

# 中鋼協建台 27 線 3k+480 新發大橋重建工程

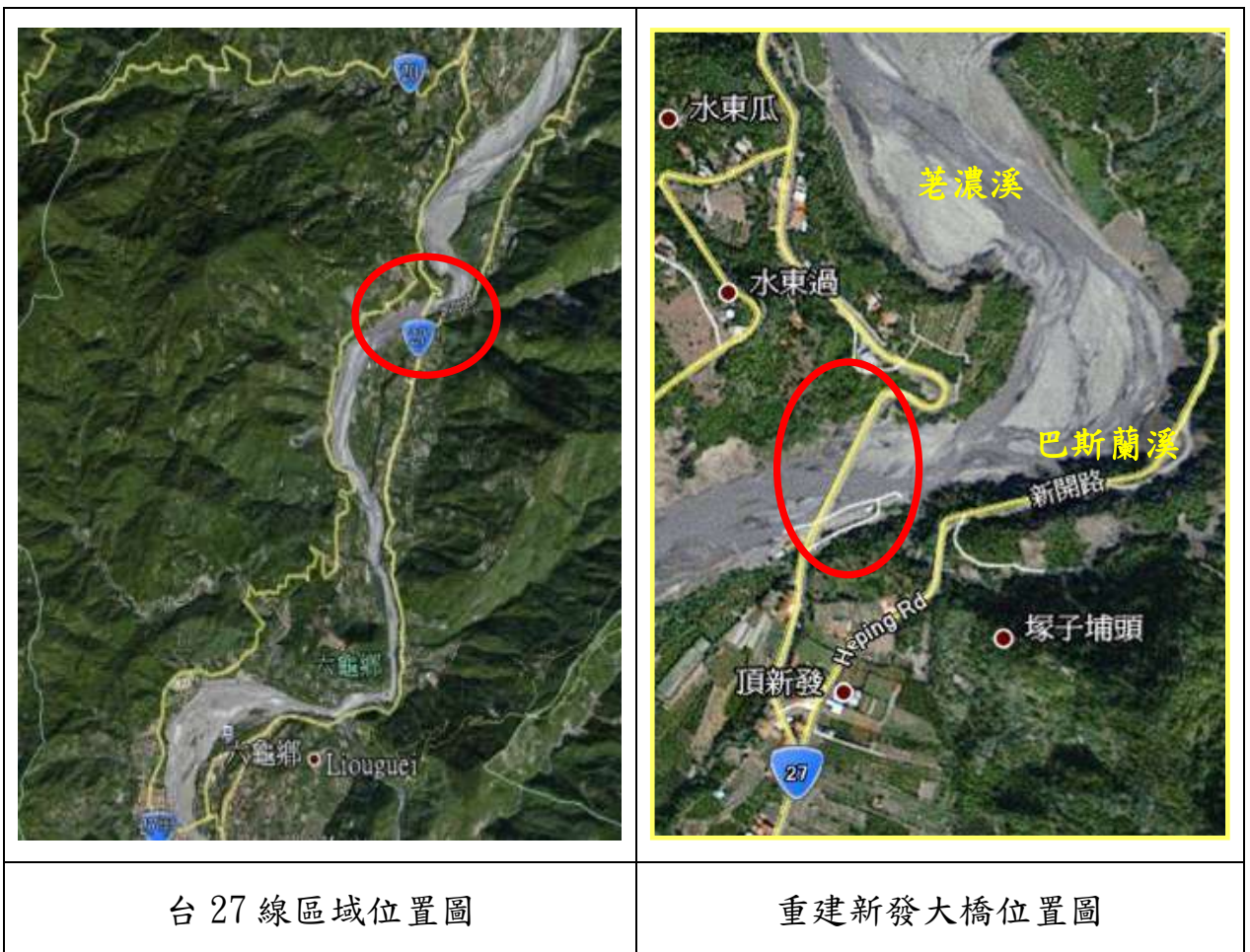
## 鋼橋施工與挑戰

聯鋼營造工程股份有限公司 新發大橋黃清林主任

### 一、工程簡介

#### 1.1 工程位置

重建新發大橋位於高雄市六龜區新發里台 27 線 3k+480 處，跨越荖濃溪銜接南岸新發里（寶美泛舟舊址）及北岸荖濃里水東過（水冬瓜），東側為荖濃溪及巴斯蘭溪匯流處（附圖一）。



附圖一 台 27 線區域位置及新發大橋位置圖

## 1.2 工程規模

新發大橋重建工程預算金額約新台幣五億元，為兩跨連續華倫式 (Warren Truss) 桁架鋼橋，橋樑中央拉高象徵展翅高飛、引領向上氣勢 (附圖一)。

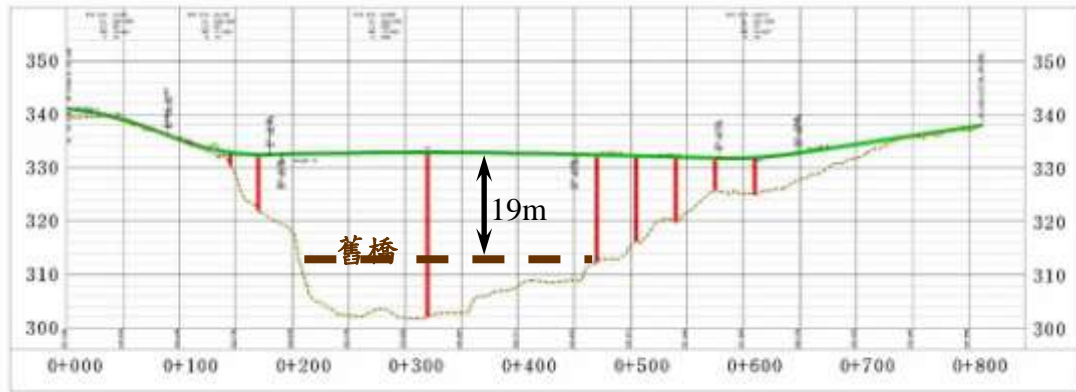


附圖一 重建新發大橋模擬願景圖

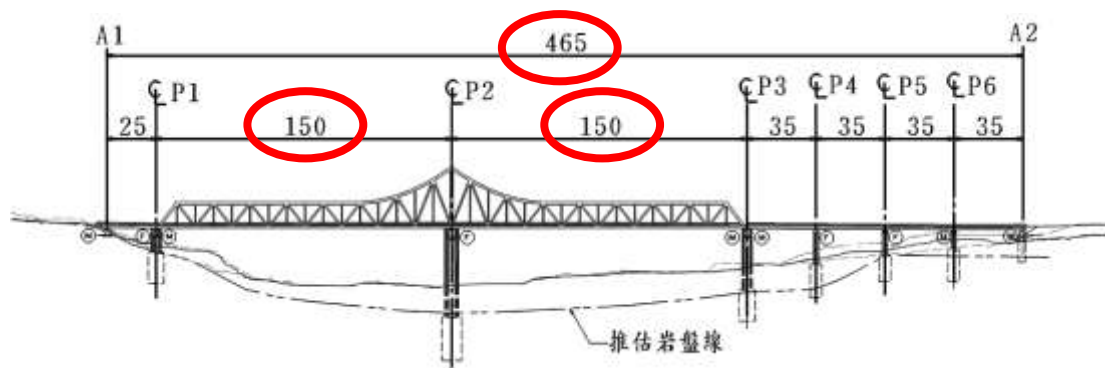
設計初期以原址重建為原則，北側不拆既有房舍並減少用地徵收，避開北側回頭彎而直接以桁架橋樑跨越河道 (桁架橋全長 300 公尺) (附圖二)。橋高從覆蓋層算起總高度約為 60 公尺 (中央 P2 墩柱高約 30 公尺，鋼橋高 30 公尺)，橋樑全寬 16 公尺，路寬 12 公尺 (附圖三) (附圖五)。

橋樑設計高度考慮莫拉克降雨尖峰流量 (歷史最大洪水量)，土石流沖積扇遮蔽、漂流木、波浪及彎道效應，新橋設計比舊橋高 19 公尺 (附圖四) 並於河道內僅落一個橋墩 (P2 橋墩)。





附圖四 新發大橋橋梁縱斷面示意圖



附圖五 橋梁設計配置圖

北側引道橋設計單跨 25m（箱型樑斷面），南側引道橋共四跨，每跨 35 公尺共 140 公尺（箱型樑斷面）（附圖三）（附圖五）。

北側引道橋由 A1 橋台及 P1 墩柱支撐；南側引道橋則由 P3、P4、P5、P6 墩柱及 A2 橋台支撐。橋樑共 465 公尺（附圖五），路堤段共 247 公尺，施工路線總長度合計 712 公尺。

橋樑北側設計景觀公園一座（附圖六），以天地圓融紀念碑作為新發大橋重建工程紀念。園區保留既有景觀樹木桑黃麻，栽種十數種耐旱植物、喬灌木，並設置景觀步道供當地民眾或旅客遊憩。



附圖六 景觀公園紀念碑及植栽模擬圖

### 1.3 鋼構橋樑

#### 1.3.1 引道鋼橋

引道鋼橋為雙口型箱梁結構，共分 13 節，每節兩組口型箱梁，箱梁結構由隔梁連接。B1 鋼橋箱梁為橋梁北側引道橋結構，B2 鋼橋箱梁為南側引道橋結構，主要及次要構件重量總計約 520 噸重。

#### 1.3.2 桁架鋼橋

桁架鋼橋由 887 支鋼構件組合而成（不含盤式支承承壓板、吊鉤），種類包含型鋼（RH）、組合金鋼（BH）、箱梁（BOX）以及槽鋼（CT），構件種類數量統計如下表所示。

安裝階段	構件種類				各階段構件數量
	RH	BH	BOX	CT	小計
假安裝第一階段	127	13	68	24	232
假安裝第二階段	113	19	87	16	235
假安裝第三階段	318	11	55	36	420
sum	558	43	210	76	887

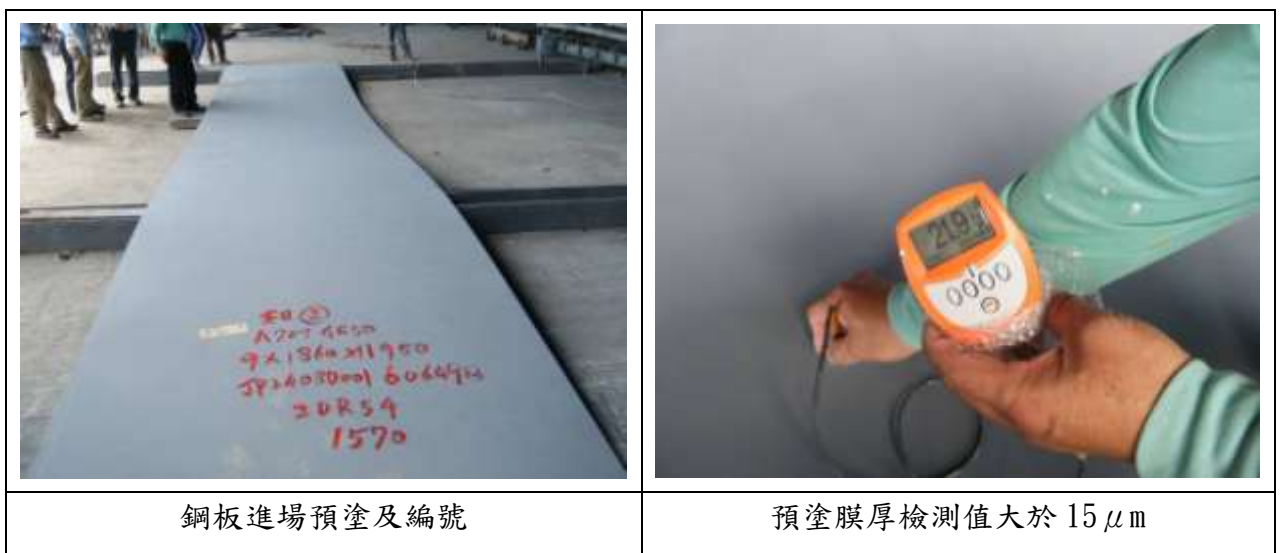
桁架橋總重量為 3029 噸重（不含盤式支承承壓板、吊鉤及螺栓 100 噸重），型鋼（RH）、組合金鋼（BH）、箱梁（BOX）以及槽鋼（CT）各種構件重量統計如下表所示。

安裝階段	構件種類				各階段構件重量
	RH	BH	BOX	CT	小計
假安裝第一階段	186	118	636	12	952
假安裝第二階段	170	108	849	8	1134
假安裝第三階段	222	93	433	195	942
sum	578	319	1917	215	3029

## 二、施工概述

### 2.1 鋼橋製造

- (1) 鋼板預塗-鋼板從中鋼公司領取後分批載運至塗裝廠先行塗裝防銹底漆、編號，檢測膜厚值均到達標準值  $15\mu\text{m}$  以上。



- (2) 放樣切割-依中鋼結構公司擬定之鋼板切割計畫，按鋼構製造圖切割鋼板、開槽、鑽孔以及編號。

	
<p>鋼板鑽孔</p>	<p>工廠機械焊</p>
	
<p>鋼板夾層檢驗</p>	<p>焊接材料檢驗</p>

- (3) 成型組合-鋼板組立焊接，引道橋及桁架橋箱樑開槽部位使用工廠機械焊接，品質穩定，內部加勁板則以人工手銲。箱樑組合成型後實施熱整以處理變形。
- (4) 大組合-小構件及成型組合構件焊接為大構件，完成之後再做一次整型以及端面整修。
- (5) 假安裝-核對各部構件無誤後進行橋樑整體構件之安裝，此安裝可核對檢核各部尺寸、拱度、垂直度以及螺栓之穿孔率，提高現場安裝之成功率（鋼橋假安裝構件一覽表詳附件二）。進行假安裝工作時，實施非破壞檢測以及

焊接、鑽孔缺失整飾工作。假安裝完成檢測後立即拆卸螺栓，運輸節塊單元往油漆塗裝廠進行塗裝作業。

	
螺栓孔貫通率查驗	螺栓孔矯正
	
引道橋假安裝	開槽焊道非破壞檢測（磁粉探傷）

(6) 噴砂油漆-鋼橋焊接成品塗裝前先行噴砂處理表面使之具有粗糙度，鋼橋內部塗有兩道防銹底漆（無機鋅粉底漆 Z-120HB、環氧樹脂塗料 A-925）；外露面則有三道防銹底漆、一道中塗漆、一道面漆。（無機鋅粉底漆 Z-120HB、環氧樹脂棕 A-535 底漆、環氧樹脂 AR-910 底漆塗裝、環氧樹脂中塗漆 COAT F-2000M、環氧樹脂面漆 COAT）



(7) 裝載運輸-引道鋼橋製造成品分為 26 車次，桁架橋鋼箱樑則分為 165 車次，鋼箱樑在中鋼廠區及燕巢展固廠區塗裝完成後則直接運輸至新發工地。(鋼桁架橋運輸出廠一覽表詳附件三)



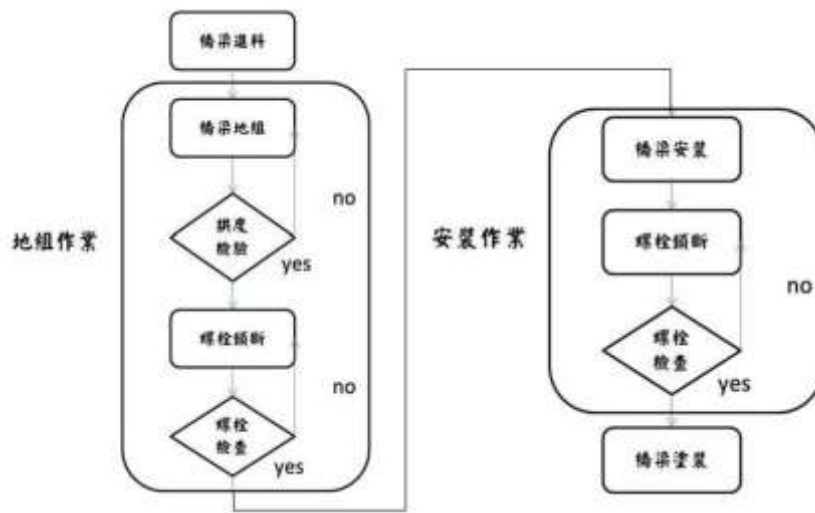
箱樑運輸進場



箱樑地組接合

## 2.2 鋼橋吊裝

鋼橋吊裝前置作業為臨時支撐架設、地表狀況整治，鋼樑箱運輸至現場後則立即進行地組作業（單元構件連結成吊裝規劃單元）。



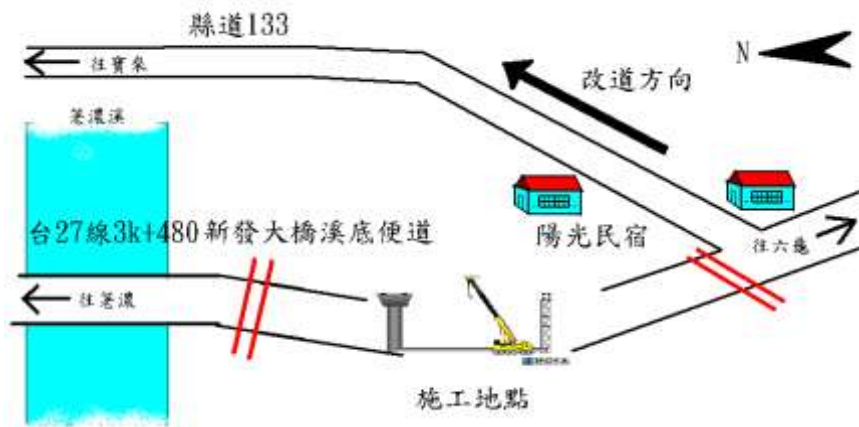
鋼橋吊裝程序示意圖

### (1) 引道橋吊裝

- a. 箱樑接合-引道橋由兩縱向平行之 U 型組合箱樑構成鋼橋箱樑箱樑共分 13 節 (GA1~GA13、GB1~GB13)，吊裝時先於河床高灘地先行組裝，由橋台端算起按 4、3、3、3 區塊組裝起來，並吊運承載於拖板車 (拖板長 35m)。
- b. 交維管制-引道橋樑吊裝位置重合於台 27 線，日間吊車腳架站立後路寬僅剩 4m，拖板車拖曳鋼橋至既定位置則交通必須中斷，因而採行夜間吊裝並封鎖交通。



交通管制路線圖



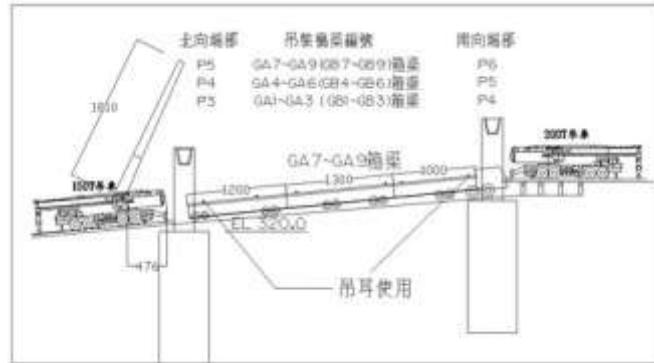
吊裝工地交通管制圖

c. 路線整地-拖板車及箱樑合計重量超過 50 噸，又吊裝位置（台 27 線）地形與水平面呈 10 度傾角，故箱梁托運經過地面必須經過整理及壓實，必要時鋪設鋼板以利拖板車衝刺。

吊裝規劃時程及位置圖

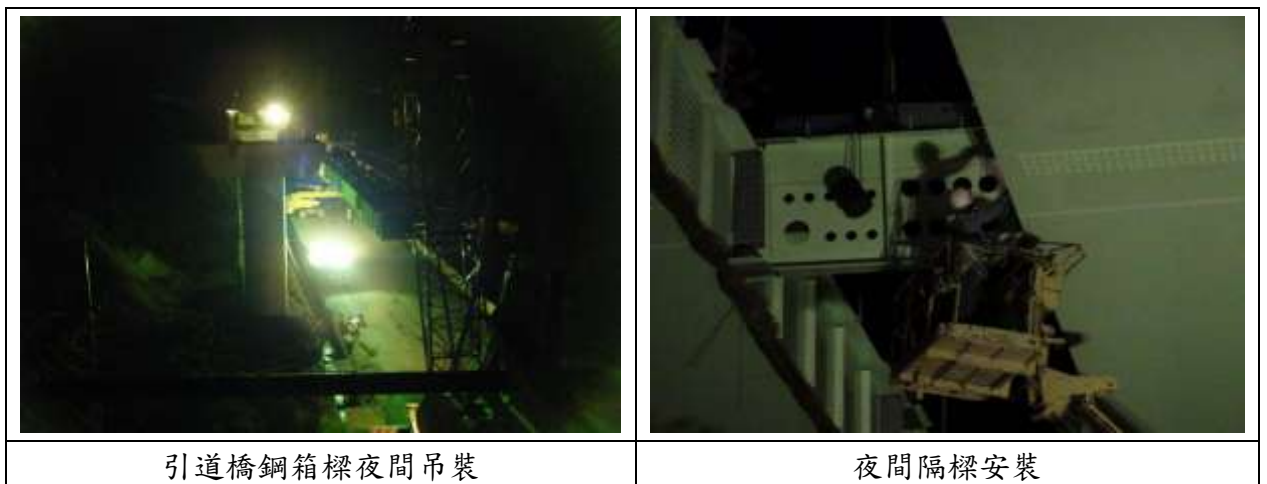
c. 箱樑吊裝-組合而成之箱樑於夜間 22：00 由拖板車運行傾斜路段，衝刺至既定位置後以三角木錐抵住拖板車輪，200

噸及 150 噸油壓式吊車分別於帽梁前後進行吊裝工作。吊裝時由山側箱樑先行吊裝，再由路側箱樑吊裝。



吊車、拖板車及箱樑吊裝立面位置圖

d. 隔樑接合-引道橋箱樑山、路側吊裝完成同時亦進行隔樑安裝，使之聯結成為更穩定、整體之構件。隔樑安裝螺栓數目眾多，於主要位置安裝隔樑。



e. 拱度測量-夜間完成箱樑吊裝，天明後進行橋樑拱度測量，確認橋樑吊裝位置無誤。



引道橋鋼箱樑拱度測量



引道橋鋼箱樑完成

## (2) 桁架橋吊裝

- a. 區域整地、河流改道、山壁開鑿-桁架橋吊裝區域為荖濃溪河床地，又北側 P1 墩柱吊裝區域為一高 30m 之懸崖峭壁，無法設立臨時支撐、站立起重機。為突破地形限制，開闢工作面，將原有荖濃溪的位置利用開挖及填土的方式將河流縮減，並使用混凝土涵管作為溪流通道，防止土堤沖刷；將妨礙臨時支撐、吊車行走及影響吊裝能量之山壁鑿除（體積達 2 萬立方公尺）。



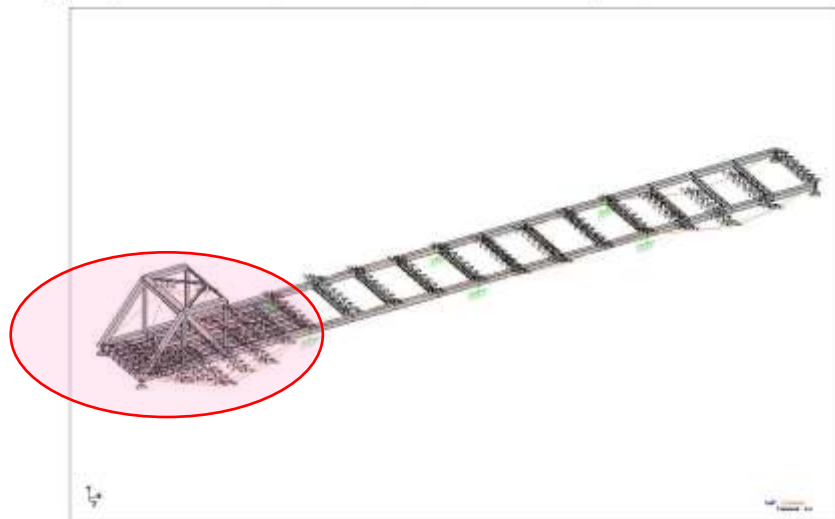
桁架橋吊裝區域（風化岩坡）



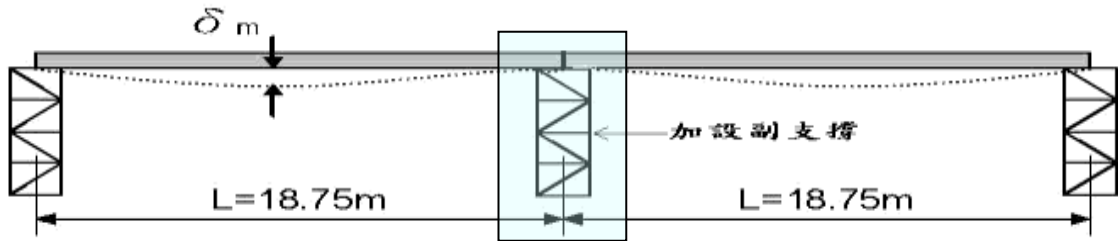
桁架橋吊裝區域半挖半填

b. 鋼橋臨時支撐施工-桁架橋吊裝順序經業主專業顧問、監造設計顧問、吊裝專業廠商縝密研討、規劃，並以吊裝過程之結構分析為討論基礎。資料顯示，若按規劃順序（由南往北）吊裝鋼橋下弦及上弦，在吊裝過程中下弦大縱樑自重及上弦構件負載重量將造成下弦大縱樑中央 141mm 垂直變位（跨度 37.5m），不但箱樑本身可能有降伏之虞，亦將提高鋼箱樑端部螺栓鎖固之困難。因此，大縱梁原始規劃跨度中央再加設副支撐，藉以縮小跨度及中央垂直變位。

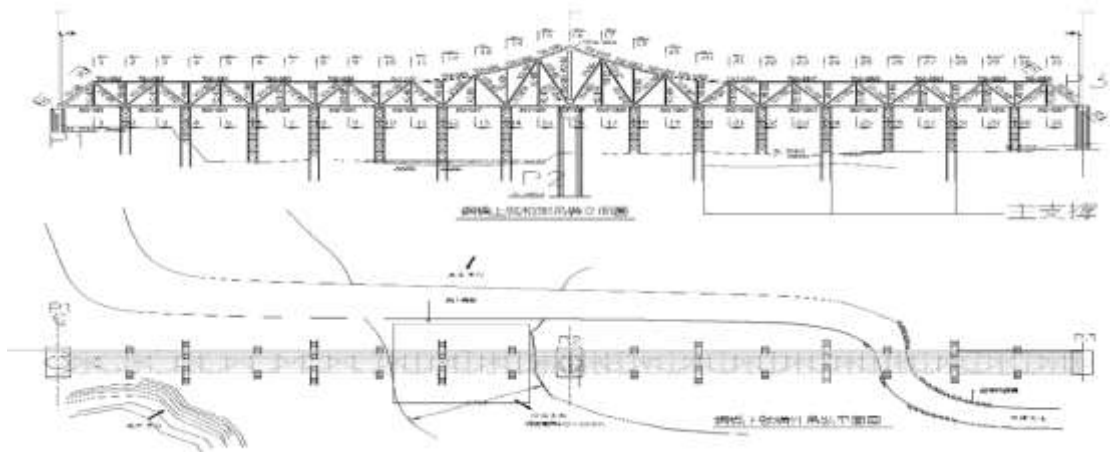
(1). Step-2a：上弦材安裝至P1橋墩-第一跨支撐架中點(分析輸出報表後附件2a)



根據程式分析，應力比輸出結果：Ratio=1.26 > 1.0-----NG!  
下弦構件最大變位  $\delta_{max}=141.5\text{mm}$



參考中鋼結構公司吊裝東溪大橋之經驗，原設計高灘地臨時支撐 RC 板基礎應更改為樁基礎較為保守安全，故所有主要臨時支撐基礎變更為鋼樁基礎，鋼樁貫入深度也從危評時期所評估的 5m 深增加到 8m 深，提高鋼橋吊裝臨時支撐基礎承載安全係數。



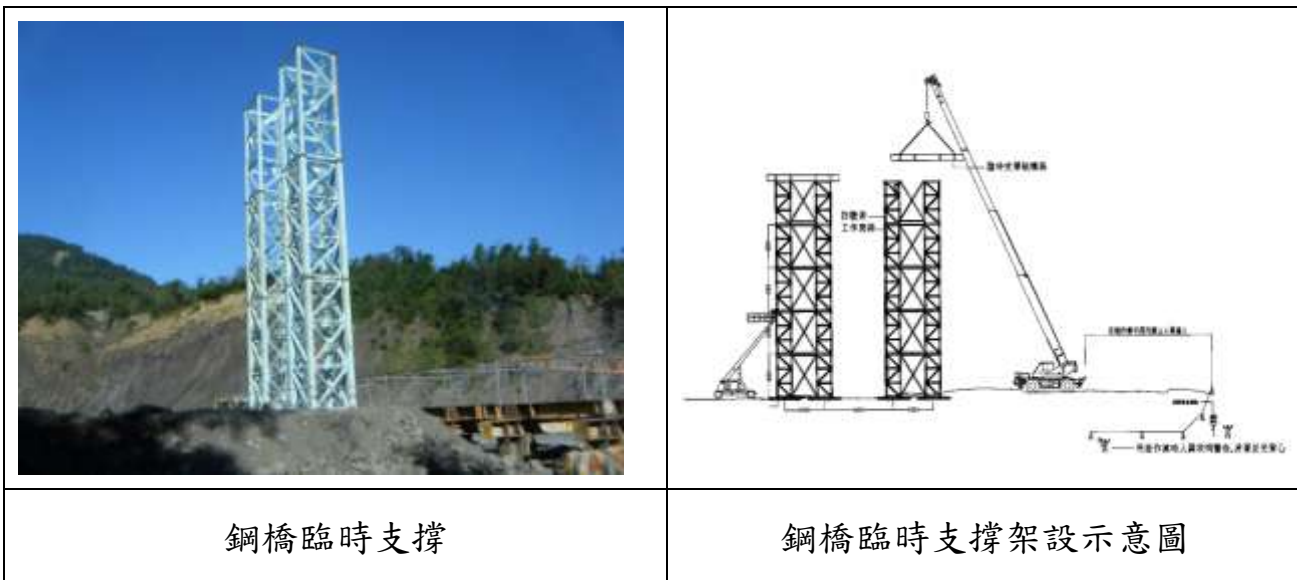
鋼橋吊裝臨時支撐平立面配置圖



鋼橋臨時支撐鋼樁施工



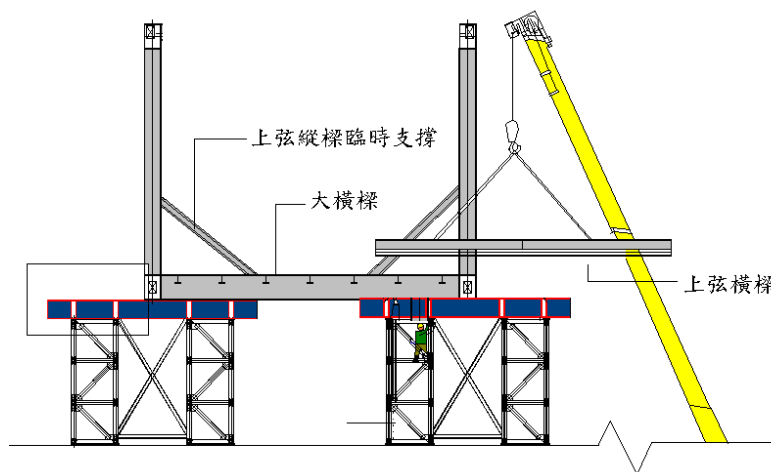
鋼橋臨時支撐鋼樁基礎完成



c. 大縱樑地組及安裝-臨時支撐間隔距離因副支撐之設立縮短為 18m。大縱樑每節 9.3m，地組連結兩大縱樑達 18.6m 後跨置於盤式支承及臨時支撐。

d. 橫樑、縱樑安裝-大縱樑完成後安裝橫樑、縱樑，結構型態轉為平面結構。

e. 上弦縱梁、立柱、斜撐及橫樑安裝-上弦構件並無任何臨時支撐，上弦立柱吊運至既定位置後以 400\*400 鋼樑暫時焊接固定於大橫樑 (P1-B01、P2-B17、P3-B33)。連接兩側上弦三角結構單元之橫樑以另一起重機暫時吊掛著，待三角單元結構連結橫樑後拆卸起重機吊鉤，完成橫樑安裝。



上弦縱樑吊裝示意圖





上弦縱樑吊裝完成



上弦縱樑、立柱及橫樑臨時支撐

f. 以三角結構單元逐次吊裝-三角結構單元為靜定結構，桁架橋鋼結構吊裝遵循結構學理論，延伸下弦平面結構，延伸左右側上弦立面結構，連結上弦左右側立面結構成立體桁架結構，由南往北（P3 墩柱至 P1 墩柱）逐次吊裝。

g. 吊裝次要構件-主要結構（下弦大縱樑、橫樑、上弦大縱樑、立柱、斜撐）於 99 年 11 月 18 日開始吊裝，100 年 1 月 31 日吊裝完成。次要構件（下弦水平斜撐、上弦 K 桿、下弦維修步道）於 100 年 3 月 15 日吊裝完成。



南側桁架橋吊裝



北側桁架橋吊裝

h. 鋼橋補漆-鋼橋面漆在工廠本已塗裝完成，然鋼橋吊裝過程常有構件碰撞、臨時焊接情事；另桁架橋中央立柱為 30m 高之構件，其左右兩側之斜撐構件過大過長，設計圖示以焊接方式接合。前述兩者情況造成面漆損害，須進行補漆工作，為免新舊漆塗裝後產生色差，再次將鋼橋全面塗裝面漆，煥然一新。



鋼橋吊裝完成全景

### 三、突破地形之限制

新發大橋重建過程中所遭遇的困難大部分來自於地形地貌的限制，如前所述，新橋所在地為原台 27 線重合位置，施工過程中不但要維持台 27 線之交通暢行無阻，且必須鑿除道路旁原有擋土牆以開挖施做基礎橋墩，道路及行車安全為本案工程中第一個必須面臨的危險狀況。再者，本案主桁架橋樑最重要的主柱（P2 橋墩）位於荖濃溪河道中央，將巨大之墩柱座落在流速大之溪流中央，是施工團隊必須克服的第二個挑戰；而在溪流中

及溪谷峭壁上將重達三千六百多噸的鋼桁架橋吊上橋墩則為施工團隊面臨的第三個挑戰。

突破第一個困難-井基工法為一種邊開挖邊保護坑道壁體的工法，利用噴凝土及鋼支保作為開挖後壁體的保護，防止壁體崩塌造成人員傷亡。



突破第二個困難-沉箱工法，於地面上施做環狀結構，在其中開挖使其下沉，施做結構體-開挖下沉反覆循環，穿越地下滲流水直至岩盤。岩盤的開挖過程相當艱辛，除了必須對抗每分鐘高達 17 公噸的地下滲流水，在 30~40 公尺地底深處，每日三班制的連續開挖岩盤，噪音及熱度，對施工人員來說是精神與體力上無法間斷的折磨。地下水的抽除是以每日燃燒三到五萬元柴油作為抽水機動力，可以說是燒錢在做工程。



突破第三個困難-河流改道、開山闢土，為突破地形限制，開闢工作面，將原有荖濃溪的位置利用開挖及填土的方式將河流縮減，並使用混凝土涵管作為溪流通道，防止土堤沖刷；將妨礙吊車行走及影響吊裝能量之山壁鑿除（體積達 2 萬立方公尺）。打設 8 公尺深的鋼樁基礎，架設 14 座高度達 28 公尺的主、副門型臨時鋼橋支撐。

#### 四、艱辛的重建之路

新發大橋重建過程經歷無數困難，尤其天然環境、汛期對於整個工程進度之影響甚鉅。重建工作需仰賴順暢之交通，99.5.24 暴雨來襲本案面臨第一次的交通中斷，台 27 線(甲)六龜臨時便道沖毀，沿線道路多處邊坡崩塌，險象環生；99.7.27 暴雨又來襲，沿線臨時便道損毀，又面臨第二次的交通中斷。交通中斷期間，重要材料、機具均無法進入工址，人員僅能經由新威隧道-六龜村-紅水坑橋-東溪橋到達新發工地，交通中斷期間，重建工程亦呈停工狀態。

橋樑吊裝期間之鋼構運輸幸賴公路局第三養護工程處居中協調，使其他重建工程路段維持交通順暢，並協調台電單位拔除影響鋼構運輸之電線桿，協調河川局同意營建廠商使用溪底級配料作為路堤填築材料，可說是排除萬難、全力協助新發大橋重建工作。

在中鋼團隊夜以繼日的追趕工程進度，以及公務機關、鄉村鄰里各界通力協助下，眾人引頸期盼的新發大橋在民國 100 年 5 月 27 日提前通車，並在 100 年 6 月 4 日辦理竣工典禮。這條聯繫著回憶的橋樑，帶有許多人寄予的期望與天地和平共處的象徵，我們在春暖花開的六月天相約在湍急的荖濃溪流旁，伴著藍天白雲翡翠山谷，堅韌且溫柔的走過那看不見的傷痕。我們確信，這個曾經埋葬許多回憶的故鄉，已重獲新生，且如鋼鐵一般堅韌。

