

桃芝颱風土石流受損重建橋梁復建規劃與災因研析

何鴻文* 陳俊堯**

一、前言

台灣位處於環太平洋地震帶西側、歐亞板塊與菲律賓板塊交界處，造山運動十分劇烈，在板塊推擠作用下地震頻繁，岩層因褶皺、斷層、節理與劈理等不連續面普遍發達，又彼此交叉、貫穿，使得岩體結構破碎、地質脆弱，長久以來崩落之土石即堆積於山腹或山谷中，當遇上颱風豪雨降下足夠的雨量時，即引發土石流。加以台灣地區地狹人稠，民眾活動隨社會經濟發展亦逐漸移轉至具土石流潛勢之山坡地，因此當土石流發生時，常造成交通中斷及人民生命財產損失等問題，目前土石流已成為各界重視的焦點。

根據中央氣象局發佈資料，中度颱風桃芝（TORAJI）於九十年七月三十日0時10分左右，由花蓮秀姑巒溪口登陸，穿過花蓮縣境，跨越中央山脈，橫掃南投縣境，並沿台中、苗栗於當日上午10時20分左右由新竹附近離開本島進入台灣海峽北部。豐沛而集中的雨量，重創中台灣，繼賀伯颱風之後，再度在南投等地造成慘重的土石流災害。本局轄管之省、縣道公路共有42條路線計108處發生坍方落石、土石流、路基缺口及橋梁沖毀等交通阻斷災害，其中省道19條路線計69處，縣道23條路線計39處，受災路線遍佈東部及中南部縣市^[1]。

在土石流造成公路坍方、路基流失、橋梁沖毀等災情中，以橋梁沖毀中斷對於公路復建、民生經濟影響最大，總計桃芝颱風共造成本局轄管台21線87K+481郡安橋、89K+959信義橋、97K+402十八重溪橋、98K+402陳有蘭溪橋等計23座橋梁沖毀中斷，151線11K+523和平橋、台21線88K+367上安橋及113K+290愛玉橋遭土石流淤埋^[2]，再加上本局代辦神木村霍薩溪橋、愛玉子橋亦遭沖毀，堪稱本局有史以來最嚴重的橋損紀錄。本文謹就上述本局轄管橋梁災損概況及復建方案簡介，並討論土石流成因與災因研析，併為桃芝颱風受損橋梁之重建資料作一紀錄。

二、桃芝颱風土石流受損重建橋梁

(1)台21線86K+150無名橋：台21線86K+150處原設置箱涵乙座，平時溪溝中水量極少，桃芝颱

* 養路組道工科科長 土木技師

** 養路組道工科幫工程司 土木技師

風時，集中而豐沛的雨量沖蝕溪溝中崩積土壤及兩側溝壁，使溝壁之土石體因呈高含水量而坍塌，最後產生流動現象形成土石流，沖毀涵洞及路基，溪溝刷深擴大為約20公尺寬，災後本局利用大型涵管施築便道迅速搶通道路（圖01）。修復方案將該處改建為單跨全長30公尺、淨寬9公尺的預力I型梁橋，下部結構為懸臂式橋台。

- (2)台21線87K+481 郡安橋：郡安橋原橋長20公尺（單孔），寬7.5公尺，上部結構為RCT梁，下部結構為重力式橋台。郡安橋附近屬於土石流堆積區及土砂流發生區，土石流發生後土石材料直接淤積於台21線公路上，淤積土石擴寬河道斷面沖毀橋梁，並損及周圍鄰房（圖02），災後本局利用大型涵管施築便道迅速搶通道路（圖03）。目前本局依據水土保持局二廊坑溪整治計劃將郡安橋改建為長35公尺、寬10公尺單孔橋，上部結構採PCI梁，下部結構為RC墩柱式橋台。
- (3)台21線88K+367 上安橋：上安橋位於上安村，原橋長8.3公尺（單孔）、寬8公尺，上部結構為RC版梁，下部結構為重力式橋台。上安村處於巒大林道及人倫林道交會處，賀伯颱風過後，水土保持局在上游築起一道道防砂壩，把平時小規模的土石流攔住，在桃芝颱風大規模土石流的強大威力下，上安橋上游的整治工程蕩然無存，上安橋完全遭土石流掩埋^[3]（圖04、05、06）。台21線80K+700~91K+000路段因土石流造成路基阻斷災情，經搶修於91.8.2恢復通車。本局為配合水土保持局三廊坑溪整治計劃，將上安橋改建為橋長30公尺（單孔）、寬7.5公尺PCI梁橋。
- (4)台21線89K+959 信義橋：信義橋位於郡坑溪與陳有蘭溪交會口，原橋長180公尺（6 @ 30m）、寬7.6公尺，上部結構採PCI梁，下部結構為懸臂式橋墩及沉箱基礎。郡坑溪源遠流長，集水區面積約為3157公頃，信義橋附近河岸坡度約為5度，屬於土石流停止區及土石流淤積區^[3]，上游西巒大山及牛相門崩坍大量土石為土石流來源^[4]（圖07）。85.7.31賀伯颱風時洪水高漲並夾帶大量土石淤積於橋下，甚至有土石漫流至橋面，災後本局挖除淤積之大量土石並修復受損結構（圖08）。本次桃芝颱風引發土石流，再度因土石淤積造成橋梁淨空不足，大量土石流無法順利通過，隨後而至的土石造成P1橋墩受損，並將水里端第一、二跨橋面淤埋流失及引道沖毀約二十公尺（圖09、10），由現場觀察結果顯示，現有公路上方土石材料淤積深度約與信義橋橋面等高。本橋災後以河底砂石路基便道搶修於90.8.16通車（圖11、12），復建方案採受損之第一、二跨重建，並於水里端加建一跨，以增加排洪量（圖13），復建工程於91.4.8開工，預計91.8.8完工。
- (5)台21線97K+402 十八重溪橋、98K+402 陳有蘭溪橋、99K+117 筆石橋：
 - A. 97K+402 十八重溪橋：位於十八重溪與陳有蘭溪交會口，總長210公尺（6@35m）、橋寬7.5m，上部結構採簡支預力I型梁，下部結構為單柱圓形橋墩及沉箱基礎（圖14）。此次災害起因於匯流口東北側一溪溝發生土石流（圖15、16），造成十八重溪橋北側第一、二、三孔橋面被該土石流淹埋及堵塞橋孔，並將第一孔橋面向下游推移一公尺，造成錯位（圖17、18），且因河道被土石堵塞河寬縮窄後，十八重溪河流改道沖向南側A2橋台，致A2橋台損壞下陷，橋面下陷（圖19），橋台兩側河岸均有嚴重沖刷及崩落情形（圖20）。災後本局於南側坍塌之橋面上架設鋼便橋維持通車（圖21）。

- B. 98K+402 陳有蘭溪橋、99K+117 筆石橋：台21 線於98K+230K 處以陳有蘭溪橋跨越陳有蘭溪後，以筆石橋跨越筆石溪（圖22）。陳有蘭溪橋橋長200m（4@35m+2@30）、橋寬7.5m，上部結構採簡支預力I 型梁，下部結構為單柱圓形橋墩及沉箱基礎（圖23、24）。筆石橋位於筆石溪與陳有蘭溪交會口，原橋長60 公尺、橋寬7.5m，上部結構為簡支RCT 型梁，下部結構為壁式橋墩及沉箱基礎（圖25）。桃芝颱風時瞬時流下之大量土石流，造成筆石橋北側橋孔上部結構遭沖毀流失，中間橋墩受土石撞擊剪裂，筆石溪堤防及道路路基均遭土石流沖毀、流失^[5]，筆石溪河道並改道，向北側舊有橋台後方沖出新的河道，筆石橋僅餘南側橋台及部份橋面版。筆石溪上游土石流撞擊筆石溪河口對岸崩坍地後，合併陳有蘭溪主河道之流量，造成陳有蘭溪橋200 公尺全部沖毀、河道擴大道路路基流失（圖26、27、28）。陳有蘭溪及筆石溪匯流處的沖積扇（筆石巷）幾乎全被土石覆蓋，15 間房屋流失，高出地面近2 公尺的土石堆上散落殘破的屋瓦（圖29、30）。
- C. 災後本局立即以溪底便道搶通交通，而後陳有蘭溪橋採用貨櫃內填低強度混凝土作為橋墩搭設便橋（圖31），筆石橋採用水泥涵管維持通水，施築便道（圖32）。另為維持復建完成前短期交通需求，陳有蘭溪橋及筆石橋於施工期間先行施設鋼便橋維持交通，於90 年8 月20 日通車（圖33、34）
- D. 上述三座橋梁均遭土石流沖毀，且相距不遠，工址鄰近區域亦受土石流嚴重損毀，已無法於原址復建，為通盤考量該三座橋梁採整體改線方式復建，路線往下游調整以避開土石流危害，橋梁復建長度共約1.5 公里，路基長度約3.3 公里（圖35）。預計91.7.30 辦理初步設計完成，92.4.30 開工，94.12.30 完工。
- (6)台21 線 103K+104 望鄉橋：望鄉橋位於陳有蘭溪及阿里不動溪匯合口，望鄉橋原長90 公尺（1 @ 20 + 2 @ 35），橋面淨寬7.5 公尺，上部結構為PCI 梁，下部結構為懸臂式橋墩及沉箱基礎。土石流發生後撞毀北側橋墩，並沖走兩截橋面版（圖36、37），目前本局利用堆積土石及大型貨櫃充當橋墩，於90.8.18 搶通（圖38、39）。復建方案為原橋址改建三跨預力箱型梁橋，橋長130 公尺（圖40），於91.3.25 開工，預定工期一年。
- (7)台21 線 111k~114k 路基及橋梁：
- A. 台21 線行至同富後沿著和社溪（陳有蘭溪之上游）左岸上行，至上游各支流（郝馬戛班溪、出水溪、霍薩溪及松山溪等）匯流後的出口處附近，以松泉橋及神和橋跨越和社溪，經愛玉橋跨越愛玉溪後由和社溪右岸蜿蜒向上通往阿里山（圖41）。本路段在本次桃芝颱風時產生土石流及邊坡崩落，造成111K+800~112K+600 原有兩個明隧道之間部份路基流失（圖42），位於迴頭彎處的112K+750 松泉橋及112K+877 神和橋（圖43），原橋全長皆為40 公尺，兩跨簡支式PCI 梁橋，因上游嚴重的土石流災害及湍急的水流，兩座橋梁皆遭流失，113K+290 愛玉橋（原橋全長20 公尺，為單跨預力I 型梁橋），亦遭土石流淤埋覆蓋（圖44、45）。為搶修恢復通車，在原松泉橋及神和橋處以貨櫃內填低強度混凝土作為臨時橋墩基礎，搭建鋼便橋於90.8.25 日通車（圖46、47）。
- B. 本路段復建方案原則分為三區段考量；第一個區段主要位置在新興橋至玉泉橋之間（111K+000~111K+800），為原地改善路段。第二個區段里程在111K+800~112K+600，在原有

兩個明隧道之間，本段受土石流影響甚大，路基必須重新復舊並考量往後土石流沖刷之影響。第三個區段位在 112K+600~113K+216，由於原有橋梁已完全損壞，預計將橋址向和社溪下游遷建，以高架鋼橋跨越兩處河口，路線於愛玉橋後方接回原路^[6]（圖 48）。預計 91.9.30 完成細部設計，92 年 1 月開工。

- (8) 151 線 11K+523 和平橋：原橋長 13.1 公尺，淨寬 8 公尺，上部結構為 RCT 型梁，下部結構為重力式橋台（圖 49）。桃芝颱風時，上游大量崩落土石流至此處，因河道彎曲，土石堆高沖上道路、漫過橋梁，造成橋護欄沖毀、梁底及橋面受損、橋台基礎沖刷（圖 50、51、52）。復建方案為原址改建為橋長 16 公尺、淨寬 10 公尺 RCT 型梁橋，下部結構為懸臂式橋台，於 91.1.27 開工，91.6.25 完工。
- (9) 151 線 12K+785 奮鬥橋：奮鬥橋原橋長 17.4 公尺，橋面淨寬 9 公尺，上部結構為 RCT 型梁，下部結構為重力式橋台。桃芝颱風土石流沖毀 A1 橋台並造成橋面流失，溪槽擴大為 40 公尺寬（圖 53）。災後本局於上游處施設涵管便道，並於 90.8.27 搶通（圖 54）。復建方案於原橋下游側加長重建，採跨距 40 公尺 PCI 梁橋，並重建引道 52 公尺（圖 55、56），於 91.1.27 開工，預定 91.7.30 完工。
- (10) 151 線 13K+581 尚進橋：原橋長 10.4 公尺，橋面淨寬 9 公尺，上部結構為 RCT 型梁，下部結構為重力式橋台（圖 57）。桃芝颱風時橋面遭野溪上游土石流沖毀流失，溪槽擴大（圖 58）。災後本局於上游處施設涵管便道，並於 90.8.27 搶通（圖 59）。復建方案採原橋下游側加長重建為跨距 25 公尺 PCI 梁橋，並修復引道長 75 公尺（圖 60），於 91.4.8 開工，預定工期三個月。
- (11) 151 線 16K+386 大孝橋：本橋長 7.3 公尺、淨寬 8.3 公尺，上部結構為 RC 版梁，下部結構是重力式橋台（圖 61）。桃芝颱風時，橋梁遭土石流沖毀、引道路基流失，且溪槽擴大為 65 公尺寬，由災後現場僅殘存二座受損橋台，可以想見當時土石流之規模（圖 62、63）災後另於上游處施設涵管便橋及便道於 90.8.27 搶通（圖 64）。本橋復建方案為於原橋下游側加長重建，採全長 40 公尺（單孔）PCI 梁橋並將引道重建 100 公尺（圖 65），於 91.1.27 開工，預定 91.7.11 完工。
- (12) 17K+130 大仁橋：原橋橋長 11.4 公尺，淨寬 9 公尺，上部結構為 T 型梁，下部結構採重力式橋台。災後橋面遭土石流沖毀流失，溪槽擴大為 40 公尺寬（圖 66、67），本局改在上游處施設涵管便道於 90.8.27 搶通（圖 68）。復建方案為橋梁加長重建，採全長 30 公尺（單孔）PCI 梁，重建引道 140 公尺長（圖 69、70），於 91.1.27 開工，預定 91.6.30 完工。
- (13) 149 線 10K+595 瑞興橋：原橋橋長 120 公尺（3@40m）、寬 12 公尺，為三跨簡支式 PCI 梁橋，下部結構是沉箱基礎（圖 71）。瑞興橋跨越加走寮溪，因上游崩場地範圍甚廣，桃芝颱風時爆發土石流夾雜上游溪頭杉林溪安定灣等地大量巨石，造成河床淤高，河中巨石流木堵塞橋孔，後續而至的土石將本橋 P1 橋墩及第一、二跨橋面沖毀流失，南端引道流失 200 公尺（圖 72、73）。為恢復交通，以鋼涵管其上澆築混凝土施設臨時便道於 90.8.20 通車（圖 74）。本橋併同北側路段及 10K+160 乾坑橋為因應土石流提高橋梁及路線縱坡，採一體考量重建，復建方案為瑞興橋改建為六孔跨距 60 公尺、全長 360 公尺鋼箱梁橋，下部結構為壁式橋墩及與堤防共構之橋台設計，梁底高程較原橋梁高 4m（圖 75），乾坑橋原橋為全長 60m（2@30m）PCI 梁橋，改建為單跨 60M 長鋼箱型梁橋，梁底高程提高 5m 以上，並考量當地排水於 11K+265~11K+355 增設

- 90m 長 (3@30m) PCI 梁橋。預定91.12.31 開工，工期15 個月。
- (14)149 乙線0K+854 瑞草橋：原橋全長 160 公尺 (4@40m)，橋寬 10 公尺，上部結構為 PCI 梁，下部結構為沉箱基礎 (圖76)。瑞草橋跨越清水溪，桃芝颱風時遭土石流沖擊，P1 橋墩及第一、二跨橋面沖毀流失 (圖77)。災後於橋址上游處以鋼涵管澆築混凝土施設臨時便道於 90.8.20 通車 (圖78)。復建方案為原橋第一、二跨重建，上部結構維持 40 公尺跨徑 PCI 梁，下部結構改採全套管基樁 (圖79、80)，於 91.1.1 開工，91.4.30 完工。
- (15)149 甲線 33K+155 內湖橋：原橋為總長 20 公尺、總寬 12 公尺之 PCI 梁橋 (圖81)。桃芝颱風造成內湖橋遭土石流沖毀，90.8.6 先行於河床搶修便道讓當地居民通行，經勘災完成後在原橋址利用未損毀橋台，採用 I 型鋼梁設計長 20 公尺、寬 8 公尺鋼橋，於 90.9.11 恢復通車 (圖82)。復建方案採改建為跨長 50 公尺鋼箱型梁橋，下部結構為 30 公尺長全套管基樁構成之排樁式橋台，並改善路基長 330 公尺 (圖83)。
- (16)149 甲線 33K+779 雙孔橋：雙孔橋原為 17.4 公尺長、8 公尺寬之 RC 雙孔箱涵 (圖84)，桃芝颱風時遭土石流沖毀，溪床淤積大量土石 (圖85)。因 149 乙線瑞草橋與 149 甲線內湖橋及來吉大橋、三龍橋均遭沖毀，造成材料運輸不便，於是採用 180cm ϕ 涵管做為排水管路，涵管上方回填級配滾壓夯實，並鋪設 AC 路面，於 90.8.20 在舊橋原址完成臨時便道搶修 (圖86)，90.9.17 納莉颱風來襲將臨時便道沖毀，於 90.10.22 修復臨時便道恢復通車。因限於上方高處土石流可能再度肆虐沖擊，不適合以橋梁或路堤修復，擬採改建為 115 公尺長、9 公尺寬明隧道 (圖87、88)。
- (17)149 甲線 45K+112 全仔社橋：全仔社橋原橋長 230 公尺 (6@35m+20m)、淨寬 8 公尺，上部結構為五孔 PCI 梁及一孔 T 型梁，下部結構為直接基礎 (圖89)。桃芝颱風時，本橋因土石流淤積衝擊而造成 P3 橋墩傾斜，S3 及 S4 二孔橋面版呈 V 型下斜，溪床淤積大量土石 (圖90)。為恢復通車，將原橋下之大樑與河床剩餘空間填塞石塊，橋面版上鋪設碎石料及 AC 調整縱坡 (圖91、92)，於 90.9.5 修復恢復通車。本橋復建方案是將原有損壞橋梁打除 105 公尺 (S2~S4)，改建 27.5 公尺預力樑兩跨及箱型鋼樑 50 公尺 1 跨，橋墩 2 座，基礎為 20 公尺長全套管基樁共 18 支 (圖93)。
- (18)草瑞公路 9K+942 三龍橋：原三龍橋為 30 公尺長 PCI 梁橋，淨寬 7.5 公尺 (圖94)，受桃芝颱風豪大雨及土石流沖刷，溪床擴大、橋梁沖毀造成道路中斷 (圖95、96)。本局緊急於原橋址上游辦理臨時便道搶修，另含 10k+436 段路基共 165 公尺長、5 公尺寬，於 90.8.3 搶修完成，於 90.9.17 再受納莉颱風重創及土石流沖刷，三龍橋臨時便道、北橋台及 10k+436 路基流失，造成道路再度中斷，另於 90.9.23 原址搶修完成 (圖97)。重建設計原則以原路線向下游移約 30 公尺，原三龍橋 30 公尺長之預力樑橋改建為橋長 96 公尺、淨寬 7.5 公尺之單孔鋼拱橋 (圖98、99)。91.5.24 發包，工期 360 日曆天，預定於 92.4.10 竣工。
- (19)12K+045 來吉橋：原橋為五孔簡支 PCI 梁橋，總長 200 公尺 (5@40)、總寬 8.5 公尺 (圖100)，受桃芝颱風豪大雨及土石流沖刷，P3 橋墩遭沖毀及 S3、S4 兩孔橋面滑落損毀，造成道路中斷 (圖101、102)。修復方案預定原址修復，P3 橋墩加深至與 P2 同深 (圖103)，河床施作保護工，岸邊增設防護擋土牆，工期 240 日曆天，預定於 91.12.1 竣工。

(20)台16線33K+764 地利橋：原橋為長 25.3 公尺（單孔）PCI 梁橋，淨寬 9.5 公尺，下部結構為重力式橋台（圖 104）。受損情形為橋梁遭土石流沖毀，目前因水土保持局尚未規劃地利溪整治計劃，暫以便道埋設涵管通行（圖 105），未來將依據南投縣政府及水土保持局地利溪整治計劃再辦理改建。

(21)136線52K+572 平和橋：原橋長 12 公尺，淨寬 6 公尺，上部結構為 RCT 梁，下部結構為重力式橋台，受損情形為上部結構遭土石流沖毀流失，搶修方式為架設鋼便橋（圖 106）。復建方案採原址重建為跨徑 20 公尺、淨寬 9 公尺之中空預力版橋（圖 107）。

(22)147線8K+685 無名橋：原橋長 15 公尺，淨寬 6 公尺（圖 108），上部結構為 RCT 梁，下部結構為重力式橋台，受損情形為上部結構遭土石流沖毀流失，搶修方式為架設鋼便橋（圖 109）。復建方案採重建為跨徑 20 公尺、淨寬 9 公尺之中空預力版橋。

三、土石流之成因、特性及發生機制

3.1 土石流之成因

構成土石流災害發生之成因有三個要件：(1)豐富的鬆散溪床堆積物(2)適當的溪床坡度(3)充沛的水分供給。其中，豐富的鬆散溪床堆積物提供形成土石流所需之固態物質；充沛的水分供給潤滑土石流內固態物質並降低固態物質間的摩擦力與凝聚力，促使固態物質液化以助於流動；足夠大的溪床坡度供給土石流流動的動力，使土石流克服其內部之摩擦力與凝聚力後繼續向低處流動。

土石流之侵蝕力極強，剛發生時可能僅為小規模，但流下溪床時，溪岸與河床的堆積土砂會被淘刷混入流體中而使土石體積大為增加。這種流體有直線移動之偏向，加上沖蝕力強，可能會形成新流路。當溪床之坡度變緩且土石之含水量逐漸減小，則會停止流動而堆積。

3.2 土石流之特性

在電視相關報導上我們可以看到土石流發生時滾滾黃流，漫過農田、房舍、道路（圖 110、111、112），淤高好幾公尺造成災害，也可以看到土石流過後房屋傾倒、橋梁沖毀，現場僅留下大量觸目驚心的土石，有的巨石直徑甚且達到二、三公尺（圖 113、114）。概括而言，土石流之組成物質相當複雜，包含了水、空氣、黏土礦物、不同粒徑之顆粒及樹木等雜物，均會影響土石流的特性。一般而言土石流具備下列幾種特性^{[7][8]}：

(1)材料之粒徑分佈。可將土石流型態分成下列三種：

- 1.礫石型土石流：0.1mm 以下之細微粒子含量在 10% 以下者。
- 2.泥流型土石流：0.1mm 以下之細微粒子含量在 50% 以上者。
- 3.一般型土石流：細微粒子含量在 10%~50% 之間者。

(2)土石流流動速度與含有的土石粒徑，濃度及溪谷坡度有關。礫石型土石流其流速介於 3~10m/s，泥流型土石流介於 2~20m/s 之間。



圖01 台21線86K+150處涵洞、路基沖毀，溪槽擴大，目前以涵管便道維持通行



圖02 台21線郡坑附近土石流（空照）



圖03 桃芝風災過後緊急搶通的郡安便橋



圖04 台21線上安村土石流，上方河流為陳有蘭溪（空照）



圖05 上安橋遭土石流掩埋



圖06 上安橋搶通後情形

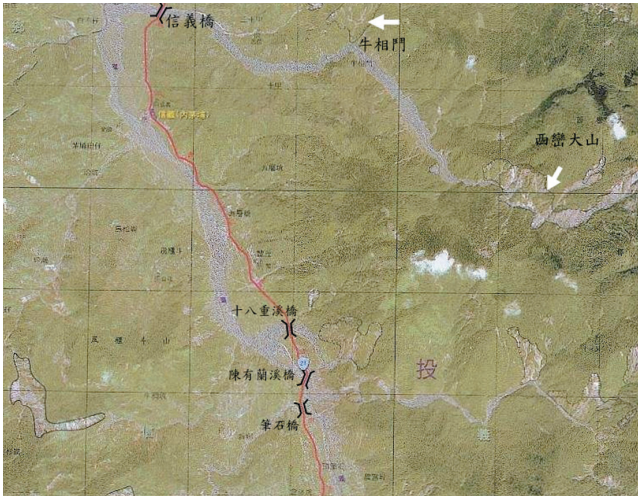


圖07 信義橋上游西巒大山附近及牛相門崩坍地分布情形



圖08 台21線信義橋原橋照片



圖09 台21線信義橋遭土石流沖失二孔(空照)



圖10 桃芝颱風後遭土石流沖毀之信義橋



圖11 台21線信義橋於桃芝颱風後以河底便道搶通



圖12 台21線信義橋溪底便道

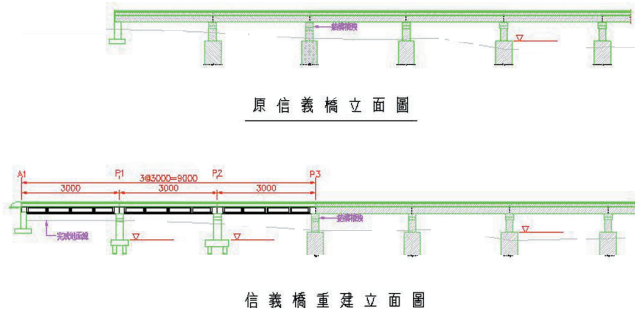


圖13 信義橋重建示意圖



圖14 台21線十八重溪橋原橋照片



圖15 十八重溪橋土石流源頭及陳有蘭溪橋、筆石橋土石流災損照片(航照)



圖16 台21線十八重溪橋土石流源頭



圖17 十八重溪橋北側橋面發生錯移，南側橋台遭土石流沖毀(空照)



圖18 台21線十八重溪橋北端橋面受損情形



圖19 十八重溪橋北端上部結構受土石流推擠，最大側移量達兩公尺



圖20 十八重溪橋南端橋面下落



圖21 十八重溪橋塌落之橋面上架設鋼便橋

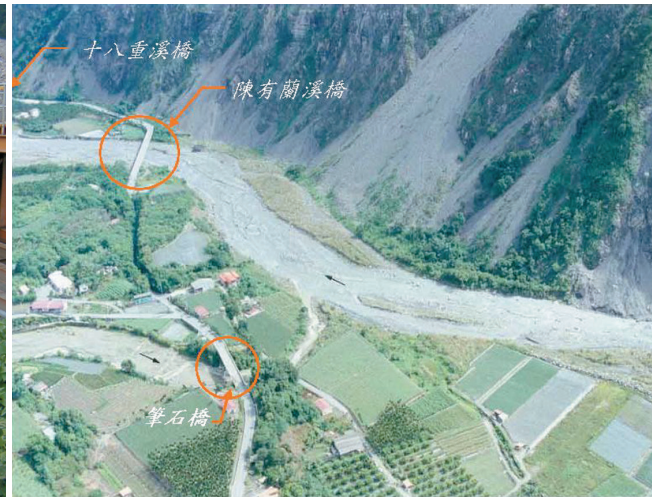


圖22 台21線陳有蘭溪橋、筆石橋位置(空照)



圖23 台21線陳有蘭溪橋原橋照片(空照)



圖24 台21線陳有蘭溪橋原橋照片



圖25 台21線筆石橋原橋照片



圖26 筆石溪匯流口對岸邊坡崩坍造成土石流來源之一部分



圖27 桃芝颱風後，被沖失之陳有蘭溪橋、筆石橋及其間路基覆蓋土石（空照）

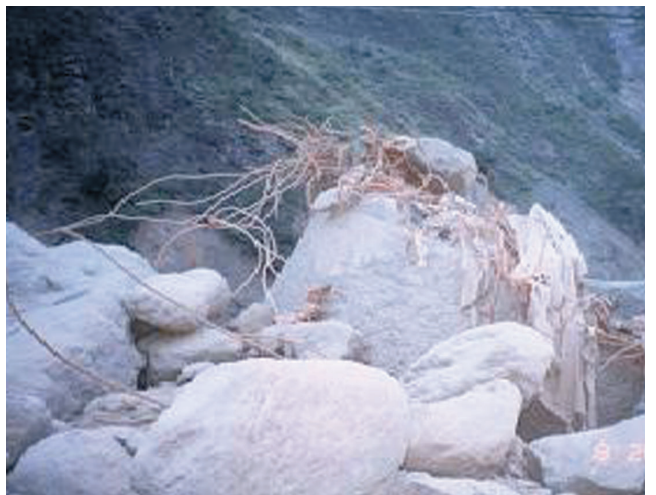


圖28 陳有蘭溪橋全橋遭沖毀流失，僅存橋墩殘骸



圖29 筆石溪匯流處的沖積扇（筆石巷）及台21線筆石橋受損情形（空照）



圖30 筆石溪沖積扇、堤防及路基均遭土石流沖毀流失，河床改道



圖31 台21線陳有蘭溪橋第一階段便道及便橋



圖32 筆石橋遭土石流沖毀後以便道搶通



圖33 台21線陳有蘭溪橋第二階段鋼便橋



圖34 筆石橋第二階段鋼便橋



圖35 十八重溪橋~筆石橋改線初步規劃示意圖



圖36 台21線望鄉橋遭土石流沖毀情形(空照)



圖37 望鄉橋北側橋墩遭土石流沖毀後僅剩一孔橋面



圖38 望鄉橋北側橋墩遭土石流沖毀後僅剩一孔橋面



圖39 台21線望鄉橋便道便橋

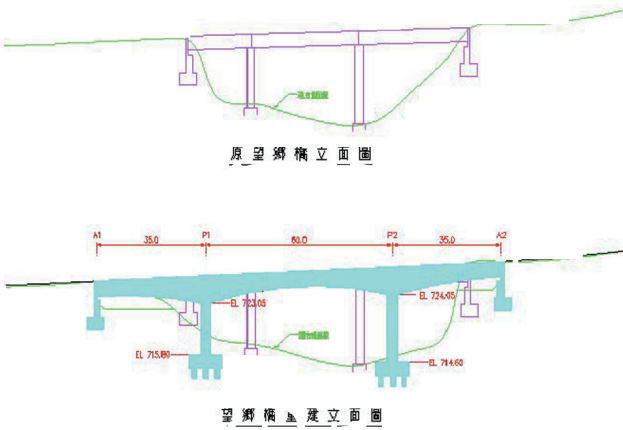


圖40 望鄉橋復建設計圖



圖41 松泉、神和、愛玉橋位置平面圖



圖42 台21線111K~112明隧道間路基崩塌



圖43 台21線松泉橋、神和橋（空照）



圖44 台21線松泉橋、神和橋完全遭土石流沖失



圖45 台21線松泉橋、神和橋遭土石流沖失，愛玉橋遭土石流掩埋（空照）



圖46 台21線松泉橋、神和橋鋼便橋



圖47 台21線松泉橋、神和橋鋼便橋（臨時貨櫃橋墩基礎）



圖48 台21線松泉橋、神和橋、愛玉橋路段改線示意圖



圖49 151線和平橋原橋照片



圖50 151線和平橋因土石流造成引道路基、橋台、大梁及橋面損壞



圖51 151線和平橋上游土石流躍上路面及橋面



圖52 151線和平橋橋面及護欄破壞



圖53 151線奮鬥橋受損情形



圖54 151線奮鬥橋便道便橋



圖55 151線奮鬥橋採加長跨徑復建(A1橋台施工)

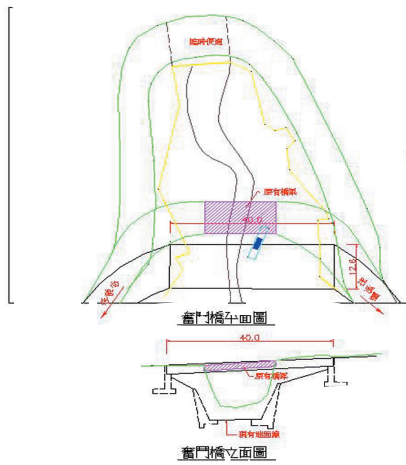


圖56 151線奮鬥橋改建位置示意圖



圖57 151線尚進橋原橋照片



圖58 一五一線尚進橋受土石流沖毀



圖59 151線尚進橋便道便橋

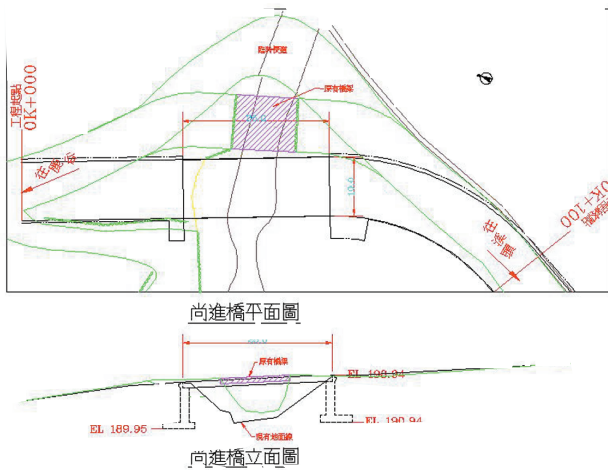


圖60 151線尚進橋復建示意圖



圖61 151線大孝橋原橋照片



圖62 151線大孝橋遭土石流沖毀僅餘部分橋台



圖63 151線大孝橋溪槽遭土石流沖刷擴大(圖為復建工程A2橋台施工)



圖64 151線大孝橋便道便橋

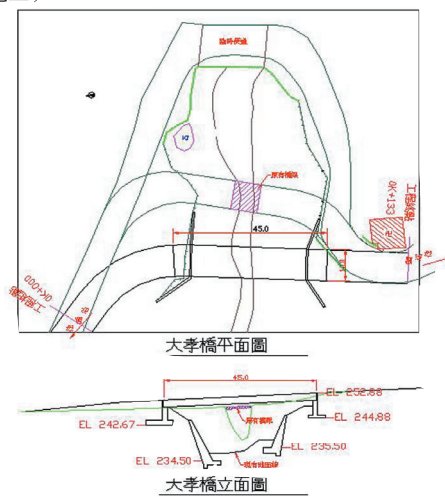


圖65 151線大孝橋重建示意圖



圖66 一五一線大仁橋受損情形

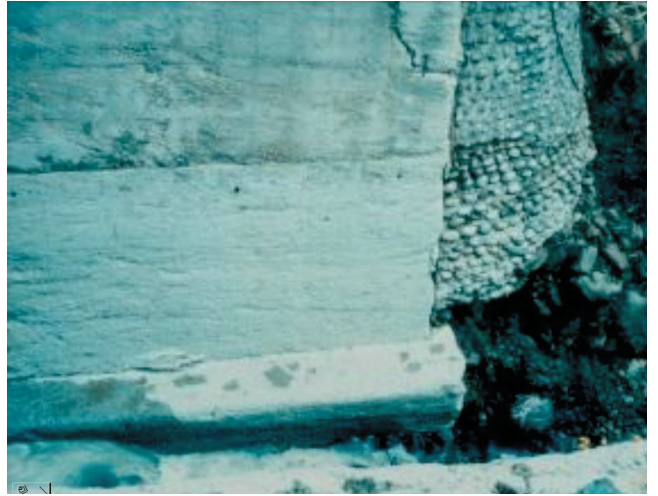


圖67 一五一線大仁橋橋台遭土石流沖刷受損情形



圖68 151線大仁橋便道便橋

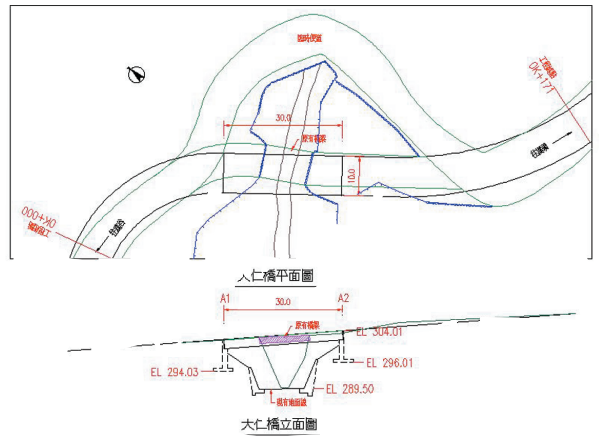


圖69 151線大仁橋復建示意圖



圖70 151線大仁橋復建工程A2橋台施工



圖71 149線瑞興橋原橋照片



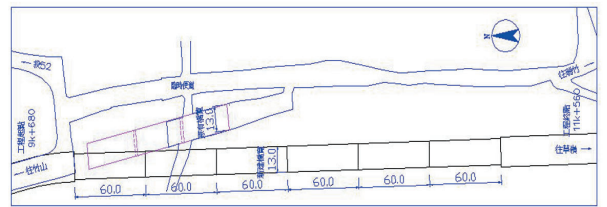
圖72 149線瑞興橋遭土石流沖毀(空照)



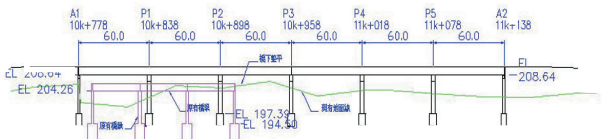
圖73 149線瑞興橋巨石流木堵塞橋孔



圖74 149線瑞興橋鋼涵管便橋



149線瑞興橋平面圖



149線瑞興橋立面圖

圖75 149線瑞興橋復建設計示意圖



圖76 149乙線瑞草橋原橋照片



圖77 瑞草橋受損情形



圖78 149乙線瑞草橋便道便橋

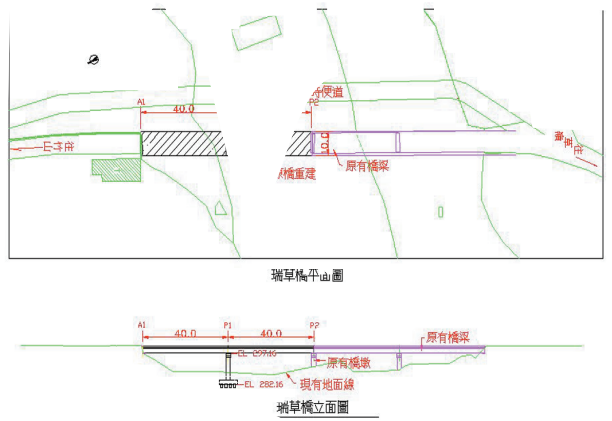


圖79 149乙線瑞草橋復建示意圖



圖80 149乙線瑞草橋復建工程基礎改採全套管基樁



圖81 149甲線內湖橋原橋照片



圖82 149甲線內湖橋搶修鋼便橋

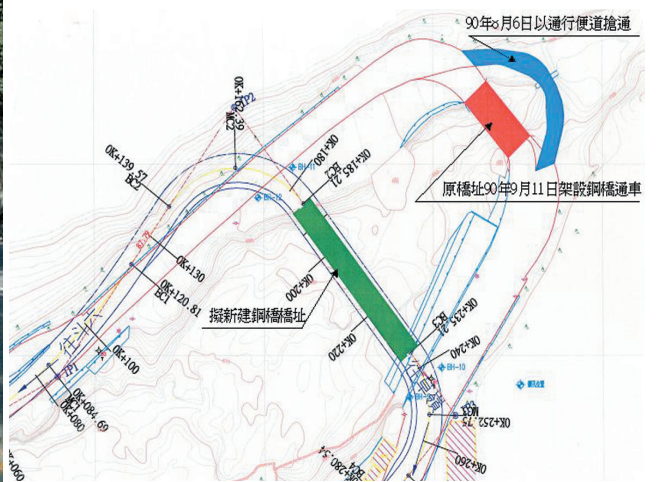


圖83 149甲線內湖橋改建平面示意圖



圖84 149 甲線雙孔橋原橋照片



圖85 149 甲線雙孔橋受損情形



圖86 149 甲線雙孔橋以涵管便道搶修

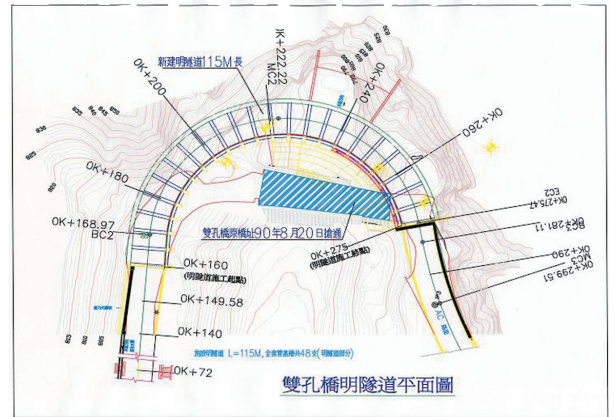


圖87 149 甲線雙孔橋擬改採明隧道復建示意圖

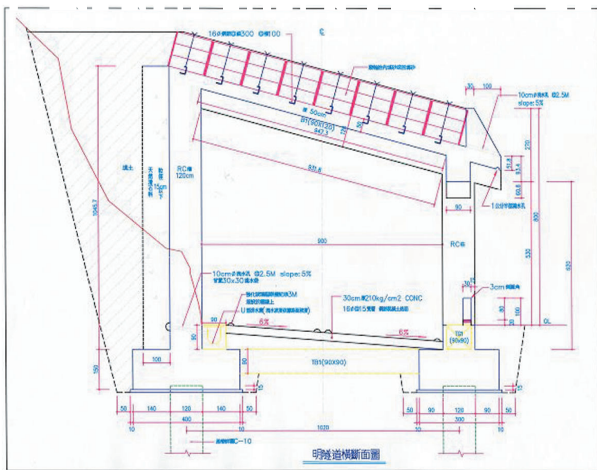


圖88 149 甲線雙孔橋明隧道斷面示意圖



圖89 149 甲線全仔社橋原橋照片



圖90 149甲線全仔社橋受損情形



圖91 149甲線全仔社橋橋下填塞石塊搶修



圖92 149甲線全仔社橋橋面以碎石料及AC調整縱坡

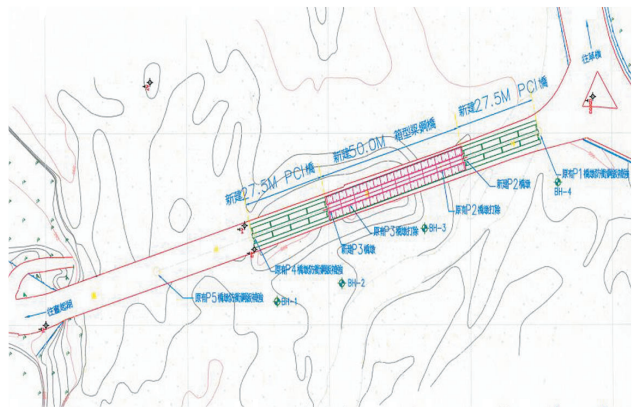


圖93 149甲線全仔社橋復建平面示意圖



圖94 草瑞公路三龍橋原橋照片



圖95 草瑞公路三龍橋沖毀受災情形



圖96 草瑞公路三龍橋沖毀受災情形



圖97 草瑞公路三龍橋便道

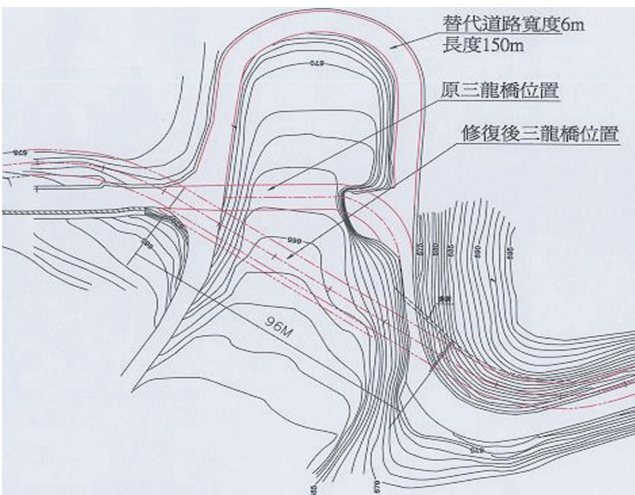


圖98 草瑞公路三龍橋復建平面示意圖

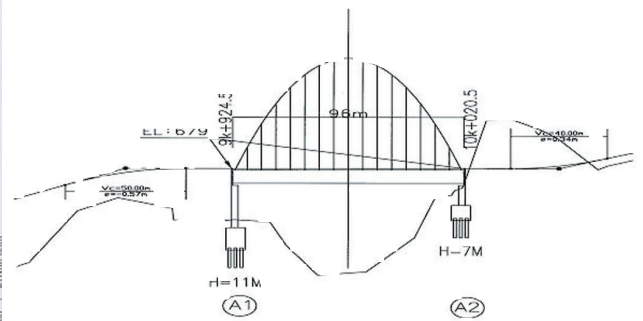


圖99 草瑞公路三龍橋預定復建縱斷面示意圖



圖100 草瑞公路來吉大橋原橋照片



圖101 草瑞公路來吉大橋橋墩沖毀橋面損毀



圖102 草瑞公路來吉大橋橋墩沖毀

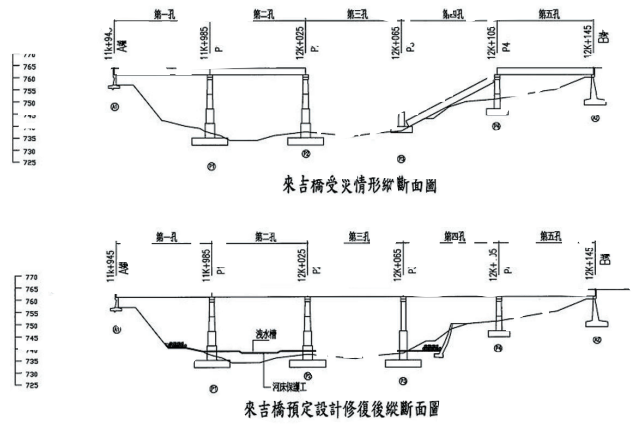


圖103 草瑞公路來吉大橋復建示意圖



圖104 台16線地利橋原橋照片



圖105 台16線地利橋涵管便道



圖106 136線平和橋橋面沖損後以鋼便橋搶修

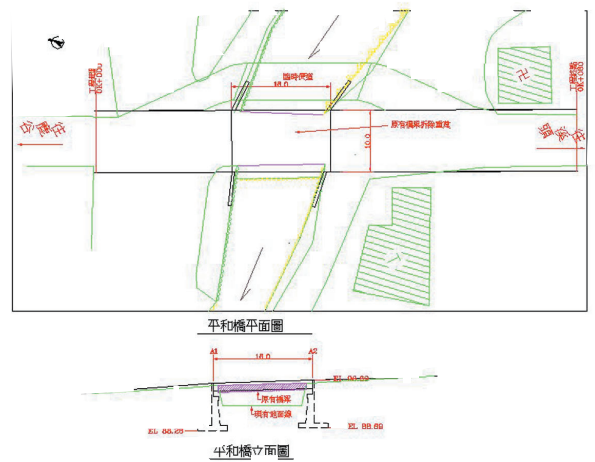


圖107 136線平和橋復建示意圖



圖108 147線無名橋原橋照片



圖109 147線無名橋原橋址處架設鋼便橋



圖110 台21線96K+000~96K+800 豐丘附近土石流



圖111 台21線96K+000~96K+800 路基遭土石流淹沒(空照)



圖112 台21線豐丘附近土石流淹至二樓高



圖113 土石流躍上道路、橋面造成房屋損毀

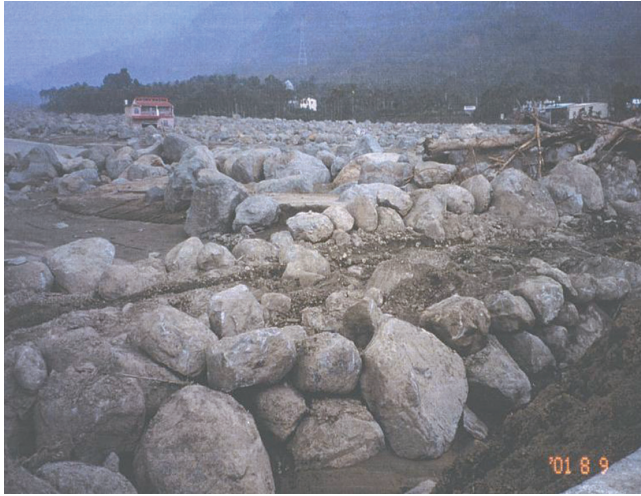


圖114 149線瑞興橋橋址河床因巨石堆積淤高

- (3)土石流表面流速明顯大於平均流速，具有底部慢，表面快之流速分佈特性。
- (4)土石流前端呈波浪狀，常有巨石礫集中之現象。
- (5)土石流通常為間歇性流動，即前端受阻停止時，後續因慣性造成流深增加，使得壓力加大迫使前端再次流動。
- (6)在溪流坡度變緩、寬度變大處，土石流常淤積成扇狀堆積。
- (7)土石流發生地點之坡度多在10~30度間，而常在坡度3~6度之地點堆積。
- (8)土石流單位體積重量（流動中）約在1400kg/m³至2300kg/m³之間。

3.3 土石流之發生機制

土石流發生機制與災害範圍大小，與該區域內崩積物厚度、地質成份、地文特性及水文特性等因子有密切關係。以下分地文、水文及地震三部分探討。

3.3.1 影響土石流發生之地文條件[4]

- (1)溪床的坡度條件：在不同的地區因地質組成、地形構造、植生狀況及水源特性等條件不一樣，所以會引發土石流的溪床坡度條件也不盡相同。根據以往的調查，土石流危險溪流的坡度通常在10°~30°之間。
- (2)有效集水區面積大小：在一定的降雨特性及地質條件下，集水區的大小可以代表逕流量大小及崩積物的多寡，流域內之集水區越大，則蓄存雨量的能力亦相對的增加。土壤中所蘊含的水體飽和後，不但增加土壤的荷重，亦使土體間的抗剪力降低，使土石流發生的機率大增。
- (3)集水區形狀因子：集水區形狀因子F為集水區面積A與主要河川長度L平方之比值，此一參數代表單位河川長度之流域寬度。形狀因子小於1時，集水區形狀呈狹長形，其溪流邊坡之平均坡度較大。當溪谷邊坡之坡度較大時，易導致邊坡崩塌，將土石堆置於溪床上，提供土石流大量的崩積物。
- (4)水土保持狀況：水土保持狀況可表示該集水區人為開發的狀況。土石流發生需要足夠的崩

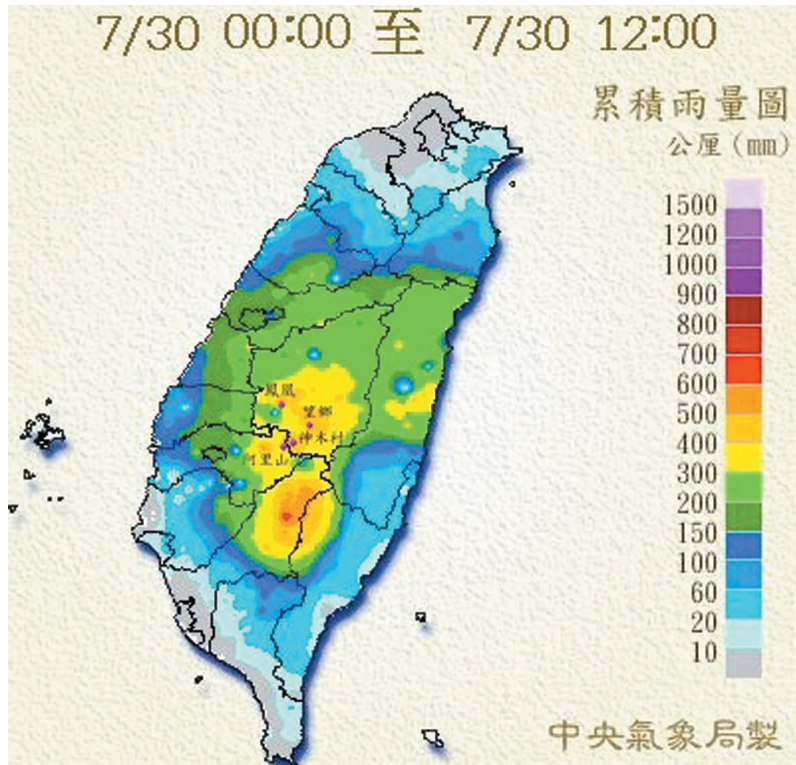


圖115 90.7.30 桃芝颱風至十二時累積雨量圖（資料來源：中央氣象局）

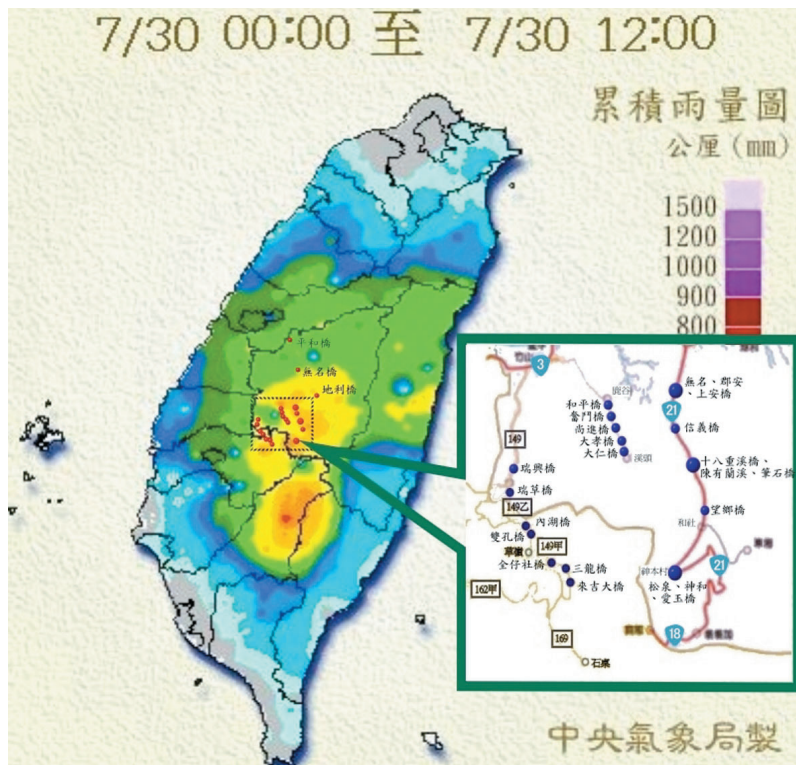


圖116 桃芝颱風受損重建橋梁位置與累積雨量關係圖

積物或鬆散土砂，而水土保持設施的完善與否關係著集水區內土砂量及逕流量的多寡。植生覆蓋良好之集水區，可減少逕流、防止地面沖蝕，其根系深入土中，更能增加土壤之抗剪力，防止地層間滑動及淺層崩塌，因此集水區內坡地開發及保護情形為預判土石流發生與否的重要指標之一。

- (5)除此之外土壤特性（岩性）、坡度、坡向、地表狀況等地文條件，亦會改變土石流的發生機制；例如集水區內斷層發達或岩體多褶皺、破裂面等構造，岩體十分破碎時，便容易發生落石及崩塌，這些溪床堆積便提供了土石流發生的良好材料來源。

3.3.2 降雨對土石流之影響

“水”不僅為土石流的構成要件，更是激發土石流的直接條件，在本次桃芝颱風引發土石流的案例中可發現，降雨的大小和土石流的發生有密切的關聯，以本次因土石流受損重建橋梁位址來看，重大災情大約在南投縣的鳳凰、望鄉、神木村及嘉義縣阿里山等測站附近，依據本局救災指揮中心90.08.13「桃芝颱風災害統計表AM0900」，該受損橋梁七成以上交通阻斷時間皆在12時之前，而這些測站在七月三十日當天0時至12時的累積雨量高達522~637mm（圖115），同時三小時內的累積雨量亦皆高達200~300公厘以上，其中鳳凰一小時雨量更高達141公厘（表01），致所造成之傷亡及災情相當嚴重，也創下本局有史以來最嚴重的颱風斷橋記錄。而發生嚴重災情的地區皆與降雨量大且集中有直接的關係（圖116）。

由於降雨為激發土石流發生之直接因素，因此水文分析為偵測土石流發生之首要課題，國內外專家學者針對降雨特性與土石流發生時間、規模大小相關研究不少，而降雨特性包括降雨強度、降雨延時、累積雨量及先行降雨等。交通部委託國立台灣大學「台灣地區道路橋涵系統土石流危險區觀測與預警之研究」^[9]針對台21線水里至新興橋路段調查研究，將各發生土石流樣本溪流之雨量資料進行分析，推導有效降雨時間及有效累積雨量與土石流發生的臨界降雨線（圖117），亦即在降雨特性超過土石流臨界降雨線時，即可能引發土石流。

- (a) 有效降雨時間：將降雨開始時間至任意時間稱為有效降雨時間。（降雨開始時間：以一場集中降雨在其前24小時內累積降雨量達10mm之時間點稱之。）
- (b) 有效累積雨量（ER）：以任意時間之時雨量（do），加上其前各時雨量（dt）乘以一衰減係數（ α ）後累加而得有效累積雨量，如下：

$$ER = \sum_{t=0}^{\infty} \alpha^t dt$$

衰減係數（ α ）係與由集水區面積推導出的「每二小時洪水消退係數K」有關，亦即有效累積雨量會隨著降雨量而增加，而隨著集水區面積對應的洪水消退速率衰減。因此桃芝颱風的降雨量雖不若賀伯颱風大，但是因為桃芝颱風為集中暴雨，洪水不及消退，有效累積雨量快速增加超過土石流臨界降雨線，引發土石流。

降雨量是直接影響土石流發生的主要誘因，但僅就引發土石流之降雨強度或累積降雨量作一統計值的研判是不夠的，因為台灣各地區的降雨特性大不相同，且地文條件亦不相同，因此在推估土石流發生的臨界降雨量時，需同時考量集水區的水文及地文特性。

表1 桃芝颱風侵襲期間之雨量資料（日期：90/7/30，每小時雨量：mm）

時間	阿里山	溪頭	鳳凰	文文社	龍神橋	青雲	望鄉	卡奈托灣	集集	和社	信義	神木村
01:00	53.0	26.5	11.5	15.5	13.5	10.5	40.0	24.5	4.0	19.0	24.5	27.5
02:00	42.0	6.0	4.5	25.5	3.0	7.0	64.5	31.5	2.0	5.5	4.0	15.0
03:00	43.5	7.5	9.5	22.5	3.5	8.5	77.0	48.5	5.5	10.5	6.5	37.0
04:00	35.0	10.5	11.0	26.5	5.0	12.0	24.0	89.5	5.5	10.0	6.5	35.0
05:00	30.0	19.0	13.0	19.0	10.5	23.0	43.0	41.5	6.5	27.5	16.5	44.5
06:00	41.0	57.5	53.0	16.0	29.0	17.5	72.5	14.5	19.0	66.5	48.5	74.5
07:00	66.0	40.5	98.5	15.5	86.5	67.0	66.5	51.0	47.5	60.0	64.5	52.5
08:00	121.0	61.0	141.0	18.5	130.5	100.5	64.5	53.5	57.0	65.0	125.5	91.5
09:00	91.5	25.5	88.5	108.5	68.5	83.5	28.5	36.5	60.0	50.5	54.0	75.0
10:00	44.5	46.0	93.5	57.5	50.5	48.5	18.0	26.5	65.5	22.0	59.0	37.0
11:00	24.5	8.5	39.0	46.0	38.0	22.5	9.5	11.0	35.5	8.5	7.5	20.5
12:00	45.5	13.0	8.0	11.5	11.0	8.0	14.5	5.5	11.0	14.5	12.5	34.0
13:00	32.5	16.5	11.5	14.0	8.0	10.5	13.5	8.0	8.0	18.0	12.5	24.5
14:00	22.0	14.5	8.0	11.5	7.5	10.0	8.5	5.5	5.5	10.5	7.5	17.5
15:00	11.0	7.5	6.5	9.5	4.5	6.5	5.0	5.0	6.0	4.5	4.5	9.0
16:00	7.0	6.0	4.5	5.5	3.0	4.5	3.0	4.5	5.5	5.0	4.0	5.5
17:00	2.5	3.5	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	5.0	3.5	1.5	2.0	2.0
18:00	1.5	1.0	0.5	1.5	1.0	1.5	2.0	3.5	0.5	0.5	1.0	1.5
19:00	0.5	0.5	0.5	2.0	0.5	2.5	1.5	2.0	0.5	0.5	—	—
20:00	—	—	—	1.0	—	—	0.5	1.5	—	0.5	—	—
21:00	—	—	—	0.5	—	—	—	0.5	—	—	—	—
22:00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23:00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24:00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
小計	714.5	371.0	606.5	433.0	478.0	448.0	560.5	469.5	348.5	400.5	461.0	604.0

3.3.3 地震對土石流之影響

89.9.21 台灣中部地區發生集集大地震，震央位在中部山區，而之後一年多以來仍餘震不斷，造成中部山區上萬處的崩場地，及大量土石崩落在山區河谷中。至桃芝颱風侵台時，在中部山區降下約700-800mm的降雨量，引發之前地震所產生的崩積層以及鬆動的土壤層與岩層產生大規模的土石流，並造成本局有史以來最重大的土石流災害。

因為大地震發生時，於山區觸發山崩、地滑、甚至斷層，造成地質破碎、大量土石崩落，使山坡地裸露，而大量土石堆積於山腹及河川溪谷，提供了土石流發生的良好材料來源。當遇到豪雨來臨時，裸露地土壤的沖蝕流失、溪床上豐富的堆積物，使得土石流的發生更加容易，誘發土石流的雨量條件已經明顯改變，因此必須將土石流臨界降雨線向下平移調整。每當豪雨的發生，溪谷的堆積物便會隨著溪流冲刷而漸少，溪床邊坡的土質結構及植生狀況也會因時間的增加而趨於穩定，因此臨界降雨線向下修正後，隨著時間增加將會向上回復（圖118）[4]。

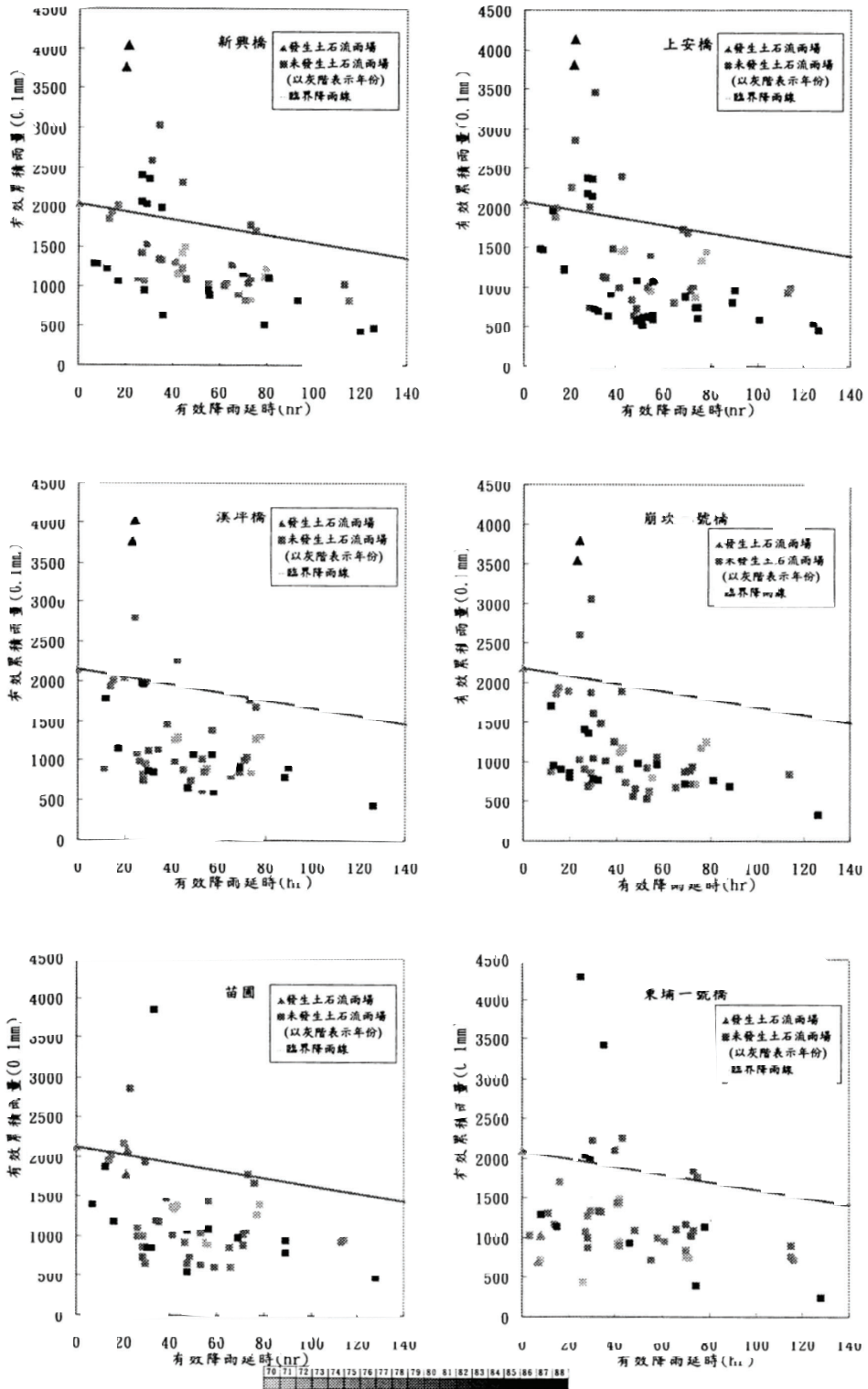


圖 117 各集水區土石流發生臨界降雨線

(摘錄自台灣地區道路橋涵系統土石流危險區觀測與預警之研究報告)

新興橋臨界降雨線

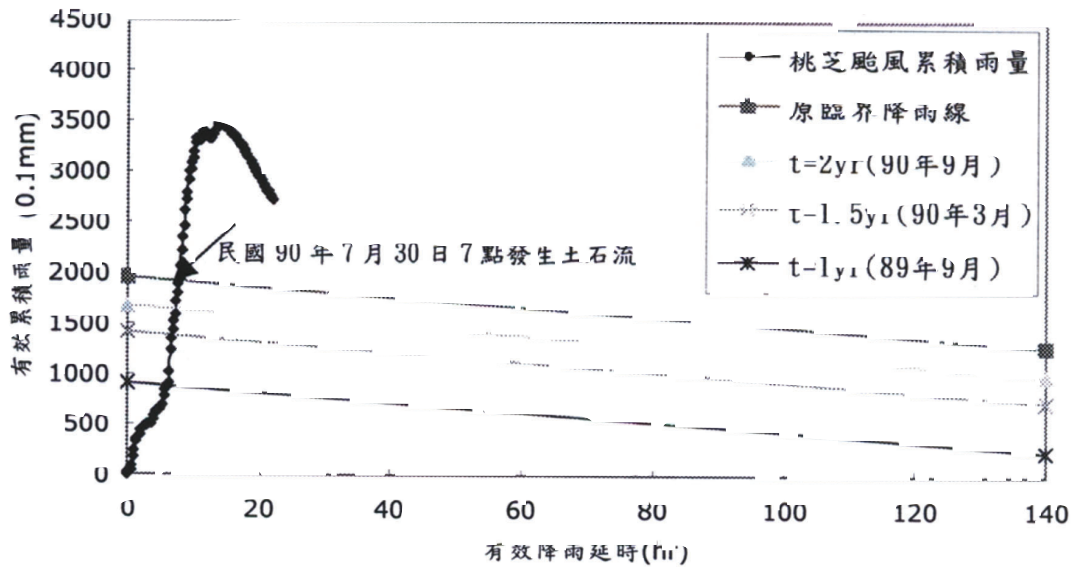


圖118 新興橋地震後修正臨界降雨線

(摘錄自台灣地區道路橋涵系統土石流危險區觀測與預警之研究報告)

四、土石流災因研析

4.1 台21線新中橫公路：

台21線公路由南投縣水里鄉經過龍神橋之後，即沿陳有蘭溪右岸修築，至98K處以陳有蘭溪橋跨越至左岸，通行至同富後沿著和社溪（陳有蘭溪之上游）通往阿里山。因位於土石流極度發達的陳有蘭溪流域，自八十五年賀伯颱風以來，土石流災害十分頻繁，為許多土石流專案研究報告主要研究區域，文獻資料十分豐富。惟部份報導將該區域土石流來源誤指為本局開闢台21線新中橫公路時，將土石推積於公路下邊坡，故本文特摘錄部份研究報告就台21線新中橫公路所處地形、地質及人為開發狀況等因素來分析本次桃芝颱風土石流的致災原因。

4.1.2 地形：

陳有蘭溪發源於玉山北坡，匯集玉山以北的阿里山山脈東坡與郡大山脈西坡之水，向北流至龍神橋附近匯入濁水溪主流，整個流域成南北走向，面積約450平方公里，集水區自最高標高3952公尺玉山主峰，至標高310公尺本溪與濁水溪合流點，主流全長42公里，平均溪床坡度為6.75% [9]。支流分別由東、西兩側山地平行注入主流，西側共有20條支流，其中兩大支流為和社

溪及沙里仙溪，東側共有23條支流，其中以郡坑溪、十八重溪規模較大，就平均坡降而言，較大的支流如內茅埔溪、郡坑溪、牛稠坑溪、筆石溪、十八重溪、阿里不動溪及沙里仙溪等均在10%~25%，但上游小支流的坡降甚至可高達40%~60%^[10]，各集水區形狀十分狹長。

4.1.2 地質：

陳有蘭溪流域在和社溪以下沿著陳有蘭斷層發育，其西側為中新世瑞芳群及三峽群等以砂岩、頁岩等為主之地層；東側則屬古第三紀亞變質岩之地層，以硬頁岩、板岩、千枚岩、變質岩與石英岩為主[10]。由於河流兩岸岩壁曾經斷層作用，多摺皺斷裂，十分破碎，提供了豐富的土石材料來源[9]，亦因此兩岸河階台地與長久以來因土石淤積形成之沖積扇發達。

4.1.3 人為開發狀況：

陳有蘭溪集水區有土地超限使用的情形，尤以檳榔樹及茶園開墾面積甚多，地表涵養水源能力相形減弱，故豪雨時易受沖蝕，甚至會造成土石流危害。[10]

4.1.4 氣象

本地區位處西部麓山帶與中央山脈的交界，東側以治茆山(2,909m)、西巒大山(3,081m)、郡坑山(3,005m)、清水山(3,018m)、望鄉山(3,241m)一直延伸至玉山(3,952m)，形成一連綿的上脊陵線。當濕潤的氣團由西北方進入時，常會在此一山嶺的西側或南側坡造成持續且豐沛的降雨。由月平均降雨的資料可以發現，此地區的降雨主要集中在五、六、七、八月，月平均雨量由平常的100mm雨量驟升至500mm，甚至700~800mm，使得整年的降雨分佈相當不平均。另外，在降雨區域的差別上，又以陳有蘭溪河系的上游集水區的降雨為最高，即使是梅雨或颱風所帶來的雨量，在陳有蘭溪的集水區及下游地區也會有達到1.5~2倍的雨量差距。因為本地區的坡降大，且雨水排洩均匯集至陳有蘭溪中，土石運搬能力增大，所以才會在多次風災中造成慘重的災情^[11]。

由上可知，陳有蘭溪流域具有集水面積大、溪床平均坡度大、集水區形狀狹長、斷層通過集水區、水土保持不良等多項土石流危險因子，不論公路、橋梁規劃建設或人為開發居住，皆需考慮土石流預為因應。

台21線本次桃芝颱風所帶來的總降雨量雖小於賀伯颱風，但造成的災情卻大得多，分析其主要原因在於桃芝颱風帶來的降雨十分集中且強度大，加上九二一大地震後地表破裂帶多，土石大量崩落，裸露崩坍地增加，因此造成本次的嚴重災情。

4.2 土石流橋梁災害的型態

土石流在其發生過程中，在不同的流動區段有不同的土石運動型態，對於橋涵本身之危害方式也不同，主要包括發生、流動、淤積及停止四個階段。「發生階段」通常位於溪谷上游坡度較陡處，水流會對溪床堆積物及側岸產生急劇之沖蝕，造成土石崩塌，藉以獲得足夠之土石材料，達到土石流之濃度；當土石濃度近乎飽和時，其對溪床沖刷能力也相對降低，但其動量仍大，其先端之巨礫與流木之破壞力仍強，此時稱為「流動階段」；當土石流到達下游溪床較寬或坡度較緩處，因流速減緩，較粗顆粒礫石逐漸沉淤，是為「淤積階段」；最後流至下游出海口或溪谷出口匯流處停止，形成扇狀堆積地，是為「停止階段」。

在土石流活動區內造成橋梁災損的原因可分成：淨空（Clearance）、撞擊（Collision）、沖刷（Erosion）、淤積（Deposit）等四大因素。[11]

4.2.1 淨空：

- (1)災害型態：位於土石流危險溪流的橋梁淨空不足時，將造成土石流在流動階段將橋梁上部結構推擠浮起而位移破壞，或土石淤積於橋涵底下堵塞河道，隨後而至的洪水及土石流無法順利通過而造成災害。或在淤積階段因淤埋、堵塞等作用使河道變窄、河床加高而阻擋水流排洩，產生橋梁沖刷損壞等常見災害。
- (2)案例：如台21線無名橋、郡安橋、上安橋、136線平和橋、147線無名橋、151線平和橋、奮鬥橋、尚進橋、大孝橋、大仁橋等皆因橋梁淨空（橋梁淨高、橋長跨徑）的不足，土石流無法順利通過，造成橋梁及路基的沖毀。
- (3)對策：何時會發生土石流，在規劃設計階段並不重要，重要的是發生後有多少土石會流下來，需以對工程上最不利之假設條件來估計。根據相關研究，土石流流量可能為採用計算降雨所匯集的清水流量的2~3倍甚至10倍，除此之外還要考慮到土石流的流動型態是類似波浪一波一波的流動，且尚可能有滾動的流木、巨石等漂浮物，因此在淨高上還必須增加安全係數，另外，橋梁應盡量採用長跨徑橋型為原則，減少落墩以增加橋梁淨空。

4.2.2 撞擊：

- (1)災害型態：土石流可怕之處，在於土石流的高密度與其所擁有的高能量；土石流活動的過程中，於發生階段土石本身的位能轉換成動能，在向下流動的過程中，不斷獲得物質的補充，並且增加流速與能量，若遇到橋梁、涵洞等阻礙物，對阻礙物產生撞擊，造成橋台、橋墩的損壞，橋面下落及流失。若土石阻塞橋梁底部（或涵洞），造成淨空不足，巨石直接衝擊到大梁，造成大梁斷裂。
- (2)案例：如台21線陳有蘭溪橋、望鄉橋、149線瑞興橋、149乙線瑞草橋、草瑞公路來吉橋等。
- (3)對策：橋梁跨越方式盡量減少河床中之橋墩數量，以降低土石流損毀橋墩的可能。橋梁在設計時應考慮河谷地形與水流的自然流向問題，避免橋台等結構位於河道的攻擊坡位置，承受多餘的衝力與沖刷，並計算土石流的衝擊力，提高橋梁基礎與墩柱、橋台的耐撞擊能力。

4.2.3 沖刷：

- (1)災害型態：土石流的沖刷與淤積主要是決定於河床坡度與河床的特質。當土石流於發生階段及流動階段，實際河床坡度大於土石流活動最小坡度，且大於某一臨界值，土石流將對河床產生沖刷。流體的沖刷效應，除了造成河床降低外，並會造成橋梁基礎的淘空、裸露，甚至橋基損壞，橋梁沖毀。
- (2)案例：如松泉橋、神和橋、151線奮鬥橋、尚進橋、大孝橋等橋位於土石流的發生及流動階段，大規模的土石流災後，溪槽擴大刷深，復建橋梁往往需加大跨徑及加深基礎。
- (3)對策：若橋梁所處之河床坡度屬於沖刷型態，橋梁的基礎應盡量採用深基礎。在防止土石流對河床沖刷的方法中，降低河床坡度，使河床坡度小於土石流沖刷臨界角，是極有效的

方法，此外由於河床坡度減小，土石流流速亦會隨之降低，相對的土石流衝擊力會降低。但在以潛壩等結構物降低河床坡度時，須配合土石流整治，整體規劃考量，亦仍須先考慮淨空是否足夠。

4.2.4 淤積：

- (1)災害型態：淤積與沖刷是相對應的，若河床坡度小於土石流活動的最小坡度，則土石流進入淤積及停止階段，隨著坡度的減緩漸次開始淤積。首先是巨礫及岩石停止滾動，淤積於河床上，流體因岩石等大顆粒的沉澱，比重及內部阻力減低，仍可繼續流動，如此重複上述之過程，流體中的顆粒由大而小漸次淤積，最後河床坡度減緩至土石流淤積平息，僅餘少量混濁泥漿流動。位於土石流淤積及停止階段的橋梁，由於淤積的土石將造成橋梁淨空的不足，致後續土石將橋面推擠抬移，造成橋梁毀損。或因淤埋、堵塞等作用使河道變窄、河床加高而阻擋水流排洩，產生橋梁損壞等常見災害。
- (2)案例：如台21 線十八重溪橋、信義橋、149 甲線全仔社橋等。
- (3)對策：在道路選線及橋位選址上，應考量土石流的淤積長度，避開土石流淤積區（沖積扇），設法往上游或下游方向偏移。

五、結語

台灣總面積約360 萬公頃中，山坡地面積將近252 公頃，佔全島面積三分之二強，隨著社會經濟的開發，公路等交通運輸路線，難免會在土石流可能活動的區域內通過，道路橋梁在無法完全避開土石流危險區的現實環境下，防災之規劃設計重點首要為路線選址，應儘量避開土石流發生潛勢較高之區域，尤其對於可能經過土石流堆積區之道路，應設法使道路位置避開土石流之直接威脅。道路橋梁於跨越土石流潛勢溪流時，應維持足夠的淨空，勿束縮河道，梁底淨高並應考量土石流預留安全係數，橋台等橋梁結構位址應注意土石流的流向，避免位處土石流之攻擊坡。並由水土保持相關單位於土石流源頭或河川上游處，設置相關土石流防治工法（如防砂壩或攔截柵等）作為屏障或改善橋址處坡度以保護道路。

土石流防治應因地制宜，視保全對象謀求妥善對策，各種工法皆有其適用情形，並無所謂放諸四海皆準的萬靈丹，端視如何應用方為最佳方案，天災的發生除了帶來危害外，如何從慘痛的教訓吸引經驗，是我們仍需不斷學習的課題。

誌謝

本文係葉局長於91.3.1「桃芝颱風受損橋梁前期作業檢討會」中指示由本（養路）組將重建資料蒐集並做綜合性整理，以將經驗留存供各界參考，並由第二區養護工程處及第五區養護工程處參與搶災復建同仁提供受損橋梁資料。文中部分註有空照字樣者係摘錄中興大學土木工程系林呈教授之航空照片，另感謝葉局長昭雄、林呈教授、二工處吳處長瑞龍及當時五工處劉處長健朗提供資料及指導，併對二工處、規劃設計中心、南投工務段、信義工務段及五工處、斗南工務段、阿里山工務段所有提供資料、照片之同仁謹致深深地謝忱。

參考文獻

- [1] 本局救災指揮中心九十年八月三日「桃芝颱風公路災情簡報」。
- [2] 本局「桃芝颱風受損橋梁重建先期作業」列管橋梁。
- [3] 國立台灣大學范正成等人「台灣地區道路橋涵系統土石流危險區觀測與預警之研究(三)研究報告」(2001.12)，交通部。
- [4] 本局葉局長昭雄(2001)「桃芝颱風土石流導致南投地區公路、橋樑之重大災情報導」，台灣公路工程第28卷第3期。
- [5] 本局第二區養護工程處(2001.12.5)「桃芝颱風災害台21線十八重溪橋、陳有蘭溪橋及筆石橋緊急復建工程設計原則及橋梁型式簡報」。
- [6] 本局第二區養護工程處「90年度桃芝颱風災害台21線111K~114K路基及橋梁復建委託測量、設計及鑽探工作設計原則及橋樑型式(第一次修正)」報告，(2001.03)。
- [7] 監察院「國土保全總體檢：崩塌及土石流區」調查案調查報告。
- [8] 財團法人台灣營建研究院「土石流溪流橋涵設計準則之研究」(1999)，交通部。
- [9] 國立台灣大學范正成等人「台灣地區道路橋涵系統土石流危險區觀測與預警之研究(一)研究報告」(1999.4)，交通部科技顧問室。
- [10] 李民、張徽正等人「陳有蘭溪流域山崩之地質特性」，地質災害調查報告第一號：台灣山崩災害專輯(一)。
- [11] 國立成功大學防災研究中心謝正倫教授等人「地質危險區公路及河川橋梁之維護管理與防救災對策之研擬」(1999)，本局
- [12] 國立台灣大學范正成等人「台灣地區道路橋涵系統土石流危險區觀測與預警之研究(二)研究報告」(2000.10)，交通部。
- [13] 本局梁局長樾(2002)「土石流對公路建設及復建經費之影響」。
- [14] 本局葉局長昭雄(2002)「山區公路、橋梁遭受重大土石災害修復對策與實例」。
- [15] 本局第二區養護工程處(2002.3.1)「桃芝颱風受損橋梁復建情形簡報」。
- [16] 本局第五區養護工程處斗南工務段(2002.3.1)「桃芝颱風受損橋樑簡報」。
- [17] 本局第五區養護工程處阿里山工務段(2002.3.1)「桃芝颱風受損橋梁先期作業報告簡報」。

坡地災害以植生工法修復施工報告—— 以「台三線80K+100～+250納莉颱風災害邊坡保護工程」為例

周胤德* 張建益**

摘要

臺灣近年來異常災害頻繁密集，而且一次比一次劇烈化；尤其自921地震災害後，災區山坡地地表地質幾乎完全被破壞，每遇颱風、豪雨，坡地表土大量流失，造成土石流侵襲農田、住宅及道路橋梁等公共設施，災難一次比一次嚴重。有鑒於災害後，坡地表面裸露面積大量增加，水土保持功能全失；故為山坡地災害裸坡復舊，如何以最有效的植生工法，建構恢復坡地原有茂盛風貌，平衡大地原始生態環境係當前刻不容緩之要務。

一、前言

90.9.16.納莉颱風來襲，帶來大量豪雨，新竹縣竹東鎮與北埔鄉交界之台三線路段（80K+100～80K+250）右側（南下車道）上邊坡遭受大雨沖刷，邊坡表土下滑坍方，除造成該路段交通阻斷外，整座山坡上至稜線，下至邊溝形成約4,600M²之裸坡坡面，生態環境破壞嚴重。當坍方災害發生，新竹工務段即調度預約災害開口契約承商進行坍方災害搶修作業，於90.9.18.搶修完成，恢復台三線交通；惟上邊坡裸坡形成之崩塌地落石不斷，危及行車安全。新竹工務段遂進行裸露邊坡復舊之計畫執行，其保護邊坡工法除穩固坡面，維護行車安全外，更重要考量一點係恢復山地公路原有之原始生態，建構坡地原有之青山風貌。

二、災害處理

90.9.16.納莉颱風襲臺，台三線80K+100～80K+250段右側上邊坡因大量豪雨沖刷，造成長約150公尺之整個邊坡下滑，崩塌土方約2,200M³，土石流積滿台三線路面造成交通中斷。新竹工務段工程人員於坍方發生立即趕赴現場安放交通警告設施及封閉交通，並同時調派預約開口契約承商機具人員趕赴現場進行坍方搶修作業。搶修作業冒雨進行，90.9.17.一度搶修完成通車，惟土石流再度下滑淹蓋路面，交通再度中斷；經本段工程司會同承商努力不懈，全力以赴，終於在

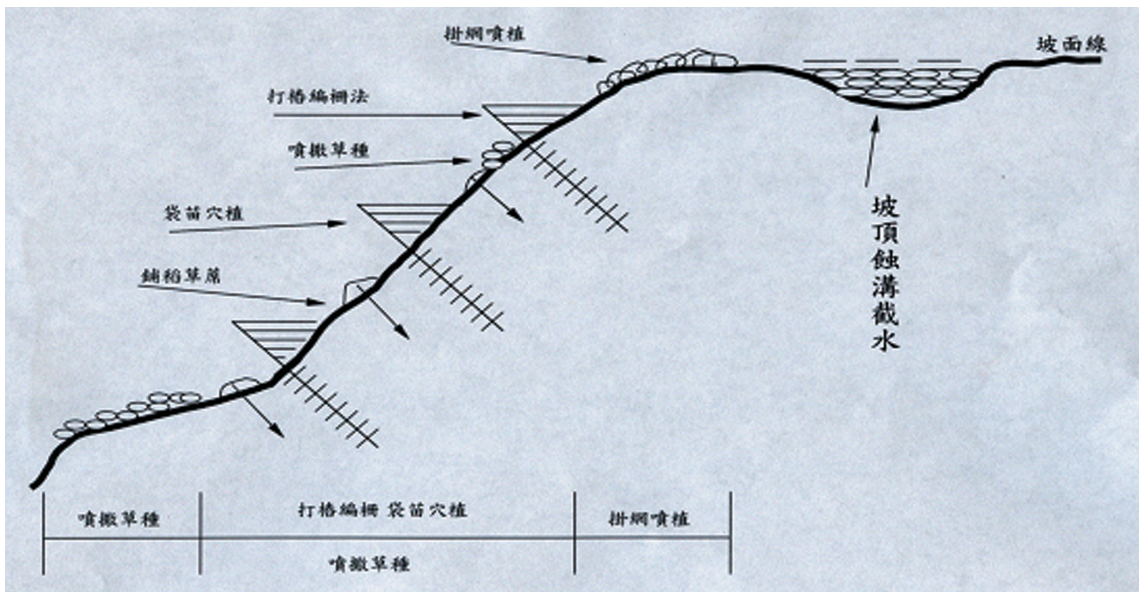
* 交通部公路總局新工組組長

** 交通部公路總局第一區養護工程處新竹工務段段長

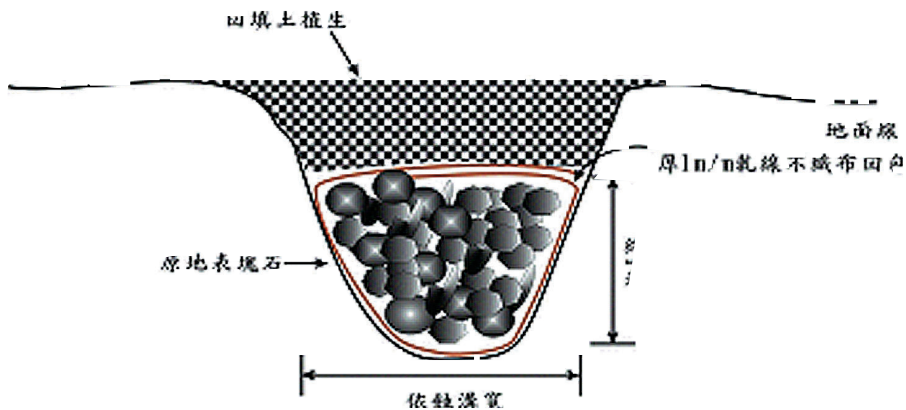
90.9.18.中午全部坍方搶修完成，恢復台三線全線通車。其上邊坡因坍方造成裸露，本段將以修復方式另研議復舊工法。

三、研擬修復原則

本案經工程處及總局先後派員勘災，指示應以綠化邊坡方式辦理修復，以符合坡地原有茂盛風貌，平衡大地生態環境。本段奉命辦理以生態工法修復後即依現場坡面研擬植生方式，歷經多次與工程處考核工程司現場協調研議結果，因其下層坡面較為平緩以打樁編柵，袋苗穴植及噴撒草種方式辦理，上層坡面陡峭打樁不易，擬以掛網噴植草種辦理；坡頂則闢建蝕溝截水。修復方式如圖一斷面圖所示。



圖一 裸坡面植生工法修復斷面圖

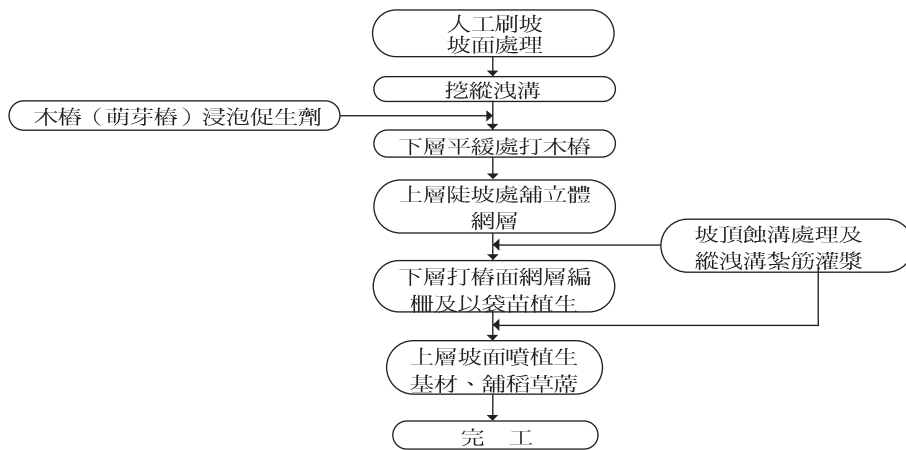


圖一(1) 坡頂蝕溝斷面圖〔1〕

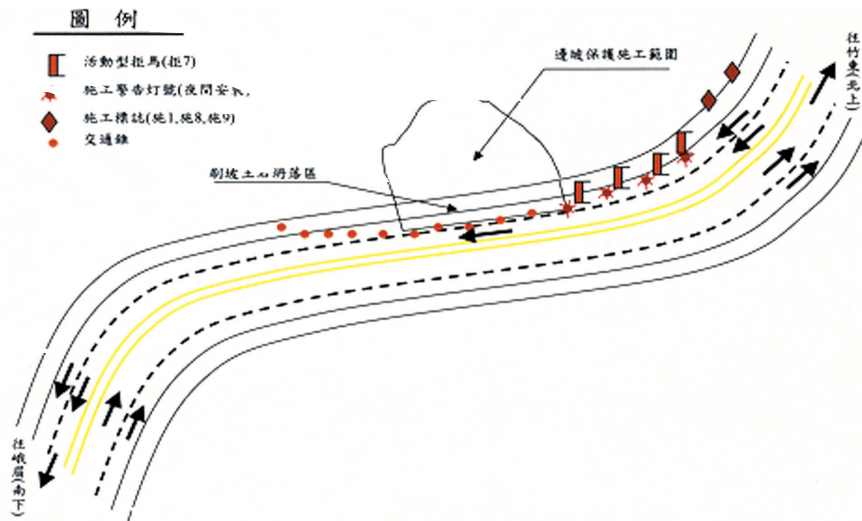
本工程修復原則經徵得上級同意後，本段即著手編列邊坡保護工程施工預算書報處核定辦理發包作業。修復工程預算書圖於91.2.15.奉工程處函同意成立，91.3.14.辦理發包作業完成，91.3.19.開工施作，工期40日曆天。

四、工程施工

本工程施工作業程序，首先應將災害坡面處理，經人工刷坡及坡面挖縱向洩水溝後，坡面打木樁編柵及鋪網層、噴植草種，坡頂再設蝕溝截水，最後坡面以袋苗植生辦理。其詳細施工過程如圖二流程圖所示。為邊坡保護施工工區交通安全維持及維護施工人員安全，工區台三線南路段外側車道必需封閉，其車道封閉交通安全設施設置依照「道路交通標誌標線號誌設置規則」規定辦理。工區交通安全設施設置如圖三所示。



圖二 施工過程流程圖



圖三 工區車道封閉交通安全設施設置圖

本工程各項施工作業詳細紀錄如下：〔2〕

1. 人工刷坡、坡面處理（照片一、照片二）

於坍方破壞之裸坡面清除雜木殘枝及浮土危石等雜物，坡面以人工刷平處理，並以人工挖出縱向洩水溝基礎。

2. 木樁（萌芽樁）浸泡促生劑（照片三）

木樁直徑3公分以上，長80～100公分，頭部削尖。萌芽樁應先浸泡促生劑，並覆蓋保護；其材質以九芎、榕樹、黃槿等三種。

3. 下層坡面平緩處打木樁、上層坡陡峭處鋪設立體網層（照片四、照片五）

打木樁樁距為50公分，打入2/3，出土約20公分。採用木樁時，萌芽樁應佔25%。木樁應保持新鮮，打樁時需用木槌，並保護樁頭不使打裂，裂開部分需鋸掉，以免影響其萌芽能力。

上層陡坡處坡面整平後以挖穴機挖生長穴（ $2\text{cm} \times 15\text{cm} @ 20\text{cm}$ ），以#14包膠鍍鋅鐵絲鋪面，13 ϕ 竹節鋼筋錯錠。

4. 坡頂蝕溝處理及縱洩溝紮筋灌漿（照片六、照片七、照片八）

為防止雨水侵襲坡面，於坡頂設計蝕溝截水。蝕溝以人工挖掘處理，溝底以塊石回填約1M深，上面鋪設不織布，表面再以狼尾苗（H = 10～15cm，每株/10M）加強植生。縱向洩水溝基礎挖掘處理後，即彎紮鋼筋、灌注混凝土，完成後以便利整個坡面雨水洩流。

5. 下層打樁面網層編柵及以袋苗植生（照片九、照片十）

打樁面編柵以硬質塑膠網編製，網高20cm，前面鋪設不織布以淤積土砂回填。柵體經客土回填後施以有機肥（ $1\text{KG}/\text{M}^2$ ）及台肥43號複合肥（ $0.05\text{KG}/\text{M}^2$ ）。打樁編柵後配合以袋苗植生，栽植袋苗（苗高>30cm，乙株/60cm）以馬櫻丹、日本女真、戚葉牽牛等間植。袋苗種植後，每行間撒播草種（百喜草、百慕達草、九芎等），並於上覆蓋稻草蓆，以#10鐵絲成口行（每支25cm，乙支/ M^2 ）固定於每行之鋼網上。

6. 上層坡面噴植生基材、鋪稻草蓆（照片十一）

上層坡面整平挖穴鋪網後再以客土（ $0.06\text{M}^3/\text{M}^2$ ）、化學肥料（N：P：K = 15：15：15， $0.1\text{KG}/\text{M}^2$ ）、有機肥料（ $10\text{KG}/\text{M}^2$ ）、黏著劑（ $6\text{KG}/\text{M}^3$ ）及水混合草種（百慕達草、百喜草各40%及九芎20%）一次噴植5cm厚。噴播草種後敷蓋稻草蓆以防止種子飛散，並保持土壤水分。

7. 全部工程施作完成（照片十二）

完工二個月後，坡面植生草種生長茂盛（照片十三）。

五、結論與檢討

1. 本路段災害發生造成台三線省道交通中斷，工務段及開口契約承商積極搶修、共同努力下，使搶修工作得以順利完成。

2. 本工程91.3.19.開工，工期雖短短40日曆天，在承商積極趕辦下，如期於91.4.27.竣工。施工過程平順，施工品質良好。

3. 現行坡面處理工法以水泥噴漿與型框植生為主，設計方便，安全性高，唯成本較高。此兩種工法均大量使用水泥，造成太多水泥化，植物與原土壤受阻隔，自然生態維護不易。

4. 裸坡裂縫應即填補，回填材料運用原地土方，以具阻水作用之黏土為佳。裂縫填補後必須同步完成表面植生處理，如鋪植生帶等。

5. 坡面破壞主因為雨水滲透破壞，坡面地表水截導為重要課題。坡頂水可以蝕溝截導，坡面導水以縱橫向洩水溝收集雨水後排入公路邊溝。

6. 裸坡面打樁編柵其目的為固定不安定之土石，改善坡度，防止沖刷，造成有利植物生長之環境。適用於一般土壤挖填方坡面、崩積土或淺層崩塌坡面。

7. 在崩塌坡面無法挖溝植草或撒播時，以袋苗植生方法處理。其較適用於：

甲、土層薄、礫石含量多崩塌之坡面

乙、含石率較高或礫石顆粒較大之崩塌土石堆積地區。

丙、棄土石地，無法挖溝植草，植物生長不易之地區。

丁、需迅速綠化或補植之地區。

戊、在非適合植生季節施工時適用。

8. 坡面植生工法甚多，各種坡面，各種土質，破壞成因所決定之植生工法各不相同。慎選植生工法，達成裸坡植生修復為工地工程司非常重要之決定。成功失敗往往取決於一念之間，工程司應慎重考量決定之。

參考文獻

1. 「崩場地植生方法」，陳振盛，農委會水土保持局股長。
2. 「台三線80K+100 ~+250 納莉颱風災害邊坡保護工程」，設計圖，交通部公路總局第一區養護工程處新竹工務段。



照片一 施工前邊坡



照片二 人工刷坡、坡面處理，挖縱洩溝



照片三 木樁（萌芽樁）浸泡促生劑



照片四 下層平緩處打木樁



照片五 上層陡峭處鋪設立體網層



照片六 坡頂蝕溝人工處理



照片七 蝕溝鋪設不織布



照片八 縱洩溝綁紮鋼筋



照片九 下層打樁面以不織布及網層編柵



照片十 下層編柵後以袋苗植生



照片十一 上層坡面噴植生基材、鋪稻草蓆



照片十二 完工照片



照片十三 完工二個月後，坡面植生草種生長茂盛

橋梁設計的新思維—日本經驗

吳澤雄*

前言

橋梁為連通地形阻隔之要徑，藉此可快速通過河川、山谷、甚至海洋，扮演交通運輸樞紐，為國家基礎建設重點，足可影響整體經濟發展。日本在地理環境上屬於島國地形，天然條件極為不良，不利於國土之基本整備，加以該國近十餘年來經濟衰退，工程經費減少；工廠（場）勞動者高齡化，成年勞動人力，如熟練工、技術工、技術者不足；標準化、自動化遲緩等，導致工程成本增加，故該國在現今橋梁建設上已有一些新的發展方向，由於我國環境與日本相似，特為文介紹該國之作法以供讀者參考。茲將其主要特點分述如下：

- (一) 建設需求朝向合理化規劃。
- (二) 以複合、合成、混合結構進行設計。
- (三) 加強隔震、制震構造。
- (四) 增加長大化結構。
- (五) 考量環境適合理化結構。

合理化橋梁的設計觀念

有關橋梁合理化之設計觀念係日本近年來發展趨勢，所謂合理化設計係同時考量建設與維修成本，以整座橋梁生命周期之總需求成本作為效益評估之基準。橋梁合理化設計，主要在於研究開發製作省力化、施工合理化之橋梁結構，採用最適跨徑及形式，使構造簡素化，並減少鋼板接合溶接點及使各部構件尺寸統一化（例如：鋼橋梁上下翼板寬度統一、腹板、翼板厚度均採一致、連結板一體化等），以減少鋼重、工率等施工數量，減低製作、架設、維持管理費用（以四主梁改為二主梁之鋼橋為例，其塗裝面積約可減少60%），達到提高經濟、耐久、耐疲勞性、美觀、安全、省力及縮短工期之目標，進而減低橋梁生命周期之總成本。從1996年起，將以往多主梁加RC床板的設計轉向為少數主梁加預力床板的設計，不僅使得建設費用減少，也促成橋梁維持管理費用的大幅降低。此設計概念於1999年並經日本橋梁建設協會編定入相關規範及教材當中。圖1~3為合理化橋梁的一些設計概念圖例。

複合結構

複合結構（Hybrid Structure）為合成結構（Composite Structure）與混合結構（Mixed Structure）

* 交通部公路總局第四區養護工程處正工程師兼副處長

System) 之總稱，其特徵在於應用不同材料結合成複合構材或結構，以便獲得能互補之優良特性。合成結構構件斷面係由不同材料組合為一體而構成，圖4為預力混凝土床板與鋼梁合成的結構、圖5為鋼管與混凝土合成之橋墩結構；混合結構則係藉由不同材料的構件連結接合而成的一種結構系統，圖6為鋼梁與預力混凝土梁的混合構造。

隔震、制震構造

隔震，以基礎絕緣 (Base Isolation) 方式將建築物與地層隔離，以減除作用於上部結構之地震力謂之。隔震技術是利用特殊的隔震裝置，將結構物與地震的反應隔離，並藉由調整結構物之振動特性來減低地震之反應及消散地震之能量。目前使用較廣泛之兩種隔震構造為由積層橡膠墊中心植入鉛塊組合而成之鉛心橡膠支承墊 (Lead-Rubber Bearing) 及高阻尼積層橡膠支承墊 (High Damping Rubber Bearing)。該項裝置一般均用於橋梁之上部結構支承系統，如圖7所示，但目前日本已有將隔震支承應用於立體構架橋墩柱基部之實例，如圖8所示。

隔震構造除可應用於新的橋梁結構設計，以大幅度降低上部結構傳遞至下部結構之地震力外，對既有橋梁之下部結構耐震能力不足者，亦可藉由該裝置分散、減輕地震力，來降低橋柱之設計地震力，便於進行修復補強。適用隔震設計的橋梁之基本條件如下：

1. 基礎地盤必須為堅固穩定情形，且在地震時無不穩定之情形產生。
2. 下部結構剛性大，基本振動周期短之橋梁。
3. 多跨徑連續橋。

相反的，不可採用隔震設計之情形如下：

1. 基礎周邊土層之土壤參數為0的情形。
2. 下部結構柔性較大，基本振動周期長之橋梁。
3. 基礎周邊之土層屬軟弱地盤時，增長橋梁周期，將導致地盤與橋梁發生共振之現象。
4. 支承有負反力（上揚力）產生之情形。

制震，以人為的方式控制地震時結構物之振動者謂之。制震又分為二類：即利用能量吸收裝置（如減衰器）的被動式控制 (Passive Control)，及使用感知器 (Sensor) 偵測地震後，立即以電氣自動式控制結構物振動，將反向力施加於結構適當位置的主動式控制 (Active Control) 等兩種。該項裝置目前主要係應用於吊橋及斜張橋的梁、塔、吊索等之抗風設計，用來吸收振動能量，抑制變形太大。圖9為明石海峽大橋的塔外TMD (Tuned Mass Damper) 制振裝置之模型及實體圖。

長大型結構

日本為島國，為國土基盤整備需要，長大型橋不可欠缺，也因而造就了其開發長大橋之設計、製造、施工、維護等尖端技術。圖10為生口島與大三島連結之三跨連續鋼斜張橋（多多羅大橋）、圖11為高張力吊索加勁結構之三跨連續鋼桁吊橋（明石海峽大橋），皆為各該類型之世界第一長橋。

環境適合化結構

為將公共建設對自然環境之影響降至最低，並能兼顧生態平衡與自然環境景觀之融合，日本

之橋梁建設非常注重與生活空間、人、周邊環境等之調合。圖12為愛知縣豐田大橋，因位於河濱公園，橋梁主結構係仿動物骨骼設計，造形甚為獨特。圖13為北海道幌平橋，橋上設置拱形步道可供遠眺展望；休憩空間可供露天表演。圖14為耐候性鋼材經防蝕安定化處理之中路式鋼拱橋，與當地地景及自然環境甚為融合。圖15為旋迴式斜張橋與昇開式Nilson橋，設計思想非常創新獨特。圖16為大阪灣夢洲舞洲連絡橋之旋迴式浮體橋完成予想圖，由於基礎為浮體式構造，除大型船舶通過時可開閉供其行走外，對海洋生態環境之影響亦可減至最低。

結語

台灣地區屬於多山環境，東西向河川分布各地，於鐵路與公路路網開發過程中，常需架設橋梁以跨越河川等天然障礙，且隨著運輸路網規模擴大，橋梁在陸路運輸系統中扮演的角色益形重要，故橋梁建設技術能力的提升，應是產官學研各界未來仍應繼續共同努力及合作的方向與目標。

建議

- 一、日本鋼橋的數量已經超越混凝土橋的數量，且是未來日本橋梁建設之趨勢，我國地理環境與日本相近，應可供國人參考。日本推動使用鋼橋之原因包括：
 - (一) 日本之地震頻繁，鋼橋結構因重量輕，材料強度高，較混凝土橋有利於耐震設計。
 - (二) 鋼橋材質劣化狀況較混凝土結構易於發現且維修容易。
 - (三) 鋼橋製作之產品變異性小。
- 二、國內相關學術單位團體與協會應更積極協助政府推動橋梁相關技術、法律、規章之制定工作，投入更多的心血與人力，以解決政府在人力經費上不足之問題。
- 三、國內橋梁主管機關與橋梁有關工程公、私部門應吸取國外經驗，進行學術與實務經驗之交流，以促進橋梁建設技術提升與橋梁安全之維護。
- 四、在橋梁耐震設計方面，應引進採用隔、減震技術，並增設耐衝擊性之多重防止落橋設施，以減低地震之危害。
- 五、日本道路橋梁建設大都能兼顧生態平衡與自然環境景觀之融合，且甚為注重與生活空間、人、周邊環境等之調合，足堪國人借鏡。
- 六、全生命週期考量為辦理工程建設之新觀念，工程建設不應僅考量初期建設成本，應將日後之維護成本併同計算。

參考文獻

1. 新しい鋼橋，日本橋梁建設協會（平成11年8月）。
2. 新耐震設計の概要，日本橋梁建設協會。
3. 橋梁維修、檢測、維護及管理，吳澤雄、賴威伸、王昭明、黃榮杰、蔡忠城，赴日研修報告（1999）。

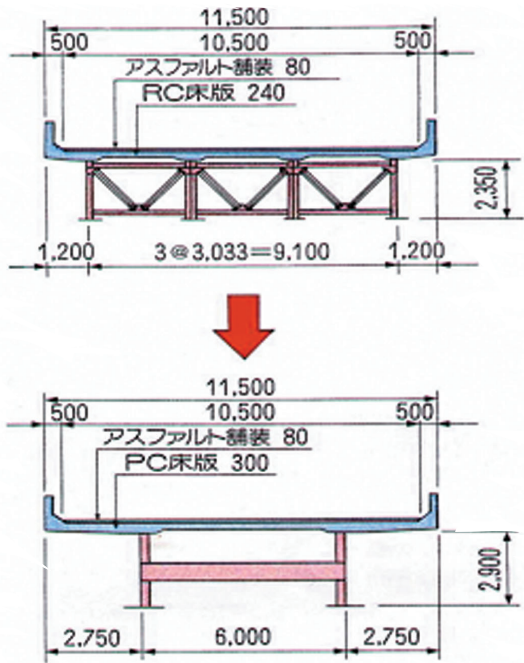
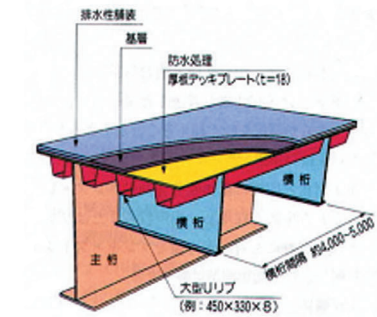
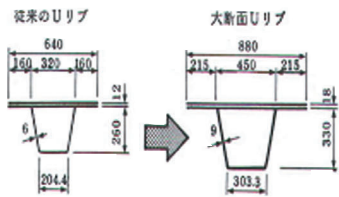


圖1 四主梁橋與二主梁橋之比較及二主梁橋施工完成圖



二主鋼床鋸鋸梁之鋼床版概念圖



過去のU肋鋸與大断面U肋鋸之比較

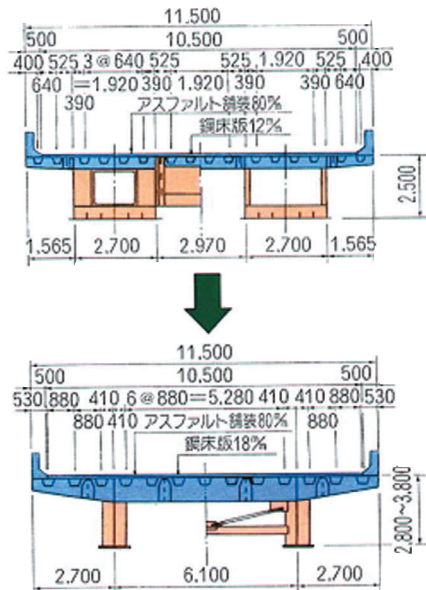


圖2 鋼床鋸箱梁橋與鋼床鋸二主鋸梁橋之比較

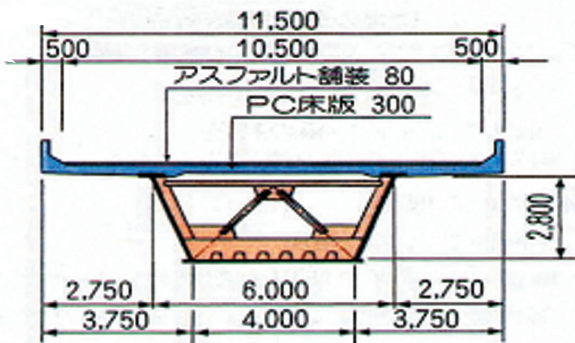
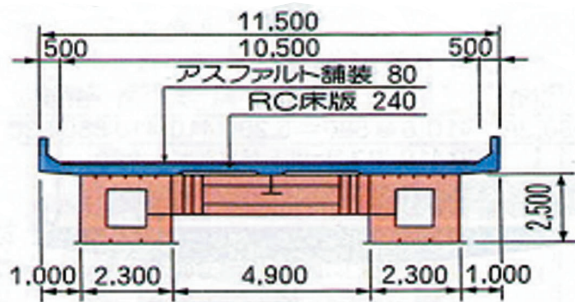


圖3 箱梁橋與開斷面箱梁橋之比較及開斷面箱梁橋施工圖

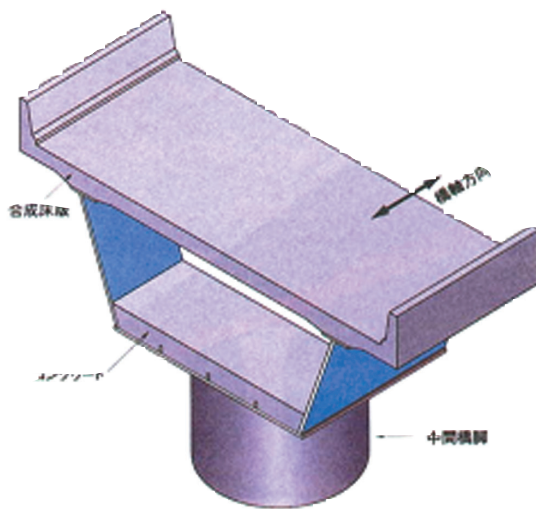


圖4 預力混凝土床板與鋼梁合成的結構

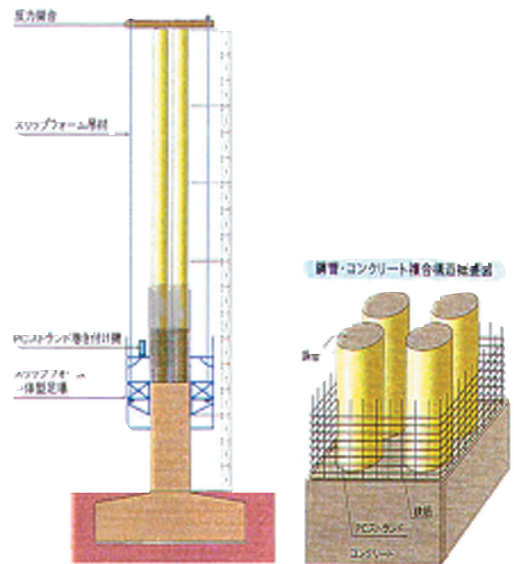
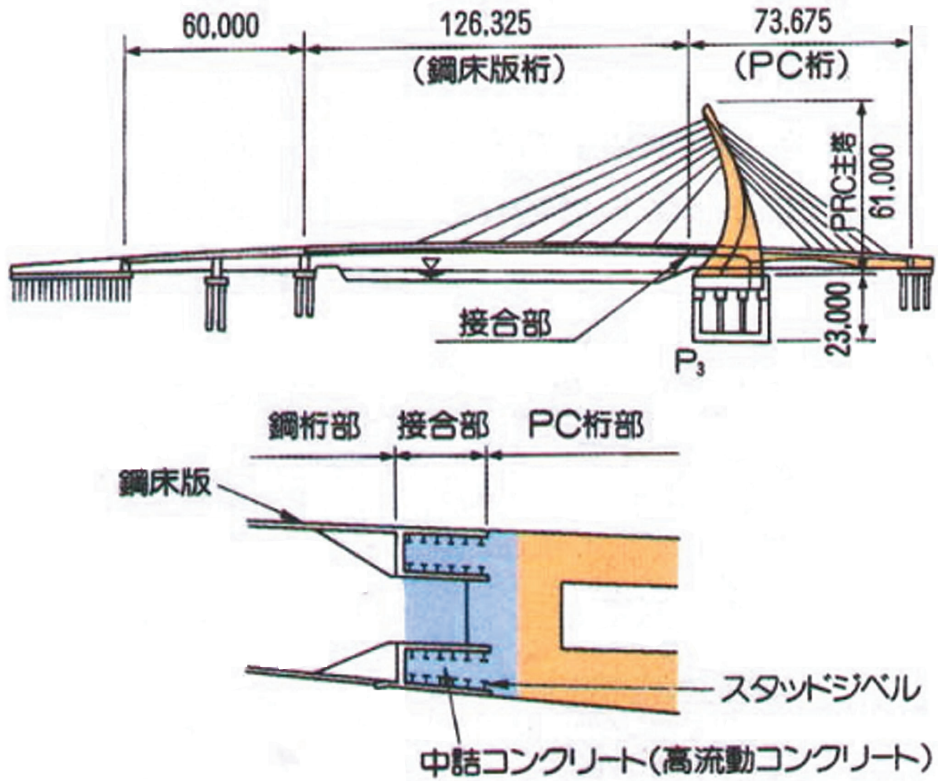


圖5 鋼管與混凝土合成之橋墩結構

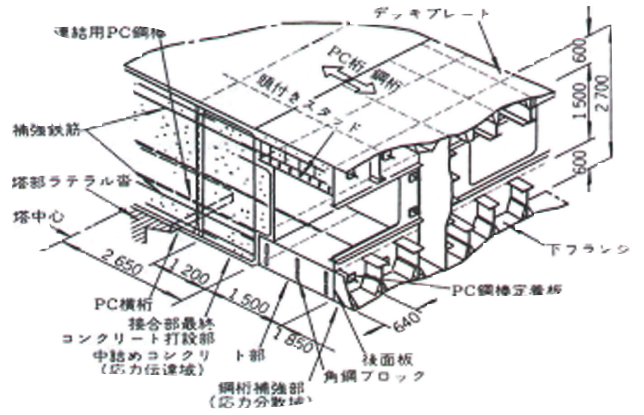


(鋼・コンクリート接合部)

圖6 鋼梁與預力混凝土梁之混合構造 (1)
(鈞竿型複合結構斜張橋)



圖6 鋼梁與預力混凝土梁之混合構造 (2)
(鈞竿型複合結構斜張橋完成圖)



鋼梁與預力混凝土梁之接合部

圖6 鋼梁與預力混凝土梁之混合構造 (3)

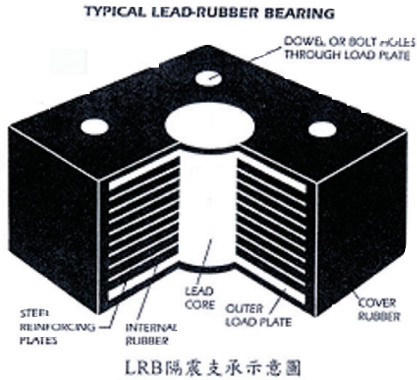


圖7 隔震支承——鉛心橡膠支承墊 (1)

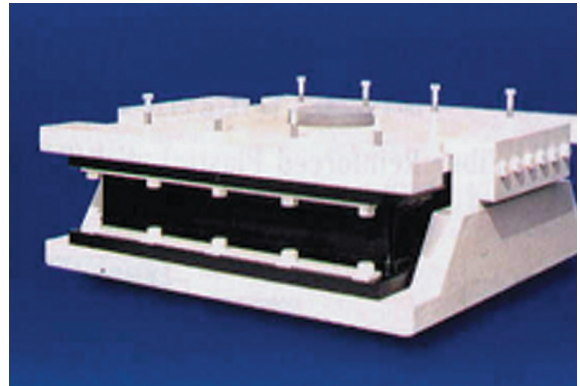


圖7 隔震支承——高阻尼積層橡膠支承墊 (1)



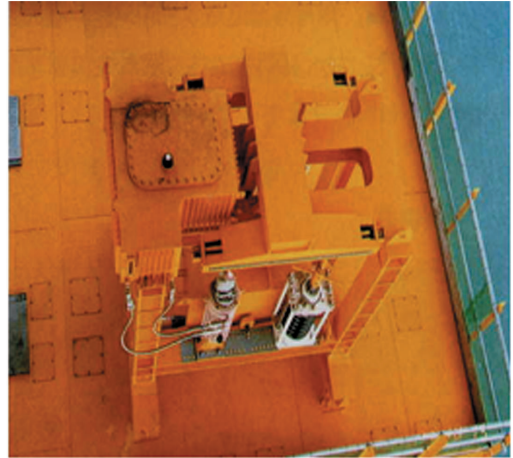
圖7 隔震支承——安裝後 (3)



圖8 隔震支承應用於立體構架橋柱基部



模型圖



實體圖

圖9 明石海峽大橋塔外制振裝置圖



圖10 世界第一長三跨連續鋼斜張橋（多多羅大橋、中間跨距890m）



圖11 世界第一長三跨連續鋼桁吊橋（明石海峽大橋、中間跨距1991m）



圖12 愛知縣豐田大橋，因位於河濱公園，橋梁主結構係仿動物骨骼設計，造形甚為獨特。



圖 13 北海道幌平橋，橋上設置拱形步道可供遠眺展望；休憩空間可供露天表演。



圖 14 耐候性鋼材防蝕安定化處理，與當地地景甚為融合。

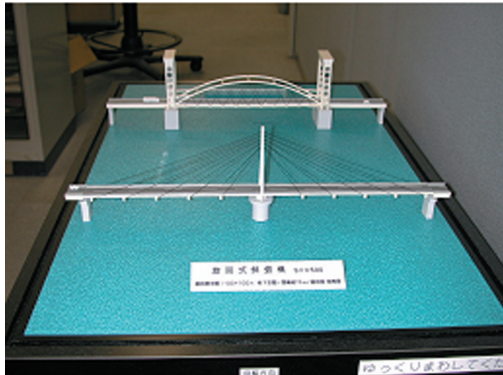


圖 15 旋迴式斜張橋與昇開式Nilson 橋 (1)

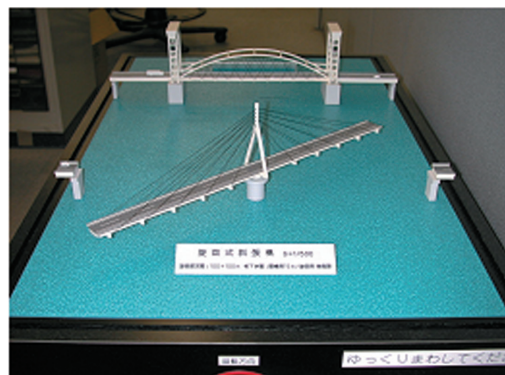


圖 15 旋迴式斜張橋 (2)

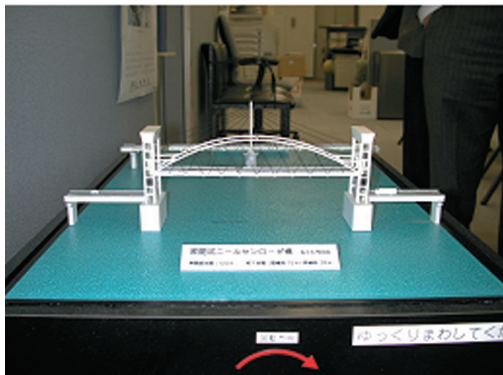


圖 15 昇開式 Nilson 橋 (3)



圖 16 大阪灣夢洲舞洲連絡橋之旋迴式浮體橋完成予想圖，由於基礎為浮體式構造，大型船舶通過時可開閉供其行走。