

921 大地震台 3 線名竹大橋搶修與修復報告

陳嘉盈

更新日期：2010 年 04 月

一、前言

民國 88 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分發生大地震，震央位於日月潭西方 12.5 公里的南投縣集集附近，剛好處於車籠埔斷層與大茅埔—雙冬斷層間，地震的能量因兩斷層的相互摩擦而增強，造成南投縣、臺中縣市帶來慘重的災難。大震引發車籠埔逆衝斷層錯動，撕裂地表，由北北東到南南西，全長超過 80 公里，斷層剛好從台 3 線 235K 名竹大橋竹山端 P23-P24 (235K+180-235K+205) 間經過，造成該橋竹山端斷落 175 公尺。南投縣最重要南北向唯一交通幹道台 3 線因而中斷。本局第二區工程處旋即督導南投工務段修築便道，並奉李總統指示必須於 1 個月內恢復台 3 線交通，交通部林部長亦下達指令務必於 10 月 6 日前完工通車，經南投工務段積極趕辦，提前於 10 月 4 日晚間 6 時完工恢復交通。便道完成後縮短往來名間竹山間須繞道 152 線及台 16 甲線之路程 12 公里，節省旅程 30 分鐘，更可加速南投地區震災救災及復建工作時程。名竹大橋便道，克服困難，提前完成，獲李總統讚賞，交通部林部長亦專程到南投工務段頒發加菜金與慰勞搶修辛勞，對公路局工程人員救災搶修表現予以高度肯定。

名竹大橋因有斷層帶經過，有關橋梁修復，在無法另闢新路線，僅能原址辦理改建情形下，為確保新建橋梁安全，本橋修復設計以交通部民國 84 年 1 月頒布「公路橋梁耐震設計規範」之地震一甲區為基準進行耐震設計，並增加綜合性之耐震對策。

筆者特將本橋搶修與修復階段辦理情形做一整理，撰成完整性報告提供參考，尚祈工程先進不吝指教。

二、震災及勘災

名竹大橋於 921 集集大地震中發生斷橋，致台 3 線交通中斷，南投工務段於 9 月 21 日清晨 5 時即開始勘災，沿途經過南投市郊，見台 14 乙線軍功橋橋台兩端引道下陷 70 公分，中興路路面嚴重液化冒砂，及台 3 線貓羅溪橋五座偏心橋墩頂龜裂，繼往名竹大橋發現該橋竹山端 P21-P27 橋墩及 A2 橋台，因車籠埔斷層從 P23-P24 間經過，地表錯動隆起，發生落橋損毀，部份橋面因大梁脫離帽梁支承座而落橋，受擠壓側大梁端及橋面版則凸出越過帽梁，本橋發生落橋損毀事件中，於南下向 P21-P22 間有一機車騎士因落橋撞擊，不幸於此罹難，另南下向 P26-P27 間，有一滿載之砂石車，亦因落橋致車子完全損毀，駕駛人不幸重傷。

9 月 21 日下午 2 時 30 分，第二區工程處吳處長陪同梁局長，林總工程司，養路處王處長，鄧副處長到達南投工務段瞭解災情，陳段長首先報告名竹大橋受損情形及轄區內其他道路災情，局長立即指示工務段應先做好交通中斷安全維護設施及導引車輛繞道指示標誌，道路部份段長（原南投工務段段長）立即派員進行搶修。並前往名竹大橋現場勘查災情，於橋上段長報告斷層經過位置及落橋現況，局長再指示：「工務段應儘速研擬架設便道或便橋，早日恢復台 3 線交通」。工務段立即製作名間—竹山間交通繞道 152 線及台 16 甲線之示意圖，傳送給各新聞媒體週告知路人，並著手規劃搶修事宜。交通部林部長於 9 月 23 日下午 3 時由梁局長陪同到達名竹大橋視察災情，並轉達中央關切，希望公路局能於一個月內恢復該地交通，以便救災及賑災車輛能順利通行。

三、便道搶修

9月23日晚間8時公路局第二區工程處召開搶修作業檢討會，決定名竹大橋以施築便道方式予以搶通，預定工期10天。南投工務段於9月24日上午著手勘查便道工址，擬定於原橋上游側設置便道長350公尺，寬9公尺，概估工程經費約需1800萬元。9月24日晚間搶修工程計畫案由段長攜帶至二工處緊急處理小組報告，經核示儘量利用當地工程材料、節省工程經費、縮短工期等三原則辦理。當晚並獲訊息，李總統將於9月25日將頒布「緊急命令」協助救災搶修，本橋便道搶修若依該命令即可於河川公地先行施設，不受水利法之限制，並可就近挖取工程所需河床砂石料作為回填路基材料使用，確可縮短便道搶修施工時程與節省經費。因設置便道搶修必須考慮：

- (一) 大地震已使南投地區預拌混凝土工廠嚴重受損，再加無電力供應，故各預拌混凝土工廠，已無法供應搶修必備之工程材料混凝土。
- (二) 便道將於原橋墩 P19 上游側上橋，必須克服高程差 11 公尺，
- (三) 必須預防便道使用期間，汛期洪水沖擊之危害問題。經研議以採用貨櫃內部充填砂石料，做為便道路堤擋土設施使銜接橋面為最可行。確定便道構築施工方式之後，即於 9 月 25 日開始調查市場可利用舊型貨櫃數量（甚多貨櫃已被搶訂改裝成貨櫃屋），接著編列工程預算。於 26 日下午完成發包作業，27 日一早進場施工。

便道工程內容：

- (一) 本便道工程預計施作便道長 350 公尺，淨寬 9 公尺，主要工程材料 40 呎大型貨櫃 38 個，25mm ϕ 鋼絞索 800 公尺，1.5 公尺直徑涵管 120 公尺，天然砂石料 25000 立方公尺，碎石級配料 1500 立方公尺，瀝青混凝土 640 噸。
- (二) 本工程為維行車安全另編列便道路燈照明工程預算，設置 9 公尺高路燈 7 座，及導引標誌預鑄式紐澤西護欄 700 塊，設置於便道兩側。
- (三) 便道搶修施工示意圖 本工程貨櫃疊砌，施工順序如下：
 1. 貨櫃開孔：先將貨櫃頂部鋼板開鑿四個填料孔，每孔約為 2.5×2.2 公尺，其所以採取鑿孔方式實為維持貨櫃四側壁鋼板剛性，防止貨櫃內部裝填砂石料之後，側向壓力造成貨櫃兩側壁鋼板外凸變形。
 2. 基地整平：每只貨櫃裝填砂石料後，重約 108 噸，四層貨櫃疊砌之後，底部基礎需承受 20 kg/cm² 壓力，故最底部基礎應先予整平壓實。
 3. 裝填砂石料：貨櫃吊定位後，工地以怪手分層裝填砂石料，另配合人工四名予以整平，充分填滿貨櫃內部，即再疊設另一層貨櫃。
 4. 鋼絞索繫結：利用貨櫃上下四個角隅之插梢孔，以 25mm ϕ 鋼絞索搭配蝴蝶夾，將各相鄰貨櫃予以繫結，另為防止路堤內部之砂石經滾壓夯實後會將整個貨櫃側擠外移，路堤兩側貨櫃亦用鋼絞索對拉繫結在一起，進橋版銜接端，更以多向交織繫結。
 5. 頂部整平：貨櫃疊砌四層到預定高度，填滿砂石料，隨即整平夯壓，再填 50 公分厚碎石級配料，俟滾壓完成，鋪設 10 公分厚瀝青混凝土面層。
 6. 路面加繪反光標線，兩側吊放紐澤西護欄塊，安裝路燈並設置交通導引標誌。本便道工程於規劃階段有國軍部隊吳指揮官於 9 月 24 日到達工務段，表示願意協助公路局便道土石方搶修事宜，工務段表示便道工程即將發包以貨櫃方式搶修施工，為爭取時間，就便道土石方部份同意國軍部隊協助辦理，其餘銜接大橋橋面以貨櫃疊砌，跨水利渠道以涵管埋設及其他交通安全設施等專業技

術，仍由公路局自行辦理。國軍部隊即於 9 月 25 日調派二部中型挖土機，及四部運土車，協助將前水利處渠道工程堆積之土石方加以整平及開挖運載砂石料。至 9 月 28 日，路基基礎大部份已構築完成，工作面縮小，國軍部隊支援協助部份亦趨近結束，工地過多的施工車輛影響搶修作業。國軍部隊南投地區一位上校指揮官以電話通知公路局第二區工程處許副處長，表示本便道工程專業技術部份，軍方部隊確無法克服須由公路局自行辦理，其部隊將於 9 月 29 日調離。惟於 10 月 3 日部份媒體對於軍方調離之報導偏離事實，引發民眾誤解，本局隨即發佈新聞稿澄清。查國軍部隊自 9 月 24 日派員洽商協助便道搶修，及自 9 月 25 日派部隊進場施工至 9 月 29 日共同施工作業期間，從未表示將於名竹大橋便道工地架設倍力橋，何以某些人士與媒體竟指稱國軍部隊擬於名竹大橋便道工地架設倍力橋，而謂公路局不予接受，實令人不解。本便道搶修工程原奉交通部林部長指示應於 10 月 6 日前完工通車，公路局各級長官亦多次於晚間到達工地督導，經工務段不辭艱辛，日夜加班，積極趕辦，提前至 10 月 4 日晚間 6 時通車，恢復台 3 線交通。林部長特於民國 88 年 10 月 6 日親至南投工務段頒發加菜金，慰勞全体工程人員。而貨櫃堆置施工法獲工程界讚賞，紛紛索取資料參考，深感榮焉。

四、主橋修復

有關本橋之修復於 9 月 23 日即簽准專案委由中華顧問工程司辦理設計，中華顧問於 24 日派工程人員赴現地做工地調查紀錄，並以衛星定位（GPS）進行檢測，該橋車籠埔斷層於 P23-P24 間通過，產生逆衝斷層，橋面及地表錯動，A2（竹山端）隆起，較原 P19 橋面高出 3.236 公尺，P19 與 A2 引道有 3.5 公尺之平面錯動。名竹大橋係於民國 78 年辦理拓寬改建為 28 孔，每孔跨距 25 公尺，全長 700 公尺，屬 PCI 橋梁結構。此次辦理復建，下部結構必須考慮避開河床內既存之舊橋梁沈箱基礎。依據 78 年辦理拓寬改建時，所做地質鑽探顯示大部份河床段地質為卵礫石層構造，靠近竹山端河床面下 15 公尺有砂岩及泥岩，與名間端及河中段地質構造有顯著差異，經此次地震已確知斷層在 P23-P24 間通過。為慎重起見，工務段再要求中華顧問重新辦理地質鑽探，鑽探結果；A1-P24 段 BH-3 之地質為卵礫石含砂岩構造，P24 附近之 BH-2 地面下 0-13.5 公尺為卵礫石含砂，13.5-30 公尺為砂岩夾泥層，P26-P27 間 BH-1，地面下 0-9 公尺為卵礫石含砂層，9-13 公尺為泥岩夾細砂岩，13-35 公尺為砂岩夾泥層，與 78 年鑽探資料一致。該橋竹山端雖有斷層經過，卻因道路兩側社區發展已定型，無法避開斷層帶另選新線，僅能原址復建，故本橋永久性修復，除須按地震一甲區耐震規範設計外，亦需對橋梁經過斷層帶予以特殊考量。

（一）路線線型

由於地表錯動位移，路線已扭曲，工務段原擬設計一曲線橋讓原橋面與竹山端引道能接順，中華顧問經評估後認不宜設置曲線橋，否則每根大梁長度不一，將延長修復時程。後研議於 235K+144 及 235K+258.931 處各設置 IP 點(R=3500 公尺)，予以銜接克服。

（二）橋梁配置

為避開河床內原舊橋沈箱基礎及斷層帶，修復新橋必須採較大跨徑，減少橋墩基礎方式辦理設計。另為配合竹山端堤防線及舊 A2 橋台前，已有中區水資源局設置之集集引水計劃（供六輕使用）雙孔箱涵渠道，乃決定竹山端新橋台再後退 7.5 公尺。而 P20 橋墩墩柱雖未傾倒，但已產生明顯裂縫，為安全計須予打除，故復建工程範圍實際自 P19 橋墩開始。經研議結果新橋跨徑 37.5 公尺一孔，50 公尺三孔及 45 公尺一孔，合計五跨連續橋梁，全長 232.5 公尺。

伍、設計原則

- (一) 本橋復建依據交通部民國 84 年 1 月頒佈之「公路橋梁耐震設計規範」地震一甲區（對應之地表水平加速度為 0.33g）為基準進行耐震設計並增加綜合性之耐震對策。
- (二) 為減少地震時之慣性力，需有效降低上部結構靜載重，及為兼顧縮短復建施工時程，本橋上部結構採用鋼橋，橋面採用鋼浪板配合混凝土橋面版系統。
- (三) 為防止落橋及分散地震力至各橋墩或橋台，採用彈性固定方式之多跨連續橋梁結構。
- (四) 為避開原有基礎影響及減少阻水，採用較大跨距之橋梁型式，以減少基礎數量。
- (五) 採用韌性設計，增加橋梁非彈性變形之能力，以吸收地震力。
- (六) 採用多重具耐衝擊性之防止落橋裝置。
- (七) 為降低地震力之影響及加強分散地震力於各橋墩，採用隔減震支承。

設計地震力

- (一) 水平向地震力：最小設計水平地震力（依據交通部 84.1.9 頒佈之「公路橋梁耐震設計規範」，惟 (C/F_u) 值不受規範所訂上限之規定： $V = \max[ZICW/(1.2\alpha_y F_u); ZICW/(3.0\alpha_y)]$ Z （工址水平加速度係數）=0.33（地震一甲區） I （用途係數）=1.2（主要橋梁） C （工地正規化水平加速度反應譜係數）：依橋梁周期與地盤種類而定 W （橋梁設計單位全部淨載重）：包括橋梁結構之淨載重與橋墩重量 α_y （起始降伏地震力放大陪數）=1.65（RC 橋墩採強度設計法設計） F_u （結構系統水平向地震力折減係數）依下部結構型式、橋梁周期與地盤種類而定。
- (二) 垂直向地震力：設計垂直地震力（依據交通部國工局 86.4「公路橋梁耐震設計規範」之補充研究）： $V_v = Z_v I / 1.2\alpha_y (C_v/F_{uv}) mW$ Z_v （工址垂直加速度係數，為 $2/3Z$ ）=0.22 C_v （工址正規化垂直加速度反應譜係數）：依橋梁周期與地震種類而定。 α_y 與 W ：同水平向地震力之規定 F_{uv} （結構系統垂直向地震力折減係數）：依下部結構型式、橋梁周期與地盤種類而定 美國與日本在北嶺地震與阪神地震發生過後，為提昇橋梁之耐震能力，橋梁多採用隔減震支承，目前鉛心橡膠支承（Lead Rubber Bearing, LRN）與高阻尼橡膠支承（High Damping Ryvver Bearing, HDR）均屬此類，可量產且具有使用實績之產品，本工程橋梁將用此二型支承，以增加橋梁之耐震能力。

基本復建方案

- (一) 上部結構：採用施工簡易，快速之多跨連續 I 型鋼梁橋及浪形鋼板配合 RC 橋面版系統。
- (二) 橋墩：橋墩採用 RC 橋柱，為確保充分之韌性，將配置足夠之耐震箍筋且主筋不截斷。
- (三) 基礎：基於防沖刷與施工性之要求，本橋原則上採用鋼套管 RC 基樁(圖十)。
- (四) 路線：由於受地震之地表錯動影響，使各橋址及其附近地形均有顯著改變，原有之測量基準點無法使用，本復建工作是參考原有橋梁設計圖及竣工圖，並以 GPS 測量方式量測復建橋梁之橋址，並依此進行路線設計。

橋梁復建長度 232.5 公尺，淨寬 18 公尺，竹山端引道調整縱坡長 80 公尺，全部工程

數量：

- (一) 下部結構：全套管基樁（150CM ϕ ，L=25M）e 74 支橋台（竹山端）e 1 處橋墩（P20~P23）e 4 處 P19 帽梁加寬及墩柱補強 e 1 處 P17 墩柱補強 e 1 處。
- (二) 上部結構 鋼橋面製作 e 1215T 橋面版 e 4410M² 欄杆胸牆 e 464M 橋面伸縮縫 e 36M AC 面層 e 4185M²。
- (三) 完工及復舊 緊急搶修便道拆除 e 1 式 河床復舊 e 1 式。

特別規定

- (一) 為顧及防汛期間橋梁安全，本工程須於民國 89 年 6 月底前完成橋梁主體工程。
- (二) 本橋梁復建工程因工期短促，承包商須盡其人力，設備與施工能力，積極趕工，以協助災區復建。施工期間承包商必須做好便道交通安全設施維護，以確保防汛期間，原設置名竹大橋便道能安全使用，及維護施工區域通行車輛與行人之安全。

六、結 語

台 3 線名竹大橋於 921 集集大地震中因車籠埔斷層經過，不幸發生橋梁斷落致交通中斷，經本局上下通力合作，採用貨櫃作路堤擋土牆順利搶通台 3 線，工法創新又實用，得到工程界人士讚賞。本工程施工期間因軍方部隊主動參與搶修後再調離，遭特定人士故意扭曲事情製造謠言，再加媒体不實報導誤導國人，雖經工務段努力澄清，惟已對辛苦工程人員造成傷害，深感遺憾。此事亦提醒我輩工程同仁，平常默默工作任勞任怨固為工程人員本色，無愧良心，但應與各界保持良好互動關係，隨時掌握社會訊息脈動，滿足大眾知的權利，始不致辛勞反遭誣衊，苦心付諸流水。名竹大橋修復工程事前已做完整規劃，施工亦順利進行中，願新的名竹大橋能早日提供用路人服務。