

莫拉克風災台 18 線 59.1k 路段坍方搶修、復建工程

設計與施工

蔡宗成*、郭清水**、吳文隆***、蕭秋安****、陳俊定*****、周坤賢*****

摘要

2009 年莫拉克颱風侵襲台灣，8 月 7 日~10 日阿里山雨量站累積雨量 2,965mm，相當於以往一整年的平均雨量，造成山崩、土石流、淹水等嚴重災情。其中雨量最大、受災最嚴重區域位於台灣阿里山地區，豪雨重創台灣阿里山風景區各主要道路，其中以阿里山公路(台 18 線)受創最為嚴重，於里程 59.1k 路段附近崩坍面積約 50ha，災情相當嚴重。

本文以阿里山公路 59.1k 路段厚層崩積層邊坡為例，由搶修至復建前中期提升至依據地形、地質、水文等資料，詳細調查分析，提出最有效可行之整治對策及方法。本工址邊坡滑動之致災主因研判可能為連續豪雨、地表逕流、雨水入滲造成地下水位上升及土岩層強度泡水軟化而產生滑動。本工址崩積層厚度達 4~25m 不等，且岩層破碎，本工程受限地形及地質因素以路工方案辦理工程細部設計，除道路兩側護坡整治，坡面之排水及路面排水須做適當導排外，另針對部分已受側移及陷落影響之巔頭明隧道進行重建。

本工程依現地邊坡的現況，盡量減少對自然環境的破壞。邊坡坡面較平緩無安全疑慮時採掛網植生之方式做為坡面保護，以防止坡面受雨水之沖刷淘空。邊坡陡峭或有塌滑之虞時，採自由型框植生方式設計。於道路邊坡安全滑動有疑慮處，於下邊坡設置擋土排樁及地錨保護道路及邊坡。

關鍵字：莫拉克颱風、阿里山公路、破壞模式、邊坡整治。

* 公路總局養路組組長、第五區養護工程處 前處長

** 公路總局阿里山工務段 段長

*** 台灣世曦工程顧問股份有限公司 經理

**** 台灣世曦工程顧問股份有限公司 副理

***** 台灣世曦工程顧問股份有限公司 技師

***** 台灣世曦工程顧問股份有限公司 技師

一、前言

2009年8月8日莫拉克颱風來襲，台灣南部山區受到颱風引進外圍環流的豪大雨影響，阿里山地區之累積降雨量突破 2,965mm，如圖 1 所示。莫拉克颱風挾帶豪雨造成阿里山公路 59.1k 路段附近道路邊坡崩塌，為因應提早開通提供民生運補需求依坍方後地形地貌開鑿搶通便道，便道通車後上邊坡鬆散推擠變形滑動遇雨即坍，再機械整坡除去上邊坡崩積土自重穩定邊坡。本路段復建工程如圖 2 須做縝密的地質探查、測量、規劃設計工作，非工務段人力所及因此委外設計經評選由台灣世曦工程顧問工程得標，委託地質探查、規劃設計須有一定期程，需再經 99 年汛期因台 18 線阿里山公路為國際觀光道路為維護旅客用路人安全，辦理中期提升施作邊坡保護及臨時路基加固工程。災後航照及崩坍照片如圖 3 所示，崩坍面積約 50ha，除道路範圍為公路總局用地外，其餘土地皆為林務局公有地。

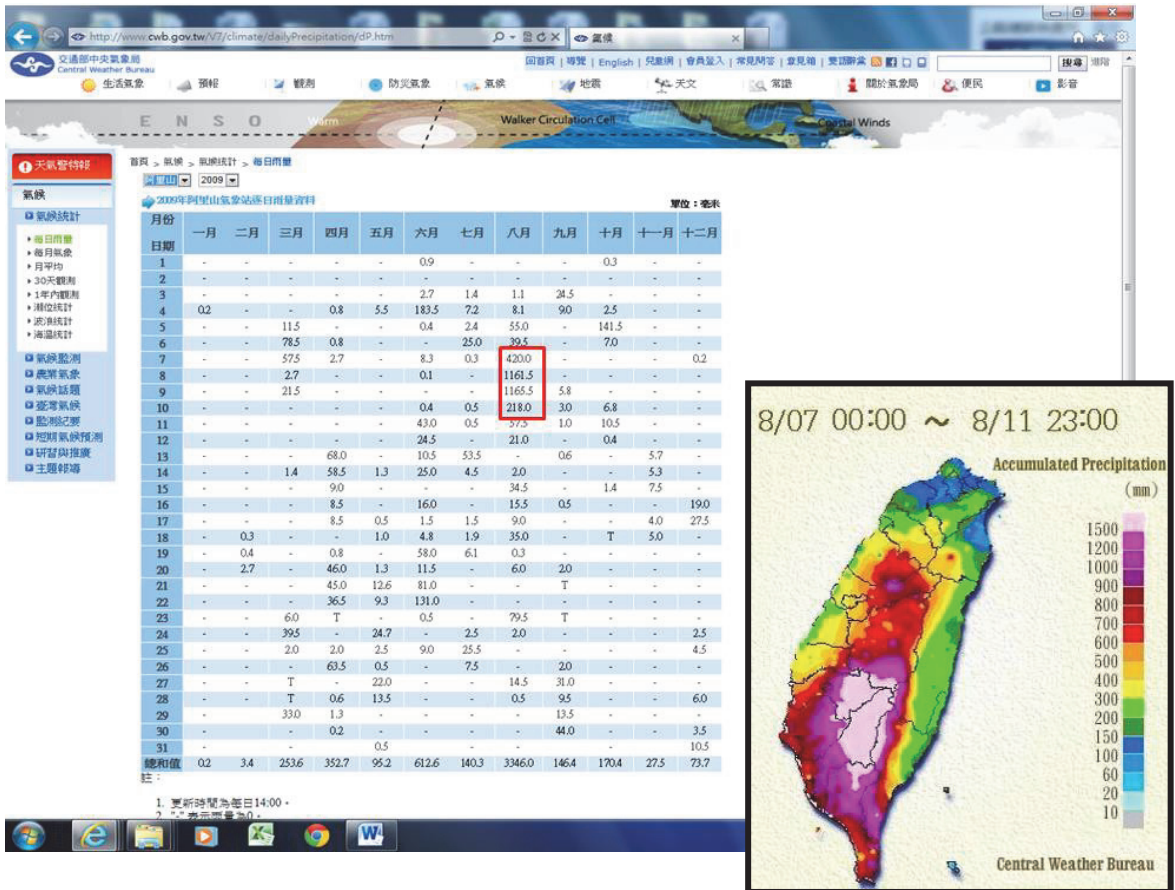


圖 1 2009 年 8 月 7 日~11 日降雨分布圖及雨量紀錄表(資料來源中央氣象局)



圖 2 台 18 線阿里山公路災害修復工程範圍圖



圖 3 阿里山公路 59.1k 附近崩坍災害現勘照片

二、初期搶修

59 公里路段大崩坍位於龍頭附近，路基流失 350 公尺屬大面積崩坍，崩坍深度 200 公尺，並造成西端明隧道第三段長約 50 公尺沉陷約 1 公尺深，60k+700 處路基亦流失約 80m 長下邊坡深約 300m，本路段由於台 18 線自 36k+200 路段已坍方中斷無法由山下增

調機具搶通，承包商立即尋找當地挖土機開挖便道，59k 便道於 8 月 23 日毛路打設完成但尚無法通車，此時 36k~59k 各路段災害已於 22 日下午搶通，承商於是增調 5 部大型挖土機進行便道邊坡整修及路基填石工作，施工期間豪雨及濃霧不斷，且需防範上邊坡突來之落石，搶修人員冒著惡劣環境搶通道路修築通行便道，8 月 27 日下午毛副院長(時任交通部長)視察行程由石棹到達本災害路段，以步行方式通過災害路段到達明隧道段乘坐接駁車輛至觸口，當時濃霧瀰漫能見度低上邊坡仍不斷有落石發生，通行時雖僅 300 餘公尺但險象環生，可見搶修人員之辛苦及危險，本路段除以挖土機開鑿搶通便道，亦需人工配合至上邊坡百餘公尺處將浮石清除以防掉落砸傷過往人車，經努力搶修於 98 年 8 月 29 日下午搶通供四輪傳動車輛及搶災車輛通行如圖 4。



毛副院長(前交通部長)向搶修人員致意



毛副院長(前交通部長)步行通過災害路段



便道路基填塊石就地取材破碎加工中



便道路基填塊石施工中



便道路基施工中



便道搶通通車中

圖 4 59K 災害便道搶修及通車照片

通車後上邊坡仍持續擠壓側向位移，於是挖土機再開鑿便道至邊坡崩坍頂部由上往下再管制交通進行整坡，減緩坡度減輕邊坡自重並加寬便道寬度，路基再經整理鋪設碎石級配滾壓後鋪築瀝青混凝土完成提供一般車輛通行如圖 5。



機械整坡



機械整坡



機械整坡完成後



便道路面鋪設瀝青混凝土完成

圖 5 59K 便道機械整坡及便道鋪設瀝青路面照片

三、中期提升

本路段復建工程需辦理地質探查及測量設計工作需委外辦理由於設計標發包至設計完成至發包需經 99 年度汛期，又因地方觀光產業受風災影響蕭條，避免汛期影響觀光發展遂辦理邊坡保護及路基加固工程，施作上下邊坡方形石籠施設及上邊坡型框植生及掛網植生(含上、下邊坡噴凝土截水溝及縱洩溝)如圖 6，



型框植生施工中



型框植生施工中



型框植生施工中



中期提升完工後



中期提升完工後



中期提升完工後

圖 6 59K 便道中期提升施工前後照片

四、地形及地質

4.1 計畫路線地形

根據既有地形及地質文獻資料，崩塌區里程59.1k路段附近海拔高程介於900~1350m之間，地勢由西北往東南傾斜，為一西北高東南低之崩塌區地形，地勢由西北往西南傾

斜，為一西北高西南低之崩塌區地形及具有向源侵蝕地貌特徵，致造成路基流失約300m，主要之水系為山谷地形因受侵蝕作用所形成之大小不一之坑溝，亦因侵蝕作用坑溝多為崩塌地之發育處。該崩塌區坡度、坡向圖詳圖7~8所示，坡度大部份為4級坡到7級坡，主要坡向為東方及東南方。

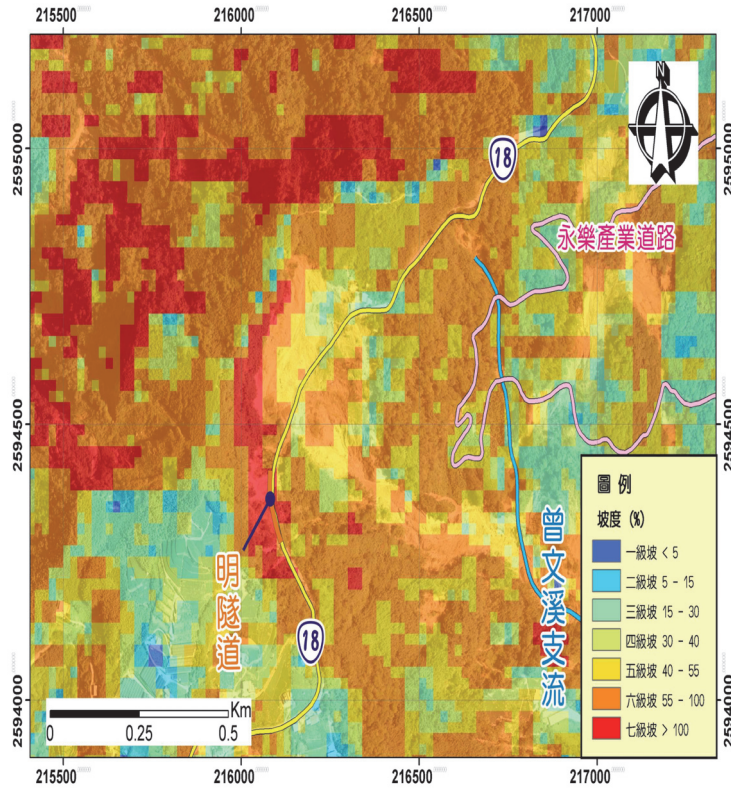


圖 7 工址坡度圖

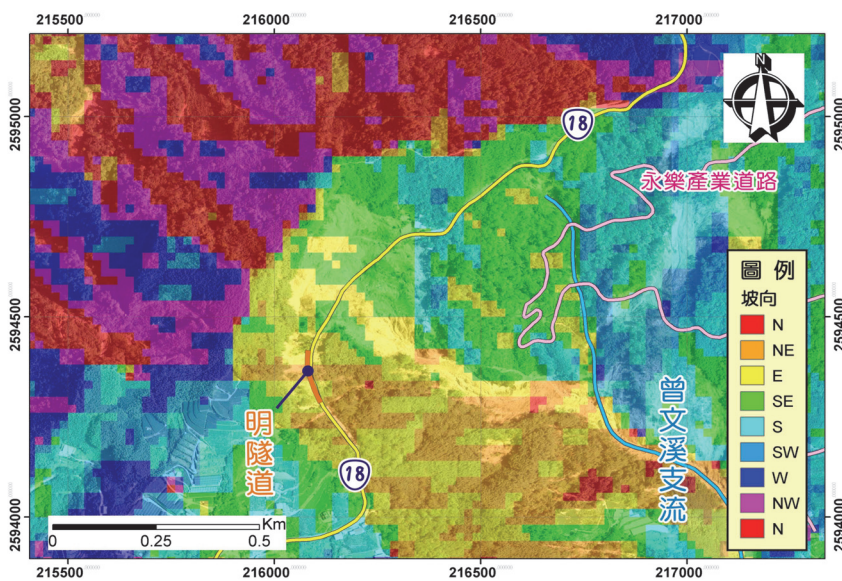


圖 8 工址坡向圖

4.2 區域地質


本路段地質平、剖面圖如圖9所示，由既有文獻資料及配合現場地表地質勘查結果，顯示本計畫崩塌區出露之地層主要為第三紀中新世之達邦層、南莊層，而此地層以厚層砂層及砂頁岩互層為主，一般而言膠結程度較不佳，且區域性另受鄰近向斜地質構造，致節理頗為發達，地層亦因此較為破碎，其表層之風化程度亦頗為嚴重，各地層特性詳表1所示。


4.3 地質構造

根據經濟部中央地質調查所劉憲德等(2000年)調查研究資料，顯示59k+100崩塌區有向斜構造通過於崩塌區西南側，向斜構造並未直接通過崩塌區，因此各崩塌區現場所量測之層面位態變化不大，惟因受地質構造影響各崩塌區之節理頗為發達，由野外地表地質調查結果顯示，本斷層之破碎帶出露於崩坍區範圍，其地質為良好之阻水層，因此不利邊坡之穩定。地表地質調查結果展繪如圖9所示。

由現場量測之不連續面位態經由立體投影等位線圖，進行立體投影圖解法進行穩定分析結果(詳圖10)，顯示本崩塌區除存在崩積層之圓弧形破壞外，岩體內之不連續面亦可能存在潛在平面滑動之順向坡問題、楔型破壞及翻倒破壞(岩塊掉落)等不穩定問題。因此，道路路線修復或改線，需考量上述地質構造問題外，亦需針對此潛在不穩定之工程地質問題進行審慎之評估，以達道路坍塌治標及治本之功效。

表1 本崩塌區之地層分布特性

時間	地層	地質特性說明	分布或出露區域	露頭照片
全新世	崩積層 (Col)	主要為崩落之未固結砂、粉土、粘土及夾雜大小不一之岩塊等疏鬆材料所組成。	於本區崩坍坡面	

時間	地層	地質特性說明	分布或出露區域	露頭照片
中新世	南莊層 (Nc)	岩性以厚層砂岩與砂頁岩互層、中至薄層砂頁岩互層所構成，新鮮岩體呈淺青灰色及灰色，砂頁岩互層含植物碎片，層面間富有白色雲母碎片。	本地層出露於59k附近之崩塌區。	

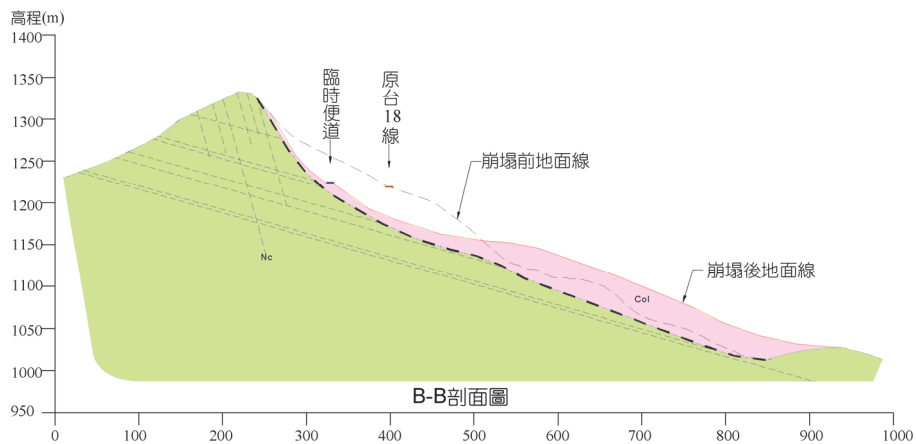
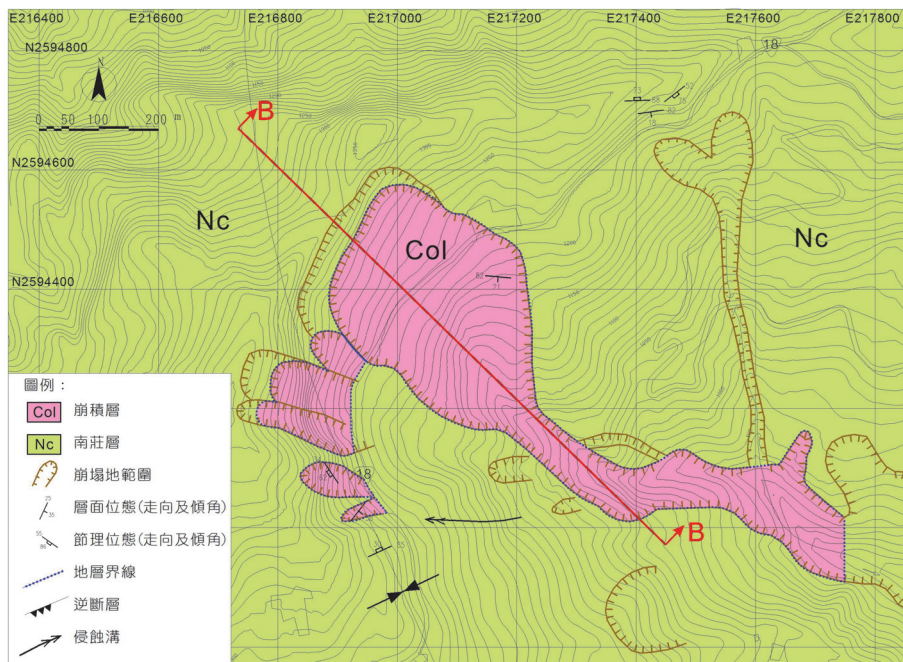


圖9 本工址路段地質平、剖面圖

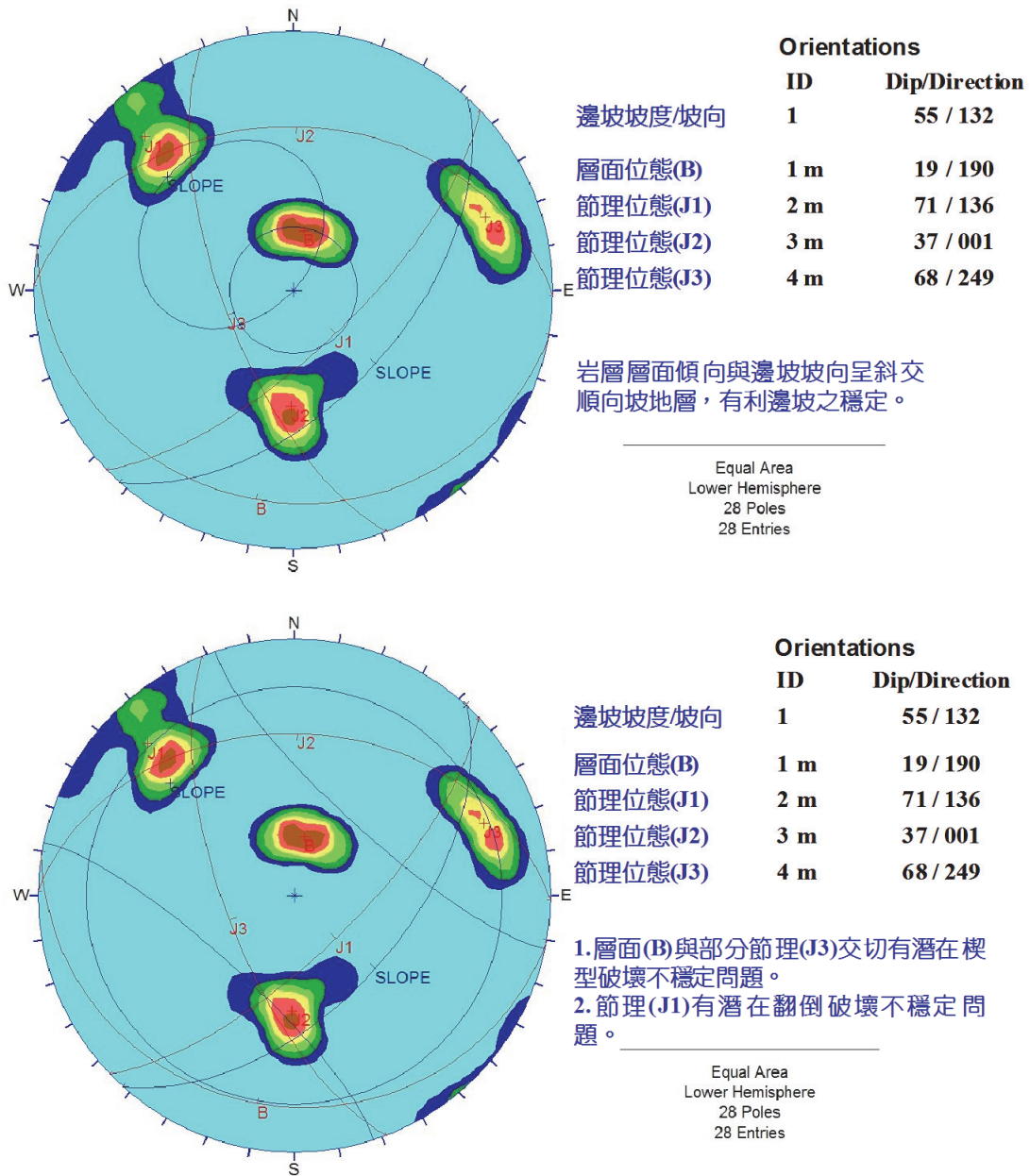


圖 10 崩塌區立體投影圖解法分析圖

4.4 地質探查成果

地質探查工作包括地質鑽探12孔及地球物理探勘工作，包括地電阻探測1000公尺，震測探測600m，鑽孔及地物探測平面位置如圖11所示，依地質探查資料研判工址之崩積層亦厚達4~25m間，相關復建工程依該崩積層厚度及性質進行分析設計。本工址邊坡主要問題在於大面積厚層崩積層邊坡之處理及設計考量。

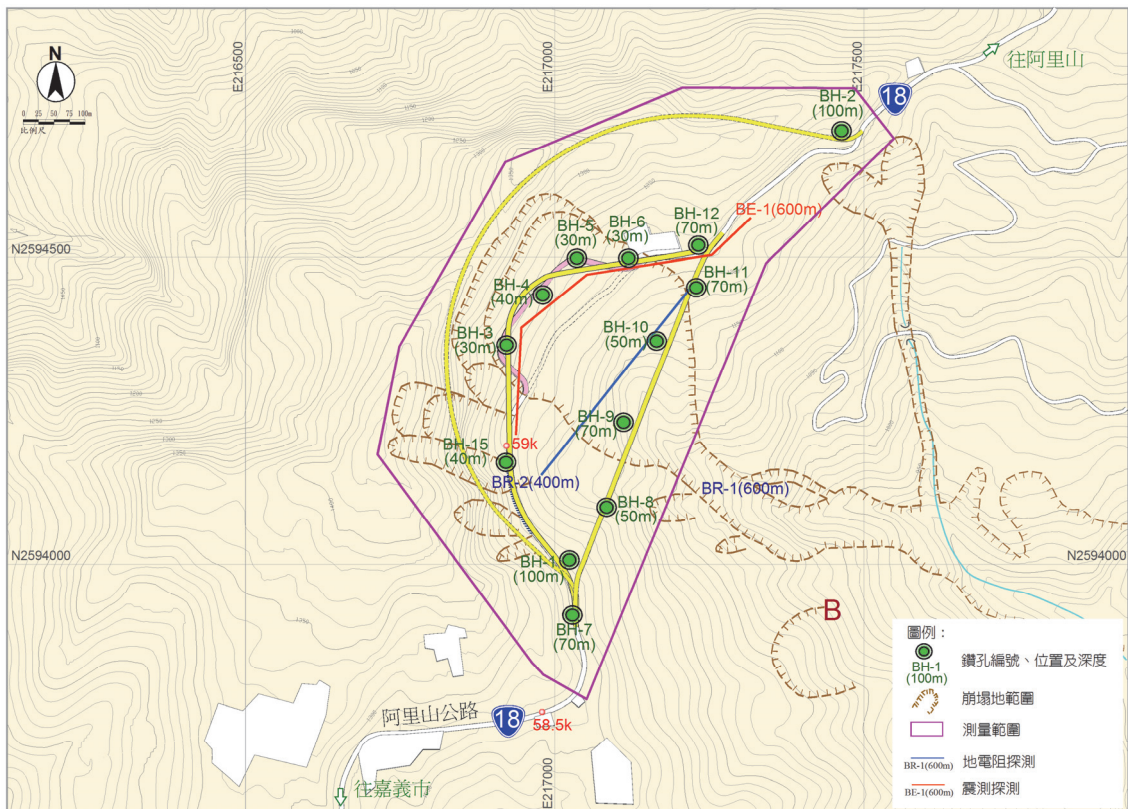


圖 11 鑽孔及地物測線配置平面圖

本工址配置二條地電阻影像剖面測線，測線編號分別為BR-1及BR-2，平面圖如圖11所示。以測線BR-2為例，詳如圖12所示，採三極排列(Pole-Dipole Array)施測成果。

由電阻率分佈特性推估的崩積層地層界面如圖中黑色虛線所示，崩積層厚度介於4~25m不等，與現場勘察及地質鑽探結果吻合，崩積層在上邊坡處厚度較厚。推估地下水水位面如白色虛線所示，地下水水位面深度深約8m，故本邊坡在下邊坡段打設水平排水管，以降低地下水水位之影響。茲將電阻率特徵與對應地層特性分述如表2所示。

表 2 地電阻影像判釋結果表

岩性	判釋
崩積層	分佈於表層，電阻率約 10-100(ohm-m)，塊石含量越高電阻率越高；泥含量越高，電阻率越低，層厚約 1-15m。
頁岩為主/砂岩為輔	電阻率約 5-20(ohm-m)，砂岩含量越高，電阻率越高；頁岩含量越高、越破碎，電阻率越低。
砂岩為主/頁岩為輔	電阻率約 40-200(ohm-m)，砂岩含量越高，電阻率越高；頁岩含量越高、越破碎，電阻率越低，層厚約 2-60m。

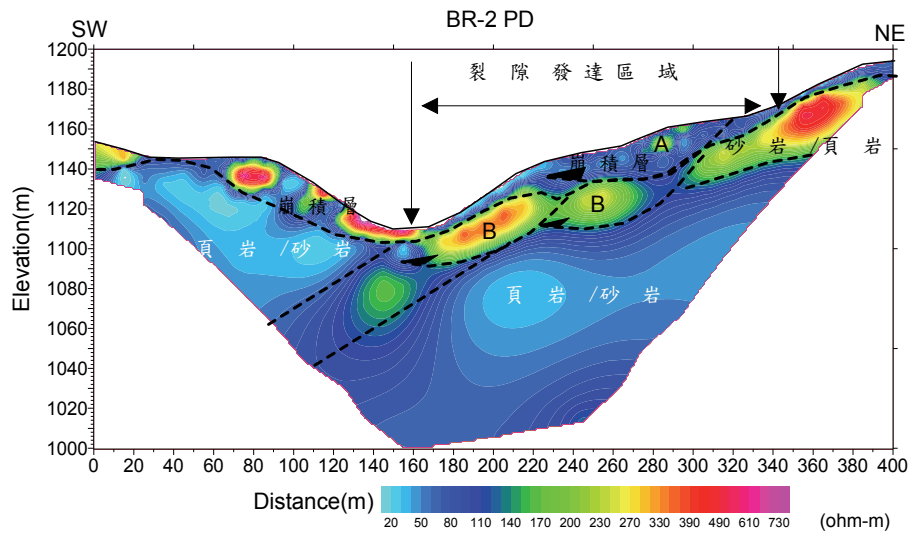


圖 12 地電阻影像判釋結果(BR-2)

圖13為本調查地電阻影像測線依對應測線位置關係繪製之柵狀立屏圖，圖中黑色虛線標示地層(A)，研判為本次風災崩積或滑動的地層，測線BR-1紅色虛線標示層段(B)推估可能有較深層的滑動。

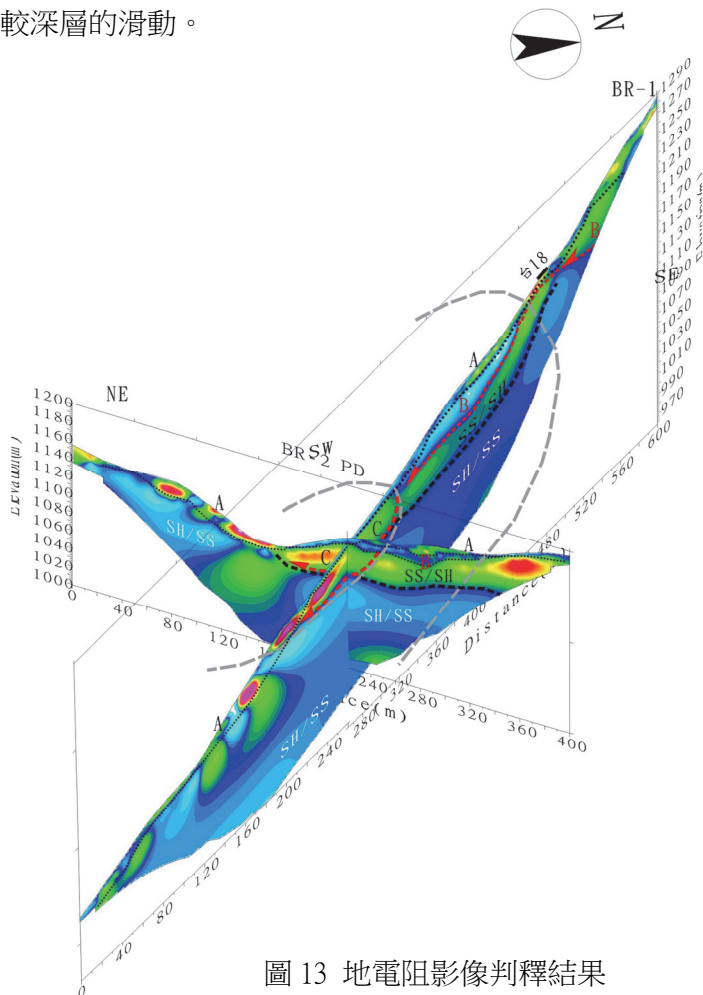


圖 13 地電阻影像判釋結果

五、水文及排水設計

本計畫採用之雨量站，以鄰近台18線里程約46k處，位於番路鄉公興村公興國小附近，隸屬於水利署之小公田雨量站(標高約760m)為代表。統計小公田雨量站最近十年(1999~2008)之資料顯示，年平均雨量高達約3630.4mm，每年受梅雨及颱風季節影響，降雨量集中於五月~九月，月平均雨量介於約400~900mm之間，佔全年平均雨量85.68%，以七月平均雨量達885.9mm為最大。

依據小公田雨量站統計資料顯示，最大時雨量為80.5mm，連續24小時最大累計雨量達1125.5mm(發生於8月8日6時至8月9日6時)，而四日累積總雨量達1354.5mm，詳如圖14時雨量分佈。如此連續高累積雨量之降雨型態，造成本區域土石鬆軟，再加上地表逕流加劇侵蝕坑溝，以致釀成坡面崩塌及路基流失等災害。根據水利署初步針對此次莫拉克颱風降雨量的頻率分析，隸屬八掌溪流域之小公田雨量站，連續24小時最大累積雨量已超出200年頻率。

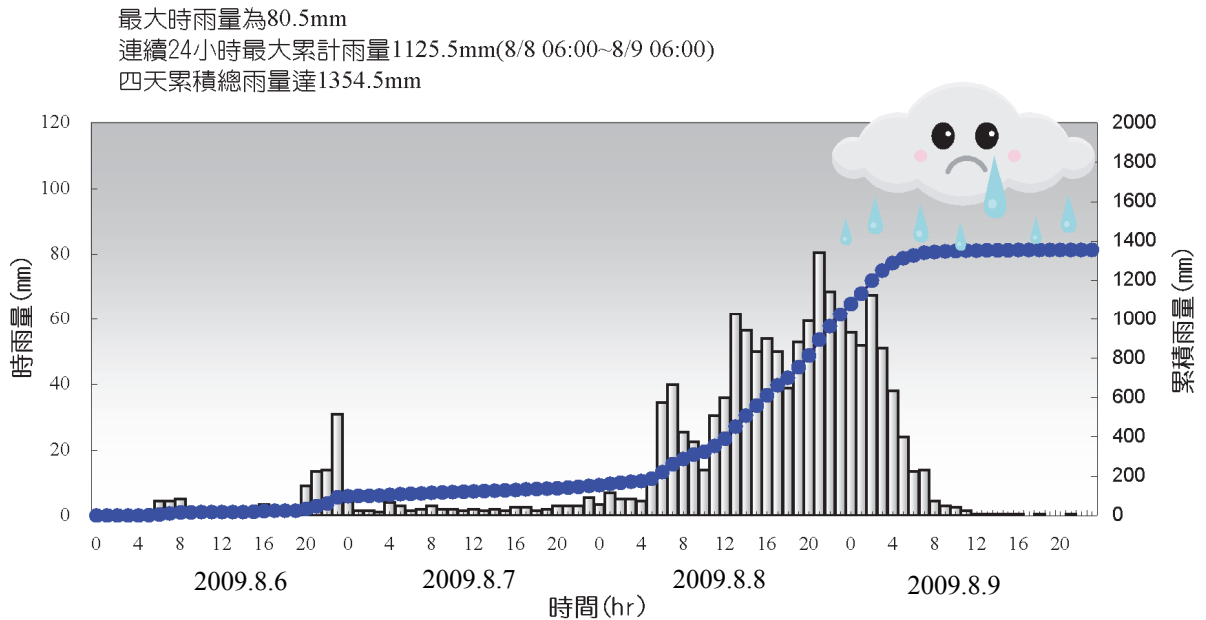


圖 14 莫拉克颱風期間(2009.8.6~2009.8.9)小公田雨量站時雨量分佈

配合未來復建道路線形，及坑溝治理等排水設施規劃佈置，劃分本計畫之集水區，詳如圖15所示，依自然地形及沖蝕溝劃分集水分區，計分CA6901~CA6904等4個集水分區。59k+100路段，係位於曾文溪流域集水區範圍山稜線之邊緣，集水面積不大，惟受上、下邊坡地質破碎因素影響，遭受此次連續之高累積雨量，導致土石鬆軟、體坡面崩塌及路基流失，目前臨時道路以土溝、涵管方式導排，下邊坡崩塌範圍大，並延伸至曾文溪谷地。

本計畫屬道路災害復建工程，主要之排水工程設計，包括道路側溝，坡面橫、縱向截水溝及橫向排水管涵等，因屬崩塌地坑溝治理性質，故依據「水土保持技術規範」野溪治理之標準，採用50年降雨頻率計算。坡面縱向截水溝主要沿坡面既存之沖蝕溝做佈置及治理，本工程設置有6道縱向排水截水溝，配合坡面橫向截水溝，以導排坡面水。於適當地點佈設集水井及橫向排水管涵，分散雨水逕流，穿越道路路堤後安全排導至下游新設之潛壩，管涵直徑依水理計算採150cm，本工程總計設置有3座集水井，排水工程及整治工程配置詳如圖15及圖19所示。

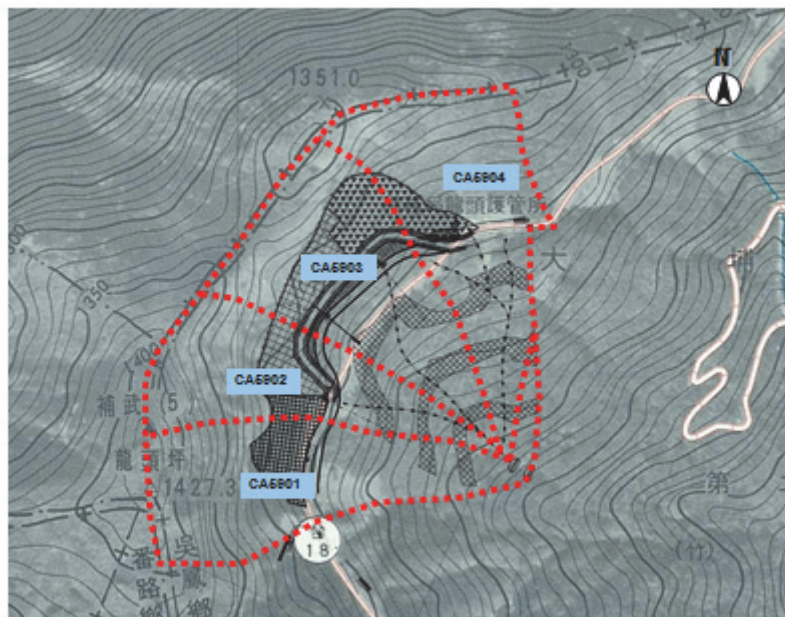


圖 15 台 18 線 59.1k 集水分區及排水工程配置圖

六、災害原因及破壞模式

依據現場調查，本工程各工址邊坡滑動之致災主因經研判可能為連續豪雨及地表逕流作用、雨水入滲及造成地下水位上升及土層強度泡水軟化而產生滑動。邊坡破壞模式各工址依其地質特性，現場調查結果包括上邊坡岩盤翻倒破壞如圖16所示、下邊坡圓弧型滑動、平面型滑動等類型，如圖17~圖18所示，研判本工址邊坡滑動之致災原因及破壞模式，說明如下。



上邊坡岩盤翻倒破壞前



上邊坡岩盤翻倒破壞

圖 16 59.1k 上邊坡岩盤翻倒破壞情形



圖 17 明隧道下陷及側移擠壓破壞



圖 18 下邊坡地層裸露

6.1 致災原因分析

1. 豪雨作用地表逕流沖刷。
2. 地表種植桂竹林盤根性植物，水保不佳。
3. 整體邊坡未設置橫向、縱向排水、導水系統。
4. 地表陡削，上邊坡頁岩破碎節理多，節理面入滲大量雨水，剪應力增加而產生張力裂縫。
5. 下邊坡崩積層因雨水入滲，土石含水量、單位重增加及土層強度泡水軟化而產生邊坡滑動。

6.2 破壞模式

坡頂岩塊高傾角節理面翻倒破壞，整體路段邊坡及下邊坡屬平面型及圓弧型滑動破壞。

七、整治工程

本工程整治目標為提高道路邊坡抗滑安全，確保路基穩定。邊坡保護工程依致災原因進行配置，以減少對自然環境的破壞及增加崩塌殘坡之穩定性為目的。本計畫以排水工程為抑制工為主，擋土設施為抑止工為輔，排水工程包括降低地表及地下逕流對坡體之不利影響，避免坡面沖刷及坡體飽和、軟化而滑動；大地工程方面包括以擋土排樁配置於路基下邊坡，樁長深入穩定地層，維持邊坡穩定。

本工區整治工程為減低致災因子，採用之抑制工包括：修坡、坡面導排水、縱洩溝、水平排水管、掛網噴植護坡等；另為增加坡體強度，採用之抑止工包括：排樁配合地錨、格梁地錨護坡、自由型框配合灌漿錨筋護坡等。

本路段整治工程平面配置圖、縱斷面圖如圖 19、20 所示，擋土及導排水工程施作項目及數量如表 3 所示，整治構想概述如下：

1. 上邊坡滑動體冠部及坡崖陡峭坡面進行源頭治理，包括危木處理，自由型框護坡植生，掛網噴植處理面積約 3800m²，掛網噴植面積約 8700m²。
2. 下邊坡崩滑體坡面開挖修坡，面積約 10000m²，並設置石籠擋土牆一道，總長約 950m。
3. 路基下方設置 ϕ 1.2m，中心間距 2.5m，長度 L=30~40m 排樁，計約 200 支，深入穩定岩層，確保道路邊坡之安全。
4. 巔頭明隧道第三單元與第二單元間陷落，明隧道淨高剩 3.9m，將既有第三單元敲除並採樁基礎新設明隧道與既有第二單元底板厚度順接(如圖 21 所示)。
5. 巔頭明隧道第二、三單元結構體外側採擋土牆及岩錨加固補強，並兼做施工便道使用。
6. 既有路基上下邊坡之崩塌面進行修坡保護並配置必要之縱橫截水溝，總長約 600m，並於縱向溝下游處新設二道潛壩抑制邊坡淘刷。

整治前、後如圖 22 邊坡穩定分析安全係數如表 4 所示。因應全球氣候變遷，本路段道路屬重要觀光道路，惟受限工程經費及路權範圍，主要工程設施僅能依道路上下邊坡側主要保全對象範圍設置，待本工程竣工後，相關管理單位仍應針對下邊坡側石籠擋土牆附近未能整治之邊坡作持續之養護，以使本工址能確實整治完成，達長治久安之理想。

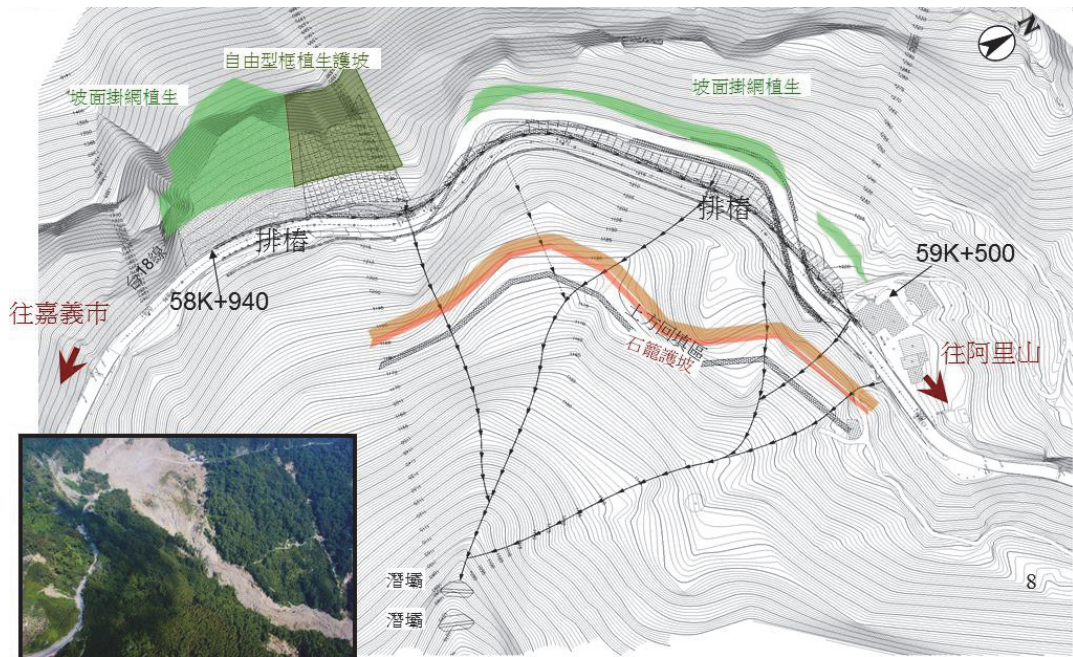


圖 19 本工址整治工程平面配置圖

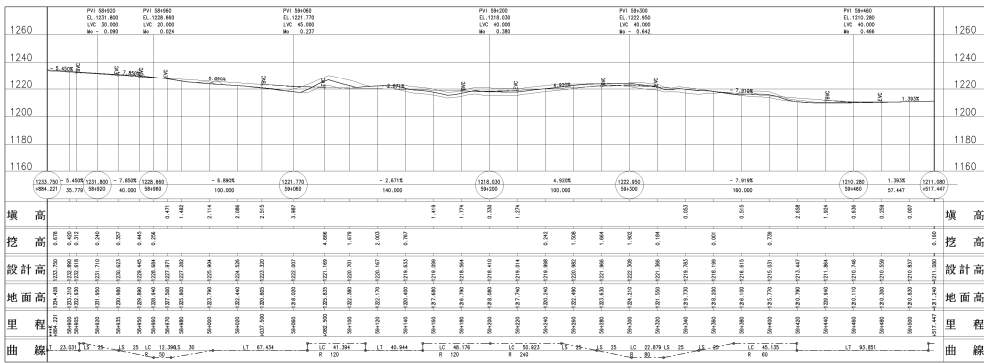


圖 20 邊坡整治工程平縱面配置圖

表 3 主要復建工程構造物數量表

工程項目	單位	數量	工程項目	單位	數量
自由型框護坡	m ²	3800	水平排水管	m	4000
坡面掛網噴植	m ²	8700	道路側溝	m	400
明隧道	m	65	排水管涵	m	28
石籠護坡	m ³	2800	縱向排水溝	m	1000
φ 1.2m 排樁(進尺)	m	5800	潛壩	座	2
預力地錨(進尺)	m	9000	挖方	m ³	19000
擋土牆	m	455	填方	m ³	14000



59K 明隧道下陷及側移擠壓破壞



59K 明隧道受損部分打除



59K 明隧道施工中



59K 明隧道敲除後採樁基礎施作完成

圖 21 巔頭明隧道整治前後成果圖



59.1k 災損時(由西往東照)



59.1k 復建後(由西往東照)



59.1k 災損時(由東往西照)



59.1k 復建後(由東往西照)

圖 22 主體工程整治前後成果圖

表 4 整治前後邊坡穩定分析安全係數彙整表

工程位置	破壞模式	整治前			修復及補強方式	整治後		
		常時	地震	高水位		常時	地震	高水位
59k	崩積層圓弧滑動破壞	1.25	1.04	0.84	擋土排樁	1.97	1.32	1.83
59.3k	崩積層圓弧滑動破壞	1.23	1.05	0.85	擋土排樁+地錨	1.63	1.15	1.39

八、結語

莫拉克颱風挾帶豪雨造成阿里山公路 59.1k 路段附近道路邊坡崩塌，土方量龐大。災害後為民生需求搶通便道，讓民生物資能運補為其主要功能，因後續災害復建工程須做詳盡的致災原因分析及地質探查及規劃設計，這些程序在復建過程中是必要的，不能因復建時程急迫而免除，避免急就章產生復建後重複致災的問題，本工程委託設計經招標由台灣世曦工程顧問有限公司得標，地質探查工作包括地質鑽探及地球物理探勘包括地電阻探測與震測探測等工作，並蒐集鄰近地區水文資料及致災原因分析，再經測量成果依地形規劃設計出最適宜之工法辦理復建。

本路段災害復建地層以砂頁岩互層為主，膠結程度不佳，且受向斜構造影響外，地層破碎，其表層之風化程度嚴重，依地質探查資料研判該區域之崩積層厚約為 14~25m 不等，相關復建工程依該崩積層厚度及性質進行分析設計。依地物探測及鑽探顯示地下水水位面深度約位於便道下方 3m，故本邊坡在下邊坡段打設水平排水管，以降低地下水水位之影響。

本工址邊坡滑動之致災主因經研判可能為連續豪雨及地表逕流作用、雨水入滲及造成地下水水位上升及土層強度泡水軟化而產生滑動。邊坡破壞模式包括順向坡滑動、圓弧型滑動、平面型滑動等類型。

本工程整治目標為提高道路邊坡抗滑安全，確保路基穩定。邊坡保護工程依致災原因進行配置，以減少對自然環境的破壞及增加崩塌殘坡之穩定性為目的。本工程整治工程為減低致災因子，採用之抑制工包括：修坡、坡面導排水、縱橫向排水溝、水平排水管、掛網噴植護坡等，為增加坡體強度，採用之抑止工包括：二道潛壩抑制邊坡淘刷、擋牆排樁配合地錨、石籠護坡、自由型框配合灌漿錨筋護坡等。

參考文獻

1. 中華顧問工程司(2009)，” 2009 莫拉克颱風八八水災橋梁勘災紀實”。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2009)，八八水災工程災害網站，
<http://www.ceci.com.tw/morakot2/>。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2010)，莫拉克風災台 18 線 37K+500~40K+100 附近災害修復工程設計原則報告。
4. 交通部運輸研究所(2009)，公路防災資訊系統網站，<http://bobe.thb.gov.tw/>。
5. 林銘郎、吳文隆、周坤賢、楊智堯、王景平(2008)，” 台灣坡地災害地理區位類型及整治案例探討”，中華技術第 77 期，P.42-53。

鋼結構橋梁預裝(假組立)目的與檢查項目介紹

李家順*

一、前言

鋼板或鋼材經切割、組立、銲接成構件並經校正後，需要經過廠內預裝成與工地現場類似之安裝工作，此種預裝工作對於構造物屬於精密、複雜、現場施工困難者，尤其重要，例如鋼橋、大跨徑或特殊造型建築物、溢洪道閘門、水力發電設備(以上詳照片 1~4)、大型預力混凝土橋梁架設工作車、大型起重天車與塔式吊車等。

預裝時，各構件需以各種臨時支撐(Temporary Support)作成近無應力狀態，接合部位則以規定數量之導孔栓(Driftpin)及預裝螺栓(一般為普通螺栓亦或屬舊品之高拉力螺栓)鎖緊後，依規範或契約規定檢測是否符合精度要求。



照片 1 鋼橋 (宜鋼鋼構)



照片 2 大雄寶殿屋頂 (理成鋼構)



照片 3 溢洪道閘門 (大將作鋼構)



照片 4 水力發電設備 (大將作鋼構)

* 公路總局養路組道路工程科 幫工程司

二、鋼橋預裝工作之目的

2.1 製品之檢查

在構件製作過程中任何加工、成形都有可能產生尺寸誤差、這些誤差在構件預裝時，對構造物整體形狀，接頭相對關係、架設問題等可以一併復查、校核，這是預裝最重要的功能。

目前構造物使用各種材料，已趨向多樣化，各鋼構廠家的品管工作為節省工時亦標榜自主管理，僅僅對重要部材實施製程中間檢驗，這些累計之疏忽，對製品造成極大不確定性，故有賴最後預裝工作之檢查。

2.2 確定製品之精度

鋼構廠家對整個施工過程常以「責任施工」為前提，但事實上，有許多不定因素，無法預知的問題，故必須以預裝工作確定各項製品之精度，下列情況需要進行預裝工作：

- 1.新的構造方式或未具施工經驗之構造物。
- 2.放(落)樣時，要求尺寸精度極高，而銲接後之變形、收縮量無法預測之構件。
- 3.複雜構造之放(落)樣，對組合之精度無法控制，需要預裝後以擴孔方式處理者。
- 4.鋼構廠受限於設備，將構件變更分成數段，與原設計不符，需預組後再行銲接處理。

2.3 試驗與實測之目的

- 1.反向之校對：施行預力(prestress)之大梁或合成梁等，在現場組立之基準值與預組時之無應力狀態之構架形狀，作一比較並實測其值。
- 2.變形量之測定：為了現場組裝之正確或設計值與實測值之比較，必須確知變形量之多寡，而此數值可由預裝實測得知。
- 3.載重試驗：構造承受負荷時，應力之測定、分佈，荷重之分擔等之校核，此種試驗有時與變形量之測定同時進行。

三、預裝之施工方法

3.1 預裝工法

- 1.互換性工法：可分為完全互換性及半互換性工法兩種，主要區分為擴孔之需要與否。完全互換性工法應用於一般簡支梁，桁架等簡單，同一類型較多之結構，其接頭部位之孔位有標準間距，孔徑，不需擴孔之處理。半互換性工法與前者幾乎相同，但因部份構材如斜撐構，對傾構之連接部需以擴孔處理(詳照片 5)。
- 2.互換性擴孔併用法：施工困難部分採用擴孔工法，其他部分則以互換性工法，如斜板梁(plate-girder)應用於主梁與橫梁之連接部、橫梁與斜撐接頭、合成梁之上下翼

板-斷面變化較為顯著，同時收縮量亦不相同，對長度預測困難時，採取擴孔工法。此種工法，為了擴孔之施工均以全構件預組。

- 3.擴孔(或引孔)工法：新式構造對收縮、變形無法預測或者複雜構造因累積誤差較大者，常施以擴孔(或引孔)工法之預裝。此種工法常使用於拱橋，變斷面箱型梁。此種工法與 2 法常併用，以整體預裝方式施工(詳照片 6)。



照片 5 斜撐構接頭以擴孔處理



照片 6 拱橋接頭螺栓孔以引孔或擴孔處理

3.2 預裝方式

- 1.立體組合：將構造物完全依照工地完成時之形狀進行預裝，稱為立體預裝。立體預裝所費工料多、時間長，但最為詳實可靠。經過立體預裝之橋梁，不但可節省工地組裝時間，而且精度亦合乎要求(詳照片 7)。

整體之立體預組(縱組方式為多)一般預裝常用此法，係與現場同樣形態之組立法，所不同僅是工廠與現場之區分。板型梁或構架梁其結構完全相同時，可採用互換性工法，採其中一縱列或數結點預裝，以節省工時。但如其中一部分以擴孔工法併用時，必須採用全部預裝或以整跨徑預裝。



照片 7 立體組合

2.橫向組合：大梁以橫向 90°旋轉即結構物之側向朝上，其預組方式為全體之構件組立，常採用於桁架橋、鋼墩柱、塔柱（詳照片 8~10）。

採用橫向組合之理由如下：

- a.大梁之高度超過吊車之揚程。
- b.吊材或垂直構材軟弱，不適立體縱向組立。
- c.大梁下部空間太高，以致預裝時臨時支撐架台太大。



照片 8 橫向預裝(鋼管桁架橋)



照片 9 橫向預裝(鋼墩柱)



照片 10 橫向預裝(塔柱)

3.逆向組合：將構造物反轉 180°進行立體預裝，稱為顛倒預裝。有的構造物採用顛倒預裝可節省工料，同時作業時比較穩定，本方式常應用於上路式拱橋、倒三角型構造物如穿式拱橋之拱腳、 π 型鋼架橋、斜撐鋼構架，鋼構橋墩等。關渡橋支承處拱腳呈現三角型，台 14 線之雲龍橋、台 7 線之羅浮橋均採用逆向組合預裝(詳照片 11~13)。



照片 11 逆向組合(關渡大橋)



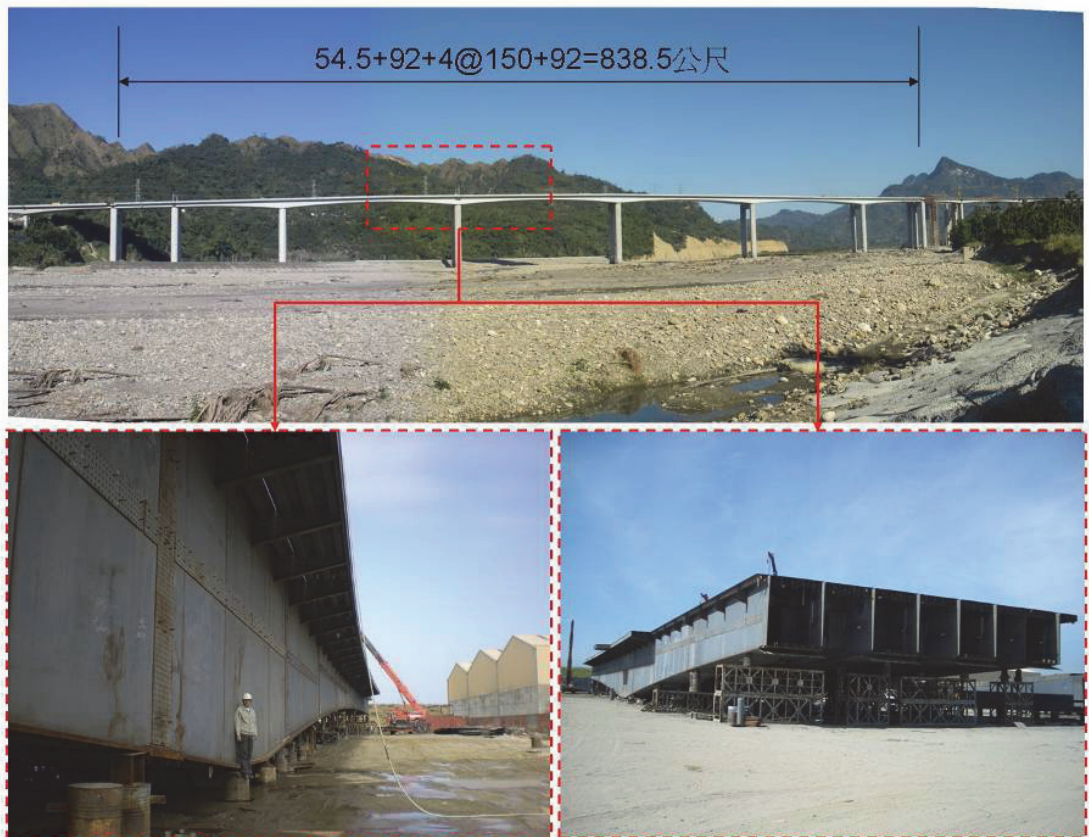
照片 12 逆向組合 (台 14 線雲龍橋)



照片 13 逆向組合 (台 7 線羅浮橋)

4.分段預裝：大跨徑橋梁、懸臂梁橋、連續梁橋或曲線橋等，預裝場地無法整單元一次容納，或所需支撐及其它設施數量過鉅，無法一次供應，需要將橋體構件分段預裝時，可按工地架設順序，將橋體分段進行預裝。目前橋梁設計考量減少落墩及行車舒適，將鋼梁採連續式與減少伸縮縫數量，故趨向大跨徑及連續性，例已完工通車之國道 6 號跨烏溪之 C606A 標國姓高架橋工程之連續鋼箱型梁橋，單元長度達 838.5 公尺($54.5+92+4@150+92=838.5$ 公尺)、台 4 線崁津大橋為 3 孔連續下路式鋼拱橋，單元長度 270 公尺($60+150+60=270$ 公尺)、新北市聯外快速道路之新北橋單元長度達 400 公尺及國道一號五楊段拓寬工程之鋼箱型跨越橋，單元長度達 486 公尺，最大跨徑為 216 公尺($135+216+135=486$ 公尺)。

由於橋梁大型化的趨勢，依前述單元橋梁長度，以國內現有鋼構廠預裝場地規模應無法一次組裝完成，目前工程設計與監造單位對大單元長度橋梁，考量實際所需及節省鋼構廠預裝及現場吊裝工期、節省人力並提高效率，均同意採用此預裝方式。採用此預裝方式時，前一單元構件應預留一節與下一次預裝者同時進行用以了解結構整體狀態。(詳照片 14~17)。



照片 14 分段組合(國道 6 號 C606A 標國姓高架橋-大將作鋼構)



照片 15 分段組合(國道 1 號五楊段
高架橋-春源鋼構)



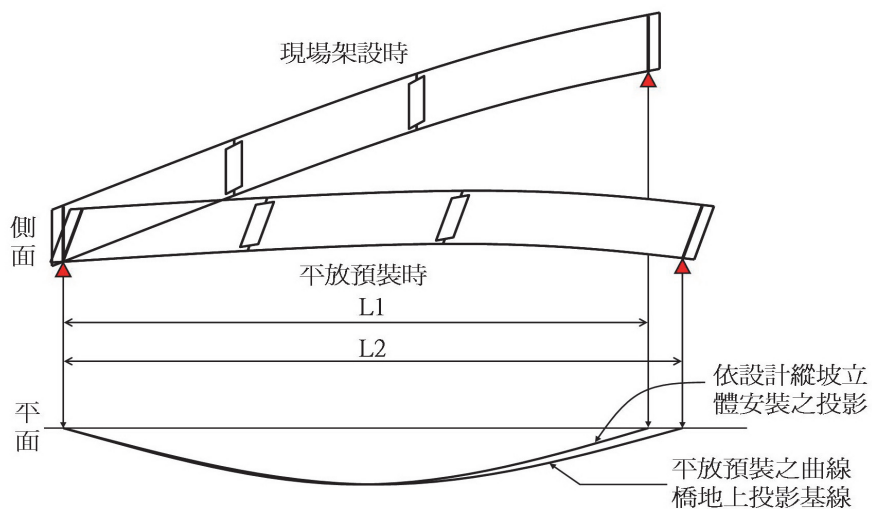
照片 16 分段組合(桁架橋)



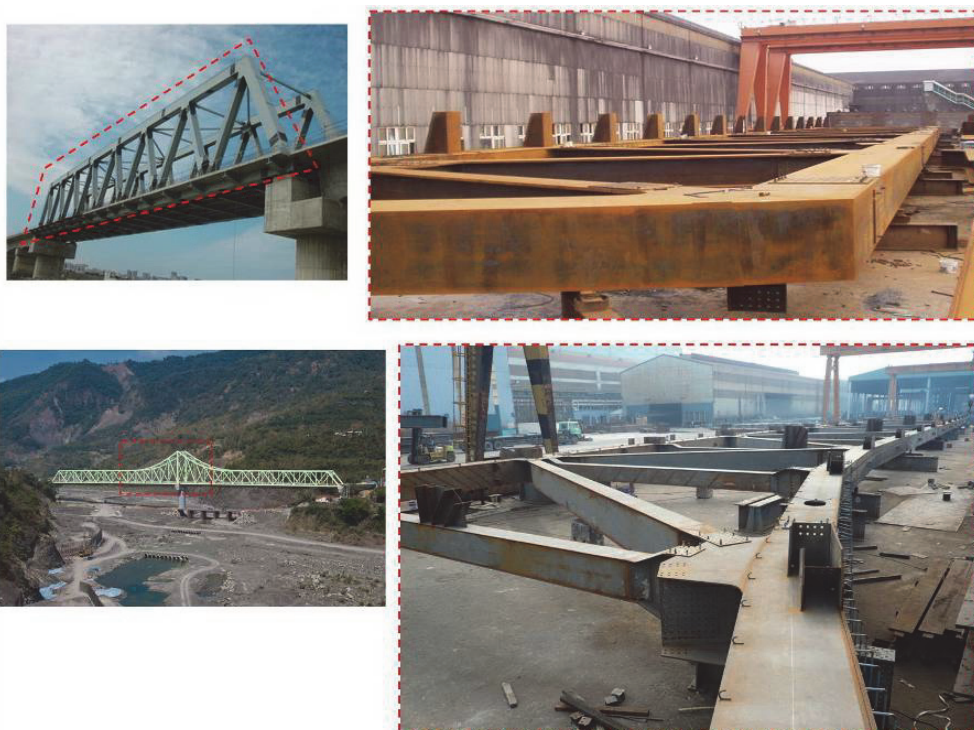
照片 17 台 4 線崧津大橋分段組合示意圖

5.平放預裝：將橋體每一面橫臥在地面上進行預裝，稱為平放預裝。如桁架橋，下路式拱橋或位於上下匝道縱坡較大之連續梁橋，為配合現地高差、起重設備揚程受限或支撐高度過高與數量過多，可採用此工法(詳照片 18)。平放預裝可節省支撐等設備，故費用較省，時間也短，但不能獲得面與面之間預裝資料，此乃唯一缺點。以

桁架為例，上游與下游桁架各自成為一個面，橋面另成一個面，故桁架橋平放裝須分三次進行(詳照片 19)。



照片 18 縱向平放預裝



照片 19 橫向平放預裝(桁架橋-春源鋼構、中鋼構)

6.部份預裝：將橋體中複雜部份作個別預裝(詳照片 20-21 及 22-1、22-2)，如：

- a. 吊橋之加勁桁架。
- b. 懸臂式桁架之鉸接合處。

- c. 鋼橋柱之錨錠構架。
- d. 複雜的伸縮縫。
- e. 精緻的欄杆。
- f. 檢查用的通路。



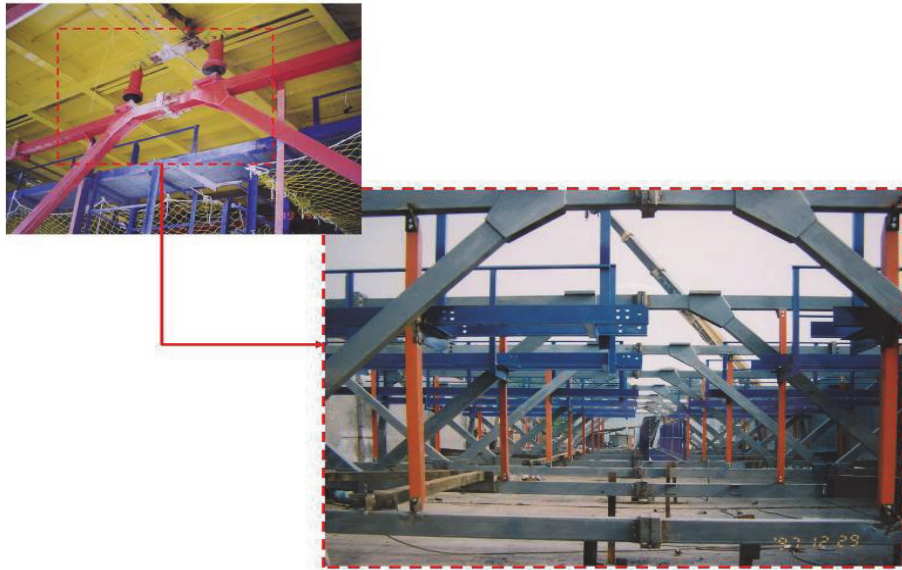
照片 20 吊橋之加勁桁架



照片 21 鋼橋柱之錨錠構架



照片 22-1 支撐先進工作車支撐桁架與主梁接合處



照片 22-2 支撐先進工作車支撐桁架銜接處

四、預裝進行注意事項

預裝工作之對象大多數為分段構造物，由鋼構廠運到預裝場安裝於預定位置前應注意下述各項工作：

4.1 預裝場地

場地必須具備平坦，足夠承载力，最好是以碎石級配為底層，面層為鋼筋混凝土地坪或瀝青混凝土，可提供明確之地線放樣。預裝場面積至少能容納構件組合範圍及部份半成品堆放並預留搬運或吊車迴轉之空間(詳照片 23)。



照片 23 預裝場

4.2 預裝範圍與順序

分段構造物係以全部或局部預裝需先確定，另預裝方式係採立體、橫向或逆立需先行規劃。配合工程預定進度與架設計劃之架設順序而排定構件預裝與拆卸順序。

4.3 預裝注意要領

1. 預裝支架應使用堅固材料，支承點應設在有隔板或補強板之處(詳照片 24~25)。支撐構件不得影響下翼連接板組裝、拆卸與構件因溫度效應之長度變化有所束制，但單側之導向側架不在此限。



照片 24 穩固的支撐構件(關渡大橋)



照片 25 穩固的支撐構件(關渡大橋)

2. 橋體預裝應以多支點支承，每一構件至少兩處，使節塊趨近於無應力狀態，不產生自重饒度與端口變形為原則(詳照片 26~27)。



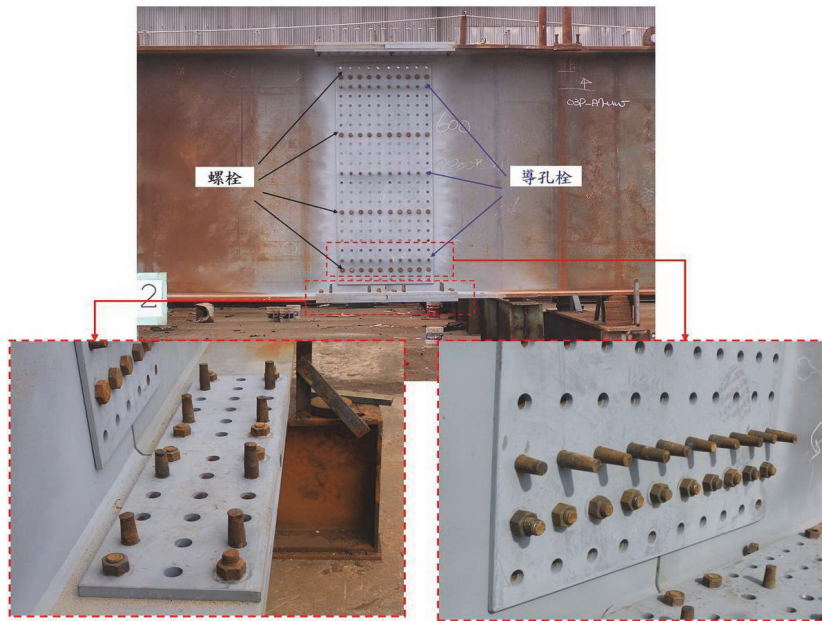
照片 26 構件採多點支撐(春源鋼構)



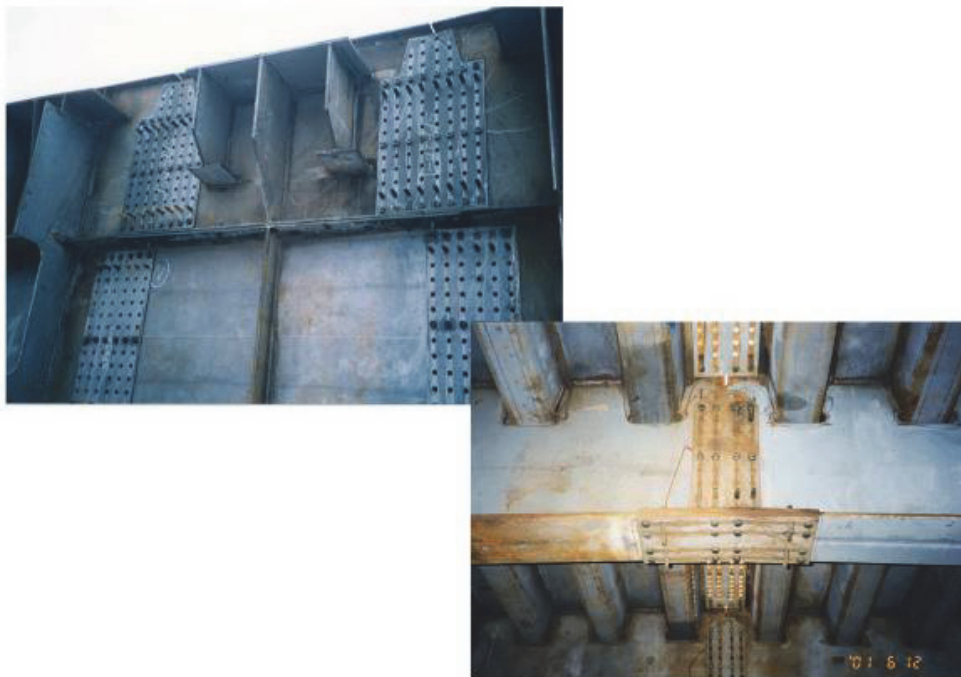
照片 27 構件採多點支撐(春源鋼構)

3. 構件鑽孔完成後之螺栓孔徑應較螺栓標稱直徑大 1.5mm (1/16in)。螺栓孔徑之許可差為+0.5mm (1/48in)，但一螺栓群不超過 20% 螺栓之孔徑許可差可允許至+1.0mm (1/24in)。

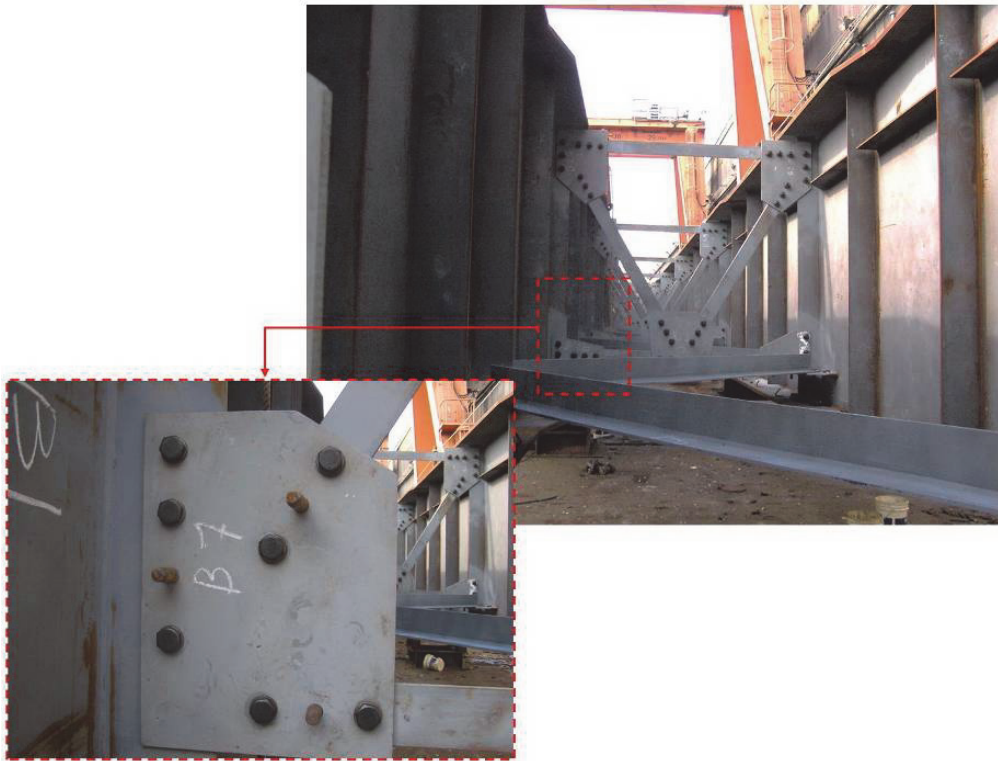
4.主要構材之工地螺栓接合部位在進行預裝時，依目前相關施工規範規定，預裝時工地接合之螺栓孔至少有 1/3 以臨時螺栓或導孔栓(衝梢)緊密栓接(導孔栓數量一般為臨時螺栓與導孔栓合計數量之 1/3)。預裝之臨時螺栓可用普通螺栓代替，如用普通螺栓，其直徑應與強力螺栓直徑相同，而使用之導孔栓(衝梢)，其直徑應大於螺栓直徑 0.8mm 以上，組裝時應避免臨時加大孔徑，或使材料扭曲(詳照片 28~30)。



照片 28 臨時螺栓與導孔栓打設(春源鋼構)



照片 29 臨時螺栓與導孔栓打設 (春源鋼構)

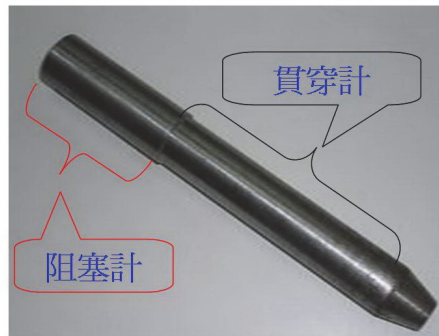


照片 30 臨時螺栓與導孔栓打設 (春源鋼構)

5.構材組立後，以螺栓及導孔栓固定後之其他螺栓孔需作貫通率及阻塞率之檢查，依本局施工技術規範 05121 章「鋼橋製作及架設」中之表 05121-5 規定辦理(詳表 1 及照片 31)，依目前相關鋼構或鋼橋預裝時，就臨時螺栓或導孔栓僅規定安裝數量及螺栓孔之貫通率及阻塞率，並未對螺栓與導孔栓之安裝及打設位置予以規定，依筆者承辦多座鋼橋之施工經驗，不同型式之鋼橋，螺栓與導孔栓之安裝及打設位置與其實際所需數量，若能於施工前妥善規畫，將對廠內預裝及日後現場架設作業有事半功倍之成效。

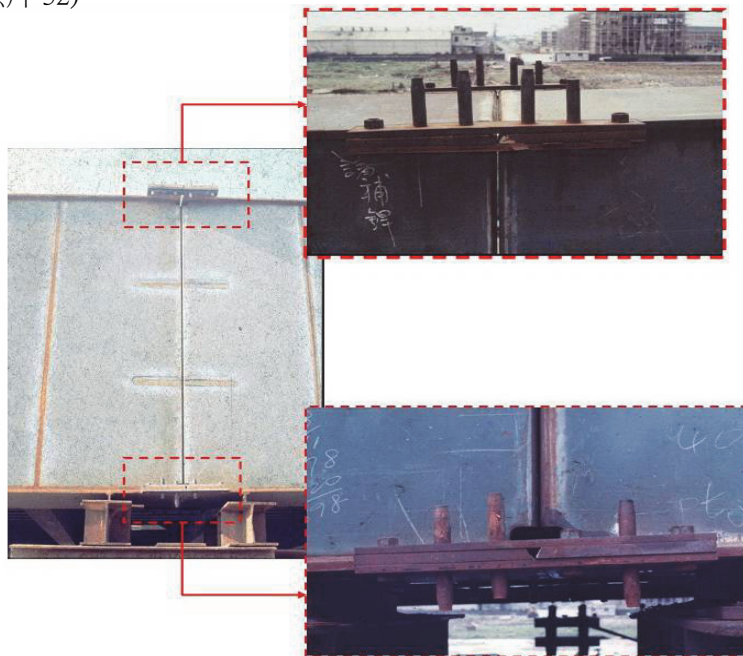
表 1. 螺栓孔之貫通率及阻塞率

螺栓標稱直徑		貫通標準計		貫通率	阻塞標準計		阻塞率
(mm)	(in)	(mm)	(in)	(%)	(mm)	(in)	(%)
D		D+0.5	D+1/48"	100	D+2	D+1/12"	80 以上



照片 31 螺栓孔貫通率及阻塞率檢查

6.若節塊採工地電銲接合時，節塊間之接頭銲縫寬度應嚴格控制，以確保自動銲接品質。為使預裝時接縫寬度與工地拼裝之寬度絕對相符，節塊之臨時固定栓接夾具螺孔，應以三分之一以上螺栓，三分之二以上導孔栓固定。用以確保其組立之方向及間隙(詳照片 32)。



照片 32 工地銲接接頭臨時螺栓與導孔栓打設(關渡大橋)

7.在預裝各作業階段，結構之直線度、垂直度、直角度應以經緯儀檢查，高程、預拱度應以水準儀檢測、而構件之長度與寬度應以經校正合格之標準鋼尺並配合拉力磅秤量測為準(詳照片 33~34)，因為鋼尺與鋼材之溫度線膨脹系數相同，而無須再作溫差修正，如以光波量測時應注意鋼構件因溫度效應所產生之長度變化，構件預裝檢查時應將構件長度受溫度影響納入考量，必要時，以量測時之鋼構件溫度與工址年平均溫度之差值配合構件長度(或測線長度)與鋼之溫度膨脹系數予以修正，為避免構件內外側或上下翼板、左右側腹板因日照方向不同產生溫差，致構件變形產生量測誤差，因此對構件直線度、垂直度、直角度及拱度之量測時機最好於天色剛亮之清晨，若為瞭解溫度差異對本橋長度之影響，可於中午構件溫度較高時再量測構件長度，經由清晨與中午之量測差值計算出本橋之溫差系數，可作為工地構件安裝時之參考。依筆者親身案例，預裝檢查時構件本身溫度(非大氣溫度)於中午時最高溫度達 67°C ，而某工程於北部之冬季預裝檢測時其最低時僅 4°C 。若以年均溫度為 25°C ，橋梁檢測支間長度為 100M 之預裝檢測為例， 67°C 高溫所測得之長度將比設計長約 47mm ，大於允許公差(25mm)甚多，若不將構件長度受溫度影響納入考量予以修正，其數值將與規定不符(詳照片 35)。



照片 33 預裝構件以鋼尺配合拉力磅秤量測

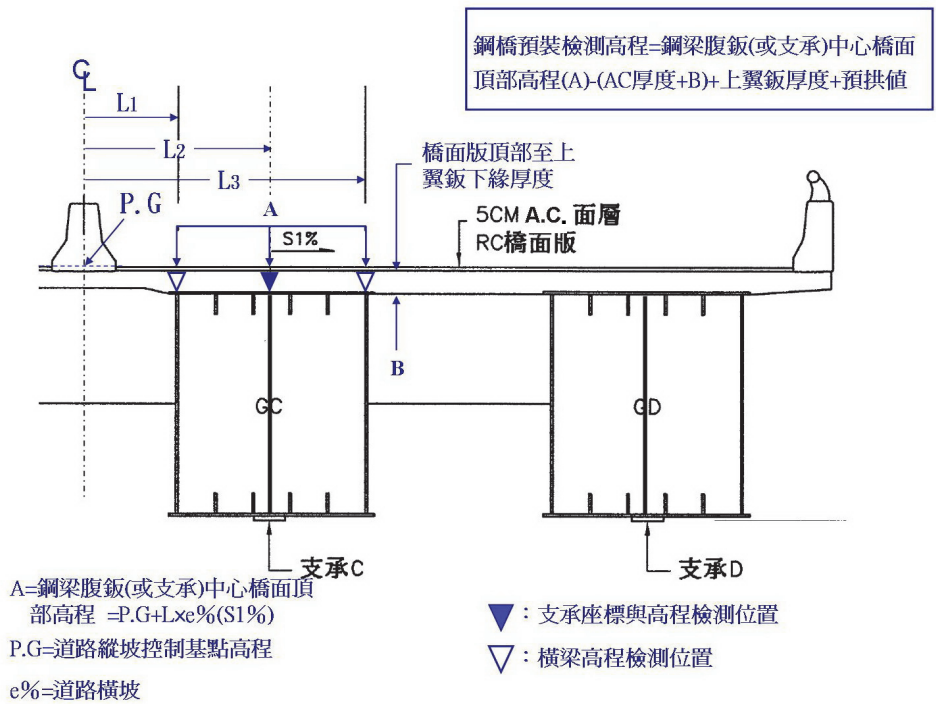


照片 34 預裝構件以光波測距儀量測

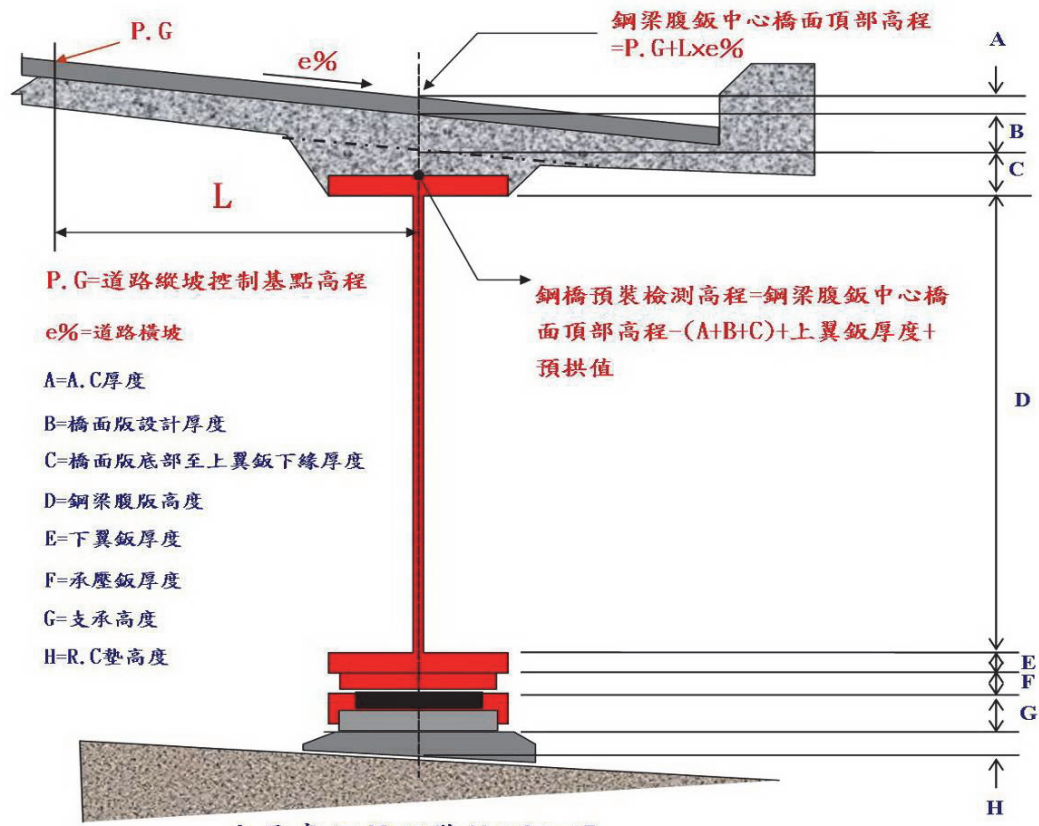


照片 35 預裝構件溫度量測

8.構件預組後之支間長(或總長)及對角線長度檢測位置以鋼箱梁(或拱圈)、以板梁而言,須由設計位於下翼板支承位置中心引測至上翼板上,高程檢測位置除前述位置外,橫梁與主梁銜接位於主梁腹板上之翼板上方為主,其高程為該點所對應樁號里程 PG 與支距配合道路橫坡所計算之值,並疊加該點預拱值及扣除橋面 AC 厚度、橋面版混凝土厚度、主梁上翼板下緣至橋面混凝土版底部間之調坡厚度後再加該點上翼板(或含連接板)厚度(詳照片 36~40)。若採分段預裝其重複預裝之工地接頭應同支承中心檢測端口中心位置及高程。

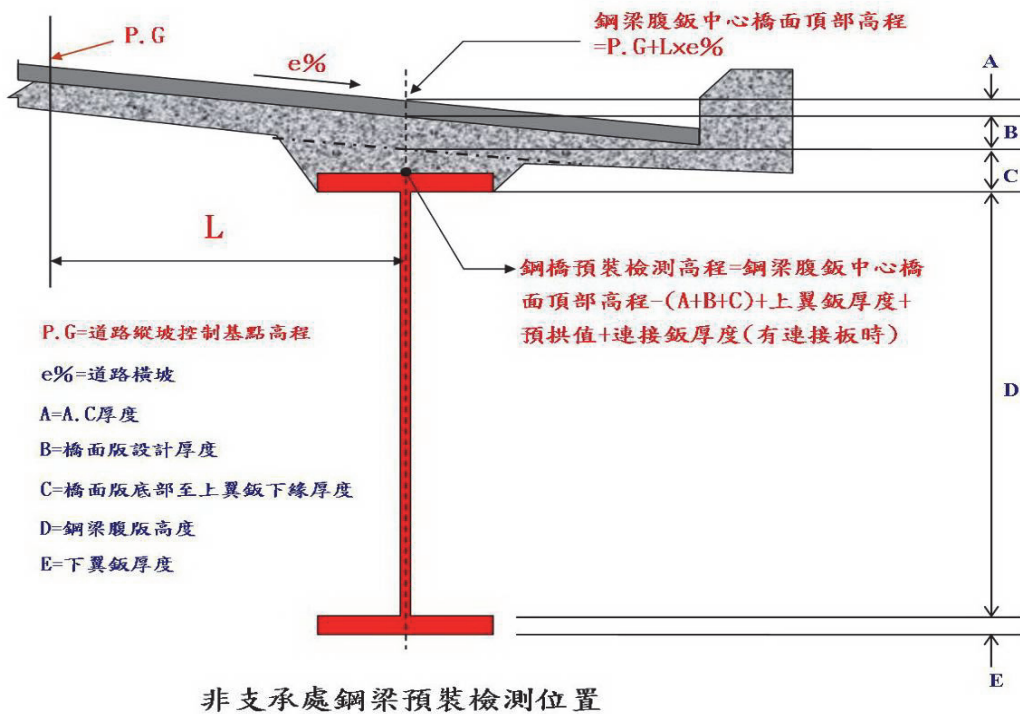


照片 36 箱型梁橋支承及高程檢測位置示意圖



支承處鋼梁預裝檢測位置

照片 37 I 型梁橋支承及高程檢測位置示意圖



照片 38 I 型梁橋非支承處高程檢測位置示意圖



照片 39 支承處引測及檢測位置示意圖



照片 40 主梁與橫梁銜接處高程檢測位置

- 9.構件預裝後經檢查不合格部分，應依認可之方法修正並確認品質後，並經複檢合格才算預裝完成。不可僅做誤差之記錄，而於構件拆卸修改後未再安裝，這樣將無法確實掌握真正預裝精度，許多工地架設時常有構件組裝精度不良，影響架設效率及任意擴孔影響品質等皆是上述原因所造成。預裝檢查合格後，所有之節塊與連接板應予以標示及編號後方可拆卸，以免工地構件安裝時發生混亂，延誤整體架設時程。
- 10.工具設備含動力電源、氣源、切割氣體、照明、上下設備及缺口防護之安全設施均需一併齊備。(詳照片 41)



照片 41 上下設備與缺口防護設施(春源鋼構)

五、鋼橋預裝檢查

鋼橋預裝之構件準確度除應依本局施工技術規範 05121 章「鋼橋製作及架設」中之表 05121-6 之規定檢查項目執行外（詳表 05121-6），依不同橋梁構造型式另有以下主要檢查項目：構件接頭續接板螺栓孔之貫通率及停止率檢查、連接板密合度檢查、工地銲接接頭間隙及平整度檢查、剪力釘敲擊檢查、吊索導管位置與角度檢查，落水槽及排水管接頭檢查、工地架設之吊耳位置檢查、及附掛管架與維修走道等（詳預裝相關檢查項目照片 42~47）。

表 05121-6 構材及試拼裝之精度


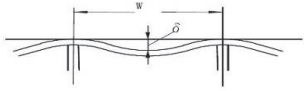

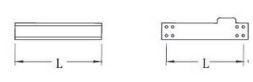
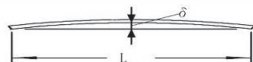
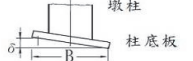

項次	測對標的	項 目	許 可 差(mm)	備 註	測 定 方 法	
1	構	翼緣寬度 b(m) 腹板高度 h(m) 腹板間隔 b'(m)	± 2 $b \leq 0.5$ ± 3 $0.5 < b \leq 1.0$ ± 4 $1.0 < b \leq 2.0$ $\pm(3+b/2)$ $2.0 < b$	左欄所示 b 值，代表 b, h 及 b'		
2	材	板之平面度 δ (mm)	鋼梁及桁架之腹板 $h/250$	h：腹板高度(mm)		
		箱型梁及桁架之翼緣，鋼床板等	$W/150$	W：腹板或加勁材間之 間隔(mm)		
3		翼緣之正值精度 δ (mm)	$b/200$	b：翼緣寬度(mm)		
4	準	構材長度 L(m)	板梁	± 3 $L \leq 10$ ± 4 $L > 10$	w：車道寬度(m)	
			桁架、拱橋等	± 2 $L \leq 10$ ± 3 $L > 10$		
		伸縮縫	$-5 \sim +10$ $w \leq 10$ $-5 \sim +(5+w/2)$ $w > 10$			
5	確	受壓構材之精度 δ (mm)	$L/1,000$	L：構材長度(mm)		
6	鋼橋墩	墩柱與基礎底板之垂直度 δ (mm)	$B/500$	B：柱底版寬度(mm)		
7	基礎底版	孔之位置	$\Delta b = \pm 2$	b：孔中心間距(mm)		
		孔徑	0~5	d：孔徑(mm)		

表 05121-6 構材及試拼裝之精度 (續)

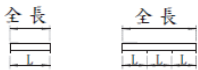
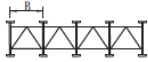

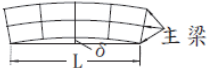

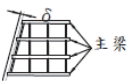

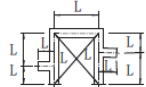
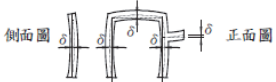
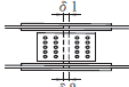
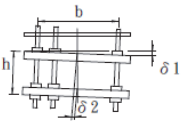

項次	測對標的	項 目	許 可 差(mm)	備 註	測 定 方 法	
8	試 拼	全長或跨徑 L (m)	$\pm(10+L/10)$			
9		梁或桁架之中心距離 B (m)	± 4 $\pm(3+B/2)$	$B \leq 2$ $B > 2$		
10		主構材之組立高度 H (m)	± 5 $\pm(2.5+H/2)$	$H \leq 5$ $H > 5$		
11		主梁及主桁架之偏距 δ (mm)	$5+L/5$ 25	$L \leq 100$ $L > 100$	L : 測長 (m)	
12	準	主梁及主桁架之反拱 δ (mm)	$-5 \sim +5$ $-5 \sim +10$ $-5 \sim +15$ $-5 \sim +25$	$L \leq 20$ $20 < L \leq 40$ $40 < L \leq 80$ $80 < L \leq 200$	L : 主梁及主桁架之長度 (m)	
13		主梁及主桁架在橋端部之偏差 δ (mm)	10			
14	度	主梁及主桁架之正直精度 δ (mm)	$3+h/1,000$	h : 主梁及主桁架之高度 (mm)		

表 05121-6 構材及試拼裝之精度 (續)

項次	測對標的	項 目	許 可 差(mm)	備 註	測 定 方 法	
15	試 拼	鋼 橋 墩	柱之中心間隔、 對角線長 L (m)	± 5 ± 10 $\pm(10 + \frac{L-20}{10})$	$L \leq 10$ $10 < L \leq 20$ $20 < L$	
16			梁之拱度及柱之 曲度 δ (mm)	L/1000	L : 測線長 (mm)	
17			柱之垂直度 δ (mm)	10 H	$H \leq 10$ $H > 10$	H : 高度 (m)
18	準	工地接合部分之空隙 δ (mm)	5	δ : 右圖中 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ 之較大值		
19		錨 碇 構 架 伸	上面水平度 $\delta 1$ (mm)	b/500	b : 螺栓間距 (mm)	
			垂直度 $\delta 2$ (mm)	h/500	h : 高度 (mm)	
			高度 h (mm)	± 5		
20	度	齒形接縫偏差 $\delta 2$ (mm)	設計值 ± 4	2		



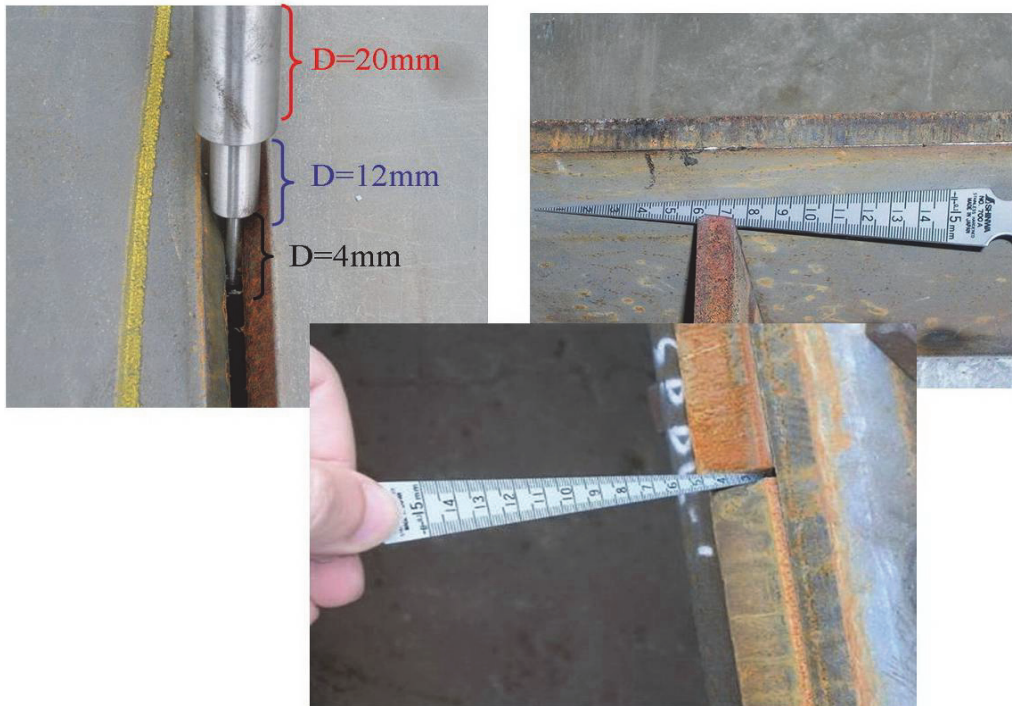
照片 42 主梁直線度及端部偏差檢測(春源鋼構、長榮鋼構)



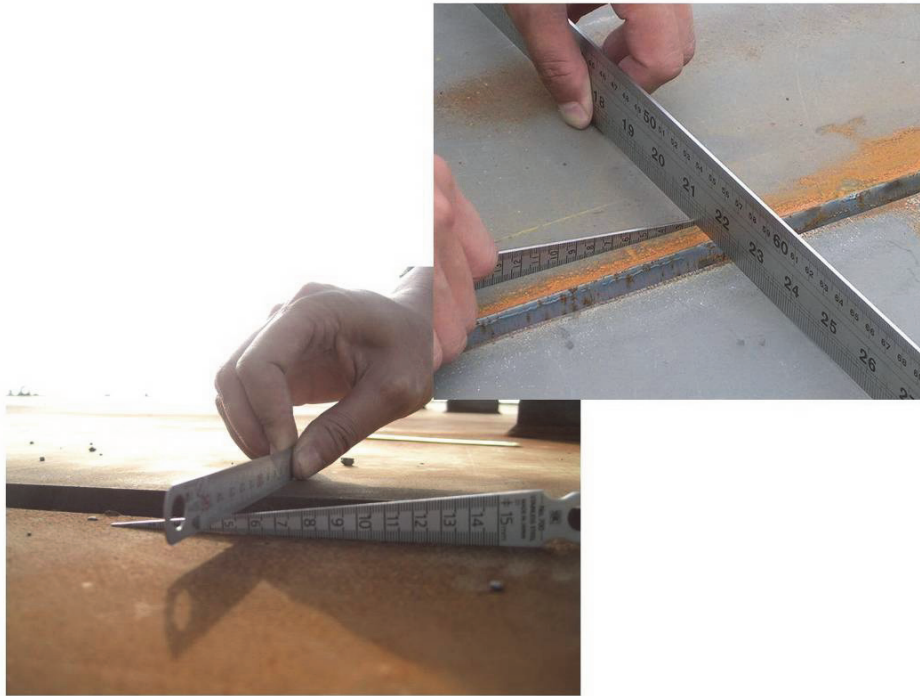
照片 43 主梁腹板正直度檢測(使用經緯儀-春源鋼構)



照片 44 主梁腹板正直度檢測(使用鋼琴線)



照片 45 工地接頭間隙檢查



照片 46 鋼橋面板工地接頭平整度檢查



照片 47 剪力釘敲擊檢查

六、結語

鋼橋預裝及檢查是目前鋼橋製造過程中最重要之辦理項目，預裝檢查主要目的是可以瞭解鋼橋整體外觀尺寸是否與設計相符，工地接頭採螺栓或銲接接合其組裝精度是否可符合結構應力需求，亦可對先前製程之切割、組立、電銲、電銲後變形及構件外觀等缺失再次檢視，若鋼橋預裝及檢查不確實，不良的組裝精度將造成日後工地現場架設困難致進度落後。

橋梁於架設過程中當構件未完成連接及支承位置尚未由臨時支撐轉移至橋台或橋墩上永久支承前，均屬不穩定狀態，近年來地球暖化氣候極端異常，汛期變長，11~12月份仍有颱風紀錄，於汛期間所降之暴雨集中，瞬間高漲的河川水位可能沖毀橋梁臨時支撐，曾有案例，應於汛期前應完成之架設工程因預裝及檢查不確實，因工地現場組裝缺失的修改延誤，而未能於汛期前完成橋梁架設，致架設中未完成連接之橋梁構件於汛期中遭洪水沖擊造成構件損傷或流失，而嚴重影響工程進度。另有案例，因預裝檢查不確實，致橋梁於現場架設時無法準確安裝於橋墩帽梁支承上，而需切割修改與銲接，但因現場無適當工作環境與銲接相關設備，故必須由北部工地運回南部鋼構廠修改，除造成該單元工程進度嚴重落後與修改費用損失外，最大的是承攬廠商及鋼構廠聲譽的影響。由以上，鋼構橋梁工程之施工順利與否，除土木現場下部結構工程需能密切配合外，鋼橋現場架設的順利亦是重要關鍵因素之一，而這決定於完善的預裝計畫與鋼橋預裝檢查確實執行。

註：筆者為對鋼橋預裝工作所有相關細節能以照片清楚說明，本篇文章部分照片係引用本局早期鋼橋施工照片，因照片中之工作內容值得參考，而有關照片中施工人員未佩帶或未正確使用個人防護用具部分，非屬本文章探討重點，未避免引起不當聯想，特此說明。

參考文獻

1. 林東豐，「鋼結構施工法-第九章 預裝(假組立)」1991.07。
2. 鄭光壯，交通部公路總局「鋼橋設計與施工教育訓練課程」。
3. 交通部公路總局，「現代鋼橋施工」1984.06。
4. 交通部公路總局「鋼橋設計與施工教育訓練課程」。