

100-158-7576

MOTC-IOT-98-H1EB008

跨河橋梁橋基沖刷檢測作業 規範(草案)



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 12 月

100-158-7576

MOTC-IOT-98-H1EB008

跨河橋梁橋基沖刷檢測作業 規範(草案)

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

跨河橋梁橋基沖刷作業規範(草案)/ 邱永芳等著.

初版 --. -- 臺北市：交通部運研所，

民 100. 12

面； 公分

ISBN 978-986-03-1441-0 (平裝)

1. 橋樑工程 2. 結構工程 3. 技術規範

441.815

100028398

跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)

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港灣技術研究中心網站

定 價：100 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：1010005031

ISBN：978-986-03-1441-0 (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

跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範（草案）

交通部運輸研究所

GPN : 1010005031

定價: 100 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：跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-03-1441-0(平裝)	政府出版品統一編號 1010005031	運輸研究所出版品編號 100-158-7576	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：04-26587170 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 地址：106 臺北市大安區辛亥路 2 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：沖刷檢測規範、橋梁巡檢、沖刷潛勢評估、潛勢評估表			
摘要：			
<p>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，並且如何應用於颱洪事件前、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。</p> <p>本規範草案初步擬定相關各類檢測、評估人員資格，以及相關檢測人員訓練課程。以及訂定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；訂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，以提供各橋梁管理單位參考使用。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
100 年 12 月	142	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級：			
<input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Scouring Inspection Code(Draft) for River-crossing Bridge Foundation			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-1441-0 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010005031	IOT SERIAL NUMBER 100-158-7576	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, 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: <p>Establishment of scouring inspection code can efficiently assist bridge authorities in order to provide training course for inspectors, define the qualification of inspectors, frame the new scouring evaluation form and procedure, and select proper non-destructive testing techniques for scouring evaluation.</p> <p>This scouring inspection code recommends to regularly collect detailed information related to bridge superstructures, hydrological immigration, and historic disasters. Relevant effective procedure, notices, and bridge foundation inspection form can help engineers inspect and pre-evaluate the scouring degree before flood event. During flood event, engineers can take proper emergency execution and subsequent countermeasures if flood-induced damage is rapidly investigated or monitored with instrumentation selected in this inspection code. Post-event maintenance action can be effectively decided based on field inspection results.</p>			
DATE OF PUBLICATION December 2011	NUMBER OF PAGES 142	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)

中文摘要	I
英文摘要	II
第一章 總則	1
1.1 使用範圍	1
1.2 人員資格	1
1.3 名詞定義	1
第二章 沖刷檢測流程	2
2.1 通則	2
2.2 執行流程	2
2.3 年度汛期檢測	2
2.4 颱風事件檢測	3
第三章 橋梁沖刷潛勢評估指標與基本資料	4
3.1 通則	4
3.2 沖刷潛勢指標	4
3.3 河川基本資料	4
3.4 橋梁基本資料	4

第四章 沖刷潛勢評估方法	5
4.1 通則	5
4.2 DER&U目視評估.....	5
4.3 詳細沖刷潛勢評估	5
4.4 簡易沖刷潛勢評估	6
4.5 颱風中橋梁現況記錄	6
4.6 沖刷深度及水位、流速檢測	6
4.7 橋梁結構及河道斷面檢測	6
第五章 檢測技術	7
5.1 通則	7
5.2 材料檢測	7
5.3 橋梁基礎檢測	7
5.4 沖刷狀態檢測	7
5.4.1 水位檢測.....	8
5.4.2 流速檢測.....	8
5.4.3 沖刷深度檢測.....	8
5.4.4 振動檢測.....	8
5.5 河道斷面檢測	9

第六章 橋梁穩定度評估與封橋作業	10
6.1 通則	10
6.2 結構穩定度評估	10
6.2.1 外力評估.....	10
6.2.2 簡易穩定度評估法	10
6.3 封橋作業	12
第七章 檢測執行	13
7.1 通則.....	13
7.2 基本資料收集	13
7.3 年度汛期前檢測	13
7.4 颱風事件前檢測	13
7.5 颱風事件中檢測	13
7.6 颱風事件後檢測.....	14
7.7 年度汛期後檢測.....	14

跨河橋梁橋基檢測作業規範(草案)解說

第一章.總則	15
C1.1 使用範圍	15
C1.2 人員資格	15
C1.3 符號說明	17
第二章.沖刷檢測流程	19
C2.1 通則	19
C2.2 執行流程	19
C2.3 年度汛期檢測	21
C2.4 颱風事件檢測	22
第三章.橋梁沖刷潛勢評估指標與基本資料	23
C3.1 通則	23
C3.2 沖刷潛勢指標	23
C3.3 河川基本資料	25
C3.4 橋梁基礎基本資料	27
第四章.沖刷潛勢評估方法	30
C4.1 通則	30

C4.2 DER&U目視評估	30
C4.3 詳細沖刷潛勢評估	31
C4.4 簡易沖刷潛勢評估	34
C4.5 橋梁巡檢	35
C4.6 沖刷深度及水位、流速檢測	36
C4.7 橋梁結構及河道斷面檢測	36
第五章.檢測技術	38
C5.1 通則	38
C5.2 材料檢測	38
C5.3 橋梁基礎檢測	38
C5.3.1 透地雷達檢測	39
C5.3.2 電阻率影像剖面探測	40
C5.3.3 超震波檢測	41
C5.4 沖刷狀態檢測	42
C5.4.1 水位檢測	43
C5.4.2 流速檢測	46
C5.4.3 沖刷深度檢測	48
C5.4.4 振動檢測	48

C5.5 河道斷面檢測	53
C5.5.1 傳統河道斷面檢測	53
C5.5.2 三維雷射河道斷面掃描	55
C5.5.3 聲納檢測	56
C5.5.4 透地雷達檢測	58
第六章.橋梁穩定度評估與封橋作業	59
C6.1 通則	59
C6.2 結構穩定度評估	59
C6.2.1 簡易外力評估	60
C6.2.2 簡易穩定評估法	62
C6.2.3 詳細穩定評估方法	69
C6.3 封橋作業	73
第七章.檢測執行	78
C7.1 通則	78
C7.2 基本資料收集	78
C7.3 年度汛期前檢測	78
C7.4 颱風事件前檢測	79
C7.5 颱風事件中檢測	80

C7.6 颱洪事件後檢測	82
C7.7 年度汛期後檢測	82
參考文獻	136

規範解說表目錄

表C2-2-1 沖刷檢測階段各層級之分類	84
表C2-2-2 沖刷檢測種類於各層級之使用時機	85
表C3-2-1 沖刷深度計算公式	86
表C4-1-1 目視檢測之方法說明	87
表C4-1-2 詳細檢測之方法說明	87
表C4-3-1 橋梁基本資料記錄表	88
表C4-3-2 橋梁沖刷損害記錄表	92
表C4-3-3 橋墩基礎資料表	93
表C4-3-4 橋梁整體環境表	93
表C4-3-5 橋梁週邊環境示意表	94
表 C4-3-6 夸河橋梁沖刷潛勢評估表	95
表C4-3-7 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估填表摘要說明	96
表C4-5-1 颱風事件中橋梁狀況紀錄表	103
表C5-4-1 常見物質之介電常數及衰減常數	104
表C5-4-2 各類流速量測儀器比較表	105

規範解說圖目錄

圖C3.2.1 河川分類與相對穩定性之關係圖	106
圖C4.3.1 橋梁基本拍攝記錄位置示意圖	107
圖C5.3.1 透地雷達等間距施測法	107
圖C5.3.2 透地雷達同中點施測法	107
圖C5.3.3 透地雷達井測施測法	108
圖C5.3.4 透地雷達斷層掃描法	108
圖C5.3.5 野外工作示意圖	108
圖C5.3.6 直流電阻法使用四極排列施測示意圖	109
圖C5.3.7 電阻率影像剖面探測雙偶極排列之儀器配置	109
圖C5.3.8 超震法垂直型剖面施測示意圖	110
圖C5.3.9 超震法水平型剖面施測示意圖	110
圖C5.3.10 超震法震波記錄	111
圖C5.4.1 標竿水尺示意圖	112
圖C5.4.2 各類量測水尺示意圖	112
圖C5.4.3 接觸型水位計示意圖	113
圖C5.4.4 非接觸型水位計示意圖	113
圖C5.4.5 脈衝式微波雷達流速儀	113

圖C5.4.6 龍船埤排水脈衝式微波雷達流速儀現況圖	114
圖C5.4.7 濁水溪橋連續波微波雷達表面流速儀架設完成圖	114
圖C5.4.8 重錘式沖刷深測計	115
圖C5.4.9 透地雷達系統於水面施測河床斷面沖刷示意圖	116
圖C5.4.10 橋墩樁基礎受沖刷裸露之影響示意圖	117
圖C5.4.11 群樁基礎於不同裸露程度下之位移反應函數	117
圖C5.4.12 典型簡支橋振動單元分析模型	118
圖C5.4.13 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	118
圖C5.4.14 振動感應器裝設位置之示意圖	119
圖C5.4.15 快速富利葉轉換示意圖	119
圖C5.4.16 代表性平均振動顯著頻率之求取示意圖	120
圖C5.5.1 三維雷射掃描儀與物體間相對坐標系示意圖	120
圖C6.2.1 直接基礎之受力分佈示意圖	121
圖C6.2.2 群樁基礎之結構分析模型示意圖	121
圖C6.2.3 沉箱基礎之結構分析模型示意圖	122
圖C6.2.4 圓形沉箱基礎之有效接觸面積	123
圖C6.2.5 圓形沉箱基礎之 α 與 e/r 之關係圖	123

圖C6.2.6 沉箱基礎 $h_{left}/D > 1.3$ 之結構分析模型圖	124
圖C6.2.7 沉箱基礎 $0.3 \leq h_{left}/D \leq 1.3$ 之結構分析模型圖	124
圖C6.2.8 沉箱基礎 $h_{left}/D < 0.3$ 之結構分析模型圖	125
圖C6.2.9 沉箱基礎之結構分析模型示意圖	125
圖C6.2.10 樁基礎之結構分析模型示意圖	126
圖C6.3.1 交通部公路總局封橋標準作業程序	127
圖C6.3.2 橋梁重大災情搶救作業流程圖	129
圖C7.3.1 年度汛期前檢測流程圖	130
圖C7.4.1 颱風事件前檢測流程	131
圖C7.4.2 颱風事件中檢測流程	132
圖C7.4.3 颱風事件後檢測流程	134
圖C7.4.4 年度汛期後檢測流程	135

跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)

第一章 總則

1.1 使用範圍

本規範適用於交通部公路總局、直轄市及各縣市政府所轄之各橋梁管理單位進行公路跨河橋梁之檢測與沖刷潛勢評估作業，內容包含沖刷潛勢評估表格填寫、橋梁構件基本資料記錄、橋梁構件及河道河流之檢測以及結構穩定檢核與封橋作業流程。

1.2 人員資格

本規範將檢測作業人員區分為橋梁沖刷潛勢評估人員、儀器檢測人員、橋梁巡檢人員、分析評估人員。上述檢測作業人員資格須經相關教育訓練，並經相關主管機關之認可。

1.3 重要名詞定義

1. 汛期：依「河川管理辦法」，為每年五月一日至十一月三十日。
2. 颱風事件前：發佈陸上颱風警報之前。
3. 颱風事件中：發佈陸上颱風警報開始至發佈陸上颱風警報解除之前。
4. 颱風事件後：發佈陸上颱風警報解除之後。
5. 特殊流況：水流有跌水躍現象、斜向攻角水流、橋墩迎水面浮木掛淤、束縮沖刷、河道淤積、鄰近堤防破堤。
6. 具有中、高度沖刷潛勢橋梁之清單：為該年度內可能具有沖刷危害潛勢之橋梁清單，其中包含中度及高度沖刷潛勢橋梁。
7. 跨河橋梁：不含跨大排、排水溝之公路橋梁。

第二章 沖刷檢測流程

2.1 通則

颱風洪水導致之橋梁基礎沖刷，易危害橋梁之安全，為及早發現具高度沖刷潛勢橋梁，並進行妥善之維護管理措施，應在各年度中運用適當之技術與方法，執行跨河橋梁抗沖刷能力評估。

2.2 執行流程

依據不同之沖刷檢測時段及檢測技術層級，橋梁檢測流程共可分為五大階段分項執行：

1. 年度汛期前檢測。(對應檢測技術層級為三級檢測)
2. 颱風事件前檢測。(對應檢測技術層級為一級檢測)
3. 颱風事件中檢測。(對應檢測技術層級為零級檢測)
4. 颱風事件後檢測。(對應檢測技術層級為二級檢測)
5. 年度汛期後檢測。(對應檢測技術層級為四級檢測)

沖刷檢測之頻率及時機，各橋梁管理機關可搭配該機關現有的橋梁檢測作業進行。

2.3 年度汛期檢測

每年汛期前後，使用本規範所訂定之目視檢測及詳細檢測方法，調查橋梁結構與橋址周遭河道環境現況，可做為橋梁在洪水沖刷作用下安全評估之依據。其檢測項目可包含：

1. 年度汛期前檢測。
2. 年度汛期後檢測。

2.4 颱洪事件檢測

為了解由颱風、洪水事件之沖刷作用對橋梁整體安全性之影響程度，所進行之不定期檢測。其檢測項目可包含：

1. 颱洪事件前檢測。
2. 颱洪事件中檢測。
3. 颱洪事件後檢測。

第三章 橋梁沖刷潛勢評估因子與基本資料

3.1 通則

因河川各不同河段皆見其獨有的水文特色，故於各年度沖刷檢測作業前，應針對各橋梁之沖刷潛勢因子及河川與橋梁基本資料，進行相關分析研判並建檔留存，有助於擬定具效用的檢測計畫。

3.2 沖刷潛勢評估因子

各橋梁管理單位應於平時即收集、分析橋梁所在河川之沖刷潛勢，並定期更新。沖刷潛勢評估因子有：河川地形、河床材料、河床下降情形、相對河川彎曲處的橋墩位置、附近有無採砂、上游是否有攔河堰、橋梁上下游高低差、橋墩(基)與河川流向間之角度及保護設施之完整性。

3.3 河川基本資料

各橋梁管理單位應於平時即收集、分析橋梁所在河川之河川基本資料，並建議每年定期更新。河川基本資料包括：鄰近雨量站資料、水位流量站資料、水理分析資料、橋梁上下游水工建造物資料、橋梁段上下游之河道測量資料、歷年正射影像圖及河床質粒徑。

3.4 橋梁基本資料

橋梁與沖刷相關之基本資料可概分為兩類，一為承載層資料，二為基礎結構及保護工設計資料。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。

第四章 沖刷潛勢檢測評估方法

4.1 通則

跨河橋梁橋基沖刷檢測目的為評估國內所有的跨河橋梁所具有的沖刷潛勢，以提供橋梁巡檢人員巡檢橋梁優先順序之依據，同時搭配各項橋梁結構、河川環境之基本資料更新調查。檢測的種類共區分為『目視檢測』及『詳細檢測』兩大類。

4.2 DER&U 目視檢測評估

『DER&U 目視評估』屬於目視檢測，施作目的為藉由 DER&U 評估表中與沖刷相關之項目以判斷對橋梁橋基沖刷潛勢之影響程度。施作時機為汛期前、後以及颱風事件後。DER&U 評估表與沖刷潛勢評估有關的六個項目為：『河道』、『橋台基礎』、『橋台』、『橋墩保護設施』、『橋墩基礎』及『橋墩墩體』，將按照沖刷穩定指標進行評分計算，DER&U 評估結果視為沖刷潛勢評估表之一環。

4.3 詳細沖刷潛勢檢測評估

詳細沖刷潛勢評估屬於詳細檢測，需搭配使用『跨河橋梁沖刷潛勢評估表』以及『跨河橋梁基本資料記錄表』，其中『跨河橋梁沖刷潛勢評估表』需完整填寫以下三大項目：

1. 資料記錄項目。
2. 室內評估項目。
3. 現地評估項目。

其施作時機為該年度之汛期開始前，檢測目的為根據跨河橋梁沖刷潛勢評估表之評估分數以及歷年之橋梁及環境資料記錄評估現有的橋梁是否具有沖刷潛勢，以訂定該年度『具有沖刷潛勢之橋梁清單』。

4.4 簡易沖刷潛勢檢測評估

『簡易沖刷潛勢評估』屬於『目視檢測』，其施作時機為每次颱風事件發生前，將同樣使用『沖刷潛勢評估表』，接續使用該橋梁汛期前表格評估之結果，重新填寫表格中 C 部分現地評估項目之評估內容，最後根據 C 部分分數之變動重新排定具有沖刷潛勢之橋梁。

4.5 颱風中橋梁現況記錄

『颱風中橋梁現況記錄』屬於目視檢測，其施作時機為為颱風事件中，可藉由使用數位相機或數位攝影機作為颱風當下時橋梁現場狀況或週遭環境之狀況進行完整之紀錄，同時根據現場風雨狀況而定，判斷是否前往橋梁處進行檢測。

4.6 沖刷深度及水位、流速檢測

『沖刷深度、水位及流速檢測』屬於詳細檢測，其施作時機可為颱風事件前、颱風事件中以及颱風事件後，主要為量測橋梁在受水流沖刷後的沖刷深度，以及洪水之水位及流速，以掌握橋梁的沖刷深度以輔助封橋與否之判斷。

4.7 橋梁結構及河道斷面檢測

『橋梁結構及河道斷面檢測』屬於詳細檢測，其施作時機為汛期前以及汛期後，主要為檢測橋體構件的材料狀況以及橋墩基礎之尺寸及完整性，以及河道斷面尺寸之檢測。橋梁結構及河道斷面檢測之施作目的為紀錄橋梁結構之基本資料以及追蹤河道斷面之變化狀況。

第五章 檢測技術

5.1 通則

現行多數老舊橋梁維護管理所需相關基本資料之完整性與正確性均有所不足，尤以河道環境現況與橋墩基礎尺寸、型式資料最為缺乏，因此為補足橋梁安全評估所需相關基本資料以輔助判斷沖刷潛勢，本章節將列舉四種檢測項目之相關方法供做參考。

5.2 材料檢測

材料檢測屬於本規範『橋梁結構及河道斷面檢測』的部分，其施作的時機為年度汛期前或是年度汛期過後。橋梁構件的材料劣化程度將會影響橋梁對於洪水之抵抗能力，因此可針對橋梁構件之混凝土強度、氯離子濃度、中性化程度或是腐蝕情形藉助適當的儀器設備以及量測技術進行檢測。所得結果為進行結構混凝土劣化現況診斷之用，各方法選用之時機與合理性需審慎考量。

5.3 橋梁基礎檢測

橋梁基礎檢測屬於本規範『橋梁結構及河道斷面檢測』的部分，其施作的時機為年度汛期前或是年度汛期後，視沖刷潛勢評估表格評定結果而定。橋梁基礎檢測主要將針對橋墩基礎之尺寸、型式進行檢測。

5.4 沖刷狀態檢測

沖刷狀態檢測屬於本規範『沖刷深度及河流檢測』的部分，其細分為四個種類：水位檢測、流速檢測、沖刷深度檢測以及振動檢測，其各項目之檢測時機見各細項所描述。

5.4.1 水位檢測

水位檢測應由橋梁管理單位於詳細檢測及颱風事件時期進行量測，一般常利用水位計進行橋下水位高低之量測，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。

5.4.2 流速檢測

流速檢測應由橋梁管理單位於詳細檢測及颱風事件時期進行，檢測結果可作為封橋判斷的依據之一。常用之量測方法有旋杯式、脈衝式微波雷達、超音波、影像 PIV 及聲波杜卜勒等方式之流速儀。

5.4.3 沖刷深度檢測

橋梁管理單位於適當時機進行量測，常採用的量測方法有聲納、透地雷達以及重錘式沖刷深測計。

5.4.4 振動檢測

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，其施作時機為可為年度汛期前、颱風事件前及颱風事件後，利用振動檢測判釋橋梁之振動特性，根據橋梁遭受洪水前後振動特性之變化，將有助於評估橋墩基礎是否受沖刷而產生裸露。

5.5河道斷面檢測

河道斷面檢測屬於『橋梁結構及河道斷面檢測』，其施作時機為年度汛期前或年度汛期後，目的為記錄每年度之河道斷面變化，以供橋梁管理單位協助判斷主河道之變遷情形對於橋墩可能造成之沖刷情形。

第六章 橋梁穩定度評估與封橋作業

6.1 通則

橋梁經由詳細沖刷潛勢評估與檢測後，須針對具有高度沖刷潛勢之橋梁進行橋梁整體結構穩定度之檢核，確保橋梁基礎是否具有足夠之抵抗力，承受結構自重與外力（如水流力、風力）所產生的垂直力、側向力或彎矩，進而求得橋梁各項可能之臨界破壞值，如臨界沖刷深度、臨界水位高或臨界流速，以提供橋管人員於洪水時封橋之參考依據，此外於本章節中亦建議洪水時之封橋作業程序。

6.2 結構穩定度評估

結構穩定度評估在橋梁基礎覆土高度與原設計不同時，或橋梁基礎具有沖刷潛勢時進行之。進行結構穩定度評估時，首先評估橋梁所受之外力，同時依據基礎形式不同而選擇不同簡易評估方法進行初步判斷；當簡易評估結果接近臨界破壞狀態時，再進行詳細評估，以確認橋梁之穩定度。

6.2.1 外力評估

外力評估結果可作為簡易與詳細穩定度評估中橋梁所受之外力。外力評估內容依據交通部 2009 年之「公路橋梁設計規範」與日本道路協會 1996 年之「道路橋示方書」，可將橋梁所受之外力分為：(1).橋梁結構本身重量之靜載重；(2).車輛之活載重；(3).風力；(4).水流力；(5).漂流物撞擊作用力；(6).土石流撞擊力。

6.2.2 簡易穩定度評估法

簡易穩定度評估需在橋梁基礎覆土高度與原設計不同時，或橋梁基礎具有沖刷潛勢時進行之，須依基礎形式不同而選用直接基礎、沉箱基礎或群樁基礎之簡易穩定評估法檢核。

1. 直接基礎

直接基礎之簡易穩定度評估需完成土壤反力計算，而後再進行各項穩定度評估項目。土壤反力計算之項目包含：1.基礎土壤反力；2.基礎底版之摩擦阻力；3.基礎側面之主動土壓力和被動土壓力值。

直接基礎之簡易穩定度評估項目包含：1. 土壤容許支承力；2. 基礎抗傾倒檢核；3. 基礎抗滑動檢核。

2. 群樁基礎

群樁基礎之簡易穩定度評估法，需依據橋梁受力情況而計算群樁中各基樁之軸力，並將其與基樁極限垂直承載壓力與承拉力作比較，作為群樁基礎之簡易穩定度評估，其項目包含：(1). 群樁基礎承載力；(2). 群樁基礎簡易穩定評估。

3. 沉箱基礎

沉箱基礎之簡易穩定度評估須先完成沉箱基礎承載力評估，而後依刷深後之沉箱剩餘長度與沉箱直徑之比值做分類，進行沉箱基礎簡易穩定度評估。其項目包含：(1) 沉箱基礎承載力；(2) 沉箱基礎簡易穩定評估。

6.2.3 詳細穩定度評估方法

依簡易橋梁穩定度評估結果，若橋梁穩定度接近臨界破壞狀態時，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需參考交通部橋基保護工規範(草案)，依基礎形式不同選用適當之數值分析模式，詳細計算沉箱基礎與樁基礎之承載行為，作為判斷橋基穩定度之依據。

1. 沉箱基礎

沉箱基礎之分析模型可將沉箱視為剛體，而沉箱周圍及底面之承載土層則宜以彈塑性彈簧模擬沉箱基礎與土壤之互制效應，可參考內政部「建築物基礎構造設計規範」第 6.6 節之說明。穩定度評

估項目需包含：(1) 沉箱承载力檢核；(2) 沉箱水平變位量檢核；(3) 沉箱傾斜檢核等項目。

2. 樁基礎

樁基礎之分析模型可將樁帽視為剛性體，基樁視為彈性梁，樁周及底面之承載土層則宜以彈塑性彈簧模擬基礎與土壤之互制效應。樁基礎之穩定度分析，應特別檢核下列之項目：(1)基樁承载力檢核；(2)基樁水平變位量檢核；(3)基樁撓曲與剪力破壞檢核；(4)基樁挫屈破壞檢核等項目。

6.3 封橋作業

各橋梁管理機關應有相關封橋作業程序，可參考交通部公路總局於 2011 年 12 月頒布實施之封橋標準作業程序，並參考本規範所研擬之沖刷潛勢指標與穩定度分析之結果，進行封橋相關處置與作業。

第七章 檢測評估作業執行

7.1 通則

本規範之檢測對象以臺灣地區橋梁管理資訊系統(T-BMS)中所登錄的一般公路(非高速公路、鐵路)之跨河橋梁為為主，一年度中完整的資料收集以及沖刷檢測執行流程為:基本資料收集、年度汛期前檢測、颱風事件前檢測、颱風事件中檢測、颱風事件後檢測以及年度汛期後檢測，各檢測階段之連結及執行步驟將於本章進行說明。

7.2 基本資料收集

本規範第三章中所定訂一般公路橋梁之沖刷潛勢指標、河川基本資料與橋梁基本資料皆必須定期於汛期開始前進行資料之收集及更新，以幫助橋梁沖刷潛勢之評估。若該橋梁確定無相關資料留存，則必需特別記註另以非破壞儀器檢測方法進行該項資料的取得。

7.3 年度汛期前檢測

年度汛期前檢測必須於該年度汛期開始前完成。汛期前檢測施作項目包含 DER&U 目視評估、詳細沖刷潛勢評估、橋梁基本資料更新、結構穩定度分析以及橋基健全度分析，最終檢測成果將提出該年度之『具有中、高度沖刷潛勢橋梁之清單』。

7.4 颱風事件前檢測

颱風事件前檢測需根據年度汛期前檢測所提出之『具有沖刷潛勢橋梁之清單』進行，目的為確認『具有中、高度沖刷潛勢橋梁之清單』是否有所改變。

7.5 颱風事件中檢測

颱風事件中檢測將分為『封橋與否之判斷』以及『開放通車之判

斷』等兩階段，第一階段目的為在橋梁受到沖刷損毀前進行封閉，第二階段目的為判斷已封閉之橋梁是否可恢復通車。

7.6 颶洪事件後檢測

颶洪事件後檢測之執行時機為颶風可能之影響全數結束之後(包含可能引進之西南氣流或豪大雨)，其目的為確認橋梁結構在該次的颶洪事件後是否有可能影響通車安全之狀況，進而通知相關單位進行搶修。此外若短期內有下一次的颶洪事件發生，可直接進行下一次的颶洪事件前檢測。

7.7 年度汛期後檢測

年度汛期後檢測之執行時機為該年度之汛期結束之後，其目的為確認該年度汛期前檢測所訂定之『具有沖刷潛勢之橋梁清單』中的橋梁在經過汛期之後，是否有必要進行檢修，同時將待修橋梁分級進行維修補強。最後將該年度之檢測結果回饋至臺灣橋梁管理系統(T-BMS)進行橋梁相關資料更新。

跨河橋梁橋基檢測作業規範(草案)解說

第一章 總則

C1.1 使用範圍

- 1.本規範適用於登錄於臺灣地區橋梁管理資訊系統中位於公路總局、直轄市及縣市政府管轄之各種型式之跨河橋梁。
- 2.本規範為協助橋梁管理單位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。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。預期可於颱風事件發生前確實掌握具有沖刷潛勢之橋梁，並可及時於颱風事件發生當時預先於橋梁發生沖刷破壞之前進行封閉，以確保用路人之安全。
- 3.本規範不適用於位於土石流潛勢區之橋梁。

C1.2 人員資格

- 1.為能正確執行跨河橋梁基礎沖刷檢測作業，本規範將檢測作業人員區分為橋梁沖刷潛勢評估人員、儀器檢測人員、橋梁巡檢人員、分析評估人員，其職責說明如下：
 - (1)橋梁沖刷潛勢評估人員為執行汛期前以及颱風事件前橋梁沖刷潛勢評估作業，並提出該年度之具有沖刷潛勢橋梁之清單；以及執行汛期後檢測，作為該年度橋梁維修補強分級之依據。
 - (2)儀器檢測人員為執行各項橋體結構、河川環境之儀器檢測作業，提供橋梁管理單位或是橋梁沖刷潛勢評估人員、橋梁分析

評估人員所需之資料。

(3)橋梁巡檢人員於執行颱風事件中之橋梁狀況巡檢作業，將須進行封阻之橋梁通報橋梁管理單位進行判定，以及對判定開放通車時之橋梁進行檢查作業；以及執行洪水事件後進行檢查篩選須通知相關單位進行維修之橋梁。

(4)分析評估人員為針對汛期前經沖刷潛勢評估為高沖刷潛勢之橋梁進行結構穩定度之計算及評估，以提供專家判斷是否列為直接封橋橋梁之依據或是提供橋管單位於颱風事件中封橋之依據。

2.相關檢測評估人員及資格建議如下:

(1)橋梁沖刷潛勢評估人員及橋梁巡檢人員需為從事相關土木工程行業之人員，如政府之工務機關、土木工程相關之學術單位或民間顧問公司、營造廠等，其人員需熟悉本規範所訂定之檢測流程及檢測方法，並完成接受 8 小時以上之教育訓練，此外亦須具有現地進行橋梁目視檢測及 DER&U 表格填寫經驗，並經由橋梁管理機關核准。相關教育訓練課程說明如下:

- a. 沖刷潛勢指標之說明(1 小時)
- b. 沖刷檢測流程之說明(1.5 小時)
- c. 沖刷潛勢評估表格之填寫說明(1 小時)
- d. 現地表格填寫實作演練(2.5 小時)
- e. 輔助沖刷評估之非破壞檢測方法說明(1 小時)
- f. 結構穩定度分析介紹(1 小時)

(2)儀器檢測屬於較專業之技術，其儀器操作人員需為從事相關儀器檢測之專業顧問公司、營造公司、檢測公司、研究單位等之人員，須具備橋梁相關之檢測經歷並經由橋梁管理機關核准。

(3)分析評估屬於較專業之技術，其執行人員需為土木工程相關之從業人員，且具有執行相關業務之經驗並經由橋梁管理機關核准。

3.為建立健全之檢測作業，各橋梁管理機關應視檢測業務需求、人力及調度等，訂定適合各管理機關之檢測管理辦法。

C1.3 重要名詞定義

- 1.T-BMS:臺灣地區橋梁管理資訊系統，交通部有鑒於完整橋梁資料對國內橋梁管理有效進行之必要性與迫切性，於民國八十九年至九十年間經費補助國內各縣市政府進行『橋梁基本資料調查及目視安全檢測作業』，該計畫配合交通部運輸研究所委託中央大學開發之『台灣地區橋梁管理系統』中所需之橋梁基本資料應填欄位及檢測資料模組所採用之目視安全作業準則進行橋梁普查，同時需將上述普查成果輸入『台灣地區橋梁管理系統』資料庫，該系統運作迄今已經過改版更名為『臺灣地區橋梁管理資訊系統』。
- 2.DER&U: DER&U 目視檢測方法中共 66 種劣化狀況類別，以劣化程度（Degree）、範圍（Extend）及重要性（Relevancy）三個層面來予以分析並評分，如再考慮橋梁之結構安全性、服務性、重要性等因素後，即可運用上述橋梁檢測評分資料及因素進行橋梁使用程度及狀況評估與統計，使各橋梁管理單位及中央主管機關對其所轄橋梁目前之結構安全與使用狀況有一全面性的瞭解。
- 3.蜿蜒型河道: 一般位於坡度平緩、流速緩慢河段，因河道輸砂量中大部分為細顆粒之泥砂，致河岸植生茂密而易淤積，使河流改變方向，或因地質條件之控制而致水流改向，而產生一系列之彎道深潭，其間以較短之直線段連接凹岸形成類似三角形之深潭，而凸岸則淤積形成砂洲，蜿蜒河段之流速緩慢，沖刷能力低。
- 4.辮狀型河道: 為由數條糾結的水體所組合而成的河道形式，一般位於坡度較陡且輸砂量大之河段，因坡度較陡而流速較大，以致帶動

大顆粒之砂石，當流量減小時，大顆粒砂石沉積於河床。當洪水來襲時，因河岸之砂石粒徑較小而常遭沖刷，致河道漸寬，而低流量時水量無法均勻分佈於整個斷面而流路分歧形成河中島。

- 5.感潮河段: 海水與淡水交界處的河段，其水文特性受逕流及潮汐動力作用影響，可分成淡水感潮段及海水入侵段。
- 6.側向侵蝕: 河川因天然或人為因素而致河岸（含低水河槽）產生與水流垂直（或近乎垂直）方向之沖刷，使河川擴大或移位。
- 7.向源侵蝕:指河床受水流侵蝕，河床下降由下游往上游方向發展，稱作向源侵蝕。
- 8.跌水、水躍:水流通過跨河構造物時，若上下游河床面存在一較大之高度落差，足以使上游水流通過落差處時，水流以自由堰流或潛沒堰流型式落至下游河床。
- 9.束縮沖刷:因水流之通水面積受阻擋變小，如河道束縮、橋基保護工局部區段破損流失而形成類似為合攏之隘口，阻礙水流順暢通過，引致流速變大與單寬流量增大，產生束縮沖刷效應，導致河道之刷深與河床局部下降。
10. 劇烈天氣監測系統:中央氣象局、經濟部水利署、農委會水土保持局及美國劇烈風暴實驗室自 2002 年起整合多重觀測資料並結合地理資訊發展劇烈天氣監測系統 QPESUMS（Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor），以提供即時性劇烈天氣監測資訊、過去 72 小時內高解析度之定量降水估計及 0~3 小時定量降水預報產品等。

第二章 沖刷檢測流程

C2.1 通則

為及早發現具高度沖刷潛勢橋梁並進行妥善之維護管理措施，應於各年度中運用適當之技術及方法，執行跨河橋梁之抗沖刷能力之評估作業。其各檢測時段之檢測項目內容及各項儀器檢測之使用時機需依據本規範(草案)第四章及第五章之項目及方法執行。檢測人員應於完成橋梁沖刷檢測作業後，針對具沖刷危險橋梁提出建議之處置方法。

C2.2 執行流程

1. 橋梁沖刷檢測主要分成目視檢測及詳細檢測兩個主要項目，依不同之沖刷檢測時段，將其分為五大層級，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，並可結構提供管理單位維修及補強之依據。

2.依上述之檢測層級，跨河橋梁於沖刷能力評估時，其檢測執行順序共分五大階段分項執行：

(1)年度汛期前檢測(對應檢測技術層級為三級檢測)。

(2)颱風事件前檢測(對應檢測技術層級為一級檢測)。

(3)颱風事件中檢測(對應檢測技術層級為零級檢測)。

(4)颱風事件後檢測(對應檢測技術層級為二級檢測)。

(5)年度汛期後檢測(對應檢測技術層級為四級檢測)。

依上述之檢測層級之分類如表 C2-2-1 所示，跨河橋梁面臨沖刷評估時，其沖刷檢各層級中所使用的各檢測種類於之使用時機，請參考表 C2-2-2。

3.零級檢測至四級檢測之檢測必要時皆可委由專業人員執行一級檢測四級檢測。

4.該年度被評估為具有中度、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。

- 5.若各橋梁管理單位原有之橋梁檢測流程、時機與本規範之檢測作業重疊，該單位可搭配同時執行本規範之檢測作業，例如縣市政府於颱風事件後可同時執行天然災害事件後特別檢測或巡查與颱洪事件後檢測。

C2.3 年度汛期檢測

- 1.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開始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。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。此階段必須進行詳細之儀器檢測(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。

- (3)本節提及之各項檢測方法之說明請參閱第四章沖刷潛勢評估方法。

C2.4 颱洪事件檢測

1.由颱風、洪水等引災害，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:橋梁於颱風來臨時，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』之評估結果是否有所改變，以做為颱洪事件中檢測之橋梁巡檢標準，其詳細執行流程說明請參閱 C7.4 節颱洪事件前檢測。
- (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，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，其詳細執行流程說明請參閱 C7.5 節颱洪事件中檢測。
- (3)颱洪事件後檢測: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。其詳細執行流程說明請參閱 C7.6 節颱洪事件後檢測。
- (4)本節提及之各項檢測方法之說明請參閱第四章沖刷潛勢評估方法。

第三章 橋梁沖刷潛勢評估指標與基本資料

C3.1 通則

橋梁基礎沖刷的指標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。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及相關分析研判，可有助於建立正確的檢測判斷。

C3.2 沖刷潛勢指標

1.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、蜿蜒型河道與瓣狀型河道，如圖 C3.2.1 所示。一般而言，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。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，河道平面則呈現瓣狀型態。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。

- (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，使得沖刷深度則減小。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。
- 2.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，對河川機能造成威脅及不利影響。因此，當河川處於沖刷下降時，必須要疏通上游泥砂供應，以及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，即可依照河道治理計畫及相關規範開放河川砂石開採。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)橋墩(基)與河川流向間之角度:由中橋墩(基)沖刷公式(1)、(2)、(3)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，會影響局部沖刷深度。
- (5)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。

C3.3 河川基本資料

1.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。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」(網址為 <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。

- (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。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)橋梁上下游水工構造物資料:監測橋梁上游之水工結構物包括了可影響橋梁沖刷潛勢區段內之橋梁，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。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:由橋梁上下游可影響橋梁沖刷潛勢區段內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。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。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。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。

C3.4 橋梁基礎基本資料

1.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其內容如下:

(1)承載土層資料: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：

(2)場址地質構造。

a. 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）。
 - b. 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、消散持久性等）。
 - (d) 相關工程性質（如：單軸抗壓強度...等）。
 - c. 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)。
 - d. 地下水位高程。
 - e. 必要時應包含場址坡地災害及土壤液化潛勢分析。
 - f. 河床沖刷回淤情況。
 - g. 其他不尋常之情況。
- (3) 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:
- a. 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）。
 - b. 歷年基礎檢測及維修補強紀錄表與圖說。

c. 基礎損傷或材料老劣化情況。

第四章 沖刷潛勢評估方法

C4.1 通則

跨河橋梁橋基沖刷潛勢評估方法共分為『目視檢測』及『詳細檢測』兩大項目，其中目視檢測包含 DER&U 評估、簡易沖刷潛勢評估以及現況記錄，如表 C4-1-1 所示；詳細檢測需包含詳細沖刷潛勢評估、沖刷深度及水位、流速檢測以及橋梁結構及河道斷面檢測，如表 C4-1-2 所示；其各項儀器檢測之使用時機需按照本規範(草案)第二章中規定之各檢測階段進行。

C4.2 DER&U 目視評估

1. 現行臺灣橋梁管理系統所使用之 DER&U 評估表內容主要是根據橋梁結構目視檢測所判定之損傷程度進行評分，雖與沖刷並無直接之關係，但橋梁下部構件之健全程度亦屬於影響沖刷潛勢高低因素之一，因此採用現有之沖刷穩定指標(SSI)，將 DER&U 評估項目中與橋梁下部構件、河道情形相關之六個項目之評分結果(如表 C4-3-7 所示)計算 SSI 值，以進行沖刷潛勢之評估。
2. 沖刷穩定指標評估所需之六個項目為：『河道』、『橋台基礎』、『橋台』、『橋墩保護設施』、『橋墩基礎』及『橋墩墩體』等項目，將其 DER&U 評分結果依照以下公式計算 I_c 值及 SSI 值，並將 SSI 值計算結果紀錄於表 C4-3-6 中。

$$I_c = \frac{\sum_{j=1}^n I_{c_{ij}}}{n}, \quad I_{c_{ij}} = 100 - 100 \times \frac{D \times E \times R^a}{4 \times 4 \times 4^a}$$

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

3. 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，若低於(含等於)85分以下，表示此橋之橋體構件狀況有較高的機會因沖刷而產生破壞。

C4.3 詳細沖刷潛勢評估

1. 詳細沖刷潛勢評估的使用時機為汛期開始之前，目的為根據橋梁及鄰近河川環境相關資料評估出此橋所具有之沖刷潛勢為何，進而訂定出該年度颱風事件中橋梁巡察可依據之『具有沖刷潛勢之橋梁清單』，詳細評估沖刷潛勢需搭配使用『跨河橋梁沖刷潛勢評估表』以及跨河橋梁資料記錄表』。『跨河橋梁資料記錄表』共分為橋梁基本資料記錄表、橋梁沖刷損害紀錄表、橋梁基礎資料表、橋梁整體環境表、橋梁週邊環境示意表等 5 個子項目：

- (1) 橋梁基本資料記錄表:如表 C4-3-1 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』、『下游測橋體』、『橋頭端上游測河岸』、『橋頭端下游測河岸』、『橋尾端上游測河岸』、『橋尾端下游測河岸』等六個位置之照片，其示意圖如圖 C4.3.1 所示，以及『主河道』、『保護工』...等。
- (2) 橋梁沖刷損害記錄表:如表 C4-3-2 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。
- (3) 橋墩基礎資料表:如表 C4-3-3 所示，為得知橋梁基礎尺吋、深度以進行相關沖刷潛勢評估，如同於『C3.3 河川基本資料』中所提及之可輔助沖刷潛勢評估所需之資料蒐集項目，橋梁與其保護工之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，但若因橋齡老舊而相關竣工圖資不存在者，則建議特別標記另外進行相關非破壞檢測(地電阻、超震法等方法)，並將其檢測結果記錄。

(4)橋梁整體環境表:如表 C4-3-4 所示，同 C3.2 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。在此建議使用之圖資的種類可為航照圖或衛星圖。

(5)橋梁週邊環境示意表:如表 C4-3-5 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，使人員可更輕易的從此示意圖掌握整體河川及橋梁之現況。

2. 『跨河橋梁沖刷潛勢評估表』如表 C4-3-6 所示，跨河橋梁沖刷潛勢評估表內容包含資料記錄項目、室內評估項目及現地評估項目等三大項目：

(1)資料記錄項目:資料記錄項目中共包含 5 項沖刷潛勢評估所需之基本資料記錄，其為『橋梁竣工圖』、『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』以及『歷史災損情形』。

a. 橋梁竣工圖:為得知橋梁基礎尺吋、深度以進行相關沖刷潛勢評估，可由以收集到的跨河橋梁資料記錄表中之橋墩基礎資料圖(表 C4-3-3)取得相關資訊，但若因橋齡老舊而相關竣工圖資不存在者，則建議特別標記另外進行相關非破壞檢測(地電阻、超震法等方法)，並將其檢測結果記錄。

b. 結構穩定度分析成果:如同『C7.2 結構穩定度』之內容進行相關計算，已得到各種狀況下之臨界基礎沖刷深度、臨界水位高度。

c. 衛星影像或航照圖:為判斷橋梁本身與河川上下游地形之各項相互影響而造成沖刷之結果，例如河川流向與橋梁之夾角、橋梁是否位於河道彎曲或束縮處、橋梁上下游是否有攔砂設施，可由以收集到的跨河橋梁資料記錄表中之橋梁整體環境

表(表 C4-3-4)取得相關資訊。

- d. 河床斷面測量或相關報告:為判斷橋址處歷年河床斷面之變化、三年內河床降低幅度、計畫洪水位、主河道寬度以及計畫河道寬度等，進而判斷主河道之歷年變化，以輔助各項水文水理分析以及沖刷潛勢之評估，如『C3.3 河川基本資料』中所提及河道量測資料。
 - e. 歷史災損及沖刷最嚴重情形:為有效掌握橋址處之曾發生之嚴重災損情形以及沖刷最嚴重情形及位置，必需其曾發生之時間、位置及嚴重程度確實記錄，同時確認曾發生損壞之位置是否已改善完成。
 - f. 沖刷相關構件之評分:與沖刷相關之結構構件損傷程度亦與抗沖刷能力相關，因此根據 C4.2 節中提及之 SSI 指標計算所需之六項 DER&U 評分項目，紀錄其 DER&U 評分結果。
- (2)室內評估項目:其主要為根據『資料記錄項目』中所紀錄的各項輔助參考資料，以便橋檢人員於室內先行進行部分沖刷潛勢項目之評估，其中包含『上游攔河堰或水庫等設施』、『基礎型式』、『橋梁是否位於河道彎曲處或束縮處』、『河床下降情形』、『河床材料』以及『主河道位置』等項目，其各項目詳細評估說明如表 C4-3-7 第 6~12 項目所示。
- (3)現地評估項目:其為較易在每次颱風事件後而產生改變之項目，因此除了在洪汛期前必需前往橋梁現地實際目視觀察或量測後所進行填寫之外，每次颱風事件發生前亦必須前往現地重新評估填寫。其中包含『跌水效應』、『橋墩(基)方向與河川流向間之角度』、『阻水面積比 RA』、『基礎裸露程度』、『橋墩阻水情形』以及『下部構件健全度』、『護岸工現況』、『護床工現況』等項目，其各項目說明如表 C4-3-7 第 13~20 項目所示。
- (4)依據目前 25 座橋梁之實際驗證結果，橋梁經『跨河橋梁沖刷潛

勢評估表』評估結果若分數低於 20 分，則可列為低度沖刷潛勢橋梁；評估結果若分數介於 20~40 分，則可其列為中度沖刷潛勢橋梁；評估結果若分數高於 40 分，則可列為高度沖刷潛勢橋梁。

3. 『跨河橋梁沖刷潛勢評估表』中具有◆符號之項目屬於直接判斷具沖刷潛勢之項目，其說明如下所示：

(1)項次 5.歷史災損及沖刷最嚴重情形，紀錄該橋梁是否已改善嚴重受損之現況。

(2)項次 10.河床下降情形，判斷該橋梁之河床下降情形經由公式計算結果權數是否大於 1。

(3)項次 12.主河道位置，判斷河道位置是否距離橋台 5 公尺以內。

(4)項次 16.基礎裸露程度，判斷該橋若為沉箱或樁基礎型式，其裸露程度是否超過 1.5 倍容許裸露深度或是基礎裸露比大於 40%；該橋若為淺基礎型式，其是否已有基礎裸露情形發生。

(5)檢測員意見填寫部分，經檢測人員判斷該橋是否有具備其他可能之沖刷潛在危害因素。

4. 一但橋梁經本表評估過後具有滿足◆符號條件之項目，即可直接將此橋梁列入具有沖刷潛勢之橋梁清單中，作為颱風事件中橋梁巡檢之依據。

C4.4 簡易沖刷潛勢評估

1. 簡易沖刷潛勢評估需搭配使用『跨河橋梁沖刷潛勢評估表』表 C4-3-6，根據年度汛期前檢測所填寫之該表格『資料評估項目』及『室內評估項目』填寫結果，重新於橋梁現地填寫『現地評估項目』，其檢測時機為颱風事件發生前，為再次的確認於詳細沖刷潛勢評估中所訂定之『具有中、高度沖刷潛勢之橋梁清單』中橋梁之潛勢現況，進一步更新颱風事件中橋梁巡檢之清單。

C4.5 橋梁巡檢

1. 評估為具有『中度沖刷潛勢』及『高度沖刷潛勢』之橋梁於颱風事件中第一階段之檢測必須要執行橋梁巡檢作業，巡檢人員需搭配使用『颱風事件中橋梁狀況紀錄表』(如表 C4-5-1 所示)以進行封橋與否之判斷，巡檢時檢測人員必須步行於橋梁內以『目視檢測』為主要評估之手段。
2. 檢測人員可自行視天氣狀況與作業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及拍照存證。
3. 『颱風事件中橋梁狀況紀錄表』主要分為『觀測值』、『警戒指標』以及『封橋指標』等三大項目：
 - (1) 『觀測值』項目中需記錄上游特徵雨量值、上游特徵雨量站水位高度、劇烈天氣監測系統預測未來 1 小時之降雨量值以及橋址處水位高度。
 - (2) 『警戒指標』中需判斷是否有出現跌水或水躍變化現象、是否有河道淤積情形、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以及達到警戒水位、流速、特徵雨量值之情形發生。一般沖刷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；高潛勢橋梁經檢測員巡檢後，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) 『封橋指標』中需判斷是否有水位到達封橋水位或行動特徵雨量值、出現大面積之束縮沖刷情形、橋台橋墩發生傾斜下陷情形、橋墩迎水面完全為浮木掛淤、伸縮縫有變位情形或橋面板、大梁出現明顯裂縫、橋梁出現異常之由構件摩擦引至之聲響、橋梁出現異常大幅度之垂直振動或是水流向之振動情形之發生。一般沖刷潛勢橋梁及高度沖刷潛勢橋梁經檢測員巡檢後，若本表出現任一封橋指標項目，則建議立刻該橋進行封閉。

(4)檢測人員於現場可搭配數位相機、數位攝影機、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。

C4.6 沖刷深度及水位、流速檢測

1. 『沖刷深度及水位、流速檢測』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。
2. 相關直接沖刷深度檢測方法有測深尺、重錘式沖刷檢測、聲納、透地雷達以及地電阻等，可用儀器直接量測相關物理量之方式得知現階段之橋墩沖刷深度，其詳細內容請參閱本規範 C5.4.3 節沖刷深度檢測之說明。
3. 間接沖刷深度檢測方法則有橋墩振動量測法，其目的為收集橋梁長期沖刷振動頻率，特別是包含洪水前後之振動頻率，藉以瞭解橋梁墩柱因洪水沖刷造成其結構頻率改變之長期變化趨勢，其詳細內容請參閱本規範 C5.4.4 節。振動檢測之說明。
4. 相關直接量測水位及流速，儀器直接量測相關物理量之方式得知流速及水位，其詳細內容請參閱本規範 C5.4.1 節水位檢測以及 C5.4.2 節流速檢測之說明。

C4.7 橋梁結構及河道斷面檢測

1. 『橋梁結構及河道斷面檢測』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。
2. 橋梁基礎長度及完整性相關之檢測方法有透地雷達檢測法、地電阻影像剖面探測法以及超震法，其詳細內容請參閱本規範 C5.3.1 節透

地雷達檢測、C5.3.2 節電阻率影像剖面探測(Resistivity Image Profiling, RIP)以及 C5.3.3 節超震波檢測之說明。

- 3.河道斷面之量測方法有一般傳統人員斷面高程量測方式，以及三維雷射掃描方式。其詳細內容請參閱本規範 C5.5.1 節傳統河道斷面檢測、C5.5.2 節三維雷射河道斷面掃描之說明。
- 4.混凝土構件材料之檢測方法有氯離子含量檢測、中性化檢測、腐蝕檢測以及鹼粒料反應檢測，所得結果為進行結構混凝土劣化現況診斷之用，各方法選用之時機與合理性需審慎考量。其詳細內容請參閱本規範 C5.2 節材料檢測之說明。

第五章 檢測技術

C5.1 通則

關於各項檢測技術之施作，需根據本規範所訂定之各個階段的沖刷檢測之不同的檢測技術需求而進行，整體而言可參考圖 C7.3.1~圖 C7.4.4 之檢測流程圖執行。其中屬於橋墩基礎深度、型式記錄需求的檢測部分，當完成紀錄後即不再有重複施作之需求；然而其他項目的檢測則是視其對應之檢測時機或是沖刷潛勢評估表格中特別註明而執行。其相關詳細施作原理、方法及步驟請參閱中國土木水利工程學會出版之『橋梁檢測方法及應用』。

C5.2 材料檢測

1. 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，固有必要進行橋梁結構的材料檢測，主要是評估橋梁構件材料現階段的劣化程度是否會影響其抵抗洪水之能力，故在本規範中建議以氯離子含量檢測、中性化檢測、腐蝕檢測、鹼粒料反應檢測等檢測方法進行材料檢測。

C5.3 橋梁基礎檢測

1. 橋梁基礎檢測主要是針對橋墩基礎之尺吋、型式進行檢測，其檢測執行與否可依據跨河橋梁沖刷潛勢評估表中第一項『橋梁竣工圖』中『Hp(橋基貫入深度)未知，需進行非破壞檢測』是否有被勾選而決定，可視橋梁現場狀況不同而選用不同之檢測方式，在本規範中建議以透地雷達檢測、電阻率影像剖面探測以及超震法進行橋梁基礎檢測。

C5.3.1 透地雷達檢測

- 1.透地雷達簡稱 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，其具有高解析度且測勘迅速的優點。
- 2.透地雷達於野外現地施測的方式，一般較常使用的方法有四種：
 - (1)水平剖面法:此為野外施測最普遍的方法，其特色為接收天線與發射天線之間距固定不變，以等支距移動施測，可直接反應地下形貌，整組天線沿著施測方向移動即可，所得到的剖面可直接反應探測體內部構造。天線配置如圖 C5.3.1 所示，施測時所應設定的參數包括使用頻率、天線間距、天線組移動距離、天線排列方式、時間視窗及疊加次數等，可依野外施測實際狀況進行調整。
 - (2)中點施測法:其目的為求得介質速度，以便將水平剖面法所測得之時間軸深度，換算成真實的深度。同中點施測方式之特色為發射天線與接收天線以其共同中點向外逐漸作對稱展開施測，可反應發射天線與接收天線之中點下的介質速度訊息。
 - (3)雷達井測法:井測透地雷達進行井下探測，井孔壹至貳口，探勘目標為橋墩基礎深度位置判定。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，若利用於井內，則為井測雷達。

- (4)為斷層掃描法:發射天線與接收天線在待測物兩側，並不在一直線上，目的在探測結構物內部異常。
- 3.透地雷達測勘之實施步驟可為三，即儀器天線頻率選擇、透地雷達施測方式及資料處理，以下將針對這三大部分說明。
- (1)儀器天線頻率選擇：選擇適當天線頻率，以得到最佳解析與深度。
- (2)透地雷達施測方式：水平剖面法、斷層掃描法與雷達井測法。根據不同待測物而選擇適當施測方法。施測時所應設定的參數包括使用頻率、時間取樣間隔、天線組移動距離、天線排列方式、時間視窗及疊加次數等，可依野外施測實際狀況進行調整。
- (3)資料處理：透地雷達施測成果的好壞與施測地點的位置有關，若施測地點的地面障礙物很多或電磁波干擾很強，則所得到的電磁波訊號易夾雜雜訊，而使真正的訊號會被頻率較小且波長較大之雜訊所遮蓋，因此須靠資料處理的技術將雜訊去除而放大訊號，使得真正訊號顯現出來。本規範中所建議之資料處理項目，包括：初達波拉平、頻譜分析、振幅衰減補償、低頻濾波（Dewow）、帶通濾波、速度分析。

C5.3.2 電阻率影像剖面探測(Resistivity Image Profiling , RIP)

- 1.電阻率影像剖面探測法是以直流或低頻交流電，流經一對電極稱為電流極(圖 C5.3.6 中的A與B)通入地層，又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，故可藉由量測地層的電阻率的不同來研判地層的岩性或探測地層內的異常體如管線、橋墩基礎等。通常電阻率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质，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。

2. 電極排列方式:常用的電極排列共有二極排列、雙偶極排列、三極排列、溫奈-施蘭卜吉...等。
3. 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。
4. 施作步驟如下:
 - (1) 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。
 - (2) 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。
 - (3) 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。
 - (4) 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。
 - (5) 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。

C5.3.3 超震波檢測

1. 超震波檢測法為在待測之橋梁基礎一側依線型佈設一個或多個等間距之接收器，再利用重錘錘擊在橋柱或橋墩表面產生小型的人造震波，震波向下傳遞並在橋梁基礎材料(通常為鋼筋混凝土)與地層(砂/土/礫石/岩盤...等)界面因聲波阻抗變化產生反射震波，記錄直達與反射波列，並推算反射波起始位置或深度，藉此推估待測橋梁基礎深度。超震波法依施測幾何排列可以區分為垂直型剖面施測或水平

型剖面施測，施測示意分別如圖 C5.3.8 及圖 C5.3.9。

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，茲分別說明如次：

(1)受波器：電磁式速度型或加速度型受波器，單軸或3軸向皆可，以3軸向較佳。

(2)重錘。

(3)震測電纜：多波道精製震測專用電纜。

(4)觸發器：將其固定在重錘握柄，重錘擊地時產生振動觸發啟動震測儀開始記錄。

(5)全功能震測記錄系統。

3.施作步驟如下：

(1)受波器佈置:

a. 垂直型剖面施測-將多個受波器(或一個)以平行基樁軸線方向等間距設置於基樁側邊。

b. 水平型剖面施測-將多個受波器(或一個)以垂直基樁軸線方向等間距設置於樁冒或基礎平面上。

(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。

C5.4 沖刷狀態檢測

沖刷狀態檢測主要為輔助在颱風事件發生當下封橋與否的判定，各項檢測所使用之儀器設備，除長期固定於現場之儀器設備外，其餘各項需由檢測人員攜帶至橋梁現場操作之設備，必須在橋梁現場狀況滿足本規範 C4.5 節第一條所規定之條件下，始能進行作業。

C5.4.1 水位檢測

1. 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. 儀器設備：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。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 C5.4.1 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，鏈之下端吊一重鏈與水面相觸，可在水平板上讀得水位，如圖 C5.4.2 (a)所示。
- b. 鈎水尺：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，下端裝有鐵質倒鈎，框架上設游尺，讀數自下而上，由水面與鈎尖相觸可讀水位高度，如圖 C5.4.2(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，另一端裝置重鏈，浮標隨水位漲落移動，便可自鋼尺上讀水位高度，如圖 C5.4.2(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錘，垂直懸吊至接觸水面，以測量水位高度，如圖 C5.4.2 (d)所示。

3. 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 C5.4.3 (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 C5.4.3(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 C5.4.3(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。

(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 C5.4.4 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。

4. 施作步驟：

- (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。

C5.4.2 流速檢測

1.傳統的旋杯式流速儀是目前最被廣泛使用流速量測儀器，其主要是由流速儀及轉數計數器等所組成，至於其附屬之輔助儀器則依據量測方式，如涉水量測、吊索量測等不同而有所不同。目前為達到量測自動化的目的，則已逐步視情形開始使用如聲波杜普勒流速剖面儀量測河川水流速度及水深。

2.儀器設備：

(1)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及豎軸流速儀：

(2)聲波杜普勒流速剖面儀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，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，即可量測得水流的速度。聲波杜普勒流速剖面儀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。

(3)聲波全斷面式流速儀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。其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。

(4)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以確定其移動位置，便可獲得表面流速。

(5)脈衝式微波雷達流速儀:流動的自由水面上因風力作用或水流本身紊流作用，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效應，獲得水流表面毛細波之速度，視為水流表面流速。

3. 儀器比較

上述五種流量觀測儀器，針對儀器操作方式、即時性、量測範圍與精度、人力需求、危險性、機動性及耐用性所進行之比較如表 C5-4-2 所示。

C5.4.3 沖刷深度檢測

1.除了傳統的重錘式沖刷深度計外，在河水面上可利用聲納、透地雷達或地電阻法(參考 C5.3.1、C5.3.2)，可得一連續水底起伏剖面，並將橋梁基樁所在位置的河床剖面完整描繪出來，以判定橋梁基樁被河水沖刷之情形。

2.儀器設備

(1)重錘式沖刷探測計之原理是藉由重錘自由落下時牽引一捲取器，此捲取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 C5.4.8 所示。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。重錘式沖刷深測計的構造簡易，價格便宜，可求得測量當時之沖刷深，然無法推算最大沖刷深度，且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

請參考本規範 C5.5.3 聲納檢測。

(3)透地雷達

請參考本規範 C5.5.4 透地雷達檢測。

C5.4.4 振動檢測

1.結構體振動反應能表現出系統本身之整體特性，以及間接反映出系統邊界條件之變化，故可利用振動量測作為橋墩基礎沖刷裸露檢測之輔助技術。當橋墩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，將造成基礎之垂直向與側向承載能

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 C5.4.10 所示^[13]，因而導致橋墩基礎之整體穩定性降低。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如圖 C5.4.11 所示^[14]。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；而由水平位移反應則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。在此需特別注意的是，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。

2. 建議之儀器設備如下：

(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 0.2~0.3 cm/s 左右，加速度可達 5~10 cm/s² 左右，橋面版中點之振動量更大，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程度，以提供合理之解析度與量測範圍。此外宜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，其中又以前者較為適合，因發電機之運轉可能會造成振動而影響量測品質。

3.振源種類:

(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. 量測方法: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 C5.4.14 所示。進行檢測時，建議同時量測水平車行方向、水平橫向、與垂直向等三方向振動，以完整掌握結構行為，藉此對橋墩基礎狀態作合理之評估。

5. 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。

6. 振動資料分析:

在橋梁振動檢測所量測資料之分析方面，由於時間域中常不易直接判斷振動歷時資料之頻率特性，因此宜進行頻譜分析，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(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：

$$V(f) = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) e^{-2\pi ift} dt \quad (C5.4.4.1)$$

- 7. 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 的幕次，利用方陣特性以降低所需運算次數。圖 C5.4.15 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。
- 8. 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。

C5.5 河道斷面檢測

河道斷面相關量測資料除了透過定期內政部水利署相關的測量成果報告之外(如本規範 C3.3 節中之說明)，針對於較高沖刷潛勢之橋梁建議額外以每年度一次之頻率進行橋址處河道斷面之檢測。其河道斷面檢測之方法除了傳統的河道斷面量測方法外，另外亦建議以三維雷射掃描、聲納檢測以及透地雷達檢測等方式進行。

C5.5.1 傳統河道斷面檢測

1. 控制測量應在測量區周圍與測量區內佈設足夠之控制點，精確測定其水平位置及高程，計算出正確之座標，以作為後續測量之依據。控制測量包括平面控制與高程控制。
2. 平面控制測量以採用三角點為主，應以內政部公佈之臺灣地區一等、二等或三等三角點為根據，進行控制點測量，其方式有：
 - (1) 引用之三角點或圖根點應先行檢測三等以上 TWD97 或 TWD67 座標系統控制點三點以上，其邊長偏差不得大於 $0.02m+5ppm \times L$ 。其中 L 為邊長(單位公尺)，確實未移動方可採用。
 - (2) 採用 GPS 靜態或快速靜態方式施行三角測量、圖根點測量或斷面基樁測量者，其邊長偏差不得大於 $0.04m+8ppm \times L$ 。其中 L (單位公尺)為邊長。
 - (3) 須製作全區控制點網圖。
3. 高程控制測量以採用水準點為主，應以內政部公佈之臺灣地區一等水準點為根據，進行控制點測量，其方式有：

- (1) 引用水準點檢測，採用內政部一等水準點檢測高程，需檢測三點以上，每一測段至少應往返觀測各一測回，檢測平均高差與原已知水準點高差，其誤差應小於 $7\sqrt{k}$ 毫米(k 為水準測量路線長度公里數)，作為引用水準點。
 - (2) 由一等水準點以精密電子水準儀或一般水準儀施測直接水準至測區適當地點設置水準基樁，作為計畫高程控制之依據。每一測段至少應往返觀測各一測回，每測段誤差應小於 $7\sqrt{k}$ 毫米。
 - (3) 由水準基樁或臨時水準點引測至各排水斷面點，可來回施測或由已知水準點閉合至另一水準點，但其誤差應小於 $7\sqrt{k}$ 毫米。
 - (4) 直接水準前後視距離應約略相同，以不超過 60 公尺為原則。
4. 各控制點經測量後需計算其位置座標，目前臺灣地區常採用之座標系統為 TW67 及 TW97 座標。
 5. 河道橫斷面測量應以所設斷面樁為基準，測定每一橫斷面之距離與高程並製作河道橫斷面圖。
 6. 為求河道橫斷方向之形狀，河川治理規劃時需辦理河道橫斷面測量，即就每一斷面樁沿河川橫斷方向測定距離與高程，以製作河道橫斷面圖。
7. 斷面樁埋設:
 - (1) 基樁埋設分石樁基樁、水泥基樁、鋼釘樁或木樁視各種測量需要應依招標文件規定埋設，並拍照及建立「點之記」備考。
 - (2) 水準基樁以觀音石或花崗石為準，規格為 12×12×45 公分，頂端中央突出半圓弧並刻十字，上端分別刻字（單位、年月、編號等）塗紅漆。斷面基樁得採用水泥基樁、規格為 12×12×60 公分，頂端中央刻十字或嵌入鉚釘兼做水準點替代用，上端分別刻字（單位、年月、編號等）塗紅漆。特殊地點得以鋼釘樁替代，鋼釘樁長度至少五公分以上。

8. 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。
9. 橫斷面圖比例尺，依河川大小而定，一般以縱方向 1/100~1/500，橫方向 1/100~1/5000 為準。
10. 橫斷面測量斷面間距原則，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、攔河堰或較大橋梁（需增測上橫斷面及下橫斷面）等需測量橫斷面。
11. 橫斷面應涵蓋河道兩岸延伸可作河道計畫之範圍。

C5.5.2 三維雷射河道斷面掃描

1. 三維雷射掃描儀能在短時間內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三維點位的儀器，亦可搭配儀器自行發射之雷射光源，在黑暗中即可作業。
2. 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（如圖 C5.5.1 所示）。
3. 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、橋梁等，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。

4.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。

5.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。

6.施作步驟：

- (1)尋得適當可通視標的地點。
- (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。

C5.5.3 聲納檢測

1.為了要觀察河床地形起伏的分布，聲納回聲探測儀是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。

2. 聲納(Sonar)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，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。

3. 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。其工作示意圖如圖 C5.3.5 所示。

4. 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

5. 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；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。

(2)等深線圖的描繪，將所收集之水深資料繪製等深線，水深資料不足處以內插計算的方式補齊再進行繪圖，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。的干擾。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，非必要需同時使用時。

C5.5.4 透地雷達檢測

- 1.透地雷達法運用於河床斷面量測較傳統河床量測方式具有便捷性、準確性之特性，因此可採用此法進行河川斷面量測。
- 2.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。透地雷達測量沖刷深度如圖 C5.4.9 所示。

第六章 橋梁穩定度評估與封橋作業

C6.1 通則

橋梁結構穩定度之評估可針對具有高度沖刷潛勢之橋梁進行，確保該座橋梁具有足夠之抵抗力，首先以『簡易穩定度評估法』進行初步的橋梁穩定度檢核，若其檢核結果接近臨界破壞破壞狀態時，則須另外以『詳細穩定度評估法』進行檢核，求得橋梁各項可能之臨界值(如臨界沖刷深度、臨界水位高或臨界流速)。此外於本章節中所建議之洪水時封橋作業程序為根據公路總局所頒布之封橋作業程序標準。

C6.2 結構穩定度評估

1. 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)」^[1]所建議之水流作用力、漂流物撞擊力、與土石流撞擊力等計算公式。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。
2. 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，檢核程序整體而言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。

C6.2.1 簡易外力評估

1.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；其他結構體之重量，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」^[2]，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 時或是桁架與拱的單位面積所受風壓為 580 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 1.8 以上的風力 240。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」^[2]，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(C6.2.1.1)計算之

$$P_{avg} = 52.5K(V_{avg})^2 \quad (C6.2.1.1)$$

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。

2.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」^[3]之規定，漂流物對橋基之衝擊力的估算方式可表示如公式(C6.2.1.2)。

$$P = 0.1 W_w \cdot v \quad (\text{ton}) \quad (C6.2.1.2)$$

其中：

W_w ：流木之重量(ton)。

v ：表面流速(m/sec)。

C6.2.2 簡易穩定評估法

1. 簡易穩定評估法依據橋基保護工規範(草案)^[1]及蔡益超(2006)^[4]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 C6.2.1 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，土壤反力包括基礎土壤反力(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。

a. 土壤反力計算:

- (a) 基礎土壤反力: 可依「建築物基礎構造設計規範」說明，按公式(C6.2.1.6)計算之：

$$R = W / A_f \quad (\text{C6.2.1.6})$$

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: 可依「建築物基礎構造設計規範」說明，按公式(C6.2.1.7)計算之：

$$F = A c_a + N \tan \delta \quad (\text{C6.2.1.7})$$

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着力。

δ 為基礎底版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，可分別依公式 (C6.2.1.8) 和公式 (C6.2.1.9) 計算之：

$$P_a = \gamma' z K_a - 2c' \sqrt{K_a} \quad (\text{C6.2.1.8})$$

$$P_p = \gamma' z K_p + 2c' \sqrt{K_p} \quad (\text{C6.2.1.9})$$

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 (C6.2.1.10) 及公式 (C6.2.1.11)。

$$K_a = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (\text{C6.2.1.10})$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (\text{C6.2.1.10})$$

b. 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」^[5]中第 4.3 節說明辦理之。

(b) 基礎抗傾倒檢核，可依「建築物基礎構造設計規範」^[5]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) 基礎抗滑動檢核，可依「建築物基礎構造設計規範」^[5]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 C6.2.2 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。

a. 群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」^[5]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」5.4 節之說明。

b. 群樁基礎簡易穩定評估如圖 C6.2.2 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：

$$R_p = \frac{P}{n \times m} \quad (\text{C6.2.1.12})$$

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

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (\text{C6.2.1.13})$$

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：

$$I = \sum_{i=1}^{n \times m} A_i d_i^2 \quad (\text{C6.2.1.14})$$

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 C6.2.1.13 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，最外側基樁在有效沖刷面所產生之總軸力 R 如下：

$$R = R_p + R_M \quad (\text{C6.2.1.15})$$

若此時埋在土中之基樁長度已知，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：

$$SF = \frac{Q_u}{R} \quad (\text{C6.2.1.16})$$

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 C6.2.3 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。

a. 沉箱基礎承載力

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」^[5]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 C6.2.4 所示，可依下式計算：

$$A_{eff} = r^2(\alpha - \cos\alpha \sin\alpha) \quad (C6.2.1.17)$$

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 C6.2.5 所示，依此有效面積乘以土壤極限支承應力 (參考「建築物基礎構造設計規範」^[5]) 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，將於之後文詳述之。

b. 沉箱基礎簡易穩定評估

(a) $h_{left}/D > 1.3$

如圖 C6.2.6 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_{cl} 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。

$$x_{c2} = \frac{1}{2} x_{c1} \quad (C6.2.1.18)$$

$$F_{c1} = K_H \times D \times x_{c1} \quad (C6.2.1.19)$$

$$F_{c2} = K_H \times D \times x_{c2} \quad (C6.2.1.20)$$

$$F_H = K_S \times A_p \times x_{c2} \quad (C6.2.1.21)$$

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支地盤反力係數(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」^[5]6.6 節之說明決定。

由 $\sum F_x = 0$ 可列出下式

$$F_w + F_p + F_c - \frac{1}{2}(2F_{c2})\left(\frac{2}{3}h_{left}\right) + \frac{1}{2}F_{c2}\left(\frac{1}{3}h_{left}\right) + F_H = 0 \quad (C6.2.1.22)$$

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

$$M = F_W(h_w + h_p + h_c) + F_P\left(\frac{h_{pw}}{2} + h_c\right) + F_c\left(\frac{h_c + h_{left}}{2}\right) - \frac{1}{2}F_{c2}h_{left}^2 \quad (C6.2.1.23)$$

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

(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 C6.2.7 所示，旋轉中心至沉箱頂的距離 h_r 就可求得，則：

$$x_{c2} = \frac{h_c - h_r}{h_{left} - h_c + h_r} x_{c1} \quad (C6.2.1.24)$$

$$F_{c1} = K_H \times D \times x_{c1} \quad (C6.2.1.25)$$

$$F_{c2} = K_H \times D \times x_{c2} \quad (C6.2.1.26)$$

$$F_H = K_S \times A_P \times x_{c2} \quad (C6.2.1.27)$$

由 $\sum F_x = 0$ 可列出下式

$$F_W + F_P + F_c - \frac{1}{2}F_{c1}(h_{left} - h_c + h_r) + \frac{1}{2}F_{c2}(h_c - h_r) + F_H = 0 \quad (C6.2.1.28)$$

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

$$M = F_w(h_w + h_p + h_c) + F_p\left(\frac{h_{pw}}{2} + h_c\right) + F_c\left(\frac{h_c + h_{left}}{2}\right) - \frac{1}{6}(F_{c2} + 2F_{c1})h_{left}^2 \quad (C6.2.1.29)$$

(c) $h_{left}/D < 0.3$

當 h_{left}/D 小於 0.3 時，旋轉中心將降沉箱抵以下。如圖 C6.2.8 所示，旋轉中心至沉箱頂的距離 h_r 就可求得，則：

$$x_{c2} = \frac{h_r - h_c}{h_{left} - h_c + h_r} x_{c1} \quad (C6.2.1.30)$$

$$F_{c1} = K_H \times D \times x_{c1} \quad (C6.2.1.31)$$

$$F_{c2} = K_H \times D \times x_{c2} \quad (C6.2.1.32)$$

$$F_H = K_S \times A_p \times x_{c2} \quad (C6.2.1.33)$$

由 $\sum F_x = 0$ 可列出下式

$$F_w + F_p + F_c - \frac{1}{2}(F_{c1} + F_{c2})h_{left} - F_H = 0 \quad (C6.2.1.34)$$

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

$$M = F_w(h_w + h_p + h_c) + F_p\left(\frac{h_{pw}}{2} + h_c\right) + F_c\left(\frac{h_c + h_{left}}{2}\right) - \frac{1}{6}(F_{c2} + 2F_{c1})h_{left}^2 \quad (C6.2.1.35)$$

C6.2.3 詳細穩定評估方法

1. 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)^[1]，其係以適當之數值分析模式，詳細計算沉箱基礎與樁基礎之承載行為，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 C6.2.9 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。

a. 沉箱基礎與土壤互制計算，可採用一般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」^[5]第 6.6 節說明。

b. 穩定評估項目

(a) 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」^[5]中第 6.4 節說明。

(b) 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」^[5]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，可依「建築物基礎構造設計規範」^[5]規定辦定，工程應用上容許傾斜角一般採用 0.5 呎度。

(2) 樁基礎

樁基礎之分析模型(如圖 C6.2.10 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。針對受沖刷樁基礎之穩定分析，應特別檢核基樁承载力、基樁水平位移、基樁撓曲與剪力破壞、基樁挫屈破壞等項目。

- a. 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，可採用一般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：

$$k_h(y_1) = 0.34(\alpha E_0)^{1.1} D^{-0.31} (EI)^{-0.103} \quad (C6.2.1.36)$$

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：

$$k_h(y) = k_h(y_1) \left(\frac{y}{y_1}\right)^{-0.5} \quad (C6.2.1.37)$$

b. 穩定評估項目

- (a) 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」中第 5.3 節和第 5.4 節說明。
- (b) 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) 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 C6.2.1.38：

$$V_u = 0.53\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{C6.2.1.38})$$

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 C6.2.1.39~公式 C6.2.1.41 計算樁身開裂彎矩。

$$I_e = I_p \quad (M < M_{cr}) \quad (\text{C6.2.1.39})$$

$$I_e = I^{\text{II}} + (I^{\text{I}} - I^{\text{II}}) \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^3 \quad (M_{cr} < M < M_u) \quad (\text{C6.2.1.40})$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_p}{y_t} \quad (\text{C6.2.1.41})$$

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) 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。

C6.3 封橋作業

1. 橋梁管理單位可依照該單位原訂之相關封橋作業流程執行，若該單位不具備相關流程規定，可參考本規範建議之封橋作業流程執行。

2. 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 12 月頒布實施之封橋標準作業程序為主體(如圖 C6.3.1 所示)，並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。
3. 颱風期間於現場勘查判斷橋梁是否封橋所需之相關整備之工作包含準備封橋所需之設備、即時雨量、水位與潮位的查詢、河川上游雨量站之降雨觀測指標之追蹤、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。
4. 研判是否進行封橋之作業的重點整理如下：
 - (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以及河川上游雨量站之降雨觀測指標，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、警政單位之通報；(b) 或上游水利設施管理單位之放水通報；(c) 養路單位巡查或網路監看(預警系統或河川水位)之回報；(d) 氣象局發布陸上颱風警報或上游集水區發布大豪雨特報。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) 當水位達封橋標準或河川上游雨量站之降雨觀測指標達設定值時，需進行封橋程序。
 - (6) 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、伸縮縫有變位，橋台、橋墩有傾斜、下陷及土石淹沒之異常狀況或其他部位有異樣時。

- b. 觀察橋基附近水流流況如有異常（如河川流速湍急、橋梁上下游側突然產生水躍、繞流、跌水及向源或側向侵蝕 … 等）或有異常河床變動時（如河床地質不佳或橋基裸露嚴重）。
- 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。
- d. 夜間無法辨識水流狀況時亦得以封橋。

(7)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。

5.進行封橋時需依橋梁重大災情搶救作業流程處理，如圖 C6.3.2^[6]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。
- (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，以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^[7]：

- a. 水位上漲或橋面有異樣認定需封橋時，通報聯繫各相關單位。
 - b. 警察單位接獲通報趕抵橋梁兩端執行交通管制，啟動第一階段封橋作業，以警示帶、交通錐及警示燈封橋；封橋後續觀察水位及檢視橋面狀況，並與警方共同執行交通管制。
 - c. 於第一階段封橋完成後，緊接第二階段作業，第二階段封橋為佈設充水式護欄，護欄排列完成後由水車灌注。
 - d. 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。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。
 - e. 三道警戒線佈設完成後，持續配合警方執行交通管制，以及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。
- 6.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，亦須以觀察橋墩沖刷的情形，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。封橋後處置與撤封作業重點整理如下：

(1)當封橋原因消失，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，至中央氣象局解除陸上颱風警報時撤除。

第七章 檢測評估作業執行

C7.1 通則

本規範所適用之檢測對象為搭配臺灣橋梁管理系統(TBMS)中一般之公路跨河橋梁，其它如鐵路橋梁、高鐵橋梁以及高速公路橋梁並不適用於本規範。本規範定義之檢測將以每年度為一檢測週期，每年橋梁完成檢測後，相關檢測結果可回饋臺灣橋梁管理系統中各橋梁基本資料表之『河川資料』及『結構資料』進行更新。

C7.2 基本資料收集

- 1.每年度開始在執行各項汛期前檢測及評估之前，查明本規範第三章中所定義檢測及評估所需之各項沖刷潛勢評估指標(見本規範 C3.2 節至 C3.4 節)或是沖刷潛勢評估表填寫所需之資料(見本規範 C4.3 節)是否已標記完全，若有資料不完全之情形，則建議特別註記該座橋梁所缺少之各項橋梁或河川基本資料，以提供橋梁管理單位另以規劃各項檢測方法查明。
- 2.與橋梁結構相關之基本資料僅需記錄完成一次;與河川相關之基本資料則建議每年必需要更新一次，若無法完成每年更新一次則建議選擇以沖刷評估潛勢較高之橋梁進行較高頻率之更新。

C7.3 年度汛期前檢測

- 1.年度汛期前檢測必須於該年度之汛期開始前完成，該階段檢測首先針對臺灣橋梁管理系統中一般公路跨河橋梁進行『DER&U 評估』、『詳細沖刷潛勢評估』以及『橋梁基本資料更新』，其詳細執行方法請見本規範 C4.2、C4.3 節，若執行過程中有橋梁或河道相關資料不足之情況發生，則須另外透過『橋梁結構及河道斷面檢測』來取得不足之資訊。

2. 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。
3. 橋梁經『詳細沖刷潛勢評估』過後，若其評估結果為高度沖刷潛勢橋梁，則必須進行下一步的『結構穩定度分析』（其執行方法請見本規範 C6.2 節）以計算求得各項臨界封橋門檻值，如沖刷深度、流速及水位。
4. 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』。
5. 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，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。
6. 年度汛期前檢測之流程說明圖，請參考圖 C7.3.1 所示。

C7.4 颱風事件前檢測

1. 颱風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，該檢測之目的為更新具有中、高度沖刷潛勢之橋梁清單，是否有橋梁因前一次之颱風事件或其他環境因素影響而造成其沖刷潛勢有所改變，若有則更新此清單以作為該次颱風事件中檢測之對象。
2. 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 C4-3-6）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 C4-3-6 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。

3. 颱風事件前檢測之流程說明圖，請參考圖 C7.4.1 所示。

C7.5 颱風事件中檢測

1. 颱風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)開始進入颱風事件中檢測之第一階段，橋梁管理單位需根據不同之沖刷潛勢橋梁分別進行對應之作業程序，其說明如下：

(1) 直接封橋之橋梁

橋梁管理單位須於進入第一階段颱風事件中檢測之開始階段，即派遣作業人員前往被歸類為直接封橋之橋梁現場進行橋梁之封阻作業。

(2) 低度沖刷潛勢橋梁

低度沖刷潛勢橋梁可使用公路總局之防災預警機制，根據上游特徵雨量資料以及水位指標之判斷，將橋梁區分為預警等級、警戒等級、行動等級等三個作業等級，並依照各等級所對應之作業程序進行相關因應作業，其詳細說明請參閱公路總局官方網站之『公路總局防災預警機制』之檔案說明。

(3) 中度及高度沖刷潛勢橋梁

中度及高度沖刷潛勢橋梁皆列於由汛期前年度檢測所訂定之『具中、高度沖刷潛勢橋梁之清單』中，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『颱風事件中橋梁狀況紀錄表』(表 C4-5-1)前往列於此清單之

橋梁現場進行橋梁狀況巡檢。關於沖刷潛勢橋梁巡檢之相關事項說明如下：

- a. 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。
 - b. 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。
 - c. 中度潛勢橋梁經檢測員巡檢後，若出現表 C4-5-1 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 C4-5-1 任一封橋指標則立即通知橋梁管理單位進行封橋。
 - d. 高度潛勢橋梁若出現表 C4-5-1 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。
2. 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。
3. 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：
- (1) 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。
 - (2) 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。

- 4.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。
- 5.颱風事件中檢測之流程說明圖，請參考圖 C7.4.2 所示。

C7.6 颱風事件後檢測

- 1.颱風事件後檢測將於颱風事件中檢測之第二階段結束後進行，本階段檢測首先要確認是否於近期內將發生下一次之颱風事件，若將會發生則可略過本次颱風事件後檢測而進入下一次之颱風事件前檢測之階段；若將不會發生則開始進行該次之颱風事件後檢測作業。
- 2.颱風事件後檢測可作為判別『具沖刷潛勢之橋梁清單』之橋梁經歷此次颱風事件後是否有潛在之危害因素，主要透過橋梁 DER&U 檢測、現況紀錄以及沖刷深度及流速、水位檢測等手段進行，若經判斷後確定有影響通車安全之可能，則通知相關單位進行搶修作業。
- 3.颱風事件後檢測結束後，若汛期尚未結束，則持續準備下一次颱風事件發生時所需進行之各項檢測。
- 4.颱風事件後檢測之流程說明圖，請參考圖 C7.4.3 所示。

C7.7 年度汛期後檢測

- 1.年度汛期後檢測將於該年度之汛期結束後進行，可以 DER&U 評估、沖刷深度及水位、流速檢測、橋梁結構及河道斷面檢測、結構穩定度分析以及橋基健全度分析等方法進行，以判斷該年度具沖刷潛勢之橋梁清單之橋梁是否有進行維修之需求。
- 2.經判斷為有必要進行維修之橋梁，可將其按照損害程度、維修需求分級別進行補強。
- 3.年度汛期後檢測完成後，將該年度具沖刷潛勢之橋梁清單內所有橋梁之基本資料變更、沖刷潛勢變化、橋梁受災狀況以及維修補強結果，完整紀錄於臺灣地區橋梁管理資訊系統，以備下一年度各項檢

測之使用。

4.年度汛期後檢測之流程說明圖，請參考圖 C7.4.4 所示。

表C2-2-1 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 4. 結構穩定分析 5. 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)

表C2-2-2 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	简易冲刷 潜势评估		现况记录		详细冲刷 潜势评估	
	目视评估	目视 检测	仪器 检测	目视 检测	仪器 检测	目视 检测	仪器 检测
Level 0 (事件中)	—	△	—	○	△	—	—
Level 1 (事件前)	—	○	△	—	—	△	△
Level 2 (事件后)	○	△	△	○	△	—	—
Level 3 (汛期前)	○	—	—	—	—	○	○
Level 4 (汛期后)	○	—	—	—	—	△	△

○：主要项目
△：选择性项目

表C3-2-1 沖刷深度計算公式

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

表C4-1-1 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	<ol style="list-style-type: none"> 1.一般性或定期性之橋梁巡檢 2.依據橋梁維修手冊定義 	<ol style="list-style-type: none"> 1. DER&U 評估分數 2.現況照片 	<ol style="list-style-type: none"> 1. DER&U 評估表 2.數位相機
簡易沖刷潛勢評估	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 1.跨河橋梁沖刷潛勢評估表(表 C4-3-6) 2.雷射測距儀、簡易測速槍
現況記錄	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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C4-1-2 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	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 1.跨河橋梁沖刷潛勢評估表(表 C4-3-6) 2.跨河橋梁資料記錄表(表 C4-3-1~表 C4-3-5) 3.橡皮艇、水準尺
沖刷深度及河流檢測	<ol style="list-style-type: none"> 1.沖刷深度判斷 2.流速判斷 3.水位判斷 	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 1.結構非破壞檢測技術 2.地電阻 3.跨孔式地電阻 4.水上聲納/透地雷達 5.水準點量測 6.三維雷射

表C4-3-1 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 C4-3-1 橋梁基本資料記錄表(續)

<p>下游側右岸</p>		<p>說明：</p>
<p>上游側左岸</p>		<p>說明：</p>
<p>下游側左岸</p>		<p>說明：</p>

表 C4-3-1 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 C4-3-1 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：

表C4-3-2 橋梁冲刷損害記錄表

冲刷 損害 記錄	A	位置	災損 狀況	日期	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
備註								

表C4-3-3 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		

表C4-3-4 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						

表C4-3-5 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. 混凝土圓床	6. 混凝土圓床 (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 C4-3-6 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:																					
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:_____ 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 <input type="checkbox"/> 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:_____ <input type="checkbox"/> 尚未分析 臨界水位高度 WI:_____ <input type="checkbox"/> 尚未分析																				
	3	衛星影像或航照圖	橋梁是否位於河川彎曲處: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 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:_____	橋台基礎	A1	A2	橋台	A1	A2	橋墩基礎	P	P	P	橋墩墩體	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	<input type="checkbox"/> 1000 公尺以內 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 1000 公尺~3000 公尺 ($\xi=0.5$) <input type="checkbox"/> 3000 公尺以上或無 ($\xi=0$)																			
	8	基礎型式	7	<input type="checkbox"/> 淺基礎或擴展基腳 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 沉箱基礎 ($\xi=0.5$) <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 是 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 泥、砂 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 砂礫混合 ($\xi=0.75$) <input type="checkbox"/> 卵礫石 ($\xi=0.5$) <input type="checkbox"/> 軟弱岩盤(泥岩、頁岩等) ($\xi=0.3$) <input type="checkbox"/> 堅硬岩盤 ($\xi=0$)																			
12	主河道位置	5	<input type="checkbox"/> ◆離橋台 5 公尺以內 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 離橋台 10 公尺以內, 且有逐年向橋台侵蝕之趨勢 ($\xi=0.75$) <input type="checkbox"/> 離橋台 10 公尺以內 ($\xi=0.5$) <input type="checkbox"/> 此河為辨狀河道, 不易判定主河道 ($\xi=0.3$) <input type="checkbox"/> 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 Dh :_____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 $\theta=$ _____	7	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^0 - 5^0}{25^0} \geq (\xi=0)$; $\theta < 5^\circ$, $\xi=0$; $\theta > 30^\circ$, $\xi=1$																			
	15	阻水面積比 RA	4	<input type="checkbox"/> 極嚴重 ($RA > 12\%$) ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 嚴重 ($9\% \leq RA \leq 12\%$) ($\xi=0.75$) <input type="checkbox"/> 輕微 ($RA < 9\%$) ($\xi=0.4$) <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> ◆ $H_s \geq 1.5H_{sa}$ 或 $S \geq 40\%$ ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> $1.5H_{sa} > H_s > 1.0H_{sa}$ 或 $40\% > S > 25\%$ ($\xi=0.5 \sim 0.9$) <input type="checkbox"/> $H_s \leq 1.0H_{sa}$ 或 $S \leq 25\%$ ($\xi=0.2$) <input type="checkbox"/> 無 ($\xi=0$)								橋墩(橋台)編號										
			淺基礎	<input type="checkbox"/> 置於砂礫層或◆已有裸露情形 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 置於岩盤表層 ($\xi=0.5$) <input type="checkbox"/> 深入岩盤 ($\xi=0$)																			

表 C4-3-6 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估表(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	<input type="checkbox"/> SSI > 90 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 80 > SSI > 70 ($\xi=0.2$) <input type="checkbox"/> 90 > SSI > 85 ($\xi=0.8$) <input type="checkbox"/> SSI < 70 ($\xi=0$)					
19	護岸工現況	4	<input type="checkbox"/> 不具保護作用 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 河岸無須保護 ($\xi=0$) <input type="checkbox"/> 僅具部分保護作用 ($\xi=0.75$) <input type="checkbox"/> 護岸工良好 ($\xi=-0.2$) <input type="checkbox"/> 尚有一定之保護作用 ($\xi=0.3$)					
20	護床工現況	5	<input type="checkbox"/> 不具保護作用 ($\xi=1.0$) <input type="checkbox"/> 河床無須保護 ($\xi=0$) <input type="checkbox"/> 僅具部分保護作用 ($\xi=0.75$) <input type="checkbox"/> 護床工良好 ($\xi=-0.2$) <input type="checkbox"/> 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: <input type="checkbox"/> 否: <input type="checkbox"/> 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C4-3-7 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估填表摘要說明

項次	摘要說明																														
6. 沖刷 相關 構件 之 DER&U 評分	本項目之各項評估子項目請依照現行 DER&U 評估準則進行填寫																														
	註 1:																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <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(維修緊急程度)</td> <td>無法判定</td> <td>例行維護</td> <td>3年內需維修</td> <td>1年內需維修</td> <td>緊急處理維修</td> </tr> </tbody> </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(維修緊急程度)	無法判定	例行維護	3年內需維修	1年內需維修	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(維修緊急程度)	無法判定	例行維護	3年內需維修	1年內需維修	緊急處理維修																										

表 C4-3-7 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估填表摘要說明(續)

<p>6. 沖刷相關構件之 DER&U 評分(續)</p>	<p>註 2: SSI 計算式</p> $Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n}, \quad Ic_{ij} = 100 - 100 \times \frac{D \times E \times R^a}{4 \times 4 \times 4^a}$ $SSI = \frac{Ic_{河道} \times 5 + Ic_{橋台基礎} \times 6 + Ic_{橋台} \times 5 + Ic_{橋墩保護設施} \times 6 + Ic_{橋墩基礎} \times 8 + Ic_{橋墩墩體} \times 7}{(5+6+5+6+8+7)}$
<p>7. 上游攔河堰或水庫等設施</p>	<p>(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 $\xi=1$。</p> <p>(2)若橋梁上游 1000~3000 公尺內有設置攔河堰或水庫等設施，其權數 $\xi=0.5$。</p> <p>(3)若橋梁上游 3000 公尺內無攔河堰，其權數 $\xi=0$。</p>
<p>8. 基礎形式</p>	<p>(1)為淺基礎或擴展基腳者，其權數 $\xi=1$。</p> <p>(2)為沉箱基礎，其權數 $\xi=0.5$。</p> <p>(3)為樁基礎，其權數 $\xi=0$。</p>
<p>9. 橋梁是否位於河道彎曲處或束縮處</p>	<p>(1)橋梁位於河道束縮處或彎曲處，其權數 $\xi=1$。</p> <p>(2)橋梁非位於河道束縮處或彎曲處，其權數 $\xi=0$。</p>

表 C4-3-7 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估填表摘要說明(續)

10. 河床 下降 情形	<p>(1)三年內，河床降低幅度超過 4 公尺為極嚴重，其權數 $\xi=1$。</p> <p>(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 $\xi=0.5\sim 0.9$。</p> <p>(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 $\xi=0.25$。</p> <p>(4)三年內，河床降低幅度未達 0.5 公尺為輕微，其權數為 0。</p>
11. 河床 材料	<p>(1)若為由砂及卵礫石混和材質之河床，其權數 $\xi=1$。</p> <p>(2)若為卵礫石材質河床，其權數 $\xi=0.5$。</p> <p>(3)若為裸岩、巨礫石材質河床，其權數 $\xi=0$。</p>
12. 主 河道 位置	<p>(1)距離橋台 5 公尺以內，其權數 $\xi=1$。</p> <p>(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 $\xi=0.5$。</p> <p>(3)此河道為辨狀河道，不易判定確切主河道位置，其權數 $\xi=0.3$。</p> <p>(4)距離橋台 10 公尺以上，其權數 $\xi=0$。</p>
13. 上 下 游 高 低 差	<p>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：$(1.0) \geq \xi = \frac{1}{3} D_h \geq (0)$</p> <p>註:以上判定需同時具備以下四種狀況:</p> <p>(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。</p> <p>(2)主河道佔全河寬之比低於 1/3。</p> <p>(3)阻水比 $RA > 9\%$。</p> <p>(4)局部河床坡度超過附近平均河床坡度之 3 倍以上。</p> <p>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。</p>

表 C4-3-7 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估填表摘要說明(續)

14. 橋墩方向與河川流向間之角度	<p> 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：$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq (\xi=0)$；$\theta < 5^\circ, \xi=0$； $\theta > 30^\circ, \xi=1$ </p> <p> 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： </p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">橋墩方向與河川流向間角度示意圖</p>
15. 阻水面積比 R_A	<p> (1)R_A 大於 12%時，為極嚴重，其權數 $\xi=1$。 (2)R_A 大於 9%且未滿 12%時，為嚴重，按照比例計算權數 $\xi=0.5\sim 0.9$。 (3)R_A 大於 5%且未滿 9%時，為輕微，其權數 $\xi=0.2$。 (4)R_A 未滿 5%時，為良好，其權數 $\xi=0$。 </p> <p> 註：此項目係採用橋梁構造在計畫洪水位或賀伯颱風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。 </p>
16. 基礎裸露程度	<p>沉箱基礎或樁基礎：</p> <p> (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 $\xi=0.5\sim 0.9$。 (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 $\xi=0$。 </p>

表 C4-3-7 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估填表摘要說明(續)

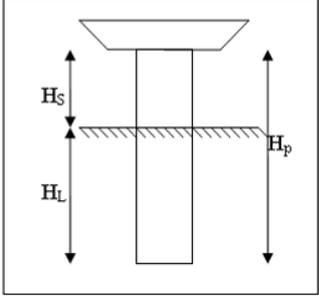
<p>16. 基礎裸露程度 (續)</p>	<p>淺基礎</p> <p>(1)基礎位於砂礫質河床或已有裸露情形，判定其權數 $\xi=1$。</p> <p>(2)基礎位於岩盤表層，判定其權數 $\xi=0.5$。</p> <p>(3)基礎深度達岩盤，判定其權數 $\xi=0$。</p> <hr/> <p>註：原本之基礎裸露程度評估方法必須要有確切的初始基礎長度，但此資料不易取得，也不易由儀器檢測方式測得，因此基礎裸露深度判斷為根據中華技術第 58 期研究^[8]內容，各種跨河建造物基礎底部高程位置，而為遵循經濟部頒布之『申請跨河建造物設置注意事項』^[9]之“橋墩底部高程設計應參考河床一般沖刷及局部沖刷深度，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。</p> <p>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，如下圖所示，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 $H_s = H_{Sa} \sim 1.5H_{Sa} = 0.25H_p \sim 0.375H_p$ ($S=25\% \sim 37.5\%$) 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。</p> <div style="text-align: center;">  <p>橋墩裸露示意圖</p> </div>
-----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

表 C4-3-7 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估填表摘要說明(續)

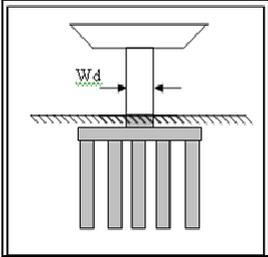
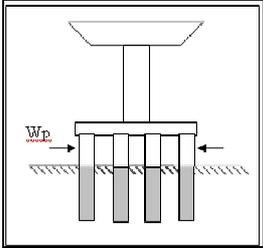
<p>17. 橋墩阻水情形</p>	<p>橋墩等值寬度大於 8 公尺判定其權數 $\xi=1$；橋墩等值寬度小於 2 公尺，判定其權數 $\xi=0$。</p> <p>其權數可以下式計算：</p> $(\xi=1.0) \geq \zeta = [-1/3 + (1/6)b_e] / 2 \geq (\xi=0) ;$ $b_e < 5^\circ, \xi=0 ; \quad b_e > 30^\circ, \xi=1$ <p>註:1.此項目依據表 4-3 項次 10 橋墩等值寬度。 2.橋墩等值寬度 b_e 定義如下:</p> <p>(1)橋墩基礎未裸露時 $\rightarrow Be=Wd$ (2)橋墩基礎裸露時 $\rightarrow Be=Wp$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>橋墩未裸露示意圖</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>橋墩裸露後示意圖</p> </div> </div>
<p>18. 下部構件健全度</p>	<p>(1)SSI 指標計算結果大於 90，其權數 $\xi=1$。</p> <p>(2)SSI 指標計算結果大於 80 分小於 90 分，其權數 $\xi=0.8$。</p> <p>(3)SSI 指標計算結果大於 70 分小於 80 分，其權數 $\xi=0.2$。</p> <p>(4)SSI 指標計算結果小於 70，其權數 $\xi=0$。</p>
<p>19. 護岸工現況</p>	<p>(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 $\xi=1$。</p> <p>(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 $\xi=0.3$。</p> <p>(3)河岸無須任何護岸工保護，其權數 $\xi=0$。</p> <p>(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 $\xi=-0.2$。</p>

表 C4-3-7 公路橋梁沖刷潛勢詳細評估填表摘要說明(續)

20. 護 床 工 現 況	<p>(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 $\xi=1$。</p> <p>(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 $\xi=0.3$。</p> <p>(3)河床無須任何護床工保護，其權數 $\xi=0$。</p> <p>(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 $\xi=-0.2$。</p>

表C4-5-1 颱風事件中橋梁狀況紀錄表

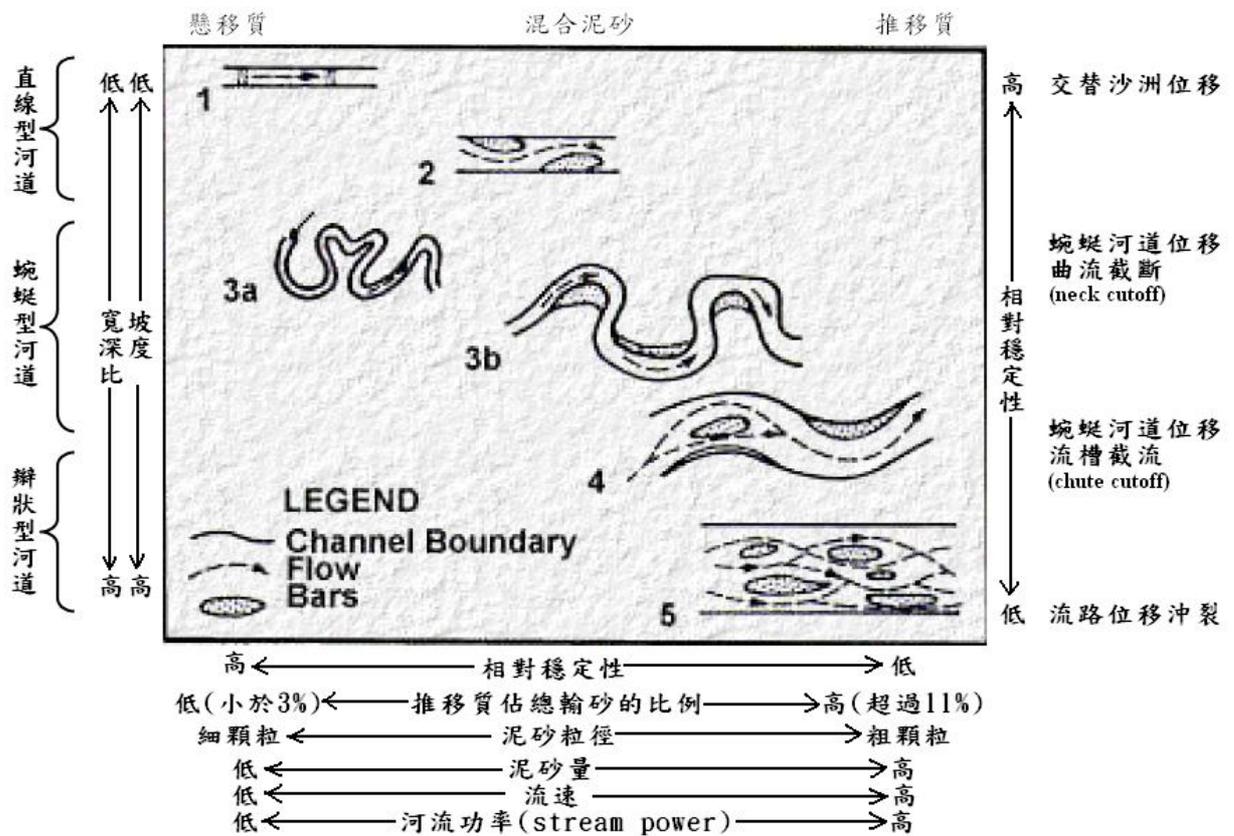
橋名: 大甲溪橋		檢測人員: 洪紹勳		檢測日期: 99.08.01		護欄至梁底高	
度: 3m		警戒水位: 15m		封橋水位: 18m		預警特徵雨	
量: 100mm		警戒特徵雨量: 150mm		行動特徵雨量: 200mm			
		時間		08:35	12:15	18:32	
項目							
觀測值	上游特徵雨量站雨量值(公厘)	50	120	180			
	上游特徵雨量站水位高度(公尺)	20	22	26			
	QPESUMS 預測未來 1 小時之降雨量值(公厘)	100	150	300			
	河流水位(公尺)	520	522	526			
警戒指標	是否有跌水或水躍沖刷現象		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						

表C5-4-1 常見物質之介電常數及衰減常數

介質名稱	電阻率 ρ (Ohm-m)	介電常數 K	速度 (m/ns)	衰減常數 (dB/m)
乾沙	$10^3 \sim 10^7$	3~6	0.1~0.122	<0.0009
飽合含水沙	$10^2 \sim 10^4$	20~30	0.067~0.055	0.3~0.03
粉砂	$10^2 \sim 10^3$	5~30	0.134~0.055	1~100
頁岩	$10 \sim 10^3$	5~15	0.134~0.077	
飽合含水黏土	1~10	5~40	0.134~0.047	1~300
溼土	50~100	30	0.055	
墾殖土	200	15	0.077	
岩質土	1000	7	0.113	
乾砂質土	7100	3	0.173	
濕砂質土	150	25	0.06	0.002
乾壤質土	9100	3	0.173	
濕壤質土	500	19	0.069	
乾黏土質土	3700	2	0.21	
濕黏土質土	20	15	0.077	
溼砂岩	25	6	0.122	
淡水	$30 \sim 10^4$	81	0.033	0
海水	0.25	4	0.15	1000
冰凍層	$10^2 \sim 10^5$	4~8	0.15~0.106	
乾雪	$10^5 \sim 10^6$	1	0.3	
冰	$10^3 \sim 10^5$	3~4	0.173~0.15	
水泥混凝土	0.1~1	6~11	0.09~0.12	0.5~5
空氣	無限大	1	0.3	0

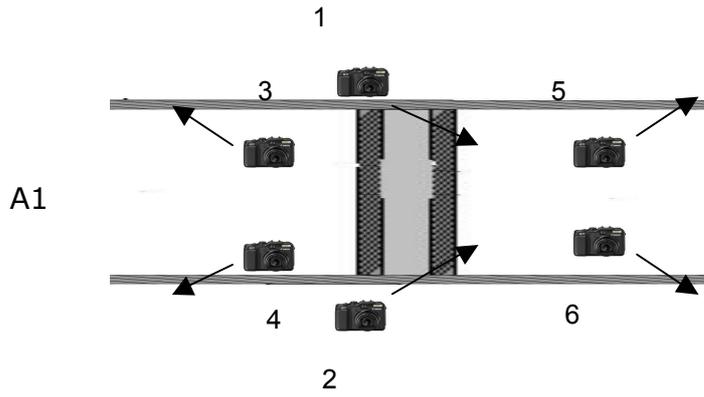
表C5-4-2 各類流速量測儀器比較表

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 之高流速為佳。	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。

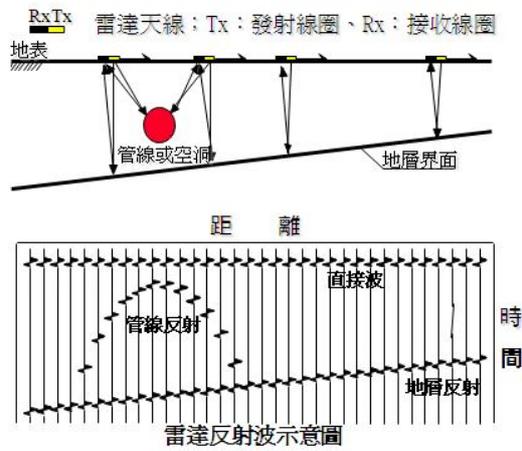


(資料來源：「Stream Stability at Highway Structures」，Figure 20.，FHWA)

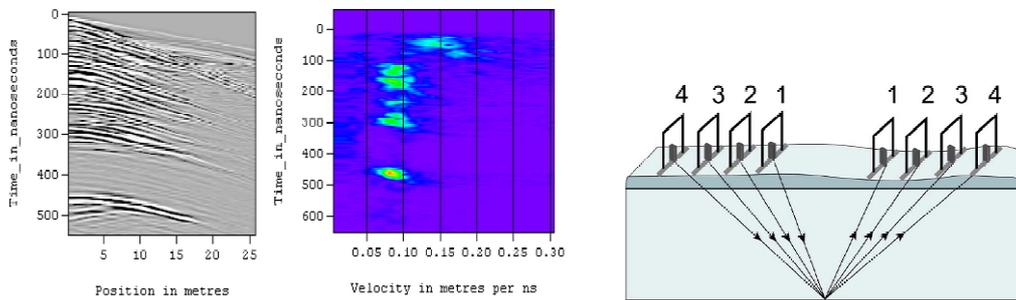
圖C3.2.1 河川分類與相對穩定性之關係圖



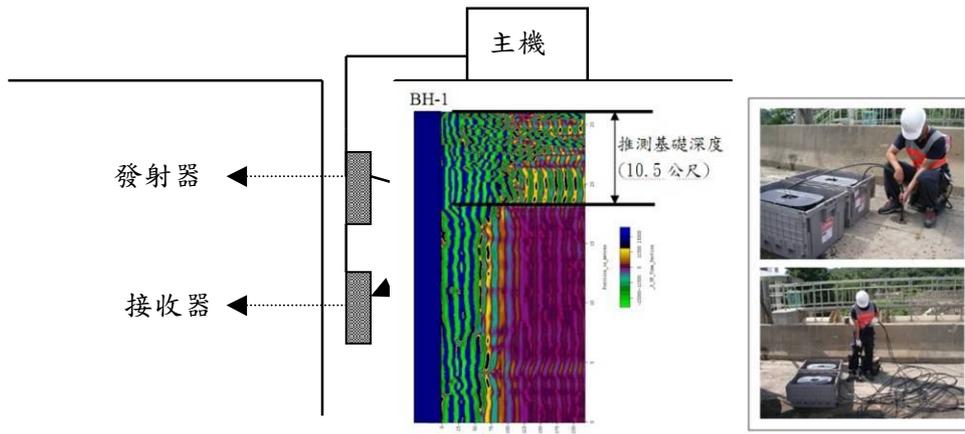
圖C4.3.1 橋梁基本拍攝記錄位置示意圖



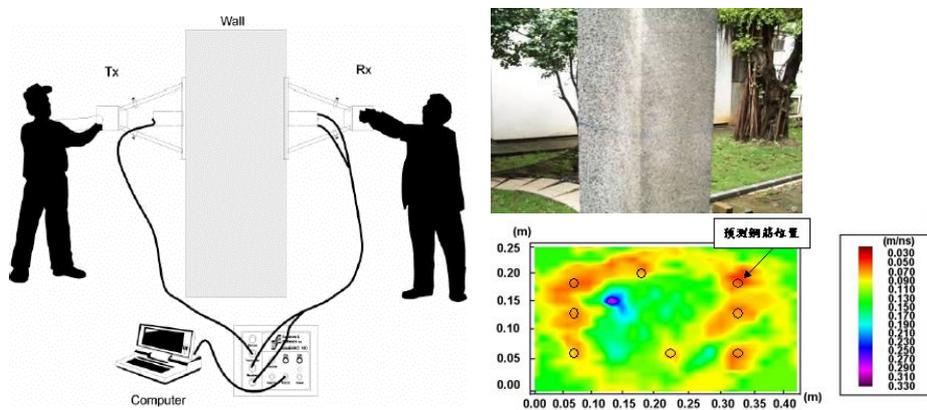
圖C5.3.1 透地雷達等間距施測法



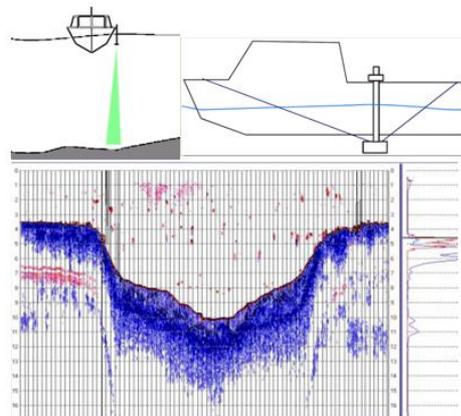
圖C5.3.2 透地雷達同中點施測法



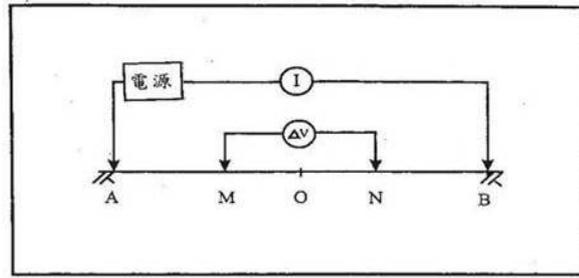
圖C5.3.3 透地雷達井測施測法



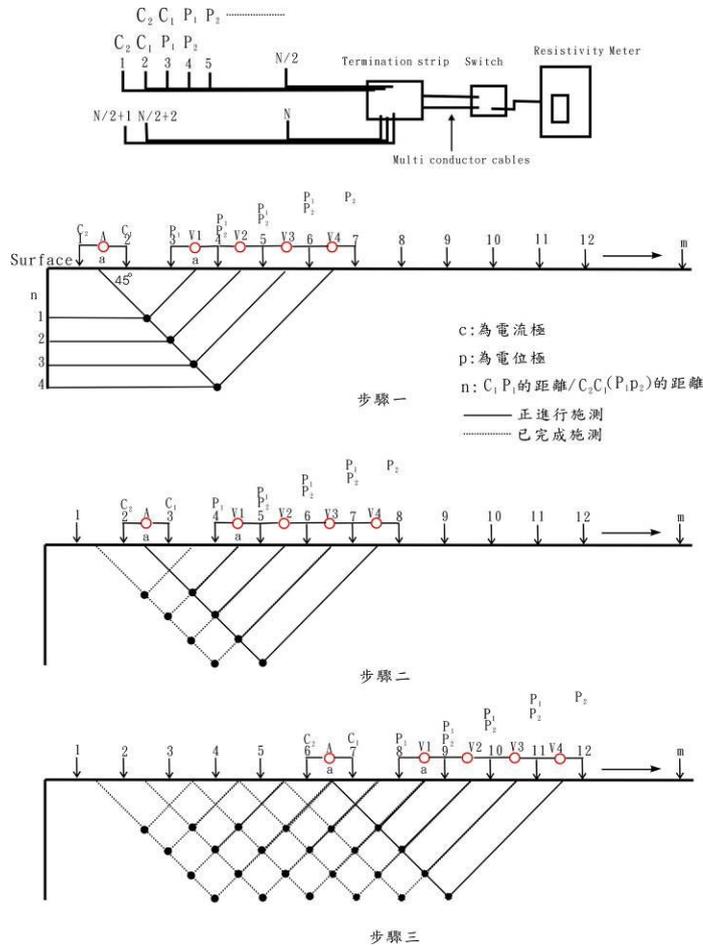
圖C5.3.4 透地雷達斷層掃描法



圖C5.3.5 野外工作示意圖

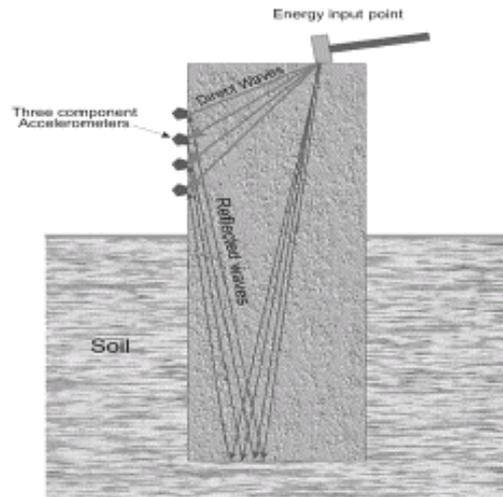


圖C5.3.6 直流電阻法使用四極排列施測示意圖。A 與 B 表示電流極。M 與 N 表示電位極。



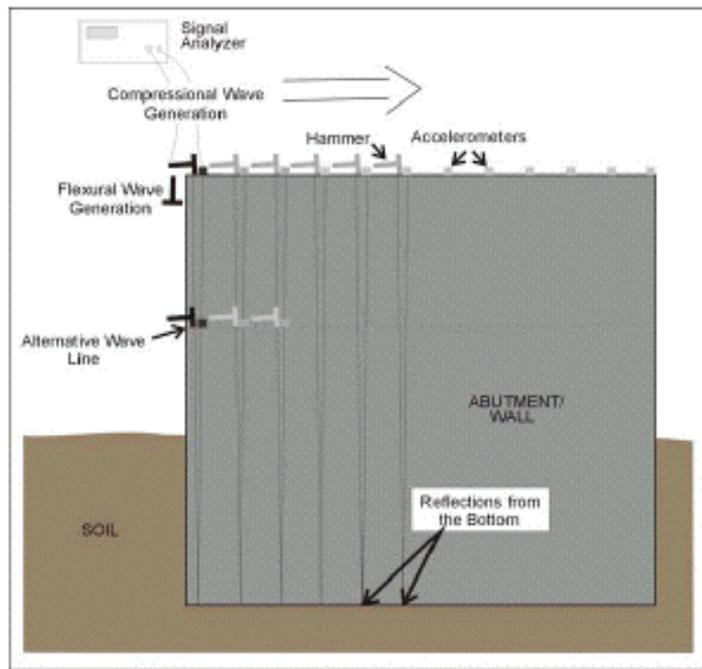
圖C5.3.7 (上) 電阻率影像剖面探測雙偶極排列之儀器配置

(下) 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。



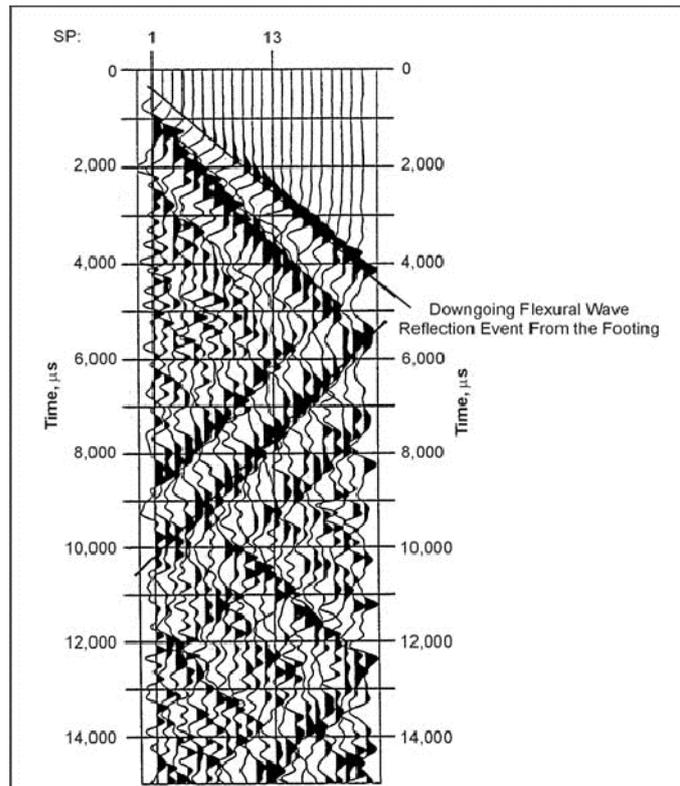
Ultraseismic test method and vertical profiling test geometry.

圖C5.3.8 超震法垂直型剖面(VERTICAL PROFILING)施測示意圖



Ultraseismic test method and horizontal profiling test geometry

圖C5.3.9 超震法水平型剖面(HORIZONTAL PROFILING)施測示意圖

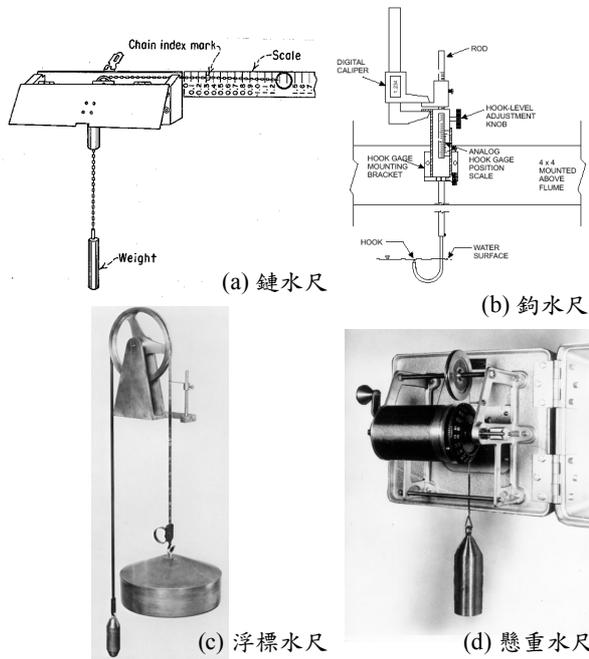


Example Ultrasonic-Vertical Profiling dataset from a bridge pier.

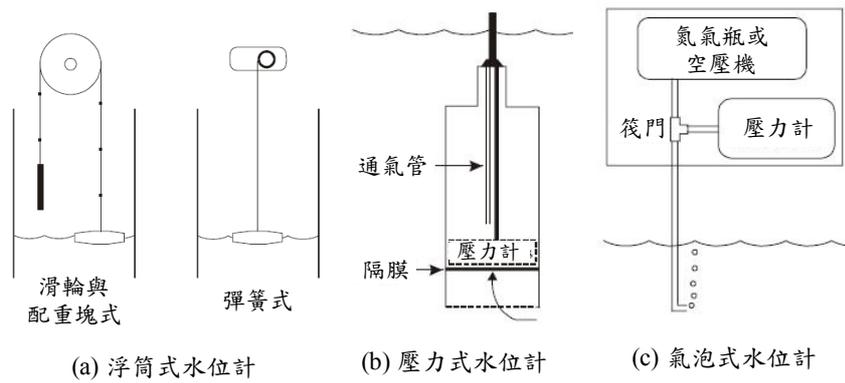
圖C5.3.10 超震法震波記錄



圖C5.4.1 標竿水尺示意圖（台3線興昌橋）

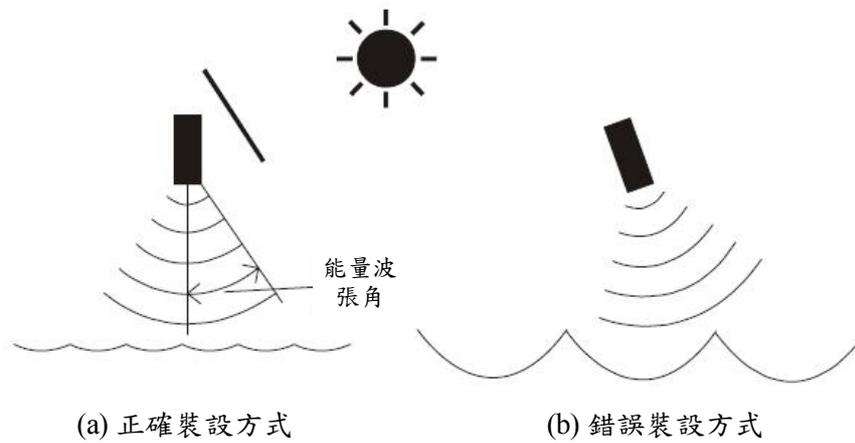


圖C5.4.2 各類量測水尺示意圖 [11] [12]



圖C5.4.3 接觸型水位計示意圖

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



圖C5.4.4 非接觸型水位計示意圖

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



圖C5.4.5 脈衝式微波雷達流速儀

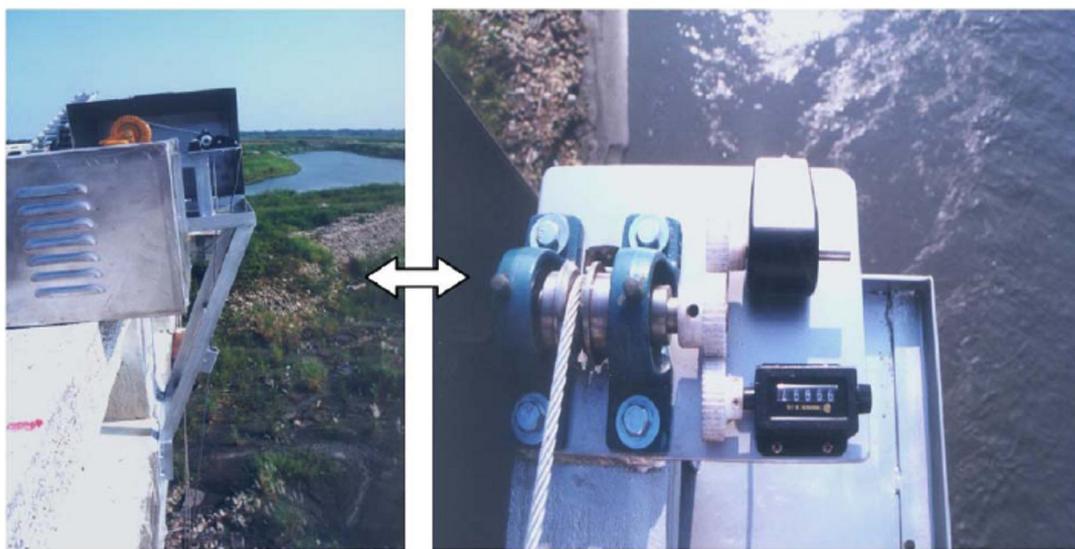
(改繪自 Water Level Sensor and Datalogger Testing and Demonstration)



圖C5.4.6 龍船埤排水脈衝式微波雷達流速儀現況圖



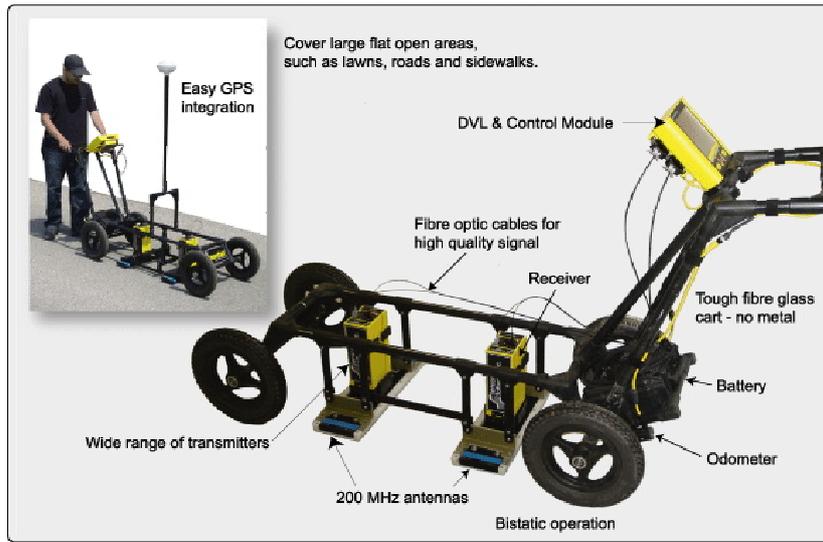
圖C5.4.7 濁水溪橋連續波微波雷達表面流速儀架設完成圖



圖C5.4.8 重錘式冲刷深測計

(來源：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)

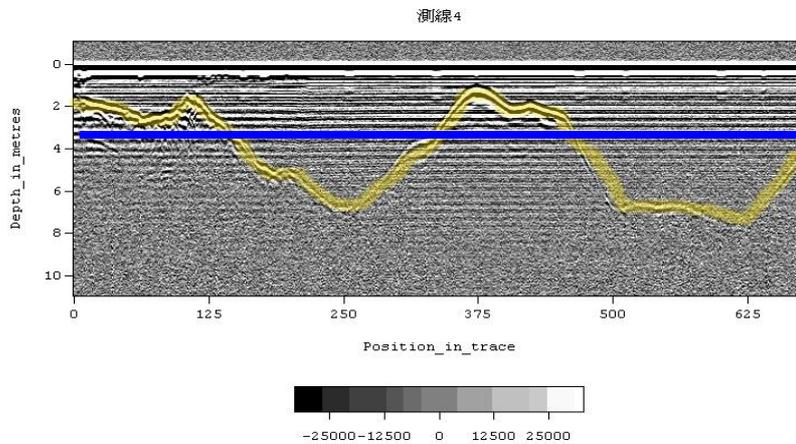
透地雷達儀器組



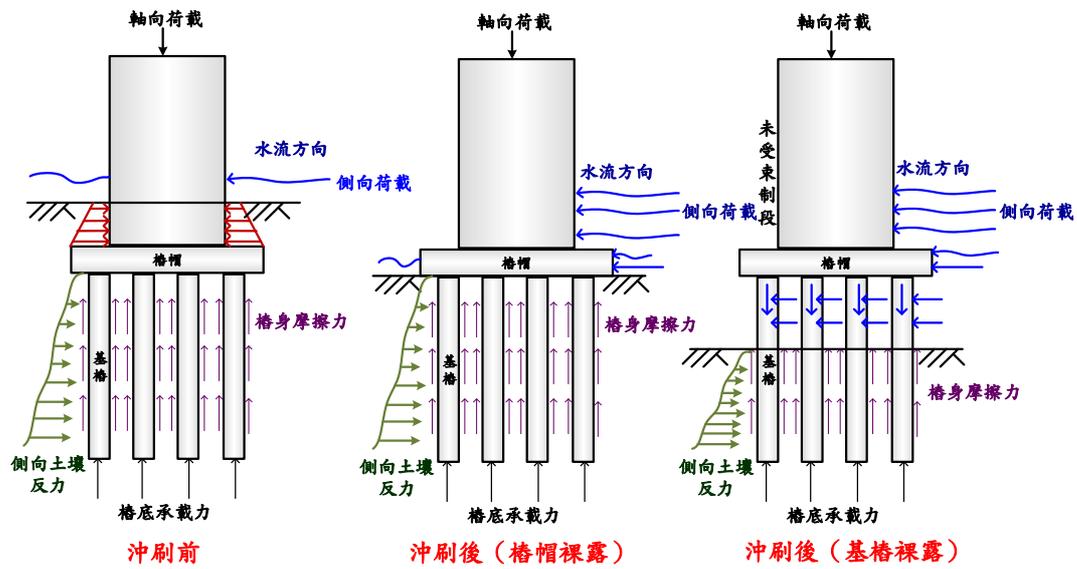
野外施測圖



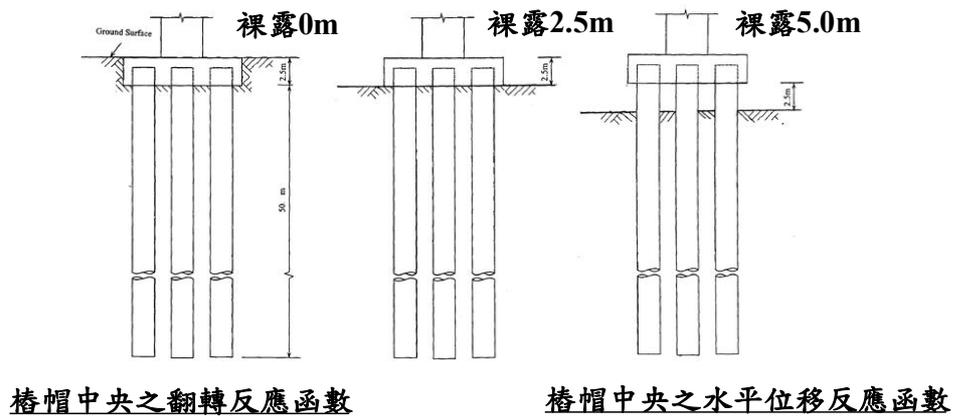
透地雷達影像剖面圖



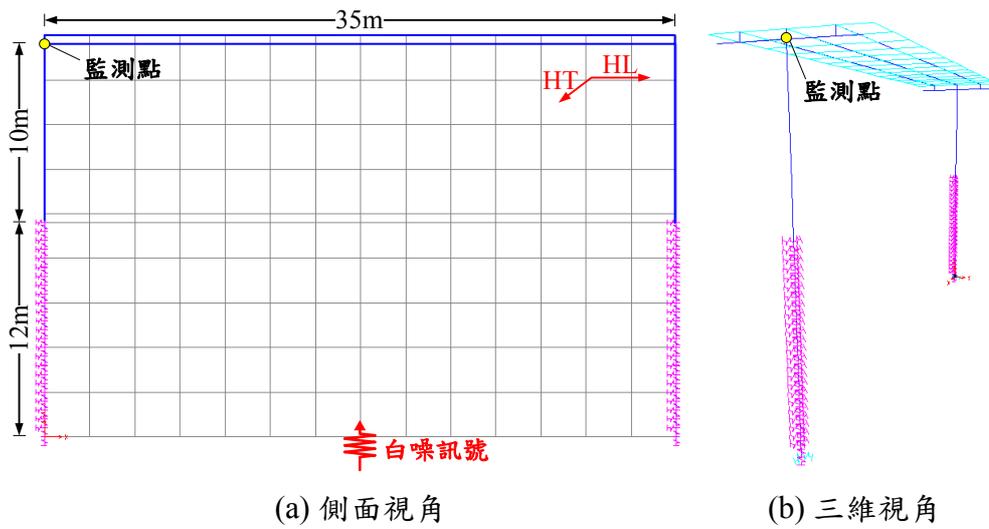
圖C5.4.9 透地雷達系統於水面施測河床斷面沖刷示意圖



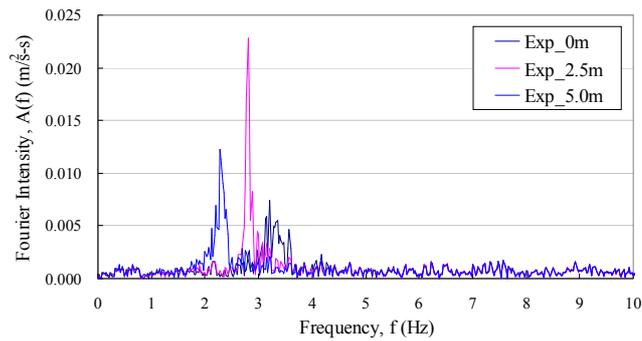
圖C5.4.10 橋墩樁基礎受冲刷裸露之影響示意圖^[13]



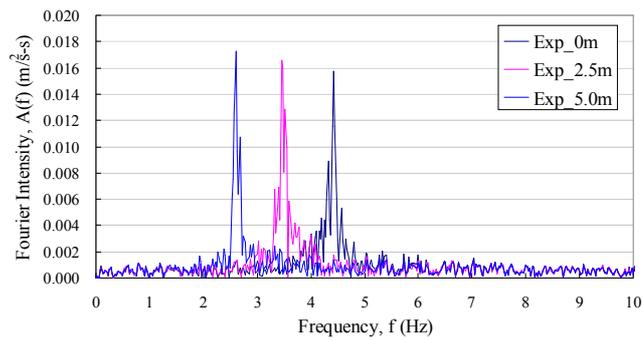
圖C5.4.11 群樁基礎於不同裸露程度下之位移反應函數^[14]



圖C5.4.12 典型簡支橋振動單元分析模型^[14]



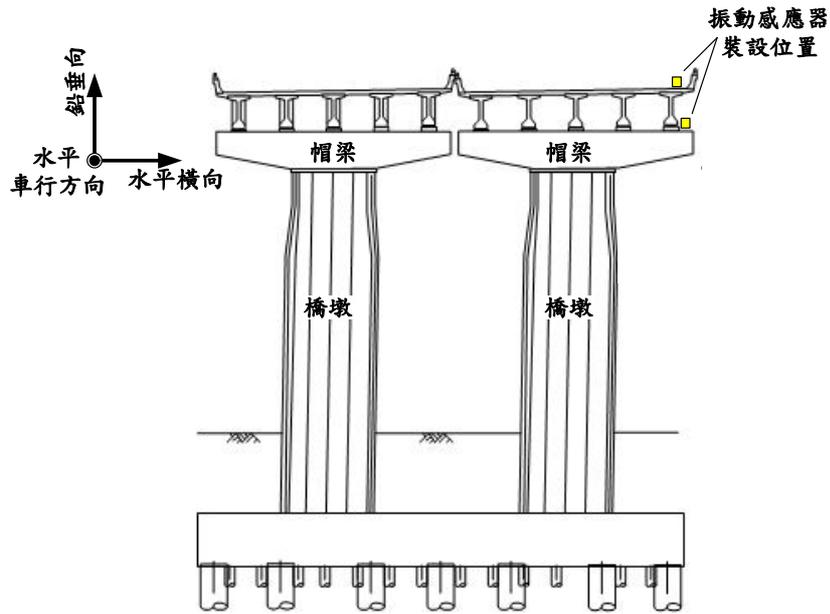
(a) HL向振動



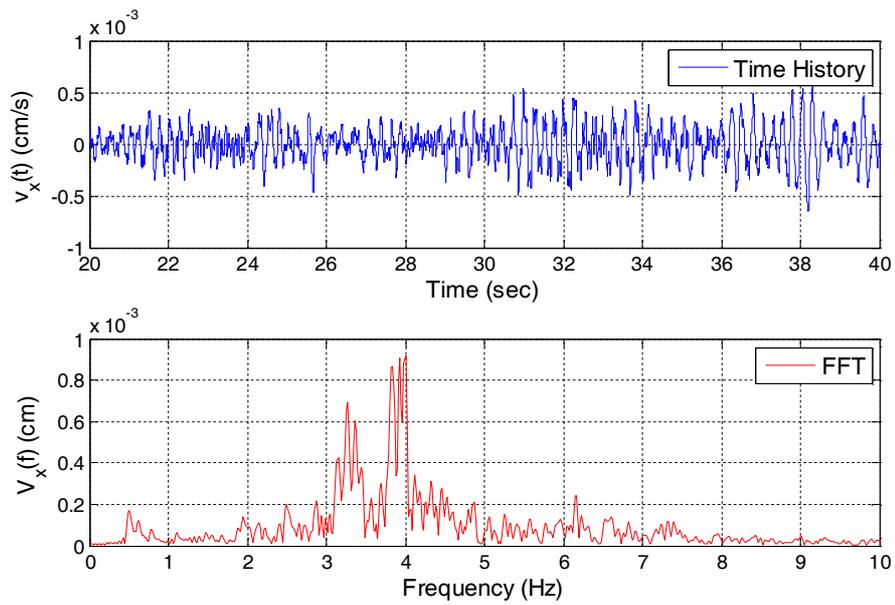
(b) HT向振動

圖C5.4.13 橋梁單元模型於不同基礎裸露情況下之白噪激振反應

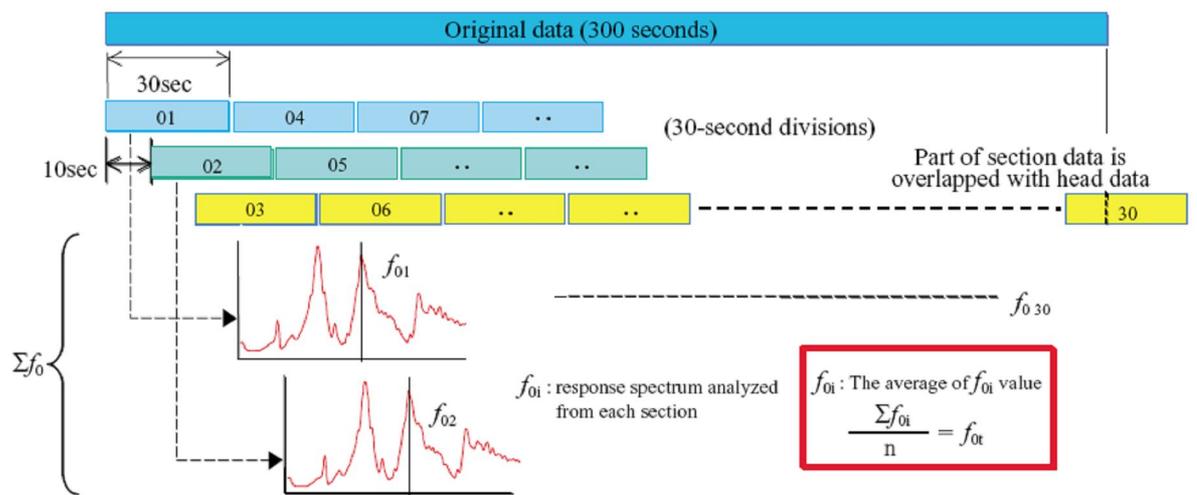
富氏譜^[14]



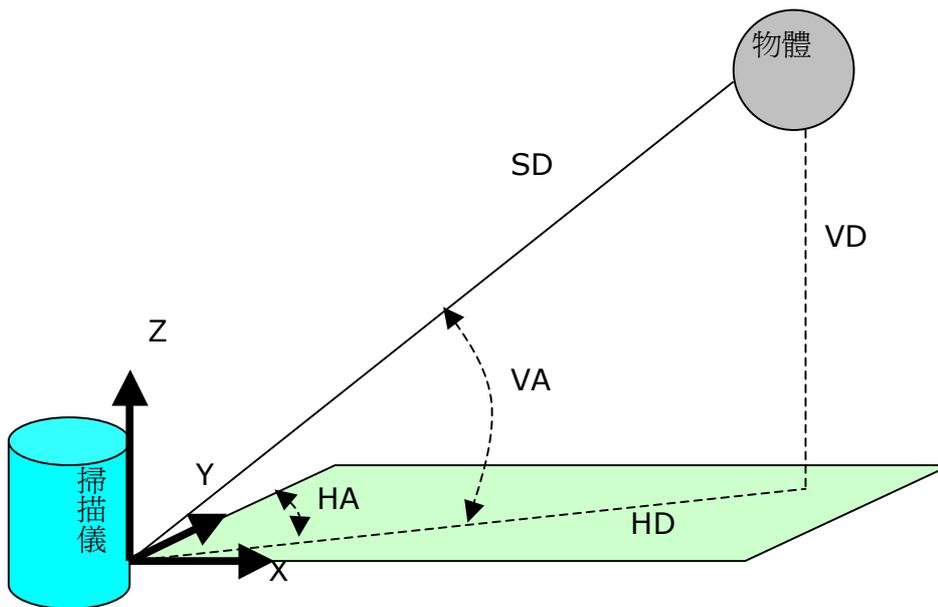
圖C5.4.14 振動感應器裝設位置之示意圖^[15]



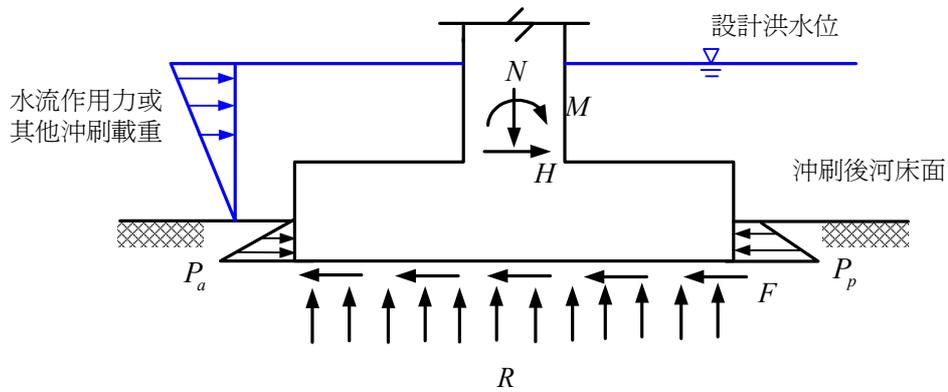
圖C5.4.15 快速富利葉轉換示意圖（上：振動歷時；下：富氏譜）



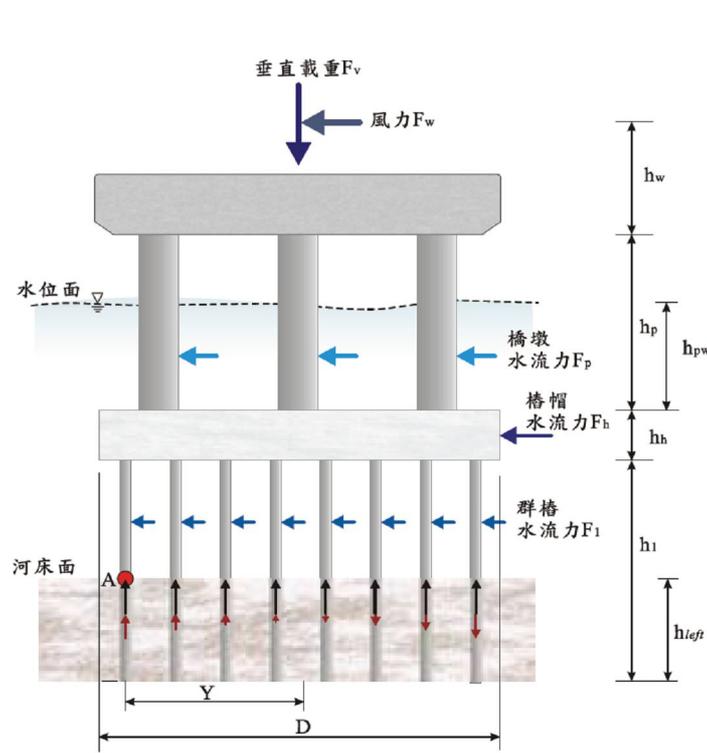
圖C5.4.16 代表性平均振動顯著頻率之求取示意圖



圖C5.5.1 三維雷射掃描儀與物體間相對坐標系示意圖

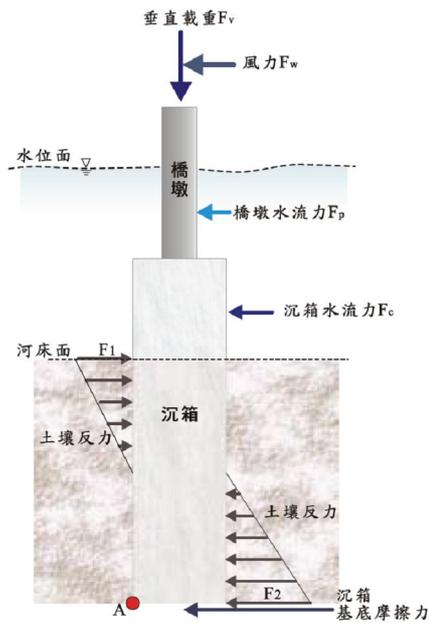


圖C6.2.1 直接基礎之受力分佈示意圖(橋基保護工規範(草案))



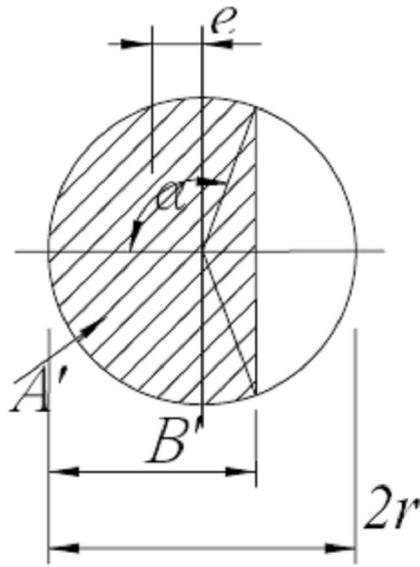
圖C6.2.2 群樁基礎之結構分析模型示意圖

(蔡益超, 「橋梁耐洪能力評估」, 中華技術期刊)

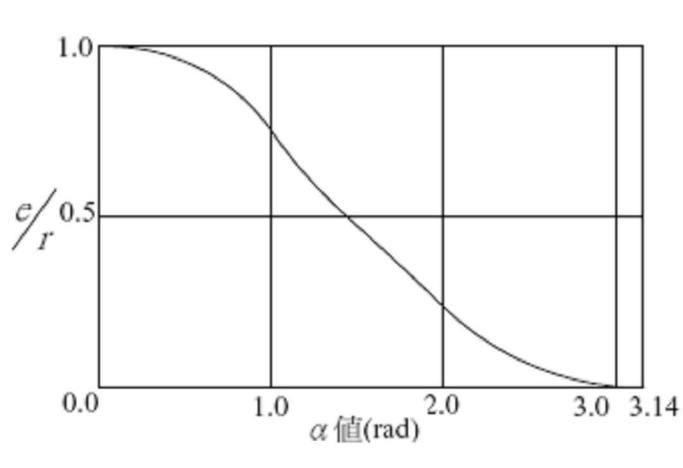


圖C6.2.3 沉箱基礎之結構分析模型示意圖

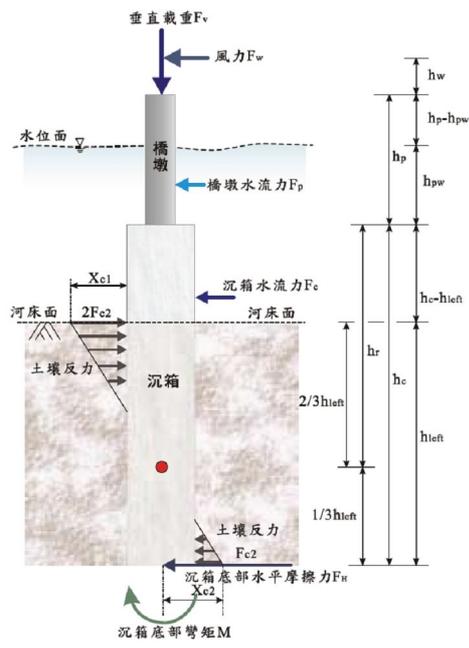
(蔡益超,「橋梁耐洪能力評估」, 中華技術期刊)



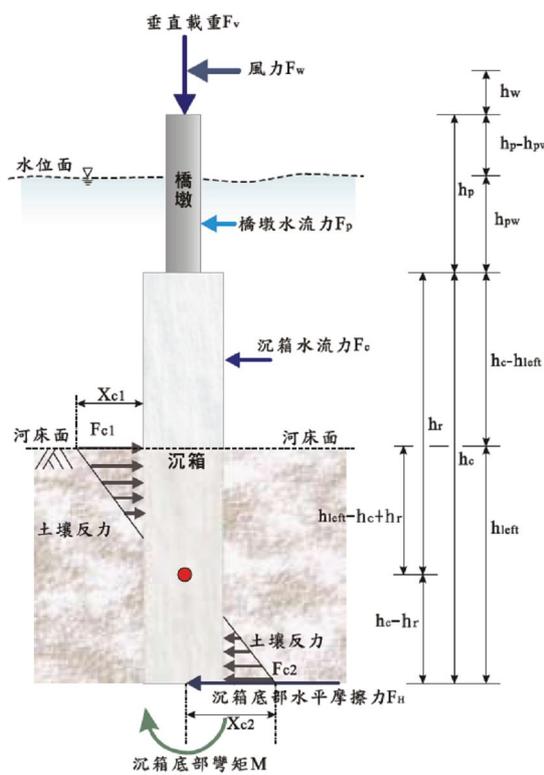
圖C6.2.4 圓形沉箱基礎之有效接觸面積（基礎設計規範）



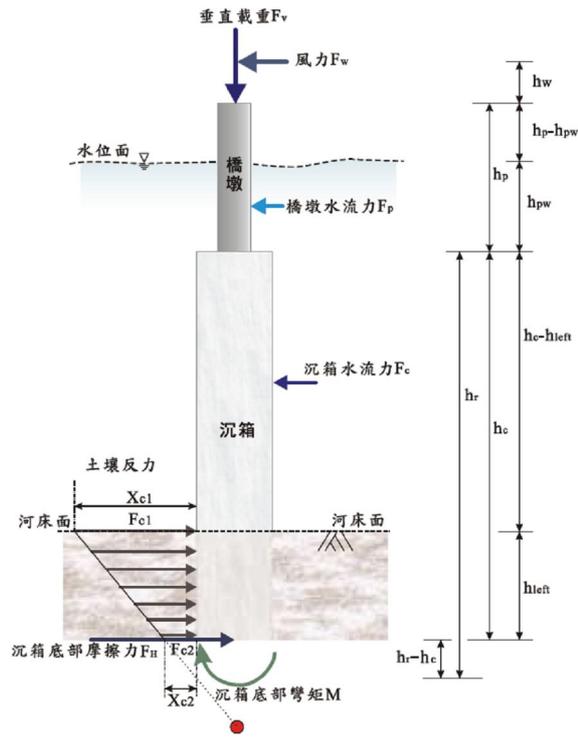
圖C6.2.5 圓形沉箱基礎之 α 與 e/r 之關係圖（基礎設計規範）



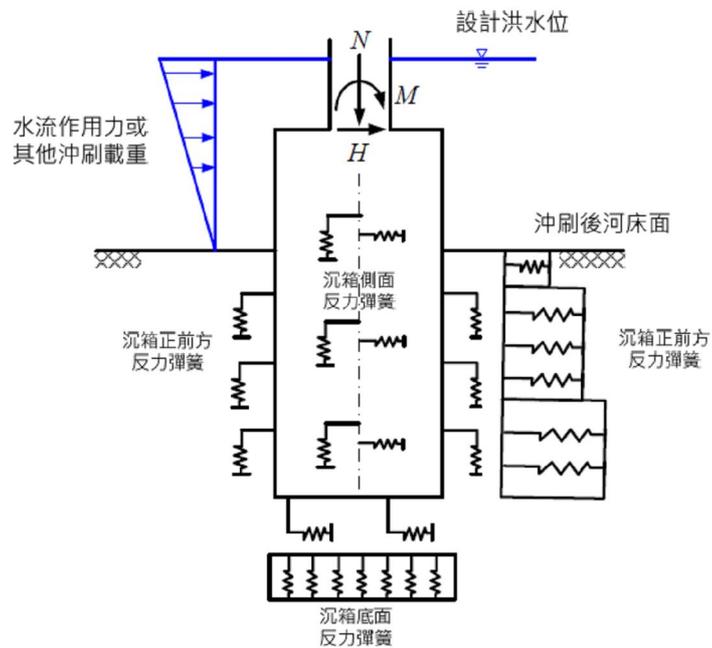
圖C6.2.6 沉箱基礎 $h_{left}/D > 1.3$ 之結構分析模型圖
(蔡益超, 「橋梁耐洪能力評估」, 中華技術期刊)



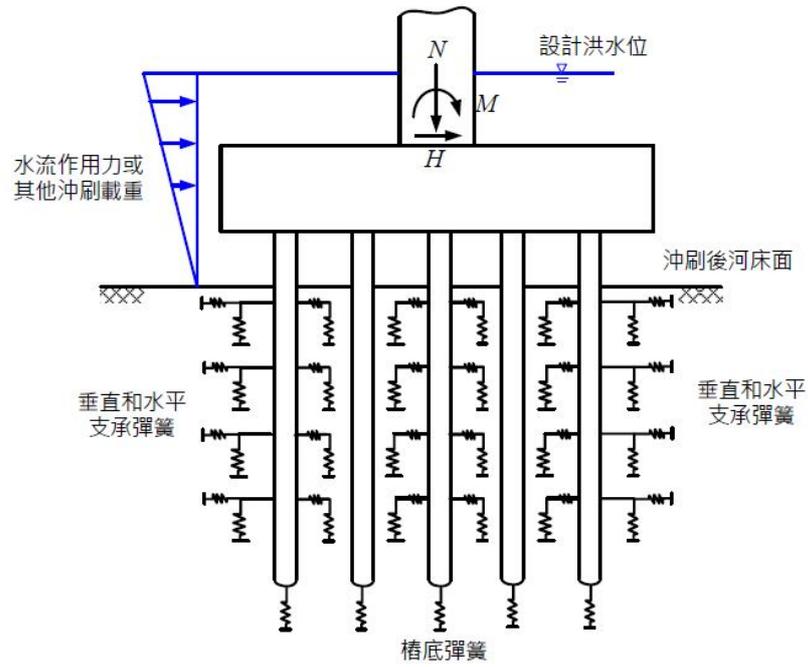
圖C6.2.7 沉箱基礎 $0.3 \leq h_{left}/D \leq 1.3$ 之結構分析模型圖
(蔡益超, 「橋梁耐洪能力評估」, 中華技術期刊)



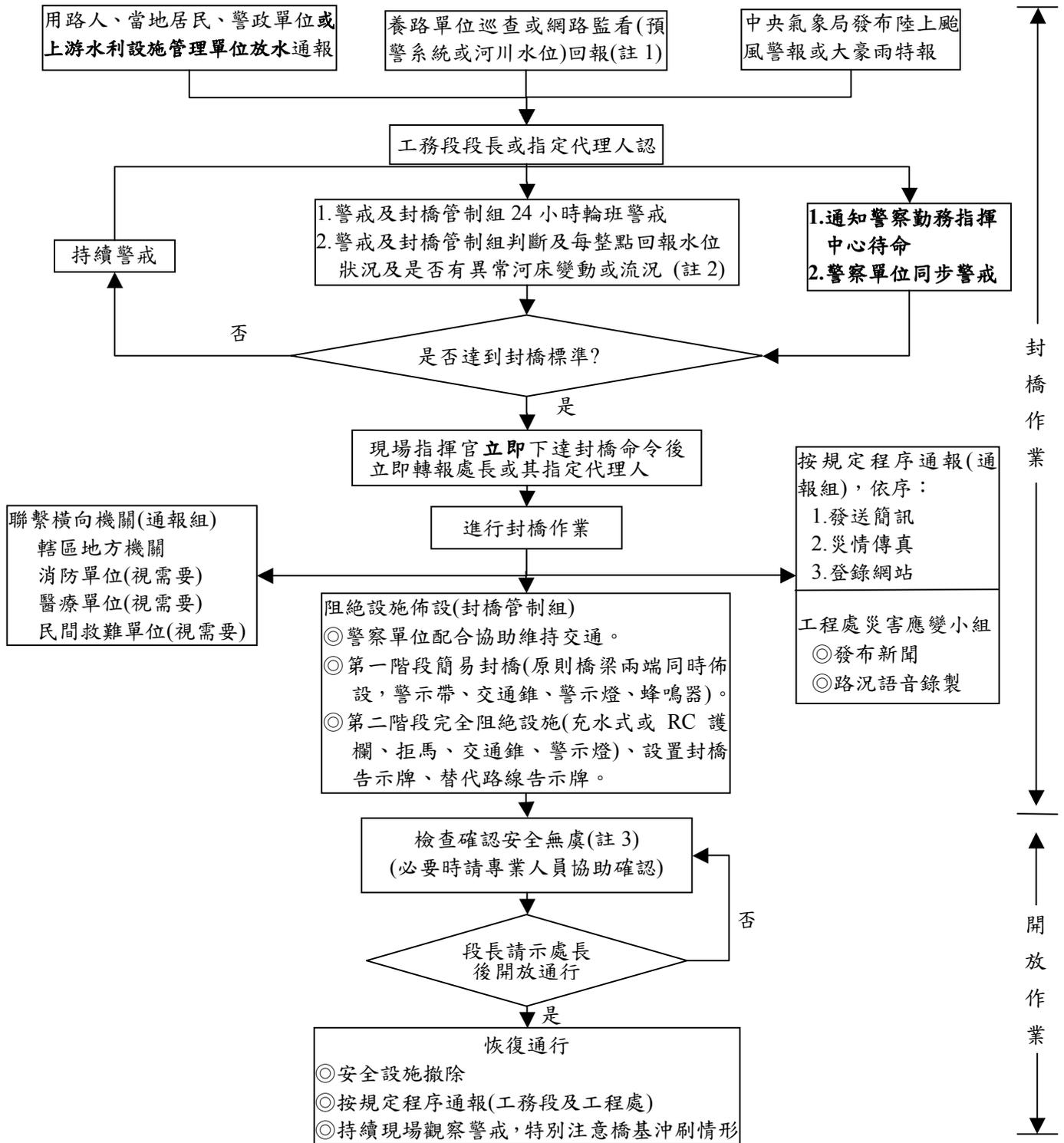
圖C6.2.8 沉箱基礎 $h_{left}/D < 0.3$ 之結構分析模型圖(蔡益超, 2006)



圖C6.2.9 沉箱基礎之結構分析模型示意圖(橋基保護工規範(草案))



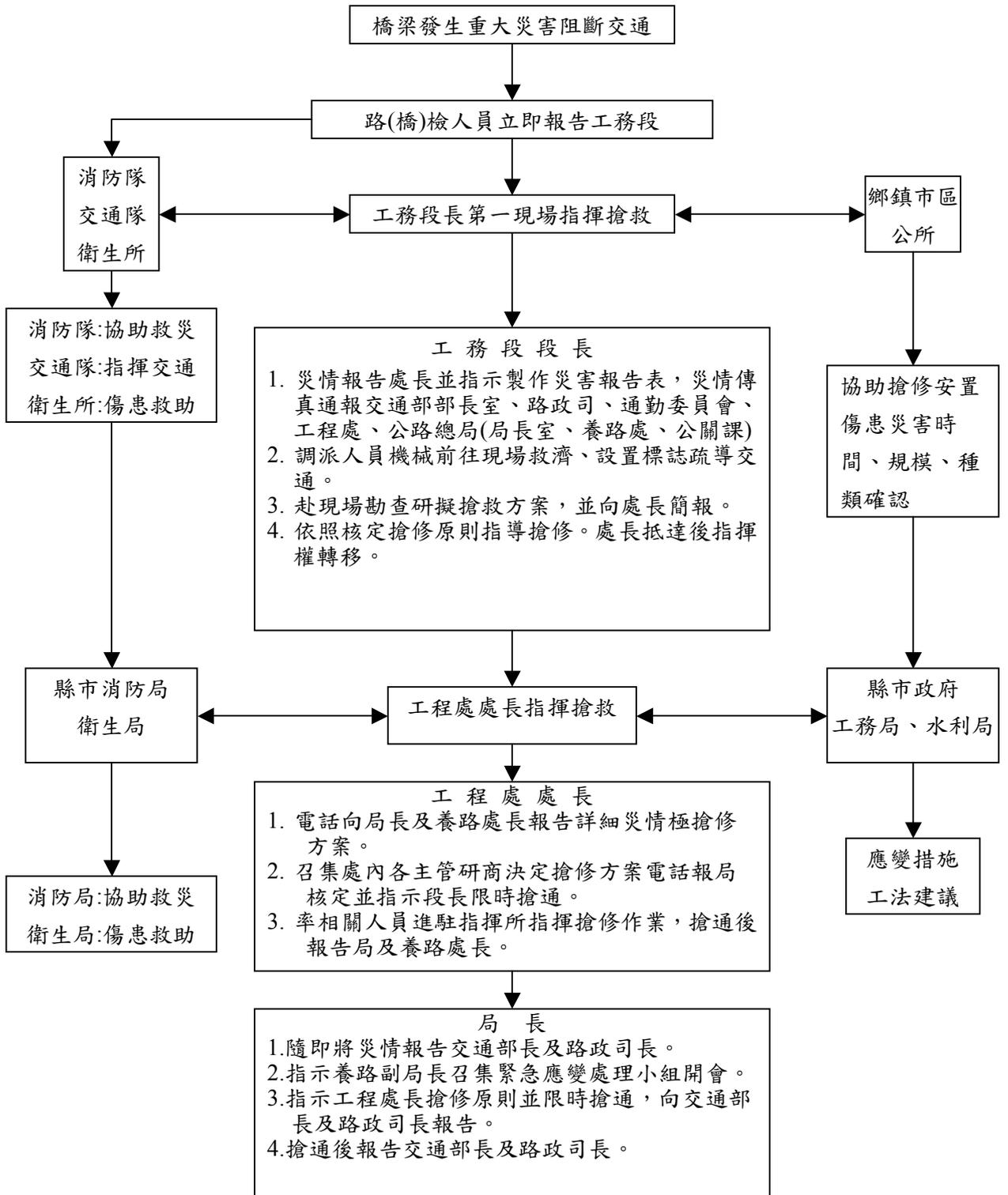
圖C6.2.10 樁基礎之結構分析模型示意圖(橋基保護工規範(草案))



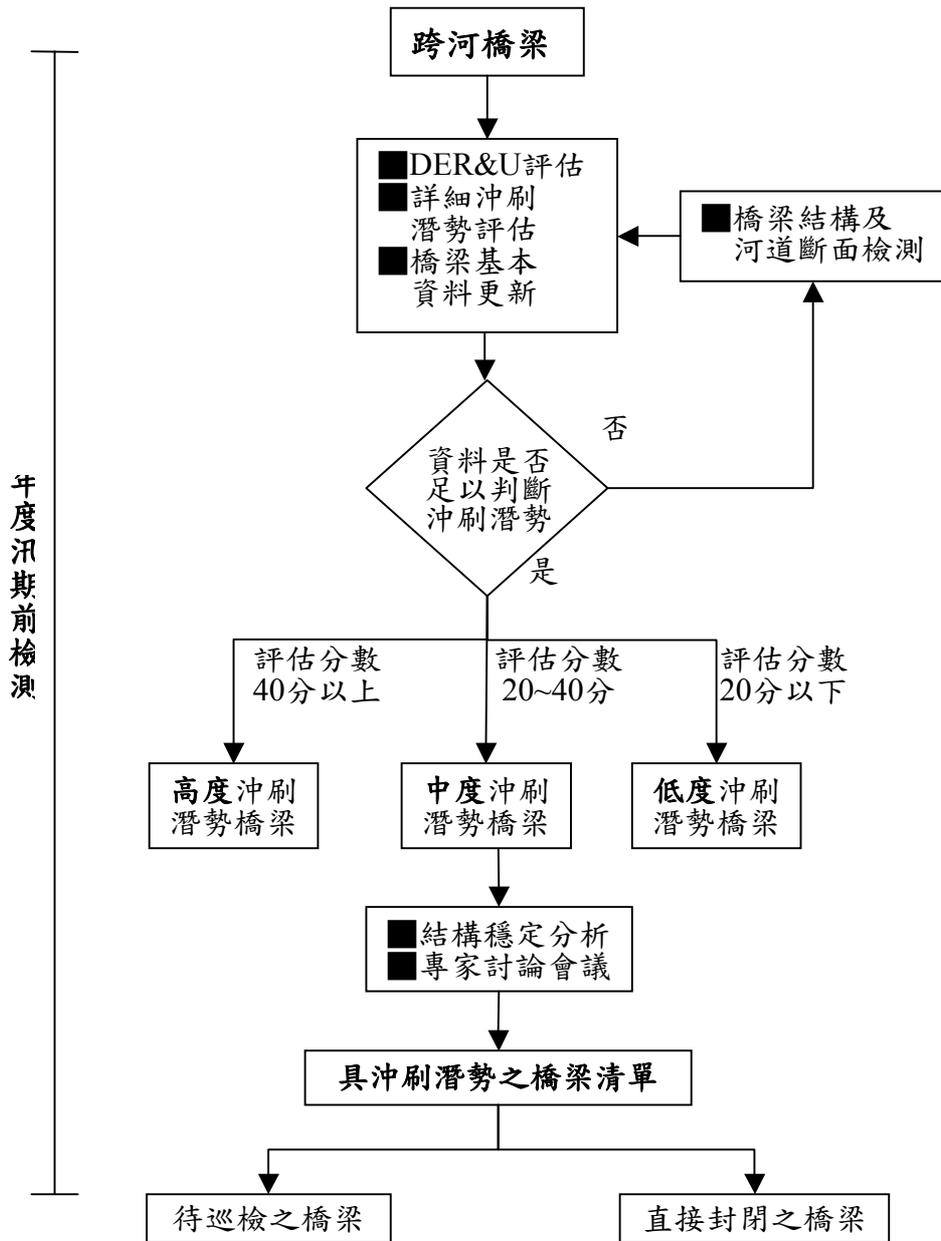
圖C6.3.1 交通部公路總局封橋標準作業程序

<p>註 1：(適用重點監控橋梁)</p> <p>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)</p> <p>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。</p>	<p>註 2：颱風期間判斷封橋時機原則：</p> <p>1.水位達封橋標準時。</p> <p>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：</p> <p>(1)橋梁欄杆、伸縮縫或其他部位有異樣時。</p> <p>(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</p> <p>(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。</p> <p>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。</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

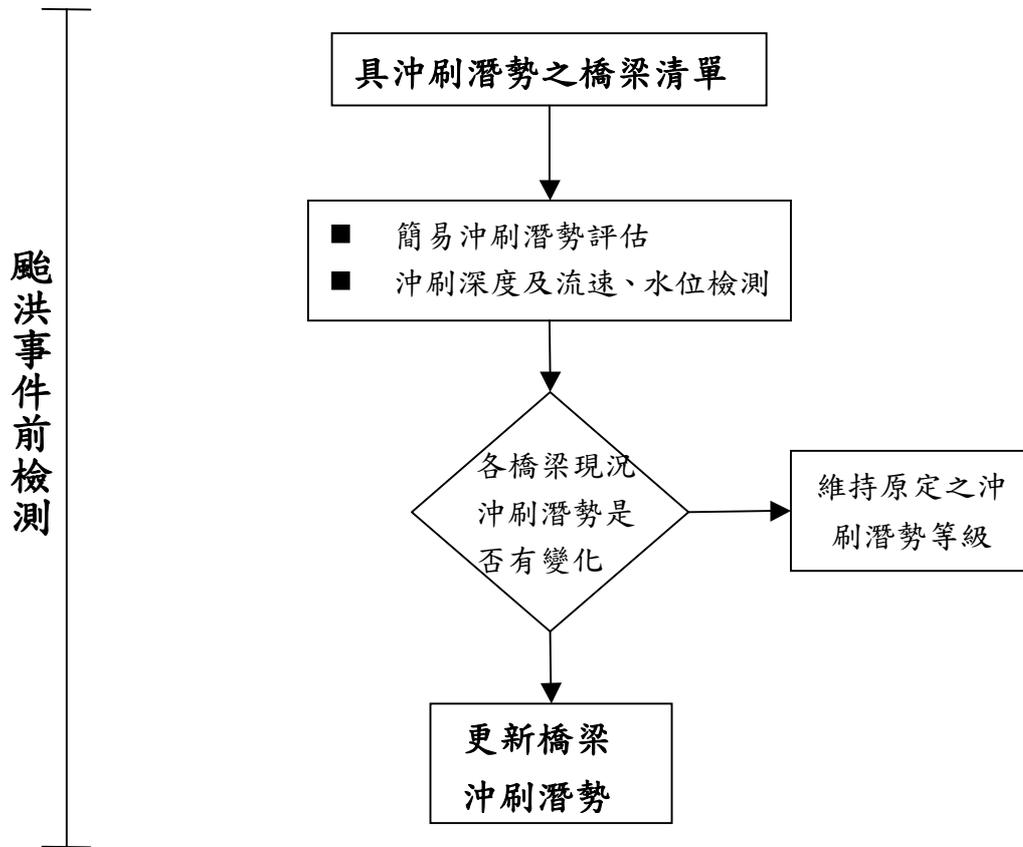
圖 C6.3.1 交通部公路總局封橋標準作業程序(續)



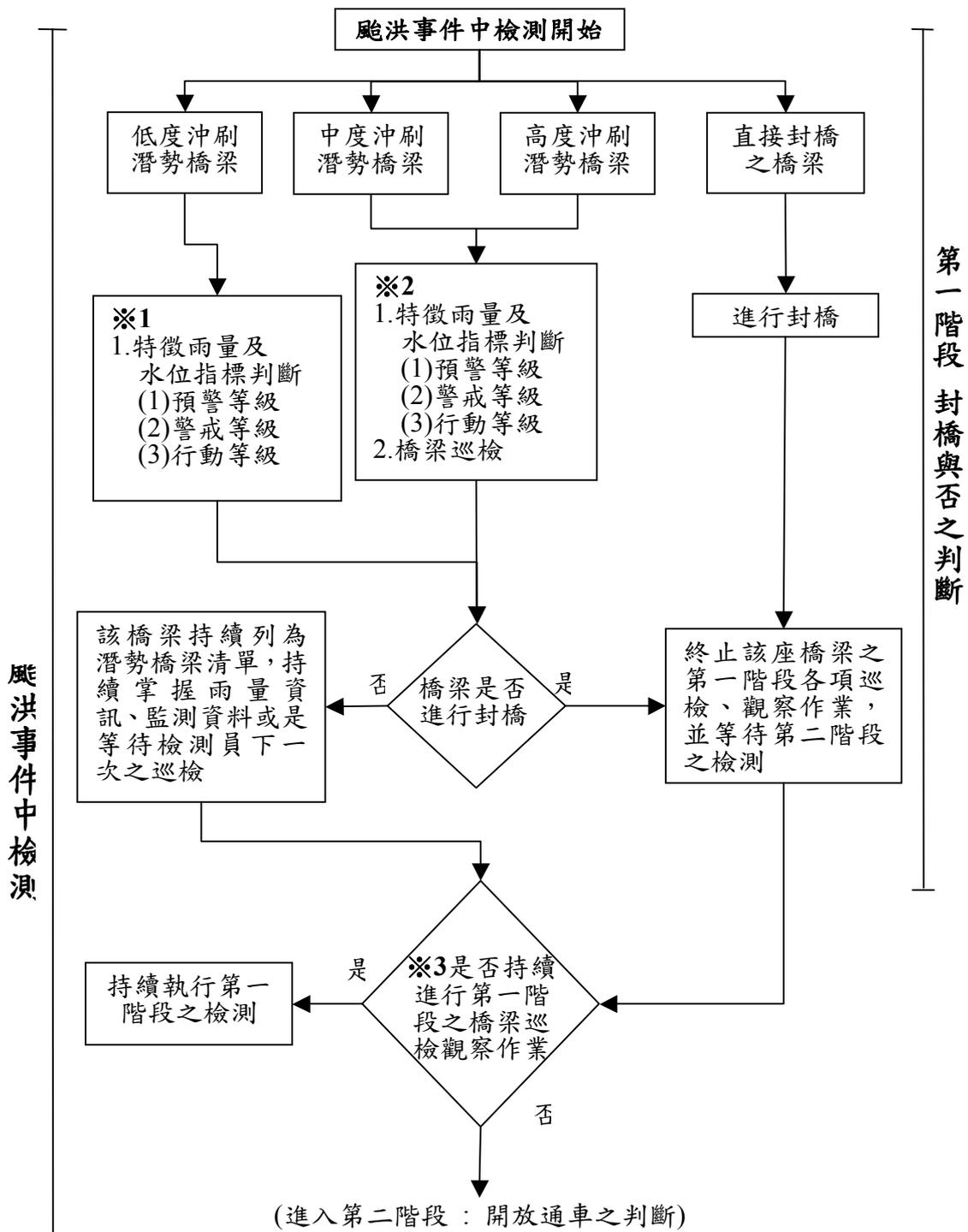
圖C6.3.2 橋梁重大災情搶救作業流程圖



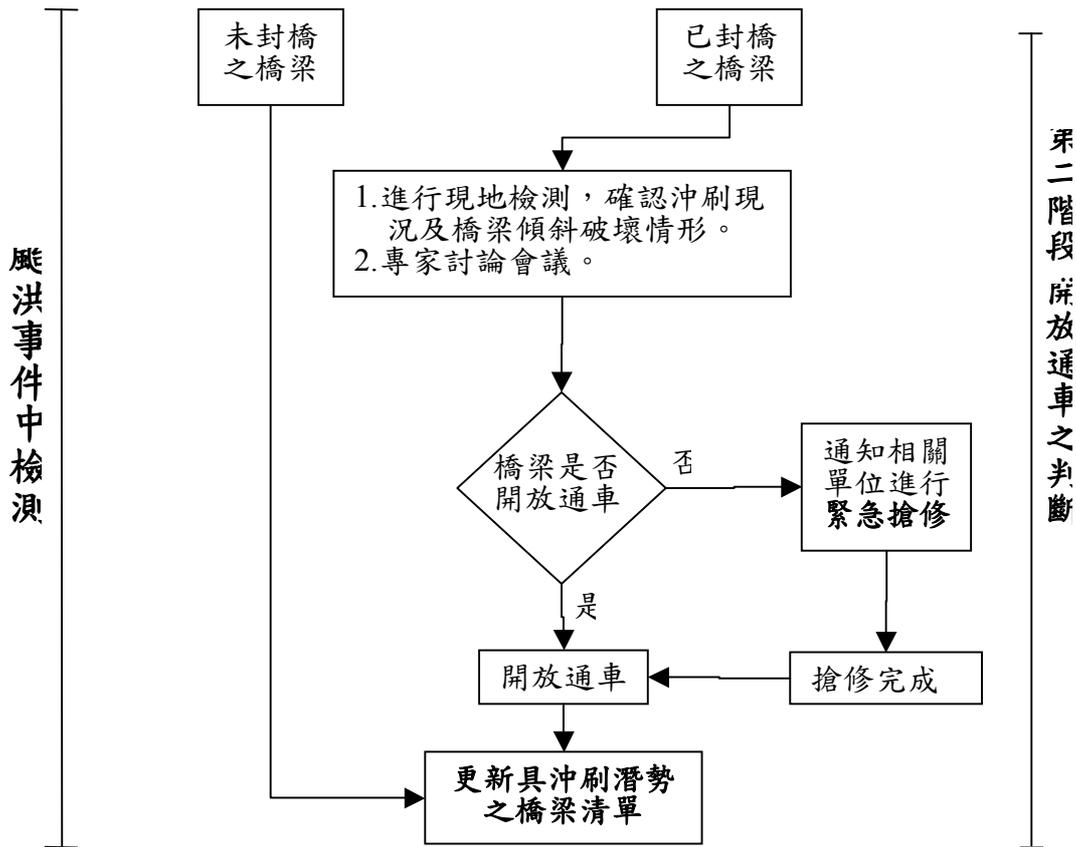
圖C7.3.1 年度汛期前檢測流程圖



圖C7.4.1 颶洪事件前檢測流程



圖C7.4.2 颶洪事件中檢測流程

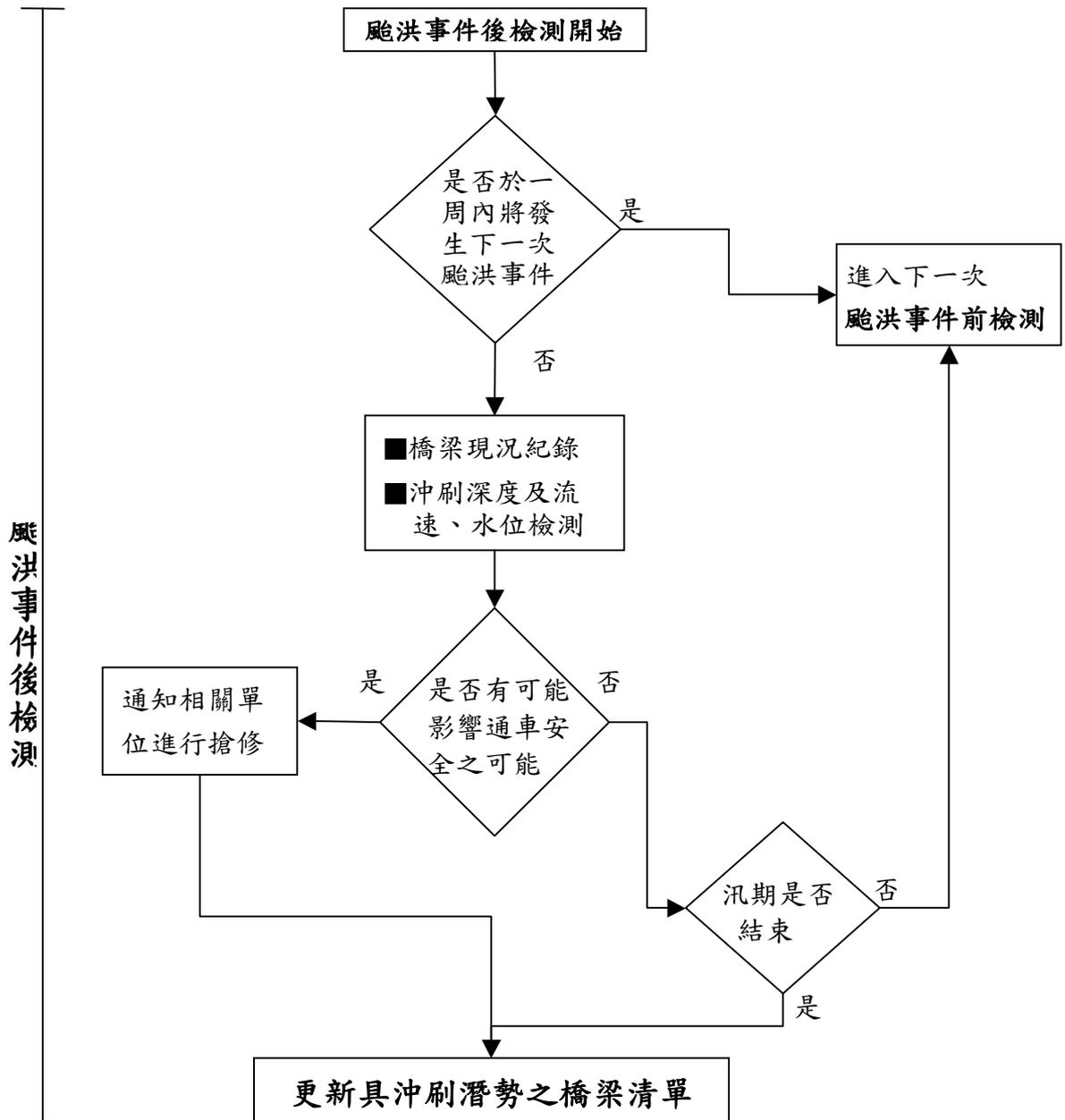


※1
非沖刷潛勢之橋梁，可根據公路總局於100年12月訂定之『公路橋梁防救災預警機制』中防災預警降雨觀測指標之**預警值、警戒值**以及**行動值**來進行相關管制及應變作業。其封橋標準為實際雨量值達到降雨觀測指標行動值。

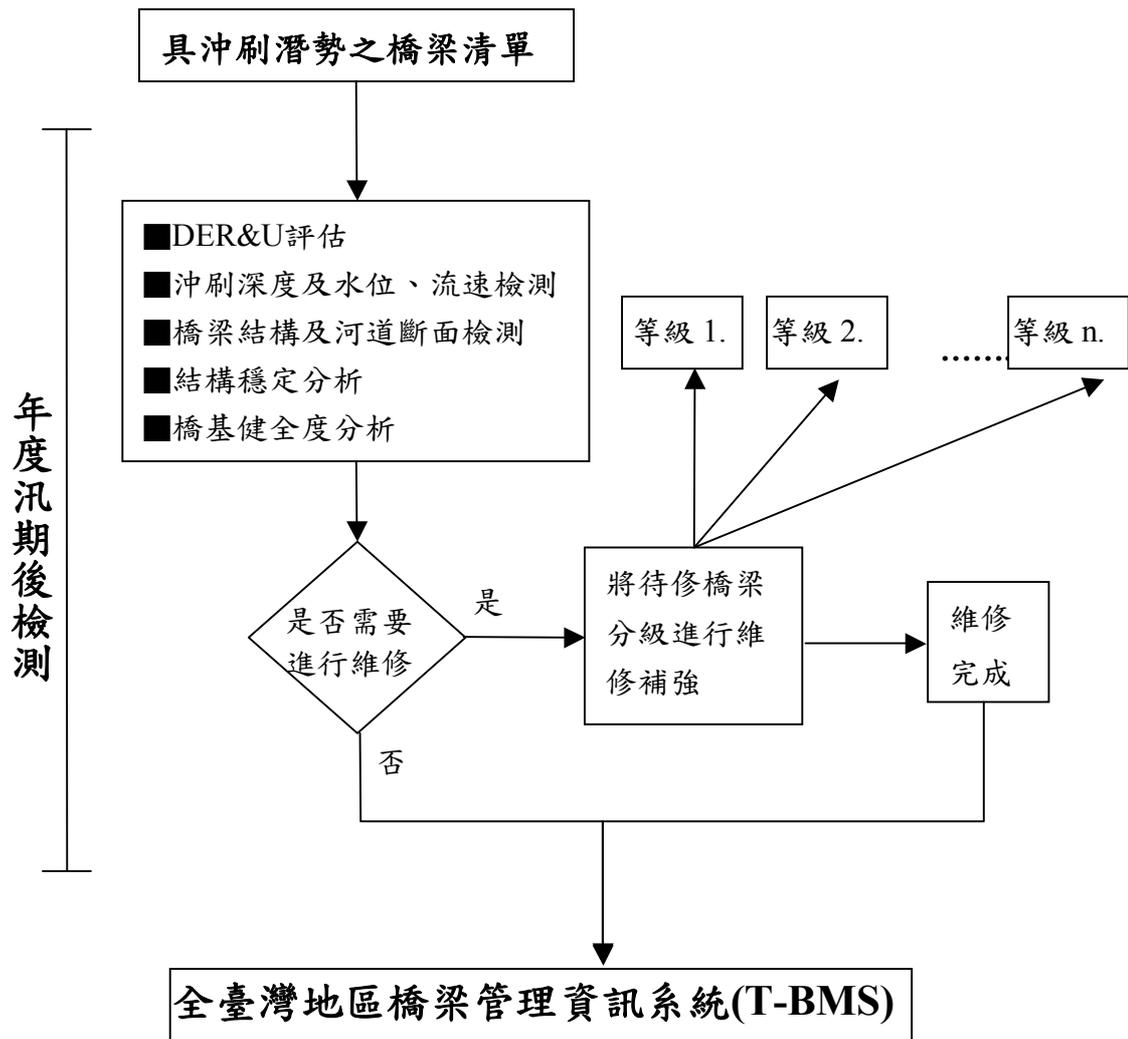
※3
是否持續進行第一階段之橋梁巡檢觀察作業，可參考中央氣象局是否解除『陸上颱風警報』或是實際依據各管理單位主管之決定。

※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『颶洪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人體感受為主。
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。

圖 C7.4.2 颶洪事件中檢測流程(續)



圖C7.4.3 颶洪事件後檢測流程



圖C7.4.4 年度汛期後檢測流程

參考文獻

- 1 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。
- 2 交通部，公路橋梁設計規範，2009。
- 3 日本道路協會，道路橋示方書・同解說，1996。
- 4 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)。
- 5 內政部營建署，『建築物基礎構造設計規範』，2001。
- 6 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。
- 7 蕭清輝，『集集大橋封橋演練實錄』，2008。
- 8 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。
- 9 『申請跨河建造物設置注意事項』，經濟部水利署，2010。
- 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 United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation (USBR), Water Measurement Manual. A Water Resources Technical Publication, USBR, Washington DC, 2001.
- 12 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>)

-
- 13 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。
 - 14 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。
 - 15 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。