

國道3號濁水溪橋沖刷監測之研究

委託單位：交通部臺灣區國道高速公路局

執行單位：財團法人臺灣營建研究院

計畫主持人：徐力平 博士

共同主持人：林宜清 教授

協同主持人：李咸亨 教授、張嘉峰 博士

廖振程 博士

顧問：游保杉 教授

研究人員：陳育聖、廖惠菁、簡臣佑、張永昌

林育輝、蔣松智、黃金華、林嘉澤

中 華 民 國 九 十 九 年 七 月

計畫摘要

本計畫其旨為針對臺灣地區橋梁因河川既短且陡之特性，易因河川運補砂量不足時造成河床沖刷，進而橋墩基礎裸露，造成橋梁基礎承载力大為下降，加上橋墩無法承受瞬間水流衝擊而造成橋梁崩塌斷裂。近期辛樂克颱風來襲導致包括后豐大橋內多座重要橋梁斷橋，造成民眾生命財產損失事件，再再顯示確保基礎沖刷對橋梁安全，實為刻不容緩之事。國道 3 號濁水溪橋橋址附近之河床斷面，歷經歷次颱風暴雨沖刷，其河道主流逐漸往南岸遷移，近期現勘亦發現靠近南岸之橋墩有裸露之情況發生，顯示橋墩因沖刷所造成的裸露之相關監測技術實有必要性。

國內目前河床沖刷檢、監測使用之方法例如疊磚塊、重力棒、磁性感應、聲納、電磁波等方法，因為無法承受夾帶木石之瞬間水流衝擊，尚難於適用在洪流發生之即時監測，對於橋梁遭受沖刷致使橋墩基樁裸露可能引起橋梁斷落潛在危機，無法提供即時橋墩之沖刷資訊，以作為洪流發生時橋梁之沖刷安全評估用。有鑑於國內迄今尚無有效橋梁沖刷檢、監測系統，故乃以國道 3 號濁水溪橋為示範案例，訂定橋梁沖刷安全評估標準作業流程與警戒值，透過水文水理分析後，進行橋梁初步調查、資料蒐集與耐洪調查表格填寫，藉以作為後續環境監測(包含埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統與非埋入型重錘式沖刷深度監測系統)、結構監測(沈陷計與傾斜計)、結構振動檢測與沖刷監測等系統安裝之依據，此外，亦將整合本示範橋梁既有之監測儀器；本團隊結合臺灣營建研究院與中興大學等研究機構，涵蓋橋梁相關設計、檢監測、生命週期、維護管理及檢測儀器設計開發等專長與經驗，建置完成之橋梁沖刷監測系統，配合本團隊開發之橋梁基礎沖刷評估模式，可據以訂定橋梁沖刷監測與評估之標準作業流程與橋梁警戒值，達到災時預警以減少民眾生命財產之損失；最後再依據評估成果，研擬本橋之減災建議方式，並進行計劃成果的推廣與教育訓練。

本計劃已完成國道 3 號濁水溪橋沖刷監測系統之建置，並於莫拉克颱風時期獲得珍貴之橋梁橋墩即時沖刷深度，並配合開發完成橋梁基礎沖刷評估模式，結合兩者針對於莫拉克颱風時期本橋之安全穩定進行即時分析。並研擬完成橋梁沖刷監測與評估之標準作業流程與本橋之橋梁沖刷安全警戒值，以期能作為往後橋梁沖刷安全維護管理之參考。

關鍵字：環境監測、結構監測、結構振動檢測、耐洪評估模式

目 錄

壹、前言	1
1.1 計畫緣起	1
1.2 計畫目的與重要性	1
1.3 研究內容及步驟	2
1.4 研究方法	4
貳、背景資料回顧	7
2.1 國內外相關研究成果	7
2.2 氣象與水文資料整理分析	8
2.3 橋址附近影響河床斷面穩定性之可能因子探討	11
2.4 橋梁損壞模式收集及彙整	19
參、橋梁現況調查及評估	21
3.1 橋梁現況勘查	21
3.2 初步評估	27
3.3 橋梁現況評估	35
3.4 現有沖刷評估表格差異探討	40
肆、橋梁沖刷監測系統安裝	42
4.1 環境監測方法	42
4.1.1 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統	42
4.1.2 非埋入型沖刷深度監測系統	50
4.1.3 埋入型數位感測式橋梁沖刷深度監測系統	53
4.1.4 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統（改良型）	56
4.2 結構監測方法	57
4.3 沖刷監測系統建置	60
4.3.1 系統設計邏輯	60
4.3.2 系統構成	60
4.3.3 系統配置及監測作業	63
4.3.4 系統執行特色	66
4.4 結構振動檢測方法	66
伍、監測成果	74
5.1 環境監測方法監測成果	74
5.1.1 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統監測成果	74
5.1.2 非埋入型沖刷深度監測系統監測成果	75
5.1.3 埋入型數位感測式橋梁沖刷深度監測系統監測成果	76
5.2 結構監測方法監測成果	76
5.2.1 傾斜計監測成果	76
5.2.2 沉陷計監測成果	77
5.3 整合既有儀器監測成果	78
5.4 結構振動檢測結果	79
5.5 沖刷監測系統成效評估	85
陸、橋梁耐洪評估模式及標準作業程序	87
6.1 研究範圍與依據規範	87
6.2 橋梁耐洪評估成果	87
6.3 基礎破壞包絡線分析	98
6.4 建議之橋梁沖刷警戒值	104

6.5 橋梁橋墩快速沖刷評估表.....	106
6.6 橋梁沖刷安全評估標準作業流程.....	109
柒、減災建議與教育訓練.....	111
7.1 研擬本橋梁所處環境的減災建議.....	111
7.2 專家座談.....	116
7.3 教育訓練.....	116
捌、結論與建議.....	118
8.1 結論.....	118
8.2 建議.....	118
玖、重要有關文獻：.....	120

圖目錄

圖 1-1 濁水溪流域及國道3號濁水溪橋位置圖	2
圖 1-2 國道3號濁水溪橋及儀器裝設墩號位置圖	2
圖 1-3 本研究計畫流程	6
圖 2-1 濁水溪流域圖	8
圖 2-2 濁水溪橋址周邊地質圖	12
圖 2-3 斷面樁號位置圖	13
圖 2-4 斷面樁 151000120_105 測量結果	13
圖 2-5 斷面樁 151000120_106 測量結果	13
圖 2-6 橋址歷年河床高程量測與基樁頂部高程圖	14
圖 2-7 林務局農林航空所拍攝橋址處歷年航照圖	15
圖 2-8 民國95年橋址處衛星航照圖	16
圖 2-9 國道3號濁水溪橋上下游河工構造物分布	16
圖 2-10 桃芝颱風後淘刷之情形	18
圖 2-11 托底工法施工之情形	18
圖 2-12 98年2月基樁裸露之情形	18
圖 2-13 高屏大橋損壞情形	19
圖 2-14 龜山大橋損壞情形	19
圖 2-15 自強大橋損壞情形	19
圖 2-16 后豐大橋損壞情形	19
圖 2-17 雙園大橋損壞情形	20
圖 3-1 濁水溪橋址原主河道位置(2009/10/13)	22
圖 3-2 濁水溪橋址主河道(2009/10/13)	22
圖 3-3 橋墩 P25R/P26L 裸露情形(2009/10/13)	22
圖 3-4 橋墩位置河床概估高程圖(2009/10/13)	23
圖 3-5 橋址北岸上游護岸工程(2009/10/13)	24
圖 3-6 橋址北岸下游大排水溝出口(2009/10/13)	24
圖 3-7 橋址南岸下游護岸工程(2009/10/13)	24
圖 3-8 橋址南岸上游護岸工程(2009/10/13)	24
圖 3-9 河工結構物及主河道深槽與橋址之相對位置	25
圖 3-10 98年7月底完成濁水溪橋橋基保護工程	25
圖 3-11 98年7月底完成濁水溪橋橋基保護工程照片	26
圖 3-12 98年底完成濁水溪橋南岸保護工程(2010/01/15)	26
圖 4-1 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩冲刷深度即時監測系統	43
圖 4-2 防水耐撞壓電片振動感應元件	43
圖 4-3 感應元件配置及冲刷監測示意圖	45
圖 4-4 無線監控系統架構示意圖	46
圖 4-5 無線監控系統進行橋墩監測作業流程圖	47
圖 4-6 埋入式冲刷監測儀器主機	49
圖 4-7 鑽孔作業	49
圖 4-8 埋入式冲刷監測儀器埋設	50
圖 4-9 鑽孔機套管取出	50
圖 4-10 埋入式冲刷監測儀器架設完成	50
圖 4-11 非埋入型冲刷深度監測系統示意圖	51
圖 4-12 鏤空外套管埋設	52

圖 4-13 非埋入式沖刷監測儀器重槌棒	52
圖 4-14 非埋入式沖刷監測儀器架設完成	52
圖 4-15 埋入型數位感測式橋梁沖刷深度監測系統	53
圖 4-16 數位感測裝置之示意圖	54
圖 4-17 埋入式沖刷監測儀器主機	55
圖 4-18 鑽孔作業	55
圖 4-19 埋入式數位感測沖刷監測儀器埋設	55
圖 4-20 裝設槽鋼保護訊號線	55
圖 4-21 埋入式數位感測沖刷監測儀器架設完成	56
圖 4-22 埋入式沖刷監測儀器線材改良	57
圖 4-23 埋入式沖刷監測儀器結構改良	57
圖 4-24 傾斜計安裝位置	58
圖 4-25 傾斜計安裝完成	58
圖 4-26 沉陷計安裝位置	59
圖 4-27 相對沉陷計水槽設置	59
圖 4-28 相對沉陷計裝設	59
圖 4-29 現場監測機箱	61
圖 4-30 工務段監測機櫃	61
圖 4-31 整體架構設計圖	64
圖 4-32 現場架設、安裝及測試流程圖	65
圖 4-33 速度計架設圖	67
圖 4-34 VSE-15D 儀器	67
圖 4-35 衝擊試驗示意圖	69
圖 4-36 振動量測示意圖	72
圖 4-37 現場歷時曲線圖（公路橋梁案例）	73
圖 4-38 墩柱在車速 45 km/hr 下長短柱不同之頻率表現（公路橋梁案例）	73
圖 5-1 入式沖刷監測儀器訊號線與鋼索分離被沖毀	74
圖 5-2 非埋入式沖刷監測儀器破壞	75
圖 5-3 埋入式數位感測沖刷監測儀器監測圖	76
圖 5-4 傾斜計 X 軸監測圖	77
圖 5-5 傾斜計 Y 軸監測圖	77
圖 5-6 莫拉克颱風時期流速計監測圖	78
圖 5-7 莫拉克颱風時期水位計監測圖	78
圖 5-8 莫拉克颱風流速與沖刷計監測圖	78
圖 5-9 莫拉克颱風水位與沖刷計監測圖	78
圖 5-10 橋墩淨高長度判斷圖	79
圖 5-11 墩柱下方頻率與墩柱淨高圖	82
圖 5-12 墩柱中央頻率與墩柱淨高圖	82
圖 5-13 墩柱上方頻率與墩柱淨高圖	82
圖 5-14 水流方向頻率與墩柱淨高圖	83
圖 5-15 車行方向頻率與墩柱淨高圖	83
圖 5-16 垂直方向頻率與墩柱淨高圖	83
圖 6-1 橋梁耐洪評估模式分析流程圖	88
圖 6-2 橋墩立面圖	90
圖 6-3 P32R 基樁平面圖	90

圖 6-4 濁水溪河川橋南下線立面圖	91
圖 6-5 群樁基礎受力結構模式圖	92
圖 6-6 箱梁標準斷面圖	94
圖 6-7 橋護欄標準圖	94
圖 6-8 基樁承載破壞包絡線分析流程	99
圖 6-9 基樁承載破壞包絡線圖	100
圖 6-10 基樁承載破壞包絡線圖(水位高度變化表示).....	100
圖 6-11 P25R 基礎結構斷面圖	102
圖 6-12 P25R 基樁承載破壞包絡線圖	103
圖 6-13 P32R 基樁承載破壞包絡線圖(水位高度變化表示).....	103
圖 6-14 基樁承載破壞包絡線圖(FS=1.1)	105
圖 6-15 基樁承載破壞包絡線圖(FS=1.05)	105
圖 6-16 不同計畫洪水頻率年耐能分析	107
圖 6-17 橋梁沖刷安全評估表準作業流程圖	110

表目錄

表 2-1 經濟部水利署集集(2)雨量測站 2009 年單月累計雨量統計	9
表 2-2 橋址附近測站水位流量統計表	9
表 2-3 橋址附近測站 2009 年水位流量統計表	10
表 2-4 橋址測站 2009 年水位流量統計表	10
表 3-1 各橋墩樁帽及基樁裸露情形(2009/10/13)	21
表 3-2 公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局)	30
表 3-3 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等,2000,2004)	31
表 3-4 公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)	32
表 3-5 橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)	33
表 3-6 日本橋梁耐洪能力初步評估表	34
表 3-7 國道3號跨濁水溪橋之初步耐洪評估	35
表 3-8 公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局)	36
表 3-9 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等,2000,2004)	37
表 3-10 公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)	38
表 3-11 橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)	39
表 3-12 國道3號跨濁水溪橋颱風後初步耐洪評估	40
表 3-13 國道3號跨濁水溪橋颱風後初步耐洪評估	41
表 4-1 監測系統構成暨選定因素分析表	62
表 4-2 VSE-15D 儀器規格	68
表 4-3 橋墩固有頻率 (HT 方向)	70
表 4-4 基礎構造物健全度判斷基準	70
表 6-1 編號 75、76 盤式支承荷重表	89
表 6-2 群樁慣性矩計算表	96
表 6-3 Chang(1989)基樁側向力學分析	98
表 6-4 彎矩分析成果	101
表 6-5 剪力分析成果	101
表 6-6 初步建議橋梁沖刷警戒值表	104
表 6-7 國道3號跨濁水溪橋水理因素及各頻率洪水位資料	106
表 6-8 國道3號跨濁水溪橋各頻率年推估平均流速	106
表 6-9 各不同計畫洪水頻率年之最大容許沖刷深度	107
表 6-10 橋梁橋墩快速耐洪沖刷評估表	108

壹、前言

1.1 計畫緣起

台灣地區河川大都具有短急的特性，所以易於切割山脈，但河川所帶來的土石沈積，又對於橋梁的墩基具有穩定的作用。然而當河川運補砂量不足時，易造成橋墩基礎裸露，及水流直接衝擊侵蝕河床；另外部分河川土石流直接衝擊橋梁，造成橋台與墩基損壞。近期國內因辛樂克颱風來襲導致包括后豐大橋內多座重要橋梁斷橋，造成民眾生命財產損失事件。以辛樂克颱風所造成后豐大橋的災害為例，水流湍急且挾帶大量砂石；921震災後上游河床抬升 7 公尺，致后豐大橋段坡度變陡、流速變快，沖刷加速；加上上游之固床工設施形成水躍，更加劇橋基沖刷；當裸露橋墩無法承受瞬間水流衝擊而造成橋梁斷落。

近年來危險橋梁，其上部結構絕大部分皆無問題，反而是因為下部結構基礎有問題而被封橋，其中橋基裸露是目前最嚴重的橋梁安全問題。此乃因橋墩除需面對長期河川沖刷外，洪水於橋墩附近還會產生局部性的沖刷。由於局部沖刷深度對基礎之穩定性影響甚大，因此突顯出橋梁沖刷之檢、監測為必要的防災手段。如何能準確得知沖刷深度，建置良好的橋梁檢、監測系統，防範災害於未然是非常重要的議題。

有鑑於以上研究議題，交通部台灣區國道高速公路局轄下所掌管之國道橋梁為國家重要道路，故於 98 年 4 月委託財團法人台灣營建研究院（以下簡稱本研究團隊），針對國道 3 號濁水溪橋進行「國道 3 號濁水溪橋沖刷監測之研究」案，已達研究案期程，以下就研究成果提出本案期末報告。

1.2 計畫目的與重要性

至今我國正積極研究有效之橋梁即時沖刷深度之檢、監測系統。因此本研究係針對高速公路局所轄之國道 3 號濁水溪橋，進行橋梁即時沖刷深度檢、監測技術之現地試辦，以確認相關橋梁即時沖刷深度檢、監測技術之適用性，本橋座落於濁水溪流域上，位置如下圖 1-1 所示，其儀器裝設位置如下圖 1-2 所示；且為了蒐集本研究往後所關注之橋梁及河川參數，結合結構監測系統、結構振動檢測以及現有之監測儀器如水位計、流速計等，建立完整之橋梁沖刷檢、監測系統；最後利用所得之檢、監測成果配合各種橋梁橋墩破壞模式分析，建立橋墩基礎破壞包絡線及橋梁安全沖刷評估模式，並嘗試建立考量單一橋梁橋墩破壞模式之沖刷評估表，以利現場人員能更快速評估橋梁基礎沖刷對於洪流來襲之安全性，進而訂定橋梁沖刷安全評估標準作業流程與警戒值，並經由所架設監測網頁提供相關人員參考使用，另以簡訊傳送方式將警訊直接傳達給予相關人員進行應變，以期達到對橋梁災害進行預警之功效。

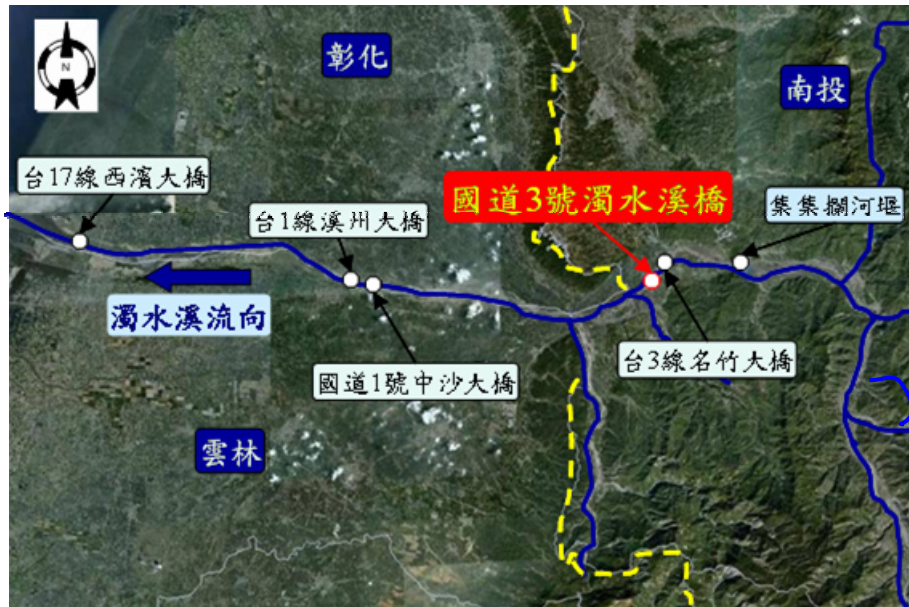


圖 1-1 濁水溪流域及國道3號濁水溪橋位置圖



圖 1-2 國道3號濁水溪橋及儀器裝設墩號位置圖

1.3 研究內容及步驟

以下就本計畫之工作項目提出至期末報告為止之工作項目及重點。

1. 國內外相關文獻資料收集

本研究整理國內外橋梁沖刷案例，彙整河川水文水理資料。藉以探討橋梁因沖刷產生的各種損傷現象以及可能的損傷影響因素，供研發橋梁耐洪評估模式之參考。再者，收集國內外橋梁沖刷評估表格，以提供研擬快速耐洪調查表格之用。

2. 橋梁現況初步調查

利用蒐集之耐洪評估表格，以計畫橋梁狀況為準，進行初評之工作，並以計畫中持續勘查橋梁及河川改變狀況資料，再次填寫表格以評估橋梁耐洪狀況之差異。以了解現有耐洪評估表格對於單一橋梁基礎沖刷評估能力，並作研擬快速耐洪調查表格(橋梁橋墩快速耐洪沖刷評估表)之參考。

3. 橋梁沖刷檢監測系統安裝

在瞭解橋梁現況後，隨即進行各種檢監測系統之安裝。本研究將檢監測技術分為三大類：包含：環境監測設備、結構監測設備、結構振動檢測設備等。最後也將整合既有架設之監測儀器，進行沖刷檢監測系統之開發。

4. 初步橋梁耐洪評估模式開發

將所研究之橋梁沖刷文獻、現場監測數據檢測數據整合，建立該座橋梁基礎各種影響參數之破壞包絡線。並以初步建立之基礎破壞包絡線為構想，研擬快速耐洪沖刷評估表格(橋梁橋墩快速耐洪沖刷評估表)。最後，配合環境監測、結構監測與結構振動檢測之資料，建議橋梁沖刷警戒值。

5. 提出期中報告

由期初研擬之計畫，完成橋梁初步調查、橋梁沖刷監測系統之安裝及監測，並研擬橋梁耐洪評估模。並為了適時修正本案研究方向，獲致最佳研究成果，辦理一場專家座談會。最後將橋梁沖刷監測系統安裝經驗及初步橋梁耐洪評估模式於期中報告中提出並檢討。

6. 橋梁耐洪評估模式開發

以期中初步耐洪評估模式開發部分延續，建立該座橋梁基礎各種影響參數之破壞包絡線，訂定快速耐洪沖刷評估表格(橋梁橋墩快速耐洪沖刷評估表)。並研擬橋梁耐洪模式，建立橋梁沖刷安全評估作業流程。最後，配合環境監測、結構監測與結構振動檢測之資料，建立橋梁沖刷警戒值。

7. 減災建議與教育訓練

本團隊完成橋梁之操作範例後，驗證其可行性，依據驗證結果提出修改，提供高公局與相關管理機關一套具實用性之橋梁減災建議。最後並辦理教育訓練，將經驗與技術加以推廣。

8. 辦理期末報告

期末階段工作，主要修正期中報告之建議與結果，並利用實際案例分析的方式，了解橋梁沖刷檢、監測工作的流程與意義。完成橋梁橋墩與基礎完整的檢監測技術評估，撰寫期末報告。最後期末簡報會議所得之建議與結論，完成期末報告定稿，進行結案動作。

而整個研究工作之推動係以橋梁檢監測技術與損傷評估流程為最終結果，將檢監測技術與分析模式兩方向共同研發並緊密結合於此程序中相互驗證與交叉分析使用。並以此主軸為研究方向基礎，致力發展出橋梁沖刷安全評估分析程序步驟。且在研究最後利用實際案例之說明，搭配檢測技術與評估模式之雙重驗證，達成本研究之最佳化成效。

1.4 研究方法

台灣地區因為中央山脈縱列，河川多呈東西流向造成南北交通系統必須跨越眾多河川，全國橋梁數量也不斷增加。依據台灣地區橋梁管理資訊系統(民國 99 年)顯示，台灣地區有兩萬七千三百四十八座橋梁，其中國道等級以上橋梁有兩千一百七十九座，跨河段四百六十座，且加上台灣河川多屬坡陡流急，在豪雨或颱風挾帶之洪流衝擊下，常造成鐵、公路橋梁橋墩基礎遭受沖刷而產生傾斜、淘空；民國 80 年至民國 86 年間，河川砂石經歷長期之過度使用，已然造成西部各大流域中下游之主河道河床高程嚴重下降，復以暴雨洪水迅速漲落且水勢洶湧，劇烈淘刷橋墩及橋台之基礎處河床，更造成原本已裸露之橋基更形惡化，亦成為橋墩基礎破壞之主因。

翻開台灣地區橋梁近年沖刷災害歷史：民國 85 年 7 月間賀伯颱風侵襲台灣，造成新竹縣內灣支線油羅溪鐵路橋與上坪溪竹東鐵路橋；竹北之頭前溪大橋；高雄縣六龜鄉之寶來一橋等多座重要橋梁沖毀、嚴重下陷或傾斜。此外民國 86 年 8 月間之溫妮颱風、安珀颱風，造成台 1 線新埤大橋之橋基沈陷外，亦再次造成台 1 線頭前溪大橋橋基嚴重裸露，岌岌可危而實施管制達數日之久；民國 87 年 3 月跨越濁水溪之台 19 線自強大橋 P15 橋墩因開挖導水路後水流匯聚、沖刷能力大增，乃引致六支 PC 基樁嚴重斷裂；87 年 10 月間瑞伯颱風致使台 1 線頭前溪大橋南北兩側之高灘地遭沖刷流失，並沖毀橋基保護工及 P8～P19 橋墩之低水治理護岸，亦造成南下車道全面封閉；民國 89 年 8 月碧莉絲颱風過境，台 1 線高屏大橋 P22 橋墩突然崩塌，致長約 100 公尺、寬 20 公尺的橋面塌落高屏溪，造成數十人輕重傷及車輛損毀之嚴重斷橋事故。再者，民國 90 年 7 月桃芝颱風造成濁水溪中下游多座橋梁基礎嚴重裸露，如中二高之濁水溪橋、台 1 線溪洲大橋等；民國 93 年 7 月敏督利颱風又造成中山高之中沙大橋下游潛堰沖毀，橋基再刷深至 22 公尺高程，橋梁堪慮。而上述案例均彰顯近年來國內下降型河床之沖刷災害災況之嚴重性，因此謀求相關防制因應對策及應變方案，乃目前迫不及待之課題。加上民國 97 年 9 月辛樂克颱風造成台中后豐大橋、篤銘橋；南投牛眠橋、昌榮橋；嘉義五虎寮橋以及高雄甲仙大橋等發生斷橋事件，更顯示出台灣地區橋梁沖刷研究之重要性。加上現行公布國內省道危橋數量，更多達 50 座。

綜觀目前國內近期相關研究(如交通部公路總局 94 年專案研究計畫-河川橋梁沖刷並補強後之安全評估)大多以橋梁基礎沖刷深度之變化為主，評估其承载力作為橋梁沖刷與補強後安全性之考量，但是河川因沖刷致使橋梁整體與局部結構損傷橋梁基礎破壞以及墩柱振動模態異常都是重要影響因素，尚待深入研究瞭解。由歷年來既有橋梁基礎沖刷災害之案例教訓，必需與研究其災害機制之外，對於現今危險橋梁，亦需瞭解本身結構之受災機制與基礎設計標準；對於橋梁所處之河川環境、地形以及河川水理與變遷所因應的橋梁設計標準也的重要，唯有透過全面評估分析方法能達到「預防甚於治療」的效果。但除針對新建橋梁本身須具備良好之「體質」之外，亦應重視災害經驗的汲取與傳承，除據以

增進工程設計的信心與改進跨河構造物的防災能力，亦可為國人建立防災救災的資料庫與設計指引，以作為新建橋梁完工後，橋梁維護管理的重要課題。

所以綜合上述，國內先前對於橋梁沖刷研究以及專利技術，有下列不足之處：

1. 國內諸多河川沖刷研究領域，均無法找出一套確實有用且完整的分析流程，包含學理以及儀器技術，針對豪雨沖刷時，橋梁是否有危機時，無法做正確之判斷。且對於橋梁管理單位，分析沖刷流程以及預警措施又是非常重要。傳統技術上與現行管理層面預期上，仍有一大段落差。
2. 至於儀器，國內對於沖刷監測還是停留在利用各種沖刷量測技術，即時量測河水沖刷之深度，此儀器均放在橋墩與水面之間，這有一個很大的盲點，就是在平時颱風未來臨前，儀器均可正常運作，但是真正在颱風來時，河水暴漲，儀器大多失效或沖毀。即使量到即時之沖刷深度，尚無法讓管理者在第一時間能夠對於危險橋做出危機處理。
3. 河川沖刷狀況下，缺乏橋梁整體與局部結構損傷研究成果，導致橋梁損壞之基礎破壞分析模式、破壞位置定位檢測與沖刷深度與墩柱振動模態之關係分析等尚待研究探討。

故本團隊結合現有橋梁檢、監測技術與程序，以及耐洪評估模式，提出本研究計畫流程如圖 1- 3 所示。研究團隊將從國內外文獻資料蒐集著手，並以雙主軸模式先將橋梁現場狀況調查後，完成沖刷監測系統之建置，再輔以橋梁耐洪評估模式，訂定橋梁沖刷警戒值。最後並辦理教育訓練以供各單位參考。

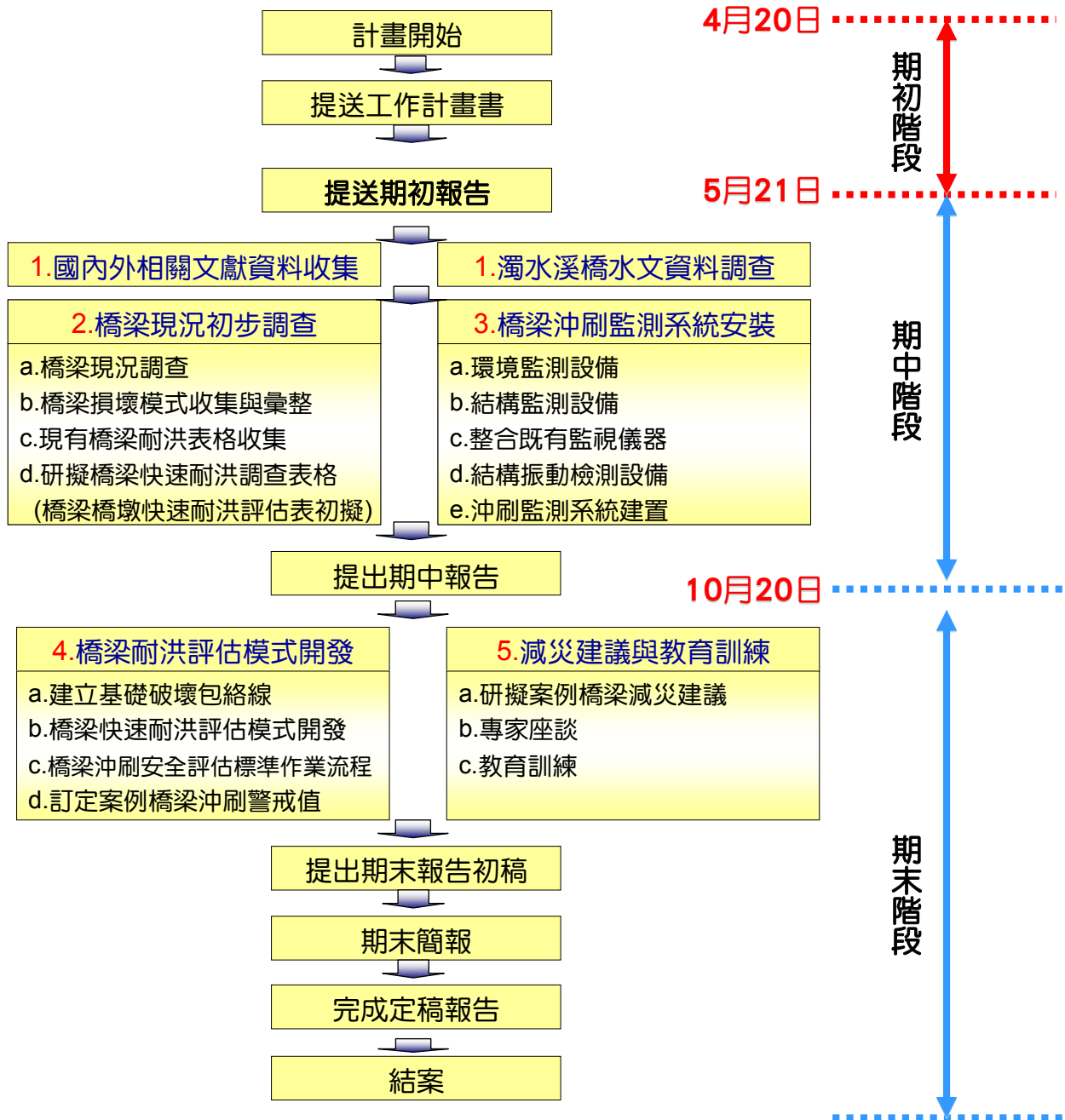


圖 1-3 本研究計畫流程

貳、背景資料回顧

本研究團隊於期初報告提出後即針對國內外相關之研究進行彙整，並將國道3號濁水溪橋橋址上、下游至少各500公尺範圍內之氣象、水文與水理資料進行彙整，以利後續進行耐洪評估模式開發與警戒值訂定之作業。

2.1 國內外相關研究成果

道路與橋梁設計並非只僅考慮結構或大地工程，對於規劃設計通過河流或洪泛區之橋梁尚需藉助水利與水文專業等知識，例如河川之動態變化特性、洪水與砂石之運移現象、沖刷機制與防治對策、河防安全之水理計算評估、...等。有鑑於此，國外先進國家，如加拿大之 Roads and Transportation Association of Canada、美國之 Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation、紐西蘭之 Ministry of Works and Development、...等交通相關主管單位，乃結合水利、結構、大地...等各領域之學者專家成立長期之工作委員會(Task Committee)，研究並編撰有關規劃設計新橋所需之水力指導綱要(guideline)，或建置維修養護既有橋梁所需之保護工法資料庫系統(data base system)，俾利工程師從事相關業務之設計依據或參考資料，例如加拿大之“Guide to Bridge Hydraulics (1973, 1987)”、美國之“Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures—Experience, Selection, and Design Guidance (1991, 1999, 2001)”、紐西蘭之“Guidelines for Scour Estimation and Scour Protection”等。

目前國內西部河川諸多河川中下游之主河道高程已嚴重下降的情況下，洪水之沖刷對跨河橋梁之安全產生莫大的威脅，可謂先天環境極端不佳，後天技術資料又極度缺乏，若僅憑橋工單位舊有經驗保護橋基，難以克盡全功。例如早期國人對於土石流特性的瞭解較為缺乏，故在設計山區道路的橋梁及涵洞時，尚未考慮土石流之因素，僅以一般的洪水頻率計算。為探討鐵公路橋梁沖刷嚴重問題，交通部於民國87年完成「本省西部重要河川橋梁橋基災害分析與橋基保護工法資料庫系統之建立」，針對西部數十座河川橋梁沖刷災因進行調查分析，並探討橋梁及橋基保護工之災害原因與災害模式；民國88年交通部科顧室完成「橋梁設計維修支援系統之建立—腐蝕、地震、河川沖蝕之潛勢分析及相關技術整合」之研究，針對台灣地區河川與橋基沖刷之潛勢及水理進行分析；民國90至91年交通部陸續完成「台灣河流之沖刷對橋梁基礎與道路邊坡之影響及因應對策研究」，建立國內四條中央管河川與橋梁水利資料庫、沖刷防制支援系統以及編撰橋梁規劃設計之水力指引等。然而綜合上述研究發現橋梁沖刷最大原因仍有自然河川湍急之不可抗拒因素，因此民國93年交通部公路總局持續推動「跨河橋梁訂定封橋水位」研究計畫，針對眾多具沖刷災害歷史或具高度沖刷潛勢之橋梁訂定橋梁封橋水位及橋梁預警水位系統。民國95年交通部委託研究之「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強」研究計畫，提供公路與河川主管機關擬訂相關政策，包含橋梁基本資料建立與檢測、沖刷快速評估、耐洪能力計算

以及沖刷預警模式、相關保護措施與補強策略等，以提供未來橋梁風險管理、緊急應變之依據。

2.2 氣象與水文資料整理分析

一、流域概述

國道 3 號濁水溪橋南北橫跨濁水溪，橋址位於東埔蚋溪匯流入濁水溪之河口前方約 1.4 公里處。濁水溪流域位於台灣中部，東以中央山脈為界，南接臺灣第一高峰玉山(標高 3997 公尺)。幹流長 186.9 公里，為本省最長河川；流域面積 3156.9 平方公里，僅次於高屏溪。本溪主流發源於合歡山主峰與東峰之「佐久間鞍部」，標高約 3220 公尺。上游段為霧社溪，聚集合歡山西坡之水，沿北北東間之縱谷流下，至廬山附近與大羅灣溪匯流，至萬大附近又與萬大溪合流，再併丹大溪、郡大溪、巒大溪、水里溪、陳有蘭溪等支流，其下河谷漸見開闊，經集集盆地再匯納清水溝溪、東埔蚋溪與清水溪後流入彰雲平原，於彰化縣大城鄉下海墘村與雲林麥寮鄉之許厝寮間流入台灣海峽。濁水溪流域概述位置圖如圖 2-1 所示。

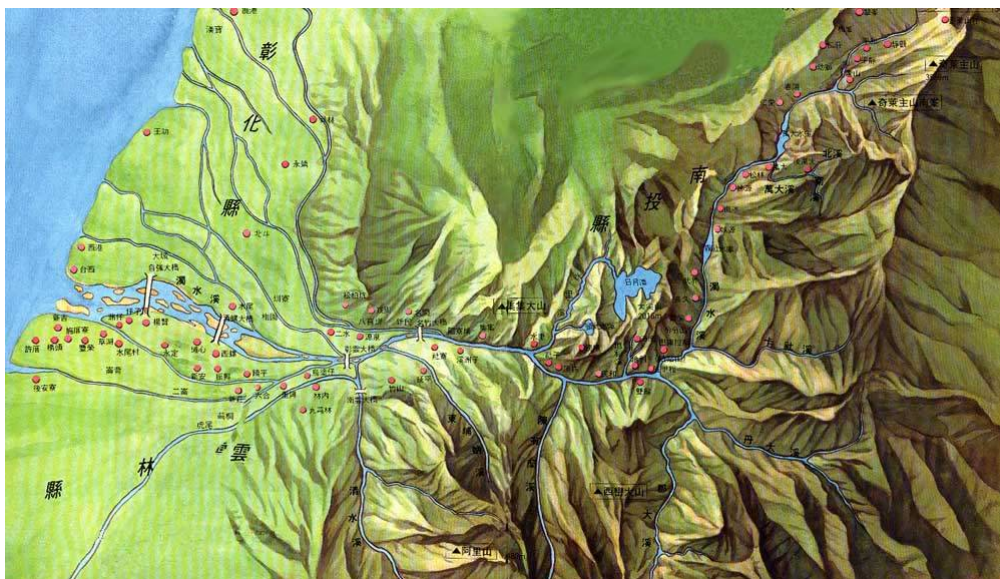


圖 2-1 濁水溪流域圖

二、流域雨量統計

流域雨量相關資料係參考經濟部水利署歷年水文年報、經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統，距離橋址最近之測站為位於橋址上游的集集(2)測站，位於南投縣集集鎮林尾里公館巷 3 號，標高 215.00m，該測站歷年平均雨量為 2399.1 mm，歷史單日最大降雨量為 557.6 mm，發生時間為 1960/07/31，歷史單月平均雨量較高者集中在 6、7、8 月等三個月份，約為 460~489 mm；歷史單月平均雨量較低者集中在 11、12、1 月等三個月份，約為 22~40 mm。參考經濟部水利署水文年報資料，2008 年年雨量為 3093.0mm，歷年平

均年雨量減少為 2352.1mm，單月雨量因 7 月卡玫基颱風及 9 月辛樂克颱風、薔蜜颱風等挾帶豪雨侵台，故 7 月（852.0mm）、9 月（1183.0mm）單月雨量較高，單月雨量較低者為 3 月（31.0mm）、12 月（15.0mm）。

參考經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統，2009 年年雨量為 1865mm，低於歷年平均年雨量，8 月份因莫拉克颱風侵襲，造成 8 月累計雨量達 821mm，為全年最高；其餘月份累計雨量皆低於 250mm，歷年單月平均雨量較高者 6、7 月雨量僅各有 217mm 及 188mm，各月雨量資料如表 2-1 所示。

表 2-1 經濟部水利署集集(2)雨量測站 2009 年單月累計雨量統計

	單月雨量統計												年雨量
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
累計雨量 (mm)	0	7	142	177	33	217	188	821	200	32	28	20	1865

三、橋址附近水位、流量統計

水位與流量相關資料系參考經濟部水利署歷年水文年報、經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統。由於橋址位置並無水位及流量測站，故彙整位於橋址上、下游各 2 個測站之歷年統計最大瞬時水位及最大瞬時流量等資料，如表 2-2 所示。此外，各測站歷史單月平均之水位與流量，較高均在 6~8 月，較低均為 11~1 月，此現象與橋址所在流域之降雨量趨勢大致符合。其中位於橋址上游最近之測站為玉峰橋測站，距橋址約 17.3 公里；位於橋址下游最近之測站為彰雲橋測站，距橋址約 7.7 公里，該測站亦為濁水溪的代表測站。

表 2-2 橋址附近測站水位流量統計表

水系	測站	歷年統計資料 最大瞬時水位 (m)	歷年統計資料 最大瞬時流量 (m ³ /s)	是否超過 警戒水位
濁水溪	水里	270.62 (1996/08/01)	669 (1999/07/30)	否
濁水溪	玉峰橋	270.59 (1996/08/01)	12000 (2001/07/30)	是
濁水溪	彰雲橋	98.12 (2001/07/30)	28000 (2001/07/30)	是
濁水溪	自強大橋	21.28 (1996/08/01)	19100 (1996/08/01)	是

參考經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統，2009 年玉峰橋及彰雲橋測站水位及流量統計如所表 2-3 示，因莫拉克颱風侵台故 8 月份平均水位及平均流量皆最高；其中玉峰橋測站最大瞬時水位為 269.12m/s（2009/08/09 04:00），最大瞬時流量為 10600 m³/s（2009/08/09 04:00）；彰雲橋測站最大瞬時水位為 95.69m/s（2009/08/09 03:00），最大瞬時流量為 16950 m³/s（2009/08/09 03:00）。

表 2-3 橋址附近測站 2009 年水位流量統計表

測站 月份	玉峰橋		彰雲橋	
	平均水位 (m)	平均流量 (m ³ /s)	平均水位 (m)	平均流量 (m ³ /s)
1	265.94	24.23	88.71	12.94
2	265.90	20.87	88.65	9.88
3	265.92	23.96	88.79	19.84
4	265.99	29.88	89.06	47.17
5	265.95	25.55	88.93	25.33
6	266.13	49.50	89.26	63.79
7	266.13	47.31	89.21	47.73
8	264.88	792.54	89.86	881.50
9	263.69	106.33	88.54	55.91
10	263.61	125.41	88.71	86.32
11	264.17	51.50	88.32	28.80
12	263.77	33.68	88.36	32.72

四、橋址位置水位、流速統計

本橋梁於 2009 年 4 月裝設水位計及流速計，並於 2009 年 4 月 28 日起監測橋址位置水位及流量資料，經統計彙整從 2009 年 4 月 28 日至 2009 年 4 月 20 日止之資料，最大瞬時水位為莫拉克颱風時期之水位 141.39m(2009/08/09 03:10)，最大瞬時流速為 5.27m/s(2009/07/13 19:20)，各月份平均流速及水位高度如表 2-4 所示。故本橋址位置從開始監測起的水位及流速趨勢約與上下游測站相同，於六月開始較高。本研究團隊亦持續蒐集計畫執行期間詳細水位計與流速計資料，以作為本研究之參考資訊。

表 2-4 橋址測站 2009 年水位流量統計表

測站 年月份	濁水溪橋	
	平均水位 (m)	平均流量 (m ³ /s)
98/4	133.36	0.82
98/5	133.98	0.67
98/6	135.58	1.27
98/7	134.16	1.02
98/8	137.79	1.56
98/9	138.51	0.44
98/10	136.78	2.48
98/11	132.69	1.79
98/12	132.77	1.86
99/1	132.91	2.01
99/2	132.72	1.85
99/3	132.66	1.75
99/4	132.65	1.71

2.3 橋址附近影響河床斷面穩定性之可能因子探討

一、橋址所在地形與地質調查

橋址位置主要位於濁水溪中游（陳有蘭溪匯口至鼻子頭），這一段地形主要以河階地形及臺地為主，橋址下游（西方）約 5.9 公里處的清水溪與濁水溪之匯流處，主要有坪頂埔臺地及竹山河階群。坪頂埔臺地在竹山鎮北邊，與八卦臺地、大肚臺地、觸口山臺地原本相連結，是大甲溪、大肚溪、濁水溪共同形成的沖積扇，因地殼運動褶皺傾動而形成，所以這些地質組成為砂礫層。橋址南方數公里處為濁水溪支流東埔蚋溪流經鹿谷鄉形成發達的河階地形，其左半邊有所謂「小半天階地群」。鹿谷之東鄰有大水窟台地，此台地亦以砂礫組成，臺地面向東北緩傾，東西寬 1 公里，南北長 3 公里，似屬切割沖積扇。濁水溪中游河谷之河岸，高位階地亦甚發達。

濁水溪河床主要以卵礫石及砂沖積而成的現代沖積層，亦為本橋址座落的主要地層，橋址附近河床質為顆粒較粗之礫質河段，平均粒徑介於 72.04 mm 與 167.54 mm 之間。橋址東方約 1.5 公里處為車籠埔斷層，斷層剛好從名竹大橋竹山端間經過，名竹大橋亦跨越濁水溪，連接南投縣名間鄉與竹山鄉，921 大地震引起車籠埔斷層逆衝斷層錯動撕裂地表造成該橋竹山端斷落 175 公尺。本區位於臺灣西部麓山帶地質區，主要出露地層由老而新包括桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層、頭嵙山層、階地堆積與沖積層。桂竹林層可分為三段，下段關刀山砂岩以淡青灰色細至中粒塊狀泥質砂岩為主；中段十六份頁岩由深灰色頁岩所組成；上段大窩砂岩由厚層灰色至淡灰色砂岩為主，夾薄層頁岩；本層分布於大尖山斷層及初鄉斷層以東。錦水頁岩以深灰色頁岩為主，夾暗灰色凸鏡狀砂岩及薄層頁岩，本層分布於初鄉斷層以東。卓蘭層以淡灰至灰色細粒泥質砂岩為主，偶夾砂岩與頁岩的薄互層，本層分布於車籠埔斷層以東。頭嵙山層分為兩段，下段主要為厚層砂岩及砂岩與泥岩的互層，上段以礫岩為主，夾透鏡狀砂岩，本層分布於斗六丘陵、竹山丘陵及坪頂埔台地。階地堆積以礫石層為主，局部含透鏡狀砂層，主要分布於濁水溪及其支流兩岸。沖積層以礫石、砂及泥為主，分布於濁水溪及其支流的河床。

參考經濟部中央地質調查所地質整合查詢系統，國道 3 號濁水溪橋址周邊地質圖如圖 2-2 所示，圖中顯示如上所述之各種地層資訊及位置，以及位於橋址東方 1.5 公里處之車籠埔斷層位置。

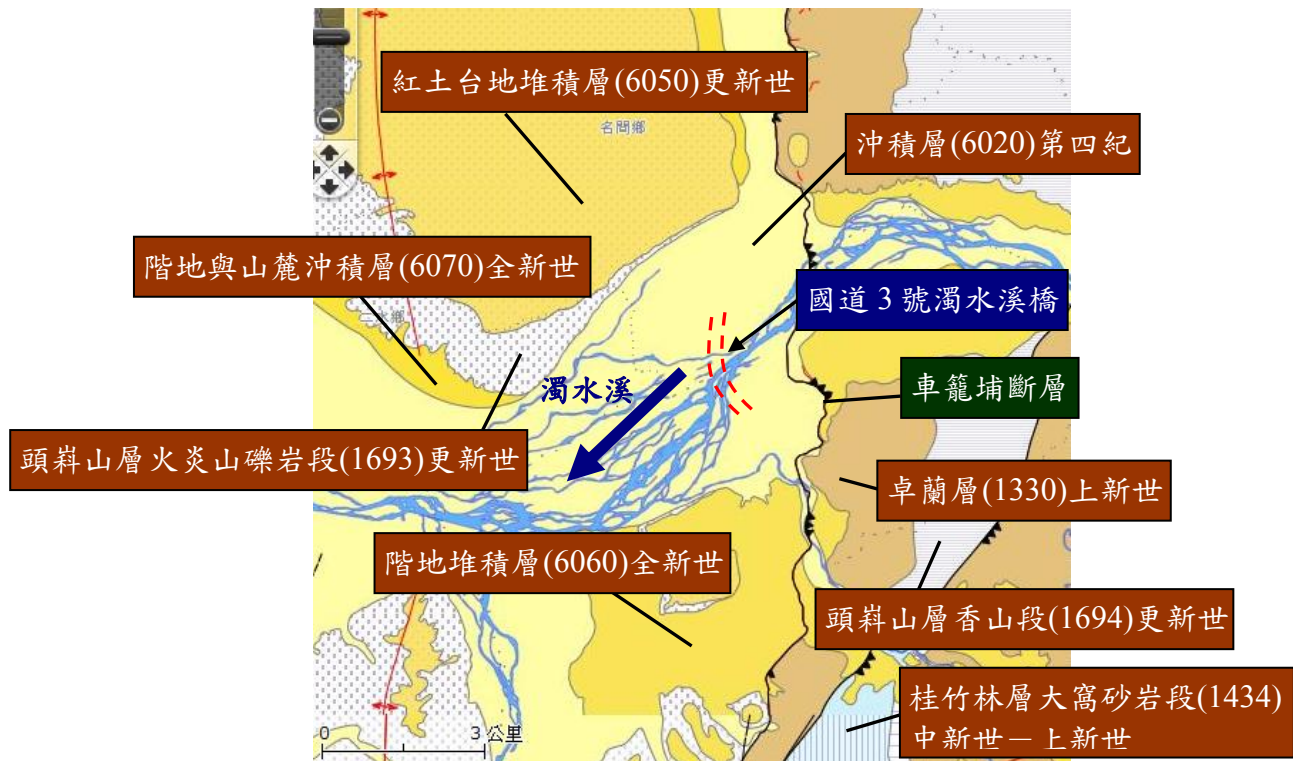


圖 2-2 濁水溪橋址周邊地質圖
(中央地調所地質整合查詢系統)

二、橋址所在河床演變趨勢

1.河道坡降

濁水溪治理區河段內河床平均坡降約 $1/190$ ，橋址所在附近河床（自集集大橋至二水鐵橋間）之坡降約 $1/140$ ，橋址更上游處自龍神橋至集集大橋間坡降約 $1/130$ ，橋址更下游處自二水鐵橋至西螺大橋間坡降約 $1/260$ ，西螺大橋至河口間約 $1/930$ 。顯示橋址所在附近河床之坡降甚大。

2.河道斷面變化

參考經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統提供之河道斷面測量資料，資料時間為 87 年及 90 年，選取最靠近橋址的 2 個斷面樁號（位置如圖 2-3 所示）測量結果，其中樁號 151000120_105 之斷面樁幾乎位於橋址上，具相當之參考價值，測量結果分別如圖 2-4、圖 2-5，顯示較靠近橋址所在之 151000120_105 斷面樁在兩個時期的變化較大。此外，根據測量結果顯示，在 2 次測量相距的 3 年間，河道斷面高程變化最劇烈者可達到 6 公尺以上，由此亦可證明河道主流位置變遷不定。

民國 82 年~90 年國道 3 號濁水溪橋主要行水區河床斷面高程變化情形，詳如圖 2-6 所示。由橋址深槽之歷年河床斷面高程變化亦可發現民國 82 年~90 年間河床沖刷有往南岸發展的趨勢。(亞新工程顧問股份有限公司、中鼎工程股份有限公司，2002)

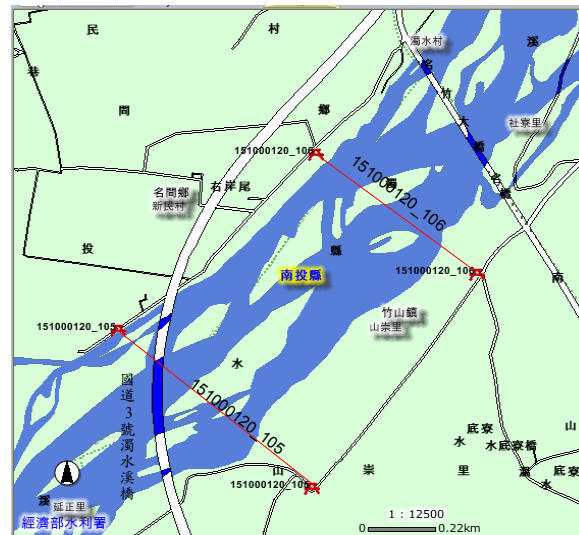


圖 2-3 斷面樁號位置圖

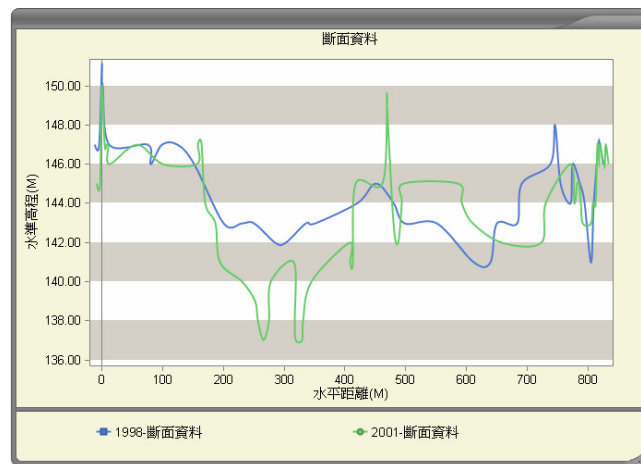


圖 2-4 斷面樁 151000120_105 測量結果

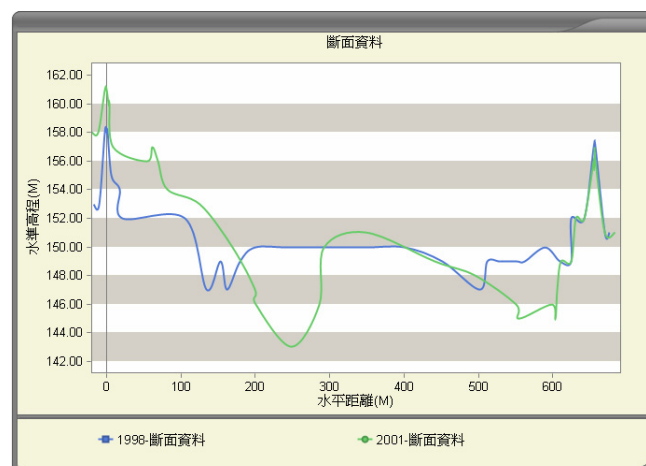


圖 2-5 斷面樁 151000120_106 測量結果

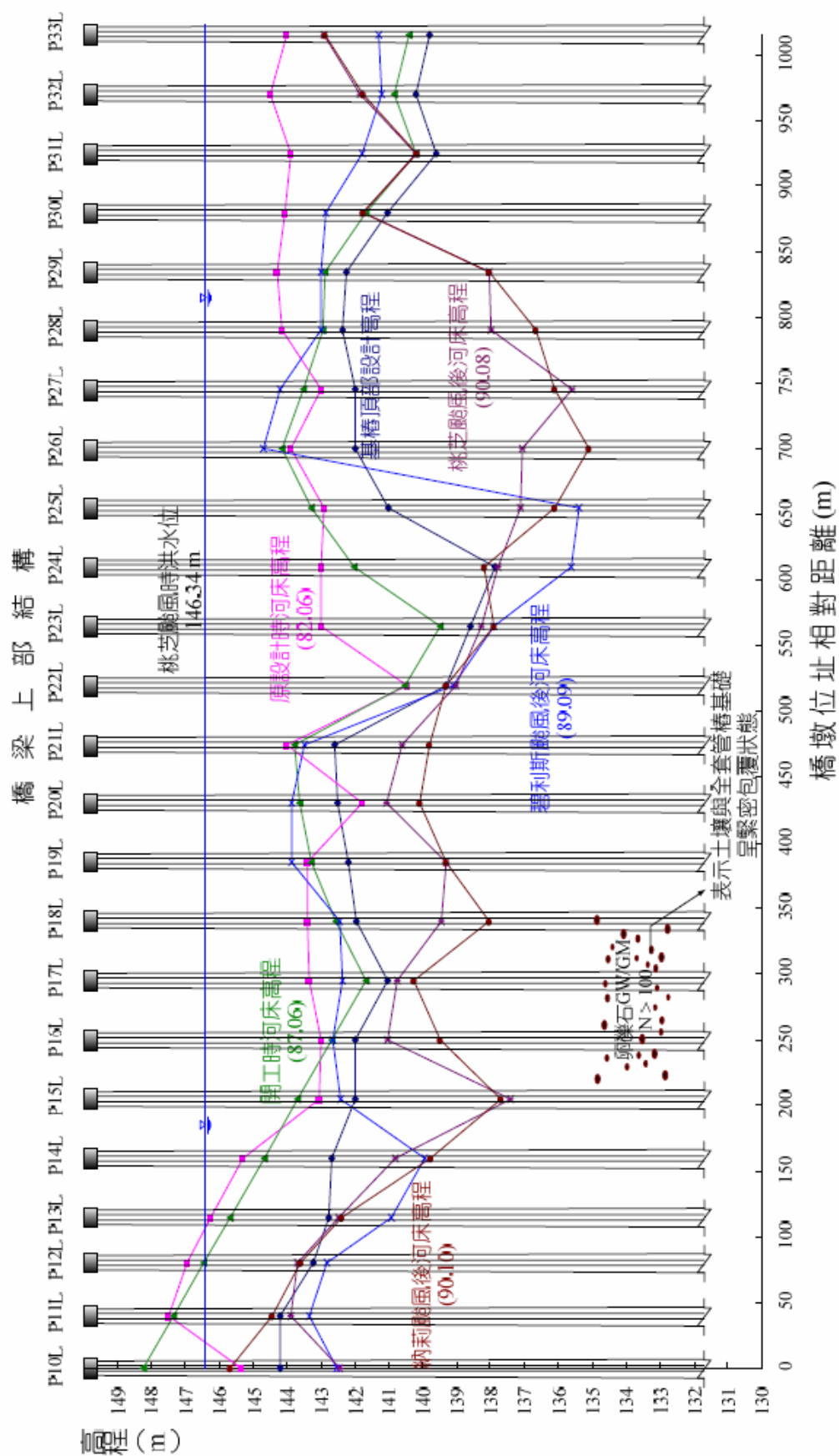


圖 2-6 橋址歷年河床高程量測與基樁頂部高程圖

3.河道主流變遷

國道3號濁水溪橋其地理位置係於南投縣名間鄉與竹山鎮北側之水底寮間，座落於台3線名竹大橋下游1.3~1.5公里。濁水溪於此河段屬辮狀河川，河床上有多處砂洲，且主流位置遷移不定。依據「濁水溪水系治理規劃報告(1996)」中，對於濁水溪歷年之河床沖淤變化，以民國2年、43年、57年、67年、78年與81年河床大斷面歷年資料中，各斷面河床平均高度及沖淤量之分析。二水鐵路橋至集集大橋段(濁斷87~117)之情況，從長期觀之其變化甚少，可視為泥沙輸送過程之河段，大致略呈沖刷之勢。而自民國67~81年間，本河段呈明顯沖刷狀況。尤其自東埔蚋溪匯流處(濁斷99)至名竹大橋(濁斷106-1)河床下降尤劇，約在1.68~4.64m之間，而本橋橋址位於名竹大橋下游僅約1.3~1.5公里處。

由相關文獻所記載河床高程變化情形研判，濁水溪河床位於國道3號路段，主深水槽已明顯從原設計階段的最低點河床高程P22L，歷經賀伯→碧利斯→桃芝→納莉颱風等洪水侵襲後主深槽目前往南至橋墩P33L橋址處。

通常河岸的自然產生坡度之安息角約為 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ （卵礫石河床）時，方可判斷本河岸之水流攻擊力減弱，側向侵蝕才趨於穩定。在桃芝颱風過後，濁水溪河川橋上游南岸區域已產生一大轉彎河道，其高灘地側壁陡峭，及水流過灣的慣性作用，洪水將直接衝擊淘刷，顯示本區域河岸仍屬水流攻擊岸，故依此研判，此一過彎河道遇到大洪水侵襲時，側向侵蝕將會有往南岸發展之趨勢。

本研究團隊透過歷年相關研究成果及林務局農林航空測量所拍攝之民國65、80、88年之航測圖（如圖2-7），與民國95年拍攝之衛星航照圖（如圖2-8），可對本橋址處之深槽變化及河道變遷有一清楚之瞭解。圖2-7由左至右分別為民國65年、80年及88年之航照圖，可發現65年~80年河道有往北遷移之情況，80年~88年河道又有反向往南遷移之趨勢，由圖2-8，可發現88年~95年河道明顯地持續往南遷移，與南岸的堤防已相當接近，此與本團隊於今年2月現勘瞭解之現況接近。

綜上所述，本研究團隊擬將沖刷檢、監測儀器配置於靠近南岸的P30R及P32R，以達最大研究成果展現。

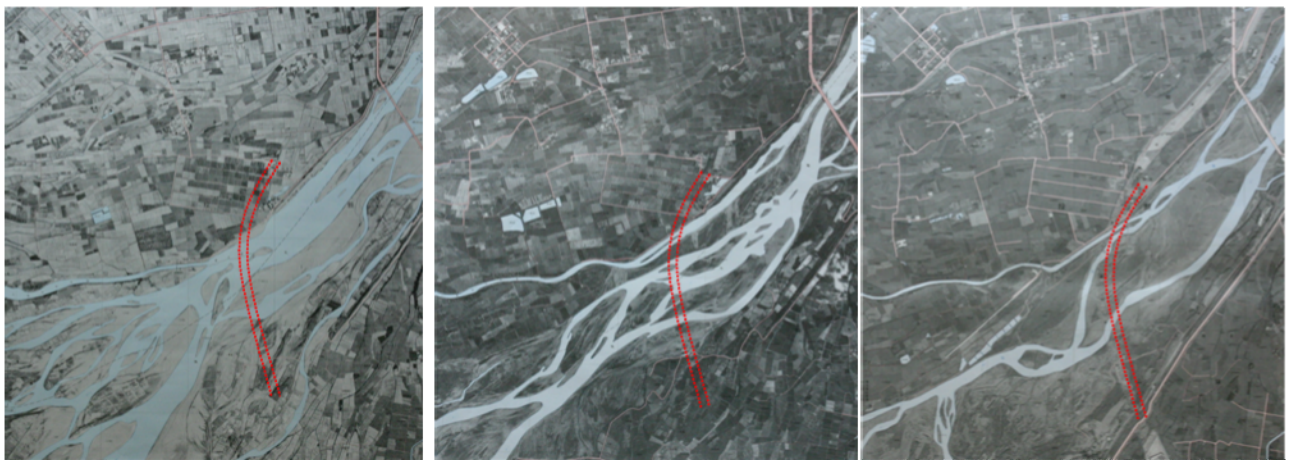


圖 2-7 林務局農林航空所拍攝橋址處歷年航照圖



圖 2-8 民國 95 年橋址處衛星航照圖

三、橋址所在上下游河工構造物分布調查

橋址所在上下游附近河工構造物多為護岸或岸邊防汛塊，最重要的是上游約 8.3 公里處的集集攔河堰，詳細分布狀況如圖 2-9 所示。

集集攔河堰啟用後對於其下游河段之影響頗大，上游大量砂石均被攔下，導致濁水溪下游的名間鄉與竹山鎮河段的砂石補充減少，對橋梁與河堤之沖刷影響甚大。



圖 2-9 國道3號濁水溪橋上下游河工構造物分布

四、歷年災害及處理方式調查

國道3號濁水溪橋自民國87年興建以來，屢屢遭遇重大颱風之侵蝕，包含賀伯颱風、碧利斯颱風、桃芝颱風、納莉颱風等，造成多處基樁裸露及受損之情形，為了在未來能提出對橋基維護補強之最佳建議，有關橋梁災害及修復紀錄之蒐集工作即為本計畫一重要課題。

為徹底瞭解國道3號濁水溪橋歷年損傷異狀及維修歷史，本團隊透過過往研究成果之相關文獻蒐集、訪談相關單位人員及現地勘察等方法，對於本橋梁自設計階段開始所歷經之種種損害及維護補強記錄皆已詳實蒐集，期望透過上述之資料達到鑑古知今之效果，以下即為團隊整理之歷年損傷事紀。

- 國道3號濁水溪橋之設計期間為民國82年1月至民國84年9月，依原設計階段民國82年6月河床測量資料，主深水槽在橋墩P22L，EL.140.15 m。
- 民國87年6月開工前，歷經85年賀伯颱風過後，洪峰流量約在25年頻率，發現部份河床冲刷下降，部份基礎設計高程須變更、降低高程以符合當時之情況，河床主深水槽在橋墩P23L，EL.139.47公尺。
- 民國88年5月砂石聯管已於國道3號路權外上游150公尺，及下游50公尺外開採砂石，其範圍約在橋墩P24L至橋墩P29L之間，當時濁水溪上游集集攔河堰工程已進行施築中。
- 民國89年9月碧利斯颱風過後（洪峰流量約5年頻率），進行河床檢測高程，主深水槽往南淘刷，高灘地崩塌，導致橋墩P25L/P24R基樁裸露。
- 民國90年8月桃芝颱風過後（洪峰流量達100年頻率，單寬流量則推估高達200年頻率），進行河床檢測高程，主深水槽繼續往南移至橋墩P29L/P28R，造成基樁P25L~P29L及P25R~P28R裸露，P25L基樁甚至受到移動層磨耗而導致鋼筋外露。
- 民國90年10月納莉颱風過後（洪峰流量2年頻率年），河床檢測高程，主深槽局部再刷深。為確保橋基之安全，即針對因應冲刷裸露狀況，進行該橋橋墩基樁裸露因應方案之評估，考量相關因素後，乃採行托底工法補強橋基，以提升其抗冲刷及耐震能力。
- 自民國91年11月22日至92年9月21日辦理「基樁鋼套管保護」及「托底(補樁擴基)」工程，基樁鋼套管保護工程包含基樁已裸露之橋墩P14R/P15L、P17R/P18L、P24R/P25L~P28R/P29L及配合托底工法施作之橋墩P29R/P30L~P30R/P31L等共18座；托底工程包含基樁裸露較嚴重之橋墩P24R/P25L~P28R/P29L，經整體連續單元(第五單元)之結構分析及河床冲刷趨勢研判，河道後續將往南岸高灘繼續側向冲刷，合理考量再往南兩跨之橋墩P29R/P30L~P30R/P31L等共14座。
- 97年9月辛樂克颱風造成濁水溪橋南岸高灘地退縮，側向侵蝕。
- 民國98年2月本團隊進行現地勘察發現，橋墩P32L/P31R及P33L/P32R等四座有嚴重裸露之現象，裸露深度約3.5m且河道已往南到達P33L/P32R之位置。
- 98年7月底完成濁水溪橋橋基保護工程，於南岸吊放1,500個10噸鼎塊。

- 98年8月8日莫拉克颱風因南岸吊放鼎塊及護岸工程緣故，造成主河道遷移至 P24R 至 P26R 橋墩位置，主河道趨向河道中央，暫不再具有側向侵蝕潛勢。



圖2- 10 桃芝颱風後淘刷之情形



圖2- 11 托底工法施工之情形



圖2- 12 98年2月基樁裸露之情形

綜上所述，河道經護床工程及護岸工程等之施作，改至 P24R 至 P26R 橋墩位置，已無向側向侵蝕之潛勢，但仍有橋墩基礎局部沖刷之可能，為掌握往後橋墩基礎受沖刷情形，另增設沖刷深度監測儀器於 P25R 橋墩處，以作為後續橋樑維護管理之參考。

2.4 橋梁損壞模式收集及彙整

本團隊探討橋梁因沖刷產生的各種損傷現象以及可能的損傷影響因素，供研發橋梁耐洪評估模式之參考。台灣橋梁沖刷損壞主要成因主要分為下列五種：

1. 因河川水位急速上升或河道坡度變陡造成的水流淘刷。
2. 因河道異常落差(水工構造物造成)之局部水躍淘刷，造成河道變遷及局部束縮淘刷。
3. 基礎土壤流失造成橋址承载力喪失。
4. 水流、巨石與漂流木撞擊造成之結構損壞。
5. 河道改變造成水流攻擊橋台或橋台護岸。

其中造成基礎損壞原因為下列三種：

1. 額外外力如水流衝擊、土石撞擊。
2. 因土壤流失及土壤狀況改變造成基礎承载力降低。
3. 基礎位移與結構崩解如基礎位移、傾倒、上構掉落。

綜合上述河川沖刷造成之橋梁損壞形式多為束限淘刷，亦即束縮沖刷而直接造成基礎受損，因河水造成損壞形式分為下兩種：

1. 承載土層流失造成傾倒或滑移，如高屏大橋（圖 2- 13 所示）、龜山大橋（圖 2- 14 所示）等。



圖 2- 13 高屏大橋損壞情形



圖 2- 14 龜山大橋損壞情形

2. 水流、巨石或漂流木衝擊造成基礎損毀，如自強大橋（圖 2- 15 所示）、后豐大橋（圖 2- 16 所示）、雙園大橋（圖 2- 17 所示）等。



圖 2- 15 自強大橋損壞情形



圖 2- 16 后豐大橋損壞情形



圖 2- 17 雙園大橋損壞情形

參、橋梁現況調查及評估

3.1 橋梁現況勘查

本團隊最近一次現況調查係於 98 年 10 月初。調查過程先對各橋墩之現況包括各樁帽或基樁是否裸露及裸露長度進行紀錄，並勘查橋址位置現行河道通過情形，最後對橋址上下游各 500 公尺內進行河工結構物現況調查。

一、各橋墩之現況調查

各橋墩柱樁帽及基樁裸露狀況如表 3-1 所示，現今橋墩樁帽仍未裸露之橋墩編號為 P12L、P12R/P13L、P19R/P20L、P20R/P21L、P22R/P23L 以及 P23R/P24L 等 11 支橋墩；其餘 34 支橋墩樁帽皆已裸露，其中橋墩標號 P16R/P17L 至 P18R/P19L 以及 P24R/P25L 至 P26R/P27L 等 12 支橋墩亦經過沖刷使其基樁有裸露現象，P24R/P25L 至 P26R/P27L 等 6 支裸露較嚴重之基樁位置亦為當日所觀察濁水溪流域橋址位置主深槽河道位置，原本主深槽河道由靠南岸之 P30R/P31L 至 P32R/P33L（如圖 3-1 所示）段向北移至移至 P24R/P25L 至 P26R/P27L，如圖 3-2 所示，其中基樁裸露長度最長為 P25R/P26L 橋墩 2.3m，如圖 3-3 所示。

表 3-1 各橋墩樁帽及基樁裸露情形(2009/10/13)

橋墩編號	樁帽		基樁		橋墩編號	樁帽		基樁	
	是否裸露	裸露長度(m)	是否裸露	裸露長度(m)		是否裸露	裸露長度(m)	是否裸露	裸露長度(m)
P11L	是	1.26	否	N/A	P21R/P22L	是	2.67	否	N/A
P11R	是	1.77	否	N/A	P22R/P23L	否	N/A	否	N/A
P12L	否	N/A	否	N/A	P23R/P24L	否	N/A	否	N/A
P12R/P13L	否	N/A	否	N/A	P24R/P25L	是	5	是	1
P13R/P14L	是	2.9	否	N/A	P25R/P26L	是	5	是	2.3
P14R/P15L	是	1.46	否	N/A	P26R/P27L	是	5	是	2.3
P15R/P16L	是	2.54	否	N/A	P27R/P28L	是	2.4	否	N/A
P16R/P17L	是	2.9	是	1	P28R/P29L	是	3.5	否	N/A
P17R/P18L	是	2.9	是	1.8	P29R/P30L	是	3.5	否	N/A
P18R/P19L	是	2.9	是	1.8	P30R/P31L	是	3.95	否	N/A
P19R/P20L	否	N/A	否	N/A	P31R/P32L	是	2.9	否	N/A
P20R/P21L	否	N/A	否	N/A	P32R/P33L	是	3.26	否	N/A

註：依 6.3 節所進行之本橋基礎破壞包絡線當中，莫拉克颱風時期基樁允許沖刷深度最小為 9m



圖 3-1 濁水溪橋址原主河道位置(2009/10/13)



圖 3-2 濁水溪橋址主河道(2009/10/13)



圖 3-3 橋墩 P25R/P26L 裸露情形(2009/10/13)

二、橋址位置現行河道通過情形

將各橋墩樁帽依設計時之高程為準，再將各橋墩樁帽及基樁裸露長度帶入進行計算，則可概估現今各橋墩位置的河床高程，並可大致了解現今河床斷面狀況(2009/10/13)；各橋墩位置河床概估高程如圖 3-4 所示。圖中實線為現勘推估河床高程，方塊為各橋墩樁帽底高程，虛線為高公局中區工程處南投工務段 98 年濁水溪橋址河床斷面高程測量結果；圖中可觀察得知經高公局及河川局施作固床工後，原本主深槽河道由靠南岸之 P30R/P31L 至 P32R/P33L 段向北移至移至 P24R/P25L 至 P26R/P27L。

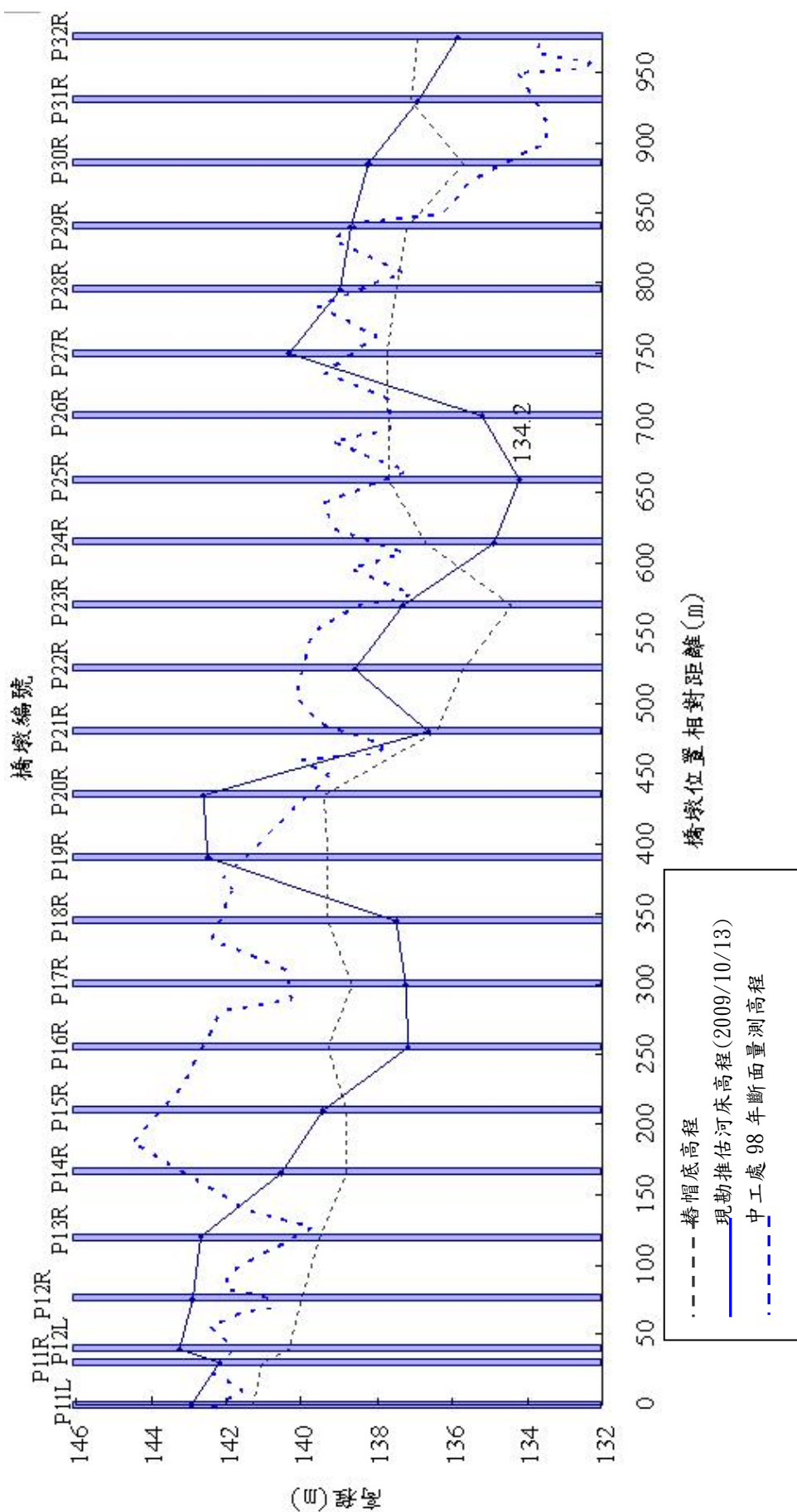


圖 3-4 橋墩位置河床概估高程圖(2009/10/13)

三、橋址位置上下游 500 公尺河工結構物現況調查

橋址位置上下游 500 公尺河工結構物現況經調查結果如下：橋址北岸上游處有一長約 400m 之護岸工程，如圖 3- 5 所示；橋址北岸下游處約 500m 處有一大排水溝出口外，無其他河工結構物，如圖 3- 6 所示；橋址南岸上下游處皆有護岸工程，但損壞嚴重，無法辨識其原本河工結構物設置距離，如圖 3- 7 及圖 3- 8 所示。各河工結構物及主河道深槽與橋址之相對位置如圖 3- 9 所示。



圖 3- 5 橋址北岸上游護岸工程(2009/10/13)



圖 3- 6 橋址北岸下游大排水溝出口(2009/10/13)



圖 3- 7 橋址南岸下游護岸工程(2009/10/13)



圖 3- 8 橋址南岸上游護岸工程(2009/10/13)

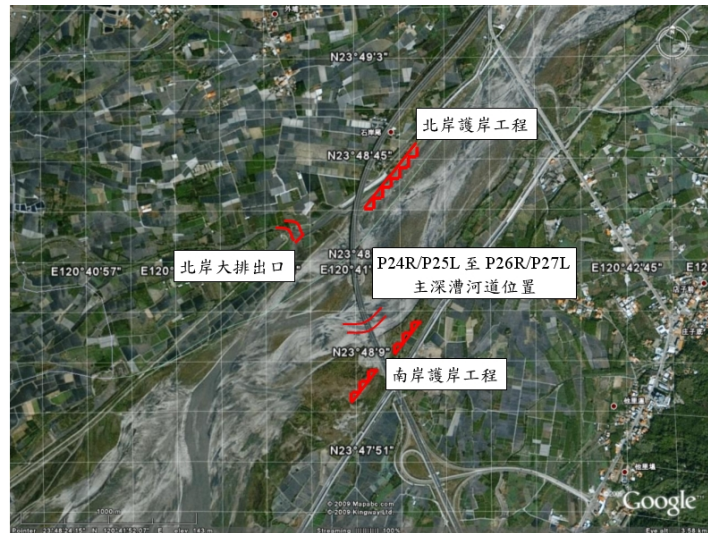


圖 3-9 河工結構物及主河道深槽與橋址之相對位置

98 年 7 月底完成濁水溪橋橋基保護工程，於南岸吊放 1,500 個 10 噸鼎塊，其施工圖如圖 3-10，完工照片如圖 3-11，8 月 8 日莫拉克颱風因南岸吊放鼎塊緣故，主河道遷移至 P25 橋墩。

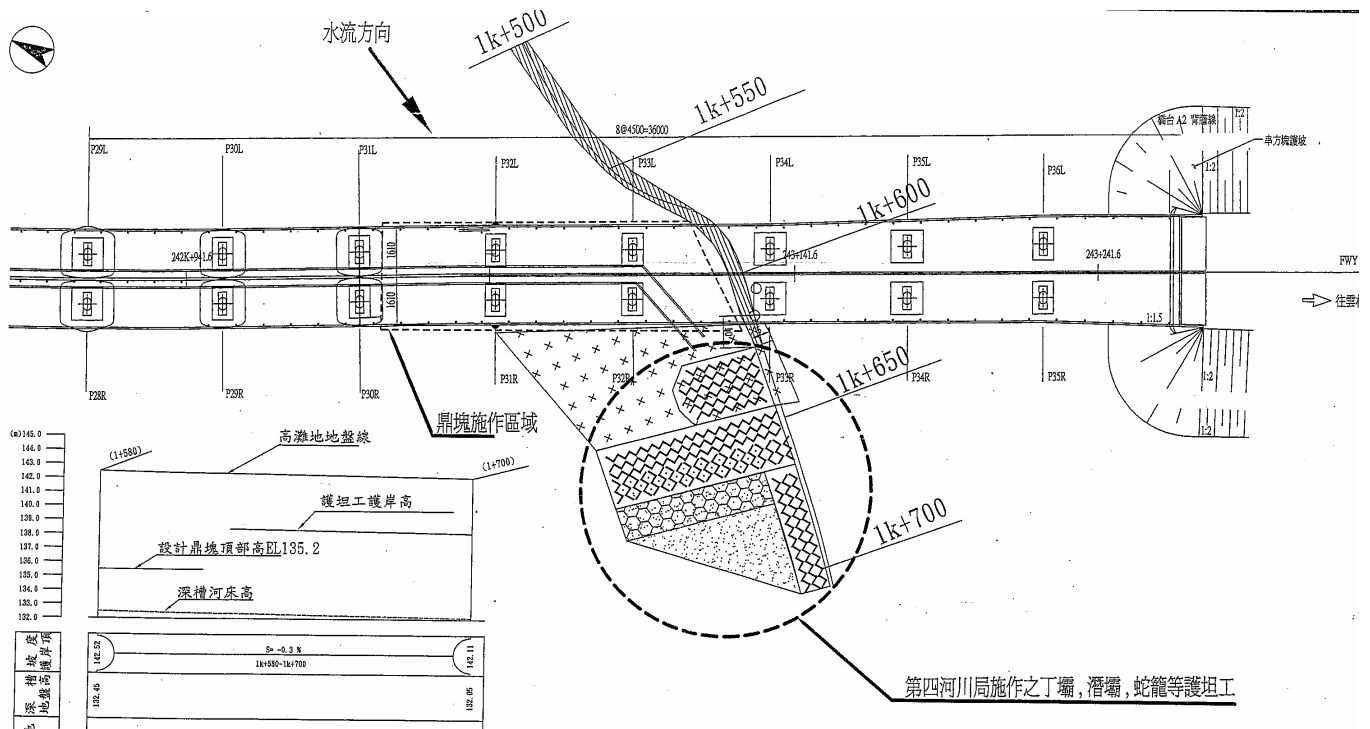


圖 3-10 98 年 7 月底完成濁水溪橋橋基保護工程



圖 3-11 98 年 7 月底完成濁水溪橋橋基保護工程照片

於莫拉克颱風過後，於 98 年底經濟部水利署第四河川局已於橋址南岸佈設蛇籠護岸，如圖 3-12，以保護南岸之河堤及橋台結構物。



圖 3-12 98 年底完成濁水溪橋南岸保護工程(2010/01/15)

3.2 初步評估

影響橋梁耐洪能力之安全因素大致可分為兩類，一為河道所造成之沖刷影響，包括橋梁附近影響河床斷面穩定性之因素、河流與橋基保護工之現況；另一則為橋梁構造之耐洪影響，包括橋梁本身影響沖刷深度之相關因素，因此針對橋梁耐洪能力初步評估主要為藉由選取影響橋梁耐洪能力最重要的一些因素，與予適當的配分、權重，經由所有項目之配分總和，以達到從數量龐大的現有橋梁中，快速篩選出耐洪能力有疑慮的橋梁，以便進一步處理來降低橋梁沖刷所導致災害之目的。

目前國內針對既有橋梁耐洪能力初步評估之方法主要有：

一、公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局)

其考量的影響橋梁耐洪能力的因素包含 15 種因素，詳細評估表格資料如表 3- 2，其中沖刷潛勢之評定標準為：

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

二、公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等人,2000,2004)

其考量的影響橋梁耐洪能力的因素包含 15 種因素，詳細評估表格資料如表 3- 3，其中沖刷潛勢之評定標準為：

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

三、公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)

其考量的影響橋梁耐洪能力的因素包含 17 種因素，詳細評估表格資料如表 3- 4，其中河川長期沖刷影響評估及橋梁造成之沖刷影響評估之評定標準為：

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

四、橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)

其考量的影響橋梁耐洪能力的因素包含 16 種因素，詳細評估表格資料如表 3- 5，其中經橋梁耐洪能力初步評估表評定，其總分超過 50 分者為耐洪能力有疑慮之橋梁，須進行耐洪能力詳細評估。

上述各評估表格填寫內容中各細項填寫方式如下：

1. 近年內主河道變遷情形：若於近三年來歷次洪水在河川彎道之凹岸處造成 1~1.5 個橋孔或一次洪水通過後造成 1/4~1/2 個橋孔之岸側侵蝕者為“嚴重”程度；超過或低於此一範圍者，則分列為“極嚴重”與“輕微”之程度，若無明顯變遷時則為“無”。緊鄰山崖而致邊坡壤土崩塌而阻塞主河道時，可依上述估橋樑跨徑之比例

- 依次劃分等級。因開挖導水路造成主河道變遷 1/2~1.0 個橋孔者則為“嚴重”程度，超過或低於此一範圍者為“極嚴重”與“輕微”等級。
2. 近年內主河道河床下降情形：若於近三年內，主河道河床(含橋址處河床)曾經降低 2.0~4.0 公尺時則列為“嚴重”，超過 4.0 公尺或介於 2.0~0.5 公尺者，則分別為“極嚴重”及“輕微”的程度，低於 0.5 公尺者則為“無”。如無河床歷年高程資料，可依相關水理公式並加計現場檢測資料，予以研判。
 3. 基礎裸露程度：本項藉由橋基貫入深度(H_p)及現場實測之裸露程度(H_s)，來計算裸露深度與橋基容許沖刷深度(H_{sa})之比值(H_s/H_{sa})以評定基礎裸露程度。『沉箱式』：沉箱式之橋基裸露深度介於 1.0~1.5 倍之橋基容許沖刷深度(即 $H_s=1.0\sim1.5 H_{sa}$, $H_{sa}=1/4H_p$)時，則為具嚴重之裸露程度者；大於 1.5 倍者乃為極嚴重，小於 1.0 倍者則定義為輕微裸露程度。基樁式或擴展基腳式橋基則相對地取 $H_s=1.0\sim1.5 H_{sa}$ (其中 $H_{sa}=1/5 H_p$)為具嚴重之裸露程度；大於 1.5 倍者乃為極嚴重；小於 1.0 倍者則定義為輕微裸露程度。
 4. 梁底高程：若梁底高程大於計畫洪水位 2.0 公尺(或高於堤頂高程 1.5 公尺)以上時，因有足夠(或適當)出水高，仍採用 2.0(或 1.5)公尺計算之，其權數零。如梁底高程在計畫洪水位(或堤頂高程)之上，但不足 2.0(或 1.5)公尺時，則依公式(內差法)計算其權數。若梁底高程在計畫洪水位(或堤頂高程)之下，則其權數為 1.0。
 5. 阻水比之效應：以 9~12%作為具有“嚴重之阻水面積比效應”，超過或低於此一範圍者分別為具有“極嚴重”與“輕微”之阻水面積比效應，而 5%以下則為“無”。日本「解說・河川管理設施等構造令」之阻水面積比標準：在 3%以下為理想，一般橋樑係採 5~6%；新幹線鐵路橋及高速道路橋可採 7~8%為判斷原則。「阻水面積比」採用橋樑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。
 6. 橋墩方向與河川流向間之夾角： $\theta^\circ=0^\circ\sim5^\circ$ 時，仍用 5° ； $\theta^\circ=5^\circ\sim30^\circ$ 時，採內差法(如表中公式)計算之； θ° 大於 30° 時，仍採 30° 計算之。
 7. 河床軟岩之風化侵蝕：若 $ID_1 < 35\%$ 或 $ID_2 < 10\%$ 則列為“極嚴重”之程度。若 $ID_1=35\sim60\%$ 或 $ID_2=10\sim30\%$ 者為“嚴重”之程度。
 8. 其他會影響橋梁沖刷穩定之現象：經初步檢測發現有其他(異常)現象，譬如：下部構造有破裂、損害、沖蝕等撞損，或橋墩及基礎有變位傾斜，橋樑靠近陡峭山壁或橋樑通過彎曲河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路、樁基礎垂直承载力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸出露等，可根據其現象給予適當分數。若無其他異常現象，本項得分可為零分。
 9. 橋墩等值寬度 b_e 與洪水深度 y ，河床置基礎頂部距離 Y ，橋墩寬度 b ，基礎寬度 b^* 有關，一般而言等值橋墩寬度可參照下式來計算：

$$b_e = b \left(\frac{y + Y}{y + b^*} \right) + b^* \left(\frac{b^* - Y}{b^* + y} \right)$$

而國外考量橋梁耐洪能力之評估，由文獻資料顯示主要著眼於設計階段時就將影響橋梁沖刷因素之各項參數做詳加分析與計算，而對既有橋梁耐洪能力評估則僅見於整體橋梁安全評估眾多指標因素之一，僅日本有針對既有橋梁耐洪提出完整之評估表如表 3- 6，其考量橋梁整體耐洪之評估主要分別藉由個別評估橋台與橋基之耐洪能力，尤其中得分較高者作為決定橋梁整體耐洪評斷結果，而考量之影響橋梁沖刷因素除河川環境與橋梁結構配置外，另針對橋梁結構變形之影響列入考量。

表 3-2 公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局)

橋梁名稱：國道3號濁水溪橋

編號：

填表日期：98年2月25日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	近年內主河道變遷情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	2
2	河川整治辦理情形	4	尚未辦理或已辦理但 1000公尺以內 <input checked="" type="checkbox"/> 僅施設簡易是拋軟時 <input type="checkbox"/> 完成，其他未 <input type="checkbox"/> 已完成(0) 護岸工(1.0) 辦理(0.5)	1.0	4
3	近年內主河道河床下降情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.25) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.25	2.5
4	鄰近有無採砂	10	<input type="checkbox"/> 2000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 2000公尺以上(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
5	上游攔河堰	3	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	1.5
6	上游橋梁；下游測具數縮河道之其他構造物	4	<input type="checkbox"/> 400公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 400~1000公尺(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	0.8
7	基礎型式	3	<input type="checkbox"/> 具淺基礎或擴展基腳(1.0) <input type="checkbox"/> 具沉箱基礎但灌入深度10 <input checked="" type="checkbox"/> 具深基礎(0)	0	0
8	基礎裸露程度	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	2
9	本河川之附近其他橋樑有無沖刷問題	3	<input checked="" type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5) <input type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	1.0	3
10	梁底高程	4	$(1.0) \geq 1 - (\text{梁底高程} - \text{堤頂高程}) / (1.5 \text{公尺}) \geq (0)$ ，當梁底高程比堤頂高程超出1.5公尺時，則僅取1.5公尺計算	0	0
11	阻水比之效應	8	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	1.6
12	橋墩(基)方向與河川流向間之角度(θ°)	4	$(1.0) \geq \xi = (\theta^\circ - 5^\circ) / 25^\circ \geq (0)$ ；惟 $\theta^\circ < 5^\circ$ ， $\xi = 0$ ； $\theta^\circ > 30^\circ$ ， $\xi = 1$	0	0
13	河床軟岩之風化沖蝕	5	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0)	0	0
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素	15	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	3
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	7	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構遭撞及損害、橋梁通過灣區河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路；樁基礎垂直承载力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸露出等	0	0
	小計	100			20.4

表 3-3 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等人,2000,2004)

橋梁名稱：國道3號濁水溪橋

編號：

填表日期：98年2月25日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	近年內主河道變遷情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	2
2	河川整治辦理情形	4	尚未辦理或已辦理但 1000公尺以內 <input checked="" type="checkbox"/> 僅施設簡易是拋軟時 <input type="checkbox"/> 完成，其他未 <input type="checkbox"/> 已完成(0) 護岸工(1.0) 辦理(0.5)	1.0	4
3	近年內主河道河床下降情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.25) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.25	2.5
4	鄰近有無採砂	10	<input type="checkbox"/> 2000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 2000公尺以上(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
5	上游攔河堰	3	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	1.5
6	上游橋梁；下游測具數縮河道之其他構造物	4	<input type="checkbox"/> 400公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 400~1000公尺(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	0.8
7	基礎型式	3	<input type="checkbox"/> 具淺基礎或擴展基腳(1.0) <input type="checkbox"/> 具沉箱基礎但灌入深度10 <input checked="" type="checkbox"/> 具深基礎(0)	0	0
8	基礎裸露程度	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重 $S > 50\%$ (1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重 $30\% < S < 50\%$ (0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微 $10\% < S < 30\%$ (0.2) <input type="checkbox"/> 無(0) $S = \text{裸露長度} / \text{基礎貫入深度}$	0.2	2
9	本河川之附近其他橋樑有無沖刷問題	3	<input checked="" type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5) <input type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	1.0	3
10	梁底高程	4	$(1.0) \geq 1 - (H_b - H_t) / (1.5 \text{ 公尺}) \geq (0)$ ， H_b ：梁底高程， H_t ：堤頂高程。當 $H_b - H_t > 1.5$ 公尺時，則取1.5公尺	0	0
11	阻水比之效應	8	<input type="checkbox"/> 極嚴重 $RA > 12\%$ (1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重 $9\% < RA < 12\%$ (0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微 $RA < 9\%$ (0.2) <input type="checkbox"/> 無 $RA < 3\%$ (0)	0.2	1.6
12	橋墩(基)方向與河川流向間之角度(θ°)	4	$(1.0) \geq \xi = (\theta^\circ - 5^\circ) / 25^\circ \geq (0)$ ；惟 $\theta^\circ < 5^\circ$ ， $\xi = 0$ ； $\theta^\circ > 30^\circ$ ， $\xi = 1$	0	0
13	河床軟岩之風化沖蝕	5	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0)	0	0
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素	12	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	2.4
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	10	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構遭撞及損害、橋梁通過灣區河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路；樁基礎垂直承载力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸露出等	0	0
	小計	100			19.8

表 3-4 公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)

橋梁名稱：國道3號濁水溪橋

編號：

填表日期：98年2月25日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	主河道變遷情形	4	<input type="checkbox"/> 嚴重變遷(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微變遷(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	2
2	河川整治辦理情形	4	<input checked="" type="checkbox"/> 尚未辦理(1.0) <input type="checkbox"/> 1000公尺以內完成，其他未辦理(0.5) <input type="checkbox"/> 已完成(0)	1.0	4
3	河床沖刷潛能	5	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 中(0.5) <input type="checkbox"/> 低(0.25) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	2.5
4	鄰近有無採砂	10	<input type="checkbox"/> 2000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 2000公尺以上(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
5	上游攔河堰	5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	2.5
6	上游橋梁	3	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	1.5
7	基礎型式	5	<input type="checkbox"/> 具淺基礎(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 具深基礎(0)	0	0
8	橋墩型式	4	<input checked="" type="checkbox"/> 單柱橋墩(1.0) <input type="checkbox"/> 雙柱橋墩(0.5) <input type="checkbox"/> 多柱或壁柱墩(0)	1.0	4
9	支承現況	4	<input type="checkbox"/> 劣(1.0) <input type="checkbox"/> 尚可(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 良好(0)	0	0
10	基礎裸露深度與容許沖刷深度比值 R_H	15	$R_H = \frac{H_s}{H_{sa}}$; H_s : 裸露深度, H_{sa} : 容許深度 或 $H_s = \frac{1}{5} H_p$; H_p : 基樁(沉箱)長度	0.63	9.5
11	本河川之附近其他橋樑有無沖刷問題	5	<input checked="" type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 中等(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	1.0	5
12	梁底高程	10	$(1.0) \geq 1 - (\text{梁底高程} - \text{計劃洪水位}) / (2 \text{公尺}) \geq (0)$ 或 $(1.0) \geq 1 - (\text{梁底高程} - \text{堤頂高程}) / (1.5 \text{公尺}) \geq (0)$	0	0
13	阻水面積比 $R_A\%$	8	$\frac{R_A - 5}{5} \leq 1.0$; 最高 1.0	0.2	1.6
14	橋墩方向與河川流向間之角度	4	$(1.0) \geq (\theta - 5^\circ) / 25^\circ \geq (0)$	0	0
15	橋墩斷面形狀	4	<input checked="" type="checkbox"/> 平頭墩(1.0) <input type="checkbox"/> 圓頭墩(0.5) <input type="checkbox"/> 尖頭墩(0)	1.0	4
16	基礎保護措施	5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 中等(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 良好或無需保護(0)	0	0
17	其他會影響橋梁耐洪能力之異常現象	5	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構被撞及損害等	0	0
	小計	100			36.6

表 3-5 橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)

橋梁名稱：國道3號濁水溪橋

編號：

填表日期：98年2月25日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	主河道變遷情形	5	<input type="checkbox"/> 嚴重變遷(1.0) <input type="checkbox"/> 輕微變遷(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	2.5
2	河川整治辦理情形	5	<input checked="" type="checkbox"/> 尚未辦理(1.0) <input type="checkbox"/> 1000公尺以內完成，其他未辦理(0.5) <input type="checkbox"/> 已完成(0)	1.0	5
3	河床一般沖刷	5	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 普通(0.5) <input type="checkbox"/> 輕微(0)	0.5	2.5
4	鄰近有採砂	7.5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 1000~3000公尺(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
5	上游攔河堰	5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 1000~3000公尺(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
6	下游攔河堰	5	<input checked="" type="checkbox"/> 3000m以上(1.0) <input type="checkbox"/> 1000~3000m(0.5) <input type="checkbox"/> 1000已內(0)	1.0	5
7	橋基保護工現況	7.5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 中等(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 良好或無需保護(0)	0	0
8	橋墩型式	5	<input checked="" type="checkbox"/> 單柱橋墩(1.0) <input type="checkbox"/> 雙柱橋墩(0.5) <input type="checkbox"/> 多柱或壁柱墩(0)	1.0	5
9	基礎剩餘長度(H_{left})與原有長度(H)之比值	15	基樁：當 $(H_{left}/H) \leq 0.6$ ， $w=1.0$ ；當 $0.6 \leq (H_{left}/H) \leq 1.0$ ， $w=2.5-2.5(H_{left}/H)$ 。沉箱：當 $(H_{left}/H) \leq 0.4$ ， $w=1.0$ ；當 $0.4 \leq (H_{left}/H) \leq 1.0$ ， $w=5/3-5/3(H_{left}/H)$ 。直接基礎：置於砂礫層，有沖刷之虞， $w=1.0$ ；置於岩盤表層， $w=0.5$ ；深入岩盤， $w=0$ 。	0.31	4.7
10	橋墩等值寬度 b_e	7.5	當 $b_e > 8$ ， $w=1.0$ ；當 $2 \leq b_e < 8$ ， $w=-1/3+(1/6)b_e$ ；當 $2 < b_e$ ， $w=0$	0.71	5.3
11	橋墩方向與水流方向夾角 θ	5	當 $K_\theta \leq 2.0$ ， $w=K_\theta-1$ ；當 $K_\theta > 2.0$ ， $w=1$ ； $K_\theta=[(1/b_e)\sin\theta+\cos\theta]^{0.65}$ 1：橋墩垂直與車方向深度； b_e 橋墩等值寬度	0	0
12	通水遮斷面積率 R_A (%)	5	$0 \leq w=(R_A-5)/5 \leq 1.0$	0.2	1
13	梁底高程	5	$1.0 \geq w=1-(\text{梁底高程}-\text{計劃洪水位})/1.5 \geq 0$ ；若無計畫洪水位 $1.0 \geq w=1-(\text{梁底高程}-\text{堤頂高程}) \geq 0$	0	0
14	支承狀況與防落長度	7.5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 普通(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 良好(0)	0	0
15	橋墩形狀	5	<input checked="" type="checkbox"/> 平頭墩(1.0) <input type="checkbox"/> 圓頭墩(0.5) <input type="checkbox"/> 尖頭墩(0)	1	5
16	其他影響耐洪能力之異常現象	5	橋梁上游側據使水流束縮之地形或構造物 ($0 \leq w \leq 1$)	0	0
	小計	100			36

表 3-6 日本橋梁耐洪能力初步評估表

設施管理編號				檢測者		所屬機關																																																																																																																			
<p>(橋台・護岸之安定性) (橋基(墩)調查事項: A) (D)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>考慮因素</th> <th>評估區分</th> <th>配分</th> <th>評估區分</th> <th>配分</th> <th>小計(a)</th> <th>評 分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">河 道 特 性</td> <td>河床坡度</td> <td>1/100 以上</td> <td>15</td> <td>明瞭的冲刷及變形</td> <td>50</td> <td rowspan="4">小計(a) max 100</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>河床坡度</td> <td>1/250 ~ 1/100</td> <td>10</td> <td>不明瞭的冲刷及變形</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>河床坡度</td> <td>小於 1/250</td> <td>0</td> <td>無變形</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>橋址位置(橋台・橋基有位於水衝及回流處)</td> <td>符合</td> <td>20</td> <td>可辨識之大型變形</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">完 工 年 代</td> <td>完工年代</td> <td>1945 年以前</td> <td>10</td> <td>無變形</td> <td>30</td> <td rowspan="4"></td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>完工年代</td> <td>1946 ~ 1965 年</td> <td>5</td> <td>具有下沈及空腔的大型變形</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>完工年代</td> <td>1966 年以後</td> <td>0</td> <td>下沈及空腔的變形量微小</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>完工年代</td> <td>10 m 以下</td> <td>15</td> <td>無變形</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">最 小 跨 徑</td> <td>最小跨徑</td> <td>10 m ~ 20 m</td> <td>10</td> <td>次箱基礎</td> <td>80</td> <td rowspan="4">(b)</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>最小跨徑</td> <td>超過 20 m</td> <td>0</td> <td>槽基礎</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>最小跨徑</td> <td>大於 7 %</td> <td>15</td> <td>擴展基礎</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>最小跨徑</td> <td>5 ~ 7 %</td> <td>5</td> <td>不明</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">連 水 通 斷 面 機 率</td> <td>連水通斷面機率</td> <td>小於 5 %</td> <td>0</td> <td>合計</td> <td colspan="3">(D) = a × b × 100 (100 ~ 24)</td> </tr> <tr> <td>連水通斷面機率</td> <td>30 cm 以下</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>連水通斷面機率</td> <td>30 ~ 60 cm</td> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>連水通斷面機率</td> <td>超過 60 m</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8"> <p>合計</p> </td> </tr> </tbody> </table>								項目	考慮因素	評估區分	配分	評估區分	配分	小計(a)	評 分	河 道 特 性	河床坡度	1/100 以上	15	明瞭的冲刷及變形	50	小計(a) max 100		河床坡度	1/250 ~ 1/100	10	不明瞭的冲刷及變形	30	河床坡度	小於 1/250	0	無變形	10	橋址位置(橋台・橋基有位於水衝及回流處)	符合	20	可辨識之大型變形	50	完 工 年 代	完工年代	1945 年以前	10	無變形	30			完工年代	1946 ~ 1965 年	5	具有下沈及空腔的大型變形	50	完工年代	1966 年以後	0	下沈及空腔的變形量微小	30	完工年代	10 m 以下	15	無變形	10	最 小 跨 徑	最小跨徑	10 m ~ 20 m	10	次箱基礎	80	(b)		最小跨徑	超過 20 m	0	槽基礎	80	最小跨徑	大於 7 %	15	擴展基礎	100	最小跨徑	5 ~ 7 %	5	不明	100	連 水 通 斷 面 機 率	連水通斷面機率	小於 5 %	0	合計	(D) = a × b × 100 (100 ~ 24)			連水通斷面機率	30 cm 以下	10					連水通斷面機率	30 ~ 60 cm	5					連水通斷面機率	超過 60 m	0					<p>合計</p>							
項目	考慮因素	評估區分	配分	評估區分	配分	小計(a)	評 分																																																																																																																		
河 道 特 性	河床坡度	1/100 以上	15	明瞭的冲刷及變形	50	小計(a) max 100																																																																																																																			
	河床坡度	1/250 ~ 1/100	10	不明瞭的冲刷及變形	30																																																																																																																				
	河床坡度	小於 1/250	0	無變形	10																																																																																																																				
	橋址位置(橋台・橋基有位於水衝及回流處)	符合	20	可辨識之大型變形	50																																																																																																																				
完 工 年 代	完工年代	1945 年以前	10	無變形	30																																																																																																																				
	完工年代	1946 ~ 1965 年	5	具有下沈及空腔的大型變形	50																																																																																																																				
	完工年代	1966 年以後	0	下沈及空腔的變形量微小	30																																																																																																																				
	完工年代	10 m 以下	15	無變形	10																																																																																																																				
最 小 跨 徑	最小跨徑	10 m ~ 20 m	10	次箱基礎	80	(b)																																																																																																																			
	最小跨徑	超過 20 m	0	槽基礎	80																																																																																																																				
	最小跨徑	大於 7 %	15	擴展基礎	100																																																																																																																				
	最小跨徑	5 ~ 7 %	5	不明	100																																																																																																																				
連 水 通 斷 面 機 率	連水通斷面機率	小於 5 %	0	合計	(D) = a × b × 100 (100 ~ 24)																																																																																																																				
	連水通斷面機率	30 cm 以下	10																																																																																																																						
	連水通斷面機率	30 ~ 60 cm	5																																																																																																																						
	連水通斷面機率	超過 60 m	0																																																																																																																						
<p>合計</p>																																																																																																																									
<p>(橋基(墩)調查事項: P) (E)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>變 形</th> <th>評估區分</th> <th>基礎形式</th> <th>小計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">沖 刷</td> <td>河床・護岸之冲刷</td> <td>無冲刷</td> <td>淺基礎・不明</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>河床・護岸之冲刷</td> <td>微小的冲刷</td> <td>深基礎</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>河床・護岸之冲刷</td> <td>footing及圓形上面露出</td> <td>深基礎</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>河床・護岸之冲刷</td> <td>footing下面露出</td> <td>深基礎</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td colspan="5">合計</td> <td>(E) (100 ~ 15)</td> </tr> </tbody> </table>								項目	變 形	評估區分	基礎形式	小計	沖 刷	河床・護岸之冲刷	無冲刷	淺基礎・不明	15	河床・護岸之冲刷	微小的冲刷	深基礎	40	河床・護岸之冲刷	footing及圓形上面露出	深基礎	75	河床・護岸之冲刷	footing下面露出	深基礎	90	合計					(E) (100 ~ 15)																																																																																						
項目	變 形	評估區分	基礎形式	小計																																																																																																																					
沖 刷	河床・護岸之冲刷	無冲刷	淺基礎・不明	15																																																																																																																					
	河床・護岸之冲刷	微小的冲刷	深基礎	40																																																																																																																					
	河床・護岸之冲刷	footing及圓形上面露出	深基礎	75																																																																																																																					
	河床・護岸之冲刷	footing下面露出	深基礎	90																																																																																																																					
合計					(E) (100 ~ 15)																																																																																																																				
<p>對橋台之評估(G)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>變 形</th> <th>(F) 分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>河床・護岸之冲刷</td> <td>(A) + (B) max 100</td> </tr> </tbody> </table>								變 形	(F) 分	河床・護岸之冲刷	(A) + (B) max 100																																																																																																														
變 形	(F) 分																																																																																																																								
河床・護岸之冲刷	(A) + (B) max 100																																																																																																																								
<p>對橋基(墩)之評估(I)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>變 形</th> <th>(H) 分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>河床・護岸之冲刷</td> <td>(A) + (C) max 100</td> </tr> </tbody> </table>								變 形	(H) 分	河床・護岸之冲刷	(A) + (C) max 100																																																																																																														
變 形	(H) 分																																																																																																																								
河床・護岸之冲刷	(A) + (C) max 100																																																																																																																								
<p>橋梁整體之評估(K)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>變 形</th> <th>(I) 分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>河床・護岸之冲刷</td> <td>取(G)與(I)中之較大者</td> </tr> </tbody> </table>								變 形	(I) 分	河床・護岸之冲刷	取(G)與(I)中之較大者																																																																																																														
變 形	(I) 分																																																																																																																								
河床・護岸之冲刷	取(G)與(I)中之較大者																																																																																																																								
<p>橋梁整體之評估(K)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>變 形</th> <th>(K) 分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>河床・護岸之冲刷</td> <td>取(G)與(I)中之較大者</td> </tr> </tbody> </table>								變 形	(K) 分	河床・護岸之冲刷	取(G)與(I)中之較大者																																																																																																														
變 形	(K) 分																																																																																																																								
河床・護岸之冲刷	取(G)與(I)中之較大者																																																																																																																								
<p>綜合評估</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>對 應</th> <th>判 定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>判斷有對策之必要</td> <td></td> </tr> <tr> <td>對應作成防災履歷表</td> <td></td> </tr> <tr> <td>不需特別採取新的對策(策)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								對 應	判 定	判斷有對策之必要		對應作成防災履歷表		不需特別採取新的對策(策)																																																																																																											
對 應	判 定																																																																																																																								
判斷有對策之必要																																																																																																																									
對應作成防災履歷表																																																																																																																									
不需特別採取新的對策(策)																																																																																																																									

設施管理編號				檢測者		所屬機關																																																																																																													
<p>(橋基(墩)調查事項: P) (C)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>考慮因素</th> <th>評估區分</th> <th>配分</th> <th>評估區分</th> <th>配分</th> <th>小計</th> <th>評 分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">橋 基 (墩) 構造</td> <td>橋基(墩)構造</td> <td>piled</td> <td>15</td> <td>無隔壁之橋梁構造</td> <td>10</td> <td rowspan="4">小計</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>橋基(墩)構造</td> <td>無隔壁之橋梁構造</td> <td>10</td> <td>無上述三種情形者</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>橋基(墩)構造</td> <td>20' 以上</td> <td>15</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>橋基(墩)構造</td> <td>10' ~ 20'</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">流 向 與 橋 基 之 交 叉 角</td> <td>流向與橋基之交叉角</td> <td>小於 10°</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="4"></td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>流向與橋基之交叉角</td> <td>符合</td> <td>-10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>流向與橋基之交叉角</td> <td>不符合</td> <td>-10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>流向與橋基之交叉角</td> <td>基礎通暢</td> <td>-10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">對 於 沖 刷 之 安 定 性 (基礎體入深度)</td> <td>對於冲刷之安定性</td> <td>基礎體入深度</td> <td>-5</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="4"></td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>對於冲刷之安定性</td> <td>基礎體入深度</td> <td>-5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>對於冲刷之安定性</td> <td>基礎體入深度</td> <td>-5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>對於冲刷之安定性</td> <td>基礎體入深度</td> <td>-5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">沖 刷 對 策 工 法</td> <td>冲刷對策工法</td> <td>無</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="4">(C) (30 ~ 20)</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>冲刷對策工法</td> <td>無</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>冲刷對策工法</td> <td>無</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>冲刷對策工法</td> <td>無</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8"> <p>合計</p> </td> </tr> </tbody> </table>								項目	考慮因素	評估區分	配分	評估區分	配分	小計	評 分	橋 基 (墩) 構造	橋基(墩)構造	piled	15	無隔壁之橋梁構造	10	小計		橋基(墩)構造	無隔壁之橋梁構造	10	無上述三種情形者	0	橋基(墩)構造	20' 以上	15			橋基(墩)構造	10' ~ 20'	10			流 向 與 橋 基 之 交 叉 角	流向與橋基之交叉角	小於 10°	0					流向與橋基之交叉角	符合	-10			流向與橋基之交叉角	不符合	-10			流向與橋基之交叉角	基礎通暢	-10			對 於 沖 刷 之 安 定 性 (基礎體入深度)	對於冲刷之安定性	基礎體入深度	-5					對於冲刷之安定性	基礎體入深度	-5			對於冲刷之安定性	基礎體入深度	-5			對於冲刷之安定性	基礎體入深度	-5			沖 刷 對 策 工 法	冲刷對策工法	無	0			(C) (30 ~ 20)		冲刷對策工法	無	0			冲刷對策工法	無	0			冲刷對策工法	無	0			<p>合計</p>							
項目	考慮因素	評估區分	配分	評估區分	配分	小計	評 分																																																																																																												
橋 基 (墩) 構造	橋基(墩)構造	piled	15	無隔壁之橋梁構造	10	小計																																																																																																													
	橋基(墩)構造	無隔壁之橋梁構造	10	無上述三種情形者	0																																																																																																														
	橋基(墩)構造	20' 以上	15																																																																																																																
	橋基(墩)構造	10' ~ 20'	10																																																																																																																
流 向 與 橋 基 之 交 叉 角	流向與橋基之交叉角	小於 10°	0																																																																																																																
	流向與橋基之交叉角	符合	-10																																																																																																																
	流向與橋基之交叉角	不符合	-10																																																																																																																
	流向與橋基之交叉角	基礎通暢	-10																																																																																																																
對 於 沖 刷 之 安 定 性 (基礎體入深度)	對於冲刷之安定性	基礎體入深度	-5																																																																																																																
	對於冲刷之安定性	基礎體入深度	-5																																																																																																																
	對於冲刷之安定性	基礎體入深度	-5																																																																																																																
	對於冲刷之安定性	基礎體入深度	-5																																																																																																																
沖 刷 對 策 工 法	冲刷對策工法	無	0			(C) (30 ~ 20)																																																																																																													
	冲刷對策工法	無	0																																																																																																																
	冲刷對策工法	無	0																																																																																																																
	冲刷對策工法	無	0																																																																																																																
<p>合計</p>																																																																																																																			

依據國內針對橋梁耐洪能力初步評估資料，針對本計畫目標橋梁「國道三號跨濁水溪橋」之初步耐洪評估經填表後結果如表 3-2、表 3-3、表 3-4、表 3-5，結果整理如表 3-7 所示。其結果顯示本橋的評分介於 19.8 分至 36.6 分之間，有需要進行詳細安全檢測及評估。

表 3-7 國道3號跨濁水溪橋之初步耐洪評估

依據準則	分數	描 述
公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局,2009)	20.4	安全無疑慮，但須繼續進行例行性檢測評估
公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等 人,2000,2004)	19.8	安全無疑慮，但須繼續進行例行性檢測評估
公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等 人,1997)	36.6	安全略有疑慮，近期應進行詳細安全檢測及評估
橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)	36	安全無疑慮，但須繼續進行例行性檢測評估

3.3 橋梁現況評估

本團隊於 10 月初進行現況調查。經資料整理後再次對濁水溪橋進行初步耐洪評估，並比較前次所進行初步耐洪評估之結果，以了解現今評估表格對莫拉克颱風侵台前後對於示範橋梁之評估結果差異，是否能充分反應出其對橋梁基礎沖刷耐洪能力。

依據國內針對橋梁耐洪能力初步評估資料，並於 10 月初對於橋梁進行現況調查時再次評估，各表格填寫細節如表 3-8、表 3-9、表 3-10 及表 3-11 所示。

表 3-8 公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局)

橋梁名稱：國道3號濁水溪橋

編號：

填表日期：98年10月12日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	近年內主河道變遷情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	2
2	河川整治辦理情形	4	尚未辦理或已辦理但 1000公尺以內 <input type="checkbox"/> 僅施設簡易是拋軟時 <input checked="" type="checkbox"/> 完成，其他未 <input type="checkbox"/> 已完成(0) 護岸工(1.0) 辦理(0.5)	0.5	2
3	近年內主河道河床下降情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.25) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.25	2.5
4	鄰近有無採砂	10	<input type="checkbox"/> 2000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 2000公尺以上(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
5	上游攔河堰	3	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	1.5
6	上游橋梁；下游測具數縮河道之其他構造物	4	<input type="checkbox"/> 400公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 400~1000公尺(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	0.8
7	基礎型式	3	<input type="checkbox"/> 具淺基礎或擴展基腳(1.0) <input type="checkbox"/> 具沉箱基礎但灌入深度10 <input checked="" type="checkbox"/> 具深基礎(0)	0	0
8	基礎裸露程度	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	2
9	本河川之附近其他橋樑有無沖刷問題	3	<input checked="" type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5) <input type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	1.0	3
10	梁底高程	4	$(1.0) \geq 1 - (\text{梁底高程} - \text{堤頂高程}) / (1.5 \text{公尺}) \geq (0)$ ，當梁底高程比堤頂高程超出1.5公尺時，則僅取1.5公尺計算	0	0
11	阻水比之效應	8	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	1.6
12	橋墩(基)方向與河川流向間之角度(θ°)	4	$(1.0) \geq \xi = (\theta^\circ - 5^\circ) / 25^\circ \geq (0)$ ；惟 $\theta^\circ < 5^\circ$ ， $\xi = 0$ ； $\theta^\circ > 30^\circ$ ， $\xi = 1$	0	0
13	河床軟岩之風化沖蝕	5	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0)	0	0
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素	15	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	3
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	7	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構遭撞及損害、橋梁通過灣區河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路；樁基礎垂直承载力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸露出等	0	0
	小計	100			18.4

表 3-9 公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等,2000,2004)

橋梁名稱：國道3號濁水溪橋

編號：

填表日期：98年10月12日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	近年內主河道變遷情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	2
2	河川整治辦理情形	4	尚未辦理或已辦理但 1000公尺以內 <input checked="" type="checkbox"/> 僅施設簡易是拋軟時 <input type="checkbox"/> 完成，其他未 <input type="checkbox"/> 已完成(0) 護岸工(1.0) 辦理(0.5)	0.5	2
3	近年內主河道河床下降情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.25) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.25	2.5
4	鄰近有無採砂	10	<input type="checkbox"/> 2000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 2000公尺以上(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
5	上游攔河堰	3	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	1.5
6	上游橋梁；下游測具數縮河道之其他構造物	4	<input type="checkbox"/> 400公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 400~1000公尺(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	0.8
7	基礎型式	3	<input type="checkbox"/> 具淺基礎或擴展基腳(1.0) <input type="checkbox"/> 具沉箱基礎但灌入深度10 <input checked="" type="checkbox"/> 具深基礎(0)	0	0
8	基礎裸露程度	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重 $S > 50\%$ (1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重 $30\% < S < 50\%$ (0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微 $10\% < S < 30\%$ (0.2) <input type="checkbox"/> 無(0) $S = \text{裸露長度} / \text{基礎貫入深度}$	0.2	2
9	本河川之附近其他橋樑有無沖刷問題	3	<input checked="" type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5) <input type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	1.0	3
10	梁底高程	4	$(1.0) \geq 1 - (H_b - H_t) / (1.5 \text{ 公尺}) \geq (0)$ ， H_b ：梁底高程， H_t ：堤頂高程。當 $H_b - H_t > 1.5$ 公尺時，則取1.5公尺	0	0
11	阻水比之效應	8	<input type="checkbox"/> 極嚴重 $RA > 12\%$ (1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重 $9\% < RA < 12\%$ (0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微 $RA < 9\%$ (0.2) <input type="checkbox"/> 無 $RA < 3\%$ (0)	0.2	1.6
12	橋墩(基)方向與河川流向間之角度(θ°)	4	$(1.0) \geq \xi = (\theta^\circ - 5^\circ) / 25^\circ \geq (0)$ ；惟 $\theta^\circ < 5^\circ$ ， $\xi = 0$ ； $\theta^\circ > 30^\circ$ ， $\xi = 1$	0	0
13	河床軟岩之風化沖蝕	5	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0)	0	0
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素	12	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 嚴重(0.5~0.9) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微(0.2) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.2	2.4
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	10	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構遭撞及損害、橋梁通過灣區河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路；樁基礎垂直承载力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸露出等	0	0
	小計	100			17.8

表 3-10 公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)

橋梁名稱：國道3號濁水溪橋

編號：

填表日期：98年10月12日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	主河道變遷情形	4	<input type="checkbox"/> 嚴重變遷(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微變遷(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	2
2	河川整治辦理情形	4	<input type="checkbox"/> 尚未辦理(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以內完成，其他未辦理(0.5) <input type="checkbox"/> 已完成(0)	0.5	2
3	河床沖刷潛能	5	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 中(0.5) <input type="checkbox"/> 低(0.25) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	2.5
4	鄰近有無採砂	10	<input type="checkbox"/> 2000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 2000公尺以上(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
5	上游攔河堰	5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	2.5
6	上游橋梁	3	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	1.5
7	基礎型式	5	<input type="checkbox"/> 具淺基礎(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 具深基礎(0)	0	0
8	橋墩型式	4	<input checked="" type="checkbox"/> 單柱橋墩(1.0) <input type="checkbox"/> 雙柱橋墩(0.5) <input type="checkbox"/> 多柱或壁柱墩(0)	1.0	4
9	支承現況	4	<input type="checkbox"/> 劣(1.0) <input type="checkbox"/> 尚可(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 良好(0)	0	0
10	基礎裸露深度與容許沖刷深度比值 R_H	15	$R_H = \frac{H_s}{H_{sa}}$; H_s : 裸露深度, H_{sa} : 容許深度 或 $H_s = \frac{1}{5} H_p$; H_p : 基樁(沉箱)長度	0.63	9.5
11	本河川之附近其他橋樑有無沖刷問題	5	<input checked="" type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 中等(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	1.0	5
12	梁底高程	10	$(1.0) \geq 1 - (\text{梁底高程} - \text{計劃洪水位}) / (2 \text{公尺}) \geq (0)$ 或 $(1.0) \geq 1 - (\text{梁底高程} - \text{堤頂高程}) / (1.5 \text{公尺}) \geq (0)$	0	0
13	阻水面積比 $R_A\%$	8	$\frac{R_A - 5}{5} \leq 1.0$; 最高 1.0	0.2	1.6
14	橋墩方向與河川流向間之角度	4	$(1.0) \geq (\theta - 5^\circ) / 25^\circ \geq (0)$	0	0
15	橋墩斷面形狀	4	<input checked="" type="checkbox"/> 平頭墩(1.0) <input type="checkbox"/> 圓頭墩(0.5) <input type="checkbox"/> 尖頭墩(0)	1.0	4
16	基礎保護措施	5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 中等(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 良好或無需保護(0)	0	0
17	其他會影響橋梁耐洪能力之異常現象	5	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構被撞及損害等	0	0
	小計	100			34.6

表 3- 11 橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)

橋梁名稱：國道3號濁水溪橋

編號：

填表日期：98年10月12日

項次	項目	配分	評估內容	權數	得分
1	主河道變遷情形	5	<input type="checkbox"/> 嚴重變遷(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 輕微變遷(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)	0.5	2.5
2	河川整治辦理情形	5	<input type="checkbox"/> 尚未辦理(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 1000公尺以內完成，其他未辦理(0.5) <input type="checkbox"/> 已完成(0)	0.5	2.5
3	河床一般沖刷	5	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input checked="" type="checkbox"/> 普通(0.5) <input type="checkbox"/> 輕微(0)	0.5	2.5
4	鄰近有採砂	7.5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 1000~3000公尺(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
5	上游攔河堰	5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 1000~3000公尺(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 無(0)	0	0
6	下游攔河堰	5	<input checked="" type="checkbox"/> 3000m以上(1.0) <input type="checkbox"/> 1000~3000m(0.5) <input type="checkbox"/> 1000已內(0)	1.0	5
7	橋基保護工現況	7.5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 中等(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 良好或無需保護(0)	0	0
8	橋墩型式	5	<input checked="" type="checkbox"/> 單柱橋墩(1.0) <input type="checkbox"/> 雙柱橋墩(0.5) <input type="checkbox"/> 多柱或壁柱墩(0)	1.0	5
9	基礎剩餘長度(H_{left})與原有長度(H)之比值	15	基樁：當 $(H_{left}/H) \leq 0.6$ ， $w=1.0$ ；當 $0.6 \leq (H_{left}/H) \leq 1.0$ ， $w=2.5-2.5(H_{left}/H)$ 。沉箱：當 $(H_{left}/H) \leq 0.4$ ， $w=1.0$ ；當 $0.4 \leq (H_{left}/H) \leq 1.0$ ， $w=5/3-5/3(H_{left}/H)$ 。直接基礎：置於砂礫層，有沖刷之虞， $w=1.0$ ；置於岩盤表層， $w=0.5$ ；深入岩盤， $w=0$ 。	0.31	4.7
10	橋墩等值寬度 b_e	7.5	當 $b_e > 8$ ， $w=1.0$ ；當 $2 \leq b_e < 8$ ， $w=-1/3+(1/6)b_e$ ；當 $2 < b_e$ ， $w=0$	0.71	5.3
11	橋墩方向與水流方向夾角 θ	5	當 $K_\theta \leq 2.0$ ， $w=K_\theta-1$ ；當 $K_\theta > 2.0$ ， $w=1$ ； $K_\theta=[(1/b_e)\sin\theta+\cos\theta]^{0.65}$ 1：橋墩垂直與車方向深度； b_e 橋墩等值寬度	0	0
12	通水遮斷面積率 R_A (%)	5	$0 \leq w=(R_A-5)/5 \leq 1.0$	0.2	1
13	梁底高程	5	$1.0 \geq w=1-(\text{梁底高程}-\text{計劃洪水位})/1.5 \geq 0$ ；若無計畫洪水位 $1.0 \geq w=1-(\text{梁底高程}-\text{堤頂高程}) \geq 0$	0	0
14	支承狀況與防落長度	7.5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 普通(0.5) <input checked="" type="checkbox"/> 良好(0)	0	0
15	橋墩形狀	5	<input checked="" type="checkbox"/> 平頭墩(1.0) <input type="checkbox"/> 圓頭墩(0.5) <input type="checkbox"/> 尖頭墩(0)	1	5
16	其他影響耐洪能力之異常現象	5	橋梁上游側據使水流束縮之地形或構造物 ($0 \leq w \leq 1$)	0	0
	小計	100			33.5

評估後結果彙整如表 3-12 所示，對照前次評估結果發現颱風前後評估結果並無明顯差異，即顯示現今耐洪評估表格對於單一橋墩受沖刷造成結構體損壞之敏感度不足，無法完全反應單一橋墩受沖刷影響橋梁安全性，因此實有必要建立一快速耐洪沖刷調查表格，藉由於颱風、洪水來臨前針對影響橋梁局部沖刷破壞重要因素之調查，提供對已有沖刷現象或疑慮之橋梁進行快速耐洪沖刷能力評估。

表 3-12 國道3號跨濁水溪橋颱風後初步耐洪評估

依據準則	分數	描 述
公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局,2009)	18.4	安全無疑慮，但須繼續進行例行性檢測評估
公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等人,2000,2004)	17.8	安全無疑慮，但須繼續進行例行性檢測評估
公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)	34.6	安全略有疑慮，近期應進行詳細安全檢測及評估
橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)	33.5	安全無疑慮，但須繼續進行例行性檢測評估

3.4 現有沖刷評估表格差異探討

目前所收集國內現有四種耐洪沖刷評估表格，分別為公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局,2009)、公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等人,2000,2004)、公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)及橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)等，本團隊亦分別使用於國道3號濁水溪橋進行兩次耐洪評估，詳細評估項目如上3.2節及3.3節所述，四種表格所考慮之項目及配分皆有所差異，本節將對此差異進行探討，並對後續所研擬之橋梁快速耐洪調查表格（橋梁橋墩快速耐洪評估表）進行建議。

四種耐洪沖刷評估表格當中，進行評估之項目介於15項至17項，故四種評估表格所評估之項目數量約略相當，因此當中不同項目數量或配分權重增加，則代表其於評估項目之配分受到壓縮。若將各種項目大略分類，則可大致分為兩種類型，分別為河川環境相關配分以及橋梁結構及配置相關配分兩種，將上述四種評估表格中評估項目配分以此兩種類型分類後，如下表3-13所示。

目前使用建議參考公路總局所使用之「公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局,2009)」所得初步評估結果作為標準。

表 3-13 國道3號跨濁水溪橋颱風後初步耐洪評估

表格名稱	河川環境相關配分	橋梁結構及配置相關配分
公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局)	61	39
公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等人,2000,2004)	58	42
公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)	39	61
橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)	32.5	67.5

由上表可得知，前兩者表格（公路橋梁耐洪能力初步評估表(公路總局)、公路跨河橋梁沖刷潛勢評估表(唐治平等人,2000,2004)）配分比重中河川環境相關配分較多，所佔比例約為整體配分六成；然後兩者表格（公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(陳清泉等人,1997)、橋梁耐洪能力初步評估表(陳振川等人,2007)）配分比重中橋梁結構及配置相關配分較多，所佔比例與前兩者約略相反，橋梁結構及配置相關配分約為整體配分六成。以此方式分類即可了解前述 3.2 節及 3.3 節以此四種表格對國道3號濁水溪橋進行評估時，前兩者得分較為接近且略低於後兩者得分。

然此四種耐洪沖刷評估表格其目的仍皆為從為數龐大之橋梁群當中，快速且簡便的篩選出有沖刷潛勢之橋梁，以供現場工程維護人員參考哪幾座橋梁是必須特別關注，併進行詳細評估以確表其安全及運行。故若針對已有沖刷潛勢之橋梁，以此四種表格進行於颱風前後重複評估所得之結果差異將不明顯，且較無法讓現場工程維護人員時記得知此橋之哪幾支橋墩是較有疑慮，且亦無法了解於何種颱風狀況下此橋梁之安全及運行是有危險的，因此本計畫所研擬之橋梁快速耐洪評估表格（橋梁橋墩快速耐洪評估表）將有別於此四種評估表格之使用時機及方法，針對已有沖刷疑慮之橋梁橋墩，可快速進行耐洪沖刷安全評估，供現場工程維護人員使用。

肆、橋梁沖刷監測系統安裝

本研究團隊將橋梁沖刷監測，細分為環境監測、結構監測以及結構振動檢測三大部分，並試圖整合現有沖刷監測之技術，配合振動檢測結果，建立未來橋梁沖刷檢測、監測系統之建置。將分述如下：

4.1 環境監測方法

目前河床沖刷檢、監測使用之方法處於試驗其於洪流發生時即時監測之適用性，對於橋梁遭受沖刷致使橋墩基樁裸露可能引起橋梁斷落潛在危機，試驗其能否提供即時橋墩之沖刷資訊，以作為洪流發生時橋梁之安全評估用。為避免斷橋造成人民財產損失的悲劇再次發生，實有必要開發橋墩沖刷深度即時監測系統。

本計畫原預計同時使用二套不同型式的監測系統，分別為埋入型與非埋入型，以適用於洪流發生時的沖刷深度監測。後考量兩種沖刷監測系統受水流及土石衝擊可能造成損壞失效，因此規劃第三套不同形式的埋入型數位感測式監測系統，此第三套系統並於98年8月初時莫拉克颱風侵襲台灣，致使前兩套監測系統皆於洪流中失效，仍然發揮其效用，記錄即時沖刷資料。於莫拉克颱風過後因考量風災造成儀器失效，為有效掌握濁水溪橋沖刷特性俾利後續維護管理，經契約變更同意後，於P25R橋墩處，再增設一組埋入式沖刷監測儀器，此組埋入式沖刷監測儀器為改進第一套儀器之改良型，將原先所使用之埋入型振動感應式沖刷監測儀器進行結構加固，並因應施作程序減少儀器訊號線材接點。

4.1.1 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統

埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統為本計畫第一套沖刷監測儀器，其原理介紹、安裝介紹以如下：

一、儀器原理介紹

該監測系統為本研究團隊自行研發，安裝於南下P30R橋墩，該橋墩於92年完成拖底工法施工，原設計樁帽厚度2.9m增厚至5m，原樁帽底端高程137.1m向下延伸至136.75m，於98年8月進場裝設儀器時量測時裸露長度約為1m。圖4-1為本監測系統之四大構成元素，分別為A.防水耐撞壓電片振動感應元件；B.串接感應元件之訊號線及鋼纜線；C.訊號擷取及傳輸單元；D.系統控制單元。

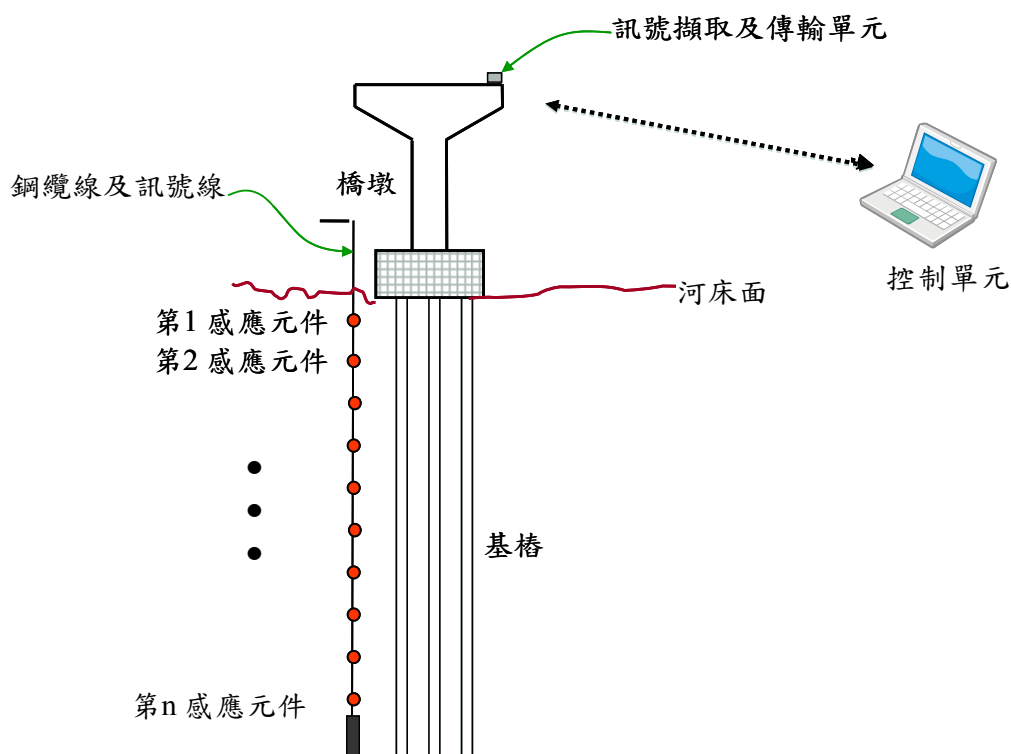


圖 4-1 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷深度即時監測系統

各個元素分別說明如下：

A. 防水耐撞壓電片振動感應元件

圖 4-2 (a)為內裝設壓電薄片之感應元件構造示意圖，當感應元件因沖刷作用而露出沖刷面時，其將在水流中產生激烈晃動，而使固定在滑軌上之鐵塊，將沿著滑軌產生來回振動，進而撥動壓電薄片之彎曲變形，而誘發出強烈之電壓訊號如圖 4-2 (b)所示，電壓值高於 2000 mV，壓電薄片之基本振動頻率約為 130 Hz。該壓電薄片及滑動鐵塊由防水及耐衝撞之外殼(直徑約 12 公分)密封形成整個感應元件如圖 4-2 (c)所示。

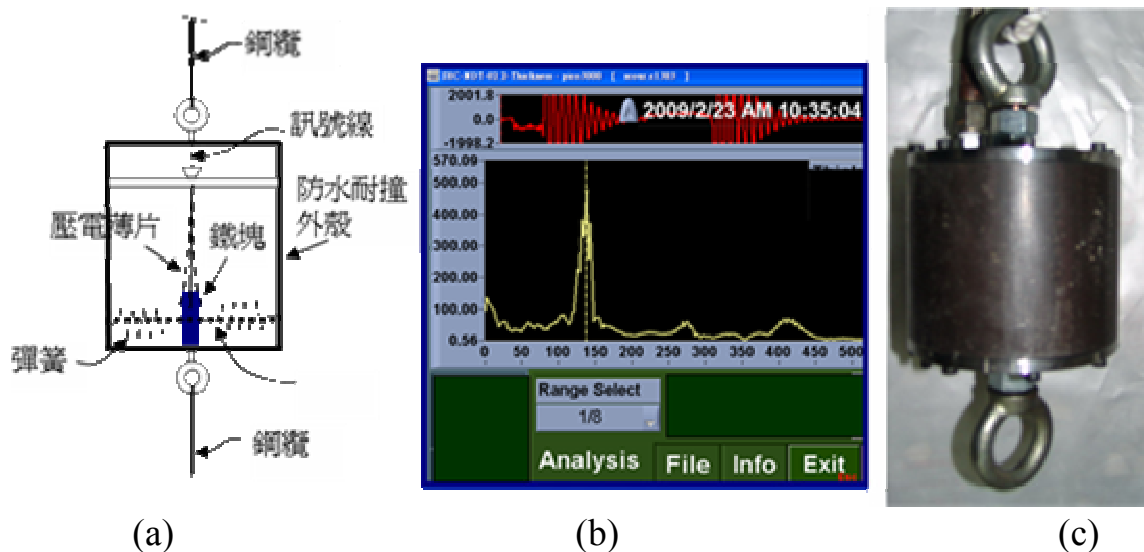


圖 4-2 防水耐撞壓電片振動感應元件

B. 串接感應元件之訊號線及鋼纜線－

鋼纜線將前述多個感應元件串接在一起，且沿鋼纜配置每一個感應元件之訊號線，使感應元件之訊號可連結至配置於橋面版上之訊號擷取及傳輸單元，以利後續之訊號接收及處理。

C. 訊號擷取及傳輸單元

訊號擷取及傳輸單元主要分成訊號擷取及訊號傳輸二部份，分別詳述如下。

訊號擷取主要由工業級嵌入式系統、資料截取裝置與監測軟體所組成。該嵌入式系統由中央處理、儲存、通訊、I/O 等單元所組成，資料擷取裝置為匹配電路與 16 通道之類比/數位(A/D)轉換卡，可同時監控 16 組感應元件訊號。本系統在訊號擷取端以連續採樣模式，以每通道每秒取樣 2000 筆資料(2 KSPS)的速率對 16 組感應元件進行訊號轉換。這樣的取樣頻率設定，對於系統感應元件輸出頻率介於 100 – 200 Hz 的訊號來說，可兼顧時間域的解析度與資料傳輸的流暢度。A/D 轉換卡之類比電壓輸入最大範圍為-10V ~ 10V，其解析度為 16 bit，對於感應元件輸出約數伏特的電壓訊號來說相當足夠。此外，對於警示觸發電壓的設定，則根據感應元件的設計而訂定門檻值，若有靈敏度調整之需求，可及時由系統控制單元進行設定。

訊號傳輸為將訊號擷取端(伺服端)之訊號傳輸到訊號監控端(客戶端)，訊號擷取端(伺服端)由工業級嵌入式系統、資料截取裝置與監測軟體所組成；訊號監控端(客戶端)為具無線通訊設備之可攜式電腦與監測軟體。在無線資料傳輸部分，以 Wi-Fi 技術進行主要資料的傳輸，並應用 GSM 簡訊傳送警示資訊。

在電源需求部分，資料擷取與無線資料傳輸接使用同一種直流電電源(DC 12V)，亦可以使用一般橋梁路燈電源轉換而成。本系統之最大耗電量為 80W，一般正常運作大概 20~40W 左右。在洪流來襲時，可以用乾電池直接供電，則可使系統持續運作數天。若採用本系統作為連續監測，於平時可關閉通訊裝置，以節省電力消耗，待監測軟體於定時或判斷有通訊需求時，再開啟通訊模組進行資料傳輸。

D. 系統控制單元

系統控制單元主要由電腦與監控軟體所組成。若於現地進行監測，則電腦可為具 Wi-Fi 功能之筆記型電腦、平板電腦甚至 PDA。若於遠端監測，則可為一般桌上型電腦或筆記型電腦。監控軟體具圖形化人機介面，可直接以滑鼠或觸控方式進行操作，以遠端設定系統參數並監控感應元件狀態，亦能長期記錄感應元件之歷時曲線。

本監測系統之運作原理說明如下：

監測系統如圖 4-3 所示，在橋墩基樁邊之下游側，由河床面向砂石土層內鑽孔或掘孔至預計深度後，埋入由鋼纜串接在一起已知深度之數個感應元件，鋼纜頂部固定在橋墩上，並在底部配置足夠重量之物體，使整個鋼纜呈現拉緊現象，再回填砂石至河床面並適度夯實。

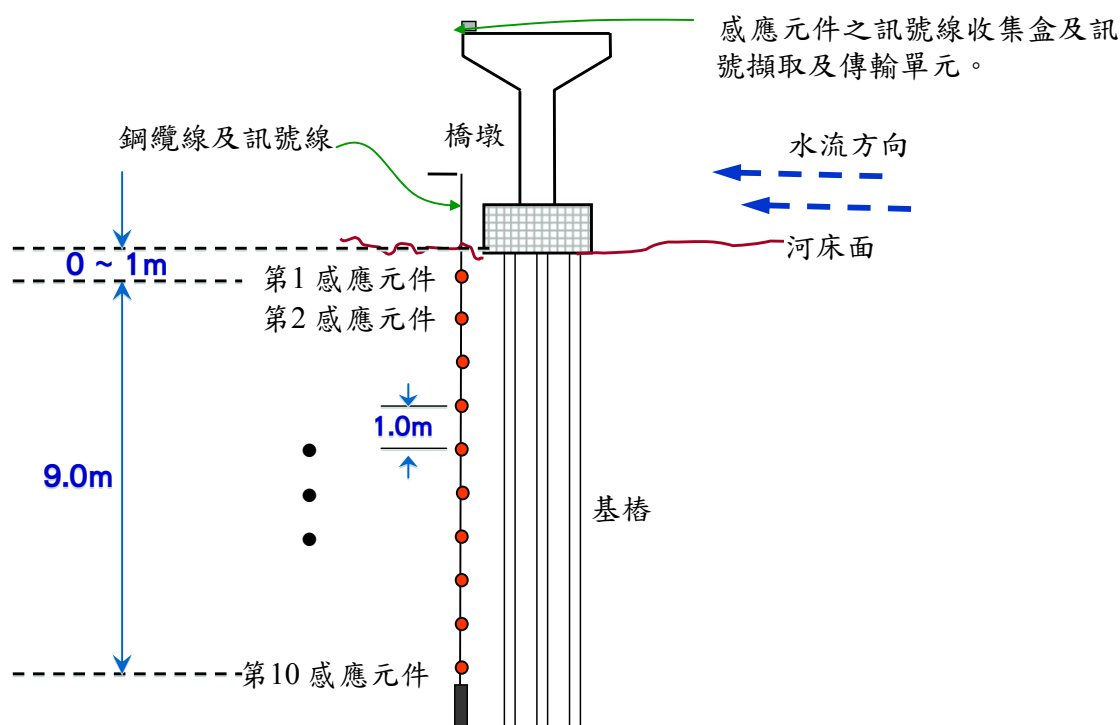


圖 4-3 感應元件配置及沖刷監測示意圖

在河床下之感應元件，因被砂石覆蓋著而不會產生搖晃，故感應元件不會出現明顯振動而誘發電壓訊號，但是當洪流引起沖刷時，因沖刷作用而露出沖刷面之感應元件，將在水流中產生激烈振動而誘發出電壓訊號，此時藉由監測各感應元件之訊號，即可在沖刷過程中，立即研判出哪幾個感應元件已遭受沖刷而露出沖刷面，進而求得即時之沖刷深度，該沖刷深度可作為橋梁維護管理單位對橋墩基樁結構安全之警戒用。

當洪流消退時，河流上游夾帶而下之砂石回淤，可能造成橋墩之部分或全部沖刷深度不見，此一回淤現象，亦將使本監測系統原被洪流沖刷露出之感應元件部份或全部重新埋入於回淤土石中，而使這些重新埋入土石中之感應元件不再振動，如此本監測系統可以追蹤比較洪流發生時及消退後所發生振動之感應元件數量，可以推求出沖刷最大深度及回淤高度。

本監測系統之構成硬體具有下列優點：

- A. 感應元件內部裝設壓電材料，經由力學振動產生電壓訊號，不需任何電源。
- B. 感應元件有良好之防水耐撞外殼保護。
- C. 鋼纜串接感應元件形成整個監測系統結構屬於高度柔性結構，有利於抵抗水流之衝撞。
- D. 無須任何養護，颱風來臨或平常監測前，只需在位於橋面板上之訊號線收集盒連接上訊號擷取及傳輸單元，即可在橋梁外進行各感應元件之沖刷訊號監測。
- E. 監測系統之成本低廉。
- F. 可以監測洪流來時橋墩瞬間遭受最大沖刷深度及洪流消退後之回淤高度。

本系統控制單元對於橋梁安全監控將以無線網路作為監測訊號傳輸之核心技術，其無線傳輸系統架構示意圖請見圖 4-4 所示。經由訊號擷取端，監測各安置於橋墩下基樁邊

之下游側感應元件的訊號，即可在冲刷過程中，立即研判出哪幾個感應元件已遭受冲刷而露出冲刷面，進而求得冲刷深度。當冲刷深度到達警戒區域，其警示訊號將由兩種方式通知相關負責單位與監控人員。監控端點將警告訊息以第二代行動電話之簡訊系統，將警示訊息以手機簡訊送至橋梁維護管理單位監控人員之行動電話中。除使用第二代行動電話之簡訊系統，將開發於訊號擷取端使用無線隨意式網路(Wi-Fi)做為橋墩冲刷監測資料的傳輸功能。當監控人員於手機中接收到來自訊號擷取端所送出的警示簡訊後，監控人員可以在第一時間趕至現場，直接將訊號擷取端所收集的橋墩監測記錄，在無需佈建基地台的情形下，直接傳送至負責人員的可攜式電腦中。

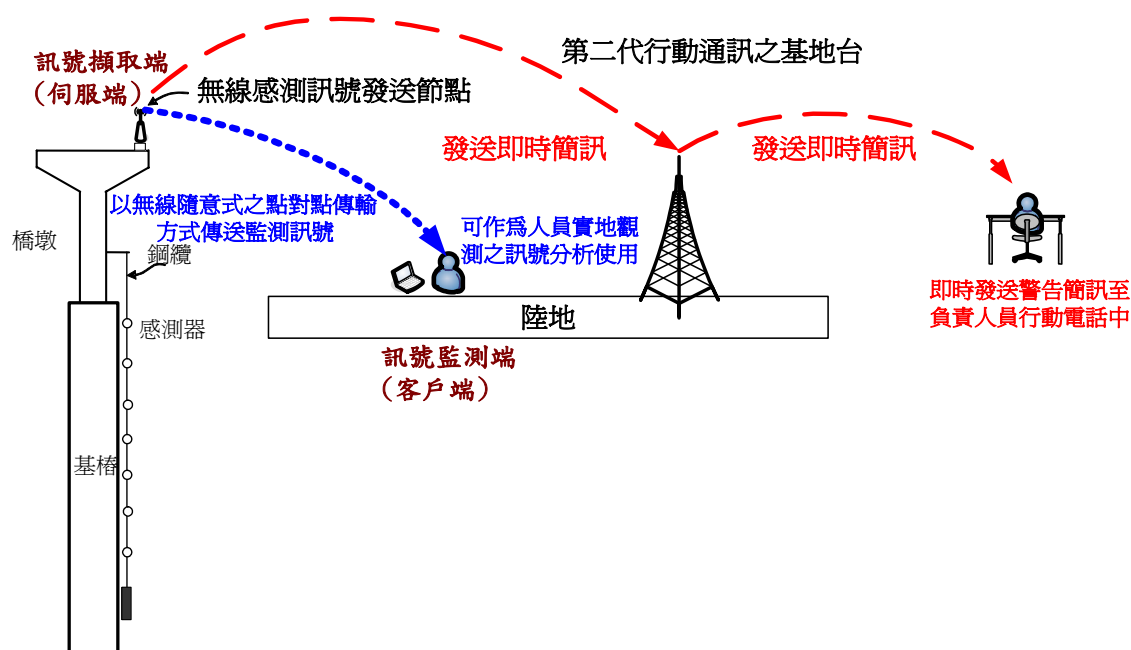


圖 4-4 無線監控系統架構示意圖

無線監控系統之作業流程如下：

Step1. 設置訊號擷取端設備

- 訂定橋墩警示臨界值、無線發射功率及量測傳輸距離。
- 將所訂之橋墩警示臨界值輸入監控軟體。
- 進行 Wi-Fi 設定與開啟相關服務。

Step2. 設置第二代無線行動電話(GSM)簡訊發送節點

- 量測鄰近 GSM 基地台與感測訊號發送節點之訊號分布(Radio Map)。
- 依照量測後得知的 Radio Map，選定 GSM 簡訊發送節點設置位置。
- 依照監測訊號發送節點與 GSM 簡訊發送節點之間位置估計中繼節點之擺放位置。

Step3. 於 GSM 簡訊發送節點(訊號擷取端設備)中，建立警示簡訊接收人員資料庫。

Step4. 開始監測橋墩冲刷深度，並收集訊號與分析。(詳見圖 4- 5 無線監控系統進行橋墩監測作業流程圖)

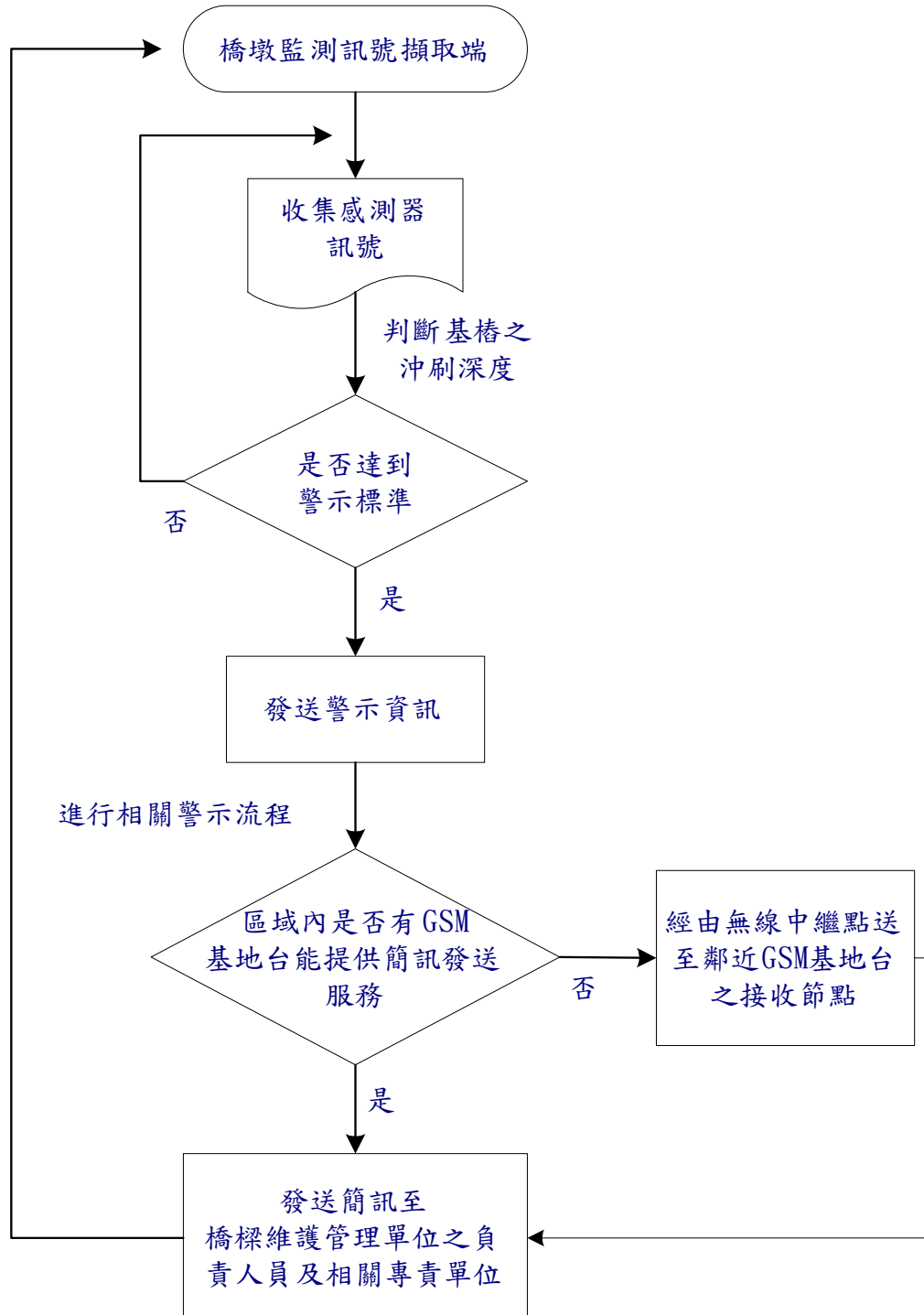


圖 4- 5 無線監控系統進行橋墩監測作業流程圖

無線監控系統有下列之優點

- A.本系統採數位無線技術傳輸資料，較不易受干擾。訊號擷取端可直接自動擷取並判讀訊號，進而以第二代無線行動電話 (GSM) 系統，以簡訊通知相關管理人員及相關專責單位。而在颱風或暴雨來襲時期，管理人員可透過無線隨意式網路 (Wi-Fi)，直接在安全的地點監測感測器狀態，可有效提升管理人員監測工作的方便性與安全性。
- B.使用工作於 2.4 GHz 之無線隨意式網路 (Wi-Fi) 之中距離無線傳輸技術，有較低耗電、傳輸距離遠、應用廣泛及建置成本低的優點，一般筆記型電腦或智慧型手機均有內建，不需額外開發設計新的通訊硬體設備。
- C.由於橋梁監測之環境不一，如部分位於山中偏遠地區的橋梁，行動電話基地台在其地區並無完整的涵蓋，於此種情形下，本系統將以無線隨意多跳式網路以多跳中繼的傳輸方式延長其無線訊號傳輸距離，將監測訊號送至位於能正常接收行動電話基地台訊號的觀測點。經由訊號擷取端監測各安置於橋墩下基樁邊之下游側感測器的訊號，即可在沖刷過程中，立即研判出哪幾個感測器已遭受沖刷而露出沖刷面，進而求得沖刷深度，當沖刷深度到達警戒區域，其警示資訊將以透過中繼節點將無線訊號經由多重轉送的方式將所載之數位資訊由發送端傳送到接收端，並告知橋梁維護管理單位之相關人員及相關專責單位立刻前來處理。
- D.建置成本低廉，無須申請需月租制的第三代無線上網裝置(約千元/月)，僅需將簡訊系統預先儲值即可使用。
- E.橋墩上的訊號擷取端均為可拆卸式系統，若有儀器遺失或保管的考量，可在颱風季節來臨前，在橋梁上進行安裝即可。
- F.有電力備援系統，一般時間使用橋梁上所提供之市電，於突發斷電時，將啟動備援電力系統維持其運作，系統於任何時間均維持其運作能力。
- G.本系統未來依需求可持續擴充的功能如下：
- (a)在本系統中使用之無線技術，除使用常見之無線隨意點對點技術，將資訊直接由訊號擷取端傳送至河岸邊監控端電腦外，未來亦可使用無線隨意多跳式網路技術，提升無線網路的應用範圍。無線隨意多跳式網路技術，在不需佈建無線基地台的情形下即能進行無線訊號之轉發與延長，作即時、全方位地訊息傳遞。上述技術，藉由無線動態路由協議，以中繼方式將所載之數位資訊由發送端傳送到接收端，接收端再依實際需求將警示訊息透過第二世代行動電話網路，發送警示訊息至橋梁維護管理單位的相關人員行動電話之中。利用無線隨意多跳式網路可以很好地實現對偏遠地區的橋梁無人即時監測和無線資料傳輸，可以對橋墩進行長期、全面、系統的觀測，確保人員、車輛行進橋梁的安全，並對橋梁長期運營、維修和養護提供科學依據。
 - (b)除以無線傳輸技術通知橋梁維護管理單位之相關人員及相關專責單位盡快處理之外，橋梁兩側及主要位置均可設立警示設備，由訊號擷取端直接傳送警示訊號，以作到第一時間可以立即警告之功能。

二、儀器安裝介紹



本團隊於98年8月進行儀器架設，儀器安裝流程如下：

- A. 架設監測儀器主機：於 P30R 橋墩樁帽上進行鷹架架設，再於 P30R 墩柱側面上裝設監測儀器主機，如圖 4-6 所示。
- B. 鑽孔施作：以鑽孔機於 P30R 橋墩旁鑽取裝設埋入式沖刷監測儀器所需之孔洞，如圖 4-7 所示。
- C. 埋設儀器：將埋入式監測儀器緩緩放入鑽孔中，如圖 4-8 所示，再將鑽孔機套管取出，由於鑽孔機取出套管時必須進行封管之動作，故儀器之訊號線須先進行截斷，待鑽孔機套管取出後，再進行訊號線續接，如圖 4-9 所示。
- D. 完成儀器裝設：將訊號線與墩柱上之主機進行訊號連接及測試，完成後再進行覆土回填即完成儀器裝設，如圖 4-10 所示。



圖 4-6 埋入式沖刷監測儀器主機



圖 4-7 鑽孔作業



圖 4-8 埋入式沖刷監測儀器埋設

圖 4-9 鑽孔機套管取出



圖 4-10 埋入式沖刷監測儀器架設完成

4.1.2 非埋入型沖刷深度監測系統

非埋入型沖刷深度監測系統為本計畫第二套沖刷監測儀器，其原理介紹、安裝介紹以及監測成果如下：

一、儀器原理介紹

非埋入型沖刷深度監測系統，係利用重力式之探頭來記錄河床之高程，進而了解沖刷深度，如其監測時機可設定在颱風前至結束。該監測系統於南下 P32R 橋墩裝設，監測並紀錄該橋墩河床之高程，了解沖刷深度。

重錘式河床沖刷計，當施測時，捲揚馬達將重錘棒由樁帽底部位置緩緩垂下，當重錘棒到達河床時即由控制器停止馬達捲下運動，此時即可計算出河床深度，量測完成後，再將重錘棒緩緩收回。量測起動方式可由現場按鈕或設定定時週期方式控制，亦可透過遠距通信遙控方式起動。

重錘式河床沖刷計量測範圍為 9m，精確度為 1 公分，可透過現場按鈕啟動紀錄沖刷深度，或依需求訂定量測頻率，自動垂下重錘棒記錄沖刷深度，示意圖如圖 4-11 所示

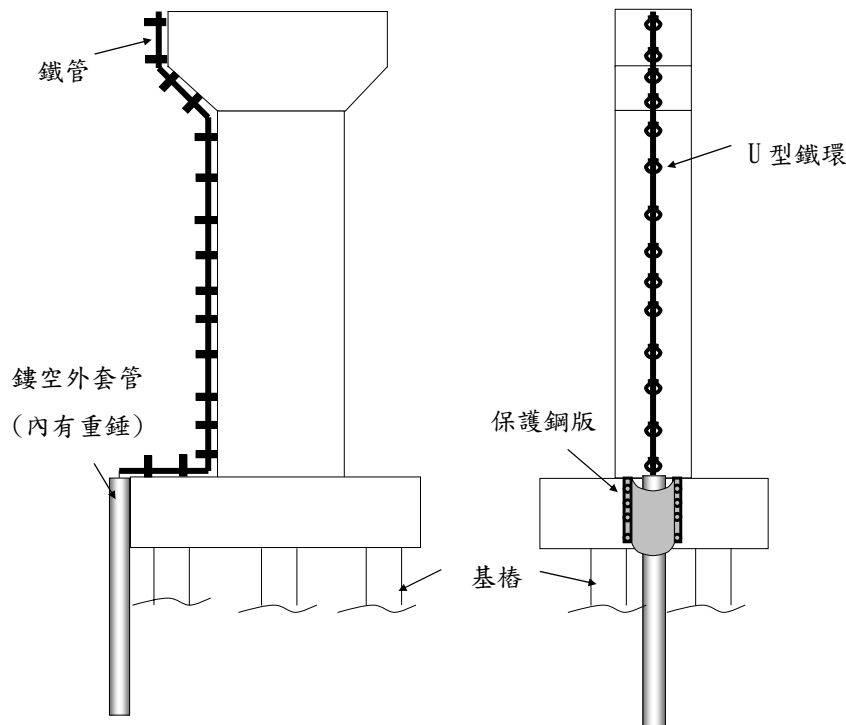


圖 4-11 非埋入型沖刷深度監測系統示意圖

二、儀器安裝介紹

本團隊於 98 年 8 月進行儀器架設，儀器安裝流程如下：

- 現場施作前，先使用鋼筋探測器探測，了解保護層厚度，避免打入固定用之膨脹螺絲傷及鋼筋。
- 向河床鑽孔或掘孔至 9m 深度，置入鏤空外套管(含樁帽厚度共約 12m 長)，外套管頂部與樁帽齊高，套管內填充砂石至現有河床高程，如圖 4-12 所示。
- 將鋼絞索由 P32R 橋梁護欄外側上緣，沿橋墩至樁帽，以鐵管保護外露之鋼絞索，固定於橋墩基礎結構上。遇到折角處設置滾輪，以便重錘棒上升或下降。
- 將鋼絞索套於重錘棒頂端之夾具，藉以拉住重錘棒(長度約 3m)，如圖 4-13 所示。
- 將重錘棒置於樁帽底部，作為起始位置，即完成裝設如圖 4-14 所示。
- 開始量測河床深度，捲揚馬達將重錘棒由起始位置緩緩垂下，當重錘棒到達河床時即由控制器停止馬達捲下，此時即可得知河床深度。量測完成後，再將重錘棒緩緩收回至起始位置。
- 量測頻率可依需求調整，自動垂下重錘棒紀錄沖刷深度。



圖 4-12 鏤空外套管埋設



圖 4-13 非埋入式沖刷監測儀器重槌棒



圖 4-14 非埋入式沖刷監測儀器架設完成

4.1.3 埋入型數位感測式橋梁沖刷深度監測系統

考量兩種沖刷監測系統受水流及土石衝擊可能造成損壞失效，因此本團隊規劃增加第三套不同形式的埋入型數位感測式監測系統，其原理介紹、安裝介紹以及監測成果如下：

一、儀器原理介紹

該監測系統為本研究團隊自行研發，安裝於南下 P30R 橋墩，監測系統之運作原理如下：

- A. 監測系統如圖 4- 15 所示，在橋墩下基樁邊之下游側，由河床面向砂石土層內鑽孔至預計深度後，埋入直徑約 10 公分之鋼管，該鋼管配置有 16 個數位感測裝置，各感測器間距 50 公分。
- B. 圖 2-38 為數位感測裝置之示意圖，圖 4- 16 (a)為感測機構示意圖，為感測機構示意圖，當水流經過感測裝置時，活動鋼板因水流帶動而開始作動，進而帶動繫在其上之鋼絲/電線，該電線將連動圖 4- 16 (b)之開/關發生作用，使數位訊號產生明顯改變，以作為判別是否有水流經過之依據。
- C. 在河床下之數位感測裝置，因砂石之覆蓋，活動鋼板將靜止不動。但是當沖刷發生時，因沖刷而露出沖刷面之數位感測裝置，將在水流中產生活動鋼板之擺盪，帶動繫在其上之電線啟動開/關，使數位訊號產生明顯改變，藉由監測各數位感測裝置，即可在沖刷過程中，立即研判出哪幾個數位感測裝置已遭受沖刷而露出沖刷面，進而求得沖刷深度。

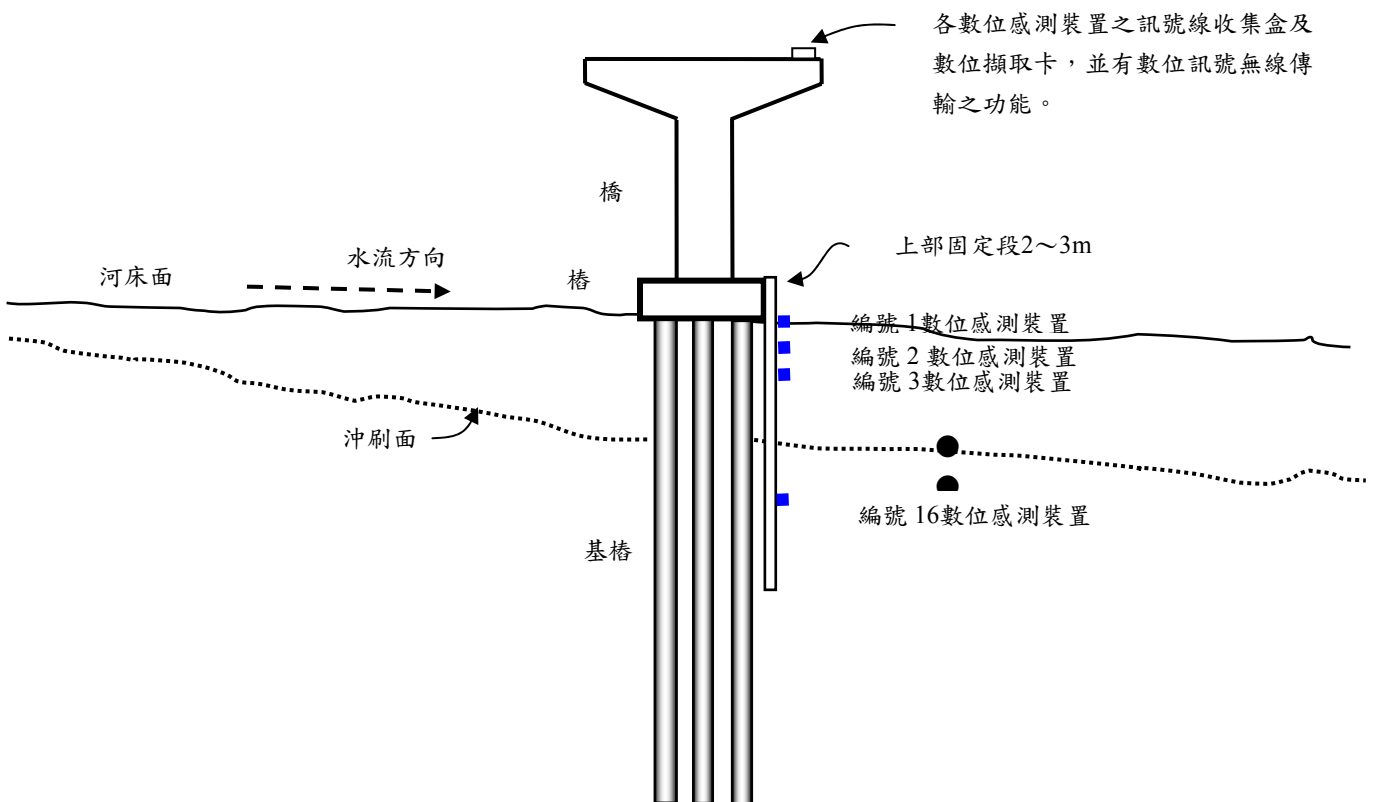


圖 4- 15 埋入型數位感測式橋梁沖刷深度監測系統

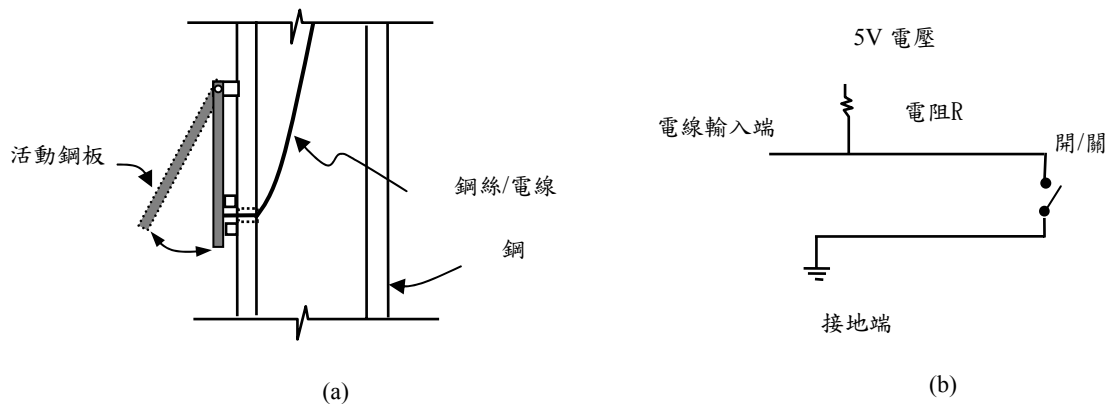


圖 4-16 數位感測裝置之示意圖

此監測系統之優點如下：

- A. 數位感測裝置為單純電路配置，可以直接與市售數位擷取卡搭配使用，不需額外電源。
- B. 數位感測裝置配置在鋼管上，只要固定好鋼管，即有良好之保護，可避免沖刷造成破壞。
- C. 無須任何養護，颱風來臨時，監測訊號可經由無線傳輸功能(Wi-Fi 或 3G 通訊)，即可在管制中心進行沖刷訊號之監測。
- D. 數位感測裝置之成本低廉。

二、儀器安裝介紹

本團隊於 98 年 8 月進行儀器架設，儀器安裝流程如下：

- A. 架設監測儀器主機：於 P30R 橋墩樁帽上進行鷹架架設，再於 P30R 墩柱側面上裝設監測儀器主機，如圖 4-17 所示。
- B. 鑽孔施作：以鑽孔機於 P30R 橋墩旁鑽取裝設埋入式沖刷監測儀器所需之孔洞，如圖 4-18 所示。
- C. 埋設儀器：將埋入式監測儀器緩緩放入鑽孔中，如圖 4-19 所示，完成後於樁帽上訊號線轉折處使用槽鋼將其覆蓋，如圖 4-20 所示。
- D. 完成儀器裝設：將訊號線與墩柱上之主機進行訊號連接及測試，完成後再進行覆土回填即完成儀器裝設，如圖 4-21 所示。



圖 4- 17 埋入式沖刷監測儀器主機



圖 4- 18 鑽孔作業



圖 4- 19 埋入式數位感測沖刷監測儀器埋設



圖 4- 20 裝設槽鋼保護訊號線



圖 4-21 埋入式數位感測沖刷監測儀器架設完成

4.1.4 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統（改良型）

基於莫拉克颱風侵台時，橋址為至濁水溪主河道從颱風前之 P30R 與 P32R 之間，改變至 P24R 與 P26R 之間，為能充分掌握橋梁基礎受沖刷情形，並吸取第一套沖刷監測儀器沖毀之經驗，將第一套沖刷監測儀器中結構強度不足引致其於洪流中發生破壞之弱點進行補強，增強其儀器於洪流中進行即時監測之適用性，經契約變更同意後，於目前主河道位置 P25R 橋墩處裝設改良型儀器，其改良處如下：

- A. 將訊號線材最小化，使訊號線可收納至鑽孔機封管的水管內，無須進行截斷後再續接，如圖 4-22 所示。
- B. 將鐵氟龍套頭接續處增設鋼材使其束制，避免因受外力而脫落。
- C. 增加兩條鋼索沿感測器旁代替訊號線及感測器受力，改善前次設計分段式鋼索受力脫落的情況，如所圖 4-23 示。
- D. 整體式鋼纜束制以鋼材加勁束制，確保其均受力於鋼纜，避免訊號端受力。
- E. 先將儀器於現場施作前，反覆施以透水試驗，確保儀器不易受惡劣環境影響並加以保護以利運送。
- F. 各段鋼纜均以鋼製束制器加以固定，於現場施作時會將外露鋼纜以鋼製保護機制加以保護，以免直接受到侵蝕，延長耐久性。
- G. 增加散熱風扇於主機箱內促進對流，降低主機溫度；將主機內部接地，避免靜電聚集影響主機效能。
- H. 將無線基地台由通訊協定 G 升級至通訊協定 N 傳輸速度提昇。
- I. 軟體程式分工、架構重整，降低系統負擔，進而降低系統當機的機會。



圖 4-22 埋入式沖刷監測儀器線材改良



圖 4-23 埋入式沖刷監測儀器結構改良

此套儀器已於 98 年 10 月 18 日裝設完成，將提供更充分之沖刷監測資料，除了可於洪流時量測即時沖刷深度，並可以量測洪流過後河床回淤之高度，以符合現今橋梁即時沖刷監測之需求。

4.2 結構監測方法

本研究團隊在經現場勘查後，P32R 基樁裸露約 3.5 m，故擬針對該橋墩進行監測作業。結構監測設備解說如下：

一、監測儀器安裝

1. 傾斜計

一般安裝於基礎開挖周圍之結構物的柱上，以量測因開挖、抽水或其他因素等，造成周圍地表沉陷變化及不均勻沉陷所導致結構物傾斜之程度，藉此研判結構物之安全性。其主要原理係當結構物發生傾斜時，裝設於其上之傾斜計亦隨之傾斜，其所產生之電壓值傳輸至記錄器，再轉換回傾斜角。本工程預計於南下 P32R 帽梁附近裝設此設備(詳如圖 4-24 說明)，監測並紀錄南下 P32R 橋墩傾斜狀況。而主要規格詳如下列說明。

電子式傾斜計量測範圍為 ± 5 度，精確度為 0.05 度、解析度為 0.001 度，並連結於自動記錄系統，維持 24 小時自動記錄。



圖 4-24 傾斜計安裝位置

安裝方式如下：

- A. 於南下 P32R 帽梁上方，以固定架或膨脹螺絲固定雙軸傾斜儀，如圖 4-25 所示。
- B. 調整傾斜儀安裝方位、並記錄量測初始值。
- C. 於橋塔及橋面配置電纜，外露部分則以 PVC 保護管至記錄器端子箱。
- D. 設定量測頻率進行自動化量測。



圖 4-25 傾斜計安裝完成

2. 相對沉陷計

目前最常用者為利用連通管原理之相對沉陷計，即於各受測點約略等高處安裝小型水槽及水壓計，並以水管相連接成液體相通之系統，當其中某測點處發生沉陷時，該處水槽之水位增高導致水壓上升，即可換算為相對沉陷量。設置時應考慮溫度效應及管線過長時管壁磨擦所造成之壓力水頭損失。可採用甘油與水以 1：1 之比例混合之液體，以減少溫差所造成之影響。本工程預計於南下 P30R 及 P32R 橋梁護欄外側上緣下方(詳如圖 4-26 說明)裝設此設備，監測並紀錄南向該橋墩沉陷情況。而主要規格詳如下列說明。

本項監測系統之主要儀器構件，包括連通管式沉陷計、基準水槽。連通管式沉陷計之量測範圍為 ± 50 mm 以上，精度為 0.001 FS，並連結於自動記錄系統，維持 24 小時自動記錄。



圖 4-26 沉陷計安裝位置

安裝方式如下：

- A. 測量水平線。
- B. 於南下 P30R 及 P32R 之間，橋梁護欄外側上緣架設小型水槽，如圖 4-27 所示。
- C. 南下 P30R、P32R 及小型水槽間，橋梁護欄外側上緣下方安裝流體管，並固定之；後續安裝空氣管，並固定之。
- D. 南下 P30R、P32R 橋梁護欄外側上緣安裝治具基座。
- E. 將儀器以鉚接或膨脹螺絲等方式固定於治具上，如圖 4-28 所示。
- F. 連接訊號線並以 PVC 管保護外露管線至中央靜態集錄系統完成設定。
- G. 設定量測頻率進行自動化量測。



圖 4-27 相對沉陷計水槽設置



圖 4-28 相對沉陷計裝設

4.3 沖刷監測系統建置

4.3.1 系統設計邏輯

一套監測系統之設計，因經費之局限性，故不可能毫無目的之擴充某些不必要之功能。相反地，亦不可因經費之限制而放棄部分必要之功能。故一套完整之監測系統，必須因地制宜，在深切了解業主及現場之需要後，提出符合需要之系統功能，此即為系統(程式)設計者所需之設計邏輯。

本研究團隊依現場狀況及業主要求綜合評估後，提出六大設計邏輯如下：

一、容錯設計 (Fault Tolerance)

系統設計不因單一感應元件毀損而造成系統停擺，尤其雷擊時更須避免造成連鎖效應。

二、自動偵錯 (Fault Detection)

系統於開機後即自行執行偵錯功能，並於每隔固定時段執行自我偵錯，如系統出現錯誤時將主動顯示以通知管理人員。

三、遠端修復 (Remote Repairement)

因現場為管制區域，無法任意進出維護，故系統應具有基本之遠端自行修復功能。另拜網際網路發達之賜，本團隊亦設計由台北直接可進行現場監測主機遠端修復之功能。

四、開放式設計 (Open Design)

以往之監測系統設計偏重於保護自家廠牌，不同廠牌之記錄系統無法與其他廠牌之感應元件相容。本團隊設計之系統將採開放式，以容納並整合各種元件。

五、即時反應 (Reflect Response)

系統為因應日後之管理及緊急應變措施，將採用即時反應功能，任何監測數據均先經初步判定，並預作反應功能，再進行儲存或處理以爭取時效。

六、即時自動修復 (Mean Time Between Recovery)

系統除具自動偵錯及被動式之遠端修復外，本團隊亦針對本工程採用即時自動修復功能。即系統經自動偵錯後，系統將依程式設定之適當時間嘗試進行自動修復。並於修復後再進行自動偵錯以利程式設計者或維護人員判定狀況。

4.3.2 系統構成

本研究團隊依據多年監測經驗初步選定系統設備如表 4-1 所示。

本工作中擔任支援角色的設施包括監測控制模組、數位式記錄器、電源供應模組、感應器保護、系統耐雷功能等，現分別略述如后。

一、監測控制模組

本工作將設立監測控制模組，其功能包括命令各感測元件進行量測，對於自感測器取回之信號進行調整處理、暫時儲存資料、定期傳送資料至監控主機、判斷結構所處狀況、進而調整取樣頻率。而監測控制模組依性質不同可區分如下兩部份：

1. 現場監測機箱

因現場與系統主機預定放置位置(高速公路局中區工程處)距離較長，傳統類比式感應器會有壓降及雜訊之問題，因此壓降級雜訊問題必須克服，本團隊於南下 P31R 橋上設置一監測機箱，收集所有類比訊號，經由差動輸入、儲存、基本比較、轉換後再行傳回系統主機位置。其大小約 40(L)×30(W)×22(H)cm，而其照片如圖 4-29 所示。

2.工務段監測機櫃

預定方式為於監測設備房中放置約 100(L)×100(W)×220(H)cm 之機櫃以集中放置所有之監測控制模組，而其照片如圖 4-30 所示。



圖 4-29 現場監測機箱



圖 4-30 工務段監測機櫃

二、數位式記錄器

現地裝設數位式記錄器，記錄各項工作之執行狀況，如同飛機的飛行記錄器(俗稱黑盒子)一般，其內容可詳盡列出：人員進入系統時間及存取動作狀況、內部電力不足記錄、系統記錄時間（可包括年、月、日、分、秒），以利日後判定之依據。

三、電源供應模組

為因應災難發生時電力中斷之狀況，不斷電系統之儲電量將設計為連續維持全系統正常運作所需之電源供應 8 小時以上。

表 4-1 監測系統構成暨選定因素分析表

量測方式	項目	監測項目	數量	選用廠牌/型號	主要規格	選用原因
靜態	一	埋入型沖刷深度監測系統	1 組		◎ 資料擷取為 16 通道，擷取速率達 100kHz 以上 ◎ 感應元件外殼防水耐衝擊	◎ 感應元件防水耐撞 ◎ 無線技術傳輸 ◎ 訊號擷取端可拆卸
	二	非埋入型沖刷深度監測系統	1 組		◎ 量測範圍：4m ◎ 精度：1cm	◎ 廣受信賴
	三	傾斜計	1 台	Soil TLT2-20.2-5	◎ 量測範圍：0-100 ◎ 精度：0.1% F.S.	◎ 不易受雜訊干擾 ◎ 輸出穩定
	四	沉陷計	2 台	FUTEK FSH02854	◎ 量測範圍：±50mm 以上 ◎ 精度：0.001 FS	◎ 廣受信賴
資料蒐集系統及附屬設施	五	靜態模組 × 16Ch	1 部	美國 Campbell scientific Inc /CR-10	◎ 5 分鐘一筆、可提高至 1 分鐘一筆 ◎ 16 頻道輸入(可擴充) ◎ 儲存 60,000 筆以上資料	◎ 穩定性高 ◎ 多功能 ◎ 低耗電(備用電 30 天以上) ◎ 廣受信賴
	六	控制伺服電腦	1 台	HP Pavilion m8090tw PC	◎ Intel® Core™2 Duo 處理器 E6400 ◎ 2.13 GHz, 2MB 進階傳輸快取記憶體, 1066 MHz	◎ 穩定性高 ◎ 多功能 ◎ 保固三年
	七	19" 遠端監視螢幕	1 部	HP W185	◎ 解析度:1366x768 (16:9 aspect ratio) ◎ 畫素間距：0.3 mm ◎ 輸入介面：類比：D-Sub 端子；數位：DVI-D 端子	◎ 友達面板 ◎ 保固三年
	八	不斷電系統	1 套	飛瑞&AC DELCO /C-1500& 100AH	◎ 靜態擷取：30 天 ◎ 待機時間(半載-靜態)：72 小時	◎ 穩定性高 ◎ on-line 功能強 ◎ 具穩壓功能 ◎ 可外接電池

四、感應器保護

現地感應器為現地監測設備之所在，需為具有防水、防風沙及防止人獸侵入破壞之阻隔設施。

五、系統耐雷功能

雷擊，為野外經常發生之狀況。由於系統各元件均有電路相連接，一旦其中任一部份遭受雷擊，即有可能造成全系統受損，故耐雷功能絕不可省。本工作中，各項重要感測元件、現地監測設備、及其所在之現地監測機櫃，均將作避雷接地，以維持系統本身之安全。

4.3.3 系統配置及監測作業

本節將針對執行橋梁監測系統的工作內容與計畫執行構想予以說明。本計畫監測工程主要分為以下部分。

一、現場量測系統

現場量測系統主要透過感測器將橋梁及環境物理量轉為類比輸出格式以提供工程師進一步分析處理及判讀評估工作。現場感測器包含傾斜計、沉陷計及非埋入型沖刷深度計等本計畫建置之監測器，同時亦將整合本橋梁業管單位既有之水位計與流量計等監視儀器。

二、資料傳輸系統

為達到使用者管理便利的目的，本系統規劃採用開放式網際網路環境，讓使用者可透過網際網路遠端視覺化控制及管理監測系統運作，以提高管理效率；又由於系統處於開放式環境，對於系統運作穩定度性以及系統安全性的考量，透過專業防火牆建置和安全密碼鎖設定，以杜絕不良連線破壞阻礙系統正常運作。

三、資料庫系統

本系統規劃設計可高效率儲存各量測資料，以提高系統資料分析處理效率，透過定時資料備份程序，達到監測的完整性。

四、遠端監看系統

透過本系統，使用者可輕易的連線中央系統，通過使用者管理程序後，可隨時隨地監看系統運作狀況，以即時了解橋梁安全狀況。整體架構設計及安裝測試作業流程分別如圖 4-31、圖 4-32 所示。

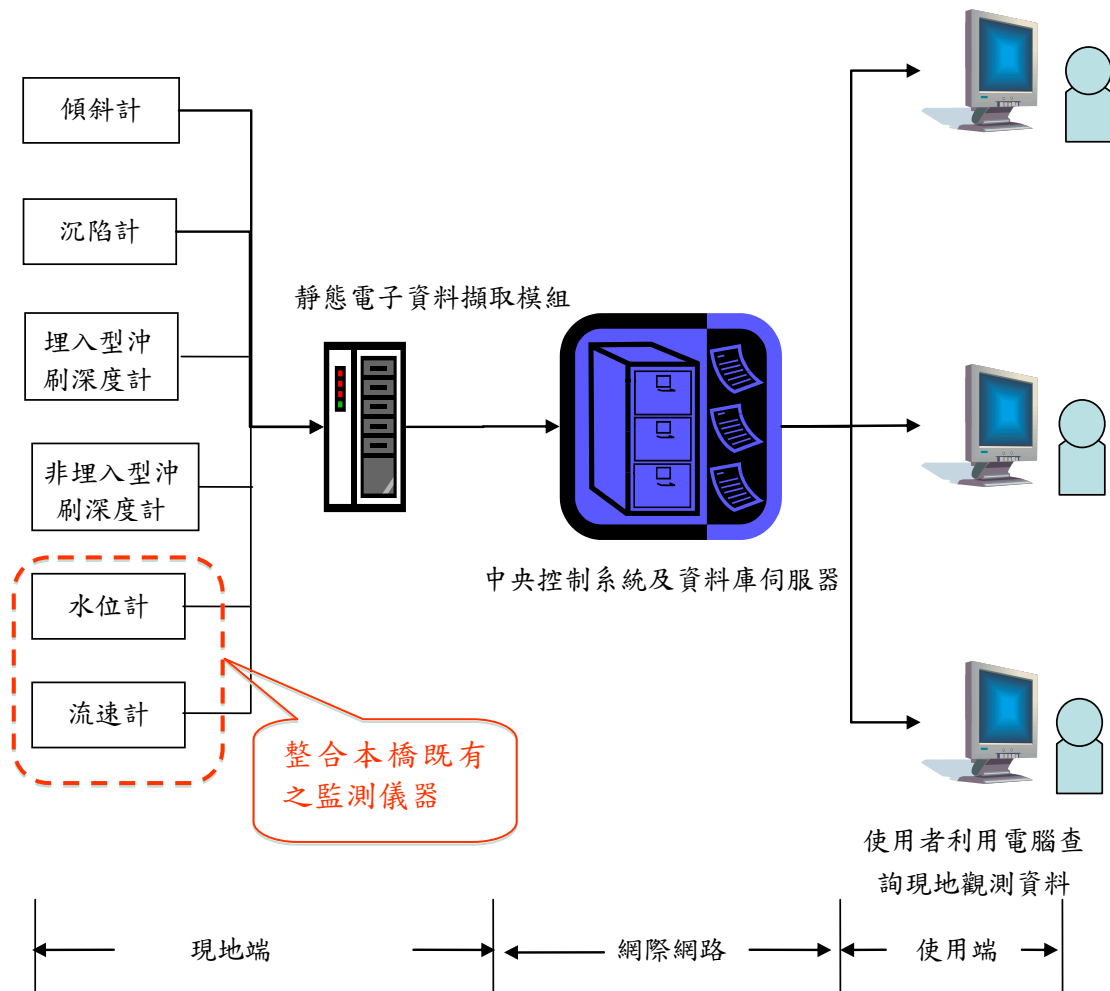


圖 4-31 整體架構設計圖

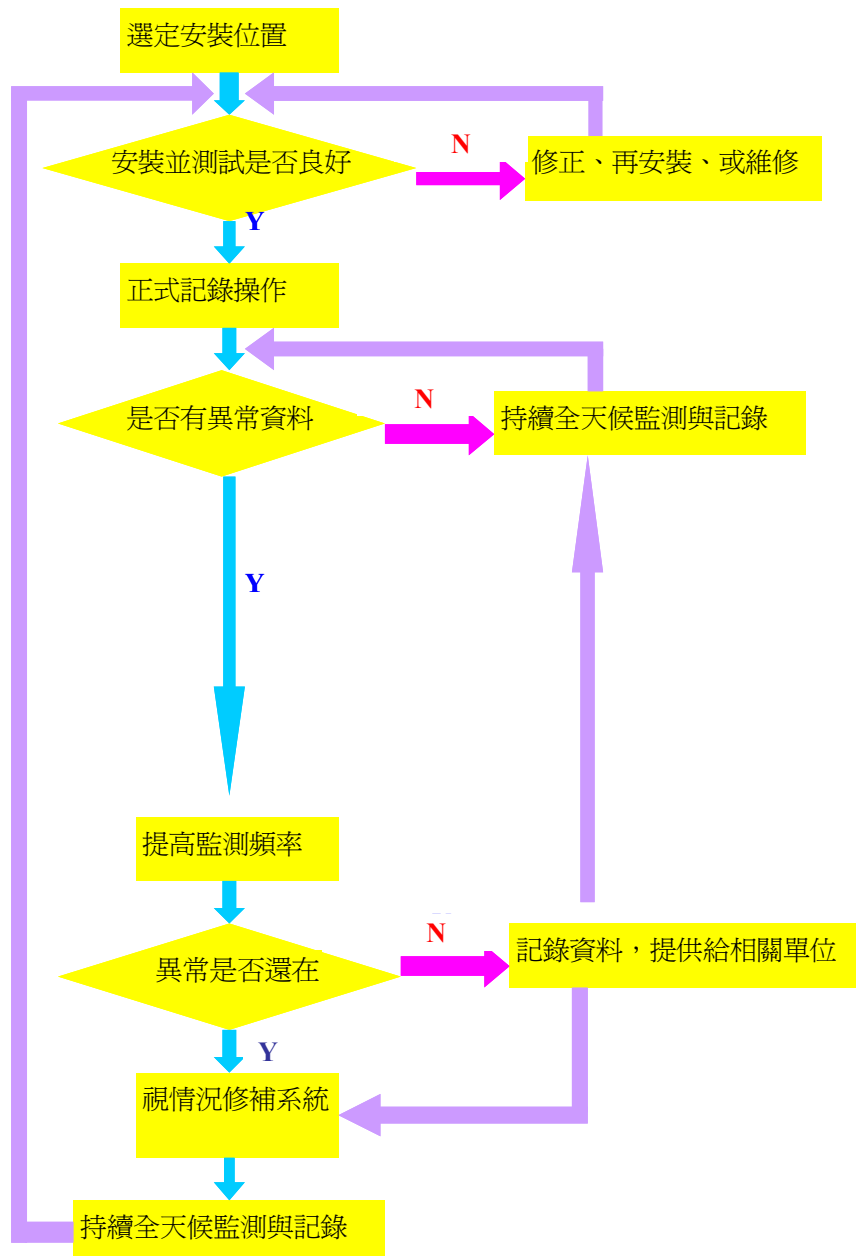


圖 4- 32 現場架設、安裝及測試流程圖

4.3.4 系統執行特色

本工作系統設計基於量測準確、系統穩定、即時監測、經濟效益等原則，使用先進之量測設備與通訊環境，建構一套具完整的監測、記錄、警報功能之安全監測系統。除本節以上所述之各部外，本系統尚具備以下特色：

- 一、利用擬神經網路技術，提供各項自動監測記錄功能。
- 二、採用之感測元件為兩種沖刷深度監測系統、傾斜計及沉陷計等，並納入本橋轄管單位既有水位、流速監測儀器，可提高系統之精準度。
- 三、現地可內建一套次專家管理系統，獨立運作自動記錄、運算等各項工作。
- 四、現地裝設數位式記錄器，記錄各項工作之執行狀況及時間（可包括年、月、日、分、秒），以利日後狀況判定之依據。
- 五、系統可連接電子佈告系統，架設於橋體兩端，以告知行車人員橋體之各項狀況或指示其遠離。

4.4 結構振動檢測方法

本研究團隊彙整橋梁沖刷檢測技術，挑選適當檢測技術，針對濁水溪河川橋之橋墩與基礎進行結構振動檢測之實作。規劃檢測技術為橋梁振動頻率量測。

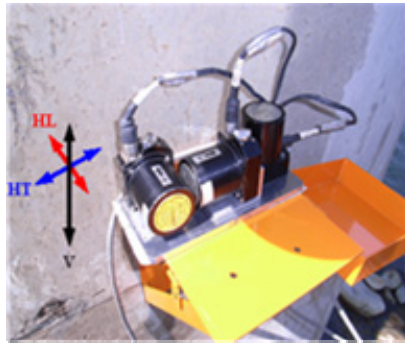
橋梁振動試驗主要瞭解橋墩墩身之自然振動頻率與橋墩沖刷深度兩者間之關聯性。期望藉由量測橋墩本身之自然振動頻率，探討橋墩因沖刷可能造成之頻率變化量，進而藉由長期之監測工作，達到評估橋墩沖刷現況之功能。本試驗共進行三次量測，分別於民國98年10月10日、民國99年1月9日以及民國99年3月27日進行量測，量測之資料經統計分析後如5.4節所述，提供建立基礎破壞包絡線時參考。

一、原理

當結構物遭受外力或地震震動時，往往使結構物本身之振動歷時反應成非線性穩態，在量測結構物之震動歷時資料後，在經由快速傅利葉轉換轉換成頻率域或是時間-頻率-振幅三維度反應譜求其車行震動歷時下之頻譜反應，進而瞭解橋梁墩柱受震動後之頻率變化。

二、量測方式

一般量測方式主要於橋墩墩身處安裝速度計，先於橋墩墩身適當位置安裝L型平台，並將速度計固定於該L型平台上，如圖4-33所示。並藉由該感測器量測橋墩之振動速度之行為，並以資料擷取器同時紀錄所感應之橋墩量測點振動歷時資料。



(a) 儀器配置



(b) 現場配置圖

圖 4-33 速度計架設圖

三、量測儀器

本研究採用之感應器為日本 Tokyo Sokushin Co.Ltd 生產，型號為 VSE-15D 之速度計，如圖 4-34 所示，該感應器之規格如表 4-2 所示。

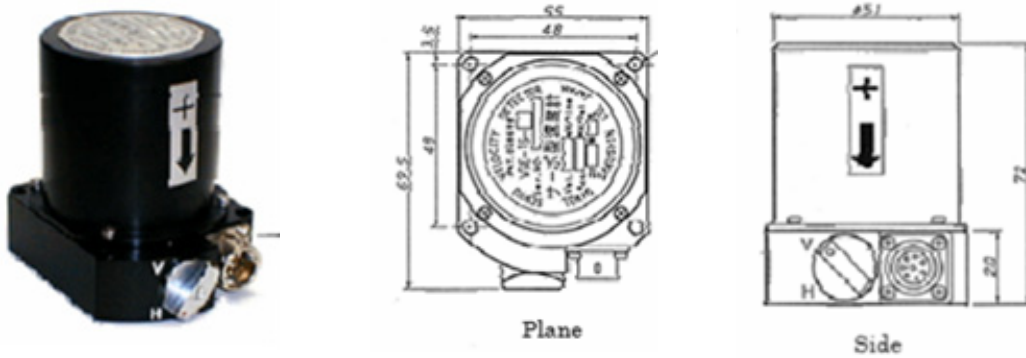


圖 4-34 VSE-15D 儀器

表 4-2 VSE-15D 儀器規格

儀器	VSE-15D
頻率範圍	0.2~100Hz
操作模式	Horizomtal, Vertical
最大量測範圍	±0.1m/s
輸出	Velocity(Low):100V/m/s, (High):1000V/m/s
輸出阻抗	Less than 50 Ohm
最大輸出電壓	±10V
線性率	0.03% of Full scale
解析度	10 ⁻⁵ gal
動態量測範圍	Approximately 140dB
阻尼率	h = about 10000%
校正值	Sensitivity: 6μA/gal Coil resistance: 550 Ω(±20%)
電源需求	±15VDC
電流	Approximately 15mA
軸向通過敏感度	0.03G/G
溫度係數	0.01%/°C
溫度範圍	-30~70°C
連接線	Shielded 4 pair teist cable
允許震動	30G (Less than 0.1sec)
尺寸	55x55x72 (H)

四、訊號分析方法

1. EMPA 固有頻率統計

瑞士聯邦材料試驗和研究實驗室 EMPA 自 1932 年起對於公路橋梁荷載的動力效應進行了長達 60 餘年的實驗研究，累積了豐富的資料，其中以 1958 年至 1981 年間對 226 座各類公路橋梁所進行的實驗，得到了一些十分有價值的成果和結論。

試驗方法為以一輛滿載的雙軸軍車以各種車速通過橋梁時進行動態試驗，車輛的總重為 110~193 kN，平均為 158 kN，車輛前後軸距為 3.4~6.0 m，平均為 4.4 m，試驗時車輛的行駛速度為 10~80 km/hr，平均 47 km/hr。試驗時分別以等速通過橋面與越過設於跨中的 50x300x500 mm 的板條。

被測橋梁的跨距在 11.0~118.8 m 間，平均 39.5 m。於簡支梁之跨中或連續梁大跨跨中，進行振動位移量測。依據 224 座橋梁之實驗結果統計出第一固有頻率的實測值為 $f = 1.23 \sim 14.0$ Hz，平均頻率 $f_m = 3.62$ Hz，頻率對於橋跨長(L)的回歸函數為

$$f = 95.4 \times L - 0.933$$

2. 衝擊振動測試

日本鐵道研究所西村昭彥博士於 1990 年以及 2001 年分別依其對橋梁之檢測資料研發出一種稱為「衝擊振動測試」的方法。試驗方式為以一重約 30 kg 的重錘撞擊橋墩，使橋墩產生振動，並記錄下振動之歷時，如圖 4-35 所示。經過多次相關試驗後，西村昭彥博士根據擁有之大量實測資料，運用迴歸分析的統計方法，制訂了幾個判別結構體特徵頻率的客觀標準公式，如表 4-3 所示，當現地地層參數已知之狀況下，則可藉此公式進行橋墩振動頻率之估算。

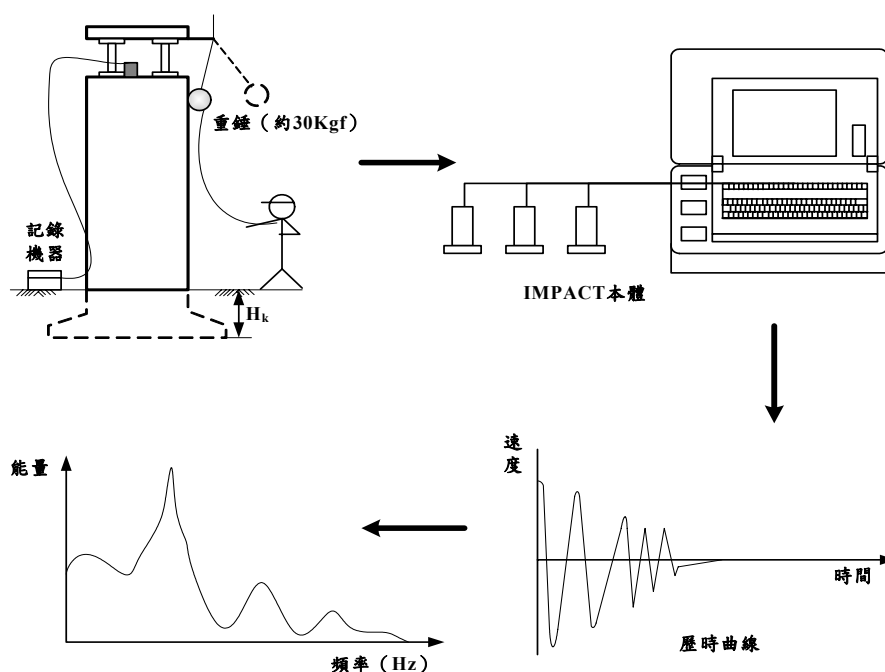


圖 4-35 衝擊試驗示意圖

表 4-3 橋墩固有頻率（HT 方向）

基礎形式	固有振動頻率公式(Hz)
樁基礎	$F = 35.0 \times \frac{(B^3 \div L)^{0.15} \times (D^3 \times N^{0.25} \times n)^{0.1}}{(W_h \times t^2)^{0.25}}$ <p>B：橋軸直角方向寬度(m) L：橋墩高(m) D：樁直徑(m) n：基樁數 t：第一個不動點距離+橋墩高</p> $t = 35.5 \times \frac{D^{15/16}}{N^{0.25}}$ <p>N：加權平均數</p>
	$N = \sum_{i=1}^k \left[\frac{N_i}{L_i} \right] \div \sum_{i=1}^k \left[\frac{l_i}{L_i} \right] \cdot l_i$ <p>l_i：i層之層厚(m) L_i：i層之深度(m) N_i：i層之 N 值</p>
沈箱基礎	$F = 11.83 \times \frac{N^{0.183}}{W_h^{0.285} \times H_k^{0.059}}$ <p>H_k：沈箱入土部分長度(m)</p>
直接基礎	$F = 23.73 \times \frac{B^{0.238} \times N_k^{0.111}}{W_h^{0.058} \times H_d^{0.319}}$ <p>W_h：梁重(tf) H_d：基礎出土部分長度 N_K：基盤 N 值</p>

利用此標準值與實際量得之頻率，可計算其橋梁基礎健全度指標：

$$\text{健全度指標}(\alpha) = \frac{\text{實際量得頻率}}{\text{固有頻率標準值}}$$

而依據此指標，可依表 4-4 來判斷結構物是否需要維修。

表 4-4 基礎構造物健全度判斷基準

健全度指標	判定評分		處理方式
0.70 以下	A	(A1)	可能由異常外力造成，必須在做其他詳細檢測，和進行後續修補與補強。
0.85 以下		(A2)	必須討論既有基礎是否滿足現行車流量所需
0.86 以上	B 以上		安全無虞

3. 輪距衝擊頻率公式

車輪衝擊為影響橋墩橫向振動頻率的一個重要因素，輪距衝擊頻率定義如下

$$f = V / l$$

式中 V 為車速(m/sec)； l 為輪距(m)

此研究進行量測之橋跨平時車速約為 90 km/hr 至 110 km/hr，車輛種類包含小客車、巴士、貨車、砂石車，以砂石車之輪距 6 m 計算，則輪距衝擊引起之橋墩橫向振動頻率範圍約為 4.16~5.09 Hz 左右。

4. 快速傅利葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)

傅利葉轉換是廣泛應用於工程分析之數位訊號分析技術，當儀器測量所得的數位訊號為時間-振幅的數據時，可以使用傅利葉轉換將此一訊號轉換為頻率-振幅曲線，進行此一訊號的頻率特性的分析；反之若有一頻率-振幅的數據，則可使用逆傅利葉轉換，將此一訊號數據轉換為時間-振幅的數據。傅利葉積分定義為

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-i2\pi ft} dt$$

上式中中任一點的 f 為可積分時，則 $H(f)$ 存在，其中 $h(t)$ 為時間 t 的函數，而 $H(f)$ 則為頻率 f 的函數。一般而言 $H(f)$ 為一複數的量，所以 $H(f)$ 應可改寫為

$$H(f) = R(f) + iI(f) = |H(f)|e^{i\theta(f)}$$

上式中 $R(f)$ 為傅利葉轉換的實數部， $I(f)$ 為傅利葉轉換的虛數部。而絕對值 $|H(f)|$ 為其振幅或稱為傅利葉頻譜， $\theta(f)$ 稱為相位角。

五、試驗配置

由於濁水溪橋經研究團隊現勘結果，將選擇三處作為振動量測之點位，分別為 P10R、P32R 以及 P33R。如圖 4-36 所示。

P10R 橋墩：此處樁帽已裸露。

P32R 橋墩：此處墩柱基樁淘刷較深。

P33R 橋墩：此處墩柱正常，有覆土。

研究團隊將選擇三處不同沖刷狀況之基礎墩帽施作振動量測，沖刷有明顯變化之前、後各量測一次，試圖找出基礎結構長短柱與頻率之間變化之情形。

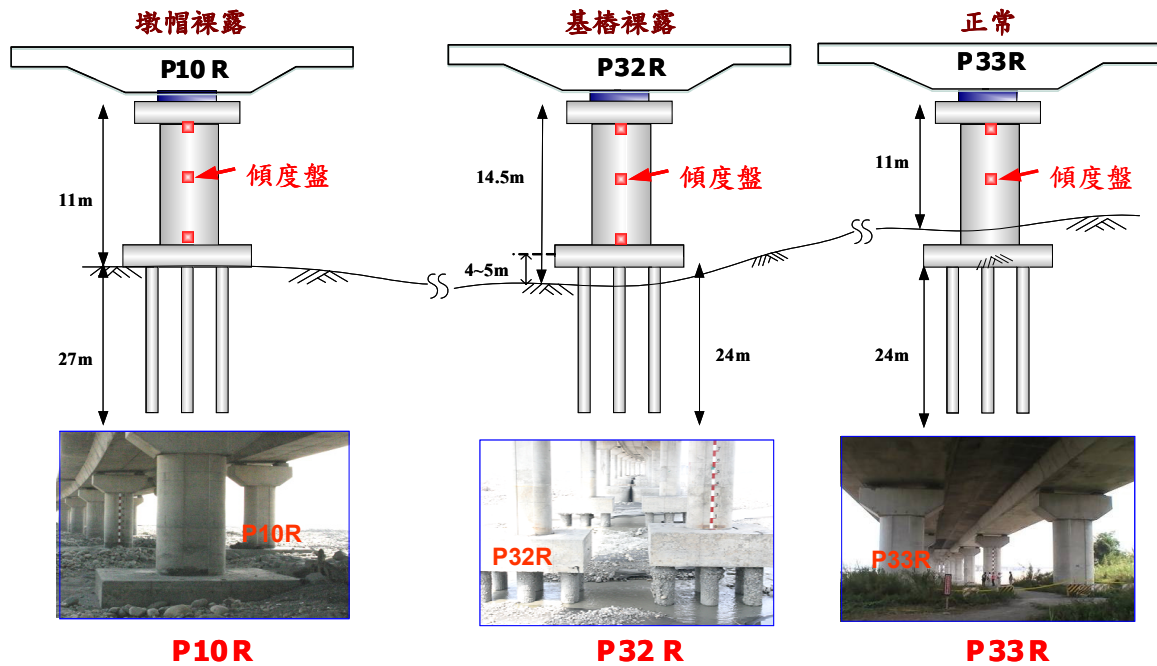


圖 4-36 振動量測示意圖

六、訊號分析與結果

數據攫取與分析方式，分兩步驟：以車輛行駛通過時作為震動來源，先於現場直接量得車行通過時間，再回實驗室比對歷時曲線，現以研究團隊之公路橋梁實際量測案例為例，分析時間點說明如下：

1. 微震量測(ambient test)：

選取時間點為 255 秒~300 秒之間分析，區間為 45 秒微震環境值量測，如圖 4-37 所示。

2. 強迫振動(force vibration)：

在現場直接觀測車行通過時間並予以紀錄，再由歷時曲線比對而出，選取時間為 650~662 秒，分析時段為 12 秒，如圖 4-37 所示。

3. 自由振動(free vibration)：

在現場直接觀測車行通過後時間並予以紀錄，再由歷時曲線比對而出，選取時間為 668~673 秒，分析時段為 5 秒，如圖 4-37 所示。系統攫取樣點率為 200 Hz，以快速傅利葉轉換求得頻譜，不足點以補零方式(zero padding)分析。

圖 4-38 顯示如在不同長短墩柱量測下，之頻率變化，由圖可知，短柱(P10)自由振動頻率明顯較長柱(P7)高頻，高出 0.6 Hz。

本項工作將依上述之原則進行相關訊號分析。

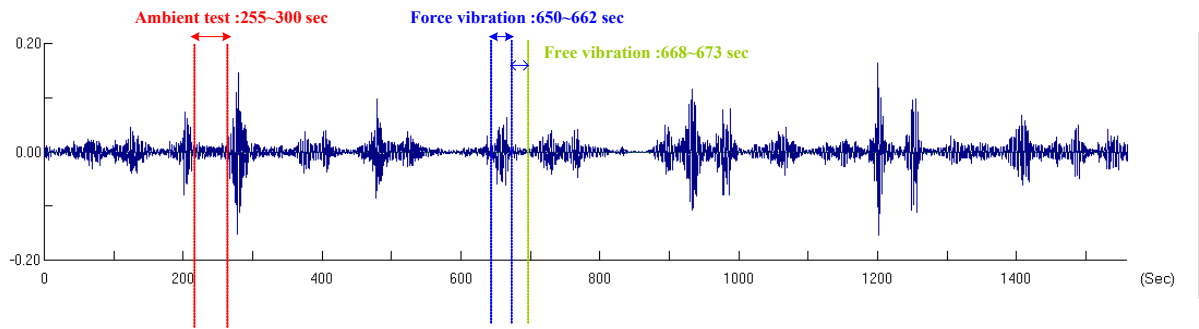


圖 4- 37 現場歷時曲線圖（公路橋梁案例）

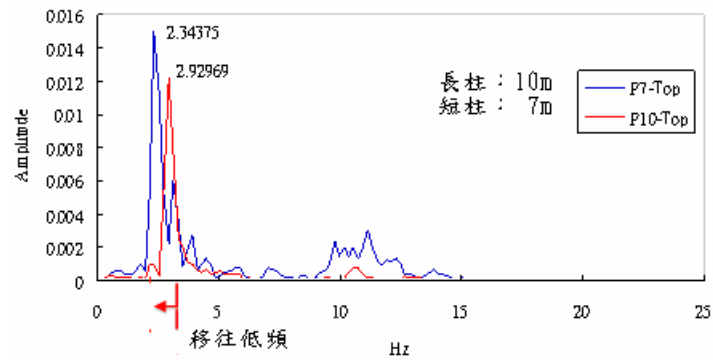


圖 4- 38 墩柱在車速 45 km/hr 下長短柱不同之頻率表現（公路橋梁案例）

伍、監測成果

國道3號濁水溪橋沖刷監測系統之建置依據第四章所述之方式已於民國98年7月18日完成，並於8月8日莫拉克颱風侵襲台灣時成功監測得洪流時期之資料，本章針對颱風期間所獲得之寶貴監測數據進行探討，包括環境監測成果、結構監測成果、整合既有儀器監測成果及初步橋梁耐洪評估成果等，所得結果將於本章敘述；另本計畫執行期間各月份監測資料彙整如附件4至附件12。

5.1 環境監測方法監測成果

國道3號濁水溪橋沖刷監測系統中環境監測方法如第4.1節所述，包含埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統、非埋入型沖刷深度監測系統及埋入型數位感應式橋梁沖刷深度監測系統三種監測方法，於8月8日莫拉克颱風侵襲台灣時所得之監測成果如後述。

5.1.1 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統監測成果

儀器如第4.1.1小節所述完成裝設後即開始進行監測作業，但隨即遭遇莫拉克颱風挾帶大雨侵台，水位暴漲，參考高公局裝設於濁水溪橋址之水位計及流速計監測資料，颱風時期瞬時最高水位高程為141.388m(2009/08/09 03:10)。由於裝設儀器時因鑽孔機取出套管時需先封管，因此訊號線須先行截斷後，於套管取出後再行續接，此訊號線接點即成為水流來臨時之弱點，遭莫拉克颱風侵台時破壞，如圖5-1所示。基於此次儀器遭沖毀之經驗，將此套儀器中結構強度不足引致其於洪流中發生破壞之弱點進行補強，增強其儀器於洪流中進行即時監測之適用性，經契約變更同意後，於P25R橋墩處裝設改良型儀器，改良型儀器細節已於第2.4.1.4節描述。



圖 5-1 入式沖刷監測儀器訊號線與鋼索分離被沖毀

5.1.2 非埋入型沖刷深度監測系統監測成果

儀器如第 4.1.2 小節所述完成裝設後即開始進行監測作業，但隨即遭遇莫拉克颱風挾帶大雨侵台，水位暴漲，由於重槌之外套管管徑勁度仍有所不足，以及欲量測之沖刷深度造成套管長度過長(右圖示位置)；加上固定鋼板強度仍有改善之處，故於莫拉克颱風侵台時遭洪水衝擊破壞，如圖 5-2 所示。



圖 5-2 非埋入式沖刷監測儀器破壞

本團隊吸取本次儀器遭洪水沖擊破壞之經驗，提出往後對於本儀器強化存活性之建議如下：

1. 將外套管儘量貼近樁帽側邊，避免突出，減少受到外在衝擊機會。
2. 外套管徑選用較厚之材料，增加抵抗外力衝擊能力。
3. 對設置墩柱上用以連接監測主機與監測儀器之線材加以鋼板材保護，以確保線材之存活。

5.1.3 埋入型數位感測式橋梁沖刷深度監測系統監測成果

儀器如第 4.1.3 小節所述完成裝設後即開始進行監測作業，隨即遭遇莫拉克颱風挾帶大雨侵台。颱風侵襲時成功即時監測並紀錄洪水造成橋墩基礎沖刷資料，如圖 5- 3 所示，當 P30R 橋墩位置河床受颱風洪水沖刷造成基樁開始裸露為 8 月 8 日上午 6 點 9 分，深度為 1.5m；於 8 月 9 日下午 16 點 51 分時，沖刷深度至 4m；於 8 月 9 日下午 18 點 36 分時，沖刷深度達最深 5.5m，顯示此儀器確實能於洪水中即時監測橋墩基礎受沖刷之裸露長度，提供沖刷深度值以評估橋梁耐洪能力。

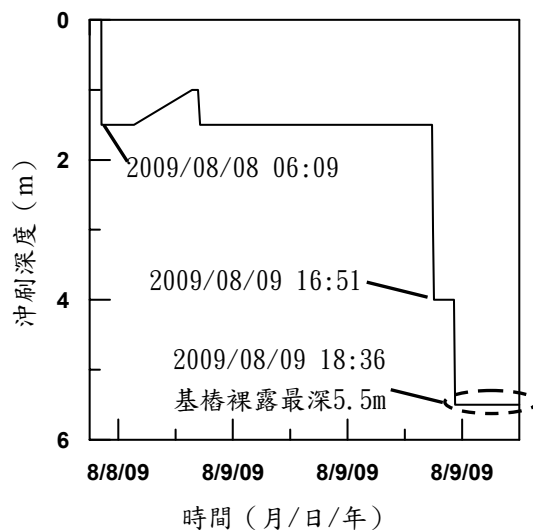


圖 5-3 埋入式數位感測沖刷監測儀器監測圖

莫拉克颱風過後，本團對於 P30R 量測到的河床高度為樁帽底部上方 1.13m。加上最大沖刷深度 5.5m，河床回淤高度達 6.6m。故由此可知，P30R 橋墩於颱洪當中有沖刷情形，颱洪過後河床有回淤現象，因此於颱洪過後所量測之河床面計算沖刷情形時，無法代表當次洪流造成之最大沖刷深度，

5.2 結構監測方法監測成果

國道 3 號濁水溪橋沖刷監測系統中結構監測方法如第 4.2 節所述，包含傾斜計及沉陷計兩種監測方法，於 8 月 8 日莫拉克颱風侵襲台灣時所得之監測成果如後述。

5.2.1 傾斜計監測成果

本儀器於八月初莫拉克颱風侵襲台灣時即時監測橋墩傾斜資料，如圖 5- 4、圖 5- 5 所示，其中 X 軸傾斜計量測資料以車行方向南下方為正向，Y 軸傾斜計量測資料以上游方向為正向；颱風時期 X 軸向先往北傾斜後再回復至原始位置，Y 軸向先往下游傾斜後再回復至原始位置，X 軸及 Y 軸傾斜度皆小於 0.3 度，亦即傾度皆小於 1/190，對結構影響甚微；顯示此儀器確實能於洪水中即時監測橋墩傾斜度，以提供評估橋梁安全。

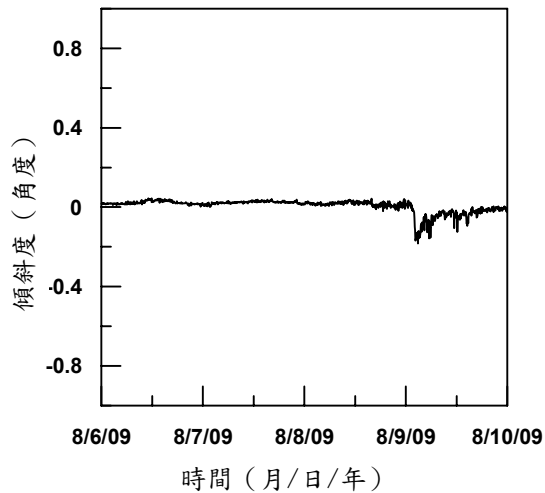


圖 5-4 傾斜計 X 軸監測圖

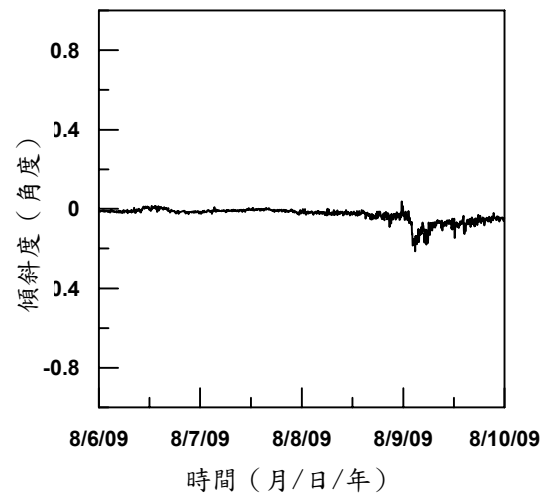


圖 5-5 傾斜計 Y 軸監測圖

5.2.2 沉陷計監測成果

本儀器設計時考量颱風期間數值震盪過大，故採用之連通管式相對沉陷計屬於反應變化量極快之靜態水壓計，反應時間小於 1ms，每秒可讀取 1000 筆資料。但於莫拉克颱風期間，數值之震盪遠遠超出預期範圍，數值變化過大，有時甚至擷取不到數值。目前已於 2 月將有異常狀況之沉陷計與以更換，持續進行監測中。

5.3 整合既有儀器監測成果

國道3號濁水溪橋冲刷監測系統中整合既有儀器如第4.3所述，包含流速計及水位計兩種監測方法，於8月8日莫拉克颱風侵襲台灣時所得之監測成果如後述。

將設置於P33L之既有之水位計及流速計整合至系統中後，於莫拉克颱風時期即時監測流速計及水位計成果如圖5-6及圖5-7所示。於莫拉克颱風時期所監測得瞬時流速最快為4.877m/s；於莫拉克颱風時期所監測得瞬時水位最高為141.388m(於P32R樁帽頂部以上2.29m)。

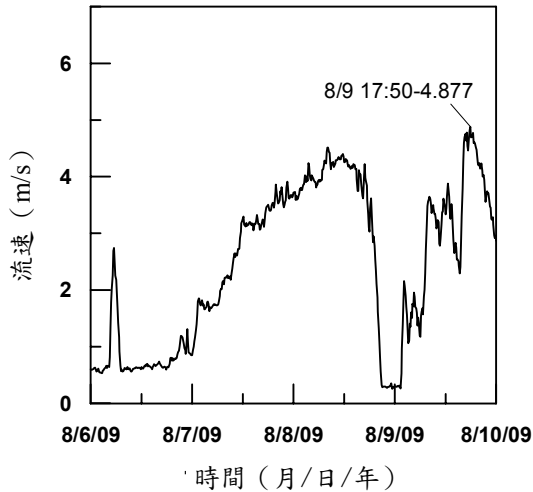


圖 5-6 莫拉克颱風時期流速計監測圖

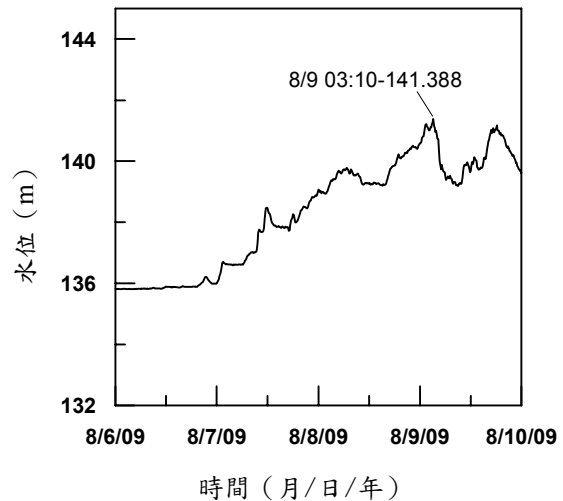


圖 5-7 莫拉克颱風時期水位計監測圖

為了試圖了解冲刷深度、水流流速及水位高度之關係，因此將此監測資料與冲刷監測資料彙整後如下圖5-8及圖5-9，由圖5-8可發現，當水流流速約至4.2m時，橋墩基礎開始有冲刷現象，但當觀察圖5-9時即發現水位高度較無如水流流速與冲刷深度之間有明顯之關係性。

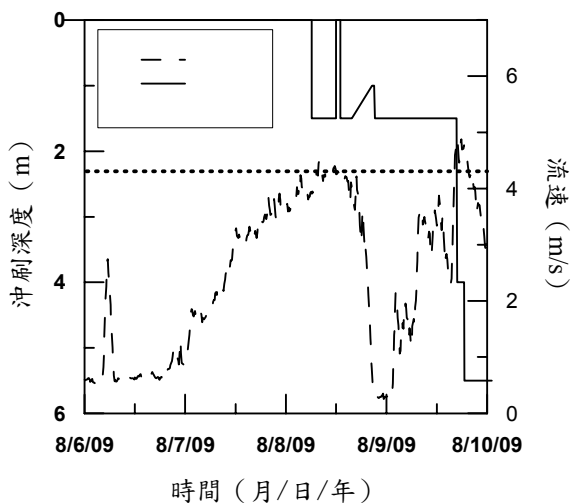


圖 5-8 莫拉克颱風流速與冲刷計監測圖

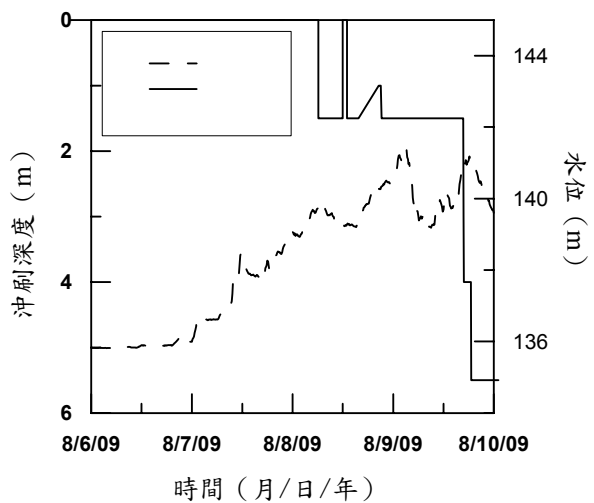


圖 5-9 莫拉克颱風水位與冲刷計監測圖

5.4 結構振動檢測結果

結構振動檢測試驗配置與分析方法如 4.4 節所述，本試驗共進行三次量測，分別於民國 98 年 10 月 10 日、民國 99 年 1 月 9 日以及民國 99 年 3 月 27 日進行量測，第三次量測特別另行增加量測主河道位置橋墩 P25R 之振動歷時，除量測振動歷時外，另分別記錄橋墩淨高長度(m)，淨高長度之判斷如圖 5-10。

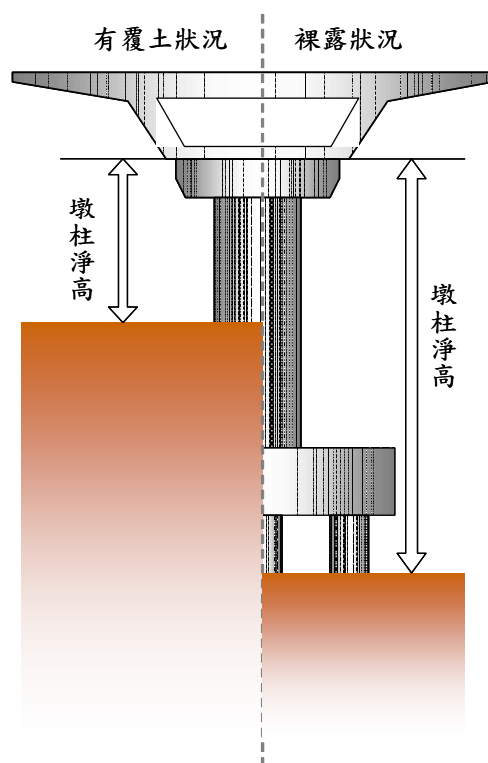


圖 5-10 橋墩淨高長度判斷圖

結構振動量測點位除 P33R 因樁帽未裸露，僅量測墩柱上方及墩柱中央之振動歷時之外，其餘兩墩柱 P32R 及 P11R 皆量測墩柱上方、墩柱中央及墩柱下方三個測點。每個測點量測三軸向振動歷時，分別為車行方向（SN 方向）、水流方向（EW 方向）以及垂直地面方向（V 方向），三次量測結果經分析後之頻譜圖請參閱附件 13，將各點量測結果之主頻率值整理如表 5-1 所示。

為了解墩柱淨高與主頻率間之關連性高低，先將墩柱上方、墩柱中央及墩柱下方之主頻率值與墩柱淨高長度分別繪製如圖 5-11、圖 5-12 及圖 5-13。觀察圖 5-11、圖 5-12 及圖 5-13 當中可發現，以 Power-law 方式($\ln(Y)=B*\ln(X)+A$)迴歸。結果顯示墩柱中央頻率與淨高決定係數(R^2)值為 0.305，明顯較其餘兩者佳。可研判墩柱上方因接近橋梁上部結構，故主頻率易受上部結構之振動影響；墩柱下方因接近樁帽（質量大），因此主頻率易受樁帽影響，兩者與墩柱淨高之關係皆微弱，因此以墩柱中央所量測之振動主頻率與墩柱淨高較具代表性。

表 5-1 各振動量測點位主頻率值

墩柱編號	檢測次序	方向	檢測位置	淨高(m)	頻率(Hz)
P11R	first	EW	low	13.0	4.25
P11R	first	SN	low	13.0	2.86
P11R	first	V	low	13.0	1.49
P11R	second	EW	low	13.0	2.94
P11R	second	SN	low	13.0	2.95
P11R	second	V	low	13.0	2.28
P11R	third	EW	low	13.0	2.99
P11R	third	SN	low	13.0	2.99
P11R	third	V	low	13.0	2.99
P32R	first	EW	low	17.8	2.82
P32R	first	SN	low	17.8	3.85
P32R	first	V	low	17.8	3.53
P32R	second	EW	low	17.8	4.84
P32R	second	SN	low	17.8	3.60
P32R	second	V	low	17.8	4.82
P32R	third	EW	low	17.8	2.00
P32R	third	SN	low	17.8	2.87
P32R	third	V	low	17.8	4.79
P11R	first	EW	mid	13.0	2.99
P11R	first	SN	mid	13.0	2.94
P11R	first	V	mid	13.0	2.94
P11R	second	EW	mid	13.0	3.02
P11R	second	SN	mid	13.0	2.89
P11R	second	V	mid	13.0	2.89
P11R	third	EW	mid	13.0	2.99
P11R	third	SN	mid	13.0	2.81
P11R	third	V	mid	13.0	2.80
P25R	third	EW	mid	21.5	2.17
P25R	third	SN	mid	21.5	2.19
P25R	third	V	mid	21.5	4.20
P32R	first	EW	mid	17.8	2.75
P32R	first	SN	mid	17.8	2.56
P32R	first	V	mid	17.8	2.73
P32R	second	EW	mid	17.8	2.26
P32R	second	SN	mid	17.8	2.71
P32R	second	V	mid	17.8	4.71
P32R	third	EW	mid	17.8	2.43
P32R	third	SN	mid	17.8	2.50

P32R	third	V	mid	17.8	2.70
P33R	first	EW	mid	11.2	3.99
P33R	first	SN	mid	11.2	3.64
P33R	first	V	mid	11.2	4.25
P33R	second	EW	mid	11.2	3.69
P33R	second	SN	mid	11.2	3.88
P33R	second	V	mid	11.2	3.88
P33R	third	EW	mid	11.2	3.84
P33R	third	SN	mid	11.2	3.36
P33R	third	V	mid	11.2	3.36
P11R	first	EW	up	13.0	2.94
P11R	first	SN	up	13.0	2.95
P11R	first	V	up	13.0	2.91
P11R	second	EW	up	13.0	2.99
P11R	second	SN	up	13.0	2.85
P11R	second	V	up	13.0	2.87
P11R	third	EW	up	13.0	3.00
P11R	third	SN	up	13.0	2.81
P11R	third	V	up	13.0	2.79
P32R	first	EW	up	17.8	2.56
P32R	first	SN	up	17.8	2.76
P32R	first	V	up	17.8	2.69
P32R	second	EW	up	17.8	2.26
P32R	second	SN	up	17.8	2.99
P32R	second	V	up	17.8	4.71
P32R	third	EW	up	17.8	2.42
P32R	third	SN	up	17.8	2.42
P32R	third	V	up	17.8	6.56
P33R	first	EW	up	11.2	3.64
P33R	first	SN	up	11.2	3.67
P33R	first	V	up	11.2	3.73
P33R	second	EW	up	11.2	3.69
P33R	second	SN	up	11.2	3.88
P33R	second	V	up	11.2	3.85
P33R	third	EW	up	11.2	3.64
P33R	third	SN	up	11.2	3.08
P33R	third	V	up	11.2	3.55

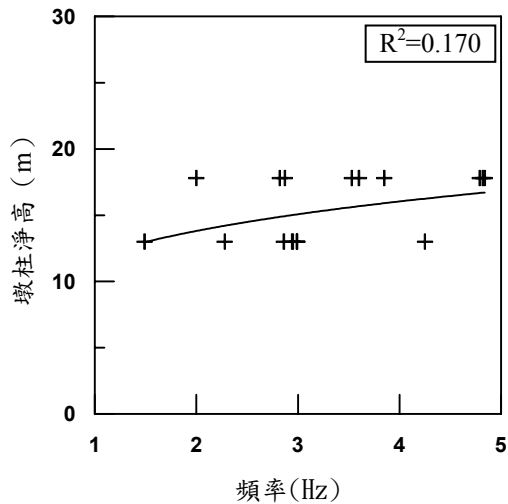


圖 5- 11 墩柱下方頻率與墩柱淨高圖

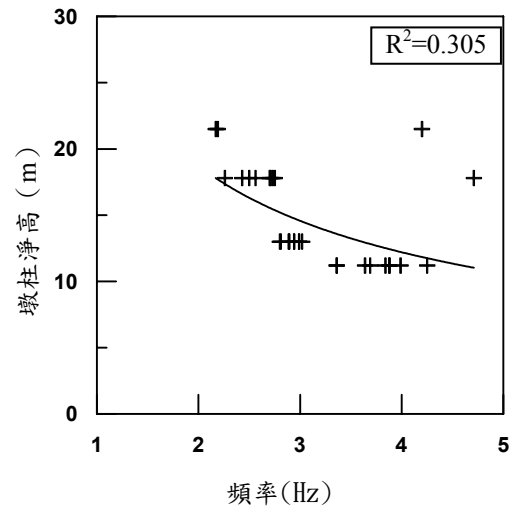


圖 5- 12 墩柱中央頻率與墩柱淨高圖

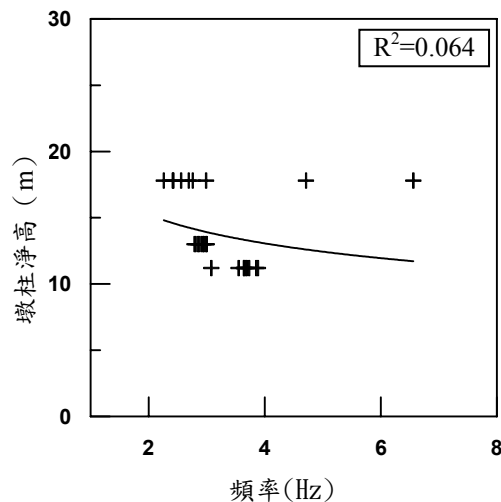


圖 5- 13 墩柱上方頻率與墩柱淨高圖

再將墩柱中央所量測之振動主頻率再細分為水流方向（EW 方向）、車行方向（SN 方向）及垂直地面方向（V 方向）分別繪製如圖 5- 14、圖 5- 15 及圖 5- 16，以 Power-law 方式迴歸，水流方向與車行方向振動主頻率與墩柱長度所得決定係數(R^2)值分別為 0.890 與 0.846，均較垂直方向佳。

至此可歸納若需以量測之橋梁振動主頻率來推估橋墩淨高，則以量測橋墩中央位置之車行方向或水流方向振動主頻率較具代表性。

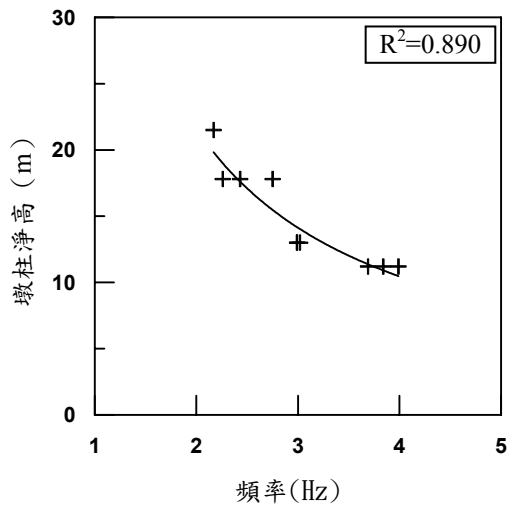


圖 5-14 水流方向頻率與墩柱淨高圖

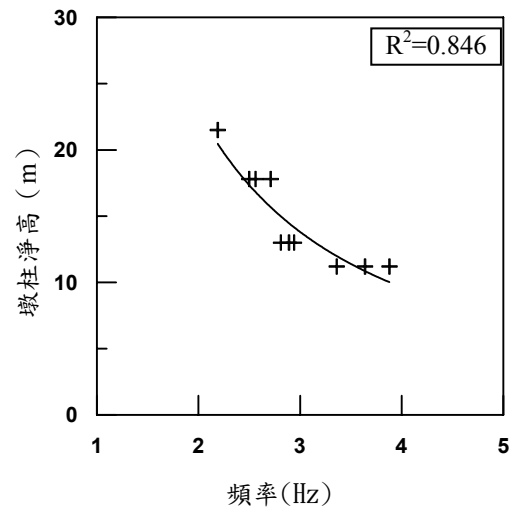


圖 5-15 車行方向頻率與墩柱淨高圖

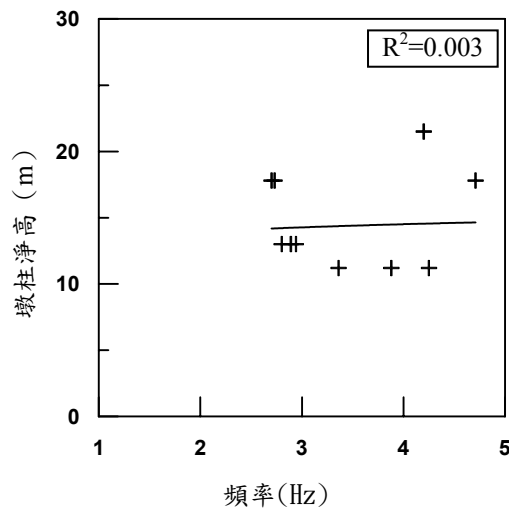


圖 5-16 垂直方向頻率與墩柱淨高圖

以西村昭彥博士所歸納如 4.4 節所述，可計算橋梁固有振動頻率，經計算後各橋墩固有頻率如下表 5-2 所示，以量測得橋墩中央位置之車行方向及水流方向振動主頻率除以計算之固有頻率則可得到橋樑基礎健全度指標，各橋墩基礎頻率計算之健全度指標如表 5-3 所示。

表 5-2 橋墩固有頻率計算值

墩柱編號	固有頻率(Hz)
P11R	3.07
P25R	2.53
P32R	2.62
P33R	3.52

表 5-3 橋墩健全度指標表

墩柱編號	方向	量測頻率 (Hz)	固有頻率(Hz)	健全度指標
P11R	EW	2.99	3.07	0.97
P11R	EW	3.02	3.07	0.98
P11R	EW	2.99	3.07	0.97
P11R	SN	2.94	3.07	0.96
P11R	SN	2.89	3.07	0.94
P11R	SN	2.81	3.07	0.92
P25R	EW	2.17	2.53	0.86
P25R	SN	2.19	2.53	0.87
P32R	EW	2.75	2.62	1.05
P32R	EW	2.26	2.62	0.86
P32R	EW	2.43	2.62	0.93
P32R	SN	2.56	2.62	0.98
P32R	SN	2.71	2.62	1.03
P32R	SN	2.50	2.62	0.95
P33R	EW	3.99	3.52	1.13
P33R	EW	3.69	3.52	1.05
P33R	EW	3.84	3.52	1.09
P33R	SN	3.64	3.52	1.03
P33R	SN	3.88	3.52	1.10
P33R	SN	3.36	3.52	0.95

健全度指標若於 0.86 以上代表安全無虞；介於 0.85 至 0.7 之間代表必須討論既有基礎是否滿足現行車流量所需；低於 0.7 則代表可能由異常外力造成，必須再作其他詳細檢測，和進行後續修補與補強。以上述判斷標準，目前各振動檢測橋墩健全度指標皆大於 0.86，尚楚安全無虞狀況。

另上述所得墩柱中央水流方向及車行方向振動頻率相近。一般而言橋梁因上部結構束制關係，橋梁車行方向勁度較大；另本橋基礎部份大致採 2x3 群樁沿水流方向部設，因此基礎部份水流方向勁度大於車行方向。故本橋所得墩柱中央水流方向及車行方向振動頻率相近原因推測如上兩點。另本計畫僅施作三次振動檢測，所收集得資料成果有限，得建議於往後進行更深入之研究。

5.5 沖刷監測系統成效評估

本研究計畫共使用三種沖刷監測系統試驗，不僅是期望能獲得更多颱風時期橋墩基礎沖刷資訊以供參考使用外，另一研究重點即為試驗其於颱風狀況（極度惡劣之環境）當中沖刷監測儀器是否能正常運作不受破壞。因此於本節即針對研究成果中，三種沖刷監測系統成效、建置費用及功能等進行探討。

本研究計畫使用之三套沖刷監測系統分別為埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統（改良型）、埋入型數位感測式橋梁沖刷深度監測系統以及非埋入型沖刷深度監測系統，目前持續進行監測的為前兩系統，以下就三種監測系統各種成效等進行說明：

1. 埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統（改良型）：此套系統目前裝置於主河道 P25R 位置，是以埋入型防水耐撞壓電片振動感應式橋墩沖刷即時監測系統為基礎，並將結構上強度不足引至其餘洪流中發生破壞之點進行補強，以增強其儀器於洪流中進行即時監測之適用性，主要之特點為除能量測洪流中之基礎沖刷深度外，亦能記錄洪流消退後，因水流速度降低行程河床回淤之情形，以此所得之資訊更能了解於颱風過後所量測之沖刷深度有所不足之處，顯示即時沖刷監測系統之必要性與合理性，於今年（民國 99 年）河川汛期時可驗證於颱風下監測之適用性。系統建置費用每套約為新台幣 80 萬元，可進行多次颱風監測不需經過調整。
2. 埋入型數位感測式橋梁沖刷深度監測系統：此套系統目前裝置於 P32R 橋墩位置，其特點為構造單純，無過多之電子訊號處理，且成本較上者低廉，為目前唯一經歷莫拉克颱風後接收得甚為珍貴之沖刷監測數據，但尚無法監測洪流消退時河床回淤情形。系統建置費用每套約為新台幣 70 萬元，颱風過後可能需進行細部調整規零動作後即可再次監測。
3. 非埋入型沖刷深度監測系統：此套系統目前尚無法有效於強度較高之洪流中進行即時監測，尚須進行結構性之補強等研究，才能驗證其是否能於洪流中進行即時監測，亦無法量測河床回淤情形。系統建置費用每套約為新台幣 60 萬元。

以上三套沖刷監測系統之各項成效整理如下表 5-4 所示。

另本計畫進行之橋梁橋墩振動檢測所得結果，橋墩振動頻率與橋梁淨空高度有明顯關係，回歸曲線所得決定係數 R^2 值最高為 0.890，但此部份屬檢測試驗，所收集之資料量較少。故橋梁振動行為用於監測沖刷深度之適用性，及如何讓現場工程師得以應用，得另行進行更深入之研究。

表 5-4 三種沖刷監測系統成效評估表

項目	埋入型防水耐撞壓 電片振動感應式橋 墩沖刷即時監測系 統（改良型）	埋入型數位感測式橋 梁沖刷深度監測系統	非埋入型沖刷深度 監測系統
建置經費(每套)	新台幣 80 萬元	新台幣 70 萬元	新台幣 60 萬元
於洪流中之適用性	理論上可監測沖刷 深度。	理論上可監測沖刷深 度。	經過莫拉克颱風侵 襲，成功監測橋墩 基礎即時沖刷情 形。
能否量測河床回淤 情形	理論上可監測回淤 情形。	否	否
重複使用性	經颱風過後無須調 整即可進行下一次 監測。	理論上屬單次使用。	經颱風過後可能須 進行細部調整歸零 動作後，可再次監 測。

陸、橋梁耐洪評估模式及標準作業程序

6.1 研究範圍與依據規範

本研究標的物為國道3號跨濁水溪橋，依據高公局提供之橋梁竣工圖說資料，顯示其橋梁基礎結構型式為群樁基礎，因此本研究將僅針對樁基礎結構進行耐洪能力分析。

研究依據之規範與參考之研究報告如下所示：

(一) 依據規範

1. 公路橋梁設計規範(98)
2. 公路排水設計規範(98)
3. 建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範(90)

(二) 參考報告

1. 交通部高速鐵路局(2007)「鐵路橋梁過河沖刷段橋墩與基礎結構系統檢測技術之研究」
2. 交通部公路總局(2009)「臺灣地區橋梁安全檢查、評估及監測執行程序之訂定」
3. 交通部公路總局(2007)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」
4. 交通部公路總局(2005)「河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究」

(三) 分析假設

1. 依據規範限制考量為清水沖刷，不考慮濁水沖刷情形
2. 結構材料強度參數依據設計資料，不考慮材料老裂化情形
3. 側向作用外力除依據設計條件外，僅考慮颱風作用期間之洪水作用力，不考慮漂流木之衝擊力
4. 由於颱風與地震同時發生的機率相對較低，因此颱風期間之橋梁耐洪分析不考慮地震作用力的影響。

(四) 應用範圍

1. 分析模式適用於相同型式之樁基礎結構
2. 計算成果僅適用於國道3號濁水溪橋

6.2 橋梁耐洪評估成果

6.2.1 分析流程

針對莫拉克颱風期間，國道3號濁水溪橋之P32R墩柱的耐洪能力現況評估，依據交通部公路總局(2007)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」建議之評估方式進行，其中關於水流影響及承載力分析及假設分別依據交通部頒布之「公路橋梁設計規範」第2.17節及「建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範」進行，考量水流依據上述研究及規範所訂定為一般清水。分析流程如圖6-1所示。

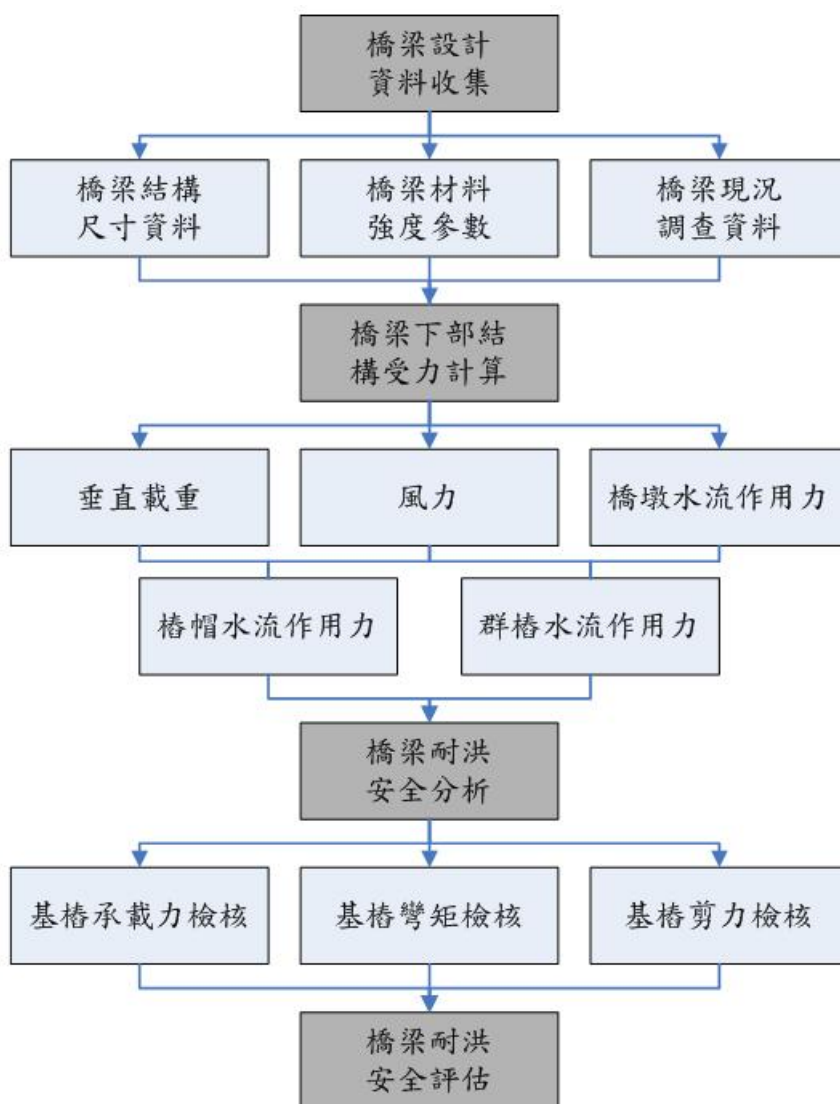


圖 6-1 橋梁耐洪評估模式分析流程圖

6.2.2 橋梁設計資料收集

(一)濁水溪橋 P32R 橋墩說明

濁水溪橋 P32R 橋墩位於國道 3 號濁水溪橋之南下線，其立面圖如圖 6-2 所示，其中，橋墩高 $H = 14.94\text{ m}$ ，基礎樁帽厚度 $D = 2.9\text{ m}$ ，基礎平面圖如圖 6-3 所示，圖 6-3 顯示基礎型式為 3×2 之群樁基礎，單樁為直徑 1.5 m 、長度 24 m （詳圖 6-4 濁水溪河川橋南下線立面圖）之全套管場鑄混凝土基樁，橋墩左右跨度均為 45 m ，橋面寬度 16.1 m 。

(二)設計載重資料

由竣工圖之南下線盤式支承配置圖及荷重表（一）（二）可知，P32R 橋墩上有編號 75、76 共 2 塊盤式支承，其設計載重皆為 900 t 。（編號 75、76 盤式支承之荷重表詳表 6-1）。

表 6-1 編號 75、76 盤式支承荷重表

載重				盤式支承編號		75	76	
設計載重 (ton)						900	900	
垂直載重 (ton)		靜重	DL			588	588	
		預力	PS			31	31	
		活重・衝擊活重	L・I	MAX	174	174		
				MIN	-31	-31		
		風力	W			±28	±28	
		地震	EQ			±88	±88	
		溫度梯度效應	TG	MAX	6	6		
				MIN	-1	-1		
		沉陷	SET			±19	±19	
水平載重 (ton)		縱向	風力	W			0	0
			地震	EQ			±59	±59
			溫差效應	T			0	0
			溫度梯度效應	TG			0	0
			潛變及收縮	CR & SH			0	0
		橫向	風力	W			±82	0
			地震	EQ			±70	0

(三)現地監測資料

依據莫拉克颱風期間監測資料顯示，最大沖刷深度為 5.5m，流速為 4.877m/s，水位高度為距樁帽上 2.29m。

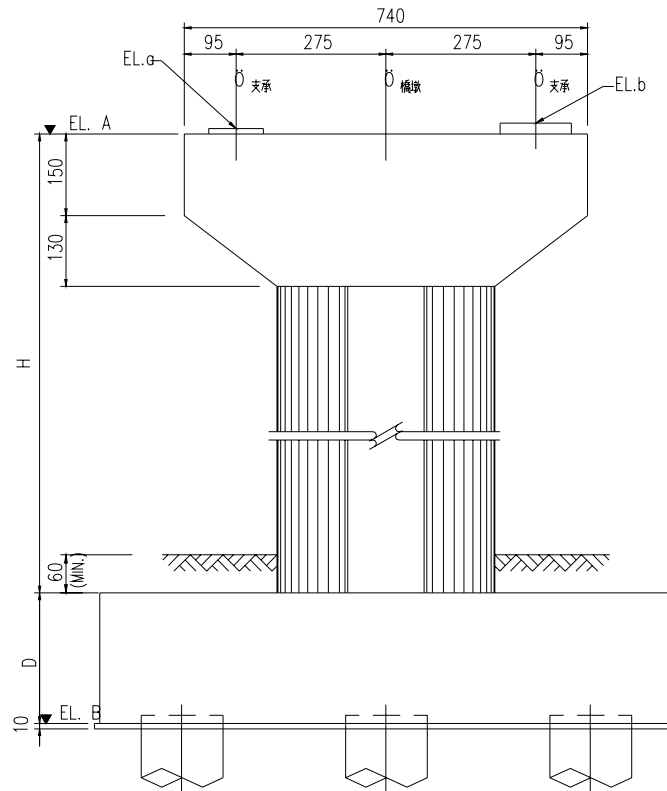


圖 6-2 橋墩立面圖

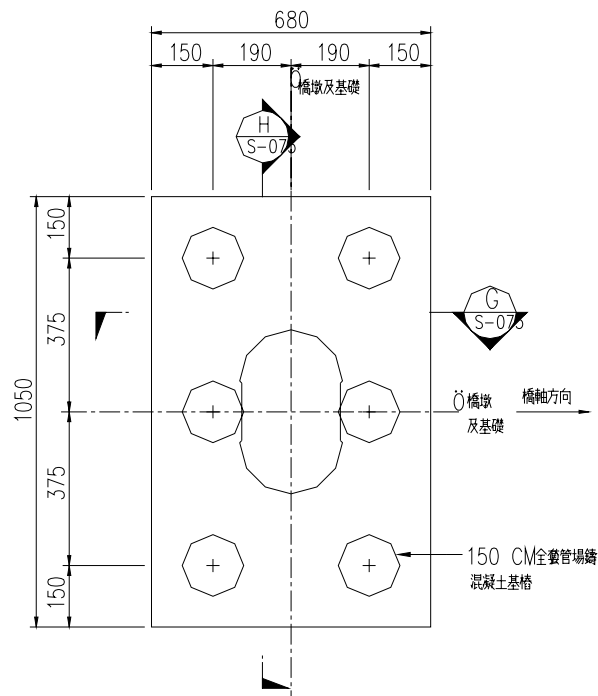


圖 6-3 P32R 基樁平面圖

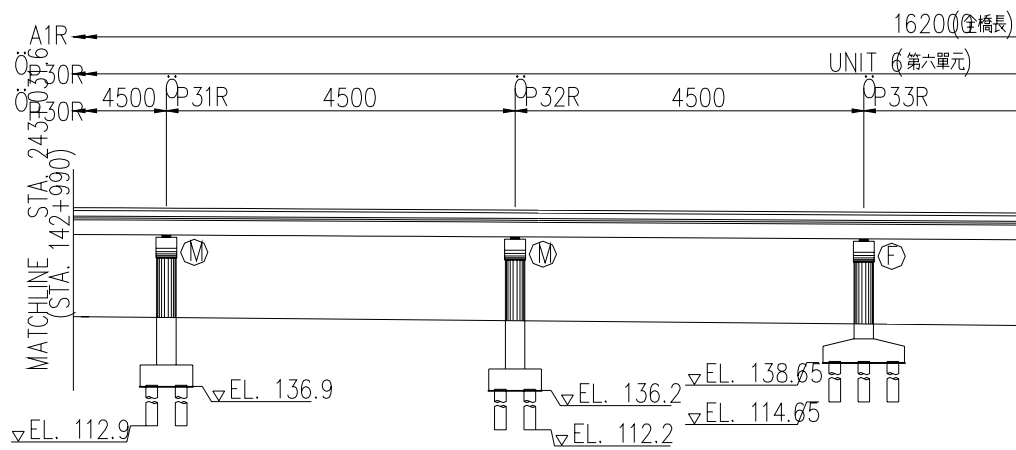


圖 6-4 濁水溪河川橋南下線立面圖

6.2.3 橋梁下部結構受力分析

由圖 6-2、圖 6-4、圖 6-5 可知，風作用力重心至橋墩頂部之距離 $h_w=2.9$ m，橋墩高度 $h_p=12.14$ m，樁帽高度 $h_h=2.9$ m，橋墩水面下長度 $h_{pw}=2.29$ m（由圖 6-2 可知，樁帽頂高程為 139.1 m，而高速公路局裝設之水位計則顯示，颱風豪雨期間之水位為 141.39 m），樁設計長度 $h_l=24$ m，基樁沖刷後基礎剩餘長度 $h_{left}=24-5.5=18.5$ m（依本研究裝設之沖刷計顯示，基礎於颱風豪雨期間裸露深度為樁帽底部以下 5.5 m）。圖 6-5 為群樁基礎受力之結構模式圖，茲說明基礎之受力計算方式如下。

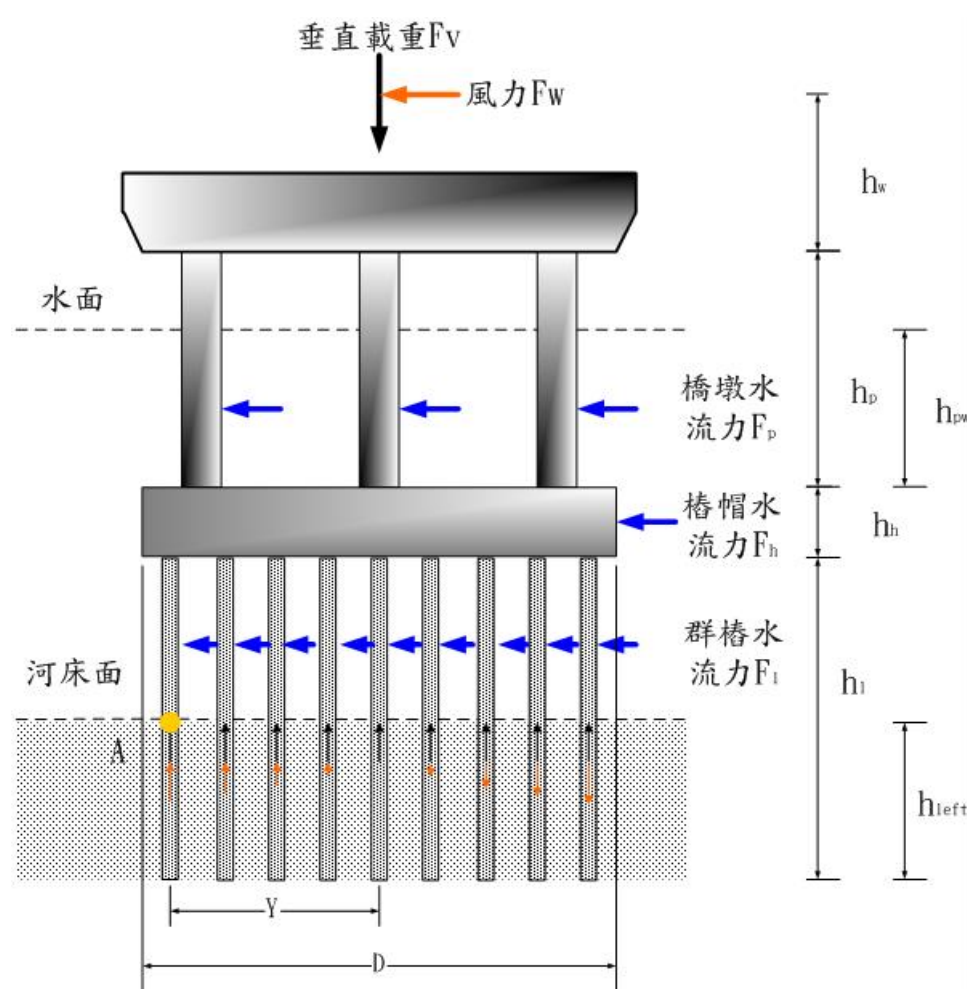


圖 6-5 群樁基礎受力結構模式圖

(一) 軸向載重分析

a. 上部結構荷載

竣工圖之南下線盤式支承配置圖及荷重表(一)(二)可知，P32R 橋墩上有編號 75、76 共 2 塊盤式支承，其設計載重皆為 900 t，因此，作用於 P32R 橋墩上之垂直載重為 1800 t。(編號 75、76 盤式支承之荷重表詳表 6-1)。

b. 下部結構載重

橋墩之鋼筋混凝土數量計算如下：

$$\begin{aligned} & ((7.4 \times 1.5) + (7.4 + 4) \times 1.3 / 2) \times 2.7 + \left(\frac{\pi}{4} \times 2.5^2 + 1.5 \times 2.4 \right) \\ & \times (9.85 + 2.29) \\ & = 153.27 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

依本研究裝設之沖刷計讀數顯示，基礎於颱風豪雨期間裸露深度為樁帽底部以下 5.5 m，因此，裸露基礎之鋼筋混凝土數量計算如下：

$$\text{樁帽：} 6.8 \times 10.5 \times 2.9 = 207.06 \text{ m}^3$$

$$\text{基樁：} \frac{\pi}{4} \times 1.5^2 \times 5.5 \times 6 = 58.32 \text{ m}^3$$

以鋼筋混凝土之單位重為 2.4 t/m³ 計，則，橋墩與裸露基礎之垂直載重為：

$$133.8 \times 2.4 + 19.49 \times 1.4 + 207.06 \times 1.4 + 58.32 \times 1.4 = 719.89 \text{ t}$$

b. 總垂直載重

總垂直載重造成之各樁軸力 P_v 可由下式計算：

$$P_v = \left(\frac{P}{n \times m} \right) \quad (1)$$

其中， P ：計算到河床面之垂直載重

n ：行車方向之基樁數量

m ：垂直行車方向之基樁數量

由上述資料，P32R 計算到河床面之垂直載重 $P = 1800 + 718.89 = 2519.89 \text{ t}$

由圖 6-3 可知， $n=2$ ， $m=3$ 。

因此，總垂直載重造成之各樁軸力 $P_v = 2519.89 / (2 \times 3) = 419.98 \text{ t}$

(二) 風力分析

依交通部公路總局(2007)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」與公路橋梁設計規範(98)，考量颱風豪雨期間之風速為高風速，則單位面積所受風壓為 390 kgf/m² = 0.39 tf/m²，此時因風大，不必考慮車輛活載重，而橋體受風面積以受風面積的高度(含梁高、橋面高與不透風欄杆高與隔音牆高度)乘以相鄰兩跨平均跨徑。由圖 2-72，

P32R 相鄰兩跨之平均跨徑為 45 m；由箱梁標準斷面圖（詳圖 6- 6）可知，箱型梁與橋面板高 2.5 m；由橋護欄標準圖（詳圖 6- 7）可知，不透風護欄高為 0.7 m。因此，風作用力

$$F_w = 0.39 \times (2.5 + 0.7) \times 45 = 56.16 \text{ t}$$

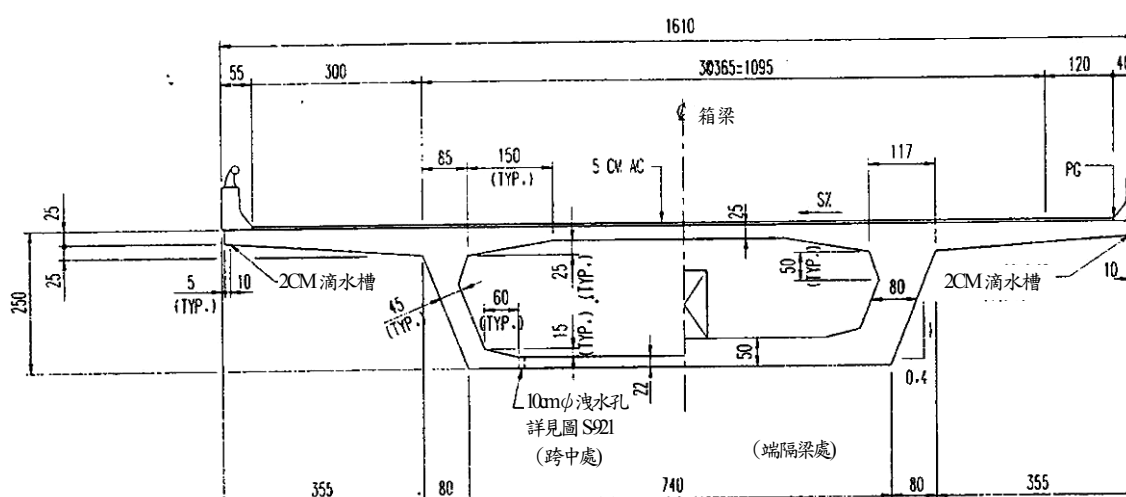


圖 6-6 箱梁標準斷面圖

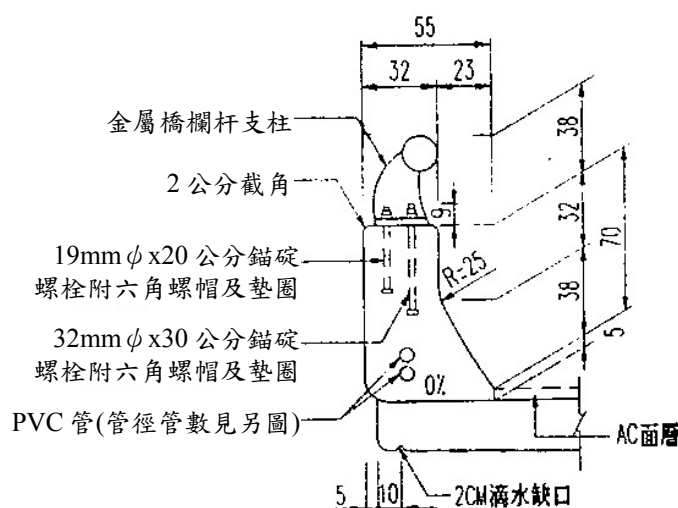


圖 6-7 橋護欄標準圖

(三)水流作用力計算

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

$$P = 52.5KV^2 \quad (2)$$

其中，P： 壓力 (kgf/m^2)

V: 水流速度(m/sec)

K：常數，平頭墩用 1.4，尖頭墩其角度為 30° 或少於 30° 者用 0.5，圓頭墩用 0.7

由於濁水溪河川橋之橋墩為圓墩，因此， $K=0.7$ ；再由高速公路局裝設之流速計顯示，颱風豪雨期間之尖峰流速為 4.877 m/s；因此，流水對於橋墩之作用壓力 $P=52.5 \times 0.7 \times 4.877^2=874.10 \text{ kg/m}^2=0.8741 \text{ t/m}^2$ （圓墩）， $P=52.5 \times 1.4 \times 4.877^2=1748.20 \text{ kg/m}^2=1.7482 \text{ t/m}^2$ （平頭墩）。

由於水流作用於橋墩之面積為 $2.5 \times 2.29=5.73 \text{ m}^2$ ，水流作用於樁帽之面積為 $6.8 \times 2.9=19.72 \text{ m}^2$ ，水流作用於基樁之面積為 $1.5 \times 5.5 \times 2 \times 2=33 \text{ m}^2$ ，因此，水作用在橋墩之合力 $F_p=0.8741 \times 5.73=5 \text{ t}$ ；水作用在樁帽之合力 $F_h=1.7482 \times 19.72=34.47 \text{ t}$ ；水作用在基樁之合力 $F_l=0.8741 \times 33=28.84 \text{ t}$ 。

(四) 側向力引致的彎矩對樁造成之軸力分析

側向力（包括風力・水流力）引致的彎矩對樁造成之軸力 P_M 可由下式計算：

$$P_M = \frac{MY}{I} A_a \quad (3)$$

其中， M ：所有側向力對河床面之彎矩

Y ：樁帽中心沿垂直行車向到最邊樁之距離

A_a ：單樁底部之面積

I ：群樁之慣性矩

由圖 6-3 可知， $Y=3.75$ ， $A_a=\frac{\pi}{4} \times 1.5^2=1.767 \text{ m}^2$ ， I 之計算方式如下，計算結果為 $I=100.89 \text{ m}^4$ （詳表 6-2）。

$$I = \sum_{j=1}^{n \times m} I_j \quad (4)$$

$$I_j = I_a + A_a d_j^2 \quad (5)$$

$$I_a = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^4 \quad (\text{圓形樁}) \quad (6)$$

$$I_a = \frac{1}{12} BL^3 \quad (\text{矩形樁}) \quad (7)$$

其中， d_j ：各樁沿垂直行車向到樁帽中心之距離

I_a ：單樁之慣性矩

D : 樁直徑
 B : 基樁行車向長度
 L : 基樁垂直行車向長度

表 6-2 群樁慣性矩計算表

基樁	I_a (m4)	A_a (m2)	d_j (m)	I_j (m4)	I (m4)
基樁 1	0.2485	1.7671	3.75	25.0983	
基樁 2	0.2485	1.7671	3.75	25.0983	
基樁 3	0.2485	1.7671	0	0.2485	
基樁 4	0.2485	1.7671	0	0.2485	
基樁 5	0.2485	1.7671	3.75	25.0983	
基樁 6	0.2485	1.7671	3.75	25.0983	
合計					100.8904

M之計算方式如下：

$$\begin{aligned}
 M = & F_w(h_w + h_p + h_h + h_l - h_{left}) + F_p\left(\frac{h_{pw}}{2} + h_h + h_l - h_{left}\right) \\
 & + F_h\left(\frac{h_h}{2} + h_l - h_{left}\right) + F_l(h_l - h_{left})/2
 \end{aligned} \quad (8)$$

其中， F_w : 風作用力

F_p : 水作用在橋墩之合力

F_h : 水作用在樁帽之合力

F_l : 水作用在基樁之合力

h_w : 風作用力重心至橋墩頂部之距離

h_p : 橋墩高度

h_h : 樁帽高度

h_{pw} : 橋墩水面下長度

h_l : 樁設計長度

h_{left} : 基樁沖刷後基礎剩餘長度

$$\begin{aligned}
\text{因此依據上述資料，} M &= F_w(h_w + h_p + h_h + h_l - h_{left}) + F_p\left(\frac{h_{pw}}{2} + h_h + h_l - h_{left}\right) \\
&+ F_h\left(\frac{h_h}{2} + h_l - h_{left}\right) + F_l(h_l - h_{left})/2 = 56.16 \times \left(\frac{3.2}{2} + 14.94 + 2.9 + 24 - 18.5\right) \\
&+ 5 \times \left(\frac{2.29}{2} + 2.9 + 24 - 18.5\right) + 34.47 \times \left(\frac{2.9}{2} + 24 - 18.5\right) + 28.84 \times \frac{(24 - 18.5)}{2} \\
&= 1739.07 \text{ t-m}
\end{aligned}$$

因此，側向力（包括風力・水流力）引致的彎矩對樁造成之軸力 $P_M = 1739.07 \times 3.75 \times 1.767 / 100.89 = 114.22 \text{ t}$ 。

(五) 沖刷河床面各樁所受之軸壓力分析

參考圖 6-5，在沖刷河床面各樁所受之軸壓力可由下式計算：

$$P_{total} = P_v + P_M \quad (4)$$

其中， P_v ：總垂直載重造成之各樁軸力

P_M ：側向力（包括風力・水流力）引致的彎矩對樁造成之軸力，計算到河床面。

P_{total} ： P_v 與 P_M 之和，在邊樁會有最大值

則，在沖刷河床面各樁所受之軸壓力 $P = 419.98 + 114.22 = 534.2 \text{ t}$ 。

6.2.4 基礎容許承载力

由 P32R 鄰近位置之鑽孔位置與柱狀圖可知，基樁所在位置土層為粉土質礫石層（GM），依基礎構造設計規範之規定，可以下式計算基樁承载力

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

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

考量颱風豪雨期間，基樁沖刷裸露 5.5 m，此時之樁長為 18.5 m，其基樁承载力為

$$Q_u = 1307 + 662 = 1969$$

$$Q_a = 1969 / 3 = 656.33$$

式中 Q_u = 極限承载力

Q_a = 容許承载力

6.2.5 橋梁耐洪安全評估

依據上述分析結果，分別檢核莫拉克颱風作用期間 P32R 的安全性

a. 基樁承載分析

$$F.S. = \frac{656.33}{534.2} = 1.23$$

b. 基樁彎矩、剪力分析

依據公路排水設計規範(98)與建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範(90)第 5.3.3 節基礎側向支承力分析建議利用 Chang(1989)年分析理論進行樁頭處彎矩、剪力之計算，相關計算公式如表 6-3。

由分析結果顯示莫拉克颱風作用期間 P32R 所受的彎矩為 158.68 t-m 小於設計之基樁容許彎矩值 490t-m；剪力為 30.36 t 小於設計之基樁剪力強度 117.71 t。

綜合上述安全評估結果，顯示 P32R 於莫拉克颱風作用期間屬於安全狀態。

表 6-3 Chang(1989)基樁側向力學分析

a	變形曲線 y (cm)	$y1 = \frac{H}{12EI\beta^3} (2\beta x^3 - 3(1 - \beta h)\beta^2 x^2 - 6\beta^2 hx + 3(1 + \beta h))$ $y2 = \frac{H}{4EI\beta^3} e^{-\beta x} ((1 + \beta h) \cos \beta x + (1 - \beta h) \sin \beta x)$
b	樁頂位移量 δ (cm)	$\delta = \frac{(1 + \beta h)^3 + 2}{12EI\beta^3} H$
c	地表位移量 f (cm)	$f = \frac{1 + \beta h}{4EI\beta^3} H$
d	樁頂傾斜角 α (rad)	$\alpha = 0$
e	樁各部份之彎曲力矩 M (kg · cm)	$M1 = \frac{H}{2\beta} (-2\beta x + (1 - \beta h))$ $M2 = \frac{H}{2\beta} e^{-\beta x} ((1 - \beta h) \cos \beta x - (1 + \beta h) \sin \beta x)$
f	樁各部份之剪力 s (kg)	$S1 = -H$ $S2 = -He^{-\beta x} (\cos \beta x - \beta h \sin \beta x)$
g	樁頂彎曲力矩 M_0 (kg · cm)	$M_0 = \frac{1 + \beta h}{2\beta} H$
h	地中部份 l_m 點處之彎曲力矩 M_m (kg · cm)	$M_m = \frac{H}{2\beta} \sqrt{1 + (\beta h)^2} \cdot e^{-\beta l_m}$
i	l_m (cm)	$l_m = \frac{H}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{\beta h}$

6.3 基礎破壞包絡線分析

影響橋梁沖刷因子包含河川之自然水文條件、橋墩的基礎結構型式、橋墩的幾何形狀、橋梁結構的材料特性與材料劣化、橋墩河道處之地質條件、水流中泥沙特性、水流條件、鄰近橋墩處之水工構造物等，而由相關橋梁沖刷破壞案例可知，當洪水來臨時之橋梁基礎結構處之沖刷深度變化、水流流速變化、水位高度變化則為攸關即時評估橋梁耐洪安

全能力、封橋與否之重要指標。其中沖刷深度的變化為影響橋梁基礎承載能力與穩定性，水流流速的變化則為影響作用於基礎結構上之水流作用力大小，水位高度的變化則為影響水流作用力分佈的範圍。

另依據交通部公路總局(2005)「河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究」資料顯示，統計台灣橋梁因洪水沖刷而傾倒沉陷或崩塌破壞，係源自橋梁之穩定性(含基礎承載力)不足所造成，故評估應針對造成橋梁基礎穩定性不足之基礎承載力予以分析。

因此本研究中將藉由對不同沖刷深度變化、不同水流流速變化、不同水位高度變化，參考交通部高速鐵路局(2007)「鐵路橋梁過河沖刷段橋墩與基礎結構系統檢測技術之研究」、交通部公路總局(2009)「臺灣地區橋梁安全檢查、評估及監測執执行程序之訂定」及交通部公路總局(2007)「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強策略之研究」之基礎穩定分析方式，建立基礎破壞包絡線，以利當颱風、洪水來臨時，經由現地量測資料數據即能評估橋梁安全與否，相關分析流程如圖 6-8 所示。

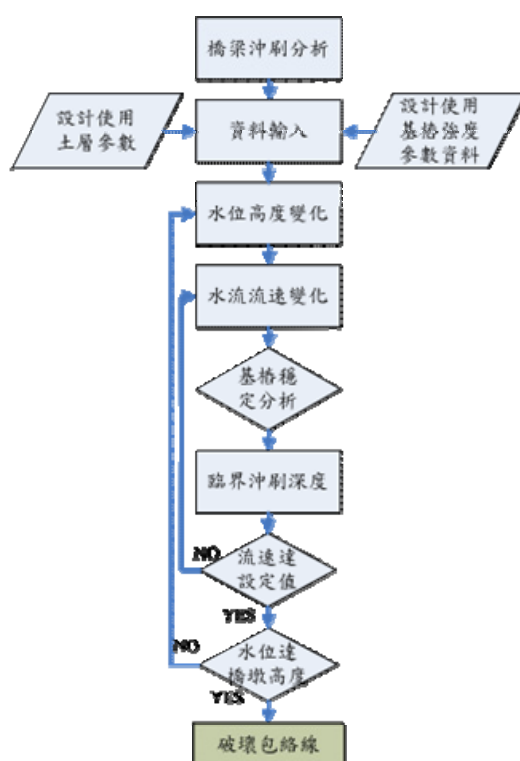


圖 6-8 基樁承載破壞包絡線分析流程

國道3號跨濁水溪橋 P32R 橋墩基樁承載破壞包絡線如圖 6-9 所示，由資料顯示沖刷深度(指樁帽底以下深度)、水位高度(指樁帽頂以上水位高度)及水流流速三者間為非現性行為。此破壞包絡線圖之目的為以現地監測資料即時評估現場橋梁基礎安全，故須配合現場沖刷監測系統使用。另為使用上之便利將圖 6-9 的橫座標予以轉換為水位高度表示如圖 6-10。

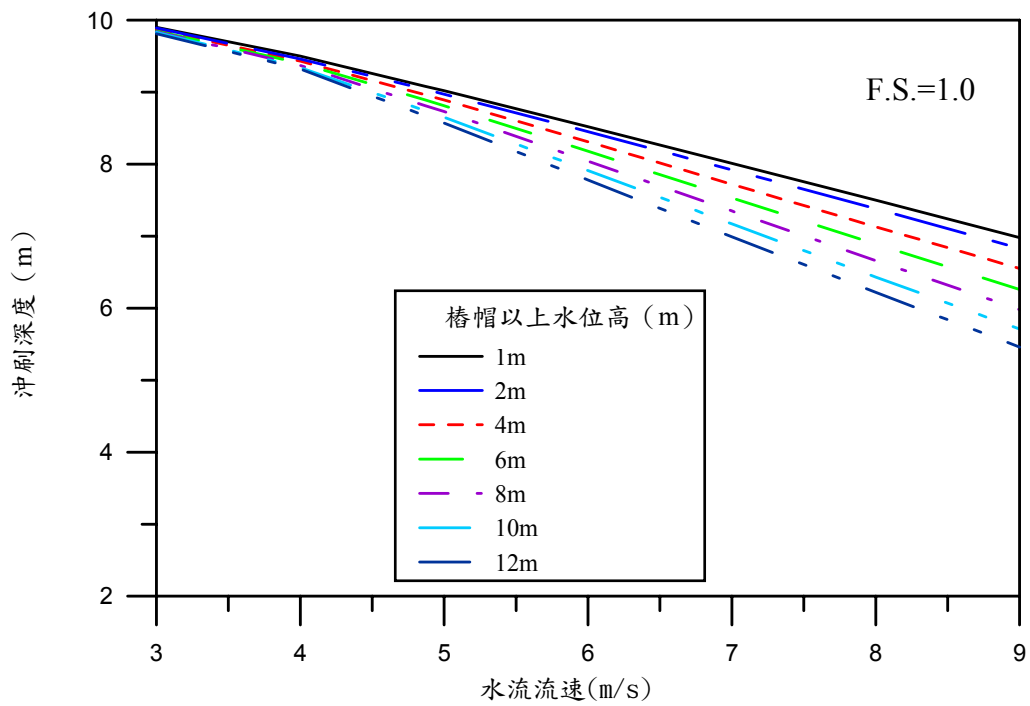


圖 6-9 基樁承載破壞包絡線圖

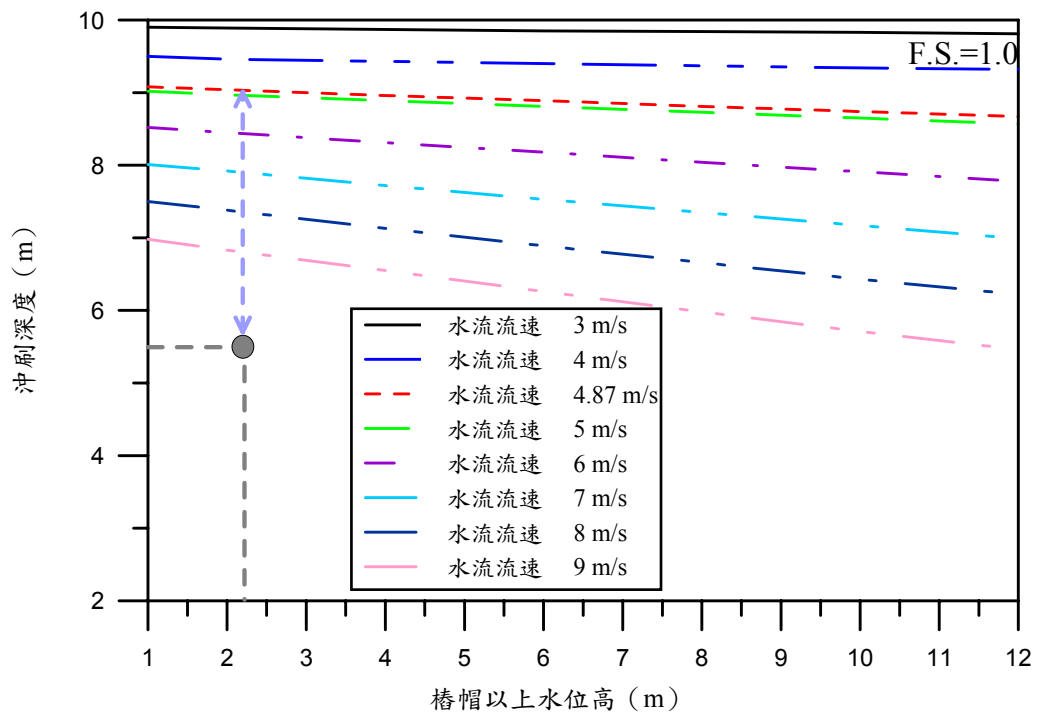


圖 6-10 基樁承載破壞包絡線圖(水位高度變化表示)

另為使用上之便利將圖 6- 9 的橫座標予以轉換為水位高度表示如圖 6- 10，其應用方式如莫拉克颱風侵襲台灣時，由現地即時監測 P32R 橋墩資料顯示，橋址位置流速最大為 4.877m/s，如圖 6- 10 中 4.877m/s 線條，代入本橋址所量測之最大即時冲刷深度 5.5m，橋帽以上水位最高 2.29m，對應於基樁承載破壞包絡線圖流速 4.877m/s 之破壞包絡線下方，P32R 橋墩基礎結構處於穩定狀態。

為進一步瞭解在上述基礎承載壞包絡線狀況下基礎結構之力學行為，本研究分別計算基樁之彎矩及剪力，彎矩計算結果如表 6- 4 所示，表中紅色框線部分為彎矩值大於設計之基樁容許彎矩為 490t-m；剪力計算結果如表 6- 5 所示，結果顯示剪力值皆小於設計之基樁剪力強度 117.71t。

綜合以上分析成果可知橋梁基礎受冲刷的破壞甚至主要是由多由基礎穩定所控制，僅於流速較大時(以 P32R 而言流速需大於莫拉克期間量的資料的 1.6 倍)須注意結構本身的材料強度是否滿足。

因此橋梁基礎結構之穩定性為攸關橋梁結構安全之應先關注對象，此與交通部公路總局(2005)「河川橋梁之橋墩(台)冲刷保護工法之研究」資料顯示，統計台灣橋梁因洪水冲刷而傾倒沉陷或崩塌破壞，係源自橋梁之穩定性(含基礎承載力)不足所造成之結果相符。

表 6- 4 彎矩分析成果

樁頭彎矩 t-m		水流流速(m/s)						
		V=3	V=4	V=5	V=6	V=7	V=8	V=9
樁帽以上水位高	1 m	159.63	218.44	283.95	353.15	422.71	490.14	551.89
	2 m	160.47	219.09	284.64	353.14	421.47	486.24	544.23
	4 m	162.15	221.78	286.77	353.08	417.59	477.57	531.32
	6 m	163.82	224.45	288.87	353.47	414.29	469.66	517.31
	8 m	165.68	227.11	290.92	353.25	411.56	462.49	504.29
	10 m	167.53	229.76	292.93	353.49	408.74	455.22	492.2
	12 m	169.19	232.68	294.89	353.65	405.83	449.53	481.95

表 6- 5 剪力分析成果

剪力 ton		水流流速(m/s)						
		V=3	V=4	V=5	V=6	V=7	V=8	V=9
樁帽以上水位高	1 m	21.5	30.23	40.64	52.42	65.22	78.72	92.5
	2 m	21.62	30.4	40.89	52.7	65.48	78.85	92.4
	4 m	21.88	30.84	41.43	53.24	65.9	79.05	92.38
	6 m	22.13	31.28	41.98	53.83	66.38	79.32	92.27
	8 m	22.4	31.73	42.52	54.38	66.9	79.65	92.25
	10 m	22.67	32.15	43.07	54.96	67.43	79.99	92.32
	12 m	22.92	32.6	43.61	55.55	67.96	80.47	92.57

由於莫拉克颱風過後主河槽位置變更置 P24R~P26R，因此本研另於 P25R 增加沖刷深度監測儀器，P25R 基礎結構型如圖 6-11 所示，其基礎結構經過加固之補樁擴基工程為 4×3 之群樁基礎，相較於 P32R 為 2×3 群樁基礎增加 6 支樁徑 2m 長度 25m 的基樁。

依據莫拉克颱風期間監測之沖刷深度、水流流速及水位高度分析 P25R 基礎結構穩定情形，顯示在沖刷深度 5.5m、流速為 4.877m/s 與水位高度 2.29m 下，P25R 的基礎承載安全係數為

$$F.S. = \frac{1394.14}{481.85} = 2.89$$

P25R 的基礎承載破壞包絡線則如圖 6-12 圖 6-13 所示。

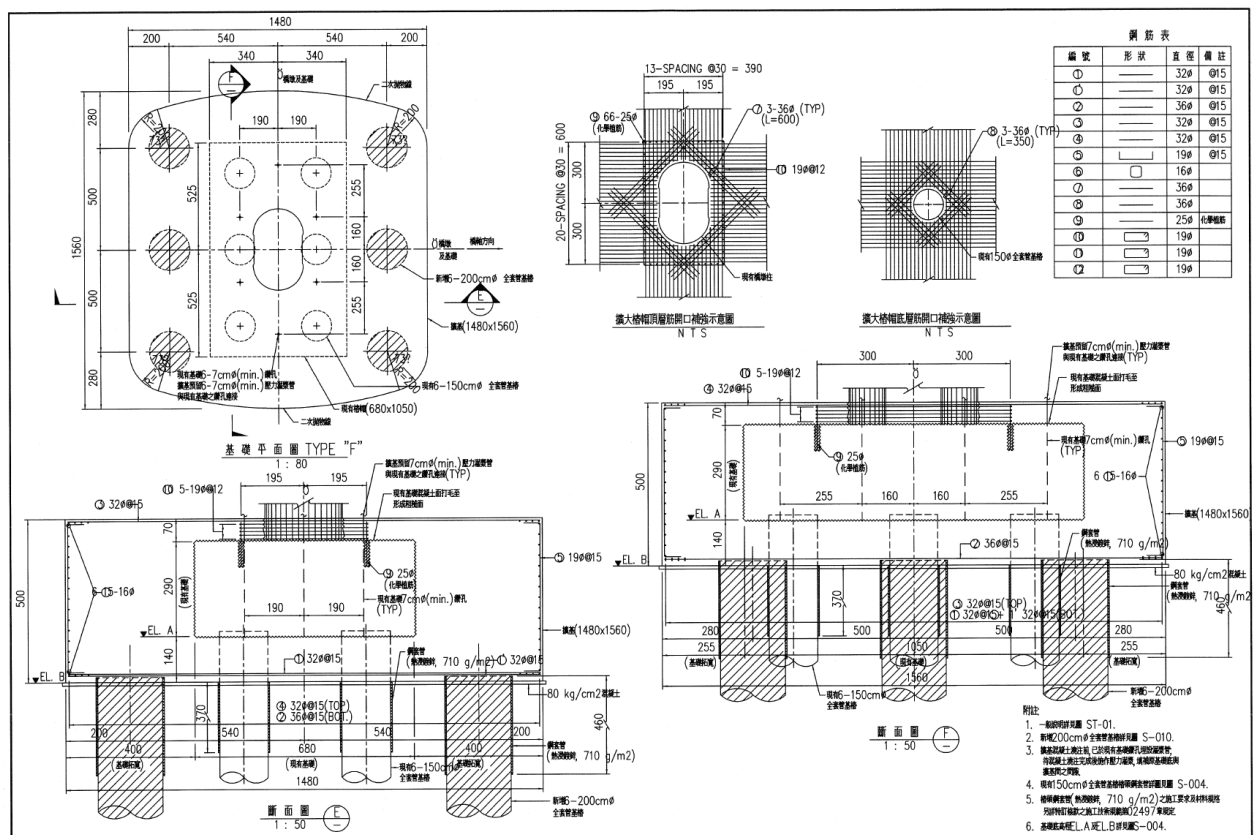


圖 6-11 P25R 基礎結構斷面圖

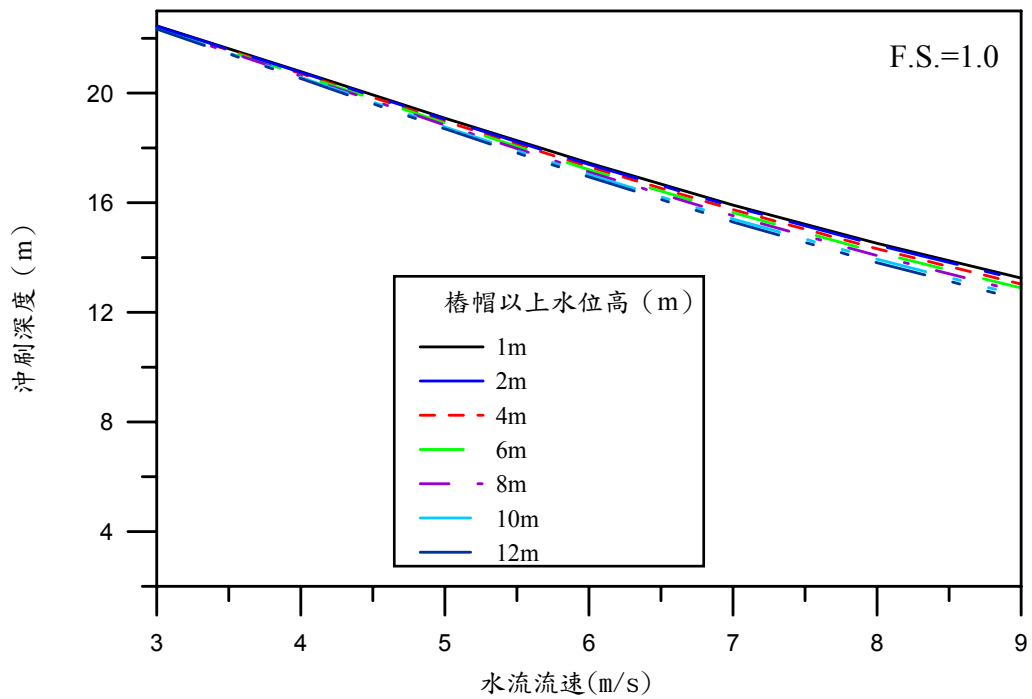


圖 6-12 P25R 基樁承載破壞包絡線圖

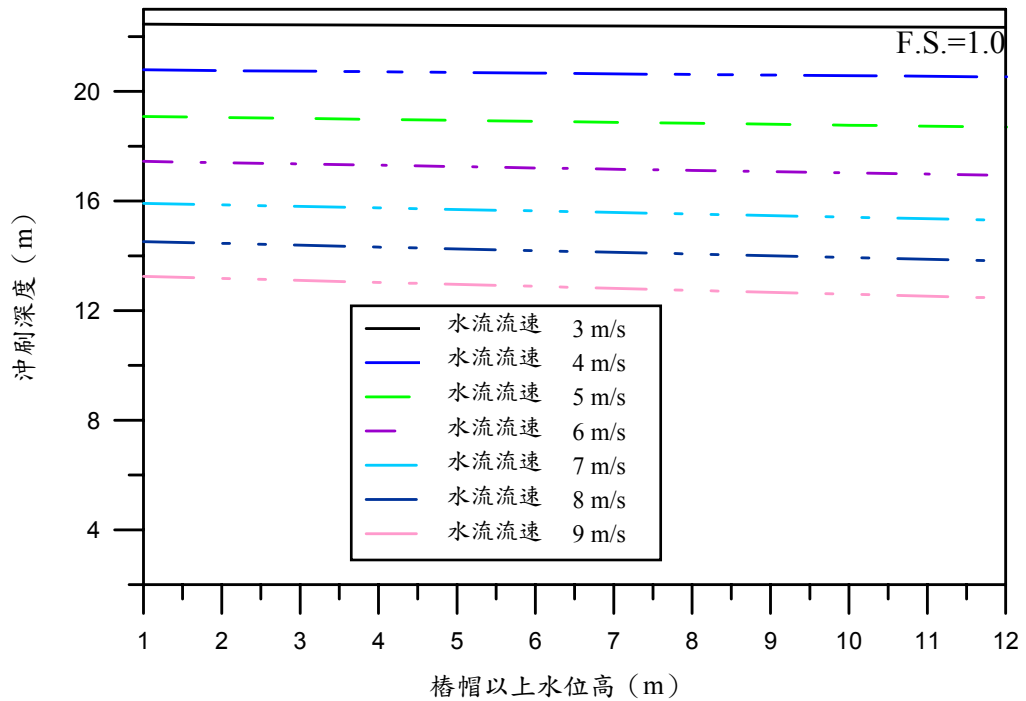


圖 6-13 P25R 基樁承載破壞包絡線圖(水位高度變化表示)

6.4 建議之橋梁沖刷警戒值

橋梁監測系統的建置雖可以即時得到攸關橋梁沖刷安全之參數，如沖刷深度、水流流速、水位高度等，然而監測系統的預警作用能否即時、正確發揮預警功能，適時提供適當之預警資訊，則有賴相關影響橋梁沖刷安全參數警戒值與行動值之訂定；若警戒值與行動值設定的不適當，將導致整個監測系統失效，無法在真正緊急狀況發生時發揮功效。

研究團隊將基於高鐵局「鐵路橋梁過河沖刷段橋墩與基礎結構系統檢測技術之研究」與公路總局「臺灣地區橋梁安全檢查、評估及監測執执行程序之訂定」之經驗，參考 6.2、6.3 節橋梁耐洪評估模式，對颱風作用期間橋梁沖刷警戒值作初步建議。

參考圖 6-10 F.S.=1.0 當中各流速之基礎承載破壞包絡線，分別選定 F.S.=1.1 時作為警戒指標製作基礎承載破壞包絡線，如圖 6-14，F.S.=1.05 時作為行動指標製作基礎承載破壞包絡線而，如圖 6-15。

因此參考圖 6-10、圖 6-14 及圖 6-15，以水位高度達 5 公尺與各流速狀況下之破壞包絡線較可列舉橋梁沖刷警戒值與封橋值如表 6-6 所示。後續將依此一原則，並進一步擬定橋梁安全評估標準作業流程。

表 6-6 初步建議橋梁沖刷警戒值表

初步建議橋梁沖刷警戒值 (僅適用於國道3號濁水溪橋橋墩)			
水流流速(m/s)	橋梁沖刷深度 警戒值(m) F.S.=1.1	橋梁沖刷深度 封橋值(m) F.S.=1.05	橋梁沖刷深度最 大容許值(m) F.S.=1.0
3	8.35	9.0	9.5
4	7.5	8.5	9.0
5	7.0	8.0	8.5
6	6.5	7.5	8.0
7	6.0	6.5	7.5
8	5.5	6.0	7.0

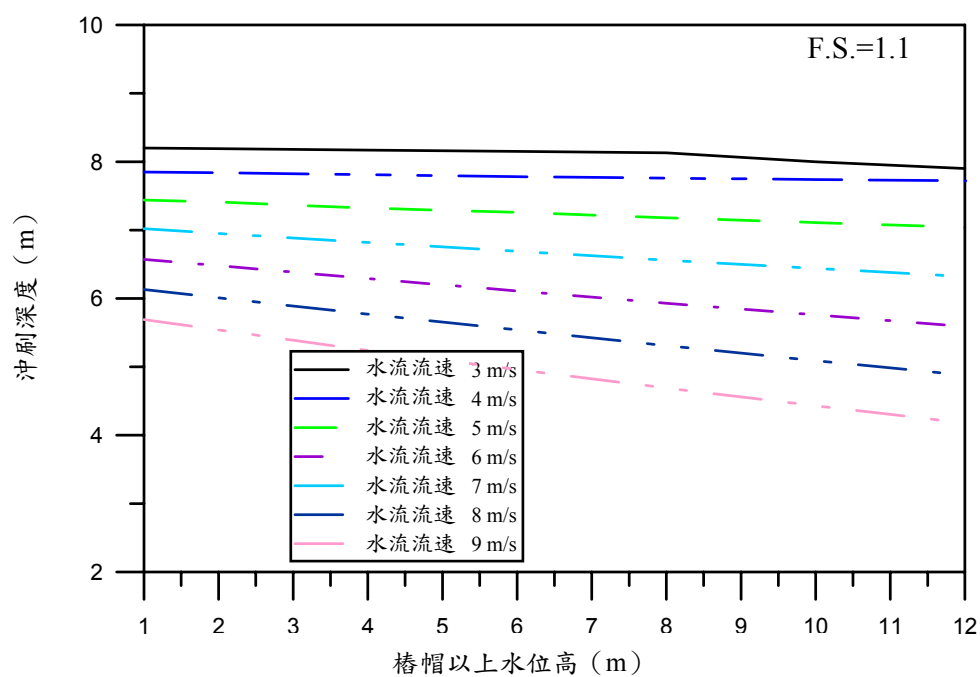


圖 6- 14 基樁承載破壞包絡線圖(FS=1.1)

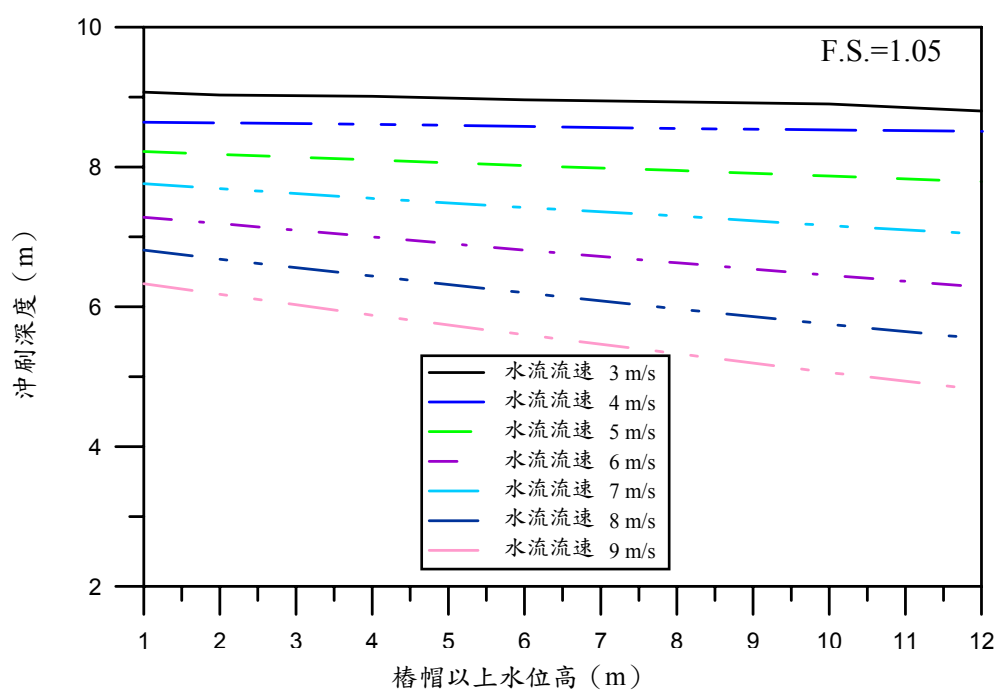


圖 6- 15 基樁承載破壞包絡線圖(FS=1.05)

6.5 橋梁橋墩快速沖刷評估表

目前國內已有針對既有橋梁耐洪能力之初步評估表，其目的為從數量龐大的現有橋梁中，快速篩選出耐洪能力有疑慮的橋梁，以便進一步處理來降低橋梁沖刷所導致之災害，非對已有沖刷現象或疑慮之橋梁或面對颱風、洪水來臨時所提供之快速耐洪能力與安全之評估。

經研究團隊分析國內既有橋梁耐洪能力初步評估表資料，顯示河川整治辦理情形、上游攔河堰、橋墩型式、基礎裸露深度與容許沖刷深度比值、梁底高程、阻水面積比、橋墩斷面形狀及基礎保護措施等因素，為攸關評估橋梁耐洪能力之重要因素，因此後續快速耐洪沖刷調查表格之研擬，將藉由整合導致橋梁局部沖刷破壞因子、沖刷監測資料所得參數與橋梁耐洪評之數值分析，研擬適用於對已有沖刷現象或疑慮之橋梁，在颱風、洪水來臨前經由相關重要參數之調查即能快速評估橋梁耐洪沖刷能力之調查表格。

橋梁基礎快速評估表建立之目的為針對已具基礎沖刷情況之橋梁，由現地橋梁基礎沖刷深度量測即可快速評估其橋梁之耐洪能力，其方式為利用不同洪水回歸週期(如 Q_{200} 、 Q_{100} 、 Q_{50} 、 Q_{20})之基礎沖刷深度與基礎穩定安全係數關係圖，經由現地基礎沖刷深度量測，以判別現況已受沖刷基礎之耐洪能力，依據經濟部水利規劃試驗所(96)「濁水溪治理規劃檢討報告」成果選取濁水溪橋所在斷面之水理分析資料如表 6-7，由於資料中僅有計畫洪水位(Q_{100} 年頻率)的平均流速資料，為利後續橋梁基礎快速評估表建立之利用，本研究利用 Q_{100} 年頻率水理因素資料，假設水面寬度為固定下分別推估計畫洪水位 Q_{200} 、 Q_{50} 、 Q_{20} 、 Q_{10} 、 Q_5 及 Q_2 之平均流速，成果如表 6-8 所示。

表 6-7 國道3號跨濁水溪橋水理因素及各頻率洪水位資料

斷面編號	河心累距(m)	計畫洪水位(Q_{100} 年頻率)水理因素						各頻率年洪水位(m)					
		洪水位(m)	通水面積(m ²)	水面寬(m)	平均流速(m/s)	能量坡降	福錄數	Q_{200}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_2
105	48502	146.17	3155.52	674.05	7.86	0.00803	0.96	146.64	145.64	144.99	144.41	143.89	142.98

資料來源: 經濟部水利規劃試驗所(96)「濁水溪水系治理規劃檢討」

表 6-8 國道3號跨濁水溪橋各頻率年推估平均流速

平均流速(m/s)	各頻率年平均流速(m/s)						
	Q_{200}	Q_{100}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_2
	8.34	7.86	7.42	6.67	6.07	5.26	3.84

依據 6.2 節橋梁耐洪能力評估方式，並依據參考國道3號跨濁水溪橋各頻率年之洪水平均流速與洪水位資料，經由不同沖刷深度之變化分析國道3號跨濁水溪橋 P32R 橋墩基樁之耐洪能力，成果如圖 6-13 所示。由資料顯示在計畫洪水位 Q_{200} 、

Q_{50} 、 Q_{20} 、 Q_{10} 、 Q_5 及 Q_2 作用下之當 $FS=1.3$ 時最大容許沖刷深度為 2.7m、2.9m、3.2m、3.6m、3.9m、4.2m、4.7m，而當 $FS=1.0$ 時最大容許沖刷深度為 6.4m、6.8m、7.2m、7.7m、8.1m、8.7m、9.5m，當相關資料彙整如表 6-9。

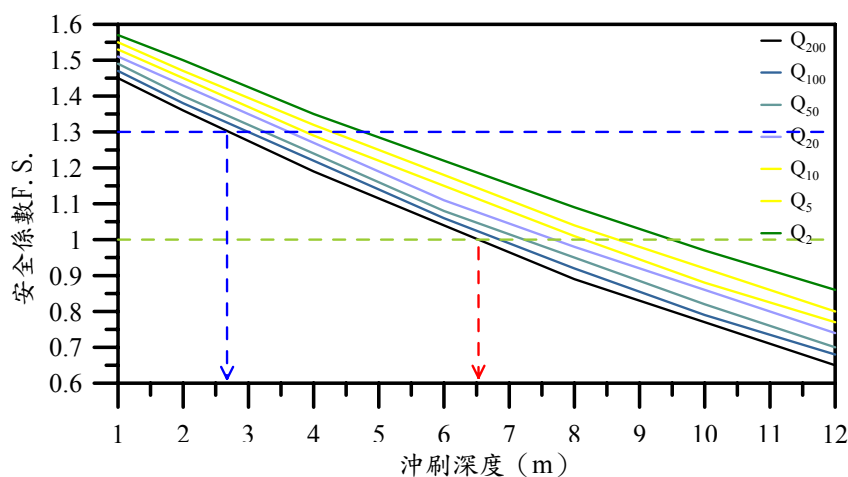


圖 6-16 不同計畫洪水頻率年耐能分析

表 6-9 各不同計畫洪水頻率年之最大容許沖刷深度

最大容許沖刷深度(m)	各計畫洪水頻率年						
	Q_{200}	Q_{100}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_2
F.S.=1.3	2.7	2.9	3.2	3.6	3.9	4.2	4.7
F.S.=1.0	6.4	6.8	7.2	7.7	8.1	8.7	9.5

由於本研究研擬之橋梁橋墩快速耐沖刷評估表，其目的為提供予現地工程師於颱風作用前後，至橋梁現場進行基礎結構沖刷巡勘時，能立即藉由現地基礎沖刷深度之量測，而快速篩選出具沖刷潛勢之基礎結構而予以關注，因此選定 $FS=1.3$ 作為是否應立即預以關注警戒之界定值，其研擬橋梁橋墩快速耐沖刷評估表如表 6-10。

表 6-10 橋梁橋墩快速耐洪沖刷評估表

橋梁橋墩快速耐沖刷評估表				
基本資料：		洪水頻率年	容許沖刷深度(m)	
橋梁名稱：		Q_{200}	<2.5m	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常
橋墩編號：		Q_{100}	<2.5m	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常
流域名稱：		Q_{50}	<3.0m	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常
現況基礎沖刷深度(m)：		Q_{20}	<3.5m	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常
		Q_{10}	<4.0m	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常
備註	1.本表格僅適用國道3號濁水溪橋 2.以安全系數 1.3 下之參考值 3.各洪水頻率年流速及水位資料參考經濟部水利規劃試驗所(96)「濁水溪本流治理規劃檢討報告」			

6.6 橋梁沖刷安全評估標準作業流程

針對橋梁耐洪能力之初步評估目前國內已有許多評估準則與相關作業流程規定，而其目的則為從數量龐大的現有橋梁中，快速篩選出耐洪能力有疑慮的橋梁，以便進一步處理來降低橋梁沖刷所導致災害。

有別於橋梁耐洪能力初步評估之目的為從數量龐大的現有橋梁中，快速篩選出耐洪能力有疑慮的橋梁，本計畫則針對具橋梁沖刷潛勢與已具橋梁沖刷現象之橋梁研擬橋梁橋墩快速耐洪調查表與訂定安全評估標準作業程序，其能快速針對遭遇颱風、洪水作用提供安全評估之判斷，並利後續相關橋梁封橋與否參考之依據。針對具橋梁沖刷潛勢與已具橋梁沖刷現象之安全評估標準作業程序，主要著眼於：

- (1)於颱風、洪水作來臨前，藉由利用橋梁橋墩快速評估橋梁耐洪能力評估表，對現況橋梁進行調查，在配合設計容許資料與警戒值及行動值之採用，提供安全評估之判斷作為防颱洪對策之利用。
- (2)於颱風、洪水期間，藉由監測系統之即時資料如流速、水位高度、沖刷深度及頻譜反應等，配合設計容許資料與警戒值及行動值之對應，提供安全評估之判斷作為颱風期間行車管制對策之利用。

安全評估研擬作業流程如圖 6-17 所示。

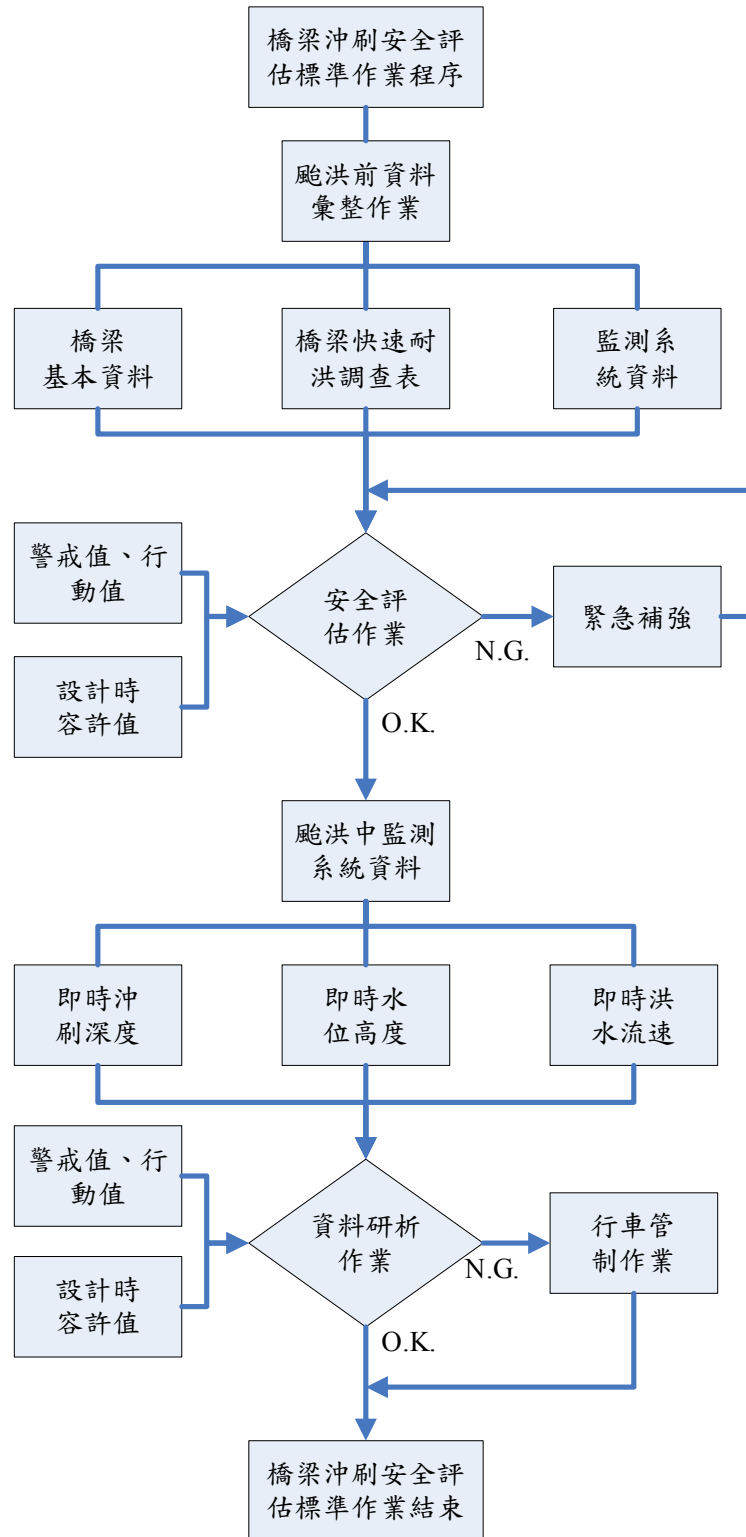


圖 6- 17 橋梁沖刷安全評估標準作業流程圖

柒、減災建議與教育訓練

7.1 研擬本橋梁所處環境的減災建議

橋梁減災的保護工法及其實施的範圍應審慎評估，不當的保護工施作，可能會改變河道、河相及水流方向，產生新的弱面，造成局部性沖刷加劇，危及橋基穩定性。且橋基保護應作整體考量；保護工亦應避免成為阻水構造。橋基保護工施作應考量整個河段或河系，協調水利相關主管單位統籌一併辦理河床穩固工程，並以橋群為單位，避免因保護上游橋梁而導致下游橋梁河床面驟降情形。

橋基沖刷之保護工法之功能在於防治橋址處底床之刷深以確保橋基之穩定，原則上不可對保護後之河床產生水流之過大渦流或亂流，致使部分河道改道使流量集中，加大沖刷之深度。保護後河床面宜盡量降低，並擴大水流面積，以降低流速。為防止沖刷之水力設計必須與上、下游流域之河道治理一併考量，若河道不穩定則橋址處沖刷潛勢亦隨之增高。位於河床持續下降之跨河橋梁，基於工程整體經濟效益及河道治理成效之考量，應評估進行橋基保護工、固床工或結構補強以降低沖刷潛勢及提高橋梁穩定性之可行性。

國道3號濁水溪橋自民國82年設計開始時，至民國98年8月莫拉克颱風前一直有朝南岸側向侵蝕之趨勢，於莫拉克颱風前之主河道已接近南岸高灘地之P33R位置，若持續往南岸侵襲，則水流恐直接侵襲南岸之堤防，更甚之有可能影響南岸橋台之安全性，故本團隊建議於主河道位置P30R至P32R位置進行橋基保護工法，以期減緩基礎沖刷之情形；另建議對於南岸高灘地進行河床保護工，以期減緩水流對南岸高灘地之侵蝕；另建議以河道挑流工如丁壩、潛壩等，設置於南岸受侵蝕之河岸邊，將主河道挑流至河道中央如P24R至P30R等有經過托底工法補強及鋼套管保護工程之橋墩，可使相對較脆弱之橋墩減少受衝擊之可能性。以下對於橋基保護工法、河床保護工法及橋基結構補強工法進行說明以供參考。

(1) 橋基保護工法

橋基保護工法在防止或減緩橋基局部沖刷，危及橋梁安全，直接保護橋基。其工法包含了拋石工法、蛇籠工法、混凝土塊（如鼎型塊）排置工法、混凝土護坦工法、包墩工法等。

A. 拋石工法

沖蝕刷深之河床面，或已部份裸露之橋基與河床接觸之周邊，拋置相當重之卵石、岩塊、混凝土碎塊等，形成護甲層，增強河床對水流之抗沖刷能力。



圖 7-1 拋石工法之應用情形

B. 蛇籠工法

以直徑 3.9~4.2 mm 之鍍鋅鐵絲，由人工或機械編織而成金屬網目，再內填卵石，構成長條石籠。國內常見之蛇籠型式，約可分為甲種與乙種，一般以甲種蛇籠工用於橋基保護、堤防護坡（基）與公路邊坡穩定之情形較為普遍。

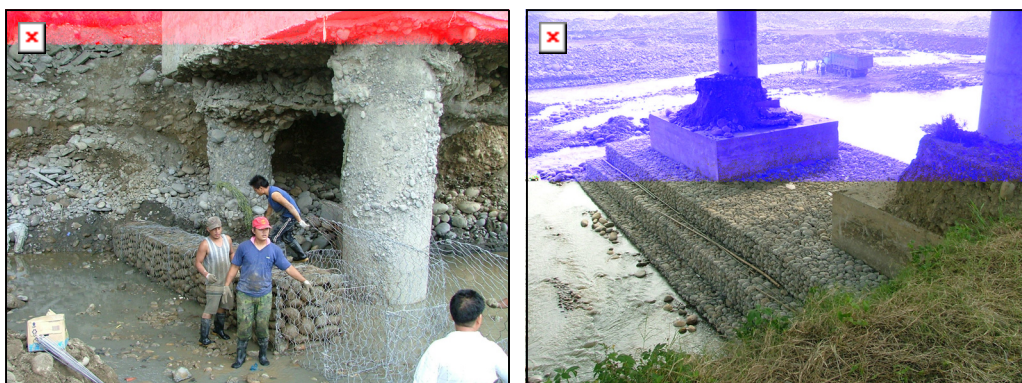


圖 7-2 蛇籠工法應用之情形

C. 混凝土塊排置工法

常見混凝土塊有鼎塊、長方塊、異形塊等，由混凝土塊群間所發揮的群體穩定效果，來抑制沖刷、減少水流動能，以達成固床的功用，進而保護水中結構物的安全。



圖 7-3 混凝土塊排置工法應用之情形

D. 混凝土塊護坦工法

廣義而言乃於河床上之某一區域，利用鋪設混凝土版、拋置石塊層、或佈設成帶狀之混凝土塊群、或施設蛇籠工等方法，形成護坦的作用以穩固河床、保護橋梁基礎安全之工法。為便於區分各種工法的不同，特別將在河床上鋪設帶狀或片狀之（鋼筋）混凝土版、且厚度達 8~10 cm 以上之構造稱為混凝土護坦工（相較於一般於蛇籠工上噴注薄層混凝土的目的是在於增加蛇籠網目之抗銹蝕與抗磨蝕的能力，而非依賴混凝土的直接保護作用）。



圖 7-4 蛇籠護坦與混凝土塊護坦工法之應用情形

E. 包墩工法

於已刷深裸露之橋基周邊，灌注（鋼筋）混凝土或以蛇籠直接包圍，局部保護橋基。灌注（鋼筋）混凝土所形成之圍繞區域內，應回填天然河床料、填拋卵礫石或以蛇籠工填充。



圖 7-5 包墩工法之應用情形

(2)河床保護工法

河床保護工法係為免河床遭刷深，致橋梁承载力及強度不足，進行河床保護。對河床進行保護，間接保護橋墩。該工法包含剛性攔砂堰工法、排樁工法及丁壩工

A.剛性攔砂堰工法

係於橋梁的下游側先施打基樁深入河床，再於其上部構築鋼筋混凝土堰體，或直接開挖河床，於較深層或堅硬的河床上施築堰體。施築剛性堰體費用高昂，一般僅適用於河道較窄之溪流。

B.排樁工法

於裸露之橋基周圍，施打基樁，緊密(不緊密)圍繞保護橋基，避免橋基再受沖刷淘深。不緊密圍繞橋基時，應以包墩或混凝土結構保固橋基者。緊密圍繞橋基時，圍束區內須回填天然河床料或塊石。



圖 7-6 排樁工法之應用情形

C.丁壩工法

丁壩使用於河道整治及護岸工程中，設於橋梁引道的一側或河岸邊上。其作用在於將水流挑離橋梁引道或河岸，並使泥沙在丁壩後方淤積形成新的河岸，進而達到改變水流流向、保護路基或河岸的目的。

(3)橋基結構補強工法

當橋基周邊的河床因局部沖刷，使得橋梁基礎支承強度不足，為了達到保護橋基下部結構安全，而進行結構補強，以恢復或提升橋梁之側向抵抗能力，增加橋梁穩定度，提昇橋梁之承載能力與耐震能力。橋基結構補強工法包含托底工法、降低基礎工法、淺基礎擴座工法及加壓灌漿黏結工法

A.托底工法（underpinning）

托底工法其原理係利用基礎版擴座補強工法與增樁補強工法，將新增基礎與舊有基礎產生連結加固，以補強或取代舊有基礎所需之垂直力與側向力之結構，加強原有基礎結構物之結構安全與機能。亦稱增樁擴基工法。



圖 7-7 增樁施工與擴基施工

B. 基礎降低工法（換底工法）

本工法可補原基礎入土深度之不足，增加基礎之承载力，降低阻水比，使橋梁達到所需之穩定性與安全性。施作方式係打除舊基礎，構築新基礎，並使新基礎頂（樁帽高程）降低至現有河床下，且增築橋墩底部，連接舊橋墩。



圖 7-8 拆除原有基礎與連接完工之情形

C. 淺基礎擴座工法

應用較堅硬岩盤之淺基礎遭淘刷而裸露，為增加耐震、承载力與穩定性，可採擴大基座工法。擴大基座後，將大幅增加迎水面積，提高阻水效應，且貫入深度仍有不足，致橋基有被掏刷危險，嚴重將致基礎沈陷。

D. 加壓灌漿黏結工法

為土壤改良的一種工法，係使用套管插入橋墩底部之土壤，再利用高壓將硬化材灌入，使土壤與混凝土混合，強化地質，增加橋墩之抗沖刷能力和承载力。而硬化材一般採用水泥系。

98 年 7 月底完成濁水溪橋橋基保護工程，於南岸吊放 1,500 個 10 噸鼎塊，8 月 8 日莫拉克颱風因南岸吊放鼎塊緣故，主河道遷移至 P25 橋墩。於莫拉克颱風過後，於 98 年底經濟部水利署第四河川局已於橋址南岸佈設蛇籠護岸，以保護南岸之河堤及橋台結構物。

7.2 專家座談

為適時修正本案研究方向，俾便獲致最佳研究成果，本計畫已於完成初步研究成果後辦理一場專家座談會，會中邀集專家學者及局內長官共同參與，會中針對研究成果及接續研究方向，諮詢各方專家學者之實務經驗，彙整專業建議並調整後續研究方向。

1. 辦理時間：98 年 10 月 19 日下午二時。
2. 辦理地點：臺灣營建研究院教室。
3. 會議議程及與會人員：詳如附件二所示。
4. 出席委員意見及回覆：詳如附件二所示。

7.3 教育訓練

國道 3 號濁水溪橋沖刷監測之研究計畫為針對台灣地區橋梁因河川既短且陡之特性，易因運補沙量不足造成河床沖刷，進而橋墩基礎裸露，造成橋梁基礎承载力大為下降，加上橋墩無法承受瞬間水流衝擊而造成橋梁崩坍斷裂，故以國道 3 號濁水溪橋為示範案例，試辦橋梁沖刷監測系統，並整合環境監測、結構監測、結構振動檢測及本橋梁記有之監測儀器，配合橋梁沖刷安全評估模式開發，訂定橋梁沖刷安全評估標準作業流程與警戒值。並藉由內訓過程培養高度素質之橋梁沖刷檢測人員，針對局本部及所屬養護工程單位之工作需求，係依本案之研究成果重點，研擬相關之基礎教育訓練課程，至各主管單位辦理「橋梁耐洪補強工程講習會」，經此訓練課程培養出橋梁檢測及耐洪評估人員、橋基補強工程監督人員、橋梁耐洪設計查核人員等專業人才，期能加強提昇局內工作同仁之職場技能，以擔負後續橋梁耐洪補強之實際作業及監督任務。

開課時間：99 年 3 月 3 日至 99 年 3 月 4 日

開課地點：國道高速公路局中區工程處

3/3 日講程：

時 間	主 講 人	講 題
09:00~09:30		報 到
09:30~10:30	徐力平 副院長	橋梁中長期維護管理策略
10:30~10:50		休 息
10:50~11:40	林嘉澤 專案經理	橋梁基本資料建置與耐洪檢測實例作業
11:40~13:00		午 餐
13:00~13:40	張嘉峰 博士	橋墩沖刷安全即時監測系統設置
13:40~14:20	廖振程 博士	橋梁耐洪能力初步評估與詳細評估
14:20~14:50		休 息
14:50~15:30	張嘉峰 博士	橋梁橋墩沖刷保護工法及補強優先排序與施工
15:30~16:00		綜 合 討 論

3/4 日講程：

時 間	主 講 人	講 題
09:00~09:10		報 到
09:10~09:50	廖振程 博士	橋樑基礎結構補強方法與設計
09:50~10:10		休 息
10:10~11:50	張嘉峰 博士	橋梁沖刷安全管理與緊急應變作業
10:50~11:10		休 息
11:10~11:50	鞠志琨 總經理	橋梁基礎安全即時監測系統設置應用
11:50~13:00		午 餐
13:00~13:40	林嘉澤 專案經理	國道3號濁水溪橋現場儀器架設解說
13:40~14:00		休 息
14:00~14:30	鞠志琨 總經理	中工處機房操作解說
14:30~15:00		綜 合 討 論



圖 7-9 教育訓練辦理情形 1



圖 7-10 教育訓練辦理情形 2

捌、結論與建議

8.1 結論

本計畫已完成之工作項目總結如下：

- 1.現有四種耐洪沖刷評估表格其目的仍皆為從為數龐大之橋梁群當中，快速且簡便的篩選出有沖刷潛勢之橋梁。因此本計畫所研擬之橋梁快速耐洪評估表格（橋梁橋墩快速耐洪評估表），乃針對已有沖刷疑慮之橋梁，快速進行個別橋墩之耐洪沖刷安全評估，供現場工程維護人員使用，此有別於此四種評估表格之使用時機及方法。
- 2.於莫拉克颱風時期，以埋入式沖刷監測儀器得到 P30R 橋墩基礎沖刷深度至 5.5m 深，回淤高度達 6.6m（亦即回淤後目前 P32R 現況橋帽已覆蓋 1.1m），顯示埋入式沖刷監測儀器確實發揮其監測功效。
- 3.橋梁振動主頻率值與墩柱淨高之關係程度與量測位置及方向有關，目前成果以墩柱中央水流方向（EW 方向）及車行方向（SN 方向）所量得之墩柱振動主頻率值與墩柱淨高回歸後關係最良好，決定係數 R^2 分別為 0.890 及 0.846。
- 4.收集橋梁歷史資料及設計資料後，即可建立針對沖刷最有疑慮之橋墩進行橋梁耐洪評估，建立基礎破壞包絡線，再由此基礎破壞包絡線研擬橋梁沖刷警戒值及封橋值，本橋之警戒值及封橋值如第 6.4 節所建議。
- 5.依據本計畫所研擬之橋梁沖刷安全評估標準作業流程，針對有沖刷疑慮之橋梁，於颱風前之使用橋梁橋墩快速耐洪評估表，先行篩選出有沖刷疑慮之橋墩位置，與颱風當中則使用基礎破壞包絡線進行安全評估。
- 6.於颱風時間對所關注沖刷橋行之橋墩紀錄即時監測水位計資料、流速計資料與沖刷監測資料，三者互相配合，代入橋梁耐洪評估模式之破壞包絡線（如圖 6-9）中，可即時判斷橋梁橋墩是否因承载力不足而破壞。配合橋梁沖刷警戒值及封橋值之訂定，現場工程師可適時進行警戒及封橋動作，則可達到減少危橋造成人民生命財產損失的目的。

8.2 建議

- 1.以目前建置於國道 3 號濁水溪橋上之沖刷監測系統，建議再繼續收集監測資料，並配合所則資訊分析及研判，已驗證並修正目前所提出之成果，檢討目前所訂定之警戒值及封橋值是否合於現況使用。
- 2.本研究已研擬出一套橋梁沖刷安全評估標準作業流程，將沖刷監測系統及橋梁耐洪評估模式做整合，並經莫拉克颱風侵襲後確為可行，建議往後有沖刷疑慮之其他橋梁即可以此套橋梁沖刷安全評估標準作業流程進行之。

3. 橋梁耐洪能力乃受沖刷深度、水流流速及水位高度之影響，因此颱風期間橋梁之警戒與封橋時機之訂定，仍建議結合即時沖刷監測系統資料配合基礎破壞包絡線方可較為精確。本研究所建議之警戒值與封橋值，適用於與國道3號濁水溪橋中相同結構形式與地質條件之基礎。針對不同之跨河橋梁，可利用本研究之分析方法另行計算與研判。故建議有沖刷疑慮之橋梁應配備水流流速計與水位即時監測儀器，並建置橋墩沖刷即時監測儀器，以配合該橋之基礎破壞包絡線。另無沖刷情形橋梁之警戒值與封橋值則依貴局研議之橋梁災害應變處理SOP進行擬定。
4. 考量貴局需求，可於國道重要橋梁依本研究之成果，建立其水位、流速與橋墩即時沖刷監測系統，並建立其基礎破壞包絡線，則可執行本研究規劃之橋梁沖刷安全評估標準作業流程，以期達到減少危橋造成人民生命財產損失的目的。
5. 針對外來物衝擊力對橋梁的影響，目前國內外多僅探討土石流與巨石之衝擊力量，針對漂流木之衝擊力影響目前並無完整之研究，尤其由目前國內橋梁損壞資料分析漂流木的影響主要為導致通水對面減少，因此建議後續針對漂流木對橋梁的影響另案做相關研究。

玖、重要有關文獻：

- 【1】 水文年報歷年電子書，經濟部水利署，2007、2008。
- 【2】 水文水資源資料管理供應系統，經濟部水利署。
- 【3】 林呈等，「台灣河流之沖刷對橋梁基礎與道路邊坡之影響及因應對策研究-第一分年成果報告」，交通部公路總局，90 年 9 月。
- 【4】 林呈等，「台灣河流之沖刷對橋梁基礎與道路邊坡之影響及因應對策研究-第二分年成果報告」，交通部公路總局，91 年 9 月。
- 【5】 陳清泉、蔡益超等，「公路橋梁安全初步檢測及評估實例作業及校正研究計畫」，交通部科技顧問室，86 年 6 月。
- 【6】 林呈等，「本省西部重要河川橋梁橋基災害分析與橋基保護工法資料庫系統之建立」，交通部運輸研究所，97 年 6 月。
- 【7】 林呈，「跨河橋梁訂定封橋水位」，交通部公路總局專案研究計畫，2004。
- 【8】 日本土木學會，「混凝土標準示方書-耐久性查照型[施工篇]」，2001。
- 【9】 陳振川等，「台灣地區橋梁安全管理策略探討與制定」，交通部，1997/7。
- 【10】 陳清泉，「公路橋梁安全初步檢測及評估實例作業及校正研究計畫」，1997。
- 【11】 陳茂南，「公路養護資料之建立」，2005。
- 【12】 陳茂南，「啟動公路養護新紀元」，中華民國運輸學會第 19 屆論文研討會中華，2004。
- 【13】 林志棟，「橋梁維護管理經費編審及查核制度之研究」，公共工程委員會，2002。
- 【14】 陳清泉，「重要聯外橋梁之安全檢測及評估宣導示範計畫」，交通部科技顧問室研究報告，1996。
- 【15】 國立中央大學橋梁工程研究中心，「非破壞性橋梁結構安全檢測專案—混凝土橋梁維修手冊」，交通部公路總局，86 年 5 月。
- 【16】 徐耀賜，「公路橋梁之養護與維修」，幼獅文化事業公司，1996。
- 【17】 「建立橋梁檢測制度方法及準則之研究」，交通部運輸研究所，2002/3。
- 【18】 李有豐、林安彥，「橋梁檢測評估與補強」，全華科技圖書股份有限公司，2000/8。
- 【19】 王仲宇等，「交通設施鋼筋混凝土結構物劣化診斷評估與修補規範草案之建立」，交通部，2004/12。
- 【20】 「生命週期導向之橋梁資訊管理管系統建立及維護管理作業自動化技術(二)」，交通部科技顧問室，2002。
- 【21】 蔣偉寧等，「橋梁重要程度等級之建立」，交通部公路總局，民國 93 年 3 月。
- 【22】 陳清泉等，「橋梁延壽政策及相關技術之探討」，行政院橋梁委員會，2002/11。

- 【23】 陳永祥等，「公共建設永續經營管理維護制度之研究」，行政院橋梁委員會，2001。
- 【24】 洪宏基等，「橋梁腐蝕原因之探討及防治對策」，橋梁設計與耐震補強研討會，財團法人台灣營建研究院，1999/12。
- 【25】 林呈，曾明性，「橋台及橋墩沖刷防治工法之探討」，橋梁設計與耐震補強研討會，財團法人台灣營建研究院，1999/12。
- 【26】 王仲宇等，「橋梁設計維修支援系統之建立—腐蝕、地震、河川沖蝕之潛勢分析及相關技術整合」，交通部科技顧問室，1999。
- 【27】 蕭興臺、廖肇昌，「RC 構件鋼鈑補強工法之探討」，結構工程，第九卷第四期，1994/12。
- 【28】 財團法人台灣營建研究院，「橋梁隧道材料腐蝕劣化原因之探討及防治對策(二)-橋梁篇」，交通部科技顧問室，2000/11。
- 【29】 林呈，「淺談橋基之沖刷防治與施作橋基保護工之相關問題」，橋梁安全與維護研討會，財團法人台灣營建研究院，1999/4。
- 【30】 中央大學災害防治研究中心，「橋台及橋墩沖刷防治工法之探討(二)」，交通部，2001/12。
- 【31】 鄧文廣，「跨河橋梁災損與結構補強案例」，跨河橋梁與水理相關之設計與施工研討會，2002/10。
- 【32】 財團法人台灣營建研究院，「橋梁腐蝕防治技術導則(草案)」，交通部科技顧問室，2000/11。
- 【33】 許鎧麟，「高速公路橋梁延壽評估及案例分析委託專案研究計畫服務建議書」，2004/5。
- 【34】 李建中，「公共建設生命週期營運維護偵測管考機制之研究計畫」，內政部營建署，2003/12。
- 【35】 陳振川等，「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強等策略之研究」，交通部公路總局，96年1月。