19 15:00	137.34	2013/8/20 21:00	178.03	2013/8/22 03:00	1479.88		
2013/8/19 16:00	137.01	2013/8/20 22:00	176.3	2013/8/22 04:00	1212.93		
2013/8/19 17:00	137.01	2013/8/20 23:00	174.54	2013/8/22 05:00	1928.4		
2013/8/19 18:00	148.36	2013/8/21 00:00	172.77	2013/8/22 06:00	2392.63		
2013/8/19 19:00	148.73	2013/8/21 01:00	176.3	2013/8/22 07:00	1643.76		
2013/8/19 20:00	149.83	2013/8/21 02:00	179.75	2013/8/22 08:00	1611.43		
2013/8/19 21:00	158.94	2013/8/21 03:00	184.26	2013/8/22 09:00	1687.23		
2013/8/19 22:00	158.94	2013/8/21 04:00	187.02	2013/8/22 10:00	1865.4		
2013/8/19 23:00	158.94	2013/8/21 05:00	188.12	2013/8/22 11:00	1392.19		
2013/8/20 00:00	158.94	2013/8/21 06:00	188.66	2013/8/22 12:00	1042.56		
2013/8/20 01:00	158.94	2013/8/21 07:00	202.16	2013/8/22 13:00	1283.43		
2013/8/20 02:00	158.94	2013/8/21 08:00	198.67	2013/8/22 14:00	1146.19		
2013/8/20 03:00	158.94	2013/8/21 09:00	197.49	2013/8/22 15:00	771.02		
2013/8/20 04:00	158.53	2013/8/21 10:00	199.26	2013/8/22 16:00	1169.72		
2013/8/20 05:00	169.29	2013/8/21 11:00	218.32	2013/8/22 17:00	1067.24		

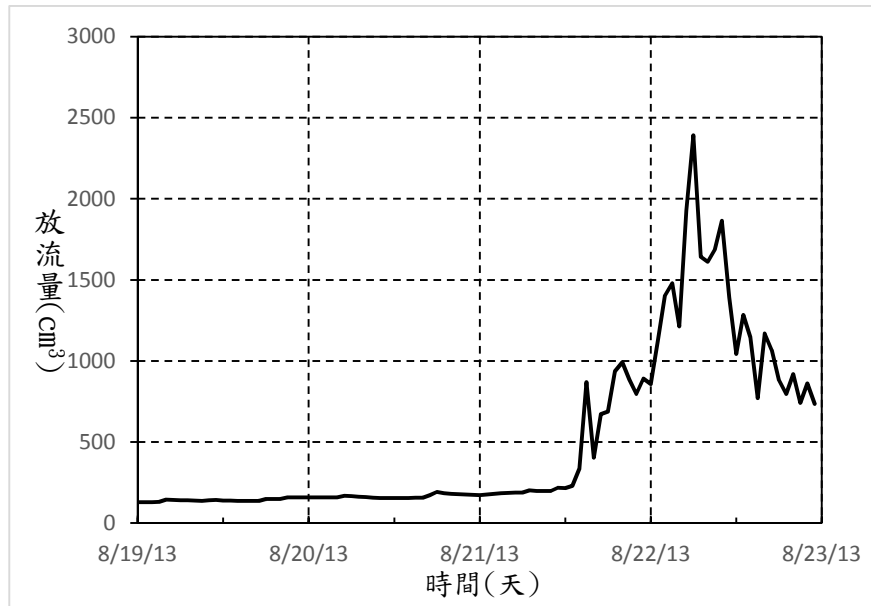


圖 3.7 潭美颱風期間石岡壩放流歷線過程

潭美颱風的模擬結果，將后豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 線大甲溪橋位置之模擬與實測水位歷線比較繪如圖 3.8 至圖 3.11。圖 3.8 及圖 3.9 后豐大橋及國 1 大甲溪橋模擬之水位歷線與監測值接近，模擬結果反應洪峰上升與退水之現象。圖 3.10 及圖 3.11 國道 3 號大甲溪橋及台 1 大甲溪橋模擬值較監測值為高。

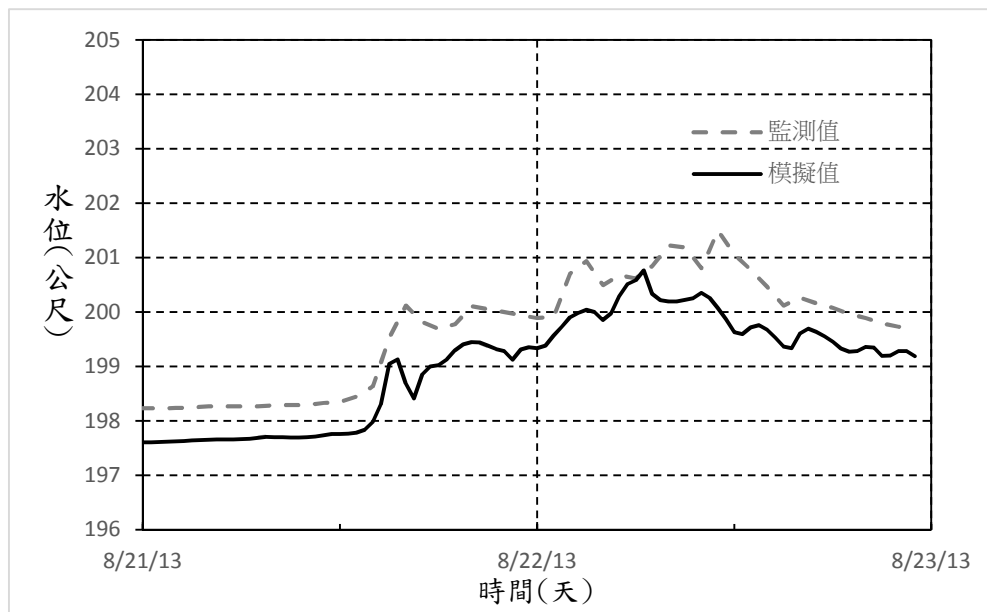


圖 3.8 潭美颱風期間后豐大橋模擬與實測水位比較

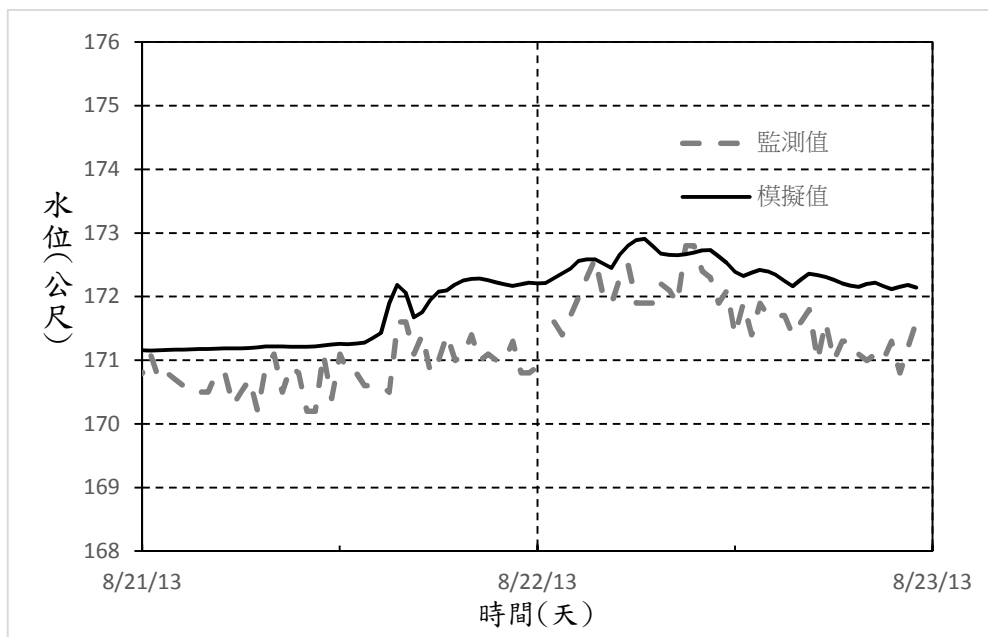


圖 3.9 潭美颱風期間國 1 大甲溪橋模擬與實測水位比較

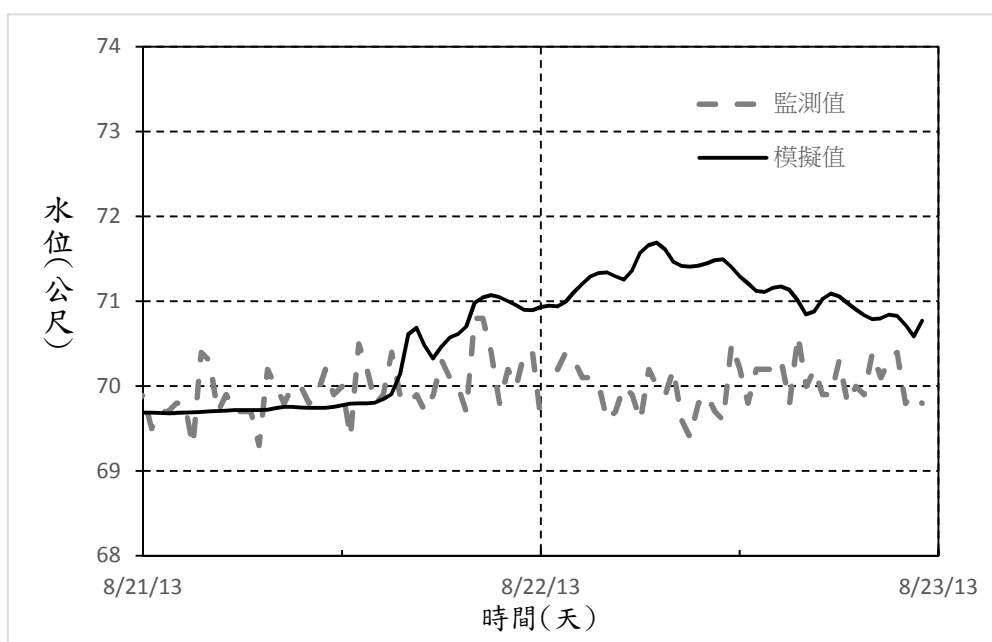


圖 3.10 潭美颱風期間國 3 大甲溪橋模擬與實測水位比較

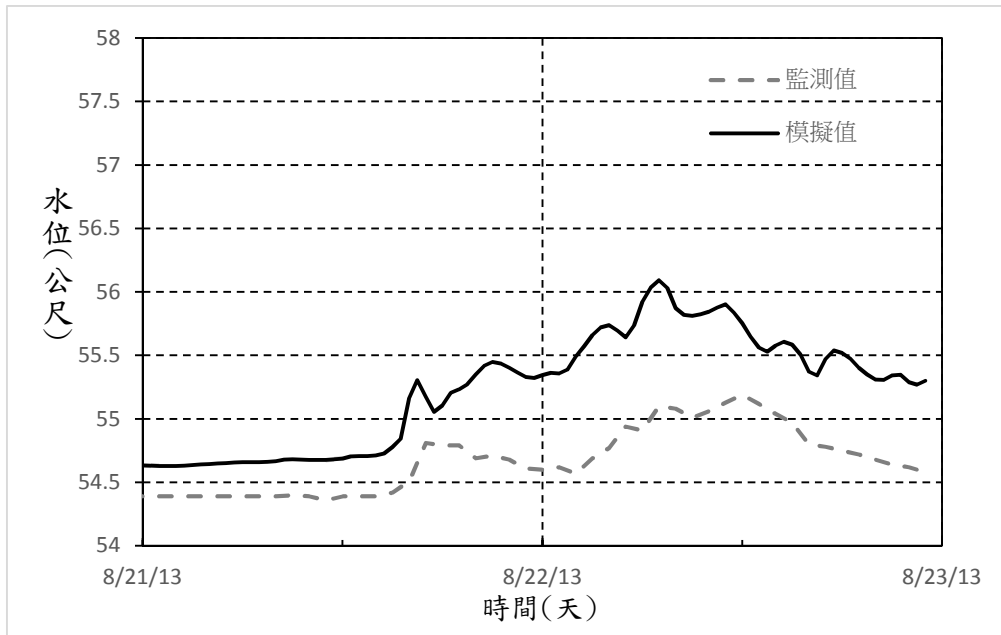


圖 3.11 潭美颱風期間台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位比較

3.4 康芮颱風水理分析

以經濟部水利署 101 年 12 月量測之河道大斷面資料建置程式模擬所需之河道模型，並採用 102 年康芮颱風作為模擬颱洪，以后豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 大甲溪橋之水利署及高公局實測水位進行模擬驗證。

- (1) 底床大斷面：測試與檢定之底床採用「101 年度大甲溪、筏子溪大斷面測量工作計畫」成果報告之實測大斷面資料，模擬範圍自上游石岡壩(斷面 36)至出海口(斷面-1)。
- (2) 模擬颱洪：2013 年康芮颱風期間，挑選出颱洪過程完整流量上升與下降歷線(102/8/27 至 102/8/29)，共 72 筆資料，總延時約 3 天。
- (3) 邊界條件：採用石岡壩於康芮颱風實測放流量，康芮颱風期間石岡壩放流記錄與放流歷線分別繪如表 3-6、圖 3.12，最大放流量發生於 2013/8/29 15:00，放流量約為 1040cms。而下游水位邊界條件為自由出流。

- (4) 河道糙度值：河床糙度參考 2009 年經濟部水利署「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」，於石岡(斷面 36)至新山線鐵路橋(斷面 30-1)段之曼寧 n 採用 0.040，新山線鐵路橋至大甲溪出海口(斷面 1)段之曼寧 n 採用 0.035。
- (5) 河床質粒徑資料及粒徑區間：採用「100 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告」之河床質採樣分析成果，本次模擬將粒徑資料分為 12 區間，如表 3-3 及表 3-4 所示。

表 3-6 石岡壩於康芮颱風(2013)期間放流量紀錄(cms)

時間	流量	時間	流量	時間	流量
2013/8/27 00:00	218.58	2013/8/28 06:00	281.58	2013/8/29 12:00	339.81
2013/8/27 01:00	218.58	2013/8/28 07:00	281.58	2013/8/29 13:00	367.55
2013/8/27 02:00	215.01	2013/8/28 08:00	275.07	2013/8/29 14:00	1310.5
2013/8/27 03:00	215.01	2013/8/28 09:00	251.53	2013/8/29 15:00	1040
2013/8/27 04:00	213.81	2013/8/28 10:00	262.82	2013/8/29 16:00	813.19
2013/8/27 05:00	213.81	2013/8/28 11:00	265.73	2013/8/29 17:00	658.17
2013/8/27 06:00	213.81	2013/8/28 12:00	266.44	2013/8/29 18:00	635.63
2013/8/27 07:00	212.61	2013/8/28 13:00	267.84	2013/8/29 19:00	624.49
2013/8/27 08:00	211.42	2013/8/28 14:00	266.67	2013/8/29 20:00	639.81
2013/8/27 09:00	209.94	2013/8/28 15:00	262.27	2013/8/29 21:00	596.18
2013/8/27 10:00	208.75	2013/8/28 16:00	259.31	2013/8/29 22:00	514.45
2013/8/27 11:00	209.94	2013/8/28 17:00	244.4	2013/8/29 23:00	465.52
2013/8/27 12:00	211.13	2013/8/28 18:00	245.86		
2013/8/27 13:00	226.66	2013/8/28 19:00	250.23		
2013/8/27 14:00	219.31	2013/8/28 20:00	251.68		
2013/8/27 15:00	219.31	2013/8/28 21:00	263.26		
2013/8/27 16:00	214.29	2013/8/28 22:00	264.7		
2013/8/27 17:00	213.03	2013/8/28 23:00	258.93		
2013/8/27 18:00	214.29	2013/8/29 00:00	256.04		
2013/8/27 19:00	235.03	2013/8/29 01:00	260.38		
2013/8/27 20:00	224.88	2013/8/29 02:00	267.58		
2013/8/27 21:00	256.37	2013/8/29 03:00	271.89		
2013/8/27 22:00	259.97	2013/8/29 04:00	283.34		
2013/8/27 23:00	265.76	2013/8/29 05:00	286.19		
2013/8/28 00:00	268.65	2013/8/29 06:00	284.77		
2013/8/28 01:00	268.65	2013/8/29 07:00	284.77		
2013/8/28 02:00	284.43	2013/8/29 08:00	292.34		
2013/8/28 03:00	281.97	2013/8/29 09:00	311.19		
2013/8/28 04:00	280.14	2013/8/29 10:00	328.08		
2013/8/28 05:00	281.58	2013/8/29 11:00	347.33		

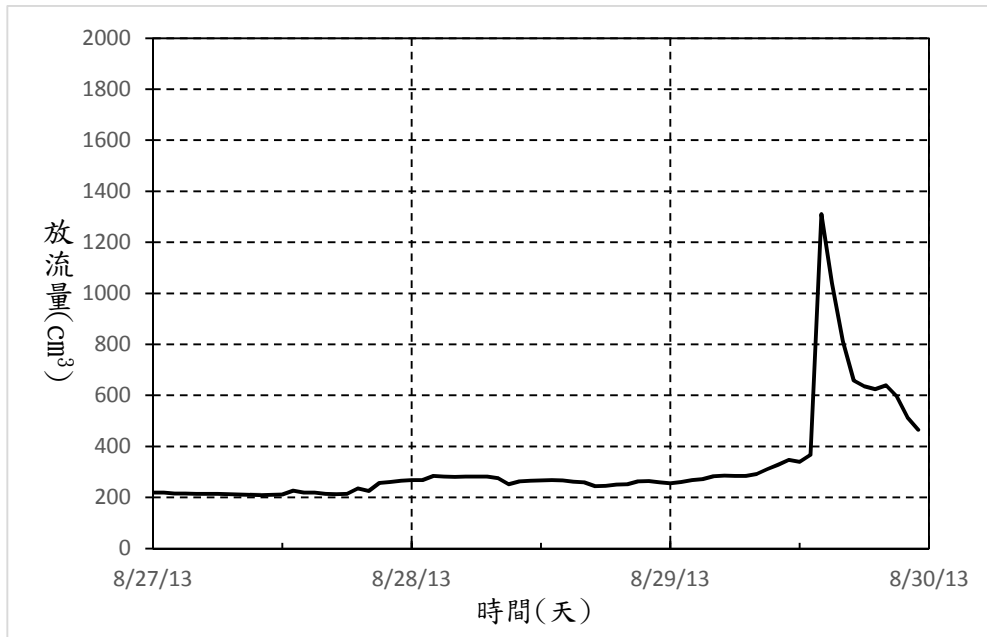


圖 3.12 康芮颱風期間石岡壩放流歷線過程

康芮颱風的模擬結果，將后豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 線大甲溪橋位置之模擬與實測水位歷線比較繪如圖 3.13 至圖 3.16。圖 3.13、3.14 及 3.16 后豐大橋、國 1 大甲溪橋及台 1 大甲溪橋模擬之水位歷線與監測值接近，模擬結果反應洪峰上升與退水之現象。圖 3.15 國道 3 號大甲溪橋模擬值較監測值略高。

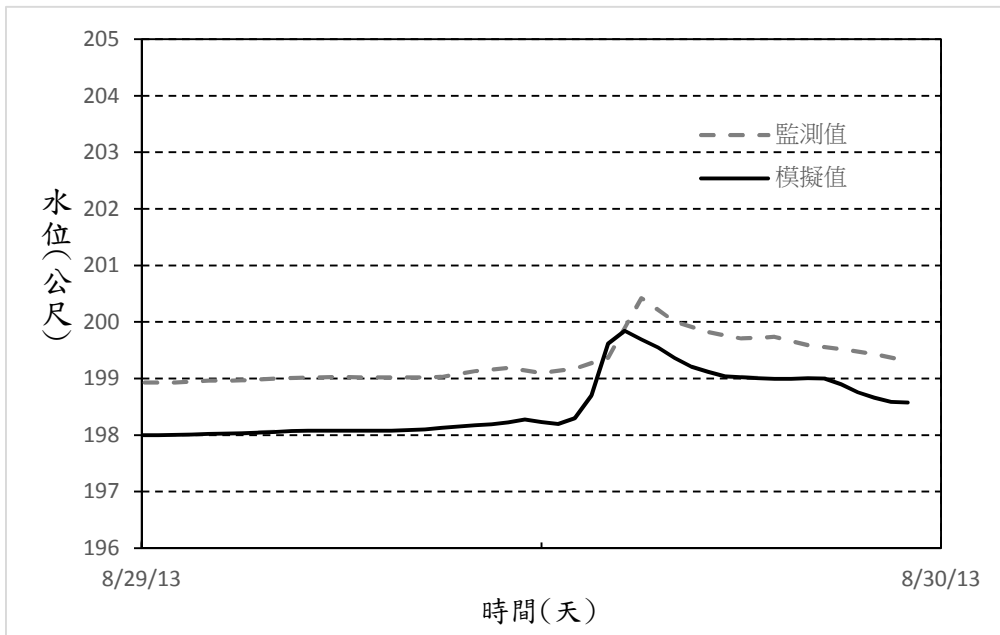


圖 3.13 康芮颱風期間后豐大橋模擬與實測水位比較

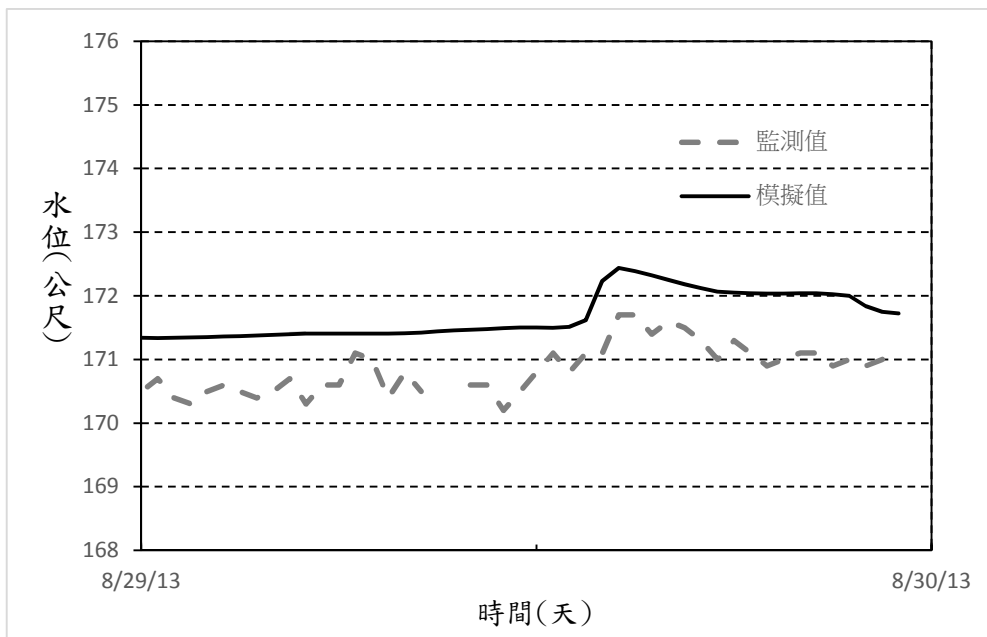


圖 3.14 康芮颱風期間國 1 大甲溪橋模擬與實測水位比較

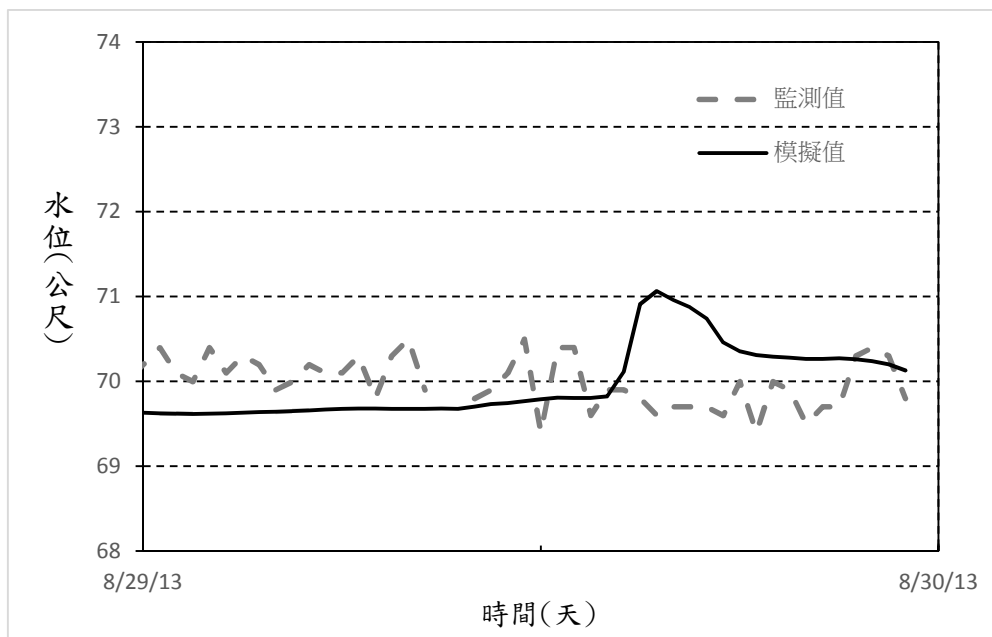


圖 3.15 康芮颱風期間國 3 大甲溪橋模擬與實測水位比較

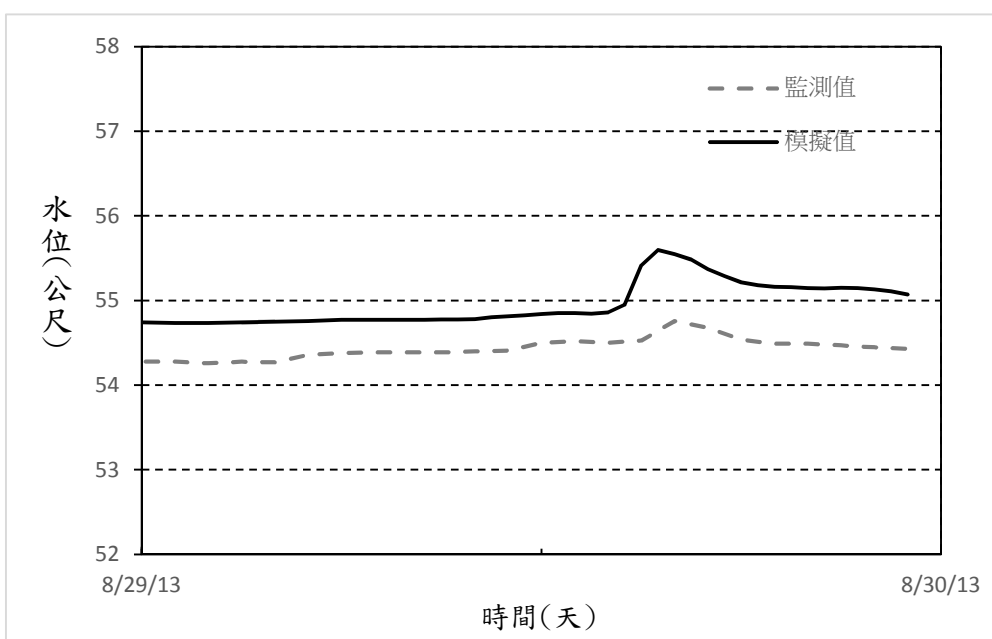


圖 3.16 康芮颱風期間台 1 線大甲溪橋模擬與實測水位比較

3.5 水理模組敏感度分析

為瞭解下游潮位邊界條件對整體計算結果的影響，乃進行水理模組下游邊界條件敏感度分析。在模式敏感度分析中，主要進行不同之下游邊界潮位進行比較，分析過程是建構在相同模擬條件下，僅改變該分析參數值。

採用與水理模組分析相同之底床大斷面與河道糙度值，模擬颱風設定為蘇力颱風，僅改變下游之潮位，分別採用大甲溪下游出海口真實潮位、平均潮位 1.5 公尺、1.0 公尺及自由流出進行分析，模擬台 61 線西濱大橋於蘇力颱風期間水位變化與前述之自由流出邊界條件比較如圖 3.17 所示。在蘇力颱風洪水過程中，可看出採用自由流出邊界條件、平均潮位 1.5 公尺與 1.0 公尺三者水位於台 61 線西濱大橋幾乎為重合，但採用真實潮位時對於台 61 線西濱大橋西濱水位有些微影響。圖 3.18 及 3.19 為下游邊界潮位變化對底床高程敏感度測試結果，顯示下游邊界採真實潮位對於底床高程影響範圍約距出海口 1500m 以內，台 61 線西濱大橋距出海口約 1329m。

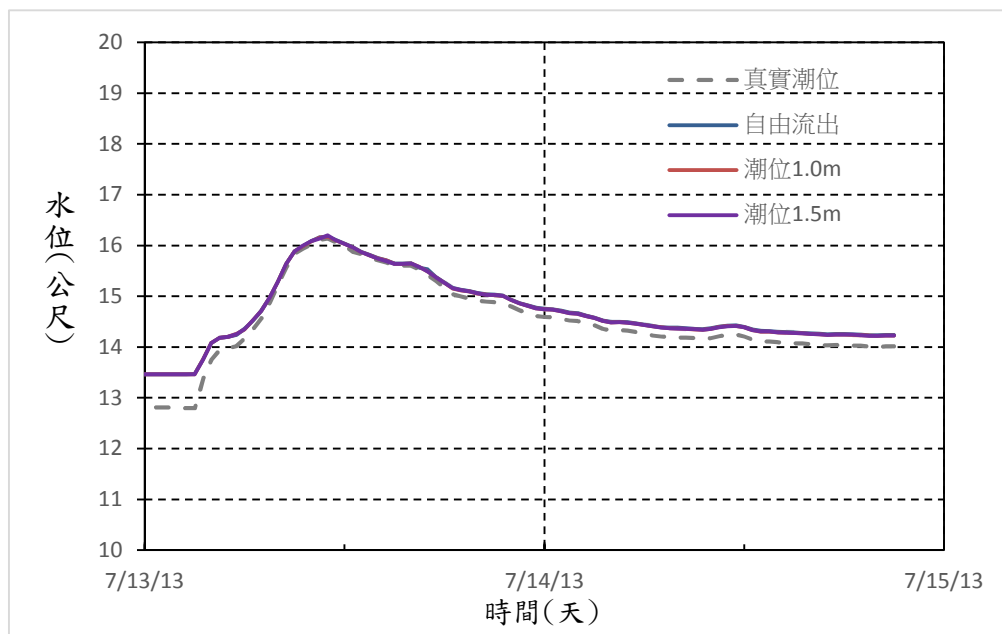


圖 3.17 台 61 線西濱大橋下游邊界潮位敏感度測試

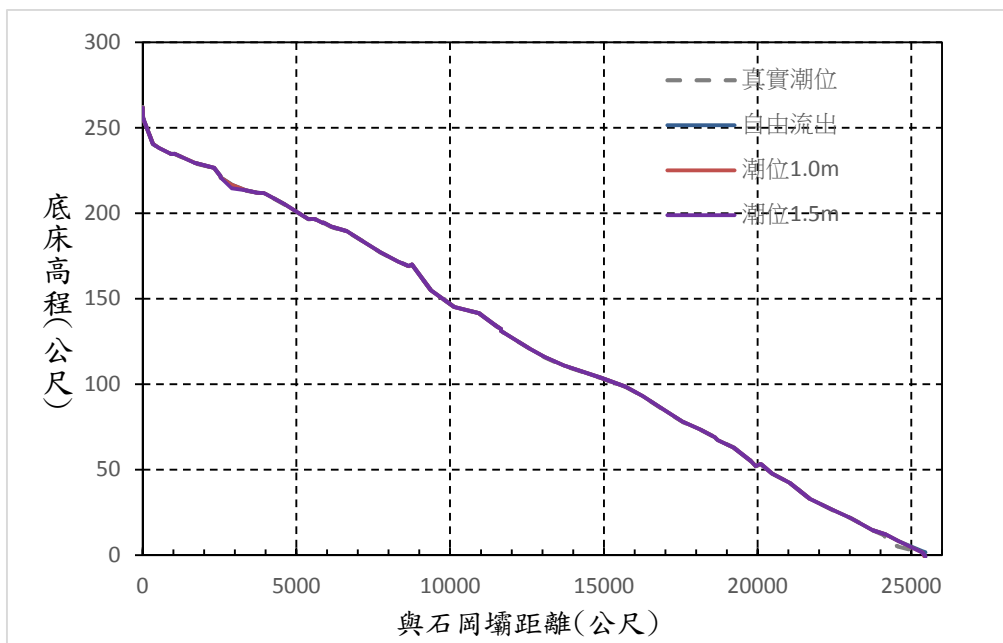


圖 3.18 下游邊界潮位變化底床高程敏感度測試

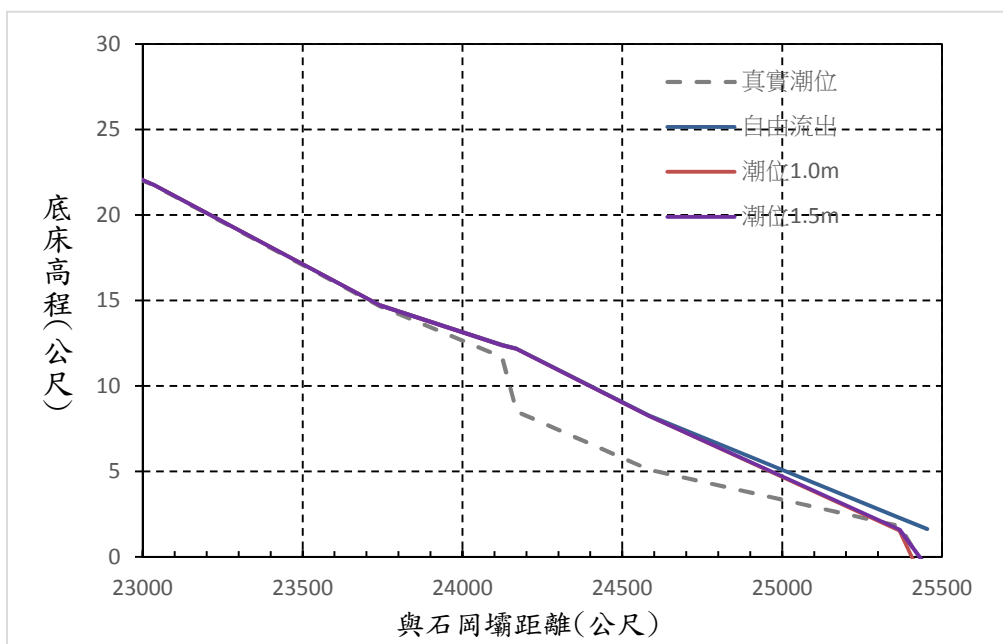


圖 3.19 下游邊界潮位變化底床高程敏感度測試(續)

3.6 沖刷深度之計算

水流受橋墩阻擋產生擾動，於橋墩附近產生向下射流及馬蹄形渦流，致使橋墩周圍產生局部沖刷，此時欲準確估算橋梁斷面之沖刷深度，需先計算河道一般沖刷深度，再加上橋墩所產生之局部沖刷。對一般沖刷與局部沖刷之說明分列如下：

1. 一般沖刷深度

CCHE1D 模式理論重點節錄自葉克家等，2007 年執行經濟部水利署水利規劃試驗所之計畫「美國國家計算水科學及工程中心河道變遷模式之引進及應用研究(1/3)」，其中模式對水理現象模擬之理論主要為求解聖凡南(Saint-Venant)方程式，離散控制方程式再以線性疊代法求解。而模式對輸砂現象之模擬，使用非平衡輸砂概念計算河川之非均勻泥砂傳輸，對於總載形式之非平衡、非均勻輸砂控制方程式表示如下：

$$\frac{\partial(AC_{tk})}{\partial t} + \frac{\partial Q_{tk}}{\partial x} + \frac{1}{L}(Q_{tk} - Q_{t^*k}) = q_{lk} \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

式中 A 為通水面積； C_{tk} 為總載情況下某種粒徑 k 之平均濃度； Q_{tk} 為實際總載輸砂率； Q_{t^*k} 為總載輸砂量；L 為輸砂調適長度； q_{lk} 為岸壁或支流所額外增加之單位長度側向輸砂量。

其中輸砂調適長度 L 可特徵化泥砂由非平衡到平衡之距離，對推移載而言，調適長度 L_b 為相對於床形之維度；對懸浮載而言，調適長度 $L_s = Uh / \alpha \omega_{sk}$ ，式中 α 為調適係數，當嚴重淤積時， α 可採 0.25，嚴重沖刷時， α 可採 1.0，輕微淤積與沖刷時， α 採 0.5，U 為水流平均流速，h 為水深， ω_{sk} 為泥砂沈降速度；對河床質載而言，調適長度可給定為 L_s 與 L_b 之最大值；對沖洗載而言，由於忽略其與底床間之交換，因此調適長度 L 可視為無限大。

目前 CCHE1D 模式輸砂量 Q_{r*k} 之計算可採用以下輸砂公式：

- a. SEDTRA module (Garbrecht *et al.*, 1995)
- b. Wu *et al.* formula (2000)
- c. modified Ackers-White formula (Proffitt & Sutherland, 1983)
- d. modified Engelund-Hansen formula (Wu and Vieira, 2002)

模式對輸砂方程式求解藉由普利司蒙隱式法離散化及採用有限差分法，同時滿足質量守恆後離散化，再利用隱式結合演算法配合代數方程式，即可計算泥砂傳輸、床形變化與床質粒徑變化，此種隱式結合演算法相對於分離演算法來得穩定且容易計算，然而，上述之結合演算法僅結合泥砂傳輸、床形變化與床質變化，泥砂與水流在演算流程上仍然為分離演算。

2. 局部沖刷深度之預估

利用前述之動床水理模式模擬，得到洪水過程不同橋樑附近之水理演算成果，包括：流速與水深隨著洪水運動之延時變化，配合橋樑墩柱之幾何特性與底床泥砂特性，參考「交通部公路總局第五區養護工程處轄區 9 座橋梁訂定封橋水位」(交通部公路總局, 2009)，採用較符合台灣地區之 6 種局部沖刷公式，以下針對各局部沖刷公式進行說明：

- a. Laursen(1962)

$$\frac{D_p}{y_1} = 5.5 \times \frac{y_{ls}}{y_1} \times \left[\left(\frac{y_{ls}}{11.5 \times y_1} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right] \dots\dots\dots (3-2)$$

D_p =橋墩寬度(m)

y_1 =上游(墩前)水深(m)

y_{ls} =局部沖刷深度(m)

b. Neill (1964)

$$\frac{y_{ls}}{D_p} = 1.5 \left(\frac{y_1}{D_p} \right)^{0.3} \dots\dots\dots (3-3)$$

y_1 =上游(墩前)水深(m)

D_p =橋墩寬度(m)

y_{ls} =局部沖刷深度(m)

c. Shen (1969)

$$y_{ls} = 0.000223 \times \left(\frac{V_1 \times D_p}{\nu} \right)^{0.619} \dots\dots\dots (3-4)$$

V_1 =上游流速(m/s)

y_{ls} =局部沖刷深度(m)

D_p =橋墩寬度(m)

ν =水流運動黏滯係數($=10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)

d. Jain and Fischer (1980)

$$\frac{y_{ls}}{D_p} = 1.86 \times \left(\frac{y_1}{D_p} \right)^{0.5} \times (F_r - F_{rc})^{0.25} \dots\dots\dots (3-5)$$

y_{ls} =局部沖刷深度(m)

D_p =橋墩寬度(m)

y_1 =上游(墩前)水深(m)

$$F_r = \text{水流福祿數} = \frac{V_1}{\sqrt{g \times y_1}}$$

$$F_{rc} = \text{泥沙啟動臨界流速所對應之福祿數} \left(= \frac{V_{cr}}{\sqrt{g \times y_1}} \right)$$

$$V_{cr} = \text{泥沙啟動流速}$$

$$d_{50} = \text{河床質中質粒徑(mm)}$$

e. Froehlich(1991)

$$y_{ls} = 0.32 \times \phi \times (D_p')^{0.62} \times y_1^{0.47} \times Fr^{0.22} \times d_{50}^{-0.09} + D_p \dots\dots\dots (3-6)$$

$$y_{ls} = \text{局部沖刷深度(m)}$$

$$\phi = \text{橋墩形狀因子修正係數}$$

$$(1.3 \text{ 方鼻}、1.0 \text{ 圓鼻}、0.7 \text{ 尖鼻})$$

$$D_p = \text{橋墩寬度(m)}$$

$$D_p' = \text{橋墩投影寬度}$$

$$y_1 = \text{上游水深(m)}$$

$$F_r = \text{水流福祿數} = \frac{V_1}{\sqrt{g \times y_1}}$$

$$d_{50} = \text{河床質中質粒徑 (mm)}$$

f. HEC-18(1995)

$$\frac{y_{ls}}{y_1} = 2.0 K_s K_\theta K_3 K_4 \left(\frac{D_p}{y_1} \right)^{0.65} Fr^{0.43} \dots\dots\dots (3-7)$$

$$K_s = \text{橋墩形狀因子修正係數}$$

(1.3 方鼻、1.0 圓鼻、0.7 尖鼻)

K_θ =水流攻角(1.0 圓柱、非圓柱形)

L =橋墩順水流方向之長度

$$K_3 = \left\{ \begin{array}{ll} 1.1 & \text{清水冲刷} \\ 1.1 & \text{當 } 0.6 \leq H < 3 \\ 1.1 \sim 1.2 & \text{當 } 3 \leq H < 9 \\ 1.3 & \text{當 } H \geq 9 \end{array} \right\} = \text{底床型態修正因子}$$

$$K_4 = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{當 } d_{50} < 2mm \text{ 或 } d_{95} < 20mm \\ 0.4(V_R)^{0.15} & \text{當 } d_{50} \geq 2mm \text{ 或 } d_{95} \geq 20mm \end{array} \right\}$$

$$V_R = \frac{V - V_{icd50}}{V_{cd50} - V_{icd95}} \text{ (m/s)}$$

$$V_{icd_x} = 0.645 \times \left(\frac{d_x}{D_p} \right)^{0.053} \times V_{cd_x} \text{ (m/s)},$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{cd_x}: \text{泥砂粒徑 } d_x \text{ 起始臨界流速} \\ V_{icd_x}: \text{泥砂粒徑 } d_x \text{ 起始冲刷的接近流速} \end{array} \right.$$

$$V_{cd_x} = K_u \times y_1^{1/6} \times d_x^{1/3}, K_u = \begin{cases} 6.19 & \text{(m/s)} \\ 11.17 & \text{(ft/s)} \end{cases}$$

由於冲刷深度無實測資料可供比對模式預測結果之正確性，僅能對求局部冲刷深度數值模式預測趨勢之合理性進行探究，茲將各斷面之 6 種冲刷公式計算所得的局部冲刷深度值，求得平均值後並加上 1 倍標準偏差進行計算，取其局部冲刷深度推估值結果落於「平均值+1 倍標準偏差」為可靠數據。

3.7 各頻率年流量可能沖刷深度推估

由於全球氣候的變遷，造成近幾年的降雨型態驟變，在雨型分析上有所不同，所以為了瞭解各頻率年流量作用下石岡壩以下各橋可能沖刷情形，以下分別就頻率 2 年、5 年、10 年、20 年、25 年、50 年、100 年和 200 年延時 100 小時的流量，做沖刷深度推算，相關之流量歷線乃引用經濟部水利署關於大甲溪之規劃報告。

1. 模擬條件：

(1) 底床大斷面

測試與檢定之底床採用水利署第三河川局提供「102 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告書」(102 年 12 月)成果報告之實測大斷面資料，模擬範圍為自石岡壩(斷面 36)至大甲溪出海口(斷面-1)。

(2) 邊界條件

以 2010 年 3 月經濟部水利署水利規劃試驗所「大甲溪治理規劃檢討(天輪壩至河口河段)」，所推估之不同重現期距之石岡壩放流邊界條件為上游邊界條件見表 3-7。下游邊界條件設定為自由出流。

(3) 河道糙度值

河床糙度參考 2009 年經濟部水利署「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」，於石岡(斷面 36)至新山線鐵路橋(斷面 30-1)段之曼寧 n 採用 0.040，新山線鐵路橋至大甲溪出海口(斷面 1)段之曼寧 n 採用 0.035。

(4) 預估局部沖刷深度

於石岡壩以下各橋樑斷面，即新山線鐵路橋(斷面 30-1)、后豐橋(斷面 28-1)、國道 1 號大甲溪橋(斷面 23-1)、高速鐵路橋(斷面 19-1)、國道 3 號大甲溪橋(斷面 09-1)、海線鐵路橋(斷面 07-2)、

台 1 線大甲溪橋(斷面 07-1) 及台 61 線大甲溪橋(斷面 01-1)共八座橋，以適合臺灣地區之 6 種沖刷公式計算求得不同流量過程之局部沖刷深度值。由於局部沖刷深度預測值尚未經過實測資料檢定驗證，考慮各沖刷公式推估之不確定性，最後局部沖刷深度值取各沖刷公式平均值之平均值後加 1 倍標準偏差為局部沖刷深度預測值。其中各個斷面設定之 d50、d90 乃使用 97 年 6 月「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(1/4)」之量測資料，並且依各斷面之河心距去做內插所得。

2. 計算成果：

以重現期距為 2 年、5 年、10 年、20 年、25 年、50 年、100 年和 200 年，降雨延時為 100 小時所預估的局部沖刷深度，以下將分別列出大甲溪石岡壩以下跨河橋梁的預估水位、流速及局部沖刷深度表，如表 3-8 至 3-15 所示。由於一維水理模式所能考慮到的僅僅只是河道縱向的相對沖刷的能力程度，並且以平均值來做水理計算，對於細微的區域無法進行精度較高的模擬，所以未來於工程設計不宜直接採用前述表中不同頻率年流量過程之局部沖刷深度預測值，局部沖刷深度的決定宜審慎評估。

表 3-7 不同重現期距之石岡壩河段放流邊界條件 (cms)

時間(小時)	重現期距 (年)							
	2	5	10	20	25	50	100	200
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	1	2
3	0	0	0	1	1	2	4	6
4	0	0	1	3	4	6	10	15
5	0	1	3	7	8	14	21	31
6	0	2	6	13	15	26	39	56
7	0	5	12	23	27	44	66	93
8	1	9	21	38	43	70	103	144
9	2	15	33	59	67	106	153	211
10	4	24	51	88	99	155	221	301
11	8	38	77	129	144	221	310	419
12	13	58	111	182	203	305	423	566
13	20	83	154	247	274	408	560	742
14	31	115	209	329	363	533	725	952
15	45	157	278	430	473	686	924	1205
16	64	210	363	554	607	870	1162	1504
17	89	275	465	700	764	1085	1438	1849
18	120	354	588	874	951	1337	1760	2250
19	160	451	736	1081	1174	1637	2140	2720
20	210	569	915	1330	1440	1992	2587	3271
21	273	712	1128	1623	1754	2408	3109	3912
22	350	885	1383	1972	2127	2899	3723	4663
23	446	1092	1688	2385	2567	3476	4442	5538
24	573	1366	2088	2930	3149	4243	5402	6717
25	752	1744	2642	3684	3954	5304	6732	8350
26	960	2166	3242	4481	4800	6392	8064	9946
27	1160	2546	3759	5139	5489	7239	9054	11077
28	1336	2853	4154	5612	5977	7800	9665	11721
29	1481	3083	4428	5915	6281	8113	9962	11978
30	1596	3243	4599	6078	6437	8231	10020	11950
31	1682	3342	4683	6125	6470	8197	9897	11714
32	1741	3387	4691	6076	6403	8040	9633	11320
33	1775	3386	4639	5953	6260	7793	9269	10818
34	1789	3348	4540	5775	6060	7483	8840	10253
35	1786	3282	4407	5559	5822	7135	8376	9659
36	1768	3195	4250	5319	5561	6768	7898	9061
37	1739	3091	4075	5063	5284	6389	7416	8467
38	1699	2974	3889	4798	5000	6008	6939	7888
39	1653	2850	3697	4531	4715	5633	6476	7332
40	1600	2720	3502	4266	4433	5269	6031	6804
41	1544	2589	3309	4007	4159	4918	5609	6306
42	1484	2456	3118	3755	3893	4582	5206	5836
43	1422	2324	2931	3512	3637	4261	4825	5393
44	1359	2194	2750	3278	3391	3956	4465	4977
45	1296	2067	2575	3054	3156	3666	4125	4586
46	1233	1944	2406	2841	2933	3394	3806	4221
47	1171	1825	2246	2639	2722	3137	3508	3880
48	1110	1710	2093	2448	2523	2897	3230	3564
49	1051	1601	1948	2269	2336	2672	2971	3270
50	993	1497	1811	2100	2160	2462	2730	2998

時間(小時)	重現期距 (年)							
	2	5	10	20	25	50	100	200
51	938	1398	1683	1943	1997	2267	2506	2745
52	885	1305	1562	1795	1844	2086	2299	2511
53	834	1217	1449	1659	1702	1918	2107	2296
54	786	1134	1343	1531	1570	1762	1931	2098
55	740	1057	1245	1413	1447	1619	1768	1916
56	696	984	1154	1304	1335	1487	1619	1749
57	654	916	1069	1203	1230	1365	1482	1597
58	615	853	990	1110	1134	1254	1357	1457
59	578	794	917	1024	1045	1151	1242	1330
60	543	739	849	944	963	1057	1137	1214
61	510	688	786	871	888	971	1041	1108
62	479	640	728	804	819	892	953	1012
63	450	596	675	742	755	819	873	924
64	422	554	625	685	696	753	800	844
65	397	516	580	632	642	692	733	771
66	372	481	537	584	593	636	672	705
67	350	447	498	539	547	585	616	644
68	328	417	462	498	505	539	565	589
69	308	388	429	461	467	496	519	539
70	290	362	398	426	431	457	476	494
71	272	337	369	394	399	421	437	452
72	256	315	343	365	369	388	402	414
73	240	293	318	336	339	356	368	378
74	226	273	294	310	313	326	336	345
75	212	253	271	285	287	299	308	315
76	199	235	250	262	264	275	282	287
77	186	217	231	241	243	252	258	262
78	173	201	213	222	224	231	236	240
79	161	186	196	204	205	212	216	219
80	150	172	181	188	189	195	199	201
81	139	159	167	173	174	179	182	184
82	129	147	154	160	161	165	168	169
83	119	136	143	148	149	152	154	155
84	110	125	132	136	137	140	142	142
85	102	116	122	126	127	130	131	131
86	94	107	113	117	118	120	121	121
87	87	100	105	108	109	111	111	111
88	81	92	97	100	101	103	103	102
89	75	86	90	93	93	95	95	94
90	69	80	84	87	87	88	88	87
91	64	74	78	81	81	82	82	81
92	60	70	73	75	75	76	76	75
93	56	65	68	70	70	71	70	69
94	52	61	64	65	65	66	65	64
95	49	57	60	61	61	61	60	59
96	46	54	56	57	57	57	56	55
97	43	51	53	54	54	53	52	51
98	40	47	49	50	50	50	49	47
99	37	44	46	47	47	46	45	44
100	35	42	43	44	44	43	42	40

表 3-8 各重現期距水位新山線鐵路橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	沖刷深度(m)
新山線鐵路橋	Q ₂	216.27	4.30	4.36
	Q ₅	217.38	5.0	4.82
	Q ₁₀	218.11	5.35	5.05
	Q ₂₀	218.60	5.66	5.25
	Q ₂₅	218.71	5.90	5.38
	Q ₁₀₀	219.96	6.93	6.06
	Q ₂₀₀	220.49	7.40	6.35

表 3-9 各重現期距水位后豐橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	沖刷深度(m)
后豐橋	Q ₂	200.26	3.60	4.05
	Q ₅	201.20	4.81	4.81
	Q ₁₀	201.77	5.43	5.22
	Q ₂₀	202.32	5.92	5.57
	Q ₂₅	202.46	6.06	5.67
	Q ₁₀₀	203.79	7.28	6.44
	Q ₂₀₀	204.42	7.86	6.78

表 3-10 各重現期距水位國道 1 號大甲溪橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	沖刷深度(m)
國道一號大甲溪橋	Q ₂	173.15	3.06	3.77
	Q ₅	173.56	3.81	3.96
	Q ₁₀	173.83	4.25	4.28
	Q ₂₀	174.09	4.67	4.50
	Q ₂₅	173.95	4.33	4.59
	Q ₁₀₀	174.63	5.07	4.85
	Q ₂₀₀	175.00	5.54	5.01

表 3-11 各重現期距水位高速鐵路橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	沖刷深度(m)
高速鐵路橋	Q ₂	135.16	5.12	4.60
	Q ₅	137.75	4.68	4.43
	Q ₁₀	138.08	5.27	4.77
	Q ₂₀	138.44	5.82	5.07
	Q ₂₅	138.52	5.97	5.14
	Q ₁₀₀	139.22	6.93	5.70
	Q ₂₀₀	139.55	7.38	5.95

表 3-12 各重現期距水位國道 3 號大甲溪橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	沖刷深度(m)
國道三號大甲溪橋	Q ₂	71.02	3.40	3.92
	Q ₅	72.37	3.80	3.95
	Q ₁₀	72.71	4.15	4.17
	Q ₂₀	72.97	4.46	4.46
	Q ₂₅	70.40	6.13	4.96
	Q ₁₀₀	73.65	5.47	4.99
	Q ₂₀₀	73.94	5.87	5.24

表 3-13 各重現期距水位海線鐵路橋最大水位、流速及局部沖刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	沖刷深度(m)
海線鐵路橋	Q ₂	55.34	3.41	3.93
	Q ₅	58.35	3.86	4.07
	Q ₁₀	58.76	4.19	4.25
	Q ₂₀	59.09	4.49	4.42
	Q ₂₅	59.17	4.57	4.47
	Q ₁₀₀	59.94	5.07	4.85
	Q ₂₀₀	60.31	5.24	4.94

表 3-14 各重現期距水位台 1 線大甲溪橋最大水位、流速及局部冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
台 1 線大甲溪橋	Q2	56.04	3.94	3.94
	Q5	56.32	4.30	4.39
	Q10	56.90	5.03	4.60
	Q20	57.30	5.30	4.77
	Q25	57.33	5.31	4.84
	Q100	58.12	5.97	5.23
	Q200	58.50	6.25	5.39

表 3-15 各重現期距水位台 61 線大甲溪橋最大水位、流速及局部冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
台 61 線大甲溪橋	Q2	14.94	2.77	3.58
	Q5	15.67	2.88	3.66
	Q10	15.92	3.19	3.63
	Q20	16.16	3.45	3.82
	Q25	16.12	3.44	4.06
	Q100	16.65	4.12	4.20
	Q200	16.85	4.40	4.38

第四章 大甲溪跨河橋梁安全分析

4.1 公路橋梁設計規範之水流力規定

公路橋梁設計規範第 3.18 節流水作用力的規定如下：

流水對於橋墩之作用壓力應假定流速係按二次拋物線分佈且水壓係按三角形分佈，依下式計算之

$$P_{avg} = 52.5K(V_{avg})^2 \dots\dots\dots (4.1)$$

式中， P_{avg} 為平均流水壓力(kgf/m²或 Pa)； V_{avg} 為平均水流速(m/sec)，以流量速率除以流水面積計算之； K 為水流作用力常數。平頭墩用 1.4，圓頭墩用 0.7，尖頭墩其角度為 30°或小於 30°者用 0.5。

最大流水壓力 P_{max} 為上式計得之平均流水壓力 P_{avg} 之二倍。流水壓力以自水位面頂部為 P_{max} 變化到流線為零處之三角形方式分佈。流水力可以流水壓(考量壓力分佈方式)與流經橋墩面積之乘積計得。若水位面頂部高程較梁底為高時，流水力對於上部結構之影響亦應考量，此時上部結構所受之流水壓力可取為 P_{max} 按均勻分佈之方式作用之。

4.2 沉箱極限分析模式

依據公路橋梁設計規範(2009)第五章基礎篇資料，沉箱基礎結構基礎垂直極限承載力、水平極限支承力之計算方式為：

1. 垂直極限承載力

沉箱之垂直載重一般考量由沉箱底面之垂直反力所承受，其垂直極限承載力之評估方式為：

$$q_u = \alpha c N_c + r_2 D_f N_q + 0.5 \beta r_1 B N_r \dots\dots\dots (4.2)$$

式中， q_u 為基礎底面地層之極限支承力(tf/m²)， c 為基礎底面

下土壤之凝聚力(tf/m²)， r_1 為基礎底面下土壤之有效單位重(tf/m³)， r_2 為基礎底面以上土壤之平均有效單位重(tf/m³)， B 為基礎寬度(m)， D_f 為基礎之有效埋置深度(m)， α, β 為基礎底面形狀影響因素，如表 4-1， N_c, N_q, N_r 為支承力因素，如表 4-2。

表 4-1 基礎底面之形狀影響因素

基礎底面形狀因素	條形	正方形或圓形	矩形或長圓形
α	1.0	1.3	1+0.3B/D
β	1.0	0.6	1-0.4 B/D

註：B 為沉箱基礎之寬度(m)，D 為沉箱基礎之長度(m)。

表 4-2 支承力因素

ϕ	N_{cr}	N_{qr}	N_r
0	5.14	1.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1
10	8.34	2.5	0.4
15	10.97	3.9	1.2
20	14.83	6.4	2.9
25	20.71	10.7	6.8
26	22.25	11.8	7.9
28	25.79	14.7	10.9
30	30.13	18.4	15.1
32	35.47	23.2	20.8
34	42.14	29.4	28.7
36	50.55	37.7	40.0
38	61.31	48.9	56.1
40 以上	75.25	64.1	79.4

2. 容許垂直承載力

沉箱基礎之垂直容許承載力，除依下列公式估算外，並應檢核其垂直容許承載力之上限值，以避免產生過量沉陷：

$$q_a = \frac{1}{FS} (q_u - \gamma_2 D_f) + \gamma_2 D_f \dots\dots\dots (4.3)$$

式中， q_a 為基礎底面地層之容許承載力(tf/m²)。

3. 水平極限承载力

沉箱基礎之水平極限承载力，以沉箱正前方地層之水平反力與沉箱底面之摩擦阻力綜合考慮，依下列公式估算：

沉箱基礎之水平極限承载力

$$\sigma_p = \sigma'_z K_p + 2c\sqrt{K_p} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$\sigma_{pE} = \sigma'_z K_{pE} + 2c\sqrt{K_{pE}} \dots\dots\dots(4.5)$$

式中， σ_p 為平時地表下 z 深度處之被動土壓力(tf/m²)， σ_{pE} 為地震時地表下 z 深度處之被動土壓力(tf/m²)， σ'_z 為地表下 z 深度處之有效垂直覆土壓力(tf/m²)， K_p 為平時之被動土壓力係數， K_{pE} 為地震時被動土壓力係數， c 為土層之凝聚力(tf/m²)。

4. 沉箱底面之摩擦阻力

$$R_f = W_A \tan \delta + AC_a \dots\dots\dots(4.6)$$

式中， R_f 為沉箱基礎板底面之摩擦阻力(tf)， W_A 為作用於沉箱基礎板底面之有效垂直載重(tf)， δ 為基礎板底面與地層間之摩擦角(°)， A 為基礎板底面與地層之有效接觸面積(m²)， C_a 為基礎板底面與地層之有效附著力(tf/m²)。

5. 安全係數

沈箱容許承载力之安全係數如表 4-3 之規定。沈箱基礎之水平極限承载力，以沈箱正前方之水平反力與沈箱底面之摩擦阻力綜合考慮。

表 4-3 沈箱容許承载力之安全係數(公路橋梁設計規範，2009)

考慮因素	載重組合	常時載重
垂直承载力		3.0
水平抗力		1.5
底面抗剪力		1.5

4.2.1 沉箱傾覆分析模式建立

評估沉箱傾覆穩定為利用下式

$$W_A \cdot \bar{x} = P_L \cdot \bar{y} \dots\dots\dots (4.7)$$

式中， W_A ：作用於沉箱基礎板底面之垂直合力(t/m)， P_L 為作用於沉箱壁體之水平合力(t/m)， $\bar{x}$ 為垂直合力作用力臂(m)， $\bar{y}$ 為垂直合力作用力臂(m)。其中沉箱受垂直與水平側向力作用關係如圖 6.28 所示，由沖刷因子影響分析可知，沖刷深度的變化為影響橋梁基礎承載能力的改變，水流流速則為影響作用於基礎結構上之水流作力大小，而水位高度的變化則為影響水流作用力分佈的範圍，因此在考量此三因素作用下，沉箱基礎結構/水流/土壤互制關係可由圖 4.1 所示。於極限平衡分析作用下則公式為：

$$\begin{aligned} & W_1 \cdot \frac{D_1}{2} + W_2 \cdot \frac{D_1}{2} + F_v \cdot \frac{D_1}{2} + \frac{1}{3} P_p \cdot (L_2 - SC) \\ &= \frac{1}{3} P_a \cdot (L_2 - SC) + F_w \cdot [(L_2 - SC) + \frac{2}{3} (W_L + SC)] \dots\dots\dots (4.8) \\ &+ WF \cdot (\frac{1}{2} LW + L_1 + L_2) \end{aligned}$$

式中， W_1 為橋墩自重(需考量水之浮力作用)， W_2 為沉箱自重(需考量水之浮力作用)， F_v 為垂直載重， F_w 為水流作用力， P_a 為主動土壓力， P_p 為被動土壓力， L_1 為橋墩高度， L_2 為沉箱高度， SC 為沖刷深度， W_L 為水位高度， r 為土壤單位重， k_a 為主動土壓係數， k_p 為主動土壓係數， WF 為風力， LW 為上部結構高度。 P_a 及 P_p 可以由以下公式計算而得

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times (\gamma - 1) \times (L_2 - SC)^2 \times D_1$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times K_p (\gamma - 1) \times (L_2 - SC)^2 \times D_1$$

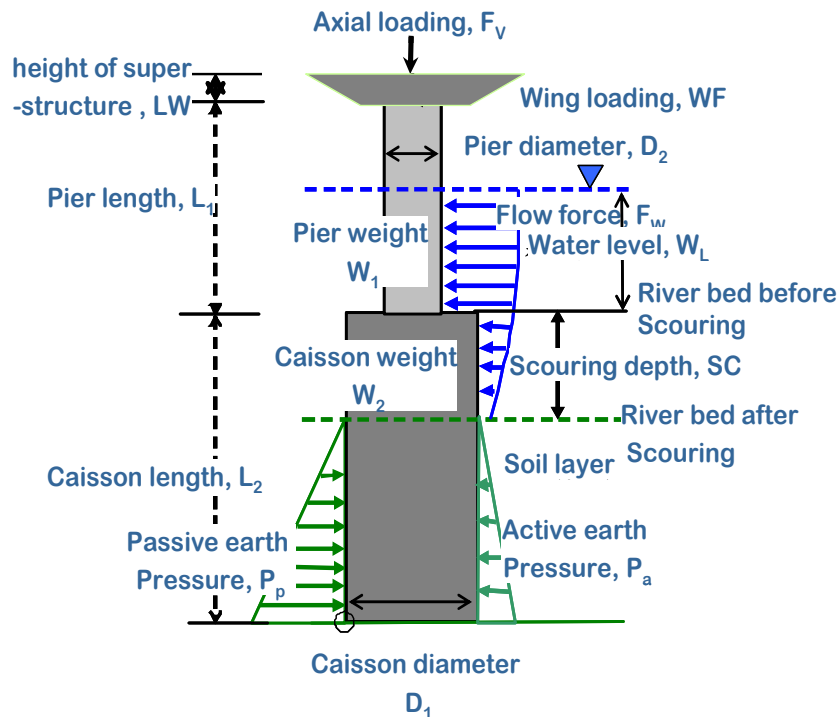


圖 4.1 沉箱基礎/土壤/水流互制示意圖

4.2.2 沉箱承載分析模式建立

沉箱受側向水流作用力作用會導致沉箱承受偏心載重，使得沉箱底部與土層之有效接觸面積減少，因此針對沉箱承載分析須先求得沉箱底部有效接觸面積，再分析其承載安全，偏心量 e 可由求得沉箱底部傳入土壤之彎矩 M 與軸力 P 計算，其偏心量 e 。

$$e = M / P \dots\dots\dots(4.9)$$

圓形沉箱承受偏心載重時，其有效接觸面積 A_{eff} 可依下式計算(如圖 4.2 所示)，依此有效接觸面積乘以 q_u 即可算出其極限承載力。

$$A_{eff} = r^2(\alpha - \cos \alpha \sin \alpha) \dots\dots\dots(4.10)$$

式中， r 為沉箱半徑， α 為接觸面積之半圓周角(rad)，其值與偏心率 e/r 有關，詳圖 4.3 所示。

承載安全係數為

$$FS = \frac{Q_c}{P} \dots\dots\dots(4.11)$$

式中， Q_c 為沉箱容許承载力，其中 $Q_c = q_a \times A_{eff}$ ， P 為軸向載重。

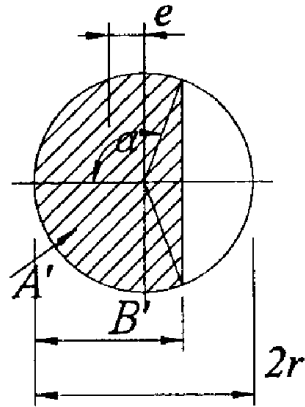


圖 4.2 沉箱圓形基礎之有效接觸面積

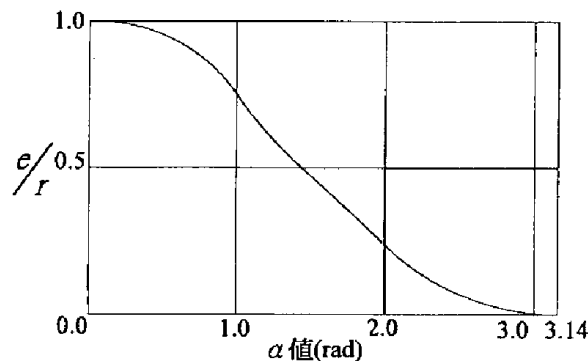


圖 4.3 圓形基礎之 α 與 e/r 之關係圖

4.3 基樁承載分析模式

參考交通部臺灣區國道高速公路局(2010)「國道 3 號濁水溪橋沖刷監測之研究」與交通部公路總局(2005)「河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究」，樁基礎耐洪承载力計分析方能計分析方式，其中群樁基礎受力之機制如圖 4.4，基樁所受之軸向力除垂直載重造成的力外，尚包含側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力。

在沖刷河床面各樁所受之軸壓力可由下式計算：

$$P_{total} = P_v \pm P_M \dots\dots\dots(4.12)$$

式中， P_v 為總垂直載重造成之各樁軸力(需考量水浮力之作用)， P_M 為側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力，計算到河床面。 P_{total} 為 $P_v + P_M$ 在邊樁會有最大值為承载力檢核利用， P_{total} 為 $P_v - P_M$ 在近端為檢核基樁拉力利用。

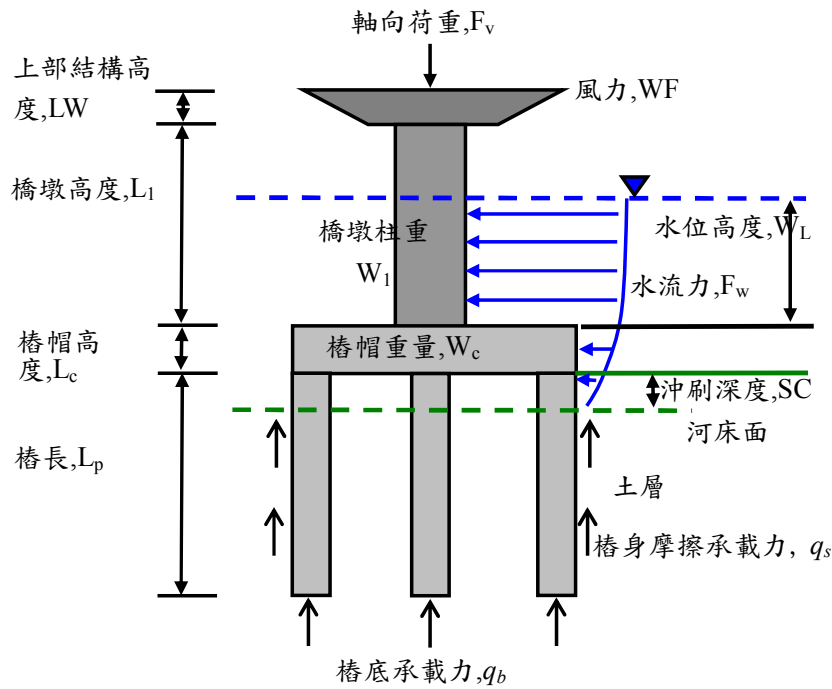


圖 4.4 群樁基礎受力機制圖

總垂直載重造成之各樁軸力 P_v 可由下式計算：

$$P_v = \left(\frac{P}{n \times m} \right) \dots\dots\dots(4.13)$$

式中， P 為計算到河床面之垂直載重， n 為行車方向之基樁數量， m 為垂直行車方向之基樁數量。

側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力 P_M 可由下式計算：

$$P_M = \frac{MY}{I} A_a \dots\dots\dots(4.14)$$

式中， M 為所有側向力對河床面之彎矩， Y 為樁帽中心沿垂直行車向到最邊樁之距離， A_a 為單樁底部之面積， I 為群樁之慣性矩。

M 之計算方式如下：

$$\begin{aligned} M = & WF\left(\frac{LW}{2} + L_1 + L_c + SC\right) + F_p\left(\frac{W_L}{2} + SC\right) \\ & + F_h\left(\frac{L_c}{2} + SC\right) + F_l(SC/2) \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (4.15)$$

式中， WF 為風作用力， F_p 為水作用在橋墩之合力， F_h 為水作用在樁帽之合力， F_l 為水作用在基樁之合力， LW 為風作用力重心至橋墩頂部之距離， L_1 為橋墩高度， L_c 為樁帽高度， SC 為沖刷深度。

則樁基礎耐洪承載能力計算為：

$$FS = \frac{Q_a}{P_{total}} \dots\dots\dots(4.16)$$

式中， Q_a 為基礎容許承載力， P_{total} 為 P_v 與 P_M 之和，在邊樁會有最大值。

4.4 橋梁耐洪能力分析案例

耐洪能力分析依據 4.2 及 4.3 節分析方式進行，各計算過程說明如下：

4.4.1 新山線鐵路橋 P4 橋梁基礎耐洪能力分析

新山線鐵路橋 P4 以 Q_{100} 之洪水位為 219.23m，樁帽頂部高程為 205.1m，水流流速為 7.36m/s，沖刷深度為 6.19m，現河床面高程為 210.22m。橋梁立面圖如圖 4.5 所示，以下為依據此條件橋梁之耐洪能

力分析。

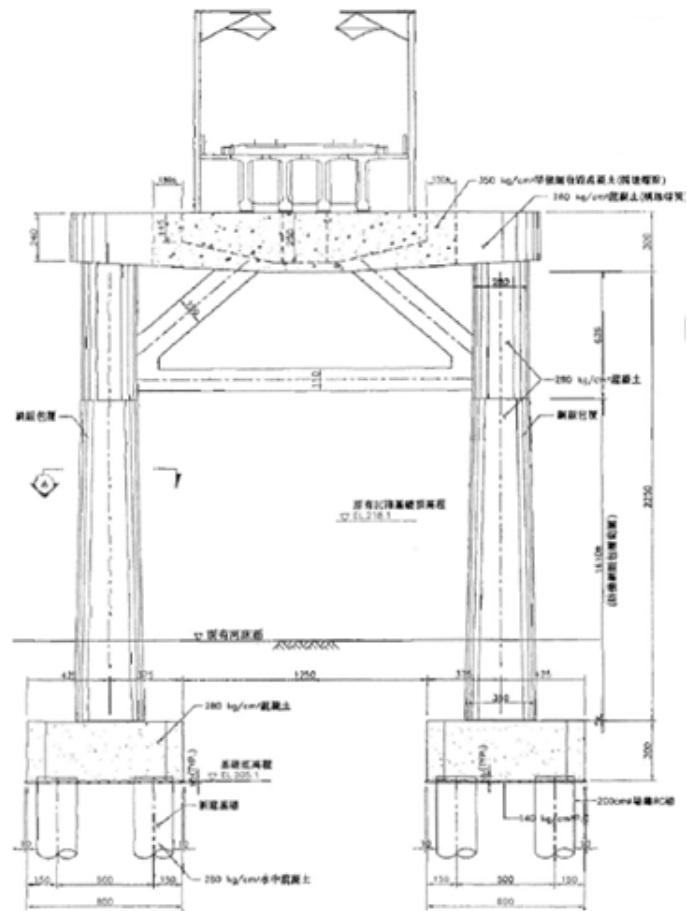


圖 4.5 新山線鐵路橋橋梁立面圖

1. 橋梁下部結構受力分析

(1) 軸向載重分析

a. 上部結構荷載

上部結構靜載重包含橋面板、箱型梁及其他附屬設施之重量，依據設計圖說資料上部結構荷載為 2,257.15t。

b. 下部結構載重

橋墩體積計算如下：

$$((24-2 \times 2) \times 4.4 + 2 \times 2 \times \pi) \times ((3+2.4)/2)/2 + ((3.5+2.8)/2)^2 \times \pi/4 \times 22.5 \\ = 311 m^3$$

假設鋼筋混凝土單位重為 2.4t/m³，則橋墩及墩帽重量為

$$311 \times 2.4 = 746.4 \text{ ton}$$

橋柱斷面積為

$$((3.5+2.8)/2)^2 \times \pi/4 = 7.79 m^2$$

橋墩水位高度為 219.23m，樁帽頂部高程為 208.1m，樁帽高度為 3m，樁帽底高程為 205.1m，水位為樁帽頂部以上 11.13m，則浸水部分橋墩之浮力為

$$11.13 \times 7.79 = 86.7 \text{ ton}$$

樁帽長度 8m，寬度 8m，高度 3m，則樁帽重量為

$$8 \times 8 \times 3 \times 2.4 = 460.8 \text{ ton}$$

樁帽之浮力為 $8 \times 8 \times 3 \times 1 = 192 \text{ ton}$

裸露基樁重量，基樁直徑 2m，長度 35m，基樁數量 4 支，沖刷深度 6.19m，現河床面高程為 210.22m，沖刷後河床面為樁帽底(205.1m)下 1.07m。因此裸露基樁重量為

$$(2^2 \times \pi/4) \times 1.07 \times 4 \times 2.4 = 32.25 \text{ ton}$$

裸露基樁浮力為

$$(2^2 \times \pi/4) \times 1.07 \times 4 \times 1 = 13.44 \text{ ton}$$

因此下部結構總荷重為

$$(746.4 + 460.8 + 32.25) - (86.7 + 192 + 13.44) = 947.3 \text{ ton}$$

c. 總垂直載重

總垂直載重造成之各樁軸力 P_v 可由下式計算：

$$P_v = \left(\frac{P}{n \times m} \right)$$

其中， P 為計算到河床面之垂直載重； n 為行車方向之基樁數量； m 為垂直行車方向之基樁數量。

由上述資料，PB 計算到河床面之垂直載重

$$P = 2257.15 + 947.3 = 3204.5 \text{ ton}$$

由基樁數量為 4 支，因此，總垂直載重造成之各樁軸力

$$P_v = 3204.5 / 4 = 801.1 \text{ ton}$$

(2) 風力分析

依交通部公路總局(2006)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」與公路橋梁設計規範(2009)，考量颱風豪雨期間之風速為高風速，則單位面積所受風壓為 $390 \text{ kgf/m}^2 = 0.39 \text{ tf/m}^2$ ，此時因風大，不必考慮車輛活載重，而橋體受風面積以受風面積的高度(含梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度)乘以相鄰兩跨平均跨徑。PB 相鄰兩跨之平均跨徑為 32m；箱型梁與橋面版高 2.75 m；不透風護欄高為 0.95m。因此，風作用力 $F_w = 0.39 \times (2.75 + 0.95) \times 32 = 46.2 \text{ ton}$

(3) 水流作用力計算

根據交通部頒布之公路橋梁設計規範當中的第 3.18 節，流水對於橋墩之作用壓力依下式計算之：

$$P_{avg} = 52.5 K (V_{avg})^2$$

其中， P_{avg} 為壓力 (kgf/m^2)； V_{avg} 為水流速度 (m/sec)； K 為常數，平頭墩用 1.4，尖頭墩其角度為 30° 或少於 30° 者用 0.5，圓頭墩用 0.7。

水流流速為 7.36m/s，沖刷深度為樁帽底下 1.07m，水位高度為樁帽頂部以上 11.13m，則橋墩水流作用力為：

$$(52.5 \times 0.7 \times 7.36^2 \times 3.5 \times 11.13) / 1000 = 77.5 \text{ ton}$$

樁帽水流作用力

$$(52.5 \times 1.4 \times 7.36^2 \times 8 \times 3) / 1000 = 95.6 \text{ ton}$$

裸露基樁水流作用力

$$(52.5 \times 0.7 \times 7.36^2 \times 2 \times 1.07 \times 4) / 1000 = 17.04 \text{ ton}$$

(4) 側向力引致的彎矩對樁造成之軸力分析

側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力 P_M 可由下式計算：

$$P_M = \frac{MY}{I} A_a$$

其中， M 為所有側向力對河床面之彎矩； Y 為樁帽中心沿垂直行車向到最邊樁之距離； A_a 為單樁底部之面積； I 為群樁之慣性矩。

慣性矩計算 $Y=1.2$ ， $A_a = \frac{\pi}{4} \times 2^2 = 3.14 \text{ m}^2$ ， I 之計算方式如下，計算結果為 $I=81.68 \text{ m}^4$ 。

$$I = \sum_{j=1}^{n \times m} I_j$$

$$I_j = I_a + A_a d_j^2$$

$$I_a = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^4 \text{ (圓形樁)}$$

$$I_a = \frac{1}{12} BL^3 \text{ (矩形樁)}$$

其中， d_j 為各樁沿垂直行車向到樁帽中心之距離； I_a 為單

樁之慣性矩； D 為樁直徑； B 為基樁行車向長度； L 為基樁垂直行車向長度。

$$I = (2^4 \times \pi/64) + (2 \times 2 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{5}{2})^2) \times 4 = 81.68m^4$$

M 之計算方式如下：

$$M = WF(\frac{LW}{2} + L_1 + L_c + SC) + F_p(\frac{W_L}{2} + SC) + F_h(\frac{L_c}{2} + SC) + F_l(SC/2) \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

其中， WF 為風作用力； F_p 為水作用在橋墩之合力； F_h 為水作用在樁帽之合力； F_l 為水作用在基樁之合力； LW 為風作用力重心至橋墩頂部之距離； L_1 為橋墩高度； L_c 為樁帽高度； SC 為冲刷深度； h_w 為風作用力重心至橋墩頂部之距離。

因此依據上述資料，

$$\begin{aligned} M &= 46.2 \times ((2.75 + 0.95)/2 + 22.5 + 3 + 1.07) + 77.5 \\ &\quad \times ((11.13/2) + 3 + 1.07) + 95.6 \times (3/2 + 1.07) + \\ &\quad 17.04 \times 1.07/2 \\ &= 1313 + 746.7 + 245.7 + 9.12 \\ &= 2314.5 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

因此，側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力：

$$P_M = (2314.5 \times (8/2 - 1.5) \times 2^2 \times \pi/4) / 81.68 = 222.4 \text{ ton}$$

(5) 冲刷河床面各樁所受之軸壓力分析

在冲刷河床面各樁所受之軸壓力可由下式計算：

$$P_{total} = P_v + P_M$$

其中， P_v 為總垂直載重造成之各樁軸力； P_M 為側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力，計算到河床面； P_{total} 為 P_v 與

P_M 之和，在邊樁會有最大值。則在沖刷河床面各樁所受之軸壓力：

$$P_{total} = 801.1 + 222.4 = 1023.5 \text{ ton}$$

2. 基礎容許承载力

由 PB 基樁所在位置土層為粉土質礫石層(GM)，依基礎構造設計規範之規定，可以下式計算基樁承载力

$$f_s = N/3 (\leq 15)$$

$$q_b = 7.5 \bar{N}$$

基樁沖刷裸露 1.07m，此時之樁長為 33.93 m， f_s 採用 15， $\bar{N}$ 採用 50，其基樁承载力為

$$Q_u = 15 \times \pi \times 2 \times 33.93 + 7.5 \times 50 \times \pi \times 2^2 / 4 = 3196 + 1177.5 = 4373.5 \text{ ton}$$

$$Q_a = 4373.5 / 3 = 1457.8 \text{ ton}$$

式中 Q_u 為極限承载力； Q_a 為容許承载力。

3. 基礎耐洪能力計算

依據上述分析結果，則 PB 的安全性

(1) 考量土層極限承载力下為，極限承載耐洪指標

$$FS = \frac{4373.5}{1023.5} = 4.27$$

(2) 考量土層容許承载力下為，容許承載耐洪指標

$$FS = \frac{1457.8}{1023.5} = 1.42$$

另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-4 所示。

表 4-4 新山線鐵路橋 P4 橋墩各重現期距之承載安全係數計算

水力分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	冲刷深 度(m)	現河床面 210.22m 於樁帽底上 5.12m 冲刷深度 (EL)(m)	安全係數 FS	容許安全係 數 FS/3
一維現況水 理分析	Q2	214.94	4.95	4.77	基礎未冲刷		
	Q5	216.37	5.69	5.18	0.06	4.68	1.56
	Q10	217.12	6.01	5.38	0.26	4.61	1.54
	Q20	217.56	6.38	5.61	0.49	4.53	1.51
	Q25	217.97	6.49	5.65	0.53	4.5	1.5
	Q100	219.23	7.36	6.19	1.07	4.27	1.42
	Q200	219.65	7.67	6.39	1.27	4.18	1.39

4.4.2 后豐大橋 PB 橋梁基礎耐洪能力分析

后豐大橋 PB 以 Q_{100} 之洪水位為 203.22m，樁帽頂部高程為 192m，水流流速為 7.68m/s，冲刷深度為 6.52m，現河床面高程為 195.48m。橋梁立面圖如圖 4.6 所示，以下為依據此條件橋梁之耐洪能力分析。

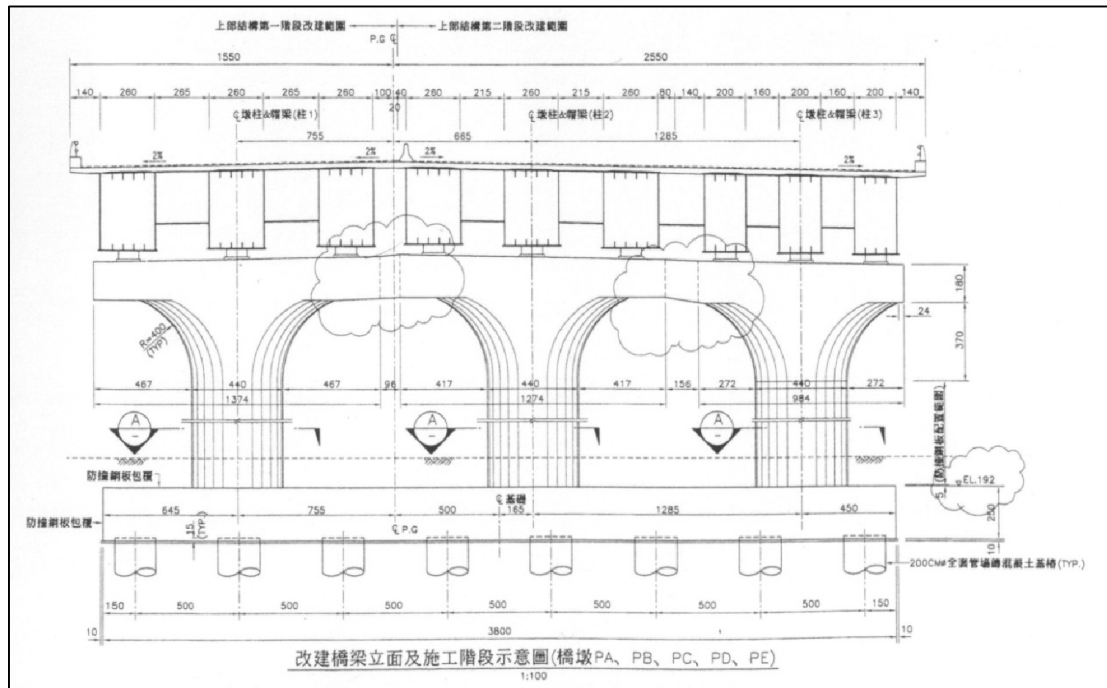


圖 4.6 后豐大橋橋梁立面圖

4. 橋梁下部結構受力分析

(6) 軸向載重分析

d. 上部結構荷載

上部結構靜載重包含橋面板、箱型梁及其他附屬設施之重量，依據設計圖說資料上部結構荷載為 4,461.39t。

e. 下部結構載重

橋墩體積計算如下：

$$1.8 \times 38.84 \times 3 + (9.84 + 4.4) \times 3.72 / 2 \times 3 \times 3 + 11.27 \times (18.82 - 3.7) \times 3 \\ = 209.74 + 237.1 + 511.21 = 958.05 m^3$$

假設鋼筋混凝土單位重為 2.4t/m³，則橋墩及墩帽重量為

$$958.05 \times 2.4 = 2299.32 \text{ ton}$$

橋柱斷面積為

$$(4.4 - 1.5 \times 2) \times 3 + 1.5^2 \times \pi = 11.27 m^2$$

橋墩水位高度為 203.22m，樁帽頂部高程為 192m，樁帽高度為 2.5m，樁帽底高程為 189.5m，水位為樁帽頂部以上 11.22m，則浸水部分橋墩之浮力為

$$11.27 \times 11.22 \times 3 = 379.35 \text{ ton}$$

樁帽長度 38m，寬度 9m，高度 2.5m，則樁帽重量為

$$38 \times 9 \times 2.5 \times 2.4 = 2052 \text{ ton}$$

樁帽之浮力為 $38 \times 9 \times 2.5 \times 1 = 855 \text{ ton}$

裸露基樁重量，基樁直徑 2m，長度 39.5m，基樁數量 16 支，沖刷深度 6.52m，現河床面高程為 195.48m，沖刷後河床

面為樁帽底(189.5m)下 0.54m。因此裸露基樁重量為

$$(2^2 \times \pi / 4) \times 0.54 \times 16 \times 2.4 = 65.11 \text{ ton}$$

裸露基樁浮力為

$$(2^2 \times \pi / 4) \times 0.54 \times 16 \times 1 = 27.13 \text{ ton}$$

因此下部結構總荷重為

$$(2299.32 + 2052 + 65.11) - (379.35 + 855 + 27.13) = 3154.95 \text{ ton}$$

f. 總垂直載重

總垂直載重造成之各樁軸力 P_v 可由下式計算：

$$P_v = \left(\frac{P}{n \times m} \right)$$

其中， P 為計算到河床面之垂直載重； n 為行車方向之基樁數量； m 為垂直行車方向之基樁數量。

由上述資料，PB 計算到河床面之垂直載重

$$P = 4461.39 + 3154.95 = 7616.34 \text{ ton}$$

由基樁數量為 16 支，因此，總垂直載重造成之各樁軸力

$$P_v = 7616.34 / 16 = 476 \text{ ton}$$

(7) 風力分析

依交通部公路總局(2006)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」與公路橋梁設計規範(2009)，考量颱風豪雨期間之風速為高風速，則單位面積所受風壓為 $390 \text{ kgf/m}^2 = 0.39 \text{ tf/m}^2$ ，此時因風大，不必考慮車輛活載重，而橋體受風面積以受風面積的高度(含梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度)乘以相鄰兩跨平均跨徑。PB 相鄰兩跨之平均跨徑為 80 m；箱型梁與橋面版高 3.98 m；不透風護欄高為 0.43m。因此，風作

$$\text{用力 } F_w = 0.39 \times (3.98 + 0.43) \times 80 = 137.59 \text{ ton}$$

(8) 水流作用力計算

根據交通部頒布之公路橋梁設計規範當中的第 3.18 節，流水對於橋墩之作用壓力依下式計算之：

$$P_{avg} = 52.5K(V_{avg})^2$$

其中， P_{avg} 為壓力 (kgf/m^2)； V_{avg} 為水流速度 (m/sec)； K 為常數，平頭墩用 1.4，尖頭墩其角度為 30° 或少於 30° 者用 0.5，圓頭墩用 0.7。

水流流速為 $7.68\text{m}/\text{s}$ ，沖刷深度為樁帽底下 0.54m ，水位高度為樁帽頂部以上 11.22m ，則橋墩水流作用力為：

$$(52.5 \times 0.7 \times 7.68^2 \times 9 \times 11.22) / 1000 = 218.9 \text{ ton}$$

樁帽水流作用力

$$(52.5 \times 1.4 \times 7.68^2 \times 9 \times 2.5) / 1000 = 97.5 \text{ ton}$$

裸露基樁水流作用力

$$(52.5 \times 0.7 \times 7.68^2 \times 2 \times 0.54 \times 16) / 1000 = 37.5 \text{ ton}$$

(9) 側向力引致的彎矩對樁造成之軸力分析

側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力 P_M 可由下式計算：

$$P_M = \frac{MY}{I} A_a$$

其中， M 為所有側向力對河床面之彎矩； Y 為樁帽中心沿垂直行車向到最邊樁之距離； A_a 為單樁底部之面積； I 為群樁之慣性矩。

慣性矩計算 $Y=1.2$ ， $A_a = \frac{\pi}{4} \times 2^2 = 3.14 \text{ m}^2$ ， I 之計算方式如下，

計算結果為 $I=6606.56 \text{ m}^4$ 。

$$I = \sum_{j=1}^{n \times m} I_j$$

$$I_j = I_a + A_a d_j^2$$

$$I_a = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^4 \text{ (圓形樁)}$$

$$I_a = \frac{1}{12} B L^3 \text{ (矩形樁)}$$

其中， d_j 為各樁沿垂直行車向到樁帽中心之距離； I_a 為單樁之慣性矩； D 為樁直徑； B 為基樁行車向長度； L 為基樁垂直行車向長度。

$$\begin{aligned} I &= (0.785 + 3.14 \times 17.5^2) \times 4 + (0.785 + 3.14 \times 12.5^2) \times 4 \\ &\quad + (0.785 + 3.14 \times 7.5^2) \times 4 + (0.785 + 3.14 \times 2.5^2) \times 4 \\ &= 6606.56 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

M之計算方式如下：

$$\begin{aligned} M &= WF \left(\frac{LW}{2} + L_1 + L_c + SC \right) + F_p \left(\frac{W_L}{2} + SC \right) \\ &\quad + F_h \left(\frac{L_c}{2} + SC \right) + F_l (SC / 2) \end{aligned} \quad \text{..... (4.13)}$$

其中， WF 為風作用力； F_p 為水作用在橋墩之合力； F_h 為水作用在樁帽之合力； F_l 為水作用在基樁之合力； LW 為風作用力重心至橋墩頂部之距離； L_1 為橋墩高度； L_c 為樁帽高度； SC 為沖刷深度； h_w 為風作用力重心至橋墩頂部之距離。

因此依據上述資料，

$$\begin{aligned}
M &= 137.59 \times ((3.98 + 0.43) / 2 + 20.62 + 2.5 + 0.54) + 218.9 \\
&\quad \times ((11.22 / 2) + 2.5 + 0.54) + 97.5 \times (2.5 / 2 + 0.54) + \\
&\quad 37.5 \times 0.54 / 2 \\
&= 3558.8 + 1893.5 + 174.5 + 10.1 \\
&= 5636.9 \text{ ton} - m
\end{aligned}$$

因此，側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力：

$$P_M = (5636.9 \times (38/2 - 1.5) \times 2^2 \times \pi / 4) / 6606.56 = 46.9 \text{ ton}$$

(10) 沖刷河床面各樁所受之軸壓力分析

在沖刷河床面各樁所受之軸壓力可由下式計算：

$$P_{total} = P_v + P_M$$

其中， P_v 為總垂直載重造成之各樁軸力； P_M 為側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力，計算到河床面； P_{total} 為 P_v 與 P_M 之和，在邊樁會有最大值。則在沖刷河床面各樁所受之軸壓力：

$$P_{total} = 476 + 46.9 = 522.9 \text{ ton}$$

5. 基礎容許承载力

由 PB 基樁所在位置土層為粉土質礫石層(GM)，依基礎構造設計規範之規定，可以下式計算基樁承载力

$$f_s = N / 3 (\leq 15)$$

$$q_b = 7.5 \bar{N}$$

基樁沖刷裸露 0.54m，此時之樁長為 38.96 m， f_s 採用 15， $\bar{N}$ 採用 50，其基樁承载力為

$$\begin{aligned}
Q_u &= 15 \times \pi \times 2 \times 38.96 + 7.5 \times 50 \times \pi \times 2^2 / 4 = 3670 + 1177.5 = 4847.5 \text{ ton} \\
Q_a &= 4847.5 / 3 = 1615.8 \text{ ton}
\end{aligned}$$

式中 Q_u 為極限承載力； Q_a 為容許承載力。

6. 基礎耐洪能力計算

依據上述分析結果，則 PB 的安全性

(3) 考量土層極限承載力下為，極限承載耐洪指標

$$FS = \frac{4847.5}{522.9} = 9.27$$

(4) 考量土層容許承載力下為，容許承載耐洪指標

$$FS = \frac{1615.8}{522.9} = 3.09$$

另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-5 所示。現河床面高程為 195.48m，為樁帽底(189.5m m)上 5.98m。

表 4-5 后豐大橋 PB 橋墩各重現期距之承載安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流 速 (m/s)	沖刷深 度(m)	現河床面於 195.48m 樁帽 底上 5.98m 沖刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全係 數 FS/3
一維現況 水理分析	Q ₂	199.21	4.24	4.36	基礎未沖刷		
	Q ₅	200.71	4.98	4.86	基礎未沖刷		
	Q ₁₀	201.27	5.60	5.26	基礎未沖刷		
	Q ₂₀	201.82	6.29	5.68	基礎未沖刷		
	Q ₂₅	201.95	6.44	5.76	基礎未沖刷		
	Q ₁₀₀	203.22	7.68	6.52	0.54	9.27	3.09
	Q ₂₀₀	203.81	8.20	6.83	0.85	9.12	3.04

4.4.3 國道 1 號大甲溪橋 P12E 橋梁基礎耐洪能力分析

國道 1 號大甲溪橋 P12E 以 Q_{100} 之洪水位為 174.42m，樁帽頂部高程為 172.28m，水流流速為 5.44m/s，沖刷深度為 5m，現河床面高程為 167.81m。橋梁側視圖如圖 4.7 所示，以下為依據此條件橋梁之耐洪能

力分析。

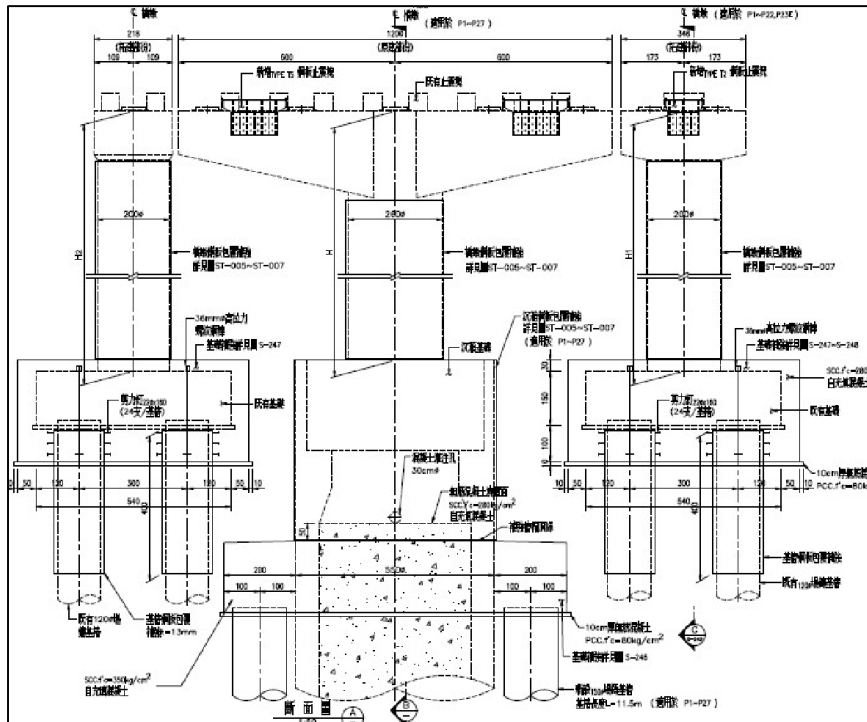


圖 4.7 國道 1 號大甲溪橋橋梁側視圖

7. 橋梁下部結構受力分析

(1) 軸向載重分析

a. 上部結構荷載

上部結構靜載重包含橋面板、箱型梁及其他附屬設施之重量，依據設計圖說資料上部結構荷載為 252.34t。

b. 下部結構載重

墩帽長 3.46m，寬 2.2m，高 1.35m，墩帽面積為

$$3.46 \times 2.2 \times 1.35 = 10.28 \text{ m}^2$$

橋墩長度為 9.53m，則橋墩直徑為 2m，體積計算如下：

橋墩斷面積為

$$2^2 \times \pi / 4 = 3.14 \text{ m}^2$$

則橋墩體積為

$$3.14 \times 9.53 = 29.92 \text{ m}^3$$

假設鋼筋混凝土單位重為 2.4t/m³，則橋墩及墩帽重量為

$$(10.28 + 29.92) \times 2.4 = 96.48 \text{ ton}$$

橋墩水位高度為 174.42m，樁帽頂部高程為 172.28m，樁帽高度為 2.8m，樁帽底高程為 169.48m，為樁帽頂部以上 2.14m，則浸水部分橋墩之浮力為

$$3.14 \times 2.14 \times 1 = 6.72 \text{ ton}$$

樁帽長度 5.4m，寬度 5.4m，高度 2.8m，則樁帽重量為

$$5.4 \times 5.4 \times 2.8 \times 2.4 = 195.96 \text{ ton}$$

樁帽之浮力為 $5.4 \times 5.4 \times 2.8 \times 1 = 81.65 \text{ ton}$

裸露基樁重量，基樁直徑 2m，長度 18m，基樁數量 4 支，沖刷深度 5m，現河床面高程為 167.81m，沖刷後河床面為樁帽底(169.48m)下 6.67m。因此裸露基樁重量為

$$(1.2^2 \times \pi / 4) \times 6.67 \times 4 \times 2.4 = 72.4 \text{ ton}$$

裸露基樁浮力為

$$(1.2^2 \times \pi / 4) \times 6.67 \times 4 \times 1 = 30.16 \text{ ton}$$

因此下部結構總荷重為

$$(96.48 + 195.96 + 72.4) - (6.72 + 81.65 + 30.16) = 246.31 \text{ ton}$$

c. 總垂直載重

總垂直載重造成之各樁軸力 P_v 可由下式計算：

$$P_v = \left(\frac{P}{n \times m} \right)$$

其中， P 為計算到河床面之垂直載重； n 為行車方向之基樁數量； m 為垂直行車方向之基樁數量。

由上述資料，P12E 計算到河床面之垂直載重

$$P = 252.34 + 246.31 = 498.65 \text{ ton}$$

由基樁數量為 4 支，因此，總垂直載重造成之各樁軸力

$$P_v = 498.65 / 4 = 124.7 \text{ ton}$$

(2) 風力分析

依交通部公路總局(2006)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」與公路橋梁設計規範(2009)，考量颱風豪雨期間之風速為高風速，則單位面積所受風壓為 $390 \text{ kgf/m}^2 = 0.39 \text{ tf/m}^2$ ，此時因風大，不必考慮車輛活載重，而橋體受風面積以受風面積的高度(含梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度)乘以相鄰兩跨平均跨徑。相鄰兩跨之平均跨徑為 35 m；箱型梁與橋面版高 2.16 m；不透風護欄高為 0.87m。因此，風作用力 $F_w = 0.39 \times (2.16 + 0.87) \times 35 = 41.36 \text{ ton}$

(3) 水流作用力計算

根據交通部頒布之公路橋梁設計規範當中的第 3.18 節，流水對於橋墩之作用壓力依下式計算之：

$$P_{avg} = 52.5 K (V_{avg})^2$$

其中， P_{avg} 為壓力 (kgf/m^2)； V_{avg} 為水流速度 (m/sec)； K 為常數，平頭墩用 1.4，尖頭墩其角度為 30° 或少於 30° 者用 0.5，圓頭墩用 0.7。

水流流速為 5.44m/s，沖刷深度為樁帽底下 6.67m，水位高

度為樁帽頂部以上 2.14m，則橋墩水流作用力為：

$$(52.5 \times 0.7 \times 5.44^2 \times 2 \times 2.14) / 1000 = 4.65 \text{ ton}$$

樁帽水流作用力

$$(52.5 \times 1.4 \times 5.44^2 \times 5.4 \times 2.8) / 1000 = 32.89 \text{ ton}$$

裸露基樁水流作用力

$$(52.5 \times 0.7 \times 5.44^2 \times 1.2 \times 6.67 \times 4) / 1000 = 34.82 \text{ ton}$$

(4)側向力引致的彎矩對樁造成之軸力分析

側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力 P_M 可由下式計算：

$$P_M = \frac{MY}{I} A_a$$

其中， M 為所有側向力對河床面之彎矩； Y 為樁帽中心沿垂直行車向到最邊樁之距離； A_a 為單樁底部之面積； I 為群樁之慣性矩。

慣性矩計算， $Y=1.2$ ， $A_a = \frac{\pi}{4} \times 1.2^2 = 1.13 \text{ m}^2$ ， I 之計算方式如下，計算結果為 $I=10.58 \text{ m}^4$ 。

$$I = \sum_{j=1}^{n \times m} I_j$$

$$I_j = I_a + A_a d_j^2$$

$$I_a = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^4 \text{ (圓形樁)}$$

$$I_a = \frac{1}{12} BL^3 \text{ (矩形樁)}$$

其中， d_j 為各樁沿垂直行車向到樁帽中心之距離； I_a 為單樁之慣性矩； D 為樁直徑； B 為基樁行車向長度； L 為基樁垂

直行車向長度。

$$I = (0.1017 + 1.13 \times 1.5^2) \times 4 = 10.58m^4$$

M之計算方式如下：

$$\begin{aligned} M = & WF\left(\frac{LW}{2} + L_1 + L_c + SC\right) + F_p\left(\frac{W_L}{2} + SC\right) \\ & + F_h\left(\frac{L_c}{2} + SC\right) + F_l(SC/2) \end{aligned}$$

其中， WF 為風作用力； F_p 為水作用在橋墩之合力； F_h 為水作用在樁帽之合力； F_l 為水作用在基樁之合力； LW 為風作用力重心至橋墩頂部之距離； L_1 為橋墩高度； L_c 為樁帽高度； SC 為沖刷深度； h_w 為風作用力重心至橋墩頂部之距離。

因此依據上述資料，

$$\begin{aligned} M = & 41.36 \times ((2.16 + 0.87)/2 + 10.88 + 2.8 + 6.67) + 4.65 \\ & \times ((2.14/2) + 2.8 + 6.67) + 32.89 \times (2.8/2 + 6.67) + \\ & 34.82 \times 6.67/2 \\ = & 904.3 + 49 + 265.4 + 116.1 \\ = & 1334.8 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

因此，側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力：

$$P_M = (1334.8 \times (5.4/2 - 1.2) \times 1.2^2 \times \pi/4) / 10.58 = 213.9 \text{ ton}$$

(5) 沖刷河床面各樁所受之軸壓力分析

在沖刷河床面各樁所受之軸壓力可由下式計算：

$$P_{total} = P_v + P_M$$

其中， P_v 為總垂直載重造成之各樁軸力； P_M 為側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力，計算到河床面； P_{total} 為 P_v 與 P_M 之和，在邊樁會有最大值。則在沖刷河床面各樁所受之軸壓

力：

$$P_{total} = 124.7 + 213.9 = 338.6 \text{ ton}$$

8. 基礎容許承載力

由 P12E 基樁所在位置土層為粉土質礫石層(GM)，依基礎構造設計規範之規定，可以下式計算基樁承載力

$$f_s = N/3 (\leq 15)$$

$$q_b = 7.5 \bar{N}$$

基樁沖刷裸露 6.67m，此時之樁長為 11.33 m，其基樁承載力為

$$Q_u = 15 \times \pi \times 1.2 \times 11.33 + 7.5 \times 50 \times \pi \times 1.2^2 / 4 = 640.4 + 423.9 = 1064.3 \text{ ton}$$

$$Q_a = 1064.3 / 3 = 354.8 \text{ ton}$$

式中 Q_u 為極限承載力； Q_a 為容許承載力。

9. 基礎耐洪能力計算

依據上述分析結果，則 P12E 的安全性

(1) 考量土層極限承載力下為，極限承載耐洪指標

$$FS = \frac{1064.3}{338.6} = 3.14$$

(2) 考量土層容許承載力下為，容許承載耐洪指標

$$FS = \frac{354.8}{338.6} = 1.05$$

另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-6 所示。現河床面高程為 167.81m，為樁帽底(169.48m)下 1.67m。

表 4-6 國道 1 號大甲溪橋 P12E 橋墩各重現期距之承載安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度 (m)	現河床面於橋 帽底 169.48m 下 1.67m 冲刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全 係數 FS/3
一維現況 水理分析	Q ₂	171.75	3.42	3.79	5.46	4.03	1.34
	Q ₅	173.29	3.82	3.99	5.66	3.88	1.29
	Q ₁₀	173.53	4.26	4.25	5.92	3.79	1.27
	Q ₂₀	173.79	4.69	4.50	6.17	3.51	1.17
	Q ₂₅	173.86	4.78	4.56	6.23	3.47	1.16
	Q ₁₀₀	174.42	5.44	5.00	6.67	3.14	1.05
	Q ₂₀₀	174.86	5.57	5.02	6.69	3.09	1.03

4.4.4 高鐵大甲溪橋 P20 橋梁基礎耐洪能力分析

高鐵大甲溪橋 P20 以 Q₁₀₀ 之洪水位為 139.09m，樁帽頂部高程為 132.5m，水流流速為 6.78m/s，冲刷深度為 5.67m，現河床面高程為 131.56m。橋梁橋墩及基礎圖如圖 4.8 及 4.9 所示，以下為依據此條件橋梁之耐洪能力分析。

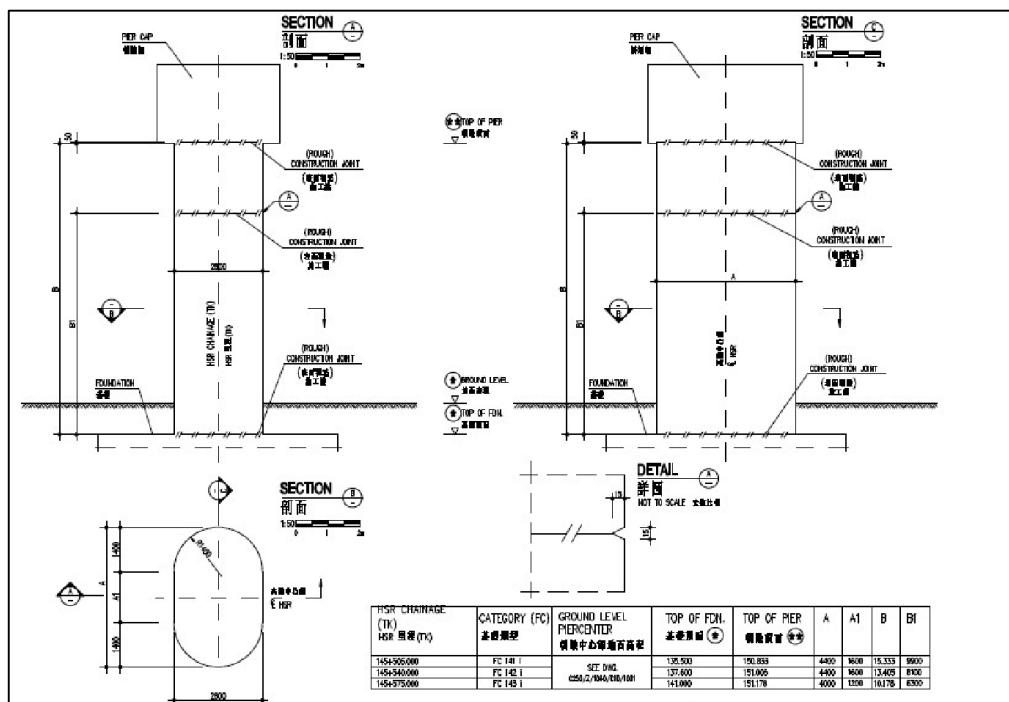


圖 4.8 高鐵大甲溪橋梁橋墩圖

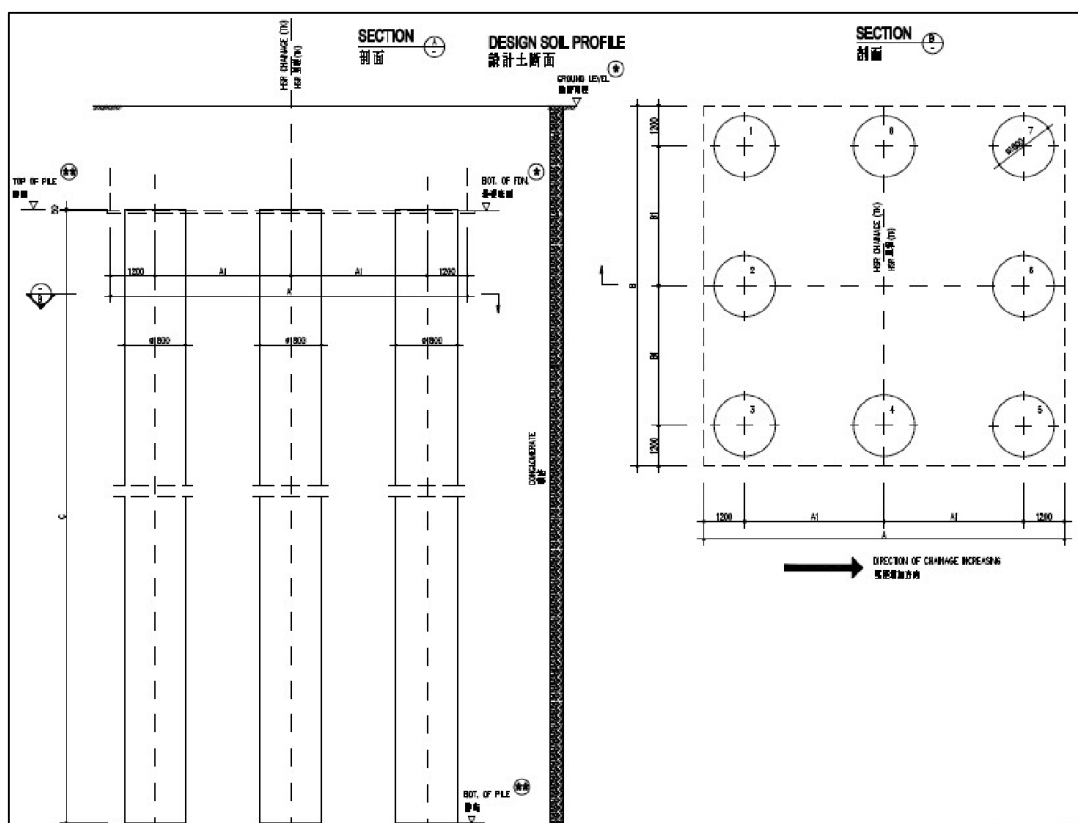


圖 4.9 高鐵大甲溪橋梁基礎圖

1. 橋梁下部結構受力分析

(1) 軸向載重分析

a. 上部結構荷載

上部結構靜載重包含橋面板、箱型梁及其他附屬設施之重量，依據設計圖說資料上部結構荷載為 2564t。

b. 下部結構載重

橋墩體積計算如下：

$$15.395 \times (2.8 \times 1.6 + 1.4^2 \times \pi) + 4.8 \times 3.84 \times 2.458 = 209.1 \text{ m}^3$$

假設鋼筋混凝土單位重為 2.4t/m³，則橋墩及墩帽重量為

$$209.1 \times 2.4 = 501.84 \text{ ton}$$

橋柱斷面積為

$$2.8 \times 1.6 + 1.4^2 \times \pi = 10.64 \text{ m}^2$$

橋墩水位高度為 139.09m，樁帽頂部高程為 132.5m，樁帽高度為 3.5m，樁帽底高程為 129m，水位為樁帽頂部以上 6.59m，則浸水部分橋墩之浮力為

$$10.64 \times 6.59 = 70.1 \text{ ton}$$

樁帽長度 11.4m，寬度 11.4m，高度 3.5m，則樁帽重量為

$$11.4 \times 11.4 \times 3.5 \times 2.4 = 1091.7 \text{ ton}$$

樁帽之浮力為 $11.4 \times 11.4 \times 3.5 \times 1 = 454.86 \text{ ton}$

裸露基樁重量，基樁直徑 1.8m，長度 18m，基樁數量 8 支，沖刷深度 5.67m，現河床面高程為 131.56m，沖刷後河床面為樁帽底(129m)下 3.11m。因此裸露基樁重量為

$$(1.8^2 \times \pi / 4) \times 3.11 \times 8 \times 2.4 = 151.9 \text{ ton}$$

裸露基樁浮力為

$$(1.8^2 \times \pi / 4) \times 3.11 \times 8 \times 1 = 63.3 \text{ ton}$$

因此下部結構總荷重為

$$(501.84 + 1091.7 + 151.9) - (70.1 + 454.86 + 63.3) = 1157.2 \text{ ton}$$

c. 總垂直載重

總垂直載重造成之各樁軸力 P_v 可由下式計算：

$$P_v = \left(\frac{P}{n \times m} \right)$$

其中， P 為計算到河床面之垂直載重； n 為行車方向之基樁數量； m 為垂直行車方向之基樁數量。

由上述資料，P20 計算到河床面之垂直載重

$$P = 2564 + 1157.2 = 3721.2 \text{ ton}$$

由基樁數量為 8 支，因此，總垂直載重造成之各樁軸力

$$P_v = 3721.2 / 8 = 465.2 \text{ ton}$$

(2) 風力分析

依交通部公路總局(2006)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」與公路橋梁設計規範(2009)，考量颱風豪雨期間之風速為高風速，則單位面積所受風壓為 $390 \text{ kgf/m}^2 = 0.39 \text{ tf/m}^2$ ，此時因風大，不必考慮車輛活載重，而橋體受風面積以受風面積的高度(含梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度)乘以相鄰兩跨平均跨徑。相鄰兩跨之平均跨徑為 35 m；箱型梁與橋面版高 3.93 m；不透風護欄高為 1.9m。因此，風作用力 $F_w = 0.39 \times (3.93 + 1.9) \times 35 = 79.6 \text{ ton}$

(3) 水流作用力計算

根據交通部頒布之公路橋梁設計規範當中的第 3.18 節，流水對於橋墩之作用壓力依下式計算之：

$$P_{avg} = 52.5 K (V_{avg})^2$$

其中， P_{avg} 為壓力 (kgf/m^2)； V_{avg} 為水流速度 (m/sec)； K 為常數，平頭墩用 1.4，尖頭墩其角度為 30° 或少於 30° 者用 0.5，圓頭墩用 0.7。

水流流速為 6.78m/s，沖刷深度為樁帽底下 3.11m，水位高度為樁帽頂部以上 6.59m，則橋墩水流作用力為：

$$(52.5 \times 0.7 \times 6.78^2 \times 2.8 \times 6.59) / 1000 = 31.2 \text{ ton}$$

樁帽水流作用力

$$(52.5 \times 1.4 \times 6.78^2 \times 11.4 \times 3.5) / 1000 = 134.8 \text{ ton}$$

裸露基樁水流作用力

$$(52.5 \times 0.7 \times 6.78^2 \times 1.8 \times 3.11 \times 8) / 1000 = 75.7 \text{ ton}$$

(4) 側向力引致的彎矩對樁造成之軸力分析

側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力 P_M 可由下式計算：

$$P_M = \frac{MY}{I} A_a$$

其中， M 為所有側向力對河床面之彎矩； Y 為樁帽中心沿垂直行車向到最邊樁之距離； A_a 為單樁底部之面積； I 為群樁之慣性矩。

慣性矩計算， $Y=1.8$ ， $A_a = \frac{\pi}{4} \times 1.8^2 = 2.54 \text{ m}^2$ ， I 之計算方式如下，計算結果為 $I=6606.56 \text{ m}^4$ 。

$$I = \sum_{j=1}^{n \times m} I_j$$

$$I_j = I_a + A_a d_j^2$$

$$I_a = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^4 \text{ (圓形樁)}$$

$$I_a = \frac{1}{12} BL^3 \text{ (矩形樁)}$$

其中， d_j 為各樁沿垂直行車向到樁帽中心之距離； I_a 為單樁之慣性矩； D 為樁直徑； B 為基樁行車向長度； L 為基樁垂直行車向長度。

$$I = (1.8^4 \times \pi/64) \times 8 + (1.8^2 \times \pi/4 \times 4.5^2) \times 6 = 313.34 \text{ m}^4$$

M之計算方式如下：

$$M = WF\left(\frac{LW}{2} + L_1 + L_c + SC\right) + F_p\left(\frac{W_L}{2} + SC\right) + F_h\left(\frac{L_c}{2} + SC\right) + F_l(SC/2)$$

其中， WF 為風作用力； F_p 為水作用在橋墩之合力； F_h 為水作用在樁帽之合力； F_l 為水作用在基樁之合力； LW 為風作用力重心至橋墩頂部之距離； L_1 為橋墩高度； L_c 為樁帽高度； SC 為沖刷深度； h_w 為風作用力重心至橋墩頂部之距離。

因此依據上述資料，

$$\begin{aligned} M &= 79.6 \times ((3.93 + 1.9)/2 + 17.853 + 3.5 + 3.11) + 31.2 \\ &\quad \times ((6.59/2) + 3.5 + 3.11) + 134.8 \times (3.5/2 + 3.11) + \\ &\quad 75.7 \times 3.11/2 \\ &= 2179.3 + 309 + 655.1 + 117.7 \\ &= 3261.1 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

因此，側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力：

$$P_M = (3261.1 \times (11.4/2 - 1.2) \times 1.8^2 \times \pi/4) / 313.34 = 119.1 \text{ ton}$$

(5) 沖刷河床面各樁所受之軸壓力分析

在沖刷河床面各樁所受之軸壓力可由下式計算：

$$P_{total} = P_v + P_M$$

其中， P_v 為總垂直載重造成之各樁軸力； P_M 為側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力，計算到河床面； P_{total} 為 P_v 與 P_M 之和，在邊樁會有最大值。則在沖刷河床面各樁所受之軸壓力：

$$P_{total} = 465.2 + 119.1 = 584.3 \text{ ton}$$

2. 基礎容許承载力

由 P20 基樁所在位置土層為粉土質礫石層(GM)，依基礎構造設計規範之規定，可以下式計算基樁承载力

$$f_s = N/3 (\leq 15)$$

$$q_b = 7.5 \bar{N}$$

基樁冲刷裸露 3.11m，此時之樁長為 14.89 m，其基樁承载力為

$$Q_u = 15 \times \pi \times 1.8 \times 14.89 + 7.5 \times 50 \times \pi \times 1.8^2 / 4 = 1262.4 + 953.8 = 2216.2 \text{ ton}$$

$$Q_a = 2216.2 / 3 = 738.7 \text{ ton}$$

式中 Q_u 為極限承载力； Q_a 為容許承载力。

3. 基礎耐洪能力計算

依據上述分析結果，則 P20 的安全性

(1) 考量土層極限承载力下為，極限承载耐洪指標

$$FS = \frac{2216.2}{584.3} = 3.79$$

(2) 考量土層容許承载力下為，容許承载耐洪指標

$$FS = \frac{738.7}{584.3} = 1.26$$

另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-7 所示。現河床面高程為 131.56，為樁帽底(129m)上 2.56m。

表 4-7 高鐵大甲溪橋 P20 橋墩各重現期距之承載安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	沖刷深 度(m)	現河床面於 131.56m 樁帽底上 2.56m 沖刷深度(m)	安全係數 FS	容許安 全係數 FS/3
一維現況 水理分析	Q ₂	136.31	5.24	4.83	2.27	4.09	1.36
	Q ₅	137.26	5.55	4.97	2.41	4.05	1.35
	Q ₁₀	137.21	5.52	4.91	2.35	4.06	1.35
	Q ₂₀	138.29	5.68	5.04	2.48	4.02	1.34
	Q ₂₅	138.38	5.77	5.11	2.55	4	1.33
	Q ₁₀₀	139.09	6.78	5.67	3.11	3.79	1.26
	Q ₂₀₀	139.43	7.27	5.95	3.39	3.68	1.23

4.4.5 國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋梁基礎耐洪能力分析

國道 3 號大甲溪橋 P24L 以 Q₁₀₀ 之洪水位為 73.45m，樁帽頂部高程為 71.1m，水流流速為 5.23m/s，沖刷深度為 4.88m，現河床面高程為 68.01m。橋梁立面、樁基礎平面配置圖及基樁如圖 4.10 至 4.12 所示，以下為依據此條件橋梁之耐洪能力分析。

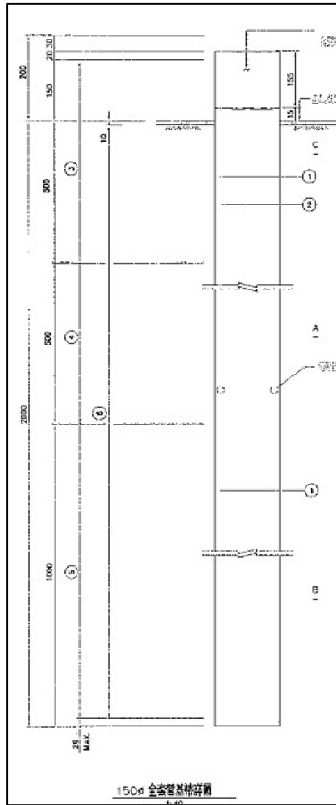


圖 4.12 國道 3 號大甲溪橋梁基樁圖

1. 橋梁下部結構受力分析

(1) 軸向載重分析

a. 上部結構荷載

上部結構靜載重包含橋面板、箱型梁及其他附屬設施之重量，依據設計圖說資料上部結構荷載為 1,429.92t。

b. 下部結構載重

橋墩長度為 29.607m，其中橋墩上半部斷面漸變段長度 5.47m，則橋墩體積計算如下：

漸變段斷面長度變化範圍為 5m~8.7m，取其平均值進行漸變段斷面積計算則為

$$(6.2+2.5)/2 \times 2.5 + 1.25 \times 1.25 \times \pi = 15.79 \text{ m}^2$$

非漸變段橋墩斷面積計算則為

$$2.5 \times 2.5 + 1.25 \times 1.25 \times \pi = 11.16 \text{ m}^2$$

則橋墩體積為

$$15.79 \times 5.47 + 11.16 \times (29.607 - 5.47) = 355.74 \text{ m}^3$$

假設鋼筋混凝土單位重為 2.4t/m³，則橋墩重量為

$$355.74 \times 2.4 = 853.776 \text{ ton}$$

橋墩浮力水位高度為 73.45m，樁帽頂部高程為 71.1m，樁帽底高程為 68.1m，為樁帽頂部以上 2.35m，則浸水部分橋墩之浮力為

$$11.16 \times 2.35 \times 1 = 26.23 \text{ ton}$$

樁帽長度 13m，寬度 11m，高度 3m，則樁帽重量為

$$13 \times 11 \times 3 \times 2.4 = 1029.6 \text{ ton}$$

樁帽之浮力為 $13 \times 11 \times 3 \times 1 = 429 \text{ ton}$

裸露基樁重量，基樁直徑 1.5m，長度 20m，基樁數量 8 支，沖刷深度 4.88m，現河床面高程為 68.01m，為樁帽底(68.1m)下 4.97m。因此裸露基樁重量為

$$(1.5 \times 1.5 \times \pi / 4) \times 4.97 \times 8 \times 2.4 = 168.54 \text{ ton}$$

裸露基樁浮力為

$$(1.5 \times 1.5 \times \pi / 4) \times 4.97 \times 8 \times 1 = 70.23 \text{ ton}$$

因此下部結構總荷重為

$$(853.776 + 1029.6 + 168.54) - (26.23 + 429 + 70.23) = 1526.46 \text{ ton}$$

c.總垂直載重

總垂直載重造成之各樁軸力 P_v 可由下式計算：

$$P_v = \left(\frac{P}{n \times m} \right)$$

其中， P 為計算到河床面之垂直載重； n 為行車方向之基樁數量； m 為垂直行車方向之基樁數量。

由上述資料，計算到河床面之垂直載重

$$P = 1429.92 + 1526.46 = 2956.38 \text{ ton}$$

由基樁數量為 8 支，因此，總垂直載重造成之各樁軸力

$$P_v = 2956.38 / 8 = 369.5 \text{ ton}$$

(2) 風力分析

依交通部公路總局(2006)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」與公路橋梁設計規範(2009)，考量颱風豪雨期間之風速為高風速，則單位面積所受風壓為 $390 \text{ kgf/m}^2 = 0.39 \text{ tf/m}^2$ ，此時因風大，不必考慮車輛活載重，而橋體受風面積以受風面積的高度(含梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度)乘以相鄰兩跨平均跨徑。相鄰兩跨之平均跨徑為 45 m；箱型梁與橋面版高 2.54 m；不透風護欄高為 0.75m。因此，風作用力 $F_w = 0.39 \times (2.4 + 0.75) \times 45 = 55.28 \text{ ton}$

(3) 水流作用力計算

根據交通部頒布之公路橋梁設計規範當中的第 3.18 節，流水對於橋墩之作用壓力依下式計算之：

$$P_{avg} = 52.5K(V_{avg})^2$$

其中， P_{avg} 為壓力 (kgf/m^2)； V_{avg} 為水流速度(m/sec)； K 為常數，平頭墩用 1.4，尖頭墩其角度為 30° 或少於 30° 者用 0.5，圓頭墩用 0.7。

水流流速為 5.23m/s，沖刷深度為樁帽底下 4.97m，水位高

度為樁帽頂部以上 2.35m，則橋墩水流作用力為：

$$(52.5 \times 0.7 \times 5.23^2 \times 2.5 \times 2.35) / 1000 = 5.9 \text{ ton}$$

樁帽水流作用力

$$(52.5 \times 1.4 \times 5.23^2 \times 11 \times 3) / 1000 = 66.34 \text{ ton}$$

裸露基樁水流作用力

$$(52.5 \times 0.7 \times 5.23^2 \times 1.5 \times 4.97 \times 8) / 1000 = 59.95 \text{ ton}$$

(4) 側向力引致的彎矩對樁造成之軸力分析

側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力 P_M 可由下式計算：

$$P_M = \frac{MY}{I} A_a$$

其中， M 為所有側向力對河床面之彎矩； Y 為樁帽中心沿垂直行車向到最邊樁之距離； A_a 為單樁底部之面積； I 為群樁之慣性矩。

由表 4-8 可知， $Y=1.5$ ， $A_a = \frac{\pi}{4} \times 1.5^2 = 1.77 \text{ m}^2$ ， I 之計算方式如下，計算結果為 $I=171.91 \text{ m}^4$ 。

$$I = \sum_{j=1}^{n \times m} I_j$$

$$I_j = I_a + A_a d_j^2$$

$$I_a = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^4 \text{ (圓形樁)}$$

$$I_a = \frac{1}{12} BL^3 \text{ (矩形樁)}$$

其中， d_j 為各樁沿垂直行車向到樁帽中心之距離； I_a 為單

樁之慣性矩； D 為樁直徑； B 為基樁行車向長度； L 為基樁垂直行車向長度。

表 4-8 群樁慣性矩計算表

基樁	$I_a (\text{m}^4)$	$A_a (\text{m}^2)$	$d_j (\text{m})$	$I_j (\text{m}^4)$	$I (\text{m}^4)$
基樁 1	0.2485	1.77	4	28.56	
基樁 2	0.2485	1.77	0	0.2485	
基樁 3	0.2485	1.77	4	28.56	
基樁 4	0.2485	1.77	4	28.56	
基樁 5	0.2485	1.77	4	28.56	
基樁 6	0.2485	1.77	4	28.56	
基樁 7	0.2485	1.77	0	0.2485	
基樁 8	0.2485	1.77	4	28.56	
合計					171.91

M 之計算方式如下：

$$M = WF \left(\frac{LW}{2} + L_1 + L_c + SC \right) + F_p \left(\frac{W_L}{2} + SC \right) + F_h \left(\frac{L_c}{2} + SC \right) + F_l (SC/2)$$

其中， WF 為風作用力； F_p 為水作用在橋墩之合力； F_h 為水作用在樁帽之合力； F_l 為水作用在基樁之合力； LW 為風作用力重心至橋墩頂部之距離； L_1 為橋墩高度； L_c 為樁帽高度； SC 為沖刷深度； h_w 為風作用力重心至橋墩頂部之距離。

因此依據上述資料，

$$\begin{aligned}
M &= 55.28 \times ((2.4 + 0.75) / 2 + 29.607 + 3 + 4.97) + 5.9 \\
&\quad \times ((2.55 / 2) + 3 + 4.97) + 66.34 \times (3 / 2 + 4.97) + \\
&\quad 59.95 \times 4.97 / 2 \\
&= 2164.32 + 54.55 + 429.22 + 148.98 \\
&= 2797.07 \text{ ton-m}
\end{aligned}$$

因此，側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力：

$$P_M = (2797.07 \times (13/2 - 1.5) \times 1.77) / 171.91 = 143.99 \text{ ton}$$

(5) 沖刷河床面各樁所受之軸壓力分析

在沖刷河床面各樁所受之軸壓力可由下式計算：

$$P_{total} = P_v + P_M$$

其中， P_v 為總垂直載重造成之各樁軸力； P_M 為側向力(包括風力·水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力，計算到河床面； P_{total} 為 P_v 與 P_M 之和，在邊樁會有最大值。則在沖刷河床面各樁所受之軸壓力：

$$P_{total} = 369.5 + 143.99 = 513.49 \text{ ton}$$

2. 基礎容許承载力

由 P24L 基樁所在位置土層為粉土質礫石層(GM)，依基礎構造設計規範之規定，可以下式計算基樁承载力

$$f_s = N / 3 (\leq 15)$$

$$q_b = 7.5 \bar{N}$$

基樁沖刷裸露 4.97 m，此時之樁長為 15.03 m，其基樁承载力為

$$Q_u = 15 \times \pi \times 1.5 \times 15.03 + 7.5 \times 50 \times \pi \times 1.5^2 / 4 = 1061.87 + 662.34 = 1724.21 \text{ ton}$$

$$Q_a = 1724.21 / 3 = 574.74 \text{ ton}$$

式中 Q_u 為極限承载力； Q_a 為容許承载力。

3. 基礎耐洪能力計算

依據上述分析結果，則 P24L 的安全性

(1) 考量土層極限承载力下為，極限承载耐洪指標

$$FS = \frac{1724.21}{513.49} = 3.36$$

(2) 考量土層容許承载力下為，容許承载耐洪指標

$$FS = \frac{574.74}{513.49} = 1.12$$

4. 基礎彎矩剪力分析

依據公路橋梁設計規範(2009)與建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範(2001)第 5.3.3 節基礎側向支承力分析建議利用 Chang(1989)年分析理論進行樁頭處彎矩、剪力之計算。

$$\text{基樁剪力為 } V = \frac{55.28 + 5.9 + 66.34 + 59.95}{8} = 23.43 \text{ ton}$$

則基樁頂彎矩為

$$M_0 = \frac{1 + 0.21 \times 4.97}{2 \times 0.21} \times 23.43 = 114 \text{ ton-m}$$

由分析結果顯示 P24L 所受的彎矩為 114 ton-m 小於設計之基樁容許彎矩值 485 ton-m；剪力為 23.43 ton 小於設計之基樁剪力強度 118 ton。

另依據不同洪水回歸週期其分析結果如表 4-9 所示。現河床面高程為 68.01m，為樁帽底(68.1m)下 0.09m。

表 4-9 國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋墩各重現期距之承载安全係數計算

水理分析	洪水	洪水位	平均流速	冲刷深	現河床面於	安全係數	容許安
------	----	-----	------	-----	-------	------	-----

模式	頻率	(m)	(m/s)	度(m)	樁帽底下 0.09m 沖刷深度(m)	FS	全係數 FS/3
一維現況 水理分析	Q ₂	70.65	3.93	4.02	4.11	3.58	1.19
	Q ₅	70.68	3.94	4.25	4.34	3.53	1.18
	Q ₁₀	72.44	4.03	4.14	4.23	3.6	1.2
	Q ₂₀	72.78	4.31	4.38	4.47	3.53	1.18
	Q ₂₅	72.85	4.40	4.39	4.48	3.53	1.18
	Q ₁₀₀	73.45	5.23	4.88	4.97	3.36	1.12
	Q ₂₀₀	73.72	5.65	5.12	5.21	3.27	1.09

4.4.6 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋梁基礎耐洪能力分析

1. 沉箱外力分析

依據橋梁立面圖 4.13 得知，橋梁墩柱 P37 之橋墩直徑 2.4 m，高 5.724 m，沉箱長 16 m，寬 5m，高 12 m，其左右兩跨跨度皆為 32 m，而由水理分析資料可得該橋各洪水頻率重現期之洪水位，首先以 Q₁₀₀ 之洪水位 59.89m 為分析水位高程，其對應之洪水流速為 5.09 m/sec，並假設鋼筋混凝土單位重為 2.4 t/m³，進行各作用力之計算如下。

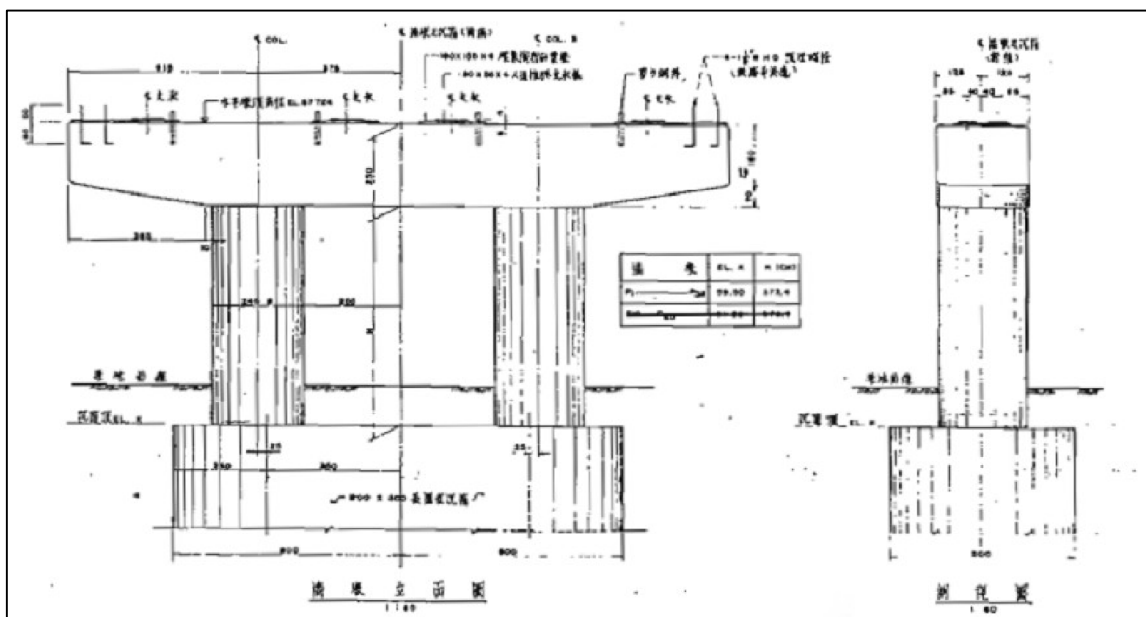


圖 4.13 海線鐵路大甲溪橋梁立面圖

(1) 靜載重

靜載重主要包括橋梁上構與設施的重量、帽梁、橋柱、樁帽、基樁與樁帽上覆土的重量(如果有的話)。上構與設施的重量與橋面寬度，以及橋墩左右兩跨平均跨度的乘積成正比，將此乘積，即柱之載重面積乘以橋梁單位面積上構與設施的重量，就可求得應加在柱頂的垂直載重。

由設計圖可知，32 m 長橋面版之靜載重為 575.08 tf(含欄杆、I 型梁及公共設施重量)。

(2) 風力

依據公路橋梁設計規範(2009)，風力應考慮兩種情況，其一為高風速時，單位面積所受風壓桁架及拱為 580 kgf/m^2 ，梁為 390 kgf/m^2 ，不必考慮車輛活載重；其二為中風速時，要考慮車輛活載重及作用在車列的風力 240 kgf/m ，作用高度在橋面以上 1.8 m，然此時應加計作用在橋體上之風力，因風速較小，取高風速時風壓的 0.3 倍計算。

而橋體受風面積以受風面積的高度乘以相鄰兩跨平均跨徑，而受風面積高度包括梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度。

由設計圖可知，受風面積高度為 2.6 m。因此，風力 F_w 為：

$$0.39 \times 32 \times 2.6 = 32.5(\text{tf})$$

(3) 水流壓力

根據交通部頒布之公路橋梁設計規範第 3.18 節，水流對於橋墩之作用壓力依下式計算之，就基礎為已裸露的沉箱而言，要計算沉箱所受之流水作用力，再將其作用在沉箱上。考量橋墩與沉箱皆為圓頭，故水流作用力常數 K 皆取 0.7，再由設計圖可知，

橋墩寬 2.4 m，且有二個橋墩，高(h_p)5.724 m，浸水深(h_{pw})為 59.89-55.8=4.09 m，沉箱高(h_c)16m，原河床面 52.74m，沉箱頂高程 55.8m，沖刷深度為 4.79m，沖刷後之剩餘長度(h_{left})為 16-(55.8-52.74)-4.79=8.15 m，水位為 59.89m，洪水流速為 5.09 m/sec，則橋墩、沉箱所受之水流力 F_p 、 F_c 如下：

$$\text{橋墩水流力 } F_p = 52.5 \times 0.7 \times 5.09^2 \times 2.4 \times 2 \times 4.09 / 1000 = 18.7(\text{tf})$$

$$\text{沉箱水流力 } F_c = 52.5 \times 0.7 \times 5.09^2 \times 5 \times (16 - 8.15) / 1000 = 37.4(\text{tf})$$

(4) 橋墩與沉箱重量

由設計資料可得橋墩及沉箱之尺寸，假設沉箱內填砂石料之土重為 1.9 tf/m³，則橋墩、沉箱之重量計算如下：

橋墩重量：

$$\begin{aligned} & [(17.8 \times 1.8 \times 2.4 + (17.8 + 10.1) \times 0.7 / 2 \times 2.4) + (\pi \times 2.4^2 \times 2 \times 5.724)] \times 2 \\ & .4 \\ & = (76.89 + 23.436 + 51.8) \times 2.4 = 365.12(\text{tf}) \end{aligned}$$

橋墩浮力：

$$9.05 \times 4.09 \times 1 = 37.01(\text{tf})$$

沉箱全斷面積：

$$(12 - 2.5 \times 2) \times 5 + 2.5^2 \times \pi = 54.63$$

沉箱內填物斷面積：

$$(12 - 2.5 \times 2) \times (5 - 0.7 \times 2) + (2.5 - 0.7)^2 \times \pi = 25.2 + 10.17 = 35.37$$

沉箱重量：

$$\begin{aligned} & [(54.63 - 35.37) \times 2.4 + 35.37 \times 1.9] \times 16 = (46.22 + 67.2) \\ & \times 16 = 1814.72(\text{tf}) \end{aligned}$$

沉箱浮力：

$$54.63 \times 16 \times 1 = 874.08(\text{tf})$$

(5) 土壓力

河床面下土壤單位重為 1.93t/m^3 ，主動土壓力係數為 0.3，被動土壓力係數為 3.39，沖刷後之剩餘長度(h_{left})為 8.15m。

主動土壓力：

$$(1.93-1) \times 8.15 \times 0.3 \times 8.15 / 2 = 9.27\text{t/m}^2$$

被動土壓力：

$$(1.93-1) \times 8.15 \times 3.39 \times 8.15 / 2 = 104.7\text{t/m}^2$$

沉箱底面之總彎矩 M 及軸力 P 計算如下。

$$M = 32.5 \times (2.6/2 + 5.724 + 16) + 18.7 \times (4.09/2 + 16) + 37.4 \times [(16-8.15)/2 + 8.15] + 9.27 \times 8.15/3 - 104.7 \times 8.15/3$$

$$= 32.5 \times 23 + 18.7 \times 18.05 + 37.4 \times 12.08 + 25.18 - 284.4$$

$$= 747.5 + 337.5 + 451.8 + 25.18 - 284.4 = 1277.58(\text{tf-m})$$

$$P = 575.08 + 365.12 + 1814.72 - 37.01 - 874.08 = 1843.83(\text{tf})$$

2. 沉箱極限承载力分析

求得沉箱底部傳入土壤之彎矩 M 與軸力 P 後，可求其偏心距 e

$$e = M/P = 1277.58/1843.83 = 0.693(\text{m})$$

圓形沉箱承受偏心載重時，其有效接觸面積 A_{eff} 乘以 q_u 即可算出其極限承载力。

$$A_{eff} = r^2 (\alpha - \cos \alpha \sin \alpha)$$

式中， r 為沉箱半徑； α 為接觸面積之半圓周角(rad)，其值與偏心率 e/r 有關。

$$\text{由偏心率 } e = 0.693(\text{m})，\text{則有效接觸面積 } A_{eff} = 48.33 \text{ m}^2$$

則沉箱之承载力為

$$q_u = \alpha c N_c + r_2 D_f N_q + 0.5 \beta r_1 B N_r$$

土壤 $c=0$ ， $r_2=r_1=1.93-1=0.93\text{t/m}^3$ ， $D_f=8.15\text{m}$ ， $\phi=33^\circ$ ， $N_q=26.3$ ， $\beta=0.6$ ， $N_r=24.75$ 。

$$q_u = 0.93 \times 8.15 \times 26.3 + 0.5 \times 0.6 \times 0.93 \times 5 \times 24.75 = 199.34 + 34.52 = 233.86(\text{tf})$$

$$Q_u = 233.86 \times 48.35 = 11307(\text{tf})$$

$$Q_c = 11307/3 = 3769(\text{tf})$$

3. 橋墩承載能力計算

橋墩 P37 之承載力安全係數為：

$$FS = \frac{Q_c}{P} = \frac{3769}{1843.83} = 2.04$$

沉箱頂高程 55.8m，另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-10。

表 4-10 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋墩各重現期距之承載安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	沖刷深 度(m)	原裸露 3.06m+沖 刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全 係數 FS/3
一維現況水 理分析	Q ₂	56.43	4.35	4.32	7.38	6.65	2.22
	Q ₅	56.61	4.43	4.44	7.50	6.55	2.18
	Q ₁₀	56.45	4.38	4.36	7.42	6.61	2.2
	Q ₂₀	56.25	4.12	4.51	7.57	6.53	2.18
	Q ₂₅	59.28	4.66	4.48	7.54	6.45	2.15
	Q ₁₀₀	59.89	5.09	4.79	7.85	6.13	2.04
	Q ₂₀₀	59.75	5.14	4.86	7.92	6.07	2.02

沉箱傾覆穩定計算為

$$FS = \frac{1843.83 \times 6 + (104.7 \times 8.15/3)}{32.5 \times (2.6/2 + 5.724 + 16) + 18.7 \times (4.09/2 + 16) + 37.4 \times [(16 - 8.15)/2 + 8.15] + 9.27 \times 8.15/3}$$

$$= \frac{11347.42}{1562.02} = 7.26$$

另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4.11 所示。

表 4-11 海線鐵路大甲溪橋 P37 墩各重現期距之傾覆安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	沖刷深 度(m)	原裸露 3.06m+沖刷 深度(m)	安全係數 FS
一維現況水 理分析	Q ₂	56.43	4.35	4.32	7.38	10.28
	Q ₅	56.61	4.43	4.44	7.50	10.03
	Q ₁₀	56.45	4.38	4.36	7.42	10.22
	Q ₂₀	56.25	4.12	4.51	7.57	10.67
	Q ₂₅	59.28	4.66	4.48	7.54	8.27
	Q ₁₀₀	59.89	5.09	4.79	7.85	7.26
	Q ₂₀₀	59.75	5.14	4.86	7.92	7.25

4.4.7 台 1 線大甲溪橋 P32 橋梁基礎耐洪能力分析

1. 沉箱外力分析

依據橋梁圖 4.14 及圖 4.15 得知，橋梁墩柱 P32 之橋墩寬 3.35m，高 7m，沉箱長 12 m，寬 5.2m，高 18 m，其左右兩跨跨度皆為 40 m，而由水理分析資料可得該橋各洪水頻率重現期之洪水位，首先以 Q₁₀₀ 之洪水位 58.08m 為分析水位高程，其對應之洪水流速為 5.93m/sec，並假設鋼筋混凝土單位重為 2.4 t/m³，進行各作用力之計算如下。

(1) 靜載重

靜載重主要包括橋梁上構與設施的重量、帽梁、橋柱、樁帽、基樁與樁帽上覆土的重量(如果有的話)。上構與設施的重量與橋面寬度，以及橋墩左右兩跨平均跨度的乘積成正比，將此乘積，即柱之載重面積乘以橋梁單位面積上構與設施的重量，就可求得應加在柱頂的垂直載重。

由設計圖可知，上部荷重為 1,232.08 tf(含欄杆、I 型梁及公共設施重量)。

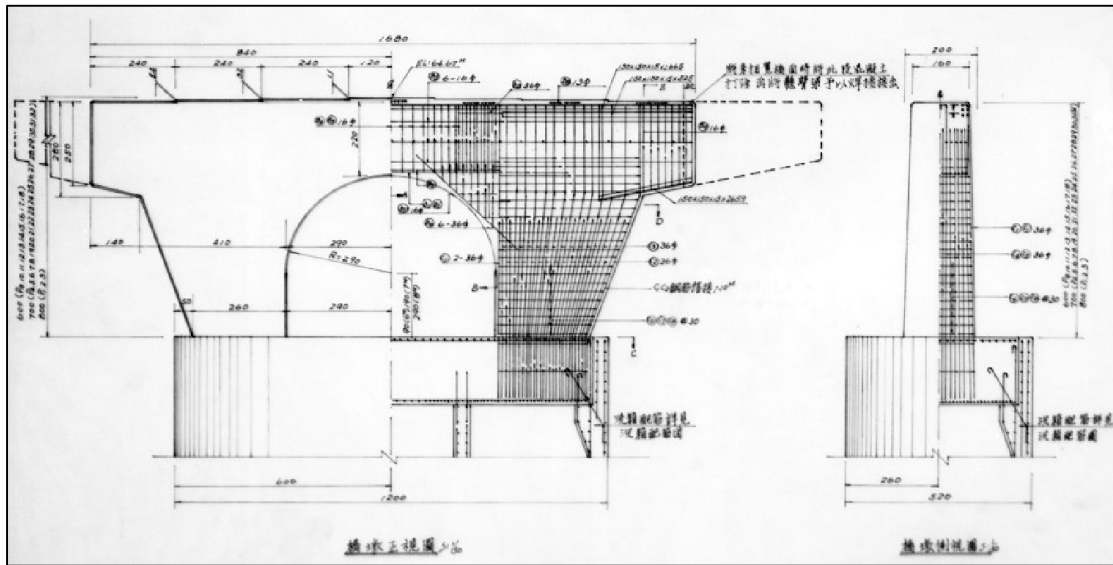


圖 4.14 台 1 線大甲溪橋 P32 大甲溪橋梁立面圖

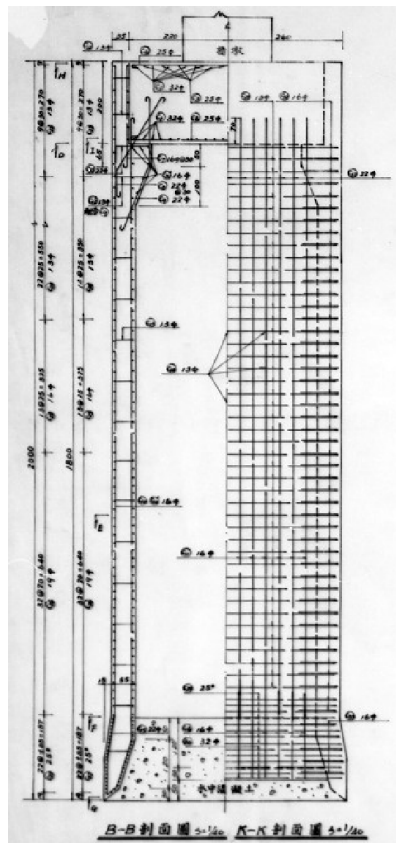


圖 4.15 台 1 線大甲溪橋 P32 大甲溪橋梁基礎圖

(2) 風力

依據公路橋梁設計規範(2009)，風力應考慮兩種情況，其一為高風速時，單位面積所受風壓桁架及拱為 580 kgf/m^2 ，梁為 390 kgf/m^2 ，不必考慮車輛活載重；其二為中風速時，要考慮車輛活載重及作用在車列的風力 240 kgf/m ，作用高度在橋面以上 1.8 m ，然此時應加計作用在橋體上之風力，因風速較小，取高風速時風壓的 0.3 倍計算。

而橋體受風面積以受風面積的高度乘以相鄰兩跨平均跨徑，而受風面積高度包括梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度。

由設計圖可知，受風面積高度為 3.05 m 。因此，風力 F_w 為：

$$0.39 \times 40 \times 3.05 = 47.58(\text{tf})$$

(3) 水流壓力

根據交通部頒布之公路橋梁設計規範第 3.18 節，水流對於橋墩之作用壓力依下式計算之，就基礎為已裸露的沉箱而言，要計算沉箱所受之流水作用力，再將其作用在沉箱上。考量橋墩與沉箱皆為圓頭，故水流作用力常數 K 皆取 0.7，再由設計圖可知，橋墩寬 3.35 m，且有二個橋墩，高(h_p)7 m，浸水深(h_{pw})為 58.08-53.4=4.68 m，沉箱高(h_c)18m，原河床面 49.61m，沉箱頂高程 53.4m，沖刷深度為 5.24m，沖刷後之剩餘長度(h_{left})為 18-9.03=8.97 m，水位為 58.08m，洪水流速為 5.93 m/sec，則橋墩、沉箱所受之水流力 F_p 、 F_c 如下：

$$\text{橋墩水流力 } F_p = 52.5 \times 0.7 \times 5.93^2 \times 3.35 \times 2 \times 4.68 / 1000 = 40.5(\text{tf})$$

$$\text{沉箱水流力 } F_c = 52.5 \times 0.7 \times 5.93^2 \times 5.2 \times 9.03 / 1000 = 60.7(\text{tf})$$

(4) 橋墩與沉箱重量

由設計資料可得橋墩及沉箱之尺寸，假設沉箱內填砂石料之土重為 1.9 tf/m³，則橋墩、沉箱之重量計算如下：

橋墩重量：

$$[(11+12) \times 4.2 / 2 + (12+24.6) \times 1.1 / 2 + 1.66 \times 24.6 - \pi \times 2.9^2 / 2 - 1.9 \times 5.8] \times 1.8 \times 2.4 = 367.3(\text{tf})$$

橋墩浮力：

$$3.35 \times 1.8 \times 4.68 \times 2 \times 1 = 56.4(\text{tf})$$

沉箱全斷面積：

$$(12 - 2.75 \times 2) \times 5.2 + 2.75^2 \times \pi = 57.55$$

沉箱內填物斷面積：

$$3.4 \times 3.4 \times 2 + 1.7^2 \times \pi = 32.2$$

沉箱重量：

$$[(57.55-32.2) \times 2.4 + 32.2 \times 1.9] \times 18 = (60.84 + 61.18) \times 18 = 2196(\text{tf})$$

沉箱浮力：

$$57.55 \times 18 \times 1 = 1035.9(\text{tf})$$

(5) 土壓力

河床面下土壤單位重為 1.93t/m^3 ，主動土壓力係數為 0.3，被動土壓力係數為 3.39，沖刷後之剩餘長度(h_{left})為 8.97m。

主動土壓力：

$$(1.93-1) \times 8.97 \times 0.3 \times 8.97/2 = 11.2\text{t/m}^2$$

被動土壓力：

$$(1.93-1) \times 8.97 \times 3.39 \times 8.97/2 = 126.8\text{t/m}^2$$

沉箱底面之總彎矩及軸力計算如下。

$$M = 47.58 \times (3.05/2 + 7 + 18) + 40.5 \times (4.68/2 + 18) + 60.7 \times [9.03/2 + 8.97] + 11.2 \times 8.97/3 - 126.8 \times 8.97/3$$

$$= 47.58 \times 26.525 + 40.5 \times 20.34 + 60.7 \times 13.5 + 33.5 - 379$$

$$= 1262 + 823.8 + 819.5 + 33.5 - 379 = 2559.8(\text{tf-m})$$

$$P = 1232.08 + 367.3 + 2196 - 56.4 - 1035.9 = 2703(\text{tf})$$

2. 沉箱極限承载力分析

求得沉箱底部傳入土壤之彎矩 M 與軸力 P 後，可求其偏心距 e

$$e = M/P = 2559.8/2703 = 0.95(\text{m})$$

圓形沉箱承受偏心載重時，其有效接觸面積 A_{eff} 乘以 q_u 即可算出其極限承载力。

$$A_{\text{eff}} = r^2(\alpha - \cos \alpha \sin \alpha)$$

式中， r 為沉箱半徑； α 為接觸面積之半圓周角(rad)，其值與偏心率 e/r 有關。

由偏心距 $e=0.689(\text{m})$ ，則有效接觸面積 $A_{eff}=48.5 \text{ m}^2$

則沉箱之承载力為

$$q_u = \alpha c N_c + r_2 D_f N_q + 0.5 \beta r_1 B N_r$$

土壤 $c=0$ ， $r_2=r_1=1.93-1=0.93\text{t/m}^3$ ， $D_f=12.77\text{m}$ ， $\phi=33^\circ$ ， $N_q=26.3$ ， $\beta=0.6$ ， $N_r=24.75$ 。

$$q_u = 0.93 \times 8.97 \times 26.3 + 0.5 \times 0.6 \times 0.93 \times 5.2 \times 24.75 = 219.4 + 35.9 = 255.3(\text{tf})$$

$$Q_u = 255.3 \times 48.5 = 12382(\text{tf})$$

$$Q_c = 12382/3 = 4127(\text{tf})$$

3. 橋墩承载力計算

橋墩 P32 之承载力安全係數為：

$$FS = \frac{Q_c}{P} = \frac{12382}{2703} = 4.58$$

沉箱頂高程 53.4m，另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-12。

表 4-12 台 1 線大甲溪橋 P32 橋墩各重現期距之承载安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度 (m)	安全係數 FS	容許安全係數 FS/3
一維現況 水理分析	Q2	53.95	2.97	3.96	5.64	1.88
	Q5	56.28	4.17	4.21	5.42	1.81
	Q10	56.71	4.63	4.51	5.2	1.73
	Q20	57.14	5.09	4.77	4.99	1.66
	Q25	57.23	5.19	4.84	4.94	1.65
	Q100	58.08	5.93	5.24	4.58	1.53
	Q200	58.39	6.17	5.38	4.45	1.48

沉箱傾覆穩定計算為

$$FS = \frac{2703 \times 6 + (126.8 \times 8.97/3)}{47.58 \times (3.05/2 + 7 + 18) + 40.5 \times (4.68/2 + 18) + 60.7 \times [9.03/2 + 8.97] + 11.2 \times 8.97/3}$$

$$= \frac{16597}{2939} = 5.65$$

另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-13 所示。

表 4-13 台 1 線大甲溪橋 P32 墩各重現期距之傾覆安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	沖刷深度(m)	安全係數 FS
一維現況水理 分析	Q2	53.95	2.97	3.96	11.25
	Q5	56.28	4.17	4.21	8.79
	Q10	56.71	4.63	4.51	7.93
	Q20	57.14	5.09	4.77	7.1
	Q25	57.23	5.19	4.84	6.92
	Q100	58.08	5.93	5.24	5.65
	Q200	58.39	6.17	5.38	5.26

4.4.8 台 61 線大甲溪橋 P39 橋梁基礎耐洪能力分析

橋梁於民國 84 年 1 月竣工，橋長 1,645 m，橋寬 40 m，橋梁結構型式為預力 I 型梁，橋梁跨數 47 跨，跨距 35 m，其基礎型式為沉箱式結構基礎，橋梁橋墩及基礎圖如圖 4.16 至圖 4.17 所示。

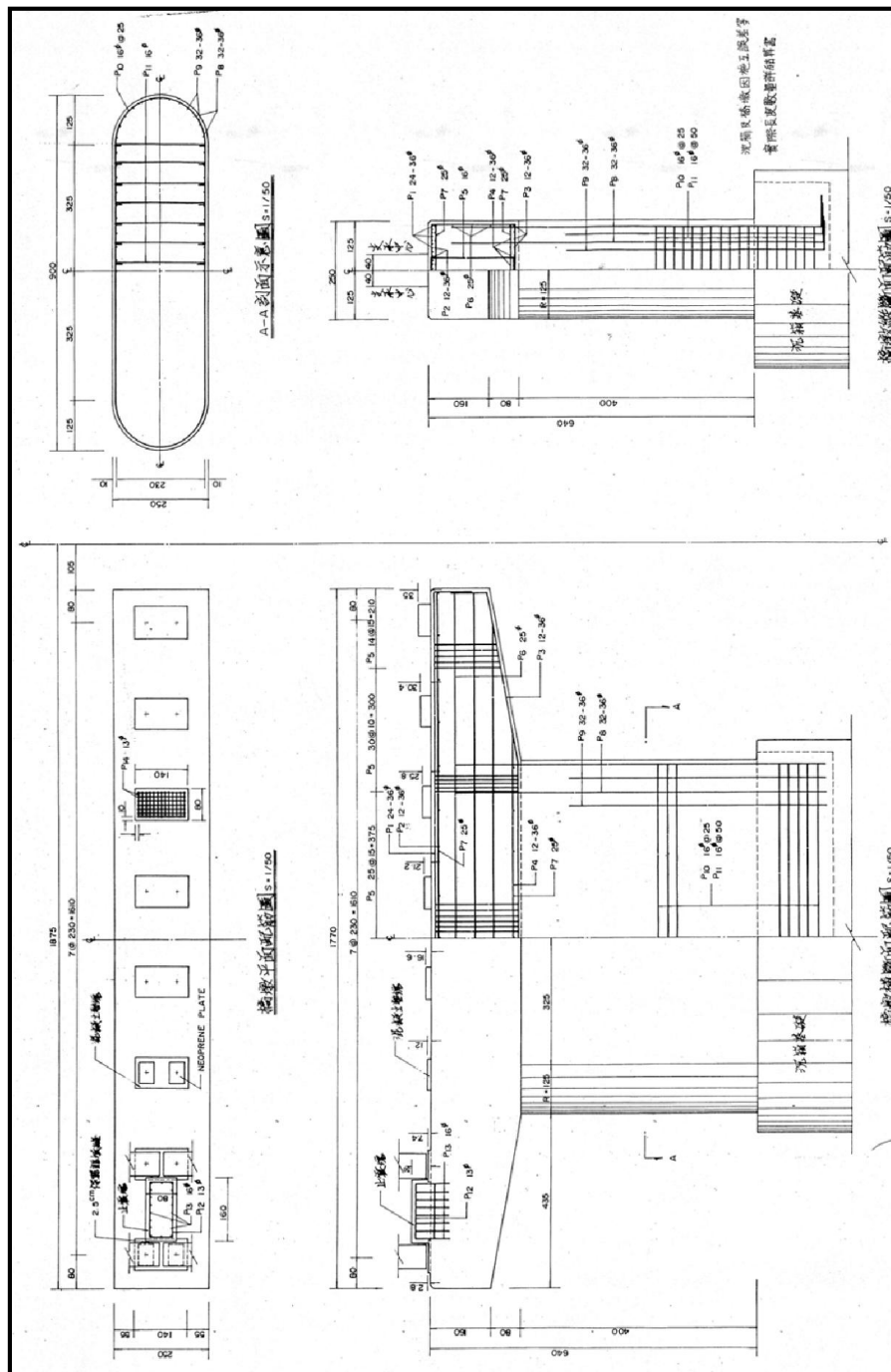


圖 4.16 台 61 線大甲溪橋橋墩圖

1. 沉箱外力分析

依據竣工圖得知，橋梁墩柱 P39 之橋墩長 6.4 m，寬 2.5 m，沉箱長 18 m，直徑 5 m，其左右兩跨跨度皆為 35 m，而由水理分析資料可得該橋各洪水頻率重現期之洪水位，首先以 Q_{100} 之洪水位 16.67m 為分析水位高程，其對應之洪水流速為 3.91 m/sec，並假設鋼筋混凝土單位重為 2.4 t/m^3 ，進行各作用力之計算如下。

(1) 靜載重

靜載重主要包括橋梁上構與設施的重量、帽梁、橋柱、樁帽、基樁與樁帽上覆土的重量(如果有的話)。上構與設施的重量與橋面寬度，以及橋墩左右兩跨平均跨度的乘積成正比，將此乘積，即柱之載重面積乘以橋梁單位面積上構與設施的重量，就可求得應加在柱頂的垂直載重。

由設計圖可知，上部荷重為 889.86tf(含欄杆、I 型梁及公共設施重量)。

(2) 風力

依據公路橋梁設計規範(2009)，風力應考慮兩種情況，其一為高風速時，單位面積所受風壓桁架及拱為 580 kgf/m^2 ，梁為 390 kgf/m^2 ，不必考慮車輛活載重；其二為中風速時，要考慮車輛活載重及作用在車列的風力 240 kgf/m ，作用高度在橋面以上 1.8 m，然此時應加計作用在橋體上之風力，因風速較小，取高風速時風壓的 0.3 倍計算。

而橋體受風面積以受風面積的高度乘以相鄰兩跨平均跨徑，而受風面積高度包括梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度。

由設計圖可知，受風面積高度為 3.05 m。因此，風力 F_w 為：

$$0.39 \times 35 \times 3.05 = 41.6(\text{tf})$$

(3) 水流壓力

根據交通部頒布之公路橋梁設計規範第 3.18 節，水流對於橋墩之作用壓力依下式計算之，就基礎為已裸露的沉箱而言，要計算沉箱所受之流水作用力，再將其作用在沉箱上。考量橋墩與沉箱皆為圓頭，故水流作用力常數 K 皆取 0.7，再由設計圖可知，橋墩寬 2.5 m，高(h_p)6.4 m，浸水深(h_{pw})為 16.67-14=2.67 m，沉箱高(h_c)18m，原河床面 11.59m，沉箱頂高程 14m，沖刷後之剩餘長度(h_{left})為 18-(14-11.59)-4.18=11.41 m。則橋墩、沉箱所受之水流力 F_p 、 F_c 如下：

$$\text{橋墩水流力 } F_p = 52.5 \times 0.7 \times 3.91^2 \times 2.5 \times 2.67 / 1000 = 3.75(\text{tf})$$

$$\text{沉箱水流力 } F_c = 52.5 \times 0.7 \times 3.91^2 \times 5 \times (18 - 11.41) / 1000 = 18.51(\text{tf})$$

(4) 橋墩與沉箱重量

由設計資料可得橋墩及沉箱之尺寸，假設沉箱內填砂石料之土重為 1.9 tf/m³，則橋墩、沉箱之重量計算如下：

橋墩重量：

$$\begin{aligned} & [(17.7 \times 1.6 \times 2.5 + (17.7 + 9) \times 0.8 / 2 \times 2.5) + (6.5 \times 2.5 + \pi \times 1.25^2) \times 4] \times 2.4 \\ & = (70.8 + 26.7 + 84.6) \times 2.4 = 437.04(\text{tf}) \end{aligned}$$

橋墩浮力：

$$(6.5 \times 2.5 + \pi \times 1.25^2) \times 2.67 \times 1 = 21.16 \times 2.67 \times 1 = 56.50(\text{tf})$$

沉箱全斷面積：

$$2.5^2 \times \pi + 5 \times 5 = 19.625 + 25 = 44.625$$

沉箱內填物斷面積：

$$1.9^2 \times \pi + 5 \times (5 - 0.6 \times 2) = 11.33 + 19 = 30.33$$

沉箱重量：

$$\begin{aligned} & [(44.625 - 30.33) \times 2.4 + 30.33 \times 1.9] \times 18 = (34.31 + 57.63) \\ & \times 18 = 1654.92(\text{tf}) \end{aligned}$$

沉箱浮力：

$$44.625 \times 18 \times 1 = 803.25(\text{tf})$$

(5) 土壓力

河床面下土壤單位重為 1.93t/m^3 ，主動土壓力係數為 0.3，被動土壓力係數為 3.39，沖刷後之剩餘長度(h_{left})為 11.41 m。

主動土壓力：

$$(1.93-1) \times 11.41 \times 0.3 \times 11.41 / 2 = 18.16\text{t/m}^2$$

被動土壓力：

$$(1.93-1) \times 11.41 \times 3.39 \times 11.41 / 2 = 205.2\text{t/m}^2$$

沉箱底面之總彎矩 M 及軸力 P 計算如下。

$$M = 41.6 \times (3.05/2 + 6.4 + 18) + 3.75 \times (2.67/2 + 18) + 18.51 \times [(18 - 11.41)/2 + 11.41] + 18.16 \times 11.41/3 - 205.2 \times 11.41/3$$

$$= 41.6 \times 25.93 + 3.75 \times 19.34 + 18.51 \times 14.71 + 69.07 - 780.45$$

$$= 1078.7 + 72.53 + 272.28 + 69.07 - 780.45 = 712.13(\text{tf-m})$$

$$P = 889.86 + 437.04 - 56.5 + 1654.92 - 803.25 = 2122.07(\text{tf})$$

2. 沉箱極限承载力分析

求得沉箱底部傳入土壤之彎矩 M 與軸力 P 後，可求其偏心距 e

$$e = M/P = 712.13/2122.07 = 0.34(\text{m})$$

圓形沉箱承受偏心載重時，其有效接觸面積 A_{eff} 乘以 q_u 即可算出其極限承载力。

$$A_{\text{eff}} = r^2(\alpha - \cos \alpha \sin \alpha)$$

式中， r 為沉箱半徑； α 為接觸面積之半圓周角(rad)，其值與偏心率 e/r 有關。

由偏心距 $e=0.245(\text{m})$ ，則有效接觸面積 $A_{eff}=41.64 \text{ m}^2$

則沉箱之承载力為

$$q_u = \alpha c N_c + r_2 D_f N_q + 0.5 \beta r_1 B N_r$$

土壤 $c=0$ ， $r_2=r_1=1.93-1=0.93\text{t/m}^3$ ， $D_f=12.22\text{m}$ ， $\phi=33^\circ$ ， $N_q=26.3$ ， $\beta=0.6$ ， $N_r=24.75$ 。

$$q_u = 0.93 \times 11.41 \times 26.3 + 0.5 \times 0.6 \times 0.93 \times 5 \times 24.75 = 279.08 + 34.53 = 313.61(\text{tf})$$

$$Q_u = 313.61 \times 41.64 = 13059(\text{tf})$$

$$Q_c = 13059/3 = 4353(\text{tf})$$

3. 橋墩承载力計算

橋墩 P39 之承载力安全係數為：

$$FS = \frac{Q_c}{P} = \frac{13059}{2122.07} = 6.15$$

另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-14。

表 4-14 台 61 線大甲溪橋 P39 橋墩各重現期距之承载安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全係 數 FS/3
一維現況水理 分析	Q ₂	14.58	2.89	3.58	6.52	2.17
	Q ₅	14.60	2.89	3.74	6.42	2.14
	Q ₁₀	15.92	3.03	3.55	6.6	2.2
	Q ₂₀	16.15	3.25	3.70	6.49	2.16
	Q ₂₅	16.21	3.43	3.78	6.43	2.14
	Q ₁₀₀	16.67	3.91	4.18	6.15	2.05
	Q ₂₀₀	16.88	4.18	4.29	6.06	2.02

沉箱傾覆穩定計算為

$$FS = \frac{2122.07 \times 5 + (205.2 \times 11.41/3)}{41.6 \times (3.05/2 + 6.4 + 18) + 3.75 \times (2.67/2 + 18) + 18.51 \times [(18 - 11.41)/2 + 11.41] + 18.16 \times 11.41/3}$$

$$= \frac{11391}{1492.58} = 7.63$$

另依據不同洪水回歸週其分析結果如表 4-15 所示。

表 4-15 台 61 線大甲溪橋 P39 橋墩各重現期距之傾覆安全係數計算

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	安全係數 FS
一維現況水 理分析	Q ₂	14.58	2.89	3.58	8.99
	Q ₅	14.60	2.89	3.74	8.96
	Q ₁₀	15.92	3.03	3.55	8.65
	Q ₂₀	16.15	3.25	3.70	8.4
	Q ₂₅	16.21	3.43	3.78	8.23
	Q ₁₀₀	16.67	3.91	4.18	7.63
	Q ₂₀₀	16.88	4.18	4.29	7.31

4.5 橋梁耐洪能力分析比較

4.5.1 新山線鐵路橋 P4 橋梁基礎耐洪能力比較

新山線鐵路橋 P4 於 101 年河床面高程為 212.15m，現河床面高程為 210.22m，降低 1.93m，101 年及 102 年分析之安全係數比較如表 4-16。

表 4-16 新山線鐵路橋 P4 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表

洪水頻率	101 年分析結果		102 年分析結果		
	現河床面 212.15m + 沖刷深度(EL)(m)	樁帽底部 高程為 205.1m	現河床面 210.22m 於樁帽底上 5.12m 沖刷深度(EL)(m)	安全係 數 FS	容許安 全係數 FS/3
Q ₂	207.79	基礎未沖刷	基礎未沖刷		
Q ₅	207.33	基礎未沖刷	0.06	4.68	1.56
Q ₁₀	207.1	基礎未沖刷	0.26	4.61	1.54
Q ₂₀	206.9	基礎未沖刷	0.49	4.53	1.51
Q ₂₅	206.77	基礎未沖刷	0.53	4.5	1.5
Q ₁₀₀	206.09	基礎未沖刷	1.07	4.27	1.42
Q ₂₀₀	205.8	基礎未沖刷	1.27	4.18	1.39

4.5.2 后豐大橋 PB 橋梁基礎耐洪能力比較

后豐大橋 PB 於 101 年河床面高程為 196.14m，現河床面高程為 195.48m，降低 0.66m，101 年及 102 年分析之安全係數比較如表 4-17。

表 4-17 后豐大橋 PB 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表

洪水頻率	101 年分析結果		102 年分析結果		
	現河床面於 196.14m 樁帽底上 6.64m 沖刷深度(m)	安全係數 FS	現河床面於 195.48m 樁帽底上 5.98m 沖刷深度(m)	安全係數 FS	容許安 全係數 FS/3
Q ₂	基礎未沖刷		基礎未沖刷		
Q ₅	基礎未沖刷		基礎未沖刷		
Q ₁₀	基礎未沖刷		基礎未沖刷		
Q ₂₀	基礎未沖刷		基礎未沖刷		
Q ₂₅	基礎未沖刷		基礎未沖刷		
Q ₁₀₀	基礎未沖刷		0.54	9.27	3.09
Q ₂₀₀	0.14	9.47	0.85	9.12	3.04

4.5.3 國道 1 號大甲溪橋 P12E 橋梁基礎耐洪能力比較

國道 1 號大甲溪橋 P12E 於 101 年河床面高程為 171.51m，現河床面高程為 167.81m，降低 3.7m，101 年及 102 年分析之安全係數比較如表 4-18。

表 4-18 國道 1 號大甲溪橋 P12E 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表

洪水頻率	101 年分析結果		102 年分析結果		
	現河床面於樁帽底上 2.03m 沖刷深度(m)	安全係數 FS	現河床面於樁帽底 169.48m 下 1.67m 沖刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全係數 FS/3
Q ₂	1.74	5.71	5.46	4.03	1.34
Q ₅	1.93	5.54	5.66	3.88	1.29
Q ₁₀	2.25	5.33	5.92	3.79	1.27
Q ₂₀	2.47	5.15	6.17	3.51	1.17
Q ₂₅	2.56	5.16	6.23	3.47	1.16
Q ₁₀₀	2.82	4.9	6.67	3.14	1.05
Q ₂₀₀	2.98	4.72	6.69	3.09	1.03

4.5.4 高鐵大甲溪橋 P20 橋梁基礎耐洪能力比較

高鐵大甲溪橋 P20 於 101 年河床面高程為 134.05m，現河床面高程為 131.56m，降低 2.49m，101 年及 102 年分析之安全係數比較如表 4-19。

表 4-19 高鐵大甲溪橋 P20 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表

	101 年分析結果		102 年分析結果		
洪水頻率	現河床面於 134.05m 樁帽底上 5.05m 沖刷深度(m)	安全係 數 FS	現河床面於 131.56m 樁帽底 上 2.56m 沖刷深度(m)	安全係 數 FS	容許安全 係數 FS/3
Q ₂	基礎未沖刷		2.27	4.09	1.36
Q ₅	基礎未沖刷		2.41	4.05	1.35
Q ₁₀	基礎未沖刷		2.35	4.06	1.35
Q ₂₀	4.64	1.54	2.48	4.02	1.34
Q ₂₅	4.62	1.54	2.55	4	1.33
Q ₁₀₀	4.44	1.48	3.11	3.79	1.26
Q ₂₀₀	4.36	1.45	3.39	3.68	1.23

4.5.5 國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋梁基礎耐洪能力比較

國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋墩於 101 年河床面高程為 69.12m，現河床面高程為 68.01m，降低 1.11m，101 年及 102 年分析之安全係數比較如表 4-20。

表 4-20 國道 3 號大甲溪橋 P24L 橋墩 101 年及 102 年安全係數比較表

	101 年分析結果		102 年分析結果		
洪水頻率	現河床面於樁帽 底上 1.02m 沖刷深 度(m)	FS 安全 係數	現河床面於樁帽底 下 0.09m 沖刷深度 (m)	安全係數 FS	容許安 全係數 FS/3
Q ₂	2.9	3.89	4.11	3.58	1.19
Q ₅	2.93	3.89	4.34	3.53	1.18
Q ₁₀	3.15	3.84	4.23	3.6	1.2
Q ₂₀	3.44	3.76	4.47	3.53	1.18
Q ₂₅	3.94	3.51	4.48	3.53	1.18
Q ₁₀₀	3.97	3.59	4.97	3.36	1.12
Q ₂₀₀	4.22	3.51	5.21	3.27	1.09

4.5.6 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋梁基礎耐洪能力比較

海線鐵路大甲溪橋 P37 於 101 年河床面高程為 51.82m，現河床面高程為 52.71m，上升 0.92m，101 年及 102 年分析之承載及傾覆安全係數比較如表 4-21 及表 4-22。

表 4-21 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋墩 101 年及 102 年承載安全係數比較表

	101 年分析結果		102 年分析結果		
洪水頻率	裸露 3.98m+ 沖刷深度 (m)	安全係數 FS	裸露 3.06m+ 沖刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全係 數 FS/3
Q ₂	6.99	6.94	7.38	6.65	2.22
Q ₅	7.13	6.88	7.5	6.55	2.18
Q ₁₀	7.31	6.7	7.42	6.61	2.2
Q ₂₀	7.48	6.53	7.57	6.53	2.18
Q ₂₅	7.53	6.47	7.54	6.45	2.15
Q ₁₀₀	7.91	6.09	7.85	6.13	2.04
Q ₂₀₀	8	5.98	7.92	6.07	2.02

表 4-22 海線鐵路大甲溪橋 P37 橋墩 101 年及 102 年傾覆安全係數比較表

	101 年分析結果		102 年分析結果		
洪水頻率	原裸露 3.98m+沖刷 深度(m)	安全係 數 FS	沖刷深度(m)	原裸露 3.06m+沖 刷深度(m)	安全係數 FS
Q ₂	6.99	12.41	4.32	7.38	10.28
Q ₅	7.13	10.11	4.44	7.5	10.03
Q ₁₀	7.31	9.33	4.36	7.42	10.22
Q ₂₀	7.48	8.65	4.51	7.57	10.67
Q ₂₅	7.53	8.47	4.48	7.54	8.27
Q ₁₀₀	7.91	7.26	4.79	7.85	7.26
Q ₂₀₀	8	6.84	4.86	7.92	7.25

4.5.7 台 1 線大甲溪橋 P32 橋梁基礎耐洪能力比較

台 1 線大甲溪橋 P32 於 101 年河床面高程為 53.4m，現河床面高程為 49.61m，降低 3.79m，101 年及 102 年分析之承載及傾覆安全係數比較如表 4-23 及表 4-24。

表 4-23 台 1 線大甲溪橋 P32 橋墩 101 年及 102 年承載安全係數比較表

	101 年分析結果		102 年分析結果		
洪水頻率	冲刷深度(m)	安全係數 FS	冲刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全係數 FS/3
Q ₂	3.94	7.86	3.96	5.64	1.88
Q ₅	4.39	7.53	4.21	5.42	1.81
Q ₁₀	4.6	7.29	4.51	5.2	1.73
Q ₂₀	4.77	7.13	4.77	4.99	1.66
Q ₂₅	4.84	7.08	4.84	4.94	1.65
Q ₁₀₀	5.23	6.69	5.24	4.58	1.53
Q ₂₀₀	5.39	6.5	5.38	4.45	1.48

表 4-24 台 1 線大甲溪橋 P32 橋墩 101 年及 102 年傾覆安全係數比較表

	101 年分析結果		102 年分析結果	
洪水頻率	冲刷深度(m)	安全係數 FS	冲刷深度(m)	安全係數 FS
Q ₂	3.94	10.12	3.96	11.25
Q ₅	4.39	9.47	4.21	8.79
Q ₁₀	4.6	8.27	4.51	7.93
Q ₂₀	4.77	7.7	4.77	7.1
Q ₂₅	4.84	7.66	4.84	6.92
Q ₁₀₀	5.23	6.45	5.24	5.65
Q ₂₀₀	5.39	5.94	5.38	5.26

4.5.8 台 61 線大甲溪橋 P39 橋梁基礎耐洪能力比較

台 61 線大甲溪橋 P39 於 101 年河床面高程為 12.42m，現河床面高程為 11.59m，降低 0.83m，101 年及 102 年分析之承載及傾覆安全係數比較如表 4-25 及表 4-26。

表 4-25 台 61 線大甲溪橋 P39 橋墩 101 年及 102 年承載安全係數比較表

洪水頻率	101 年分析結果		102 年分析結果		
	原裸露 1.58m+沖刷 深度(m)	安全係數 FS	沖刷深度 (m)	安全係 數 FS	容許安全係 數 FS/3
Q ₂	5.16	7.08	3.58	6.52	2.17
Q ₅	5.24	7.05	3.74	6.42	2.14
Q ₁₀	5.21	7.08	3.55	6.6	2.2
Q ₂₀	5.4	6.93	3.7	6.49	2.16
Q ₂₅	5.64	6.78	3.78	6.43	2.14
Q ₁₀₀	5.78	6.63	4.18	6.15	2.05
Q ₂₀₀	5.96	6.51	4.29	6.06	2.02

表 4-26 台 61 線大甲溪橋 P39 橋墩 101 年及 102 年傾覆安全係數比較表

洪水頻率	101 年分析結果		102 年分析結果	
	原裸露 1.58m+沖 刷深度(m)	安全係 數 FS	沖刷深度(m)	安全係 數 FS
Q ₂	5.16	9.19	3.58	8.99
Q ₅	5.24	8.98	3.74	8.96
Q ₁₀	5.21	8.72	3.55	8.65
Q ₂₀	5.4	8.45	3.7	8.4
Q ₂₅	5.64	8.42	3.78	8.23
Q ₁₀₀	5.78	7.73	4.18	7.63
Q ₂₀₀	5.96	7.41	4.29	7.31

第五章 結論與建議

臺灣地理環境特殊，中央山脈高峰處超過 3000 公尺，但東西最寬處僅約 150 公里，造成臺灣河川坡度陡、流速急的現象，加上颱風豪雨的侵襲，面對目前及未來更為嚴峻的氣候變化挑戰，跨河橋梁如何提高安全性，颱風豪雨前如何了解跨河橋梁安全性，亟需研究。

本計畫預期目標如下：1. 大甲溪跨河橋梁水位監測 2. 大甲溪跨河橋梁一維水理分析 3. 大甲溪跨河橋梁各頻率年流量可能沖刷深度推估 4. 大甲溪跨河橋梁安全分析。

在此目標下，本研究於大甲溪石岡壩下游橋梁安裝水壓計以了解颱風洪期各橋址之水位，並藉以驗證一維水理分析結果，一維水理分析以 102 年 7 月蘇力颱風、102 年 8 月潭美颱風及康芮颱風為例，得到石岡壩下游后豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 大甲溪橋各橋址處水位並與監測值做比較驗證，再進行各橋各頻率年流量可能沖刷深度推估，最後將大甲溪石岡壩以下跨河橋梁做為案例分析其基礎耐洪安全係數，研究成果期能提供橋樑管理單位進行颱風可能災害之預警參考。

5.1 結論

1. 本研究利用水壓計進行大甲溪水位監測，得到后豐大橋、國 1 大甲溪橋、國 3 大甲溪橋及台 1 大甲溪橋水位資料進行 102 年蘇力颱風、潭美颱風及康芮颱風一維水理分析驗證，並分析得到大甲溪下游邊界潮位影響範圍。
2. 本研究水壓計加設保護設施及改變安裝位置後，於大甲溪卵礫石河床質環境，將水壓計安裝於橋墩背水面加設保護蓋且高程依現地考量斟酌放置能有較佳的監測成果。
3. 本研究利用一維水理分析各頻率年流量下大甲溪石岡壩以下各跨河

橋梁之水位、流速及可能沖刷深度。

4. 由本文 101 年及 102 年的耐洪能力比較，大甲溪的橋梁雖仍在安全範圍內，但其安全性隨河床沖刷而逐漸降低，其中國道 1 號大甲溪橋的 P12E 橋墩 Q100、Q200 的容許安全係數為 1.05 及 1.03。
5. 本研究分析大甲溪石岡壩以下各跨河橋梁之水位、流速及可能沖刷深度進行各橋梁安全分析，期能提供橋梁管理單位參考。

5.2 建議

1. 未來可持續蒐集大甲溪河道變化情形、地形斷面資料及各橋梁水位、流量及沖刷深度資料，並與一維水理分析及沖刷深度推估結果進行驗證。

5.3 研究成果之效益

本研究成果與效益有：

1. 本研究利用橋梁安裝水壓計以了解颱風期各橋址之水位，並藉以驗證一維水理分析結果。
2. 本研究建立大甲溪石岡壩以下一維水理分析模式並驗證。
3. 本研究建立各頻率年流量下各橋之水位、流速、可能沖刷深度及安全係數推估。

5.4 提供政府單位應用情形

1. 本研究建立各頻率年流量下各橋之水位、流速、可能沖刷深度及安全係數推估，期能提供橋樑管理單位進行颱風可能災害之預警參考。
2. 本研究建立之水位監測，可提供本所及學術單位研究分析及驗證使用。

參考文獻

1. 邱永芳、謝明志、賴瑞應、林雅雯、林三賢等 (2011),「跨河橋梁安全評估之研究」,交通部運輸研究所, pp.7-18-7-40。
2. 邱永芳、林雅雯、游保杉等(2013),「跨河橋梁流域管理方法與驗證之研究」,交通部運輸研究所, pp.1-5-1-24 及 pp.5-43-5-46。
3. 「中區水資源永續經營管理策略規劃」(2006),經濟部水利署。
4. 「101 年度大甲溪、筏子溪大斷面測量工作計畫-測量成果報告」(2012),經濟部水利署。
5. 「大甲溪流域聯合整體治理規劃檢討」(2005),經濟部水利署水利規劃試驗所。
6. 「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」(2009),經濟部水利署水利規劃試驗所。
7. 「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究總報告」(2011),經濟部水利署。
8. 「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」(2006),交通部公路總局。
9. 公路橋梁設計規範(2009),交通部。
10. 「100 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告」(2012),經濟部水利署。
11. 「102 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面及地形測量測量成果報告書」(2013),經濟部水利署。
12. 葉克家、王書益、吳偉明等,「美國國家計算水科學及工程中心河道變遷模式之引進及應用研究(1/3)」(2007),經濟部水利署水利規劃試驗所。

13. 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心，「高科技橋梁檢測系統建置試辦計畫期末報告(修正版)」(2012)，交通部臺灣區國道高速公路局。
14. 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心，「國道 1 號與國道 3 號大甲溪橋後續沖刷監測維護工作期末報告」(2013)，交通部臺灣區國道高速公路局。

附錄一

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.港研中心第一科研究員賴聖耀(已退休)	1. 本研究在河道的災害調查，水理分析模式的建立，水位之監測，水理模式之模擬與實測水位的比較，及橋樑安全分析等，皆有完整的分析與監測，對於颱洪期間，橋樑的安全，提供可靠的預警資訊；整體的研究，具有深度與完整性，值得嘉許。 2. 由本文 101 年及 102 年的耐洪能力比較，大甲溪的橋梁，雖然都仍在安全範圍內，但其安全性皆逐年降低，其中國道 1 號大甲溪橋的 P12E 橋墩 Q100、Q200 的容許安全係數，已瀕臨安全臨界值 1.0。宜將其列在結論當中，提醒相關單位的注意。 3. 本文的水理分析模式，對於水位的預測值，有水位監測資料可驗證比較；但對於橋梁安全分析極為重要的沖刷深度預測，卻無實測資料可驗證，實屬可惜；在未來的研究，宜加強沖刷深度的驗證。	1.感謝委員的肯定。 2. 感謝委員建議，已補充於結論。 3.感謝委員建議，未來研究將加強此方面內容驗證。

審查委員	審查意見	處理情形
2.中興大學土木工程學系林炳森教授	1. 水位監測與跨河橋樑安全分析之成果具有工程實用價值。 2. 水壓計如何保護，與裝設高程應加強說明。 3. 第3章實測水位與一維模擬值有相異，應加以說明。 4. 沖刷深度若有實測值比較，應列入。 5. 參考文獻應加強。	1. 感謝委員的肯定。。 2.此部份已補充於2.2及2.3節。 3. 加強說明於報告3.2~3.4章節。 4.感謝委員建議，目前並無可用之沖刷資料。 5.感謝委員建議，已補充加強。
3.成功大學土木系陳景文教授	1. 水壓計安裝位置規劃均在不同橋樑，唯是安裝於橋之何位置，應說明。 2. 類似計畫公路總局亦執行過，應列入參考。 3. 模擬水位值應考慮當天之氣象資訊，如是否在豪雨天或風力級。 4. 沖刷深度有否與實測進行比對。 5. 安全分析之安全係數定義為何，請說明。	1.此部份已補充於2.2及2.3節 2.感謝委員建議，已列入參考。 3.感謝委員建議，已列入參考。 4.感謝委員建議，目前並無可用之沖刷資料。 5.已補充於報告4.2及4.3章節。

審查委員	審查意見	處理情形
4.本所港研中心李豐博副主任(已退休)	1. 本研究經由現場監測、水理模擬分析，進行大甲溪跨河橋樑耐洪安全分析，成果甚具實務參考與應用價值。 2. 第3章中各颱風期間對各橋之模擬與實測水位比較，顯示國3大甲溪橋有較大差異，其原因宜進一步探討說明。 3. 第5章結論列述失之簡略，宜強化包括模式驗證，橋梁耐洪安全分析等研究成果說明。 4. 本研究相關之現場監測宜持續進行，以取得充分之驗證資料。	1.感謝委員的肯定。 2.感謝委員建議，將蒐集更多的水位紀錄等，加強佐證分析。 3.感謝委員建議，已強化結論。 4.感謝委員建議，將持續進行相關驗證資料之蒐集。

附錄二

期末報告簡報資料

跨河橋梁安全分析與水位監測 之研究 (2/2)

林雅雯研究員

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
中華民國104年02月11日



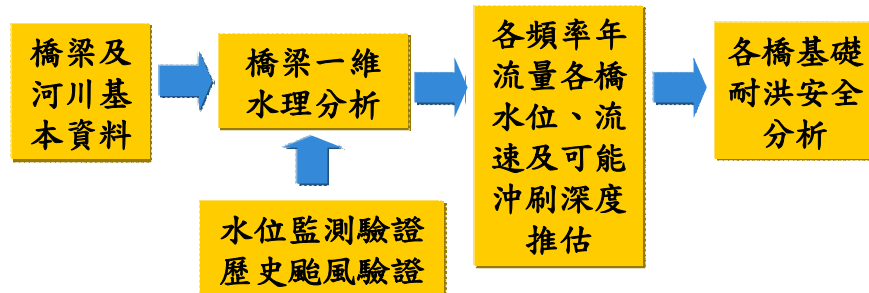
1

報告內容

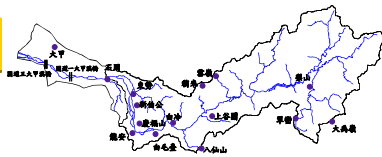
- 一、研究緣起、目的及範圍
- 二、大甲溪跨河橋梁水位監測
- 三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析
- 四、大甲溪跨河橋梁安全分析
- 五、結論與建議

交通部運輸研究所 2

一、研究緣起、目的及範圍



研究範圍



大甲溪石岡壩以下
跨河橋梁

研究成果期能提供橋樑管理單位進行颱洪可能災害之預警參考。

交通部運輸研究所 3

一、研究緣起、目的及範圍

依據水利署第三河川局提供「102年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告書」(102年12月)測量結果，橋址處101年至102年平均河床高程差值及綫線高程差值如下：

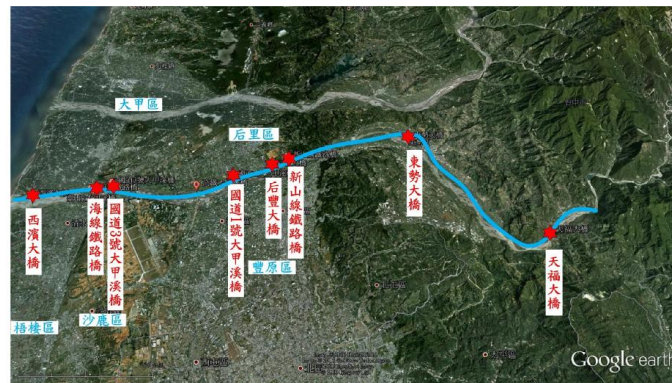
橋址	斷面號	101年平均河床高(m)	102年平均河床高(m)	102年-101年 平均河床 高程差值 (m)	101年綫 線高(m)	102年綫 線高(m)	102年-101年 綫線 高程差值 (m)
新山線鐵路橋	30-1	215	214.44	-0.56	212.39	211.54	-0.85
后豐大橋	28-1	197.69	197.2	-0.49	195.95	196.28	0.33
國1大甲溪橋	23-1	172.36	172.2	-0.16	169.91	167.81	-2.1
高速鐵路橋	19-1	136.61	136.6	-0.01	134.05	131.56	-2.49
國3大甲溪橋	9-1	71.33	71.15	-0.18	69.12	67.78	-1.34
海線鐵路橋	7-2	56.91	57.47	0.56	51.82	52.74	0.92
台1線大甲溪橋	7-1	56.1	55.41	-0.69	53.88	49.61	-4.27
台61線大甲溪橋	1-1	14.82	14.65	-0.17	12.42	11.56	-0.86

交通部運輸研究所 4

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝位置規劃

安裝橋梁為天福大橋、東勢大橋、新山線鐵路橋、后豐大橋、國1大甲溪橋、國3大甲溪橋、海線鐵路橋、西濱大橋，共 8 座。



交通部運輸研究所 5

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計

壓力式波浪儀為一水下自錄儀器，外徑105mm、筒高475mm、重量5kgs，配有壓力感測器及4MB記憶體及電池1號鹼性電池(8顆)，具大量資料儲存功能，耗電量低，可作定時資料採集或連續式長期置於偵測現場。



壓力式波浪儀



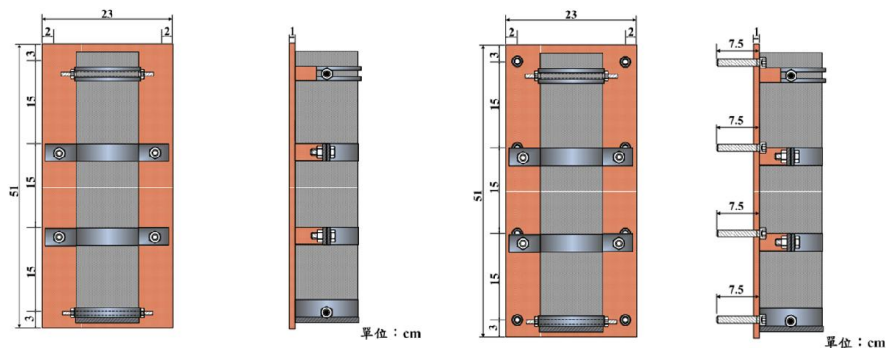
壓力式波浪儀溫度及壓力感測器

交通部運輸研究所

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝方式規劃

橋墩表面有**包覆鋼板及混凝土**(未包覆鋼版)兩種形式，針對以上兩種形式鐵架採下列方法作為固定方式：



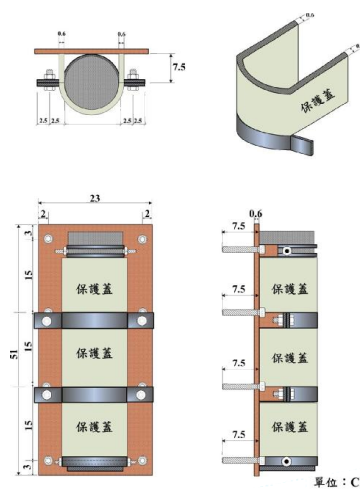
焊接方式：若固定位置為鋼版區域，則使用焊接方式使鐵架與橋墩固定。

螺栓方式：若固定位置為混凝土區域，則使用螺栓方式使鐵架與橋墩固定。

交通部運輸研究所 7

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

保護蓋：為防止水壓計受洪水伴隨著石塊衝擊而損壞，另行設計保護蓋加裝於鐵架。



單位：CM

交通部運輸研究所 8

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

天福大橋

安裝橋墩為P2，安裝日期為102年7月10日，儀器編號為0521-1，取樣頻率為5min/一筆，固定方式為**螺栓固定**，**未加裝保護蓋**，儀器於7月13日**蘇力颱風後遭掩埋**，於11月27日現場開挖後發現**水壓計及鐵架皆遺失**，日後解決對策：將水壓計加裝保護蓋並提高裝設高程。



水壓計安裝(102年7月10日)



水壓計及鐵架遺失(102年11月27日)

交通部運輸研究所 9

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

東勢大橋

安裝橋墩為P3，安裝日期為2013年7月10日，儀器編號為0509-1，取樣頻率為5min/一筆，固定方式為**焊接固定**，**未加裝保護蓋**，儀器於7月13日蘇力颱風後已**表面破損**，於10月7日將儀器取回，更換新水壓計，並將鐵架加焊保護蓋以及**更改水壓計安裝位置**，取樣頻率為1min/一筆。



水壓計安裝(102年7月10日)



儀器表面破損更換水壓計，並將**鐵架加焊保護蓋及更改水壓計安裝位置**(102年10月7日)

交通部運輸研究所10

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

東勢大橋

103年因應颱風洪期之到來，於6月20日至現場拆解舊水壓計**換新電池**後再次安裝。



拆解舊水壓計換新電池後，再安裝(103年6月20日)

交通部運輸研究所11

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

新山線鐵路橋

安裝橋墩為P5，安裝日期為2013年7月10日，取樣頻率為5min/一筆，固定方式為**焊接固定**，**未加裝保護蓋**，儀器於7月13日蘇力颱風後依舊完好，於8月19日至現場取回儀器並原位置更換新水壓計儀器編號0521-3，取樣頻率為1min/一筆並於9月14日至現場加裝保護蓋。



水壓計安裝(2013年7月10日)

水壓計取回並安裝新水壓計(2013年8月19日)**及保護蓋加裝(2013年9月14日)**

交通部運輸研究所12

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

新山線鐵路橋

103年因應颱洪期之到來且原設置位置略為過高，於6月20日至現場拆解舊水壓計換新電池**降低高程**後再次安裝。



拆解舊水壓計，位置更動並換新電池後再安裝（103年6月20日）

交通部運輸研究所13

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

后豐大橋

安裝橋墩為PB，安裝日期為2013年7月10日，取樣頻率為5min/一筆，固定方式為**焊接固定**，**未加裝保護蓋**，儀器於7月13日蘇力颱風後外觀破損，經確認**已損壞**，安裝位置並已形成一深潭，於9月9日至現場取回損壞之水壓計，日後解決對策：將水壓計加裝保護蓋並改變裝設位置。



水壓計安裝(2013年7月10日)

水壓計取回(2013年9月9日)

交通部運輸研究所14

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

后豐大橋

103年因應颱風洪期之到來，於6月20日至現場**新設安裝水壓計**一組。



現場新設安裝水壓計一組(103年6月20日)

交通部運輸研究所15

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

國道1號大甲溪橋

安裝橋墩為P21-2，安裝日期為2013年9月14日，儀器編號為0510-1，取樣頻率為1min/一筆，固定方式為**焊接固定，有加焊保護蓋**。



水壓計安裝(2013年9月14日)

交通部運輸研究所16

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

國道1號大甲溪橋

103年因應颱風洪期之到來且原設置位置略為過高，於6月20日至現場拆解舊水壓計換新電池**降低高程**後再次安裝。



拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝（103年6月20日）

交通部運輸研究所17

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

國道3號大甲溪橋

安裝橋墩為**P33-R**，安裝日期為2013年9月14日，儀器編號為0521-2，取樣頻率為1min/一筆，固定方式為**螺栓固定，有加焊保護蓋**。



水壓計安裝(2013年9月14日)

交通部運輸研究所18

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

國道3號大甲溪橋

103年因應颱風洪期之到來，於6月20日至現場拆解舊水壓計**換新電池**後再次安裝。



拆解舊水壓計換新電池後再次安裝(103年6月20日)

交通部運輸研究所19

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

海線鐵路橋

安裝橋墩為P38，安裝日期為2013年7月11日，取樣頻率為1min/一筆，固定方式為**螺栓固定，未加保護蓋**，儀器於7月13日蘇力颱風後外觀破損，經確認**已損壞**，於10月7日至現場取回損壞之水壓計，更換水壓計安裝位置安裝新水壓計並加焊保護蓋。



水壓計安裝(2013年7月11日)

更換水壓計安裝位置安裝新水壓計並加焊保護蓋 (2013年10月7日)

交通部運輸研究所20

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

海線鐵路橋

103年因應颱洪期之到來且原設置位置略為過低，於6月23日至現場拆解舊水壓計換新電池**提高高程**後再次安裝。



拆解舊水壓計換新電池降低高程後再次安裝（103年6月23日）

交通部運輸研究所21

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

西濱大橋

安裝橋墩為P39，安裝日期為2013年7月11日，取樣頻率為1min/一筆，固定方式為**螺栓固定，未加裝保護蓋**，儀器於7月13日蘇力颱風後遭掩埋，於11月20日現場人工開挖方式取回水壓計及鐵架，水壓計表面無破損，經確認**水壓計功能正常**，日後解決對策：將水壓計加裝保護蓋並改變裝設位置。



水壓計安裝(2013年7月11日)

水壓計及鐵架取回(2013年11月20日)

交通部運輸研究所22

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計安裝結果

西濱大橋

103年因應颱風洪期之到來，於6月20日至現場**新設安裝水壓計**一組。



現場新設安裝水壓計一組(103年6月23日)

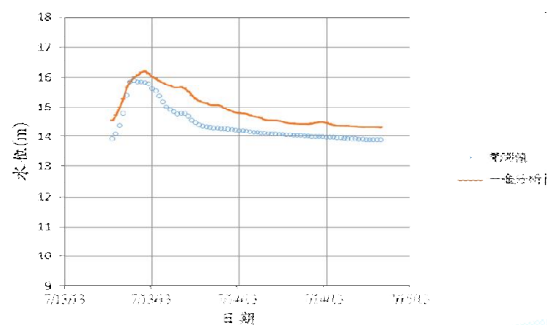
交通部運輸研究所23

二、大甲溪跨河橋梁水位監測

水壓計監測結果

西濱大橋

西濱大橋水壓計水壓計蘇力颱風期間之水壓紀錄，換算為水位高程後與一維水理分析模擬值比較，水理分析西濱大橋水位**模擬結果與實測值結果相似**。



蘇力颱風期間西濱大橋模擬與實測水位比較

交通部運輸研究所24

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

一維動床水理模式CCHE1D

2013年蘇力颱風(6701cms)

斷面 經濟部水利署101年12月量測之河道大斷面

邊界條件 上游-石岡壩於蘇力颱風實測放流量
下游-台中港潮位資料

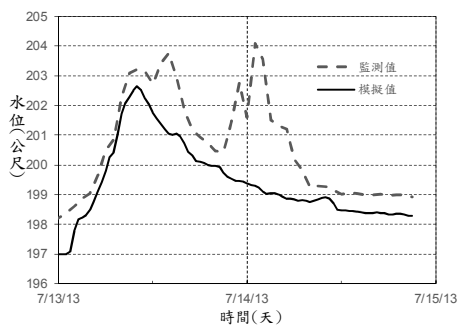
河道糙度值 石岡至新山線鐵路橋之曼寧n採用0.040
新山線鐵路橋至大甲溪出海口之曼寧n採用0.035。

河床質粒徑 採用「100年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告」之河床質採樣分析成果

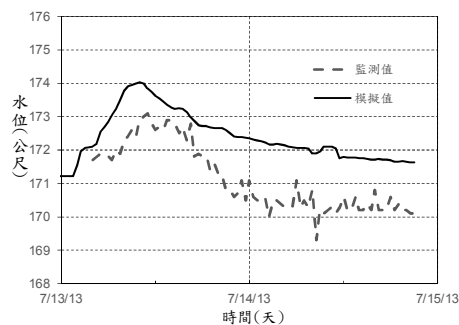
交通部運輸研究所25

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

模擬結果



后豐大橋模擬與實測水位比較

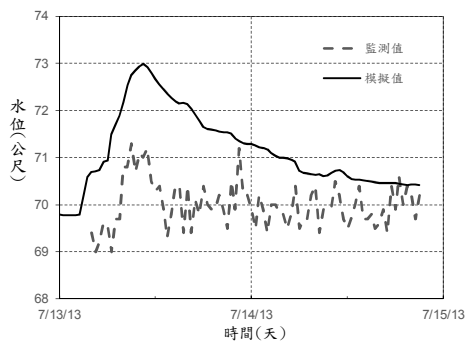


國1大甲溪橋模擬與實測水位比較

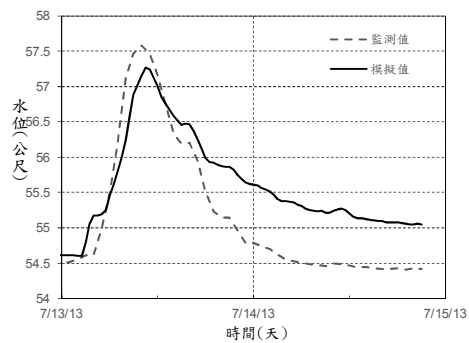
交通部運輸研究所26

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

模擬結果



國3大甲溪橋模擬與實測水位比較



台1線大甲溪橋模擬與實測
水位比較

交通部運輸研究所27

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

2013年潭美颱風(2392cms)

斷面 經濟部水利署101年12月量測之河道大斷面

邊界條件 上游-石岡壩於潭美颱風實測放流量
下游-自由出流

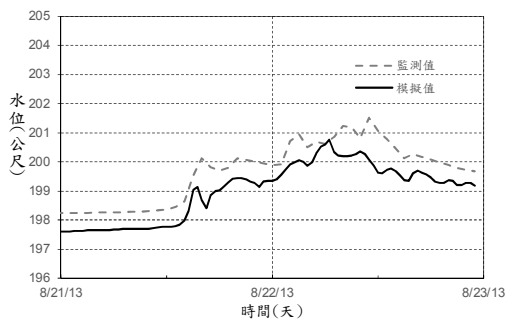
河道糙度值 石岡至新山線鐵路橋之曼寧n採用0.040
新山線鐵路橋至大甲溪出海口之曼寧n採用0.035。

河床質粒徑 採用「100年度大甲溪河口至天輪壩大斷面測量成果報告」之河床質採樣分析成果

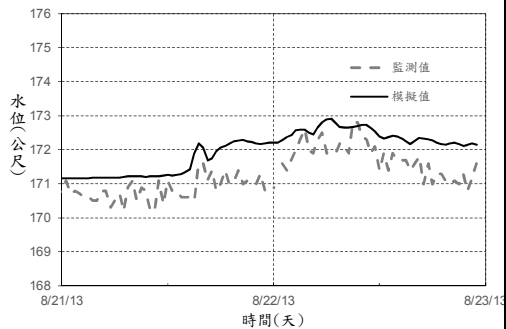
交通部運輸研究所28

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

模擬結果



后豐大橋模擬與實測水位比較

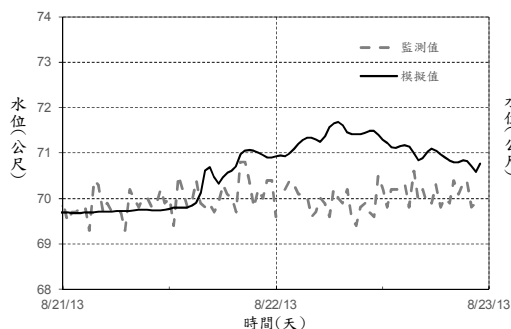


國1大甲溪橋模擬與實測水位比較

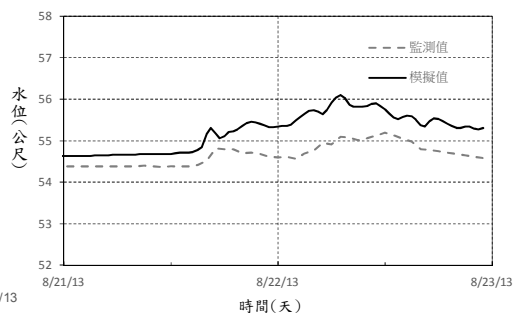
交通部運輸研究所29

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

模擬結果



國3大甲溪橋模擬與實測水位比較



台1線大甲溪橋模擬與實測水位比較

交通部運輸研究所30

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

2013年康芮颱風(1040cms)

断面 經濟部水利署101年12月量測之河道大断面

邊界條件 上游-石岡壩於康芮颱風實測放流量
下游-自由出流

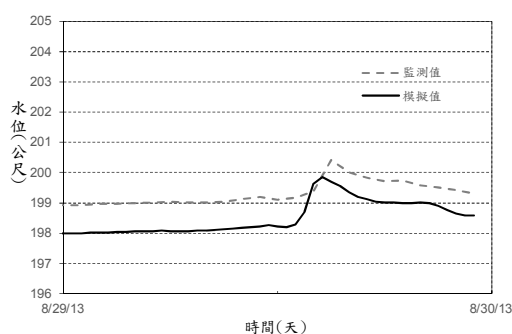
河道糙度值 石岡至新山線鐵路橋之曼寧n採用0.040
新山線鐵路橋至大甲溪出海口之曼寧n採用0.035。

河床質粒徑 採用「100年度大甲溪河口至天輪壩大断面測量成果報告」之河床質採樣分析成果

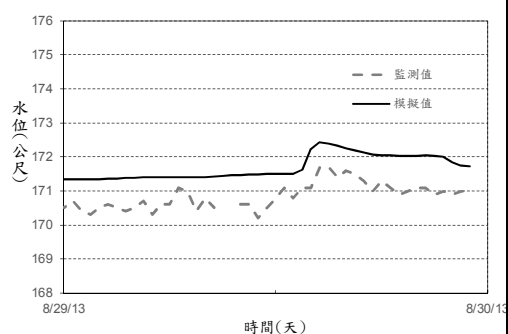
交通部運輸研究所31

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

模擬結果



后豐大橋模擬與實測水位比較

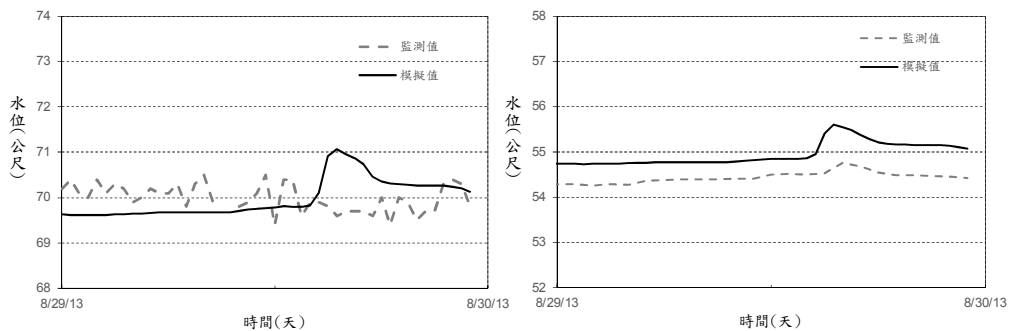


國1大甲溪橋模擬與實測水位比較

交通部運輸研究所32

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

模擬結果



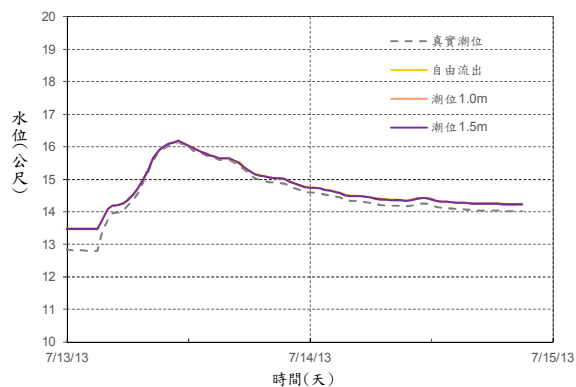
國3大甲溪橋模擬與實測水位比較

台1線大甲溪橋模擬與實測
水位比較

交通部運輸研究所33

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

下游邊界條件敏感度分析

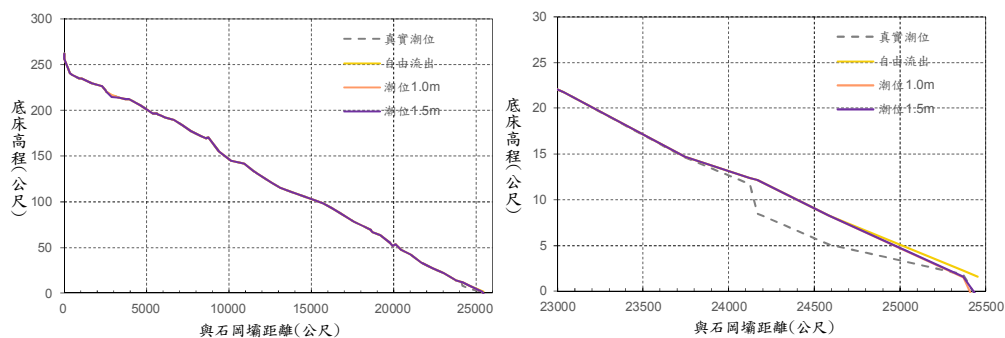


台61線西濱大橋(距出海口1329m)
下游邊界潮位敏感度測試

交通部運輸研究所34

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

下游邊界條件敏感度分析



下游邊界潮位變化底床高程敏感度測試
影響範圍約距出海口1500m以內

交通部運輸研究所35

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

各頻率年 2、5、10、20、25、50、100和200年延時100小時的流量

斷面 經濟部水利署102年12月量測之河道大斷面

邊界條件 上游-石岡壩於各頻率年放流量
下游-自由出流

河道糙度值 石岡至新山線鐵路橋之曼寧 n 採用0.040
新山線鐵路橋至大甲溪出海口之曼寧 n 採用0.035。

冲刷公式 參考「交通部公路總局第五區養護工程處轄區9座橋梁訂定封橋水位」，採用較符合台灣地區之6種局部冲刷公式，求得平均值後並加上1倍標準偏差進行計算

橋梁 新山線鐵路橋、后豐橋、國道一號大甲溪橋、高速鐵路橋、國道三號大甲溪橋、海線鐵路橋、台1線大甲溪橋及台61線大甲溪橋共八座橋

交通部運輸研究所36

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
新山線鐵路橋	Q ₂	216.27	4.30	4.36
	Q ₅	217.38	5.0	4.82
	Q ₁₀	218.11	5.35	5.05
	Q ₂₀	218.60	5.66	5.25
	Q ₂₅	218.71	5.90	5.38
	Q ₁₀₀	219.96	6.93	6.06
	Q ₂₀₀	220.49	7.40	6.35

交通部運輸研究所37

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
后豐橋	Q ₂	200.26	3.60	4.05
	Q ₅	201.20	4.81	4.81
	Q ₁₀	201.77	5.43	5.22
	Q ₂₀	202.32	5.92	5.57
	Q ₂₅	202.46	6.06	5.67
	Q ₁₀₀	203.79	7.28	6.44
	Q ₂₀₀	204.42	7.86	6.78

交通部運輸研究所38

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
國道一號大甲溪橋	Q2	173.15	3.06	3.77
	Q5	173.56	3.81	3.96
	Q10	173.83	4.25	4.28
	Q20	174.09	4.67	4.50
	Q25	173.95	4.33	4.59
	Q100	174.63	5.07	4.85
	Q200	175.00	5.54	5.01

交通部運輸研究所39

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
高速鐵路橋	Q ₂	135.16	5.12	4.60
	Q ₅	137.75	4.68	4.43
	Q ₁₀	138.08	5.27	4.77
	Q ₂₀	138.44	5.82	5.07
	Q ₂₅	138.52	5.97	5.14
	Q ₁₀₀	139.22	6.93	5.70
	Q ₂₀₀	139.55	7.38	5.95

交通部運輸研究所40

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
國道三號大甲溪橋	Q2	71.02	3.40	3.92
	Q5	72.37	3.80	3.95
	Q10	72.71	4.15	4.17
	Q20	72.97	4.46	4.46
	Q25	70.40	6.13	4.96
	Q100	73.65	5.47	4.99
	Q200	73.94	5.87	5.24

交通部運輸研究所41

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
海線鐵路橋	Q2	55.34	3.41	3.93
	Q5	58.35	3.86	4.07
	Q10	58.76	4.19	4.25
	Q20	59.09	4.49	4.42
	Q25	59.17	4.57	4.47
	Q100	59.94	5.07	4.85
	Q200	60.31	5.24	4.94

交通部運輸研究所42

三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
台1線大甲溪橋	Q2	56.04	3.94	3.94
	Q5	56.32	4.30	4.39
	Q10	56.90	5.03	4.60
	Q20	57.30	5.30	4.77
	Q25	57.33	5.31	4.84
	Q100	58.12	5.97	5.23
	Q200	58.50	6.25	5.39

交通部運輸研究所43

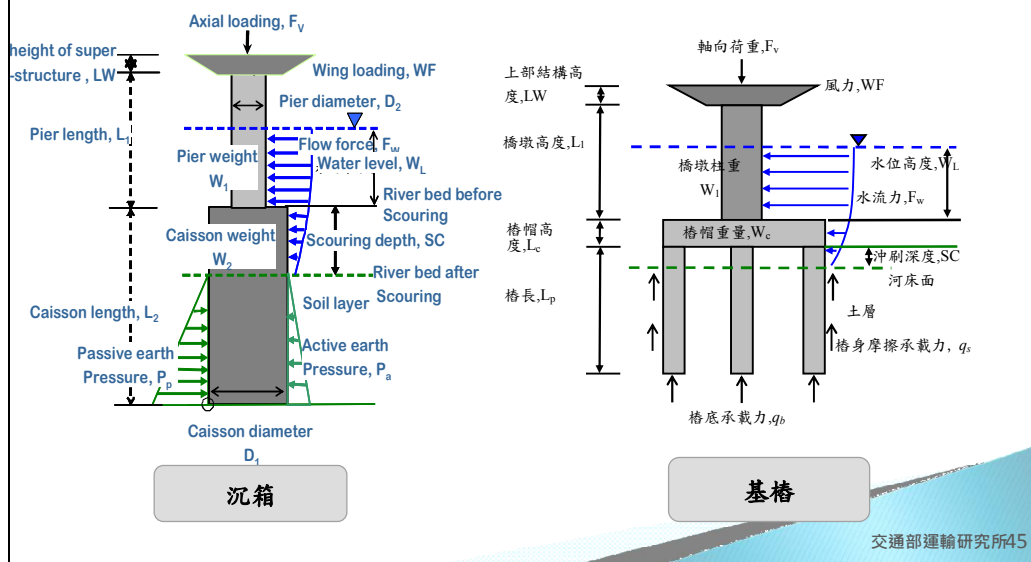
三、大甲溪跨河橋梁一維水理分析

各頻率年流量可能冲刷深度推估

橋梁名稱	洪水頻率	洪水位(m)	平均流速(m/s)	冲刷深度(m)
台61線大甲溪橋	Q2	14.94	2.77	3.58
	Q5	15.67	2.88	3.66
	Q10	15.92	3.19	3.63
	Q20	16.16	3.45	3.82
	Q25	16.12	3.44	4.06
	Q100	16.65	4.12	4.20
	Q200	16.85	4.40	4.38

交通部運輸研究所44

四、大甲溪跨河橋梁安全分析



四、大甲溪跨河橋梁安全分析

新山線鐵路橋P4橋梁基礎耐洪能力分析

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度 (m)	現河床面 210.22m 於樁帽底上 5.12m 冲刷深度 (EL)(m)	安全係 數 FS	容許安 全係數 FS/3
一維現況水 理分析	Q2	214.94	4.95	4.77	基礎未冲刷		
	Q5	216.37	5.69	5.18	0.06	4.68	1.56
	Q10	217.12	6.01	5.38	0.26	4.61	1.54
	Q20	217.56	6.38	5.61	0.49	4.53	1.51
	Q25	217.97	6.49	5.65	0.53	4.5	1.5
	Q100	219.23	7.36	6.19	1.07	4.27	1.42
	Q200	219.65	7.67	6.39	1.27	4.18	1.39

交通部運輸研究所46

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

后豐大橋PB橋梁基礎耐洪能力分析

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位 (m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	現河床面於 195.48m樁帽底 上5.98m 冲刷深度(m)	安全係 數 FS	容許安全 係數 FS/3
一維現況水 理分析	Q ₂	199.21	4.24	4.36	基礎未冲刷		
	Q ₅	200.71	4.98	4.86	基礎未冲刷		
	Q ₁₀	201.27	5.60	5.26	基礎未冲刷		
	Q ₂₀	201.82	6.29	5.68	基礎未冲刷		
	Q ₂₅	201.95	6.44	5.76	基礎未冲刷		
	Q ₁₀₀	203.22	7.68	6.52	0.54	9.27	3.09
	Q ₂₀₀	203.81	8.20	6.83	0.85	9.12	3.04

交通部運輸研究所47

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

國道1號大甲溪橋P12E橋梁基礎耐洪能力分析

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	現河床面於樁 帽底169.48m下 1.67m 冲刷深度(m)	安全係數 FS	容許安 全係數 FS/3
一維現況 水理分析	Q ₂	171.75	3.42	3.79	5.46	4.03	1.34
	Q ₅	173.29	3.82	3.99	5.66	3.88	1.29
	Q ₁₀	173.53	4.26	4.25	5.92	3.79	1.27
	Q ₂₀	173.79	4.69	4.50	6.17	3.51	1.17
	Q ₂₅	173.86	4.78	4.56	6.23	3.47	1.16
	Q ₁₀₀	174.42	5.44	5.00	6.67	3.14	1.05
	Q ₂₀₀	174.86	5.57	5.02	6.69	3.09	1.03

交通部運輸研究所48

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

高鐵大甲溪橋P20橋梁基礎耐洪能力分析

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	現河床面於 131.56m樁帽 底上2.56m 冲刷深度(m)	安全係 數 FS	容許安全 係數 FS/3
一維現況 水理分析	Q ₂	136.31	5.24	4.83	2.27	4.09	1.36
	Q ₅	137.26	5.55	4.97	2.41	4.05	1.35
	Q ₁₀	137.21	5.52	4.91	2.35	4.06	1.35
	Q ₂₀	138.29	5.68	5.04	2.48	4.02	1.34
	Q ₂₅	138.38	5.77	5.11	2.55	4	1.33
	Q ₁₀₀	139.09	6.78	5.67	3.11	3.79	1.26
	Q ₂₀₀	139.43	7.27	5.95	3.39	3.68	1.23

交通部運輸研究所49

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

國道3號大甲溪橋P24L橋梁基礎耐洪能力分析

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	現河床面於 樁帽底下 0.09m 冲刷深度 (m)	安全係數 FS	容許安全 係數 FS/3
一維現況 水理分析	Q ₂	70.65	3.93	4.02	4.11	3.58	1.19
	Q ₅	70.68	3.94	4.25	4.34	3.53	1.18
	Q ₁₀	72.44	4.03	4.14	4.23	3.6	1.2
	Q ₂₀	72.78	4.31	4.38	4.47	3.53	1.18
	Q ₂₅	72.85	4.40	4.39	4.48	3.53	1.18
	Q ₁₀₀	73.45	5.23	4.88	4.97	3.36	1.12
	Q ₂₀₀	73.72	5.65	5.12	5.21	3.27	1.09

交通部運輸研究所50

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

海線鐵路大甲溪橋P37橋梁基礎耐洪能力分析(承載)

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度 (m)	原裸露 3.06m+冲刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全係數 FS/3
一維現況水 理分析	Q ₂	56.43	4.35	4.32	7.38	6.65	2.22
	Q ₅	56.61	4.43	4.44	7.50	6.55	2.18
	Q ₁₀	56.45	4.38	4.36	7.42	6.61	2.2
	Q ₂₀	56.25	4.12	4.51	7.57	6.53	2.18
	Q ₂₅	59.28	4.66	4.48	7.54	6.45	2.15
	Q ₁₀₀	59.89	5.09	4.79	7.85	6.13	2.04
	Q ₂₀₀	59.75	5.14	4.86	7.92	6.07	2.02

交通部運輸研究所S1

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

海線鐵路大甲溪橋P37橋梁基礎耐洪能力分析(傾覆)

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	原裸露 3.06m+冲刷深度(m)	安全係數 FS
一維現況水 理分析	Q ₂	56.43	4.35	4.32	7.38	10.28
	Q ₅	56.61	4.43	4.44	7.50	10.03
	Q ₁₀	56.45	4.38	4.36	7.42	10.22
	Q ₂₀	56.25	4.12	4.51	7.57	10.67
	Q ₂₅	59.28	4.66	4.48	7.54	8.27
	Q ₁₀₀	59.89	5.09	4.79	7.85	7.26
	Q ₂₀₀	59.75	5.14	4.86	7.92	7.25

交通部運輸研究所S2

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

台1線大甲溪橋P32橋梁基礎耐洪能力分析(承載)

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度 (m)	安全係數 FS	容許安全係 數 FS/3
一維現況 水理分析	Q2	53.95	2.97	3.96	5.64	1.88
	Q5	56.28	4.17	4.21	5.42	1.81
	Q10	56.71	4.63	4.51	5.2	1.73
	Q20	57.14	5.09	4.77	4.99	1.66
	Q25	57.23	5.19	4.84	4.94	1.65
	Q100	58.08	5.93	5.24	4.58	1.53
	Q200	58.39	6.17	5.38	4.45	1.48

交通部運輸研究所53

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

台1線大甲溪橋P32橋梁基礎耐洪能力分析(傾覆)

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	安全係數 FS
一維現況水理 分析	Q2	53.95	2.97	3.96	11.25
	Q5	56.28	4.17	4.21	8.79
	Q10	56.71	4.63	4.51	7.93
	Q20	57.14	5.09	4.77	7.1
	Q25	57.23	5.19	4.84	6.92
	Q100	58.08	5.93	5.24	5.65
	Q200	58.39	6.17	5.38	5.26

交通部運輸研究所54

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

台61線大甲溪橋P39橋梁基礎耐洪能力分析(承載)

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全係 數 FS/3
一維現況水理 分析	Q ₂	14.58	2.89	3.58	6.52	2.17
	Q ₅	14.60	2.89	3.74	6.42	2.14
	Q ₁₀	15.92	3.03	3.55	6.6	2.2
	Q ₂₀	16.15	3.25	3.70	6.49	2.16
	Q ₂₅	16.21	3.43	3.78	6.43	2.14
	Q ₁₀₀	16.67	3.91	4.18	6.15	2.05
	Q ₂₀₀	16.88	4.18	4.29	6.06	2.02

交通部運輸研究所55

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

台61線大甲溪橋P39橋梁基礎耐洪能力分析(傾覆)

水理分析 模式	洪水 頻率	洪水位(m)	平均流速 (m/s)	冲刷深度(m)	安全係數 FS
一維現況水理 分析	Q ₂	14.58	2.89	3.58	8.99
	Q ₅	14.60	2.89	3.74	8.96
	Q ₁₀	15.92	3.03	3.55	8.65
	Q ₂₀	16.15	3.25	3.70	8.4
	Q ₂₅	16.21	3.43	3.78	8.23
	Q ₁₀₀	16.67	3.91	4.18	7.63
	Q ₂₀₀	16.88	4.18	4.29	7.31

交通部運輸研究所56

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

新山線鐵路橋P4橋梁基礎耐洪能力分析比較

新山線鐵路橋P4於101年河床面高程為212.15m，現河床面高程為210.22m，
降低1.93m。

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		
	現河床面212.15m + 冲刷深度(EL)(m)	樁帽底部 高程為205.1m	現河床面210.22m 於樁帽底上5.12m 冲刷深度(EL)(m)	安全係 數FS	容許安 全係數 FS/3
Q ₂	207.79	基礎未冲刷	基礎未冲刷		
Q ₅	207.33	基礎未冲刷	0.06	4.68	1.56
Q ₁₀	207.1	基礎未冲刷	0.26	4.61	1.54
Q ₂₀	206.9	基礎未冲刷	0.49	4.53	1.51
Q ₂₅	206.77	基礎未冲刷	0.53	4.5	1.5
Q ₁₀₀	206.09	基礎未冲刷	1.07	4.27	1.42
Q ₂₀₀	205.8	基礎未冲刷	1.27	4.18	1.39

交通部運輸研究所57

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

后豐大橋PB橋梁基礎耐洪能力分析比較

后豐大橋PB於101年河床面高程為196.14m，現河床面高程為195.48m，降低
0.66m。

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		
	現河床面於 196.14m 樁帽底上 6.64m 冲刷深度(m)	安全係數 FS	現河床面於 195.48m 樁帽底上 5.98m 冲刷深度(m)	安全係數 FS	容許安全 係數 FS/3
Q ₂	基礎未冲刷		基礎未冲刷		
Q ₅	基礎未冲刷		基礎未冲刷		
Q ₁₀	基礎未冲刷		基礎未冲刷		
Q ₂₀	基礎未冲刷		基礎未冲刷		
Q ₂₅	基礎未冲刷		基礎未冲刷		
Q ₁₀₀	基礎未冲刷		0.54	9.27	3.09
Q ₂₀₀	0.14	9.47	0.85	9.12	3.04

交通部運輸研究所58

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

國道1號大甲溪橋P12E橋梁基礎耐洪能力分析比較

國道1號大甲溪橋P12E於101年河床面高程為171.51m，現河床面高程為167.81m，降低3.7m。

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		
	現河床面於樁帽底上2.03m 冲刷深度(m)	安全係數FS	現河床面於樁帽底169.48m 下1.67m 冲刷深度(m)	安全係數FS	容許安全係數FS/3
Q ₂	1.74	5.71	5.46	4.03	1.34
Q ₅	1.93	5.54	5.66	3.88	1.29
Q ₁₀	2.25	5.33	5.92	3.79	1.27
Q ₂₀	2.47	5.15	6.17	3.51	1.17
Q ₂₅	2.56	5.16	6.23	3.47	1.16
Q ₁₀₀	2.82	4.9	6.67	3.14	1.05
Q ₂₀₀	2.98	4.72	6.69	3.09	1.03

交通部運輸研究所59

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

高鐵大甲溪橋P20橋梁基礎耐洪能力分析

高鐵大甲溪橋P20於101年河床面高程為134.05m，現河床面高程為131.56m，降低2.49m。

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		
	現河床面於134.05m 樁帽底上5.05m 冲刷深度(m)	安全係數FS	現河床面於131.56m 樁帽底上2.56m 冲刷深度(m)	安全係數FS	容許安全係數FS/3
Q ₂	基礎未冲刷		2.27	4.09	1.36
Q ₅	基礎未冲刷		2.41	4.05	1.35
Q ₁₀	基礎未冲刷		2.35	4.06	1.35
Q ₂₀	4.64	1.54	2.48	4.02	1.34
Q ₂₅	4.62	1.54	2.55	4	1.33
Q ₁₀₀	4.44	1.48	3.11	3.79	1.26
Q ₂₀₀	4.36	1.45	3.39	3.68	1.23

交通部運輸研究所60

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

國道3號大甲溪橋P24L橋梁基礎耐洪能力分析

國道3號大甲溪橋P24L橋墩於101年河床面高程為69.12m，現河床面高程為68.01m，**降低1.11m**。

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		
	現河床面於樁帽底下1.02m冲刷深度(m)	FS安全係數	現河床面於樁帽底下0.09m冲刷深度(m)	安全係數FS	容許安全係數FS/3
Q ₂	2.9	3.89	4.11	3.58	1.19
Q ₅	2.93	3.89	4.34	3.53	1.18
Q ₁₀	3.15	3.84	4.23	3.6	1.2
Q ₂₀	3.44	3.76	4.47	3.53	1.18
Q ₂₅	3.94	3.51	4.48	3.53	1.18
Q ₁₀₀	3.97	3.59	4.97	3.36	1.12
Q ₂₀₀	4.22	3.51	5.21	3.27	1.09

交通部運輸研究所61

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

海線鐵路大甲溪橋P37橋梁基礎耐洪能力分析

海線鐵路大甲溪橋P37於101年河床面高程為51.82m，現河床面高程為52.71m，**上升0.92m**。

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		
	裸露3.98m冲刷深度(m)	安全係數FS	裸露3.06m冲刷深度(m)	安全係數FS	容許安全係數FS/3
Q ₂	6.99	6.94	7.38	6.65	2.22
Q ₅	7.13	6.88	7.5	6.55	2.18
Q ₁₀	7.31	6.7	7.42	6.61	2.2
Q ₂₀	7.48	6.53	7.57	6.53	2.18
Q ₂₅	7.53	6.47	7.54	6.45	2.15
Q ₁₀₀	7.91	6.09	7.85	6.13	2.04
Q ₂₀₀	8	5.98	7.92	6.07	2.02

交通部運輸研究所62

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

海線鐵路大甲溪橋P37橋梁基礎耐洪能力分析

傾覆分析結果

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		
	原裸露3.98m+ 沖刷深度(m)	安全係數 FS	沖刷深度(m)	原裸露3.06m+ 沖刷深度(m)	安全係數FS
Q ₂	6.99	12.41	4.32	7.38	10.28
Q ₅	7.13	10.11	4.44	7.5	10.03
Q ₁₀	7.31	9.33	4.36	7.42	10.22
Q ₂₀	7.48	8.65	4.51	7.57	10.67
Q ₂₅	7.53	8.47	4.48	7.54	8.27
Q ₁₀₀	7.91	7.26	4.79	7.85	7.26
Q ₂₀₀	8	6.84	4.86	7.92	7.25

交通部運輸研究所63

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

台1線大甲溪橋P32橋梁基礎耐洪能力分析

台1線大甲溪橋P32於101年河床面高程為53.4m，現河床面高程為49.61m，降低3.79m。

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		容許安全係數 FS/3
	沖刷深度(m)	安全係數FS	沖刷深度(m)	安全係數FS	
Q ₂	3.94	7.86	3.96	5.64	1.88
Q ₅	4.39	7.53	4.21	5.42	1.81
Q ₁₀	4.6	7.29	4.51	5.2	1.73
Q ₂₀	4.77	7.13	4.77	4.99	1.66
Q ₂₅	4.84	7.08	4.84	4.94	1.65
Q ₁₀₀	5.23	6.69	5.24	4.58	1.53
Q ₂₀₀	5.39	6.5	5.38	4.45	1.48

交通部運輸研究所64

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

台1線大甲溪橋P32橋梁基礎耐洪能力分析

傾覆分析結果

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果	
	冲刷深度(m)	安全係數FS	冲刷深度(m)	安全係數FS
Q ₂	3.94	10.12	3.96	11.25
Q ₅	4.39	9.47	4.21	8.79
Q ₁₀	4.6	8.27	4.51	7.93
Q ₂₀	4.77	7.7	4.77	7.1
Q ₂₅	4.84	7.66	4.84	6.92
Q ₁₀₀	5.23	6.45	5.24	5.65
Q ₂₀₀	5.39	5.94	5.38	5.26

交通部運輸研究所65

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

台61線大甲溪橋P39橋梁基礎耐洪能力分析

台61線大甲溪橋P39於101年河床面高程為12.42m，現河床面高程為11.59m，降低0.83m。

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果		
	原裸露1.58m+冲刷深度(m)	安全係數FS	冲刷深度(m)	安全係數FS	容許安全係數FS/3
Q ₂	5.16	7.08	3.58	6.52	2.17
Q ₅	5.24	7.05	3.74	6.42	2.14
Q ₁₀	5.21	7.08	3.55	6.6	2.2
Q ₂₀	5.4	6.93	3.7	6.49	2.16
Q ₂₅	5.64	6.78	3.78	6.43	2.14
Q ₁₀₀	5.78	6.63	4.18	6.15	2.05
Q ₂₀₀	5.96	6.51	4.29	6.06	2.02

交通部運輸研究所66

四、大甲溪跨河橋梁安全分析

台61線大甲溪橋P39橋梁基礎耐洪能力分析

傾覆分析結果

洪水頻率	101年分析結果		102年分析結果	
	原裸露1.58m+沖刷深度(m)	安全係數FS	沖刷深度(m)	安全係數FS
Q ₂	5.16	9.19	3.58	8.99
Q ₅	5.24	8.98	3.74	8.96
Q ₁₀	5.21	8.72	3.55	8.65
Q ₂₀	5.4	8.45	3.7	8.4
Q ₂₅	5.64	8.42	3.78	8.23
Q ₁₀₀	5.78	7.73	4.18	7.63
Q ₂₀₀	5.96	7.41	4.29	7.31

交通部運輸研究所67

五、結論與建議

結論

1. 本研究利用水壓計進行大甲溪水位監測，利用后豐大橋、國1大甲溪橋、國3大甲溪橋及台1大甲溪橋水位資料進行一維水理分析驗證，並分析模式下游邊界潮位影響範圍。
2. 本研究水壓計加設保護設施及改變安裝位置後，能有較佳的監測成果。
3. 本研究利用一維水理分析各頻率年流量下大甲溪石岡壩以下各跨河橋梁之水位、流速及可能沖刷深度。
4. 本研究分析大甲溪石岡壩以下各跨河橋梁之水位、流速及可能沖刷深度進行各橋梁安全分析，期能提供橋梁管理單位參考。

交通部運輸研究所68

五、結論與建議

建議

未來可持續蒐集大甲溪河道變化情形、地形斷面資料及各橋梁水位、流量及沖刷深度資料，並與一維水理分析及沖刷深度推估結果進行驗證。

交通部運輸研究所 69

簡報完畢
謝謝各位

交通部運輸研究所 70