

## 綠營建於環狀線CF650施工標設計與施工規劃

劉嘉哲<sup>1</sup> 宋建宏<sup>2</sup> 黃介鴻<sup>3</sup>

### 摘要

環狀線 CF650 施工標工程範圍前半段約有 1.9 公里與景平路八里-新店高架道路(台 64 線)共線，必須在現有高架橋東西行線間預留之 3m 間隙設置橋墩，且須在影響八里-新店高架道路(台 64 線)交通最小之條件下，於其上方建構高度高於地面 20m 以上之「高架橋梁及 Y9、Y10 車站」；而本計畫路線後半段路線所在之道路寬度十分狹窄，如景平路及中山路約 24m 寬、板南路約 20m 寬等，且道路上交通繁忙、路面下管線密佈。

如何在如此艱困環境，使得工程建設開發過程，邁向節能減碳及減少環境衝擊，成為考量的重點，因此於設計規劃階段導入重視永續發展之綠營建觀念，成為必要之課題。

關鍵詞：推進梁工作車、預鑄 U 型梁、日照權、坍流度、減碳量

## Application of Sustainable Green Construction to Design and Construction Planning of MRT Circular Line Contract CF650

Jia-Jhe Liou<sup>1</sup> Chien-Hung Sung<sup>2</sup> Jie-Hon Huang<sup>3</sup>

### Abstract

With a 1.9-kilometer section of the first half of the Circular line Phase I Contract CF650 parallel above the Bali-Xindian elevated expressway and along Jingping Road, a 3-meter-wide space along the existing east-west expressway has to be reserved for viaduct piers. In addition, when conducting the viaduct and Stations Y9 and Y10 20 meters above the ground level, minimum impact on the traffic of the elevated expressway was necessary. The other part of the project is located above narrow roads—24-meter-wide Jingping Road, 24-meter-wide Zhongshan Road, and 20-meter-wide Bannan Road—those were crowded with heavy traffic and intensive pipelines beneath.

Considerations focused on energy efficiency, carbon reduction, and environmental impact reduction during construction. Therefore, incorporating green construction concepts and sustainable development at the design stage were critical.

**Keywords : launching gantry, precast U-girder, sunshine right, slump flow, carbon reduction**

<sup>1</sup> 台灣世曦工程顧問股份有限公司部門副理、計畫經理

[jjliou@ceci.com.tw](mailto:jjliou@ceci.com.tw)

<sup>2</sup> 台灣世曦工程顧問股份有限公司計畫副理

[kevin777@ceci.com.tw](mailto:kevin777@ceci.com.tw)

<sup>3</sup> 台灣世曦工程顧問股份有限公司計畫經理

[hjhu@ceci.com.tw](mailto:hjhu@ceci.com.tw)

## 一、前言

環狀線CF650施工標(後續文章中簡稱為「本計畫」)之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，路線全長約6.3公里，含高架橋及Y8~Y14等七座高架車站及Y10車站至Y11車站間剪式橫渡線等工程，如圖1。

本計畫路線前半段約有1.9公里與八里-新店高架道路(台64線)共線(後續文章中簡稱此路段為「共線段」)，必須在現有高架橋東西行線間預留之3m間隙設置橋墩，且須在衝擊八里-新店高架道路(台64線)最小之條件下，於其上方建構高度高於地面20m以上之「高架橋梁及Y9、Y10兩座高架車站」，如圖2及圖3；而本計畫路線後半段路線所在之道路寬度狹窄，如景平路及中山路約24m寬、板南路約20m寬等(後續文章中簡稱此路段為「狹窄路段」)，若依一般高架捷運車站型式佈設，因車站寬度約為19~20m，幾乎佔滿道路，如此將無法提供足夠之「都市消防救災活動空間」，且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、路面下管線密佈等亦造成本工程施作之困難。



圖 1 環狀線 CF650 施工標之工程範圍

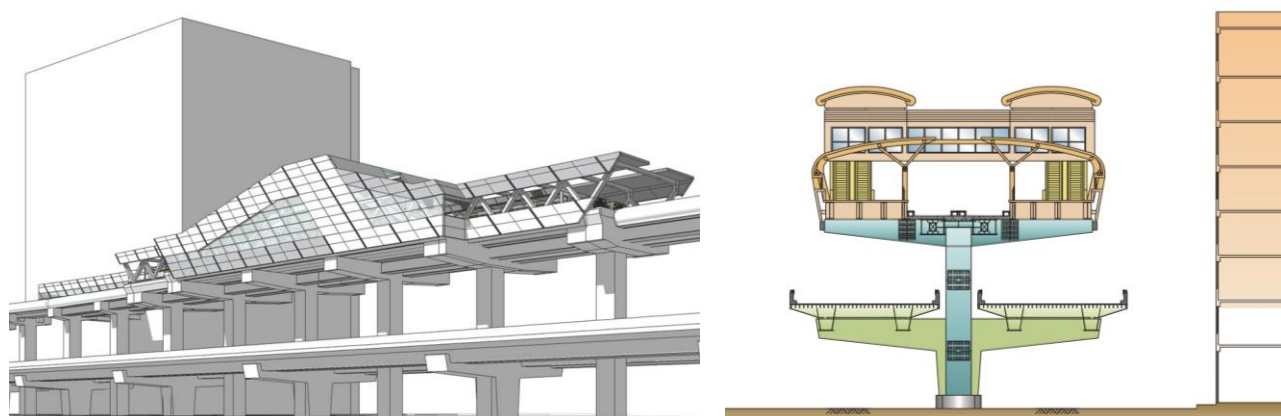


圖 2 共線段之 Y9、Y10 兩座高架車站示意圖

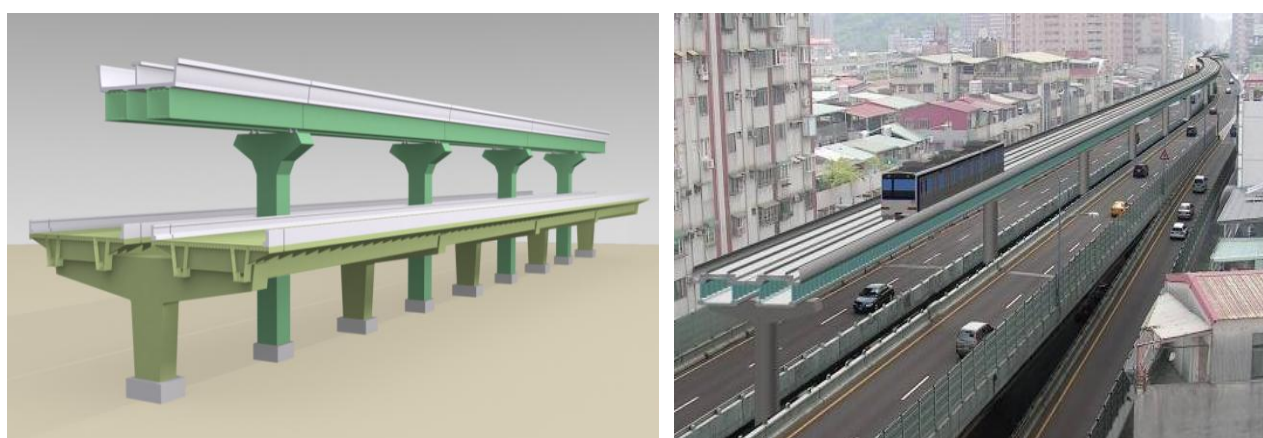


圖 3 共線段之高架橋示意圖

依行政院推動「挑戰2008：國家發展重點計畫—水與綠建設計畫」中綠營建（sustainable construction）意指在營建工程之規劃設計中，適度融入環保與生態之考量，諸如設計採用環保材料、無公害工法，並於營建工程整個生命週期之施工階段中，考量諸如施工程序、材料等對地球環保之影響，而採取低公害、低污染之營建程序與環保材料，及營建廢棄物再利用等呼應地球環保生態之營建。

本計畫於設計規劃階段，參考邀標圖所示基本概念設計、整合機電系統關連標設施及空間需求、考量沿線相關都市計畫及都市設計管制法令、建築法令及沿線環境狀況等計畫工程特性進行研析，為減少施工時以及完工後對於環境衝擊，邁向節能減碳之目標，研擬下列綠營建方案：

- (一) Y8~Y10 站間高架橋採鋼梁推進梁工法之施工規劃；
- (二) Y11~Y13 站間採疊式高架橋及車站設計；
- (三) 高架段制式橋採用預鑄 U 型梁設計；
- (四) 高架橋橋墩及帽梁採自充填混凝土設計。

## 二、Y8~Y10 站間高架橋採鋼梁推進梁工法之施工規劃

本計畫於設計規劃階段，考量如何使共線段之高架橋梁及Y9、Y10車站於八里-新店高架橋(台64線)上下行橋面間既有3公尺間隙，如圖4，完成捷運鋼橋梁架設，且對下方既有之八里-新店高架橋(台64線)上及景平路地面交通影響最小，進而減少交通阻塞汽車廢氣排放量，須評估採用綠營建之材料及施工方法。

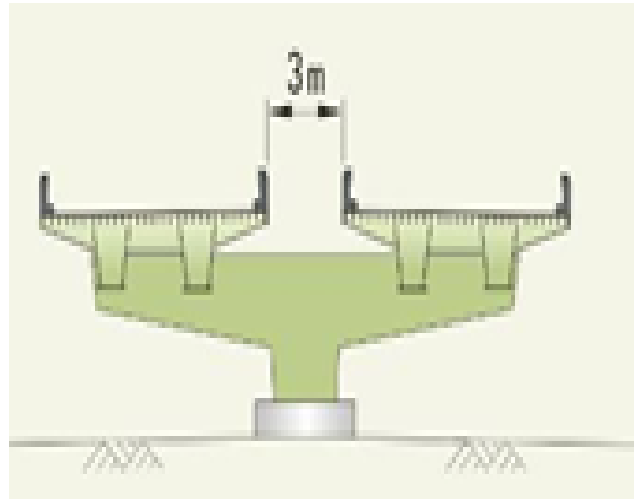


圖 4 與八里新店線快速公路共線段現況示意圖

此路段若採傳統吊裝工法，以吊車直接於地面吊裝，因受限於兩旁距鄰房過近(約4.7m)，吊車張開施作空間至少須8m寬度以上，加以景平路/景安路路口交通量極大，易造成交通阻塞，故自平面道路直接吊裝並不可行，加以台64線高架橋容許載重受限，且易造成台64線高架橋交通阻塞，故自台64線高架橋直接吊裝亦不可行。

因此規劃採無需現場築模澆鑄、量體輕巧强度高之鋼箱梁節塊橋(綠色建材)進行吊裝，其優點如下：

1. 構件自重輕，節省材料，符合環保要求。
2. 在工廠製造，材質均勻，品質控制良好，不受天候影響，大量生產，減少人力，縮短工期。
3. 現場安裝，對工地附近環境衝擊小。

而鋼箱梁節塊吊裝採發進工作車(LAUNCHING GANTRY)推進吊裝工法，此工作車可利用已新建完成之環狀線橋墩逐跨系統性地前進，且利用既有之3m空隙將運至既有台64線高架橋下方之鋼箱梁節塊吊起安裝，亦即35m橋跨鋼箱梁分成數段，吊起後再進行組裝，組裝完成後再放置帽梁上，如圖5所示，其優點如下：

1. 構件規格化，循序施工，組裝自動化，減少營建廢棄物及空氣污染。
2. 台 64 線高架橋上及地面交通影響最小，減少汽車耗油及空氣污染。

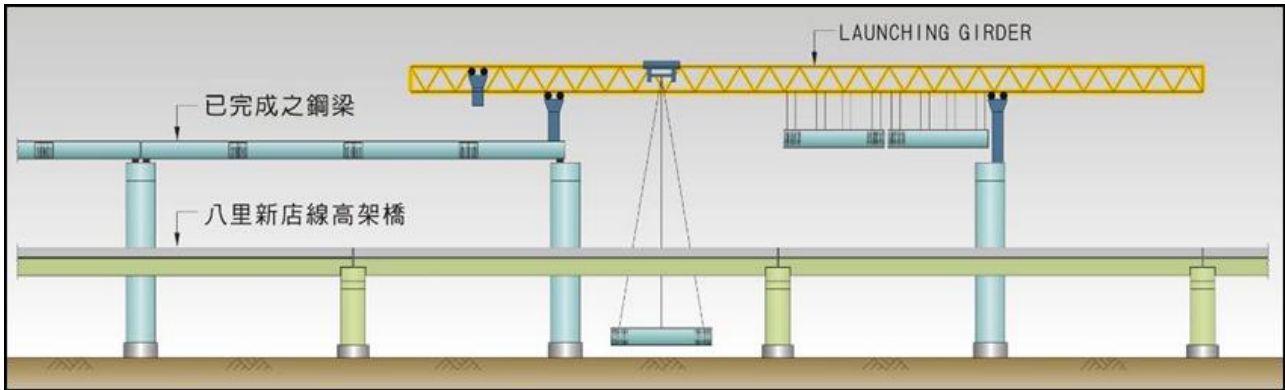


圖 5 鋼箱梁施工構想示意圖

施工廠商發進工作車(LAUNCHING GANTRY)進行吊裝鋼梁照片如圖6。



發進吊裝工作車 (LAUNCHING GANTRY)



節塊 1 鋼梁吊裝



節塊 2 鋼梁吊裝



節塊 3 鋼梁閉合吊裝

圖 6 發進工作車 (LAUNCHING GANTRY) 進行吊裝鋼梁照片

### 三、Y11~Y13 站間採疊式高架橋及車站設計

本計畫路線後段轉行經景平路、中山路、板南路、板新路。道路寬度均小於25m，車站兩旁部份現有建築物高達10層以上，若以一般側式或島式高架車站寬度約19m~20m規劃，兩側鄰房與車站間距離過於接近，除無法滿足內政部「劃設消防車輛救災活動空間指導原則」規定，且影響兩側鄰房日照權及未來周圍土地之開發，亦即兩側鄰房白天仍須開燈消耗能源，以及浪費土地資源。

因此於道路寬度狹窄的中山路、板南路 (Y11、Y12、Y13車站)，以「疊式月台」車站方式設站，可減少車站寬度至9M，使車站與建築線間距離加大到6m~7.5m，如圖7。配合疊式

車站之佈設，由Y11站前約400m起至Y13站後180m之間高架橋，亦將以疊式佈設，如此車站與建築線間距離加大其優點如下：

1. 符合消防車輛救災活動空間需求。
2. 不影響兩側鄰房日照權，節約能源。
3. 不影響兩側鄰房土地之開發，土地資源充分利用。

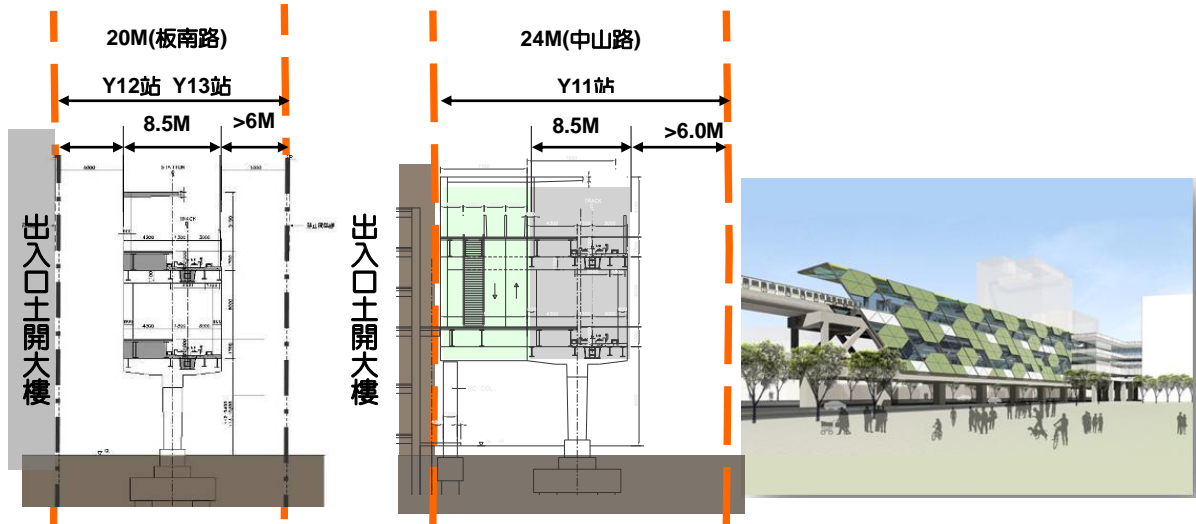


圖 7 疊式車站示意圖

施工廠商完成部份疊式車站現場施作照片，如圖8所示



圖 8 疊式車站現場施作照片

### 四、高架段制式橋採用預鑄 U 型梁設計

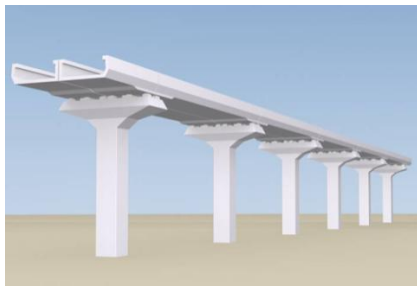
一般使用預鑄構造物在環保方面之效益為縮短在工地現場施工時間，減少噪音、振動、污染、妨礙交通等對施工周圍環境衝擊之時間，另外亦可減少廢棄物。

預鑄混凝土之優點：

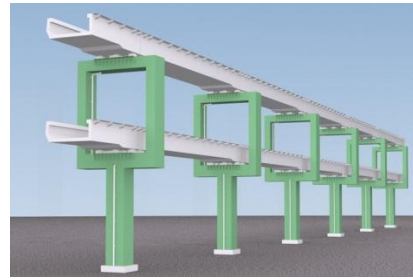
1. 預鑄場製造，現場安裝，對施工環境衝擊小。
2. 品質控制良好。
3. 不受天候影響。
4. 大量生產，節省人力，縮短工期。
5. 無需鷹架及支撐。
6. 鋼模多次反覆使用，降低成本。

本計畫路線於狹窄路段之景平路(24m)、中山路(24m)、板南路(20m)、板新路(28m)，因現有道路交通流量大，於小跨度制式橋採無需現場築模之預鑄預力混凝土橋梁為較適合之橋型，因此於路線直線段及曲率半徑 $\geq 750m$ 路段配置單軌U型梁制式橋，如圖9。至於曲率半徑小於750m、特殊軌區如道岔段、過路口之路段，則改採鋼箱梁橋。

U型梁具有側向遮蔽面積小、量體較小、無須於吊裝後尚須築軌道兩側胸牆，可減少施工工期，且為開放式斷面，日後維修及養護容易以及整體橋梁造價較為經濟等優點，如圖10。



側式高架橋 U 型梁



疊式高架橋 U 型梁

圖 9 U 型梁制式橋

#### 單軌預力混凝土U型梁優點

噪音防治	側牆阻絕噪音，可為隔音牆部分。
景觀環境	側向遮蔽面積減少，有更佳視覺穿透性。
結構設計	U型梁靜重減少約20%，有助於降低橋墩及基礎的尺寸。
工程費用	於跨度25m之U型梁較箱型梁經濟。



圖 10 U 型梁制式橋優點

施工廠商於預鑄廠現場製造U型梁，以及於側式高架橋及疊式高架橋U型梁吊裝等施工照片，如圖11所示。



預鑄場 U 型梁吊裝脫模



預鑄場 U 型梁暫存整裝



側式高架橋 U 型梁吊裝



疊式高架橋 U 型梁吊裝

圖 11 U 型梁現場施作照片

## 五、高架橋橋墩及帽梁採自充填混凝土設計

自充填混凝土(SCC)屬「再生性綠建材」係指利用廢棄資源循環再利用之建材，如高爐石粉及飛灰，其係於1986年由日本東京大學岡村甫教授研發成功之優質混凝土，初期係以高性能混凝土(HPC)稱謂此種混凝土，其性能廣泛，包括強度、工作性、彈性模數、耐久性等，所以SCC為HPC之一種。目前日本及我國已針對此種免搗實之高流動性混凝土予以正名為自充填混凝土(SCC)，其澆置過程中不需施加任何震動搗實，完全藉由自身之流動性能即可完全充填鋼筋間隙及模板各角落。

SCC之料相與一般混凝土明顯不同，因其有高黏滯度，靜如「蚵仔麵線」，動如「土石流」，其帶動砂石（大粒徑）的流動力量相當驚人，如圖12所示。

一般而言，自充填混凝土具有如下之優點：

1. 可避免因施工人員素質不良或懶惰，而造成混凝土品質落差。



圖 12 SCC 之外觀特徵

2. 不必振動，省下搗實之人力，可降低施工成本及減少施工噪音。
3. 混凝土泵送容易，施工速率增加。
4. 混凝土充填密實，可提高結構可靠度，降低成本而達到經濟效益高之目的。
5. 使用一定比例之飛灰、爐石粉以達自流性，係一廢物再生利用之混凝土。

另一方面，自充填混凝土也同時具有如下之缺點：

1. 配比設計及預拌混凝土之品管工作較繁複。
2. 拆模後表面平整，不易再作水泥砂漿粉刷。

自充填混凝土之材料組成如下：

#### (一) 水泥

為普及化原則考量，主要選用第 I 型卜特蘭水泥或低鹼水泥，基於降低水合熱經濟有效之考量，大都採用 II 型水泥，亦可採用混合水泥如高爐水泥或飛灰水泥以降低水合熱。

#### (二) 爐石粉

爐石粉係於煉鐵高爐爐渣冷卻後產生廢棄物水淬爐石，摻著於混凝土中時，爐石粉遇水泥水合生成之  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (氫氧化鈣) 提供相當之活化能時會將水泥水合生成的氫氧化鈣消耗掉，形成水硬性膠體填塞孔隙，使混凝土中孔隙減少，水密性較佳，外界有害性物質如氯離子、硫酸鹽類不易滲入，有助於抗海水及硫酸鹽侵蝕，並防止鋼筋腐蝕。

CNS12549 依活性指數將爐石粉分為 80 級、100 級和 120 級等三種，除為配置較高強度或其他特殊之混凝土外，一般使用活性指數 100 級，細度在  $4000\text{cm}^2/\text{g}$  左右之爐石粉。其添加量應依添加目的、膠結材料及摻料品質、混凝土設計強度及環境因素等條件而異。

#### (三) 飛灰

飛灰係卜作嵐材料的一種，其品質因粉煤品質及鍋爐運轉狀況而變化。一般顆粒含炭量低，球型顆粒多，玻璃質含量多，即為優良品質之飛灰。飛灰分為 C 類及 F 類兩種，國內目前多在混凝土拌和時，直接摻用飛灰以取代水泥。

一般而言，飛灰之添加於混凝土，可提升工作性、降低泌水率，不易產生材料析離，及由於飛灰的卜作嵐效應，對混凝土中之毛細孔有細化與堵塞作用，能抑制氯化物對混凝土中之鋼筋的侵蝕和抗硫酸鹽之性能。

飛灰可與水泥中之鹼性物質發生反應，而減少鹼—粒料反應。

進料管制時須注意其燒失量，施工作業時，需考量其凝結時間長，強度成長較慢、拆模時間晚，及澆置過程中容易產生浮漿和泌水現象。

依 CNS3036 規定使用 F 級飛灰，其鈣質含量低，卜作嵐反應速率緩慢，早期強度變會降低，水合反應熱降低效果大。可以改善工作性，填充細粒料與水泥間隙，減少泌水與析離現象。飛灰之使用量應依使用策略、添加目的、水泥種類、化學摻料及是否添加其他卜作嵐材料等條件而異，一般而言飛灰之替代率建議為 20% 以內。

#### (四) 拌和用水

氯離子含量及酸鹼度須符合 CNS13961 之規定，拌合用水需為潔淨，所含各種油脂、酸鹼鹽類、有機物或其他有害於鋼筋或混凝土之物質，不得超過標準。

### (五) 粗細粒料

依CNS 13618、13619之規定進行試驗時，所用水泥之含鹼量以重量計不得超出0.60%，以檢驗粒料是否具有潛在性之鹼反應。粒料級配要優良，空隙率要低，緻密性良好，如此達到相同流動性時，水泥漿用量低，混凝土自體收縮量低，體積穩定性好則耐久性高。細骨材細度模數FM一般規定在 $2.7\pm 0.2$ 之間，避免使用扁平、長扁成份過大之粒料。

### (六) 化學摻料 (Admixture)

化學摻料應符合CNS 12833之規定。應能達到長距離運輸及長時間澆置提供高減水率、高流動性、最佳黏結性的充填性能，故其應為強塑劑。在水泥產生水化作用的同時，經由水泥分子表面的吸收與空間上的分離作用，提供充填效果及較佳工作度，並能降低日後混凝土的收縮、潛變，及中性化的速率。目前多數強塑劑主要成分以羧酸系為主要成分的化學摻料，其坍損小，流動性一般可維持90分鐘以上。可提高品質、減少水泥用量，提高產能、降低總體成本，延長輸送時間、縮短施工時間。

本計畫於鋼筋混凝土橋墩帽梁採用高流動性與高水密性之自充填混凝土(SCC)施作，施工規範規定高爐渣熟料所佔膠結料之 $45\pm 5$ 百分率，若有飛灰亦包括，且飛灰所佔之百分率須小於10之高爐水泥。

SCC雖具有免振動施工之優點，但在工程實務上，仍需有適當的配套措施，才能達成施工品質與結構性能上的預期效益。

自充填混凝土運送至現場後，應先卸下部份混凝土料，靜置於手推車內，亦可目視判別混凝土是否有析離、泌水等現象，如無此現象才進行自充填混凝土之相關性能檢驗：坍流度、V型漏斗流出時間及箱型充填高度，如圖13~圖15。

每次到場的前三車均應進行性能試驗，試驗合格之混凝土方能卸料進行澆置，爾後每 $100\text{m}^3$ 作隨機抽驗，並依據合約規範規定之取樣頻率製作試體。

當工作性符合規範要求後，需依照規定之頻率進行抗壓試體的取樣、製作，同時檢測混凝土溫度、氯離子含量及含氣量是否符合規範，如圖16。

模版系統採用表面平整且結構堅實之模版，以系統模版、清水模版或金屬模版等吸水性低且剛性較高之模版為佳，以防止漏漿、爆模、表面凹凸不平、色澤不均等情形發生。模版間的接縫應緊密，不會因混凝土壓力而有漏漿、變形的情况，如圖17~圖18。



圖 13 坍流度流動性試驗



圖 14 V 型漏斗抗析離性試驗



圖 15 箱型充填高度試驗



圖 16 混凝土溫度、氯離子含量試驗



圖 17 模版表面以砂輪機整平



圖 18 模版封模後現況

依據施工規範規定，不同的結構物有F1~F3等級之混凝土表面要求，因自充填混凝土之材質較黏稠，且施工過程不加以振動搗實，有可能混凝土表面造成微細氣泡滯留或吸附的情形。在F2表面修飾以上之混凝土表面如有氣泡影響外觀時，可藉由改良模版表面性質，或放慢澆置速度(管控V型漏斗試驗10秒左右)，如圖19可減少表面氣泡發生，或選擇合適的脫模劑，或使用輕敲外模方式藉以消除氣泡等瑕疵，見圖20。



圖 19 泵送作業速度不可過快



圖 20 輕敲外模藉以消除氣泡

使用油性脫模劑容易造成混凝土表面汙染及氣泡黏著於表面，因此宜選用水性脫模劑。脫模劑不能任意稀釋而降低其效果。

模版內的鋼筋應以適當間隔器固定，確保鋼筋與模版間應有之間隔，維持混凝土保護層應有之厚度。加強鋼筋的支撐固定可以防止混凝土的流動對鋼筋的推移效果，減少鋼筋發生位移而造成保護層不足情形之機率。

在澆置的過程中取樣製作試體時，除依規範頻率取樣製作試體外，應加做試體至少2組以上，該組工地試體提供拆模時，混凝土結構相同齡期之抗壓強度數據確認，以避免提早拆模，造成混凝土強度不足而產生自重裂縫，影響結構安全。

本計畫自充填混凝土澆置區域為橋墩柱及帽梁，於拆模後可持續灑水、覆蓋不透水材料或噴塗養護劑等方式進行養護，養護劑的性能除符合CNS2178外，且不能妨礙日後表面裝修工作，詳見圖21~圖22。



圖 21 拆模後覆蓋不透水材料養護



圖 22 養護後墩柱品質良好

若橋墩柱表面有較多之氣泡孔，如圖23，此因SCC混凝土材料之黏滯性高，若澆置速度太快，在無足夠流動距離即接觸模板，或於下料時因有衝擊動作，而增加空氣混入，或因模板面之粗糙度過大，而導致空氣滯留等因素，都將會使混凝土中之空氣不易排出，而在表面附近形成氣孔。此現象一般大多與混凝土之澆置作業有較大關係，改善方式如下：

- (1)澆置時，於模板外側酌予輕微振動，配合工地現場之長線鋁筓，如圖 24，亦可增進空氣排出。
- (2)若每次澆置之高度過高，如圖 25，上述排氣效果降低，宜降低每次混凝土澆置之高度，例如在 2m 左右。
- (3)澆置時，灌漿管下料位置盡量增長 SCC 流動距離，放慢混凝土澆置速度。
- (4)澆置時，灌漿管埋入混凝土中，使漿液由下向上擠。
- (5)塗抹質優、可降低粗糙度之水性脫模劑。



圖 23 橋墩柱表面有較多之氣泡孔



圖 24 長線鋁筴排氣工具



圖 25 橋墩模板高度



## 六、結語

一般工程採用綠營建方案其目的係為使工程建設開發過程以及竣工後，能夠節能減碳及營建廢棄物再利用以減少環境衝擊。

本計畫於規劃設計階段所採用綠營建方案之成效經評估後，於Y8~Y10站間高架橋採鋼梁推進梁工法之施工規劃(節省混凝土數量)、Y11~Y13站間採疊式高架橋及車站設計(節省鋼結構數量)以及高架段制式橋採用預鑄U型梁設計(節省混凝土數量)等三方案，其較基設節省鋼結構約1100噸， $420\text{kgf/cm}^2$ 混凝土約 $1200\text{m}^3$ ，減碳量約為1300噸。

本計畫於鋼筋混凝土橋墩帽梁採用自充填混凝土(SCC)取代一般混凝土，除可將廢棄之爐石粉約3100噸以及飛灰約770噸等再利用，並較一般混凝土節省3800噸水泥用量，減碳量約為1700噸。

綜合上述本計畫採用綠營運之綠色材料及綠色工法，於節能減碳及營建廢棄物再利用等效果顯著，總減碳量約為3000噸左右，此尚未包括減少交通阻塞之汽車廢氣排放量以及減少沿線住戶白天開燈之耗電量等潛在之減碳量。

## 參考文獻

1. 中國工程師學會會刊(民國 97 年)「綠色建築專集」。
2. 中華工程公司(民國 101 年)「環狀線 CF650 施工標自充填混凝土品質管理計畫」。