

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

國內橋梁上部結構工法，近年雖引進大跨徑懸臂工法、支撐先進工法、節塊推進工法等高度自動化、機械化的施工技術，不但可節省工期，提升工程品質，更可運用工程技術配合環境景觀，營造工程的壯觀性及可看性。但往往所規劃之施工方法，隨著現地環境影響及結構系統，無法達到營建機械自動化之優點，並造成施工廠商執行之難題。本篇研究乃針對採用支撐先進工法時，提出設計考量表及施工檢查表。並藉由親自參與工作中所發生之實際案例，將現況發生之問題及改善紀錄提出，以期對後續使用支撐先進工法時，能提供施工之參考意見。



1.2 研究目的

- 1、提供設計者於橋梁工程設計採用支撐先進工法時，考量實際施工環境及運用適當結構系統，期能達到營建機械自動化，以提高工作效率，降低施工成本。
- 2、提供廠商因應不同環境之支撐先進工法施作時，所應採用設備內容及應注意相關事項，期能避免施工錯誤再次發生及達到降低營造成本。

1.3 研究方法

- 1、利用國內營建業施工經驗傳承之特性，運用實際案例所發生之問題，提出施工所因應改善對策及方式。對於未來施作過程能從中學習，避免造成施工中重複發生相同的錯誤。
- 2、利用實際發生案例研究，提出規劃評估表及檢查表，以避開資源閒置與無效率之浪費。



第二章 文獻回顧

2.1 國內橋梁工法衍生

國內橋梁工程前期多以預鑄預力 I 型梁之吊裝工法為主，自中山高速公路 1971 年 8 月開始興建後，從國外引進大跨徑工法及設計，並開始採用就地支撐場鑄連續箱形樑工法、平衡懸臂工法。接著至 1987 年北部第二高速公路階段發展懸臂工法，更引進節塊推進工法、支撐先進工法等，至 1991 年二高後續計畫階段則更增加採用預鑄節塊吊裝工法，乃至特殊橋樑之設計如高屏溪橋之採用斜張橋構造等。不僅使該等先進之橋樑施工技術得以成功移轉至國內，且帶動國內機械製造業投入各項施工機具設備之研製，大幅提升國內橋梁技術水準。所投入之大量施工機具、設備，使後續相關橋梁工程之造價亦大幅降低。目前廣被採用於國內重大橋梁工程之自動化施工法計有：支撐先進工法、節塊推進工法、場鑄懸臂工法、預鑄節塊工法。茲將這四種工法在橋梁設計條件、施作方式、經濟效益評估等方面分析其特性。

2.2 橋梁工法介紹

2.2.1 支撐先進工法 (Advanced Shoring Method)


支撐先進工法【圖 2.1】之起源乃為克服河川、深谷地勢險惡地形或都市交通流量大的地區，並為提高品質、縮短工期、降低成本、發展出一套特殊施工法。其主要係利用模板組立在支撐主梁上，待前一跨施築完畢，將整組支撐鋼架及模板推移至下一

跨繼續施築，如此重覆推移支撐鋼架及模板，直至完成全部橋箱梁之施築。

本施工法特點如下：

1. 無須架設支撐(Scaffolding)適合橋梁下方為都市街道交通流量大的地點或河川深谷等地區施工。
2. 機械化施工，且具週期性重複施工之特性，可降低施工成本，提高工程品質。
3. 施工設備裝卸作業便捷，且能重複使用，可節省大量人力、降低成本。
4. 因無須於橋梁下方全面架設支撐架，減少環境影響與衝擊。

2.2.2 節塊推進工法 (Incremental Launching Method)



節塊推進工法【圖 2.2】係將預力混凝土箱型梁由節塊組成，每一節塊先在橋台後方所設置之臨時預鑄場內鑄造，俟混凝土達到規定強度後拆除模板，並於節塊上、下版施軸向預力，續將節塊向橋台另一端推進，至節塊推離底模後，隨即於其後方鑄造一新銜接節塊並施預力，使前後節塊相連，繼續向前推進，如此重複鑄造、施預力及推進，直至全部箱型梁推至定位為止。

本施工法特點如下：

1. 無需架設支撐，適合橋梁下方為都市街道交通流量大的地點或河川深谷等地區施工。
2. 預鑄場內可設遮雨棚，施工不受天候影響，節塊箱形梁可週期性的鑄造，品質及工期較容易控制。

3. 鑄造節塊的活動模板及推進設備，裝卸作業便捷，且能重複使用，可節省大量人力，降低成本。

2.2.3 場鑄懸臂工法

橋梁跨越山谷、深湍河川或交通頻繁之地區，為配合地形需大跨距而無法採用地面支撐之施工方式時，係在已完成之橋墩帽梁頂安裝施工作業車（wagon）【圖 2.3】，接續組合模板，排置鋼筋、預力鋼腱、澆鑄混凝土及施拉預力後，該節塊逐漸向兩側或單側延伸循環施築，直至全橋閉合為止。

懸臂工法特性如下：

1. 不需架設支撐架，且無支撐架下陷之顧慮；適合不規則地形、跨河流、經過現有公路、鐵路及高的橋面等。
2. 以工作車作業，施工場地集中，管理方便可提高效率及施工品質。
3. 重覆工作：依節塊逐次施工、反覆操作、作業固定，工人較易熟練，不需大量技術工，適合長橋梁及長跨徑，跨徑自 70M 至 200M。
4. 模板及機具可重覆使用，節省材料費及機具費並可發揮快速及經濟效益。
5. 無須立支撐於地面上，對環境衝擊小。
6. 具週期性重覆施工，工人熟悉工作，品質易於控制。
7. 跨越道路施工時，橋下之交通仍可維持，不須管制。

2.2.4 預鑄節塊工法

預鑄節塊工法【圖 2.4】係將上部結構箱型梁劃分為適當大小之節塊，於橋址鄰近擇一大小合宜、地形平坦的場地實施節塊之預鑄作業。於下部結構完成，且預鑄節塊養護達安定狀態後，實施節塊運輸及安裝。再於預定橋梁位址吊裝接合，並按步驟施拉預力、逐步完成上部結構。預鑄節塊之安裝方法可採用逐塊吊裝或採整跨組裝方式。

預鑄節塊工法特性如下：

1. 無需架設支撐，適合橋梁下方為都市街道交通流量大的地點或河川深谷等地區施工。
2. 預鑄場內可設遮雨棚，施工不受天候影響，節塊箱形梁可週期性的鑄造，品質及工期較容易控制。
3. 循環性節塊吊裝，施工迅速，工期易控制。
4. 縱面線型、橋寬變化不受限制

2.3 各工法之選擇條件

2.3.1 支撐先進工法條件

適用其平面線形之曲率半徑大於 400 公尺。其跨徑在 30~60 公尺間，以單箱室構造施工較為便捷且經濟，如橋面甚寬時亦可配合以預鑄撐版合成斷面設計。如橋梁無扭矩傳遞問題，可採用雙 T 型梁斷面。

2.3.2 節塊推進工法條件

本工法箱型斷面之施工係於現場鑄造再推進，限於均一斷面模板之設備，故較適合用於平面線型為直線及圓曲線路段，縱面線型為直線坡段或圓曲線；若平面為克羅梭曲線或縱面為豎曲線段時，則必須模擬為圓曲線施工時，其可容忍之偏差，並分別由懸臂版或 AC 面層調整。為配合系統模板之運用，節塊長度宜一致化。本工法適合跨距在 40 至 65 公尺間，橋長在 300 至 700 公尺時較為經濟。

2.3.3 場鑄懸臂工法條件

懸臂工法橋梁，跨徑可從 60 公尺至 200 公尺，甚或更長者。橋梁類型除常用之預力混凝土連續梁橋、連續剛構架橋外，諸如 π 型橋、拱橋及斜張橋等皆可採用懸臂工法構築。懸臂工法係採用工作車或工作桁架於橋面上施工，不受地形影響，當橋墩愈高，橋梁跨徑愈長時，就工程之經濟性而言，將愈形有利。

2.3.4 預鑄節塊工法條件

須有合宜之運輸道路以利節塊之運送，再輔以施工臨時支撐鋼架以支托全跨之預鑄節塊，其施工速度較快，預力錨碇裝置少，故經濟性較高，惟一般係適用於中等跨徑（30~50m），否則臨時支撐鋼架之費用將甚昂貴而影響工程造價。橋梁線型及幾何因素需佈置單純、曲率半徑大且斷面型式一致者，才宜於採用此工法。

2.4 經濟效益評估

目前國內橋樑自動化施工主要的工法有:懸臂施工法、節塊推進工法、預鑄節塊工法及支撐先進工法等類。就經濟性而言,懸臂施工法較適用於長跨徑橋梁,上部結構可採變斷面設計,符合橋梁結構最佳化設計。而節塊推進工法及支撐先進工法,因須配合推進、支撐架與模板之施工設備機械化循環性施工,上部結構須採等斷面設計,無法符合橋梁結構最佳化設計,且因支撐斷面模數只適用於中跨徑橋梁。各種橋梁工法(特別是機械自動化施工的特殊橋梁工法)在跨徑長度及橋梁長度上皆有其經濟規模的要求,以避免使用過大的施工設備承載能量或施工設備使用率偏低,而造成工程費過高的現象產生。而工法之選擇,一般與橋長、跨徑、線形及工期有關,茲將國道橋梁工法重要選擇參數列如下表以供參考:



表 2.1 橋梁工法各項參數適用性比較表

施工法 適用項目	支撐先進工法	節塊推進工法	場鑄懸臂工法	預鑄節塊工法
適合橋長	800m 以上	200~800m	60~200m	1600m 以上
適合跨距	60 公尺以下	25~60 公尺	70~200 公尺	25~120 公尺
適合橋高	10~30m	20m 以下	30m 以上	20m 以上
線形限制	曲率半徑不宜 過小需 >400m 以上	平、縱斷面為 單一直線或圓 曲線	平、縱斷面線形 不受限制	適合線形單純 曲率半徑大之 曲線
施工場所限制	需有工作車 組立之腹地及 施工便道	需有預鑄場	無	需有預鑄場及 施工動線
對環境影響 程度	小	無	無	小
單價金額/M3	8700 元	10600 元	12600 元	9000 元
施工速率	10~14 天一跨	7~10 天一節塊	6 天一節塊	7 天一跨
備註		一跨 1~2 節塊	一節塊 3~5m	

*：表列單價金額係以國內平均預算金額作概略比較，其單價隨地形、作業能量、承攬條件、結構設計及線形而有所變異

第三章 支撐先進工法簡介

3.1 支撐先進工法概要

支撐先進工法(Advanced Shoring Method)在國內於民國八十年左右首次於北二高桃園內環線之大湳高架橋引進使用，至今已發展14年左右。相關橋樑工程規模長度【如表 3.1】。其施作方式係將模板組立於活動支撐(Shoring)鋼架上，待整跨橋梁澆鑄完成後，將活動支撐架及模板向前推移至下一跨定位，再構築該跨徑橋梁，如此重覆向前推移，逐跨構築，直至全橋完成。此法由於支撐架係由桁架懸吊或架設於已完成之橋墩上，施工期間不受地形、地物限制，亦不致影響橋下空間使用或防礙原有交通之通行，支撐鋼架與模板設備，可機械化循環性使用，故可節省工期與人力，頗具經濟效益及安全性，依據支撐托架之機械設備之不同，可分懸吊式工法及支撐式工法兩種。【如圖 3.1】

3.2 支撐先進工法設備構件及配置

工作車設備可概分為下列九大部分；構件重量詳如下：

【表 3.2】 新竹客雅溪工程工作車設備表

項次	項 目	實際重量	鋼料種類	備註
1	主樑 (MAIN GIRDERS)	200	A572-50	
2	鼻樑 (NOSE)	72	A36	
3	支撐托架 (SUPPORTING BRACKET)	114	A572-50	
4	推進台車 (LAUNCHING WAGON)	24	A572-50	
5	支撐橫樑 (TRANSVERSE BEAMS)	94.5	A572-50	
6	外模 (EXTERNAL FORMWORK)	112	A36	
7	內模 (INTERNAL FORMWORK)	3	木模	
8	平台及爬梯 (PLATFORMS & LADDERS)	20.8	A36	
	合 計	640		

註：1. 內模模板使用木模 (單位：TON)

2. 本表不含螺絲、格子板、鋼棒及機具重量

3. 本表為一套設備

支撐先進工作車設備【如圖 3.2】構件說明：本系統設備大約可分為下列八大部分

3.2.1 主梁

主梁為承受施工作業荷重極為重要的構件之一，主要係承托支撐橫梁、系統模板、鋼筋及混凝土等重量。本標支撐先進工作車兩支主梁，採箱梁型式設計（梁寬 2.2M、梁深 2.8M），總長度為 54.4M。主梁結構使用高強度鋼板（A572），板厚約為 10-25MM，內部每隔約 1.75M 設一根斜撐及一道加勁隔板以提高勁度，在底板下方裝設有推進移動作業所需用之軌道。主梁分成 5 段製造，每段不大於 12M 以方便公路運輸，並於運送到工地後再以高張力螺栓結合。各段主梁構造詳【如圖 3.3】。

3.2.2 鼻梁

鼻梁係支撐先進工作車推移時之輔助構件，使主梁可順利跨越下一跨支撐托架。前後端鼻梁長度各約為 21M，每組分為三段製造，於搬運至工地後利用高張力螺栓與主梁結成一體。結構採桁架型式，基本構件為 H 型鋼及角鋼，外部尺寸與主梁相同。當工作車推進至下一跨支撐托架時，懸臂端因自重下垂致鼻梁前端底面略低於支撐托架上推進工作車滾輪之高程，故鼻梁底層 H 型梁須設計製造成稍許上翹，以順利登上前端推進工作車滾輪支承面。鼻梁構造【如圖 3.4】。

3.2.3 支撐托架

支撐托架為支承所有設備（包括主梁、鼻梁、支撐橫樑、系統模板及推進油壓系統等）及橋梁結構體（包括鋼筋、鋼腱及混凝土等）之重量，為兼顧施工安全性、便利性等因素，本標採用支撐式托架型式，以利用基礎面安放支撐架並以高拉力鋼棒附著於墩柱，然後安裝三角托架以配合後續支撐先進工作車推進作業，其三角支撐托架及下部支撐型鋼【如圖 3.5、3.6】。

安裝在支撐托架上的每一個千斤頂的最大載重大約是 400T(極限狀態), 當油壓千斤頂油壓缸上升約 75MM 時, 千斤頂的支承座接觸到設計的主鋼梁底版支承點。繼續將千斤頂加壓則將主梁抬起，當主梁達到設計高度後，將千斤頂上止動鋼環旋降鎖緊，再將千斤頂之油壓解除。在橋梁結構體澆置混凝土並施加預力後（主梁移動作業前），依前述之相反程序及步驟將主梁下降並坐於推進台車之推進滾輪上。支撐托架的受力情況可概分為兩種：

1. 混凝土澆置作業時：

此階段支撐托架承載重量分別有主鋼梁自重、橋梁結構體重量及施工作業荷重，受力點在靠近墩柱側。

2. 支撐先進工作車推進時：

上部結構完成後進行工作車推進作業時，兩側主梁之重量分別兩側支撐托架承載，受力點在遠離墩柱之懸伸處。

3.2.4 推進台車

推進台車位於橋墩支撐托架及主鋼梁之間，每側配備一台，推進系統包括工作車縱向推進油壓裝置及工作車水平橫向移動油壓裝置。每側縱向推進油壓裝置為兩支衝程 110 公分之油壓缸，主梁座於縱向滾輪上向前推進、滾輪支承於主梁下方軌道上。水平橫向移動油壓裝置為兩支衝程 56 公分之油壓缸，利用滑動墊片於支撐托架上水平橫向移動。俟工作車推進完成並定位後，推進台車上之主千斤頂將主梁頂起脫離滾輪，便可進下一跨之結構施工。推進台車構造【如圖 3.7】。

3.2.5 支撐橫梁

支撐橫梁係用於支撐模架以傳遞結構荷重至主梁，縱向間距 1.75M 共計 32 支。橫梁採用 H608*306*18*30 組合型鋼，為利工作車推進前之主梁橫移，每支橫梁分兩節，於中間以插銷結合。支撐橫梁構造【如圖 3.8、3.9】。

3.2.6 外模

系統外模依箱梁中心線縱向分成左右兩半，採模組化施工，每單元模板大約以 2.2M-3.2M 長的材料組成，每側包含底模、外腹模及懸臂翼版模，當工作車橫移時，底模和懸臂翼板及外模需水平側移 2.5M 以上方得以避開橋墩，使工作車可順利向前推，於橋墩處之底模則配合盤式支承位置以散模組立。外模之設計採鐵模，底模與外腹模分離，俾外腹模可於底模上滑動，以調整斷面及平面線形。外模構造圖【如圖 3.10】，細部配置另詳細部設計圖。

3.2.7 內模

採模組化施工，以木模設計，。為使內模輕巧便利組拆，將內模分割成若干單元，每一單元長度配合跨距特性不等，拆模前先將內模之螺桿支柱拆除，全部移至下一跨定位及組立。

3.2.8 平台及爬梯

經常性作業（如主梁移動及調整、鋼棒施預力、外模構架之調整、支撐橫梁之拆組作業等）均設有工作平台及爬梯，且均須設有合乎安衛標準之欄杆。主鋼梁頂板及側邊加築之懸伸板設置工作平台及走道，作為調整外模構架及工作縱向貫通之用。前鼻梁與主梁接合處設置一寬闊施工平台，作為預力材料準備及各項預力作業之用。其它一般必須達到之工作場所所需之路徑（如托架上之主梁、主梁上外模）均設置走道或爬梯，以方便工作人員順利安全的到達目的地，由地面到工作架亦應有安全通行之爬梯並隨工作車移動。

3.3 施工作業流程

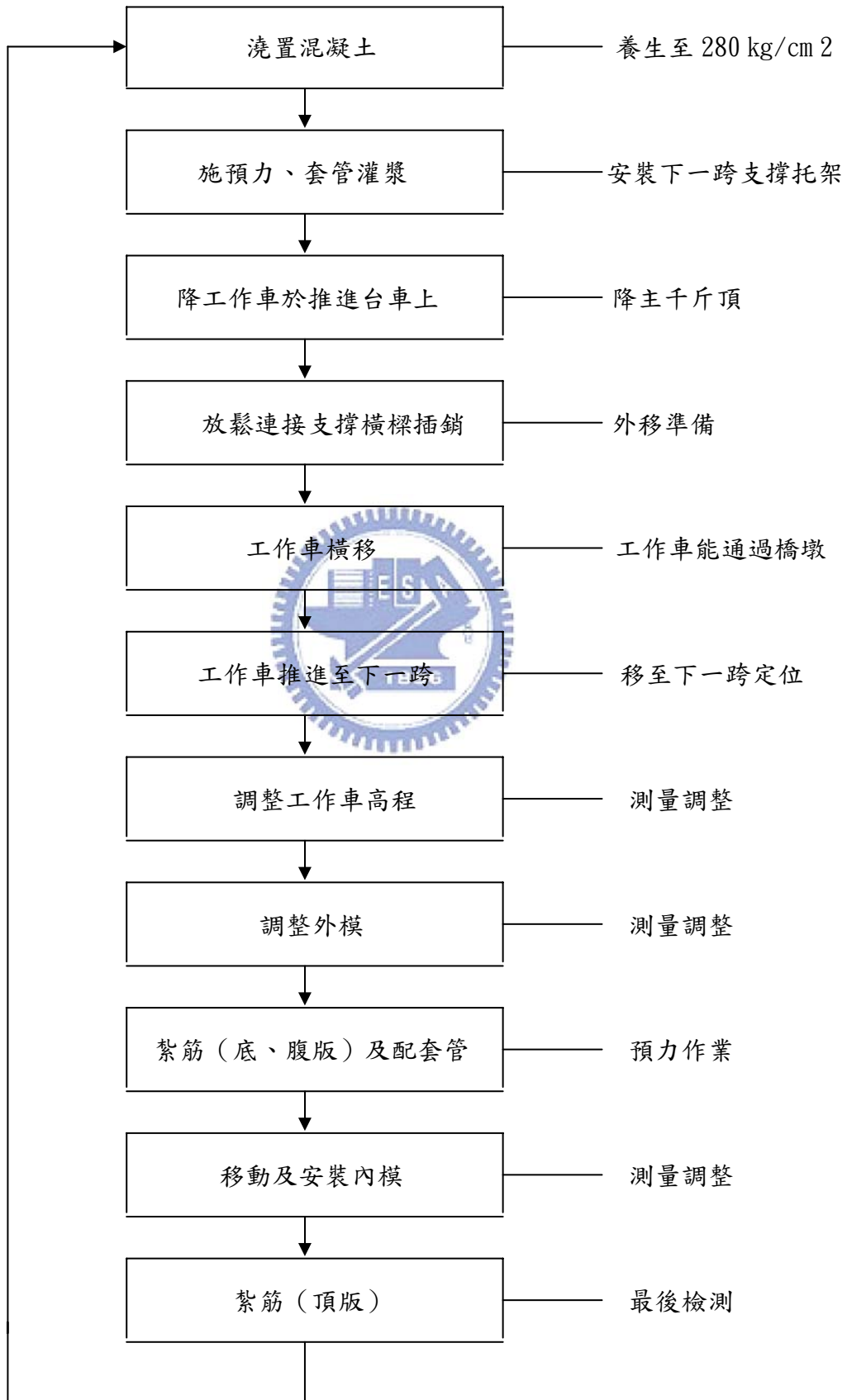
採用支撐先進工法施工之橋梁均屬多孔連續結構系統【圖 3.11、3.12】，施工時混凝土澆置順序、預力系統之配置、預拱度的估計以及混凝土彈性變形、收縮、潛變等均需詳加考慮。尤其是支承系統更應考量殘餘收縮潛變量，以免影響正常的使用功能。

3.3.1 支撐先進工法施工(二次澆置)之施工步驟如下

1. 拆除前跨支撐架,安置於下一跨之墩柱上。【如圖 3.13】
2. 將主梁及系統模利用油壓系統完成脫模及橫移。【如圖 3.14】
3. 主梁及系統模藉由油壓推進工作車移至下一跨。【如圖 3.15】
4. 將主梁及系統模固定於支撐架(三角托架)上。
5. 檢核主鋼梁及系統模正確位置。【如圖 3.16】
6. 底、腹版鋼筋彎紮及配置預力系統。【如圖 3.17】
7. 將前跨內模台車移至定位(或使用傳統木模)。【如圖 3.18】
8. 澆置混凝土
9. 頂版組模
10. 頂版鋼筋彎紮,檢測高程。【如圖 3.19】
11. 澆置混凝土【如圖 3.20】
12. 混凝土養護至足夠的強度後施拉預力【如圖 3.21】
13. 支撐先進工法二次澆置施工週期表【表 3.3】

3.3.2 支撐先進工法施工流程表【表 3.4】

(配合作業)



3.3.3 支撐先進工法工作車組立及推進程序

工作車組立程序

1. 兩側支撐三角拖架架設及高拉力鋼棒施預力完成【如圖 3.22】
2. 主梁利用吊車放置支撐三角拖架上【如圖 3.23】
3. 鼻梁吊裝於主梁上【如圖 3.24、3.25】
4. 底模橫梁組立【如圖 3.26】
5. 底模組立【如圖 3.27】
6. 安裝外模腹版【如圖 3.28】
7. 安裝外模翼版【如圖 3.29】
8. 安裝完成試車【如圖 3.30】

工作車推進程序

1. 前端支撐三角拖架架設完成
2. 經上部結構預力施拉完成後，外模、主鋼梁利用油壓千斤頂設備(減壓)完成脫模動作
3. 將主梁坐落於前進滾輪工作台車上【如圖 3.31】
4. 解開外模下橫梁中間接頭
5. 利用油壓千斤頂設備橫移工作車設備避開柱帽結構至推進位置
6. 將底模、翼版水平下旋成垂直狀態，以利推進作業進行
7. 主梁及系統模藉由油壓推進工作車推進至下一跨【如圖 3.32】
8. 外模、主鋼梁利用油壓千斤頂設備(增壓)完成閉合動作
9. 拆除前跨支撐架,安置於下一跨之墩柱上，續從步驟一開始

3.4 支撐先進工作車模架預拱量控制

工作車承重結構荷重需調整模架之預拱量，其預拱量調整需與施預力所產生之預拱量相互組合。

3.4.1 模架預拱量調整步驟

1. 橋墩之下撐架及推進台車依設計調整高程安裝至定位。
2. 工作車推進定位後，推進台車上之主千斤頂升主梁至設計高程。
3. 以 H20t 中空油壓千斤頂頂昇支撐橫梁使模架高程達計算預拱值，同時支撐橫梁滾輪座配合調昇。經檢測高程合格後，將機械手動式千斤頂 HJ60t 上旋頂緊支撐橫梁，完成模架高程定位，H20T 及滾輪座放鬆使結構荷重由 HJ60t 傳遞至主梁。



3.4.2 施工測量控制

施工過程所產生之變位比傳統支撐為大。為了控制橋面版之完成面於箱型梁施預力完成後，仍可使橋面高程控制於容許誤差範圍內，故於施工階段須觀測支撐系統所產生之變位，再依觀測資料回饋分析並調整原計算之預拱值，以利後續橋跨之施工控制。

1. 觀測目的

觀測工作車主梁及箱型梁橋面版在混凝土澆置前後及後續各施工階段所產生之變形量，與原計算書所列之變形量作比對，以為爾後預拱量修正及調整之依據。

2. 觀測方法

(1) 工作車主梁變形量：觀測在混凝土澆置過程中，因混凝土自重將使主梁產生變形，故需適時監測以與理論計算值相互比對、檢討，以為爾後橋跨預拱高程調整之參考依據。於每支主梁外側靠步道支點上方設置一觀測記號點，計各 4 點。並於主梁靠橋墩處之外側設置一扣環，於扣環間以鋼絲拉緊，工作車推進至定位後，量測鋼絲與記號點之垂直距離以為初始值，鋼筋組紮完成澆置混凝土前面量測一次。俟澆置混凝土時，每隔約 1 小時紀錄一次主梁變位情形，紀錄方式【如表 3.5】。

(2) 橋面版變形量觀測

依承受荷重狀態配合以下階段觀測

* 混凝土澆置完成後

* 施拉預力後

* 脫模後

* 下一跨澆置及脫模後

* 下二跨澆置及脫模後

* 同單元最後一跨澆置及脫模後

高程觀測紀錄表詳【表 3.6】。



3.5 支撐先進工作車施工成本分析

以橋長 800m、每跨 40m 長、柱高平均 20m，共計 20 跨以支撐先進工法與就地支撐工法比較分析

【表 3.7】支撐先進工法與就地支撐工法特性比較表

項次	項目	支撐先進工法	就地支撐工法
1	成本分析	支撐先進工作車設備費 1200 萬 (含殘值) 設備組裝費 60 萬 工作車設備上架費一次 80 萬 工作車設備下架費一次 60 萬 工作車推進施工費 60 萬 (含內模組拆及下撐架拆裝) 總計 $1200+60+80+60+60*20$ 跨 =2600 萬	場撐設備組立費 80 萬 (含租金、拆除) 場撐工法模版施工費 50 萬 (含內、外模設備及組拆) 場撐設備場地整理費 15 萬 (含 PC、型鋼、整地費) 總計每跨 $145*20$ 跨=2900 萬
2	工期分析	一次澆置(使用內模台車)為每跨 12 天，二次澆置(使用傳統木模)為每跨 15 天，且不受氣候影響施工時程	使用兩套設備，每跨 20 天且容易受氣候影響支撐架設時程
3	施工性分析	不受工址環境及地質影響	嚴重影響環境及水土保持
4	線形限制	受結構線形縱坡變化及曲率半徑限制	不受結構線形限制

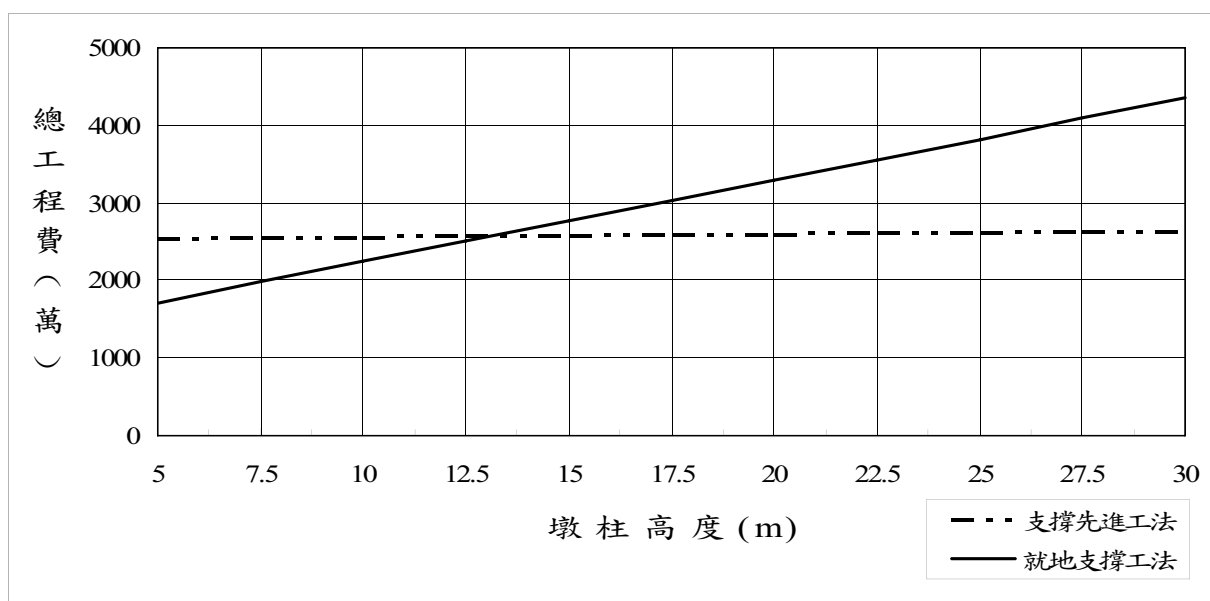
3.5.1 支撐先進工法與就地支撐工法依柱高不同之成本分析

【表 3.8】支撐先進工法成本分析

柱高(M) 成本分析(萬)	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
支撐先進工作車設備費(含殘值) 1200 萬	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
設備組裝費 60 萬	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
工作車設備上架費 一次 80 萬	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
工作車設備下架費 一次 60 萬	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
工作車推進施工費 (含內模組拆及下 撐架拆裝)60 萬	57	57.5	58	58.5	59	59.5	60	60.5	61	61.5	62
總計工程費	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600	2610	2620	2630	2640

【表 3.9】就地支撐工法成本分析

柱高(M)	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
成本分析(萬)											
場撐設備場地整理費 (含 PC、型鋼、整地費)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
場撐設備組立費(含租金、拆除)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
場撐工法模版施工費 (含內、外模設備及組拆)	47	47.5	48	48.5	49	49.5	50	50.5	51	51.5	52
總計工程費	1740	2000	2260	2520	2780	3040	3300	3560	3820	4080	4340

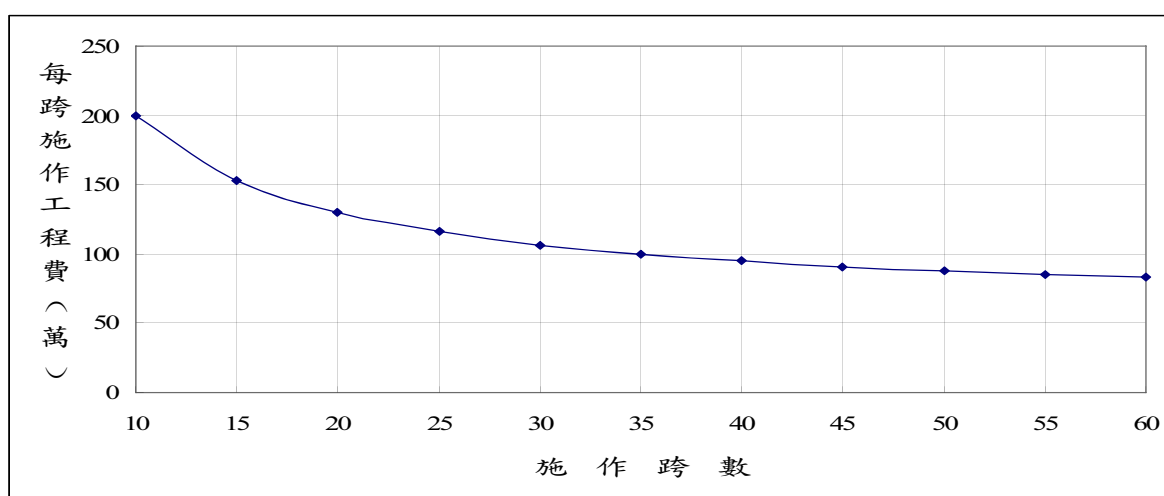


【圖 3.33】支撐先進工法與就地支撐工法柱高不同成本分析比較曲線

3.5.2 支撐先進工法施作跨數之成本分析

【表 3.10】支撐先進工法與跨數不同之成本分析

連續施工跨數	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
支撐先進工法成本											
支撐先進工作車設備費(含殘值)1200萬	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
設備組裝費 60 萬	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
工作車設備上架費一次 80 萬	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
工作車設備下架費一次 60 萬	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
工作車推進施工費(含內模組拆及下撐架拆裝)60萬	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
平均每跨工程費	200	153	130	116	107	100	95	91.1	88	85.5	83.3



【圖 3.34】支撐先進工法施作跨數多寡之每跨工程費比較曲線

3.6 支撐先進工作車各跨結構穩定性檢核

3.6.1 設計條件

最大跨徑：40M

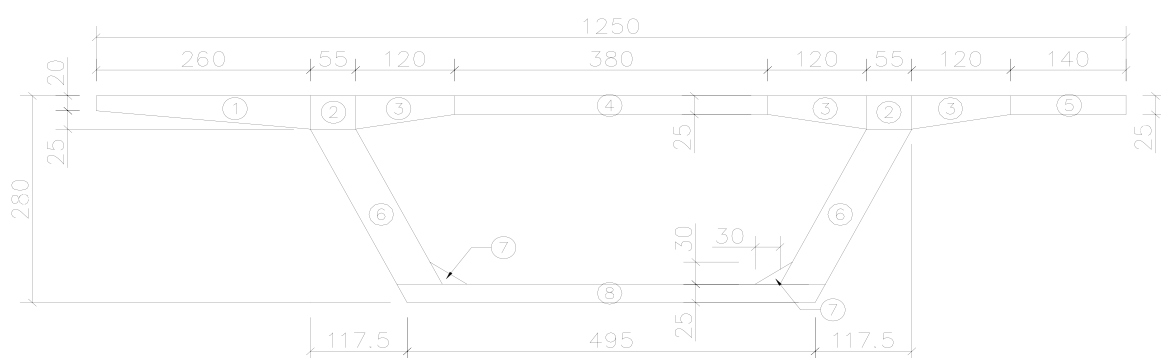
主梁長度：52.70M

鼻梁長度：24.25M

主梁材料：ASTM A572 Gr. 50

$F_y=3500 \text{ kg/cm}^2$

箱梁斷面：



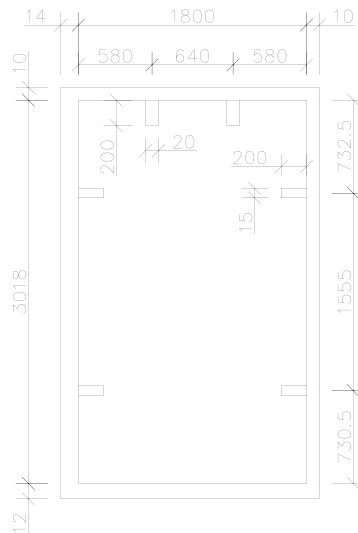
箱型梁面積計算

區分	寬(cm)	高(cm)	數量	面積(M ²)
1	260.0	32.5	1	0.84500
2	55.0	45.0	2	0.49500
3	120.0	35.0	3	1.26000
4	380.0	25.0	1	0.95000
5	140.0	25.0	1	0.35000
6	55.0	210.0	2	2.31000
7	30.0	30.0	2	0.09000
8	507.5	25.0	1	1.26875
合計				7.56875

3.6.2 載重分析

箱型梁	=7.56875*2400/2=	9100	kg/m
主樑		2000	kg/m
鼻樑		600	kg/m
橫樑		500	kg/m
底、外模	=100 kg/m ² *7.92=	795	kg/m
內模	=100 kg/m ² *5.55=	555	kg/m
工作活重	=150 kg/m ² *6.25=	940	kg/m

3.6.3 主梁斷面



$$A = 1800 \times 10 + 3040 \times 14 + 3040 \times 10 + 1800 \times 12 + 20 \times 200 \times 2 + 15 \times 200 \times 4 = 132,560 \text{ mm}^2$$

$$y_b = (1800 \times 10 \times 3035 + 3040 \times 14 \times 1520 + 3040 \times 10 \times 1520 + 1800 \times 12 \times 6 + 20 \times 200 \times 2 \times 2930 + 15 \times 200 \times 4 \times 1520) / A = 1,564 \text{ mm}$$

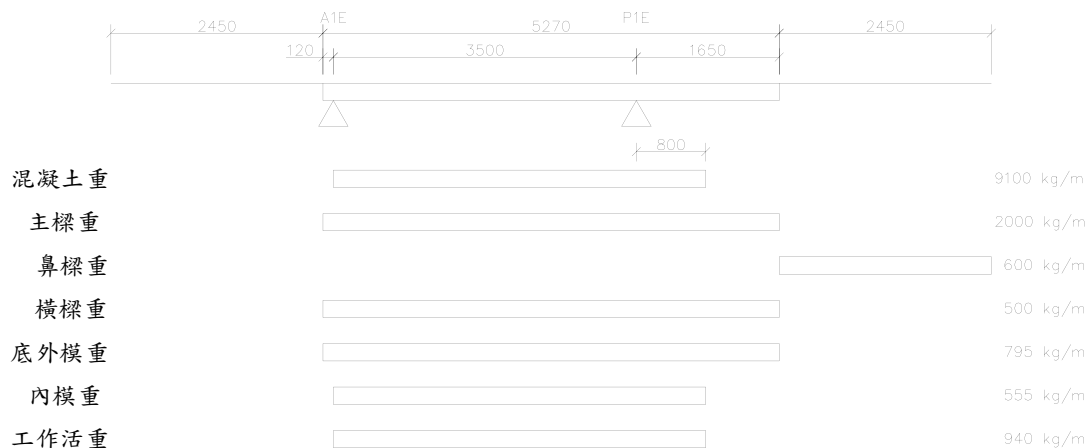
$$I = 1800 \times 10^3 / 12 + 1800 \times 10 \times 1471^2 + 14 \times 3040^3 / 12 + 14 \times 3040 \times 44^2 + 10 \times 3040^3 / 12 + 10 \times 3040 \times 44^2 + 1800 \times 12^3 / 12 + 1800 \times 12 \times 1558^2 + 20 \times 200^3 \times 2 / 12 + 20 \times 200 \times 2 \times 1366^2 + 200 \times 15^3 \times 4 / 12 + 200 \times 15 \times 2 \times 733.5^2 + 200 \times 15 \times 821.5^2 = 169,942,634,800 \text{ mm}^4$$

$$S = I / y_b = 108,658,974 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 3040 \times 14 + 3040 \times 10 = 72,960 \text{ mm}^2$$

3.6.4 各種載重情形主樑應力檢核

1. 第一單元第一跨



載重	$R_A(t)$	$R_B(t)$	$M_A(t-M)$	$M_B(t-M)$
箱型梁	150.930	240.370	0.000	-291.200
主樑	29.663	75.737	-1.440	-272.250
鼻樑	-12.075	26.775	0.000	-422.625
橫樑	7.416	18.934	-0.360	-68.063
底、外模	11.791	30.106	-0.572	-108.219
內模	9.205	14.660	0.000	-17.760
工作活重	15.591	24.829	0.000	-30.080
合計	212.521	431.411	-2.372	-1210.197

$$x = (212.521 - 3.295 \times 1.2) / 13.890 = 208.567 / 13.890 = 15.016 \text{ M}$$

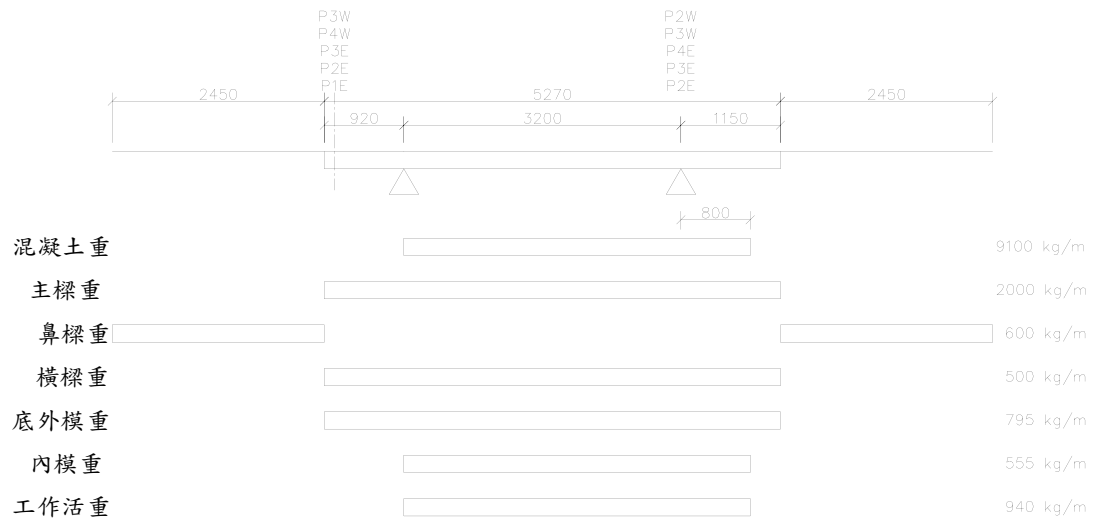
$$M_c = 208.567 \times 15.016 - 2.372 - 13.890 \times 15.016^2 / 2 = 1563.510 \text{ t-M}$$

$$M_{\max} = 1563.510 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 1439 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 431.411 \text{ t}, f_v = V_{\max} / A_v = 591 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

2. 第一單元中間跨



載重	R _A (t)	R _B (t)	M _A (t-M)	M _B (t-M)
箱型梁	136.500	227.500	0.000	-291.200
主樑	48.912	56.488	-84.640	-132.250
鼻樑	13.643	15.757	-315.315	-349.125
橫樑	12.228	14.122	-21.160	-33.063
底、外模	19.442	22.454	-33.644	-52.569
內模	8.325	13.875	0.000	-17.760
工作活重	14.100	23.500	0.000	-30.080
合計	253.150	373.696	-454.759	-906.047

$$x = (253.150 - 3.295 \times 9.2 - 0.600 \times 24.5) / 13.890 = 14.985 \text{ M}$$

$$M_c = 208.136 \times 14.985 - 454.759 - 13.890 \times 14.985^2 / 2 = 1104.658 \text{ t-M}$$

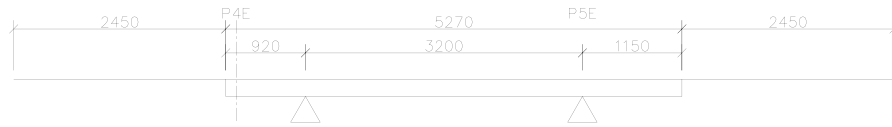
$$M_{\max} = 1104.658 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 1017 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 373.696 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 512 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

3. 第一單元末跨



混凝土重	<input type="text"/>	9100 kg/m
主樑重	<input type="text"/>	2000 kg/m
鼻樑重	<input type="text"/>	600 kg/m
橫樑重	<input type="text"/>	500 kg/m
底外模重	<input type="text"/>	795 kg/m
內模重	<input type="text"/>	555 kg/m
工作活重	<input type="text"/>	940 kg/m

載重	$R_A(t)$	$R_B(t)$	$M_A(t-M)$	$M_B(t-M)$
箱型梁	145.600	145.600	0.000	0.000
主樑	48.912	56.488	-84.640	-132.250
鼻樑	13.643	15.757	-315.315	-349.125
橫樑	12.228	14.122	-21.160	-33.063
底、外模	19.443	22.454	-33.644	-52.569
內模	8.880	8.880	0.000	0.000
工作活重	15.040	15.040	0.000	0.000
合計	263.746	278.341	-454.759	-567.007

$$x = (263.746 - 3.295 \times 9.2 - 0.600 \times 24.5) / 13.890 = 15.747 \text{ M}$$

$$M_c = 218.732 \times 15.747 - 454.759 - 13.890 \times 15.747^2 / 2 = 1267.476 \text{ t-M}$$

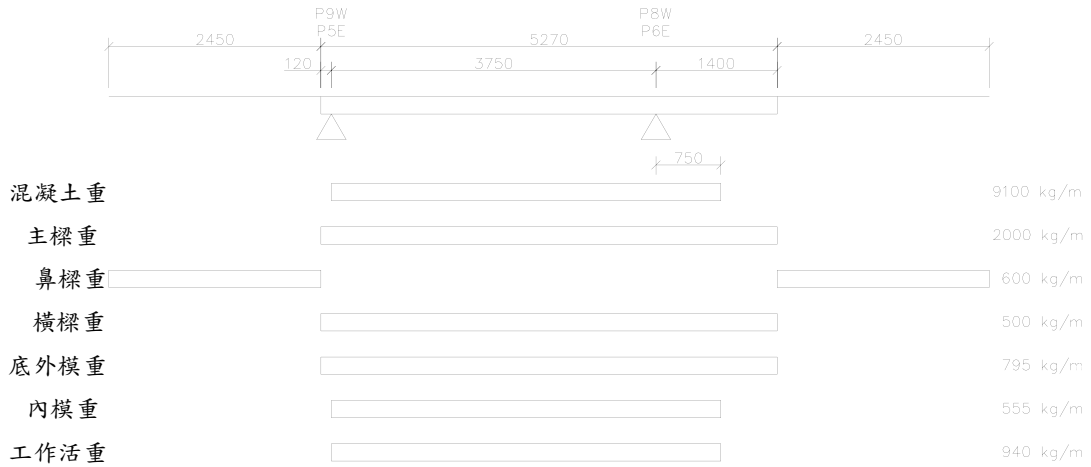
$$M_{\max} = 1267.476 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 1166 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 278.341 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 381 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

4. 第二單元第一跨



載重	$R_A(t)$	$R_B(t)$	$M_A(t-M)$	$M_B(t-M)$
箱型梁	163.800	245.700	0.000	-255.938
主樑	34.712	70.688	-1.440	-196.000
鼻樑	9.682	19.718	-197.715	-385.875
橫樑	8.678	17.672	-0.360	-49.000
底、外模	13.798	28.099	-0.572	-77.910
內模	9.990	14.985	0.000	-15.609
工作活重	16.920	25.380	0.000	-26.438
合計	257.580	422.242	-200.087	-1006.770

$$x = (257.580 - 3.295 \times 1.2 - 0.600 \times 24.5) / 13.890 = 17.201 \text{ M}$$

$$M_c = 238.926 \times 17.201 - 200.087 - 13.890 \times 17.201^2 / 2 = 1854.831 \text{ t-M}$$

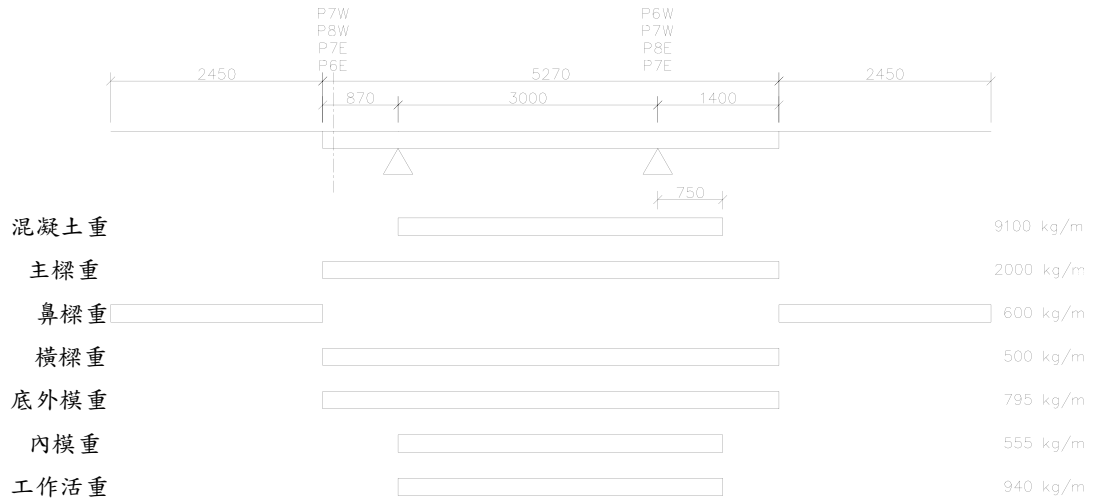
$$M_{\max} = 1854.831 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 1707 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 422.242 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 579 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

5. 第二單元中間跨



載重	$R_A(t)$	$R_B(t)$	$M_A(t-M)$	$M_B(t-M)$
箱型梁	127.969	213.281	0.000	-255.938
主樑	43.390	62.010	-75.690	-196.000
鼻樑	12.103	17.297	-307.965	-385.875
橫樑	10.847	15.503	-18.923	-49.000
底、外模	17.247	24.649	-30.087	-77.910
內模	7.805	13.008	0.000	-15.609
工作活重	13.219	22.031	0.000	-26.438
合計	232.580	367.779	-432.665	-1006.770

$$x = (232.580 - 3.295 \times 8.7 - 0.600 \times 24.5) / 13.890 = 13.622 \text{ M}$$

$$M_c = 189.214 \times 13.622 - 432.665 - 13.890 \times 13.622^2 / 2 = 856.095 \text{ t-M}$$

$$M_{\max} = 1006.770 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 927 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 367.779 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 504 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

6. 第二單元末跨



混凝土重	<input type="text"/>	9100 kg/m
主樑重	<input type="text"/>	2000 kg/m
鼻樑重	<input type="text"/>	600 kg/m
橫樑重	<input type="text"/>	500 kg/m
底外模重	<input type="text"/>	795 kg/m
內模重	<input type="text"/>	555 kg/m
工作活重	<input type="text"/>	940 kg/m

載重	$R_A(t)$	$R_B(t)$	$M_A(t-M)$	$M_B(t-M)$
箱型梁	136.500	136.500	0.000	0.000
主樑	43.390	62.010	-75.690	-196.000
鼻樑	12.103	17.297	-307.965	-385.875
橫樑	10.847	15.503	-18.923	-49.000
底、外模	17.247	24.649	-30.087	-77.910
內模	8.325	8.325	0.000	0.000
工作活重	14.100	14.100	0.000	0.000
合計	242.512	278.384	-432.665	-708.785

$$x = (242.512 - 3.295 \times 8.7 - 0.600 \times 24.5) / 13.890 = 14.337 \text{ M}$$

$$M_c = 199.146 \times 14.337 - 432.665 - 13.890 \times 14.337^2 / 2 = 994.942 \text{ t-M}$$

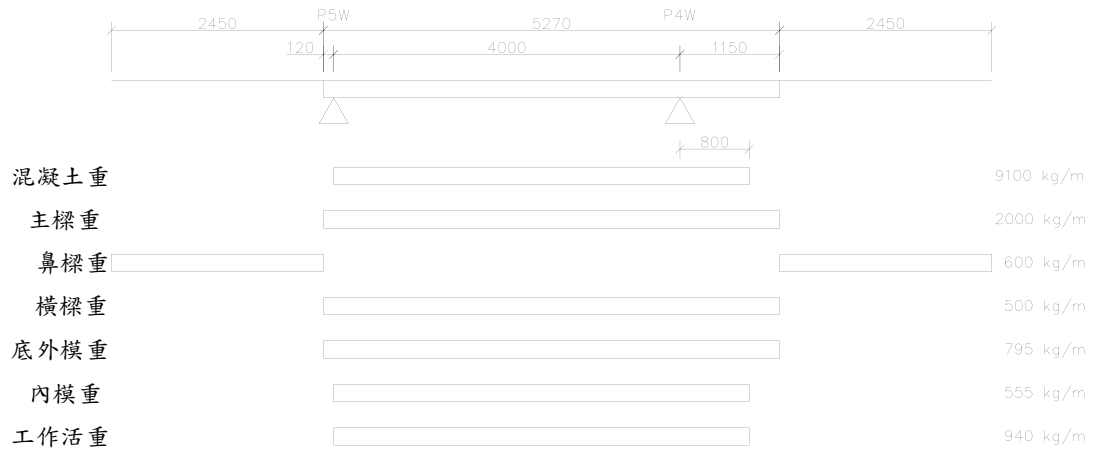
$$M_{\max} = 994.942 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 916 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 278.384 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 382 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

7. 第三單元第一跨



載重	R _A (t)	R _B (t)	M _A (t-M)	M _B (t-M)
箱型梁	174.720	262.080	0.000	-291.200
主樑	39.130	66.270	-1.440	-132.250
鼻樑	10.915	18.485	-197.715	-349.125
橫樑	9.782	16.568	-0.360	-33.063
底、外模	15.555	26.342	-0.572	-52.569
內模	10.656	15.984	0.000	-17.760
工作活重	18.048	27.072	0.000	-30.080
合計	278.806	432.801	-200.087	-906.047

$$x = (278.806 - 3.295 \times 1.2 - 0.600 \times 24.5) / 13.890 = 17.201 \text{ M}$$

$$M_c = 260.152 \times 18.729 - 200.087 - 13.890 \times 18.729^2 / 2 = 2236.164 \text{ t-M}$$

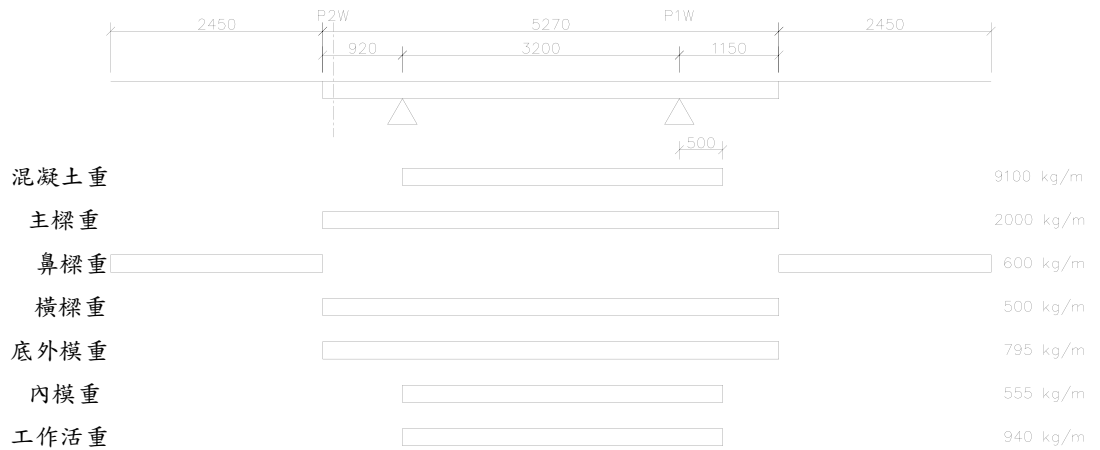
$$M_{\max} = 2236.164 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 2058 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 432.801 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 593 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

8. 第三單元中間跨



載重	$R_A(t)$	$R_B(t)$	$M_A(t-M)$	$M_B(t-M)$
箱型梁	142.045	194.655	0.000	-113.750
主樑	48.912	56.488	-84.640	-132.250
鼻樑	13.643	15.757	-315.315	-349.125
橫樑	12.228	14.122	-21.160	-33.063
底、外模	19.443	22.454	-33.644	-52.569
內模	8.663	11.872	0.000	-6.938
工作活重	14.673	20.107	0.000	-11.750
合計	259.607	335.455	-454.759	-699.445

$$x = (259.607 - 3.295 \times 9.2 - 0.600 \times 24.5) / 13.890 = 15.449 \text{ M}$$

$$M_c = 214.593 \times 15.449 - 454.759 - 13.890 \times 15.449^2 / 2 = 1202.914 \text{ t-M}$$

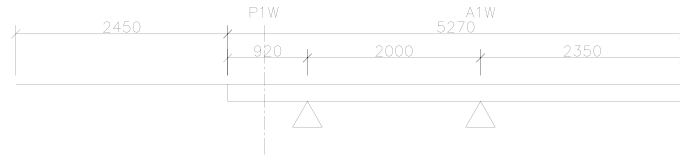
$$M_{\max} = 1202.914 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 1107 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 335.455 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 460 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

9. 第三單元末跨



混凝土重	<input type="text"/>	9100 kg/m
主樑重	<input type="text"/>	2000 kg/m
鼻樑重	<input type="text"/>	600 kg/m
橫樑重	<input type="text"/>	500 kg/m
底外模重	<input type="text"/>	795 kg/m
內模重	<input type="text"/>	555 kg/m
工作活重	<input type="text"/>	940 kg/m

載重	$R_A(t)$	$R_B(t)$	$M_A(t-M)$	$M_B(t-M)$
箱型梁	91.000	91.000	0.000	0.000
主樑	15.019	90.381	-84.640	-552.250
鼻樑	30.466	-15.766	-315.315	0.000
橫樑	3.755	22.595	-21.160	-138.063
底、外模	5.971	35.926	-33.644	-219.519
內模	5.550	5.550	0.000	0.000
工作活重	9.400	9.400	0.000	0.000
合計	161.161	239.086	-454.759	-909.832

$$x = (161.161 - 3.295 \times 9.2 - 0.600 \times 24.5) / 13.890 = 8.362 \text{ M}$$

$$M_c = 116.147 \times 8.362 - 454.759 - 13.890 \times 8.362 / 2 = 30.847 \text{ t-M}$$

$$M_{\max} = 909.832 \text{ t-M}$$

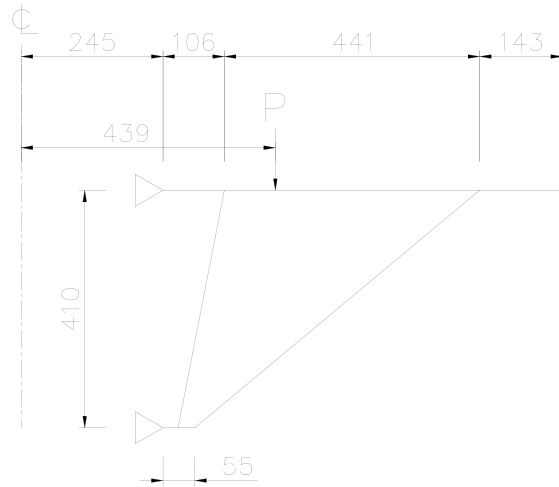
$$f_b = M_{\max} / S = 837 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 239.086 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 328 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

3.6.5 支撐托架應力檢核

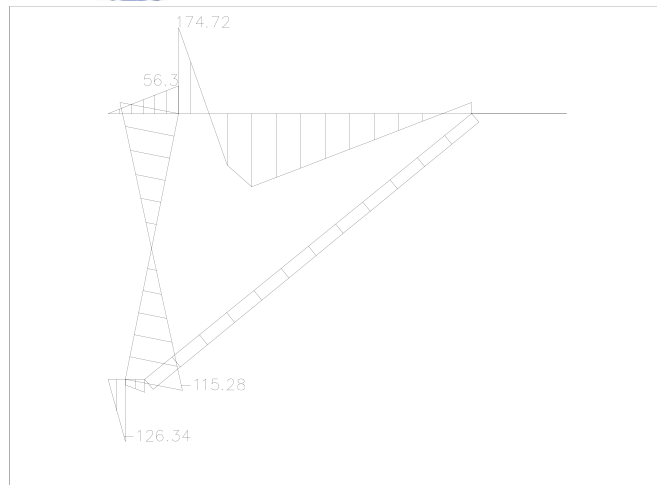
1. 分析模式



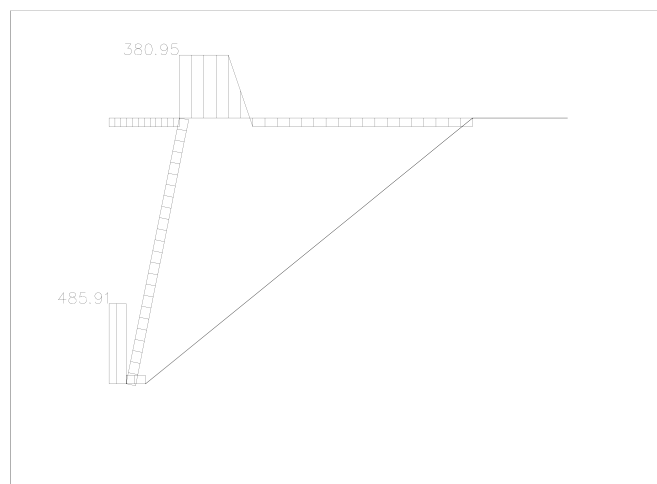
集中載重 P 為主樑傳下荷重，由前項主樑各種載重情形得知
 $P_{\max}=432.8$ 噸

2. 分析結果

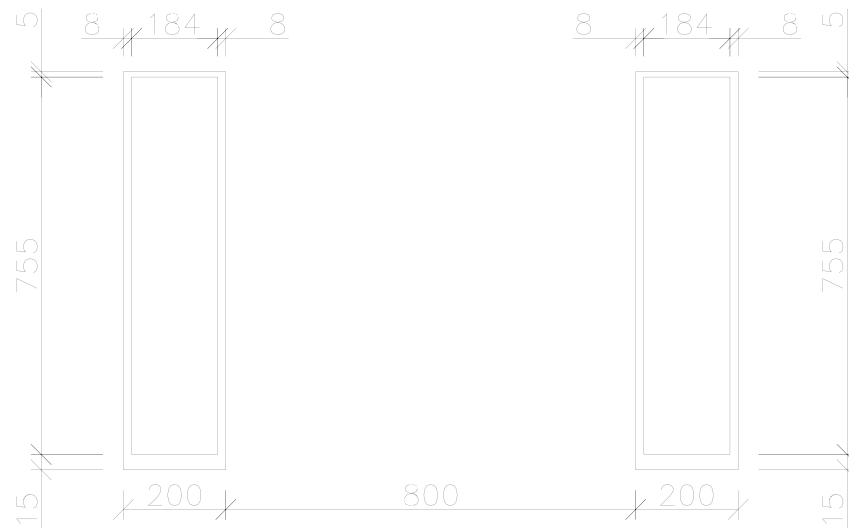
彎矩圖



剪力圖



3. 托架橫樑斷面計算



$$A = (775 \times 200 - 755 \times 184) \times 2 = 32,160 \text{ mm}^2$$

$$y_t = (200 \times 15 \times 767.5 + 200 \times 5 \times 2.5 + 755 \times 16 \times 382.5) \times 2 / A = 431 \text{ mm}$$

$$I = (200 \times 775^3 / 12 - 184 \times 755^3 / 12 + 32160 \times 43.52) \times 2 = 2,439,876,520 \text{ mm}^4$$

$$S = I / y_t = 5,660,966 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 775 \times 8 \times 4 = 24,800 \text{ mm}^2$$

(1) 應力檢核

$$M_{\max} = 174.72 \text{ t-M}$$

$$f_b = M_{\max} / S = 161 \text{ kgf/cm}^2 < F_b = 0.6F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$V_{\max} = 380.950 \text{ t}$$

$$f_v = V_{\max} / A_v = 522 \text{ kgf/cm}^2 < F_v = 0.4F_y = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ OK!}$$

(2) 托架橫樑對拉檢核

$$T=432.80*1.94/4.1=204.8 \text{ 噸}$$

採用 36 φ 鋼棒 6 支

$$A=\pi/4*3.6^2*6=61.07\text{cm}^2$$

$$T_a=61.07*0.6*8500= 311,457\text{kg} = 311.5 \text{ 噸} > T$$

(204.8 噸) OK!



第四章 實務案例研究及評估

4.1 中二高中港交流道 C317 工程

4.1.1 工程概要：

1. 工程名稱：第二高速公路後續計畫台中環線清水、神岡段第 C317 標工程
2. 業主：交通部國道新建工程局第二區工程處
3. 設計單位：昭凌工程顧問股份有限公司
4. 營造廠商：榮民工程股份有限公司
5. 工程地點：台中縣清水鎮境內



4.1.2 工程內容：

本工程二高大甲溪河川橋橋長 2850m，區分成 10 個單元共計 81 跨，台中環線甲南高架橋橋長 2303m，區分成 12 個單元共計 73 跨，為如期完工採用四套支撐先進工作車設備，平均每台工作車能量約 800M。

4.1.3 基本工程及設計條件：

1. 最大橋墩間距：45 M
2. 曲率半徑範圍：1500~8500 M
3. 橋面寬度：12.45 M、16.1 M

4. 箱形梁底寬：6.4 M、7.05 M
5. 箱形梁高度：2.4 M
6. 帽梁斷面長X寬：6.22 X 2.2 M
7. 橋墩斷面長X寬：3.0 X 2.2 M
8. 橋墩頂至地面高程：12.2~39.6 M
9. 最大橋面縱坡：0.7%-1.35%
10. 最大橋面橫坡：2%

4.1.4 施工困難之排除及因應

1. 本標廠商為承攬後續支撐先進工法之工程，委由台灣營建研究院設計四套設備，當時為利用營建機械自動化構想，建議採用內模工作台車【如圖 4.1】，設計系統模版一次施築以縮短工期。為至施工執行階段始發現結構設計甚多剛接柱，致使用內模系統工作台車無法通過柱筋預留續接長度，嚴重影響自動化理念，被迫改採傳統木模施作【如圖 4.2】方式並改為二次施築，本案損失約 1200 萬及作業時程（每跨損失 3 天工期）。
2. 支撐先進設備運輸及上、下架成本相當高（約 200 萬，相當可完成兩跨工資之金額），故一般考量採取此工法之工作能量，以一次上架可連續推進 20 跨以上為最經濟。惟 C317 標工程設計作業能量最高 18 跨，最低 7 跨（因中間為匝道及交流道工程，因橋面寬度由三車道漸變至四車道，以規劃採取就地支撐工法設計），因此本標大大失去使用支撐先進工法之原意。

4.2 新竹客雅溪邊道路工程

4.2.1 工程概要：

- 1、工程名稱：新竹生活圈客雅溪邊道路工程
- 2、業 主：新竹市政府
- 3、設計單位：亞新工程顧問股份有限公司
- 4、營造廠商：榮民工程股份有限公司
- 5、工地地點：新竹市(明湖路以西)

4.2.2 工程內容：

新竹生活圈客雅溪邊道路工程，其中主線採 2 車道、路寬 12.5M，標準斷面圖。本工程客雅溪道路長共計 2850M，設計採用支撐先進工法之長度為西行線 335M，區分成 2 個單元共計 9 跨，東行線 345M，區分成 2 個單元共計 9 跨，本標以一套先進工作車設備施築。

4.2.3 基本工程及設計條件：

1. 最大橋墩間距：40 M
2. 曲率半徑範圍：250 M
3. 橋面寬度：12.5 M
4. 箱形梁底寬：4.95 M
5. 箱形梁高度：2.8 M
6. 帽梁斷面長 X 寬：4.9 X 3.5 M

7. 橋墩斷面長 X 寬： 4.9 X 3.5 M
8. 橋墩頂至地面高程： 10.9~30.2 M
9. 最大橋面縱坡：3.00%-9.00%
10. 最大橋面橫坡：5%

4.2.4 施工困難之排除及因應

1. 發生事由：本標設計之最大橋面縱坡由 3.00% 以豎曲線漸變至 9.00%【如圖 4.3】，以每跨 40M 計算其中每跨高差為 2.4M，施工執行階段始發現支撐先進工作車主千斤頂頂升無法克服 2.4M 之高差，並於推進主梁時，因太大之縱坡漸變導致鼻梁無法順利推進下一跨托架上。

排除方式：主梁推進快接近下一跨托架時，利用主梁後方配重方式並加以於主梁前方鼻梁以吊車向上懸吊，保持兩側平衡運用蹺蹺板原理，將主梁以吊車懸吊配合後方滾輪台車緩慢移動至設計位置，千斤頂頂升部份改以高拉力鋼棒配合後端吊架【如圖 4.4】拉升工作車設備約(2M 高)至設計高程。本案遭遇國內前所未有以支撐先進工法施築之線行設計，損失約 120 萬及 20 工作天。

2. 發生事由：本標工程設計東、西行線各 9 跨，已嚴重影響工作能量，並遭遇橋台牆身淨高不足 4m 無法架設主梁、最後一跨遭遇連梁【如圖 4.5】工作車無法推進，共損失 4 跨無法推進。

排除方式：以就地支撐工法克服，共計損失約 160 萬及 60 工作天。

3. 本案總結：當初若同意變更以就地支撐工法施築，相信絕對比採用支撐先進工法所造成之成本、時間減少許多。

4.3 其他發生案例實務探討

4.3.1 中二高 C318 標工程

1. 發生事由：使用內模台車施作，因內模台車設計無法順利通過隔梁，於是於端隔梁及中隔梁改為二次澆置，並縮小隔梁一次澆置之線【如圖 4.6】，當內模台車通過後，也無立即將端隔梁及中隔梁澆置完成，造成施拉預力時，盤式支承貫穿箱梁底版。

改善措施：敲除重做。

預防措施：當使用內模台車施作時，內模台車已順利通過隔梁後，須儘速完成隔梁二次澆置。

4.3.2 東西向後龍汶水線 C310 標工程

1. 發生事由：該標原本工作車設備為施工順序 A1→A2(上坡)推進，因變更施工順序，改以 A2→A1(下坡)推進，當主梁推進快接近下一跨三角托時，其主梁重心變異落於支承外，於是發生主梁旋轉翻落事故。

改善措施：鼻梁更新，主梁加勁及補強修復。利用外模及主梁後方配重，重新檢合跨距及工作車推進穩定性分析

預防措施：變更施工順序時，需再次檢覈工作車推進穩定性分析，其重心需位於兩點支承範圍內。假使無法平衡穩定時，可利用後方配重，穩定工作車推進。

2. 發生事由：該標橋梁線形曲率半徑為 300m【如圖 4.7、4.8】，其工作車鼻樑及主梁無法推進至支撐托架上。(損失約 300 萬)

改善措施：於原本支撐托架旁，再加設兩組臨時支撐設備，擴大支撐托架寬度以符合曲率半徑需求，另以就地支撐工法替代。【如圖 4.9】

預防措施：規劃時檢核相關線形或變更施工工法替代。

4.4 承攬支撐先進工法之注意事項

對於有心投入此工法的廠商，雖說支撐先進工法前期設備成本支出甚重，非一般營造公司能力所及，但如能善用設備重複使用之特性，降低施工成本，提昇下一標工程投標競爭力。以下提供幾點作為承攬支撐先進工法施工之考量。

4.4.1 工作車購買與組裝

工作車設備常針對每標不同設計所發展出來，故如購買中古設備，需考量主梁能承受跨距長短、能承受橋面總重大小、設備推進及模版調整速度為何？若投資新設備，除考量配件後續可重複使用性外，應不嫌麻煩於工廠確實完成假組立。常發現廠商因

工作車設備製造件太過龐雜，故於工廠僅辦理構件橫向之假組立，惟經運至現場組立時發現，縱向構件之連結錯誤尚多，而只能當場修改，造成組裝進度嚴重落後。正常合理情況之下，自開始組裝至第一跨結構作業應可控制於 60 日曆天內完成。

4.4.2 決定內模台車是否須設置

考量結構設計是否有剛接柱，其內模台車設計能否克服箱隔梁空間。並分析使用內模台車有無經濟效益。

4.4.3 支撐先進工法作業能量

因工作車設備約 700 噸重，下架及上架之成本相當高，且工期亦不易掌握，投標時需審慎考量支撐先進工法之工作能量，否則間接會增加施工成本。

4.4.4 工作車通過端隔梁及交控架基礎之外模架設計

一般工作車降模推進，僅需下降 5 公分既可向前推進，當工作車需通過端隔梁及交控架基礎加厚區時，其版厚增約 60~70 公分，工作降模橫移後即無法順利推進。此時工作車設計外模架時，需規劃每一單元於尾跨端隔梁之施工作業時，系統外模能向外、下兩側拉移，避開端隔梁作業空間，以利工作車設備主梁順利通行，並於下一跨施作時，能迅速復原外模應有之位置。

4.4.5 橋樑設計線形

支撐先進工法適用其平面線形之曲率半徑大於 400 公尺(越大越好施作)。，並了解橋面縱坡及橫坡大小(越小越好施作)、橋面寬度是否漸變尺寸?常遇交流道及匝道時，橋面寬度尺寸不一，造成頂、底模調整費時。

4.4.6 油壓系統設置

工作車推進作業及模版高程調整，皆以千斤頂頂升為主，若能全程使用油壓系統設計，將可縮短工作車推進速度。一般工作車設備從降模到推進定位完成，為 12 小時~48 小時便能完成。

4.5 支撐先進工法施工注意事項

支撐先進工法經國內近年來迅速發展使用，以下提供幾項施工中常易疏忽，卻又不得不謹慎為之，供施工者參考：

4.5.1 托架組立

需利用高拉力鋼棒確實緊結於墩柱邊(柱邊空隙可利用橡膠墊塊填充)，並須檢核高拉力鋼棒之施壓預力是否達到原有設計值，避免兩側托架未成一體，主梁推車時產生扭力，則托架有翻轉導致工作車墜落之虞；另組立托架時，若托架下支撐高度過高，需詳加檢核型鋼無支撐長度，並於支撐型鋼旁加設高拉力鋼棒，以減少支撐型鋼挫曲之危險。

4.5.2 工作車降車

支撐先進工作車主體包括主梁、鼻梁、橫梁、內模、外模、千斤頂及後端門形吊架等構件組立而成，而兩主梁之間以底模橫梁相互連結。降車時需將構件逐一檢查是否將各配件螺栓、插銷解脫？油壓千斤頂之操作油是否有更換，並需經常保養以免發生油壓幫浦洩油，導致工作車無法順利頂升或降模。

4.5.3 工作車推車前進

主梁設計及推進需注意底模橫梁與翼模配重問題，避免主梁推進產生本身左右不平衡之情況，而發生主梁翻落意外。並於縱坡為下坡時，需設計使用煞車裝置，以免主梁推進時發生墜落。

4.5.4 後端門型吊架設計

澆注前，內、外模與上一跨銜接處(施工縫於每跨 $L/5$ 之處)，需檢查是否緊密結合，並檢覈主梁箱梁勁度是否能承受澆注混凝土時荷重，並且主梁不會產生變位，否則須使用後端門型吊架，避免產生接縫不良。

4.5.5 保持工作車施工平衡

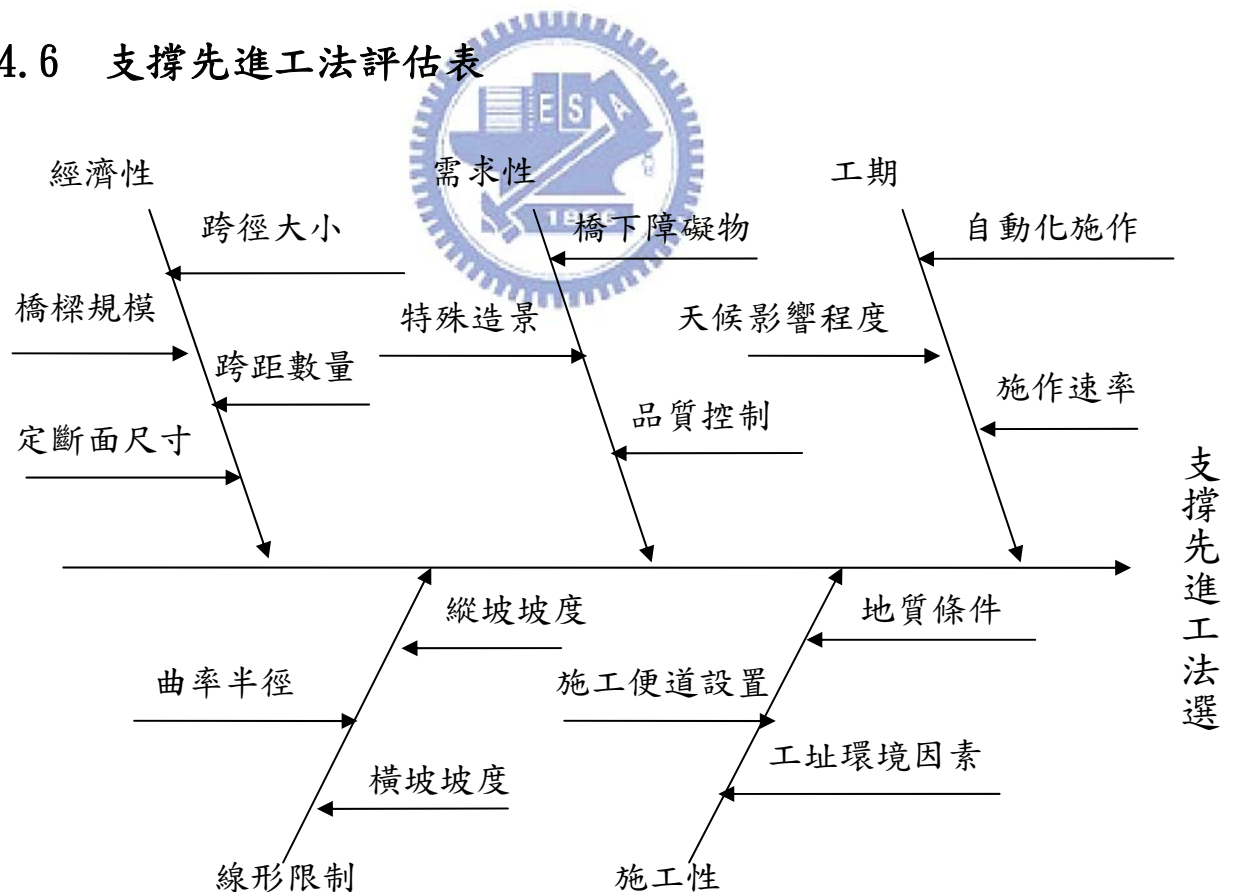
工作車澆注混凝土及施拉預力，尚需注重左右兩側平衡問題，不可單著重某一側施作，需不厭其煩的交替變換位置，除可確保施工品質外，以安全角度考量，亦有其必要性；另混凝土澆注完成尚未施拉預力前，考量到混凝土強度及橋梁受力引發震動問題，不得讓重車靠近此橋面，甚至也不要過早於橋面版上置放

重物；此乃顧及與上一跨施工縫銜接斷面接合之完整性，目的在確保橋梁結構安全及最佳之施工品質。

4.5.6 檢核高拉力鋼棒、高張力螺栓及伸縮螺桿使用狀況

工作車主梁分五段由高張力螺栓結合，所以當工作車重複使用時，需注意更換全部張力螺栓及檢核高拉力鋼棒之殘留應力。內外模通常採用甚多雙頭螺牙之伸縮螺桿，調整螺桿時，需留意剩餘之螺牙長度是否足夠？避免模板承受重力時，產生塌陷之情形。

4.6 支撐先進工法評估表



【圖 4.10】 支撐先進工法選擇特性要素圖

4.6.1 支撐先進工法規劃設計標準作業評估表

【表 4.1】支撐先進工作車工法規劃評估表

項次	經濟性	檢查結果	備註
1	橋長總長是否能連續施作 800 公尺以上		增加使用次數以分攤設備費及減少上、車組立費用
2	橋梁跨距是否小於 50M 以下 (一般為 40~45m)		主梁所承受最大經濟施作跨距為 50m 以下，否則須加設臨時支撐
3	橋梁跨距是否固定 (一般為 7~9 跨連續)		外模數量及配重不需隨每跨跨距變化而改變，避免增加施工成本、時間
4	橋面寬度有無變化 (一般於匝道會有變化)		影響外模損耗及外模調整時間，避免增加施工成本、時間
項次	施工性	檢查結果	備註
1	橋面縱坡有無大於 3%		需使用煞車裝置

2	橋面縱坡變化有無大於 3%		鼻梁無法前進於下一跨支撐托架上並底模千斤頂無法頂升至設計面
3	橋梁橋面線形、曲率有無大於 400m		鼻梁無法前進於下一跨支撐托架上並外模為鋼模無法達到要求線形
4	橋梁是否設計盤式支承、有無剛接柱		有剛接柱使用傳統內模，盤式支承設計使用內模台車，並須儘速完成隔梁澆置，避免底版貫穿破壞
項次	需求性	檢查結果	備註
1	克服河川地勢地形或橋下需維持交通動線		只需架設支撐托架於基礎面上或使用懸掛式支撐托架
2	須運用營建自動化以縮短工期及成本		箱梁設計為定斷面及橋長總長需大於 800 公尺以上
3	設備重複使用性		國內橋梁設計於規劃時，多考慮符合重覆使用性

4.6.2 支撐先進工法施工標準作業評估表

【表 4.2】支撐先進工法施工自主檢查表

項次	工作車降模前檢查項目	檢查結果	備註
1	確認已完成本跨預力工作		
2	支撐托架上方推進台車位置是否正確		
3	內模螺桿支柱是否移除		
4	橋墩處底模是否已拆除		
5	油管、電線是否會拉壞		
6	是否有其他障礙物阻擋		
項次	工作車移動推進前檢查項目	檢查結果	備註
1	支撐托架高程是否正確		
2	支撐托架上方高拉力鋼棒是否已依設計施拉預力		
3	支撐托架下方支撐高拉力鋼棒是否已鎖緊		
4	支撐托架上推進台車位置是否正確		
5	推進台車上反力板是否裝好		
6	支撐橫梁插銷是否移除		
7	底模連接螺栓是否移除		
8	油壓設備是否會正常		
9	環境因素及推近分析是否正常		
10	是否有其他障礙物阻擋		

第五章 結論與建議

5.1 結論

1、橋梁上部結構支撐先進工法雖有許多優點，但在規劃與設計階段如考慮未盡周詳，不但無法發揮自動化應有的功能，甚至可能發生意外，產生極為不良之後果，不能不格外審慎。而其工法之選擇，在跨距大小、橋梁總長、工期、施工環境等皆有其需求特性。所以採用支撐先進工法應符合連續推進 20 跨以上、曲率半徑大於 400m 以上、縱橫坡小於 3%以下、結構斷面固定單一性等，才能有效發揮此工法之效益

2、支撐先進工法與傳統支撐工法比較，無論在施工性、安全性、經濟性及工期上皆具有較高之優勢，國內橋工規劃應可多採取使用支撐先進工法，並配合支撐先進工法線形要求而設計，以符合營建自動化之理念，達到減少營造成本及縮短施工時程之目的。

5.2 建議

1、設計規劃單位應重視支撐先進自動化工法之施工特性，將橋梁線形、曲率及結構系統充分列入考量。

2、支撐先進工法橋面預拱量控制，可進一步利用應變計研究與實際計算值之差異值。現今施工皆以設計計算值預估其預拱量，於工作車移動後檢測其高程回饋修正下一跨工作車主梁預拱量，但日後潛變及整體預力預力系統所影響層面無法預估，其完成面高程恐有誤差。

綜上所研究，支撐先進工作車施作時，是不斷地重複相同動作，實無特別艱深困難之處，而工作車設備乃一重大鋼構，安全問題自然不容小覷。也因空中作業，任何動作都必須考慮平衡問題，稍不留意都可能產生重大傷害或損失。若能從規劃設計善用此工法之優點，配合施工廠商熟練之技術，必定能順利完成國內重大橋梁工程。希望此篇研究能提供後續使用支撐先進工法有所助益。



參考文獻

1. 廖振志、陳錦林、林正喬、陳泓德、莊文宏、鄭明源，「預力混凝土橋梁新工法簡介及設計施工問題探討」，中華技術，第 28 及 29 期，民國 84 年 10 月及 84 年 1 月。
2. 國道橋梁工程技術規劃、設計、施工及管理（五週年局慶紀念技術論文集），國道新建工程局，民國 83 年 12 月。
3. 橋梁支撐先進工法、節塊推進工法營建自動化推廣手冊，內政部營建署。
4. 林樹柱、葉銘煌，「回顧近十年來台灣橋梁工程之建設概況－預力混凝土橋」，結構工程，第十一卷，第一期，民國八十五年三月。
5. 孫恭先，「台灣三十年橋梁發展史」，營建世界，第 2 卷，第 1 期，22-28，(1982)。
6. 方文志、陳國隆「台灣高速公路橋梁的過去與未來」土木水利 第二十八卷 第四期，民國九十一年二月。
7. 蔡茂生「提昇營建自動化」交通部國道新建工程局結構組
8. 莊文宏「預力混凝土橋梁自動化工法簡介及未來展望」臺灣公路工程第二十九卷，第十期，民國九十二年四月。
9. 陳國隆，「橋梁設計理念」，國道橋梁工程技術-橋梁工程施工實務訓練，交通部台灣區國道新建工程局，台北，民國八十三年四月。
10. 支撐先進橋樑工法研討會論文集 財團法人臺灣營建研究中心
11. 支撐先進工法橋樑介紹 中華工程股份有限公司