



環狀線 CF650 標 於狹窄道路處 高架橋及車站設計及施工規劃

陳耀維／台北市政府捷運工程局 副局長

劉嘉哲／台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部 計畫經理

臺北都會區捷運系統中已營運之捷運路線多為輻射狀佈設，須有「環狀路線」將其結合成完備之捷運路網，位於新北市中永和區環狀線 CF650 標為臺北捷運環狀線之第一階段工程內三個施工標中最艱困之重要高架工程。

本計畫捷運路線後段自 Y11 車站起至 Y13 車站間所在之道路寬度狹窄，如中山路約 24 m 寬、板南路約 20 m 寬等，且道路上交通繁忙、路面下管線密佈。若採一般高架捷運側式月台或島式月台車站型式佈設，因側式月台車站寬度約為 20 ~ 22 m 幾乎佔滿道路，嚴重衝擊都市景觀及影響兩側鄰房隱私權、日照權等居住品質，因此本計畫規劃於中山路及板南路三座高架捷運車站為「疊式月台」之型式，而連接車站間之高架橋為疊式高架橋型式，疊式線形全長計約 2.61 公里。

疊式線形雖已於臺北捷運中和線之潛盾隧道及地下車站採用，然於國內捷運軌道工程採疊式高架橋及高架疊式月台車站為首次採用之技術。由於配合疊式線形架橋結構型式從兩側式軌道轉換成兩疊式軌道之轉換區，每支橋墩變化型式皆不同，設計十分複雜，加以於板南路中正路路口，疊式高架橋必須斜向跨越八里新店高架橋（後續文簡稱台 64 線高架橋），致使工程更加艱鉅，因此於設計階段邀請各專業廠商討論，並將規劃施工方式反映於設計圖及工程費用中，使得施工廠商能迅速了解工程狀況，如期如質達成預期目標。

計畫工程範圍及特性

捷運環狀線 CF650 標（後續文簡稱為本計畫）為臺北捷運環狀線第一階段三施工標之重要一標，分別與既有營運之中和線，以及未來萬大線、南北線連接，如圖 1 所示。

本計畫工程範圍起自中和市景平路秀朗橋端之 Y8 車站，路線向西沿景平路、中山路、板南路、中正路，轉入板橋市板新路，止於板新路與中山路口之 Y14 車站，全長約 6.3 公里，包括高架橋及 Y8 ~ Y14 等七座高架車站，以及 Y10 車站至 Y11 車站間剪式橫渡線等工程，並於 Y8 車站、Y10 車站、Y11 車站分別與南北線 Y44 車站、中和線景安站及萬大線 LG06 車站連接。

本計畫後半段路線所在之道路寬度狹窄，如景平路及中山路約 24 m 寬、板南路約 20 m 寬等，若依一

般高架捷運車站型式佈設，因車站寬度約為 20 ~ 22 m，幾乎佔滿道路，嚴重衝擊都市景觀及影響兩側鄰房居住品質，此外道路上交通繁忙、路面下管線密佈，亦須跨越台 64 線高架橋及緊貼台 64 線中和一匝道等亦造成本工程施作之困難，狹窄道路須克服工程挑戰如圖 2 所示，因而設計階段引入許多設計創新元素，並思考如何解決許多現場施工挑戰為設計重要課題。

基設規劃評估

臺北市政府捷運局頒布之基本設計係將車站穿堂層及機房空間規劃於道路上方，並採側式月台車站，車站寬度約 20 ~ 22 m，而於道路寬度較狹窄之中山路（路寬 24 m）、板南路（路寬 20 m）共設置 3 個高架車站（Y11 ~ Y13 站），站體兩側與建築線間距離僅有 0 ~ 1 m，如圖 3 所示。



圖 1 環狀線 CF650 標與中和線、萬大線、南北線連接圖



圖 2 環狀線 CF650 標狹窄道路工程範圍

設計階段評估龐大量體之側式月台車站，除嚴重衝擊都市景觀並造成都市空間緊張與壓迫感外，亦產生下列問題：

1. 依【大眾捷運系統兩側禁限建辦法】規定：「高架段之路線及車站：水平方向為自捷運設施結構體外緣

起算向外六公尺以內，垂直方向為自地面起算向上至捷運設施或行車安全之最小淨空以內，其有屋頂者則向上至屋頂結構上緣以內，兩者所形成之封閉區域均屬禁建範圍」；未來兩側鄰房改建時，需退縮至少 5 m ~ 6 m，影響未來週邊開發權益甚大。

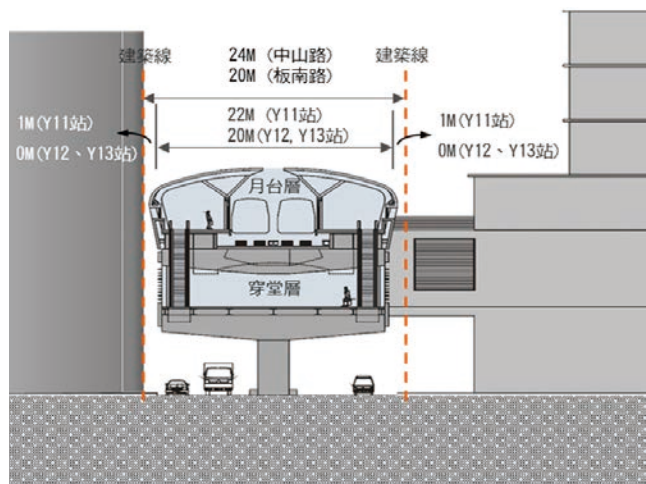


圖3 側式月台車站型式

2. 雖車站旁大樓消防救災首先須藉大樓自身設備外，但周遭環境亦須檢視是否有滿足內政部「劃設消防車輛救災活動空間指導原則」規定：【供雲梯消防車救災活動之空間需求如下：1. 長寬尺寸：六層以上未達十層之建築物，應為寬六公尺、長十五公尺以上；十層以上建築物，應為寬八公尺、長二十公尺以上】。
3. 對周圍建物有日照、噪音、私密性等衝擊。

疊式月台高架車站設計構想

為解決上述問題須將 Y11、Y12、Y13 車站進行瘦身評估，參考臺北捷運中和線頂溪、永安市場及景安等地下車站，將 Y11、Y12、Y13 車站採全國首創「疊式月台」高架車站方式設計，此可

減少車站寬度至 9 m，使車站與建築線之間的距離加大到 6 ~ 7.5 m，如圖 4 所示。

設計規劃為道路上方僅保留月台及軌道寬度約 9 m 的疊式月台車站，至於穿堂層與機房層則移至路外出入口基地。疊式月台車站設計方式係將原兩平行並排之軌道，將一條軌道下移至穿堂層高度，另一條軌道則高度維持不變，原穿堂層則移至路外基地，故車站原高度不變，但車站量體大幅縮減，如圖 5 說明。

疊式月台分為上層月台與下層月台，兩月台高程相差 7.7 m，如圖 6 所示，月台長度仍維持 80 m，月台頭尾兩端配置空調機房與緊急樓梯，兩月台間以樓梯、電梯及電扶梯連通。在車站造型的設計上，以「輕」、「簡」、「透」為設計目標，避免過大量體或過多裝飾的設計，增加都市的壓迫性。在車站外型設計上，因考量與鄰房距離過近，避免車站噪音影響擾鄰，外牆盡量以包覆方式隔絕站內噪音。

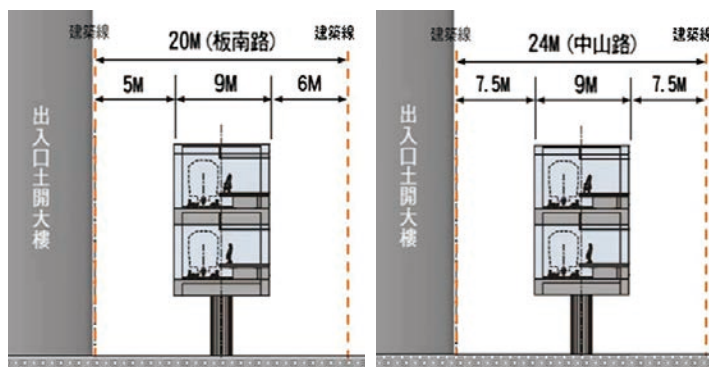


圖4 疊式月台高架車站配置橫剖面圖

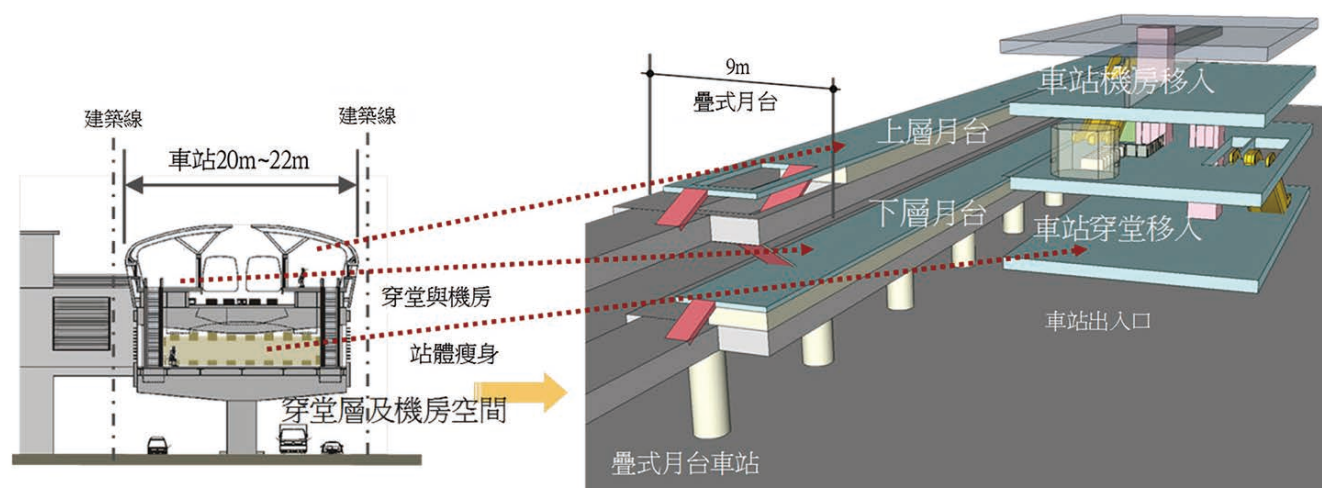


圖5 疊式月台高架車站空間配置說明

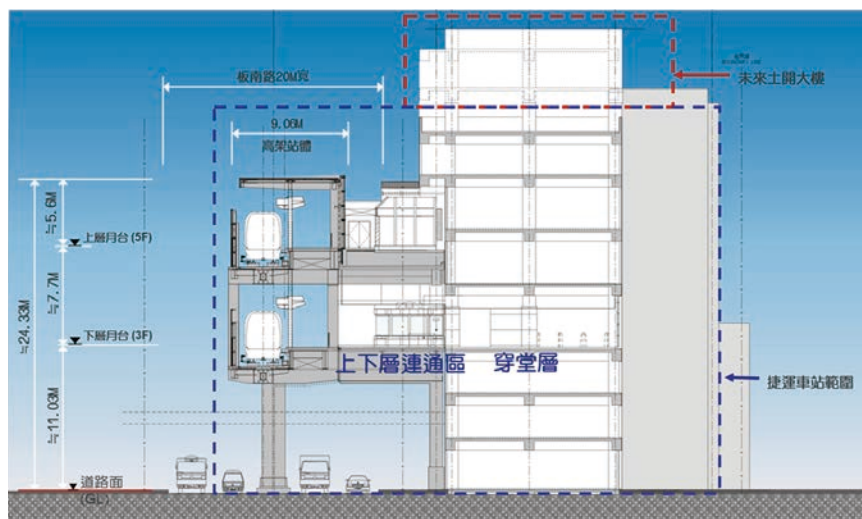


圖 6 疊式月台高架車站剖面圖

站體結構以「倒 Y」型鋼柱作為整體車站造型之一部份，如圖 7 所示。疊式高架車站之質量、勁度分佈不

均勻，採三維分析模式進行設計，並以 BIM TEKLA 模型及 SAP 結構模型進行車站結構設計轉換，如圖 8 所示。

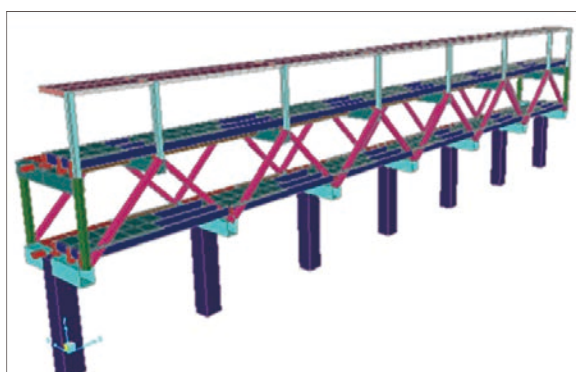


圖 7 疊式月台高架車站結構透視圖及照片

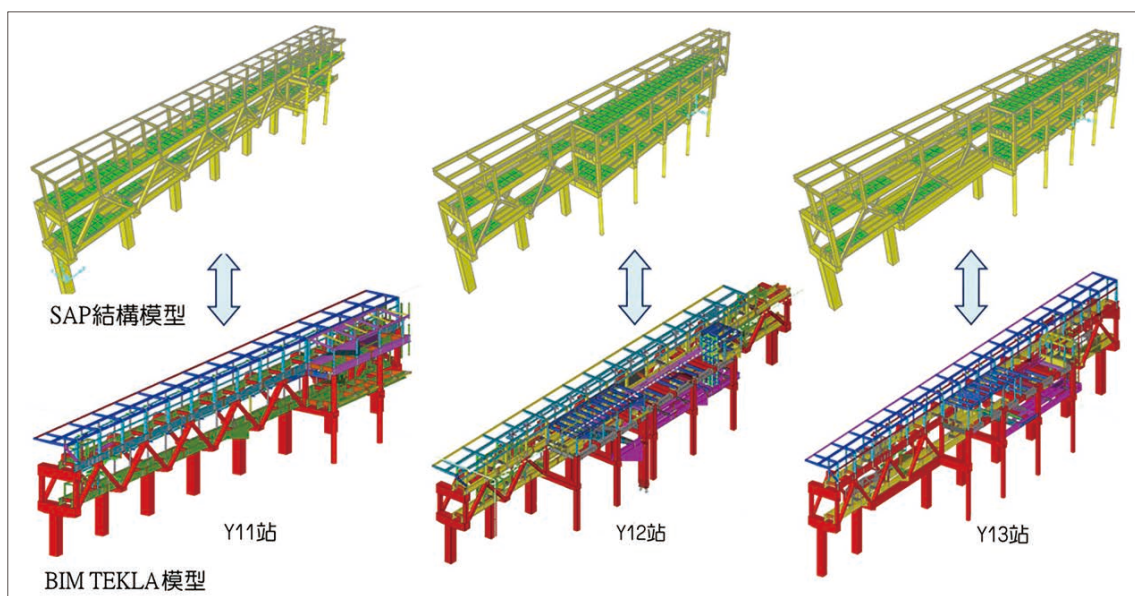


圖 8 疊式月台高架車站結構 SAP 結構模型及 BIM TEKLA 模型

疊式線形轉換區設計

配合疊式月台高架車站須規劃設計疊式線形路線，除須考慮現有道路特性以及系統機電之線形規範要求（如圖 9 所示），側式線形轉為疊式線形之轉換區說明如下：

Y11 車站前轉換區線形規劃

1. Y11 站前 440 m 之景平路上橫渡線結束處開始進行轉換，為確保兩軌間之寬度能足夠上、下軌脫離同一高程轉換為單軌之疊式橋梁，兩軌中心距離須由 4,150 mm 增加至 5,000 mm。
2. 上行線（下部軌道線形）以 2.746% 坡度緩降，並控制高架橋帽梁下之道路至少有 5.1 m 之車行淨高；另下行線（上部軌道線形）則以 3.0 % 坡度爬升，並待上行線（下部軌道線形）軌頂高程距離下行線（上部軌道線形）軌道梁底部已充足提供列車行車安全淨高時（本計畫採 5.2 m），再調整上、下行軌道之平面線形使之成為疊式線形後再以半徑 45 公尺之曲線由景平路進入中山路上 Y11 車站，如圖 9 所示，此符合系統機電之線形規範最小平面曲率半徑要求。

Y13 車站後轉換區線形規劃

1. 出 Y13 站後即須斜交跨越中正路台 64 線高架橋，跨越台 64 線高架橋處之下軌（上行線）高程設計須考量高架道路車行淨高 5.1 m、新建之捷運高架橋梁深、軌面基座高度。
2. 斜交跨越中正路台 64 線高架橋後（Y13 站後約 + 300），下行線（上部軌道線形）以 3.072% 坡度下降，上行線（下部軌道線形）維持一定坡度，兩軌中心距離由 5,000 mm 縮減至 4,150 mm。於 Y13 站後約 1 + 086 轉回側式配置，轉換區總長約 786 m。

上述設計規劃疊式線形與原基設線形縱坡比較，如圖 10 所示，最大線形縱坡為 4.48%，其仍符合機電系統之線形規範最大線形縱坡 5.5% 要求。

疊式高架橋設計

配合「疊式車站」及「疊式線形」之佈設，高架橋亦須採「疊式高架橋」設計，為能使雙向之軌道梁維持不同高程上、下疊放，且又必須確保下層軌道上之行駛列車有足夠之動態包絡空間，加以捷運路線通



圖 9 疊式線形以半徑 45 公尺之曲線進入 Y11 車站

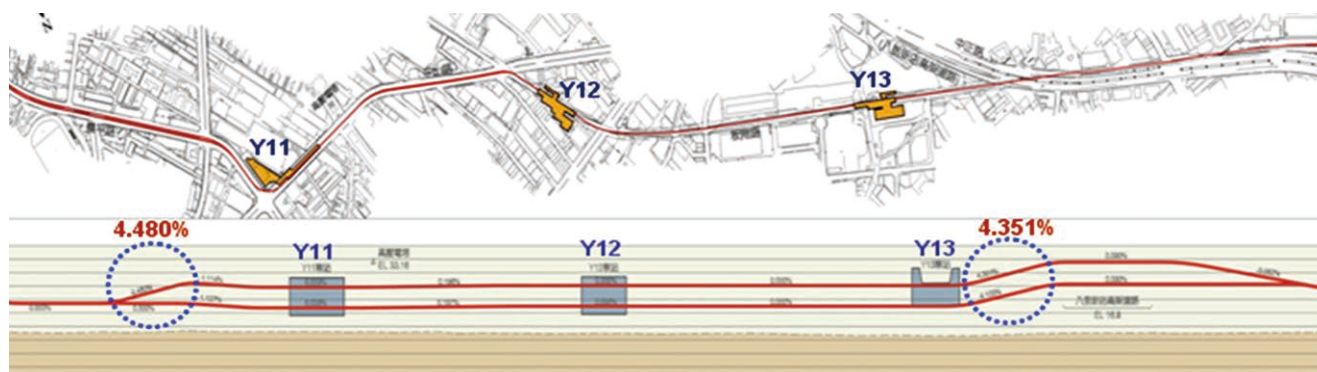


圖 10 設計規劃疊式線形縱坡圖

常沿著既有道路佈設，新建之高架墩柱即利用道路中央之分隔綠帶（約 3 m 寬）立墩，因此規劃「單柱式框架鋼橋墩」設計。此外考量既有道路路幅狹窄、交通擁擠，為使捷運高架橋施工對現有都會道路之交通影響最小，採用「預鑄」或「預製」之大梁及橋墩結構，並且應考量容易於現場吊裝組立之形式，因此下部結構採單柱式框架鋼橋墩，而上部結構於路口間採短跨長制式之簡支預鑄預力 U 型梁，現場照片如圖 11 所示，對於跨路口之長跨橋或曲線上之橋跨，則採連續鋼箱型梁，現場照片如圖 12 所示。



圖 11 簡支預鑄預力 U 型梁現場照片



圖 12 連續鋼箱型梁現場照片

狹窄道路簡支預鑄預力 U 型梁吊裝規劃與施工

本計畫路線所在之道路寬度狹窄，如景平路及中山路約 24 m 寬、板南路約 20 m 寬等，如何進行簡支預鑄預力 U 型梁吊裝為重要課題，原規劃設計框架鋼橋墩與 U 型梁吊裝方式如圖 13 所示。然施工廠商先完成框架鋼橋墩後再吊 U 型梁，致使下層 U 型梁須穿越框架鋼橋墩，現場照片如圖 14 所示，加以平面及垂直空間受必須致使須採用 700T 及 400T 兩輛吊車進行約 130T 之 U 型梁吊裝。

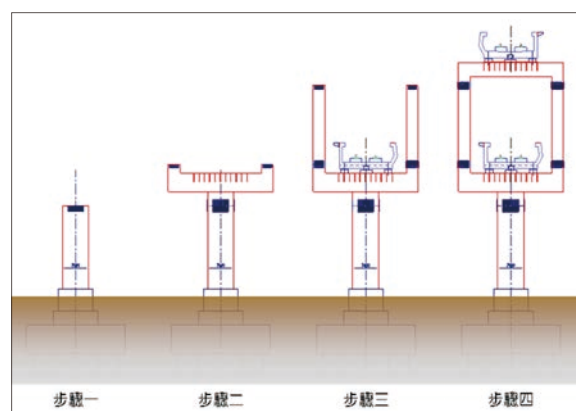


圖 13 疊式高架橋施工步驟示意圖



圖 14 U 型梁於框架鋼橋墩之吊裝現場照片

爬昇段及下降段之轉換區高架橋段設計規劃與施工

為使一般側式型式之高架橋轉換成疊式高架橋，即須佈設爬昇段及下降段之轉換區高架橋段，首先配合軌道線形佈設時需將原一般型式之高架橋中上、下行軌之間距（標準間距 4.15 公尺）逐漸加大，中央步道寬度亦增大，俟寬度大至可設置兩單軌橋（約 5.5 公尺），然後開始進行單一軌道爬昇。當上、下行軌間之

高程差達足夠相疊之淨距後，兩軌開始向柱中心線靠近，於是兩軌橋梁形成上、下重疊之「疊式高架橋」。

轉換區高架橋段應須配合線形、橋跨度及現有道路路型，因此須逐墩檢討繪製不同樣式橋墩，於 Y10 ~ Y11 站間轉換區高架橋段設計規劃如圖 15 所示，現場照片如圖 16 所示，於 Y13 ~ Y14 站間轉換區高架橋段設計規劃如圖 17 所示，現場照片如圖 18 所示。

台 64 線（中和一）下橋匝道介面疊式高架橋設計規劃與施工

本計畫路線緊貼台 64 線（中和一）下橋匝道，其位置如圖 2 所示，經現場測量得知台 64 線（中和一）下橋匝道匯入地面側車道，地面車道寬度僅剩 6.2 ~ 8.2 m，如圖 19 所示。蒐集台 64 線（中和一）下橋匝道竣工圖得知下橋匝道擋土牆基礎突出路面約 1 m，如圖 20 所示。若依據基設規劃位置，於不破壞下橋匝道結構，亦即採「避開」擋土牆基礎突出施作，完工後橋墩距離匝道結構外緣至少須 2.0 m，將衍生下列問題：

1. 須配置 2.1 m 寬墩柱寬及 0.5 m 寬緣石寬度，慢車道僅剩 1.6 m 寬，無法提供一車道最小需求，將影響全坤富貴賞大樓車輛出入，亦影響加油站車輛出入。

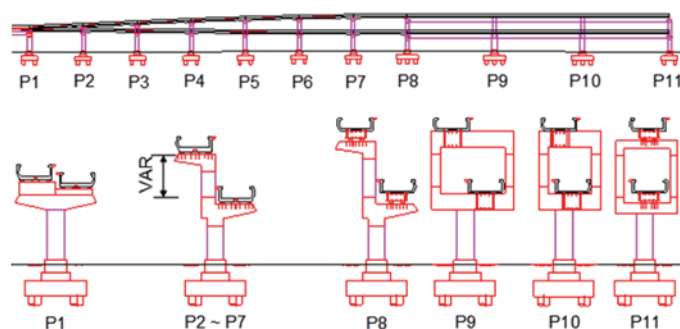


圖 15 Y10~Y11 站間轉換區高架橋段設計規劃



圖 16 Y10~Y11 站間轉換區高架橋段現場照片

2. 捷運結構外緣離全坤富貴賞大樓外緣僅 $6.4 - 2.0 = 4.2$ 公尺，無法滿足兩側禁建限建 6 m 之規定。

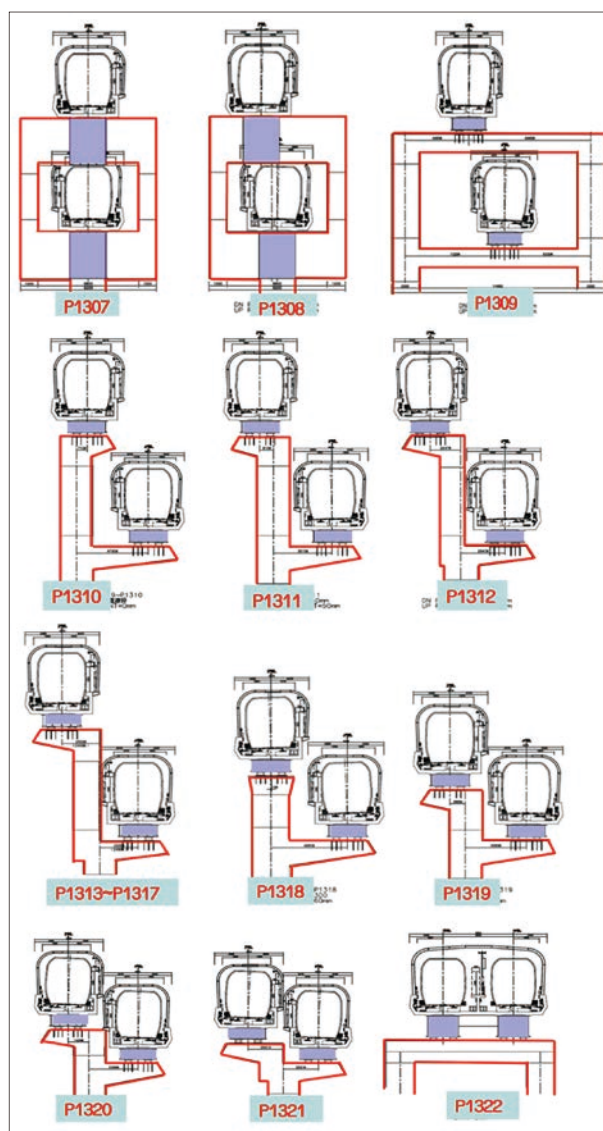


圖 17 Y13~Y14 站間轉換區高架橋段設計規劃



圖 18 Y13~Y14 站間轉換區高架橋段現場照片

因此捷運橋墩需緊貼下橋匝道佈設，並考量橋墩基礎打設基樁及開挖橋帽時之施工作業空間，以及施工中地面側車道交通維持之必要寬度，此處橋墩相對於基礎需採偏心設計，並使基礎偏向於現下橋匝道位置下方，如圖 21 所示，而施工之方式則必須先將匝道做臨時性之拆除，包括：

1. 拆除台 64 線（中和一）下匝道擋土牆，現場照片如圖 22 所示。
2. 拆除引橋三跨大梁及橋面板，現場照片如圖 23 所示。
3. 拆除隔音牆等結構。
4. 保留引橋橋墩及橋台。

以利施作基樁及基礎擋土支撐，俟此路段捷運橋墩施作完成後再復舊匝道，現場照片如圖 24 所示。

跨越中正路台 64 線高架橋之疊式高架橋設計規劃與施工

本計畫路線過 Y13 站後疊式高架橋沿板南路前行至中正路口需跨越台 64 線高架橋，因計畫路線係以約 13 度之小角度斜交跨越，因而設計規劃此處配置跨徑 40 m + 80 m + 36.2 m 三跨之連續鋼箱梁高架橋，而有兩座橋墩（P1308 及 P1309）僅能利用既有台 64 線高架橋東西行線間預留之 3 m 間隙設置，如圖 25 所示。

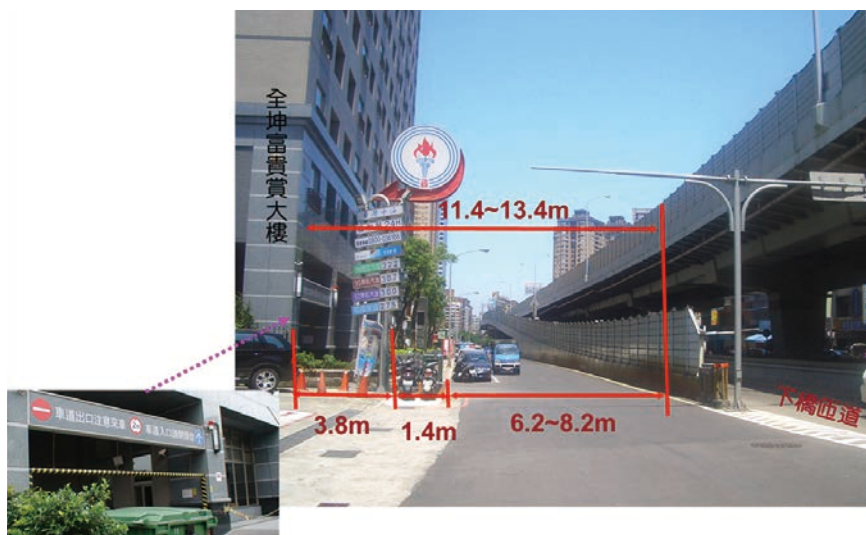


圖 19 台 64 線（中和一）下橋匝道匯入地面側車道出口

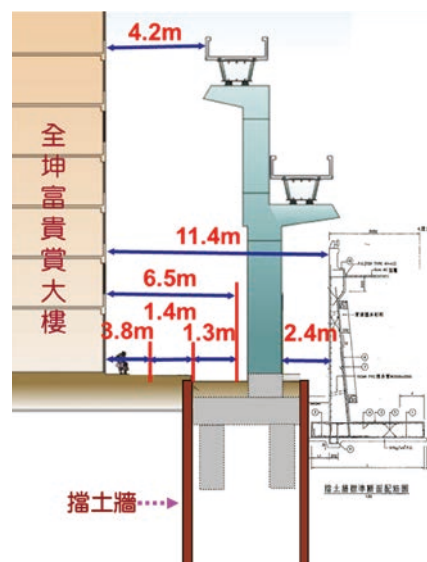


圖 20 高架橋採「避開」擋土牆基礎突出施作配置圖

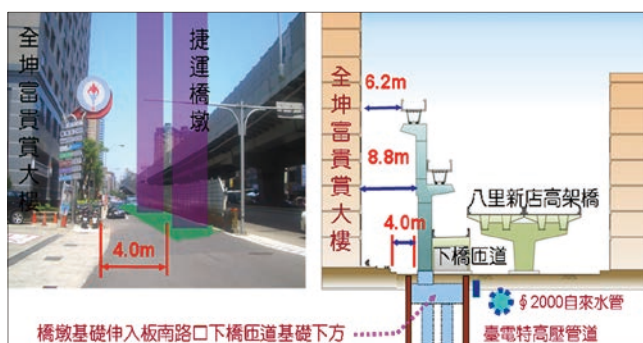


圖 21 捷運橋墩基礎伸入下橋匝道基礎下方配置圖



圖 22 拆除匝道引道現場照片



圖 23 拆除匝道引橋三跨大梁及橋面板現場照片



圖 24 台 64 線（中和一）下橋匝道復舊現場照片

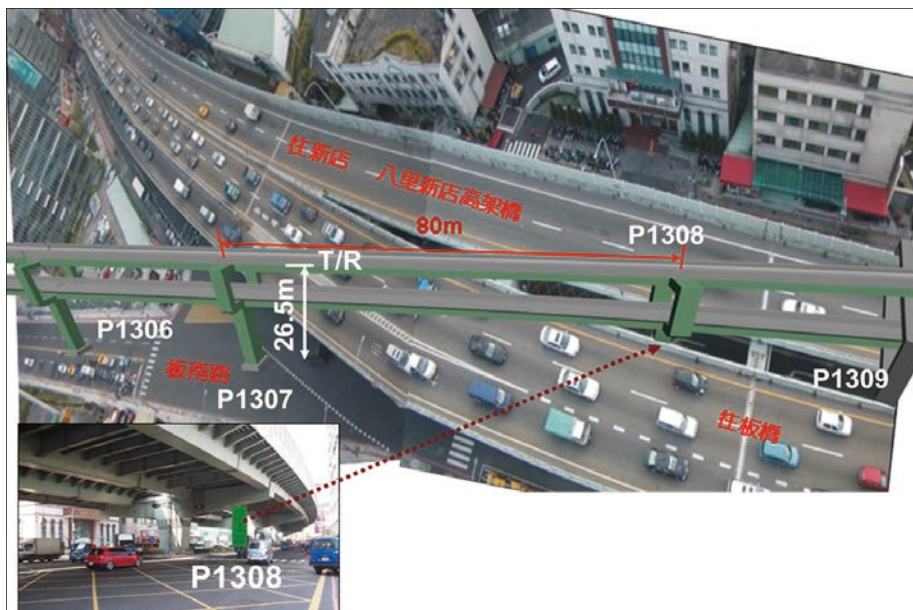


圖 25 跨越中正路台 64 線高架橋疊式高架橋設計規劃

此座跨越中正路台 64 線疊式高架橋設計施工規劃須考量下列課題：

台 64 線高架橋橋下低淨空施作基樁及基礎

於台 64 線高架橋路段橋下淨空僅約 7 m 高度左右，調查市場上改裝後之全套管基樁機具，至少需要 8.5 m 高度，如圖 26 所示，因而需局部降挖約 2 m 左右，降挖區施工機具如吊車 + 搖管機、發電機、挖土機、棄土筒、降挖區斜坡道等平面規劃配置如圖 27 所示，降挖區現場照片如圖 28 所示。

降挖區之下全套管基樁低淨空施工其淨高雖約有 9 m 公尺，施工機具仍須改裝，基樁施工考量因素如下：

1. 吊車－現有機型須改裝符合橋下施工限高及鋼筋籠吊裝。
2. 搖管機－基樁必須貫入礫石層為工率，考量一般採用可施作直徑 $\phi 2.0$ m 的搖管機，機台高度約 1.5 m。

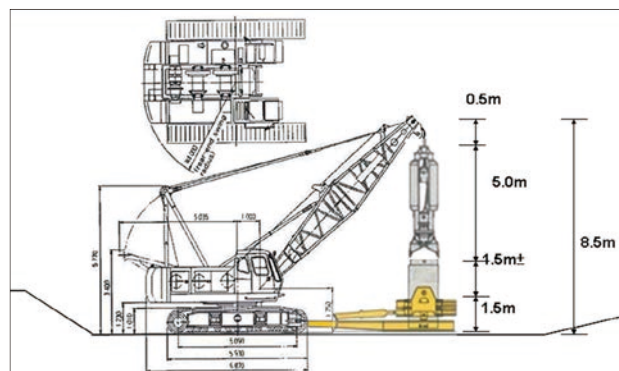


圖 26 全套管基樁低淨空機具設計施工規劃

3. 套管－基樁套管長度必須改短至 3.0 m 以致裁切後另製接頭數量增加。
4. 重錘－遇到大卵石或岩層須使用重錘（Chisel）將其擊碎後以抓斗取出。
5. 鋼筋籠－鋼筋籠預計每段長度 4 m，各節以鋼環與上下節鋼筋焊接作為鋼筋籠續接，現場照片如圖 29 所示。

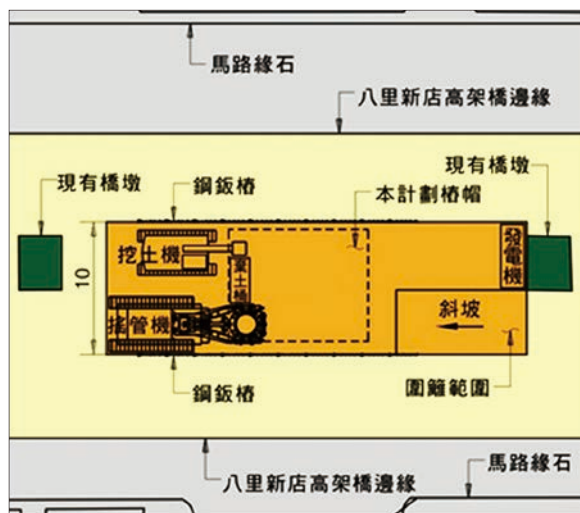


圖 27 降挖區施工機具平面配置設計施工規劃



圖 28 降挖區現場照片



圖 29 鋼筋籠上下節鋼筋焊接現場照片

台 64 線高架橋兩橋面間 3 m 空隙施作橋墩

框式鋼橋墩須於既有台 64 線高架橋上下行橋面間 3 公尺間隙立墩，由於框式部份面須垂直捷運線形，而墩柱面須垂直 3 公尺間隙，因捷運線形與台 64 線高架橋呈約 13 度夾角，致使框式部份面與墩柱面亦呈約 13 度旋轉角度，除造成設計困難亦增加施工困難，最後施工廠商於台 64 橋兩橋面間 3 m 空隙完成橋墩現場照片如圖 30 所示。

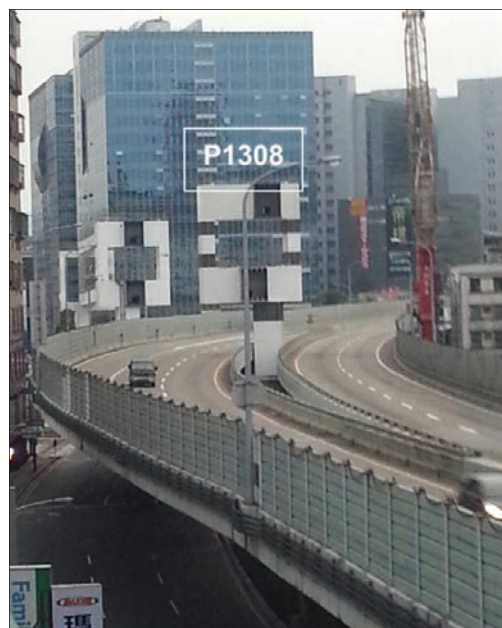


圖 30 64 線高架橋兩橋面間 3 m 空隙完成 P1308 橋墩現場照片

台 64 線高架橋上吊裝疊式鋼箱梁

三跨（40 m + 80 m + 36.2 m）之連續鋼箱梁高架橋以約 13 度之小角度斜交跨越台 64 線高架橋，端跨鋼箱梁可於地面全跨吊裝，然中間 80 m 長跨鋼箱梁吊裝施工須考量台 64 線高架橋橋寬配合前、後之匝道而橋面加寬，導致台 64 線高架橋兩側地面車道狹窄，欲採一般於地面全跨吊裝鋼梁十分困難，因此施工時需採鋼梁節塊逐步吊裝之方式。

若於台 64 線高架橋上進行鋼梁節塊逐步吊裝，則考量既有台 64 線高架橋須負載吊車鋼梁及鋼梁節塊重，則勢必須採小節塊以減輕重量，如此施工工期較長，且需封閉橋上交通以進行吊梁，影響橋上交通甚大。因此於設計階段規劃背拉鋼索吊裝施工方式，於地面吊裝鋼梁節塊並以背拉鋼索固定方式施工組立此 80 m 長跨鋼箱梁，其平面配置及主要施工步驟如圖 31 示。

廠商評估原設計規劃背拉鋼索吊裝施工方式有鋼索較多、支撐長度長、空中螺栓接頭多等施工困難因素，為縮短工期提出另一種背拉鋼索吊裝施工方式，由於此方式須背拉鋼索固定於 P1308 橋墩框架鋼柱上，現場照片如圖 32 示，施工廠商須核算 P1308 橋墩框架鋼柱強度及變形，且吊裝上鋼箱梁時須臨時支撐於下鋼箱梁上，上鋼箱梁之臨時支撐架佈置於下鋼箱梁現場照片如圖 33 所示，亦須核算下鋼箱梁強度及變形，以符合設計需求，最後完成現場照片如圖 34 所示。

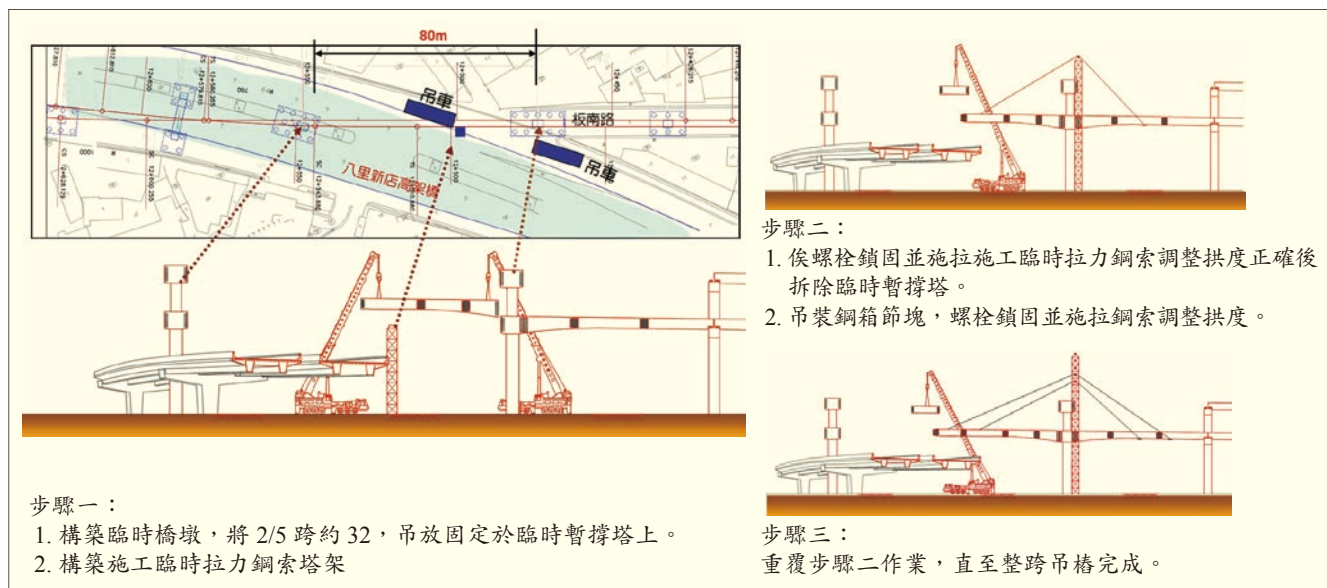


圖 31 設計階段規劃背拉鋼索吊裝設計施工規劃

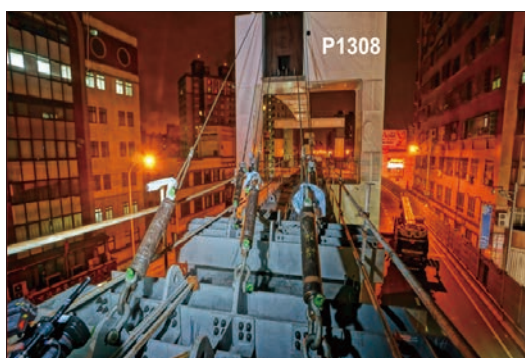


圖 32 P1308 橋墩框架鋼柱背拉鋼索吊裝現場照片



圖 33 上鋼箱梁之臨時支撐架佈置於下鋼箱梁現場照片

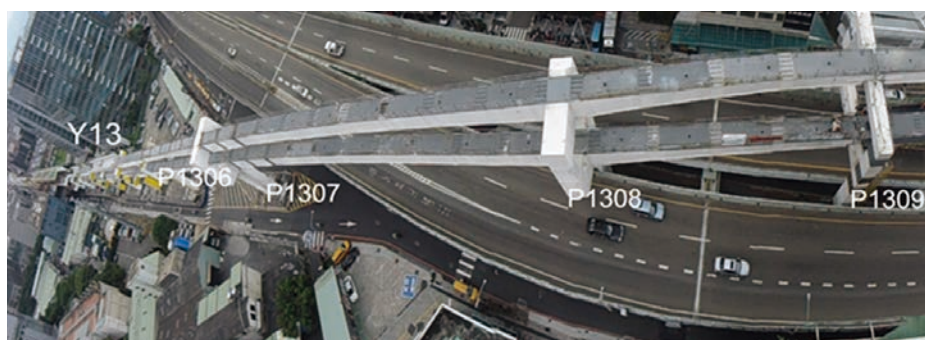


圖 34 上鋼箱梁及下鋼箱梁吊裝完成現場照片

結論與展望

疊式高架車站及高架橋之技術於國內捷運工程為首次採用，由於計畫路線經過地狹人稠區域，施工困難度更勝以往，設計階段將數個關鍵問題徵詢專業廠商，並於設計圖上表現規劃之假設工程，提供施工廠商作施工計畫參考資料，使得施工廠商能更快進入核心施工問題，並考量本身施工技術提出可行施工計畫。

後續捷運路網往往佈設多為串聯人口較為稠密，商業活動旺盛，現有交通較為繁忙之地方，亦常會有經過狹窄之道路情形，本計畫「疊式高架橋及疊式月台高架車站」成功案例，已成為後續捷運路網路線（如萬大—中和一樹林線第二期及高雄捷運系統岡山路竹延伸線）佈設於狹窄道路之捷運路線作法，並奉為圭臬。