99-139-7502
MOTC-IOT-98-H1EB004

莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 99 年 12 月

99-139-7502
MOTC-IOT-98-H1EB004

莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析

著　者：邱永芳、謝明志、張道光、蔡清標、林　呈
謝世圳、高明哲、林怡如、羅立芳、蘇毓凱
余旻軒、石雅寧、紀明志

交 通 部 運 輸 研 究 所
中 華 民 國 99 年 12 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析 / 邱永芳等著. -- 初版 -- 臺北市 : 交通部運研所, 2010.12
面 ; 公分
ISBN 978-986-02-5773-1 (平裝)
1. 水災 2.風災 3.橋樑 4.防災工程

548.314 99023424

莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析

著　　者：邱永芳、謝明志、張道光、蔡清標、林　呈、謝世圳、高明哲、林怡如、羅立芳、蘇毓凱、余旻軒、石雅寧、紀明志
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04)26587176
出版年月：中華民國 99 年 12 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價： 500 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009904082　　ISBN：978-986-02-5773-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

99

莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析

交通部運輸研究所

GPN: 1009904082
定價 500 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN : 978-986-02-5773-1(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1009904082</td><td>運輸研究所出版品編號
99-139-7502</td><td>計畫編號
98-H1EB004</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港研中心
主管：邱永芳
計畫主持人：謝明志
協同主持人：張道光
聯絡電話：04-26587119
傳真號碼：04-26564418</td><td colspan="2">合作研究單位：國立中興大學
計畫主持人：蔡清標
協同主持人：林　呈
研究人員：謝世圳、高明哲、林怡如、羅立芳、蘇毓凱、余旻軒、石雅寧、紀明志
地址：台中市國光路 250 號
聯絡電話：04-22872221~259
傳真號碼：04-22862857</td><td>研究期間
自 98 年 10 月
至 99 年 6 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：莫拉克颱風、橋梁災害、致災機制</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：
民國 98 年 8 月 6 ～ 9 日間莫拉克颱風帶來超過 200 年重現期破歷年紀錄之降雨，造成高屏溪流域多處大規模山崩、土石流、淹水及橋梁災害，此災害造成嚴重的經濟損失與人命傷亡。本研究即針對此次災害中主要受損的 20 座橋梁進行相關資料蒐集、災害調查與災因分析，以確實瞭解橋梁破壞之主要原因。
本計畫首先蒐集各計畫橋梁之相關基本資料及莫拉克颱風期間之水文、氣象及土砂地質等災害相關資料，其次根據現場調查結果進行計畫橋梁之災因分析。經現場調查及災因分析評估後顯示，受災之主要機制可概略分為洪水沖刷、土石流、漂流木掛淤及堰塞湖潰壩等單項、或複合型、多重型致災原因，並突顯橋面版溢淹後所產生壓力流之影響。本計畫最後根據此次橋梁受災成因分析結果，進一步提出未來可供研擬之相關課題，以供相關單位參考。
成果效益與可供應用情形：
完成 20 座計畫橋梁之相關基本資料之建置，以及莫拉克颱風於高屏溪流域內之水文、氣象、土砂地質災害相關資料之蒐集與彙整。另外，亦完成各計畫橋梁之致災成因分析，並根據分析結果提出未來可供進一步研擬之課題。本研究之成果可提供給公路局及相關交通單位之參考與應用，同時本計畫可做為本所後續相關研究之基礎。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>99 年 12 月</td><td>602</td><td>500</td><td>凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。</td></tr>
<tr><td colspan="4">機密等級：
□密□機密 □極機密 □絕對機密
（解密條件：□　年　月　日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，
□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）
■普通</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

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

TITLE: Field Investigation and Analysis for the Causes of Bridge Failures during Typhoon Morakot

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN: 978-986-02-5773-1 (pbk)	1009904082	99-139-7502	98-H1EB004

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ming-Jyh Hsieh
CO-INVESTIGATOR: Tao-Kuang Chang
PHONE: (04) 26587119
FAX: (04) 26564418

PROJECT PERIOD
FROM October 2009
TO June 2010

RESEARCH AGENCY: National Chung Hsing University
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chin-Piao Tsai
CO-INVESTIGATOR: Chang Lin
PROJECT STAFF: Shih-Chun Hsieh, Ming-Jer Kou, I-Ju Lin, Li-Fang Lo, Yu-Kai Su, Min-Hsuan Yu, Ya-Ning Shih, Ming-Chih Chi
ADDRESS: No. 250 Kuo Kuang Road, Taichung 402, Taiwan R.O.C.
PHONE: (04) 22855182
FAX: (04) 22862857

KEY WORDS: Typhoon Morakot, bridge damage, cause of bridge failure

ABSTRACT:

During Typhoon Morakot (Aug. 6-9, 2009), Gaoping River Basin was pelted by strong winds, heavy rain, and an over 200-yr return period flood. A series of landslides and debris flows attacked it, and resulted in serious bridge damage. These hazards cause not only economic losses but also life injuries to a considerable extent. The purpose of this study is to collect the related data from the 20 collapsed bridges located in Gaoping River Basin, and to investigate the main causes of the bridge-pier failures during Typhoon Morakot.

First, the fundamental data of these bridges, as well as the hydrologic, meteorological and geological information of Gaoping River during Typhoon Morakot were collected. Second, based on the field investigation, the causes of bridge failure were analyzed. The main mechanisms of the bridge failure can be subjected into several categories, including flood induced scour, debris flow, woody debris, and debris dam break. Furthermore, serious pressure flow generated by the high speed overtopping flow at the bridge, also may induce severe scour at bridge piers. Accordingly, this investigation made some recommendations for the improvement of the bridge design for the safety of the traveling publics and the related authorties.

BENEFITS AND APPLICATIONS:

Field measurements and investigation have been compiled based on 20 damaged bridges during Typhoon Morakot in Gaoping River Basin. These case investigations of bridge damage processes will provide designers and engineers with valuable insight information. According to the investigation, several issues regarding to the bridge scour are suggested for the further studies. The result can offer Highway Bureau and related units useful references and applications. In the meantime, these studies and results can be used for follow-up related research.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
December 2010	602	500	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析

目 錄

中文摘要 I

英文摘要 II

表目錄 VII

圖目錄 XI

相片目錄 XXV

第一章 前言 1-1

1.1 緣起與目的 1-1

1.2 研究範圍與對象 1-1

1.3 研究內容與工作項目 1-4

第二章 研究方法及進行步驟 2-1

2.1 計畫橋梁相關基本資料蒐集與彙整 2-2

2.2 河川及野溪相關基本資料蒐集與彙整 2-3

2.3 莫拉克颱風期間計畫橋梁之水文資料蒐集與分析 2-4

2.4 主要受損橋梁之災害調查 2-4

2.5 橋梁受災成因之分析與探討 2-5

2.6 辦理專家學者座談 2-5

第三章 高屏溪流域概述 3-1

3.1 支流旗山溪概述 3-1

3.2 幹流荖濃溪概述 3-7

3.3 支流隘寮溪概述.....3-13
3.4 高屏本梳概述 3-17
第四章 莫拉克颱風水文資料及地質災害背景說明.....4-1
4.1 莫拉克颱風水文資料蒐集與分析.....4-1
4.2 莫拉克颱風地質災害資料蒐集與分析.....4-16
第五章 旗山溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析.....5-1
5.1 台 21 線第十號橋.....5-1
5.2 台 21 線第九號橋.....5-13
5.3 台 21 線第八號橋.....5-25
5.4 台 21 線四德橋.....5-38
5.5 台 28 線旗尾橋.....5-60
5.6 台 3 線新旗尾橋.....5-95
5.7 高 92 線大洲大橋.....5-119
第六章 荖濃溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析.....6-1
6.1 台 20 線炳才橋.....6-1
6.2 台 20 線寶來二橋.....6-15
6.3 台 20 線建山二橋.....6-41
6.4 台 20 線建山一橋.....6-65
6.5 台 27 線新發大橋.....6-85
6.6 台 27 甲線六龜大橋.....6-112
6.7 台 27 甲線六龜四號橋.....6-135
6.8 台 27 甲線六龜三號橋.....6-146
6.9 台 27 線三合橋.....6-157

6.10 台 27 線六津橋.....6-171
6.11 台 27 線大津橋.....6-184
第七章 高屏溪本流與隘寮溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析.....7-1
7.1 台 17 線雙園大橋.....7-1
7.2 台 24 線第一號橋.....7-30
第八章 綜合討論與未來研究方向.....8-1
8.1 橋梁致災成因分析探討.....8-1
8.2 橋梁災害防治相關因應原則與注意事項.....8-15
8.3 未來研究課題與方向.....8-22
第九章 結論與建議.....9-1
9.1 結論.....9-1
9.2 建議.....9-3
參考文獻.....參-1
附錄一 額外提供橋梁之災損畫面.....1-1
附錄二 期初簡報審查會議結論答覆.....2-1
附錄三 第一次專家座談辦理情形.....3-1
附錄四 期中簡報審查會議結論答覆.....4-1
附錄五 第二次專家座談辦理情形.....5-1
附錄六 期末報告審查意見處理情形.....6-1

表 目 錄

表 1-1　莫拉克颱風主要橋梁受損情況 1-1

表 2-1　計畫橋梁之基本與歷史資料的蒐集分類與建置 2-1

表 2-2　河川與地質基本資料之蒐集與建檔 2-3

表 2-3　本研究團隊調查之受損橋梁及其受損現況 2-6

表 3-1　旗山溪各控制站不同重現期距之洪峰流量表 3-4

表 3-2　旗山溪各水位流量站之歷年重大颱風洪峰流量統計表 3-5

表 3-3　荖濃溪上游河段粒徑分析彙整 3-8

表 3-4　荖濃溪粒徑分析比較彙整表 3-8

表 3-5　荖濃溪各控制站在不同重現期距之洪峰流量表 3-10

表 3-6　荖濃溪各流量站之歷年重大颱風洪峰流量統計表 3-11

表 3-7　隘寮溪粒徑分析比較彙整表 3-14

表 3-8　民國 95 年隘寮溪採樣之粒徑分析成果 3-14

表 3-9　隘寮溪各控制站在不同重現期距之洪峰流量表 3-15

表 3-10　隘寮溪三地門站之歷年重大颱風洪峰流量統計表 3-16

表 3-11　高屏溪本流各控制站在不同重現期距之洪峰流量 3-20

表 3-12　高屏溪本流之歷年最大瞬時流量彙整表(九曲堂站、里嶺大橋站、高屏溪攔河堰及萬大大橋) 3-21

表 4-1　莫拉克颱風高屏溪流域各測站之累積雨量 4-9

表 4-2　各雨量站不同延時雨量頻率分析結果 4-9

表 4-3　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點平均最大二日及最大 48 小時暴雨量分析成果 4-10

表 4-4　高屏溪流域莫拉克颱風颱風各控制點平均最大二日暴雨量之洪峰流量推求成果 4-11

表 4-5　莫拉克颱風堰塞湖狀況統計表 4-25
表 5-1　第十號橋橋梁基本資料表 5-4
表 5-2　民生與民族雨量站於莫拉克颱洪時期之暴雨頻率分析 5-7
表 5-3　第九號橋橋梁基本資料表 5-16
表 5-4　民生與民族雨量站於莫拉克颱洪時期之暴雨頻率分析 5-19
表 5-5　第八號橋橋梁基本資料表 5-28
表 5-6　民生與民族雨量站於莫拉克颱洪時期之暴雨頻率分析 5-31
表 5-7　台 21 線四德橋橋梁基本資料表 5-42
表 5-8　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之暴雨頻率分析.....5-53
表 5-9　台 21 線四德橋河床變化表 5-56
表 5-10　台 28 線旗尾橋橋梁基本資料表 5-65
表 5-11　台 28 線旗尾橋沖損過程.....5-94
表 5-12　台 3 線新旗尾橋橋梁基本資料表 5-98
表 5-13　高 92 線大洲大橋橋梁基本資料表.....5-124
表 6-1　橋梁基本資料表之炳才橋 6-4
表 6-2　莫拉克颱風高中雨量站之暴雨頻率分析 6-6
表 6-3　寶來二橋橋梁基本資料表 6-19
表 6-4　莫拉克颱風高中雨量站之暴雨頻率分析 6-30
表 6-5　橋梁基本資料表之一建山二橋 6-44
表 6-6　莫拉克颱風高中雨量站之暴雨頻率分析 6-56
表 6-7　橋梁基本資料表之建山一橋 6-68
表 6-8　莫拉克颱風高中雨量站之暴雨頻率分析 6-75
表 6-9　新發大橋橋梁基本資料表 6-89
表 6-10　莫拉克颱風新發雨量站之暴雨頻率分析 6-100

表 6-11　六龜大橋橋梁基本資料表 6-113
表 6-12　六龜四號橋橋梁基本資料表 6-138
表 6-13　六龜三號橋橋梁基本資料表 6-148
表 6-14　三合橋基本資料表 6-160
表 6-15　莫拉克颱風御油山雨量站之暴雨頻率分析 6-162
表 6-16　六津橋橋梁基本資料表.....6-173
表 6-17　莫拉克颱風御油山雨量站之暴雨頻率分析 6-175
表 6-18　大津橋橋梁基本資料表.....6-187
表 6-19　莫拉克颱風御油山雨量站之暴雨頻率分析 6-190
表 7-1　台 17 線雙園大橋橋梁基本資料表.....7-6
表 7-2　橋梁基本資料表之第一號橋 7-33
表 7-3　莫拉克颱風上德文雨量站之暴雨頻率分析 7-35
表 8-1　各主要受災橋梁致災機制分析統計結果及相關改善建議表.8-13

圖 目 錄

圖 1.1　高屏溪流域(含旗山溪、荖濃溪、隘寮溪流域)各計畫橋梁及其他受損橋梁相關位置圖 1-3

圖 2.1　工作內容之執行步驟與流程 2-1

圖 3.1　高屏溪流域(含旗山溪、荖濃溪、隘寮溪)之地質分佈圖 3-2

圖 3.2　旗山溪中下游段河床質粒徑變化圖：(a)杉林大橋至甲仙大橋段(民國 81 年)；(b)溪口至月眉大橋段(民國 65 年)。 3-3

圖 3.3　旗山溪下游段(月眉橋至甲仙大橋)河道縱斷面之平均河床高程比較圖 3-6

圖 3.4　旗山溪中游段(月眉橋至甲仙大橋)河道縱斷面之谿線高程比較圖 3-6

圖 3.5　荖濃溪上游段(東溪大橋～寶來二橋)之洪峰流量分配圖 3-9

圖 3.6　荖濃溪上游段(大津至東溪大橋)之洪峰流量分配圖 3-9

圖 3.7　荖濃溪歷年河道縱斷面變化圖 3-12

圖 3.8　隘寮溪歷年河道縱斷面變化圖 3-13

圖 3.9　高屏溪河床質粒徑分佈圖(採樣日期民國 95 年 6 月) 3-18

圖 3.10　高屏溪計畫洪水量分配圖 3-19

圖 3.11　高屏溪歷年河道主深槽縱斷面比較圖 3-20

圖 4.1　莫拉克颱風侵台路徑圖 4-1

圖 4.2　莫拉克颱風過境期間，各時段之衛星雲圖 4-2

圖 4.3　莫拉克颱風過境期間，各時段之累積雨量圖 4-4

圖 4.4　莫拉克颱風過境期間(8 月 5 日～10 日)，全台各地總累積雨量圖 4-5

圖 4.5　莫拉克颱風期間，高屏溪流域尾寮山、御油山及甲仙雨量站所測得之降雨組體圖 4-6

圖 4.6　高屏溪流域各雨量站位置圖 4-8

圖 4.7　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點二日事件降雨組體及逕流歷線圖(一)：(a) 月眉站；(b) 美濃溪出口站 4-12

圖 4.8　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點二日事件降雨組體及逕流歷線圖(二)：(a) 新發大橋站；(b) 荖濃溪出口站 4-13

圖 4.9　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點二日事件降雨組體及逕流歷線圖(三)：(a) 三地門站；(b) 隘寮溪出口站 4-14

圖 4.10　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點二日事件降雨組體及逕流歷線圖(四)：(a) 旗山溪出口站；(b) 里港站 4-15

圖 4.11　莫拉克颱風累積雨量與崩塌地分佈情形 4-19

圖 4.12　莫拉克颱風最大時雨量與崩塌地分佈情形 4-19

圖 4.13　公路總局莫拉克颱風期間不同類型災害分佈地點 4-20

圖 4.14　莫拉克颱風期間堰塞湖分佈位置圖 4-23

圖 4.15　高屏地區雨量站、水位站及堰塞湖發生處之相關位置圖 4-24

圖 4.16　民國 93 年至 98 年莫拉克颱風後，旗山溪及荖濃溪河道淤積土砂推估示意圖 4-27

圖 5.1　台 21 線第十號橋橋址附近地質分佈圖。於橋址處附近之地質層為深灰色之鹽水坑頁岩，以及帶有灰色細粒砂岩之糖恩山砂岩層 5-6

圖 5.2　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量 5-6

圖 5.3　楠峰橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 5-7

圖 5.4　第十號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 5-12

圖 5.5　台 21 線第九號橋橋址附近地質分佈圖 5-18

圖 5.6　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量 5-18

圖 5.7　楠峰橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 5-19

圖 5.8　台 21 線第九號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 5-24

圖 5.9　台 21 線第八號橋橋址附近地質分佈圖 5-30
圖 5.10　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量 5-30
圖 5.11　楠峰橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 5-31
圖 5.12　第八號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 5-37
圖 5.13　台 21 線四德橋橋梁立面圖及地質鑽探圖 5-43
圖 5.14　台 21 線四德橋 P1～P3 橋墩詳圖 5-44
圖 5.15　台 21 線四德橋 P4 橋墩詳圖 5-45
圖 5.16　台 21 線四德橋 P5 橋墩詳圖 5-46
圖 5.17　台 21 線四德橋橋梁標準斷面圖 5-47
圖 5.18　台 21 線四德橋上游側於民國 94 年所測得之橫斷面圖 5-49
圖 5.19　台 21 線四德橋下游側於民國 94 年所測得之橫斷面圖 5-50
圖 5.20　台 21 線四德橋上游側於民國 97 年所測得之橫斷面圖 5-51
圖 5.21　台 21 線四德橋下游側於民國 97 年所測得之橫斷面圖 5-52
圖 5.22　台 21 線四德橋橋址附近地質分佈圖 5-53
圖 5.23　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量 5-54
圖 5.24　楠峰橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖。圖中於民國 98 年 8 月 8 日 11:00 pm 訊號中斷 5-54
圖 5.25　四德橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 5-59
圖 5.26　旗山溪流域地質圖 5-67
圖 5.27　台 28 線 30K+110～30K+950(旗山鎮旗山橋 ～ 旗尾橋)橋梁改建工程鑽孔孔面位置及柱狀圖 5-68
圖 5.28　結構平面圖(一) 5-69
圖 5.29　結構平面圖(二) 5-70
圖 5.30　結構立面圖(一) 5-71
圖 5.31　結構平面圖(二) 5-72

圖 5.32　橋塔及基礎詳圖(一) 5-73
圖 5.33　橋塔及基礎詳圖(二) 5-74
圖 5.34　TYPE 1 橋墩及基礎詳圖 5-75
圖 5.35　TYPE 2 橋墩及基礎詳圖 5-76
圖 5.36　TYPE 3 橋墩及基礎詳圖 5-77
圖 5.37　200CM φ 全套管場鑄 R.C.基樁詳圖 5-78
圖 5.38　旗山溪台 28 線旗尾橋、旗山橋上游 200 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖 5-80
圖 5.39　旗山溪台 28 線旗尾橋、旗山橋上游 20 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖 5-81
圖 5.40　旗山溪台 28 線旗尾橋、旗山橋下游 20 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖 5-82
圖 5.41　旗山溪台 28 線旗尾橋、旗山橋下游 200 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖 5-83
圖 5.42　台 28 線旗尾橋 A1 橋台民國 96 年柯羅莎颱風災害修復工程圖 5-84
圖 5.43　台 28 線旗尾橋 P1～P2 橋墩基礎保護工程 5-85
圖 5.44　旗山雨量站之降雨組體圖 5-86
圖 5.45　旗山溪杉林大橋水位站於 98.08 莫拉克颱洪期間之水位歷線圖 5-86
圖 5.46　楠峰橋水位站於莫拉克颱洪期間之水位歷線圖 5-90
圖 5.47　台 28 線旗尾橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 5-91
圖 5.48　台 3 線新旗尾橋平面及縱斷面圖(一) 5-100
圖 5.49　台 3 線新旗尾橋平面及縱斷面圖(二) 5-101
圖 5.50　台 3 線新旗尾橋橋面板設計圖 5-102
圖 5.51　台 3 線新旗尾橋橋墩設計圖 5-103

圖 5.52　台 3 線新旗尾橋橋台設計圖 5-104
圖 5.53　台 3 線新旗尾橋沉箱設計圖(一) 5-105
圖 5.54　台 3 線新旗尾橋沉箱設計圖(二) 5-106
圖 5.55　旗山溪流域地質圖 5-107
圖 5.56　台 3 線新旗尾橋鑽探資料 5-107
圖 5.57　旗山溪台 3 線新旗尾橋上游 200 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖 5-108
圖 5.58　旗山溪台 3 線新旗尾橋上游 20 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖 5-109
圖 5.59　旗山溪台 3 線新旗尾橋下游 20 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖 5-110
圖 5.60　旗山溪台 3 線新旗尾橋下游 200 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖 5-111
圖 5.61　旗山雨量站之降雨組體圖 5-112
圖 5.62　旗山溪杉林大橋水位站於 98.08 莫拉克颱洪期間之水位歷線圖 5-112
圖 5.63　台 3 線新旗尾橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖。 5-118
圖 5-64　旗山溪流域地質圖 5-125
圖 5.65　民國 82 年、94 年旗山溪高 92 線大洲大橋斷面比較圖 5-127
圖 5.66　高 92 線大洲大橋卡玫基颱風（民國 97 年 7 月 18 日）修復工程平縱斷面圖 5-131
圖 5.67　高 92 線大洲大橋修復工程平面配置圖 5-132
圖 5.68　高 92 線大洲大橋修復工程 120φ全套管基樁詳細圖 5-133
圖 5.69　高 92 線大洲大橋修復工程下游側橋台 A2R 之詳細圖 5-134
圖 5.70　旗山雨量站之降與阻體圖 5-135

圖 5.71　旗山溪杉林大橋水位站於 98.08 莫拉克颱洪期間之水位歷線圖 5-135
圖 5.72　高 92 線大洲大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 5-137
圖 6.1　橋梁基本資料表之炳才橋 6-5
圖 6.2　位於炳才橋附近之高中雨量站降雨組體圖與累積雨量 6-5
圖 6.3　炳才橋於莫拉克颱風期間，河床遭土石流沖刷下降及橋址處遭破壞之擬似動態流程示意圖(橫斷面) 6-12
圖 6.4　炳才橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 6-14
圖 6.5　台 20 線寶來二橋：(a)平面圖(b)立面圖 6-20
圖 6.6　台 20 線寶來二橋(a)P1 (b)P2 (c)P3 (d)P4 (e)P5 橋墩平面圖 .. 6-21
圖 6.7　台 20 線寶來二橋 P2、P3、P4 橋墩詳圖 6-22
圖 6.8　台 20 線寶來二橋 P1 橋墩詳圖 6-23
圖 6.9　台 20 線寶來二橋 P5 橋墩詳圖 6-24
圖 6.10　台 20 線寶來二橋全套管基樁詳圖 6-25
圖 6.11　台 20 線寶來二橋橋址處民國 97 年橫斷面圖 6-26
圖 6.12　台 20 線寶來二橋下游側民國 97 年橫斷面圖 6-27
圖 6.13　台 20 線寶來二橋地質圖 6-28
圖 6.14　台 20 線寶來二橋平面及地質鑽探圖 6-29
圖 6.15　高中雨量站降雨組體圖與累積雨量 6-30
圖 6.16　阿其巴橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 6-32
圖 6.17　新發大橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 6-32
圖 6.18　台 20 線寶來二橋橋台側向侵蝕示意圖 6-38
圖 6.19　寶來二橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖。 6-39
圖 6.20　86 年台 20 線建山二橋改建工程之平縱斷面圖 6-45
圖 6.21　86 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（一） 6-45

圖 6.22　86 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（二）.....6-46
圖 6.23　86 年台 20 線建山二橋改建工程之橋台詳圖.....6-47
圖 6.24　86 年台 20 線建山二橋改建工程之引道詳圖.....6-47
圖 6.25　98 年台 20 線建山二橋改建工程之平面圖.....6-48
圖 6.26　98 年台 20 線建山二橋改建工程之縱斷圖.....6-48
圖 6.27　98 年台 20 線建山二橋改建工程之引道橫斷面標準圖.....6-49
圖 6.28　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（一）.....6-49
圖 6.29　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（二）.....6-50
圖 6.30　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（三）.....6-50
圖 6.31　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（四）.....6-51
圖 6.32　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橋面版橫斷面圖.....6-51
圖 6.33　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橋梁平立面圖.....6-52
圖 6.34　98 年台 20 線建山二橋改建工程之 A1 橋台平立面圖.....6-52
圖 6.35　98 年台 20 線建山二橋改建工程之 A2 橋台平立面圖.....6-53
圖 6.36　98 年台 20 線建山二橋改建工程之翼牆詳圖.....6-53
圖 6.37　台 20 線建山二橋橋址附近地質分佈圖.....6-54
圖 6.38　98 年台 20 線建山二橋改建工程之地質鑽探住狀圖.....6-54
圖 6.39　台 20 線建山二橋為土石流警戒溪流高縣 DF061.....6-55
圖 6.40　高中雨量站降雨組體圖與累積雨量.....6-55
圖 6.41　建山二橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖(橫斷面).....6-62
圖 6.42　建山二橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖.....6-64
圖 6.43　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之平縱斷面圖.....6-69
圖 6.44　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之引道詳圖.....6-69
圖 6.45　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之橫斷面圖（一）.....6-70

圖 6.46　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之橫斷面圖（二）.....6-70
圖 6.47　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之橋台詳圖（一）.....6-71
圖 6.48　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之橋台詳圖（二）.....6-71
圖 6.49　台 20 線建山一橋民國 98 年老舊橋梁緊急改建計畫之平面設計圖 6-72
圖 6.50　台 20 線建山一橋民國 98 年老舊橋梁緊急改建計畫之縱斷面圖 6-72
圖 6.51　台 20 線建山一橋民國 98 年老舊橋梁緊急改建計畫之橋梁平面及斷面圖.....6-73
圖 6.52　台 20 線建山一橋民國 98 年老舊橋梁緊急改建計畫之防衝鋼鈑配置高度示意圖。.....6-73
圖 6.53　台 20 線建山一橋橋址附近地質分佈圖。.....6-74
圖 6.54　台 20 線建山一橋之地質鑽探圖。.....6-74
圖 6.55　高中雨量站降雨組體圖與累積雨量.....6-75
圖 6.56　建山一橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖(橫斷面).....6-82
圖 6.57　建山一橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖。.....6-84
圖 6.58　台 27 線新發大橋：(a)平面圖(b)立面圖 6-90
圖 6.59　台 27 新發大橋 P1、P4 橋墩詳圖 6-91
圖 6.60　台 27 新發大橋 P2 橋墩詳圖 6-92
圖 6.61　台 27 線新發大橋 P3 橋墩詳圖.....6-93
圖 6.62　台 27 線新發大橋 P5 橋墩詳圖.....6-94
圖 6.63　台 27 線新發大橋橋址處民國 95 年橫斷面圖.....6-95
圖 6.64　台 27 線新發大橋上游 20 m 民國 96 至民國 97 年橫斷面圖.6-96
圖 6.65　台 27 線新發大橋橋址處民國 97 年橫斷面圖.....6-97
圖 6.66　台 27 線新發大橋下游 20 m 民國 96 至民國 97 年橫斷面圖.6-98
圖 6.67　台 27 線新發大橋地質圖.....6-99

圖 6.68　新發雨量站降雨組體圖與累積雨量.....6-100
圖 6.69　阿其巴橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 6-101
圖 6.70　新發大橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 6-101
圖 6.71　新發大橋上橋址處上游側之土石堆積流程示意圖 6-106
圖 6.72　新發大橋 P5 橋墩水位高程示意圖.....6-109
圖 6.73　新發大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖.....6-110
圖 6.74　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：平、立面竣工圖(一)
.....114
圖 6.74(續)民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：平、立面圖(二)
.....6-115
圖 6.75　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：橋面版橫斷面圖
.....6-116
圖 6.76　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：橋墩竣工圖 6-117
圖 6.77　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：沉箱基礎竣工圖6-118
圖 6.78　六龜大橋地質分佈暨斷層位置圖.....6-119
圖 6.79　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋之地質鑽探柱狀剖面圖 6-120
圖 6.80　下部結構加固範圍示意圖 6-121
圖 6.81　下部結構加固工程施工步驟.....6-121
圖 6.82　民國 96 年台 27 甲線六龜大橋 P5 ~ P7 橋基保護工程：平、立
面圖 6-123
圖 6.83　民國 96 年台 27 甲線六龜大橋 P5～P7 橋基保護工程:橋墩基礎
圍束保護斷面圖 6-124
圖 6.84　民國 96 年台 27 甲線六龜大橋 P5 ~ P7 橋基保護工程：P7 橋墩
加固工程配置圖 6-125
圖 6.85　民國 96 年台 27 甲線六龜大橋 P5～P7 橋基保護工程:鋼管樁及
繫梁版標準圖 6-126

圖 6.86　民國 98 年 8 月莫拉克颱風後，六龜大橋周邊之災後衛星影像及新增崩塌地分佈圖 6-128

圖 6.87　荖濃溪六龜大橋水位站 98.08 莫拉克颱洪之水位歷線圖 6-128

圖 6.88　台 27 甲線六龜大橋於莫拉克颱洪期間之洪水位與橋梁上下部結構之相關高程示意圖 6-132

圖 6.89　六龜大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 6-133

圖 6.90　民國 78 年 184 線(現改為台 27 甲線)六龜 1～6 號隧道改線工程(第一期)：平面及縱斷面圖(一)..... 6-139

圖 6.91　民國 78 年六龜隧道改線(第一期)工程之河中路基橫斷面標準圖 6-141

圖 6.92　民國 78 年六龜隧道改線(第一期)工程之六龜四號橋附近平面圖及橋梁側視圖 6-141

圖 6.93　民國 78 年六龜隧道改線(第一期)工程之六龜四號橋下部結構立面圖及配筋圖 6-142

圖 6.94　六龜四號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 6-145

圖 6.95　民國 79 年 184 線(現改為台 27 甲線)六龜 1～6 號隧道改線工程(第二期)：平面及縱斷面圖(一)..... 6-149

圖 6.96　民國 79 年 184 線(現改為台 27 甲線)六龜 1～6 號隧道改線工程(第二期)：六龜三號橋翼牆斷面及展開圖 6-151

圖 6.97　民國 79 年六龜隧道改線(第二期)工程之六龜三號橋下部結構立面圖及配筋圖 6-152

圖 6.98　民國 79 年六龜隧道改線(第二期)工程：路基斷面圖 6-153

圖 6.99　民國 79 年六龜隧道改線(第二期)工程：路基堤防及混凝土塊基礎保護工配置示意圖 6-154

圖 6.100 六龜三號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 6-156

圖 6.101 高屏溪流域下游地質圖 6-161

圖 6.102 御油山雨量站降雨組體圖與累積雨量 6-162

圖 6.103 三合橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 6-170
圖 6.104 高屏溪流域下游地質圖 6-174
圖 6.105 油山雨量站降雨組體圖與累積雨量 6-175
圖 6.106 六津橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖 6-181
圖 6.107 六津橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 6-183
圖 6.108 高屏溪流域下游地質圖 6-188
圖 6.109 民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程縱斷面圖及地質鑽探剖面圖 6-189
圖 6.110 御油山雨量站降雨組體圖與累積雨量 6-190
圖 6.111 興農橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 6-191
圖 6.112 民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程平面圖 6-192
圖 6.113 民國 77 台 27 線 25K+015 大津橋年改建工程 A1 橋台詳圖 6-193
圖 6.114 民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程 A2 橋台詳圖 6-193
圖 6.115 民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程 P1~P9 橋墩詳 6-194
圖 6.116 民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程 P1~P4 及 P6~P9 沉箱詳圖 6-195
圖 6.117 民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程 P5 橋墩基礎詳圖 6-196
圖 6.118 民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程原吊橋塔座打除及原 P1 沉箱加固詳圖 6-197
圖 6.119 於民國 91 年台 27 線大津橋上游側之河床高程橫斷面圖 ... 6-198
圖 6.120 於民國 91 年台 27 線大津橋下游側之河床高程橫斷面圖 ... 6-199
圖 6.121 大津橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 6-204

圖 7.1　台 17 線雙園大橋擴建工程，A1~P22 縱斷面暨橋位地形圖(一)..... 7-7

圖 7.2　台 17 線雙園大橋擴建工程，P22~P46 縱斷面暨橋位地形圖(二)..... 7-8

圖 7.3　台 17 線雙園大橋擴建工程，P46~A2 縱斷面暨橋位地形圖(三)..... 7-9

圖 7.4　台 17 線雙園大橋擴建工程，固定端橋墩立視圖、側視圖、基腳平面圖..... 7-10

圖 7.5　台 17 線雙園大橋擴建工程，活動端橋墩立視圖、側視圖、基腳平面圖..... 7-11

圖 7.6　台 17 線雙園大橋擴建工程，基樁暨五房端橋台詳圖..... 7-12

圖 7.7　民國 92 年台 17 線雙園大橋局部大梁橋面版拆除重建及橋梁基礎托底保護設施工程，A1～P44 縱斷面圖；P5～P14、P22～P25、P30 為橋墩基礎托底補強之橋墩..... 7-13

圖 7.8　民國 92 年台 17 線雙園大橋局部大梁橋面版拆除重建及橋梁基礎托底保護設施工程，原橋墩立視圖、側視圖與 基樁配置平面圖..... 7-14

圖 7.9　台 17 線雙園大橋局部大梁橋面版拆除重建及橋梁基礎托底保護設施工程，托底補強之橋墩基礎立視圖、側視圖與新增基樁配置平面圖..... 7-15

圖 7.10　台 17 線雙園大橋局部大梁橋面版拆除重建及橋梁基礎托底保護設施工程，新增基樁詳圖..... 7-16

圖 7.11 雙園大橋附近高屏溪流域地質圖，得知橋址附近為現代沖積層..... 7-17

圖 7.12　雙園大橋橋址處之歷年河床高程變化圖，位處深槽之 P5 橋墩基礎裸露約 6 公尺左右..... 7-18

圖 7.13　御油山雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量..... 7-19

圖 7.14　經時間修正過後之雙園大橋流量歷線..... 7-19

圖 7.15　里嶺大橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 7-20
圖 7.16　萬大大橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖 7-20
圖 7.17　東港潮位站實測水位資料 7-21
圖 7.18　相同流量條件下，感潮河段漲、退潮時之流速與水位變化示意圖 (a)漲潮；(b)退潮 7-21
圖 7.19　雙園大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 7-29
圖 7.20　第一號橋橋址附地質分佈圖 7-34
圖 7.21　上德文雨量站降雨組體圖與累積雨量 7-35
圖 7.22　第一號橋莫拉克颱風河床遭土石流沖刷下降之擬似動態流程示意圖(橫斷面)。 7-41
圖 7.23　第一號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖 7-42
圖 8.1　莫拉克颱風期間，洪水沖刷對橋梁之破壞流程圖 8-9
圖 8.2　莫拉克颱風期間，土石流作用對橋梁之破壞流程圖 8-10
圖 8.3　莫拉克颱風期間，漂流木影響對橋梁之破壞流程圖 8-11
圖 8.4　莫拉克颱風期間，堰塞湖潰壩影響對橋梁之破壞流程圖 8-12
圖 8.5　水位高達橋梁底部及溢淹橋面版後之流況及沖刷示意圖 8-23
圖 8.6　水位高達橋梁底部及溢淹橋面版後之流場可視化及 PIV 速度場精密量測結果 8-23
圖 8.7　波浪對橋梁之作用力分析示意圖 8-26
圖 8.8　模擬漂流木掛淤橋墩後，不同阻水量下之墩前下降流流場可視化及 PIV 速度場量測結果 8-28
圖 8.9　漂流木掛淤橋墩與沖刷深度間之關係 8-29
圖 8.10　不同水流攻角下沖刷坑之情形。(a)水流攻角 0 度；(b)水流攻角 30 度 8-29
圖 8.11　跨河橋梁封橋水位訂定之一般流程 8-31
圖 8.12　本計畫所提出之未來研擬課題及課題間之相互關係圖 8-32

相片目錄

相片 4.1　寶來地區莫拉克颱風前後崩塌地及土石流災害之衛星影像 4-21

相片 4.2　新開地區莫拉克颱風前後崩塌地及土石流災害之衛星影像 4-22

相片 4.3　太麻里溪上游堰塞湖於莫拉克颱風前後之衛星影像 4-26

相片 4.4　莫拉克颱風後，已潰決的小林村堰塞湖 4-27

相片 4.5　荖濃溪上游河道土砂堆積之衛星影像.....4-28

相片 4.6　荖濃溪上游台 20 線 102K 附近河道歷年土砂堆積情形 4-29

相片 5.1　莫拉克颱洪前甲仙鄉小林村台 21 線第十號橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片 5-5

相片 5.2　第十號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形 5-8

相片 5.3　莫拉克颱洪後甲仙鄉小林村台 21 線第十號橋之上下游河段航照.....5-9

相片 5.4 台 21 線第十號橋於莫拉克颱洪前、後之比較.....5-10

相片 5.5　莫拉克颱洪前後之比對，可見災後河道拓寬數倍以及台 21 線第十號橋已流失 5-11

相片 5.6　莫拉克颱洪前甲仙鄉小林村台 21 線第九號橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片 5-17

相片 5.7　第九號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形 5-20

相片 5.8　莫拉克颱洪後甲仙鄉小林村台 21 線第九號橋之上下游河段航照.....5-21

相片 5.9　台 21 線第九號橋於莫拉克颱洪前、後之比較.....5-22

相片 5.10　此為莫拉克颱洪前由上游側拍攝台 21 線第九號橋.....5-23

相片 5.11 此為莫拉克颱洪後由上游側拍攝台 21 線第九號橋，其原橋址已遭崩山之土石掩沒.....5-23

相片 5.12 莫拉克颱洪前甲仙鄉小林村台 21 線第八號橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片 5-29

相片 5.13 八號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形 5-32

相片 5.14 莫拉克颱洪後甲仙鄉小林村台 21 線第八號橋之上下游河段航空照片 5-33

相片 5.15 台 21 線第八號橋於莫拉克颱洪前、後之比較 (a)颱洪前(96.01.29)；(b)颱洪後(98.08.21) 5-34

相片 5.16 台 21 線第八號橋，可見橋址處有土石淤積之現象 (a)於上游左岸拍攝；(b)P1 橋墩放大照。 5-35

相片 5.17 莫拉克颱洪後，台 21 線第八號橋已遭土石流沖毀流失....5-36

相片 5.18 莫拉克颱洪前台 21 線四德橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片 5-48

相片 5.19 小林村於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形，上游處山地崩塌，使得大量土砂隨著旗山溪流下.....5-55

相片 5.20 水流集中匯流於四德橋 P4～A2 間，加劇淺基礎之橋墩、橋台及甲仙護岸之沖刷，導致 P2 ~ P3 橋面版及 P4、P5 橋墩橋面版沖毀流失以及下游左岸之甲仙護岸沖毀 5-56

相片 5.21 莫拉克颱洪後台 21 線四德橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片 5-57

相片 5.22 台 21 線四德橋受災後之情形，可見橋梁墩柱及橋面版處處殘留掛淤漂流木.....5-58

相片 5.23 旗山橋、旗尾橋及新旗尾橋於莫拉克颱洪前之衛星影像..5-66

相片 5.24 莫拉克颱洪前，於旗尾橋下游側進行橋梁改建之全套管施工工程。 5-79

相片 5.25 旗尾橋於莫拉克颱洪後之受災情形.....5-87

相片 5.26 旗山橋、旗尾橋及新旗尾橋於莫拉克颱洪後之衛星影像...5-88

相片 5.27 旗尾橋於莫拉克颱洪前中後之比較.....5-89

相片 5.28 月眉橋於莫拉克颱洪前後比較.....5-93

相片 5.29 旗山橋、旗尾橋及新旗尾橋於莫拉克颱洪前之衛星影像..5-99

相片 5.30 旗山橋、旗尾橋及新旗尾橋於莫拉克颱洪後之衛星影像5-113

相片 5.31 由(a)與(b)兩張相片中比對，可明顯看出新旗尾橋下游左岸旗尾堤防破堤，大量洪水與漂流木沖入左岸農田與民家住宅區5-114

相片 5.32 台 3 線新旗尾橋上游側於莫拉克颱洪前後之比較.....5-115

相片 5.33 (a)、(b) 為台 3 線新旗尾橋於莫拉克颱洪前後之比對 5-116

相片 5.34 於莫拉克颱洪後，(a) 台 3 線新旗尾橋 A2 橋台上游側之蛇籠護岸遭沖毀流失；(b) A2 橋台產生沉陷、基礎淘空；(c) 旗尾堤防破堤處.....5-117

相片 5.35 束縮沖刷實驗所顯示之橋台或路堤端部之刷深情形 5-126

相片 5.36 莫拉克颱洪前高 92 線大洲大橋之上下游河段航照(攝於民國 98 年 1 月).....5-128

相片 5.37 莫拉克颱洪後高 92 線大洲大橋之上下游河段航照(攝於民國 98 年 8 月).....5-128

相片 5.38 高 92 線大洲大橋(溪州)於莫拉克颱洪前後之比較.....5-129

相片 5.39 高 92 線大洲大橋(溪州) 於莫拉克颱洪前後之比較.....5-130

相片 5.40 高 92 線大洲大橋(溪州)於莫拉克颱洪後之情況.....5-136

相片 6.1 炳才橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形6-7

相片 6.2 96 年 1 月航拍，台 20 線炳才橋於莫拉克颱洪前之橋只附近狀況。 6-8

相片 6.3 炳才橋莫拉克颱洪前下游往上游拍攝，橋梁結及周邊環境之情形。 6-9

相片 6.4　由炳才橋A1 往A2 方向所見之橋體及曲線型之公路路面，畫面所示為莫拉克颱洪前尚未受災時橋面版之情形.....6-9

相片 6.5　98 年 8 月航拍畫面顯示：台 20 線炳才橋莫拉克颱洪後遭土石流沖刷河寬及沖毀橋面版流失之情形.....6-10

相片 6.6　炳才橋於莫拉克颱洪期間遭土石流沖刷河道，橋面版及橋台皆流失.....6-11

相片 6.7　寶來二橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈..6-31

相片 6.8　台 20 線寶來二橋於民國 96 年航拍之畫面.....6-33

相片 6.9　台 20 線寶來二橋於民國 98 年莫拉克颱洪後航拍之畫面..6-34

相片 6.10　寶來二橋上游處之莫拉克颱洪前後比對.....6-35

相片 6.11　寶來二橋於莫拉克颱洪前後河床高度比對.....4-36

相片 6.12　寶來二橋於莫拉克颱洪前後比對.....4-37

相片 6.13　建山二號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形.....6-57

相片 6.14　台 20 線建山二橋莫拉克颱洪前週邊環境之情形.....6-58

相片 6.15　台 20 線建山二橋於莫拉克颱洪前之情形(由右岸下游側往橋址拍).....6-58

相片 6.16　台 20 線建山二橋莫拉克颱洪後上游野溪遭土石流沖刷，河面寬度變及橋梁被沖毀.....6-59

相片 6.17　台 20 線建山二橋莫拉克颱洪後遭土石流沖毀，下游處形成一大片的沖積扇.....6-60

相片 6.18　20 線建山二橋於莫拉克颱洪前後之比較(由右岸下游側往橋址拍).....6-61

相片 6.19　建山一橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形.....6-76

相片 6.20　建山一橋莫拉克颱洪前上下游河道之情形 (98.03.29 拍攝) 6-77

相片 6.21 台 20 線建山一橋莫拉克颱洪前之情形.....6-77

相片 6.22 台 20 線建山一橋莫拉克颱洪前上游攔砂壩施工情形 6-78

相片 6.23 台 20 線建山一橋莫拉克颱洪前上游攔砂壩之情形.....6-78

相片 6.24 建山一橋莫拉克颱洪後河道遭土石流沖刷上下游河道大幅增加之情形 6-79

相片 6.25 台 20 線建山一橋莫拉克颱洪後上游攔砂壩遭土石流淤埋填滿之情形 6-80

相片 6.26 台 20 線建山一橋莫拉克颱洪後遭土石流沖毀，橋面版位移橋台流失之情形.....6-80

相片 6.27 台 20 線建山一號橋下游左岸道路下邊坡遭土石流沖刷破壞之情形 6-81

相片 6.28 新發大橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形 6-102

相片 6.29 台 27 線新發大橋於民國 96 年航拍之畫面 6-103

相片 6.30 台 27 線新發大橋於民國 98 年莫拉克颱洪後航拍之畫面6-104

相片 6.31 莫拉克颱洪後新發大橋上游左岸側之野溪土石流，畫面中斷橋為新開橋.....6-105

相片 6.32 台 27 線新發大橋於民國 98 年莫拉克颱洪後空拍之畫面 6-106

相片 6.33 新發大橋於莫拉克颱洪後之災況.....6-107

相片 6.34 新發大橋於莫拉克颱洪前後之比對.....6-108

相片 6.35 台 27 甲線六龜大橋於 98.08 莫拉克颱洪前後之空拍畫面比較 6-127

相片 6.36 大量漂流木因台 27 甲線六龜大橋橋址處之洪水位超過橋面，而嚴重掛淤在橋面上.....6-130

相片 6.37 莫拉克颱洪前後之衛星影像空照比對畫面.....6-143

相片 6.38 台 27 甲線六龜四號橋於 98.08 莫拉克颱洪受災前後之畫面比對.....6-144

相片 6.39 台 27 甲線六龜三號橋於 98.08 莫拉克颱洪受災前後之畫面比對.....6-155

相片 6.40 97 年 9 月航照顯示：台 27 線三合橋於莫拉克颱洪之前，橋址處上下游均已有土石堆積於河床之情形 6-163

相片 6.41 98 年 8 月航照，台 27 線三合橋於莫拉克颱洪後，三合橋上、下游側野溪流路遭洪水土石沖刷而展寬 6-164

相片 6.42 三合橋上游野溪於莫拉克颱洪後，因大量洪水土石沖刷引起河道兩側侵蝕致使河道展寬(a)莫拉克颱洪前；(b)莫拉克颱洪後.....6-165

相片 6.43 台 27 線三合橋於莫拉克颱洪前後比較，原 A1 橋台已沖失並可見北側破損之引道路基以及右岸坡址遭到嚴重沖刷而裸露的岩盤。(a)莫拉克颱洪受災前；(b)莫拉克颱洪受災後 ...6-166

相片 6.44 三合橋下游右岸北側引道旁拍攝，可見 A1 側路堤沖失、上構墜入溪中之災情。 6-167

相片 6.45 三合橋上游野溪之流路方向正對原 A1 橋台，復因上游土石流沖刷致使流路展寬，導致 A1 橋台相對伸入河道，再受到溪洪與土石流沖刷導致橋基流失、橋台沖毀。 6-167

相片 6.46 北側 A1 橋台遭沖毀，引道路基遭到嚴重沖刷。(a)於河床上往北側引道拍攝；(b)橋址處上游往北側引道拍攝。 6-168

相片 6.47 三合橋斷裂的上構嚴重掛淤漂流木，護欄遭到沖毀流失 6-169

相片 6.48 三合橋南側引道上往上構拍攝，橋面版傾倒於河床中 6-169

相片 6.49 六津橋於莫拉克颱洪後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形6-176

相片 6.50 台 27 線六津橋於莫拉克颱洪前之情形，相片中清楚可見原公路路線及六津橋上游野溪狹隘之河寬.....6-177

相片 6.51 莫拉克颱洪後台 27 線六津橋之情形，上游野溪流路被土石流沖刷展寬，土石流流出谷口後堆淤形成土石流沖積扇掩埋六津橋 6-178

相片 6.52 於六津橋橋址處拍攝之莫拉克災前與災後畫面比對 6-179

相片 6.53 由台 27 線六津橋橋址處往上游拍攝(拍攝日期 98.11)，六津橋位於山巒出口處，莫拉克颱洪後六津橋址處形成土石流沖積扇堆淤延伸至荖濃溪，原河道淤高數公尺，六津橋可能被沖積扇之土砂所掩埋。 6-180

相片 6.54 大津橋位於濁口溪注入荖濃溪之匯流口上游一公里處(a)莫拉克風災前航照；(b)莫拉克風災後航照 6-200

相片 6.55 大津橋於莫拉克颱洪前之航照。濁口溪水經過大津橋上游側數百公尺彎岸處，溪水被挑流至左岸並且深槽流路流經 P5~P8 橋墩 6-201

相片 6.56 在莫拉克颱洪期間上游崩塌地之大量流木隨洪流輸送而下，其漂流至台 27 線大津橋時，因流木嚴重掛淤於橋址處，導致通洪斷面嚴重阻塞(類似攔水堰壩) 6-202

相片 6.57 莫拉克颱洪後所見台 27 線大津橋因遭大量漂流木掛淤於橋墩及橋面之災況。 6-203

相片 7.1 由航照可看出雙園大橋上游側左岸高灘地逐漸崩塌後退，右岸頂沖區之高灘地亦受側向侵蝕。(a)民國 96 年 4 月 16 日航照；(b)民國 97 年 9 月 7 日航照 7-22

相片 7.2 莫拉克颱洪後雙園大橋上下游側之河道情況，可見深槽緊臨林園堤防，右岸高灘地幾近沖失 7-23

相片 7.3 莫拉克颱洪後，深槽流經雙園大橋上游側彎弧，側向侵蝕右岸高灘地外亦使林園堤防堤基損毀而潰堤 7-24

相片 7.4 林園堤防破堤進行搶修工程，置放混凝土鼎形塊。經由破堤處造成彎岸之水流，使得通過橋址之水流流向與橋墩軸向成一夾角而產生攻角效應，因而在橋墩後下游側形成遮蔽區，水流之通水寬度越往下游處趨於縮減、水流速度加快，導致橋墩的尾部之局部淘刷較前端為劇 7-25

相片 7.5 雙園大橋上游側之林園堤防破堤形成一彎弧河岸使水流挑流，並與主深槽流向之水流交會產生紊流集中沖擊橋梁 7-26

相片 7.6 莫拉克颱洪後橋址處高灘地自 P4 崩塌後退約一百公尺，亦可見漂流木交錯掛淤於基樁。 (a)颱洪前；(b)颱洪後。 7-27

相片 7.7　三跨連續 PCI 梁之結構單元當其中一座橋墩倒塌，其餘旁邊的橋墩易形成類似骨牌效應之連鎖倒.....7-28

相片 7.8　第一號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形 7-36

相片 7.9　台 24 線公路及第一號橋位置於莫拉克颱洪前橋址右岸上游側野溪及河道之情形，於民國 96 年 1 月拍攝 7-37

相片 7.10　台 24 線公路及第一號橋位置於莫拉克颱洪前之情形，於民國 96 年 1 月拍攝.....7-37

相片 7.11　民國 98 年 8 月航照畫面：台 24 線第一號橋莫拉克颱洪後右岸邊坡大面積崩塌，野溪遭土石流沖刷導致溪流大幅展寬，橋梁及公路已遭土石流沖毀流失之情形 7-38

相片 7.12　民國 98 年 8 月航照畫面：台 24 線第一號橋莫拉克颱洪後右岸野溪遭土石流沖刷、橋梁流失之情形，以及搶修便道於原橋址處之下游處位置 7-38

相片 7.13　於民國 98 年 10 月 12 日拍攝，莫拉克颱洪後第一號橋及臨接台 24 線公路均遭洪水土石流沖毀之情形，其搶修橋便道位於原橋址之下游.....7-39

相片 7.14　於民國 98 年 10 月 12 日拍攝，莫拉克颱洪後台 24 線公路周邊土石堆積之情形 7-40

相片 7.15　於民國 98 年 10 月 12 日拍攝，莫拉克颱洪中洪水沖刷河道大幅拓寬，及上游來砂量大增逐漸形成河床抬升之情形 7-40

相片 8.1　潰壩流湧波對橋梁作用之沖擊波可視化相片 8-26

相片 8.2　美國 Bay St. Louis Bridge 於颶風後因波浪作用而產生之落橋災害 8-27

第一章　前　言

1.1　緣起與目的

莫拉克颱風於 8 月 4 日在菲律賓東北方約 1,000 公里海面上生成，並於 8 月 6 日至 9 日間為臺灣地區帶來大量雨水，尤其是南臺灣，其中嘉義、高雄及屏東地區累積雨量超過 2,500 mm，接近年平均降雨量，造成南臺灣重大的土砂災害及淹水災害。其中高屏溪流域上游地區那瑪夏鄉、桃源鄉、甲仙鄉、六龜鄉及茂林鄉的災情更是慘重。由於高屏溪流貫上述各鄉鎮，而橋梁為其主要的交通動線連接構造，因此各主要橋梁受損或沖毀，各項救援機具、物資及人員無法及時到達災區搶救，增加高屏地區救災之困難度。除高屏溪流域外尚有少數主要河川橋梁斷裂損壞本研究亦一併列入調查，因此本計畫就莫拉克颱風中受損之省道主要橋梁進行災因勘查及分析，以期瞭解橋梁受災成因，並經由災害成因之探討，進一步提出未來應研擬之課題與研究方向。

1.2　研究範圍與對象

依據交通部運輸研究所公告上網之內容，本計畫工作範圍係以此次莫拉克颱風受災最嚴重之高屏溪(含旗山溪、荖濃溪及隘寮溪等支流)流域，共計 20 座(如表 1-1)受災之跨河橋梁，作為主要調查及研究之橋梁，各橋梁相關位置如圖 1.1 所示。

表 1-1　莫拉克颱風主要橋梁受損情況

編號	路線	樁號	縣市鄉鎮	橋梁名稱	災情現況
1	臺 17 線	248K+500	高雄縣 林園鄉	雙園大橋	高雄縣林園端 P1 橋墩起至 P16 橋墩間計 459 公尺長橋面版及橋墩遭洪水沖毀，雙向交通管制封閉。
2	高 92	1K+308	高雄縣 旗山鎮	大洲大橋 (溪洲大橋)	大洲大橋橋梁中斷
3	臺 3 線	408K+940	高雄縣 旗山鎮	新旗尾橋	A2 橋台受堤防潰堤影響遭洪水沖毀，導致 A2 橋台至 P17 橋面版沖毀及

					P16~P17 橋面版塌陷，雙向封閉交通。
4	臺 28 線	30K+500	高雄縣旗山鎮	旗尾橋	A1 橋台~P5 間橋梁沖毀，P5~A2 橋台橋面版傾斜。
5	臺 21 線	236K+650	高雄縣甲仙鄉	四德橋	四德橋 P2~P5 遭沖毀，交通阻斷
6	臺 21 線	224K+860	高雄縣甲仙鄉	第八號橋	小林村整村淹沒，交通阻斷
7	臺 21 線	224K+50	高雄縣甲仙鄉	第九號橋	小林村整村淹沒，交通阻斷
8	臺 27 甲線	1K+420	高雄縣六龜鄉	六龜大橋	六龜大橋 P2 及 S1S2 橋面版遭沖毀流失,阻斷交通.
9	臺 27 線	25K+15	高雄縣六龜鄉	大津橋	大津橋原舊橋 P6~P9 鋼便橋 P12~P20 遭沖毀流失,阻斷交通.。
10	臺 27 線	3K+480	高雄縣六龜鄉	新發大橋	新發大橋遭沖毀流失,阻斷交通.
11	臺 20 線	78K+30	高雄縣六龜鄉	建山一橋	建山一橋橋面版遭沖毀流失,阻斷交通.
12	臺 20 線	78K+987	高雄縣六龜鄉	建山二橋	建山二橋橋面版遭沖毀流失,阻斷交通.
13	臺 20 線	80K+807	高雄縣六龜鄉	寶來二橋	寶來二橋 A2 橋台遭沖毀流失交通阻斷
14	臺 27 線	15K+833	高雄縣六龜鄉	三合橋	三合橋遭沖毀流失交通阻斷
15	臺 21 線	222K+721	高雄縣甲仙鄉	第十號橋	第十號橋遭沖毀流失交通阻斷
16	臺 27 線	21K+35	高雄縣六龜鄉	六津橋	六津橋遭土石流沖毀沖毀流失,阻斷交通.
17	臺 24 線	32K+890	屏東縣霧台鄉	第一號橋	台 24 線第一號橋橋台衝毀 1.便道搶通已完成，但路況仍不理想，車輛務必小心駕駛 2.架設便橋預訂一個月內完成
18	臺 27 甲線	7K+314	高雄縣六龜鄉	六龜四號橋	六龜四號橋前後引道遭沖毀流失,阻斷交通.
19	臺 20 線	85K+169	高雄縣桃源鄉	炳才橋	炳才橋橋面版遭沖毀流失,阻斷交通.
20	臺 27 甲線	8K+70	高雄縣六龜鄉	六龜三號橋	六龜三號橋遭沖毀流失,阻斷交通.

資料來源：交通部公路總局公路防救災管理系統(98.08.25)

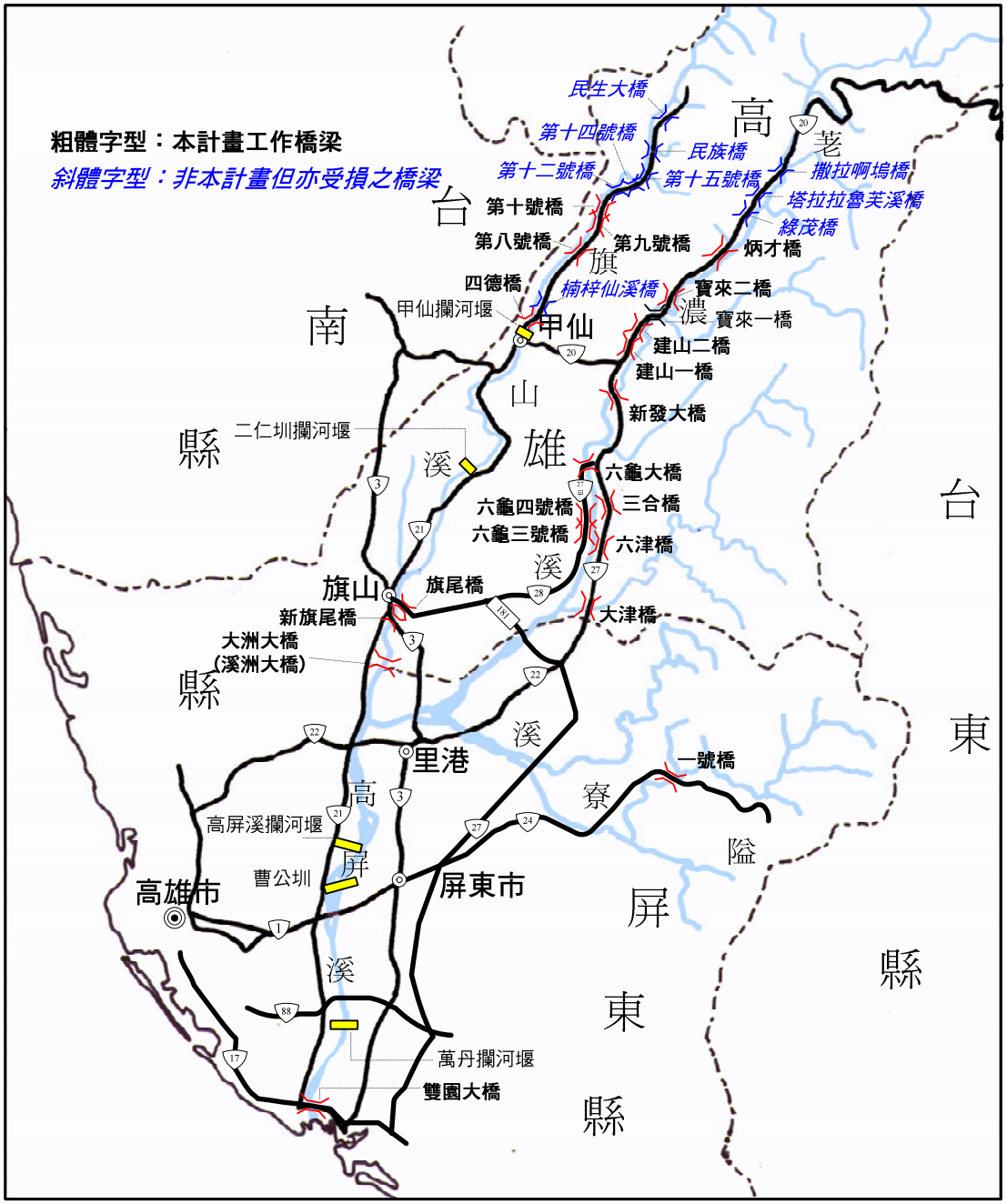


圖 1.1　　高屏溪流域(含旗山溪、荖濃溪、隘寮溪流域)各計畫橋梁及其他受損橋梁相關位置圖

1.3 研究內容與工作項目

針對所選定之跨河橋梁，調查並分析主要之損壞情形，以期瞭解計畫橋梁之受災流程與成因，以作為未來災害防治之參考。本計畫主要辦理之研究分析重點如下：

1. 勘查並蒐集莫拉克颱風主要橋梁受損資料。
2. 收集各主要橋梁之興建年份、結構特性及相關保護設施。
3. 收集及分析於莫拉克颱風期間主要受損橋梁之水文資料。
4. 分析各主要受損橋梁致災原因。
5. 依研究結果研擬相關議題，列入未來研究方向。
6. 邀請專家學者諮詢。
7. 提出計畫報告書。

本計畫於民國 99 年 1 月 31 日前需完成表 1-1 中編號 1~10 之橋梁勘查及災因分析，而民國 99 年 6 月 30 日前在道路通行無虞情況下完成其餘橋梁之勘查及災因分析，對無法通行處之橋梁得以衛星影像等相關佐證資料進行災因分析。

第二章　研究方法及進行步驟

本計畫就莫拉克颱風中受損之省道主要橋梁進行災因勘查及分析，以瞭解此次高屏地區不同橋梁之災損情形與受災機制，除可作為相關單位災後復建之參考外，亦可根據災害調查及分析結果，進一步研提相關橋梁之養護、維修、協調方法，以及未來新橋設計應考量之重點。

跨河橋梁受災機制之調查與分析，除需根據災害現場實際情形勘查之結果外，對於橋梁受災前的各項相關資料之掌握實為必要，諸如橋梁之型式、主要構造、保護工等基本資料，所在河川之河道特性、歷年河道變遷趨勢、沖刷機制、鄰近構造物影響...等相關資料外，計畫橋梁過去之沖刷災害歷史、受災前之現況等亦為重要之參考指標，必需對計畫橋梁有長期之觀察與瞭解，方能對災害之發生原因作全面性之分析與探討。

本章茲根據第一章所述研究工作內容與項目之要求，依計畫工作執行時之邏輯與規劃，訂定執行步驟與工作流程，如圖 2.1 所示。

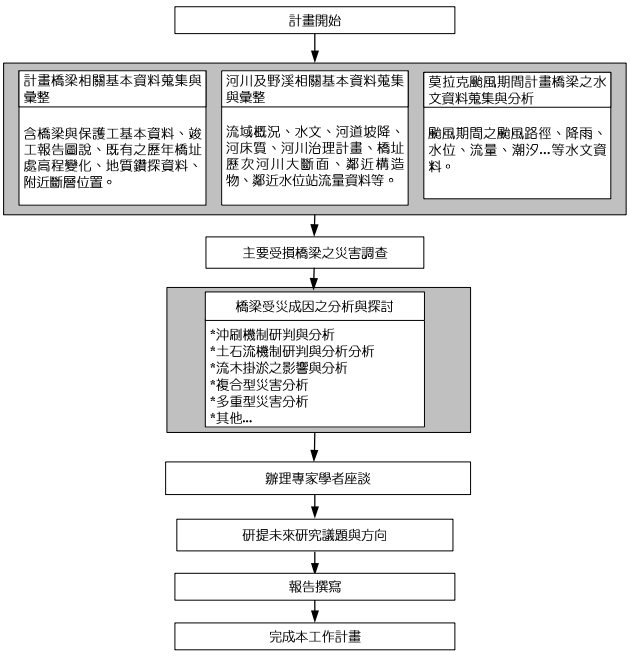


圖 2.1 工作內容之執行步驟與流程

2.1 計畫橋梁相關基本資料蒐集與彙整

本計畫之主要工作內容，係在調查並分析莫拉克颱風期間主要橋梁之受損情形及致災原因。於計畫工作之初，首先即針對計畫橋梁公告上網所列橋梁名單之興建年份、結構特性及相關保護設施資料進行蒐集，本計畫係以橋梁主管單位既有橋梁管理系統內之橋梁基本資料表為主要蒐集、彙整目標，輔以歷次橋梁或其保護工之相關工程竣工圖說、既有之地質鑽探、河床地形測量...等資料，以達到橋梁基本資料建立之目的。本計畫歸納橋梁基本資料蒐集與建置項目詳列於表 2-1 中。

表 2-1　計畫橋梁之基本與歷史資料的蒐集分類與建置

資料項目	主要內容事項	用途、目的
橋梁之基本資料	(1) 橋梁長度 (2) 基礎型式與深度 (3) 基礎斷面尺寸 (4) 跨度配置	瞭解橋梁基本結構、基礎型式及基礎深度，可作為沖刷評估或檢查工作之基礎
橋梁建造、修復、復建、拓寬工程等竣工報告及相關圖說	(1) 既有之平面佈置圖 (2) 既有之斷面圖 (3) 其他相關圖說	瞭解橋梁型式及基礎深度，可作為沖刷評估或檢查工作之基礎
不同時期之橋梁保護工建造(修復、復建)竣工報告及相關圖說	(1) 平面佈置圖 (2) 斷面圖 (3) 其他相關圖說	瞭解橋梁保護工型式，可作為沖刷評估或檢查工作之基礎
蒐集歷年橋址河道之河床高程變化	(1) 既有之河道大斷面資料 (2) 過去既有之量測資料	提供研判沖刷機制與河道變遷趨勢之參考
蒐集歷年橋址附近地質資料	(1) 既有之地質探查或鑽探試驗報告 (2) 橋址附近之斷層位置圖	協助供研判橋梁及鄰近河床之地質特性
歷年之重要沖刷災害及歲修養護資料或文獻報告	(1) 災害發生原因、時間、地點 (2) 災害損害情形及相關照片或動態影像 (3) 災後復建情形 (4) 歷年重大維修或改善計畫辦理情形	藉由過去災害或歲修養護資料之蒐集，以瞭解可能之沖刷災因、主河道之變遷歷程，以助於判斷颱洪期間可能沖刷潛勢。
颱洪前後航空照片或衛星影像	河道變遷情形	瞭解橋址附近河道，因橋梁或跨河建造物、保護工等施作，對河道變遷的影響

2.2 河川及野溪相關基本資料蒐集與彙整

橋梁沖刷破壞成因除受到橋梁基礎型式、歷年歲修維護工程之施設情形、沖刷受災歷史與致災機制等影響外，所跨越之河川水文、水理特性(如：重大颱洪流量、...等)、地質與河床質條件、歷年河道變遷情形...等橋址所在河川相關特性亦為重要之影響因素。本計畫有關河川相關基本資料之蒐集與建置項目，詳列於表 2-2 中。

表 2-2　河川與地質基本資料之蒐集與建檔

資料項目	主要內容事項	用途、目的
流域概況*	(1) 幹流長度 (2) 流域面積 (3) 橋梁及相關結構物所在位置	跨河橋梁位置及橋址河川特性概述
地文概況	(1) 地形 (2) 地質分佈 (3) 斷層位置	瞭解流域地文特性
既有之(高屏溪流域)河川治理計畫*	(1) 計畫洪水量 (2) 各重現期距洪水量 (3) 計畫河寬 (4) 計畫河床高 (5) 計畫洪水位 (6) 河道變遷 (7) 計畫河道縱(橫)斷面圖	掌握完整的河川治理計畫等資料，以作為檢討橋梁安全與否與評估保護工作用之依據。
既有之河道斷面*	(1) 橋址附近歷次河道大斷面圖	掌握橋梁附近河道變遷之特性
河床質*	(1) 河床的地質型態 (2) 河床質種類 (3) 既有之河床質粒徑資料	瞭解河床地質及河床粒徑的變化情形
上下游附近河段之河床高變化歷程*	(1) 既有之河道沖淤變化資料 (2) 既有之河道坡降變化資料	由河道高程及坡降的變化，分析河川的流心及流向，並判斷可能產生的沖淤變化。
鄰近構造物	(1) 其他上、下游結構物的種類 (2) 鄰近構造物的特性	考量鄰近跨河構造物(橋梁、固床工、攔河堰、管線等)與水流之互制影響。
鄰近水位站之流量資料	歷年颱洪之最大瞬時流量統計資料	掌握溪段之歷年水文特性、提供水理分析之評估資料。

* 參考水利署針對各溪流所作之河川治理基本計畫、治理規劃報告、流域整體治理規劃報告。

2.3 莫拉克颱風期間計畫橋梁之水文資料蒐集與分析

莫拉克颱風侵台期間之水文、氣象相關資料，對於釐清及分析主要受損橋梁之致災原因，有相當重要之參考價值，包括颱風襲台過程、雨量於時間及空間上的分佈、河川水位及流量歷線、河口潮汐水位變化、災害發生時間及順序...等，均有助於瞭解受損橋梁致災過程與原因。本計畫即針對颱風期間之颱風侵台路徑、各時期之衛星雲圖、等雨量累積圖、各相關雨量站降雨組體圖、流量站水位及流量歷線、河口潮汐水位...等資料進行蒐集，以供橋梁受災成因探討之參考。

2.4 主要受損橋梁之災害調查

根據過去對諸多橋梁災害調查及災因研判之經驗可知，若能獲得災前相關影像資料與受災後之情形進行比對，即可清楚說明災害之發生前後之差異，尤其以此次莫拉克颱洪之災害規模與特性，多數災區已面目全非，實難想像災害發生過程與嚴重性，更遑論完整且全面之致災機制研判與分析。因此，若能利用詳實紀錄之颱洪前、後等災害歷程與差異，並配合橋梁管理單位適時提供所需資料，不僅可清楚說明造成沖刷災害之始末，亦可立即做為橋梁管理單位於災害應變時之參考。

本計畫採進行地面之現場調查，配合過去已完成之空拍相片，輔以航空及衛星照片進行計畫橋梁災害之調查，並比對既有之災前影像，以確實瞭解災損情形。災害橋梁調查對象除針對本計畫公告上網所列 20 座橋梁外，本團隊另額外提供此次莫拉克颱洪後亦嚴重受損之橋梁台 21 線民生大橋、民族橋、第十五號橋、第十四號橋、第十二號橋、楠梓仙溪橋及台 20 線撒拉啊塢橋、塔拉拉魯芙溪橋、綠茂橋等 9 座橋梁之相關災損畫面及基本災況陳述，以供相關研究更多之參考。各調查橋梁之路線及相關位置如表 2-3 及圖 1.1 所示，額外提供 9 座橋梁之相關災損畫面及基本災況陳述彙整於**附錄一**中。

2.5 橋梁受災成因之分析與探討

根據過去十餘年來針對臺灣各橋梁洪水沖刷與土石流破壞之現場調查經驗，深知橋梁災害之成因甚為複雜，主要與災前初始狀況、河道水文特性、受災型式、破壞機制...等有關，且致災成因往往不只一個，且各成因間亦相互影響。本計畫即根據上述所蒐集有關莫拉克颱洪前、後之調查結果，以及相關水、地文資料進行各橋梁之災因研判，並利用受災成因分析結果提出未來可進一步研擬之課題與方向。

2.6 辦理專家學者座談

辦理專家座談會之主要目的在集思廣益，並可根據不同領域之專家學者意見，適時修正本計畫災害調查與致災成因分析結果，使計畫執行成果更為完備且全面性。本計畫分別於期中及期末報告前一個月內各辦理一場(共兩場)專家座談會，會中邀集專家學者及所內長官共同參與，會中將針對莫拉克颱風各計畫橋梁之災害調查及災因分析結果進行討論，並諮詢各方專家學者之實務經驗，彙整專業建議納入本計畫成果報告中。本計畫專家座談會依契約已分別於民國 99 年 1 月 27 日及 4 月 29 日舉辦，相關過程與成果詳如**附錄三及附錄五**。

表 2-3　本研究團隊調查之受損橋梁及其受損現況

編號	路線	樁號	橋梁名稱	災情現況
1	台 17 線	248K+500	雙園大橋	高雄縣林園端 P1 橋墩起至 P16 橋墩間計 459 公尺長橋面版及橋墩遭洪水沖毀，雙向交通管制封閉。
2	高 92 線	1K+308	大洲大橋	大洲大橋遭沖毀，橋梁中斷。
3	台 3 線	408K+940	新旗尾橋	A2 橋台受堤防潰堤影響遭洪水沖毀，導致 A2 橋台至 P17 橋面版沖毀及 P16~P17 橋面版塌陷，雙向封閉交通。
4	台 28 線	30K+500	旗尾橋	A1 橋台~P5 間橋梁沖毀，P5~A2 橋台橋面版傾斜。
5	台 21 線	236K+650	四德橋	四德橋 P2~P5 遭沖毀，交通阻斷。
6*		235K+535	楠梓仙溪橋	楠梓仙溪橋 A1 橋台引道遭沖毀，交通阻斷。
7		224K+860	第八號橋	小林村整村淹沒，交通阻斷。
8		224K+50	第九號橋	小林村整村淹沒，交通阻斷。
9		222K+721	第十號橋	第十號橋遭沖毀流失，交通阻斷。
10*		217K+970	第十二號橋	第十二號橋遭沖毀流失，交通阻斷。
11*		214K+150	第十四號橋	第十四號橋遭沖毀流失，交通阻斷。
12*		213K+970	第十五號橋	第十五號橋遭沖毀流失，交通阻斷。
13*		210K+980	民族橋	民族橋遭沖毀流失，交通阻斷。
14*		205K+127	民生大橋	民生大橋遭沖毀流失，交通阻斷。
15	台 27 線	25K+15	大津橋	大津橋原舊橋 P6~P9 鋼便橋 P12~P20 遭沖毀流失。
16		21K+35	六津橋	六津橋遭土石流沖毀沖毀流失，阻斷交通。
17		15K+833	三合橋	三合橋遭沖毀流失交通阻斷。
18		3K+480	新發大橋	新發大橋遭沖毀流失，阻斷交通。
19	台 27 甲線	1K+420	六龜大橋	六龜大橋 P2 及 S1、S2 橋面版遭沖毀流失，阻斷交通。
20		7K+314	六龜四號橋	六龜四號橋前後引道遭沖毀流失，阻斷交通。
21		8K+70	六龜三號橋	六龜三號橋遭沖毀流失，阻斷交通。
22	台 20 線	78K+30	建山一橋	建山一橋橋面版遭沖毀流失，阻斷交通。
23		78K+987	建山二橋	建山二橋橋面版遭沖毀流失，阻斷交通。
24		80K+807	寶來二橋	寶來二橋 A2 橋台遭沖毀流失，交通阻斷。
25*		83K+863	綠茂橋	綠茂橋橋面版、橋台遭沖毀流失。
26		85K+169	炳才橋	炳才橋橋面版遭沖毀流失，阻斷交通。
27*		87K+120	塔拉拉魯芙溪橋	塔拉拉魯芙溪橋 A2 橋台及引道為土石流沖毀。
28*		95K+506	撒拉啊塢橋	撒拉啊塢橋全橋為土石流沖毀。
29	台 24 線	32K+890	第一號橋	台 24 線第一號橋橋台沖毀。

註：*標註為額外提供之橋梁，惟僅提供相關災損畫面及基本災況陳述。

第三章　高屏溪流域概述

高屏溪舊名下淡水溪，流域位置介於東經 120 度 23 分至 121 度 00 分，北緯 22 度 27 分至 23 度 28 分之間，北隔濁水溪流域上游，西界曾文溪上游與二仁溪流域，東鄰秀姑巒及卑南溪等流域，上游除幹流荖濃溪外，主要支流尚包含旗山溪與隘寮溪等，經各個溪流逐漸匯聚合流而成為高屏溪(臺灣省水利局，1981)，以下就各溪流概況分述如下：

3.1　支流旗山溪概述

據臺灣省水利局(1981)「高屏溪治理規劃報告」指出，旗山溪又稱楠梓仙溪，發源於中央山脈玉山之西南麓，集水區高山聳立，懸崖峭壁，溪流瀉急。先西南向流經約 55 公里至小林，平均坡降達 1：15，再南流 10 公里至甲仙後溪道漸寬，坡降約 1：100，復西南流至旗山進入平原，標高約 45 公尺，坡降在 1：1,000 上下，河道蜿蜒，遷徙不定，本溪於嶺口附近與荖濃溪會合，主流全長 117 公里，集水面積約 842 平方公里，重要支流包括口隘溪與美濃溪。旗山溪上游集水區屬新生代第三系新竹群，主要為砂岩及頁岩，中游旗山以上一帶，屬第三系之臺北群頁岩，極易風化崩坍、下游為堆積階地或沖積層，如圖 3.1 所示。旗山溪中下游段之河床質粒徑變化，如圖 3.2 所示。

旗山溪各河段不同重現期距之洪峰流量詳如表 3-1 所示，計畫洪水量係採 100 年重現期距之洪峰流量。本溪水位流量站計有：楠峰橋站、杉林大橋站、月眉大橋站等三站，其歷年重大颱洪之洪峰流量統計紀錄經彙整如表 3-2 所示。

另據經濟部水利署第七河川局(2009)「旗山溪月眉大橋現勘計畫說明」，旗山溪月眉橋至溪口段之歷年河道縱斷面變化情形，如圖 3.3 所示。由民國 65、82、90、及 94 年之旗山溪河道縱斷面平均河床高之資料比較，民國 65 年~85 年間之平均河床高大部分河床皆下降，以斷面 31 處下降 9.55 m 為最大，平均河床高變化在-9.55m ~-1.14 m 間。民國

82 年~90 年間河床則處於沖淤互現狀況，平均河床高變化在-11.42 m~6.28 m 間，斷面 34~37 間為一嚴重河床下降區，下降量在 8 m 以上，部分區域達 15 m 左右。民國 90 年至 94 年間則亦呈現沖淤互現狀態，全河段【(旗斷 1(溪口) ~ 旗斷 43(月眉橋))之平均淤積高度約為 0.46 m。另者，由月眉橋至甲仙大橋間之民國 82 年及 94 年的河道縱斷面縱線高程比較圖(圖 3.4 所示)，則可見杉林大橋、寶隆大橋、甲仙大橋等局部區域溪段之縱線高程呈現下降情形。

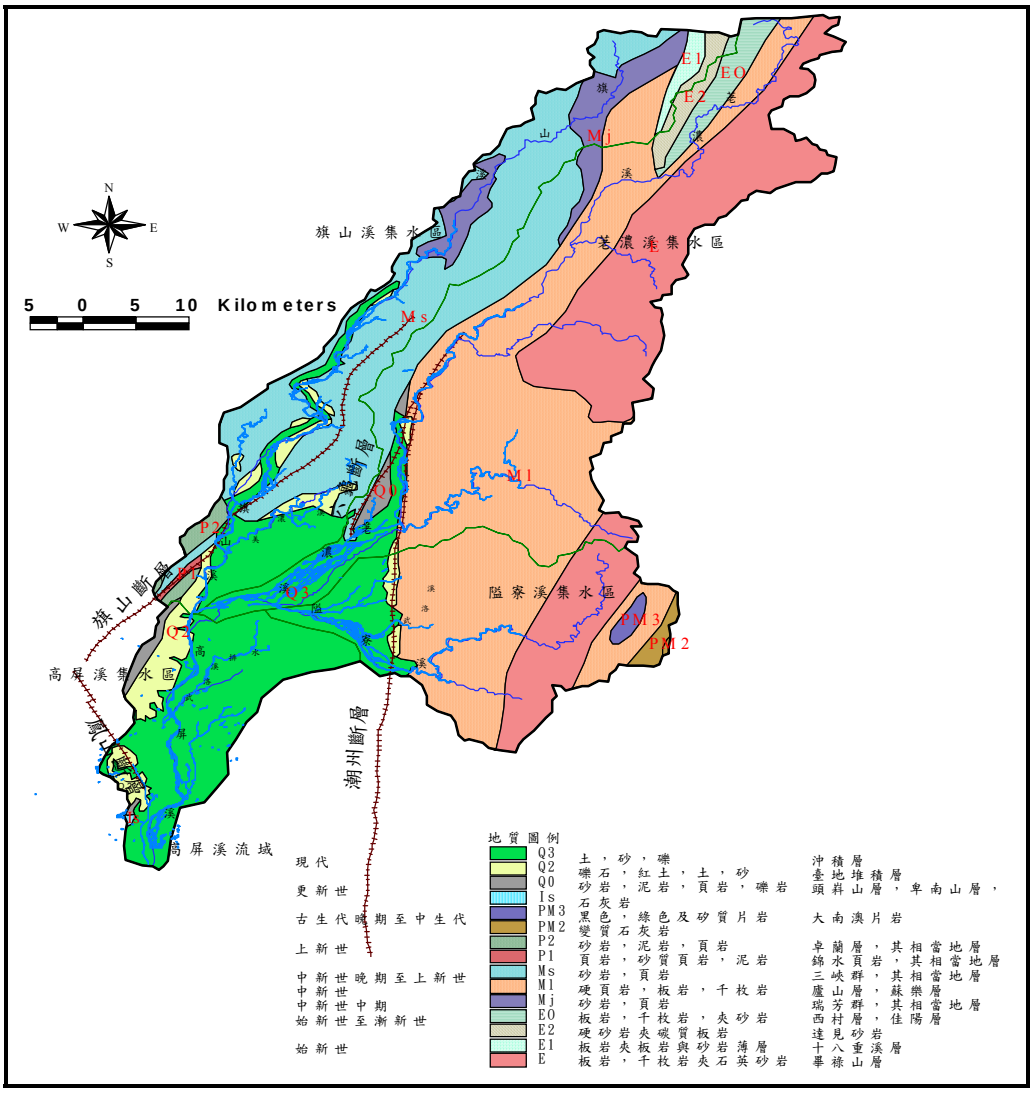
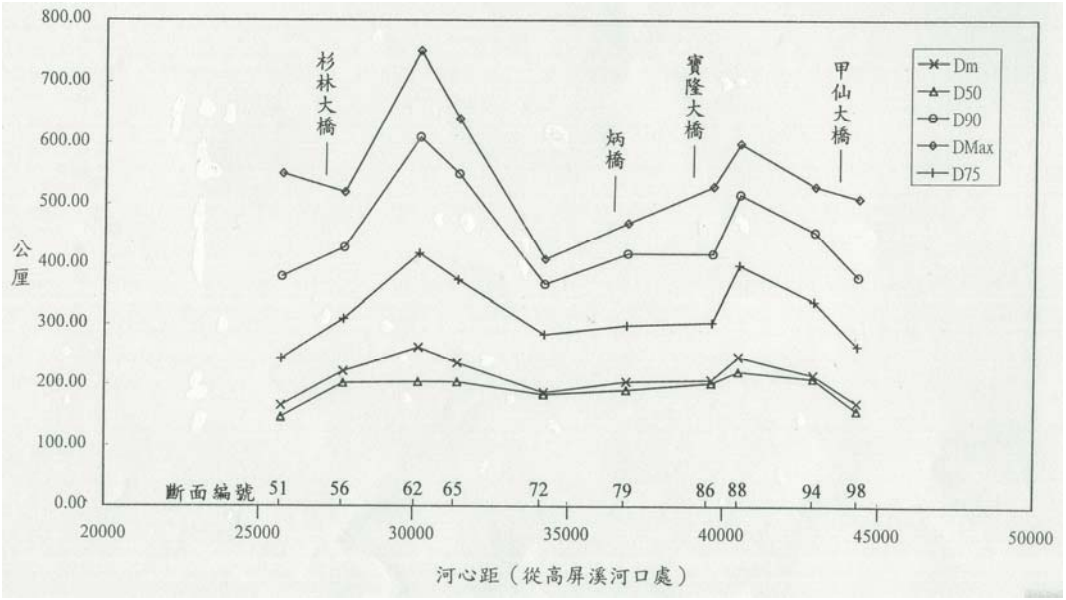


圖 3.1　高屏溪流域(含旗山溪、荖濃溪、隘寮溪)之地質分佈圖

【資料來源：水利署水利規劃試驗所】

(a)



(b)

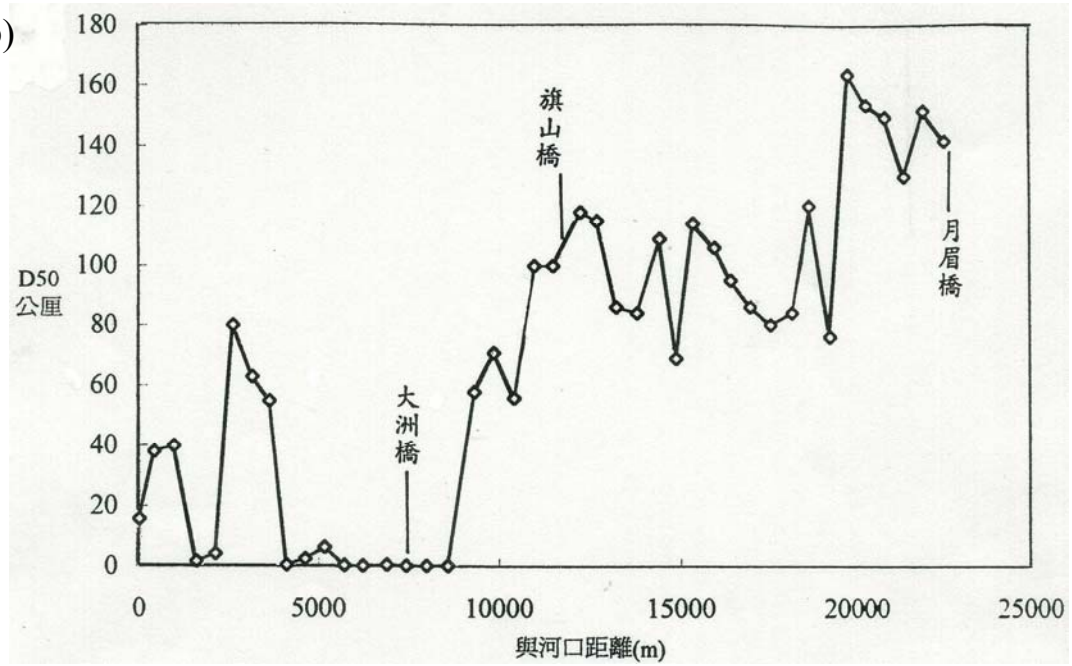


圖 3.2　旗山溪中下游段河床質粒徑變化圖：(a)杉林大橋至甲仙大橋段(民國 81 年)；(b)溪口至月眉大橋段(民國 65 年)。【摘自：財團法人曹公農業水利研究發展基金會(1999、1996)】

表 3-1 旗山溪各控制站不同重現期距之洪峰流量表

控制站	時期	不同重現期距之洪峰流量(cms)							
		Q_{200}	Q_{100}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_2	$Q_{1.1}$
旗山溪出口	民國 73 年公告值	7,380	6,970	6,510	5,810	5,150	4,350	2,910	1,160
	民國 97 年規劃檢討公告值	8,380	7,780	7,130	6,190	5,380	4,450	2,890	1,130
與美濃溪合流前	民國 73 年公告值	6,590	6,280	5,880	5,260	4,680	3,960	2,650	1,030
	民國 97 年規劃檢討公告值	7,200	6,690	6,140	5,330	4,630	3,840	2,500	980
月眉站(與口隘溪合流前)	民國 73 年公告值	5,970	5,680	5,340	4,790	4,270	3,620	2,420	920
	民國 97 年規劃檢討公告值	6,440	5,990	5,500	4,780	4,160	3,450	2,250	884
隘丁寮溪合流前	民國 91 年規劃報告值	5,770	5,490	5,160	4,630	4,130	3,500	2,340	—
枋寮排水合流前	民國 91 年規劃報告值	5,640	5,360	5,040	4,520	4,030	3,420	2,280	—
茄冬湖排水合流前	民國 91 年規劃報告值	5,530	5,260	4,940	4,430	3,950	3,350	2,240	—
濁水排水合流前	民國 91 年規劃報告值	5,450	5,180	4,870	4,370	3,890	3,300	2,209	—
甲仙大橋合流前	民國 91 年規劃報告值	5,000	4,760	4,470	4,010	3,580	3,030	2,020	—

【資料來源：1.經濟部水利署水利規劃試驗所(2008)：高屏溪治理規劃檢討；2.臺灣省水利局(1984)：高屏溪治理基本計畫；3.經濟部水利署水利規劃試驗所(2002)：高屏溪水系旗山溪上游段治理規劃報告(月眉橋至甲仙大橋段)(草案)】

表 3-2　旗山溪各水位流量站之歷年重大颱風洪峰流量統計表

颱洪日期	颱洪豪雨事件名稱	楠峰橋站	杉林大橋站	月眉大橋站	颱洪日期	颱洪豪雨事件名稱	楠峰橋站	杉林大橋站	月眉大橋站
85.07.31	賀伯	—	5040	未設站	95.06.09	0609豪雨	1019	1311	未設站
87.08.04	奧托	325	585	未設站	95.07.15	碧利斯	629	1291	未設站
87.10.16	瑞伯	317	386	未設站	96.08.19	聖帕	783	斷橋改建中	1557
89.08.23	碧利斯	505	1110	未設站	96.09.19	韋帕	149	斷橋改建中	231
90.07.30	桃芝	2020	3340	未設站	96.10.07	柯羅莎	681	斷橋改建中	1236
90.09.18	納莉	—	1140	未設站	97.07.18	卡玫基	713	—	—
92.09.02	杜鵑	97	—	未設站	97.07.29	鳳凰	542	—	—
93.07.04	敏督利	1640	2384	未設站	97.09.14	辛樂克	608	—	—
93.08.25	艾利	203	972	未設站	97.09.29	薔蜜	575	—	—
94.06.12	0612 豪雨	463	1068	未設站	98.08.08 ~ 98.08.09	莫拉克*	小林村山崩掩埋	洪流沖毀	6840
94.07.19	海棠	688	1586	未設站					
94.08.06	馬莎	501	803	未設站					
94.09.01	泰利	630	1357	未設站					

【資料來源：(1)民國 85 ~ 97 年：經濟部水利署水文資訊服務網；(2)*民國 98 年莫拉克颱風：莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析(經濟部水利署，2009)】

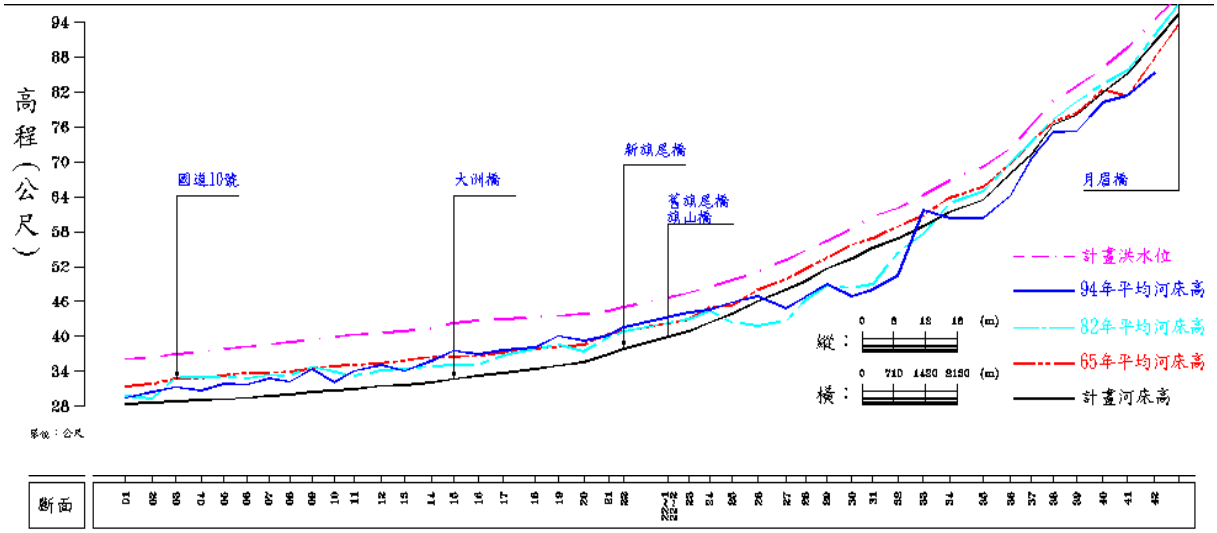


圖 3.3　　旗山溪下游段(匯流口至月眉橋)河道縱斷面之平均河床高程比較圖【資料來源：水利署第七河川局】

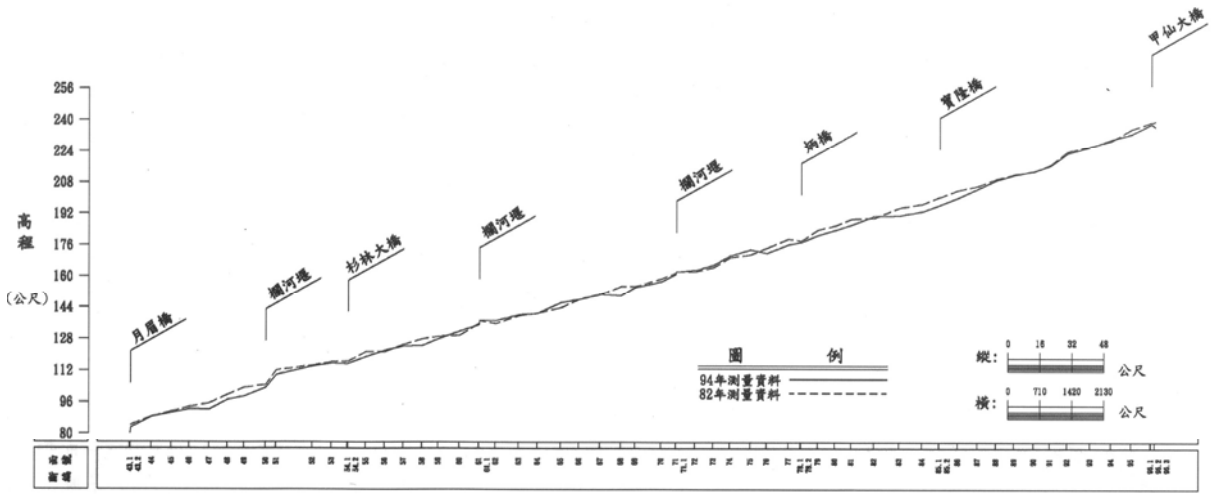


圖 3.4　　旗山溪中游段(月眉橋至甲仙大橋)河道縱斷面之谿線高程比較圖【資料來源：水利署第七河川局】

3.2 幹流荖濃溪概述

臺灣省水利局(1981)「高屏溪治理規劃報告」指出，荖濃溪發源於中央山脈之玉山群巒間，南流約 70 公里至桃源村，兩岸峭壁聳峙，溪谷狹深，水瀉如注，乃本溪河床最陡之河段。再南流 10 公里至寶來，河幅漸寬，坡降趨緩，續南流至大津，與東來之濁口溪會合後，兩岸腹地漸形平坦，再西南行至磚子地，與東來之隘寮溪匯合，續西行至嶺口附近，和北來之旗山溪相匯後始稱高屏溪，主流全長 136 公里，流域面積 2,024 平方公里，河床坡度陡峻，為一急流河川。

荖濃溪發源於玉山及南玉山一帶，屬漸新紀成始新紀之蘇澳群黑色粘板岩，偶夾石灰質砂岩英質塋岩，岩層走向大致為北北東。中游自六龜以下地質屬新生代第三系之新竹群，以礫岩與砂岩為主(臺灣省水利局，1981)，如圖 3.1 所示。另據【高屏溪水系荖濃溪上游段治理規劃報告(未核定初稿)】，其綜合石油公司等調查資料指出本流域地質構造複雜，有褶曲、背斜、向斜及斷層構造等，其中在褶曲的部分以內英山向斜延伸較長，在斷層部分以月光山斷層、六龜斷層、土壠斷層、及高中斷層等較具規模。荖濃溪河床質粒徑如表 3-3 及表 3-4 所示。

荖濃溪各控制站之不同重現期距洪峰流量詳如表 3-5 及圖 3.5~ 3.6 所示，計畫洪水量係採 100 年重現期距之洪峰流量。流量站計有：新發大橋站、六龜大橋站、大津橋站(此站係位處於濁口溪，濁口溪之洪流係在大津匯流入荖濃溪)等三站。各流量站之歷年重要颱風洪峰流量統計，如表 3-6 所示。

依據經濟部水利署水利規劃試驗所之「高屏溪支流荖濃溪上游段治理規劃(大津至東溪大橋段)(未核定初稿)」指出，荖濃溪大津至東溪大橋河段於民國 71 ~ 81 年河床平均高程下降約 0.27 m；民國 81 ~ 87 年間六龜大橋下游河段除少數斷面之河床升高外，絕大多數河床高程呈現下降狀態，而六龜大橋上游則為河床平均高程呈現上升情形，然就整體河段而言，河床平均高程下降約 0.7 m。民國 87 ~ 94 年間在東溪斷面 22 ~ 26 間河床高有上升現象，東溪斷面 31 ~ 42 間河床高則上

表 3-3　荖濃溪上游河段粒徑分析彙整

斷面編號	平均粒徑 (mm)	代表粒徑(mm)			
		D_{50}	D_{65}	D_{75}	D_{90}
40	175.36	161.50	247.50	300.00	390.50
46	131.72	90.00	176.00	254.00	352.50

【摘自：荖濃溪、隘寮溪河道疏濬與河床穩定研究(2006)】

表 3-4　荖濃溪粒徑分析比較彙整表

斷面編號	民國 70 年				民國 91 年			
	D_m (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	平均曼寧 n 值	D_m (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	平均曼寧 n 值
里港大橋段								
75	29.56	9.50	43.00	0.027	0.530	0.463	0.607	0.013
76	35.78	13.50	55.00	0.028	0.378	0.387	0.473	0.013
78	34.22	10.00	52.00	0.028	2.205	1.165	3.015	0.017
80 (里港)	26.28	3.20	39.00	0.027	0.539	0.411	0.724	0.013
82	41.52	19.10	68.00	0.029	25.923	4.046	48.801	0.026
84	45.83	19.10	72.00	0.029	58.374	2.297	49.449	0.026
高美大橋段								
94	107.84	40.70	168.07	0.034	107.183	38.725	187.158	0.033
96	105.28	34.28	172.00	0.034	79.983	56.642	167.888	0.032
98 (高美)	103.31	36.51	161.33	0.034	93.754	76.367	172.510	0.033
東河 1	164.75	132.00	254.00	0.036	126.220	64.882	238.990	0.034
東河 2	120.90	99.00	185.00	0.034	120.585	72.330	208.639	0.034

【資料來源：經濟部水利署第七河川局，「高屏流域 89 年及 90 年河床質調查分析成果表」。70 年之平均曼寧 n 值為 Lane、San 及 Strickler 三者公式演算之平均值；91 年之平均曼寧 n 值為 Lane、San、Strickler 及 Einstein 四者公式演算之平均值。】

【摘自：荖濃溪、隘寮溪河道疏濬與河床穩定研究(2006)】

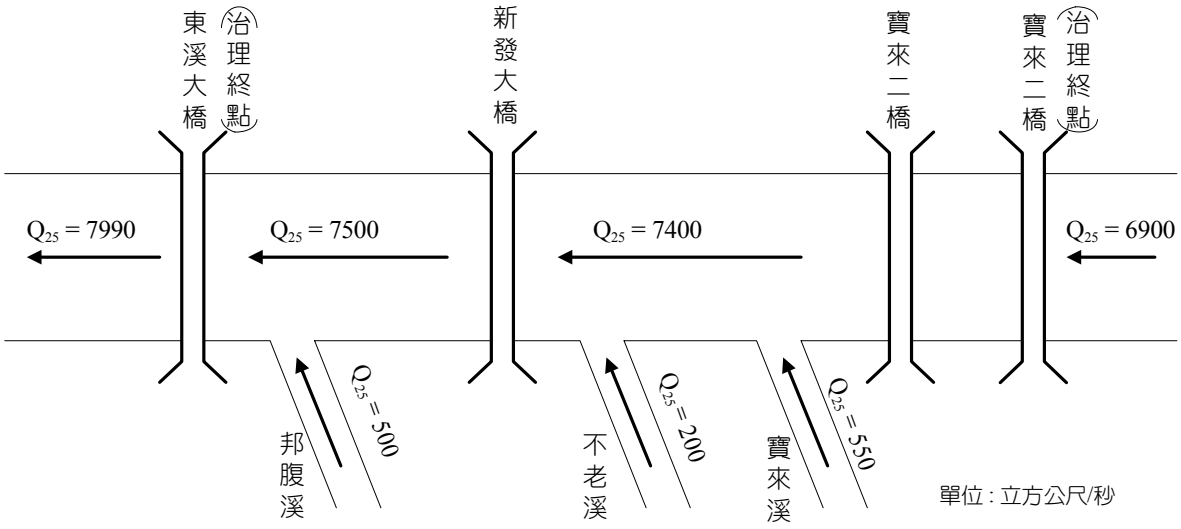


圖 3.5　荖濃溪上游段(東溪大橋～寶來二橋)之洪峰流量分配圖【摘自：高雄縣政府(1993)：高屏溪水系荖濃溪上游段治理規劃報告（東溪大橋至寶來二橋段）】

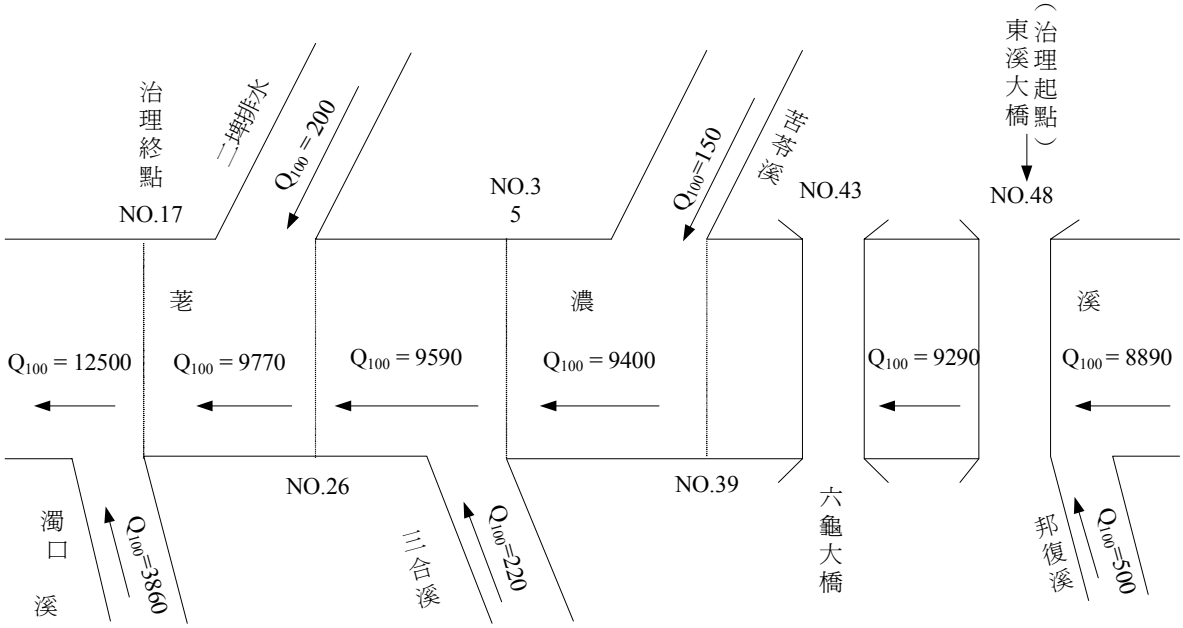


圖 3.6　荖濃溪上游段(大津至東溪大橋)之洪峰流量分配圖【摘自：臺灣省水利局(1993)：高屏溪水系荖濃溪上游段治理規劃報告(大津至東溪大橋段)】

表 3-5　荖濃溪各控制站在不同重現期距之洪峰流量表

控制站	時期	不同重現期距之洪峰流量(cms)							
		Q_{200}	Q_{100}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_2	$Q_{1.11}$
寶來溪合流前	民國 86 年治理規劃值	8,680	8,180	7,610	6,750	5,970	4,970	3,400	—
不老溪合流前	民國 86 年治理規劃值	9,300	9,010	8,160	7,240	6,400	5,400	3,640	—
新發大橋站(原荖濃站)	民國 73 年公告值	9,430	8,890	8,270	7,340	6,490	5,480	3,690	1,530
	民國 97 年規劃檢討公告值	9,960	9,240	8,470	7,350	6,400	5,320	3,500	1,450
苦苓溪合流前	民國 91 年規劃草案值	9,880	9,290	8,620	7,580	6,660	5620	3,740	—
	民國 96 年規劃報告值	10,700	9,950	9,090	7,860	6,820	5,650	3,700	1,520
三合溪合流前	民國 91 年規劃草案值	10,000	9,400	8,720	7,670	6,740	5,700	3,790	—
	民國 96 年規劃報告值	10,920	10,100	9,220	7,960	6,910	5,720	3,740	1,540
二坡排水合流前	民國 91 年規劃草案值	10,200	9,590	8,900	7,830	6,880	5,860	3,870	—
	民國 96 年規劃報告值	11,200	10,300	9,440	8,140	7,060	5,840	3,810	1,570
濁口溪合流前	民國 91 年規劃草案值	10,400	9,770	9,070	7,970	7,000	6,000	3,940	—
	民國 96 年規劃報告值	11,500	10,600	9,640	8,310	7,200	5,950	3,880	1590
大津橋站(濁口溪)	民國 66 年洪水頻率研究報告	3,670	3,430	3,170	2,770	2,430	2,040	1,360	559
	民國 97 年規劃檢討公告值	5,920	5,320	4,720	3,910	3,290	2,640	1670	703
荖濃溪與隘寮溪合流前	民國 73 年公告值	13,300	12,500	11,600	10,200	8,960	7,530	5040	2100
	民國 97 年規劃檢討公告值	15,500	14,200	12,800	10,900	9,370	7,650	4910	1979
里港大橋	民國 73 年公告值	18,200	17,200	16,000	15,200	12,700	10,700	7230	2930
	民國 97 年規劃檢討公告值	23,000	21,100	19,100	16,300	14,000	11,400	7310	2900

【資料來源：1.經濟部水利署水利規劃試驗所(2008)：高屏溪治理規劃檢討；3.臺灣省水利局(1984.6)：高屏溪治理基本計畫；3.經濟部水利署水利規劃試驗所(2007)：高屏溪水系荖濃溪上游段治理規劃報告(初稿)；4.臺灣省水利局規劃總隊(1977)：高屏溪洪水頻率研究報告；5.臺灣省水利局(1992.12)：高屏溪水系荖濃溪上游段治理規劃報告(大津至東溪大橋段)(草案)；6.高雄縣政府(1997.4)：高屏溪水系荖濃溪上游段治理規劃報告(東溪大橋至寶來二橋段)】

表 3-6　荖濃溪各流量站之歷年重大颱風洪峰流量統計表

颱洪日期	颱洪豪雨事件名稱	新發大橋站	六龜大橋站	大津橋站	颱洪日期	颱洪豪雨事件名稱	新發大橋站	六龜大橋站	大津橋站
85.07.31	賀伯	6,500	5,130	3,880	95.06.09	0609豪雨	534	764	—
86.08.29	安珀	—	384	346	95.07.15	碧利斯	463	633	—
87.06.08	0608豪雨	2,700	1,840 (6/9)	1,610	96.08.19	聖帕	843	993	—
87.10.16	瑞伯	1,070	913	361	96.09.19	韋帕	248	250	—
88.08.09	0809豪雨	1,870 (8/7)	1,390	1,310	96.10.07	柯羅莎	1,057	961	—-
89.08.23	碧利斯	1,240	1,380	806	97.07.18	卡玫基	884	891	—
90.07.30	桃芝	3,400	5,730	1,900	97.07.29	鳳凰	581 (7/28)	621	—-
90.09.18	納莉	562	928	1,510	97.09.14	辛樂克	708	829	—-
92.09.02	杜鵑	—	727	591	97.09.29	薔蜜	728	624	—
93.07.04	敏督利	3,068	2,652	3,163	98.08.08 ~ 98.08.09	莫拉克*	12,106 (斷橋損毀)	斷橋損毀	興農橋損毀
93.08.25	艾利	1,032	718	—					
94.06.13	0612 豪雨	308	638 (6/15)	—					
94.07.19	海棠	496	802	2,888 (7/20)					
94.08.06	馬莎	407	602	918 (8/7)					
94.09.01	泰利	520	790	1,199					

【資料來源：(1)民國 85 ~ 97 年：經濟部水利署水文資訊服務網；(2)*民國 98 年莫拉克颱風：莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析(經濟部水利署，2009)】

升與下降互現，東溪斷面 43～47 間河床高則為下降狀況，就整個河段而言，平均河床高上升約 0.06 m。而就荖濃溪大津至東溪大橋河段自民國 81～94 年共計 13 年間之平均河床高程約下降 0.64 m。

另據「荖濃溪、隘寮溪河道疏濬與河床穩定研究(1/2)」(經濟部水利署第七河川局，2006)成果報告，該研究利用荖濃溪河道民國 68 年、84 年、90 年及 94 年四個不同年度之斷面平均河床高探討河道歷年升降情形，如圖 3.7 所示。荖濃溪中下游段，即斷面 98 以下於民國 68～94 年間河床高程呈現下降之趨勢，斷面 98 以上至東河斷面 16 則呈現昇降互現之現象。而民國 82 年至 94 年期間，斷面 75 至東河斷面 16 河床高程總計平均下降約達 2.31 公尺，可知此期間荖濃溪河道呈現沖刷現象，且以中下游河段最為顯著。

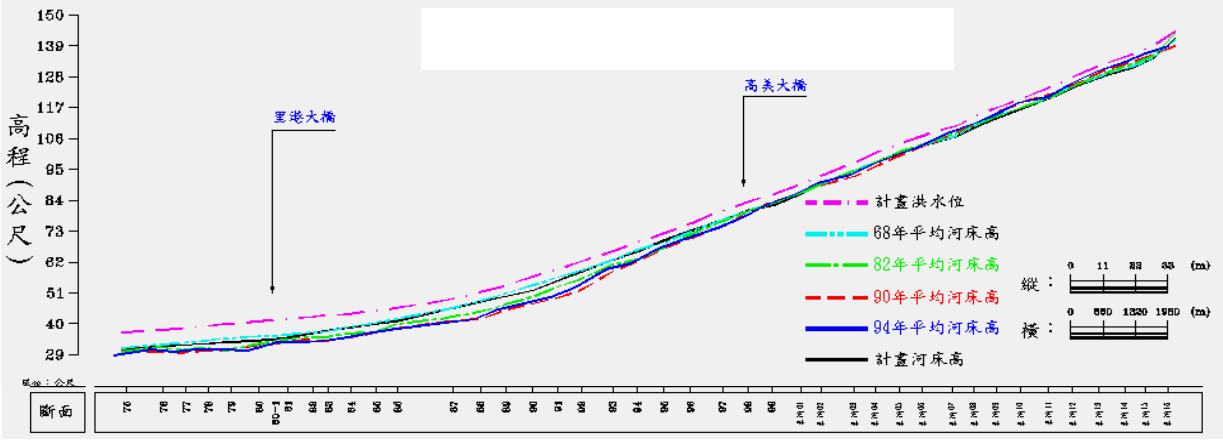


圖 3.7　　荖濃溪歷年河道縱斷面變化圖

【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

3.3 支流隘寮溪概述

臺灣省水利局(1981)「高屏溪治理規劃報告」指出，本溪係由發源於歡喜山之北隘寮溪，與發源於北大武山之南隘寮溪匯合而成，北溪之河床平均坡降約為 1：22，南溪則為 1：6，至三地門出山谷後，原成放射狀亂流，經阻截整治後始納於現時之河幅。自三地門西北行 10 公里，與東來之武洛溪匯合後，轉西行至磚子地與荖濃溪合流，全長 68.5 公里。本流域上游山區地帶屬黑色粘板岩與綠色石岩，出山谷後盡為台地或沖積層(如圖 3.1 所示)。隘寮溪河床質粒徑如表 3-7 及表 3-8 所示。

隘寮溪各控制站不同重現期距之洪峰流量，詳如表 3-9 及圖 3.10 所示，計畫洪水量係採 100 年重現期距之洪峰流量。流量站僅三地門一站，其歷年重大颱風之洪峰流量統計，如表 3-10 所示。

據「荖濃溪、隘寮溪河道疏濬與河床穩定研究(1/2)」(經濟部水利署第七河川局，2006)報告指出，其以民國 84 年、90 年及 94 年之河道大斷面測量資料進行比較分析，如圖 3.8 所示，民國 84 年至 94 年間河道平均上昇高度約達 0.39 公尺，可知河床略微上昇。

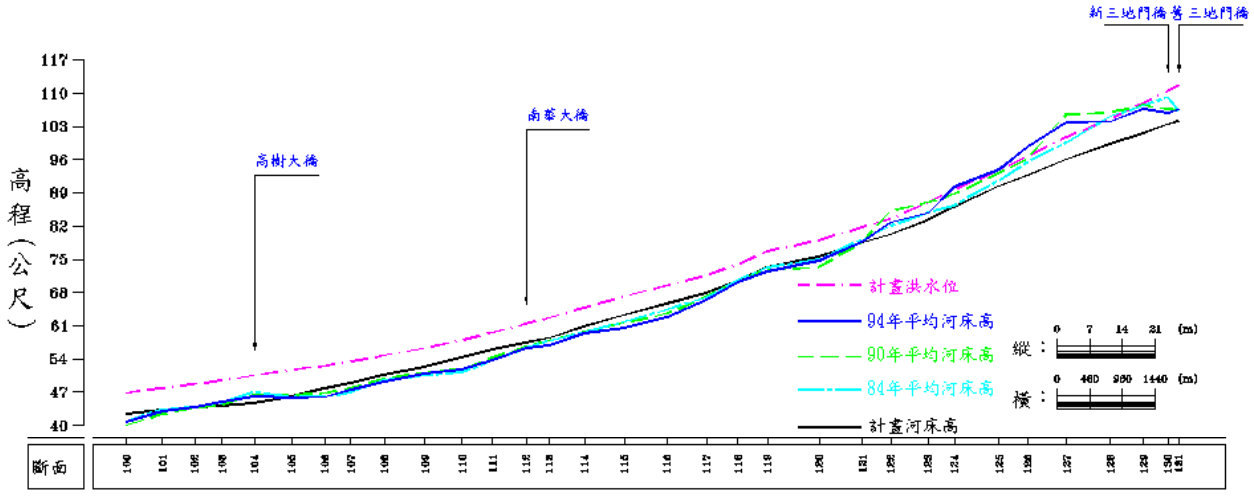


圖 3.8　　隘寮溪歷年河道縱斷面變化圖

【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

表 3-7　隘寮溪粒徑分析比較彙整表

斷面編號	民國 70 年				民國 91 年			
	D_m (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	平均曼寧 n 值	D_m (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	平均曼寧 n 值
100	28.16	8.40	40.00	0.027	14.194	10.268	22.778	0.023
102	44.21	19.40	63.00	0.029	12.768	4.004	21.186	0.023
104 (高樹大橋)	34.02	13.00	35.00	0.027	66.423	25.729	104.698	0.030
106	28.63	9.40	37.00	0.027	7.460	1.011	7.929	0.019
108	21.94	5.60	227.00	0.032	20.439	8.879	34.532	0.025
110	23.36	5.50	27.00	0.025	16.886	6.184	29.887	0.024
112 (南華大橋)	29.03	7.00	37.00	0.027	9.048	1.993	12.755	0.021
114	31.42	9.00	40.00	0.027	9.437	2.182	15.637	0.022
116	62.68	33.00	103.00	0.031	31.739	22.976	51.901	0.027
118	101.49	51.00	156.00	0.033	63.101	28.722	94.904	0.029
120	96.62	42.00	145.00	0.033	39.909	23.749	64.882	0.028
122	108.76	34.20	150.00	0.033	28.663	10.803	45.597	0.026
124	82.17	23.00	133.00	0.032	14.875	2.175	21.890	0.023
126	118.94	47.00	168.00	0.034	25.730	19.696	36.677	0.025
128	111.97	50.00	175.00	0.034	19.097	11.406	28.722	0.024
130 (三地門橋)	173.79	86.00	273.00	0.037	2.037	1.613	2.933	0.017

【摘自：荖濃溪、隘寮溪河道疏濬與河床穩定研究(2006)】

表 3-8　民國 95 年隘寮溪採樣之粒徑分析成果

斷面號	平均曼寧 n 值	平均粒徑 (mm)	代表粒徑 (mm)									最大粒徑 (mm)	砂質含量 (%)
			D_{10}	D_{20}	D_{30}	D_{35}	D_{40}	D_{50}	D_{65}	D_{75}	D_{90}		
106	0.025	30.41	0.18	0.34	0.70	0.96	1.43	5.14	20.11	30.79	63.16	176.66	45.24
112	0.026	39.52	0.31	0.96	2.11	3.47	6.09	14.03	25.22	34.88	63.46	216.67	31.82
130	0.028	82.06	0.43	0.89	2.00	4.17	7.86	18.23	34.81	63.12	255.31	300.00	31.92

【摘自：荖濃溪、隘寮溪河道疏濬與河床穩定研究(2006)】

表 3-9　隘寮溪各控制站在不同重現期距之洪峰流量表

控制站	時期	不同重現期距之洪峰流量(cms)							
		Q_{200}	Q_{100}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_2	$Q_{1.11}$
三地門站	民國 73 年公告值	5,160	4,800	4,430	3,870	3,360	2,760	1,720	556
	民國 97 年規劃檢討公告值	6,810	6,150	5,470	4,530	3,780	2,980	1,750	567
口社溪出口(口社溪)	民國 70 年規劃報告值	1,350	1,250	1,160	1,010	878	722	451	145
	民國 97 年規劃檢討公告值	1,470	1,320	1,180	978	826	669	434	200
與埔羌排水合流前	民國 70 年規劃報告值	6,650	6,150	5,600	4,800	4,130	3,360	2,100	745
	民國 97 年規劃檢討公告值	8,460	7,600	6,720	5,530	4,600	3,620	2,150	740
隘寮溪出口	民國 73 年公告值	7,340	6,750	6,120	5,200	4,470	3,630	2,270	815
	民國 97 年規劃檢討公告值	9,610	8,600	7,590	6,230	5,180	4,080	2,440	862

【資料來源：1.經濟部水利署水利規劃試驗所(2008)：高屏溪治理規劃檢討；3.臺灣省水利局(1984.6)：高屏溪治理基本計畫】

表 3-10　隘寮溪三地門站之歷年重大颱風洪峰流量統計表

颱洪日期	颱洪豪雨事件名稱	三地門站	颱洪日期	颱洪豪雨事件名稱	三地門站
85.07.31	賀伯	4260	96.08.19	聖帕	1147
86.08.29	安珀	-	96.09.19	韋帕	143
87.10.16	瑞伯	1250	96.10.07	柯羅莎	1034
89.08.23	碧利斯	788	97.07.18	卡玫基	898
89.10.31	象神	676	97.07.29	鳳凰	1299
90.07.30	桃芝	940	97.09.14	辛樂克	1208
90.09.18	納莉	840	97.09.29	薔蜜	1647
92.09.02	杜鵑	1800	98.08.08 ~ 98.08.09	莫拉克*	5857
93.07.04	敏督利	448			
93.08.26	艾利	115			
94.06.13	0612 豪雨	1,257			
94.07.19	海棠	1,853			
94.08.06	馬莎	517			
94.09.01	泰利	1,573			
95.06.09	0609 豪雨	945			
95.07.15	碧利斯	1,204			

【資料來源：(1)民國 85 ~ 97 年：經濟部水利署水文資訊服務網；(2)*民國 98 年莫拉克颱風：莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析(經濟部水利署，2009)】

3.4 高屏溪本流概述

按臺灣省水利局(1981)「高屏溪治理規劃報告」，高屏溪位於臺灣南部，發源於中央山脈之玉山，南流貫穿高屏平原，經東港入海，全長 170.9 公里，流域面積 3,257 平方公里，其中山地面積約 2,634 平方公里，佔 80.87%，平均面積約 623 平方公里，佔 19.13%；本流域地質，岩層自始新世至上新世晚期均有，地質構造包括連續之褶皺與斷層，主要岩層有板岩、硬頁岩、頁岩、灰砂岩、砂頁岩互層、十三分頁岩及錦水頁岩、六龜礫岩、臺地堆積層，以及現代沖積層等。河床質粒徑如圖 3.9 所示。

高屏溪各控制站不同重現期距之洪峰流量，詳如圖 3.10 及表 3-11 所示，計畫洪水量係採 100 年重現期距之洪峰流量。流量站計有：九曲堂站(已停用)、里嶺大橋站、高屏溪攔河堰及萬大大橋站三站。高屏溪本流之歷年洪峰流量統計資料，詳如表 3-12 所示。

由高屏溪河床高程縱斷面變化圖(圖 3.11)中，可以明顯得知高屏溪流域在民國 64~95 年(31 年)間之河床高程降低與回淤情形。在台 22 線里嶺大橋橋址處河床(民國 64~84 年間)曾下降近 5.0 m，且從新建工程圖(臺灣省公路局第三區工程處，1987)中得知，在台 22 線里嶺大橋由設計至竣工之時期內，深槽區在橋墩 P2~P13 之間，沉箱已有部份裸露不嚴重，最深約 1.0 m 左右，惟因為上下游砂石的開採，造成在該橋進行拓寬工程時的 5 年間(78.10 ~ 83.11)河床高程下降約 4.0 m。民國 84 年迄至民國 87 年底期間，橋址之局部河床沖刷曾引致里嶺大橋 P19 橋基下陷，其最大裸露深度達 12.2 m 深(本研究團隊於 87.8.6 奧托颱洪沖刷後量測)。

另者，由於台 1 線高屏大橋橋址上下游河段早年砂石超限濫採等因素的影響，早年河床高程亦呈下降(如圖 3.11 所示)現象，由高屏溪 34 號斷面至 65 號斷面之歷年河床縱斷面變化圖，其顯示：在民國 64 年之各斷面最低河床高大部分是低於水利局之計畫河床高；而在民國 64 ~ 84 年之 20 年間，各斷面的最低河床高程均是呈現大幅度的下降。

其中，在高屏大橋下游約 3 km 處之 35 號斷面下降約 11 m；橋址處河床高程平均下降約 8 m，使得橋基產生嚴重裸露情形，並曾於民國 89 年 8 月 27 日發生高屏大橋斷橋事件。

依據「高屏溪(里港大橋至出海口)整體河性檢討之研究」(經濟部水利署第七河川局、巨廷工程顧問股份有限公司，2006)指出，高屏溪斷面 40 以上河段於民國 84 年以後則因河床採砂形成深槽明顯之複式河槽；高屏溪斷面 40～ 河口之下游河段則維持既有深槽型態；高屏溪斷面 10 以下受感潮影響，故其深槽較為廣闊。高屏溪早期因採砂引致河床嚴重下降，民國 64 年~84 年間，主深槽平均下降約 5.3 m。然自民國 86 年禁止採砂後，河床已逐年回淤，民國 84 年~ 92 年及民國 92 年～94 年，河床平均上升高度分別為 0.54 m 及 0.48 m。高屏溪近年來已有逐年回淤之現象，且上游段河川特性亦處於淤積趨勢。

近數年來，高屏溪在歷經自民國 90 年桃芝颱風迄今之多個颱風豪雨洪流通過後，歷次洪流皆挾帶大量泥砂，自上游荖濃溪、隘寮溪及旗山溪逐漸隨洪流運移而下，促使早年大幅下降之河床已逐步回淤，惟仍尚未回復至民國 64 年之河床高程。

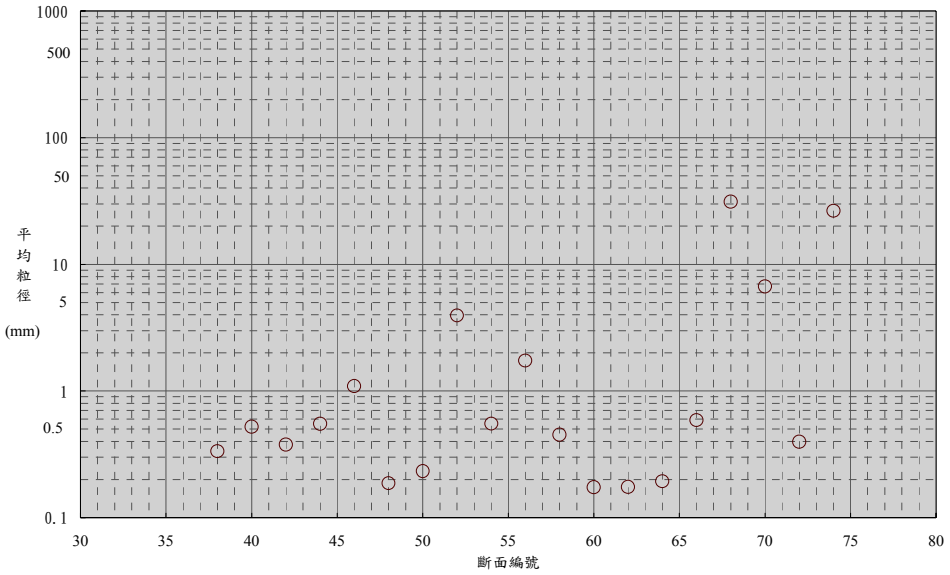


圖 3.9　高屏溪河床質粒徑分佈圖(採樣日期民國 95 年 6 月)【摘自 高屏溪(里港大橋至出海口)整體河性檢討之研究(經濟部水利署第七河川局，2006)】

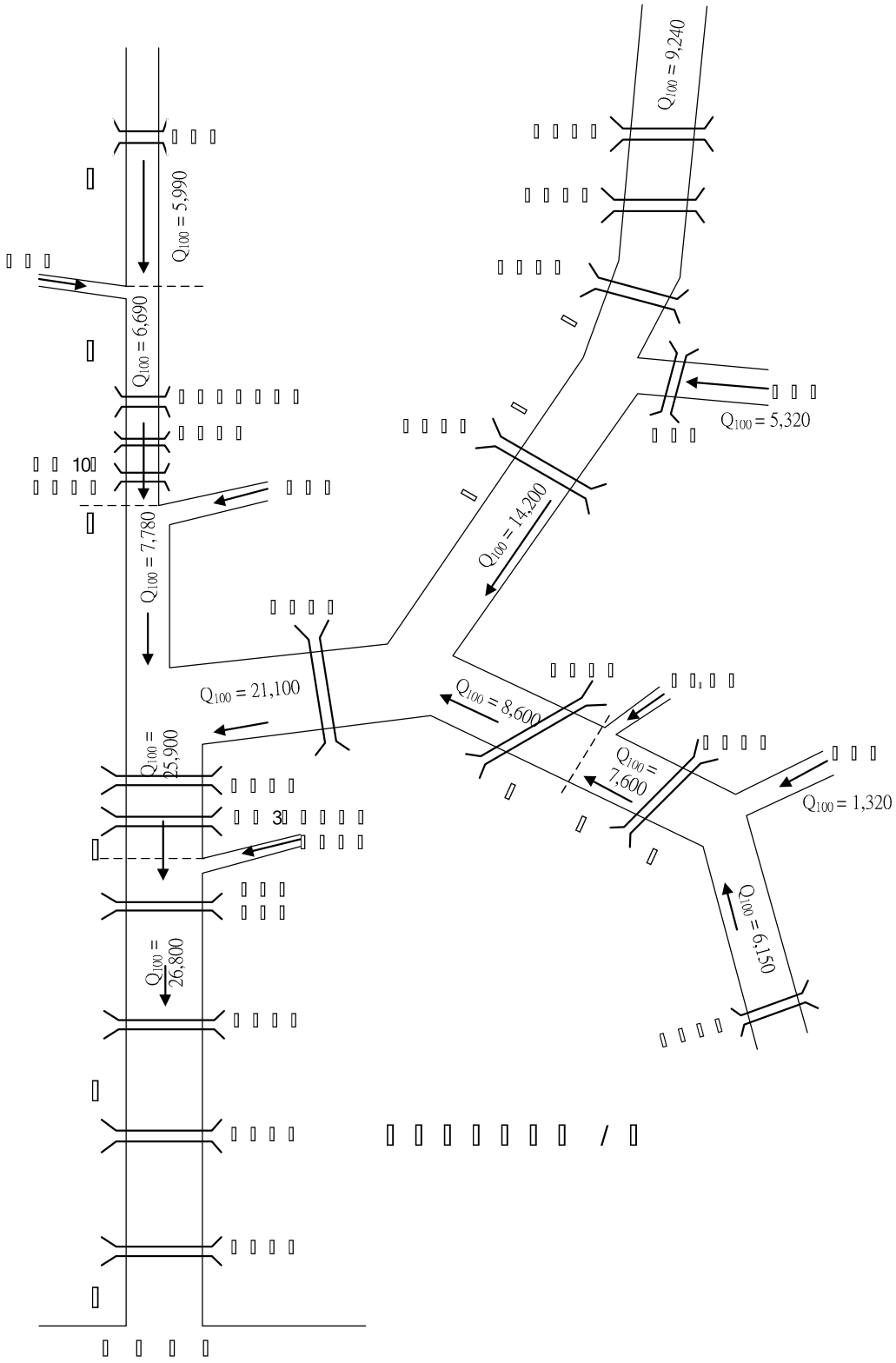


圖 3.10　高屏溪計畫洪水量分配圖【資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所(2008)：高屏溪治理規劃檢討；本團隊增補修繪】

表 3-11　高屏溪本流各控制站在不同重現期距之洪峰流量

控制站	時期	不同重現期距之洪峰流量(cms)							
		Q_{200}	Q_{100}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_2	$Q_{1.11}$
與武洛排水合流前	民國 73 年公告值	24,200	23,000	21,600	19,600	17,400	14,800	10,300	4,160
	民國 97 年規劃檢討公告值	28,200	25,900	23,500	20,100	17,300	14,200	9,190	3,660
九曲堂站(高屏大橋)	民國 73 年公告值	25,400	24,200	22,800	20,500	18,400	15,700	10,900	4,420
	民國 97 年規劃檢討公告值	29,100	26,800	24,300	20,800	17,900	14,700	9,510	3,800

【資料來源：1.經濟部水利署水利規劃試驗所(2008)：高屏溪治理規劃檢討；3.臺灣省水利局(1984.6)：高屏溪治理基本計畫；3.臺灣省水利局(1996.3)：高屏溪(里嶺大橋下游)河川低水治理規劃】

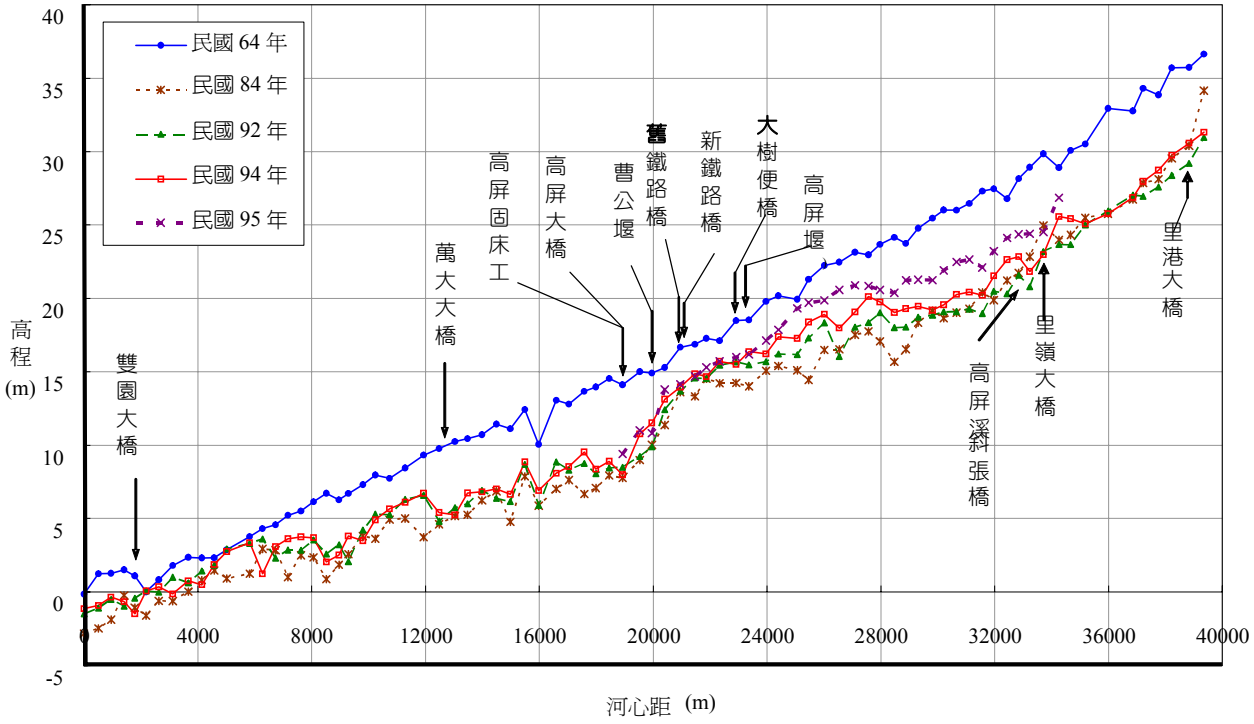


圖 3.11　高屏溪歷年河道主深槽縱斷面比較圖【摘自 高屏溪(里港大橋至出海口)整體河性檢討之研究(經濟部水利署第七河川局，2006)】

表 3-12　高屏溪本流之歷年最大瞬時流量彙整表(九曲堂站、里嶺大橋站、高屏溪攔河堰及萬大大橋)

西元	最大瞬時流量 (cms)	西元	最大瞬時流量 (cms)	西元	最大瞬時流量 (cms)
1951	5,180	1974	5,330	1997	2,700
1952	16,000	1975	10,400	1998	7,700
1953	5,950	1976	16,300	1999	5,640
1954	1,590	1977	7,780	2000.8	5,550(碧利斯)
1955	12,200	1978	6,930	2001.07	10,000(桃芝)
1956	7,190	1979	4,800	2002	1,270
1957	7,810	1980	3,980	2003	1,540
1958	3,422	1981	10,600	2004.07	14,974(敏督利)
1959	18,000	1982	9,030	2005.06	10,272(612 豪雨)
1960	15,200	1983	7,350	2005.07	20,927(海棠)
1961	13,510	1984	3,090	2005.08	17,994(泰利)
1962	13,600	1985	4,680	2006.06.10	18,575(69 豪雨)
1963	10,500	1986	3,650	2006.07.14	16,725(碧利斯)
1964	2,200	1987	6,100	2007.08.13	8921(梧提)
1965	9,230	1988	13,600	2007.08.19	8,637(聖帕)
1966	8,470	1989	18,100	2007.09.19	1,120(韋帕)
1967	5,500	1990	11,300	2007.10.07	8,856(柯羅莎)
1968	4,520	1991	5,400	2008.07.18	5,406(卡玫基)
1969	12,500	1992	9,400(寶莉)	2008.07.29	5,989(鳳凰)
1970	5,220	1993	2,420	2008.09.14	8,217(辛樂克)
1971	6,720	1994.8	11,900(道格)	2008.09.29	9,606(薔蜜)
1972	9,850	1995	2,070	2009.08.08 ~09	35,064(莫拉克)
1973	5,450	1996.8	19,700(賀伯)		

備註：(1)1951 年 ~ 1990 年為九曲堂站紀錄；其中，1951 年 ~ 1958 年係【高屏溪攔河堰上下游河段之河性變化影響檢討分析與改善規劃(中興工程顧問股份有限公司，2005)】，採年最大洪峰流量與年最大日平均流量比之平均值關係，進行洪峰流量之補遺資料。

(2)1991 ~ 2004 年、2007 ~ 2008 年為里嶺大橋站紀錄；2006 年為萬大大橋站紀錄。

(3)2005 年歷次颱洪流量為高屏溪攔河堰報表紀錄，因有橡皮壩倒伏與否之差異及河道淤積影響，觀測之水位可能有高估的情形，故流量紀錄僅供參考。

(4)2009 年係【莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析(經濟部水利署，2009)】推估值

第四章 莫拉克颱風水文資料及地質災害背景說明

本章將針對莫拉克颱風侵台期間之水文、氣象相關資料進行蒐集與分析，並說明莫拉克颱風對高屏溪流域所造成之邊坡崩塌、土石流等地質災害，此對於主要受損橋梁之致災原因，將有相當重要之參考價值。

4.1 莫拉克颱風水文資料蒐集與分析

中度颱風莫拉克(MORAKOT)為民國 98 年度之第 8 號颱風，根據中央氣象局之資料顯示，莫拉克颱風於 8 月 4 日在菲律賓東北方約 1,000 公里海面上生成，5 日增強為中度颱風並向西移動，6 日 17 時左右暴風圈逐漸進入臺灣東部近海，7 日 23 時 50 分左右在花蓮市附近登陸，8 日 11 時左右減弱為輕度颱風並往西北方向移動，14 時左右於桃園附近出海，9 日 14 時左右強度減弱且暴風圈略為縮小，18 時 30 分左右在馬祖北方進入福建，臺灣本島已脫離暴風圈，10 日 5 時馬祖脫離其暴風圈，11 日凌晨減弱為熱帶性低氣壓。颱風路徑與侵台期間相關衛星雲突如圖 4.1 及 4.2 所示，圖中顯示颱風移動至本島附近即開始呈現減速及滯留現象，增加對台之影響時間，加上後續所引進之西南氣流，致使中南部各地造成相當嚴重之災損。

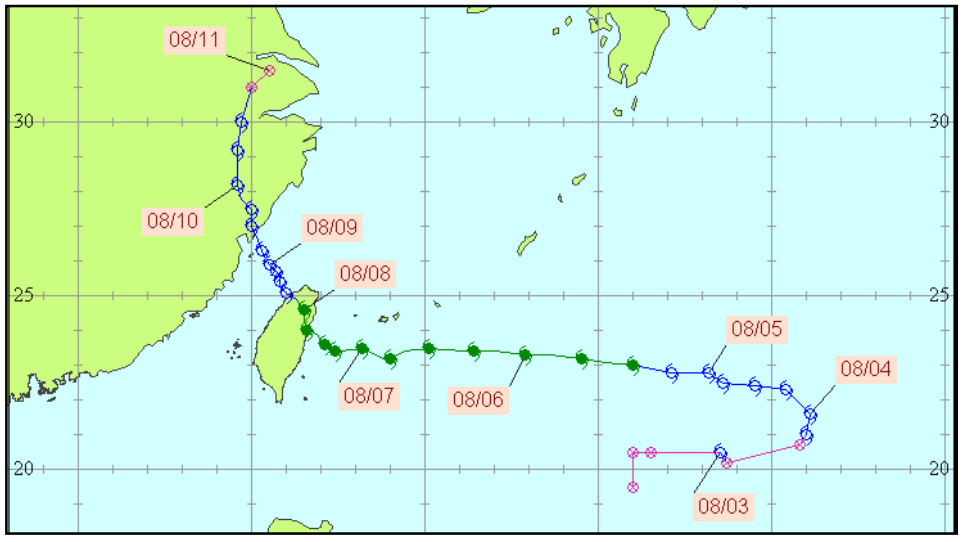


圖 4.1　　莫拉克颱風侵台路徑圖

【資料來源：中央氣象局】

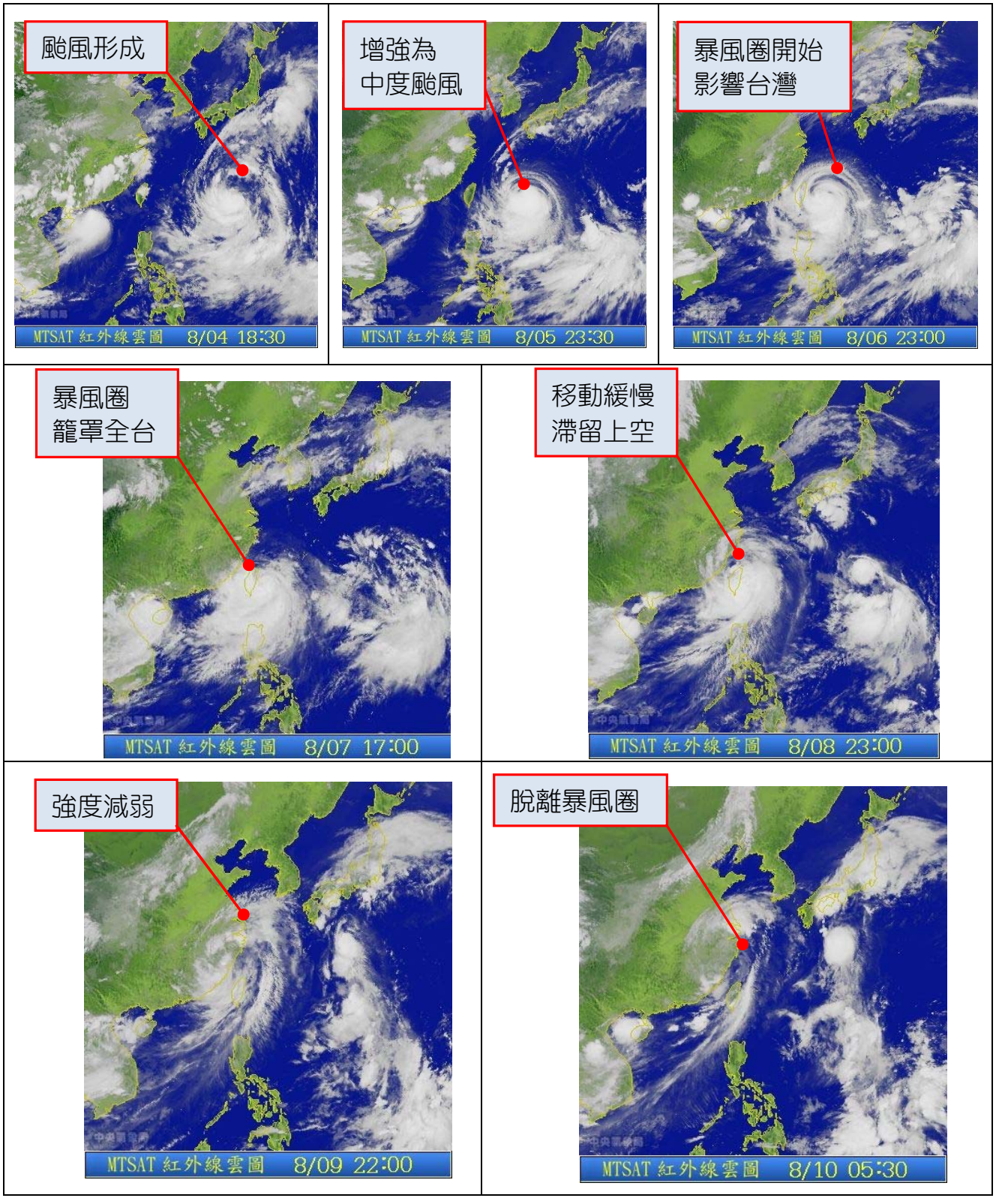


圖 4.2　　莫拉克颱風過境期間，各時段之衛星雲圖

【資料來源：中央氣象局】

颱風經中央氣象局於民國 98 年 8 月 7 日 13 時 15 分同時發佈海上陸上颱風警報，由發佈颱風警報時間起算迄至 8 月 10 日 5 時 30 分解除颱風警報期間，已為臺灣各地帶來相當大的雨量。本次颱風主要降雨集中在濁水溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、高屏溪等河川流域，根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」中對全台民國 98 年 8 月 5 日 20 時起至 10 日 8 時之雨量分佈統計結果得知，5～6 日降雨主要發生於北部地區，隨後降雨中心由苗栗南庄山區往南移動，於 7 日時屏東山區已達日雨量 963.5 mm，8 日最大降雨中心持續留滯於屏東山區達 1,403 mm，9 日最大降雨中心逐漸北移至阿里山，且日雨量達 1,234.5 mm，直至 10 日雨勢方逐漸減小。總計 5 日 ～ 10 日之總累積雨量以阿里山站居冠，共降下 2,884.0 mm 之雨量，降雨中心移動過程與總累積降雨等雨量線圖如圖 4.3 及 4.4 所示。

有關本計畫範圍高屏溪流域之降雨情形，依據中央氣象局 8 月 8 日即時雨量資料顯示，該日於高屏溪上游支流隘寮溪所經之屏東縣三地門尾寮山已出現臺灣歷年單一測站單日累積雨量最高之 1,403.0 mm，另高雄縣甲仙鄉則為 1,072.5 mm，高雄縣桃源鄉御油山為 1,282.5 mm，相關之降雨組體圖如圖 4.5 所示。跟據中央氣象局統計資料，從 6 日 0 時至 9 日上午 8 時，累積雨量最多之前三者即包含屏東縣尾寮山之 2,421 mm 及高雄縣御油山之 2,100 mm，於民國 98 年 8 月 10 日 5 時 30 分中央氣象局所發佈之豪雨特報顯示屏東縣三地門鄉尾寮山累積雨量已高達 2,686 mm，高雄縣御油山累積雨量則為 2,517 mm。若依據尾寮山及御油山雨量站 8 月 7 日至 8 月 10 日降雨組體圖則顯示，尾寮山於 8 月 8 日 5 時起即連續 20 小時期間內每小時均降下超過 40 mm 之雨量，御油山則於 8 月 8 日 4 時起連續 21 小時期間內每小時均降下超過 40 mm 之雨量。吾人依據中央氣象局於民國 93 年 11 月 25 日修訂之超大豪雨定義(24 小時累積雨量達 350 mm 以上者稱為超大豪雨)其平均時雨量約為 14.6 mm，前述尾寮山及御油山兩地點於 8 月 8 日期間連續 20 小時以上均出現 40 mm 之雨量而言，實遠超過中央氣象局所稱之超大豪雨等級。

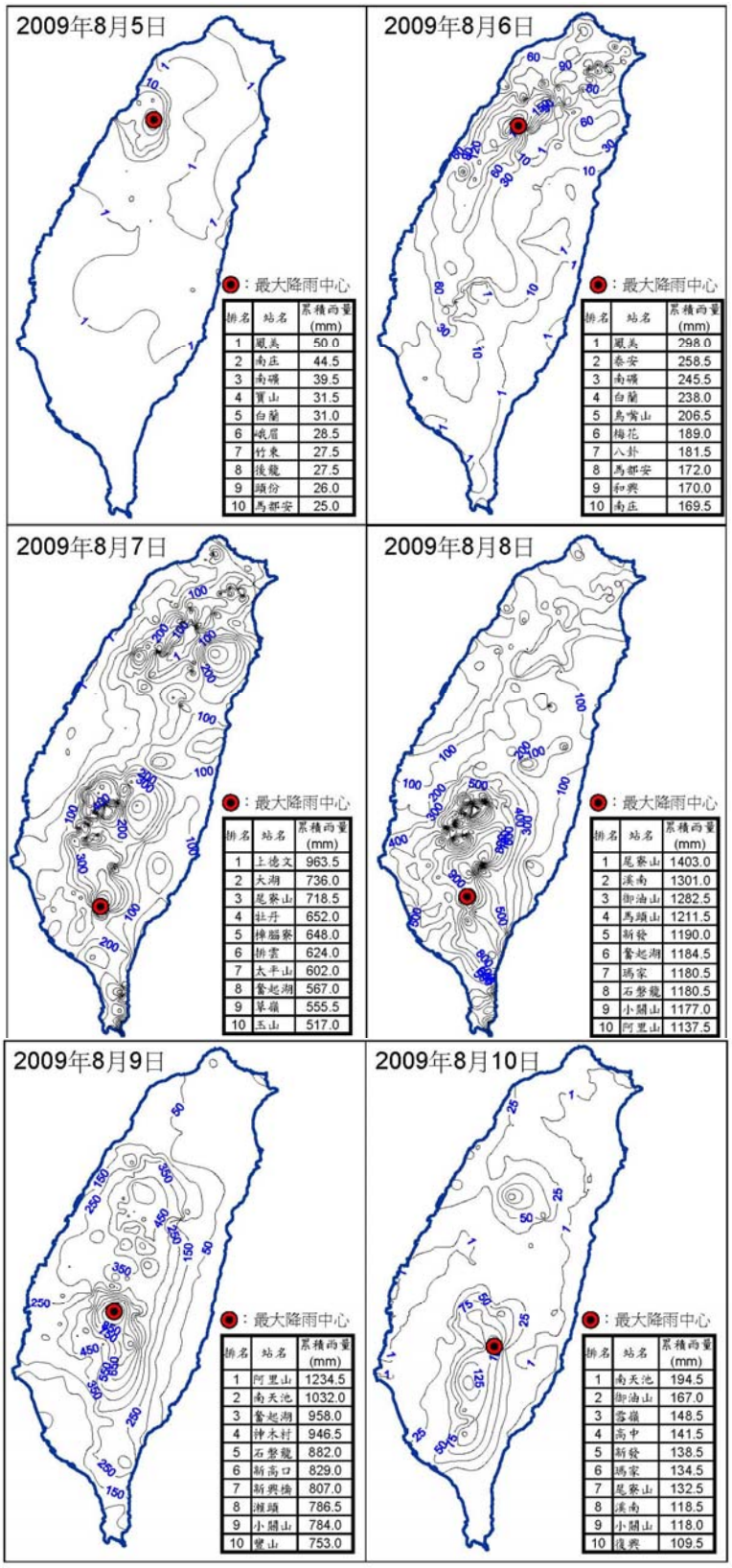
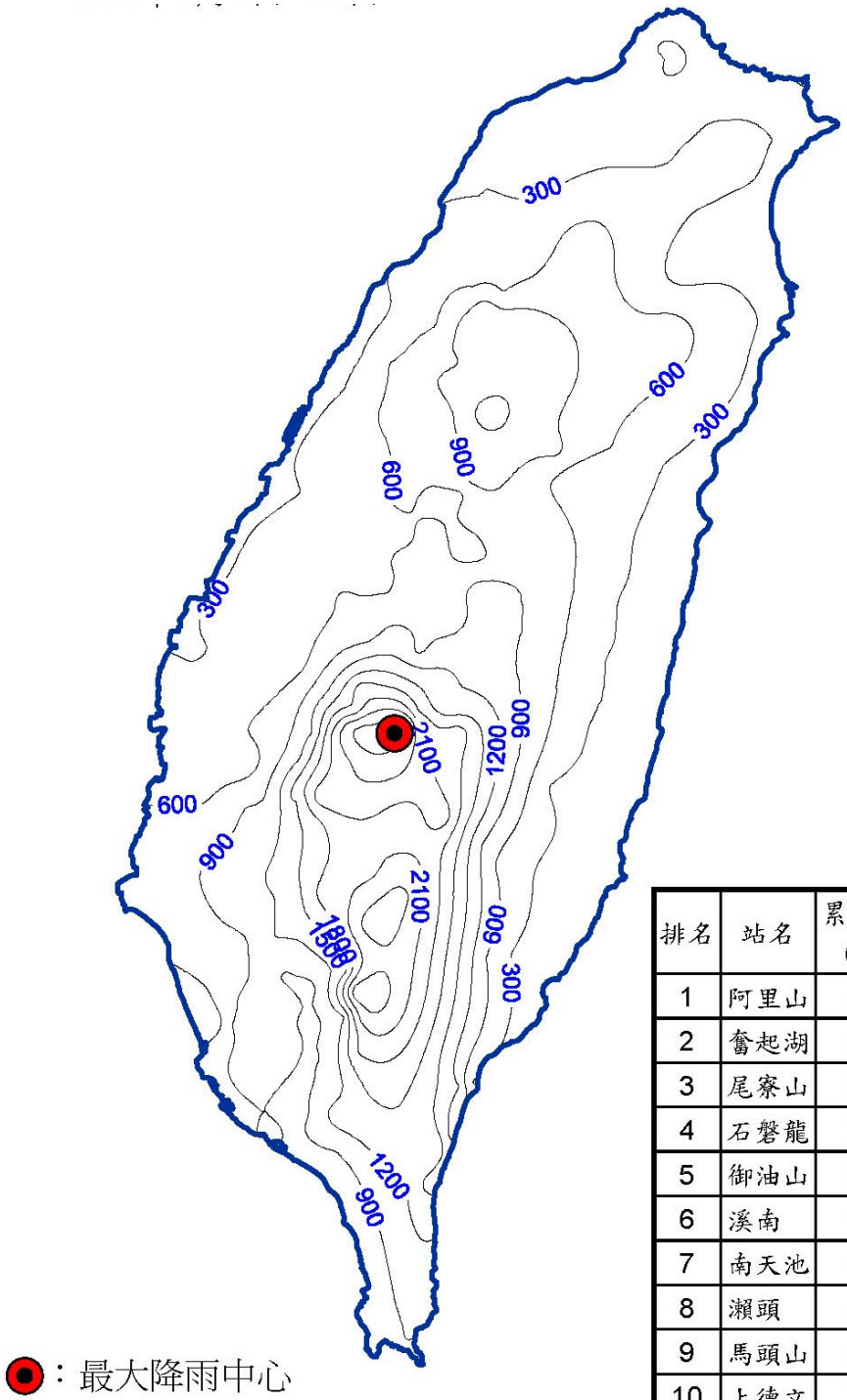


圖 4.3　莫拉克颱風過境期間，各時段之累積雨量圖。【摘自：莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析，經濟部水利署，2009】



排名	站名	累積雨量(mm)
1	阿里山	2884.0
2	奮起湖	2778.5
3	尾寮山	2701.0
4	石磐龍	2636.5
5	御油山	2557.5
6	溪南	2489.5
7	南天池	2448.5
8	瀨頭	2315.0
9	馬頭山	2277.5
10	上德文	2255.0

圖 4.4　莫拉克颱風過境期間(8 月 5 日～10 日)，全台各地總累積雨量圖。【摘自：莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析，經濟部水利署，2009】

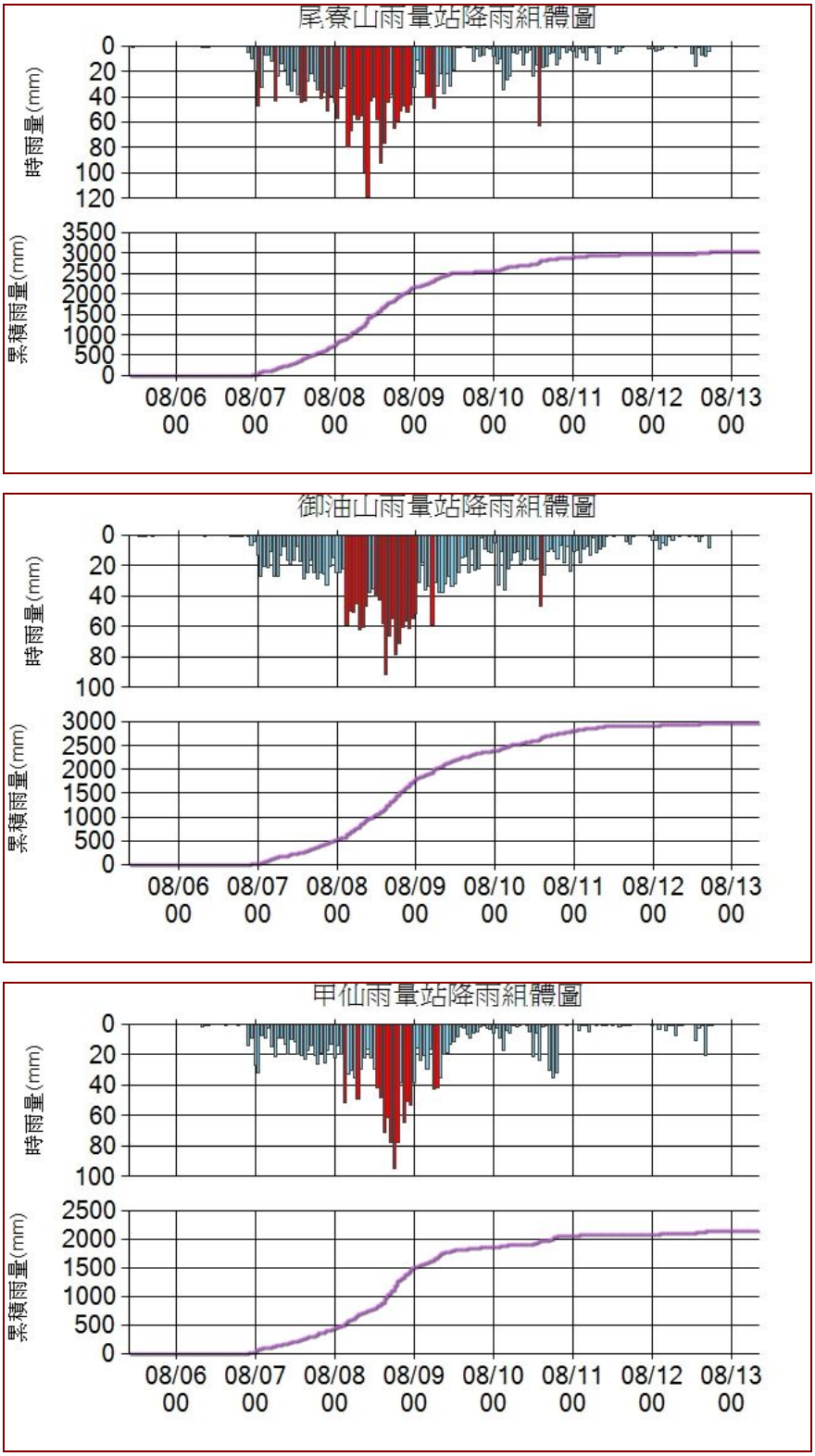


圖 4.5　莫拉克颱風期間，高屏溪流域尾寮山、御油山及甲仙雨量站所測得之降雨組體圖。【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統網站】

此外，就總累積雨量而言，莫拉克颱風期間所降下之大雨，亦以南部地區最為嚴重。本計畫所調查範圍內之高屏溪流域雨量站記錄，於全省最大累積雨量前 20 名內即佔有 9 名，各測站之累積降雨量除楠溪站為 1,969.0 mm 外，其餘測站之累積降雨量均超過民國 85 年賀伯颱風之最高降雨量(阿里山站，1,987.0 mm)。表 4-1 所示即為高屏溪流域內各雨量站於 8 月 5 日～10 日間總累積降雨量，而圖 4.6 所示為高屏溪流域內各雨量站之相關位置。其中，高屏溪流域內最大累積降雨量為尾寮山之 2,701.0 mm，幾乎是該測站年平均降雨量的 3/4，其他雨量站所得之累積降雨量亦將近達各站年平均降雨量的 2/3，顯示莫拉克颱風期間之降雨早已遠遠超過過去臺灣之降雨記錄。

至於降雨強度方面，根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」利用中央氣象局及水利署本身之雨量測站，採用對數皮爾遜第三型分布所進行的颱風暴雨量頻率分析結果可知，高屏溪流域各雨量站所測得之降雨資料，不論為連續 24、48 或 72 小時降雨延時之分析結果，大多數均大於 2000 年之重現期，如表 4-2 所示。且尾寮山站於 8 月 8 日之單日降雨強度更達 1,403.0 mm/day，更是歷史新高。

此外，經濟部水利署特針對莫拉克颱風期間所降下之雨量記錄，利用徐昇氏求取各控制點之平均時雨量，再求出其間最大 48 小時或最大二日之累積雨量，各控制點之平均最大 48 小時及最大二日暴雨量分析成果如表 4-3 所示，比對過去各控制點所公告之降雨重現期，除三地門及隘寮溪出口分別為 70 年及 120 年外，其餘各控制點均為超過 200 年之降雨量。再將各控制點之降雨分佈經單位歷線分析後，可獲得各控制點之流量歷線，其結果如表 4-4 及圖 4.7~圖 4.10 所示，分析結果亦顯示除三地門、隘寮溪出口及美濃溪出口外，其餘各控制點之流量均超過 200 年重現期之洪水量。值得注意的是，有關高屏溪流量歷線之演算過程，主要乃根據降雨分佈經單位歷線演算後所獲得，故此流量歷線並不能反映莫拉克颱洪中，因土石崩塌所形成之堰塞湖蓄水及潰決等影響，仍應利用即時量測之水位變化加以判斷之。

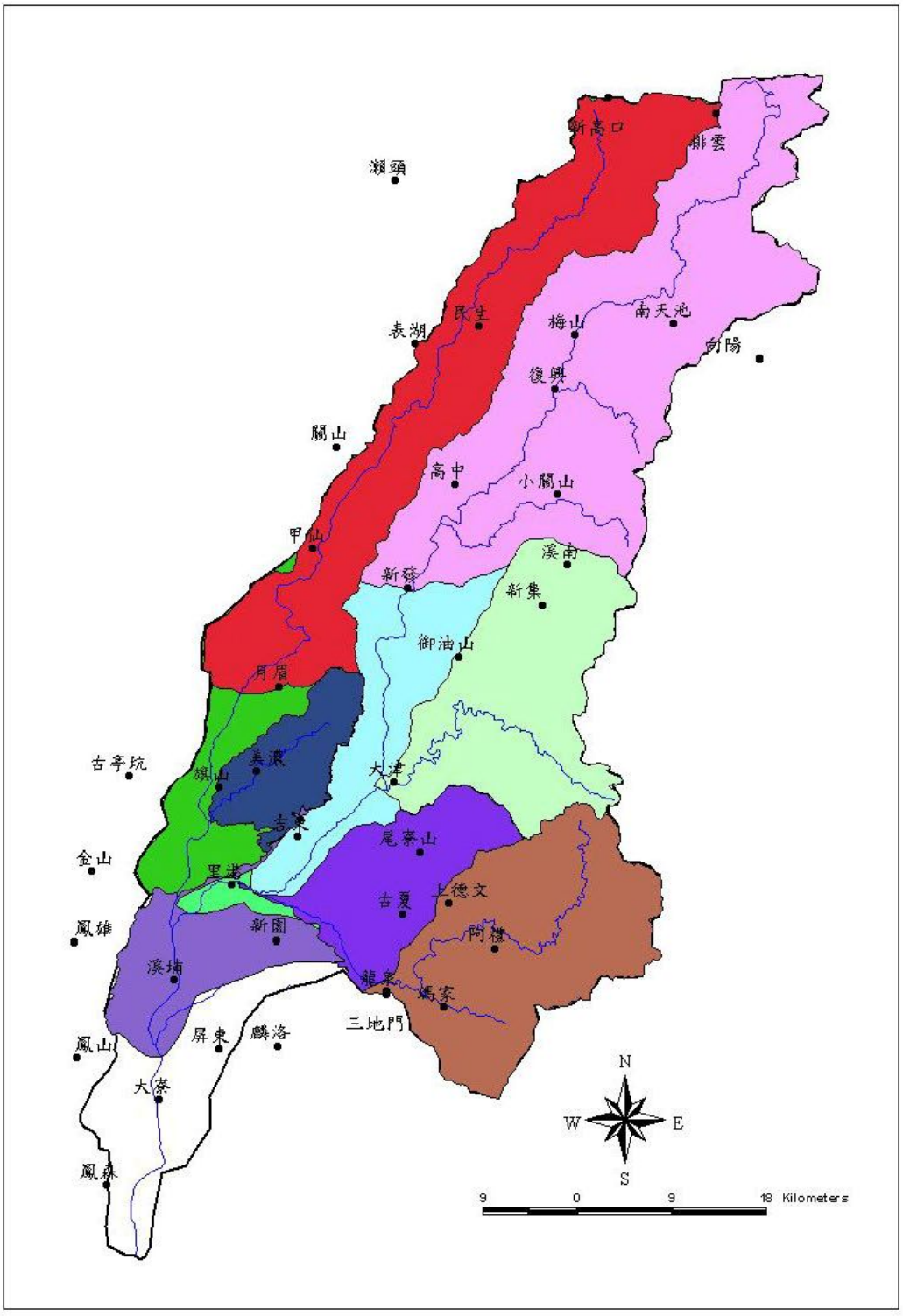


圖 4.6　　高屏溪流域各雨量站位置圖【摘自：莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析，經濟部水利署，2009】

表 4-1　莫拉克颱風高屏溪流域各測站之累積雨量

雨量測站	鄉鎮名稱	累積雨量(mm)	歷年年平均雨量(mm)
尾寮山	屏東縣三地門鄉	2,701.0	3,541.8
御油山	高雄縣茂林鄉	2,557.5	3,984.2
溪南	高雄縣桃源鄉	2,489.5	3,915.9
南天池	高雄縣桃源鄉	2,448.5	3,671.0
上德文	屏東縣三地門鄉	2,255.0	3,646.6
小關山	高雄縣桃源鄉	2,235.5	3,152.8
新發	高雄縣六龜鄉	2,077.5	3,239.3
高中	高雄縣桃源鄉	1,991.5	2,867.3
楠溪	高雄縣桃源鄉	1,969.0	2,609.9

【資料來源：中央氣象局】

表 4-2　各雨量站不同延時雨量頻率分析結果

站名	鄉鎮名稱	24小時		48小時		72小時		累積雨量 (mm)
		實測雨量 (mm)	相當重現期 (年)	實測雨量 (mm)	相當重現期 (年)	實測雨量 (mm)	相當重現期 (年)	
美濃	高雄縣美濃鎮	507.0	>***2,000***	749.0	>2,000	828.0	>***2,000***	871.0
屏東	屏東縣屏東市	666.0	140	906.0	143	974.5	197	990.0
溪埔	高雄縣大樹鄉	729.5	271	994.5	265	1,057.5	378	1,076.5
旗山	高雄縣旗山鎮	621.0	>***2,000***	813.0	>***2,000***	854.5	>***2,000***	881.0
尾寮山	屏東縣三地門	1,414.5	>***2,000***	2,215.5	>***2,000***	2,564.0	>***2,000***	2,701.0
甲仙	高雄縣甲仙鄉	1,077.5	>***2,000***	1,601.0	>***2,000***	1,856.0	>***2,000***	1,916.0
古夏	屏東縣三地門鄉	683.5	>***2,000***	946.0	>***2,000***	1,061.5	>***2,000***	1,127.0
美濃	高雄縣美濃鎮	633.5	>***2,000***	878	>***2,000***	955.5	>***2,000***	989.5
里港	屏東縣里港鄉	710.5	>***2,000***	955.5	>2,000	1,018.0	>***2,000***	1,039.5
上德文	屏東縣三地門鄉	1,185.5	>***2,000***	1,968.0	>***2,000***	2,194.5	>***2,000***	2,255.0
新圍	屏東縣鹽埔鄉	578.0	148	757.5	>***2,000***	806.5	5,\65	830.5
月眉	高雄縣杉林鄉	744.0	>***2,000***	1,081.0	>***2,000***	1,205.0	>***2,000***	1,246.5
吉東	高雄縣美濃鎮	547.5	>***2,000***	728.0	>***2,000***	789.0	>***2,000***	820.5
大津	高雄縣六龜鄉	738.5	>***2,000***	1,072.0	>***2,000***	1,241.0	>***2,000***	1,314.0

【資料來源：莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析，經濟部水利署，2009】

表 4-3　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點平均最大二日及最大 48 小時暴雨量分析成果

單位:mm

流域	重現期距(年) / 控制點	公告值								莫拉克颱風		
		200	100	50	20	10	5	2	1.11	48hr暴雨量	二日暴雨量	相當重現期
本流	九曲堂站	890	826	758	662	583	494	351	192	1,388	1,229	超過200年
荖濃溪	里港大橋	976	902	824	715	625	527	367	195	1,494	1,321	超過200年
	荖濃溪與隘寮溪合流前	973	898	820	710	621	522	365	195	1,623	1,391	超過200年
	新發大橋站(原荖濃站)	971	907	837	737	651	554	391	206	1,601	1,429	超過200年
旗山溪	旗山溪出口	831	776	718	633	561	478	338	178	1,227	1,065	超過200年
	月眉站	936	877	812	715	632	537	376	192	1,375	1,176	超過200年
隘寮溪	隘寮溪出口	1,169	1,054	939	785	665	540	353	172	1,219	1,065	約120年
	三地門	1,276	1,160	1,040	874	741	598	381	171	1,135	1,073	約70年
美濃溪	美濃溪出口	724	677	628	557	497	430	317	188	909	787	超過200年

註：規劃成果值採自民國 97 年 1 月「高屏溪治理規劃檢討報告」及民國 94 年 12 月「美濃溪治理規劃報告」

【資料來源：莫拉克高屏溪水文分析報告，經濟部水利署水利規劃試驗所，2009】

表 4-4　高屏溪流域莫拉克颱風颱風各控制點平均最大二日暴雨量之洪峰流量推求成果

流域	重現期距(年) / 控制點	集水面積 (km^2)	公告值								莫拉克颱風	
			200	100	50	20	10	5	2	1.11	洪峰流量	相當重現期
本流	九曲堂站	2,924.3	29,100	26,800	24,300	20,800	17,900	14,700	9,510	3,800	35,064	超過200年
荖濃溪	里港大橋	2,020.6	23,000	21,100	19,100	16,300	14,000	11,400	7,310	2,900	25,320	超過200年
	荖濃溪與隘寮溪合流前	1,375.3	15,500	14,200	12,800	10,900	9,370	7,650	4,910	1,970	19,241	超過200年
	新發大橋站(原荖濃站)	804	9,960	9,240	8,470	7,350	6,400	5,320	3,500	1,450	12,106	超過200年
旗山溪	旗山溪出口	832.5	8,380	7,780	7,130	6,390	5,380	4,450	2890	1,130	9,308	超過200年
	月眉站	530.4	6,440	5,990	5,500	4,780	4,160	3,450	2250	884	6,840	超過200年
隘寮溪	隘寮溪出口	635	9,610	8,600	7,590	6,230	5,180	4,080	2440	862	8,657	約100年
	三地門	401.8	6,810	6,150	5,470	4,530	3,780	2,980	1750	567	5,857	約75年
美濃溪	美濃溪出口	113.8	1,145	1,060	980	850	750	630	430	205	1,045	約100年

【資料來源：莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析，經濟部水利署，2009】

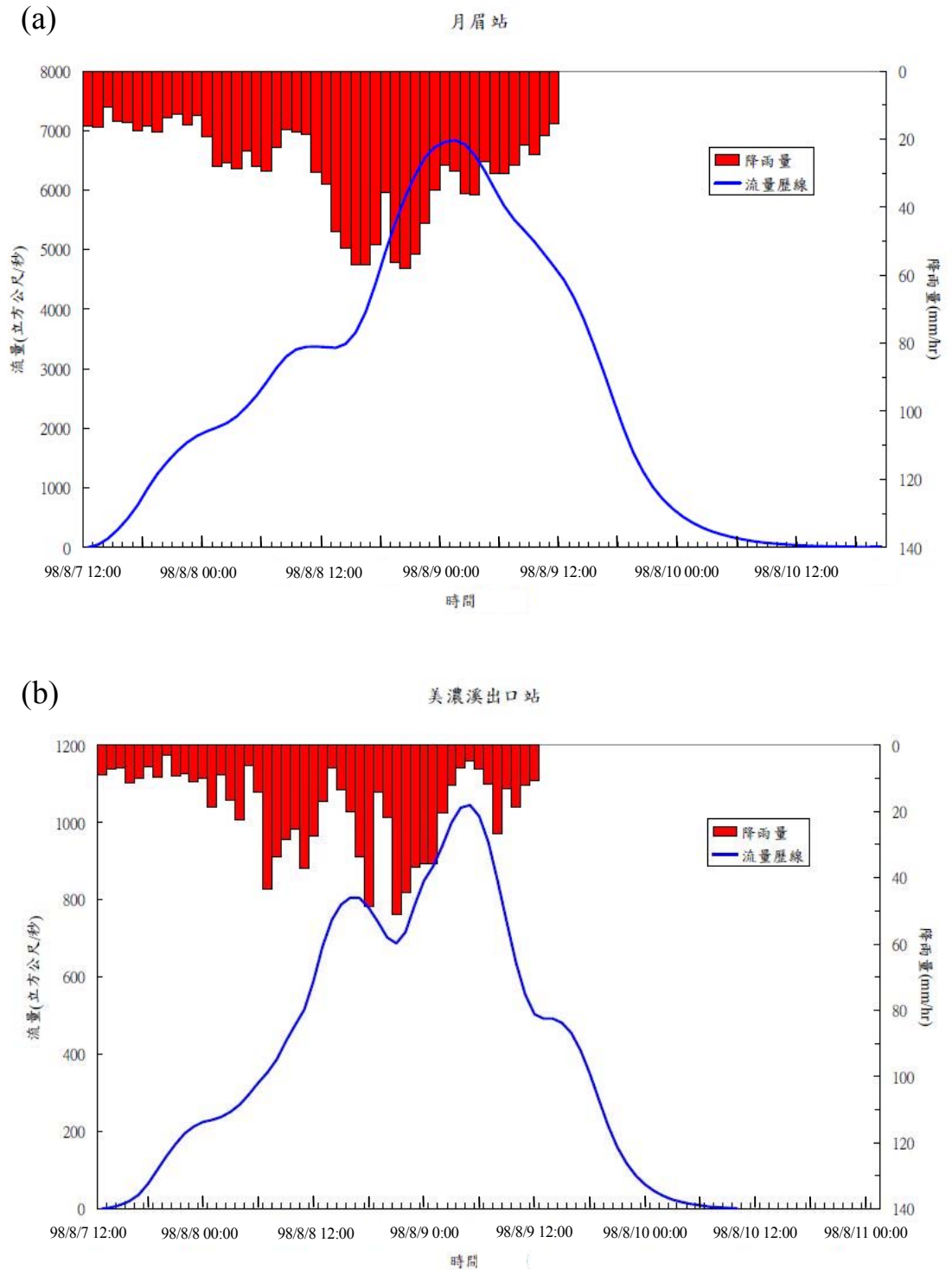


圖 4.7　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點二日事件降雨組體及逕流歷線圖(一)：(a) 月眉站；(b) 美濃溪出口站【資料來源：莫拉克颱風水文分析報告，水利署水利規劃試驗所，2009】

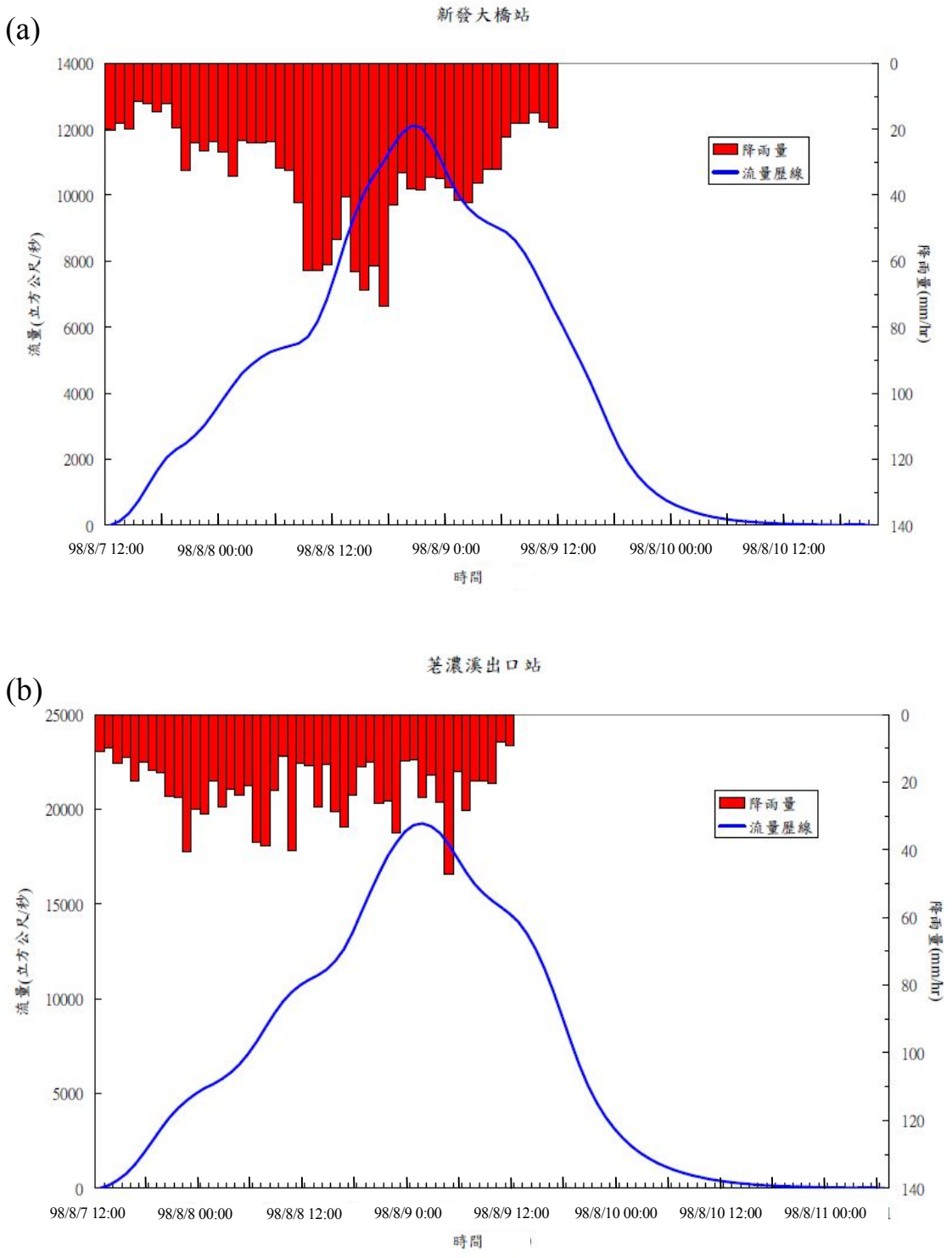
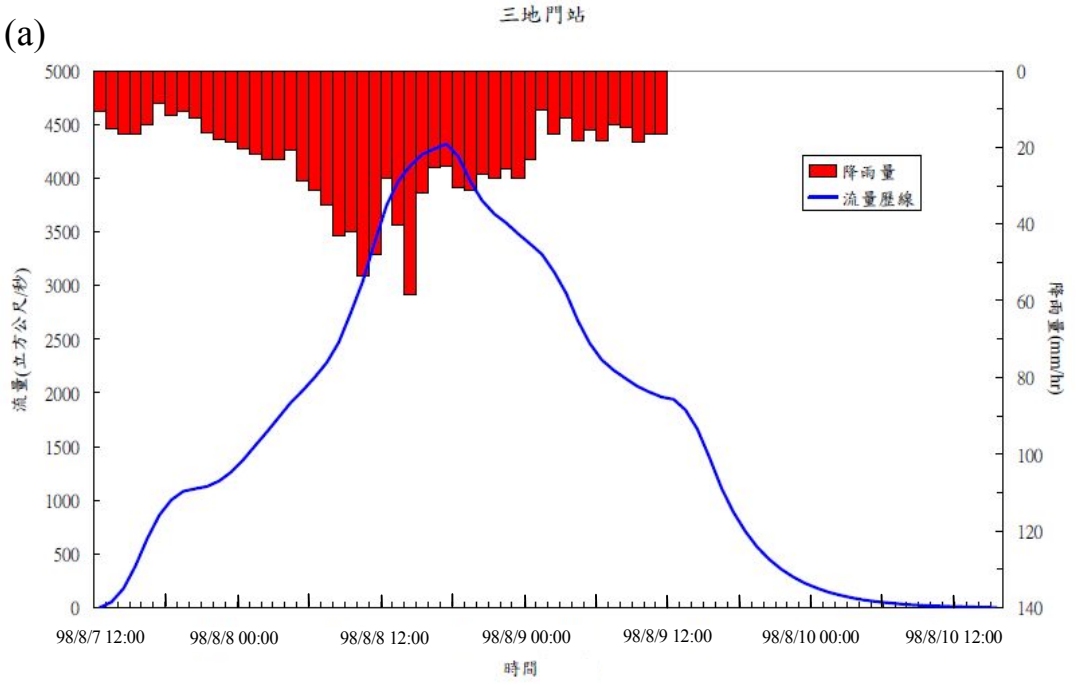


圖 4.8　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點二日事件降雨組體及逕流歷線圖(二)：(a)新發大橋站；(b)荖濃溪出口站【資料來源：莫拉克颱風水文分析報告，水利署水利規劃試驗所，2009】

(a)



(b)

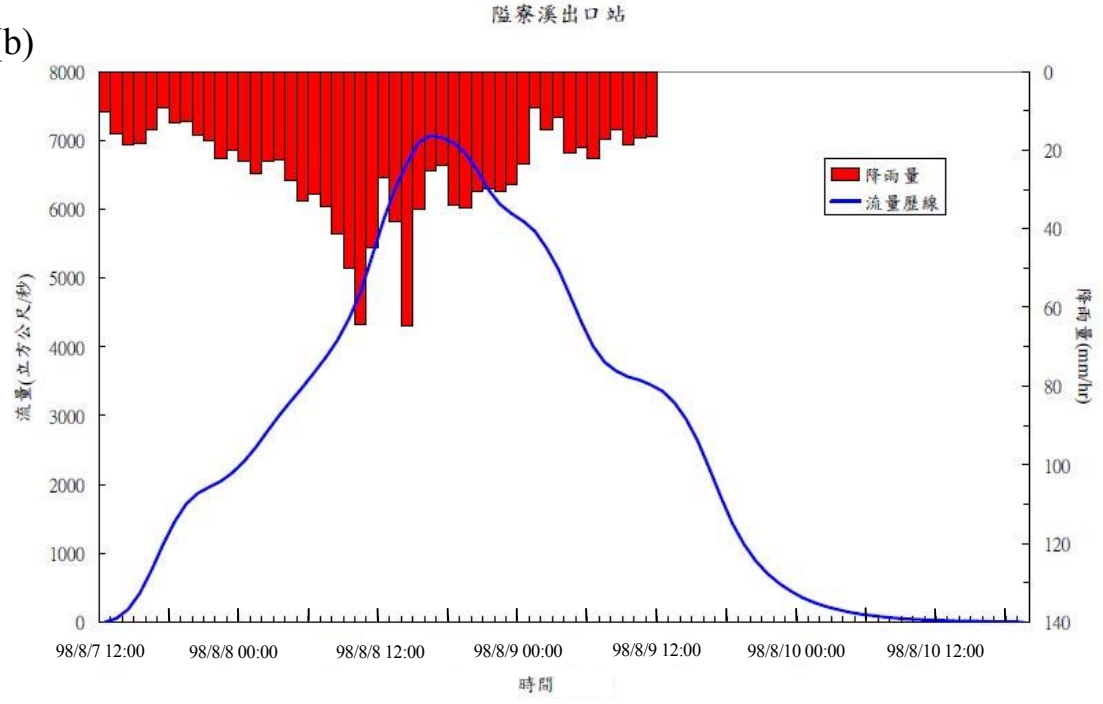


圖 4.9　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點二日事件降雨組體及逕流歷線圖(三)：(a)三地門站；(b)隘寮溪出口站【資料來源：莫拉克颱風水文分析報告，水利署水利規劃試驗所，2009】

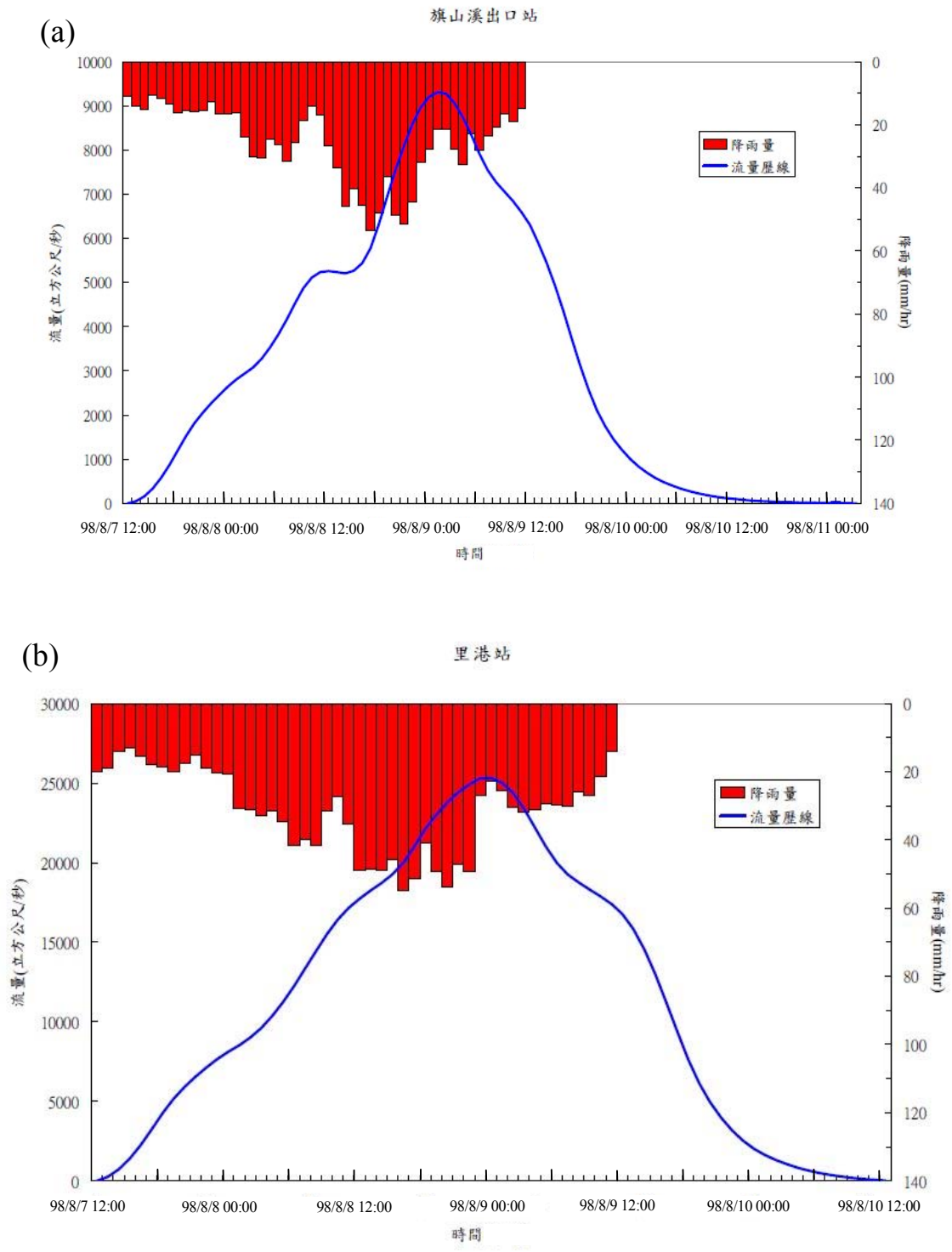


圖 4.10　高屏溪流域莫拉克颱風各控制點二日事件降雨組體及逕流歷線圖(四)：(a)旗山溪出口站；(b)里港站【資料來源：莫拉克颱風水文分析報告，水利署水利規劃試驗所，2009】

4.2 莫拉克颱風地質災害資料蒐集與分析

莫拉克颱風侵台期間為中南部山區帶來大量的降雨，伴隨著而來的即是坡地、洪水等災害，其中坡地災害所造成之土砂崩塌、土石流等，甚至因崩塌土砂堵塞河道造成之堰塞湖等所衍生之災害，均與橋梁受損有極大的相關，故本節將就過去針對莫拉克颱風期間所發生地質災害之相關研究進行蒐集與彙整，以瞭解相關坡地災害之災況與原因，作為研判計畫橋梁災損之參考。以下將分別針對崩塌地、土石流及堰塞湖等災害進行說明。

1. 崩塌地

由於本區多數坡地表層普遍覆蓋有崩積土層或風化表土，在莫拉克颱風之豪大降雨作用下，地表水大量入滲而影響淺層土壤基值吸力變化及造成地下水位上升，進而改變地層之剪力強度，引發坡地位移、滑動或崩塌。因此，坡地之崩塌與降雨有極大之關係，根據陳等人(2009)針對莫拉克颱風期間之崩塌地分佈情形與累積降雨量、降雨強度分佈之比對可知，崩塌地多發生於累積雨量 1,000 mm 以上之地區，而南部地區之崩塌主要集中於 1,500 mm 以上的地區，特別是降雨超過 1,700 mm 之區域，如圖 4.11 所示。而降雨強度方面，圖 4.12 為莫拉克颱風之最大時雨量分佈圖，由圖中可知南部崩塌地集中於最大時雨量高於 70 mm/hr 以上之區域。由此可知，崩塌地之分佈與累計降雨量及最大時雨量均有相當高的相關性。崩塌地災害之發生除豪雨作用外，陳等人(2009)亦根據現場調查結果，認為尚有包括迎風面、順向坡構造等因素，為造成崩塌地災害之原因。

2. 土石流

如上所述，由於莫拉克颱風之豪大降雨，高屏溪流域上游地區許多坡地崩塌嚴重，亦引發多處大規模土石流災害。由於上游坡地多為高陡坡，故土石流於上游溪岸造成河道下刷及向源侵蝕；於溪谷出口產生大規模土石淤高、堆積等作用，進而堵塞河道導致水流

集中、擺盪，沖刷河岸及橋梁；土石流運移過程中亦將直接沖擊道路與橋梁，造成公路阻斷、橋梁受損之災害。圖 4.13 所示即為公路總局於針對莫拉克造成之不同類型災害之發生地點。相片 4.1 及相片 4.2 所示即為寶來地區及新開地區莫拉克颱風前後之衛星影像，可見崩塌災害與土石流災害之影響。

3. 堰塞湖

大規模之土石崩塌可能堵塞河道，將導致河道上游產生堰塞湖，若於洪水持續作用下，致使堰塞湖產生潰決，潰決後之湧波將造成下游地區水位迅速高漲，洪水湧浪挾帶流石流木直接沖擊橋梁、堤岸...等構造物，造成嚴重災情。圖 4.14 及表 4-5 所示即為陳與許(2009)對莫拉克颱風期間所造成之堰塞湖調查結果，圖 4.15 即為高屏地區各雨量站、水位站與堰塞湖發生區之分佈情形，相片 4.3 及 4.4 所示為太麻里溪上游堰塞湖及小林村潰決後之堰塞湖情形。其中陳與許(2009)將堰塞湖之等級主要分為三類，並將調查結果列於表 4-5 中，各類分述如下：

第一類 A 級為高危險性堰塞湖

形成堰塞湖以後河道完全被堵死，所以在堰塞湖內水流是只進不出，這樣湖內的蓄水越來越多，而堤壩之厚度與堵塞深度之比值介於 10 至 20 之間而又不穩固者，很有可能在幾小時、幾天或一段時間之後塌垮破壞，稱為高危險性堰塞湖。

第二類 B 級為穩態型堰塞湖

堰塞湖已溢流、未被完全堵死或者有其他的通道導致河流改道等，使湖水依然可以流出，此時堰塞湖水流保持進出平衡，而同時形成的堤壩比較穩定，一般之厚度與堵塞深度之比值高於 20，這類的堰塞湖可以藉由穩定壩體的減災工程而保存較長的時間，稱為穩態堰塞湖，這類的堰塞湖一般不會造成太大災害。

第三類 C 級為即生即消型堰塞湖

即生即消或完全潰決型堰塞湖一般是指河流被崩塌、地滑或土石流等物質阻塞形成的短時堰塞湖，而這種堰塞湖壩體非常不牢固，一般之厚度與堵塞深度之比值低於 10，因此很快就被蓄積的湖水沖垮(溢流沖刷)。此外，此類型的堰塞湖亦可由第一類堰塞湖演變而來。

此外，由於莫拉克造成的大範圍土砂災害，致使旗山溪及荖濃溪上游河道嚴重淤積、抬高，圖 4.16 所示即為水利署根據現場量測統計後之河道土砂淤積調查成果，由圖中顯示可知於旗山溪那瑪夏至小林村河道之淤積量約 5180 萬立方公尺，而荖濃溪之由梅山至復興堤防河段亦有約 10,415 萬立方公尺之土砂淤積量。根據本計畫現場勘查結果，該河段或更上游區(如荖濃溪之阿其巴橋附近)之河道中，處處可見許多因土石流所淤積之土砂，並已阻塞大部分之河道。如相片 4.5 所示之荖濃溪上游復興橋及勤和村附近河道，均因土石流於河道中之堆積作用，造成河道嚴重阻塞，此將可能於未來洪水通過時產生新的堰塞湖，並於潰決後危害下游河道、橋梁及居民之安全。相片 4.6 所示為荖濃溪上游台 20 線 102K 附近河道，因歷年土石流堆積而造成河道淤高、堵塞之情形。

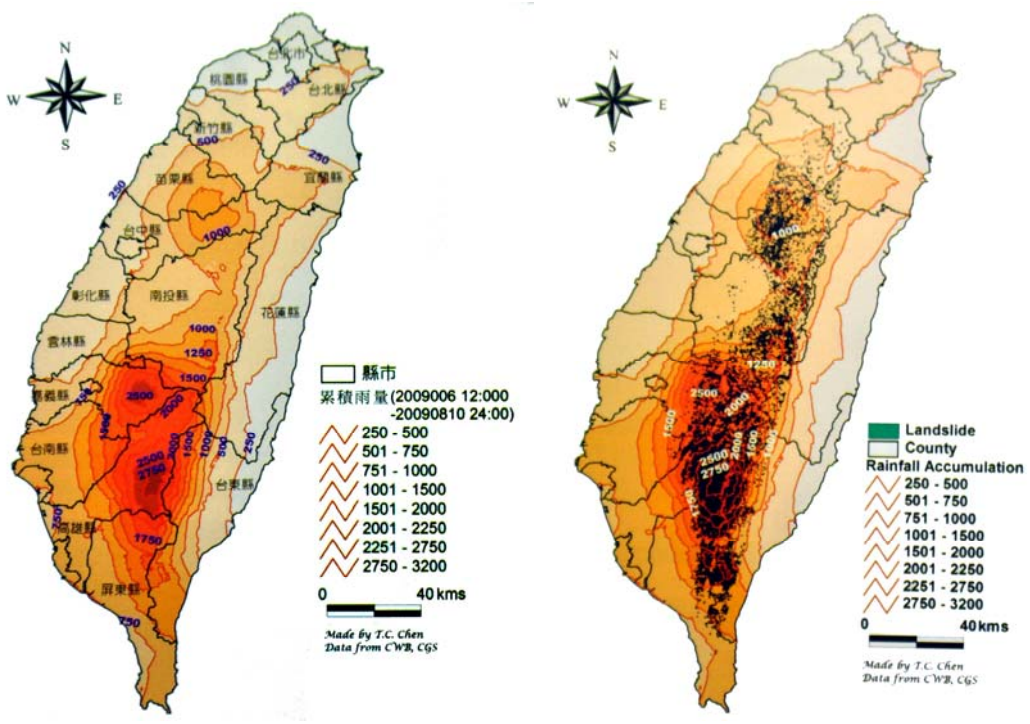


圖 4.11　莫拉克颱風累積雨量與崩塌地分佈情形【摘自：陳等人，2009】

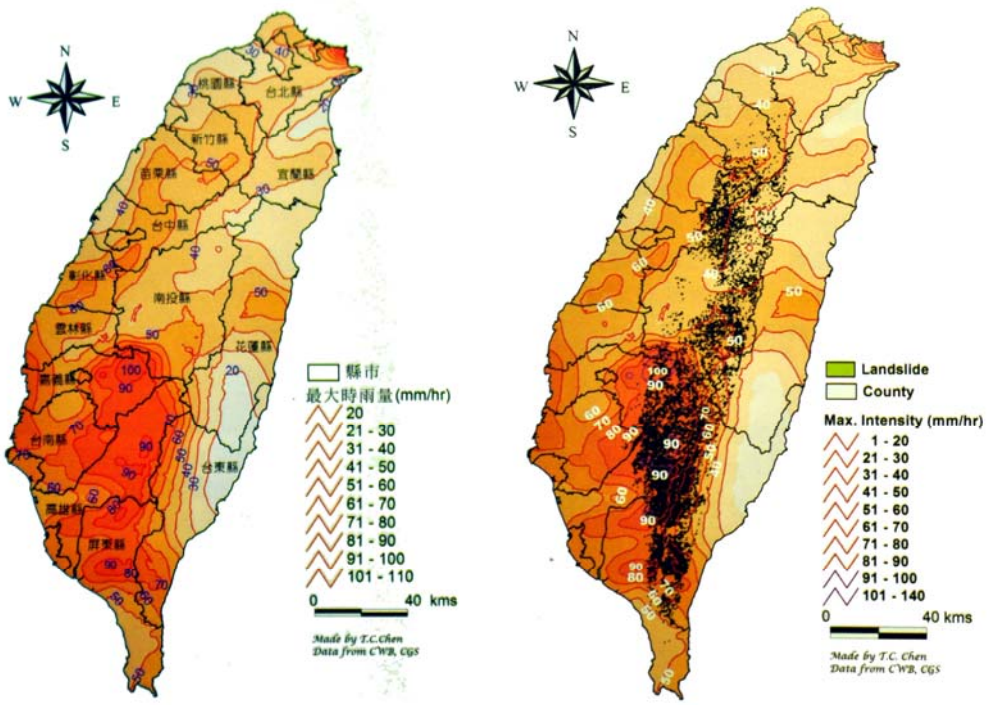


圖 4.12　莫拉克颱風最大時雨量與崩塌地分佈情形【摘自：陳等人，2009】

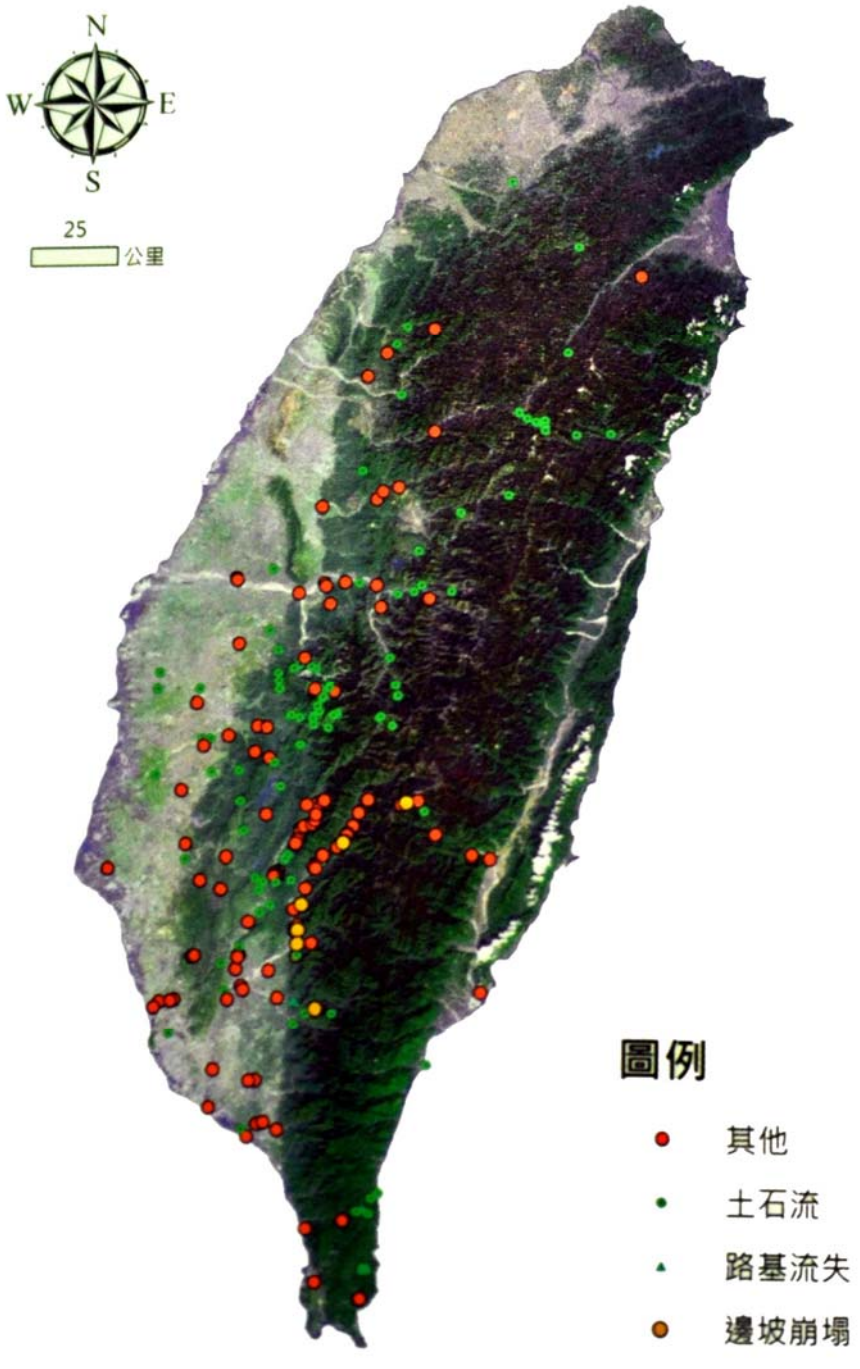
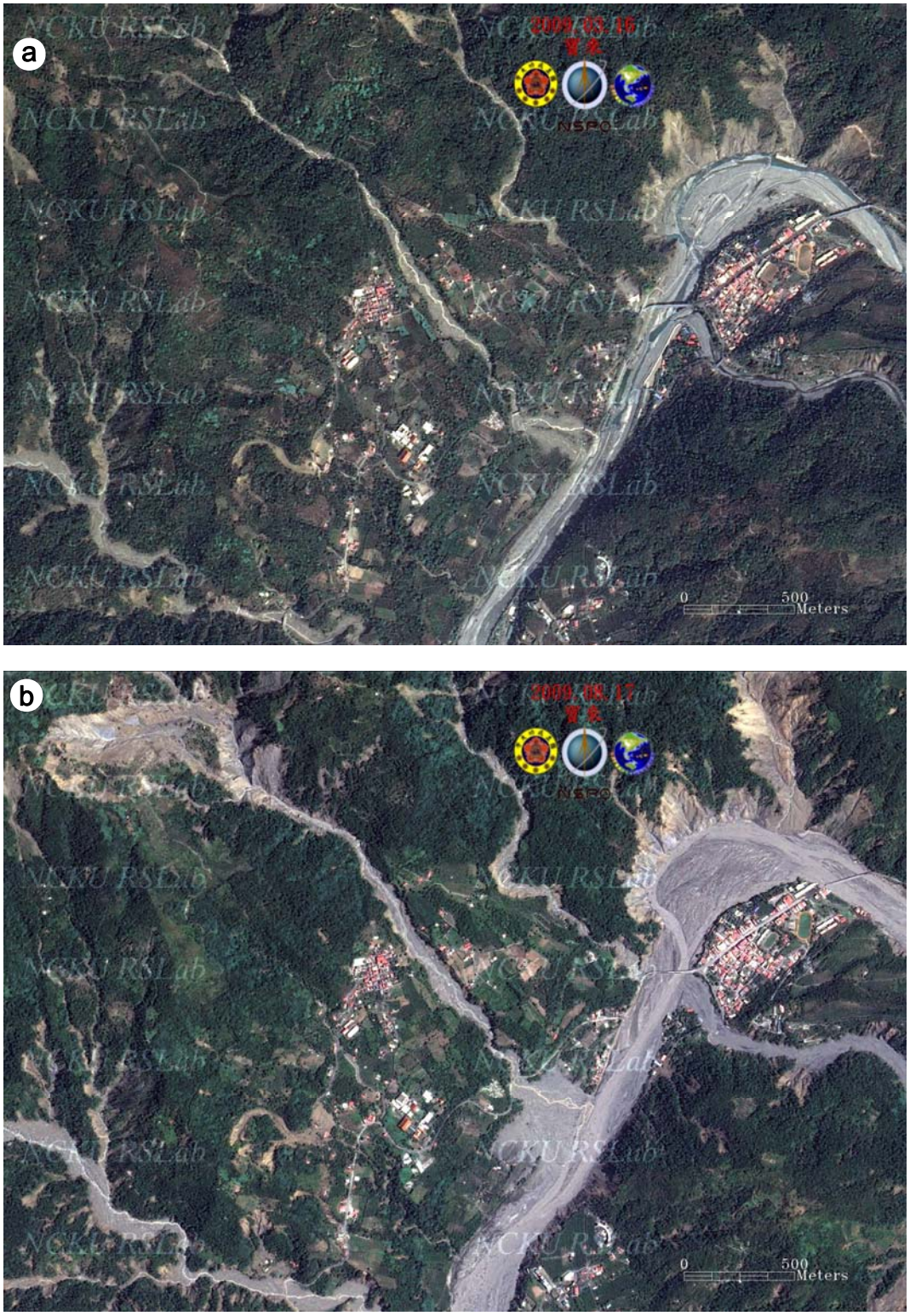


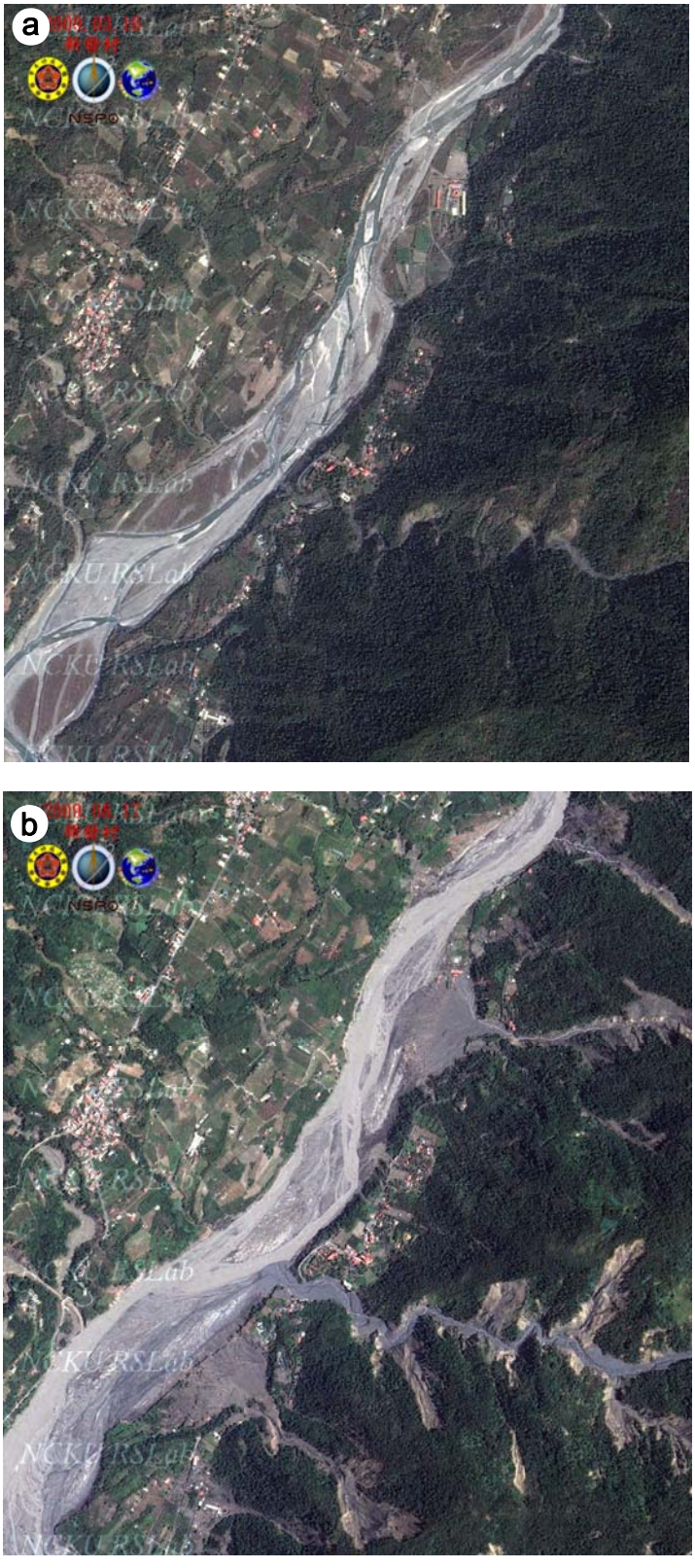
圖 4.13　公路總局莫拉克颱風期間不同類型災害分佈地點

【資料來源：公路總局，2009】



相片 4.1　　寶來地區莫拉克颱風前後崩塌地及土石流災害之衛星影像

【資料來源：成功大學遙測影像處理與地球環境監測實驗室】



相片 4.2　　新開地區莫拉克颱風前後崩塌地及土石流災害之衛星影像

【資料來源：成功大學遙測影像處理與地球環境監測實驗室】

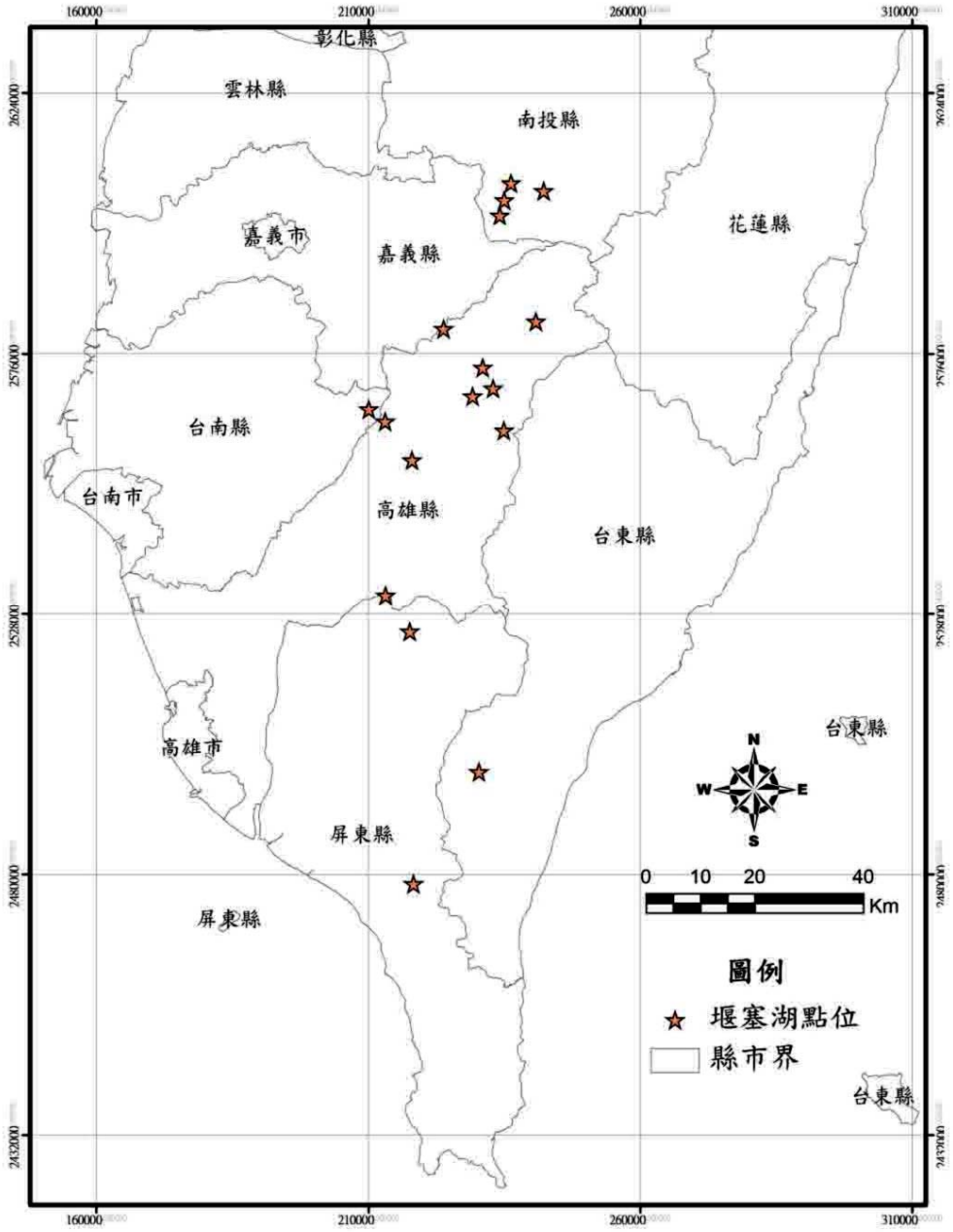


圖 4.14　莫拉克颱風期間堰塞湖分佈位置圖

【摘自：陳與許，2009】

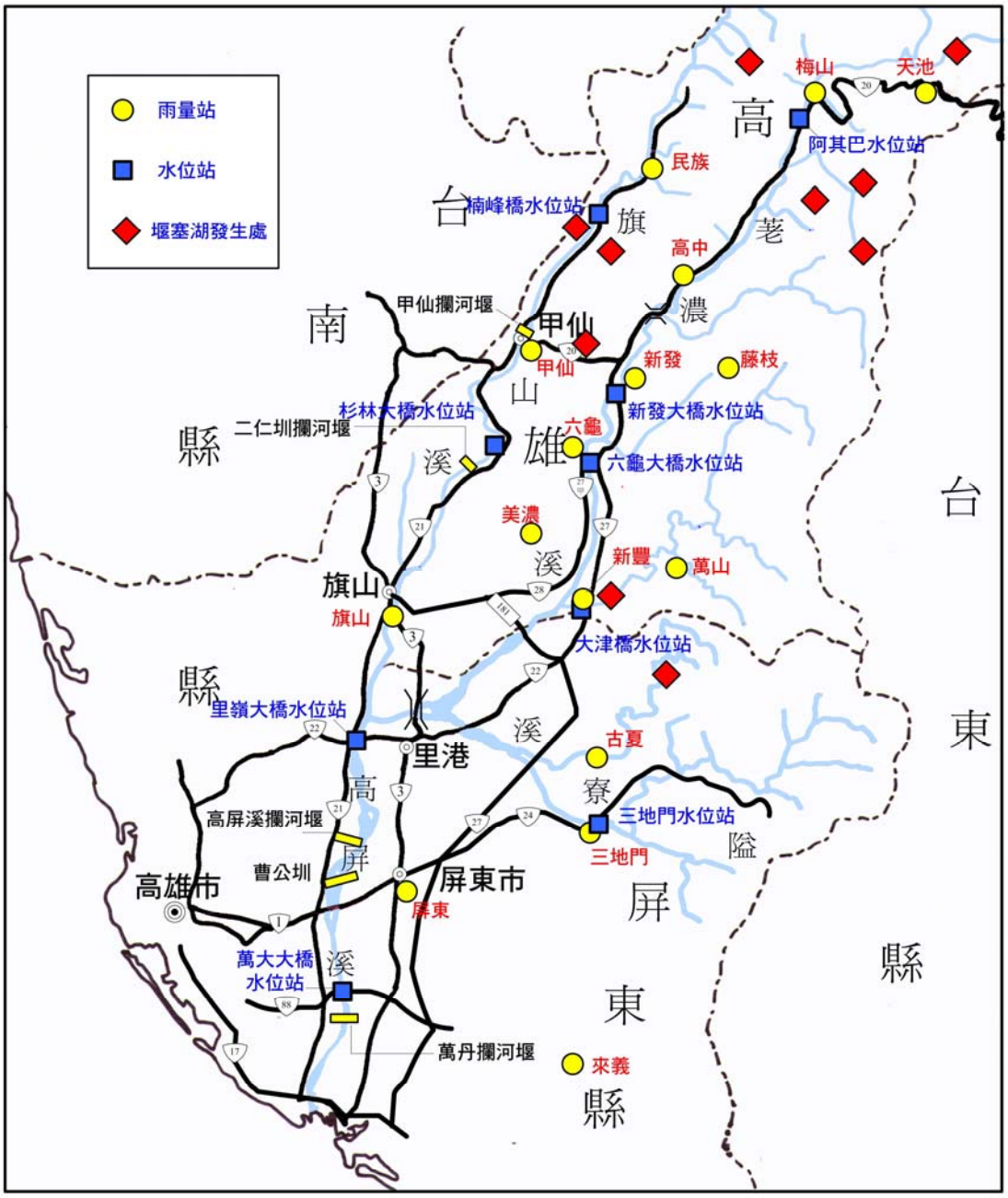


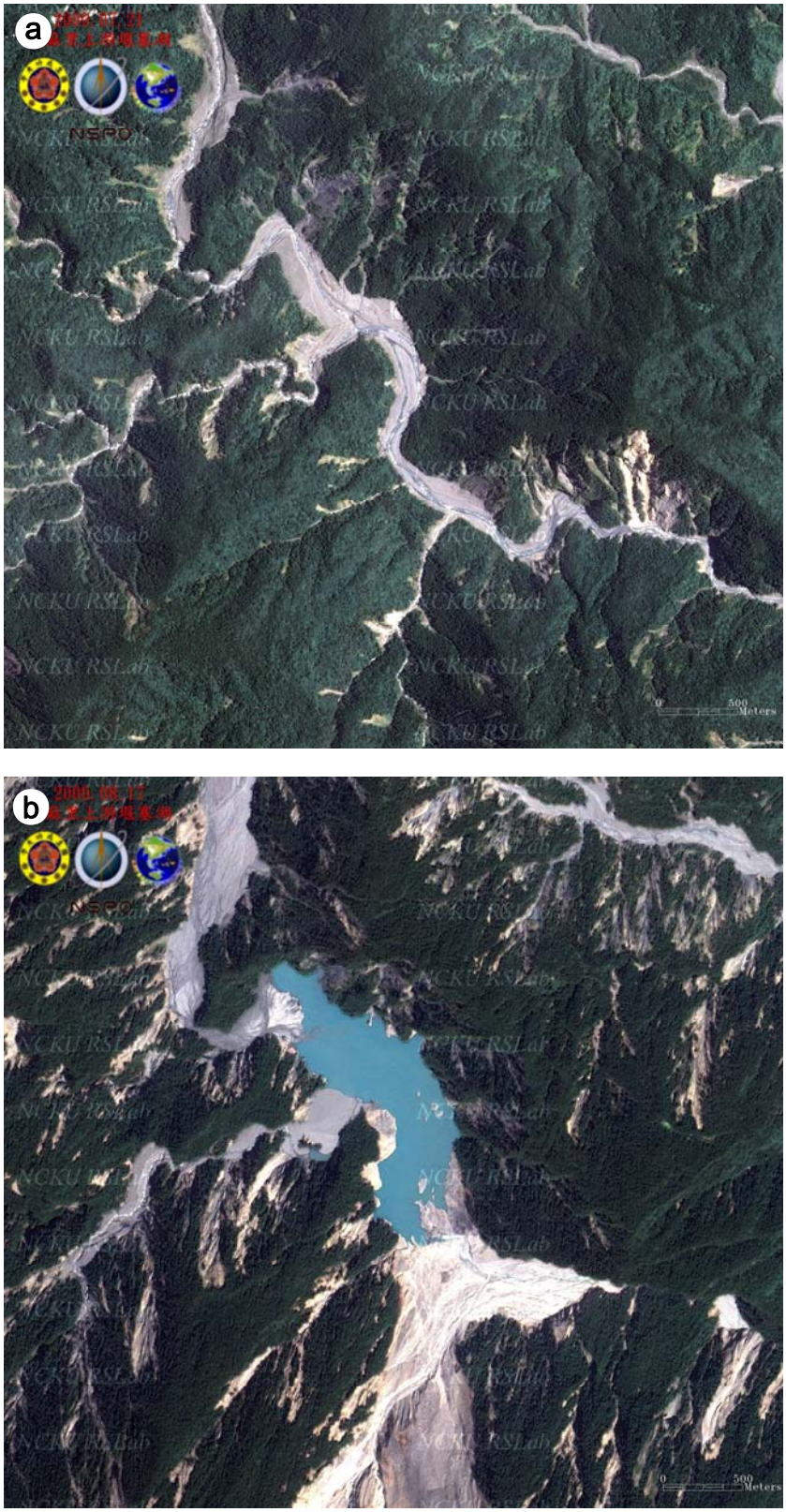
圖 4.15　高屏地區雨量站、水位站及堰塞湖發生處之相關位置圖

【資料來源：1. 雨量站及水位站：水利署第七河川局；2. 堰塞湖：陳與許，2009】

表 4-5　莫拉克颱風堰塞湖狀況統計表

項次	名稱	座標	地點	等級	備註
1	沙里仙溪堰塞湖	X:242271 Y:2605978	南投縣信義鄉	C	1. 已潰決,無安全問題 2. 權責為國立臺灣大學(實驗林管理處)，並由林務局協助
2	和社溪州流出水坑溪堰塞湖	X:234999 Y:2604290	南投縣信義鄉神木村	C	1. 已於 98 年 8 月 8 日潰決,無安全問題 2. 權責為水保局
3	和社溪支流頭坑溪堰塞湖	X:236242 Y:2607435	南投縣信義鄉神木村	C	1. 已於 98 年 8 月 8 日潰決,沖毀隆華國小 2. 權責為林務局
4	荖濃溪支流堰塞湖	X:231000 Y:2573500	高雄縣桃源鄉梅山村	C	1. 已於 8 月 11 日潰決,無安全問題 2. 權責為林務局
5	荖濃溪堰塞湖	X:229171 Y:2568207	高雄縣桃源鄉復興村	C	1. 已於 8 月 13 日 12 時潰決,無安全任問題 2. 權責為水土保持局
6	荖濃溪主塞湖	X:218000 Y:2556400	高雄縣六龜鄉寶來一、二號橋間	C	1. 已於 8 月 11 日 21 時潰決,無安全問題 2. 權責為水利署
7	旗山溪堰塞湖	X:213105 Y:2563555	高雄縣甲仙鄉小林村	C	1. 已於 8 月 9 日 6 時潰決,無安全問題 2. 權責為水利署
8	荖濃溪支流濁口溪堰塞湖	X:213148 Y:2531484	屏東縣高樹鄉新豐村	C	1. 已潰決,無安全問題 2. 權責為水土保持局
9	口社溪上游堰塞湖	X:217598 Y:2524692	屏東縣三地門鄉口社村	C	1. 已於 8 月 12 日潰決,無安全問題 2. 權責為水土保持局
10	曾文溪支流後堀溪堰塞湖	X:210100 Y:2565800	臺南縣南化鄉關山村	C	1. 已於 8 月 17 日溢流無淤塞情形,無安全問題 2. 權責為林務局
11	陳有蘭溪上游霍薩溪堰塞湖	X:234189 Y:2601512	南投縣信義鄉神木村	B	1. 8 月 17 日溢流無淤塞,尚無立即危險 2. 權責為國立臺灣大學(實驗林管理處),並由林務局協助
12	荖濃溪上游主流堰塞湖	X:240835 Y:2581946	高雄縣信義鄉神木村	B	1. 8 月 18 日空勘蓄水面積 5 公頃,已潰決且穩定溢流,尚無立即危險 2. 權責為林務局
13	荖濃溪支流寶來溪上游堰塞湖	X:234942 Y:2561910	高雄縣桃源鄉寶山村	B	1. 8 月 18 日空勘蓄水面積 1 公頃,已穩定溢流,尚無立即危險 2. 權責為林務局
14	荖濃溪支流拉克斯溪上游堰塞湖	X:232959 Y:2569655	高雄縣桃源鄉樟山村	B	1. 8 月 19 日空勘蓄水面積 2 公頃,已潰決且穩定溢流,尚無立即危險 2. 權責為林務局
15	士文溪堰塞湖	X:218313 Y:2478254	屏東鄉春日鄉士文村	A	1. 8 月 18 日空勘蓄水面積 4 公頃,已潰決且穩定溢流,尚無立即危險 2. 權責為林務局
16	旗山溪上游堰塞湖	X:223850 Y:2580587	高雄縣那瑪夏鄉民生村	A	1. 已於 8 月 18 日空勘蓄水面積 23 公頃,已潰決且穩定溢流,尚無立即危險 2. 權責為林務局
17	太麻里溪上游堰塞湖	X:230373 Y:2498833	臺東縣金峰鄉嘉蘭村	A	1. 已於 8 月 14 日空勘蓄水面積 70 公頃,已潰決且穩定溢流,尚無立即危險 2. 權責為林務局

【摘自：陳與許，2009】



相片 4.3　太麻里溪上游堰塞湖於莫拉克颱風前後之衛星影像

【資料來源：成功大學遙測影像處理與地球環境監測實驗室】



相片 4.4　莫拉克颱風後，已潰決的小林村堰塞湖



圖 4.16　民國 93 年至 98 年莫拉克颱風後，旗山溪及荖濃溪河道淤積土砂推估示意圖【資料來源：經濟部水利署】



相片 4.5　　荖濃溪上游河道土砂堆積之衛星影像

【資料來源：成功大學遙測影像處理與地球環境監測實驗室】



相片 4.6　　荖濃溪上游台 20 線 102K 附近河道土砂堆積情形

第五章 旗山溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析

5.1 台 21 線第十號橋

1. 基本資料

台 21 線第十號橋位於高雄縣甲仙鄉小林村，建於民國 61 年 4 月，其里程數為 222K+721，跨越匯入旗山溪之無名溪。本橋長 30 m，跨距為 15 m、共有 2 個橋孔。其上部結構為梁式的鋼筋混泥土橋梁，下部結構為半重力式橋台，橋台及橋墩皆為直接基礎。台 21 線第十號橋橋梁基本資料表，詳如表 5-1。其本橋往南側分別有無名溪、高雄縣編號 DF-006 與 DF-007 土石流潛勢溪流、以及角埔溪等各自匯入旗山溪，相關位置如相片 5.1 之航空相片所示。

根據中央地質調查所提供之旗山溪之地質分佈情形，上游集水區屬中新世中期瑞芳群主要為砂岩及頁岩，中游旗山以上一帶屬中新世晚期至上新世之三峽群之砂岩及頁岩，即易風化崩坍之地質，下游為堆積階地或沖積層。此外，本區之斷層分佈情形，由於早期造山運動影響，旗山溪流域斷層分佈有旗山斷層、甲仙斷層及平溪斷層，其中旗山斷層位於美濃至六龜間，屬一左移斷層，呈東北—西南走向，全長約 55 公里，民國 62 年此斷層附近曾發生規模三級以上地震，故可視為一可能活動斷層。

而根據中央地質調查所提供之資料顯示，台 21 線第十號橋於橋址處附近之地質層為深灰色之鹽水坑頁岩以及帶有灰色細粒砂岩之糖恩山砂岩層，如圖 5.1 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風襲台，於本區降下極大之豪雨，根據經濟部水利署災害緊急應變系統提供之於鄰近橋址處民生雨量站量測資料中顯示，本區於颱洪期間一日或二日累積雨量分別高達 1,025

mm 及 1,397 mm 之驚人累積雨量，並根據圖 5.2 民生雨量站之降雨組體圖可知，最大降雨強度約發生於 8 月 8 日晚上 10 點，且降雨強度直逼 96 mm / hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，經經濟部水利署及氣象局各雨量站不同延時雨量頻率分析結果可知，此次風災之降雨延時在 24 小時條件下，超過 200 年重現期之降雨強度，如表 5-2 所示。

依據經濟部水利署災害緊急應變系統之楠峰橋水位站(圖 5.3)之莫拉克颱洪事件的水位歷線圖顯示，水位資料僅紀錄至 8 月 9 日早上 6 點，且根據陳與許(2009)對小林村堰塞湖災害之研究中指出，小林村獻肚山山崩之時間點亦為 8 月 9 日早上 6 點，研判於此時山崩之大量土砂堆積於旗山溪河道使得上游處水位逐漸淤高，而形成堰塞湖之情形，並於早上 6 點 30 分潰決。而當小林村堰塞湖潰決，其上游處洪水流速驟增，及下游處洪水水位迅速抬升並挾帶流木與土石如湧浪般順沿旗山溪而下，嚴重影響到下游之跨河橋梁與沿岸。

此外，根據中央地質調查所集水區地形與地質資料庫提供之莫拉克颱風前後之衛星影像(如相片 5.2)可知，本橋附近於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂及土石崩落，加上集水區內大量集中降雨，致使超大豪雨挾帶大量土石流沿溪流而下。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查及比對莫拉克颱洪前(相片 5.1)與颱洪後(相片 5.3)之航空相片，以及放大照之比較如相片 5.4 所示。台 21 線第十號橋位於旗山溪楠峰大橋之上游側，而當時莫拉克颱洪期間受到獻肚山山崩影響，大量土砂崩落並阻塞旗山溪河道，使得水位迅速抬升形成堰塞湖。在堰塞湖潰決後，其上游處洪水流速驟增，產生強大之拖曳力並造成大範圍淘刷之現象。另外，於本橋所跨越之無名溪上游處集水區域內，山坡崩塌所產生之土石隨洪水形成土石流順沿而下，並延本橋上游左岸凹岸處之切線方向沖撞橋址。基於以上之因素，台 21 線第十號橋斷裂流失並導致交通阻斷。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大

莫拉克颱洪期間，本區降雨強度已超過 200 年重現期之雨量，豪大雨直接落於南部山區，加上本區山坡土體岩塊破碎，造成山區邊坡土石崩落並堆積於野溪、河道中。

(2)小林村堰塞湖之影響

台 21 線第十號橋位於旗山溪楠峰大橋之上游側。於莫拉克颱洪中，獻肚山所崩塌之大量土砂堆積於旗山溪河道楠峰大橋橋址附近形成天然霸，使上游處水位迅速抬升。而當小林村堰塞湖潰決時，上游處洪水流速驟增，產生強大之拖曳力並造成大範圍淘刷之現象，且挾帶流木與土石如湧浪般順沿旗山溪而下，並嚴重影響到下游之跨河橋梁與沿岸。

(3)土石流與山崩災害

台 21 線第十號橋所跨越之無名溪，其上游南側匯入無名溪之野溪受到獻肚山山崩影響，使得部分土體堆積於上游左岸凹岸處。加上上游處由於山坡土體岩塊破碎以及超大降雨量，集水區域內山坡崩塌產生土石流，並受到十號橋上游左側凹岸彎道影響，使得土石流沖擊已淤高之凹岸，而土石流的直進慣性強，過彎時產生超高現象可導致土石流越岸淤埋或是沖刷側岸，且挾帶大量土石順沿其切線出射方向沖擊本橋之左岸，產生推移進而斷裂崩落並流失。且土石流之強烈沖刷力，使河道兩岸遭受嚴重側向侵蝕，導致溪流寬度展寬數倍外，也造成溪床之土石堆積抬高。其災前災後之路拍畫面如相片 5.5 所示。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 5.4 中所示。

表 5-1 第十號橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	第十號橋	橋梁編號	0210-084	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	甲仙	道路等級	省道	路線	臺 21 線
橋頭里程	222K+721M	橋尾里程	K+M	竣工年月	61 年 04 月	最近維修年月	不詳
造價	不詳元	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	不詳	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體		改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	否	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	30M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	4.6M	最小淨寬	4.6M	橋版投影面積	138M^2		
總車道數	1	總橋孔數	2	最大跨距	15M		
跨距分配	15@2						
最高橋墩高度	6M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	7M		
橋頭 GPS 經度	120.6339	橋頭 GPS 緯度	23.1732	橋尾 GPS 經度	120.6402	橋尾 GPS 緯度	23.1729
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	T 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	搖軸支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	牆式	橋墩基礎型式	直接基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.45M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-06-09 11:04:11
備　註							

【資料來源：第三區養護工程處】



相片 5.1　莫拉克颱洪前甲仙鄉小林村台 21 線第十號橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片【資料來源：農林航空測量所】

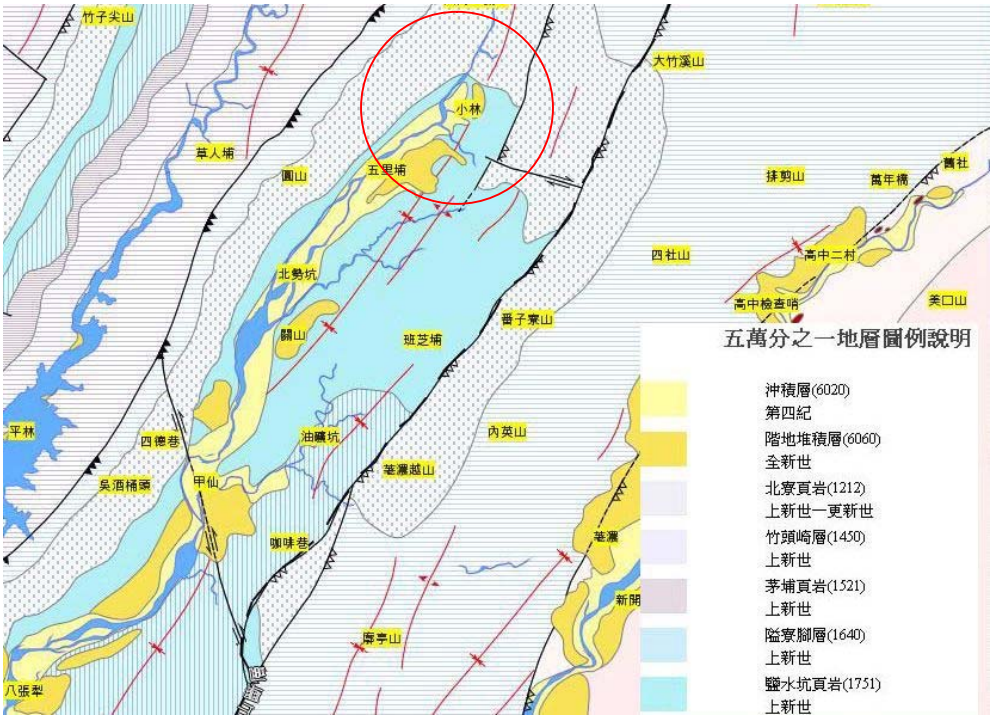


圖 5.1　台 21 線第十號橋橋址附近地質分佈圖

【資料來源：中央地質調查所】

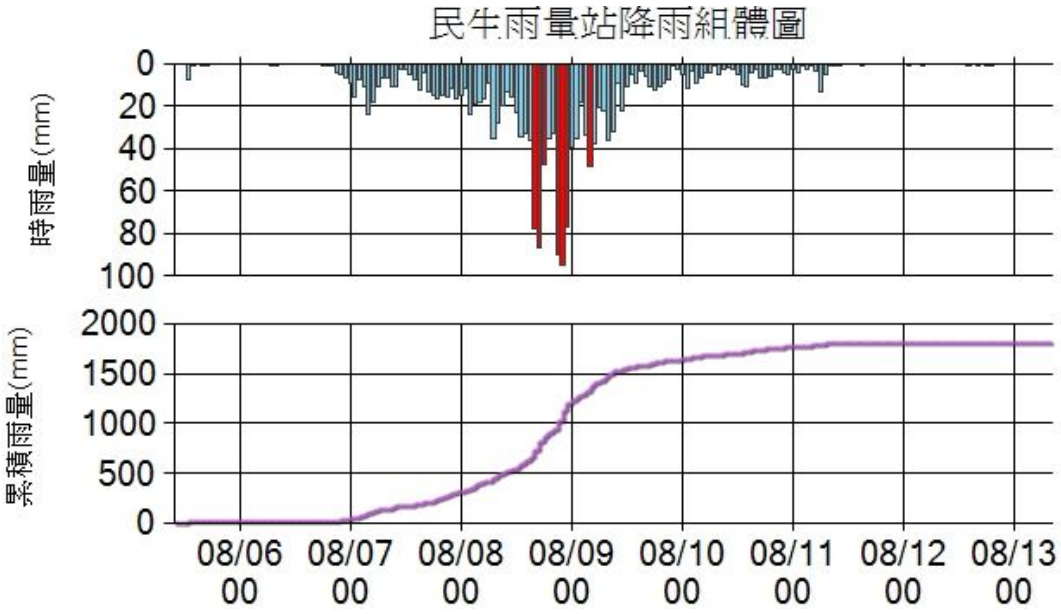


圖 5.2　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 5-2 民生與民族雨量站於莫拉克颱洪時期之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_民生暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：16年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	48.3	58.5	64.3	69.3	70.8	75.2	79.3	83.1	0	<2	108	>200
3	88.0	118.2	136.2	152.2	157.1	171.5	185.2	198.3	0	<2	261	>200
6	124.9	187.5	228.0	265.8	277.6	313.3	348.0	382.1	0	<2	403.5	>200
12	175.6	288.9	361.0	427.7	448.4	510.9	571.5	630.6	0	<2	689	>200
24	256.9	427.9	533.7	630.0	659.7	748.7	834.1	916.7	0	<2	1025	>200
48	327.9	603.3	787.7	963.0	1018.2	1187.1	1353.1	1517.2	-	-	1397	118.78
72	348.0	683.3	921.4	1154.7	1229.4	1460.5	1691.5	1922.9	-	-	1621	76.01

參考水利署雨量站：民族。(統計資料長度：30年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	52.5	73.4	89.2	105.3	110.5	126.9	143.5	160.4	0	<2	108	18.38
3	109.2	154.1	182.1	207.9	215.8	239.7	262.7	285.1	0	<2	261	93.02
6	163.9	227.0	264.3	297.4	307.5	337.3	365.6	392.5	0	<2	403.5	>200
12	249.0	349.0	407.6	459.2	474.9	521.1	564.6	606.0	0	<2	689	>200
24	358.0	504.0	590.6	667.7	691.2	760.8	826.6	889.7	0	<2	1025	>200
48	481.0	731.6	890.9	1038.3	1084.0	1222.2	1355.9	1486.4	-	-	1397	123.26
72	526.0	834.2	1040.6	1236.9	1298.8	1487.8	1673.7	1857.6	-	-	1621	78.59

【資料來源：經濟部水利署與中央氣象局】

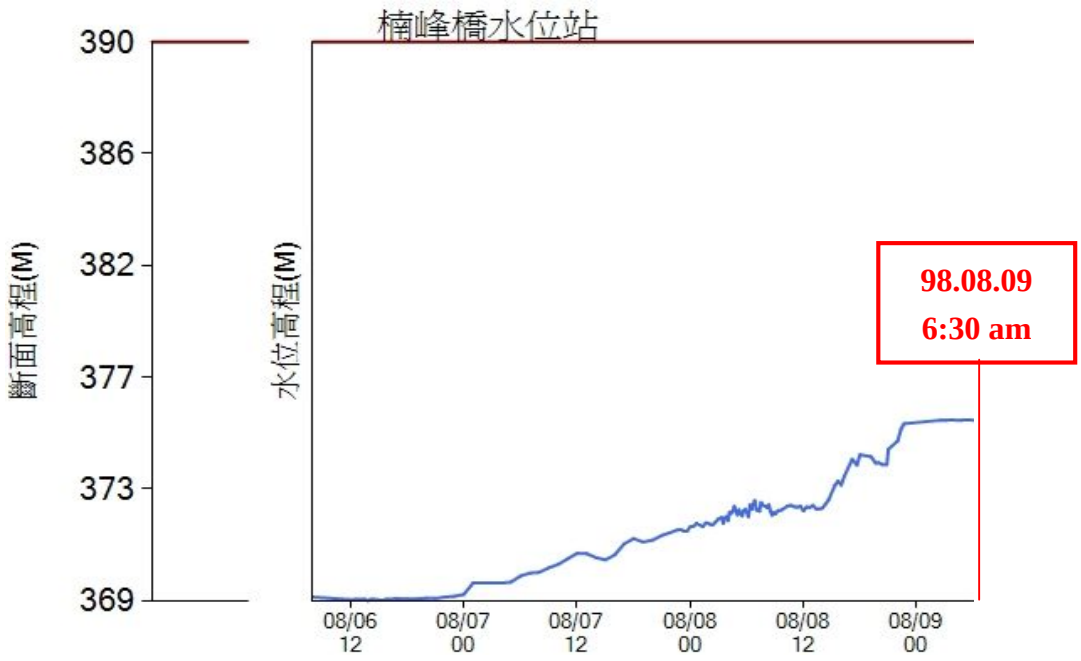
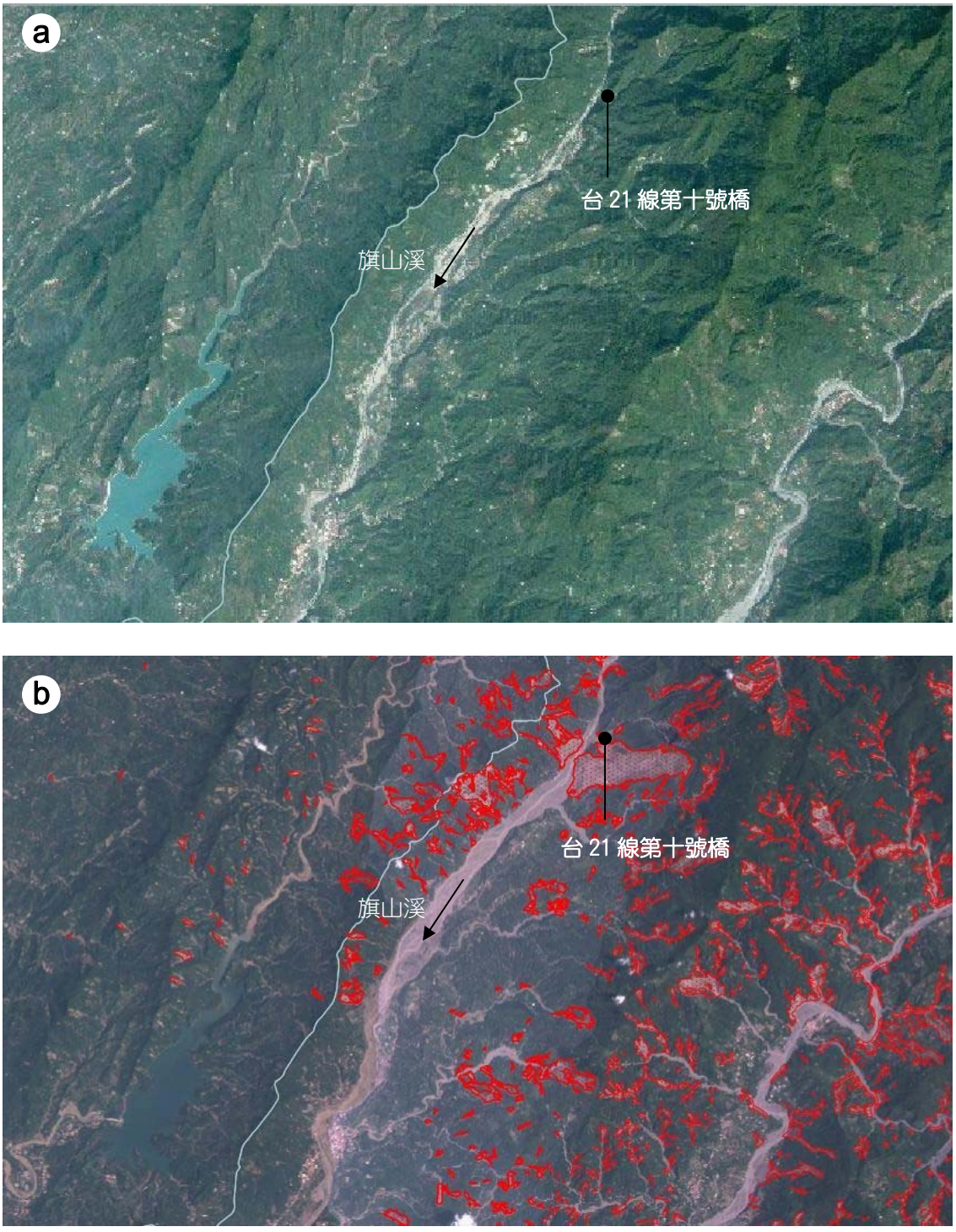


圖 5.3 楠峰橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 5.2　第十號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】



相片 5.3　莫拉克颱洪後甲仙鄉小林村台 21 線第十號橋之上下游河段航照【資料來源：農林航空測量所】



相片 5.4　台 21 線第十號橋於莫拉克颱洪前、後之比較

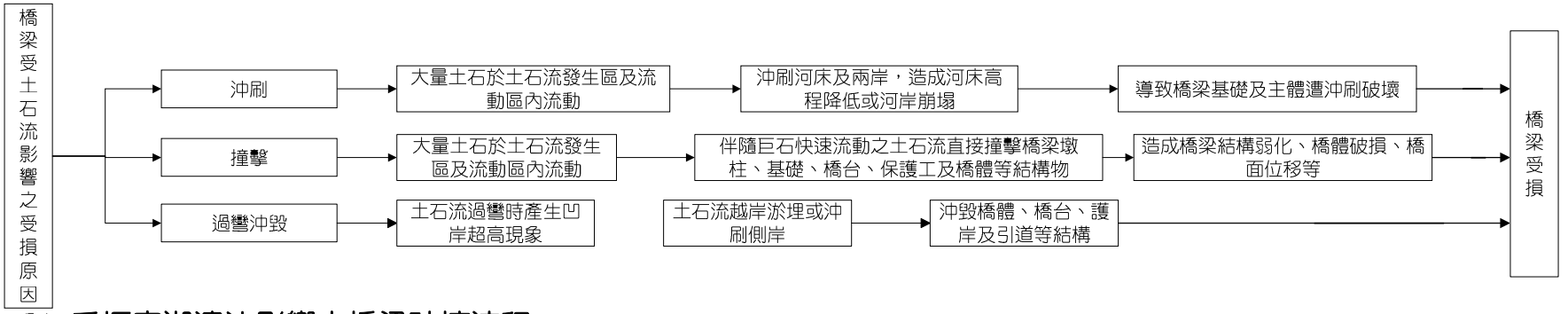
【資料來源：農林航空測量所】



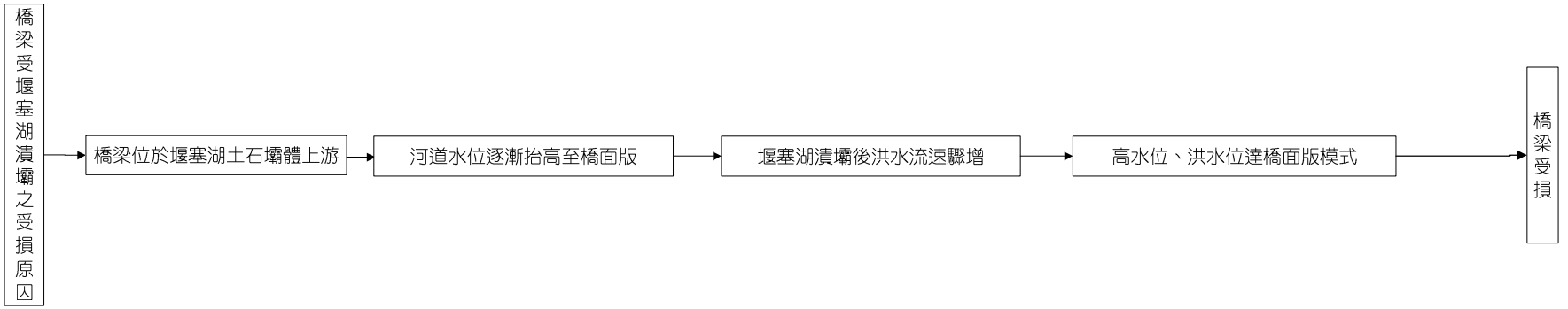


相片 5.5　莫拉克颱洪前後之比對，可見災後河道拓寬數倍以及台 21 線第十號橋已流失

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 受堰塞湖潰決影響之橋梁破壞流程



(c) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流程

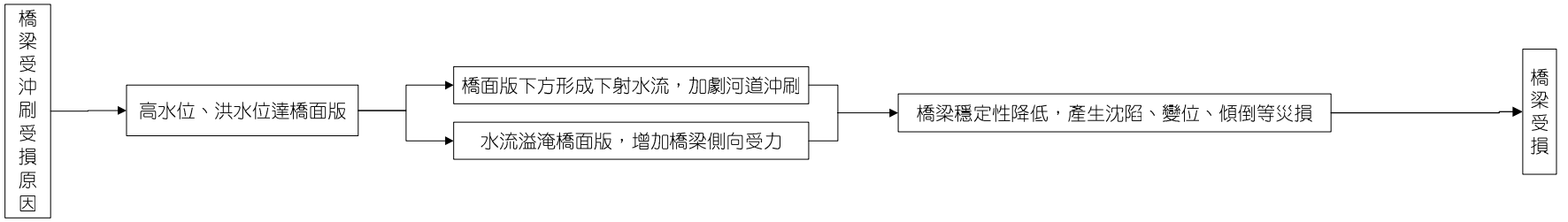


圖 5.4　　第十號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

5.2 台 21 線第九號橋

1. 基本資料

台 21 線第九號橋位於高雄縣甲仙鄉小林村，建於民國 61 年 2 月，其里程數為 224K+50，跨越匯入旗山溪之高雄縣編號 DF-007 土石流潛勢溪流。本橋長 10 m，為單跨橋梁其跨距為 10 m。其上部結構為梁式的鋼筋混泥土橋梁，下部結構為半重力式橋台，橋台為直接基礎。台 21 線第九號橋橋梁基本資料表詳如表 5-3。其第九號橋往北側分別有高雄縣編號 DF-006 土石流潛勢溪流與無名溪、以及南側之角埔溪等各自匯入旗山溪，相關位置如相片 5.6 之航空相片所示。

根據中央地質調查所提供之旗山溪之地質分佈情形，上游集水區屬中新世中期瑞芳群主要為砂岩及頁岩，中游旗山以上一帶屬中新世晚期至上新世之三峽群之砂岩及頁岩，即易風化崩坍之地質，下游為堆積階地或沖積層。此外，本區之斷層分佈情形，由於早期造山運動影響，旗山溪流域斷層分佈有旗山斷層、甲仙斷層及平溪斷層，其中旗山斷層位於美濃至六龜間，屬一左移斷層，呈東北—西南走向，全長約 55 公里，民國 62 年此斷層附近曾發生規模三級以上地震，故可視為一可能活動斷層。

而根據中央地質調查所提供之資料顯示，台 21 線第九號橋於橋址處附近之地質層為深灰色之鹽水坑頁岩以及帶有灰色細粒砂岩之糖恩山砂岩層，如圖 5.5 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風襲台，於本區降下極大之豪雨，根據經濟部水利署災害緊急應變系統提供之於鄰近橋址處民生雨量站量測資料中顯示，本區於颱洪期間一日或二日累積雨量分別高達 1,025 mm 及 1,397 mm 之驚人累積雨量，並根據圖 5.6 民生雨量站之降雨組體圖可知，最大降雨強度約發生於 8 月 8 日晚上 10 點，且降雨強

度直逼 96 mm / hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，經經濟部水利署及氣象局各雨量站不同延時雨量頻率分析結果可知，此次風災之降雨延時在 24 小時條件下，超過 200 年重現期之降雨強度，如表 5-4 所示。

依據經濟部水利署災害緊急應變系統之楠峰橋水位站(圖 5.7)之莫拉克颱洪事件的水位歷線圖顯示，水位資料僅紀錄至 8 月 9 日早上 6 點，且根據陳與許(2009)對小林村堰塞湖災害之研究中指出，小林村獻肚山山崩之時間點亦為 8 月 9 日早上 6 點，研判於此時山崩之大量土砂堆積於旗山溪而形成堰塞湖，並於早上 6 點 30 分潰決。而當小林村堰塞湖潰決，其大量洪水挾帶流木與土石如湧浪般順沿旗山溪而下，嚴重影響到下游處之跨河橋梁與沿岸。

此外，根據中央地質調查所集水區地形與地質資料庫提供之莫拉克颱風前後之衛星影像(如相片 5.7)可知，台 21 線第九號橋附近於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂及土石崩落，加上集水區內大量集中降雨，致使超大豪雨挾帶大量土石流沿溪流而下。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查及比對颱洪前(相片 5.6)與颱洪後(相片 5.8)之航空相片，以及放大照之比較如相片 5.9 所示。於民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱洪期間，台 21 線第九號橋上游處由於獻肚山坡土體岩塊破碎加上大量降雨，使得集水區域山坡產生非常嚴重之大型崩山，將甲仙鄉小林村掩沒當中也包含台 21 線第九號橋。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大

莫拉克颱洪期間，本區降雨強度已超過 200 年重現期之雨量，豪大雨直接落於南部山區，加上本區山坡土體岩塊破碎，造成山區邊坡土石崩落並堆積於野溪、河道中。

(2)土石流與山崩災害

根據水土保持局(2009)土石流潛勢溪流資料顯示，台 21 線第九號橋位於編號高雄縣 DF-007 土石流潛勢溪流處，為高度危險之潛勢溪流。而根據災前相片 5.10 中顯示台 21 線第九號橋於橋址處已有土石堆積之現象，並於莫拉克颱洪期間降下超大雨量，推測此時野溪之洪流挾帶大量土石與漂流木沖往橋址處，於第九號橋處址堵塞橋孔，造成河道通水斷面嚴重不足而產生阻水效應。第九號橋上游處之獻肚山山坡地，因承受不了此龐大之雨量，而發生邊坡滑動並掩埋小林村以及台 21 線第九號橋且堵塞旗山溪之本流，形成天然霸。加上大量豪雨而生成堰塞湖不久則壩體潰堤，產生洪水如湧浪般之沖往旗山溪下游。其第九號橋颱洪後之畫面如相片 5.11 所示。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 5.8 所示。

表 5-3 第九號橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	第九號橋	橋梁編號	0210-085	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	甲仙	道路等級	省道	路線	臺 21 線
橋頭里程	224K+50M	橋尾里程	K+M	竣工年月	61 年 02 月	最近維修年月	不詳
造價	不詳元	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	不詳	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12　月/次	跨越物體	旗山溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	否	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	10M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	12M	最小淨寬	12M	橋版投影面積	120M^2		
總車道數	2	總橋孔數	1	最大跨距	10M		
跨距分配	10@1						
最高橋墩高度	不詳	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	5M		
橋頭 GPS 經度	120.6339	橋頭 GPS 緯度	23.1612	橋尾 GPS 經度	120.6338	橋尾 GPS 緯度	23.1611
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	T 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	搖軸支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	無	橋墩型式	無	橋墩基礎型式	無	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.7M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-06-09 11:04:36
備　註							

【資料來源：第三區養護工程處】



相片 5.6　莫拉克颱洪前甲仙鄉小林村台 21 線第九號橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片【資料來源：農林航空測量所】

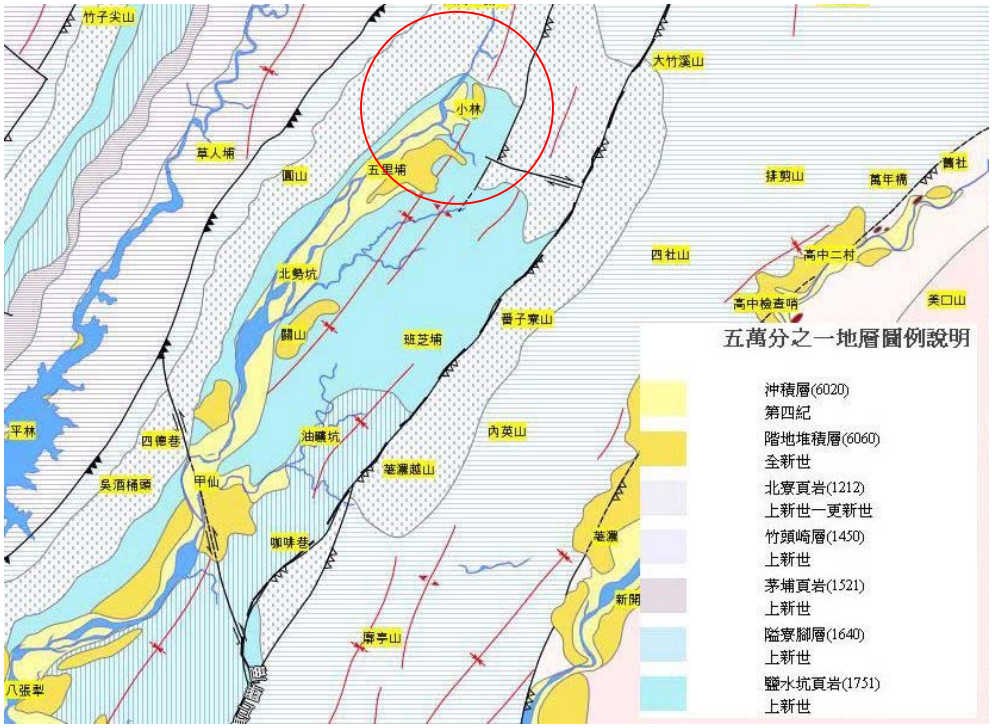


圖 5.5　台 21 線第九號橋橋址附近地質分佈圖。於橋址處附近之地質層為深灰色之鹽水坑頁岩以及帶有灰色細粒砂岩之糖恩山砂岩層。【資料來源：中央地質調查所】

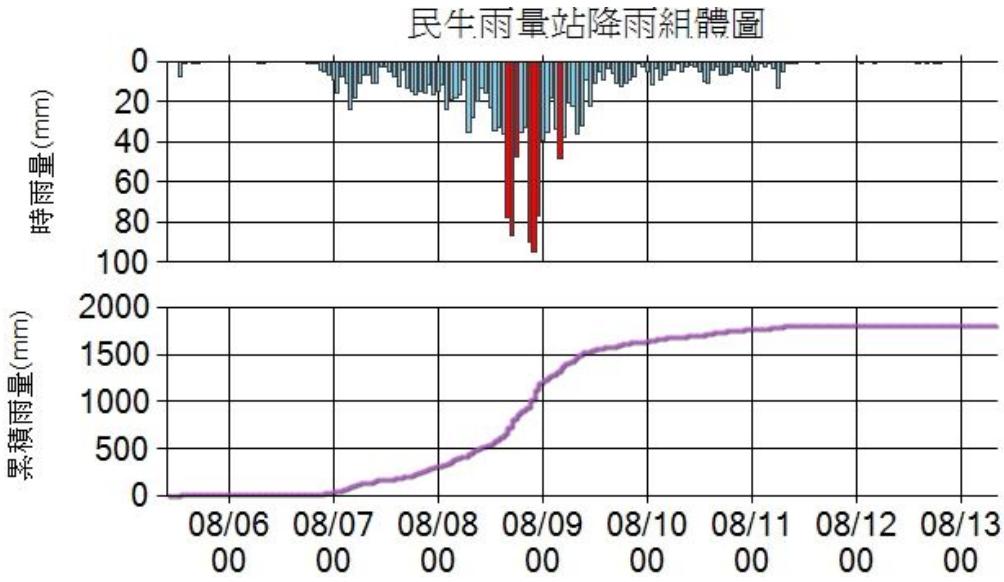


圖 5.6　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 5-4 民生與民族雨量站於莫拉克颱洪時期之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_民生暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：16年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	48.3	58.5	64.3	69.3	70.8	75.2	79.3	83.1	0	<2	108	>200
3	88.0	118.2	136.2	152.2	157.1	171.5	185.2	198.3	0	<2	261	>200
6	124.9	187.5	228.0	265.8	277.6	313.3	348.0	382.1	0	<2	403.5	>200
12	175.6	288.9	361.0	427.7	448.4	510.9	571.5	630.6	0	<2	689	>200
24	256.9	427.9	533.7	630.0	659.7	748.7	834.1	916.7	0	<2	1025	>200
48	327.9	603.3	787.7	963.0	1018.2	1187.1	1353.1	1517.2	-	-	1397	118.78
72	348.0	683.3	921.4	1154.7	1229.4	1460.5	1691.5	1922.9	-	-	1621	76.01

參考水利署雨量站：民族。(統計資料長度：30年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	52.5	73.4	89.2	105.3	110.5	126.9	143.5	160.4	0	<2	108	18.38
3	109.2	154.1	182.1	207.9	215.8	239.7	262.7	285.1	0	<2	261	93.02
6	163.9	227.0	264.3	297.4	307.5	337.3	365.6	392.5	0	<2	403.5	>200
12	249.0	349.0	407.6	459.2	474.9	521.1	564.6	606.0	0	<2	689	>200
24	358.0	504.0	590.6	667.7	691.2	760.8	826.6	889.7	0	<2	1025	>200
48	481.0	731.6	890.9	1038.3	1084.0	1222.2	1355.9	1486.4	-	-	1397	123.26
72	526.0	834.2	1040.6	1236.9	1298.8	1487.8	1673.7	1857.6	-	-	1621	78.59

【資料來源：經濟部水利署與中央氣象局】

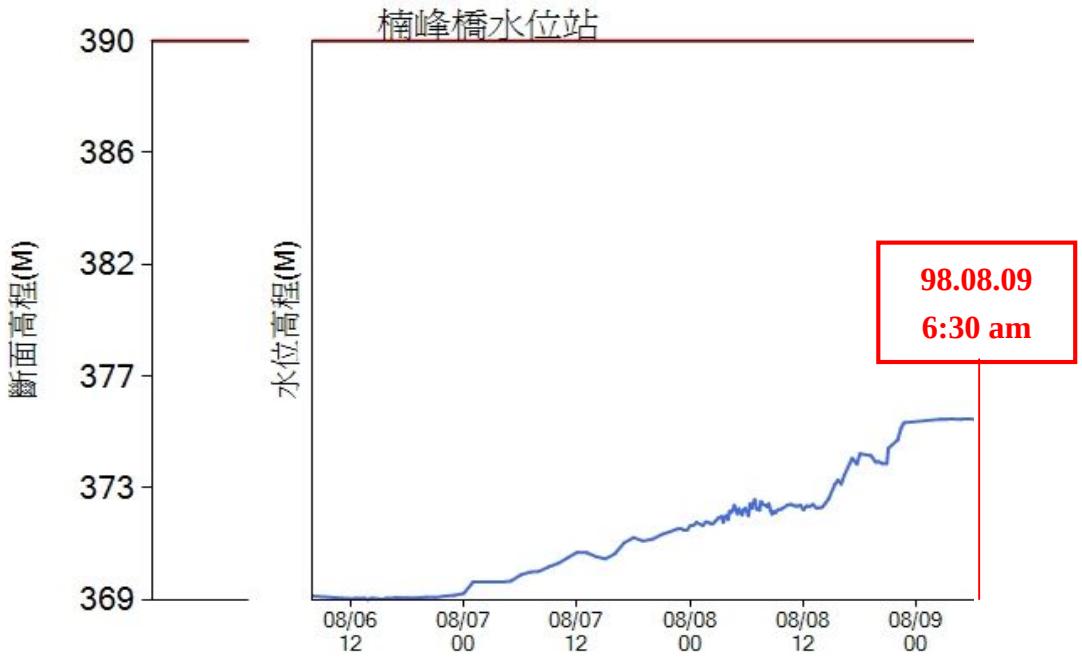
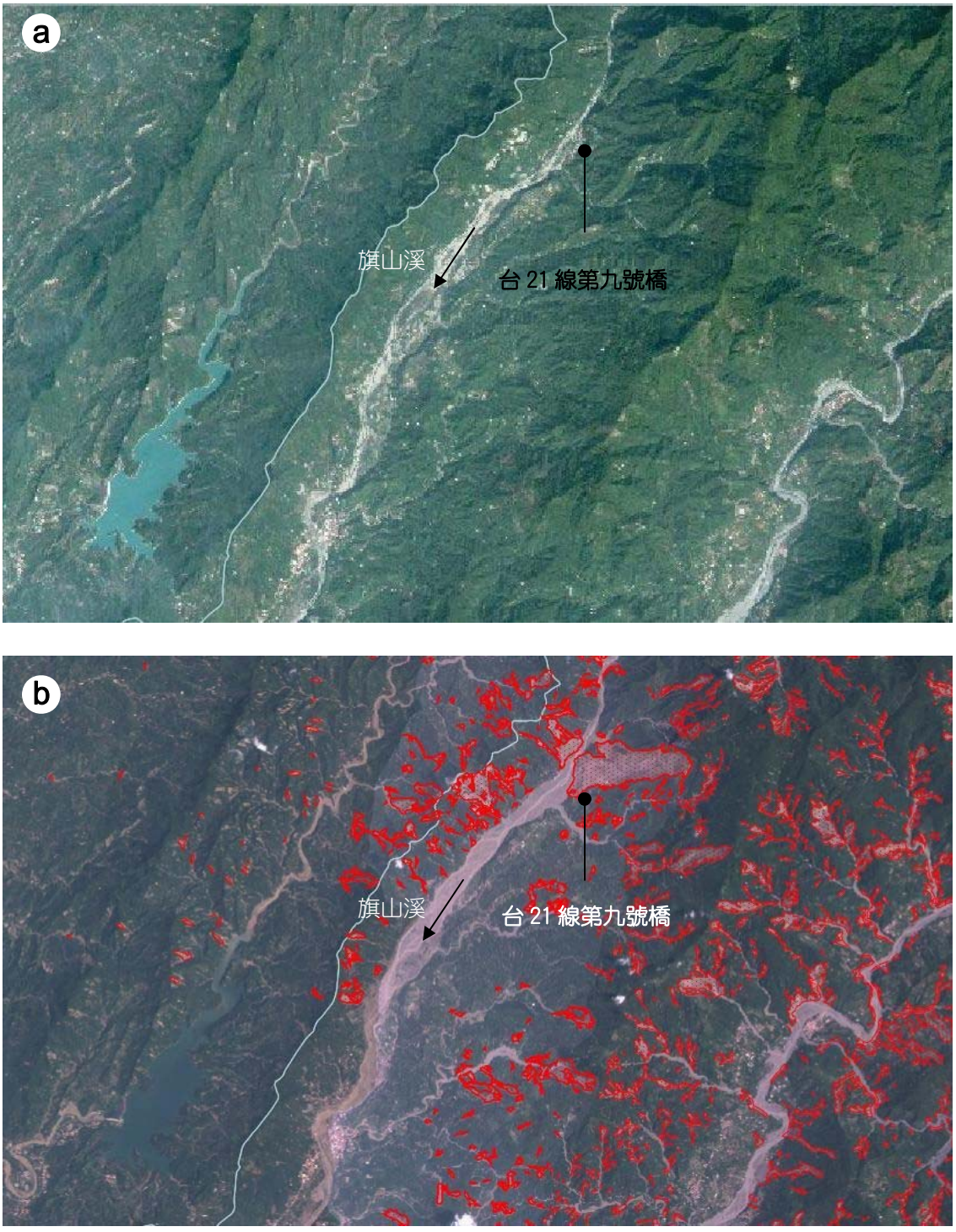
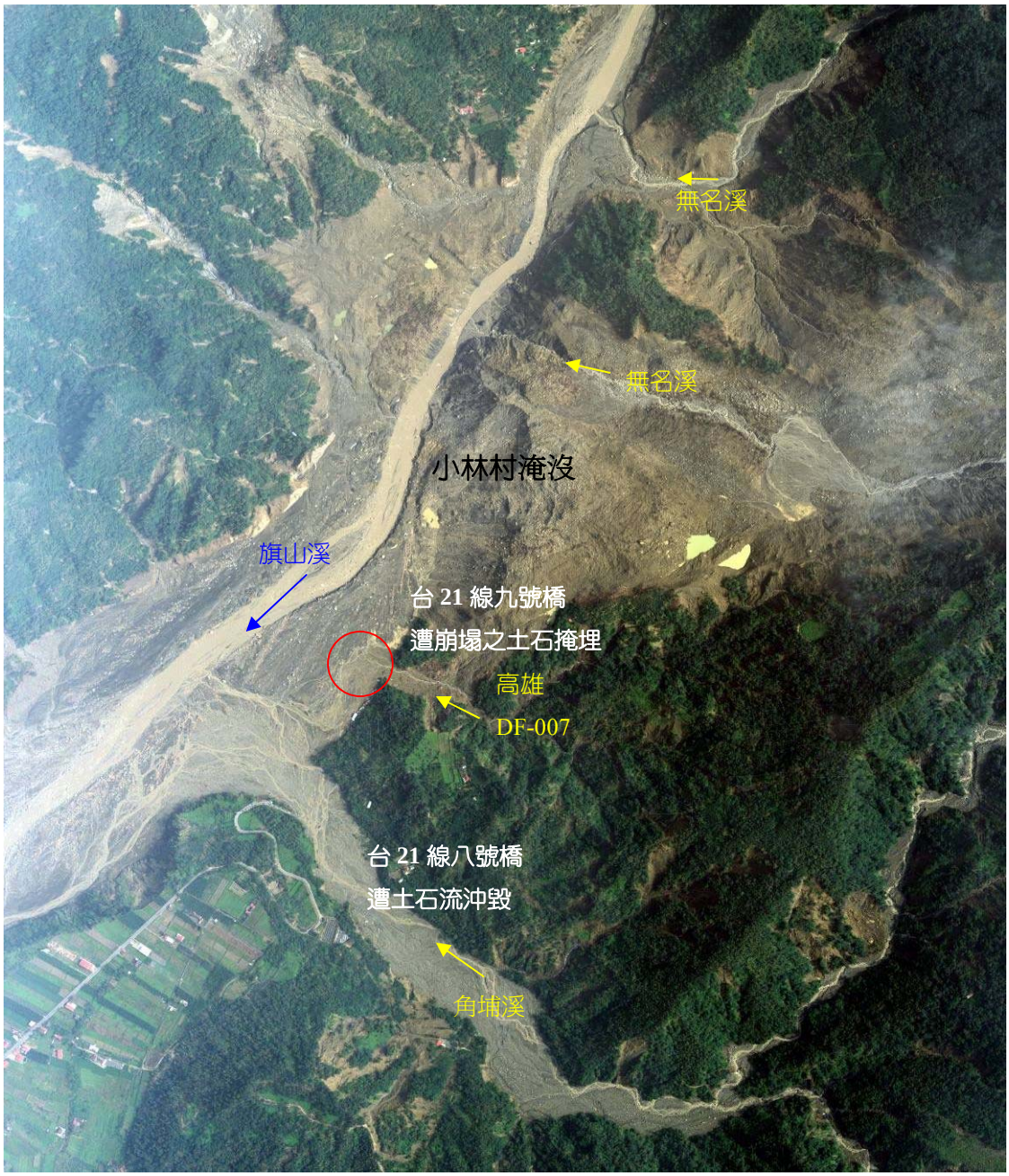


圖 5.7 楠峰橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

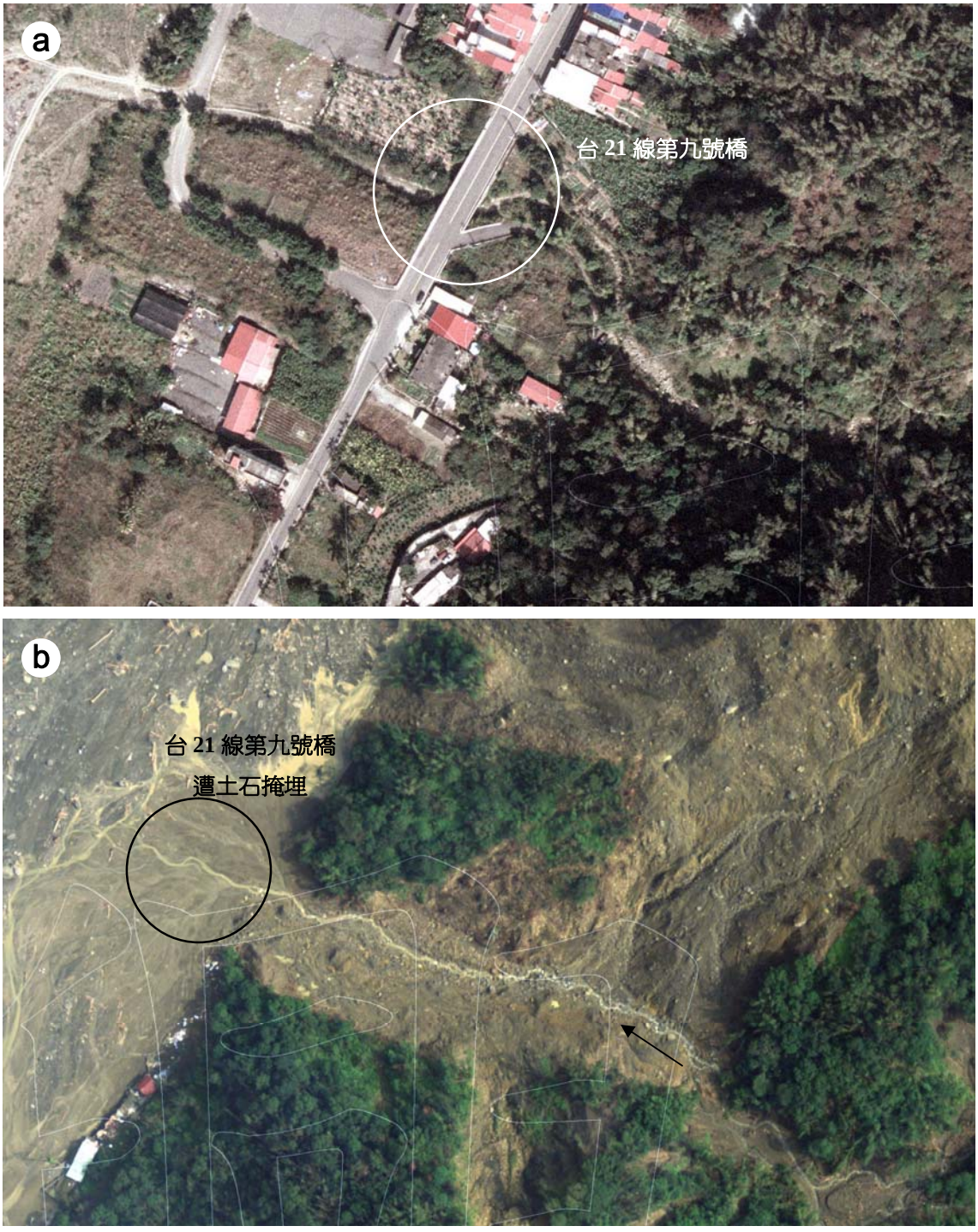
【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 5.7　第九號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】



相片 5.8　莫拉克颱洪後甲仙鄉小林村台 21 線第九號橋之上下游河段航照【資料來源：農林航空測量所】



相片 5.9　台 21 線第九號橋於莫拉克颱洪前、後之比較

【資料來源：農林航空測量所】



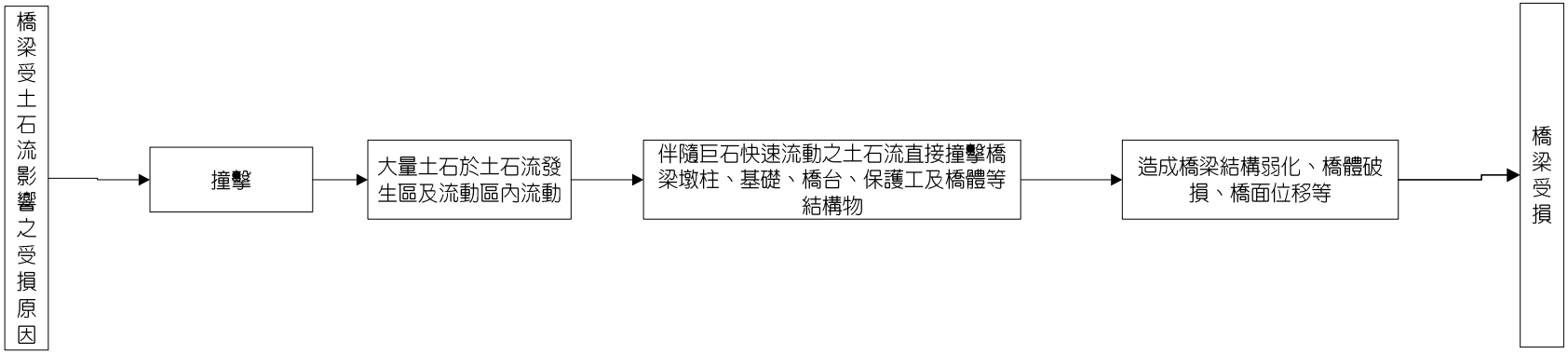
相片 5.10　此為莫拉克颱洪前由上游側拍攝台 21 線第九號橋

【資料來源：甲仙工務段提供】



相片 5.11　此為莫拉克颱洪後由上游側拍攝台 21 線第九號橋

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 堰塞湖影響之橋梁破壞流程



圖 5.8　台 21 線第九號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

5.3 台 21 線第八號橋

1. 基本資料

台 21 線第八號橋位於高雄縣甲仙鄉小林村，建於民國 61 年 2 月，其里程數為 224K+860，跨越旗山溪支流角埔溪，為小林村對外聯絡之橋梁。本橋長 36 m，跨距為 18 m、共 2 孔。其上部結構為梁式的鋼筋混泥土橋梁，下部結構為半重力式橋台，橋台及橋墩皆為直接基礎。台 21 線第八號橋橋梁基本資料表詳如表 5-5。其第八號橋往北側分別有高雄縣編號 DF-007 及 DF-006 土石流潛勢溪流以及無名溪等各自匯入旗山溪，相關位置如相片 5.12 之航空相片所示。

根據中央地質調查所提供之旗山溪之地質分佈情形，上游集水區屬中新世中期瑞芳群主要為砂岩及頁岩，中游旗山以上一帶屬中新世晚期至上新世之三峽群之砂岩及頁岩，即易風化崩坍之地質，下游為堆積階地或沖積層。此外，本區之斷層分佈情形，由於早期造山運動影響，旗山溪流域斷層分佈有旗山斷層、甲仙斷層及平溪斷層，其中旗山斷層位於美濃至六龜間，屬一左移斷層，呈東北—西南走向，全長約 55 公里，民國 62 年此斷層附近曾發生規模三級以上地震，故可視為一可能活動斷層。

而根據中央地質調查所提供之資料顯示，台 21 線第八號橋於橋址處附近之地質層為深灰色之鹽水坑頁岩以及帶有灰色細粒砂岩之糖恩山砂岩層，如圖 5.9 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風襲台，於本區降下極大之豪雨，根據經濟部水利署災害緊急應變系統提供之於鄰近橋址處民生雨量站量測資料中顯示，本區於颱洪期間一日或二日累積雨量分別高達 1,025 mm 及 1,397 mm 之驚人累積雨量，並根據圖 5.10 民生雨量站之降雨組體圖可知，最大降雨強度約發生於 8 月 8 日晚上 10 點，且降雨強度直逼 96 mm / hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，經經

濟部水利署及氣象局各雨量站不同延時雨量頻率分析結果可知，此次風災之降雨延時在 24 小時條件下，超過 200 年重現期之降雨強度，如表 5-6 所示。

依據經濟部水利署災害緊急應變系統之楠峰橋水位站(圖 5.11)之莫拉克颱洪事件的水位歷線圖顯示，水位資料僅紀錄至 8 月 9 日早上 6 點，且根據陳與許(2009)對小林村堰塞湖災害之研究中指出，小林村獻肚山山崩之時間點亦為 8 月 9 日早上 6 點，研判於此時山崩之大量土砂堆積於旗山溪而形成堰塞湖，並於早上 6 點 30 分潰決。而當小林村堰塞湖潰決，其大量洪水挾帶流木與土石如湧浪般順沿旗山溪而下，嚴重影響到下游處之跨河橋梁與沿岸。

此外，根據中央地質調查所集水區地形與地質資料庫提供之莫拉克颱風前後之衛星影像 (如相片 5.13) 可知，台 21 線第八號橋附近於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂及土石崩落，加上集水區內大量集中降雨，致使超大豪雨挾帶大量土石流沿角埔溪流動而下。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查及比對颱洪前(相片 5.12)與颱洪後(相片 5.14)之航空相片，以及放大照之比較如相片 5.15 所示。於民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱洪期間，台 21 線第八號橋上游處由於山坡土體岩塊破碎加上大量降雨，使得集水區域山坡嚴重崩塌並產生數量龐大之土石流，除了導致溪流寬度展寬數倍外，也造成溪床之土石堆積抬高。致使台 21 線第八號橋遭角埔溪之土石流沖毀流失，並導致交通阻斷。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大

莫拉克颱洪期間，本區降雨強度已超過 200 年重現期之雨量，豪大雨直接落於南部山區，加上本區山坡土體岩塊破碎，造

成山區邊坡土石崩落並堆積於野溪、河道中。

(2)土石流災害

根據災前相片 5.16 中顯示台 21 線第八號橋於橋址處已有土石堆積之現象，而因莫拉克颱洪期間角埔溪上游所崩坍及堆積之土石，加上豪雨而產生土石流順沿而下，其挾帶大量土石往橋址方向運移，於第八號橋處址堵塞橋孔造成河道通水斷面嚴重不足而產生阻水效應，使土石直接撞擊橋梁產生推移使其斷裂崩落並流失。且土石流之強烈沖刷力，致使河道兩岸遭受嚴重側向侵蝕，導致溪流寬度展寬數倍。其災後之畫面如相片 5.17 所示。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 5.12 所示。

表 5-5　第八號橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	八號橋	橋梁編號	0210-086	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	甲仙	道路等級	省道	路線	臺 21 線
橋頭里程	224K+860M	橋尾里程	K+M	竣工年月	61 年 02 月	最近維修年月	不詳
造價	不詳元	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	不詳	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	旗山溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	否	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	36M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	7M	最小淨寬	4.7M	橋版投影面積	169.2M^2		
總車道數	1	總橋孔數	2	最大跨距	18M		
跨距分配	18@2						
最高橋墩高度	7M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	8M		
橋頭 GPS 經度	120.6332	橋頭 GPS 緯度	23.1567	橋尾 GPS 經度	120.6332	橋尾 GPS 緯度	23.1567
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	T 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	搖軸支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	牆式	橋墩基礎型式	直接基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.7M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-06-09 11:04:49
備　註							

【資料來源：第三區養護工程處】



相片 5.12　莫拉克颱洪前甲仙鄉小林村台 21 線第八號橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片【資料來源：農林航空測量所】

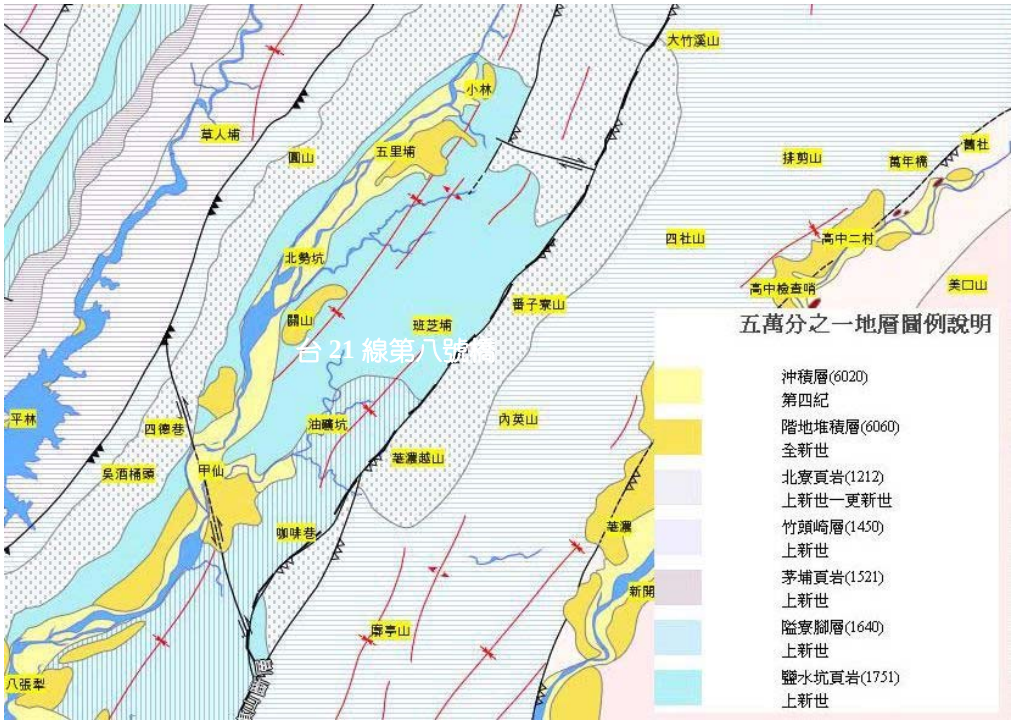


圖 5.9　台 21 線第八號橋橋址附近地質分佈圖

【資料來源：中央地質調查所】

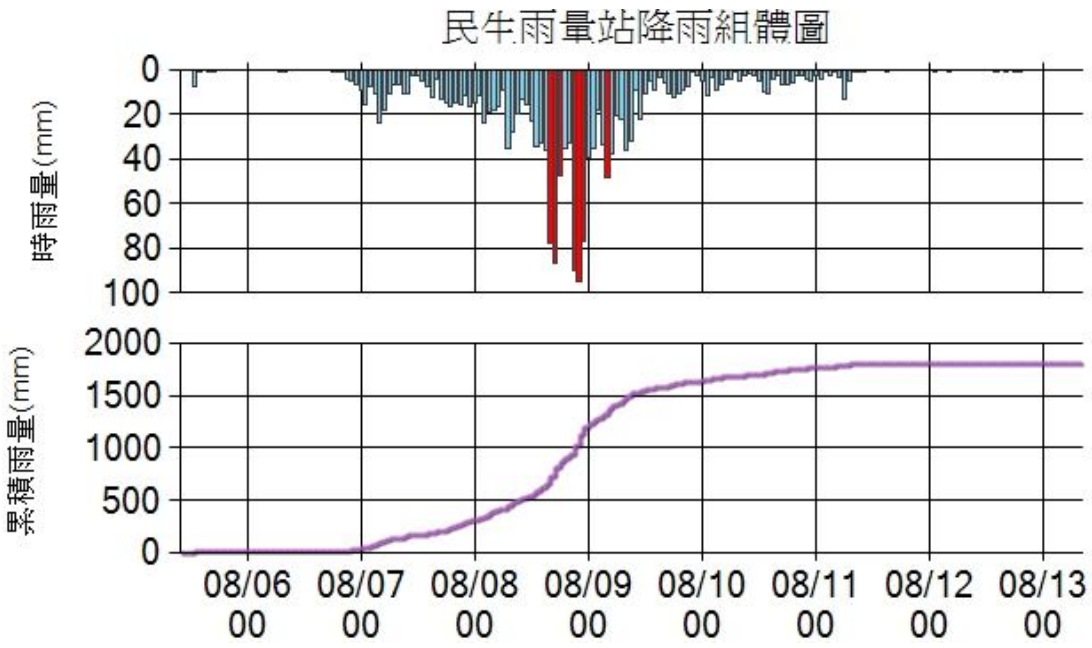


圖 5.10　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 5-6 民生與民族雨量站於莫拉克颱洪時期之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_民生暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：16年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	48.3	58.5	64.3	69.3	70.8	75.2	79.3	83.1	0	<2	108	>200
3	88.0	118.2	136.2	152.2	157.1	171.5	185.2	198.3	0	<2	261	>200
6	124.9	187.5	228.0	265.8	277.6	313.3	348.0	382.1	0	<2	403.5	>200
12	175.6	288.9	361.0	427.7	448.4	510.9	571.5	630.6	0	<2	689	>200
24	256.9	427.9	533.7	630.0	659.7	748.7	834.1	916.7	0	<2	1025	>200
48	327.9	603.3	787.7	963.0	1018.2	1187.1	1353.1	1517.2	-	-	1397	118.78
72	348.0	683.3	921.4	1154.7	1229.4	1460.5	1691.5	1922.9	-	-	1621	76.01

參考水利署雨量站：民族。(統計資料長度：30年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	52.5	73.4	89.2	105.3	110.5	126.9	143.5	160.4	0	<2	108	18.38
3	109.2	154.1	182.1	207.9	215.8	239.7	262.7	285.1	0	<2	261	93.02
6	163.9	227.0	264.3	297.4	307.5	337.3	365.6	392.5	0	<2	403.5	>200
12	249.0	349.0	407.6	459.2	474.9	521.1	564.6	606.0	0	<2	689	>200
24	358.0	504.0	590.6	667.7	691.2	760.8	826.6	889.7	0	<2	1025	>200
48	481.0	731.6	890.9	1038.3	1084.0	1222.2	1355.9	1486.4	-	-	1397	123.26
72	526.0	834.2	1040.6	1236.9	1298.8	1487.8	1673.7	1857.6	-	-	1621	78.59

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

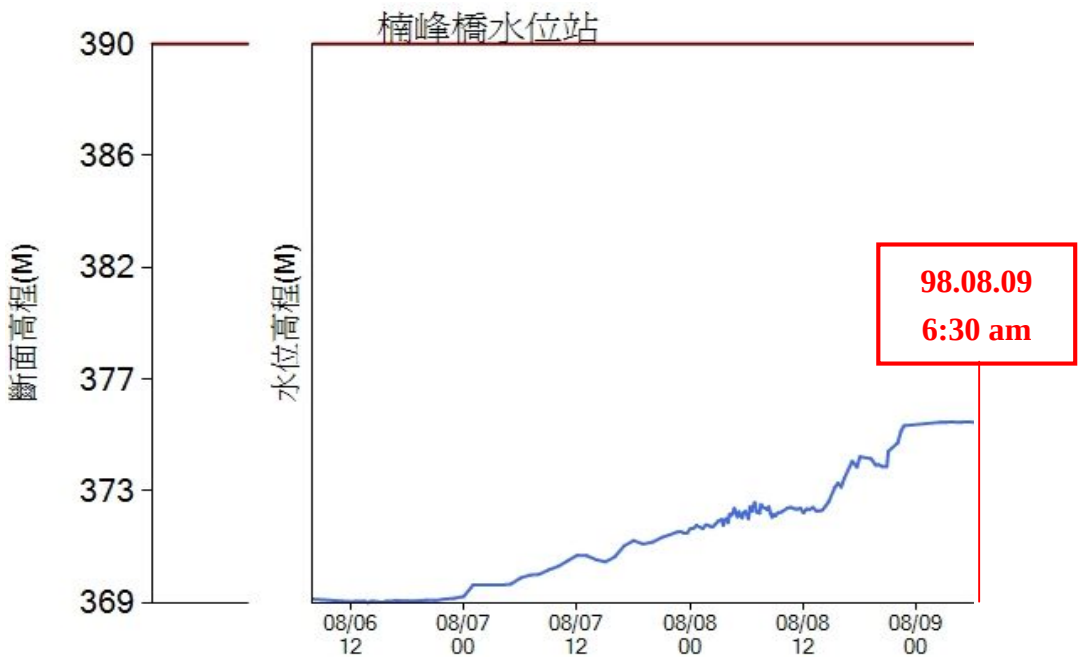
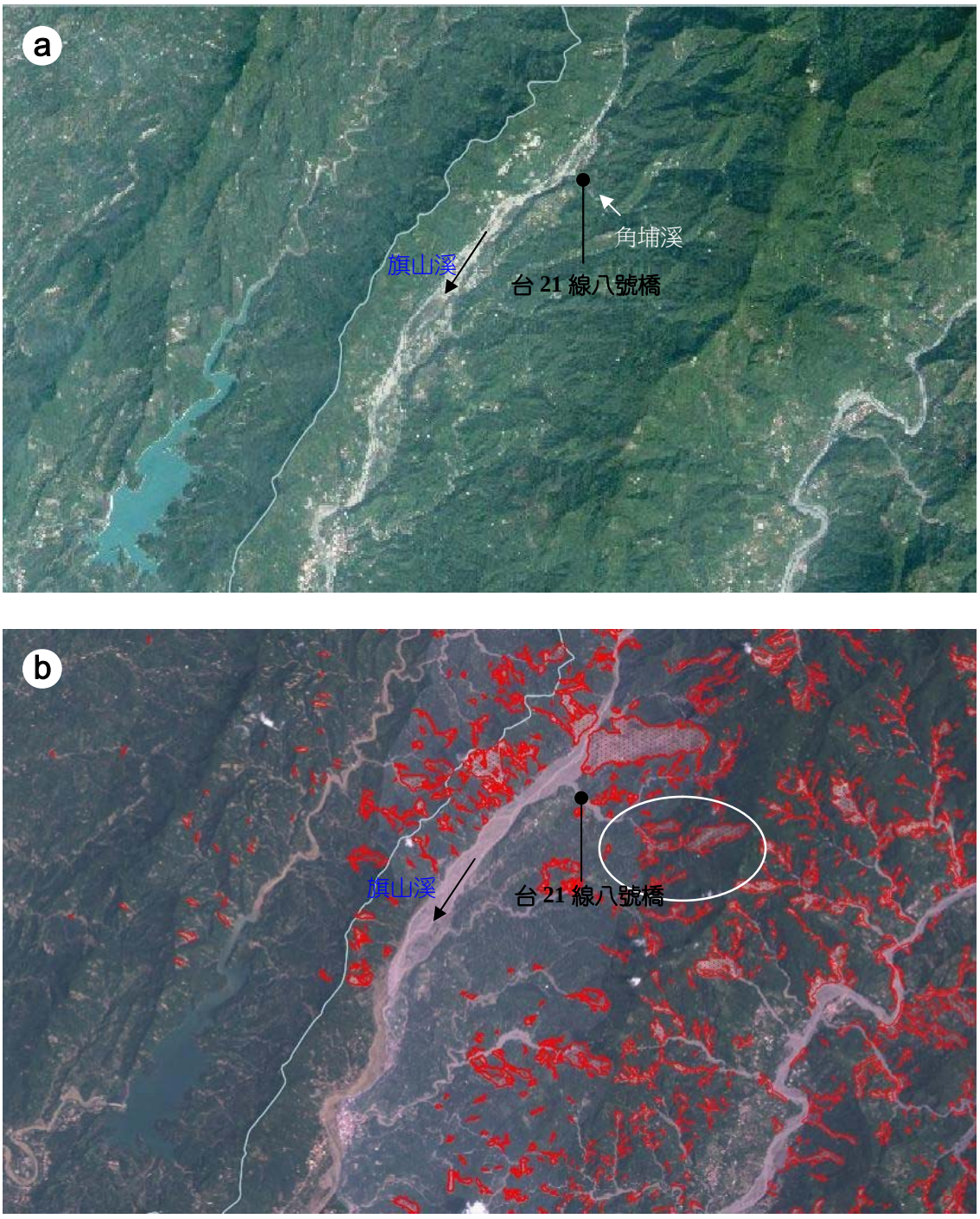


圖 5.11 楠峰橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

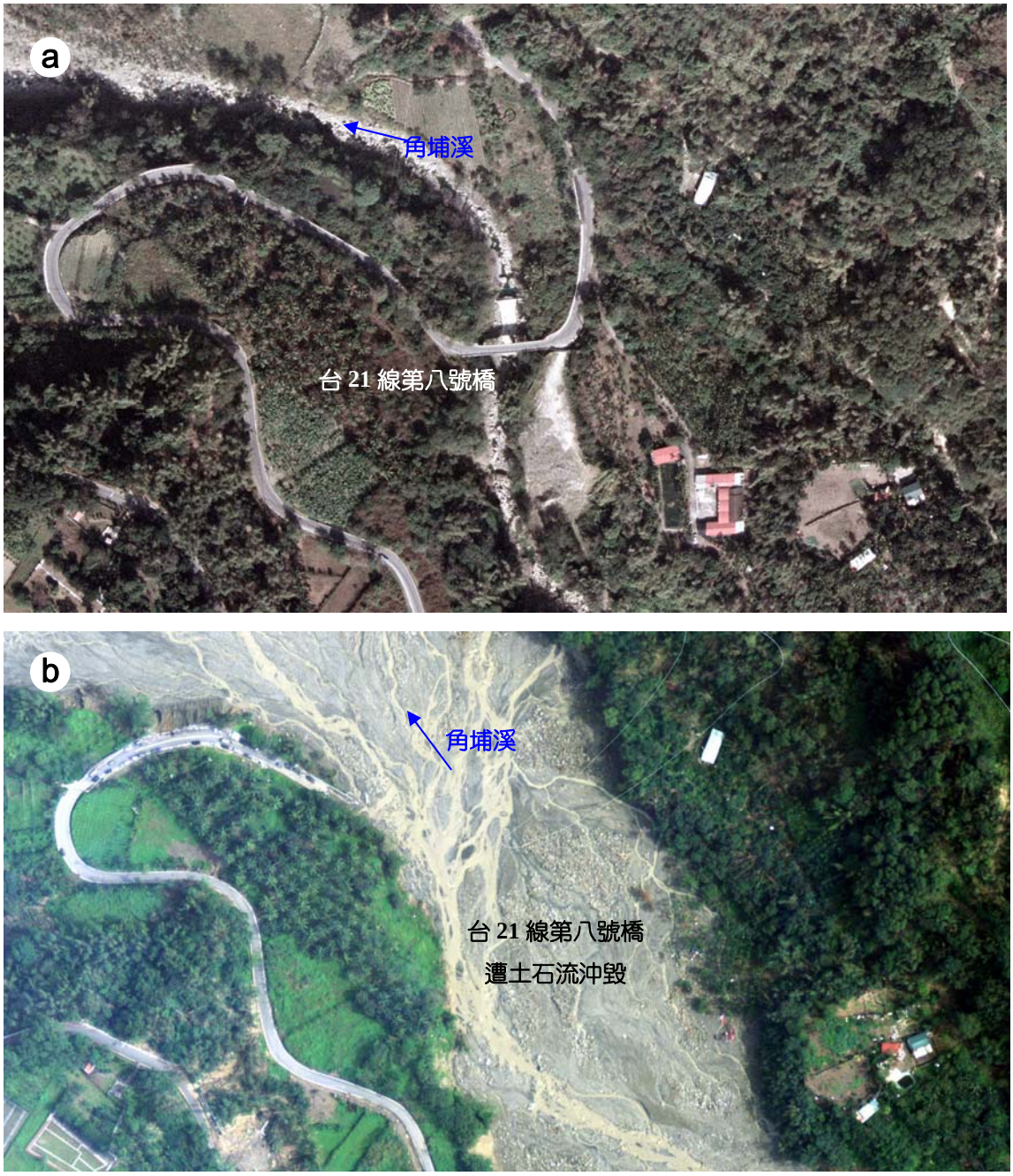
【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 5.13　八號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】



相片 5.14　莫拉克颱洪後甲仙鄉小林村台 21 線第八號橋之上下游河段航空照片【資料來源：農林航空測量所】



相片 5.15　台 21 線第八號橋於莫拉克颱洪前、後之比較 (a)颱洪前 (96.01.29)；(b)颱洪後(98.08.21)【資料來源：農林航空測量所】





相片 5.16　台 21 線第八號橋，可見橋址處有土石淤積之現象 (a)於上游左岸拍攝；(b)P1 橋墩放大照





相片 5.17　莫拉克颱洪後，台 21 線第八號橋已遭土石流沖毀流失

受土石流影響之橋梁破壞流程

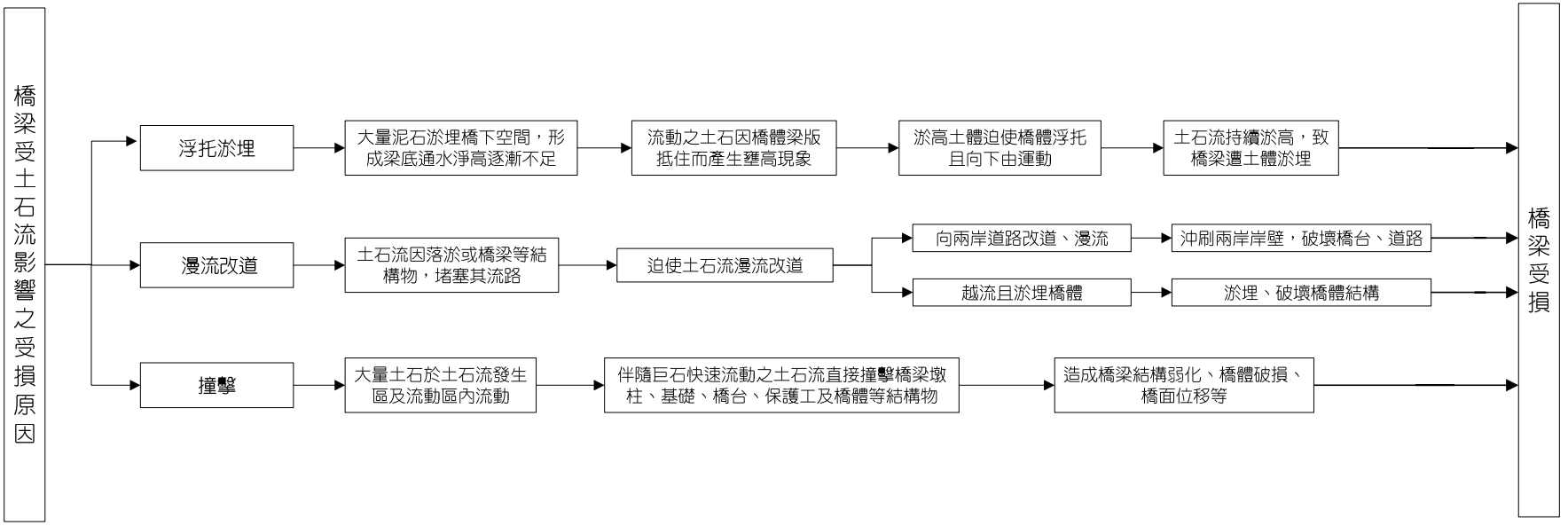


圖 5.12　　第八號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

5.4 台 21 線四德橋

1. 基本資料

台 21 線四德橋位於高雄縣甲仙鄉，其里程數為 236 K + 650，跨越旗山溪。本橋長 240 m，跨距為 40 m、共 6 孔。其橋梁下部結構 P1～P3 之上游側為壁式墩柱，下游側為圓柱式墩柱、P4～P5 則為單柱圓型式橋墩，橋墩皆為直接基礎。台 21 線四德橋橋梁基本資料表詳如表 5-7，及相關工程圖說如圖 5.13～ 圖 5.17 所示；當中圖 5.13 中可見於民國 90 年時，河床距基礎底部約有 7 m 深度，並註明容許沖刷深度為 4.0 m。而鄰近構造物有上游之台 21 線楠仔仙溪橋、下游左岸之甲仙護岸、下游處甲仙攔河堰及台 20 線甲仙橋，其相關位置如相片 5.18 之航空相片所示。圖 5.18 ～ 圖 5.21 為第七河川局於民國 94 年及民國 97 年間之旗山溪治理規劃斷面 No. 99 所施測之河床高程變化。可看出民國 94 年至民國 97 年間河床高程並無明顯變化，且七河局於 97 年度量測結果顯示當時主深槽位於 P3～P5 間，尤以 P5 之橋面至河床深度高達約 10 m。

根據中央地質調查所提供之旗山溪地質分佈情形，上游集水區屬中新世中期瑞芳群主要為砂岩及頁岩，中游旗山以上一帶屬中新世晚期至上新世之三峽群之砂岩及頁岩，即易風化崩坍之地質，下游為堆積階地或沖積層。此外，本區之斷層分佈情形，由於早期造山運動影響，旗山溪流域斷層分佈有旗山斷層、甲仙斷層及平溪斷層，其中旗山斷層位於美濃至六龜間，屬一左移斷層，呈東北—西南走向，全長約 55 km，民國 62 年此斷層附近曾發生規模三級以上地震，故可視為一可能活動斷層。

台 21 線四德橋橋址處地質為鹽水坑頁岩，以及由黏土、粉砂、砂和礫石所組成之沖積層。而地下 0.0 m～3.5 m 主要係由卵礫石夾粗砂，以及 3.5 m～25.0 m 為灰色硬粉砂岩所組成。台 21 線四德橋橋址鑽探資料與地質分布圖如圖 5.13 及圖 5.22 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱風襲台(八八水災)，於本區降下極大之豪雨，而根據經濟部水利署災害緊急應變系統提供之於橋址上游處民生雨量站量測資料中顯示，一日或二日延時降雨之累積雨量均分別超過水利署或中央氣象局雨量頻率分析之 200 年或約 120 年重現期雨量，分別高達 1,025 mm 及 1,397 mm 之驚人累積雨量，如表 5-8 所示。並根據圖 5.23 民生雨量站之降雨組體圖可知，最大降雨強度約發生於 8 月 8 日晚上 11 點，且降雨強度直逼 95 mm/hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，經經濟部水利署各雨量站不同延時雨量頻率分析結果可知，此次風災之降雨延時在 24 小時、48 小時以及 72 小時條件下，均超過 2000 年重現期之降雨強度。

依據經濟部水利署災害緊急應變系統之楠峰橋水位站(圖 5.24)之莫拉克颱洪事件的水位歷線圖顯示，水位資料僅紀錄至 8 月 8 日晚上 11 點，且根據陳等人(2009)對小林村堰塞湖災害之研究中指出，小林村獻肚山山崩之時間點為 8 月 9 日早上 6 點，研判於此時山崩之大量土砂堆積於旗山溪而形成堰塞湖，並於早上 6 點 30 分潰決。而當小林村堰塞湖潰決，其大量洪水挾帶流木與土石如湧浪般順沿旗山溪而下，嚴重影響到下游處之跨河橋梁與沿岸。

此外，根據中央地質調查所集水區地形與地質資料庫提供之莫拉克颱風前後之衛星影像(如相片 5.19)可知，於莫拉克颱洪後增加許多崩塌地，大量之土砂及土石崩落，加上集水區內大量集中降雨，致使超大豪雨挾帶大量土石流沿旗山溪流動而下。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查結果可知，台 21 線四德橋於莫拉克颱洪後，P4、P5 橋墩及橋面版遭洪水集中沖刷而沖毀流失；P2、P3 間之橋面版因受到漂流木掛淤於橋墩及橋面版上，造成阻水效應使橋面版受到推擠而沖失，並導致交通阻斷。下游左岸之甲仙護岸也因受到洪水集

中沖擊而沖毀，使得護岸內之民房及高灘地皆遭洪水土石、漂流木漫淹。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)小林村堰塞湖潰決之影響

民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間，旗山溪上游集水區累積降雨量已破 2000 年重現期之降雨量，高降雨強度形成大量崩塌地與山壁邊坡滑動，引致為數眾多之林木隨洪水漂流而下，在上游小林村形成堰塞湖，造成上游水位增高，當來自於上游的小林村堰塞湖潰決，大量洪水如湧浪般挾帶著大量流石及流木沿著旗山溪順流而下，並造成沿線之贏橋斷裂、楠梓仙溪橋引道沖毀並沖擊四德橋之橋址等。

(2)洪水沖刷

由於四德橋上游側之楠梓仙溪橋於颱洪期間，A1 橋台引道遭沖毀，導致洪水集中於楠梓仙溪橋之左岸並且受到四德橋上游左側凹岸彎道影響，使得水流撞擊凹岸，並順沿其切線出射方向沖擊四德橋，使原本位於 P3 ~ P5 之深槽，靠向左岸 P4 ~ A2，加上楠梓仙溪橋右岸之水流與左岸水流集中匯流於四德橋 P4 ~ A2 間，加劇淺基礎之橋墩、橋台及甲仙護岸之沖刷。

根據本計劃於莫拉克颱洪前(民國 98 年 5 月 24 日)，以及颱洪後(民國 98 年 12 月 5 日)於現場實際量測河床沖刷深度之變化，A1 ~ P3 河床高平均上升約 2 m 之高度；而 P4 ~ A2 於回淤後之河床深度仍下降約 1 m 高度，尤以 P5 河床刷深 2 m 深度，可見當時颱洪所造成沖刷深度必超過 2 m 之高度，其結果如表 5-9 所示。此現象如上所述，即位於凸岸處而易產生淤積、凹岸處則有沖刷之現象。而橋墩之淺基礎因深度不足加上大量洪水集中沖刷而倒塌沖毀，進而導致 P4、P5 橋墩橋面版沖毀流失以及下游左岸之甲仙護岸沖毀，如相片 5.20 所示，並使大量洪水土石與漂流木亦隨著沖

入護岸內，其颱洪前後之比較如相片 5.18 以及相片 5.21 之航空照片所示。

(3)漂流木掛淤影響

由於此次颱洪之洪水量相當大，許多漂流木掛淤於橋墩及橋面版上，引致橋墩(基)之阻水面積增加、河道通水斷面減少，除造成水流拖曳力的增加外。因流木之密度小於水體密度，當大量流木掛淤阻塞在橋址處後，流木係大部分漂浮於洪流上層，而其下層乃形成高速水流之潛沒射流通過橋址，因流速增加而致使橋墩(基)及河床面之沖刷量更為嚴重。

而根據研究團隊於災後現場調查發現，四德橋橋面及 A1～P2 橋墩間可見大量流木掛淤現象，可推斷於颱洪時受到漂流木阻塞以及大量洪水之沖擊，導致 P2 ～ P3 間之橋面版遭推擠而沖毀流失。由災後調查之相片 5.22 可見，四德橋橋面上亦殘留掛淤之漂流木，顯示且證明八八水災莫拉克颱洪時之洪水位確實已漫淹過橋面，而於颱洪退水後才會在橋面及橋墩間留下大量漂流木。兩者皆足以證實民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間，四德橋係被洪水溢淹過橋面。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 5.25 所示。

表 5-7　台 2 線四德橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	四德橋	橋梁編號	0210-156	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	甲仙	道路等級	省道	路線	臺 21 線
橋頭里程	236K+650M	橋尾里程	K+M	竣工年月	89 年 12 月	最近維修年月	
造價	不詳元	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	甲仙工務段	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	旗山溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	甲仙化石館						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	240M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	9.1M	最小淨寬	9.1M	橋版投影面積	2352M^2		
總車道數	2	總橋孔數	6	最大跨距	40M		
跨距分配	40@6						
最高橋墩高度	10M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	12M		
橋頭 GPS 經度	120.5799	橋頭 GPS 緯度	23.093	橋尾 GPS 經度	120.5799	橋尾 GPS 緯度	23.0908
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土	伸縮縫型式	指鈑縫
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	直接基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	無法取得	地盤種類	無法取得	防震設施	混凝土止震塊	防落橋長度	1M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-06-09 12:05:03
備　註							
P4,P5 防震鋼鈑補強 91.12.17 竣工,發包經費 620,000 元　高灘地部份為雙柱橋墩							

【資料來源：第三區養護工程處】

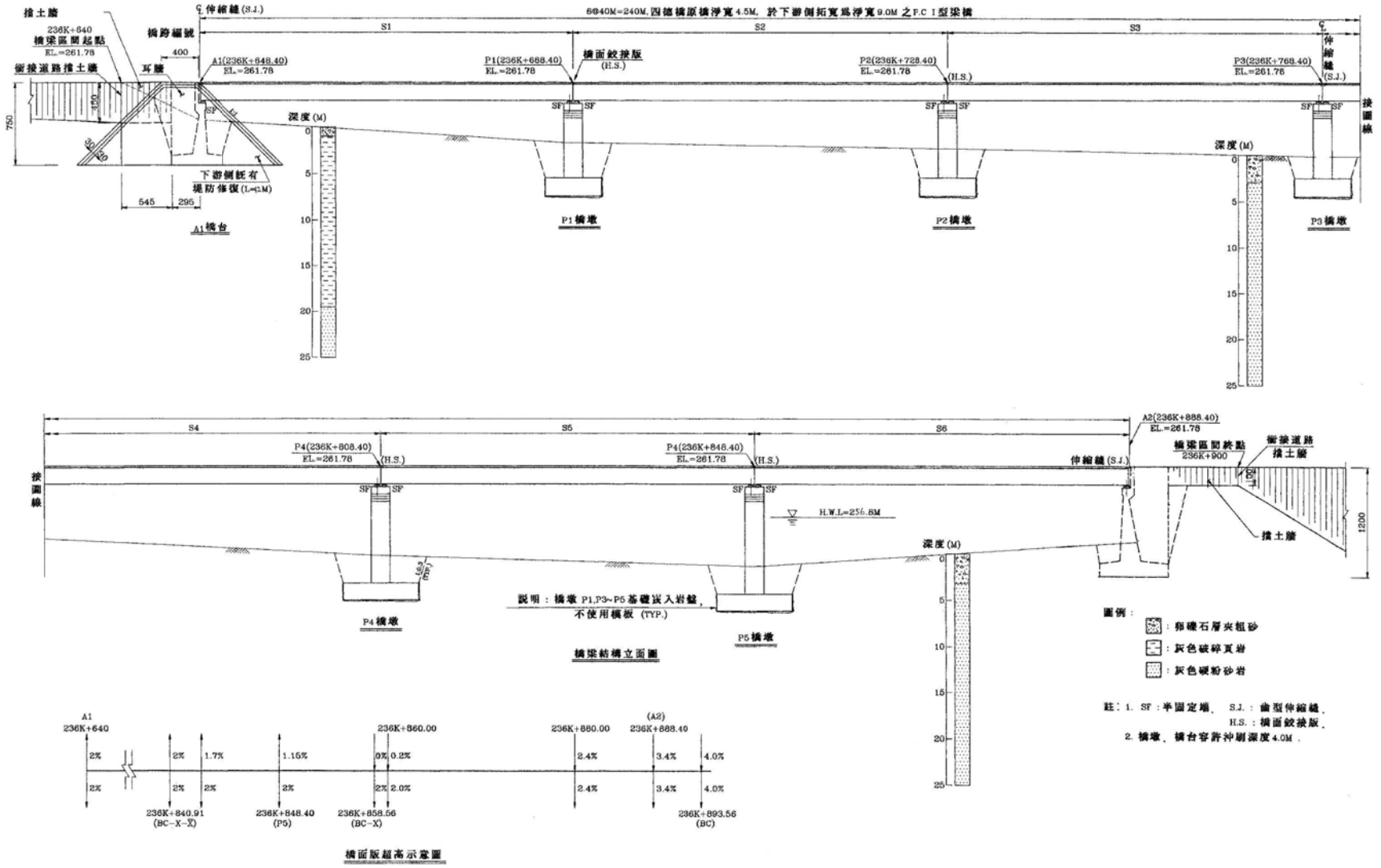


圖 5.13　台 21 線四德橋橋梁立面圖及地質鑽探圖

【資料來源：第三區養護工程處(2001)】

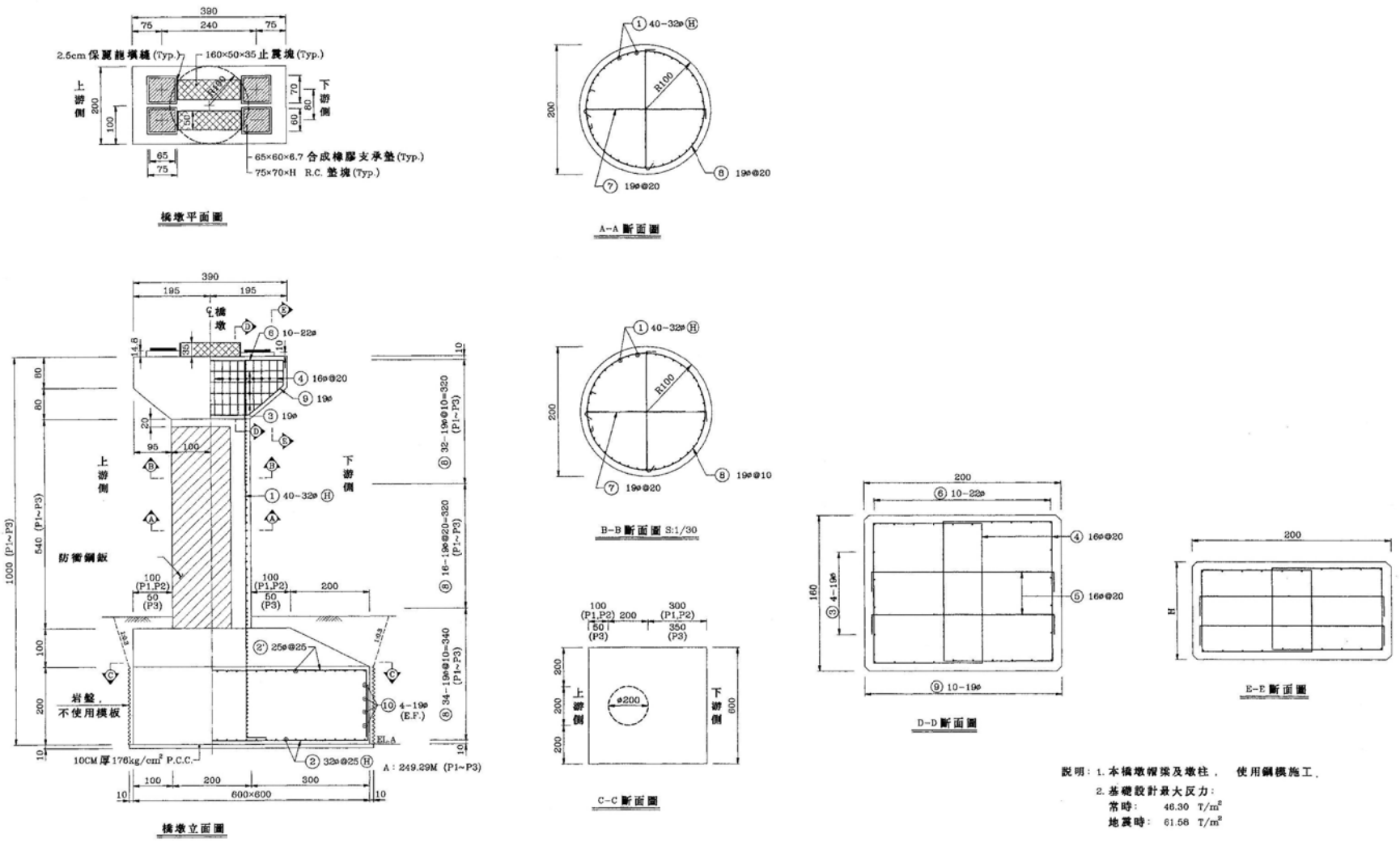


圖 5.14　台 21 線四德橋 P1～P3 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處(2001)】

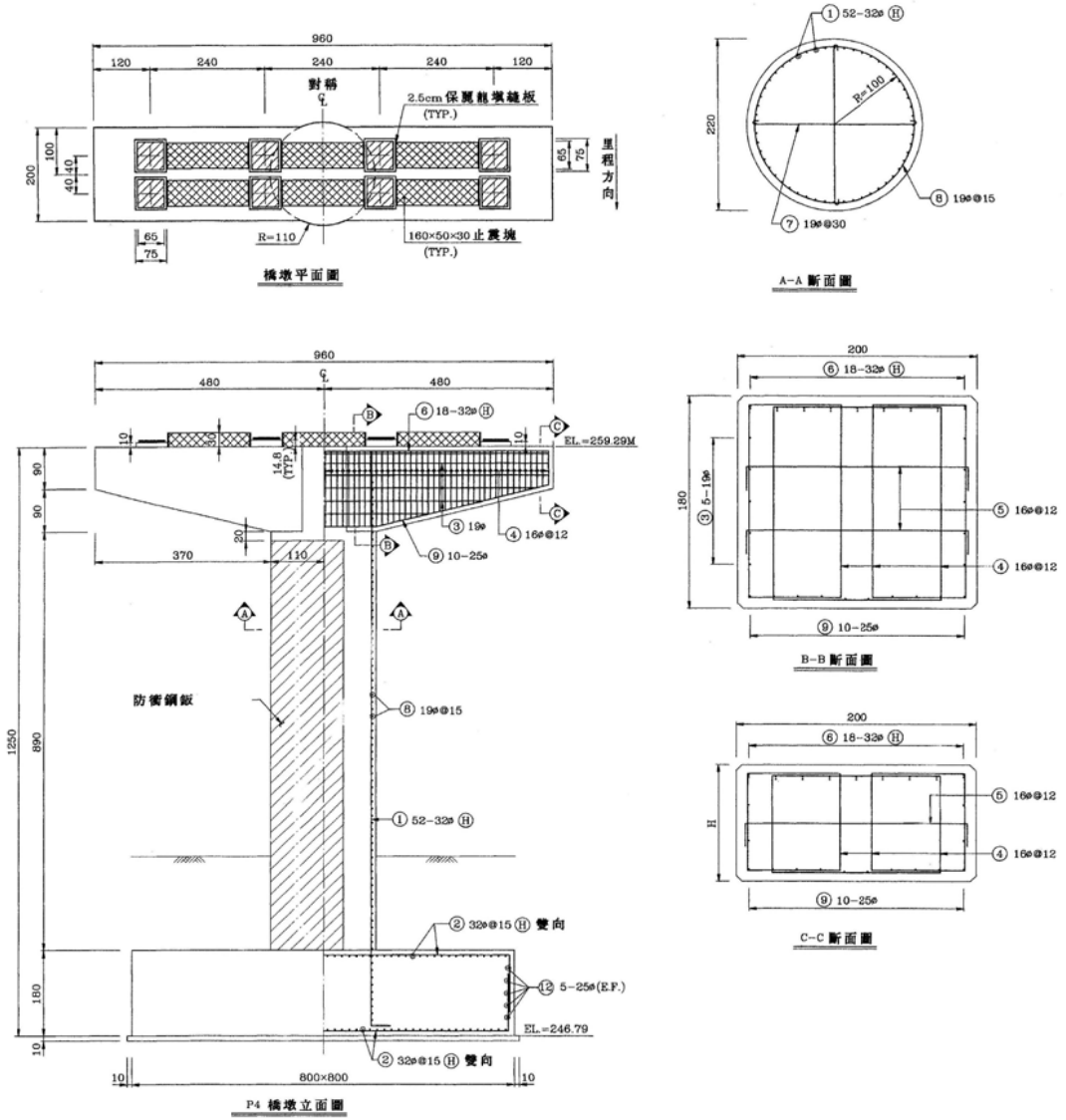
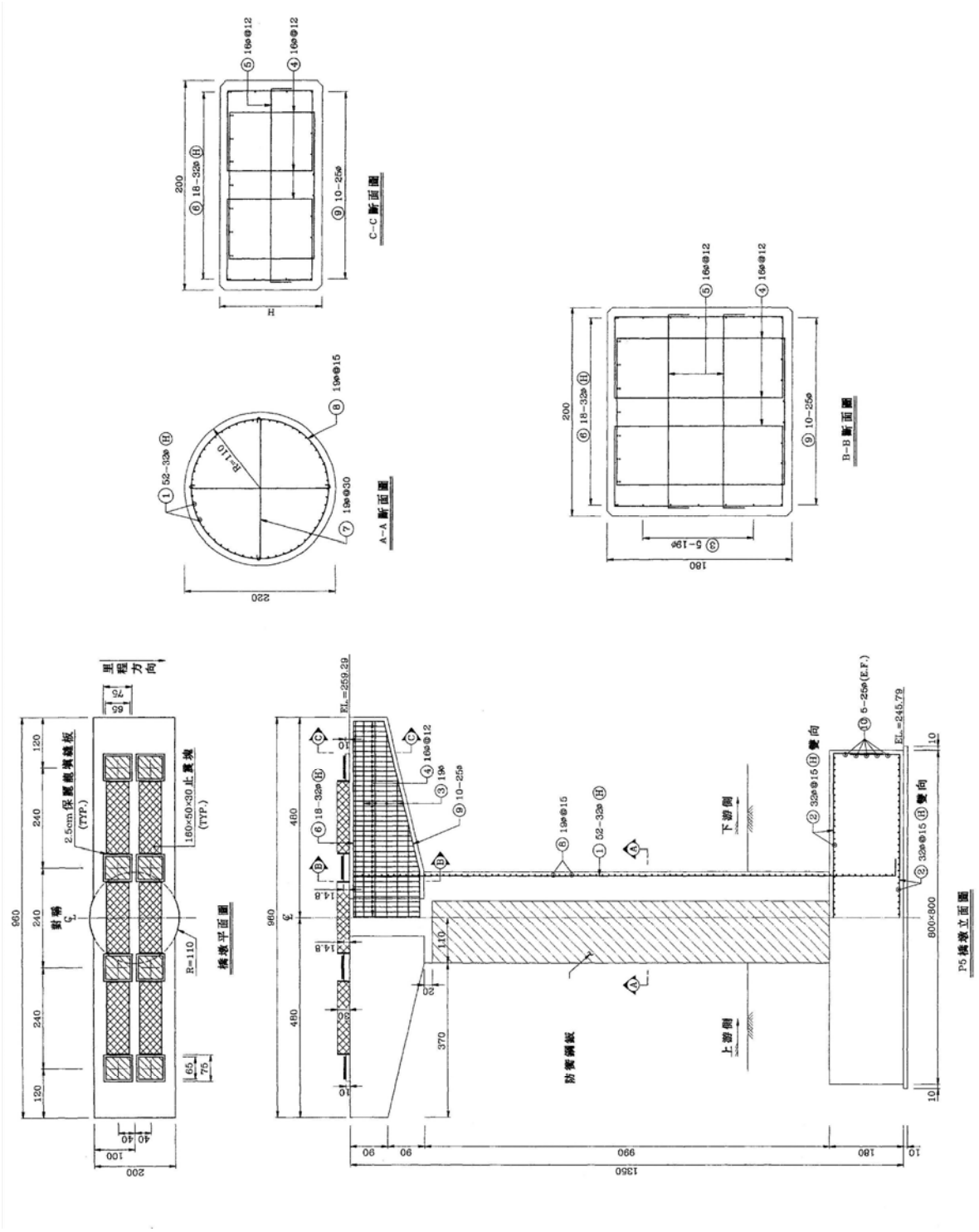


圖 5.15　台 21 線四德橋 P4 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處(2001)】


C-C 斷面圖
A-A 斷面圖
B-B 斷面圖
橋墩平面圖
P5橋墩立面圖
里程方向
2.5cm 保麗龍填縫板 (TYP.)
160×50×30止震塊 (TYP.)
對稱 ℄
R=110
下游側
上游側
防撞鋼鈑
EL.=259.29
EL.=245.79
雙向
800×800
1360

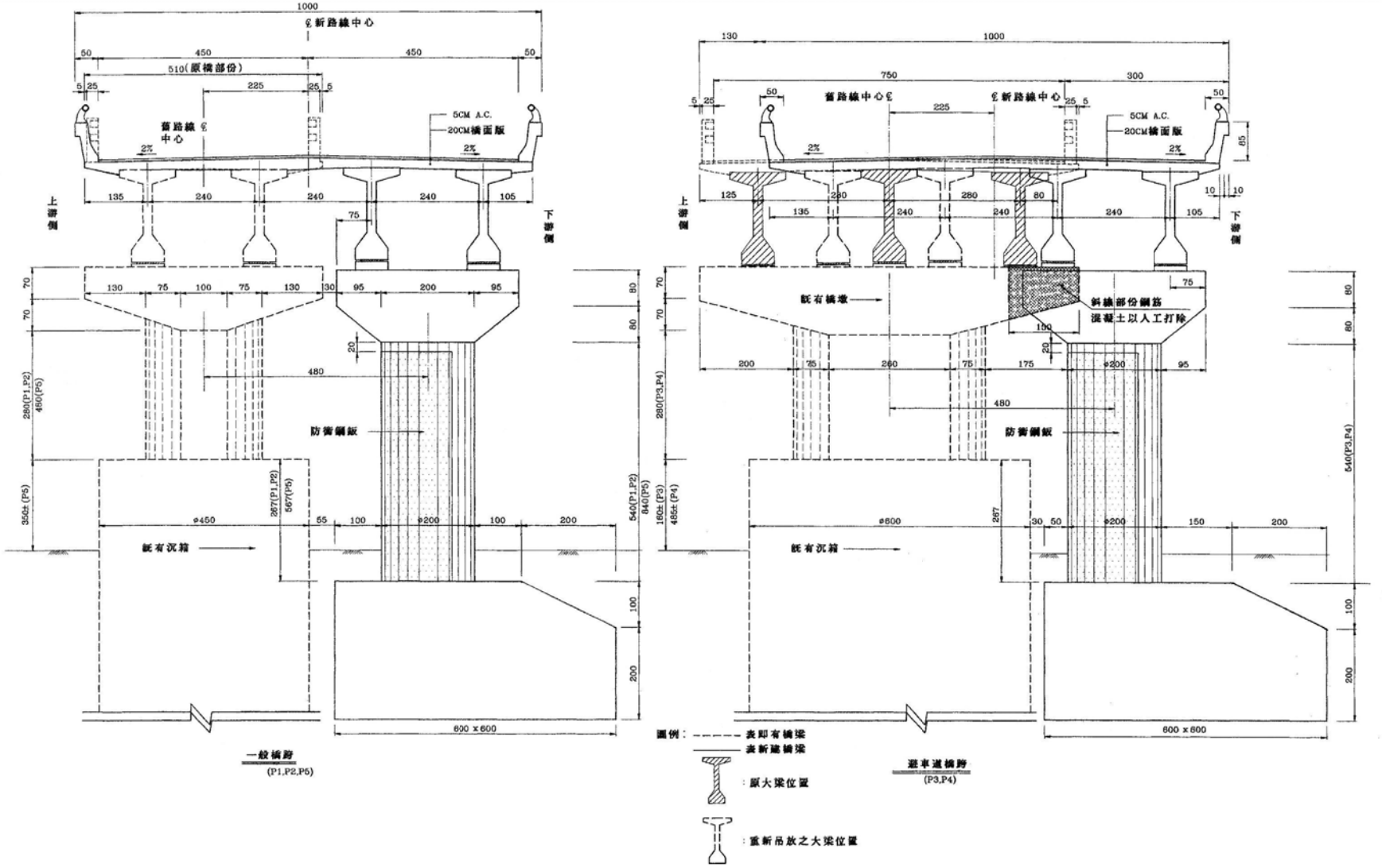


圖 5.17　台 21 線四德橋橋梁標準斷面圖【資料來源：第三區養護工程處(2001)】



相片 5.18　莫拉克颱洪前台 21 線四德橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片【資料來源：農林航空測量所】

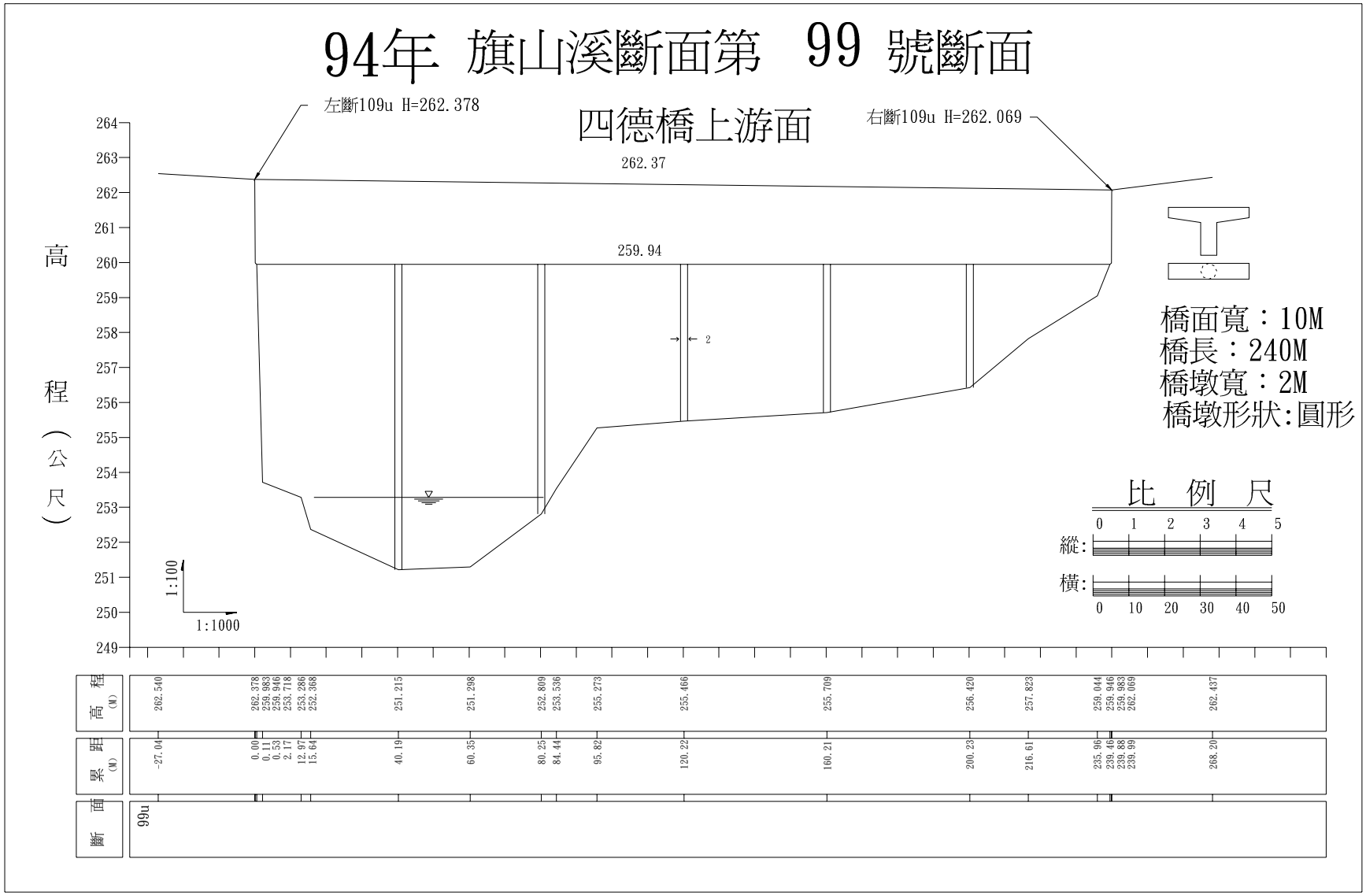


圖 5.18　台 21 線四德橋上游側於民國 94 年所測得之橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

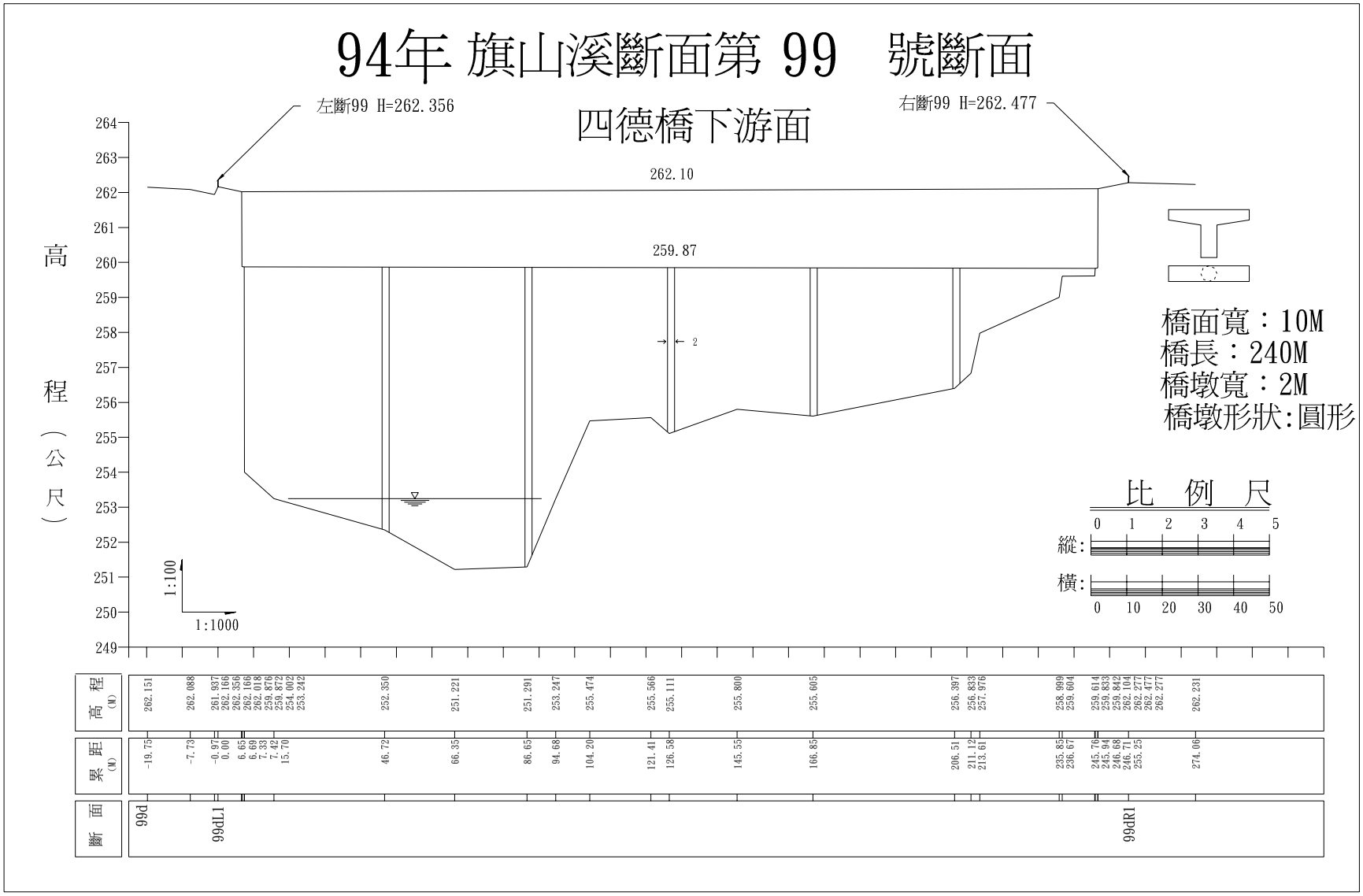


圖 5.19 台 21 線四德橋下游側於民國 94 年所測得之橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

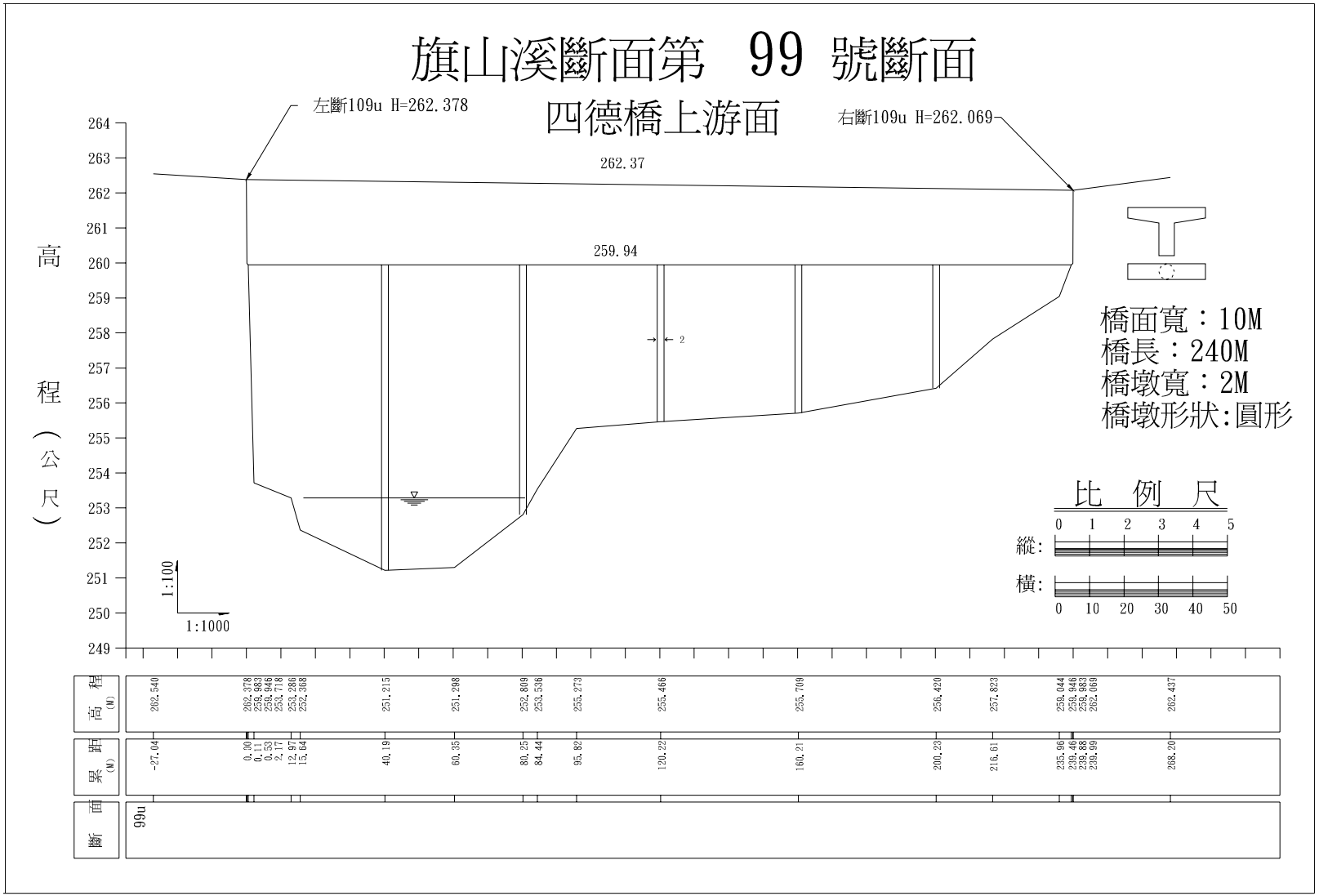


圖 5.20　台 21 線四德橋上游側於民國 97 年所測得之橫斷面圖

【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

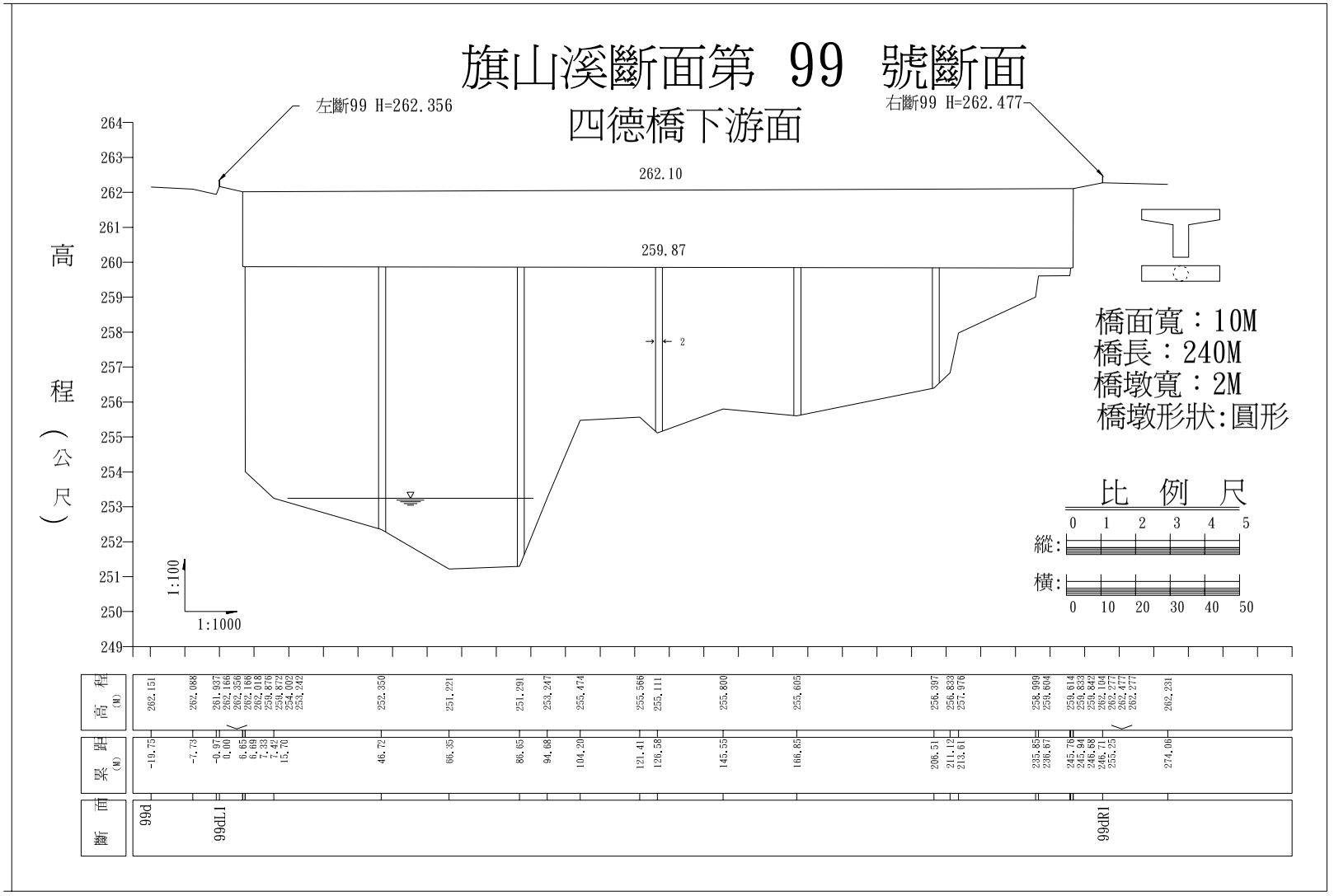


圖 5.21　台 21 線四德橋下游側於民國 97 年所測得之橫斷面圖

面至河床深度高達約 10 m。【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

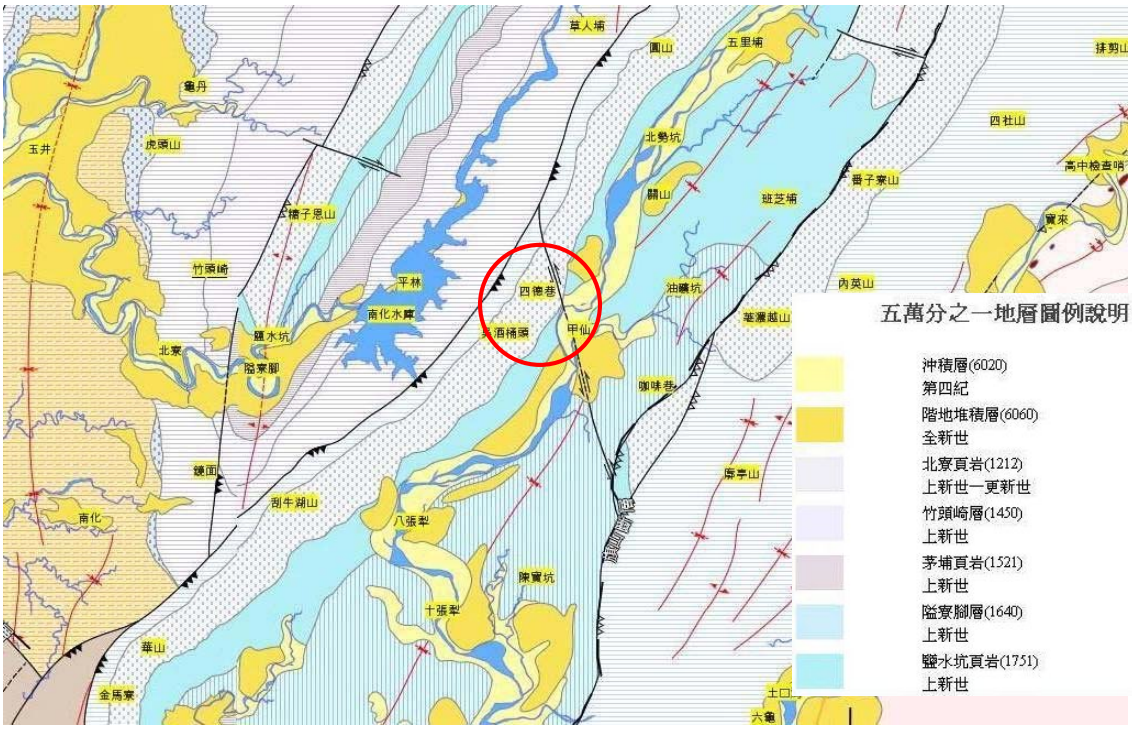


圖 5.22　台 21 線四德橋橋址附近地質分佈圖

【資料來源：中央地質調查所】

表 5-8　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_民生暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：16年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	48.3	58.5	64.3	69.3	70.8	75.2	79.3	83.1	0	<2	108	>200
3	88.0	118.2	136.2	152.2	157.1	171.5	185.2	198.3	0	<2	261	>200
6	124.9	187.5	228.0	265.8	277.6	313.3	348.0	382.1	0	<2	403.5	>200
12	175.6	288.9	361.0	427.7	448.4	510.9	571.5	630.6	0	<2	689	>200
24	256.9	427.9	533.7	630.0	659.7	748.7	834.1	916.7	0	<2	1025	>200
48	327.9	603.3	787.7	963.0	1018.2	1187.1	1353.1	1517.2	-	-	1397	118.78
72	348.0	683.3	921.4	1154.7	1229.4	1460.5	1691.5	1922.9	-	-	1621	76.01

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

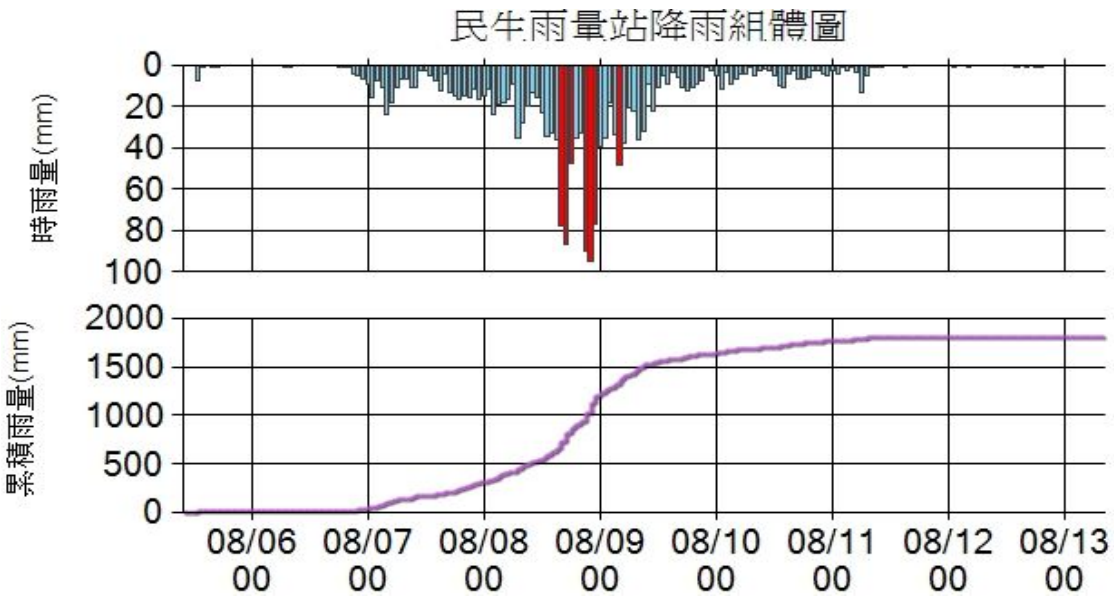


圖 5.23　民生雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

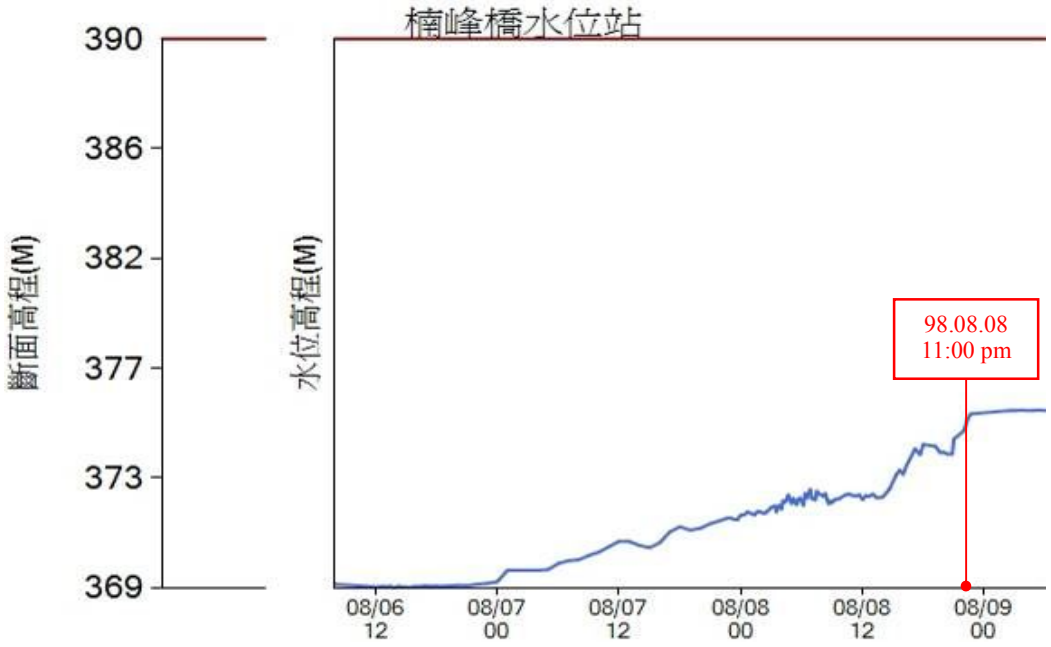
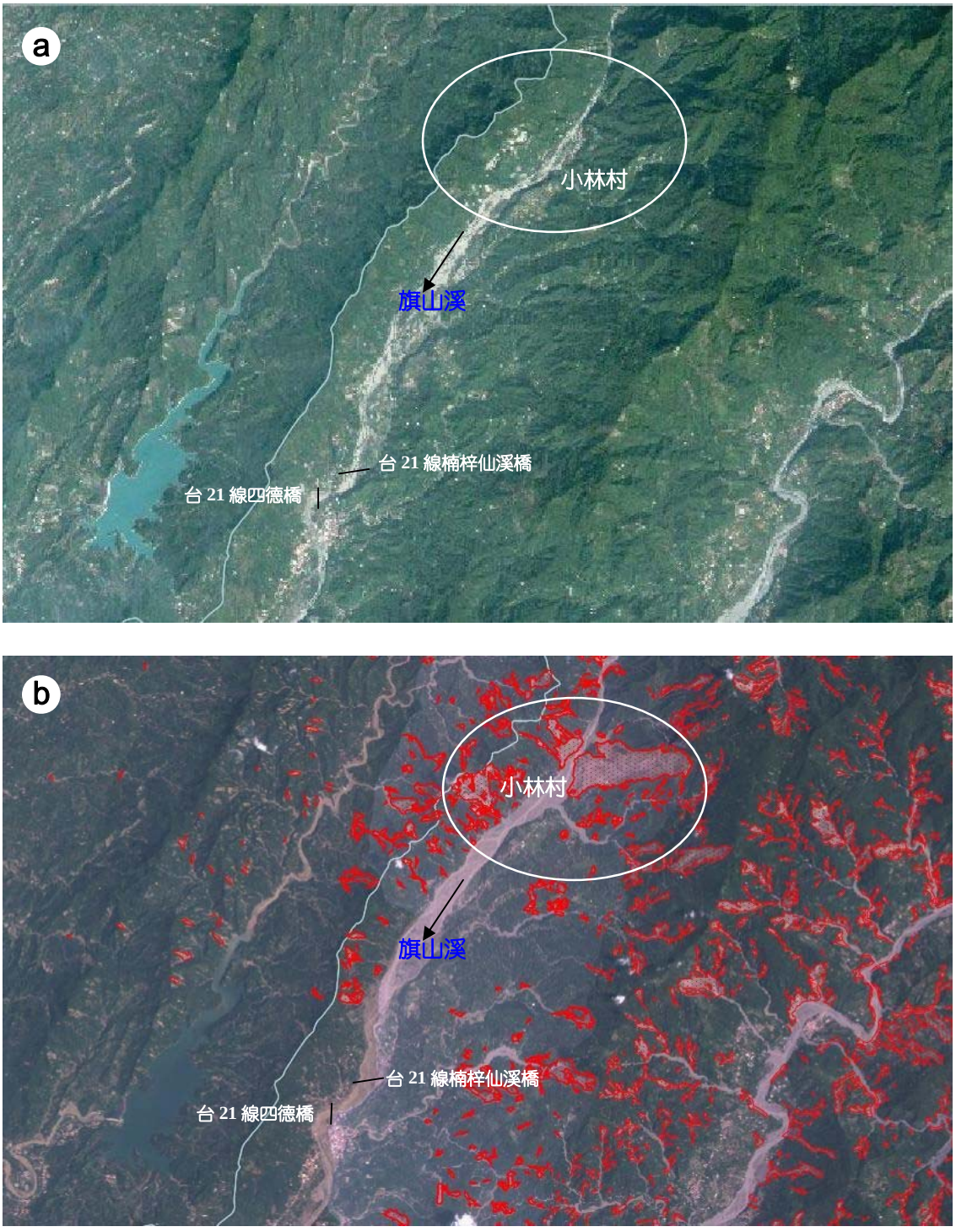


圖 5.24　楠峰橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 5.19　小林村於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】

表 5-9　台 21 線四德橋河床變化表

橋墩台編號 / 日期	A1	$S_{\frac{1}{2}}$	P1	$S_{1\frac{1}{2}}$	P2	$S_{2\frac{1}{2}}$	P3	$S_{3\frac{1}{2}}$	P4	$S_{4\frac{1}{2}}$	P5	$S_{5\frac{1}{2}}$	A2
98/05/24	6.0	6.2	6.4	7.0	7.4	7.6	7.8	9.0	10.4	10.4	9.9	9.2	9.5
98/12/05		4.2	4.0	5.0	5.8	6.6	7.3	9.0	10.6	10.6	11.8		
河床變化		+2.0	+2.4	+2.0	+1.6	+1.0	+0.5	+0.0	-0.2	-0.5	-1.9		

註：此量測數據為 RC 護欄頂緣至河床面之高度。單位為公尺，負正號係以河床之變化，分別表示莫拉克颱洪前後之相對河床高程變化。(即正號表示河床淤高、負號表示沖刷之高程變化)。【資料來源:林呈博士量測、提供】



相片 5.20　水流集中匯流於四德橋 P4～A2 間，加劇淺基礎之橋墩、橋台及甲仙護岸之沖刷，導致 P2～P3 橋面版及 P4、P5 橋墩橋面版沖毀流失以及下游左岸之甲仙護岸沖毀

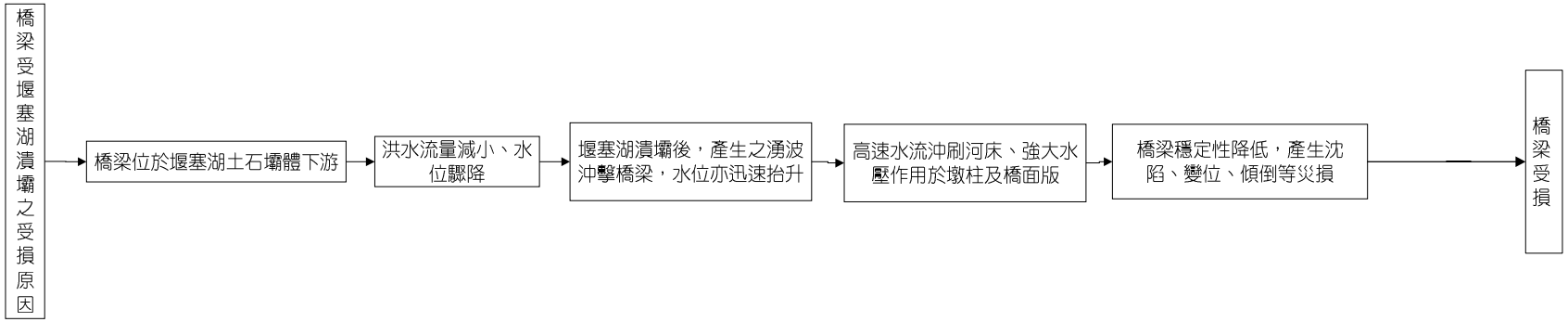


相片 5.21　莫拉克颱洪後台 21 線四德橋及鄰近構造物之上下游河段航空相片【資料來源：農林航空測量所】

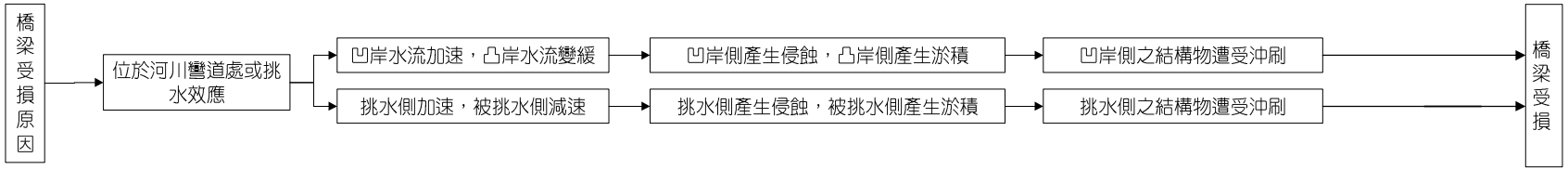


相片 5.22　台 21 線四德橋受災後之情形，可見橋梁墩柱及橋面版處處殘留掛淤漂流木。

(a) 受堰塞湖潰壩影響之橋梁破壞流程



(b) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流程



(c) 受漂流木影響之橋梁破壞流程

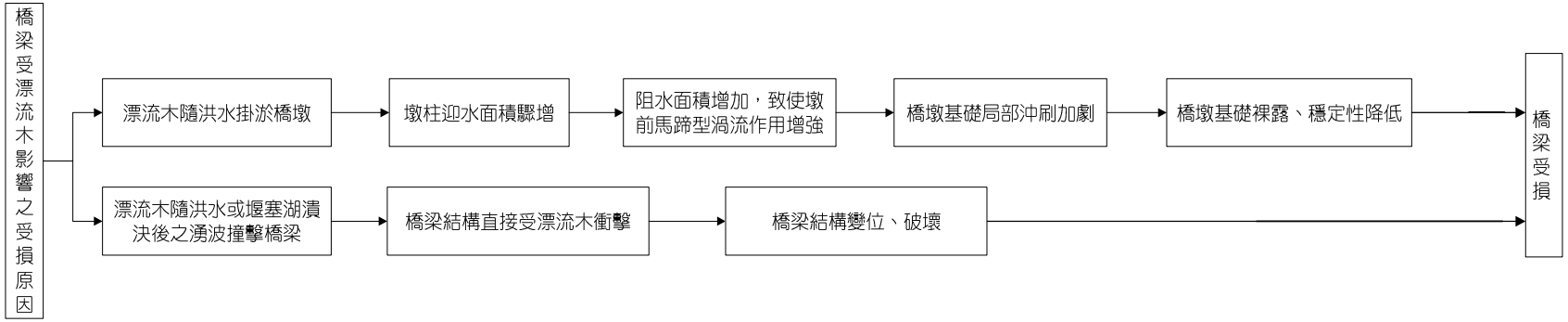


圖 5.25　　四德橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

5.5 台 28 線旗尾橋

1. 基本資料

省道台 28 線旗尾橋位於高雄縣旗山鎮，里程數為 30K+500 處，跨越旗山溪為聯絡高雄縣旗山鎮與美濃鎮間之重要交通橋梁。旗尾橋興建完工於民國 61 年 10 月，於民國 76 年拓寬，為二代橋，橋梁總長 180 m，跨距皆為 30 m，共有 6 個橋孔。橋梁上部結構為預力 I 型簡支梁，下部結構為單柱式橋墩及沉箱基礎，橋台基礎型式為直接基礎，詳如表 5-10。橋址鄰近之構造物右側為旗山橋、上游左岸為旗尾護岸、上游側有景觀橋及下游側係省道台 3 線新旗尾橋，相對位置如相片 5.23 之航空相片所示。

根據高屏溪治理規劃報告指出，旗山溪之地質分佈情形，上游集水區屬中新世中期瑞芳群主要為砂岩及頁岩，中游旗山以上一帶屬中新世晚期至上新世之三峽群之砂岩及頁岩，即易風化崩坍之地質，下游為堆積階地或沖積層。此外，本區之斷層分佈情形，由於早期造山運動影響，旗山溪流域斷層分佈有旗山斷層、甲仙斷層及平溪斷層，其中旗山斷層位於美濃至六龜間，屬一左移斷層，呈東北─西南走向，全長約 55 公里，民國 62 年此斷層附近曾發生規模三級以上地震，故可視為一可能活動斷層，詳如圖 5.26。此外，由旗山橋至旗尾橋橋梁改建工程之鑽探資料顯示，旗尾橋下游之地質為粉土質礫石層、砂或礫石質砂層及砂頁岩互層所組成，詳如圖 5.27。

相關單位有鑑於旗山橋及旗尾橋原橋梁安全問題，如現今之梁底高程過低、通水斷面不足及橋梁老舊等問題，於民國 98 年「省道老舊受損橋梁緊急改建計畫」內容，即將旗山橋與旗尾橋列入急需改建之橋梁，其相關設計圖說，如圖 5.28～ 圖 5.37 所示。於莫拉克颱洪前，正進行旗山橋至旗尾橋橋梁改建工程，於旗山橋及旗尾橋下游側，進行橋梁改建之全套管基礎施工工程，如相片 5.24 所示。

根據第七河川局於民國 95 年、民國 96 年及民國 97 年間，針對

旗山溪台 28 線旗尾橋及旗山橋所施測之上、下游 20 m 及 200 m 處所進行之斷面量測結果顯示(如圖 5.38~ 圖 5.41 所示)，近年來本河段屬於較穩定之河道，主流路主要集中於旗尾橋橋址處通過，且河床最低點位於旗尾橋 A1 ~ P2 間。比較橋址處歷年之河道變化，民國 95 年與民國 96 年間有明顯刷深之情形，此現象乃為民國 96 年 10 月柯羅莎颱洪所造成之沖刷現象，橋梁管理單位遂於民國 97 年 2 月針對旗尾橋 A1 ~ P1 間進行保護工程，保護工程之相關工程圖，如圖 5.42 所示。民國 97 年卡玫基颱洪後，橋梁管理單位再度於 P1 ~ P2 間進行第二期保護工程，相關圖說如圖 5.43 所示。

2. 莫拉克颱風之水文資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風於旗山溪流域降下極大之豪雨，根據鄰近橋址處之旗山雨量站於民國 98 年 8 月 7 日至民國 98 年 8 月 13 日降雨組體圖資料顯示，颱洪期間累積雨量高達 1,000 mm，最大降雨強度發生於 8 月 8 日上午 4 時、8 時及下午 6 時期間，最大降雨強度為 50 mm/hr，如圖 5.44 所示；此外，根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」利用中央氣象局及水利署本身之雨量測站，採用對數皮爾遜第三型分佈所進行之颱風暴雨量頻率分析結果可知，旗山雨量站所測得之降雨資料，不論為連續 24、48 或 72 小時降雨延時之分析結果，均大於 2000 年之重現期，颱洪期間總累積雨量為 881.0 mm 如表 4-2。

此外，經濟部水利署針對莫拉克颱風期間所降下之雨量紀錄，利用徐昇式求取旗山溪月眉站之平均時雨量，再求出其間最大 48 小時或最大二日之累積雨量，旗山溪月眉站之平均最大 48 小時及最大二日暴雨量均超過 200 年之重現期，如表 4-3 所示。再將旗山溪月眉站之降雨分佈經單位歷線分析後，可獲得旗山溪月眉站之流量歷線，分析結果顯示旗山溪月眉站之流量均超過 200 年重現期之洪水量，如表 4-4 及圖 4.7(a)所示。

再者，根據上游杉林大橋水位站於民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期

間之水位歷線資料顯示，此次颱洪最高水位發生於民國 98 年 8 月 8 日下午 6 時 40 分為 E.L. 123.44 m，已超出杉林大橋之水利署河防二級警戒水位為 E.L. 122 m，如圖 5.45。

3. 橋梁災害情形調查

於民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間，因強大之洪水量挾帶大量之漂流木沿著旗山溪順流而下，高速沖擊旗尾橋，造成旗尾橋除 A1 及 A2 橋台與 S6 跨徑外幾近悉數沖毀流失。A1 ~ P5 間橋面版及大梁遭沖毀流失，P1、P2 與 P4 之墩柱於墩基交接處之塑鉸區彎折斷裂，P3 墩柱(基)沖毀流失，S6 橋面版傾斜，橋面上流木嚴重掛淤。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

依據上述水文資料及現場調查，台 28 線旗尾橋受災原因可歸納為下列四點：

(1)漂流木嚴重掛淤影響

於莫拉克颱風中帶來強大之洪水量，大量之漂流木隨洪水挾帶而下，嚴重掛淤於旗尾橋墩基及橋面版上，如相片 5.25(a)所示，造成旗尾橋上游側因通水斷面淤塞，阻水面積增加，掛淤流木下層形成高速之下射水流─潛沒射流，該現象將加劇墩基與河床之沖刷，嚴重影響橋梁之穩定性。此外，嚴重掛淤滿佈漂流木後之旗尾橋有如堰塞湖，洪水高漲向兩岸溢淹，造成右岸高灘地受側向侵蝕而後退、左岸旗尾護岸遭沖毀流失，且橋梁結構所受之水壓力與側向水壓力亦將大增，導致 P1~P4 間部分墩柱(基)無法承受水流壓力及漂流木堵塞所造成之拖曳力及渠等所衍生之大彎矩(bending moment)，乃於墩基交接處之塑鉸區彎折斷裂，顯示漂流木掛淤之阻力及洪水大幅上升之水壓力作用於墩柱(基)之影響非常明顯，如相片 5.25(b)所示。然而，有部分墩柱(P4)連同基礎均遭沖刷流失，顯示下射水流之沖刷作用易不可忽視。另外，S6 橋面版傾斜，並於颱洪退水後在橋面上掛淤流木，如相

片 5.25(c)所示。旗尾橋遭洪水流木溢淹越流而後崩潰，洪水如湧浪般之沖擊波挾帶巨木瞬間沖擊下游側之台 3 線新旗尾橋左岸及旗尾堤防，以致崩損，大量洪水及漂流木亦隨著沖入堤後之廣大農田及住家區域，如相片 5.26 所示。由相片 5.27 之災損畫面可知，旗尾橋 P1～P4 呈現不同程度之倒塌、斷裂現象，如 P1，經研判可知墩柱橋梁斷裂。

莫拉克颱洪後，旗山溪上游之月眉橋與旗尾橋相比之下，由於月眉橋之梁底淨高(15 m)與跨距(35 m)相對於旗尾橋是較高與寬，通水斷面足夠，且左岸高灘地遭洪流沖蝕崩退流失(如相片 5.28 所示)，其河道大幅展寬，所以當洪流挾帶漂流木通過月眉橋橋址處時，相對較無旗尾橋流木掛淤及漫淹兩岸之情形。

(2)洪水規模巨大

根據相片 5.27 所示，旗尾橋於莫拉克颱洪前中後之比對，其主深槽流路原於 A1～P2 間，由於莫拉克颱洪帶來超大豪雨等級之降雨量，造成旗山溪暴漲，於 8 月 8 日下午 1 時所拍攝之畫面中可看到，旗尾橋水位高漲，水面距梁底僅剩約 2.0～2.5 m，已危及橋樑，莫拉克颱洪後，旗尾橋 S1~S5 跨徑遭沖毀流失，P1~P4 墩柱於墩基交接處之塑鉸區彎折斷裂。

再者，根據杉林大橋水位站於莫拉克颱洪期間之水位歷線資料顯示，8 月 8 日下午 1 時水位高程約為 E.L. 120.0 m，此次颱洪最高水位係發生於 8 月 8 日下午 6 時 40 分水位高程為 E.L. 123.4 m，與 1 時相比有 3 m 之差距，尚未達到洪峰水位，顯示當洪峰通過時，水位極高，已超出橋樑設計標準，也造成洪水溢淹過橋面板，由災後相片 5.25(c)可證明，於退水後殘留大量之漂流木於橋面板上，因此可判定其洪水已溢淹過橋面板，使橋樑上部結構直接承受水流壓力，顯示當時洪水規模巨大，進而造成橋樑毀損之原因。

(3)堰塞湖潰決所造成之影響

民國 98 年 8 月 8 日至 8 月 10 日莫拉克颱風侵襲臺灣地區，超大之降雨造成旗山溪流域嚴重水患洪災，使得山坡地之崩塌、地滑或土石流數量暴增，堆積土石堵塞河道，形成大小不一之堰塞湖。堰塞湖之潰決造成河道嚴重沖淤與水位變化，且對下游地區造成一定程度之傷害。

旗山溪上游之小林村堰塞湖災害，根據楠峰橋水位站於民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間之水位歷線資料顯示，此次颱洪最高水位發生於民國 98 年 8 月 9 日凌晨 3 時 30 分為 E.L. 375.65 m，最高流量為 3,176.79 cms，如圖 5.46 所示。楠峰橋水位站之水位資料僅紀錄至 8 月 9 日早上 6 點，根據陳與許(2009)對小林村堰塞湖災害之研究中指出，獻肚山崩塌之時間點亦為 8 月 9 日早上 6 點，而小林村堰塞湖潰決之時間點為 8 月 9 日早上 6 點 30 分，其潰決時所釋放之大量洪水如湧浪般順沿旗山溪而下，嚴重影響到下游處之橋梁安全，造成河道嚴重沖淤與水位高漲之現象。小林村堰塞湖潰決流至甲仙橋時間點約為 7 點多左右，從甲仙橋至台 28 線旗尾橋距離大約 42 公里。上游處堰塞湖發生潰決時，假設河道水深 d 約為 5 公尺，洪水流速 $C=\sqrt{gd}$ 約為 7 m/s，估算出上游堰塞湖潰決時洪水從甲仙橋至台 28 線旗尾橋約只需要 1 小時 40 分，與當地民眾訪談後得知旗尾橋斷橋之時間點約為上午 9 點之後，其時間點相當接近。

(4)其他

台 28 線旗尾橋於民國 61 年 10 月竣工，因環境和時間之變遷使橋梁結構本身老化與安全規格之降低，因此相關單位基於安全考量乃於下游側進行旗山橋至旗尾橋橋梁改建工程，也由於老化之現象造成對洪水之抵禦強度相對降低，也可能為造成此次災損原因之一。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 5.47 所示，旗尾橋沖損過程，詳如表 5-11 所示。

表 5-10　台 28 線旗尾橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	旗尾橋	橋梁編號	0030-312	使用狀態	已拆除	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	第三區養護工程處	養護工務段	高雄工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	旗山	道路等級	省道	路線	臺 28 線
橋頭里程	30K+500M	橋尾里程	K+M	竣工年月	61 年 10 月	最近維修年月	
造價	不詳	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	公路局第三區工程處	監造單位		施工單位	公路局第三區工程處	竣工圖說保存地點	第三區養護工程處
檢測週期	12 月/次	跨越物體	旗山溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	旗山糖廠						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別	中央管河川	河川管理單位	第七河川局	河川名稱	旗山溪
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站	月眉大橋水位站	計畫洪水位	E.L 46.73 M	計畫河寬	不詳		
計畫堤頂高程	E.L 48.23 M	設計河床高程	不詳	設計橋梁出水高	7 M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	180 M	A1 進橋版長度	M		A2 進橋版長度	M	
最大淨寬	14.8 M	最小淨寬	15 M		橋版投影面積	2880 M^2	
總車道數	4	總橋孔數	6		最大跨距	30 M	
跨距分配	6@30						
最高橋墩高度	7 M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	4.5 M		
橋頭 GPS 經度	120.4885833	橋頭 GPS 緯度	22.88211111	橋尾 GPS 經度	120.49025	橋尾 GPS 緯度	22.881889
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	其他特殊支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	其他
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	沉箱基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	第二類地盤	防震設施	無	防落橋長度	0.75 M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28 G		設計垂直地表加速度	G	
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-09-03
備　註							
民國 76 年 7 月拓寬							

【資料來源：第三區養護工程處】



相片 5.23　旗山橋、旗尾橋及新旗尾橋於莫拉克颱洪前之衛星影像【資料來源：中央大學太空及遙測研究中心與經濟部水利署第七河川局】

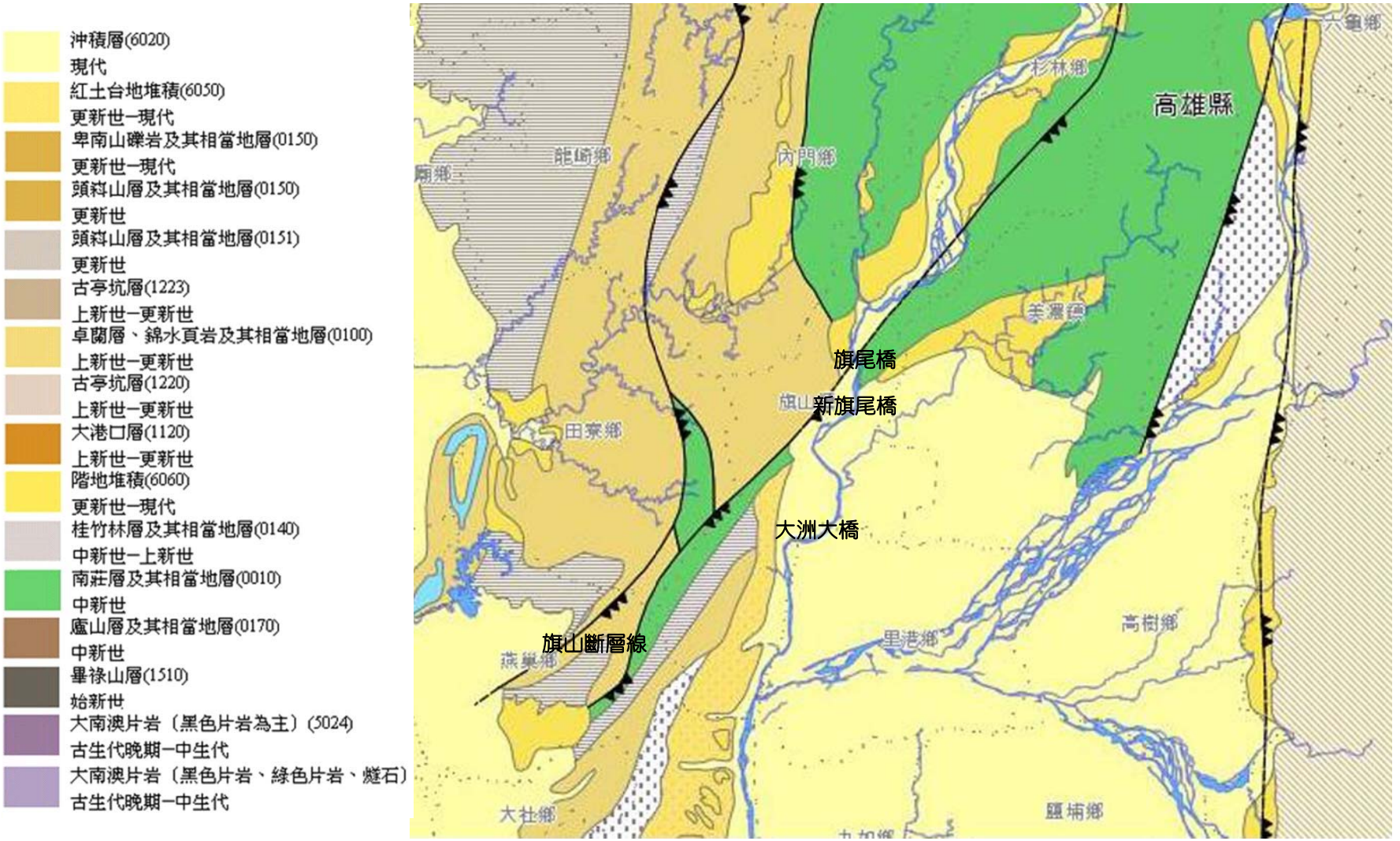


圖 5.26　旗山溪流域地質圖【資料來源：經濟部中央地質調查所】

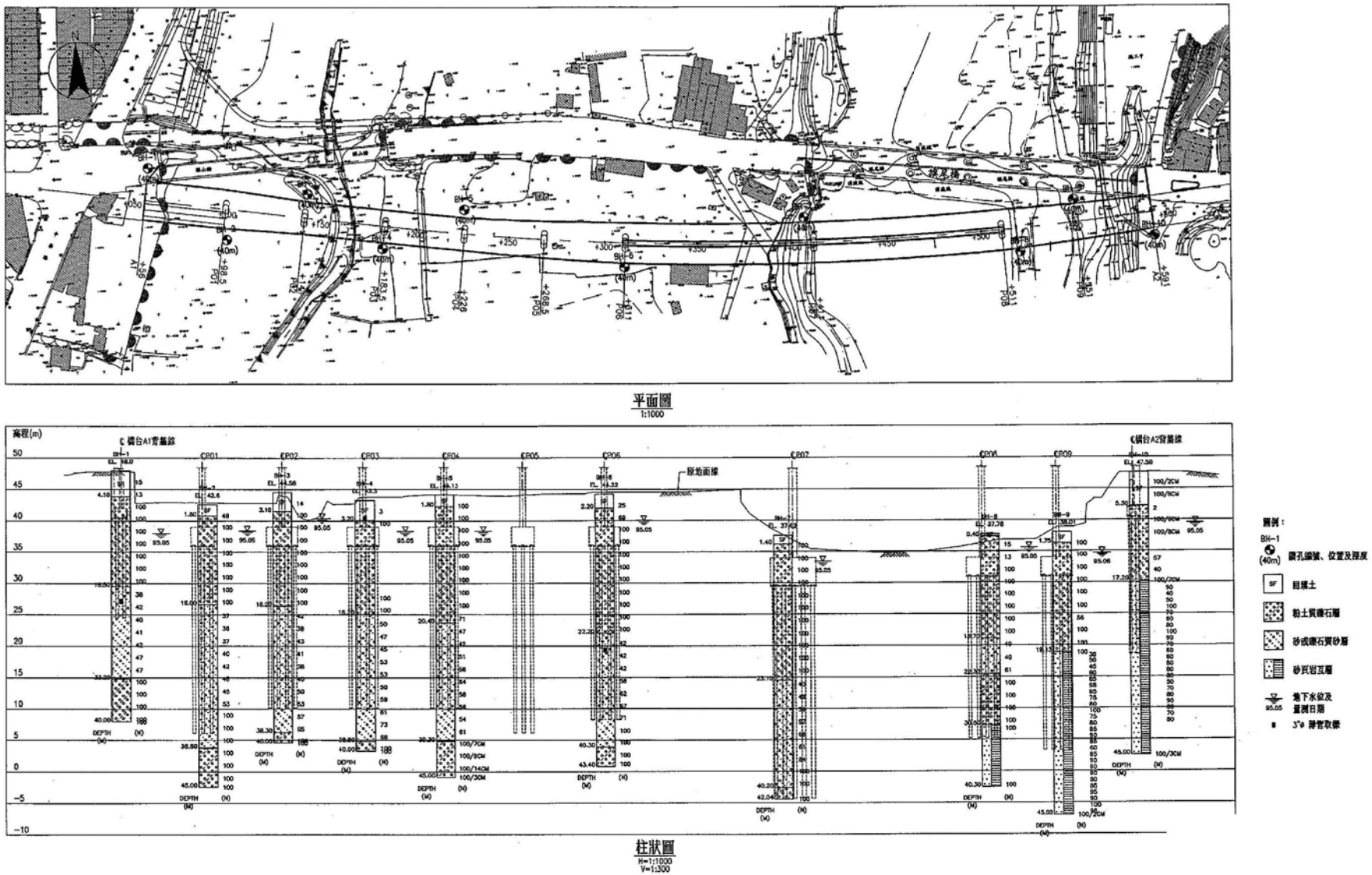


圖 5.27　台 28 線 30K+110 ~ 30K+950(旗山鎮旗山橋 ~ 旗尾橋)橋梁改建工程鑽孔孔面位置及柱狀圖

【資料來源：第三區養護工程處】

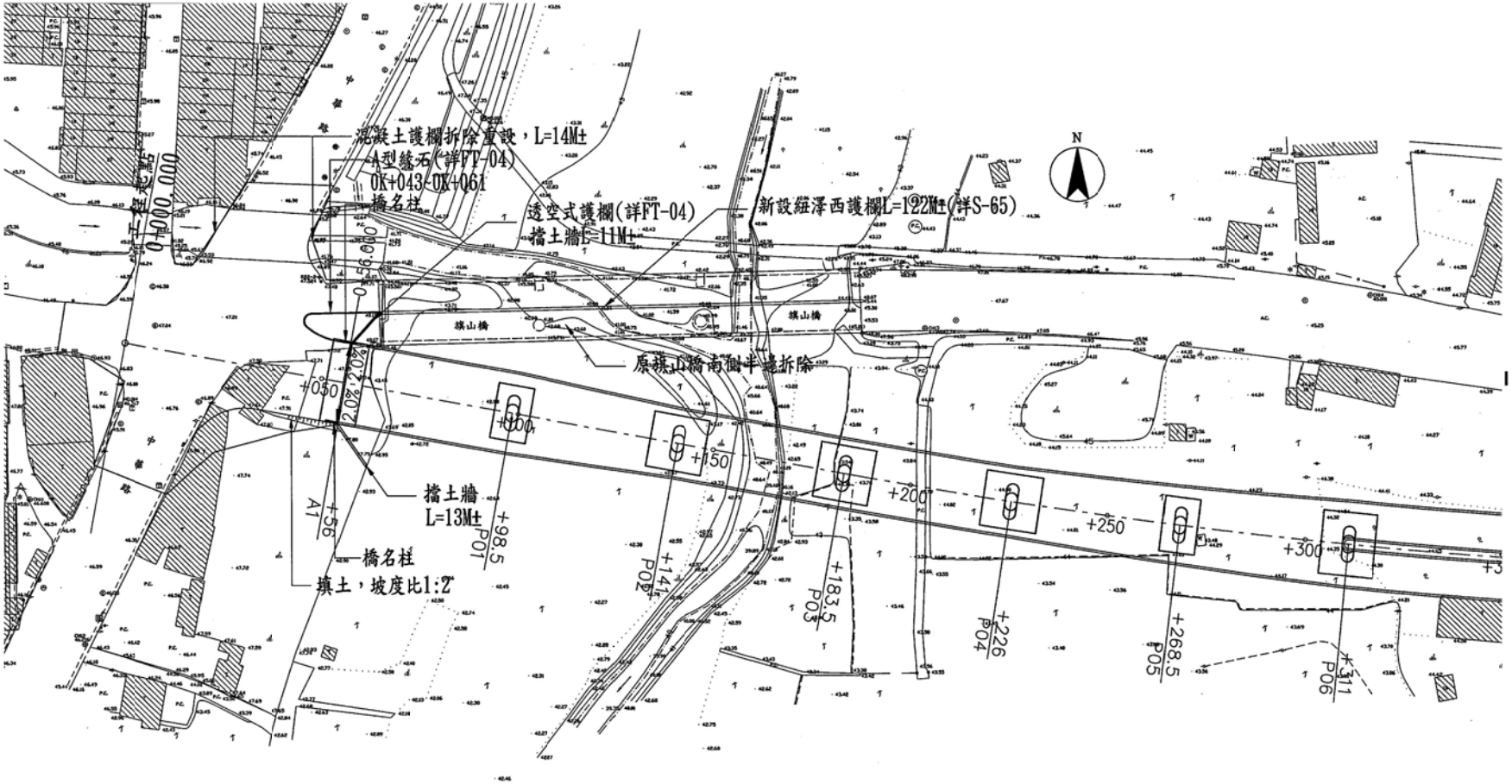


圖 5.28　結構平面圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】

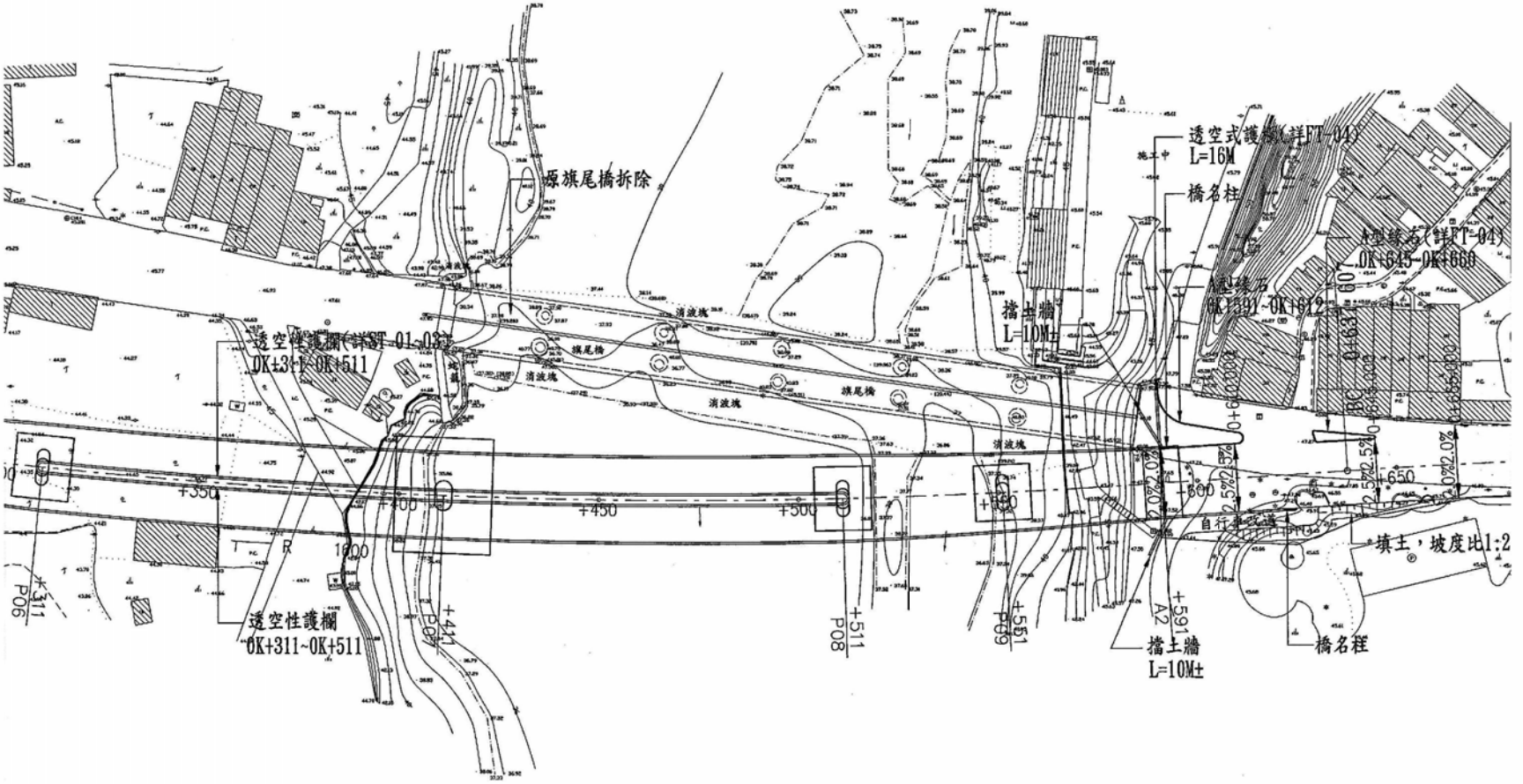


圖 5.29　結構平面圖(二) 【資料來源：第三區養護工程處】

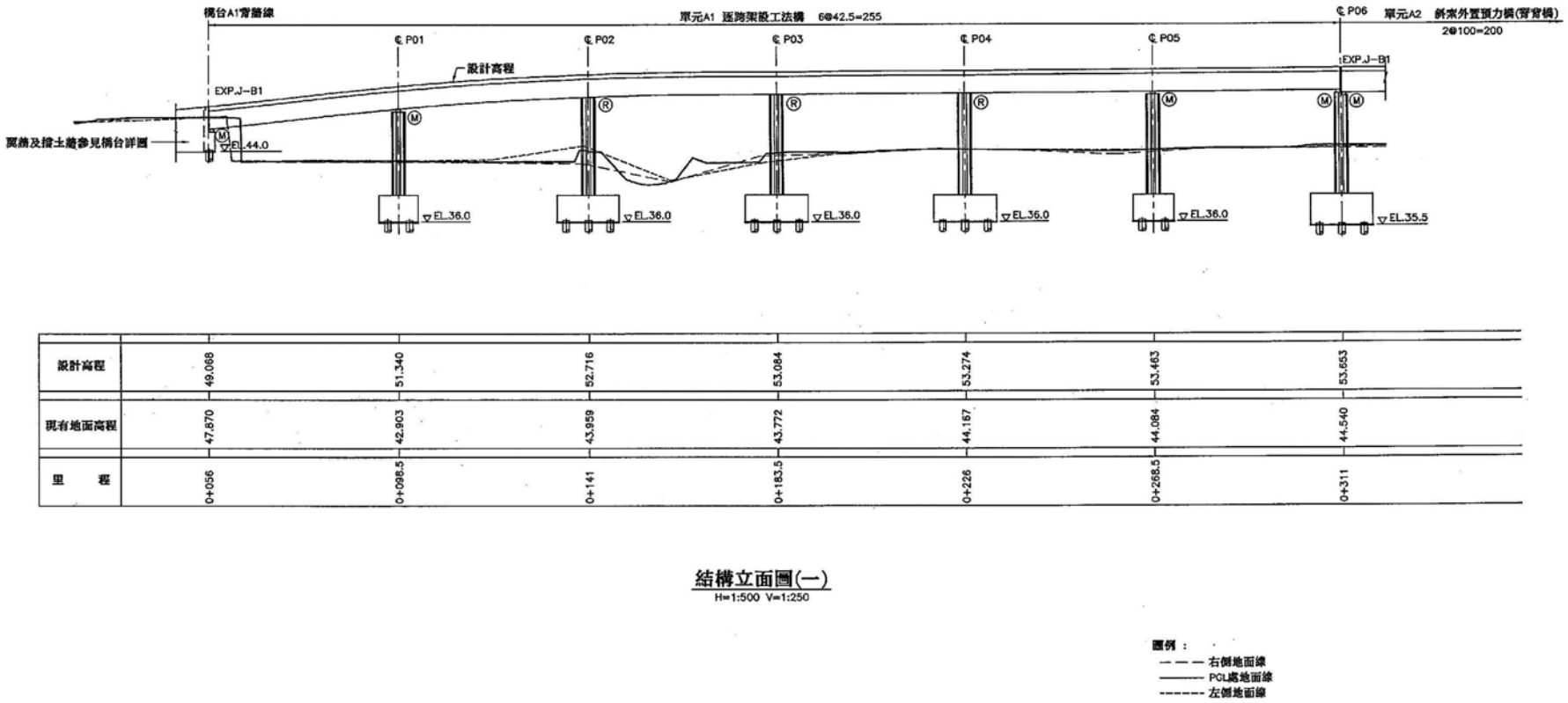


圖 5.30　結構立面圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】

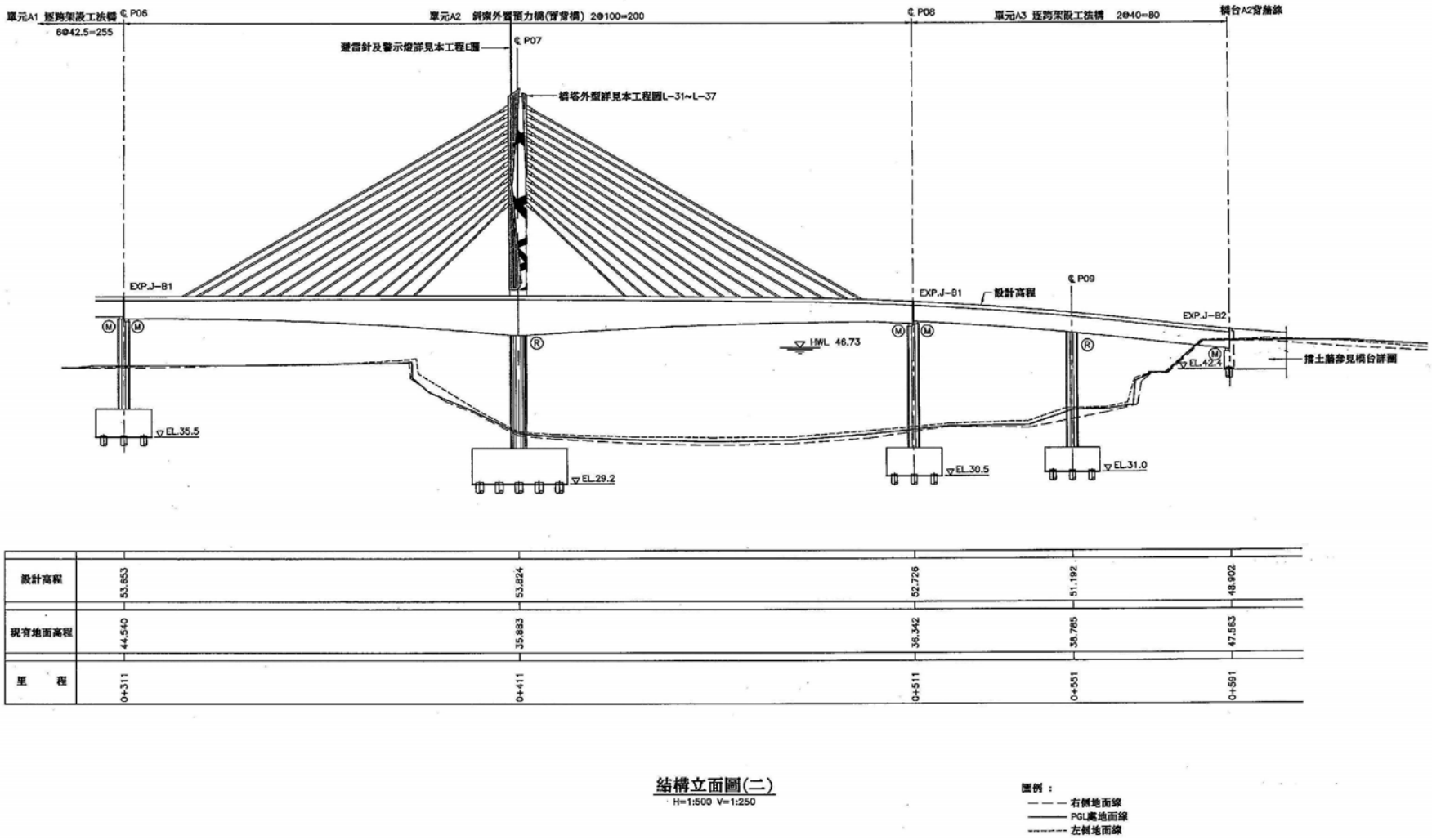


圖 5.31　結構平面圖(二)【資料來源：第三區養護工程處】

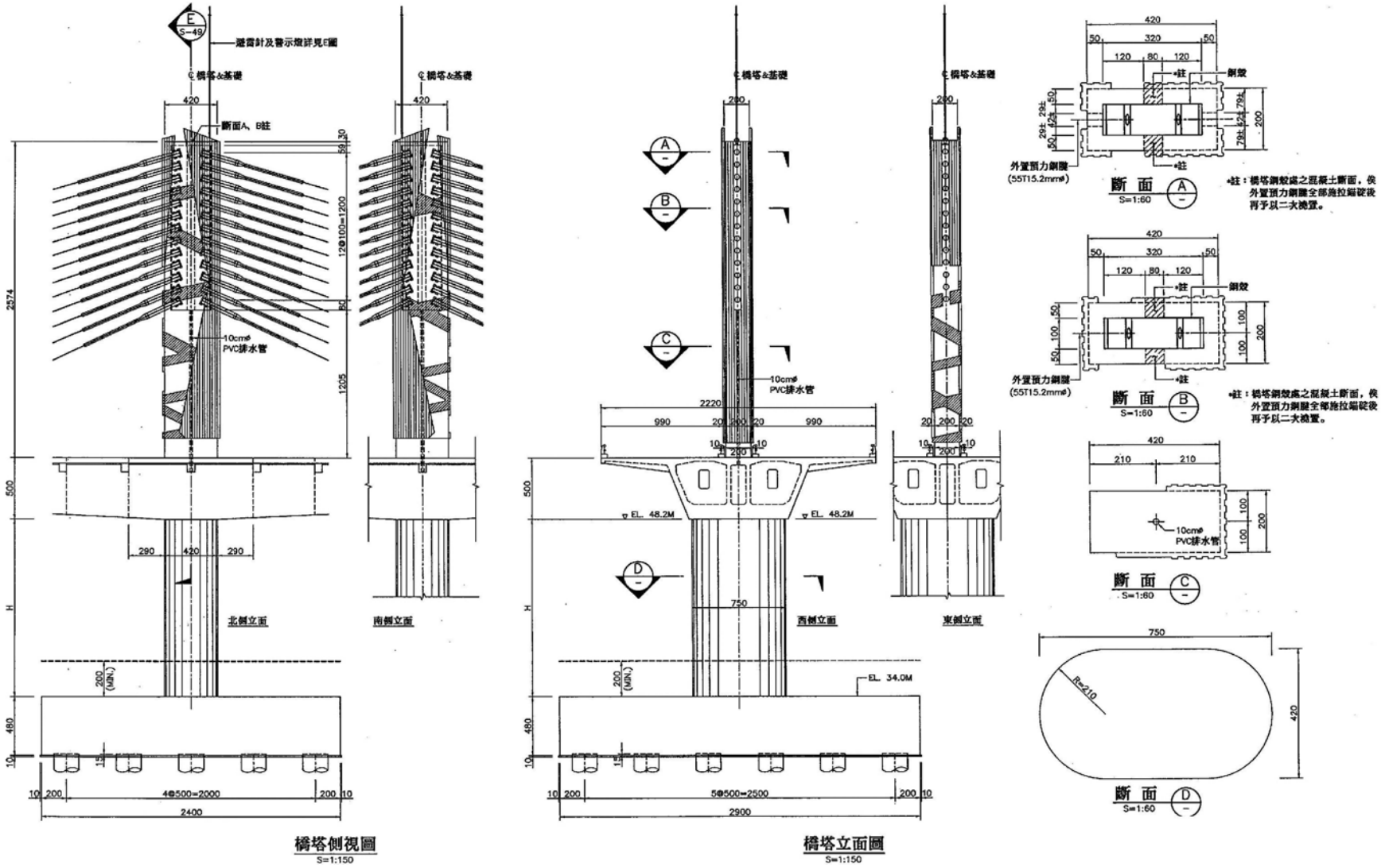


圖 5.32　橋塔及基礎詳圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】

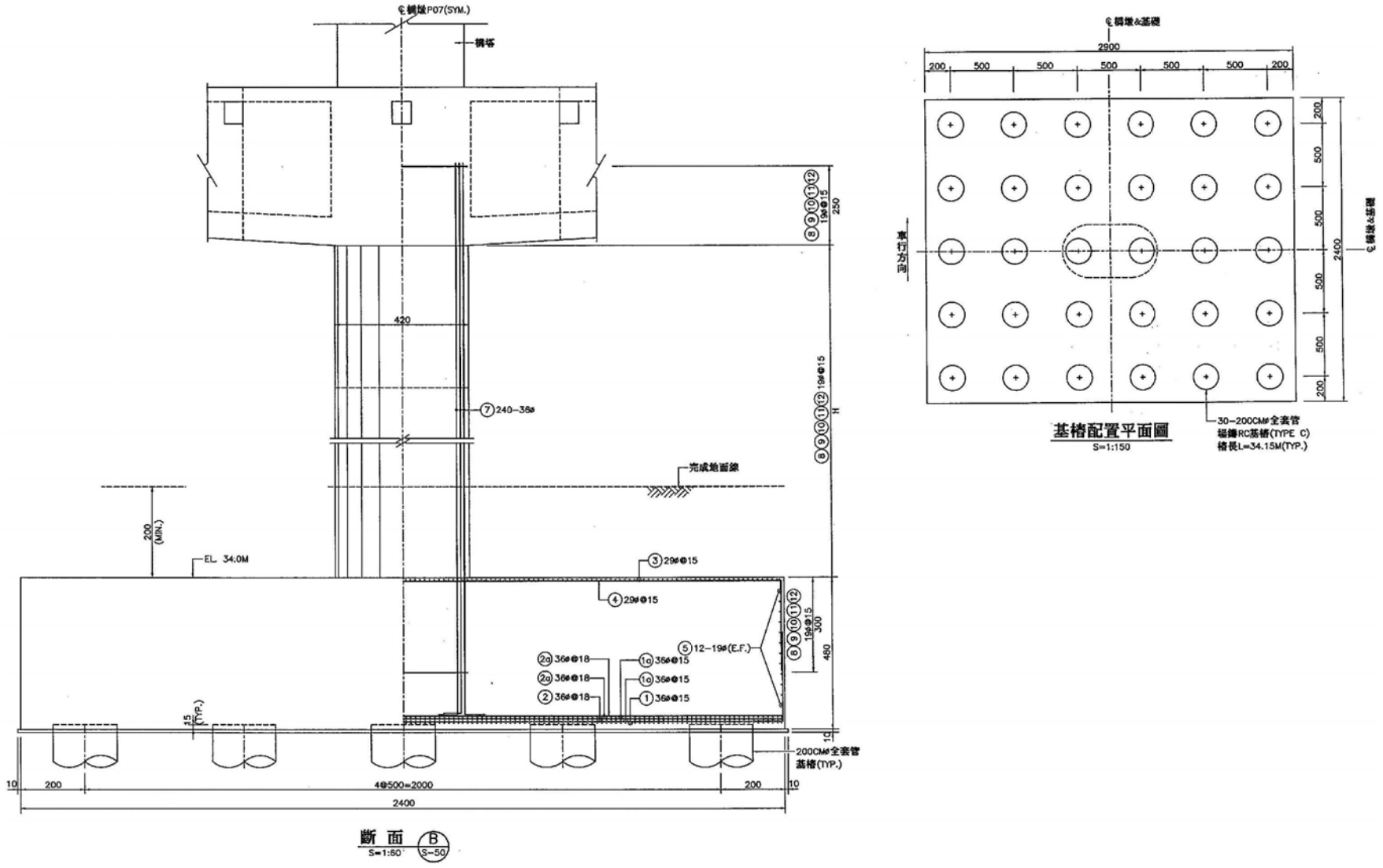
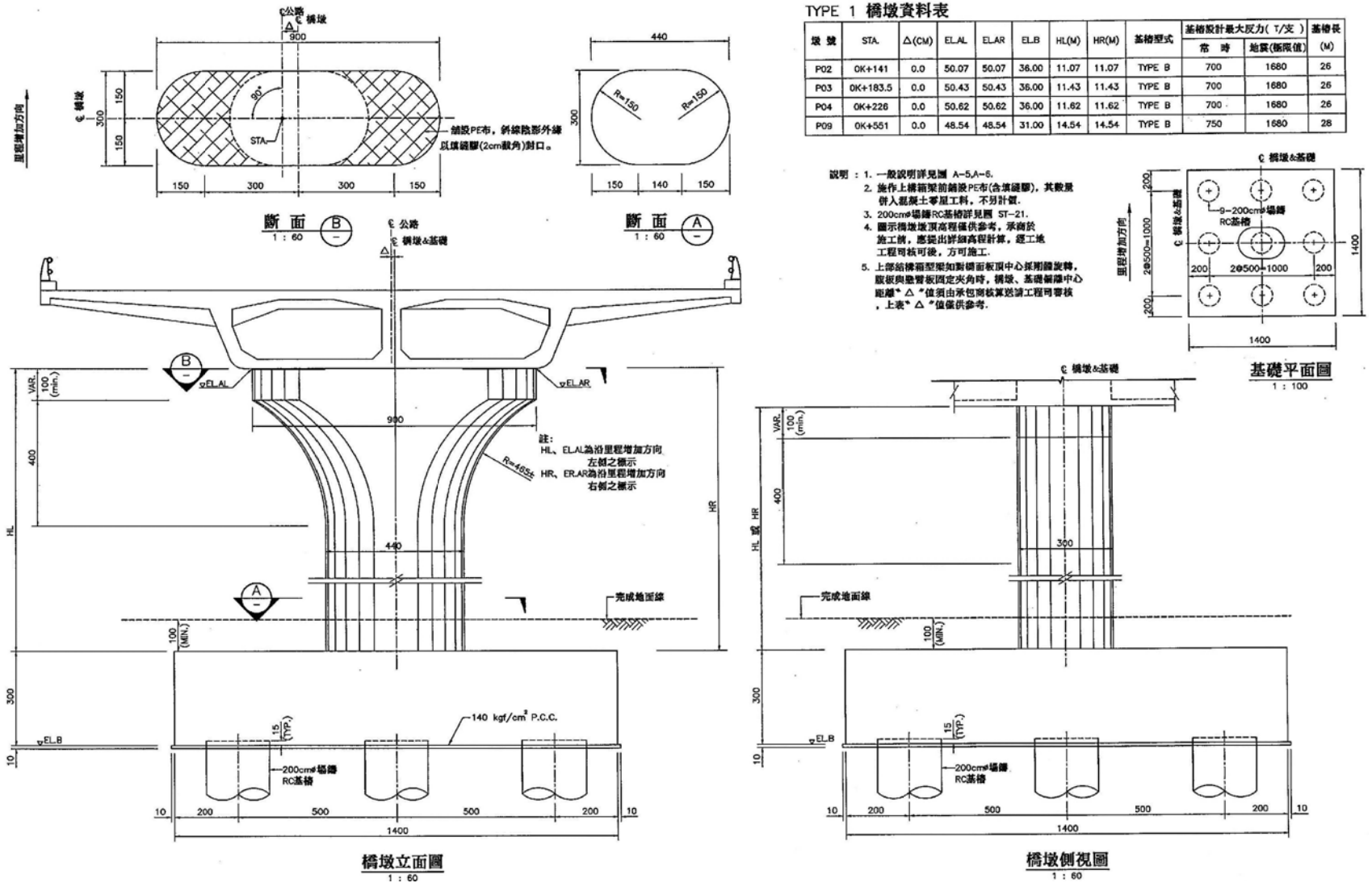
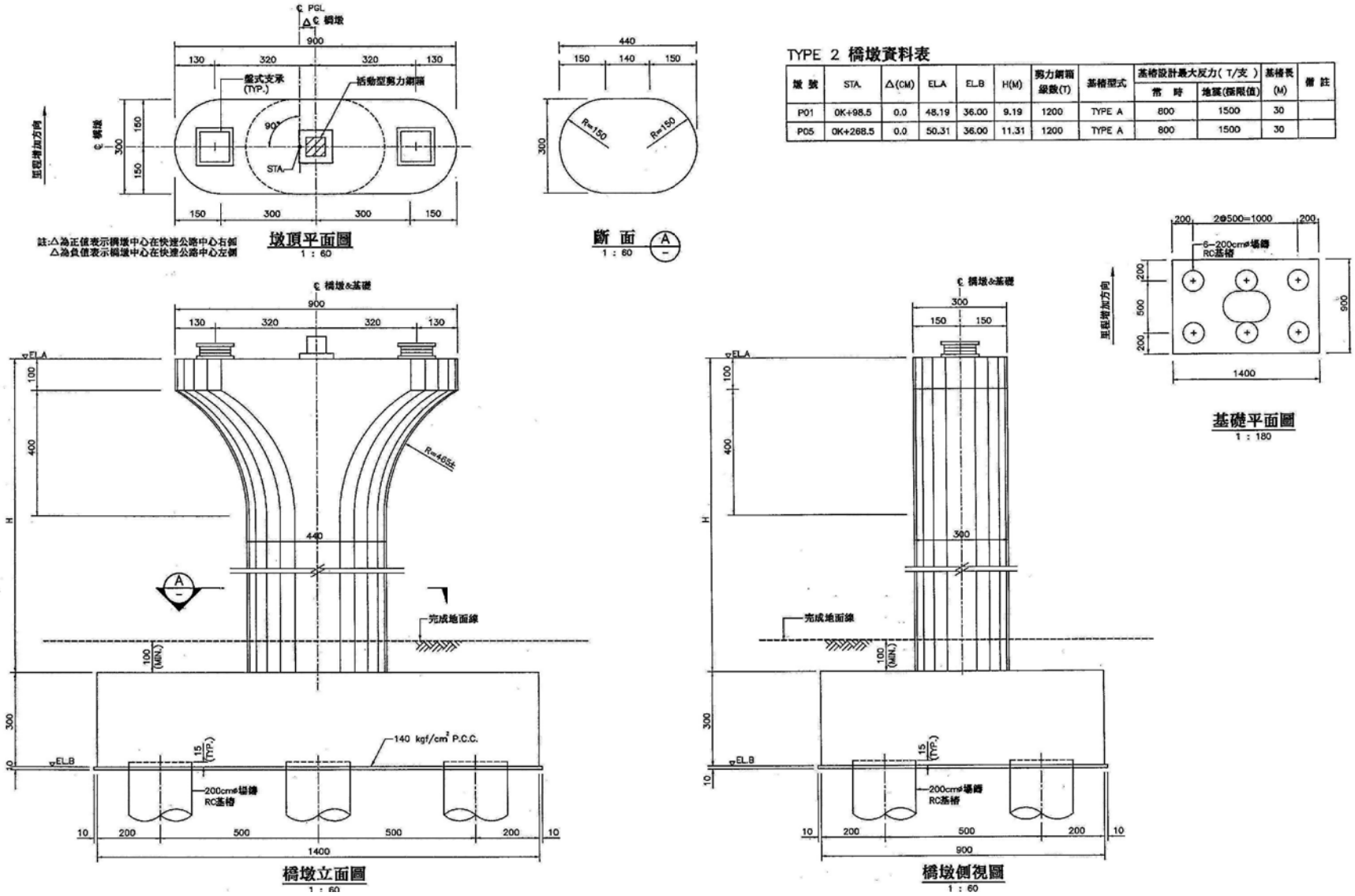


圖 5.33　橋塔及基礎詳圖(二)【資料來源：第三區養護工程處】



墩號	STA.	△(CM)	EL.AL	EL.AR	EL.B	HL(M)	HR(M)	基樁型式	基樁設計最大反力(T/支) 常時	基樁設計最大反力(T/支) 地震(極限值)	基樁長(M)
P02	0K+141	0.0	50.07	50.07	36.00	11.07	11.07	TYPE B	700	1680	26
P03	0K+183.5	0.0	50.43	50.43	36.00	11.43	11.43	TYPE B	700	1680	26
P04	0K+226	0.0	50.62	50.62	36.00	11.62	11.62	TYPE B	700	1680	26
P09	0K+551	0.0	48.54	48.54	31.00	14.54	14.54	TYPE B	750	1680	28

圖 5.34　TYPE 1 橋墩及基礎詳圖【資料來源：第三區養護工程處】



墩 號	STA.	△(CM)	EL.A	EL.B	H(M)	剪力鋼箱級數(T)	基樁型式	基樁設計最大反力(T/支)		基樁長 (M)	備 註
								常 時	地震(極限值)		
P01	0K+98.5	0.0	48.19	36.00	9.19	1200	TYPE A	800	1500	30	
P05	0K+268.5	0.0	50.31	36.00	11.31	1200	TYPE A	800	1500	30	

圖 5.35　　TYPE 2 橋墩及基礎詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

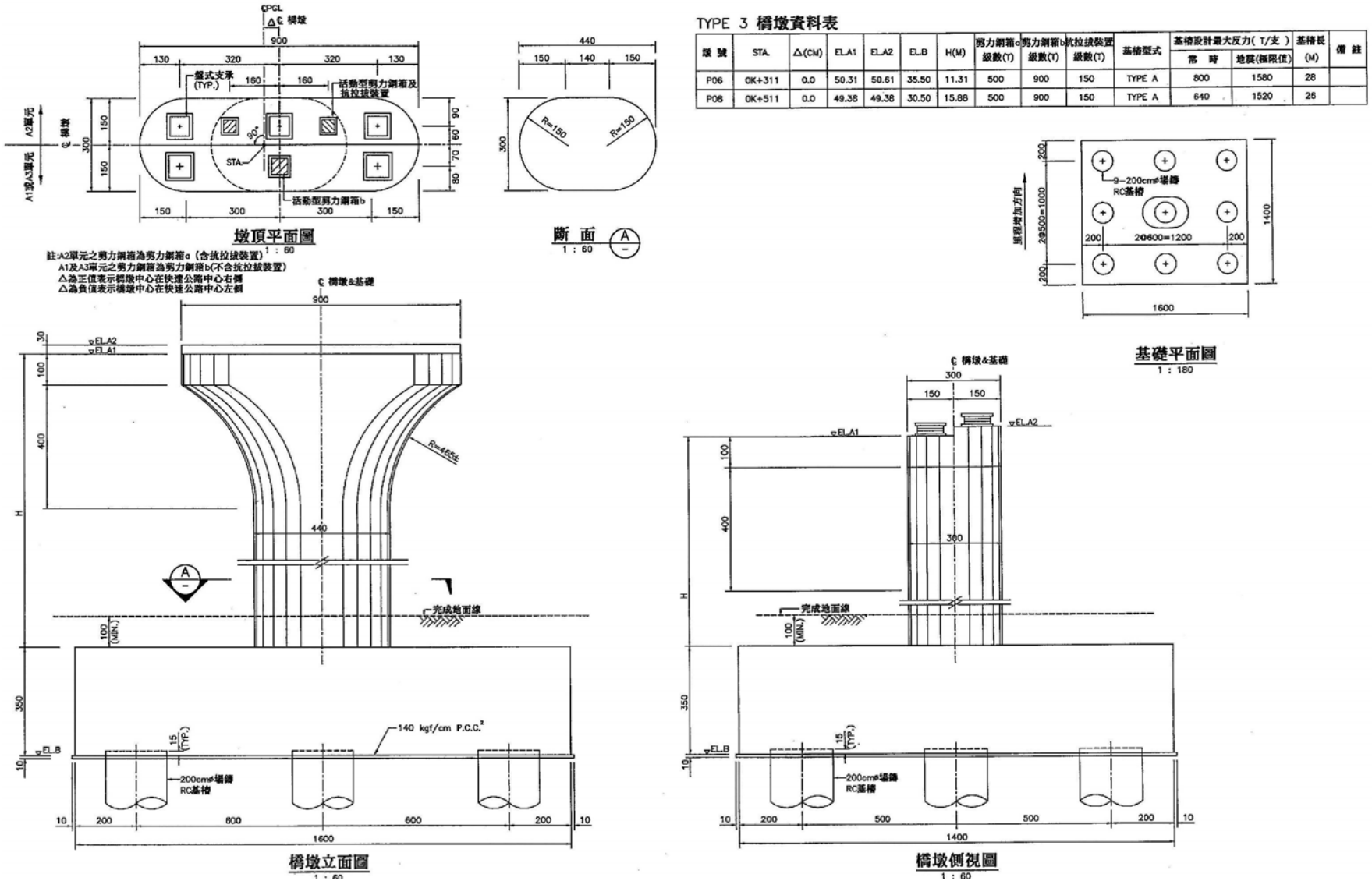


圖 5.36　TYPE 3 橋墩及基礎詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

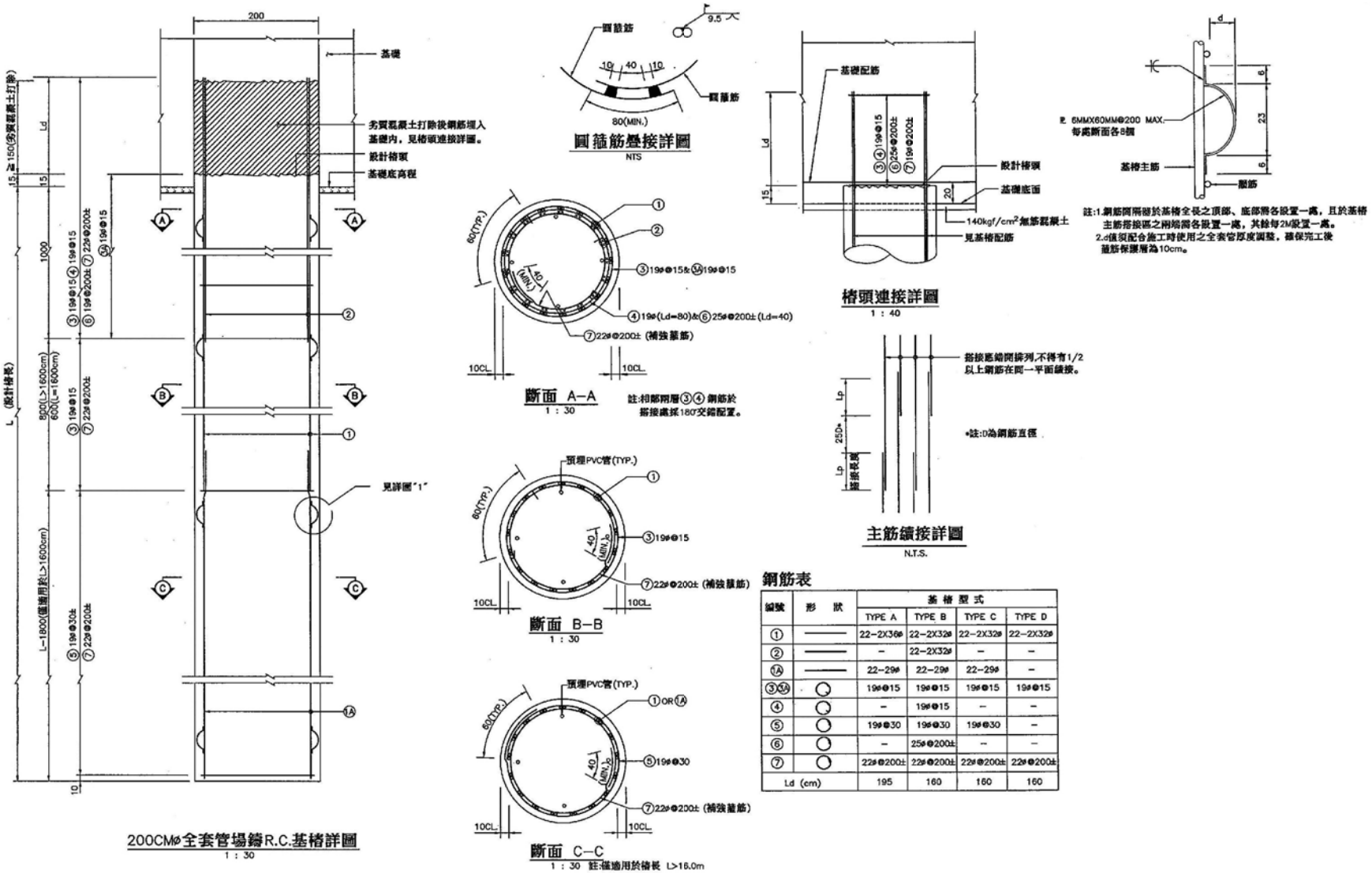


圖 5.37　200CMφ全套管場鑄 R.C.基樁詳圖【資料來源：第三區養護工程處】





相片 5.24　莫拉克颱洪前，於旗尾橋下游側進行橋梁改建之全套管施工工程。

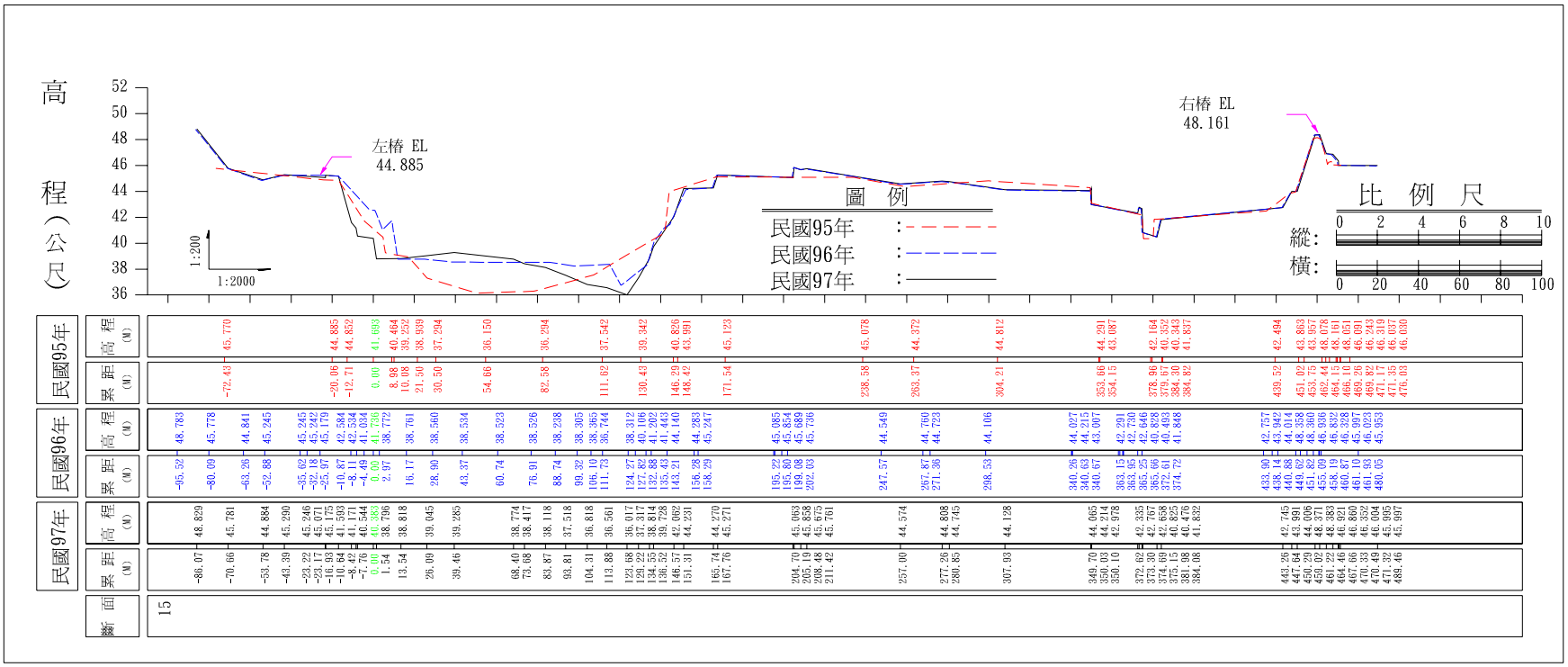


圖 5.38　旗山溪台 28 線旗尾橋、旗山橋上游 200 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局**】**

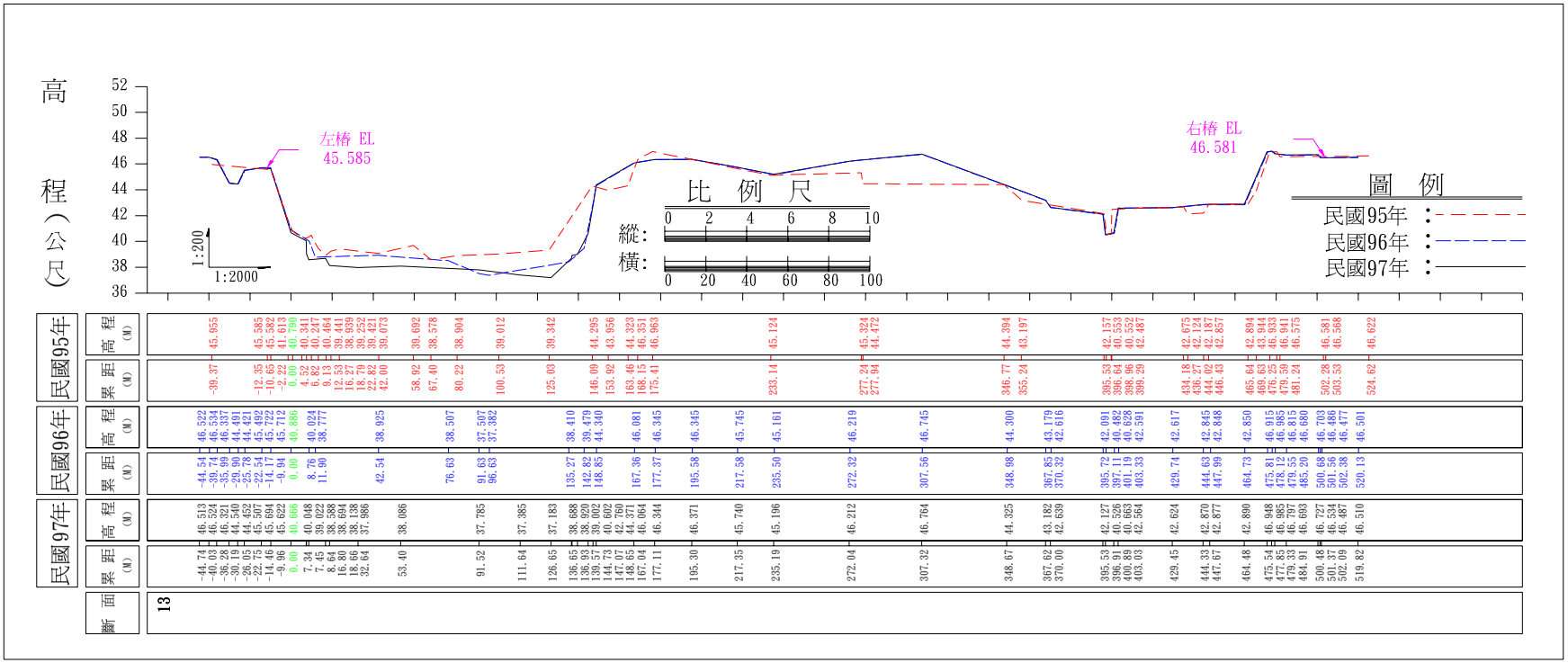


圖 5.39　旗山溪台 28 線旗尾橋、旗山橋上游 20 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局**】**

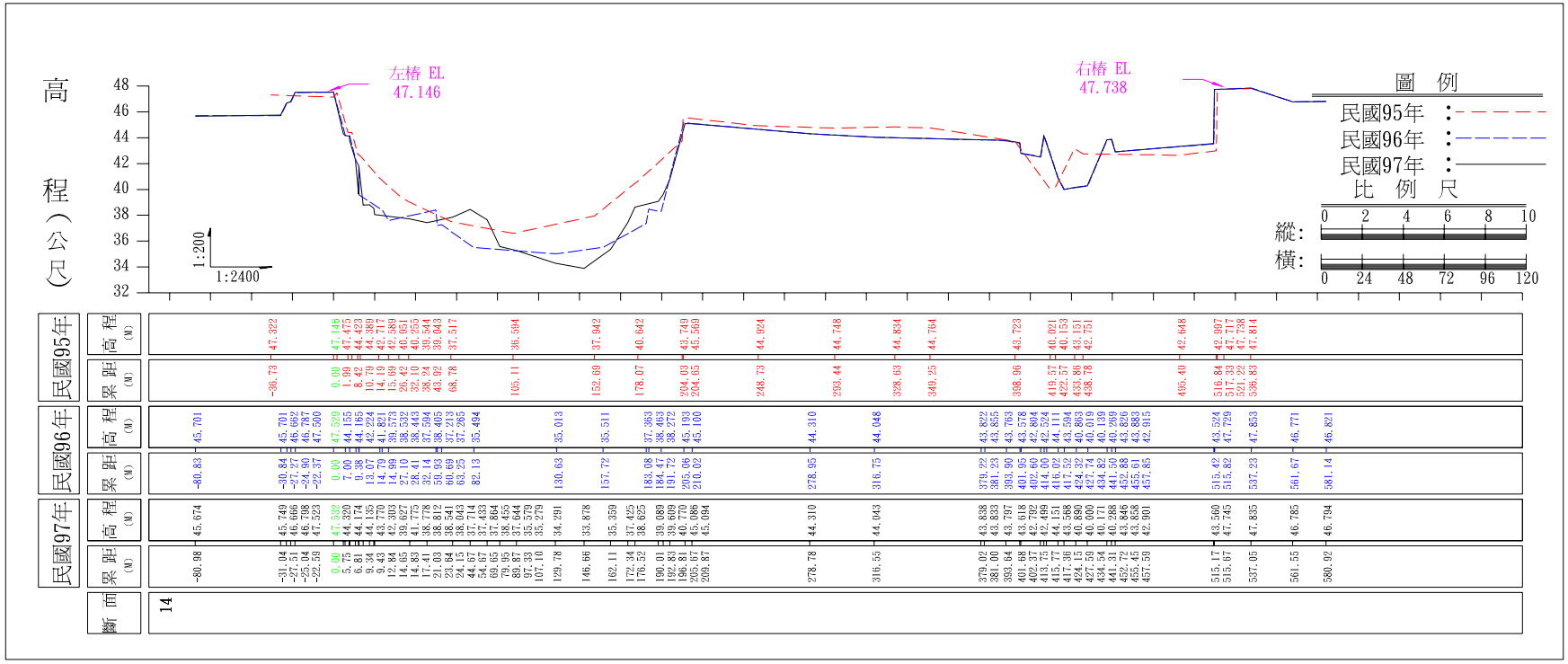


圖 5-40　旗山溪台 28 線旗尾橋、旗山橋下游 20 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局**】**

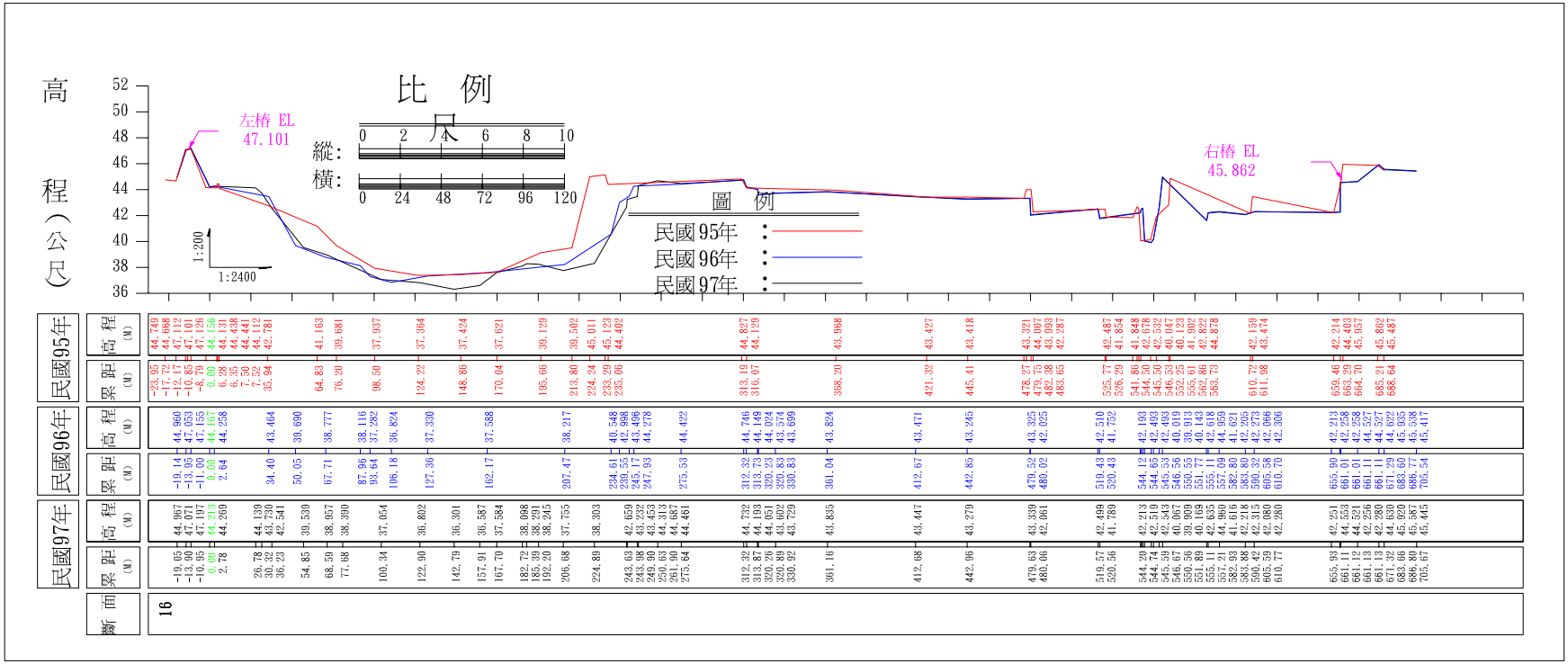


圖 5.41　旗山溪台 28 線旗尾橋、旗山橋下游 200 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局**】**

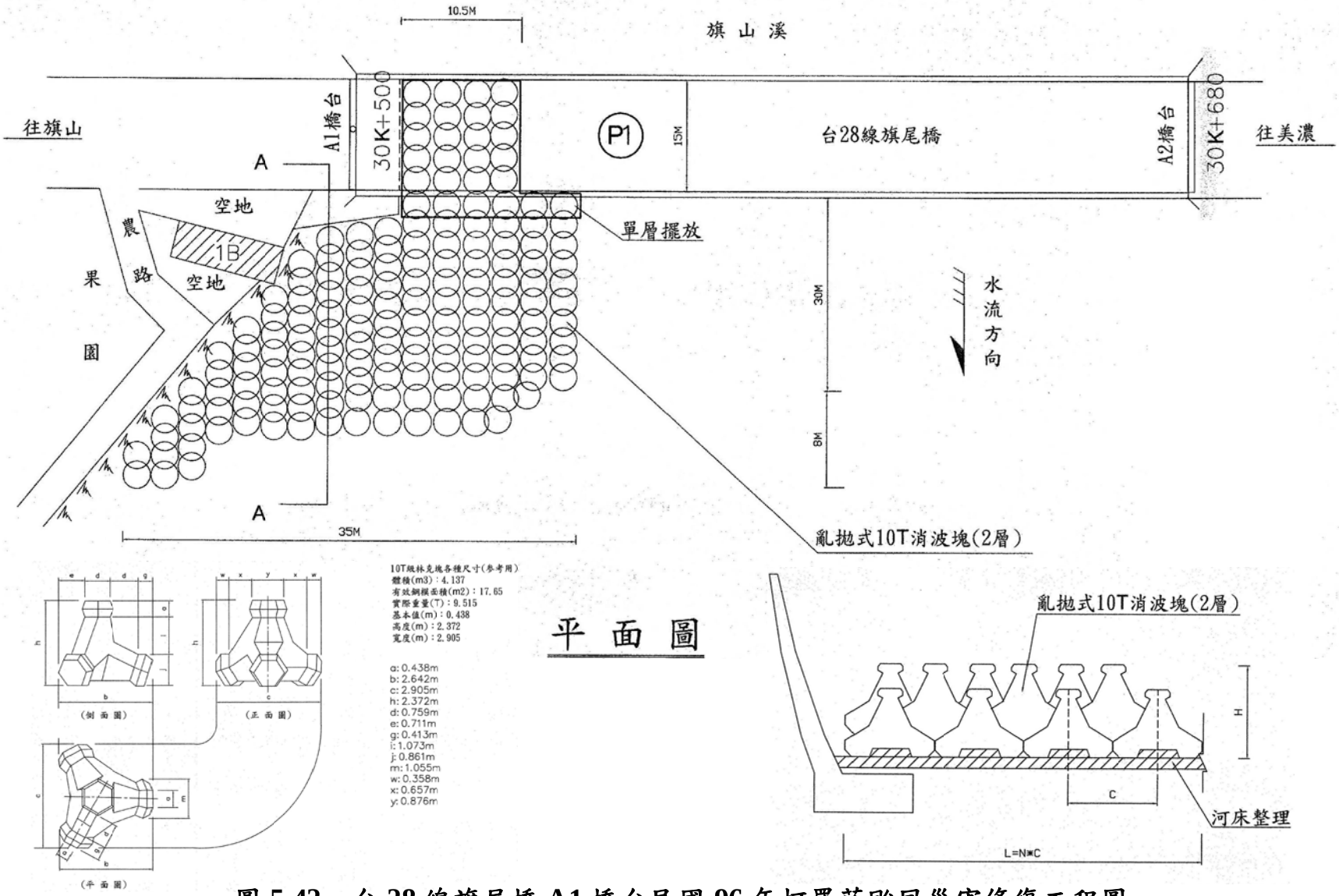


圖 5.42　台 28 線旗尾橋 A1 橋台民國 96 年柯羅莎颱風災害修復工程圖

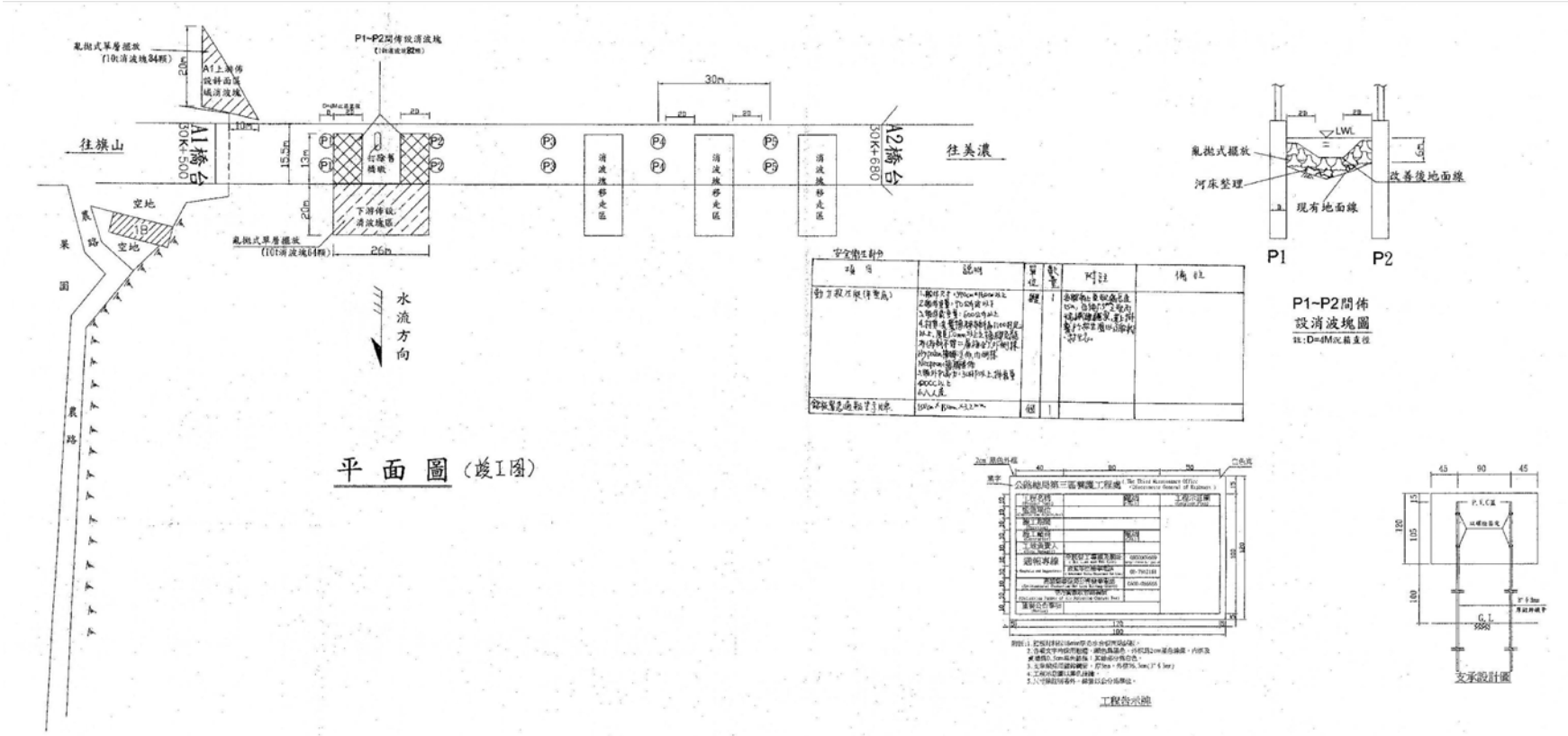


圖 5.43　台 28 線旗尾橋 P1～P2 橋墩基礎保護工程

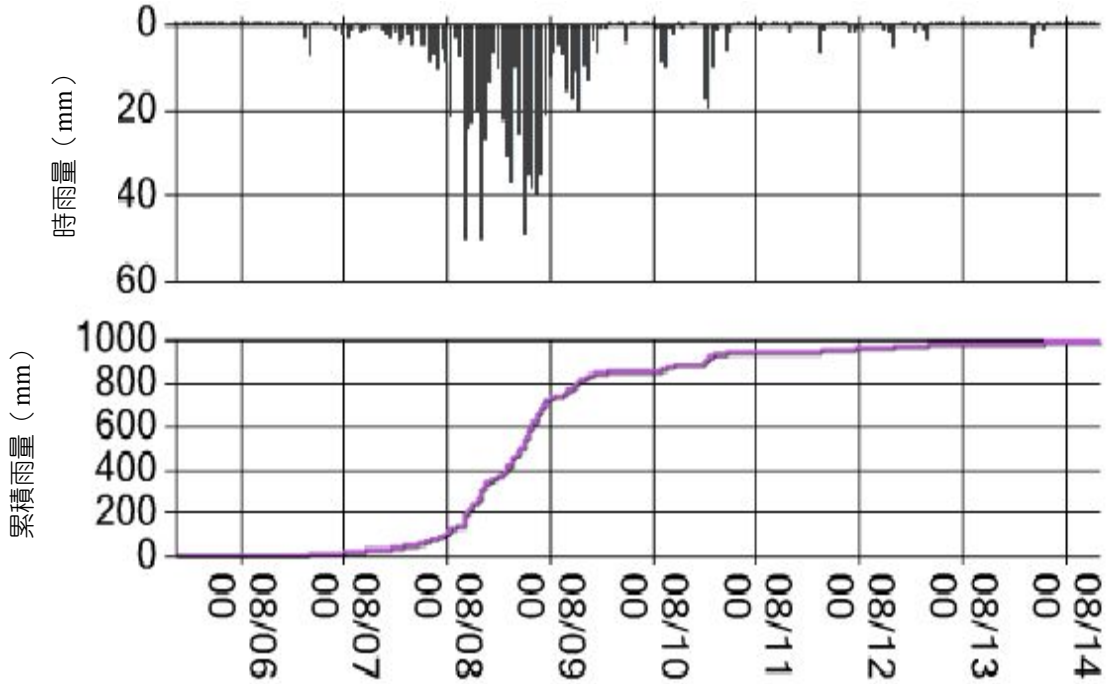


圖 5.44　旗山雨量站之降雨組體圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

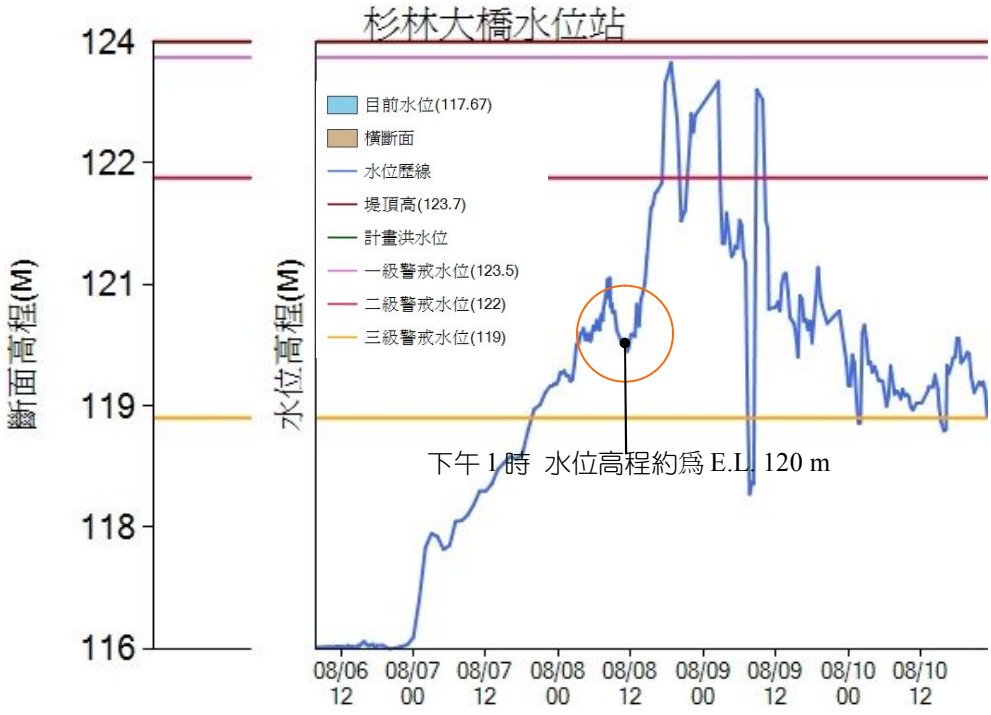


圖 5.45　旗山溪杉林大橋水位站於 98.08 莫拉克颱洪期間之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 5.25　　旗尾橋於莫拉克颱洪後之受災情形



相片 5.26　旗山橋、旗尾橋及新旗尾橋於莫拉克颱洪後之衛星影像【資料來源：中央大學太空及遙測研究中心與經濟部水利署第七河川局】



相片 5.27　旗尾橋於莫拉克颱洪前中後之比較

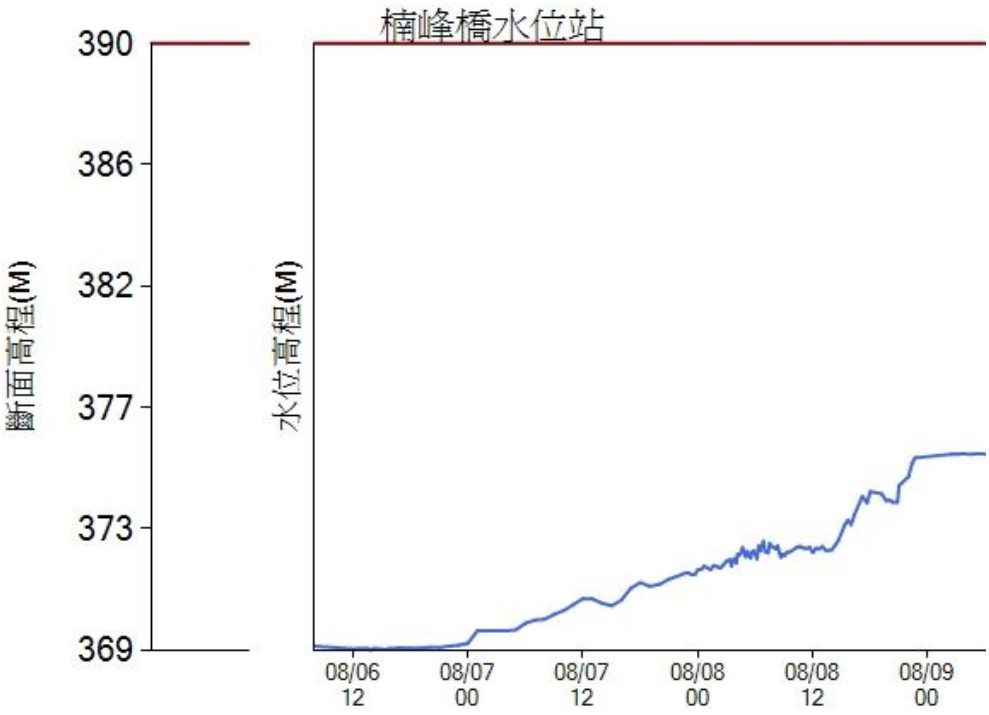
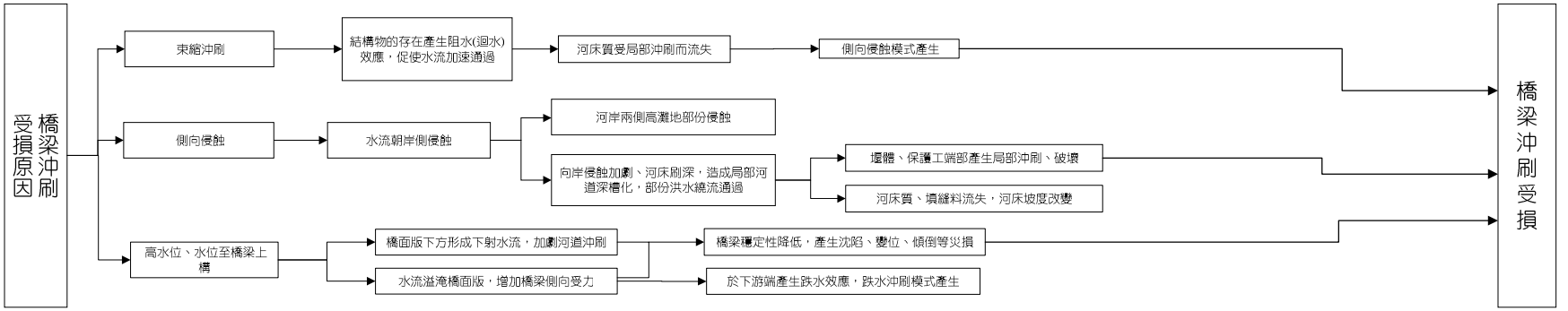


圖 5.46　楠峰橋水位站於莫拉克颱洪期間之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

(a) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流程



(b) 受漂流木影響之橋梁破壞流程

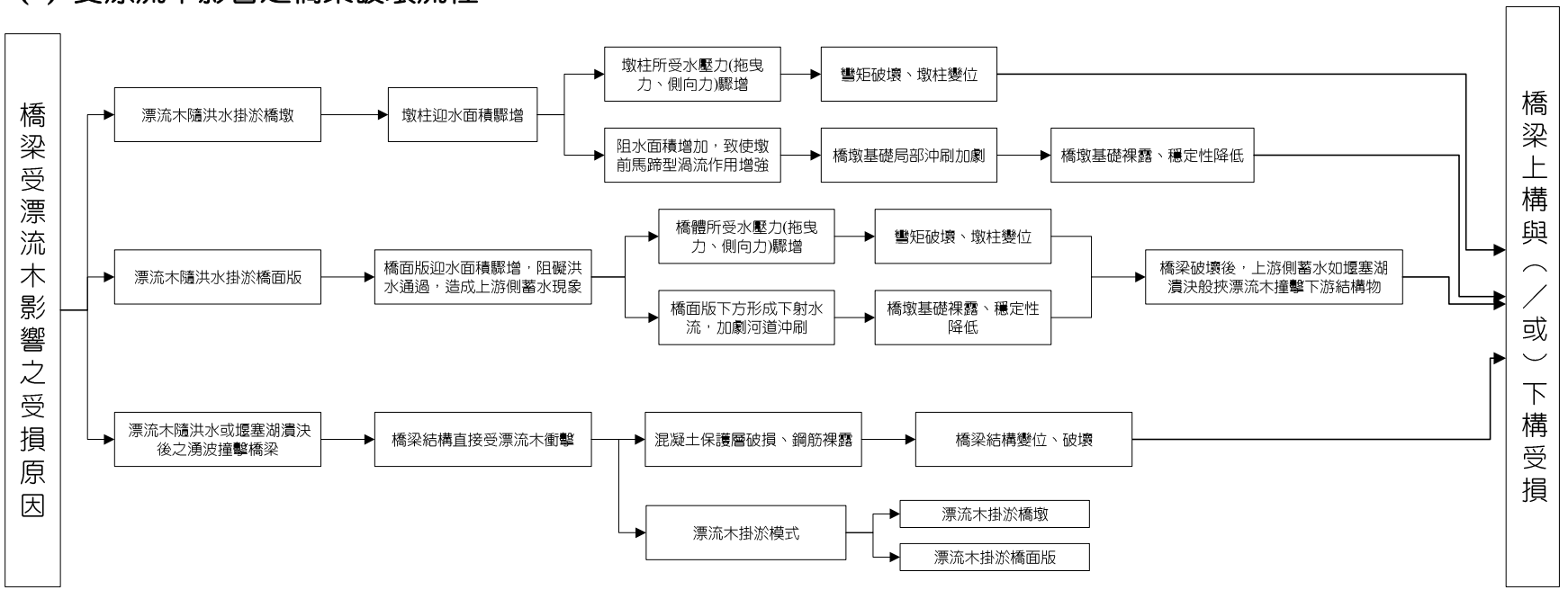


圖 5.47　　台 28 線旗尾橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

(c) 堰塞湖影響之橋梁破壞流程

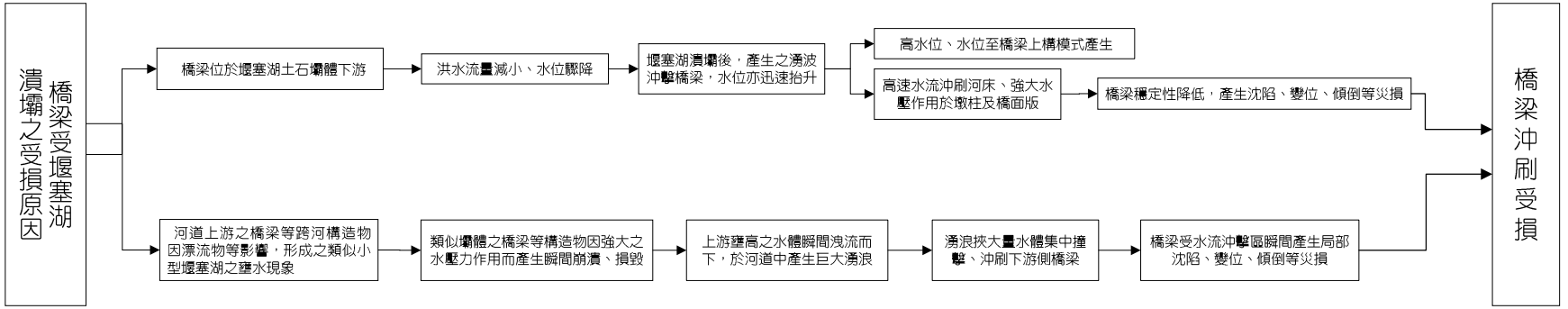


圖 5.47(續)　台 28 線旗尾橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖



相片 5.28　　月眉橋於莫拉克颱洪前後比較

表 5-11　台 28 線旗尾橋沖損過程

98/08/08　pm 1：07	旗尾橋下之水位距梁底約 2.0 ～ 2.5 m。
98/08/08　pm 5：30 ～ 6：00	右岸旗山堤防(麥當勞店附近)開始洪水越堤推估旗尾橋已大量掛淤及水流溢淹橋面。
98/08/08　pm 7：00 ～ 8：00	左岸旗尾橋 A2 橋台附近之民家(延平二路一帶)前已掛淤大量之漂流木(即此時段前已開始淹水) 。
98/08/08　pm 8：00 之後	洪水位繼續上升。
98/08/09　am 6：00 ～ 8：00	洪水位稍有消退(約下降 1 ～ 1.5 m)。
98/08/09　am 9：00 ～ 9：40	小林村堰塞湖潰決流通過旗尾橋時旗尾橋斷橋潰決，旗尾橋斷橋潰決後洪水位下降。

5.6 台 3 線新旗尾橋

1. 基本資料

省道台 3 線新旗尾橋位於高雄縣旗山鎮，里程數為 408K+940 處，跨越旗山溪為聯絡高雄縣旗山鎮與美濃鎮間之重要交通橋梁。本橋於民國 81 年 7 月竣工，橋梁總長 720 m，跨距為 40 m，共有 18 個橋孔。橋梁上部結構為預力 I 型簡支梁，下部結構為單柱式橋墩及沉箱基礎，橋台基礎型式為直接基礎，詳如表 5-12。省道台 3 線新旗尾橋工程設計圖，如圖 5.48~ 圖 5.54 所示。橋址鄰近之構造物上游側為旗尾橋、下游左岸側為旗尾堤防，相對位置如相片 5.29 之航空相片所示。

根據高屏溪治理規劃報告指出，旗山溪之地質分佈情形，上游集水區屬中新世中期瑞芳群主要為砂岩及頁岩，中游旗山以上一帶屬中新世晚期至上新世之三峽群之砂岩及頁岩，即易風化崩坍之地質，下游為堆積階地或沖積層。此外，本區之斷層分佈情形，由於早期造山運動影響，旗山溪流域斷層分佈有旗山斷層、甲仙斷層及平溪斷層，其中旗山斷層位於美濃至六龜間，屬一左移斷層，呈東北—西南走向，全長約 55 公里，民國 62 年此斷層附近曾發生規模三級以上地震，故可視為一可能活動斷層，詳如圖 5.55。省道台 3 線新旗尾橋之鑽探資料，如圖 5.56 所示。

由相片 5.29 所示，旗尾橋至新旗尾橋因右岸高灘地面積高又廣，且左岸施設蛇籠護岸，乃使河道斷面較窄，主深槽流路變動受限於固定範圍內。主流路大體而言順著原河道於彎道凹岸處通過新旗尾橋左岸側 P14～A2 間。根據第七河川局於民國 95 年、民國 96 年及民國 97 年間針對台 3 線新旗尾橋所施測之上、下游 20 m 及 200 m 處所進行之斷面量測結果顯示，比較橋址處歷年之河道變化，民國 95 年與民國 96 年間 P14～A2 之河床有明顯刷深之情形，民國 97 年之河道有刷寬回淤之現象，顯示本河道漸趨穩定，詳如圖 5.57 ~ 圖 5.60。

2. 莫拉克颱風之水文資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風於旗山溪流域降下極大之豪雨，根據鄰近橋址處之旗山雨量站於民國 98 年 8 月 7 日至民國 98 年 8 月 13 日降雨組體圖資料顯示，颱洪期間累積雨量高達 1000 mm，最大降雨強度發生於 8 月 8 日上午 4 時、8 時及下午 6 時期間，最大降雨強度為 50 mm/hr，如圖 5.61 所示；此外，根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」利用中央氣象局及水利署本身之雨量測站，採用對數皮爾遜第三型分佈所進行之颱風暴雨量頻率分析結果可知，旗山雨量站所測得之降雨資料，不論為連續 24、48 或 72 小時降雨延時之分析結果，均大於 2000 年之重現期，颱洪期間總累積雨量為 881.0 mm 如表 4-2 所示。

此外，經濟部水利署針對莫拉克颱風期間所降下之雨量紀錄，利用徐昇式求取旗山溪月眉站之平均時雨量，再求出其間最大 48 小時或最大二日之累積雨量，旗山溪月眉站之平均最大 48 小時及最大二日暴雨量均超過 200 年之重現期，如表 4-3 所示。再將旗山溪月眉站之降雨分佈經單位歷線分析後，可獲得旗山溪月眉站之流量歷線，分析結果顯示旗山溪月眉站之流量均超過 200 年重現期之洪水量，如表 4-4 及圖 4-7(a)所示。

再者，根據上游杉林大橋水位站於民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間之水位歷線資料顯示，此次颱洪最高水位發生於民國 98 年 8 月 8 日下午 6 時 40 分為 E.L. 123.44 m，已超出杉林大橋之水利署河防二級警戒水位為 E.L. 122 m，如圖 5.62 所示。

3. 橋梁災害情形調查

於莫拉克颱洪中，大量溪洪挾帶巨量之漂流木沖擊台 3 線新旗尾橋及下游左岸旗尾堤防，乃造成新旗尾橋 A2 橋台基礎淘空，P16、P17 橋墩下陷、S17 橋面版斷裂、S18 橋面版落橋，並隨洪流沖向堤後之廣大農田及民家住宅區，造成嚴重溢淹之情形。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

依據上述水文資料及現場調查，台 3 線新旗尾橋受災原因可歸納為下列三點：

(1) 台 28 線旗尾橋如堰塞湖般潰決後之影響

受上游側台 28 線旗尾橋嚴重掛淤滿佈漂流木後，有如堰塞湖般遭洪水流木溢淹越流而後崩潰，其潰決時所釋放之大量洪水挾帶巨木如湧浪般之沖擊波瞬間沖擊下游側之台 3 線新旗尾橋及旗尾堤防，造成旗尾堤防破堤，進而導致新旗尾橋 A2 橋台基礎淘空，P16、P17 橋墩下陷、S17 橋面版斷裂、S18 橋面版落橋，大量洪水及漂流木亦隨著沖入堤後之廣大農田及民家住宅區，如相片 5.30 ~相片 5.31 所示。

(2) 漂流木掛淤影響

於莫拉克颱洪中帶來強大之洪水量，大量之漂流木隨洪水挾帶而下，於新旗尾橋墩基處產生掛淤阻塞之現象。因通水斷面淤塞、阻水面積增加，掛淤流木下層形成高速水流 ─ 潛沒射流，致使河床及橋基局部沖刷甚為嚴重。

(3) 彎道外側之水位超高與凹岸沖刷

因台 3 線新旗尾橋之 P16、P17 橋墩及 A2 橋台係位於彎道之凹岸處，具有水位超高及凹岸沖刷之河川水理沖刷特性。彎道凹岸側因屬洪流流心集中(相對之單寬流量較大)通過之區域，故該區域之水流作用力與沖刷量會相對較大，加上當時水位甚高，其右岸高灘地因側向侵蝕而沖毀流失(如相片 5.32 所示)，水流直接高速正沖 P16～A2 區域及下游左岸側旗尾堤防，導致旗尾堤防破裂，進而影響新旗尾橋 P16、P17 橋墩下陷、S17 橋面版斷裂、S18 橋面版落橋，隨洪流衝進破堤處區域，A2 橋台產生沉陷、基礎淘空，如相片 5.33 與相片 5.34 所示。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 5.63 所示。

表 5-12　台 3 線新旗尾橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	新旗尾橋	橋梁編號	0030-00B	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	第三區養護工程處	養護工務段	高雄工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	旗山	道路等級	省道	路線	臺 3 線
橋頭里程	408K+940M	橋尾里程	K+M	竣工年月	81 年 7 月	最近維修年月	不詳
造價	不詳	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	無法得知	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	旗山溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	無						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別	中央管河川	河川管理單位	第七河川局	河川名稱	旗山溪
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站	月眉大橋水位站	計畫洪水位	不詳	計畫河寬	不詳		
計畫堤頂高程	不詳	設計河床高程	不詳	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	720 M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	24.3 M	最小淨寬	24.3 M	橋版投影面積	18360 M^2		
總車道數	4	總橋孔數	18	最大跨距	40 M		
跨距分配	18@40						
最高橋墩高度	10.6 M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	5.5 M		
橋頭 GPS 經度	120.4837111	橋頭 GPS 緯度	22.878425	橋尾 GPS 經度	120.4883167	橋尾 GPS 緯度	22.87331944
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土 (AC)	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	沉箱基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	HS20	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.7 M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.23 G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期	1900-01-01	資料最新修改日期	2009-09-03
備　註							

【資料來源：第三區養護工程處】



相片 5.29　旗山橋、旗尾橋及新旗尾橋於莫拉克颱洪前之衛星影像【資料來源：中央大學太空及遙測研究中心與經濟部水利署第七河川局】

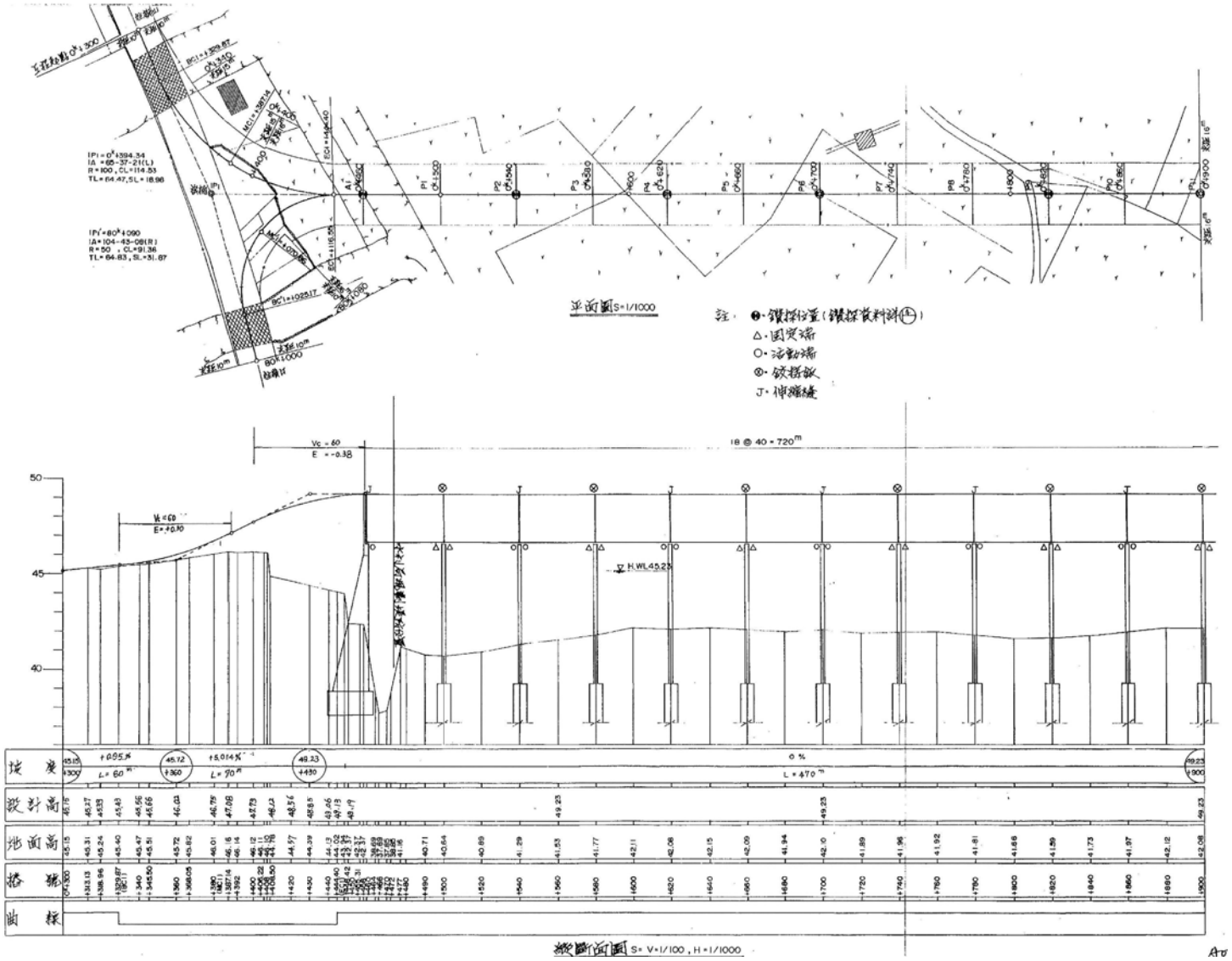


圖 5.48　台 3 線新旗尾橋平面及縱斷面圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】

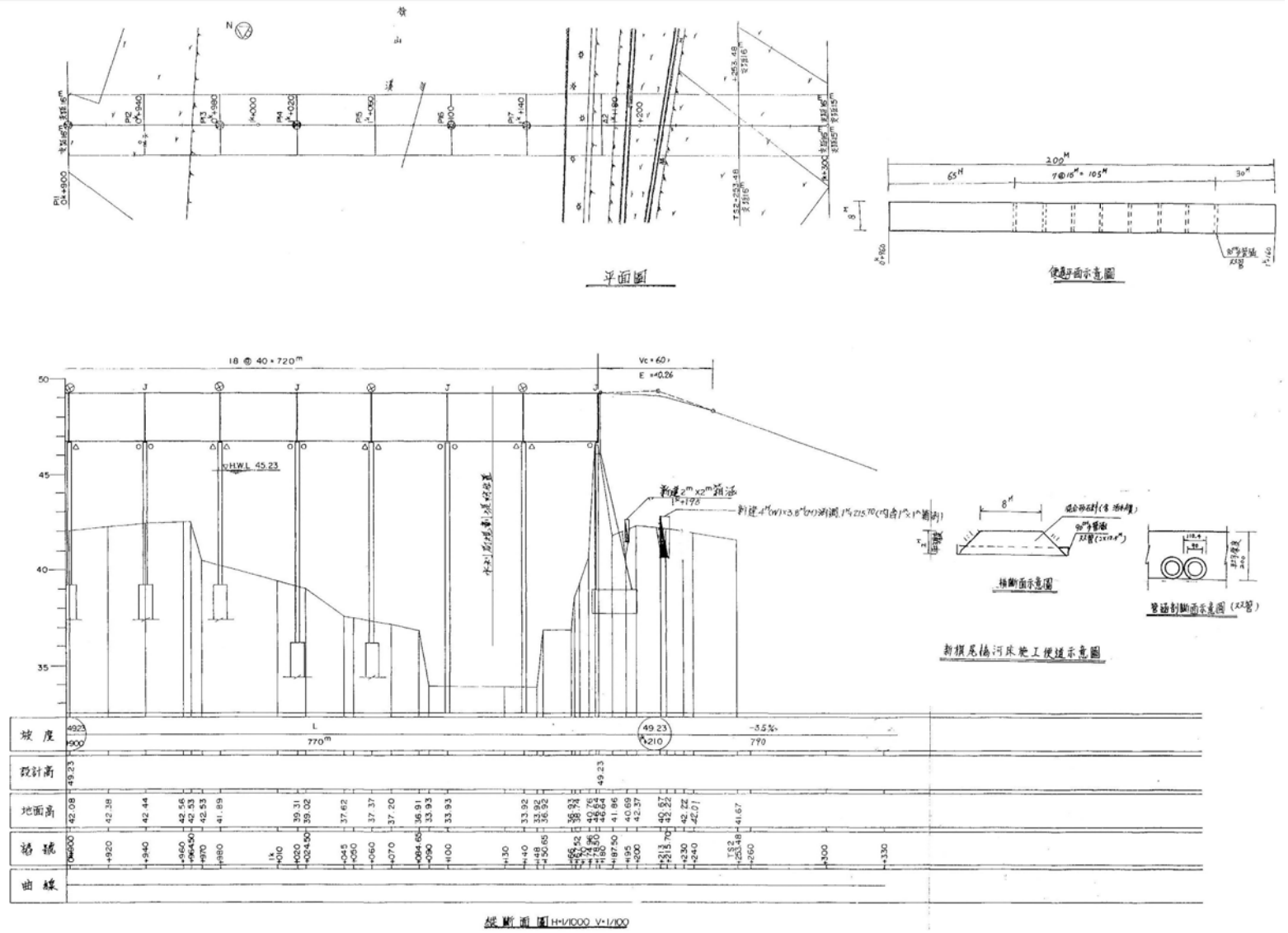


圖 5.49 台 3 線新旗尾橋平面及縱斷面圖(二)【資料來源：第三區養護工程處】

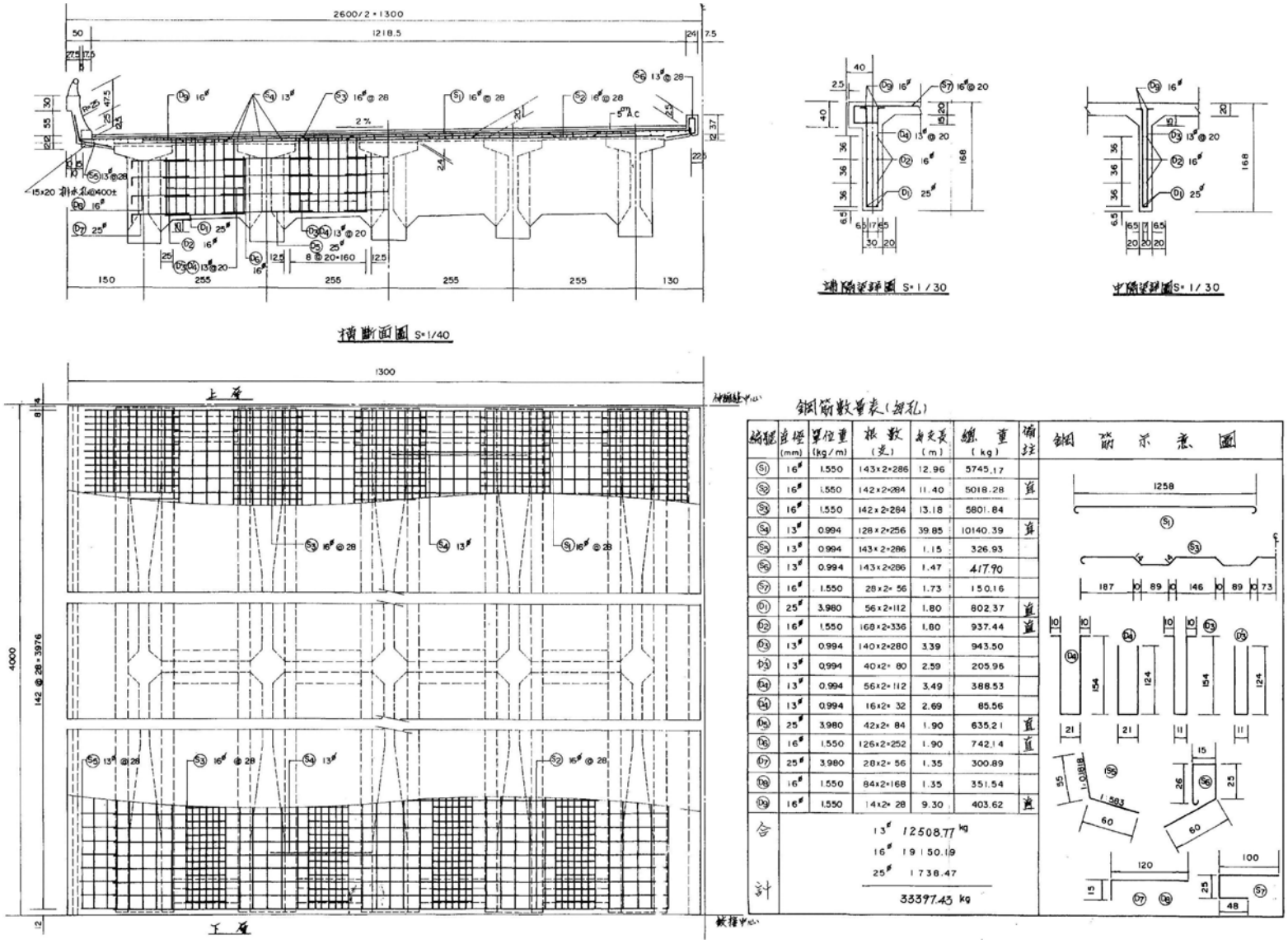


圖 5.50　台 3 線新旗尾橋橋面板設計圖【資料來源：第三區養護工程處】

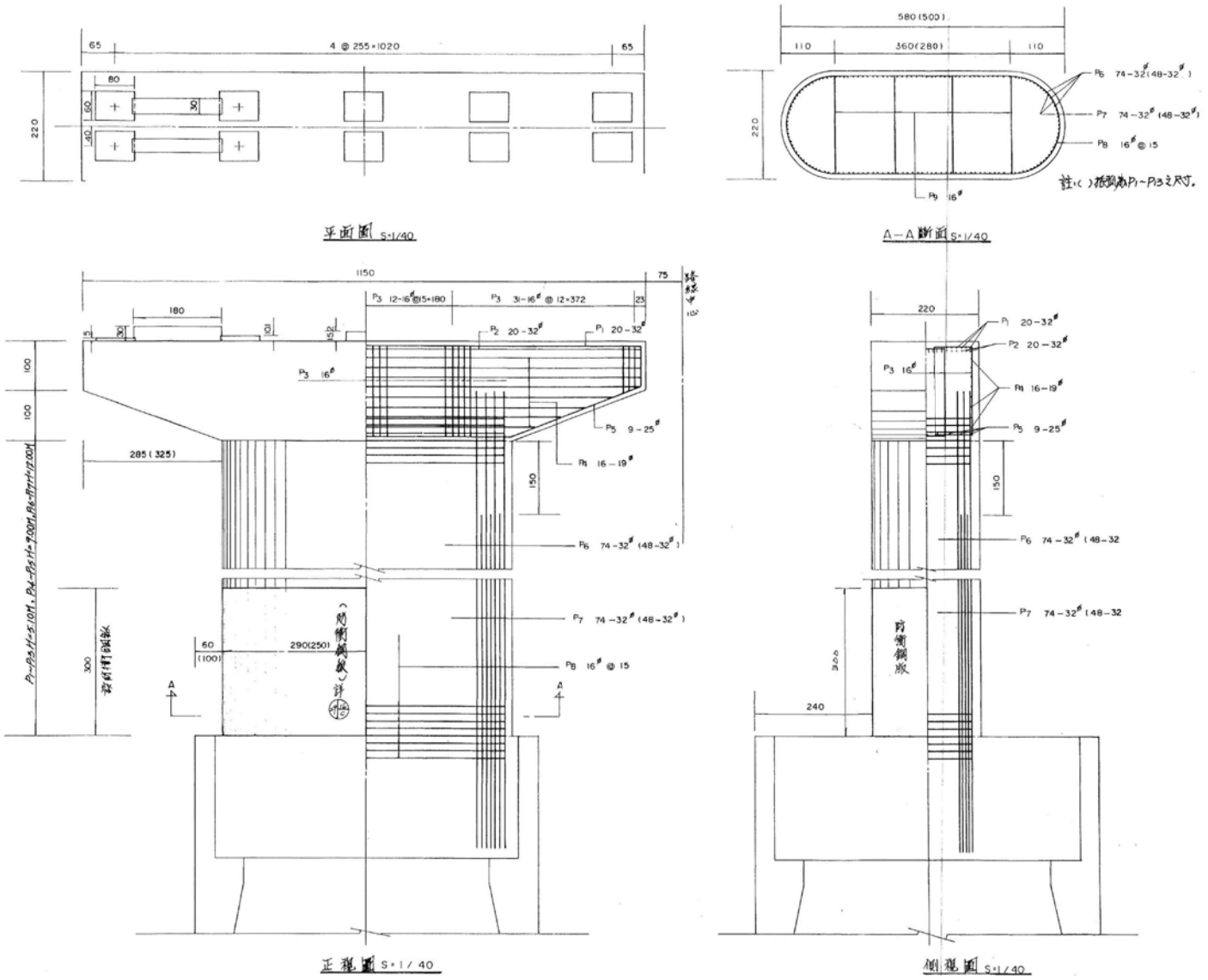


圖 5.51　台 3 線新旗尾橋橋墩設計圖【資料來源：第三區養護工程處】

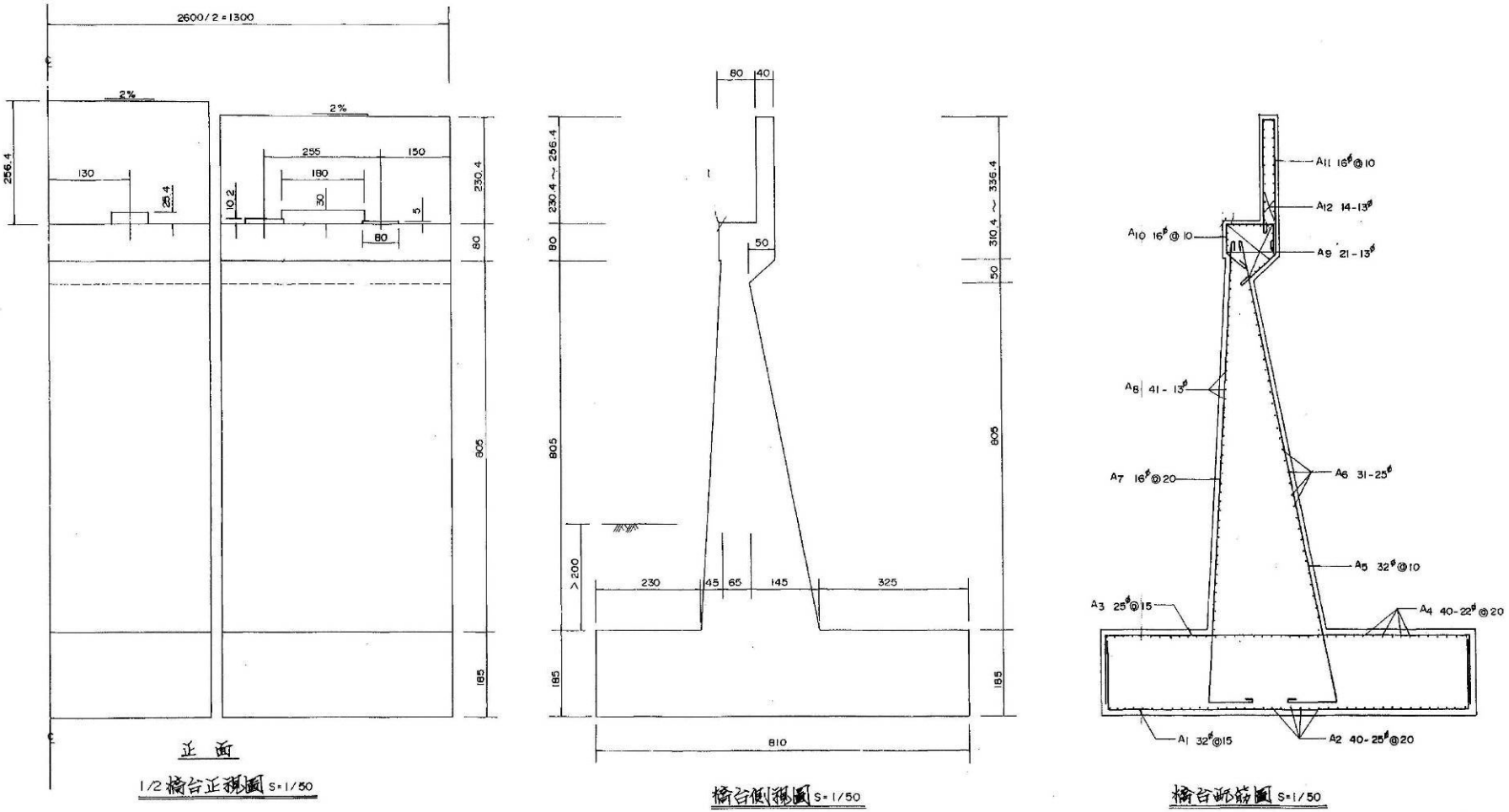


圖 5.52 台 3 線新旗尾橋橋台設計圖【資料來源：第三區養護工程處】

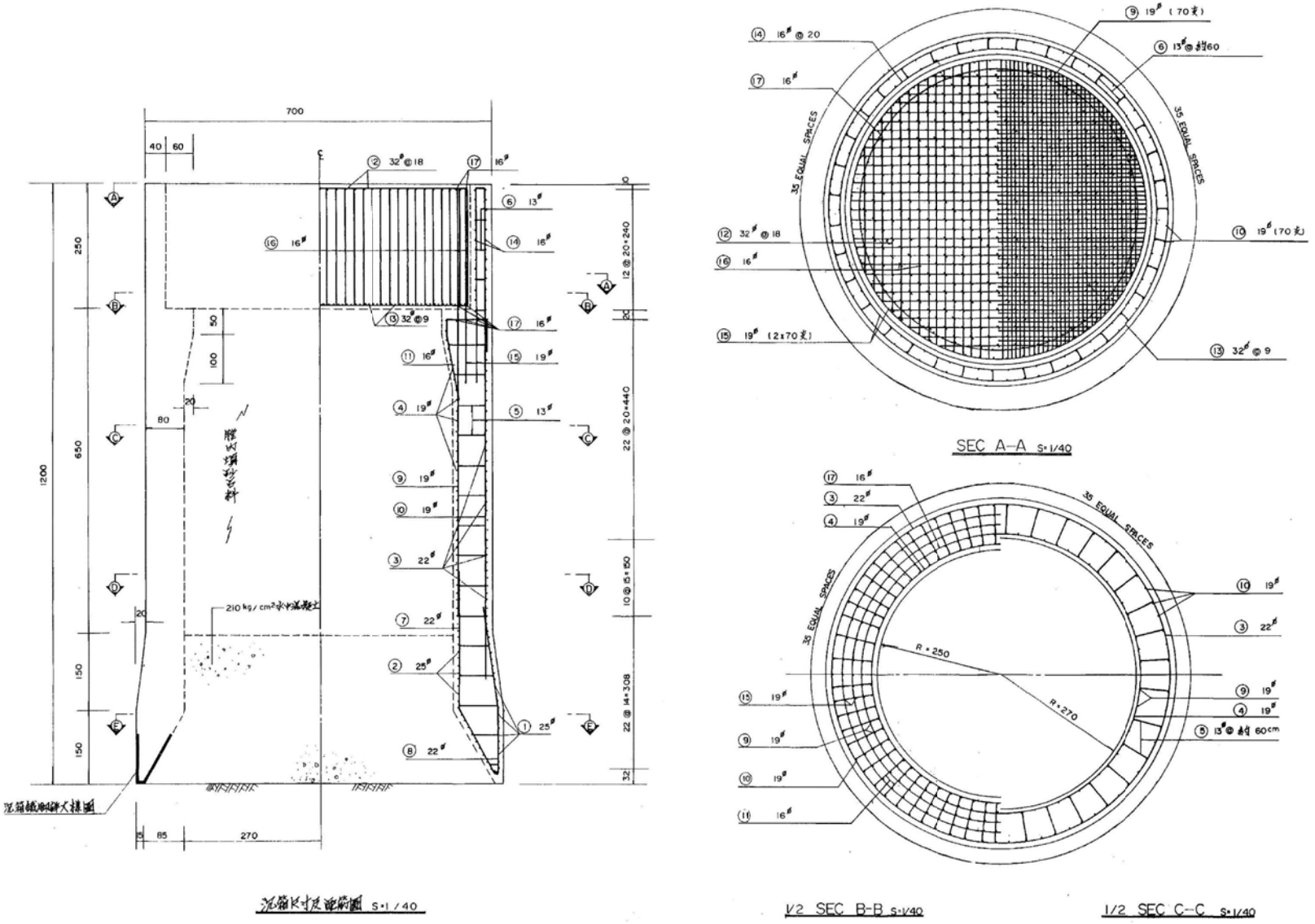
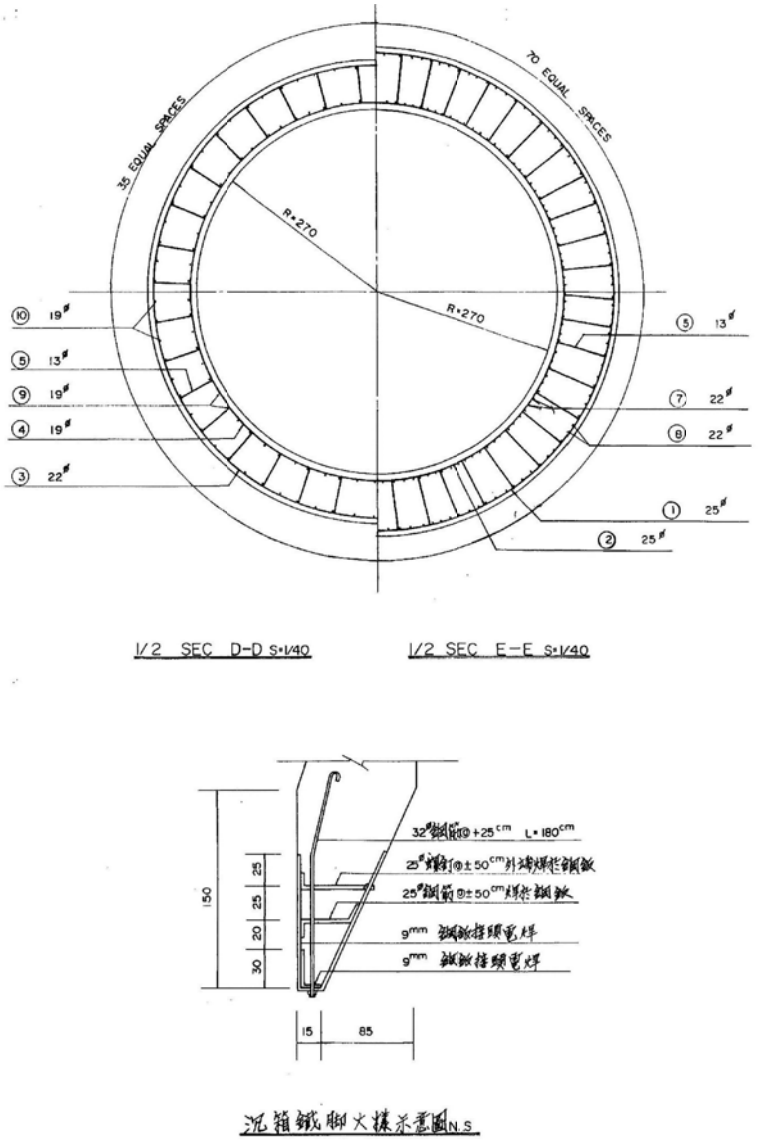


圖 5.53 台 3 線新旗尾橋沉箱設計圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】



沉箱鋼筋數量表(每座)

編號	直徑 (mm)	單位重 (kg/m)	每根長 (m)	根數 (支)	總重 (kg)
①	25#	3.98	22.99(平均)	23	2104.50
②	25#	3.98	21.11(平均)	23	1932.41
③	22#	3.05	22.36(平均)	32	2182.34
④	19#	2.24	18.28(平均)	32	1310.31
⑤	13#	0.994	0.83(平均)	525	433.14
⑥	13#	0.994	0.52	175	90.45
⑦	22#	3.05	4.57	140	1951.39
⑧	22#	3.05	3.72	140	1588.44
⑨	19#	2.24	8.69	70	1362.59
⑩	19#	2.24	10.13	70	1588.38
⑪	16#	1.55	3.00	70	325.50
⑫	32#	6.41	6.80(平均)	64	2789.63
⑬	32#	6.41	6.80	130	5666.40
⑭	16#	1.55	21.73(平均)	26	875.72
⑮	19#	2.24	4.03	144	1299.92
⑯	16#	1.55	2.58	412	1647.59
⑰	16#	1.55	19.85(平均)	7	215.37

合計

13#	523.59 kg
16#	3064.18
19#	5561.20
22#	5722.17
25#	4036.91
32#	8456.03
	27364.08 kg

鋼筋示意圖

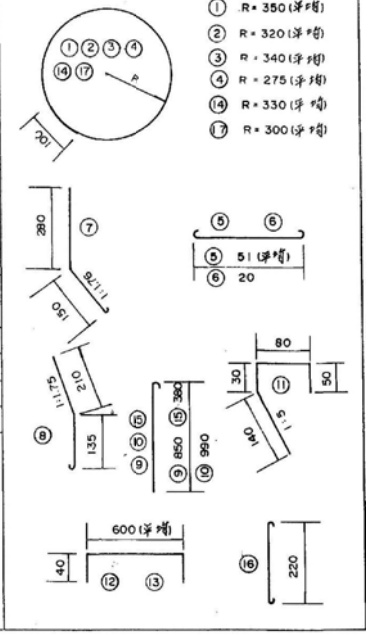


圖 5.54 台 3 線新旗尾橋沉箱設計圖(二)【資料來源：第三區養護工程處】

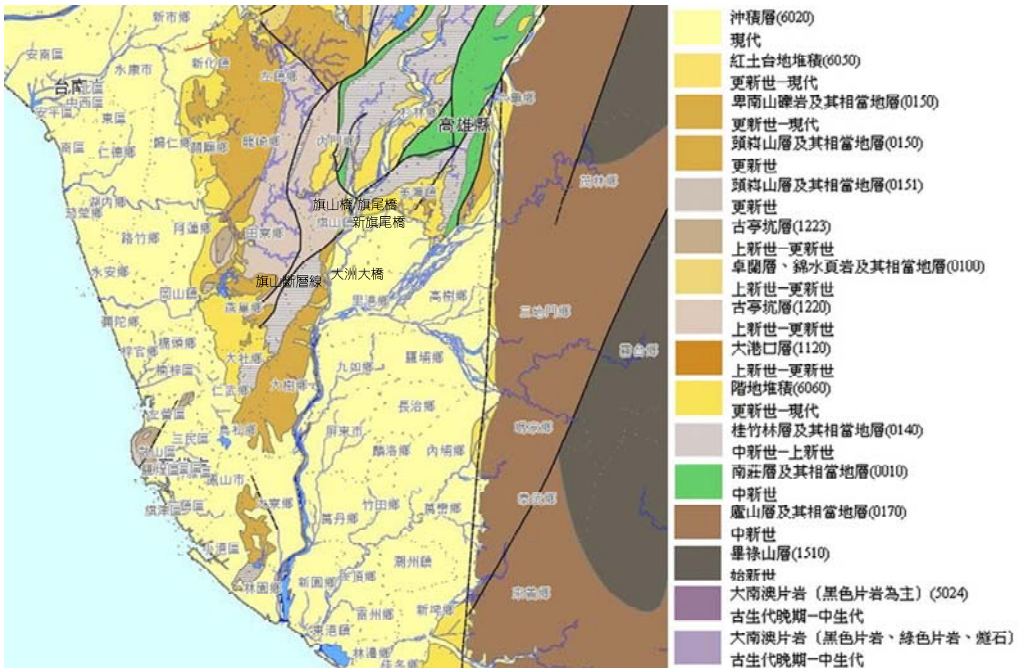


圖 5.55　旗山溪流域地質圖

【資料來源：經濟部中央地質調查所】

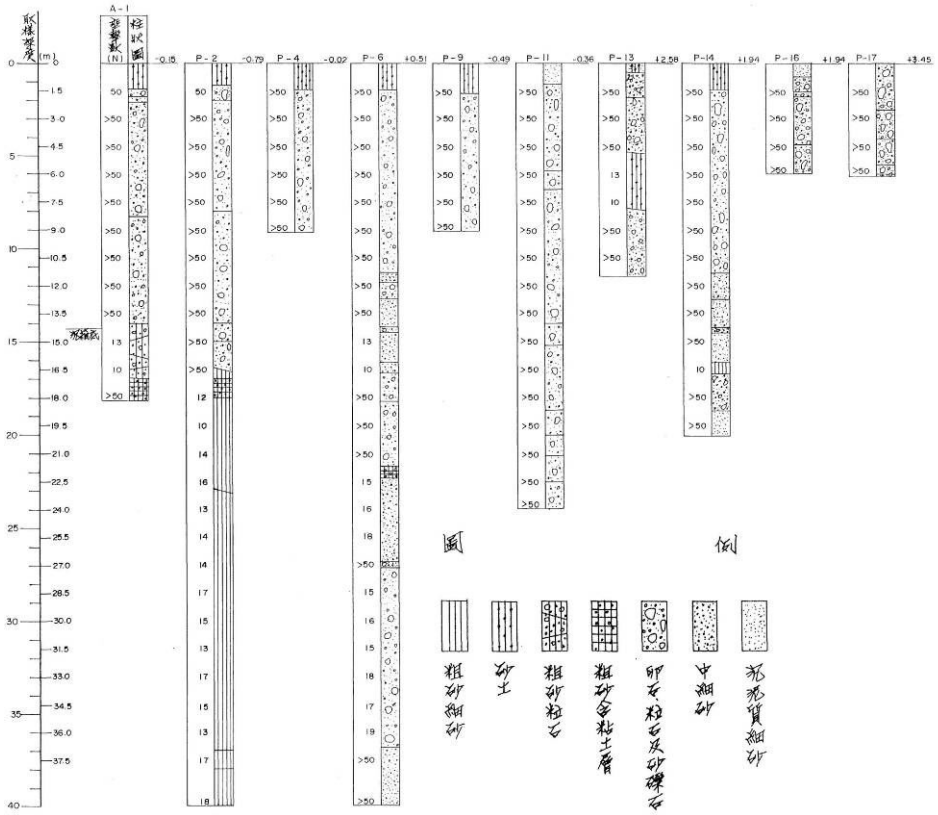


圖 5.56　台 3 線新旗尾橋鑽探資料

【資料來源：第三區養護工程處】

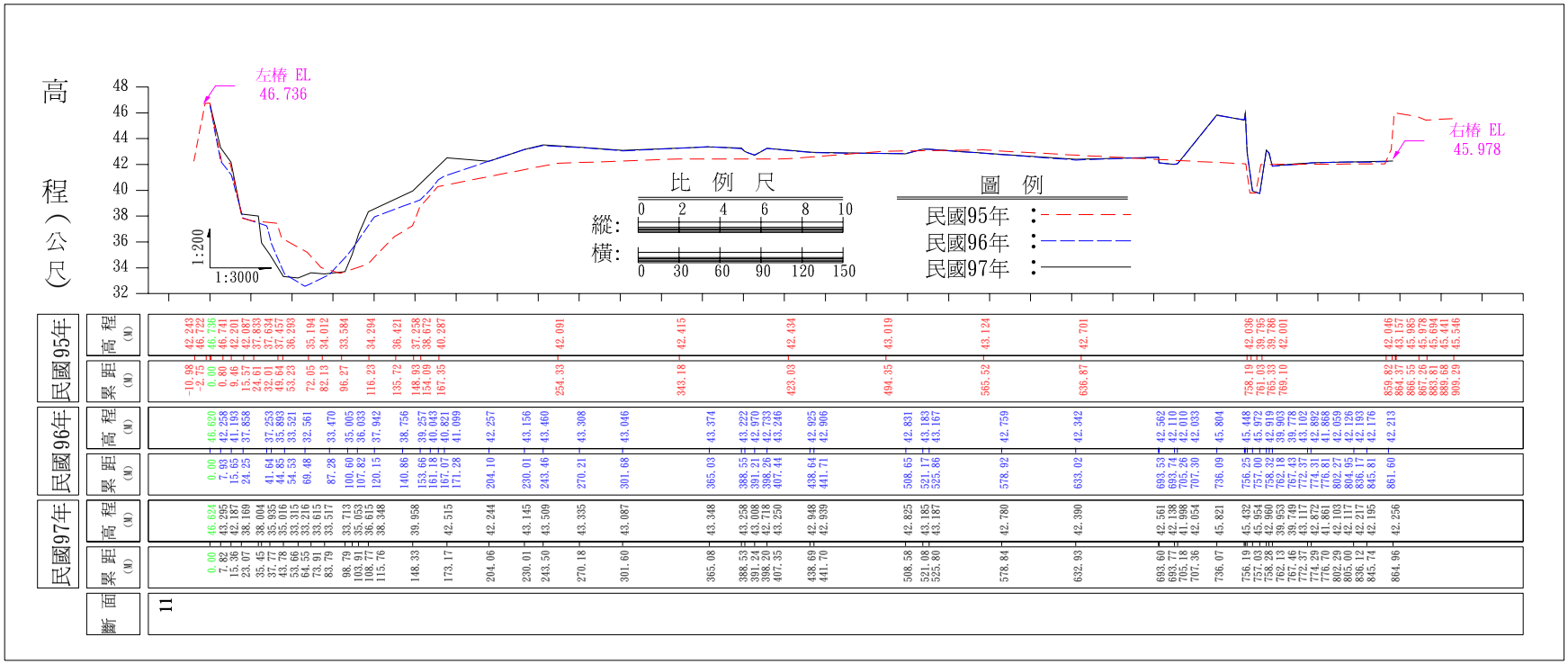


圖 5.57　旗山溪台 3 線新旗尾橋上游 200 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局**】**

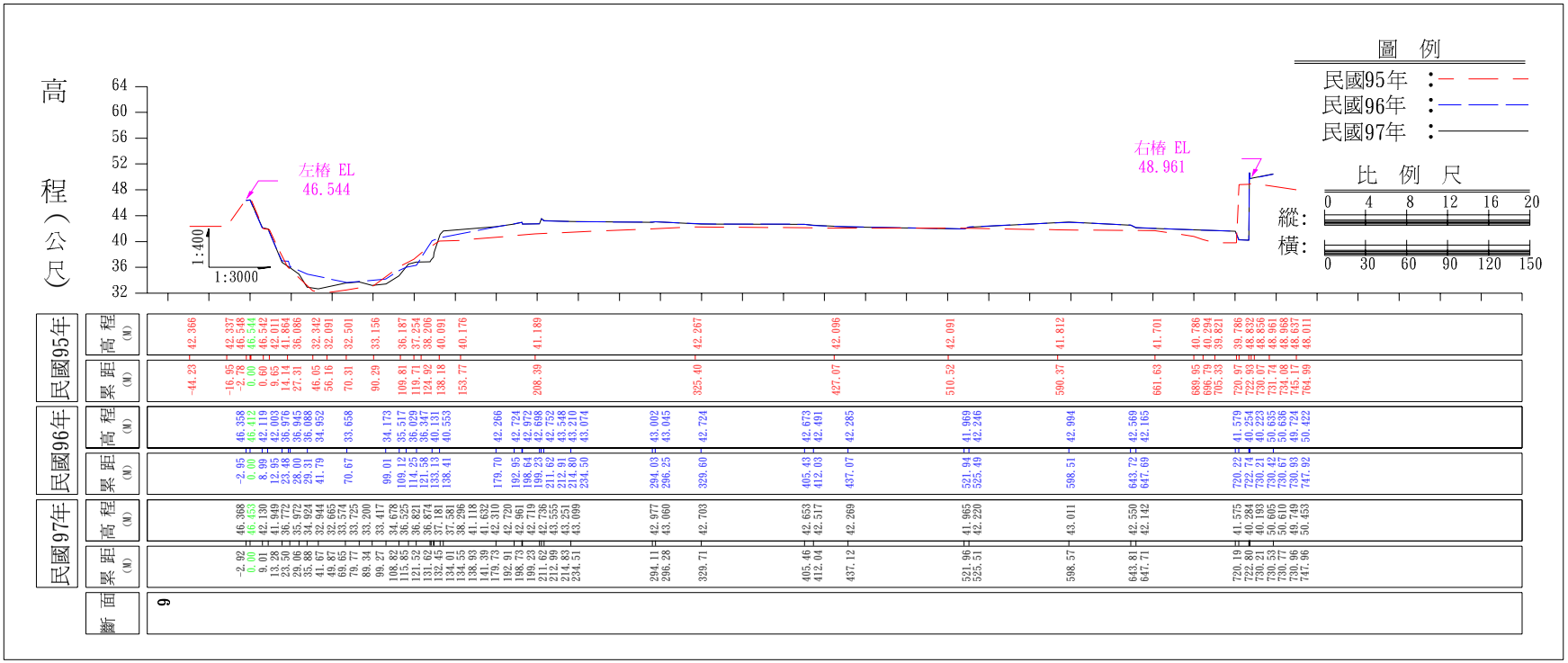


圖 5.58　旗山溪台 3 線新旗尾橋上游 20 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

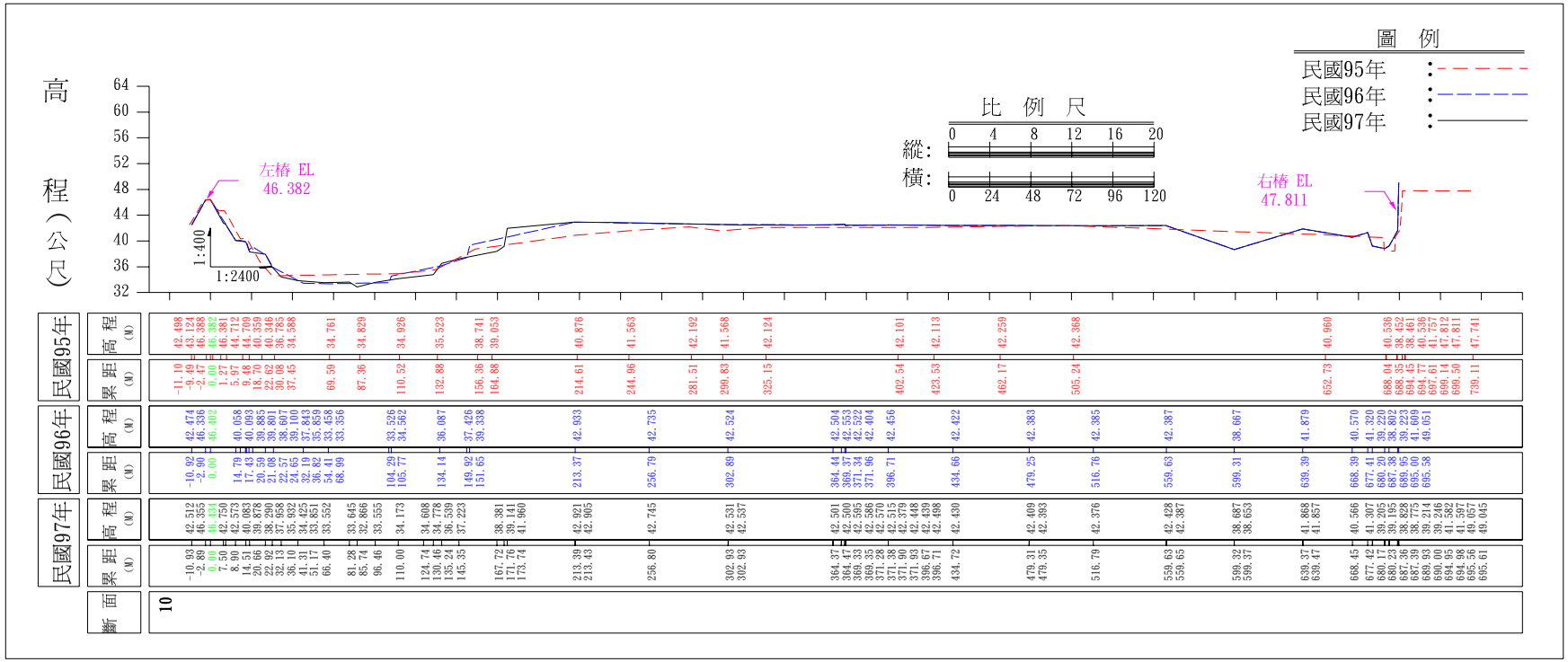


圖 5.59　旗山溪台 3 線新旗尾橋下游 20 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局**】**

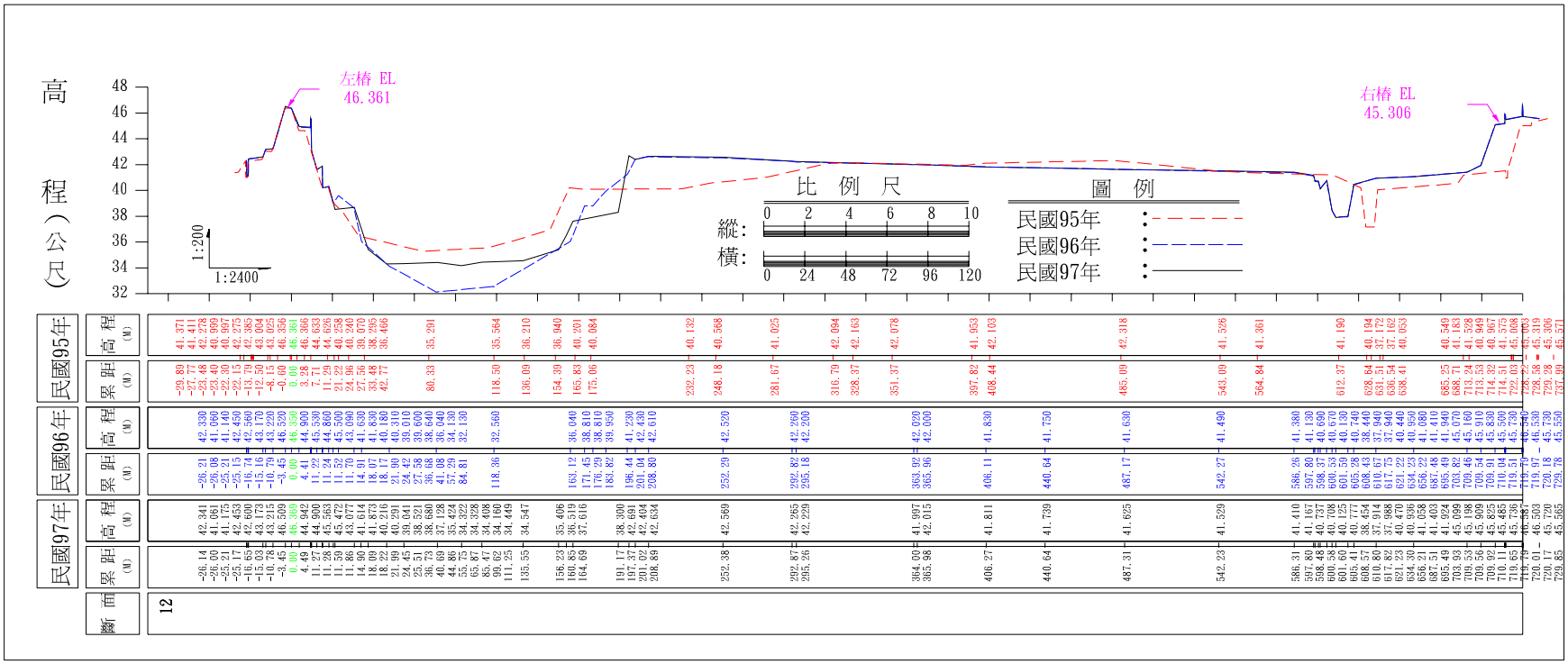


圖 5.60　旗山溪台 3 線新旗尾橋下游 200 m 民國 95 年、96 年、97 年斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

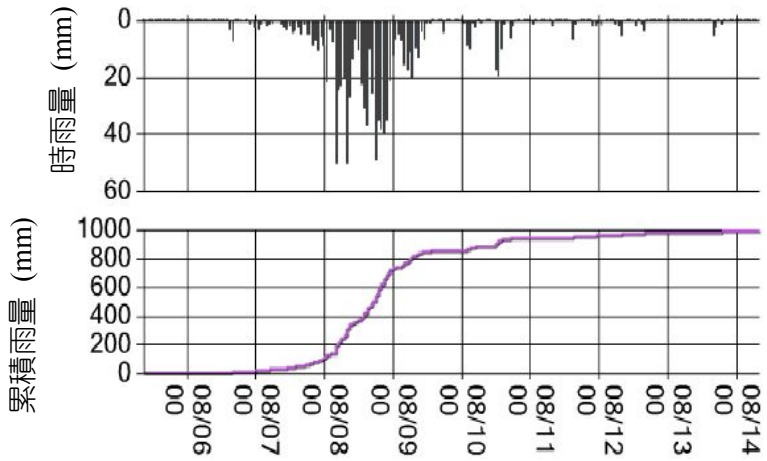


圖 5.61　旗山雨量站之降雨組體圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

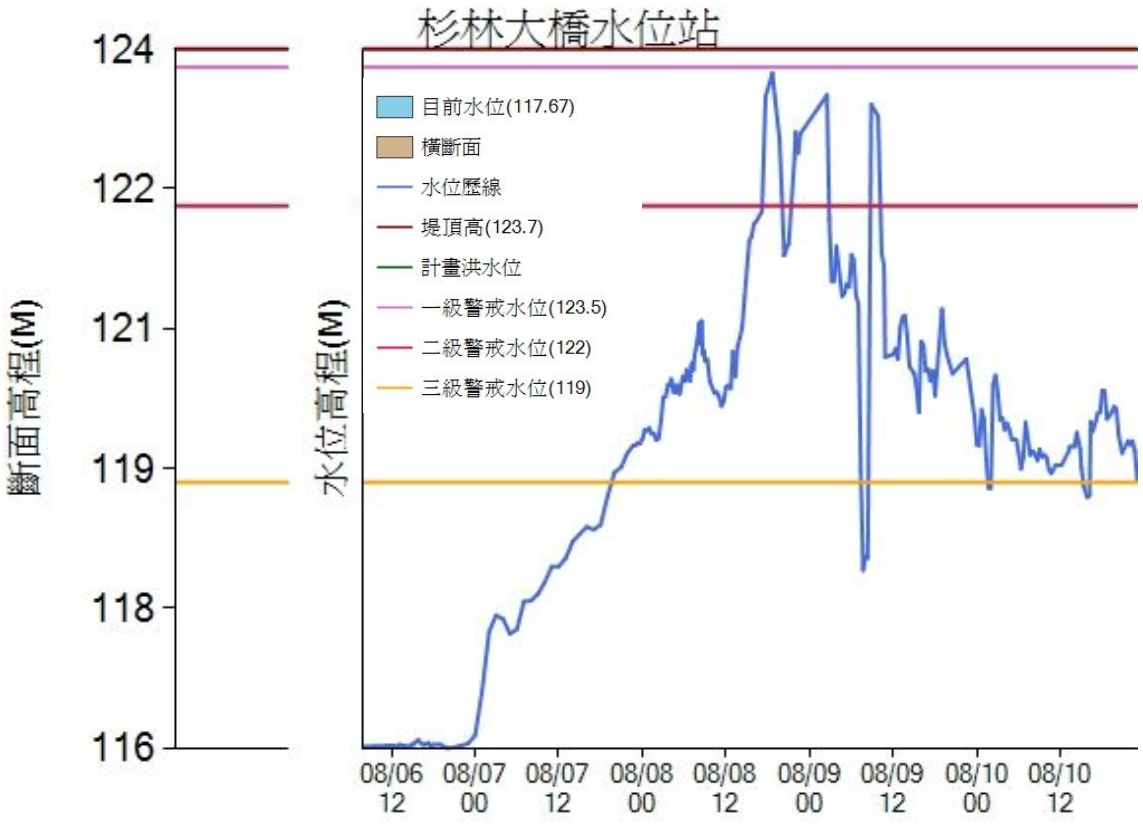
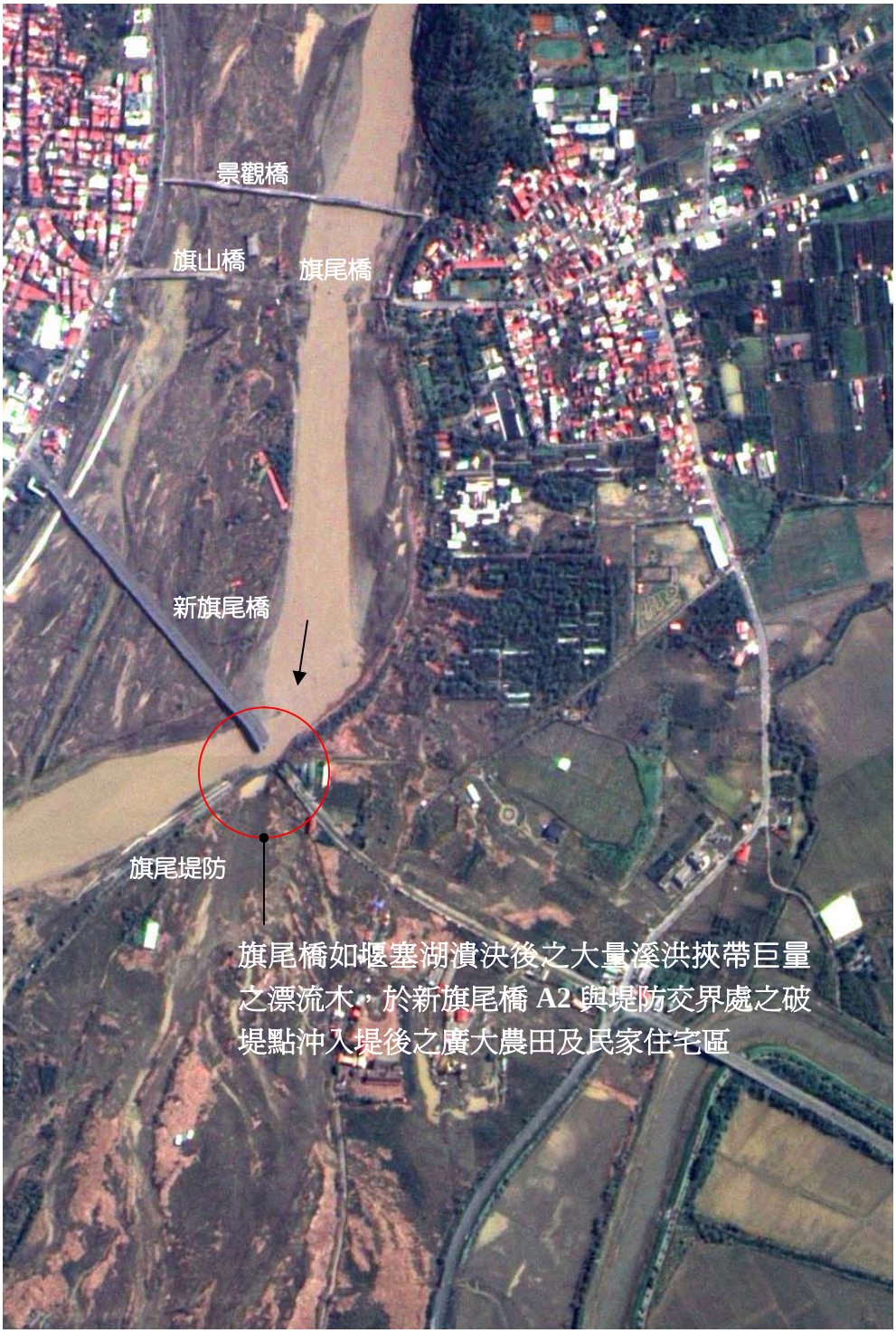
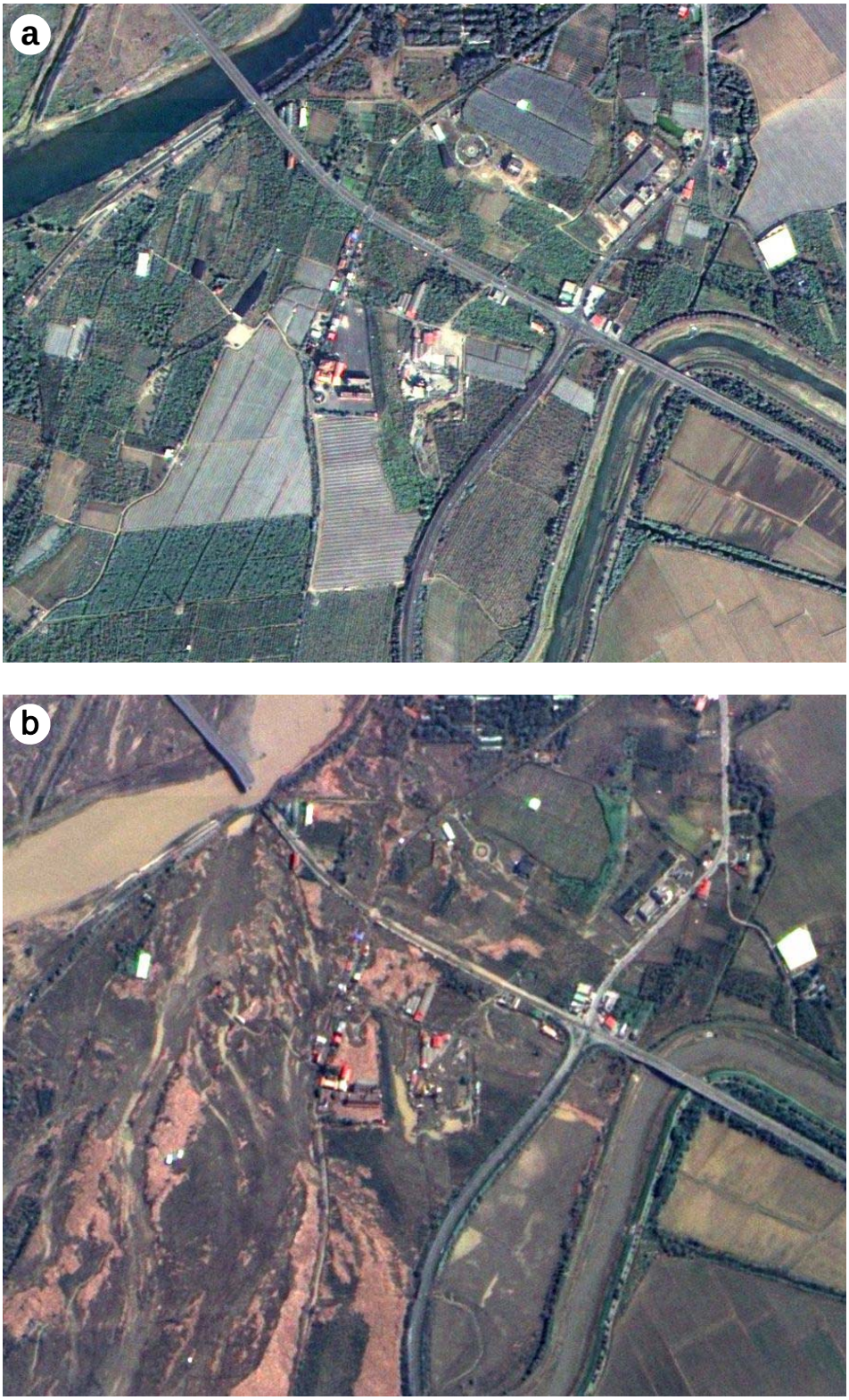


圖 5.62　旗山溪杉林大橋水位站於 98.08 莫拉克颱洪期間之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 5.30　旗山橋、旗尾橋及新旗尾橋於莫拉克颱洪後之衛星影像【資料來源：中央大學太空及遙測研究中心與經濟部水利署第七河川局】

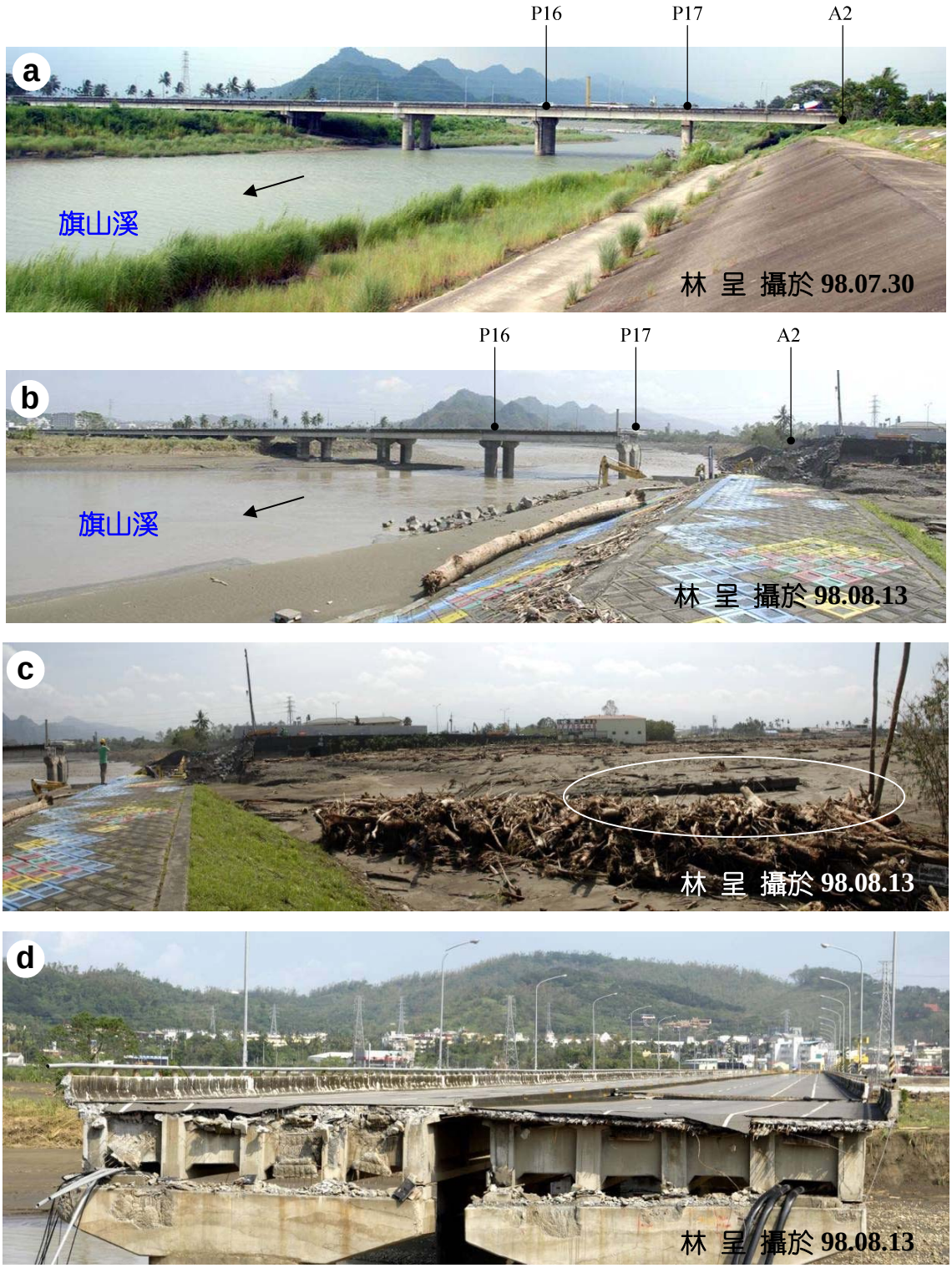


相片 5.31　由(a)與(b)兩張相片中比對，可明顯看出新旗尾橋下游左岸旗尾堤防破堤，大量洪水與漂流木沖入左岸農田與民家住宅區





相片 5.32　　台 3 線新旗尾橋上游側於莫拉克颱洪前後之比較

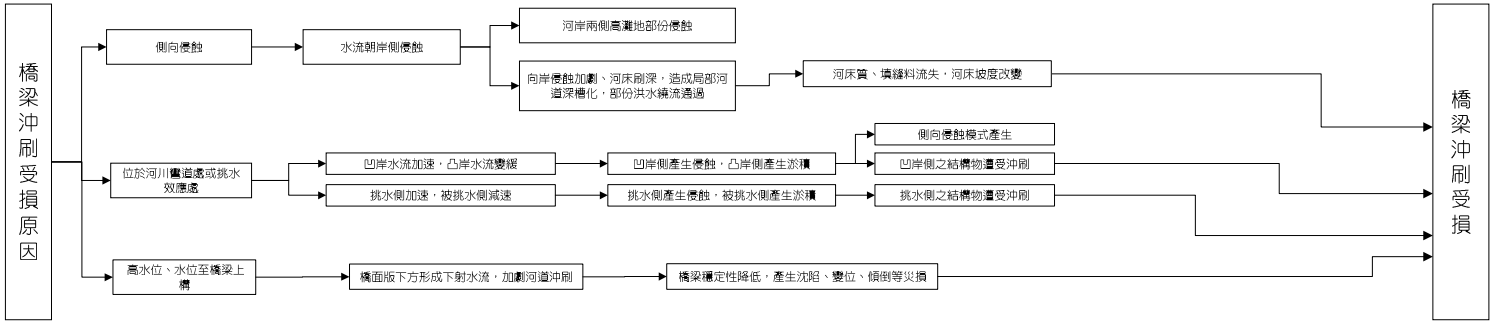


相片 5.33　(a)、(b) 為台 3 線新旗尾橋於莫拉克颱洪前後之比對

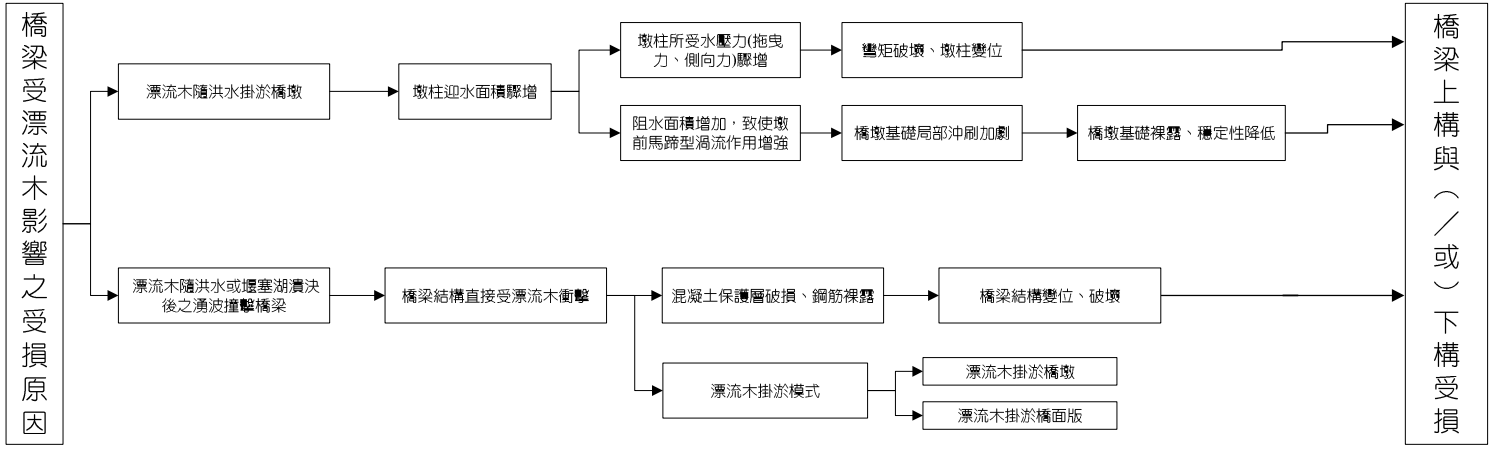


相片 5.34　於莫拉克颱洪後，(a) 台 3 線新旗尾橋 A2 橋台上游側之蛇籠護岸遭沖毀流失；(b) A2 橋台產生沉陷、基礎淘空；(c) 旗尾堤防破堤處

(a) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流程



(b) 受漂流木影響之橋梁破壞流程



(c) 堰塞湖影響之橋梁破壞流程



圖 5.63　　台 3 線新旗尾橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

5.7 高 92 線大洲大橋

1. 基本資料

高 92 線大洲大橋位於高雄縣旗山鄉，里程數為 1K+280 處，跨越旗山溪。高 92 線大洲大橋於民國 85 年 6 月竣工，橋梁總長 160 m，跨距為 40 m，共有 4 個橋孔。橋梁上部結構為預力 I 型簡支梁，下部結構為單柱式橋墩，高 92 線大洲大橋橋梁基本資料表，詳如表 5-13。

根據高屏溪治理規劃報告指出，旗山溪之地質分佈情形，上游集水區屬中新世中期瑞芳群主要為砂岩及頁岩，中游旗山以上一帶屬中新世晚期至上新世之三峽群之砂岩及頁岩，即易風化崩坍之地質，下游為堆積階地或沖積層。此外，本區之斷層分佈情形，由於早期造山運動影響，旗山溪流域斷層分佈有旗山斷層、甲仙斷層及平溪斷層，其中旗山斷層位於美濃至六龜間，屬一左移斷層，呈東北─西南走向，全長約 55 公里，民國 62 年此斷層附近曾發生規模三級以上地震，故可視為一可能活動斷層，詳如圖 5.64。

如前述，高 92 線大洲大橋竣工於民國 85 年 6 月，橋長 160 m，跨越旗山溪，惟橋址處之溪流寬度為 700 m。由橋長與河寬之數據、及航照畫面顯示，本橋橋長僅佔全河寬之 1/4.5，且橋位係位於較靠向左岸側之配置，橋梁乃跨越近年來之深槽位置，而 A1 與 A2 橋台之兩端引道及路堤段係分別位於河道內之右、左側高灘地上佈設。

值得注意者，由現場 A2 往左岸堤防側之引道及連接路堤段，係於幾近直線坡降方式降至約堤防戧台之高度，而後另以斜交於堤線之爬坡道爬升至堤頂，再續以類似迴頭彎之方式，下降至與堤外之防汛道路交接，並續往東延伸高 92 線道路。至於，由 A1 往右岸堤防側之引道及連接路堤段長度達數百公尺，且於右岸高灘地穿梭(道路兩旁均為農地)，路堤於通過堤頂前後亦如左岸側之佈設，也採用類似迴頭彎之方式通過。

以上之橋梁及引道路堤段之敘述，乃在於強調本橋(含橋台)係完全佈設於旗山溪河道內之阻水構造物，特別的是：大洲大橋長度僅 160 m，橋台及兩端引道路堤段距橋台約 50 ~ 100 m 之範圍內大多係屬高聳於河道灘地上之阻水構造物，就橋梁水理學之角度而言，本橋及引道路堤段之佈設情形，即為符合 Melville and Coleman (2000) 所稱〝A1 位於深槽邊緣之高灘地上、且 A2 位於深槽內〞之束縮沖刷(contraction scour)的經典本土案例，如相片 5.35 所示。

另外值得注意者，若比較第七河川局於民國 82 年及民國 94 年間在旗山溪第十五號大斷面所施測之河床高程變化(如圖 5.65)，清楚顯示於橋址處之左岸側─即由 A2 橋台往左岸堤防方向之河床高程有相當程度之變化。如圖中民國 82 年(即橋梁興建前)之最低點高程為 E.L. 28.7 m，該位置相對臨近左岸堤防(堤頂高程為 E.L. 43.245 m)；另圖中民國 94 年之最低高程乃為深槽區內之 E.L. 33.1 m，而最高之高程則位於 A2 橋台所在之路面高程 E.L. 42.607 m。若配合前述航照畫面比對即可清楚瞭解：於民國 85 年大洲大橋竣工通車後，A2 橋台迄至左岸堤防端之引道路堤段乃為一相對凸出高聳於灘地上之阻水構照物，其功能原為通車用之道路設施；惟就河川水理及河道治導工程而言，A2 橋台及其連接之引道路堤段乃為類似用堤線垂直延伸進入河道之丁埧工或橫堤。於橋梁興建前，其上游側之左岸沿堤線延伸至橋址下游側不遠處乃為一河彎之凹岸側，惟因橋梁路堤佈設後之丁埧工效應，乃促使路堤上游側與堤線間回淤，具有丁埧工埧頭功能之 A2 橋台則再洪水沖刷過程中則易發生丁埧頭端部之沖刷─即為一般所謂之〝橋台沖刷(abutment scour)〞。再者，橋梁興建前原為自然河道凹岸之現象，亦因 A2 橋台引道路堤段之丁埧工效應，深槽流路於橋址上游側既已調變偏向 A1 ~ A2 間(詳如民國 98 年航空相片 5.36 與相片 5.37)，圖 5.65 中清楚揭示深槽流路變遷及 A1 ~ A2 間河床高程有下降現象即是反應此一事實。

相片 5.38-5.39 所示係於民國 97 年 7 月 18 日卡玫基颱洪通過橋址後之沖刷災況，畫面中顯示下游側 S4 跨徑之上部結構落橋災情，

其受災成因乃係左岸下游側橋台 A2R 受洪水沖刷後倒塌而引起 S4 跨徑上部結構落入溪中，而橋台 A2R 之受災塌陷乃源自於上游束流之洪水於通過束制窄縮斷面之流速變大效應、與 A2 橋台引道路堤段之類似丁堰工堰頭周邊發生螺旋流沖刷橋台周邊河床(如相片 5.35 所示)，造成河床下降以致淘空 A2R 橋台，繼而引起 A2R 塌陷及 S4 落橋災情。

卡玫基颱洪後受災後，本橋於民國 98 年間進行災修工程，其內容包括：重新打設 φ1.2 m、30 ~ 35 m 深樁基礎之 A2R 橋台，下游施設扶壁式擋土牆(翼牆)及 S4 上部結構之修復(含 P3R 橋墩帽梁補強)，詳如圖 5.66 ~ 圖 5.69 所示。於民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱風來襲前，本橋修復工程已進行至完成下游側扶壁式擋土牆施作、A2R 橋台之墩基設立完成，惟尚未吊掛大梁於 P3 ~ A2R 之間。為解決施工期間之交通不便，乃利用未受災之上游側車道及與 A2L 連接之引道上設置施工兼通車用之便道(如前述圖 5.67)。

2. 莫拉克颱風之水文資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風於旗山溪流域降下極大之豪雨，根據旗山雨量站於民國 98 年 8 月 7 日至民國 98 年 8 月 13 日之降雨組體圖顯示，颱洪期間累積雨量高達 1,000 mm，最大降雨強度發生於 8 月 8 日上午 4 時、8 時及下午 6 時期間，最大降雨強度為 50 mm/hr，如圖 5.70 所示；此外，根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」利用中央氣象局及水利署本身之雨量測站，採用對數皮爾遜第三型分佈所進行之颱風暴雨量頻率分析結果可知，旗山雨量站所測得之降雨資料，不論為連續 24、48 或 72 小時降雨延時之分析結果，均大於 2000 年之重現期，颱洪期間總累積雨量為 881.0 mm 如表 4-2。

此外，經濟部水利署針對莫拉克颱風期間所降下之雨量紀錄，利用徐昇式求取旗山溪出口之平均時雨量，再求出其間最大 48 小時或最大二日之累積雨量，旗山溪出口之平均最大 48 小時及最大二日

暴雨量均超過 200 年之重現期，如表 4-3 所示。再將旗山溪出口之降雨分佈經單位歷線分析後，可獲得旗山溪出口之流量歷線，分析結果顯示旗山溪出口之流量均超過 200 年重現期之洪水量，如表 4-4 及圖 4-10(a)所示。

再者，根據上游杉林大橋水位站於民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間之水位歷線資料顯示，此次颱洪最高水位發生於民國 98 年 8 月 8 日下午 6 時 40 分為 E.L. 123.44 m，已超出杉林大橋之水利署河防二級警戒水位為 E.L. 122 m，如圖 5.71。

3. 橋梁災害情形調查

莫拉克颱風洪水沖刷後，大洲大橋之沖刷災情益形嚴重，即原於民國 97 年卡玫基颱風 S4 及 A2R 落橋之災情已擴大災情演變至上、下游側之 P2L ~ P3L 與 P2R ~ P3R 四支墩基遭沖失，並連帶造成所對應之各上部結構均亦落橋，現場僅見位於右岸側之 A1 ~ P1 橋墩台及 S1 上部結構。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

民國 98 年 8 月 8 日 ~ 10 日期間，莫拉克颱洪造成旗山溪溪水暴漲，如前述第 5.6 節新旗尾橋之受災成因內容介紹中所知悉，通過旗尾橋之大量溪洪亦挾帶巨量之漂流木，於新旗尾橋 A2 與堤防交界處之破堤點沖入堤後之廣大農田及民家住宅區，造成嚴重之溢淹災情。此依情勢亦使位於新旗尾橋 ~ 大洲大橋河段，雖因該破堤點之洪水灌入堤後之分洪作用(類似一滯洪池)，然而分洪後之漫淹洪水仍於美濃溪匯入旗山溪之交會口上游側又匯入旗山溪，相較於未破堤之情形下之洪水僅束範於旗山溪中，並一路沖刷至大洲大橋者之流量與相對應水位應相較稍小。惟即使在有上游分洪效應下，通過大洲大橋之莫拉克颱洪洪峰水位仍然高漲，根據現場 A1 橋台側周邊多處之漂流物掛淤高度加以研判，顯示莫拉克颱洪之洪峰水位應在梁底之上約 0.5 ~ 1 m 處，如相片 5.40。

此次災害乃進一步反應了由於兩端橋台引道路堤段之聳立於河道之灘地上乃形成嚴重之河道窄縮作用，進一步彰顯了束縮沖刷之角色；此外，由於河道之窄縮亦促使洪水通過橋址處之集中匯流作用而加大了流速，也進一步地加大了各橋墩基礎之局部沖刷(local scour)深度。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 5.72 所示。

表 5-13 高 92 線大洲大橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	旗山-大洲大橋	橋梁編號		使用狀態	已停用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	高雄縣政府	養護工程處		養護工務段			
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	旗山	道路等級	鄉道	路線	高 92 線
橋頭里程	1K+280M	橋尾里程	K+M	竣工年月	85 年 6 月	最近維修年月	不詳
造價	不詳	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	無法得知	監造單位		施工單位	無法得知	竣工圖說保存地點	無法尋得
檢測週期	24(月/次)	跨越物體	旗山溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	旗南幹 78 之 1 電桿						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別	中央管河川	河川管理單位	第七河川局	河川名稱	旗山溪
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	E.L. 41.8 M	計畫河寬	700 M		
計畫堤頂高程	E.L. 43.3 M	設計河床高程	不詳	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	160 M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	9 M	最小淨寬	9 M	橋版投影面積	1760 M^2		
總車道數	2	總橋孔數	4	最大跨距	40 M		
跨距分配	4@40						
最高橋墩高度	12 M	最低橋上淨高	9999 M	最低橋下淨高	12 M		
橋頭 GPS 經度	120.48302	橋頭 GPS 緯度	22.84553	橋尾 GPS 經度	120.48455	橋尾 GPS 緯度	22.84531
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	其他
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	懸臂式	橋台基礎型式	無法檢測	翼牆型式	其他
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	無法檢測	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	無法取得	地盤種類	不詳	防震設施	混凝土止震塊	防落橋長度	0.8 M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期	2008-12-29 13:26:39	資料最新修改日期	2009-10-05 17:04:22
備　註							
97 年 12 月 29 日長拓工程顧問有限公司建立及檢測							

【資料來源：第三區養護工程處】

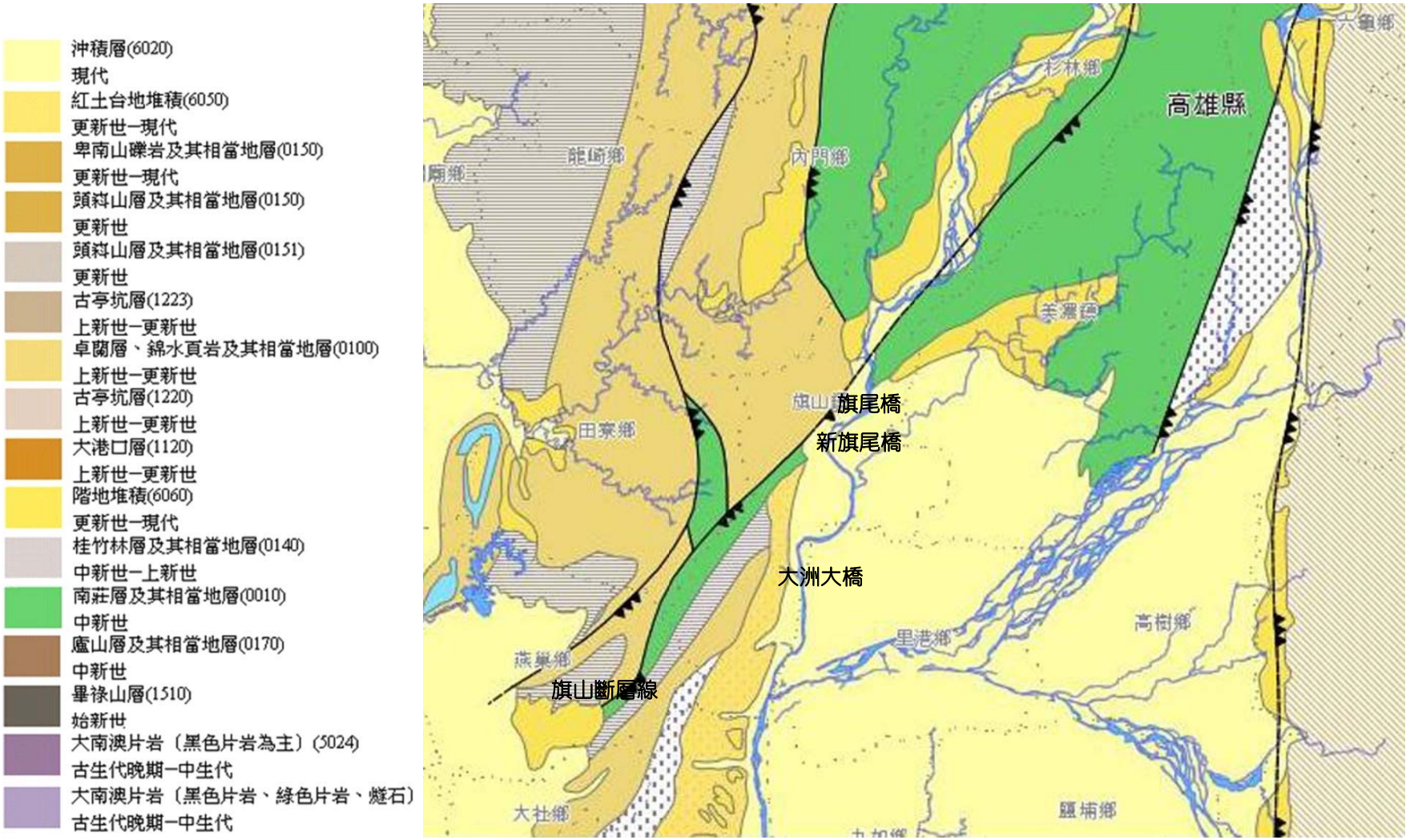


圖 5.64　旗山溪流域地質圖【資料來源：經濟部中央地質調查所】



相片 5.35　束縮沖刷實驗所顯示之橋台或路堤端部之刷深情形

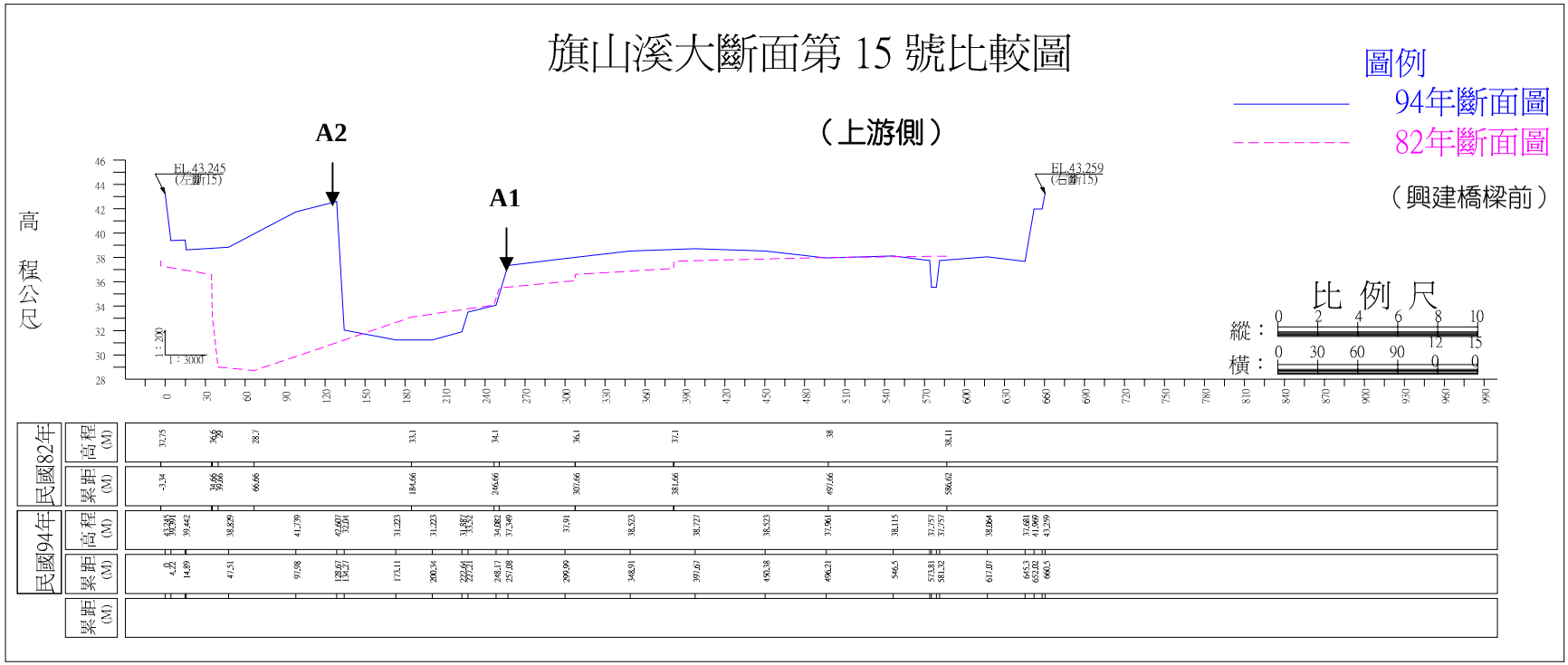


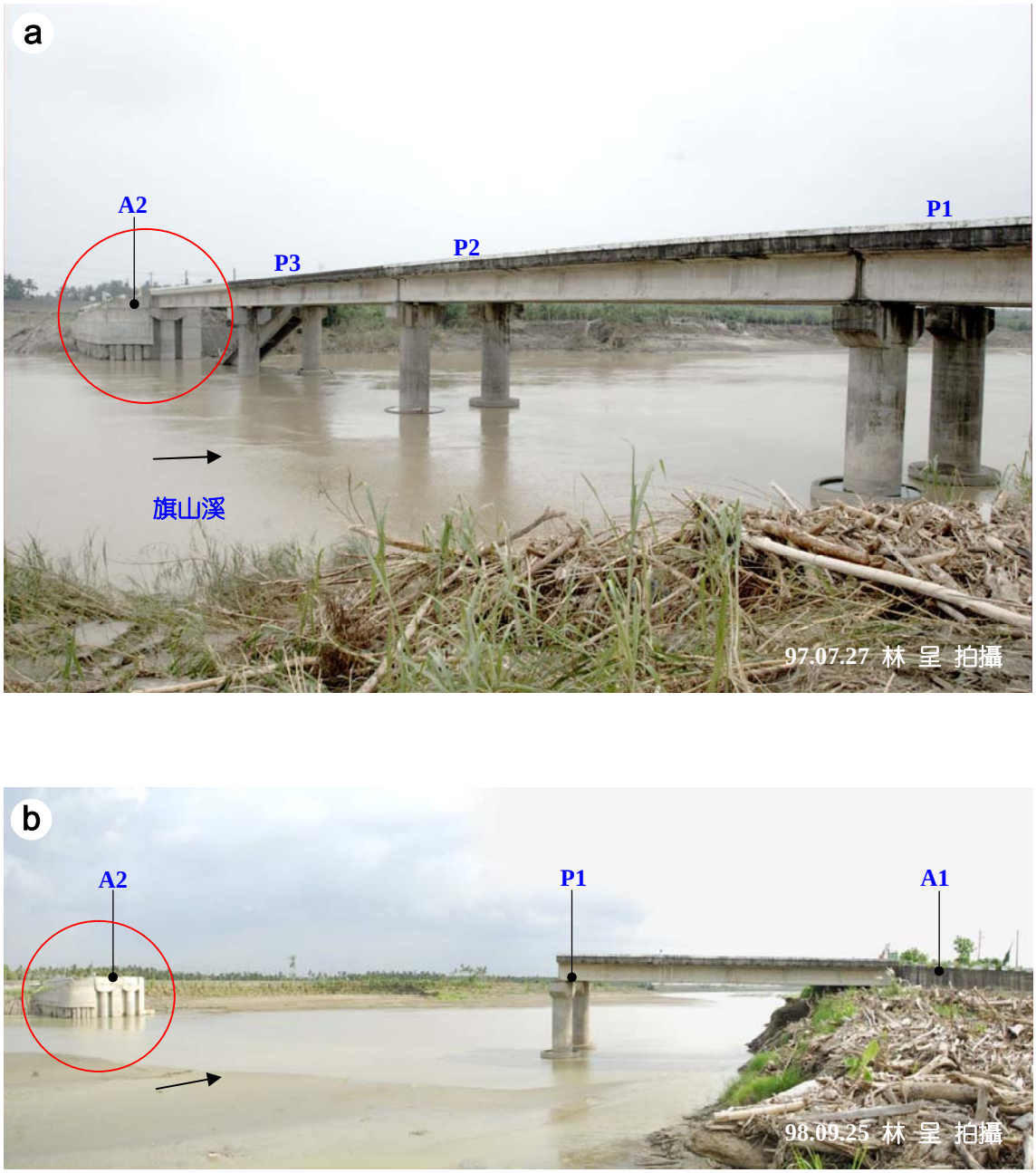
圖 5.65　民國 82 年、94 年旗山溪高 92 線大洲大橋斷面比較圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】



相片 5.36　莫拉克颱洪前高 92 線大洲大橋之上下游河段航照
(攝於民國 98 年 1 月)【資料來源:農林航空測量所】



相片 5.37　莫拉克颱洪後高 92 線大洲大橋之上下游河段航照
(攝於民國 98 年 8 月)【資料來源:農林航空測量所】

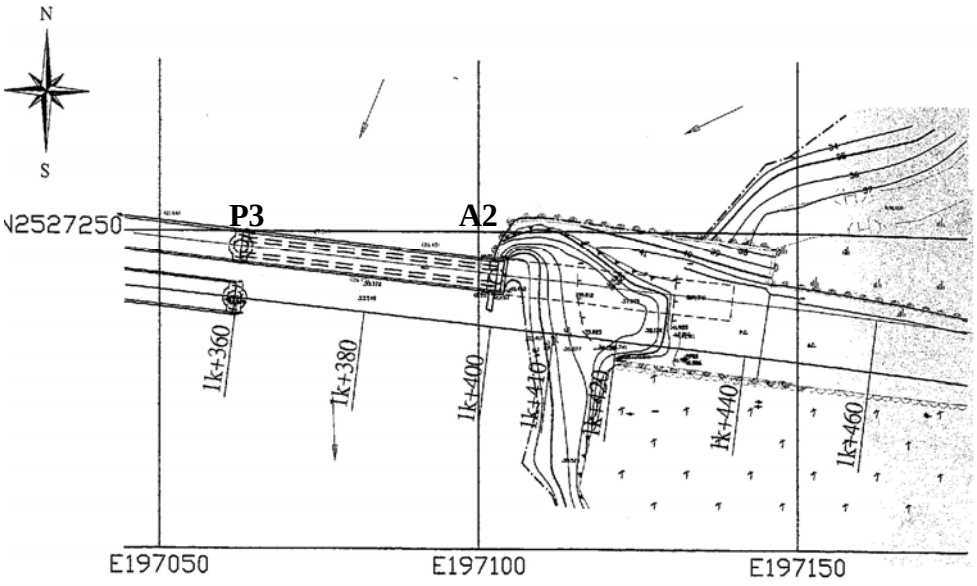


相片 5.38　　高 92 線大洲大橋(溪州)於莫拉克颱洪前後之比較

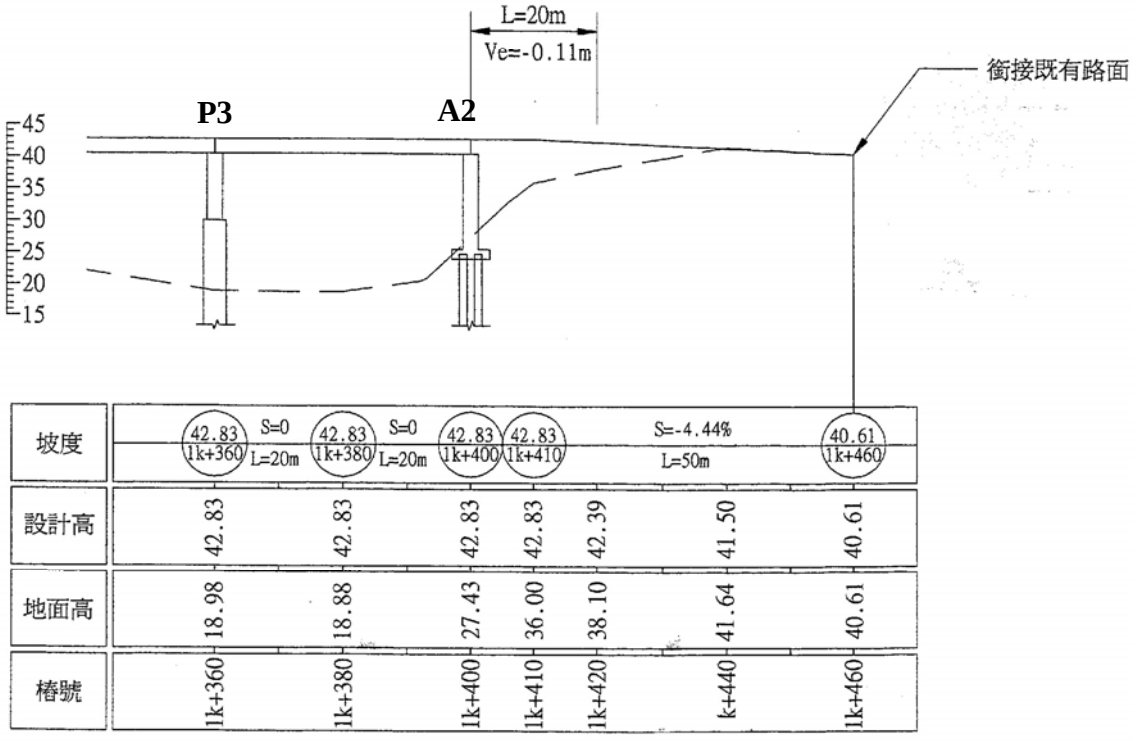




相片 5.39　　高 92 線大洲大橋(溪州) 於莫拉克颱洪前後之比較

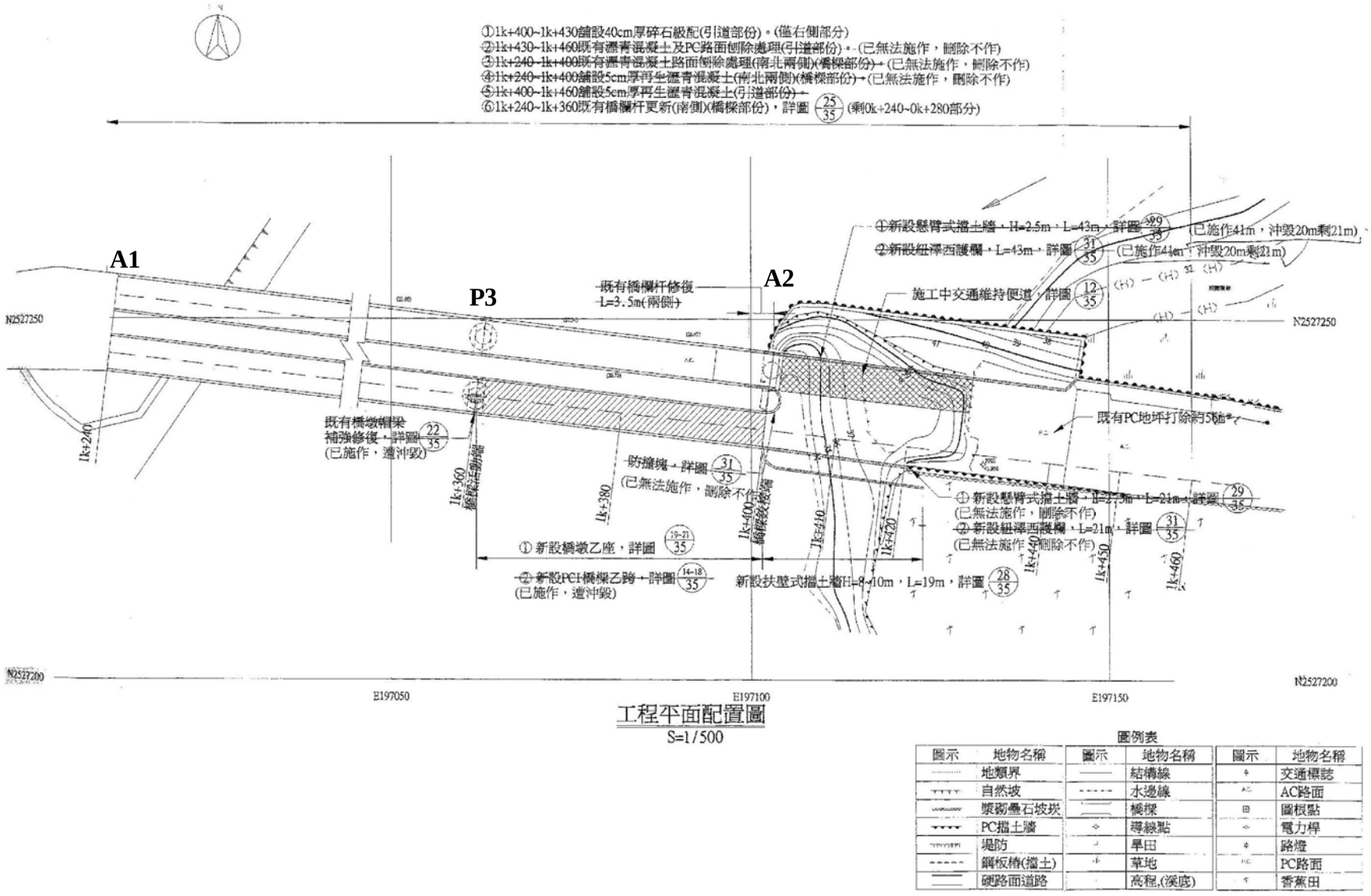


工程平面圖



工程縱斷面圖

圖 5.66　高 92 線大洲大橋卡玫基颱風(民國 97 年 7 月 18 日)修復工程平縱斷面圖【資料來源：高雄縣政府】



工程平面配置圖

S=1/500

圖例表

圖示	地物名稱	圖示	地物名稱	圖示	地物名稱
	地類界		結構線		交通標誌
	自然坡		水邊線	AC	AC路面
	漿砌疊石坡崁		橋樑		圖根點
	PC擋土牆		導線點		電力桿
	堤防		旱田		路燈
	鋼板樁(擋土)		草地	PC	PC路面
	硬路面道路		高程,(溪底)		香蕉田

圖 5.67　高 92 線大洲大橋修復工程平面配置圖【資料來源：高雄縣政府】

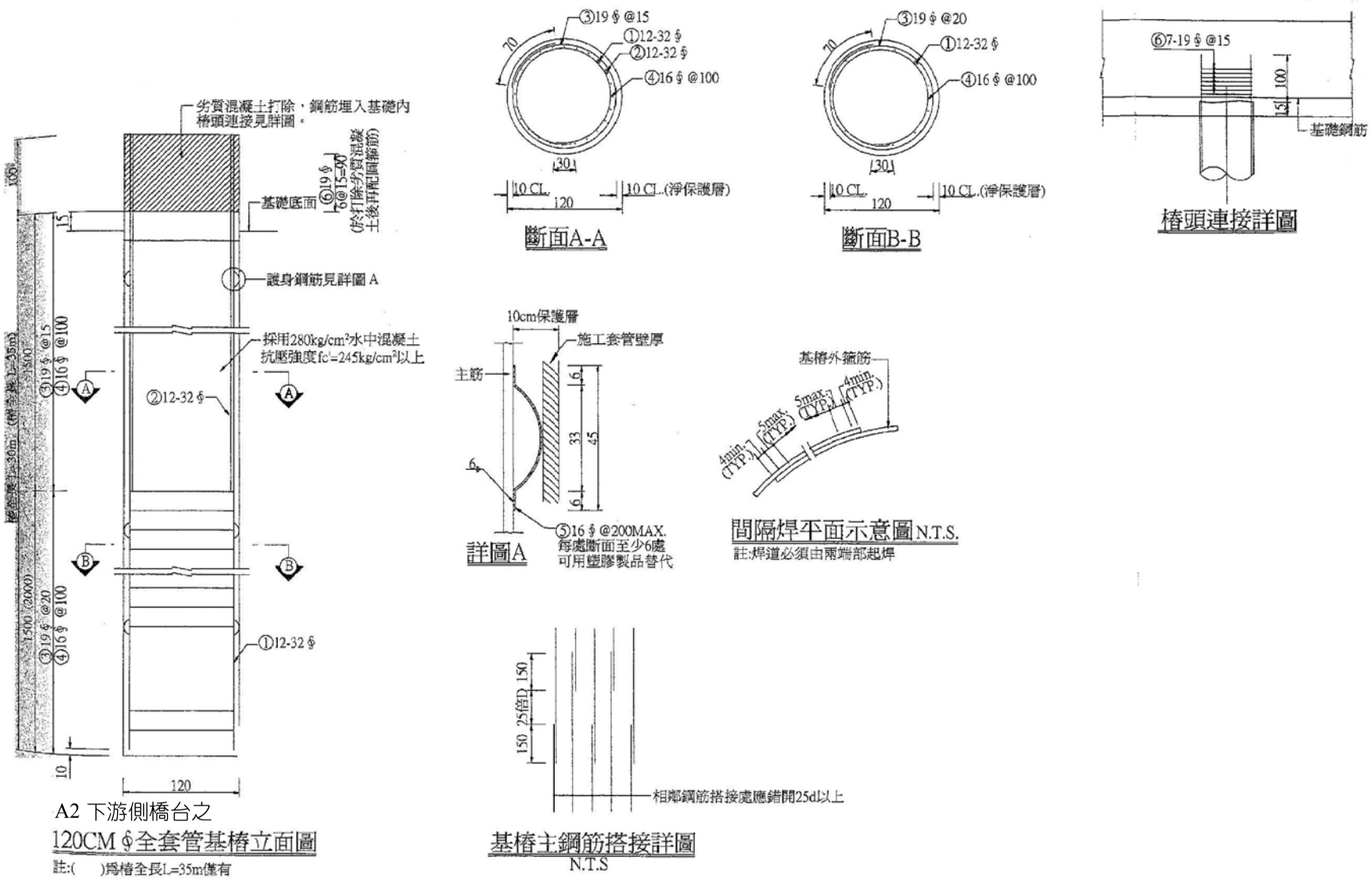


圖 5.68　高 92 線大洲大橋修復工程 120ϕ全套管基椿詳細圖【資料來源：高雄縣政府】

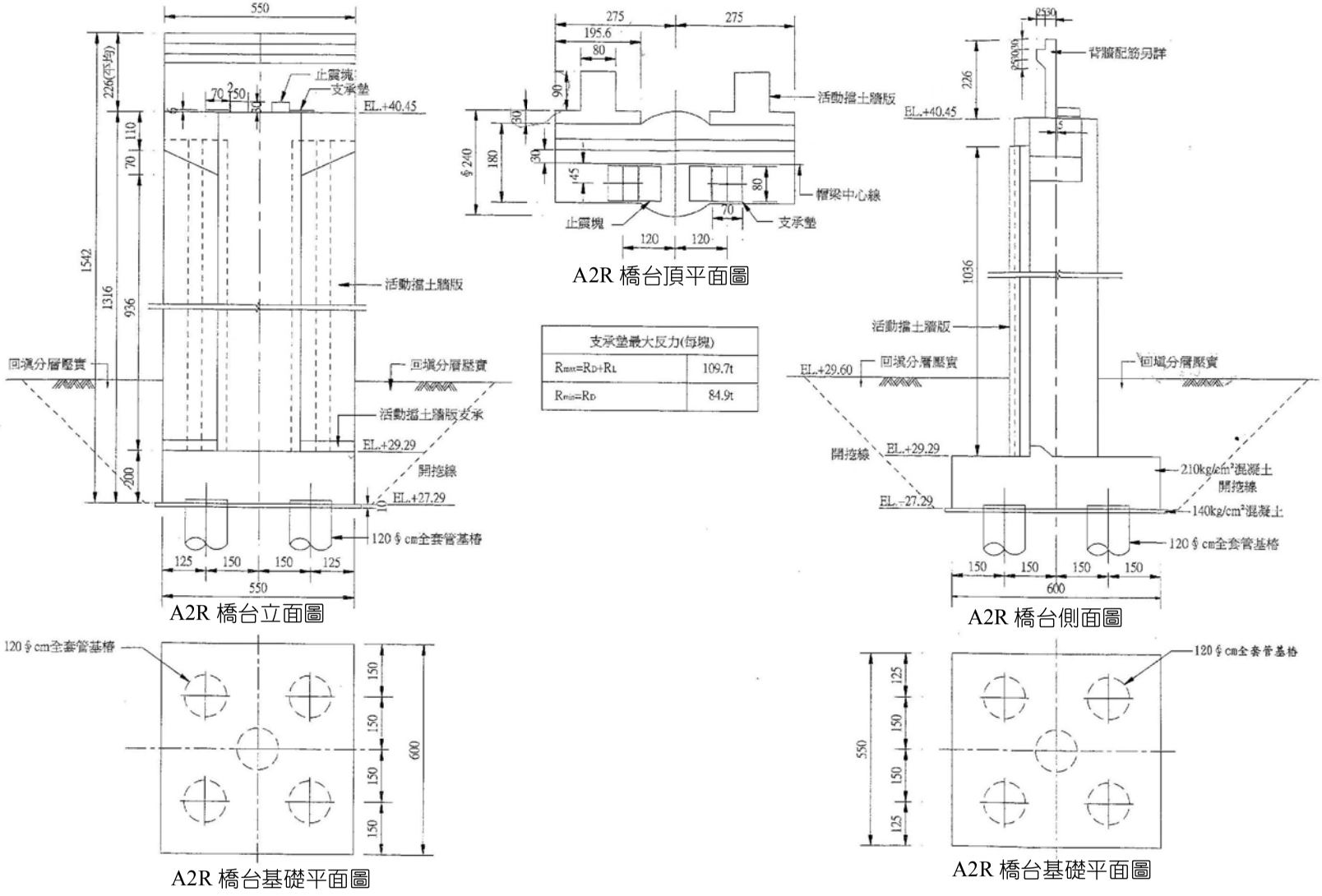


圖 5.69　高 92 線大洲大橋修復工程下游側橋台 A2R 之詳細圖【資料來源：高雄縣政府】

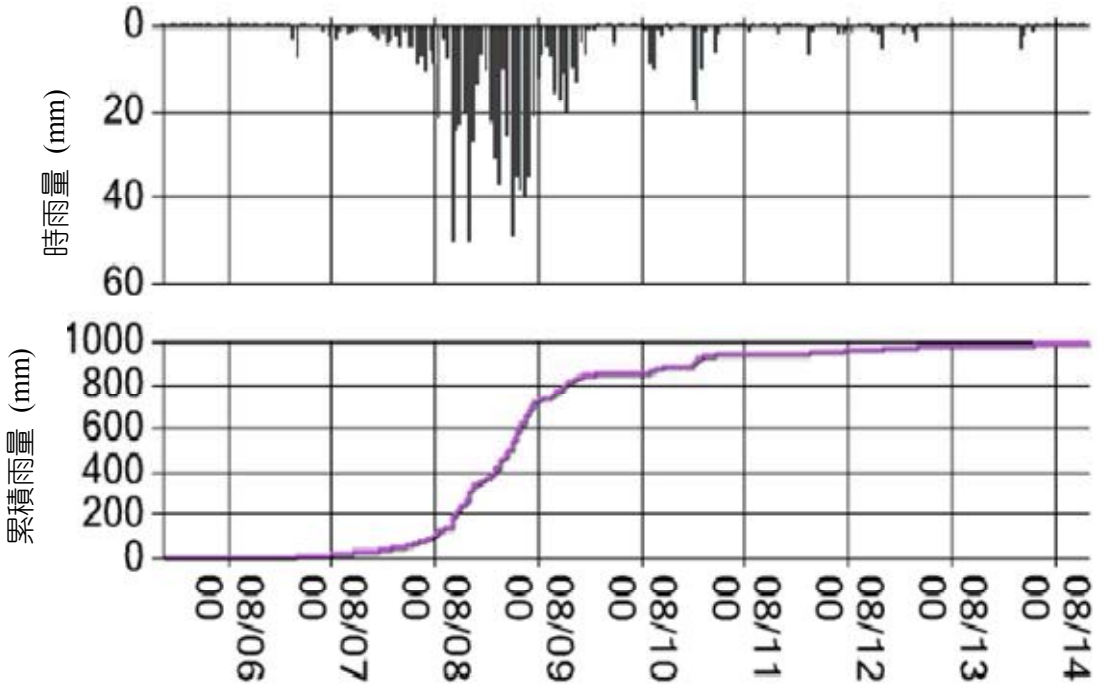


圖 5.70　旗山雨量站之降與組體圖【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

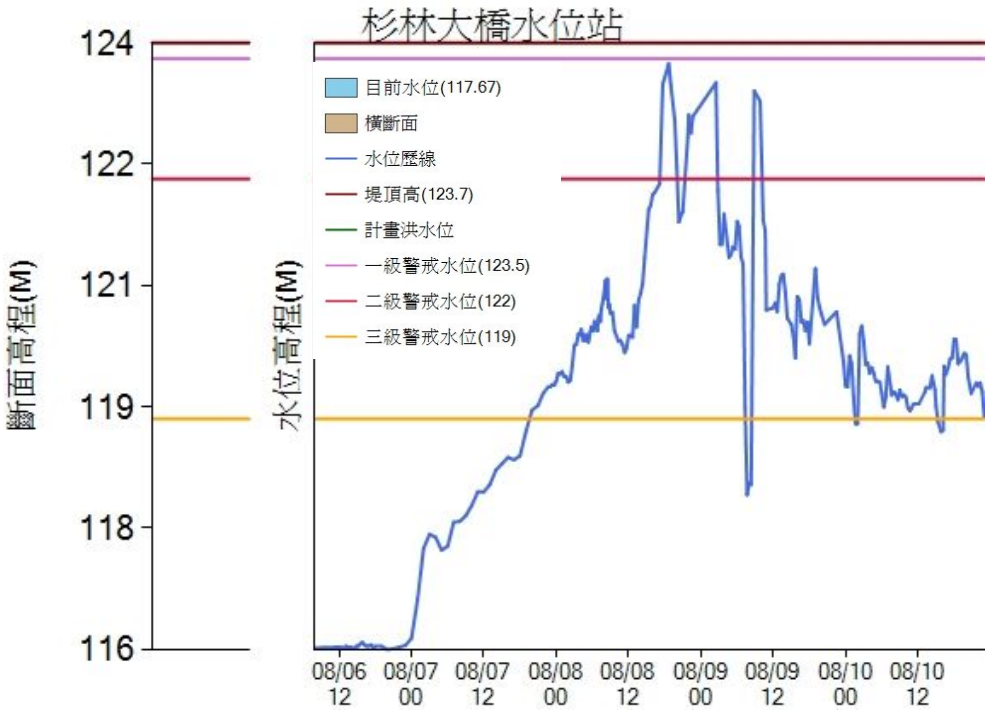


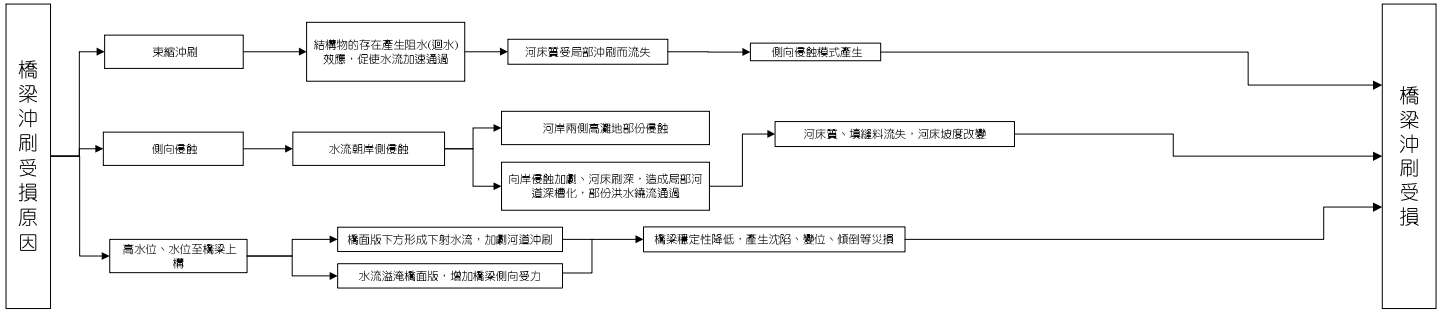
圖 5.71　旗山溪杉林大橋水位站於 98.08 莫拉克颱洪期間之水位歷線圖【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



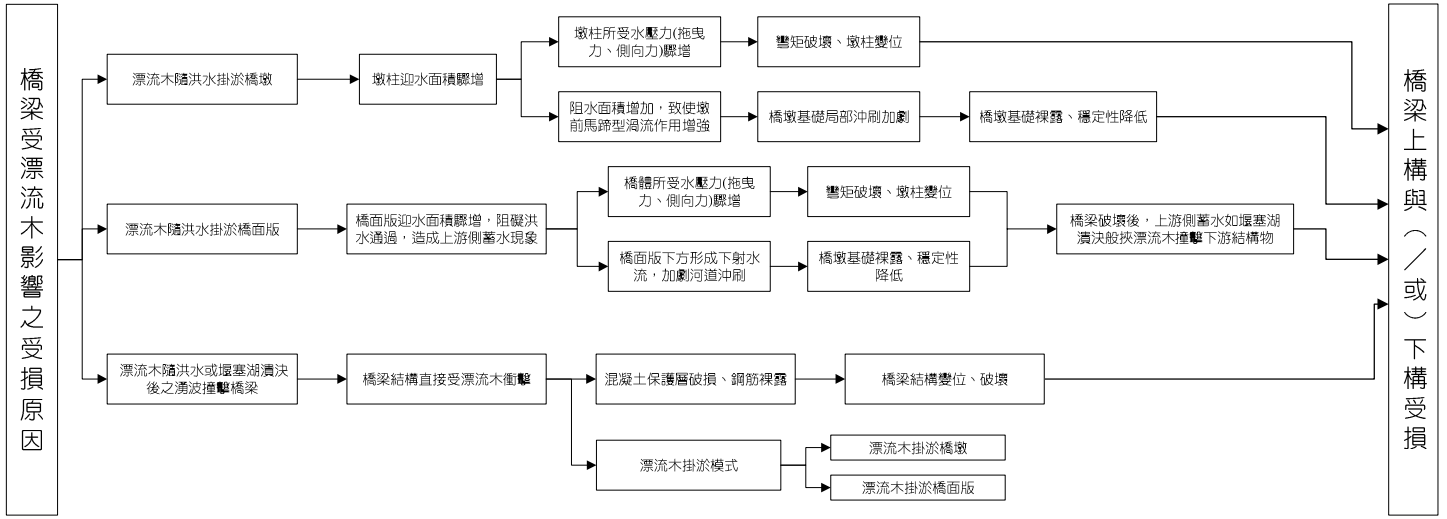


相片 5.40　　高 92 線大洲大橋(溪州)於莫拉克颱洪後之情況

(a) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流程



(b) 受漂流木影響之橋梁破壞流程



(c) 堰塞湖影響之橋梁破壞流程



圖 5.72　高 92 線大洲大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

第六章 荖濃溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析

6.1 台 20 線炳才橋

1. 基本資料

台 20 線炳才橋位於高雄縣桃源鄉，其橋頭里程數為 85 K+169，跨越埔頭溪，為聯絡寶來及桃源鄉之跨溪橋梁，本橋建於民國 60 年 8 月，橋梁全長 32.4 m，橋面淨寬 5.6 m，跨距為 25 + 7.4，共 2 孔橋梁。上部結構為 T 型梁式的鋼筋混凝土橋梁，橋墩下部結構為直接基礎而橋台結構為半重力式之橋台，其基礎亦為直接基礎。本橋之橋梁基本資料詳如表 6-1 所示，橋址處之地質分佈主要為階地堆積層，其附近有六龜斷層通過，詳如圖 6.1 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

若以橋址處附近之高中雨量站之降雨資料圖 6.2 顯示，於 8 月 5 日～10 日間總累積降雨高達 1,991.5 mm，幾乎超過該測站年平均降雨量的 2/3 可由表 4-1 得知，顯示莫拉克颱風期間之降雨早超過過去台灣之降雨記錄。根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」，利用中央氣象局及水利署本身之雨量站，如圖 6.2 雨量站之降雨組體圖可知，本區最大降雨強度約發生於 8 月 8 日下午 4 點，降雨強度直逼 80 mm/hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，不論為連續 12 或 24 小時降雨延時之分析結果，採對數皮爾森三型分佈所進行的颱風暴雨量頻率分析結果可知，均超過 200 年重現期之降雨強度，分析結果如表 6-2 所示。

此外，根據相片 6.1 所示莫拉克颱風前後之衛星影像比對，炳才橋上游集水區於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂、土石崩落於野溪或河道中，上游集水區內降雨集中，邊坡土層飽含大量水分，致使土層滑動加上超大豪雨挾帶大量土石流沿野溪流動，並堆積於埔頭溪之河道中。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查及比對颱洪前後之航照、陸拍相片可知，本橋位於台 20 線的彎道上，橋址橫跨埔頭溪，即橋址上游之河道為一大彎道，水流過彎後乃具直接往橋址方向流動之趨勢，如相片 6.2 所示。橋址處災前之情形顯示於相片 6.3，可見橋孔仍有相當之通水斷面，順里程方向拍攝橋面版，可知橋面形式為弧形，如相片 6.4。於莫拉克颱洪期間，由於本區降雨強度過大，致使山區邊坡崩塌於河道中，產生超大豪雨挾帶大量土石往下游炳才橋沖擊，造成橋梁結構受損之災害。颱洪間大量土石流從上游往下游方向運移，由上游至下游之河岸均遭土石流嚴重沖刷，致使河寬大幅增加，如相片 6.5 所示。另外，超大降雨量於埔頭溪上游集水區，上游大量邊坡崩塌及土石崩落，並堆積於河道中，豪雨挾帶大量土砂、土石往下游移動，土石流挾帶漂流木或巨石撞擊橋梁，造成 A1、A2 橋台損壞。土石流挾帶巨石撞擊頂沖該橋之大梁，造成橋面版位移、P1 橋墩破壞斷裂崩落於河道中及兩側橋台損壞，橋面版及橋墩遭土石流流失等嚴重災情。此外，土石流嚴重側岸沖刷河道，河寬大幅增加，導致炳才橋兩側橋台毀損及基礎淘刷之情形。隨後，周圍山壁邊坡大量土石崩落，致使炳才橋引道遭土石堆積覆蓋，如相片 6.6 所示。莫拉克颱洪期間，炳才橋遭土石流沖刷，導致河床下降橋墩基礎淘刷，其受災期間動態流程示意圖，如圖 6.3 所示。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大：

莫拉克颱洪期間，本區降雨強度已超過 200 年重現期之雨量，豪大雨直接落於南部山區，加上本區山坡土體岩塊破碎，造成山區邊坡土石崩落並堆積於野溪、河道中。

(2)土石流災害：

埔頭溪上游所崩坍及堆積之土石，因颱洪期間之降雨而產生

土石流而下，挾帶大量土石往橋址方向運移，造成巨石撞擊頂推大梁及橋台，導致橋面版損壞流失，且土石流之強烈沖刷力，致使河道兩岸遭受嚴重側向侵蝕，河寬大幅增加，兩側橋台基礎淘刷毀損及沿岸兩側溪岸遭側向沖刷而大幅展寬。此外，周圍山壁土石大量崩落堆積於公路上，引道堆積覆蓋等災害。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 6.4 所示。

表 6-1　橋梁基本資料表之炳才橋

橋梁名稱	炳才橋	橋梁編號	0200-061	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	桃源	道路等級	省道	路線	臺 20 線
橋頭里程	85 K+169M	橋尾里程	K + M	竣工年月	60 年 8 月	最近維修年月	不詳年不詳 月
造價	0	合約編號	0	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	不詳	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	埔頭溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	32.4M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	5.6M	最小淨寬	5.6M	橋版投影面積	181.44M^2		
總車道數	1	總橋孔數	2	最大跨距	25M		
跨距分配	25+7.4						
最高橋墩高度	23M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	26M		
橋頭 GPS 經度	120.706	橋頭 GPS 緯度	23.1326	橋尾 GPS 經度	120.7061	橋尾 GPS 緯度	23.133
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	搖軸支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	牆式	橋墩基礎型式	直接基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特殊結構資料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.7M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-06-09
備　註							

【資料來源：公路總局第三區工程處】

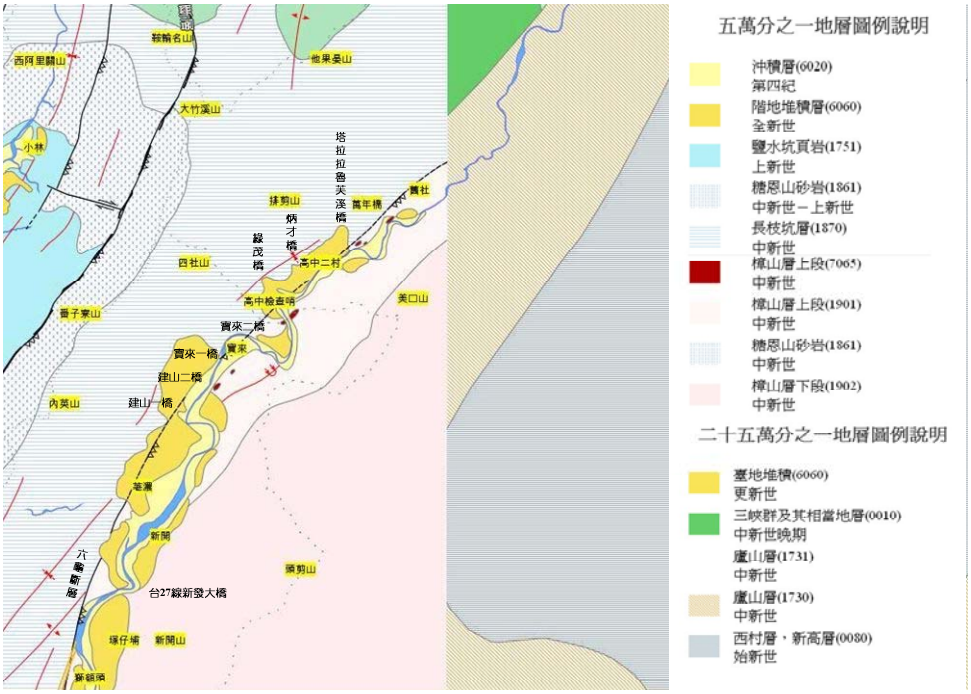


圖 6.1　　台 20 線炳才橋橋址附地質分佈圖

【資料來源：中央地質調查所】

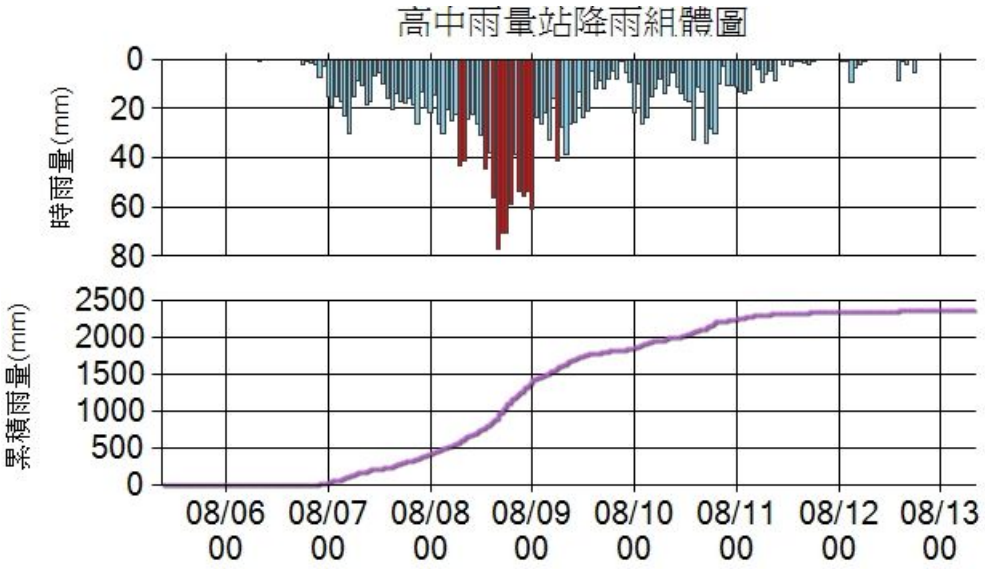


圖 6.2　　位於炳才橋附近之高中雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 6-2　莫拉克颱風高中雨量站之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_高中暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

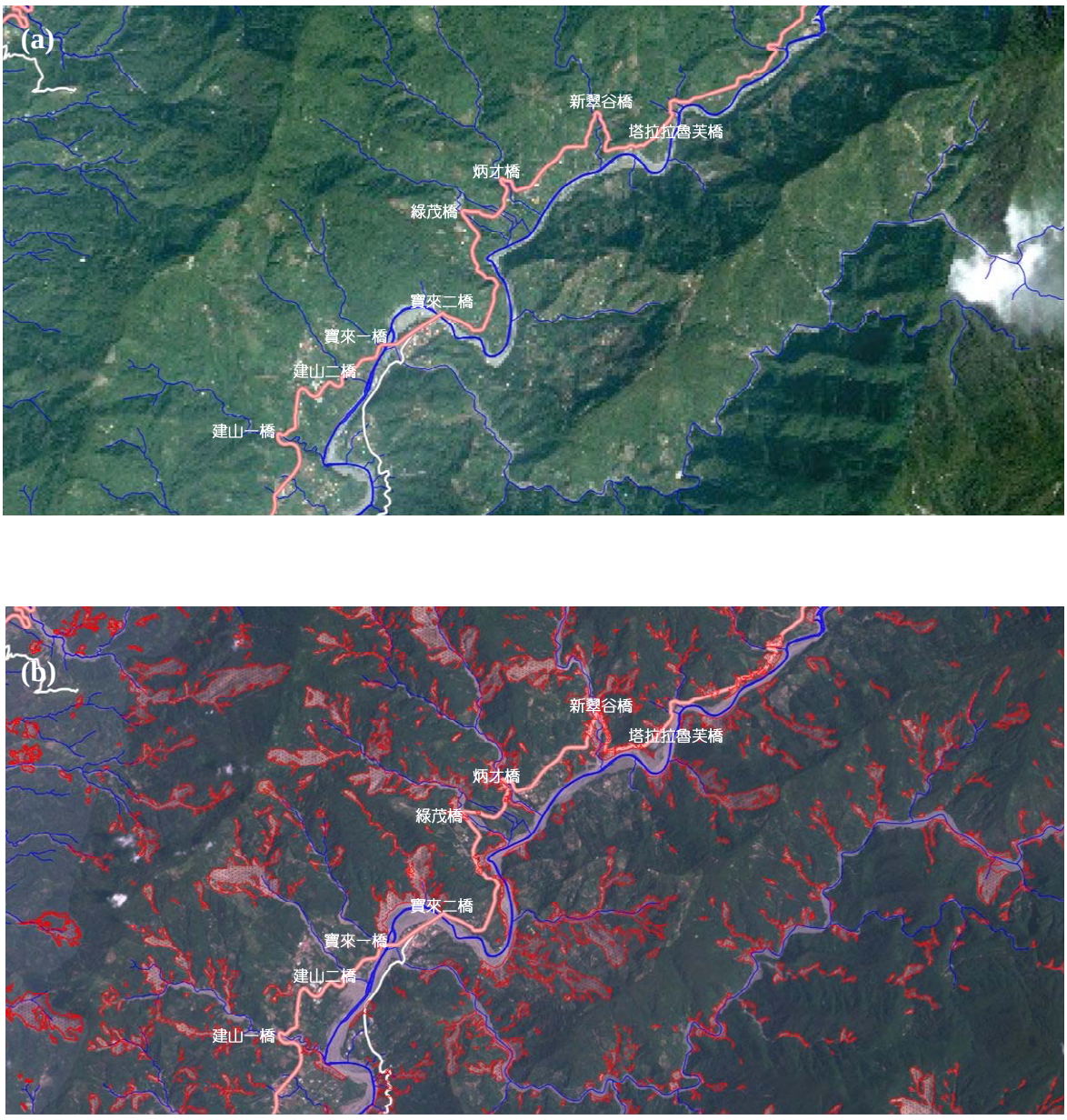
氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：15年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	45.3	67.6	86.7	108.9	116.8	144.2	176.5	214.9	0	<2	81.5	7.95
3	90.1	134.9	171.7	213.0	227.5	276.5	332.8	397.4	0	<2	219.5	21.34
6	138.6	207.1	260.3	317.4	336.8	401.0	471.6	549.7	1	<2	373.5	36.93
12	191.6	303.8	393.7	492.4	526.4	640.0	767.1	909.6	1.5	<2	678.5	61.86
24	273.8	432.2	540.6	645.3	678.6	781.4	883.5	985.5	2	<2	1029.5	>200
48	333.0	590.7	809.2	1057.7	1145.0	1441.7	1781.5	2170.0	-	-	1547	62.13
72	369.3	691.8	978.0	1313.9	1434.2	1850.6	2339.6	2912.3	-	-	1875.5	51.88

參考水利署雨量站：高中。(統計資料長度：27年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	52.5	73.5	89.3	105.1	110.2	126.3	142.6	159.1	0	<2	81.5	5.99
3	117.5	159.3	184.9	208.0	215.1	236.4	256.7	276.3	0	<2	219.5	27.56
6	191.0	252.0	284.4	311.4	319.3	342.1	362.7	381.7	1	<2	373.5	147.40
12	284.2	397.0	461.7	518.1	535.1	585.0	631.6	675.6	1.5	<2	678.5	>200
24	409.0	573.3	664.9	743.4	766.8	835.1	898.2	957.3	2	<2	1029.5	>200
48	527.5	803.3	976.8	1136.3	1185.7	1334.4	1477.8	1617.4	-	-	1547	140.76
72	573.0	912.9	1138.6	1352.2	1419.3	1624.1	1825.0	2023.2	-	-	1875.5	117.73

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 6.1　炳才橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形

【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】



相片 6.2　96 年 1 月航拍，台 20 線炳才橋於莫拉克颱洪前之橋只附近狀況【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.3　炳才橋莫拉克颱洪前下游往上游拍攝，橋梁結及周邊環境之情形【資料來源：公路總局第三區養護工程處 98.05.28 拍攝】



相片 6.4　由炳才橋 A1 往 A2 方向所見之橋體及曲線型之公路路面，畫面所示為莫拉克颱洪前尚未受災時橋面版之情形【資料來源：公路總局第三區養護工程處 98.05.28 拍攝】



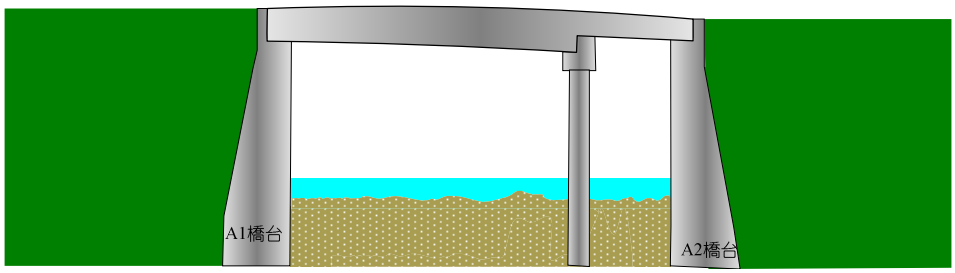
相片 6.5　98 年 8 月航拍畫面顯示：台 20 線炳才橋莫拉克颱洪後遭土石流沖刷河寬及沖毀橋面版流失之情形【資料來源：農林航空測量所】



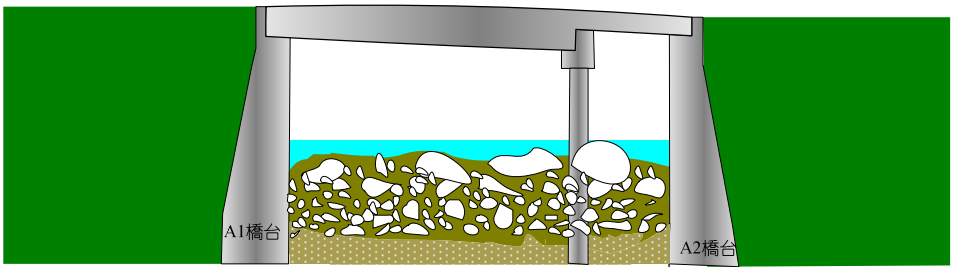


相片 6.6　炳才橋於莫拉克颱洪期間遭土石流沖刷河道，橋面版及橋台皆流失

a



b



c

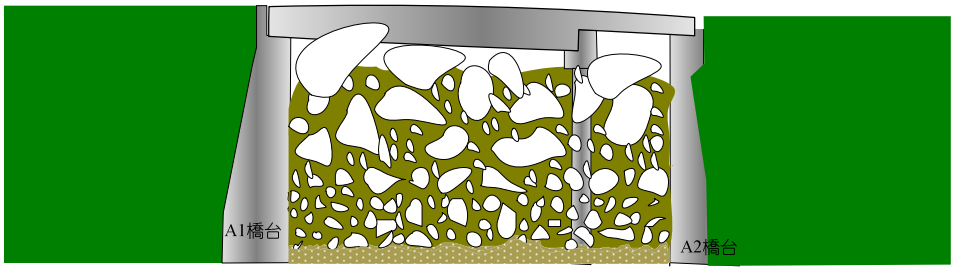


圖 6.3　　炳才橋於莫拉克颱風期間，河床遭土石流沖刷下降及橋址處遭破壞之擬似動態流程示意圖(橫斷面)

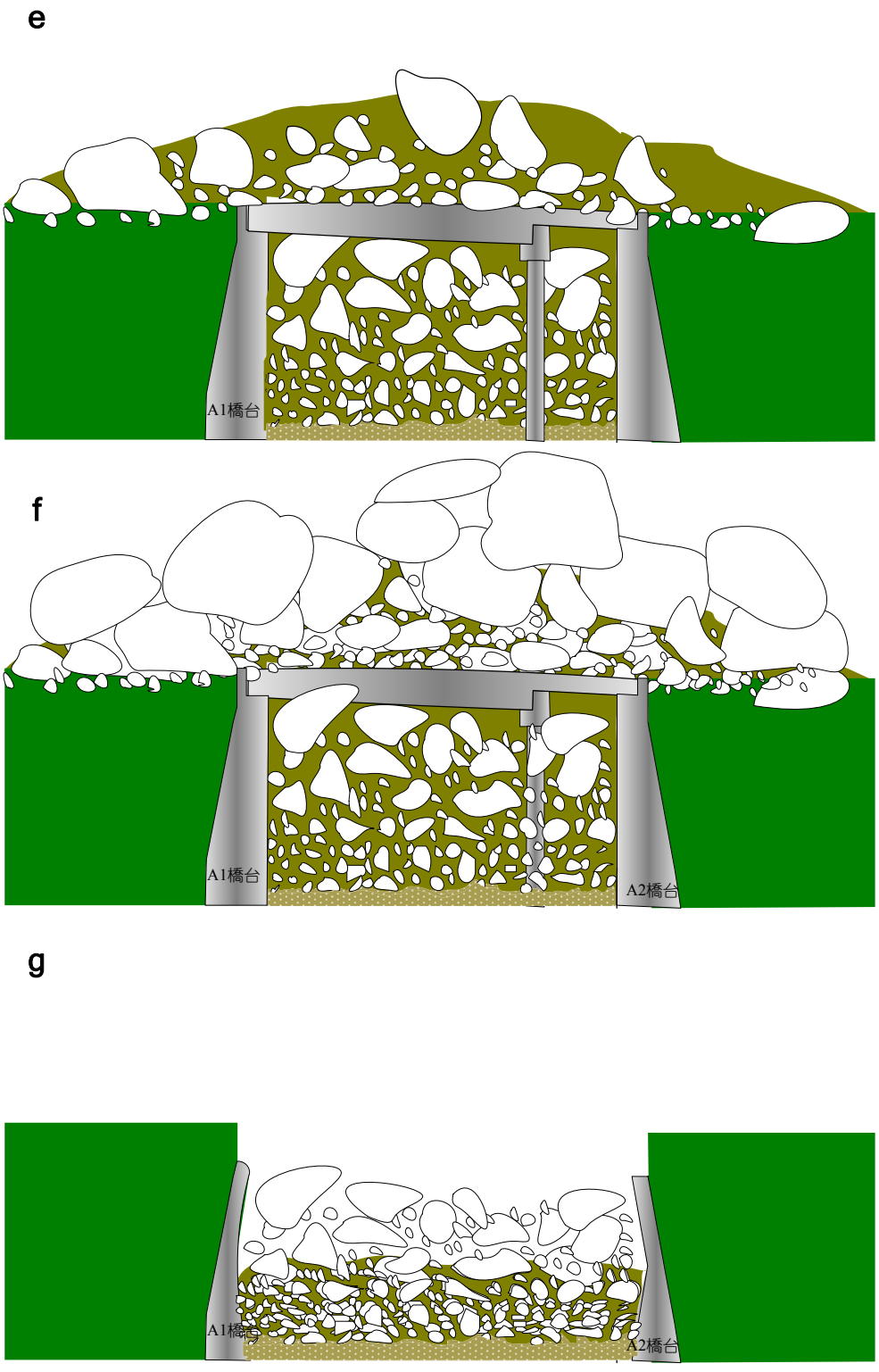
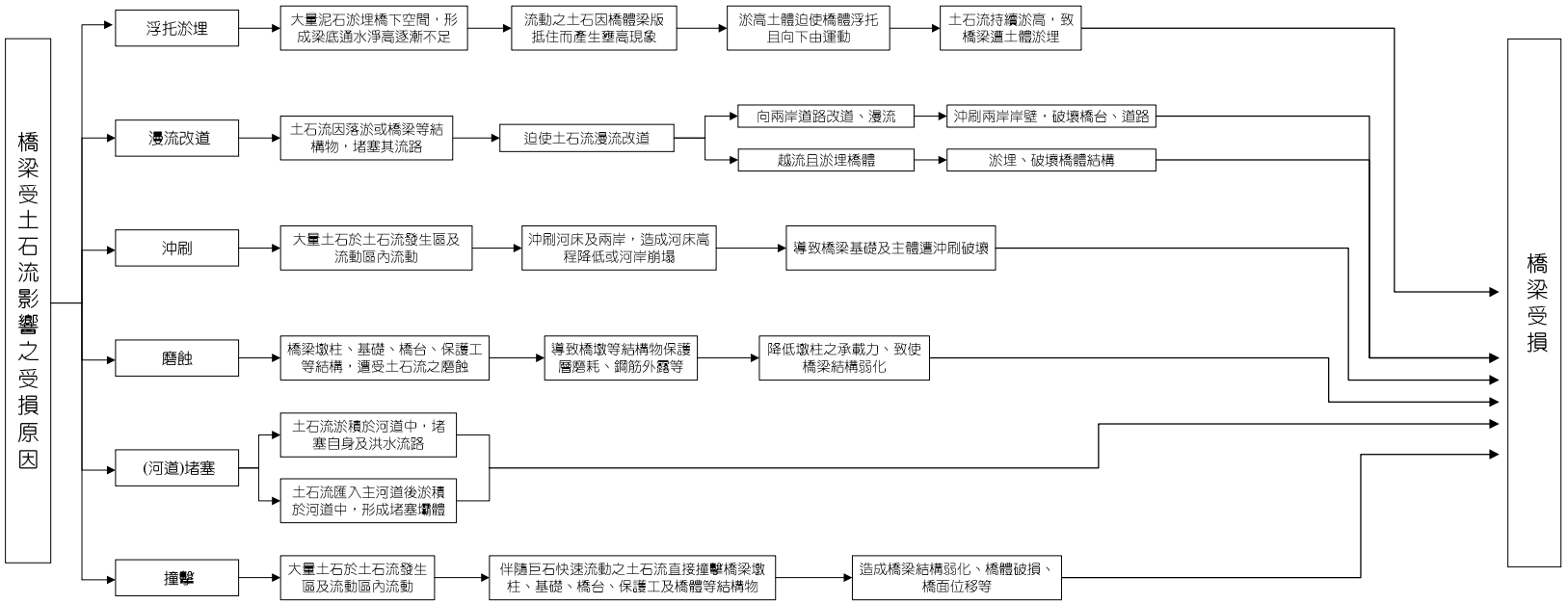


圖 6.3(續)　炳才橋於莫拉克颱風期間，河床遭土石流沖刷下降及橋址處遭破壞之擬似動態流程示意圖(橫斷面）

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流

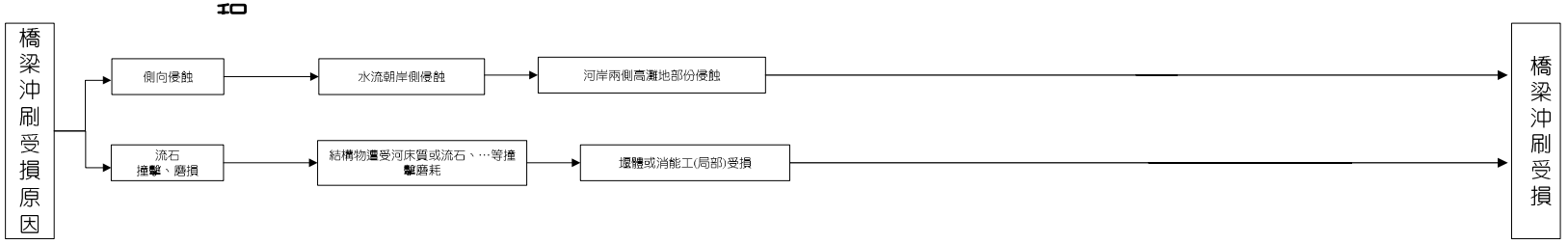


圖 6.4　　炳才橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.2 台 20 線寶來二橋

1. 基本資料

台 20 線寶來二橋位於高雄縣六龜鄉，跨越荖濃溪，河道治理斷面為荖斷 NO.83 斷面，其橋頭里程數為 80K+807。本橋於民國 93 年 7 月竣工，橋梁總長 220 m，共 6 個橋孔，跨距分配為 30+42@4+22，最低橋下淨高為 17.5 m。其橋梁上部結構為預力 I 型簡支梁，下部結構為單柱式橋墩，其橋墩基礎型式為長 25m 之全套管樁基礎，橋台為直接基礎。其橋梁基本資料表如表 6-3 所示；相關工程圖說如圖 6.5～6.10 所示，其中由圖 6.5 (b)立面圖所示，橋墩梁底至河床面之距：P1 為 5.8 m、P2 為 13 m、P3 為 15.1 m、P4 為 16.4 m、P5 為 13.3 m，深槽位於 P4～P5 間。河道大斷面圖如圖 6.11 及圖 6.12 所示，顯示民國 97 年寶來二橋至下游河道，深槽位於右岸側，河道右岸沖刷較為顯著。

依據水規所之高屏溪治理規劃檢討，荖濃溪地質上游屬始新世至漸新世之畢祿山層、西村層、十八重溪層等黑色粘板岩，偶夾石灰質砂岩成石英質坌岩，岩層走向大致為北北東，而下分佈以中新世之盧山層之硬砂岩、板岩及千枚岩為主。中游至六龜以下地質屬更新世至現代之台地堆積層及沖積層，以礫岩與砂岩及土、砂礫為主。此外，本區之斷層分佈，主要有位於六龜至新寮間之六龜斷層，屬逆斷層，呈北東走向，全長約 11 公里，東南側露出更新世下部之六龜層，為一可能活動之斷層，詳如圖 6.13。此外由圖 6.14 地質鑽探圖顯示，寶來二橋橋址之地質分佈，上層主要為粗大卵礫石夾棕色、灰色砂偶夾岩塊；下層主要為灰黑色硬頁岩、多解理裂面、偶夾風化破碎岩塊。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風襲台，於本區降下極大之豪雨，根據鄰近橋址的高中雨量站量測資料，本區颱洪期間累積雨量高達

1,911.5 mm，根據圖 6.15 高中雨量站之降雨組體圖可知，本區最大降雨強度約發生於 8 月 8 日下午 4 點，降雨強度直逼 80 mm/hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，經降雨強度-延時-頻率之 Horner 公式分析結果可知，此次風災之降雨延時 12 或 24 小時條件下，均超過 200 年重現期之降雨強度，分析結果如表 6-4 所示。

民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間，荖濃溪上游集水區累積降雨量已破 200 年重現期之降雨量，高降雨強度造成大量崩塌地、土石流以及山壁邊坡滑動。此外，根據相片 6.7 所示莫拉克颱風前後之衛星影像可知，寶來二橋附近於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂、土石崩落於野溪或河道中，加上集水區內集中之降雨，致使超大豪雨挾帶大量土石流沿野溪流動，並堆積於荖濃溪之河道中。

堆積土石堵塞河道形成大大小小的堰塞湖，於颱洪間發生潰決，潰決之大量洪水如湧浪般往下游沖擊，造成下游橋梁(寶來二橋、新發大橋)嚴重受損。據阿其巴橋水位站水位歷線之(如圖 6.16)變化顯示：由 8 月 8 日約 14 時過後，於阿其巴橋橋址處所量測之洪水水位急速上升，約於 8 月 8 日 18 時水位達到最高點後，水位亦隨即急速下降並發生訊號中斷之情形。此一水位急升驟降之特點，乃可能反應了更上游側之河道發生堰塞湖潰決，再根據下游新發水位站水位歷線(如圖 6.17)顯示：水位於 8 月 8 日 14 時過後，水位急速上升，約於 8 月 8 日 19 時 40 分水位達最高點後，水位也亦隨即急速下降並發生訊號中斷之情形。從阿其巴橋水位站至新發大橋水位站距離大約 40 公里。上游處堰塞湖發生潰決時，假設河道水深 d 約為 5 公尺，洪水流速 $C=\sqrt{gd}$ 約為 7 m/s，估算出上游堰塞湖潰決時洪水從阿其巴橋至新發大橋約只需要 1 小時 35 分，跟上述水位歷線圖水位達最高點後驟降斷訊之時間差 1 小時 40 分相當接近。

3. 橋梁災害情形調查

由相片 6.8、相片 6.9 颱洪前後比對顯示，莫拉克颱洪前深槽位

於橋址右岸，颱洪後深槽位於左岸，此乃因莫拉克颱洪後造成寶來二橋下游右側山壁上之野溪產出大範圍之土石流沖積扇，阻塞河道，將深槽挑流至左岸。再從相片 6.10 深槽被挑流至左岸，致使上游蛇籠及護岸損壞(側向侵蝕)，再從 6.11 可見橋台因河岸側向侵蝕，基礎受到沖刷倒塌，且可發現金屬護欄都已被破壞之現象，且根據林呈教授於莫拉克颱洪前後河床量測資料顯示，河床高度大幅抬高。再從相片 6.12(b)可見金屬護欄上有漂流木掛淤，以及下游右岸野溪土石流堆積成土石流沖積扇，將水流挑至左岸，致使下游左岸之溫泉區遭到破壞。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)土石流災害：

(a) 寶來二橋下游右岸處野溪於莫拉克颱洪產出土石流沖積扇，如相片 6.10 所示，雖然未直接對橋梁結構產生破壞，但大面積的土石流沖積扇阻塞部份河道，使原本深槽位於右岸側 P4～P5 間，逐漸的被土石流沖積扇引導、挑流至左岸 A1 至 P2 的位置。

(b) 在寶來地區更上游的高中、桃源地區附近山區因長時間的降雨，造成大量崩塌地及引致山壁邊坡滑動，而產生堰塞湖及大量土砂。當上游堰塞湖潰決時，洪水挾帶土砂往下游處河道輸送，致使寶來二橋河床大幅抬高，如相片 6.11 所示。據林呈教授於莫拉克颱洪前後(98.5.23 與 98.9.24)之量測紀錄顯示: 原本 P5 墩帽至河床高程差從 15.2 m 縮短為 5.6 m、P2 從 10.8 m 縮短為 4.7 m、P1 從 5.15 m 縮短為 4.6 m，河床已然大幅抬升。

(2)洪水沖刷災害：

因上游堰塞湖潰決，大量流木沿荖濃溪順著洪水漂流至寶來二橋橋址，掛淤於護欄及橋面上，使通水斷面減少，水位淤高至橋面。上游側左岸的蛇籠護坡及護岸工因受洪水沖刷，致其基礎

流失而沖毀，如相片 6.10 所示，河岸崩退(側向侵蝕)如圖 6.18 所示，橋台基礎遭到沖刷倒塌(因橋台為直接基礎，相對較淺，如圖 6.5 所示)。

(3)漂流木掛淤影響：

(a) 由颱洪後相片 6.12 所示，寶來二橋橋面及護欄上有許多漂流木掛淤，也顯示當時洪水有高至橋面。特別注意的是靠近 A1 橋台側的護欄都已被沖毀，如相片 6.11 所示，當時主要水流是往 A1 方向頂沖。

(b) 流木隨洪水而下流經溪中之跨河橋梁，於其墩基處產生嚴重掛淤阻塞之現象。此現象造成橋梁上游側因通水斷面淤塞而產生水位壅高，且橋梁結構所受之水流向與側向水壓力亦大增，加上掛淤流木增加墩基阻水面積，且掛淤流木下層將形成高速水流，致使河床及橋基沖刷更為嚴重。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 6.19 所示。

表 6-3　寶來二橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	寶來二橋	橋梁編號	0200-059	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 20 線
橋頭里程	80K+807M	橋尾里程	K+M	竣工年月	93 年 6 月	最近維修年月	不詳年不詳月
造價	67508391 元	合約編號	92-116	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	星瑋工程顧問	監造單位		施工單位	甲仙工務段	竣工圖說保存地點	第三區養護工程處
檢測週期	12 月/次	跨越物體	荖濃溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別	中央管河川	河川管理單位	第七河川局	河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	9.3M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	220M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	9M	最小淨寬	9M	橋版投影面積	1980M^2		
總車道數	2	總橋孔數	6	最大跨距	42M		
跨距分配	30+42@4+22						
最高橋墩高度	17.64M	最低橋上淨高		最低橋下淨高	17.5M		
橋頭 GPS 經度	120.6954	橋頭 GPS 緯度	23.1127	橋尾 GPS 經度	120.6975	橋尾 GPS 緯度	23.1132
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	指鈑縫
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	樁基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特　殊　結　構　資　料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	無法取得	防震設施	混凝土止震塊	防落橋長度	1M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-09-26 14:55:40
備　註							
總決算金額為 67,508 仟元，其中工作費為 64,380 仟元，,空污費 54 仟元,，用地及補償 110 仟元，委託設計費 1491 仟元，,管理費 1450 仟元。							

【資料來源：第三區養護工程處】

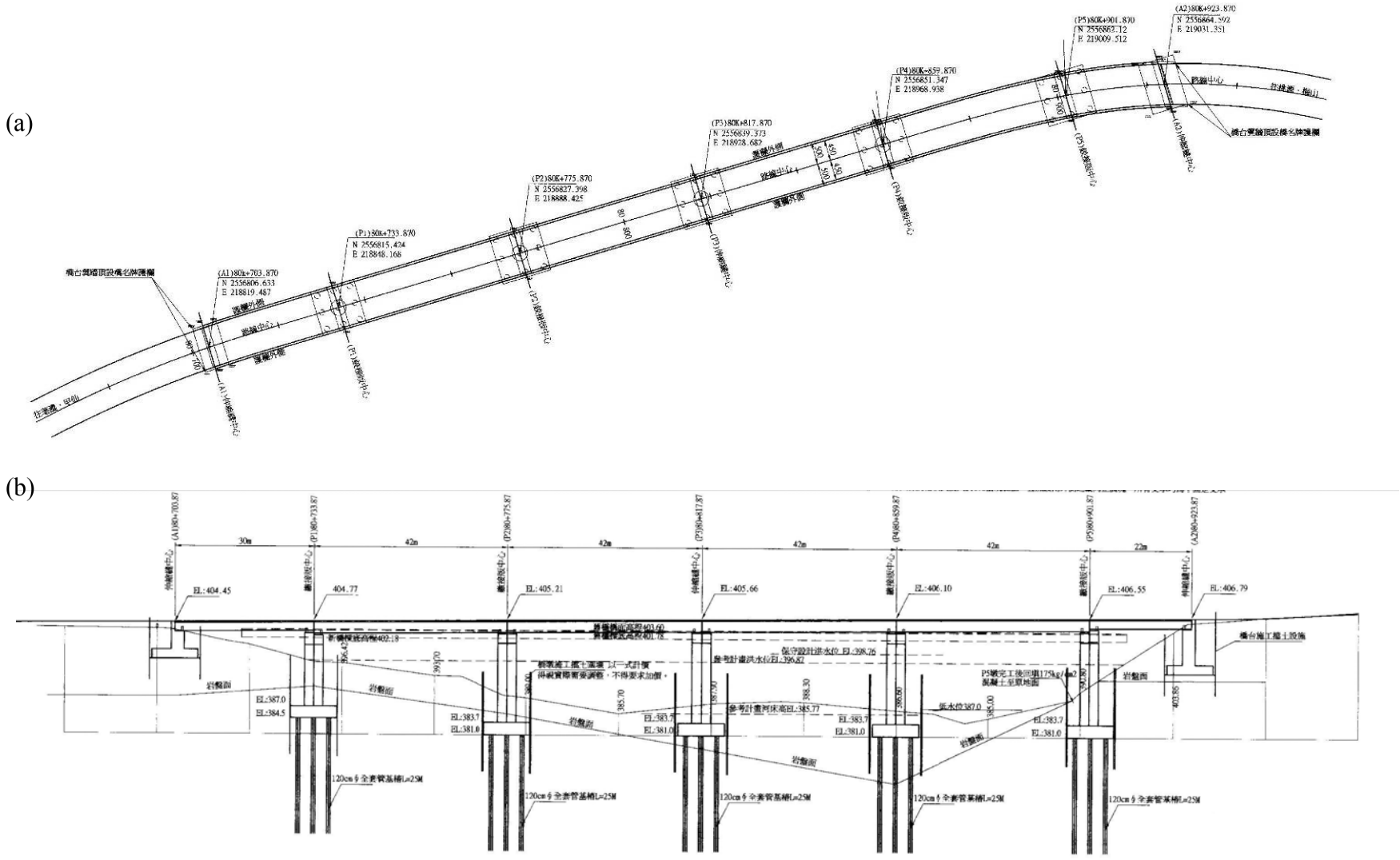


圖 6.5　台 20 線寶來二橋：(a)平面圖(b)立面圖【資料來源：第三區養護工程處】

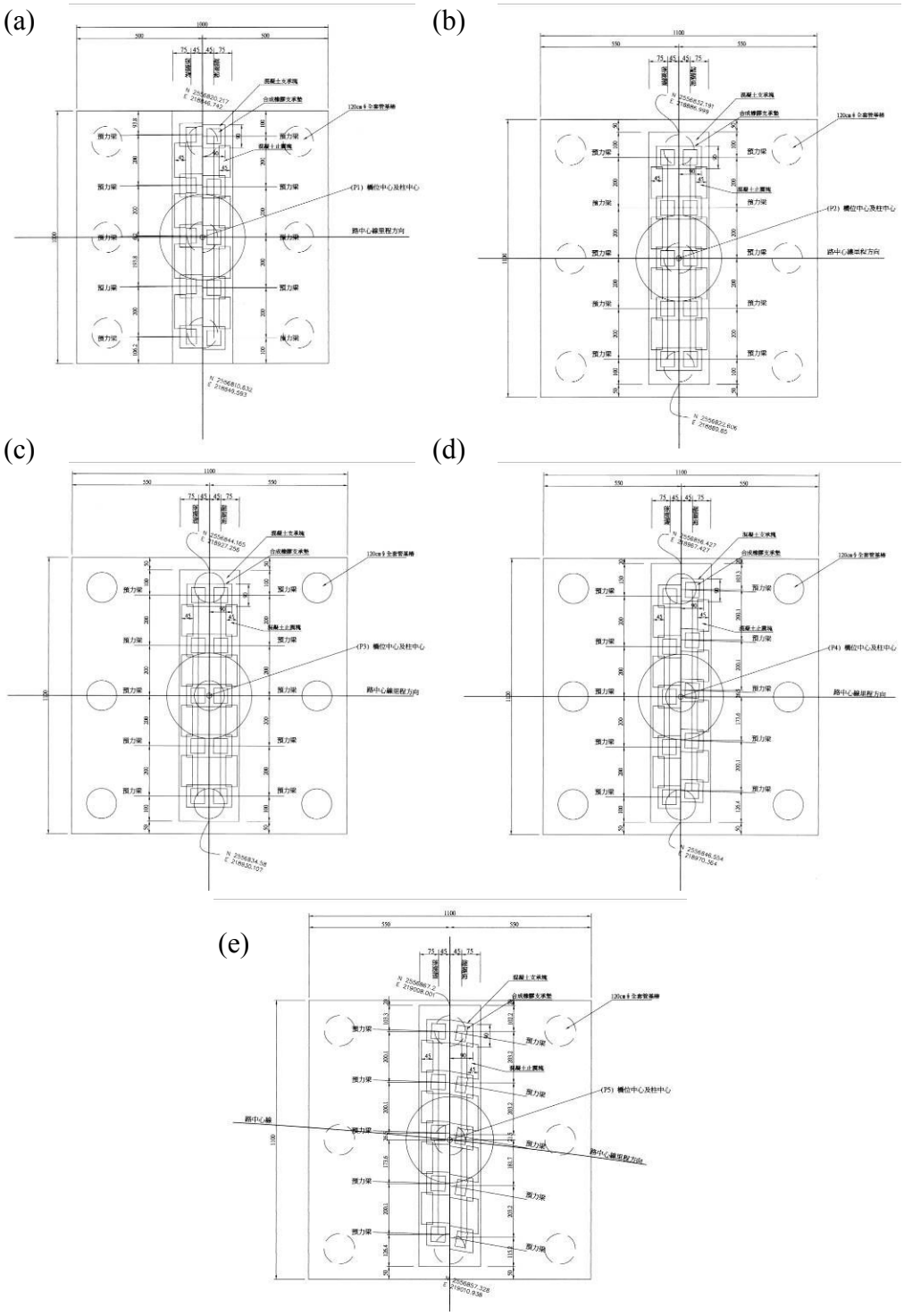


圖 6.6　台 20 線寶來二橋(a)P1 (b)P2 (c)P3 (d)P4 (e)P5 橋墩平面圖

【資料來源：第三區養護工程處】

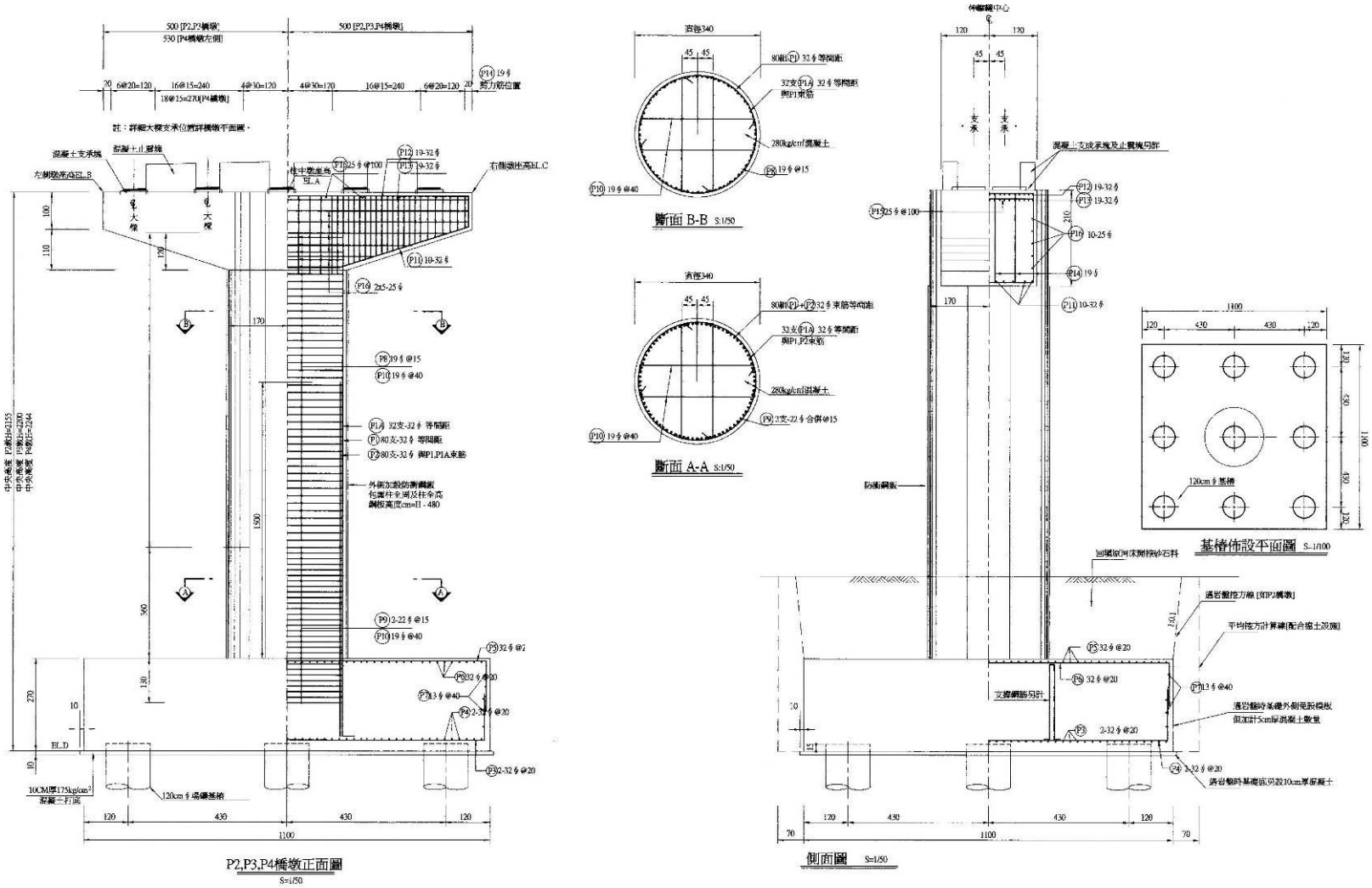


圖 6.7　台 20 線寶來二橋 P2、P3、P4 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

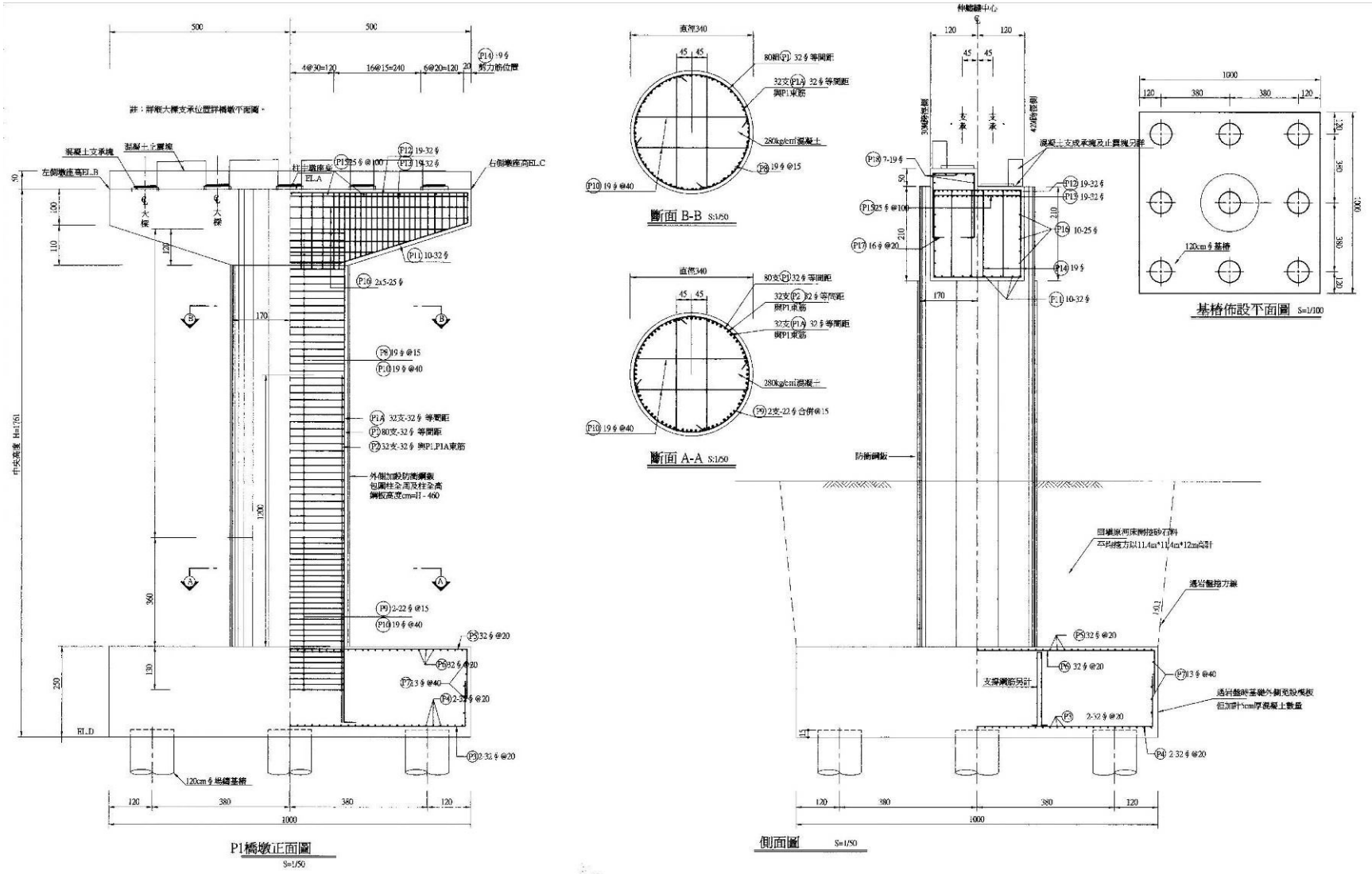


圖 6.8　台 20 線寶來二橋 P1 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

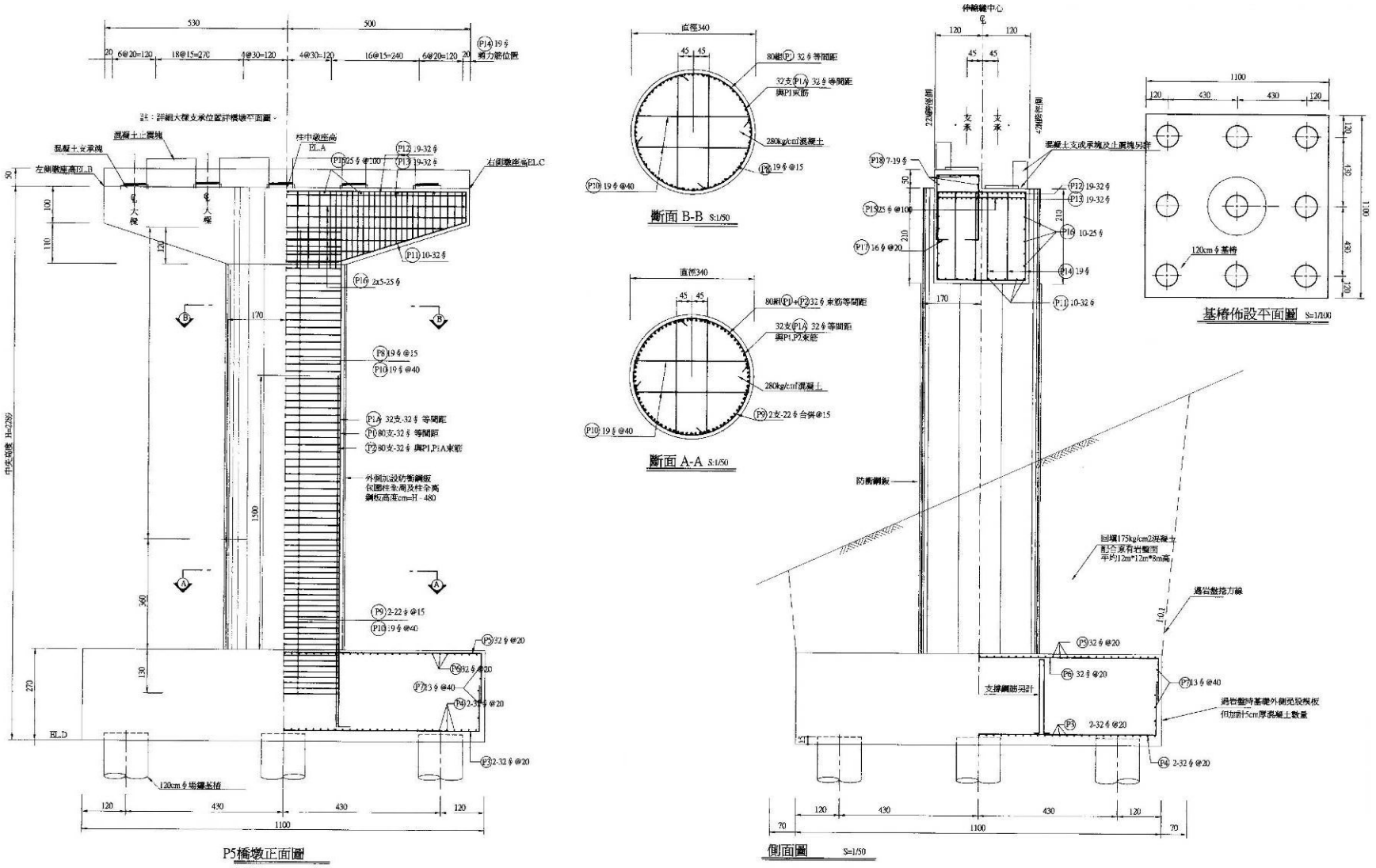


圖 6.9　台 20 線寶來二橋 P5 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

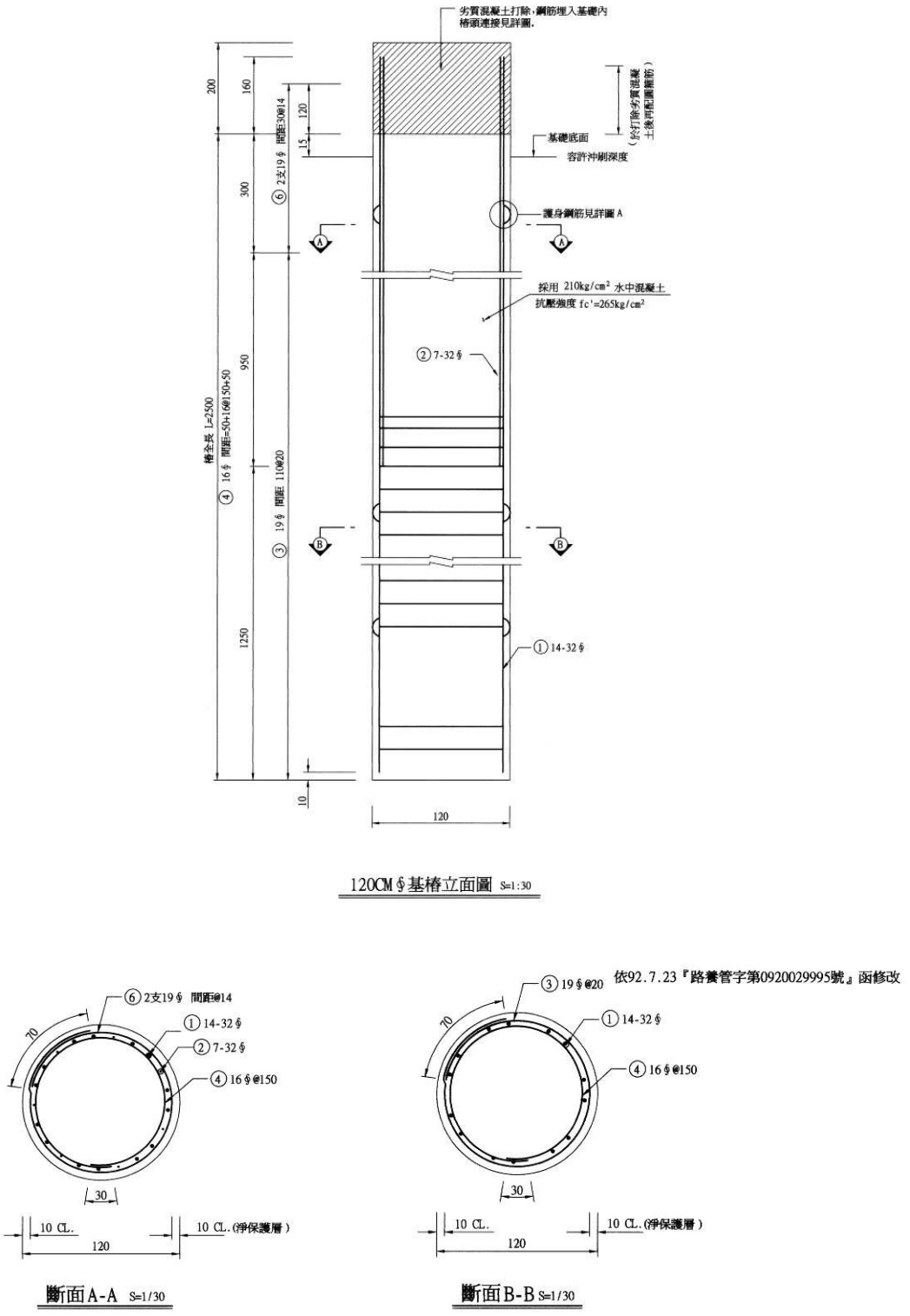


圖 6.10　台 20 線寶來二橋全套管基樁詳圖

【資料來源：第三區養護工程處】

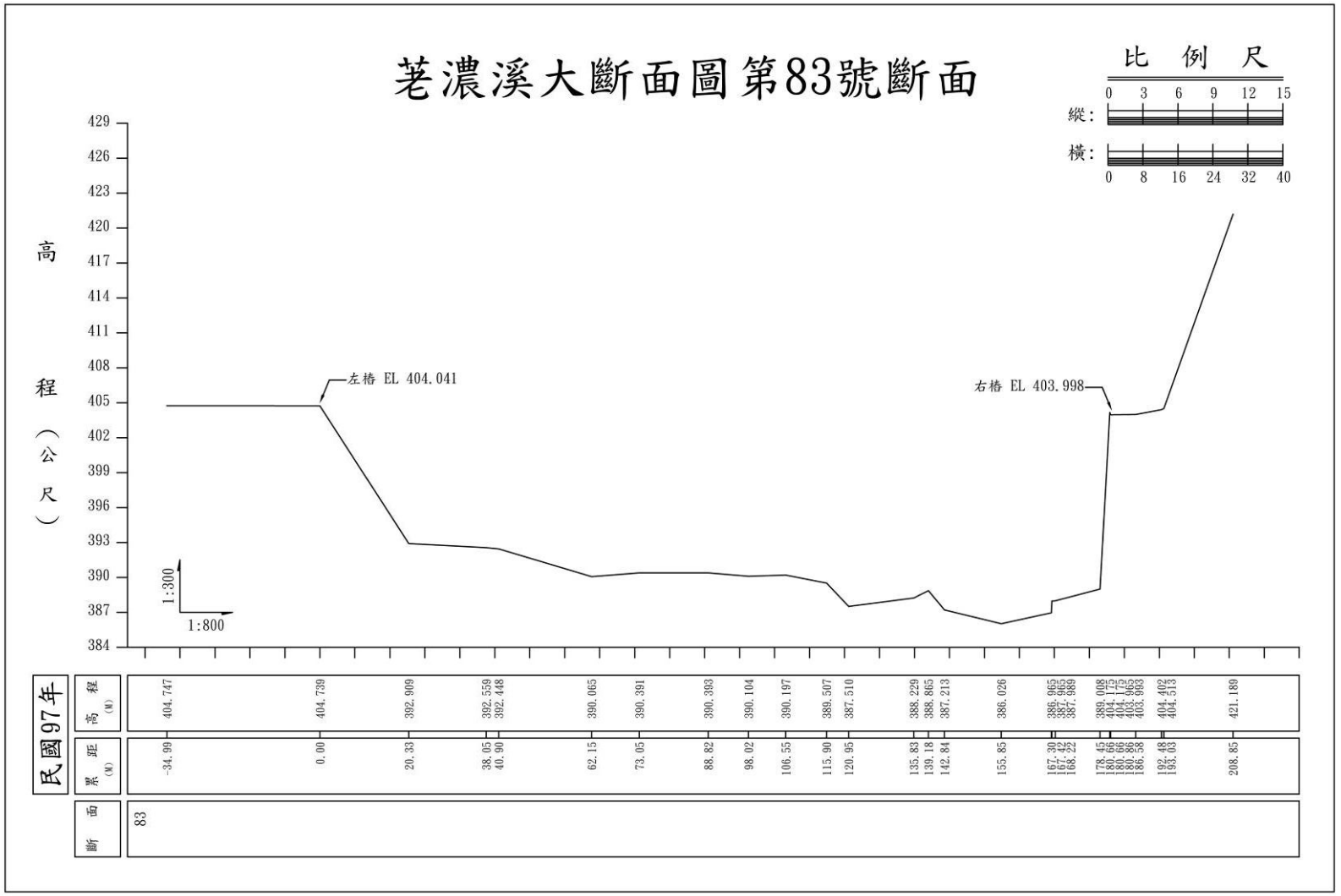


圖 6.11　台 20 線寶來二橋橋址處民國 97 年橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

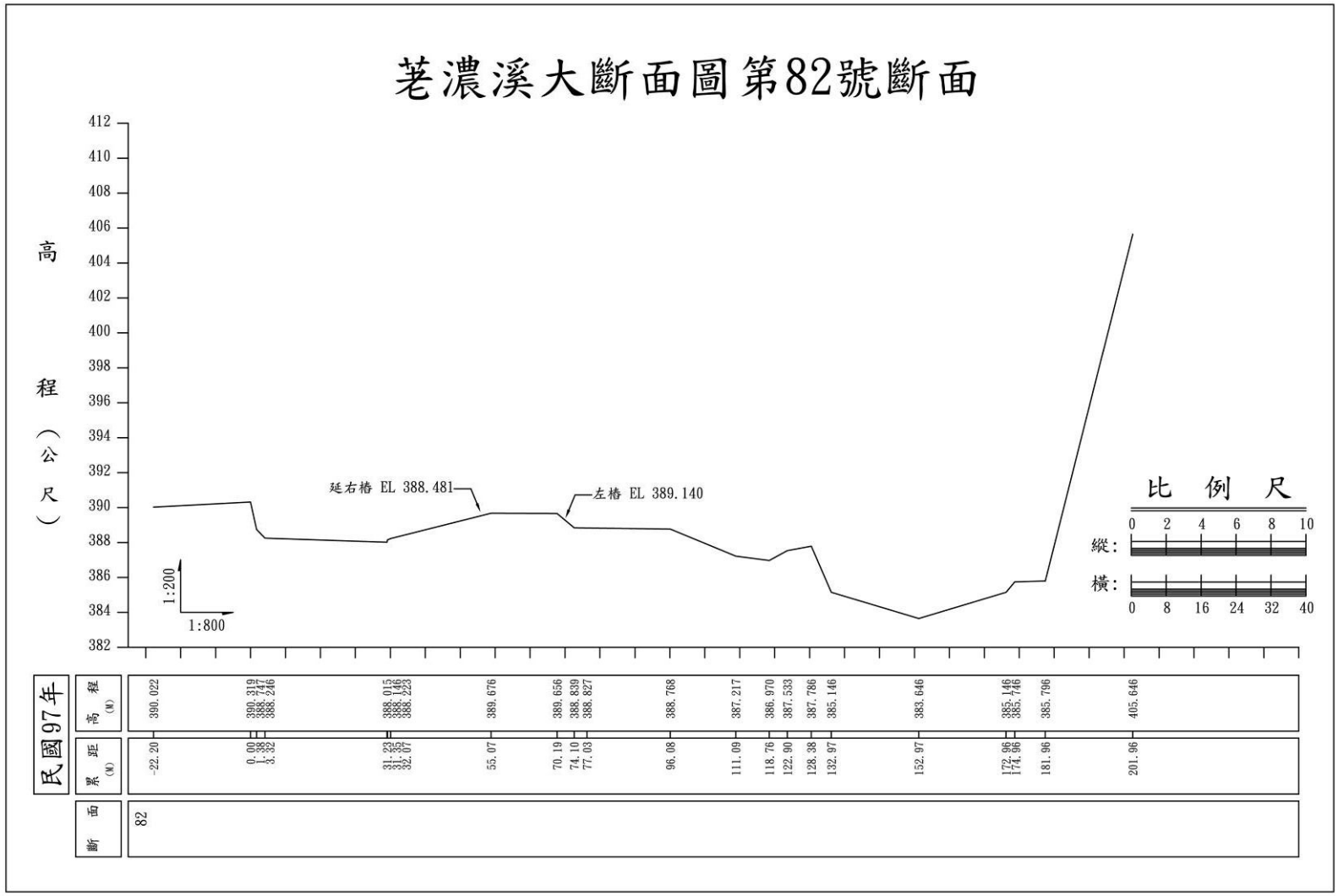


圖 6.12　台 20 線寶來二橋下游側民國 97 年橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

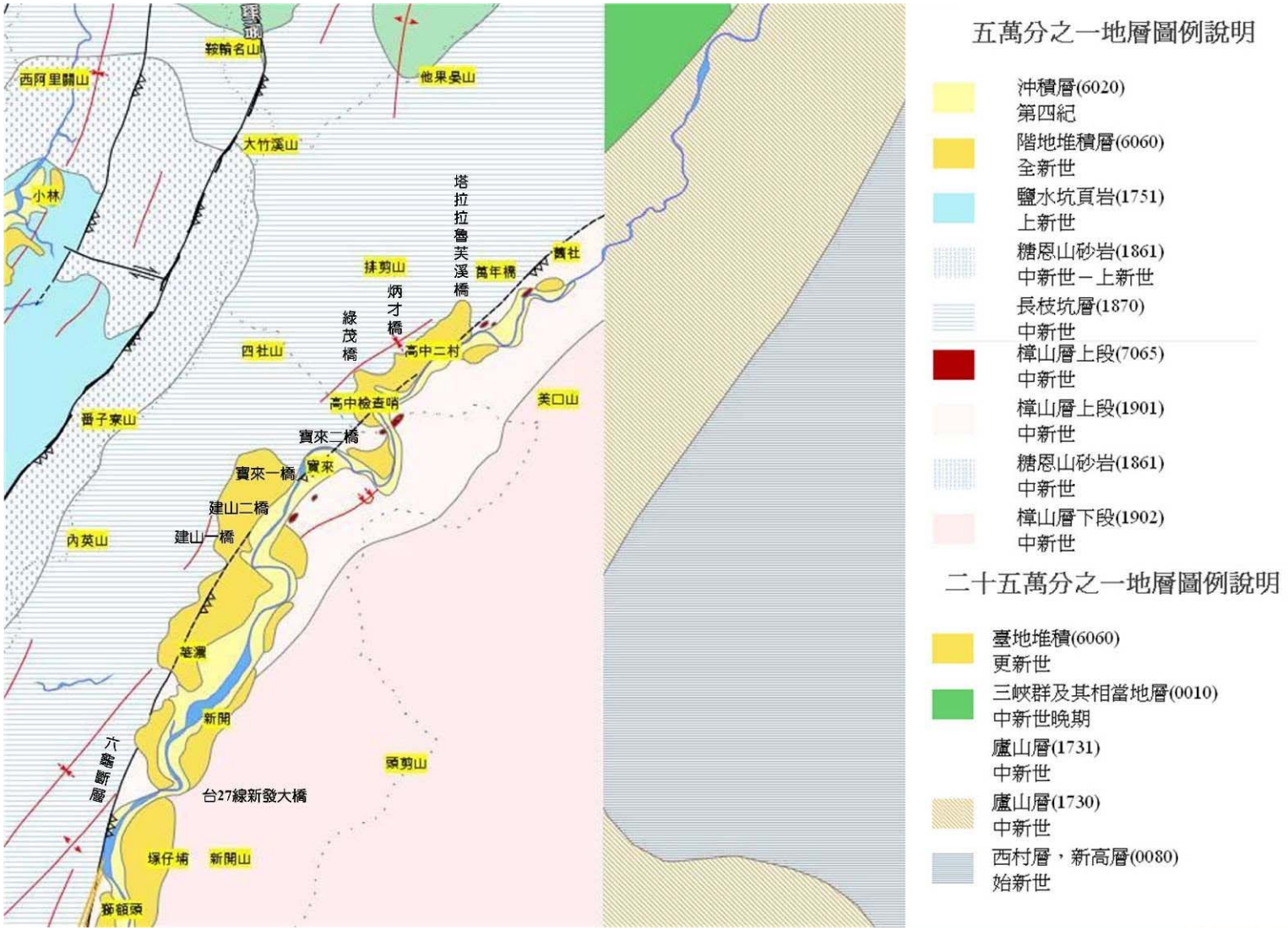


圖 6.13　台 20 線寶來二橋地質圖【資料來源：經濟部中央地質調查所】

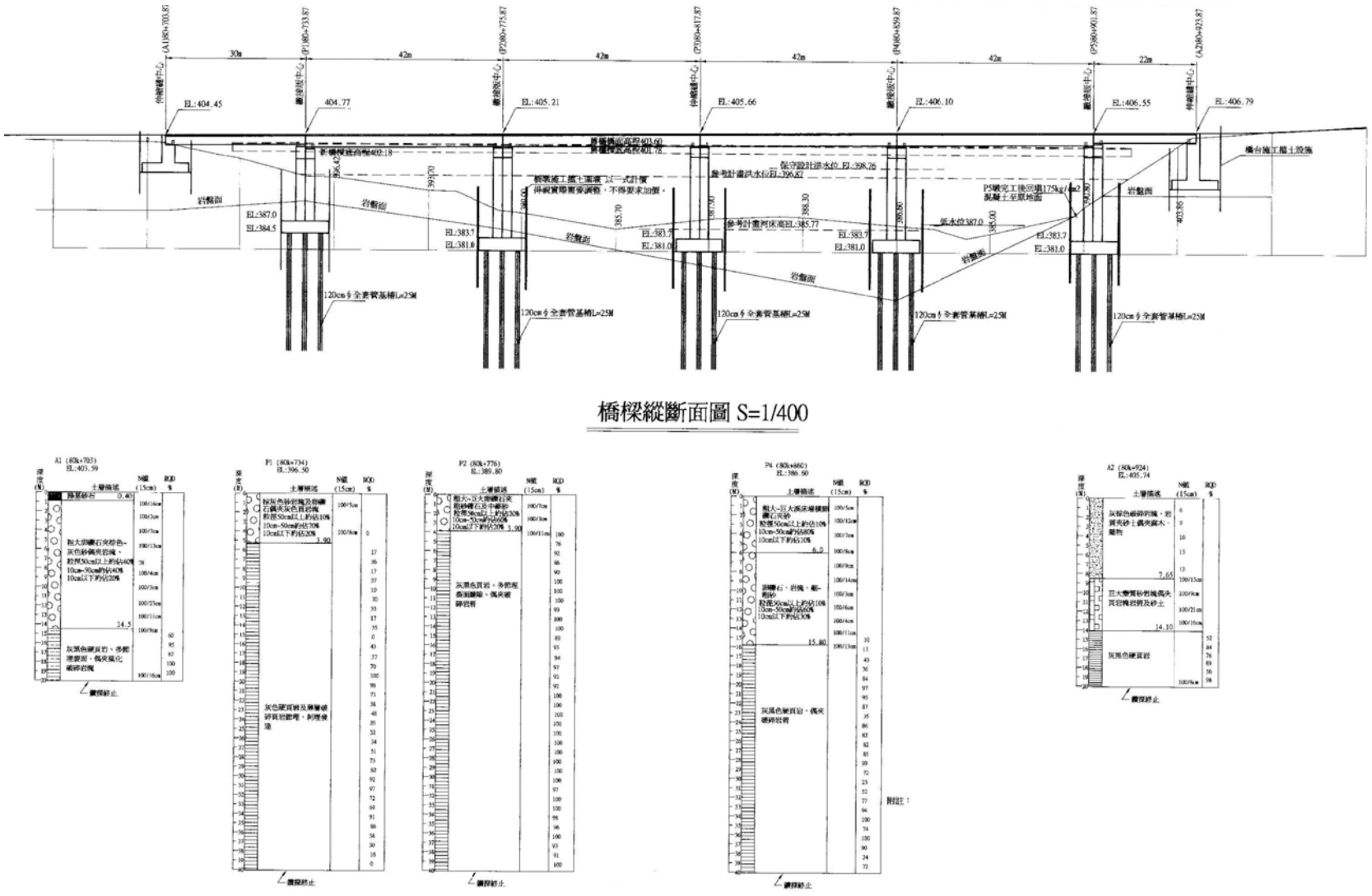


圖 6.14　台 20 線寶來二橋平面及地質鑽探圖【資料來源：第三區養護工程處】

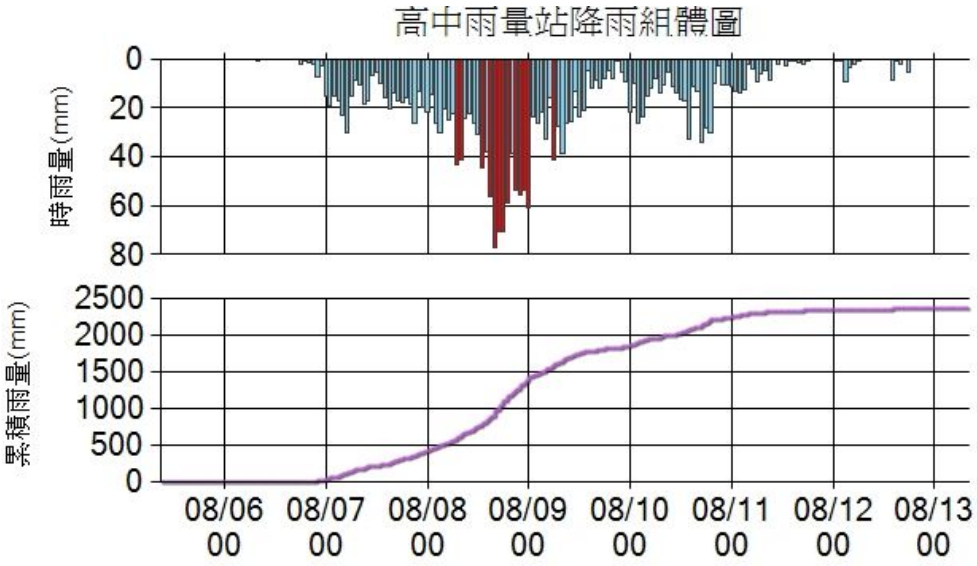


圖 6.15　高中雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 6-4　莫拉克颱風高中雨量站之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_高中暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：15年，資料僅供參考！)

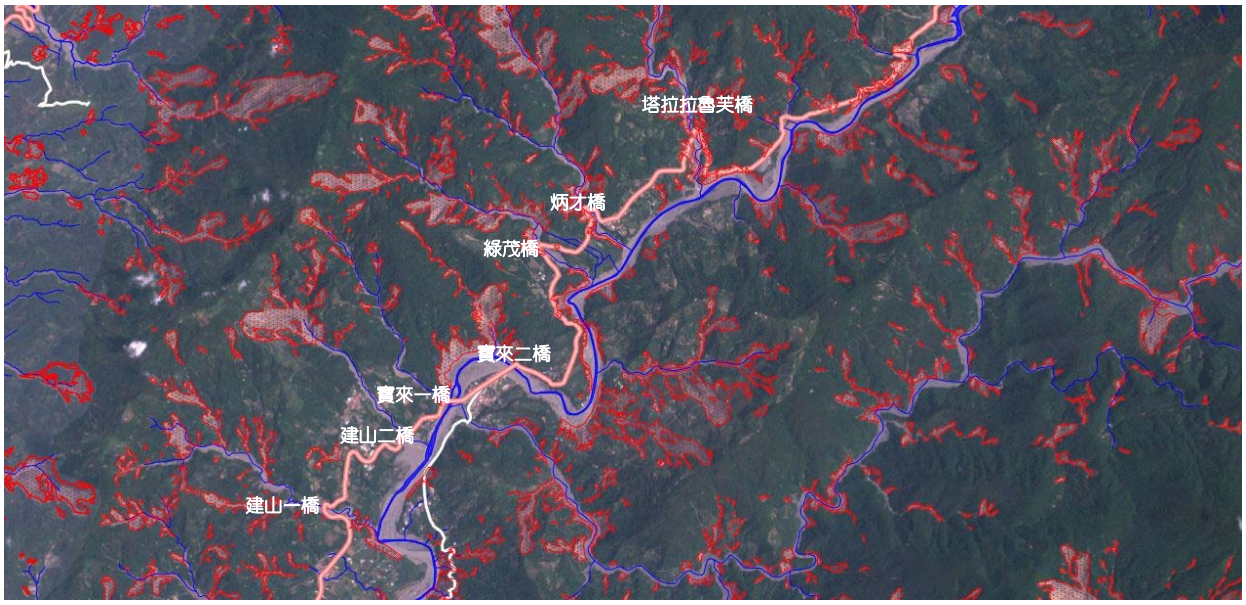
降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	45.3	67.6	86.7	108.9	116.8	144.2	176.5	214.9	0	<2	81.5	7.95
3	90.1	134.9	171.7	213.0	227.5	276.5	332.8	397.4	0	<2	219.5	21.34
6	138.6	207.1	260.3	317.4	336.8	401.0	471.6	549.7	1	<2	373.5	36.93
12	191.6	303.8	393.7	492.4	526.4	640.0	767.1	909.6	1.5	<2	678.5	61.86
24	273.8	432.2	540.6	645.3	678.6	781.4	883.5	985.5	2	<2	1029.5	>200
48	333.0	590.7	809.2	1057.7	1145.0	1441.7	1781.5	2170.0	-	-	1547	62.13
72	369.3	691.8	978.0	1313.9	1434.2	1850.6	2339.6	2912.3	-	-	1875.5	51.88

參考水利署雨量站：高中。(統計資料長度：27年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	52.5	73.5	89.3	105.1	110.2	126.3	142.6	159.1	0	<2	81.5	5.99
3	117.5	159.3	184.9	208.0	215.1	236.4	256.7	276.3	0	<2	219.5	27.56
6	191.0	252.0	284.4	311.4	319.3	342.1	362.7	381.7	1	<2	373.5	147.40
12	284.2	397.0	461.7	518.1	535.1	585.0	631.6	675.6	1.5	<2	678.5	>200
24	409.0	573.3	664.9	743.4	766.8	835.1	898.2	957.3	2	<2	1029.5	>200
48	527.5	803.3	976.8	1136.3	1185.7	1334.4	1477.8	1617.4	-	-	1547	140.76
72	573.0	912.9	1138.6	1352.2	1419.3	1624.1	1825.0	2023.2	-	-	1875.5	117.73

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】





相片 6.7　寶來二橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形【資料來源：中央地質調查所集水區與地質資料庫】

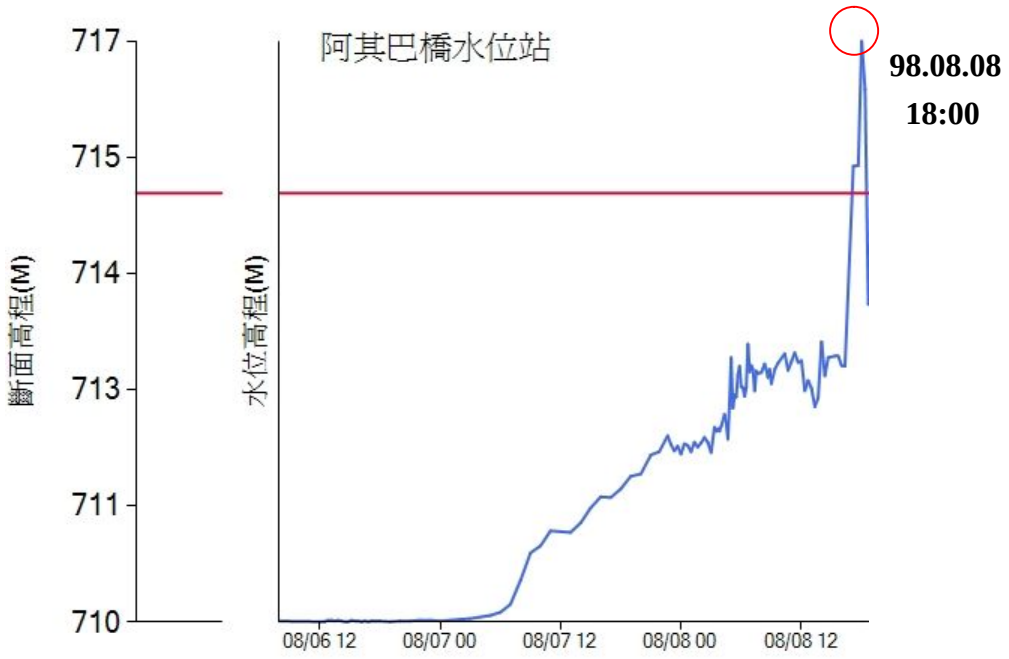


圖 6.16　　阿其巴橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

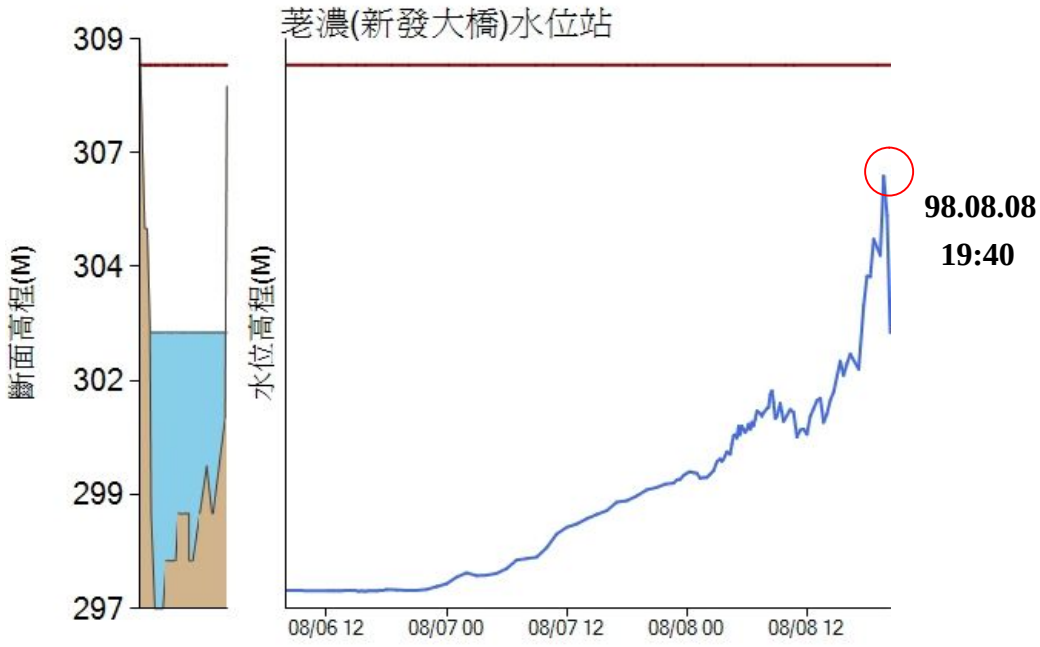


圖 6.17　　新發大橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 6.8　台 20 線寶來二橋於民國 96 年航拍之畫面

【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.9　台 20 線寶來二橋於民國 98 年莫拉克颱洪後航拍之畫面

【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.10　寶來二橋上游處之莫拉克颱洪前後比對



相片 6.11　寶來二橋於莫拉克颱洪前後河床高度比對



相片 6.12　寶來二橋於莫拉克颱洪前後比對

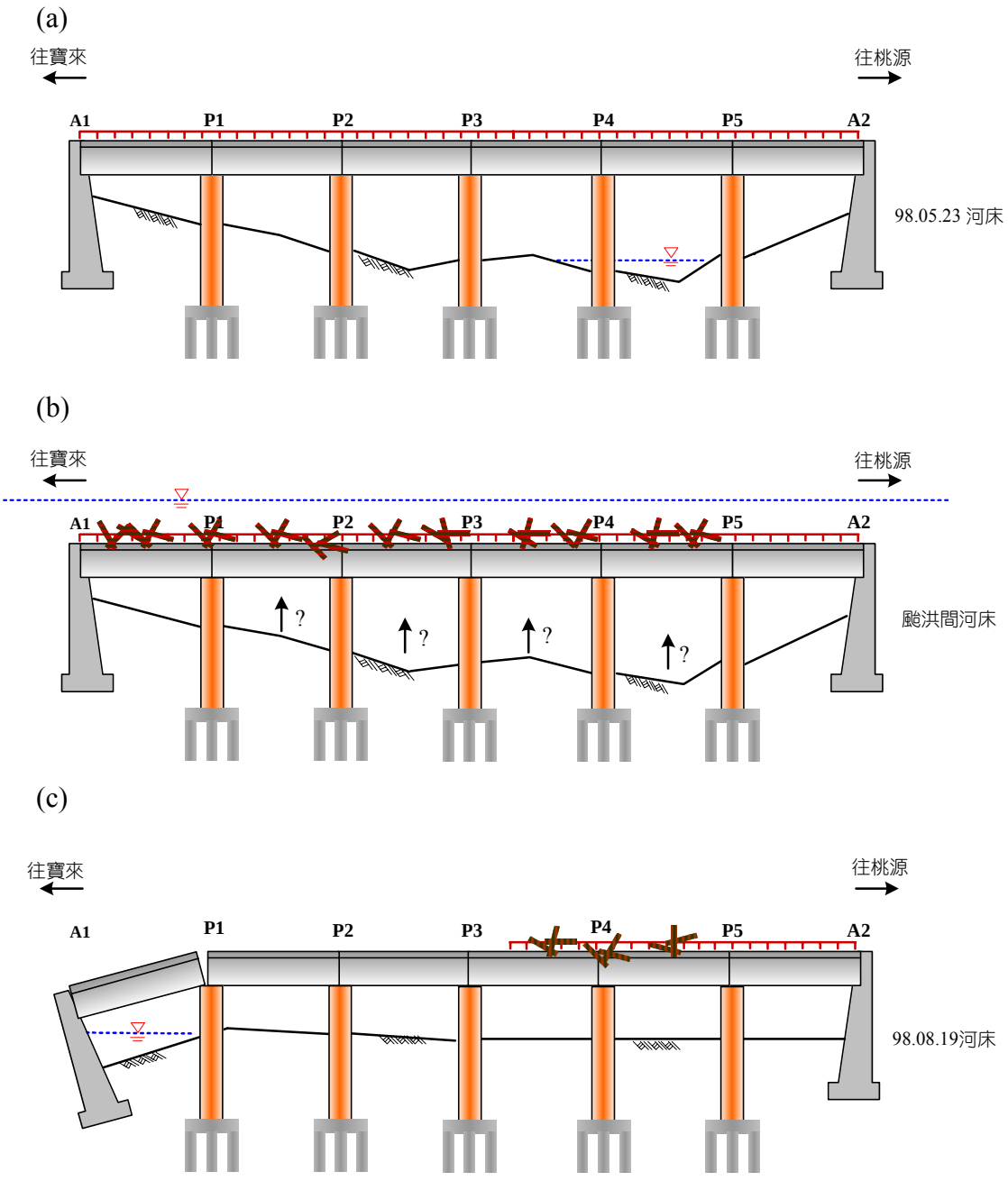
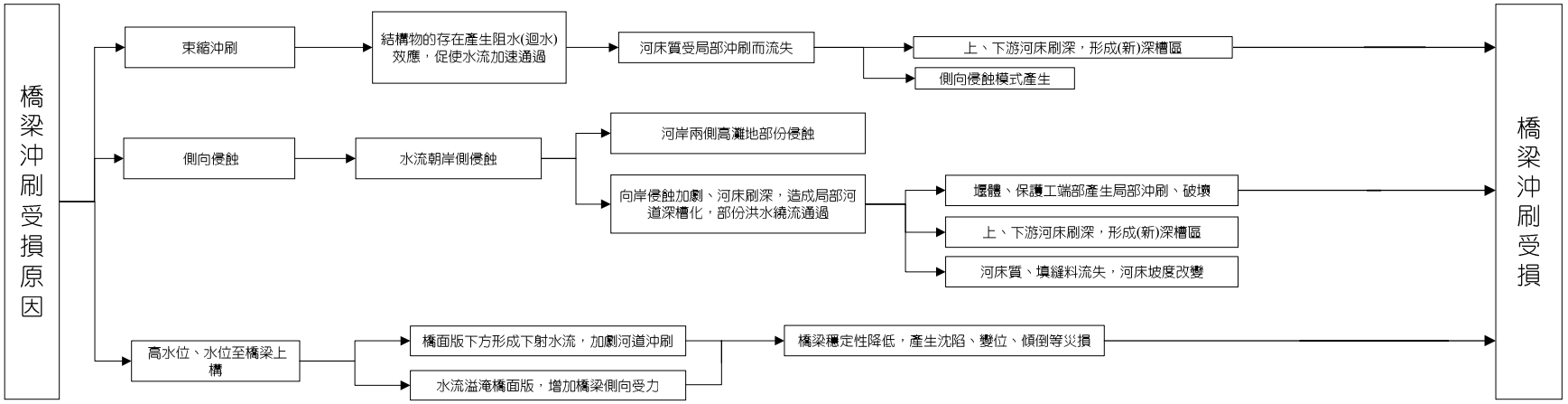


圖 6.18　　台 20 線寶來二橋橋台側向侵蝕示意圖

(a) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流程



(b) 堰塞湖影響之橋梁破壞流程

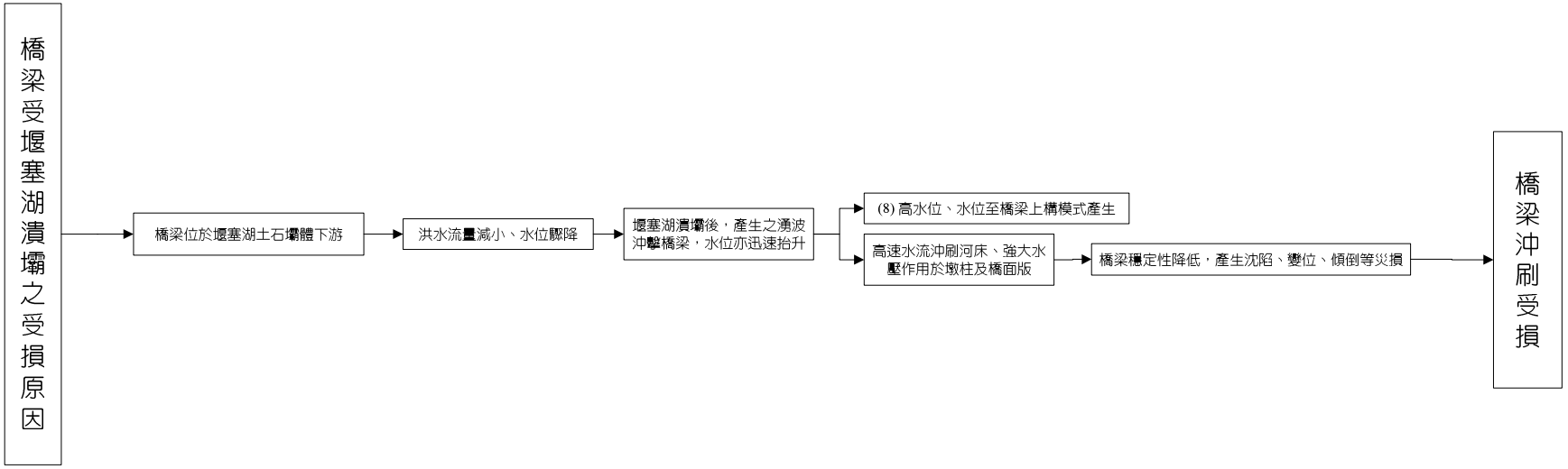
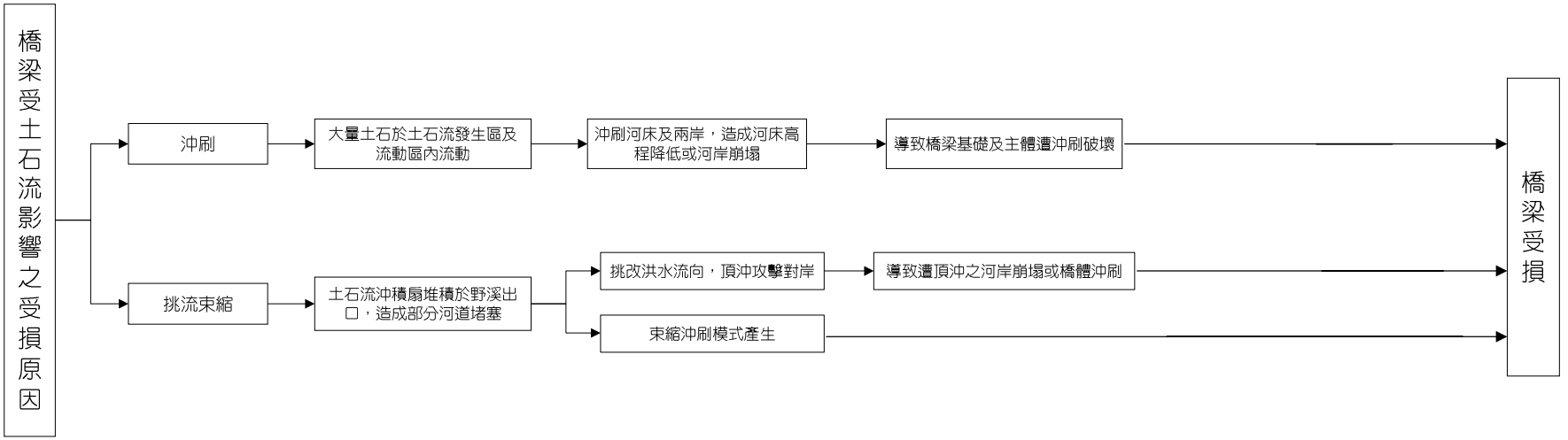


圖 6.19 寶來二橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

(c) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(d) 受漂流木影響之橋梁破壞流程

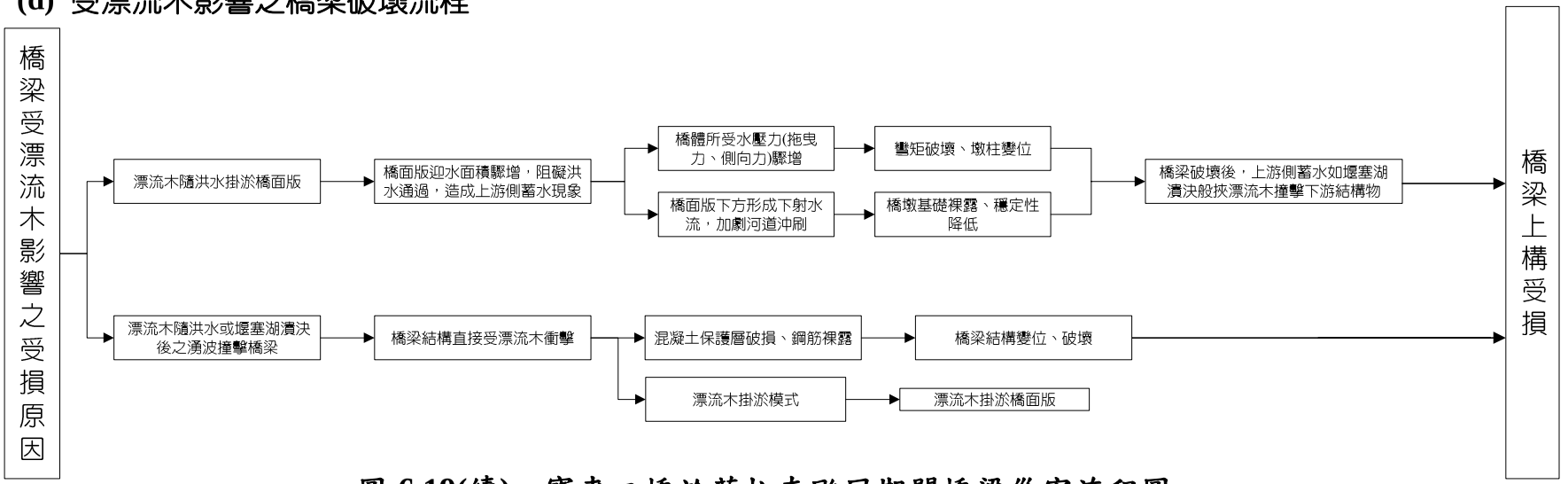


圖 6.19(續)　寶來二橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.3 台 20 線建山二橋

1. 基本資料

台 20 線建山二橋位於高雄縣六龜鄉，其橋頭里程數為 78 K+987，跨越荖滕溪，為聯絡甲仙及寶來之重要橋梁。建山二橋建於民國 59 年 6 月，並於民國 85 年 2 月進行改建，如圖 6.20~圖 6.22 改建工程縱橫斷面圖，原建山二橋橋長 35 m，將原橋 2 線道增寬為為 4 線道，新建右側橋長 40 m，橋梁改建後左側長為 35 m、右側長為 40 m 之單跨徑橋梁，橋面淨寬 9.2 m，詳如圖 6.32 所示。上部結構為梁式的預力混泥土橋梁，下部結構為半重力式橋台，橋台基礎為直接基礎及橫斷面圖，相關尺寸如圖 6.23 ~ 圖 6.36，台 20 線建山二橋橋梁基本資料及橋梁相關竣工圖說詳如表 6-5 所示。

根據民國 98 年「省道老舊受損橋梁緊急改建計畫」內容，本橋即列入急需改建之橋梁，橋梁改善內容即針對打鐵溪所可能產生之洪水及土石流作用，以加長橋梁跨距及提高梁底淨高之設計，來增加橋下河道之通水斷面，使具足夠空間通過洪水及土石流，其相關設計如圖 6.26 所示。新建之橋梁全長增為為 40 m，即橋孔長度增為 40 m 共 1 孔，其橋梁上部結構為 P.C 梁橋，墩柱型式為圓形單柱式墩柱，基礎為樁基礎，樁帽尺寸為 10 m × 7.0 m × 2.5 m，每座基礎由 6 根直徑 150 cm、長度 25 m 之全套管基樁組成，圖 6.30、圖 6.34 顯示。惟橋梁改建工程尚未施作，即於民國 98 年 8 月遭莫拉克颱洪之侵襲而損毀，且因莫拉克颱風後地形地貌變動太大，已由「省道老舊受損橋梁緊急改建計畫」內移除，另案辦理。

台 20 線建山二橋橋址處之地質分佈主要為階地堆積層，即地下 0.0 ~ 8.5 m 主要係由崩積層灰棕色岩塊層組成，8.5 ~ 13.5 m 為灰色頁岩層組成，地質條件屬較破碎之地層。台 20 線建山二橋橋址附近地質圖及鑽探資料詳如圖 6.37 ~ 圖 6.38 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

台 20 線建山二橋上游荖滕溪為土石流潛勢高警戒溪流，編號為

高縣 DF61，如圖 6.39 所示。本雨量站於 8 月 5 日～10 日間總累積降雨量，期中颱洪期間累積雨量高達 1,991.5 mm，幾乎超過該測站年平均降雨量的 2/3，顯示莫拉克颱風期間之降雨早超過過去臺灣之降雨記錄，根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」利用中央氣象局及水利署本身之雨量站，如圖 6.40 雨量站之降雨組體圖可知，本區最大降雨強度約發生於 8 月 8 日下午 4 點，降雨強度直逼 80 mm/hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，不論為連續 12 或 24 小時降雨延時之分析結果，採對數皮爾森三型分佈所進行的颱風暴雨量頻率分析結果可知，均超過 200 年重現期之降雨強度，分析結果如表 6-6 所示。

此外，根據相片 6.13 所示莫拉克颱風前後之衛星影像可知，建山二橋附近於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂、土石崩落於野溪或河道中，加上集水區內集中之降雨，致使超大豪雨挾帶大量土石流沿野溪流動，並堆積於荖藤溪之河道中。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查及比對颱洪前後之航照、路拍相片可知，建山二號橋恰位於荖藤溪一彎道下游處，即橋址上游之河道為一大彎道，水流過彎後直接往橋址方向流動之趨勢，如相片 6.14 所示，建山二橋災前之情形顯示於相片 6.15，可見橋孔仍有相當之通水斷面。於莫拉克颱洪期間，由於本區降雨強度過大，致使山區邊坡崩塌於河道中，產生土石流向下游建山二橋沖擊，造成橋梁受損之災害。颱洪間大量土石流從上游往下游運移，荖藤溪河道從上游至下游遭土石流嚴重沖刷，致使河寬大幅增加之情形，如相片 6.16 所示。比對受災前後之航照，上游至下游河道沖刷嚴重，下游與荖濃溪匯流處形成一大片沖積扇，如相片 6.17 所示。另外，大量崩落之土石流往橋址處移動，並大量堆積造成橋孔堵塞、河道通水斷面嚴重不足土石流所挾帶下的土石溢淹過建山二橋整個橫斷面，衝入流路周邊之淤埋道路在建山二橋附近堆積，更有大量土石堆積在公路上，詳細相關受災擬似動態流程示意圖，如圖 6.41 所示。土石流強大之沖擊

力，隨即越過橋面往橋梁位置，造成 A1、A2 橋台附近橋面版遭撞擊及推移，橋面版位移斷裂崩落於河道中、橋台損壞等，橋面版及橋台遭土石流流失等嚴重災情。隨後，土石流越過橋台兩旁並台 20 線公路方向流動，致使建山二橋之引道流失。此外，因橋梁及河道淨寬不足，大量之土石亦造成嚴重的側岸沖刷，橋址附近之路堤基礎遭沖刷損壞，河道兩岸遭土石流沖刷，致使河寬大幅增加，原橋長度不及沖刷後之河寬，導致建山二橋橋台及橋面版流失之嚴重災情，如相片 6.18 所示。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大：

莫拉克颱洪期間，本區降雨強度已超過 200 年重現期之雨量，豪大雨直接落於南部山區，加上本區山坡土體岩塊破碎，造成山區邊坡土石崩落並堆積於野溪、河道中。

(2)土石流災害：

老滕溪上游所崩坍及堆積之土石，因颱洪期間之降雨而產生土石流而下，挾帶大量土石往橋址方向運移，堆積之土石嚴重堵塞橋孔，造成土石直接撞擊大梁及橋台，土石流繞過橋台往台 20 線道路運移，且土石流之強烈沖刷力，致使河道兩岸遭受嚴重側向侵蝕，河寬大幅增加，導致橋台及橋面版損壞流失，下游兩岸側向沖刷、道路下邊坡之檔土牆破壞等災害。

(3)橋梁通水斷面不足：

建山二橋屬單跨之橋梁，橋寬明顯不足，且橋下淨高亦無法讓土石流順暢通過，，雖已列入改建橋梁並重新規劃設計中，惟尚未完成改建，故造成嚴重受損。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 6.42 所示。

表 6-5　橋梁基本資料表之建山二橋

橋梁名稱	建山二橋	橋梁編號	0200-057	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 20 線
橋頭里程	78 K+987M	橋尾里程	K + M	竣工年月	59 年 6 月	最近維修年月	85 年 12 月
造價	0	合約編號	0	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	甲仙工務段	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	荖藤溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	35M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	9.2M	最小淨寬	9.2M	橋版投影面積	322M^2		
總車道數	2	總橋孔數	1	最大跨距	35M		
跨距分配	35@1						
最高橋墩高度	不詳 M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	11.7M		
橋頭 GPS 經度	120.6816	橋頭 GPS 緯度	23.1046	橋尾 GPS 經度	120.682	橋尾 GPS 緯度	23.1048
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	搖軸支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	無	橋墩型式	無	橋墩基礎型式	無	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.8M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-06-09
備　註							

【資料來源：公路總局第三區工程處】

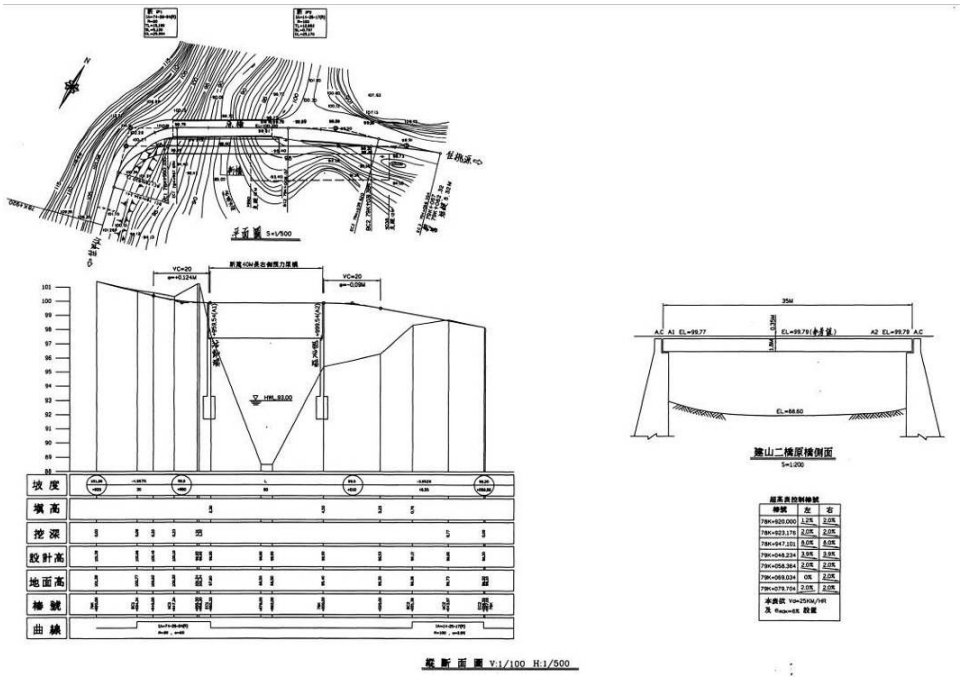


圖 6.20　86 年台 20 線建山二橋改建工程之平縱斷面圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

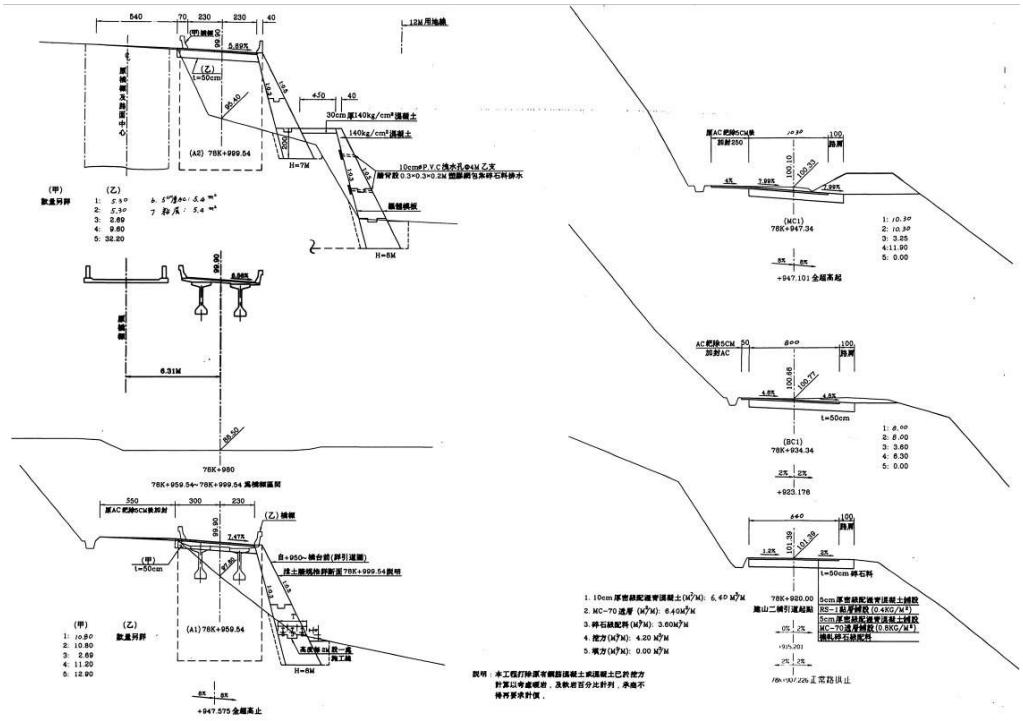


圖 6.21　86 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（一）

【資料來源：公路局第三區工程處】

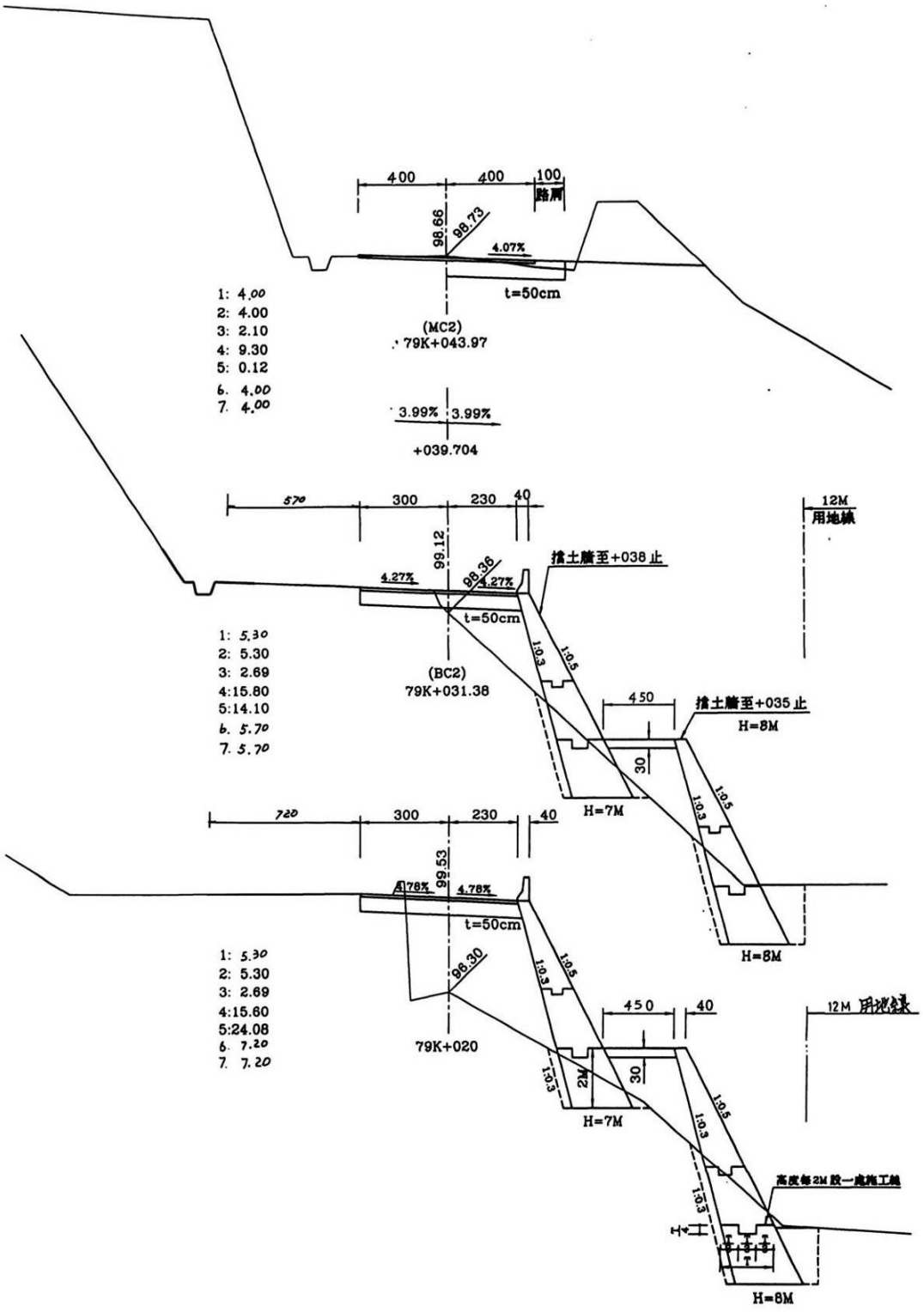


圖 6.22　86 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（二）

【資料來源：公路局第三區工程處】

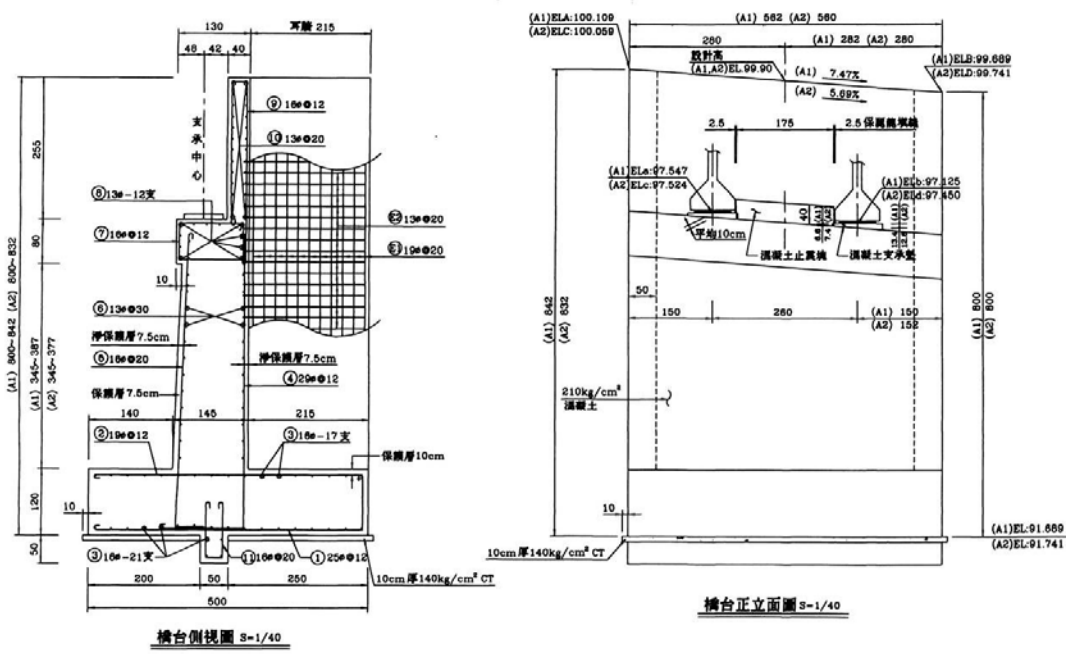


圖 6.23　86 年台 20 線建山二橋改建工程之橋台詳圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

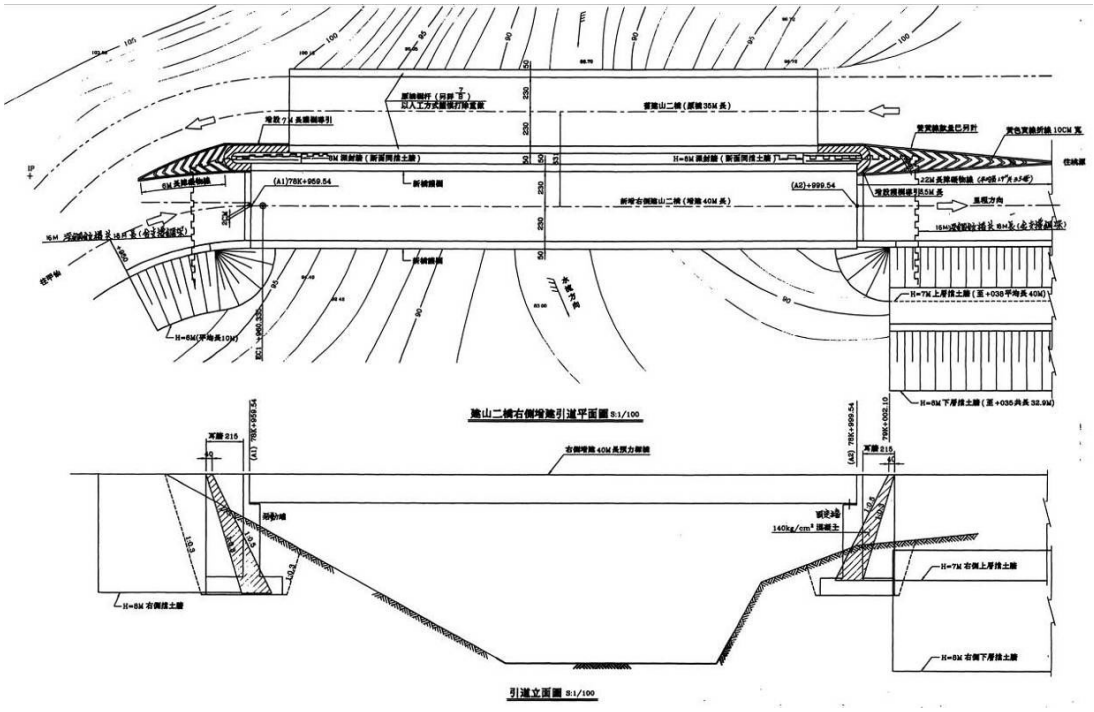


圖 6.24　86 年台 20 線建山二橋改建工程之引道詳圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

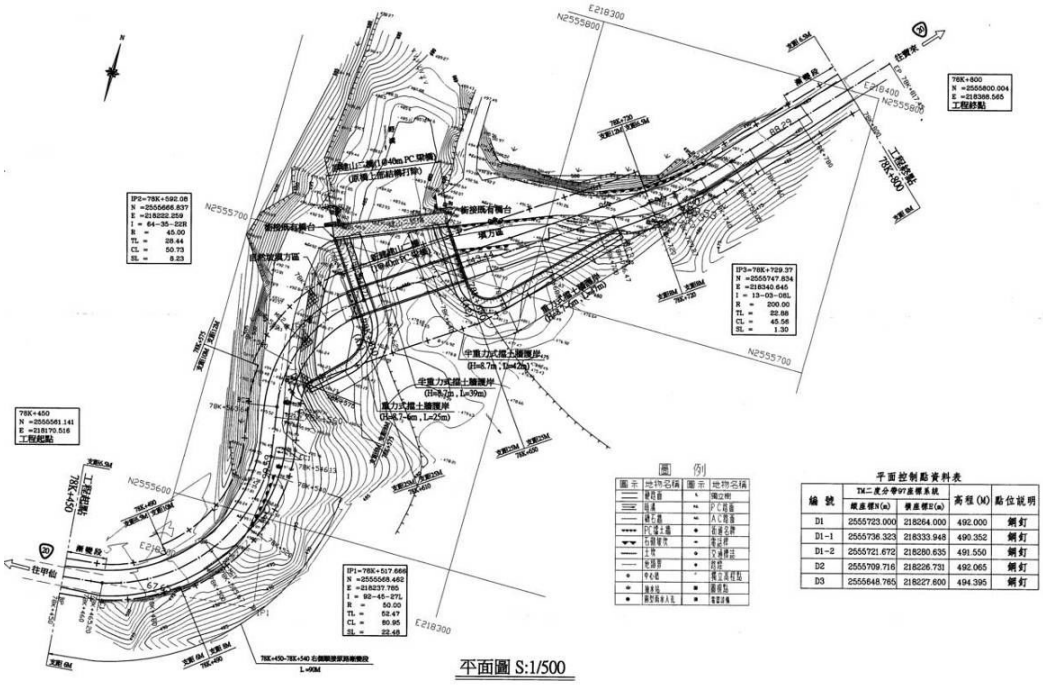


圖 6.25　98 年台 20 線建山二橋改建工程之平面圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

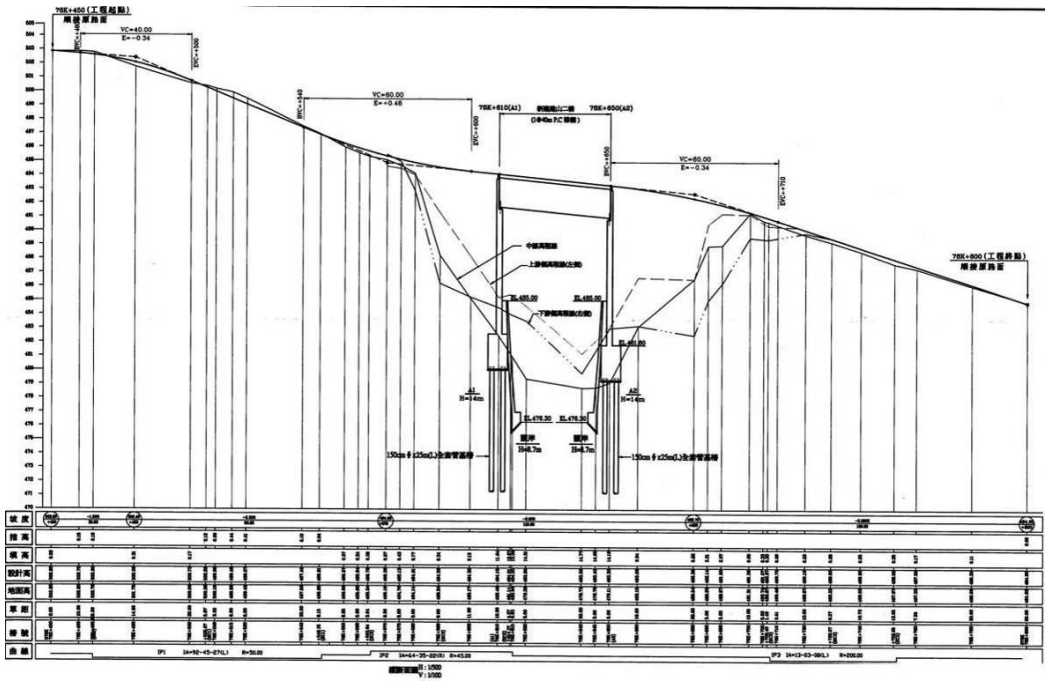


圖 6.26　98 年台 20 線建山二橋改建工程之縱斷圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

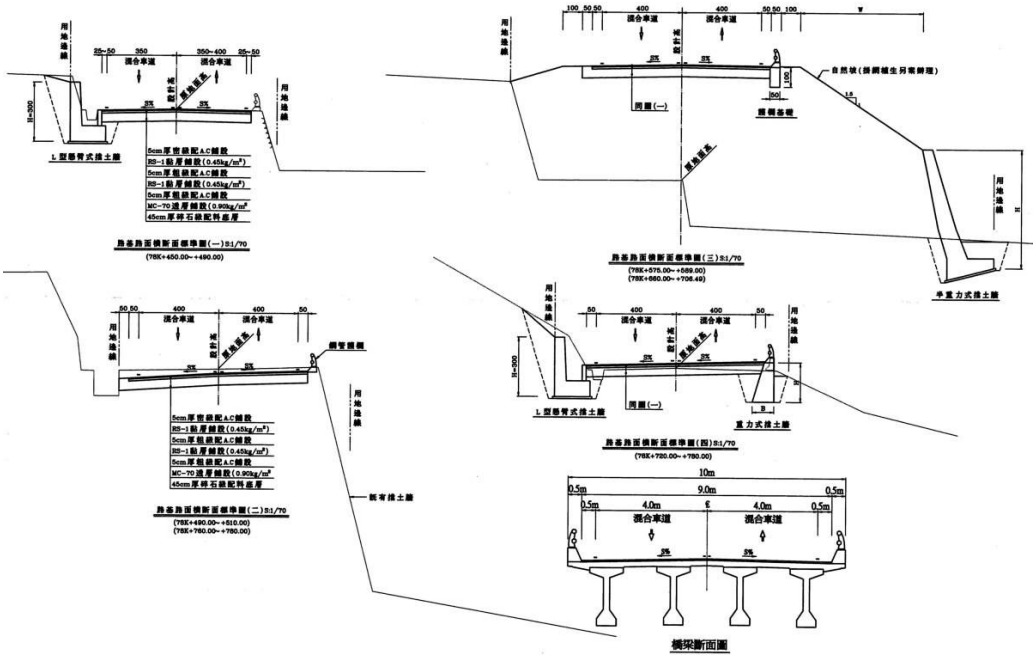


圖 6.27　98 年台 20 線建山二橋改建工程之引道橫斷面標準圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

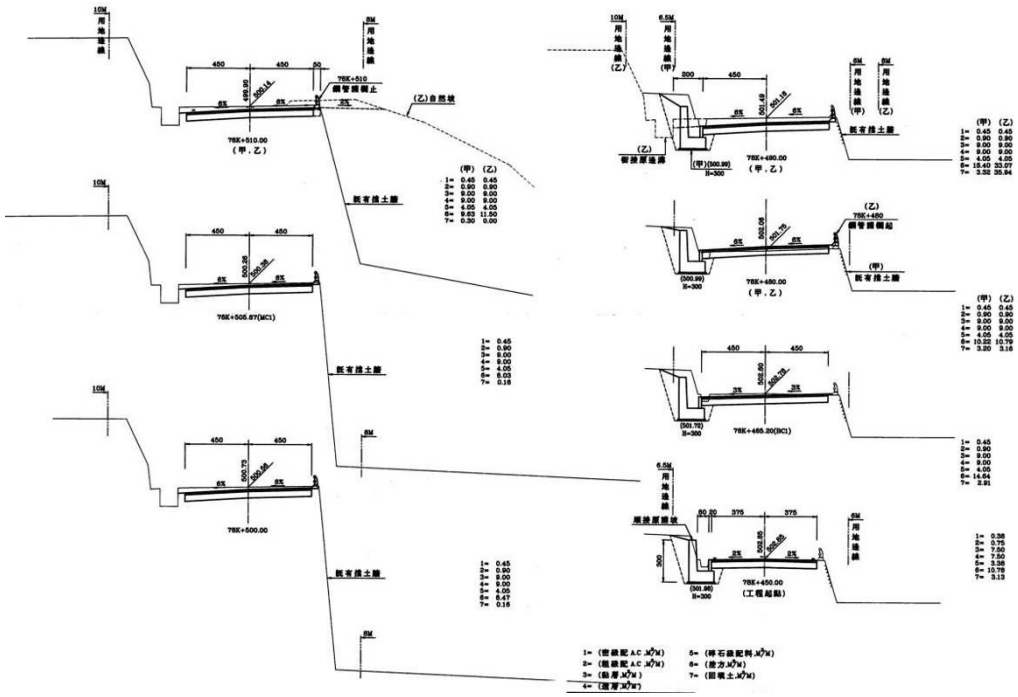


圖 6.28　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（一）

【資料來源：公路局第三區工程處】

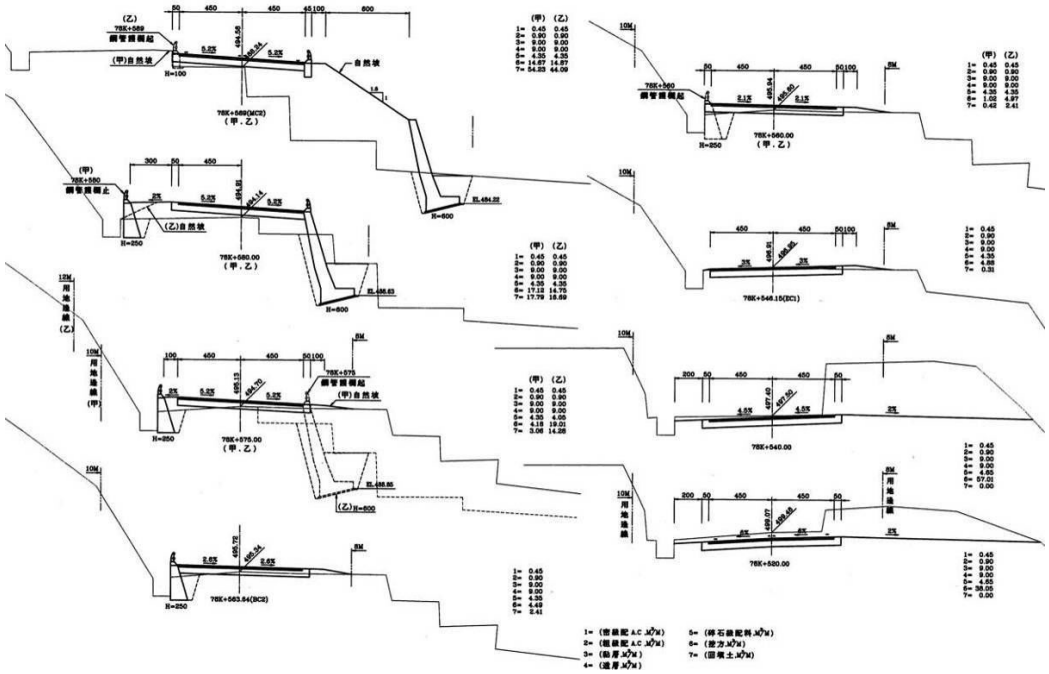


圖 6.29　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（二）

【資料來源：公路局第三區工程處】

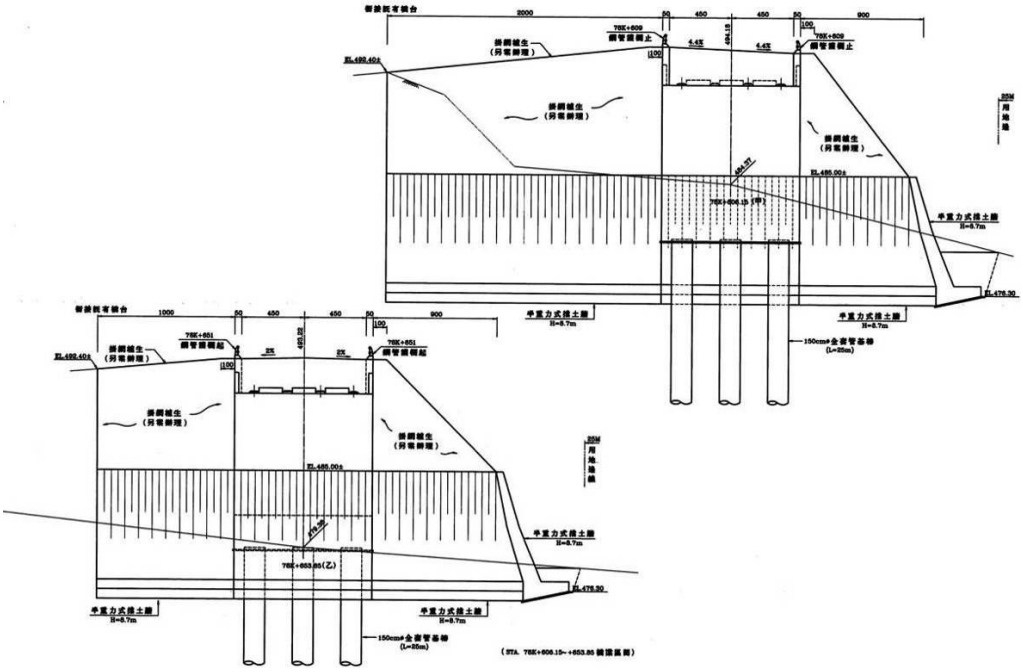


圖 6.30　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（三）

【資料來源：公路局第三區工程處】

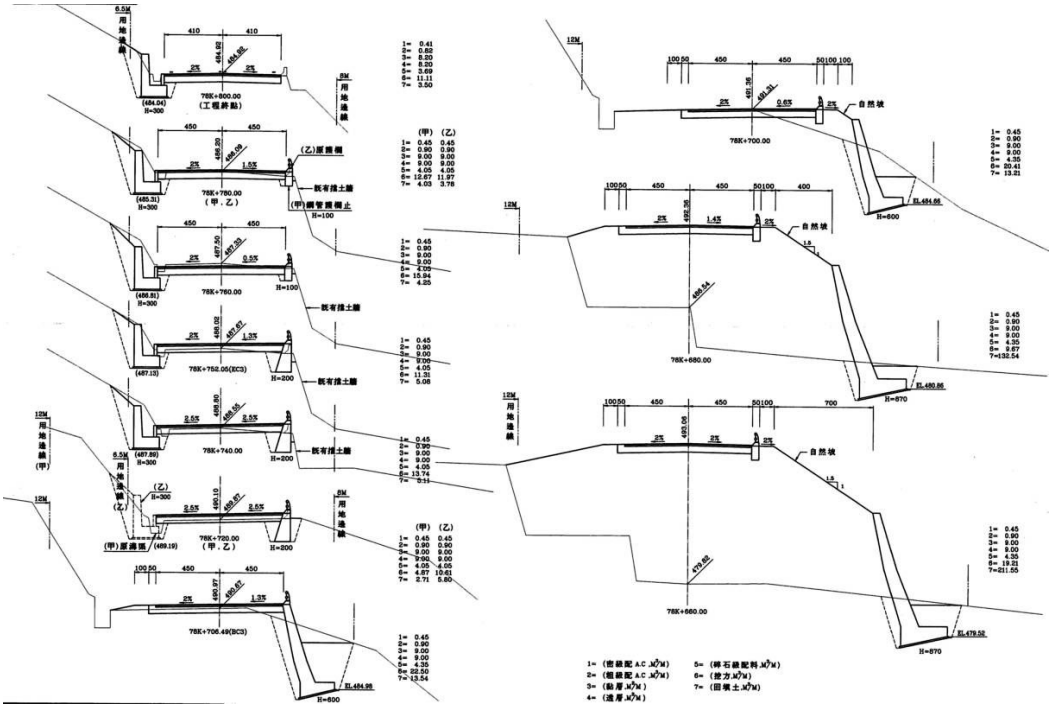


圖 6.31　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橫斷面圖（四）

【資料來源：公路局第三區工程處】

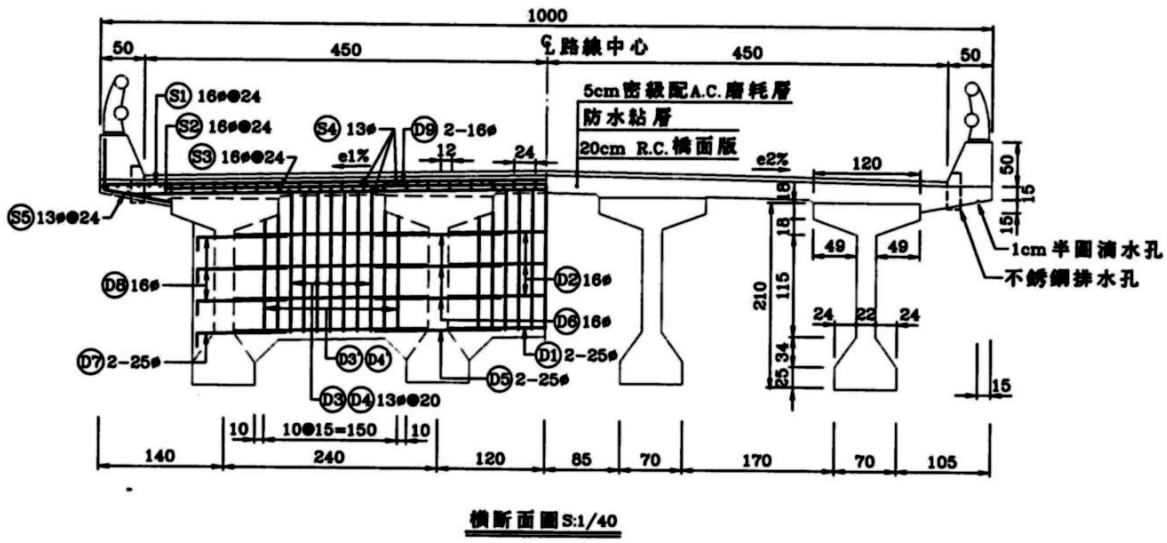


圖 6.32　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橋面版橫斷面圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

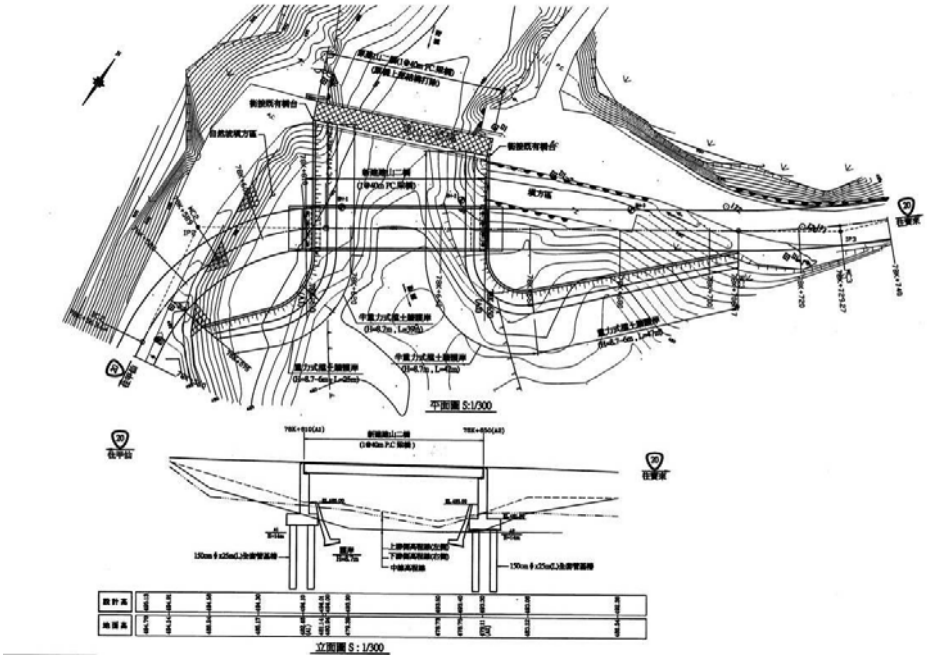


圖 6.33　98 年台 20 線建山二橋改建工程之橋梁平立面圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

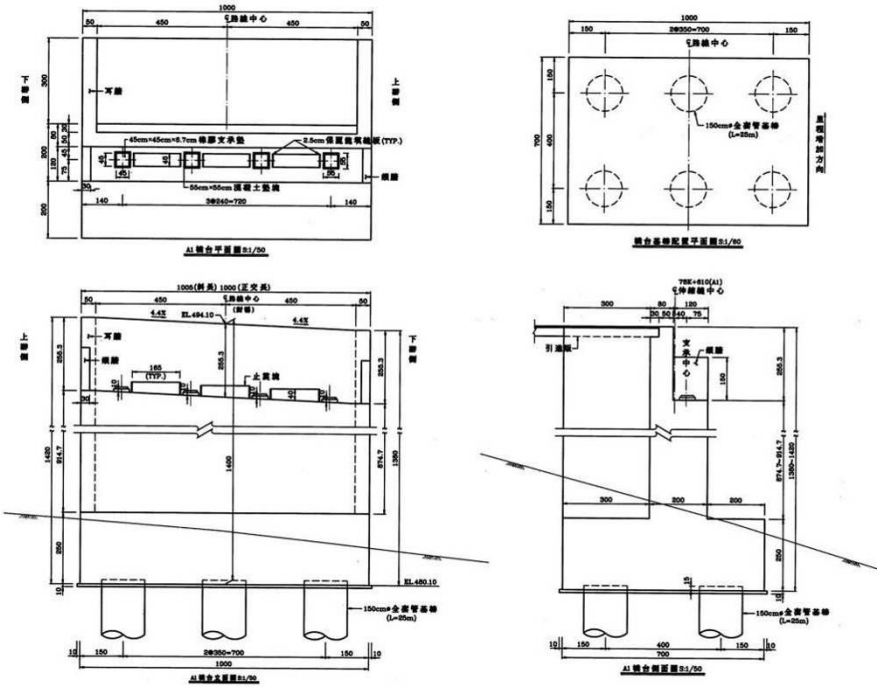


圖 6.34　98 年台 20 線建山二橋改建工程之 A1 橋台平立面圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

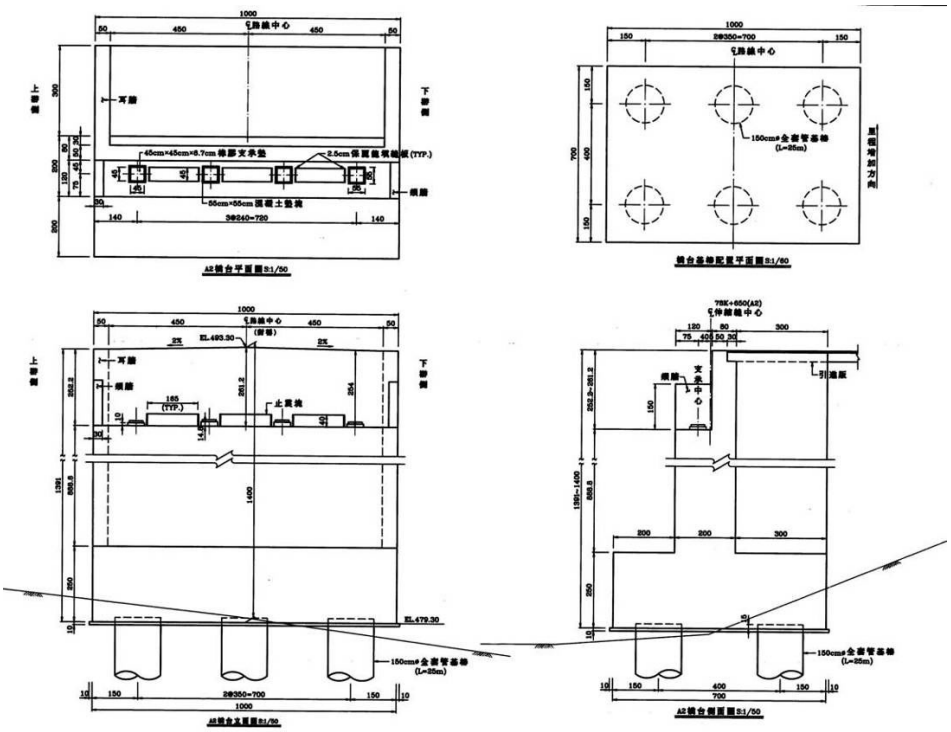


圖 6.35　98 年台 20 線建山二橋改建工程之 A2 橋台平立面圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

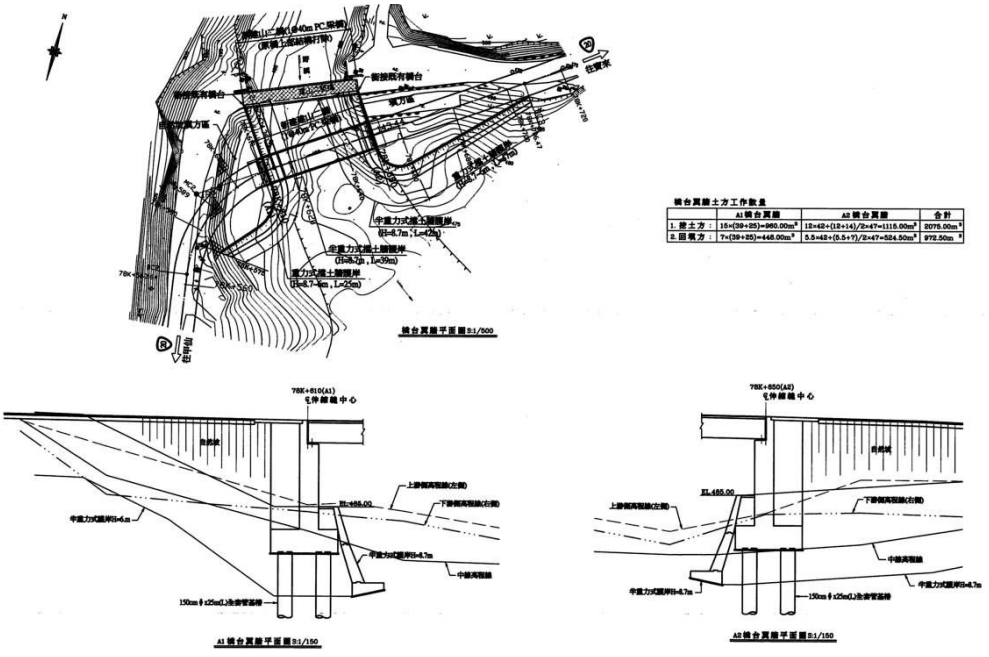


圖 6.36　98 年台 20 線建山二橋改建工程之翼牆詳圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

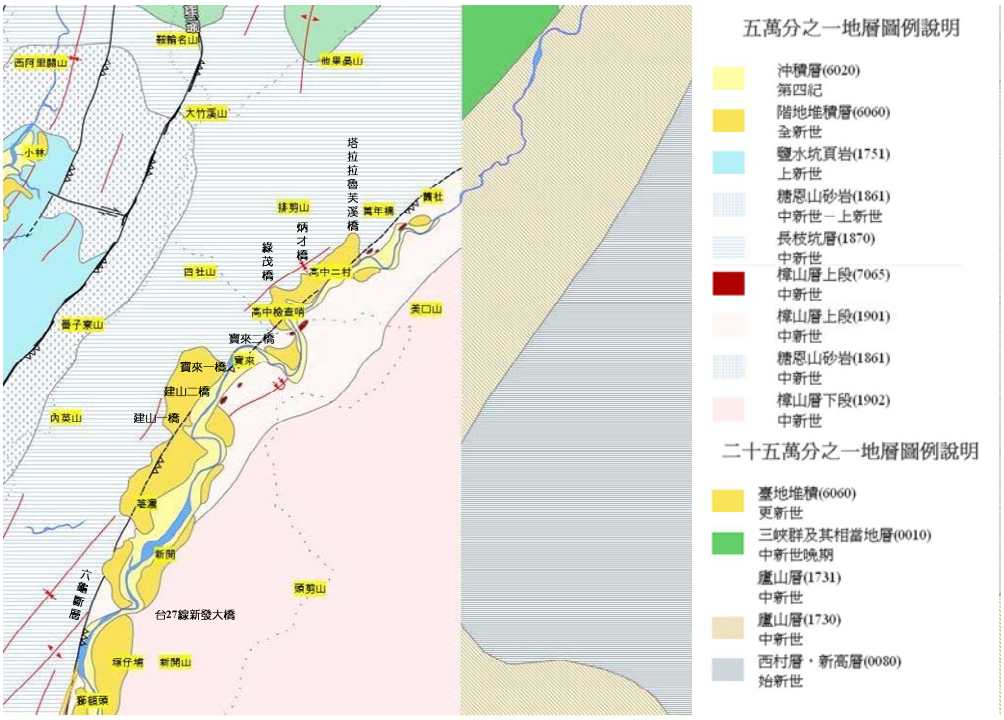


圖 6.37　　台 20 線建山二橋橋址附近地質分佈圖

【資料來源：中央地質調查所】

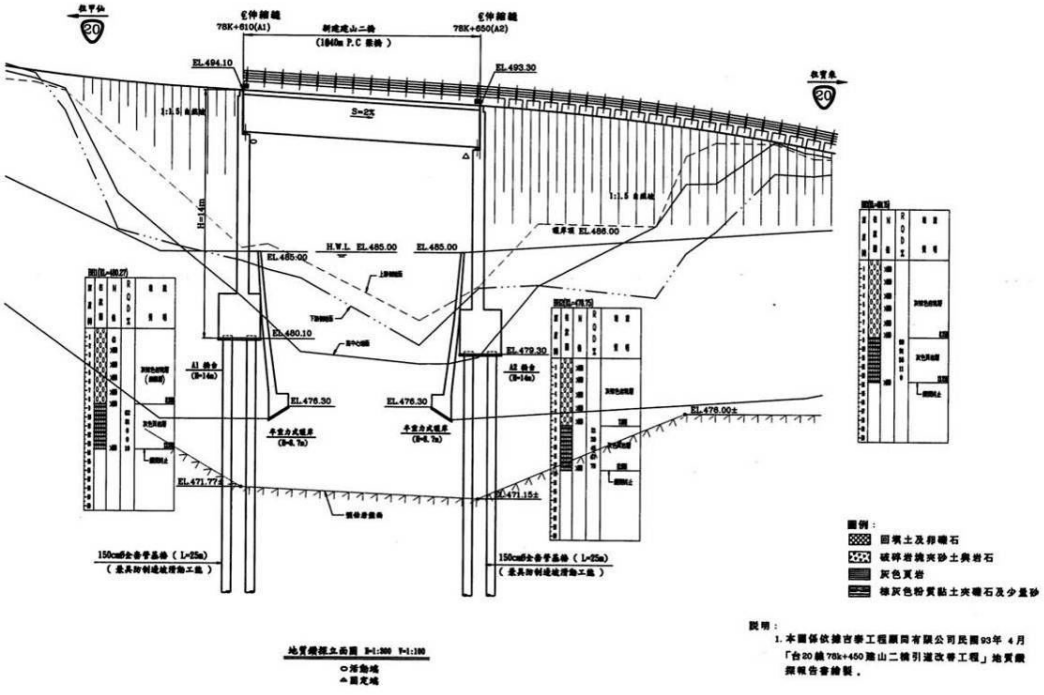


圖 6.38　　98 年台 20 線建山二橋改建工程之地質鑽探住狀圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

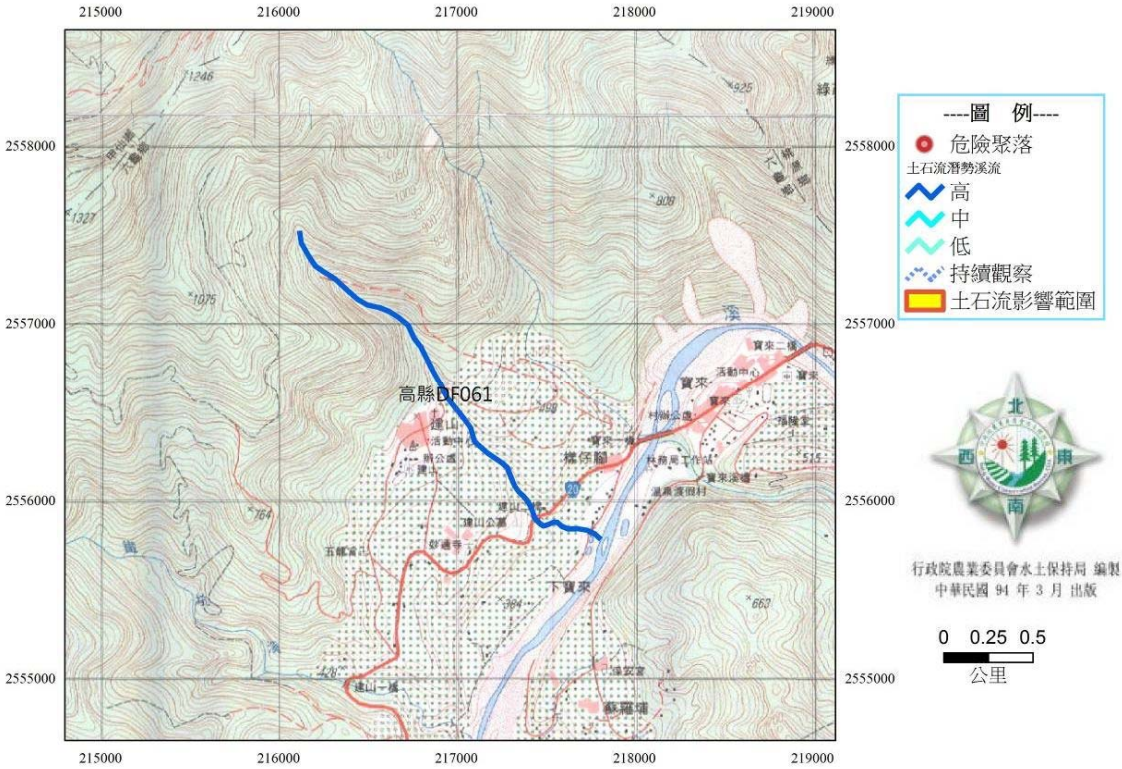


圖 6.39　　台 20 線建山二橋為土石流警戒溪流高縣 DF061

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

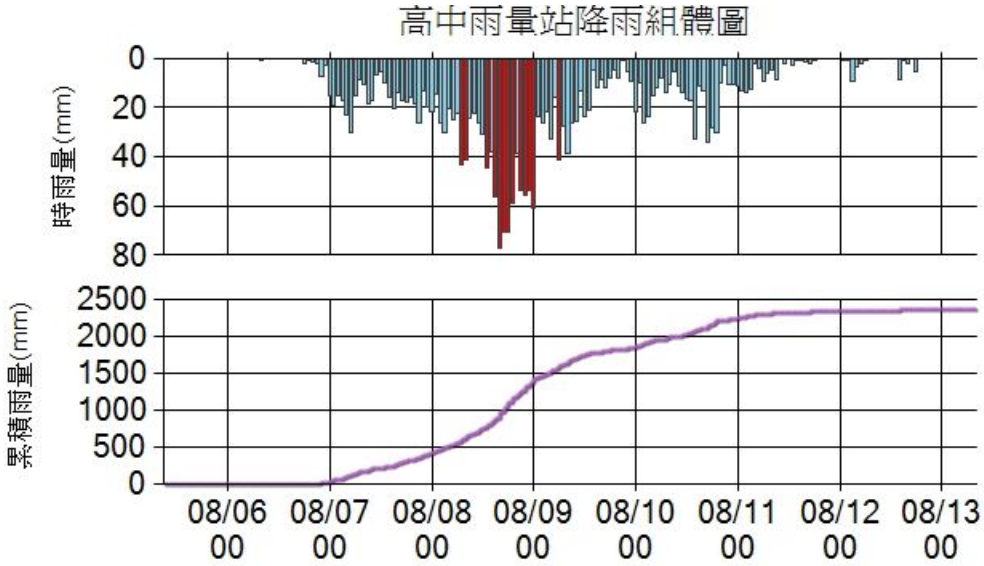


圖 6.40　　高中雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 6-6　莫拉克颱風高中雨量站之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_高中暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

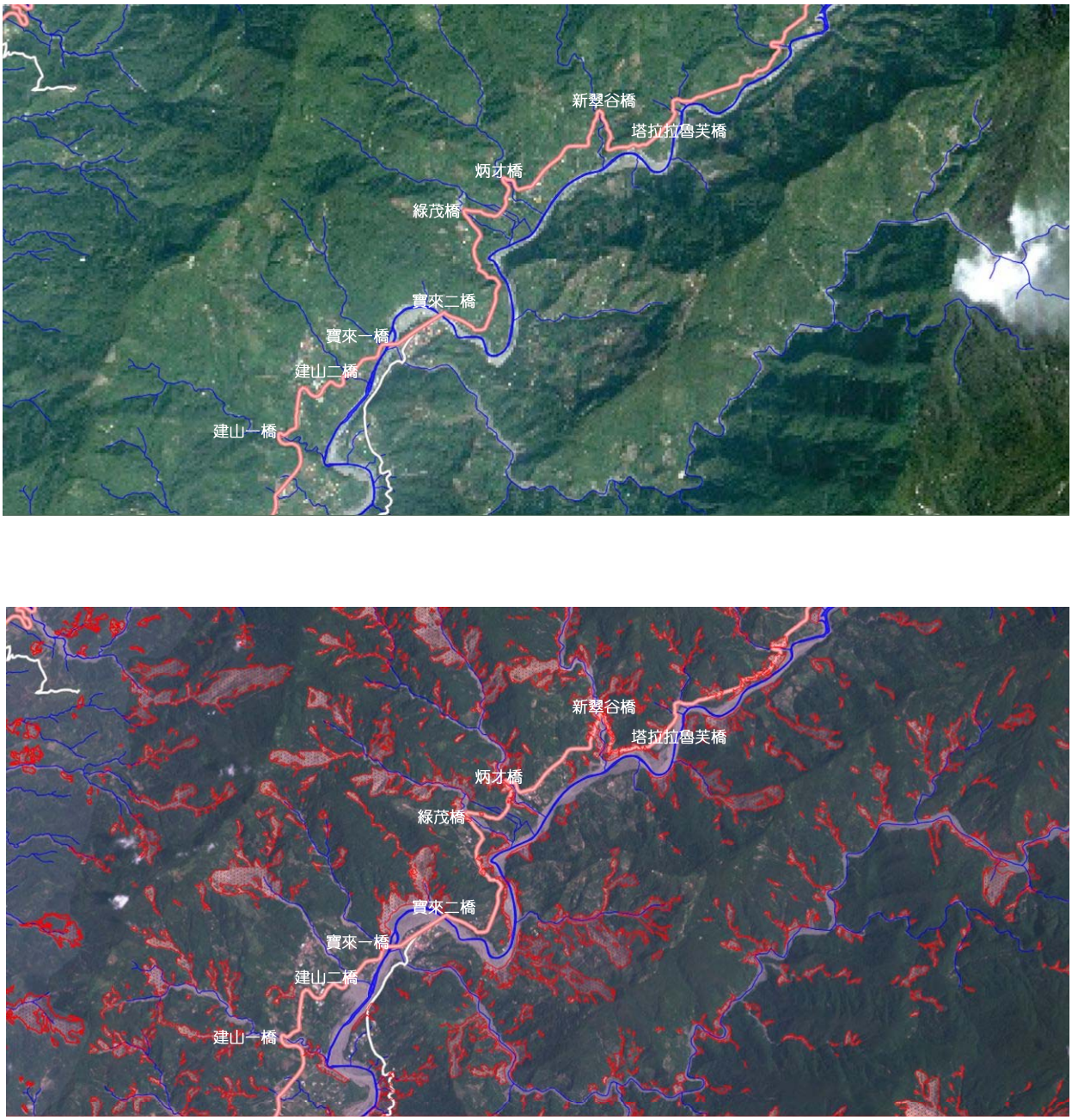
氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：15年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	45.3	67.6	86.7	108.9	116.8	144.2	176.5	214.9	0	<2	81.5	7.95
3	90.1	134.9	171.7	213.0	227.5	276.5	332.8	397.4	0	<2	219.5	21.34
6	138.6	207.1	260.3	317.4	336.8	401.0	471.6	549.7	1	<2	373.5	36.93
12	191.6	303.8	393.7	492.4	526.4	640.0	767.1	909.6	1.5	<2	678.5	61.86
24	273.8	432.2	540.6	645.3	678.6	781.4	883.5	985.5	2	<2	1029.5	>200
48	333.0	590.7	809.2	1057.7	1145.0	1441.7	1781.5	2170.0	-	-	1547	62.13
72	369.3	691.8	978.0	1313.9	1434.2	1850.6	2339.6	2912.3	-	-	1875.5	51.88

參考水利署雨量站：高中。(統計資料長度：27年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	52.5	73.5	89.3	105.1	110.2	126.3	142.6	159.1	0	<2	81.5	5.99
3	117.5	159.3	184.9	208.0	215.1	236.4	256.7	276.3	0	<2	219.5	27.56
6	191.0	252.0	284.4	311.4	319.3	342.1	362.7	381.7	1	<2	373.5	147.40
12	284.2	397.0	461.7	518.1	535.1	585.0	631.6	675.6	1.5	<2	678.5	>200
24	409.0	573.3	664.9	743.4	766.8	835.1	898.2	957.3	2	<2	1029.5	>200
48	527.5	803.3	976.8	1136.3	1185.7	1334.4	1477.8	1617.4	-	-	1547	140.76
72	573.0	912.9	1138.6	1352.2	1419.3	1624.1	1825.0	2023.2	-	-	1875.5	117.73

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 6.13　建山二號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】



相片 6.14　台 20 線建山二橋莫拉克颱洪前週邊環境之情形(民國 96 年 1 月拍攝)【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.15　台 20 線建山二橋於莫拉克颱洪前之情形(由右岸下游側往橋址拍)



相片 6.16　台 20 線建山二橋莫拉克颱洪後上游野溪遭土石流沖刷，河面寬度變及橋梁被沖毀(民國 98 年 8 月拍攝)【資料來源：農林航空測量所】

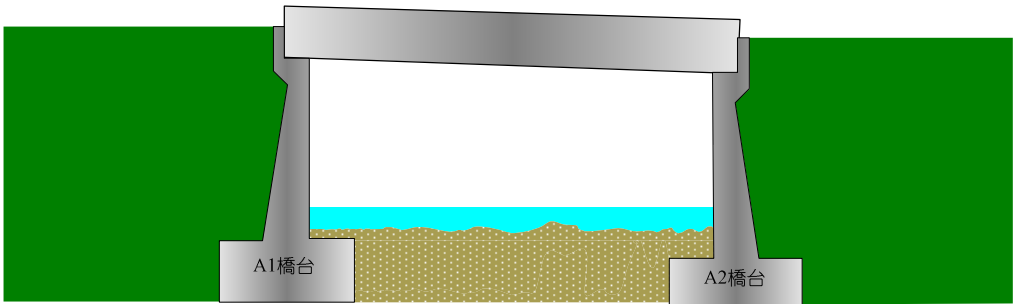


相片 6.17　台 20 線建山二橋莫拉克颱洪後遭土石流沖毀，下游處形成一大片的沖積扇

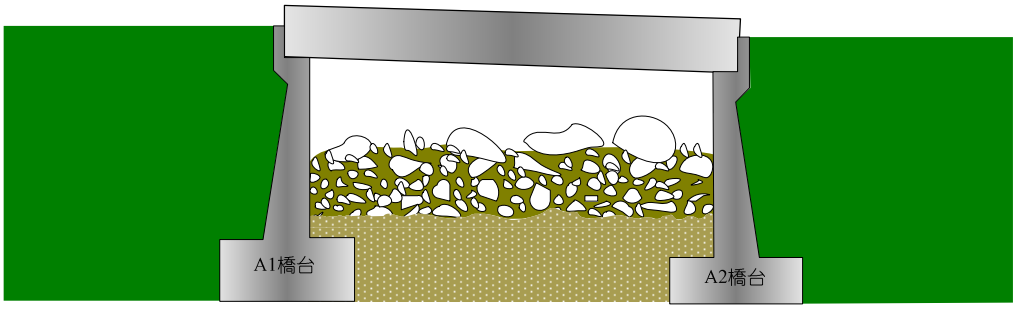


相片 6.18　20 線建山二橋於莫拉克颱洪前後之比較(由右岸下游側往橋址拍)

a



b



c

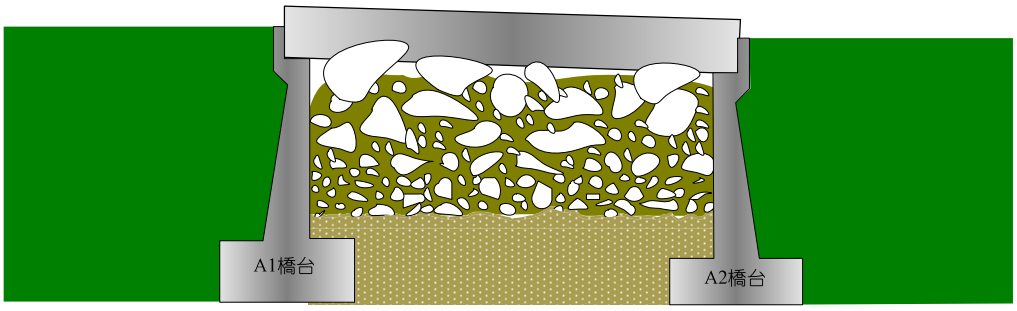
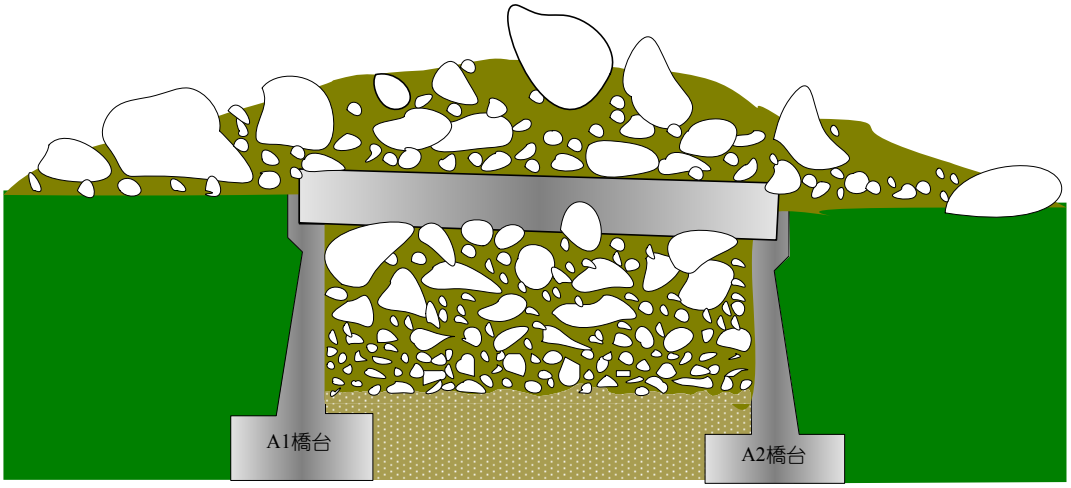


圖 6.41　　建山二橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖(橫斷面)

d



e

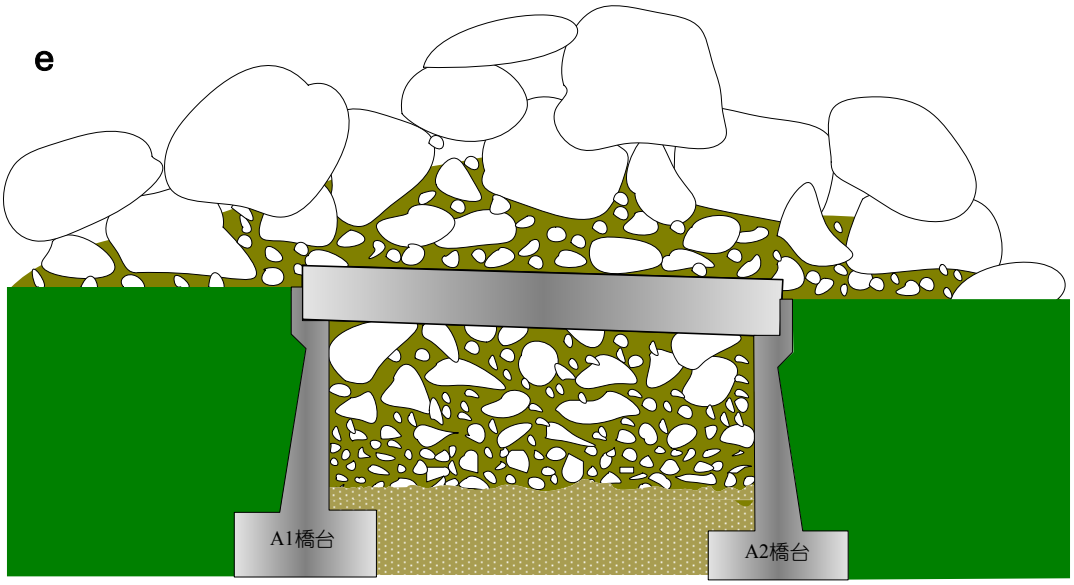
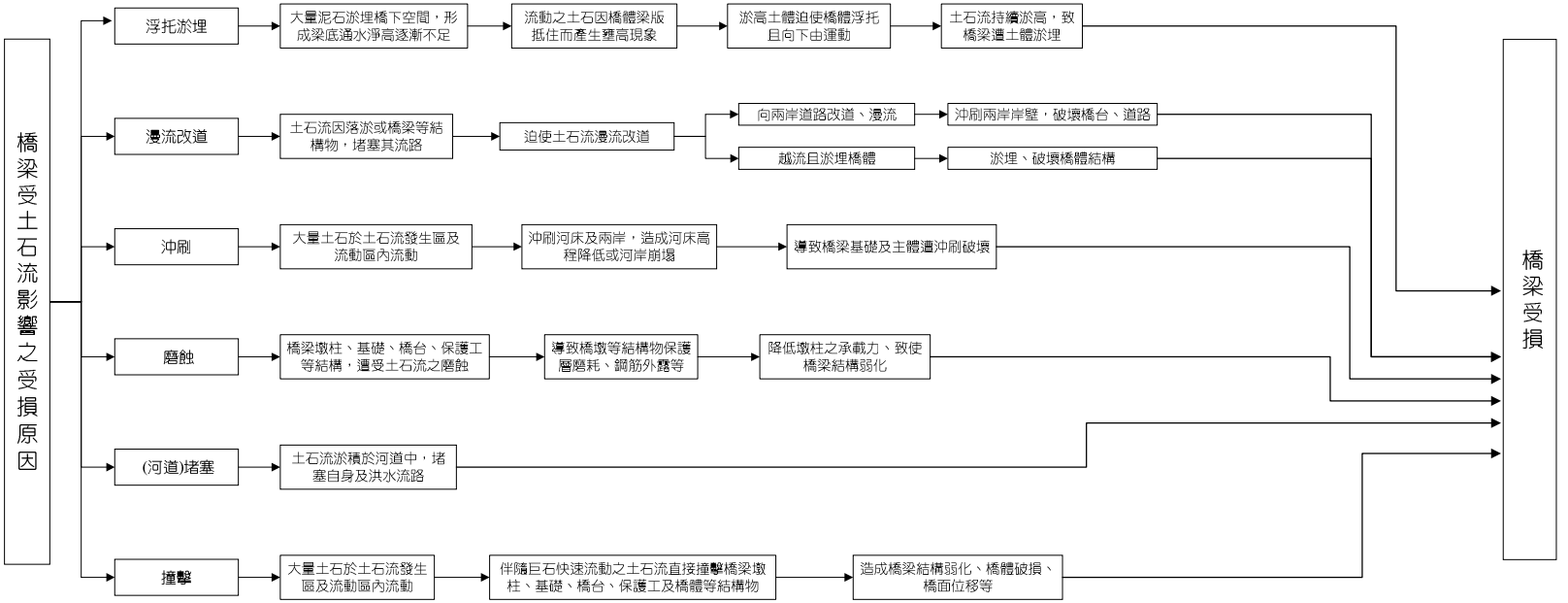


圖 6.41(續)　建山二橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖(橫斷面)

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流

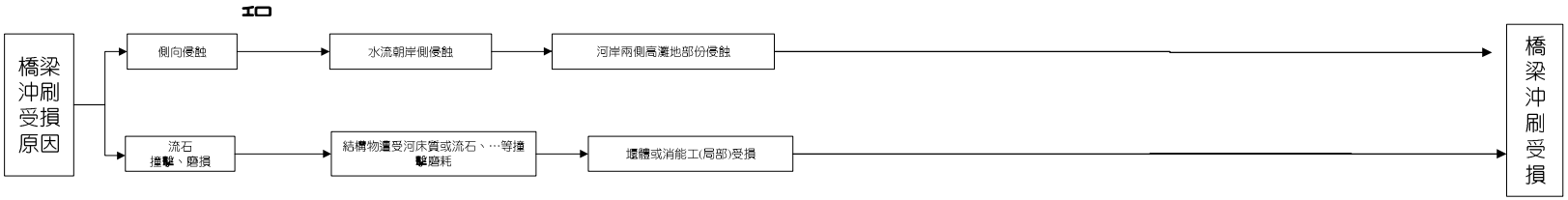


圖 6.42　　建山二橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.4 台 20 線建山一橋

1. 基本資料

台 20 線建山一橋位於高雄縣六龜鄉，其橋頭里程數為 78 K+30，跨越打鐵坑溪，為聯絡甲仙及寶來之重要橋梁。建山一橋建於民國 59 年 6 月，並於民國 85 年 11 月進行改建，橋梁相關竣工圖說詳如圖 6.43~ 圖 6.46，改建工程之平縱斷面圖、橫斷面圖及引導詳圖，將原橋 2 線道增寬為為 4 線道，橋梁改建後為全長 42 m 之單跨徑橋梁，橋面淨寬 9.2 m。上部結構為梁式的預力混泥土橋梁，下部結構為半重力式橋台，橋台基礎為直接基礎，詳如圖 6.47、圖 6.48 橋台改建工程圖，台 20 線建山一橋橋梁基本資料詳如表 6-7 所示。

根據民國 98 年「省道老舊受損橋梁緊急改建計畫」內容，本橋即列入急需改建之橋梁，橋梁改善內容即針對打鐵溪所可能產生之洪水及土石流作用，以加長橋梁跨距及提高梁底淨高之設計，來增加橋下河道之通水斷面，使具足夠空間通過洪水及土石流，其相關設計如圖 6.49 ~ 6.52 所示。圖中即顯示新建之橋梁全長增為為 80 m，即橋孔長度增為 20 m + 40 m + 20 m 共 3 孔，其橋梁上部結構為三跨連續鋼箱型橋，墩柱型式為圓形單柱式墩柱，基礎為樁基礎，樁帽尺寸為 10.6 m × 8.0 m × 2.0 m，每座基礎由 5 根直徑 150 cm、長度 25 m 之全套管基樁組成。惟橋梁改建工程尚未施作，即於民國 98 年 8 月遭莫拉克颱洪之侵襲而損毀，且因莫拉克颱風後地形地貌變動太大，已由「省道老舊受損橋梁緊急改建計畫」內移除，另案辦理。

台 20 線建山一橋橋址處之地質分佈主要為階地堆積層，即地下 0.0 ~ 4.2 m 主要係由崩積土大小岩塊與岩石夾破碎岩塊與砂土組成，4.2 ~ 5.8 m 和 5.8 ~ 40.0 m 分別為灰頁岩偶夾棕灰色頁岩與破碎岩塊與砂土、灰頁岩組成，地質條件屬較破碎之地層。台 20 線建山一橋橋址附近地質圖及鑽探資料詳如圖 6.53 ~ 圖 6.54 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風襲台，於本區降下極大之豪雨，根據鄰近橋址的高中雨量站量測資料，本雨量站於 8 月 5 日～10 日間總累積降雨量，期中颱洪期間累積雨量高達 1,991.5 mm，幾乎超過該測站年平均降雨量的 2/3，顯示莫拉克颱風期間之降雨早超過過去臺灣之降雨記錄，根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」利用中央氣象局及水利署本身之雨量站，如圖 6.55 高中雨量站之降雨組體圖可知，本區最大降雨強度約發生於 8 月 8 日下午 4 點，降雨強度直逼 80 mm/hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，不論為連續 12 或 24 小時降雨延時之分析結果，採對數皮爾森三型分佈所進行的颱風暴雨量頻率分析結果可知，均超過 200 年重現期之降雨強度，分析結果如表 6-8 所示。

此外，根據相片 6.19 所示莫拉克颱風前後之衛星影像可知，建山一橋附近於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂、土石崩落於野溪或河道中，加上集水區內集中之降雨，致使超大豪雨挾帶大量土石流沿野溪流動，並堆積於打鐵坑溪之河道中。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查及比對颱洪前後之航照、路拍相片可知，建山一號橋恰位於打鐵坑溪一彎道下游處，即橋址上游之河道為一右彎之彎道，水流過彎後將有被挑向橋址右岸之趨勢，如相片 6.20 所示。相片 6.21 顯示建山一橋災前之情形，可見橋孔仍有相當之通水斷面，且橋梁上游處亦施設數座攔砂壩以攔阻土砂，如相片 6.22 及 6.23 所示。於莫拉克颱洪期間，由於本區降雨強度過大，致使山區邊坡崩塌於河道中，產生土石流向下游建山一橋沖擊，造成橋梁受損之災害。比對災害前後情形，河道上下游清楚可見大量土砂、土石堆積於橋址處附近，如相片 6.24 所示，因游集水區大量崩落土石堆積於河床上，造成打鐵溪之河床高度增加許多，橋址上游攔砂壩亦遭大量土砂土石淤埋，如相片 6.25 所示。另外，大量崩落之土石流往

橋址處移動，並大量堆積造成橋孔堵塞、河道通水斷面嚴重不足，土石流所挾帶下的土石溢淹過建山一橋整個橫斷面，衝入流路周邊之淤埋道路在建山一橋附近堆積，更有大量土石堆積在公路上，詳細相關受災擬似動態流程示意圖，如圖 6.56 所示。土石流強大之沖擊力，隨即越過橋面，並依上游彎道所形成之慣性力向橋梁右岸端大梁及 A1 橋台沖擊，造成 A1 橋台附近橋面版遭撞擊及推移，橋面版位移斷裂崩落於河道中、橋台損壞等嚴重災情。隨後，土石越過橋面版並沿台 20 線公路方向流動，致使建山一橋之引道流失。此外，因橋梁及河道淨寬不足，大量之土石亦造成嚴重的側岸沖刷，橋址下游處之路堤基礎遭沖刷損壞，如相片 6.26 及 6.27 所示。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大：

莫拉克颱洪期間，本區降雨強度已超過 200 年重現期之雨量，豪大雨直接落於南部山區，加上本區山坡土體岩塊破碎，造成山區邊坡土石崩落並堆積於野溪、河道中。

(2)土石流災害：

打鐵溪上游所崩坍及堆積之土石，因颱洪期間之降雨而產生土石流而下，挾帶大量土石往橋址方向運移，堆積之土石嚴重堵塞橋孔，造成土石直接撞擊大梁及 A1 橋台。且土石流之強烈沖刷力，致使河道兩岸遭受嚴重側向侵蝕，導致橋台損壞、下游兩岸側向沖刷與道路下邊坡之檔土牆破壞等災害。

(3)橋梁通水斷面不足：

建山一橋屬單跨之橋梁，橋寬明顯不足，且橋下淨高亦無法讓土石流順暢通過，雖已列入改建橋梁並重新規劃設計中，惟尚未完成改建，故造成嚴重受損。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 6.57 所示。

表 6-7　橋梁基本資料表之建山一橋

橋梁名稱	建山一橋	橋梁編號	0200-056	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 20 線
橋頭里程	78 K+30M	橋尾里程	K + M	竣工年月	59 年 6 月	最近維修年月	85 年 11 月
造價	0	合約編號	0	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	甲仙工務段	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	打鐵坑溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	上下游分開						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	42M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	9.2M	最小淨寬	9.2M	橋版投影面積	386.4M^2		
總車道數	2	總橋孔數	1	最大跨距	42M		
跨距分配	42@1						
最高橋墩高度	不詳 M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	15.2M		
橋頭 GPS 經度	120.6716	橋頭 GPS 緯度	23.0961	橋尾 GPS 經度	120.6716	橋尾 GPS 緯度	23.0964
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	無	橋墩型式	無	橋墩基礎型式	無	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特殊結構資料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.75M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-11-20
備　註							
1.85 年 11 月(上游橋梁增建).							

【資料來源：**公路總局**第三區養護工程處】

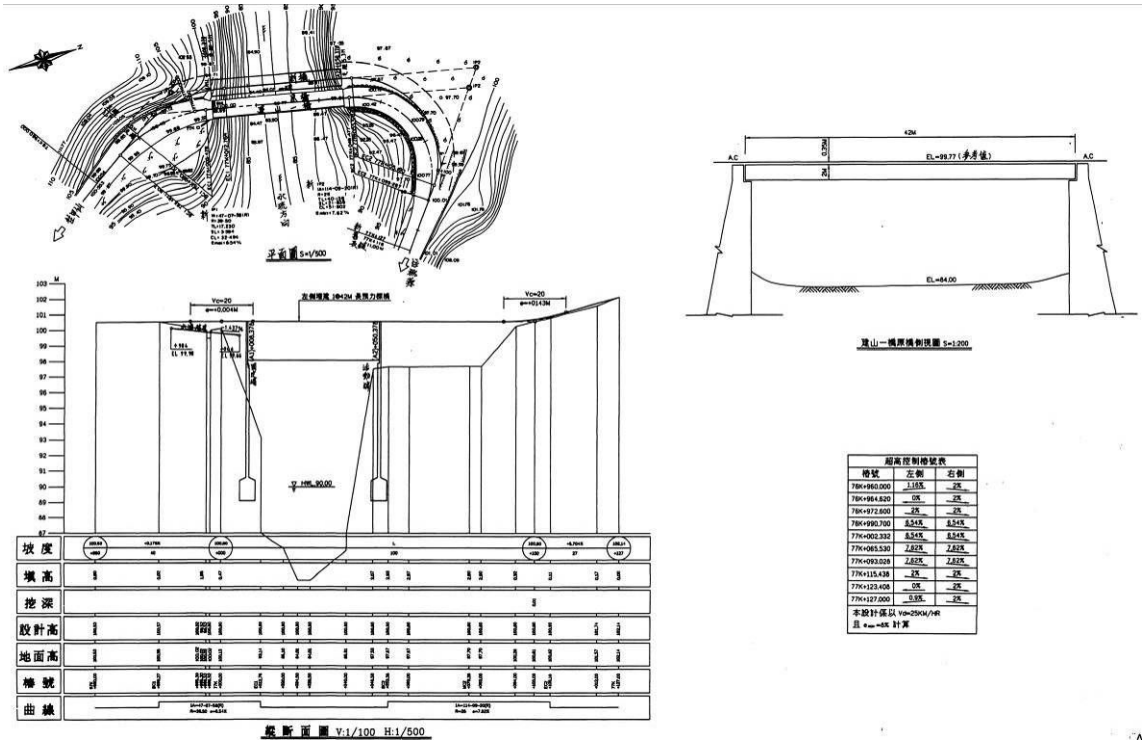


圖 6.43　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之平縱斷面圖

【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

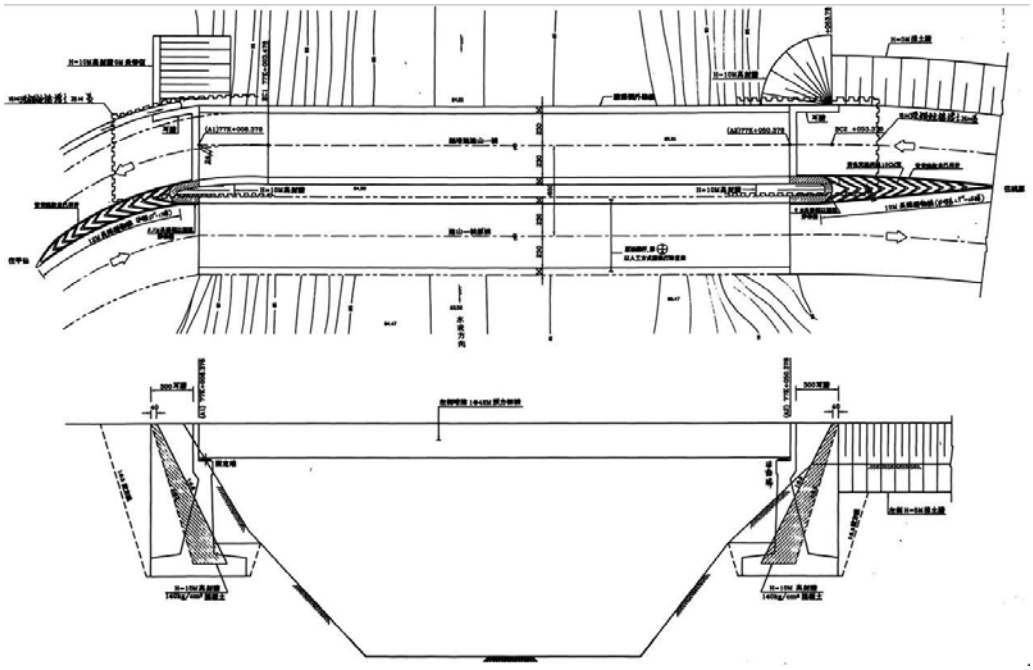


圖 6.44　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之引道詳圖

【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

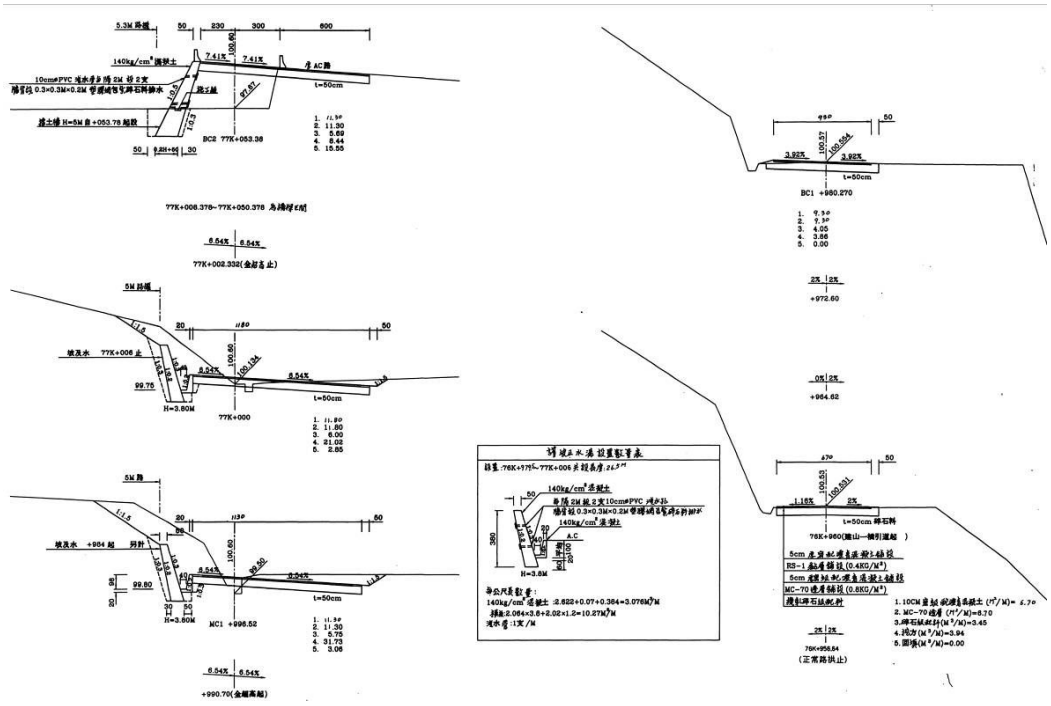


圖 6.45　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之橫斷面圖（一）

【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

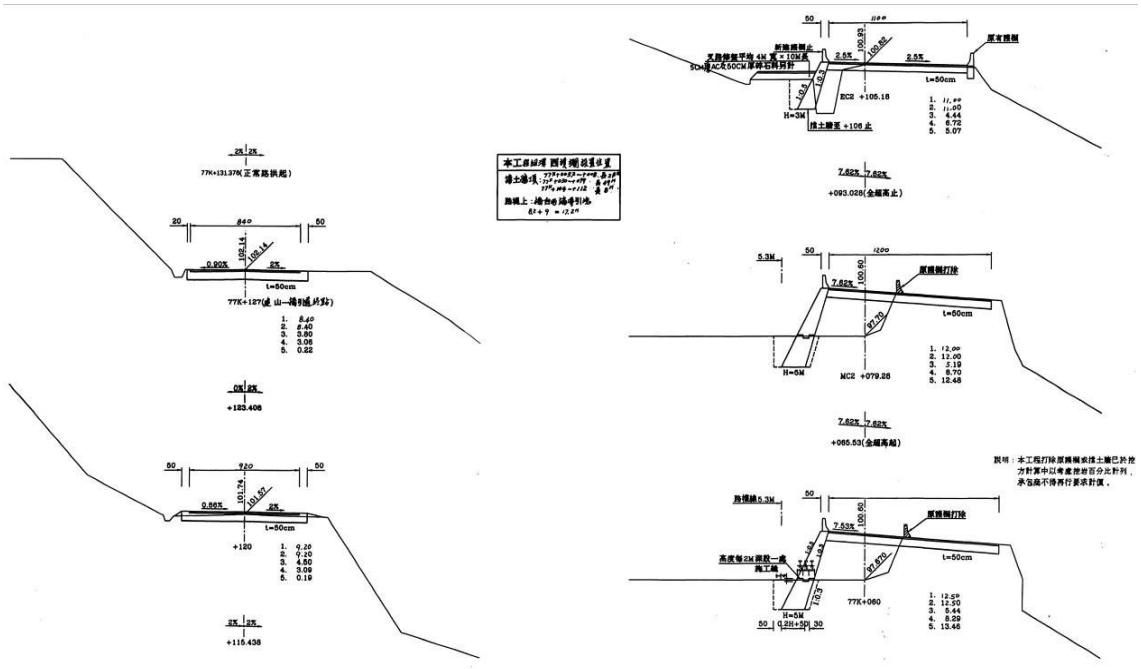


圖 6.46　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之橫斷面圖（二）

【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

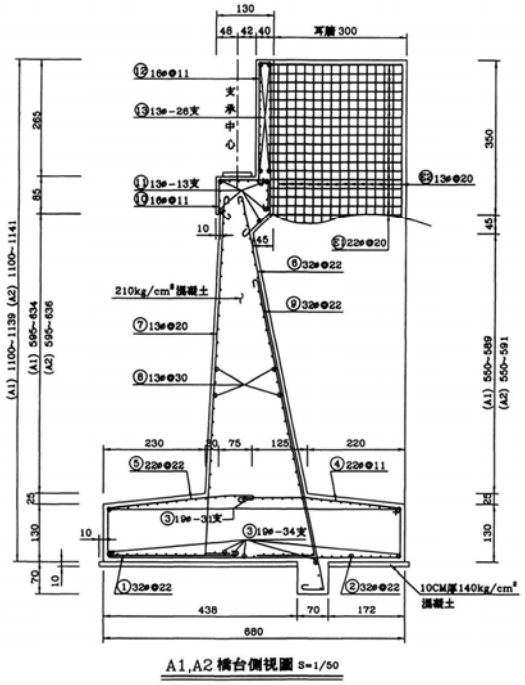


圖 6.47　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之橋台詳圖（一）

【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

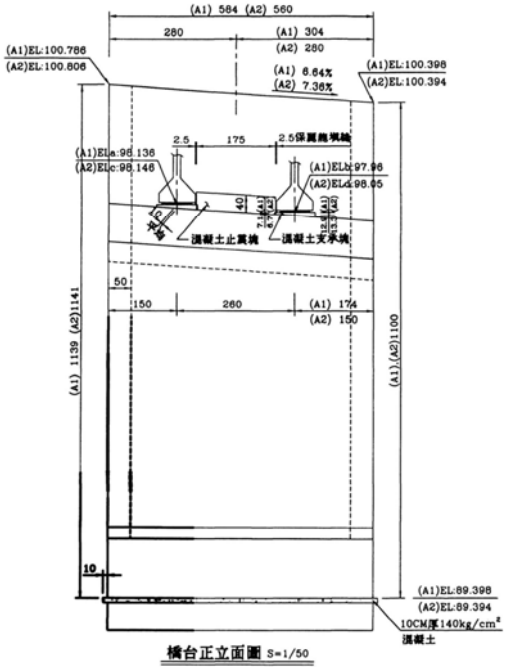


圖 6.48　台 20 線建山一橋 77k+030 改建工程之橋台詳圖（二）

【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

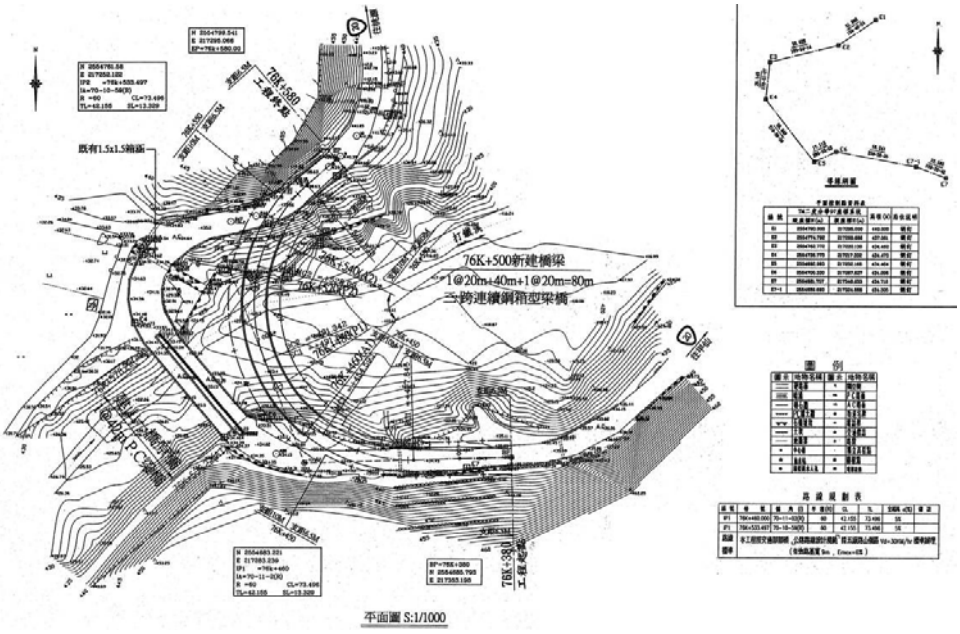


圖 6.49　台 20 線建山一橋民國 98 年老舊橋梁緊急改建計畫之平面設計圖

【資料來源：公路局第三區工程處】

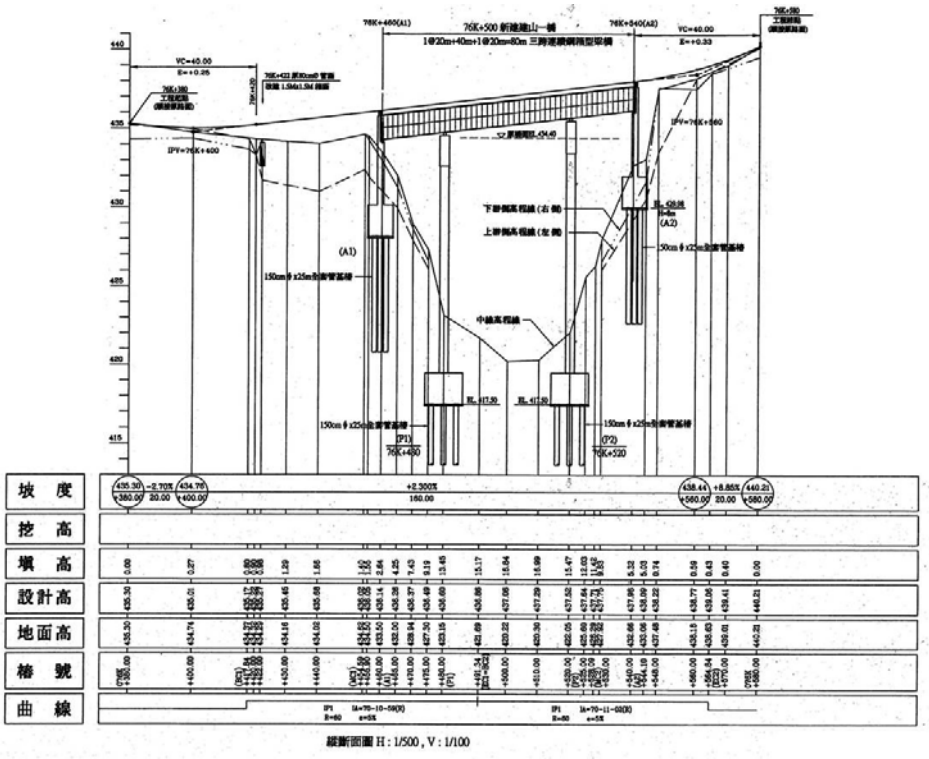


圖 6.50　台 20 線建山一橋民國 98 年老舊橋梁緊急改建計畫之縱斷面圖

【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

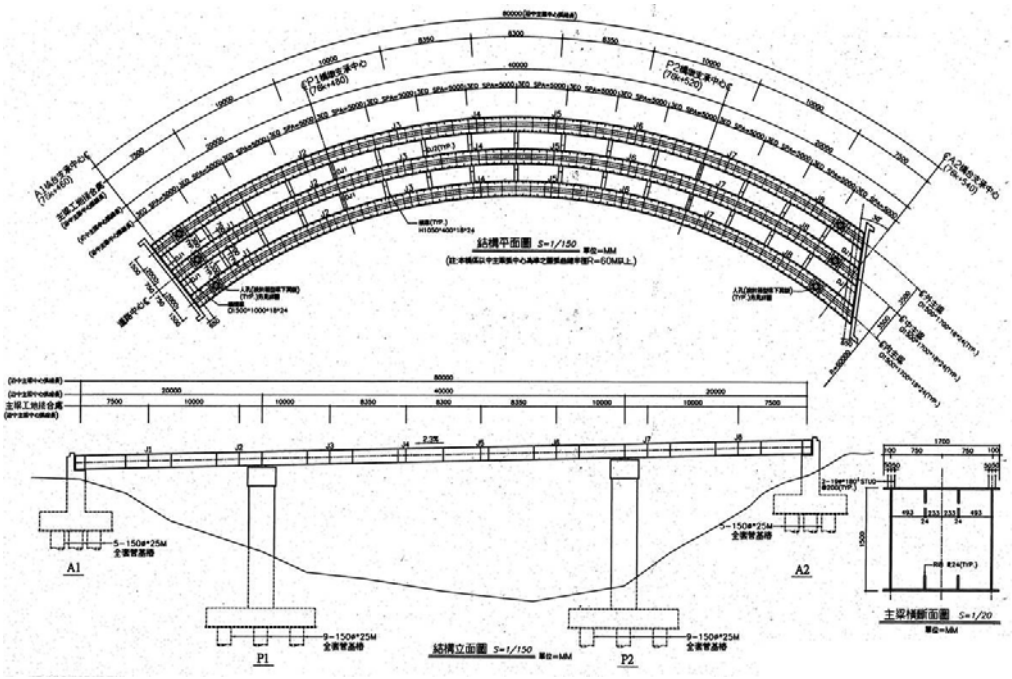


圖 6.51　台 20 線建山一橋民國 98 年老舊橋梁緊急改建計畫之橋梁平立面及斷面圖【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

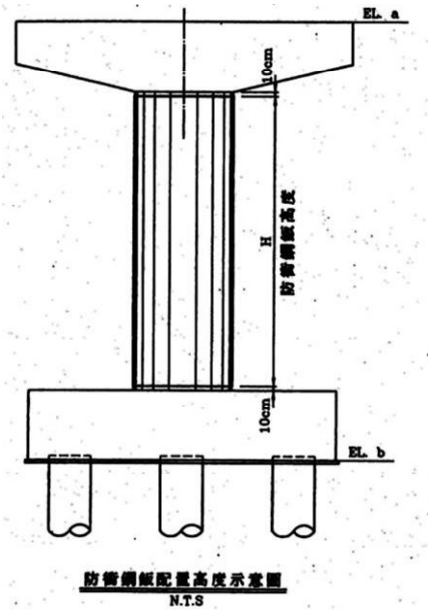


圖 6.52　台 20 線建山一橋民國 98 年老舊橋梁緊急改建計畫之防衝鋼鈑配置高度示意圖【資料來源：公路局第三區工程處】

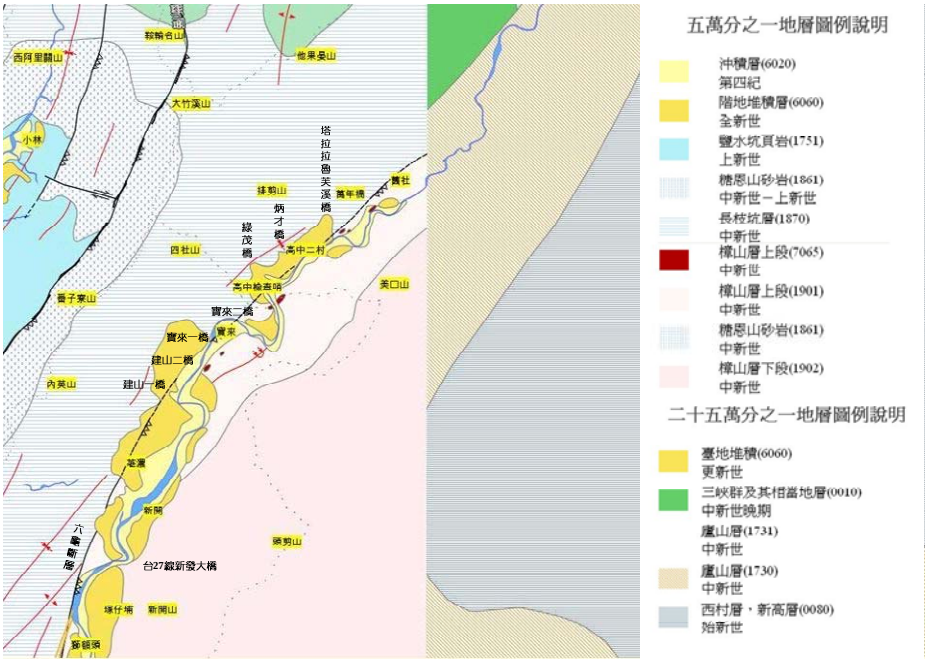


圖 6.53　台 20 線建山一橋橋址附近地質分佈圖

【資料來源：中央地質調查所】

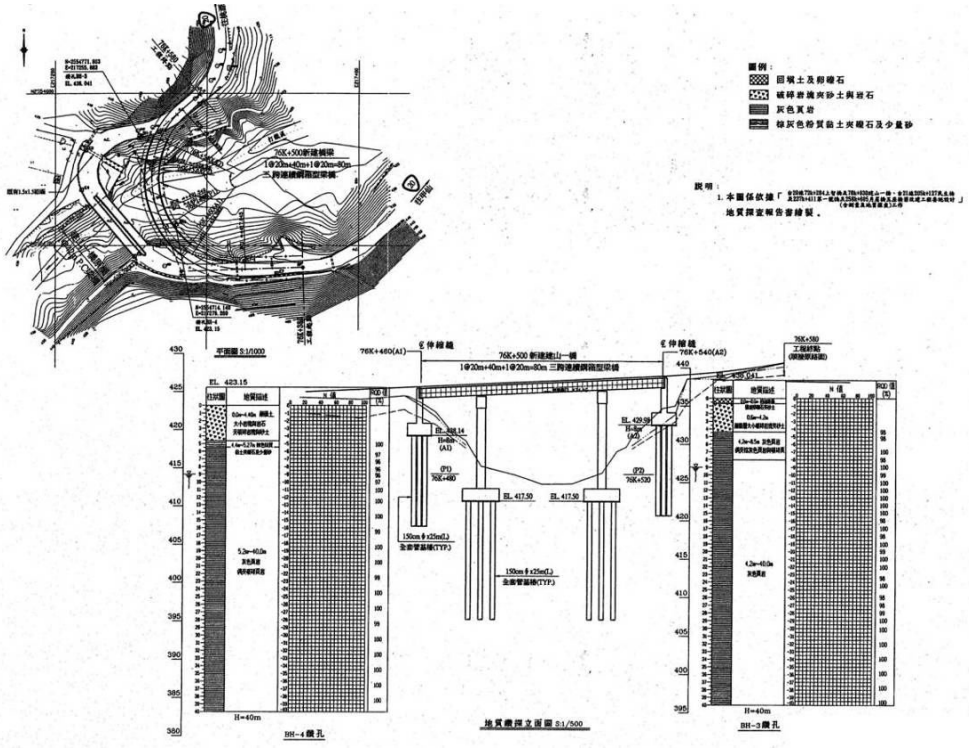


圖 6.54　台 20 線建山一橋之地質鑽探圖

【資料來源：公路總局第三區養護工程處】

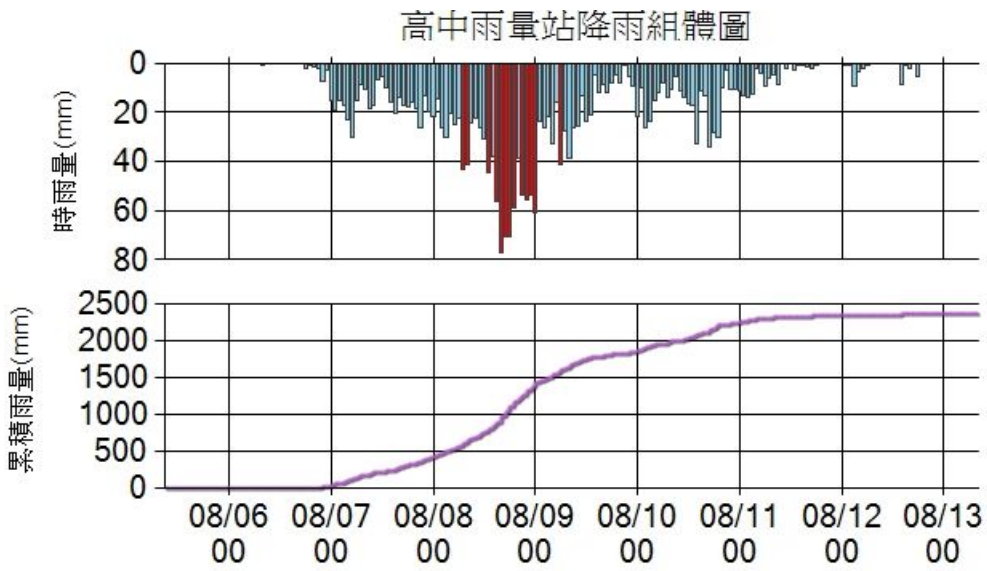


圖 6.55　　高中雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 6-8　　莫拉克颱風高中雨量站之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_高中暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：15年，資料僅供參考！)

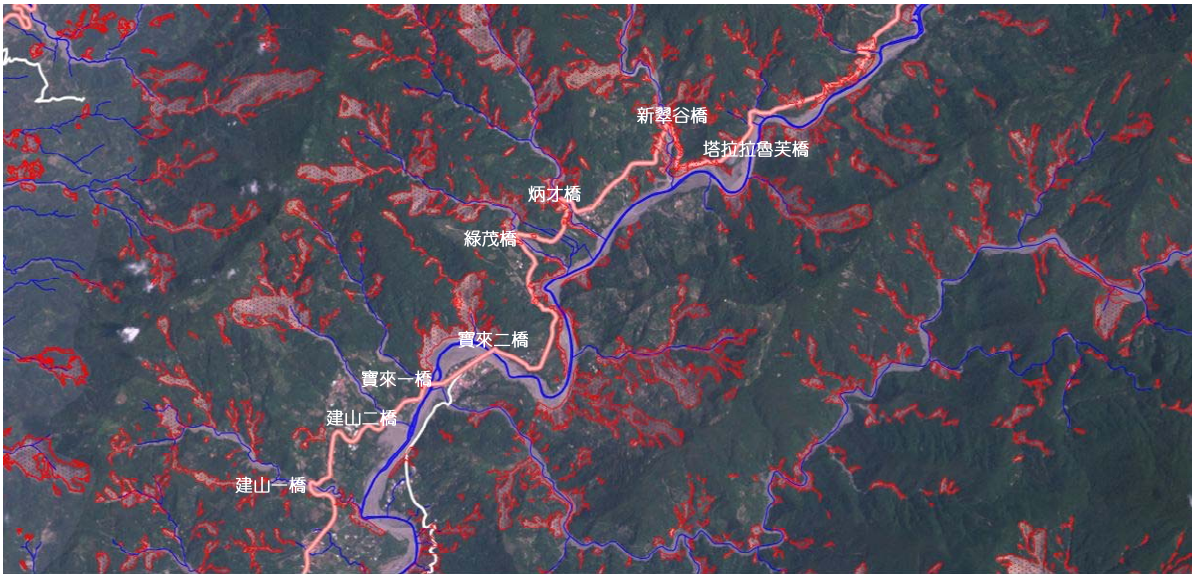
降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	45.3	67.6	86.7	108.9	116.8	144.2	176.5	214.9	0	<2	81.5	7.95
3	90.1	134.9	171.7	213.0	227.5	276.5	332.8	397.4	0	<2	219.5	21.34
6	138.6	207.1	260.3	317.4	336.8	401.0	471.6	549.7	1	<2	373.5	36.93
12	191.6	303.8	393.7	492.4	526.4	640.0	767.1	909.6	1.5	<2	678.5	61.86
24	273.8	432.2	540.6	645.3	678.6	781.4	883.5	985.5	2	<2	1029.5	>200
48	333.0	590.7	809.2	1057.7	1145.0	1441.7	1781.5	2170.0	-	-	1547	62.13
72	369.3	691.8	978.0	1313.9	1434.2	1850.6	2339.6	2912.3	-	-	1875.5	51.88

參考水利署雨量站：高中。(統計資料長度：27年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	52.5	73.5	89.3	105.1	110.2	126.3	142.6	159.1	0	<2	81.5	5.99
3	117.5	159.3	184.9	208.0	215.1	236.4	256.7	276.3	0	<2	219.5	27.56
6	191.0	252.0	284.4	311.4	319.3	342.1	362.7	381.7	1	<2	373.5	147.40
12	284.2	397.0	461.7	518.1	535.1	585.0	631.6	675.6	1.5	<2	678.5	>200
24	409.0	573.3	664.9	743.4	766.8	835.1	898.2	957.3	2	<2	1029.5	>200
48	527.5	803.3	976.8	1136.3	1185.7	1334.4	1477.8	1617.4	-	-	1547	140.76
72	573.0	912.9	1138.6	1352.2	1419.3	1624.1	1825.0	2023.2	-	-	1875.5	117.73

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】





相片 6.19　建山一橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形

【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】



相片 6.20　　建山一橋莫拉克颱洪前上下游河道之情形(98.03.29 拍攝)

【資料來源：成大衛星影像】



相片 6.21　　台 20 線建山一橋莫拉克颱洪前之情形



相片 6.22　台 20 線建山一橋莫拉克颱洪前上游攔砂壩施工情形



相片 6.23　台 20 線建山一橋莫拉克颱洪前上游攔砂壩之情形



相片 6.24　建山一橋莫拉克颱洪後河道遭土石流沖刷上下游河道大幅增加之情形(98.08.17 拍攝)【資料來源：成大衛星影像】



相片 6.25　台 20 線建山一橋莫拉克颱洪後上游攔砂壩遭土石流淤埋填滿之情形

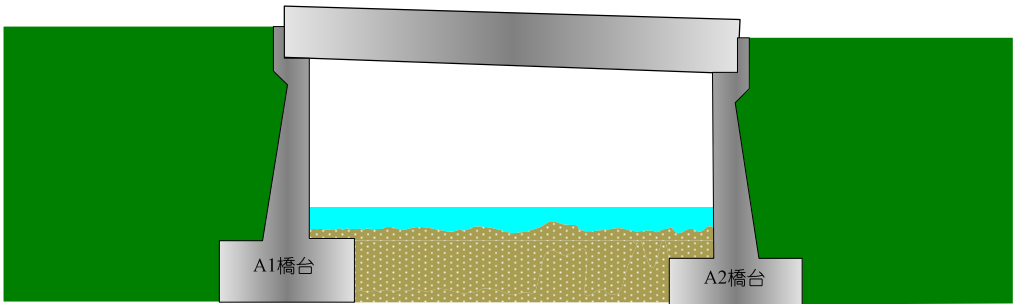


相片 6.26　台 20 線建山一橋莫拉克颱洪後遭土石流沖毀，橋面版位移橋台流失之情形

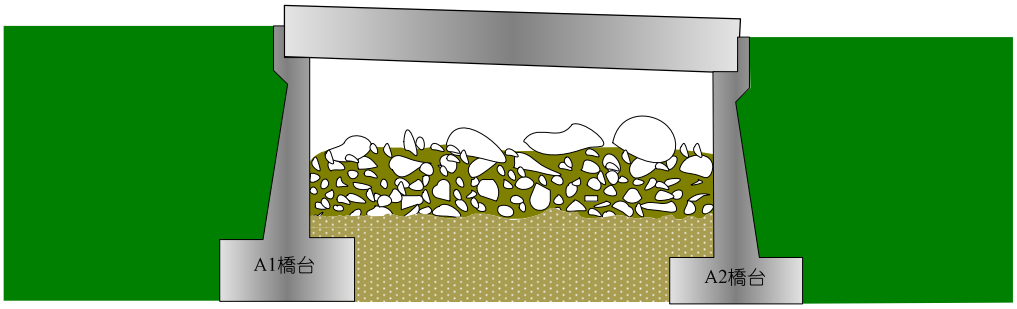


相片 6.27　台 20 線建山一號橋下游左岸道路下邊坡遭土石流沖刷破壞之情形

a



b



c

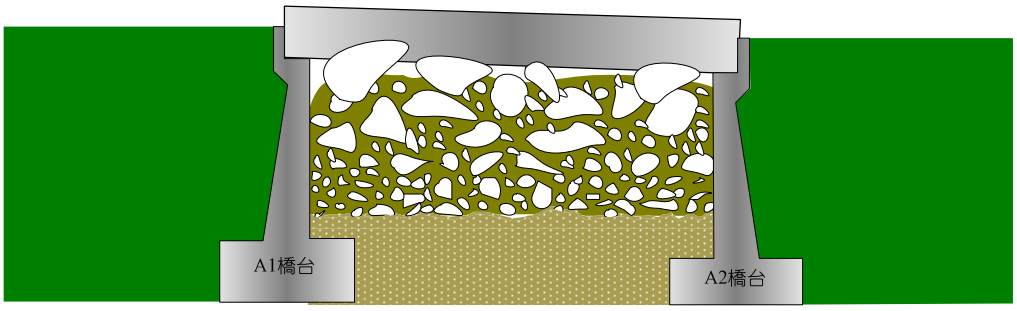
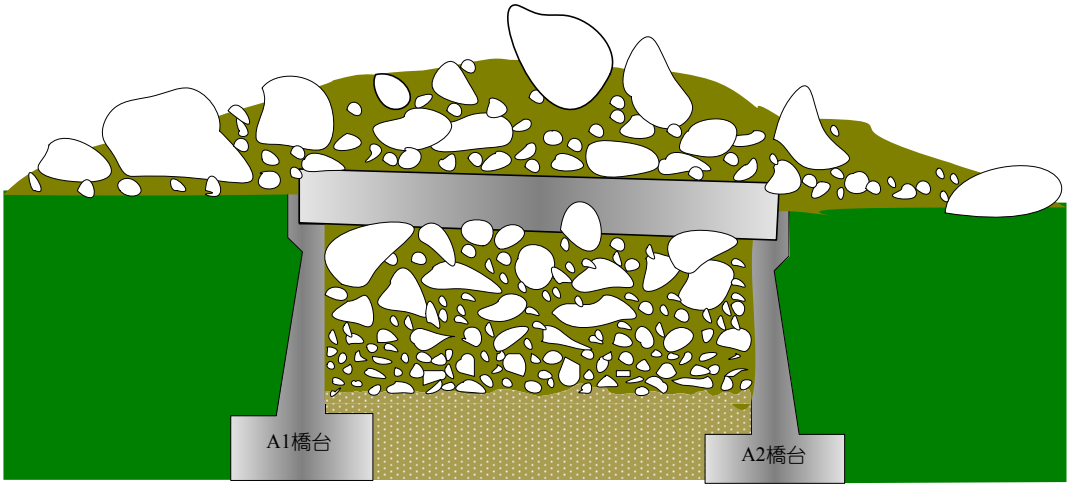


圖 6.56　建山一橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖(橫斷面)

d



e

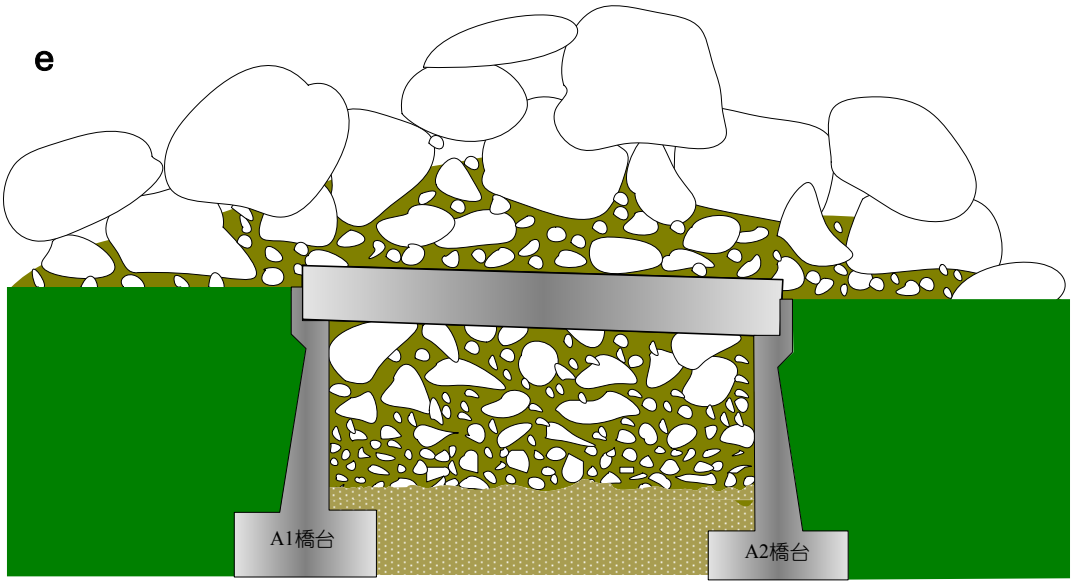
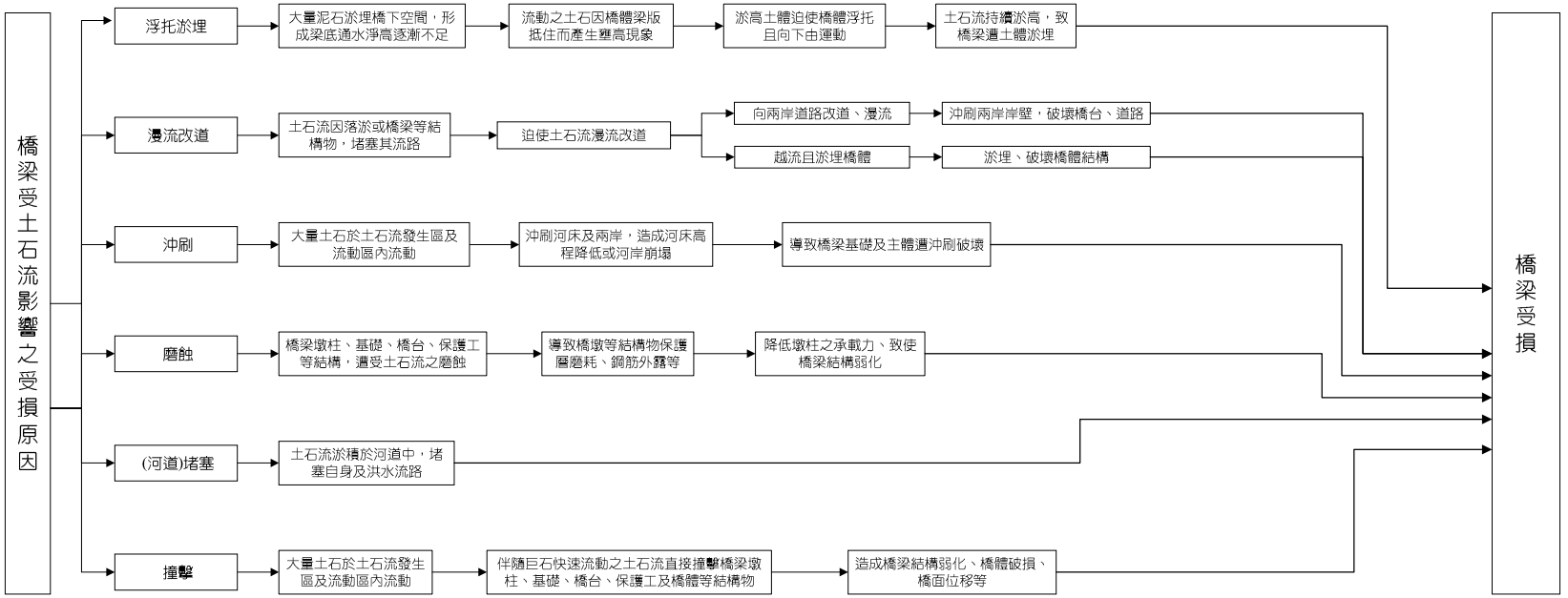


圖 6.56(續)　建山一橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖(橫斷面)

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流

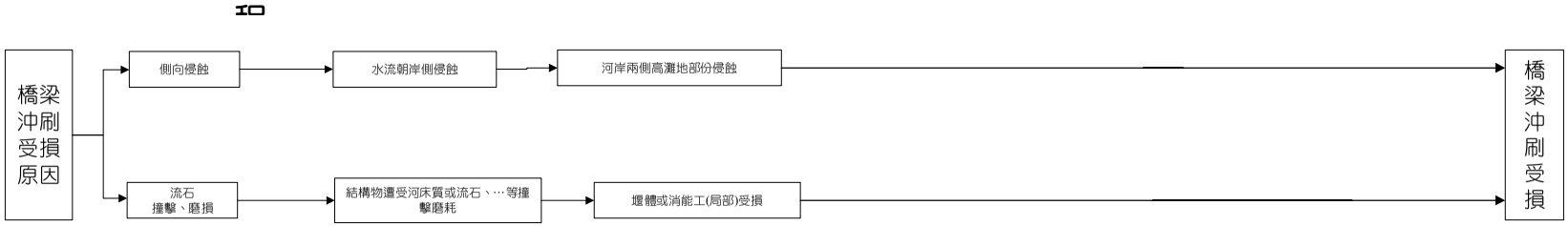


圖 6.57　　建山一橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.5 台 27 線新發大橋

1. 基本資料

台 27 線新發大橋位於高雄縣六龜鄉橫跨荖濃溪,河道治理斷面為荖斷 NO.63-1 斷面，其里程數為 3K+480。本橋於民國 84 年 7 月竣工，橋長 228 m、橋淨寬 9 m、跨距 38 m、共 6 個橋孔，其橋梁上部結構為預力 I 型簡支梁，下部結構為單柱式橋墩，橋墩基礎型式為直接基礎(基礎厚度：P1 為 3 m、P2 為 5.03 m、P3 為 6.53 m、P4 為 3 m、P5 為 3 m)。其橋梁基本資料表如表 6-9 所示；相關工程圖說如圖 6.58 ~ 6.62 所示。河道大斷面圖如圖 6.63 ~圖 6.66，顯示新發大橋於民國 95 年深槽位於 P3~P5 間，民國 97 年深槽大約位於 P2~P4 間；從民國 96 年至民國 97 年河道上下游 20 m 處，河床皆有刷深之現象。

依據水規所之高屏溪治理規劃檢討，荖濃溪地質上游屬始新世至漸新世之畢祿山層、西村層、十八重溪層等黑色粘板岩，偶夾石灰質砂岩成石英質奎岩，岩層走向大致為北北東，而下分佈以中新世之盧山層之硬砂岩、板岩及千枚岩為主。中游至六龜以下地質屬更新世至現代之台地堆積層及沖積層，以礫岩與砂岩及土、砂礫為主。此外，本區之斷層分佈，主要有位於六龜至新寮間之六龜斷層，屬逆斷層，呈北東走向，全長約 11 公里，東南側露出更新世下部之六龜層，為一可能活動之斷層，詳如圖 6.67。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

從新發雨量站之莫拉克颱風水文資料顯示降雨延時 24 小時之累積雨量 1,200 mm 已大於 200 年重現期的累積雨量 996.1 mm；颱洪期間總累積雨量也達到 2,077.5 mm，如圖 6.68 及表 6-10 所示。依據經濟部水利署災害緊急應變系統，新發大橋水位站之莫拉克颱洪事件的水位歷線圖(如圖 6.69)顯示，在民國 98 年 8 月 8 日晚間 19:40 呈現水位急遽下降之異常現象與斷訊,研判新發大橋已產生嚴

重變位進而斷橋災損。以及根據經濟部水利署水利規劃試驗所之莫拉克颱風水文分析報告，顯示颱洪最大洪峰流量 Q_p =12106 cms 已大於 200 年重現期 Q_{200} = 9960 cms 如前述圖 4.8(a)所示，可見洪水規模之大。

民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間，荖濃溪上游集水區累積降雨量已破 200 年重現期之降雨量，高降雨強度造成大量崩塌地、土石流以及山壁邊坡滑動。此外，根據相片 6.28 所示莫拉克颱風前後之衛星影像可知，新發大橋附近於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂、土石崩落於野溪或河道中，加上集水區內集中之降雨，致使超大豪雨挾帶大量土石流沿野溪流動，並堆積於荖濃溪之河道中。

堆積土石堵塞河道形成大大小小的堰塞湖，於颱洪間發生潰決，潰決之大量洪水如湧浪般往下游沖擊，造成下游橋梁(寶來二橋、新發大橋)嚴重受損。據阿其巴橋水位站水位歷線之(如圖 6.69)變化顯示：由 8 月 8 日約 14 時過後，於阿其巴橋橋址處所量測之洪水水位急速上升，約於 8 月 8 日 18 時水位達到最高點後，水位亦隨即急速下降並發生訊號中斷之情形。此一水位急升驟降之特點，乃可能反應了更上游側之河道發生堰塞湖潰決，再根據下游新發水位站水位歷線(如圖 6.70)顯示：水位於 8 月 8 日 14 時過後，水位急速上升，約於 8 月 8 日 19 時 40 分水位達最高點後，水位也亦隨即急速下降並發生訊號中斷之情形。從阿其巴橋水位站至新發大橋水位站距離大約 40 公里。上游處堰塞湖發生潰決時，假設河道水深 d 約為 5 公尺，洪水流速 $C=\sqrt{gd}$ 約為 7 m/s，估算出上游堰塞湖潰決時洪水從阿其巴橋至新發大橋約只需要 1 小時 35 分，跟上述水位歷線圖水位達最高點後驟降斷訊之時間差 1 小時 40 分相當接近。

3. 橋梁災害情形調查

由相片 6.28~相片 6.30 所示，新發大橋於莫拉克颱洪後，上游左岸野溪發生嚴重之土石流，造成新開橋斷橋，如相片 6.31 所示，

土石流於野溪出口漸漸的堆積成土石流沖積扇，佔據了新發大橋的主河道，致使新發大橋通水斷面縮小，深槽也從左岸被挑流至右岸，如相片 6.32 所示。再從相片 6.33~相片 6.34 所示，台 27 線道路路堤裸露且於道路上之大量樹木遭洪水沖擊流失，乃反應當時水流主要是頂沖右岸，且洪水有淹至台 27 線公路之上。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)土石流災害：

(a) 由於莫拉克颱風，累積雨量過高、降雨強度強，依據新發雨量站降雨組體圖顯示降雨延時 24 小時之累積雨量達 1,200 mm 已大於 200 年重現期的累積雨量 996.1 mm；且總累積雨量也高達 2,077.5 mm。於新發大橋上游側左岸之野溪發生大規模的土石流。

(b) 大量土石流沖積扇佔據原有河道，使主深槽從左岸 P3 ~ P5 挑流至右岸 A1 ~ P2 的位置，對河岸或橋梁形成頂沖攻擊，造成岸坡崩塌或橋體損害，如相片 6.32 及圖 6.71 所示。

(c) 因大量土石流沖積扇堆積於河道，上游處堰塞湖潰堤時，大量洪水渲洩而下，因大部份河道被阻塞，通水斷面變小，不易渲洩，造成水位壅高至台 27 線公路山坡，如相片 6.33 所示。

(2)洪水沖刷災害：

(a) 民國 98 年 8 月莫拉克颱洪期間，荖濃溪上游集水區累積降雨量已破 200 年重現期之降雨量，高降雨強度形成大量之崩塌地、土石流以及山壁邊坡滑動，堆積土石堵塞河道形成大大小小的堰塞湖。於颱洪間發生潰決，大量洪水往下游渲洩，造成下游橋梁(寶來二橋、新發大橋)河道嚴重沖淤與水位壅高。

(b) 上游堰塞湖潰堤，大量洪水渲洩而下，水流因左岸土石流沖積扇佔據大部分河道，使洪水被挑流至右岸頂沖右岸台 27 線公路及新發大橋造成嚴重沖刷(台 27 線路堤基礎裸露)，加上左岸河道被土石淤積，水流通水斷面變小，洪水不易渲洩，造成洪水壅高，高過新發大橋及台 27 線公路之上，形成類似堰塞湖般之壓力流況，如相片 6.33 ~相片 6.34 所示及圖 6.72 所示。

(3)漂流木掛淤影響：

流木隨洪水而下流經溪中之跨河橋梁，於其墩基處產生嚴重掛淤阻塞之現象。此現象造成橋梁上游側因通水斷面淤塞而產生水位壅高，且橋梁結構所受之水流向與側向水壓力亦大增，加上掛淤流木增加墩基阻水面積，且掛淤流木下層將形成高速水流，致使河床及橋基沖刷更為嚴重。

(4)橋梁基礎為淺基礎，抗沖能力較為不足：

台 27 線新發大橋其橋墩基礎型式為直接基礎(基礎厚度：P1 為 3 m、P2 為 5.03 m、P3 為 6.53 m、P4 為 3 m、P5 為 3 m)，以及根據經濟部水利署水文資料，莫拉克颱洪期間於新發大橋之最大洪峰流量 Q_p =12,106 cms 大於 200 年重現期 Q_{200} = 9960 cms，基礎為淺基礎，抗沖能力較為不足，致使新發大橋遭沖毀流失。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 6.73 所示。

表 6-9　新發大橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	新發大橋	橋梁編號	1850-003	使用狀態	已損毀	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 27 線
橋頭里程	3K+480M	橋尾里程	K+M	竣工年月	84 年 7 月	最近維修年月	不詳
造價	0 元	合約編號	0	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	甲仙工務段	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	荖濃溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站	新發大橋站	計畫洪水位	不詳	計畫河寬	不詳		
計畫堤頂高程	不詳	設計河床高程	不詳	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	228 M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	9 M	最小淨寬	9 M	橋版投影面積	2052 M^2		
總車道數	2	總橋孔數	6	最大跨距	38M		
跨距分配	38@6						
最高橋墩高度	17 M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	19 M		
橋頭 GPS 經度	120.6609	橋頭 GPS 緯度	23.0505	橋尾 GPS 經度	120.6599	橋尾 GPS 緯度	23.0487
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	帶狀填縫
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	直接基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特　殊　結　構　資　料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	不詳	地盤種類	無法取得	防震設施	混凝土止震塊	防落橋長度	1.3 M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2009-08-19 16:33:28
備　註							

【資料來源：第三區養護工程處】

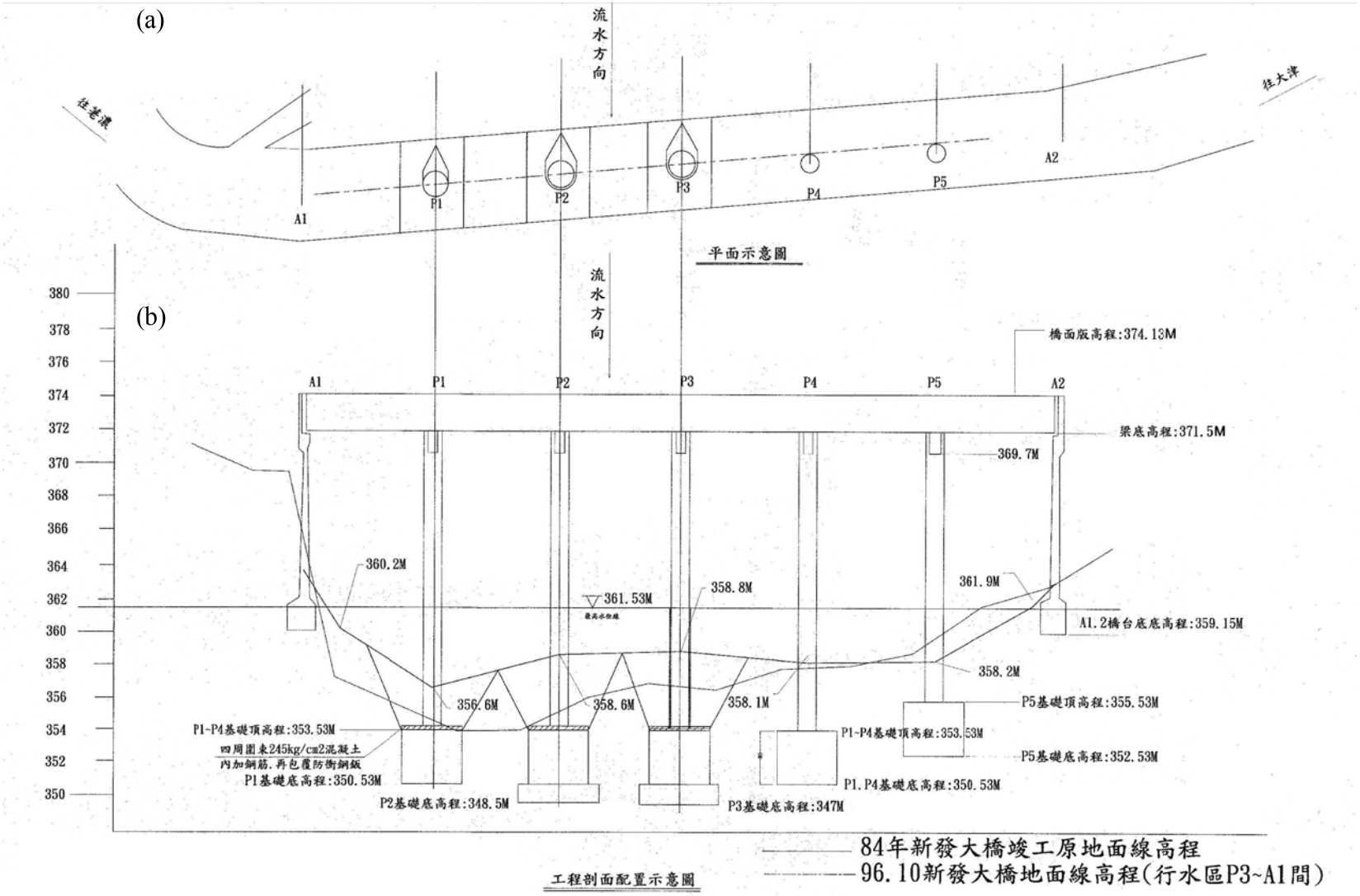


圖 6.58　台 27 線新發大橋：(a)平面圖(b)立面圖【資料來源：第三區養護工程處】

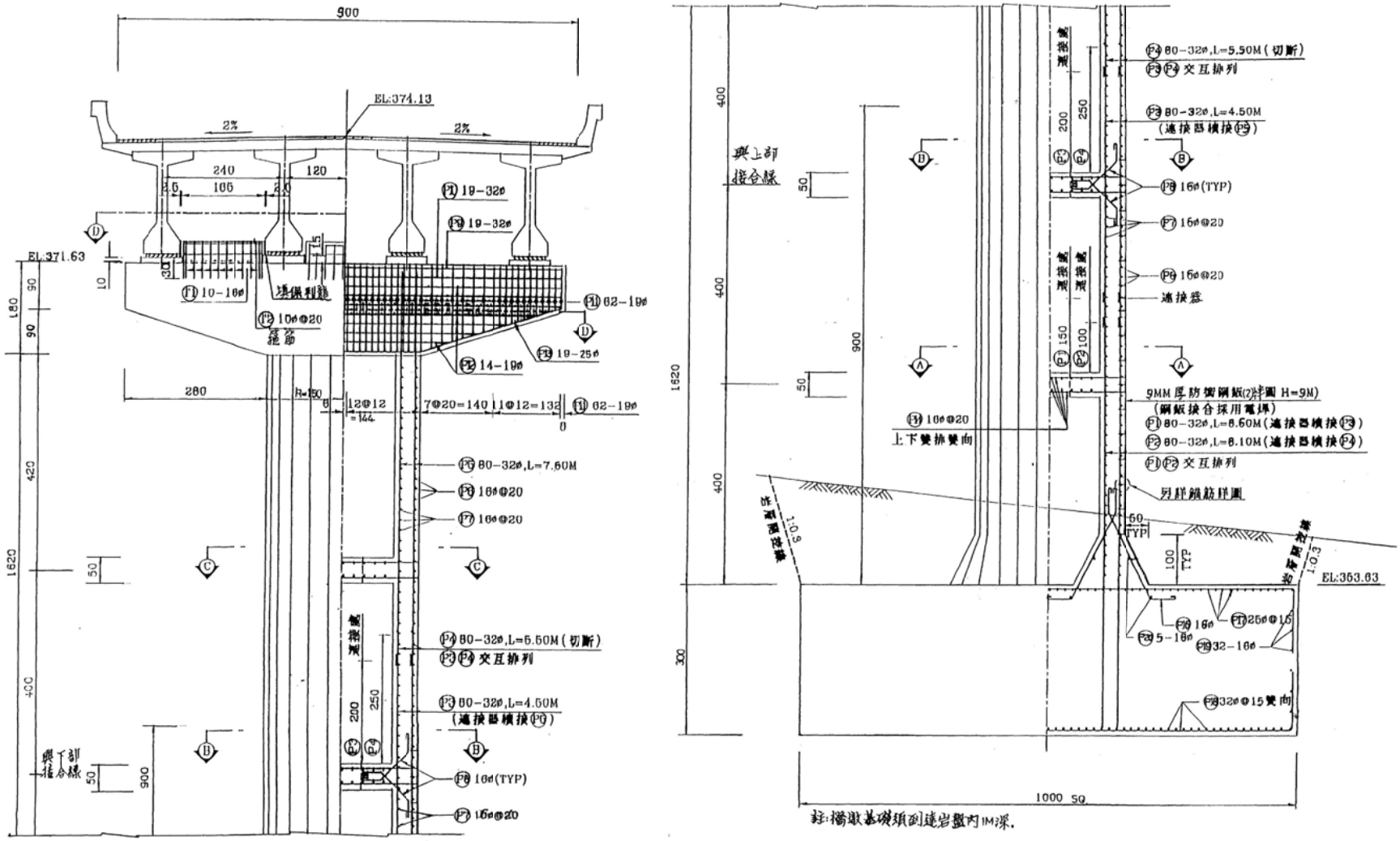


圖 6.59　台 27 新發大橋 P1、P4 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

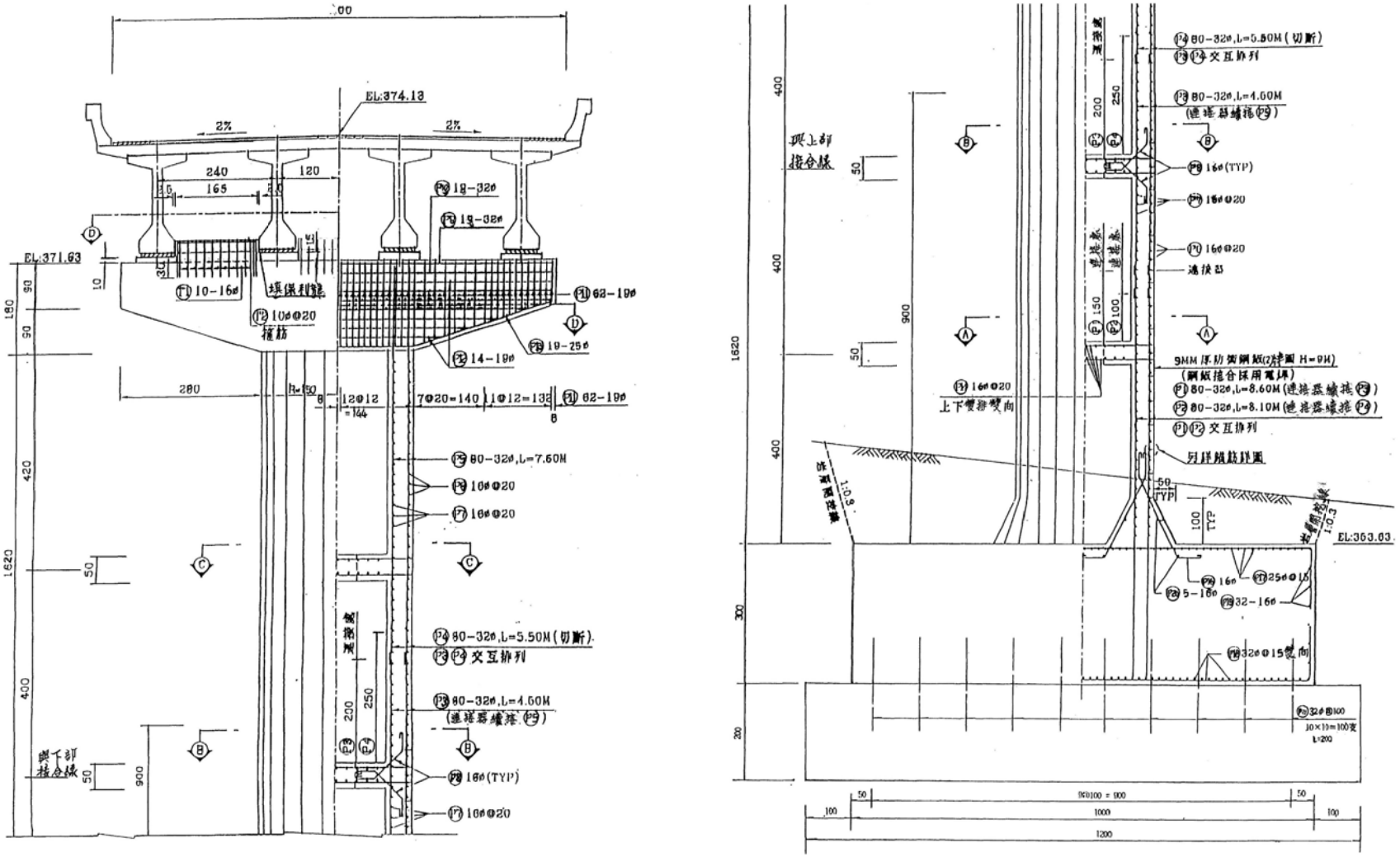


圖 6.60　台 27 新發大橋 P2 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

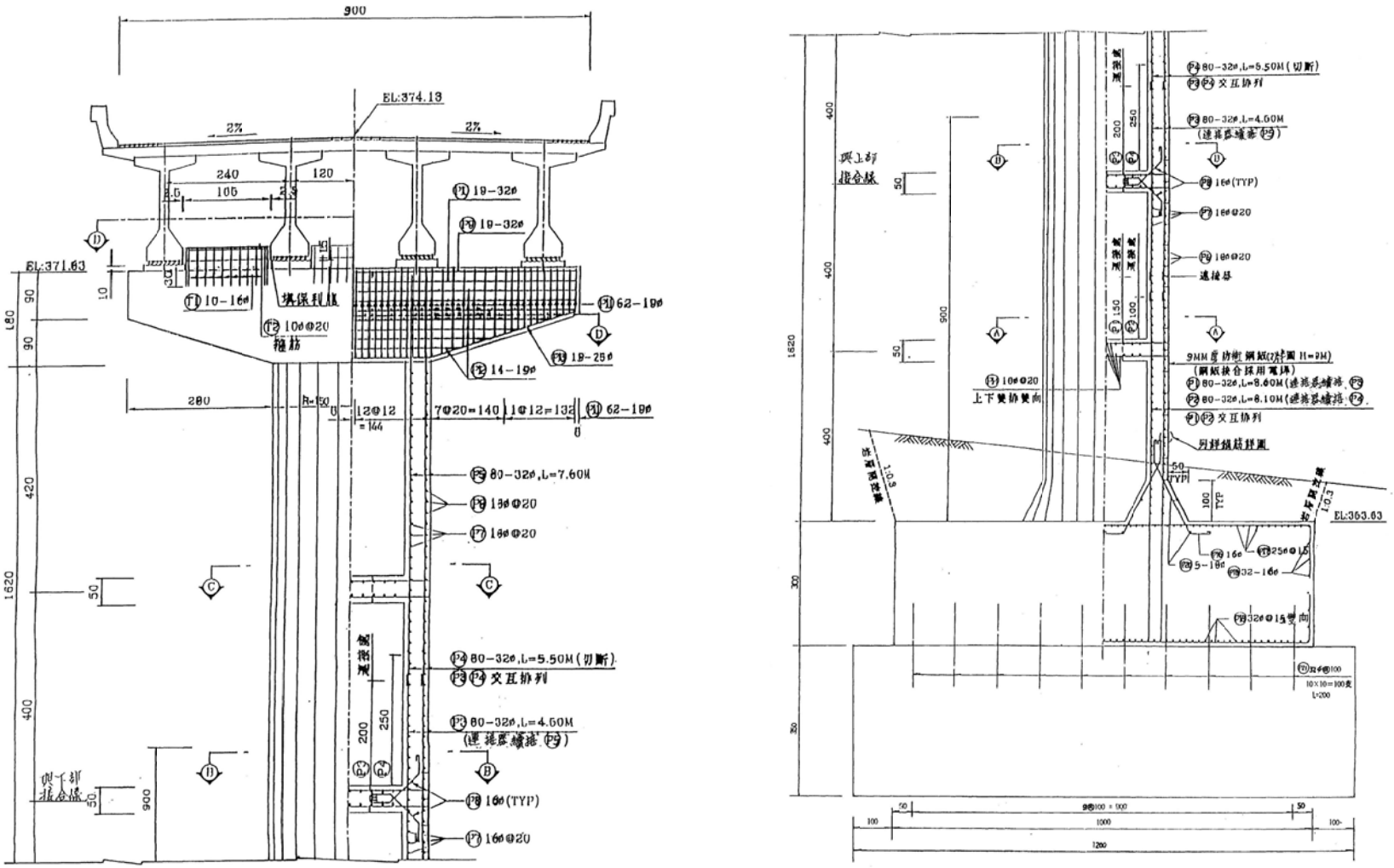


圖 6.61　台 27 線新發大橋 P3 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

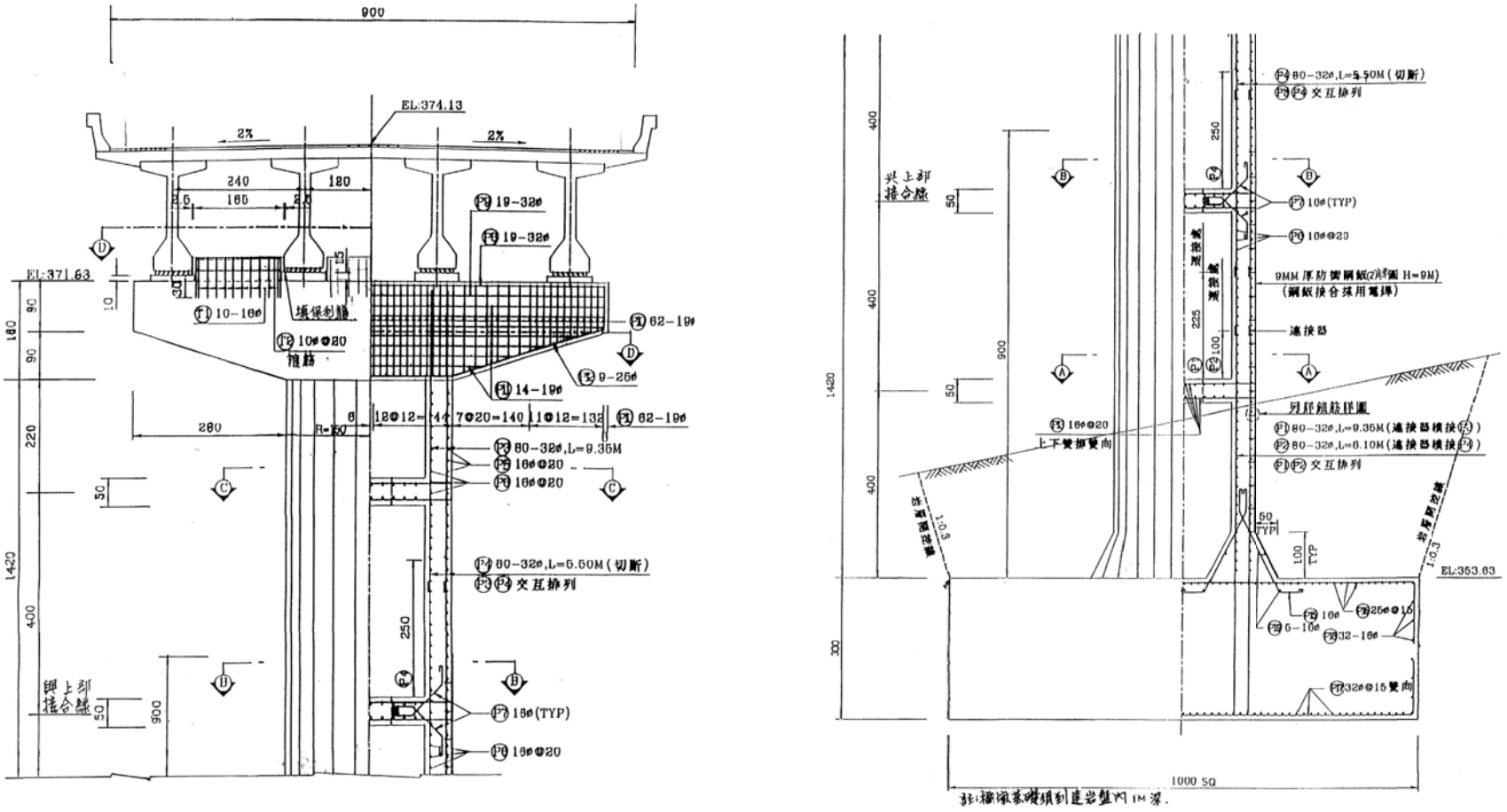


圖 6.62　台 27 線新發大橋 P5 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

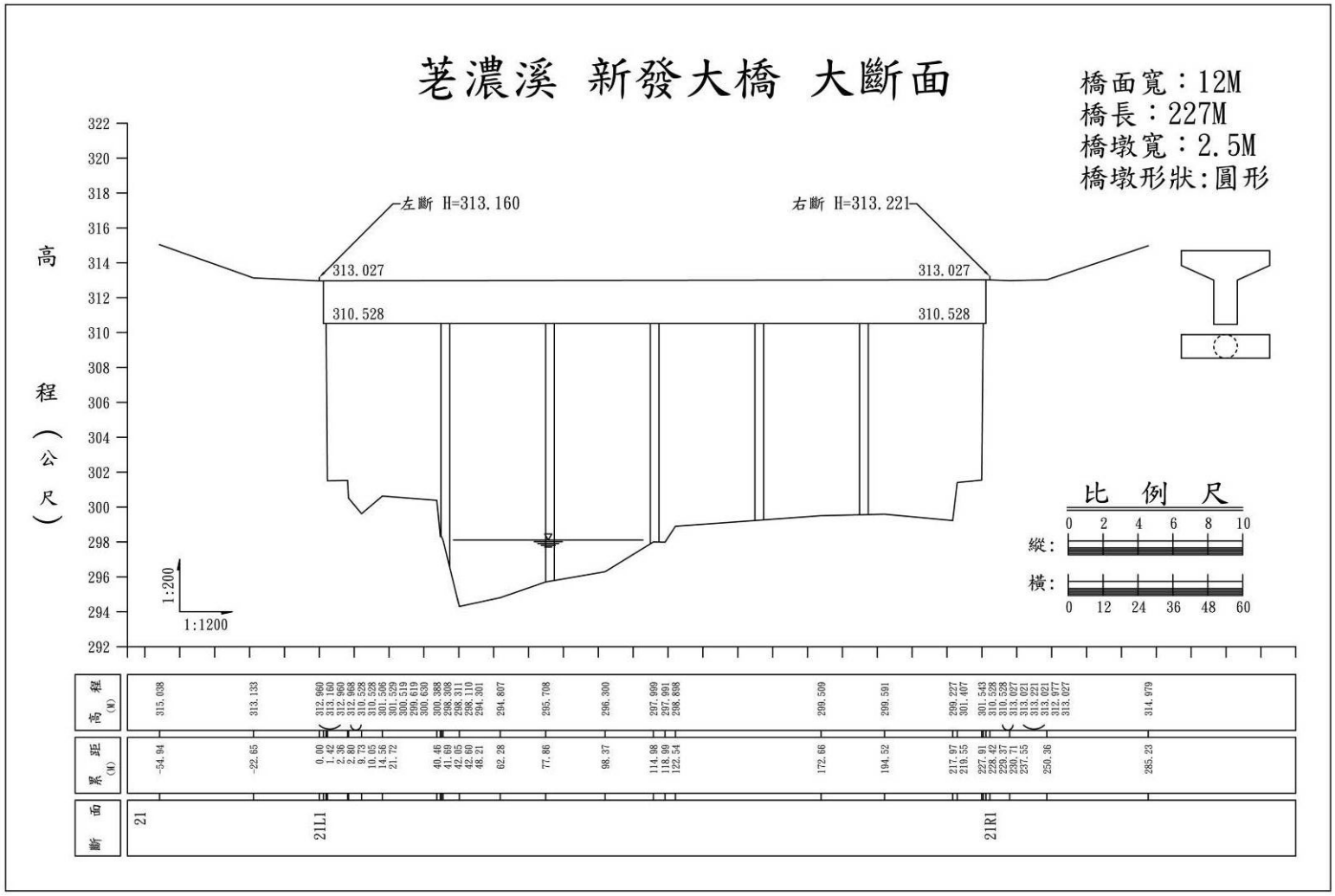


圖 6.63　台 27 線新發大橋橋址處民國 95 年橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

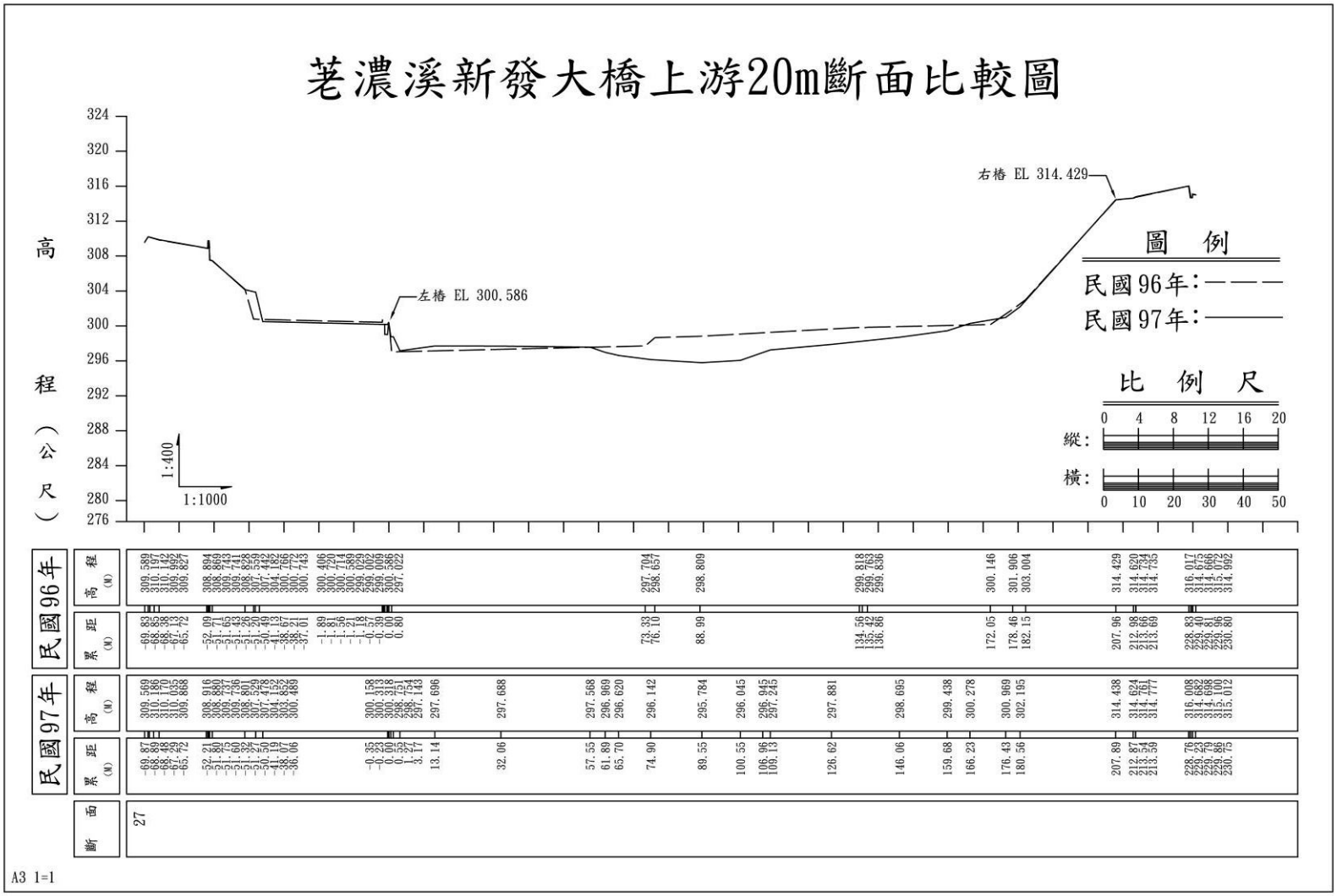


圖 6.64　台 27 線新發大橋上游 20 m 民國 96 至民國 97 年橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

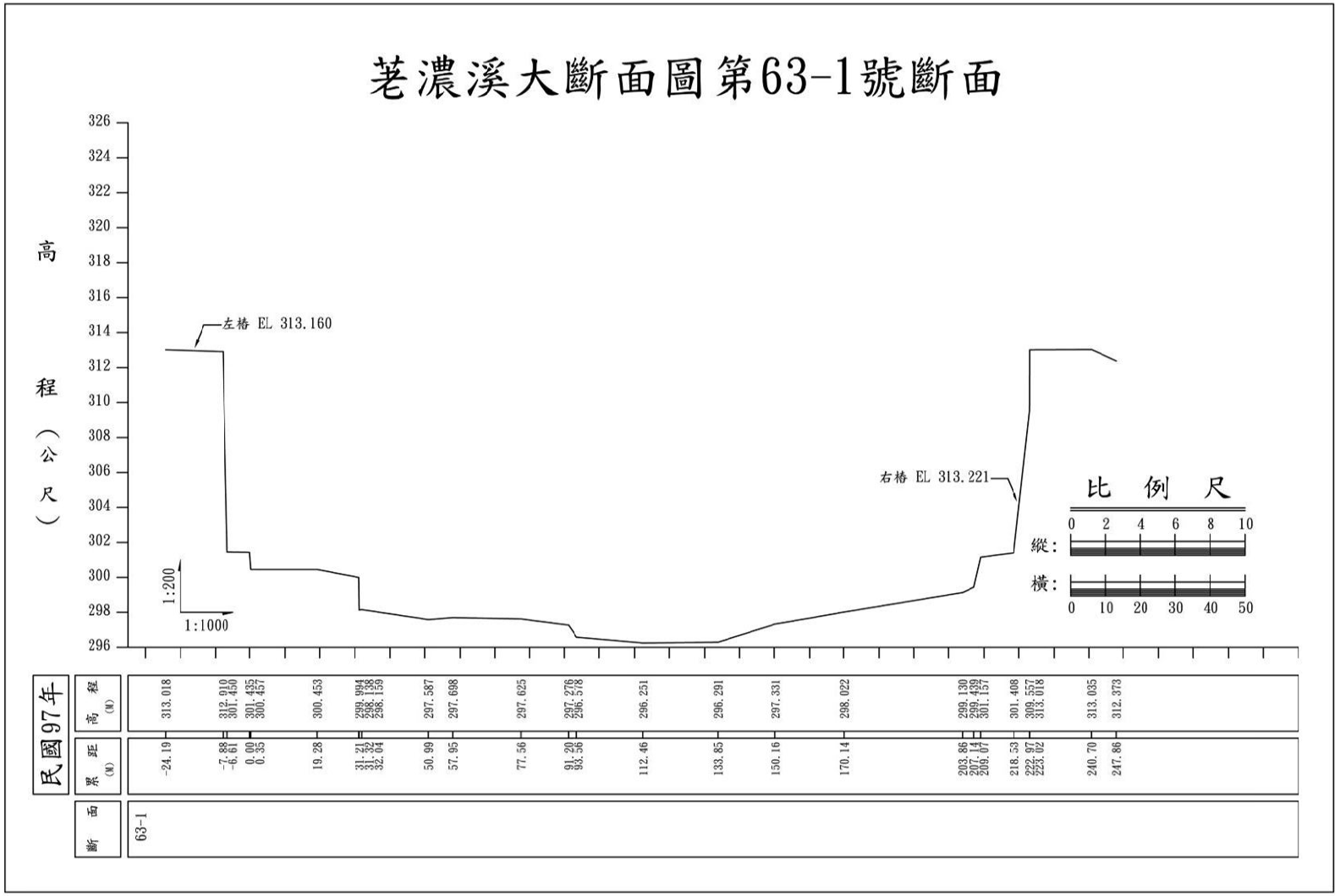


圖 6.65 台 27 線新發大橋橋址處民國 97 年橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

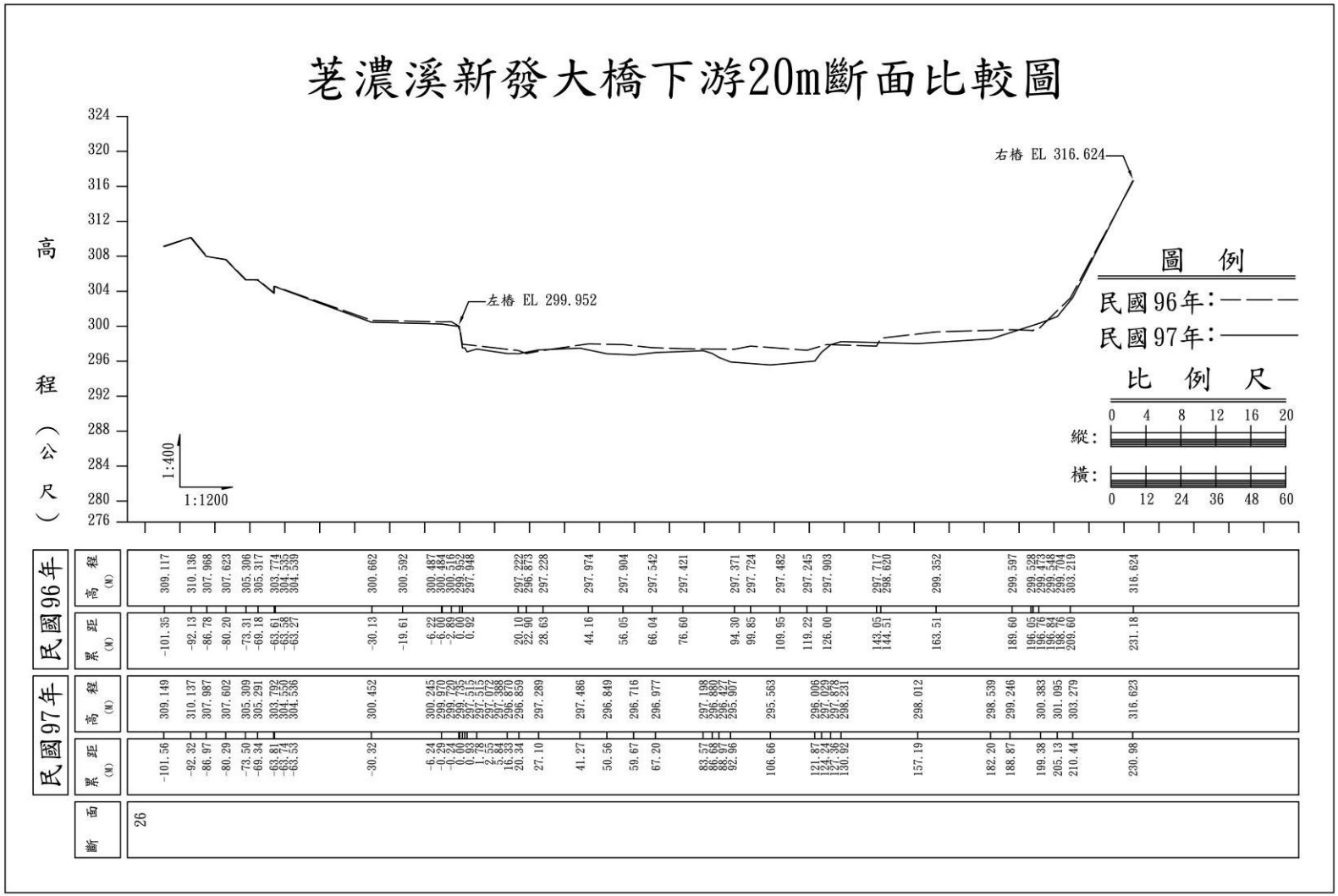


圖 6.66　台 27 線新發大橋下游 20 m 民國 96 至民國 97 年橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

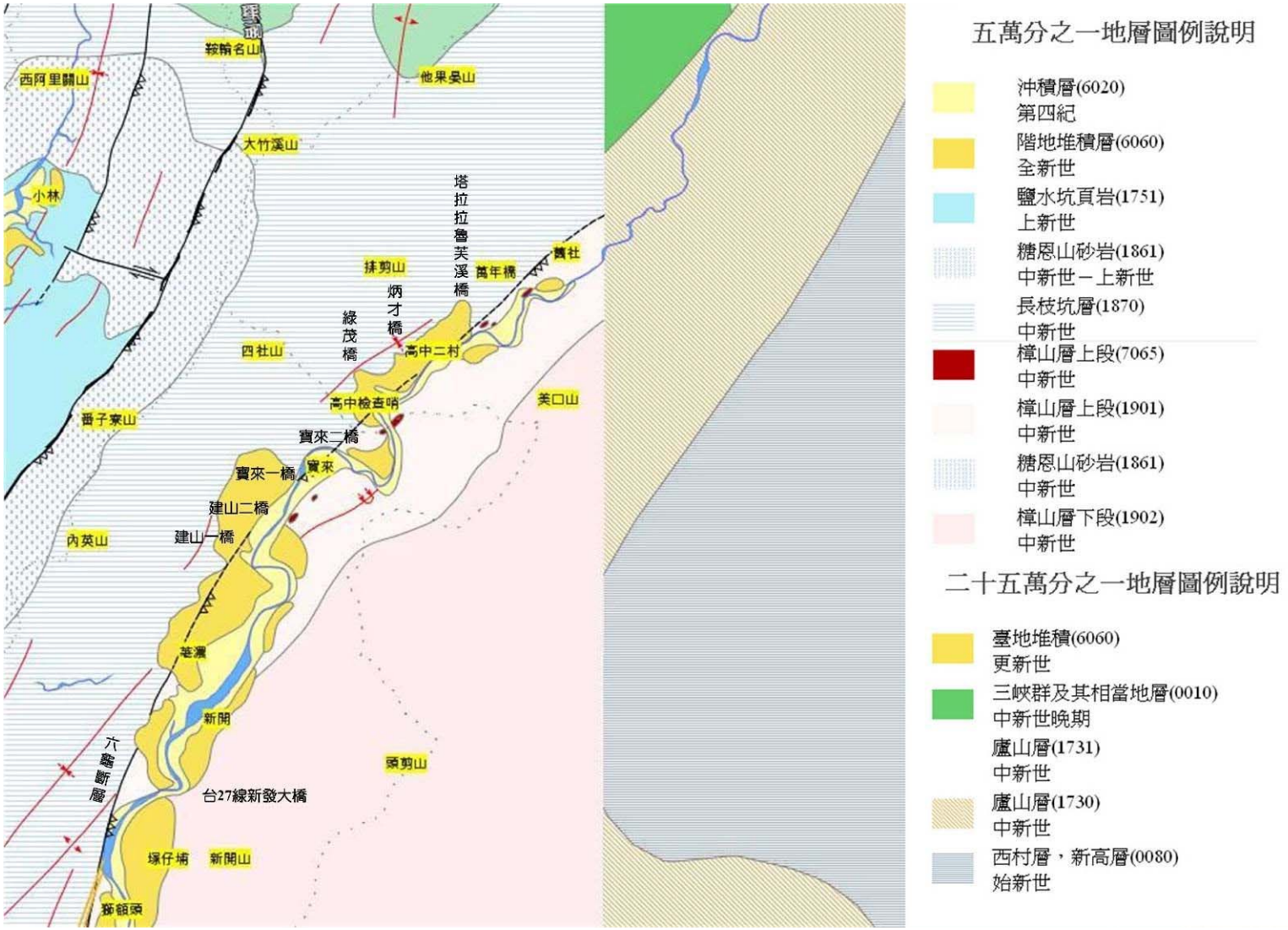


圖 6.67　台 27 線新發大橋地質圖【資料來源：經濟部中央地質調查所】

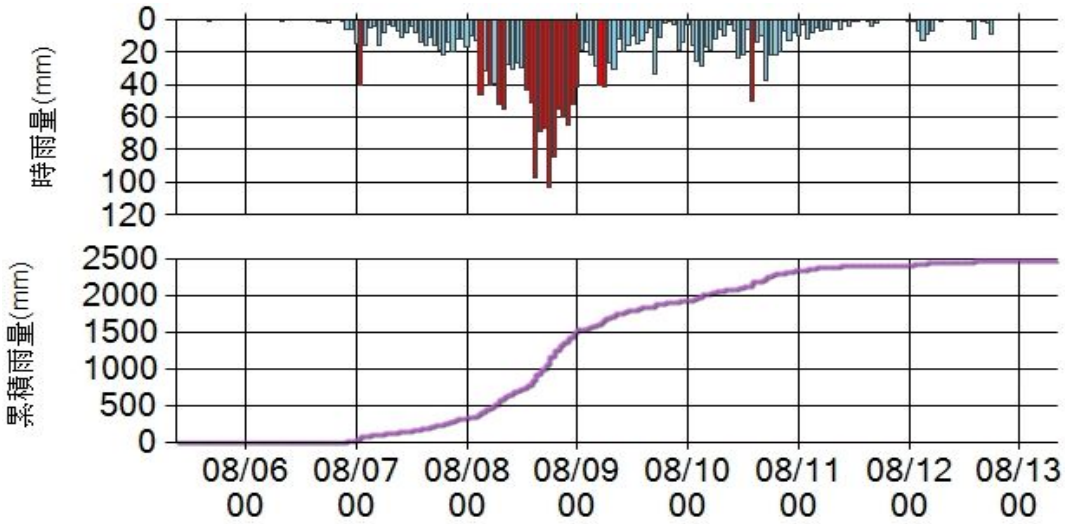


圖 6.68　新發雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 6-10　莫拉克颱風新發雨量站之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_新發暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：16年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	59.5	72.9	80.5	87.0	88.9	94.6	99.9	104.8	0	<2	106	>200
3	103.3	138.3	160.4	180.8	187.1	206.2	224.6	242.6	0	<2	254	>200
6	139.9	201.6	240.3	275.8	286.8	319.9	351.8	382.8	1	<2	475	>200
12	199.3	311.5	387.3	459.7	482.5	552.5	621.5	689.8	1.5	<2	787	>200
24	272.9	457.1	593.0	728.7	772.5	909.2	1047.2	1186.5	1.5	<2	1200	>200
48	345.7	649.6	887.9	1133.0	1213.3	1466.8	1726.3	1991.7	-	-	1665	77.69
72	404.8	791.5	1100.6	1421.4	1526.9	1861.3	2205.2	2558.0	-	-	2032.5	62.28

參考水利署雨量站：六龜(4)。(統計資料長度：26年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	57.9	72.9	81.2	88.1	90.1	96.0	101.2	106.0	0	<2	106	>200
3	109.4	144.6	167.3	188.6	195.2	215.7	235.8	255.9	0	<2	254	185.92
6	154.9	218.7	260.0	298.6	310.7	347.5	383.6	419.1	1	<2	475	>200
12	237.3	339.4	404.5	464.8	483.5	540.0	594.6	647.8	1.5	<2	787	>200
24	350.4	517.7	622.6	718.1	747.4	834.6	917.3	996.1	1.5	<2	1200	>200
48	449.9	697.0	888.0	1092.3	1161.6	1389.5	1638.8	1912.1	-	-	1665	106.70
72	517.3	806.0	1037.5	1292.2	1380.2	1674.6	2005.0	2376.7	-	-	2032.5	105.40

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

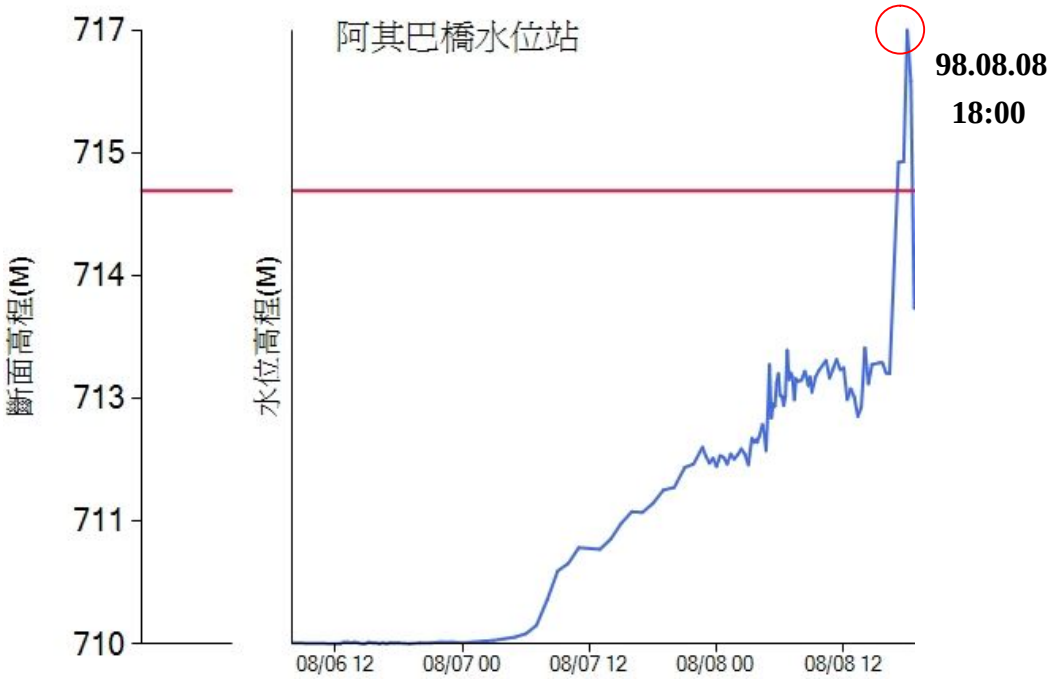


圖 6.69　　阿其巴橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

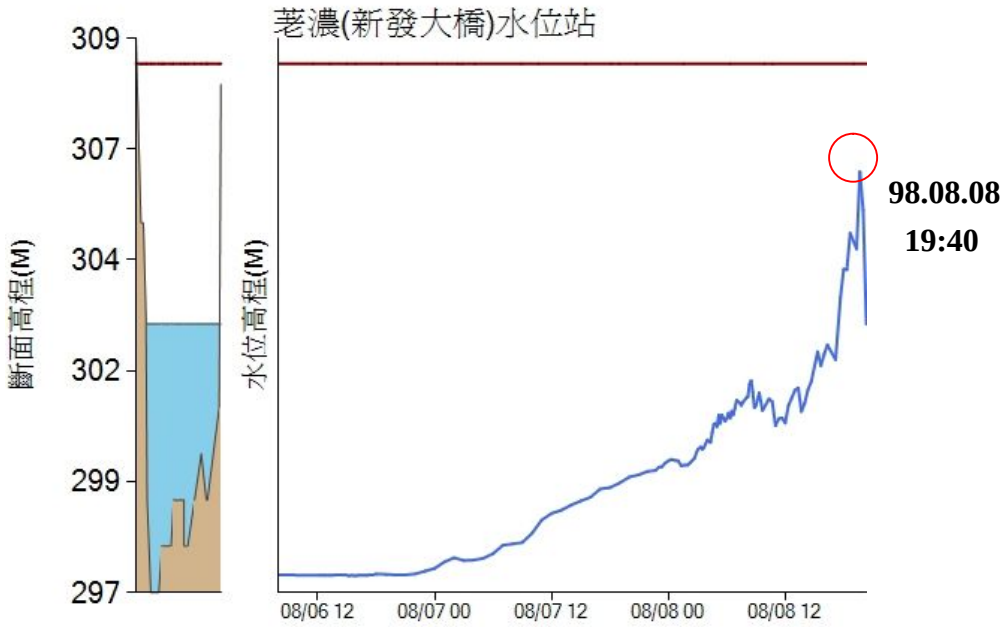
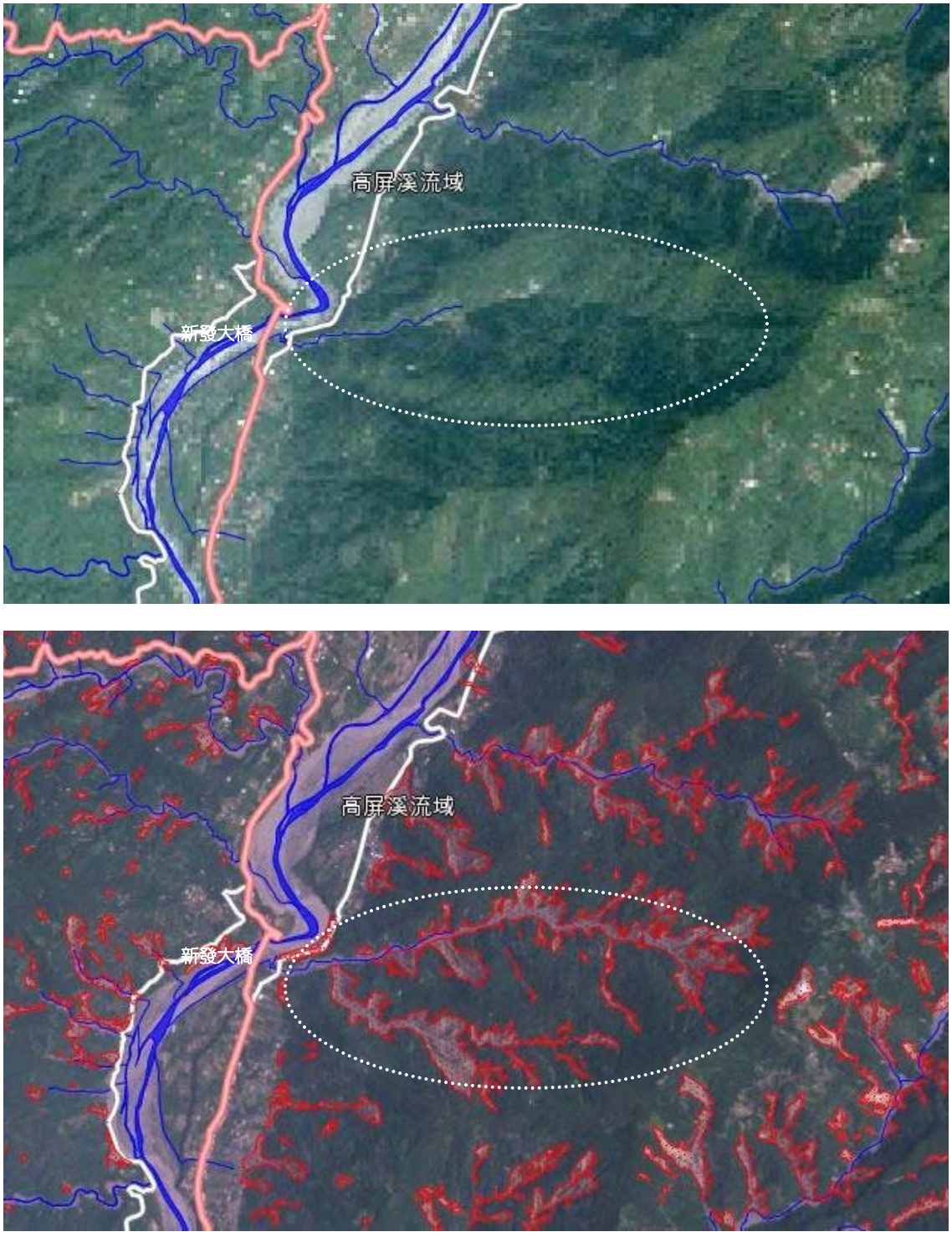


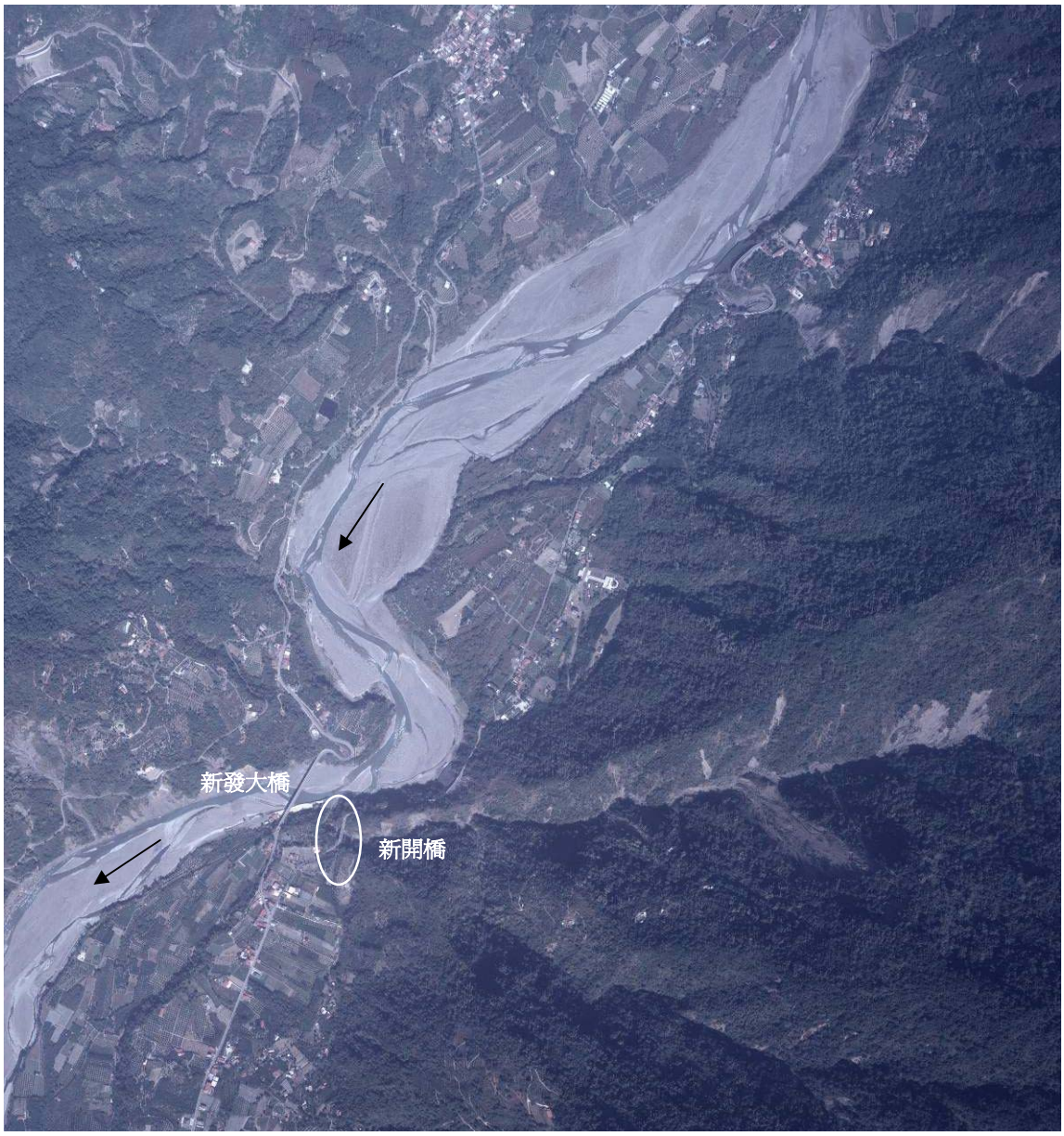
圖 6.70　　新發大橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 6.28　新發大橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形

【資料來源：中央地質調查所集水區與地質資料庫】



相片 6.29　台 27 線新發大橋於民國 96 年航拍之畫面

【資料來源：農林航空測量所】

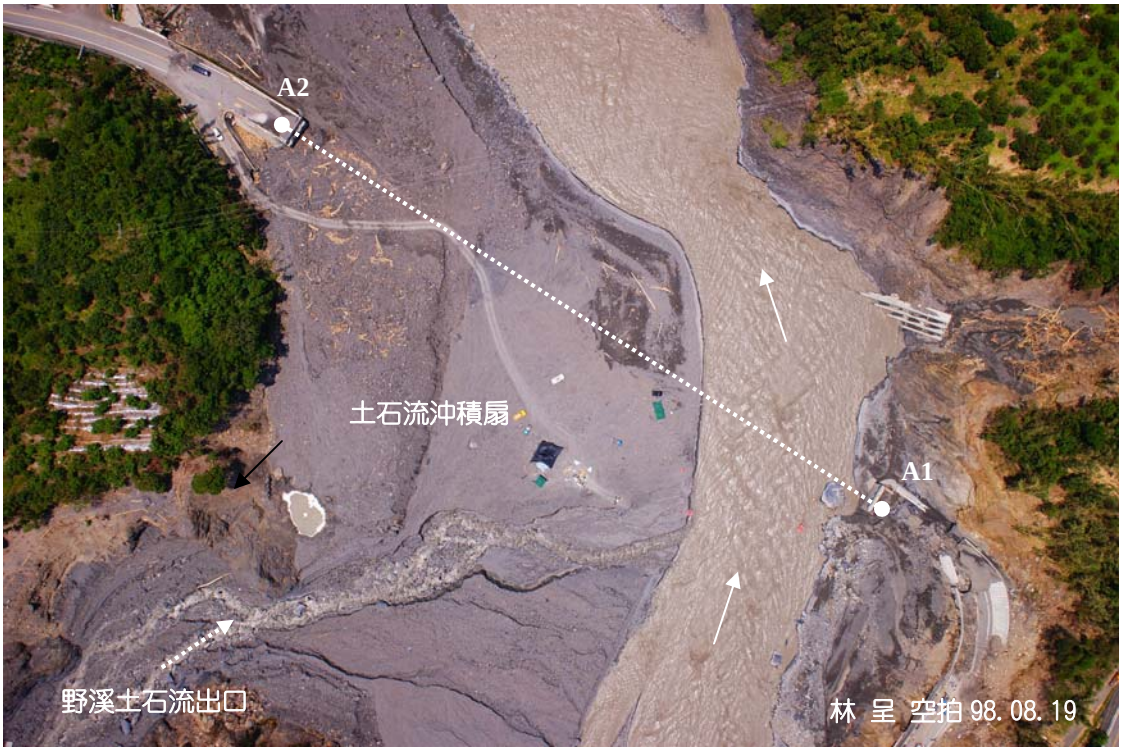


相片 6.30 台 27 線新發大橋於民國 98 年莫拉克颱洪後航拍之畫面

【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.31　莫拉克颱洪後新發大橋上游左岸側之野溪土石流，畫面中斷橋為新開橋



相片 6.32　台 27 線新發大橋於民國 98 年莫拉克颱洪後空拍之畫面，野溪土石流沖積扇堆積於河道上，致使河道通水斷面不足

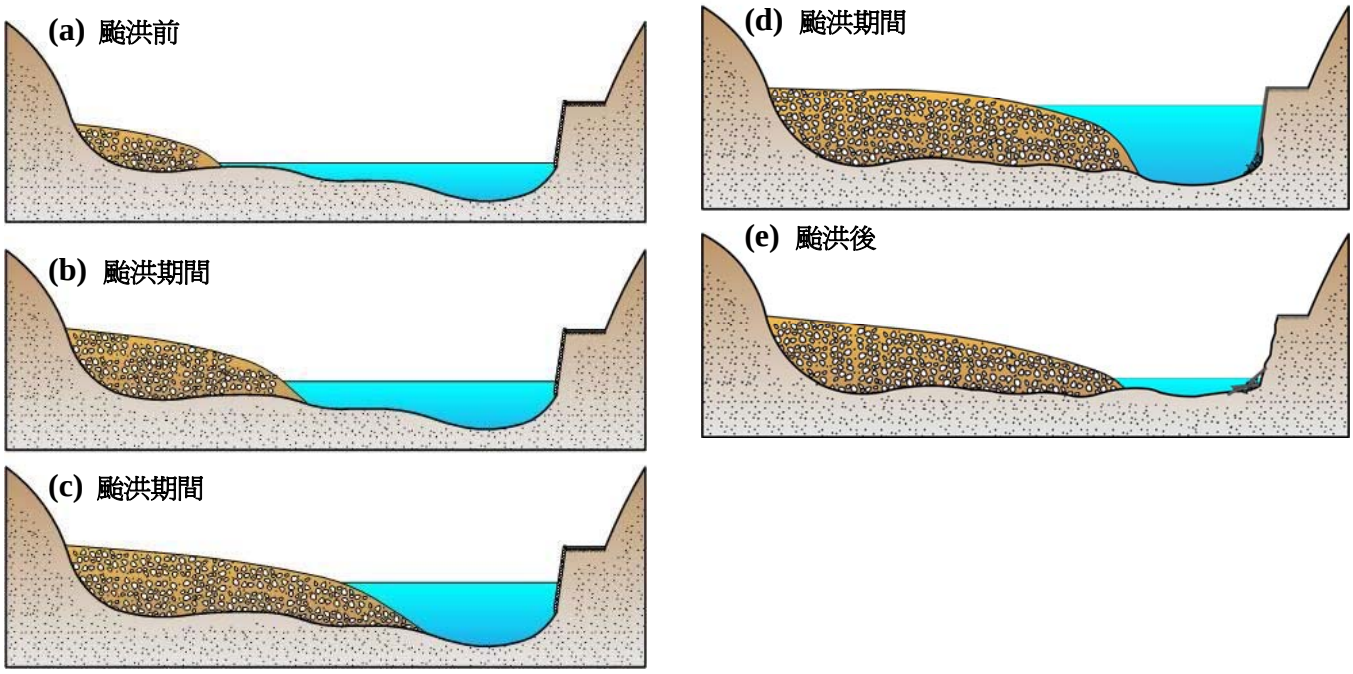


圖 6.71 新發大橋上橋址處上游側之土石堆積流程示意圖



相片 6.33　新發大橋於莫拉克颱洪後之災況



相片 6.34　新發大橋於莫拉克颱洪前後之比對

EL. 324.00 m

新發大橋　新發大橋推估之最高水位，根據現場調查，如相片 6-5-6 (b)水位有溢淹至山坡

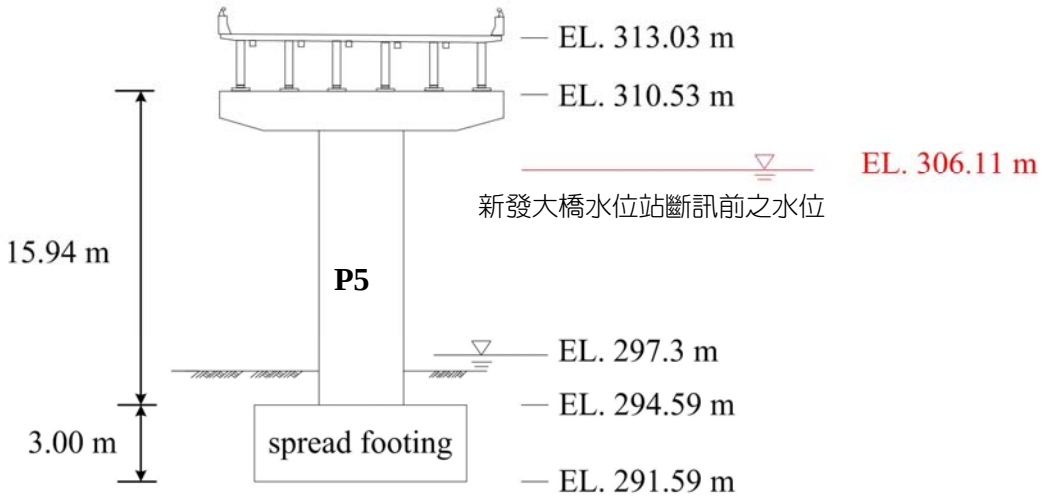
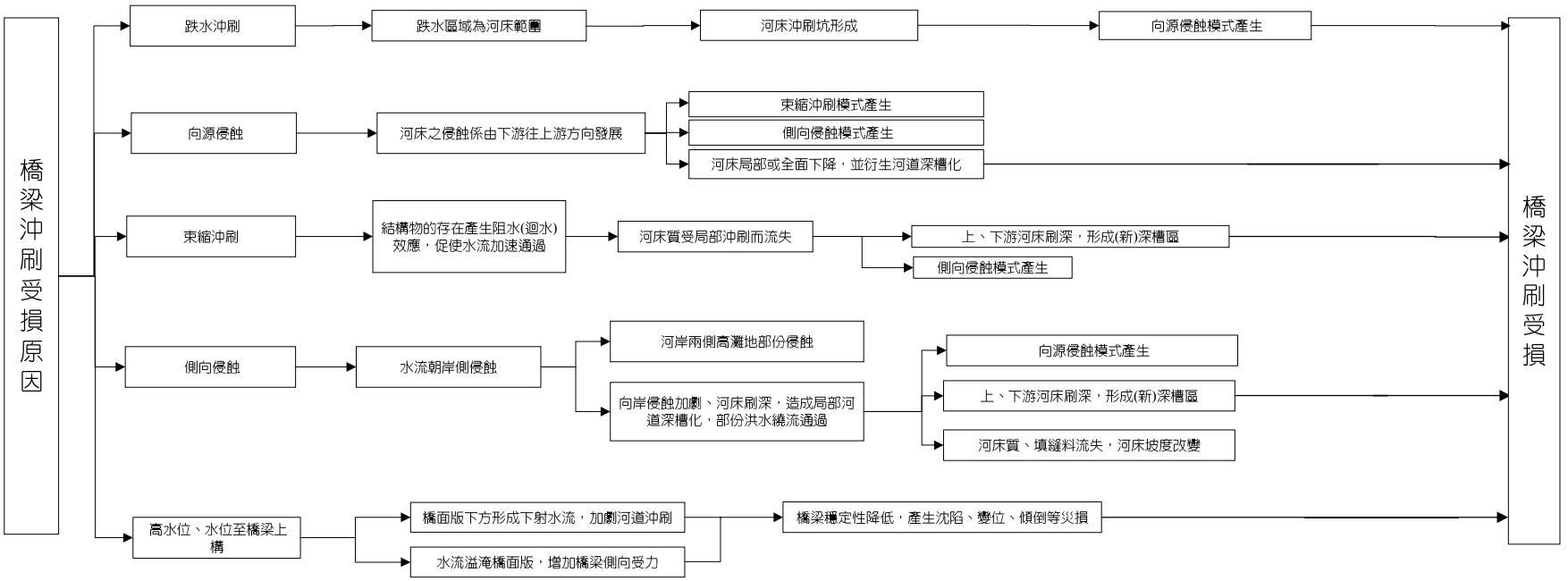


圖 6.72　新發大橋 P5 橋墩水位高程示意圖

(a) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流程



(b) 受堰塞湖影響之橋梁破壞流程

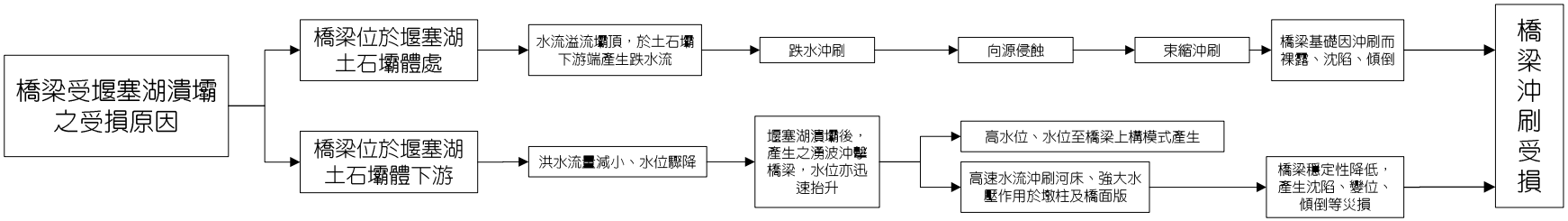
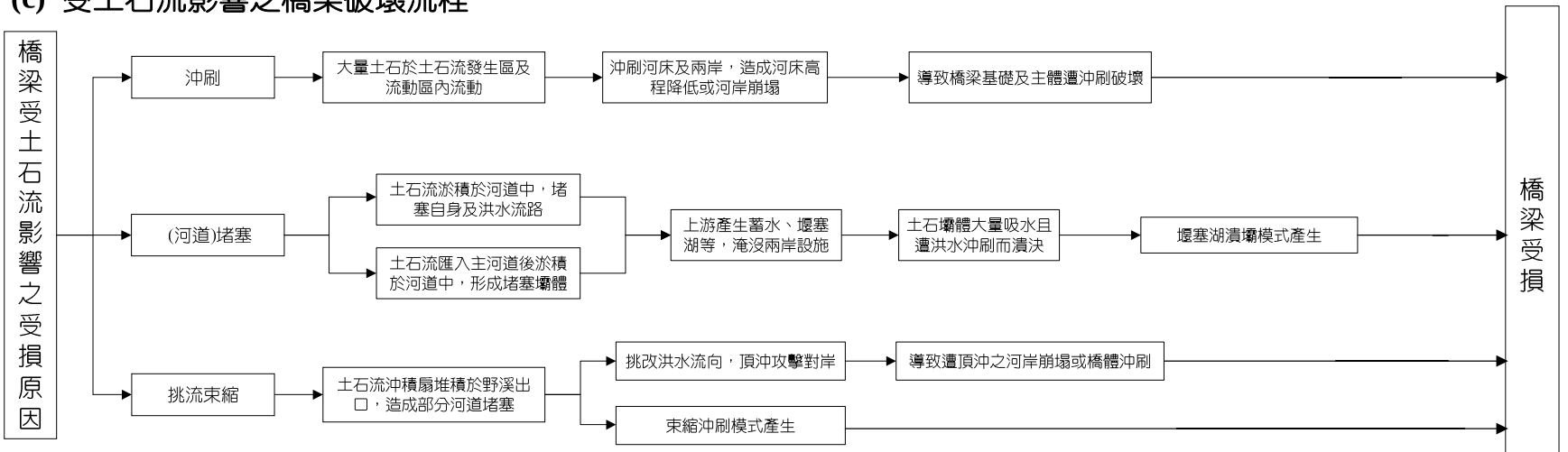


圖 6.73　新發大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

(c) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(d) 受漂流木影響之橋梁破壞流程

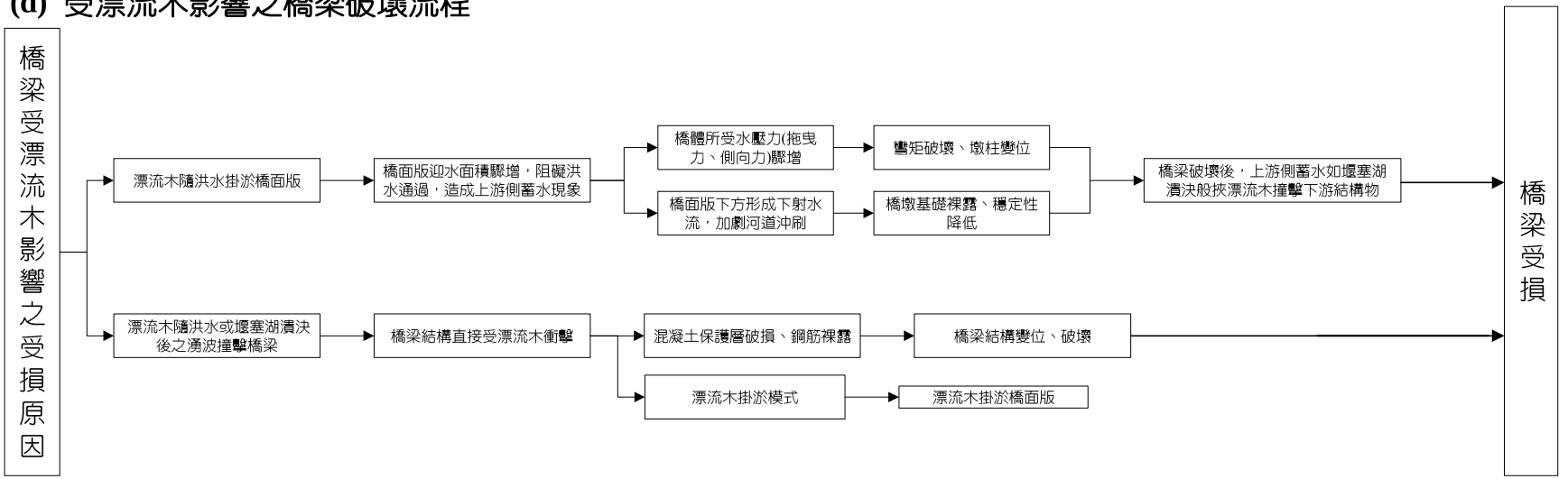


圖 6.73(續)　新發大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.6 台 27 甲線六龜大橋

1. 基本資料

台 27 甲線(原為縣道 184 線)六龜大橋位在高雄縣六龜鄉跨越荖濃溪，樁號起自 1K+420、迄至 1K+728 處。依據橋梁基本資料表(表 6-11)與竣工圖顯示，本橋於民國 81 年竣工完成拓寬工程、最近一次維修係於民國 96 年 5 月辦理維修，橋長 308 m，共有八個橋孔，每跨 38.5 m。橋梁上部結構為預力 I 型簡支梁，下部結構為單柱式橋墩及沉箱基礎，梁底至沉箱頂部之淨高 10.0 m；各橋墩原始基礎深度：P1(10.0 m)、P2(12.0 m)、P3 ~ P6(7.0 m)，詳如圖 6.74 ~ 圖 6.77 所示。

依據中央地質調查所期刊文獻資料顯示，六龜大橋橋址位於沖積層，其鄰近六龜斷層及潮洲斷層，如圖 6.78 所示；另由民國 81 年六龜大橋拓寬工程之地質鑽探柱狀剖面圖可知，橋址處之地層為卵礫石夾粗砂、灰色頁岩夾泥岩及風化砂岩、灰色頁岩等所組成，詳如圖 6.79 所示。

民國 93 年 7 月 4 日因敏督利颱風之洪流沖刷，引致六龜大橋下游側 P6 橋墩下陷約 27 cm，S6 及 S7 橋面版與路面 AC 隨之下陷開裂，致使交通中斷。謝等人(2006)於「台 27 甲線六龜大橋上下部結構修復及加固工程」一文中指出，第三區養護工程處為維護交通安全，立即進行封橋措施；俟待洪流稍退經工程司初步檢測，認為可開放單線維持雙向通車之管制疏導措施，以方便二地車流通行。另顧及用路人權益及公路單位應盡職責，隨即會勘、委託安全評估後決議先就下部結構加固及上部結構修復，以提供更安全、舒適及便利之橋梁運輸服務功能，經規劃設計、發包及施工，該工程已於民國 94 年 7 月全線修復完竣並開放通車。下部結構加固範圍示意圖及施工步驟，詳如圖 6.80 及圖 6.81 所示。

表 6-11　台 27 甲線六龜大橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	六龜大橋	橋梁編號	1840-040	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 27 甲線
橋頭里程	1K+420M	橋尾里程	K+M	竣工年月	81 年 3 月	最近維修年月	96 年 5 月
造價	不詳元	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	甲仙工務段	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	荖濃溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	無						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別	中央管河川	河川管理單位	第七河川局	河川名稱	荖濃溪
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站	六龜大橋站	計畫洪水位	EL 239.26 M	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	EL 240.76 M	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	308M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	12M	最小淨寬	12M	橋版投影面積	3696M^2		
總車道數	2	總橋孔數	8	最大跨距	38.5M		
跨距分配	38.5@8						
最高橋墩高度	8M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	8M		
橋頭 GPS 經度	120.6327	橋頭 GPS 緯度	22.9981	橋尾 GPS 經度	120.63	橋尾 GPS 緯度	22.9971
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	沉箱基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	有					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	HS20	地盤種類	無法取得	防震設施	混凝土止震塊	防落橋長度	0.85M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2009-03-04
備　註							
橋墩編號：原縣道 184 線時期 P1 係自右岸起算，到左岸為 P7；改編為省道 27 甲線後：P1 係自左岸起算，到右岸為 P7。							

【資料來源：公路總局第三區工程處】

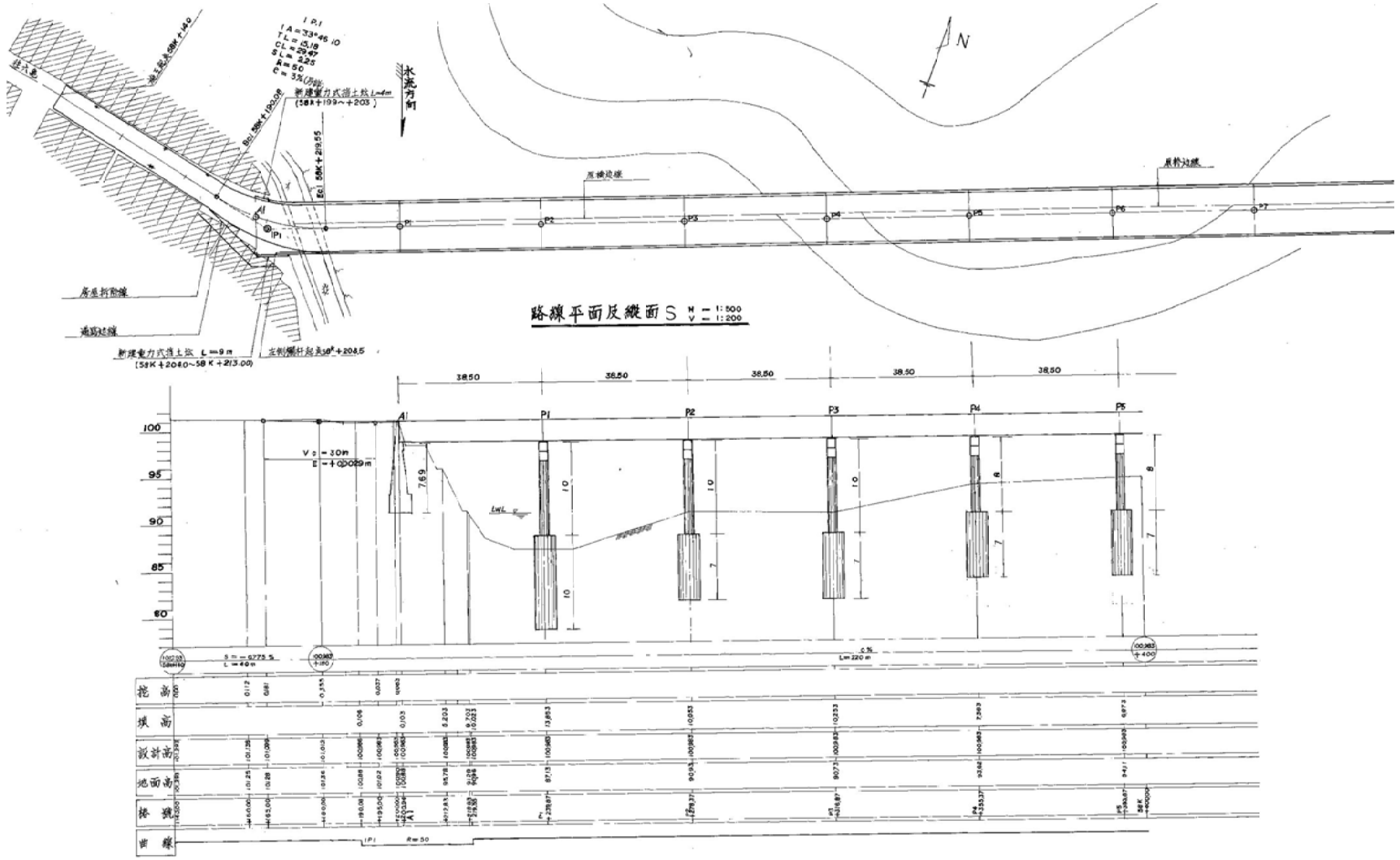


圖 6.74　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：平、立面竣工圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】

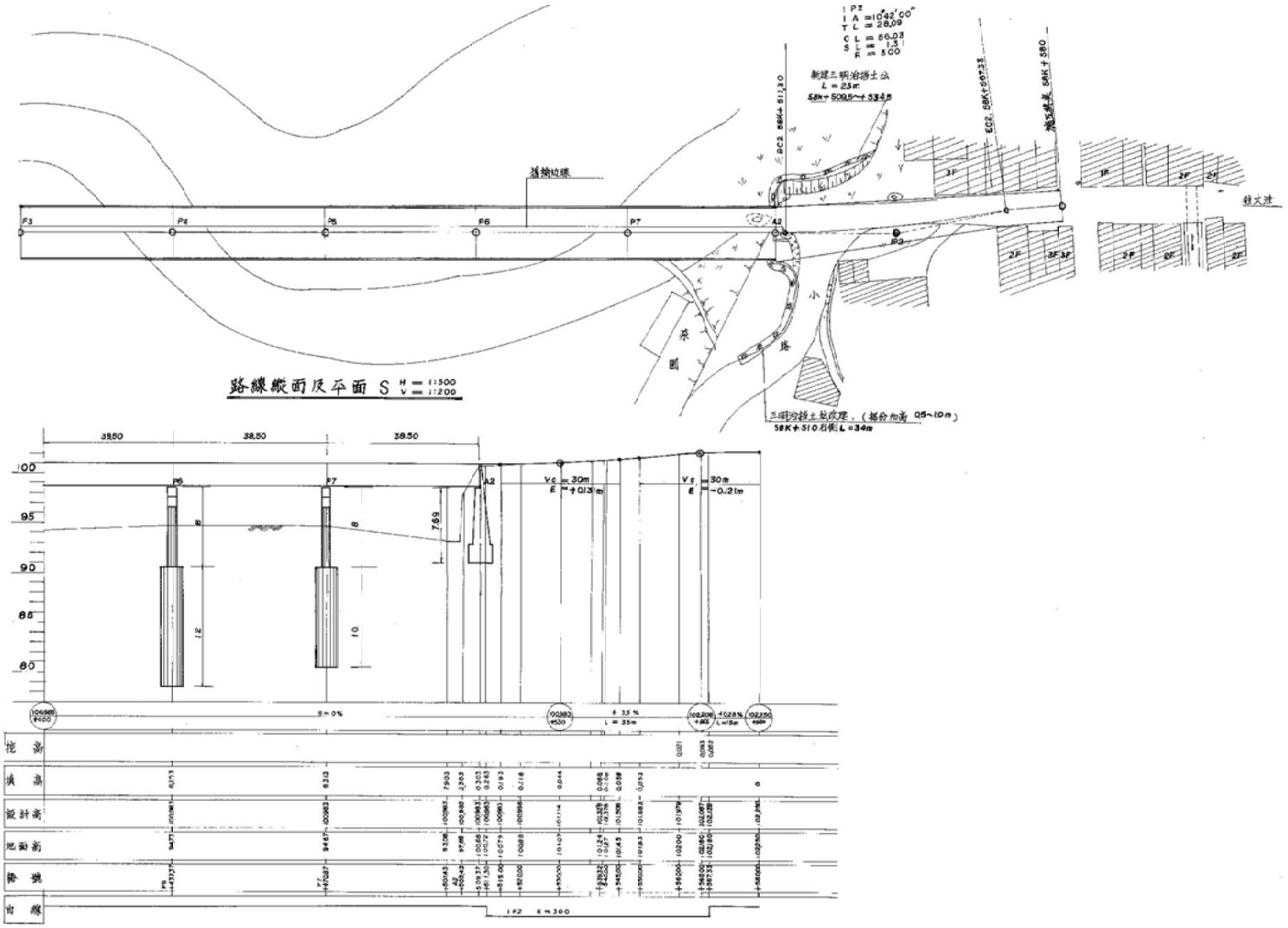


圖 6.74(續)　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：平、立面圖(二)【資料來源：第三區養護工程處】

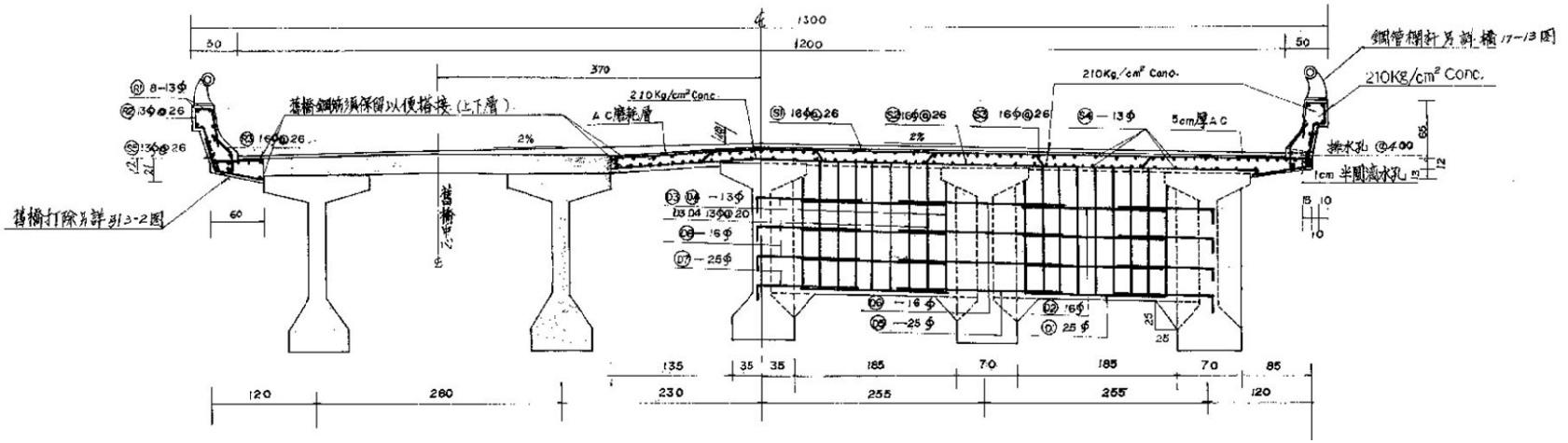


圖 6.75　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：橋面版橫斷面圖【資料來源：第三區養護工程處】

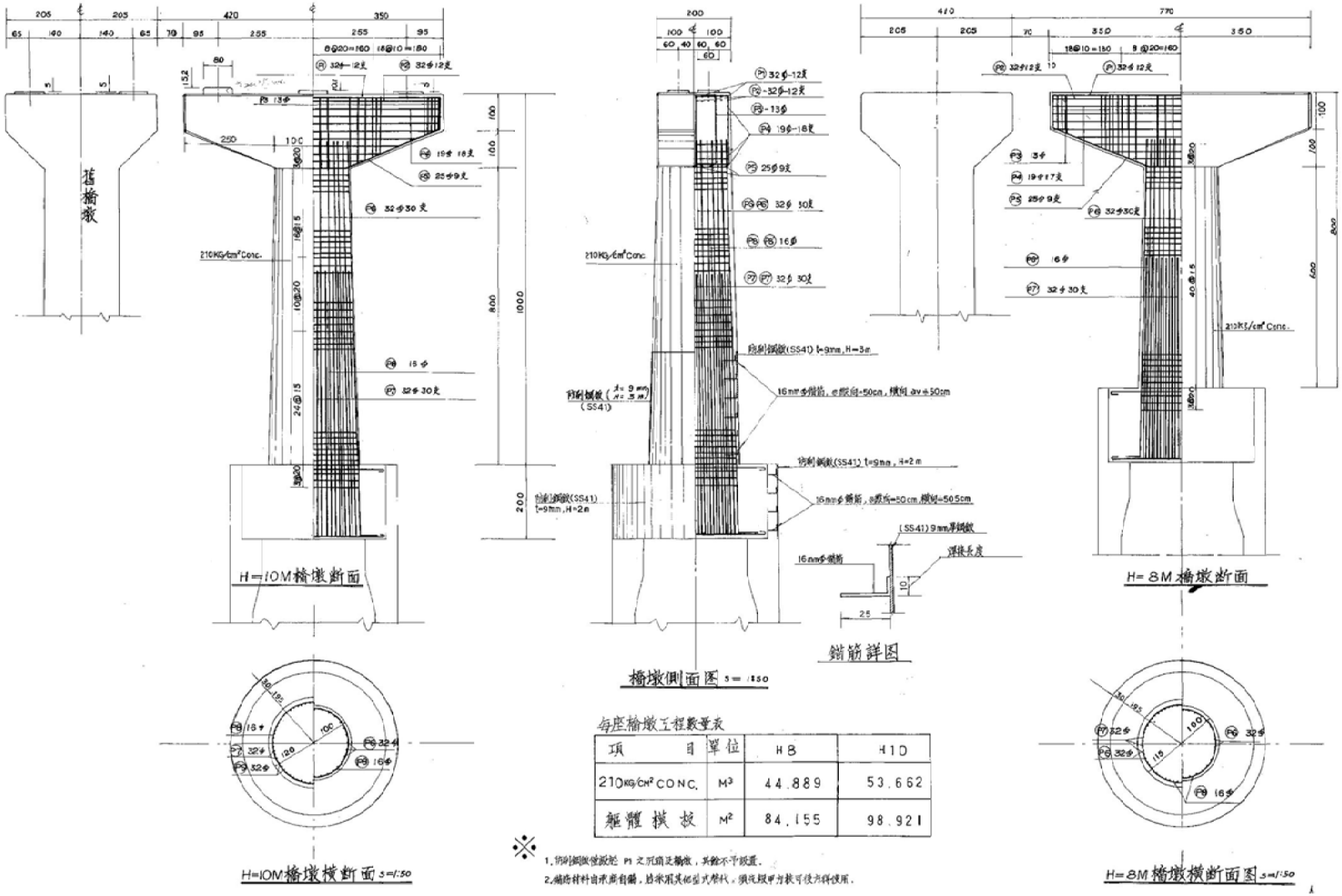


圖 6.76　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：橋墩竣工圖【資料來源：第三區養護工程處】

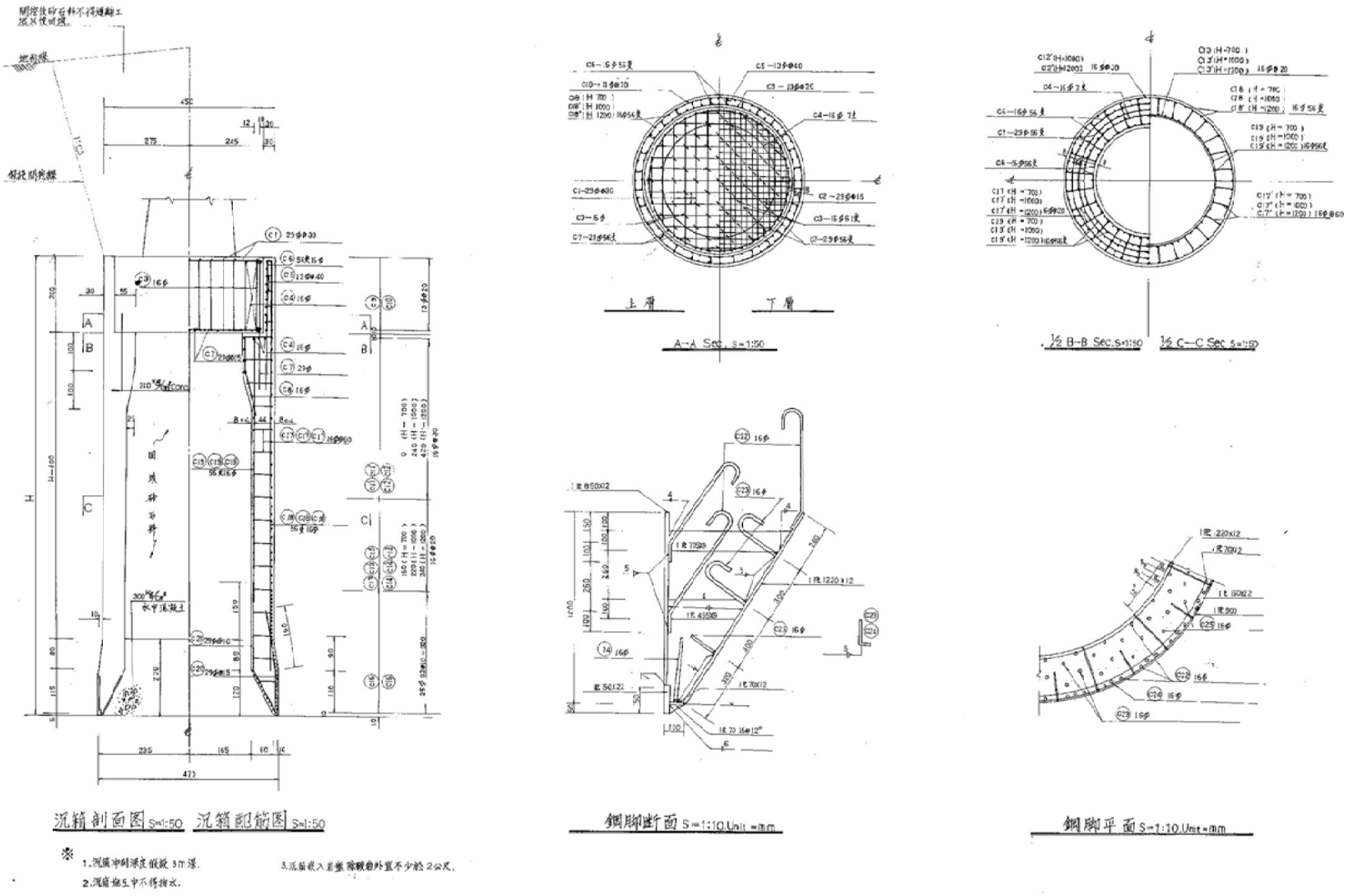


圖 6.77 民國 81 年台 27 甲線六龜大橋拓寬工程：沉箱基礎竣工圖【資料來源：第三區養護工程處】

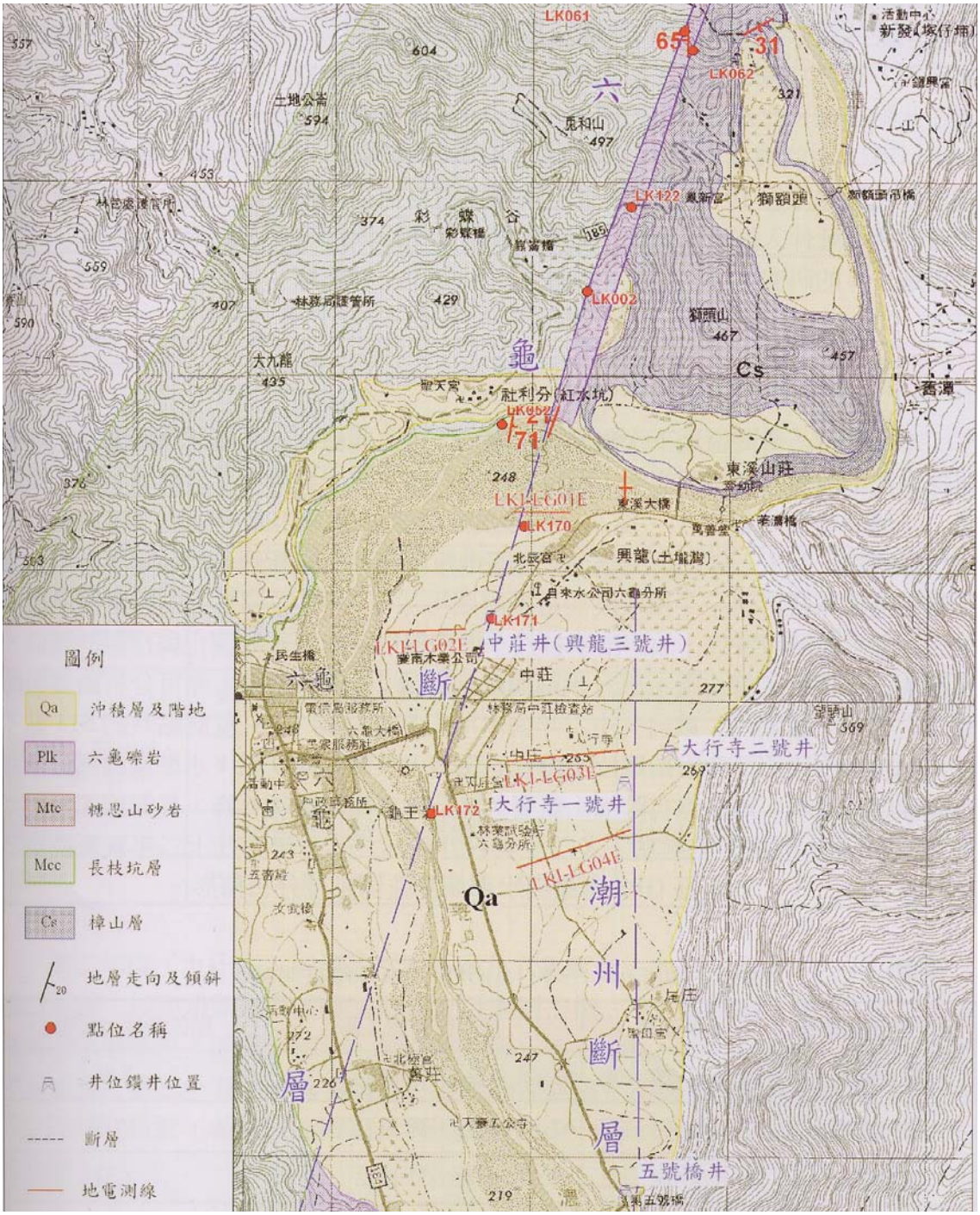


圖 6.78　六龜大橋地質分佈暨斷層位置圖

【資料來源：摘自中央地質調查所期刊文獻】

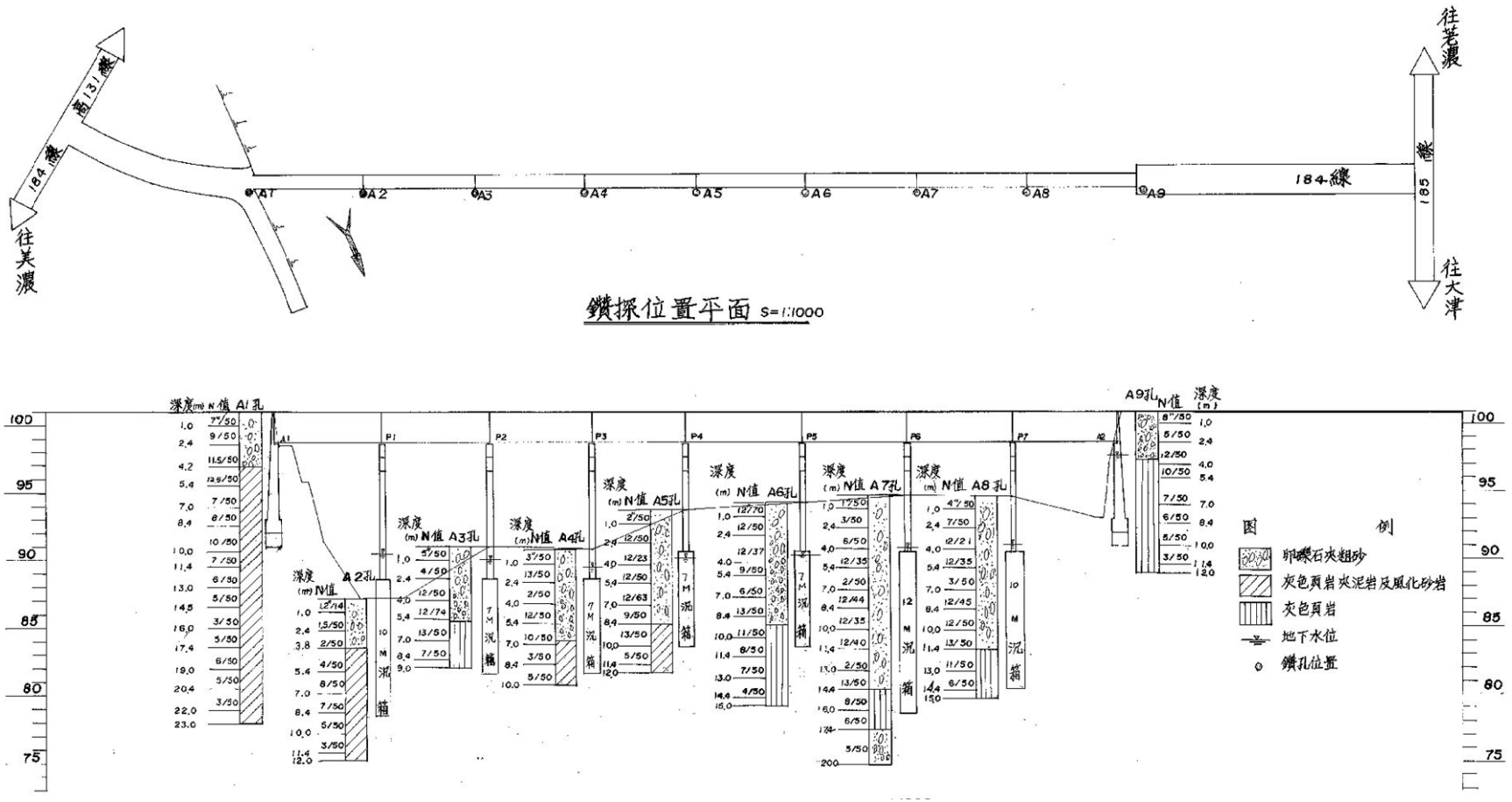


圖 6.79　民國 81 年台 27 甲線六龜大橋之地質鑽探柱狀剖面圖【資料來源：第三區養護工程處】

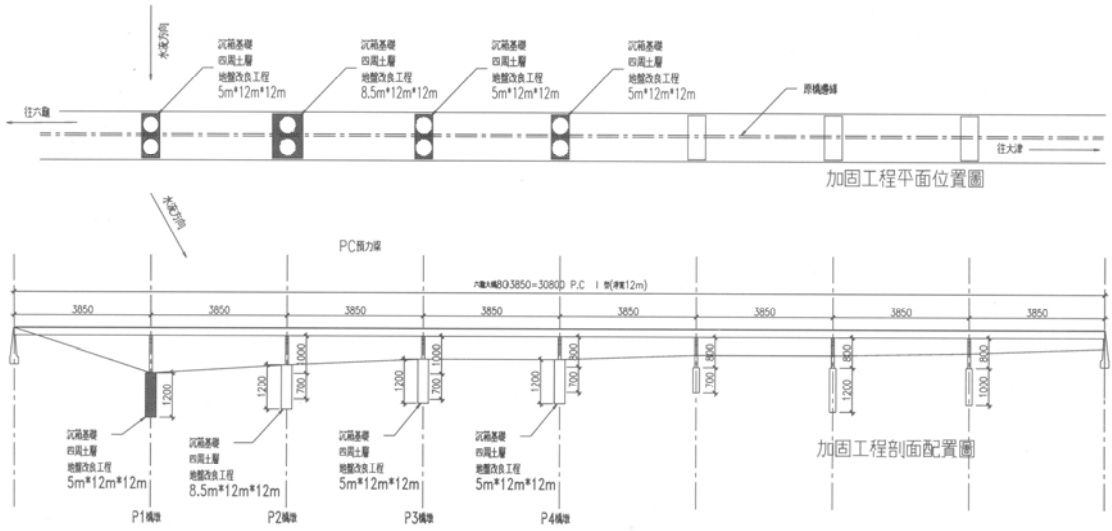


圖 6.80　下部結構加固範圍示意圖

【資料來源：第三區養護工程處】

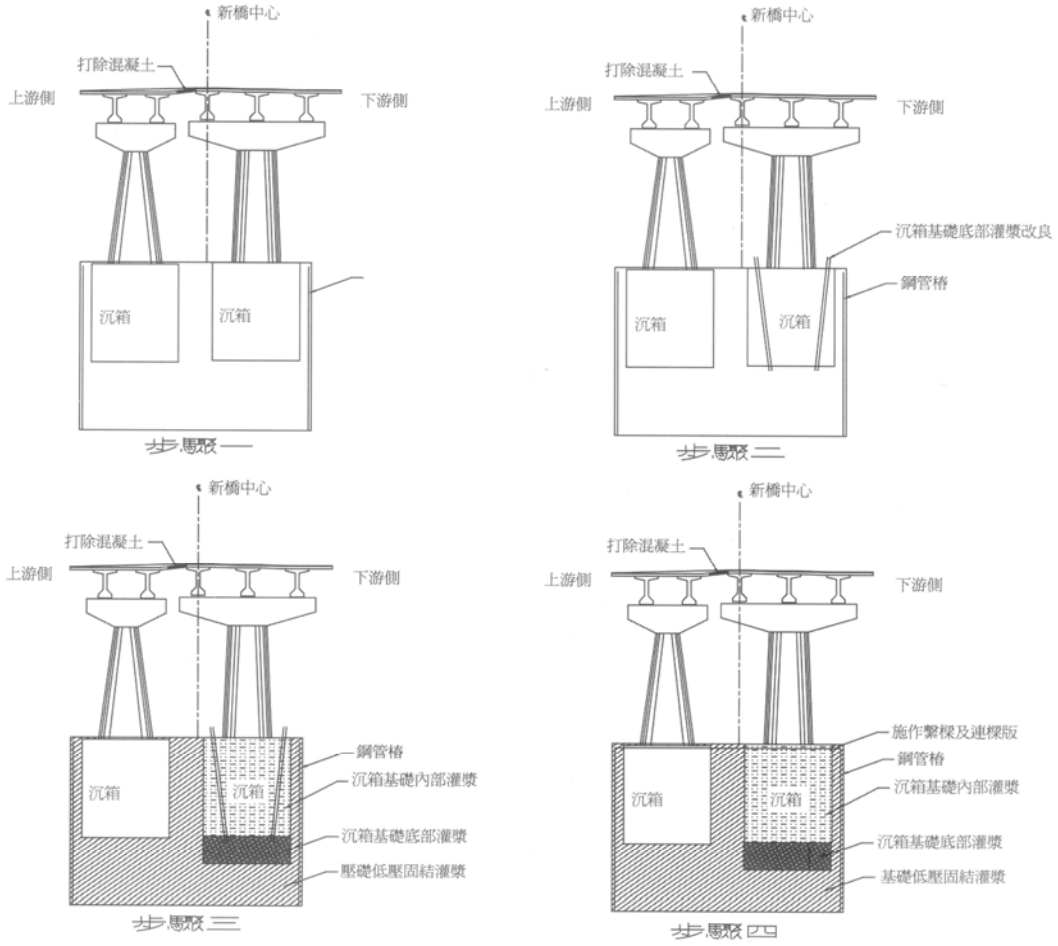


圖 6.81　下部結構加固工程施工步驟

【資料來源：第三區養護工程處】

民國 95 年 05 月則於 P4～P7 下部結構賡續辦理採鋼管樁圍堰(樁之口徑 20 cm、長度 12 m)方式之橋基保護工程，其中 P7 鋼管樁圍堰內部則有增加低壓固結灌漿地盤改良，詳如圖 6.82～ 圖 6.85 所示。

台 27 甲線六龜大橋於辦理改建工程前及斷橋前之(98.03.16)空拍畫面，如相片 6.35(a)所示，P5 橋墩 ～A2 橋台係位於本溪段之彎道凹岸側的深槽區域。在民國 98 年 08 月莫拉克颱洪前，六龜大橋乃刻正進行上游側之改建工程(採半半施工法)，而已打除橋梁南下線(上游側)部分之上部結構及帽梁。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 08 月莫拉克颱洪期間，荖濃溪上游集水區累積降雨量已破 200 年重現期之降雨量，高降雨強度形成大量崩塌地與山壁邊坡滑動，引致為數眾多之林木隨洪水漂流而下。有關六龜大橋橋址周邊地區於莫拉克颱風後所新增崩塌地，詳如圖 6.86 所示。

依據經濟部水利署第七河川局之新發大橋水位站之莫拉克颱洪事件的水位歷線圖顯示(請詳「6-5 台 27 線新發大橋」)，在 98.08.08 晚間 19:40 呈現水位急遽下降之異常現象與斷訊，研判新發大橋已產生嚴重變位進而斷橋災損。當新發大橋類似堰塞湖般潰決斷橋後，流木沿荖濃溪順著洪水漂流至六龜大橋橋址，而於六龜大橋之橋梁墩基與橋面產生嚴重掛淤阻塞的現象，災後情形如相片 6.35(b)與相片 6.36 所示。

再者，由六龜大橋水位站於 98.08 莫拉克颱洪期間之水位歷線顯示(如圖 6.87 所示)，颱洪前之水位為 EL.229.3 m，從 98.08.07 凌晨起水位逐漸上漲，至 98.08.08 下午後水位急速上漲；在 98.08.08 傍晚 19:40 開始，六龜大橋處之洪水位亦逐漸上漲，而於 98.08.08 深夜 22：40 時洪水位已到達 EL. 238.36 m 後(此時刻之水位漲幅已達 9 m，且超過 200 年重現期之洪水位 EL. 238.02 m)水位訊號呈現突降現象，研判可能係因高水洪流沖刷或漂流物撞擊造成水位站受損引致。另經訪談居民得知於當夜 23 時 20～30 分左右，有聽到巨

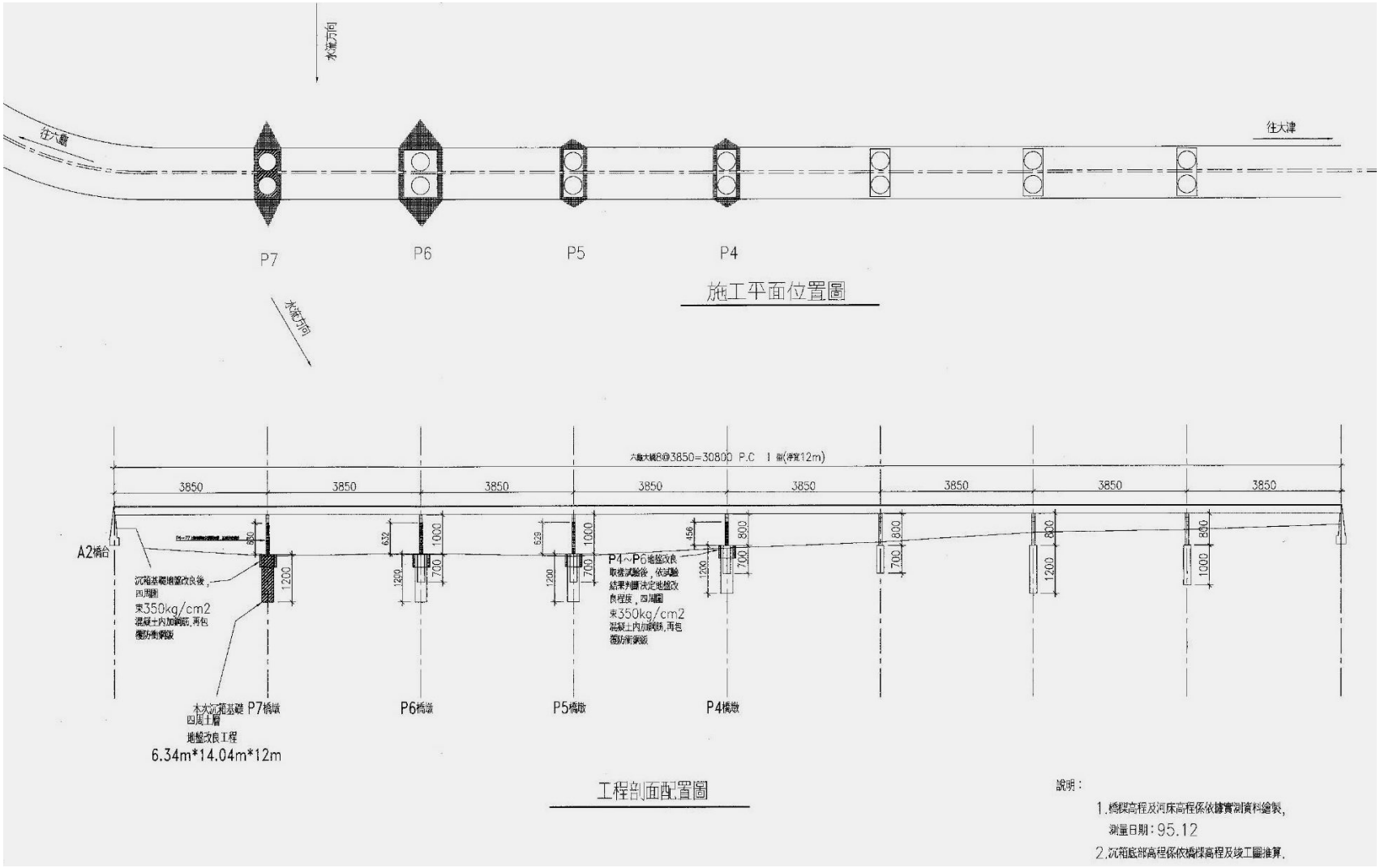


圖 6.82　民國 96 年台 27 甲線六龜大橋 P5～P7 橋基保護工程：平、立面圖【資料來源：第三區養護工程處】

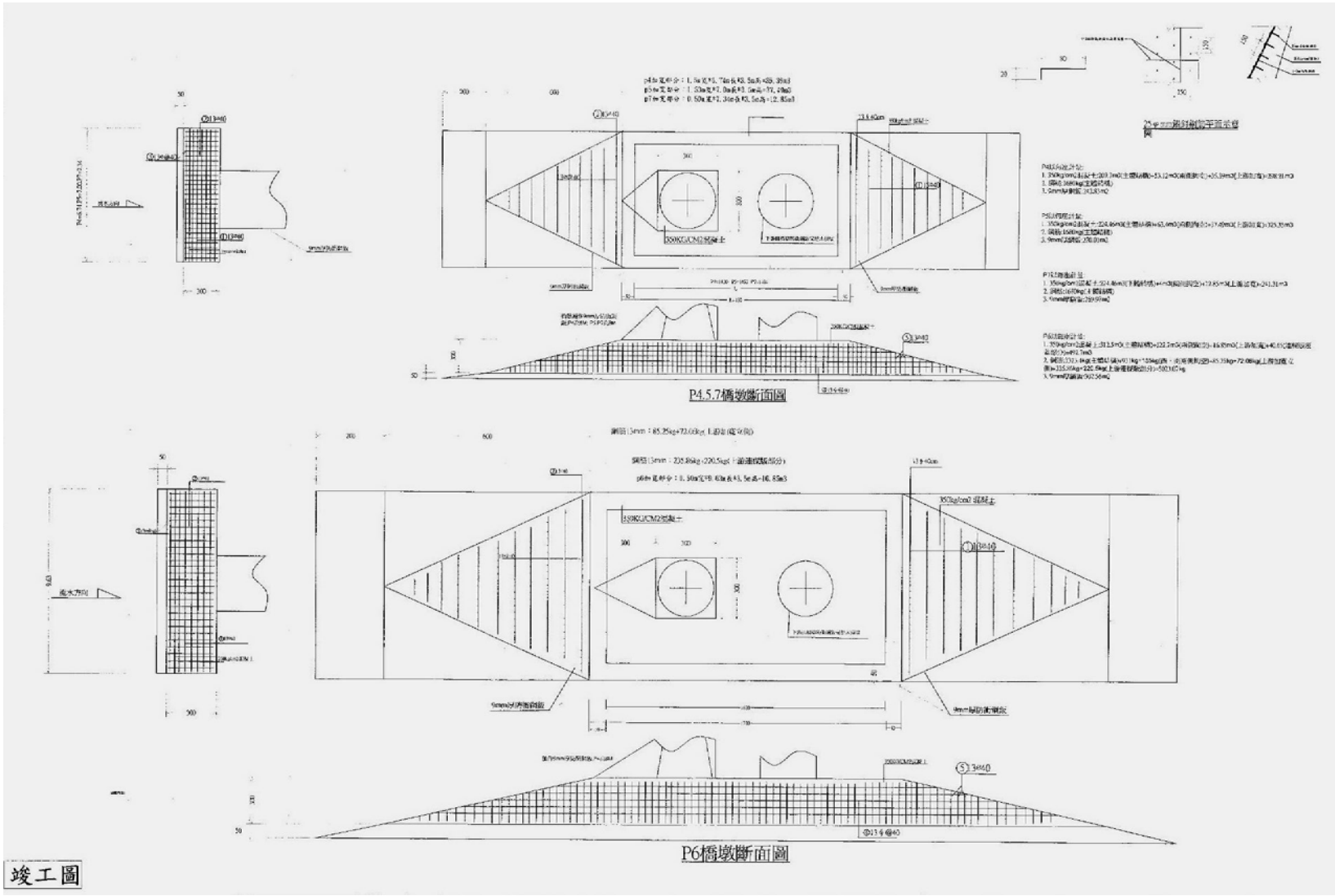


圖 6.83　民國 96 年台 27 甲線六龜大橋 P5～P7 橋基保護工程：橋墩基礎圍束保護斷面圖【資料來源：第三區養護工程處**】**

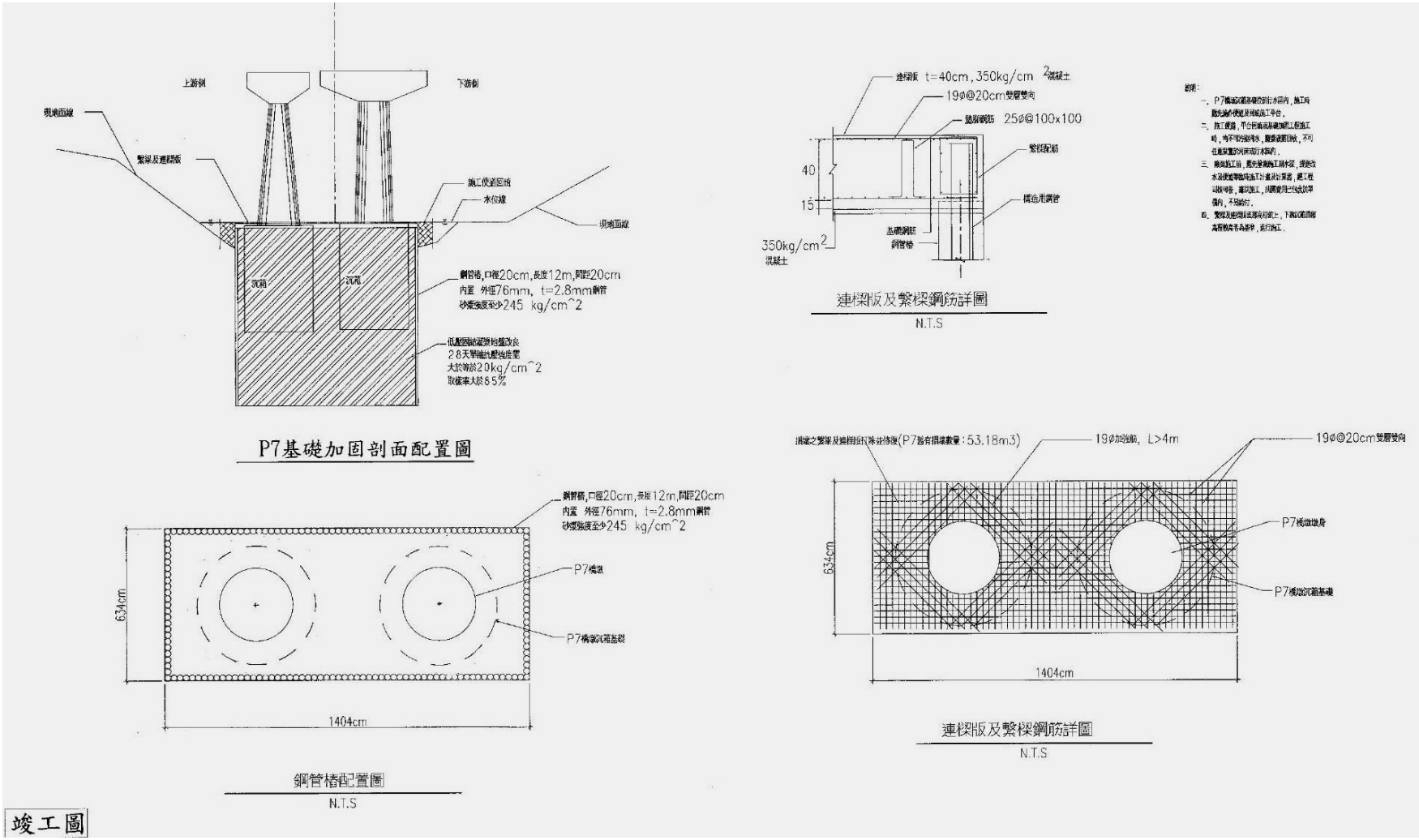


圖 6.84　民國 96 年台 27 甲線六龜大橋 P5～P7 橋基保護工程：P7 橋墩加固工程配置圖【資料來源：第三區養護工程處】

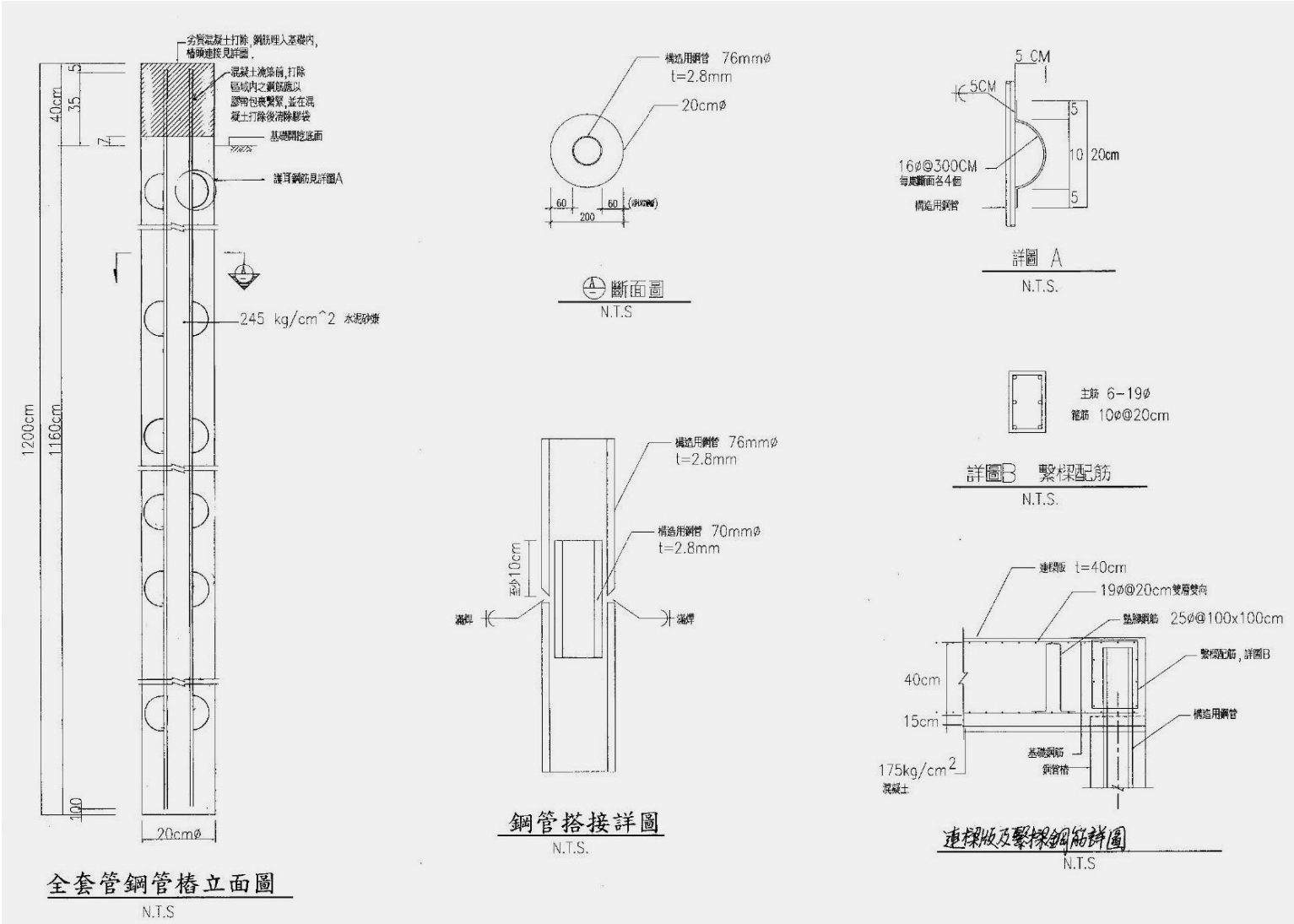


圖 6.85　民國 96 年台 27 甲線六龜大橋 P5～P7 橋基保護工程：鋼管樁及繫梁版標準圖

【資料來源：第三區養護工程處】



相片 6.35 台 27 甲線六龜大橋於 98.08 莫拉克颱洪前後之空拍畫面比較

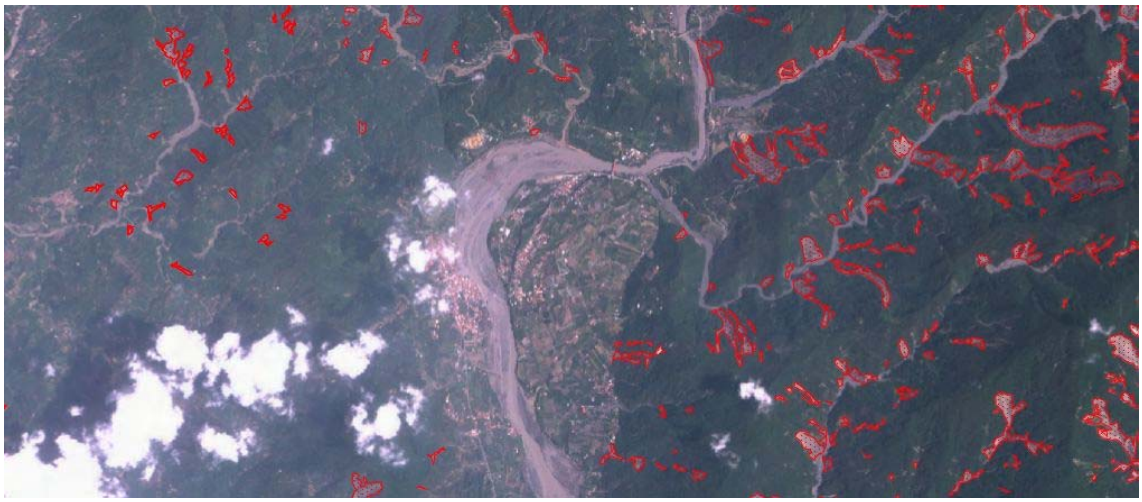


圖 6.86　民國 98 年 8 月莫拉克颱風後，六龜大橋周邊之災後衛星影像及新增崩塌地分佈圖【資料來源：中央地質調查所】

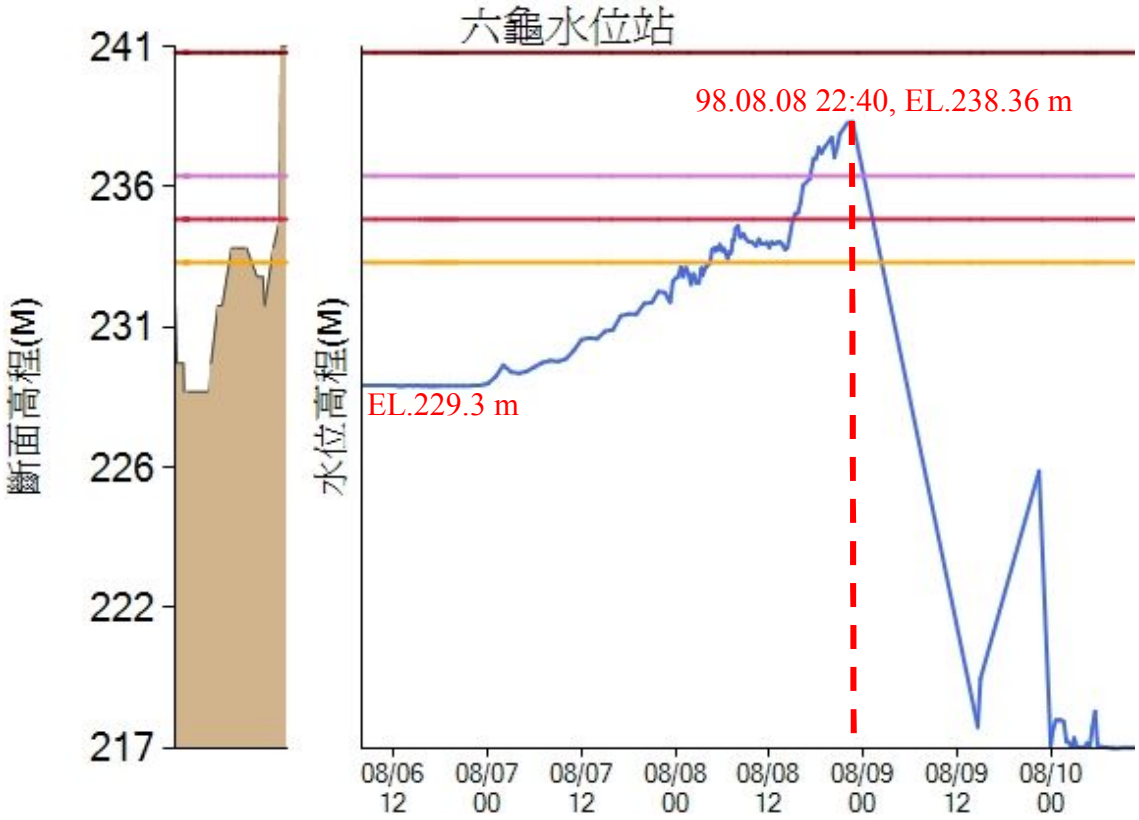


圖 6.87　荖濃溪六龜大橋水位站 98.08 莫拉克颱洪之水位歷線圖
【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

大壓擠聲響，故研判其時間點應為六龜大橋斷橋潰決之時間。而據研究團隊於災後現場調查發現，橋面可見大量流木掛淤現象故研判颱洪期間水位仍持續上漲並漫淹過橋面，直至斷橋潰決。依據現場洪水痕與大量漂流木掛淤情形研判推估，位荖濃溪右岸側(六龜市區端)之洪峰水位高達 EL. 243.0 m。

依據水利署水利規劃試驗所(2009.08)「莫拉克颱風水文分析報告」及水利署(2009.09)「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」兩報告之水文分析結果顯示，位於六龜大橋上游側之新發大橋站在莫拉克颱洪期間的洪峰流量 QP 已高達 12,106 cms (＞＞ Q200 = 9,960 cms)，其已超過公告基本治理計畫之 200 年重現期洪流量。

3. 橋梁災害情形調查

民國 98 年 08 月莫拉克颱洪後，六龜大橋斷橋災況調查之空拍畫面，如相片 6-6-1(b)所示，經比對颱洪前之相片 6-6-1(a)可發現，S6 ~ S7 橋面版及 P6 與 P7 墩基流失、S8 橋面版遭洪流推擠而往下游大幅變位，而被洪水移至河岸邊，顯示颱洪期間漂流木掛淤之拖曳阻力及洪水大幅上升(高漲之洪水漫淹進入右岸旁的六龜市區民宅)之動態、靜態水壓力是如此的巨大，其所施加於橋梁結構上之各項作用力已超過橋梁結構能承受之力量後，引致橋梁結構逐漸變位而造成斷橋災損。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

綜合上述各項調查資料，茲將台 27 甲線六龜大橋之災因分析列述如下：

(1)洪水沖刷災害(在高洪水位下，因漂流木掛淤阻塞形成類似堰塞湖般之壓力流況)

六龜大橋係在洪水溢淹過橋面(橋梁已潛沒於水體中)之壓力流作用下發生斷橋。除洪流曾漫淹進入右岸旁的六龜市區民宅之洪水位高漲跡證外，由災後調查之相片 6.36 可見，六龜大橋橋面上亦殘留大量掛淤之漂流木，顯示且證明八八水災莫拉克颱洪時



相片 6.36　大量漂流木因台 27 甲線六龜大橋橋址處之洪水位超過橋面，而嚴重掛淤在橋面上

之洪水位確實已漫淹過橋面，而於颱洪退水後才會在橋面留下大量漂流木。兩者皆足以證實 98.08 莫拉克颱洪期間，六龜大橋係被洪水溢淹過橋面(右岸側六龜端之洪水位高達 EL. 243.0 m)，橋梁結構乃潛沒於水體中，屬於壓力流作用之流況。

再者，由六龜大橋之水位歷線資料(圖 6.87)判讀，98.08.08 深夜時(22:40)，水位歷線呈現突然急速下降之線型變化，研判係經濟部水利署第七河川局安裝於 P6 之水位計已隨著橋墩開始逐漸變位或遭撞擊受損所造成。另據颱洪後訪談當地居民之證實結果，六龜大橋受災時間點大致於深夜 23 時前後，居民聽到發生巨大聲響，吾人研判係斷橋潰決時所產生之聲響。兩者所顯示(或證實)之事件發生時間大致吻合且合理，吾人研判六龜大橋之潰決斷橋歷程如下：

依據六龜大橋水位站於 98.08 莫拉克颱洪期間之水位歷線顯示(如圖 6.87 所示)，颱洪前之水位為 EL.229.3 m，從 98.08.07 凌晨起水位逐漸上漲，至 98.08.08 下午後水位急速上漲；在 98.08.08 傍晚 19:40，當上游側數公里之台 27 線新發大橋類似堰塞湖般潰決斷橋後，大量流木沿荖濃溪順著洪水漂流至六龜大橋橋址，漂流木掛淤於橋墩基上而減少通水斷面，六龜大橋處之洪水位亦逐漸上漲，於 98.08.08 深夜 22：40，洪水位到達 EL. 238.36 m(此時刻之水位漲幅已達 9 m)，而水位仍持續上漲並漫淹過橋面(橋面高程為 EL. 241.26 ~ 241.69 m；洪峰水位高達 EL. 243.0 m)，直至斷橋潰決。茲將六龜大橋於莫拉克颱風期間之洪水位與橋梁梁底高程、橋面高程等資料綜合彙整後，繪製出如圖 6.88 所示之相對關係示意圖。

因漂流木嚴重掛淤乃造成橋梁上游側因通水斷面減少而產生水位上漲壅高；當洪水位上漲而溢淹過橋面後(橋梁潛沒於水體中，如圖 6.88)，形成近似堰塞湖般之壓力流流況，致使橋梁結構所受之水流向與側向水壓力大幅增加，當洪流作用力大於橋梁結構能承受之作用力時，引致類似堰塞湖潰決歷程般之斷橋災損。

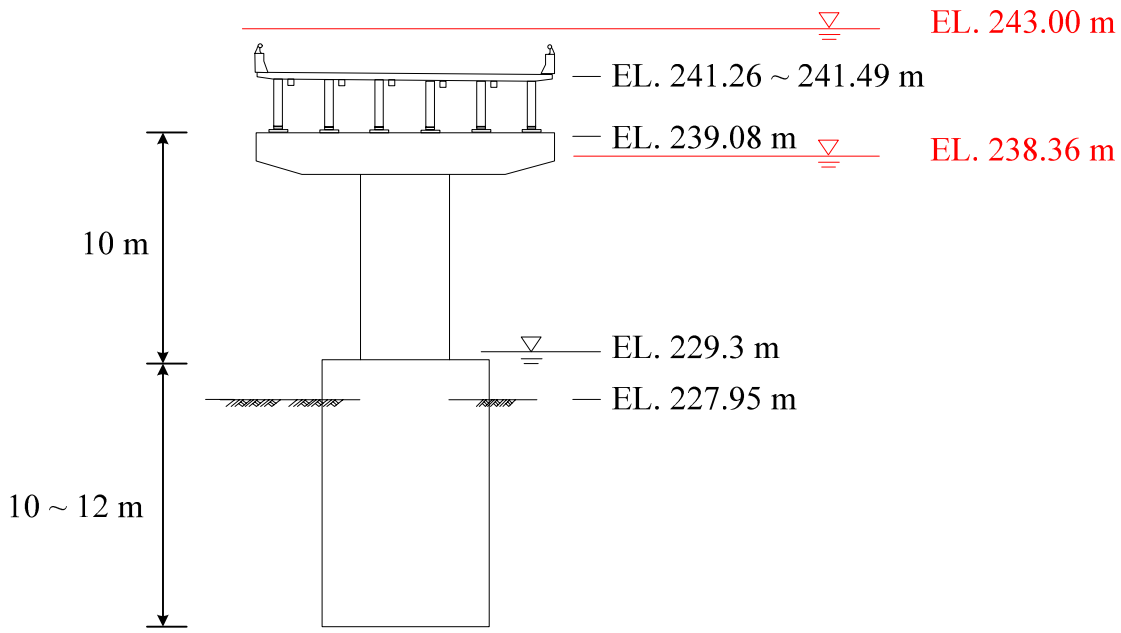


圖 6.88　台 27 甲線六龜大橋於莫拉克颱洪期間之洪水位與橋梁上下部結構之相關高程示意圖

(2)漂流木嚴重掛淤影響

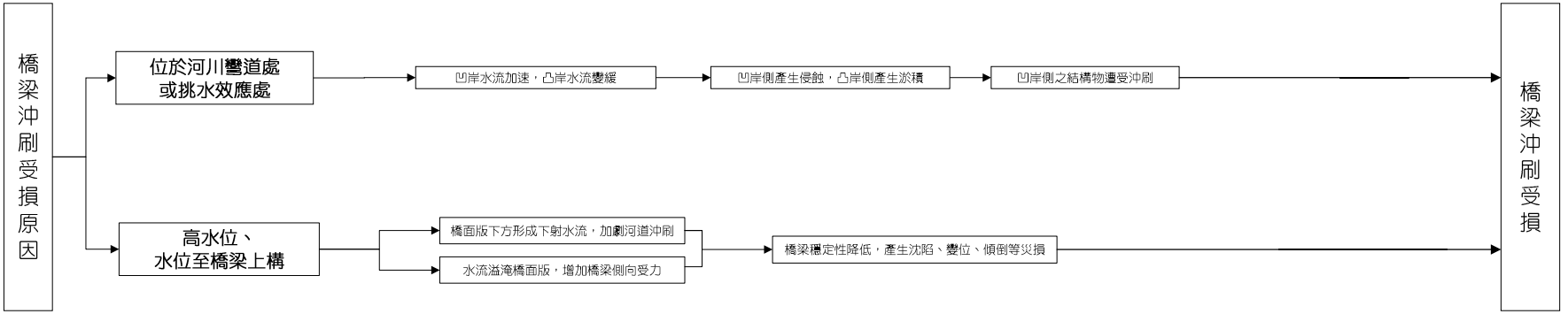
大量漂流木嚴重掛淤於橋墩基與橋面，會引致橋墩(基)之阻水面積增加、河道通水斷面減少，除造成水流拖曳力的增加外。因流木之密度小於水體密度，當大量流木掛淤阻塞在橋址處後，流木係大部分漂浮於洪流上層，而其下層乃形成高速水流之潛沒射流通過橋址，因流速增加而致使橋墩(基)及河床面之沖刷量更為嚴重。

(3)彎道外側之水位超高與凹岸沖刷

因六龜大橋之 P6 及 P7 橋墩係位於彎道外(凹岸)側，具有水位超高及凹岸沖刷之河川水理沖刷特性。彎道凹岸側因屬洪流流心集中(相對之單寬流量較大)通過之區域，故該區域之水流作用力與沖刷量會相對較大，進而引致 P6 與 P7 墩基流失(P5 ~ P7 基礎頂面係相同高程，然而颱洪後已未見 P6 及 P7 橋墩之基礎頂面)。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁災害流程圖，詳如圖 6.89 所示。

(a) 受洪水影響之橋梁破壞流程



(b) 受漂流木影響之橋梁破壞流程

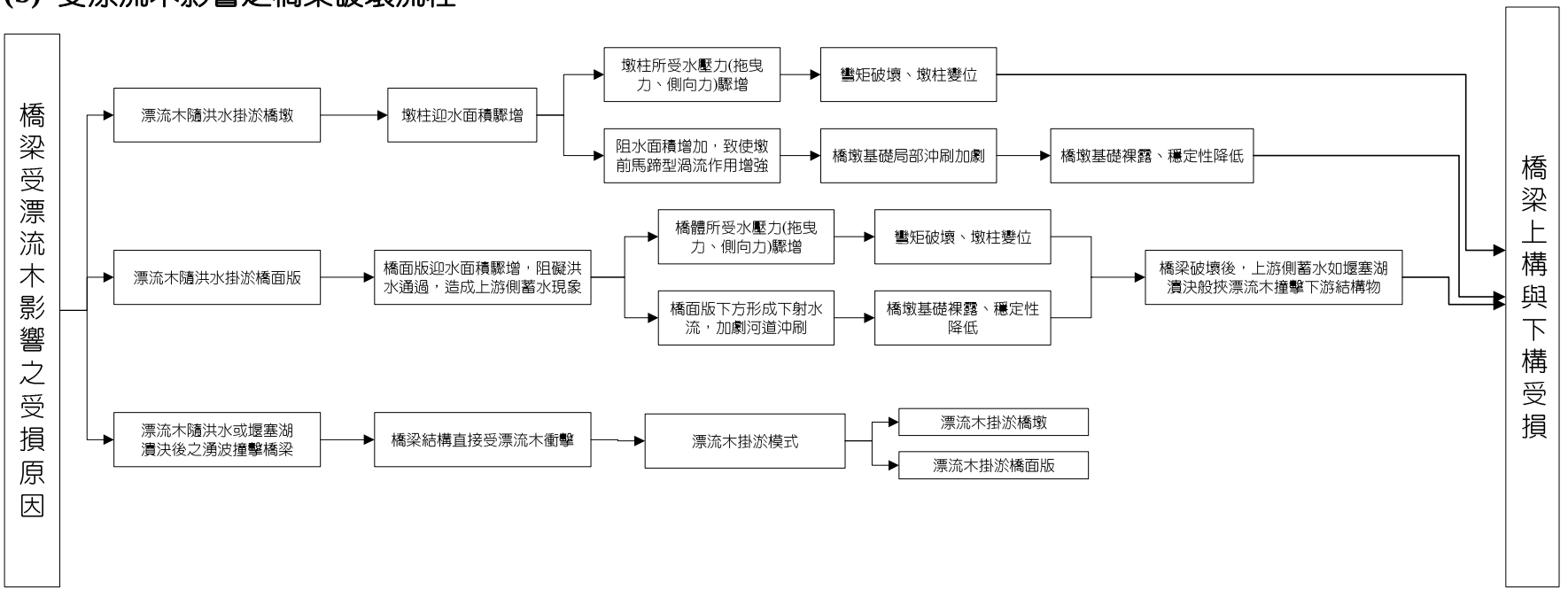


圖 6.89　六龜大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

(c) 受堰塞湖影響之橋梁破壞流程

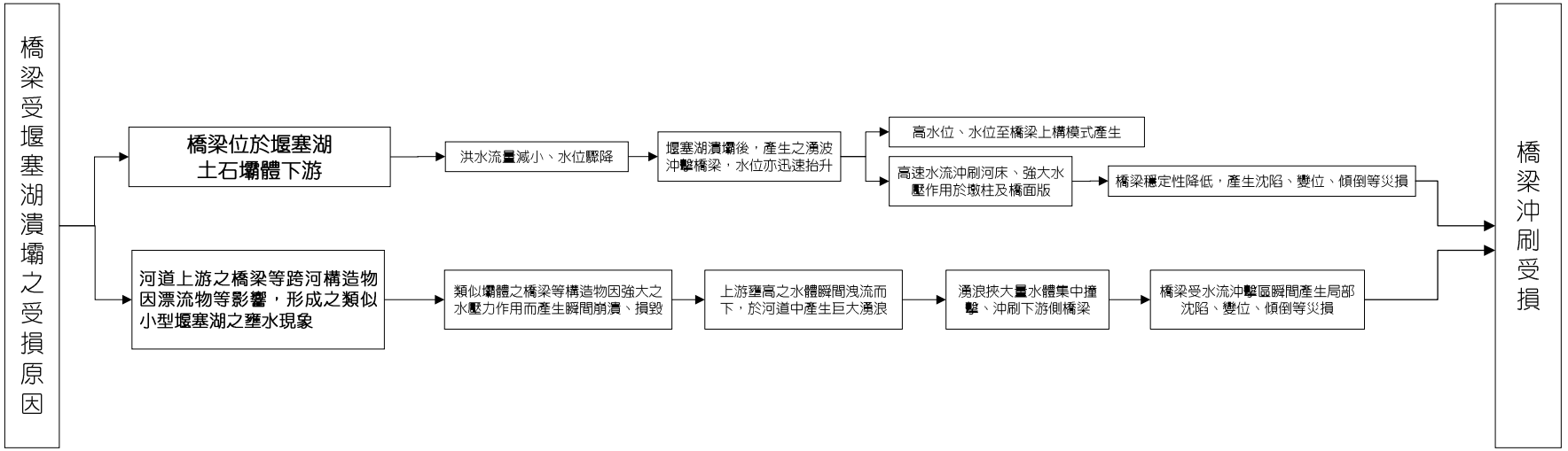


圖 6.89(續)　六龜大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.7 台 27 甲線六龜四號橋

1. 基本資料

台 27 甲線(原為縣道 184 線)位於高雄縣六龜鄉沿荖濃溪左岸而行，本路段於民國 77 年至民國 79 年間改線工程未完工前，原舊有道路係緊臨(十八羅漢山)山側，係為單一車道寬度道路，沿線共有六個隧道。

六龜四號橋所在路線台 27 甲線緊臨荖濃溪，其位在里程樁號 7K+314m 處，係跨越六龜旅客服務中心旁之山溝。依據橋梁基本資料表(表 6-12)與竣工圖顯示，本橋為民國 78 年 5 月竣工之 184 線六龜 1 ~ 6 號隧道改線工程(第一期)所興建的橋梁(縣道 184 線 52K+100)，橋長 16 m(僅單一個橋孔)。橋梁為梁式橋結構型式，主梁為 T 型 RC 梁，橋台為半重力式，橋台基礎係採直接基礎，橋下淨高 6.0 m，詳如圖 6.90 ~ 圖 6.93 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 08 月莫拉克颱洪期間，荖濃溪上游集水區累積降雨量已破 200 年重現期之降雨量，高降雨強度形成大量崩塌地與山壁邊坡滑動，引致為數眾多之林木隨洪水漂流而下。依據水利署水利規劃試驗所(2009.08)「莫拉克颱風水文分析報告」及水利署(2009.09)「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」兩報告之水文分析結果顯示，位於本橋上游側之荖濃溪新發大橋站在莫拉克颱洪期間的洪峰流量 Q_P 已高達 12,106 cms (＞＞ Q_{200} = 9,960 cms)，其已超過公告基本治理計畫之 200 年重現期洪流量。然而，自新發大橋起、迄至六龜四號及三號橋止，沿荖濃溪溪流兩岸仍有數道野溪支流之洪流匯入河道，故吾人可研判本溪段之洪峰流量業已較上游側新發大橋站洪峰流量 12,106 cms 為大。

另者，六龜四號橋及三號橋上游側對岸台 27 線三合橋所誇越野溪產生土砂沖積扇停淤荖濃溪左岸(約 1/3 ~ 1/4 河寬)，如相片 6.37 所示。

3. 橋梁災害情形調查

民國 98 年 08 月莫拉克颱洪後，自台 27 甲線與(改線前之)舊 184 線交會處(六龜旅客服務中心停車場、六龜四號橋)起、至六龜三號橋附近，沿荖濃溪溪畔之台 27 甲線數百公尺路基嚴重流失。

六龜四號橋之災況調查畫面，如相片 6.38(b, c)所示，經比對颱洪前之相片 6.38(a)可發現受災後，台 27 甲線路基(係於民國 78～79 年間改線工程於河中回填之路段)遭洪流嚴重沖刷流失、六龜旅客服務中心傾倒於河中之災況；而六龜四號橋斷裂下陷，A1 橋台側之沖刷量相對於 A2 橋台側較大，引致橋梁整體往 A1 橋台側傾斜。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

綜合上述各項調查資料，茲將台 27 甲線六龜四號橋之災因分析列述如下：

(1)上游左岸野溪土砂沖積扇挑流

由三合橋所跨越野溪產生土砂沖積扇停淤於荖濃溪左岸(約 1/3~1/4 河寬)，而荖濃溪上游側來流之一分支水流歷年來緊靠左岸。當此一股洪水自上游流動而下，於左岸三合橋下游側出口處沖擊野溪所產生之高程較高的沖積扇後，洪水乃被土石沖積扇挑流至對岸(右岸)，此亦可說明為何六龜四號橋至六龜三號橋所在公路路段數百公尺之路堤及橋梁被沖毀之原因，由水利署第七河川局提供之受災前後流域空照衛星相片，如相片 6.38 所示，即可清楚顯示此一挑流之流路特性。

(2)颱洪流量破 200 年重現期規模

位於上游側之荖濃溪新發大橋站在莫拉克颱洪期間的洪峰流量 QP 已高達 12,106 cms (＞＞ Q200 = 9,960 cms)，其已超過公告基本治理計畫之 200 年重現期洪流量。然而，自新發大橋起、迄至六龜四號及三號橋止，沿荖濃溪溪流兩岸仍有數道野溪支流之洪流匯入河道，故研判本溪段之洪峰流量業已較上游側新發大

橋站洪峰流量 12,106 cms 為大。

(3)本路段屬民國 78～79 年六龜隧道改線工程之河中路基回填段

依據本研究團隊勘查六龜 1～6 號隧道線型研判及民國 78～79 年六龜 1～6 號隧道改線工程竣工圖等資料顯示，本橋附近沿線路段於改線前原係屬荖濃溪行水區域，屬六龜隧道改線工程於河中回填之路基段，路基其係就地取材填壓之天然砂石混合料，路基基腳深度為 3 m、並搭配混凝土塊基腳保護工方式施作，詳如圖 6.91~圖 6.92、圖 6.98～ 圖 6.99 所示。再者，公共工程委員會邀請公路總局葉前局長昭雄先生於民國 98 年 11 月 11~12 日現勘訪查時之勘查亦指出：「六龜四號橋位於舊路五、六號隧道間之下游，其上游仍留存有舊路之橋梁(狗寮橋)，而舊路之五號隧道曾經於隧道打通完成後，於隧道內改線向山側轉折，原廢棄之北洞口則成懸崖，似可研判當初五號隧道北口引道發生路基被洪水沖失而改線移向山側之歷史紀錄及經驗。而民國 78～79 年間公路改向東側構築於河床上似與歷史經驗相違，有與河爭地之嫌。」

因此，台 27 甲線本路段在上述「上游左岸野溪土砂沖積扇挑流」及「颱洪流量破 200 年重現期規模」等各項成因所形成之洪流作用下，引致台 27 甲線自與(改線前之)舊 184 線交會處至六龜三號橋間之數百公尺長路基大範圍嚴重流失及六龜四號橋及三號橋之災損。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁災害流程圖，詳如圖 6.94 所示。鑒於莫拉克颱洪與過去歷史經驗，建議本路段不再與河川爭地，以留給荖濃溪洪流通洪斷面及河道變遷之需求空間。台 27 甲線六龜三號橋迄至六龜四號橋(或至六龜旅客服務中心)之間的路段未來不宜續以填土路堤修復為之。建議考慮內移採隧道式通過膠結性極佳之卵礫石頭崁山層(原有舊隧道可整修後繼續使用)作為單向行駛之路線，或是考慮於鄰山側改用防災能力佳之橋梁型式通過此一路段。

表 6-12　台 27 甲線六龜四號橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	六龜四號橋	橋梁編號	1840-034	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 27 甲線
橋頭里程	7K+314M	橋尾里程	K+M	竣工年月	78 年 5 月	最近維修年月	無
造價	不詳	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位		竣工圖說保存地點	三工處
檢測週期		跨越物體	山溝	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	六龜旅客服務中心						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	否	跨越河川類別	山溝	河川管理單位	無	河川名稱	山溝
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位		計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程		設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	16M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	7.5M	最小淨寬	7.5M	橋版投影面積	120M^2		
總車道數	2	總橋孔數	1	最大跨距	16M		
跨距分配	16@1						
最高橋墩高度		最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	6M		
橋頭 GPS 經度	120.6345	橋頭 GPS 緯度	22.95	橋尾 GPS 經度	120.6346	橋尾 GPS 緯度	22.9499
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	T 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	搖軸支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質		橋墩型式		橋墩基礎型式		橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法						橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	HS20	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.5M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2009
備　註							
自原縣道 184 線改編為省道 27 甲線。							

【資料來源：公路總局第三區工程處】

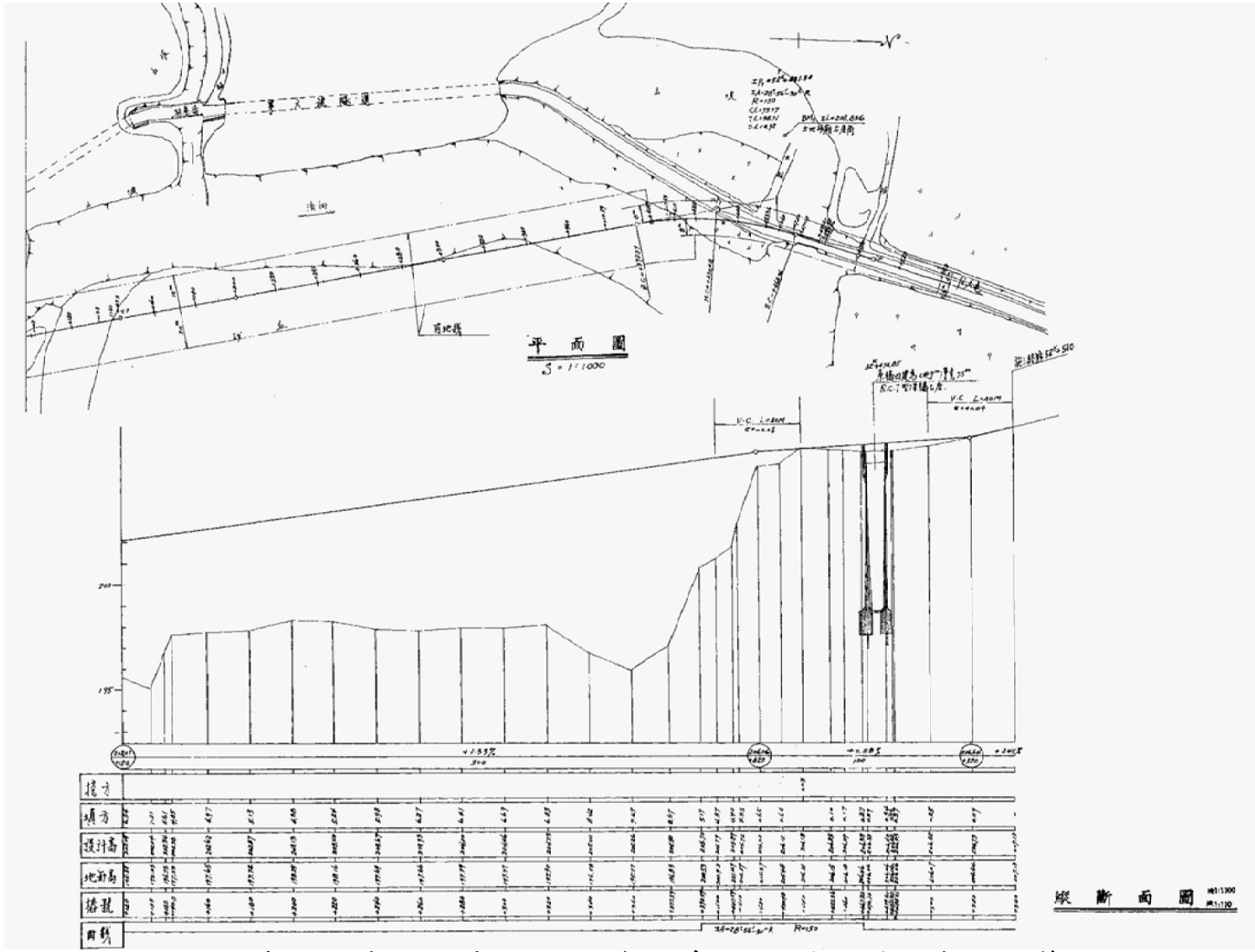


圖 6.90　民國 78 年 184 線(現改為台 27 甲線)六龜 1～6 號隧道改線工程(第一期)：平面及縱斷面圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】

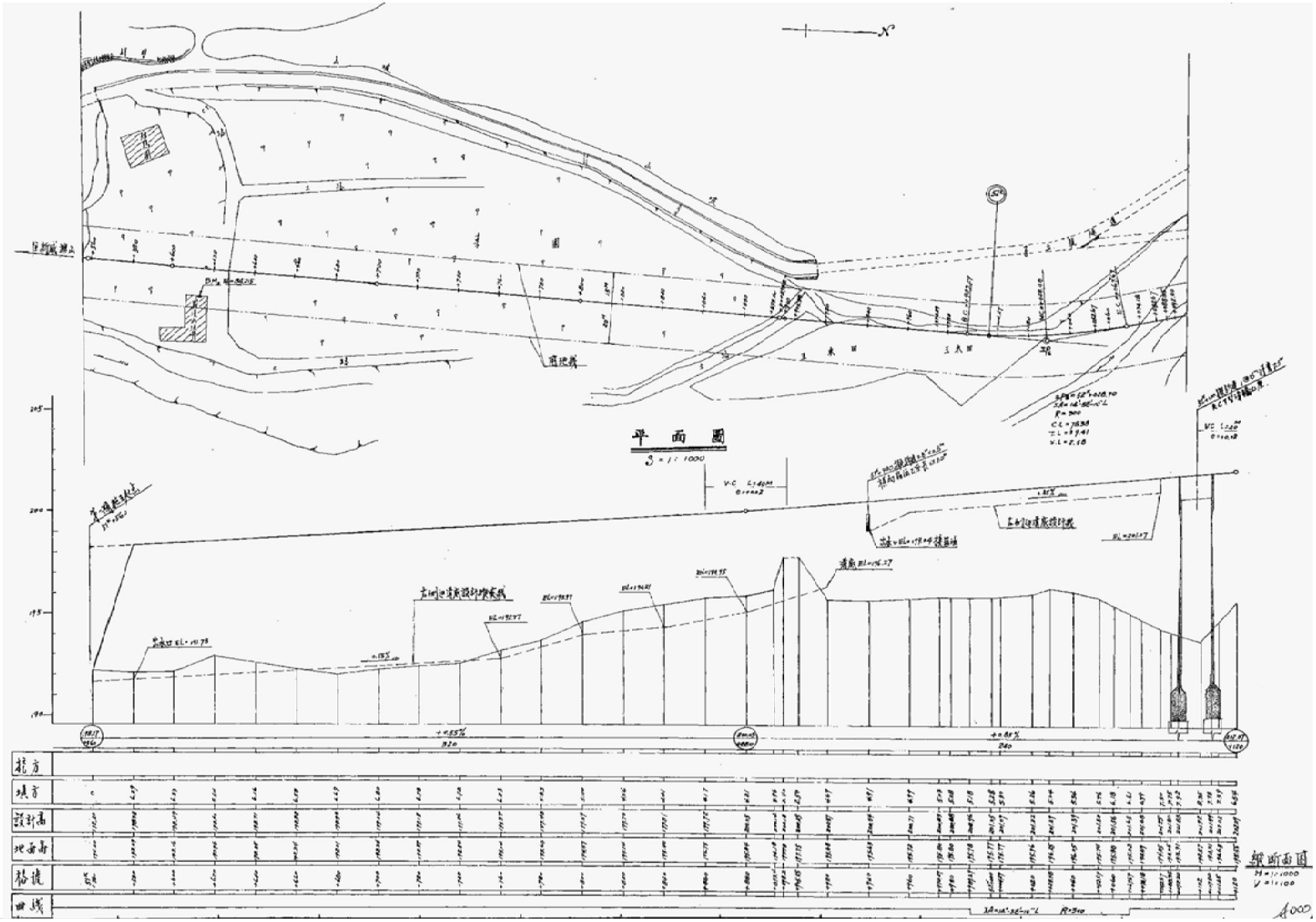


圖 6-90(續)　民國 78 年 184 線(現改為台 27 甲線)六龜 1～6 號隧道改線工程(第一期)：平面及縱斷面圖(二)【資料來源：第三區養護工程處】

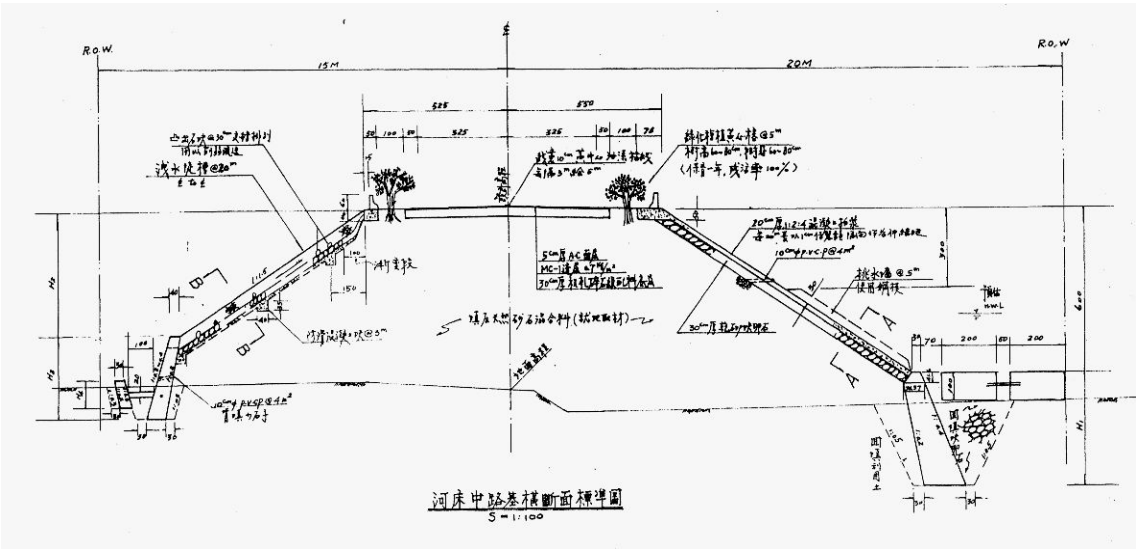


圖 6.91　民國 78 年六龜隧道改線(第一期)工程之河中路基橫斷面標準圖

【資料來源：第三區養護工程處】

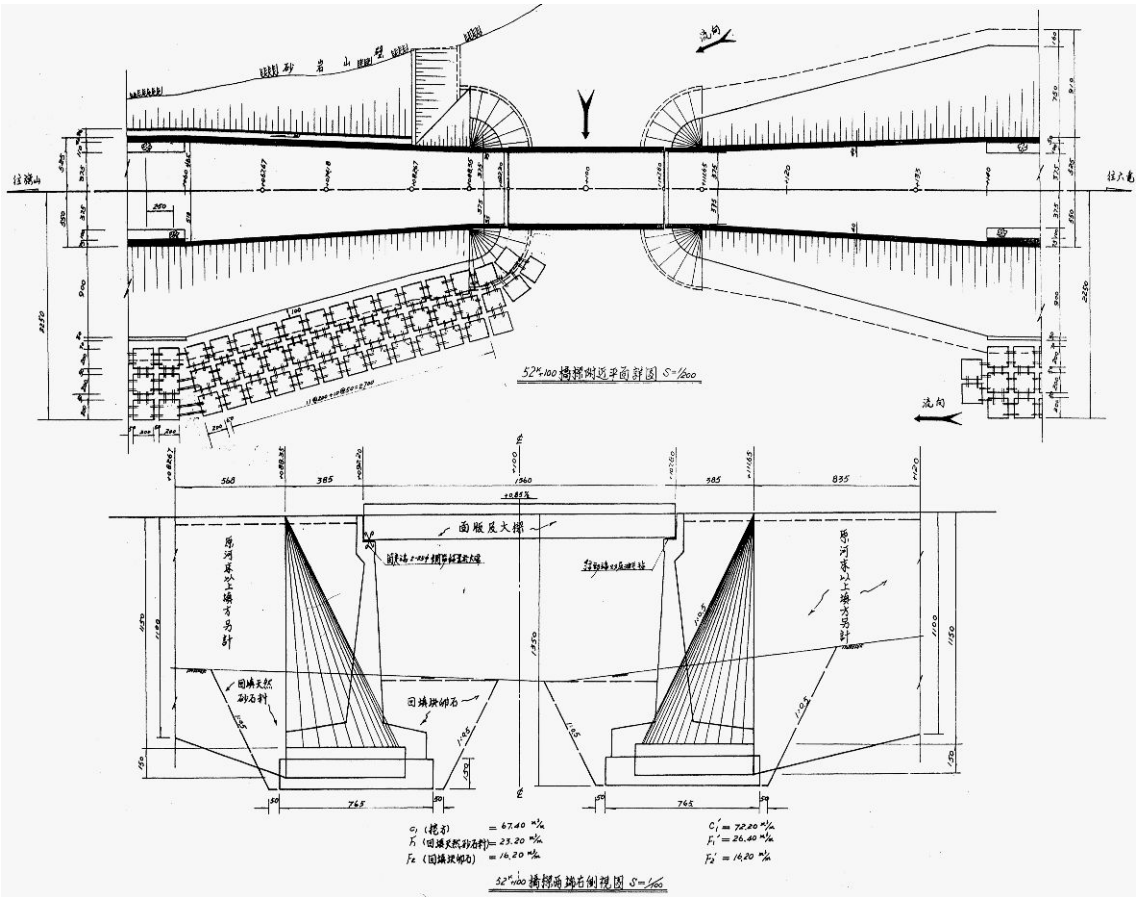


圖 6.92　民國 78 年六龜隧道改線(第一期)工程之六龜四號橋附近平面圖及橋梁側視圖【資料來源：第三區養護工程處】

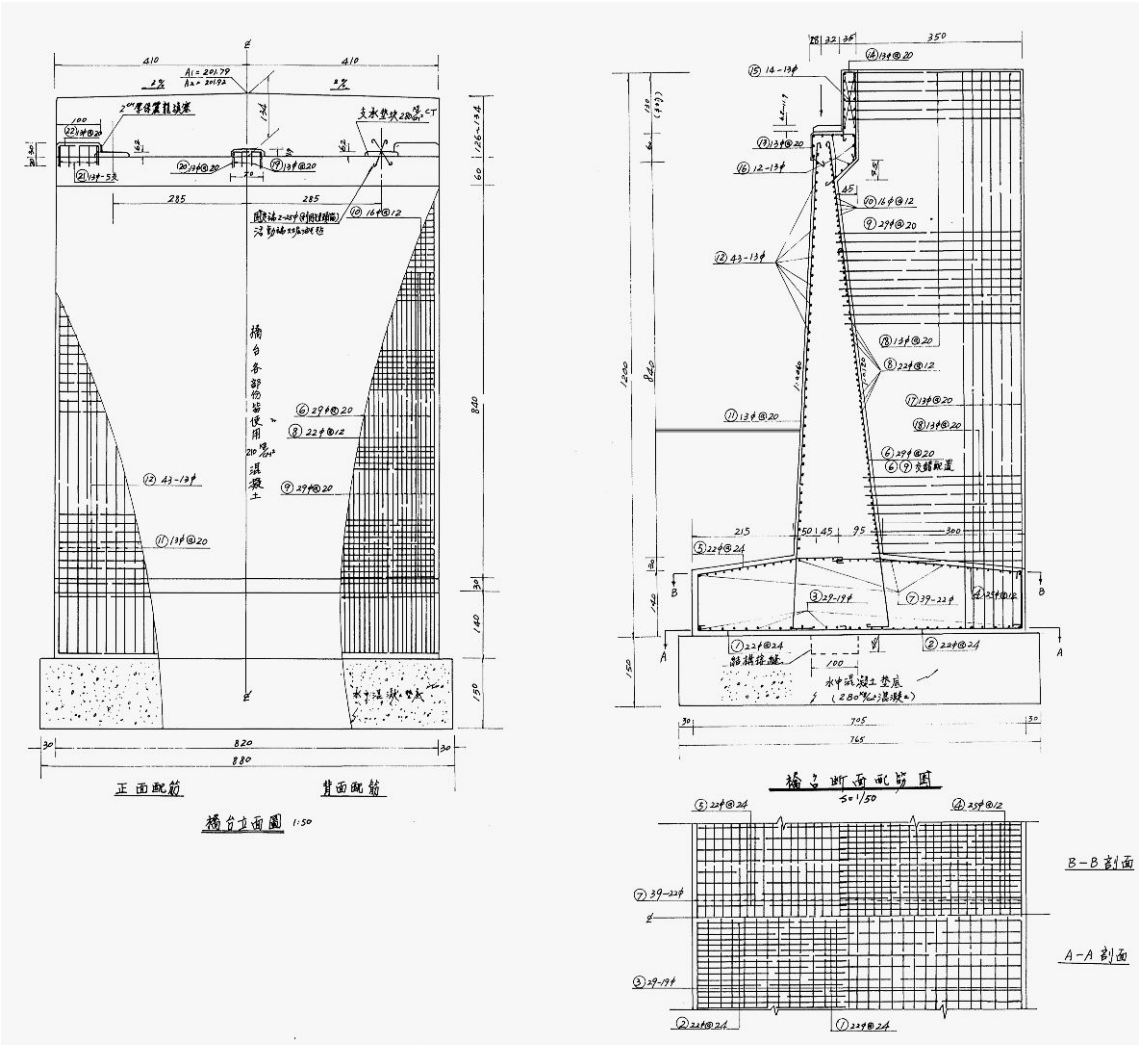
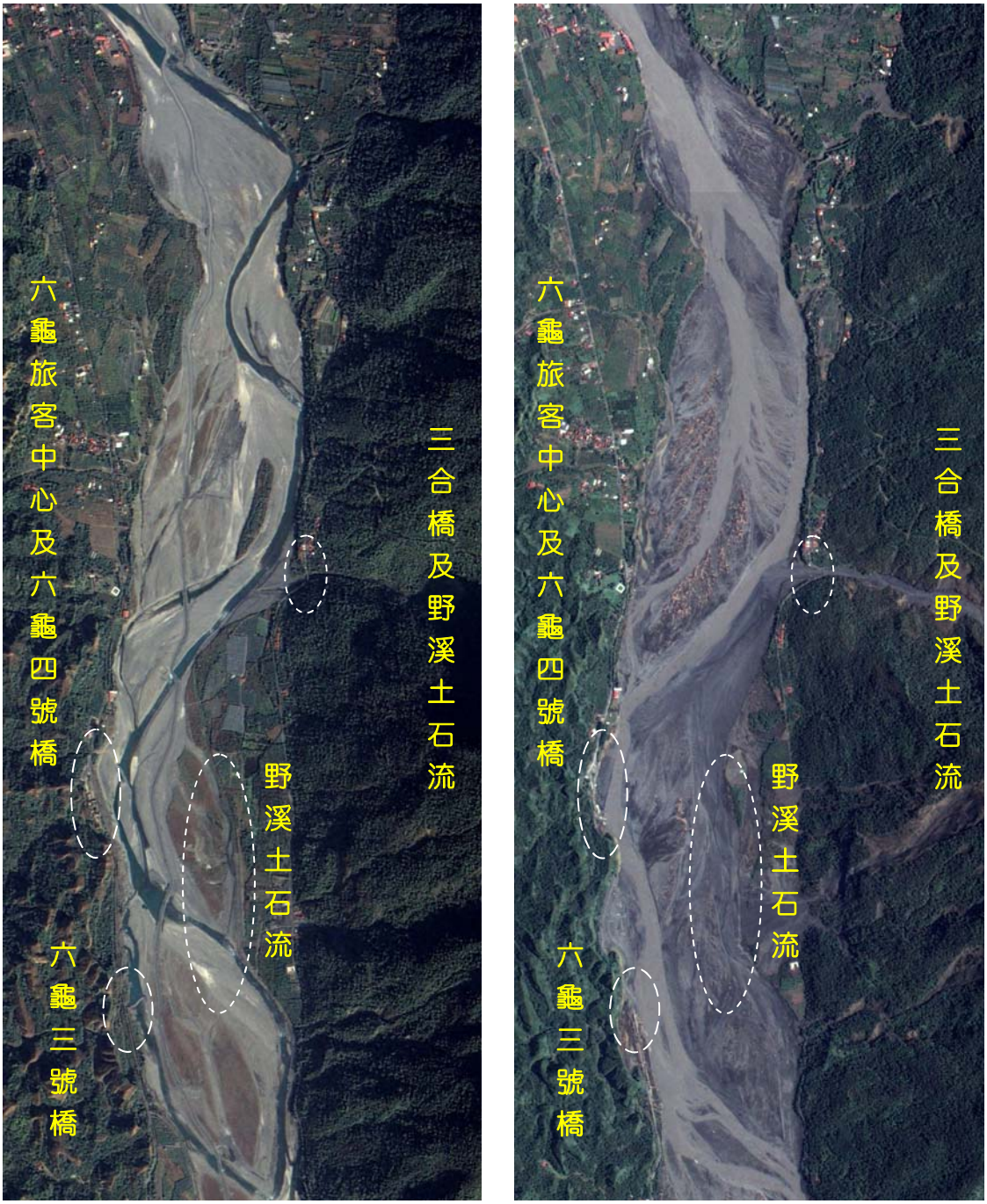


圖 6.93　民國 78 年六龜隧道改線(第一期)工程之六龜四號橋下部結構立面圖及配筋圖【資料來源：第三區養護工程處】



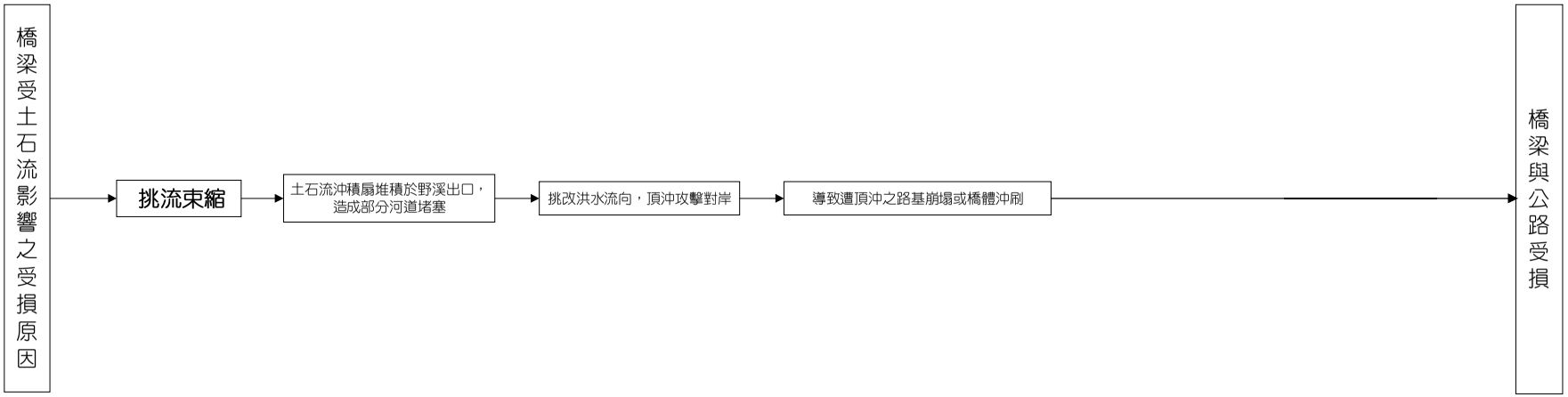
相片 6.37　莫拉克颱洪前後之衛星影像空照比對畫面

【資料來源：水利署第七河川局提供】



相片 6.38　台 27 甲線六龜四號橋於 98.08 莫拉克颱洪受災前後之畫面比對

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 受洪水影響之橋梁破壞流程

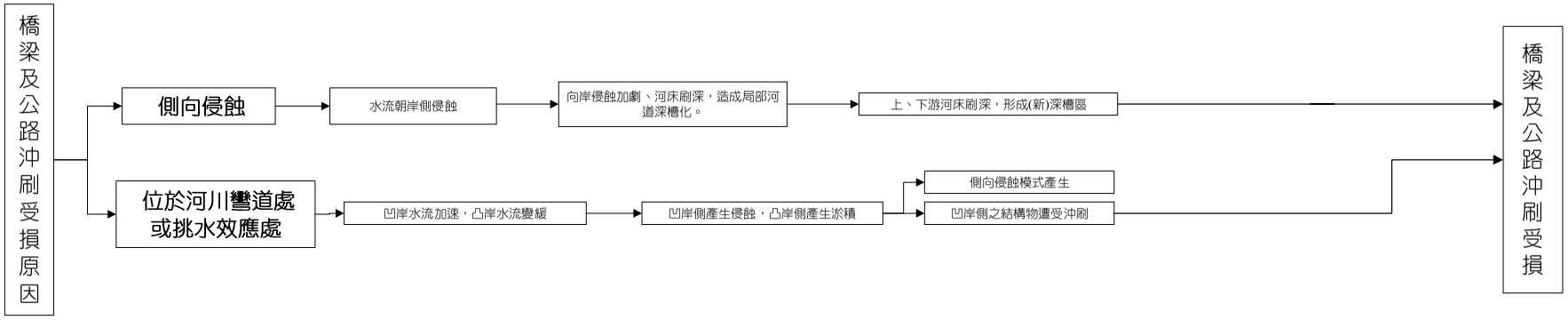


圖 6.94　六龜四號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.8 台 27 甲線六龜三號橋

1. 基本資料

台 27 甲線(原為縣道 184 線)位於高雄縣六龜鄉沿荖濃溪左岸(十八羅漢山)而行，六龜三號橋係位在里程樁號 8K+070m 處。依據橋梁基本資料表(表 6-13)與竣工圖顯示，本橋為民國 79 年 12 月竣工之 184 線六龜 1～6 號隧道改線工程(第二期)所興建的橋梁(縣道 184 線 51K+345)，橋長 15 m(僅單一個橋孔)。橋梁為梁式橋結構型式，主梁為 T 型 RC 梁，橋台為半重力式，橋台基礎係採直接基礎，橋下淨高 6.0 m，詳如圖 6.95～ 圖 6.99 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

同如前述 6-7 節「台 27 甲線六龜四號橋」所述。

3. 橋梁災害情形調查

民國 98 年 08 月莫拉克颱洪後，自台 27 甲線與(改線前之)舊 184 線交會處(六龜旅客服務中心停車場、六龜四號橋)起、至六龜三號橋附近，沿荖濃溪溪畔之台 27 甲線數百公尺路基嚴重流失。台 27 甲線六龜三號橋之災況調查畫面，如相片 6.39(b)所示，經比對颱洪前之相片 6.39(a)可發現六龜三號之 A1 橋台翼牆及兩側路基遭洪流沖刷流失。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

綜合上述各項調查資料，茲將台 27 甲線六龜四號橋之災因分析列述如下：

(1)上游左岸野溪土砂沖積扇挑流

上游側來流被三合橋下游側之沖積扇挑流至右岸情形，詳如 6-7 節「台 27 甲線六龜四號橋」之受災成因所述。介於六龜三號橋及六龜四號橋之間的對岸亦有大量之土石流於台 27 線上及荖濃溪河床上堆積淤高，形成土石流之沖積扇。此一沖積扇亦如六

龜四號橋之受災成因般，擠壓洪水更靠向右岸(即挑流效應)。現場所見六龜三號橋之鄰山側及鄰水側皆有受到洪水之沖刷及(鄰山側)大量漂流木掛淤之情形，足資證明。

(2)颱洪流量破 200 年重現期規模

同前述 6-7 節「台 27 甲線六龜四號橋」之受災成因所述。再者，如上述現場大量漂流木掛淤情形，故吾人可研判本溪段之洪峰流量業已較上游側新發大橋站洪峰流量 12,106 cms 為大。

(3)本路段屬民國 78～79 年六龜隧道改線工程之河中路基回填段

如前述 6-7 節「台 27 甲線六龜四號橋」之受災成因所述。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁災害流程圖，詳如圖 6.100 所示。

表 6-13　六龜三號橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	六龜三號橋	橋梁編號	1840-033	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 27 甲線
橋頭里程	8K+070M	橋尾里程	K+M	竣工年月	79 年 12 月	最近維修年月	不詳
造價	不詳	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位		竣工圖說保存地點	三工處
檢測週期		跨越物體	山溝	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	六龜旅客服務中心						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	否	跨越河川類別	山溝	河川管理單位	無	河川名稱	山溝
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位		計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程		設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	15M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	7.5M	最小淨寬	7.5M	橋版投影面積	112.5M^2		
總車道數	2	總橋孔數	1	最大跨距	15M		
跨距分配	15@1						
最高橋墩高度		最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	6M		
橋頭 GPS 經度	120.6308	橋頭 GPS 緯度	22.9795	橋尾 GPS 經度	120.6308	橋尾 GPS 緯度	22.9793
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	T 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	搖軸支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質		橋墩型式		橋墩基礎型式		橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法						橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H15	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.7M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-06-09
備　註							
自原縣道 184 線改編為省道 27 甲線。							

【資料來源：公路總局第三區工程處】

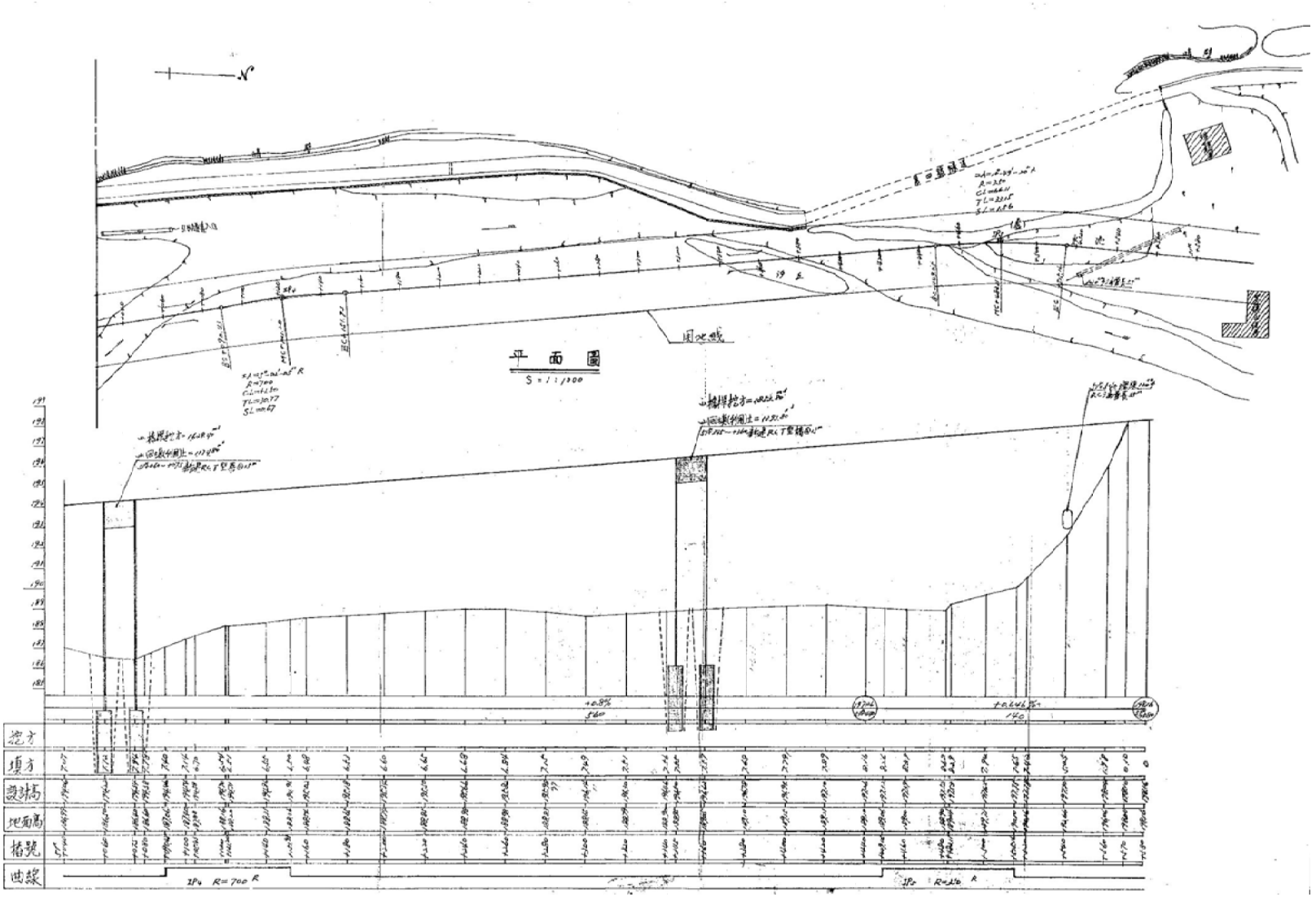


圖 6.95　民國 79 年 184 線(現改為台 27 甲線)六龜 1～6 號隧道改線工程(第二期)：平面及縱斷面圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】

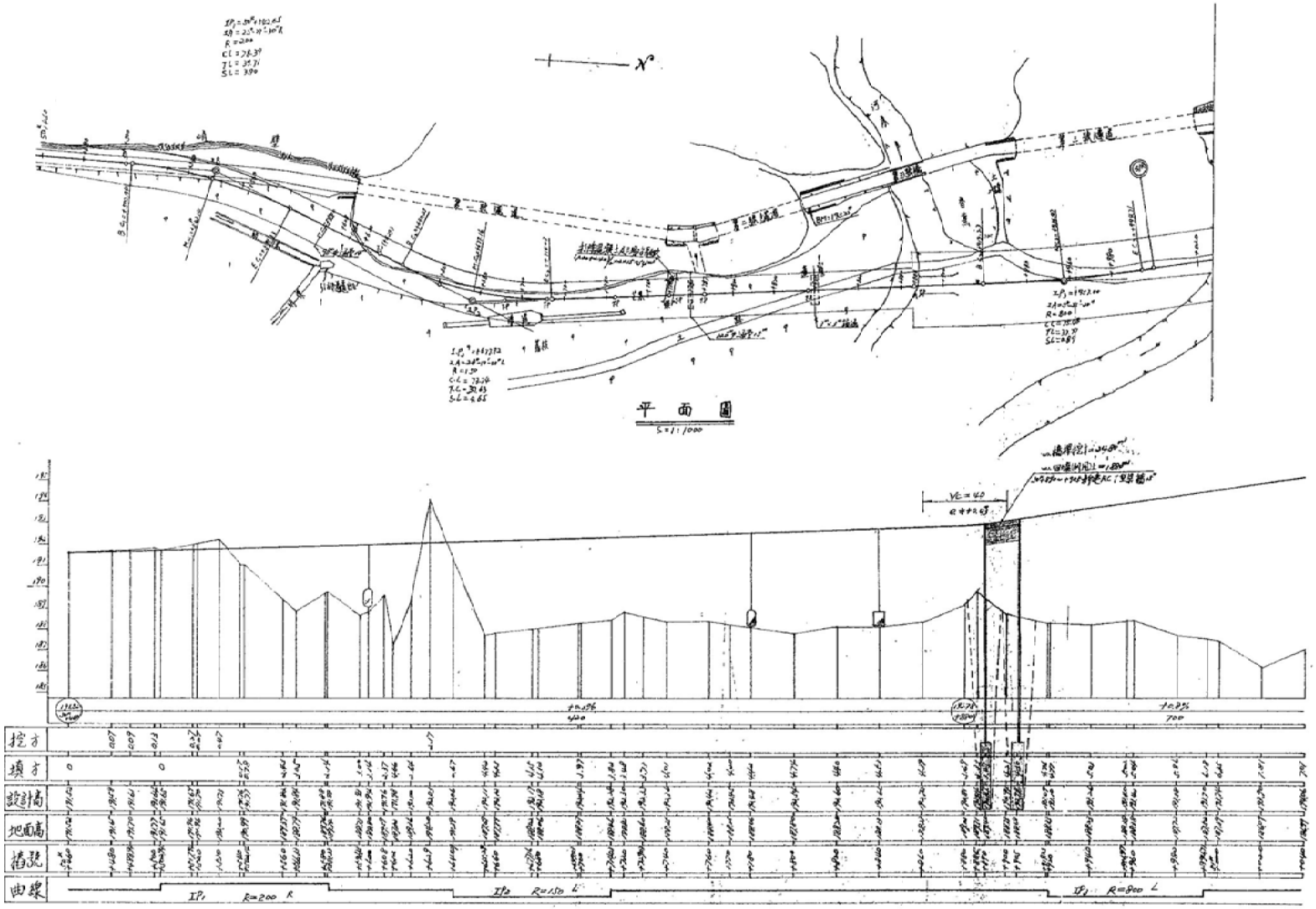


圖 6.95(續)　民國 79 年 184 線(現改為台 27 甲線)六龜 1～6 號隧道改線工程(第二期)：平面及縱斷面圖(二)【資料來源：第三區養護工程處】

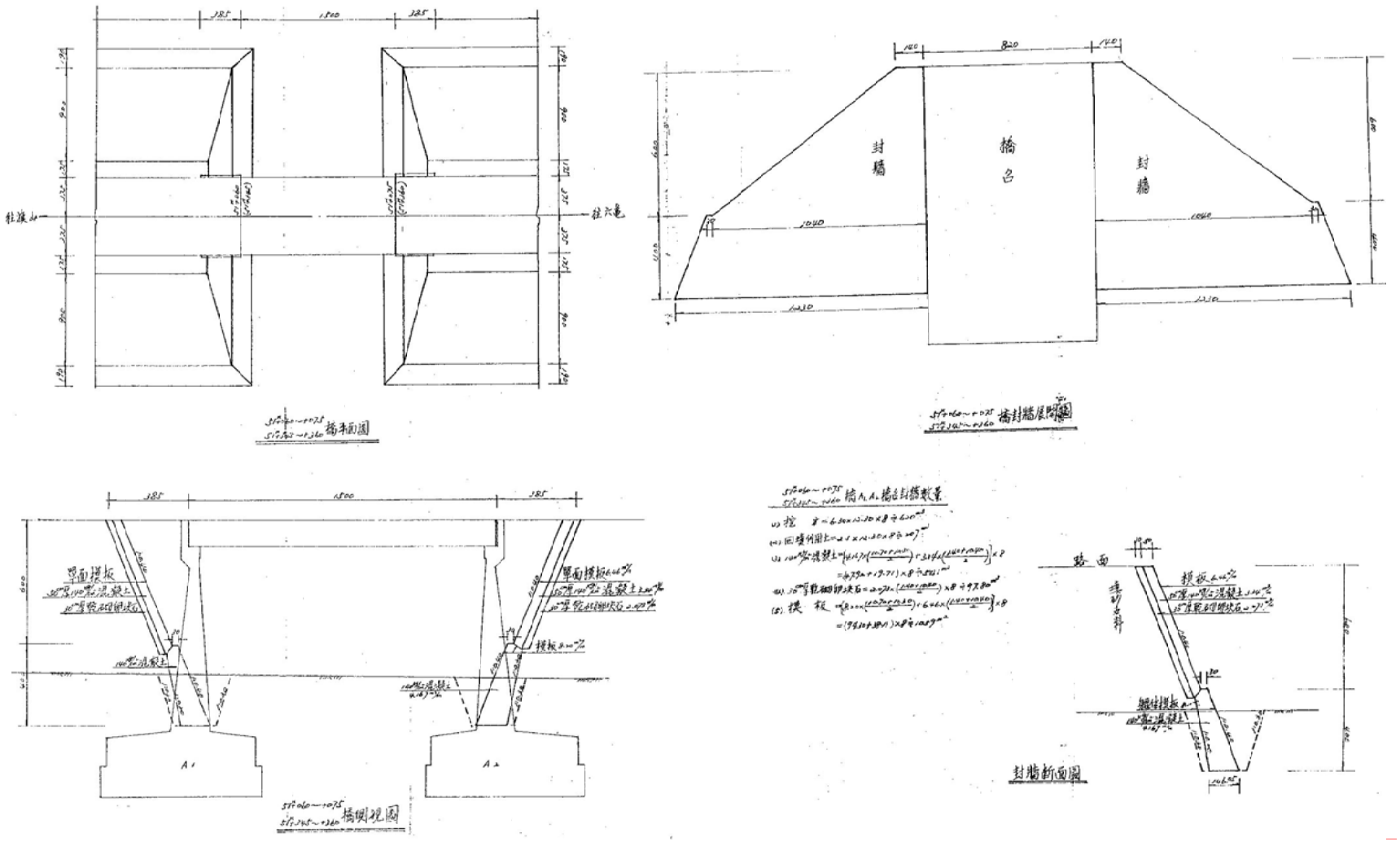


圖 6.96　　民國 79 年 184 線(現改為台 27 甲線)六龜 1～6 號隧道改線工程(第二期)：六龜三號橋翼牆斷面及展開圖【資料來源：第三區養護工程處】

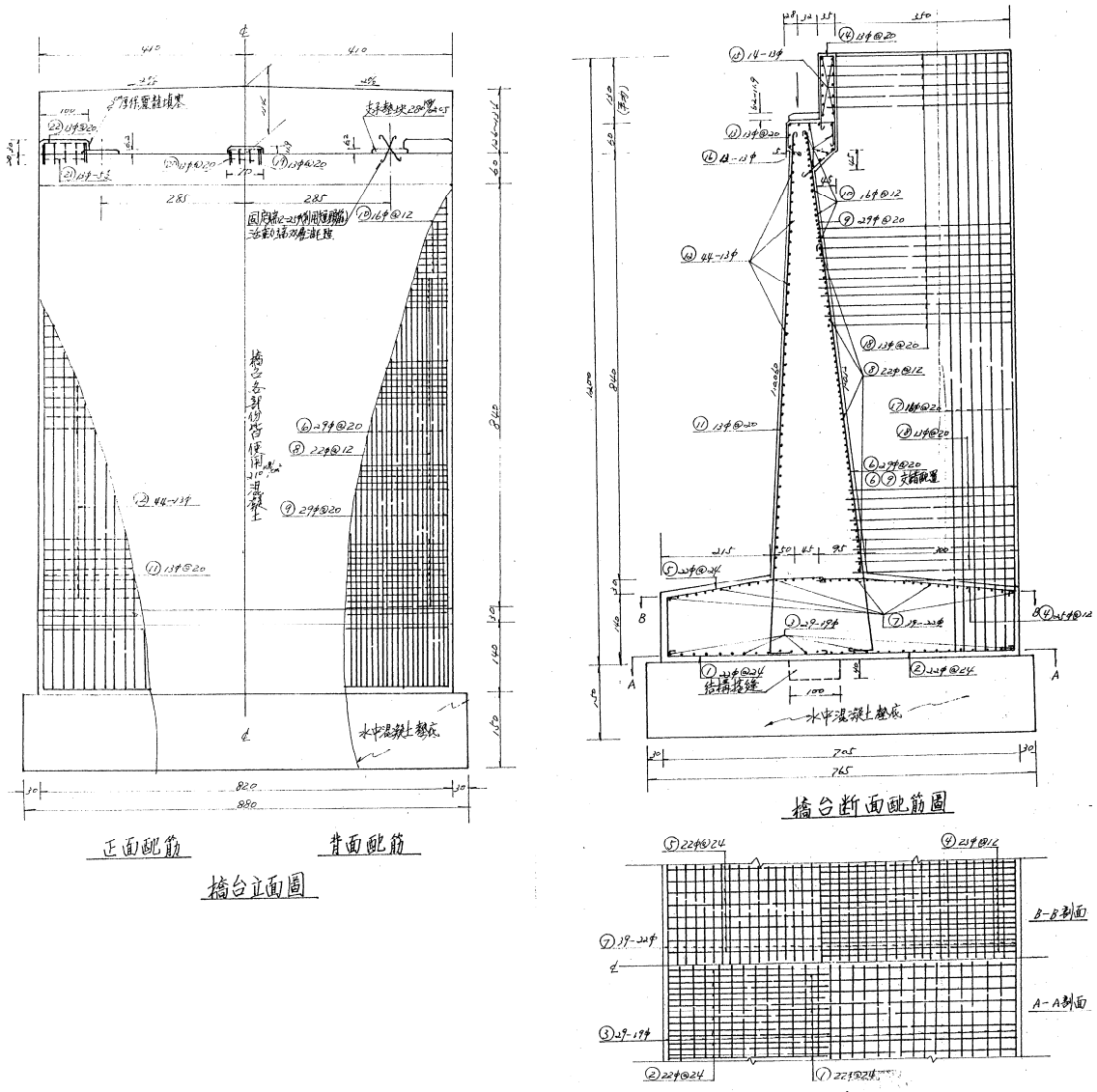


圖 6.97　民國 79 年六龜隧道改線(第二期)工程之六龜三號橋下部結構立面圖及配筋圖【資料來源：第三區養護工程處**】**

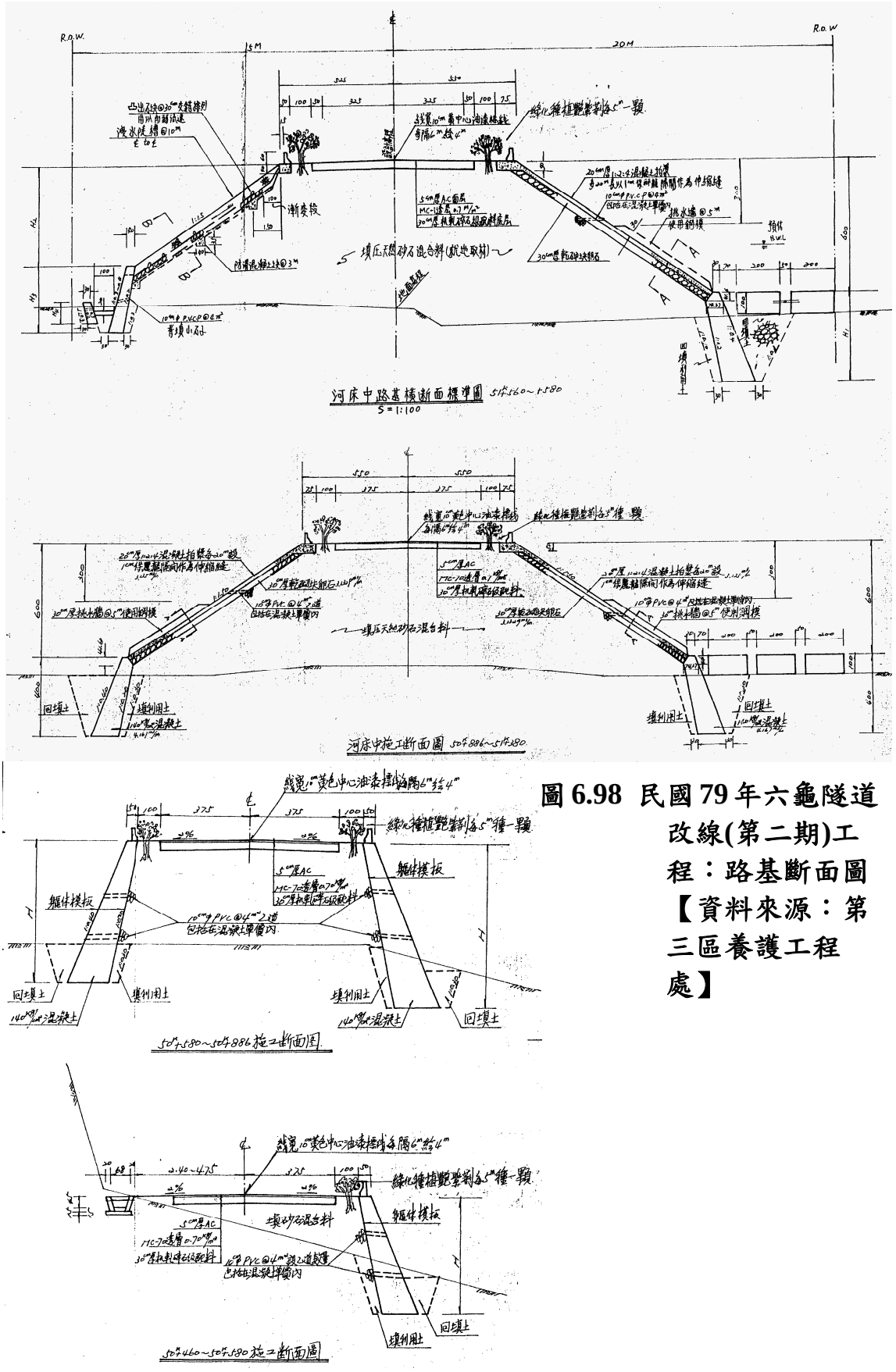


圖 6.98 民國 79 年六龜隧道改線(第二期)工程：路基斷面圖【資料來源：第三區養護工程處】

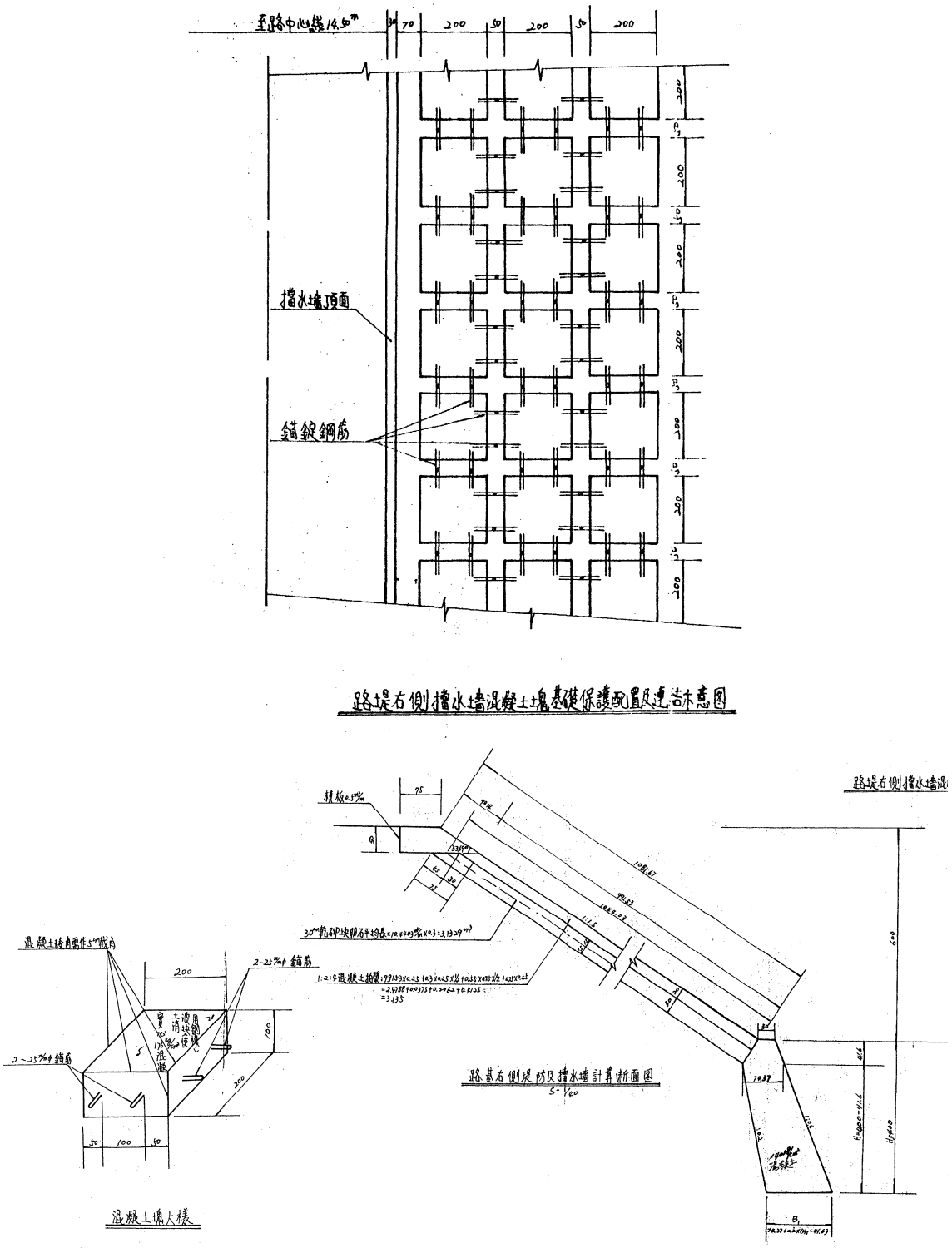
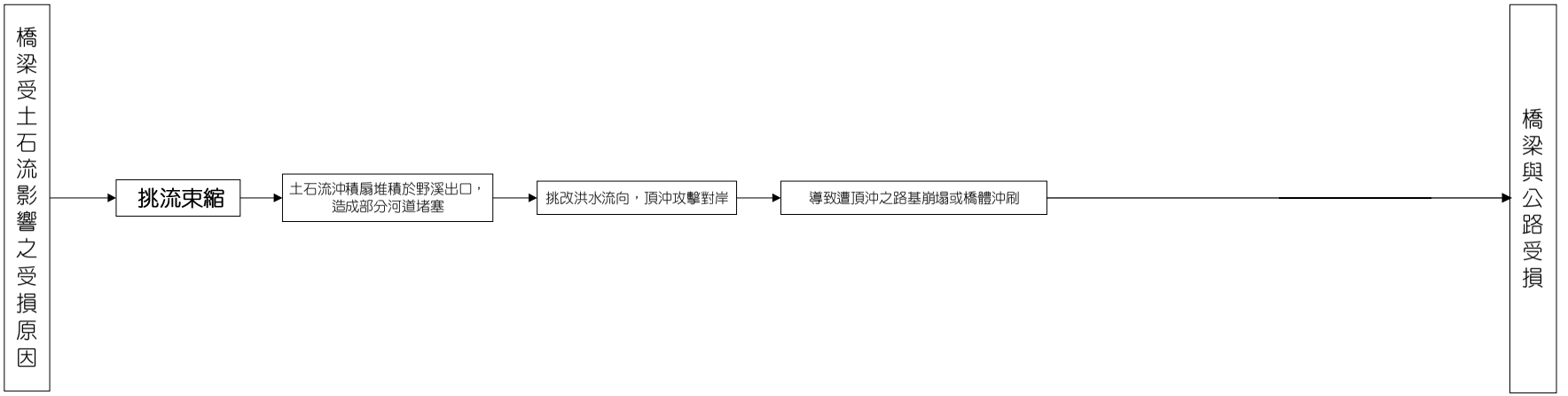


圖 6.99　民國 79 年六龜隧道改線(第二期)工程：路基堤防及混凝土塊基礎保護工配置示意圖【資料來源：第三區養護工程處**】**



相片 6.39　台 27 甲線六龜三號橋於 98.08 莫拉克颱洪受災前後之畫面比對

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 受洪水影響之橋梁破壞流程

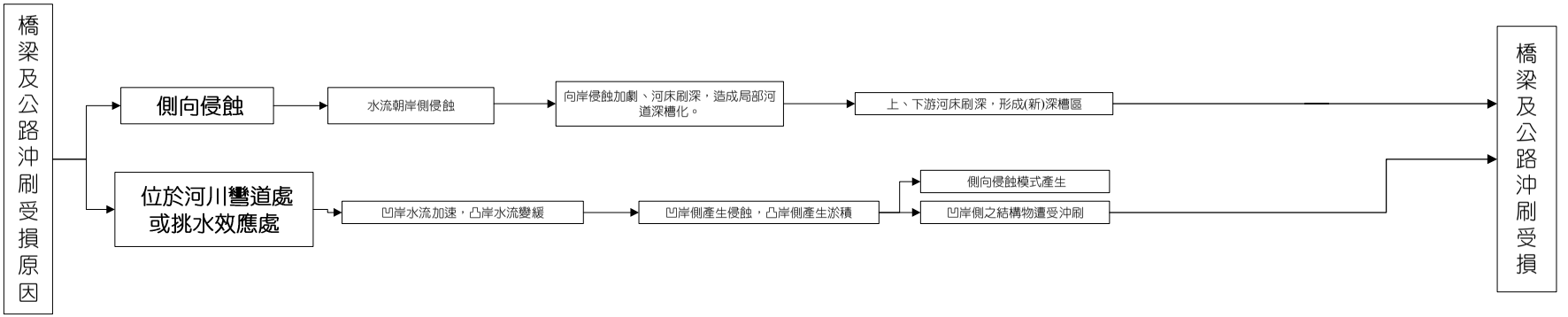


圖 6.100　六龜三號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.9 台 27 線三合橋

1. 基本資料

省道台 27 線三合橋位於高雄縣六龜鄉，跨越荖濃溪支流野溪，其橋頭里程數為 15K+883，於民國 60 年 5 月竣工。三合橋為單一車道，主梁結構為 I 型梁，搖軸支承結構，總長為 39 m 單一跨徑，橋台基礎為直接基礎型式，詳見表 6-14 橋梁基本資料表。

荖濃溪之地質分布情形，根據經濟部水規所 97 年高屏溪治理檢討報告(參考中油台灣油礦探勘總處 1971 年)指出：荖濃溪支流濁口溪地質上游屬始新世至漸新世之畢祿山層、西村層、十八重溪層等黑色粘板岩，偶夾石灰質砂岩成石英質塗岩，岩層走向大致為北北東，而下分佈以中新世之盧山層之硬砂岩、板岩及千枚岩為主。中游至六龜以下地質屬更新世至現代之台地堆積層及沖積層，以礫岩與砂岩及土、砂礫為主。

此外本區斷層分布情形，荖濃溪支流注入高屏溪口有一存疑性活動斷層潮州斷層通過，潮州斷層位於高樹至枋山之間，屬一種左移逆斷層，呈南北走向，全長約 80 km，為山地與平地之分界，詳如圖 6.101 所示，三合橋下游為沖積層，西側最近之斷層為潮州斷層。根據中央地質調查所提供之地質資料圖顯示，於橋址處附近的地質層為中新世盧山層與現代沖積層，盧山層屬於石質土為岩盤經風化而成，滲透性極佳；而沖積層為溪水搬運上游崩積土所產生之土石，主要組成物質以礫石、砂、泥為主。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風襲台，於本區降下極大之豪雨，根據野溪上游附近的御油山雨量站之降雨組體圖，如圖 6.102 所示，颱洪期間總累積雨量高達 3,000 mm，而本區最大之降雨強度發生於 8 月 8 日下午 3 點，降雨強度約為 90 mm/hr，由 8 月 6 日至 8 月 13 日之降雨資料經降雨強度-延時-頻率之 Horner 公式分析結果如表 6-15 所示，降雨延時 24 小時之累積雨量為 1,291.5 mm 已超過 200

年重現期的累積雨量 988 mm。

3. 橋梁災害情形調查

比對三合橋在莫拉克颱洪前後之航照與陸拍，如相片 6.40~6.42 所示，三合橋上游流路遭土石流沖蝕而展寬。根據現場調查，三合橋兩側引道附近皆掛淤漂流木、A1 橋台附近岩盤裸露，如相片 6.43 所示，可能顯示颱洪期間的最高水位逼近漂流木掛淤之高度。現地調查時於鄰近北側引道之河道中發現北側 A1 橋台殘骸,如相片 6.44 所示，推測野溪流路遭土石流展寬後 A1 橋台相對伸入於河道中，橋台之橋基遭受土石流沖刷流失，繼而造成橋台陷入河道中，如相片 6.45 所示。仔細觀察北側引道裸露的路基發現殘留引道之地基遭到嚴重沖刷，如相片 6.46 所示。

南側 A2 橋面護欄上掛淤漂流木，如相片 6.47 所示，下游側護欄破損，可能顯示當時土石流水位超過橋面版並沖毀護欄，如相片 6.48 所示。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大

莫拉克颱洪期間，本區的總累積雨量已超過 200 年重現期之雨量，高降雨強度可能造成山坡地沖刷災害，形成土石崩落堆積於上游野溪河道中。

(2)土石流災害

三合橋上游野溪於莫拉克颱洪，受極大降雨強度及累積雨量之影響，使上游野溪產生土石流與崩落滑移之樹木隨溪洪沖蝕而下，掛淤於原橋址處導致該橋上下游原河道展寬數倍，致使淺基礎之 A1 橋台相對伸入河道中，進而造成橋台沖刷而橋梁塌落、橋台沖毀。

(3)因土石堆升河床高度致使橋梁排洪斷面相對不足

三合橋原橋面至橋底淨高度為 10 m，依據現場調查，河床受

到土石流淤高、兩側引道護欄處有漂流木掛淤現象及護欄破損情形，顯示土石流淤高河床後，洶湧洪水夾帶漂流木沖阻塞橋孔後後，水溢淹至橋面及其周邊砌石護岸，並且將漂流木壅升掛淤於上構，當時最高水位逼近漂流木掛淤之高度，本橋因土石流淤高河床致使排洪斷面相對不足而成災。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖6.103 所示。

表 6-14　三合橋基本資料表

橋梁名稱	三合橋	橋梁編號	1850-010	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	甲仙工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 27 線
橋頭里程	15K+883M	橋尾里程		竣工年月	60 年 5 月	最近維修年月	不詳
造價	不詳元	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	不詳	竣工圖說保存地點	不詳
檢測週期	12 月/次	跨越物體	山溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	否	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	39M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	4.7M	最小淨寬	4.7M	橋版投影面積	183.3M2		
總車道數	1	總橋孔數	1	最大跨距	39M		
跨距分配	39@1						
最高橋墩高度	不詳 M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	10M		
橋頭 GPS 經度	120.6428	橋頭 GPS 緯度	22.96	橋尾 GPS 經度	120.6428	橋尾 GPS 緯度	22.9601
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	搖軸支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	無	橋墩型式	無	橋墩基礎型式	無	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	不詳	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.7M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-06-26 12:22:12
備　註							

【資料來源：第三區養護工程處】



圖 6.101　高屏溪流域下游地質圖【資料來源：中央地質調查所】

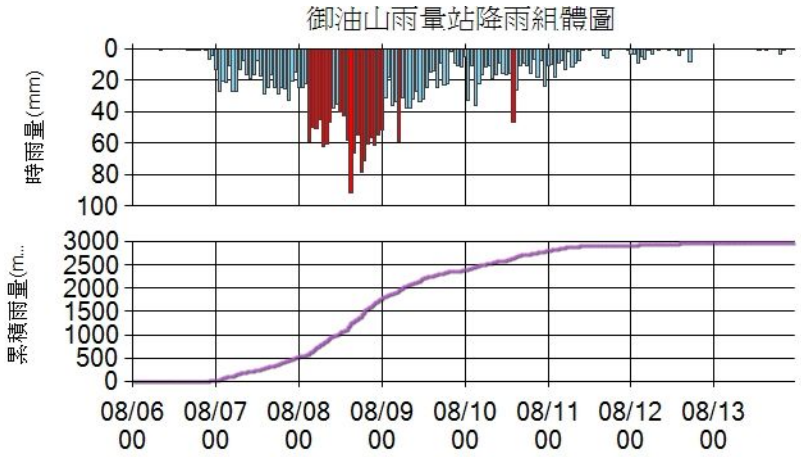


圖 6.102　御油山雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 6-15　莫拉克颱風御油山雨量站之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_御油山暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：15年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	67.0	84.2	93.2	100.6	102.7	108.6	113.8	118.3	0	<2	91.5	8.24
3	112.5	157.5	185.5	211.0	218.9	242.4	264.9	286.6	0	<2	217	23.43
6	160.3	239.4	289.5	335.5	349.6	392.0	432.4	471.1	1.5	<2	428.5	93.07
12	230.3	379.6	479.5	573.5	602.9	691.7	777.3	860.1	2.5	<2	748.5	77.13
24	334.0	608.4	799.7	982.8	1040.3	1214.6	1382.8	1545.2	2.5	<2	1291.5	65.85
48	400.2	823.4	1205.8	1655.3	1816.0	2369.7	3013.8	3759.0	-	-	1987	31.25
72	464.7	987.3	1459.0	2010.2	2206.2	2877.3	3649.7	4533.1	-	-	2396	30.73

參考水利署雨量站：藤枝(2)。(統計資料長度：28年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	49.0	66.1	77.8	89.4	93.1	104.9	117.0	129.5	0	<2	91.5	22.58
3	106.6	142.5	165.6	187.5	194.3	215.4	236.2	256.9	0	<2	217	52.40
6	172.0	229.7	266.5	300.7	311.5	344.1	376.0	407.6	1.5	<2	428.5	>200
12	273.5	386.4	455.5	517.5	536.4	592.4	645.1	695.1	2.5	<2	748.5	>200
24	392.5	574.8	686.3	785.9	816.1	905.1	988.0	1065.8	2.5	<2	1291.5	>200
48	521.9	822.5	1035.3	1246.8	1315.3	1530.4	1750.0	1975.0	-	-	1987	>200
72	577.5	946.9	1236.6	1548.1	1654.0	2002.9	2384.7	2803.1	-	-	2396	102.01

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 6.40　97 年 9 月航照顯示：台 27 線三合橋於莫拉克颱洪之前，橋址處上下游均已有土石堆積於河床之情形【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.41　98 年 8 月航照，台 27 線三合橋於莫拉克颱洪後，三合橋上、下游側野溪流路遭洪水土石沖刷而展寬【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.42　三合橋上游野溪於莫拉克颱洪後，因大量洪水土石沖刷引起河道兩側侵蝕致使河道展寬(a)莫拉克颱洪前；(b)莫拉克颱洪後【相片(a)資料來源：甲仙工務段】

a



b



相片 6.43　台 27 線三合橋於莫拉克颱洪前後比較，原 A1 橋台已沖失並可見北側破損之引道路基以及右岸坡址遭到嚴重沖刷而裸露的岩盤。(a)莫拉克颱洪受災前；(b)莫拉克颱洪受災後

【相片(a)資料來源：甲仙工務段】



相片 6.44　三合橋下游右岸北側引道旁拍攝，可見 A1 側路堤沖失、上構墜入溪中之災情



相片 6.45　三合橋上游野溪之流路方向正對原 A1 橋台，復因上游土石流沖刷致使流路展寬，導致 A1 橋台相對伸入河道，再受到溪洪與土石流沖刷導致橋基流失、橋台沖毀



相片 6.46　北側 A1 橋台遭沖毀，引道路基遭到嚴重沖刷。(a)於河床上往北側引道拍攝；(b)橋址處上游往北側引道拍攝

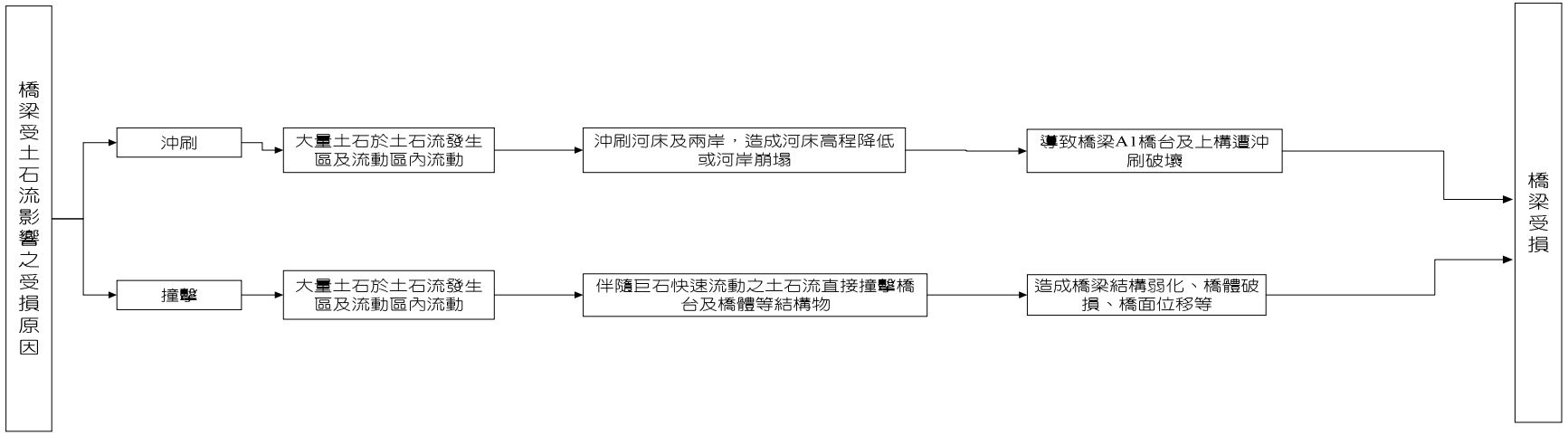


相片 6.47　三合橋斷裂的上構嚴重掛淤漂流木，護欄遭到沖毀流失



相片 6.48　三合橋南側引道上往上構拍攝，橋面版傾倒於河床中

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 受洪水影響之橋梁破壞流程

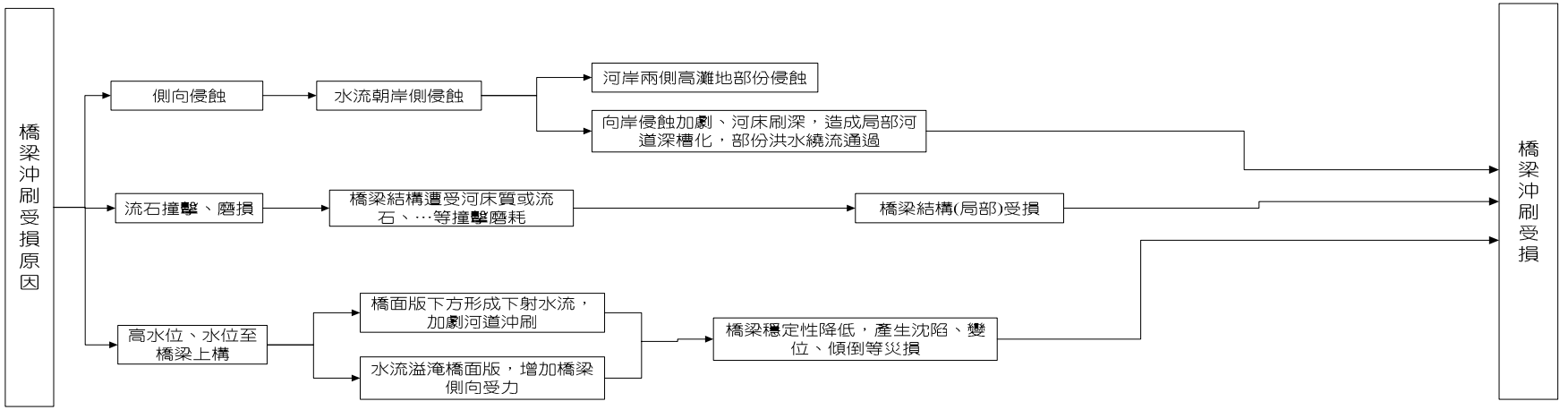


圖 6.103　　三合橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.10 台 27 線六津橋

1. 基本資料

省道台 27 線六津橋位於高雄縣六龜鄉，跨越荖濃溪支流野溪，其橋頭里程數為 21K+035，於民國 67 年 3 月竣工。六津橋為單一車道，總長為 7.6 m 的單跨版橋，橋台基礎為直接基礎，詳見表 6-16 橋梁基本資料表。

根據中央地質調查所之地質資料圖顯示，於橋址處附近的地質層為中新世廬山層與現代沖積層，廬山層屬於石質土為岩盤經風化而成且滲透性極佳，而沖積層為溪水搬運上游崩積土所產生之土石，主要組成物質以礫石、砂、泥為主。此外本區斷層分布情形，荖濃溪支流注入高屏溪口有一存疑性活動斷層一潮州斷層通過，潮州斷層位於高樹至枋山之間，屬一種左移逆斷層，呈南北走向，全長約 80 km，為山地與平地之分界，詳如圖 6.104 所示，六津橋附近屬沖積層，西側最近的斷層為潮州斷層。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風襲台，於本區降下極大之豪雨，根據野溪上游附近的御油山雨量站之降雨組體圖，如圖 6.105 所示，颱洪期間總累積雨量高達 3,000 mm，而本區最大降雨強度發生於 8 月 8 日下午 3 點，降雨強度約為 90 mm/hr，由 8 月 6 日至 8 月 13 日之降雨資料經降雨強度-延時-頻率之 Horner 公式分析結果如表 6-17 所示，降雨延時 24 小時之累積雨量為 1,291.5 mm，已超過 200 年重現期的累積雨量 988 mm。

此外，莫拉克颱風後之衛星影像可知，如相片 6.49 所示，六津橋所跨之野溪上游存在崩塌地，大量的土砂崩落於河道中，加上豪大雨便會引發土石流向下游沖刷和堆積，引致土石流災害。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查及比對颱洪前後之航照，如相片 6.50 與相片 6.51

所示，莫拉克颱洪暴雨使六津橋上游野溪形成土石流並夾帶大量土砂向下游流動，因六津橋位於谷口處，河寬由小增大、坡度變緩，使得土砂堆積於谷口處，並形成土石流沖積扇淤高位於河谷出口及附近河道。六津橋所跨之荖濃溪支流野溪上游於莫拉克颱洪後形成崩塌地，同時該野溪為行政院農委會水保局所訂定之土石流潛勢溪流 DF047 之危險區域。

於民國 98 年 9 月 25 日~99 年 4 月赴現場調查六津橋原橋址處，現場已開始清淤，但仍未見六津橋之任何構件，如相片 6.52 所示，惟因六津橋係位於土石流沖積扇內，屬流速較緩之土石流堆積區，橋梁可能被淤埋於土石中(例如台 21 線火山橋即為另一例)。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大

莫拉克颱洪期間，本區的總累積雨量已超過 200 年重現期之雨量，高降雨強度造成山坡地沖刷災害，形成土石崩落堆積於上游野溪河道中。

(2)土石流災害

六津橋所跨之野溪為行政院水保局所定於高雄縣內的土石流潛勢溪流 DF047，莫拉克颱洪期間，野溪溪洪所夾帶的土砂直接於野溪出口處，形成土石流沖積扇。如相片 6.53 所示，在土石流堆積過程中六津橋橋梁結構阻擋土石流之前進而致土石流往兩側橋台外推移使引道路堤毀損、橋梁遭到土石流掩埋，如圖 6.106 所示。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 6.107 所示。

表 6-16　六津橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	六津橋	橋梁編號	1850-018	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	高雄工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 27 線
橋頭里程	21K+35M	橋尾里程		竣工年月	67 年 3 月	最近維修年月	
造價	0	合約編號	0	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位		竣工圖說保存地點	
檢測週期	12 月/次	跨越物體		改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	不詳						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	否	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	7.6M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	4.6M	最小淨寬	4.6M	橋版投影面積	34.96M2		
總車道數	1	總橋孔數	1	最大跨距	7.6M		
跨距分配	7.6@1						
最高橋墩高度	不詳 M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	2M		
橋頭 GPS 經度	120.6404	橋頭 GPS 緯度	22.9153	橋尾 GPS 經度	120.6403	橋尾 GPS 緯度	22.9153
結　構　資　料							
結構形式	版橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	版梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	簡易夾合釘式支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	無	橋墩型式	無	橋墩基礎型式	無	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	不詳	地盤種類	無法取得	防震設施	無	防落橋長度	0.4M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2008-09-03 08:37:05
備　註							

【資料來源：第三區養護工程處】



圖 6.104　　高屏溪流域下游地質圖【資料來源：中央地質調查所】

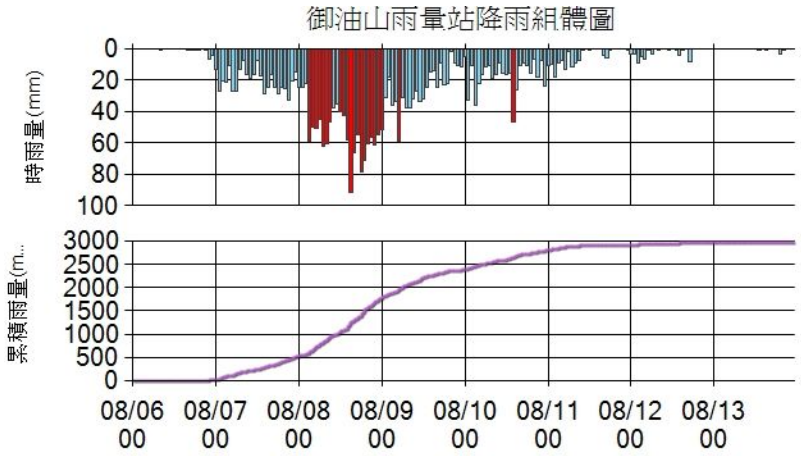


圖 6.105　　御油山雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 6-17　　莫拉克颱風御油山雨量站之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_御油山暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

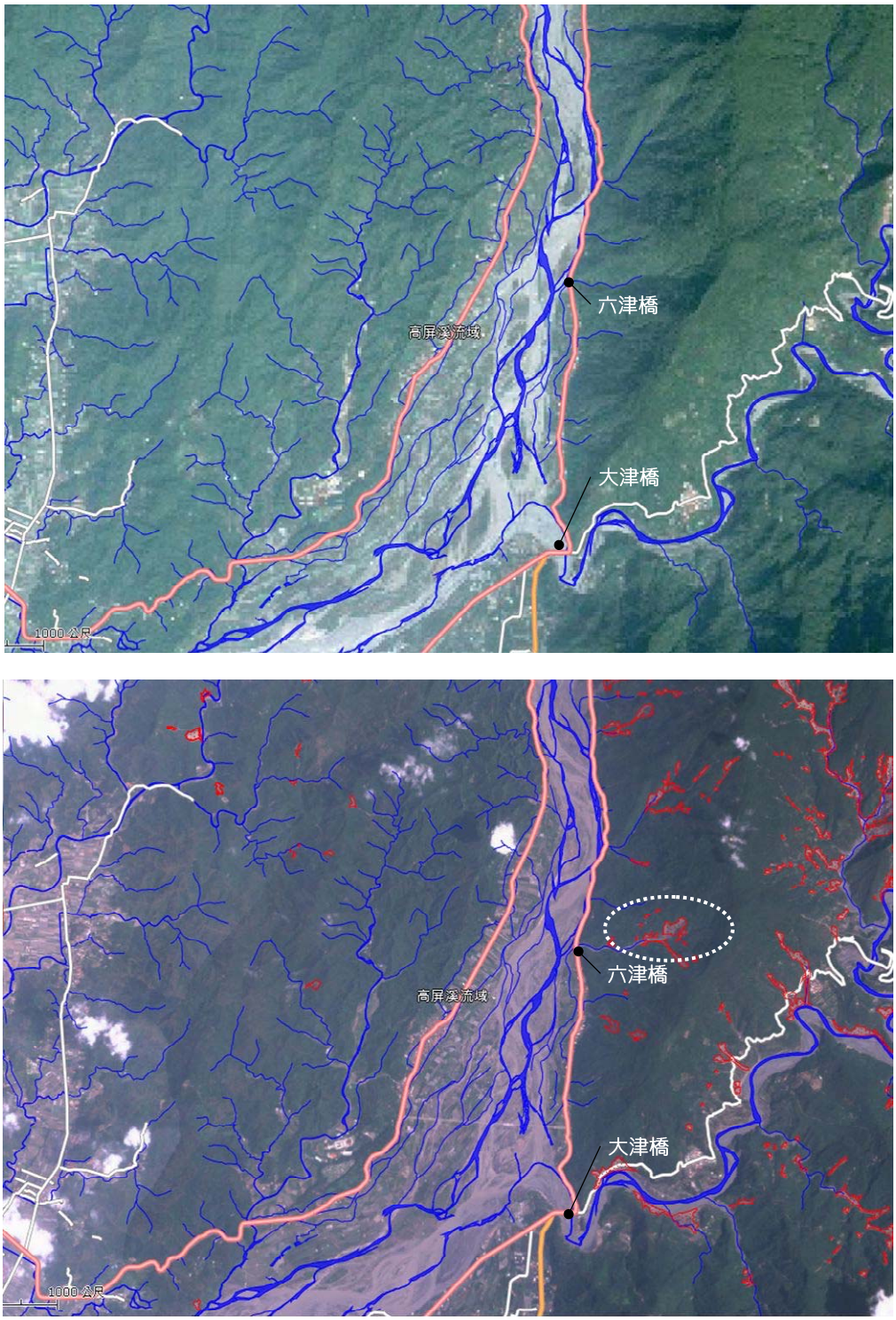
氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：15年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	67.0	84.2	93.2	100.6	102.7	108.6	113.8	118.3	0	<2	91.5	8.24
3	112.5	157.5	185.5	211.0	218.9	242.4	264.9	286.6	0	<2	217	23.43
6	160.3	239.4	289.5	335.5	349.6	392.0	432.4	471.1	1.5	<2	428.5	93.07
12	230.3	379.6	479.5	573.5	602.9	691.7	777.3	860.1	2.5	<2	748.5	77.13
24	334.0	608.4	799.7	982.8	1040.3	1214.6	1382.8	1545.2	2.5	<2	1291.5	65.85
48	400.2	823.4	1205.8	1655.3	1816.0	2369.7	3013.8	3759.0	-	-	1987	31.25
72	464.7	987.3	1459.0	2010.2	2206.2	2877.3	3649.7	4533.1	-	-	2396	30.73

參考水利署雨量站：藤枝(2)。(統計資料長度：28年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	49.0	66.1	77.8	89.4	93.1	104.9	117.0	129.5	0	<2	91.5	22.58
3	106.6	142.5	165.6	187.5	194.3	215.4	236.2	256.9	0	<2	217	52.40
6	172.0	229.7	266.5	300.7	311.5	344.1	376.0	407.6	1.5	<2	428.5	>200
12	273.5	386.4	455.5	517.5	536.4	592.4	645.1	695.1	2.5	<2	748.5	>200
24	392.5	574.8	686.3	785.9	816.1	905.1	988.0	1065.8	2.5	<2	1291.5	>200
48	521.9	822.5	1035.3	1246.8	1315.3	1530.4	1750.0	1975.0	-	-	1987	>200
72	577.5	946.9	1236.6	1548.1	1654.0	2002.9	2384.7	2803.1	-	-	2396	102.01

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



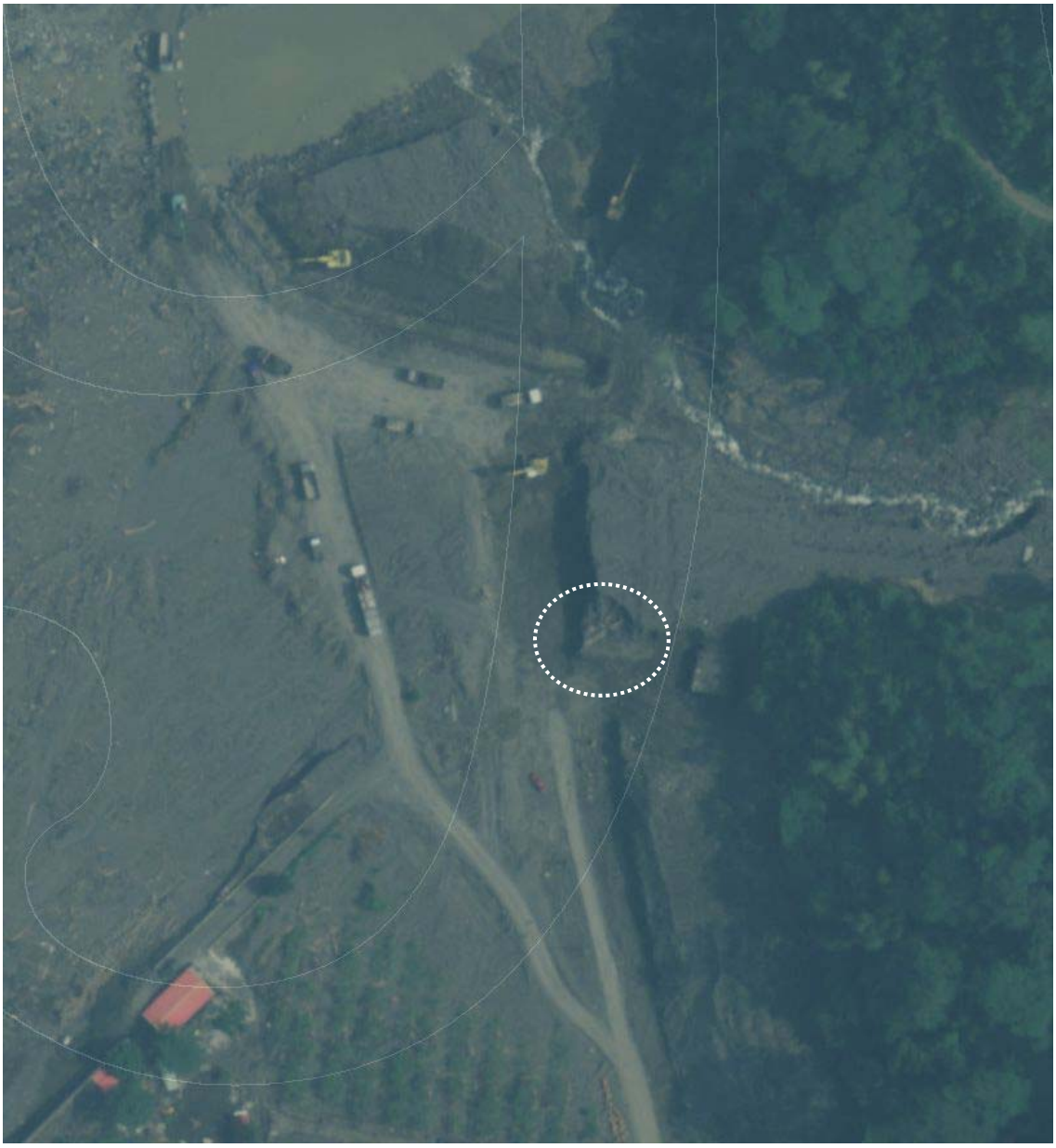
相片 6.49　六津橋於莫拉克颱洪後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形

【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】



相片 6.50　　台 27 線六津橋於莫拉克颱洪前之情形

【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.51　　莫拉克颱洪後台 27 線六津橋之情形

【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.52　於六津橋橋址處拍攝之莫拉克災前與災後畫面比對 (拍攝於 98.09.25)【相片(a)資料來源：甲仙工務段(拍攝日期 97.02)】



相片 6.53　　由台 27 線六津橋橋址處往上游拍攝(拍攝日期 98.11)

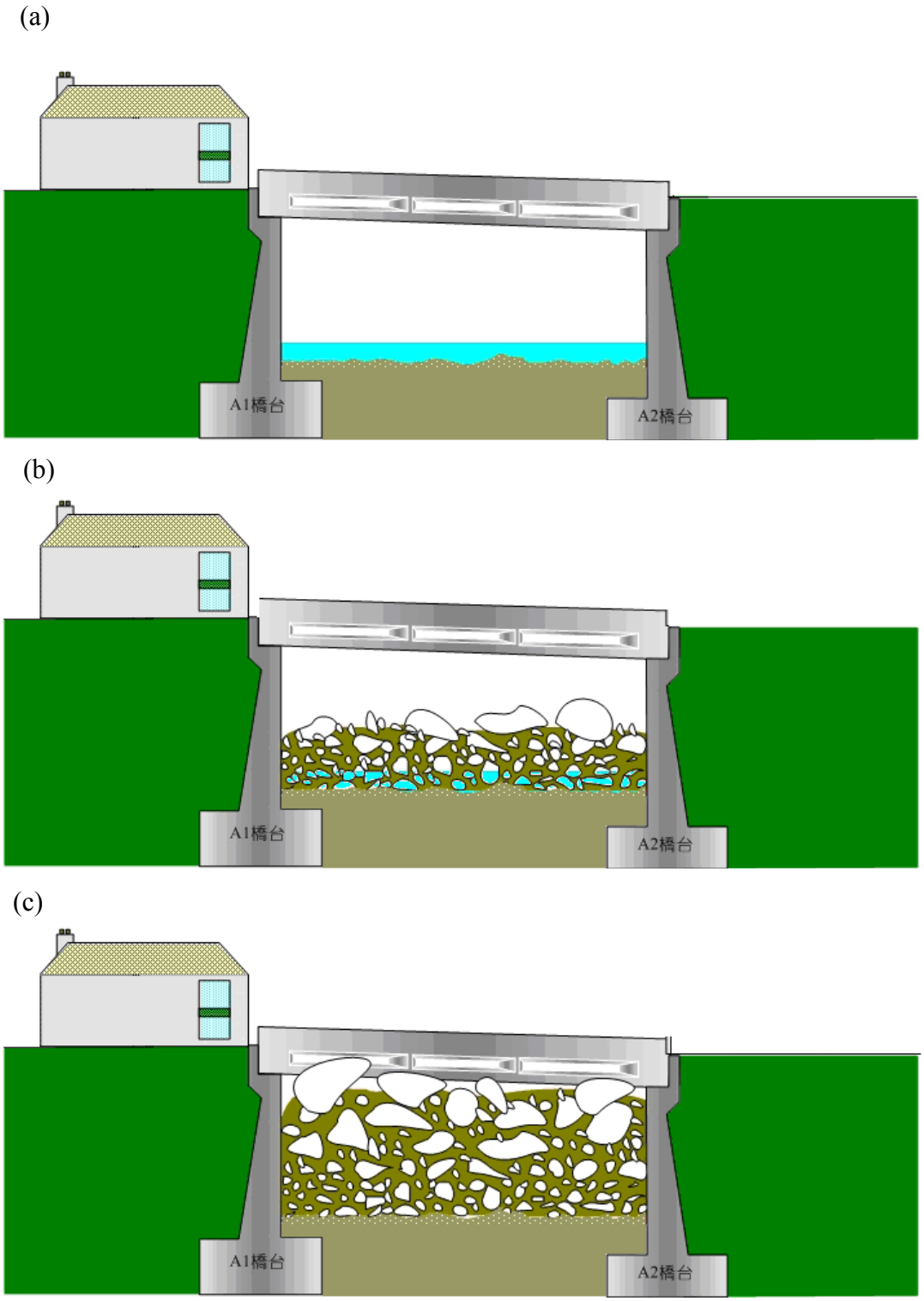
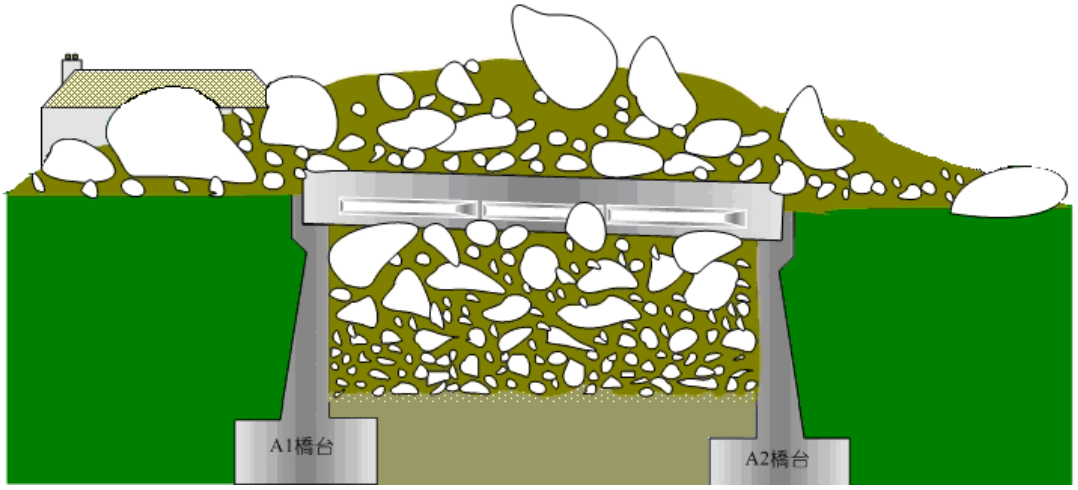


圖 6.106　六津橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖(a)受災前情況(b)土石流抵達橋址處(c)排洪斷面不足土石流升高

(d)



(e)

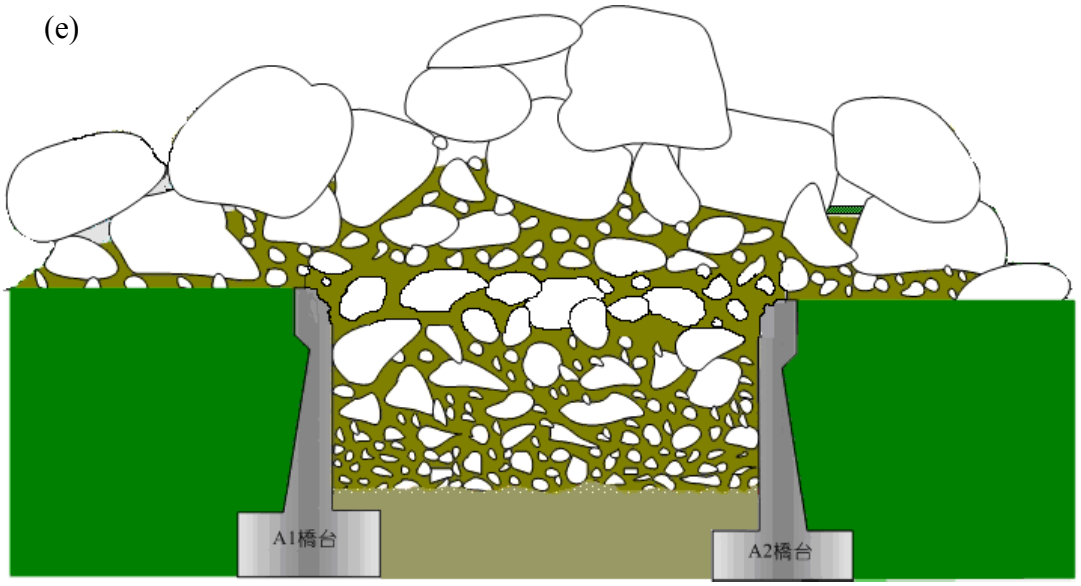


圖 6.106(續)　六津橋莫拉克颱風受災擬似動態流程示意圖(d)土石流向兩側橋台推移(e)六津橋橋面版遭土石流沖失

受土石流影響之橋梁破壞流程

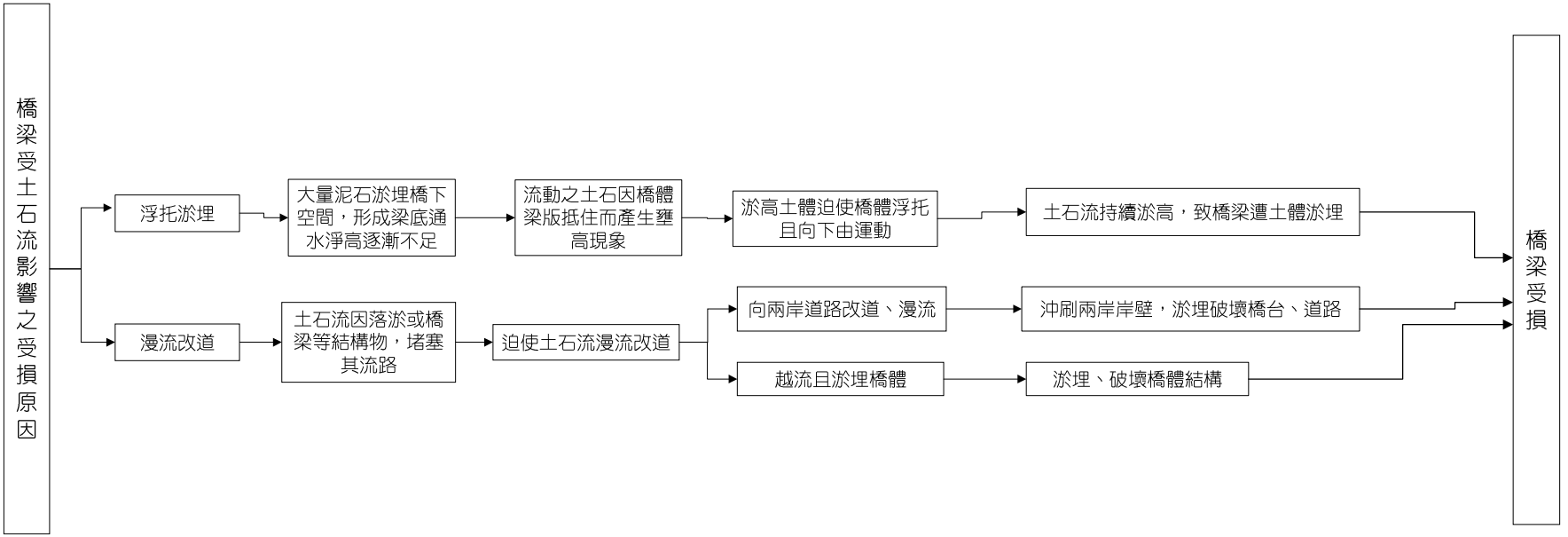


圖 6.107　　六津橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

6.11 台 27 線大津橋

1. 基本資料

省道台 27 線大津橋位於高雄縣茂林鄉，跨越濁口溪，為茂林鄉與高樹鄉的主要通道橋梁，其橋頭里程數為 25K+015，於民國 60 年 6 月竣工。大津橋主梁結構為 T 型梁，由二根大梁組成上部結構，總長為 250 m，計 10 跨，基礎為沉箱型式。民國 79 年間進行橋梁拓寬工程，橋面寬 9 公尺，三根 RCT 型梁構成上部結構，基礎為沉箱型式，其中 P1~P4、P7 者為 10 m 深之沉箱，P5 者為 4m 深沉箱且部分基礎座立於原吊橋基礎上；P6、P8、P9 為 8m 深沉箱基礎，詳見表 6-18 橋梁基本資料表。

濁口溪之地質分布情形，根據水利署水規所 97 年高屏溪治理檢討報告(另參考中油台灣油礦探勘總處，1971 年)指出：荖濃溪支流濁口溪地質上游屬始新世至漸新世之畢祿山層、西村層、十八重溪層等黑色粘板岩，偶夾石灰質砂岩成石英質塗岩，岩層走向大致為北北東，而下分佈以中新世之盧山層之硬砂岩、板岩及千枚岩為主。中游至六龜以下地質屬更新世至現代之台地堆積層及沖積層，以礫岩與砂岩及土、砂礫為主。

此外，就本區斷層分布情形而言，荖濃溪支流注入高屏溪口有一存疑性活動斷層潮州斷層通過，潮州斷層位於高樹至枋山之間，屬一種左移逆斷層，呈南北走向，全長約 80 km，為山地與平地之分界，詳如圖 6.108 所示，大津橋附近為沖積層，西側最近之斷層為潮州斷層。

根據中央地質調查所提供之地質資料圖顯示，於橋址處附近的地質層為中新世盧山層與現代沖積層，盧山層屬於石質土為岩盤經風化而成且滲透性極佳，而沖積層為溪水搬運上游崩積土所產生之土石，主要組成物質以礫石、砂、泥為主。橋址處地質詳如地質鑽探圖 6.109 所示，以灰色、棕黃色卵礫石、岩塊和風化岩塊及粉土

質細砂組成。

本橋於民國 77 年間經改建工程改建後之平面圖如圖 6.112，改建內容包括：重新打設 12～13 m 樁基礎之 A1 橋台與 8～9 m 樁基礎 A2 橋台，詳圖如圖 6.113～ 圖 6.114 所示。 改建 P5 之橋墩基礎和 P1~P4 及 P6~P9 之沉箱基礎，詳圖如 6.115 ~圖 6.117，改建原吊橋塔座、打除原 P1 沉箱加固結構如圖 6.118 所示，河道大斷面圖如圖 6.119~6.120。

2. 莫拉克颱風之水文資料

民國 98 年 8 月莫拉克颱風襲台，於本區降下極大之豪雨，根據濁口溪上游集水區御油山雨量站之降雨組體圖，如圖 6.110 所示，颱洪期間總累積雨量高達 3,000 mm，而本區最大之降雨強度發生於 8 月 8 日下午 3 點，降雨強度約為 90 mm/hr，由 8 月 6 日至 8 月 13 日之降雨資料經降雨強度-延時-頻率之 Horner 公式分析結果如表 6-19 所示，降雨延時 24 小時之累積雨量為 1,291.5 ㎜，已超過 200 年重現期的累積雨量 988 mm。

根據大津橋上游約兩公里的興農橋水位站歷線圖，如圖 6.111 所示，興農橋最高水位發生在 8 月 8 號下午 4 點 20 分，水位高達 EL.168.9 m，已超過興農橋的一級警戒水位 EL.166.8 m，隨即興農橋水位飆高至 EL. 176.29m 並且再無更動，顯示儀器在此時間點遭洪水破壞。

3. 橋梁災害情形調查

大津橋位於荖濃溪支流濁口溪注入荖濃溪之前上游約一公里處，如相片 6.54 所示，橋址處上游為一彎道，水流過彎後有被挑流向橋址處左岸的趨勢，清楚揭示：凸岸(右岸)水深較淺、流速較小；而凹岸(左岸)水深較深、流速大增，導致高降雨強度所匯集之溪水沖刷山坡邊壁造成邊坡滑動，進而形成諸多野溪之土石流運動，將大量漂流木沖刷至河道上，並且隨著水流方向直接沖刷大津橋

P5~P8 橋墩，如相片 6.55 所示。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大

莫拉克颱洪期間在本區降下超大的降雨，根據大津橋上游的御油山雨量站紀錄於 8 月 8 日~8 月 10 日期間，濁口溪集水區降下高逾 2,400 mm 的總累積雨量，經頻率分析結果該區之降雨延時 24 小時累積雨量為 1,065.8 mm，顯然已超過 100 年重現期的 988 mm 標準。

(2)漂流木嚴重掛淤於橋面及橋墩

莫拉克颱洪期間，高降雨強度之雨量沖刷山丘邊壁造成大量漂流木落於河道中，並隨高漲的洪流攜帶而下，嚴重掛淤於大津橋橋墩阻塞橋孔，致使橋址處形成近似堰塞湖般之阻水現象，如相片 6.56 所示，因大量漂流木掛淤於橋墩上，橋孔通洪斷面減少、橋墩橋基阻水面積增大，水位乃溢淹越流通過橋面及護欄，進而形成壓力流流況(pressure flow)，除了潛沒射流之高速沖刷橋基周邊，也進而形成壓力沖刷(pressure scour)，進而提高該橋之墩基總局部沖刷量。

大津橋上游數百公尺處為一大彎岸，水流受挑流至凹岸(左岸)，河川斷面束縮流速加大，復因大量之漂流木阻塞，如相片 6.57 所示，漂流木嚴重掛淤於橋墩橋孔處，湍急高流速之洪流乃集中於 P5~P9~A2 之間，水流便形成近似潛沒射流(submerged jet)沖刷河床。本橋之 P5 即為具最短之沉箱基礎(4m)，於高速潛沒射流沖刷下遭淘空基礎而致落橋破壞，繼而造成 P6~P8 之系列塌落。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 6.121 所示。

表 6-18　大津橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	大津橋	橋梁編號	1	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處			養護工務段	甲仙工務段
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	六龜	道路等級	省道	路線	臺 27 線
橋頭里程	25K+15M	橋尾里程		竣工年月	60 年 6 月	最近維修年月	95 年 11 月
造價	不詳	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	無法得知	竣工圖說保存地點	無法得知
檢測週期	12 月/次	跨越物體	濁口溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	無						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別		河川管理單位		河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站	興農橋站	計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	250M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	12M	最小淨寬	12M	橋版投影面積	3000M2		
總車道數	2	總橋孔數	10	最大跨距	25M		
跨距分配	25@10						
最高橋墩高度	7M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	5M		
橋頭 GPS 經度	120.6403	橋頭 GPS 緯度	22.8819	橋尾 GPS 經度	120.6379	橋尾 GPS 緯度	22.8819
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	T 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	角鋼式伸縮縫
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	半重力式	橋台基礎型式	直接基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	沉箱基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	不詳	地盤種類	無法取得	防震設施	混凝土止震塊	防落橋長度	0.65M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2009-03-04
備　註							

【資料來源：第三區工程處】



圖 6.108　高屏溪流域下游地質圖【資料來源：中央地質調查所】

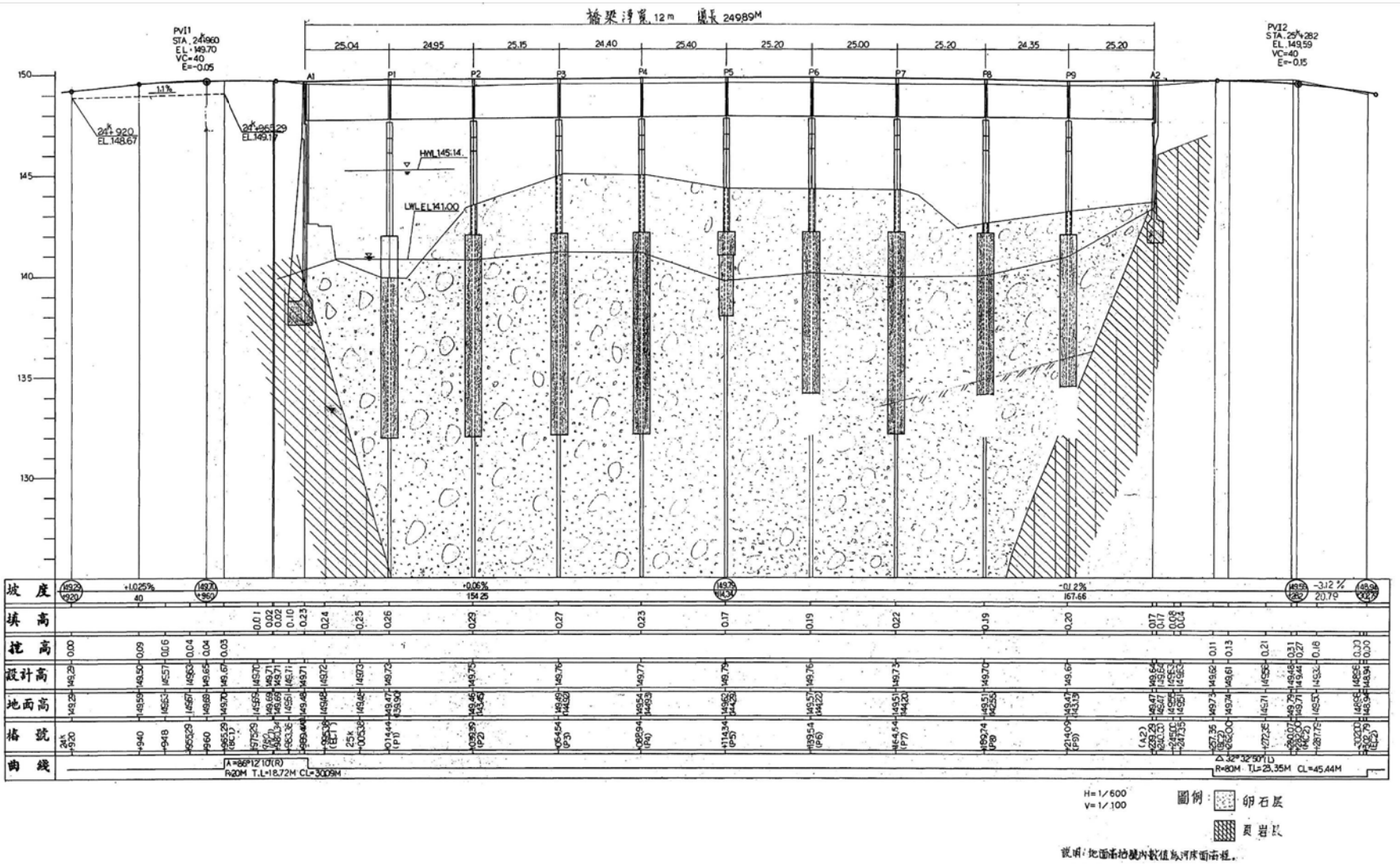


圖 6.109　台 27 線 25K+015 大津橋民國 77 年改建工程縱斷面圖及地質鑽探剖面圖

【資料來源：第三區養護工程處】

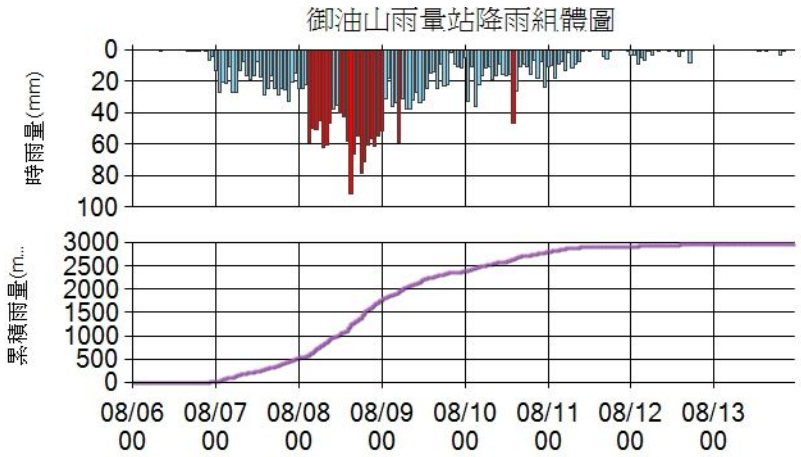


圖 6.110　　御油山雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

表 6-19　莫拉克颱風御油山雨量站之暴雨頻率分析

莫拉克颱風_御油山暴雨頻率分析

統計時間：2009/08/05 10:00~2009/09/27 08:00

氣象局雨量站頻率分析。(統計資料長度：15年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	67.0	84.2	93.2	100.6	102.7	108.6	113.8	118.3	0	<2	91.5	8.24
3	112.5	157.5	185.5	211.0	218.9	242.4	264.9	286.6	0	<2	217	23.43
6	160.3	239.4	289.5	335.5	349.6	392.0	432.4	471.1	1.5	<2	428.5	93.07
12	230.3	379.6	479.5	573.5	602.9	691.7	777.3	860.1	2.5	<2	748.5	77.13
24	334.0	608.4	799.7	982.8	1040.3	1214.6	1382.8	1545.2	2.5	<2	1291.5	65.85
48	400.2	823.4	1205.8	1655.3	1816.0	2369.7	3013.8	3759.0	-	-	1987	31.25
72	464.7	987.3	1459.0	2010.2	2206.2	2877.3	3649.7	4533.1	-	-	2396	30.73

參考水利署雨量站：藤枝(2)。(統計資料長度：28年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	49.0	66.1	77.8	89.4	93.1	104.9	117.0	129.5	0	<2	91.5	22.58
3	106.6	142.5	165.6	187.5	194.3	215.4	236.2	256.9	0	<2	217	52.40
6	172.0	229.7	266.5	300.7	311.5	344.1	376.0	407.6	1.5	<2	428.5	>200
12	273.5	386.4	455.5	517.5	536.4	592.4	645.1	695.1	2.5	<2	748.5	>200
24	392.5	574.8	686.3	785.9	816.1	905.1	988.0	1065.8	2.5	<2	1291.5	>200
48	521.9	822.5	1035.3	1246.8	1315.3	1530.4	1750.0	1975.0	-	-	1987	>200
72	577.5	946.9	1236.6	1548.1	1654.0	2002.9	2384.7	2803.1	-	-	2396	102.01

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

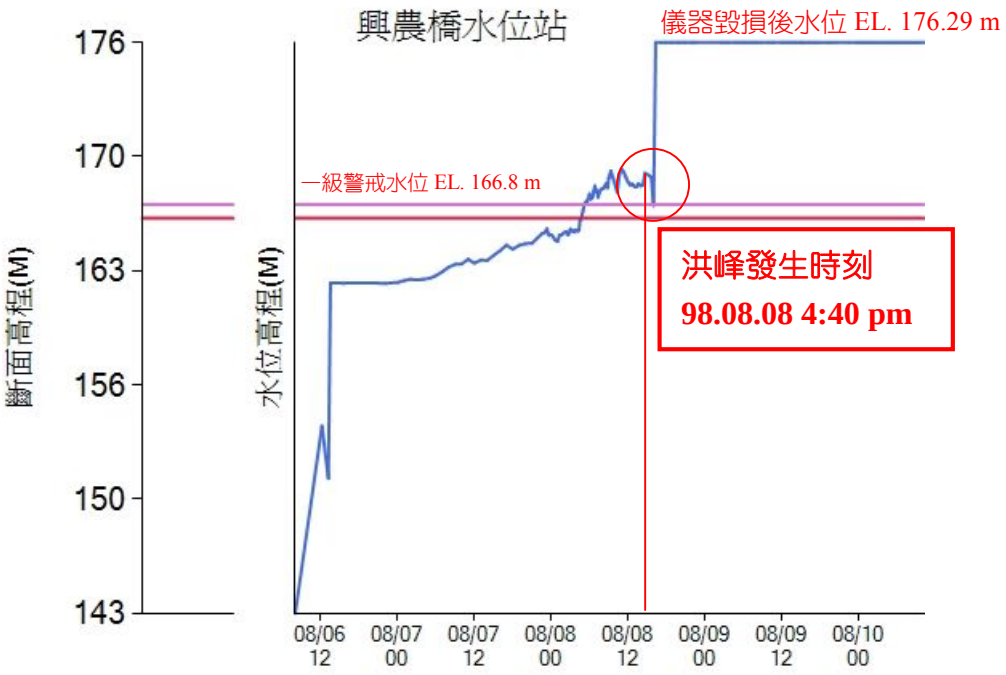


圖 6.111　興農橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

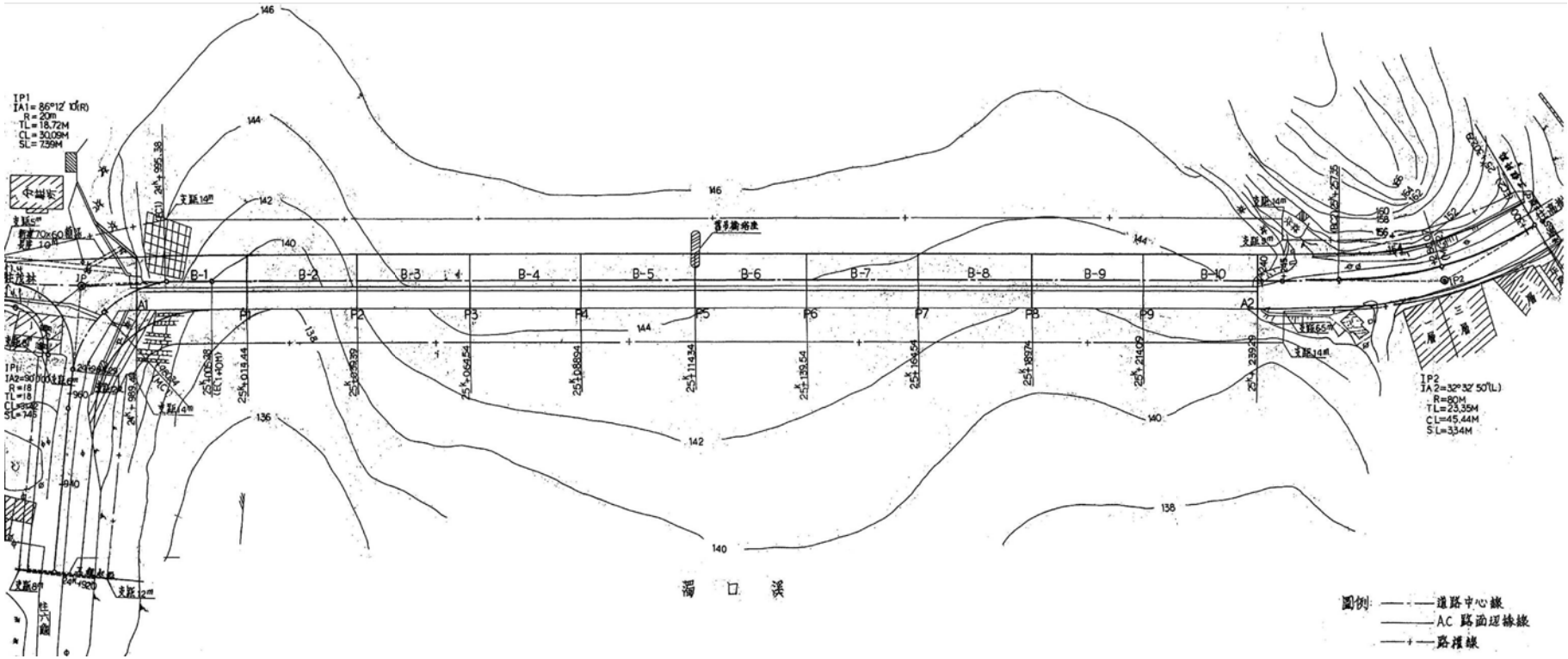


圖 6.112　　民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程平面圖【資料來源：第三區養護工程處**】**

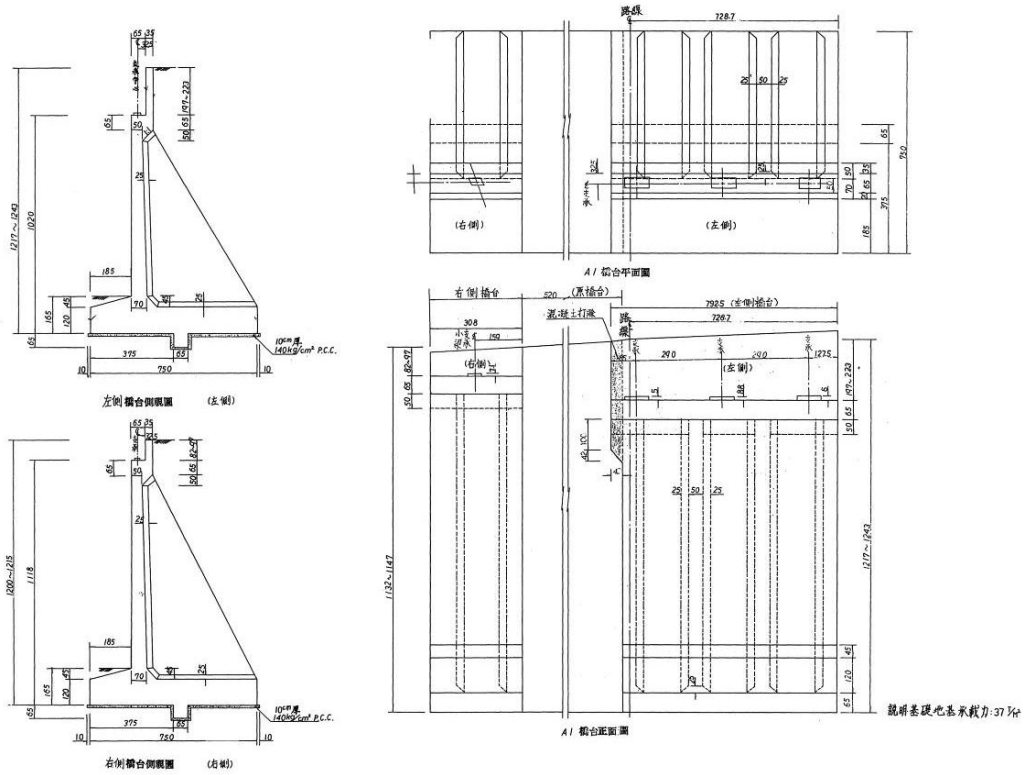


圖 6.113　民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程之 A1 橋台詳圖

【資料來源：第三區養護工程處】

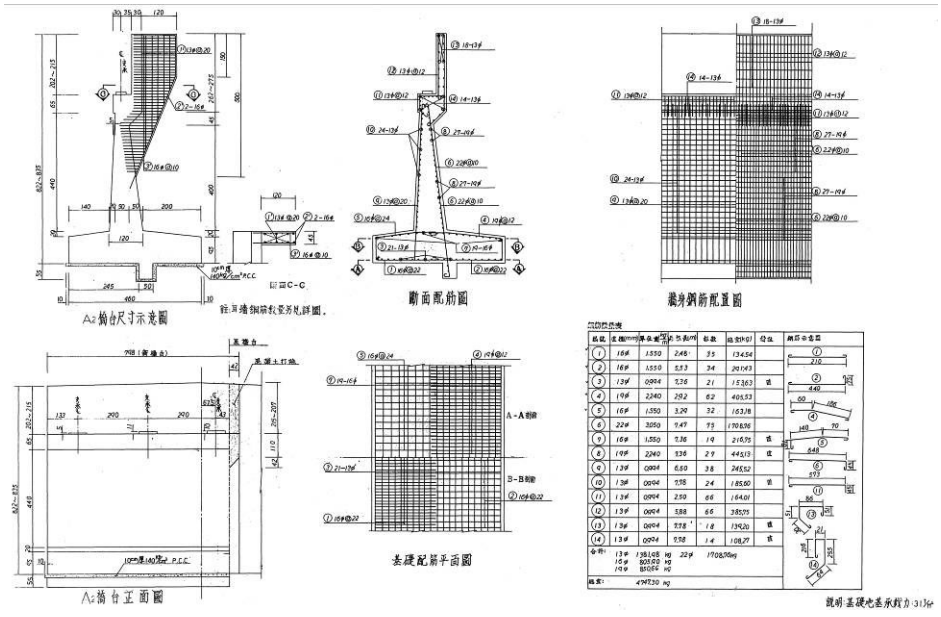


圖 6.114　民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程之 A2 橋台詳圖

【資料來源：第三區養護工程處】

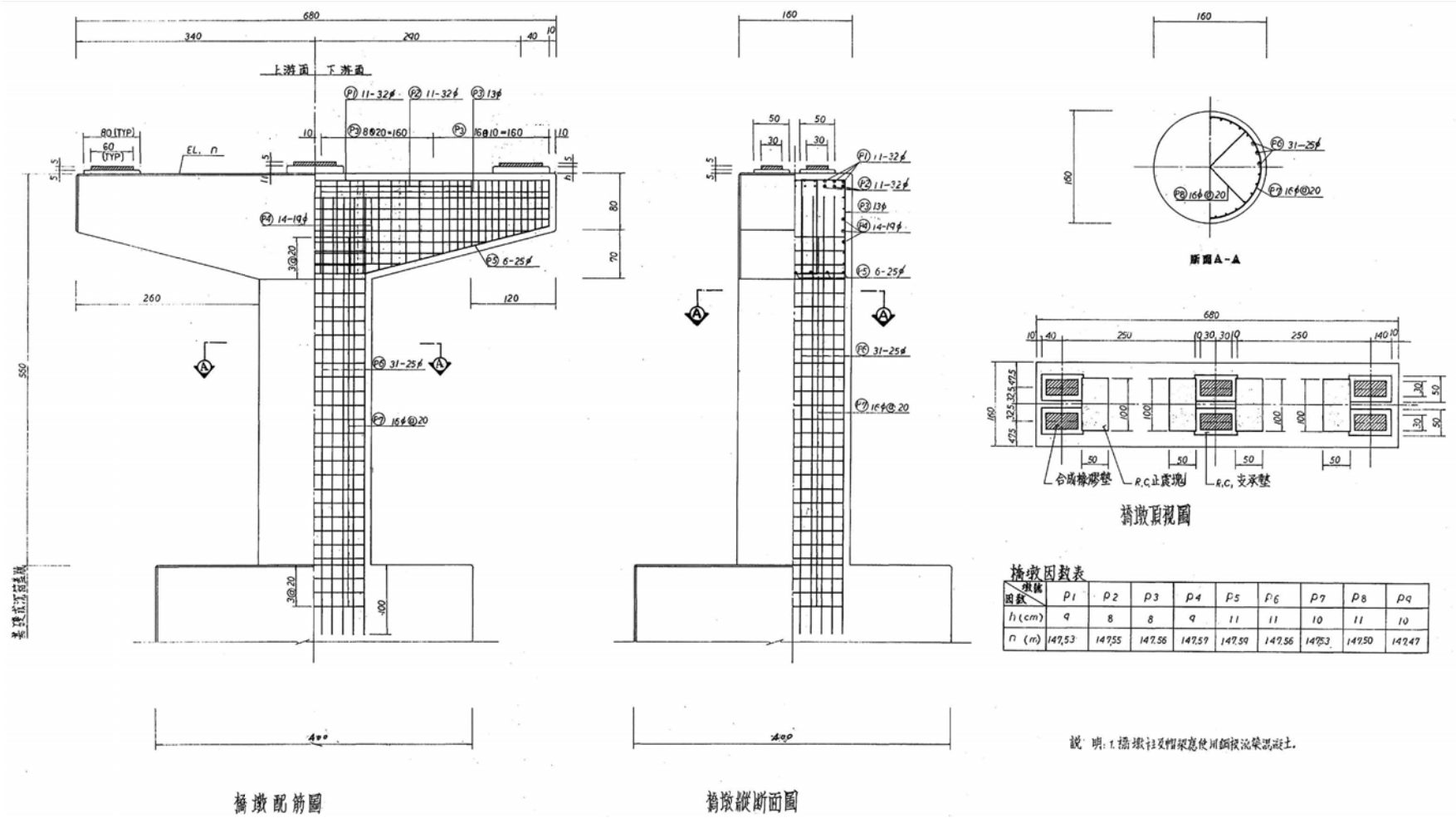


圖 6.115　民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程 P1~P9 橋墩詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

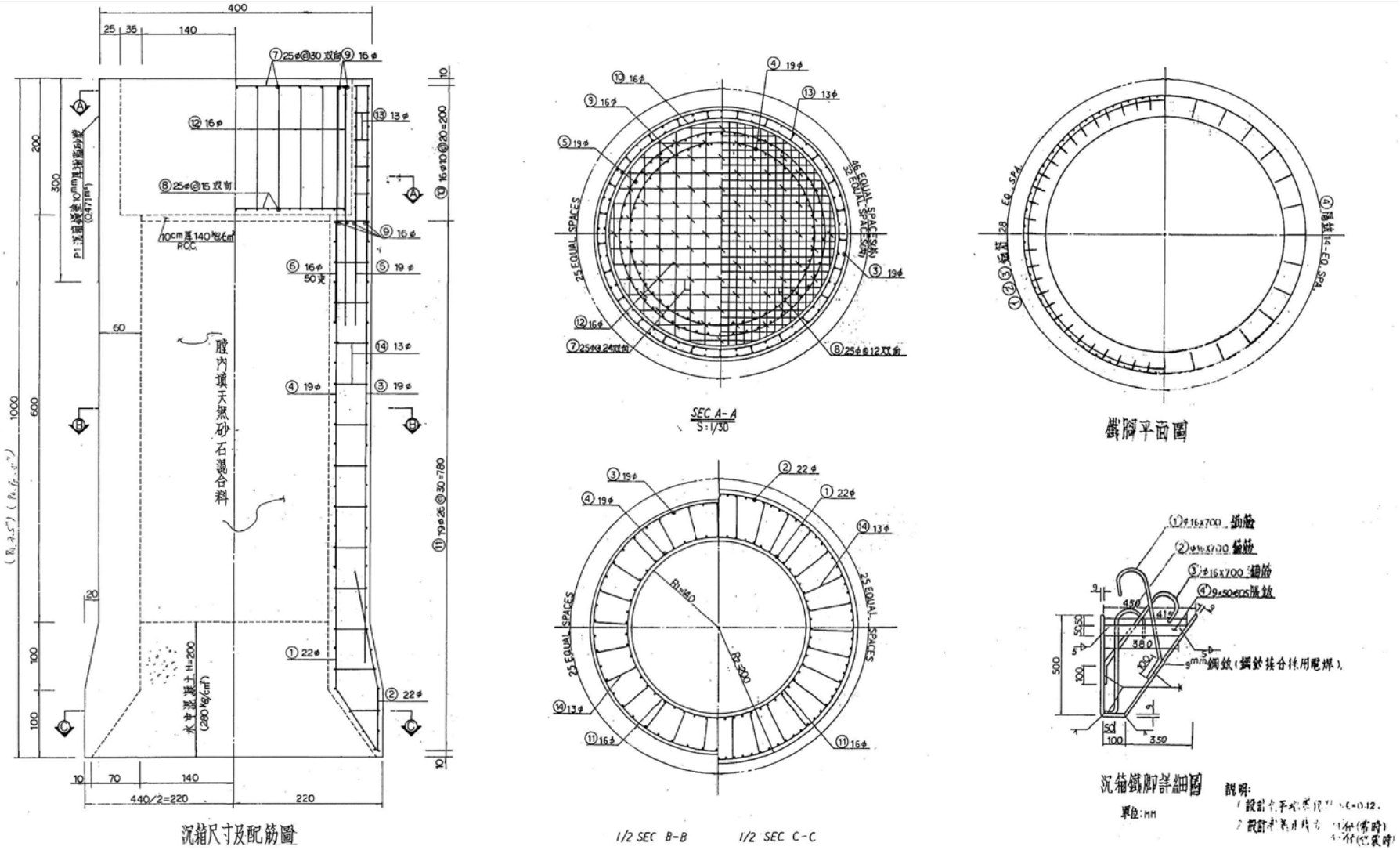


圖 6.116　民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程 P1~P4 及 P6~P9 沉箱詳圖【資料來源：第三區養護工程處**】**

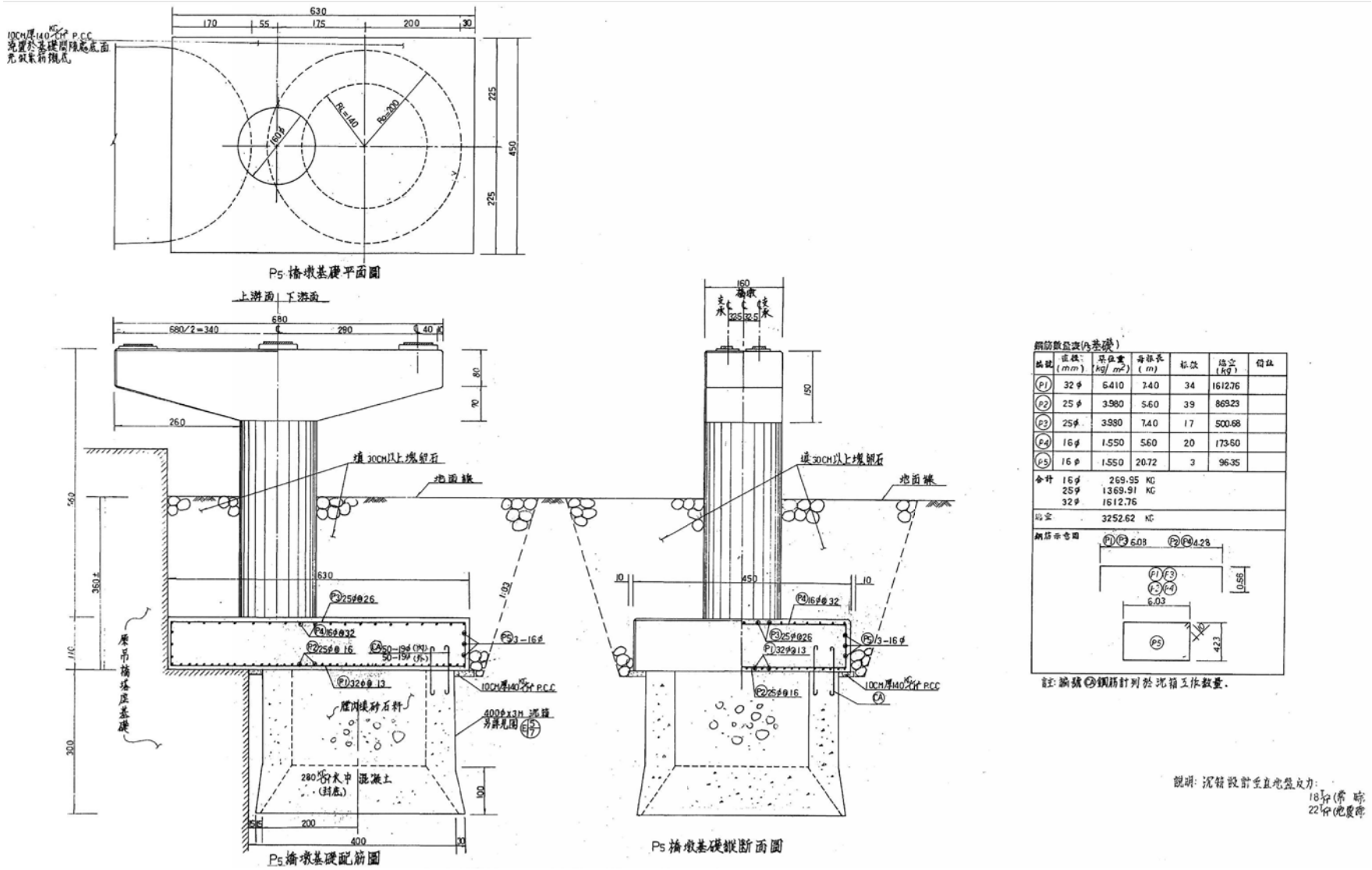


圖 6.117　民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程 P5 橋墩基礎詳圖【資料來源：第三區養護工程處】

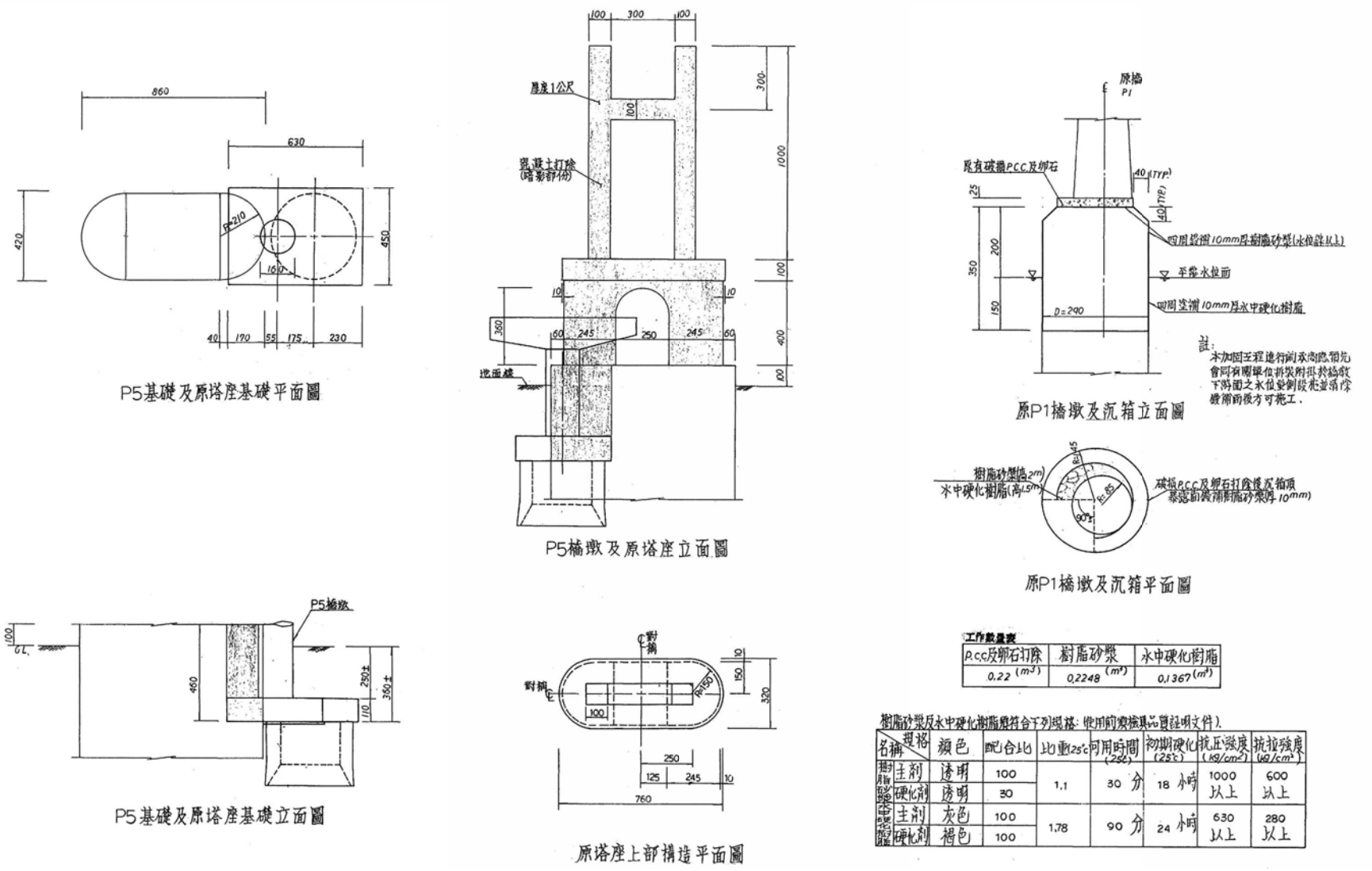


圖 6.118　民國 77 年台 27 線 25K+015 大津橋改建工程原吊橋塔座打除及原 P1 沉箱加固詳圖【資料來源：第三區養護工程處**】**

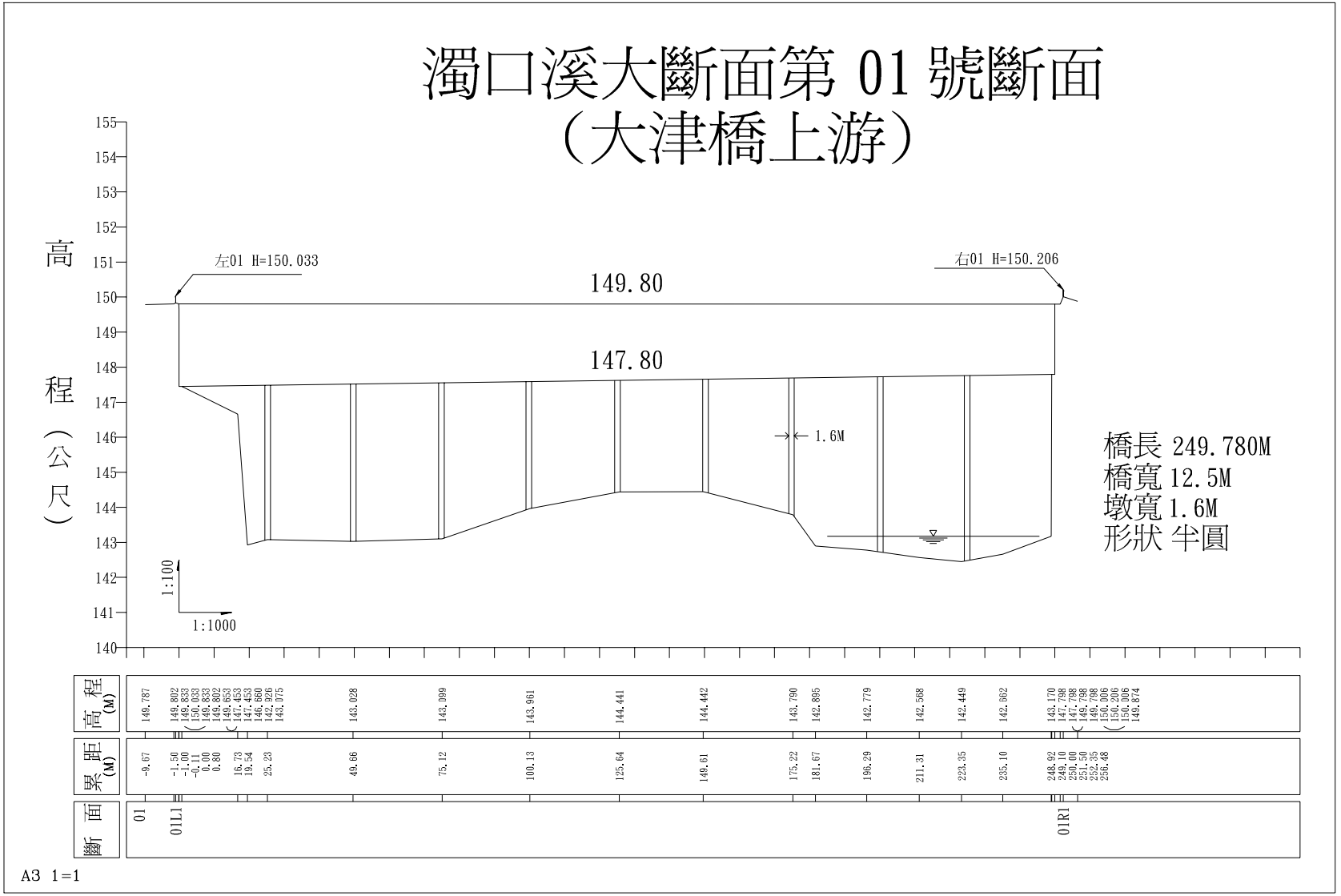


圖 6.119　於民國 91 年台 27 線大津橋上游側之河床高程橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】

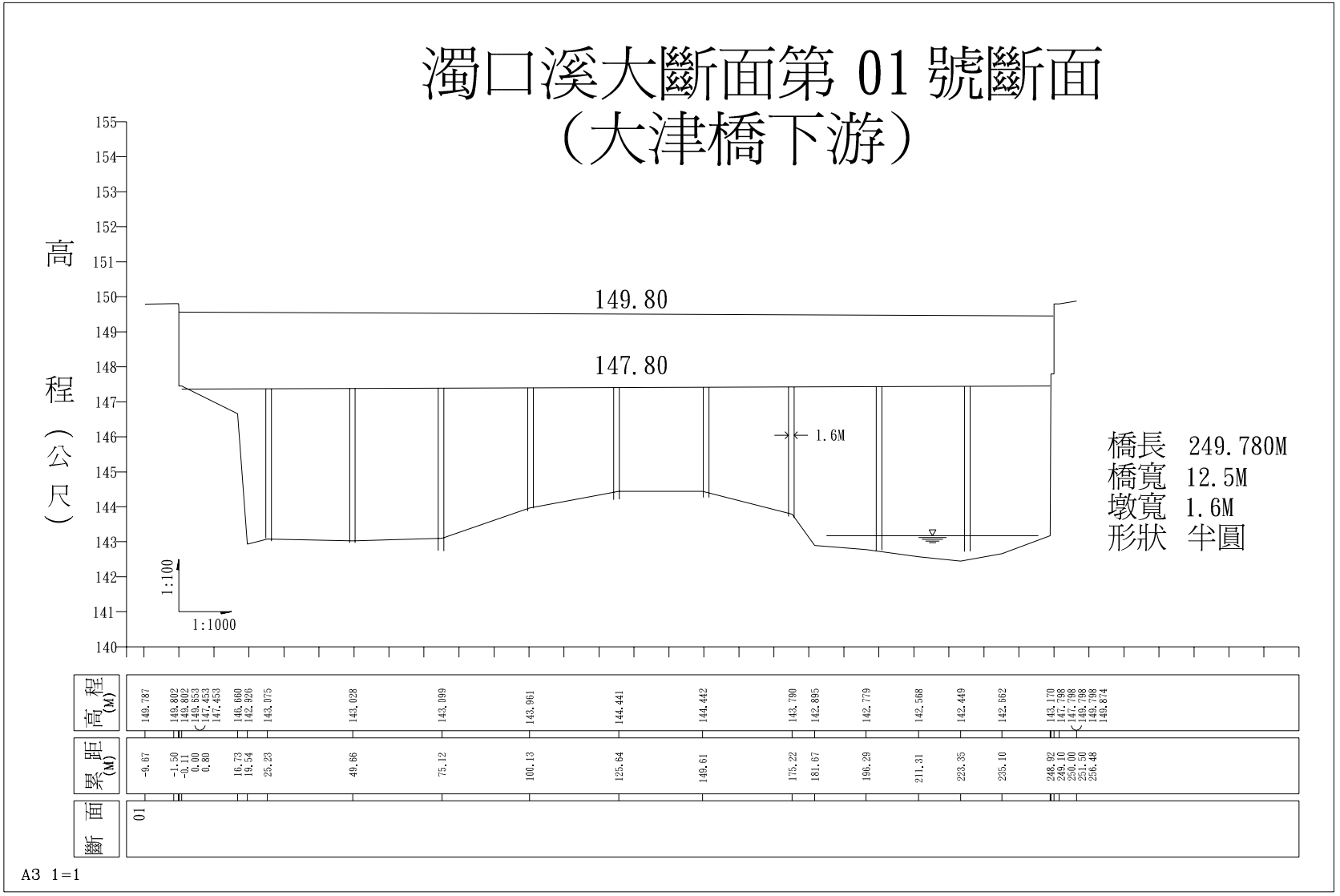
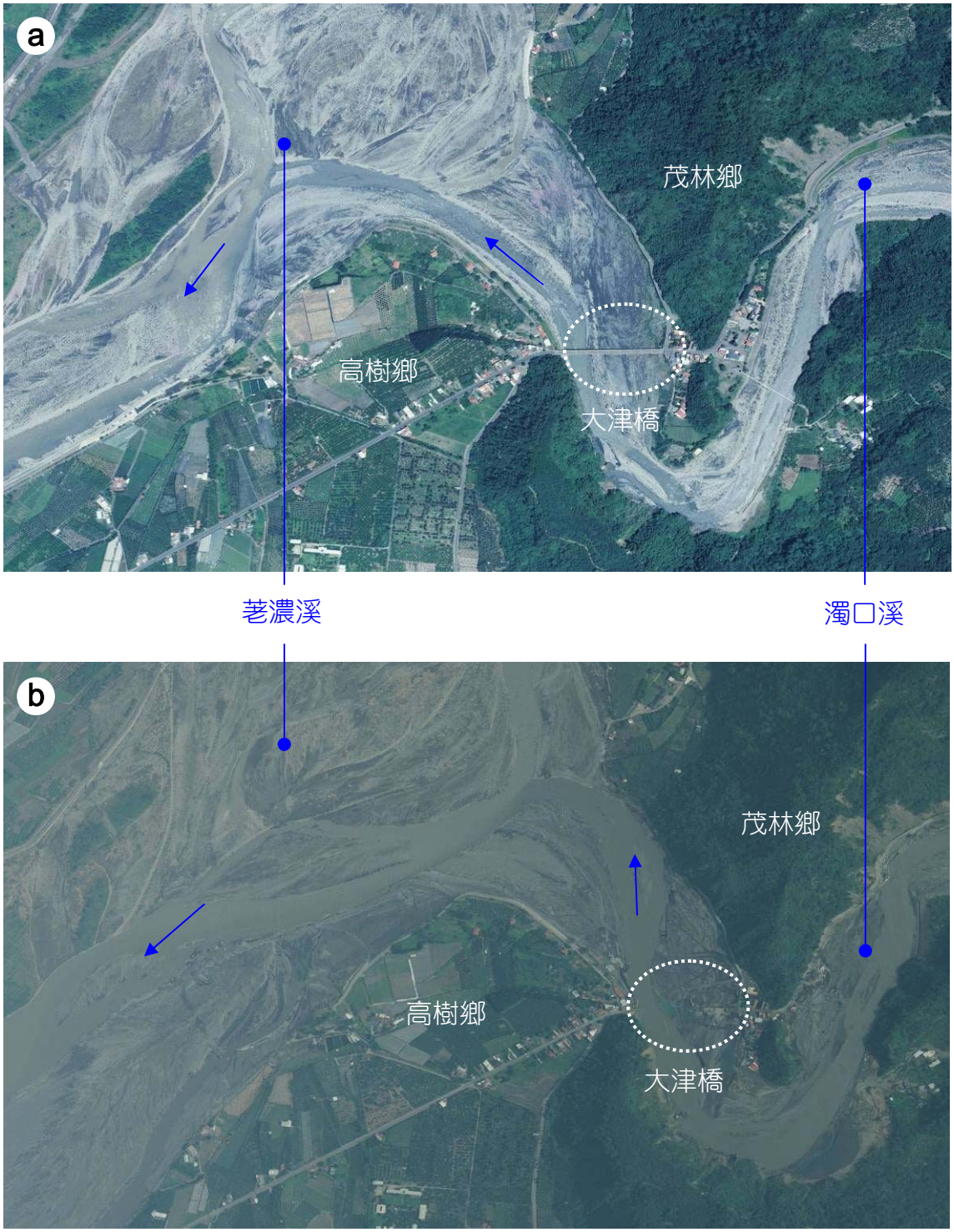
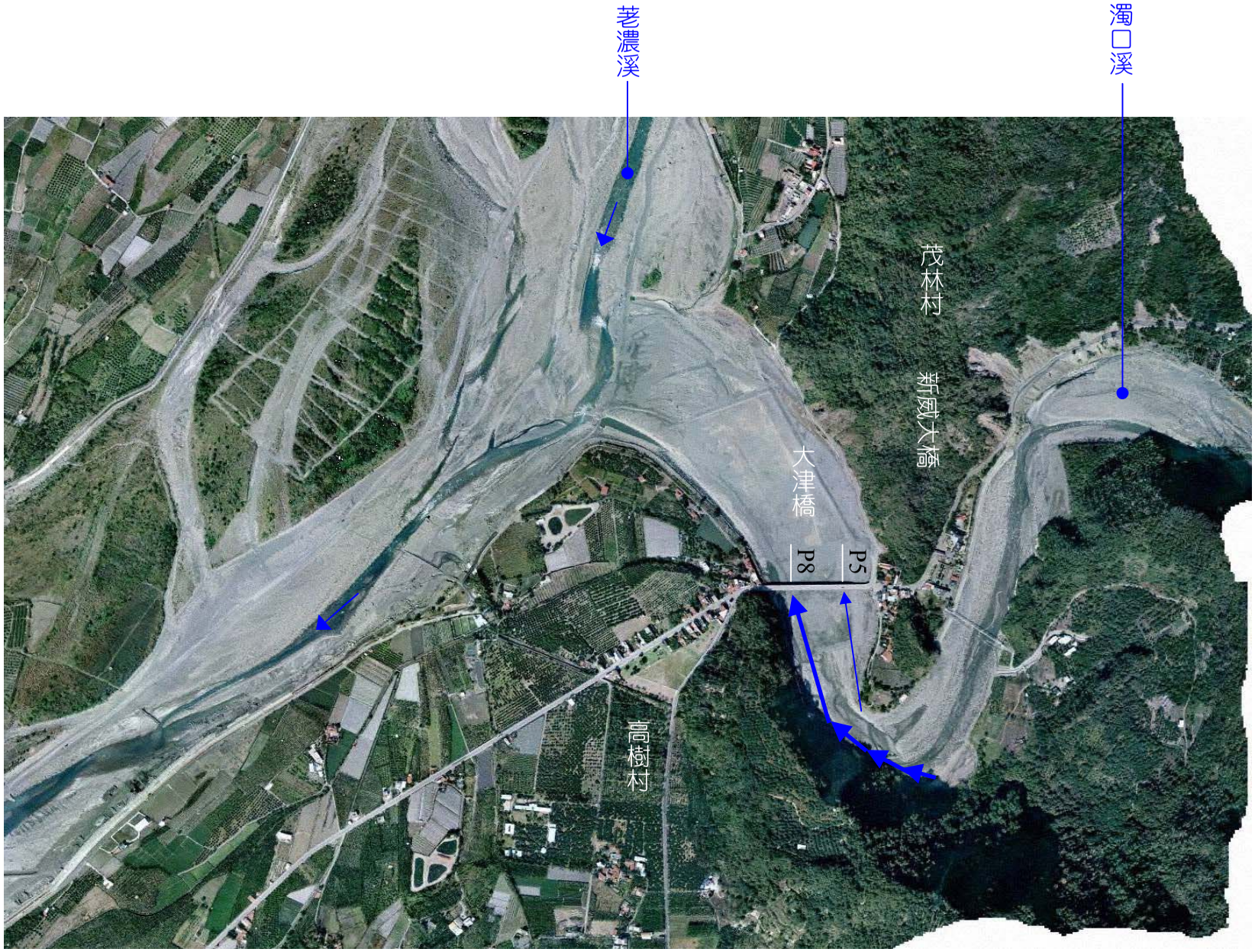


圖 6.120 於民國 91 年台 27 線大津橋下游側之河床高程橫斷面圖【資料來源：經濟部水利署第七河川局】



相片 6.54　大津橋位於濁口溪注入荖濃溪之匯流口上游一公里處 (a)莫拉克風災前航照；(b)莫拉克風災後航照【資料來源：農林航空測量所】



相片 6.55　大津橋於莫拉克颱洪前之航照

【資料來源：農林航空測量所】

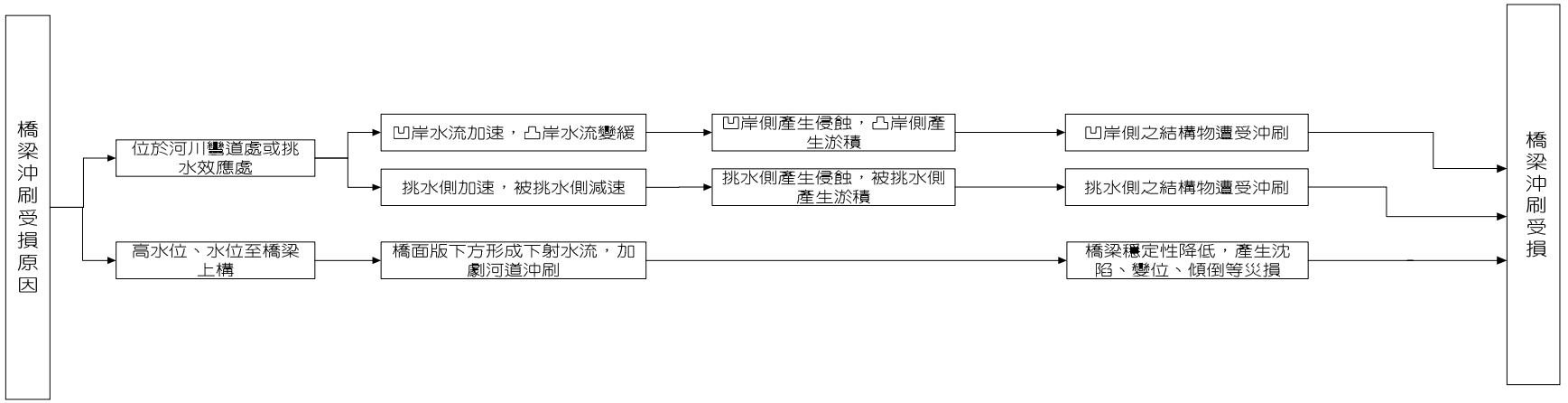


相片 6.56　在莫拉克颱洪期間上游崩塌地之大量流木隨洪流輸送而下，其漂流至台 27 線大津橋時，因流木嚴重掛淤於橋址處，導致通洪斷面嚴重阻塞(類似攔水堰壩)



相片 6.57　　莫拉克颱洪後所見台 27 線大津橋因遭大量漂流木掛淤於橋墩及橋面之災況。

(a) 受洪水影響之橋梁破壞流程



(b) 受漂流木影響之橋梁破壞流程

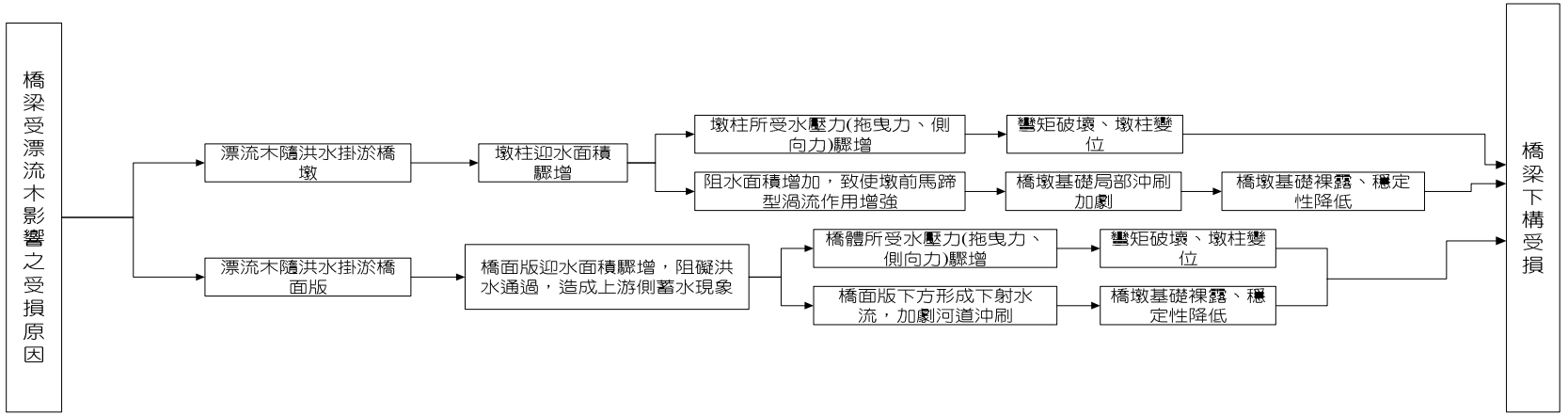


圖 6.121　　大津橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

第七章 高屏溪本流與隘寮溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析

7.1 台 17 線雙園大橋

1. 基本資料

台 17 線雙園大橋位於高雄縣林園鄉與屏東縣新園鄉交界處，跨越高屏溪，其橋頭里程數為 248 K + 500，民國 63 年竣工、民國 70 年 10 月擴建工程完工，並於民國 92 年 6 月完成 P5 ~ P14、P22 ~ P25、P30 橋墩基礎保護之托底工程，屬高屏溪治理 No.5 斷面。橋梁全長 2,083 m、淨寬 17 m、共有 68 個橋孔、最大跨距 31 m、主梁為 3 跨連續之預力 I 型梁，橋墩基礎型式為樁基礎、舊樁樁長 33.1 ~ 43.9 m、托底補強之樁長為 50 m，其橋梁基本資料表、擴建工程與托底補強等相關工程圖說，如表 7-1 與圖 7.1 ~ 圖 7.10 所示。

依據水利署水利規劃試驗所於民國 97 年「高屏溪治理規劃檢討」，台 17 線雙園大橋橋址處之地質分佈主要為新生代河流沖積層，分佈於高屏溪下游沖積平原，台地及盆地多為沖積土及雜地所構成；而沖積土係由溪水搬運上游或兩側崩積土所產生之土石，主要組成物質以未固結之礫石、砂及泥為主，礫石偶有方向性排列，常發育為河灘地或沖積扇。由於早期造山運動影響，高屏溪流域至今仍有頻繁的地殼活動，斷層分布有鳳山、旗山、六龜、潮州斷層等四處，其中鳳山斷層由高雄鳳山延伸至林園附近，呈北北西走向，全長約 11 公里，為一逆斷層，東側為昇側，形成一明顯之斷層崖線，崖面向西側傾斜，其橋址附近地質圖、歷年斷面圖，如圖 7.11 ~ 圖 7.12 所示。

此外，本河段早期因砂石開採引致河床嚴重下降，然自民國 86 年禁止採砂後，河床已逐年回淤，且呈現穩定之狀態，如圖 3.11 所示。

2. 莫拉克颱風之水文資料

雙園大橋橋址位於高屏溪出海口附近，此即表示莫拉克颱洪期間落於高屏溪集水區中之巨大降雨最後均將順河道匯聚於此，而根據表 4-1 莫拉克颱風於高屏溪流域各雨量站 8 月 5 日～10 日間所測得之累積降雨量，高屏溪流域內最大累積降雨量為尾寮山之 2,701.0 mm，幾乎是該測站年平均降雨量的 3/4，其他雨量站所得之累積降雨量亦將近達各站年平均降雨量的 2/3，圖 7.13 所示即為御油山雨量站所量測之降雨組體圖，顯示莫拉克颱風期間之降雨早已遠遠超過過去臺灣之降雨記錄。另根據根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」利用中央氣象局及水利署之雨量測站，採用對數皮爾遜第三型分布所進行之颱風暴雨量頻率分析結果可知，高屏溪流域內各雨量站所測得之降雨強度，不論於 24、48 或 72 小時降雨延時之降雨量，大多超過 2000 年重現期之雨量，如表 4-2 所示。

由高屏溪攔河堰於 8 月 8 日下午 6 時所測得流量為 29,500 cms，而攔河堰上游之里嶺大橋水位站與下游之萬大大橋水位站當時水位皆仍持續上漲，其中里嶺大橋水位站於 8 月 9 日凌晨 2 時 30 分之測得水位高達 32.37 m，如圖 7.14～ 圖 7.16 所示。再者，水利署依高屏溪九曲堂站控制點平均最大二日暴雨量之洪峰流量推求成果，其洪峰流量為 35,064 cms 超過 200 年之重現期流量，如表 4-4 所示。

圖 7.17 為高屏溪出海口附近東港潮位站於莫拉克颱洪期間潮位變化資料，經比對圖 4.1 及圖 4.2 颱風路徑圖可知，該區潮位於 8 月 7 日～10 日間之潮位資料，受到颱風暴潮(氣象潮)之影響，水位有明顯抬昇之現象(約 0.6 m)。由圖中顯示 8 月 8 日 23 時之潮位 77 cm、9 日 0 時之潮位 71 cm、1 時之潮位 59 cm，以及至 3 時之潮位 56 cm，可見橋梁破壞時其幾近於潮汐變化之波谷期間，感潮河段其相同流量條件下，漲、退潮時之流速與水位變化示意圖，如圖 7.18 所示。

3. 橋梁災害情形調查

於莫拉克颱洪期間，雙園大橋 P1~ P16 段橋面斷裂約 450 m (8 月 9 日約 0 時 45 分時 P5 以南段先倒塌，約早晨 4 時 P4～P2 倒塌)，

北上車道 P2～P13 橋墩與南下車道 P2～P15 沖毀流失；此外，於橋址上游右岸之林園堤防亦產生破堤約 800 m 之災損，橋址附近之高灘地大面積遭沖失。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)洪水規模巨大

依據高屏溪本流河川斷面樁號 No. 49.1，雙園大橋上游 21 公里處之高屏溪攔河堰所測得之最大流量為 29,500 cms (圖 7.16，惟仍於上升之流量歷線過程中訊號已斷訊)，再加上包含高屏溪武洛溪排水與一些地方區域排水，可概估橋址處之洪峰流量 $Q_P > Q_{200}$ 遠超出雙園大橋原設計之防洪頻率標準，已屬天然災害之洪水範圍。

(2)彎弧河岸挑流沖刷

高屏溪流經萬大大橋後呈些微彎曲擺盪之流路，於雙園大橋上游側附近原深槽區偏向右岸高雄側，由民國 96 年 4 月 16 日及民國 97 年 9 月 7 日航空相片(相片 7.1)所顯示，可觀察河道歷經數個颱洪後，雙園大橋上游側左岸高灘地逐漸崩退，使其於豪雨或颱洪來襲時之巨量洪水沿著深槽沖擊淘刷右岸，並可看出位於橋址上游側約 430 m (兩座棒球場之間)至 1,700 m 處的河岸高灘地大幅受沖刷而後退，係因河道中左岸高灘地經深槽側向侵蝕而逐漸崩退，而水流順沿流動方向之慣性沖擊右岸高灘地；此外，如遇豪雨或颱洪時大水，其水流之側向沖擊力與深槽主流速度牽引，兩者加成作用更加劇右岸高灘地崩退之側向侵蝕。

民國 98 年 8 月莫拉克颱洪後，右岸高灘地幾近被沖失外(相片 7.2)，可見於颱洪大水時河道之側向侵蝕亦造成橋址上游側右岸原約 120 m 寬高灘地逐漸崩退，乃造成林園堤防破堤，破堤處形成一彎弧河岸，再使入射之湍急水流順著彎弧河岸線出射挑流與周邊洪水會聚產生流心集中、流速至為湍急(水深亦相對加深)之洪流，並集中沖擊橋梁原位處深槽之橋墩。值得注意者，橋址

上游側右岸高灘地此次崩退過程中，其側向水流沖擊河岸後反射，使得通過橋址之水流流向與橋墩軸向成一夾角而產生攻角效應，原位距橋址較遠處之頂沖區高灘地逐漸往橋址方向崩退，水流反射角度受影響範圍亦從橋址位於河道中間橋墩段往林園端偏移，攻角效應(繞經破堤處造成彎岸之水流亦有此現象)因而在橋墩後下游側形成遮蔽區，水流之通水寬度越往下游處趨於縮減、水流速度加快，導致橋墩的尾部之局部淘刷較前端為劇，故能推估雙園大橋下游側車道之橋墩倒塌數較上游側多之因。此外，於斷橋時造成缺口處通水面積相對束縮，使得水流單寬流量變大、亦增加沖刷的潛能，如相片 7.3 ~相片 7.5 所示。

(3)漂流木掛淤

由於高屏溪流域上游所挾帶來的漂流木交錯掛淤於橋墩基礎群間，造成阻水面積增大，而使得局部沖刷加劇，流體拖曳力亦大為增加。另外，加上本橋跨距相對不足(僅約 30.6 m)，P5 ~ P14 之托底補強工法更加大橋梁阻水，將致使漂流木掛淤橋墩或基礎的機會大增，嚴重影響橋梁穩定性。相片 7.6 所示即為莫拉克颱風後，P1 橋墩基礎上漂流木掛淤之情形。

(4)橋梁結構單元特性、反循環樁窄縮處與灌漿之弱面影響

本橋上部結構為三跨連續 PCI 梁之結構單元，當其中一座橋墩斷裂倒塌後，則其毗鄰之橋墩易形成類似骨牌效應之連鎖性倒塌斷落，如相片 7.7 所示 P13 ~ P16 之大梁為同一結構單元，上游側 P13 倒塌後形成懸臂梁，大梁受重力及洪水沖擊而陷落，下游側橋墩因攻角效應沖刷較劇，使 P13、P14、P15 與其大梁皆遭沖毀。值得注意者，本橋舊基樁樁長 33.1 ~ 43.9 m，雖屬深基礎之樁基，於樁頂往下起算至 10 m 處時樁徑係由 90 cm 變小至 76 cm，此乃為一弱面處。由於所有基樁窄縮點均位在相同高度，亦因此易形成受力抗彎之一弱面。復因早期反循環樁灌漿施工中易發生漿體下陷、漏失、或樁邊土砂塊體崩陷混入混凝土周邊，也可能導致部分樁身形成部分空洞(即僅有鋼筋、而無混凝土漿)，

因而形成樁基受力(如水壓力與漂流木掛淤之拖曳阻力、及高速流動之漂流木撞擊樁基或墩柱時之沖擊力)時之弱面。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 7.19 所示。

表 7-1　台 17 線雙園大橋橋梁基本資料表

橋梁名稱	雙園大橋	橋梁編號	0170-133	使用狀態	已停用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	高雄工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	林園	道路等級	省道	路線	臺 17 線
橋頭里程	248K+500M	橋尾里程	K+M	竣工年月	70 年 11 月	最近維修年月	不詳
造價	不詳元	合約編號	無法取得	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	無法得知	竣工圖說保存地點	竣工圖說無法得知
檢測週期	12 月/次	跨越物體	高屏溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標							
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別	中央管河川	河川管理單位	第七河川局	河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站	萬大大橋站	計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	2082.8M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	17M	最小淨寬	17M	橋版投影面積	35411M^2		
總車道數	4	總橋孔數	68	最大跨距	31M		
跨距分配	2@31.60+66@30.60						
最高橋墩高度	9.2M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	7M		
橋頭 GPS 經度	120.4077778	橋頭 GPS 緯度	22.49972222	橋尾 GPS 經度	120.4302778	橋尾 GPS 緯度	22.50027778
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	預力混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	無
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	懸臂式	橋台基礎型式	樁基礎	翼牆型式	重力式
橋墩材質	預力混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	樁基礎	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特 殊 結 構 資 料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	HS20	地盤種類	無法取得	防震設施	混凝土止震塊	防落橋長度	0.7M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.28G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期	1900-01-01	資料最新修改日期	2009-09-09
備　註							

【資料來源：第三區養護工程處】

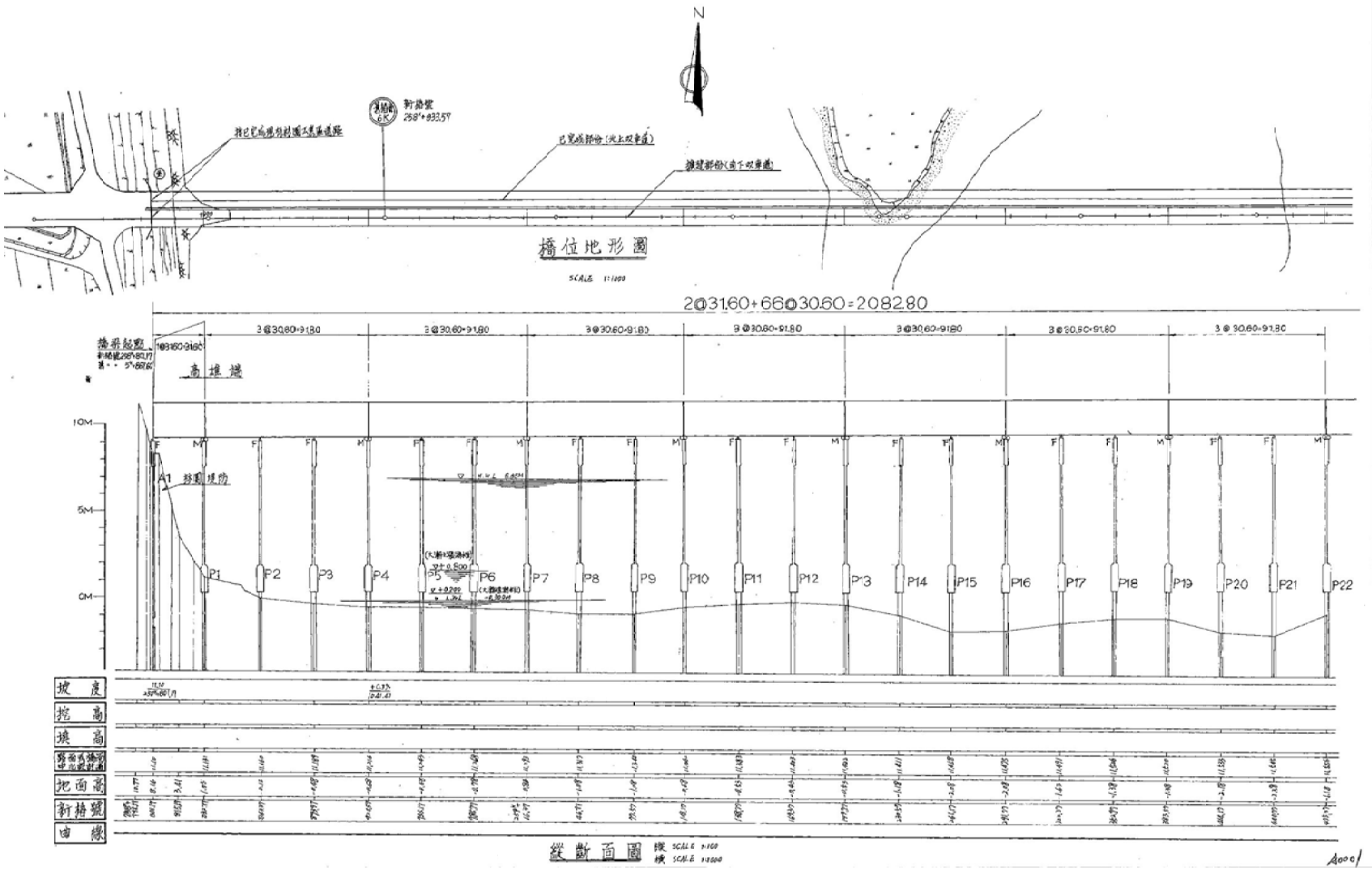


圖 7.1　台 17 線雙園大橋擴建工程，A1~P22 縱斷面暨橋位地形圖(一)【資料來源：第三區養護工程處】

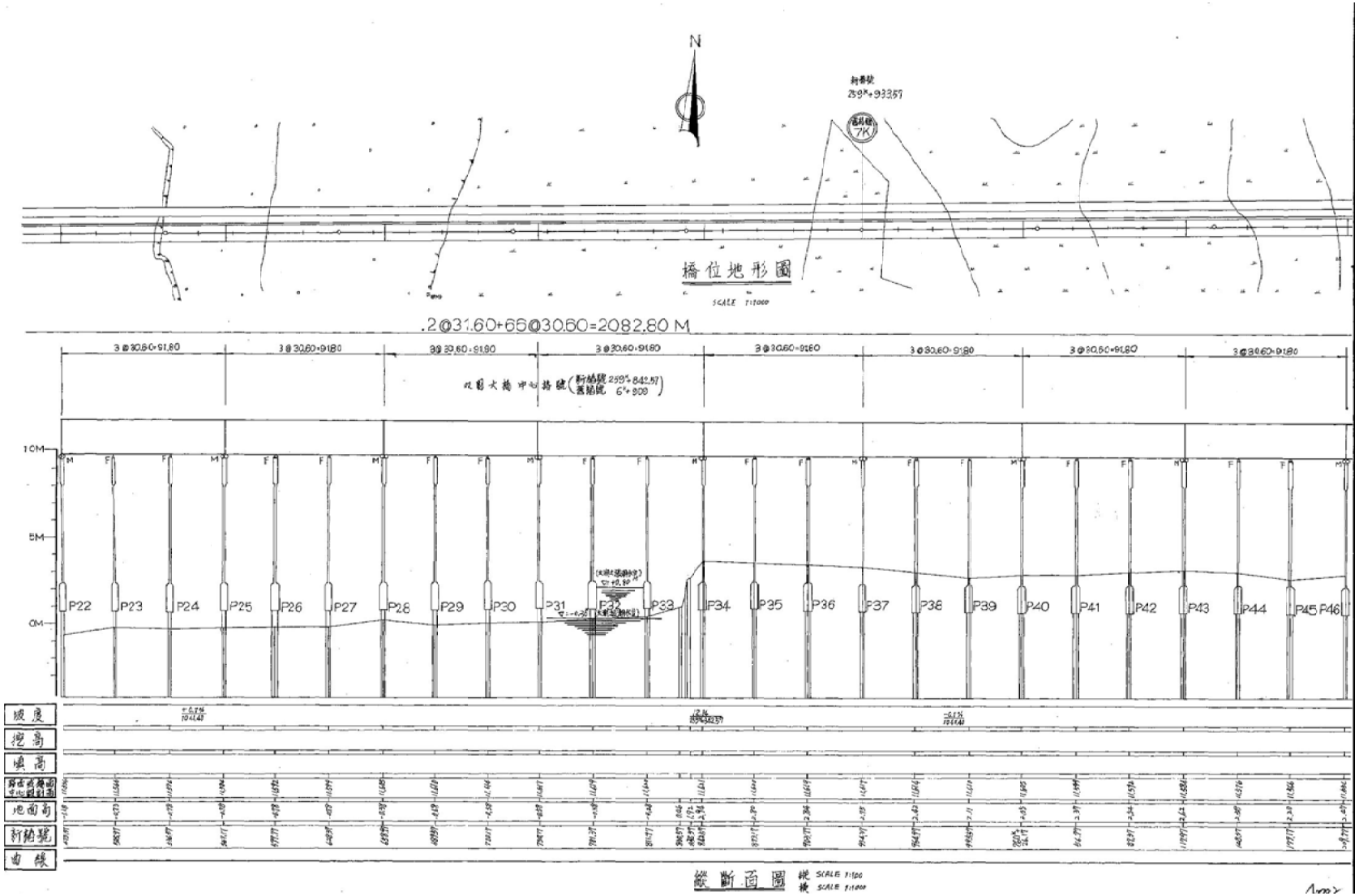


圖 7.2　台 17 線雙園大橋擴建工程，P22~P46 縱斷面暨橋位地形圖(二)【資料來源：第三區養護工程處**】**

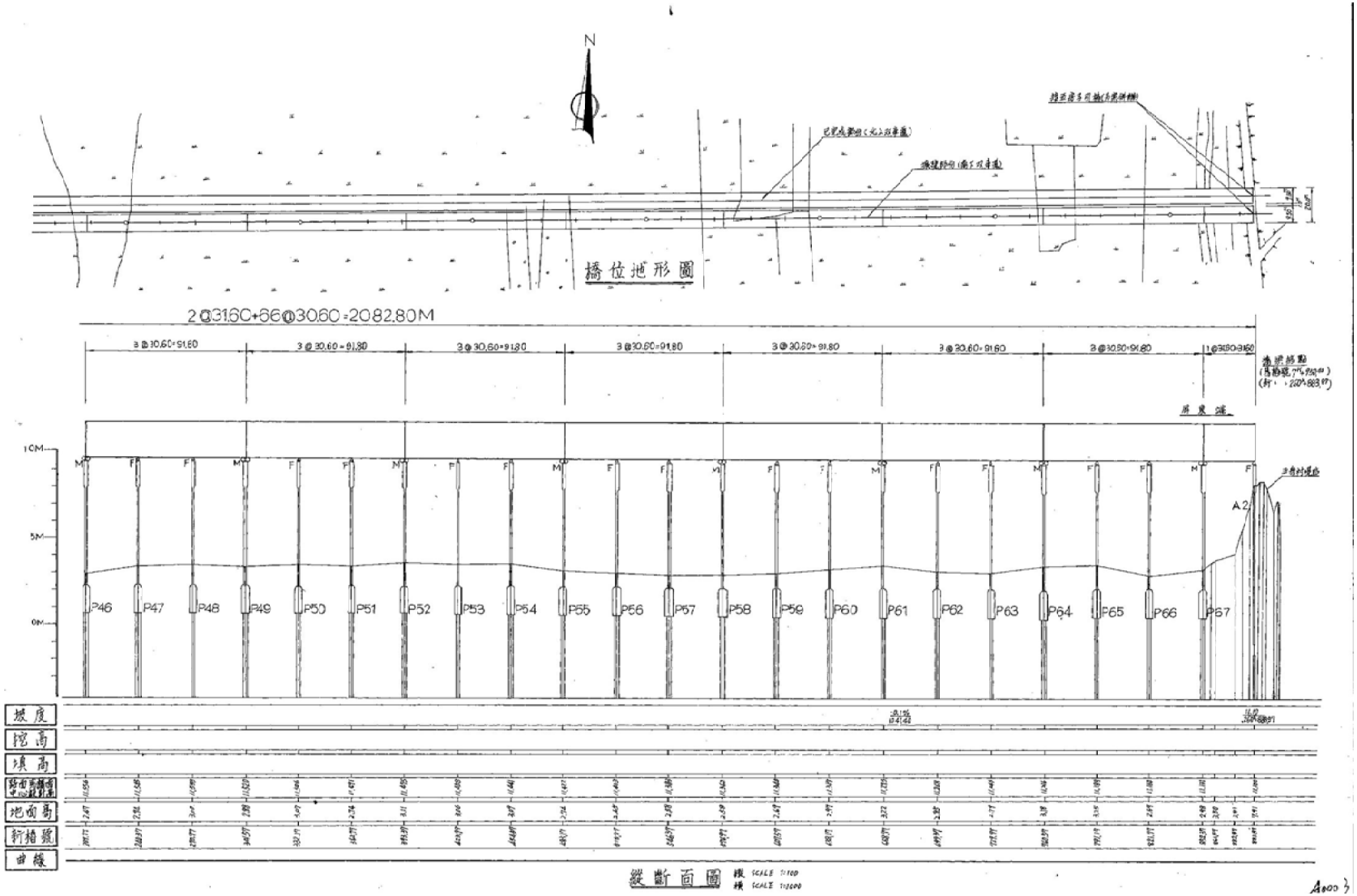


圖 7.3　台 17 線雙園大橋擴建工程，P46~A2 縱斷面暨橋位地形圖(三)【資料來源：第三區養護工程處**】**

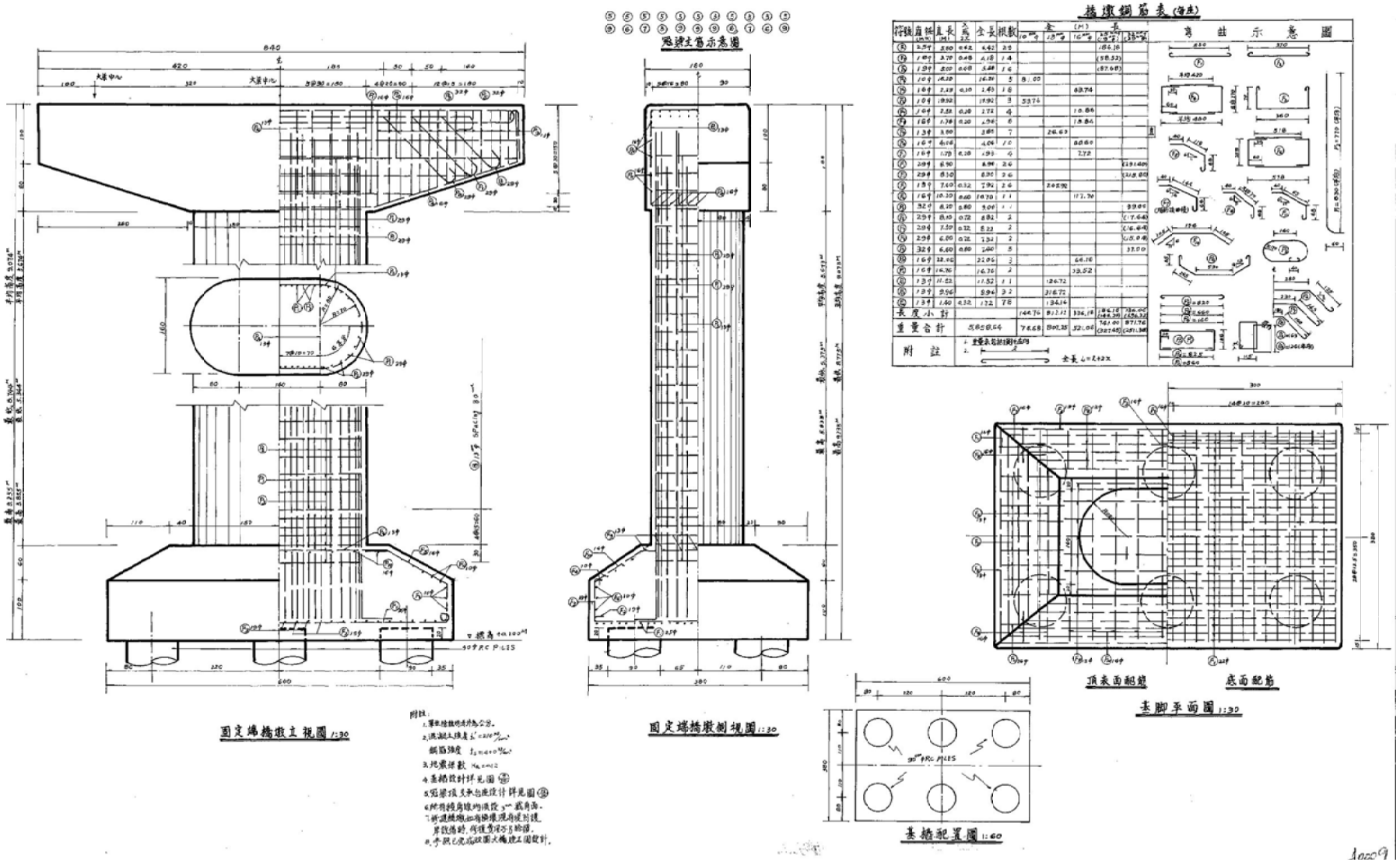


圖 7.4　台 17 線雙園大橋擴建工程，固定端橋墩立視圖、側視圖、基腳平面圖

【資料來源：第三區養護工程處】

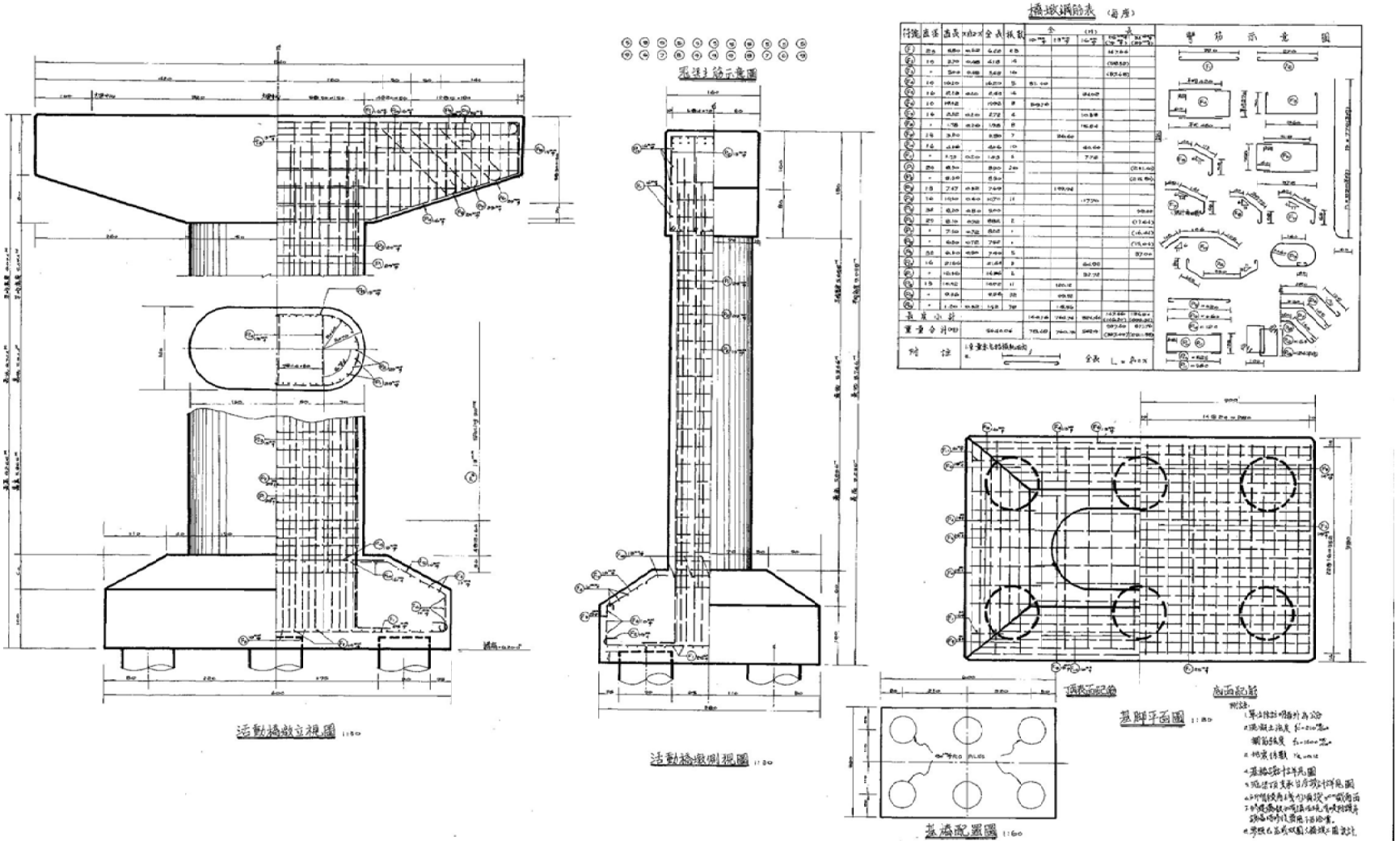
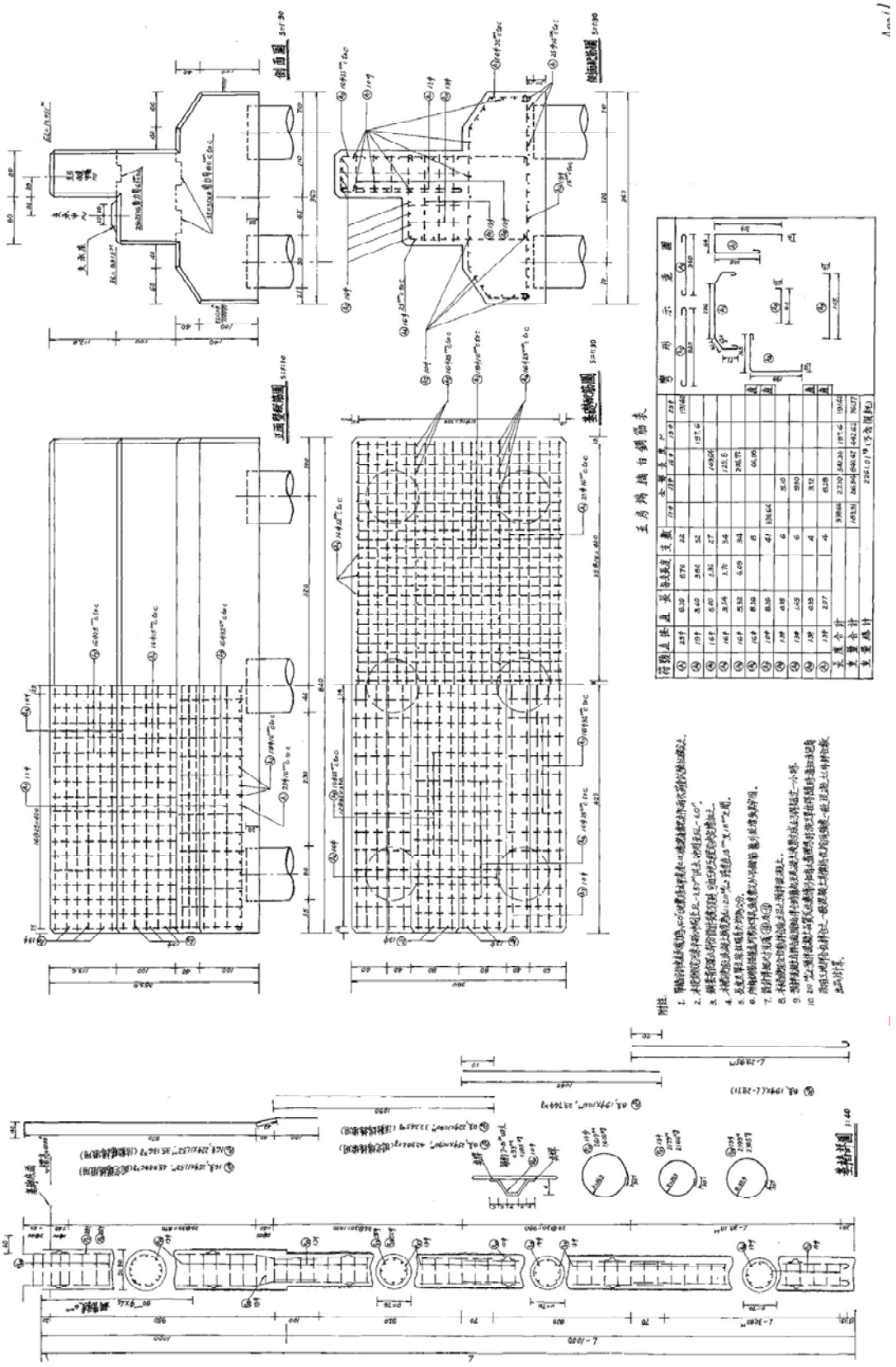


圖 7.5　台 17 線雙園大橋擴建工程，活動端橋墩立視圖、側視圖、基腳平面圖

【資料來源：第三區養護工程處】

護工程處】



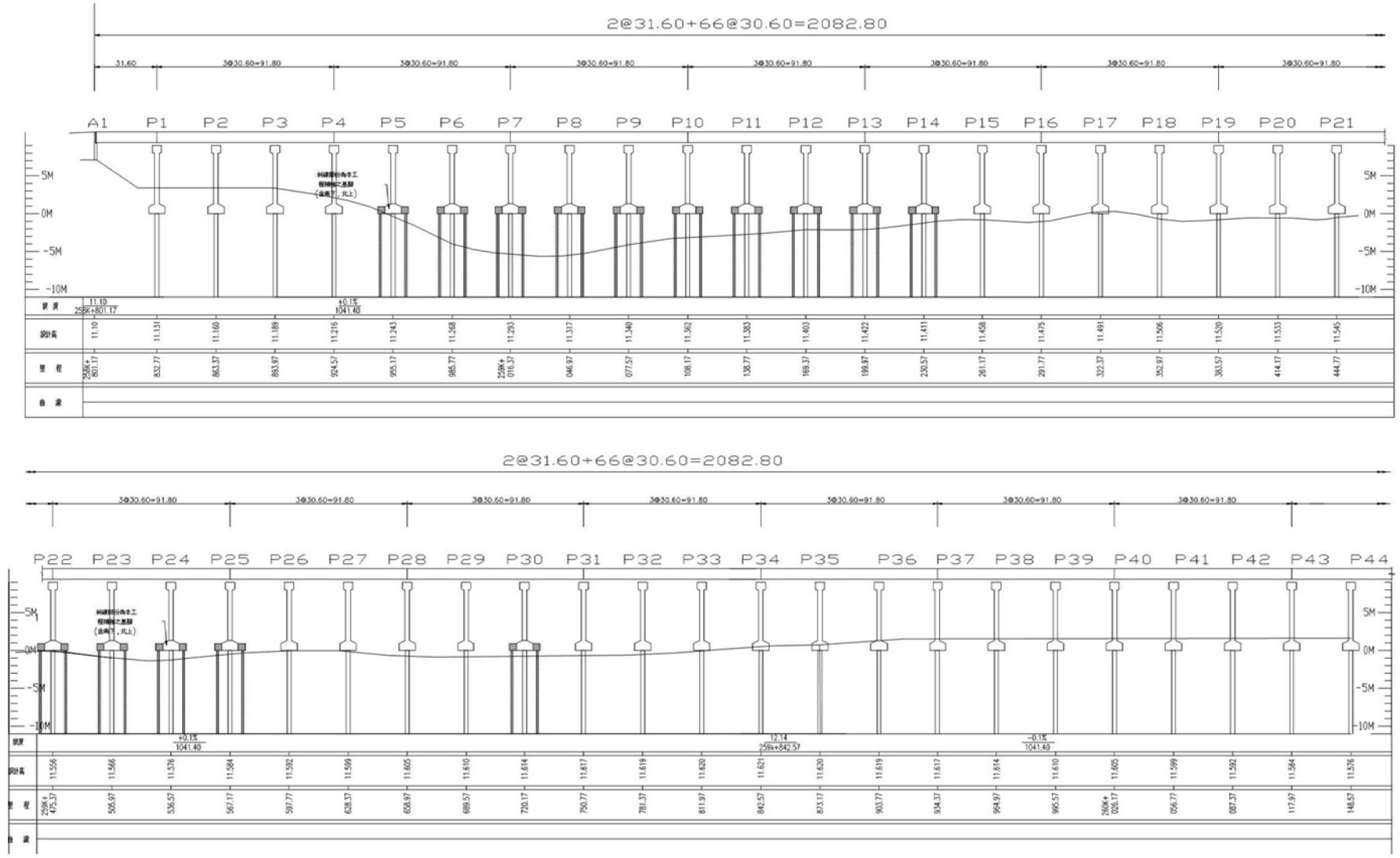
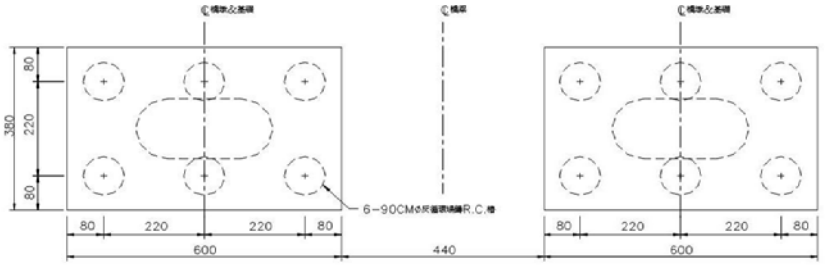


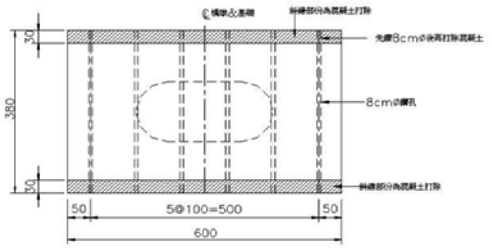
圖 7.7　民國 92 年台 17 線雙園大橋局部大梁橋面版拆除重建及橋梁基礎托底保護設施工程，A1 ~ P44 縱斷面圖，P5 ~ P14、P22 ~ P25、P30 為橋墩基礎托底補強之橋墩【資料來源：第三區養護工程處】

圖 7.8　民國 92 年台 17 線雙園大橋局部大梁橋面版拆除重建及橋梁基礎托底保護設施工程，原橋墩立視圖、側視圖與 基樁配置平面圖。【資料來源：第三區養護工程處】



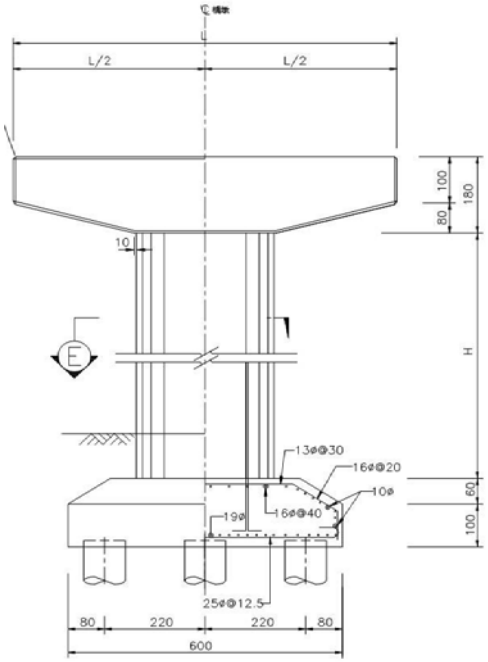
原基樁配置平面圖

1 : 60



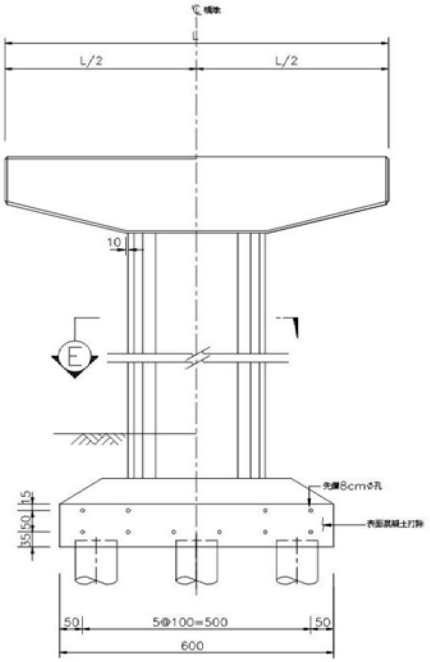
樁帽鑽孔平面圖

1 : 60



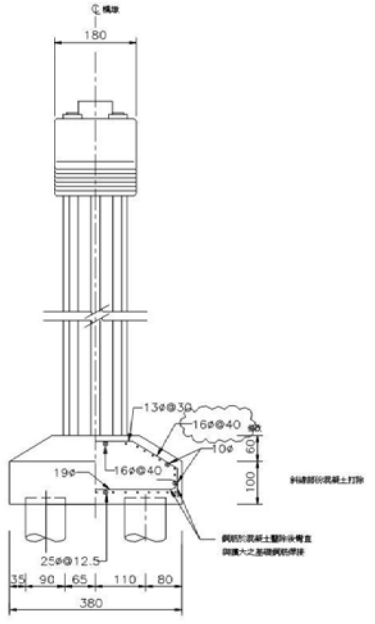
原橋墩示意圖

1 : 60



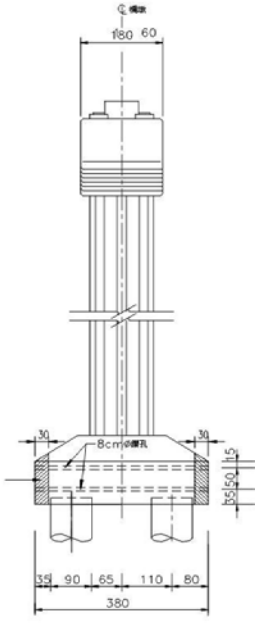
樁帽鑽孔位置圖

1 : 60



橋墩側視圖

1 : 60



樁帽鑽孔側視圖

1 : 60

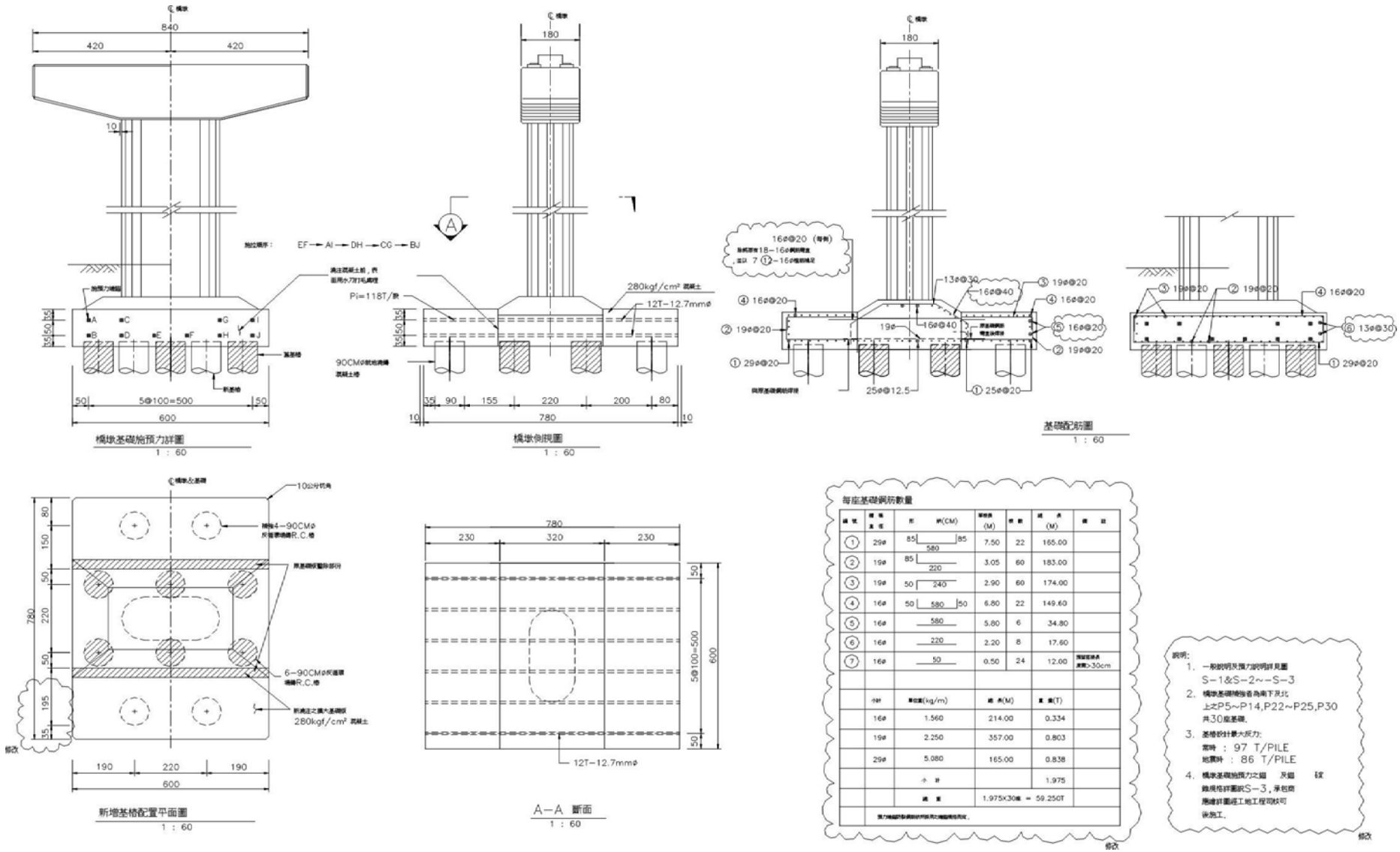


圖 7.9　台 17 線雙園大橋局部大梁橋面版拆除重建及橋梁基礎托底保護設施工程，托底補強之橋墩基礎立視圖、側視圖與新增基樁配置平面圖【資料來源：第三區養護工程處**】**

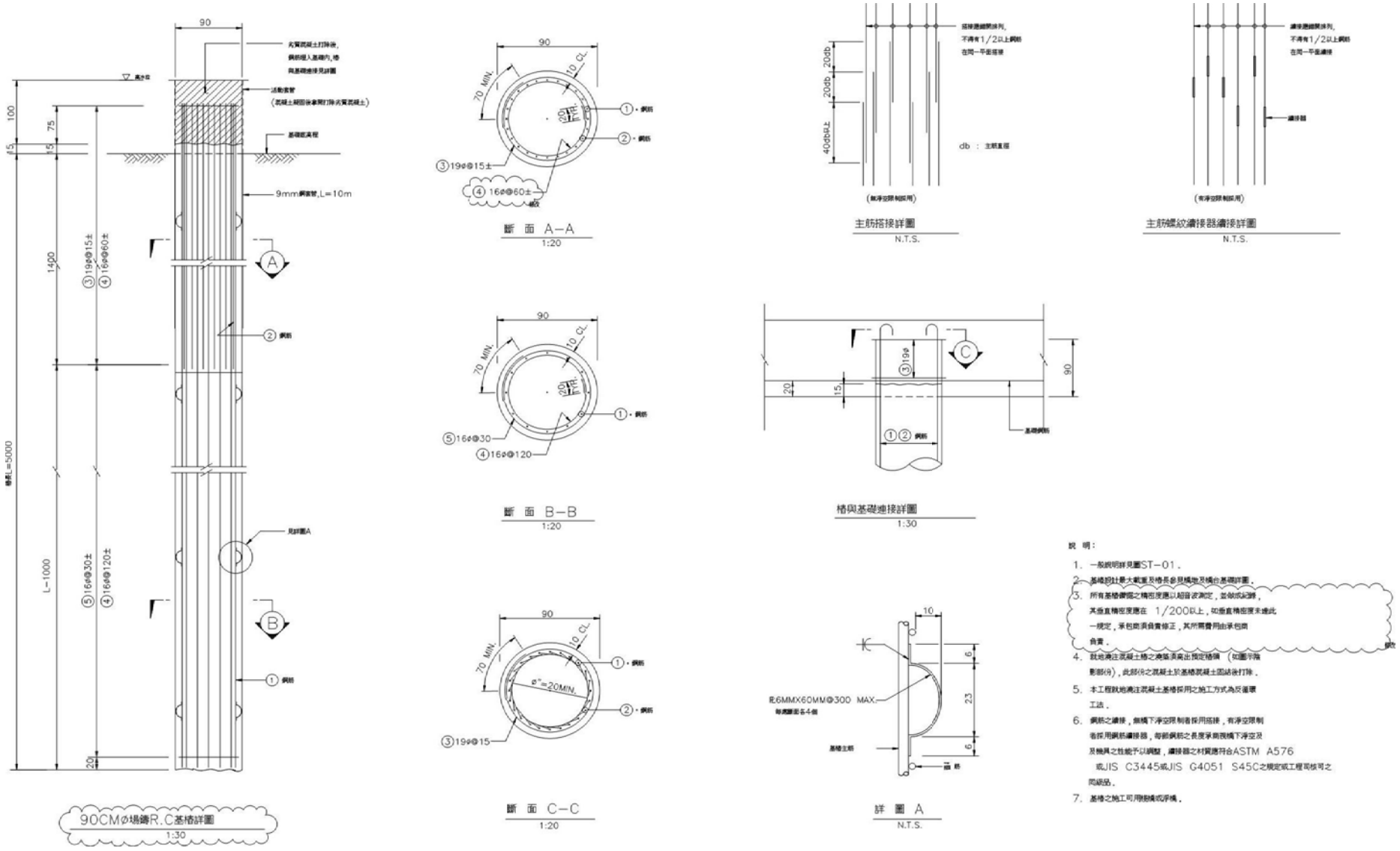


圖 7.10　　台 17 線雙園大橋局部大梁橋面版拆除重建及橋梁基礎托底保護設施工程，新增基樁詳圖

【資料來源：第三區養護工程處】

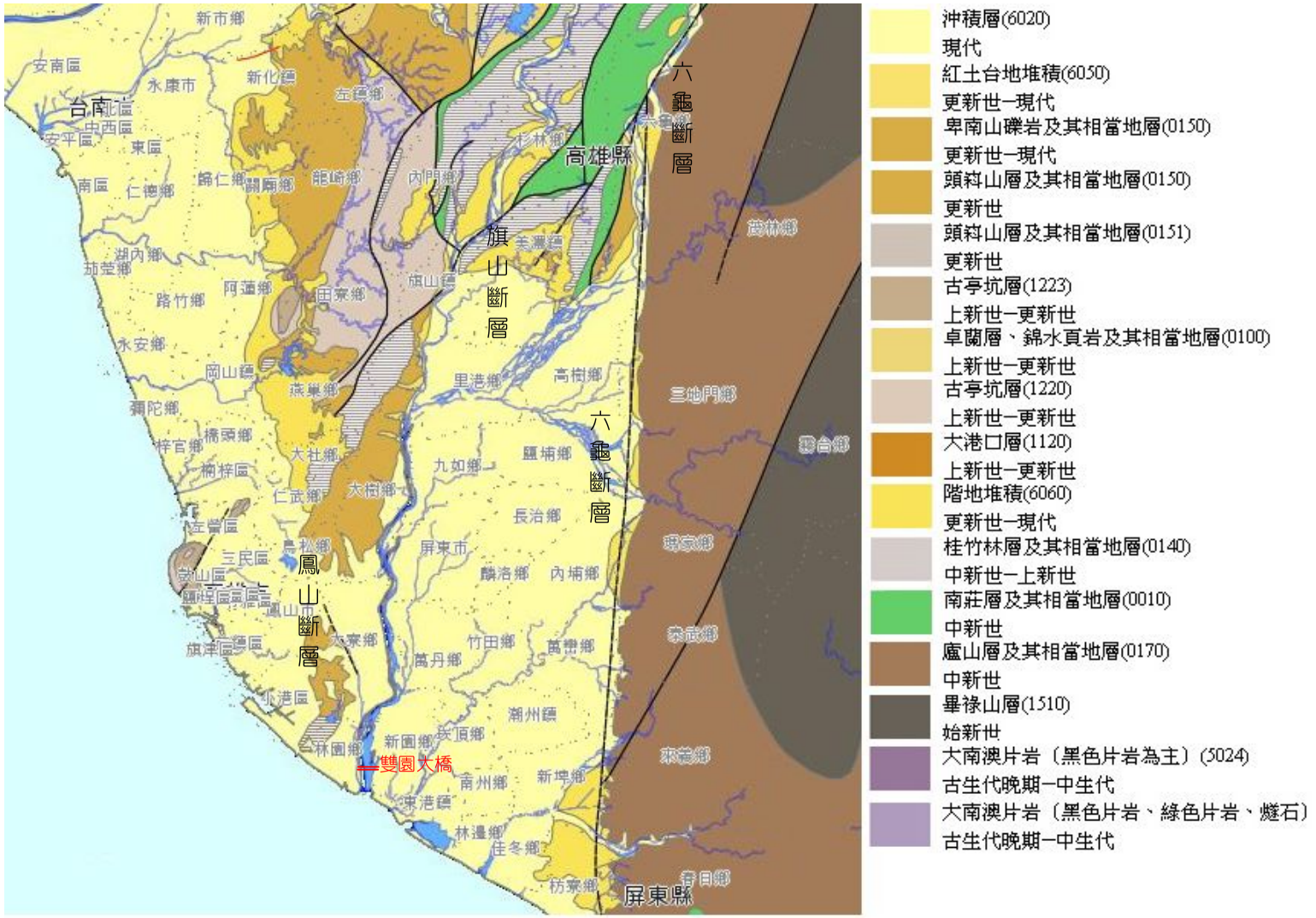


圖 7.11　　雙園大橋附近高屏溪流域地質圖，得知橋址附近為現代沖積層

【資料來源：中央地質調查所地質資料整合查詢】

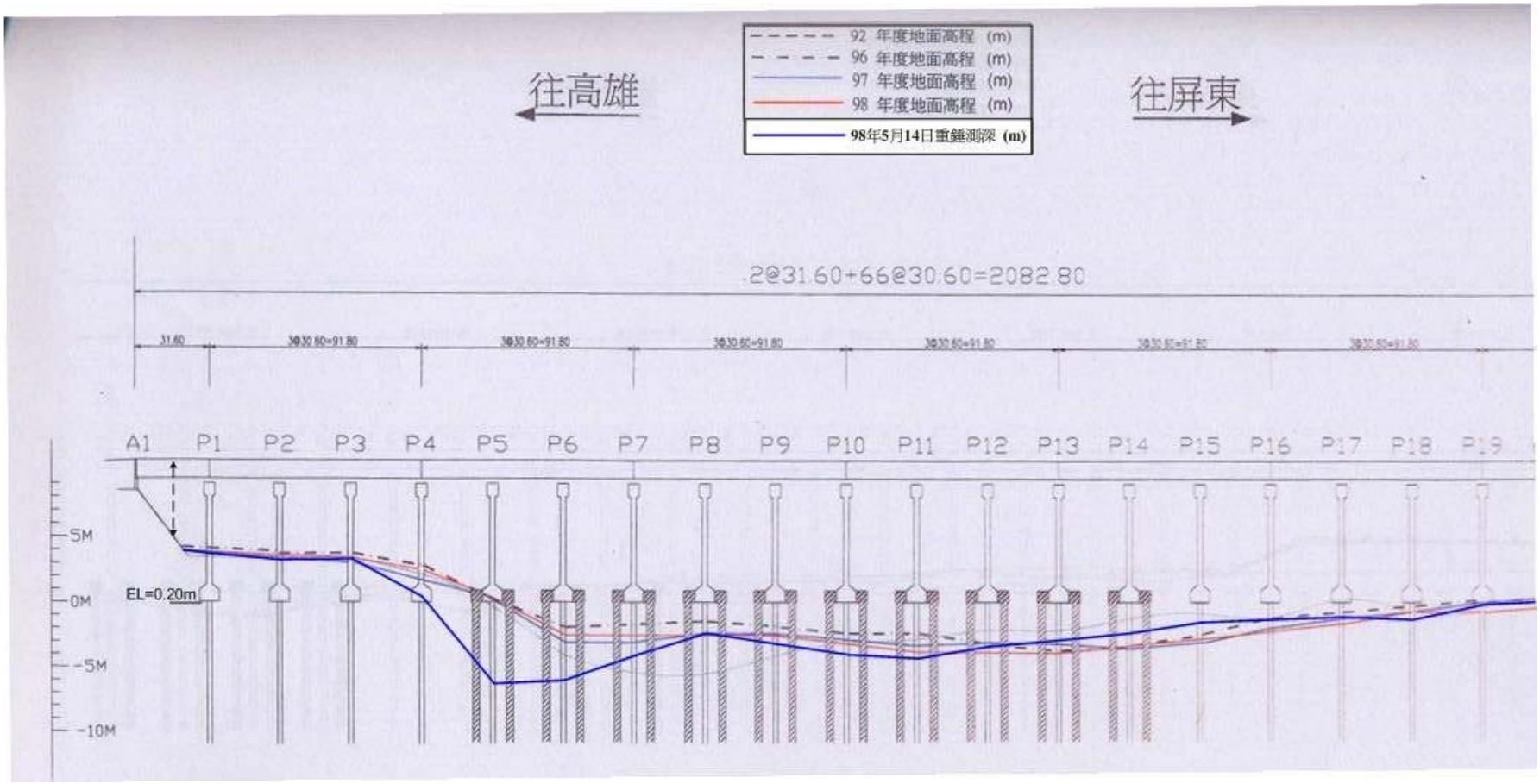


圖 7.12　雙園大橋橋址處之歷年河床高程變化圖，位處深槽之 P5 橋墩基礎裸露約 6 公尺左右

【資料來源：公路總局三工處；民國 98 年 5 月 14 日河床高程資料為本計劃協同主持人林呈以重錘測深之記錄】

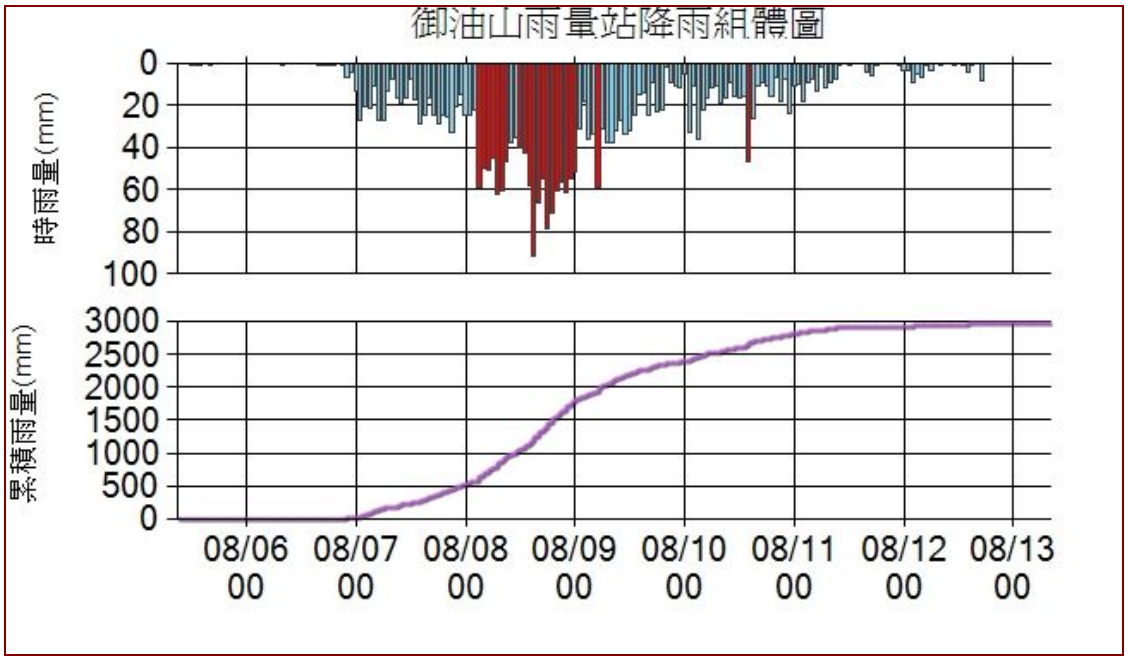


圖 7.13　　御油山雨量站於莫拉克颱洪時期之降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

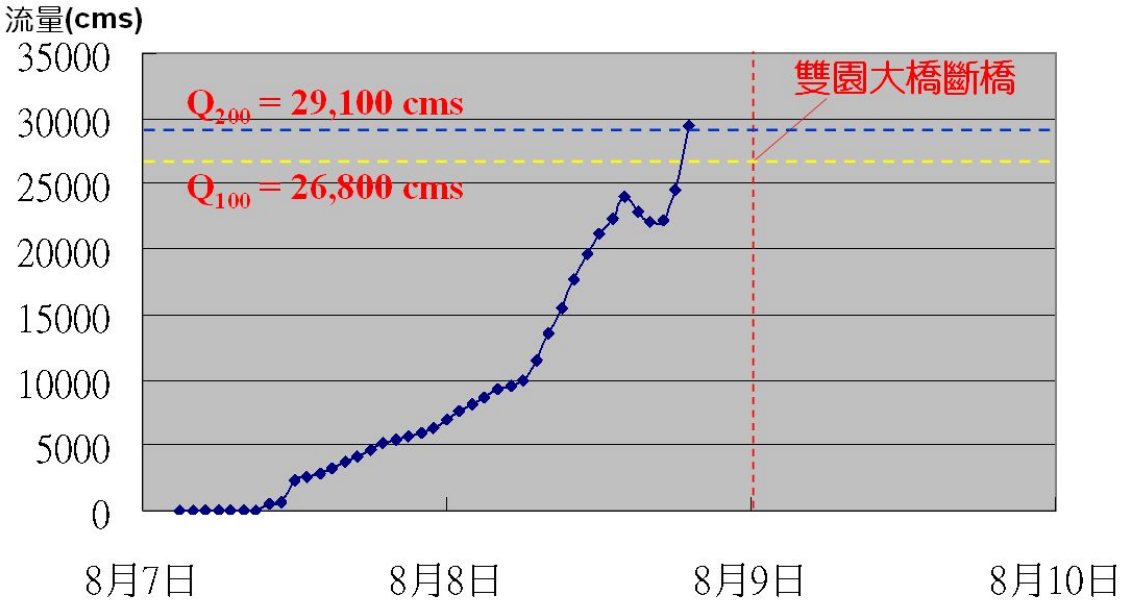


圖 7.14　經時間修正過後之雙園大橋流量歷線

【資料來源：南區水資源局高屏溪攔河堰、本計劃已依時間差修正後再繪製】

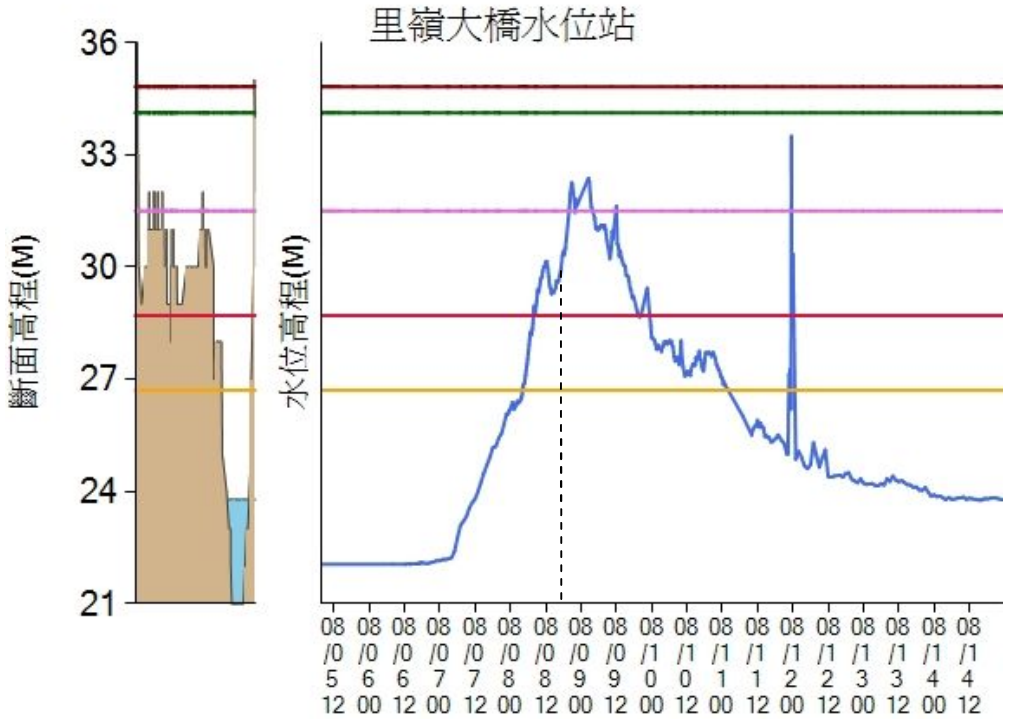


圖 7.15　里嶺大橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

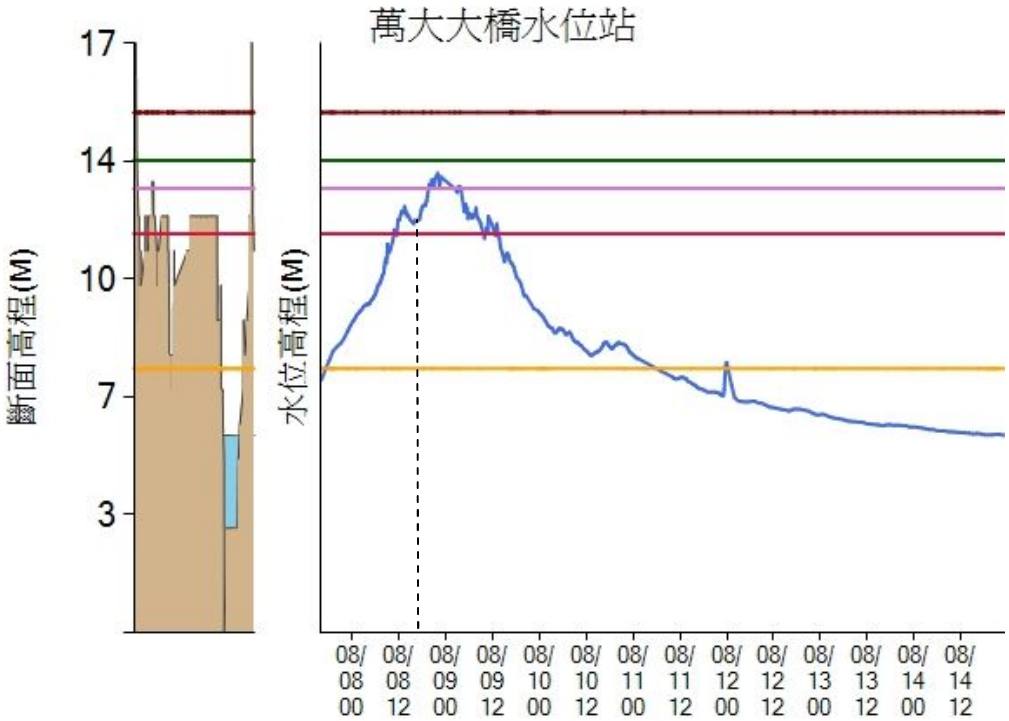


圖 7.16　萬大大橋水位站於莫拉克颱洪時期之水位歷線圖

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

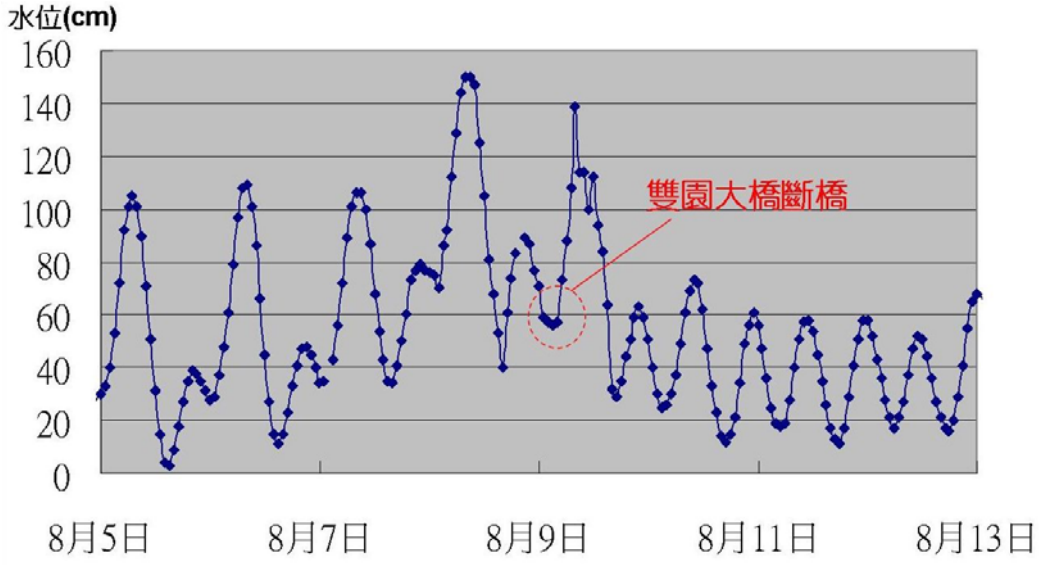


圖 7.17　東港潮位站實測水位資料

【資料來源：中央氣象局潮汐紀錄報表、本計劃繪製】

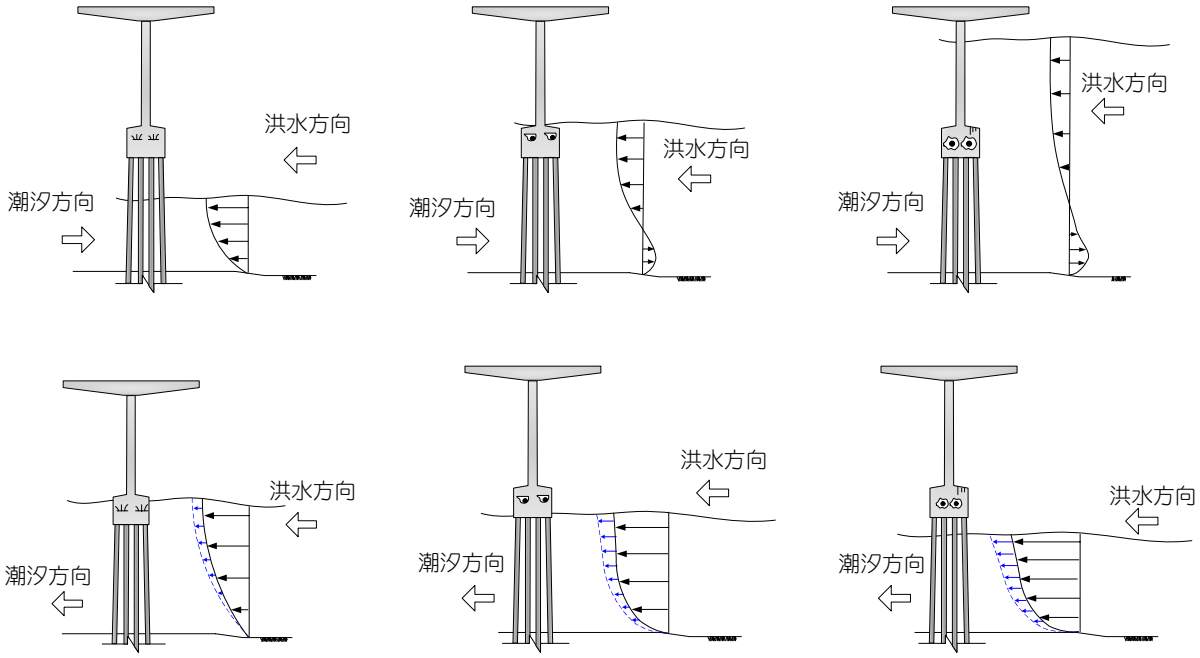
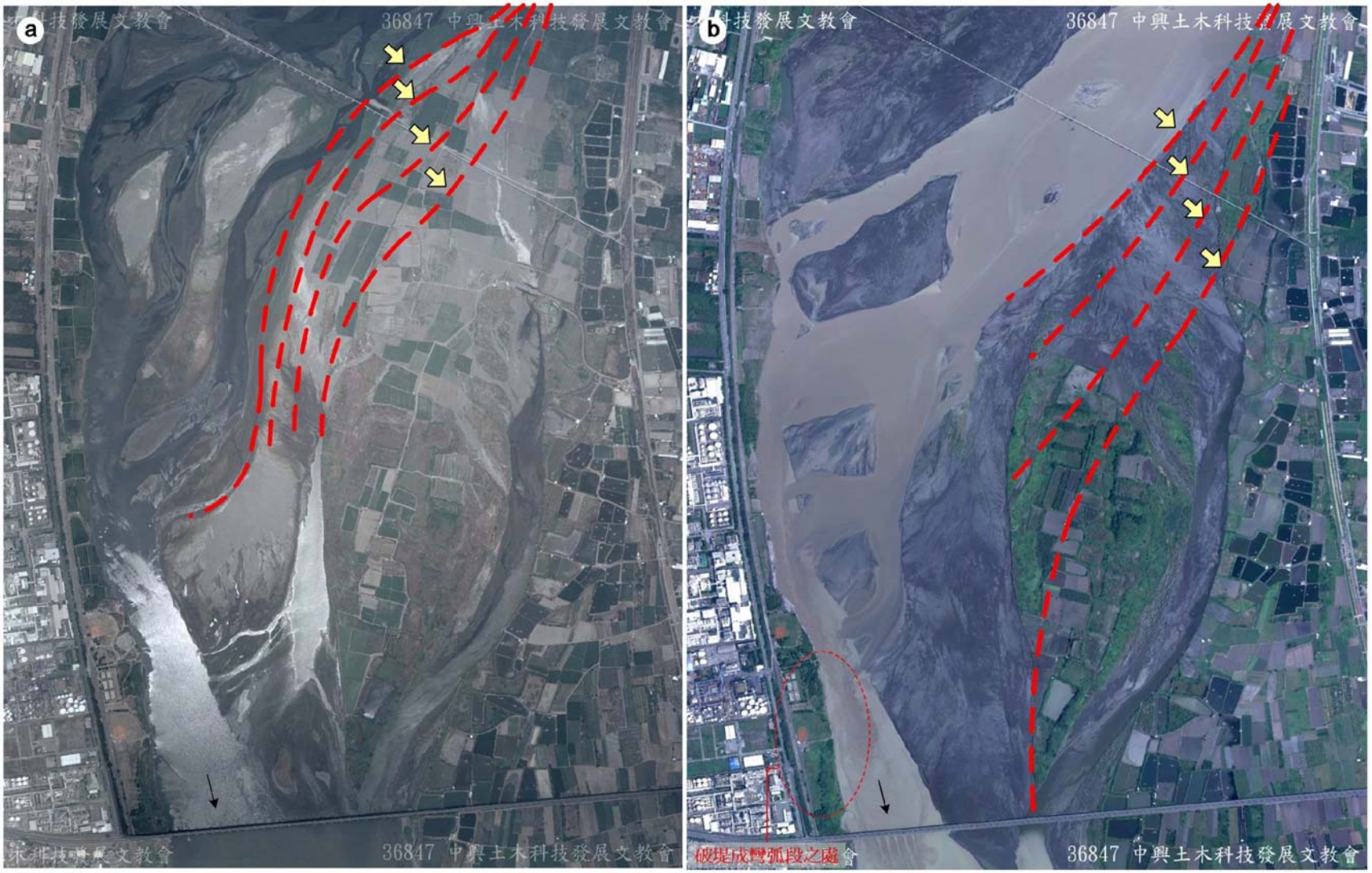


圖 7.18　相同流量條件下，感潮河段漲、退潮時之流速與水位變化示意圖 (a)漲潮；(b)退潮

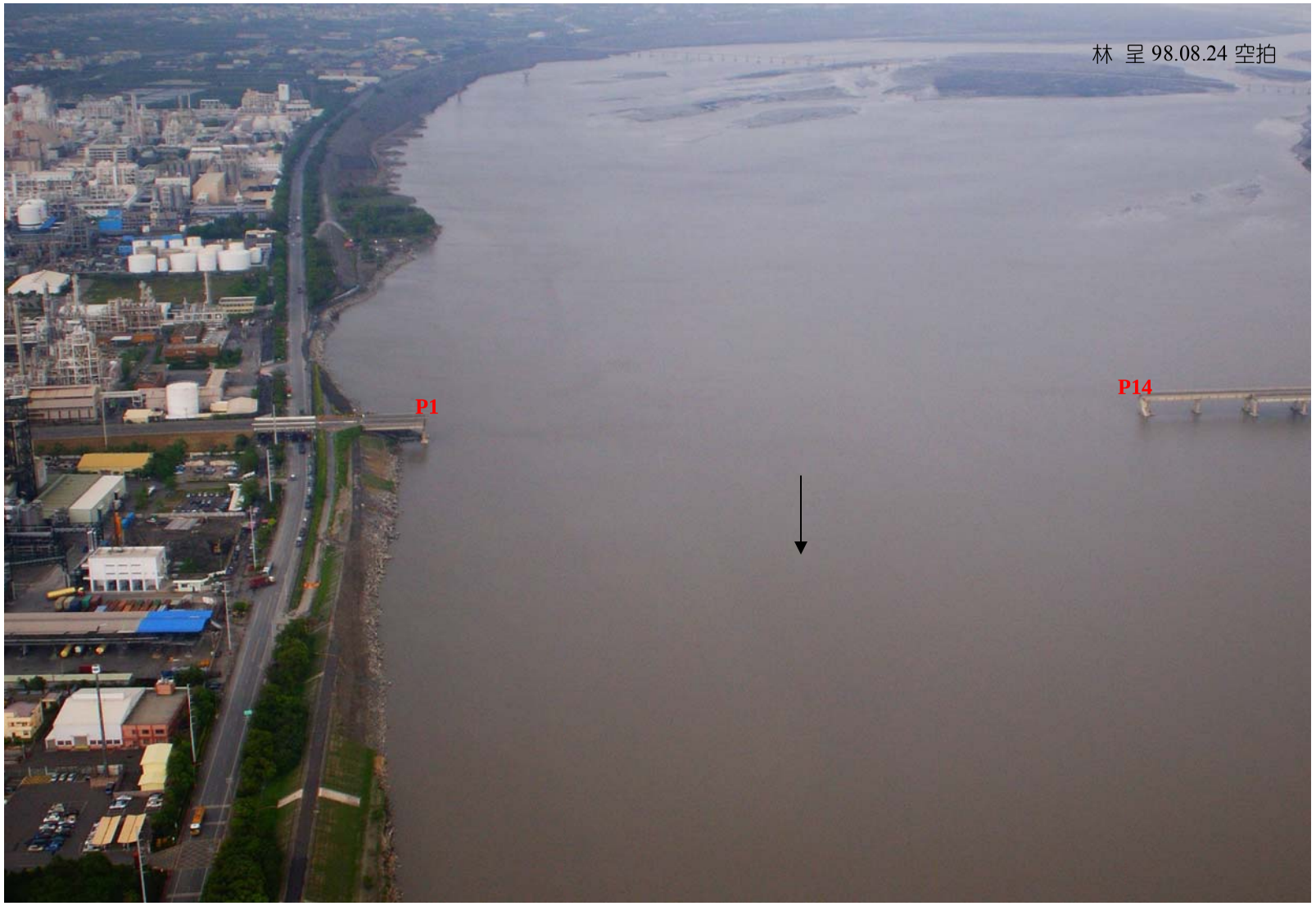


相片 7.1　由航照可看出雙園大橋上游側左岸高灘地逐漸崩塌後退，右岸頂沖區之高灘地亦受側向侵蝕。(a)民國 96 年 4 月 16 日航照；(b)民國 97 年 9 月 7 日航照【資料來源：農林航測所**】**



相片7.2　　莫拉克颱洪後雙園大橋上下游側之河道情況，可見深槽緊臨林園堤防，右岸高灘地幾近沖失

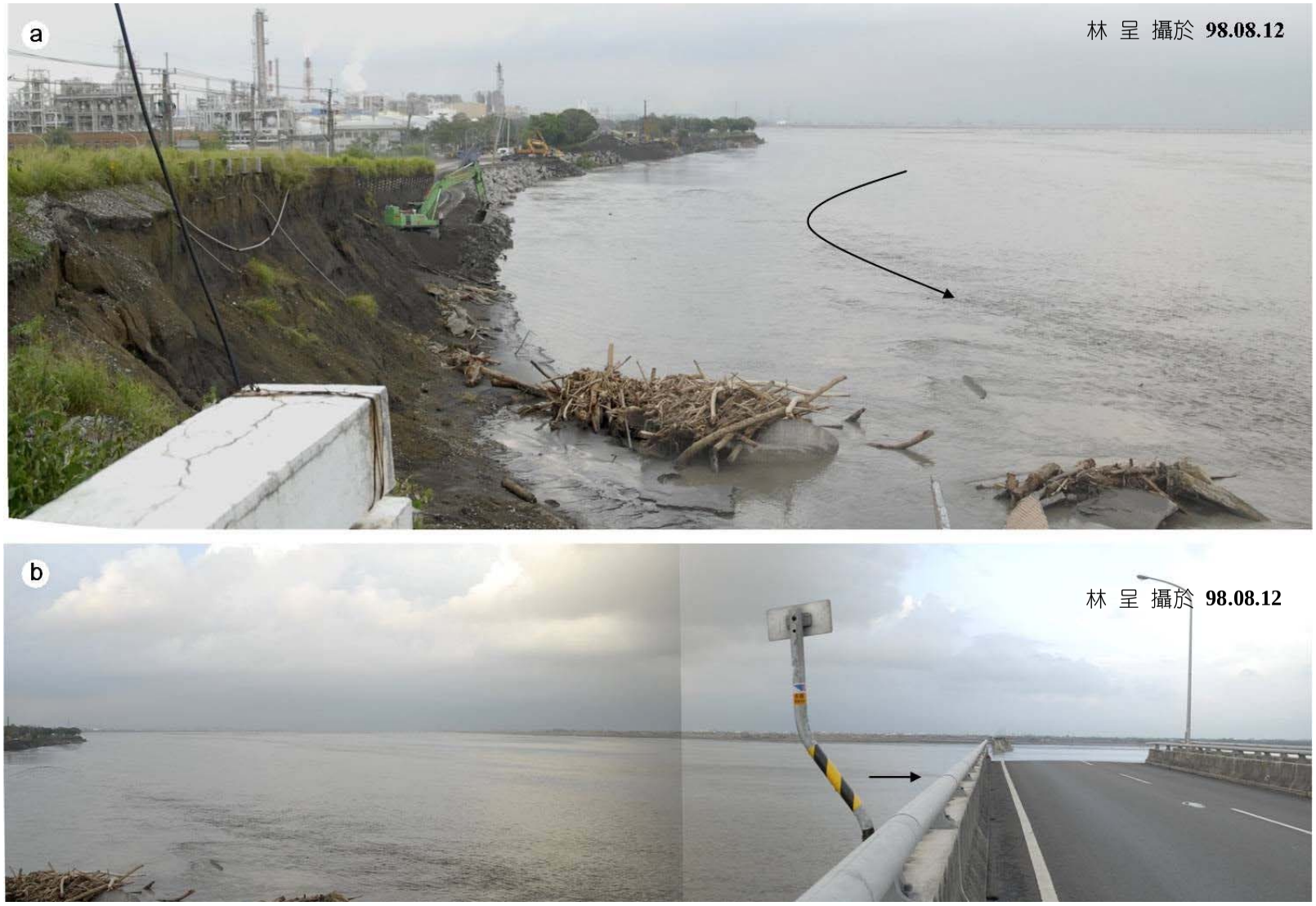
【資料來源：成功大學遙測影像處理與地球環境監測實驗室】



相片7.3　莫拉克颱洪後，深槽流經雙園大橋上游側彎弧，側向侵蝕右岸高灘地外亦使林園堤防堤基損毀而潰堤



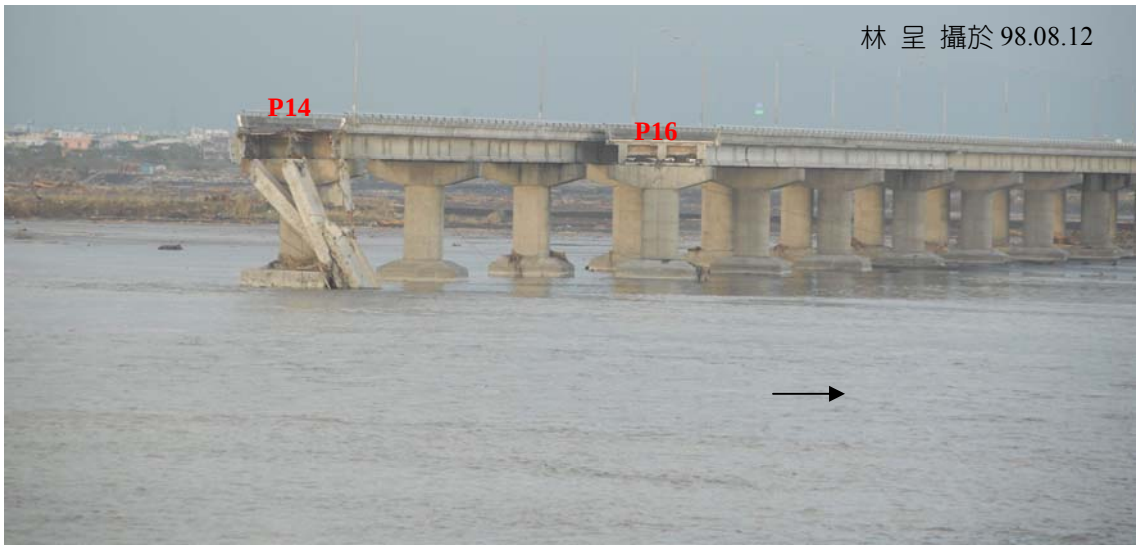
相片 7.4　林園堤防破堤進行搶修工程，置放混凝土鼎形塊。經由破堤處造成彎岸之水流，使得通過橋址之水流流向與橋墩軸向成一夾角而產生攻角效應，因而在橋墩後下游側形成遮蔽區，水流之通水寬度越往下游處趨於縮減、水流速度加快，導致橋墩的尾部之局部淘刷較前端為劇



相片 7.5　雙園大橋上游側之林園堤防破堤形成一彎弧河岸使水流挑流，並與主深槽流向之水流交會產生紊流集中沖擊橋梁



相片 7.6　莫拉克颱洪後橋址處高灘地自 P4 崩塌後退約一百公尺，亦可見漂流木交錯掛淤於基樁 (a)颱洪前；(b)颱洪後。



相片 7.7　　三跨連續 PCI 梁之結構單元當其中一座橋墩倒塌，其餘旁邊的橋墩易形成類似骨牌效應之連鎖倒

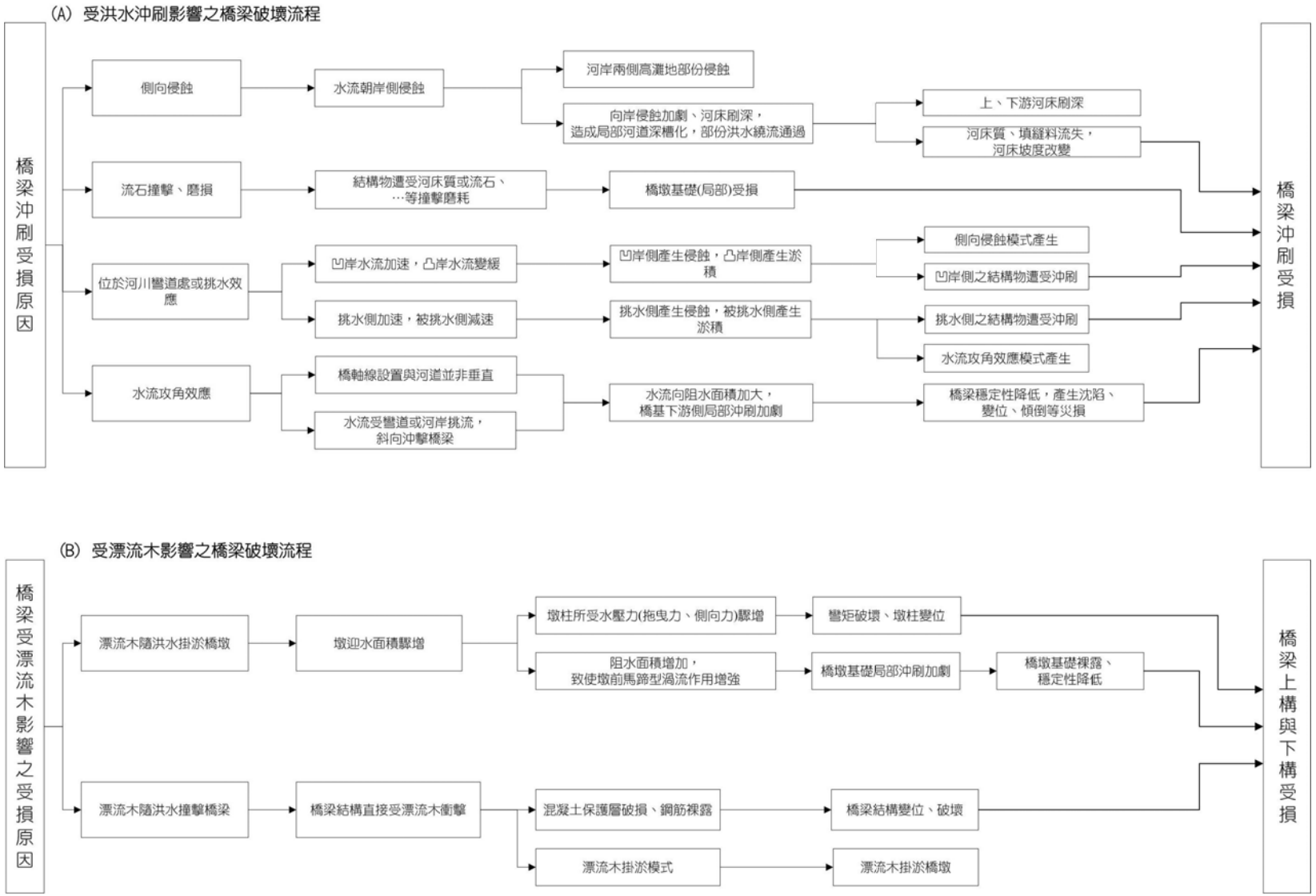


圖 7.19　雙園大橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

7.2 台 24 線第一號橋

1. 基本資料

台 24 線第一號橋位於屏東縣霧臺鄉，其橋頭里程數為 32 K+890M，跨越隘寮溪，為聯絡三地門鄉與霧台鄉兩地之跨溪橋梁，第一號橋建於民國 61 年 4 月，橋梁全長 53.5 m，橋面淨寬 4.7 m，跨距為 2@26.75m，共 2 孔橋梁。上部結構為 I 型梁式的鋼筋混凝土橋梁，橋墩下部結構為單柱式而橋台結構為重力式之橋台。本橋橋梁基本資料詳如表 7-2 所示，橋址處之地質分佈主要為中新世廬山層，詳如圖 7.20 所示。

2. 莫拉克颱風之水文及土砂資料

若以橋址處附近之上德文雨量站之降雨資料圖 7.21 顯示，本雨量站於 8 月 5 日～10 日間總累積降雨量，期中颱洪期間累積雨量高達 2,255 mm，亦將近該測站年平均降雨量的 2/3 可由表 4-1 得知，顯示莫拉克颱風期間之降雨早超過過去台灣之降雨記錄。根據經濟部水利署「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」利用中央氣象局及水利署本身之雨量站，如圖 7.21 雨量站之降雨組體圖可知，本區最大降雨強度約發生於 8 月 8 日下午 2 點，降雨強度直逼 110 mm/hr，由於 8 月 8 日至 8 月 9 日間之降雨情形，不論為連續 12 或 24 小時降雨延時之分析結果，經濟部水利署採對數皮爾森三型分佈所進行的颱風暴雨量頻率分析結果可知，均超過 200 年重現期之降雨強度，分析結果如表 7-3 所示。

此外，根據相片 7.8 所示莫拉克颱風前後之衛星影像比對，第一號橋右岸上游集水區於莫拉克颱洪後之增加許多崩塌地，大量之土砂、土石崩落於野溪或河道中，上游集水區內降雨集中，邊坡土層飽含大量水分，致使土層滑動、加上超大豪雨挾帶大量土石流沿野溪流動沖蝕野溪兩岸坡趾並引發後續之山坡土體崩滑等作用，大量土石乃堆積於隘寮溪之河道中。

3. 橋梁災害情形調查

根據現場調查及比對颱洪前後之航照可知，如相片 7.8 所示，第一號橋橫跨於隘寮北溪上，即橋址上游之河道為一大彎道，水流過彎後直接往橋址方向流動之趨勢，第一號橋於莫拉克颱洪前後之差異，由相片 7.8 衛星影像可得知，上游集水區增加了許多崩塌地及分佈情形。若配合上游集水區之各雨量雨量組體圖及 24 至 72 小時累積總雨量高達 2,255 公釐，由表 4-2 得知上游降下了超過 2000 年重現期之雨量，形成橋址上游多處崩塌地之成因。

第一號橋於民國 96 年航照災前之情形顯示於相片 7.9、相片 7.10，荖濃溪上游左岸支流野溪位於公路上游、橋址位置及河道之概況，尚未遭受土石流沖刷之情形。於莫拉克颱洪期間，上德文雨量站顯示，由於本區降雨強度過大，上游集水區土壤含水量飽和致土體鬆軟崩滑而造成土石流，隘寮北溪上游集水區多處邊坡乃大面積崩塌於河道中，如相片 7.11、照片 7.12 所示，左岸山壁大面積崩塌，土石流沖毀台 24 線公路，造成公路中斷。颱洪後由相片 7.11、7.12 可知，上游大面積崩塌及左岸野溪嚴重崩塌（起至野溪源頭、中經溪谷坡址沖刷、下游至隘寮北溪左右兩岸之溪岸沖刷），土石流運移至橋址下游側附近寬闊谷地而停淤，進而造成河床大幅抬升之情形。在河床逐漸淤高過程中，洪水挾帶土石沖蝕溪岸兩側之早期崩積土，導致河道寬度大幅增加約原橋 4 倍。颱洪期間洪水和土石流挾帶漂流木與巨石撞擊橋梁結構體，橋面版位移掉落至河床上，且隨著洪水和土石流向下運移流失。橋梁受災可能與洪水沖刷導致河床下降有關，致橋墩基礎承受不住且遭受破壞斷橋。由相片 7.13 可知，台 24 線公路周圍邊坡崩塌及野溪之土石流沖刷，公路因此而中斷，如相片 7.14 所示。災後之便橋位置在原本橋址處下游，相片上之紅色及黃色虛線可知，原本橋台及公路都已沖毀流失，第一號橋原為 2@26.75 m 之Ｉ型梁橋，颱洪後洪水沖刷河道展開至 200 m，河寬為原橋 4 倍，河床大幅抬升約 15 m，河床抬升主要是上游來砂量大增逐漸形成，如相片 7.15 所示。莫拉克颱洪期間，第一號橋遭

洪水及土石流沖刷，導致河床下降橋墩基礎淘刷，其受災期間動態流程示意圖，如圖 7.22 所示。

4. 橋梁受災成因之分析與探討

(1)降雨強度過大：

莫拉克颱洪期間，本區降雨強度已超過 200 年重現期之雨量，豪大雨直接落於南部山區，加上本區山坡土體岩塊破碎，造成上游集水區大面積土石崩落，運移至橋址處下游。

(2)土石流災害：

橋址上游所崩坍及堆積之土石，因颱洪期間之降雨而產生土石流而下，挾帶大量土石、漂流木及巨石往橋址方向運移，造成巨石直接撞擊大梁及橋台，且土石流之強烈沖刷力，致使河道兩岸遭受嚴重側向侵蝕，河寬大幅增加，導致公路、橋台及橋面版損壞流失等災害。

(3)洪水沖刷：

颱洪期間豪雨集中於南部山區，崩塌之在土砂尚未受災洪水之搬運至橋址前，湍急洪水沖刷致河床下降，橋梁基礎深度相對不足而倒塌沖毀，進而橋墩橋面版掉落於河道中，遭大量土石流沖毀及流失。

本橋於莫拉克颱洪期間之橋梁受災成因分析流程圖，詳如圖 7.23 所示。

表 7-2　橋梁基本資料表之第一號橋

橋梁名稱	第一號橋	橋梁編號	0220-010	使用狀態	已停用	設施種類	橋梁
管　理　資　料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處	養護工務段	潮州工務段		
所在縣市	屏東縣	所在區鄉	霧臺	道路等級	省道	路線	臺 24 線
橋頭里程	32 K+890M	橋尾里程	K + M	竣工年月	61 年 4 月	最近維修年月	66 年 5 月
造價	0	合約編號	0	交流/匝道		匝道編號	
設計單位	不詳	監造單位		施工單位	無法得知	竣工圖說保存地點	竣工圖說無法得知
檢測週期	12 月/次	跨越物體	隘寮溪	改道長度		年平均每日交通量	
參考地標	伊拉						
河　川　資　料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別	縣市管河川	河川管理單位	屏東縣政府	河川名稱	
上游 500 公尺構造物							
下游 500 公尺構造物							
上游最近水位站		計畫洪水位	不詳 EL	計畫河寬	不詳 M		
計畫堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL	設計橋梁出水高	M		
幾　何　資　料							
橋梁總長	53.5M	A1 進橋版長度	M	A2 進橋版長度	M		
最大淨寬	4.7M	最小淨寬	4.7M	橋版投影面積	304.954M^2		
總車道數	1	總橋孔數	2	最大跨距	26.75M		
跨距分配	2@26.75m						
最高橋墩高度	14M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M	最低橋下淨高	14M		
橋頭 GPS 經度	120.706736344	橋頭 GPS 緯度	22.7478860626	橋尾 GPS 經度	120.70673748	橋尾 GPS 緯度	22.747611240
結　構　資　料							
結構形式	梁式橋						
支撐端型式		主梁材質	鋼筋混凝土	主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式	
橫梁型式		橋面版材質		鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	其他
支承型式	合成橡膠支承	橋台型式	重力式	橋台基礎型式	無法檢測	翼牆型式	其他
橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩型式	單柱式	橋墩基礎型式	無法檢測	橋墩最深基礎深度	M
橋基保護工法	無					橋墩最淺基礎深度	M
特殊結構資料							
橋塔材質		橋塔型式		主纜索型式			
吊索型式		吊索佈置型式		索面系統型式		索面佈置型式	
拱上結構型式		橋面版位置		拱圈材質		橫桿材質	
吊材材質		立柱材質		鋼纜型式		錨定裝置	
設　計　資　料							
設計活載重	H20	地盤種類	第二類地盤	防震設施	無	防落橋長度	0.6M
橋梁所在震區		設計水平地表加速度	0.33G	設計垂直地表加速度	G		
建　檔　資　料							
建檔人員		建檔單位		資料原始紀錄日期		資料最新修改日期	2009-09-01 16:14:42
備　註							
1、計畫洪水位、計畫河寬(堤防法線長度)、計畫堤頂高欄位資料依據經濟部水利署第七河川局 97 年 6 月 17 日水七管字第 09702013600 號函覆「尚無規劃資料」。 2、98.8.8 莫拉克颱風造成橋樑沖毀，人車無法通行。							

【資料來源：公路總局第三區工程處】

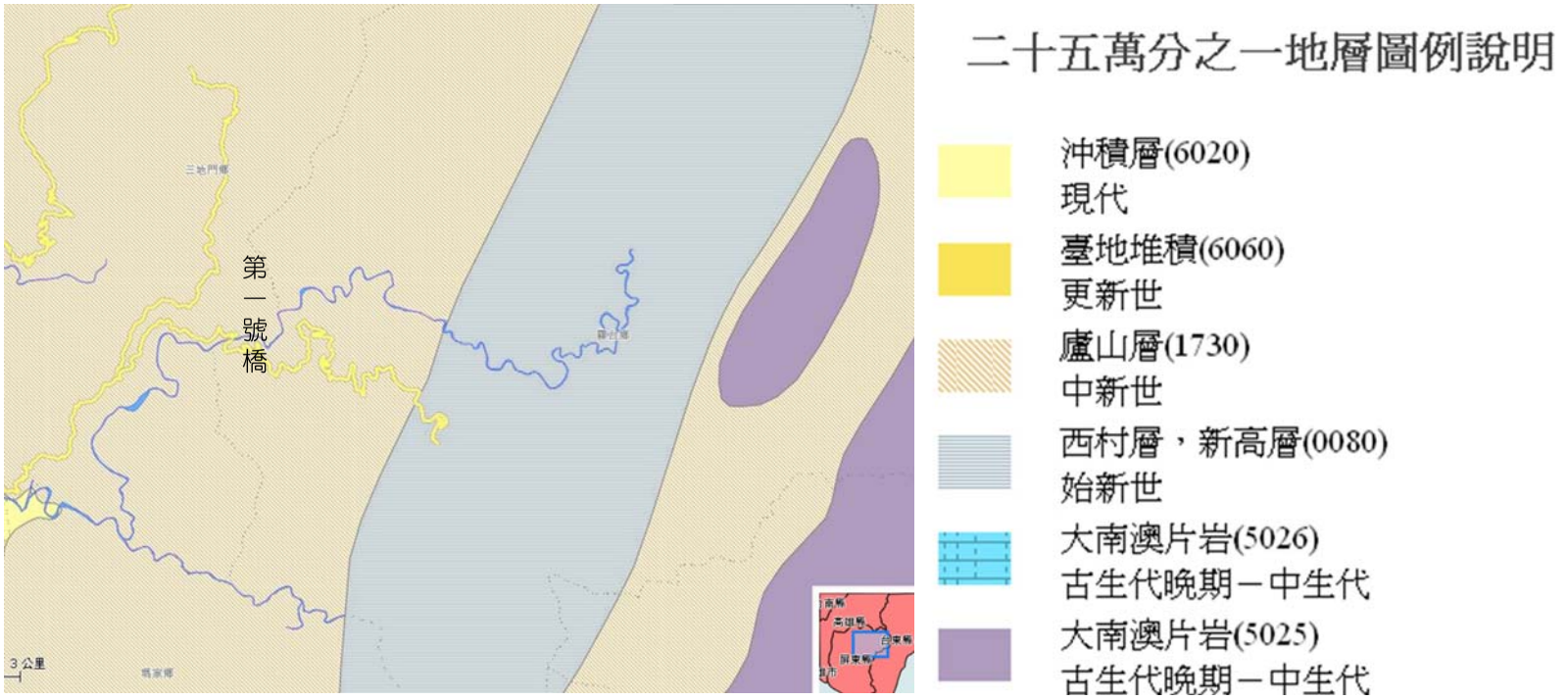


圖 7.20　第一號橋橋址附地質分佈圖。【資料來源：中央地質調查所】

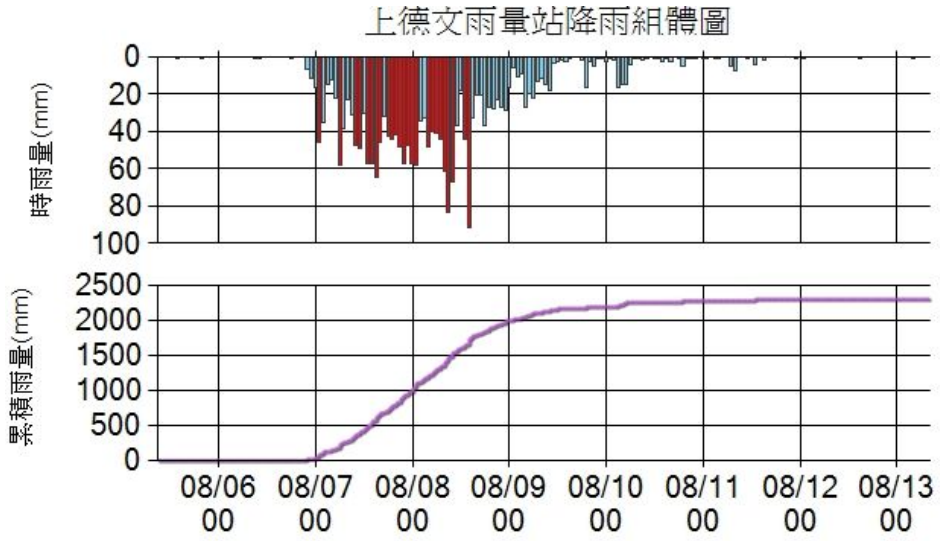


圖 7.21　　上德文雨量站降雨組體圖與累積雨量

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】

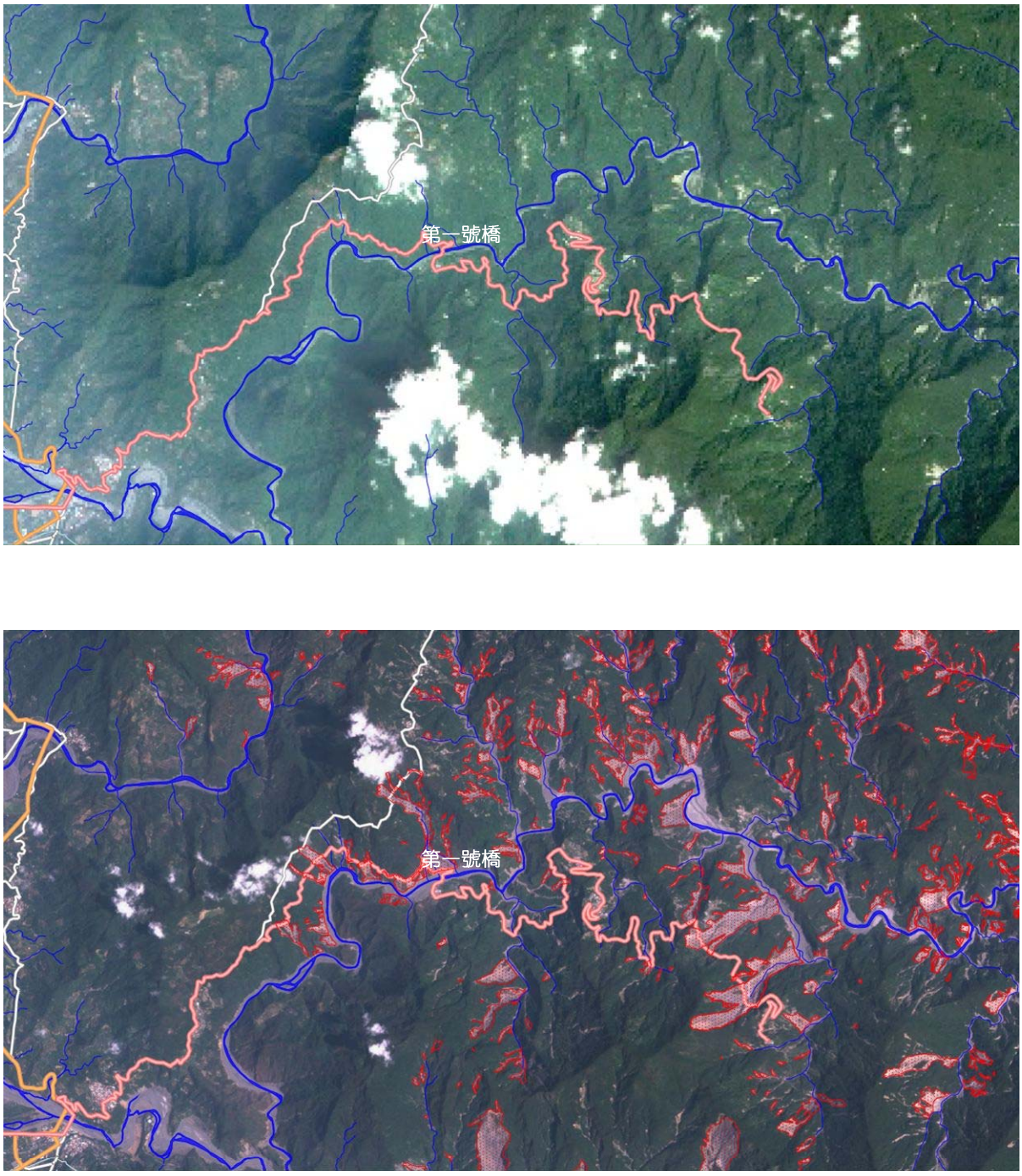
表 7-3　　莫拉克颱風上德文雨量站之暴雨頻率分析

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	61.6	80.0	91.5	102.2	105.5	115.6	125.5	135.2	0	<2	101.5	19.12
3	119.1	157.9	181.3	202.3	208.7	227.7	245.6	262.8	0	<2	216.5	32.69
6	162.9	237.0	287.9	337.7	353.7	403.8	454.6	506.4	3.5	<2	350	23.78
12	225.4	347.1	444.2	550.7	587.4	710.2	847.8	1002.2	4	<2	622.5	30.23
24	315.6	529.2	712.3	923.4	998.4	1256.6	1557.9	1909.7	4	<2	1192.5	41.86
48	402.9	718.6	1011.0	1368.5	1500.2	1969.7	2546.8	3255.0	-	-	1976	49.27
72	443.7	808.5	1153.3	1581.5	1740.7	2313.8	3027.8	3915.4	-	-	2194.5	42.85

參考水利署雨量站：古夏。(統計資料長度：27年，資料僅供參考！)

降雨延時	2年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	200年	目前累積雨量	重現年	最大累積雨量	重現年
1	75.2	95.2	106.2	115.3	117.9	125.5	132.2	138.3	0	<2	101.5	7.09
3	132.5	167.1	184.7	198.6	202.5	213.2	222.4	230.2	0	<2	216.5	58.15
6	176.7	228.2	256.6	280.5	287.5	307.5	325.4	341.7	3.5	<2	350	>200
12	234.4	317.1	365.9	408.9	421.8	459.7	494.8	527.8	4	<2	622.5	>200
24	318.0	440.0	512.2	575.6	594.6	650.3	701.7	749.7	4	<2	1192.5	>200
48	392.3	571.3	692.8	810.7	848.4	965.4	1083.2	1202.5	-	-	1976	>200
72	422.4	635.4	788.4	943.2	994.0	1155.5	1323.9	1500.1	-	-	2194.5	>200

【資料來源：經濟部水利署災害緊急應變系統】



相片 7.8 第一號橋於莫拉克颱洪前後之衛星影像圖與崩塌地分佈情形

【資料來源：中央地質調查所集水區地形與地質資料庫】



相片 7.9　台 24 線公路及第一號橋位置於莫拉克颱洪前橋址右岸上游側野溪及河道之情形，於民國 96 年 1 月拍攝【資料來源：農林航空測量所】



相片 7.10　台 24 線公路及第一號橋位置於莫拉克颱洪前之情形，於民國 96 年 1 月拍攝【資料來源：農林航空測量所】



相片 7.11　民國 98 年 8 月航照畫面：台 24 線第一號橋莫拉克颱洪後右岸邊坡大面積崩塌，野溪遭土石流沖刷導致溪流大幅展寬，橋梁及公路已遭土石流沖毀流失之情形【資料來源：農林航空測量所】



相片 7.12　民國 98 年 8 月航照畫面：台 24 線第一號橋莫拉克颱洪後右岸野溪遭土石流沖刷、橋梁流失之情形，以及搶修便道於原橋址處之下游處位置【資料來源：農林航空測量所】



相片 7.13　於民國 98 年 10 月 12 日拍攝，莫拉克颱洪後第一號橋及臨接台 24 線公路均遭洪水土石流沖毀之情形，其搶修橋便道位於原橋址之下游

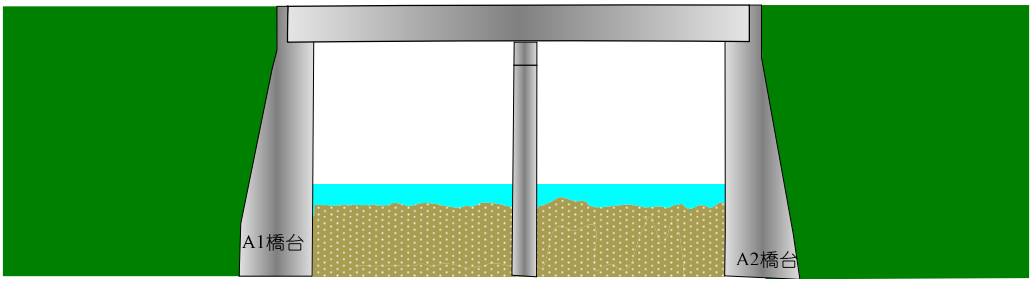


相片 7.14　於民國 98 年 10 月 12 日拍攝，莫拉克颱洪後台 24 線公路周邊土石堆積之情形

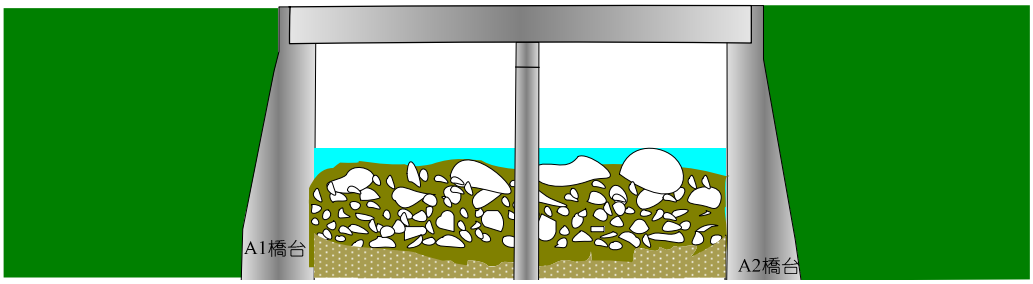


相片 7.15　於民國 98 年 10 月 12 日拍攝，莫拉克颱洪中洪水沖刷河道大幅拓寬，及上游來砂量大增逐漸形成河床抬升之情形

a



b



c

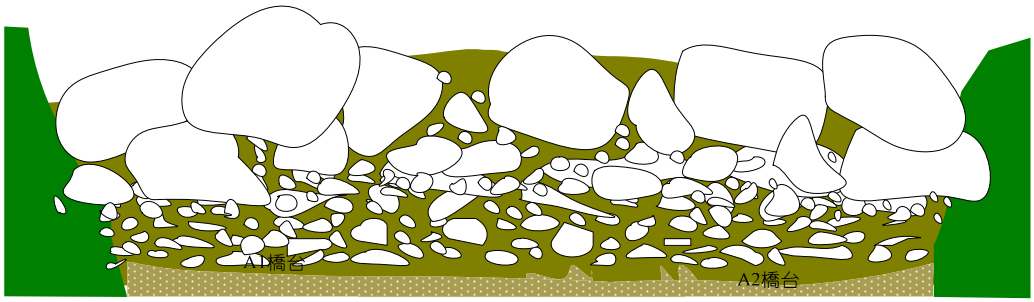
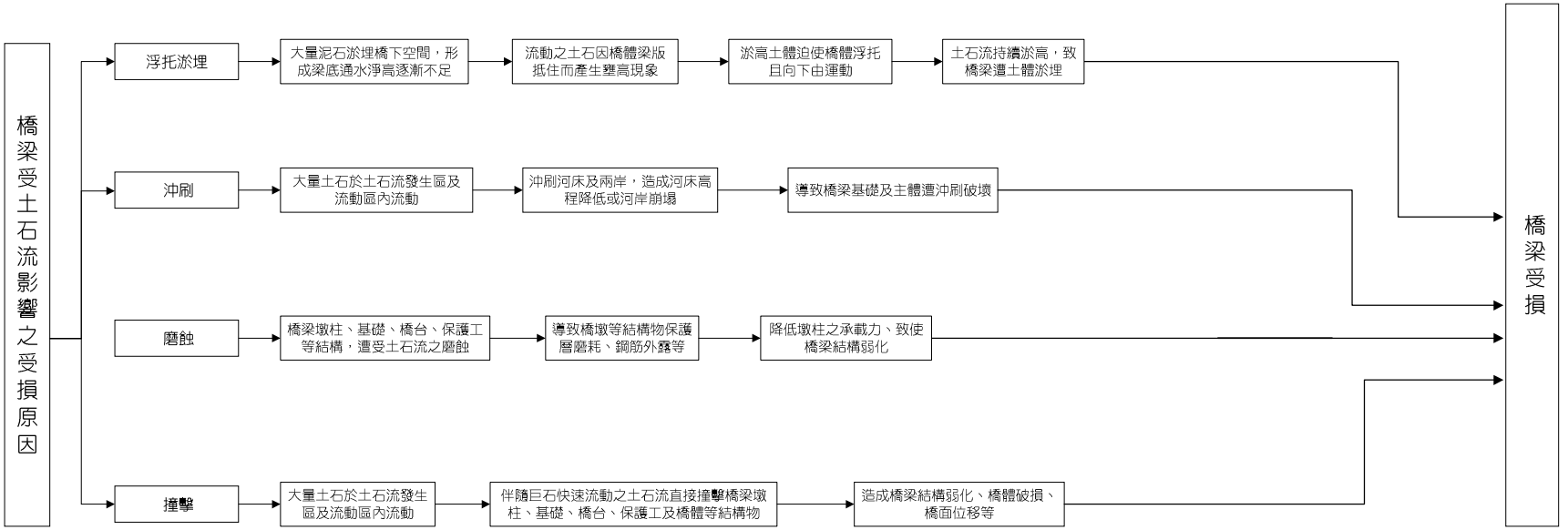


圖 7.22　第一號橋莫拉克颱風河床遭土石流沖刷下降之擬似動態流程示意圖(橫斷面）

(a) 受土石流影響之橋梁破壞流程



(b) 受洪水沖刷影響之橋梁破壞流

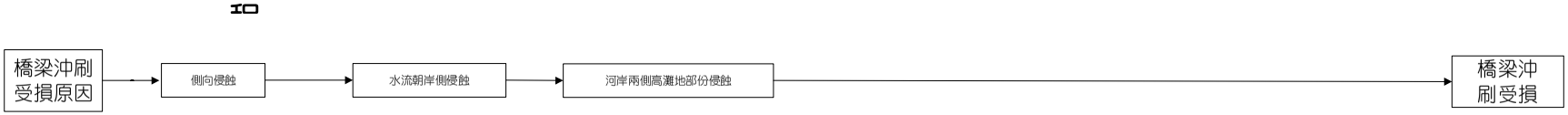


圖 7.23　　第一號橋於莫拉克颱風期間橋梁災害流程圖

第八章　綜合討論與未來研究方向

8.1 橋梁致災成因分析探討

綜觀上述對莫拉克颱洪期間各受災橋梁之災害調查與災因探討，顯示此次橋梁之受災成因甚為複雜。橋梁之災損與災前初始狀況、河道水文特性、受災型式、破壞機制...等有關，致災成因往往不只一個，且各成因間亦相互衍生、影響。根據調查分析結果顯示，此次莫拉克颱洪造成高屏地區計畫橋梁之主要災損原因，概略性可歸納為洪水沖刷災害、土石流作用、漂流木作用及堰塞湖潰壩等影響，且多數呈現複合型或多重型的致災成因。相關致災機制說明如下：

1. 洪水沖刷災害機制

洪水沖刷為莫拉克颱風造成多座橋梁損毀之重要原因，根據第四章所述可知，此次莫拉克颱風為本省南部地區所帶來的豪雨及洪水量，均已超過歷年之最。若在一般沖刷深度甚少時，吾人對橋梁基礎沖刷之考量，主要在於基礎周邊之局部沖刷現象，即橋墩(基)的存在對水流產生局部阻礙或干涉作用，在橋墩(基)周邊形成強烈下降流、馬蹄形渦流、迴流區、尾跡渦流流況，造成橋墩(基)周遭河床形成局部刷深之沖刷坑的情形，此種現象稱為橋墩(基)之局部沖刷(local scour)。當水流流經橋墩基礎時，由於流線受到橋墩基礎干擾所產生的渦流造成迎水面及背水面附近的局部沖刷；通常水流之攻角甚小(或為零)時在橋墩的迎水面渦流強勁，故沖刷深度較深，而橋墩基礎的背水面因渦流較弱，河床沖刷深度較淺。

然而，經第五章～第七章中之災害成因分析後可知，洪水對各橋梁之沖刷機制均不甚相同，為進一步釐清與彙整各橋梁間受災成因之相關性，故特將此次洪水對橋梁之沖刷機制予以分類，並分別說明如下，其對於橋梁之沖刷破壞流程則如圖 8.1 所示。

(1)束縮沖刷

若因橋梁所興建之橋墩或基礎裸露增加阻水面積，或由於公路之引道路堤與橋台設施延伸進入河道，佔據部份之通水寬度，或河道窄縮使得河道通水寬度縮減，甚至因河道內高灘地或土石流堆積而窄縮等，均會阻擋正常時之水流流況，將迫使橋孔(或束縮段河道)間的單寬流量與流速加大，造成橋墩基礎(或束縮段河道)間產生束縮沖刷(contraction scour)效應，乃導致河床之沖刷下降。

(2)跌水沖刷

因河床變化或結構物、保護工等作用，致使洪水通過時於下游側產生跌水水流，並沖刷跌水處之河床形成局部區域之沖刷坑，進而可能衍生向源侵蝕等，危及橋梁或結構物安全。此現象亦往往伴隨著水躍的發生，將更加劇水流之沖刷效應。

(3)向源侵蝕

由於河道中局部區域之沖刷現象產生，造成河床坡降驟增，致使水流通過該處時產生加速現象，並由下游向上游逐漸沖刷河床。

(4)側向侵蝕

河岸坡面土壤的侵蝕取決於沖刷力超過抗沖力，岸坡之沖刷又常使邊坡失穩，並促發河岸崩坍及後退，此即為側向侵蝕之現象。然若有影響水流之結構物存在，則將可能加劇水流側向侵蝕高灘地或岸壁，危及橋梁或堤岸之安全。

(5)流石撞擊、磨損

洪水夾帶河床中之流石、流木，撞擊或磨損橋梁墩柱或基礎，致使橋體結構受損，造成橋梁穩定性降低。

(6)位於河川彎道或挑水效應處

水流於彎道或挑水岸壁處將造成凹岸沖刷、凸岸淤積等現

象，且洪水過彎時會有水流集中、沖刷加劇之現象，故往往造成凹岸處橋台、墩基等結構物之沖刷受損，此外亦常伴隨著側向侵蝕、水流攻角效應之產生。

(7)水流攻角效應

由於橋梁本身軸線之設置與河道並非垂直，或水流因彎道、岸壁挑流或河中砂洲之存在等現象，致使水流方向與橋軸線之法線方向有一交角存在，將可能造成水流阻水面積增大、局部沖刷加劇等現象。值得注意的是，攻角效應所產生墩基周邊之局部沖刷坑，最大沖刷深度一般發生在墩基下游端。

(8)高水位、水位達橋梁上構

若洪水位高達大梁或橋面版，橋面之阻水將產生下射水流，加劇河床及墩基之沖刷；當水位持續升高，水流漫淹過橋面，則下游側亦可能產生跌水而沖刷河床。此外，水流直接作用於大梁及橋面版，對橋體而言將產生類似壓力流之現象，則橋梁上構受到之拖曳力(drag force)及側向力(lateral force)等將驟增，致使橋梁穩定性降低，可能產生沈陷、變位、傾倒等災害。

2. 土石流對橋梁危害機制之探討

土石流是一種土、砂礫、巨石與水充份混合的一種流動型態，外型與一般常見之混凝土砂漿相似，又被喻為「天然預拌混凝土」。其大多發生在山區野溪中，沿溪谷奔瀉時又不斷吞噬兩岸鬆動土石，再加上本身強大的衝擊和破壞力，對溪流河岸、跨河構造物與下游居民財產安全造成重大危害(施，1999)。溪流發生土石流時，位於其活動區(含發生區、流動區、堆積及停止區)範圍內之土木結構物，將遭受土石流運動襲擊而產生損害。依施(1999)及林等人(2001)的研究成果，一般常見的土石流對橋梁危害模式有：浮托淤埋、漫流改道、沖刷、磨蝕、堵塞、撞擊、過彎沖毀及挑流束縮等幾種，茲簡要說明如下，其對於橋梁破壞流程則如圖 8.2 所示。

(1)浮托淤埋

土石流會在活動區內的平緩地帶停止運動，以致大量泥石淤埋橋下空間，形成梁底通水淨高不足的情況。若橋孔幾近被土石所淤滿而無適時清除，當溪流再次發生土石流運動，其流動深度的逐漸增加，使得具有陣波運動特性之土石流，因受橋體梁版的抵住而產生壅高現象，引致淤高土體的重壓不斷增加，迫使橋體被「浮托」而起向下游運動，甚至發生橋梁為土石流所淤埋的情形。

(2)漫流改道

土石流輸送過程中，因河道坡降改變、河道彎曲、橋梁等阻水結構物...等因素之影響，致使土石堆積於河道中並堵塞其流路，造成任意漫流改道，沖毀或掩沒下游處的橋梁道路。

(3)沖刷

土石流在發生區和流動區內，會沖刷帶走河岸坡面土石體和河槽底床泥砂，造成河岸崩塌、河床高程降低，致使橋梁的基礎和主體遭到破壞。

(4)磨蝕

土石流中含有大量石礫，流動時會與橋墩或橋台相互磨損，以致梁墩的保護層削薄而使鋼筋外露，減損墩柱的承載能力導致橋體毀壞。

(5)堵塞

若土石流的含砂濃度過高時，容易堵塞自身流路或於匯入主河道時形成堵塞壩體，產生蓄水而淹沒兩岸設施的情況。一旦堵塞壩體潰決將會形成大規模土石流或洪水，再度危害下游河段之橋梁結構。

(6)撞擊

伴隨著巨石快速流動的土石流具有很大動能，可對橋梁結構產生極大的撞擊，以致橋體嚴重損壞。

(7)過彎沖毀

土石流運動的直進慣性強，過彎時產生超高現象可導致土石流越岸淤埋或沖毀橋梁結構。

(8)挑流束縮

土石流在河道中停淤形成沖積扇，會減少通水面積形成河床束縮沖刷，亦可能挑改主河道的溪洪流向，對河岸或橋梁形成頂沖攻擊，造成岸坡崩塌或橋體損害等。

3. 漂流木掛淤之影響

此次莫拉克颱風對各主要橋梁所造成災損之原因中，比較值得特別注意的是，於高屏溪流域沿岸均有大量之漂流木隨洪水而下，且散落於各受災區域，此類流木隨洪水大量而下，將嚴重影響橋梁安全。根據上述現場調查與災因判識結果，可將漂流木對橋梁之影響概略分為三部分，試分述如下：

(1)漂流木隨洪水掛淤橋墩

漂流木順水而下，至橋梁處因橋墩之阻水，常掛淤於墩柱之上，增加橋墩之迎水面積，此現象將造成墩柱掛淤處之拖曳力及側向力驟增，加上流木大都漂浮於洪水表面，故掛淤主要均位於墩柱上方，更致使墩柱彎矩大增。此外，掛淤之流木亦嚴重阻礙水流通過，導致橋梁上游水位壅塞高漲、橋址及下游流速驟增，水流表面由於受到流木之阻水，將造成墩柱周邊之局部沖刷強度增強，加劇墩基之裸露深度，降低橋梁之穩定性。橋墩受力、彎矩之增大及基礎穩定性之降低等現象，將更加危害橋梁安全。

(2)漂流木隨洪水掛淤橋面版

當洪水持續高漲至橋面版，將導致漂流木掛淤更趨嚴重，由於漂流木之阻水效應，致使橋梁上構所受之水流作用力(拖曳力、側向力)較無漂流木掛淤下增大許多。此外，水流將因橋體與漂流木之大範圍阻水效應，將可能產生更強烈的下射水流或跌水現象，加劇基礎及河床沖刷。值得注意的是，當此現象發生時，由於橋體嚴重堵塞河道中水流，致使橋梁上游形成水位高漲之壅水區，除可能漫淹該處之兩岸外，若橋梁因洪水或沖刷產生倒塌，將造成類似堰塞湖潰壩之湧波，挾原掛淤之漂流木向下游沖擊。

(3)漂流木隨洪水或堰塞湖潰決後之湧波撞擊橋梁

當大量的漂流木被湍急之洪水或堰塞湖潰決後所產生之湧波所挾帶，所產生之動量與破壞力遠大於水流本身，若巨大之漂流木直接撞擊橋梁結構，將可能影響橋梁結構本身之強度與安全，造成混凝土、鋼鈑等保護層破損、脫落及鋼筋裸露等現象，甚至產生橋梁結構變位、破壞等災損。此外，撞擊後之漂流木亦可能再度掛淤於橋梁，造成二次影響。

綜觀上述漂流木對橋梁影響之分析可知，掛淤對橋梁之作用，主要在加劇上述各種洪水沖刷之現象，或增加水流對橋梁所受之作用力。在如莫拉克颱洪般之洪水侵襲下，此沖刷或水流作用力增大現象，則將可能成為橋梁損壞、坍塌的主要成因，相關機制亦為過去研究中較少注意者。有關漂流木對橋梁影響之破壞流程如圖 8.3 所示。

4. 堰塞湖潰壩之影響

根據 4-2 節中所述，莫拉克颱風造成高屏溪流域內多起山崩、土石流災害，大量土石堆積河道，致使流域上游多處形成堰塞湖，根據陳與許(2009)及本計畫現場調查結果可知，本次颱風所形成之多數堰塞湖屬均於數小時內隨即潰決，所形成之湧波沖擊下游橋梁與河

道。此現象對於橋梁破壞之影響概略可分為下列四類：

(1)橋梁位於堰塞湖土石壩體上游

橋梁位於堵塞河道之土石壩上游側，因水流堵塞、水位高漲而溢淹橋面，土石壩潰決後上游湖內之水體迅速向下游洩降，致使橋梁附近水流如前述沖刷模式中之高水位流況一般，水流直接作用於大梁及橋面版等上部結構，且加劇基礎之沖刷力。

(2)橋梁位於堰塞湖土石壩體處

橋梁恰位於堵塞河道之土石壩處，水流因河道堵塞致使水位高漲而溢淹橋面，高漲之堰塞湖水體溢淹土石壩後，即因河床之落差將造成土石壩下游產生跌水流，形成沖刷坑。若此跌水沖刷持續作用下，河道沖刷將向上游側產生向源侵蝕，進而穿越土石壩造成堰塞湖潰壩，潰壩流將集中於此沖刷缺口產生束縮沖刷，刷深該處河道，若橋梁或橋台基礎恰位於此束縮河道中，將產生沖刷、沈陷及傾倒等災害。

(3)橋梁位於堰塞湖土石壩體下游

橋梁位於堵塞河道之土石壩下游側，當堰塞湖潰決後，產生之高速水流將大幅沖刷橋梁基礎，加上潰決後所產生之湧波沖擊，增加橋梁受力(如水流撞擊力、側向力、升力、...等沖擊力)，將嚴重影響橋梁之穩定性，若暴漲之潰決流水位亦達橋梁上構，則將更加危及橋體之安全。

(4)河道上游之橋梁等跨河構造物因漂流物等影響，形成之類似小型堰塞湖之壅水現象

即跨河橋梁或結構物本身即為堰塞湖之壩體，與前述三項類型不同之處，主要在於壅塞之水體量較小，故潰決後對下游橋梁之作用時間相對較短，然而因結構物之傾倒、潰決相對於土石壩之潰壩過程短得許多，此瞬間之脆性破壞或持續增大之彎矩破壞所造成湧浪沖擊力與破壞力強，該湧波若直接沖擊橋梁或堤防，

將造成嚴重之毀損。此外，本潰壩類型亦不似上述三者大多僅拘限於山區河道中，即使位於平原或下游段之河道亦可能發生。關於上述堰塞湖潰壩對橋梁影響之破壞流程如圖 8.4 所示。

於實際災害中，往往非單項災因諸如沖刷、土石流、漂流木掛淤、堰塞湖潰壩流等所造成，而是相互伴隨且影響的，此類災害則屬複合型或多重型之災害成因。為釐清並彙整各主要橋梁受災成因機制，故本計畫特依據上述致災機制，進行各橋梁之受災分類與統計，如表 8-1 所示，並臚列相關改善建議，以供相關管理單位參考，並可作為擬定未來研究方向之依據。

另外，此次災害類型之分佈特性，經比對表 8-1 及圖 1.1 中可得知，土石流及堰塞湖潰壩大多影響上游之山區橋梁，其中堰塞湖潰壩之影響範圍較大，有傳遞至中、下游之特性，而洪水沖刷及漂流木影響則有遍佈整個流域之現象。

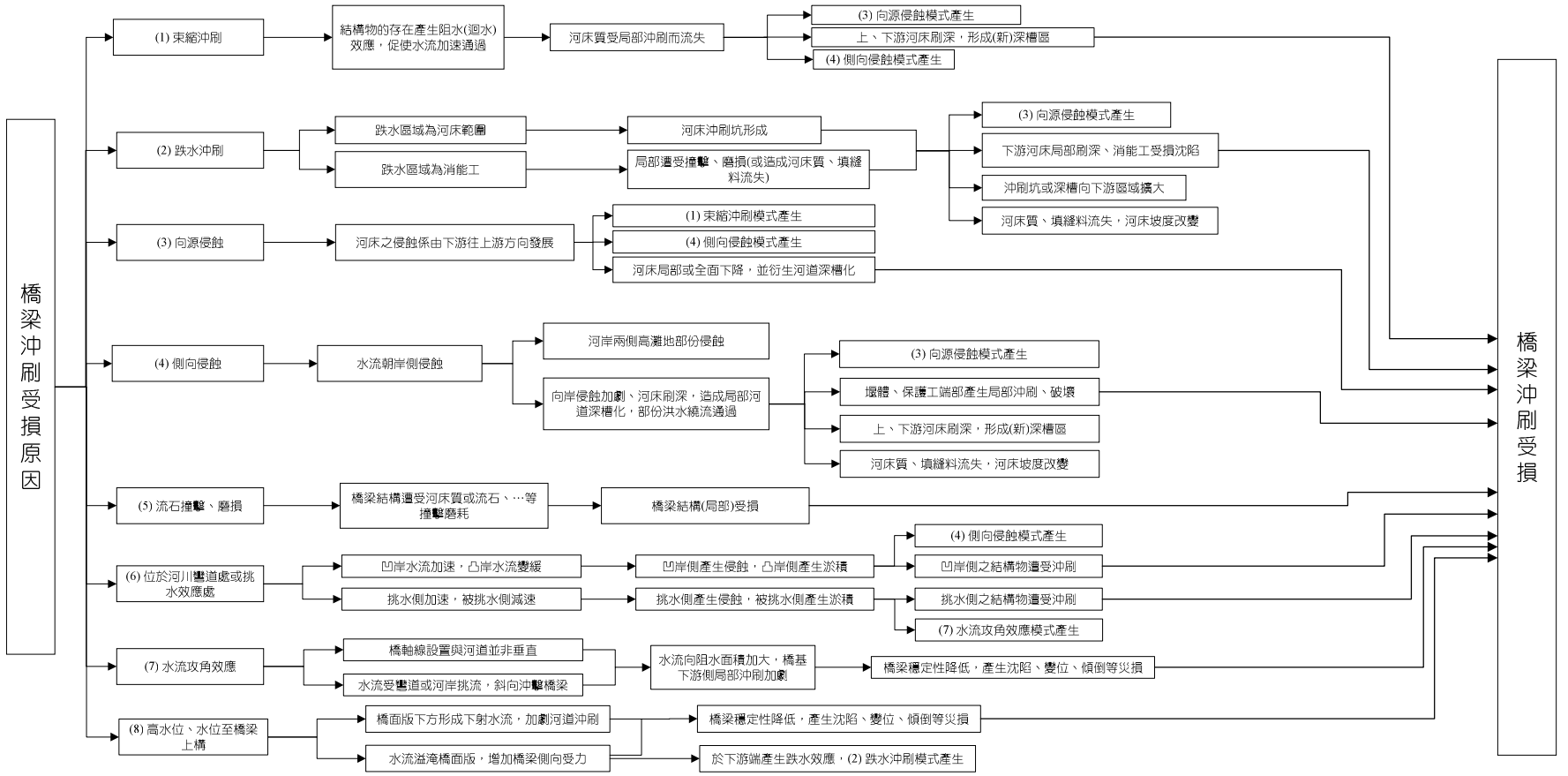


圖 8.1　莫拉克颱風期間，洪水沖刷對橋梁之破壞流程圖

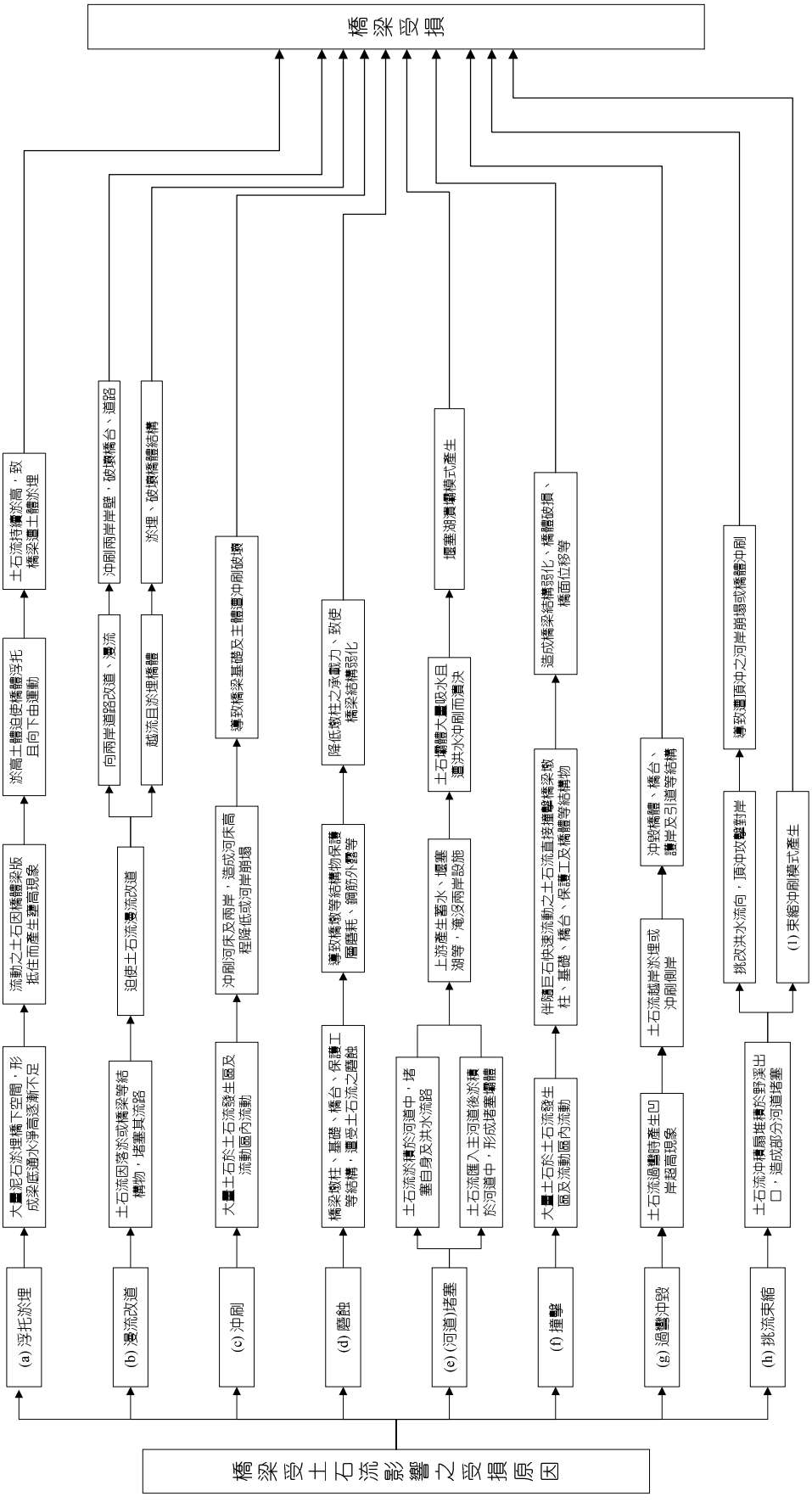


圖 8.2　莫拉克颱風期間，土石流作用對橋梁之破壞流程圖

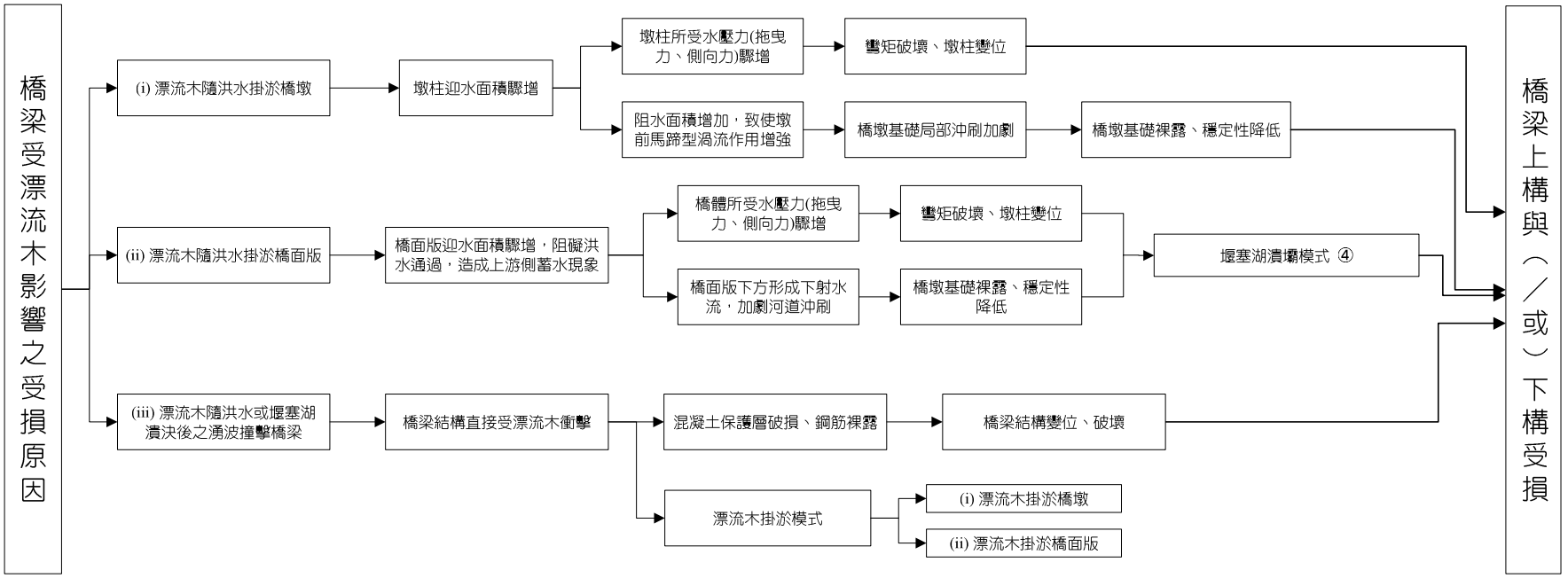


圖 8.3　　莫拉克颱風期間，漂流木影響對橋梁之破壞流程圖

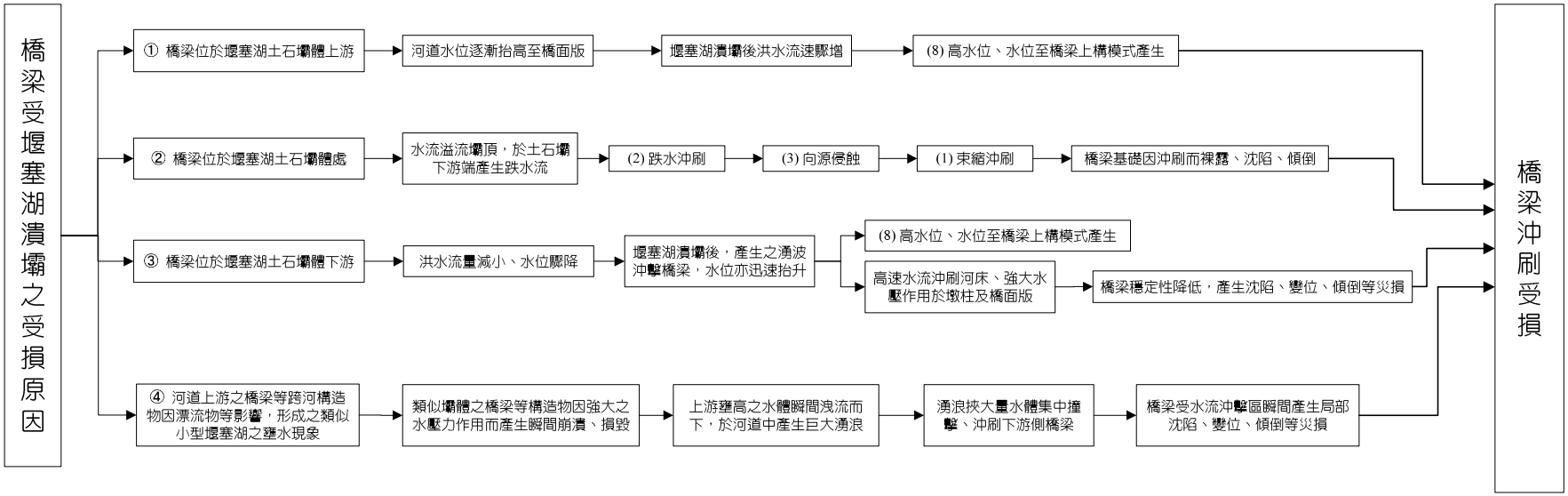


圖 8.4　　莫拉克颱風期間，堰塞湖潰壩影響對橋梁之破壞流程圖

表 8-1　各主要受災橋梁致災機制分析統計結果及相關改善建議表

編號	路線	橋梁名稱	破壞時間	致災機制					橋梁結構相關問題	相關改善方案	
				洪水沖刷	土石流	漂流木	堰塞湖	其他		橋梁單位	其他相關單位
1	台 17 線	雙園大橋	98.08.09 am 0:45，P5 ~ P15 倒塌；am 4:00，P4 ~ P2 倒塌。	(4)(5)(6)(7)		(i)(iii)			斷橋前，位深槽區之橋墩 P5 ~ P6 基礎已裸露 5 ~ 6 m。	目前正進行改建，已採大跨徑、深基礎、提升梁底淨高之設計	加強橋址上、下游側右岸堤防之防沖抗洪能力；注意上游河道之灘地高程變化，必要時施行疏濬或整治。
2	高 92 線	大洲大橋		(1)(4)(8)		(i)(ii)(iii)	④		A1 與 A2 設置於河道內	A1 與 A2 橋台遠離河道中心(若將引道及橋台退至堤防外為最佳)	
3	台 3 線	新旗尾橋	98.08.09 約 am 9:20	(4)(6)(8)		(i)(iii)	④			改建後已加強基礎深度，提升防災能力	
4	台 28 線	旗尾橋	98.08.09 約 am 9:00	(1)(4)(8)		(i)(ii)(iii)	③④		橋梁跨距、淨高相對不足	目前正進行改建，已採大跨徑、深基礎、提升梁底淨高之設計	河道疏濬
5	台 21 線	四德橋	不詳	(6)		(i)(iii)	③		淺基礎，基礎深度相對不足	目前正進行改建，已採大跨徑、深基礎、提升梁底淨高之設計	
6*		楠梓仙溪橋	不詳	(4)(6)			③				
7		第八號橋	不詳		(a)(b)(f)				橋梁跨距、淨高相對不足	增加橋長、採大跨徑、提升梁底淨高，或重新調整路線	
8		第九號橋	98.08.09 am 6:30		(f)		④	獻肚山崩山掩埋		位於小林村內，公路路線已改線	
9		第十號橋	不詳	(8)	(c)(f)(g)		①	獻肚山崩山掩埋		重新調整路線	
10*		第十二號橋	不詳	(4)(5)	(a)(b)(d)(f)						
11*		第十四號橋	不詳	(4)(5)	(c)(d)(f)						
12*		第十五號橋	不詳	(4)(5)	(c)(d)(f)						
13*		民族橋	不詳		(a)(c)(d)(e)(f)						
14*		民生大橋	不詳	(4)	(c)(d)(f)						
15	台 27 線	大津橋	不詳	(6)(8)		(i)(iii)			橋梁跨距、淨高相對不足	採大跨徑、提升梁底淨高	
16		六津橋	不詳		(a)(b)				橋梁淨高相對不足	提升梁底淨高、加大跨徑	野溪整治
17		三合橋	不詳	(4)(5)(8)	(c)(f)				淺基礎橋台，通水斷面相對不足	提升梁底淨高、加大跨徑	野溪整治
18		新發大橋	98.08.08 pm 7:40	(1)(3)(4)(8)	(c)(e)(h)	(i)(iii)	②③		淺基礎，基礎深度相對不足	目前正進行改建，已採大跨徑、深基礎、提升梁底淨高之設計	進行河道疏浚及野溪整治

註：致災機制內代號詳參圖 8.1 至 8.4 所示。 * 標註為額外提供之橋梁。

表 8-1(續)　各主要受災橋梁致災機制分析統計結果及相關改善建議表

編號	路線	橋梁名稱	破壞時間	致災機制					橋梁結構相關問題	相關改善方案	
				洪水沖刷	土石流	漂流木	堰塞湖	其他		橋梁單位	其他相關單位
19	台 27 甲線	六龜大橋	98.08.08 pm 11:20	(6)(8)		(i)(ii)(iii)	③④		基礎深度相對不足	正進行改建工程，已採大跨徑、深基礎、提升梁底淨高之設計	河道疏濬
20		六龜四號橋	不詳	(4)(6)	(h)			路基流失	路堤基礎深度相對不足	現階段已進行之短中期因應方案，係採路堤方式緊急修復。建議長期因應對策可考慮採路線內移，以隧道式通過膠結性極佳之卵礫石頭料山層(原有舊隧道可整修後繼續使用)作為單向行駛之路線;或是考慮於鄰山側改用防災能力佳之橋梁型式通過此一路段。	左岸河道疏濬與整理、右岸河道於路堤段培厚
21		六龜三號橋	不詳	(4)(6)	(h)			路基流失	路堤基礎深度相對不足		
22	台 20 線	建山一橋	不詳	(4)(5)	(a)(b)(c)(d)(e)(f)				橋梁長度、跨距、淨高相對不足	增加橋長、採大跨徑、提升梁底淨高	進行河道疏浚及野溪整治
23		建山二橋	不詳	(4)(5)	(a)(b)(c)(d)(e)(f)				橋梁長度、跨距、淨高相對不足	增加橋長、採大跨徑、提升梁底淨高	進行河道疏浚及野溪整治
24		寶來二橋	98.08.11 pm 8:10	(1)(4)(8)	(c)(h)	(ii)(iii)	③		A1 橋台基礎深度相對不足	加深 A1 橋台基礎深度	進行河道疏浚、野溪整治及於左岸施做護岸，避免河岸側向侵蝕
25*		綠茂橋	不詳	(4)(5)	(a)(c)						
26		炳才橋	不詳	(4)(5)	(a)(b)(c)(d)(e)(f)				橋梁長度、跨距、淨高相對不足	增加橋長、採大跨徑、提升梁底淨高	進行河道疏浚及野溪整治
27*		塔拉拉魯芙溪橋	不詳	(4)(5)	(c)(d)(f)(h)						
28*		撒拉啊塢橋	不詳	(8)	(a)(c)		③				
29	台 24 線	第一號橋	不詳	(4)	(a)(c)(d)(f)				橋梁長度、跨距、淨高相對不足	增加橋長、採大跨徑、提升梁底淨高，或重新調整路線	河道疏浚

註：致災機制內代號詳參圖 8.1 至 8.4 所示。 * 標註為額外提供之橋梁。

8.2 橋梁災害防治相關因應原則與注意事項

根據上述莫拉克颱風所造成之諸多災害案例在在顯示，氣候之巨幅變異與地震所帶來之水文環境變遷、大量雨量與洪水規模、及土石流災害皆迥異於往常之經驗，致使溪流河性之變化極不規律，對於吾人從事國內公路與橋梁之規劃、選線、設計、施工、運轉通車各階段均形成極大的考驗。爰此，本計畫特彙整「林呈：河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究(一～三)，2005」及「林呈：河川變遷、堤防保護與橋墩基礎型式選擇之整合研究，2006」之研究成果，併同此次災害調查結果，提出不同環境條件下之橋梁設計、養護及維修之一般考量重點及注意事項，以供相關工程人員參考。

8.2.1 河川水理及河川變遷對橋梁安全之注意事項

根據本計畫之調查結果可知，近年來臺灣氣候及環境變化甚大，致使河川環境亦隨之發生變遷，故所考量之河川水理特性亦將有所不同。如此次莫拉克颱風為高屏溪流域所帶來之災害與變遷，極可能成為下次災害之主要影響因素。由國內近年諸多案例可清楚瞭解，此種河川環境變遷並非長時間之緩慢變遷，尤其近幾年更是嚴重，河川水理環境一變再變，使原來符合水理設計安全之跨河橋梁變得不安全。此外，既使大環境水理條件不變之情形下，部分辮狀流路河川之沖刷變遷亦將可能造成橋梁、堤防等河工構造物之災損。上述之現象之發生洪水流量往往不需高達設計洪水量，而僅需 $Q_2 \sim Q_5$ 間之流量即可能造成嚴重之情形。除上述情形外，因位於堰壩下游側形成之下降型河床河道，及因河道下降或地層隆起造成之軟岩層(泥岩、頁岩)裸露河床河道，用一般之河川水理特性進行河川變遷或沖刷之評估，仍嫌不足。

因此，就橋梁設計之河川水理及河川變遷考量方面，除應符合「公路排水設計規範」及經濟部水利署「申請跨河建造物設置注意事項」外，尚須考量下列之注意事項：

1. 於可能發生土石流(堆積型)之土石流潛勢溪流、或上游集水區具有

土石流潛勢溪流、或強震區之山區河川，應注意下列事項：

(1) 橋梁之梁底高程應高於計畫洪水位加出水高，再加土石流最大粒徑之 1 倍至數倍，若河川之堆積情形嚴重，應視橋梁之重要性及經費於深槽區予以適當加高。

(2) 河道兩側若有堤防或護岸設施，亦仍須審慎評估橋台設置位置，並根據歷年或上游土石流流量及流路，適當加長跨河橋梁長度，使橋台設置與堤防或河岸保持適當距離，以防土石流繞過堤防衝擊橋台及引道。

(3) 於峽谷地形設置橋梁，可依地形適當選擇路線，以提高橋梁梁底高程，增加通洪能力。

2. 對於流路變遷不定或輸砂量大之辮狀流路河川，應利用歷年河道大斷面量測資料、航空照片…等歷史資料，對主河道流路變遷之情形先進行蒐集及研判，以供橋梁設計之參考。

3. 於下降型河道設置跨河橋梁，應先利用歷年河床量測資料(大斷面資料)瞭解河床整體下降趨勢，以決定適當之橋梁基礎深度及沈箱(或樁帽)頂部高程，惟沈箱(或樁帽)頂部高程必須低於計畫河床高，經研判若河床下降趨勢嚴重，則沈箱(或樁帽)頂部高程應低於現況河床斷面之最低點。

4. 橋梁設置於河道中，應注意橋址處上、下游附近之河工構造物或其他橋梁可能對河道主流變遷之影響。尤其與水流流向間具有攻角之結構物，將可能影響流路變遷，而堰壩之設置則可能影響河床高程及坡度之變化，且此等跨河構造物若遭局部破壞，亦可能造成河道環境及流向之大幅變遷，影響橋梁安全。

5. 跨河橋梁之橋墩設置，若與河道流路具攻角時，除應參照「公路排水設計規範」、「申請跨河建造物設置注意事項」之相關規定外，應注意水流於橋墩周圍之最大局部沖刷深度，並非一定發生於墩柱之迎水面前端，而往往發生於墩柱對水流之投影後端。

6. 鑑於過去諸多沖刷災害之案例甚多發生在洪水流量僅為 Q2 ~ Q10 間，主要原因為此洪流作用下，往往將造成主河槽之變遷，或上、下游保護工或河工構造物之破壞，影響水流流路並危及橋梁，故對於橋梁設計之水理特性分析，除對該河道之設計洪水量進行檢討及安全評估外，亦應需針對中低洪水流量如 Q2、Q5、Q10…等進行橋梁安全及河道變遷之評估，以防止因河道變遷或水流集中所造成之沖刷災害。惟河道變遷之評估方式理論上雖可應用具輸砂模擬之二維流場分析模式進行水流流向變遷之模擬，但模擬之精度則有賴於精確之地形量測資料及上、下游控制斷面條件之設置，非僅利用大斷面量測資料就可進行模擬，加上河川之變動性大，因此，若需以二維流場分析模式精確評估河道變遷後之流況，則需於每次颱洪或大水後不斷重複進行複雜之平面地形量測。此法既費時又耗力，屬較不經濟之評估方法。而河川變遷之趨勢仍有其規則可循，因此，可利用歷年航空相片或衛星影像資料進行流路變遷之判斷依據。

7. 對於軟岩層裸露之河床，河床及水理特性主要依據岩層特性而定，不宜只用一般之水理分析方法進行河道變遷及橋梁安全之評估，應另針對岩層本身之消散及耐蝕特性進行評估。

8.2.2 跨越土石流潛勢溪流之橋梁安全注意事項

跨越土石流潛勢溪流(堆積型河川)的橋梁設計與注意事項，與跨越一般河川的橋梁設計評估要素略有不同。主要考量重點除了有橋身結構及基礎型式，亦要考量梁底高程、橋梁抗受土石流的沖撞能力等，茲將設計上的建議或注意事項條列如下：

1. 在橋址之選擇方面，宜以避災為原則，若否亦應考慮減災，或復建容易、保護加固容易之設計。道路定線與橋梁定址應避免設於地形坡降變化激烈處，如河流彎曲段、分(合)流及水流頂衝之地點，與土石流高度潛勢區域等地質破碎的敏感地帶。若橋梁位置受到諸多條件限制，實無法避開土石流發生潛勢較高之區域，則施工方法上可研選用不同的橋梁結構型式(如長跨距拱橋、涵洞、土石流遮避

棚、明隧道等)以因應處理。倘若上述方法仍不可行，則考量橋梁位址時，以經過土石流流動區較通過淤積區為佳(林、周，1997)，儘量避免沖積扇與河道變遷頻繁的不穩定性因素，並配合採用搶修容易、迅速有效之結構型式，以降低土石流危害的工程損失。

2. 橋長宜大於河寬，以避免束縮河道。橋梁跨越河床的方式盡可能採長跨距的橋型，可減少河道中之橋墩數量及阻水面積，以降低土石流損毀橋墩之可能性。

3. 若為斜橋或曲線橋跨越土石流高潛勢危險區時，則儘可能採大跨距，以增加土石流的流通斷面。對於河寬較小之土石流潛勢溪流，建議盡量採大跨徑(不落墩)方式跨越。

4. 梁底高程應高於計畫堤防堤頂高程外；梁底淨空設計則需考慮土石流運動的行為，例如適度抬高路線高程並配合長跨距橋梁以增加淨空，以避免上部結構因承受土石流之橫向力或流木、流石、浮流物之撞擊，而導致橋梁災損。

5. 橋梁設計時，應考慮河谷地形與水流的自然流向問題，即橋軸方向應與水(土石)流方向正交，若有斜交時則應加大設計跨度。另於溝壑谷口處興建的橋梁，應對土石流流出谷口後的流向及可能的落淤積區範圍多加以注意。

6. 橋墩與橋台的基礎，需視橋梁現地之河床坡度判斷土石流通過該橋梁時，對河床與該橋之基礎進行的是淘深或淤積，並以此點為設計橋梁基礎的參考資料之一。若土石流通過橋梁時進行淘深(沖刷)作用，則除了以河川整治工程補救之外，橋梁基礎部分，也應盡量採用深基礎(如沈箱、樁基礎等)，以提高橋梁基礎抵抗沖刷之能力。

7. 橋墩形狀建議採流線型為主，可提高墩軸方向(垂直橋軸向)之勁度，以抵抗土石流之撞擊；且墩軸方向應與水流方向平行，可減少阻水效應及減輕溪洪沖刷程度，惟若考量河川流向可能改變，未能與墩軸方向平行而形成攻角效應，所造成的(水流攻角引致之)局部

沖刷效應納入分析，以加深基礎長度方式因應。此外，亦應考慮水流之正向及側向力與土石流、流木等之撞擊作用力。

8. 部份溪流凹岸有河岸崩退(側向侵蝕)的沖刷潛勢，甚易造成橋台、橋墩沖毀破壞，故橋台、引道翼牆與堤防之基腳，應加深埋設深度及排置鋼筋於結構體中，並配合施作橋梁上下游河岸及橋墩保護工程，以抵抗土石流的沖刷、撞擊等作用，防止基礎淘刷破壞。

9. 橋台宜置於河道外且避免位於河水之攻擊坡位置，以免直接承受水流之衝擊力與沖刷而造成危險。

10. 考量橋墩基礎易遭受土石流撞擊與磨蝕，建議施作橋梁防撞設施。

8.2.3 感潮河段橋梁之考量與注意事項

感潮河段橋梁本身除受到來至上游之洪水逕流的影響外，河口之潮汐變動亦將改變該河段的水理特性。由於潮流(含鹽份的鹹水)逆流而上與流向海口的洪水逕流混合，引起泥砂絮凝、團聚現象，而使泥砂淤積；且因潮流有漲落與大小之變化，而逕流則有洪枯季之區分，故河口區感潮河段的水位、流速流向和泥砂運動之變化異常複雜。因此，對於感潮河段跨河橋梁之養護維修、新橋設計及保護工設計之考量重點，應將潮汐變動對河道水理及橋墩沖刷之影響加以評估。因本省西部海岸之潮汐屬半日潮(即潮汐變化週期為一天兩次)，相較於颱洪作用期間，在洪水通過期間將會有數次的潮汐週期變化，而洪水、潮水漲退變化間之交互作用，將對感潮河段產生特殊之水理特性，而對感潮河段橋梁結構之穩定性與安全性造成影響。

感潮河段橋梁設計之河川水理考量方面，除應符合「公路排水設計規範」及經濟部水利署「申請跨河建造物設置注意事」外，應依據洪水流量歷線及潮汐水位之交互變化特性，將各種可能情形進行評估考量：

1. 若洪水和高潮不在相同季節發生，則應分析洪水伴隨相應潮汐相遇、及高潮位伴隨相應季節逕流相遇兩種情況，取其不利者。

2. 若最大潮汛和洪水季節相同，一般有兩種情況為極端狀況，而此兩種情況又各自掌控、決定橋梁設計上之重要部位，分別為：

   (1) 考量當洪流之洪峰恰逢大潮(或暴潮位)，即兩者同時相遇時，潮汐最高潮位(暴潮位)與洪峰流量之水位，兩者時疊加之最高水(潮)位作為設計水位，用以決定梁底高程。

   (2) 當洪峰為上漲階段、潮汐水位乃為退潮階段時，河口的水面坡降和流速為最大、水深最小；此時因流速加大且坡降加大、水深變小、福祿數(Fr)加大甚快，致使沖刷潛能加大，因而對河床與橋基之沖刷量為最大，故此情況乃用以決定橋基頂部高度及入土深度。

3. 橋梁梁底高程與墩柱結構之設計，應針對橋址所在河川之實際情形，考量洪水期間漂流木撞擊或淤塞作用之影響。

4. 若施設橋梁距河口相對較近者，對於橋墩沖刷考量方面，亦應考量河口附近海岸變遷之趨勢，若有長期海岸侵蝕之現象，則應考量未來橋址處河床下降之趨勢。

8.2.4 其他考量及注意事項

1. 惟針對裸露嚴重之橋梁，或尚未保護之墩柱，應於颱洪前訂定緊急應變計畫、封橋水位、或裝設監測系統，並於颱洪期間密切注意洪水流況變化，必要時則封閉橋梁，確保人員安全。

2. 於颱洪期間，應密切注意漂流木於橋梁掛淤之情形，並將漂流木掛淤之影響列入封橋水位等颱洪期間應變計畫評估之考量內容，以適時修正警戒、封橋等基準，確保用路人安全。

3. 對於未潰決或未來可能發生堰塞湖之大量土石堆積區，如台 21 線小林村、台 20 線 99 K 及 102 K 等處，應持續進行河道疏浚工作，以防止或減緩堰塞湖發生時之災害。

4. 制訂或聯結相關單位(如水土保持局…等)堰塞湖潰壩及土石流預警

通報系統或相關資訊，以供颱洪時期封橋、應變之用。

5. 經現地考量，可考慮採用其他國內外新式橋梁工法或橋梁型式進行測試，如針對山區橋梁土石流、漂流木通過之橋梁，或淨高相對不足之處，可嘗試採用如啟閉式、可升降橋面版…等型式之橋梁，作為減災之工法。

8.3 未來研究課題與方向

由於莫拉克颱洪之超大雨量，致使山區發生多起坡地崩坍、土石流、堰塞湖等災害，並產生大量之漂流木順水而下，故對跨河橋梁造成諸多新型態之災害。面對未來全球氣候變遷時代的來臨，吾人必需積極面對該類災害。爰此，本計畫特根據現場調查與災害機制分析結果，對於橋梁災害防治技術與管理方面，提出未來應進一步研擬之課題與方向，以供相關單位參考。

就橋梁設計、養護、維修工程等技術方面：

1. 水位高於大梁底部時，水流流場與河床沖刷特性

當洪水位高於橋梁之大梁底部，甚至溢淹過橋面版時，水流對橋梁將形成所謂壓力流(pressure flow)流況，且橋梁下方亦將產生潛沒射流(submerge jet)，此現象於莫拉克颱洪期間發生於多座橋梁之流況中，亦為橋梁受損之主要原因。該流況之發生原因主要為洪水量(水位)過大或河床堆高所致，水流將對橋面版產生強大之側向力及升力，且因橋面版之阻水所產生的潛沒射流亦將對河床或基礎造成嚴重沖刷，影響橋梁穩定性。故對於水位高於橋梁底部時之橋梁周邊流場特性、河床沖刷特性及水流對橋梁結構之影響...等，亟需進一步之研擬。另外，諸如下游尾水高低、橋孔寬與橋墩寬之比值...等參數對該流場特性之影響，亦為研究重點之一。有關通過橋面版之壓力流及潛沒射流流況如圖 8.5 及 8.6 所示。

2. 堰塞湖潰壩後的湧波對橋梁安全與沖刷之影響

堰塞湖潰壩流亦為此次颱洪所見之新型態災害原因之一，而潰壩流對跨河橋梁之影響目前甚少有相關研究。此類潰壩流除了有快速抬升河道水位之特性外，潰壩後所產生之湧波對橋梁之沖擊與影響，亦為釐清橋梁受災機制之重要參考。圖 8.7 所示為一般海洋波浪對橋梁沖擊及作用力分佈示意圖，相片 8.1 則為潰壩流對橋梁之可視化試驗結果，由此顯示波浪對橋面之作用與潰壩流湧波之情況

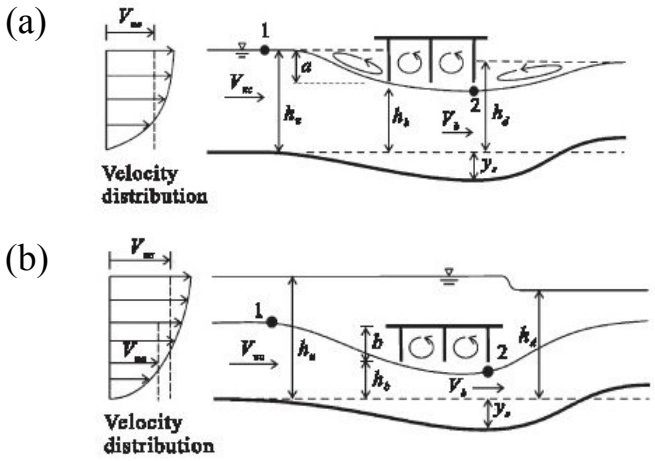


圖 8.5　水位高達橋梁底部及溢淹橋面版後之流況及沖刷示意圖。【Guo *et al.*，2009】

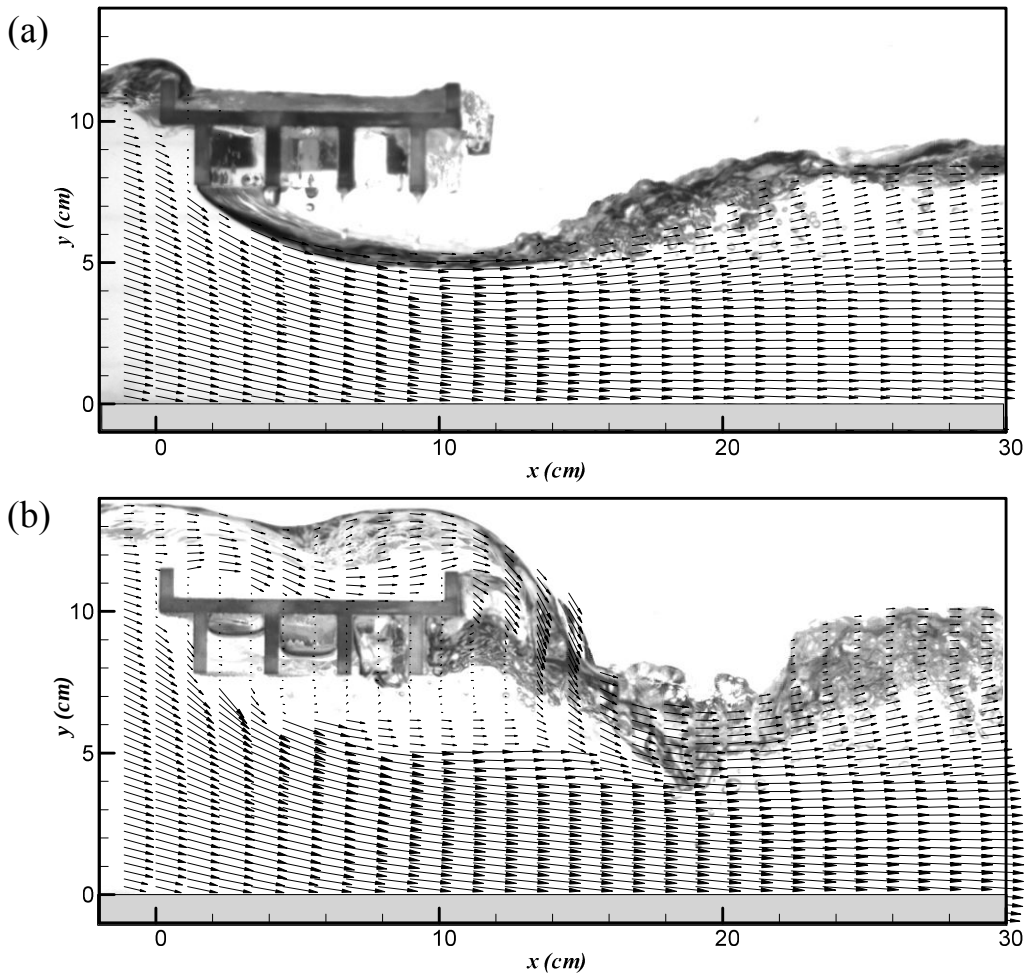


圖 8.6　水位高達橋梁底部及溢淹橋面版後之流場可視化及 PIV 速度場精密量測結果。【林呈，2010】

相似，均可能對橋面版產生極大之瞬間升力與彎矩，造成橋面版流失。相片 8.2 所示即為美國海岸邊橋梁因波浪作用而產生落橋災害之實例。

3. 漂流木掛淤於橋墩對橋基沖刷之影響

漂流木掛淤對橋梁之影響，主要是加劇其他各種水體作用力及沖刷等之現象，此沖刷或水流作用力增大現象，則將可能成為橋梁損壞、坍塌的主要成因。圖 8.8 所示即為模擬漂流木掛淤橋墩後，不同阻水量下之墩前下降流流場可視化及質點影像測速儀(PIV)速度場量測結果，當掛淤阻水量越多，墩前之下降流亦趨增強，顯示橋墩附近流場與沖刷機制明顯受漂流木掛淤影響。圖 8.9 所示則為 Melville & Dongol (1992)針對橋墩掛淤與局部沖刷量之實驗結果，顯示漂流木掛淤對沖刷之影響。

4. 高水位、堰塞湖湧波及漂流木等作用間之相互影響

本次颱洪之橋梁災害多屬上述三類災害之複合或多重型災害，即此三類災害一般均相伴發生，故對於高水位、堰塞湖湧浪及漂流木作用間之相互關係及影響，實有必要進一步研擬。

5. 水流過彎之流速與沖刷力特性分佈

根據過去對現場實際調查之結果可知，水流與高灘地或河岸間之相互影響，主要在於河岸崩退等側向侵蝕作用，然而於此一過程水流流心往往集中於此類崩退之彎曲河岸邊，集中之水流常順河岸彎曲線而發生挑流現象，挾強大之沖刷力沖刷河床、橋梁或堤岸，造成嚴重災損。故對於水流過彎及挑流過程中，河道中流速與沖刷力特性分佈，實有進一步研擬之必要。

6. 水流與橋梁間攻角效應對基礎沖刷與橋梁結構之影響

如第 5 項所述，河道中水流經常會因河岸崩退而變遷不定，集中水流之流向與橋梁間往往具有攻角，而此攻角將會造成水流向之通水面積縮小，墩基阻水增大等不利現象，進而加劇沖刷量或改變

沖刷坑型態。圖 8.10 所示即為攻角效應所造成最大沖刷深度由墩柱上游端移至下游端之實驗研究結果，此課題尚有許多尚待瞭解之處，實有進一步研擬之必要。

7. 土石流堆積、堵塞河道對洪水流路、河道沖刷之影響

河道旁之野溪若發生土石流災害，大量土石隨野溪而下堆積於河道中，形成土石流堆積扇，此將堵塞部分或全部之河道，影響河道中之洪水流路。即如第 5 項中所述，水流流路主要受河道岸壁、灘地等邊界之影響，此類土石堆積現象則大幅改變原有邊界，造成洪水流路及河道沖刷機制急遽變遷，危急橋梁或堤岸等構造物安全。

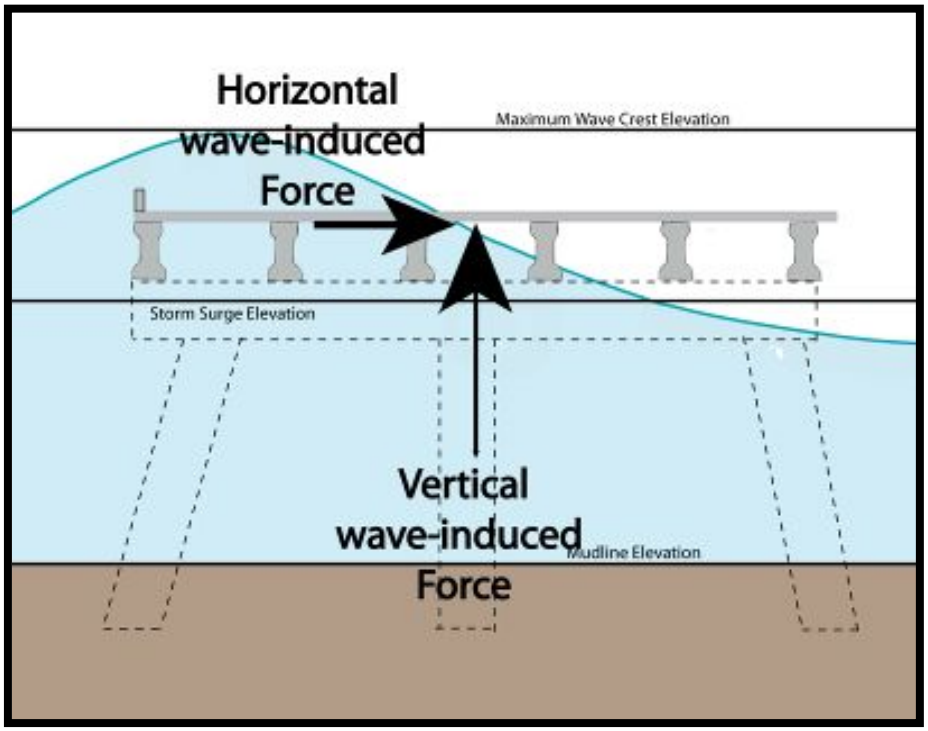
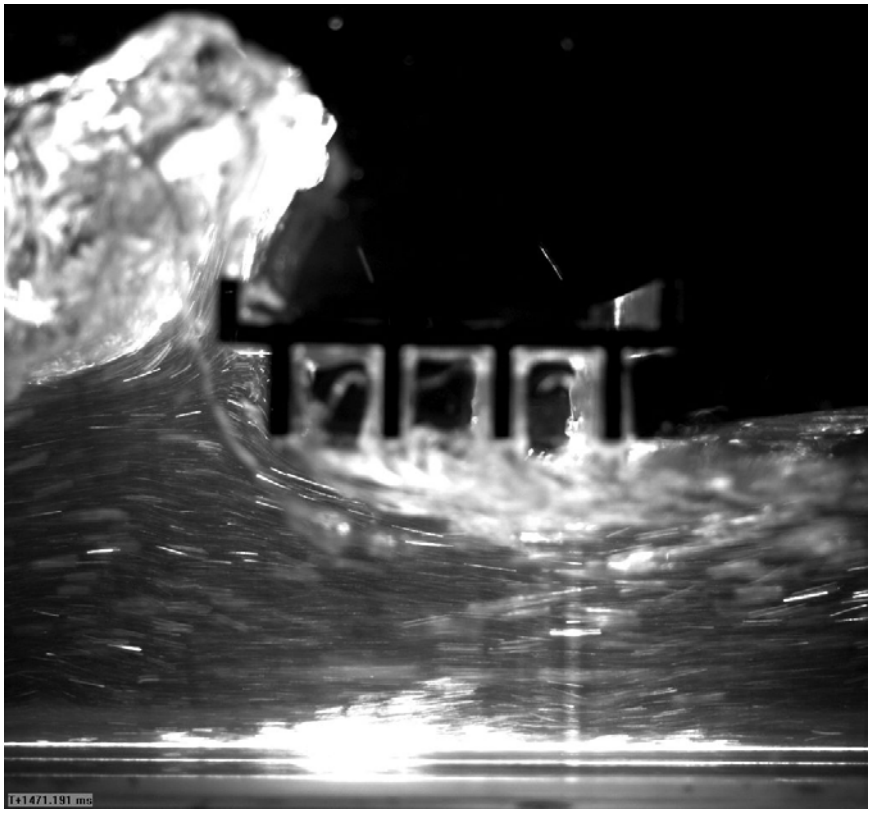


圖 8.7　　波浪對橋梁之作用力分析示意圖【Douglass *et al.*，2006】



相片 8.1　　潰壩流湧波對橋梁作用之沖擊波可視化相片【林呈，2010】



相片 8.2　美國 Bay St. Louis Bridge 於颶風後因波浪作用而產生之落橋災害【Douglass *et al.*，2006】

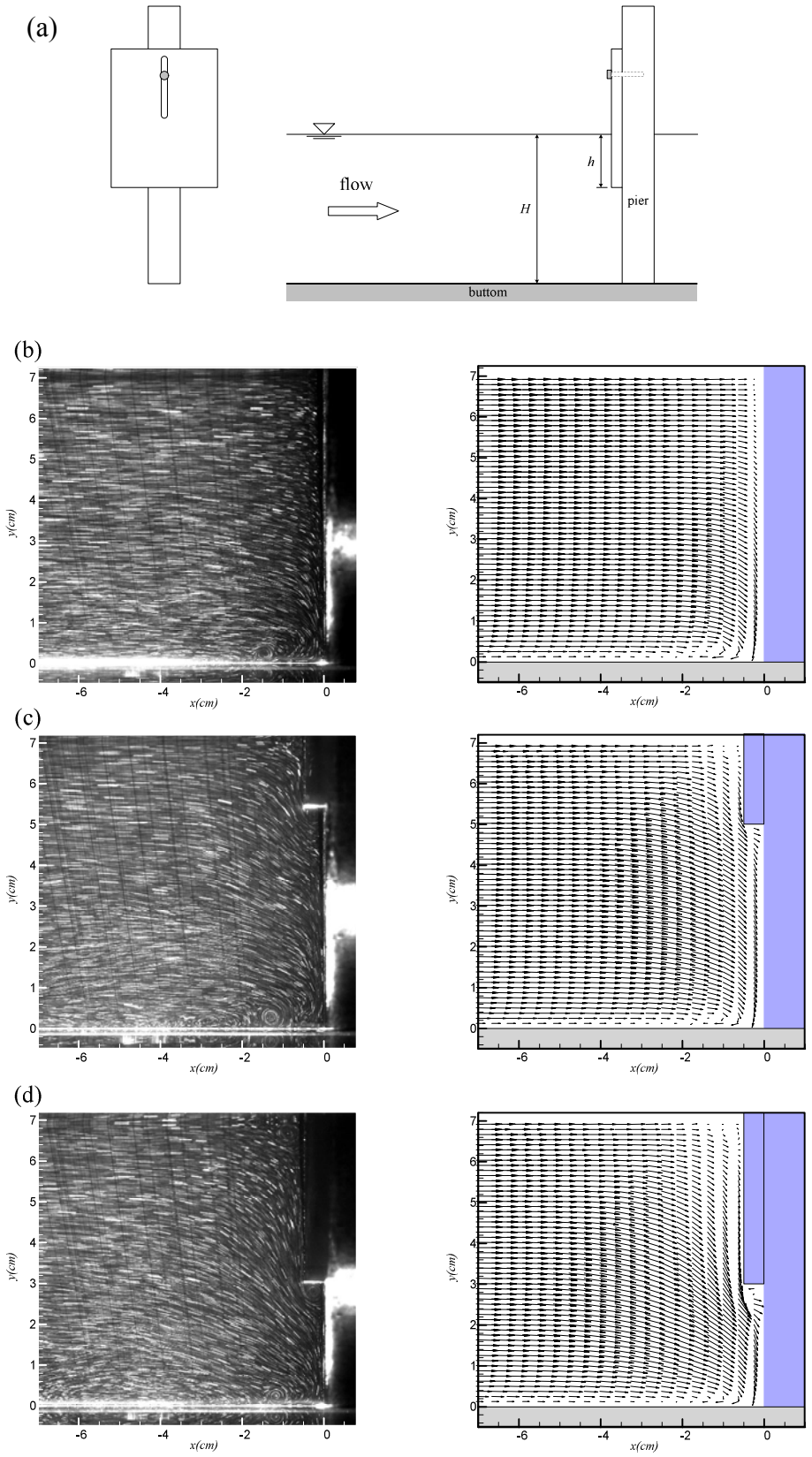


圖 8.8　模擬漂流木掛淤橋墩後，不同阻水量下之墩前下降流流場可視化及 PIV 速度場量測結果【林呈，2010】

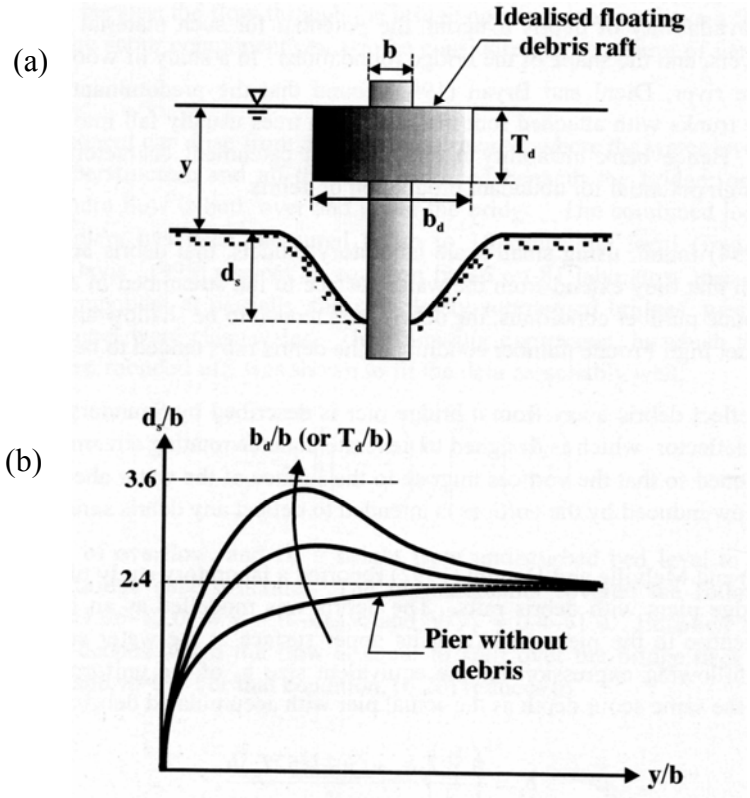


圖 8.9　漂流木掛淤橋墩與沖刷深度間之關係【摘自：Bridge scour，Melville and Coleman，2000】

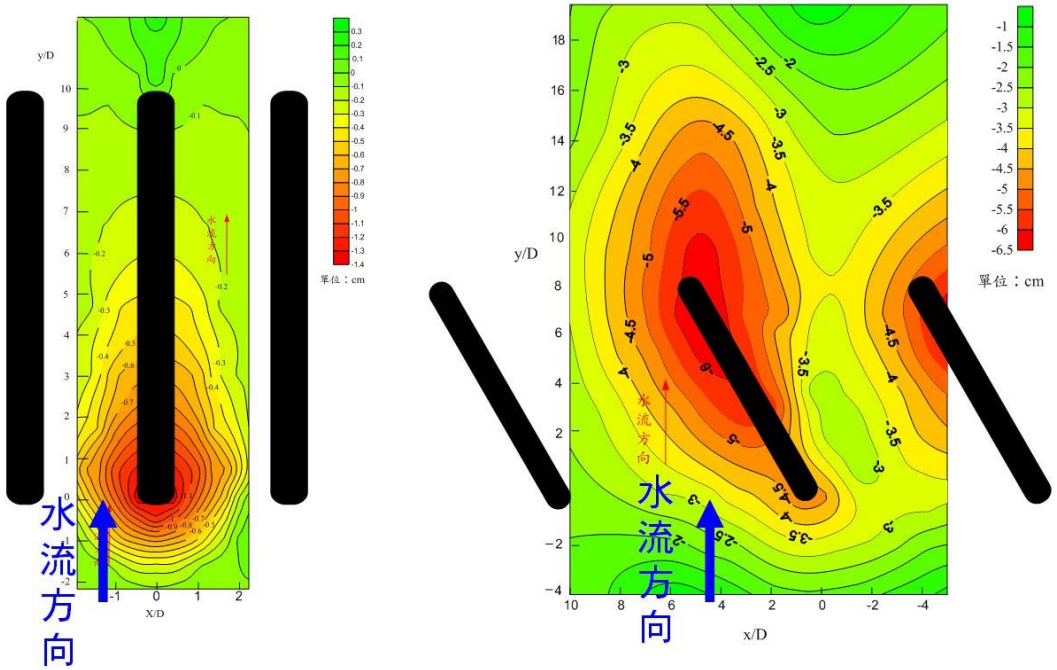


圖 8.10　不同水流攻角下沖刷坑之情形 (a) 水流攻角 0 度；(b) 水流攻角 30 度【林呈，2003】

就橋梁管理方面：

1. 現有國內橋梁規範之重新檢討

有鑑於上述諸多新型態災害機制之顯現，國內現階段相關橋梁設計規範之規定，是否仍滿足現地環境之需求，實有必要加以檢討。如現行設計規範中僅考量在自由流流況(橋梁上部結構未潛沒於水體中)下，僅靜水壓力及流水壓力(現行規範之流水動壓力係利用平均水流速估算)對橋墩作用力之影響，並未考量流水動態之瞬時作用特性，更未提及水位溢淹橋面版以上之作用力情形。規範中雖已規定橋梁之梁底高程需高於兩岸河堤，理論上應不致於發生水流溢淹等現象，然此次颱洪調查之結果顯示，水流溢流橋面等現象已發生於多座橋梁處，尤其是山區橋梁，而現行設計規範中對於動態水流對上部結構(橋面版及大梁)之拖曳力、升力等特性並未考量，若於未來有相同情況發生時，仍可能重複同樣之破壞模式。因此，對於現行橋梁設計、養護及維修等規範，實有必要進一步檢討。

2. 橋梁封橋水位、預警通報系統等研擬

為應付日趨惡化的氣候環境變遷，及降低災害發生時之人命傷亡，國內各橋梁管理單位積極投入封橋水位及預警通報系統等研究，惟目前封橋水位等研究範疇僅拘限於利用一般洪水之沖刷機制進行研判，如圖 8.11 所示為林(2004)所提出之封橋水位訂定一般流程。該流程雖可明確透過對橋梁之水理、沖刷及結構分析作業進行封橋水位之訂定，然該分析結果並無法反應上述等各項新的橋梁破壞機制，尚須透過特殊流況之觀測與現場判斷，作為封橋之依據。因此，上述橋梁致災機制之影響實有必要進一步納入特殊流況之內容，並針對各機制產生之影響進一步進行評估，而非僅以水位作為封橋、預警之依據。

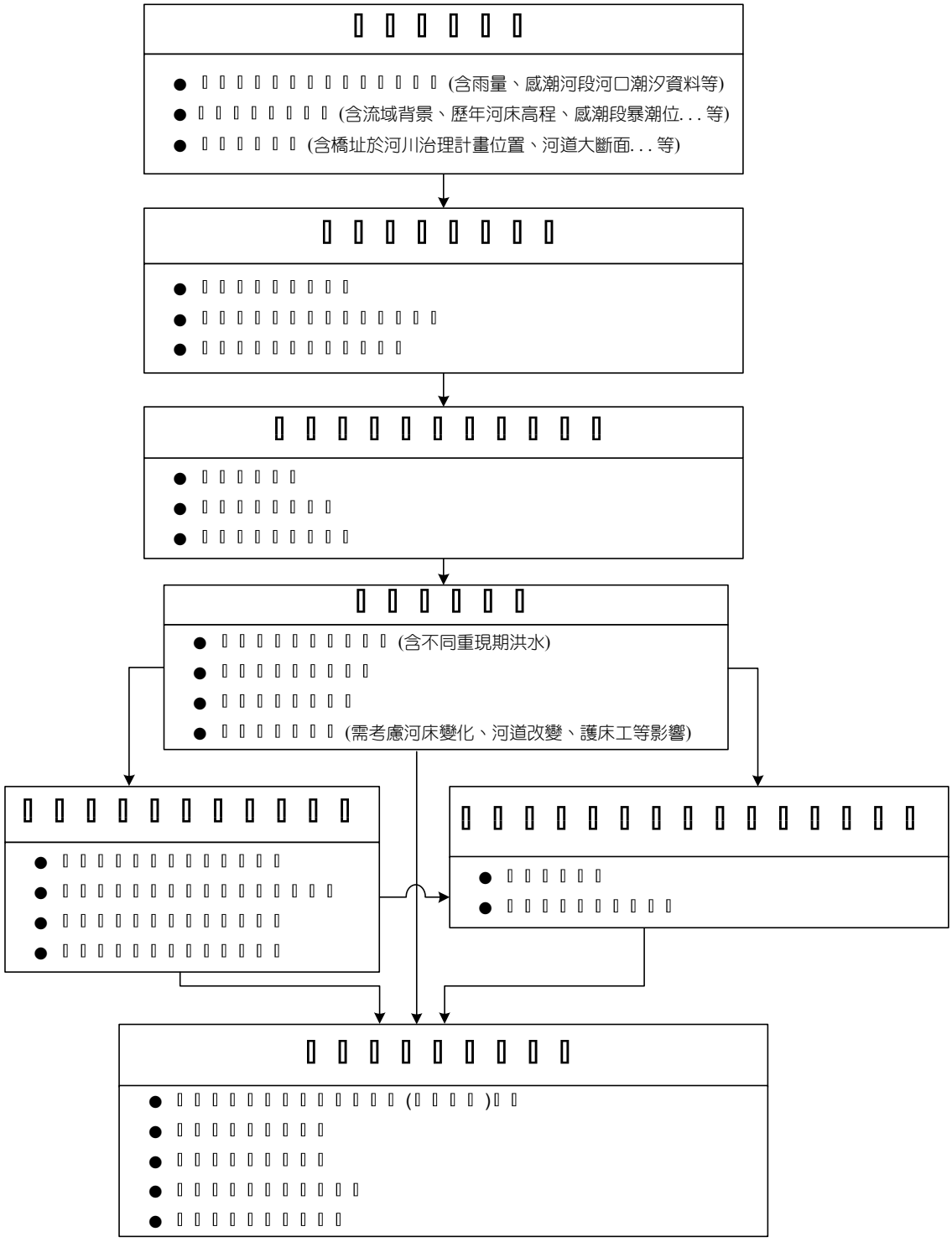


圖 8.11　跨河橋梁封橋水位訂定之一般流程【林呈，2004】

3. 災害敏感帶於國土規劃上之檢討

經由莫拉克颱洪之災害可知，由於地球暖化及全球氣候變遷，類此破歷年紀錄之降雨將可能再次發生，此氣候環境之劣化已然成為必須嚴正面對之課題。除面對未來可能之超大降雨外，海平面上升、地層下陷...等諸多問題，政府將無法避免去面對，對於諸如此次災區等災害敏感地區，除應加強防災建設與管理外，亦可透過現行之國土利用與規劃等檢討，重新訂定相關土地利用與規範，即可有效避免災害之發生與擴大，實為未來應重視的課題。

本計畫提出之未來可繼續研擬有關橋梁相關工程、防災、管理及維修等課題及課題間相互關係彙整如圖 8.12 所示。

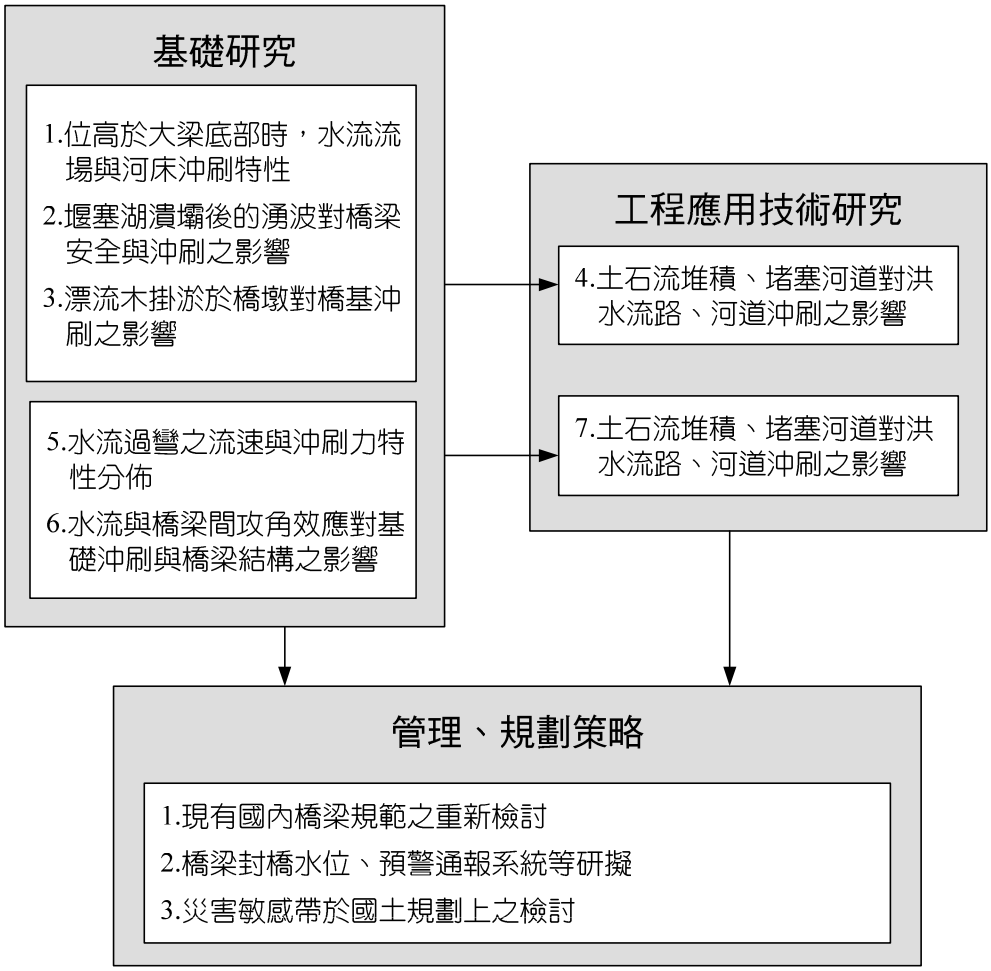


圖 8.12　本計畫所提出之未來研擬課題及課題間之相互關係圖

第九章　結論與建議

本計畫之主要目的係針對高屏溪流域於莫拉克颱風期間20座受損橋梁進行資料蒐集、災害調查與災因分析，以提供橋梁管理養護單位及相關從業人員對於此次災害之情況、及災害發生原因之深入瞭解，並根據災害成因進行復建或災防之評估。另外，依本計畫之災害調查與災因分析結果，提出未來可供研提之相關課題及橋梁維護管理措施，以達到防災目的。本計畫經實際現場調查分析後，可獲得以下幾點具體成果與結論：

9.1 結論

1. 根據莫拉克颱洪期間相關水文資料蒐集與分析結果可知，莫拉克颱風襲台期間，在本省中南部降下破歷年紀錄之雨量，尤其在本計畫範圍內之高屏溪流域，總降雨量均遠超過民國85年之賀伯颱風之最大降雨量，相當於全年平均降雨量之2/3。此外，降雨強度不論在連續24、48或72小時降雨延時下，多處山區甚至超過2000年重現期之累積雨量，此即為本次颱風造成多處嚴重災害最主要之原因。

2. 根據水利署對莫拉克颱洪期間之洪峰流量分析報告，顯示荖濃溪、旗山溪及高屏溪本流內各控制點洪峰流量均超過200年之重現期，已超過河道之計畫洪峰流量(100年重現期之洪峰流量)，大量之洪水順流而下，亦為造成沿線橋梁受損的主要原因之一。

3. 由所蒐集莫拉克颱洪後高屏溪流域內之地質災害，顯示主要之地質災害類型包括坡地崩塌、土石流及堰塞湖，且發生處遍及本流域之山區範圍內，此類大規模之土砂災害造成各河道內流路變遷不定，土石流及堰塞湖潰壩流更直接沖擊沿線之橋梁或其他構造物，致使流域內主要橋梁嚴重受損。

4. 本計畫利用計畫橋梁基本資料、莫拉克颱風之水文及土砂資料、橋梁之現地災損情形、現地居民訪談、航空衛星相片比對、災前災後相片比對…等相關調查資料，分別完成 20 座計畫橋梁之災因分析與受災流程圖(如圖 8.1 ~ 8.4)。

5. 透過橋梁災前相片資料之蒐集與災後實際之現地災害勘查，完成本計畫額外提供之 9 座橋梁災損報告(附錄一)。

6. 根據 20 座計畫橋梁及 9 座額外提供橋梁之資料蒐集、現地調查及災因分析結果，本計畫進一步分析彙整各橋梁於莫拉克颱風期間之致災機制，主要可分為：(1)洪水沖刷；(2)土石流作用；(3)漂流木影響；(4)堰塞湖潰壩影響等四大類，而各機制往往相互影響或相伴出現。本計畫亦完成各類致災機制之詳細說明、致災流程及相互關係。此外，由於諸多橋梁之災害型態屬複合型或多重型災害，詳列各橋梁之多重致災機制。

7. 透過莫拉克颱風主要受損橋梁災害調查與災因分析、統計結果，本計畫就橋梁設計、養護、維修工程等技術方面提出未來可進一步研擬之課題，包括下列七項：
   (1) 水位高於大梁底部時，水流流場與河床沖刷特性
   (2) 堰塞湖潰壩後的湧波對橋梁安全與沖刷之影響
   (3) 漂流木掛淤於橋墩對橋基沖刷之影響
   (4) 高水位、堰塞湖湧波及漂流木等作用間之相互影響
   (5) 水流過彎之流速與沖刷力特性分佈
   (6) 水流與橋梁間攻角效應對基礎沖刷與橋梁結構之影響
   (7) 土石流堆積、堵塞河道對洪水流路、河道沖刷之影響

8. 透過莫拉克颱風主要受損橋梁災害調查與災因分析、統計結果，本計畫就橋梁管理方面提出未來可進一步研擬之課題，包括：
   (1) 現有國內橋梁規範之重新檢討
   (2) 橋梁封橋水位、預警通報系統等研擬
   (3) 災害敏感帶於國土規劃上之檢討

9.2 建議

1. 由於高屏溪上游支流荖濃溪、旗山溪等河道因莫拉克颱風期間之大規模洪水、土砂災害，除造成橋梁、道路、堤防、護岸…等基本建設嚴重受損外，該區之河道及天然環境亦產生大幅改變，致使短期內無法達到抵禦一般洪水災害之能力。因此，應視實際改善工程之等級與進度，降低通報預警之標準，以確保人民生命財產之安全。

2. 本省山區橋梁之警戒、封橋作業標準，除了以通過橋梁之水位高低作為封橋標準外，應附帶其他特殊情況發生時之應變，如結合土石流、山崩、堰塞湖潰壩等觀測或預警資料，作為特殊情況封橋之依據。

本研究成果之效益：1.資料蒐集與災害現場調查之結果，可使相關工程人員瞭解此次災害中各計畫橋梁之破壞、受損情形。2.透過有系統之災因分析，可使橋管單位清楚瞭解與釐清各計畫橋梁之受損原因，以做為未來橋災害防治之參考。3.透過莫拉克颱風所造成之橋梁災害，提出未來可研擬之課題，可使相關研究人員清楚瞭解災害現場之各種問題，以結合實際問題與學理研究，有效提升國內之橋梁防災科技與維護管理技術。

參考文獻

1. 臺灣省水利局：高屏溪治理規劃報告，1981.6。
2. 臺灣省水利局：高屏溪治理基本計畫，1984.6。
3. 臺灣省水利局、臺灣省水利局規劃總隊：八十一年度灌溉取水工暨沉沙池工法技術研究報告（南部地區），1992。
4. 臺灣省水利局：高屏溪水系荖濃溪上游段治理規劃報告(大津至東溪大橋段)，1993。
5. 高雄縣政府：高屏溪水系荖濃溪上游段治理規劃報告(東溪大橋至寶來二橋段)，1993。
6. 臺灣省水利局、臺灣省水利局規劃總隊：高屏溪(里嶺大橋下游)河川低水治理規劃，1996.3。
7. 財團法人曹公農業水利研究發展基金會：旗山溪河床下降及防治之研究，1997.12。
8. 鄭俊澤、劉希羿：高屏溪河床穩定性及大型混凝土塊攔河堰功效調查研究：第一階段：曹公圳攔河堰改善方案及河床穩定性之先驅性研究，財團法人曹公農業水利研究發展基金會專案研究成果報告，1998。
9. 鄭俊澤、劉希羿：高屏溪河床穩定性及大型混凝土塊攔河堰功效調查研究：第二階段：曹公圳攔河堰改善方案及河床穩定性之先驅性研究，財團法人曹公農業水利研究發展基金會專案研究成果報告，1999。
10. 財團法人曹公農業水利研究發展基金會：旗山溪中游段採砂對高雄農田水利會取水設施影響之研究，1999.12。
11. 經濟部中央地質調查所：臺灣活動斷層分佈圖，2000。

12.財團法人曹公農業水利研究發展基金會：高屏溪河床穩定性及大型混凝土塊攔河堰功效調查研究（第三階段）堰與河床穩定性因素之加強規劃與分析，2003。

13.經濟部水利署水利規劃試驗所：河道水工構造物保護工法試驗研究(第四年)—以荖濃溪固床工為例，2004(a)。

14.經濟部水利署第七河川局、逢甲大學營建及防災研究中心：荖濃溪、隘寮溪河道疏濬與河床穩定研究(1/2)，2006。

15.經濟部水利署第七河川局、巨廷工程顧問股份有限公司：高屏溪(里港大橋至出海口)整體河性檢討之研究，2006。

16.經濟部水利署水利規劃試驗所：高屏溪支流荖濃溪上游段治理規劃(大津至東溪大橋段)(初稿未核定)。

17. 經濟部水利署水文資料服務網【http://gweb.wra.gov.tw/WebApplication2/】

18.經濟部水利署災害緊急應變作業系統網站【http://fhic.wra.gov.tw】

19.交通部中央氣象局網站【http://www.cwb.gov.tw】

20.林　呈：本省西部重要河川橋樑橋基災害分析與橋基保護工法資料庫系統之建立，交通部運輸研究所專題研究計畫成果報告，pp. 1 ~ 505，1998。

21.林　呈、蔡榮峻、施邦築：跨越土石流潛勢溪流之橋梁工程問題探討—以新中橫公路三座橋梁為例，中華水土保持學報，Vol. 32, No. 4, pp. 245 ~ 260，2001。

22.林　呈、李秉融：臺中市旱溪東門橋桃芝颱洪橋基塌陷之成因探討，臺灣公路工程，Vol.29, No.8, pp.2 ~ 34，2003。

23.林　呈、何宗浚、李秉融：桃芝颱洪引致東門橋塌陷之成因探討，中華水土保持學報，Vol. 34, No. 4, pp. 317 ~ 329，2004。

24.林　呈、褚柄麟、蔡清標：台 21 線等公路橋梁年颱洪土石流沖刷災

害復建資料編纂(第一 ~ 五冊)，交通部公路總局第二區養護工程處專案委託計畫，2006。

25.林　呈：二級古蹟下淡水溪鐵橋沖毀橋墩受災成因與因應對策，屏東縣政府，2006。

26.林　呈、沈明佑：濁水溪常受損河段治理工法研究(上、下)，經濟部水利署第四河川局，2007。

27.林 呈、高明哲、莊仁合、劉金昌：高屏溪下淡水溪鐵橋海棠颱洪沖刷受損成因探討暨後續維修之水理評估(Ⅰ)－颱洪沖刷受損成因分析,臺灣公路工程，Vol. 34, No. 1, pp.17-54，2008。

28.河川構造物災害調查研究會：河川構造物の被災形態とその事例集，大阪市，1985。

29.林　呈：跨河構造物防治沖刷之技術與策略研究—應用剛性或柔性攔砂堰作為橋基保護方法之評估探討，行政院公共工程委員會專題研究計畫成果報告，1999。

30.施邦築：土石流橋涵設計準則之研究，交通部科技顧問室專案研究成果報告，1999。

31.Melville, B. W., and Coleman, S. E., "*Bridge Scour*," Water Resources Publications, 2000.

32.林　呈：橋基跌水或水躍沖刷防治設計指引，中興工程顧問社專題研究計畫成果報告，pp. 1 ~ 402，2000。

33.國土開發技術研究センタ：護岸の力學設計法，2000。

34.林　呈：臺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(一～二)，交通部公路總局專題研究計畫成果報告，2002。

35.林　呈：橋基側向侵蝕防治技術與設計指引，中興工程顧問社專題研究計畫成果報告，pp. 1 ~ 524，2002。

36.林　呈、高明哲：橋梁沖刷檢測與潛勢評估，第三屆(2003)公共工程非破壞檢測技術研討會—橋梁檢測、監測與評估論文集，pp. 271～300，2003。

37.林　呈、施邦築、羅慶瑞、黃進坤：跨河橋梁訂定封橋水位，交通部公路總局專案研究計畫成果報告，pp. 1～544，2004。

38.唐治平、蔣偉寧、莊秋明、李錫堤、林　呈：高、快速公路橋梁鄰近區域之自然災害潛勢分析(洪水沖刷災害、土石流災害)，交通部公路總局專案研究計畫成果報告，pp. 4-1～5-24，2004。

39.林　呈、張荻薇、施邦築、羅慶瑞：河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究(一 ～ 三)，交通部公路總局專案研究計畫，2005。

40.林　呈：河川變遷、堤防保護與橋墩基礎型式選擇之整合研究，交通部臺灣區國道新建工程局、財團法人中華顧問工程司，2006。

41.林　呈：生態工法在橋梁工程應用之研究，財團法人中華顧問工程司，2006。

42.總統府：災害防救法，2000。

43.林　呈：建立災後重大公共設施安全驗證機制之研究—以橋梁、河海防構造物為例，行政院公共工程委員會專案研究計畫成果報告，pp. 1-1～7-6，2002。

44.經濟部水利署第七河川局：經濟部水利署第七河川局防汛手冊，2002。

45.林　呈、林蔚榮、高明哲、何宗浚、謝世圳：建立災後重大公共設施安全驗證機制之研究—以跨河橋樑為例，九十一年度防救災專案計畫成果研討會論文集光碟(MR05)，pp. 1～20，2003。

46.經濟部：水災災害防救業務計畫，2004。

47.經濟部：經濟部水利建造物檢查及安全評估小組設置要點，2004。

48.經濟部：經濟部水災災害支援協助處理項目及程序要點，2004。

49.行政院公共工程委員會：公共設施災後復建工程經費審議作業要點，2004。

50.經濟部水利署：經濟部水利署工務處理要點，2005。

51.經濟部水利署：經濟部水利署辦理天然災害緊急工程處理要點，2005。

52.經濟部水利署：經濟部水利署災害緊急應變小組作業要點，2005。

53.經濟部水利署：經濟部水利署防汛搶險器材管理要點，2005。

54.Douglass, S. L., Chen, Q. J., Olsen J. M., Edge, B. L., and Brown, D., "*Wave forces on bridge decks*," Report of Federal Highway Administration, U.S., 2006.

55.經濟部水利署：經濟部水利署暨所屬機關重大事件前進指揮所作業要點，2006。

56.林 呈、林蔚榮、何宗浚、高明哲、何鴻文：跨河橋梁基礎洪水沖刷之安全檢測與因應作為，臺灣公路工程, Vol. 33, No. 8, pp. 2 ~ 48，2007。

57.林 呈、高明哲、蔡榮峻、何鴻文：橋基沖刷災害與相關之維護管理(2)-橋梁沖刷監測預警系統及其功能評析，臺灣公路工程，Vol. 33, No. 1, pp. 2 ~ 38，2007。

58.林 呈、高明哲、蔡榮峻、何鴻文：橋基沖刷災害與相關之維護管理(1)-動態橋梁安全管理機制與碧利斯颱洪高屏大橋沖刷斷橋過程，臺灣公路工程，Vol. 32, No. 17 - 18, pp. 2 ~ 43，2007。

59.Guo, J., Kerenyi, K., and Pagan-Ortiz, J. E., "*Bridge Pressure Flow Scour for Clear Water Conditions*," Report of Federal Highway Administration, U.S., 2009.

60.經濟部水利署水利規劃試驗所，莫拉克高屏溪水文分析報告，2009。

61.經濟部水利署，莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析，2009。

62.陳天健、吳嘉俊、翁孟嘉、謝坤宏、王建智：莫拉克颱風荖濃溪坡地災害調查，地工技術--莫拉克颱風之地工災害，Vol. 122, pp. 13 ~ 20, 2009。

63.陳樹群、許中立：莫拉克颱風形成之堰塞湖及危險度評估，地工技術--莫拉克颱風之地工災害，Vol. 122, pp. 77 ~ 86, 2009。

64.陳天健、吳嘉俊、翁孟嘉、謝坤宏、王建智：莫拉克颱風荖濃溪坡地災害調查，地工技術--莫拉克颱風之地工災害，Vol. 122, pp. 13 ~ 20, 2009。

65.交通部：公路橋梁設計規範，2009。

66.公路總局：公路總局平時養路巡查要點。

67.交通部：公路修建養護管理規則。

68.交通部：交通部重大災害防救緊急應變通報作業要點。

69.公路總局：交通部公路總局災害搶救任務編組。

70.公路總局：交通部公路總局防颱措施及災害、交通事故處理要點。

71.經濟部水利署災害緊急應變系統網站。

附錄一

額外提供橋梁之災損畫面

附錄一　額外提供橋梁之災損畫面

現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	楠梓仙溪橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	楠梓仙溪橋莫拉克颱洪前後之比較		

莫拉克颱洪前橋梁未受災之情形

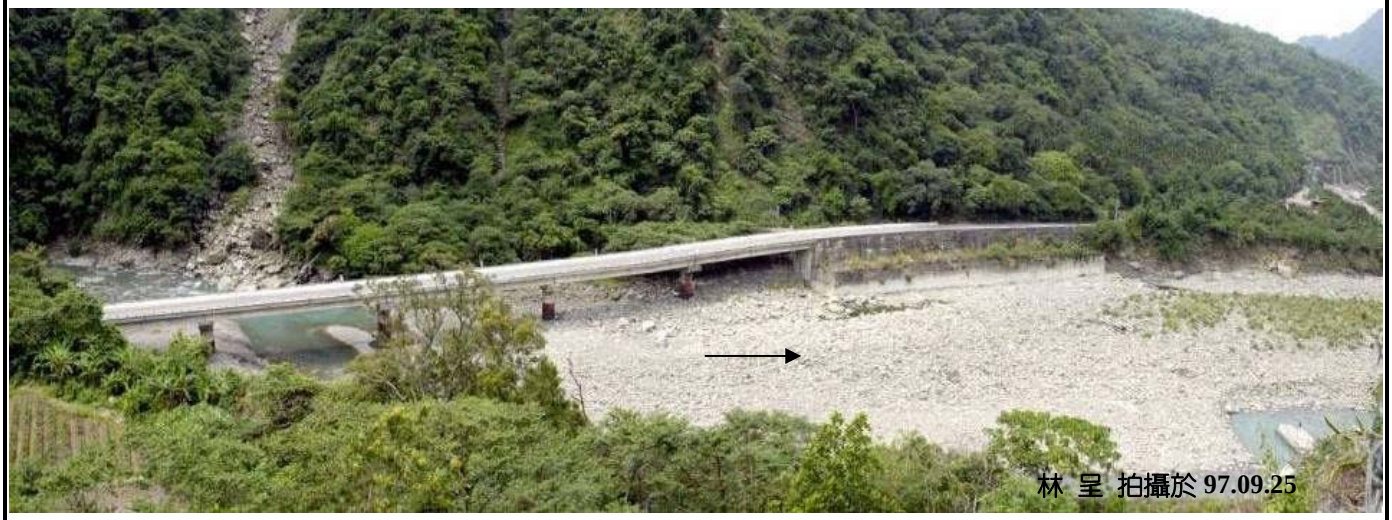


莫拉克颱洪後斷橋之情形



現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	第十二號橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	第十二號橋於莫拉克颱洪前後之比較		

莫拉克颱洪前橋梁尚未受災之情形



莫拉克颱洪後橋面版遭沖毀及河道變寬之情形



現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	第十四號橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	第十四號橋莫拉克颱洪前後左岸上游側往橋拍攝之比較		

莫拉克颱洪前由左岸上游側往橋拍攝之情形



莫拉克颱洪後之橋址及引道遭土石流流失之情形



現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	第十四號橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	第十四號橋莫拉克颱洪前後下游側左岸往對岸拍攝之比較		

莫拉克颱洪前下游左岸拍攝橋梁之情形



莫拉克颱洪後下游左岸拍攝遭土石流流失之橋址位置



現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	第十五號橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	第十五號橋莫拉克颱洪前後橋梁及牌樓情形		

莫拉克颱洪前牌樓及橋面版尚未損毀之情形





莫拉克颱洪後牌樓及橋址遭沖毀之情形



現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	民族橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	民族橋莫拉克颱洪前後之比較 （成功大學遙測影像處理與地球環境監測實驗室）		

莫拉克颱洪前情形



莫拉克颱洪橋梁遭流失、河寬變寬情形



現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	民生大橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	民生大橋莫拉克颱洪前後之比較（由 A2 往 A1 方向拍）		

莫拉克颱洪前橋梁之情形



莫拉克颱洪後右岸沖蝕崩塌嚴重後退，A2 已沖失不見。



現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	民生大橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	民生大橋莫拉克颱洪前後之比較（由下游往上游方向拍）		

莫拉克颱洪前橋梁之情形



莫拉克颱洪後下游側右岸往橋址處拍攝，橋梁及 A2 橋台遭流失。



現　　場　　觀　　測　　相　　片		
構造物名稱	綠茂橋	
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段	
說　　明	綠茂橋莫拉克颱洪前後之比較	

莫拉克颱洪前橋梁上下游之情形



莫拉克颱洪後 A1 橋台及橋面版、引道遭土石流損壞之情形。



現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	塔拉拉魯芙溪橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	塔拉拉魯芙溪橋莫拉克颱洪後之受損情形		

莫拉克颱洪後橋梁受損及 A2 橋台沖毀之情形







現　　場　　觀　　測　　相　　片			
構造物名稱	撒拉啊塢橋		
管理單位	第三養護工程處甲仙工路段		
說　　明	撒拉啊塢橋莫拉克颱洪前後之比較		

莫拉克颱洪前橋梁之情形





莫拉克颱洪後 A1 橋台及橋面版、引道遭土石流流失，左岸野溪土石流形成沖積扇。



附錄二

期初簡報審查會議結論答覆

(簡報日期：98 年 11 月 06 日)

期初簡報審查會議結論答覆

審查意見	執行單位答覆意見
陳教授陽益： 1. 本計畫研究方向已掌握主要的重點原因，如土石流減少行水斷面面積，激流沖刷堤基與引道及大量浮在高水位表面的漂流木被橋攔阻連續衝擊橋梁等等，致使橋梁斷橋的主體原因已被陳述，值得肯定。 2. 建議橋梁容許上點諸原因同時，作用力的設計形式與設計力如何，請述明一下。	1. 謝謝委員肯定。 2. 相關之作用力分類及對橋梁之影響，本計畫已於各計畫橋梁災害成因中以定性方式補充說明。
許技正書王: 1. 未來研究成果引用之照片，其內容時間點與拍攝時間差應予以說明，以免誤會。 2. 有關定性式測量之研究，現地調查研究規劃及內容應敘明。 3. 10 年以上斷橋若位屬河海交接口，建議取樣對老劣化作探討，以了解橋梁構造現況，以便與相關資料作比對。 4. 未達警戒水位而橋斷之原因，須有明確佐證。	1. 遵照辦理。 2. 已說明於期中報告中。 3. 現地災害調查中，已將老劣化等因素納入，惟僅能針對尚未沖失之橋體進行研判。 4. 遵照辦理。惟一般警戒水位之訂定非以沖刷或結構之考量，故僅能做為參考之用。
朱金元科長： 1. 建議分析河道在洪水期間水位之變化，檢討行水斷面積是否足夠。	1. 根據期中報告中各橋梁災害調查及災因探討之成果，未來將以大洲大橋作為水理檢算案例，並將於期末報告中提出。
主席結論： 1. 藉由此計畫的現地調查與災因分析，提出未來研究方向，提供橋梁興建與維護上的檢討。	1. 遵照辦理。

附錄三

第一次專家座談辦理情形

(日期：99 年 1 月 27 日)

期中專家諮詢會議

壹、 計畫名稱：「莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析」

貳、 計畫編號： MOTC-IOT-98-H1EB004

參、 會議時間：民國 99 年 01 月 27 日（星期三）下午 02 時 30 分

肆、 會議地點：港研中心辦公大樓 2 樓會議室

伍、 主持人：港研中心　邱永芳 主任

陸、 記　錄：

柒、 出席單位及人員：

	簽　名
公路總局養路組　何副組長 鴻文	何鴻文
公路總局第二區養護工程處　陳處長 進發	陳進發
暨南大學土木系　羅教授 慶瑞	羅慶瑞
公路總局養路組　吳前組長 鎮封	吳鎮封
港研中心	邱永芳
	饒正
	張道光 林雅雯
	葉明邑 汪書瑜
	郭庭鳴 陳家隆
中興大學	✓林曼
	謝世仁
	林怡如

會議辦理情形







專家學者意見與答覆

專家學者意見	執行單位答覆意見
何副組長鴻文：	
1. 計畫緣起目的之目的不清楚，1-1、1-3調整強化。	1. 遵照辦理。
2. P24 研究流程之橋梁基本資料、河川基本資料及水文資料列為第一期工作項目，把橋梁受損資料提到第一期工作中，在進一步做災因分析探討。	2. 遵照辦理。
3. 土石流造成堰塞湖潰堤海嘯效應對跨河橋梁沖擊，在之後的報告中進一步做分析探討。	3. 將於期末報告中提出此研究議題之初步構想與未來研究方向。
4. 感潮河段（雙園大橋）在洪峰加上退潮的時間，雙重力量的衝擊，進一步做探討。	4. 已於期中報告中增補有關潮汐對水流影像上之定性描述，未來若有相關研究報告，將蒐集於本報告之文獻中。
5. 莫拉克颱風主要是攻角效應造成災害，進一步作分析探討	5. 有關雙園大橋攻角效應之影響說明，已補充於期中報告中。
陳副處長松堂：	
1. 災損資料及實際相片表現於工作成果上。	1. 遵照辦理。
2. bending failure 造成橋梁損壞，基礎承載力不足、或是橋梁構件強度不夠而損壞，應進一步做原因分析。	2. 本計畫僅針對現場之災害成因進行探討，於計畫中將說明橋梁受力或破壞之可能成因，至於詳細之結構與材料分析，非屬本計畫範圍。
3. 橋梁下部結構裸露受洪水、土石流、漂流木撞擊或掛淤產生之推力是否均勻作用於深基礎，如樁基礎，其影響安全如何？能否加以分析。	3. 本計畫將視現場實際災害狀況與破壞情形加以分析研判，並於報告中提出。
4. 旗尾橋下部結構損壞情況不同照片，其損壞原因是否亦不同，建議能加以評估說明。	4. 就現場相關證據初步研判，可能為漂流木掛淤量不均勻或水流作用力不均所造成，亦有可能有部分橋墩因沖刷而流失，而詳細說明將於期末報告中提出。
5. 彎岸沖刷造成橋梁裸露問題，是否能將台 1 線溪洲大橋及 145 縣西螺大橋沖刷問題一併納入本研究。	5. 各橋梁之狀況不同，且目前已有相關研究正在進行，請委員參酌。

專家學者意見	執行單位答覆意見
吳組長鎮封： 1. 書面資料沒有對 20 座橋照片，之後可以多增加照片。 2. P17 附表九曲堂資料增加至今年。 3. P18 標方向道路標示。 4. P20 河床回淤問題可否提供工法及施工問題。 5. 未受損九座橋梁，未來安全建議。 6. 請研議提供下次斷橋之檢視方式，以利橋梁管理單位後續若遭災害橋梁可作為分析之參考。	1. 已於期中報告中增補 2. 已增補。 3. 遵照辦理。 4. 河床有回淤之趨勢，主要原因為河川砂石開採之禁止，使高屏溪回到自然之平衡狀態，此現象將有利於橋梁安全。 5. 本計畫額外提供之九座橋梁已受到災損，目前僅提供災損畫面以供參考。 6. 將於期末報告中彙整各橋梁災損原因及現場狀況，以供未來橋梁管理單位後續勘災之參考。
羅慶瑞教授： 1. 表 2-1-1 旗山溪之不同 Fr 的洪峰流量表中，月眉～甲仙大橋合流前之各於數據，為何 Q_{20} 與 Q_{10} 均相同。 2. 表 2-1-4 荖濃溪粒徑 n 值，可知民國 70 年者與 91 年比尺，粒徑變小，n 值亦變小，故流速變大，破壞能量加大，河床因而下切。 3. 表 2-1-12 西元 1964 年之數據為何？是否有誤？或標示錯誤？ 4. 表 3-3-1 累積雨量，尾數有小數點者，應予以進位成整數，不必拘泥於氣象局之記錄。 5. 下列議題應進一步研究： (1)潰壩工之佈設與橋址處之下上游一段間距，其因 n 直改變，致使其 $\frac{dp}{dx}$ 與 $\frac{du}{dx}$(x 為水流方向)的短距改變，其所影響之大小（含流速、剪應力、能量與其消散）一併研究： a.潰壩工上游與原河床接觸處之水流流況與沖刷表。 b.潰壩工下游與原河床接觸處之跌水流況與能量大小及其消散機制。	1. 已更正，謝謝委員意見。 2. 民國 70 年至 91 年間河床下降主要與河道中砂石開採有關，至於河床質細粒化之影響，相對上應不明顯。 3. 已更正，謝謝委員意見。 4. 該記錄小數點後為估計值，估計值大小為 0.5 mm，應仍屬合理範圍。 5. 謝謝委員提供相當多的寶貴意見，相關研究議題將於期末報告中提出

專家學者意見	執行單位答覆意見
(2)橋墩之馬蹄渦其流速分佈、渦度強度之函數，進而建立因渦流強度所致生之動量與能量之等高線圖，推算其可能造成沖刷之等河床線，若可能則可輔以一些實驗予以驗証之。 (3)土石流所致生之快速異重流與慢速異重流其分別對河床下刷與河道淤塞，減少通水面積與推移橋梁之作用有進一步研究。快速異重流對橋墩上游側之衝擊作用應可一併研究。掛淤之橋梁的推力與彎矩作用亦同。 (4)報告中應可對固床工在保護工之優缺與分析設計應考量機制與公式予以著墨。 (5)感潮段橋梁在洪水與海潮（退潮）及洪水攻角之作用。	
主席結論： 1. 期望能藉由本計畫的現地調查與災因分析成果，提出未來橋梁技術相關之研究方向。	1. 遵照辦理。

附錄四

期中簡報審查會議結論答覆

(簡報日期：99 年 02 月 11 日)

期中簡報審查會議結論答覆

審查意見	執行單位答覆意見
國立成功大學水利及海洋工程學系 **蔡長泰 教授(共 5 項)**	
1.資料蒐集很豐富，工作效果佳，成果有參考利用價值。	1.謝謝委員肯定。
2.由橋梁損壞後的河床觀察，有沖刷（六龜大橋、雙園大橋），也有淤損（四德、寶來二橋），二者均與豪雨洪水有關，沖刷及淤積只是損壞誘因，但橋梁本身的現況強固程度應加探討。	2. 如委員所述，各橋之破壞原因均不同，此即牽涉到橋梁所在之河道特性，以及橋梁受災前之實際情形，而橋梁本身結構、基礎深度、橋梁形式…等，亦應為災因分析重要參考。本計畫已適度於各橋中加強說明，如淺基礎或淨高與跨徑相對不足等橋梁之影響。
3.雙園大橋於民國 70 年完工，由 p3-20 之深槽圖，在雙園大橋處由民國 64 年至 84 年已有明顯沖刷，84 年以後改變較小，因此雙園橋橋墩所能承受的洪水衝擊能力是否已降低至安全標準以下。	3.早期之河床下降，造成橋梁抗洪能力降低，故橋梁管理單位已於民國 92 年針對河道深槽 P5~P14、P22~P25 及 P30 等橋墩進行托底工程。然根據本團隊於颱洪前之河床量測結果，P5 已裸露約 6 m，故仍屬有沖刷疑慮之橋梁，詳參 7.1 節。
4.越流、射流等，需考慮下游尾水、橋孔寬與橋墩寬比值等之影響。	4.謝謝委員提供之意見，有關此課題之相關影響因素相當多，本計畫已於期末報告中納入委員建議(詳參 8.3 節)。
5.漂流木比重比水小，會漂流或因漩渦而潛於水面下，但是否在洪水期間掛淤或是洪退時掛淤，建議探討。	5.根據本團隊於颱洪期間之現場觀測與颱洪後之調查顯示，漂流木大部分之掛淤發生於洪水通過期間，故特於本計畫中提出此現象對橋梁可能造成之影響，以作為未來可進一步研擬之課題(詳參 8.3 節)。
交通部公路總局第二區養護工程處 **陳進發 處長(共 2 項)**	
1.本災因報告內容十分詳盡，肯定研究團隊之努力。	1.謝謝肯定。

審查意見	執行單位答覆意見
2.從災因研究中，是否可研議本年度汛期時公路養護單位應首要注意事宜及緊急補強工法？	2.非本計畫研究範圍，且各橋梁所應注意是事宜均不同，且相關問題亦相當複雜，實有困難一一詳述於報告中，懇請委員惠予諒解。本計畫僅就一般性注意事項及建議進行說明，詳參 8.2 及 9.2 節中所述。
交通部公路總局第三區養護工程處 **黃三哲 處長(共 5 項)**	
1.p1-2 表 1-2-1 請改以路線別彙整。	1.該表為上網公告之內容，本計畫已依路線重新彙整各橋梁(包括本團隊額外提供的 9 座橋梁)之災損概況，詳參 p2-6 中表 2-4-1。
2. p2-5 民國 99 年 2 月 27 日筆誤，請修正。	2.已遵照辦理。
3.p5-45 臺 28 旗尾橋係於 61 年及 76 年興建之二代橋，基本資料補充相關資訊。	3.已於報期末告中增補。
4.p6-116 及 p6-128 之(4)其他…可能發生老化及劣化之現象，係推測之語句，請修正刪除。	4.已遵照辦理，謝謝委員指正。
5.p6-141 橋梁受災成因(3)所敘述之因不合理，並非可歸類之原因，應請詳細檢討修正。	5.謝謝委員指正，本計畫已重新檢討該橋之致災成因，並已於期末報告中進行修正。
交通部科技顧問室 **許書王 技正(共 4 項)**	
1.警戒水位未來是否建議調整？如有請研提參數。	1.警戒水位應以橋梁現況、河道變遷趨勢、保護工情形…等相關參數為依據，進行橋址處之河道水理、沖刷及橋梁結構等分析，以訂定橋梁於颱洪期間之警戒、封橋水位，且於每次颱洪後均需根據依河床現況重新修正、調整，目前公路總局各區工程處已針對相關課題進行研究。此外，本計畫亦已於期末報告中說明河床變動、土石流、堰塞湖等災

審查意見	執行單位答覆意見
	害發生時，不應僅以現行警戒、封橋水位作為依據，而需納入更多特殊情況作為輔助參考(詳參8.3及9.2節)。
2.從橋梁角度橋型、橋址、橋齡、橋構與土石流及洪水沖刷之間是否有影響，是否有可建議於未來補強及新建設計時之參考。	2.謝謝委員意見，此非本計畫研究範圍，但本計畫將於各橋中適時加入類似觀點與災害發生之關連性，另就一般性注意事項及建議進行說明，詳參8.2及9.2節。
3.建議研提本部相關規範是否有不足地方之建議，如壓力水流（pressure flow）。	3.謝謝委員提供之建議，本計畫已參考相關規範內容，並依計畫災害調查結果，針對規範不足之處提出相關議題，以供未來研擬之用(詳參 8.3節)。
4. 以宏觀觀之，國土規劃的問題是否可在災因分析之期末報告列入建議事項。	4.遵照辦理，謝謝委員提供之寶貴意見(詳參8.3節)。
交通部公路總局(共2項)	
1.建議儘量將所蒐集到的資料，如雨量站、水位站及堰塞湖等位置，套繪在同一張圖層上，俾利作為多重災因相關關係之判釋。	1.已遵照辦理，詳參圖4-2-5所示。
2.建議製作橋梁受災成因之流程圖，俾利更容易看出橋梁受災成因之多重關係。	2.遵照辦理，謝謝委員提供之寶貴意見。(詳參第五～七章中各橋梁災因分析及8.1節之內容)
交通部運輸研究所港灣技術研究中心 **謝明志 科長(共3項)**	
1.研究團隊收集資料豐富，致災初步原因的探討，也有利用精密儀器，如高速攝影機的錄製分析，成果值得肯定。	1.謝謝肯定。
2.報告陳列條理分明，但建議在第二章再列一張表，分流域、路線及上下游橋梁順序排列，把第五章之後，研究調查成果的陳列，預做鋪陳。	2.遵照辦理，已於期末報告中依路線重新彙整各橋梁(包括本團隊額外提供的 9 座橋梁)之災損概況，詳參p2-6中表2-4-1。

審查意見	執行單位答覆意見
3.漂流木比水輕，所造成的沖擊影響或其他原因值得探討。	3.本計畫已於期末報告中，將針對漂流木所可能造成之影響，進行初步之研擬與分析(詳參 8.1 及 8.3 節)。

附錄五

第二次專家座談辦理情形

(日期：99 年 4 月 29 日)

第二次專家諮詢會議

壹、 計畫名稱：「莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析」

貳、 計畫編號：MOTC-IOT-98-H1EB004

參、 會議時間：民國 99 年 04 月 29 日(星期四)下午 02 時 30 分

肆、 會議地點：港研中心辦公大樓 2 樓會議室

伍、 主持人：港研中心 邱永芳 主任

陸、 記錄：

柒、 出席單位及人員：

		簽名
公路總局養路組	何副組長 鴻文	
公路總局第二區養護工程處	陳副處長 松堂	
公路總局	吳前副局長 瑞龍	
公路總局養路組	吳前組長 鎮封	
暨南大學土木系	羅教授 慶瑞	
港研中心		
中興大學		

會議辦理情形











專家學者意見與答覆

專家學者意見	執行單位答覆意見
吳組長鎮封：	
1. 資料蒐集與整理相當豐富，災因判識亦相當有條理，能在這麼短的時間內有這樣的成果值得肯定。	1. 感謝委員的肯定。
2. 高屏溪砂石之盜採是否亦為此次災害的主要原因之一？	2. 謝謝委員意見，已於期末報告中適時補充說明。然而，本計畫主要針對莫拉克颱風期間之致災成因進行探討，有關早期河道砂石盜採之影響應屬遠因，且近年亦已受到控制，如 3-4 節所述，且相關之影響主要集中於下游段橋梁。
3. 雖本計畫並無提出相關因應對策之工作內容，是否仍請研究團隊於災害調查中之經驗，提出些許相關建議或列入未來研擬議題中，以供公路單位參考。	3. 遵照辦理，惟每座橋梁之情況不同，本計畫僅針對一般性則提出建議及注意事項，詳參 8.2 節。
4. 報告中提及有關封橋水位及預警通報系統等未來研擬方向，實有助於災害的防治，尤其是橋梁之預警通報系統，目前尚未受到重視，實為未來需注意之課題。	4. 感謝委員意見，已於期末報告中補強相關內容(詳參 8.3 節)。
吳副局長瑞龍：	
1. 本報告內容豐富且詳細，有重要參考價值，相當值得肯定。	1. 感謝委員肯定。
2. 有關雙園大橋或其他橋梁之災害成因之推論，均有一定之依據與程序，結果亦相當合理。	2. 感謝委員肯定。
3. 前言中「救災速度緩慢…」，請修正。	3. 已遵照辦理。
4. P7-27 頁中，相片 7-1-8 可能會造成誤解，請更替或刪除。	4. 已遵照辦理。
5. 雙園大橋橋梁基本資料表水平地表加速度應為 0.28G，請修正。	5. 已修正。
6. P8-2 頁中，河道束縮因素中應包括高灘地阻水之影響，請補充說明。	6. 已於期末報告中補充。

專家學者意見	執行單位答覆意見
陳副處長松堂：	
1. 雙園大橋等以時間軸方式進行之災因判識相當清楚，不知其他橋梁之致災成因是否亦可使用類此發生時間前後之方式，說明災害發生之歷程與機制。	1. 相關時間歷程之獲得主要是透過當地訪談，才能判別當時情境，然許多橋梁本身災害發生時並無相關資料，僅能以最後結果判斷之，故除證據充分外，實難以時間歷程方式說明，懇請委員諒解。若於證據充分之情形下，本計畫將盡量依此方式說明災害成因。
2. 小林村附近之幾座橋梁主要是因山崩及堰塞湖效應等大規模災害，瞬間即造成損毀，故不屬於沖刷、土石流或漂流木影響等範疇，建議可將堰塞湖潰決等另外分離出來進行討論。	2. 正如委員所述，有關堰塞湖潰決之影響甚為複雜，應將其相關機制另外分離出來，並已於期末報告中提出(詳參 8.1 節)。
3. 台 21 線第九號橋無災害流程圖，是否需補充？	3. 已補充，謝謝委員意見。
何副組長鴻文：	
1. 請補充說明潮汐對河川水流之影響。	1. 已補充說明(詳參 8.2 節)。
2. 雙園大橋之反循環基樁樁徑由 90 公分變化至 76 公分之位置，不宜稱為「接樁」。	2. 已修正，謝謝委員意見。
3. 公路總局委託中華顧問工程司正配合現地開挖及其他探測技術在探討雙園大橋斷橋原因，請蒐集該案之初步結果，配合本案之分析，探究斷橋之可能原因。	3. 該計畫預計至今年七月方可完成，相關探測報告目前亦尚未公佈，惟根據該計畫之期初報告內容，針對雙園大橋可能之致災原因與本計畫內容相符。
4. 依本報告堰塞湖分為：(1)一般認知因土石堆積形成之堰塞湖；(2)橋梁掛淤形成之堰塞湖。後續報告如擬將堰塞湖列為重要因素之一，宜分列清楚。	4. 已遵照辦理，詳參 8.1 節。
5. 報告 P8-9 流程圖之部分受損原因未與結果連結，請修正。	5. 已修正，惟部分災因將衍生其他相關災害，故災害流程之連結將跳至其他流程，而未直接連結至結果。
6. 建山一、二橋及民生橋等三座橋梁，因莫拉克颱風後地形地貌變動太大，已由「省道老舊受損橋梁緊急改建計畫」內	6. 已遵照辦理。

專家學者意見	執行單位答覆意見
移除，另案辦理，報告內請補敘。	
7. 颱風後，部分橋梁附近河道大幅展寬，是否亦為災害原因之一。	7. 河道展寬實為部分橋梁之主要受災原因之一，期末報告中已適時強化相關說明。
謝明志科長： 1. 非常肯定研究團隊的研究成果，尤其是破壞流程圖之製作，更能清楚說明災害破壞之成因與流程，相當值得參考。	1. 謝謝委員肯定。
2. 對於本報告所提出未來之研究課題與方向，確實均屬非常有意義之課題，不知是否能進一步依各課題之相關性、長短期與難易度進行研究順序之建議，以供本中心未來研究之參考。	2. 已遵照辦理，詳參 8.3 節。
主席結論： 1. 災害成因是否與橋梁所在環境(如上、中、下游)有關。 2. 橋梁結構本身問題之影響。	1. 遵照辦理，已補充說明於 8.1 節中。 2. 橋梁結構本身問題相對於其他災害成因相對較不明顯且不易判識，故僅就有明顯現象之橋梁補充說明，如淺基礎橋梁(新發大橋、四德橋...)。

附錄六

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-98-H1EB004

計畫名稱：莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析

合作研究單位：國立中興大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
國立中央大學土木工程學系 周憲德 教授(共 8 項)		
1.本報告內容豐富，研析深入，僅予高度肯定。	1.謝謝委員肯定。	同意
2.漂流木問題在莫拉克風災引致的橋梁災害中是一重要因素，建議比對杉林大橋及月眉橋之可能流況，其未發生災害與下游的旗尾橋及新旗尾橋之原因做一對比。	2.杉林大橋與月眉橋未發生明顯漂流木掛淤情形，主要原因可能為兩橋之橋孔淨高較高，通水較為順暢，且無溢淹橋面之情形，故減少漂流木掛淤之機會。詳細說明已補充於報告中，詳參 5.5 節中所述。	同意
3.第四章圖 4-1-7 ~ 4-1-10 中，請註明起始日期，並以 0、6、12、18、24 小時為間距，以利閱讀。	3.已遵照辦理，詳參 4.1 節。	同意
4. p7-18、圖 7-1-13 宜引用上游(甲仙站、御油山站)雨量站。	4.已遵照辦理，詳參 7.1 節。	同意
5.p7-20，請查核東港潮位站在 8 月 5~7 日是否正確，或屬暴潮影響。	5.根據潮位資料與莫拉克颱風襲台路徑比對，顯示水位資料抬昇	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	部分應屬暴潮(氣象潮)之影響，並已補充說明於 7.1 節中。	
6.雙園大橋托底保護工是否含有浮木堵塞效應，請加以評估。	6.雙園大橋跨徑相對較小，托底後之阻水增大，加上水流之攻角效應，確實可能增加漂流木掛淤之機會，現場調查亦發現有明顯漂流木掛淤之現象，已補充說明於 7.1 節中。詳細之證據應透過開挖橋體後方能證明。	同意
7.圖 4-2-5 中建議加入橋梁破壞之型態(土石流、浮木、沖刷等)。	7.由於各橋之破壞型態複雜，又隱含多重性災害型態，若於圖中增列將造成圖面過於複雜不易判讀，故僅以增補擴充表 8-1-1 之內容，作為各橋災害型態之彙整。	同意
8.請於表 1-2-1 加入調查所知之橋梁破壞時間(如六龜大橋等)。	8.各橋破壞時間需透過訪談獲得，惟洪水期間不易得知各橋破壞之確切時間，尤其是山區橋梁，故僅將有明確之橋梁破壞時間者，增列於表 8-1-1 中，此有助於整體災因彙整判識。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
交通部公路總局第三區養護工程處 黃三哲 處長(共 3 項)		
1.本研究報告20座橋梁詳細資料收集及致災原因探討予以肯定。	1.謝謝委員肯定。	同意
2.請敘明上、下游橋梁有些損壞與未損壞之因素？	2.如上述第二項意見回覆內容，主要原因可能為橋梁本身結構(橋孔淨高、跨距、基礎深度)，河道寬度、坡降、河床質…等，均有可能造成橋梁受災與否之原因，如旗尾橋案例中之說明，詳參 5.5 節。	同意
3.維修記錄請予以修正。	3.已遵照辦理。	同意
交通部科技顧問室 許書王 技正(共 6 項)		
1.本次會議為期末報告，報告書中如研究方法及進行步驟應已定案方能完成期末報告書，惟如 p2-1 及其它頁等多處規劃尚以「擬」字描述，建議修正(ex.p2-4、p2-5…)。	1.已遵照辦理，謝謝委員意見。	同意
2.p5-121 第二段提及「本計劃未來將配合由…」，是否屬實或需修正，請卓參。	2.已遵照辦理。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
3.附件中有兩個期初報告意見與回應，無期中報告意見與回覆，請參修。	3.已修正。	同意
4.p8-13 提出橋梁災防治相關因應原則與注意事項，對於山區橋梁，值得參考。若有可昇降之橋面板設計，是否可納入考量(山區橋梁設計考量因素)。	4.謝謝委員肯定，已將委員意見納入報告中，詳參 8.2 節。	同意
5.本研究成果請中心就成果部份送有關單位卓處。	5.惠請相關承辦單位辦理。	同意
6.圖文應力求清晰以利閱讀。	6.已遵照辦理，如圖 1-2-1…等。	同意
交通部公路總局(共 1 項)		
1.各流域未潰決之堰塞湖，未來可能造成下游橋梁損害之預測，建議可於第八章綜合討論與未來研究中討論。	1.已補充說明，詳參 8.2 內容。	同意
交通部運輸研究所 港灣技術研究中心 朱金元 副主任 (共 3 項)		
1.資料收集豐富，報告內容充實、條理分析清楚，給予肯定。	1.謝謝肯定。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
2.建議就災因分析中，進一步歸納，譬如有多少案例是因為上游水土保持不良、其次河道變遷，又有多少案例是橋梁本身結構的問題或是通水斷面不足，由此強調整個河系之治理。	2.有關各橋受災之相關原因及橋梁結構相關問題，納入已擴增之表 8-1-1 內，請參閱。	同意
3.在所有之致災原因中，有那些是透過橋梁單位在設計或施工中可改善的，又有那些是必須其他單位(如水土保持，水利署之相關管理改善)才能解決的，請加強敘述。	3.各橋梁受災案例之不同單位改善建議，亦已一併列入表 8-1-1 中。	同意
交通部運輸研究所 港灣技術研究中心 謝明志 科長(共 2 項)		
1.本報告資料收集相當豐富，災因分析判識條理分明，另室內模擬試驗配合 PIV 速度場精密量測，呈現可視化動態成果，可見研究團隊的用心，成果豐碩，具參考價值。	1.謝謝肯定。	同意
2.本計畫調查致災原因、進行災因分析，比一般計畫更突出的地方是不僅提出致災因子有那些，更進一步繪出災害流程，此點殊為難得。而依據目前調查所得，能否大略評估出在	2.若欲知橋梁處於何種情況下開始產生破壞，除需先評估、瞭解各環境因子之大小外，尚需透過橋梁本身的結構計算方能瞭解，此工作極為複雜，	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
災害流程的那一個時間點，這座橋梁開始有損壞現象，或各樣致災因子累加到那一時候，橋梁開始破壞？	非本計畫所能達成，懇請委員見諒。本計畫僅就過去針對封橋水位中相關水理、沖刷、結構等分析流程進行補述，以作為一般性沖刷問題之參考，詳參圖 8-3-7 所示。	

附錄七

期末報告簡報資料

交通部運輸研究所

「莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析」

期 末 簡 報



計畫執行單位：國立中興大學
計畫主持人：蔡清標　教授
協同主持人：林　呈　教授

期中簡報審查意見答覆及辦理情形(民國99年2月11日)

？ 期中簡報意見答覆表(1/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
蔡長泰 教授 1.資料蒐集很豐富，工作效果佳成果有參考利用價值。 2. 由橋梁損壞後的河床觀察，有沖刷（六龜大橋、雙園大橋），也有淤損（四德、寶來二橋），二者均與豪雨洪水有關，沖刷及淤積只是損壞誘因，但橋梁本身的現況強固程度應加探討。	,1. 謝謝委員肯定。 2. 如委員所述，各橋之破壞原因均不同，此即牽涉到橋梁所在之河道特性，以及橋梁受災前之實際情形，而橋梁本身結構、基礎深度、橋梁形式…等，實應爲災因分析重要參考。本計畫已適度於各橋中加強說明，如淺基礎或跨徑不足等橋梁之影響。

？ 期中簡報意見答覆表(2/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
3.雙園大橋於民國70年完工，由p3-20之深槽圖，在雙園大橋處由民國64年至84年已有明顯沖刷，84年以後改變較小，因此雙園橋橋墩所能承受的洪水衝擊能力是否已降低至安全標準以下。	3.早期之河床下降，造成橋梁抗洪能力降低，故橋梁管理單位已於民國92年針對河道深槽 P5~P14、P22~P25 及P30等橋墩進行托底工程。然根據本團隊於颱洪前之河床量測結果，P5已裸露約6 m，故仍屬有沖刷疑慮之橋梁，詳參7.1節。
4.越流、射流等，需考慮下游尾水、橋孔寬與橋墩寬比值等之影響。	4.謝謝委員提供之意見，有關此課題之相關影響因素相當多，本計畫已於期末報告中納入委員建議(詳參8.3節) 。

？ 期中簡報意見答覆表(3/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
5. 漂流木比重比水小，會漂流或因漩渦而潛於水面下，但是否在洪水期間掛淤或是洪退時掛淤，建議探討。	5. 根據本團隊於颱洪期間之現場觀測與颱洪後之調查顯示，漂流木大部分之掛淤發生於洪水通過期間，故特於本計畫中提出此現象對橋梁可能造成之影響，以作爲未來可進一步研擬之課題(詳參8.3節)。

？ 期中簡報意見答覆表(4/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
陳進發 處長 1.本災因報告內容十分詳盡，肯定研究團隊之努力。 2.從災因研究中，是否可研議本年度汛期時公路養護單位應首要注意事宜及緊急補強工法？	1.謝謝委員肯定。 2.非本計畫研究範圍，且各橋梁所應注意是事宜均不同，且相關問題亦相當複雜，實有困難一一詳述於報告中，懇請委員惠予諒解。本計畫僅就一般性注意事項及建議進行說明，詳參8.2及9.2節中所述。

？ 期中簡報意見答覆表(5/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
黃三哲 處長 1. p1-2表1-2-1請改以路線別彙整。	1.該表爲上網公告之內容，本計畫已依路線重新彙整各橋梁(包括本團隊額外提供的9座橋梁)之災損概況，詳參p2-6中表2-4-1。
2.p2-5 民國99年2月27日筆誤，請修正。	2.已遵照辦理。
3.p5-45 臺28旗尾橋係於61年及76年興建之二代橋，基本資料補充相關資訊。	3.已於期末報告中增補。

？ 期中簡報意見答覆表(6/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
4. p6-116及p6-128之(4)其他…可能發生老化及劣化之現象係推測之語句，請修正刪除。	4.已遵照辦理，謝謝委員指正。
5. p6-141橋梁受災成因(3)所敘述之因不合理，並非可歸類之原因，應請詳細檢討修正。	5.謝謝委員指正，本計畫已重新檢討該橋之致災成因，並已於期末報告中進行修正。

？ 期中簡報意見答覆表(7/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
許書王 技正 1.警戒水位未來是否建議調整？如有請研提參數。	1.警戒水位應以橋梁現況、河道變遷趨勢、保護工情形…等相關參數爲依據，透過橋址處水理、沖刷、結構等分析，以訂定橋梁於颱洪期間之警戒、封橋水位，且於每次颱洪後均需根據依河床現況重新修正、調整，目前公路總局各區工程處已針對相關課題進行研究。此外，本計畫期末報告中說明之河床變動、土石流、堰塞湖等災害發生時，則需納入更多特殊情況作爲輔助參考(詳參8.3及9.2節)。

？ 期中簡報意見答覆表(8/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
2.從橋梁角度橋型、橋址、橋齡、橋構與土石流及洪水沖刷之間是否有影響，是否有可建議於未來補強及新建設計時之參考。 3.建議研提本部相關規範是否有不足地方之建議，如壓力水流(pressure flow)。 4.以宏觀觀之，國土規劃的問題是否可在災因分析之期末報告列入建議事項。	2.謝謝委員意見，此非本計畫研究範圍，但本計畫將於各橋中適時加入類似觀點與災害發生之關連性，另就一般性注意事項及建議進行說明，詳參8.2及9.2節。 3.謝謝委員提供之建議，本計畫已參考相關規範內容，並依計畫災害調查結果，針對規範不足之處提出相關議題，以供未來研擬之用(詳參8.3節)。 4.遵照辦理，謝謝委員提供之寶貴意見(詳參8.3節)。

？ 期中簡報意見答覆表(9/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
交通部公路總局 1.建議儘量將所蒐集到的資料，如雨量站、水位站及堰塞湖等位置，套繪在同一張圖層上，俾利作爲多重災因相關關係之判釋。 2.建議製作橋梁受災成因之流程圖，俾利更容易看出橋梁受災成因之多重關係。	1.由於相關資料來源非相同單位，資料格式亦有所些許差異，故於圖層整合上實有技術性的困難存在，本計畫盡量將相關性較高的部分進行彙整，以作爲災害判識之用。 2.已遵照辦理，謝謝委員提供之寶貴意見。(詳參第五～七章中各橋梁災因分析及8.1節之內容)

？ 期中簡報意見答覆表(10/10)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
謝明志 科長 1.研究團隊收集資料豐富，致災初步原因的探討，也有利用精密儀器，如高速攝影機的錄製分析，成果值得肯定。 2.報告陳列條理分明，但建議在第二章再列一張表，分流域路線及上下游橋梁順序排列把第五章之後，研究調查成果的陳列，預做鋪陳。 3.漂流木比水輕，所造成的沖擊影響或其他原因值得探討。	1.謝謝肯定。 2.遵照辦理，已於期末報告中依路線重新彙整各橋梁(包括本團隊額外提供的9座橋梁)之災損概況，詳參p2-6中、表2-4-1，。 3.本計畫已於期末報告中，將針對漂流木所可能造成之影響，進行初步之研擬與分析(詳參8.1及8.3節)。

第二次專家座談意見答覆及辦理情形(民國99年4月29日)





？第二次專家座談意見答覆表(1/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
吳鎮封 組長 1. 資料蒐集與整理相當豐富，災因判識亦相當有條理，能在這麼短的時間內有這樣的成果值得肯定。 2. 高屏溪砂石之盜採是否亦爲此次災害的主要原因之一？	1.謝謝肯定。 2. 謝謝委員意見，已於期末報告中適時補充說明。然而，本計畫主要針對莫拉克颱風期間之致災成因進行探討，有關早期河道砂石盜採之影響應屬遠因，且近年亦已受到控制，如3-4節所述，且相關之影響主要集中於下游段橋梁。

？第二次專家座談意見答覆表(2/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
3. 雖本計畫並無提出相關因應對策之工作內容，是否仍請研究團隊於災害調查中之經驗，提出些許相關建議或列入未來研擬議題中，以供公路單位參考。 4. 報告中提及有關封橋水位及預警通報系統等未來研擬方向，實有助於災害的防治，尤其是橋梁之預警通報系統目前尚未受到重視，實爲未來需注意之課題。	3. 遵照辦理，惟每座橋梁之情況不同，本計畫僅針對一般性則提出建議及注意事項，詳參8.2節。 4. 感謝委員意見，已於期末報告中補強相關內容(詳參8.3節)。

？第二次專家座談意見答覆表(3/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
吳瑞龍 副局長	
1. 本報告內容豐富且詳細，有重要參考價值，相當值得肯定。	1. 感謝委員肯定。
2. 有關雙園大橋或其他橋梁之災害成因之推論，均有一定之依據與程序，結果亦相當合理。	2. 感謝委員肯定。
3. 前言中「救災速度緩慢…」請修正。	,3. 已遵照辦理。

？第二次專家座談意見答覆表(4/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
吳瑞龍 副局長	
4. P7-27頁中，相片7-1-8可能會造成誤解，請更替或刪除。	4. 已遵照辦理。
5. 雙園大橋橋梁基本資料表水平地表加速度應爲0.28G，請修正。	5. 已修正。
6. P8-2頁中，河道束縮因素中應包括高灘地阻水之影響，請補充說明。	6. 已於期末報告中補充。

？第二次專家座談意見答覆表(5/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
陳松堂 副處長 1. 雙園大橋等以時間軸方式進行之災因判識相當清楚，不知其他橋梁之致災成因是否亦可使用類此發生時間前後之方式，說明災害發生之歷程與機制。	1. 相關時間歷程之獲得主要是透過當地訪談，才能判別當時情境，然許多橋梁本身災害發生時並無相關資料，僅能以最後結果判斷之，故除證據充分外，實難以時間歷程方式說明，懇請委員諒解。若於證據充分之情形下，本計畫將盡量依此方式說明災害成因。

？第二次專家座談意見答覆表(6/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
2. 小林村附近之幾座橋梁主要是因山崩及堰塞湖效應等大規模災害，瞬間即造成損毀故不屬於沖刷、土石流或漂流木影響等範疇，建議可將堰塞湖潰決等另外分離出來進行討論。	2. 正如委員所述，有關堰塞湖潰決之影響甚爲複雜，應將其相關機制另外分離出來，並已於期末報告中提出(詳參8.1節)。
3. 台21線第九號橋無災害流程圖，是否需補充？	3. 已補充，謝謝委員意見。

？第二次專家座談意見答覆表(7/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
何鴻文 副組長 1. 請補充說明潮汐對河川水流之影響。 2. 雙園大橋之反循環基樁樁徑由90公分變化至76公分之位置，不宜稱爲「接樁」。 3. 公路總局委託中華顧問工程司正配合現地開挖及其他探測技術在探討雙園大橋斷橋原因，請蒐集該案之初步結果，配合本案之分析，探究斷橋之可能原因。	1. 已補充說明(詳參8.2節)。 2. 已修正，謝謝委員意見。 3. 該計畫預計至今年七月方可完成，相關探測報告目前亦尚未公佈，惟根據該計畫之期初報告內容，針對雙園大橋可能之致災原因與本計畫內容相符。

？第二次專家座談意見答覆表(8/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
4. 依本報告堰塞湖分爲：(1)一般認知因土石堆積形成之堰塞湖；(2)橋梁掛淤形成之堰塞湖。後續報告如擬將堰塞湖列爲重要因素之一，宜分列清楚。 5. 報告P8-9流程圖之部分受損原因未與結果連結，請修正。	4. 已遵照辦理，詳參8.1節。 5. 已修正，惟部分災因將衍生其他相關災害，故災害流程之連結將跳至其他流程，而未直接連結至結果。

？第二次專家座談意見答覆表(9/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
6. 建山一、二橋及民生橋等三座橋梁，因莫拉克颱風後地形地貌變動太大，已由「省道老舊受損橋梁緊急改建計畫」內移除，另案辦理，報告內請補敘。	6. 已遵照辦理。
7. 颱風後，部分橋梁附近河道大幅展寬，是否亦爲災害原因之一。	7. 河道展寬實爲部分橋梁之主要受災原因之一，期末報告中已適時強化相關說明。

？第二次專家座談意見答覆表(10/11)

各單位意見	執行單位答覆意見
謝明志 科長	
1. 非常肯定研究團隊的研究成果，尤其是破壞流程圖之製作，更能清楚說明災害破壞之成因與流程，相當值得參考。	1. 謝謝委員肯定。
2. 對於本報告所提出未來之研究課題與方向，確實均屬非常有意義之課題，不知是否能進一步依各課題之相關性、長短期與難易度進行研究順序之建議，以供本中心未來研究之參考。	2.已遵照辦理，詳參8.3節。

？第二次專家座談意見答覆表(11/11)

各　單　位　意　見	執行單位答覆意見
主席 結論 1. 災害成因是否與橋梁所在環境(如上、中、下游)有關。 2. 橋梁結構本身問題之影響。	1. 遵照辦理，已補充說明於8.1節中。 2. 橋梁結構本身問題相對於其他災害成因相對較不明顯且不易判識，故僅就有明顯現象之橋梁補充說明，如淺基礎橋梁(新發大橋、四德橋…)。

簡　報　內　容

- ？計畫目的與工作內容
- ？工作執行流程
- ？工作執行成果
- ？致災機制綜合討論
- ？相關議題研提及未來研究方向
- ？結論與建議

？ 計畫目的與工作內容

●勘查高屏溪流域主要受損之20座橋梁＋額外提供之9座橋梁

編號	路線	橋梁名稱	災情現況
1	台 17 線	雙園大橋	高雄縣林園端 P1 橋墩起至 P16 橋墩間計 459 公尺長橋面版及橋墩遭洪水沖毀，雙向交通管制封閉。
2	高 92 線	大洲大橋	大洲大橋遭沖毀，橋梁中斷。
3	台 3 線	新旗尾橋	A2 橋台受堤防潰堤影響遭洪水沖毀，導致 A2 橋台至 P17 橋面版沖毀及 P16~P17 橋面版塌陷，雙向封閉交通。
4	台 28 線	旗尾橋	A1 橋台~P5 間橋梁沖毀，P5~A2 橋台橋面版傾斜。
5	台 21 線	四德橋	四德橋 P2~P5 遭沖毀，交通阻斷。
6*		楠梓仙溪橋	楠梓仙溪橋 A1 橋台引道遭沖毀，交通阻斷。
7		第八號橋	小林村整村淹沒，交通阻斷。
8		第九號橋	小林村整村淹沒，交通阻斷。
9		第十號橋	第十號橋遭沖毀流失，交通阻斷。
10*		第十二號橋	第十二號橋遭沖毀流失，交通阻斷。
11*		第十四號橋	第十四號橋遭沖毀流失，交通阻斷。
12*		第十五號橋	第十五號橋遭沖毀流失，交通阻斷。
13*		民族橋	民族橋遭沖毀流失，交通阻斷。
14*		民生大橋	民生大橋遭沖毀流失，交通阻斷。

編號	路線	橋梁名稱	災情現況
15	台 27 線	大津橋	大津橋原舊橋 P6~P9 鋼便橋 P12~P20 遭沖毀流失，阻斷交通。
16		六津橋	六津橋遭土石流沖毀沖毀流失，阻斷交通。
17		三合橋	三合橋遭沖毀流失交通阻斷。
18		新發大橋	新發大橋遭沖毀流失，阻斷交通。
19	台 27 甲線	六龜大橋	六龜大橋 P2 及 S1、S2 橋面版遭沖毀流失，阻斷交通。
20		六龜四號橋	六龜四號橋前後引道遭沖毀流失，阻斷交通。
21		六龜三號橋	六龜三號橋遭沖毀流失，阻斷交通。
22	台 20 線	建山一橋	建山一橋橋面版遭沖毀流失，阻斷交通。
23		建山二橋	建山二橋橋面版遭沖毀流失，阻斷交通。
24		寶來二橋	寶來二橋 A2 橋台遭沖毀流失，交通阻斷。
25*		綠茂橋	綠茂橋橋面版、橋台遭沖毀流失。
26		炳才橋	炳才橋橋面版遭沖毀流失，阻斷交通。
27*		塔拉拉魯芙溪橋	塔拉拉魯芙溪橋 A2 橋台及引道為土石流沖毀。
28*		撒拉啊塢橋	撒拉啊塢橋全橋為土石流沖毀。
29	台 24 線	第一號橋	台 24 線第一號橋橋台沖毀。

註：紅色為公告上網之橋梁
藍色為額外提供之橋梁，惟僅提供相關災損畫面及基本災況陳述

計畫經費：1?100?000 元

●災害調查範圍

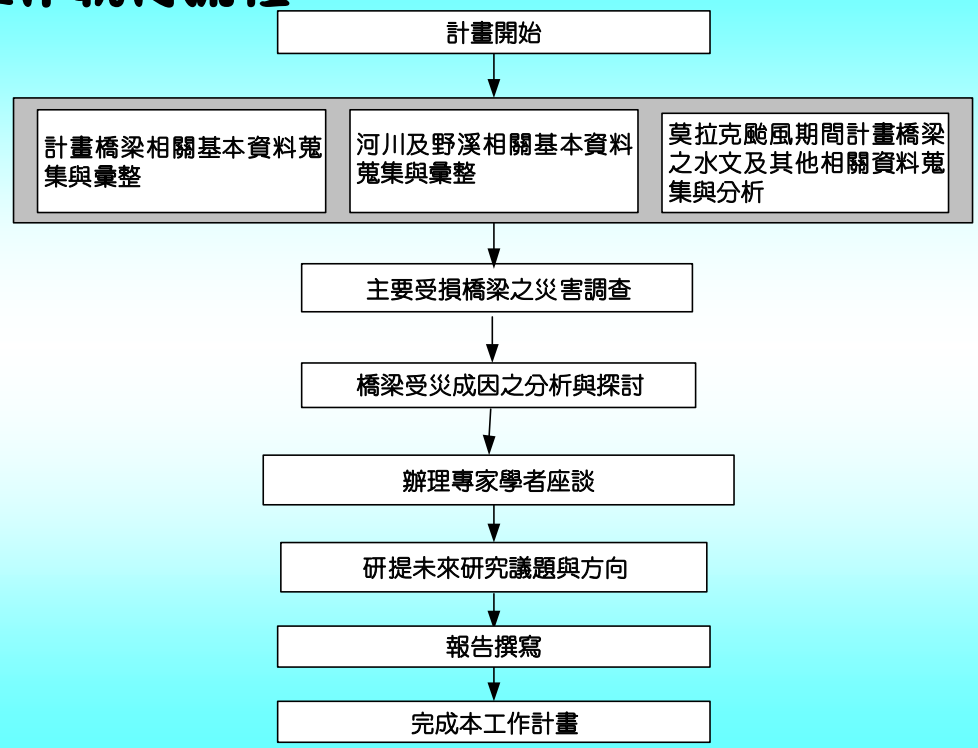
旗山溪流域
荖濃溪流域
隘寮溪流域
高屏溪本流



●工作項目

1. 勘查並蒐集莫拉克颱風主要橋梁受損資料。
2. 收集各主要橋梁之興建年份、結構特性及相關保護設施。
3. 收集及分析於莫拉克颱風期間主要受損橋梁之水文資料 。
4. 分析各主要受損橋梁致災原因。
5. 依研究結果研擬相關議題，列入未來研究方向 。
6. 邀請專家學者諮詢 。
7. 提出計畫報告書

？ 工作執行流程



？工作執行成果說明

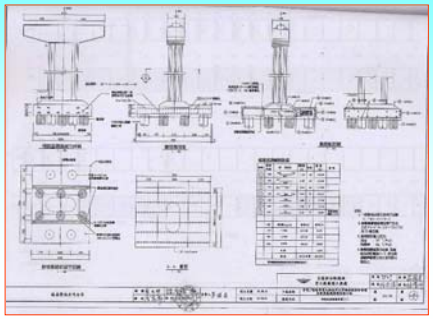
編號	路線	橋梁名稱	基本資料蒐集	相關竣工圖說蒐集	目前已完成災因分析橋梁
1	台 17 線	雙園大橋	O	O	O
2	高 92 線	大洲大橋	O	O	O
3	台 3 線	新旗尾橋	O	O	O
4	台 28 線	旗尾橋	O	O	O
5	台 21 線	四德橋	O	O	O
6		第八號橋	O	O	O
7		第九號橋	O	O	O
8		第十號橋	O	O	O
9	台 27 線	大津橋	O	O	O
10		六津橋	O		O
11		三合橋	O		O
12		新發大橋	O	O	O
13	台 27 甲線	六龜大橋	O	O	O
14		六龜四號橋	O	O	O
15		六龜三號橋	O	O	O
16	台 20 線	建山一橋	O	O	O
17		建山二橋	O	O	O
18		寶來二橋	O	O	O
19		炳才橋	O		O
20	台 24 線	第一號橋	O		O

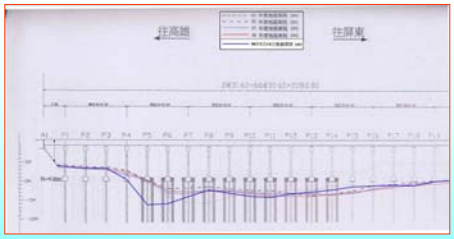
預定進度甘特圖(以 98.10.21 爲起算，迄 99.6.30 止)

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	備註
工作計畫書提送及審核	※									
勘查並蒐集莫拉克颱風主要橋梁受損資料										
收集各主要橋梁之興建年份、結構特性及相關保護設施										
收集及分析於莫拉克颱風期間主要受損橋梁之水文資料										
分析各主要受損橋梁致災原因										
依研究結果研擬相關議題，列入未來研究方向										
邀請專家學者諮詢			※				※			
提出期中及期末計畫報告書				※				※	※	
工作預計累積進度(%)	8.0	16.0	36.0	52.0	64.0	72.0	84.0	96.0	100.0	
工作實際累積進度(%)	8.0	16.0	36.0	52.0	64.0	72.0	84.0	96.0	98.5	

註：▬ 預定工作進度；▪▪▪ 實際工作進度

計畫橋梁相關基本資料





【資料來源：公路總局第三區工程處】

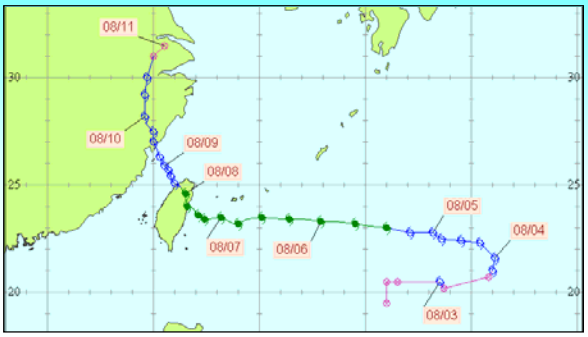
台 17 線雙園大橋橋梁基本資料表【資料來源：第三區養護工程處】

名稱	雙園大橋		橋梁編號	0170-133		使用狀態	已停用	設施種類	橋梁
管 理 資 料									
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第三區養護工程處			養護工務段	高雄工務段		
所在縣市	高雄縣	所在區鄉	林園		道路等級	省道	路線	臺 17 線	
頭里程	248K+500M	橋尾里程	K+M		竣工年月	70 年 11 月	最近維修年月	不詳	年不詳月
造價	不詳元	合約編號	無法取得		交流/匝道		匝道編號		
設計單位	不詳	監造單位			施工單位	無法得知	竣工圖說保存地點	竣工圖說無法得知	
測週期	12 月/次	跨越物體	高屏溪		改道長度		年平均每日交通量		
考地標									
河 川 資 料									
為跨河橋	是	跨越河川類別	中央管河川		河川管理單位	第七河川局	河川名稱		
游 500 公尺構造物									
游 500 公尺構造物									
最近水位站	萬大大橋站	計畫洪水位	不詳 EL		計畫河寬	不詳 M			
堤頂高程	不詳 EL	設計河床高程	不詳 EL		設計橋梁出水高	M			
幾 何 資 料									
梁總長	2082.8M	A1 進橋版長度	M			A2 進橋版長度	M		
大淨寬	17M	最小淨寬	17M			橋版投影面積	35411M²		
車道數	4	總橋孔數	68			最大跨距	31M		
跨距分配	2@31.60+66@30.60								
橋墩高度	9.2M	最低橋上淨高	橋上無跨越物 M		最低橋下淨高	7M			
GPS 經度	120.4077778	橋頭 GPS 緯度	22.4997222		橋尾 GPS 緯度	120.4302778	橋尾 GPS 緯度	22.5002778	
結 構 資 料									
橋形式	梁式橋								
導端型式		主梁材質	預力混凝土		主梁型式	I 型梁	鋼構接合型式		
梁型式		橋面版材質			鋪面材質	瀝青混凝土(AC)	伸縮縫型式	無	
承型式	合成橡膠支承	橋台型式	懸臂式		橋台基礎型式	樁基礎	翼牆型式	重力式	
墩材質	預力混凝土	橋墩型式	單柱式		橋墩基礎型式	樁基礎	橋墩最深基礎深度	M	
保護工法	無						橋墩最淺基礎深度	M	
特 殊 結 構 資 料									
塔材質		橋塔型式			主纜索型式				
索型式		吊索佈置型式			索面系統型式		索面佈置型式		
結構型式		橋面版位置			拱圈材質		橫桿材質		
材材質		立柱材質			鋼纜型式		錨定裝置		
設 計 資 料									
計活載重	HS20	地盤種類	無法取得		防震設施	混凝土止震塊	防落橋長度	0.7M	
所在震區		設計水平地表加速度	0.23G		設計垂直地表加速度	G			
建 檔 資 料									
檔人員		建檔單位			資料原始紀錄日期	1900-01-01	資料最新修改日期	2009-09-09	
備 註									

莫拉克颱風期間計畫橋梁之水文資料蒐集與分析

莫拉克颱風侵台路徑圖

【資料來源：中央氣象局】

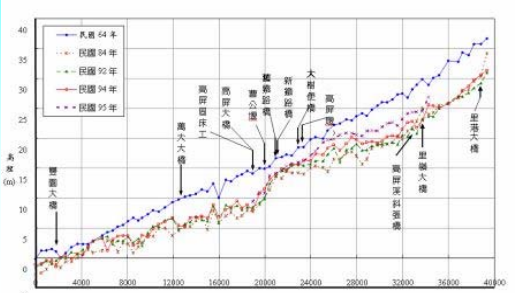


莫拉克颱風期間
高屏溪流域各測站
之累積雨量
【資料來源：中央氣象局】

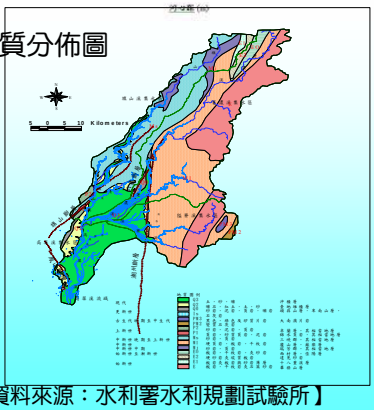
雨量測站	河川流域	鄉鎮名稱	累積雨量(mm)
御油山	高屏溪流域	高雄縣茂林鄉	2557.5
溪南	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	2489.5
南天池	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	2448.5
小關山	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	2235.5
楠溪	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	1969.0
高中	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	1991.5
新發	高屏溪流域	高雄縣六龜鄉	2077.5
上德文	高屏溪流域	屏東縣三地門鄉	2255.0
尾寮山	高屏溪流域	屏東縣三地門鄉	**2701.0**

河川及野溪相關基本資料

河床歷年縱斷面變化【資料來源：水利署第七河川局】

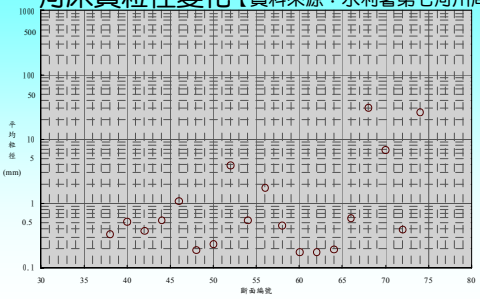


地質分佈圖



【資料來源：水利署水利規劃試驗所】

河床質粒徑變化【資料來源：水利署第七河川局】



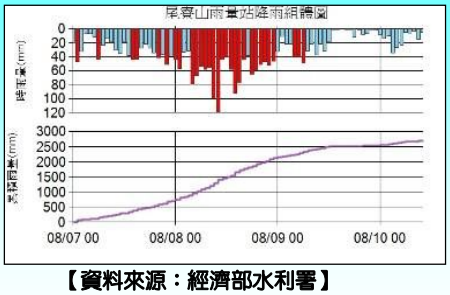
斷面號	平均曼寧 n 值	平均粒徑 (mm)	代表粒徑 (mm)									最大粒徑 (mm)	砂質含量 (%)
			D_{10}	D_{20}	D_{30}	D_{35}	D_{40}	D_{50}	D_{65}	D_{75}	D_{90}		
106	0.025	30.41	0.18	0.34	0.70	0.96	1.43	5.14	20.11	30.79	63.16	176.66	45.24
112	0.026	39.52	0.31	0.96	2.11	3.47	6.09	14.03	25.22	34.88	63.46	216.67	31.82
130	0.028	82.06	0.43	0.89	2.00	4.17	7.86	18.23	34.81	63.12	255.31	300.00	31.92

不同重現期距之洪峰流量

控制站	集水面積 (km^2)	不同重現期距之洪峰流量(cms)							
		Q_{200}	Q_{100}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_2	$Q_{1.11}$
臨賽溪出口	642	7340	6750	6120	5200	4470	3630	2270	815
與埔羌排水合流前	566.12	6650	6150	5600	4800	4130	3360	2100	745
三地門橋		5160	4800	4430	3870	3360	2760	1720	556

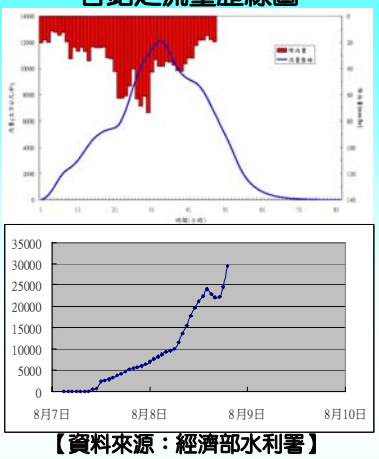
【摘自：台灣省水利局，高屏溪治理規劃報告，1981】

各雨量站之降雨組體圖



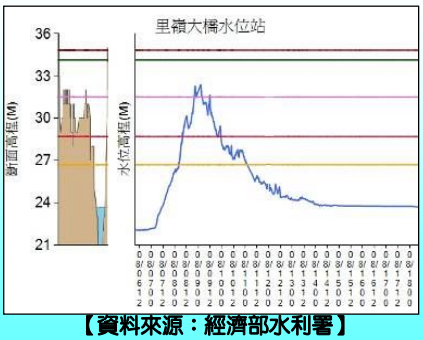
【資料來源：經濟部水利署】

各站之流量歷線圖



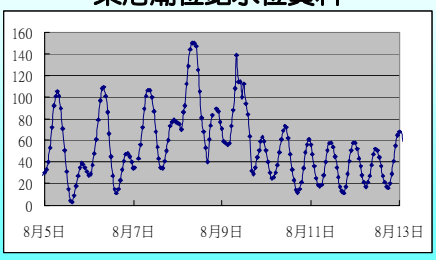
【資料來源：經濟部水利署】

各河川水位站之水位歷線



【資料來源：經濟部水利署】

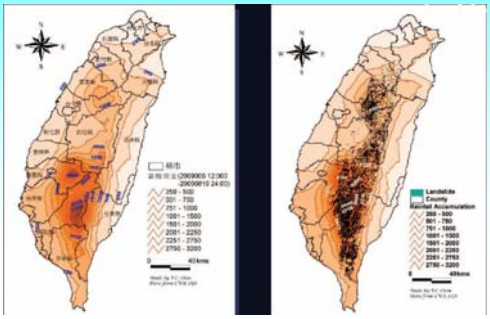
東港潮位站水位資料



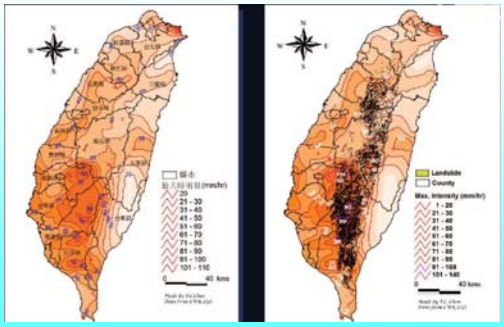
【資料來源：中央氣象局】

莫拉克颱風地質災害資料蒐集與分析

累積雨量與崩塌地分佈比較【陳等人，2009】



降雨強度與崩塌地分佈比較【陳等人，2009】



寶來地區颱風前後崩塌地及土石流災害之衛星影像





【資料來源：成功大學遙測影像處理實驗室】

計畫橋梁災況調查與災因分析

第五章 旗山溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析
- 5.1 台 21 線第十號橋
- 5.2 台 21 線第九號橋
- 5.3 台 21 線第八號橋
- 5.4 台 21 線四德橋
- 5.5 台 28 線旗尾橋
- 5.6 台 3 線新旗尾橋
- 5.7 高 92 線大洲大橋

第六章 荖濃溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析
- 6.1 台 20 線炳才橋
- 6.2 台 20 線寶來二橋
- 6.3 台 20 線建山二橋
- 6.4 台 20 線建山一橋
- 6.5 台 27 線新發大橋
- 6.6 台 27 甲線六龜大橋
- 6.7 台 27 甲線六龜四號橋
- 6.8 台 27 甲線六龜三號橋
- 6.9 台 27 線三合橋
- 6.10 台 27 線六津橋
- 6.11 台 27 線大津橋



第七章 高屏溪本流與隘寮溪流域計畫橋梁災況調查及災因分析
- 7.1 台 17 線雙園大橋
- 7.2 台 24 線第一號橋

計畫橋梁災況調查與災因分析

- 橋梁與河川環境基本資料
- 橋址處莫拉克颱風之水文資料描述
- 橋梁災害情形調查結果
- 橋梁受災成因之分析與探討

災害分析案例說明

- 台27線新發大橋
- 台27甲線六龜大橋

●台27線新發大橋



●Sin-Far Bridge (Route 27, 3K+480)

July 15, 2009 before flood



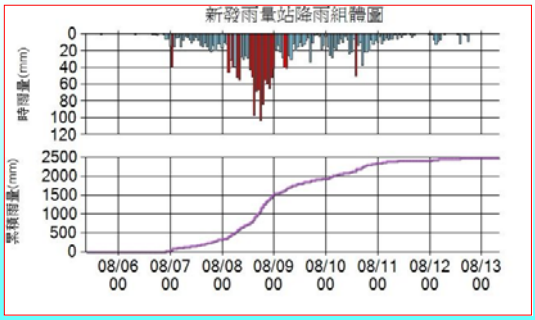
● Sin-Far bridge (Route 27, 3K+480)

2009.07.31 before flood



● Sin-Far rainfall record and gauge data (from CWB and WCA

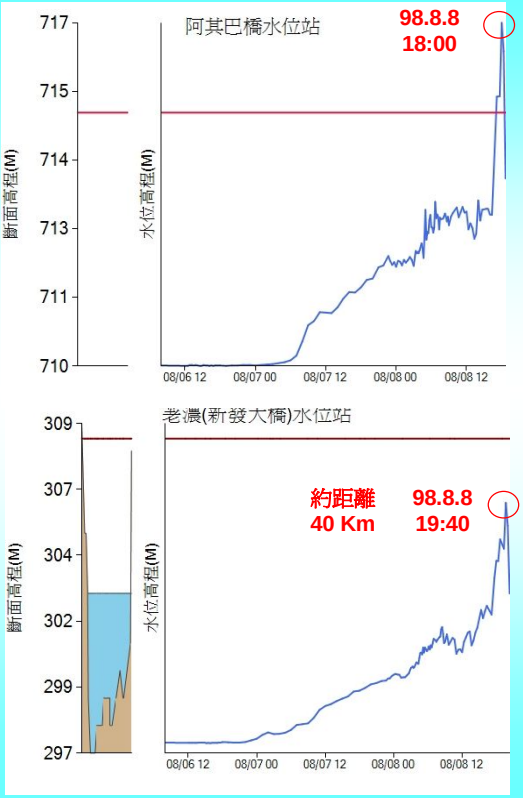




24小時累積雨量為1200 mm > Q_{200}(996.1mm)

●台27線新發大橋





●Sin-Far Bridge (Route 27, 3K+480)

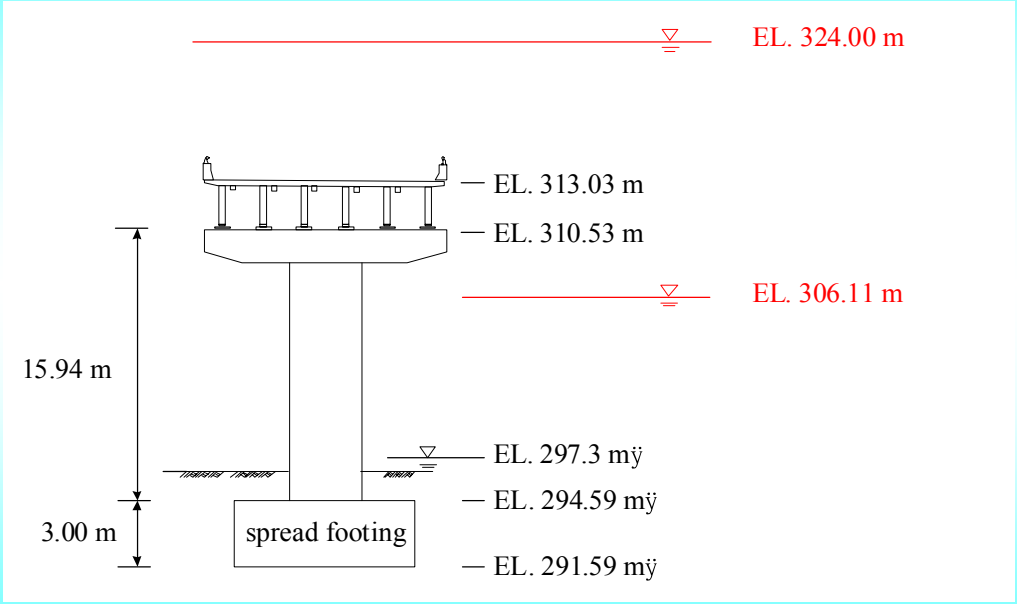


July 15, 2009
before flood

Aug. 21, 2009
after flood



Sin-Far Bridge (Route 27, 3K + 340)



●Sin-Far Bridge (Route 27, 3K+480)

2009.08.19 林 呈拍攝



Multi-hazard to Bridge ?

1. Scour by Flood
2. Debris Flow
3. *Debris Fan Intruding into Main Stream*
4. *Debris-dam Break Flow*
5. Rafting by Floating Wood

Liou-Guei Bridge (Route 27A, 1K+420)



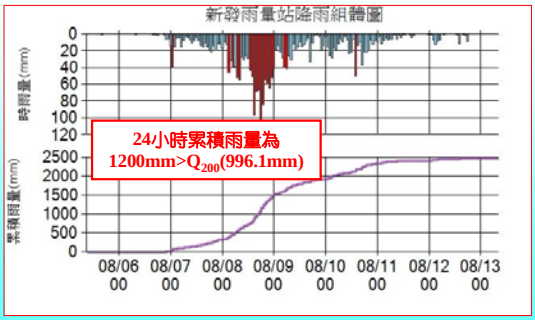
●台27甲線六龜大橋

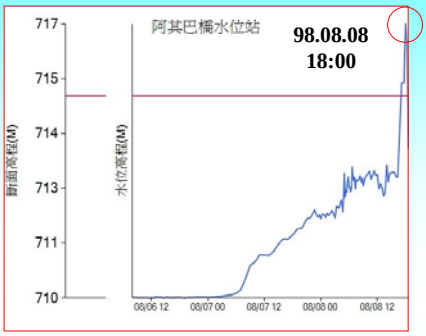
2009.03.16 林 呈 拍攝



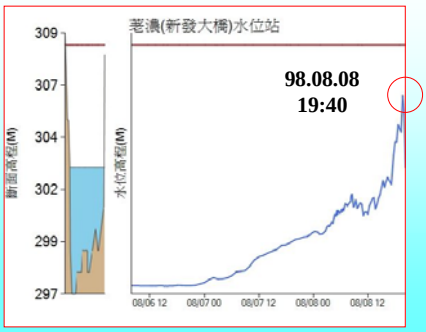
● Sin-Far rainfall record, Achiba and Liou-Guei gauge data



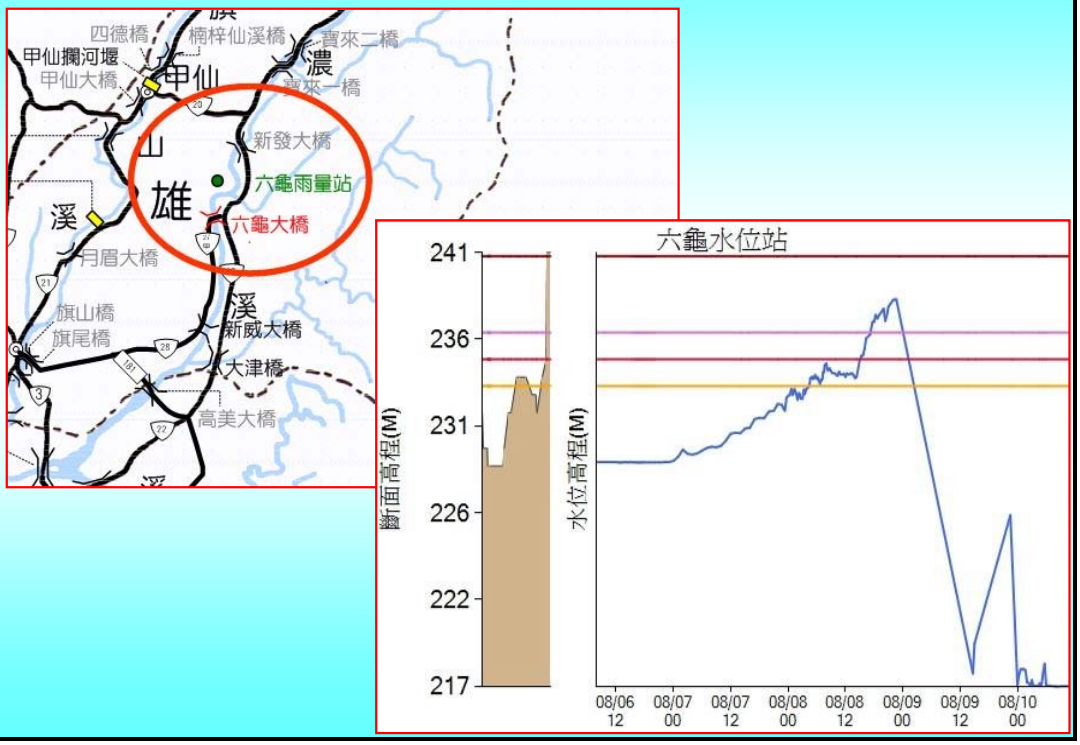




兩水位站約距40公里



● Liou-Guei gauge station



● Liou-Guei Bridge
(Route 27A, 1K+420)

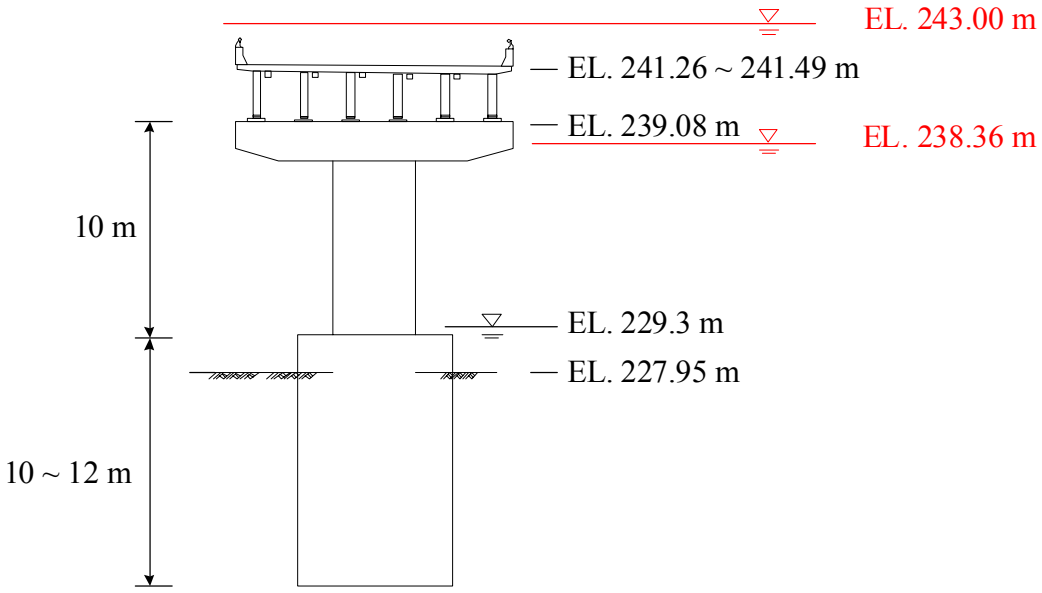


● Liou-Guei Bridge
(Route 27A, 1K+420)





Liou-Guei Bridge





● Liou-Guei Bridge (Route 27A, 1K+420)



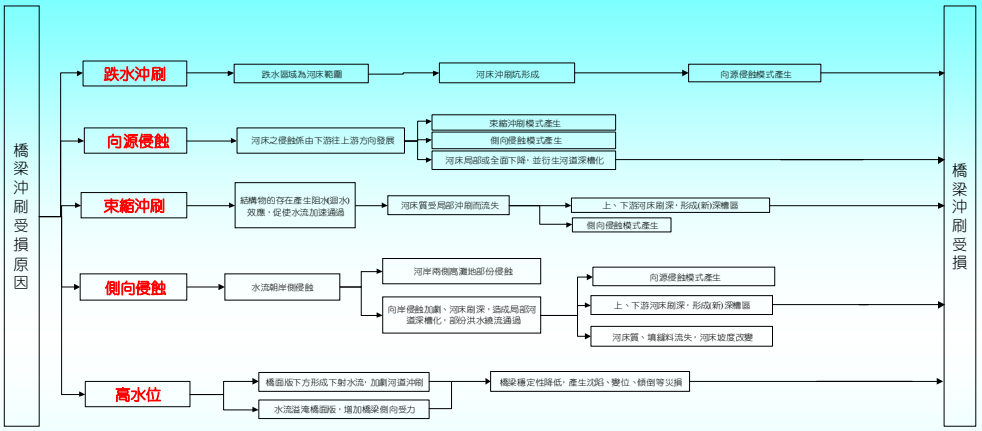


2009.05.24 林 呈 拍攝

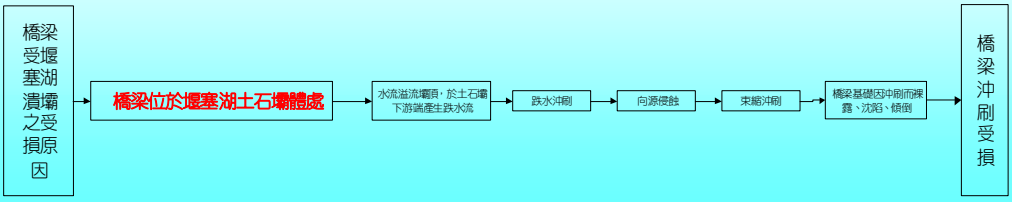
Multi-hazard to Bridge ?

1. *Scour by Flood (Submerged Jet)*
2. Debris Flow
3. Debris Fan Intruding into Main Stream
4. *Rafting of Floating Wood*
5. *Debris-dam Break Flow due to the Collapse of Bridge Itself during High Flow*

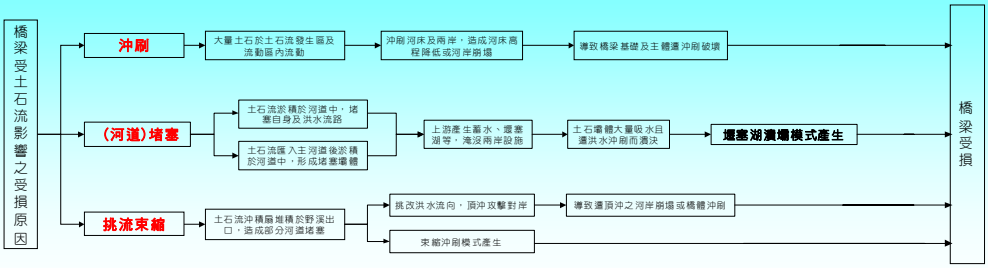
洪水沖刷對新發大橋之破壞流程圖



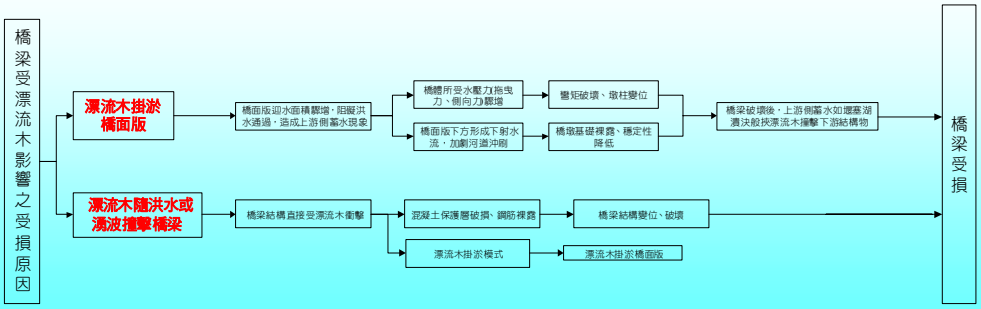
堰塞湖潰壩影響對新發大橋之破壞流程圖



土石流作用對新發大橋之破壞流程圖



漂流木影響對新發大橋之破壞流程圖



？ 致災機制綜合討論

致災機制

(1) 洪水沖刷災害 (基礎淘空、斷橋、河道流路變遷、引道沖毀…)

(2) 土石流災害 (橋梁遭土石撞擊、淤埋、全毀、河道刷寬、河道流路變遷…)

(3) 漂流木掛淤影響 (阻水且增加橋梁受力、加劇橋基沖刷、造成基礎或墩柱斷裂、斷橋、橋面版流失…)

(4) 堰塞湖潰壩影響 (潰壩流湧浪沖擊、高水位、基礎或墩柱斷裂、橋面版流失、沖刷加劇…)

(5) 其他 (崩山、施工影響…)

於實際災害中，往往非單項災因所造成，而是相互伴隨且影響的，此類災害則屬複合型或屬多重型之災害成因。



● 洪水沖刷對橋梁之危害機制

(1) 束縮沖刷

(2) 跌水沖刷

(3) 向源侵蝕

(4) 側向侵蝕

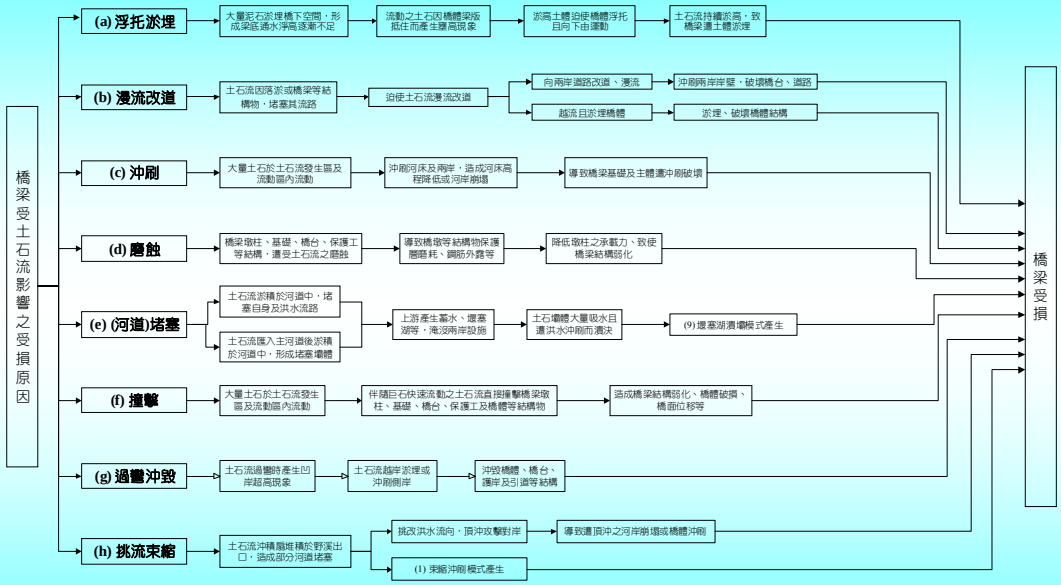
(5)流石撞擊磨損

(6) 彎道或挑水效應處

(7) 水流攻角效應

(8) 高水位

●洪水沖刷對橋梁之破壞流程圖



沖刷機制： (1)束縮沖刷 (2)跌水沖刷 (3)向源侵蝕 (4)側向侵蝕 (5)流石撞擊磨損
(6)彎道或挑水效應處 (7)水流攻角效應 (8)高水位

● 土石流對橋梁之危害機制

(1) 浮托淤埋

(2) 漫流改道

(3) 沖刷

(4) 磨蝕

(5) 堵塞

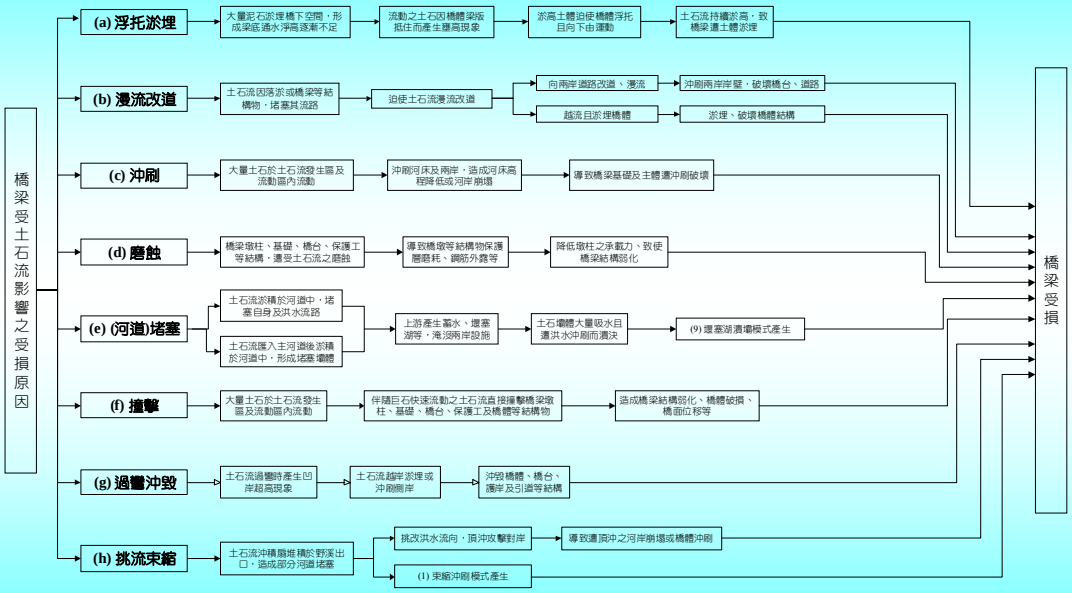
(6) 撞擊

(7) 過彎沖毀

(8) 挑流束縮

【摘自：林 呈，河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究，2005】

●土石流作用對橋梁之破壞流程圖



土石流機制：(a)浮托淤埋 (b)漫流改道 (c)沖刷 (d)磨蝕 (e)堵塞 (f)撞擊 (g)過彎沖毀 (h)挑流束縮

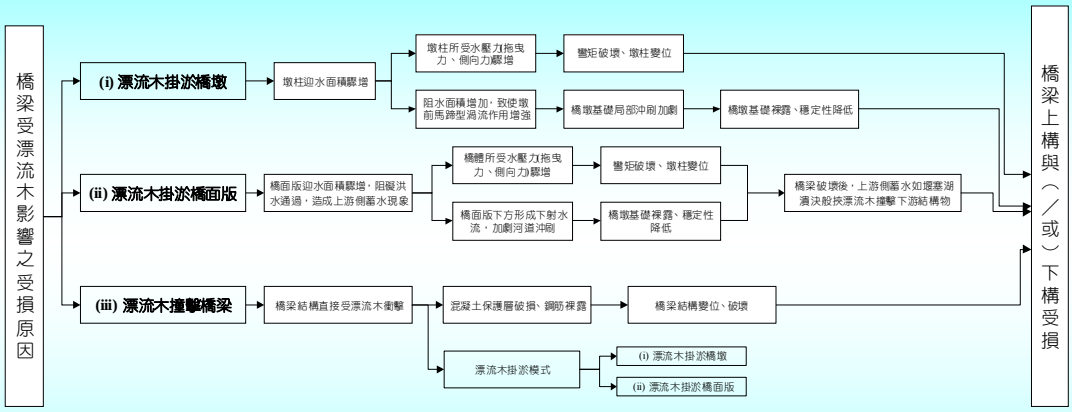
● 漂流木影響對橋梁之危害機制

(i) 漂流木掛淤橋墩

(ii) 漂流木掛淤橋面版

(iii) 漂流木隨洪水或湧波撞擊橋梁

●漂流木影響對橋梁之破壞流程圖



漂流木作用機制：(i)漂流木掛淤橋墩 (ii)漂流木掛淤橋面版 (iii)漂流木隨洪水或湧波撞擊橋梁

● 堰塞湖潰壩影響對橋梁之危害機制

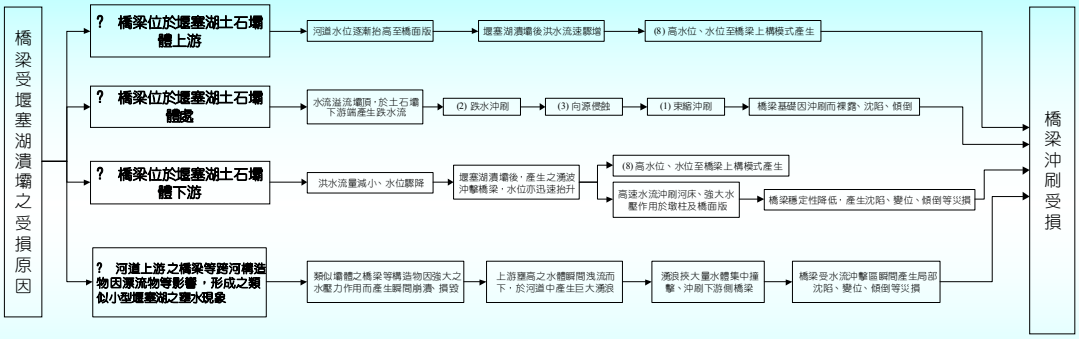
① 橋梁位於堰塞湖土石壩體上游

② 橋梁位於堰塞湖土石壩體處

③ 橋梁位於堰塞湖土石壩體下游

④ 河道上游之橋梁等跨河構造物因漂流物等影響，形成之類似小型堰塞湖之壅水現象

●堰塞湖潰壩影響對橋梁之破壞流程圖



堰塞湖潰壩作用機制：？ 橋梁位於堰塞湖土石壩體上游；？ 橋梁位於堰塞湖土石壩體處；
？ 橋梁位於堰塞湖土石壩體下游；？ 河道上游之橋梁等跨河構造物因漂流物等影響，形成之類似小型堰塞湖之壅水現象

●災因調查結果綜合討論

編號	路線	橋梁名稱	致災機制				
			洪水沖刷	土石流	漂流木	堰塞湖	其他
1	台17線	雙園大橋	(4)(5)(6)(7)		(i)(iii)		
2	高92線	大洲大橋	(1)(4)(8)		(i)(ii)(iii)	④	
3	台3線	新旗尾橋	(4)(6)(8)		(i)(iii)	④	
4	台28線	旗尾橋	(1)(4)(8)		(i)(ii)(iii)	③④	
5	台21線	四德橋	(6)		(i)(iii)	③	
6*		楠梓仙溪橋	(4)(6)			③	
7		第八號橋		(a)(b)(f)			
8		第九號橋		(f)		④	崩山
9		第十號橋	(8)	(c)(f)(g)		①	
10*		第十二號橋	(4)(5)	(a)(b)(d)(f)			
11*		第十四號橋	(4)(5)	(c)(d)(f)			
12*		第十五號橋	(4)(5)	(c)(d)(f)			
13*		民族橋		(a)(c)(d)(e)(f)			
14*		民生大橋	(4)	(c)(d)(f)			

編號	路線	橋梁名稱	致災機制				
			洪水沖刷	土石流	漂流木	堰塞湖	其他
15	台27線	大津橋	(6)(8)		(i)(iii)		
16		六津橋		(a)(b)			
17		三合橋	(4)(5)(8)	(c)(f)			
18		新發大橋	(1)(3)(4)(8)	(c)(e)(h)	(i)(iii)	②	
19	台27甲線	六龜大橋	(6)(8)			③④	
20		六龜四號橋	(4)(6)	(h)			路基流失
21		六龜三號橋	(4)(6)	(h)			路基流失
22	台20線	建山一橋	(4)(5)	(a)(b)(c)(d)(e)(f)			
23		建山二橋	(4)(5)	(a)(b)(c)(d)(e)(f)			
24		寶來二橋	(1)(4)(8)	(c)(h)	(ii)(iii)	③	
25*		綠茂橋	(4)(5)	(a)(c)			
26		炳才橋	(4)(5)	(a)(b)(c)(d)(e)(f)			
27*		塔拉拉魯芙溪橋	(4)(5)	(c)(d)(f)(h)			
28*		撒拉啊塢橋	(8)	(a)(c)		③	
29	台24線	第一號橋	(4)	(a)(c)(d)(f)			

● 橋梁災害防治相關因應原則與注意事項

- 河川水理及河川變遷對橋梁安全之注意事項
- 跨越土石流潛勢溪流之橋梁安全注意事項
- 感潮河段橋梁之考量與注意事項
- 其他考量及注意事項

？ 相關議題研提及未來研究方向

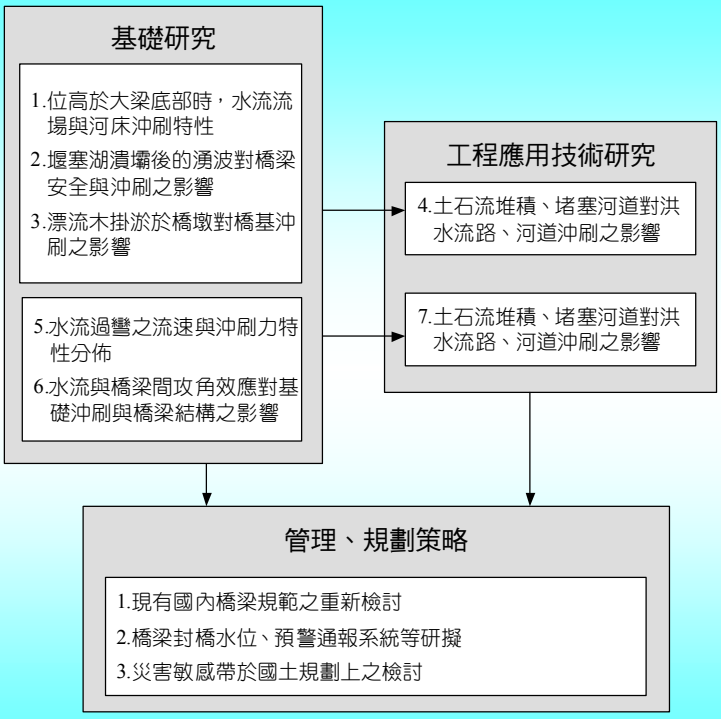
就橋梁設計、養護、維修工程等技術方面

- **水位高於大梁底部時，水流流場與河床沖刷特性**
- **堰塞湖潰壩後的湧波對橋梁安全與沖刷之影響**
- **漂流木掛淤橋墩對橋基沖刷之影響**
- **高水位、堰塞湖湧波及漂流木等作用間之相互影響**
- **水流過彎之流速與沖刷力特性分佈**
- **攻角效應對基礎沖刷與橋梁結構之影響**
- **土石流堆積、堵塞河道對洪水流路或河道沖刷之影響**

就橋梁管理方面

- **現有國內橋梁規範之重新檢討**
- **橋梁封橋水位、預警通報系統等研擬**
- **災害敏感帶於國土規劃上之檢討**

未來研擬課題間之相互關係



？ 結論與建議

結論

- 莫拉克颱風襲台期間，在本省中南部降下破歷年紀錄之雨量，降雨強度亦超過2000年重現期，此即為本次颱風造成多處嚴重災害最主要之原因。
- 根據水利署對莫拉克颱洪期間之洪峰流量分析報告，顯示荖濃溪、旗山溪及高屏溪本流內各控制點洪峰流量均已遠超過河道之計畫洪峰流量，此亦為造成沿線橋梁受損的主要原因之一。
- 莫拉克颱洪造成之坡地崩塌、土石流及堰塞湖等此類大規模之土砂災害，致使各河道內流路變遷不定，土石流及堰塞湖潰壩流更直接沖擊沿線之橋梁或其他構造物，致使流域內橋梁嚴重受損。
- 本計畫利用相關調查資料，分別完成20座計畫橋梁之災因分析與受災流程圖。

- 透過橋梁災前相片資料之蒐集與災後實際之現地災害勘查，完成本計畫額外提供之9座橋梁災損報告(附錄A)。
- 根據橋梁之資料蒐集、現地調查及災因分析結果，各橋梁於莫拉克颱風期間之致災機制，主要可分為：(1)洪水沖刷；(2)土石流作用；(3)漂流木影響；(4)堰塞湖潰壩影響等四大類，而各機制往往相互影響或相伴出現。本計畫亦完成各類致災機制之詳細說明、致災流程及相互關係。此外，由於諸多橋梁之災害型態屬複合型或多重型災害，詳列各橋梁之多重致災機制。
- 透過莫拉克颱風主要受損橋梁災害調查與災因分析、統計結果，本計畫就橋梁設計、養護、維修工程等技術方面提出七項未來可進一步研擬之課題。此外，就橋梁管理方面亦提出三項課題，可供未來進一步研擬。

建議

- 由於高屏溪上游支流荖濃溪、旗山溪等河道因莫拉克颱風期間之大規模洪水、土砂災害，除造成橋梁、道路、堤防、護岸…等基本建設嚴重受損外，該區之河道及天然環境亦產生大幅改變，致使短期內無法達到抵禦一般洪水災害之能力。因此，應視實際改善工程之等級與進度，降低通報預警之標準，以確保人民生命財產之安全。
- 本省山區橋梁之警戒、封橋作業標準，除了以通過橋梁之水位高低作為封橋標準外，應附帶其他特殊情況發生時之應變，如結合土石流、山崩、堰塞湖潰壩等觀測或預警資料，作為特殊情況封橋之依據。