

100-154-7572

MOTC-IOT-98-H1EB008

訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測 作業規範(草案)之研究



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 12 月

100-154-7572

MOTC-IOT-98-H1EB008

訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測 作業規範(草案)之研究

著者：邱永芳、謝明志、柯正龍、林雅雯、王仲宇
連惠邦、楊明德、李維峰、陳銘鴻、胡志昕
劉興昌、洪紹勛、張為光、柯永彥、鄭世豪
梅興泰、黃進國、蔡明邑、羅冠顯

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 12 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究
/邱永芳等著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 100.12

面 ； 公分

ISBN 978-986-03-1271-3 (平裝)

1. 橋樑工程 2. 結構工程 3. 技術規範

441.815

100027844

訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

著 者：邱永芳、謝明志、柯正龍、林雅雯、王仲宇、連惠邦
楊明德、李維峰、陳銘鴻、胡志昕、劉興昌、洪紹勛
張為光、柯永彥、鄭世豪、梅興泰、黃進國、蔡明邑
羅冠顯

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 100 年 12 月

印 刷 者：彩霖股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 150 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：450 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・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010004910

ISBN：978-986-03-1271-3 (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分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

100

訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

交通部運輸研究所

GPN：1010004910

定價: 450 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：訂定跨河橋梁橋基檢測作業規範(草案)之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-1271-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1010004910	運輸研究所出版品編號 100-154-7572	計畫編號 98-H1EB008
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：謝明志 研究人員：柯正龍、林雅雯 聯絡電話：04-26587186 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：財團法人中華顧問工程司 計畫主持人：王仲宇 研究人員：連惠邦、楊明德、李維峰、陳銘鴻、 胡志昕、劉興昌、洪紹勛、張為光、 柯永彥、鄭世豪、梅興泰、黃進國、 蔡明邑、羅冠顯 地址：臺北市大安區辛亥路二段 185 號 28 樓 聯絡電話：(02)8732-5567		研究期間 自 98 年 10 月 至 100 年 12 月
關鍵詞：沖刷潛勢評估、潛勢評估表、沖刷監測、基礎深度檢測			
摘要： 對橋梁管理單位而言，建立有效之橋基檢測相關作業流程、注意事項與表格，並且如何應用於颶洪事件前、中、後進行有效的沖刷檢測與評估、執行緊急應變處置、快速災損調查與評估以及據以擬定相關因應對策，以維護橋梁之安全，特別是在各階段之巡查檢測、封橋研判、封橋後之應變與處置、橋基沖刷受損等級與沖刷成因分類等，皆予以具體地表格化或流程化。 本研究對國內外的相關沖刷評估及檢測之文獻進行比較，以及本研究中訂定出全新的沖刷潛勢評估表格，其中納入相關河川環境及橋梁基本資料的記錄以輔助橋梁之評估，本研究之表格同時與臺灣現有的相關沖刷評估表格以及日本所擬定出的表格進行比較，此外本研究擬定之表格與現有表格亦實際現地橋梁進行填寫及比較其結果。本研究亦擬定適用於臺灣的沖刷檢測流程及階段，共分為汛期前、洪水事件前、洪水事件中、洪水事件後以及汛期後共五個階段，同時彙整各檢測階段適用的相關非破壞儀器檢、監測方法。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 12 月	492	450	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: Establishing the Scouring Inspection Code (Draft) for a River-crossing Bridge Foundation			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-03-1271-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010004910	IOT SERIAL NUMBER 100-154-7572	PROJECT NUMBER 98-H1EB008
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ming-chih Hsieh PROJECT STAFF: Jeng-long Ko, Ya-wen Lin PHONE: (04) 26587186 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM October 2009 TO December 2011
RESEARCH AGENCY: China Engineering Consultants., Inc PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chung-yue Wang PROJECT STAFF: Hui-Pang Lien, Ming-Der Yang, Wei-Feng Lee, Ming-Hung Chen, Hsin-Chih Hu, Hsing-Chang Liu, Shao-Hsun Hung, Wei-Kuang Chang, Yung-Yen Ke, Shih-Hao Cheng, Hsing-Tai Mei, Chin-Kuo Huang, Ming-I Tsai, Guan-Suan Luo ADDRESS: 28F, No.185, Sec.2, Sinhai Rd., Taipei 10637, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (02)8732-5567			
KEY WORDS: scouring potentiality evaluation, evaluation form, scouring monitoring, foundation depth inspection.			
ABSTRACT: In order to take some efficient countermeasure, completely recording the detail information of the superstructure and other relative information of hydrology and physiography of rivers (including the disaster history) is top priority step, and then to establish effective procedure or notices or bridge foundation inspection form; to educate engineers how to apply the scouring inspection and evaluation method to bridges before flood event and how to take the emergency execution procedure during flood event or the way to use fast investigation or evaluation to the damage caused by flooding; and draft other relatively countermeasures for maintaining the safety of bridge. In this research, comparing the scouring evaluation methods in other countries such as Japan and America with Taiwan, and finding the parts of them which are actually appropriate for Taiwan, then drawing the new scouring evaluation form and procedure and some NDT techniques which could assist the evaluation result, finally show the scouring evaluation result in 12 bridges by using the new evaluation form.			
DATE OF PUBLICATION December 2011	NUMBER OF PAGES 492	PRICE 450	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範 (草案)之研究

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
表目錄	VII
圖目錄	XI
第一章 緒論	1-1
1.1 研究背景	1-1
1.2 研究目的	1-2
1.3 研究內容與範圍	1-3
第二章 沖刷檢測流程	2-1
2.1 國內外橋梁檢測制度比較	2-1
2.1.1 美國橋梁檢測制度	2-1
2.1.2 日本橋梁檢測制度	2-16
2.1.3 臺灣橋梁檢測制度	2-17
2.2 國內外沖刷檢測、評估制度比較	2-22
2.2.1 美國之沖刷檢測、評估制度	2-22
2.2.2 日本之沖刷檢測、評估制度	2-29
2.2.3 臺灣之沖刷檢測、評估制度	2-37
2.3.1 本計畫沖刷檢測擬定	2-41
2.3.2 沖刷檢測種類	2-42
2.3.3 檢測層級	2-45

2.3.4 執行流程	2-47
第三章 橋梁沖刷潛勢評估指標與基本資料	3-1
3.1 沖刷潛勢影響因子	3-1
3.1.1 天然因素	3-1
3.1.2 人為因素	3-4
3.2 河川基本資料	3-5
3.3 橋梁基礎基本資料	3-15
第四章 沖刷潛勢評估種類	4-1
4.1 詳細沖刷潛勢評估	4-1
4.2 簡易沖刷潛勢評估	4-31
4.3 颱洪事件中橋梁現況紀錄	4-34
4.4 跨河橋梁沖刷潛勢評估表之填寫	4-37
第五章 沖刷檢測技術	5-1
5.1 橋基健全度檢測技術	5-1
5.1.1 透地雷達技術:.....	5-1
5.1.2 電阻率影像剖面探測	5-8
5.1.3 超震波法	5-14
5.2 沖刷檢測技術	5-16
5.2.1 水位檢測技術	5-16
5.2.2 振動檢測技術	5-23
5.2.3 流速檢測技術	5-31
5.2.3.1.儀器種類介紹	5-31
5.2.3.2.脈衝式微波雷達流速儀	5-35
5.2.4 沖刷深度檢測技術	5-38
5.2.5 沖刷監測系統	5-44

5.3	河道斷面檢測技術	5-50
5.3.1	傳統河道斷面量測	5-50
5.3.2	3D Lidar 河道斷面掃描	5-52
5.4	材料檢測技術	5-59
5.4.1	氯離子含量檢測	5-59
5.4.2	中性化檢測	5-66
5.4.3	腐蝕檢測	5-70
5.4.4	鹼質與粒料反應檢測	5-74
第六章	檢測執行	6-1
6.1	基本資料收集	6-1
6.2	詳細沖刷潛勢評估	6-16
6.3	儀器檢測	6-21
6.3.1	橋墩振動量測	6-21
6.3.2	超震波法橋墩基礎深度調查	6-31
6.3.3	橋基地電阻影像檢測結果	6-38
6.3.4	橋基周圍河床材料調查	6-50
6.3.5	沖刷監測系統	6-58
第七章	檢測成果分析評估與作業	7-1
7.1	振動檢測成果之分析與評估	7-1
7.1.1	頻譜分析與結構振動特性判釋	7-1
7.1.2	平均振動特性參數	7-2
7.1.3	Nakamura 損傷指數	7-3
7.2	結構穩定度	7-5
7.2.1	簡易外力評估	7-5
7.2.2	簡易穩定評估法	7-9

7.2.3 詳細穩定評估方法	7-24
7.3 封橋作業	7-31
參考文獻	參-1
附錄一 審查委員意見暨辦理概況	附錄 1-1
附錄二 99 年度專家座談會會議記錄暨辦理狀況	附錄 2-1
附錄三 99 年度教育訓練講習會辦理狀況	附錄 3-1
附錄四 100 年度專家座談會會議記錄暨辦理狀況	附錄 4-1
附錄五 100 年度教育訓練暨成果發表研討會會議記錄暨辦理狀況	附錄 5-1
附錄六 期末審查簡報	附錄 6-1

表目錄

表 2-1	橋梁登錄表編碼細項表	2-8
表 2-2	結構妥適及安全性評估項目	2-12
表 2-3	服務性及功能退化評估項目	2-12
表 2-4	公共使用之充分性評估項目	2-13
表 2-5	特殊折減項目	2-13
表 2-6	我國各單位橋梁檢測種類與頻率比較	2-21
表 2-7	美國沖刷相關文獻一覽表	2-22
表 2-8	FHWA 構件劣化編碼	2-25
表 2-9	FHWA 之構件狀況編碼	2-25
表 2-10	沖刷判定表	2-30
表 2-11	不同項目程度對局部沖刷深度之影響預測	2-35
表 2-12	不同項目程度對一般沖刷沖刷深度影響之預測	2-36
表 2-13	各項橋梁構件所對應之權重分配	2-38
表 2-14	橋梁沖刷檢測種類與其定義項目	2-42
表 2-15	目視檢測之方法說明	2-44
表 2-16	詳細檢測之方法說明	2-44
表 2-17	沖刷檢測種類於各層級之使用時機	2-46
表 2-18	沖刷檢測階段各層級之分類	2-50
表 3-1	沖刷深度計算公式	3-3
表 3-2	西濱大橋鄰近雨量站資料表	3-6
表 3-3	西濱大橋鄰近水文流量站資料表	3-7
表 3-4	濁水溪斷面 10-14 水理分析成果	3-8
表 4-1	公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表	4-3

表 4-2	公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表填表摘要說明	4-4
表 4-3	橋梁耐洪能力初步評估表	4-7
表 4-4	沖刷潛勢簡易調查表	4-8
表 4-5	公路橋梁安全評估表(耐洪能力)	4-9
表 4-6	現有沖刷評估表格之比較(河川、地理環境之評估項目)....	4-11
表 4-7	現有沖刷評估表格之比較(橋梁基礎結構狀態之評估項目)	4-11
表 4-8	現有沖刷評估表格之比較(河川、橋梁防護狀態之評估項目)	4-12
表 4-9	跨河橋梁基本資料記錄表	4-14
表 4-10	跨河橋梁沖刷損害記錄表	4-18
表 4-11	橋墩基礎資料表	4-19
表 4-12	跨河橋梁整體環境表	4-20
表 4-13	跨河橋梁週邊環境示意表	4-21
表 4-14	跨河橋梁沖刷潛勢評估表	4-23
表 4-15	跨河橋梁沖刷潛勢評估填表摘要說明	4-24
表 4-16	跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表(簡易評估使用)	4-32
表 4-17	颱風事件中橋梁狀況紀錄表	4-36
表 4-18	各表格結果之比較	4-37
表 4-19	沖刷潛勢評估分數之級距	4-50
表 4-20	100 年度大甲溪流域跨河橋梁沖刷潛勢評估結果	4-53
表 4-21	100 年度濁水溪流域跨河橋梁沖刷潛勢評估結果	4-54
表 4-22	雙園大橋沖刷潛勢試評估果	4-56
表 5-1	各類流速量測儀器比較表	5-34
表 5-2	各類沖刷檢測儀器之比較	5-43
表 5-3	各類沖刷監測器之比較	5-45

表 5-4	試片距浸漬面深及平均深度	5-65
表 5-5	腐蝕電位分析評估表	5-71
表 5-6	鋼筋腐蝕速率評估表	5-71
表 5-7	鹼質與粒料反應試驗方法之試驗儀器設備	5-76
表 6-1	99 年度谷關大橋橋梁基本資料記錄表	6-1
表 6-2	西濱大橋橋梁基本資料記錄表	6-5
表 6-3	谷關大橋沖刷損害記錄	6-8
表 6-4	西濱大橋沖刷損害記錄	6-9
表 6-5	谷關大橋橋墩基礎資料表(非破壞檢測結果)	6-10
表 6-6	西濱大橋橋墩基礎資料表(竣工圖)	6-11
表 6-7	谷關大橋整體環境表	6-12
表 6-8	西濱大橋整體環境表	6-13
表 6-9	谷關大橋週邊環境示意表	6-14
表 6-10	西濱大橋週邊環境示意表	6-15
表 6-11	谷關大橋沖刷潛勢評估表填寫結果	6-17
表 6-12	西濱大橋沖刷潛勢評估表填寫結果	6-19
表 6-13	西濱大橋超震波橋墩基礎調查成果表	6-32
表 6-14	谷關橋超震波橋墩基礎調查成果表	6-35
表 6-15	測線編號、電極間距、測線長度	6-38
表 6-16	各地層對應材料特性表	6-54
表 6-17	河床材料波速分佈與抗沖刷特性	6-54
表 6-18	谷關大橋各地層對應材料特性	6-57

圖目錄

圖 2.1	功能滿足百分率計算表	2-11
圖 2.2	HBRRP 申請計畫流程	2-14
圖 2.3	HBRRP 防禦式維修	2-15
圖 2.4	美國沖刷評估與穩定分析流程	2-26
圖 2.5	日本沖刷評估作業流程圖	2-29
圖 2.6	日本 77 座橋梁沖刷評分統計圖	2-31
圖 2.7	『局部沖刷深度』與『河床最低點下降深度』示意圖	2-32
圖 2.8	各橋梁局部沖刷速度分布圖	2-32
圖 2.9	各橋梁河床下降速度分布圖	2-33
圖 2.10	局部沖刷速度之實際值與預測值之比較	2-34
圖 2.11	一般沖刷速度之實際值與預測值之比較	2-34
圖 2.12	年度汛期前檢測流程圖	2-51
圖 2.13	颱風事件前檢測流程圖	2-52
圖 2.14	颱風事件中檢測流程圖	2-53
圖 2.15	颱風事件後檢測流程圖	2-55
圖 2.16	年度汛期後檢測流程圖	2-56
圖 3.1	河川分類與相對穩定性之關係圖	3-2
圖 3.2	西濱大橋鄰近水文站位置圖	3-6
圖 3.3	臺 61 線西濱大橋橋梁竣工圖(1)	3-9
圖 3.4	臺 61 線西濱大橋橋梁竣工圖(2)	3-9
圖 3.5	西濱大橋斷面圖	3-10
圖 3.6	濁水溪歷年平均河床高程變化圖	3-11
圖 3.7	濁水溪歷年河道主深槽高程變化圖	3-12
圖 3.8	臺 61 線西濱大橋正射影像圖	3-13

圖 3.9	濁水溪河川斷面代表粒徑 D50 比較圖	3-14
圖 4.1	橋梁基本拍攝方向與記錄位置示意圖	4-13
圖 4.2	橋墩方向與河川流向間角度示意圖	4-27
圖 4.3	橋墩裸露示意圖	4-29
圖 4.4	橋墩未裸露示意圖	4-29
圖 4.5	橋墩裸露後示意圖	4-29
圖 4.6	大甲溪國道一號橋之現地照片	4-38
圖 4.7	新三地門橋之現地照片	4-39
圖 4.8	萬大大橋之現地照片	4-40
圖 4.9	口社橋現地照片	4-41
圖 4.10	東港大橋之現地照片	4-42
圖 4.11	東勢大橋之現地照片	4-43
圖 4.12	寶來二橋之現地照片	4-44
圖 4.13	寶隆大橋之現地照片	4-45
圖 4.14	高美大橋之現地照片	4-46
圖 4.15	埤豐橋之現地照片	4-47
圖 4.16	中沙大橋之現地照片	4-48
圖 4.17	西螺大橋之現地照片	4-49
圖 4.18	各沖刷評估表格結果比較	4-51
圖 4.19	雙園大橋河床斷面量測圖	4-52
圖 4.20	100 年度 25 座橋沖刷潛勢評估分數	4-55
圖 5.1	單孔井測透地雷達施測方式	5-4
圖 5.2	井測雷達施測結果與現場工作照片	5-5
圖 5.3	透地雷達偵測大溪橋橋墩基樁裸露情況	5-6
圖 5.4	調查跑道下地層掏空情形之雷達測剖面圖	5-7

圖 5.5	高頻透地雷達於橋梁上部結構檢測結果圖	5-7
圖 5.6	直流電阻法使用四極排列施測示意圖	5-8
圖 5.7	電阻率影像剖面探測雙偶極排列之儀器配置	5-11
圖 5.8	超震波法橋墩基礎深度調查示意圖	5-15
圖 5.9	標竿水尺示意圖	5-17
圖 5.10	各類量測水尺示意圖	5-18
圖 5.11	接觸型水位計示意圖	5-19
圖 5.12	非接觸型水位計示意圖	5-20
圖 5.13	橋墩樁基礎受冲刷裸露之影響示意圖	5-24
圖 5.14	群樁基礎於不同裸露程度下之位移反應函數	5-24
圖 5.15	典型簡支橋振動單元分析模型	5-25
圖 5.16	橋梁單元模型於不同基礎裸露情況下之白噪激振反應富氏譜	5-26
圖 5.17	振動感應器裝設位置之示意圖	5-29
圖 5.18	脈衝式微波雷達流速儀	5-35
圖 5.19	儀器器材準備	5-36
圖 5.20	儀器架設	5-36
圖 5.21	儀器架設	5-37
圖 5.22	排水現況	5-37
圖 5.23	儀器撤收情況	5-37
圖 5.24	重錘式冲刷深測計	5-39
圖 5.25	透地雷達系統於水面施測河床斷面冲刷示意圖	5-41
圖 5.26	重力式壓電片冲刷監測計工作原理-1.....	5-48
圖 5.27	重力式壓電片冲刷監測計工作原理-2.....	5-48
圖 5.28	重力式壓電片冲刷監測計工作原理-3.....	5-49

圖 5.29 簡易現地河道斷面量測示意圖	5-51
圖 5.30 三維雷射掃描儀與物體間相對坐標系示意圖	5-53
圖 5.31 六龜大橋災後照及 3D LIDAR 掃描圖	5-57
圖 5.32 新旗尾橋災後照及 3D LIDAR 掃描圖	5-58
圖 5.33 大津橋災後 3D LIDAR 掃描圖	5-58
圖 5.34 切取試片示意圖	5-65
圖 5.35 氯離子含量與深度關係圖	5-65
圖 5.36 (A)中性化深度示意圖(B)實際試體中性化深度	5-69
圖 5.37 (A)鋼筋腐蝕偵測器 (B) 施作配置圖	5-70
圖 5.38 橋孔檢測位置圖	5-73
圖 5.39 鋼筋腐蝕速率分布圖	5-73
圖 5.40 建議鹼反應性檢測流程圖	5-78
圖 6.1 振動檢測儀器	6-21
圖 6.2 谷關大橋施測時情況	6-22
圖 6.3 谷關大橋振動檢測速度計裝設位置	6-23
圖 6.4 谷關大橋振動歷時曲線	6-24
圖 6.5 谷關大橋 HT 向振動顯著頻率隨時間之變化	6-25
圖 6.6 谷關大橋 HT 向振動損傷指數隨時間之變化	6-26
圖 6.7 谷關大橋 HT 向振動平均富氏譜	6-26
圖 6.8 西濱大橋施測時情況	6-27
圖 6.9 西濱大橋振動檢測速度計裝設位置：	6-28
圖 6.10 西濱大橋 HT 向振動顯著頻率隨時間之變化	6-29
圖 6.11 西濱大橋 HT 向振動振動平均富氏譜	6-30
圖 6.12 谷關橋超震波橋墩基礎調查成果及推估基礎深度	6-37
圖 6.13 西濱大橋 R-2 測線位置示意與探測成果圖	6-41

圖 6.14 西濱大橋 R-3 測線位置示意與探測成果圖	6-42
圖 6.15 西濱大橋 R-4 測線位置示意與探測成果圖	6-43
圖 6.16 西濱大橋 R-5 三維切面電阻率探測成果圖	6-44
圖 6.17 西濱大橋 R-5 XY 水平切面與 YZ 垂直切面電阻率探測成果圖.	6-45
圖 6.18 谷關橋 R-6 測線位置示意與探測成果圖	6-47
圖 6.19 谷關橋測線位置示意與探測成果圖	6-48
圖 6.20 西濱大橋 R-1 測線位置示意與探測成果圖	6-51
圖 6.21 西濱大橋折射震測測線位置示意與探測成果圖	6-52
圖 6.22 表面波頻散圖,縱軸為速度倒數	6-53
圖 6.23 谷關橋折射震測測線位置示意與探測成果圖	6-55
圖 6.24 表面波頻散圖,縱軸為速度倒數	6-56
圖 6.25 西濱大橋第 21 墩沖刷監測器安裝前情形	6-58
圖 6.26 9 月 19 日至 9 月 20 日累積雨量圖	6-59
圖 6.27 9/18 凡那比颱風未侵襲前橋梁現況	6-60
圖 6.28 9/19 12:00 凡那比颱風登陸時橋梁現況	6-60
圖 6.29 9/19 17:00 凡那比颱風登陸後橋梁現況	6-61
圖 6.30 9/20 12:30 凡那比颱風即將離台時橋梁現況	6-61
圖 6.31 9/23 15:30 凡那比颱風結束後 3 天橋梁現況	6-62
圖 6.32 西濱大橋 P21 橋墩之河床高程歷時變化	6-62
圖 7.1 快速富利葉轉換示意圖	7-2
圖 7.2 代表性平均振動顯著頻率之求取示意圖	7-3
圖 7.3 橋梁構架損傷指標之推導示意	7-4
圖 7.4 直接基礎之受力分佈示意圖	7-9
圖 7.5 群樁基礎之結構分析模型示意圖	7-12

圖 7.6	沉箱基礎之結構分析模型示意圖	7-15
圖 7.7	圓形沉箱基礎之有效接觸面積	7-16
圖 7.8	圓形沉箱基礎之 與 之關係圖	7-17
圖 7.9	沉箱基礎 之結構分析模型圖	7-19
圖 7.10	沉箱基礎 之結構分析模型圖	7-21
圖 7.11	沉箱基礎 之結構分析模型圖	7-23
圖 7.12	沉箱基礎之結構分析模型示意圖	7-24
圖 7.13	樁基礎之結構分析模型示意圖	7-26
圖 7.14	交通部公路總局封橋標準作業程序	7-32
圖 7.15	颱風期間封橋作業應變流程	7-34
圖 7.16	橋梁重大災情搶救作業流程圖	7-38
圖 7.17	緊急應變通報流程	7-39

第一章 緒論

1.1 研究背景

橋梁結構為跨越河川、山谷等障礙物之重要公路設施。臺灣因多山谷、河川短且急促，在地狹人稠區域，橋梁即成為社會經濟活動正常運作的關鍵。造成臺灣地區橋梁之損傷劣化時主要自然因素有地震、洪水、腐蝕環境等，其中因洪水夾帶大量泥石之沖刷掏空，是目前危害臺灣橋梁穩定性的主要殺手。

臺灣橋梁基礎裸露情況明顯，常肇因於河川上游興建各種蓄水或攔砂構造物，使得河川砂石在上游遭到攔截，導致河川下游段砂石補充來源大幅減少；又因河川砂石濫採形成的許多採砂坑，妨礙河川砂石之流動與補充，造成河床高程逐年下降；再加上颱風豪雨侵襲，洪水攜帶砂石沖刷河床，對橋梁基礎進一步沖刷淘深。這些情況不僅造成河床下降與河道河相之改變，衝擊河川橋梁墩柱基礎，對於河防與跨河構造物之安全及生態之破壞，均造成許多不良的影響，使橋梁基礎裸露情況日益嚴重，危及橋梁安全。位於上游易致洪水、土石流災害之溪流下游之河川跨越橋，其橋墩、橋面版易遭洪水、土石流沖毀或淹埋。

跨河橋梁發生倒塌斷橋前，往往係經歷數次颱風豪雨之沖刷後，由於河岸之側向侵蝕崩退、河道之深槽移動…等河道流路變遷，導致原埋置於高灘地內之橋基嚴重裸露。若橋基大幅沖刷裸露後，將引致橋基之穩定度降低或穩定失衡，若作用於橋梁之外力的影響已大於橋梁結構所具有之穩定度時，將造成橋梁失去平衡，產生傾斜、移位或下陷、崩塌損毀的情事。

在接連的颱風大雨災害中，有不少橋梁雖然沒有傳出倒塌斷裂的災情，但主管單位因為考量用路人生命財產的安全，而不得已在大水中採取封橋的措施，以確保用路人的安全，但是這些緊急應變措施

不僅對橋梁管理單位是一大人力上的負擔，同時應變措施的不當，而造成人民生命財產的損失，則使人民對政府的執政衍生負面觀感，甚至影響臺灣的國際形象。政府在積極發展經濟的同時，對於橋梁安全的檢監測與維護應予更加重視。

1.2 研究目的

鑑於近年來橋梁受害所佔之發生比率及嚴重受損之程度，均以洪水之沖刷災害為最高，為能確實掌握防災救災的先機及採取有效的因應對策，完整而詳細地記載有關橋梁下部結構之各項細部數據與相關之水地文河川資料(含過去歷程)，是為當前之首要工作。因此，吾人如何就跨河橋梁沖刷災害歷史成因的深入瞭解、橋梁沖刷潛勢與流路變遷趨勢之評估，乃至於颱風期間觀察橋址周邊是否發生特殊流況(橋基遭受沖刷災損之斷橋前徵兆)，據以研判跨河橋梁之沖刷受損狀態，以利在颱風沖刷歷程中採行相關緊急應變處置作為，進而確保橋梁與行車安全。

其中，對橋梁管理單位而言，建立有效之橋梁橋基檢測相關作業流程、注意事項與表格，並且如何應用於颱風前進行沖刷檢測與評估、颱風沖刷歷程中執行緊急應變處置、颱風後之快速災損調查與評估、並據以擬定相關因應對策，以維護橋梁之安全，實乃當前應急迫達成之目標。特別是在各階段之巡查檢測、封橋研判、封橋後之應變與處置、橋基沖刷受損等級與沖刷成因分類等，皆予以具體地表格化或流程化，以供橋梁工程師於執行颱風沖刷檢測之快速參採。故建立跨河橋梁颱風沖刷檢測作業規範（草案），以供橋梁管理單位在沖刷斷橋災害發生前，能先行採取應變處置措施，以確保用路人之生命安全，實為極重要之研究課題。

1.3 研究內容與範圍

國內對於跨河段橋梁設計與施工雖已有生命週期之觀念，但相關的檢測與評估方法則尚未建立完整的機制，以往的研究多著重於橋梁沖刷過後之現況探討、個案分析以及水文水理之推算演練，雖後續皆有提出修補以及適當之保護工，但往往颱風過後沖刷嚴重區域的過河段橋梁又再度損壞。對於真正過河段橋梁橋墩與基樁，在沖刷前、後如何檢測之檢測技術，以及檢測後如何做橋梁安全性之評估，如何依據檢測評估後修補均較少著墨。加上現實狀況除非橋墩基礎產生嚴重傾斜、裸露，在常時水流的淹沒或外表不明顯的情況下，不易以目視或其他方式觀察其潛在的破壞狀況，因此如果能快速、準確判定其損傷現況，當能有效防止橋基沖毀甚至斷橋之情況。因此本計畫之目的期能建立一套有效針跨河橋墩基礎颱風沖刷檢測作業規範（草案），可以供橋梁管理單位在沖刷斷橋災害發生前，能先行採取應變處置措施，以確保用路人之生命安全。

本研究彙整國內外相關的經驗與文獻，訪查各工程主辦機關蒐集跨河段橋梁檢測程序、執行方式與成果，以及遭遇技術瓶頸與相關建議，建立一套針對本土性跨河橋墩基礎颱風沖刷檢測作業規範（草案），以案例實際操作，研究成果將能提供應用於公路橋梁管理單位(公路總局、高速公路局、各縣市政府等)之跨河橋梁颱風豪雨沖刷檢測作業。根據本計畫之工作計畫書，主要工作內容包括二期：

第一期(民國 98 年 10 月 1 日-民國 99 年 12 月 31 日)：

1. 跨河橋梁沖刷檢測之相關作業準則或要點等與文獻之蒐集彙整。
2. 現行橋梁檢測維修評估系統之回顧與建議。
3. 現行有關橋基沖刷檢測之橋梁巡查、檢查時間點(平時、定期及特殊檢測(颱風後))之探討與建議。
4. 跨河橋梁沖刷檢測相關作業流程、注意事項與相關表格之初擬。

- (1)研提考量颱洪前、中、後各階段之動態循環特性的橋梁基礎沖刷防災體檢表。
 - (2)初步研擬橋基及保護工暨上下游河段之沖刷檢測注意事項。
 - (3)颱洪期間之巡查檢測與封橋作業應變流程初擬。
 - (4)初步研提颱洪期間巡查檢測與封橋研判之注意事項。
 - (5)初步研提(颱洪豪雨期間)跨河橋梁沖刷之颱洪特殊流況檢查表。
 - (6)沖刷檢測評估後之因應作業流程(災後維護復建處置、颱洪後開放通行之判斷依據)。
5. 颱洪沖刷期間之橋基裸露深度檢測方法初擬。
 6. 就大甲溪流域中，擇定一座具嚴重沖刷潛勢之橋梁作為第二年進行現地驗證之研究案例橋梁，並針對其沖刷歷史資料進行蒐集分析與流路變遷趨勢研判，以供第二年現地驗證之用。
 7. 辦理期末教育訓練講習會 1 場 (講習時間至少 6 小時)。

第二期(民國 100 年 1 月 1 日-民國 100 年 12 月 31 日)：

1. 蒐集橋基沖刷受災之颱洪特殊流況事例。
2. 就第一年擇定之研究案例橋梁，協同橋梁管理單位進行颱洪沖刷檢測與因應作業流程之現地驗證，並依據驗證結果，檢討修正第一年初擬之跨河橋梁沖刷檢測之相關作業流程與注意事項。
3. 依據檢討修訂後之沖刷檢測相關注意事項，初擬颱洪前、中、後各時期所需之沖刷檢測作業相關表格。
4. 訂定颱洪沖刷期間之橋基裸露深度檢測方法。
5. 訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範草案。
6. 辦理專家座談會 1 場、期末教育訓練講習會 1 場(每場講習時間至少 6 小時)。

第二章 沖刷檢測流程

2.1 國內外橋梁檢測制度比較

每年颱風洪水過後，橋梁沖刷問題長期造成臺灣公路橋梁的威脅，且由於橋梁種類眾多、構造各異，且所屬河系不同、水文水理條件不一，要將所有類別的橋梁於同一規範下進行沖刷檢測與維護，實有其困難之處。而世界各國在規範橋梁檢測方面，各有其立論依據以及作法。以下將先行介紹美、日、我國現行橋梁檢測制度下，不同之檢測目的與種類。

2.1.1 美國橋梁檢測制度

1. 國家橋梁檢測標準 NBIS

美國在聯邦標準規範(Code of Federal Regulation , CFR)中高速公路篇，列有國家橋梁檢測標準(National Bridge Inspection Standard, NBIS)^[1]一節，該規範(CFR)近幾年均有陸續修訂，長期為美國所遵循。在規範中對於公路的興建、維護、檢查、管理等，均有詳細規定，其說明如下：

(1)適用範圍：本制度乃針對全國重大或重要橋梁來進行檢測。

(2)檢測名詞定義：

- a. 橋梁檢測經驗：無論是現場檢測人員、橋梁管理者等參與者都皆須遵循橋梁檢測標準。
- b. 橋梁檢測訓練：增進橋梁檢測品質、新檢測技術之介紹與維持檢測標準之一致性。
- c. 複合橋梁：斜張橋、拱橋與脊背橋等特殊橋。
- d. 一般橋梁檢測訓練：訓練橋梁檢測相關技術與橋梁狀況相關的檢測標準建立。

- e. 重要調查結果：需針對結構或安全損壞進行進一步的檢測或處置。
- f. 損壞調查：此為不定期之檢測，評估因受環境或人為損傷之調查。
- g. 損壞重要構件：鋼構件損壞可能會導致部分或全橋的倒塌。
- h. 損壞重要構件調查：藉由包含目視與非破壞性評估之方式進行損壞重要構件檢查。
- i. 詳細檢測：針對例行性檢測方式無法立即檢測之損壞，進行一個或多個構件之詳細觀察(水面上或水面下)。
- j. 初始調查：針對橋梁進行資料建檔並評估其損壞狀況之底線為何。
- k. 載重限制：每輛汽車允許的最大載重限制。
- l. 專業工程師：取得檢測人員資格並有四年的實際檢測經驗。
- m. 計畫經理：主管橋梁計畫之管理者，被指派賦予責任與義務於橋梁檢測、報告編撰與清查並對檢測團隊組長提供指導。
- n. 品質保證：使用抽樣和其他量測方式去確保品質控制流程的適當性，以驗證或量測所有橋梁檢測的品質等級。
- o. 品質控制：使用管制程序來維持橋梁檢測之品質。
- p. 例行性檢測：定期排定的檢測方式並由目視檢測與儀器量測組成之作業，需視現場自然環境狀況以及橋梁功能現況來決定檢測方式。其目的為確認橋梁初始狀況或前次記錄狀況是否有所改變，並確保橋梁結構能滿足目前服務需求。
- q. 沖刷：流水侵蝕河床或堤岸；通常考量橋墩或橋台周圍的局部狀況。

- r. 沖刷重要橋梁：經沖刷狀況觀察或評估後，易造成基礎不穩定之橋梁。
- s. 特殊檢測：一種隨橋梁管理者需求所安排的檢測方式，用來評估已知或未確認之構件異狀。
- t. 水下橋梁檢測訓練：訓練水下橋梁檢測技術，賦予橋梁檢測者能針對水下橋梁構件之狀況進行檢查。
- u. 水下檢測：檢測橋梁下部結構位於水下之部分以及周圍的河道，這些部分在低水位時不能經由目視來進行，需使用潛水設備來進行作業。

(3)橋梁檢測組織

- a. 中央主管機關：即美國之聯邦政府機構，其管轄的橋梁為全美國之聯邦政府負責的橋梁。
- b. 地方管理機關：即各州之交通部門，其管轄範圍為坐落或部分位於在各州境內之非聯邦管轄的橋梁。

(4)檢測人員資格

以下將分就檢測人員、檢測培訓單位與培訓師資說明其各自之資格：

a. 計畫經理

(a)須註冊為專業工程師或是擁有 10 年以上橋梁檢測經驗。

(b)完整的完成聯邦公路總署 (FHWA, Federal Highway Administration)所舉辦的橋梁檢測訓練課程。

b. 檢測團隊組長

至少具備以下條件之一種：

(a)擁有 5 年以上橋梁檢測經驗以及完整的完成 FHWA 所舉辦的橋梁檢測訓練課程。

(b)至少完成國家工程科技認證中心(NICET)所辦理的專業工程師專案中等級 3 或等級 4 的橋梁安全檢查員認證，以及成功的完成 FHWA 所舉辦的橋梁檢測訓練課程。

(c)具備以下條件：

i.具有工程相關學系之學士學位或是被相關工程科學機構同等認定資格。

ii.成功通過國家工程檢測員測驗。

iii.擁有 2 年以上橋梁檢測經驗。

iv.成功的完成 FHWA 所舉辦的橋梁檢測訓練課程。

(d)具備以下條件：

i.擁有 4 年以上橋梁檢測經驗。

ii.具有工程或工程科技之就讀美國大學兩年以上的肄業證明，或是由相關工程科學機構同等認定資格。

iii.完整的完成 FHWA 所舉辦的橋梁檢測訓練課程。

c. 獨立負責橋梁載重評估人員

須註冊為專業工程師。

d. 水下檢測作業人員

完整的完成 FHWA 所舉辦的橋梁檢測訓練課程，或是其他 FHWA 所認可的橋梁水下檢測訓練課程。

(5)檢測頻率

以下分就例行性檢測、水下檢測與特殊的重要構件等狀況來進行檢測頻率之說明：

a. 例行性檢測

- (a) 每座橋檢測的檢測頻率不超過兩年。
- (b) 確定需檢測之橋梁檢測頻率需小於兩年。建立考量橋齡、交通特性與已知損壞的評估標準來決定等級與頻率。
- (c) 確定需檢測之橋梁，但已經分析確認其劣化狀況(頻率或增加速率)，則其檢測頻率可超過兩年但不超過四年。

b. 水下檢測

- (a) 每座橋檢測的檢測頻率不超過五年。
- (b) 確定需檢測之橋梁檢測頻率需小於五年。建立考量施工材料、環境特性、橋齡沖刷特性過往檢測等級與已知損壞的評估標準來決定等級與頻率。
- (c) 確定需檢測之橋梁，但已經分析確認其劣化狀況(頻率或增加速率)，則其檢測頻率可超過五年但不超過六年。

c. 斷裂控制構件檢測(Fracture Critical Member, 簡稱 FCM)

- (a) 每座橋檢測的檢測頻率不超過兩年。
- (b) 確定需檢測之橋梁檢測頻率需小於兩年。建立考量橋齡、交通特性與已知損壞的評估標準來決定等級與頻率。

d. 損壞、深入或特殊檢測：需視實際狀況決定檢測等級與頻率。

(6)檢測程序

- a. 橋梁進行初始檢測、例行性檢測、深入檢測、斷裂控制構件檢測與水下檢測時，需至少有一名檢測組長，以確保檢測品質。
- b. 橋梁檢測報告之結果需連同發現劣化位置之註釋進行記錄，當發生重要的維修或檢測作業時，報告需更新此些資料。橋梁檢測記錄之結果需依規定的表格辦理。
- c. 辨識斷裂控制構件(FCM)橋梁、需進行水下檢測橋梁或有沖刷潛勢之橋梁：
 - (a)斷裂控制構件(FCM)橋梁：辨識斷裂控制構件位置以及說明其檢測頻率與程序。
 - (b)需進行水下檢測橋梁：辨識水下構件位置，針對需求橋梁說明其檢測頻率以及作業程序。
 - (c)有沖刷潛勢橋梁：提出監測計畫，並針對重要構件進行監測。
- d. 特殊橋梁檢測：確認特殊檢測流程，並授與檢測人員額外的訓練，檢測人員經驗需檢測過特殊橋梁。
- e. 品質控制與保證：確保檢測計畫能維持高品質的正確性與一致性，包含定期檢視檢測團隊於現場檢測之狀況、針對計畫管理者與檢測組長授與橋梁檢測回訓課程、針對檢測報告進行個別審視。
- f. 重要構件的進一步處理：建立程序以確保發現於重要構件的異狀能被以適時的方法進行標記，並且定期的將重要構件異狀的處理方法或監測狀況回報主管機關。

(7)橋梁清查

- a. 例行性檢測、深入性檢測、斷裂控制構件檢測、水下檢測、損壞檢測與特殊檢測等檢測結果，需登入至地方政府或聯邦政府之結構清查與評量資料中，地方政府或聯邦政府須於完成該單位所管轄橋梁之檢測後 90 天內完成資料登入，或是完成地方政府及聯邦政府之所有橋梁檢測後 180 天內完成資料登入。
- b. 針對現有橋梁改變之狀況與新建橋梁之資料，必須將其資料登入至地方政府或聯邦政府之結構清查與評量資料中，地方政府或聯邦政府須於完成該單位所管轄橋梁之檢測後 90 天內完成資料登入，或是完成地方政府及聯邦政府之所有橋梁檢測後 180 天內完成資料登入。
- c. 針對橋梁載重限制之改變或除役橋梁，必須將其登入至地方政府或聯邦政府之結構清查與評量資料中，地方政府或聯邦政府須於完成該單位所管轄橋梁之檢測後 90 天內完成資料登入，或是完成地方政府及聯邦政府之所有橋梁檢測後 180 天內完成資料登入。

美國國會在 1968 年通過聯邦公路法案(Federal Highway Act of 1968)時，美國聯邦公路總署與加州運輸廳(Caltrans) 共同出資建立橋梁管理系統並將全國橋梁建立全國橋梁清冊(National Bridge Inventory, NBI)制定了全國橋梁檢測準則(National Bridge Inspection Standard, NBIS)。而有別於一般之橋梁管理系統只是流於基本資料之建置和查詢，美國為了確保橋梁檢測資料之完整性與一致性，FHWA 訂定『全國橋梁登錄及評估指南(Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, December 1995)』，作為各州進行橋梁檢測工作之參考依據。其中提供了符合 NBI 需求之橋梁登錄評估表(Structure Inventory and Appraisal Sheet)，涵蓋橋梁的基本資料、幾何資料、結構型式與材料性質資料等共 116 個項目的橋梁資料編碼，作為各州政府執行橋梁檢測作業之報告表單，內容極為詳

盡，其橋梁各項評估編碼如表 2-1 所示。由表中可看出其編碼工作的龐大與執行上的專業度必須足夠。因為編碼內容包含著檢測資料，所以當登錄至系統表格時，管理者即可透過編碼裡的歷史維修檢測資料，了解橋梁現況與及時研擬對策。故美國要求各州政府每兩年檢測各州所轄之所有橋梁一次，並將資料彙整於美國聯邦公路總署進行資料更新及保存的動作。

表2-1 橋梁登錄表編碼細項表

項目編號	項目說明	項目編號	項目說明	項目編號	項目說明	項目編號	項目說明
1	州編碼	33	橋面中間型式	55A	參考資料特徵	95	鐵路維修成本
8	結構物號碼	34	彎曲角度	55B	最小測限距	96	計畫專案成本
5	路線普查	35	結構外傾	56	最小左測限距	97	年度維修成本估計
5A	紀錄種類	36	交通安全性特徵	58	橋甲板	98	邊界橋
5B	道路標號	36A	橋樑欄杆	59	上部結構	98A	鄰近州碼
5C	指派服務程級	36B	轉換處	60	下部結構	98B	權責比例(%)
5D	道路號碼	36C	通道欄杆	62	涵洞	99	邊界橋結構編號
5E	方向性下標號	36D	通道欄杆末端	63	決定操作率之方法	100	STRAHNET 公路辨識碼
2	高速公路機關轄區	37	歷史重要性	64	操作率	101	平行結構辨識碼
3	鄉鎮號碼	38	航線控制	61	航道/航道保護	102	交通方向
4	地方號碼	39	垂直航道間隙	65	決定普查率之方法	103	臨時結構辨識碼
6	交接處特色	40	水平航道間隙	66	普查率	104	高速公路普查路線
6A	交接處特色	41	結構物開放,暫停,關閉	67	結構評鑑	105	聯邦高速公路
6B	重要設備指示器	42	服務種類	68	橋板形狀	106	重建年代
7	結構物負載設施	42A	橋上服務種類	65	決定普查率之方法	107	橋面版形式
9	地點	42B	橋下服務種類	66	普查率	108A	磨損層材料
10	項目查詢(inventory)普查,最小垂直淨空	43	主建築物種類	67	結構評鑑	108B	外層材料性質
11	里程數	43A	材料/設計種類	68	橋板形狀	108C	橋面版保護
12	高速公路網路資料	43B	設計/施工種類	69	間隙	108	磨損層/保護層系統
13	項目查詢(inventory)普查,支線號碼	44	結構種類,橋翼	70	橋梁限重標示	109	平均日交通量
13A	道路線性參考資料系統普查	44A	材料/設計種類	71	上部結構	110	國家網路辨識碼
13B	支線號碼	44B	設計/施工種類	72	下部結構	111	橋墩/橋台保護
16	緯度	45	主要單元中翼之數量	75	航道/航道保護	112	NBIS 橋梁長度
17	經度	46	接口處翼之數量	75A	涵洞	113	重要沖刷橋梁
19	繞道長	47	橋梁普查總水平間隙	75B	決定操作率之方法	114	未來平均日交通量
20	通行費	48	最大橋翼長度	76	操作率	115	年度未來平均日交通量
21	維護責任	49	結構長度	90	決定普查率之方法	116	最小垂直橋下淨空

表 2-1 橋梁登錄表編碼細項表(續)

22	所有者	50	人行道寬度	91	普查率		
26	路線機能種類	50A	左人行道寬度	92	重要檢測		
27	完工年度	50B	右人行道寬度	92A	重要檢測細項		
28	結構上或下之道路	51	路寬	92B	水下檢測		
28A	結構上之道路	52	橋甲板寬	92C	其他特別檢測		
28B	結構下之道路	53	最小垂直跨高	93	重要檢測日期		
29	平均日交通量	54	最小垂直限高	93A	重要檢測細項日期		
30	平均日交通量之年度	54A	參考資料特徵	93B	水下檢測日期		
31	道路設計	54B	最小垂直限高	93C	其他特別檢測日期		
32	路寬方式	55	最小右測限距	94	橋梁維修成本		

2. 橋梁替換及維修計畫 HBRRP

而關於地區高速公路橋梁替換及維修計畫(Local Highway Bridge Replacement and Rehabilitation Program, HBRRP)以加州為例，是由加州運輸廳(Caltrans)評估申請單位的核可資格，並利用聯邦運輸公平法(Federal Transportation Equity Act)的原則中的聯邦基金，根據申請的資格發放預算進行橋梁修補計畫。其各單位申請項目為：

(1)主要項目申請：橋梁的修補與重建。

(2)單一項目申請(針對橋梁本體)

- a. 塗裝修補(Painting)
- b. 橋護欄替換(Barrier Railing Replacement)
- c. 沖刷後對策(Scour Countermeasure)
- d. 當地委託的地震補強計畫(Local Mandatory Seismic Retrofit Program)

(3)特別項目申請(依功能需求、規範改變)

- a. 沿路河川滿水期行車狀況的改變(Low Water Crossing Replacement With New Bridge)
- b. 洪災計畫導致的橋梁替換(Bridge Replacement Due to Flood Control Project)
- c. 在原為渡口處新建橋梁(New Bridge to Replace Ferry Service)
- d. 列為歷史古蹟橋梁(Special Historic Bridge Work)
- e. 列為高價值的橋梁，例如：橋梁上層為一般車道，下層為捷運系統。(High Cost Bridge Projects)

申請過程中除必須提供重建或修補的工程預算和報告之外，並利用 HBRRP 申請應用表格逐步填寫內容，其中申請橋梁的條件必須滿足：(1)橋梁設計規範必須依據 AASHTO，(2)新建橋梁 10 年內不得申請，(3)橋梁單跨跨距必須大於 6.1M。修復橋梁的資格評定是利用橋梁結構缺陷 (Structurally Deficient, SD) 和功能退化 (Functionally Obsolete, FO) 的狀況下作評分：

當功能滿足評分值 (Sufficiency Rating, SR) 小於 80 時可進行一般項目的維修申請；小於 50 時即可進行申請重建。其計算方式詳述如下 (可參閱下圖 2.1)，共計四大項：

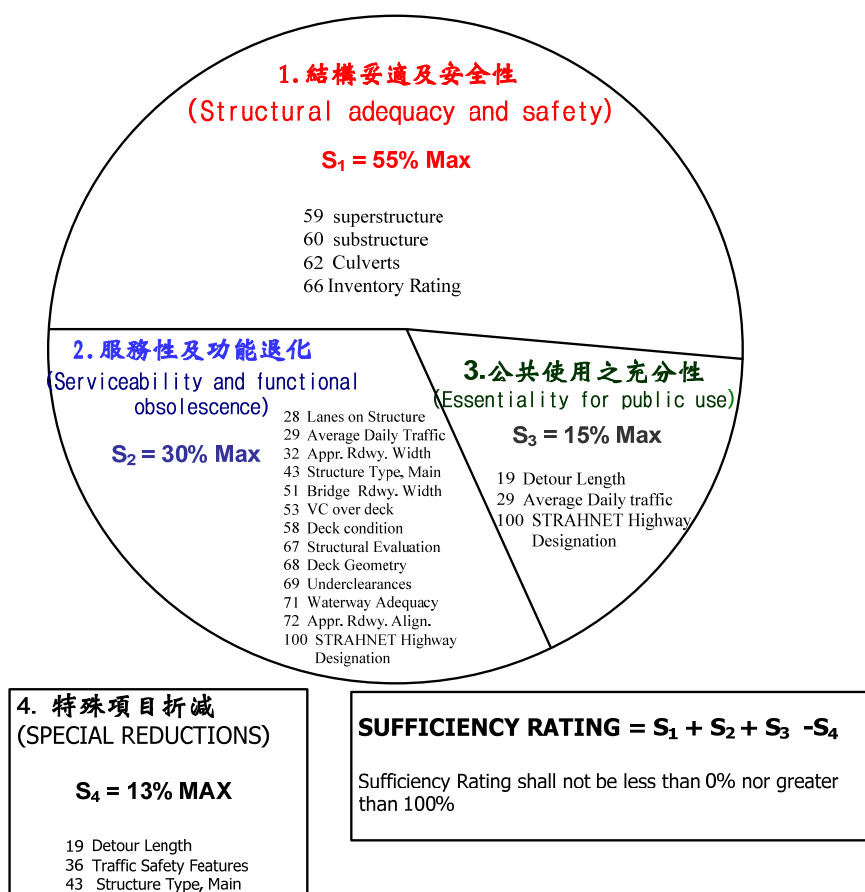


圖2.1 功能滿足百分率計算表

(1)結構妥適及安全性(Structural Adequacy and Safety)：分數介於 0~55，計算細目是根據美國橋梁檢測手冊標準(NBIS)中的橋梁編碼項目，其評估項目如表 2-1 所示。

表2-2 結構妥適及安全性評估項目

橋梁編碼項目		說明	編碼
A	Item 59	上部結構	0,1,2,3 or 4....
	Item 60	下部結構	0,1,2,3 or 4....
	Item 62	管路；涵洞	0,1,2,3 or 4；Item43(結構型式) 後 2 碼(07,19)
B	Item 66	檢測率 (Load Capacity)	公噸(3 碼)

根據上述編碼得分計算：S1=55-(A+B)

(2)服務性及功能退化(Serviceability and Functional Obsolescence)：分數介於 0~30 分，其計算項目如下表 2-3。

表2-3 服務性及功能退化評估項目

橋梁編碼項目		說明	編碼
A	Item 58	橋面版	0~3,4,5
B	Item 67	結構評估	0~3,4,5
C	Item 68	橋面版幾何	0~3,4,5
D	Item 69	橋下淨空	0~3,4,5
E	Item 71	水路	0~3,4,5
F	Item 72	道路線形	0~3,4,5
X	Item 29	日交通流量	前 2 碼計算公式
Y	Item 51	路寬	前 2 碼計算公式
G	Item 32	估計車道寬度	4 碼
G	Item 43	結構型式	後 2 碼計算
H	Item 28	車道數	前 2 碼計算跟 X,Y 比較
I	Item 53	VC 立面淨空	4 碼配合 Item100 比較得出 I
I	Item 100	STRAHNET 公路描述	0~3

根據上述編碼得分計算：

$$J=(A+B+C+D+E+F)$$

$$S2=30-[J+(G+H)+I]$$

(3)公共使用之充分性(Essentiality for Public use)：分數介於 0~15，其(NBIS)中的橋梁編碼項目如下表 2-4：

表2-4 公共使用之充分性評估項目

橋梁編碼項目		說明	編碼
A	Item 19	替代道路	配合 Item29 計算公式
	Item 29	日交通流量	ADT 計算
B	Item 100	STRAHNET 公路描述	0~3

根據上述編碼得分計算： $S3=15-(A+B)$

(4)特殊項目折減(Special Reductions)：當 $S1+S2+S3$ 分數大於 50 時，分數介於 0~13，其 NBIS 中的橋梁編碼項目如下表 2-5：

表2-5 特殊折減項目

橋梁編碼項目		說明	編碼
A	Item 19	替代道路	計算公式
B	Item 43	結構型式	第 2、3 碼
C	Item 36	交通安全重要性	利用 2、3、4 碼來判斷

根據上述編碼得分計算： $S3=A+B+C$

(5)功能滿足評分值(Sufficiency Rating) $SR=S1+S2+S3-S4$

經由上述 SR 的算法即可判斷現有橋梁是否需要維修，因為所有編碼已經建置於系統中，所以計算統計時相當方便，由此也可看出其橋梁編碼系統的重要性與其功能所在。其計畫申請的流程如下圖 2.2 所示。

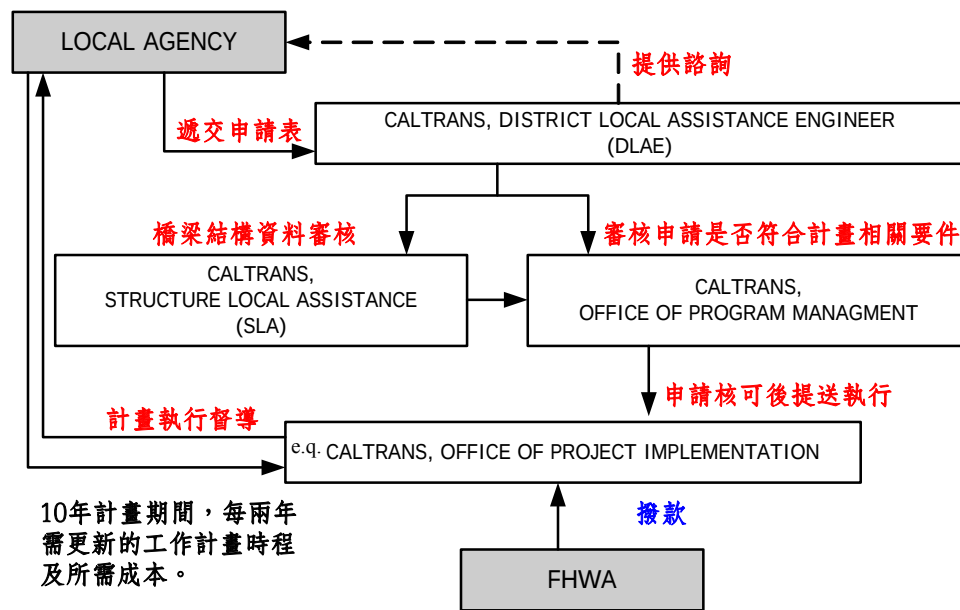


圖2.2 HBRRP 申請計畫流程

如當地管理單位所申請的任何一項計畫若三年內無任何相關的補助資金運用，加州高速公路局不接受新的申請，所有正在進行的計畫的施工許可也將暫停，直到地方政府提出新的工作計畫為止。而此計畫的特色是在於它在橋梁維修觀念裡屬於防禦式維修(Preventive maintenance)，其示意圖如圖 2.3。在橋梁無低於 80%時和新建十年內是不允許維修申請的，而超過 10 年後，每兩年就必須提出申請計畫否則將受到經費無法運用的懲罰。也就是針對美國新建或是已進行過主要維修後之橋梁的損壞判定，美國政府之聯邦公路總署特別訂定了十年規則(10-year rule)，只要是符合此一規範的橋梁一律不可以被判定為受損之橋梁，此規範訂定的目的是要避免在近十年內新建或是已經從事過維修的橋梁再度又被判定為受損者，如此可順利地讓原本由公路橋梁重建，或修復計畫法案所編列之欲修復且真正已達相當之使用年限，或因年久使用而受損橋梁之修復補強使用預算，而達到預算編列的目的，同時亦可避免新建或已修復後橋梁因施工過程或是使用管理不當而導致太早受損。規範內容茲簡述如下：

- (1)此規範裡所謂的已進行過主要之修復補強工作，此定義與執行之內容得由當地或是政府工程顧問之相關人員陪同進行
- (2)只要是符合 10 年規則之橋梁必定不能分配任何維修補強經費，這其中包括公路橋梁重建或修復計劃預算、聯邦政府補助之預算、州政府補助之預算、私人預算或其他修復補強經費等。
- (3)只要是符合可以受修復補強經費補助之橋梁，其名單必定會於公路橋梁重建或修復計劃之預算案列名，而沒有列名之橋梁即為不符合此一標準者。
- (4)對於不符合維修補助預算使用之橋梁若欲使用公路橋梁重建或修復計劃之預算經費，則必須提供相關之證明文件，包括具有重大天然災害之損壞、原先預料之外之損壞現象等。
- (5)由於所選取之橋梁是否符合預算補助之編列，其資料乃取自於 NBI 所建立之橋梁檔案資料庫，故針對資料庫之內容必須經常作更新動作。
- (6)換句話說，計畫的用意就是利用半強迫的方式去希望橋梁管理機關要定期對橋梁進行大規模的體檢，達成維護管理的成效。

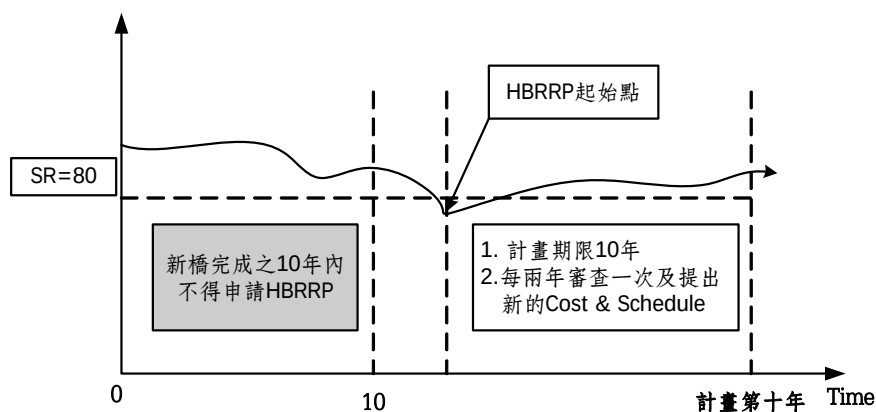


圖2.3 HBRRP 防禦式維修

2.1.2 日本橋梁檢測制度

日本建設省管理一般性國道橋梁之檢測種類可分為：

1. 平常檢測

所謂平常檢測，為了得以早期發現橋梁損傷，原則上在進行道路的日常巡迴檢查時，可一併實施橋梁的目視檢測。其對象為全部橋梁，以搭車方式目視，另一年一次步行由下方目視檢測橋梁。

2. 定期檢測

原則上以橋長 15m 以上為檢測對象，分兩年一次與十年一次兩種檢測方式。為了得以保持橋梁安全所進行，主要以目視即使用簡易之檢測儀器來進行。

3. 異常時檢測

地震、颱風、集中豪雨等災害發生時，或有發生災害潛勢之場合時之異常狀況下所進行的檢測。

4. 追蹤檢測

關於有必要進行狀況之掌握之損傷結構，以目視及簡易的檢測儀器，所進行的持續性調查。通常依據平常檢測、定期檢測以及異常檢測結果，判定具有追蹤調查必要之橋梁為檢測對象。

5. 詳細檢測

為了判斷修復、補強的必要性，主要以儀器檢測工具所實施之調查工作。依據平常檢測、定期檢測以及異常檢測結果，判定具有詳細調查之必要，橋梁構件作為檢測對象。

2.1.3 臺灣橋梁檢測制度

美國與日本對於橋梁檢測工作，雖其檢測頻率有所不同，但定義其檢測種類工作大同小異：美國自 1988 年修訂過 NBIS 之後，確立了定期檢測頻率為兩年一次，若有其他需要或考量要變更檢測頻率時，必須回報主管機關核可後，才可以變更檢測頻率；日本則是明訂檢測週期，依據檢測種類不同，有一套詳細的檢測項目與頻率。

相同之處，美日兩國的檢測頻率依據檢測類別而有所不同的檢測頻率，越輕易達成或花費時間越短的，檢測頻率也越高。相異之處，在美國規定中，規範了最基本的橋梁檢測頻率為兩年一次，但也提供可依據實際狀況變動檢測頻率的彈性。對於日本規範中檢測頻率為固定，較少變化。

而臺灣地區所轄橋梁分由高公局、公路局以及鐵路局管理。其規範橋梁檢測工作項目之文獻，計有交通技術標準規範「公路養護手冊-公路構造物安全檢查」^[2]、「國道高速公路局橋梁檢測作業要點」^[3]以及「1067 公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範」^[4]等。將分項下列說明檢測工作之種類：

1. 交通部高速公路局

依「國道高速公路局橋梁檢測作業要點」，辦理橋梁檢測種類計有：

(1) 經常檢測

經常檢測又分為：

- a. 日檢測：工務段每日一般養護巡查辦理。由工務段養護巡查人員，以慢速行車目視為之。以橋面以上構件及引道為檢測重點。
- b. 半年檢測：每年 4 月(防汛期前)，11 月(防汛期後)辦理。由橋梁檢測人員以步行目視或以簡單之量測器具，逐座檢測轄區所

有橋梁。以橋面以上構件、引道，及橋下之河道挖取砂石、墩基裸露、橋臺為重點。

(2)定期檢測

檢測頻率視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由工務段負責評估。每座橋梁每兩年至少檢測一次，惟橋梁跨徑超過 150m 或特殊橋梁，如斜張橋、 π 型橋梁或鋼拱橋等，每年應檢測一次。橋梁檢測間隔超過二年，應提出詳細計畫及資料，惟最長檢測間隔不得超過四年。並以接近橋梁構件，以目視或簡單量測器具為原則。針對橋梁所有構件全面檢測。

(3)特別檢測

颱風、豪雨、地震等天災，或火災、車撞等人為事故後為之。天災或人為事故後，由橋梁檢測人員以目視或簡單量測器具進行檢測。且橋梁檢測人員應於天災或事故後，能安全到達現場作業二天內完成檢測及製作檢測報告。檢測項目視天災或人為事故造成橋梁構件劣化情形，或其他特別需要檢測項目目的而定。

2.交通部公路總局

依據民國 92 年 3 月增訂頒布之「公路養護手冊」，檢測類別依檢測時效分述如下：

(1)經常巡查:

係平時實施之橋梁異狀、損傷檢測。檢測重點在於對用路人造成影響，需緊急維修之異狀、損傷。平時巡查原則上以二人一組，共乘一部巡查車，由車上以目力檢視橋梁構造物各種狀況，若發現有可疑之處，應下車檢查。

快速公路每週巡查至少兩次；其他公路每週巡查至少一次；夜間巡查每月至少一次；隧道檢查，以目測為主。

(2)定期檢測:

定時對橋梁所有構件實施全面檢測，及確認經常巡查記錄之橋梁異狀、損傷。檢測重點在掌握橋梁結構安全，早期發現構件之劣化程度並評估對橋梁功能損傷及其原因。定期檢測係利用徒步或攀登方式或特殊機械車輛儘可能接近橋梁構造物，予以較詳盡之檢查，以鑑定橋梁構造物之安全情形。

檢測頻率視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由維護單位負責評估。原則上每二年至少檢測一次，惟橋梁跨徑超過一百五十公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、 π 型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。完工五年內之新建橋梁若無特殊情況，應自完工後之第五年進行第一次定期檢測，而後續之檢測頻率則至少每二個月至四個月一次

維護單位如計畫將某些特定橋梁之檢測間隔延長至四年，則應提出詳細計畫及資料，送經管理單位之「橋梁檢測維護小組」核准。

(3)特別檢測

由天災（如颱風、豪雨、地震造成之災害）或人為破壞因素（如火災或車輛撞損主梁等人為損壞）引起之災害，致可能損傷橋梁結構所做之不定期檢測。檢測重點在針對災後或事故後或其他目的，探討是否造成橋梁功能損傷及是否需維修、補強。必要時，各公路管理單位得視其需要自行訂定檢測頻率。

3.交通部鐵路管理局

依據民國 86 年 12 月增訂頒布之「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」，有關橋梁檢查應每年定期就全線所有橋梁檢查一次，但遇有必要時得僅就特定橋梁施行之。其分類如下：

(1)平時檢查

由轄區工務段或工務段分駐所派員步行進行目視檢查，至少每月乙次，於颱風及豪雨期間則視需要機動加強巡查。

(2)定期檢查

每年 10 月～12 月間轄區工務段指定主辦工程司、轄區監工、班長等組成檢查小組，以步行目視檢查。

(3)定期複檢

每年 1 月～2 月間由本局工務處橋隧課人員，並請工務段施工股、轄區道班等派員組成，對於工務段檢查結果評定結構功能有疑慮施予複檢，並按優先順序提列年度維修經費。

(4)安全檢測

於定期複檢結果，判定需要辦理進一步之詳細檢測者，委託技術顧問機構施以特殊儀器檢測，並加以適當維修補強。

(5)臨時檢查

颱風、豪雨、地震災害後，或火災等事故後，可能損傷橋梁結構安全或行車安全或其他臨時需做之不定期檢查。

綜合上述，本研究將我國橋梁各單位檢測種類與頻率彙整如 表 2-6 所示。

表2-6 我國各單位橋梁檢測種類與頻率比較

項目	高公局	公路總局	鐵路局
專責人員/ 單位	各工務段至少指派一人為橋梁檢測專員。	各工務段養路監工站長或養路監工員。	工務段指定主辦工程司、轄區監工、班長。
檢測種類	經常檢測 定期檢測 臨時檢測	經常巡察 定期檢測 特別檢測	平時檢查 定期檢查 定期複檢 安全檢測 臨時檢查
檢測頻率	經常檢測：日檢測、半年檢測。 定期檢測： 一般：1次/2年 特殊：1次/年 臨時檢測：天然或人為災害後。	經常檢查： 快速公路：至少2次/週 其他公路：至少1次/週 夜間巡查：至少1次/月 定期檢測： 一般橋梁：1次/2年 特殊橋梁：1次/年 特別檢測：天然或人為災害後。	平時檢查：1次/月 定期檢查：10月～12月 定期複檢：1月～2月 安全檢測：委託技術顧問 臨時檢查：天然或人為災害後。

2.2 國內外沖刷檢測、評估制度比較

2.2.1 美國之沖刷檢測、評估制度

1. 聯邦公路總署(Federal Highway Administration , FHWA)之檢測作業

美國 FHWA 針對橋梁墩柱與基礎之沖刷研究成果亦相當豐碩，如表 2-7 所示，文獻中均說明橋梁因應河川沖刷之設計、評估與檢測技術，其內容包含了沖刷基本概念與定義、河床長期之沉積與沖蝕作用、橋梁抗沖刷設計、一般沖刷、橋墩局部沖刷評估、橋臺局部沖刷評估、沖刷案例、沖刷評估、潮汐沖蝕分析、沖刷檢測等。

至於 FHWA 檢測資料之編碼方式為將檢測時每個構件之劣化狀況與劣化程度以編碼方式進行資料儲存，其編碼方式如表 2-8 所示。待所有檢測完成，必須訂立一維修標準以進行構件評分（Condition Codes），其評分標準值從 0 到 9，0 為最差情形，而 9 為最佳情形，其評定表如表 2-9 所示。

表2-7 美國沖刷相關文獻一覽表

規範	題 名	出版年	出版序號
HDS 01	<u>Hydraulics of Bridge Waterways</u>	1978	FHWA-EPD-86-101
HDS 02	<u>Highway Hydrology Second Edition</u>	2002	FHWA-NHI-02-001
HDS 03	<u>Design Charts for Open-Channel Flow</u>	1961	FHWA-EPD-86-102
HDS 04	<u>Introduction to Highway Hydraulics</u>	2001	FHWA-NHI-01-019
HDS 05	<u>Hydraulic Design of Highway Culverts</u>	2005	FHWA-NHI-01-020
HDS 06	<u>River Engineering for Highway Encroachments</u>	2001	FHWA-NHI-01-004
HEC 09	<u>Debris Control Structures Evaluation and Countermeasures</u>	2005	FHWA-IF-04-016
HEC 11	<u>Design of Riprap Revetment</u>	1989	FHWA-IP-89-016

表 2-7 美國沖刷相關文獻一覽表(續)

HEC 14	<u>Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts & Channels</u>	1983	FHWA-EPD-86-110
HEC 15	<u>Design of Roadside Channels with Flexible Linings, Third Edition</u>	2005	FHWA-IF-05-114
HEC 17	<u>The Design of Encroachments on Flood Plains Using Risk Analysis</u>	1981	FHWA-EPD-86-112
HEC 18	<u>Evaluating Scour at Bridges, Fourth Edition (Errata Sheet)</u>	2001	FHWA-NHI-01-001
HEC 18	<u>Evaluating Scour at Bridges, Fourth Edition</u>		
HEC 20	<u>Stream Stability at Highway Structures Third Edition (Errata Sheet)</u>	2001	FHWA-NHI-01-002
HEC 20	<u>Stream Stability at Highway Structures Third Edition</u>	2001	FHWA-NHI-01-002
HEC 21	<u>Bridge Deck Drainage Systems</u>	1993	FHWA-SA-92-010
HEC 22	<u>Urban Drainage Design Manual Second Edition</u>	2001	FHWA-NHI-01-021
HEC 23	<u>Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures Experience, Selection, and Design Guidance Second Edition</u>	2001	FHWA-NHI-01-003
HEC 23	<u>Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures Experience, Selection, and Design Guidance Second Edition (Errata Sheet)</u>		
HEC 24	<u>Highway Stormwater Pump Station Design (cover)</u>	2001	FHWA-NHI-01-007
HEC 24	<u>Highway Stormwater Pump Station Design</u>	2001	FHWA-NHI-01-007
HEC 25	<u>Tidal Hydrology, Hydraulics, and Scour at Bridges</u>	2004	FHWA-NHI-05-077
Other	<u>FHWA Hydraulics Library on CD-ROM FHWA Hydraulics Library on CD-ROM (Updated Browser)</u>	2002	
Other	<u>Underwater Evaluation And Repair of Bridge Components</u>	1998	FHWA-DP-98-1
Other	<u>Best Management Practices for Erosion and Sediment Control</u>	1995	FHWA-FLP-94-005
Other	<u>Underwater Inspection of Bridges</u>	1980	FHWA-DP-80-1
Other	<u>Bridge Scour Protection Systems Using Toskanes</u>	1994	FHWA-PA-94-012
Other	<u>Structural Design Manual for Improved Inlets and Culverts</u>	1983	FHWA-IP-83-6
Other	<u>Hydraulic Performance of Curb and Gutter Inlets</u>	1999	FHWA-KU-99-1
Other	<u>Culvert Management Systems User Manual</u>	2001	FHWA-02-001
Other	<u>Culvert Management Systems Source Code</u>	2001	

表 2-7 美國沖刷相關文獻一覽表(續)

Other	<u>NCHRP Report 25-25 (04) Environmental Stewardship Practices, Procedures, and Policies for Highway Construction and Maintenance</u>	2004	
Other	<u>New England Transportation Consortium: Performance Specs for Wood Waste Materials as an Erosion Control Mulch and as a Filter Berm</u>	2001	FHWA-NETC 25
Other	<u>Geosynthetic Design and Construction Guidelines</u>	1995	FHWA-HI-95-038
Other	<u>Culvert Inspection Manual</u>	1986	FHWA-IP-86-2
RD	<u>Effects of Gradation and Cohesion on Scour, Volume 4, "Experimental Study of Scour Around Circular Piers in Cohesive Soils"</u>	1999	FHWA-RD-99-186
RD	<u>Effects of Gradation and Cohesion on Scour, Volume 3, "Abutment Scour for Nonuniform Mixtures"</u>	1999	FHWA-RD-99-185
RD	<u>Effects of Gradation and Cohesion on Scour, Volume 2, "Experimental Study of Sediment Gradation and Flow Hydrograph Effects on Clear Water Scour Around Circular Piers"</u>	1999	FHWA-RD-99-184
RD	<u>Effects of Gradation and Cohesion on Scour, Volume 1, "Effect of Sediment Gradation and Coarse Material Fraction on Clear Water Scour Around Bridge Piers"</u>	1999	FHWA-RD-99-183
RD	<u>Effects of Gradation and Cohesion on Scour, Volume 5, "Effect of Cohesion on Bridge Abutment Scour"</u>	1999	FHWA-RD-99-187
RD	<u>Users Primer for BRI-STARS</u>	1999	FHWA-RD-99-191
RD	<u>Bottomless Culvert Scour Study: Phase I Laboratory Report</u>	2002	FHWA-RD-02-078
RD	<u>Users Manual for BRI-STARS</u>	1999	FHWA-RD-99-190
RD	<u>Portable Instrumentation for Real Time Measurement of Scour At Bridges</u>	1999	FHWA-RD-99-085
RD	<u>Effects of Gradation and Cohesion on Scour, Volume 6, "Abutment Scour in Uniform and Stratified Sand Mixtures"</u>	1999	FHWA-RD-99-188
RD	<u>South Dakota Culvert Inlet Design Coefficients</u>	1999	FHWA-RD-01-076
RD	<u>Durability Analysis of Aluminized Type 2 Corrugated Metal Pipe</u>	2000	FHWA-RD-97-140

表 2-7 美國沖刷相關文獻一覽表(續)

RD	<u>Performance Curve for a Prototype of Two Large Culverts in Series Dale Boulevard, Dale City, Virginia</u>	2001	FHWA-RD-01-095
RD	<u>Bridge Scour in Nonuniform Sediment Mixtures and in Cohesive Materials: Synthesis Report</u>	2003	FHWA-RD-03-083
RD	<u>Enhanced Abutment Scour Studies For Compound Channels</u>	2004	FHWA-RD-99-156
RD	<u>Field Observations and Evaluations of Streambed Scour at Bridges</u>	2005	FHWA-RD-03-052
RD	<u>Remote Methods of Underwater Inspection of Bridge Structures</u>	1999	FHWA-RD-99-100
RD	<u>Hydraulics of Iowa DOT Slope-Tapered Pipe Culverts</u>	2001	FHWA-RD-01-077

表2-8 FHWA 構件劣化編碼

劣化狀況	編碼	劣化狀況	編碼
裂縫 Crack	CR	冰雪塊堆 Debris	D
表面砂漿與粒料疏鬆 Scaling	SC	挫屈 Buckle	B
剝落 Spall	SP	白華/風化 Efflorescence	EF
鏽斑 Staining	ST	滲漏水 Leakage	LK
鋼筋外露 Exposed Reinforcement	E	劈裂 Check/Splits	CK
腐蝕 Corrosion	C	腐朽 Rot	RT
蜂窩 Honeycomb	H	火害 Fire Damage	FD
片狀剝落 Patch Failure	PF	脫漆 Paint Deterioration	PD
空洞 Hollow Area	HA		
程度分類	編碼		
輕微 Minor	1		
中度 Moderate	2		
嚴重 Severe	3		

表2-9 FHWA 之構件狀況編碼

等級	描述
9	新建完成
8	最佳狀況—無異狀發生
7	狀況良好—無修補需要。極少劣化。
6	變化介於”5”與”7 之間”
5	狀況較差—尚需要修復，但結構功能上符合原始設計。輕中度劣化且沒有明顯的部位損失。
4	變化介於”3”與”5 之間”
3	狀況差—極需要修復而且結構功能已不符合原始設計。重度劣化。
2	狀況嚴重—極需要修復且必須立即維持構造，和開設其他高速公路以及鐵路。
1	狀況極嚴重—立即關閉，並且評估功能和建立可行性方案。
0	狀況極嚴重—立及關閉且無法修復。

至於有關沖刷評估之詳細文獻，FHWA 在 2001 年提出之第三版「Stream Stability at Highway Structures」(HEC-20)^[5]、第四版「Evaluating Scour At Bridges」(HEC-18)^[6]，以及在 2009 年之第三版「Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures Experience, Selection, and Design Guidance」(HEC-23)^[7]等三本手冊中，已將橋梁沖刷評估做一完整的介紹以及指引。如圖 2.4 所示，為一概略性的說明：首先利用 HEC-20 手冊做初期評估，首先做現場探勘並收集有關資料，再者獲得有用的資訊並且定義河川的種類等，最後確定欲分析的河川與橋梁層級後，則進入第三本手冊 HEC-18，在 HEC-18 中，開始進行水文水理的評估與分析，包含：沖刷分析、水流流線、多重水力、結構與環境的分析等；最後在利用 HEC-23，結合橋梁基礎結構與水力分析結果，綜合評估未來修復與補強計畫。

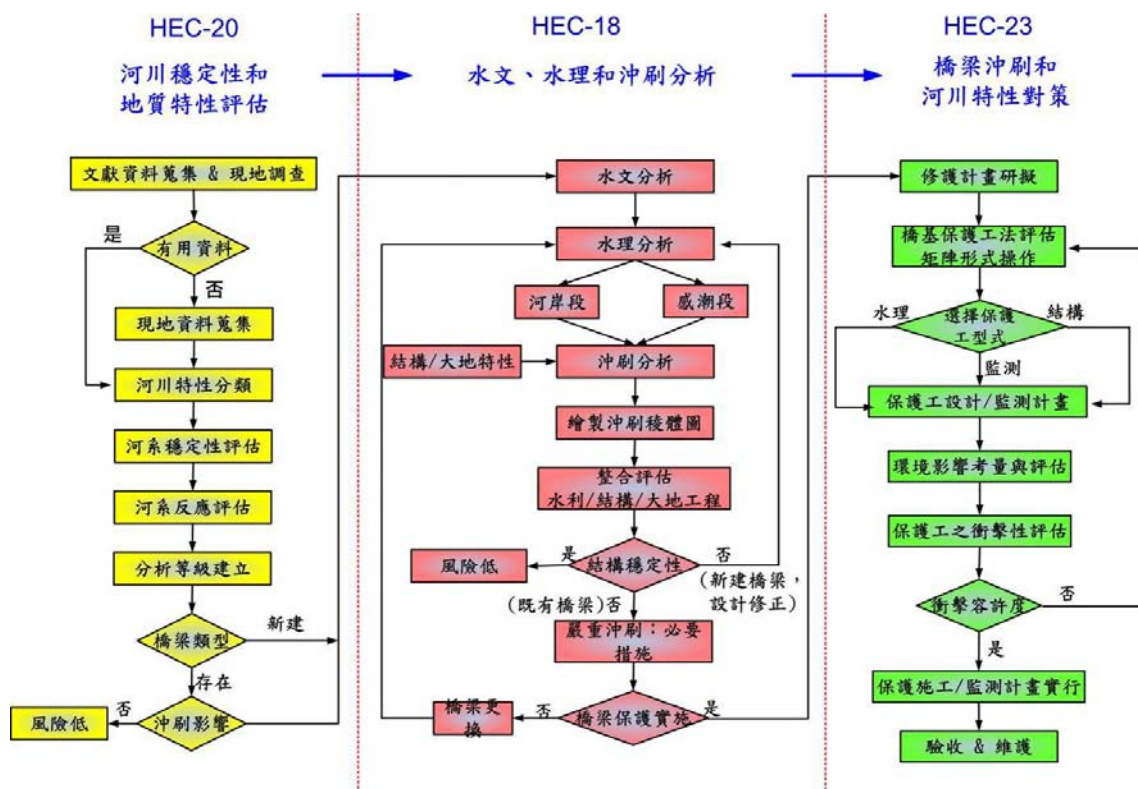


圖2.4 美國沖刷評估與穩定分析流程
(結合 FHWA HEC18、HEC20、HEC23)

2. 美國對於沖刷檢測之要求^[8]

有關跨河橋梁橋基沖刷檢測作業實為橋梁檢測作業中最為複雜的一環，其檢測的標的物除了橋梁結構以外，同時與河川之水文水理情形息息相關，許多橋台與橋墩結構可能隱藏在水面以下，並且橋台與橋墩基礎等結構物又均埋設於地面以下，因此不易由一般目視檢測得知其健全狀態。對此界面繁複卻又至關重要的橋梁構件之檢測工作，宜對檢測人員之組成與資格訂定更高標準的規範。跨河橋梁橋基沖刷檢測作業的目的在於及早發現具沖刷危險橋梁(scour critical bridge)之橋梁。在完成橋梁沖刷檢測作業後，檢測人員應對於具沖刷危險橋梁提出建議的處置方法。根據 FHWA NHI(2001)的報告所作的分類，對於具沖刷危險橋梁的處置方法概分為「水利手段(hydraulic countermeasure)」、「結構手段(structural countermeasure)」以及「監測手段(monitors)」等三種方式。檢測人員應根據實際之檢測結果提出最適合之處置方法，並說明理由。對於一份考慮周詳完整的處置計畫，再由獨立審查者(independent reviewer)進行審查時應是可獲致相同的處置結論。

至於具沖刷危險橋梁之認定可分為兩種：(1)在橋梁現址已發現到沖刷現象；(2)在橋梁現址雖然並未發現到沖刷現象，但是經過沖刷評估後評定具有沖刷潛在危險者。上述這兩種原因所判定具沖刷危險橋梁都需要進行進一步的處置作業。對於具沖刷危險橋梁的處置作業上必須兼顧數項考量因素。首先是要考量在判別是否屬於沖刷危險橋梁的原因所代表的涵意有所不同，因為在橋梁現址已發現到沖刷現象而評定為具沖刷危險的橋梁，代表該橋梁受沖刷威脅的事實已經存在，其優先程序要比經過沖刷評估後評定具有沖刷潛在危險者更為重要，因此應該要列為優先改善的對象。其次，橋梁所在的交通路網重要性也應納入考量，通常交通量較大，或是重要避難道路，或是作為某一地區之對外唯一聯絡道路等也都有必要妥善加以保全。再者，若是有部分橋梁已經排定在近期內將進行補強或改建者，其處置方式也應與其它在短期內尚無補強或改建規劃的橋

梁有所區隔，因為這類即將整建的橋梁其服役期程有限，施設永久性的水工構造物或結構補強工法會變得不是很有必要，反而在改建前採用監測作業的方式來降低橋梁破壞所造成的風險，便是一種較為合理的選擇模式。

橋梁緊急應變的計畫中應包括事前的災害預測模擬、橋梁管制、臨時穩定橋梁基礎的作業方式、地方上的人力與機具等。關於事前的災害預測模擬可以應用詳實的地理資訊系統，並配合適當的洪水預測模式，可以用來協助選取在颱風期間需要進行監測的橋梁對象，並且可以事先預測在何時段進行監測為宜，也有助於將可供調度的資源作最佳化的應用。至於橋梁管制的方式可分為限重、限速、部分車道封閉及全橋封閉等不同程度的管制方法，而配合的改道路線也應於事先規劃妥當。但在規劃改道路線的同時，在改道路線上的其它橋梁之沖刷易損性便應事先調查與評估，才能作成具有可行性的改道路線規劃。由於橋梁一旦封閉便立刻造成交通路網的中斷，所以對社會大眾的衝擊影響甚鉅。根據以往執行橋梁封閉的經驗，要決定橋梁封閉的時機並不困難，但是要判斷橋梁何時可以重新開放的時間點卻是極為難以下的決定，因為經常在颱風過後風雨便減緩或消弭，但是洪水卻需要更長的時間才能消散，而且在經歷洪峰的衝擊後是否橋梁已受到損壞亦不可知，需要更完整的資訊及工程分析來確定橋梁已達安全狀態才能開放使用。為了免除社會大眾不必要的疑慮，未來規範制定時將研擬各單位於事前確定封橋後重新開放的評估程序，並授權予指定的人員負責下達橋梁開放的指令，以統一整體橋梁管制作業的機制。

除了封橋作業事權統一以外，其它橋梁緊急應變的計畫中也應該事先都有當必要對外界說明時的規劃。此規劃可包括指定對外的發言人，並界定好可以提供的訊息。能在事件發生前研擬好與外界溝通的機制，藉此將正確的訊息傳遞給用路人知道，便能有效減低社會大眾的焦慮與臆測。

2.2.2 日本之沖刷檢測、評估制度

而對於橋梁沖刷調查，日本也有自行研發一套頗為完整的橋梁沖刷評估方法，該方法將評估流程分為『全面性檢測』與『個別檢測』兩階段，如圖 2.5 所示，第一階段『全面性檢測』為一較簡易且較適合一般現場人員執行，將針對多數的一般橋梁進行評估，其調查評分所使用之表格為沖刷判定表(佐溝昌彥^[14])，其中調查項目與評分內容亦大致與我國相似，完整之調查表格內容如表 2-10 所示。利用該份調查表之填表紀錄，就日本的 77 座現地橋梁進行調查評分後，再參照專業人員對各橋梁之沖刷情形加以研判，發現其得分在 110 分以下者將會有受沖刷危害的可能，其統計情形如圖 2.6，均透過統計比較的做法，來對橋梁之沖刷危害程度達到量化的預估，至於其第一階段詳細內容與臺灣的沖刷檢測表格之比較請參考 4.1 節詳細沖刷潛勢評估。

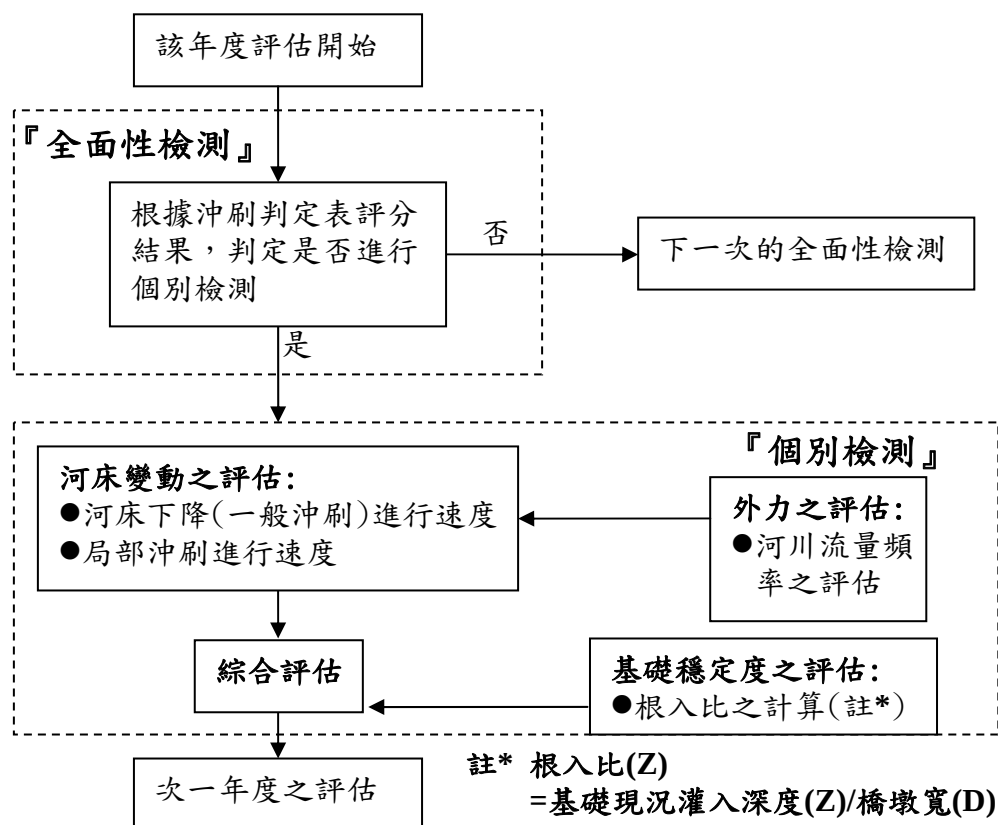


圖2.5 日本沖刷評估作業流程圖

表2-10 冲刷判定表

評估項目				分類	得分	
河川的環境條件	地形	平原			10	
		河谷平原			10	
		沖積地			0	
		山地			5	
	河寬狹窄	無			15	
		有			0	
	河床材料	砂			10	
		礫			0	
		裸岩、巨礫石			10	
	河床整體下降	有			0	
無			10			
橋梁（橋墩）的結構條件	相對河川彎曲處的橋墩位置	直線及曲線內側			15	
		曲線外側			0	
	相對河岸的橋墩位置	流水中			5	
		陸地（無堤防）			10	
		陸地（無堤防、鄰接水路）			0	
		陸地（有堤防）			25	
	陸地（有堤防、鄰接水路）			15		
	與下游的高低差	高度	無			20
			~1m			5
			1m~2m			0
			2m~			◆
		形式	混凝土			-
			塊石			-
			版樁等			-
		變形			有變形	◆
	施工範圍			僅部分河寬	◆	
	埋設比	直接/樁	以埋設比 1.5 為滿分，以 0 為 0 點加權給分			50
		沉箱	以埋設比 3.5 為滿分，1.0 為 0 點加權給分			
	埋設深度的變化		有 1.5m 以上的增減			◆
	基礎的地層狀況	應為岩層			15	
		岩層			30	
	基礎結構形式	直接基礎/木樁			-	
		樁基礎			-	
		沉箱				

評估項目		分類	得分	
防護條件	無		0	
	不明		0	
	蛇籠	有變形		0
		無變形		5
		變形不明確		0
		塊石	變形	無變形
	變形中/部分流失/亂疊			5
	變形嚴重/流失			◆
	變形不明確			0
	連結		連結	5
	護坦	埋置	河床>護坦上面	20
			護坦下面<河床≤護坦上面	10
			河床≤護坦下面	◆
		變形	有變形	◆
			變形不明確	0
	混凝土固床	鋪設範圍	周邊全面	40
2D 以上(D:橋墩軀體寬)			20	
不到 2D(D:橋墩軀體寬)			0	
版樁	埋設	河床>基礎底面	20	
		河床≤基礎底面	◆	
	變形	有變形	◆	
變形不明確			0	
特殊事項	河川改道		-	
	環境變化		-	
	河川流向與橋墩方位		-	
	河口處的特殊條件		-	
	受災紀錄		-	
	相鄰橋梁的存在		-	
	其他		-	

※加總各項得分，得分越少越須注意冲刷問題。
※◆代表符合該項的橋墩不管總分幾分都要注意。
※混凝土固床也包括橋墩周圍的部分施工。
※-是指不直接評分，但是最好做調查的項目。

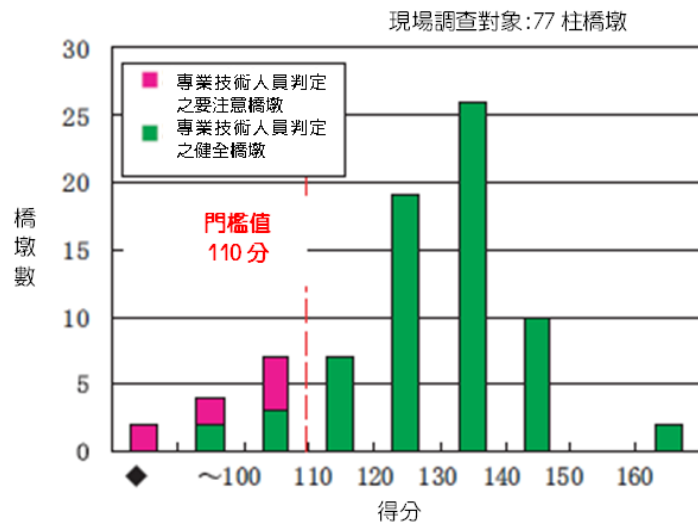


圖2.6 日本 77 座橋梁沖刷評分統計圖

若第一階段評估之分數超過一定程度，則必須進入第二階段『個別檢測』，此階段之執行人員必須具備橋梁、河川工程知識，能進行河川變動度分析、基礎穩定度分析之工程人員以進行評估，此階段主要是針對河床變動程度(一般沖刷與局部沖刷)、基礎穩定度以及河川水流(流量及頻率)之評估。此外日本方面有研究實際針對日本境內 49 座橋梁一年內之『局部沖刷深度』以及『河床最低點下降深度』，『局部沖刷深度』以及『河床最低點下降深度』之示意圖如圖 2.7 所示。其中『局部沖刷深度』統計結果如圖 2.8 所示，顯示該年度局部沖刷深度超過 20 公分的橋梁約佔 30%；『河床最低點下降深度』之統計結果如圖 2.9 所示，顯示該年度河床最低點下降深度超過 20 公分的橋梁約佔 12%。

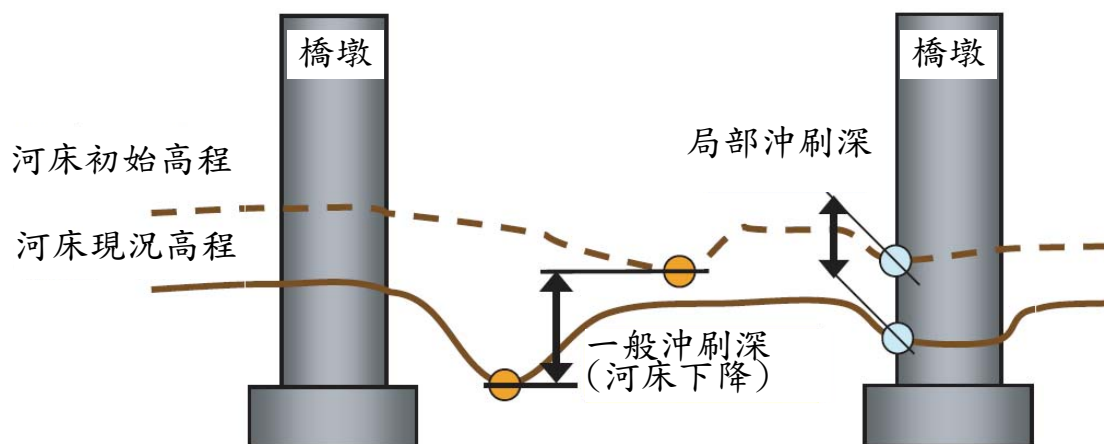


圖2.7 『局部沖刷深度』與『河床最低點下降深度』示意圖

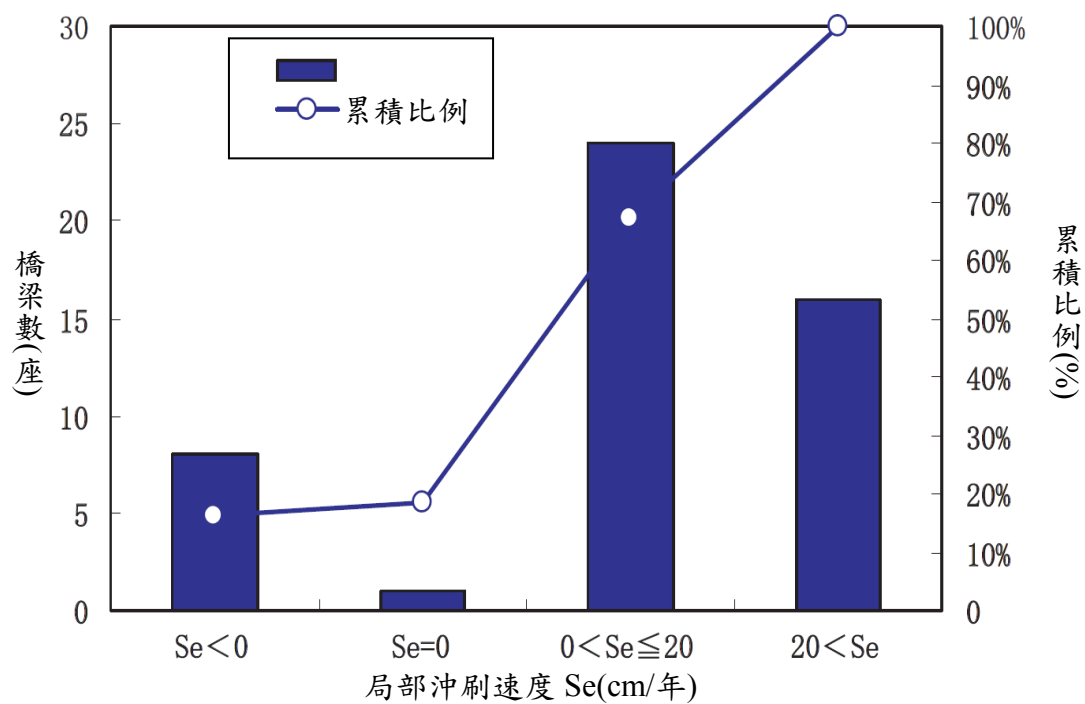


圖2.8 各橋梁局部沖刷速度分布圖

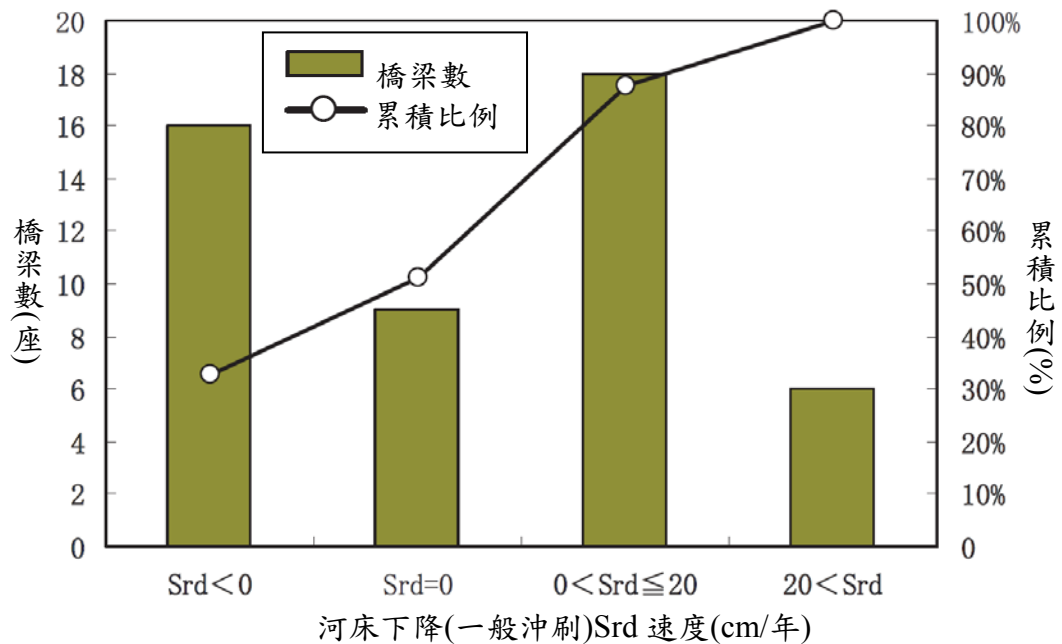


圖2.9 各橋梁河床下降速度分布圖

此外日本之研究團隊另外有以數值模擬的方式針對此 49 座橋梁之一般冲刷深度以及局部冲刷深度進行預測，此模擬所使用的『平均年最大雨量』是根據日本甲信越及東北地方的 1984 年至 2006 年每年最大雨量之平均值；以及使用的『計畫洪水量』為使用 100 年頻率之洪峰量，並將其預測結果與實際數據統計結果相比較，其結果如 圖 2.10、圖 2.11 所示，其中局部冲刷之實際值與預測值之相關係數為 0.511；以及一般冲刷之實際值與預測值之相關係數為 0.53，其皆屬於中度正相關，表示預測結果與實際結果相近，故綜合預測結果與實際結果將得到不同橋梁或河道項目程度對一般冲刷(局部冲刷)深度之影響預測，如表 2-11、表 2-12 所示。

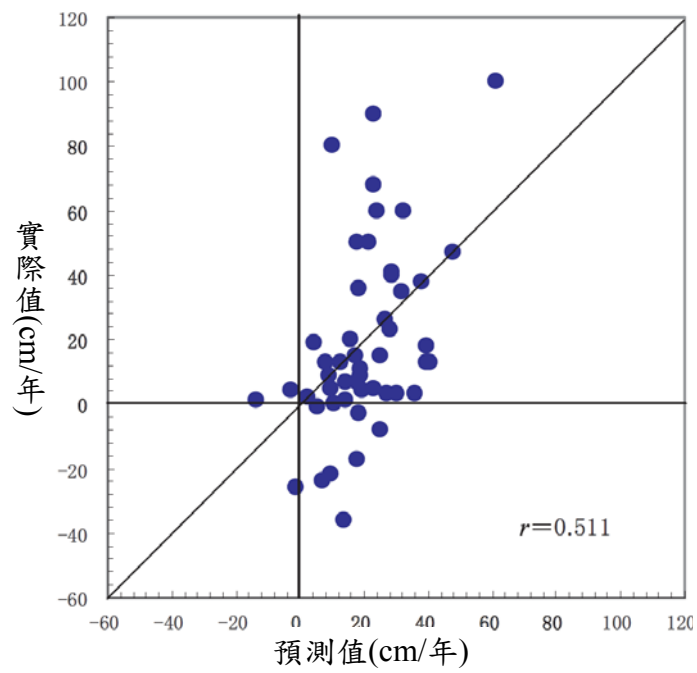


圖2.10 局部沖刷速度之實際值與預測值之比較

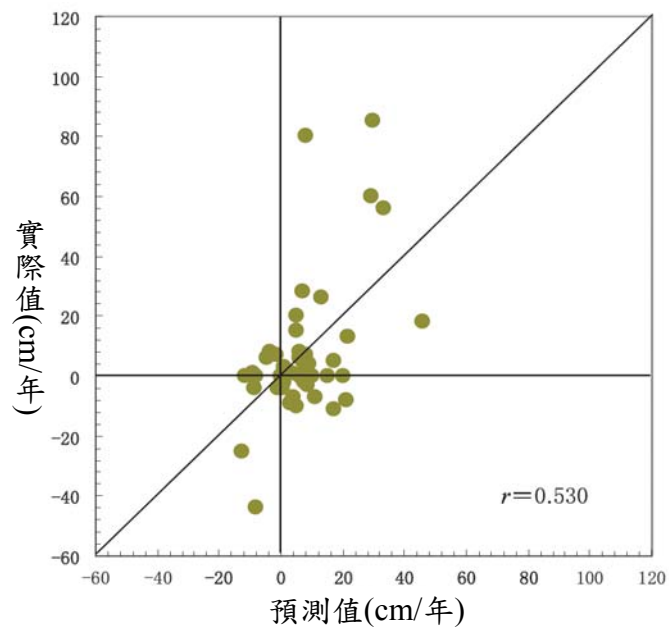


圖2.11 一般沖刷速度之實際值與預測值之比較

表2-11 不同項目程度對局部沖刷深度之影響預測

項目名稱	不同項目程度對局部沖刷深度之影響程度			
流域面積 S(km ²)	S≤50	50<S≤200	200<S≤1000	1000< S
	-11.7	1.6	5.1	22.5
河床材料直徑 dm (mm)	dm<2mm	2≤dm<30mm	30≤dm<100mm	100≤dm
	0	9.2	5.5	-6.7
曲率半徑 r/B	0≤r/B<∞	r/B = ∞(直線)		
	1.7	-2.0		
河道是否束縮	無	有		
	-2.2	15.8		
有無高灘地	無	有		
	-3.5	0.9		
河道淤積情形 P	P≤0.1	0.1<P≤0.15	0.15<P	
	-2.2	-0.7	4.7	
射流・常流	射流	常流		
	16	-5.1		
最大洪峰量	N≤0.66	0.66<N		
出現次數 N(次/年)	2.5	-6.9		
基本下降幅度	18.8			
註：單位為(cm/year)，正值表河床下降；負值表河床上升				

表2-12 不同項目程度對一般沖刷沖刷深度影響之預測

項目名稱	不同項目程度對一般沖刷深度之影響			
河床材料直徑 dm (mm)	dm<2mm	2≤dm<30mm	30≤dm<100mm	100≤dm
	-2.0	-2.2	8.5	-8.1
曲率半徑 r/B	0≤r/B<∞	r/B = ∞(直線)		
	2.1	-2.5		
河床坡度 G	G≤1/400	1/400<G≤1/100	100<G	
	-5.3	-2.8	8.8	
河道是否束縮	無	有		
	-2.6	18.9		
高灘地是否變動	無	有		
	2.0	-4.9		
是否有河道交會	無	有		
	-6.0	4.9		
是否有低水護岸	射流	常流		
	-4.7	2.8		
是否有保護工	無	有		
	-0.9	4.8		
最大洪峰量出現 次數 N(次/年)	N≤0.66	0.66<N		
	-1.1	3.2		
基本下降幅度	6.6			
註：單位為(cm/ year)，正值表河床下降；負值表河床上升				

2.2.3 臺灣之沖刷檢測、評估制度

在建立沖刷橋梁篩選機制首先利用「臺灣地區橋梁管理資訊系統」中所建置的各橋梁劣化評估資料，用來初步評估該橋梁是否有存在沖刷潛勢的危險。評估作業第一步先參考在「臺灣地區橋梁管理系統」^[9]中已建立一套橋梁整體狀況指標(Condition Index, CI)的評估辦法，其計分方式如下：

$$Ic_{ij} = 100 - 100 \times \frac{D \times E \times R^a}{4 \times 4 \times 4^a} \quad (2-1)$$

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \quad (2-2)$$

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \quad (2-3)$$

w_i ：構件相對於橋梁之權重(參見表 2-13)

Ic_i ：構件 i 之狀況值

a ：相關重要性參數(通常取 1，若欲強調構件重要性時可取 2。)

表2-13 各項橋梁構件所對應之權重分配

構件編號	構件名稱	權重
IP01	引道路堤	3
IP02	引道護欄	2
IP03	河道	5
IP04	引道護坡	3
IP05	橋台基礎	6
IP06	橋台	5
IP07	翼牆/擋土牆	5
IP08	磨擦層	3
IP09	橋面排水設施	4
IP10	緣石及人行道	2
IP11	欄杆及護牆	3
IP12	橋墩保護措施	6
IP13	橋墩基礎	8
IP14	橋墩墩體	7
IP15	支承/支承墊	5
IP16	止震塊/拉桿	5
IP17	伸縮縫	6
IP18	主構件(大梁)	8
IP19	副構件(橫隔梁)	6
IP20	橋面板	7
IP21	其他	1

(資料來源：臺灣地區橋梁管理資訊系統)

由於橋梁整體狀況指標 CI 值為全橋整體平均考量的結果，對於如果有單一構件損傷劣化嚴重的情形無法合理的加以反應，但是整體橋梁的安危有可能便會因為該單一構件的失效而造成嚴重的後果。因此，有另外一套橋梁優選指標(Priority Index, PI)可以避免這一方面的缺失。優選指標 PI 值的計算方式如下^[2]：

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^{20} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \quad (2-4)$$

在公式(2-4)中的 Ic_i 值的計算步驟如下：

1. 先找出各檢測項目中構件 Ic_{ij} 之最小值，即 $Ic_{ij}(\min)$ 。
2. 若 $Ic_{ij}(\min)$ 值小於 50，將小於 50 的 Ic_{ij} 值挑選出來平均，視為 Ic_i 值。
3. 若 $Ic_{ij}(\min)$ 值介於 50 和 75 之間，將此範圍的 Ic_{ij} 值挑選出來平均，視為 Ic_i 值。
4. 若 $Ic_{ij}(\min)$ 值介於 75 和 100 之間，將此範圍的 Ic_{ij} 值挑選出來平均，視為 Ic_i 值。

將所分析探討的各構件之 Ic_i 求出後，配合表 2-13 所示之各構件所對應之權重，代入公式(2-4)中即可求出優選指標 PI 值。

原本橋梁優選指標 PI 是對各橋梁之 20 項構件加以分析，本計畫為了能突顯沖刷問題的重要性，特別選用 DER&U 表中的「河道」、「橋台基礎」、「橋台」、「橋墩保護設施」、「橋墩基礎」、「橋墩墩體」6 項 Ic_i 值仿照 PI 值的計算方式加以換算出另一指標，在此稱為沖刷穩定指標(Scouring Stability Index, SSI)。由於沖刷穩定指標 SSI 值是由六項 Ic_i 值換算而來，因此套用公式(2-4)的計算式時僅選用上述的 6 項 Ic_i 值與 w_i ，即可表成如下公式(2-5)：

$$SSI = \frac{Ic_{\text{河道}} \times 5 + Ic_{\text{橋台基礎}} \times 6 + Ic_{\text{橋台}} \times 5 + Ic_{\text{橋墩保護設施}} \times 6 + Ic_{\text{橋墩基礎}} \times 8 + Ic_{\text{橋墩墩體}} \times 7}{(5 + 6 + 5 + 6 + 8 + 7)} \quad (2-5)$$

參考公式 $Ic_{ij} = 100 - 100 \times \frac{D \times E \times R^a}{4 \times 4 \times 4^a}$ (2-(2-1)、(2-2)可知橋梁構件

DER 值愈小則 Ic_i 值愈大，表示沖刷穩定指標 SSI 值愈高代表該橋梁的沖刷危險愈低，反之沖刷穩定指標 SSI 值過低的話則可能有較大的遭受沖刷損害的危險，目前暫以沖刷穩定指標 SSI 值低於(含等於)85分以下者列為沖刷危險性較高的橋梁對象，必須派員前往現地實際複查。

2.3.1 本計畫沖刷檢測擬定

綜合前節所敘述之美國、日本、臺灣國內現行之沖刷檢測、評估之制度，可分別歸納以下結論：

1. 美國：FHWA 具有完整的沖刷評估、檢測制度，並於其所出版之 HEC-20、HEC-18 以及 HEC-23 中做完整的介紹及指引，然而因臺灣地處於較險峻之地理天然環境，其河川環境容易快速變遷之情形，卻是與美國所處之環境截然不同，美國政府能夠具有足夠的時間執行此一完善詳細之評估流程，但此流程卻無法及時用於臺灣每年度遭逢汛期時所需要之評估。
2. 日本：因日本所屬之地理環境與臺灣較為類似，具備較為相近之洪水災害條件，因此日本具有一套每年為一檢測週期之沖刷檢測及評估制度，亦具有每年度所必須進行之沖刷潛勢評估表格，故日本之制度較符合臺灣現況之需求，但因為臺灣易發生單次洪水沖刷強度較日本高之事件，以及日本的評估表格中部分評估項目並不適用於臺灣，故此一制度亦無法完全適用。
3. 臺灣：目前國內有關橋梁檢測制度多為橋梁結構本體為基礎所做之結構檢測，且依據其檢測頻率而定，檢測內容除簡略介紹檢測橋梁構件項目外，對於其檢測目的、檢測定義、監測結果參數的取得等，並無明顯的表定，以及對於橋梁沖刷檢測項目，亦無一明確的規範。其中最主要的項目為每兩年須執行一次之 DER&U 目視檢測，然而臺灣現行之沖刷檢測制度即為根據橋梁 DER&U 評估分數結果計算 CI、PI 以及 SSI 值，並無專門用於橋梁沖刷檢測之相關規定。

在此本研究將綜合以上綜合評比各國之制度，進而擬定適合臺灣使用之沖刷檢測、評估制度。

2.3.2 冲刷检测种类

本研究將國內目前橋梁檢測制度為基礎，初步擬定橋梁冲刷检测種類與其定義之項目，如表 2-14 所示，冲刷检测主要分成目視检测以及詳細检测兩個主要項目，其詳細說明如下：

表2-14 橋梁冲刷检测種類與其定義項目

检测種類	定義或項目	主要取得參數	使用方法
目視检测	1.一般巡查 2.定期檢查 3.依據橋梁維修手冊定義 4.簡易快速的評估冲刷潛勢。	1. DER&U 評估分數 2.異狀照片、影片 3.冲刷潛勢評估分數	1.DER&U 評估 2.簡易冲刷潛勢評估。 3.現況記錄。
詳細检测	1.目視检测後，針對受損橋梁基礎細部所施作的儀器检测 2.汛期前、後之年度检测	1.橋梁抗災能力評估 2.橋梁現況評估 3.冲刷潛勢評估成果 4.橋梁基本資料之更新。	1.詳細冲刷潛勢評估。 2.冲刷深度及水位、流速检测。 3.橋梁結構及河道斷面检测。

1. 目視检测

定義為一般巡查以及洪汛事件前、中的緊急快速巡查所做之工作項目，其主要工作為橋梁現況異狀照片影片記錄、DER&U 检测評估以及冲刷潛勢簡易評估。

2. 詳細检测

定義為目視检测後針對受損橋梁基礎細部所施作的儀器检测以及每年定期之洪汛期前後检测。包含詳細冲刷潛勢評估、冲刷深度及水位、流速检测、橋梁結構及河道斷面检测，以下為各項目詳細說明：

(1)沖刷潛勢詳細評估

以本研究擬定之沖刷潛勢詳細評估表進行評估，並依照訂定之沖刷潛勢分數門檻值，選出具有中高度沖刷潛勢之橋梁作為洪汛前、中檢測之目標橋梁依據。

(2)沖刷深度及水位、流速檢測

定義為為颱風事件中以及颱風事件後時所做之工作，其項目包含橋墩振動量測以及相關水位、流速之測量；以及於颱風事件前檢測、颱風事件後檢測時，針對部分有沖刷危害疑慮之橋梁進行振動量測或是沖刷深度量測。

(3)橋梁結構及河道斷面檢測

定義為為年度汛期前檢測及年度汛期後檢測中作為橋梁結構損傷、材料檢測或是完成重要橋梁之基本資料調查時所做之詳細工作項目，其項目包含：裸露基礎長度檢測、裸露基礎完整性檢測、橋梁混凝土材料檢測以及河道斷面檢測等。

以上沖刷檢測項目及種類，統整於表 2-15~表 2-16

表2-15 目視檢測之方法說明

目視檢測方法	定義或項目	主要取得參數	表格/儀器使用
DER&U 評估	1.一般性或定期性之橋梁巡檢。 2.依據橋梁維修手冊定義	1.DER&U 評估分數 2.現況照片。	1.DER&U 評估表。 2.數位相機。
簡易沖刷潛勢評估	1.簡易、快速的完成沖刷潛勢評估。 2.基礎裸露深度以及河流表面流速之概估	1.沖刷潛勢評估分數。 2.概估之基礎裸露深度以及河流表面流速。	1.跨河橋梁沖刷潛勢評估表(表 4-14)。 2.雷射測距儀、簡易測速槍。
現況記錄	1.河流水位、表面流速之記錄。 2.橋梁結構是否有受損。 3.協助判斷是否封橋。	1.概估之河流水位及表面流速。 2.目視或攝影器材記錄結果。	1.雷射測距儀、簡易測速槍、漂流物。 2.DV、數位相機。 3.颱洪事件中橋梁狀況紀錄表。

表2-16 詳細檢測之方法說明

詳細檢測方法	定義或項目	主要取得參數	表格/儀器使用
詳細沖刷潛勢評估	1.汛期前、後之詳細沖刷潛勢評估。 2.橋梁現況、基本資料之記錄更新。 3.實際基礎裸露深度量測。	1.沖刷潛勢評估分數 2.現地檢測照片、航照圖、竣工、設計相關圖資...等。 3.基礎裸露深度。	1.跨河橋梁沖刷潛勢評估表(表 4-16)。 2.跨河橋梁基本資料記錄表(表 4-9~表 4-13)。 3.橡皮艇、水準尺。
沖刷深度及水位、流速檢測	1.沖刷深度判斷 2.流速判斷 3.水位判斷	1.重錘量測結果 2.河流表面流速 3.河流水位高度 4.橋梁沖刷振動模態分析	1. 振動量測技術 2. 監測系統 3. 重錘量測 4. 流速儀或量測漂流物時間距離反算流速
橋梁結構及河道斷面檢測	1.結構混凝土檢測 2.裸露基礎長度檢測 3.裸露基礎完整性檢測 4.河床沖刷深度檢測 5.河道斷面尺寸量測	1.裂縫、中性化、鋼筋腐蝕現況 2.基礎長度 3.基礎整體受損實際情形 4.河床沖刷深度 5.河道斷面尺寸	1. 結構非破壞檢測技術 2. 水上 ERT 3. 跨孔式 ERT/TEM 4. 水上聲納/GPR 5. 水準點量測 6. 三維雷射

2.3.3 檢測層級

依據前述不同之檢測種類，本研究將各種類以及橋梁在沖刷檢測階段所必須評估之檢測種類分為五大層級，可如表 2-17 所示。包含：

1. 零級檢測(Level 0)：包含以目視檢測為主，簡易之儀器檢測(沖刷深度及水位、流速檢測)為輔之檢測方式，為橋梁於颱風事件中所進行之檢測工作，目的在於真實記錄颱風洪水來臨時之橋梁變化情形，此時無法用以詳細之檢測儀器(橋梁結構及河道斷面檢測)作為評估標準，須派員於現場進行簡易之目視檢查橋梁之狀態，或利用現場長期監測儀器觀察橋梁於颱風期間之變化。
2. 一級檢測(Level 1)：橋梁於颱風事件來臨前之檢測工作，包含簡易沖刷潛勢評估、沖刷深度及水位、流速檢測，並搭配部分詳細檢測項目之檢測，為求簡易快速之檢測方式，主要在於確認或修正年度檢測、損傷檢測之評估結果及沖刷潛勢橋梁清單。
3. 二級檢測(Level 2)：橋梁於颱風事件後所進行之檢測工作，檢測項目包含簡易沖刷評估、橋梁結構及水位、流速檢測，以及部分搭配較詳盡的基礎及河道斷面檢測，目的在於確認橋梁狀況及通車中橋梁之安全評定。
4. 三級檢測(Level 3)：於每年度汛期前，所進行較詳盡之檢測，檢測項目包含 DER&U 評估、詳細沖刷潛勢評估、沖刷深度及水位、流速檢測和橋梁結構及河道斷面檢測，並部分搭配結構穩定度及橋基健全度分析，作為事件發生期間橋梁行為值變化之修正依據。
5. 四級檢測(Level 4)：每年度汛期結束後所作之檢測工作，為最詳細之檢測層級，通常配合橋梁年度檢測之實行，除進行 DER&U 評估外，必須以完整的詳細檢測，並針對橋梁進行完整的現況評估，搭配結構穩定度、橋基健全度之分析，並將結構提供管理單位維修及補強之依據。

表2-17 冲刷检测种类于各层级之使用时机

检测手段 检测层级	DER&U 目视评估	简易冲刷 潜势评估		颱洪中桥梁 现况记录		详细冲刷 潜势评估	
检测方法	目视检测	目视 检测	仪器 检测	目视 检测	仪器 检测	目视 检测	仪器 检测
零级检测 (事件中)	—	△	—	○	△	—	—
一级检测 (事件前)	—	○	△	—	—	△	△
二级检测 (事件后)	○	△	△	○	△	—	—
三级检测 (汛期前)	○	—	—	—	—	○	○
四级检测 (汛期后)	○	—	—	—	—	△	△
○：主要项目 △：选择性项目							

2.3.4 執行流程

在美國 FHWA 於 2001 年第四版「Evaluating Scour At Bridges」(HEC-18)中所提到有關橋梁沖刷檢測之觀念，對於橋基沖刷評估步驟與方法，必須完成下列事項：

1. 現地沖刷量測
2. 確定沖刷監測和量測裝備
3. 確定基礎探測儀器與技術
4. 沖刷水力參數計算
5. 流動壓力估算
6. 現地和試驗室沖刷試驗

而依據前節所述之檢測層級，一般橋梁在面臨沖刷評估時，本研究其檢測之執行順序以及評估準則，可依下表 2-18 所示完成。橋梁沖刷檢測共分五大階段分項執行，並符合美國 FHWA 沖刷評估之精神：

1. 年度汛期前檢測：

為瞭解並確定橋梁結構與橋址周遭河道之現況，於每年度汛期前、後，使用本規範所訂定之跨河橋梁沖刷之檢測項目，做為橋梁於洪水沖刷作用下之安全評估依據，其主要檢測項目包含：

- (1)年度汛期前檢測:針對既有橋梁定期於每年汛期前進行一次詳細檢測，並以作為後續長期觀察及詳細檢測評估分析之參考依據，其流程如圖 2.12 所示，內容需包含：『DER&U 評估』、『詳細沖刷潛勢評估』、『沖刷深度及水位、流速檢測』和『橋梁結構及河道斷面檢測』等，其中必須配合橋梁詳細之基本資料並搭配沖刷潛勢評估表以進行正確之沖刷潛勢之判斷，最後再依據檢測結果進行橋梁基礎健全度之現況分析，列出具中、高度沖刷潛勢之橋

梁清單。若橋梁之基本資料不足以進行沖刷潛勢之判斷，則必須特別註記以進行橋梁結構及河道斷面檢測。

- (2)年度汛期後檢測：於每年汛期過後至次年度汛期開始之前完成，橋梁必須再進行一次之詳細檢測，以確定橋梁基礎維修需求的評估，及訂定其維修、補強之標準，並於維修過後確認其維修水準，其流程如圖 2.16 所示。此階段必須進行詳細儀器之儀器檢測(橋梁結構及河道斷面檢測)，用以確保橋梁結構穩定及橋基健全度，且作為後一年度之檢測參考與基準。

2. 颱洪事件檢測

由颱風、洪水等災害，導致可能因沖刷而使橋梁結構產生損傷所進行之不定期檢測。檢測重點在於針對災害事件發生前判定警戒之標準、事件發生中依變化判定橋梁結構之安全性，以及事件發生後是否造成橋梁功能損傷及是否需要維修、補強之依據。其檢測主要分為：

- (1)颱洪事件前檢測：颱洪事件前檢測須於每次中央氣象局發布劇烈天氣特報之前完成，具沖刷潛勢之橋梁必須先以『簡易沖刷潛勢評估』或部分以『沖刷深度及流速、水位檢測』進行快速之檢測以確定其由『年度汛期前檢測』評估而得之具有中、高度沖刷潛勢之橋梁清單是否有所改變，若有則更新此清單以作為該次颱洪事件中檢測之對象，其流程如圖 2.13 所示。
- (2)颱洪事件中檢測：本階段檢測再細分為兩個子階段，第一階段為封橋與否之判斷，橋梁於颱風來臨時，可根據是否為具有中、高度沖刷潛勢清單之橋梁以『特徵雨量及水位指標判斷』、『橋梁巡檢』或『直接進行封橋』等方式進行作業。此階段中檢測人員執行各項作業時必須以數位攝影器材確實紀錄檢測過程之重點，在此建議天候狀況滿足中央氣象局建議之一般人適合之天候條件下，檢測員能下車前往橋址處進行檢測，中央氣象局建議之條件如下：

- a. 風速:每秒風速小於 17.2 公尺(8 級陣風)。
- b. 雨量:時雨量小於 15mm。
- c. 能見度:大於 200 公尺。

實際上現場檢測人員於現場可自行評估是否可下車進行檢測，或以其他儀器量測方式量測橋梁因洪水沖刷時之各項變化，比較「事件前檢測」所獲得之橋梁警戒資料，判斷橋梁之安全性。此外若檢測人員判斷無法進行檢測，則必須紀錄無法下車檢測之原因。

第二階段為開放通車之判斷，可根據中央氣象局是否解除『劇烈天氣特報』或是實際依據各管理單位主管之決定是否進入第二階段，其完整流程如圖 2.14 所示。

- (3) 颱風事件後檢測: 於颱風洪水過後，確認橋梁是否有因該次颱風事件造成環境變遷而導致安全發生顧慮，主要進行通車安全之檢測，包含目視檢測及沖刷深度及流速、水位檢測，達到橋梁安全性之確定或是通知相關單位進行搶修。其流程如圖 2.15 所示。

該年度完成整年度之檢測評估流程後，被評估為具有中度、高度沖刷潛勢之橋梁，或經橋梁管理單位特別記註之低沖刷潛勢橋梁，其次一年度必須持續執行本規範制定之檢測作業；該年度其餘被評估為具有低度沖刷潛勢之橋梁，則建議可比照現行橋梁檢測制度，每兩年執行一次本規範制定之檢測作業。

表2-18 沖刷檢測階段各層級之分類

沖刷檢測階段	檢測目的	檢測、分析手段	檢測種類(層級)
年度汛期前 檢測	1.抗災能力評估 2.沖刷潛勢之評估	1. DER&U 評估 2.詳細沖刷潛勢評估 3.沖刷深度及水位、流速檢測 4.橋梁結構及河道斷面檢測 5.結構穩定分析 6.橋基健全度分析	三級檢測 (Level 3)
颱風事件前 檢測	1.確認或修正「年度檢測」或『前次颱風事件後』評估結果 預訂警戒標準。 2. 記錄橋梁於洪水前 之振動特性。	1.簡易沖刷潛勢評估 2.沖刷深度及水位、流速檢測	一級檢測 (Level 1)
颱風事件中 檢測	1.封橋巡查檢測 2.事件中橋梁安全狀況(封橋或開放通車)判定。	1.特徵雨量及水位指標判斷 2.橋梁巡檢	零級檢測 (Level 0)
颱風事件後 檢測	1.確認橋梁狀況 2.通車安全之確認	1.目視檢測 2.沖刷深度及水位、流速檢測 3. DER&U 評估	二級檢測 (Level 2)
年度汛期後 檢測	1.維修需求評估 2.維修標準訂定 3.維修後效能確認	1. DER&U 評估 2.沖刷深度及水位、流速檢測 3.橋梁結構及河道斷面檢測 4.結構穩定分析 5.橋基健全度分析	四級檢測 (Level 4)

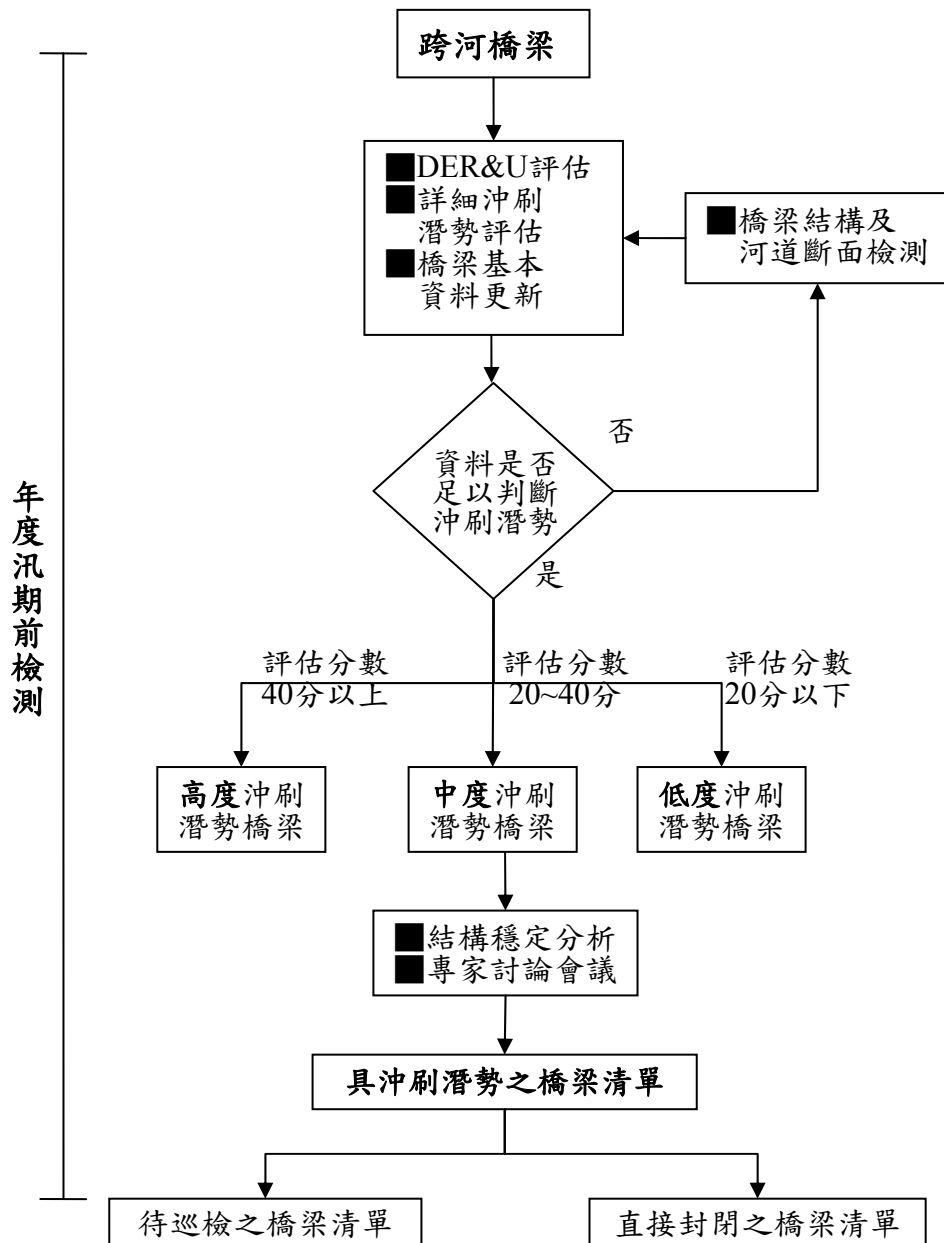


圖2.12 年度汛期前檢測流程圖

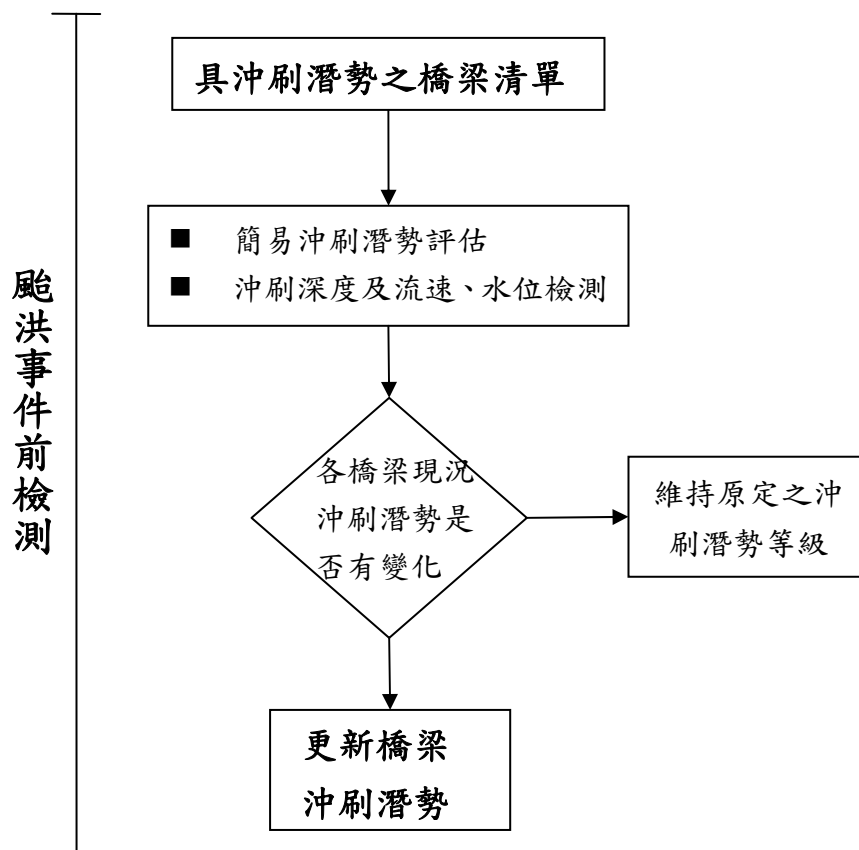


圖2.13 颱風事件前檢測流程圖

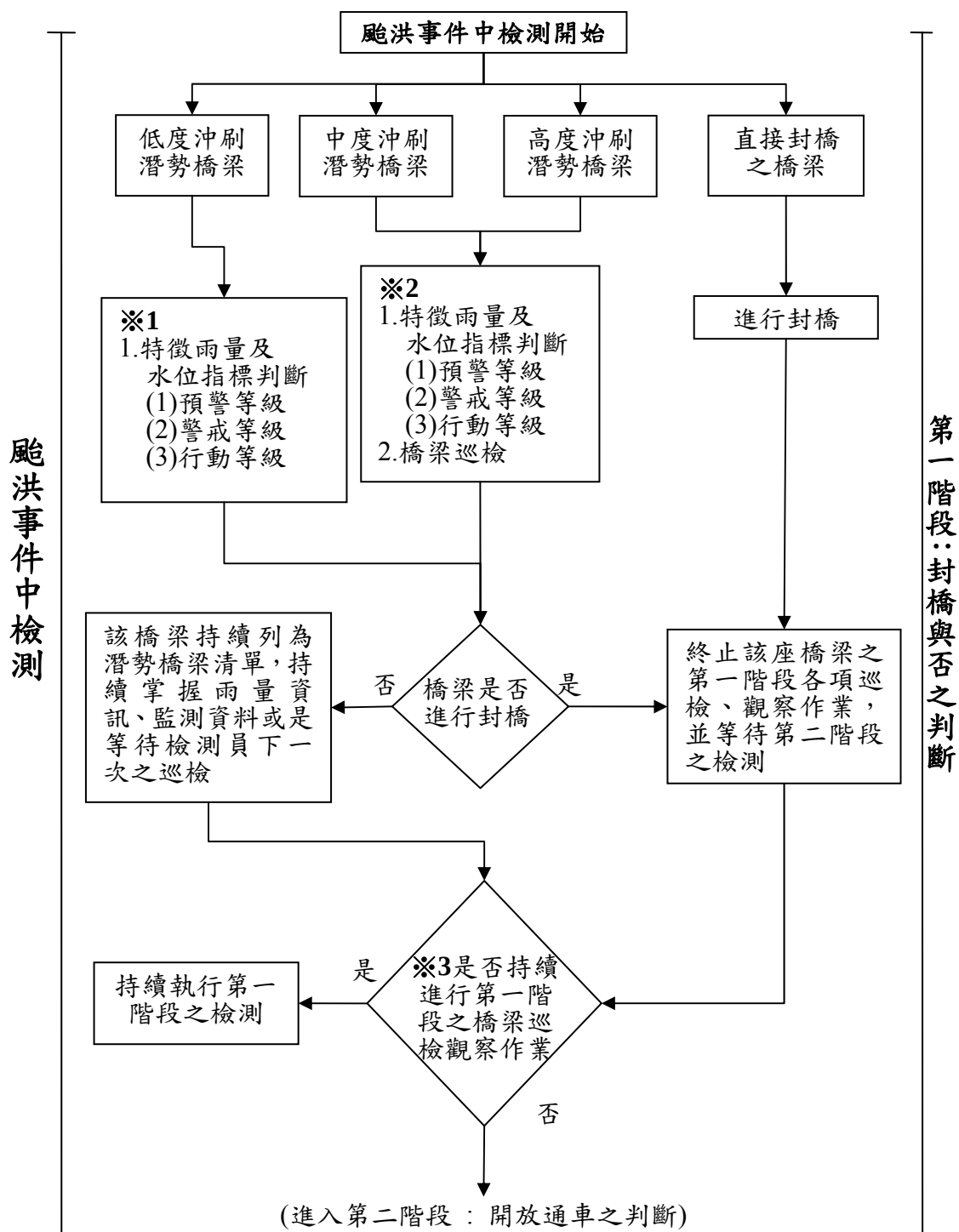
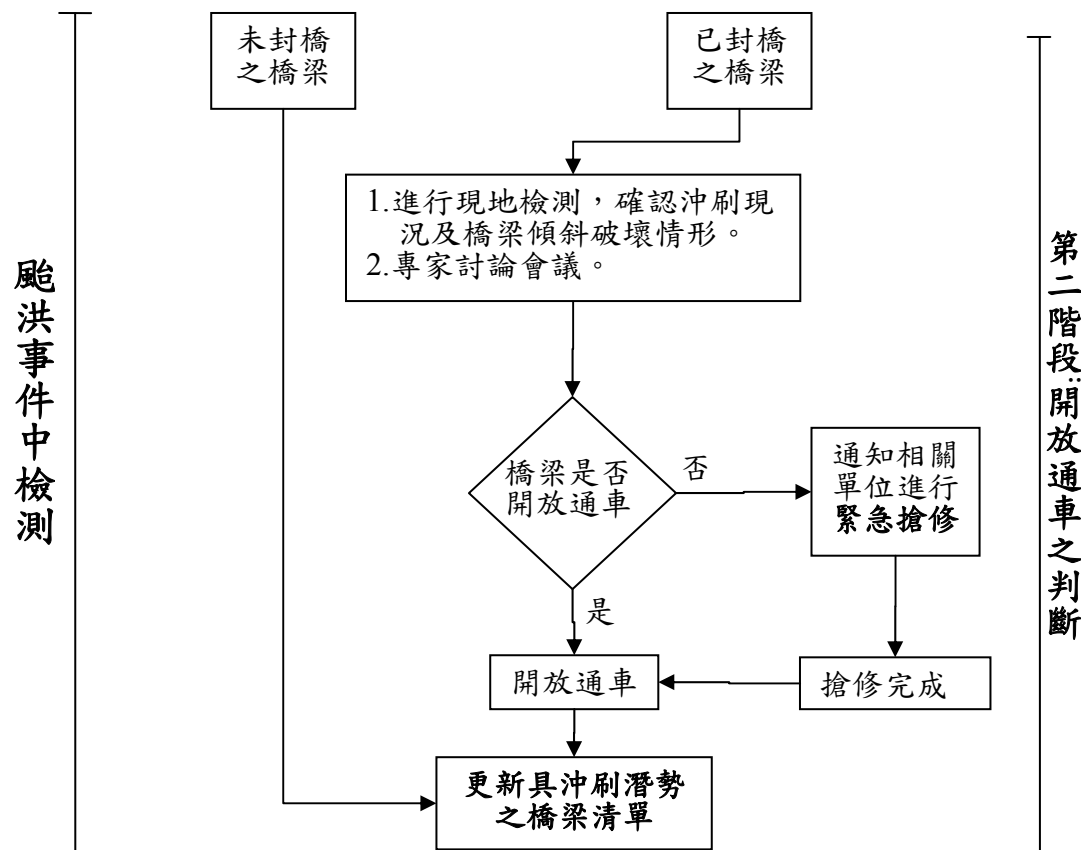


圖2.14 颱洪事件中檢測流程圖



※1 非沖刷潛勢之橋梁，可根據公路總局於100年12月訂定之『公路橋梁防救災預警機制』中防災預警降雨觀測指標之預警值、警戒值以及行動值來進行相關管制及應變作業。其封橋標準為實際雨量值達到降雨觀測指標行動值。	※2 具沖刷潛勢之橋梁，除根據公路總局之『公路橋梁防救災預警機制』作為相關管制作業準則外，尚必需有檢測人員持『颱風事件中橋梁狀況紀錄表』(以下簡稱本表)進行巡檢。關於沖刷潛勢橋梁巡檢之相關事項說明如下： 1.檢測人員可自行視天氣狀況決定是否進行巡檢，若判定為無法進行則必須註明其原因，巡檢手段以人員目視檢測及現場感受判斷為主。 2.一般潛勢橋梁經檢測員巡檢後，若本表出現任一警戒指標項目則該橋比照『公路橋梁防救災預警機制』之警戒狀態進行作業；若本表出現任一封橋指標則立即封閉該橋。 3.高潛勢橋梁若本表出現任一警戒指標或封橋指標項目，則立即封閉該橋。
※3 是否持續進行第一階段之橋梁巡檢觀察作業，可參考中央氣象局是否解除『陸上颱風警報』或是實際依據各管理單位主管之決定。	

圖 2.14 颱風事件中檢測流程圖(續)

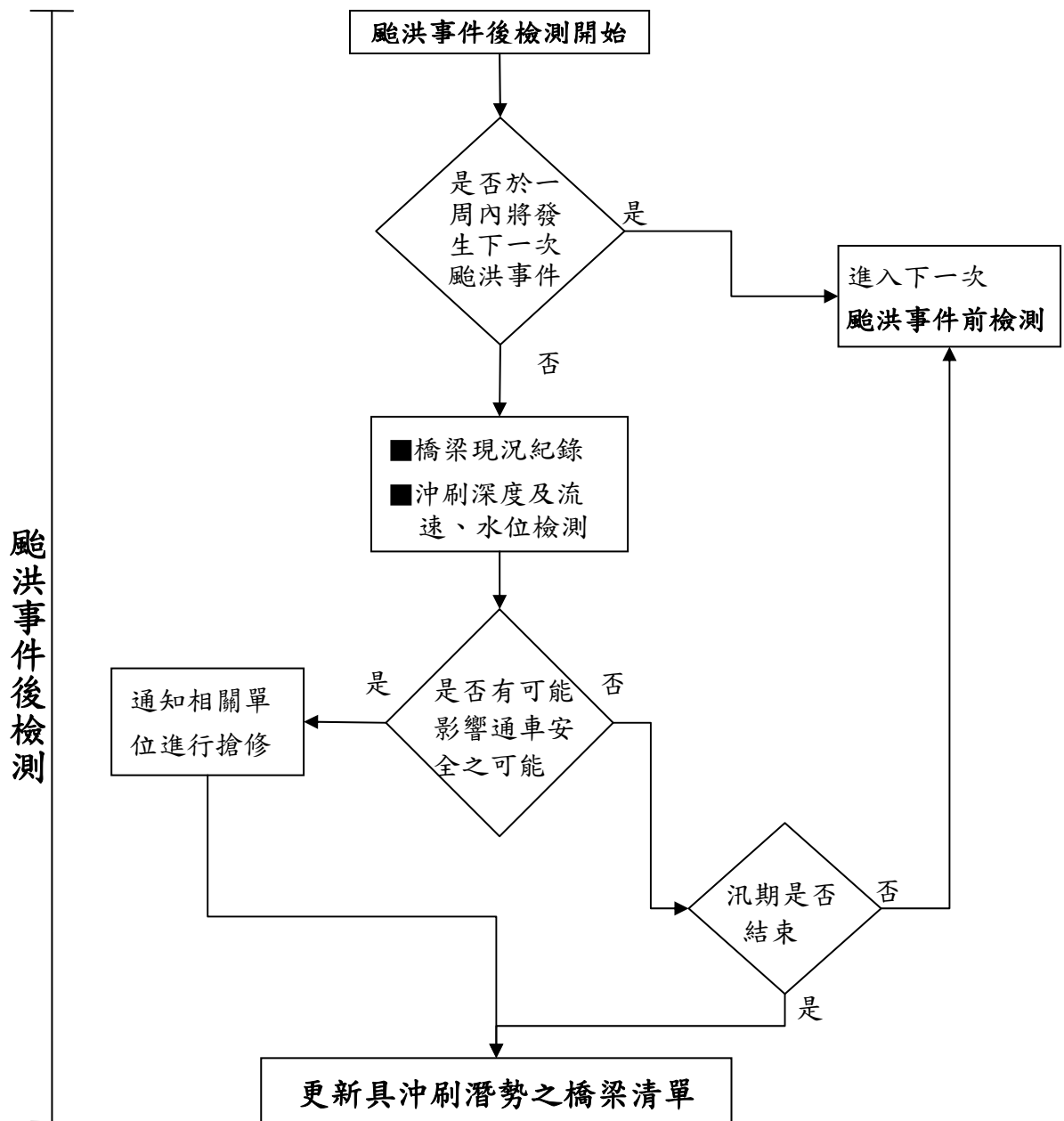


圖2.15 颱風事件後檢測流程圖

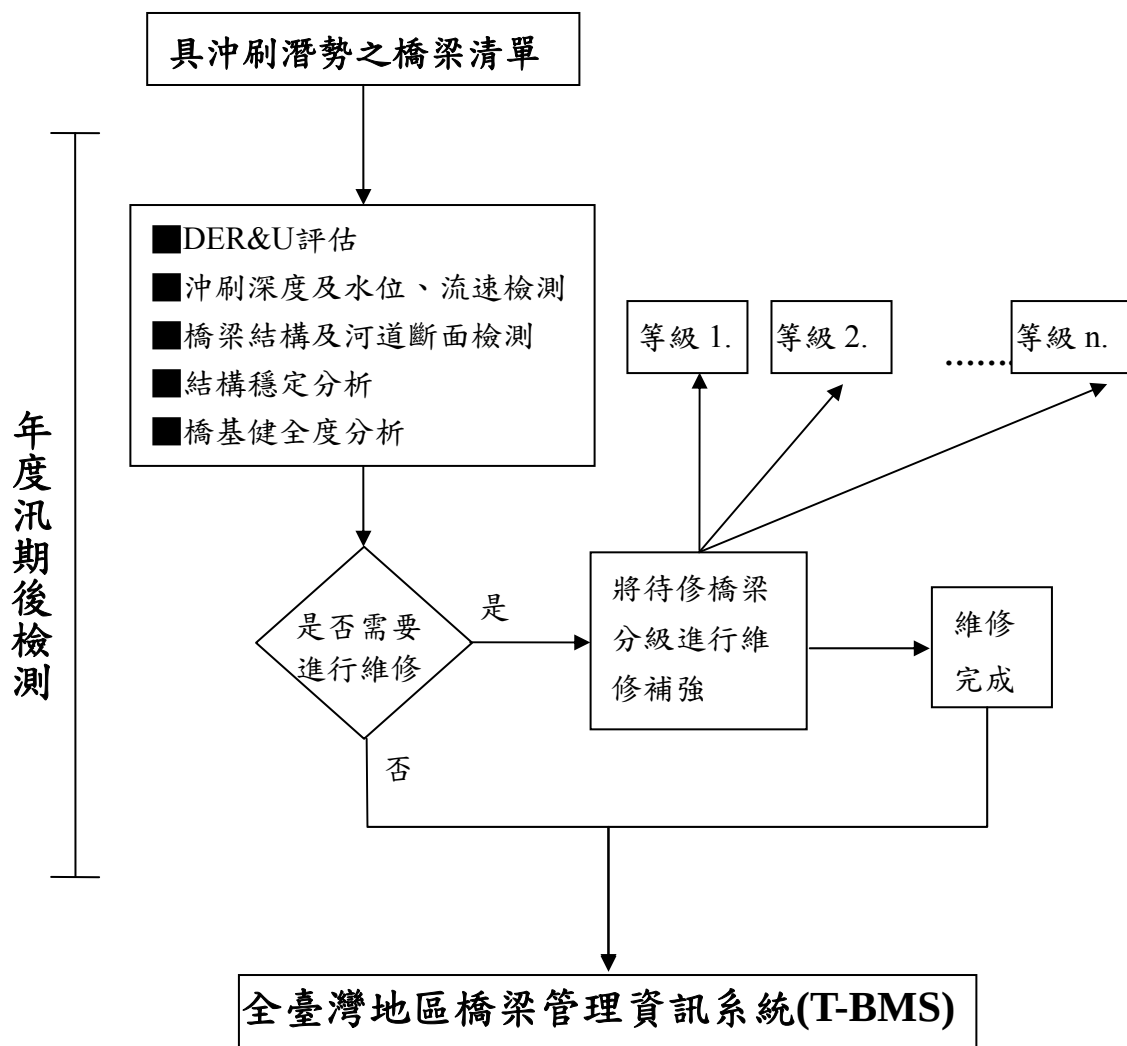


圖2.16 年度汛期後檢測流程圖

第三章 橋梁沖刷潛勢評估指標與基本資料

3.1 沖刷潛勢影響因子

由目前文獻整理與臺灣橋梁沖刷的例子中大致可整理造成橋梁基礎沖刷的原因可分為天然因素與人為因素兩大部份。本節將此兩大因素簡述沖刷之原因，並對照公路橋梁沖刷潛勢詳細評估表之檢測項目說明。

3.1.1 天然因素

在天然因素方面，河川地形、河床材料、主河道河床下降的情形、相對河川彎曲處的橋墩位置等皆與河川的形態、蜿蜒程度、側向侵蝕、向源侵蝕、流速有相關性，以下就這些檢測項目加以說明：

1. 河川地形

依據河川平面型態，主要可分為直線型河道(straight)、蜿蜒型河道(meandering)與辮狀型河道(braided)，如圖 3.1 所示。就一般的地形而言，直線型河道的流速與泥砂量較低，河道較為穩定。若流速與泥砂量逐漸增加，則河道蜿蜒的型態會開始出現，且會出現許多交替沙洲與灘地，但蜿蜒型河道也會隨著流速與泥砂量的增加而變得更不穩定。但是在台灣因為地勢陡峭，河流湍急的地理條件下，直線型河道多為過渡期，自然情況下多半會趨向蜿蜒而穩定。

而橋梁位於河川的上、中、下游，其流況之現象皆為不同，上游河川寬度受限於河谷，河道狹窄，河槽常呈現 V 形型態，河床可見大卵石、塊石、巨石或岩盤，是河川自然度最高之河段，而進入了中游河川出谷後一般在出口處形成扇形地，河幅較寬廣，河道縱坡稍緩，河床上可見卵石及砂礫石雜陳，河道平面則呈現辮狀型態。中游河段河槽呈現 V 或 U 形型態，河川兩側大都已完成堤防或護岸整建，河川常因水庫或攔河堰興建而失去原有之天然流量。最下游處，河道更為寬廣，河道縱坡更緩，河床質多為泥砂，水體

豐富，淤積嚴重，尤以接近河口處受感潮影響之河段，常形成河口砂洲。

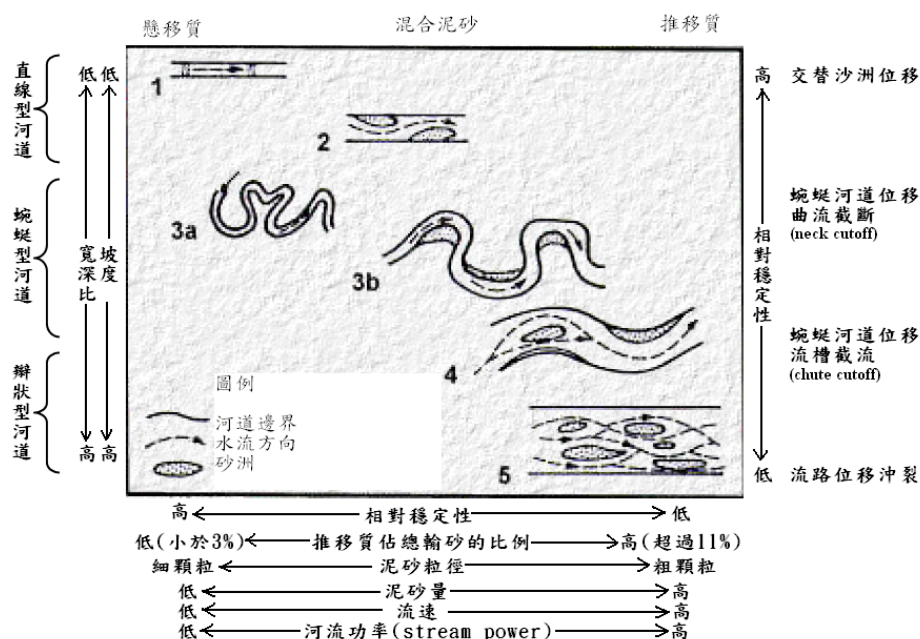


圖3.1 河川分類與相對穩定性之關係圖

(資料來源：「Stream Stability at Highway Structures」，FHWA)

2. 河床材料

當底床質粒徑越大，其抵抗水流沖刷的能力增加，使得沖刷深度減小。而底床質粒徑分配不均勻時，則會在底床質表面形成護甲層，造成底床質的臨界起動速度增加，也會使得沖刷深度減小。

3. 主河道河床下降的情形

河道之長期沖淤之趨勢，其結果直接影響堤防、橋梁、取水口及其他水工構造物之安全性，而沖淤量之多寡，則與計畫河川之流量、流速、河床質、砂石來源及採砂程度有關。

4. 相對河川彎曲處的橋墩位置

自然蜿蜒河道中的凹岸會造成河岸侵蝕，而凸岸附近會發生邊灘(point bar)淤積的現象，故其實際發生的區域與河道彎曲的程度、河路的軌跡、…等有密切的關係。

5. 橋墩(基)與河川流向間之角度

由橋墩(基)沖刷公式(3-1)、(3-2)、(3-3)如表 3-1 中可得知，橋墩形狀係數、水流攻角、排列方式皆與沖刷深有關，皆會影響局部沖刷深度。

表3-1 沖刷深度計算公式

1.Melville (1998)	最大平衡沖刷深度
$h_s = K_y K_s K_\theta \quad (3-1)$ $K_y = \begin{cases} 2.4D_p, & \text{當 } \frac{D_p}{h_2} < 0.7 \\ 2\sqrt{h_2 \times D_p}, & \text{當 } 0.7 < \frac{D_p}{h_2} < 5 \\ 4.5h_2, & \text{當 } \frac{D_p}{h_2} > 5 \end{cases} = \text{水深－結構尺寸比值參數}$ $K_s = \begin{cases} \text{圓柱形} & 1.0 \\ \text{圓鼻端} & 1.0 \\ \text{方鼻端} & 1.1 \\ \text{尖鼻端} & 0.9 \\ \text{斜向柱} & 1.0 \end{cases} = \text{橋墩形狀參數}$ $K_\theta = \begin{cases} \left(\frac{L}{D_p} \sin \theta + \cos \theta \right)^{0.65}, & \text{非圓柱形橋墩} \\ 1.0, & \text{圓柱形橋墩} \end{cases} = \text{橋墩指向(與水流方向之夾角 } \theta \text{)參數；}$ 其中，h_s：局部沖刷深度(m)；h_2：墩前水深(m)；D_p：墩柱迎水寬度(m)； L：橋墩順水流方向之長度(m)；	
2.修正 CSU 公式(HEC-18,1995)	護甲效應
$\left(\frac{h_s}{h_2} \right) = 2.0 K_s K_\theta K_3 K_4 \left(\frac{D_p}{h_2} \right)^{0.65} F_r^{0.43} \quad (3-2)$ 其中，K_s：橋墩鼻端形狀修正因子，K_θ：水流攻角修正因子，K_3：底床型態修正因子 K_4：河床粒徑護甲效應修正因子，F_r：墩前水流福祿數($\frac{V_2}{\sqrt{g \times h_2}}$)，其餘符號同前。	
3. Ettema et al. (1998)	圓形橋墩；最大平衡沖刷深度
$\left(\frac{h_s}{D_p} \right) = \left(\frac{h_2}{D_p} \right)^{0.62} \times \left(\frac{V_2}{(g \times h_2)^{0.5}} \right)^{0.2} \times \left(\frac{D_p}{D_{50}} \right)^{0.08} \quad (3-3)$ 其中，V_2：流速(m/s)，D_{50}：河床質中值粒徑(m)，其餘符號同前	

3.1.2 人為因素

在人為因素方面，鄰近有無採砂、上游是否有攔河堰，上下游高低差、橋墩(基)與河川流向間之角度、保護設施皆會造成側向侵蝕、向源侵蝕、以下就這些原因加以說明：

1. 附近有無採砂

從河床演變理論分析，河川底床受上游泥砂供給影響而呈現淤積抬升或沖刷下降，對河川機能都存在一定的威脅及不利影響。因此，當河川處於沖刷下降時，一方面要疏通上游泥砂供應，另一方面應緩和或禁止河川泥砂開採，以舒緩河川底床下降之趨勢；反之，當河川處於淤積抬升時，除了應加強河道整理外，最有效率的作法即開放河川砂石開採，只要依照河道治理計畫及相關規範，河川砂石開採既可增加河川通洪能力，採取之砂石也可供應到市場，可說是一舉兩得。但是，如果不當採取，超深挖取的話，將會產生很多負面的影響，在橋梁的上游過度的開採砂石會使得在洪流時針對沖刷所應該有砂石來源補充大量沉積於採砂坑內而相對減少，使得沖刷加劇。在橋梁的下游過度的開採砂石則會加速向源侵蝕的發生。

2. 上游是否有攔河堰

攔河堰是指橫跨於河道上之水工結構物，利用堰體本身的高度抬高水頭作為引水利用，故水流於此處之流速減緩，而上游之砂石即在此沉降淤積，而無法順利補充下游沖刷處之砂石。

3. 上下游高低差

因砂石開採或是橋基保護工等因素所造成之上下游高低差，會加速向源侵蝕的發生。

4. 保護設施

近年來臺灣西部各流域的大部份河段底床高程皆呈下降的趨勢，各橋梁管理單位皆在橋址處或橋梁下游側構築橋基保護工，例

如蛇籠、塊石、護坦、混凝土固床工等.....工法之運用，以加強橋梁之保護。當保護工完工後卻常發現在橋基保護工與原河床間有著高低差，造成跌水或水躍沖刷，而產生沖刷坑，使得橋基保護工之受損或流失，並產生向源侵蝕。

而橋基保護工未合攏或是局部區段破損則會有一弱面之產生，使得水流更加集中而流速加大，產生束縮沖刷效應。

3.2 河川基本資料

每條河川中各不同河段皆有其獨有的特色，進行沖刷檢測作業規範之前從完整流域基本資料調查、現地勘查及相關分析研判，可有助於建立正確的檢測方向。

河川內各河段的沖刷除了橋梁所造成之局部沖刷的影響之外，需以整個集水區的角度進行水文、水理的基本資料之蒐集，以下針對河川水地文資料之蒐集進行說明：

1. 雨量站資料

降雨為水文循環之起源，其量之多寡、時間分佈、對於河川跨河構造物之影響頗大。故需蒐集監測橋梁上游記錄時間較長之雨量站資料，由降雨資料可宏觀的瞭解流域內降雨量豐枯及變化情形。以臺 61 線西濱大橋為例，表 3-2 為鄰近雨量站資料，圖 3.2 為鄰近水文站的位置。

表3-2 西濱大橋鄰近雨量站資料表

氣象局站號	水利署站號	站名	所屬單位	標高(m)	記錄年份	統計年數	TM 二度分帶 X 坐標	TM 二度分帶 Y 坐標
C0G710	C0G710	臺西	中央氣象局	64	1992~2008	17	175836.68	2638698.26
C1K260	C1K260	後安寮	中央氣象局	29	1993~2008	16	171018.58	2632139.89
C1K250	C1K250	崙背	中央氣象局	59	1993~2008	16	179748.2	2628372.33
C1K230	C1K230	西螺	中央氣象局	79	1992~2008	17	193389.64	2633727.16

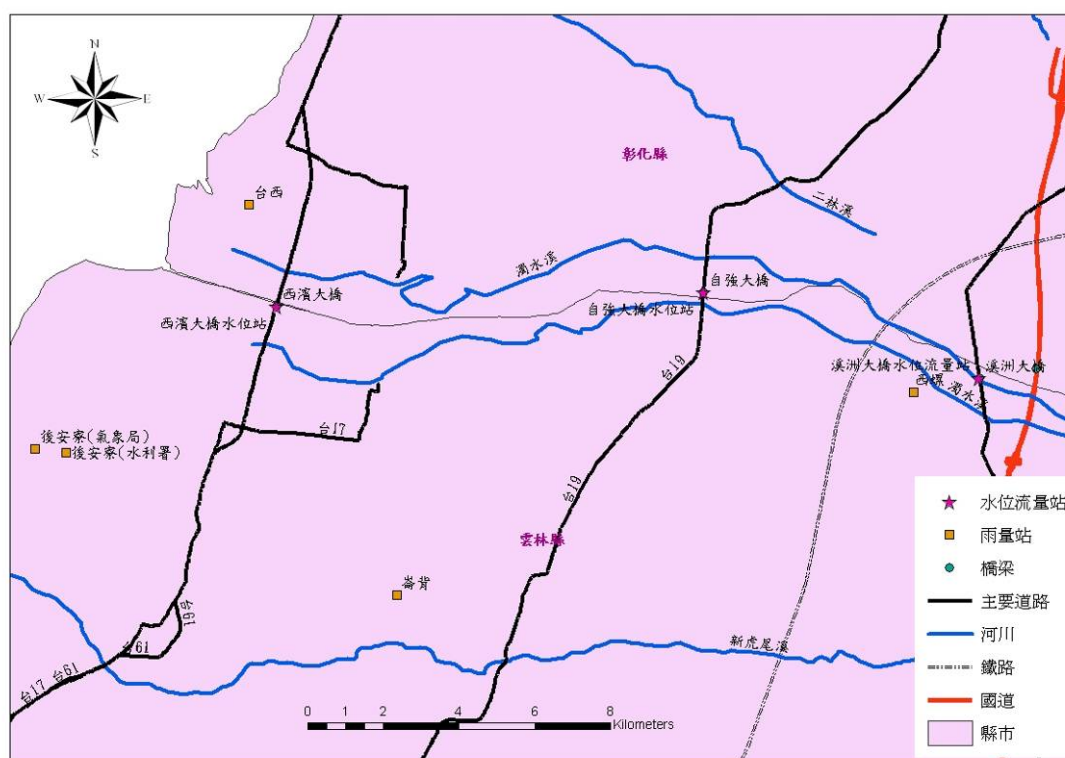


圖3.2 西濱大橋鄰近水文站位置圖

經濟部水利署已設置之各類水文測站，有關雨量、河川水位、流量、含砂量、地下水位及潮位等之觀測資料，其相關水文資料可參考

經濟部水利署「水文水資源資料管理供應系統」，網址如下：

<http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>

2. 水位流量站資料

河川流量為降雨之最直接的產物，而水位與流量也是直接影響橋梁安全之最重要的因素。故蒐集橋梁處與橋梁上、下游之水位流量站之資料，在橋梁處之水位資料可直接判斷橋梁之穩定性與安全性，而橋梁上、下游之水位資料則可間接甚至提早得知水位之變化趨勢。表 3-3 所示為臺 61 線西濱大橋附近水位流量站資料，水位流量站位置如圖 3.2 所示。

表3-3 西濱大橋鄰近水文流量站資料表

站號	站名	地址	集水面積 (km ²)	標高 (m)	記錄年份	統計 年數	TM 二度分帶 X 坐標	TM 二度分帶 Y 坐標
1510H076	西濱 大橋	彰化縣 大城鄉	3150.71	14	2003~2009	7	176887.3	2637157
1510H058	自強 大橋	彰化縣 竹塘鄉 內新村	2988.88	28	1986~2002, 2005~2002, 2005~2009	22	187913	2637267
1510H071	溪州 大橋	彰化縣 溪州鄉 水尾村	2974.73	39.6	2001~2008	9	194978.4	2634095

3. 水理分析資料

水利單位在進行河川水理分析之前對河川會有初步之認知及對流域之地形與其集水區概況、河道型態、河道流路變遷及河床質分析等有所瞭解，才能做出正確之水理分析，才能對水理分析結果之合理性作出正確之判斷。所以在水理分析報告中可得知各不同重現期距時於橋梁處所可能產生之水位、流速等河川因子，由這些參考資料可研判橋梁之安全性。表 3-4 為民國 92 年濁水溪流域聯合整

體治理規劃報告(行政院農業委員會水土保持局)中針對臺 61 線西濱大橋所分析之水理資料。

表3-4 濁水溪斷面 10-14 水理分析成果

斷面	累距 (公尺)	最低河 槽深 (EL.m)	100 年洪 水模擬水 位(EL.m)	100 年 洪水流 速(m/s)	100 年 洪水福 祿數	50 年洪 水模擬 水位 (EL.m)	50 年 洪水流 速(m/s)	50 年洪 水福祿 數	計畫水 位 (EL.m)	計畫 河床高 (EL.m)
濁斷 10	3,926	2.25	8.32	3.04	0.44	8	2.8	0.42	8.97	3.35
濁斷 11	4,446	2.8	8.61	4.22	0.62	8.3	3.89	0.59	9.35	3.94
濁斷 12(西濱 大橋下游)	4,958	1.98	9.63	3.3	0.39	9.19	3.22	0.39	9.82	4.54
濁斷 12(西濱 大橋上游)	4,988	2.26	9.73	3.25	0.38	9.29	3.18	0.39	9.96	4.54
濁斷 13	5,378	2.8	9.87	3.27	0.42	9.45	3.12	0.41	10.66	5.05
濁斷 14	5,797	3.4	10.26	2.84	0.4	9.76	3	0.44	11.1	5.49

橋梁鄰近地區之水理分析資料，可參考經濟部水利署河川治理規劃報告、各項專題規劃研究報告、河川治理基本計畫、河川環境分區規劃成果。

4. 河川水工構造物資料

監測橋梁上游之水工結構物包括了橋梁，輸水、油橋梁，渡槽，堰、壩、固床工、跌水工，河底構造物如輸水、輸油管等。、因堰、壩會阻擋河川中砂石的運輸情形，使得下游沖刷情形加劇。而其他構造物會造成跌水，水躍等情形發生。河川水工構造物資料可參考經濟部水利署河川治理規劃報告、河川測量報告、各項專題規劃研究報告。

5. 橋梁與其保護工竣工圖

橋梁與其保護工竣工圖可得知橋梁之結構以及歷年針對橋梁所施作之保護工程，以便於橋梁整體結構可承受應力之計算以及目前基礎裸露長度之確認。圖 3.3、圖 3.4 是以臺 61 線西濱大橋橋梁

圖樣說明書 (續)

材料名稱	單位	數量	備註
P1 12	m	1.00	
P2 12	m	1.00	
P3 12	m	1.00	
P4 12	m	1.00	
P5 12	m	1.00	
P6 12	m	1.00	
P7 12	m	1.00	
P8 12	m	1.00	
P9 12	m	1.00	
P10 12	m	1.00	
P11 12	m	1.00	
P12 12	m	1.00	
P13 12	m	1.00	
P14 12	m	1.00	
P15 12	m	1.00	
P16 12	m	1.00	
P17 12	m	1.00	
P18 12	m	1.00	
P19 12	m	1.00	
P20 12	m	1.00	
P21 12	m	1.00	
P22 12	m	1.00	
P23 12	m	1.00	
P24 12	m	1.00	
P25 12	m	1.00	
P26 12	m	1.00	
P27 12	m	1.00	
P28 12	m	1.00	
P29 12	m	1.00	
P30 12	m	1.00	
P31 12	m	1.00	
P32 12	m	1.00	
P33 12	m	1.00	
P34 12	m	1.00	
P35 12	m	1.00	
P36 12	m	1.00	
P37 12	m	1.00	
P38 12	m	1.00	
P39 12	m	1.00	
P40 12	m	1.00	
P41 12	m	1.00	
P42 12	m	1.00	
P43 12	m	1.00	
P44 12	m	1.00	
P45 12	m	1.00	
P46 12	m	1.00	
P47 12	m	1.00	
P48 12	m	1.00	
P49 12	m	1.00	
P50 12	m	1.00	
P51 12	m	1.00	
P52 12	m	1.00	
P53 12	m	1.00	
P54 12	m	1.00	
P55 12	m	1.00	
P56 12	m	1.00	
P57 12	m	1.00	
P58 12	m	1.00	
P59 12	m	1.00	
P60 12	m	1.00	
P61 12	m	1.00	
P62 12	m	1.00	
P63 12	m	1.00	
P64 12	m	1.00	
P65 12	m	1.00	
P66 12	m	1.00	
P67 12	m	1.00	
P68 12	m	1.00	
P69 12	m	1.00	
P70 12	m	1.00	
P71 12	m	1.00	
P72 12	m	1.00	
P73 12	m	1.00	
P74 12	m	1.00	
P75 12	m	1.00	
P76 12	m	1.00	
P77 12	m	1.00	
P78 12	m	1.00	
P79 12	m	1.00	
P80 12	m	1.00	
P81 12	m	1.00	
P82 12	m	1.00	
P83 12	m	1.00	
P84 12	m	1.00	
P85 12	m	1.00	
P86 12	m	1.00	
P87 12	m	1.00	
P88 12	m	1.00	
P89 12	m	1.00	
P90 12	m	1.00	
P91 12	m	1.00	
P92 12	m	1.00	
P93 12	m	1.00	
P94 12	m	1.00	
P95 12	m	1.00	
P96 12	m	1.00	
P97 12	m	1.00	
P98 12	m	1.00	
P99 12	m	1.00	
P100 12	m	1.00	

圖樣說明書 (續)

1. 圖樣說明書 (續)

2. 圖樣說明書 (續)

3. 圖樣說明書 (續)

4. 圖樣

3-9

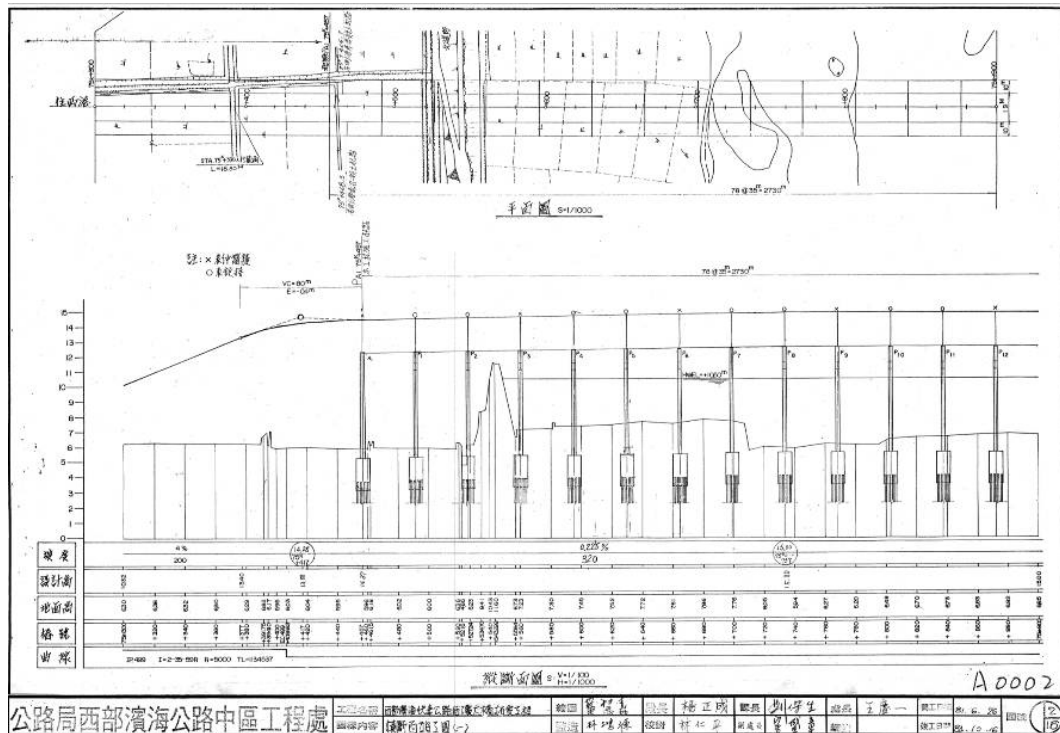


圖3.4 臺 61 線西濱大橋橋梁竣工圖(2)

橋梁與其保護工竣工圖可經由交通部公路總局、交通部臺灣區國道高速公路局等橋梁管理單位取得。

6. 河道測量資料

由橋梁上下游的歷年大斷面資料可準確得知河道基本資料，河道縱斷、橫斷面測量、地形測量及河川構造物調查測量成果，為河川水文及水理分析之基本資料。由歷年測量資料可得知河道坡降變化、河道沖淤變化、流路變化、主深槽位置等河道情況。圖 3.5 為民國 93 年臺 61 線西濱大橋河道斷面測量圖，由圖中可看出主深槽位置，高灘地高程等資料。圖 3.6 為濁水溪下游歷年平均河床高程變化，圖 3.7 為濁水溪下游河道主深槽高程變化。

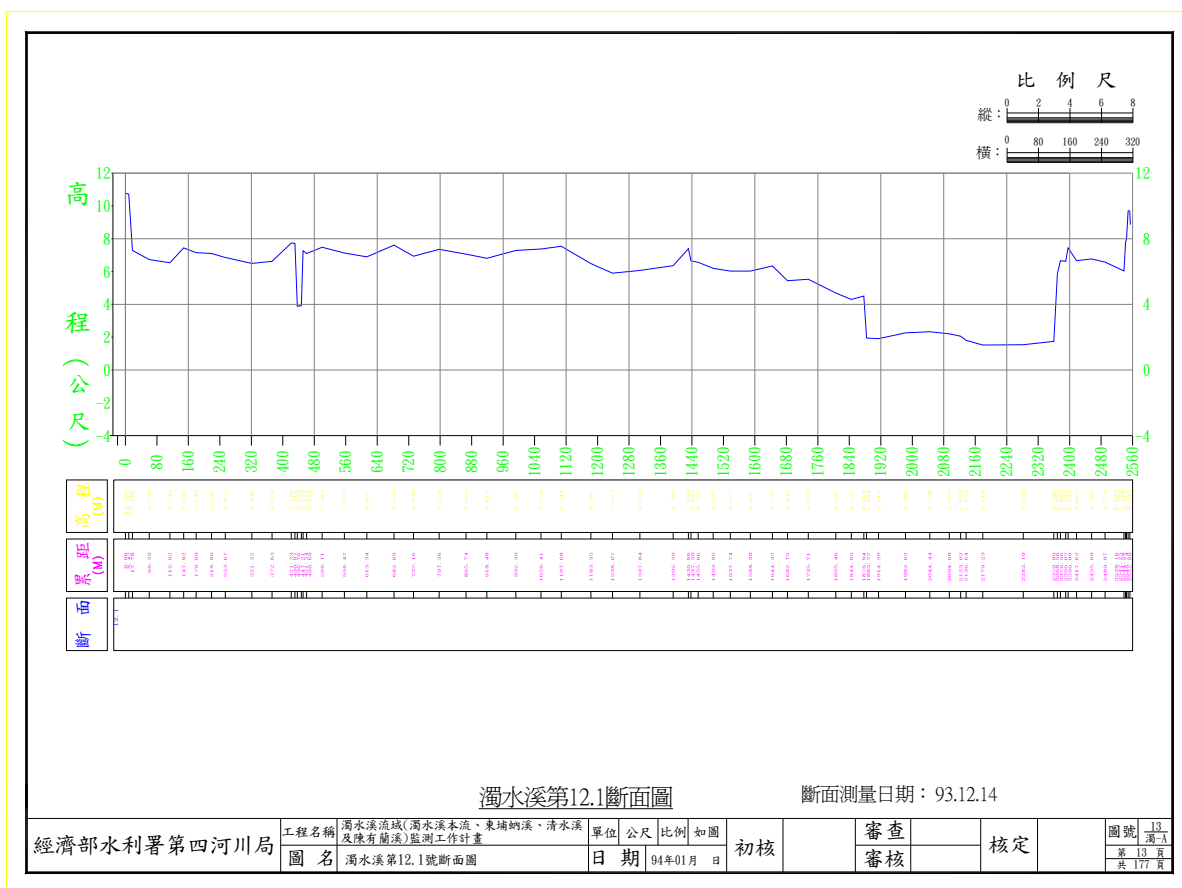


圖3.5 西濱大橋斷面圖

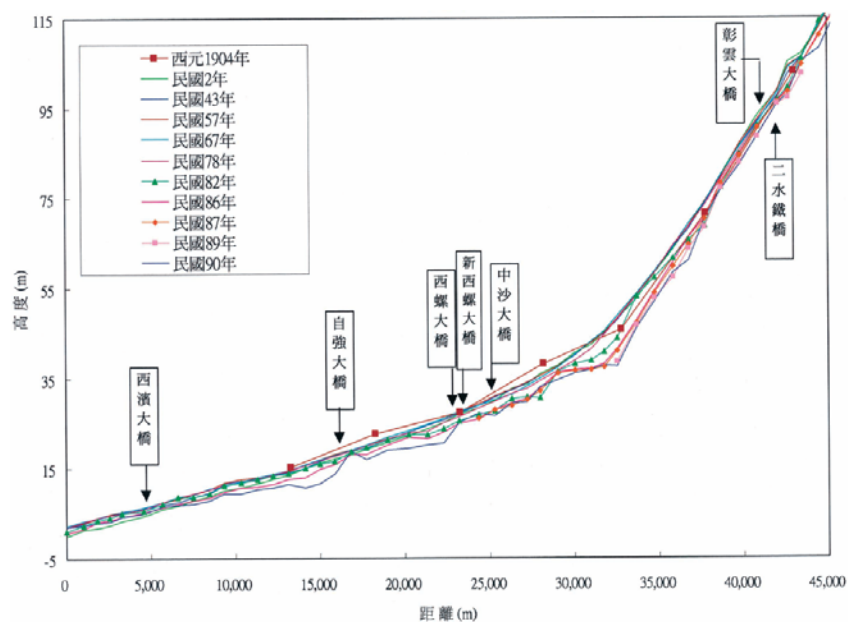


圖3.6 濁水溪歷年平均河床高程變化圖

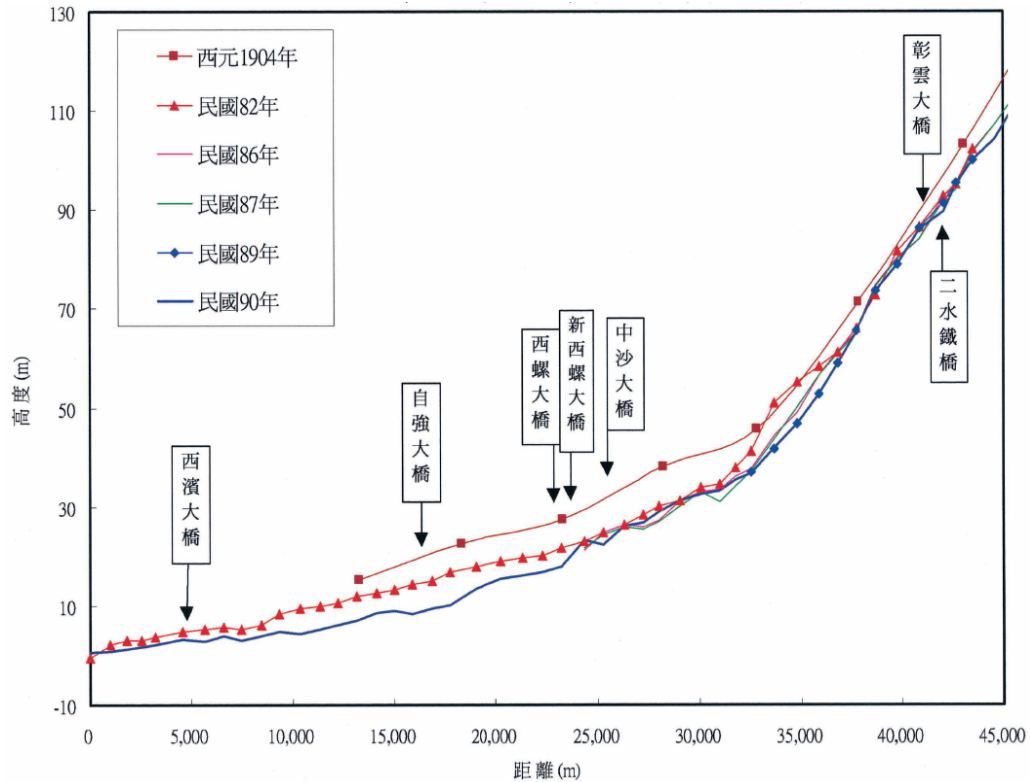


圖3.7 濁水溪歷年河道主深槽高程變化圖

河道測量資料可參考經濟部水利署河川治理規劃報告、河川測量報告、沖淤調查報告、各項專題規劃研究報告。

7. 歷年正射影像圖

由歷年正射影像圖可判視出河道流路變化、是否有崩塌、土地利用改變等。圖 3.8 為臺 61 線西濱大橋正射影像圖。



圖3.8 臺 61 線西濱大橋正射影像圖

正射影像圖可由內政部土地測量局經建版紙圖、林務局農林航空測量所基本圖紙圖及數值檔影像。

8. 河床質粒徑

由河床質粒徑分析成果，可瞭解各河段的輸砂量多寡及對水流剪力之阻抗、亦即河床質會影響河川的斷面形狀、平面及縱向剖面型態。圖 3.9 為民國 92 年濁水溪流域聯合整體治理規劃報告(行政院農業委員會水土保持局)中針對濁水溪所調查之河床質粒徑分佈。

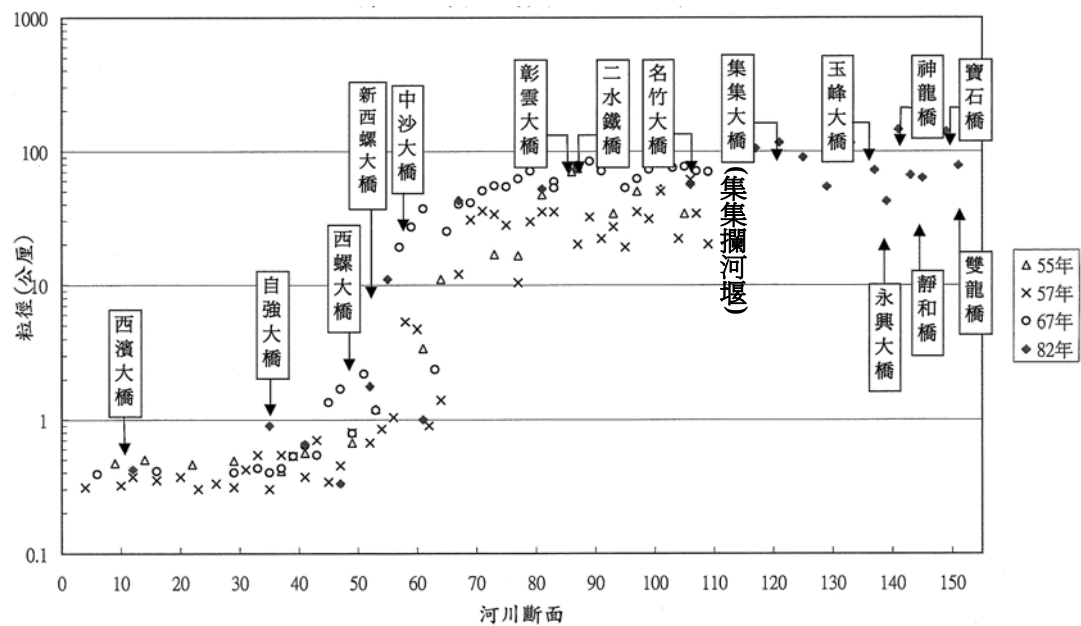


圖3.9 濁水溪河川斷面代表粒徑 D50 比較圖

河床質粒徑可參考經濟部水利署河川治理規劃報告、各項專題規劃研究報告、河川治理基本計畫、河川環境分區規劃成果或「水文水資源資料管理供應系統」網站相關資料。

3.3 橋梁基礎基本資料

橋梁基礎之基本資料可概分為兩類，一為承載土層資料，二為基礎結構設計資料。所蒐集內容應同時包含竣工及至目前為止之變化，如基礎損傷與補強維修狀況、河床掏刷深度或回淤情況等。

1. 承載土層資料

土層資料應包含設計規劃時之參考資料（如地質鑽探報告書）及現況調查（河床掏刷及回淤情況），原則上應涵蓋下列項目：

(1) 場址地質構造

(2) 土層性質

- a. 土層分佈概況（土層種類、各層厚度及其變異性）
- b. 土壤分類與土壤一般物理性質（如：單位重、孔隙比、含水量、粒徑分佈、液限及塑限...等）
- c. 相關工程性質（如：剪力強度、壓縮性...等）

(3) 岩層性質（若地質鑽探深度到達岩層時）

- a. 岩層頂面深度
- b. 岩性、節理情況或岩體破碎程度、及風化程度
- c. 岩石一般物理性質（如：單位重、孔隙比、含水量、消散耐久性...等）
- d. 相關工程性質（如：單軸抗壓強度...等）

(4) 標準貫入試驗打擊數（SPT-N 值）或圓錐貫入試驗貫入阻抗 q_c 值）

(5) 地下水位高程

(6) 必要時應包含場址坡地災害及土壤液化潛勢分析

(7) 河床沖刷回淤情況

(8)其他不尋常之情況

2. 基礎結構設計資料

基礎結構設計資料應以竣工時之基礎配置為主，並包含目前基礎情況，原則上應涵蓋下列之項目：

(1)基礎設計與竣工圖說，圖說內容應包含：

- a. 基礎形式（如：直接基礎、群樁基礎或沉箱基礎...等）
- b. 基礎幾何形狀（如：樁徑、樁長、群樁配置情況、樁帽尺寸、沉箱尺寸...等）
- c. 基礎材料（如：鋼筋混凝土、預力混凝土、鋼材...等）與其力學性質（如：混凝土強度、鋼筋強度、鋼材強度...等）
- d. 基礎施工方式（鑽掘、打擊、植入...等）

(2)歷年基礎檢測及維修補強紀錄表與圖說

(3)基礎損傷或材料老劣化情況

第四章 冲刷潛勢評估種類

橋梁冲刷的檢測，主要是根據橋梁下部結構安全性、河川水文水理環境評估以及橋梁、河川的防護設施是否健全，以上三大項目若要完整的檢測評估，則必須經過儀器非破壞檢測、流速的量測、冲刷深度丈量以及搭配歷年河川變遷之資料等，諸多複雜而費時之程序，因此這些檢測方式在第二章中所定義之各個不同之冲刷檢測階段、檢測時機，也並非全都適用，故如何於各檢測時機中執行適當的檢測方法即在本章節中進行說明。

先前將冲刷檢測種類定義為目視檢測與詳細檢測，針對其中所使用的詳細冲刷潛勢評估及簡易冲刷潛勢評估的部分，必須訂定相對應之冲刷檢測表格，現有的跨河橋梁冲刷檢測相關的檢測表格有：公路跨河橋梁冲刷潛勢評估表^[10](表 4-1)、橋梁耐洪能力初步評估表^[11](表 4-3)、冲刷潛勢調查表^[12](表 4-4)、公路橋梁安全評估表(耐洪能力)^[13](表 4-5)以及日本的冲刷判定表(洗掘判定表)^[14](表 2-10)等。至於現有的儀器檢測種類有振動量測技術、水上地電阻、水上聲納、超音波、透地雷達、重錘等技術。

4.1 詳細冲刷潛勢評估

目視檢測，顧名思義就是僅靠檢測員的目視判斷進行檢測，完全不依靠任何量測的儀器、工具，為最快速且有效率的檢測手段。本規範所定義之目視檢測適用的時機為『颱風事件發生前』，而從颱風事件發生前到事件發生中，僅約 48 小時不到的時間內，就必須要以目視檢測的方式完成橋梁冲刷潛勢的評估，此外此時期之各工務段可動用之人員亦有限，因此更是需要有效率的目視檢測。

目前臺灣之各類型橋梁檢測表格，大多數皆以目視檢測為主，然而目視檢測的結果往往會受到檢測員本身判斷的標準不同而影響，因

此目視檢測應要有制式化的文字依據或表格以供檢測員填寫。至於目前臺灣橋梁沖刷方面的檢測表格(表 4-1~表 4-5)，普遍的使用上對於檢測員而言有一定的難度，除了部分項目是經由目視檢測填寫外，有些內容必須要靠儀器的測量、橋梁的設計資料、河道變遷的詳細記錄，才有辦法填寫，雖說這樣可進行較完整的評估，但這對於在短時間內要完成許多座橋梁的檢測而言，會耗費許多額外的時間，因此如何在完善的評估與評估之速度之間取得平衡，實為一重要課題。

唐治平教授等人^[10]於 2004 年整理出的『公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表』(以下簡稱表 4-1)算是臺灣第一個針對沖刷檢測所制定之完整表格；其後陳振川教授等人^[11]於 2007 年也制定出一套『橋梁耐洪能力初步評估表』(以下簡稱表 4-3)；公路總局^[13]於 2009 年年底針對民國 49 年以前建造以及橋梁重要性橋梁為『極重要』的橋梁共計 397 座進行初步之耐洪能力評估，其所使用的表格是以『公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表』為基礎修訂出『公路橋梁安全評估表(耐洪能力)』(以下簡稱表 4-5)，此表格主要是針對原本公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表中『基礎裸露程度』及『梁底高程』項目之評分方式進行修改；王仲宇教授等人^[12]於 2009 年提出『沖刷潛勢調查表』(以下簡稱表 4-4)；此外於本研究第二章以介紹之日本鐵道技術研究所^[14]也於 2007 年建置『沖刷判定表』(以下簡稱表 2-10)，且實際實施檢測於 77 座橋梁並統計其評分結果得到一門檻值(見圖 2.6)。

表4-1 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表

(唐治平，交通部公路總局報告，2004)

橋梁名稱： 編號： 填表日期： 年 月 日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	近年內主河道變遷的情形	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5~0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0)		
2	河川整治辦理情形	4	☐ 尚未辦理或已辦理但僅施設簡易式拋卵石護岸工(1.0) ☐ 1000公尺內已完成，其他未辦理(0.5) ☐ 已完成(0)		
3	近年內主河道河床下降的情形	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5~0.9) ☐ 輕微(0.25) ☐ 無(0)		
4	鄰近有無採砂	10	☐ 2000公尺以內(1.0) ☐ 2000公尺以上(0.5) ☐ 無(0)		
5	上游攔河堰	3	☐ 1000公尺以內(1.0) ☐ 1000公尺以上(0.5) ☐ 無(0)		
6	上游橋梁；下游側具束縮河道之其他構造物	4	☐ 400公尺以內(1.0) ☐ 400~1000公尺之間(0.5) ☐ 1000公尺以上(0.2) ☐ 無(0)		
7	基礎形式	3	☐ 具淺基礎或擴展基腳(1.0) ☐ 具沉箱基礎但貫入深度≤10m(0.5) ☐ 具深基礎(0)		
8	基礎裸露程度 S=裸露長度/基礎貫入深度	10	☐沉箱式 ☐極嚴重($S \geq 2/3$)(1.0) ☐嚴重($1/4 \leq S \leq 2/3$)(0.3~0.9) ☐輕微($1/6 \leq S \leq 1/4$)(0.1~0.3) ☐無(0) ☐PC裝式 ☐極嚴重($S \geq 2/5$)(1.0) ☐嚴重($1/6 \leq S \leq 2/5$)(0.3~0.9) ☐輕微($1/10 \leq S \leq 1/6$)(0.1~0.3) ☐無(0)		
9	本橋上下游之橋梁有無沖刷問題	3	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0)		
10	梁底高程	4	$(1.0) \geq 1 - \frac{H_b - H_t}{1.5 \text{公尺}} \geq (0)$ ， H_b =梁底高程， H_t =堤頂高程， 當 $H_b - H_t \geq 1.5$ ，則 $H_b - H_t$ 取 1.5		
11	阻水比之效應 RA	8	☐ 極嚴重($RA > 12\%$)(1.0) ☐ 嚴重($9\% \leq RA \leq 12\%$)(0.5~0.9) ☐ 輕微($RA < 9\%$)(0.2) ☐ 無($RA < 3\%$)(0)		
12	橋墩(基)方向與河川流向間之角度(θ°)	4	$(1.0) \geq \xi = \frac{\theta^0 - 5^0}{25^0} \geq (0)$ ； $\theta < 5^\circ$ ， $\xi = 0$ ； $\theta > 30^\circ$ ， $\xi = 1$		
13	河床軟岩之風化沖蝕	5	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5) ☐ 輕微(0)		
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素	12	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5~0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0)		
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	10	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構遭撞擊損害、橋梁通過彎曲河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路、樁基礎垂直承载力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸出露等		
	小計	100			
				評估人員	

注：(1)評估內容括號中之數字為權數，乘以配分為得分。

(2)沖刷潛勢之評定標準為：

- 得分大於 60 分，安全有疑慮，應立即進行詳細安全檢測及評估。
- 得分大於 30 分至等於 60 分，安全略有疑慮，近期應進行詳細安全檢測及評估
- 得分小於等於 30 分，安全無疑慮，但須繼續進行例行性檢測維護。

(3)本表適用於不包括土石流潛勢區的現存橋梁。

表4-2 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表填表摘要說明

(唐治平，交通部公路總局報告，2004)

項次	摘 要 說 明
1	(1) 若於近三年來歷次洪水在河川彎道之凹岸處造成1 ~ 1.5 個橋孔或一次洪水通過後造成1/4~ 1/2 個橋孔之岸側侵蝕者為“嚴重”程度；超過或低於此一範圍者，則分別為“極嚴重”與“輕微”之程度，若無明顯變遷時則為 "無"。 (2) 緊臨山崖而致邊坡壤土崩塌而阻塞主河道時，可依上述估橋梁跨徑之比例依次劃分等級。 (3) 因開挖導水路造成主河道變遷1/2 ~ 1.0 個橋孔者則為“嚴重”程度，超過或低於此一範圍者為“極嚴重”與“輕微”等級。
2	依表中之評估內容進行評估。
3	(1) 若於近三年內，主河道河床(含橋址處河床)曾經降低2.0 ~ 4.0 公尺時則列為“嚴重”，超過4.0 公尺或介於2.0 ~ 0.5 公尺者，則分別為“極嚴重”及“輕微”的程度，低於0.5 公尺者則為“無”。 (2) 如無河床歷年高程資料，可依相關水理公式並加計現場檢測資料，予以研判。
4 ~ 6	依表中之評估內容進行評估。
7	依表中之評估內容進行評估；具深基礎乃指樁基礎或沉箱基礎者。
8	本項藉由橋基貫入深度(Hp)及現場實測之裸露深度(Hs)，來計算裸露深度與橋基容許沖刷深度(Hsa)之比值(Hs/Hsa)以評定基礎裸露程度。 (1)『沉箱式』：沉箱式之橋基裸露深度介於1.0 ~ 1.5 倍之橋基容許沖刷深度(即$Hs = 1.0 \sim 1.5Hsa$，$Hsa = 1/4 Hp$)時，則為具嚴重之裸露程度者，大於或小於此一範圍者乃分別為極嚴重與輕微裸露程度。 (2)『基樁式或擴展基腳式』：基樁式或擴展基腳式橋基則相對應地取$Hs = 1.0 \sim 1.5Hsa$(其中$Hsa = 1/5 Hp$)為具嚴重之裸露程度。如無原設計之容許沖刷深度則須另行計算，但為簡化評估計算則採貫入深度(Hp)乘以其個別之係數，如上所示。

表 4-2 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表填表摘要說明(續)

(唐治平，交通部公路總局報告，2004)

9	可參考上下游其他橋梁之受沖刷情形與其他初步檢測之相關異常現象，而據其現象給予適當分數，若其他橋梁無沖刷問題亦無相關之異常現象，本項得分可為零分。
10	(1) 若梁底高程大於計畫洪水位2.0 公尺(或高於堤頂高程1.5 公尺)以上時，因有足夠(或適當)出水高，仍採用2.0(或1.5)公尺計算之，其權數零。 (2) 如梁底高程在計畫洪水位(或堤頂高程)之上，但不足2.0(或1.5)公尺時，則依公式(內差法)計算其權數。 (3) 若梁底高程在計畫洪水位(或堤頂高程)以下，則其權數為1.0。
11	(1) 以9 ~ 12 %作為具有“嚴重之阻水面積比效應”，超過或低於此一範圍者分別為具有“極嚴重”與“輕微”之阻水面積比效應，而5 %以下則為“無”。 (2) 「阻水面積比」採用橋梁構造在計畫洪水位或賀伯颱風洪之洪峰水位以下之阻水面積與橋址處之河床沖刷剖面之百分比，加以計算。
12	(1) $\theta_0 = 0^\circ \sim 5^\circ$ 時仍用 5° ； (2) $\theta_0 = 5^\circ \sim 30^\circ$ 時，採內差法(如表中公式)計算之； (3) θ_0 大於 30° 時，仍採 30° 計算之。
13	若有進行軟岩消散耐蝕性試驗(slaking durability test)，可得到消散耐蝕指數(ID1 & ID2)，指數ID_i的計算如下： $\text{第}i\text{次消散耐蝕指數} = \frac{\text{第}i\text{次實驗後殘留在圓桶中之岩樣於烘乾後的重量}}{\text{最初實驗前岩樣之烘乾重量}} \times 100\% (i=1,2,\dots)$ (1) 若ID1 < 35%或ID2 < 10%則列為“極嚴重”之程度。 (2) 若ID1 = 35 ~ 60%或ID2 = 10 ~ 30%者為“嚴重”之程度。 有關ID1 與ID2 之計算方法及參考數值詳如附錄一所述。
14	一、(保護工施作後之)側向侵蝕：以河川與地形(質)現況之(1)(橋址處之)河床深槽化、(2)主河道佔全河寬之比與、(3)阻水比之效應(即前述之項次第11 項)(其中(2)、(3)項須為嚴重級)及保護工端部與是否有施設護坡工來加以判定。 1. 以保護工頂面為齊一高程、且凸出河床面1 公尺以上，又直接與高灘地接觸而無施加護坡工(或護坡工施設不良)者所引發之側向侵蝕為“極嚴重”程度。 2. 若其他條件不變，而保護工頂部凸出河床面之高度低於1 公尺者，則劃歸為“嚴重”程度。若為自然河道而無人為構造者，則直接以(1)、(2)、(3)項來區分側向侵蝕的程度。 二、(保護工興築後所造成之)水躍(或跌水)沖刷：可按河川與地形現況之(1)(橋址處之)河床深槽化、(2)主河道佔全河寬之比與(3)阻水比之效應及(4)局部坡度陡急化等四項來加以評估。

表 4-2 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表填表摘要說明(續)

(唐治平，交通部公路總局報告，2004)

	1. 若同時俱備(1)~(4)肆項(其中(2)、(3)項至少為嚴重級)、保護工施作頂面高差達3.0公尺以上、且無施作任何消能工者(或消能工施作不良)或有消能工之施設而下游側為相當軟弱之軟岩層或沈泥層者時，本項劃為“極嚴重”級。 2. 若同時俱備(1)~(4)肆項(其中(2)、(3)項至少為嚴重級)、保護工施作頂面高差介於3.0~1.5公尺，且無施作任何消能工者(或消能工施設不良)或有消能工之施設而下游側為相當軟弱之軟岩層或沈泥層者，為“嚴重”級。 前述的(1)~(4)四項之內容分別如下所述： (1) (橋址處之)河床深槽化：現況主河道河床之平均高程低於岸側高灘地平均高程2~4公尺者訂為“嚴重”之河床深槽化，超過或低於此一範圍者則分別為“極嚴重”及“輕微”深槽化之程度。 (2) 主河道佔全河寬之比：主河道佔全河寬之比介於1/3~1/5者為“嚴重”之主河道通水寬度不足，低於1/5及介於1/3~1/2者，分別為“極嚴重”及“輕微”之主河道通水寬不足。 (3) 阻水比之效應：同前述之項次第11項所述。 (4) 局部坡度陡急化：若局部河床坡度超過附近平均河床坡度之3倍以上者訂為具坡度陡急化的現象。
15	若經初步檢測發現有其他(異常)現象，譬如：下部構造有破裂、損害、沖蝕等撞損，或橋墩及基礎有變位傾斜，橋梁靠近陡峭山壁或橋梁通過彎曲河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路、樁基礎垂直承载力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸出露等，可根據其現象給予適當分數。若無其他異常現象，本項得分可能零分。

表4-3 橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川，交通部公局報告，2006。)

項次	項目	配分 s	評 估 內 容	權重 w	評分 $w \times s$
001	主河道變遷	5	☐ 嚴重變遷($w=1.0$) ☐ 輕微變遷($w=0.5$) ☐ 無($w=0$)		
002	河川整治辦理情形	5	☐ 尚未辦理($w=1.0$) ☐ 1000m以內完成，其他未辦理($w=0.5$) ☐ 已完成($w=0$)		
003	河床一般沖刷	5	☐ 嚴重($w=1.0$) ☐ 普通($w=0.5$) ☐ 輕微($w=0$)		
004	鄰近有採砂	7.5	☐ 1000m以內($w=1.0$) ☐ 1000m~3000m($w=0.5$) ☐ 3000m以外($w=0$)		
005	上游有攔河堰	5	☐ 1000m以內($w=1.0$) ☐ 1000m~3000m($w=0.5$) ☐ 3000m以外($w=0$)		
006	下游有攔河堰	5	☐ 3000m以外($w=1.0$) ☐ 3000m~1000m($w=0.5$) ☐ 1000m以內($w=0$)		
007	橋基保護工現況	7.5	☐ 不良($w=1.0$) ☐ 中等(0.5) ☐ 良好或無需保護(0)		
008	橋墩形式	5	☐ 單柱橋墩($w=1.0$) ☐ 雙柱橋墩($w=0.5$) ☐ 多柱或壁式橋墩($w=0$)		
009	基礎剩餘長度(H_{left})與原有長度(H)之比值	15	基樁：當 $(H_{left}/H) < 0.6$ ， $w=1.0$ ；當 $0.6 \leq (H_{left}/H) \leq 1.0$ ， $w=2.5-2.5(H_{left}/H)$ 沉箱：當 $(H_{left}/H) < 0.4$ ， $w=1.0$ ；當 $0.4 \leq (H_{left}/H) \leq 1.0$ ， $w=5/3-5/3(H_{left}/H)$ 直接基礎： ☐ 置於砂礫層，有沖刷之虞($w=1.0$) ☐ 置於岩盤表層($w=0.5$) ☐ 深入岩盤($w=0$)		
010	橋墩等值寬度 b_e (m)	7.5	當 $b_e > 8$ ， $w=1.0$ ；當 $2 \leq b_e < 8$ ， $w=-1/3+(1/6)b_e$ ；當 $b_e < 2$ ， $w=0$		
011	橋墩方向與水流方向夾角 θ	5	當 $K_\theta \leq 2.0$ ， $w=K_\theta-1$ ；當 $K_\theta > 2.0$ ， $w=1.0$ ； $K_\theta = [(l/b_e) \sin \theta + \cos \theta]^{0.65}$ l ：橋墩沿垂直行車方向深度； b_e 橋墩等值寬度		
012	通水遮斷面積率 R_A (%)	5	$0 \leq w = (R_A - 5)/5 \leq 1.0$		
013	梁底高程 (m)	5	$1.0 \geq w = 1 - (\text{梁底高程} - \text{計畫洪水位}) / 1.5 \geq 0$ ；若無計畫洪水位 $1.0 \geq w = 1 - (\text{梁底高程} - \text{堤頂高程}) / 1.0 \geq 0$		
014	支承狀況與防落長度	7.5	☐ 不良($w=1.0$) ☐ 普通($w=0.5$) ☐ 良好($w=0$)		
015	橋墩形狀	5	☐ 平頭墩($w=1.0$) ☐ 圓形或圓頭墩($w=0.5$) ☐ 尖頭墩($w=0$)		
016	其他影響耐洪能力之異常現象	5	橋梁上游側具使水流束縮之地形或構造物 ($0 \leq w \leq 1$)		
總 分		100			

表4-4 沖刷潛勢簡易調查表
(王仲宇，交通部運研所報告， 2009。)

項次	項目	評估內容
1	河道匯流	☐ 有 ； ☐ 無
2	河道束縮或保護工未合攏	☐ 有 ； ☐ 無
3	橋址位於河道彎道處	☐ 有 ； ☐ 無
4	是否為辮狀河川	☐ 是 ； ☐ 否
5	是否緊鄰山崖	☐ 是 ； ☐ 否
6	主河道通水斷面不足(如橋臺突出於河道、河道堵塞、基礎裸露部分導致阻水等)	☐ 有 ； ☐ 無
7	河床局部坡度陡急或橋梁靠近河床陡峭之山區	☐ 有 ； ☐ 無
8	深槽化河道寬度	☐ 有；所在橋跨或橋墩 ； ☐ 無
9	河川護岸有無沖刷崩塌之情形	☐ 有；所在位置 ☐ 近端(A1)上游 ☐ 近端(A1)下游 ☐ 遠端(A2)上游 ☐ 遠端(A2)下游； ☐ 無
10	跌水或水躍沖刷現象	☐ 有 ； ☐ 無
11	橋基或保護工受流石或流木撞擊、磨損狀況(需拍攝橋墩基礎現況)	☐ 有 ； ☐ 無
12	橋臺與堤防交界是否損壞	☐ 有 ； ☐ 無
13	河床地質	☐ 卵礫石層； ☐ 砂層； ☐ 軟岩層； ☐ 沈泥層； ☐ 其它
14		

表4-5 公路橋梁安全評估表(耐洪能力)

(公路總局檢測使用之表格，2009)

橋梁名稱： 編號： 填表日期： 年 月 日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	近年內主河道變遷的情形	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5~0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0)		
2	河川整治辦理情形	4	☐ 尚未辦理或已辦理但僅施設簡易式拋卵石護岸工(1.0) ☐ 1000公尺內已完成，其他未辦理(0.5) ☐ 已完成(0)		
3	近年內主河道河床下降的情形	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5~0.9) ☐ 輕微(0.25) ☐ 無(0)		
4	鄰近有無採砂	10	☐ 2000公尺以內(1.0) ☐ 2000公尺以上(0.5) ☐ 無(0)		
5	上游攔河堰	3	☐ 1000公尺以內(1.0) ☐ 1000公尺以上(0.5) ☐ 無(0)		
6	上游橋梁；下游側具束縮河道之其他構造物	4	☐ 400公尺以內(1.0) ☐ 400~1000公尺之間(0.5) ☐ 1000公尺以上(0.2) ☐ 無(0)		
7	基礎形式	3	☐ 具淺基礎或擴展基腳(1.0) ☐ 具沉箱基礎但貫入深度 $\leq 10m$ (0.5) ☐ 具深基礎(0)		
8	基礎裸露程度 S=裸露長度/基礎貫入深度	10	☐ 極嚴重($S \geq 50\%$)(1.0) ☐ 嚴重($30\% \leq S \leq 50\%$)(0.5~0.9) ☐ 輕微($10\% \leq S \leq 30\%$)(0.2) ☐ 無(0)		
9	本橋上下游之橋梁有無沖刷問題	3	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0)		
10	梁底高程	4	$R_h = H_s / H_{as}$ ； H_s =裸露深度， H_{as} =容許深度 或 $H_{as} = (1/5)H_p$ H_p =基樁(沉箱)長度		
11	阻水比之效應 RA	8	☐ 極嚴重($RA > 12\%$)(1.0) ☐ 嚴重($9\% \leq RA \leq 12\%$)(0.5~0.9) ☐ 輕微($RA < 9\%$)(0.2) ☐ 無($RA < 3\%$)(0)		
12	橋墩(基)方向與河川流向間之角度(θ°)	4	$(1.0) \geq \xi = \frac{\theta^0 - 5^0}{25^0} \geq (0)$ ； $\theta < 5^\circ$ ， $\xi = 0$ ； $\theta > 30^\circ$ ， $\xi = 1$		
13	河床軟岩之風化沖蝕	5	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5) ☐ 輕微(0)		
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素	12	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5~0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0)		
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	10	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構遭撞擊損害、橋梁通過彎曲河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路、樁基礎垂直承载力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸出露等		
	小計	100			
				評估人員：	

針對以上之表格進行比較，由於表 4-1 與表 4-5 之評分項目大致相同，又表 4-4 並無評分之結果，因此取表 4-1、表 4-3、表 2-10 進行比較，在此沿用表 2-10 將整體沖刷潛勢評估分為三大項：『河川、地理環境』、『橋梁基礎結構狀態』、『河川、橋梁防護條件』。首先針對『河川、地理環境』之評估項目進行比較如表 4-6，此三個表格共有之評分項目為『河床下降情形』，而表 4-1 與表 4-3 共有的評分項目為『鄰近有無採砂』、『鄰近攔河堰』，至於表 2-10 除了『河床下降』之評估項目外，剩餘之項目皆為表 2-10 之特有項目，也是唯一有針對河川本身之特性進行評估之選項；再來針對『橋梁基礎結構狀態』之評估項目進行比較如表 4-7，此三個表格共有之評分項目為『基礎裸露程度』，表 4-1 與表 2-10 共有的評分項目為『基礎的形式』，此外表 4-1、表 4-3 共有之評分項目為『阻水面積比』與『橋基與河川流向夾角』；最後針對『河川、橋梁防護條件』之評估項目進行比較如表 4-8，在此國內之表 4-1、表 4-3 幾乎僅以『河川整治辦理情形』一項目概括，反觀表 2-10 之評估項目有細分針對不同的防護項目(蛇籠、塊石、護坦...等)進行評估。故本研究將會綜合以上表格之比較結果，進行沖刷檢測表格之研擬。

表4-6 現有沖刷評估表格之比較(河川、地理環境之評估項目)

(表 4-1) 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表	配分	(表 4-3) 公路橋梁耐洪能力評估	配分	(表 2-10) 日本沖刷判定表	配分
近年內主河道河床下降情形	10	河床垂直向長期沖刷變化	5	無河床整體下降	10
近年內主河道變遷情形	10	主河道變遷	5	河寬狹窄	15
鄰近有無採砂	10	鄰近有無採砂	7.5	河床材料	10
上游攔河堰	3	上游攔河堰	5	橋梁所在地形	10
上游橋梁；下游側具束縮河道之其他構造物	4	下游攔河堰	5	相對河川彎曲處的橋墩位置	15
上下游橋梁有無沖刷問題	3			相對河岸的橋墩位置	25
河床軟岩之風化沖蝕	5				
據側向侵蝕或水躍(跌水)沖刷的潛在因素	12				

表4-7 現有沖刷評估表格之比較(橋梁基礎結構狀態之評估項目)

(表 4-1) 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表	配分	(表 4-3) 公路橋梁耐洪能力評估	配分	(表 2-10) 日本沖刷判定表	配分
基礎裸露程度	10	基礎剩餘長度與現有長度比值	15	(基礎)埋設比	50
基礎形式	3	橋墩形式	5	基礎結構形式	
梁底高程	4	橋墩等值寬度	7.5	與下游的高低差	20
阻水比之效應	8	阻水面積比	5	基礎的地層狀況	30
橋基與河川方向夾角	4	橋墩方向與水流方向夾角	5		
		梁底高程	5		
		支承狀況與防落長度	7.5		

表4-8 現有沖刷評估表格之比較(河川、橋梁防護狀態之評估項目)

(表 4-1) 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表	配分	(表 4-3) 公路橋梁耐洪能力評估	配分	(表 2-10) 日本沖刷判定表	配分
河川整治辦理情形	4	河川整治辦理情形	5	蛇籠有無變形	5
		橋基保護工現況	7.5	塊石	20
				護坦	20
				混凝土固床	40
				版樁	20

綜合以上比較之結果，將各表格普遍較重視之項目列為本研究欲擬定新增之沖刷評估表格之依據，除此之外亦應考慮以下之因素：

1. 區分事先及現場評估之項目

例如『上游攔河堰』、『橋墩與河流之夾角』、『橋墩是否位於河道束縮處』...等項目，即可事先透過航照圖、衛星圖進行研判；『橋墩基礎型式、尺寸』，可經由竣工、設計相關圖資進行研判，然而這些項目皆為在現場不容易判斷之項目。

2. 保護工之需求程度

表 2-10 中將保護工之評估細分為蛇籠、塊石、護坦...等，但是並非所有的橋梁有設置保護工(護岸工、護床工)，也並非所有的橋梁都需要保護工，因此除了評估保護工的損壞程度外，尚須評估此橋對於保護工之需求度。

3. 文字、照片輔助記錄

除了基本資料之相片文、字紀錄外，詳細檢測不應僅有檢測表格而已，應該要增加文字敘述之紀錄以及照片紀錄。例如註記主河道之位置、裸露位置拍照、歷年受損部位是否有修復...等。

根據以上幾點，本研究將提出以下一系列之表格以達到橋梁沖刷相關資料之記錄以及沖刷潛勢之評估：

(1)跨河橋梁基本資料記錄表

如表 4-9 所示，此表格須記錄除了『橋名』、『橋長』、『跨越河道』與『主河道位置』...等文字記錄外，尚須拍攝記錄『上游側橋體』、『下游側橋體』、『上游測右岸』、『下游測右岸』、『上游測左岸』、『下游測左岸』、『行水區上游測右岸』、『行水區下游測右岸』、『行水區上游測左岸』、『行水區下游測左岸』以及『保護工』等 11 個位置之照片，其示意圖如圖 4.1 所示等。

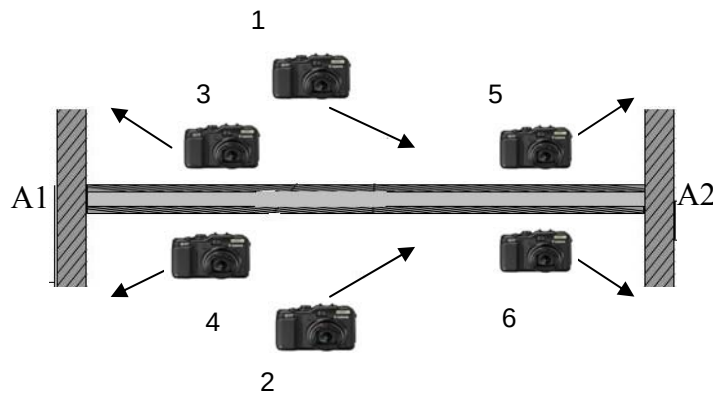


圖4.1 橋梁基本拍攝方向與記錄位置示意圖

表4-9 跨河橋梁基本資料記錄表

橋名		跨越河川		記錄日期	
橋長		主河道位置		記錄人	
上游側橋體					說明：
下游側橋體					說明：
上游側右岸					說明：

表 4-9 跨河橋梁基本資料記錄表(續)

下游側右岸		說明：
上游側左岸		說明：
下游側左岸		說明：

表 4-9 跨河橋梁基本資料記錄表(續)

行 水 區 上 游 側 右 岸		說明：
行 水 區 下 游 側 右 岸		
行 水 區 上 游 側 左 岸		

表 4-9 跨河橋梁基本資料記錄表(續)

行 水 區 下 游 側 左 岸		
保 護 工 (一)		說明：
保 護 工 (二)		說明：

(2)跨河橋梁沖刷損害記錄表

如表 4-10 所示，將橋梁下部結構、護床工或是周圍鄰近之護岸有損傷的部分拍照記錄，以達到完整之歷年因沖刷而造成之損壞之記錄，以便後續使用者能夠更清楚了解此作橋梁之狀況。

表4-10 跨河橋梁沖刷損害記錄表

沖 刷 損 害 記 録													
A	位置		災 損 狀況		日 期		C	位置		災 損 狀況		日 期	
	備 註							備 註					
B	位置		災 損 狀況		日 期		D	位置		災 損 狀況		日 期	
	備 註							備 註					

(3)跨河橋墩基礎資料表

如表 4-11 所示，3.2 節河川基本資料中亦有提及橋梁竣工圖資之收集，此對於評估橋墩基礎裸露之嚴重性有非常大的幫助，但事實上部分橋梁特別是建築年代久遠且又位於偏遠地區之橋梁，往往已遺失其基礎資料之相關圖資，因此建議進行可探測基礎深度、尺寸之非破壞檢測，並將其結果妥善記錄保存。

表4-11 橋墩基礎資料表

橋	墩	基	礎	資	料	表
橋梁名稱		基礎位置		基礎深度		
資料種類		資料來源		資料日期		

(4)跨河橋梁整體環境表

如表 4-12 所示，同 3.2 節河川基本資料中所提到之歷年正射影像圖，可協助判斷河道近年來主河道之變化，以及上下游是否有坍塌、鄰近是否有攔砂壩、攔河堰會影響河川之建築物等。在此圖資的種類可能為航照圖或衛星圖，雖說前者的解析度較好，但其主要來源之農航所並非每年更新一次圖資，因此若要達到記

載歷年河川資訊的目的，衛星圖為較佳之選擇，雖說解析度無法到達航照圖的解析度，但就河川流路及鄰近地形建物之研判已足夠。

表4-12 跨河橋梁整體環境表

橋	梁	整	體	環	境	表
橋梁名稱		資料種類		資料來源		
資料日期						

(5)跨河橋梁週邊環境示意圖

如表 4-13 所示，應綜合以上記錄之資訊，繪製成一簡易之示意圖，以訂定之圖例表示，使人可更容易的從此示意圖掌握整體河川及橋梁之現況。

表4-13 跨河橋梁週邊環境示意表

橋梁名稱	製作者			日期		
1. 堤岸	2. 橋墩	3. 橋墩(基礎裸露)	4. 橋墩 (加固補強)	5. 混凝土固床	6. 混凝土固床 (損壞、殘骸)	7. 河道標線
						
8. 橋體	9. 消波塊	10. 消波塊 (損壞、殘骸)	11. 蛇籠	12. 蛇籠 (損壞、殘骸)	13. 高灘地標線	
						

4. 跨河橋梁沖刷潛勢評估表

跨河橋梁沖刷潛勢評估表如 0 所示，其各評分項目之說明如表 4-15 所示，整體而言將表格分成『(A)資料記錄項目』、『(B)室內評估項目』以及『(C)現地評估項目』，『(A)資料記錄項目』是依靠表 4-9 ~表 4-13 之基本資料蒐集以及相關之結構穩定度分析成果以及 DERU 評估表中與沖刷相關之項目(SSI 指標)而進行填寫，(A)項目之填寫目的為協助檢測人員進行(B)項目評估之判斷依據，也就是檢測人員在汛期前的檢測作業階段內，可事先於室內進行『(B)室內評估項目』，並不需要前往橋梁現場進行填寫。『(C)現地檢測項目』則是參考表表 4-6~表 4-8 的評比結果較重要之評估項目，作為汛期前的檢測作業階段內現地檢測評估項目，在此『(B)室內評估項目』佔 35 分，『(C)現地檢測項目』佔 65 分，其分數總合為 100 分。評估表中部分具有◆符號之項目，表示若橋梁滿足此一評估內容，可直接列為具高度沖刷潛勢之橋梁，必須列入颱風事件中必須巡檢之橋梁清單中；此外其中第 17、18 項關於保護工之評估項目中，若有完善的保護工，則以負分表示，代表可減少整體橋梁所承受的沖刷潛勢。最後『檢測員意見』的部分可註明檢測員之其他看法。由『詳細沖刷潛勢評估』判斷橋梁之沖刷潛勢情形，依據目前 25 座橋梁之實際驗證結果，建議評估分數結果低於 20 分之橋梁可列為低度沖刷潛勢橋梁；評估分數結果介於 20~40 分之橋梁可列為中度沖刷潛勢橋梁；評估分數結果高於 40 分之橋梁可列為高度沖刷潛勢橋梁。於年度汛期前檢測結束後，需結合沖刷潛勢評估以及結構穩定度評估結果進行一次專家討論會議，以審核該年度之『具有中、高沖刷潛勢之橋梁清單』，該清單包含兩個子項目清單，分別為『直接封橋之橋梁清單』以及『待巡檢之橋梁清單』。原則上屬於低度沖刷潛勢之橋梁不列入具有待巡檢之橋梁清單內，中度及高度沖刷潛勢之橋梁將會列入待巡檢之橋梁清單，此清單可作為公路總局重點監控橋梁清單訂定之依據，以及於專家討論會議中決議認為有必要於颱風事件發生前進行封橋之橋梁，可列為具有沖刷潛勢之橋梁清單中之直接封閉之橋梁清單。

表4-14 跨河橋梁沖刷潛勢評估表

橋梁名稱：			檢測單位：			檢測人員：																																																															
路線名稱及里程：			檢測日期：																																																																		
	項次	項目	紀 錄 內 容																																																																		
(A) 資 料 紀 錄 項 目	1	橋梁竣工圖	橋墩基礎型式：_____ 橋台基礎型式：_____ 橋基貫入深度 H_p ：_____ 公尺 容許沖刷深度 H_{sa} ：_____ 公尺 ☐ H_p 未知，需進行非破壞檢測																																																																		
	2	結構穩定度 分析成果	臨界沖刷深度 SI ：_____ ☐ 尚未分析 臨界水位高度 WL ：_____ ☐ 尚未分析																																																																		
	3	衛星影像或航照圖	橋梁是否位於河川彎曲處： ☐ 是 ☐ 否 上游攔河堰或水庫等設施與橋址距離：_____ 公尺																																																																		
	4	河床斷面測量結果 或相關報告	三年內河床降低幅度：_____ 公尺 計畫洪水位：_____ 公尺 主河道寬度：_____ 公尺 計畫河道寬度：_____ 公尺																																																																		
	5	歷史災損及沖刷最 嚴重情形	災損時間、位置及原因：_____ ◆是否已改善：_____ 沖刷最深位置、時間及深度：_____																																																																		
	6	沖刷相關構件之 DER&U 評分 SSI 指標：_____	<table border="1"> <tr> <td>橋台基礎</td> <td>A1</td> <td>A2</td> <td>橋墩基礎</td> <td>P</td> <td>P</td> <td>P</td> <td>橋墩墩體</td> <td>P</td> <td>P</td> <td>P</td> <td>河道</td> <td></td> <td>橋墩保護設施</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>D</td> <td></td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>E</td> <td></td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>R</td> <td></td> <td></td> <td>R</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>R</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>R</td> <td></td> <td>R</td> </tr> </table>												橋台基礎	A1	A2	橋墩基礎	P	P	P	橋墩墩體	P	P	P	河道		橋墩保護設施	D			D				D				D		D	E			E				E				E		E	R			R				R				R	
橋台基礎	A1	A2	橋墩基礎	P	P	P	橋墩墩體	P	P	P	河道		橋墩保護設施																																																								
D			D				D				D		D																																																								
E			E				E				E		E																																																								
R			R				R				R		R																																																								
(B)	項次	項目	配分	評 估 內 容								權數 ξ	得分																																																								
室 內 評 估 項 目	7	上游攔河堰 或水庫等設施	7	☐ 1000 公尺以內 ($\xi=1.0$) ☐ 1000 公尺~3000 公尺 ($\xi=0.5$) ☐ 3000 公尺以上或無 ($\xi=0$)																																																																	
	8	基礎型式	7	☐ 淺基礎或擴展基腳 ($\xi=1.0$) ☐ 沉箱基礎 ($\xi=0.5$) ☐ 樁基礎 ($\xi=0$) (請參閱橋梁管理系統或竣工圖資)																																																																	
	9	橋梁是否位於河川 彎曲處或束縮處	6	☐ 是 ($\xi=1.0$) ☐ 否 ($\xi=0$) (請參閱衛星影像或航照圖)																																																																	
	10	河床下降情形 h = _____ 公尺	8	◆ ($\xi=1.0$) $\geq \xi = 1 - \frac{0.75}{3.5} (4 - h) \geq (\xi=0.25)$; $h < 0.5$ 公尺, $\xi=0$ (請參閱河床斷面測量結果或相關報告)																																																																	
	11	河床材料	2	☐ 泥、砂 ($\xi=1.0$) ☐ 砂礫混合 ($\xi=0.75$) ☐ 卵礫石 ($\xi=0.5$) ☐ 軟弱岩盤(泥岩、頁岩等) ($\xi=0.3$) ☐ 堅硬岩盤 ($\xi=0$)																																																																	
	12	主河道位置	5	☐ ◆離橋台 5 公尺以內 ($\xi=1.0$) ☐ 離橋台 10 公尺以內，且有逐年向橋台侵蝕之趨勢 ($\xi=0.75$) ☐ 離橋台 10 公尺以內 ($\xi=0.5$) ☐ 此河為辨狀河道，不易判定主河道 ($\xi=0.3$) ☐ 離橋台 10 公尺以上或橋台基礎為非直接基礎 ($\xi=0$)																																																																	
(B)小計			35																																																																		
(C) 現 地 評 估 項 目	13	跌水效應 (高程差 D_h ：_____ 公尺)	5	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{1}{3} D_h \geq (\xi=0)$																																																																	
	14	橋墩(基)方向與河 川流向間之角度 θ° = _____	7	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq (\xi=0)$; $\theta < 5^\circ$, $\xi=0$; $\theta > 30^\circ$, $\xi=1$																																																																	
	15	阻水面積比 RA	4	☐ 極嚴重 ($RA > 12\%$) ($\xi=1.0$) ☐ 嚴重 ($9\% \leq RA \leq 12\%$) ($\xi=0.75$) ☐ 輕微 ($RA < 9\%$) ($\xi=0.4$) ☐ 無 ($RA < 3\%$) ($\xi=0$)																																																																	
	16	基礎裸露程度 H_s (基礎裸露深度) H_p (初始基礎深度) S (基礎裸露比) $S = H_s/H_p$	18	沉箱或 樁基礎 ☐ ◆ $H_s \geq 1.5H_{sa}$ 或 $S \geq 40\%$ ($\xi=1.0$) ☐ $1.5H_{sa} > H_s > 1.0H_{sa}$ 或 $40\% > S > 25\%$ ($\xi=0.5 \sim 0.9$) ☐ $H_s \leq 1.0H_{sa}$ 或 $S \leq 25\%$ ($\xi=0.2$) ☐ 無 ($\xi=0$)	橋墩(橋台)編號																																																																
				H_s (公尺)																																																																	
				H_p (公尺)																																																																	
				權數																																																																	
				分數																																																																	
			淺基礎	☐ 置於砂礫層或◆已有裸露情形 ($\xi=1.0$) ☐ 置於岩盤表層 ($\xi=0.5$) ☐ 深入岩盤 ($\xi=0$)																																																																	

表 4-14 跨河橋梁沖刷潛勢評估表(續)

17	橋墩阻水情形 be: 橋墩等值寬度	12	當 $b_e > 8$, $\zeta = 1.0$; 當 $2 \leq b_e < 8$, $\zeta = [-1/3 + (1/6)b_e]$; 當 $b_e < 2$, $\zeta = 0$	橋墩(橋台)編號					
				be					
				權數					
				分數					
18	SSI 指標評分	10	☐ SSI > 90($\xi=1.0$) ☐ 80 > SSI > 70 ($\xi=0.2$) ☐ 90 > SSI > 80 ($\xi=0.8$) ☐ SSI < 70 ($\xi=0$)						
19	護岸工現況	4	☐ 不具保護作用($\xi=1.0$) ☐ 河岸無須保護($\xi=0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi=0.75$) ☐ 護岸工良好($\xi=-0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi=0.3$)						
20	護床工現況	5	☐ 不具保護作用($\xi=1.0$) ☐ 河床無須保護($\xi=0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi=0.75$) ☐ 護床工良好($\xi=-0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi=0.35$)						
(C)小計		65							
(B)+(C)總計									
檢測員意見			1.◆此橋是否具備其他沖刷潛在危害因素 是: ☐ 否: ☐ 說明:						

備註: 1.本表不適用於土石流潛勢區

2.滿足◆之評估項目表示可直接列為具沖刷潛勢之橋梁

3. ξ = 權數

表4-15 跨河橋梁沖刷潛勢評估填表摘要說明

項次	摘要說明																														
6. 冲刷相關構件之 DERU 評分	本項目之各項評估子項目請依照現行 DERU 評估準則進行填寫																														
	註 1:																														
	<table><tr><th></th><th>0</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th></tr><tr><td>D(嚴重程度)</td><td>無此項目</td><td>良好</td><td>尚可</td><td>差</td><td>嚴重損壞</td></tr><tr><td>E(劣化範圍)</td><td>無法檢測</td><td>E < 10%</td><td>10% ≤ E < 30%</td><td>30% ≤ E < 60%</td><td>60% ≤ E</td></tr><tr><td>R(安全性、服務性影響)</td><td>無法判定</td><td>微</td><td>小</td><td>中</td><td>大</td></tr><tr><td>U(緊急程度)</td><td>無法判定</td><td>例行維護</td><td>3 年內</td><td>1 年內</td><td>緊急處理 維修</td></tr></table>		0	1	2	3	4	D(嚴重程度)	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞	E(劣化範圍)	無法檢測	E < 10%	10% ≤ E < 30%	30% ≤ E < 60%	60% ≤ E	R(安全性、服務性影響)	無法判定	微	小	中	大	U(緊急程度)	無法判定	例行維護	3 年內	1 年內	緊急處理 維修
		0	1	2	3	4																									
	D(嚴重程度)	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞																									
E(劣化範圍)	無法檢測	E < 10%	10% ≤ E < 30%	30% ≤ E < 60%	60% ≤ E																										
R(安全性、服務性影響)	無法判定	微	小	中	大																										
U(緊急程度)	無法判定	例行維護	3 年內	1 年內	緊急處理 維修																										
註 2: SSI 計算式																															
$I_{c_i} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{c_{ij}}}{n} \quad , \quad I_{c_{ij}} = 100 - 100 \times \frac{D \times E \times R^a}{4 \times 4 \times 4^a}$																															
$SSI = \frac{I_{c_{\text{河道}}} \times 5 + I_{c_{\text{橋台基礎}}} \times 6 + I_{c_{\text{橋台}}} \times 5 + I_{c_{\text{橋墩保護設施}}} \times 6 + I_{c_{\text{橋墩基礎}}} \times 8 + I_{c_{\text{橋墩墩體}}} \times 7}{(5 + 6 + 5 + 6 + 8 + 7)}$																															

表 4-15 跨河橋梁沖刷潛勢評估填表摘要說明(續)

7. 上游攔河堰或水庫等設施	(1)若橋梁上游 1000 公尺以內有設置攔河堰或水庫等設施，其權數 $\xi=1$。 (2)若橋梁上游 1000~3000 公尺以內有設置攔河堰或水庫等設施，其權數 $\xi=0.5$。 (3)若橋梁上游 3000 公尺內無攔河堰，其權數 $\xi=0$。 註:此項目依據為表 4-3 項次 5 之上游有攔河堰評估
8. 基礎形式	(1)為淺基礎或擴展基腳者，其權數 $\xi=1$。 (2)為沉箱基礎，其權數 $\xi=0.5$。 (3)為樁基礎，其權數 $\xi=0$。 註：此項目依據為表 4-1 項次 7 之基礎形式評估。
9. 橋梁是否位於河道彎曲處或束縮處	(1)橋梁位於河道束縮處或彎曲處，其權數 $\xi=1$。 (2)橋梁非位於河道束縮處或彎曲處，其權數 $\xi=0$。 註：此項目依據為表 4-1 項次 2『河道束縮或保護工未合攏』，以及表 4-3 之相對河川彎曲處的橋墩位置評估。此為造成橋梁束縮沖刷之重要因素之一。
10. 河床下降情形	(1)三年內，河床降低幅度超過 4 公尺為極嚴重，其權數 $\xi=1$。 (2)三年內，河床降低幅度超過 2 公尺未達 4 公尺為嚴重，則按比例計算權數 $\xi=0.5\sim0.9$。 (3)三年內，河床降低幅度超過 0.5 公尺未達 2 公尺為輕微，其權數 $\xi=0.25$。 (4)三年內，河床降低幅度未達 0.5 公尺為輕微，其權數為 0。 註:此項目依據為表 4-5 項次 14 之深槽化程度之評估。

表 4-15 跨河橋梁沖刷潛勢評估填表摘要說明(續)

11. 河 床 材 料	(1)若為由砂及卵礫石混和材質之河床，其權數 $\xi=1$。 (2)若為卵礫石材質河床，其權數 $\xi=0.5$。 (3)若為裸岩、巨礫石材質河床，其權數 $\xi=0$。 註:此項目依據表 4-6 之河床材料評估項目。
12. 主 河 道 位 置	(1)距離橋台 5 公尺以內，其權數 $\xi=1$。 (2)距離橋台 10 公尺以內，且有逐年向橋台侵蝕之趨勢，其權數 $\xi=0.5$。 (3)此河道為辨狀河道，不易判定確切主河道位置，其權數 $\xi=0.3$。 (4)距離橋台 10 公尺以上，其權數 $\xi=0$。 註:此項目依據為表 4-1 項次 1 之主河道變遷情形評估。
13. 跌 水 效 應 (上 下 游 高 低 差)	上下游高低差超過 3 公尺，判定其權數為 1；上下游無高低差，判定其權數為 0。其權數可以下式計算: $(1.0) \geq \xi = \frac{1}{3} D_h \geq (0)$ 註:以上判定需同時具備以下四種狀況: (1)無施作任何消能工者(或消能工施作不良)或有消能工之施設而下游側為相當軟弱之軟岩層或沈泥層者。 (2)主河道佔全河寬之比低於 1/3。 (3)阻水比 $RA > 9\%$。 (4)局部河床坡度超過附近平均河床坡度之 3 倍以上。 此項目依據為表 4-1 項次 14 之具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素評估。

表 4-15 跨河橋梁沖刷潛勢評估填表摘要說明(續)

14. 橋墩方向與河川流向間之角度	θ° 大於 30°，判定其權數為 1；θ° 小於 5°，判定其權數 $\xi=0$。 其權數可以下式計算：$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq (\xi=0)$；$\theta < 5^\circ, \xi=0$；$\theta > 30^\circ, \xi=1$ 註：1.此依據表 4-1 項次 12 橋墩(基)方向與河川流向間角度評估。 2.橋墩方向與河川流向間角度示意圖如下： 圖4.2 橋墩方向與河川流向間角度示意圖
15. 阻水面積比 RA	(1)RA 大於 12%時，為極嚴重，其權數 $\xi=1$。 (2)RA 大於 9%且未滿 12%時，為嚴重，按照比例計算權數 $\xi=0.5\sim0.9$。 (3)RA 大於 5%且未滿 9%時，為輕微，其權數 $\xi=0.2$。 (4)RA 未滿 5%時，為良好，其權數 $\xi=0$。 註:此項目依據表 4-1 項次 11 阻水比之效應，係採用橋梁構造在計畫洪水位或賀伯颱風洪之洪峰水位以下之阻水面積與橋址處之河床沖刷剖面之百分比，加以計算。

表 4-15 跨河橋梁沖刷潛勢評估填表摘要說明(續)

16. 基 礎 裸 露 程 度	沉箱基礎或樁基礎: (1) $H_s \geq 1.5H_{sa}$ 或 $S > 40\%$ 為極嚴重，其權數 $\xi=1$。 (2) $1.5H_{sa} > H_s > 1.0H_{sa}$ 或 $40\% > S > 25\%$ 為嚴重，則按照比例計算權數 $\xi=0.5\sim0.9$。 (3) $H_s \leq 1.0H_{sa}$ 或 $S \leq 20\%$ 為輕微，其權數 $\xi=0.2$。 (4) 若無任何基礎裸露情形，其權數 $\xi=0$。 淺基礎 (1) 基礎位於砂礫質河床或已有裸露情形，判定其權數 $\xi=1$。 (2) 基礎位於岩盤表層，判定其權數 $\xi=0.5$。 (3) 基礎深度達岩盤，判定其權數 $\xi=0$。 註： 原本之基礎裸露程度評估方法(表 4-1 項次 8『基礎裸露程度』)必須要有確切的初始基礎長度，但此資料不易取得，也不易由儀器檢測方式測得，因此基礎裸露深度判斷為根據中華技術第 58 期研究^[15]內容，各種跨河建造物基礎底部高程位置，而為遵循經濟部頒布之『申請跨河建造物設置注意事項』^[16]之“橋墩底部高程設計應參考河床一般沖刷及局部沖刷深度，以及河川變化等因素妥為考量，其高程應低於實際河川斷面最低點及計畫河床高，但……”之要求，致跨河建造物基礎位置常會深達地表面以下約 10~20 公尺之間，故現地檢測時，若未知實際初始基礎深度時，則以較保守之方式估計基礎長度 H_p 為 10 公尺。 在此令初始基礎長度為 H_p，基礎裸露深度為 H_s，殘存基礎長度為 H_L，如圖 4.3 所示，根據唐治平教授研究^[10]指出，基礎容許裸露深度 $H_{sa} = (1/4)H_p$，沖刷深度在 $H_s = H_{sa} \sim 1.5H_{sa} = 0.25H_p \sim 0.375H_p$ ($S=25\%\sim37.5\%$) 的範圍內時，H_s 大於此範圍者情況為極嚴重，也就是 $H_s > 0.375H_p$，在此因計算方便採 $H_s > 0.4H_p$ ($S>40\%$) 為極嚴重；此外在 $0.4H_p > H_s > 0.25H_p$ ($40\%>S>25\%$) 的範圍中為『嚴重』；$H_s < 0.25H_p$ ($S<25\%$) 為輕微。
--	---

表 4-15 跨河橋梁沖刷潛勢評估填表摘要說明(續)

16. 基礎 裸露 程度 (續)	圖4.3 橋墩裸露示意圖
17. 橋 墩 阻 水 情 形	橋墩等值寬度大於 8 公尺判定其權數 $\xi=1$；橋墩等值寬度小於 2 公尺，判定其權數 $\xi=0$。 其權數可以下式計算： $(\xi=1.0) \geq \xi = [-1/3 + (1/6)b_e]/2 \geq (\xi=0) ;$ $b_e < 5^\circ, \quad \xi=0 \quad ; \quad b_e > 30^\circ, \quad \xi=1$ 註:1.此項目依據表 4-3 項次 10 橋墩等值寬度。 2.橋墩等值寬度 b_e 定義如下： (1)橋墩基礎未裸露時 $\rightarrow Be=Wd$ (2)橋墩基礎裸露時 $\rightarrow Be=Wp$ 圖4.4 橋墩未裸露示意圖 圖4.5 橋墩裸露後示意圖

表 4-15 跨河橋梁沖刷潛勢評估填表摘要說明(續)

18. SSI 指 標 評 分	(1)SSI 指標計算結果大於 90，其權數 $\xi=1$。 (2)SSI 指標計算結果大於 80 分小於 90 分，其權數 $\xi=0.8$。 (3)SSI 指標計算結果大於 70 分小於 80 分，其權數 $\xi=0.2$。 (4)SSI 指標計算結果小於 70，其權數 $\xi=0$。
19. 護 岸 工 現 況	(1)因護坡之蛇籠、拋石或混凝土消波塊發生變形或流失而不具保護之作用為極嚴重，其權數 $\xi=1$。 (2)因護坡之蛇籠、拋石或混凝土消波塊發生變形或流失而僅具部分保護作用為嚴重，其權數 $\xi=0.3$。 (3)河岸無須任何護岸工保護，其權數 $\xi=0$。 (4)護坡之蛇籠、拋石或混凝土消波塊可完整提供橋體防護作用，其權數 $\xi=-0.2$。
20. 護 床 工 現 況	(1)因護床之蛇籠、拋石、混凝土消波塊或護坦發生變形或流失而不具保護之作用為極嚴重，其權數 $\xi=1$。 (2)因護床之蛇籠、拋石、混凝土消波塊或護坦發生變形或流失而僅具部分保護作用為嚴重，其權數 $\xi=0.3$。 (3)河床無須任何護床工保護，其權數 $\xi=0$。 (4)護床之蛇籠、拋石、混凝土消波塊或護坦可完整提供橋體防護作用，其權數 $\xi=-0.2$。

4.2 簡易沖刷潛勢評估

回顧第二章中提及之沖刷檢測時機，詳細沖刷潛勢評估的使用時機為汛期前、後，所以能夠有足夠的時間進行詳細的檢測，除了事先各種基本資料之收集，現場檢測不僅是目視而已，各種需要量測的數據(河寬、裸露深度等)也都有充裕的時間可以準備，所以並不會遭遇到時間上的緊迫；但簡易沖刷潛勢評估的進行時機為每一次的颱風事件前，因為橋梁週邊環境可能在每一次的颱風過後就會發生變動，因此必須針對在汛期前由詳細沖刷潛勢評估出可能具有沖刷危害的橋梁，快速的進行再次的評估，因此也必須針對簡易沖刷潛勢評估而制定跟其對應之檢測表格，也因為要快速的評估，各種需要量測的數據就不可能確切的量測，必須以保守的方式目視預估或是簡易儀器輔助量測例如光學測距儀或是雷射測速槍等。

但是若為了簡易沖刷潛勢評估而重新擬定一表格也並不是十分恰當，因為簡易及詳細評估的是一樣的橋梁，若以不相同的表格進行評估，則無法訂定同樣的沖刷危害門檻值，故在此簡易評估之項目將與詳細評估表格中的項目相同，如表 4-16 所示，其中『(A)資料記錄項目』、『(B)室內研判項目』並不太會在每次颱風侵襲後而產生變化，因此在簡易評估的使用上可沿用先前於詳細評估的結果；至於『(C)現地檢測項目』大多會在每次颱風過後而產生變化，故在簡易沖刷潛勢評估中僅針對(C)項目進行評估即可。

因此若該次颱風事件前檢測為該年度首次進行之颱風事件前檢測，其檢測之進行可根據具有中、高度沖刷潛勢之橋梁清單於汛期前檢測而得之『跨河橋梁沖刷潛勢評估表』(表 4-16)中(A)、(B)兩項評估結果，重新於橋梁現場進行(C)項目之填寫，並更新沖刷潛勢評估分數；若該次颱風事件前檢測並非為該年度首次進行之颱風事件前檢測，則可根據具有沖刷潛勢之橋梁清單之橋梁於前次颱風事件前表 4-16 中(A)、(B)兩項目之評估結果，重新於橋梁現場進行(C)項目之填寫，並更新沖刷潛勢評估分數。

表4-16 跨河公路橋梁冲刷潛勢評估表(簡易評估使用)

橋梁名稱:		OO 大橋		檢測單位: 中華顧問		檢測人員: 洪紹勳										
路線名稱及里程:		台 XX 線 152 公里處		檢測日期: 99/9/9												
(A) 資料 紀錄 項目	項次	項目	紀 錄 內 容													
	1	橋梁竣工圖	橋墩基礎型式: 沉箱 橋台基礎型式: 橋基貫入深度 H_p : 12 公尺 容許冲刷深度 H_{sa} : 6 公尺 $\square H_p$ 未知, 需進行非破壞檢測													
	2	結構穩定度 分析成果	臨界冲刷深度 SI : 尚未分析 臨界水位高度 WL : 尚未分析													
	3	衛星影像或航照圖	橋梁是否位於河川彎曲處: ☐ 是 ☒ 否 上游攔河堰或水庫等設施與橋址距離: 1500 公尺													
	4	河床斷面測量結果 或相關報告	三年內河床降低幅度: 2 公尺 計畫洪水位: 公尺 主河道寬度: 15 公尺 計畫河道寬度: 公尺													
	5	歷史災損及冲刷最 嚴重情形	災損時間、位置及原因: 無 $\blacklozenge$ 是否已改善: ☐													
6	冲刷相關構件之 DER&U 評分 SSI 指標: _____	橋台基礎	A1	A2	橋墩基礎	P	P	P	河道	D	E	R	橋墩保護設施	D	E	R
(B) 室內 評估 項目	項次	項目	配分	評 估 內 容								權數 ξ	得分			
	7	上游攔河堰 或水庫等設施	7	☐ 1000 公尺以內($\xi=1.0$) ☐ 1000 公尺~3000 公尺($\xi=0.5$) ☐ 3000 公尺以上或無($\xi=0$)								0.5	3.5			
	8	基礎型式	7	☐ 淺基礎或擴展基腳($\xi=1.0$) ☐ 沉箱基礎 ($\xi=0.5$) ☐ 樁基礎($\xi=0$) (請參閱橋梁管理系統或竣工圖資)								0.5	3.5			
	9	橋梁是否位於河川 彎曲處或束縮處	6	☐ 是($\xi=1.0$) ☐ 否($\xi=0$) (請參閱衛星影像或航照圖)								0	0			
	10	河床下降情形 $h=$ 公尺	8	$\blacklozenge(\xi=1.0) \geq \xi = 1 - \frac{0.75}{3.5}(4-h) \geq (\xi=0.25)$; $h < 0.5$ 公尺, $\xi=0$ (請參閱河床斷面測量結果或相關報告)								0.57	4.56			
	11	河床材料	2	☐ 泥、砂($\xi=1.0$) ☐ 砂礫混合($\xi=0.75$) ☐ 卵礫石($\xi=0.5$) ☐ 軟弱岩盤(泥岩、頁岩等)($\xi=0.3$) ☐ 堅硬岩盤($\xi=0$)								0.5	1			
12	主河道位置	5	☐ $\blacklozenge$ 離橋台 5 公尺以內($\xi=1.0$) ☐ 離橋台 10 公尺以內, 且有逐年向橋台侵蝕之趨勢($\xi=0.75$) ☐ 離橋台 10 公尺以內($\xi=0.5$) ☐ 此河為辨狀河道, 不易判定主河道($\xi=0.3$) ☐ 離橋台 10 公尺以上或橋台基礎為非直接基礎($\xi=0$)								0	0				
(B)小計			35									12.56				
(C) 現 地 評 估 項 目	13	跌水效應 (高程差 D_h : 公尺)	5	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{1}{3} D_h \geq (\xi=0)$												
	14	橋墩(基)方向與河 川流向間之角度 $\theta^\circ =$	7	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq (\xi=0)$; $\theta < 5^\circ$, $\xi=0$; $\theta > 30^\circ$, $\xi=1$												
	15	阻水面積比 RA	4	☐ 極嚴重($RA > 12\%$)($\xi=1.0$) ☐ 嚴重($9\% \leq RA \leq 12\%$)($\xi=0.75$) ☐ 輕微($RA < 9\%$)($\xi=0.4$) ☐ 無($RA < 3\%$)($\xi=0$)												
	16	基礎裸露程度 H_s (基礎裸露深度) H_p (初始基礎深度) S (基礎裸露比) $S = H_s/H_p$	18	沉箱或 樁基礎	☐ $\blacklozenge H_s \geq 1.5H_{sa}$ 或 $S \geq 40\%$ ($\xi=1.0$) ☐ $1.5H_{sa} > H_s > 1.0H_{sa}$ 或 $40\% > S > 25\%$ ($\xi=0.5 \sim 0.9$) ☐ $H_s \leq 1.0H_{sa}$ 或 $S \leq 25\%$ ($\xi=0.2$) ☐ 無($\xi=0$)				橋墩(橋台)編號							
								H_s (公尺)								
								H_p (公尺)								
								權數								
								分數								
				淺基礎	☐ 置於砂礫層或 $\blacklozenge$ 已有裸露情形($\xi=1.0$) ☐ 置於岩盤表層($\xi=0.5$) ☐ 深入岩盤($\xi=0$)											

表 4-16 跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表(簡易評估使用)(續)

17	橋墩阻水情形 be: 橋墩等值寬度	12	$\text{當 } b_e > 8, \zeta = 1.0;$ $\text{當 } 2 \leq b_e < 8, \zeta = [-1/3 + (1/6)b_e];$ $\text{當 } b_e < 2, \zeta = 0$	橋墩(橋台)編號					
				be					
				權數					
				分數					
18	SSI 指標評分	10	☐ $SSI > 90 (\xi = 1.0)$ ☐ $80 > SSI > 70 (\xi = 0.2)$ ☐ $90 > SSI > 85 (\xi = 0.8)$ ☐ $SSI < 70 (\xi = 0)$						
19	護岸工現況	4	☐ 不具保護作用($\xi = 1.0$) ☐ 河岸無須保護($\xi = 0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi = 0.75$) ☐ 護岸工良好($\xi = -0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi = 0.3$)						
20	護床工現況	5	☐ 不具保護作用($\xi = 1.0$) ☐ 河床無須保護($\xi = 0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi = 0.75$) ☐ 護床工良好($\xi = -0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi = 0.35$)						
(C)小計		65							
(B)+(C)總計									
檢測員意見		1. ◆此橋是否具備其他沖刷潛在危害因素 是: ☐ 否: ☐ 說明:							

備註: 1.本表不適用於土石流潛勢區

2.滿足◆之評估項目表示可直接列為具沖刷潛勢之橋梁

3. ξ = 權數

4.3 颱洪事件中橋梁現況紀錄

颱洪事件中之檢測流程已於第二章進行介紹，參考圖 2.14 之流程，颱洪事件中檢測共分為兩階段進行，第一階段為封橋與否之判斷，第二階段為開放通車之判斷。首先於中央氣象局開始發布劇烈天氣特報後(如陸上颱風警報)開始進入颱洪事件中檢測之第一階段，將根據『具中、高度冲刷潛勢橋梁之清單』進行檢測作業，其執行方式除根據公路總局防災預警機制作為相關管制作業準則外，橋梁管理單位尚必須派遣檢測人員持『颱洪事件中橋梁狀況紀錄表』(如表 4-17 所示)前往列於此清單之橋梁現場進行橋梁狀況巡檢。

表 4-17 主要分為『量測值』、『警戒指標』與『封橋指標』，其中量測值須針對河流水位及河流速度進行量測，其目的為輔助後續之警戒指標與封橋指標之判斷，若現場狀況無法進行量測，此項目可不必進行填寫；警戒指標如跌水或水躍冲刷現象、河道淤積情形、出現有攻角之斜向水流、堤防破堤損毀、橋墩迎水面有浮木掛淤、水位到達警戒水位...等；封橋指標為觀察橋梁是否有『結構損毀痕跡』，例如：『橋台橋墩是否有傾斜或下陷、伸縮縫發生變位、橋面板或大梁出現明顯裂縫...等，或橋梁出現大面積的束縮冲刷情形、檢測員感受橋梁出現異常之聲響(由構件摩擦所引起)或是橋梁垂直向之異常大幅度振動或橫向振動等情形。

檢測人員於巡檢過程中建議全程以數位照相機或攝錄影機進行執行巡檢過程之紀錄，以作為後續各項評估之佐證。以及檢測人員於現場可搭配數位相機(DC)、數位攝影機(DV)手持式雷射(超音波)測距儀、手持式測速槍作為颱風當下時橋梁現場狀況之輔助目視紀錄之工具。檢測人員可自行視天氣狀況及安全性決定是否進行巡檢，若判定為無法進行則必須註明其原因，巡檢手段以人員目視檢測為主。中度潛勢橋梁經檢測員巡檢後，若出現表 4-17 任一警戒指標項目則該橋比照『公路橋梁防救災預警機制』之警戒狀態進行作業；若出現表 4-17 任一封橋指標則立即通知橋梁管理單位進行封橋。高度潛勢橋梁若出

現表 4-17 任一警戒指標或封橋指標項目，則立即封閉該橋或通知橋梁管理單位另派相關人員前往進行橋梁封阻作業。

列於具沖刷潛勢橋梁之清單之橋梁，若經檢測人員巡檢後判定必須進行封橋，則此橋即由待巡檢之清單中剔除，無須再進行颱風事件中檢測之第一階段各項檢測作業，將等待第二階段之檢測；若經檢測人員巡檢後判定無封橋之必要，則該橋梁持續列為具沖刷潛勢橋梁之清單，持續掌握雨量資訊、監測資料或是檢測人員下一次之巡檢作業。

颱風事件中檢測之第二階段中，將透過以下方法針對已進行封阻作業之橋梁進行開放通車與否之判斷，檢測人員進行現地檢測沖刷現況研判沖刷深度、基礎裸露程度、橋梁傾斜變位程度、異常振動、橋梁損傷破壞等情形決定之。必要時可召集相關專家、顧問公司以及橋梁管理單位主管進行專家討論會議，根據橋梁現況資料決議是否可恢復通車。若經判別為不可立即恢復通車之橋梁，將通知相關單位進行緊急搶修作業，直至緊急搶修完成始能恢復通車。

表4-17 颱風事件中橋梁狀況紀錄表

橋名:XX 溪橋 檢測人員: 洪紹勛 檢測日期: 99.01.01 護欄至梁底高度: 3m 警戒水位: 15m 封橋水位: 18m 特徵雨量站: 預警特徵雨量: 100mm 警戒特徵雨量: 150mm 行動特徵雨量: 200mm						
項目		時間	08:35	12:15	18:32	
觀測值	上游特徵雨量站雨量值(公厘)		50	120	180	
	上游特徵雨量站水位高度(公尺)		20	22	26	
	QPESUMS 預測未來 1 小時之降雨量值(公厘)		100	150	300	
	河流水位(公尺)		520	522	526	
警戒指標	是否有跌水或水躍沖刷現象			V	V	
	是否有河道淤積情形			V		
	是否具有攻角之斜向水流					
	鄰近堤防破堤、損毀					
	橋墩迎水面有局部浮木掛淤情形					
	到達警戒水位、流速、特徵雨量值			V	V	
封橋指標	水位是否到達封橋水位、行動特徵雨量值					
	出現大面積的束縮沖刷情形					
	橋台、橋墩是否有傾斜、下陷					
	橋墩迎水面完全為浮木掛淤				V	
	伸縮縫有變位情形或橋面板、大梁出現明顯裂縫					
	橋梁出現異常之聲響(由構件摩擦或引起)					
	橋梁出現異常大幅度之垂直振動或是出現水流向之振動					

4.4 跨河橋梁沖刷潛勢評估表之填寫

4.4.1 跨河橋梁沖刷潛勢評估填表之驗證

在此節中，將使用表 4-16 跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表在 99 年度時於荖濃溪、大甲溪、濁水溪流域等橋梁共計 12 座進行填寫，此外將搭配使用表 4-3 橋梁耐洪能力初步評估表、表 4-5 公路橋梁安全評估表(耐洪能力)進行表 4-16 之評估成果比較及驗證。現地各個項目之判斷則是採用目視方式判斷，其結果如表 4-18 所示。

表4-18 各表格結果之比較

表格 橋名	表 4-3	表 4-5	表 4-16(本計畫表格)			本表評 估之沖 刷潛勢	由照片 判定沖 刷潛勢
			評估 分數	◆:是否具備直接判定為高 潛勢之條件			
大甲溪(國 1)	22.7	28.75	0.5		無	低	低
新三地門橋	16.5	26.25	3.5	◆	靠右岸的兩個橋墩曾 發生斷橋事件	高	低
萬大大橋	20.6	20	4.5	◆	下游鄰近之雙園大橋 曾發生斷橋事件	高	低
口社橋	30.4	36.25	8.5		無	低	低
東港大橋	9.7	13.75	16.52	◆	右岸位置曾發生嚴重的束縮流況	高	中等
東勢大橋	27.2	28.15	14.29		無	低	低
寶來二橋	15.5	30.75	18	◆	A1 橋臺及 S1 橋面版 因 88 水災遭沖毀	高	中等
寶隆大橋	10.5	16.75	22.5		無	中等	中等
高美大橋	18	36.275	26.21		無	中等	中等
埤豐橋	13.5	24.95	44.96		無	高	中等
中沙大橋	28	25.65	40	◆	基礎裸露為嚴重	高	高
西螺大橋	32.6	31.81	42.5	◆	基礎裸露為嚴重	高	高

以下將逐一按照現場照片，並以幾個容易判斷之沖刷潛勢反應指標(例如:基礎裸露、河床下降、保護工、通水斷面、橋梁位置...等)說明各橋梁之可能沖刷潛勢以及各個沖刷評估表之結果:

1. 大甲溪國道一號橋



圖4.6 大甲溪國道一號橋之現地照片

由照片判定大甲溪國道一號橋之現況為:

- (1)基礎無裸露狀況。
- (2)河道僅為砂、礫淤積，在颱風事件中即會被洪水沖走，因此不會造成通水斷面之阻塞。
- (3)兩旁護岸工完善，為新設置之護岸工。
- (4)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定大甲溪國道一號橋面臨之沖刷潛勢程度為『低』，同時本計畫案之評估表分數為 0.5 分。

2. 新三地門橋



圖4.7 新三地門橋之現地照片

由照片判定新三地門橋之現況為：

- (1)基礎無裸露狀況。
- (2)河道並無任何淤積，通水斷面足夠。
- (3)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定新三地門橋面臨之沖刷潛勢程度為『低』，同時本計畫案之評估表分數為 3.5 分，但新三地門橋之靠右岸的兩個橋墩曾發生斷橋事件，此橋亦無全部重新改建，故將直接判定為高潛勢之橋梁。

3. 萬大大橋



圖4.8 萬大大橋之現地照片

由照片判定萬大大橋之現況為：

- (1)基礎無裸露狀況。
- (2)河道並無任何淤積，通水斷面足夠。
- (3)兩旁護岸工完善，為新設置之護岸工。
- (4)此橋之護床工鋪設完善
- (5)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定萬大大橋面臨之沖刷潛勢程度為『低』，同時本計畫案之評估表分數為 0.5 分，但此橋下游鄰近之雙園大橋曾發生斷橋事件，故將直接判定為高潛勢之橋梁。

4. 口社橋



圖4.9 口社橋現地照片

由照片判定口社橋之現況為：

- (1)基礎無裸露狀況。
- (2)河道僅為泥沙淤積，在颱風事件中即會被洪水沖走，因此不會造成通水斷面之阻塞。
- (3)兩旁護岸工完善，為新設置之護岸工。
- (4)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定口社橋面臨之沖刷潛勢程度為『低』，同時本計畫評估表之分數為 8.5 分。

5. 東港大橋



圖4.10 東港大橋之現地照片

由照片判定東港大橋之現況為：

- (1)基礎有裸露情形，水面上裸露約 0.8 公尺，水面下預估可能 1~2 公尺。
- (2)因基礎裸露造成局部沖刷原因之等值橋墩寬度約 2 公尺。
- (3)兩旁之護岸工有受洪水侵襲損毀的痕跡。
- (4)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定東港大橋面臨之沖刷潛勢程度為『中』，同時本計畫案之評估表分數為 16.5 分，但此橋右岸位置曾發生嚴重的束縮流況，故將直接判定為高潛勢之橋梁。

6. 東勢大橋



圖4.11 東勢大橋之現地照片

由照片判定東勢大橋之現況為：

- (1)基礎輕微裸露狀況。
- (2)因基礎裸露造成局部沖刷原因之等值橋墩寬度約 4 公尺。
- (3)護岸工有受到洪水侵襲損毀之痕跡。
- (4)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定東勢大橋面臨之沖刷潛勢程度為『中』，同時本計畫案之評估表分數為 14.29 分。

7. 寶來二橋



圖4.12 寶來二橋之現地照片

由照片判定寶來二橋之現況為：

- (1)基礎輕微裸露狀況。
- (2)河道僅為砂、礫淤積，在颱洪事件中即會被洪水沖走，因此不會造成通水斷面之阻塞。
- (3)兩旁護岸工完善，為新設置之護岸工。
- (4)由衛星圖可判斷橋梁位於河道彎曲處。
- (5)由衛星圖可判斷橋梁與河流之攻角過大。

根據以上結果，判定寶來二橋面臨之沖刷潛勢程度為『中偏高』，同時本計畫案之評估表分數為 16.52 分，但此橋 A1 橋臺及 S1 橋面版因莫拉克風災遭沖毀，故將直接判定為高潛勢之橋梁。

8. 寶隆大橋



圖4.13 寶隆大橋之現地照片

由照片判定寶隆大橋之現況為：

- (1)基礎輕微裸露狀況。
- (2)河道並無任何淤積，通水斷面足夠。
- (3)此橋之護床工鋪設完善。
- (4)近橋臺位置之高灘地有側向侵蝕的現象。
- (5)上游之護床工有輕微造成水躍之可能。
- (6)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定寶隆大橋面臨之沖刷潛勢程度為『中偏低』，同時本計畫案之評估表分數為 22.5 分。

9. 高美大橋



圖4.14 高美大橋之現地照片

由照片判定高美大橋之現況為：

- (1)基礎有裸露狀況，約 2~3 公尺。
- (2)由橋墩基礎補強結果判別此處河床應有普遍之下降。
- (3)橋墩基礎裸露及補強結果所造成之橋墩等值阻水寬度約為 2 公尺。
- (4)兩旁護岸工完善，為新設置之護岸工。
- (5)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定高美大橋面臨之沖刷潛勢程度為『中』，同時本計畫案之評估表分數為 26.21 分。

10. 埤豐橋



圖4.15 埤豐橋之現地照片

由照片判定埤豐大橋之現況為：

- (1)橋臺的基礎有嚴重裸露情形，大約 4 公尺。
- (2)由橋墩防撞鋼板判別此處河床嚴重下降。
- (3)橋梁上游即是石岡壩，可能阻礙河床粒料之補給。
- (4)護岸工、護床工皆有損毀、凌亂之痕跡。

根據以上結果，判定埤豐大橋面臨之沖刷潛勢程度為『高』，同時本計畫案之評估表分數為 44.96 分。

11. 中沙大橋



圖4.16 中沙大橋之現地照片

中沙大橋之現況為：

- (1)基礎普遍有裸露狀況，約 3~4 公尺，雖說有橋墩補強過後痕跡，但無法確定是否有增加基礎深度。
- (2)由橋墩基礎裸露程度判別此處河床普遍下降情形嚴重。
- (3)橋墩基礎裸露及補強結果所造成之橋墩等值阻水寬度嚴重，約為 3~4 公尺。
- (4)橋梁無任何護床工之設置。
- (5)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定中沙大橋面臨之沖刷潛勢程度為『高』，同時本計畫案之評估表分數為 40 分，又因基礎裸露情形為極嚴重，故將直接判定為高潛勢之橋梁。

12. 西螺大橋



圖4.17 西螺大橋之現地照片

西螺大橋之現況為：

- (1)基礎普遍有裸露狀況，約 5~6 公尺，雖說有橋墩補強過後痕跡，但無法確定是否有增加基礎深度，且亦有許多未補強之橋墩。
- (2)由橋墩基礎裸露程度判別此處河床普遍下降情形嚴重，約 4~5 公尺。
- (3)橋墩基礎裸露及補強結果所造成橋墩等值阻水寬度約為 2 公尺。
- (4)護床工及護岸工皆有因洪水侵襲而損壞之痕跡。
- (5)根據此橋之現地河道情形，以及 GOOLE MAP 之衛星照輔助判斷結果，橋梁亦不處於危險位置。

根據以上結果，判定西螺大橋面臨之沖刷潛勢程度為『高』，同時本計畫案之評估表分數為 42.5 分，又因基礎裸露情形為極嚴重，故將直接判定為高潛勢之橋梁。

以上 12 座橋梁之照片潛勢判定結果與各個表格填寫評估之結果進行比較，其結果如圖 4.18、表 4-19 所示，觀察其結果可發現本計畫研擬之表 4-16 較符合照片判定之沖刷潛勢趨勢，根據其結果，可大約擬定出其分數級距所代表的沖刷潛勢，如圖 4.18 所示，20 分以下為低沖刷潛勢，20~40 分中等沖刷潛勢，40 以上為高度沖刷潛勢。然而其餘的表 4-3、表 4-5 與表 4-16 的差異頗大，其結果如圖 4.18 所示，其差異頗大的原因可能為表 4-3、表 4-5 中對於『鄰近採砂情形』所佔的分數非常的重，當時這些表格在設計時此可能為主要的造成沖刷潛勢之一，但如今盜採砂石情形相較於以往已經改善許多，因此『鄰近採砂情形』不應再佔如此高的比例；以及『阻水面積比』，以往並沒有明確定義砂、礫等易被水流沖走的材質不列在造成阻水的原因中；以及幾個較嚴重的沖刷潛勢指標與其他指標的分數差異不夠，例如『基礎裸露』、『河流攻角』、『橋墩等值阻水寬度』...等，因此不能明顯反應沖刷潛勢。

表4-19 沖刷潛勢評估分數之級距

沖刷潛勢程度	表 4-16 之分數
低	20 分以下
中等	20~40 分
高	40 分以上

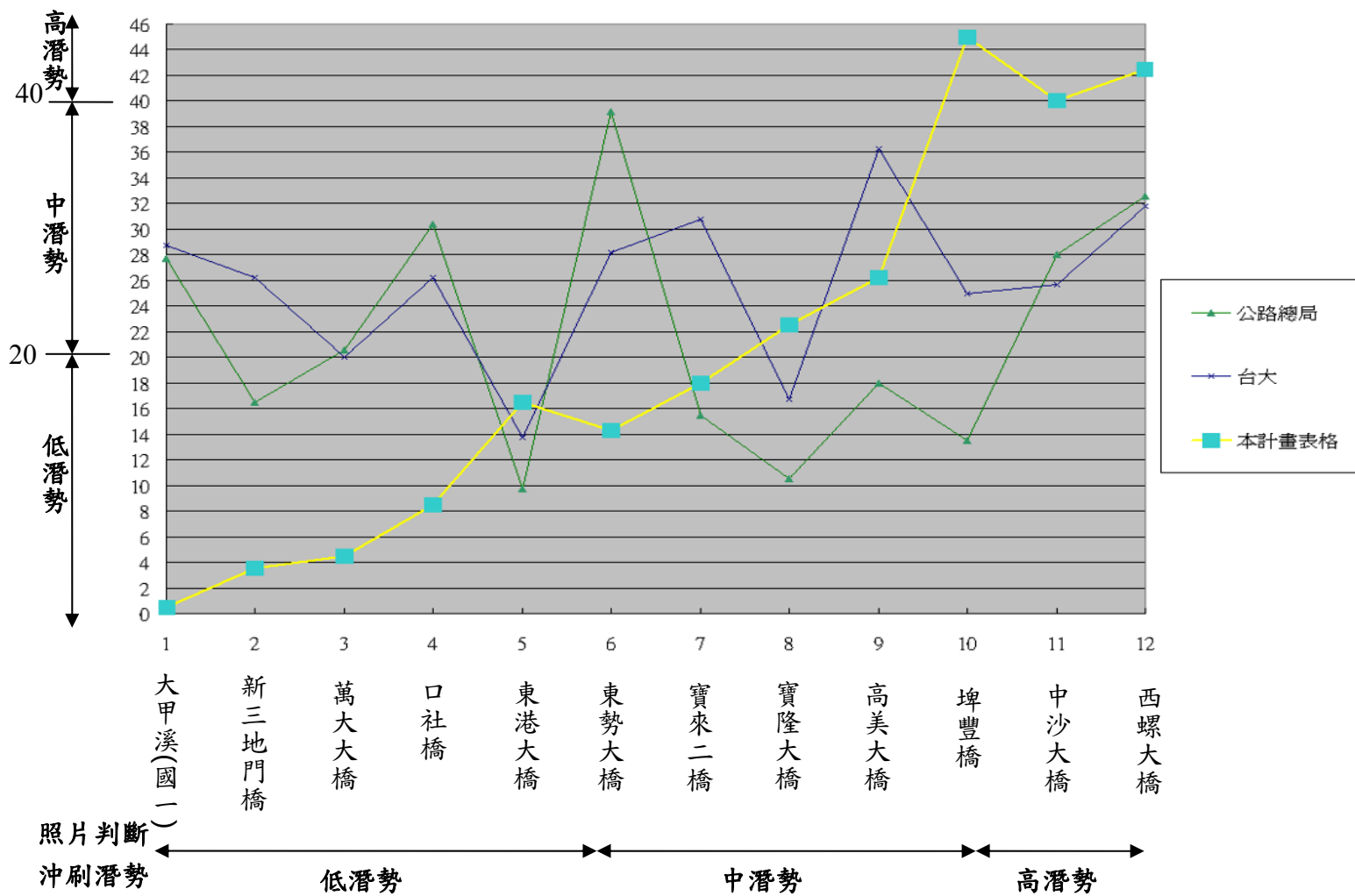


圖4.18 各冲刷評估表格結果比較

4.4.2 跨河橋梁沖刷潛勢評估表之填寫案例

跨河橋梁沖刷潛勢評估表經 99 年度中驗證過後得到表 4-1 之各沖刷潛勢所代表之分數級距，在此本計畫於 100 年度中將以此一表格及分數級距標準針對大甲溪流域以及濁水溪流域共 25 座跨河橋梁進行沖刷潛勢評估，其結果如表 4-20、表 4-21 以及圖 4.20 所示。同時本計畫亦針對已於莫拉克風災中斷橋之雙園大橋，根據其所蒐集之受災前資料進行跨河橋梁沖刷潛勢評估表之試填寫，其結果如表 4-22 所示，表格中所評估出來的分數為 33.82 分，在此若僅根據評估分數判斷潛勢，則雙園大橋屬於中度沖刷潛勢橋梁，但因為雙園大橋 P5 位置發生單一年度河床下降約 7 公尺之情形(如圖 4.19 所示)，故評估表中具有◆符號(表示一該項目但滿足最嚴重情形，則可直接判定為高度沖刷潛勢)項次 10『河床下降情形』評估結果為最嚴重，故最後判定雙園大橋列為高度沖刷潛勢之橋梁。

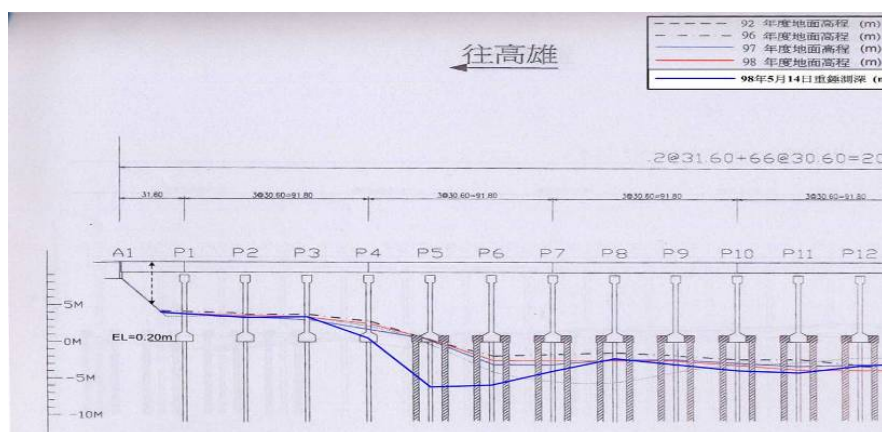


圖4.19 雙園大橋河床斷面量測圖^[17]

表4-20 100 年度大甲溪流域跨河橋梁沖刷潛勢評估結果

橋名	跨河橋梁沖刷 潛勢評估表格		潛勢判斷	備註
	分數	直接判斷項目		
谷關大橋	45.7		高潛勢	基礎經非破壞檢測發現應為 5 米淺基礎
篤銘橋	x		已拆除	100 年度已拆除
求安橋	5.15		低潛勢	
天福大橋	24.04		中潛勢	
龍安橋	19.471	◆	高潛勢	橋墩及基礎交界處結構異常
東勢大橋	23		中潛勢	
長庚橋	5.671		低潛勢	
埤豐橋	52.021		高潛勢	河床整體下降極嚴重以及護岸護床工損壞分數
后豐大橋	12.43	◆	高潛勢	橋已重建，但上游側仍有油管橋及護床工
大甲溪橋 (國道一號)	24.6		中潛勢	
大甲溪橋 (台 1 線)	29.89		中潛勢	
大甲溪橋 (國道 3 號)	18		低潛勢	
大甲溪橋 (台 61 線)	11.88		低潛勢	

表4-21 100 年度濁水溪流域跨河橋梁沖刷潛勢評估結果

橋名	跨河橋梁沖刷 潛勢評估表格		潛勢判斷	備註
	分數	直接判斷項目		
龍神橋	48.25		高潛勢	
玉峰大橋	37.25		中潛勢	基礎裸露+鋼筋外露
集集大橋	12.65		低潛勢	
集鹿大橋	6.1		低潛勢	
名竹大橋	17.6		低潛勢	
濁水溪國道3號	29.9		中潛勢	
彰雲大橋	27.92		中潛勢	
中沙大橋	40		高潛勢	
溪州大橋	15.92		低潛勢	
西螺大橋	42.5		高潛勢	
自強大橋	9.6		低潛勢	
西濱大橋	10.29		低潛勢	

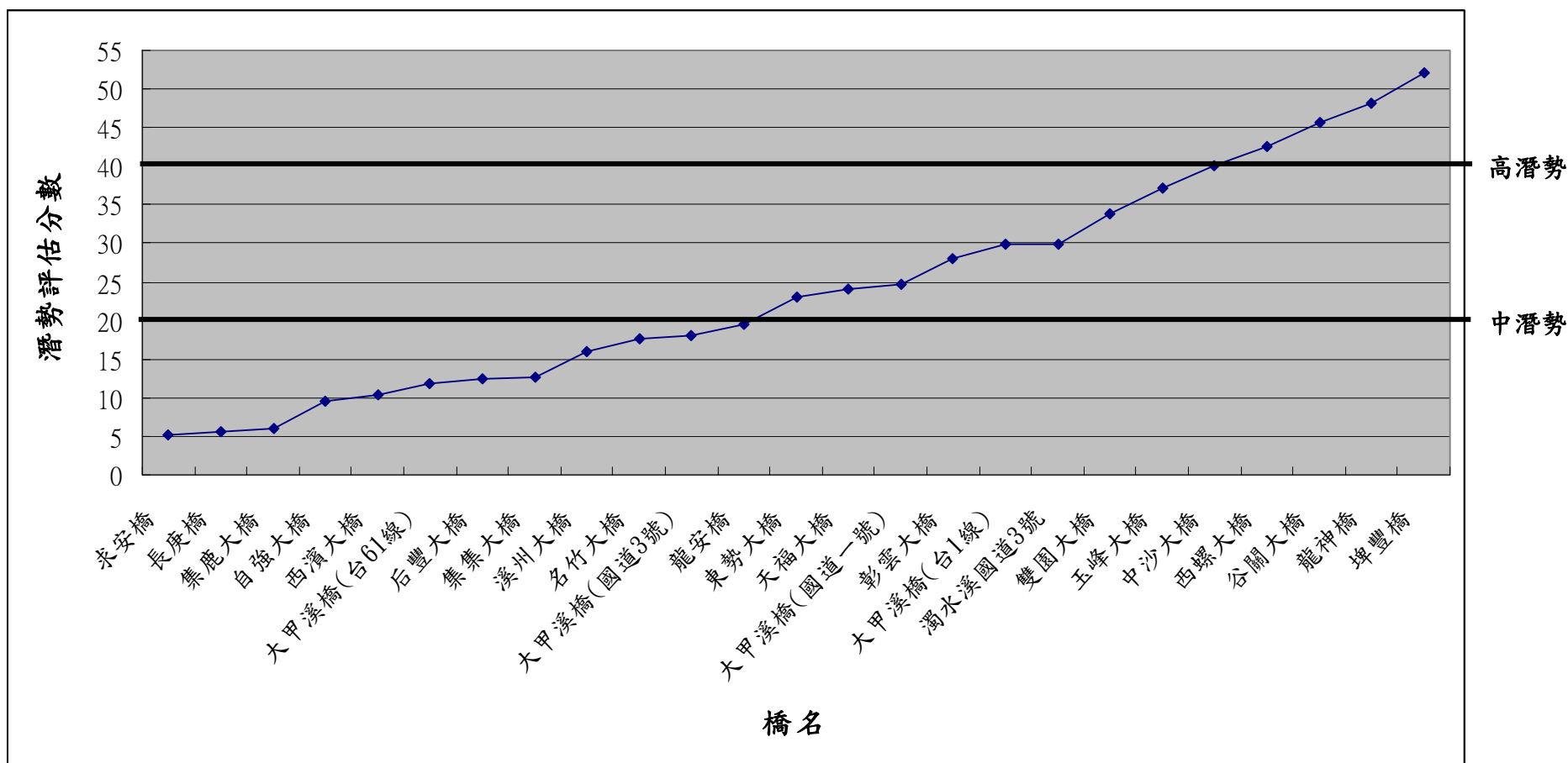


圖4.20 100 年度 25 座橋沖刷潛勢評估分數

表4-22 雙園大橋沖刷潛勢試評估果

橋梁名稱：雙園大橋			檢測單位：財團法人中華顧問工程司										檢測人員：洪紹勛																
路線名稱及里程：			檢測日期：																										
			紀 錄 內 容																										
(A) 資料 紀 錄 項 目	1	橋梁竣工圖	橋墩基礎型式： <u>樁基礎</u> 橋台基礎型式： <u>樁基礎</u> 橋基貫入深度 H_p : <u>35~50</u> 公尺 容許沖刷深度 H_{sa} : <u>8.75~12.5</u> 公尺 ☐ H_p 未知，需進行非破壞檢測																										
	2	結構穩定度 分析成果	臨界沖刷深度 SI: _____ ☐ 尚未分析 臨界水位高度 WI: _____ ☐ 尚未分析																										
	3	衛星影像或航照圖	橋梁是否位於河川彎曲處: ☒ 是 ☐ 否 上游攔河堰或水庫等設施與橋址距離: <u>3000</u> 以上 公尺																										
	4	河床斷面測量結果 或相關報告	三年內河床降低幅度: <u>7</u> 公尺 計畫洪水位: _____ 公尺 主河道寬度: <u>1000</u> 公尺 計畫河道寬度: _____ 公尺																										
	5	歷史災損及沖刷最 嚴重情形	災損時間、位置及原因: _____ ◆是否已改善: _____ 沖刷最深位置、時間及深度: _____																										
	6	沖刷相關構件之 DER&U 評分 SSI 指標: _____	橋台基礎	A1	A2				橋墩基礎	P	P	P				橋墩體	P	P	P				河道	D	E	R	橋墩保護設施	D	E
(B) 室 內 評 估 項 目	項次	項目	配分	評 估 內 容														權數 ξ	得分										
	7	上游攔河堰 或水庫等設施	7	☐ 1000 公尺以內($\xi=1.0$) ☐ 1000 公尺~3000 公尺($\xi=0.5$) ☒ 3000 公尺以上或無($\xi=0$)														0	0										
	8	基礎型式	7	☐ 淺基礎或擴展基腳($\xi=1.0$) ☐ 沉箱基礎 ($\xi=0.5$) ☒ 樁基礎($\xi=0$) (請參閱橋梁管理系統或竣工圖資)														0	0										
	9	橋梁是否位於河川 彎曲處或束縮處	6	☒ 是($\xi=1.0$) ☐ 否($\xi=0$) (請參閱衛星影像或航照圖)														1	6										
	10	河床下降情形 $h=$ <u>7</u> 公尺	8	◆($\xi=1.0$) $\geq \xi = 1 - \frac{0.75}{3.5}(4-h) \geq (\xi=0.25)$; $h < 0.5$ 公尺, $\xi=0$ (請參閱河床斷面測量結果或相關報告)														1	8										
	11	河床材料	2	☒ 泥、砂($\xi=1.0$) ☐ 砂礫混合($\xi=0.75$) ☐ 卵礫石($\xi=0.5$) ☐ 軟弱岩盤(泥岩、頁岩等)($\xi=0.3$) ☐ 堅硬岩盤($\xi=0$)														1	2										
(C) 現 地 評 估 項 目	12	主河道位置	5	☐ ◆離橋台 5 公尺以內($\xi=1.0$) ☐ 離橋台 10 公尺以內，且有逐年向橋台侵蝕之趨勢($\xi=0.75$) ☐ 離橋台 10 公尺以內($\xi=0.5$) ☐ 此河為辨狀河道，不易判定主河道($\xi=0.3$) ☒ 離橋台 10 公尺以上或橋台基礎為非直接基礎($\xi=0$)														0	0										
	(B)小計			35															16										
	13	跌水效應 (高程差 Dh : <u>0</u> 公尺)	5	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{1}{3}D_h \geq (\xi=0)$														0	0										
	14	橋墩(基)方向與河 川流向間之角度 $\theta^\circ=$ <u>15</u>	7	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^0 - 5^0}{25^0} \geq (\xi=0)$; $\theta < 5^\circ$, $\xi=0$; $\theta > 30^\circ$, $\xi=1$														0.4	2.8										
	15	阻水面積比 RA	4	☐ 極嚴重($RA > 12\%$)($\xi=1.0$) ☐ 嚴重($9\% \leq RA \leq 12\%$)($\xi=0.75$) ☐ 輕微($RA < 9\%$)($\xi=0.4$) ☒ 無($RA < 3\%$)($\xi=0$)														0	0										
	16	基礎裸露程度 H_s (基礎裸露深度) H_p (初始基礎深度) S (基礎裸露比) $S = H_s/H_p$	18	沉箱或 樁基礎	☐ ◆ $H_s \geq 1.5H_{sa}$ 或 $S \geq 40\%$ ($\xi=1.0$) ☐ $1.5H_{sa} > H_s > 1.0H_{sa}$ 或 $40\% > S > 25\%$ ($\xi=0.5 \sim 0.9$) ☒ $H_s \leq 1.0H_{sa}$ 或 $S \leq 25\%$ ($\xi=0.2$) ☐ 無($\xi=0$)										橋墩(橋台)編號	5													
														H_s (公尺)	7														
														H_p (公尺)	50														
														權數	0.2														
														分數						3.6									
				淺基礎	☐ 置於砂礫層或◆已有裸露情形($\xi=1.0$) ☐ 置於岩盤表層($\xi=0.5$) ☐ 深入岩盤($\xi=0$)																								

表 4-22 雙園大橋沖刷潛勢試評估果(續)

17	橋墩阻水情形 be: 橋墩等值寬度	12	當 $b_e > 8$, $\zeta = 1.0$; 當 $2 \leq b_e < 8$, $\zeta = [-1/3 + (1/6)b_e]$; 當 $b_e < 2$, $\zeta = 0$	橋墩(橋台)編號	5				
				be	6.11				
				權數	0.685				
				分數					8.22
18	SSI 指標評分	10	☐ SSI > 90($\xi=1.0$) ☒ 80 > SSI > 70 ($\xi=0.2$) ☐ 90 > SSI > 80 ($\xi=0.8$) ☐ SSI < 70 ($\xi=0$)					0.2	2
19	護岸工現況	4	☐ 不具保護作用($\xi=1.0$) ☐ 河岸無須保護($\xi=0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi=0.75$) ☐ 護岸工良好($\xi=-0.2$) ☒ 尚有一定之保護作用($\xi=0.3$)					0.3	1.2
20	護床工現況	5	☐ 不具保護作用($\xi=1.0$) ☒ 河床無須保護($\xi=0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi=0.75$) ☐ 護床工良好($\xi=-0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi=0.35$)					0	0
(C)小計		65						17.82	
(B)+(C)總計							33.82		
檢測員意見			1.◆此橋是否具備其他沖刷潛在危害因素 是: ☐ 否: ☐ 說明:						

第五章 冲刷检测技术

回顧第二章中所提到的冲刷检测之分類，在本章節所介紹之各類型冲刷检测技术、儀器，其目的是為了輔助橋梁所面臨之冲刷潛勢的詳細評估，特別是在橋梁在受到洪水侵襲後或是橋梁有著許多未知的參數，都必須要依靠冲刷检测技术來確保橋梁可否再次的經歷下一次的洪水，以保障用路人的生命財產安全。

5.1 橋基健全度检测技术

5.1.1 透地雷達技术:

1. 特色與適用範圍

透地雷達(Ground penetrating radar)簡稱 GPR，係由電壓為數百伏特的發射線圈，產生頻率範圍自 10~3000 MHz、歷時為幾十億分之一秒(ns)的脈波(雷達波)射入地下或建築結構體內。此入射波經地下具不同電性物質的地層界面與埋藏體反射或地層內管線、空洞及結構體內鋼筋等繞射至地表，並由置放地表高靈敏度的接收天線接受此訊號。由接收到訊號時間的長短與波型的變化，經由資料處理後推測目標物之形貌。

透地雷達法因具高解析度且測勘迅速的優點，被廣泛應用於冰凍層研究、地下管線探測、地層描繪、地下水偵檢及污染調查等。近年來其應用研究擴至鋪面、橋梁、廠址等土木工程結構之非破壞检测及探礦等，受到土木界、採礦界及地球物理界的重視。

2. 儀器設備

(1)主機 (控制、展示與儲存雷達訊號)

(2)發射天線控制器(發射特定頻率之雷達波)

- (3)接收天線控制器(接收特定頻率之雷達波)
- (4)天線(10~3000 MHz)
- (5)天線扶把
- (6)資料傳輸線
- (7)皮尺、粉筆、噴漆等
- (8)手提電腦(含操作軟體、磁碟片等)或專用控制電腦
- (9)電池、充電器
- (10)天線拖車及測距組
- (11)運送箱(裝儀器)
- (12)附件(記錄紙、鐵錘、鏟刀、水壺、傾斜儀、太陽傘等)
- (13)衛星定位系統或測量儀器(大區域測量時方需要)

3. 施作步驟

- (1)測區基本資料蒐集及研判。
- (2)針對測勘目標選定測線方向。
- (3)針對測勘目標大小及深度決定使用之天線頻率、天線排列方式、施測時訊號重合數、濾波方式、記錄範圍及測線與測點間距。
- (4)控制點測量。
- (5)導線測量。測線不長時以皮尺控制測點間距，山區及起伏地形區等需以測量儀器定測點位置。
- (6)以資料傳輸線連接主機、發射天線控制器、接收天線控制器、天線及手提電腦。

(7)固定測點位置進行施測試驗，操作員必須注意螢幕上之雷達波影像剖面反應，以確保或修正最佳記錄範圍、調整增益、濾波、訊號重合數及天線發射頻率等重要施測參數。

(8)沿測線方向循序逐點施測·如有必要可將整套測勘設備架於天線拖車上，並以輪距組控制測點位置施測。

施測時操作員必須注意螢幕上之雷達波影像剖面反應，必要時調整施測參數或重新施測。

4. 報告製作

測勘結果需經極低頻濾波、初達波拉平及設定時間零點，振幅衰減補償等可得一雷達剖面，即可提供對地下結構解釋。如雷達剖面之目標物不明顯，可作屬性、移位、解迴旋、背景移除、濾波等特殊處理。

5. 案例討論示範

(1)透地雷達於橋梁基樁長度調查

井測透地雷達（Borehole Radar）進行井下探測，井孔壹至貳口，預計探勘目標為橋墩深度位置判定。傳統上透地雷達之探測方法為利用高頻電磁波自探測物表面發射進入待測物內部，因物體內不同介質電性變化而產生反射波，此一訊號經反射後為表面接收器所接收、放大、數位化後，紀錄成原始資料，帶回室內資料處理後，便可進行分析待測物之內部結構，此種探測方式稱為反射式透地雷達法（Reflection GPR），若利用於井內，則為井測雷達（Borehole Radar）。

一般而言，井測透地雷達的施測方式分為兩種，一種方式為單孔井測（Single Hole），為發射器與接收器同放在一口井內，其施測方式類似傳統的反射式透地雷達；另一種方式為跨孔井測（Cross Hole）亦即發射器與接收器放在不同的井中，依其發射

器與接收器之幾何關係的不同，又可細分為三種施測方法，分別是 ZOP（Zero Offset Profile），MOG（Multiple Offset Gather），以及 VRP（Vertical Radar Profile），於本案例調查使用單孔井測方法。

本調查因環境限制，故採用單孔井測方法，單孔井測是將發射器和接收器放至同一口井中，其施測原理與反射式透地雷達相同，都是透過介質介電常數與反射係數的不同，由反射波得到地層或目標物的影像，其施測方式如圖 5.1。

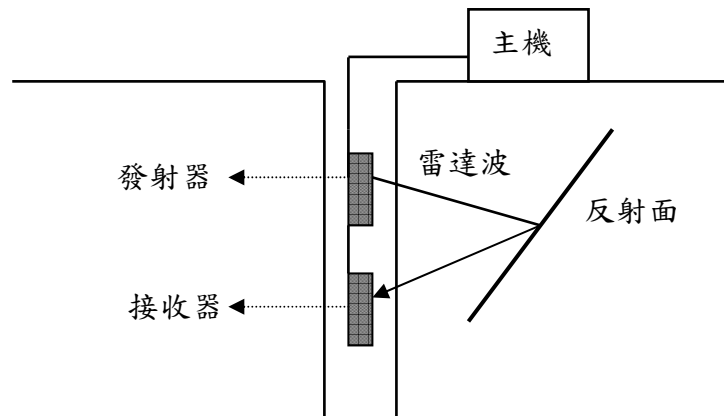


圖5.1 單孔井測透地雷達施測方式

圖 5.2 為測線一在 BH1 施測之施測結果，施測時採用 200 MHZ 的天線頻率，並以反射法施測，施測方向由井底往地表施測，圖中橫軸為時間軸，單位為 ns (10^{-9} 秒)，縱軸為井深，單位為 m (公尺)。經判釋後，有橋墩反應之強反射延伸至地表下 10.5 公尺處，與原地層反射有明顯交界。

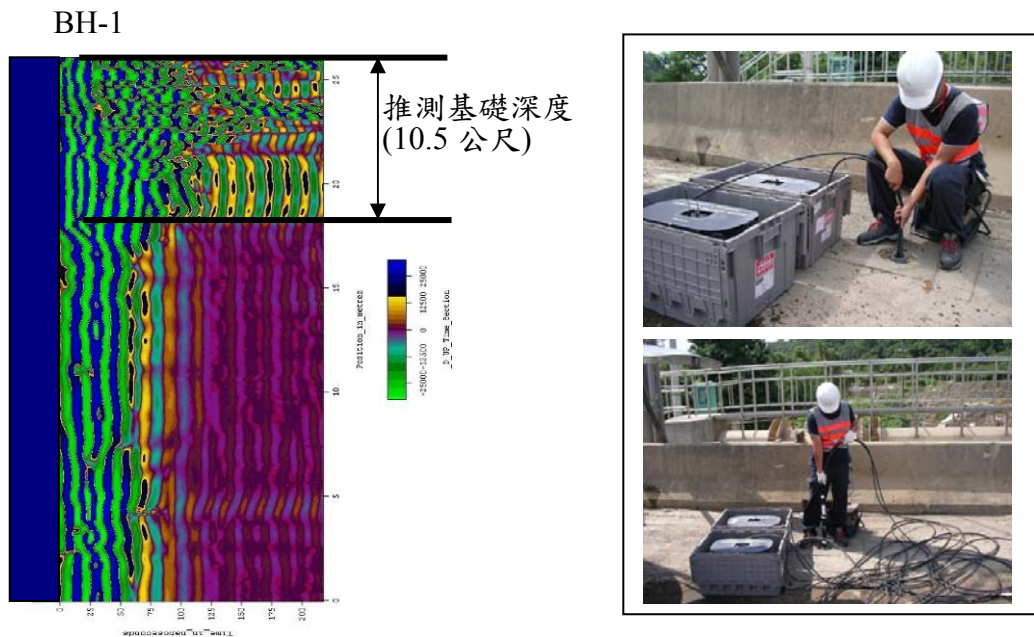


圖5.2 井測雷達施測結果與現場工作照片

(2)透地雷達於橋梁基樁裸露調查

利用船載透地雷達偵測大溪橋橋墩基樁裸露情況如圖 5.3 所示。透地雷達所使用之天線頻率為 100MHz、天線間距為 1m 及移動間距為 0.16m。測區地質岩性為巨厚砂岩其中夾薄砂、頁岩互層。

由此透地雷達剖面中可以清楚看見西側橋墩基樁受河流沖刷掏空達 0.7m，而東側橋墩卻沒有被沖刷掏空的情形發生，此原因乃由於東側橋墩基樁建構於巨厚砂岩之上，其砂岩抵抗河水沖刷能力較強，故沒有被掏空的情形發生。此外在測線 12m～27m 處，雷達剖面反應出此位置之水深較深，有較多的沈積物存在，此乃由於此範圍為河流之主要河道位置，故其下切較為嚴重而其沈積物亦較多。

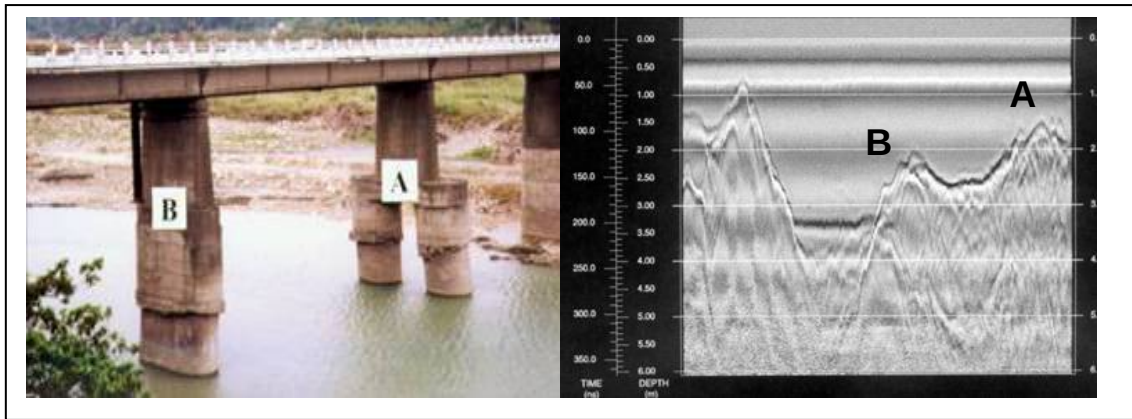


圖5.3 透地雷達偵測大溪橋橋墩基樁裸露情況

(3)透地雷達於鋪面檢測應用

透地雷達法對於因地下水流動沖刷地層造成的地層鬆動現象或空洞的偵測效果佳。在桃園中正國際機場以天線頻率 900 MHz 的透地雷達作剛性鋪面跑道受損調查。測區舊跑道鋪面結構由上至下有三層，面層是 40 cm 厚的混凝土，底層是 20 cm 低強度混凝土，基層則為紅土礫石層。新跑道鋪面結構由上至下亦有三層，面層是 40 cm 厚的混凝土，底層是 20 cm 碎石級配，基層則為紅土礫石層。鋪面因受動態反覆加載輾壓，懸浮於水中之路床土壤即由鋪面之接縫、裂縫或鋪面邊緣擠出，此即為擠水作用。故施測目標即為找尋新舊跑道路路基損壞、淘空之位置、範圍及深度，提供後續施工之參考。圖 5.4 為本次測勘各雷達測剖面中之二剖面。圖 5.4(a)中央有垂直向較強烈擾動之異常訊號，應為跑道伸縮縫產生之繞射。在深度軸約 7.7 ns 處有一水平界面，為混凝土面層的底部。在 11.7 ns 下方亦有一水平界面，為基層紅土礫石層的頂層。由設計厚度及反射時間可換算出混凝土的傳遞雷達波速約為 0.103 m/ns，而底層的碎石（或低強度混凝土）的雷達波速為 0.10 m/ns。

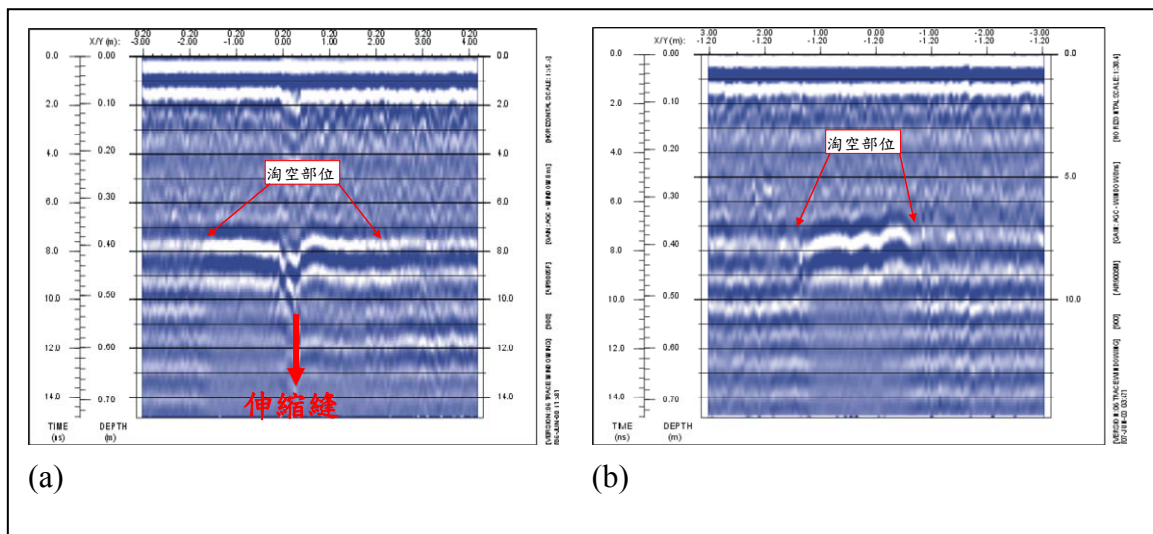


圖5.4 調查跑道下地層洶空情形之雷達測剖面圖

本案例為利用高頻透地雷達進行橋面板非破壞性檢測，使用天線頻率為 1.5 GHz。施測結果如圖 5.5 (a) 所示，圖中可清楚辨別出瀝青鋪面與鋼筋混凝土橋梁構件之界面。橋梁構件中上部鋼筋排列與鋼筋間距可以特殊濾波的方式將其深度與位置描繪出來，其而判識橋面板是否出現破壞與沈陷之現象如圖 5.5 (b) 所示。

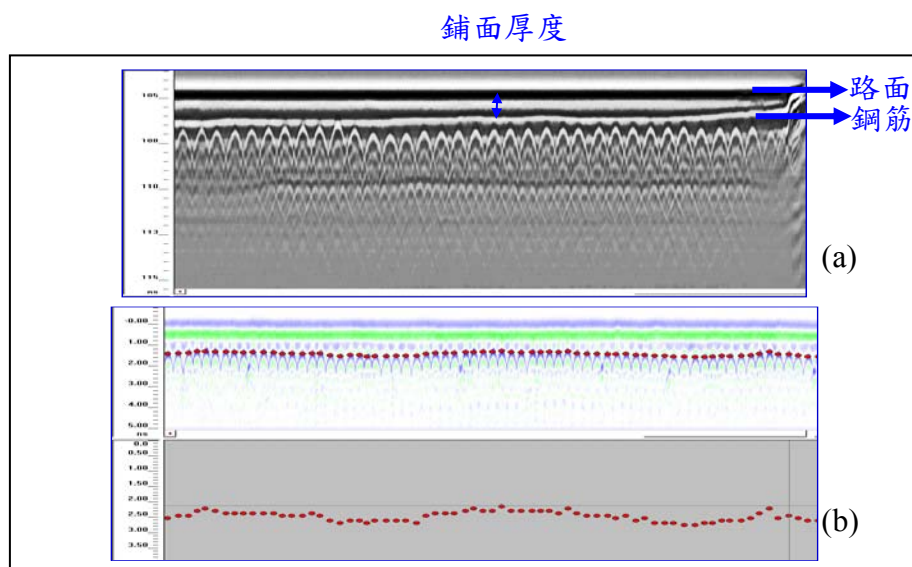


圖5.5 高頻透地雷達於橋梁上部結構檢測結果圖

5.1.2 電阻率影像剖面探測(Electrical Resistivity Tomography, ERT)

1. 特色與適用範圍

本探勘使用電阻率影像剖面探測法(Resistivity Image Profiling , RIP)作橋墩的基礎探查。地層的電阻率與地層組成礦物、顆粒度大小、組態以及地層之含水量及水的鹽度有關。因此可用地層的電阻率來研判地層的岩性、含水量及含鹽度，或探測地層內的異常體如管線、結構物...等。

2. 原理方法

本法是以直流或低頻交替直流電，流經一對電極稱為電流極(圖 5.6 中的A與B)通入地下，電流流經地層建立電場，在地表上用另一對電極稱為電位極(圖 5.6 中的M與N)測得其間的電位差。此電位差與通入地下的電流強度、電極間的相對位置及各地層的導電性有關。

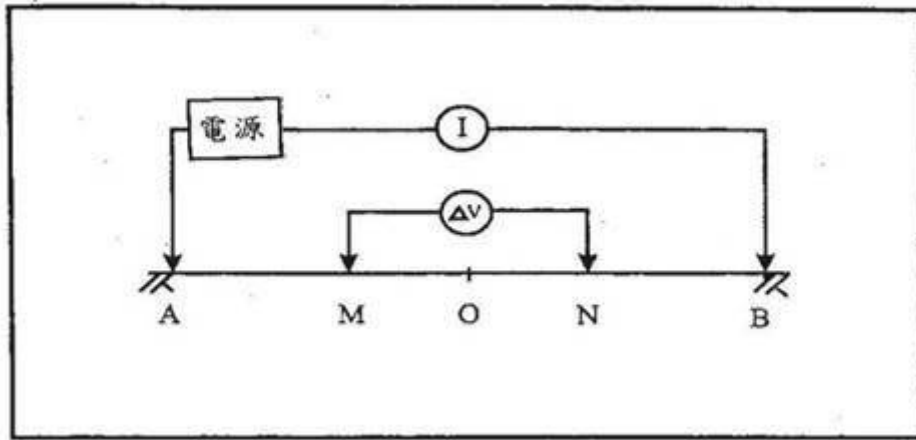


圖5.6 直流電阻法使用四極排列施測示意圖。

A 與 B 表示電流極。M 與 N 表示電位極。

在一電性均質厚度無限大的地層，各物理量間之關係如下式：

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right\} \quad (5-1)$$

式中 ΔV ：為電位極間的電位差

ρ ：為地層的電阻率

I ：為通入地下的電流強度

$\overline{AM}, \overline{BM}, \overline{AN}$ 及 $\overline{BN}$ 為電流極至電位極的距離

上式可改寫成：

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (5-2)$$

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} \right) - \left(\frac{1}{\overline{AN}} - \frac{1}{\overline{BN}} \right) \right\}^{-1} \quad (5-3)$$

因此若測得 $\Delta V, I$ 及電流極與電位極的距離即可算出此均質厚度無限大的地層的電阻率。但地層實際上並非均質且厚度為無限大，因此依上式算得的電阻率稱為「視電阻率」（apparent resistivity），寫成式(5-4)：

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (5-4)$$

視電阻率通常不代表地下各地層之實際電阻率，而是代表在此種電極排列情形下所有地層導電性之綜合效應。電流極展距愈大，電流穿入愈深，其效應愈接近下部地層的性質，因此在探測中將電流極展距逐次加大，可逐次測獲由淺至深的地層反應訊號，探測之資料經分析與解釋可求得地下由淺至深各地層之電阻率分布。

電阻率影像剖面探測是將測點以等間距排列在一直線上，測點間距小，有高密度的探測資料以分析地層的電阻率分布。常用的電極排列共有二極排列（Pole-Pole array）、雙偶極排列(Dipole-Dipole array)、三極排列(Pole-Dipole array)、溫奈-施蘭卜吉(Wenner-Schlumberger array)...等。下述說明以雙偶極排列為例。

雙偶極排列是四極架構，C2 與 C1 為電流極，P1 與 P2 為電位極。其排列方式如圖 5.7(B)，C2-C1 為一對電流偶極；P1-P2 為一對電位偶極，偶極距皆為 a ，此外 C1-P1 的距離與 C2-C1(或 P1-P2)的距離的比值為 n 。施測時在欲探測位置的一條直線上以等間距列置多支電極，依次作為 C2 電流極、C1 電流極與 P1 電位極、P2 電位極之用。如圖 5.7(B)。施測時先以第 1 支做 C2 電流極，第 2 支做 C1 電流極、第 3 支做 P1 電位極，第 4 支做 P2 電位極，偶極間距固定，隨著 n 值由 1、2、3、4.....的增加，就可以測得由淺而深的地層訊號， n 值的大小須由實測訊號的強弱而定，一般大多不超過 6。接著改以第 2 支電極為 C2 電流極，第 3 支做 C1 電流極、第 4 支做 P1 電位極，第 5 支做 P2 電位極，偶極間距固定，隨著 n 值由 1、2、3、4.....的增加，就可以測得由淺而深的地層訊號，以此方式逐次改變電流偶極與電位偶極位置而測得整個剖面的訊號。隨著 n 值的增加，量測的訊號會變的較微弱，當訊號極微弱時可以加大電偶極(a)的距離，當 a 的距離加大同時也加深探測的深度。

探測資料須經品質檢查，去除離奇資料點後再做資料解釋。離奇資料點大多由電磁干擾所致。在背景雜訊高的地方偶爾出現較大的雜訊，造成離奇資料。有些離奇資料是由地質因素或地下的異常物造成，須經適當修正或去除不用。探測資料通常計算成視電阻率， $\rho_a = 2\pi aV/I$ ； a 為 C2-C1(或 P1-P2)的距離， V 為訊號電壓， I 為通入地層之電流強度。探測結果通常以視電阻率擬似剖面(Apparent resistivity pseudosection)展示。它是以二電偶極中點的一半為橫軸，二電偶極中點 45 度角延伸線與二電偶極中點的二分之一做垂直線的交點為縱軸位置標示視電阻率的剖面。至於電阻率影像剖面探測之資料解釋將使用二維逆推法。

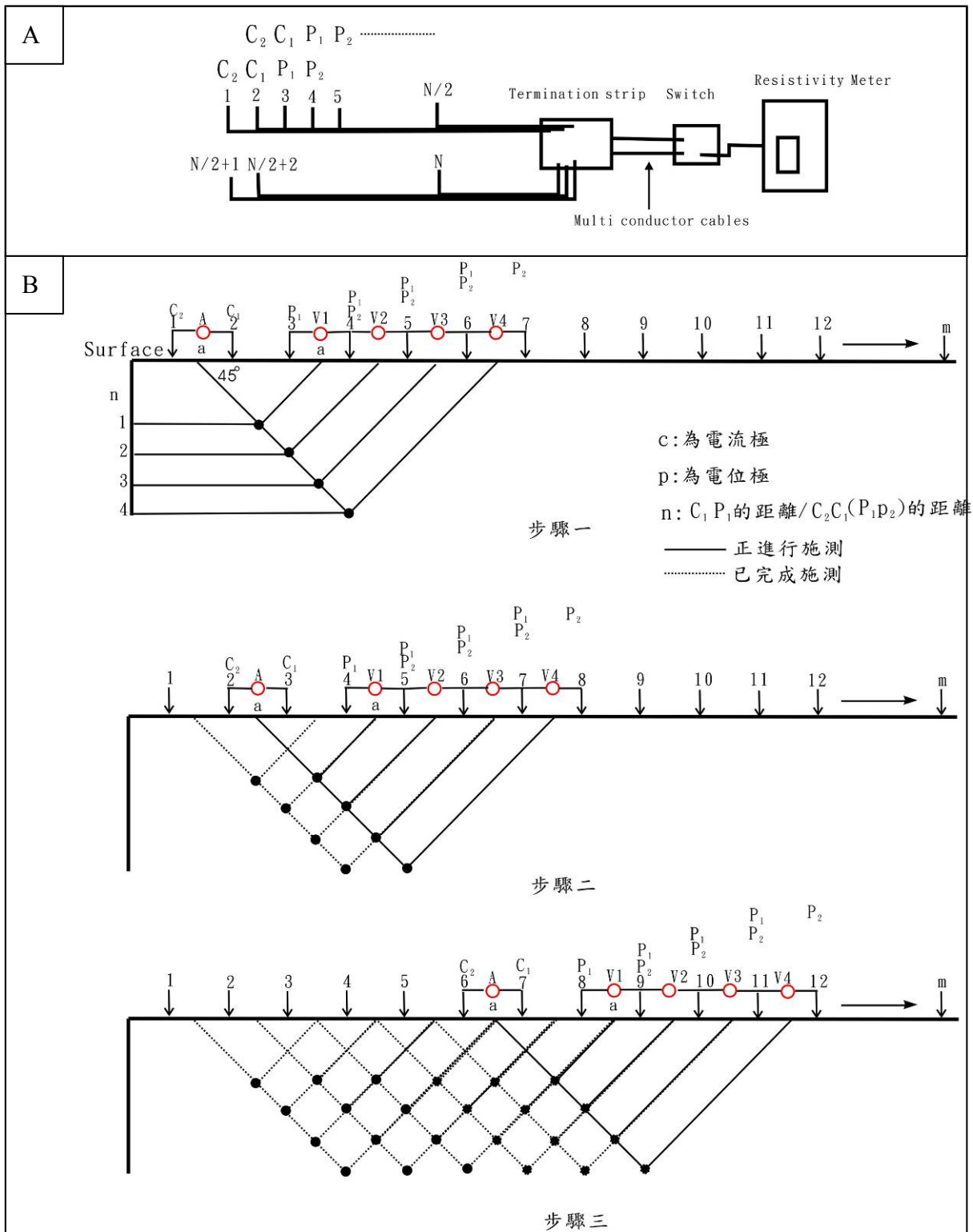


圖5.7 (A) 電阻率影像剖面探測雙偶極排列之儀器配置

(B) 測量電極之自動更替， $C_2 C_1$ 為電流極， $P_1 P_2$ 為電位極。

3. 儀器設備

臺灣地區採用二維及三維地電阻影像法(Resistivity Image Profiling; RIP)測勘，常使用之地電探勘儀有日本 OYO 公司的 McOHM21 型、美國 AGI 公司的 Super Sting 系列、法國 IRIS Instruments 之 SYSCAL 系列等。儀器設備可分為：

- (1)電阻探測儀主機 (控制、展示與儲存地電阻訊號)(Super Sting Marine)。
- (2)自動切換拖拉電極棒之電纜線組(electrode towing cable)
- (3)GPS 接收器
- (4)電池、充電器
- (5)配合施測用軟體(Marine Log Manager software)
- (6)運送箱(裝儀器)
- (7)皮尺、噴漆等
- (8)附件(記錄紙、鐵錘、鏟刀、水壺、傾斜儀、太陽傘等)
- (9)工作船

4. 施作步驟

- (1)施測參數選定:由於待檢測橋梁基礎尺寸多為未知，各種電極陣列的垂直或水平解析度及探測深度也不一樣，因此需因應待測區環境調整各項施測參數。
- (2)測點之佈置:電極間距越小解析度越高但測深越淺，間距越大則解析度差，施測時電極間距得依調查區及調查標地深度選定。
- (3)測線展距:依據調查目標範圍設定，探測深度需含蓋橋墩基礎深度 1.5~2 倍。
- (4)電極展開:將電極排成一直線，最好能以兩種以上電極排列施測，以獲得橋墩水平向與垂直向最佳解析度。
- (5)測線配置:橋墩探測深度與解析度受控於電極間距、測線展距(施測長度)及測線與橋墩距離。依探測成果剖面，必要時需調整施測參數或測線配置，重新施測以求最佳施測成果。
- (6)檢測時若待測區施測範圍許可，以目標橋墩為中心，最好能有二個方向(垂直及平行車行方向)的電性地層剖面成果。

5.1.3 超震波(Ultra Seismic,US)法

1. 原理方法

利用錘擊產生小型的人造地震波，震波傳遞在橋梁基礎材料(鋼筋混凝土)與地層(砂/土/礫石/岩盤...等)界面因聲波阻抗(Acoustic impedance)變化產生反射波，記錄直達與反射波列，並推算反射波起始位置，藉此推估橋梁基礎深度。

2. 儀器設備

使用之震測系統，主要包括受波器、電纜、觸發器、震波放大器、信號加強器、震波資料處理器、震波記錄儀等，茲分別說明如下：

- (1)受波器：高感度電磁式速度型受波器。
- (2)震測電纜：多波道精製震測專用電纜。
- (3)觸發器：將其固定在重鎚握柄，重鎚擊地時產生振動觸發啟動震測儀開始記錄。
- (4)全功能震測記錄儀。

3. 探測步驟

- (1)受波器佈置:將多個受波器(或一個)以平行基樁軸線方向依等間距設置於基樁側邊。
- (2)起震點:錘擊震源可設置於線行排列的受波器線上任一處，但須記錄對應施測位置，以供計算震波走時。
- (3)現地施測示意如圖 5.8 所示。

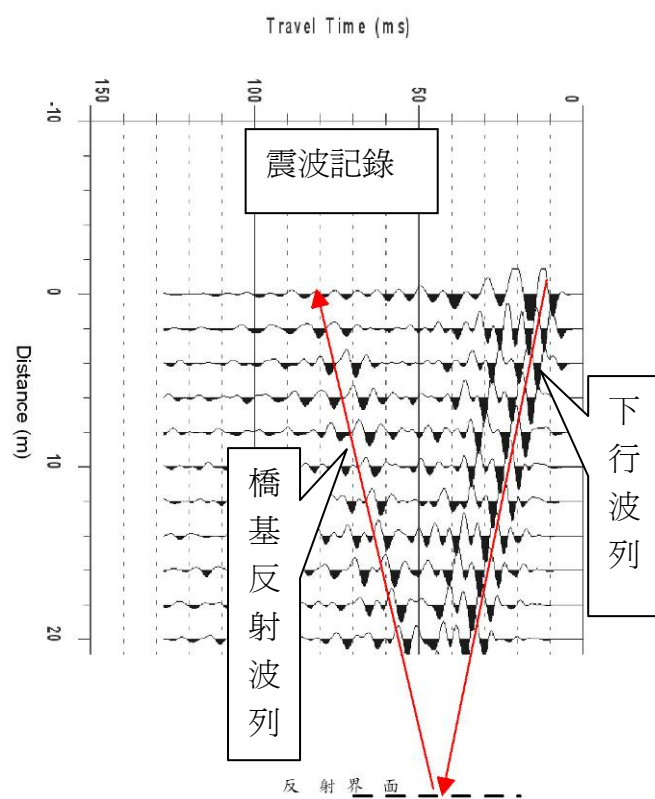
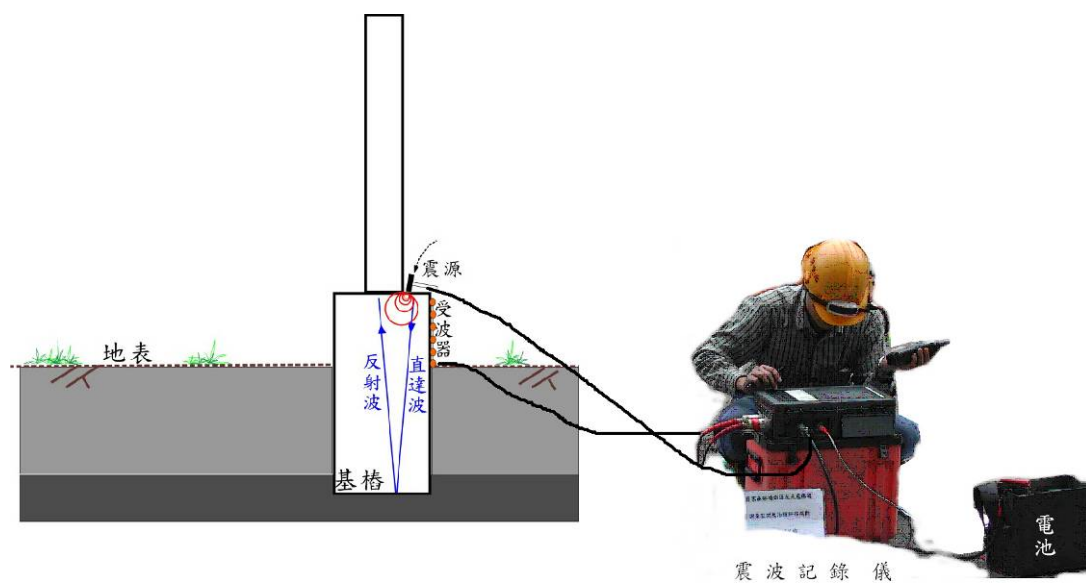


圖5.8 超震波法橋墩基礎深度調查示意圖

5.2 沖刷檢測技術

5.2.1 水位檢測技術^{[17][18][19]}

1. 基本理論

水位高低可由參考點至水面距離差來計算與表示。一般參考點可為相對參考點或絕對參考點，前者可利用橋面版高程、橋墩基礎面高程、或其他利於量測計算之不動點高程為相對參考點；後者則以平均海平面做為高程零點平面，臺灣之水準點係以基隆平均海水面為參考依據。實務上則以相對參考點較為方便應用。

2. 特色與適用範圍

水位計若以記錄型式分類，可概分為非自記型水位計與自記型水位計。前者包括固定於適當設施之標尺，以及各種機制之量測水尺，需要以人工進行讀取記錄，適合定期或臨時檢測之用；後者則可自動記錄水位資訊，目前又以配合資料讀取器(data logger)與資料貯存設備之電子式自記型水位計為主流，可供長期監測與即時觀測之用。

3. 非自記型水位計簡介

根據使用方式與量測機制，非自記型水位計可概分為下述幾種類型：

(1) 直接讀記水標尺：

- a. 標竿水尺：通常為附刻度之鋼板，或直接以油漆標記刻度，設置於垂直之木樁、河岸壁或橋墩柱上，如圖 5.9 所示。
- b. 斜標水尺：其適用於傾陡岸坡之處，用水準測量就地刻劃分度，藉此刻度所示者即為準確之垂直高度。

(2) 量測水尺：

- a. 鏈水尺：水位高度刻在水平木板上，環鏈附於其上移動，經滑輪而為垂直方向上下，鏈之下端吊一重鉈與水面相觸，可在水平板上讀得水位，如圖 5.10 (a)所示。
- b. 鉤水尺：其為一可滑動之標竿及固定框架、標竿上有刻度，讀數自上而下，下端裝有鐵質倒鉤，框架上設游尺，讀數自下而上，由水面與鉤尖相觸可讀水位高度，如圖 5.10 (b)所示。
- c. 浮標水尺：相當高度上裝一滑輪，有刻度之鋼尺在滑輪上下移動，鋼尺之一端裝設浮標，另一端裝置重鉈，水位漲落，浮標隨之移動，可自鋼尺上讀水位高度，如圖 5.10 (c)所示。然因浮標易受水流帶動，故於靜水井（觀測井）中方易於操作。
- d. 懸重水尺：其為鋼索繞於轉筒上，轉筒上有刻度或計數器，鋼索另一端則附有重鉈，垂直懸吊至接觸水面，以測量水位高度，如圖 5.10 (d)所示。



圖5.9 標竿水尺示意圖（臺3線興昌橋）

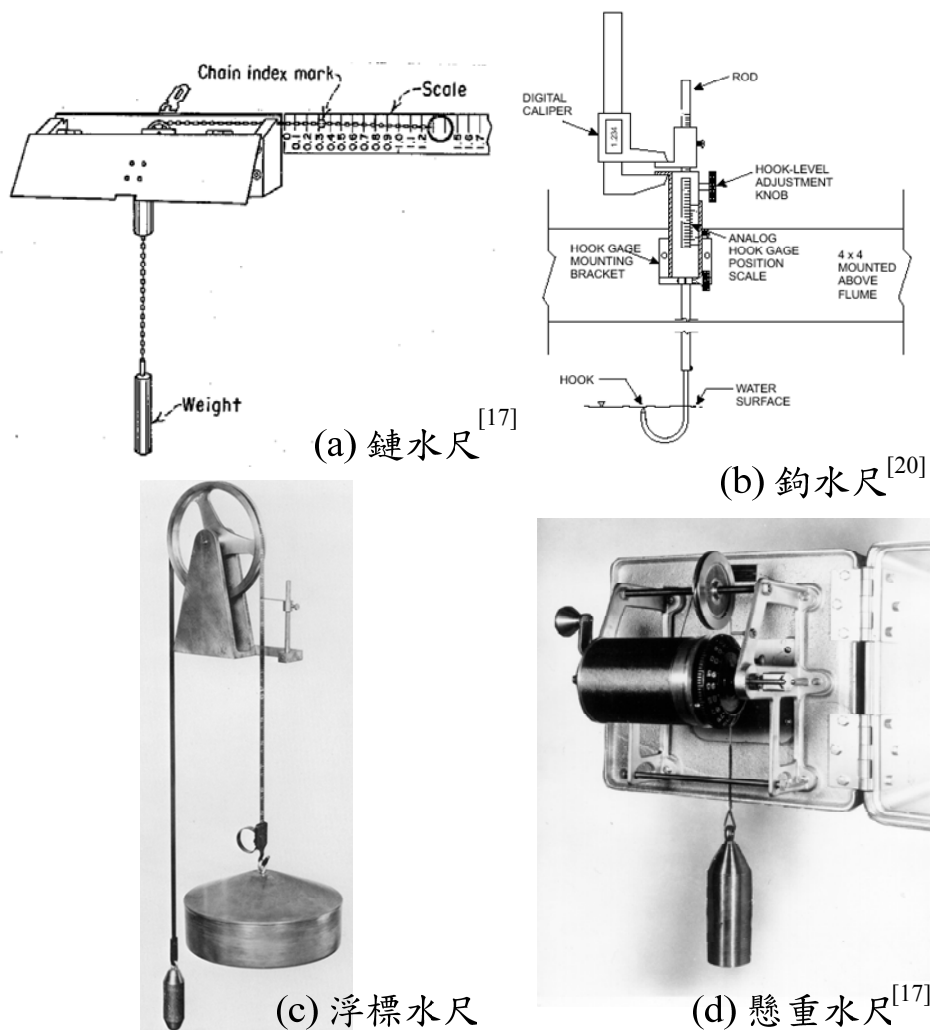


圖5.10 各類量測水尺示意圖^{[17][20]}

4. 電子式自記型水位計簡介

電子式自記型水位計若以感測元件分類，水位計可概分為接觸型與非接觸型，茲分述如下。

(1)接觸型水位計：直接觀測水位之高低，或水位造成之水壓高低，包括：

a. 浮筒式水位計：如圖 5.11(a)所示，機制類似於前述之浮標水尺，係將浮筒及配重塊懸吊於滑輪兩端，利用浮筒隨水面之升降浮動帶動記錄轉輪，而達成水位之自動記錄；另亦有利用旋

轉彈簧代替滑輪與配重塊來達到自動回復之機制。由於其記錄機制簡單，故成本低且耗電低。其自動回復機制能否順利運作為影響量測精度之主要原因，另因浮筒易受水流帶動，故浮筒式水位計必須設置在靜水井（觀測井）中方能有效發揮作用。

- b. 壓力式水位計：如圖 5.11 (b)所示，利用壓力感應器量測水位升降產生之壓力變化，再將壓力值換算成水位高度，因此需建立轉換參數方能有效應用。其易受水溫、流體密度、氣壓變化之影響，故需進行水溫及氣壓校正。水流之衝擊壓力亦會造成其讀數擾動，故亦較宜設置於靜水井中。另外，需設置防雷裝置以免壓力計故障。若選用具足夠靈敏度之壓力計，測定誤差可達 $\pm 1\%$ 以下。
- c. 氣泡式水位計：如圖 5.11 (c)所示，與壓力式水位計相同，亦藉由量測水位升降產生之壓力變化換算水位高度，但其量測壓力機制係利用下端沈於水中之細管，由細管上端持續打入空氣，將些許之氣泡於水中不斷放出，如此則管內氣壓將與水壓趨於一致，量測管內氣壓便可得知水壓。其亦較宜設置於靜水井中以有效測得水位造成之靜水壓力。

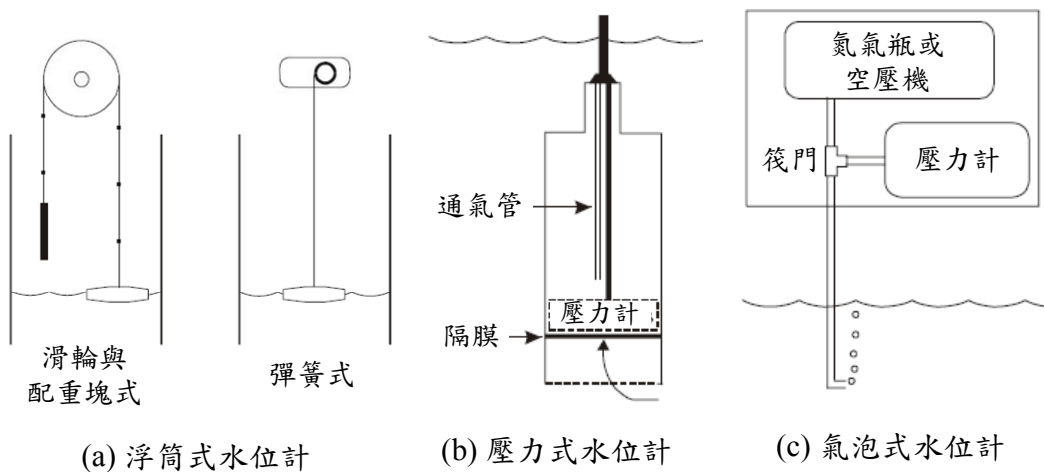


圖5.11 接觸型水位計示意圖

(改繪自 Water Level Sensor and Datalogger Testing and Demonstration)

(2)非接觸型水位計：此類水位計之機制均為利用波傳反射計算發射器/接收器至水面之距離，如圖 5.12 所示。依採用之能量波類型不同可分為：

- a. 超音波式水位計：由水面上向下發射一系列之超音波，利用音波入射水與空氣之界面時將發生反射之現象，接收到達水面反射之超音波訊號，由音波來回時間與音速，計算水面至感應器間之高度，便可求得水位。由於氣溫會影響音波於空氣中之傳導速度，故需進行氣溫校正，但並不受水溫影響。此外，水面若有波動造成不規則反射面，亦會影響其精度。在正確裝設、考慮溫度校正、且水面穩定之情況下，精度可達公分等級。
- b. 雷達式水位計：由水面上向下發射發射連續雷達波信號（頻率為 9.55GHz~10.55GHz），藉由接收反射迴響來計算水位。其機制與超音波式水位計類似，但不受氣溫變化之影響，其價格則較為昂貴。
- c. 雷射水位計：類似雷射測距儀，利用雷射於水面之反射計算水位，其測量精度可達公釐等級且量程大（達 90m 以上），且不受溫度影響。但其缺點為需要較好的反射面，故水面飄浮物或泡沫均會影響其精度，並可能於天候不佳時受雨水影響，且價格相對昂貴。

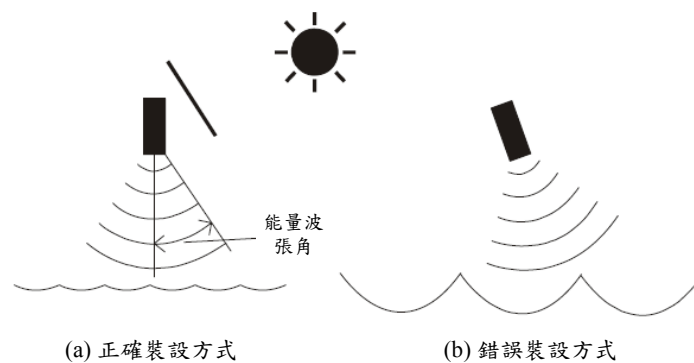


圖5.12 非接觸型水位計示意圖

（改繪自 Water Level Sensor and Datalogger Testing and Demonstration）

整體而言，接觸型水位計由於量測方式較為直接，故量測精度較為可靠，然而，由於其易受到水流衝擊影響其精度，或受水中漂流物撞擊而發生損壞，故必須設置於靜水井中方能有效發揮作用。靜水井一般多設置在河畔或橋墩旁，但由於臺灣河流特性及氣象條件，河川流路時常改變，可能使得河槽遠離靜水井而無法導水入井，應用上彈性較低。此外，靜水井之入水口處易淤砂阻塞，甚至洪水過後的淤積會導致井內淤滿泥沙，因而不易維護運轉。靜水塔之設置費用亦會增加額外之成本。

非接觸型水位計雖然量測精度易受環境影響，但因不接觸水流，故易於安裝使用，平時易於維護，在洪水中也易於存活，因而目前受到廣泛應用。其中又以超音波水位計之成本適中，於正確裝設與校正後可提供具一定可信度之數據，故建議可做為橋基沖刷檢測作業中之首要選擇。

為了提供可靠的水位資訊，在應用超音波水位計時，須注意以下事項：

- (a) 由於音速會隨氣溫變化，故需搭配氣溫量測以便校正。
- (b) 安裝時需注意其垂直度，以使超音波能有效反射回傳（參考圖 5.12）。
- (c) 對於土石流、極度紊流、或波浪較大等水面有劇烈擾動之情況，會造成水位讀數的不規則跳動。
- (d) 水位計距離水面通常不宜超過 10m，以確保其量測精度，但應大於其最小量測距離，通常為 30cm~45cm 左右。
- (e) 對於過淺的水流並不適用，因河床面亦為一強反射面，若水深過淺，則可能量測到河床反射之訊號。

(f) 當有水面有泡沫或水中有大量懸浮物時，可能會吸收超音波而使其無法順利反射，採用較大的超音波能量有助於克服此問題。

(g) 用電需求較高，故需提供穩定可靠之電源。

5. 建議施作方式

若經費允許，於適當位置裝設電子式自記型水位計將可持續記錄水位資訊，以供長期持續監測與災時即時警戒之用。若為定期檢測之需求，可於適當位置裝設直接讀記水標尺或固定式量測水尺，則人員到達現場便可直接量測記讀水位。亦可採用適於手持使用或便於裝設拆卸之量測水尺，由人員攜至適合觀測之位置，施行量測並記讀水位。

若於跨河橋梁觀測水位，則較適合之參考點為橋面版高程，其不僅使水位量測較易於施作，並能確保儀器與人員安全。一般水位量測施作步驟為：

- (1) 選定量測位置與參考點。
- (2) 記錄參考點高程。
- (3) 利用水位計量測水面與參考點距離並記錄之。
- (4) 計算水位高程。

5.2.2 振動檢測技術

1. 特色與適用範圍

橋墩基礎遭沖刷裸露之情況，在水位低時雖能直接目視觀察，但當水位較高或洪水來襲而淹沒基礎時，並無法直接觀察到其受沖刷之狀態，且基礎位於河床當中，有時並不易到達；若直接在橋梁基礎處裝設儀器進行接觸性沖刷裸露監測，則儀器設備易受水流衝擊或遭洪水夾帶之土石、漂流木等撞擊而受損。有鑑於此，宜採用能以間接方式進行橋墩基礎沖刷裸露檢測之技術作為輔助。

對於結構系統而言，結構體之振動反應不僅能表現出系統本身之整體特性，更能夠間接反映出系統邊界條件之變化；目前針對振動量測資料之分析技術已有多元且成熟之發展，並有許多相關之結構損傷指標被提出且應用，故振動量測已被廣泛採用於航太、機械、土木工程等領域之系統識別與損傷檢測。至於在橋基沖刷檢測之應用方面，藉由量測橋梁上部結構之振動反應，將可展現橋梁基礎之裸露狀態；且由於振動量測儀器係裝設於橋梁上部結構而非直接設置於基礎，不僅易於施作，且設備存活率高，可滿足平時定期檢測與災時即時警戒之需求，故振動檢測將可作為評估橋墩基礎受沖刷裸露情況之重要參考。

2. 原理方法

當基礎遭受水流沖刷而裸露時，由於周圍可提供摩擦力與土壤反力之土體流失，將造成基礎之鉛垂向與側向承載能力降低，同時由於受水流作用面積增大，亦會造成側向荷載的增加，如圖 5.13 所示^[21]。若考慮相同型式之群樁基礎，座落於三種不同地表高程之承載土層中，代表橋墩基礎所在河床受到不同程度沖刷之情況，則各情況下樁帽頂面之位移反應函數(compliance function)如圖 5.14 所示^[22]。由其翻轉反應可明顯看出，裸露程度越嚴重，反應函數之尖峰所在頻率越低；而由水平位移反應與水平~翻轉耦合反應，可知當裸露程度越嚴重，不僅反應函數尖峰所在頻率越低，且尖峰反應值亦

越大。由此可知，基礎受沖刷而裸露，除了造成承載力降低之現象外，並將因此造成土壤~基礎互制系統之整體勁度下降，並直接反映到系統自然頻率之降低，與受外力作用時振動反應振幅之上升。

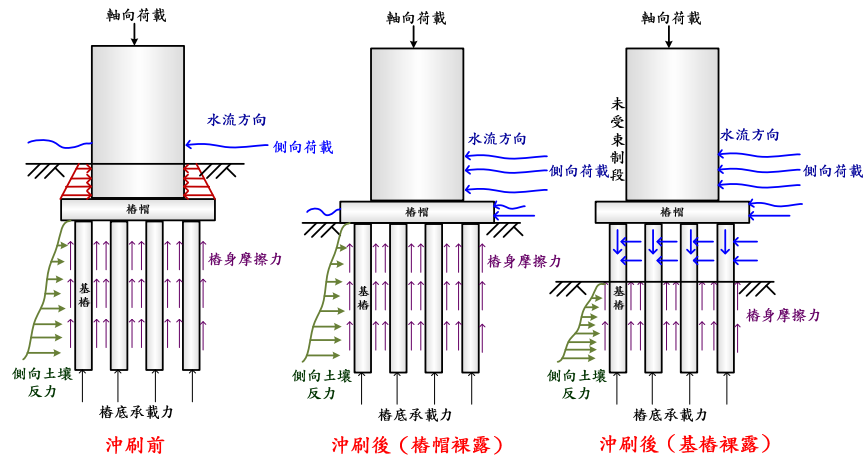


圖5.13 橋墩樁基礎受沖刷裸露之影響示意圖^[23]

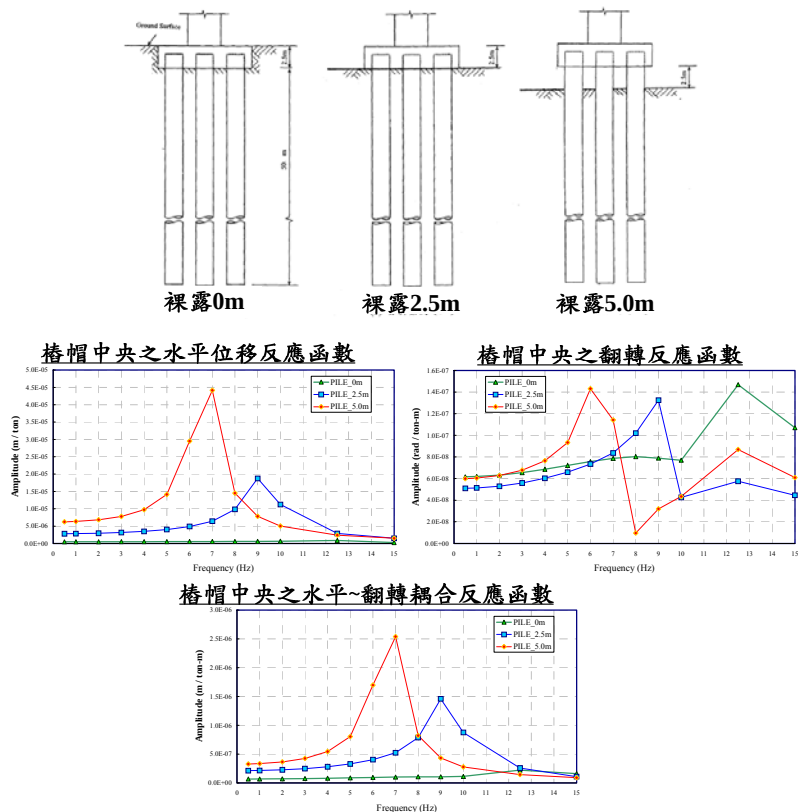


圖5.14 群樁基礎於不同裸露程度下之位移反應函數^[22]

橋梁結構除了基礎之外，尚有橋墩與上部結構如橋面版等，而實務上也以上部結構之振動較易量測。因此，為了瞭解基礎裸露對橋梁上部結構振動特性的影響，在此考慮一典型簡支橋振動單元模型^[22]，如圖 5.15 所示，由兩個橋墩與一跨橋面版構成，未於模型中建構之相鄰橋面版則以附加質量考慮其慣性效應。地盤以土壤彈簧模擬，並藉由移除土壤彈簧來模擬基礎之裸露。輸入白噪訊號（white noise，即功率譜密度為常數的隨機過程，其於各頻段之功率係為一致）進行動態分析，觀察監測點位振動反應之頻率特性，便能歸納出基礎裸露對橋梁上部結構振動特性之影響。圖 5.16 為基礎無裸露、裸露 2.5m、及裸露 5m 三種案例下，監測點之水平車行方向（HL 向）與水平橫向（HT 向）白噪激振反應富氏譜。由圖可知，不論 HL 向反應或 HT 向反應，均可明顯看出振動顯著頻率隨著裸露程度提高而降低；其中以 HT 向反應顯著頻率下降之幅度較大，且可觀察到富氏譜尖峰值隨裸露程度增加而上升之趨勢。由此歸納，橋梁上部結構之振動特性，特別是水平橫向（HT 向）反應之顯著頻率與尖峰振幅，能反映橋梁系統邊界條件之變化，可作為基礎受沖刷裸露狀態評估之重要參考指標。

需特別注意的是，由於影響橋梁振動特性之因素眾多且複雜，故振動檢測應作為判斷基礎沖刷狀態之輔助依據，而非唯一參考。

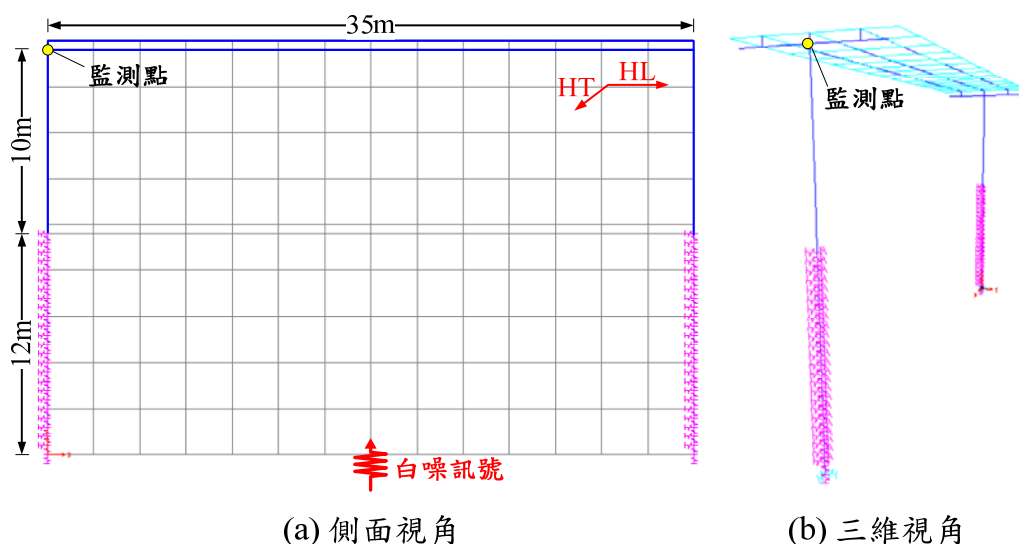
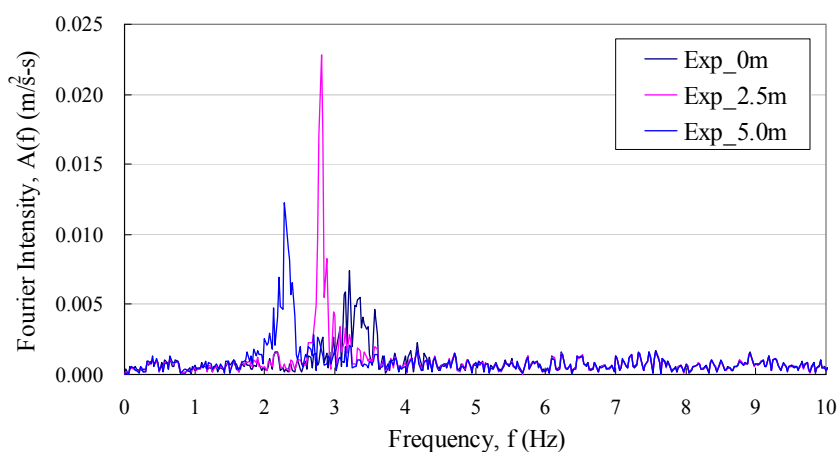
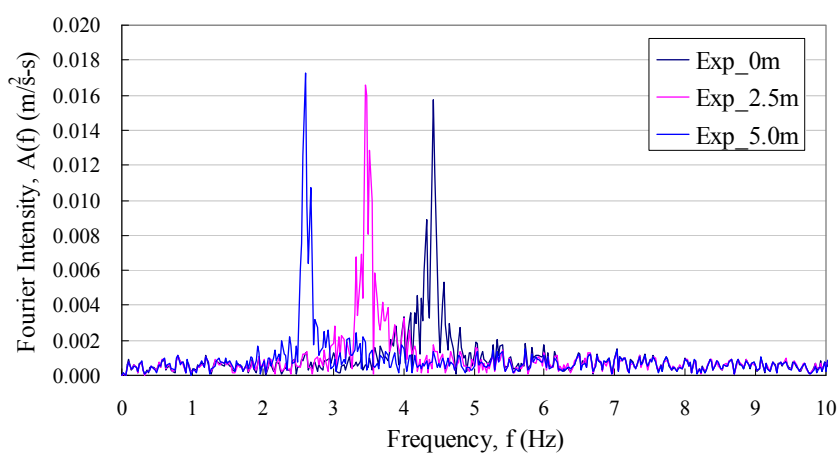


圖5.15 典型簡支橋振動單元分析模型^[22]



(a) HL向振動



(b) HT向振動

圖5.16 橋梁單元模型於不同基礎裸露情況下之白噪激振反應富氏譜^[22]

3. 振源種類

在橋梁振動監測中，振源主要包含：

- (1) 車行引致振動：車輛通行之動態載重係直接作用於橋面版，因此為橋梁結構體最直接且最主要之振動來源，然而不同車輛特性（車型、車重、車速等）引致之振動具有不同頻率特性與振幅等級，當車重或車速太小時，可能僅引致橋面版之局部振動，無法使橋墩~土壤互制系統整體產生顯著振動，而使所量測到之振動反應僅能呈現上部結構（如橋面版）之特性或車輛本身之機械特

性，而無法呈現橋墩~土壤互制系統之特性，因而無法有效反映橋墩基礎之沖刷裸露狀態。

(2)水流引致振動：水流衝擊橋墩而引致橋墩~土壤互制系統產生整體振動，故較能呈現基礎之沖刷裸露情況，且其引致之振動振幅也間接反映了水流作用於橋墩之衝擊力大小，能藉以判斷洪水強度。但於一般情況下，其所引致振動之振幅等級小於車行振動，因而容易被車行振動所掩蓋。

(3)環境微振：除了上述兩個較主要的振源之外之其他自然或人為活動，在地表附近地層中不斷地振盪疊加形成的信號，不僅隨處可得，且涵蓋了各種頻率範圍，若其由地層經由橋墩基礎傳遞至上部結構，便能展現出橋墩~土壤互制系統之特性，藉以判斷基礎沖刷裸露情況。然由於其振幅太小，在橋梁監測中容易被車行及水流引致之振動蓋過，僅於橋墩位於高灘地且在車流甚少的時段能夠有效測得。

4. 儀器設備

(1)振動感應器：應依照目標振源所引致橋梁產生之可能振動量，選擇量測範圍適當之速度計或加速度計，並配合具足夠解析度與取樣率之集錄設備進行量測。一般而言，橋梁在車流通行之情況下，以重型車輛（砂石車、貨櫃車、大型吊車等）通過所引致之振動量為最大，橋墩頂部之振動速度約可達到 $0.2\sim0.3\text{ cm/s}$ 左右，加速度可達 $5\sim10\text{ cm/s}^2$ 左右，橋面版中點之振動量將更大，但依橋梁結構型式不同，振動等級將有所差異；水流引致振動則隨水位高低而有所不同，通常會較車行引致振動為小；環境微振具有最小的振動量，故所採之振動感應器需要具有較高之靈敏度。

(2)集錄系統：建議採 12-bit 以上（若針對環境微振建議採 16-bit 以上），並應能調整訊號增益(gain)程度，以提供合理之解析度與量測範圍。此外，應提供即時監看振動訊號之功能，藉此於量測中

確認訊號是否正常。取樣率應可支援至 100Hz 以上，則由歷時資料所求頻譜最高有效頻率為 50Hz，足以涵蓋一般橋梁結構自然頻率範圍。

(3)資料傳輸線：振動感應器連接至集錄系統之資料傳輸線，應有適當之屏蔽及保護，以避免電磁雜訊干擾及受拉扯而損毀。

(4)電源供應設備：進行現地橋梁檢測時，現場通常無可用電源，應準備可靠穩定之電源供應設備，如蓄電池或發電機等。

5. 量測配置

進行振動量測時，應針對橋梁上部結構振動反應明顯處為之。其中，雖然橋面版中點常為橋梁上部結構振動最大之位置，但該處之振動反應特性常被橋面版之局部振動模態所控制。為能有效展現整個橋墩~土壤互制系統之特性，藉以判斷橋墩基礎是否發生沖刷裸露，檢測時建議以各橋墩對應之帽梁位置為主要量測位置。對於同一振源，帽梁與帽梁上方對應之橋面版位置振動反應之歷時變化與頻率特性大致接近，故當帽梁不易到達時，可以該位置作為替代施測點，但仍須根據其支承型式研判其可行性。

考慮到現場施作之方便性，振動感應器建議裝設位置如圖 5.17 所示。進行檢測時，建議同時量測水平車行方向（HL 向）、水平橫向（HT 向）、與鉛垂向（V 向）等三方向振動，以完整掌握結構行為，藉此對橋墩基礎狀態作合理之評估。

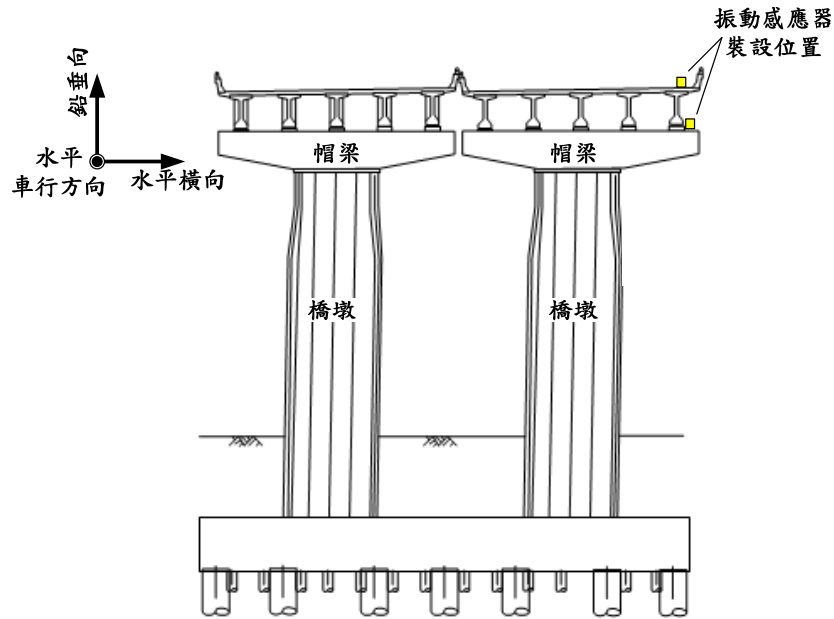


圖5.17 振動感應器裝設位置之示意圖^[21]

6. 施作步驟

- (1) 事先選定施測橋墩位置，並進行初步量測規劃，以概估所需設備數量（感應器數量、集錄系統頻道數、傳輸線長度等）。
- (2) 架設集錄系統與電源供應設備，並於施測橋墩之帽梁（如設置有工作通道或出動橋檢車而可到達帽梁時）或對應之橋面位置，以適當措施固定振動感應器。
- (3) 連接資料傳輸線，並逐一輕敲感應器，以確認訊號是否正常。
- (4) 觀察振動訊號，研判感應器量測範圍是否合理，若有訊號小於量測範圍太多或超出量測範圍之情況，應適當調整訊號增益程度。
- (5) 振動訊號取樣率應至少達 100Hz，連續記錄至少 5 分鐘，以掌握振動反應之依時變異性。可記錄兩筆以上之資料以確保其正常可用。
- (6) 量測過程中，應持續觀察振動訊號是否正常；此外，應詳實記錄當時之水流與車流狀況，必要時可輔以同步攝影記錄。

- (7)若需量測單純由水流或環境微振引致之橋梁振動反應，應於量測時施行適當之交通管制措施，以避免車行振動之干擾。
- (8)量測完成後應於現場確認資料是否正確儲存，確認後方可撤除設備。
- (9)施作過程中，應遵守橋面作業之相關規範與準則，以確保人員安全。如作業範圍應設置圍籬、交通錐、警示燈具等管制措施，人員應著安全帽與反光背心。若需攀爬工作通道至帽梁作業，另應遵守高空作業規範，並配戴適當之安全索具。

7. 量測時機

- (1)初始檢測：選定目標橋梁後，首先應進行前期初始振動檢測，針對各個可能發生基礎受沖刷裸露之橋墩，進行較完整嚴謹之振動檢測，並配合目視檢測或其他沖刷檢測技術，建立各橋墩之基本振動特性與基礎狀態之關係，作為後續檢測之評估基準與參考。
- (2)定期檢測：於每年汛期來臨前，應針對各個可能發生基礎受沖刷裸露之橋墩進行定期振動檢測，並與初始振動檢測結果進行比較，幫助瞭解施測橋梁之基礎狀態，作為汛期橋梁管理之參考；於汛期結束後亦應施測，以掌握橋梁基礎在汛期當中是否受沖刷裸露，作為判斷是否需要進行加固補強之輔助依據。
- (3)針對特定事件之檢測：當颱風或豪雨等可能引致洪水之特定事件即將來臨之前，應針對各個可能發生基礎受沖刷裸露之橋墩進行振動檢測，瞭解橋梁基礎於事件前之狀態，作為該橋梁於洪水時之警戒管理依據；事件中應配合水位狀況，於必要時機針對基礎已受沖刷裸露或有受沖刷裸露危險之橋墩進行振動檢測，即時掌握橋梁基礎現況，作為緊急應變之參考，掌握管制疏散之時機；事件後亦應施測，輔助瞭解橋墩基礎在洪水中受沖刷裸露之嚴重程度，作為擬定後續作為（持續管制、開放通行、進行補強等）之參考依據。

5.2.3 流速檢測技術

旋杯式流速儀乃利用水流速度及旋杯的轉軸轉動次數成一比例之原理而推測流速，因此將流速儀置於河中於一定時間內量測轉軸轉動次數即可得知流速。轉軸轉動次數可經由連接室(contact chamber)產生之電流轉換為聲響經由耳機接收而得知。流速儀可分為兩種即為水平軸流速儀(Horizontal-Axis Current Meter)及豎軸流速儀(Vertical-Axis Current Meter):

5.2.3.1. 儀器種類介紹

1. 水平軸流速儀

目前常見的水平軸流速儀有 Ott，Neyrpic，Hasell，Hoff 和 Braystoke 等形式。Ott 及 Neyrpic 產於歐洲並被廣泛使用於歐洲。Hasell 和 Hoff 則為美國發展出來的流速儀但只使用於一限定的範圍，至於 Braystoke 流速儀則普遍使用於英國。

2. 豎軸流速儀

現今為美國地質調查所所廣泛使用的豎軸流速儀為普萊氏流速儀(AA 流速儀)(註:此一形式流速儀亦為臺灣水利單位所普遍使用)，標準普萊氏流速儀一 0.127 公尺直徑的轉軸和六個 0.005 公尺裝在不銹鋼上的圓錐形轉杯，而框軸承則支撐此轉軸。接觸室內則有轉軸的上半部及依附於連接桿(binding post)的貓鬚(cat's whiser)。轉軸如轉動一圈則位於轉軸上離心接觸就會接觸到連接於貓鬚末端的小珠子而產生電流。另有一分離的減數齒輪可使轉軸轉動五次方產生電流可用於河川流速較快時使用。至於其尾片則保持流速儀指向水流方向。除標準 AA 型流速儀外，另有一 AA 型流速儀於量測低於流速時使用。此改良型流速儀減少了摩擦力，但建議使用於斷面平均流速小於 1ft/s 且流速介於 0.2 至 2.5ft/s 之間。此外普萊氏縮小型流速儀是標準 AA 型流速儀之 2/5 倍大但無尾片於低水位時使用。

3. 光學流速儀

光學流速儀，主要用於量測明渠水面流速並且可避免將儀器置於水中，也因此光學流速儀只能量測河流表面流速並不能取代目前傳統的流速儀，但可應用於洪水發生時或河水流速太快、含有岩石、泥砂等懸浮固體以致於傳統流速儀無法應用時測得河川水面之流速。但此儀器價格較昂貴，其維護較不易，且其用於天然河川之適用性尚待進一步評估。

4. 聲波杜普勒流速剖面儀

聲波杜普勒流速剖面儀(Acoustic Doppler Current Profile, ADCP, ADP)為新近發展作為量測水流速度剖面的儀器。基本上，其係利用一聲納發射器(transmitter)發出一固定頻率的聲束入射於水體中，當水體中之散射子(即懸浮微粒子)以幾近於水體速度通過聲束時，呈運動狀態之懸浮微粒子乃反射聲束而呈現回聲(echo)，由於杜普勒效應的影響，此回聲之頻率與原入射狀態之聲束頻率者不同。因此，若吾人使用特殊之聲納接收器(receiver)予以接收回聲，並分析其頻率或相位之變化，即可量測得水流的流速。ADCP(ADP)與傳統測流儀之最大不同點在於能夠同時進行多點量測，並進而完成流速剖面的測定，而一般傳統儀器皆僅能進行單點量測。

5. 超音波流速儀

聲波全斷面式流速儀 ACM (Acoustic Current meter) 為非機械式的流速儀以 2 或 3 組正交的感應器量測流速與方向。ACM 的原理為取一固定距離，即音源至接收器的距離，發射短波、高頻 (MHz) 聲波，量測聲波傳送時間延遲，而推得流速。

6. 影像 PIV 流速量測

影像量測法係以流場表面粒子移動時瞬間攝得不同影像之粒子位移推估流速，亦簡稱顆粒影像測速法(Particle Image Velocimetry, PIV)。其根據影像取得來源可分為空照攝影法與地面攝影法，其優

點在於可獲得空間的流場分布且不會干擾流場，空照攝影法可取得較大範圍的流場分布，但所費不貲，且對於突發洪水機動性不足，因此由河岸或橋梁取得河面影像計算表面流速為流量測量上一可行之方法，但由河岸獲得側視影像其影像變形較大，需從事較複雜之影像尺度及復原的校正。以影像相關法分析水面漂浮物、氣泡或波紋的漂移計算表面流速是量測洪水流常見的方法，由於地面攝影影像變形甚大，故在相關分析之前需對原始影像座標校正。經處理校正後，獲得實際物理平面的影像，再利用影像間的相關分析，計算各影像區間像素點的相關值確定其移動位置(PIV)後獲得表面流速。

7. 脈衝式微波雷達流速儀

流動的自由水面上因風力的作用或水流本身的紊流作用會產生微小的表面波紋，此微小波紋的波長尺度約為 1~2cm，當水流流動時此波將隨水體表面流移動，因此可將小波之速度視為水流的表面流速，杜普勒雷達即利用微波雷達(頻率介於 10~18GHz 之 X 或 Ku 頻區間)偵測水流表面雷達回波產生布拉格(Bragg)效應，獲得水流表面毛細波之速度，視為水流表面流速。

以上較為可行之五種流量觀測儀器針對儀器之操作方式、即時性、量測範圍與精度、人力需求、危險性、機動性及耐用性做比較(如表 5-1 所示)。

表5-1 各類流速量測儀器比較表

比較項目	旋杯式流速儀	脈衝式微波雷達流速儀	超音波流速儀	影像 PIV 流速量測	聲波杜卜勒流速儀
操作方式	操作方便	操作方便	操作簡易	操作方便	操作困難
即時性	單點測量，花費時間長，不具有即時性	即時性較高	多點即時施測，即時性較高。	需分析校正	多點即時施測，即時性較高。
量測範圍與精度	測量人員需有相當之經驗，量測之深度及水平位置難以定位，流速大於 3m/s 時儀器難以操作。	同時測得整個流場的表面流速。但量測時流速以大於 0.1m/s 之高速為佳。	感測器埋於兩岸，能夠同時求得全斷面流量。適於渠化河道，精度頗高。	野外量測，影像品質及漂浮物追蹤不易掌控。控制影像擷取時間，以應對不同流速。	可同時測深度剖面，精度高，流速大於 3m/s 時儀器難以操作。
人力需求	需多人操作儀器，並以人工方式紀錄數據，人力要求較多。	僅需操作電腦設備的人員，人力需求較少。	操作電腦設備的人員，人力需求較少。	需攝影及座標量測定位人員，人力需求少。	需多人同時固定設備，固定儀器位置及操作控制系統，人力需求較多。
危險性	人員直接暴露於惡劣天候之下危險性高。	人員位於車內或觀測站操作危險性低。	定置於河岸兩側，裝設施工期間困難度高，量測期間並無危險性。	由遠端攝影，危險性低。	人員直接暴露於惡劣天候之下危險性高。
機動性	儀器設備均可車載，機動性高。	儀器設備均可車載，機動性高。	固定埋設河川渠道兩側，不可隨意移動，機動性低。	儀器設備輕巧機動性高。	儀器設備雖可車載，但多組 ADCP 流速計同時施測所需之車輛與人員相形增加，機動性相對減低。
耐用性	為侵入式量測儀器，易受水中雜物撞擊破壞，損壞率高。	為非侵入式量測儀器，損壞率低。	為侵入式量測儀器，故當儀器高於水位時，儀器訊號探頭會使用不當容易老化，進而損壞失效。	為非侵入式量測儀器，損壞率低。	為侵入式量測儀器，易受水中雜物撞擊破壞，損壞率高。
系統價格	NT\$10,000	NT\$540,000	NT\$1300,000	NT\$4,700,000	NT\$1,800,000

臺灣水利單位目前常使用之超音波流速儀為侵入式量測儀器，且量測流速需由水當作媒介，才能獲得資料，當長期觀測排水於低水流量時，儀器沒有水當作訊號傳遞媒介，其訊號探頭會使用不當容易老化，進而損壞失效，此部分將會造成儀器費用上之負擔，故建議不選用超音波流速儀，初步建議使用脈衝式微波雷達流速儀。

5.2.3.2. 脈衝式微波雷達流速儀

1. 特色與適用範圍

脈衝式微波雷達流速儀，流動的自由水面上因風力的作用或水流本身的紊流作用會產生微小的表面波紋，此微小波紋的波長尺度約為 1~2cm，當水流流動時此波將隨水體表面流移動，因此可將小波之速度視為水流的表面流速，杜普勒雷達即利用微波雷達(頻率介於 10~18GHz 之 X 或 Ku 頻區間)偵測水流表面雷達回波產生布拉格(Bragg)效應，獲得水流表面毛細波之速度，視為水流表面流速。因其操作方便、即時性高、可測得整個流場之表面流速、人力需求少、危險性低、機動性高及耐用性強損壞率低，圖 5.18 所示為脈衝式微波雷達流速儀。



圖5.18 脈衝式微波雷達流速儀

2. 儀器設備

- (1)雷達波流速儀
- (2)資料記錄器
- (3)蓄電池
- (4)固定架

3. 施作步驟

- (1)於橋梁護欄或欄杆上設置一 L 形支架，較短的一邊固定於橋梁護欄或欄杆之固定底座上，較長的一邊向排水道中央延伸，另設有一斜支架支撐 L 形支架，加強支架及儀器穩定度。
- (2)伸向排水道中央之支架頂端設置流速計，儀器需調整至水平，旁邊設置另一個儀器箱，箱內設置蓄電池及資料記錄器，將擷取之流速資料傳輸線連接至記錄器上，設定記錄器時間。

4. 案例示範

圖 5.19~圖 5.23 為脈衝式微波雷達流速儀之現地應用狀況^[24]。



圖5.19 儀器器材準備



圖5.20 儀器架設



圖5.21 儀器架設



圖5.22 排水現況



圖5.23 儀器撤收情況

5.2.4 冲刷深度检测技术

為了要觀察河床及湖泊水體深度、沉積物中的分布、水底地形及其下的地質構造等問題時，以往工程上量測時常用一些簡易的方法。例如插竹竿的方法，在測線等間距位置下用竹竿或以線懸物量取水面至河床的深度，再將其內插而得到測線下之河床的剖面，此法不僅耗時且人為誤差較大，所得之資料為一個點在水面位置及深度。欲獲得一連續水底起伏剖面，量測時，測點的間距不宜太大。且在船或橡皮艇上量測時，由於水流及水波動，常造成位置定位受影響，加上竹竿或以線懸物量測時竹竿或線難保持垂直於水體底部之地層或竹竿、懸物穿過水體下之沉積物，會造成度量之深度有誤差，如欲精度較高之水下資料需尋找其他經濟及快速方法。

臺灣每年七、八月間受到颱風侵襲，造成生命及財產損失，而政府之重大建設也受到嚴重影響。颱風來襲時，除了帶來強風之外也伴隨著豪雨，造成河水暴漲，流速增加，橋梁結構也因此受到破壞。等河水面下降時，經常可發現橋梁基樁部份裸露情形。

除了傳統的重錘式冲刷深度計外，在河水面上利用聲納、透地雷達或地電阻法(參考 5.1.2 電阻率影像剖面探測)，不僅可得一連續水底起伏剖面，也將橋梁基樁所在位置的河床剖面完整描繪出來，以此可判定橋梁基樁被河水冲刷之情形，提供給土木工程師判斷橋梁結構上是否安全。

1. 重錘式冲刷探測計

重錘式冲刷探測計之原理是藉由重錘自由落下時牽引一捲取器，此捲起器內有一數位編碼器，當此重錘由馬達上下捲動時，編碼器便有一數位訊號輸出，經由微電腦控制器讀取此資料，並經過計算得出重錘上升下降之距離。如圖 5.24 所示。

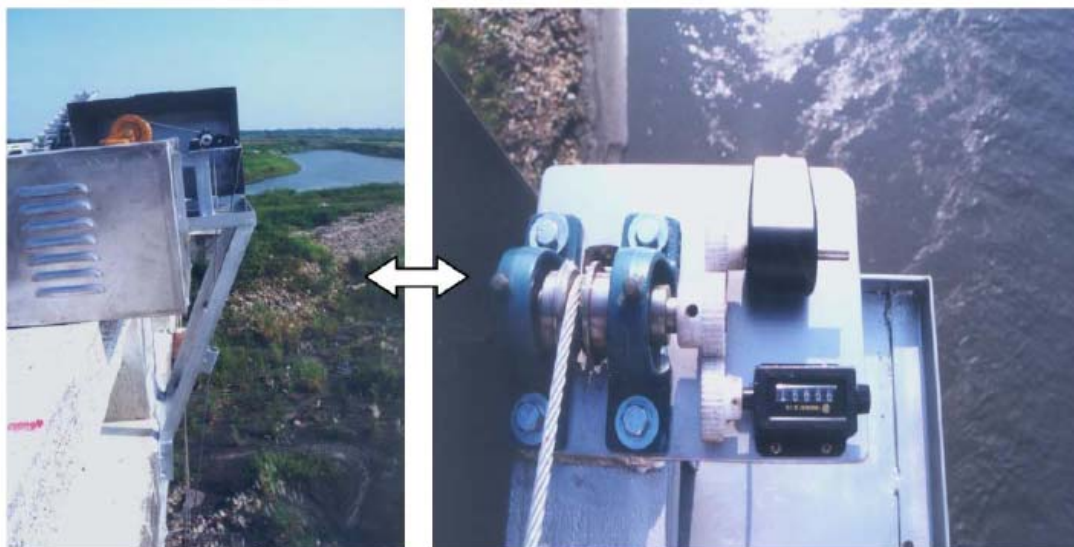


圖5.24 重錘式沖刷深測計

(來源：橋基沖刷災害與相關之維護管理(2)－橋梁沖刷監測預警系統及其功能評析)

當水流流速較大時，測錘線於水中通常會被水流沖成弧形，而無法得知其垂直水深，所以當垂直夾角在 36° 以上時應更換重錘重量，且由測錘線與垂直所形成之夾角加以修正以得正確之水深。

重錘式沖刷探測計的構造簡易，價格便宜，可量得測量時之沖刷深，無法測得最大沖刷深度，但只適合於水流速度在 6m/s 以下並配合捲揚器或電動絞車方可進行測量，量測可信度也較低。

2. 聲納探測

為了要觀察河床地形起伏的分布，聲納回聲探測儀是很好的工具，其利用持續不斷的水中聲波源釋放能量，當聲波遇到聲波阻抗 (Acoustic Impedance) 不連續的介面所產生反射振幅及相位變化資料，會由受波器接收，經記錄器繪出，可以推知河床下地層的資料。

3. 透地雷達

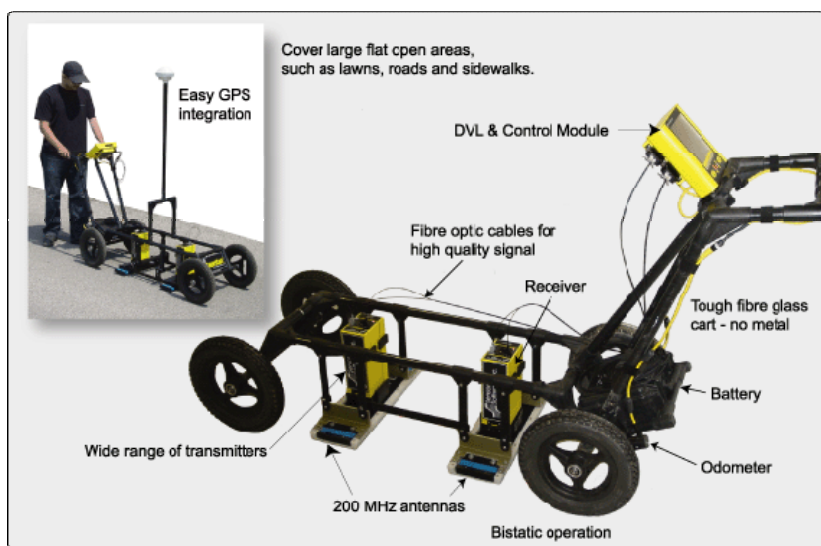
透地雷達法因具高解析度且測勘迅速的優點，被廣泛應用於冰凍層研究、地下管線探測、地層描繪、地下水偵檢及污染調查等。

近年來其應用研究擴至鋪面、橋梁、水下沉積物、廠址等土木工程結構之非破壞檢測及探礦等，受到土木界、採礦界及地球物理界的重視。透地雷達可補測深儀之不足，因為測深儀施測時需最低水深之限制，且聲納的 SENSOR 需放置在水面下，若現地河床淤積的情況，部分區域並不適合聲納之施測模式，建議利用透地雷達（不需放置在河面下且高解析度之優點）技術於河床斷面之量測。因透地雷達法運用於河床斷面量測具有便捷性、準確性之特性，因此採用此法進行河川斷面量測，擺脫傳統河床量測方式。量測建議採用天線頻率 900 MHz、450 MHz 與 200 MHz 等三種天線進行交叉比對量測，選擇較佳頻率之天線運用於淺層河床斷面量測可達測深、高解析之效。透地雷達測量冲刷深度如圖 5.25 所示。此三種儀器之比較如表 5-2 所示。

現今應用於水中物體偵測技術主要為聲納系統。聲納(Sonar)為 Sound Navigation Ranging 之縮寫，意思為利用聲波做為導航與測距的工具。聲納偵測目標物的原理，是利用聲納儀器上之發射器(Transmitter)的發音設備發出脈波(Pulse)，再由接收器(Receiver)接受目標物之反射波，由於水中聲速約為每秒 1500 公尺，可量測出聲波在水中來回之時間差進而推算出目標物的距離。

水下探測與搜尋之探測儀主要有單音束探測系統、多音束探測系統及側掃聲納系統。單音束測深系統與多音束測深系統是把儀器架在工作母船上，採固定式向下發射，探測距離是以母船作為基準向下探測，而測深儀之音鼓(Transducer)以電力為動力來源，由電壓大小控制音鼓產生形變，藉此形狀的改變產生壓力波震動水體發出聲波訊號，常見的音鼓以陶瓷(ceramic)或鎳合金(nickel-alloy)為材料製成，其形狀大多為圓柱、橢圓柱或長方體。音鼓之作用除發射聲波外亦接收反射訊號，當音波穿透水體到達海底反射後由音鼓接收，此時音鼓感受水體的震動將波能轉換成電能，即可計算出聲波往返於船底與河床之所需時間，以時間之半乘以聲速即可得知當地河床之垂直水深。

透地雷達儀器組



野外施測圖



透地雷達影像剖面圖

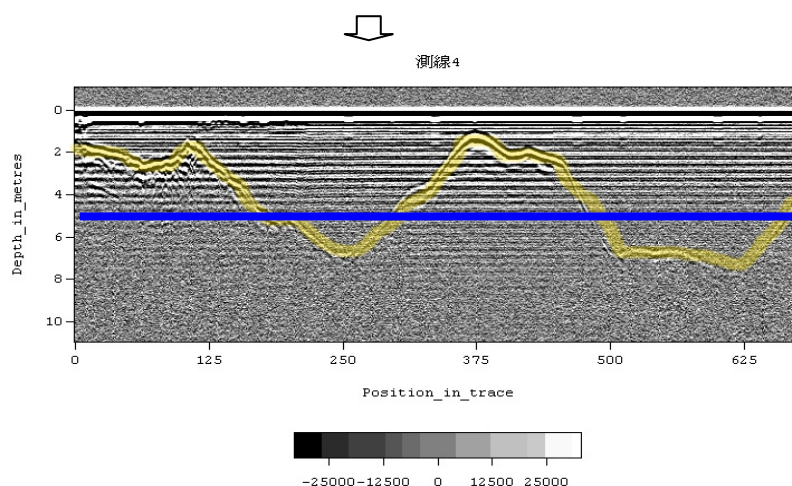


圖5.25 透地雷達系統於水面施測河床斷面沖刷示意圖

側掃聲納是以工作母船拖曳著拖曳魚，所以其探測距離可以增加拖曳繩長度，而增加探測距離，但因為拖曳式在水中穩定度較差，故在淺水域其影像定位準確性沒有單音束或多音束探測系統來的好。

1. 儀器設備

(1)GPS 定位系統

(2)雙波道聲納測深儀(Odom CVX2 型之測深系統與單波道勞倫斯簡易聲納)

(3)音鼓 (Transducer) ---33 kHz 或 200 kHz 兩種的探測頻率

2. 施作步驟

以美國生產之 **Odom CVX2** 型之測深系統為例：

(1)**Odom CVX2** 型之測深系統所採用之音鼓有 33 kHz 或 200 kHz 兩種的探測頻率，其中 33 kHz 之音束發射角度為 23° ，可探測的範圍較大但辨識率較差，適合初步或大範圍探測使用；而 200kHz 具有較小的音束發射角度 5° ，有較佳辨識率但探測範圍較小。兩種不同測深頻率上的使用可視探測精度要求與時間因素搭配使用，以達最佳的測深效率。資料儲存方面則以 RS-232 連接線與電腦相連接，將 GPS 衛星定位座標與測深儀水深資料同步接收儲存至主機。

(2)等深線圖的描繪，將所收集之水深資料以 suffer 繪圖軟體之 kriging 繪製深線，由於等深線的繪製過程是以內插計算的方式將水深資料不足處補齊再進行繪圖，故所繪製之等深線圖的準確度與測線密集度有很大的關係。若是水深資料不足，則大部分水深皆是由內插計算而得，以此繪製的等深線就失去其真實性與精確度，故測線的密集度需視所要求之量測精度而調整，以求達到精確不失真。

(3)探測工作進行時所須注意的事項：以船體拖曳聲納系統工作時之船速，一般而言，最適宜的船速約為 2~3 節，過大或過小的船速都會影響聲學影像的品質，造成目標物影像被壓縮或拉長的現象。音鼓最脆弱的地方是底部的發射與接收體，操作時要避免手部或是其他物品對此部分的碰觸，以免造成損傷。GPS 天線的架設要保持鉛直，並且要量測天線位置與船尾的水平距離，以利後續聲學影像的拼圖定位工作。此外，當側掃聲納系統與測深儀同時使用時，會因頻率的因素而互相干擾。

表5-2 各類沖刷檢測儀器之比較

儀器 比較項目	重錘式 沖刷探測器	聲納探測	透地雷達
操作難易	簡易	複雜，需搭配水上作業人員船隻	複雜，需搭配水上作業人員船隻
即時性	較即時	無法即時	無法即時
量測精度	低，容易受水流影響量測精度	視聲納儀器等級而定，多頻道同時檢測之精度最高	高，且連續性好
操作限制	較少，亦可於颱風事件中可進行量測，但可能造成儀器損毀	1.顧及人員安全，無法於颱風事件中進行 2.無法於河道水深小於1公尺之情形施作	1.顧及人員安全，無法於颱風事件中進行 2.會受水中鹽分影響量測結果，故無法於靠海處施作
人力需求	低	高	高
危險性	低	較高	較高
機動性	僅能定點	高	高
費用	低	視聲納儀器等級而定，多頻道同時檢測之費用最高	高

5.2.5 冲刷監測系統

現今國內外已有很多的研究來進行冲刷相關監測系統之開發，例如美國 NCHRP Report396^[25]、397A^[26]、「光纖與光柵用於橋梁監測之研究」^[27]、「高科技橋梁冲刷監測系統開發與技術整合應用研究」^[28]等研究，針對現有冲刷監測系統包括表面型、埋入式或透過非接觸式進行量測之方法進行研究，本研究將彙整現有之各項冲刷監測器，並就其即時性、回淤監測、惡劣河域環境工作性、數據分析、安裝難易度與費用等六項作一比較(如表 5-3 所示)，表中各個比較項目說明如下：

3. 即時性：儀器是否具有即時監測的功能。
4. 回淤監測：能否監測出回淤的深度。
5. 惡劣河域環境工作性：在有流木、石塊或泥砂混濁的河域中，量測數據、訊號品質的好壞。
6. 數據分析：監測所得到的數據，需要經過簡單或困難的判讀程序才能得知冲刷深度。
7. 安裝難易度：安裝監測計時是否需要開挖河床或是鑽孔，若需要則會增加施工的困難。
8. 費用：整體設備的價格以 100 萬為界，超過即算昂貴。

根據比較結果發現，壓電重力式的冲刷監測器^[29]具有施工方便、費用低、可即時監測以及監測回淤狀況等絕大多數之優點。

表5-3 各類沖刷監測器之比較

沖刷監測器	即時性	回淤監測	惡劣河域環境工作性	數據的分析	安裝難易度	費用
橋址磚塊	低	無	佳	需要	難	高
聲納	高	無	差	不需	易	低
透地雷達	低	無	差	不需	-	低
電磁式(時域)反射儀 TDR	高	有	-	-	難	低
磁性滑動套環	高	無	佳	需要	難	高
光纖沖刷監測計	高	有	佳	需要	難	低
水下相(攝影)機	高	有	差	不需	易	低
重力式沖刷計	高	無	差	需要	易	高
溫度式沖刷監測計	高	有	-	-	難	高
壓電片沖刷監測計	高	有	佳	需要	難	高
導桿式重力錘沖刷計	高	無	佳	需要	難	高
埋入式振動感應監測計	高	有	佳	需要	難	高
微機電壓電感測沖刷監測計	高	有	佳	需要	難	-
重力式壓電片沖刷監測計	高	有	佳	需要	易	高
-：中等/無法比較						

重力式壓電片沖刷監測計的工作原理為利用電阻尺和壓電片的訊號來計算沖刷的深度，當探測桿因河床高程降低而下降時，連接在探測桿上電阻尺會被向下拉伸，藉由電阻尺被拉伸的長度即可知道河床高程下降的高度；當水流衝擊壓電片時，壓電片感測器會隨著水流擺動而產生的電壓訊號；被埋於土中的壓電片感測器則因靜止而無訊號產生。當重力桿未被埋在土中時，無法藉由壓電片的訊號得知沖刷的深度，需靠電阻尺得知目前探測桿所在的高程及當前的沖刷深度；當回淤產生時，探測桿部分被埋在土中，導致電阻尺所量測的沖刷深度為真實的沖刷深度加上回淤的深度，此時則可利用壓電片訊號判斷探測桿埋在土中的深度，再用電阻尺所量測到的沖刷深度減去經由壓電片訊號得知的回淤深度，即為當前的實際的沖刷深度。

詳細的原理說明如圖 5.26 至圖 5.28 所示。圖 5.26 為初始情況，重力式壓電片沖刷監測計剛安裝完成，探測桿置於河床上，此時電阻尺已被拉伸一段長度 Δ_0 我們可令 Δ_0 為當前的河床高程 $Elevation_0$ ，如式(5-5)所示；圖 5.27 為當洪水來臨時，橋墩受到沖刷，河床高程下降後，探測桿隨著河床高程下降而下滑，電阻尺也因探測桿下滑而被向下拉伸 Δ_1 ，此時的高程 $Elevation_1$ 為初始高程減去電阻尺被拉伸的長度，如式(5-6)所示；當洪水退去，流速減緩，水流所帶來的淤積量大於沖刷量，橋墩開始產生回淤，探測桿並不會再隨著河床高程變化，而是漸漸被埋在土中，此時我們則是利用壓電片感測器是否擺動作為判斷回淤深度的依據，如圖 5.28 所示，此時的高程為 $Elevation_2$ ，共有 n 片壓電片感測器被埋在土中，而每個壓電片感測器的間隔為 δ ，回淤深度(h)即為 $n \times \delta$ ，如式(5-7)，為此時高程的計算。

式(5-7)也可作為本監測計於計算河床高程的通式，適用於各種狀態下的情形，當河床在初始狀況下無產生變化時 Δ_1 和 h 都等於零，即為 $Elevation_0$ ；當河床下降時， Δ_1 為河床下降高程，而回淤高程 h 則等於零；當河床開始回淤時，若安裝後河床並無經過沖刷即開始回淤，

則 Δ_1 為零， h 為回淤深度，若河床經過沖刷後才開始回淤，則 Δ_1 為河床下降高程， h 為回淤深度。

$$\text{Elevation}_0 = \Delta \text{Elevation}_0 = \Delta \quad (5-5)$$

$$\text{Elevation}_1 = \text{Elevation}_0 - \Delta \quad (5-6)$$

$$\text{Elevation}_2 = \text{Elevation}_0 - \Delta_1 + h \quad (5-7)$$

符號說明：

Elevation_0 : 初始河床高程；

Elevation_1 : 河床經過沖刷後高程；

Elevation_2 : 河床經過回淤後高程；

Δ_0 : 安裝完成後電阻尺被拉伸長度；

Δ_1 : 沖刷後電阻尺被拉伸長度；

h : 回淤深度, $h = n \times \delta$ ；

n : 被埋在土中之壓電片感測器數目；

δ : 每個壓電片感測器；

本計畫實際執行於現地使用之沖刷監測系統成果請參閱 6.2.2.5 節。

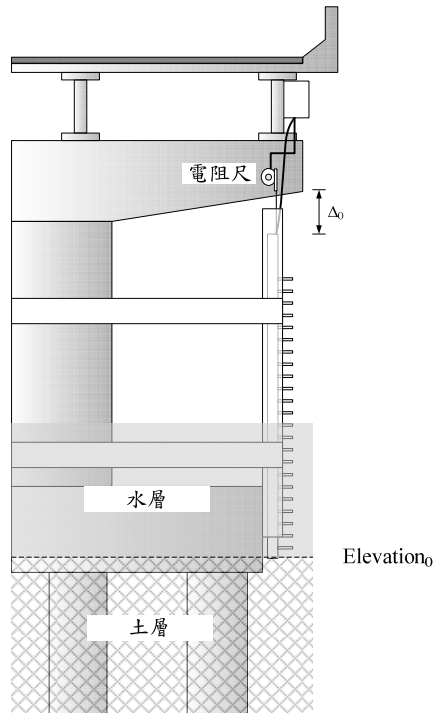


圖5.26 重力式壓電片沖刷監測計工作原理-1

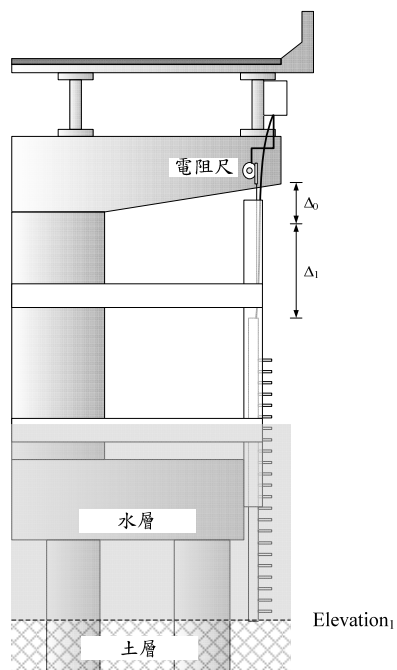


圖5.27 重力式壓電片沖刷監測計工作原理-2

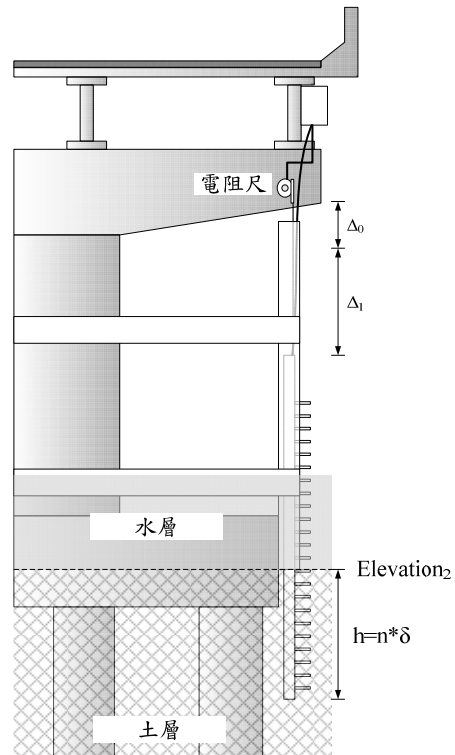


圖5.28 重力式壓電片沖刷監測計工作原理-3

5.3 河道斷面檢測技術

就目前現行之法令，橋梁上下游一百公尺之河道歸公路單位所管轄，亦即該橋梁之相關工程依法根本不需要會同水利單位來進行，因此就工程面看，即無法充分掌握該流域之水文狀態，就算工程材料夠厚實，結構設計係數夠大，若無法配合水文水理之資訊，亦難保不會出狀況。

在台灣部分河流之主河道變動的幅度很大，尤其是位於下游的河道，其主河道的位置經常因一次較大的洪水而產生變動，除此之外下游整體河道斷面之高程也容易在多次洪水後而有所改變。

此外在洪水上漲期間，由於水位及流速逐漸增加，可帶動河床的泥砂量及沖刷深度也逐漸增加，而在洪峰過去，洪水漸退的期間，水流可帶動的泥砂量漸減，泥砂逐漸落下，而產生回淤之情形，因而造成部分河床面回升。

所以能夠掌握橋梁上下游更大範圍的區域中河床沖刷流失或是堆積沉澱的狀況在洪水前後的變化，有助於我們對橋梁安全的研判。

5.3.1 傳統河道斷面量測

傳統之河道段面量測方法分成以下五個步驟施作：

1. 基樁埋設

基樁埋設則於現地依其原樁之平面坐標清查，原有可用之斷面樁則於保留，遺失者重新定位埋設

2. 平面控制:三角衛星測量(含引測)

引用內政部公告之三角點成果經檢測均符合測量規範之精度，供為平面測量之依據

3. 高程控制:(含檢引測)

引用內政部公告之水準點經檢測均符合測量規範之精度，供為高程引測之依據。

4. 河道橫斷面測量

河道斷面樁埋設完成後，以檢測無誤之一等水準點及三角點，採直接水準及 GPS 衛星定位測量至各斷面樁，計出各斷面樁坐標及高程，如圖 5.29 所示。

橫斷方向之測量應就河床高低差有顯著變化點加以測量，左堤肩為起點，往左方向為負數，右方向為正數，須符合實際斷面起伏變化，不得遺漏或簡化；以上以光波測距經緯儀為之，高程誤差固定物不得超過 5 公分，其他不得超過 10 公分。

橫斷面測量斷面間距以演算水理之資料需求為原則，縱斷面有變化處（包括寬度及高度變化），構造物如固床工、攔河堰或較大橋樑梁（需增測上橫斷面及下橫斷面）等需測量橫斷面。



圖5.29 簡易現地河道斷面量測示意圖

5.3.2 3D Lidar 河道斷面掃描

1. 特色與適用範圍

三維雷射掃描儀是一種能在短時間內快速獲取大量高精度三維點位相對坐標的儀器，且只需一個儀器立足點，即能以不接觸被測物的方式快速獲得待測物表面非常高密度且高精度的三維點位，相較於傳統測量儀器是針對待測物體表面單一特徵點進行量測的方法，三維雷射掃描儀更適用於需物體表面的測量；三維雷射掃描儀除具有快速獲得物體表面資訊以外，更解決了因觀測者所產生的人為觀測誤差；三維雷射掃描儀為主動式量測，由儀器自行發射雷射光源，在黑暗中亦可作業，對於像是在隧道的測量有極大幫助；傳統測量儀器常因為對於待測物體取樣不足，在測量工作的可靠度上易令人存疑，將三維雷射掃描儀的技術應用於空間資料蒐集、分析，可突破傳統測量受限的方法，能精確、大量、快速且連續地蒐集資料，對於分析結果更具有真正的意義及代表性。

三維雷射掃描儀掃描方式因掃描需求不同，使其設計而有不同，根據應用距離之不同，近距離的有 50 公尺以內的，主要針對小型模型、機械工程或小型古蹟等；精密測量儀器不斷更新，近距離的掃描儀器由於受地形限制，對於大範圍的地形變化、地殼變動、邊坡滑動等監測之作業均較難應用，因此更長距離的雷射掃描儀就一一誕生，並以遠距光達稱之。長距離的有 200 公尺以上甚至 500 公尺者，不但可應用於古蹟建模重構，還可針對大型結構體、科技廠房、隧道、小範圍地形監測、河道斷面量測及橋梁變形等等；也由於三維雷射掃描儀可在室內外不宜移動的、危險的、非接觸性的、不規則的、非線性的、高價值的、資產密集性的複雜目標實體或實景進行資料獲取、建模、立體貼圖

2. 原理方法

三維雷射掃描儀利用雷射測距的原理，由儀器本身發射出雷射光束，接觸到物體表面後反射再接收物體所反射之訊號，經由相位或脈衝時間差的計算，可推求出被測物與三維雷射掃描儀之間的斜距（SD），配合掃描的水平方向角（HA）與垂直方向角（VA），可推求得出每一掃描點雲與測站之水平距（HD）與高差（VD），可得到掃描點雲與掃描儀的三度空間相對坐標差值，再配合掃描角度的不同，可以計算出掃描儀中心至測點的三維坐標差，且可同時記錄回訊之強度值。而三維雷射掃描之相對坐標定位，是以掃描儀的雷射光源為原點，自成一個局部坐標系統，根據右手定則，以掃描儀的右側為 X 方向，正對目標物的方向為 Y 方向，而垂直軸方向為 Z 方向，再藉由雷射光發射和接收的時間差和相位差，計算出雷射光源與掃描點之間的距離和角度，以計算出待測掃描物點的相對點位坐標值。（如圖 5.30 所示）

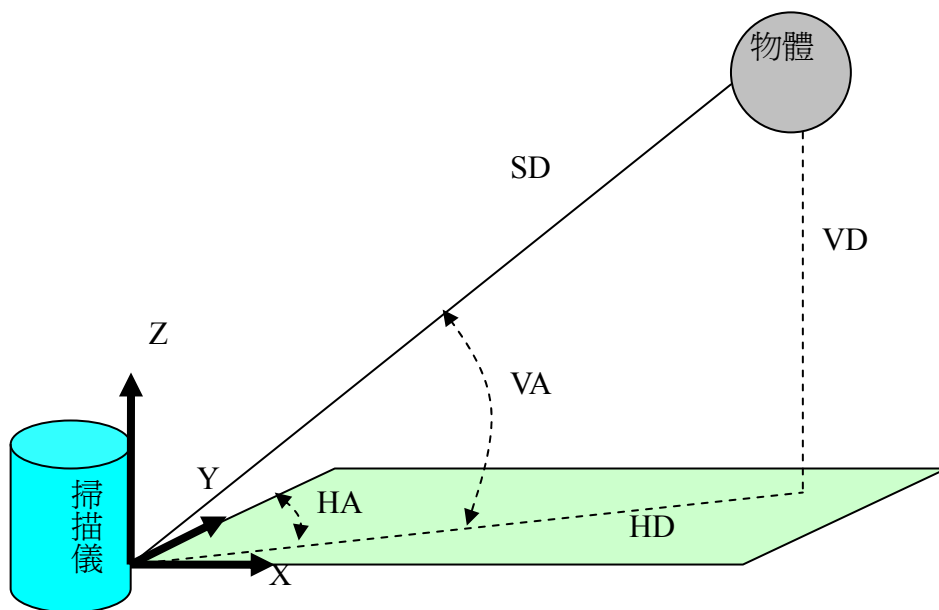


圖5.30 三維雷射掃描儀與物體間相對坐標系示意圖

三維雷射掃描儀的優點在於能在最短時間內快速地獲得物體表面大量的空間覆蓋資訊，每秒所能觀測的點位能達萬點之多，瞬間產生大量觀測資料，因此通常需連接電腦以便即時儲存資料。它提供大量且快速的點位相對坐標值，進而詳實且客觀地描述待測點位之表面特性。三維雷射掃描所得到的初步資料是均勻密佈於被測物表面的三維點雲（Point Cloud），但外型複雜的地物，例如：儲槽、橋樑等，皆須聯合多測站的觀測點雲資料才能由內業處理結合成一個完整的表面模型。當被測物無法以一次掃描涵蓋範圍完整觀測時，則需整合多個測站所產生的點雲來達成任務。然而由於各觀測站的參考坐標系統之不同，因此點雲資料的連結（Joint）並非單純的資料合併，必須找尋出參考坐標系統之間的轉換關係，才能解決資料結合的問題。

雷射波長會影響反射的能量，因此所觀測得的反射強度與波長有關，若使用近紅外雷射光會對植物有較強的反射。雷射的觀測有效距離是儀器重要的應用條件，尤其對大型地物或場景的觀測，或是無法接近的地物，皆需要較長的觀測距離。然而，距離越遠的地物觀測精度越差，若要保持儀器所宣稱的測距精度，則觀測距離需在其標準範圍內。三維雷射掃描儀的定位精度與測距精度、瞬間視角、水平與垂直角精度皆有關係，所以必須綜合這些所有條件來評估三維雷射掃描儀。三維雷射掃描儀需要兩種軟體的配合才能發揮功能，一是控制軟體，另一則是資料處理軟體。控制軟體是安裝在與掃描儀連接的電腦上，操作員可透過控制軟體的介面指定掃描的範圍、密度及一些相關的掃描功能，同時監控掃描的情形並記錄所有數據。

此外，三維雷射掃描儀所得的初步資料是均勻密佈於被測物表面的三維點雲資料尚是隱性（Implicit）資料，對於被測物並非顯性（Explicit）描述，對大多數的工程測量應用而言，需要將點雲資料進行模型化（Modeling）的處理，以便獲得被測物之物件式或圖元式的顯性描述，才能符合需求。單一測站往往無法完整涵蓋複雜或大型的地物，實測時需規劃好觀測網形，使得掃描區域能完全涵蓋整個被測物的表面。然而，點雲資料的參考坐標系統是定義於測站位置、水平

面及起始掃描方向（或磁北方向），不同測站的點雲資料具有不同的參考坐標系統，因此點雲連結的問題即是求得彼此參考坐標系統的轉換關係，或將所有點雲轉換到一個共同的參考坐標系統。

三維雷射掃描儀系統可以用來掃描任何物體或實景，進而實現三維立體資訊的採集及資料建模，特別適於不規則構成的大型目標及實景。透過三維的雷射掃描，直接將室內外各種大型目標（實體或實景）以三維資料形態的方式量化到電腦中，然後進行目標的綜合測繪、三維建模、立體編輯及分析處理等後處理工作，其主要的技術應用包含：

- (1)三維的、徹底的、直接的向量化實體目標。
- (2)大量採集之三維資料可對目標進行各種分析處理。
- (3)可對目標進行三維資料模型的重建。
- (4)提供其他 3D 設計軟體（如：Microstation）及管理軟體所需之模型及資料。
- (5)將掃描之目標物可數化後轉到其他軟體作景觀設計、照明模擬。
- (6)可利用物件重組軟體將掃描後之各零組件、殘骸物重新組合，以了解與原設計之差異。
- (7)目標物掃描數化後可提供點位比對，分析受力前後之全面變化情形。

3. 儀器設備

- (1)雷射掃描儀主機及配件
- (2)數位相機及長短距離鏡頭
- (3)操作系統筆記型電腦
- (4)資料擷取分析軟體
- (5)絕對座標定位用 GPS

4. 施作步驟

- (1) 尋得適當可通視標的物的地點
- (2) 利用三腳架或專用的升降設備以架設掃描儀
- (3) 移動至不同測站作掃描，以獲得從不同角度的掃描成果並加以紀錄
- (4) 將掃描點雲資料彙整分析後整理成完整的橋體結構與河道樣貌的三維座標資料
- (5) 配合網路 RTK 的空間定位，各個掃描測站在掃描前經過與精測過的參考點作校正後，便可得出掃描的點雲資料之絕對座標。

5. 案例示範

六龜大橋在莫拉克颱風侵襲後沒多久即被沖毀，因此藉由此此次三維雷射掃描的調查，可將六龜大橋的橋體與週遭河道、環境建置出三維彩色點雲點，並且由於各點雲資料已賦予三維座標資料，如圖 5.31 所示，故可在點雲圖上輕易的進行必要的量測動作，例如量測斷橋兩端的距離等。點雲資料另外也可以經過後處理的過濾分析而作成圖之各角度的橋體點雲圖。此外可藉雷射掃描對河道地形作一完整的掃描紀錄，對河道是否因為沖淤行為而產生地形地貌的變化，作快速又準確的判斷比對。



圖5.31 六龜大橋災後照及 3D LIDAR 掃描圖

相同的掃描及分析模式也應用於新旗尾橋及大津橋。圖 5.32(A) 為進行三維雷射掃描時新旗尾橋現場的情況，而該橋之彩色點雲圖經掃描後繪製如圖 5.32(B)。至於大津橋部份災後照片如圖 5.33(A)所示，此橋在八八水災發生時舊橋已拆除，在舊橋旁邊搭建一鋼構之臨時便橋，但經大水之沖擊後鋼便橋遭沖毀並嚴重彎曲變形。經過三維雷射掃描與初步量測結果，新搭建之鋼橋與舊橋原距離為 6.0 公尺，但經河流衝擊後，中段距離舊橋 17.05 公尺，後段距離舊橋 26.02 公尺，其於部份已沖毀。而勘驗時橋面板上仍留有許多漂流木，可以研判當時水流過橋面板，掃描成果也發現從泥沙淤積處至橋面板距離約為 6.1 m，如圖 5.33(B)所示。



圖5.32 新旗尾橋災後照及 3D LIDAR 掃描圖

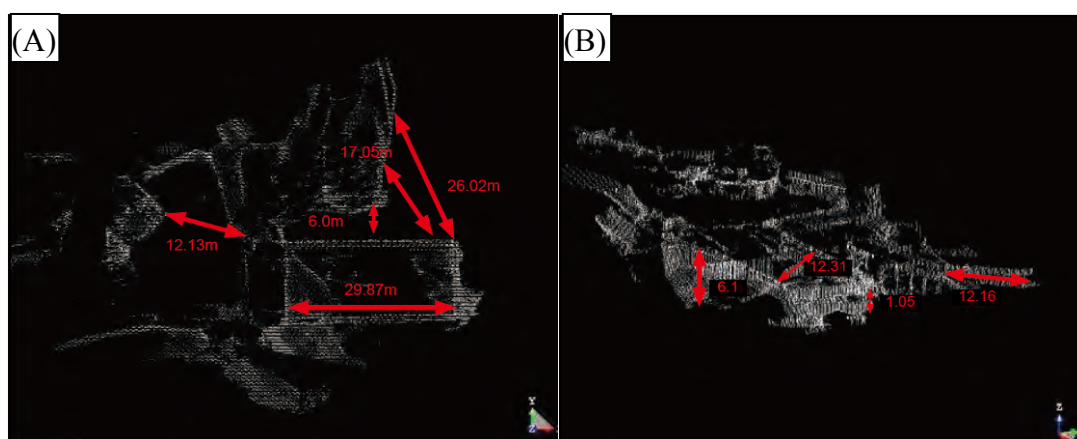


圖5.33 大津橋災後 3D LIDAR 掃描圖

5.4 材料檢測技術

混凝土組成材料複雜、製程變化多、新拌品質不穩定及硬固性質易受現場施工條件影響，造成混凝土品質變異性大。除此而外，鋼筋混凝土構件在台灣海島型多變之天候環境下，除長期承受潮溼冷熱、海域鹽害及超載重壓等循環效應外，也經常地承受突發性的地震、颱風洪水等天然災害破壞，造成鋼筋混凝土在使用期間產生不同機理的劣化損傷（如混凝土龜裂、中性化、鋼筋銹蝕及氯鹽侵蝕等），或存在著內部蜂窩、析離及乾縮裂縫等品質缺失。這些鋼筋混凝土內部材料性質的劣化損傷或品質缺失，所影響之材料性質劣化區域及劣化程度，除混凝土表面破裂、塊體崩落或空洞蜂窩等病變可由目測方式察覺外，其餘往往不容易由混凝土表面的材質變化而明確判定，因而必須藉助適當的儀器設備及量測技術加以研判，故混凝土材料性質的檢測工作比較複雜，在此根據中國土木工程水利學會出版之『橋梁檢測方法及應用』一書^[30]，提出氯離子含量檢測、中性化檢測、腐蝕檢測、鹼質與粒料反應檢測等檢測方法。

5.4.1 氯離子含量檢測

1. 特色與適用範圍

結構體處於惡劣或海岸環境中時，空氣中含有大量氯化物將隨著水氣飄移並藉由吸附與吸收現象進入混凝土中，以濃度梯度機制與混凝土內部孔隙作為傳輸途徑，使有害離子滲入結構體內部到達鋼筋表面，造成結構體內部鋼筋產生腐蝕與混凝土發生劣化現象，影響結構體安全及其服務年限。

為了解鋼筋混凝土結構物使用上的安全性與結構物耐久性之評估，可藉由硬固混凝土氯離子檢測技術與離子擴散理論模式（Fick's law），有效檢測外界氯離子滲入混凝土內部深度與氯離子含量，以評估混凝土結構物之耐久性。

2. 原理方法

本檢測法主要量測混凝土結構物於不同深度中的氯離子含量，並使用其結果計算氯離子於混凝土中的擴散係數（diffusion coefficient）。混凝土中氯離子含量之分析分為酸溶法與水溶法兩種。氯離子濃度量測採電位滴定法。氯離子擴散係數之計算為利用 Fick 第二定理擴散方程式配合迴歸分析求得。

3. 儀器設備

- (1)衝孔機
- (2)乾式切割機
- (3)研磨機與#50 篩網
- (4)加熱磁石攪拌機
- (5)自動電位滴定儀

4. 施作步驟

本檢測之施作主要分(1)混凝土取樣、(2)氯離子取樣、(3)氯離子含量檢測。分別敘述如下：

- (1)混凝土取樣
 - a. 將混凝土結構物取得之試體，使用沖孔機在其中心位置之垂直面鑽出約 2 cm 直徑的圓柱體或切割出約 2 cm×2 cm 斷面之方柱體。
 - b. 使用鑽石切刀將約 2 cm 直徑的圓柱體或約 2 cm×2 cm 斷面之方柱體，於垂直面方向切取擬檢測深度約 0.5 cm 試片。如需計算氯離子於混凝土中的擴散係數，由表面約每間隔 0.5 cm 切取一試片，需 6 片以上以便迴歸分析求得擴散係數。
 - c. 將試片利用研磨鉢磨碎，使其通過 50 號篩取得混凝土之粉末。

(2) 氯離子取樣

氯離子取樣依酸溶法與水溶法兩種需求進行取樣。

a. 酸溶法 (acid-soluble chloride ion content)

- (a) 利用精密天平將烘乾 (105 °C) 粉末秤重約 3 g 進行試驗。
- (b) 將 3 g 粉末置入燒杯並加入 10 ml 去離子水，加入磁石並放置於加熱攪拌台上進行攪拌，使粉末均勻分散於液體中。
- (c) 加入 3 ml 濃硝酸持續攪拌，並加入 50 ml 沸騰水稀釋並且持續攪拌。如果試樣含有爐石或具有硫化物之材料必須加 3 ml 的 30% 過氧化氫溶液，
- (d) 並加入 5 滴甲基橙指示劑，如果溶液酸性不夠時加入少量濃硝酸並持續攪拌直到指示劑呈現粉紅或紅色為止。
- (e) 於燒杯上蓋上錶玻璃並置於加熱平台上加熱 (250~400 °C) 至沸騰並持續一分鐘後即可移開加熱平台。
- (f) 利用 Whatman 濾紙 (#41 在上，#40 在下) 兩張進行雜質過濾。
- (g) 過濾完畢後利用沸騰去離子水沖洗濾紙，將殘留於濾紙上的氯離子洗入燒杯容器內，並避免氯離子殘留於濾紙上。
- (h) 最後溶液體積保持約為 125~150 ml 間，並蓋上錶玻璃放置室溫且無鹽酸煙霧污染的大氣中冷卻。

b. 水溶法 (water-soluble chloride ion content)

- (a) 利用精密天平將烘乾 (105 °C) 粉末秤重約 3 g 進行試驗。
- (b) 將 3 g 粉末置入燒杯內並加入 60~70 ml 去離子水，加錶玻璃於燒杯上並置於旋轉加熱平台上加熱並攪拌至沸騰並持

續五分鐘後即可移開加熱平台，放置室溫且無鹽酸煙霧污染的大氣中 24 小時冷卻。

(c)利用 Whatman 濾紙（#41 在上，#40 在下）兩張進行雜質過濾於 250 ml 乾淨燒杯內，並將殘留於錶玻璃上的水珠與原容器的殘留物利用沸騰的去離子洗入至 250 ml 燒杯裡，

(d)過濾完後再一次確實將濾紙上殘留氯離子利用沸騰去離子水洗入燒杯內（如果有使用漏斗也必須利用沸騰去離子水洗入燒杯內）。

(e)加入 1~2 滴酚紅指示劑，如果溶液不夠酸性時加入少量濃硝酸並持續攪拌直到指示劑呈現粉紅或紅色為止。如果試樣含有爐石或具有硫化物之材料必須加 3 ml 的 30%過氧化氫溶液，最後溶液體積保持約為 125~150 ml 間。

(3)氯離子含量檢測

本氯離子濃度之量測採電位滴定儀。電位滴定儀測精度達 10 ppm，且可由電腦連線記錄試驗資料。參考電極為銀/氯化銀複合電極。主要藉由電極量測滴定過程中氯離子的氧化電位，當電位突然巨幅變化時，此為滴定終點（equivalence point, EP）。由於硝酸銀溶液極易受光線干擾，因此試驗前需以標準 0.1 N 標準氯化鈉溶液標定，使用 0.1 ml 標準氯化鈉溶液進行 $AgNO_3$ 溶液標定，使用滴定終點之硝酸銀溶液滴定量，以式(5-8)求得硝酸銀溶液之體積莫爾濃度：

$$N_{AgNO_3} = \frac{0.1 \times 0.1}{V_{AgNO_3}} \quad (5-8)$$

其中 $AgNO_3$ N 為硝酸銀溶液體積莫爾濃度（mole/l）；

V_{AgNO_3} 為滴定終點硝酸銀溶液滴定量 (ml)。

氯離子含量檢測時將酸溶法或水溶法所取得之試體溶液，置於滴定儀測得滴定終點，藉由滴定終點所得之硝酸銀溶液滴定量與已知的標準當量濃度，可以計算滴定溶液中氯離子含量，計算式如下：

$$[Cl] = \frac{3.545 N_{AgNO_3} V_{AgNO_3}}{W} \quad (5-9)$$

其中 Cl 為試體中氯離子含量 (%)；

W 為試體重 (g)。

使用以上施作步驟於不同深度量測其氯離子含量，利用 Fick 第二定理擴散方程式及迴歸分析求得氯離子擴散係數，其方程式如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (5-10)$$

其中 D 為氯離子擴散係數 (cm^2/s)；

C 為氯離子擴散到所至距離之濃度或含量；

x 為擴散所到達之距離 (cm)；

t 為散所使用之時間 (s)。

式(5-10)之理論解如下：

$$C(x, t) = C_0 \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) \quad (5-11)$$

其中 C_o 為表面之氯離子含量；

$erfc$ 為互補誤差函數 (complementary error function)。利用式(5-11)

進行迴歸分析，由迴歸之方程式可得氯離子擴散係數。

5. 案例示範

本案例採 0.45 水灰比養護 91 天之混凝土試體，依據 ASTM C1543-02 (determining the penetration of chloride ion into concrete by ponding)，使用 3% 濃度 $NaCl$ 溶液進行 90 天之鹽水浸漬試驗 (ponding test) 後，依上述施作步驟及分析求得不同深度的氯離子含量列於表一。氯離子擴散係數之求法如下：

- (1) 本案例混凝土試體從表面每 0.5 cm 取一試片，共取 7 片。第一片試片之平均深度為 0.25 cm，第二片以後需考量 2 cm 鋸片厚，如圖 5.34，因此第二片試片之平均深度為 0.95 cm，以下各試片之平均深度依序計算。各試片距浸漬面深及平均深度如 0 所示。
- (2) 使用 0 之平均深度與氯離子含量繪製平均深度-氯離子含量圖 (如圖 5.35)。
- (3) 利用式(5-11)將圖 5.35 之數據進行迴歸，其中 C_o 及 D 為變數，擴散時間 (t) 為 90 天 (7776000 s)，迴歸分析之結果如下：

$$C = 0.343 \times erfc \left(\frac{x}{\sqrt{4(16.1 \times 10^{-8}) \times 7776000}} \right) \quad (5-12)$$

- (4) 由式(5-12)得知表面之氯離子含量 C_o 為 0.343%，氯離子擴散係數 D 為 $16.1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

表5-4 試片距浸漬面深及平均深度

試體編號	試片距浸漬面深度(mm)	平均深度(cm)	氯離子含量(%)
C45	0~5	0.25	0.2980
	7~12	0.95	0.1905
	14~19	1.65	0.1079
	21~26	2.35	0.0427
	28~33	3.05	0.0106
	35~40	3.75	0.0063
	42~47	4.45	0.0048

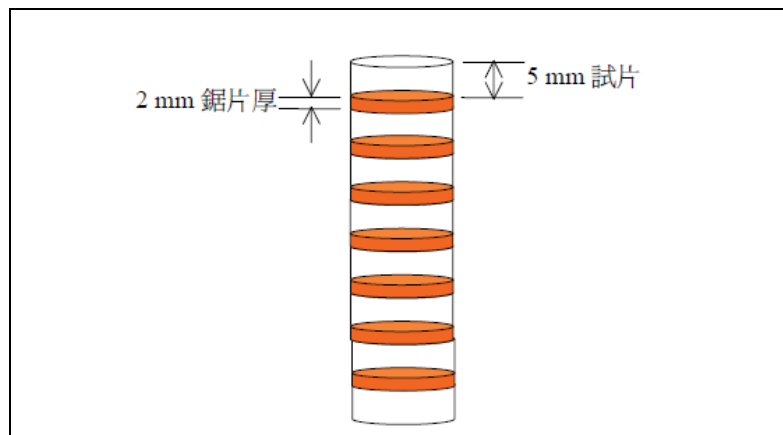


圖5.34 切取試片示意圖

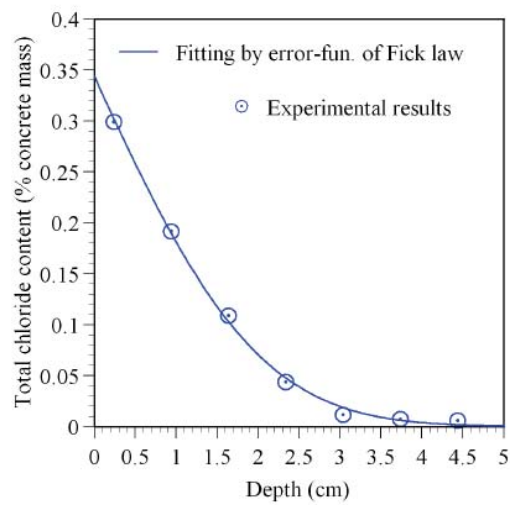


圖5.35 氯離子含量與深度關係圖

5.4.2 中性化檢測

1. 特色與適用範圍

混凝土「中性化」亦稱「碳化」(carbonation)，係指硬固混凝土中水泥水化物之氫氧化鈣 (calcium hydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$)， CH 與空氣中的二氧化碳 CO_2 在濕氣環境中起化學反應並形成碳酸鈣 CaCO_3 ，水化物中之孔隙溶液酸鹼值 pH 值因此降低之混凝土病變，其化學作用的機理可由下式表示：



一般而言，波特蘭水泥含有四種主要化合物：(1)矽酸三鈣 (C_3S) 約佔 45~55%，(2)矽酸二鈣 (C_2S) 約佔 15~35%，(3)鋁酸三鈣 (C_3A) 約佔 4~15%，(4)鋁鐵酸四鈣 (C_4AF) 約佔 6~20%。其中，水泥中的矽酸鈣 (C_3S 及 C_2S) 與水拌合後，發生水化作用，產生兩種最主要的水泥水化產物： $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_8$ (C-S-H) (矽酸鈣水化物) 及 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (氫氧化鈣)，如下列公式所示：



此兩類硬固水泥水化產物屬於鹼性材料，其 pH 值約在 12.5~13.5 之間，其中氫氧化鈣 (CH) 約佔 20~25% 體積。 CH 之化學當量極為穩定，易於形成六角形之大結晶物，可透過光學顯微鏡 (OM) 觀察。 CH 在足夠空間時才能成長，其易在水化後之水泥顆粒外圍成長結晶，形態由小型等向結晶至平板狀不等，可溶於水，有害硬固水泥之耐久性。另一方面，大氣中 CO_2 氣體約佔空氣體積之 0.03%，如能侵入混凝土中，在乾濕循環之外界環境條件下，其將與混凝土內部孔隙溶液所溶解之 CH 起中和作用，造成混凝土中性化，此過程將一直持續進行，直到混凝土內毛細孔隙溶液的 pH 值降至約 8.5~

9.0 時為止。混凝土內之 pH 值下降後，所包覆的鋼筋其表面鈍化膜將破壞，導致鋼筋銹蝕。

2. 原理方法

檢測時，在開裂之混凝土表面噴上含 1% 之酚酞指示劑（phenolphthalein indicator，以 70% 乙醇溶液配置）後，觀察混凝土裂開剖面上之顏色變化，指示劑在 pH 值 8.5 以上呈現紅色，在 pH 值 8.5 以下呈現無色。因此，未中性化的混凝土呈現粉紅色，而已被中性化的混凝土的顏色則不改變，以兩部分之分界線訂為混凝土中性化之深度，最後利用不同中性化歷程下所量測之中性化深度來評估中性化速率。

3. 儀器設備

- (1) 混凝土鑽心儀器（100 mm 中空鑽頭或 10 mm 實心鑽頭）。
- (2) 圓柱試體劈裂試驗機及中性化試驗設備（現場混凝土中性化速率檢測用）。
- (3) 刷子、清孔用吹氣筒及游標尺（現場混凝土中性化深度檢測用）
- (4) 酚酞指示劑。

4. 施作步驟

現場檢測混凝土中性化行為的方法有兩種：

- (1) 現場鑽取圓柱試體，進行中性化速率評估：
 - a. 鑽取現場 100×200 mm 圓柱混凝土試體，用塑膠袋緊密包裝。
 - b. 放置於乾燥室中，使試體自然乾燥。
 - c. 將乾燥圓柱混凝土試體置入密閉容器中，進行不同中性化歷程時間之中性化試驗。
 - d. 將已承受不同中性化歷程時間的圓柱型乾燥混凝土試體劈裂成兩半，在混凝土表面噴酚酞指示劑，觀察混凝土裂開剖面上

酚酞指示劑之變化，顏色之分界線為混凝土中性化之深度（混凝土試體取出後不能與空氣接觸太久，否則混凝土表面易再造成中性化，進而改變實際混凝土之中性化深度）。

- e. 我國國家標準目前無檢測混凝土中性化之標準規範，但可參考 JIS A1152-2002 混凝土的中性化濃度的測定方法及 JIS A1153-2003 混凝土中性化催化試驗方法。

(2)現場量測中性化深度：

- a. 在現場混凝土量測區表面依品字型分別鑽取直徑約 10 mm，深度約 40 mm 圓孔。
- b. 以刷子及清孔用吹氣筒清除圓孔內粉末，並用乾淨布將圓孔擦乾淨。
- c. 在圓孔內噴酚酞指示劑，觀察混凝土剖面之變色，以游標尺量測中性化深度。
- d. 每孔在直交的四個圓周點量測四個數據（精確至 0.1 mm），取平均值。

5. 案例示範

混凝土裂開剖面噴上酚酞指示劑後，混凝土末中性化部分之表面呈現紅色，而中性化部分之混凝土表面為混凝土原有顏色，兩種顏色之分界線為混凝土中性化之深度如圖 5.36(A)(B)所示。影響混凝土中性化速率的環境因素包括大氣中的 CO_2 濃度、溫度、相對溼度及水份等項目。在一般情況下，良好混凝土之中性化反應速率相當緩慢，若混凝土品質不佳而滲透性高時， CO_2 的濃度愈高，中性化的速率愈快；在相對溼度 55~75% 的大氣環境下，中性化速率最快；在飽和溼度下，速率最慢。長期處於水中之鋼筋混凝土結構不會發生中性化反應。基本上，混凝土中性化的深度（ d ，mm）與中性化時間（ t ，year）平方根成正比，如下列公式表示：

$$d = k\sqrt{t} \quad (5-16)$$

式中 k 為中性化係數，約為 0.25 to $1.0 \text{ mm}/\sqrt{\text{year}}$ 。

具良好品質的混凝土其最終之中性化深度約為 $1\sim 3 \text{ mm}$ ，但品質不佳的混凝土則中性化深度可達 $20\sim 30 \text{ mm}$ ，尤其是含有易被滲透之輕質粒料。中性化本身對混凝土並不造成傷害，在某些情況下，中性化作用可使混凝土內的內部應力因重新結晶而消除，之間所產生的中性化鈣可填塞孔隙以增加混凝土的抗滲透性，這些性質反而有利於混凝土的強度發展。相對而言，其對混凝土最大的傷害在於減低混凝土內部孔隙水溶液的 pH 值，混凝土內鋼筋表面之鈍化膜易因此受侵害，大大增加鋼筋受腐蝕的機率。

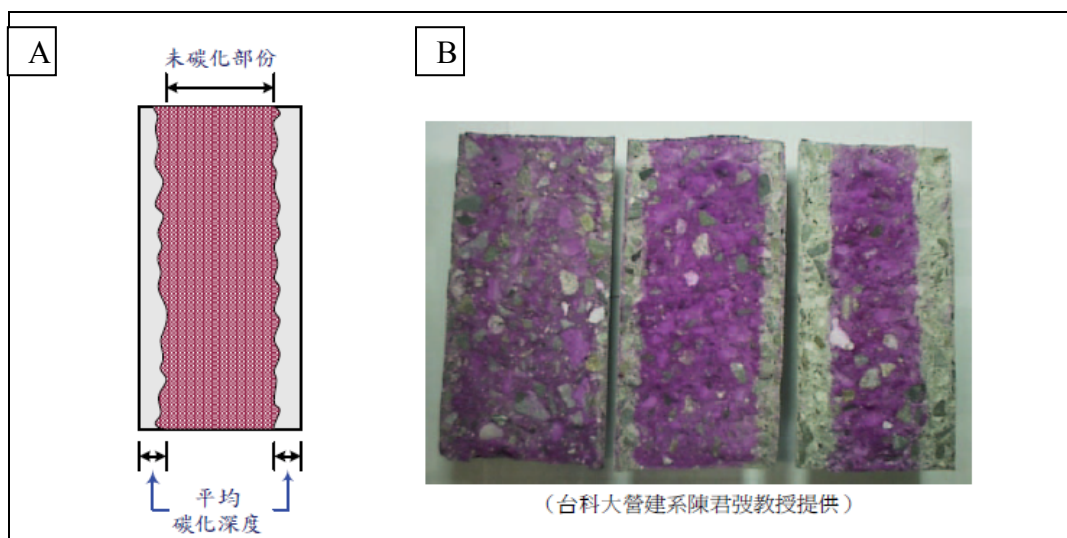


圖5.36 (A)中性化深度示意圖(B)實際試體中性化深度

5.4.3 腐蝕檢測

1. 特色與適用範圍

鋼筋腐蝕偵測可於測試區域以非破壞性方式；快速偵測並分析鋼筋腐蝕現狀，以評估結構物因腐蝕所造成之損壞程度，此偵測結果亦可作為陰極防蝕系統分布設計與保護電流供給量之重要依據。

鋼筋腐蝕偵測主要目的：

- (1) 評估混凝土中鋼筋是否有腐蝕問題
- (2) 腐蝕程度分區
- (3) 評估各區域之腐蝕程度

2. 原理方法

鋼筋腐蝕偵測可以分為腐蝕電位測量及瞬間腐蝕速率測量二種方法，前者以高阻抗電位計測量鋼筋腐蝕電位，作為鋼筋腐蝕傾向評估；後者藉腐蝕速率測試儀量測鋼筋的瞬間腐蝕速率。市售設備有些只能單獨量測腐蝕電位或瞬間腐蝕速率，有些則可同時量測得二種數據。

3. 儀器設備

可同時量測得腐蝕電位或瞬間腐蝕速率二種數據之設備，如圖 5.37(A)所示，其檢測配置如圖 5.37(B)所示。

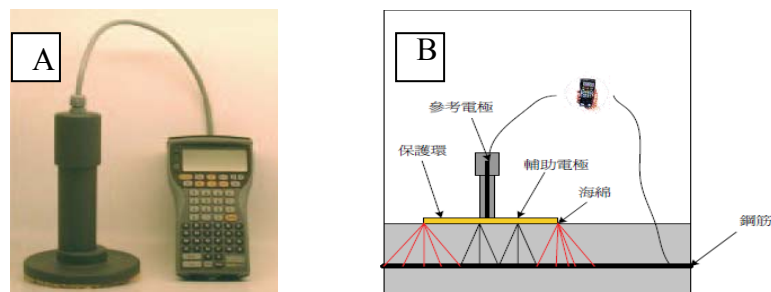


圖5.37 (A)鋼筋腐蝕偵測器 (B) 施作配置圖

4. 施作步驟

- (1)尋找適當之混凝土鋼筋露出位置。
- (2)在欲量測鋼筋腐蝕之位置上，以清水潤溼混凝土表層。並將參考電極或腐蝕速率測試探頭置於其上使其緊密接觸混凝土表面。
- (3)高阻抗電位計或腐蝕速率測試儀一端接參考電極或腐蝕速率測試探頭，另一端接鋼筋露出位置。
- (4)依設備操作手冊，進行量測。分析結果依表 5-5、表 5-6 判定：

表5-5 腐蝕電位分析評估表

腐蝕電位 vs Cu/CuSO ₄	腐蝕機率
$>-0.20\text{V}$	$<10\%$
$-0.20\text{V}\sim-0.35\text{V}$	不確定(介於 10%與 90%之間)
$<-0.35\text{V}$	$>90\%$

資料來源:ASTM C876

表5-6 鋼筋腐蝕速率評估表

腐蝕電流密度 I_{corr}	腐蝕狀況
$<0.10\text{ uA/cm}^2$	不腐蝕
$0.10\sim0.5\text{ uA/cm}^2$	低度腐蝕
$0.5\sim1\text{ uA/cm}^2$	中度腐蝕
$>1\text{ uA/cm}^2$	嚴重腐蝕

資料來源:ASTM C876

(5)鋼筋腐蝕偵測評估報告內容應包含下列項目：

- a. 被檢測結構之基本資料：名稱、構造形式、所在位置、狀況描述等。
- b. 檢測區域規劃。
- c. 檢測方法。
- d. 分析數據。
- e. 檢測區域腐蝕電位、腐蝕速率分布圖。
- f. 簡易評估。

5. 案例示範

本案例以台灣某一鋼筋混凝土橋梁腐蝕偵測評估進行檢測報告示範，該橋完工於民國 70 年代，經多年使用；且緊鄰海岸線，已有明顯劣化現象，為了解其腐蝕程度及對使用安全之影響，遂進行鋼筋混凝土腐蝕檢測評估。利用電化學技術）和可移動式探頭，由混凝土外部進行鋼筋腐蝕電位及腐蝕速率檢測，由檢測結果可測得鋼筋腐蝕電位及混凝土比電阻（ RS ）、鋼筋表面極化電阻（ RP ）及電容值（ CP ）等重要參數如圖 5.38 所示。以了解鋼筋於混凝土內的腐蝕機構。再配合電腦與特殊軟體以電化學原理計算出鋼筋之腐蝕速率如圖 5.39 所示。由檢測結果可得以下之結論：

- (1)橋梁底板鋼筋大部分已達到中度以上之腐蝕程度。
- (2)鋼筋因腐蝕而發生膨脹現象，已將混凝土撐裂並部分剝落。
- (3)混凝土剝落而外露之鋼筋，可明顯看出其腐蝕狀況嚴重。
- (4)本橋位於濱海位置，推斷其腐蝕因素為氯離子滲透所造成。
- (5)為避免腐蝕情況繼續惡化；造成安全之威脅，建議採用陰極防蝕法來抑制腐蝕狀況。

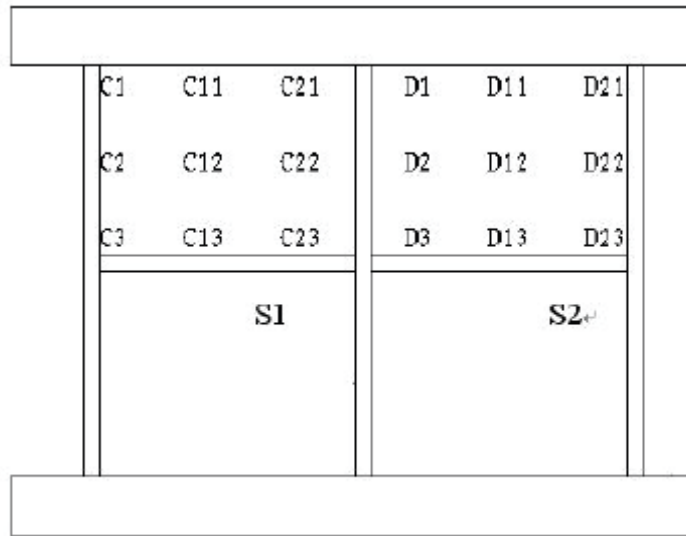


圖5.38 橋孔檢測位置圖

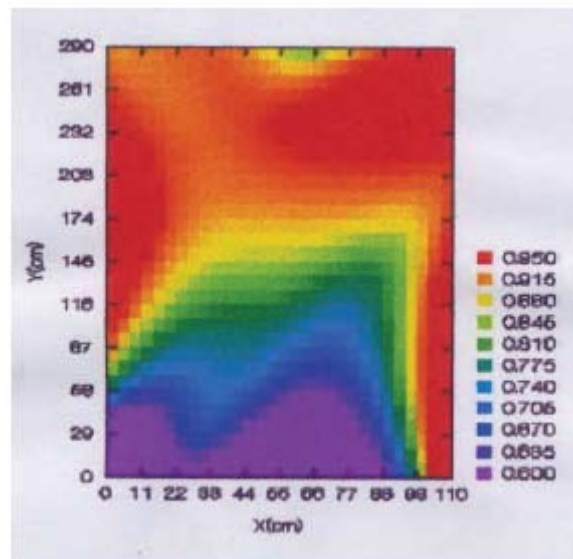


圖5.39 鋼筋腐蝕速率分布圖

5.4.4 鹼質與粒料反應檢測

1. 特色與適用範圍

國內 CNS 於 1995 才開始制定鹼-粒料反應相關之試驗方法或指引，其內容多直接參考 ASTM 標準方法。CNS 於 1996 年公告之試驗方法包括混凝土粒料岩相分析指引（guide for petrographic examination of aggregates for concrete）、粒料之潛在鹼質與二氧化矽反應性試驗法（化學法）、水泥與粒料之組合潛在鹼質反應性試驗法（水泥砂漿棒法）、碳酸鹽質岩石用作混凝土粒料之潛在鹼質反應性試驗法（岩石圓柱體法）、加速水泥砂漿棒試驗、混凝土角柱試驗、ACR 混凝土角柱試驗、及檢討卜作嵐材料抑制成效之加速水泥砂漿棒試驗。

2. 原理方法

(1) 粒料之岩相分析（ASTM C295）

不同的礦物具有不同的之光學特性，包括光譜、偏光角、晶相等，岩相分析係利用偏光顯微鏡在開放偏光及正交偏光下，針對粒料進行檢視是否含有具鹼-氧化矽反應或鹼-碳酸鹽反應之礦物，本法相當於 CNS 13617 A3353，需由具有豐富岩相分析經驗之人員操作。

(2) 粒料反應潛能之化學分析試驗（ASTM C289）

本試驗法是以化學方法測定水泥混凝土中，矽質粒料與鹼性物質的潛在反應性。取粒料通過#50 篩而停留於#100 篩上之部份，在 80°C 之溫度下，與濃度為 1N 之氫氧化鈉溶液，經 24 小時的加速反應過程，以粒料釋出之矽濃度（以 SC 表示）及鹼消耗量（以 RC 表示）的相互關係，作為粒料是否具有鹼反應性的判斷依據。其試驗流程相當於 CNS13618 A3354。

(3)水泥砂漿棒試驗 (ASTM C227)

本試驗法為針對細粒料對鹼是否容易發生膨脹反應性之測定方法，藉量測溫度控制在 $37.8 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ，且相對濕度控制在 100% 時下養護之水泥砂漿棒試體膨脹量，作為判定其潛在反應性。本法相當於 CNS 13619 A3355，判定標準為三個月膨脹量大於 0.05% 或六個月膨脹量大於 0.1%。

(4)加速水泥砂漿棒試驗 (ASTM C1260)

ASTM C1260 試驗法是根據加拿大的國家建築研究中心 (national building research institute, NBRI) 加速試驗法修改而成，加速水泥砂漿棒試驗為因應使用一般試驗方法無法檢測出鹼反應潛能的危害性粒料所設計出來的新方法，對於檢測一般試驗法無法檢測出的緩慢膨脹性粒料 (如石英岩、花崗岩、輝綠岩)，或具有晚期膨脹特性的粒料 (石英脈、變質雜砂岩) 特別有用。

(5)混凝土角柱試驗 (ASTM C1293)

由於混凝土角柱體試驗所採用的粒料顆粒較大，其粒徑之級距、配比及使用條件較接近一般現地的混凝土構造物，是最接近現場條件的試驗方法，所得之數據最具代表性。其養護環境與 ASTM C227 相同，判定標準為一年期膨脹量大於 0.04%。

(6)ACR 混凝土角柱試驗 (ASTM C1105)

本法使用的粒料大小與配比與 ASTM C1293 相同，但 ASTM C1293 主要針對具鹼-氧化矽反應 (ASR) 之矽質粒料進行試驗，而 ASTM C1105 則是針對具鹼-碳酸鹽反應 (ACR) 之碳酸岩類粒料進行試驗。其中的差異為 ASR 的試驗中將試體養置溫度為 $38 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ，相對濕度 100%。ACR 試驗則將試體養置溫度為 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ，並在試體澆置後的第一個月內養護於飽和石灰水中，之後再將試體取出置於 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對濕度 100% 的環境中養護。ASR 以混凝土角柱一年之膨脹量大於 0.04% 來判斷其具有危害潛

能，而 ACR 則以混凝土角柱 3 個月之膨脹量大於 0.015%、6 個月之膨脹量大於 0.025%或一年的膨脹量大於 0.03%進行判斷。

(7)岩石圓柱試驗 (ASTM C586)

此方法為針對碳酸鹽質岩石所設計的試驗，利用碳酸鹽質岩石在室溫下浸泡於氫氧化鈉溶液中膨脹特性，檢測混凝土粒料之潛在膨脹反應性，由於此法可提供相當快速之指標，目前已成功運用於研究工作及粒料初期篩選。

(8)加速水泥砂漿棒試驗 (ASTM C1567)

此檢驗方式在試體尺寸、試體加速反應環境(放在 80 ± 1.0 慢之 1 N NaOH 溶液)、粒料級配規定、量測方式上都大致與 ASTM C1260 大致相同。但是此標準試驗多加了對於水泥加入膠結材料的規定，目的為當水泥砂漿加入膠結材料後，對於具鹼反應性粒料的抑制成效評估。

3. 儀器設備

鹼-粒料反應性檢測試驗可以分為(1)針對粒料之性質以及(2)使用受檢測粒料之混凝土長度變化兩種類型之試驗。其使用之儀器如表 5-7 所示。

表5-7 鹼質與粒料反應試驗方法之試驗儀器設備

試驗類型	試驗方法	試驗儀器
粒料性質試驗	粒料之岩相分析(ASTM C295)	偏光顯微鏡、岩石切割機、岩石切片研磨機
	化學分析法(ASTM C289)	磨碎機、標準篩組、烘箱、鋼材或抗腐蝕材料所製 50ml 以上加蓋容器、恆溫水槽、分光光度機(波長 410nm)、磁石攪拌器
	岩石圓柱試體(ASTM C227)	岩石鑽心機、砂輪機、測微計

表 5-7 鹼質與粒料反應試驗方法之試驗儀器設備

使用受測粒料之混凝土試驗	水泥砂漿棒試體(ASTM C227)	符合 ASTM C490 規定之多槽併聯式 25mm×25mm×285mm 方柱形試體模具(有效標距 250mm)、抗腐蝕標定螺絲、水泥鋸刀、磨碎機、烘箱、標準篩組、比長儀、試體養治室
	加速水泥砂漿棒試驗(ASTM C1260)	除試體養治於恆溫水槽外，其餘同 ASTM C227
	混凝土角柱試驗(ASTM C1293)	符合 ASTM C490 規定之多槽併聯式 75mm×75mm×285mm 方柱形試體模具(有效標距 250mm)、抗腐蝕標定螺絲、水泥鋸刀、磨碎機、烘箱、標準篩組、比長儀、試體養治室
	混凝土角柱試驗(ASTM C1105)	同 ASTM C1293
	添加其他膠結材料之加速度水泥砂漿棒試驗(ASTM C1567)	同 ASTM C1293

4. 施作步驟

各種檢測試驗與現地案例調查結果比較顯示，室內試驗中以 ASTM C1293 及 ASTM C1260 的吻合度最佳。值得注意的是，ASTM C1260 的檢測標準對台灣大部分的岩種可能過於嚴苛，亦即經 ASTM C1260 判定為反應性粒料者，在現地未必發生鹼-粒料反應。鹼-粒料反應的相關檢測試驗為縮短試驗時間，常以降低粒料的粒徑（如：ASTM C289、ASTM C227、ASTM C1260）、提高溫度（如：ASTM C289、ASTM C1260）或提高鹼濃度（如：ASTM C289、ASTM C1260）以加速反應的進行，期能在較短時間內獲致試驗數據。然而以人為方式過度提升反應速率將可能導致室內試驗的反應路徑、反應機制偏離實際現地的情況。ASTM C1293 由於試體的粒料尺寸、鹼濃度、溫度與現地混凝土所處的條件較為接近，檢測結果與現地案例比較上通常也比較能相符，是最能反映現地混凝土鹼質粒料反

應的情況。故建議以圖 5.40 之流程作為台灣粒料之鹼反應性的檢測流程。

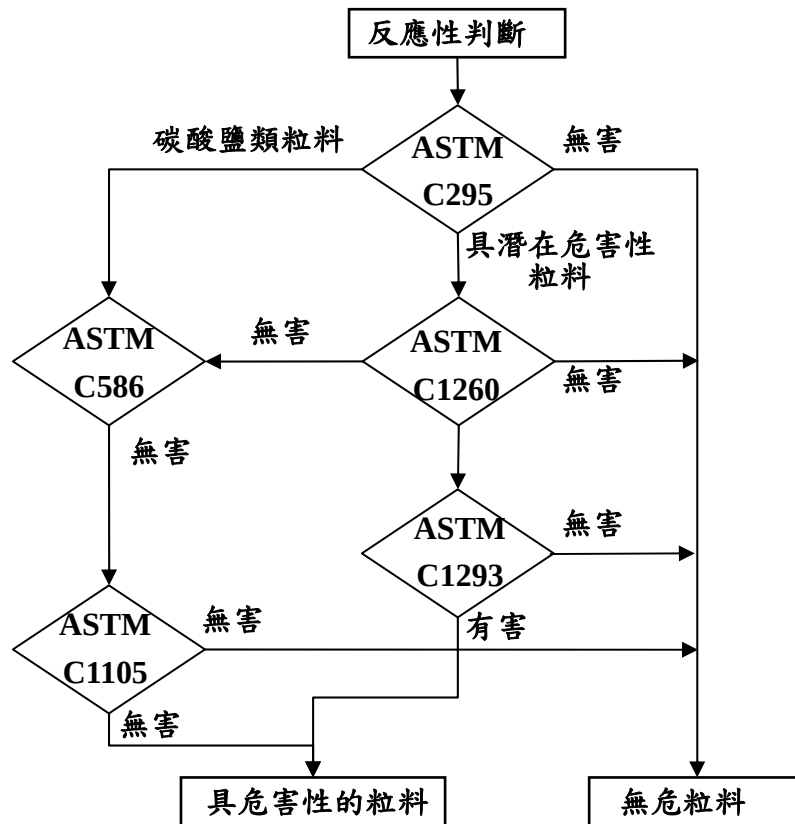


圖5.40 建議鹼反應性檢測流程圖

5. 案例示範

以臺灣東部和平溪所產粒料為例，其組成礦物類型中以石英脈與砂、頁岩所佔比例最高，兩者約佔六成；片麻岩、大理岩、綠色片岩或變質基性岩所佔含量約在 10% 左右。由 ASTM C295 岩相分析後得知，石英岩（石英脈）及片麻岩中之石英顆粒的高表面能或其內部的高應變能，是這兩種岩石具高的鹼—粒料反應潛勢之主因。故和平溪粒料之鹼—粒料反應之潛勢，主要可能受石英岩、變質砂岩及片麻岩所控制。

由 ASTM C289 試驗判斷後本區粒料屬於低鹼-粒料反應潛能之粒料（ $Sc=90.3; Rc=155$ ）。而在 ASTM C227 試驗中僅於較高外加鹼

量時膨脹量超過檢測門檻值。但利用 ASTM C1260 及 ASTM C1293 試驗判斷結果卻為後期反應性粒料。由於現場存在有反應案例之叢聚情形，應判定為反應性粒料。由本例可知，在選用不同檢測方法時，由於粒料之特性不同，其檢測結果存在極大之差異。ASTM C289 及 ASTM C227 雖然所需時間較其它方法為短，受到工程界所樂用，但應用於本地粒料時常導致錯誤之判斷。

第六章 檢測執行

6.1 基本資料收集

1. 橋梁基本資料記錄表

根據第四章中基本資料、照片之記錄方式，所填寫谷關大橋及西濱大橋之基本資料記錄表如下表 6-1、表 6-2 所示：

表6-1 99 年度谷關大橋橋梁基本資料記錄表

橋名	谷關大橋	跨越河川	大甲溪	記錄日期	99/4/15
橋長	30@3 = 90 公尺	主河道位置	P1~P2	記錄人	洪紹勛
上游側橋體				說明：	
下游側橋體				說明：	

表 6-1 谷關大橋橋梁基本資料記錄表(續)

上游側右岸		說明：
下游側右岸		說明：
上游側左岸		說明：

表 6-1 谷關大橋橋梁基本資料記錄表(續)

下游側左岸		說明：
行水區上游側右岸		說明：
行水區下游側右岸		說明：

表 6-1 谷關大橋橋梁基本資料記錄表(續)

行水區上游側左岸		說明：
行水區下游側左岸		說明：
保護工		說明： 橋墩保護 鋼板

表6-2 西濱大橋橋梁基本資料記錄表

橋名	西濱大橋	跨越河川	濁水溪	記錄日期	99/4/15
橋長	78@35= 2730 公尺	主河道位置	P23~P27	記錄人	洪紹勛
上游側橋體				說明：	
下游側橋體				說明：	
上游側右岸				說明：	

表 6-2 西濱大橋橋梁基本資料記錄表(續)

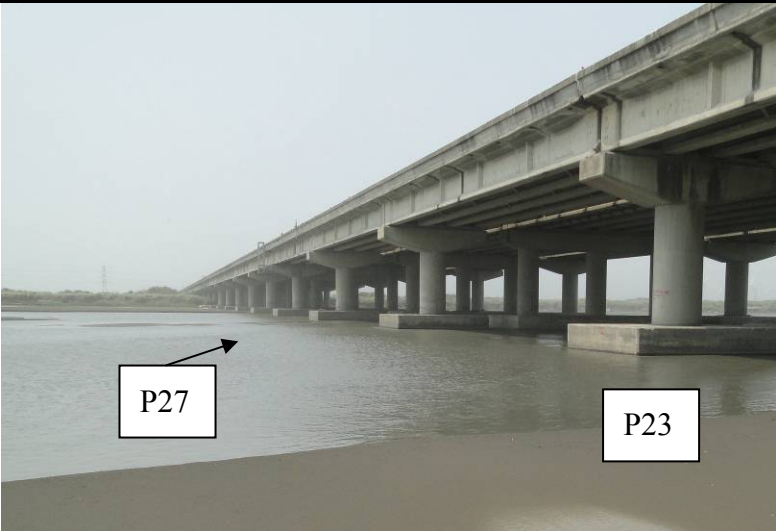
下游側右岸		說明：
上游側左岸		說明：
行水區下游側左岸		說明： 主河道位於 P23~P27 之 間

表 6-2 西濱大橋橋梁基本資料記錄表(續)

保護工		說明： 無保護工
------------	--	---------------------

2. 橋梁沖刷損害記錄

谷關大橋 P2 位置處約有 0.5 公尺深度之基礎裸露，見表 6-3；
西濱大橋 P22~P26 約有 2 公尺深度之基礎裸露，見表 6-4。

表6-3 谷關大橋沖刷損害記錄

沖 刷 損 害 記 錄	A	位置	P2	災損 狀況	基礎裸露 約 0.5 公尺	日期	99/4/15	C	位置	災損 狀況		日期		
														
		備註												
	B	位置		災損 狀況		日期		D	位置	災損 狀況		日期		

表6-4 西濱大橋沖刷損害記錄

沖 刷 損 害 記 錄	A	位置	P21	災損 狀況	基礎裸露 約 0.55 公尺	日期	99/4/15	C	位置	P20 ~ P10	災損 狀況	普遍基礎 裸露約 0.5 公尺	日期	99/4/15	
															
	備註								備註						
	B	位置	P23 ~ P31	災損 狀況	普遍基礎 裸露約 1~2 公尺	日期	99/4/15	D	位置	P23	災損 狀況	基礎裸露 約 1 公尺	日期	99/4/15	
															
	備註	P24~P27 因為位於深槽區， 預估可能裸露深度達 2 公尺							備註						

3. 橋墩基礎資料表

谷關大橋由於完工年代久遠，其基礎相關資料因所屬之管轄單位已遺失其竣工或設計之相關圖資，因此則以非破壞檢測方式探測其基礎樣式、深度及尺寸，如表 6-5 所示；至於西濱大橋，其管轄單位仍保有竣工圖，故在此檢附基礎之竣工圖，如表 6-6 所示。

表6-5 谷關大橋橋墩基礎資料表(非破壞檢測結果)

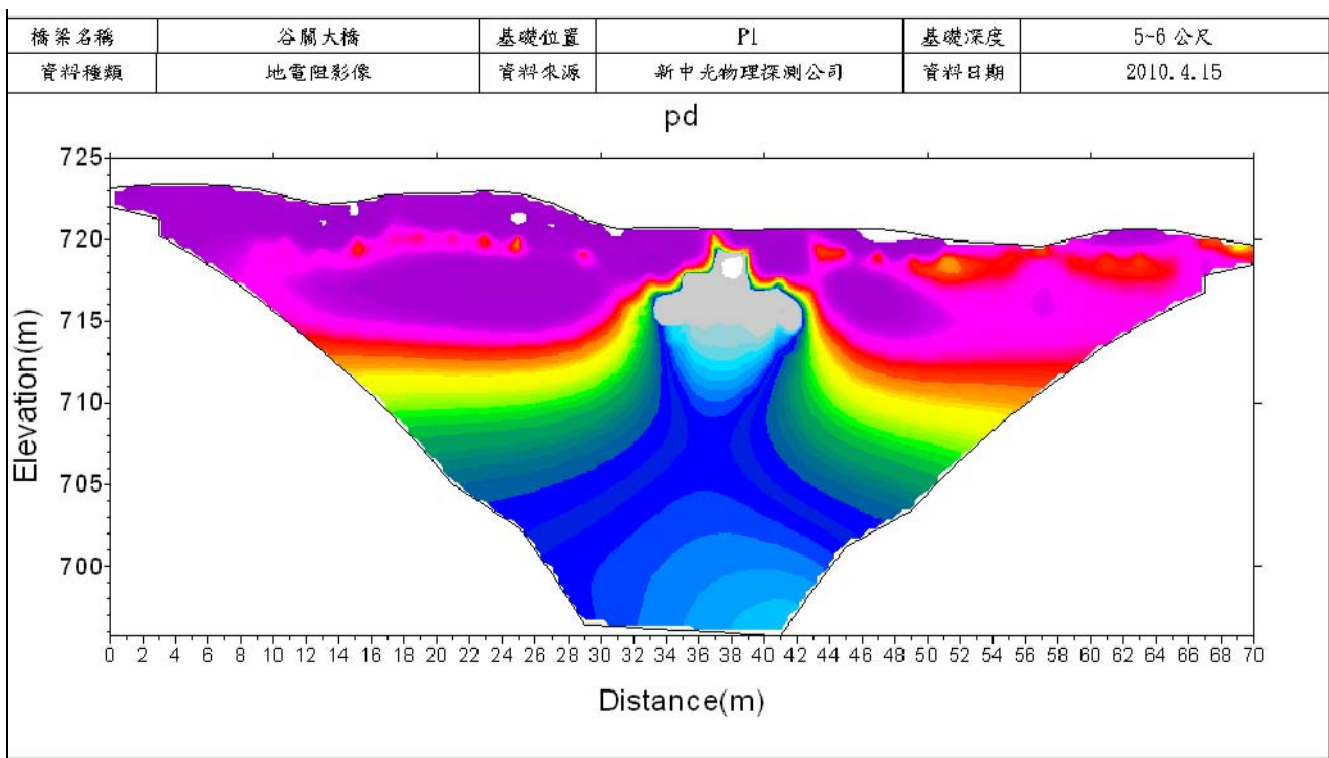
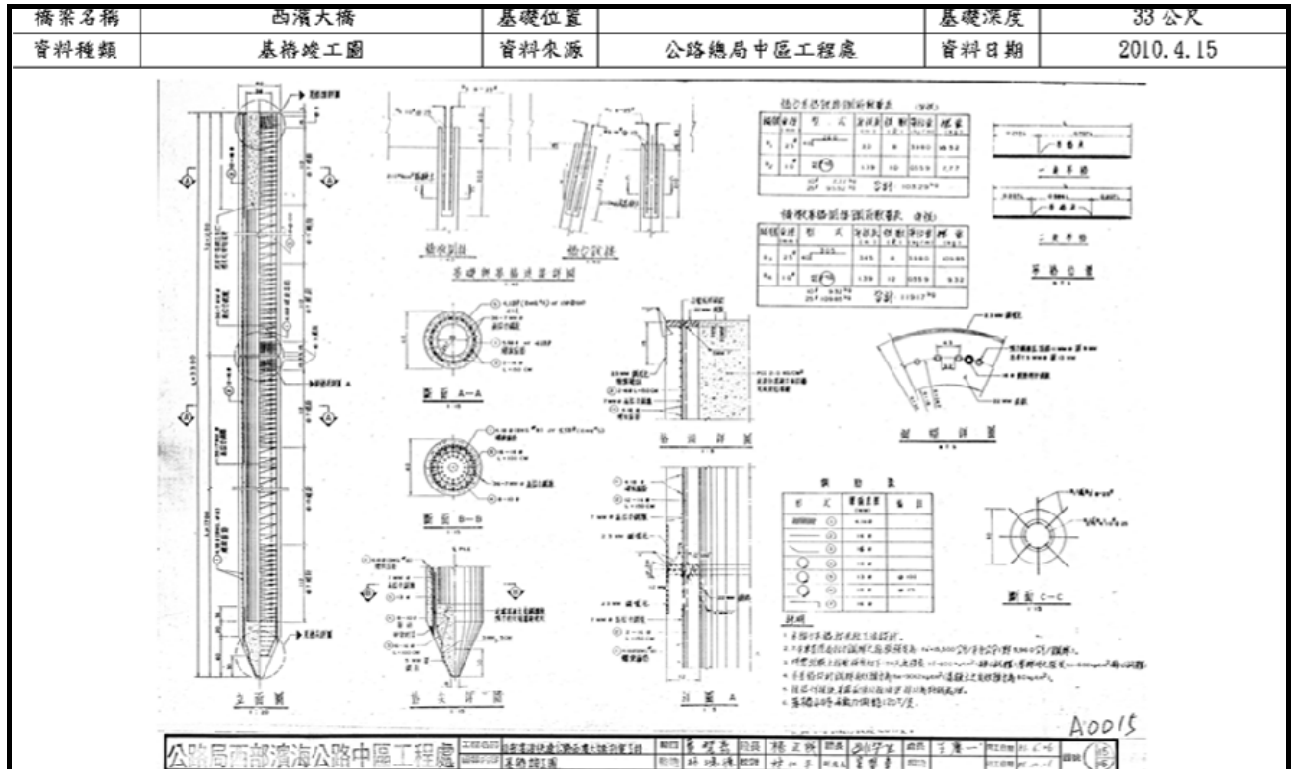


表6-6 西濱大橋橋墩基礎資料表(竣工圖)



4. 跨河橋梁整體環境表

如 4.1 節詳細沖刷潛勢評估中所提到之表 4-12，對於橋梁上下游之地形變動以及主河道之變動有很大的幫助，谷關大橋與西濱大橋在此便以衛星圖的方式呈現，如表 6-7、表 6-8 所示。

5. 跨河橋梁週邊環境示意表

如 4.1 節詳細沖刷潛勢評估中所提到之表 4-13，谷關大橋與西濱大橋之橋梁週邊環境示意圖如表 6-9、表 6-10 所示。

表6-7 谷關大橋整體環境表

橋梁名稱	谷關大橋	資料種類	衛星照片	資料來源	Google map
資料日期	2008.8.8				



表6-8 西濱大橋整體環境表

橋梁名稱	西濱大橋	資料種類	衛星照片	資料來源	Google map
資料日期	2008.8.8				

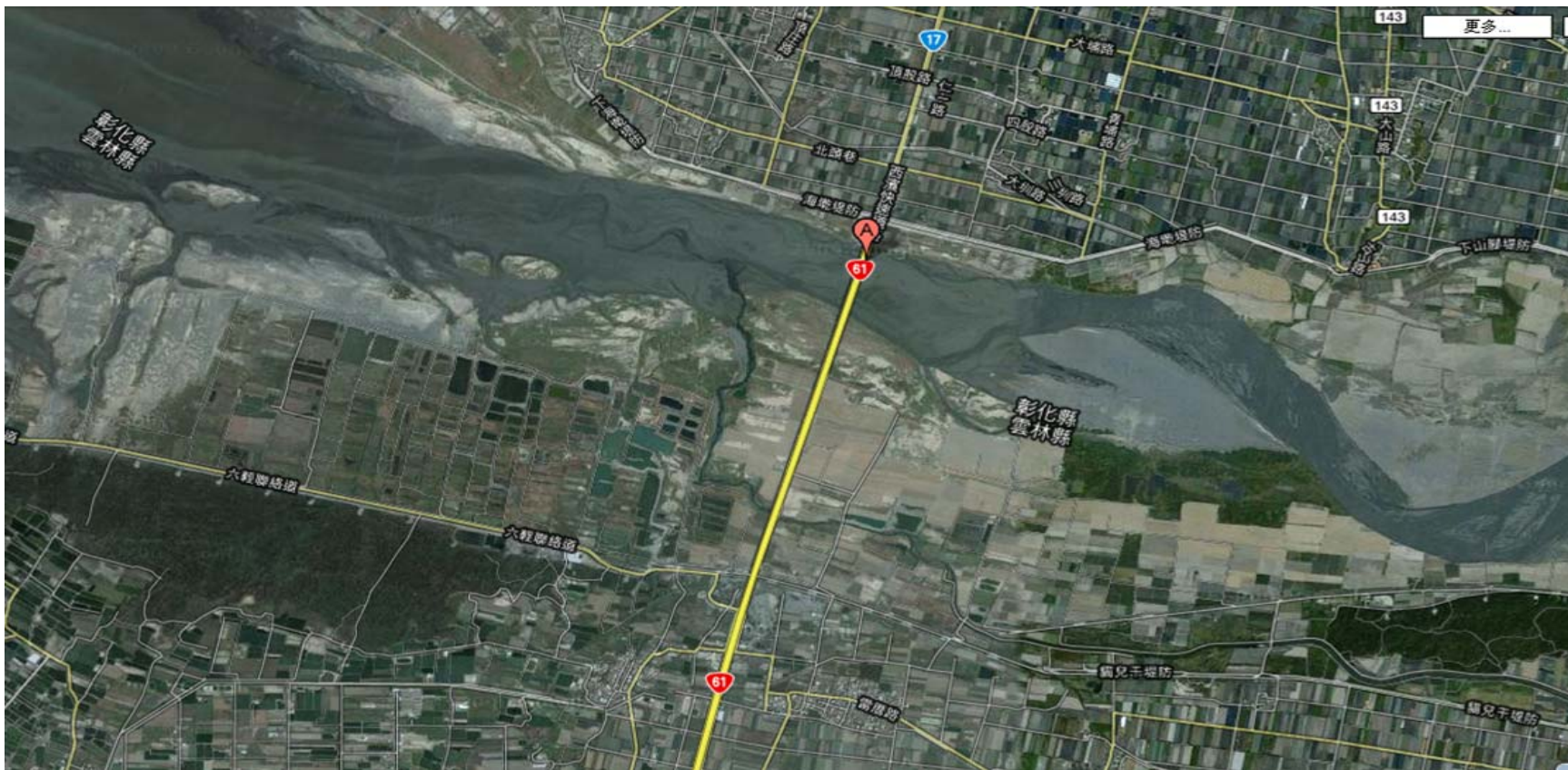
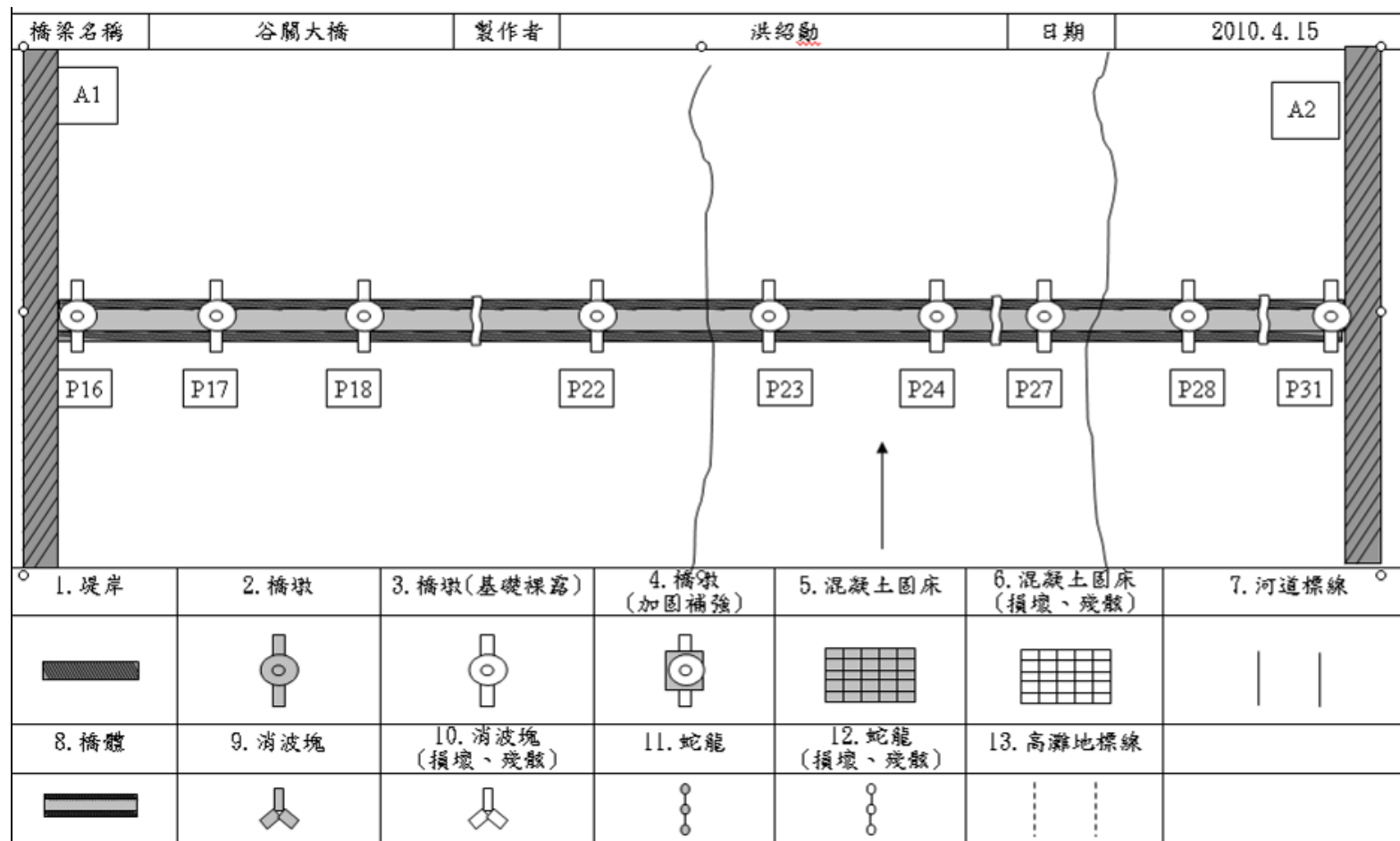


表6-9

表 6-9 谷關大橋週邊環境示意表

橋梁名稱	谷關大橋	製作者	洪紹勳	日期	2010.4.15	
1. 堤岸	2. 橋墩	3. 橋墩(基礎裸露)	4. 橋墩(加固補強)	5. 混凝土固床	6. 混凝土固床(損壞、殘骸)	7. 河道標線
8. 橋體	9. 消波塊	10. 消波塊(損壞、殘骸)	11. 蛇籠	12. 蛇籠(損壞、殘骸)	13. 高灘地標線	

表6-10 西濱大橋週邊環境示意表



6.2 詳細沖刷潛勢評估

搭配表 6-1~表 6-10 之相關橋梁的基本資料，以及現地實際量測的資料進行填寫沖刷潛勢詳細評估表(其中位於深槽區之橋墩基礎裸露深度，目前尚未以乘坐橡皮艇方式前往實際測量，因此水下之基礎裸露深度僅以預估結果表示)，其填表結果如表 6-11、表 6-12 所示。

谷關大橋由於已完成基礎型式非破壞檢測，因此判定此橋為直接基礎；又透過衛星圖判斷谷關大橋位於河川彎道處；由橋墩保護鋼板判斷此橋之河床下降情形嚴重；再加上其鄰近山壁之護牆有損毀之痕跡，因此最後評估出的分數為 45.7，屬於沖刷潛勢高的橋梁。

至於西濱大橋除已完成基礎型式非破壞檢測外，亦保有基礎之竣工圖資，因此明確判定為群樁基礎，且基礎深達 33 公尺，因此現有之 1~2 公尺基礎裸露對整體而言影響不大，因此對於保護工之需求也不大，因此最後評估出的分數為 10.3，屬於沖刷潛勢低的橋梁。

表6-11 谷關大橋沖刷潛勢評估表填寫結果

橋梁名稱: 谷關大橋			檢測單位: 中華顧問			檢測人員: 洪紹勳						
路線名稱及里程:			檢測日期: 100/4/13									
	項次	項目	紀 錄 內 容									
(A) 資 料 紀 錄 項 目	1	橋梁竣工圖	橋墩基礎型式: <u>淺基礎</u> 橋台基礎型式: <u> </u> 橋基貫入深度 H_p : <u>5</u> 公尺 容許沖刷深度 H_{sa} : <u> </u> 公尺 $\square H_p$ 未知, 需進行非破壞檢測									
	2	結構穩定度 分析成果	臨界沖刷深度 SI : <u> </u> $\blacksquare$ 尚未分析 臨界水位高度 WI : <u> </u> $\blacksquare$ 尚未分析									
	3	衛星影像或航照圖	橋梁是否位於河川彎曲處: $\blacksquare$ 是 $\square$ 否 上游攔河堰或水庫等設施與橋址距離: <u>1000 以內</u> 公尺									
	4	河床斷面測量結果 或相關報告	三年內河床降低幅度: <u> </u> 公尺 計畫洪水位: <u> </u> 公尺 主河道寬度: <u> </u> 公尺 計畫河道寬度: <u> </u> 公尺									
	5	歷史災損情形	災損時間、位置及原因: <u> </u> $\blacklozenge$ 是否已改善: <u> </u>									
(B) 室 內 評 估 項 目	項次	項目	配分	評 估 內 容				權數 ξ	得分			
	6	上游攔河堰 或水庫等設施	7	$\blacksquare$ 1000 公尺以內 ($\xi=1.0$) $\square$ 1000 公尺~3000 公尺 ($\xi=0.5$) $\square$ 3000 公尺以上或無 ($\xi=0$)				1	7			
	7	基礎型式	7	$\blacksquare$ 淺基礎或擴展基腳 ($\xi=1.0$) $\square$ 沉箱基礎 ($\xi=0.5$) $\square$ 樁基礎 ($\xi=0$) (請參閱橋梁管理系統或竣工圖資)				1	7			
	8	橋梁是否位於河川 彎曲處或束縮處	6	$\blacksquare$ 是 ($\xi=1.0$) $\square$ 否 ($\xi=0$) (請參閱衛星影像或航照圖)				1	6			
	9	河床下降情形 h = <u> </u> 公尺	8	$\blacklozenge$ ($\xi=1.0$) $\geq \xi = 1 - \frac{0.75}{3.5}(4-h) \geq (\xi=0.25)$; $h < 0.5$ 公尺, $\xi=0$ (請參閱河床斷面測量結果或相關報告)				1	8			
	10	河床材料	2	$\square$ 泥、砂 ($\xi=1.0$) $\square$ 砂礫混合 ($\xi=0.75$) $\square$ 卵礫石 ($\xi=0.5$) $\square$ 軟弱岩盤(泥岩、頁岩等) ($\xi=0.3$) $\blacksquare$ 堅硬岩盤 ($\xi=0$)				0.5	1			
11	主河道位置	5	$\square$ $\blacklozenge$ 離橋台 5 公尺以內 ($\xi=1.0$) $\square$ 離橋台 10 公尺以內, 且有逐年向橋台侵蝕之趨勢 ($\xi=0.75$) $\blacksquare$ 離橋台 10 公尺以內 ($\xi=0.5$) $\square$ 此河為辨狀河道, 不易判定主河道 ($\xi=0.3$) $\square$ 離橋台 10 公尺以上或橋台基礎為非直接基礎 ($\xi=0$)				0.5	2.5				
(B)小計			35					31.5				
(C) 現 地 評 估 項 目	12	跌水效應 (高程差 D_h : <u>0</u> 公尺)	5	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{1}{3} D_h \geq (\xi=0)$				0	0			
	13	橋墩(基)方向與河 川流向間之角度 θ° = <u>20</u>	7	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq (\xi=0)$; $\theta < 5^\circ$, $\xi=0$; $\theta > 30^\circ$, $\xi=1$				0.6	4.2			
	14	阻水面積比 RA	5	$\square$ 極嚴重 ($RA > 12\%$) ($\xi=1.0$) $\square$ 嚴重 ($9\% \leq RA \leq 12\%$) ($\xi=0.75$) $\square$ 輕微 ($RA < 9\%$) ($\xi=0.4$) $\blacksquare$ 無 ($RA < 3\%$) ($\xi=0$)				0	0			
	15	基礎裸露程度 H_s (基礎裸露深度) H_p (初始基礎深度) $S = H_s/H_p$	20	沉箱 或樁 基礎	$\square$ $\blacklozenge H_s \geq 1.5H_{sa}$ 或 $S \geq 40\%$ ($\xi=1.0$) $\square$ $1.5H_{sa} > H_s > 1.0H_{sa}$ 或 $40\% > S > 25\%$ ($\xi=0.5 \sim 0.9$) $\square$ $H_s \leq 1.0H_{sa}$ 或 $S \leq 25\%$ ($\xi=0.2$) $\square$ 無 ($\xi=0$)			橋墩(橋台)編號				
	淺基 礎	$\square$ 置於砂礫層或 $\blacklozenge$ 已有裸露情形 ($\xi=1.0$) $\blacksquare$ 置於岩盤表層 ($\xi=0.5$) $\square$ 深入岩盤 ($\xi=0$)						0.5	10			

表 6-11 谷關大橋沖刷潛勢評估表填寫結果(續)

16	橋墩阻水情形 be: 橋墩等值寬度	13	$\text{當 } b_e > 8, \zeta = 1.0;$ $\text{當 } 2 \leq b_e < 8, \zeta = [-1/3 + (1/6)b_e];$ $\text{當 } b_e < 2, \zeta = 0$	橋墩(橋台)編號					
				be	2				
				權數	0				
				分數					0
17	護岸工現況	5	☐ 不具保護作用($\xi=1.0$) ☒ 河岸無須保護($\xi=0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi=0.75$) ☐ 護岸工良好($\xi=-0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi=0.3$)				0	0	
18	護床工現況	10	☐ 不具保護作用($\xi=1.0$) ☒ 河床無須保護($\xi=0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi=0.75$) ☐ 護床工良好($\xi=-0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi=0.35$)				0	0	
(C)小計		65							14.2
(B)+(C)總計								45.7	
檢測員意見			1. ◆此橋是否具備其他沖刷潛在危害因素 是: ☐ 否: ☒ 說明:						

表6-12 西濱大橋冲刷潛勢評估表填寫結果

橋梁名稱：西濱大橋		檢測單位：中華顧問		檢測人員：洪紹勛				
路線名稱及里程：		檢測日期：100/04/13						
	項次	項目	紀 錄 內 容					
(A) 資 料 紀 錄 項 目	1	橋梁竣工圖	橋墩基礎型式：樁 橋台基礎型式： 橋基貫入深度 H_p ：33 公尺 容許冲刷深度 H_{sa} ： 公尺 ☐ H_p 未知，需進行非破壞檢測					
	2	結構穩定度 分析成果	臨界冲刷深度 SI ： ☒ 尚未分析 臨界水位高度 WL ： ☒ 尚未分析					
	3	衛星影像或航照圖	橋梁是否位於河川彎曲處： ☐ 是 ☒ 否 上游攔河堰或水庫等設施與橋址距離： 超過 3000 公尺					
	4	河床斷面測量結果 或相關報告	三年內河床降低幅度： 公尺 計畫洪水位： 公尺 主河道寬度： 公尺 計畫河道寬度： 公尺					
	5	歷史災損情形	災損時間、位置及原因： ◆是否已改善：					
(B) 室 內 評 估 項 目	項次	項目	配分	評 估 內 容		權數 ξ	得分	
	6	上游攔河堰 或水庫等設施	7	☐ 1000 公尺以內 ($\xi=1.0$) ☐ 1000 公尺~3000 公尺 ($\xi=0.5$) ☐ 3000 公尺以上或無 ($\xi=0$)		0	0	
	7	基礎型式	7	☐ 淺基礎或擴展基腳 ($\xi=1.0$) ☐ 沉箱基礎 ($\xi=0.5$) ☐ 樁基礎 ($\xi=0$) (請參閱橋梁管理系統或竣工圖資)		0	0	
	8	橋梁是否位於河川 彎曲處或束縮處	6	☐ 是 ($\xi=1.0$) ☐ 否 ($\xi=0$) (請參閱衛星影像或航照圖)		0	0	
	9	河床下降情形 h = 公尺	8	◆ ($\xi=1.0$) $\geq \xi = 1 - \frac{0.75}{3.5} (4 - h) \geq (\xi=0.25)$; $h < 0.5$ 公尺, $\xi=0$ (請參閱河床斷面測量結果或相關報告)		0	0	
	10	河床材料	2	☐ 泥、砂 ($\xi=1.0$) ☐ 砂礫混合 ($\xi=0.75$) ☐ 卵礫石 ($\xi=0.5$) ☐ 軟弱岩盤(泥岩、頁岩等) ($\xi=0.3$) ☐ 堅硬岩盤 ($\xi=0$)		1	2	
11	主河道位置	5	☐ ◆離橋台 5 公尺以內 ($\xi=1.0$) ☐ 離橋台 10 公尺以內，且有逐年向橋台侵蝕之趨勢 ($\xi=0.75$) ☐ 離橋台 10 公尺以內 ($\xi=0.5$) ☐ 此河為辨狀河道，不易判定主河道 ($\xi=0.3$) ☐ 離橋台 10 公尺以上或橋台基礎為非直接基礎 ($\xi=0$)		0	0		
(B)小計			35			2		
(C) 現 地 評 估 項 目	12	跌水效應 (高程差 D_h : 公尺)	5	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{1}{3} D_h \geq (\xi=0)$		0		
	13	橋墩(基)方向與河 川流向間之角度 θ° =	7	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^0 - 5^0}{25^0} \geq (\xi=0)$; $\theta < 5^\circ$, $\xi=0$; $\theta > 30^\circ$, $\xi=1$		0		
	14	阻水面積比 RA	5	☐ 極嚴重 ($RA > 12\%$) ($\xi=1.0$) ☐ 嚴重 ($9\% \leq RA \leq 12\%$) ($\xi=0.75$) ☐ 輕微 ($RA < 9\%$) ($\xi=0.4$) ☐ 無 ($RA < 3\%$) ($\xi=0$)		0		
	15	基礎裸露程度 H_s (基礎裸露深度) H_p (初始基礎深度) $S = H_s/H_p$	20	沉箱 或樁 基礎	☐ ◆ $H_s \geq 1.5H_{sa}$ 或 $S \geq 40\%$ ($\xi=1.0$) ☐ $1.5H_{sa} > H_s > 1.0H_{sa}$ 或 $40\% > S > 25\%$ ($\xi=0.5 \sim 0.9$) ☐ $H_s \leq 1.0H_{sa}$ 或 $S \leq 25\%$ ($\xi=0.2$) ☐ 無 ($\xi=0$)	橋墩(橋台)編號		
					H_s (公尺)	2		
				H_p (公尺)	30			
				權數	0.2			
				分數	4			
			淺基 礎	☐ 置於砂礫層或◆已有裸露情形 ($\xi=1.0$) ☐ 置於岩盤表層 ($\xi=0.5$) ☐ 深入岩盤 ($\xi=0$)				

表 6-12 西濱大橋沖刷潛勢評估表填寫結果(續)

16	橋墩阻水情形 be: 橋墩等值寬度	13	當 $b_e > 8$, $\zeta = 1.0$; 當 $2 \leq b_e < 8$, $\zeta = [-1/3 + (1/6)b_e]$; 當 $b_e < 2$, $\zeta = 0$	橋墩(橋台)編號					
				be	4				
				權數	0.33				
				分數					4.3
17	護岸工現況	5	☐ 不具保護作用($\xi=1.0$) ☒ 河岸無須保護($\xi=0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi=0.75$) ☐ 護岸工良好($\xi=-0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi=0.3$)				0	0	
18	護床工現況	10	☐ 不具保護作用($\xi=1.0$) ☒ 河床無須保護($\xi=0$) ☐ 僅具部分保護作用($\xi=0.75$) ☐ 護床工良好($\xi=-0.2$) ☐ 尚有一定之保護作用($\xi=0.35$)				0	0	
(C)小計		65							8.3
(B)+(C)總計								10.3	
檢測員意見			1. ◆此橋是否具備其他沖刷潛在危害因素 是: ☐ 否: ☒ 說明:						

6.3 儀器檢測

本研究為詳細探討橋梁位於比較上游礫石材質河床以及下游砂質河床受到沖刷所可能產生之不同行為，故將針對大甲溪上游台 8 線支線，由台中縣政府和平鄉公所管轄之谷關大橋；以及濁水溪下游台 17 線、台 61 線，由公路總局二工處彰化工務段管轄之西濱大橋進行施作。

6.3.1 橋墩振動量測

1. 振動檢測儀器

本計畫用來進行振動檢測之儀器包括：

- (1)振動感應器：採用日本東京測振所生產之 VSE-15D 速度型感應器，如圖 6.1(a)所示。其有效操作頻率為 0.2~70Hz，最大容許振動量為 10cm/s。
- (2)集錄系統：採用日本東京測振所生產之 SPC-51 集錄系統，如圖 6.1(b)所示。為一 16 頻道之攜帶型集錄系統，其解析度達 16-bit，且各個頻道之量測精度可個別調整，支援取樣率高達 1000Hz，並可將各感應器之量測資料轉換為真實物理量後，存檔於個人電腦之貯存設備內。



(a)



(b)

圖6.1 振動檢測儀器：(a) VSE-15D 速度計；(b) SPC-51 集錄系統

2. 振動檢測結果－谷關大橋

谷關大橋振動檢測施作時，現場情況如圖 6.2(a)所示。針對基礎未裸露之 P1 橋墩（見圖 6.2 (b)），以及基礎有些微裸露之 P2 橋墩（見圖 6.2(c)），進行同步量測。由於谷關大橋並未設置維修通道，不易到達帽梁，故速度計係設置於各橋墩對應之橋面版位置，如圖 6.3 所示。量測之取樣率採用 200 samples/sec，於平日交通情況下連續量測 20 分鐘。

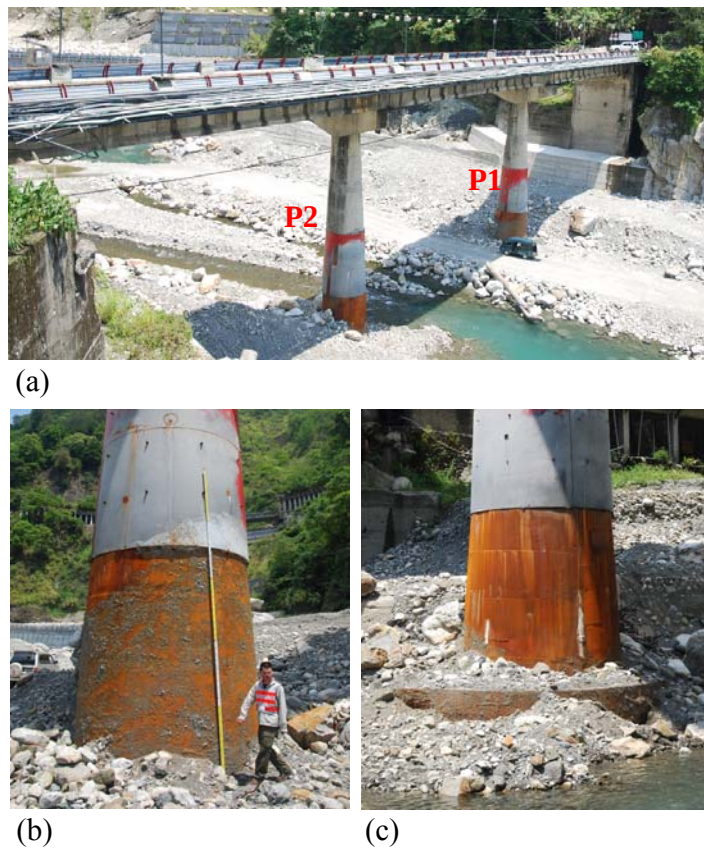


圖6.2 谷關大橋施測時情況：(a) 全景；(b) P1 基礎；(b) P2 基礎

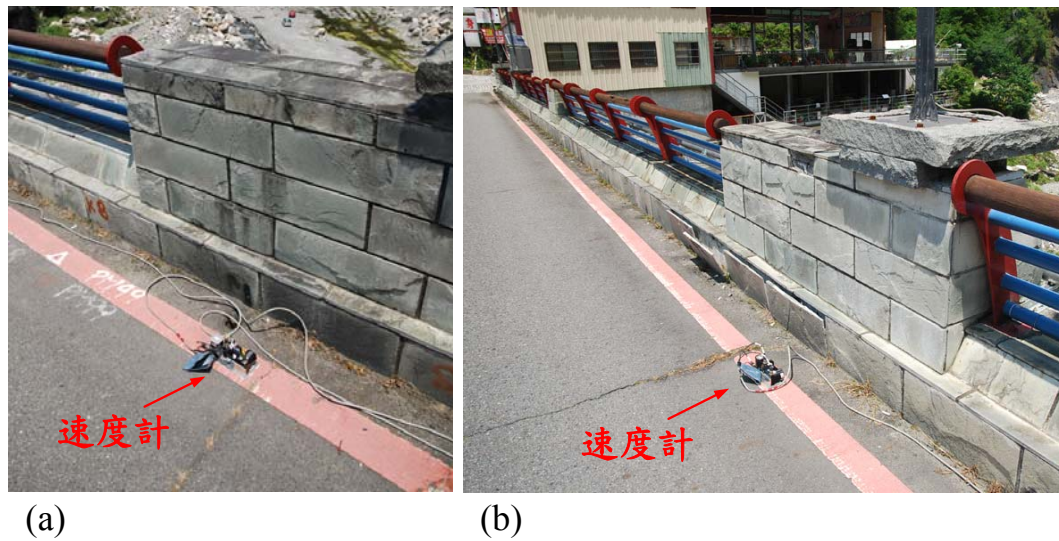


圖6.3 谷關大橋振動檢測速度計裝設位置：(a) P1 橋墩(b) P2 橋墩

所量測之振動歷時如圖 6.4 所示，不論水平車行方向（HL 向）或水平橫向（HT 向），於車輛通過時均產生明顯之振動，而環境微振反應亦能被有效量測。整體而言，HT 向之振動反應較 HL 向為顯著，但不同橋墩振動反應歷時曲線則無明顯差異。由於 5.2.2 節中提到，橋梁上部結構之 HT 向振動反應特性（包含顯著頻率與尖峰振幅）較能反映橋梁基礎裸露狀態之變化，且在本案例中，因受兩端橋台束制作用，兩橋墩在 HL 向振動方面呈現複雜之趨勢，故後續分析將僅針對 HT 向振動為之。

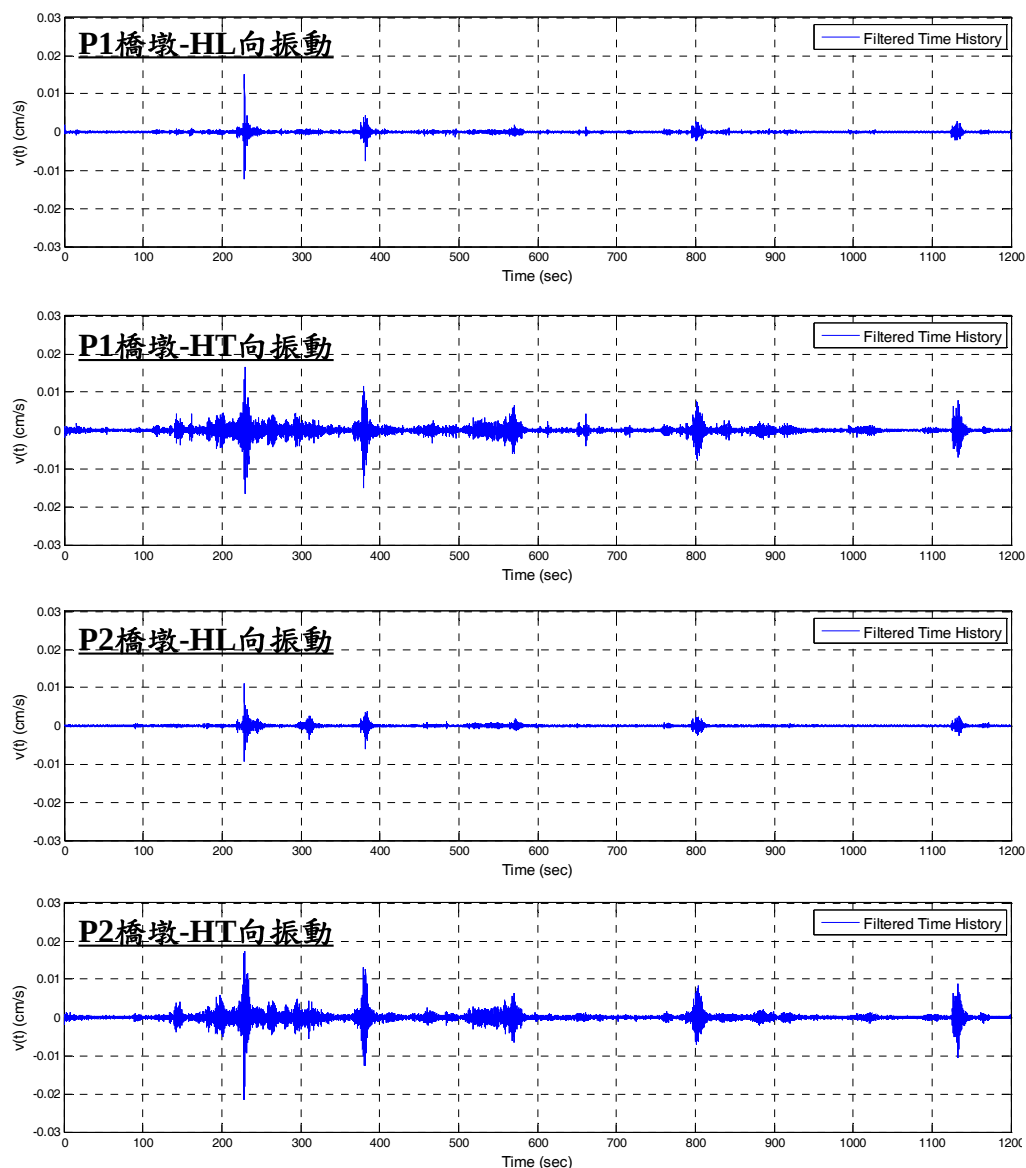


圖6.4 谷關大橋振動歷時曲線

為了進一步探討兩橋墩振動特性之差異，在此採用 7.1.1 節所述之快速富利葉轉換(fast Fourier transform, FFT)，並基於 7.1.2 節中所述之概念，由歷時記錄擷取 20.48 秒長度之時段進行快速富利葉分析，由所得之富氏譜判別振動顯著頻率，並逐次將擷取時段移動 6.83 秒（亦即，前後時段有 2/3 重疊），最終求得整段歷時紀錄中，兩橋墩 HT 向振動顯著頻率隨時間之變化，如圖 6.5 所示，可知兩橋墩於大部分時段顯著頻率均為 2.2Hz。

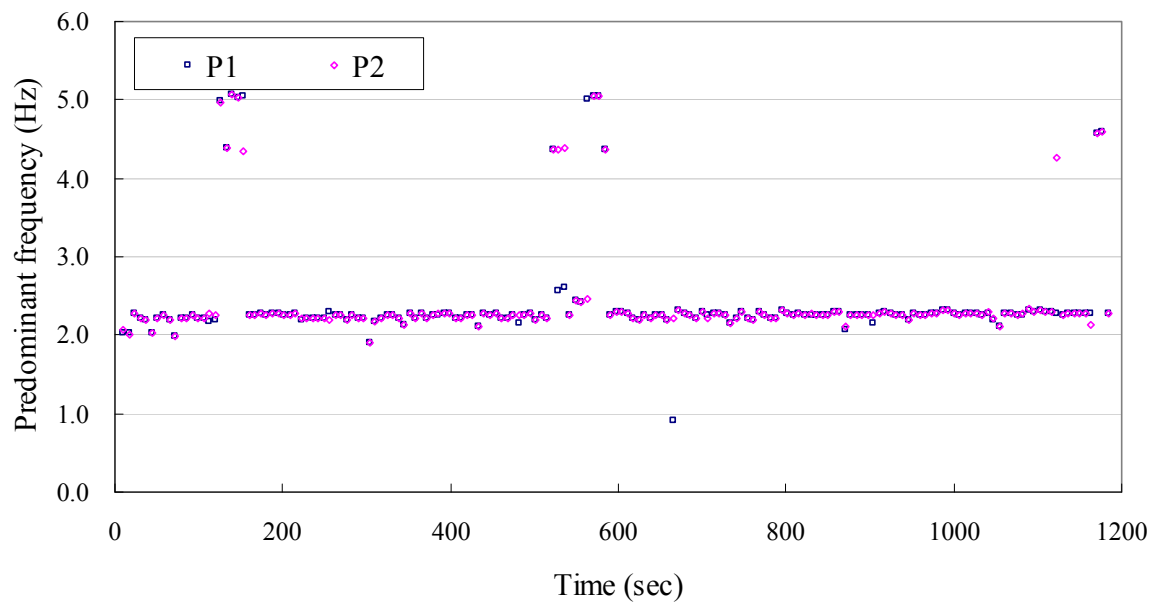


圖6.5 谷關大橋 HT 向振動顯著頻率隨時間之變化

接著，引入 7.1.3 節中所述之 Nakamura 高架橋損傷指數，由於兩橋墩之振動量測係同步進行，振源特性視為一致，故在損傷指數式中之放大係數 A_s 直接以富氏譜振幅值代入，計算整段歷時紀錄中，兩橋墩 HT 向振動之損傷指數隨時間之變化，如圖 6.6 所示。由於各時段振源特性不同，引致之振動量亦有不同，故損傷指數隨時間有明顯的變化，但在各個時段中兩橋墩之損傷指數則相當接近。

由上述結果可看出，在橋梁通過車流量、車型、車速各時段均不同之情況下，所量測到之振動特性會隨時間有所變化。為了消除上述之振動特性依時變異性，在此採用 7.1.2 節所述之平均振動特性參數分析，求得 P1 與 P2 橋墩整段 HT 向振動歷時之平均富氏譜，如圖 6.7 所示，兩橋墩對應之平均富氏譜相當接近，並無明顯差異，主要尖峰均出現在 2.2Hz。

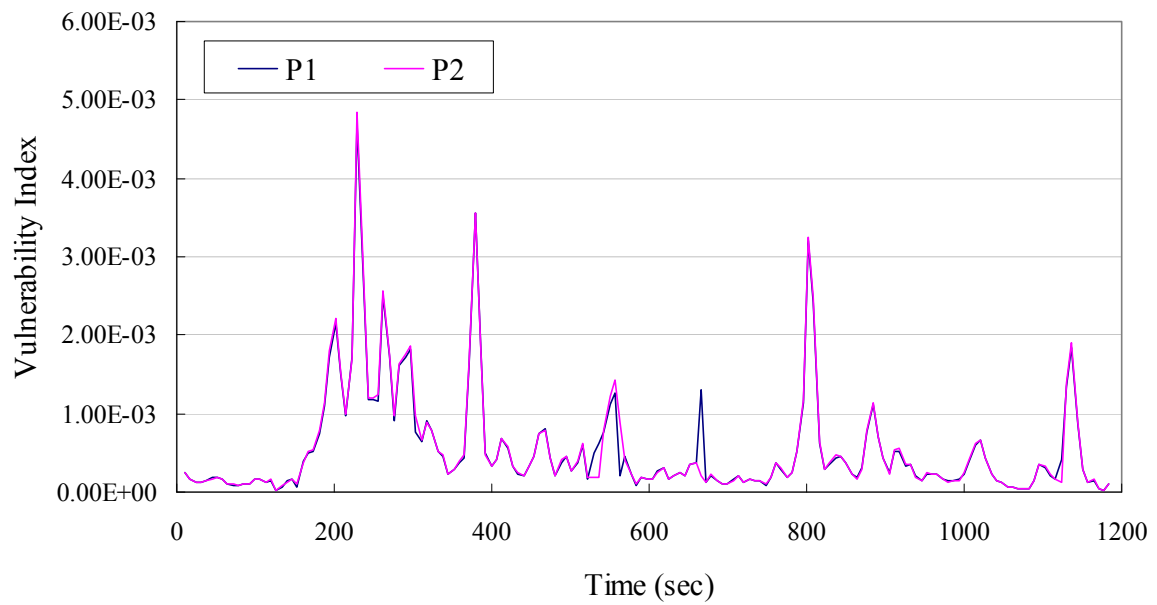


圖6.6 谷關大橋 HT 向振動損傷指數隨時間之變化

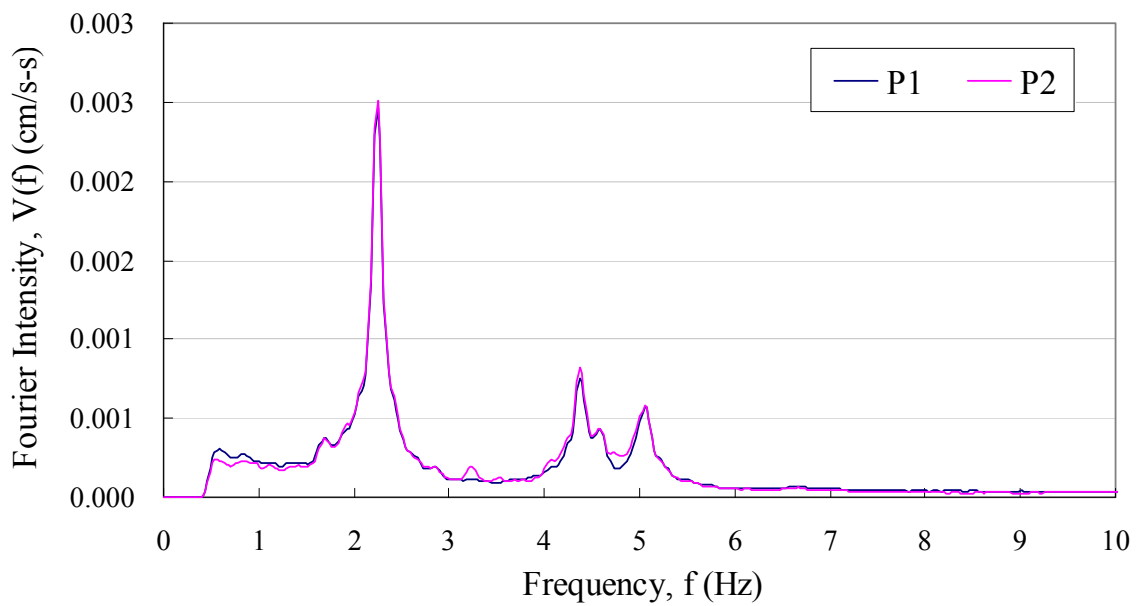


圖6.7 谷關大橋 HT 向振動平均富氏譜

由以上結果可知，兩橋墩呈現相當一致之振動特性，雖然 P2 橋墩已出現些許裸露現象，但由檢測結果可知其尚未影響到基礎之穩定

性。此處所得結果將可作為後續檢測之比較基準，若所測得之橋墩振動特性出現明顯變化，其基礎之穩定性便可能已因受沖刷裸露而降低。

3. 振動檢測結果－西濱大橋

西濱大橋振動檢測施作時，現場情況如圖 6.8 (a)所示，選定樁帽約裸露一半之 P21 橋墩（見圖 6.8 (b)），以及樁帽完全裸露且位於水中之 P26 橋墩（見圖 6.8 (c)），分別進行量測（非同步），以比較其振動特性之差異。由於兩橋墩處均設置有工作通道可通往帽梁位置，故速度計係分別固定各橋墩對應之橋面版位置以及帽梁端點（如圖 6.9 所示）。量測取樣率採用 200 samples/sec，於正常車流情況下持續量測 20 分鐘。同樣地，由於 HT 向之振動反應較能有效反應基礎裸露之情況，故在此僅就 HT 向振動進行討論。



圖6.8 西濱大橋施測時情況 (a)P23 以南(b) P21 基礎(c) P26 基礎

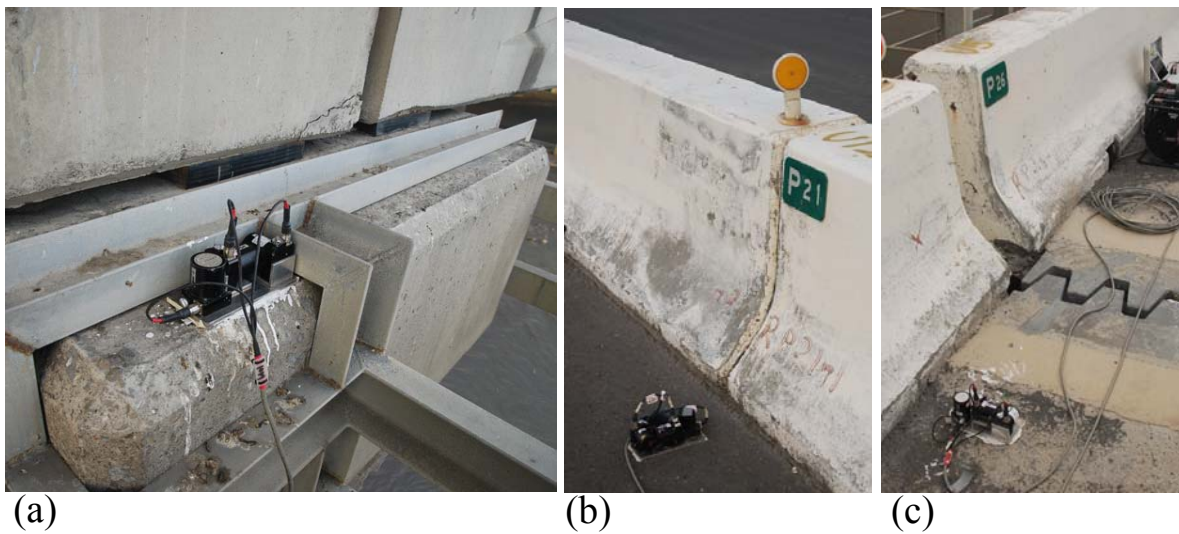


圖6.9 西濱大橋振動檢測速度計裝設位置：(a) 固定於帽梁端點； (b) 固定於橋面版（P21 橋墩）；(c) 固定於橋面版（P26 橋墩）

首先，求取 20 分鐘歷時紀錄中各時段兩橋墩帽梁位置之 HT 向振動顯著頻率變化，如圖 6.10(a)(b)所示（由於量測非同步進行，故分別以兩張圖表示），P21 橋墩之顯著頻率趨勢較為散亂，於 1.5~3Hz 間、及 4~5Hz 附近均有分佈，P26 橋墩則之顯著頻率則大多在 2.5~3.5Hz 間。另外，由於兩種裸露狀態係於不同時間進行量測而非同步量測，振源特性並不一致，且由於主要振動來源為車行振動因而變異性較大，目前尚無適當方法將振動量正規化，故在此不比較 Nakamura 損傷指數。

由於前述顯著頻率隨時間變化之變異性偏大，並無法有效看出兩橋墩之差異，故在此採用 7.1.2 節所述之平均振動特性參數分析，求得 P21 與 P26 橋墩整段 HT 向振動歷時之平均富氏譜，以降低變異性之影響，並確實掌握橋梁之振動特性。在速度計固定於帽梁之情況，兩橋墩 HT 向振動平均富氏譜如圖 6.11(a)所示，P21 橋墩於 2.1Hz 與 2.4Hz 附近各出現一尖峰值；至於 P26 橋墩，最主要之尖峰出現於 3Hz 附近，另於 1.9Hz 亦有明顯尖峰值出現。根據一般橋梁結構之自然頻率範圍，2Hz 附近之尖峰較可能對應到能展現橋墩~土壤互制系統特性之模態，亦即，較能反映基礎之情況。如此則 P26 橋墩之顯著頻率 1.9Hz，

較 P21 橋墩之 2.1Hz 降低了約 10%，呈現出樁帽裸露之影響；至於較高頻處之尖峰，則可能係對應到橋梁上部結構之局部振動模態，且可能因兩橋墩支承條件不同（參考圖 9(b)(c)，P21 為固定端，P26 為活動端），而有較明顯之差異。至於速度計固定於橋面版之情況，兩橋墩 HT 向振動平均富氏譜如圖 6.11(b)所示，其呈現與圖 6.11(a)類似之趨勢，在 2Hz 附近之尖峰可呈現出兩橋墩裸露狀態之差異，較高頻之尖峰則與上部結構之局部行為有關。這也印證了 5.2.2 節中所述，對於同一振源而言，橋墩帽梁與橋墩所對應橋面版位置之振動反應，其頻率特性大致接近。

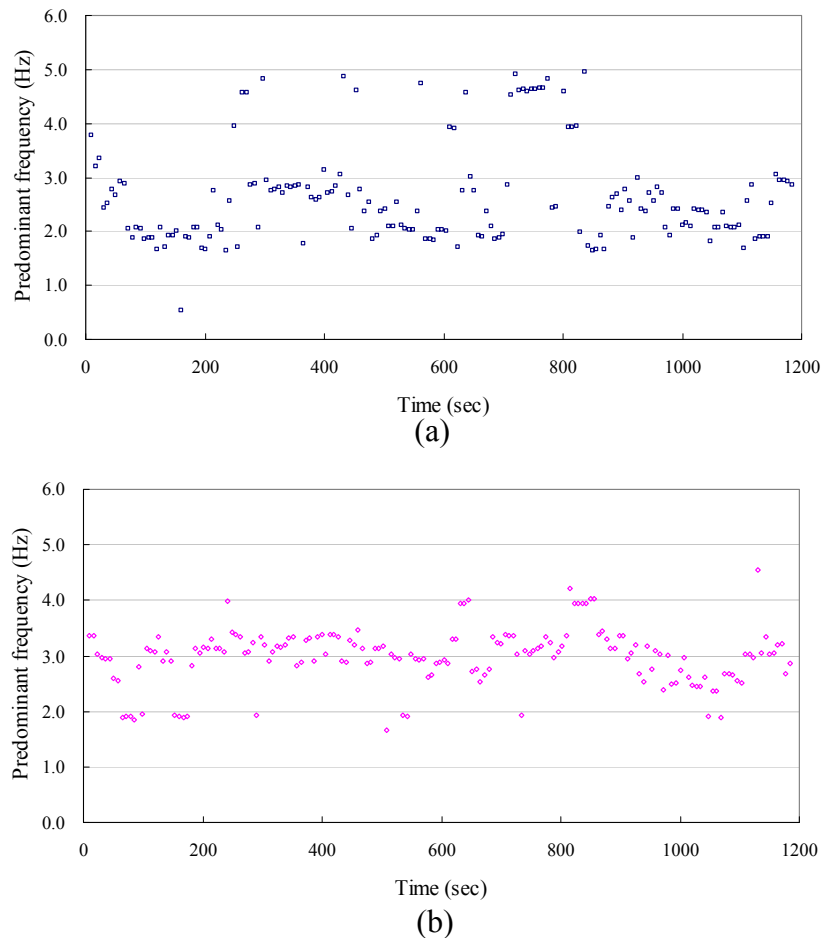


圖6.10 西濱大橋 HT 向振動顯著頻率隨時間之變化：

(a) P21 橋墩；(b) P26 橋墩

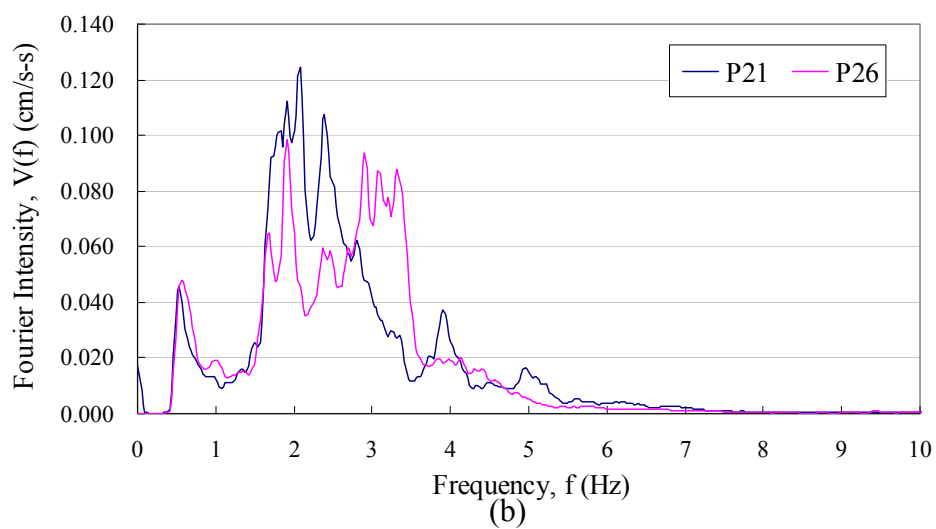
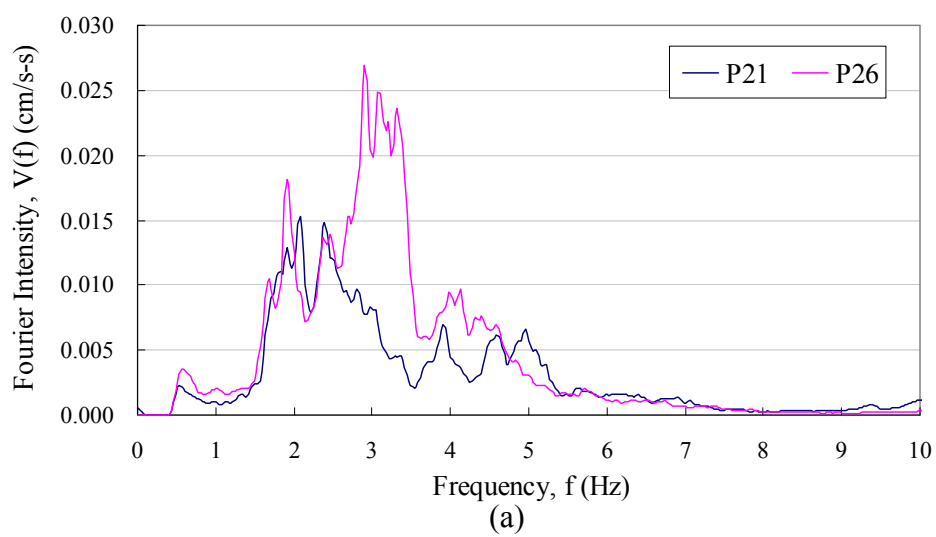


圖6.11 西濱大橋 HT 向振動振動平均富氏譜：

(a) 速度計固定於帽梁；(b)速度計固定於橋面版

6.3.2 超震波法橋墩基礎深度調查

1. 西濱大橋

西濱大橋超震波法檢測使用重鎚為震源，間隔 0.25m 集錄一條震波波線，觀測取樣時間間格為 0.032×10^{-3} 秒，震波集錄檢測器(受波器)使用：

- (1)三分量(水平分量 1、水平分量 2 及垂直分量)受波器(自然頻率 28Hz)。
- (2)自然頻率 100Hz 受波器，分別佈設在徑向(IN)、橫向(L)及垂直方向(V)。

檢測成果如下表 6-13。各震波記錄成果中，記錄時間在直達波列(紅色標線)後為來自各方向混雜的波列，並無較為明確可辨識來自基樁底部的反射波列，研判係因本橋墩為群樁基礎，震波經樁帽傳至各樁，再經複雜的界面傳遞所致，因此本法在群樁基礎檢測效果不佳。

表6-13 西濱大橋超震波橋墩基礎調查成果表

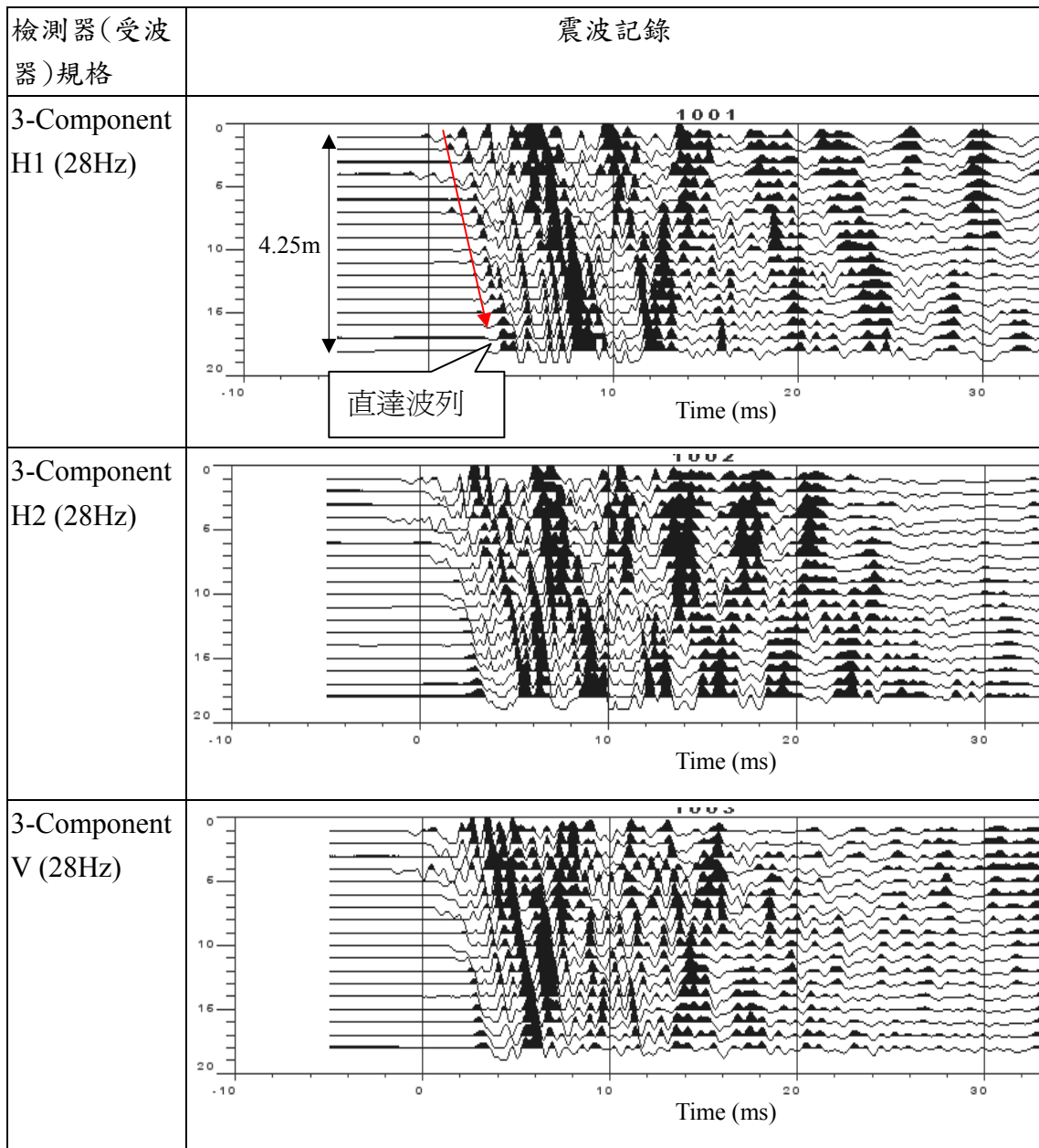
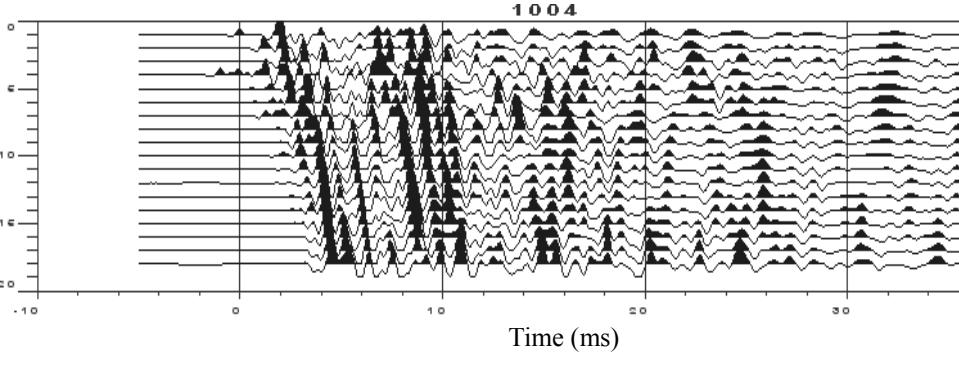
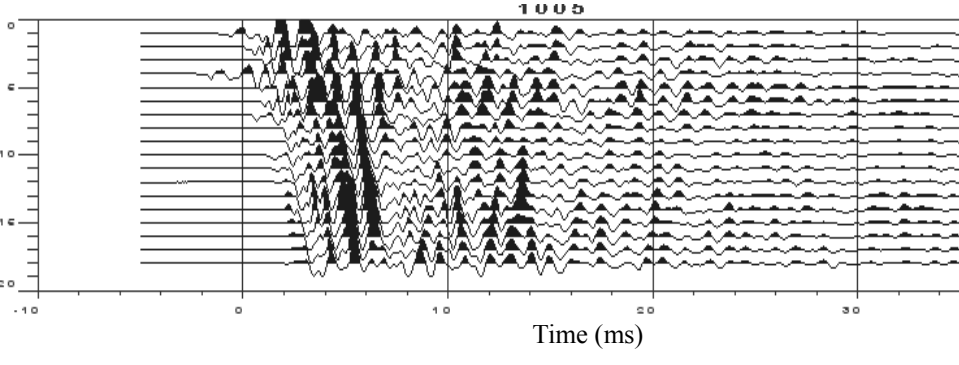
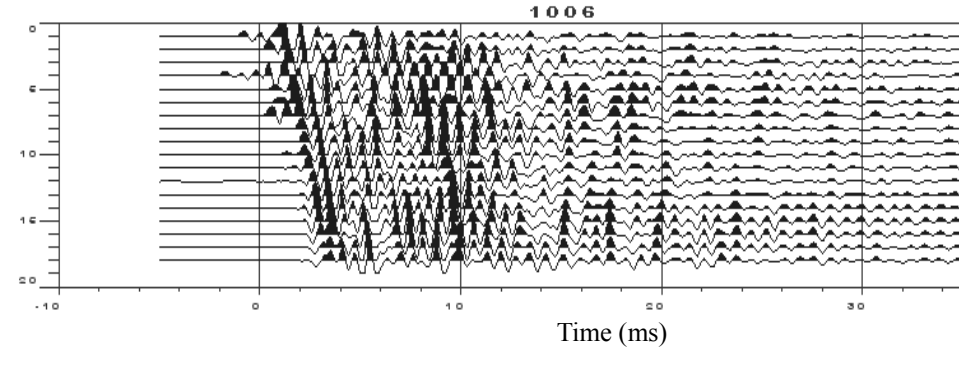


表 6-13 西濱大橋超震波橋墩基礎調查成果表(續)

檢測器(受波器)規格	震波記錄
100HZ 徑向	
100HZ 垂直向	
100HZ 橫向	

2. 谷關橋

谷關橋超震波法檢測使用重鎚為震源，間隔 0.25m 集錄一條震波波線，觀測取樣時間間格為 0.032×10^{-3} 秒，震波集錄檢測器(受波器)使用：

- (1) 3 分量(水平分量、水平分量及垂直分量)受波器(自然頻率 28Hz)。
- (2) 自然頻率 100Hz 受波器，分別佈設在徑向(IN)、及垂直方向(V)。

檢測成果如下表 6-14。各震波記錄成果中，記錄時間在直達波列(紅色標線)後約在 5~10ms 附近有一反射波列信號，其中以 100Hz 徑向記錄較為清楚，此波列特性與西濱大橋明顯不同，研判本橋為沉箱基礎。將其中 100Hz 徑向記錄經直達及反射波速計算(平均波速為:1367m/sec)及波列追蹤，推估谷關橋基礎深度約在地表下 4 公尺。

表6-14 谷關橋超震波橋墩基礎調查成果表

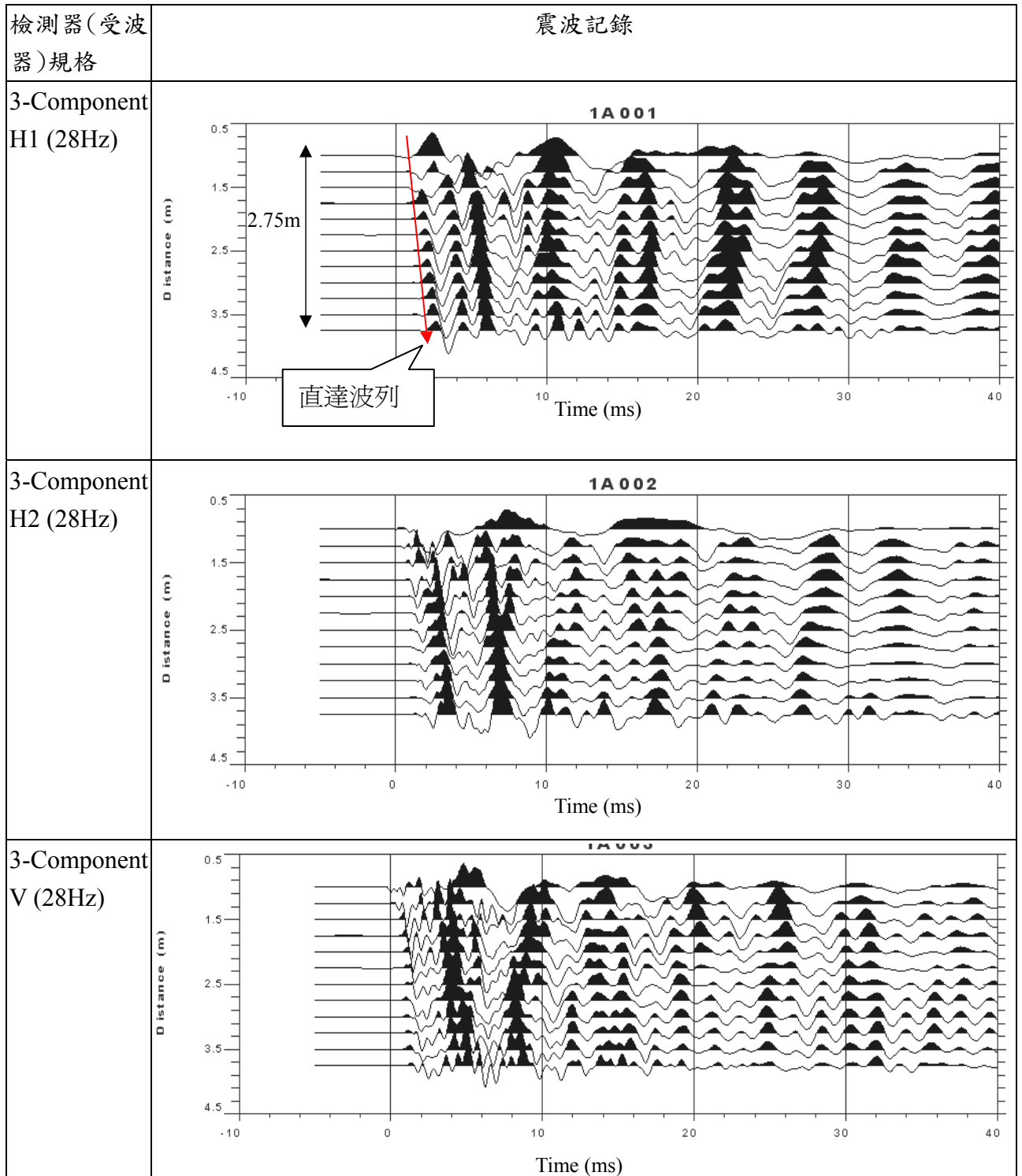
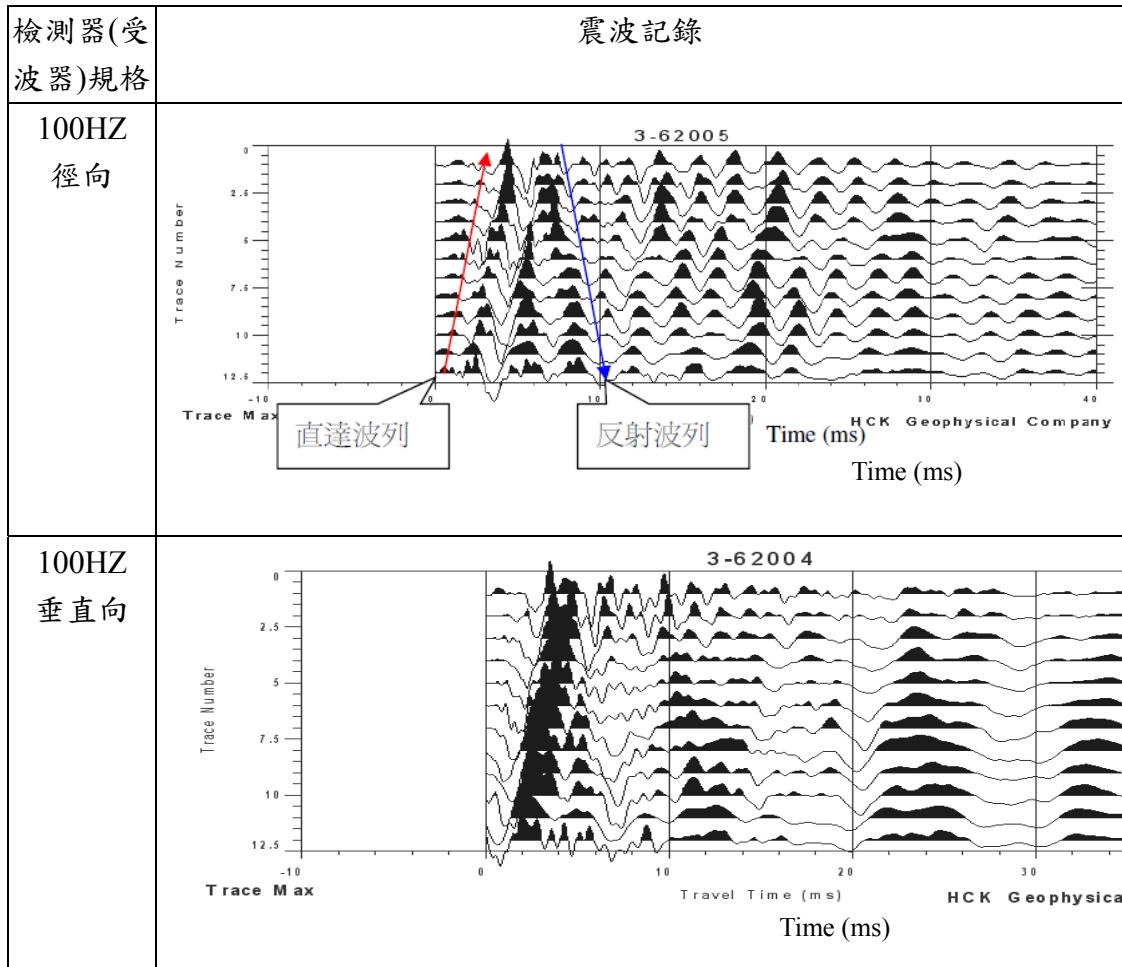


表 6-14 谷關橋超震波橋墩基礎調查成果表(續)



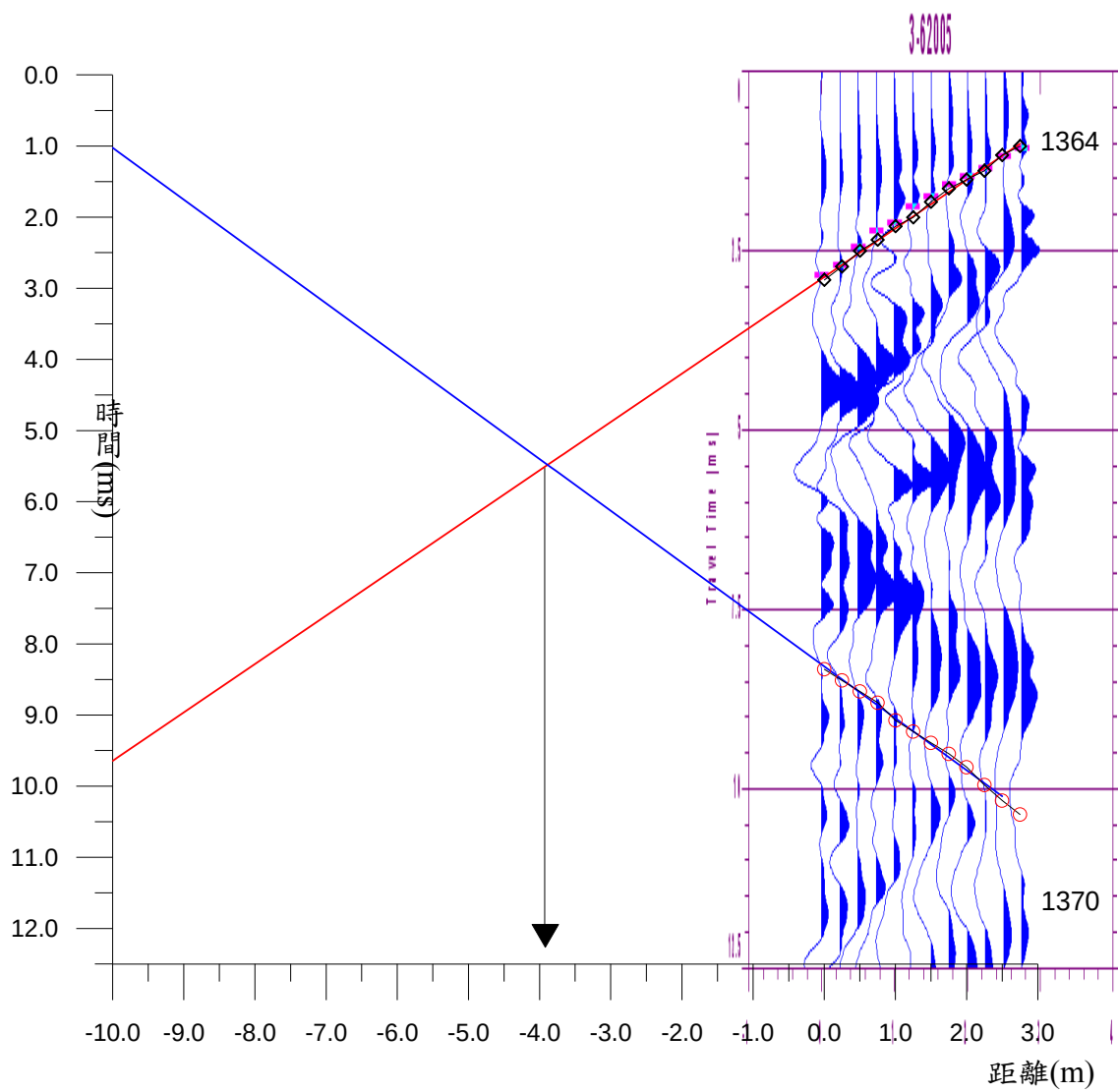


圖6.12 谷關橋超震波橋墩基礎調查成果及推估基礎深度

由圖 6.12 可推估橋墩基礎深度約在 4 公尺左右的深度。

6.3.3 橋基地電阻影像檢測結果

本次檢測調查共計二處，分別位於台 61 線(西濱大橋)、谷關(谷關橋)，探測方式藉由地電阻率影像調查對於人工建構物吸引或排斥電流使地下電場產生別於正常電場之異常變化及不同地層材料的導電能力具高鑑別率用以解析橋梁基礎深度及鄰近橋墩地層材料。另將測線編號、電極間距、測線長度，詳列於表 6-15 中。

表6-15 測線編號、電極間距、測線長度

橋梁名稱/測線編號	電極間距(m)	測線長度(m)
西濱大橋		
R-2	3	207
R-3	5	220
R-4	4	284
谷關大橋		
R-6	3	201
R-7	2	70

1. 西濱大橋

本橋梁位於台 17 線與台 61 線，橫跨濁水溪，車行方向橋墩寬約 6 公尺，橋墩間距約 29 公尺。垂直車行方向共包含三座橋墩，範圍約 38 公尺，橋墩間距約 2 公尺。本次橋梁基礎深度檢測共施作三條二維地電阻影像剖面測線，並於 P18 號橋墩垂直車行方向施作三維地電阻影像探測，茲將探測成果解釋如下：

R-2：展開方向約與車行方向垂直，包含台 17(P21)兩座橋墩與台 61 線橋墩，測線距離橋墩約 1 公尺。橋墩範圍約於測線水平距離 100-138 公尺。測線配置由橋梁上游側延伸至下游側。圖 6.13 為測線配置示意(上)與探查成果圖(下)。圖中顯示 100-106 公尺(上游側 P21 橋墩)有一電阻率異常區(0-40 ohm-m)，電阻率等值線形貌為垂直向分佈，由探測成果分析橋墩基礎與週遭地層材料電阻率對比不夠大，電阻率形貌隨深度加深而發散。由測線 R-2(0-90 公尺、141-207 公尺)無橋墩干擾之地層沉積物材料電阻率分佈特性推估(或另由針對河床材質檢測而佈設的測線 R-1 成果，後文另述)，深度 20-25 公尺為黏土/砂與砂/礫石界面，電阻率等值線形貌平緩。由此輔助研判探測剖面中橋墩基礎影響深度約 31-35 公尺。其他橋墩可能距離太近因電流的遮蔽效應無法由成果中判斷基礎深度。

R-3：測線展開方向約與車行方向平行，測線距離橋墩 1 公尺，共包含 P11-P16 號橋墩，分別位於 10-16 公尺、45-51 公尺、80-86 公尺、115-121 公尺、150-156 公尺、185-191 公尺。圖 6.14 為測線配置示意(上)與探查成果圖(下)，圖中顯示在水平距離對應位置上分別有六處電阻率異常區，電阻率形貌同測線 R-2 探測成果隨深度

加深而發散，同理推估測線 R-3 範圍內(P11-P16)橋墩深度約 31-35 公尺。各橋墩間存在低電阻率區域，研判可能為橋墩保護工或固床材料。

R-4：測線位於台 17 線與台 61 線(P15-P22)間，方向約與車行方向平行，(P15-P22)橋墩對應測線位置為 19-25 公尺、54-60 公尺、89-95 公尺、124-130 公尺、159-165 公尺、194-200 公尺、229-235 公尺、264-270 公尺。圖 6.15 為測線配置示意(上)與探查成果圖(下)，圖中顯示橋墩基礎深度約 13-15 公尺，研判橋墩深度較淺的原因可能受橋墩間保護工或固床材料影響電阻率形貌進而造成橋墩深度較淺。

R-5：為三維地電阻影像橋梁基礎試驗，測線涵蓋台 17 線及台 61 線三座橋墩。圖 6.16 為測線配置示意(紅色點位)與探查成果三維切面圖。圖中顯示當橋墩間距較近，三維地電阻影像可降低電流遮蔽效應並提供較佳的探測成果(與測線 R-2 比較)。圖 6.17 為 XY 水平切面與 YZ 垂直切面圖，XY 水平切面深度分別為 Z=-15 公尺、-19 公尺、-25 公尺，YZ 垂直切面為 X=15 公尺。圖中皆清楚顯示 3 個橋墩基礎電阻率影像，其中 XY 水平切面深度 25 公尺影像較微弱，研判試驗深度不足導致。

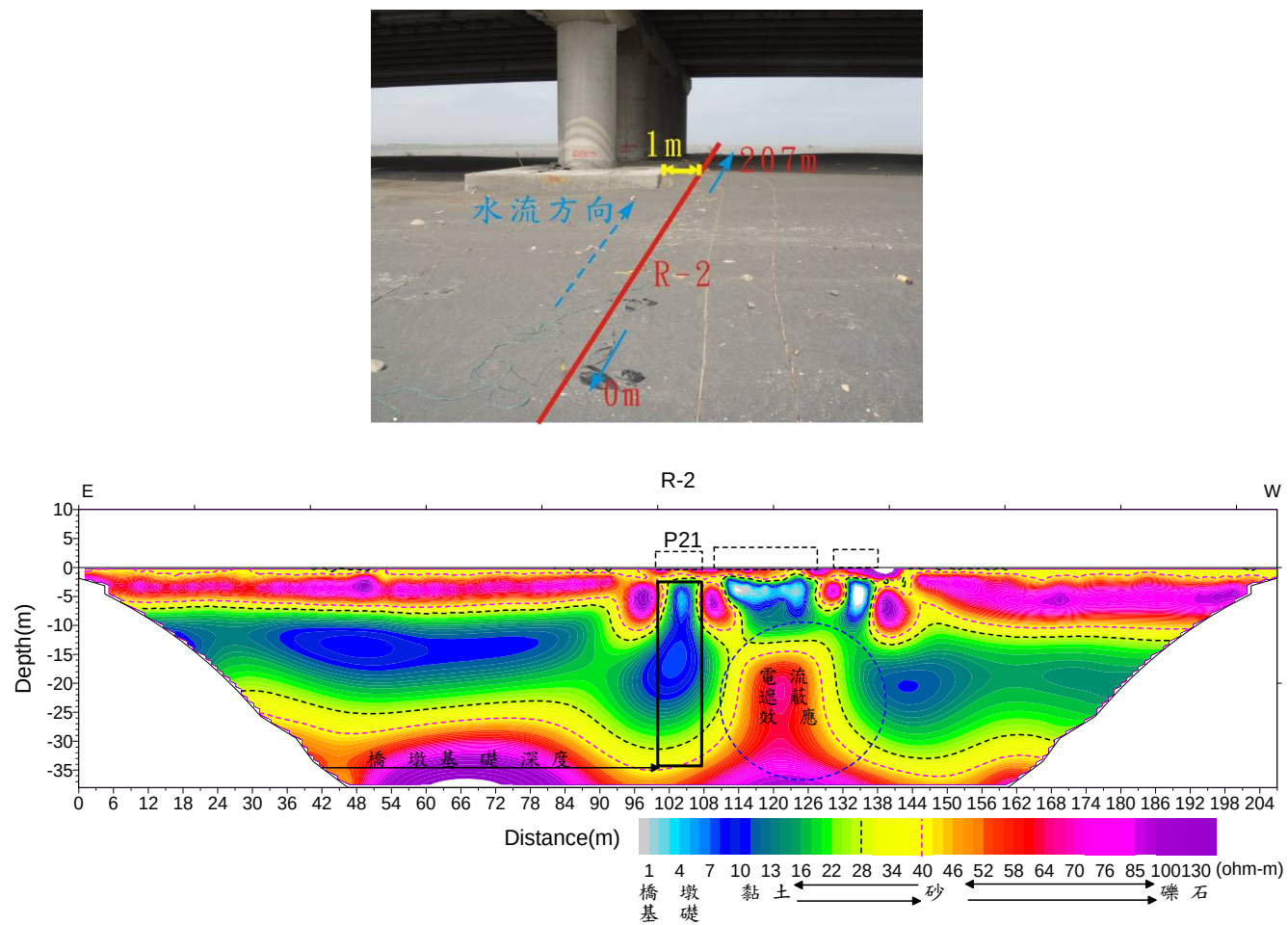


圖6.13 西濱大橋 R-2 測線位置示意與探測成果圖

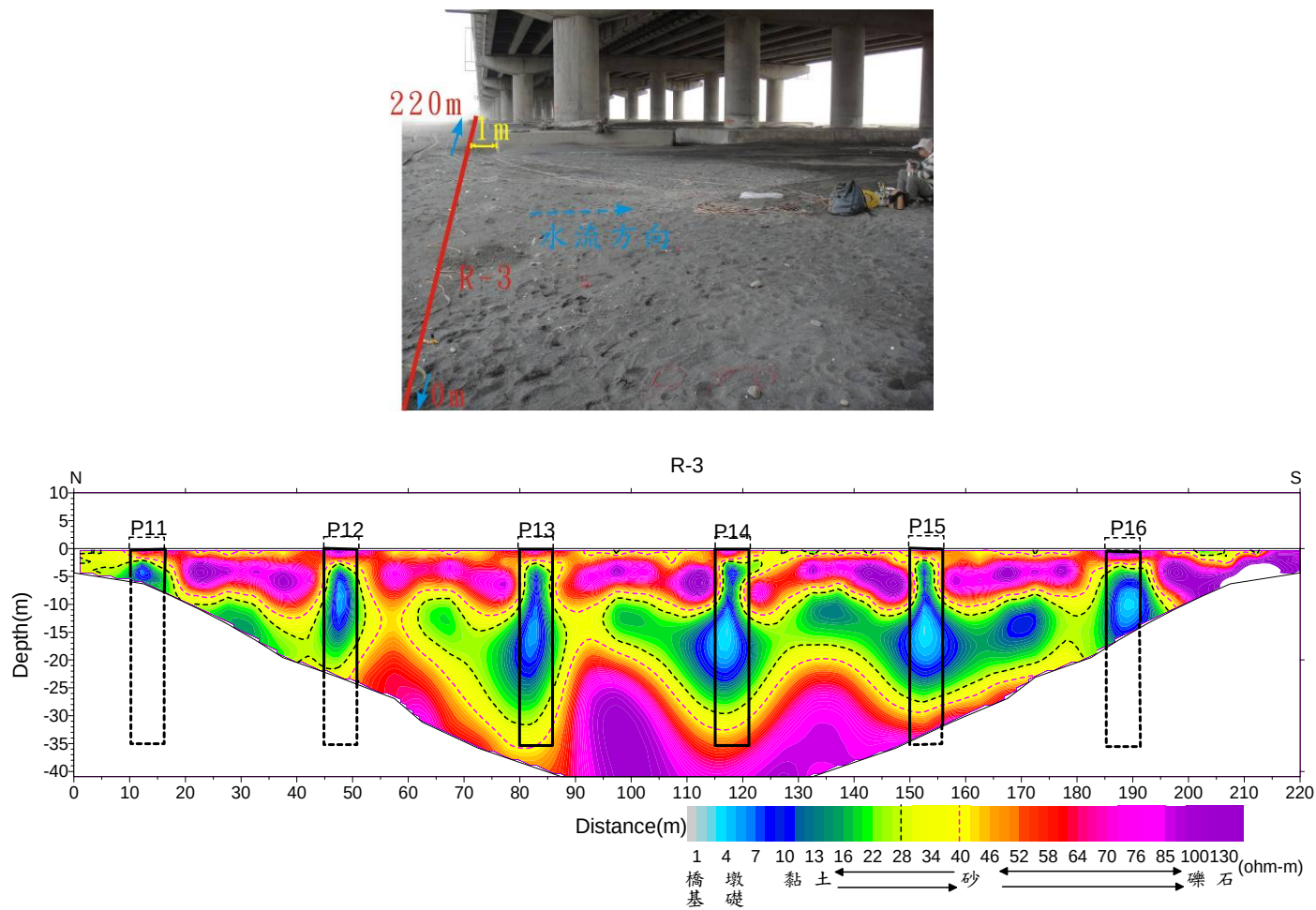


圖6.14 西濱大橋 R-3 測線位置示意與探測成果圖

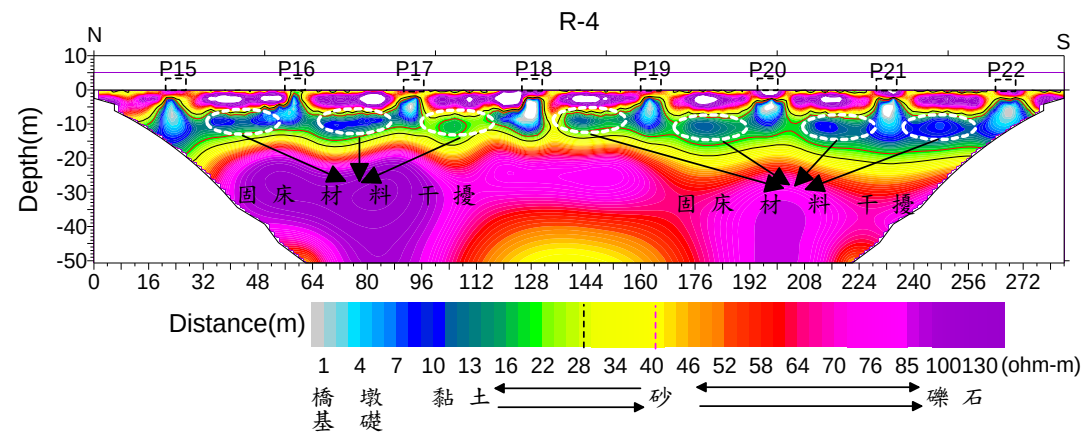
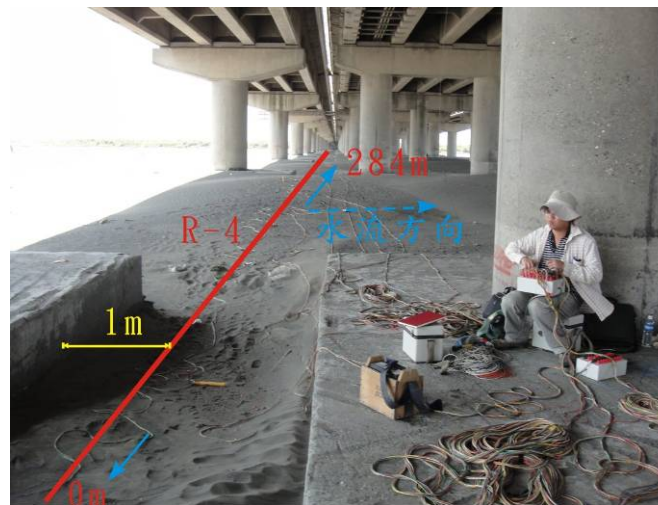


圖6.15 西濱大橋 R-4 測線位置示意與探測成果圖

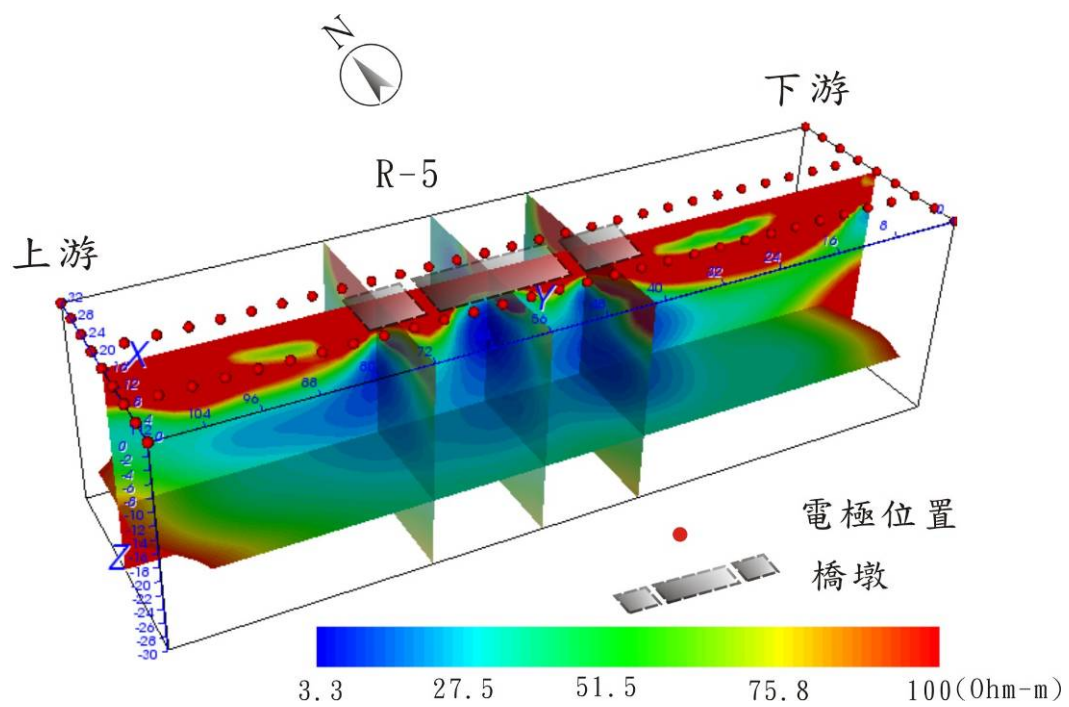


圖6.16 西濱大橋 R-5 三維切面電阻率探測成果圖

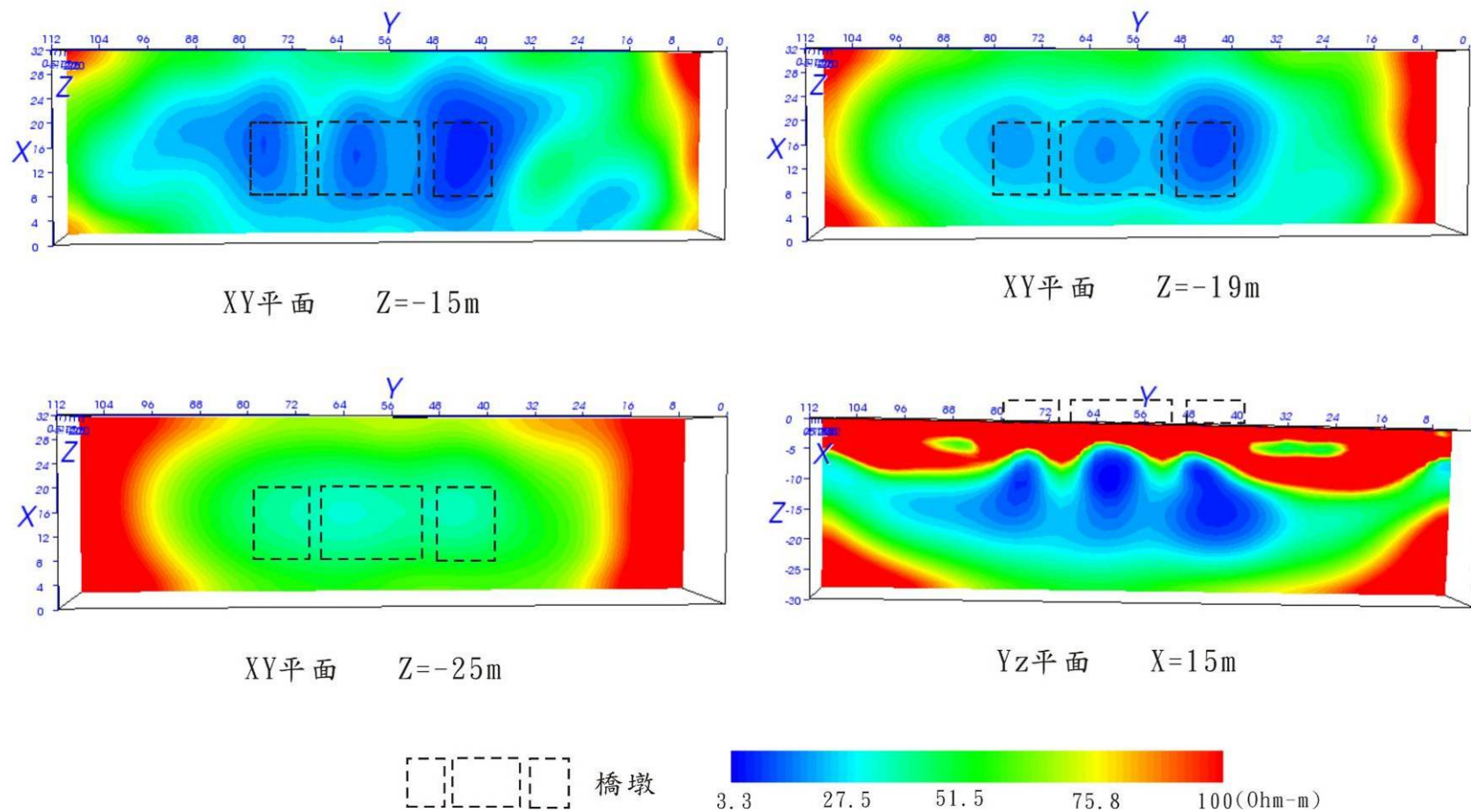


圖6.17 西濱大橋 R-5 XY 水平切面與 YZ 垂直切面電阻率探測成果圖

2. 谷關大橋

本橋梁位於台中谷關，橫跨大甲溪，橋墩型式為圓柱型，直徑約 3 公尺。本次施測共配置兩條二維地電阻影像剖面測線，編號分別為 R6、R7，R6 測線與車行方向約垂直，與橋墩間距為 1.5 公尺，橋墩對應測線水平距離約 59-62 公尺。R7 測線與車行方向斜交且與橋墩間距為 1 公尺，橋墩對應測線水平距離約 36-39 公尺。圖中各地層分界如黑色虛線所示，地下水位面如白色虛線所示。茲將探測成果解釋如下：

R-6：圖 6.18 為測線配置示意(上)與探查成果圖(下)。圖中顯示除水平距離對應位置有低電阻率異常區，剖面深部亦呈現低電阻率特徵，研判測線約平行鄰近擋土牆且距離太近，深部探測資料受鐵質性物質影響，以致於無法反應真實電阻率形貌，進而影響橋墩基礎判釋。測線水平距離 102-165 公尺與擋土牆距離較遠，受干擾影響小，以此推估 300 (ohm-m)為地層分界電阻率。研判界面上下地層分別為礫石層及岩盤。

R-7：圖 6.19 為測線配置示意(上)與探查成果圖(下)。圖中顯示水平距離 34-40 公尺有低電阻率異常區，異常區電阻率受控於橋墩鐵質性物質多寡，大致介於 1-20 (ohm-m)。依電阻率異常形貌推估橋墩基礎深度約 5-6 公尺並成階梯狀分佈。測線範圍內，淺部地層電阻率大於 300 (ohm-m)，厚度約 6-8 公尺，研判為礫石層，電阻率高低受控於礫石顆粒大小與孔隙填充基質。礫石層下方地層電阻率受橋墩電阻率影響而失真，研判應為岩盤。

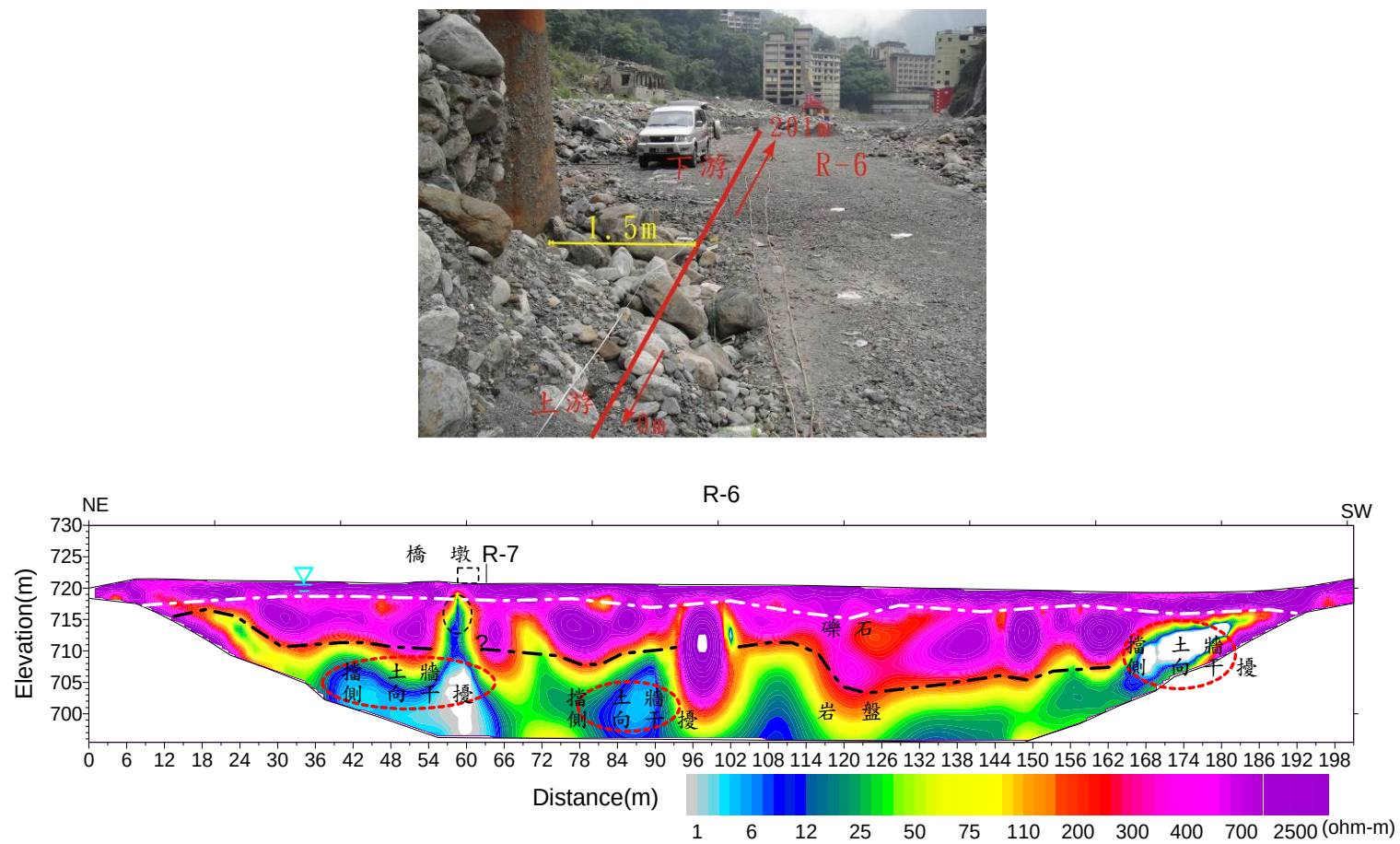


圖6.18 谷關橋 R-6 測線位置示意與探測成果圖

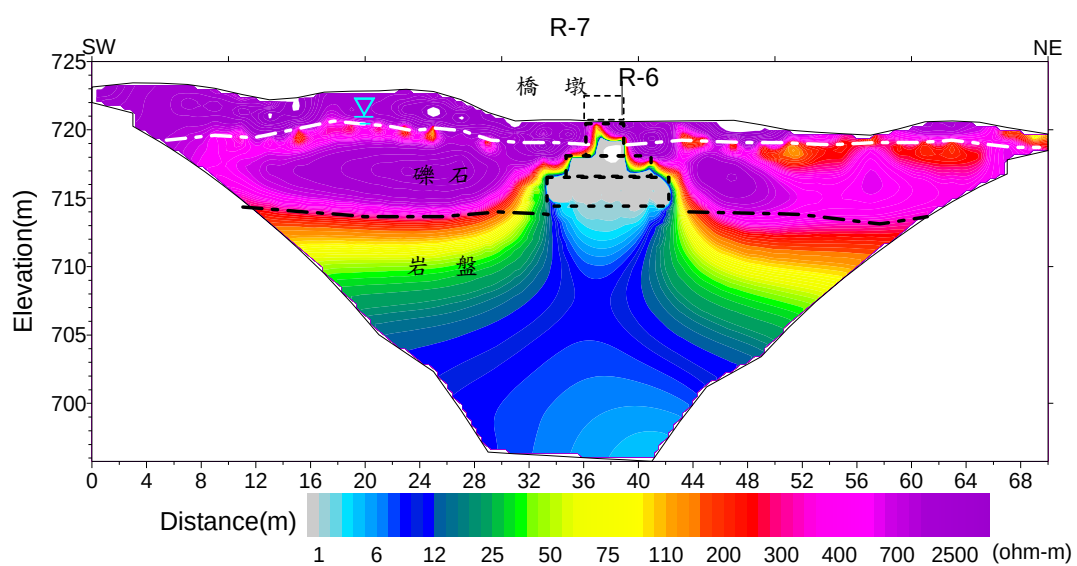


圖6.19 谷關橋測線位置示意與探測成果圖

3. 地電阻影像施測結論結論

綜合本次地電阻影像施測成果可以獲致如下結論：

(1) 西濱大橋：

- a. 由測線 R-2、R-3、R-4 探測成果獲悉當橋墩間距太近會產生電流遮蔽效應影響基礎深度判釋。橋墩間疑似存在保護工或固床工影響探測成果。
- b. 測線 R-2、R-3 探測成果顯示橋墩基礎與週遭地層材料電阻率對比不夠大，電阻率形貌隨深度加深而發散，因此藉由分析無橋墩干擾之地層材料研判橋墩基礎深度約 31-35 公尺。
- c. 為降低電流遮蔽效應及增加探測解析度，本次探測另施以三維地電阻影像測線，由探測成果可清楚顯示 3 個橋墩基礎電阻率影像。

(2) 谷關大橋：

- a. 綜合測線 R-6、R-7 地電阻率影像剖面成果，依電阻率 300 ohm-m 研判鄰近橋墩基礎之地層可分為兩層，上部為礫石層厚度約 6-8 公尺，下部應為岩盤，下部地層電阻率受側向擋土牆及橋墩基礎影響而無法反應地層真實電阻率。
- b. 測線 R-6 鄰近擋土牆，於剖面中顯示橋墩異常電阻率與擋土牆干擾之電阻率相互影響，因此橋墩基礎深度無法由剖面中得知。
- c. 經由現場判釋 R-6 探測成果隨即修正測線配置方向，由測線 R-7 電阻率探測成果清楚顯示橋墩深度約 5-6 公尺。

6.3.4 橋基周圍河床材料調查

本次以非破壞性檢測法(電阻率影像剖面、超震法)進行西濱大橋及谷關橋基礎深度尺寸外，也同時針對橋梁附近河床材質進行調查，以了解橋梁基礎附近河床材料抗沖刷特性。茲將成果分述如下：

1. 西濱大橋

(1)電阻率影像剖面法：

- a. R-1：測線配置以距台 17(P18)橋墩中心 10 公尺為端點往上游延伸。目的為了解測區地層電阻率分佈，輔助解釋橋墩深度判釋。圖 6.20 為測線 R-1 探測成果解釋圖，圖中依電阻率分佈特性推估的地層界面如黑色虛線所示；由淺至深約可分為四個層段，茲將電阻率特徵與對應地層特性分述如下：
- b. 砂土層：電阻率約 25-40 (ohm-m)，層厚約 1-2 公尺。
- c. 砂/礫石層：電阻率約 40-100 (ohm-m)，層厚約 4-5 公尺。
- d. 黏土/砂層：電阻率小於 30 (ohm-m)，層厚約 13-18 公尺。
- e. 砂/礫石層：電阻率約 40-100 (ohm-m)。

圖中顯示測線水平距離 160-200 公尺，除礫石層厚度較厚外，黏土/砂層電阻率側向不連續，研判鄰近橋墩處地層可能受水流掏刷再經回淤所致。

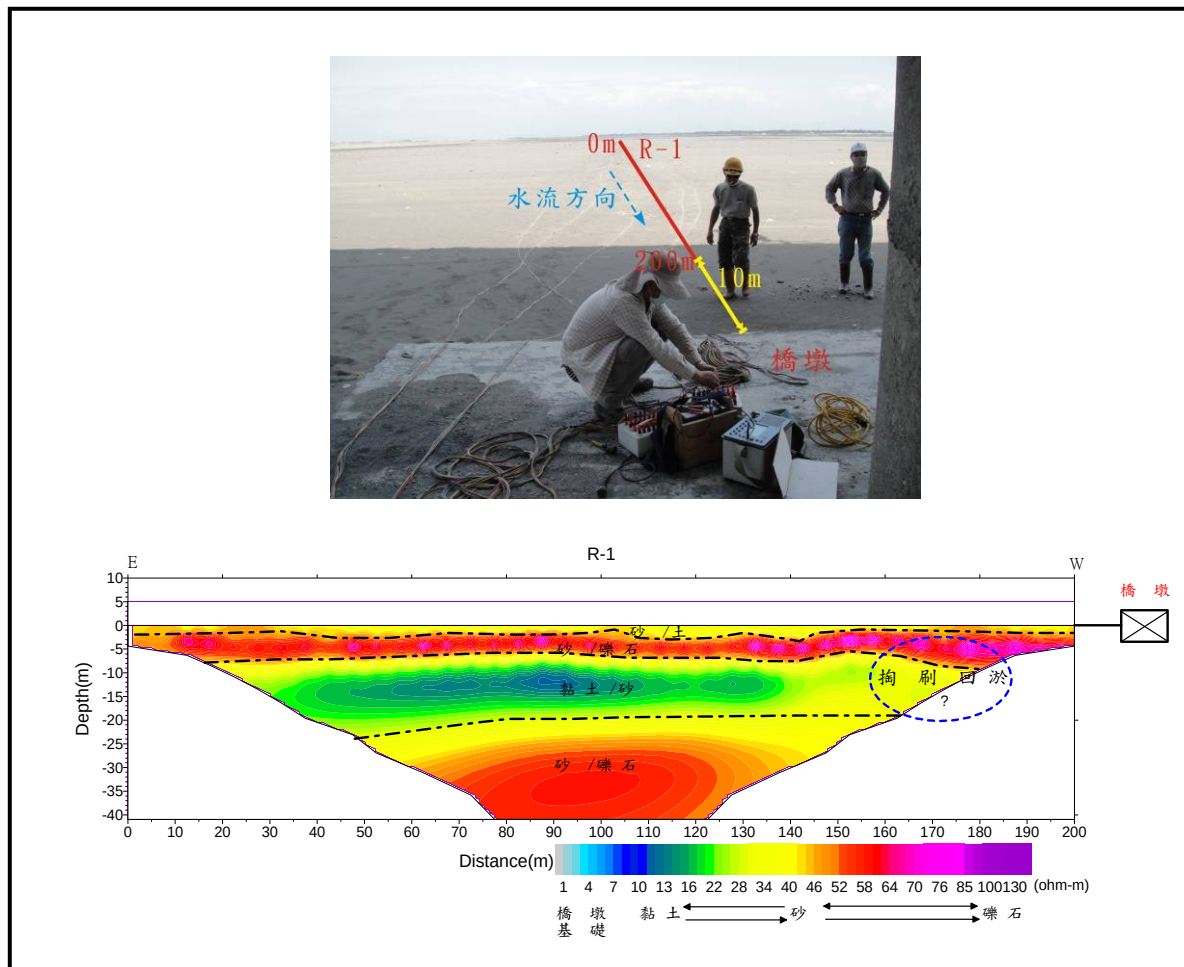


圖6.20 西濱大橋 R-1 測線位置示意與探測成果圖

(2) 折射震測法

折射震測測線位置與成果(速度層剖面)如圖 6.21 所示，調查深度範圍約 0-20 公尺，由淺至深約可分為三個層段，茲將波速 (V_p) 與對應地層特性分述如下：

- 第一層：波速(V_p)約 500-800m/sec，層厚約 1-2 公尺，相當於乾燥的砂土層。
- 第二層：波速(V_p)約 900-1400m/sec，層厚約 4-5 公尺。相當於濕潤的砂/礫層。
- 第三層：波速(V_p)約 1500-1700m/sec。相當於飽和含水的黏土/砂層。

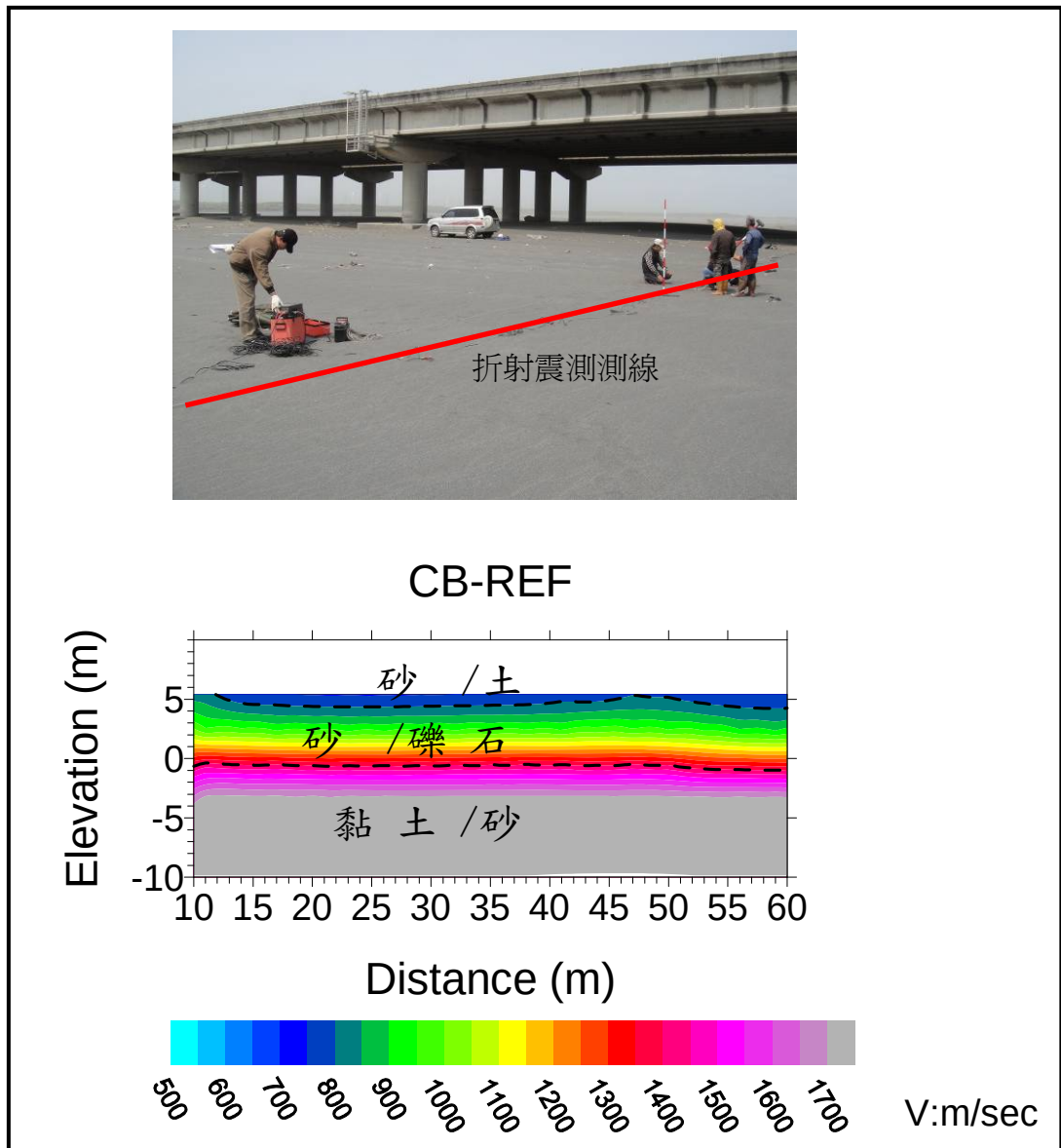


圖6.21 西濱大橋折射震測測線位置示意與探測成果圖

(3)表面波法

表面波法(被動式)測線位置與折射震測位置相同，表面波頻散如圖 6.22 所示，圖中縱軸為速度倒數($1/V$)，橫軸為頻率($F(\text{Hz})$)，調查深度範圍約 0-30 公尺，由淺至深約可分為四個層段，茲將波速(V_s)與對應地層特性分述如下：

- a. 第一層：波速(V_s)約 86m/sec，層厚約 3 公尺。
- b. 第二層：波速(V_s)約 123m/sec，層厚約 4.5 公尺。
- c. 第三層：波速約 274m/sec，層厚約 13 公尺。
- d. 第四層：波速約 333m/sec。

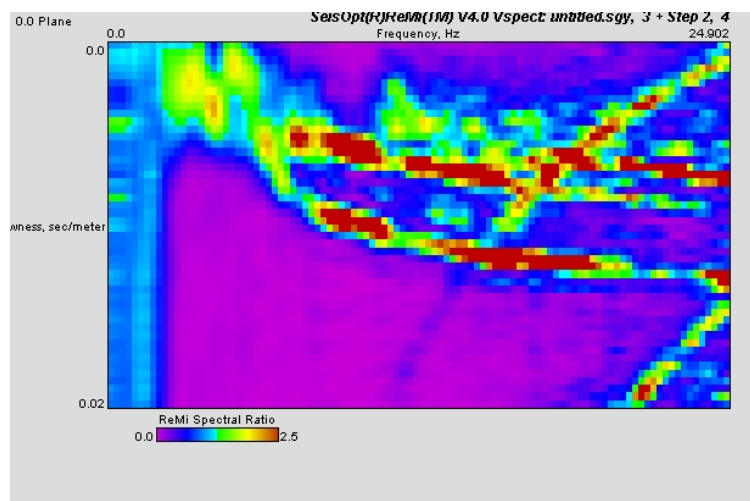


圖6.22 表面波頻散圖,縱軸為速度倒數($1/V$)

橫軸為頻率($F(\text{Hz})$)

(4)綜合成果

西濱大橋橋梁基礎上游約 0-200 公尺附近河床材料，經由前述三種試驗獲得初步成果；在深度 0-30 公尺範圍內由淺至深約可分為四個地層單位，並參考表 6-17，各地層對應材料特性如表 6-16 所示：

表6-16 各地層對應材料特性表

深度 (m)	河床材質	電阻率 (ohm-m)	Vp (m/sc)	Vs(m/sec)	抗沖刷特性
0-2	砂/土(乾燥)	25-40	500-800	86	Very erodable
2-5	砂/小礫	40-100	900-1400	123	Very erodable
5-15	黏土/砂	<30	1500-1700	274	Very erodable – 0.2
>15	砂/小礫	40-100		333	Very erodable – 0.2

表6-17 河床材料波速分佈與抗沖刷特性^[31]

Seismic Velocity f/s (m/s) (Rucker and Ferguson, 2006)	Trackhoe / Dozer Type & Power (Cat, 1984, 1993)	Erodability / Excavatability Index (Kirsten 1982, 1986; NRCS, 2001)	Erosion Threshold Stream Power, KW/m ² (Annandale, 1995)
s-wave < 750 f/s (230 m/s) p-wave < 1,500 f/s (460 m/s)	Hand spade	< 0.01	Very erodable
s-wave 750 – 1,500 (230 – 460) p-wave 1,500 – 3,000 (460 – 910)	Hand pick & spade	0.01 – 0.099	Very erodable – 0.2
s-wave 1,500 – ~1,800 (460 – 550) p-wave 3,000 – ~3,500 (910 – 1,070)	Cat 325BL 168 hp 125 KW Cat D6D 136 hp 101 KW	0.1 – 0.99	0.2 – 1.0
s-wave ~1,800 – 2,000 (550 – 610) p-wave ~3,500 – 4,000 (1,070 – 1,220)	Cat 330BL 222 hp 165 KW Cat D7G 200 hp 149 KW	1.0 – 9.99	1.0 – 5.0
s-wave ~2,100 – 3,000 (640 – 910) p-wave ~4,200 – 5,900 (1,280 – 1,800)	Cat 345BL 321 hp 239 KW Cat D8L 335 hp 249 KW	10 – 99	5.0 – 30
s-wave 3,000 – 3,600 (910 – 1,100) p-wave 5,900 – 7,200 (1,800 – 2,200)	Cat 375 428 hp 319 KW Cat D9L 460 hp 342 KW	100 – 999	30 – 200

2. 谷關橋

(1) 折射震測法

折射震測測線位置與成果(速度層剖面)如圖 6.23，調查深度範圍約 0-15 公尺，由淺至深約可分為三個層段，茲將波速(V_p)與對應地層特性分述如下：

- 第一層：波速(V_p)約 1050-1800m/sec，層厚約 4-6 公尺，相當於礫石或塊石層。
- 第二層：波速(V_p)約 1900-2500m/sec，層厚約 2-3 公尺。相當於風化岩層。
- 第三層：波速(V_p)約 3000-3800m/sec。相當於新鮮岩盤。

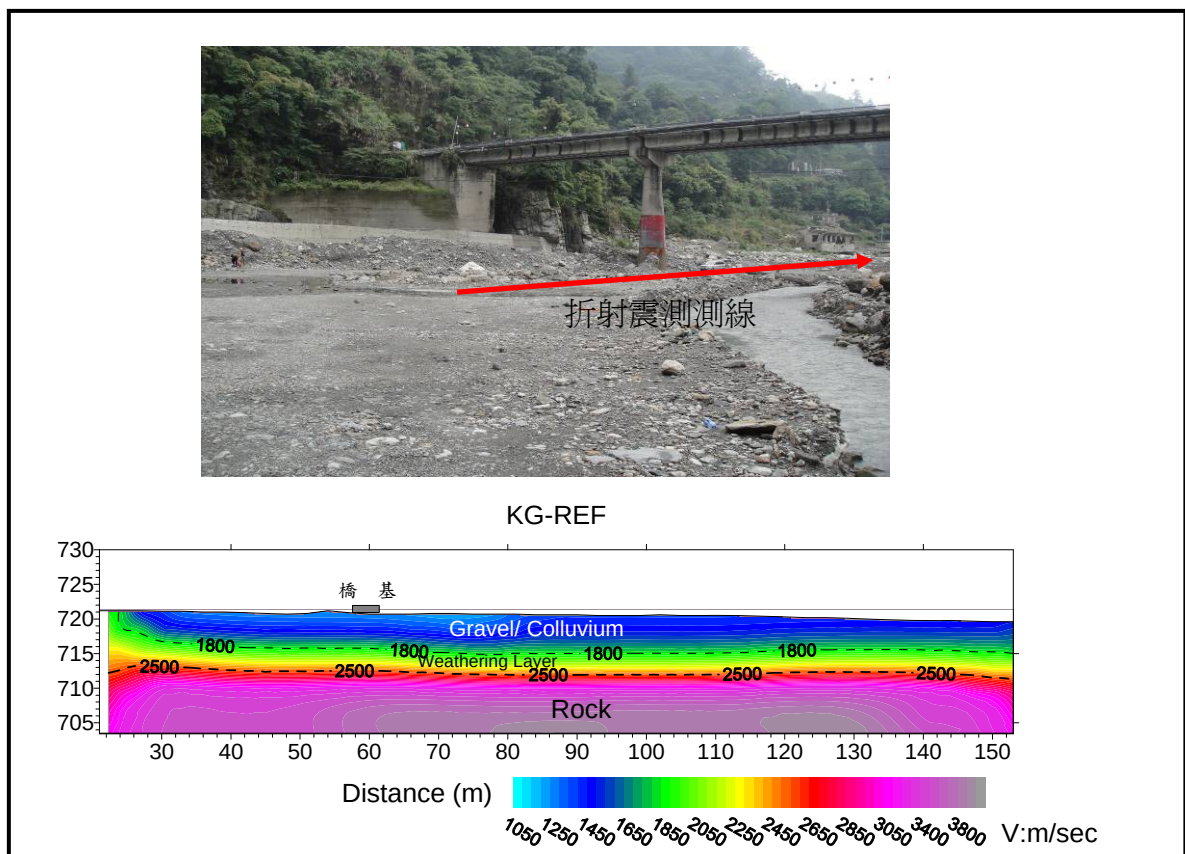


圖6.23 谷關橋折射震測測線位置示意與探測成果圖

(2)表面波法

表面波法(被動式)測線位置與折射震測位置相同，表面波頻散如圖 6.24 所示，調查深度範圍約 0-25 公尺，由淺至深約可分為四個層段，茲將波速(V_s)與對應地層特性分述如下：

- a. 第一層：波速(V_s)約 814m/sec，層厚約 1 公尺。
- b. 第二層：波速(V_s)約 316m/sec，層厚約 4 公尺。
- c. 第三層：波速(V_s)約 572m/sec，層厚約 4 公尺。
- d. 第四層：波速約 1218m/sec。

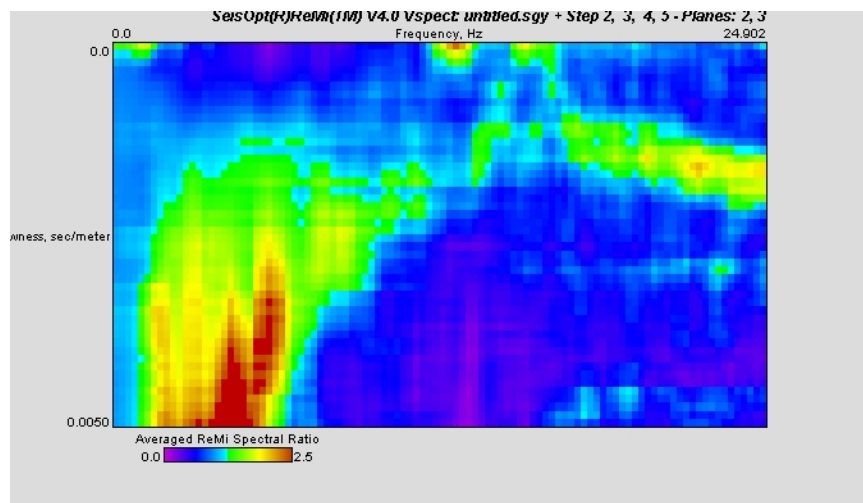


圖6.24 表面波頻散圖,縱軸為速度倒數($1/V$)，
橫軸為頻率(Hz)

(3)綜合成果

谷關橋橋梁基礎上游至下游約0-150公尺附近河床材料，經由前述二試驗獲得初步成果；在深度0-25公尺範圍內由淺至深約可分

為四個地層單位，各地層對應材料特性如表6-18所示：

表6-18 谷關大橋各地層對應材料特性

深度 (m)	河床材質	Vp (m/sc)	Vs(m/sec)	抗沖刷特性
0-1	礫石/塊石	1050-1800	814	5.0-30
1-5	礫石/塊石	1050-1800	316	Very erodable – 0.2
5-9	風化岩層	1900-2500	572	1.0-5.0
>9	新鮮岩盤	3000-3800	1218	30-200

6.3.5 冲刷監測系統

本計畫所使用之重力式壓電片冲刷監測系統安裝於西濱大橋第 21 橋墩下游處如圖 6.25 所示，重力式壓電片冲刷監測計主要之運作原理為利用壓電片感測器是擺動或靜止判斷感測器所處的狀態為水中或埋於土中，因此此重力桿上共設有 23 片壓電片，每片壓電片間距 25 公分，其中第 1 至 3 壓電片感測器(由下往上)埋於土內，作為判別初始河床位置用，初始的河床高程為 4.80 公尺(樁帽頂部高程為 5.56 公尺)。

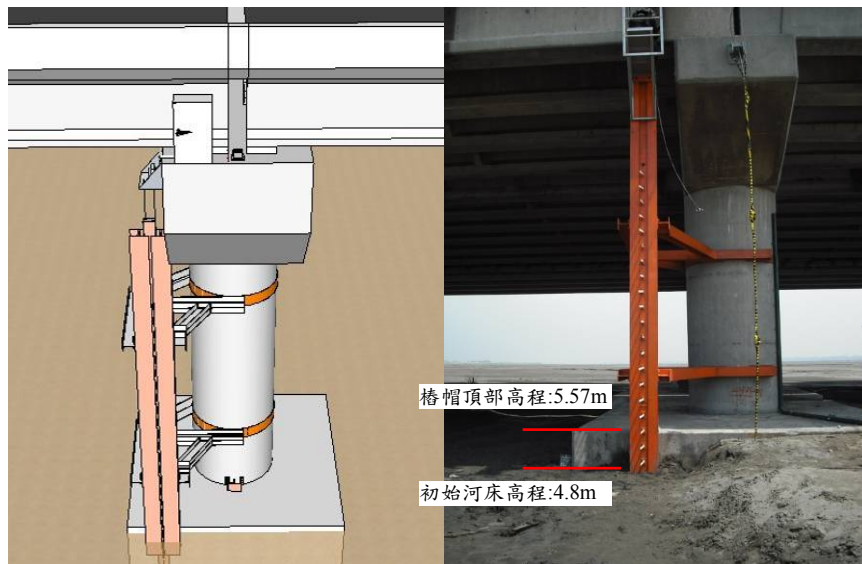


圖6.25 西濱大橋第 21 墩冲刷監測器安裝前情形

該監測系統於 99 年度之汛期內紀錄到凡那比颱風造成之河床變動歷程，雖然凡那比侵台期間雖帶來充沛的雨量，但在西濱大橋所在之彰雲地區僅有零星的陣雨，是中央氣象局所發佈 9 月 19 日至 9 月 20 日各地累積雨量圖如圖 6.26 所示，颱風所帶來的雨量幾乎集中在東部和南部地區。

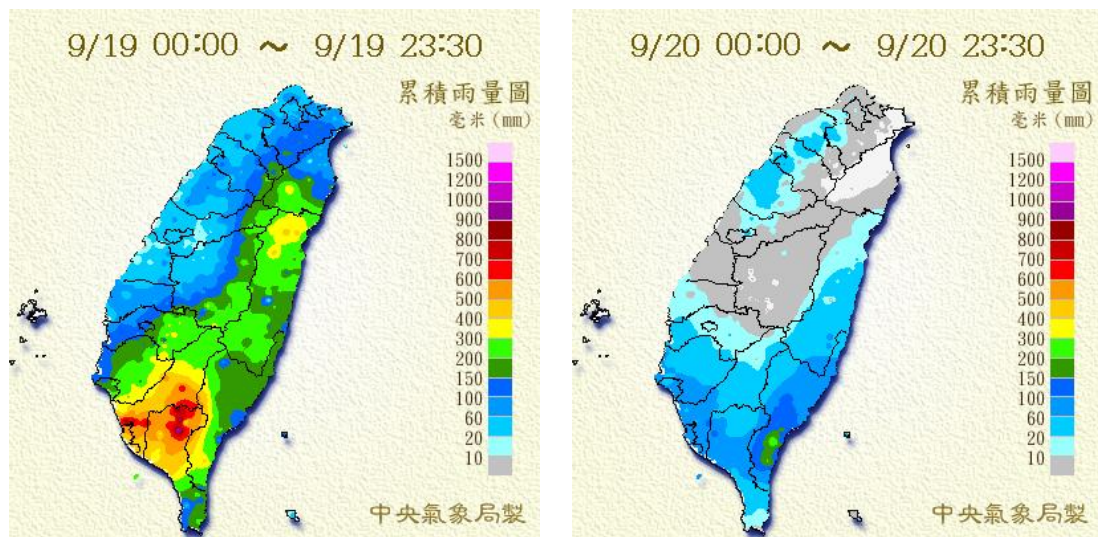


圖6.26 9 月 19 日至 9 月 20 日累積雨量圖(來源：中央氣象局)

在 9 月 18 日凡那比颱風未侵台前，西濱大橋第 21 橋墩處並無水流經過，可明顯觀察到河床及帽梁頂部，如圖 6.27 所示；9 月 19 日中午 12 點凡那比颱風開始登陸，現地水位正逐漸上升，但裝設重力式壓電片沖刷監測計的第 21 墩位置仍可看到有些許的河床尚未被水覆蓋，如圖 6.28 所示，從壓電片訊號亦可看出水位微幅上升至 4 號壓電片位置。到了 9 月 19 日 18 點抵達現地時已無風無雨，水位已完全蓋過高灘地，但觀察水流情況可發現，此處的水流僅淺淺的覆蓋河床，並未將高灘地的土沖走，目測水位約比中午時上升 0.5 公尺，如圖 6.29 所示，其中從壓電片訊號看出水位上升至 6 號壓電片以及河床受到輕微沖刷而微幅下降至 2 號壓電片。9 月 20 日上午 11 點再至現地時，此時的水位約和 9 月 19 日中午時的高程相當，僅些微覆蓋樁帽，但水流流速也漸緩許多，如圖 6.30 所示，由壓電片訊號看出河床出現回淤而升高至 6 號壓電片位置。9 月 23 日 12 點颱風過境三天後，第 21 墩的水已完全退去，覆土較颱風來襲前更高，如圖 6.31 所示，由壓電片訊號亦確認河床高程仍在 6 號壓電片位置，確實證明本計畫沖刷監測器確切掌握 P21 橋墩處在此次颱風侵襲過程中河床高程雖有因沖刷下

降而最後河床高程因回淤上升之過程。其沖刷監測器測得之河床高程歷時變化如圖 6.32 所示。

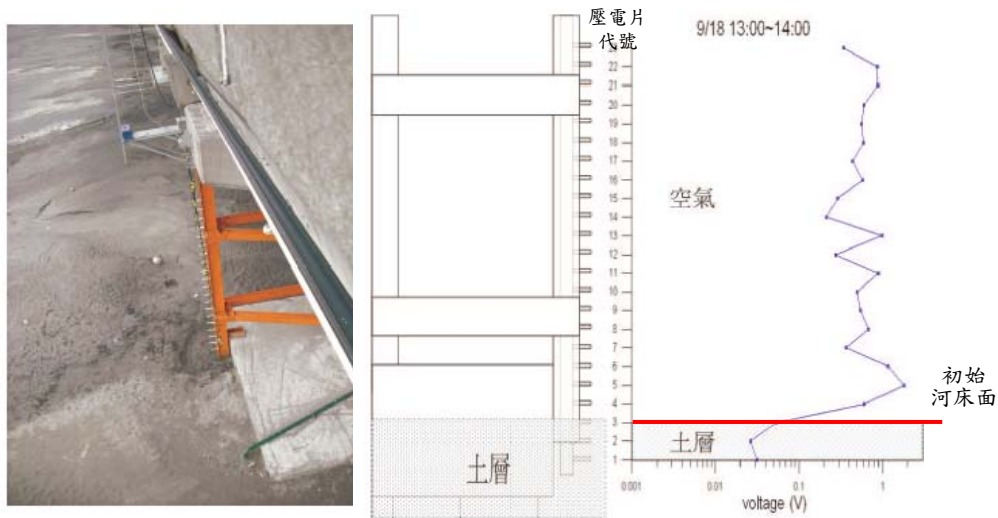


圖6.27 9/18 凡那比颱風未侵襲前橋梁現況

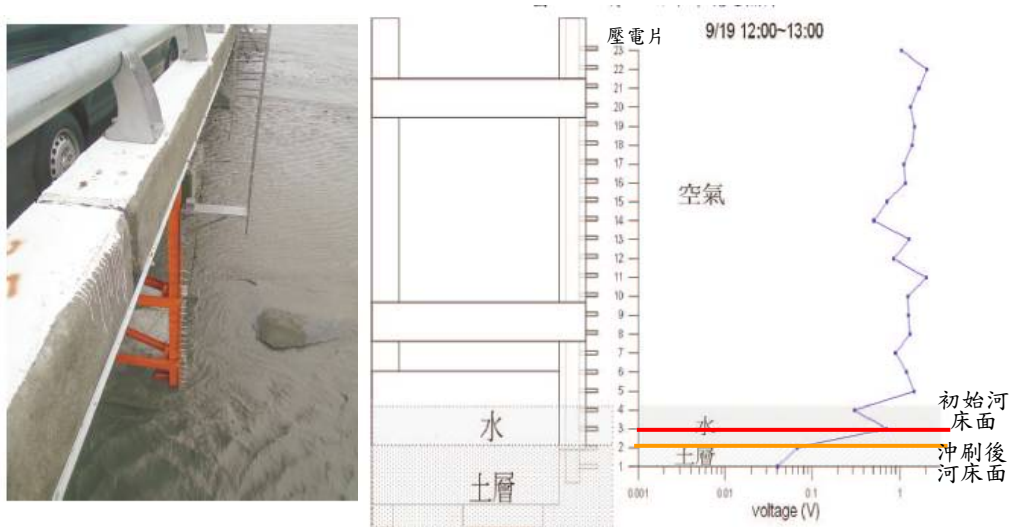


圖6.28 9/19 12:00 凡那比颱風登陸時橋梁現況

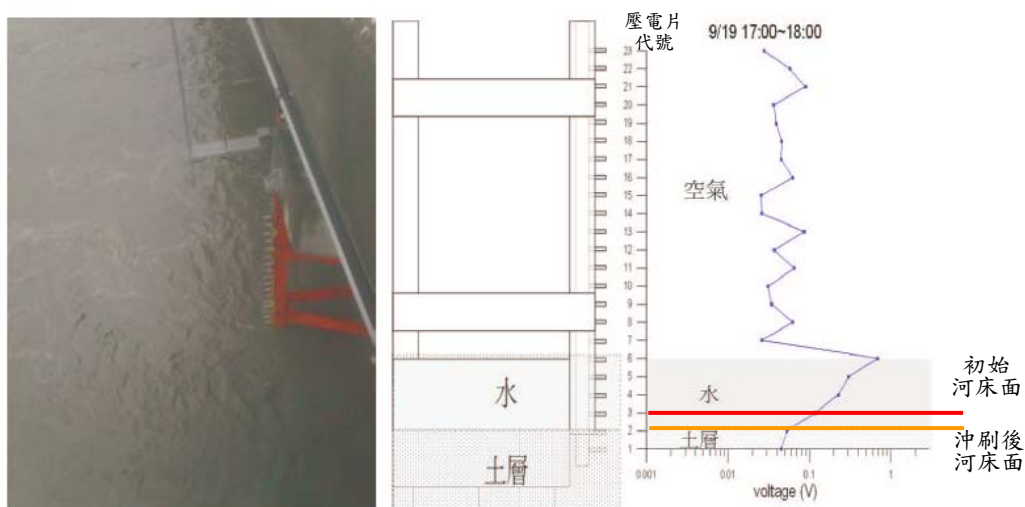


圖6.29 9/19 17:00 凡那比颱風登陸後橋梁現況

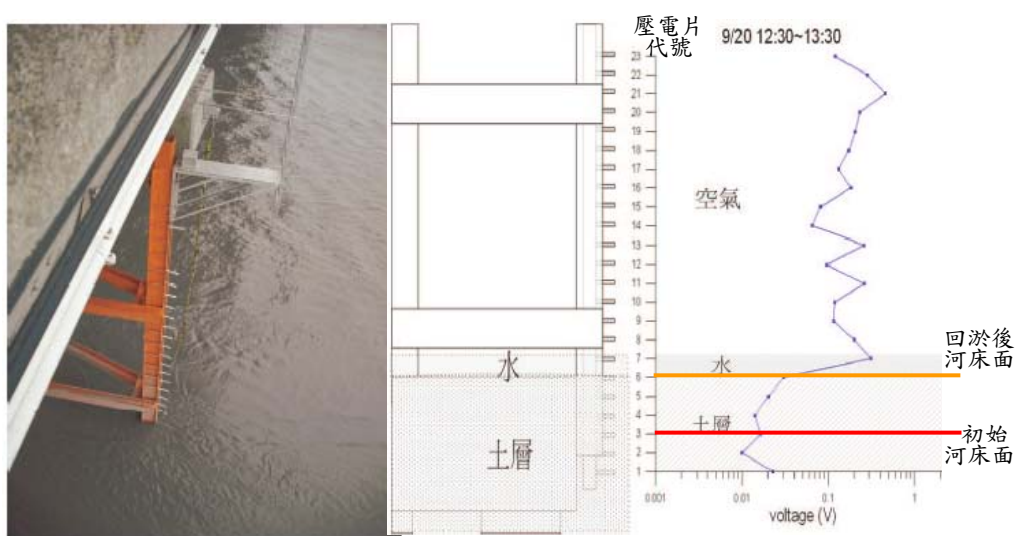


圖6.30 9/20 12:30 凡那比颱風即將離台時橋梁現況

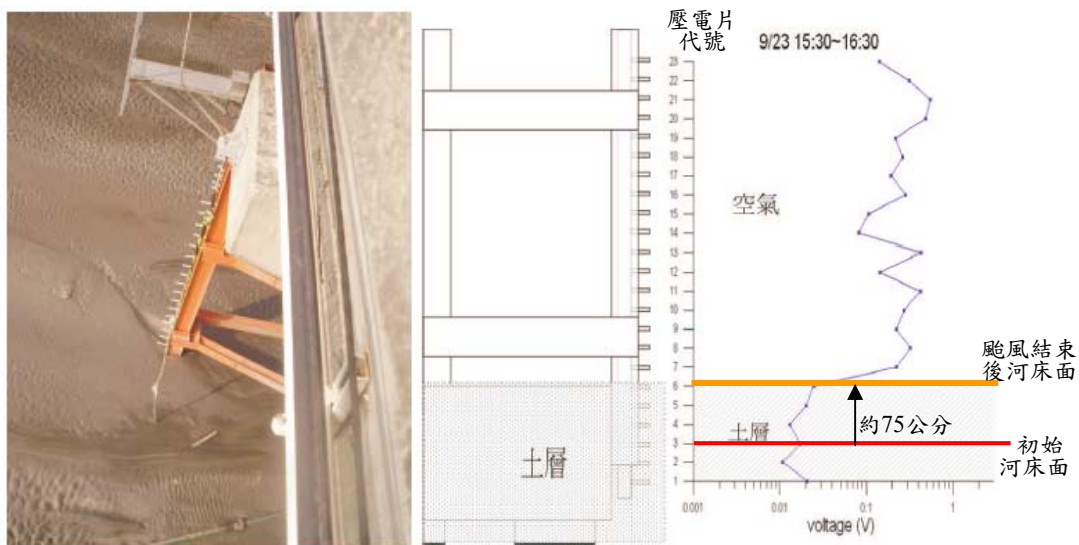


圖6.31 9/23 15:30 凡那比颱風結束後 3 天橋梁現況

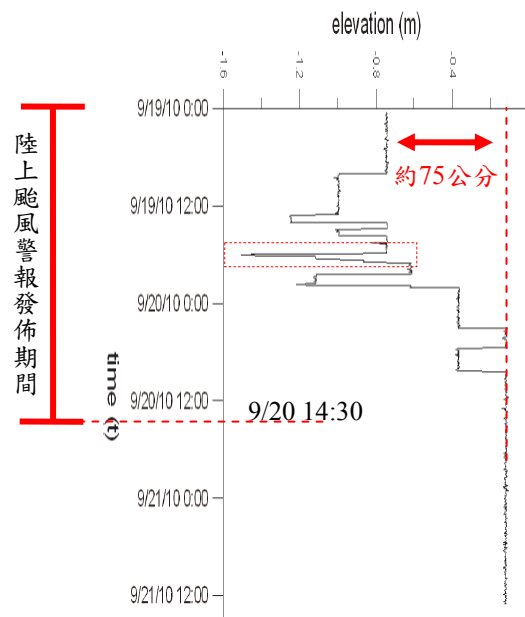


圖6.32 西濱大橋 P21 橋墩之河床高程歷時變化

註:圖 6.32 中 9/19 17:00 所出現之突波訊號為當時本團隊人員前往西濱大橋現場手動測試監測器訊號所造成。

第七章 檢測成果分析評估與作業

7.1 振動檢測成果之分析與評估

7.1.1 頻譜分析與結構振動特性判釋

在時間域分析中，常無法直接判斷振動歷時資料之頻率特性，因此需進行頻譜分析，將時間域的歷時訊號轉換至頻率域，由頻譜函數之分佈判別頻率特性。快速富利葉轉換(fast Fourier transform, FFT)為各領域廣泛利用的頻譜分析方法，其利用富利葉轉換關係式(7-1)：

$$V(f) = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) e^{-2\pi i f t} dt \quad (7-1)$$

經過離散化之程序以使其適於程式化，而可針對有限數目的資料點利用計算機執行運算；並藉由將資料點數補零至2的冪次，利用方陣的特性以降低所需運算次數。

圖 7.1 為利用快速富利葉轉換所執行振動訊號頻譜分析之結果，可看出分析所得之頻譜圖形，能夠清楚展現振動訊號之頻率特性，藉以判釋結構之振動特性參數。如富氏譜之尖峰所在頻率（振動顯著頻率）通常即為結構之自然頻率，該尖峰對應之富氏譜振幅則代表結構受外力激發之振動反應等級，兩者均能展現結構之整體勁度，而可反映結構之損傷狀態。

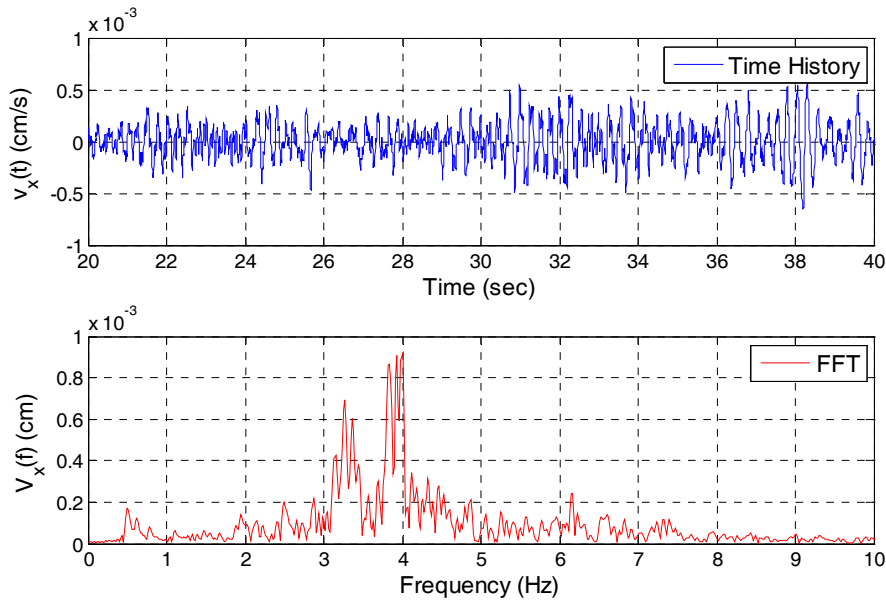


圖7.1 快速富利葉轉換示意圖（上：振動歷時；下：富氏譜）

7.1.2 平均振動特性參數

由於實際橋梁之振動反應屬暫態性、非周期性和非穩態，若在量測過程中受到異常事件或特定振源之干擾，則振動反應之頻率特性可能無法有效展現橋梁結構本身之特性。為了降低上述影響，進行振動量測時，可持續記錄一段較長的時間，分別計算記錄中不同時刻之富氏譜並判釋其頻率特性，藉以掌握振動特性隨時間變化之趨勢，並可予以平均而求得代表性之振動特性參數，以降低依時變異性之影響。例如 Samizo et al. (2007)^[32]將振動歷時訊號分成許多 30 秒長之時間視窗，各時間視窗間有 2/3 的重疊，分別計算各時段訊號之富氏譜並藉以判釋結構自然頻率，再予以平均以求得具代表性之結構自然頻率，如圖 7.2 所示。亦可應用類似概念，將各時段所求得之富氏譜予以平均，得到代表性平均富氏譜，再藉以判別結構之振動特性。

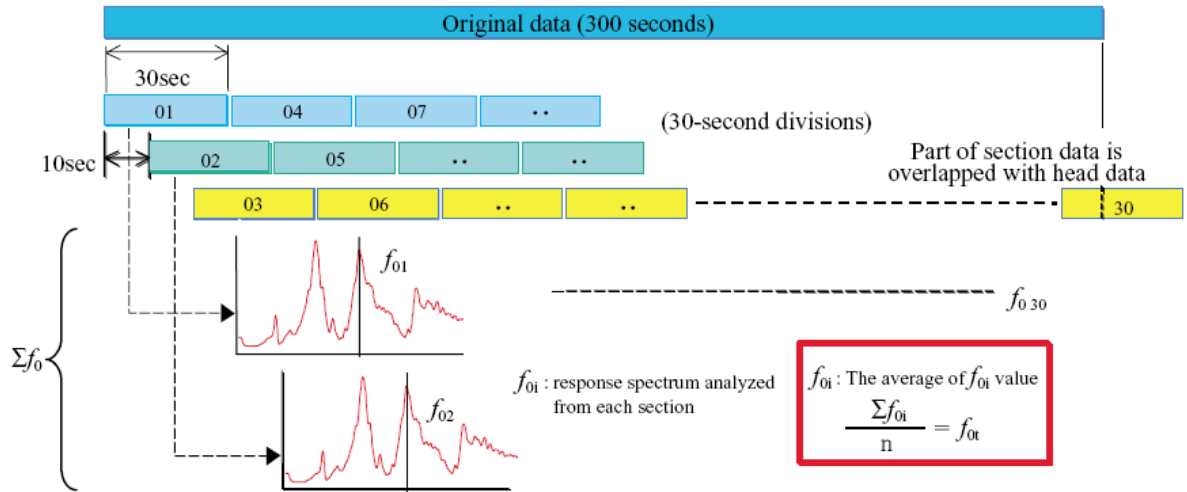


圖7.2 代表性平均振動顯著頻率之求取示意圖

7.1.3 Nakamura 損傷指數

Nakamura (1997)^[33]針對高架道路之構架，提出基於微振量測之損傷指數(vulnerability index)，適合應用於橋墩之損傷檢測，茲簡介如下：

參考圖 7.3，當高架橋構架承受地表輸入運動加速度振幅 α_g ，引致上部結構振動加速度振幅為 α_{sg} ，考慮上部結構受到擬靜態慣性力 $F = m\alpha_{sg}$ 作用，則各個柱底所受之彎矩為 $M = m\alpha_{sg}h/2$ 。如此一來，柱底的撓曲應變可由彎矩 M 與柱斷面剛度(EI)間的關係求得(式 7-2)：

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{M}{EI} \cdot \frac{b}{2} = \frac{m\alpha_{sg}h}{2EI} \cdot \frac{b}{2} = m\alpha_{sg} \cdot \frac{h^3}{6EI} \cdot \frac{3b}{h^2} \\
 &= \frac{m\alpha_{sg}}{k} \cdot \frac{3b}{h^2} = \frac{1}{(2\pi)^2} \cdot \frac{3b}{h^2} \cdot \frac{\alpha_{sg}}{f_s^2} \\
 &= \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{3b}{h^2} \cdot \frac{A_s}{f_s^2} \alpha_g
 \end{aligned} \tag{7-2}$$

其中， $k=6EI/L^3$ 為該構架之總側向勁度； $f_s=(1/2\pi)\sqrt{k/m}$ 為該構架之自然頻率(Hz)； A_s 為該構架在頻率為 f_s 時之轉換函數值，當地表輸入運動不易測得時，可引入常用於求取地盤基本週期與放大效應之單站頻譜比法（又稱為 H/V 法）^[34]，亦即，採用水平向振動與鉛垂向振動之頻譜比作為近似轉換函數(quasi-transfer spectrum)。若針對某一特定橋墩進行定期檢測之需求，橋柱尺寸將為固定值，則可定義損傷指數如式(7-3)：

$$K_s = \frac{A_s}{(f_s)^2} \quad (7-3)$$

此損傷指數反映了柱底應變之大小，能展現柱底發生撓曲破壞之損傷程度，亦可應用於當基礎受沖刷裸露而勁度降低導致橋墩變形性（尤其搖擺角度）增加之現象。

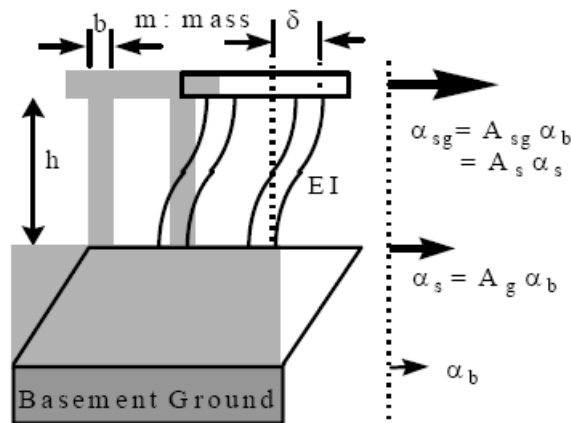


圖7.3 橋梁構架損傷指標之推導示意

在此需特別注意，由於在 H/V 法中之近似轉換函數，係假設輸入運動之水平向與鉛垂向振動特性類似，且鉛垂向振動在由地盤輸入橋墩系統到傳遞至上部結構之過程中幾乎不放大，因此較適用於環境微振或水流引致振動等振源係由基礎附近輸入之情況，而較不適用於車行振動等振源由上部結構輸入之情況。

7.2 結構穩定度

結構穩定度評估旨在檢核橋梁基礎可否產生足夠之抵抗力，抵抗結構自重與外力(如水流力、風力、外物撞擊力...等)所產生之垂直力、側向力、與彎矩。結構自重所產生之垂直力、側向力、與彎矩，可藉由橋梁結構之幾何形狀計算得到；外力所產生之垂直力、側向力、與彎矩，則可藉由相關經驗公式計算得到，如「橋基保護工設計規範(草案)」^[39]所提之水流作用力、漂流物撞擊力、與土石流撞擊力之計算。橋梁基礎所能提供之抵抗力，可依結構工程師提供橋梁上部結構傳遞至基礎之垂直力、側向力、與彎矩後計算得到，而後進行結構穩定度評估。

結構穩定度評估可以簡易評估進行初步判斷，在穩定度臨界破壞狀態時，再進行詳細評估，以確認橋梁之穩定度。簡易穩定度評估依據常見之基礎形式分成三類，分別為直接基礎、沉箱基礎、與群樁基礎，雖各有不同之檢核項目，而檢核程序卻可大略分為外力評估、基礎支承力評估與穩定檢核。詳細穩定度評估則以數值分析方式，詳細計算沉箱基礎與樁基礎之應力應變行為，作為判斷橋基穩定度之依據。

7.2.1 簡易外力評估

簡易外力評估內容除橋梁結構本身之重量外，尚須考慮車輛活載重、風力、水流力、漂流物撞擊作用力與土石流撞擊力，其評估方式如下列所述。

1. 靜載重

靜載重主要包括橋梁上部結構（橋面版、大梁、隔梁）與設施之重量、帽梁與橋柱之重量，以及基礎自重（樁帽、基樁或沉箱）與基礎上方覆土重量。上構與設施之重量與橋面寬度及橋墩左右兩跨平均跨度的乘積成正比；其他結構體的重量，則依構材尺寸及單位重計算之。

2. 活載重

活載重即車輛活載重，根據交通部「公路橋梁設計規範」^[35]，以大於 1.25 倍 HS20 之載重設計。車輛活載重有兩種，即卡車載重與車道載重。計算卡車載重加在橋墩之力量時，要取卡車擺放位置最嚴重的情況。計算車道載重時，除加上均佈載重外，另在支承上要加集中載重 14750kgf(標準 HS20 貨車之車道計算彎矩與剪力時，應使用不同之集中載重，其較小之集中載重用於計算以彎曲應力為主之應力，較大者用於計算以剪應力為主之應力。此剪力會被橋梁支承所承載，因此須在橋梁支承處加上車輛所產生之剪力。而最大剪力計算則以較大集中載重為 11800kgf，乘以 1.25 倍則為 14750kgf)。上述卡車載重與車道載重引致之支承反力要取大值。此外如構材之最大應力產生於『數車道同時載重時』，因各車道所產生之最大應力甚少同時發生，故對於算得之活載重應力之和，可進行折減，如為三車道，可折減為 90%，四車道及以上，可折減為 75%，但單車道與雙車道不進行折減。

3. 風力

關於風力，要考慮兩種情況。其一為梁的單位面積所受風壓為 390 kgf/m^2 時或是桁架與拱的單位面積所受風壓為 580 kgf/m^2 時，此時因風大，不必考慮車輛活載重。其二為風速較小時，需計算作用在橋體上的風力，取高風速時風壓的 0.3 倍計算，但此時也要加上車輛活載重及作用在高出橋面 1.8m 以上的風力 240 kgf/m 。

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

4. 水流力

根據交通部頒布之「公路橋梁設計規範」^[35]，假定水流流速係按二次拋物線分佈且水壓係按三角形分佈，則流水對於橋墩之作用壓力可依下式(7-4)計算之

$$P_{avg} = 52.5K(V_{avg})^2 \quad (7-4)$$

式中：

P_{avg} =平均水流壓力 (kgf/m²)

V_{avg} =平均水流速(m/sec)

K =水流作用力常數，平頭墩 1.4，圓頭墩 0.7，尖頭墩角度小於或等於 30°者採 0.5。

最大水流壓力 P_{max} 為上式計得之平均流水壓力 P_{avg} 之 2 倍。水流壓力係以自水位面頂部為 P_{max} 變化到流線處為 0 之三角形方式分佈

就基礎已發生裸露的橋墩而言，必須將樁帽及其下之群樁或沉箱所受之流水作用力列入考慮。

5. 漂流物撞擊作用力

若預估將有大量之漂流物會流經橋墩時，在進行橋基穩定分析時，應考量其效應。漂流物之整體數量應考量所選工址情況與推測漂流物之源頭等因素，若預估水流面會遭大量漂流物所阻擋時，水位、流速、流水壓力將因而增高，且沖刷深度加深的可能性亦須加以評估。依據日本「道路橋示方書」^[36]之規定，漂流物對橋基之衝擊力的估算方式可表示如公式(7-5)。

$$P = 0.1 W_w \cdot v \quad (ton) \quad (7-5)$$

其中：

W_w ：流木之重量(ton)。

v ：表面流速(m/sec)。

6. 土石流撞擊力

若橋址位於土石流潛勢區時，橋基穩定分析應考量其效應。土石流攜帶的大量土石與砂礫直接衝擊橋梁基礎、橋墩、與橋台等橋址結構，嚴重影響橋梁的安全性，依據連惠邦 (2002)之說明，土石流對橋基所造成之衝擊可依公式(7-6)~(7-8)，按流動壓力和衝擊力計算其作用力：

土石流流動壓力(P_f)：

$$P_f = \alpha \frac{\gamma_m}{g} h_d U_d^2 \quad (7-6)$$

土石流巨礫衝擊力(非彈性碰撞)(NP_d)：

$$NP_d = 12 U_d^{1.24} D_E^2 \quad (7-7)$$

土石流巨礫衝擊力(完全彈性碰撞)(IP_d)：

$$IP_d = 20.2 U_d^{6/5} D_E^2 \quad (7-8)$$

其中：

α 為土石流流動壓力常數 $\cong 1$ 。

γ_m 為土石流單位重(t/m^3)。

h_d 為土石流流深(m)。

U_d 為土石流流速(m/sec)。

D_E 為設計粒徑(m)。

7.2.2 簡易穩定評估法

簡易穩定評估法依據橋基保護工規範(草案)^[39]及蔡益超(2006)^[37]提出之說明，針對常見之基礎形式，如直接基礎、沉箱基礎與群樁基礎，說明穩定檢核之方法。

1. 直接基礎

直接基礎受力如圖 7.4 所示，載重包括上部結構之載重(含上部結構傳遞之垂直力(N)、水平力(H)和彎矩(M))與水流作用力，土壤反力包括基底土壤反力(R)、摩擦阻力(F)與基礎側面主動土壓力(P_a)和被動土壓力(P_p)。直接基礎之穩定評估應針對各種載重狀況分別檢核其土壤容許承载力，以及基礎抗傾倒與滑動之安全係數。

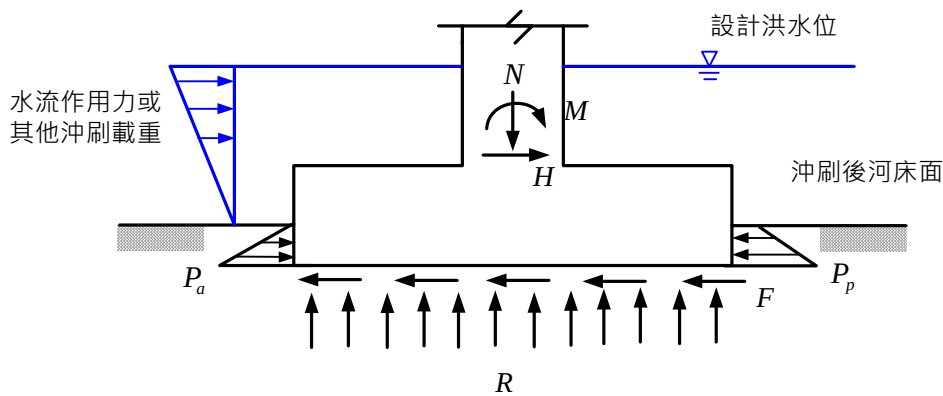


圖7.4 直接基礎之受力分佈示意圖^[39]

(1) 土壤反力計算

a. 基礎土壤反力

基礎土壤反力，可依「建築物基礎構造設計規範」^[38]說明，按公式(7-9)計算之：

$$R = W / A_f \quad (7-9)$$

其中：

W 為傳至基腳之集中設計載重。

A_f 為垂直荷重下在土壤容許壓力內所配置之基腳面積。

b. 基礎底板摩擦阻力

基礎底板之摩擦阻力，可依「建築物基礎構造設計規範」^[38]說明，按公式(7-10)計算之：

$$F = Ac_a + N \tan \delta \quad (7-10)$$

其中：

A 基礎版底面之有效接觸面積。

c_a 基礎版底面與地層之有效附著力。

δ 為基礎底板底面混凝土與地層間之摩擦角。

a. 基礎支承層為土壤或軟岩時

(I) 基礎為現場澆注施工時，則 $\delta = \phi'$

(II) 基礎為預鑄方式施工時，則 $\delta = 2/3 \phi'$

b. 基礎支承層為硬岩時

(I) 基礎為現場澆注施工時，則 $\delta = \phi'$ ，但 δ 不得大於 45° 。

(II) 基礎為預鑄方式施工時，則 $\delta = 2/3 \phi'$ ，但 δ 不得大於 30° 。

ϕ' 為地層之有效內摩擦角。

c. 基礎側面之主動土壓力和被動土壓力值

基礎側面之主動土壓力和被動土壓力值，可分別依公式(7-11)和公式(7-11)計算之：

$$P_a = \gamma' z K_a - 2c' \sqrt{K_a} \quad (7-11)$$

$$P_p = \gamma' z K_p + 2c' \sqrt{K_p} \quad (7-12)$$

式中：

γ' 為土體之有效單位重。

z 為基礎覆土深度。

c' 為土層凝聚力。

K_a 、 K_p 分別為地層側向土壓力係數，可利用 Rankine 公式計算之，如公式(7-13)及公式(7-14)。

$$K_a = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (7-13)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (7-14)$$

(2)穩定評估項目

a. 土壤容許支承力

直接基礎之土壤容許支承力檢核，可依「建築物基礎構造設計規範」^[38]中第 4.3 節說明辦理之。

b. 基礎抗傾倒

直接基礎之抗傾倒檢核，可依「建築物基礎構造設計規範」^[38]內容辦理之。其安全係數之計算原則為：

安全係數 = 基礎整體抵抗力矩 / 基礎整體傾倒力矩

c. 基礎抗滑動

直接基礎之抗滑動檢核，可依「建築物基礎構造設計規範」^[38]內容辦理之。其安全係數之計算原則為：

安全係數=(被動土壓力+基礎底版摩擦阻力)/(可能沖刷載重
+主動土壓力)

2. 群樁基礎

群樁基礎受力如圖 7.5 所示，載重包括上部結構之載重(含上部結構傳遞之垂直力、水平力和彎矩)與水流作用力，同時可由上述資訊評估作用於樁帽中心點之總垂直力(N)、總水平力(H)和總彎矩(M)。群樁基礎因有樁帽連結，且樁帽厚度大，因而呈現剛性版連結各基樁之情形，所以可由傳遞至樁帽之總壓力與彎矩計算各基樁之軸力，並將其與基樁極限垂直承載壓力(Q_u)與承拉力(T_u)作比較，作為群樁基礎之簡易穩定度評估。

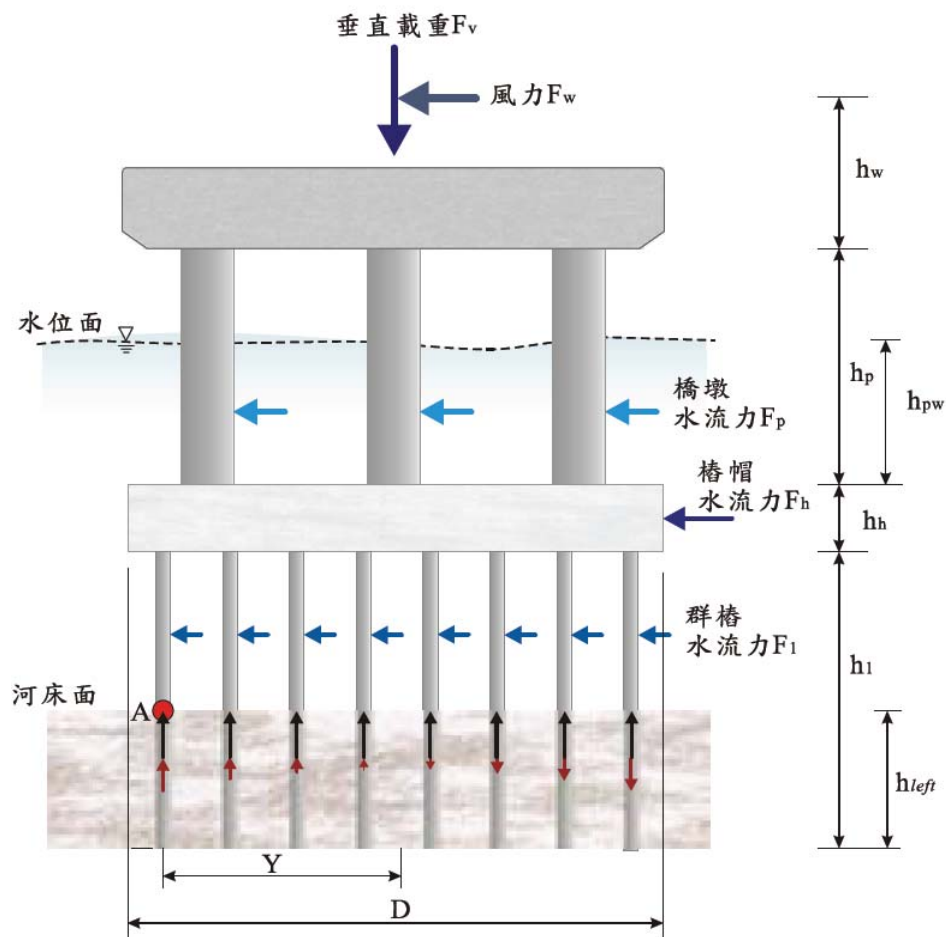


圖 7.5 群樁基礎之結構分析模型示意圖^[37]

(1)群樁基礎承载力

樁基礎容許垂直支承力與拉拔力之計算，可依「建築物基礎構造設計規範」^[38]5.3 節之說明計算。針對群樁基礎，需進一步依據樁距與樁徑關係考慮群樁效應之影響，可參考「建築物基礎構造設計規範」^[38]5.4 節之說明。

(2)群樁基礎簡易穩定評估

如圖 7.5 所示，群樁基礎因有樁帽連結，而呈現剛性版連結各基樁之情形，因而以傳遞至樁帽之總壓力與彎矩計算各基樁之軸力，計算過程如下

軸力 P 通過群樁中心，各樁受軸壓力 R_p 可依下式計算：

$$R_p = \frac{P}{n \times m} \quad (7-15)$$

其中 n 與 m 分別為群樁之排數與列數。

最外側基樁因總彎矩 M 引致之應力 σ 可計算如

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (7-16)$$

y 為群樁中心至最外側樁之距離， I 為群樁的慣性矩，如下計算之：

$$I = \sum_{i=1}^{n \times m} A_i d_i^2 \quad (7-17)$$

其中 A_i 為第 i 根基樁的斷面積， d_i 為第 i 根基樁至樁帽中心沿橋梁橫向之距離。由式(7-16)求得應力後，乘以該樁面積就得到該樁因總彎矩造成之軸力 $R_M = \sigma A$ 。

最後，最外側基樁在有效冲刷面所產生之總軸力 R 如下：

$$R = R_p + R_M \quad (7-18)$$

若此時埋在土裡的基樁長度已知，可據以求得其極限支承力 Q_u ，如此就可求得安全係數如下：

$$SF = \frac{Q_u}{R} \quad (7-19)$$

當安全係數小於 1.0 時，表示該群樁已破壞，需進行詳細之穩定性評估。

3. 沉箱基礎

沉箱基礎之結構分析模型如圖 7.6 所示。沉箱基礎之簡易評估法較群樁基礎為複雜。為求得沉箱底部傳入土壤之彎矩，必須得知沉箱側面土壤反力分佈，藉由詳細結構分析後發現，沉箱側面土壤反力分佈與參數 $\frac{h_{left}}{D}$ 關係密切，其中 h_{left} 為刷深後之剩餘長度，而 D 為沉箱直徑。沉箱基礎穩定度檢核則可依據 $\frac{h_{left}}{D}$ 分成三種情況討論，詳細內容如下所述。

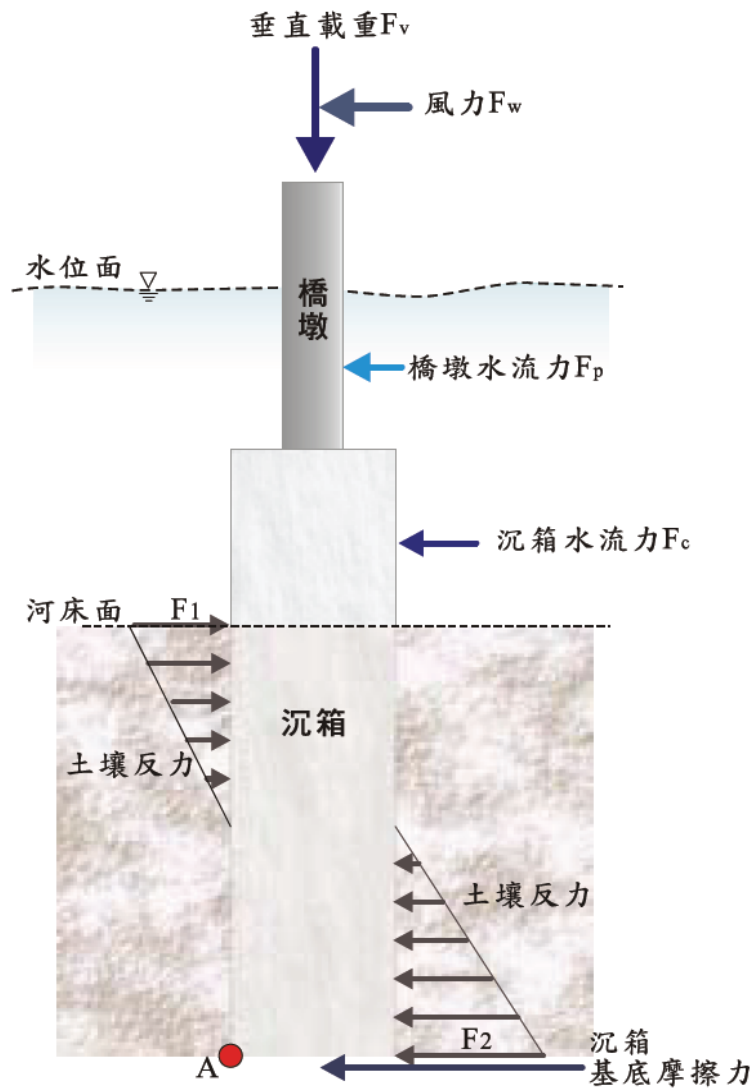


圖7.6 沉箱基礎之結構分析模型示意圖^[37]

(1)沉箱基礎承载力

沉箱基礎之垂直與水平支承力，可參照「建築物基礎構造設計規範」^[38]第 6.4 節說明計算。一般而言，沉箱之承載行為較類似於深基礎模式，由於沉箱正前方地層之水平反力可支承大部份作用於沉箱之水平側向載重與傾覆力矩，因此基礎底面所分擔之水平載重與力矩通常不大，故於計算基礎之垂直支承力時，通常會忽略載重偏心與傾覆力矩。然對於受沖刷裸露之沉箱，地層提供之水平反力較一般情況為低，故此時必須考慮偏心載重之影響。圓形沉箱受偏心載重時，其有效接觸面積 A_{eff} ，如圖 7.7 所示，可依下式計算：

$$A_{eff} = r^2(\alpha - \cos \alpha \sin \alpha) \quad (7-20)$$

式中 r 為沉箱之半徑， α 為接觸面積之半圓周角 (rad)，其值與偏心率 e/r 有關，見圖 7.8 所示，依此有效面積乘以式(7-19)之 Q_u 就可算出其極限支承力。至於偏心距 $e = M/P$ ，其中 M 為沉箱底部之彎矩， P 為沉箱底部之軸力，將於之後計算之。

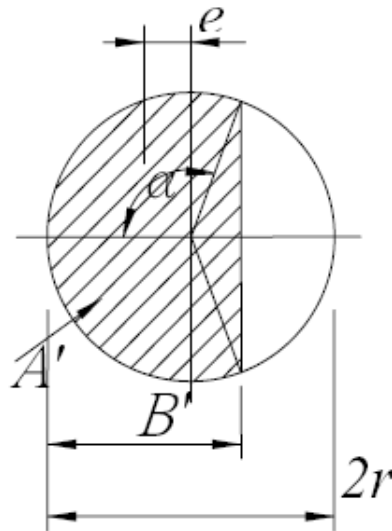


圖7.7 圓形沉箱基礎之有效接觸面積^[39]

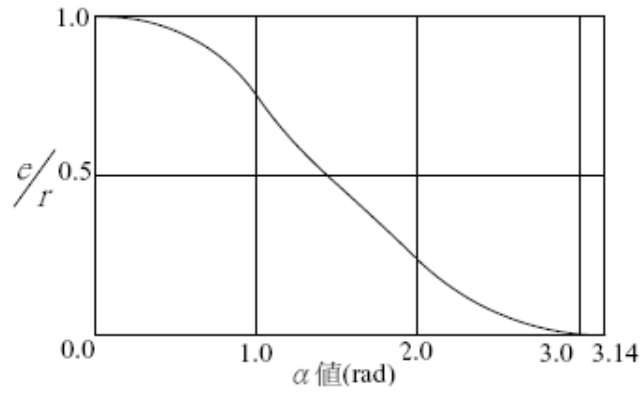


圖7.8 圓形沉箱基礎之 α 與 e/r 之關係圖^[39]

(2) 沉箱基礎簡易穩定評估

a. $h_{left}/D > 1.3$

如圖 7.9 所示，此時旋轉中心的位置位於由底部算起 $3/h_{left}$ 的位置，所以沖刷河床面之水平位移 x_{c1} 為沉箱底部位移 x_{c2} 的兩倍，而最上方與沉箱底的側土壓也因此呈 2 比 1 的關係。

$$x_{c2} = \frac{1}{2} x_{c1} \quad (7-21)$$

$$F_{c1} = K_H \times D \times x_{c1} \quad (7-22)$$

$$F_{c2} = K_H \times D \times x_{c2} \quad (7-23)$$

$$F_H = K_S \times A_p \times x_{c2} \quad (7-24)$$

式中：

K_H ：土壤水平地盤反力係數(t_f/m^3)

K_S ：沉箱底部水平摩擦彈簧之地盤反力係數(t_f/m^3)

A_p ：沉箱底部的斷面積(m^2)

F_{c1} ：河床面單位深度之土壤反力(t_f/m)

F_{c2} ：沉箱底部單位深度之土壤反力(t_f/m)

F_H ：沉箱底部水平摩擦力(t_f)

土壤水平地盤反力係數 K_H 及沉箱底部水平摩擦彈簧之地盤反力係數 K_S ，可參閱「建築物基礎構造設計規範」^[38]6.6 節之說明決定。

由 $\sum F_x = 0$ 可列出下式

$$F_W + F_P + F_c - \frac{1}{2}(2F_{c2})\left(\frac{2}{3}h_{left}\right) + \frac{1}{2}F_{c2}\left(\frac{1}{3}h_{left}\right) + F_H = 0 \quad (7-25)$$

可解得 x_{c1} ，進一步可求得各力。上述公式中， F_W 為風作用力之合力， F_P 為作用在橋柱之水流力合力， F_c 為作用在沉箱之水流力合力。

沉箱底面之總彎矩 M 則如下計算

$$M = F_W(h_w + h_p + h_c) + F_P\left(\frac{h_{pw}}{2} + h_c\right) + F_c\left(\frac{h_c + h_{left}}{2}\right) - \frac{1}{2}F_{c2}h_{left}^2 \quad (7-26)$$

式中

h_w ：為風力重心至橋墩頂部之距離

h_p ：為橋墩高度

h_c ：為沉箱長度

h_{pw} ：為橋墩水面下長度

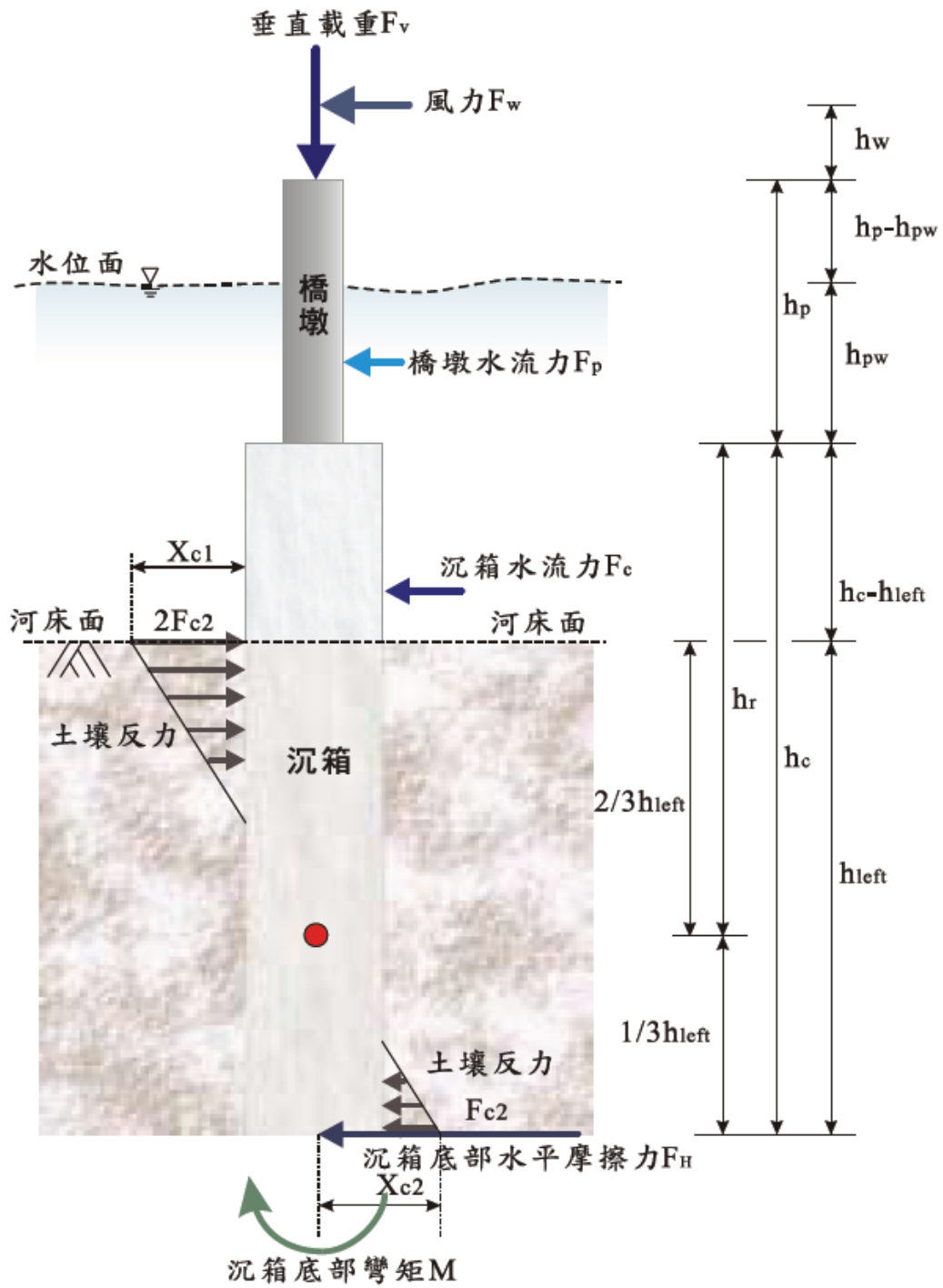


圖7.9 沉箱基礎 $h_{left}/D > 1.3$ 之結構分析模型圖^[37]

b. $0.3 \leq h_{left}/D \leq 1.3$

當 h_{left}/D 由 1.3 降至 0.3 時，旋轉中心將由 $h_{left}/3$ 線性降至 0。如圖 7.10 所示，旋轉中心至沉箱頂的距離 h_r 就可求得，則：

$$x_{c2} = \frac{h_c - h_r}{h_{left} - h_c + h_r} x_{c1} \quad (7-27)$$

$$F_{c1} = K_H \times D \times x_{c1} \quad (7-28)$$

$$F_{c2} = K_H \times D \times x_{c2} \quad (7-29)$$

$$F_H = K_S \times A_p \times x_{c2} \quad (7-30)$$

由 $\sum F_x = 0$ 可列出下式

$$F_W + F_P + F_c - \frac{1}{2} F_{c1} (h_{left} - h_c + h_r) + \frac{1}{2} F_{c2} (h_c - h_r) + F_H = 0 \quad (7-31)$$

可解得 x_{c1} ，進一步可求得各力。

沉箱底面之總彎矩 M 則如下計算

$$M = F_W (h_w + h_p + h_c) + F_P \left(\frac{h_{pw}}{2} + h_c \right) + F_c \left(\frac{h_c + h_{left}}{2} \right) - \frac{1}{6} (F_{c2} + 2F_{c1}) h_{left}^2 \quad (7-32)$$

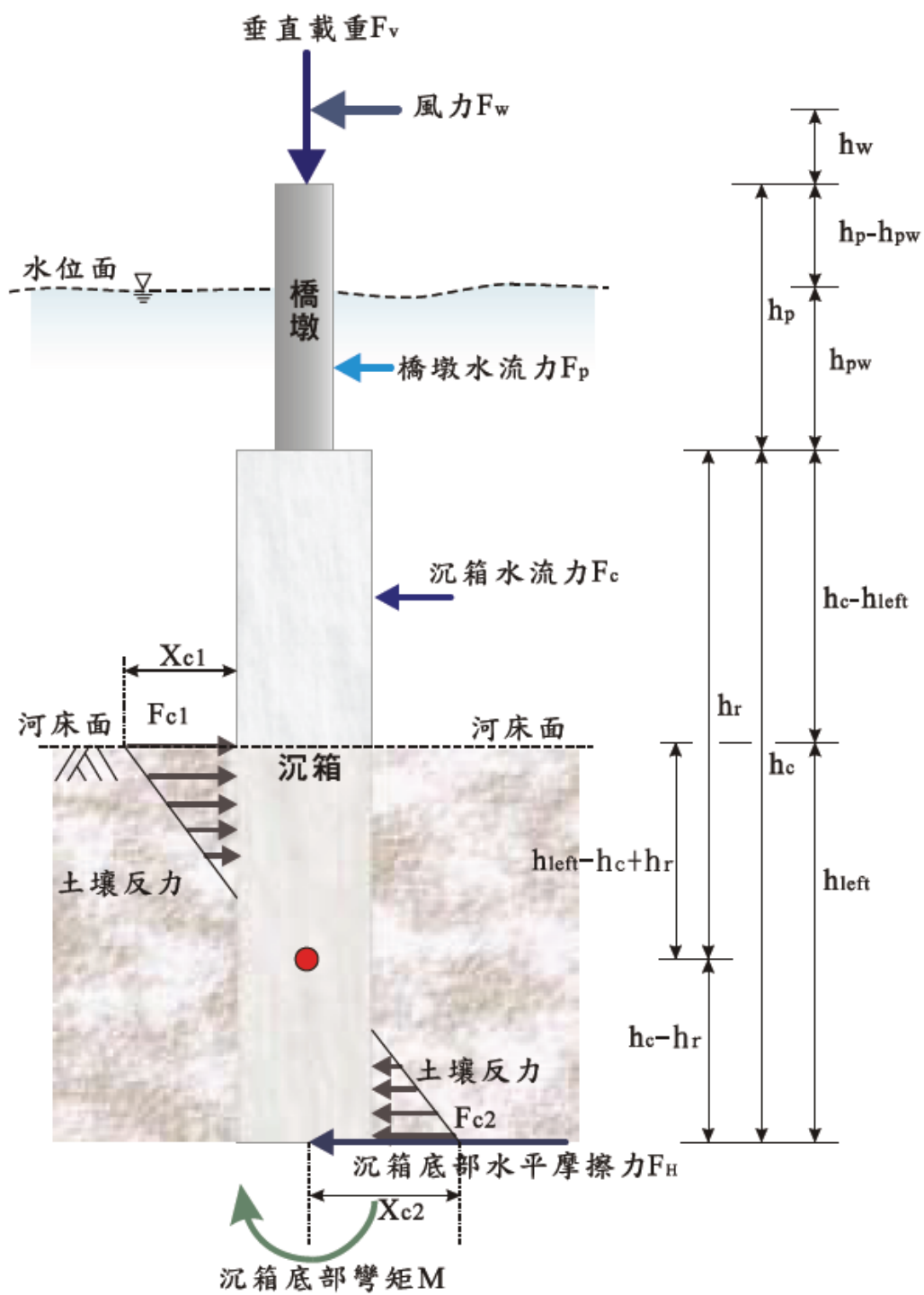


圖7.10 沉箱基礎 $0.3 \leq h_{left}/D \leq 1.3$ 之結構分析模型圖^[37]

c. $h_{left}/D < 0.3$

當 h_{left}/D 小於 0.3 時，旋轉中心將降沉箱底下。如圖 7.11 所示，旋轉中心至沉箱頂的距離 h_r 就可求得，則：

$$x_{c2} = \frac{h_r - h_c}{h_{left} - h_c + h_r} x_{c1} \quad (7-33)$$

$$F_{c1} = K_H \times D \times x_{c1} \quad (7-34)$$

$$F_{c2} = K_H \times D \times x_{c2} \quad (7-35)$$

$$F_H = K_S \times A_p \times x_{c2} \quad (7-36)$$

由 $\sum F_x = 0$ 可列出下式

$$F_w + F_p + F_c - \frac{1}{2}(F_{c1} + F_{c2})h_{left} - F_H = 0 \quad (7-37)$$

可解得 x_{c1} ，進一步可求得各力。

沉箱底面之總彎矩 M 則如下計算

$$M = F_w(h_w + h_p + h_c) + F_p\left(\frac{h_{pw}}{2} + h_c\right) + F_c\left(\frac{h_c + h_{left}}{2}\right) - \frac{1}{6}(F_{c2} + 2F_{c1})h_{left}^2 \quad (7-38)$$

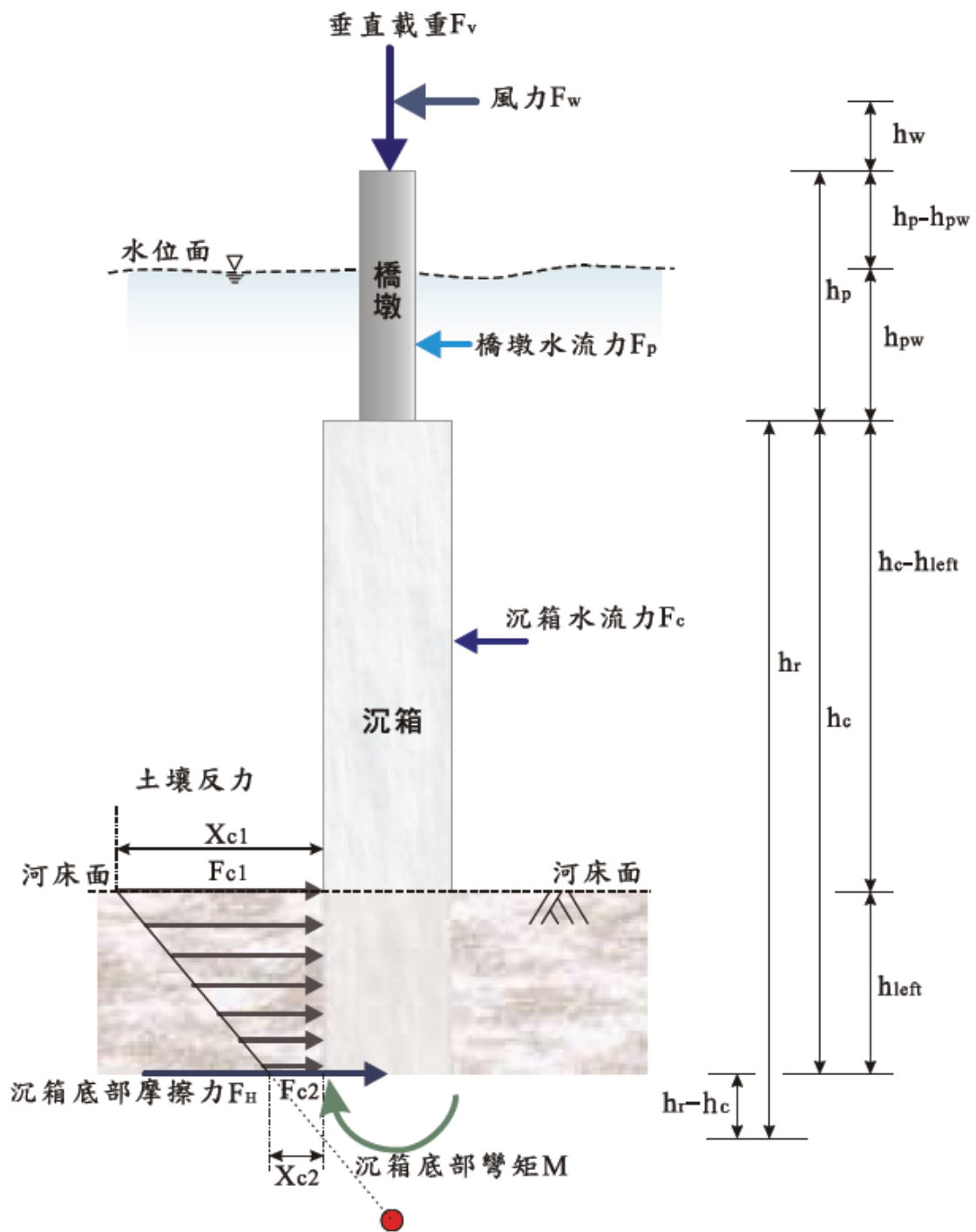


圖7.11 沉箱基礎 $h_{left}/D < 0.3$ 之結構分析模型圖^[37]

7.2.3 詳細穩定評估方法

以簡易橋梁穩定度評估，若橋梁穩定度臨界破壞狀態時，則需進行詳細評估，以確認橋梁之穩定度。詳細橋梁穩定度評估內容主要參考橋基保護工規範(草案)，其是以數值分析結果進行評估，詳細計算沉箱基礎與樁基礎之應力應變行為，作為判斷橋基穩定度之依據，詳細內容如下所述。

1. 沉箱基礎

沉箱基礎之分析模型(如圖 7.12 所示)，沉箱本身可視為剛體，而沉箱周圍及底面之承載土層則均以彈簧模擬之。同時，為模擬實際土層之應力-應變行為，土壤彈簧宜採用彈塑性受力~位移關係。

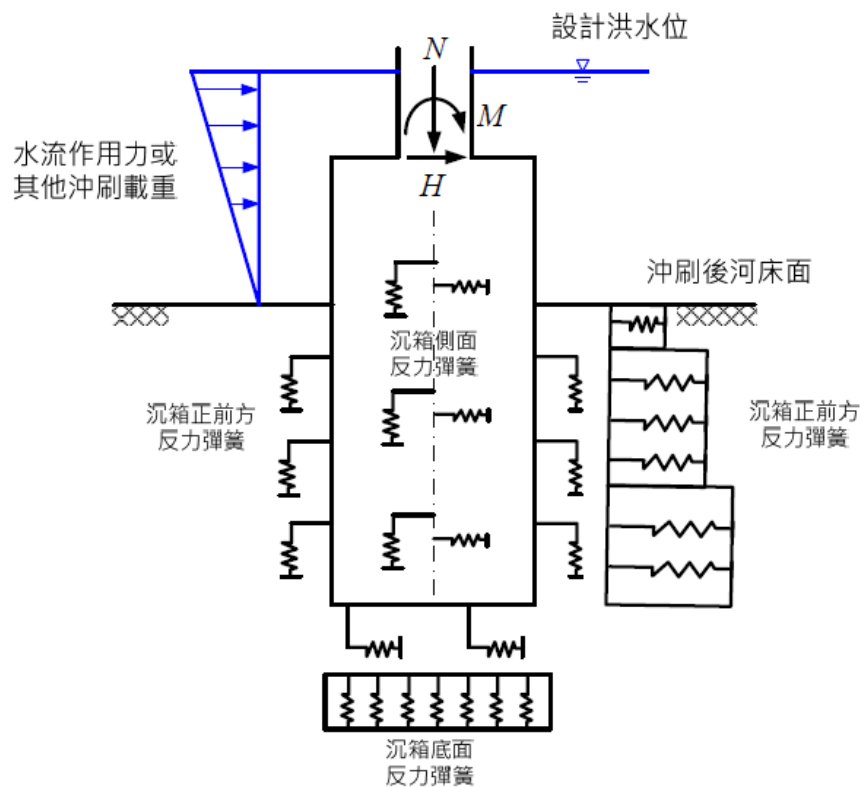


圖7.12 沉箱基礎之結構分析模型示意圖^[39]

(1)沉箱基礎與土壤互制計算

沉箱基礎之分析，一般可採用結構分析程式進行分析，惟地層等值彈簧之地盤反力係數及地層反力上限值可就沉箱尺寸及地層特性決定之，內容請詳參「建築物基礎構造設計規範」第 6.6 節說明。

(2)穩定評估項目

a. 沉箱承载力

沉箱基礎應分別就垂直方向和水平方向之極限支承力(其中，水平方向應綜合考慮地層水平反力和基礎底層之摩擦阻力)，檢核其承載能力，詳細規定可參考「建築物基礎構造設計規範」^[38]中第 6.4 節說明。

b. 沉箱水平位移

沉箱基礎之水平變位量檢核，可依「建築物基礎構造設計規範」^[38]中第 6.6 節說明辦理之。惟沉箱基礎之容許變位量，基本上須能滿足上部構造物容許變位之要求，以不影響結構安全及使用功能為原則。沉箱基礎受各種載重作用應避免發生過量之水平塑性變位，其殘留(塑性)變位與地質條件、載重大小、及基礎形狀與尺寸等有關。目前有關大尺寸之沉箱側向載重試驗數據相當缺乏，塑性變位遽增之最大水平變位目前仍無法確認，工程應用上一般限制沉箱最大水平變位不得大於沉箱寬度正交於水平載重方向之 1%，但以 5 公分為限。

c. 沉箱傾斜檢核

沉箱基礎之傾斜檢核，可依「建築物基礎構造設計規範」^[38]規定辦定，工程應用上一般規定為 0.5 呎度。

2. 樁基礎

樁基礎之分析模型(如圖 7.13 所示)，通常可將樁帽視為剛性體，基樁視為彈性梁，而樁周及底面之承載土層則以彈簧模擬。同時，為模擬實際土層之應力-應變行為，土壤彈簧宜採用彈塑性受力~位移關係。針對受冲刷樁基礎之穩定分析，應特別檢核基樁承載力、基樁水平位移、基樁撓曲與剪力破壞、基樁挫屈破壞等項目。

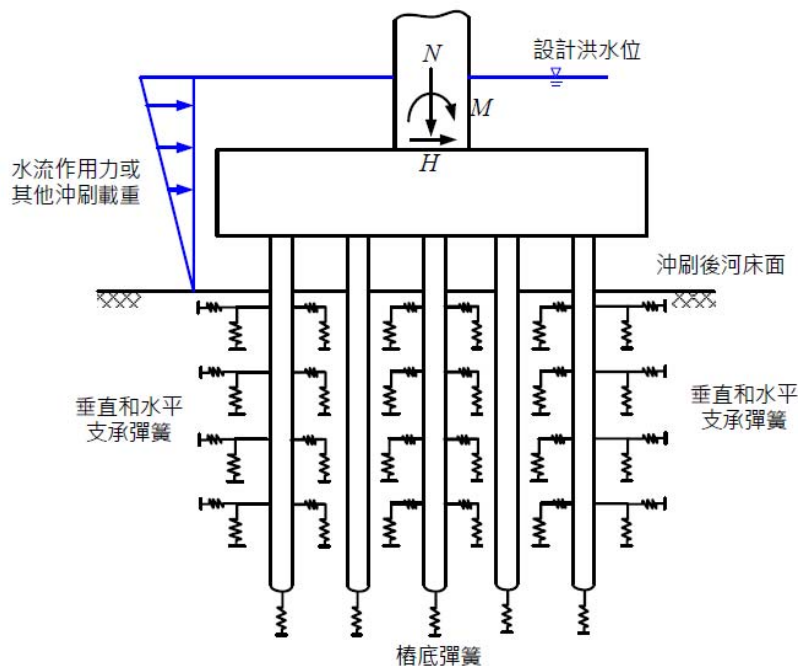


圖7.13 樁基礎之結構分析模型示意圖^[39]

(1) 樁基礎與土壤互制計算

橋梁上部結構傳遞至樁基礎之垂直力(N)、水平力(H)和彎矩(M)應由結構工程師根據各種載重狀況計算後提供基礎設計工程師使用。

樁基礎分析模型，一般可採用結構分析程式進行求解，惟地層等值彈簧之地盤反力係數及地層反力可就樁基之埋置狀況、束制條件、地層特性決定之，工程上常利用日本道路協會(1996)所

建議之方式，利用土壤之標準貫入試驗打擊數 SPT-N 值來估計，經驗式如下：

$$k_h(y_1) = 0.34(\alpha E_0)^{1.1} D^{-0.31} (EI)^{-0.103} \quad (7-39)$$

其中， $k_h(y_1)$ 為樁頭變位為 y_1 時之水平地盤反力係數，單位為 kg/cm^3 ；

y_1 為參考變位，一般取 $y_1=1\text{cm}$ ；

α 為狀態參數，常時取 $\alpha=1$ ，地震時取 $\alpha=2$ ；

E_0 為土壤之等值彈性模數，單位為 kg/cm^2 ，可用 $E_0=28N$ 來

估計， N 為標準貫入試驗打擊數；

D 為樁之直徑，單位為 cm ；

EI 為樁之撓曲剛度，單位為 kg-cm^2 。

上式的 $k_h(y_1)$ 僅適用於地盤阻抗為彈性的場合，對於大變形的場合，該規範並無作進一步規定。為考量大變形造成地盤反力係數之折減，在此建議採用日本建築學會(1988)之建議，依下式計算當變位大於 y_1 時之割線地盤反力係數：

$$k_h(y) = k_h(y_1) \left(\frac{y}{y_1} \right)^{-0.5} \quad (7-40)$$

(2)穩定評估項目

a. 基樁承載力

樁基礎之承載力檢核，應分別就垂直方向和水平方向之極限支承力，檢核其承載能力。惟橋梁樁基礎，大都為群樁型式，於承載力檢核應考慮群樁之互制效應，詳細內容可參考「建築物基礎構造設計規範」^[38]中第 5.3 節和第 5.4 節說明。

b. 基樁水平位移

群樁基礎之變位量檢核，可將樁帽視為剛體，基樁及周圍地盤視為彈性體並依結構理論分析推估之。惟一般基樁(彈性基礎)之水平變位量以限制在彈性變位量內為原則，因此除非上部構造物對變位量有非常嚴格之要求，否則容許水平變位量為樁基礎本身所控制。依據載重試驗結果，基礎彈性變位量多在基礎寬(或樁徑)之 1% 以內，以樁基礎而言，一般工程應用大都限制基樁水平變位量在 1.5 公分之內。

c. 基樁撓曲與剪力破壞

當各種可能危及橋梁安全之載重作用橋梁基礎時，混凝土基樁之抗剪強度超越其極限剪力強度時，即發生剪力破壞。其計算公式可參考 (ACI, 1988) 說明，表示如公式(7-41)：

$$V_u = 0.53\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (7-41)$$

其中

$\sqrt{f'_c}$ 為混凝土規定抗壓強度之平方根值(f'_c 單位為 kg/cm^2)。

b_w 為梁腹寬或圓形斷面直徑。

d 為構材最外緣受壓纖維至受拉鋼筋斷面重心之距離。

此外，當各種可能危及橋梁安全之載重作用橋梁基礎時，係由樁身剛度來抵抗額外彎矩。因此，當樁體材料抗張能力不佳或彎矩過大時，基樁會產生開裂而使慣性矩降低進而發生彎矩破壞。此外，依 Santos *et al.* (1994)所建議方式，若基樁產生裂縫時，需將樁身之慣性矩 I_p 改為有效慣性矩 I_e (effective moment of inertia)，並依公式(7-42)~公式(7-44)計算樁身開裂彎矩。

$$I_e = I_p \quad (M < M_{cr}) \quad (7-42)$$

$$I_e = I^{\text{II}} + (I^{\text{I}} - I^{\text{II}}) \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^3 \quad (M_{cr} < M < M_u) \quad (7-43)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_p}{y_t} \quad (7-44)$$

其中，

$I^{\text{I}} = I_p$ 為完整斷面之慣性矩。

I^{II} 為混凝土斷面完全破裂，鋼筋達屈服強度之慣性矩。

M_{cr} 為混凝土開始產生裂縫之彎矩。

M_u 為 I^{II} 所對應之彎矩。

f_r 為混凝土之破裂模數或極限抗張強度。

y_t 為斷面中性軸至混凝土張力側外緣之距離。

d. 基樁挫屈破壞

當樁基礎受洪水沖刷而裸露時，裸露樁帽及樁身承重可能迫使樁體產生挫屈破壞，計算分析模式主要可參考英國劍橋大學 Bhattacharya *et al.* (2004)和 Lin *et al.* (2002)所提模式說明辦理之。

7.3 封橋作業

本節中所研擬之封橋作業程序乃依據交通部公路總局於2011年5月頒布實施最新修訂之封橋標準作業程序為主體(如圖 7.14 所示)，並(公路總局預計將於12月發布最新之封橋標準作業程序，屆時將以最新版本之封橋標準作業程序為主)針對在進行封橋作業時判斷是否封橋以及封橋時之處置作業進行說明。

颱風期間判斷橋梁是否封橋，需於平日經由審慎安全性分析的考量項目，進行詳細評估等前置作業，進而擬定：於現場勘查時，如何進行應變與封橋步驟之流程。包括颱風來襲前相關整備之工作，準備封橋設施；即時雨量、水位與潮位的查詢，以及低、中、高水位或發生特殊流況時所需進行應變的相關作為。林呈等人(2007)^[40]提出於颱風期間封橋流程如圖 7.15 所示。依據其流程，封橋流程可概分為兩大部分，前半段為研判是否封橋之作業，後半段為封橋後之應變處置作業。

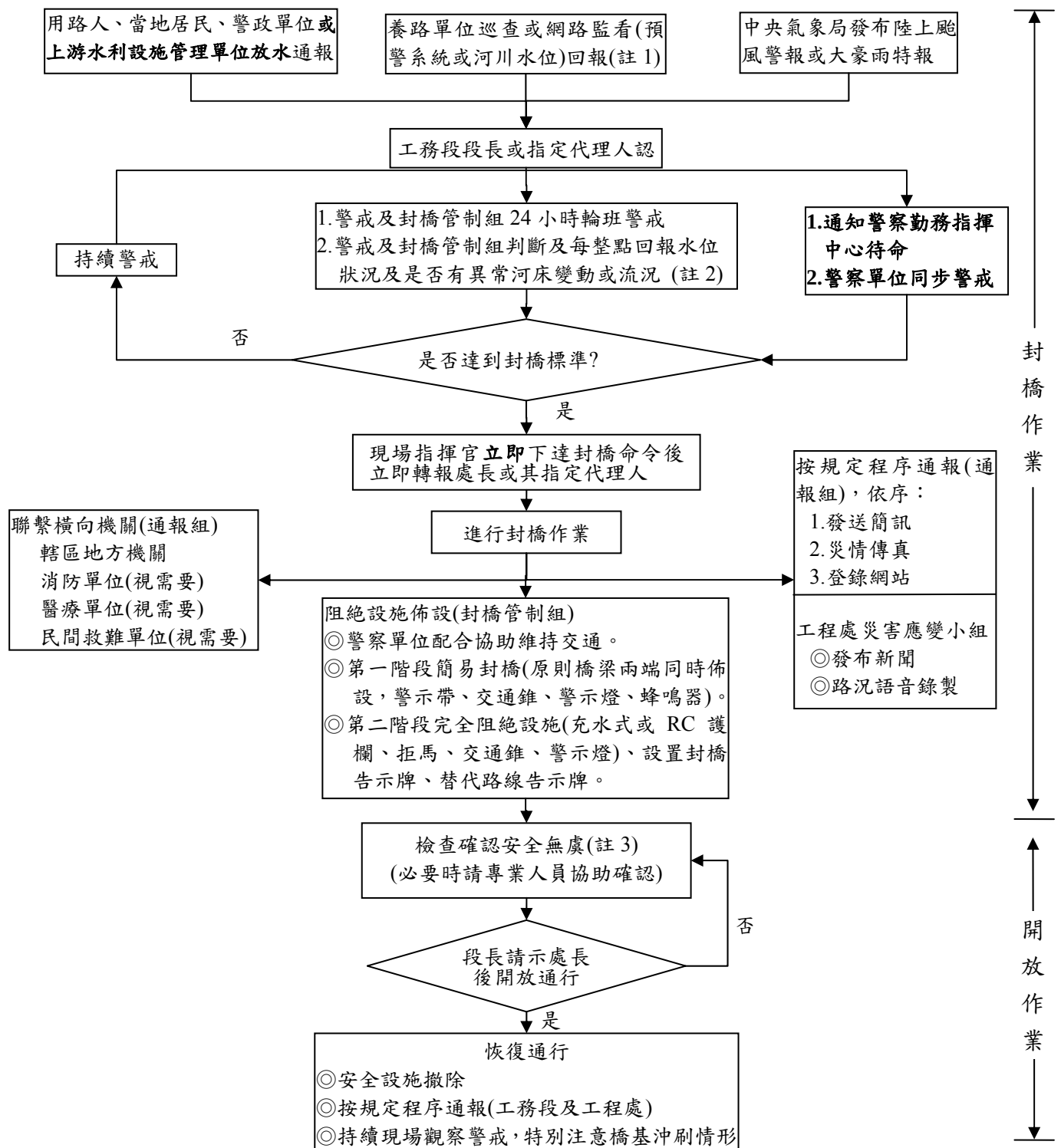
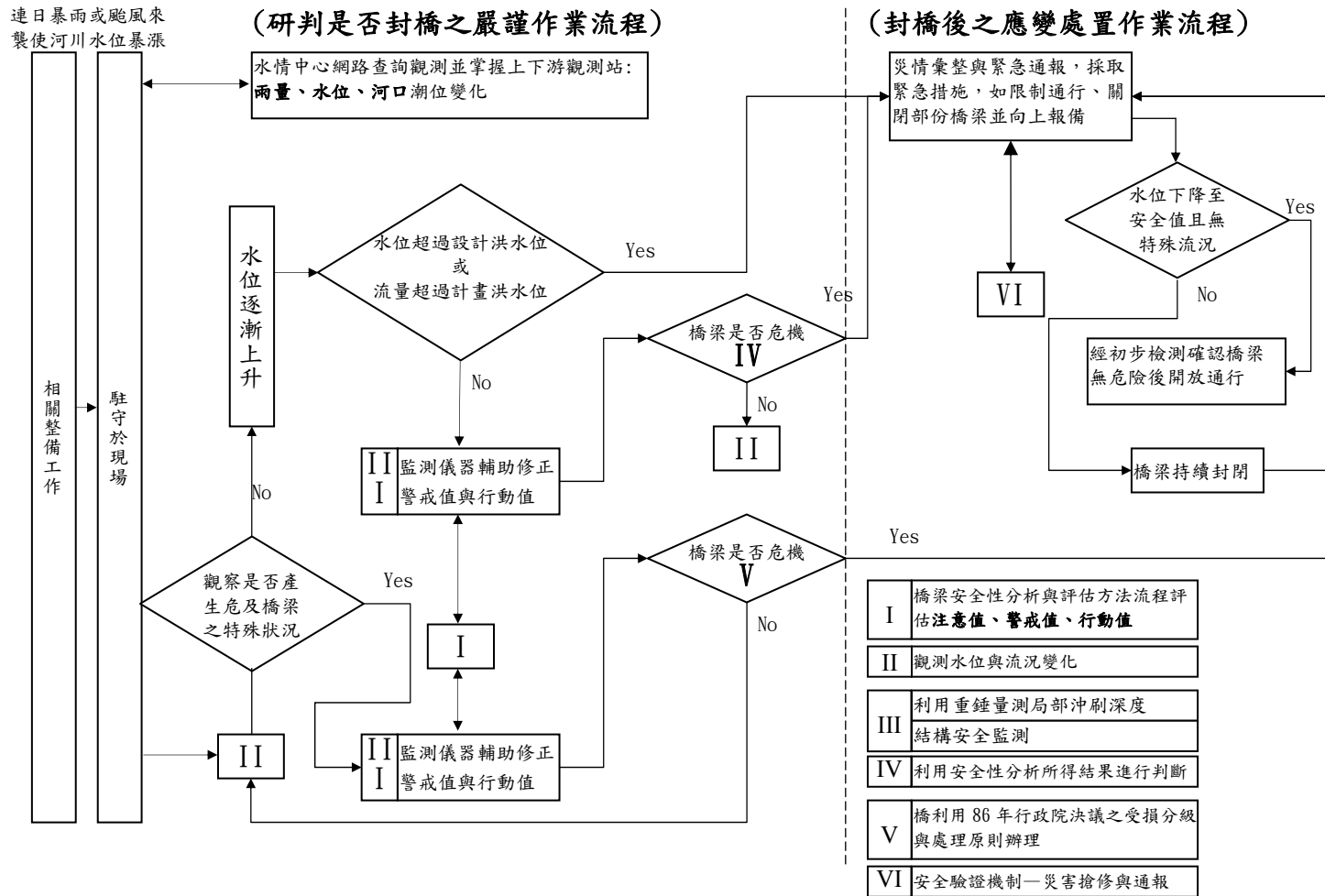


圖7.14 交通部公路總局封橋標準作業程序

註 1：(適用重點監控橋梁) 1.請至臺灣地區橋梁管理資訊系統「防災資訊」模組「預警條件設定」中查看所轄重要跨河橋梁及基礎裸露耐洪能力不足之重點監控橋梁有無到達預警條件(反紅顯示)或有無收到預警簡訊。(上述橋梁預警條件工務段應自行覈實設定) 2.重要流域橋梁請再配合依局98.12.25路養道字第0981008213號函規定,查看上游集水區特徵雨量站24小時累積降雨量及時雨量有無超過設定值,再配合橋梁結構狀態研判。	註 2：颱風期間判斷封橋時機原則： 1.水位達封橋標準時。 2.下列情形橋址水位未達封橋水位時如有需要仍得提前辦理封橋： (1)橋梁欄杆、伸縮縫或其他部位有異樣時。 (2)觀察橋基附近水流流況如有特殊流況(如橋梁上下游側突然產生水躍、繞流、跌水及向源或側向侵蝕)或有異常河床變動時 (3)橋梁上游如有水位站之水位雨量資訊於過去數小時內水位急遽上漲且上游集水區持續降下豪雨。 註 3：檢查項目應至少包括河川水位降至警戒水位以下、水流流況、橋梁欄杆、伸縮縫、大梁、橋墩柱、橋台等構件有無變化受損情形。
---	---

圖 7.14 交通部公路總局封橋標準作業程序(續)

圖 7.15 颱洪期間封橋作業應變流程^[40]

1. 封橋時機

研判是否封橋之作業的重點整理^[41]如下：

- (1) 颱風警報發佈，所轄橋梁在颱風警戒區域內時，則需提高警覺並持續注意颱風動向與即時水文資訊，並需對於橋梁本身與其上下游保護工的情況加以確認。
- (2) 若河川水位暴漲時，工務段段長或其指定代理人需隨時注意：(a) 用路人、當地居民、警政單位或上游水利設施管理單位之放水通報；(b) 養路單位巡查或網路監看(預警系統或河川水位)之回報；(c) 中央氣象局發布陸上颱風警報或豪雨特報等資訊。必要時需派員至橋梁現場駐守。
- (3) 駐守現場時需定時查詢水利署水情中心網站(無線網路或電話聯繫查詢)，以獲得最新資訊。
- (4) 持續觀測水位變化，水位上升期間需隨時注意是否產生危及橋梁的特殊流況，若產生則需以檢測儀器確認橋址處沖刷情形。
- (5) 隨時查詢橋梁上游水位情形，如有水位站分別達三級、二級、一級警戒水位時立即通知工務段，俾提高警戒。
- (6) 當水位達封橋標準時，需進行封橋程序。
- (7) 當水位未達封橋標準但觀察有下列情形，仍得提前辦理封橋：
 - a. 橋梁欄杆、伸縮縫或其他部位有異樣時。
 - b. 觀察橋基附近水流流況如有特殊流況(如橋梁上下游側突然產生水躍、繞流、跌水及向源或側向侵蝕)或有異常河床變動時。
 - c. 橋梁上游如有水位站之水位雨量資訊於過去數小時內水位急遽上漲且上游集水區持續降下豪雨。

若現場橋墩有裝設沖刷深度監測儀器，則依照儀器監測結果配合事先以水文、水理以及結構穩定度計算之警戒值判定是否封橋。

2. 封橋作業流程

進行封橋時需依橋梁重大災情搶救作業流程處理，如圖 7.16^[42]所示。封橋時處置作業與交通管制重點整理如下：

- (1) 水位達封橋標準時，需確認封橋相關器材，並聯繫相關工務單位，如圖 7.17^[43]所示。
- (2) 與轄區地方機關(警察機關、廣播電臺)聯繫，並視需要聯繫消防、醫療與民間救難等單位。
- (3) 進行相關之交通管制作業：
 - a. 各外勤單位於勤務中，應隨時查報及緊閉各交通號誌控制箱箱門，如發現有交通號誌故障時，應即回報勤指中心通報相關單位儘速派員修復。
 - b. 發現有擋道、故障、拋錨車輛，即刻通知交通隊協助吊離。
 - c. 轄內號誌如有故障或未能保持淨空之重要路口，動員所屬員警、義交、義警、民防，採全時段派勤，直至轄內交通秩序恢復順暢為止。
 - d. 對路面斷裂受損、路樹倒塌無法通行路段，由轄區派出所派遣員警或義交於前方路口設置警告牌面（拒馬）或管制牌，引導駕駛人提前改道行駛。
 - e. 接獲災害通報時，即刻通知各派出所實施必要之管制與疏導工作。
 - f. 車巡人員加強轄內道路（平交道）、橋梁路況查報工作，尤針對轄內易發生土石崩落地區嚴密監控，並對於轄內號誌運作、風災掉落物擋道等情形即時反映並採取緊急救難作為。
- (4) 進行相關封橋程序^[44]：

- a. 警戒輪班人員每班 4 人輪值 8 小時，警戒人員 4 人代號為警戒甲、乙、丙、丁，警戒甲、乙駐守於橋梁南端，警戒丙、丁駐守於橋梁北端，相互以無線電聯繫，任務為觀察水位及目視橋面狀況，適時回報工務段緊急應變小組，管制組則攜帶阻絕設施於橋梁兩端待命。
- b. 水位上漲或橋面有異樣認定需封橋時，警戒甲通知工務段緊急應變小組，警戒乙報告段長，該小組通報組負責聯繫各相關單位。
- c. 警察單位接獲通報趕抵橋梁兩端執行交通管制，警戒甲、乙於橋梁南端，警戒丙、丁於橋梁北端同步啟動第一階段封橋作業，以警示帶、交通錐及警示燈封橋；封橋後，警戒甲、丙持續觀察水位及檢視橋面狀況，警戒乙、丁與警方共同執行交通管制。
- d. 於第一階段封橋完成後，緊接第二階段作業，管制組於橋址處派駐人員，代號為管制甲、乙、丙、丁，管制甲、乙駐守於橋梁南端，管制丙、丁駐守於橋梁北端；第二階段封橋為佈設充水式護欄，管制甲、丙於先將護欄推下車，管制乙、丁作排列，警戒人員適時支援，排列完成後再由水車灌注。
- e. 第二階段封橋完成後，依據行政院所屬各機關危機事件新聞處理作業原則，於危機事件現場設置三道警戒線，此為勤務警戒線。警戒乙、丁配合警方執行交通管制，管制人員則以拒馬、警示帶及警示燈等繼續作一般警戒線及新聞警戒線，並佈設替代路線告示牌及指示標誌，完成後管制人員撤除。
- f. 三道警戒線佈設完成後，警戒乙、丁持續配合警方執行交通管制，警戒甲、丙持續觀察水位及目視橋面狀況，段長則以電話通報工程處處長封橋作業完成。
- g. 確認災害時間、規模及種類，進行現場搶修或搶險作業。

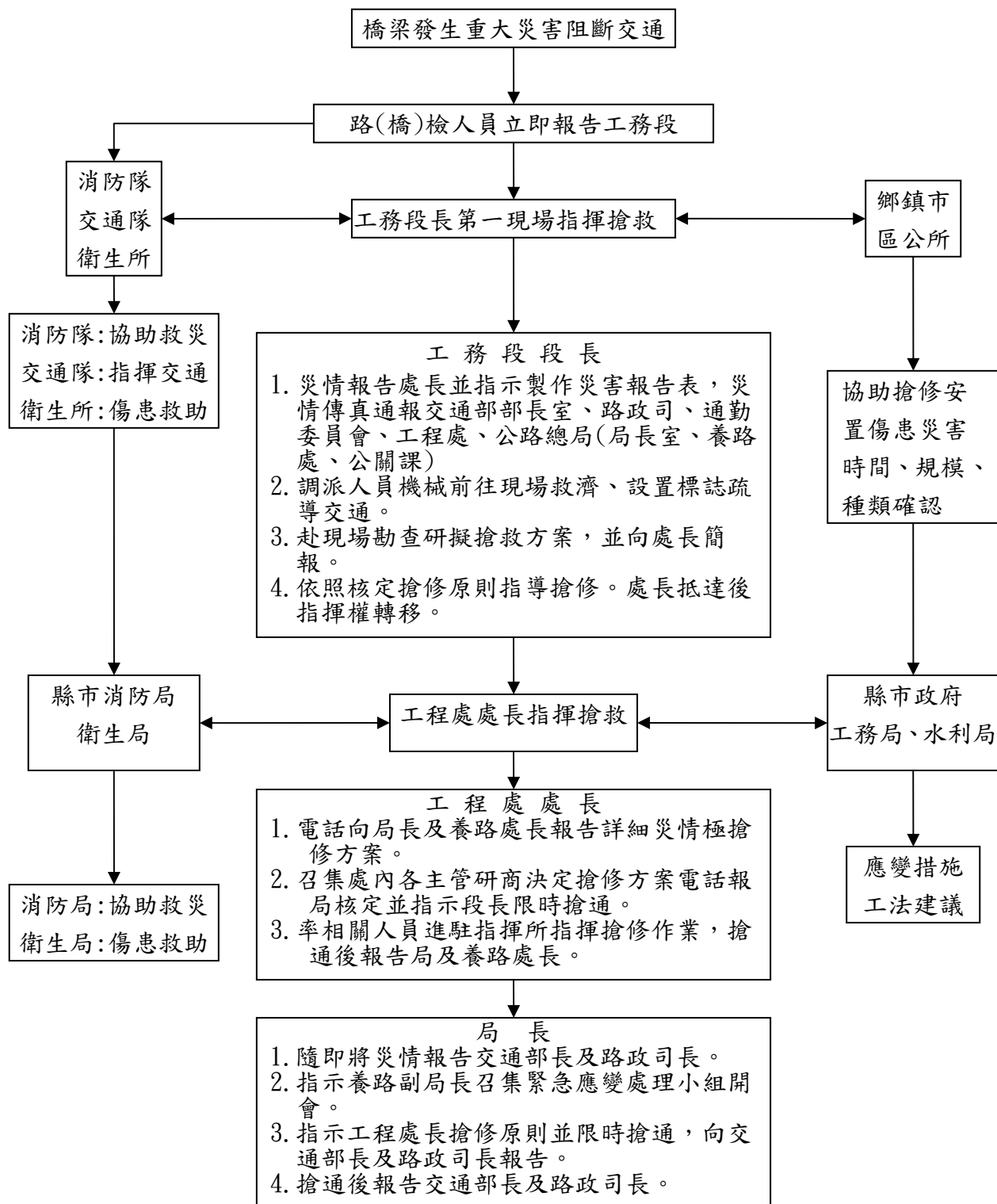


圖7.16 橋梁重大災情搶救作業流程圖^[42]

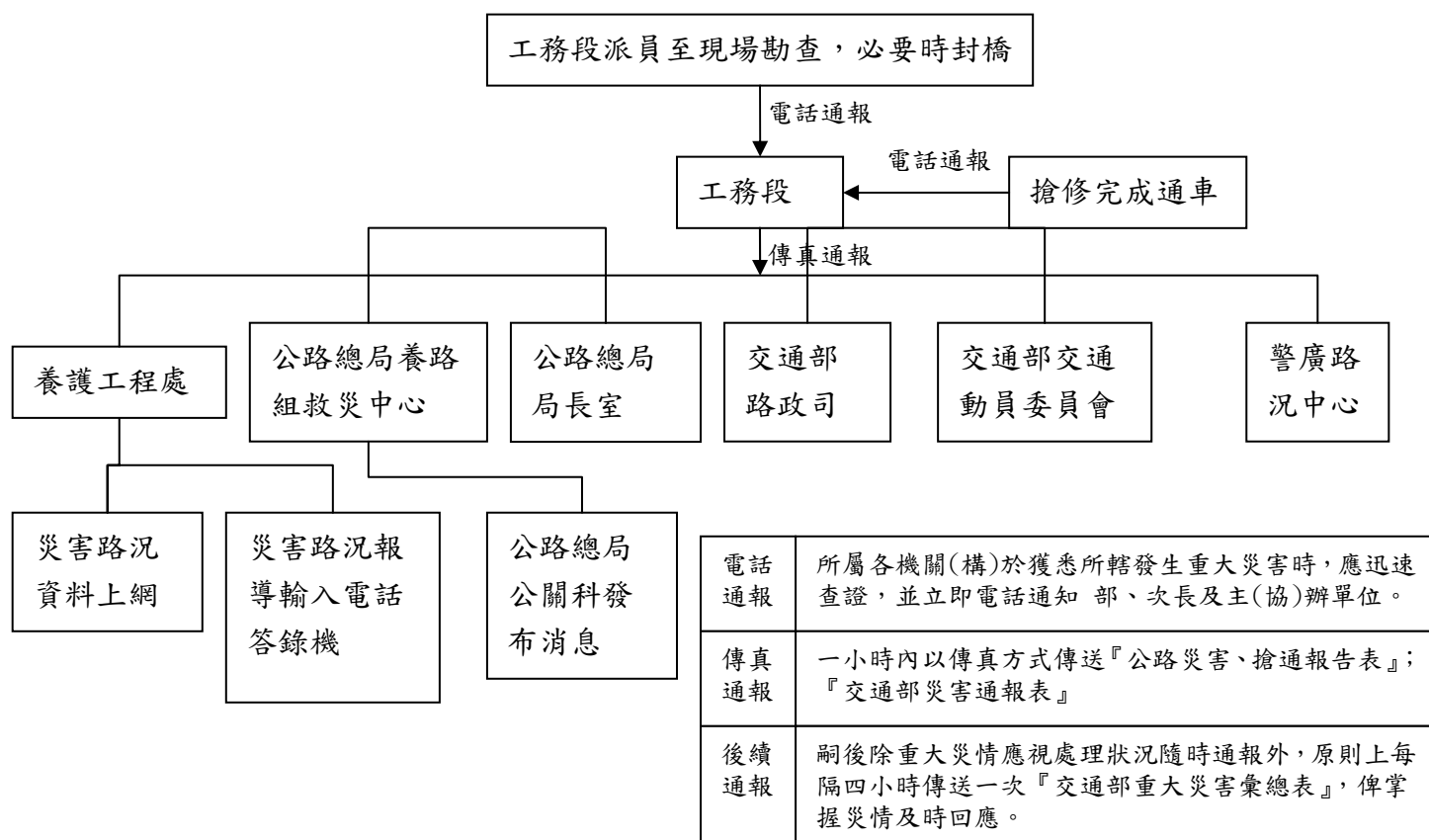


圖7.17 緊急應變通報流程^[43]

3. 封橋解除作業

封橋後處置與撤封作業重點整理如下：

封橋後需聯繫相關單位，必要時調集機具與混凝土塊進行搶險。待水位下降持續退水時，亦須以觀察橋墩冲刷的情形，應待河川水流流速降低，橋基河床回淤，並確認橋梁安全後，始能開放橋梁通車。撤封作業程序如下：

- (1)當封橋原因消失，警戒甲通知工務段緊急應變小組及段長，該小組後勤組於橋梁檢查工作確認安全無虞時，進行撤封作業。

- (2)撤封作業由管制甲、乙、丙、丁辦理，先進行勤務警戒線撤除，再依序撤除新聞警戒線及一般警戒線；工務段緊急應變小組通報組則聯繫各相關單位撤封訊息，段長再以電話通報處長撤封作業完成。
- (3)警戒人員持續觀察水位，至中央氣象局解除山區豪大雨特報時撤除。

如前所述之封橋與撤封作業，每一危橋所需警戒之輪班人員甚多，每班 4 人輪值 8 小時，即每座危橋每日需 12 人，工務段現有人力，除需辦理經常性業務外，是否仍有足夠人力負荷，是否需配合委外人力，或建立遠端監視系統，以減輕第一線人員之負擔，及避免因人力不足所造成之遺憾，應為當前最需解決之課題。此外，各工程人員平時對於封橋作業程序需相當了解，對於實際作業亦需經過模擬演練，以求於災害發生時能夠從容處置，避免傷亡。

參考文獻

1. FHWA, "REVISIONS TO THE NATIONAL BRIDGE INSPECTION STANDARDS (NBIS)", September 16, 1988.
2. 交通部, 「公路養護手冊」, 2003。
3. 交通部, 「國道高速公路局橋梁檢測作業要點」, 2001。
4. 交通部, 「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」, 1997。
5. FHWA, "Stream Stability at Highway Structures", Third Edition, 2001.
6. FHWA, "Evaluating Scour At Bridges ", Fourth Edition, 2001.
7. FHWA, "Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures Experience, Selection, and Design Guidance", Third Edition, 2009.
8. Lagasse, P. F., L. W. Zevenbergen, J. D. Schall and P. E. Clopper, "Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures – Experience, Selection, and Design Guidance, Second Edition," FHWA NHI 01-003/HEC-23, 2001.
9. 交通部運輸研究所「臺灣地區橋梁管理系統」(<http://bms.iot.gov.tw>)
10. 唐治平、蔣偉寧、莊秋明、李錫堤、林呈, 「高、快速公路橋梁鄰近區域之自然災害度潛勢分析」, 交通部公路總局, 2004。
11. 陳振川、蔡益超、張國鎮, 「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強等策略之研究」, 交通部公路總局研究報告, 2006。
12. 王仲宇等, 『縣市政府老舊及受損橋梁整建計畫(二)期末報告』, 交通部運輸研究所研究報告, 2009。
13. 公路總局針對全臺 397 座橋梁進行初步耐洪能力評估使用之表格, 2009。
14. 『橋梁の洗掘判定装置とその洗掘判定プログラム及び橋梁の洗掘判定表』, 日本財團法人鐵道綜合技術研究所, 2007。

- 15.楊式昌、林士誠，『台灣地區跨河橋基開挖臨時擋土設施問題及對策之探討』，中華技術 58 期。
- 16.『申請跨河建造物設置注意事項』，經濟部水利署，2010。
- 17.United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation (USBR), **Water Measurement Manual**. A Water Resources Technical Publication, USBR, Washington DC, 2001.
- 18.Irrigation Training and Research Center (ITRC), “Water Level Sensor and Datalogger Testing and Demonstration.” United States Bureau of Reclamation (USBR), Mid-Pacific Region, Sacramento, CA ,1998.
- 19.蔡宗旻，“超音波水位計量測方式改良及水位數據之品管檢核”，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，臺南，2004。
- 20.1 Lee,Jonathan K. Harry L. Jenter, Michael P. Duff, and Hannah M. Visser,” Velocity And Stage Data Collected In A Laboratory Flume For Water-Surface Slope Determination Using A Pipe Manometer”, Greater Everglades Ecosystem Restoration Conference, December 2000.
(<http://sofia.usgs.gov/geer/2000/posters/pipemanometer/print.html>)
- 21.陳正興、李維峰、梅興泰，“振動量測於橋梁之識別分析”，第六屆公共工程非破壞檢測技術研討會，98 年 10 月 29-30 日，臺北，臺灣，2009。
- 22.柯永彥、張為光、陳正興，“橋墩基礎裸露對橋梁結構振動反應之影響”，中國土木水利工程學刊，已投稿，2010。
- 23.陳正興、李維峰、梅興泰，“振動量測於橋梁之識別分析”，第六屆公共工程非破壞檢測技術研討會，98 年 10 月 29-30 日，臺北，臺灣，2009。
- 24.陳昶憲、連惠邦，『平地區域排水流量觀測與推估模式之研究』，經濟部水利署委託，2009。

25. Lagasse, P.F., Richardson, E.V., Schall, J.D., Price, G.R.,
“Instrumentation for Measuring Scour at Bridge Piers and Abutments”,
NCHRP Report 396, Washington DC, U.S.A (1997).
26. Schall, J.D., Price, G.R., Fisher, G.A., Lagasse, P.F., Richardson, E.V.,
“Sonar Scour Monitor – Installation, Operation, and Fabrication
Manual”, NCHRP Report 397A, Washington DC, U.S.A (1997).
27. 張國鎮、羅俊雄，「光纖與光柵用於橋梁監測之研究」，交通部公路
總局研究報告，台北，第 3-20~3-32 頁 (2003)。
28. 陳俊仲，「高科技橋梁沖刷監測系統開發與技術整合應用研究」，博
士論文，國立台灣大學土木工程學系研究所，台北 (2011)。
29. 侯鈞哲，『重力式壓電片沖刷監測預警系統』，碩士論文，國立中央
大學土木工程學系研究所，2011。
30. 王仲宇，『橋梁檢測方法與應用』，中國土木水利學會，2010。
31. Michael L. Rucker, P.E., “Surface Geophysics As Tools For
Characterizing Existing Bridge Foundation And Scour Conditions”,
2006.
32. Samizo, M., Watanabe, S., Fuchiwaki, A., and Suguyama, T.,
“Evaluation of the Structural Integrity of Bridge Pier Foundations Using
Microtremors in Flood Conditions,” *Quarterly Report of Railway
Technical Research Institute (RTRI)*, Vol. 48, No. 3, 2007, pp. 153-157.
33. Nakamura, Y., “Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures
Using Microtremor,” *World Congress on Railway Research*, Florence,
1997.
34. Nakamura, Y., “A Method for Dynamic Characteristics Estimation of
Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface,” *Quarterly
Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, Vol. 30, No.1,
1989, pp. 25-33.
35. 交通部，公路橋梁設計規範，2009。
36. 日本道路協會，道路橋示方書・同解說，1996。

- 37.蔡益超，「橋梁耐洪能力評估」，中華技術期刊，71 期，台北，第 20-31 頁(2006)。
- 38.內政部營建署，『建築物基礎構造設計規範』，2001。
- 39.李維峰、陳正興、連惠邦、王仲宇、周功台、王炤烈、陳銘鴻、鄭世豪、張慶民，『橋基保護工設計規範(草案)』，交通部運輸研究所，2010。
- 40.林呈、林蔚榮、何宗浚、高明哲、何鴻文，『跨河橋梁基礎洪水冲刷之安全檢測與因應作為』臺灣公路工程第 33 卷第 8 期，2007。
- 41.林呈，『跨河橋梁訂定封橋水位』公路總局報告，2004。
- 42.謝正倫，『臺灣山區公路防救災專家資訊系統之建立及其與公路災害管理系統整合之研究』，行政院公共工程委員會委託，2002。
- 43.林呈、高明哲、蔡榮峻、何鴻文，『橋基冲刷災害與相關之維護管理(2)－橋梁冲刷監測預警系統及其功能評析』臺灣公路工程第 33 卷，2007。
- 44.蕭清輝，『集集大橋封橋演練實錄』，2008。

附錄一

期中期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
一、國立成功大學 蔡長泰教授		
1.報告蒐集的參考文獻、各國及國內各單位之檢測規定討論與比較、各種表格的歸納分析等，均具參考利用價值。	1.感謝委員之肯定。	同意。
2.線型河道（p25）是較為穩定，建議蒐集更多文獻歸納。	2.感謝委員之指導，本研究將參考此寶貴之意見。	同意。
3.橋梁耐洪能力之評估（p45，表 4-3）、（p50，表 4-5），建議納入「容許裸露深度」、「橋基容許沖刷深度」，及保護工的範圍是否涵蓋至兩岸堤腳或設計洪水行水區等。	3. (1)『容許裸露深度』於 P59『表 4-11 公路橋梁沖刷潛勢簡易評估表填表摘要說明(續)』中已有引用。 (2)『保護工涵蓋範圍』之修訂將遵照審查意見辦理，表格內評估項目將區分為護岸工及護床工。	同意。
4.沖刷潛勢詳細評估表（p63 p72）方面之建議： (1) 保護設施的鋪設範圍，宜包括與水面寬之比較。 (2) 河床下降情形，包括歷年沖刷深度的累積比較（是否持續沖刷、增加率），以及沖刷的位置的變動，並與主河道（深槽）的變化比較。 (3) 上下游高低差應包括發生跌水或水躍的可能性（包括橋梁保護工	4.將遵照審查意見辦理，定將此些項目納入檢測表格中。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
與元河床的高低差（p29））。		
5.建議蒐集保護工的效果分析與相關文獻。	5.目前已蒐集到林呈教授的『河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究』，以及台科大的『橋基保護工設計規範(草案)編訂之研究』，至於國外的相關保護工文獻將再行蒐集。	同意。
6.封橋標準作業程序方面，建議納入「現況剩餘橋梁基礎深度與容許沖刷深度比較安全性」的課題。	6.將參考審查意見辦理。	同意。
二、北市府工務局水利工程處 陳副總工程司郭正		
1.事件中之檢測為最困難部份，研究團隊是否已建構橋墩自然頻率與穩定性之關係。	1.已建立部份橋梁之自然頻率和穩定性關係，將於期末報告內容提出。	同意。
2.事件前、後及平常之檢測都易於操作，但事件中評估表之設計及檢測參數宜單純化，以利快速判斷。	2.感謝委員之指導，本研究將依此寶貴之意見努力研擬。	同意。
3.流速與振動頻率與沖刷深度之本土公式宜建構。	3.建議將此列為後續研究目標。	同意。
4.各項儀器使用適合情境宜加以說	4.將遵照審查意見辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
明。		
三、國立中興大學 林呈教授		
1.建議試以高屏大橋及后豐大橋斷橋之過程，探討現行檢測及橋梁管理是否有盲點而致無預警斷橋之橋梁沖刷檢測改進措施，再以具體探討應強化之沖刷檢測課題。	1.將參考審查意見辦理，在後續進行此一檢討。	同意。
2.(1)本案之核心價值應是特別著重於颱風中（含退水過程中已封橋而準備再開放前）之檢測，包含利用災前所篩選出之具高度沖刷潛勢橋梁，於颱風中（含退水過程）如何執行檢測工作（含沖刷深度及伴隨河床沖深時橋基之結構反應）。 (2)建議應研擬一種非常省錢、可輕易移動、易操作之檢測方法及相關之 SOP 供參。目前試行之各種 SMART 方法，建議僅作一般性介紹，概因正在試行中，不宜過度強調這些既花錢又非為可移動式之價昂量測方式。 (3)宜制定出一種河床變化之登載紀錄表，可記錄並觀察對橋基沖刷之影響。	2.(1).關於颱風事件中的檢測，於現階段進度確實尚未過多著墨，但依照原定之規劃亦將於日後之工作中進行。 (2)感謝委員之指導，另想請教林呈教授可否將其使用重錘量測之 SOP 納入本計畫規範中。 (3)將遵照審查意見辦理，可能設計一些可填寫河床斷面之表格，或是要求橋梁之資料庫每年洪汛期過後要新增河道斷面資料。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
3.颱風中之沖刷檢測可積極地與橋梁封橋時機結合，再配合水情資訊之現代化科技應用，可有效地應用於橋梁之封橋管理及具沖刷災損之橋基是否需採緊急保護措施等。	3.將會適當的參考此意見於本計畫的颱風事件中之檢測工作內容中。	同意。
4.請就圖 5.3 之上下圖面所對應之意義為何予以詳細說明（含下圖之水平及垂直座標的意義）。	4.下圖之水平座標為橋梁長度，縱座標為水面下之深度；此圖可看出除 B 橋墩位置因為深槽區之外，A 位置橋墩處之凹槽應為沖刷所造成之現象。	同意。
5.橋墩基礎因沖刷深度改變而導致反應頻率之改變，惟其中為重要者仍是沖刷深度之大小為須知者。 （若以橋墩不同之裸露深度並同反應之墩基反應頻（譜）率，蓋因各墩基之土層構造不同、支承條件亦異、水深及流速又不同等等因素，均會影響各墩基之頻率反應）。	5.可配合定期振動量測找出結構反應譜率和沖刷深度之變化關係曲線，藉以推估河床沖刷深度。	同意。
6.雷達波、地電阻、透地雷達等侵入式量測方法，實不宜於颱風中使用，建議於文中附加說明。	6.將遵照審查意見辦理。	同意。
7.高屏大橋斷橋是在颱風洪峰通過三日後發生，由本計畫所提出之觀點視之，有何值得警戒或學習之處。	7.高屏大橋斷橋之主因是護床工未完成部分之束水沖刷而造成，洪峰過後沖刷一直在持續中，本研究將會依據此一經驗，規範颱風事件中後之檢測要點與方式。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
8.建請強化洪水封橋後、開啟之前之必要作為。	8.封橋後必須確定無安全疑慮後方可開放通車，本研究將研擬較可行之必要作為協助進行開放通車指令判斷。	同意。
9.建請對圖 5.23 再予以補充相關資料，俾利讀者能快速瞭解成果展示前之背景（含標的橋梁之河床狀況.....等）。	9.將遵照審查意見辦理。	同意。
10.簡報中對於重錘式之圖片，請加註資料來源。	10.將遵照審查意見辦理。	同意。
11.p60 敘述文似乎有誤，惠請檢查改正。	11.將遵照審查意見辦理。	同意。
四、交通部科技顧問室 許書王技正		
1.本研究係為訂定作業規範（草案），對於規範型式，宜先確立，以免事倍功半。	1.將遵照審查意見辦理，近日將與技監室聯繫。	同意。
2.未來本規範（草案）若定位為部頒規範，則請洽技監室有關格式大綱之建議。	2.將遵照審查意見辦理，近日將與技監室聯繫。	同意。
3.目前本部規範頒定流程中有初審及複審兩步驟，建議除專家座談會外，應有初審會議之規劃與執行。	3.若要進行規範初審，則必須於民國 100 年初即要完成正式的規範條文，本計畫可能無法在如此急促之條件下完成規範，但此意見將於日後與團隊成員審慎之討論。	同意。
4.冲刷檢測在汛期前後應無問題，惟在汛期中檢測之方式可能較為重	4.關於颱洪事件中的檢測，於現階段進度確實尚未過多著墨，但依照原定之規劃亦將	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
要，其方式宜具體可行再行提出為宜。	增加於日後之進度。	
五、交通部公路總局 延允中工程司		
1.此計畫檢測作業規範(草案)完成中 檢測項目眾多，與現有公路養護手冊是否有所不同，檢測頻率請從現有功率、人力考量。	1.目前檢測作業規範所研擬之項目中涉及儀器之部分多為現有公路養護手冊所沒有，目的是先達到維護橋梁安全的目標，檢測頻率及人力則反作研議，有些專業工作日後可考慮委外進行。	同意。
2.可否請主持人規劃執行填寫橋梁沖刷評估表橋梁能與公路總局目前之重點監測橋梁互相一致，以利局內參考。	2.日後將與延工程司洽談相關事項，本團隊當盡力配合。	同意。
3.簡報中提及 貴團隊在谷關大橋無法使用地電阻原因乃地質過硬，此定義為何？因局內目前有類似相關計畫，請惠提供解決方法。	3.地質過硬不易施作地電阻為現勘之初步看法，事後現地施作之改善方法為以鐵鎚施力將電擊棒打入地層中，以及潑灑食鹽水以增加導電度，至於成效為何尚須等待分析結果報告。	同意。
4.健全度檢測(包含透地雷達、超震法、地電阻)試用範圍、經濟性請於後續報告呈現。此外，超震法與敲擊回音法兩種方法有何差異？	4.超震法與敲擊回音法均為應力波檢測，敲擊回音法是利用單點的振源接收器以量測振動波來回之共振頻率以換算反射介面距離，然而超振法則是利用多個振源接收器，由各接收器接收振波之相位差以推算反射介面之位置。	同意。
5.公路總局現有之檢測封橋作業，參考兩種方式：第一為水利署第二級	5.感謝委員之指導，本研究將參考此寶貴之意見。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
警戒水位及參考欲封橋上游最近水位站、雨量站、時雨量、累積雨量...等，第二是第二區養護工程處陳處長流域管理概念，從歷史洪峰到達時間判斷。		
六、本所港研中心 林雅雯副研究員		
1.本期中報告中有提及日本、美國橋梁檢測制度，但較似概論，建議增加納入此二國橋基沖刷檢測值得參考或參照的地方。	1.將遵照審查意見辦理，將美日之可參考的內容納入規範。	同意。
2.研究團隊使用 4 個評估表進行橋梁評估，建議於團隊出發評估前，再檢視檢測評估表格是否能反應沖刷潛勢及橋梁現況，對於特殊流況是否能反應。	2.將遵照審查意見辦理，於 4/21 實際出對檢測前會修訂表格。	同意。
3.對於團隊出發評估前，建議針對評估表格加上參考圖說或說明，以便不同評估者所得差異不致太大。	3.將遵照審查意見辦理，增設填表項目之圖說註解。	同意。
4.p44 表 4-7 簡易評估表及 p53 表 4-8 詳細評估表，二個表格之使用時機、評估結果是否有一致性，所得分數判別沖刷潛勢情形及對應方法，應再訂定。	4.此二表格之使用時機不同，簡易評估表的使用時機為颱風事件前的檢測，詳細評估表則是於汛期前、後檢測使用。至於各不同分數所能反映的沖刷潛勢結果，必須實際試填寫後方能草擬。	同意。
七、本所港研中心 謝明志科長		

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
1.國內外檢測資料皆有蒐集，這方面努力值得肯定。	1.感謝委員之肯定。	同意。
2.計畫目標為沖刷檢測作業規範，工作項目有列出各種檢測種類與層級，但目前的兩份評估表都暫時定名在沖刷潛勢，宜針對檢測再加強。	2.關於颱風事件中的檢測，於現階段進度確實尚未過多著墨，但依照原定之規劃亦將增加於日後之進度。	同意。
3.表 4-10、表 4-12 其檢測時間、週期以及評估後的分數如何分級，及各危險等級的對應措施，宜在後續研究予以補充。	3.表 4-10 的使用時機為每個颱風事件前，而表 4-12 則是每年汛期前、後檢測分別使用。至於各不同分數所能反映的沖刷潛勢結果，必須實際試填寫後方能草擬。以及各危險等級的對應措施將於日後之進度補上。	同意。
八、國立中央大學 吳瑞賢教授		
1.國內跨河橋梁甚多，因此檢測多以目測或簡易量測工具作為檢測之用，未來對於重要橋梁或容易受到沖刷之橋墩設置長期性檢測儀器，將能減少檢測人力，提供長期觀測數據以及提供預警之功能，然部份儀器容易因洪水沖刷而流失，且儀器建置及維護所需經費亦影響建置之可行性，能否請研究單位蒐集合適於臺灣之長期性檢測儀器建置、操作與維護所需費用資料，並列表以供參考。	1.監測系統的建置並無在本計畫之範疇內，但是要如何與現有的監測系統之功能或台灣地區的沖刷公式互相結合確為日後需考量之進度。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
2.本計畫將於大甲溪流域中，擇定一座具嚴重冲刷潛勢之橋梁作為第二年進行現地驗證之研究案例，然第三章所提及之案例為濁水溪下游河段之橋梁，是否作為備案之用？亦或其較大甲溪流域之橋梁更具嚴重冲刷潛勢？請說明。	2.本計畫將選定大甲溪流域上游的谷關大橋與濁水溪流域下游的西濱大橋等兩座橋作為現地驗證之對象。	同意。
3.以目前檢定之簡易評估表（如表 4-10，p55），是否可以朝向減少公式運算（如整體評分項次 5 等）進行考量，以減少目測判定所需時間。	3.目前預定將擬定一更為簡易之檢測表格。	同意。
九、本所港研中心 邱永芳主任		
1.橋梁檢測方式需從人力、金錢、時間上考量，以期達到颱風時檢測之可行性。	1.感謝委員之指導，本研究將盡力將檢測工作考慮上述之建議且具可行性。	同意。
2.在訂定不同時間檢測之項目、儀器應有專章討論，在不同時間應使橋梁檢測項目不同(其中含橋梁相對於檢測項目)，區分不同檢測重點，不該只在水位之角度思考。	2.不同時間、項目之檢測儀器更詳細之說明將增加於第二章中。	同意。
3.如何從蒐集資料中，確實落實在檢測上，在人力及經費上是相當重要考量因素，再請主持人多加用心。	3.感謝委員之指導，本研究將參考此寶貴之意見。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
交通部國道高速公路局 王吉杉工程司		
1.肯定團隊研究成果。	1.感謝委員之肯定。	同意。
2.因為目前看到本計畫訂定所有橋梁都要做事件前中後以及洪汛前後等各階段檢測工作項目，非常的多，就實務而言是否可以由沖刷潛勢高、中、低來區分橋梁沖刷檢測各個階段的工作項目。例如低沖刷潛勢的橋是否還要執行完整的檢測工作項目。	2.本計畫原定之檢測流程依據為：汛期前評估將定出具有沖刷潛勢的橋梁群組，做為洪水事件前評估之依據；相同的洪水事件前評估結果，將為洪水事件中評估之依據。故並非所有橋梁都要做全部階段之檢測，但各階段之檢測結果如何做為後面檢測之依據，尚在研擬中。	同意。
3.如果兩個颱風間隔很近，勢必無法完整執行檢測工作項目，團對該如何解決。就現行檢測實務上而言，僅進行特別檢測。	3.若兩個颱風間隔很近，則考慮將洪水事件後跟下次事件前的檢測合併為一次的檢測。	同意。
4.未來規範第五章『檢測技術』所提供之各項檢測技術市否皆已發展完整且成果可靠，建議予以補充說明。	4.將遵照委員意見辦理。	同意。
交通部國道高速公路局 饒書安工程司		
1.高公局、公路總局的檢測種類中的臨時檢測已改為特別檢測，請修正。	1.將遵照委員意見修正。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
2.目錄請再檢視(查)正確性，如:5.4.1 未見於目錄章節中。	2.將遵照委員意見修正。	同意。
3.於簡報中敘及『沖刷潛勢詳細評估表』，分為上游及下游使用，谷關大橋之使用為何？	3.谷關大橋為使用上游評估表。	同意。
4.於第四章中，有關沖刷檢測種類內容與實際內容似有不符，章節名稱建議改為『沖刷評估種類』為宜，請再考量。	4.將遵照委員意見辦理。	同意。
5.簡報所提預定規範章節與報告目錄不符，如材料檢測技術（簡報為 5.1，報告為 5.4），請全面檢視。	5.將遵照委員意見修正。	同意。
6.p126 頁中沙大橋沖刷潛勢程度為「高」，有關現況（4）橋梁無任何護床工之設置，查目前本局於該橋下游已設有固床工，請修正，該橋潛勢請再調整重新評估，有關該橋之評估表 4-5，表 4-3、表 4-19 建議所評列為附件，俾利參考。	6.將遵照委員意見修正。	同意。
7.p118 頁，最後一行「新工地門橋」之文字有誤；p127 頁，西螺大橋現地照片有關圖 4.14、圖 4.15 相同，請檢核。	7.將遵照委員意見修正。	同意。
三、交通部公路總局 郭瑞乾工程司		

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
1.簡易評估表試填的部分, 是用上游評估表還是下游評估表, 請團隊說明。	1.使用上游評估表的橋梁為:新三地門橋、口社橋、東勢大橋、埤豐橋、寶來大橋、寶隆大橋; 使用下游評估表的橋梁為: 東港大橋、萬大橋、大甲溪國一橋、中沙大橋、西螺大橋、高美大橋。	同意。
2.口社橋與西螺大橋, 以目前的表格而言的冲刷潛勢分數是差不多的, 但本研究的表格評估出來為口社橋低潛勢但西螺大橋高潛勢, 請團隊解釋說明為何會有此差異性, 不然會造成日後工務段現場評估人員之困擾。	2.因本研究之評估表有將一些重要的冲刷潛勢因子之權加重(例如: 基礎裸露深度、河床下降情形、橋墩等值阻水寬度), 以及降低一些已較不重要之因子(例如: 鄰近採砂情形以及一般泥砂造成之河道部分斷面淤積)。	同意。
3.P26 頁, 檢測種類分為 (1) 經常巡查 (非平日巡查) 。	3.將遵照委員意見修正。	同意。
4.p26 頁, 巡查分為經常巡查, 定期巡查 (非重點巡查) 。	4.將遵照委員意見修正。	同意。
5.p27 頁, 經常巡查頻率, 快速公路每週巡查至少 2 次, 其他公路每週巡查至少 1 次, 夜間巡查每月至少 1 次。	5.將遵照委員意見修正。	同意。
6.p27 頁, 定期巡查頻率, 對不同巡查項目, 至少每 2 個月至 4 個月 1 次。	6.將遵照委員意見修正。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
7.p27 頁，定期巡查的後續檢測頻率無此規定。	7.將遵照委員意見修正。	同意。
1.p268 頁，2.1 活載重第 2 行，HS25 本局規範無定義，規範規定載重不得小於 HS20 之 1.25 倍。	1.將遵照委員意見修正。	同意。
2.p268 頁，2.1 活載重第 3 行，載重分佈非將卡車擺放在最嚴重的位置，請依規範第 4 章載重分佈辦理。	2.將遵照委員意見修正。	同意。
3.p268 頁，2.1 活載重第 5 行，支承上加集中載重 14750 kgf，依據為何，請說明。	3.標準 HS20 貨車之車道計算彎矩與剪力時，應使用不同之集中載重，其較小之集中載重用於計算以彎曲應力為主之應力，較大者用於計算以剪應力為主之應力。此剪力會被橋梁支承所承載，因此須在橋樑支承處加上車輛所產生之剪力。而最大剪力計算則以較大集中載重為 11800kgf，乘以 1.25 倍則為 14750kgf。	同意。
4..p268 頁，2.1 活載重最後 2 行，軸力折減有其應用但書(當構材的最大應力產生於數車道同時載重的時候，因此狀況產生的機率很小，所以才以折減。)，請修正。	4.將遵照委員意見修正。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
5.p268 頁，3.風力前 2 行，本局風力無高風速與中風速之分類，請修正。	5.將遵照委員意見修正。	同意。
6.268 頁，3.風力第 2 行，風力作用於垂直面的梁才是 390 kgf/m^2 ，風力作用於垂直面桁架與拱為 580 kgf/m^2 ，請修正。	6.將遵照委員意見修正。	同意。
7.268 頁，3.風力第 5 行， 150 kgf/m^2 依據為何(應為 180 kgf/m^2 才對)，請說明，作用點應垂直面上 1.8m，請修正。	7.應為 240 kgf/m 之作用力，該增加力作用於結構縱軸之垂直方向且高出橋面 1.8m 處。	同意。
8.報告書內容建議更新最新封橋作業流程表格。	8.將遵照委員意見修正。	同意。
四、本所港研中心 林雅雯副研究員		
1.p50，表 2-16 檢測種類(層級)，level0~level4，建議將表 2-15 整合入表 2-16，以一個表展示，不用分表，以利查詢。	1.將遵照委員意見辦理。	同意。
2.p45，表 2-13、表 2-14 檢測方法定義或項目，與主要取得參數項目數不合，如現況記錄項目有 3 項，但取得參數有 2 項，請	2.此表格之方法定義或項目，與主要取得參數項目數並未有一定之一對一對應關係。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
再檢討核對。		
3.從台中縣大里市建民橋沖刷落橋案例對於淺基礎一側受沖刷、沉陷、橋墩傾斜，p45 儀器檢測似乎無法檢測出傾斜。	3.將評估是否增加橋梁傾斜角度之檢測。	同意。
4.p232，p233，圖 6.8 及圖 6.9 沒有圖。	4.將遵照委員意見修正。	同意。
5.P207，西濱以及谷關大橋的目視檢測結果，因並無確切的沖刷深度、橋墩長度值，而是用目視概估，請註明為目視概估，然而請說明真正量測的實際值應在何時要呈現出來。	5.(1)將遵照委員意見辦理。 (2)應要在詳細評估表之填寫過程中，真正量測基礎裸露之實際值。	同意。
6.第五章各節沖刷檢測技術，建議列表說明檢測技術所得資訊、優缺點及適用條件。	6.將遵照委員意見辦理。	同意。
7.汛期中檢測請注意檢測人員安全，建議事前先進行教育訓練。	7.將遵照委員意見辦理。	同意。
五、本所港研中心 柯正龍研究員		
1.報告 p5，本次期中報告內容所述與報告中實際內容不符，建議後續報告撰寫時應加注意。	1.將遵照委員意見辦理。	同意。
2.颱風沖刷期間之橋基裸露深度檢測方	2.(1)將遵照委員意見辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
法，研究團隊在工作計畫書所整理之「國內現行沖刷即時監測技術之比較」，本次期中報告並未針對各種監測技術之適用可行性進行說明或較詳細之探討，建議後續研究可加強說明。此外，p306 針對第 1 次期中報告審查意見處理情形表，提及將與中興大學林呈教授請教可否將重錘量測之 SOP 納入，請說明聯繫結果如何？	(2)已聯絡林呈教授，但林呈教授建議本團隊應自行建立 sop。	
3.本計畫共分二期，其中第一期執行內容建議於研究內容與範圍內註記報告書內之相關章節，俾利查核比對實際執行項目與契約規定有無符合。	3.將遵照委員意見辦理。	同意。
4.4-12 至表 4-13 及表 6-7 至表 6-9，建議適度修正其內容。	4.將遵照委員意見修正。	同意。
5.報告提及橋梁應用表 4-5、表 4-3 及表 4-19 之驗證結果，其詳細記錄建議可用附錄形式列出，以便查核或應用參考。	5.將遵照委員意見辦理。	同意。
6.橋梁基本資料記錄表，建議應用時應於說明欄內適度敘述現況，圖片中如橋墩編號等，建議加以註記，以立判讀。	6.將遵照委員意見辦理。	同意。
六、本所港研中心 謝明志科長		

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
1.計畫主持人王主任是國內非破壞檢測專家，報告內提到地電阻、超震法....等方法，確可補足橋梁的許多基本資料，值得肯定，但對於應用 3D LIDER 掃描河道斷面，因雷達波無法穿透水面，可能需要其他配套方法來獲得水下斷面資料。	1.(1)感謝委員之肯定。 (2)關於河道段面掃描，將以透地雷達及聲納輔助進行。	同意。
2.沖刷潛勢評估方面，高、中、低的區隔門檻值為 50 及 25，是用公路總局、台大簡易評估與本計畫表格之評分結果來推估，但前 3 種方法總分為 100，本計畫表格>160，總分不同，但門檻值都一樣，感覺會有疑慮？請說明。另建議低潛勢（黃色）、中潛勢（以綠色標示），可將此二色對調，以符合交通號誌紅黃綠燈的常情感受。	2.(1)本計畫之門檻值(25~50)雖與公路總局、台大評估表之門檻值(30~60)相近，但本計畫之門檻值是經由橋梁現場照片判斷其沖刷潛勢，再對照所對應之表格評估分數而定訂之。 (2)將遵照委員意見辦理。	同意。
1.本計畫沖刷檢測分為詳細及簡易兩種，其中有哪些項目可以在室內先行作業，可考慮先標記出。	1.(A)資料研判項目為可在室內先行作業之部分。	同意。
2.表 4-19、4-20 河床下降情形結果評估，該如何現場評估填寫，實際上河床下降情形共區分為五種層級，但現場僅能做定性的觀察，無法實際展示下降趨勢與沖刷潛勢為何，請團隊說明。	2.本計畫之規劃確實是必需記錄歷年之河床下降趨勢，始能完整的判斷，但因目前缺少過去之資料，因此目前判定依據為樁帽頂部至河床面的一般沖刷深度。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
3.表格填寫的項目很多, 是否有規定填寫項目之先後順序之流程, 還請說明。	3.並無特定之填寫流程, 僅有『(A)資料研判項目』可於檢測前填寫完成; 『(B)現場檢測項目、(C)選填項目』需到現場填寫。	同意。
七、交通部科技顧問室 許書王 技正		
1.在颱風事件中的橋梁損壞的可能性很高, 可能在某一次的檢測完之後就倒塌, 因此事件中應以較密集時間點的檢測作業(達到較類似監測的結果)注意橋梁的安全。	1.將遵照委員意見辦理, 但要考量檢測人力之規劃。	同意。
2.p200, 鹼粒料反應, 請研究單位參考 CNS 規範統一用語(鹼質與粒料反應), 另岩象分析之「象」, 應修正為「相」, 請參酌。	2.將遵照委員意見修正。	同意。
3.p200, 所介紹之各項檢測方法, 均為針對新拌混凝土之材料進行檢測, 似未針對已有橋梁之鹼質與粒料反應進行檢測之方法介紹, 請卓參。	3.將遵照委員意見辦理。	同意。
4.p4 及 p5, 颱洪期間之橋梁裸露.....監測方法初擬等, 建議專章敘述。	4.將遵照委員意見辦理。	同意。
八、國立成功大學 黃進坤教授		

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
1.如果檢測項目太多，可能會把一些較為極端的損害因子之潛勢進行平均，因此評估結果可能看起來不危險。	1.本計畫評估表格已有將一些較為極端的損害因子之權數加重。	同意。
2.『保護工裸露於河床之上的高度』為一重要的沖刷潛勢指標，但本計畫表格可能無相關之判定方法。	2.將遵照委員意見辦理。	同意。
3.『保護工壞掉越少越危險，壞掉越多反而越安全』，壞掉越少表示可能造成一束縮沖刷的缺口，保護工整個破壞掉反而整體通洪量變大。	3.將遵照委員意見，應用於本計畫之評估表。	同意。
4.本研究一些圖不清楚，請改善，另照片請加入日期及流向。	4.將遵照委員意見辦理。	同意。
5.表格確認後，請現場工程師實際演練及進行問卷調查，以了解適用性如何？	5.將遵照委員意見辦理。	同意。
6.固床工的破壞點為非常重要的指標，例如破壞點在河道中間則並不會造成太大損害可能性，但若破壞點在接近橋墩位置，則造成沖刷破壞可能性很大。	6.將遵照委員意見，應用於本計畫之評估表。	同意。
7.本檢查表格的適用性，請描述，以便供參考。	7.因橋梁會因環境的不同而有不同情境之損壞模式，因此本檢測表格主要區分為上游用之表格與下游用之表格，至於其他的情境，則由表	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	格選填項目中的『其他』進行評估。	
8.河相問題亦很重要，特別是橋梁上游沙洲的發展，沙洲的產生會使流路產生很集中的效用，特別是在水位僅高於沙洲 1~2 米的時候，無法破壞沙洲，所以會在沙洲產生很深的河道來攻擊橋墩。	8.將遵照委員意見，應用於本計畫之評估表。	同意。
9.封橋作業中，橋梁撤封前之檢查表格是否要另外表格執行？	9.目前本團隊尚在研議中。	同意。
九、本所港研中心 朱金元副主任		
1.美國的橋梁檢測制度資料蒐集很完整，但是現階段關於日本的資料僅算是檢測種類的一種，因此還有待加強。	1.將遵照委員意見辦理。	同意。
2.美國的檢測人員資格訓練認證制度，值得本計畫參考。	2.將遵照委員意見辦理。	同意。
3.本計畫之評估表建議可在下次期中報告之前，召開專家小組討論會議，以確定此表格之可行性。	3.將遵照委員意見辦理。	同意。
4.檢測各階段之時間點請加以定義，不同事件檢測完成時間請加以定義。	4.『汛期前』定義為該年度 1 月至 4 月，填寫詳細沖刷潛勢評估表；『洪水事件前』定義為海上颱風警報發	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	佈後至颱風圈接觸陸地，填寫簡易沖刷潛勢評估表以及進行儀器檢測；『洪水事件中』定義為颱風接觸陸地至陸上颱風警報解除前，以定點巡察、記錄橋梁週遭環境之現況，並搭配相關監測設施；『洪水事件後』定義為陸上颱風警報解除後至全面開放通車前，進行簡易之儀器檢測；『汛期後』定義為該年度 10 月至 12 月，填寫詳細沖刷潛勢評估表，以及進行儀器檢測。	
5.建議補充一張本計畫與其它計畫之關聯圖。此外，本計畫是否需其它計畫之 input，或本計畫能提供其他計畫之 output？	5.請參照附錄 2-16 頁。	同意。
6.請增加本研究計畫流程圖	6.將遵照委員意見辦理。以於第二章中增加圖 2.12~2.16 說明整年度之檢測流程圖。	同意。
7.檢測制度與沖刷檢測評估制度異同？	7.兩者應為互相配合，檢測之結果回饋提供沖刷潛勢之評估。	同意。
8.第 2.3 節應是根據 2.1、2.2 比較結果而提出，建議第二章之架構重新組織後重寫。	8.將於 2.3 節增加 2.1、2.2 節之比較結果。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
9.橋梁上下游河川護岸, 是否也應納入檢測範圍及評估? 如何檢測? 檢測項目?	9.(1)本計畫目前有將上游河川護岸納入評估範圍。 (2)詳細及簡易評估表皆可使用。 (3)護岸工損壞程度、護岸工鋪設範圍、護岸工必要性。	同意。
十、本所港研中心 邱永芳主任		
1.本計畫至目前為止已將現有的資料蒐集彙整的差不多了, 接下來要將其變為行動準則方案, 各檢測階段要如何去做, 應要詳細說明。	1.將遵照委員意見辦理。	同意。
2.檢測可行性為很重要需要考慮之重點, 檢測單位之人力、時間性及穩定性(檢測人員訓練認證), 以及不同檢測人員評估出來的潛勢是否能收斂一致。	2.將遵照委員意見辦理。	同意。
3.預計明年的汛期前, 本計畫須完成初步的檢測規範。	3.將遵照委員意見辦理。	同意。
十一、國立中央大學 吳瑞賢教授		
1.本研究建立各時期檢測項目及內容(體檢表), 建議就颱風中的作業在下一階段進行檢討。由於在事件中的檢測相當困難, 建議朝事件前後之比較, 如地電資料, 以	1.將遵照委員意見辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 2 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位 審 查 意 見
推估事件中刷深的深度是否影響安全。換言之，如何運用同一地點長期資料的加值分析，可作為爾後相關計畫的課題。		
2.圖 6.8 及圖 6.9，請重新繪製。	2.將遵照委員意見辦理。	同意。
3.本研究提出之封橋作業中所謂「流況異常」，實屬正確，建議下階段就實質內容深入說明及考慮納入教育訓練內容。	3.將遵照委員意見辦理。	同意。

本計畫與其他計畫之關聯表

計畫名稱	輸入		研究方法	輸出	
	類別	細項		類別	細項
訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究(H1EB008)	橋梁監測資料(A)	1. 河川即時水位 2. 沖刷深度 3. 即時流速 4. 上游水位站之水位	沖刷檢測規範之洪水事件中檢測	是否需要封橋	1.是否達到封橋水位 2.是否達到容許沖刷深度 3.上游水位是否突然暴增
	河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究(H1EB005)	推估洪水事件中的水位	沖刷檢測規範之洪水事件中檢測	洪水事件中檢測目標之依據	洪水事件中可能水位高度
	橋墩沖刷計算模式之建立研究(H1EB006)	推估洪水事件中的沖刷深度	沖刷檢測規範之洪水事件中檢測	洪水事件中檢測目標之依據	洪水事件中可能沖刷深度
	跨河橋梁安全評估之研究(H1EB007)	推估容許沖刷深度	沖刷檢測規範之洪水事件中檢測	洪水事件中檢測目標之依據	洪水事件中可能沖刷深度

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 3 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
一、國立成功大學 蔡長泰教授		
1.本計畫的成果可與交大的計畫『橋墩沖刷之高科技即時監測系統研發』成果連結，請加以扼要性說明。	1.擬請鄭明源教授團隊協助彙整本計畫與交大團隊計畫之成果。	同意。
2.目前似乎無橋基沖刷檢測結果相關報告。	2.現階段而言直接的沖刷深度檢測法還是重錘法，本計畫目前再納入沖刷深度監測計，以及另外以間接之振動量測估算沖刷情形。	同意。
3.本計畫至目前為止對於作業規範尚未開始進行。	3.本計畫預計於民國 100 度開始進行將計畫成果改寫成規範型式。	同意。
4.建議可列表比較各國的沖刷檢測作業項目。	4.將依照委員意見，列表比照各國沖刷檢測作業項目。	同意。
5.建議表格可增加易填性及易讀性。	5.沖刷檢測表格若為求易填性極易讀性，可能無法確切反應真實的沖刷潛勢，所以評估表格不宜太過簡易，應搭配明確的表格填寫使用說明，使填表者清楚的了解表格。	同意。
中興大學水保系 鄭皆達教授		
1.本計畫的成果可與交大的計畫『橋墩沖刷之高科技即時監測系統研發』成果連結，請加以扼要性說明。	1.請鄭明源教授團隊協助彙整本計畫與交大團隊計畫之成果。	同意。
2.目前似乎無橋基沖刷檢測結	2.現階段而言直接的沖刷深度檢測法還是重錘	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 3 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
果相關報告。	法，本計畫目前再納入沖刷深度監測計，以及另外以間接之振動量測估算沖刷情形。	
3.本計畫至目前為止對於作業規範尚未開始進行。	3.本計畫預計於民國 100 度開始進行將計畫成果改寫成規範型式。	同意。
4.建議可列表比較各國的沖刷檢測作業項目。	4.將依照委員意見，列表比照各國沖刷檢測作業項目。。	同意。
5.建議表格可增加易填性及易讀性。	5.沖刷檢測表格若為求易填性極易讀性，可能無法確切反應真實的沖刷潛勢，所以評估表格不宜太過簡易，應搭配明確的表格填寫使用說明，使填表者清楚的了解表格。	同意。
三、交通部公路總局 陳進發技正		
1.建議以後相關的計畫不要以『規範』型式，可改以『手冊』型式，因研究評估內容中確實不可避免的有部分評估項目含有主觀的成分，『規範』的限制性太強烈。	1.感謝委員的意見。	同意。
2.認為颱風事件中的檢測過於危險，真正在這樣的大風大雨下是不可能讓工程人員前往現場評估，應要以自動監測方式進行。	2.依委員的意見，將訂定洪水事件中的檢測必須在現場風雨狀況安全下進行。	同意。
3.重力式壓電片沖刷監測系統建議可繼續推廣。	3.感謝委員的肯定。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 3 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
4.西濱大橋屬於感潮段橋梁，分析沖刷時應考量潮位變化。	4.將依委員意見辦理，考慮感潮段之影響。	同意。
5.事實上萬大大橋列為最優先的沖刷保護對象(已準備進行基礎之更換)，此外東勢大橋亦應為高潛勢橋梁，但本計畫表格卻無法反應，建議團隊應再研究。	5.本團隊推測因雙園大橋為萬大大橋下游鄰近橋梁，故研判萬大大橋之沖刷可能性很高，因此鄰近橋梁之沖刷情形將考慮納入本計畫表格中；但是東勢大橋之沖刷潛勢尚有待研究。	同意。
6.深基礎的評估，應該再繼續區分為全套管、PC 樁、反循環樁...等不同型式的樁基礎。	6.依照委員意見，將基樁評估區分為全套管、PC 樁、反循環樁...等不同型式。	同意。
7.P254 圖 6.20 中的西濱大橋地電阻檢測結果可套合橋墩基礎的圖進行檢核比對。	7.將依照委員意見辦理，其結果如附件(二)所示。	同意。
8.建議現地颱風後的檢測時機要以現場風雨狀況緩和與否來判斷，因若以颱風出海與否或是颱風後 3 天為基準，可能錯失真正適合檢測之時段。	8.將依照委員意見辦理，將颱風後的檢測時機修改為『不危害檢修人員安全狀況之風雨』。	同意。

附件(一)

$$I_{C_{ij}} = 100 - 100 \times \frac{D \times E \times R^a}{4 \times 4 \times 4^a} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{C_i} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{C_{ij}}}{n} \dots\dots\dots(2)$$

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \dots\dots\dots(3)$$

i： 橋梁之第 i 個構件

j： 橋梁之第 i 個構件中第 j 個狀況

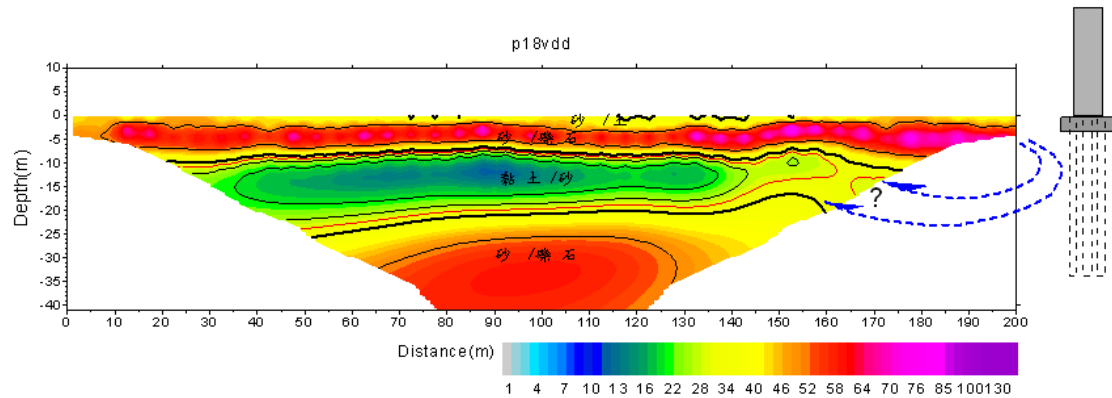
w_i ：構件相對於橋梁之權重

Ic_{ij} ：構件 i 中之第 j 個狀況值

Ic_i ：構件 i 之狀況值

a ： 相關重要性參數(通常取 1，若欲強調構件重要性時可取 2。)

附件(二)



圖中顯示測線水平距離150-200公尺(測線端點距橋墩基礎10m)，除礫石層厚度較厚外，黏土/砂層電阻率側向不連續。

研判:

- 1.鄰近橋墩處地層可能受水流掏刷再經回淤所致
- 2.護床或保護工施作時對鄰近地層產生擾動
- 3.影響深度範圍約15~20m

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 4 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
一、 中興大學水土保持系 鄭皆達教授		
1.除日本沖刷評估內容外，是否考慮增加“一點”其他國家的沖刷評估內容？	1.本研究已有提出美國 FHWA 之沖刷檢測評估內容，以及台灣之沖刷穩定指標(SSI)評估法。	同意。
2.表格一些符號請加註說明。	2.將按照委員意見修訂。	同意。
3.簡報檔或報告書中圖表的清晰度和可讀性，請改善。	3.將按照委員意見修訂，將更新更清晰之圖說。。	同意。
4.報告書中 P.80 與 P.81 內容可讀性請改善。	4.將按照委員意見修訂，將更新更清晰之圖說。	同意。
二、交通部公路總局 陳進發技正		
1.颱風事件中橋梁狀況紀錄表，如表 17 宜再與公路總局 100.05.05 最新之封橋 S.O.P 相配合，如水位監測，目前已列為第二監測順位，另颱風期間並不適合工作人員進行檢測，於實務上亦不宜，請再斟酌。換言之，檢測宜於災前或災後進行，不宜於災中。(P120)	1.(1) 將根據公路總局最新之封橋 S.O.P 修改颱風事件中橋梁狀況紀錄表。 (2)本次報告中的颱風事件中檢測流程圖部分邏輯有誤，導致出現『封橋後仍要持續巡檢』之解讀，在此將會修改檢測流程之邏輯表達。 (3)颱風事件中檢測之合理人力使用分配，近期將前往各工務段詢問專家意見。	同意。
2.颱風洪事件中檢測流程於圖中宜搭配公總之三級預警應變管理分為預警、警戒、行動，另其是否具可操作性，宜再洽公	2.關於颱風洪事件中檢測流程近期將安排前往各工務段進行專家訪談。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 4 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
總基層訪談，如以橋梁巡檢結果判斷封橋，恐較難執行。		
3.採汛前沖刷潛勢評估，中高潛勢橋梁，特別檢測與管控，立意甚佳，惟個案橋梁之關鍵因素，應有不同，可否於評估表中反應出來，提醒管理者。	3.個案橋梁之潛勢反應，可於本評估表中◆項目進行註明。	同意。
三、本所港研中心 朱金元副主任		
1.請問日本沖刷評估裡面，專業人員如何定義？	1.具備橋梁、河川工程知識，能進行河川變動度分析、基礎穩定度分析之工程人員。	同意。
2.關於日本沖刷評估內容中，請說明進行相關性評估的模擬條件為何？請說明最大洪峰流量次數(小於 0.66)的訂定目的為何？	2.(1)日本進行此模擬所使用的『平均年最大雨量』是根據日本甲信越及東北地方的 1984 年至 2006 年每年最大雨量之平均值；以及使用的『計畫洪水量』為使用 100 年頻率之洪峰量。 (2)每年 0.66 次之最大洪峰出現次數之訂定標準，尚須進行進一步之文獻回顧。	同意。
3.汛期前沖刷潛勢評估表中 DERU，請說明 U 在表中之位置。	3.因 SSI 指標之計算並無使用『U』，故在此將修正此項目為『沖刷相關構件之 DER 評分』。	同意。
4.建議考量設計洪水量與水位關係，及由中央氣象局之雨量預估洪水位，以判斷沖刷潛勢。	4.將參考副主任意見辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 4 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
5.報告書中表與圖之頁碼不一致，請修改之。	5.將按照副主任意見修訂。	同意。
6.章的後方符號(.)請移除。	6.將按照副主任意見修訂。	同意。
7.請增加美國、日本與台灣橋梁檢測制度的比較，並補充日本與台灣的資料。	7.將按照副主任意見修訂。	同意。
8.請統一報告中檢測種類、項目之用法。	8.將按照副主任意見修訂。	同意。
9.建議調整 2.1 節與 2.2 節之內容與研究主題[橋梁]相關即可。	9.將按照副主任意見修訂。	同意。
10.表 2.7 標題有誤，請修正之。	10.將按照副主任意見修訂。	同意。
11.圖 2-5 與圖 2-6 請對調之。	11.將按照副主任意見修訂。	同意。
12.2.2.3 節是否為台灣的沖刷評估方法，請說明之。	12.將修改 2.2.3 節標題為『臺灣之沖刷檢測、評估制度』。	同意。
13.建議提出沖刷檢測擬定措施之前，於 2.3 節增加美國、日本、台灣三者之優劣比較。	13.將按照副主任意見修訂。	同意。
14.表 2-15 與表 2-16 中提及的表 4-19、表 4-20、表 4-14 編列有誤，請修正之。	14.將按照副主任意見修訂。	同意。
四、本所港研中心 柯正龍研究員		
1.需注意計畫中擬定的檢測評估措施之實際可行性。	1.檢測評估措施之實際可行性將於近日以專家訪談方式討論。	同意。
2.建議提早規劃專家座談會與教育訓練會。	2.將按委員意見辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 4 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
3.報告中格式有誤之處請修正之。	3.將按委員意見辦理。	同意。
4.沖刷單位 cm/年，建議更改為 cm/year 或公分/年。	4.將按委員意見辦理。	同意。
五、本所港研中心 林雅雯研究員		
1.汛期前沖刷潛勢評估表格、資料記錄項目含 DERU 評分及 SSI 指標。美國 NBIS、SR、HEC-20、HEC-18、HEC-23、日本是否亦有橋梁檢測與沖刷評估結合的情形，請說明。	1.(1)美國方面，HEC-23 中有說明美國橋檢標準 NBIS 中的第 113 項為橋梁沖刷潛勢評估，該項目未滿 3 分(潛勢最高~潛勢最低為 0~9 分)則將歸類為高度沖刷潛勢橋梁。 (2)日本方面並無搜尋到有橋檢與沖刷評估結合之資料。	同意。
2.第 2.1 節有美、日、台橋梁檢測制度，第 2.2 節國內外沖刷檢測評估制度比較，亦應有美、日、台沖刷檢測評估制度比較，請補充。	2.將按委員意見辦理。	同意。
六、交通部公路總局 郭瑞乾工程司		
1.颱風事件檢測流程圖中，檢測措施如不可行者，建議不要加入。	1.檢測之可行性會再多以專家訪談方式討論。	同意。
2.封橋後，表示當下用路人之生命 safety 已受到保障，若於封橋後，是否將有用的資源調至其他預警中的橋梁，會更有助益。	2.將參考委員之意見。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
一、交通部公路總局 陳進發執行秘書		
1.報告內所列(P95)之相關冲刷潛勢評估表，評估完成後如何列為年度重點監控橋梁及其關鍵觀測之因子如何篩檢出，宜予表中說明。	1.評估過後為中度及高度冲刷潛勢之橋梁，以及搭配專家討論會議之結果，納入『年度重點監控橋梁之清單。』	同意。
2.P237 西濱大橋事實上權屬 2 個公路系統，應再說明清楚，研究標的為哪一座，有何問題，何以選定該橋。	2.西濱大橋台 17 線及台 61 線皆為地電阻施作之目標，而超震法及振動量測僅針對台 17 線進行施作。	同意。
3.P244 谷關大橋請加註說明養管單位，避免外界誤解。	3.已註明谷關大橋之養管單位為台中縣政府和平鄉公所。	同意。
4.P271 簡易穩定評估法，計算案例中，請以實際 PC 樁 14m 對接之橋梁為例說明	4.若基礎有接樁之情形，將以接樁點當作有效基礎深度之紀錄，並作為潛勢評估之用	同意。
5.P288 封橋作業 S.O.P.公路總局 12 月初將再修訂，請即時更新。	5.將按照委員意見修訂。	同意。
6.P1 颱風事件前，目前仍宜以發佈陸警為宜，尚不宜將劇烈天氣特報納入。	6.將改為以『陸上颱風警報發布』為標準。	同意。
7.第四章：冲刷潛勢評估方法中，有疑慮之橋應先予封閉，而非判斷是否進行檢測，而據數次颱風經驗檢討，事件前：著重水情監控，有如下狀況需特別留意，(一)內水高、有冲刷疑慮，(二)內水高、外水低、感潮段、冲刷加劇，(三)	7.封橋與否之判斷目前將比照公路總局特徵雨量之預警值、警戒值、行動值進行判斷，以及針對潛勢清單橋梁以人員持『颱風事件中橋梁狀況記錄表』以巡檢方式進行判斷，只	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

內水高、外水高，有淹水疑慮(宜介接水利署警訊)(四)水庫放水加內水高、沖刷加劇(五)土石流紅色警戒發佈後，一定距離內之橋梁應變應提供等級。	要一滿足行動值或行動指標即進行封橋，並無特別說明應先進行儀器檢測後才能封橋。	
8.第五章檢測技術及第七章作業執行，應以具可操作性為主，以颱風事件中，應以事先備妥之資料，結合可能水情預判，提前作業，因此重點在流域水情監控，而非冒險檢測，在應變上是來不及的。	8.第五章之檢測技術施做時機以汛期前、後或颱風事件後為主，並非於颱風事件中進行。第七章檢測流程之操作性將按照委員意見重新檢視。	同意。
9.PC-2 訓練時數宜再精簡為 6-8 小時以一日為宜。	9.將按照委員意見，修訂訓練時數改為 8 小時。	同意。
10.PC-3 QPESUMS 應有中文化名稱。	10. 將 按 照 委 員 意 見 將 QPESUMS 改稱中文名稱『劇烈天氣監測系統』	同意。
11.PC-4 層級宜改為等級，方便日後防汛應變時稱呼使用。	11.將改為零級檢測~四級檢測。	同意。
12.PC-5 第 3 應均可委外辦理，而非管理人員，另颱風事件中，以執行立場，仍不宜冒險檢測，亦無法即時判斷，應於事前即準備各種情境下，應如何應變，於事件中，觀察特徵後，即啟動。	12.將按照委員意見修訂為均可委外辦理。	同意。
13.PC14 任何封橋指標或警戒指標應與量化或為明顯特徵，否則難以判斷執行。	13.將參考委員意見修訂。	同意。
14.PC39 詳細穩定評估方法是存在的，可是實務上是否真的可計算出來，有無真	14.C6.2.3 詳細穩定評估方法 所述之沉箱與樁基礎之結構模擬	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

實應用案例，否則應詳實說明所面臨之困境。	方式，均已有相關實際應用,如下所示: (1).沉箱基礎之模擬分析可參考邱俊翔等人 (2011) "現地橋梁沉箱基礎側推試驗與分析", 第14 屆大地工程研討會。 (2).群樁基礎之模擬分析則可參考 宋裕祺等人 (2011) "橋梁耐洪能力評估方法介紹", 土木水利 第三十八卷 第三期 以及「莫拉克颱風雙園大橋災害致災原因分析研究委託服務工作」期末報告 (2011), 交通部公路總局第三區養護工程處委託財團法人中華顧問工程司辦理。	
15.PC42 所重點整理之封橋作業，仍屬被動，且以模糊概念判斷封橋，另值班編組，應無需記載，對於防災單位，均有執行應變計畫中之編組(防災法規定)，而封橋不需報告段長後，始得為之，現場指揮官直接可依既定規則下令。	15.封橋作業將改為 100 年 12 月修訂之最新版本，以及將刪除『值班編組』之相關規定內容。	同意。
16.PC46 颱洪事件中應以水情監控為之，而監控之參數或因子，事前即需律定。	16.相關水情之監控將參考依照公路總局特徵雨量值為準。	同意。
二、中興大學水土保持系 鄭皆達教授		
1.本研究案定義為「訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究」卻將交通	1.儀器非破壞檢測以及冲刷潛勢評估可於公路橋、鐵路橋及高	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

部所屬高速公路局以及鐵路局所轄養跨河橋梁排除適用，建議研究團隊將未能納入之原因於期末報告書加以說明；而未來橋基沖刷檢測作業確定可發展為規範或手冊並頒布施行，相關名稱亦應覈實修正。	速公路橋施作，但另外本計畫訂定之洪水事件中人員巡檢以及封橋相關作業規定，僅適用於公路橋梁，故本研究之適用範圍仍建議以一般公路跨河橋梁為主。	
2.臺灣地區跨河橋梁具有沖刷潛勢之橋梁比例相當高，於當前地球暖化嚴重、氣候變異情況下，研究團隊、主管法令機關應考慮橋梁養管機關有限工程人力，訂訂妥適可行的規範(草案)，尤其是檢測評估之頻率與時機，以免造成基層工程人員疲於奔命。＊特殊檢測、評估就算全部委託專業學術或顧問機構，當前國內專業人力恐怕仍然不足，更何況是颱洪事件中之檢測！	2.本研究所訂定之各項檢測流程、規定皆可委外執行，應可避免各現場單位人力不足之情況發生。	同意。
3.不論研究成果未來發展為規範或操作手冊，其內容均不應以教科書方式編寫。目前研究團隊編寫之規範(草案)要明確定義規範：何為具有沖刷潛勢橋梁、各類型河川與各類型橋梁結構之檢測作業評估手段(流程)以及判斷方法(表格)、檢測頻率(手段方法)、養管人員應據以辦理之事項、防災應變機制即可。至於檢測方法或是表格填寫方式則可納入於解說篇，且不需要將已頒布施行之公路法規，如公路養護手冊所規範之工作事項，或是已以行政命令發布之作業要點，如公路總局封橋標準作業程序所載	3.(1)將參考委員意見修訂。 (2)已於第二章中進行說明。 (3)表格填寫方式以有納入規範解說當中。 (4)現有之部分作業要點及流程，本研究中僅列出主要之流程圖，詳細內容並無列出。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

事項重複納入。		
4.臺灣地區河川環境、地質特性相當複雜，研究團隊雖已積極於工作期限內蒐集國內具代表性河川與橋梁沖刷資料，惟由各期研究成果顯示，沖刷檢測之精確度受限於天候儀器，故沖刷橋梁結構穩定度檢討之精準度重要性可能大於沖刷檢測之成果。如相關資料時難於短期內具以採用精簡之篇幅，訂定明確之『跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範』，建議研究機關先以參考手冊(或作業辦法)辦理，或以增訂「公路養護手冊」專章方式辦理。	4.感謝委員意見，將提供港研中心後續參考。	同意。
5.規範草案第六章『橋梁穩定度評估與封橋作業』：高度沖刷潛勢橋梁穩定度評估結果是否應以安全係數，或者臨界沖刷深度(臨界水位、臨界流速)等方式明確定義封橋警戒值與行動值，以作為與封橋行動之標準。＊如果無法定義橋梁穩定程度與沖刷程度、封橋作業間之關係，就不應該於本規範詳細寫入封橋作業。＊公路總局目前係：每年通盤檢討沖刷潛勢橋梁後，依據基礎裸露(可能產生之沖刷深度與穩定度評估)，以及河川上游特徵雨量站雨量推估而得知數小時後可能之河川水位，訂定人員進駐值、封橋警戒值、行動值。	5.(1)穩定度評估為訂定封橋警戒值可使用的方法之一，故列於報告中提供參考使用。 (2)將參考委員意見。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

6.「跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)」解說，部分章節及表格均出現：「錯誤！找不到參照來源。」請研究團隊修正或說明。*(C-12 頁、C-14 頁、C46 頁、表 C4-1-1 等)	6.將會重新檢視報告內容。	同意。
三、臺北市府工務局水利工程處 陳郭正副總工程司		
1.附錄(A)-(D)應為第 1 至第 4 次期中報告審查意見請修正。	1.將按照委員意見修訂。	同意。
2.颱風事件中檢測作業流程是否已和第一線執行人員研討，了解其可行性。	2.本研究已有進行 4 次之專家座談會，與部分工務段人員進行討論。	同意。
3.即時沖刷監測，以目前而言尚無應用於颱風事件中檢測標準作業流程，未來是否可經長期實際事件中的沖刷監測回饋與雨量(上游降雨)，上游或現地水位的關係，已增未來於研判封橋之應用可能性。	3.感謝委員意見，將做為本工程司或建議港研中心做為後續研究之參考。	同意。
4.P170 請參閱出現”錯誤，找不到參照來源”請修正。	4.將按照委員意見修定。	同意。
5.沖刷檢測階段即流程中有關颱風事件後檢測是否即應進行河道斷面檢測，而不是等汛期結束。對中高潛勢橋梁或經 DERU 檢測，即應做。	5.在本研究之颱風事件後檢測流程圖中，以有表示於颱風事件後檢測要進行『沖刷深度及流速、水位檢測』。	同意。
6.劇烈天氣應有定義達某種程度上，如大豪雨或超大豪雨等，仍需進行檢測。	6.劇烈天氣特表將修訂為陸上颱風警報。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

7.建議相關作業得委外進行(因其有相當複合專業)	7.本研究所訂定之各項檢測流程、規定皆可委外執行。	同意。
四、本所港研中心 謝明志科長		
1.本研究設計跨河橋梁沖刷潛勢評估表，如表 4-14，但報告本裡面的表單，與簡報檔(P.24)略有不同，請確認本表的最終版本。	1.將按照委員意見檢視表單內容。	同意。
2.報告 P.110，表 4-18，比較本表評估結果與專家判定照片之結果，其中萬大橋評分雖為低，但因有特殊事件，故應改為高潛勢，但在簡報檔內，已刪除特殊事件，改為低沖刷潛勢，請也確認何者是最後結論。	2.萬大大橋應為高潛勢，將進行修訂。	同意。
3.本表評估等級與專家照片判讀結果不同者，能否概述其差異，因此辨識差異可做為日後巡檢員教育訓練之用。另 P.111~P.122 介紹各橋梁判讀結果，也請依表 4-18 之順序來排列，更方便閱讀。	3.將按照委願意見修定。	同意。
4.P.148 談到振動檢測模型，是否用 SAP2000 模擬，或用其他方法，請述明。	4.該模型之建立與分析之運跑係採用 SAP 2000 模型，但任何可進行結構動力分析之有限元素軟體均可應用於橋梁振動之模擬。	同意。
五、本所港研中心 林雅雯研究員		
1.P.109 颱風事件中橋梁狀況記錄表，以大甲溪為例，特徵雨量站為何？雨量值為時雨量或累積雨量，河流水位是否為橋	1.特徵雨量之時雨量及累積雨量皆應紀錄。河流水位為橋墩水位。本表格之紀錄頻率將由檢	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

墩水位，QPESUMS 降雨量值為何處？多久記錄一次。	測人員自行決定。以及此處之表格內容為示意之試填寫，將在表中增加說明。	
2.P.124 沖刷潛勢評估分數，簡報 20、40 級距與表 4-19，25、50 分不合。	2.將修改表 4-19 內容為 20~40 分之級距。	同意。
3.流程 P.54-57，排列複雜較難一目瞭然，建議可簡化及直線式排列，且建議應結合潛勢評估表檢測得到的資訊，提供維修補強的參考依據。	3.將按照委員意見修改流程圖之可讀性。	同意。
4.H1EB004 莫拉克颱風荖濃溪與旗山溪主要橋梁損壞原因，沖刷潛勢評估表 P96.97 是否適用。其適用範圍建議是否說明。	4.荖濃溪及旗山溪皆屬於高屏溪上游河段，故橋梁損壞原因大多屬於土石流破壞，因此沖刷潛勢評估表並不適用，同時本表格亦有於註解處說明不適用於土石流潛勢區橋梁。	同意。
5.資料紀錄項目建議考量加入該年度通水面積與原橋梁設計時通水面積之差異。	5.將參考委員意見修訂。	同意。
六、本所港研中心 柯正龍研究員		
1.本案研究過程中，曾多次辦理專家學者座談會，教育訓練與研討會，建議應摘錄各界意見或辦理成果，以附錄型式列出，以彰研究效益。	1.將按照委員意見增加座談會及講習會之內容。	同意。
2.本案曾辦理 4 次期中報告審查，審查意見執行單位雖將處理情形詳細列出，但部分仍有未改善或與答覆為辦理情形仍有差異，建議需全部再行檢視。例如，P.B-9 意見 2，P.D-4 意見 4。	2.將按照委員意見重新檢視各次審查意見之回覆執行狀況。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究

合作研究單位：財團法人中華顧問工程司

3.報告格式仍有與本所出版品規定格式不符合之處，請改進。	3.將按照委員意見修訂。	同意。
4.部分圖表未列出資料來源，請改進。例如，P.192 表 5-4、表 5-5。	4.已於 5.4 節 P180 處說明材料檢測之相關資料出處為『橋梁檢測方法及應用』一書。	同意。
5.P.187 公式 5-13~公式 5-15 建議重新檢視。	5.將按照委員意見修訂。	同意。
七、臺灣區國道高速公路局 蔡世榮先生		
1.是否亦可研擬一套針對高速公路的封橋的可行方案。	1.將建議港研中心將此列為後續研究目標。	同意。
2.錯別字請改正(如提防的提應為堤)。	2.將按照委員意見修訂。	同意。

附錄二

99 年度專家座談會會議記錄暨辦理狀況

附錄(六)交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)
99 年度專家座談會會議記錄暨辦理狀況



『訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究』

橋梁冲刷檢測階段與冲刷潛勢評估表專家座談會

簽 到 表

時間：民國 99 年 11 月 16 日(二) 10:00~13:00

地點：中華顧問 27F 會議室(辛亥路 2 段 185 號 中央百世大樓)

主席：王仲宇 主任

記錄：洪紹勛 工程師

出席人員：					
單位	姓名	簽名	單位	姓名	簽名
港研中心	邱永芳 主任	不克參加	公路總局 三區處	陳永銘 副工程司	陳永銘
港研中心	柯正隆 研究員	柯正隆	公路總局 五區處	雷林山 主任	李錫仁
港研中心	林雅雯 副研究員	林雅雯	高雄 縣政府	潘坤宗 工程員	潘坤宗
成功大學	黃進坤 教授	黃進坤	水利技師 公會	蔡邦輝 技師	蔡邦輝
中央大學	廖先格 博士	廖先格	萬鼎工程 顧問公司	蔡伯中	蔡伯中
公路總局	延允中 工程司	不克參加	嘉盛工程 顧問公司	莊仁合 經理	莊仁合
公路總局 一區處	顏健忠 幫工程司	顏健忠	中興工程 顧問公司	葉啟章 工程師	葉啟章
公路總局 二區處	盧勇廷 段長	不克參加			

出席人員：					
單位	姓名	簽名	單位	姓名	簽名
台灣世曦 水環部	林文松 協理	林文松			
台灣世曦 地工部	蕭秋安 副理	蕭秋安			
台灣世曦 地工部	許文祥 工程師	許文祥			
台灣世曦 一結部	溫俊明 正工程師	溫俊明			
台科大	李維峰 教授	不克參加			
中華顧問	陳銘鴻 博士	不克參加			
中華顧問	洪紹勛 工程師	洪紹勛			

會議議程：

- (一) 本計畫研擬之橋梁沖刷檢測階段與沖刷潛勢評估表說明。
- (二) 專家意見指導。
- (三) 綜合討論。

會議剪影



會議記錄

萬鼎工程顧問公司 蔡伯中工程師

1. 總分加起來並不是 160 分，研究團隊確認。
2. 橋梁位於上、下游之分界該如何界定，是否須搭配相關橋梁資料庫。
3. 『直接基礎』之判定內容與『河床材料』評估內容有些不一致。

成功大學 黃進坤 教授

1. 以上、下游作為橋梁評估分界並不是很恰當，因為也有很寬的橋位於上游，也有很窄的橋位於下游。建議可改用『河寬』進行分界。
2. 建議可對曾經發生過沖刷斷橋的橋梁，使用其斷橋前的資料進行評估，來判斷潛勢評估表格是否適用。
3. 『橋墩與河流角度』其嚴重程度亦與基樁型式、橋寬橋長有關，若基樁為全套管式基樁，則此評估項目就不是那麼重要。
4. 『上、下游跌水』應判斷橋墩是否是在跌水坑的範圍內或是紀錄與跌水坑的距離，在跌水坑範圍內很危險，但是在範圍外則有回淤的作用。
5. 護床工若僅破壞 20%但是造成束縮沖刷則比破壞 80%來的嚴重。
6. 建議表格前面應先填寫橋梁相關基本資料，以及一些可直接判定沖刷潛勢的代表性的具有高度潛勢的項目。
7. 如果評估分數高到一定程度，建議可找專家學者進行會勘。
8. 汛期結束至隔年汛期開始時間並不長，因此若規劃太多項目可能會作不完，故建議汛期前與汛期後的二次檢測可合併。
9. 建議可以橋墩湧水高度判斷水流速度。

公路總局五區處 李懿仁 主任

1. 上、下游作為評估分界較無意義，建議可合併，亦較不會造成填表人員困擾。
2. 本表格中『橋梁等值寬度』有 be 及 D 兩種表示代號，應統一。
3. 建議評估表格不宜為了填表方便而過於簡化，應該要以詳盡的方式進行，但是相對的表格的填表輔助說明很重要，應要清楚明確，現場人員才知道如何正確填寫。
4. 上游有無水庫、下游距出海口有多遠(潮汐問題)亦為重要評估項目之一。

台灣世曦水環部 林文松 協理

1. 上、下游表格差異並不大。
2. 目前的沖刷計算公式之對象多為較靠下游的位於沖積層材質河床的橋梁。
3. 上、下游的差別也可用河道寬來定義。
4. 基礎裸露與河床下降的評估項目應具關鍵性有否決權，超過一定程度的裸露可直接判定橋梁危險。

5. 保護工的影響力不大，其權數可調低。
6. 建議評估項目不要太多。
7. 建議多詢問水利背景之專家意見。

水利技師公會 凌邦暉 技師

1. 上、下游會讓人誤會成橋梁的上下游，應註明清楚為『位於上游河川橋梁』、『位於下游河川橋梁』，但也建議可合併為一個表格比較恰當。
2. 建議可先把橋梁基本資料紀錄(包含橋梁、河道)，因其為不會改變之因素，再用基本資料的結果進行沖刷評估之區別。
3. 以管理單位來界定河川上下游亦不恰當。
4. 不同斷面、不同水深，其流速皆不相同，故很難去測量，因此認為以墩前壅高程度可作為當時橋梁所受之流速程度。
5. 各項基本資料應在事先即建立完成，在颱風現場僅判斷現場狀況。
6. 河床下降之程度不容易僅由現場判別，應搭配歷年之河床資料。
7. 需確認橋梁是否為沖刷可能潛勢區域內之橋梁，因為一些根本不會發生沖刷情況的橋梁就不需要再去評估。

翊盛工程顧問公司 莊仁合 經理

1. 第一步應為篩選確實可能會受到沖刷危害的橋梁來進行評估，不然可能一個縣市有 1000 多座橋梁，不可能每座橋都進行沖刷潛勢評估。
2. 本計畫提到之 DERU 該如何納入評估。
3. 河川整治情形相關之分數權重應要增加，此外建議可把一些重要項目直接拉出來評估，不需再經過整體的評估分數。
4. 『上下游高低差』此項目不好判斷。
5. 新三地門橋本計畫評為低潛勢，但實際應為高潛勢，因為其靠右岸的兩個橋墩曾發生斷橋事件。且在凡那比等颱風時，其水流衝擊高度已高達大梁位置。
6. 建議曾有斷橋發生之橋梁，在未經重新改建之前，皆應列為高潛勢之橋梁。
7. 東港大橋本計畫評為中潛勢，但實際應為高潛勢，因其在右岸位置會發生嚴重的束縮流況。
8. 埤豐橋本計畫評為中潛勢，但實際應為高潛勢，因岩盤突起，導致路堤曾坍塌，且因其就位於石岡壩下游不到 1 公里處，所以河床不斷下降。
9. 本計畫表格僅針對清水流沖刷，土石流方面並無法適用。
10. 流速很難正確量測，且橋的上、下游流速就不一樣，會是一大問題。

中央大學 廖先格 博士

1. 研究中提到之『陸上颱風警報是否解除』的時間點建議改為『豪大雨特報』進行判斷。
2. 希望可明確定義什麼時候該要進行封橋。
3. 在颱風事件中時，不容易進行搶修，在此檢測流程建議事件中與事件後檢測進行明確定義。
4. 若評估項目『護岸工護床工之必要性』結果為無，則其他幾項護岸工護床工損壞程度亦不需要進行填寫。
5. 『河床材料』應要更明確詳細定義。(泥岩、砂岩不能算在岩盤類)

中興工程顧問公司 葉啟章 工程司

1. 哪些橋需要作進階的非破壞檢測可再明確定義。
2. 『海上颱風警報發佈』至『陸上颱風警報發佈』這樣的時間來進行簡易沖刷潛勢可能會太趕，因此如何在這有限的時間內進行快速、明確的表格填寫很重要。
3. 其他項目的評分配重佔 90 分是否會太高。
4. 埤豐橋『保護工不確實』之說法可再修飾。

公路總局一區處 顏健忠 幫工程司

1. 公路總局現行定期檢測中的特殊檢測並非 1 年 1 次，而是視狀況而定，例如雨量值或是地震震度的大小。
2. 儀器檢測(I)中列出的振動模態分析，對於第一線公路單位人員是否有可能作到。
3. 颱洪中河流表面流速量測可能性不高，可能只有重錘量測可能性較高。
4. 儀器檢測項目與沖刷評估表格之連結為何。
5. 請說明本計畫表格(24、17 個評估項目)比 2004(15 個評估項目)、2007(16 個評估項目)研擬的表格好在哪些地方。

高雄縣政府 潘坤宗 工程員

1. 執行人力之分配需考量，因為部分單位之人力不足，可能會有執行上的難度。
2. 高美大橋本計畫評估結果為中潛勢，但實際應為高潛勢，因剩餘基礎深度已經不多。
3. 建議基礎裸露深度高到一個程度，直接判斷此座橋為高危險橋。
4. 本計畫是否會建置相關的後續資訊自動化系統。

台灣世曦地工部 蕭秋安 副理

1. 土石流亦會對橋梁、橋臺產生沖刷，本計畫是否會考慮此因素。
2. 可增加說明『本表不適用於土石流潛勢區』。

台灣世曦一結部 溫俊明 博士

1. 汛期前、後之檢測分析因較為複雜，建議可委外進行，事件前中後之檢測才由公路單位自行作業，且建議本計畫可結合公路總局現有的颱風前、中、後橋檢作業流程。
2. DERU 偏向結構的評估，故建議 DERU 不適合用於本計畫。

台灣世曦地工部 許文祥 工程師

1. 汛期前、後適合用來作沖刷潛勢評估，其評估的結果與基本資料紀錄的結果用於颱風事件前中後，提供輔助必須要行動之判斷。

公路總局三區處 陳永銘 副工程司

1. 河床材料的權重應要加高，例如對於雙園大橋，其動床情形很嚴重。
2. 建議基礎裸露程度定義標準值，超過則直接判定危橋。
3. 束縮對橋梁影響很嚴重，建議增加深槽區與高灘地的比值。
4. 建議評估內容可再簡化。
5. 本計畫汛期前檢測規劃事項很多，是否可能來不及在汛期前完成。
6. 本計畫定義的颱風中優先巡檢橋梁是否可與現有的重點監控橋梁搭配。

中華顧問 王仲宇主任

1. 高級檢測、分析...等為委託顧問公司等單位進行施作。
2. 把橋梁歷史災害紀錄的回顧移到評估順序的最前面。
3. 本計畫研擬之檢測、分析方法區分成委外執行部分與現場工務段人員執行部分。
4. 以上下游作為區分之必要性有待商確，可改為將對沖刷有影響力之項目列出進行評分即可。
5. 在初步開始篩選是否具有沖刷潛勢的橋梁可以 BMS 系統之 DERU 進行，但是對於已確定具有沖刷潛勢的橋梁，其潛勢高低之判斷需另外透過其他相關資訊的調查進行判斷。
6. 本計畫之表格應檢討所設計之評估項目權數。

港灣研究中心 柯正龍 研究員

1. 本年度之教育訓練講習會很重要。
2. 各檢測方法的操作人員之界定應明確，如現場人員、顧問公司...等。
3. 建議可委託第三單位抽檢評估成果之作業。

4. 將來本計畫成果可延續建立系統化、資料庫，以及與 PDA 手機結合可更方便快速的進行現地作業。

港灣研究中心 林雅雯 副研究員

1. 建議上、下游可統一表格。
2. 本計畫評估表河川相關評分佔 98 分，橋梁佔 61 分，保護工相關佔 70 分，建議護床工評分可降低。
3. 日本的表格中◆項目，代表『不管幾分都該要注意的項目』，本計畫可參考此做法。
4. 建議結構頻率、振動分析在 LV3、LV4 中分類為選擇性檢測項目。
5. 建議可多了解設計洪水位，有利於進行通水斷面淤積之評估。
6. 流速與振動量測之技術是否已成熟，建議若有再納入本計畫中。是否可回歸總分 100 分之型式。

附錄三

99 年度教育訓練講習會辦理狀況

附錄(七)交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)
之研究 99 年度教育訓練講習會辦理狀況

- 1.主辦單位：財團法人中華顧問工程司 橋梁技術中心
- 2.時間：民國 100 年 01 月 17 日(一) 09:30~16:30
- 3.地點：公路總局三區養護工程處高雄工務段
- 4.講師：洪紹勛 工程師 、胡志昕 總經理 、 柯永彥 博士
- 5.紀錄：洪紹勛 工程師
- 6.參訓人員：

序號	姓名	身份證字號	單位	簽到 (01/17)	簽退 (01/17)
1	潘坤宗	S121102413	高雄縣政府	潘坤宗	潘坤宗
2	郭育任	T120314112	屏東縣政府工務處 2120314112-001	郭育任	郭育任
3	林光明	S120537040	屏東縣政府工務處	林光明	林光明
4	郭瑞龍	R122281960	公路總局	郭瑞龍	郭瑞龍
5	林佳穎	G221976090	公路總局一工處	林佳穎	林佳穎
6	葉志榮	S121381376	公路總局一工處	葉志榮	葉志榮
7	羅華華	B122291334	公路總局二工處	羅華華	羅華華
8	朱清成	L123333622	公路總局二工處	朱清成	朱清成
9	陳毅銘	B120622894	公路總局二工處台中工務段	陳毅銘	陳毅銘
10	林瑞仁	N120381525	公路總局二工處南投工務段	林瑞仁	林瑞仁
11	世素端		公路總局二工處彰化工務段	世素端	世素端
12			公路總局三工處		
13			公路總局三工處		
14			公路總局三工處		
15	顏錫堅	G120919110	公路總局四工處	顏錫堅	顏錫堅
16	陳忠誠	G120671500	公路總局四工處獨立山工務段	陳忠誠	陳忠誠
17	鄭丞凱	T120309907	公路總局五工處新營工務段	鄭丞凱	鄭丞凱
18	黃奇福		公路總局五工處水上工務段		
19	謝榮倫	T121213111	甲仙段	謝榮倫	謝榮倫
20	鄭啟華	T120627551	第五區養護工程處斗南工務段	鄭啟華	鄭啟華
21	張志毅	T122833711	潮州段	張志毅	張志毅
22	顏同全	S120919111	高港段	顏同全	顏同全

7. 講員簽到:

講師簽到表					
序號	姓名	身分證號碼	單位	簽到 (01/17)	簽退 (01/17)
1	洪紹勛	B12189 8084	台大	洪紹勛	洪紹勛
2	洪紹勛	F10624575	中華顧問	洪紹勛	洪紹勛
3	胡志昕	A120082300	新中光物理檢測儀器公司	胡志昕	胡志昕
4					

8. 講習會議程:

舉辦日期: 01/17

邀請對象: 交通部公路總局(含各工務處、工務段)、高雄縣政府、屏東縣政府之負責相關橋梁檢測業務之工程人員

參訓人數: 20 人

上午室內講習地點: 公路總局三工處高雄工務段會議室

下午室外實作地點: 萬大大橋

講習內容:

- 沖刷潛勢評估表之填寫
- 橋墩基礎檢測技術(地電阻、超震法)
- 現地橋梁填寫沖刷潛勢評估表格+地電阻實作
+超震法實作+振動量測實作填寫表格

9. 教育訓練講習議程表:

時間	進行內容	主講單位
09:00~09:30	報到	
09:30~09:40	開場	中華顧問、港研中心
09:40~10:40	沖刷潛勢評估表之填寫	(中華顧問)洪紹勛 工程師
10:40~10:55	休息時間	
10:55~11:25	基礎檢測技術(I)(地電阻、超震法)	(新中光)胡志昕 總經理
11:25~11:55	基礎檢測技術(II)(振動量測法)	(台大)柯永彥 博士
11:55~12:45	午餐時間	
12:45~13:20	乘車時間(前往現地橋梁)	
13:20~15:20	現地橋梁填寫沖刷潛勢評估表格 +地電阻實作+超震法實作+振動量測實作	洪紹勛、胡志昕、柯永彥
15:20~16:00	乘車時間(返回工務段)	
16:00~16:30	綜合討論	
16:30~	散會	

10.講習會剪影:



課程 1 沖刷潛勢評估表之填寫，講師為洪紹勛工程師。



於萬大大橋現地進行沖刷潛勢評估表之填寫。



課程 2 基礎檢測技術(I)→地電阻、超震法之介紹，講師胡志昕總經理。



於萬大大橋現地進行超振法之實作。



課程 3 基礎檢測技術(II)→ 振動量測法之介紹，講師柯永彥博士。



於萬大大橋現地進行地電阻之實作。

	
於萬大大橋現地進行振動量測之實作。	於現地實作結束後，返回高雄工務段會議室進行問與答及綜合討論。

11. 講習會之討論紀錄

- (1). 建議本研究所擬定的洪汛後沖刷檢測流程可結合現行的風災過後的特別檢測，如此才能節省現地檢測之人力，以避免重複檢測。
- (2). 因為部分較為鄉下的地方政府在橋梁檢測方面的資金較為短缺，因此希望本計畫可針對各項儀器檢測方法之成本及效益進行考量，將最適合之檢測方法列入沖刷檢測規範內。
- (3). 沖刷檢測之頻率及各項時間點需於訂定之沖刷檢測流程中擬定清楚，以及目前運研所規定每兩年必須進行一次橋梁檢測，與本計畫的沖刷檢測在人力上是否有所衝突。
- (4). 本計畫之各項資料是否會納入台灣橋梁管理系統中(TBMS)。
- (5). 本計畫的潛勢評估評估表格有 13 個評估項目，是否可在簡化為更少項目之評估，可更便於現場人員使用。
- (6). 沖刷檢測流程圖，應以單一座橋梁為目標施作，才符合流程圖之定義，而本計畫之檢測流程圖並不符合此定義，建議修改。

附錄四

100 年度專家座談會會議記錄暨辦理狀況

附錄(八) 交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)
100 年度專家座談會會議記錄暨辦理狀況

專家座談會議記錄(南部場)

- 1.主辦單位：財團法人中華顧問工程司 橋梁技術中心
2. 主席：王仲宇主任
3. 時間：民國 100 年 10 月 03 日(一) 10:00~13:00
4. 地點：國立成功大學水利及海洋工程系會議室
5. 紀錄：洪紹勛 工程師
6. 與會人員：

出席人員：					
單位	姓名	簽名	單位	姓名	簽名
港研中心	柯正龍 研究員	柯正龍	成功大學 水利系	蔡長泰 教授	蔡長泰
成功大學 水利系	黃進坤 教授	黃進坤	公路總局 五工處	李懿仁 主任	李懿仁
公路總局 三工處	陳永銘 副工程司	不克參加	高雄市政府 養工處	任博川 工程員	任博川
高雄市政府 養工處	張瓊元 工程員	張瓊元	屏東縣政府 工務處		張瓊元 郭育仁
中華顧問 工程司	陳銘鴻 博士	陳銘鴻	中華顧問工 程司	洪紹勛 工程師	洪紹勛
成功大學	郭振銘 教授	郭振銘			

會議剪影



座談會紀錄

1. 規範定義之縣市政府是否包含五都，建議增加說明。
2. 針對於跨河橋梁之定義，可參考 TBMS 之定義。
3. 部分地區較為偏遠之縣市政府因經費較為缺乏，建議本規範所訂定之檢測頻率，是否於部分橋梁可比照現行橋梁檢測頻率(2 年 1 次)辦理。
4. 按照目前規範之定義，汛期後檢測與汛期前檢測在執行上很可能會重疊，建議不論是否可重疊，規範於此處之檢測時間點皆應詳細界定。
5. 建議基本資料記錄處增加主河道上下游之照片紀錄。
6. 因現行橋梁檢測制度規定縣市政府於每次特定災害後，必須執行『特定檢測』，建議本計畫定義的颱風事件後檢測可與特定檢測結合，以避免人力之重複。
7. 建議是否可根據橋梁大小(橋長)之不同而對應不同之檢測。
8. 規範定義之檢測層級中，層級三之檢測項目較層級四多，建議可將層級三、四交換。
9. 本規範之沖刷潛勢評估表可以歷史斷橋作為對象進行填寫，測試表格能否反應沖刷潛勢。
10. 若本規範日後定案後，其訂定之各項檢測作業勢必將與現行之橋梁檢測作業共同發包委託執行，因此建議將相關檢測所需之成本先行擬定。
11. 規範中符號說明部分，可按照字母順序進行排列。
12. 公路總局封橋作業流程已於今年 5 月公布最新之流程，本規範內容需更新。
13. 有些縣市政府已有制定該單位適用之封橋作業流程，因此建議於規範中增加說明各橋梁管理單位若不具備相關流程規定，可參考公路總局之流程使用。

專家座談會議記錄(中部場)

- 1.主辦單位：財團法人中華顧問工程司 橋梁技術中心
2. 主持人：陳銘鴻 博士
3. 時間：民國 100 年 10 月 04 日(二) 10:00~13:00
4. 地點：逢甲大學營建及防災研究中心會議室
5. 紀錄：洪紹勛 工程師
6. 與會人員：

出席人員：					
單位	姓名	簽名	單位	姓名	簽名
港研中心	柯正龍 研究員	不克參加	港研中心	黃進國 博士	黃進國
公路總局 二工處 谷關段	郭純鑑 副段長	不克參加	公路總局 二工處 苗栗段	呂正安 站長	呂正安
台中市政府 工務局	林永發 股長	林永發	台中市政府 工務局		不克參加
南投縣政府 工務局		不克參加	南投縣政府 工務局		不克參加
中華顧問 工程司	陳銘鴻 博士		中華顧問工 程司	洪紹勛 工程師	洪紹勛
逢甲大學	鍾侑達 研究員	鍾侑達			

會議剪影



座談會紀錄

1. 本規範所訂定之檢測將開始產出大量之檢測成果數據，因此勢必要有對應儲存資料之資料庫存在，故此一資料庫為由現有之 TBMS 系統中擴充而得，或是完全獨立於 TBMS 系統另外創新而得，可為後續研究之重點。
2. 本規範定義之各項檢測是否有必要每座橋每年度都完整施作，建議可結合沖刷潛勢程度分級，例如低沖刷潛勢橋梁將兩年檢測一次，中高度沖刷潛勢橋梁將每年都必須進行檢測。
3. 規範中部分內容提及『較高』及『較低』頻率、『鄰近』、『定期』、『上下游』...等屬於非明確之字樣，建議須更清楚定義。
4. 本規範建議工作手冊並提供範例參考使用。
5. 規範中提及之人員教育訓練其內容須明確訂定。
6. 汛期後檢測與隔年度汛期前檢測是否會重複，建議規範清楚說明。
7. 建議可參考部分縣市政府(台中市政府)有災害準備金機制，以供颱風洪事件中人員巡守之人力支出。

專家座談會議記錄(北部場)

1.主辦單位：財團法人中華顧問工程司 橋梁技術中心

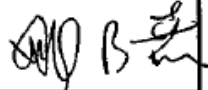
2. 主席：王仲宇主任

3. 時間：民國 100 年 10 月 05 日(三) 10:00~13:00

4. 地點：國立中央大學橋梁工程研究中心會議室

5. 紀錄：洪紹勛 工程師

6. 與會人員：

出席人員：					
單位	姓名	簽名	單位	姓名	簽名
港研中心	柯正龍 研究員	不克參加	中央大學 營管所	姚乃嘉 教授	
清雲科大 土木系	陳明正 教授		水利技師 公會	凌邦暉 技師	不克參加
公路總局 一工處		江晃銘	公路總局 一工處		不克參加
桃園縣政 府工務局		不克參加	桃園縣政 府工務局		不克參加
苗栗縣政 府工務局		不克參加	苗栗縣政 府工務局		不克參加
中華顧問	洪紹勛 工程師	洪紹勛			
		黃進國			

會議剪影



座談會紀錄

1. 規範中提及之橋梁管理系統建議正名為:『臺灣地區橋梁管理資訊系統(T-BMS)』，以及規範中部分名詞定義應比照此系統之定義。
2. 建議可比照美國檢測制度將水下人員檢測列入規範之中。
3. 部分水利工程相關名詞可參考水利局之定義。
4. 第五章檢測技術之說明中，應註明受委託之廠商須謹慎考量各方法使用之何理性，再行選用相關檢測技術以施作。
5. 建議基礎檢測方式可加入敲擊回音法。

附錄五

100 年度教育訓練暨成果發表研討會 會議記錄暨辦理狀況

**附錄(九)交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）
100 年度教育訓練暨成果發表研討會會議記錄暨辦理狀況**

1.主辦單位：財團法人中華顧問工程司 橋梁技術中心

2.時間：民國 100 年 11 月 11 日(五) 09:30~16:30

3.地點：臺灣科技大學國際大樓 IB201 會議室

4.主持人

林志明：交通部運輸研究所所長

邱永芳：交通部運輸研究所 港灣技術研究中心主任

王仲宇：中華顧問工程司主任

何鴻文：交通部公路總局養路組副組長

陳敬明：交通部公路總局第二區養護工程處處長

5.主講人

連惠邦：逢甲大學營建及防災中心主任

王仲宇：中華顧問工程司橋梁技術中心主任

洪紹勛：中華顧問工程司橋梁技術中心工程師

柯永彥：國家地震中心副研究員

李維峰：臺灣科技大學教授

胡志昕：新中光物理探測公司總經理

陳宜傑：昌霖工程有限公司副理

『跨河橋梁橋基沖刷檢測及評估技術』研討會貴賓簽到簿

100.11.11

序號	姓名	職稱	服務單位	簽名	備註
1	王仲宇	主任	財團法人中華顧問工程司	王仲宇	
2	何鴻文	副組長	交通部公路總局	何鴻文	
3	陳敬明	處長	公路總局二區工程處	陳敬明	
4	連惠邦	教授	逢甲大學	連惠邦	
5	洪紹勛	工程師	中華顧問工程司	洪紹勛	
6	胡志昕	總經理	新中光物理探測公司	胡志昕	
7	劉興昌	博士	清雲科技大學	劉興昌	
8	柯永彥	博士	國家地震研究中心	柯永彥	
9	李維峰	教授	臺灣科技大學	李維峰	

『跨河橋梁橋基冲刷檢測及評估技術』研討會學員簽到簿

100.11.11

序號	姓名	職稱	服務單位	11月11日上午	11月11日下午	備註
1	林士傑	技士	彰化縣政府	林士傑	林士傑	B121281429
2	賴彥君	技士	彰化縣政府	賴彥君	賴彥君	F126137133
3	張文儒	技士	宜蘭縣政府	張文儒	張文儒	G120713443
4	吳冠緯	技術員	宜蘭縣政府			
5	李政倫	技術員	宜蘭縣政府	李政倫	李政倫	
6	林義翔	技士	宜蘭縣政府	林義翔	林義翔	A128103783
7	劉育明	計畫工程師	臺灣世曦工程顧問股份有限公司	劉育明	劉育明	L121140983
8	甘雅雯	技佐	雲林縣政府	甘雅雯	甘雅雯	P223256569
9	章藝齡	約僱人員	雲林縣政府	章藝齡		
10	吳啟綸	臨時人員	雲林縣政府	章藝齡代		
11	詹世宏	臨時人員	雲林縣政府			
12	林喬賢	技士	雲林縣政府工務處	林喬賢	林喬賢	L120967060
13	李曜柏	正工程師	臺灣世曦工程顧問股份有限公司	李曜柏	李曜柏	Y120022685
14	邱建豪	股長	臺北市政府工務局新工處	邱建豪	邱建豪	K121542432
15	周士淳	幫工程司	臺北市政府工務局新工處	周士淳	周士淳	F124811074
16	陳泓宇	助理工程員	臺北市政府工務局新工處	陳泓宇	陳泓宇	S128160360
17	謝育樺	助理工程員	臺北市政府工務局新工處	謝育樺	謝育樺	F12589188
18	劉家銘	科長	臺北市政府工務局新工處	劉家銘	劉家銘	K12146778
19	王博麟	技士	苗栗縣政府工務處	王博麟	王博麟	P122044410
20	林育樓	工程師	中興工程顧問公司	林育樓		
21	葉啟章	工程師	中興工程顧問公司	葉啟章	葉啟章	
22	陳護升	工程師	中興工程顧問公司	陳護升	陳護升	
23	曾亮勳	技士	苗栗縣政府	曾亮勳	曾亮勳	L122746121
24	陳立人	技士	苗栗縣政府	陳立人	陳立人	W100352733

序號	姓名	職稱	服務單位	11月11日上午	11月11日下午	備註
25	吳松旺	技士	桃園縣政府交通局	吳松旺	吳松旺	122820719
26	童啟銘	技士	桃園縣政府交通局	童啟銘	童啟銘	122859118
27	陳淑季	教授	國立臺灣海洋大學	陳淑季		
28	林政誠	技術助理	交通部鐵路改建工程局	林政誠	林政誠	8121694268
29	鄭耀雨	工程員	臺南市政府工務局公工處	鄭耀雨	鄭耀雨	0121626437
30	邱群惠	工程員	臺南市政府工務局公工處	邱群惠	邱群惠	6223174078
31	鄧子榆	技士	花蓮縣政府	鄧子榆	鄧子榆	U120956136
32	楊名禮	研究生	國立臺灣海洋大學	楊名禮		
33	姚承毅	碩士生	國立臺灣海洋大學	姚承毅		
34	趙鳴	副教授	正修科技大學			
35	郭勝仕	技士	苗栗縣政府工務處			
36	梁文明	工程員	新北市政府養護工程處			
37	鄒廷祿	副組長	鐵路改建工程局			
38	黃龍立	副總經理	智統科技工程股份有限公司	黃龍立	黃龍立	
39	黃智偉	技士	臺南市白河區公所	黃智偉	黃智偉	R122741603
40	張嘉峰	組長	財團法人臺灣營建研究院	張嘉峰		
41	廖振程	副組長	財團法人臺灣營建研究院	廖振程		
42	邱暉仁	計畫工程師	財團法人臺灣營建研究院	邱暉仁		
43	鄧智豪	技士	宜蘭縣五結鄉公所	鄧智豪	鄧智豪	U122800029
44	林嘉澤	研發工程師	財團法人臺灣營建研究院	林嘉澤		
45	林彥汝	代理技士	宜蘭縣五結鄉公所	林彥汝	林彥汝	
46	吳秀文	僱用人員	宜蘭縣羅東鎮公所	吳秀文	吳秀文	
47	塗文祥	技佐	臺東縣政府	塗文祥	塗文祥	T123290187
48	劉信宏	工務員	公路總局第二養工處員林段			
49	陳政君	工程師	臺灣世曦工程顧問股份有限公司	陳政君		
50	溫俊明	正工程師	臺灣世曦工程顧問股份有限公司	溫俊明		

序號	姓名	職稱	服務單位	11月11日上午	11月11日下午	備註
51	李淑美	技佐	宜蘭縣員山鄉公所	李淑美	李淑美	G221/10513 G221
52	陳承胤	幫工程司	交通部公路總局	陳承胤	陳承胤	M120675791
53	李冠儒	助理工務員	公路總局第二區養護工程處			
54	曾義軒	幫工程司	交通部公路總局	曾義軒	曾義軒	P122602099
55	陳全成	副總工程司	臺中市政府建設局	陳全成	陳全成	B121083109
56	劉振得	幫工程司	交通部公路總局西濱中工處	劉振得	劉振得	P120314259
57	林資程	助理工務員	公路總局西濱中工處	林資程	林資程	N120750089
58	黃博靖	工程師	兆盈工程股份有限公司			
59	林保廷	工程師	兆盈工程股份有限公司	林保廷		
60	潘俊佑	工程師	臺灣世曦工程顧問股份有限公司	潘俊佑	潘俊佑	
61	林玲香	工程司	交通部鐵路改建工程局	林玲香		T220748915
62	劉至軒	技士	宜蘭縣壯圍鄉公所	劉至軒	劉至軒	U122849843
63	邱永芳	主任	交通部運輸研究所港研中心	邱永芳		Q120448965
64	謝明志	科長	交通部運輸研究所港研中心	謝明志	謝明志	Q102F6143P
65	柯正龍	研究員	交通部運輸研究所港研中心	柯正龍	柯正龍	L120829828
66	鄭友勝	助理工務員	公路總局第二養護工程處	鄭友勝	鄭友勝	R123525461
67	黃進國	博士	交通部運輸研究所港研中心	黃進國	黃進國	
68	洪紹勛	工程師	新中安股份有限公司 財團法人中華顧問工程司	洪紹勛		
69	王建翔	工程師	財團法人中華顧問工程司	王建翔		
70	施柔伊	工程師	財團法人中華顧問工程司	施柔伊		
71	陳銘鴻	工程師	財團法人中華顧問工程司	陳銘鴻		
72	黃茂信	研究員	交通部運輸研究所港研中心	黃茂信	黃茂信	S123019303
73	王鶴翔	工程師	財團法人中華顧問工程司	王鶴翔		
74	陳韋帆	工程師	財團法人中華顧問工程司	陳韋帆		
75	鄭登清	負責人	長奕工程顧問有限公司	鄭登清		
76	李天成	正工程師	臺灣世曦工程顧問股份有限公司	李天成	李天成	

序號	姓名	職稱	服務單位	11月11日上午	11月11日下午	備註
77	劉德儼	工程員	國道高速公路局南工處			
78	郭瑞乾	幫工程司	交通部公路總局			
79	張榮斌	工程員	臺中市政府建設局	張榮斌	張榮斌	Q122574505
80	唐偉能	課員	臺南市東山區公所	唐偉能	唐偉能	S122937646
81	莊耀齊	技士	新北市七股區公所	莊耀齊	莊耀齊	D122024017
82	世素端	約僱工務員	公路總局第二養工程彰化段			
83	楊政峰	助理工務員	公路總局第二養工處埔里段	楊政峰	楊政峰	B121723699
84	趙炫勳	技正	宜蘭縣宜蘭市公所	趙炫勳	趙炫勳	G120497337
85	王凱	博士生	交通大學	王凱		
86	陳政泰	經理	新琪科技股份有限公司	陳政泰	陳政泰	
87	翁嘉賢	技佐	宜蘭縣政府農業處	翁嘉賢	翁嘉賢	F121107206
88	饒書安	幫工程司	高速公路局中區工程處	饒書安	饒書安	B121491085
89	吳育偉	博士後研究員	臺灣科技大學營建系	吳育偉		
90	陳泰宏	研究助理	國立臺灣科技大學	陳泰宏		
91	陳明志	約聘工程師	公路總局西濱公路北區處			
92	張松源	工程師	嘉盛工程顧問有限公司	張松源	張松源	
93	呂胡忠	學生	國立臺灣科技大學	呂胡忠		
94	張嘉凌	工程師	嘉盛工程顧問公司	張嘉凌	張嘉凌	
95	莊鴻榜	副工程司	公路總局第二區養護工程處			
96	王宏煙	工務員	公路總局第二養工處信義段	王宏煙	王宏煙	M120162280
97	謝易達	技士	臺南市後壁區公所			
98	張道光	研究員	交通部運輸所港研中心	張道光	張道光	
99	曾家麟	約僱技士	大同鄉公所			
100	畢沿宗	技術員	鐵路改建工程局東工處	畢沿宗		
101	陳宜傑	副理	霖昌工程有限公司	陳宜傑		
102	鍾侑達	研究員	逢甲大學			

118 賴登澤 董事長
119 黃伊伶 辦事處

自修298改訂(有)
臺南市東山區公所

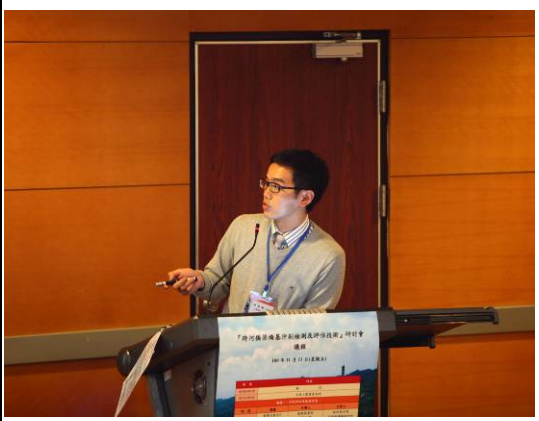
板橋區
黃伊伶 黃中倫

序號	姓名	職稱	服務單位	11月11日上午	11月11日下午	備註
103	李 濬 易	工程師	國道新建工程局規劃組道路科	李濬易	李濬易	A12258832
104	丘 仲 翔	工務員	公路總局第四養護工程處	丘仲翔	丘仲翔	A124363359
105	李 霖	學生	台科大營建系	李霖		
106	柯昱成	"	台大研究生	柯昱成	柯昱成	
107	戚振人	工程師	台交世昌	戚振人	戚振人	
108	陳嘉材	專工程師	交通部公路總局第一區養護工程處	陳嘉材	陳嘉材	A124920765
109	吳昭穎	工程師	新建工程處(台北府)	吳昭穎	吳昭穎	E125122316
110	王 裕	工程師	中華顧問	王裕		
111	李昭明		交通部運輸研究所	李昭明		L120723095
112	陳銘清		交通部運輸研究所	陳銘清		M220025805
113	莊建政		"	莊建政		L101458126
114	朱啟男	技士	羅東鎮公所	朱啟男	朱啟男	Y120561362
115	廖廣勝	專工程師	交通部公路總局北區	廖廣勝	廖廣勝	H125271183
116	陳德福		中華顧問工程司	陳德福		G120443811
117	錢明鴻		中華顧問工程司	錢明鴻		E123900017

6.研討會議程：

時 間	內 容		
09:00-09:30	報 到		
09:30-09:40	主持人暨貴賓致詞		
議題一：沖刷評估及檢測作業			
時 間	講題	主講人	主持人
09:40-10:20	臺灣主要河川 沖刷趨勢評估	連教授惠邦 逢甲大學	邱主任永芳 交通部運輸研究所
10:20-11:00	橋梁耐洪能力 及安全性之評估	王主任仲宇 中華顧問工程司	
11:00-11:10	休 息		
11:10-11:50	跨河橋梁橋基沖刷 檢測作業規範說明	洪工程師紹勛 中華顧問工程司	王主任仲宇 中華顧問工程司
11:50-13:00	午 餐		
議題二：地球物理探測技術於沖刷檢測之應用			
時 間	講題	主講人	主持人
13:00-13:40	地電阻及超震法 用於橋梁基礎探測	胡總經理志昕 新中光物理探測公司	何副組長鴻文 交通部公路總局
13:40-14:20	河床斷面與沖刷 深度檢測	昌霖工程有限公司 陳副理宜傑	
14:20-14:40	休 息		
議題三： 沖刷檢測分析及應用			
時 間	講題	主講人	主持人
14:40-15:20	振動量測及穩定度 分析	柯博士永彥 國家地震中心	陳處長敬明 公路總局二區工程處
15:20-16:00	振動方法及沖刷 監測之應用	李教授維峰 臺灣科技大學	
綜合座談			
16:00-16:30	各主持人與主講人		

7.講習會剪影:

	
港研中心邱永芳主任開場及議題一之主持。	講題 3:跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範說明,講師中華顧問工程司洪紹勛工程師。
	
講題 1:臺灣主要河川冲刷趨勢評估,講師逢甲大學連惠邦教授。	公路總局養路組何鴻文副組長議題二之主持。
	
講題 2: 橋梁耐洪能力及安全性之評估, 講師中華顧問工程司王仲宇主任。	講題 4: 地電阻影像及超震法用於橋梁基礎探測, 講師新中光物理探測公司胡志昕總經理。



講題 5:河床斷面與沖刷深度檢測，講師霖昌工程有限公司陳宜傑副理。



講題 7:振動方法及沖刷監測之應用，講師臺灣科技大學李維峰教授。



公路總局二區工程處陳敬明處長議題三之主持。



綜合討論情形



講題 6: 橋梁基礎沖刷裸露之振動檢測技術，講師國震中心柯永彥博士。



綜合討論情形

附錄六

期末報告簡報資料

『訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究』 期末簡報會議

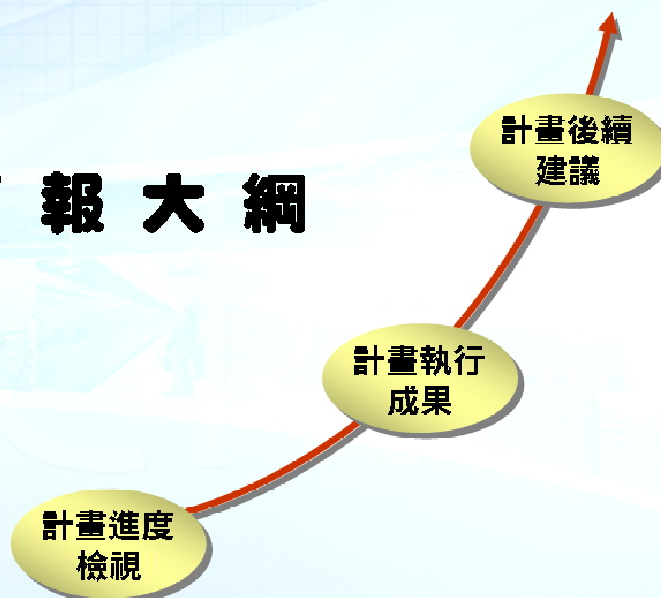
日期:100/11/21

報告人: 王仲宇 主任



財團法人中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

簡報大綱



財團法人中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

 附圖 中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

期 期												期 期																							
文獻、資料收集												內容初稿												內容修訂、事件執行											
工作項目												01 11 月	02 12 月	03 01 月	04 02 月中 旬	05 03 月	06 04 月	07 05 月	08 06 月	09 07 月	10 08 月	11 09 月	12 10 月	100 01 月	02 01 月	03 02 月	04 03 月	05 04 月	06 05 月	07 06 月	08 07 月	09 08 月	10 09 月	11 10 月	12 11 月
通則																																			
檢測設備與層級																																			
評語資格制定																																			
儀器設備製造																																			
檢測設備維護																																			
儀器設備作業																																			
材料檢測																																			
機基檢測-地電阻																																			
機基檢測- GPR																																			
機基檢測- 露頭																																			
水位檢測-雷射																																			
水位檢測-超音波																																			
強度檢測																																			
沖刷深度檢測-聲納																																			
沖刷深度檢測-地電阻																																			
沖刷深度檢測- GPR																																			
沖刷深度檢測-重錘																																			
河道斷面掃描																																			
庫容檢測技術																																			
檢測成果分析評估																																			
沖刷潛勢指標																																			
劇變作業、處理																																			
結構穩定度評估																																			
現地檢測執行(洪汛前)																																			
現地檢測執行(洪汛中)																																			
現地檢測執行(洪汛後)																																			
專家座談會																																			
教育訓練講習會																																			
現地檢測驗論																																			
國內外特殊案例彙集																																			
訂定颱洪沖刷期間之機基穩定度檢測方法																																			
完成奇河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)																																			
專家座談會及期末教育訓練講習會																																			

計畫執行成果

計畫執行成果

- 1 國內外跨河橋梁沖刷檢測相關規定與文獻彙整
- 2 適用於臺灣的沖刷檢測階段及流程的擬定
- 3 跨河橋梁沖刷潛勢評估表及洪水事件中狀況紀錄表之擬定
- 4 跨河橋梁沖刷潛勢評估表之現地填寫
- 5 橋梁結構穩定度分析方式統整
- 6 各類型橋梁及河道相關非破壞檢測儀器統整

計畫執行成果

- 7 現地橋梁儀器非破壞檢測案例施作
- 8 沖刷監測系統的設置
- 9 初擬跨河橋梁橋基沖刷檢測規範(草案)內文及解說
- 10 辦理專家座談會議以及教育訓練講習會

國內外跨河橋梁沖刷檢測相關規定與文獻彙整

國內外跨河橋梁沖刷檢測相關規定與文獻彙整

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} I_{ci} \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \quad SSI = \frac{I_{c_{河道}} \times 5 + I_{c_{橋台基礎}} \times 6 + I_{c_{橋墩}} \times 5 + I_{c_{橋墩保護設施}} \times 6 + I_{c_{橋墩基礎}} \times 8 + I_{c_{橋墩墩蓋}} \times 7}{(5+6+5+6+8+7)}$$

$$I_{c_y} = 100 - 100 \times \frac{D \times R \times R^a}{4 \times 4 \times 4^a}$$

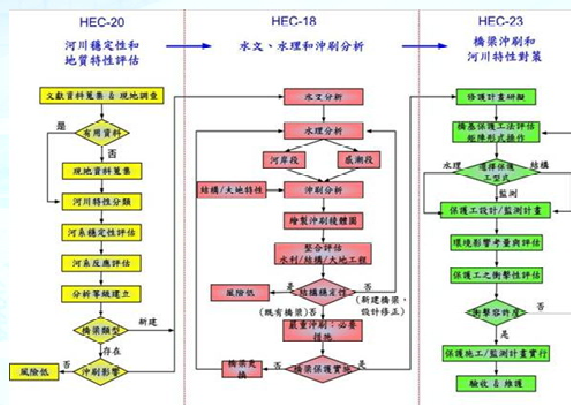
項目名稱	項目	規格	檢測項目	規格	規格	規格
001	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
002	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
003	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
004	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
005	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
006	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
007	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
008	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
009	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
010	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
011	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
012	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
013	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
014	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
015	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)
016	比尺測量	1	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)	測量儀器 (w=1.0)

臺灣現有檢測表格及沖刷潛勢指標計算公式

目前國內有關橋梁檢測制度多為橋梁結構本體為基礎所做之結構檢測，且依據其檢測頻率而定，檢測內容除簡略介紹檢測橋梁構件項目外，對於其檢測目的、檢測定義、監測結果參數的取得等，並無明顯的表定，以及對於橋梁沖刷檢測項目，亦無一明確的規範。其中最主要項目為每兩年須執行一次之DER&U目視檢測，然而臺灣現行之沖刷檢測制度即為根據橋梁DER&U評估分數結果計算CI、PI以及SSI值，並無專門用於橋梁沖刷檢測之相關規定。

9

國內外跨河橋梁沖刷檢測相關規定與文獻彙整

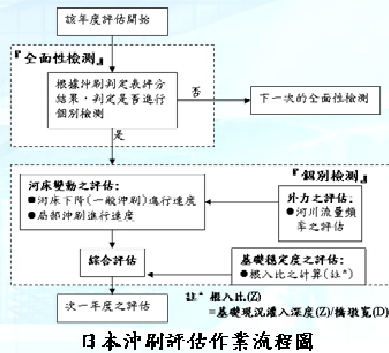


美國FHWA沖刷評估與穩定分析流程

美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)具有完整的沖刷評估、檢測制度，並於其所出版之HEC-20、HEC-18以及HEC-23中做完整的介紹及指引，然而因臺灣地處於險峻之地理天然環境，其河川環境容易快速變遷之情形，卻是與美國所處之環境截然不同，美國政府能夠具有足夠的時間執行此一完善詳細之評估流程，但此流程卻無法及時用於臺灣每年度遭逢汛期時所需要之評估。

10

國內外跨河橋梁沖刷檢測相關規定與文獻彙整

[illegible]

因日本所屬之地理環境與臺灣較為類似，具備較為相近之洪水災害條件，因此日本具有一套每年為一檢測週期之冲刷檢測及評估制度，亦具有每年度所必須進行之冲刷潛勢評估表格，故日本之制度較符合臺灣現況之需求，但因為臺灣易發生單次洪水冲刷強度較日本高之事件，以及日本的評估表格中部分評估項目並不適用於臺灣，故此一制度亦無法完全適用。

適用於臺灣的沖刷檢測階段及流程的擬定

適用於臺灣的冲刷檢測階段及流程的擬定

檢測種類	定義或項目	主要取得參數	使用方法
目視檢測	1.一般巡查。 2.定期檢查。 3.依據橋梁維修手冊定義。 4.簡易快速冲刷潛勢評估。	1. DER&U評估分數。 2.異狀照片、影片。 3.冲刷潛勢評估分數。	1.DER&U評估。 2.簡易冲刷潛勢評估。 3.現況記錄。
詳細檢測	1.目視檢測後，針對受損橋梁基礎細部所施作的儀器檢測。 2.汛期前、後之年度檢測。	1.橋梁抗災能力評估。 2.橋梁現況評估。 3.冲刷潛勢評估成果。 4.橋梁基本資料之更新。	1.詳細冲刷潛勢評估。 2.冲刷深度及水位、流速檢測。 3.橋梁結構及河道斷面檢測。

13

適用於臺灣的冲刷檢測階段及流程的擬定

目視檢測

目視檢測方法	定義或項目	主要取得參數	表格/儀器使用
DER&U評估	1.一般性或定期性之橋梁巡查。 2.依據橋梁維修手冊定義。	1. DER&U評估分數 2.現況照片。	1. DER&U評估表。 2.數位相機。
簡易冲刷潛勢評估	1.簡易、快速的完成冲刷潛勢評估。 2.基礎裸露深度以及河流表面流速之概估。	1.冲刷潛勢評估分數。 2.概估之基礎裸露深度以及河流表面流速。	1.跨河橋梁冲刷潛勢評估表(計畫成果)。 2.雷射測距儀、簡易測速槍。
橋梁巡查	1.河流水位、表面流速之記錄。 2.橋梁結構是否有受損。 3.協助判斷是否封橋。	1.概估之河流水位及表面流速。 2.目視或攝影器材記錄結果。	1.雷射測距儀、簡易測速槍、可拋式漂流物。 2.DV、數位相機。 3.臨洪事件中橋梁狀況紀錄表。

14

適用於臺灣的冲刷檢測階段及流程的擬定

~詳細檢測~

	詳細檢測方法	定義或項目	主要取得參數	表格/儀器使用
儀器 檢測	詳細冲刷潛勢評估	1.汛期前、後之詳細冲刷潛勢評估。 2.橋梁現況、基本資料之記錄更新。 3.實際基礎裸露深度量測。	1.冲刷潛勢評估分數。 2.現地檢測照片、航照圖、竣工、設計相關圖資...等。 3.基礎裸露深度。	1.跨河橋梁冲刷潛勢評估表。 2.跨河橋梁基本資料記錄表。 3.橡皮繩、水準尺。
	冲刷深度及水位、流速檢測	1.冲刷深度判斷 2.流速判斷 3.水位判斷	1.重錘量測結果 2.河流表面流速 3.河流水位高度 4.橋梁冲刷振動模態分析	1.振動量測技術 2.監測系統 3.重錘量測 4.流速儀或量測漂流物時間距離反算流速
	橋梁結構及河道斷面檢測	1.結構混凝土檢測 2.裸露基礎長度檢測 3.裸露基礎完整性檢測 4.河床冲刷深度檢測 5.河道斷面尺寸量測	1.裂縫、中性化、鋼筋腐蝕現況 2.基礎長度 3.基礎整體受損實際情形 4.河床冲刷深度 5.河道斷面尺寸	1.結構非破壞檢測技術 2.水上ERT 3.跨孔式ERT/TEM 4.水上聲納/GPR 5.水準點量測 6.三維雷射

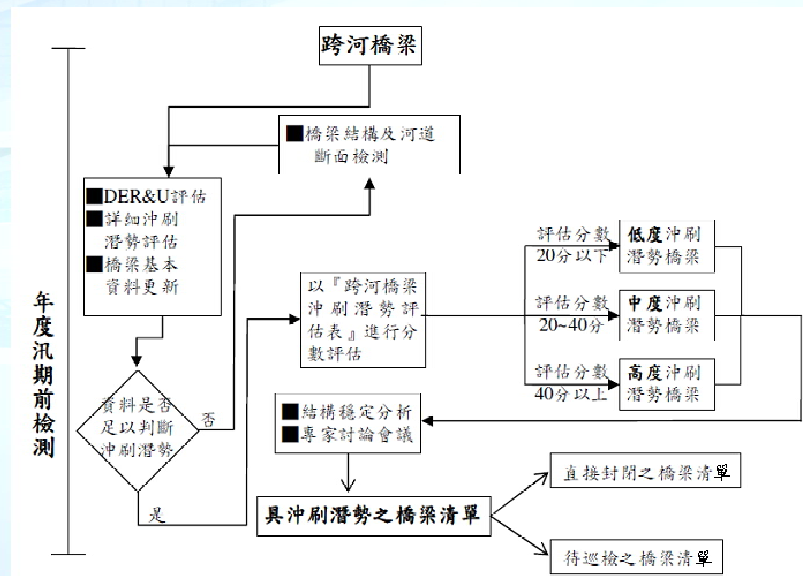
15

適用於臺灣的冲刷檢測階段及流程的擬定

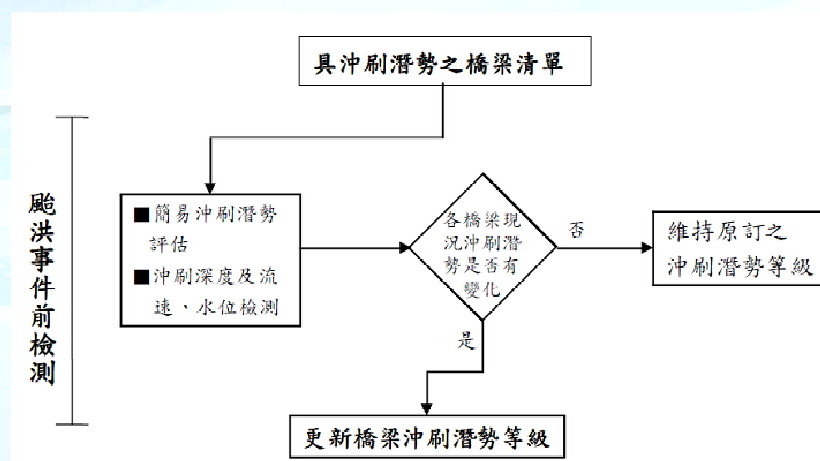
	冲刷檢測階段	檢測目的	檢測、分析手段	檢測種類(層級)
汛期開始→ 汛期結束→	年度汛期前檢測	1.抗災能力評估 2.冲刷潛勢之評估	1. DER&U評估 2. 詳細冲刷潛勢評估 3. 冲刷深度及水位、流速檢測 4. 橋梁結構及河道斷面檢測 5. 結構穩定分析 6. 橋基健全度分析	層級三(Level 3)
	臨洪事件前檢測	1. 確認或修正「年度檢測」或「前次臨洪事件後」評估結果預訂警戒標準。 2. 記錄橋梁於洪水前之振動特性。	1. 簡易冲刷潛勢評估 2. 冲刷深度及水位、流速檢測	層級一(Level 1)
	臨洪事件中檢測	1. 封橋巡查檢測 2. 事件中橋梁安全狀況(封橋或開放通車)判定。	1. 特徵雨量及水位指標判斷 2. 橋梁巡查	層級零(Level 0)
	臨洪事件後檢測	1. 確認橋梁狀況 2. 通車安全之確認	1. 目視檢測 2. 冲刷深度及水位、流速檢測 3. DER&U評估	層級二(Level 2)
	年度汛期後檢測	1. 維修需求評估 2. 維修標準訂定 3. 維修後效能確認	1. DER&U評估 2. 冲刷深度及水位、流速檢測 3. 橋梁結構及河道斷面檢測 4. 結構穩定分析 5. 橋基健全度分析	層級四(Level 4)

16

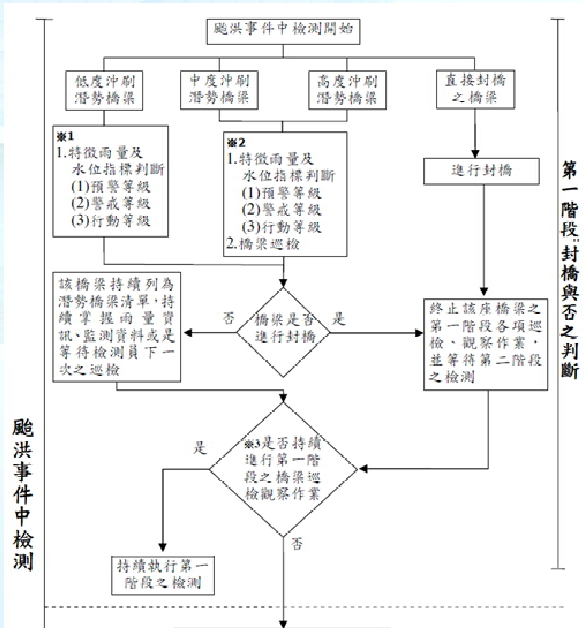
適用於臺灣的沖刷檢測階段及流程的擬定



適用於臺灣的沖刷檢測階段及流程的擬定



適用於臺灣的沖刷檢測階段及流程的擬定



案1

非沖刷潛勢之橋梁，可根據公路總局於100年5月訂定之「公路橋梁防救災預警機制」中防災預警降雨觀測指標之預警值、警戒值以及行動值來進行相關管制及應變作業。其封橋標準為實際雨量值達到降雨觀測指標行動值。

案2

具沖刷潛勢之橋梁，除根據公路總局之「公路橋梁防救災預警機制」作為相關管制作業準則外，尚必需有檢測人員將「颱風事件中橋梁狀況紀錄表」(以下簡稱表)進行巡檢。關於沖刷潛勢橋梁巡檢之相關事項說明如下：

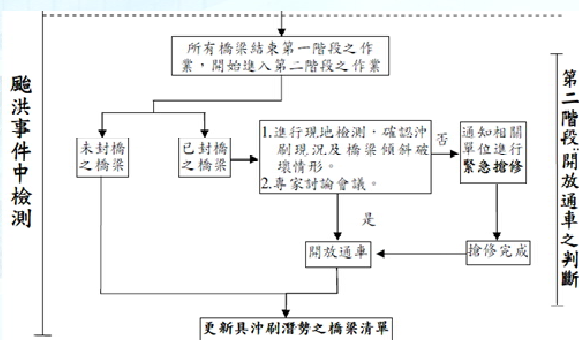
- 1.檢測人員可自行視天氣狀況決定是否進行巡檢，若判定為無法進行則必須註明其原因，巡檢手段以人員目視檢測及人體感受為主。
- 2.一般潛勢橋梁巡檢員巡檢後，若未表出現任一警戒指標項目則該橋比照「公路橋梁防救災預警機制」之警戒狀態進行作業；若未表出現任一封橋指標則立即封閉該橋。
- 3.高潛勢橋梁若未表出現任一警戒指標或封橋指標項目，則立即封閉該橋。

案3

是否持續進行第一階段之橋梁巡檢觀察作業，可參考中央氣象局是否解除「劇烈天氣特報」或是實際依據各管理單位主管之決定。

19

適用於臺灣的沖刷檢測階段及流程的擬定



案1

非沖刷潛勢之橋梁，可根據公路總局於100年5月訂定之「公路橋梁防救災預警機制」中防災預警降雨觀測指標之預警值、警戒值以及行動值來進行相關管制及應變作業。其封橋標準為實際雨量值達到降雨觀測指標行動值。

案2

具沖刷潛勢之橋梁，除根據公路總局之「公路橋梁防救災預警機制」作為相關管制作業準則外，尚必需有檢測人員將「颱風事件中橋梁狀況紀錄表」(以下簡稱表)進行巡檢。關於沖刷潛勢橋梁巡檢之相關事項說明如下：

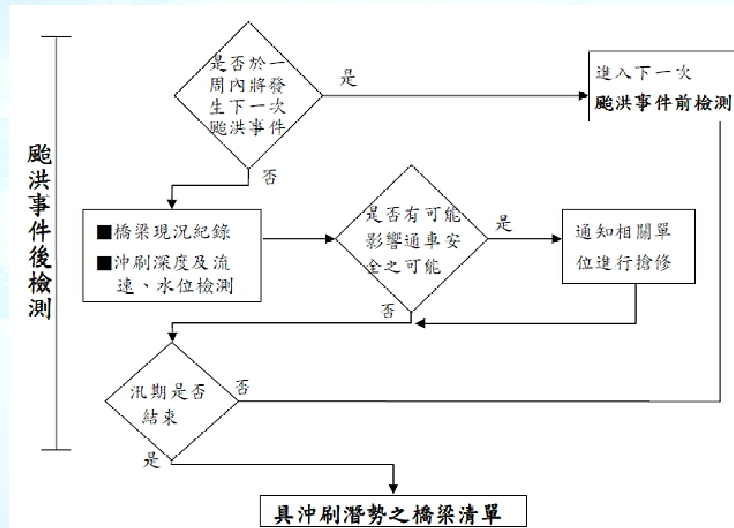
- 1.檢測人員可自行視天氣狀況決定是否進行巡檢，若判定為無法進行則必須註明其原因，巡檢手段以人員目視檢測及人體感受為主。
- 2.一般潛勢橋梁巡檢員巡檢後，若未表出現任一警戒指標項目則該橋比照「公路橋梁防救災預警機制」之警戒狀態進行作業；若未表出現任一封橋指標則立即封閉該橋。
- 3.高潛勢橋梁若未表出現任一警戒指標或封橋指標項目，則立即封閉該橋。

案3

是否持續進行第一階段之橋梁巡檢觀察作業，可參考中央氣象局是否解除「劇烈天氣特報」或是實際依據各管理單位主管之決定。

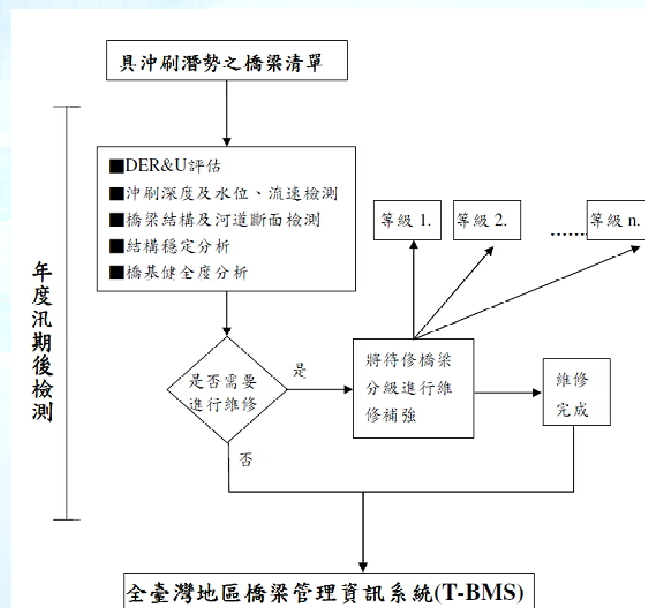
20

適用於臺灣的沖刷檢測階段及流程的擬定



21

適用於臺灣的沖刷檢測階段及流程的擬定



22

跨河橋梁冲刷潛勢評估表及洪水事件中狀況紀錄表之擬定

23

跨河橋梁冲刷潛勢評估表及洪水事件中狀況紀錄表之擬定

橋梁名稱: 龍神橋		檢測單位: 逢甲大學		檢測人員: 鍾信遠		
路線名稱及里程:		檢測日期: 2011.04.11				
(A) 資料紀錄項目	1 橋樑竣工圖	橋樑基礎型式: _____ 橋基置入深度 H_b : _____ 公尺				
	2 結構穩定度分析結果	橋樑冲刷深度 SL : _____ 公尺 ☐ 尚未分析				
	3 衛星影像及航照圖	橋樑是否位於河川彎曲處: ☒ 是 ☐ 否				
	4 河床剖面測量結果或輕航攝影	上游側河床最低點距橋址距離: _____ 公尺				
	5 歷史災損情形	三年內河床降低幅度: _____ 公尺 計畫洪水位: _____ 公尺				
	6 沖刷相關條件之 DERF 評估	河床測量後: _____ 公尺 計畫河床高度: _____ 公尺				
(B) 室內評估項目	項次	項目	評估內容	權數	評分	
	6	上游側河床或水庫等設施	☐ 1000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) ☐ 1000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$) ☐ 3000 公尺以上或無 ($\zeta=0$)			
	7	基礎型式	☐ 淺基礎或橋樑基礎 ($\zeta=1.0$) ☐ 沉箱基礎 ($\zeta=0.5$) ☐ 防基礎 ($\zeta=0$) (請參閱橋樑管理系統或竣工圖)			
	8	橋樑是否位於河川彎曲處或急流處	☐ 是 ($\zeta=1.0$) ☐ 否 ($\zeta=0$) (請參閱衛星影像或航照圖)			
	9	河床下降情形 $h =$ _____ 公尺	$\zeta = 1.0$ 或 $\zeta = 1 - \frac{0.75}{3.5} (4 - h) \geq 0.25$; $h < 0.5$ 公尺, $\zeta = 0$			
	10	河床材料	☐ 泥、砂 ($\zeta=1.0$) ☐ 砂礫混合 ($\zeta=0.75$) ☐ 卵石 ($\zeta=0.5$) ☐ 軟弱沉積 (泥岩、頁岩等) ($\zeta=0.3$) ☐ 堅硬沉積 ($\zeta=0$)			
	11	主河槽位置	☐ 離橋台 5 公尺以內 ($\zeta=1.0$) ☐ 離橋台 10 公尺以內, 且有垂直向橋位旋轉之趨勢 ($\zeta=0.75$) ☐ 離橋台 10 公尺以內 ($\zeta=0.5$) ☐ 此河為靜態河道, 不易判定主河槽 ($\zeta=0.3$) ☐ 離橋台 10 公尺以上或橋台基礎為非直接基礎 ($\zeta=0$)			
	(B) 小計: 35					
	(C) 現地評估項目	12 橋樑高度 (高程差) D_b : _____ 公尺	5	$\zeta = 1.0$ 或 $\zeta = \frac{1}{3} D_b \geq 0$		
		13 橋樑(基)對上游側河川流向傾斜角度 θ° : _____	7	$\zeta = 1.0$ 或 $\zeta = \frac{\theta^2 - 5^\circ}{25^\circ} \geq 0$; $0 < 5^\circ$, $\zeta = 0$; $0 < 30^\circ$, $\zeta = 1$		
		14 浪水面積比 R_A	5	α 橋墩率 ($R_A = 1.25 \alpha$) ($\zeta=1.0$) α 墩率 ($0.5 \alpha \leq R_A \leq 1.25 \alpha$) ($\zeta=0.75$) α 側墩 ($R_A < 0.5 \alpha$) ($\zeta=0.4$) α 無 ($R_A < 3^\circ \alpha$) ($\zeta=0$)		
(C) 現地評估項目	15 基礎埋置深度 H_b (前沖基埋深) $S = H_b/H_b$	20	沉箱 ☐ $H_b \geq 1.5 H_{b0}$ 或 $S \geq 40\%$ ($\zeta=1.0$) ☐ $1.5 H_{b0} > H_b \geq 1.0 H_{b0}$ 或 $40\% > S \geq 25\%$ ($\zeta=0.5-0.9$) ☐ $H_b < 1.0 H_{b0}$ 或 $S < 25\%$ ($\zeta=0.2$) ☐ 無 ($\zeta=0$)			
	16 橋樑阻水情形 h_w : 橋墩等橫斷面	12	$\eta > 8$, $\zeta = 1.0$; $\eta > 2 \leq \eta < 8$, $\zeta = [-1/2 + 0.6/\eta]$; $\eta < 2$, $\zeta = 0$			
	說明: _____					
檢測員意見: _____						

本計畫評估表共分成三大項目:
(A)資料紀錄項目
(B)室內評估項目
(C)現地評估項目

24

跨河橋梁沖刷潛勢評估表及洪水事件中狀況紀錄表之擬定

橋梁名稱: 龍神橋		檢測單位: 逢甲大學		檢測人員: 鍾值達		
路線名稱及里程:		檢測日期: 2011.04.11				
(A) 資料紀錄項目:	項目	紀錄內容				備註
	1 橋樑竣工圖	橋樑基礎型式: _____ 橋樑基礎深度 H_b : _____ 公尺				
	2 結構穩定度分析成果	計算河床坡度 S_b : _____ 公尺 ΔH_b 差和, 常進行非破壞性檢測				
	3 衛星影像或航照圖	橋樑是否位於河川彎曲處: ☐ 是 ☒ 否				
	4 河床斷面測量結果或相關報告	上游側河床最低點: _____ 公尺 計畫洪水位: _____ 公尺				
	5 歷史災損情形	災損時間、位置及原因: _____				
(B) 室內評估項目:	項目	評估內容				備註
	6 上游側河床或水庫等設施	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				
	7 基礎型式	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				
	8 橋樑是否位於河川彎曲處或束縮處	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				
	9 河床下降情形	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				
	10 河床材料	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				

(A) 資料紀錄項目:
該項目僅作為紀錄由事前所蒐集之各項基本資料中, 後續(B)、(C)項目中之評估所需的資料, 包含『橋樑竣工圖』、『結構穩定度分析成果』、『衛星影像或航照圖』、『河床斷面測量結果或相關報告』、『歷史災損情形』、『沖刷相關構件之DERU評分』等項目之紀錄, 並無直接進行評分之作用。

25

跨河橋梁沖刷潛勢評估表及洪水事件中狀況紀錄表之擬定

橋梁名稱: 龍神橋		檢測單位: 逢甲大學		檢測人員: 鍾值達		
路線名稱及里程:		檢測日期: 2011.04.11				
(A) 資料紀錄項目:	項目	紀錄內容				備註
	1 橋樑竣工圖	橋樑基礎型式: _____ 橋樑基礎深度 H_b : _____ 公尺				
	2 結構穩定度分析成果	計算河床坡度 S_b : _____ 公尺 ΔH_b 差和, 常進行非破壞性檢測				
	3 衛星影像或航照圖	橋樑是否位於河川彎曲處: ☐ 是 ☒ 否				
	4 河床斷面測量結果或相關報告	上游側河床最低點: _____ 公尺 計畫洪水位: _____ 公尺				
	5 歷史災損情形	災損時間、位置及原因: _____				
(B) 室內評估項目:	項目	評估內容				備註
	6 上游側河床或水庫等設施	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				
	7 基礎型式	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				
	8 橋樑是否位於河川彎曲處或束縮處	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				
	9 河床下降情形	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				
	10 河床材料	1. 0000 公尺以內 ($\zeta=1.0$) 1. 0000 公尺~3000 公尺 ($\zeta=0.5$)				

(B) 室內評估項目:
該項目將針對不會或不易隨著每次洪水過後而產生改變的項目進行評估, 包含『上游側河床或水庫等設施』、『基礎型式』、『橋梁是否位於河川彎曲處或束縮處』、『河床下降情形』、『河床材料』、『主河道位置』等項目, 共佔總分100分中的35分, 每年度汛期前檢測時填寫。

26

跨河橋梁沖刷潛勢評估表及洪水事件中狀況紀錄表之擬定

橋名: 大甲溪橋		檢測人員: 洪紹勳		檢測日期: 99.08.01		護欄至梁底高度: 3m	
警戒水位: 15m		封橋水位: 18m		預警特徵雨量: 100mm		警戒特徵雨量: 150mm	
行動特徵雨量: 200mm							
時間				08:35	12:15	18:32	
項目							
觀測值	上游特徵雨量站雨量值(公厘)			50	120	180	
	上游特徵雨量站水位高度(公尺)			20	22	26	
	QPESUMS 預測未來 1 小時之降雨量值(公厘)			100	150	300	
	河流水位(公尺)			520	522	526	
警戒指標	是否有跌水或水躍沖刷現象				V	V	
	是否有河道淤積情形				V		
	是否具有攻角之斜向水流						
	鄰近堤防破損、損毀						
	橋墩迎水面有局部浮木掛淤情形						
	到達警戒水位、流速、特徵雨量值				V	V	
封橋指標	水位是否到達封橋水位、行動特徵雨量值						
	出現大面積的束縮沖刷情形						
	橋台、橋墩是否有傾斜、下陷						
	橋墩迎水面完全為浮木掛淤					V	
	伸縮縫有變位情形或橋面板、大梁出現明顯裂縫						
	橋梁出現異常之聲響(由構件摩擦或引起)						
橋梁出現異常大幅度之垂直振動或是出現水流向之振動							

29

跨河橋梁沖刷潛勢評估表之現地填寫

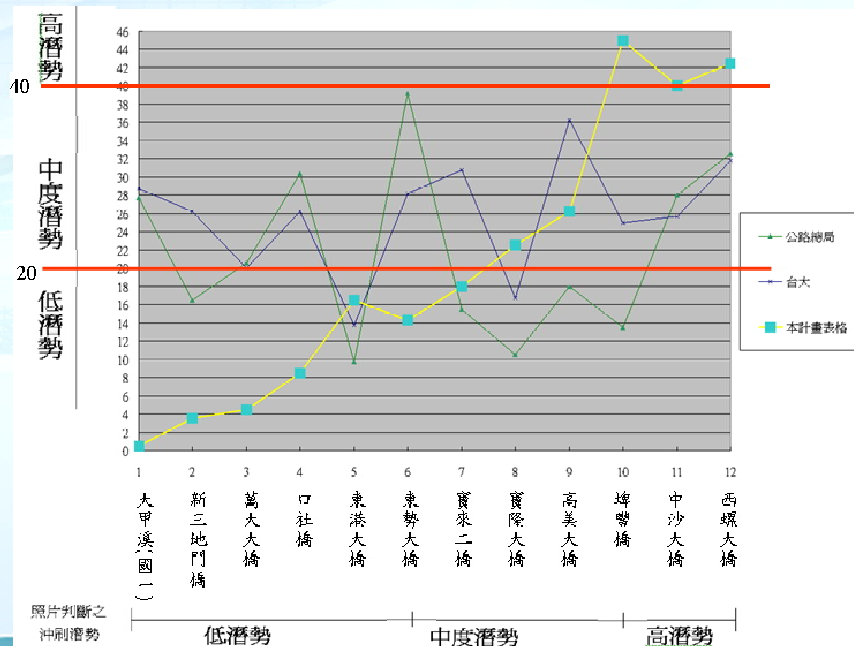
30

跨河橋梁沖刷潛勢評估表之現地填寫

	公路總局	台大	本計畫表格		本表評估之 沖刷潛勢	由照片判定 沖刷潛勢
			評估 分數	是否具有直接判定 為高潛勢之條件		
大甲溪(國1)	22.7	28.75	0.5	無	低	低
新三地門橋	16.5	26.25	3.5	◆ 靠右岸的兩個橋墩 曾發生斷橋事件	高	低
萬大大橋	20.6	20	4.5	無	低	低
口社橋	35.4	36.25	8.5	無	低	低
東港大橋	9.7	13.75	16.52	◆ 右岸位置曾發生嚴 重的車禍情況	高	中等
東勢大橋	27.2	28.15	14.29	無	低	低
寶來二橋	15.5	35.75	18	◆ A1橋臺及S1橋面 版因88水災遭沖毀	高	中等
寶隆大橋	10.5	16.75	22.5	無	中等	中等
高美大橋	18	36.275	26.21	無	中等	中等
埤塘橋	13.5	24.95	44.96	無	高	中等
中沙大橋	28	25.65	40	◆ 基礎裸露為嚴重	高	高
西螺大橋	32.6	31.81	42.5	◆ 基礎裸露為嚴重	高	高

沖刷潛 勢程度	本計畫表 格所反映 之分數
低	20分以下
中等	20~40分
高	40分以上

跨河橋梁沖刷潛勢評估表之現地填寫



跨河橋梁沖刷潛勢評估表之現地填寫

雙園大橋試填寫

橋梁名稱:雙園大橋		檢測單位:財團法人中華顧問工程司		檢測人員:洪和泰	
路線名稱及里程:		檢測日期:			
項目	項目	檢核內容	檢核結果	檢核人員	檢核日期
(A) 1	橋梁基本資料	橋梁基礎型式:橋基礎	橋梁基礎型式:橋基礎		
8	基礎型式	7	(請參照圖說及圖表說明)	0	0
9	橋梁是否位於河川彎曲處上游側	6	☒ 是 ($\zeta=1.0$) ☐ 否 ($\zeta=0$) (請參照圖說及圖表說明)	1	6
10	河床下降情形 h_m 公尺	8	☒ $\zeta=1.0$ ☐ $\zeta=0.75$ ☐ $\zeta=0.5$ ☐ $\zeta=0.25$ ☐ $\zeta=0$	1	8
11	河床材料	2	☒ 泥砂 ($\zeta=1.0$) ☐ 砂礫混合 ($\zeta=0.75$) ☐ 礫石 ($\zeta=0.5$) ☐ 卵石 (改善) 或 卵石 ($\zeta=0.5$) ☐ 卵石 (改善) 或 卵石 ($\zeta=0.5$) ☐ 卵石 (改善) 或 卵石 ($\zeta=0.5$) ☐ 卵石 (改善) 或 卵石 ($\zeta=0.5$)	1	2
12	主河道位置	5	☒ 離橋台 10 公尺以內 ($\zeta=0.5$) ☐ 離橋台 10 公尺以外 ($\zeta=0.25$) ☐ 離橋台 10 公尺以內 ($\zeta=0.5$) ☐ 離橋台 10 公尺以外 ($\zeta=0.25$) ☐ 離橋台 10 公尺以內 ($\zeta=0.5$) ☐ 離橋台 10 公尺以外 ($\zeta=0.25$)	0	0
(B) 1. 計		35		16	
(C) 13	橋梁基礎	5	☒ $\zeta=1.0$ ☐ $\zeta=0.75$ ☐ $\zeta=0.5$ ☐ $\zeta=0.25$ ☐ $\zeta=0$	0	0
14	橋梁基礎	7	☒ $\zeta=1.0$ ☐ $\zeta=0.75$ ☐ $\zeta=0.5$ ☐ $\zeta=0.25$ ☐ $\zeta=0$	0.4	2.8
15	橋梁基礎	4	☒ 橋梁基礎 (RA) $\geq 12\%$ ($\zeta=1.0$) ☐ 橋梁基礎 (RA) $\geq 12\%$ ($\zeta=0.75$) ☐ 橋梁基礎 (RA) $\geq 12\%$ ($\zeta=0.5$) ☐ 橋梁基礎 (RA) $\geq 12\%$ ($\zeta=0.25$) ☐ 橋梁基礎 (RA) $\geq 12\%$ ($\zeta=0$) ☐ 橋梁基礎 (RA) $\geq 12\%$ ($\zeta=0$)	0	0
16	基礎沉陷	18	☒ $\zeta=1.0$ ☐ $\zeta=0.75$ ☐ $\zeta=0.5$ ☐ $\zeta=0.25$ ☐ $\zeta=0$	3.6	
17	橋梁基礎	12	☒ $\zeta=1.0$ ☐ $\zeta=0.75$ ☐ $\zeta=0.5$ ☐ $\zeta=0.25$ ☐ $\zeta=0$	8.22	
18	SSR 數值	10	☒ SSR ≥ 900 ($\zeta=1.0$) ☐ SSR ≥ 900 ($\zeta=0.75$) ☐ SSR ≥ 900 ($\zeta=0.5$) ☐ SSR ≥ 900 ($\zeta=0.25$) ☐ SSR ≥ 900 ($\zeta=0$) ☐ SSR ≥ 900 ($\zeta=0$)	0.2	2
19	堤岸工況	4	☒ 堤岸工況良好 ($\zeta=1.0$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0.75$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0.5$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0.25$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0$)	0.3	1.2
20	堤岸工況	5	☒ 堤岸工況良好 ($\zeta=1.0$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0.75$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0.5$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0.25$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0$) ☐ 堤岸工況良好 ($\zeta=0$)	0	0
(C) 小計		65		17.82	
(B)+(C) 總計				33.82	
檢測員意見		1. 此橋是否具備其他沖刷潛勢危害因素: 是 ☐ 否 ☒ 說明: 中度潛勢			

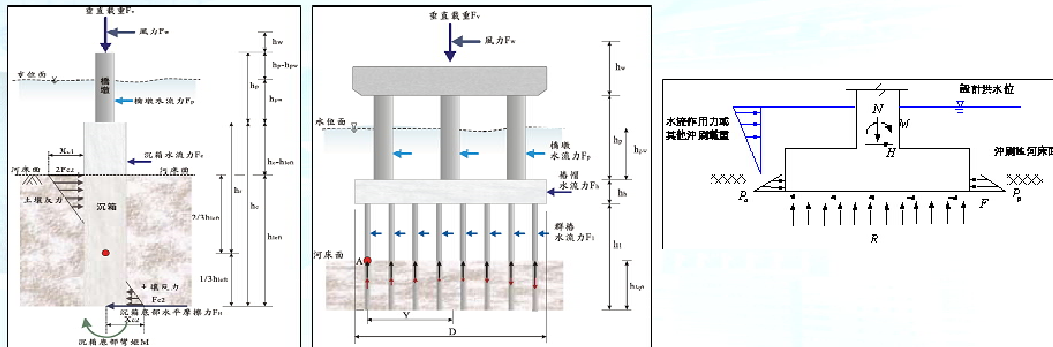
33

橋梁結構穩定度分析方式統整

34

橋梁結構穩定度分析方式統整

簡易穩定評估法

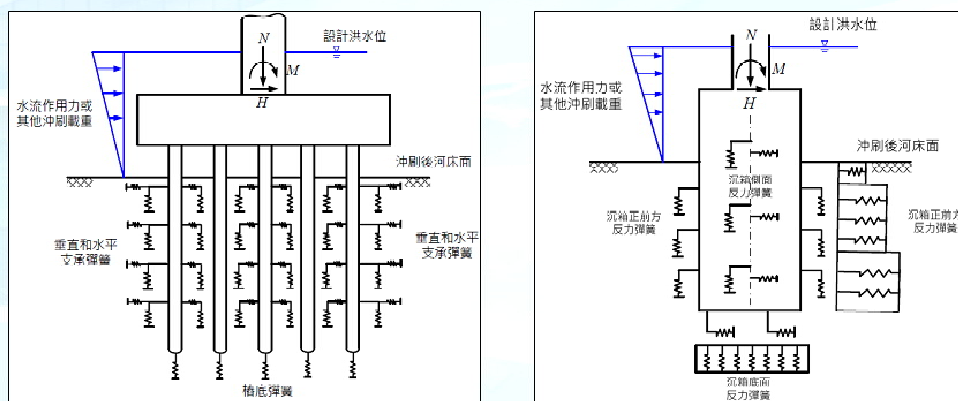


簡易穩定評估法依據橋基保護工規範(草案)及蔡益超(2006)提出之說明，針對常見之基礎形式，如直接基礎、沉箱基礎與群樁基礎，說明穩定檢核之方法(傾倒、滑動、土壤承载力之檢核)。

35

橋梁結構穩定度分析方式統整

詳細穩定評估法



以簡易橋梁穩定度評估，若橋梁穩定度臨界破壞狀態時，則需進行詳細評估，以確認橋梁之穩定度。詳細橋梁穩定度評估內容主要參考橋基保護工規範(草案)，其是以**數值分析結果進行評估**，詳細計算沉箱基礎與樁基礎之應力應變行為，作為判斷橋基穩定度之依據。

36

各類型橋梁及河道相關非破壞檢測儀器統整

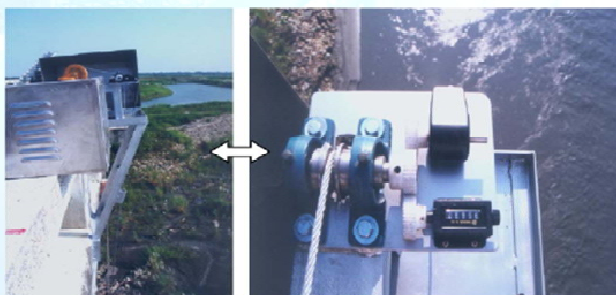
37

各類型橋梁及河道相關非破壞檢測儀器統整

冲刷深度檢測技術



橋墩振動量測系統：
三軸速度計及擷取系統

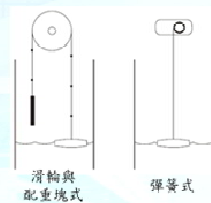


重錘式冲刷探測計

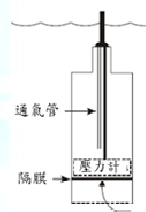
38

各類型橋梁及河道相關非破壞檢測儀器統整

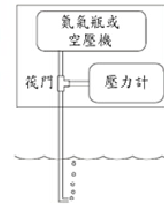
水位、流速檢測技術



(a) 浮筒式水位計



(b) 壓力式水位計

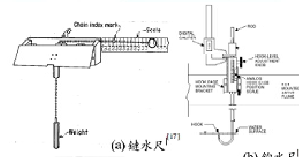


(c) 氣泡式水位計

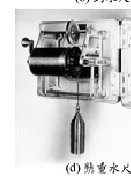
水位計



脈衝式微波雷達流速儀



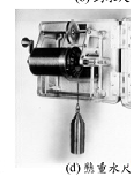
(a) 鏈水尺^[17]



(b) 鈎水尺^[17]



(c) 浮標水尺^[17]



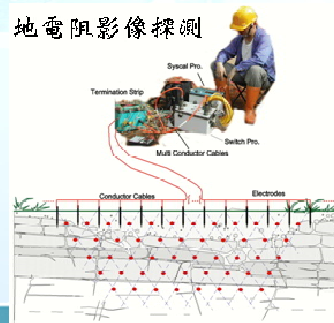
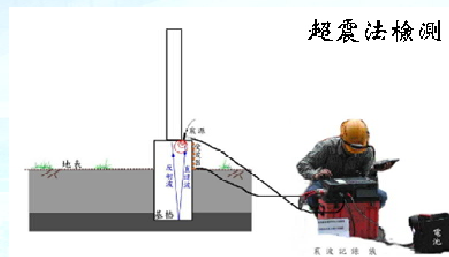
(d) 懸垂水尺^[17]

水位尺

39

各類型橋梁及河道相關非破壞檢測儀器統整

橋墩基礎健全度檢測技術

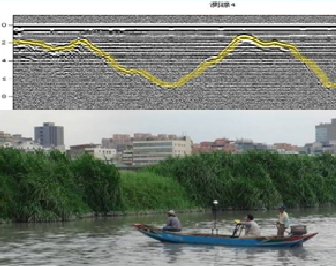


井測透地雷達

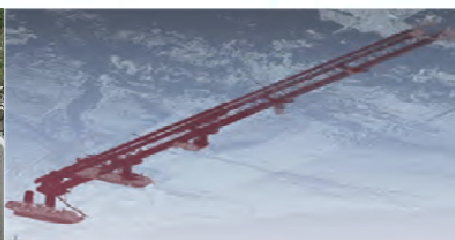
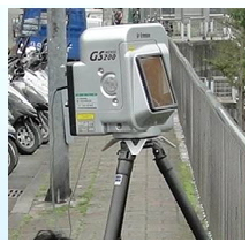
40

各類型橋梁及河道相關非破壞檢測儀器統整

河道断面检测技术



水上透地雷達



三維雷射掃描

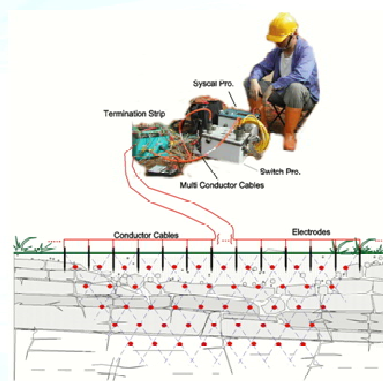
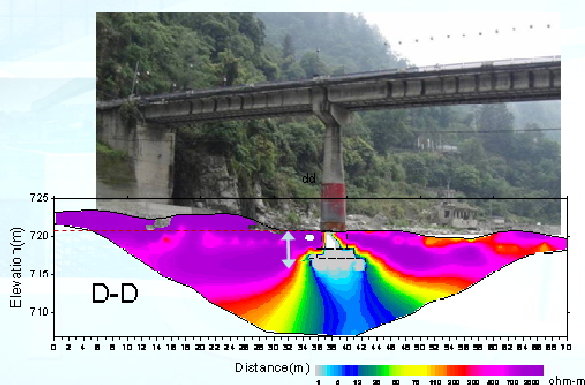
41

現地橋梁儀器非破壞檢測案例施作

42

現地橋梁儀器非破壞檢測案例施作

地電阻檢測案例→ ~台8線支線谷關大橋~

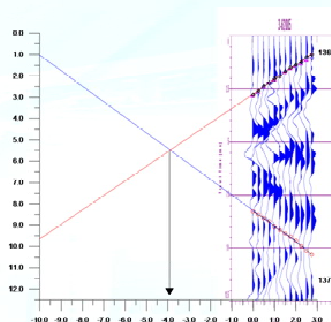
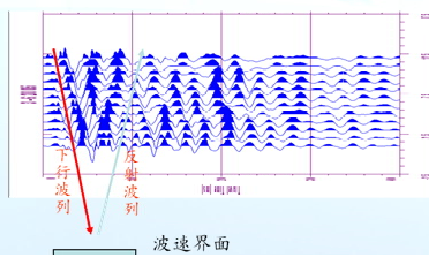


探測成果:

二種陣列在測線距離約36-39m下方有明顯低電阻率層段(灰白色)推估基礎深度約5m，圖中低電阻率分佈約呈階梯狀，推估基礎形貌如圖中虛線。

現地橋梁儀器非破壞檢測案例施作

超震法檢測案例→ ~台8線支線谷關大橋~



探查成果:

橋墩基礎深度=4.00m

波速記錄時間反算結果:

0m:Tdw:2.88ms,

Tup:8.357ms,

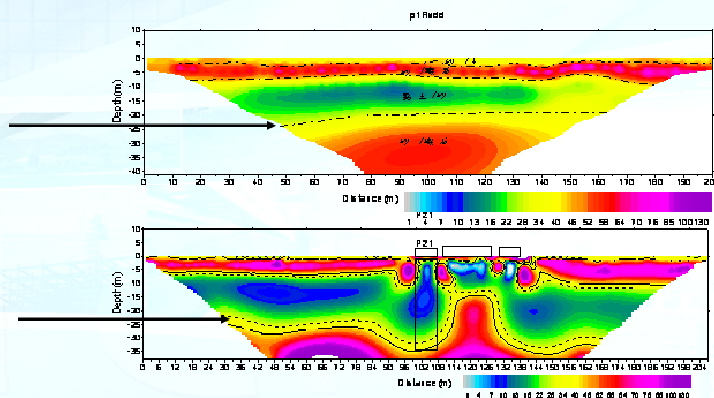
(Tup-Tdw)/2=2.739,

Vave=1367,

D=2.739*1367=3.74m

現地橋梁儀器非破壞檢測案例施作

地電阻檢測案例→~台61線西濱大橋~

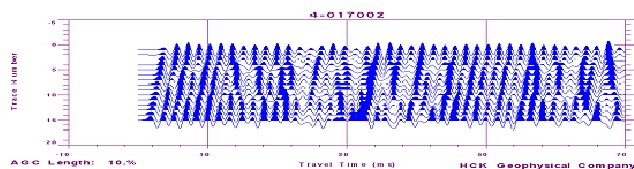
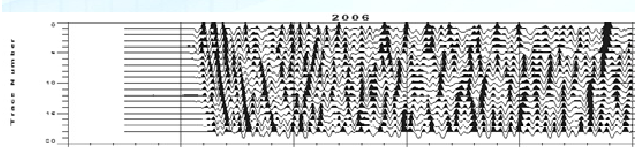


探查成果:

由沉積物材料分布特性推估，深度約20-25m處為黏土/砂與砂/礫石界面，地層界面平緩。以此推估測線P21基礎影響深度範圍約31~35m。

現地橋梁儀器非破壞檢測案例施作

超震法檢測案例→~台61線西濱大橋~



試驗結果:

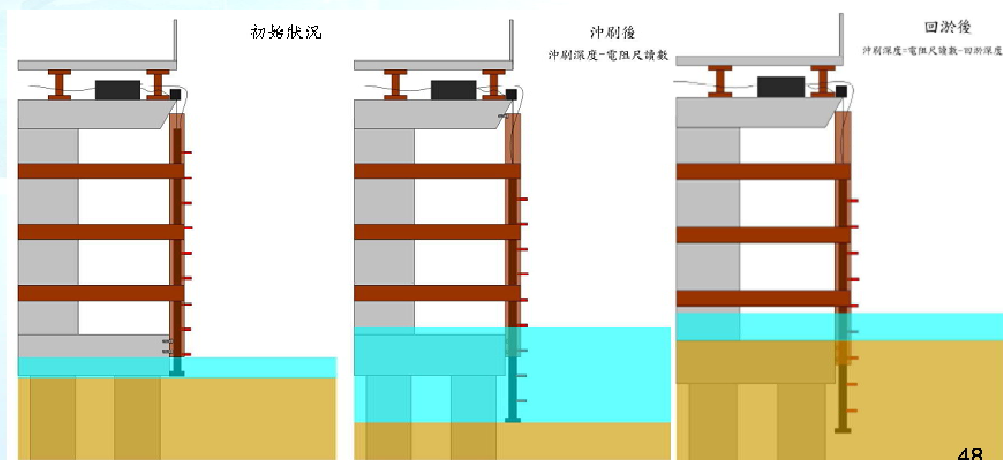
各波列交錯複雜，無較明確直達或反射波列可以追蹤計算，本基礎為群樁，較不適用超震法檢測。(或基礎深度較深，非破壞型人工震源能量不足)

冲刷監測系統的設置

47

重力式壓電片冲刷監測計

重力桿因受重力作用而會落在河床上，當洪水來臨時，造成河床的冲刷，使得河床高程降低，冲刷監測計亦會隨著河床高程降低而下降，我們可以藉由電阻尺被拉伸的長度得之當前冲刷的深度，當洪水退去之後，若該處河水帶走的泥沙量小於淤積的泥沙量，則會開始產生淤積使得河床高程增加，冲刷監測計則會被埋於土中，此時可利用電阻尺拉長之長度減去回淤的深度，即為冲刷深度。



48

重力式壓電片冲刷監測計

此器械安裝於西濱大橋P21橋墩下游處，安裝時先將固定H型鋼之支撐架鎖固在橋柱上，再把H型鋼及重力桿綁在一起由橋面上吊至橋墩處固定，吊至定點後將外圍兩支H型鋼固定在支撐架上，並且在河床上挖一米的洞，再將H型鋼及重力桿連接處鬆開，讓重力桿滑入預挖的洞內，然後把土回填，共埋了三片壓電片於土裡，初始的回淤深度為-75公分(以橋帽頂部為原點，向下為負)。



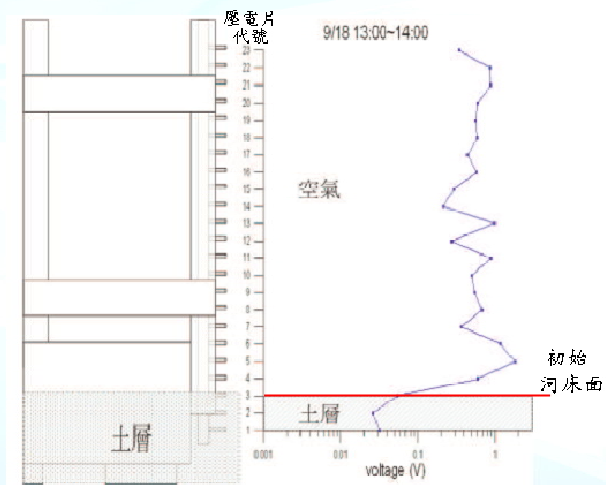
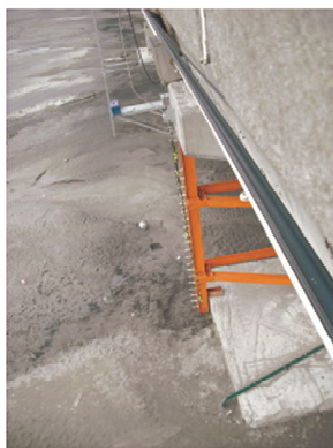
49

重力式壓電片冲刷監測計

~西濱大橋冲刷監測之結果~

2010/09/18凡那比颱風來侵襲前:

※各壓電片間距為25公分

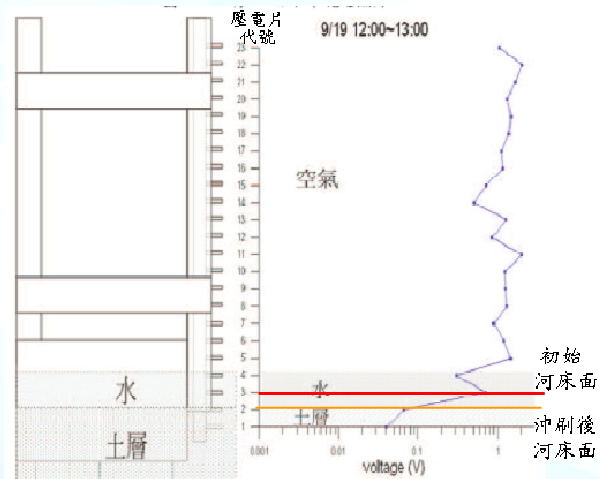


重力式壓電片冲刷監測計

~西濱大橋冲刷監測之結果~

2010/09/19凡那比颱風登陸，中午12:00:

※各壓電片間距為25公分



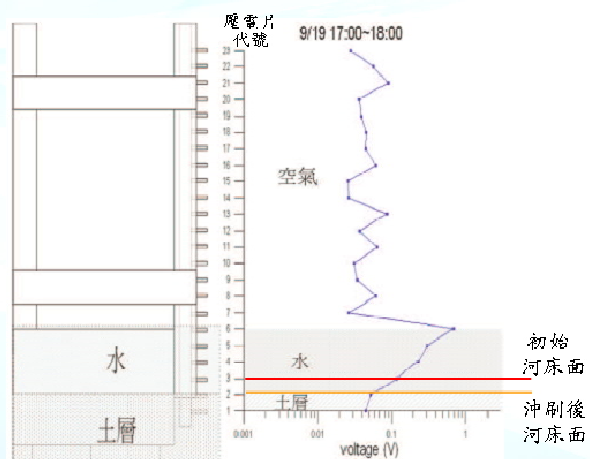
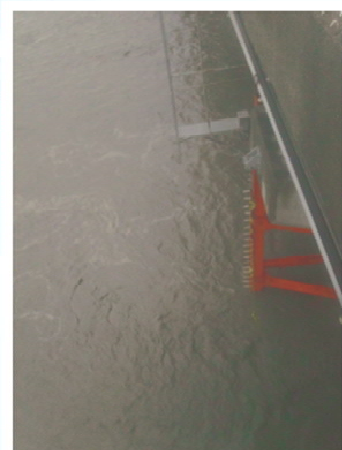
中國中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

重力式壓電片冲刷監測計

~西濱大橋冲刷監測之結果~

2010/09/19凡那比颱風登陸，下午5:00:

※各壓電片間距為25公分



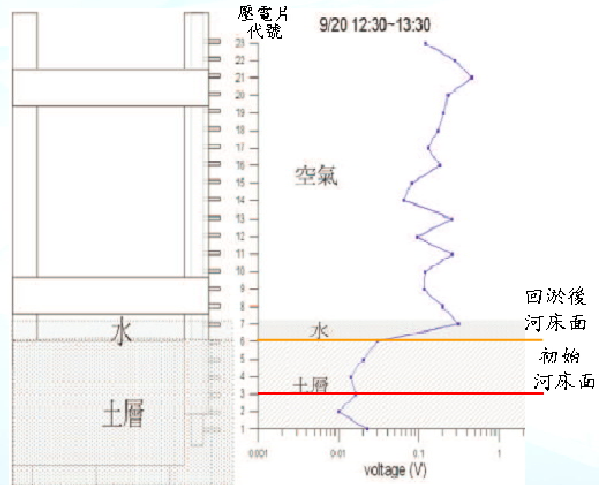
中國中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

重力式壓電片冲刷監測計

~西濱大橋冲刷監測之結果~

2010/09/20凡那比颱風即將離台，中午12:30:

※各壓電片間距為25公分



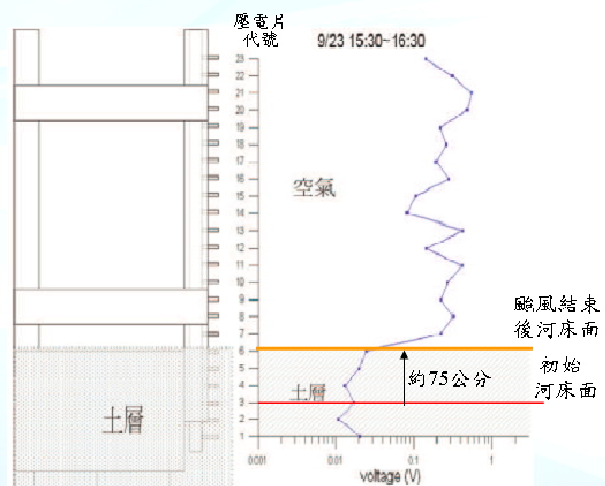
中國中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

重力式壓電片冲刷監測計

~西濱大橋冲刷監測之結果~

2010/09/23凡那比颱風結束後3天，下午3:30:

※各壓電片間距為25公分



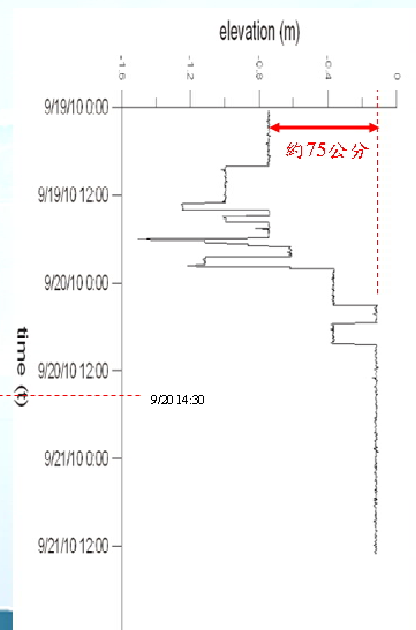
中國中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

重力式壓電片冲刷監測計

~西濱大橋冲刷監測之結果~

P21位置河床高程歷時變化:

陸上颱風警報發佈期間



中國中華顧問工程公司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

跨河橋梁橋基冲刷檢測規範(草案)內文及解說初擬

中國中華顧問工程公司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範條文

第一章、總則

- 1.1 使用範圍
- 1.2 人員資格
- 1.3 名詞定義

第二章、冲刷檢測流程

- 2.1 通則
- 2.2 執行流程
- 2.3 年度汛期檢測
- 2.4 颱洪事件檢測

第三章、橋梁冲刷潛勢評估指標與基本資料

- 3.1 通則
- 3.2 冲刷潛勢指標
- 3.3 河川基本資料
- 3.4 橋梁基本資料

第四章、冲刷潛勢評估方法

- 4.1 通則
- 4.2 DER&U目視評估
- 4.3 詳細冲刷潛勢評估
- 4.4 簡易冲刷潛勢評估
- 4.5 颱洪中橋梁現況記錄
- 4.6 冲刷深度及河流檢測
- 4.7 橋梁結構及河道斷面檢測

第五章、檢測技術

- 5.1 通則
- 5.2 材料檢測
- 5.3 橋梁基礎檢測
- 5.4 冲刷狀態檢測

- 5.4.1 水位檢測
- 5.4.2 流速檢測
- 5.4.3 冲刷深度檢測
- 5.4.4 振動檢測
- 5.5 河道斷面檢測

第六章、橋梁穩定度評估與封橋作業

- 6.1 通則
- 6.2 結構穩定度評估
- 6.2.1 外力評估
- 6.2.2 簡易穩定度評估法
- 6.3 封橋作業

第七章、檢測執行

- 7.1 通則
- 7.2 基本資料收集
- 7.3 年度汛期前檢測
- 7.4 颱洪事件前檢測
- 7.5 颱洪事件中檢測
- 7.6 颱洪事件後檢測
- 7.7 年度汛期後檢測

57

跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範解說

第一章 總則

- C1.1 使用範圍
- C1.2 人員資格
- C1.3 符號說明

第二章 冲刷檢測流程

- C2.1 通則
- C2.2 執行流程
- C2.3 年度汛期檢測
- C2.4 颱洪事件檢測

第三章 橋梁冲刷潛勢評估指標與基本資料

- C3.1 通則
- C3.2 冲刷潛勢指標
- C3.3 河川基本資料
- C3.4 橋梁基礎基本資料

第四章 冲刷潛勢評估方法

- C4.1 通則
- C4.2 DER&U目視評估
- C4.3 詳細冲刷潛勢評估
- C4.4 簡易冲刷潛勢評估
- C4.5 橋梁巡檢
- C4.6 冲刷深度及水位、流速檢測
- C4.7 橋梁結構及河道斷面檢測

第五章 檢測技術

- C5.1 通則
- C5.2 材料檢測
- C5.3 橋梁基礎檢測
- C5.3.1 透地雷達檢測
- C5.3.2 電阻率影像剖面探測

- C5.3.3 超聲波檢測
- C5.4 冲刷狀態檢測
- C5.4.1 水位檢測
- C5.4.2 流速檢測
- C5.4.3 冲刷深度檢測
- C5.4.4 振動檢測
- C5.5 河道斷面檢測
- C5.5.1 傳統河道斷面檢測
- C5.5.2 三維雷射河道斷面掃描
- C5.5.3 聲納檢測
- C5.5.4 透地雷達檢測

第六章 橋梁穩定度評估與封橋作業

- C6.1 通則
- C6.2 結構穩定度評估
- C6.2.1 簡易外力評估
- C6.2.2 簡易穩定評估法
- C6.2.3 詳細穩定評估方法
- C6.3 封橋作業

第七章 檢測執行

- C7.1 通則
- C7.2 基本資料收集
- C7.3 年度汛期前檢測
- C7.4 颱洪事件前檢測
- C7.5 颱洪事件中檢測
- C7.6 颱洪事件後檢測
- C7.7 年度汛期後檢測

58

辦理專家座談會議以及教育訓練講習會

59

辦理專家座談會議以及教育訓練講習會

99年度專家座談會議

時間:99年11月16日

地點:中華顧問27F會議室

主席:王仲宇 主任

會議主題:沖刷潛勢評估表之討論



60

辦理專家座談會議以及教育訓練講習會

99年度教育訓練講習會

時間:100年01月17日

地點:公路總局三公處高雄工務段會議室、萬大大橋

主席:陳銘鴻 博士

會議主題:沖刷檢測及評估技術推廣、現地儀器實作及表格試填寫



財團中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

辦理專家座談會議以及教育訓練講習會

100年度專家座談會

時間:100年10月03日~10月05日

地點:成功大學水利系、逢甲大學營建及防災中心、中央大學橋梁中心

主席:王仲宇 主任

會議主題:沖刷檢測規範內文及解說討論



財團中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

62

辦理專家座談會議以及教育訓練講習會

100年度教育訓練暨成果發表研討會

時間:100年11月11日

地點:臺灣科技大學國際會議中心

講者:連惠邦教授、王仲宇主任、李維峰教授、柯永彥博士、胡志斯總經理、陳宜傑副理、洪紹勛工程師

會議主題:冲刷檢測及評估技術推廣



63

計畫後續建議

1. 透過統計、可靠度方法或其他研究方法，更確切的訂定出冲刷潛勢評估表之各項目之分數配分以及權重。
2. 本規範之各項檢測評估所產生之資料，預期將與現有的臺灣地區橋梁管理資訊系統(T-BMS)作結合。
3. 快速且準確之河流流速量測方法開發。
4. 適用台灣地區冲刷公式之擬定。
5. 針對目前公路總局所使用的災害預警機制，驗證其精度及執行方法之改善建議。

64

簡報完畢
謝謝指教

Thank you for your attention