

模板支撐安全設施規劃及 結構計算整合研究

Safety Facilities Planning of Formwork Shoring with
Intergrated Structural Analysis



模板支撐安全設施規劃及結構計算整合研究 ILOSH103-S314

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

勞動部勞動及職業安全衛生研究所
INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號
電話：(02) 26607600
傳真：(02) 26607732
網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-04-4680-7
0 0 2 5 0
9 789860 446807
GPN:1010400738
定價：新台幣250元

模板支撐安全設施規劃及
結構計算整合研究

**Safety Facilities Planning of
Formwork Shoring with
Intergrated Structural Analysis**

模板支撐安全設施規劃及
結構計算整合研究

**Safety Facilities Planning of
Formwork Shoring with
Intergrated Structural Analysis**

研究主持人：林楨中、徐增興

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 103 年 1 月至 103 年 12 月

本研究報告公開予各單位參考
惟不代表勞動部政策立場(自行研究)

勞動部勞動及職業安全衛生研究所
中華民國 104 年 4 月

摘要

由於系統支撐架適應地形變化之彈性較大，因此廣泛使用於大面積或高挑空之模板支撐，但國內目前對於系統式支撐架之結構及施工安全並未積極重視，隨意搭接及不同架寬任意組合之情形屢見不鮮，除了結構上的強度問題外，同時也會影響後續的安全通道、上下設備、以及安全設施的配置，但系統式支撐架除了結構強度的考量外，亦須同時考慮相關安全設施的配置。本研究之目的為以系統式支撐架為例，運用建築資訊系統(Building Information Modelling, BIM)建立模板支撐之模型，整合結構計算分析，進行模板支撐之安全設施設置規劃，藉此提出新的安全規劃模式，以提升模板支撐架結構及施工之安全性。

本研究主要研究發現及結論如下：(1)藉由現場訪視之探討發現，模板支撐架結構設計及安全設施的配置應由設計階段開始，避免後續發現缺失造成衝突或施工後無法變更的困擾；(2)系統支撐藉由 BIM 的三維模型建立，比傳統二維圖面更能呈現工地現場實況，有較佳的現地掌握性，在支撐架之安全通道及安全設施的規劃上，能提早避免設置上的缺失；(3)BIM 之建模與結構設計整合，可提供設計階段結構設計人員與安衛人員充分溝通的平台，運用整合式協同設計模式，達成兼顧模板支撐架結構及施工之安全性；(4)為提升模板支撐架之作業安全，建議針對相關人員進行教育訓練，使其具備運用 BIM 之能力，方能進行協同規劃設計作業。

本研究引入 BIM 的協同設計概念，建議以 BIM 為結構設計及安全衛生設施規畫之整合平台，充分納入結構設計分析人員、安衛人員、以及組搭人員之專業知識，以系統支撐架為例，進行模板支撐之整體規劃設計考量，並提出運用 BIM 與結構設計整合的安全設施規劃流程及實務範例指引，供相關人員參考，俾運用於未來模板支撐架之安全設施規畫，提升支撐架結構及施工之安全性。

關鍵詞：系統支撐，安全規劃，結構分析，建築資訊模型

Abstract

System shoring, due to its better flexibility in different landforms, is widely used as formwork shoring on high and big dimensional structures, but structural analysis and construction safety of system shoring have not received much attention in the construction industry. Improper connections using different kinds or widths of shoring often appear in formwork assembly. These problems affect both the structural strength and the layout of safety facilities, such as safety passageway and stairs. Therefore, structural strength analysis and safety facilities planning of formwork shoring should be considered at the time of layout design. The purpose of this research is to apply Building Information Modelling (BIM) on structural analysis and safety planning of system shoring to provide a safety guideline for safety planning of formwork shoring.

Main research findings and conclusion are: (1) Survey of onsite personnel shows that structural analysis and safety facility planning should be carried out at the design phase to prevent conflicts during constructional phase. (2) Three-dimensional BIM models of system shoring for structure and safety planning can provide better visual information than 2D models. (3) BIM can be used as a communication platform for safety layout and structural design for structural analysis and safety planning personnel to promote formwork shoring safety. (4) It is necessary for formwork shoring related workers to attend BIM training to be better equipped in safety planning teamwork.

This research suggests a BIM teamwork concept as an integrated platform for structure analysis and safety planning personnel in formwork shoring. The guideline proposed in this research uses system shoring as an example of formwork shoring planning to provide a practical design reference for related personnel to use it in planning and promoting formwork shoring safety in the future.

Keywords: system shoring, safety planning, structure analysis, building information modelling

目錄

摘要.....	i
Abstract	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	ix
第一章 緒論.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 研究動機與目的.....	2
第三節 研究方法與步驟.....	6
第二章 文獻回顧.....	9
第一節 災害案例摘述.....	9
第二節 國內外系統式支撐架法令規定及規範.....	17
第三節 國內外系統式支撐架文獻探討.....	35
第三章 系統式支撐架危害分析及災害預防對策.....	37
第一節 國內外系統式支撐架使用現況探討.....	37
第二節 系統式支撐架安全通道與安全設施危害要因探討.....	45
第三節 系統式支撐架安全通道與安全設施災害預防對策.....	51
第四章 特殊形式系統支撐架建模與結構分析.....	54
第一節 BIM 3D 建模規劃說明.....	54
第二節 工地現況條件說明.....	55
第三節 BIM 建模.....	60
第四節 BIM 模型之結構計算.....	68
第五章 系統支撐架設施配置規劃之可行性及安全設施的適用性.....	75
第一節 系統支撐架安全設施配置基本原則.....	75
第二節 系統支撐架設施配置規劃之可行性及安全設施的 適用性.....	76
第三節 系統式鋼管架測試方法.....	79

第六章 系統式支撐架指引製作	86
第一節 BIM 專案執行計畫指引	86
第二節 系統式支撐架 BIM 執行計畫指引	88
第七章 結論與建議	91
第一節 結論	91
第二節 建議	91
參考文獻	93
誌謝	95
附錄一 案例原始結構計算書	96
附錄二 專家座談會議資料	123
附錄三 專家座談會議紀錄	130
附錄四 BIM 支撐架結構設計與安全通道、上下設備及安全設施設置最佳化之整合指引	136

圖目錄

圖 1 92 年~100 年營造業及非營造業死亡人次各年度分佈情形.....	2
圖 2 100 年營造業職災死亡人數災害類型比較.....	2
圖 3 國外廠商產品說明書內頁例.....	3
圖 4 跨現有道路支撐架.....	4
圖 5 特殊造型支撐架.....	5
圖 6 傳統系統支撐架設計組搭流程.....	5
圖 7 BIM 系統支撐架設計組搭流程.....	6
圖 8 研究流程圖.....	8
圖 9 鋼鐵煉焦廠擴建工程外觀.....	9
圖 10 施工現場之系統式支撐架.....	10
圖 11 發生災害現場狀況.....	10
圖 12 模板支撐架，未設上下設備及安全防護.....	11
圖 13 災害現場狀況（資料來源：勞委會職災訊息）.....	11
圖 14 模板支撐架，未設上下設備及安全防護.....	12
圖 15 橋塊前方之鋼筋皆已彎折.....	13
圖 16 橋塊腹版下 20 支鋼管支撐架皆遭壓垮.....	14
圖 17 林口某建築工地模板支撐崩塌.....	15
圖 18 北山交流道未發生工安意外前的現場圖.....	16
圖 19 北山交流道崩塌現場.....	17
圖 20 高度小於 8M 的斜桿設置.....	30
圖 21 高度小於 8M 的剪刀撐設置.....	31
圖 22 高度大於 8M 水平斜桿設置.....	31
圖 23 條狀支模架的高寬比.....	32
圖 24 可調托座伸出頂層水平桿的懸臂長度.....	32
圖 25 雙槽鋼托梁承载力計算簡圖.....	34
圖 26 系統式支撐架現場使用情形.....	37
圖 27 於地面組裝系統式支撐架.....	38
圖 28 由吊車吊掛組搭系統式支撐架.....	38
圖 29 支撐架中的上下設備及通道.....	39
圖 30 建築物因挑高使用支撐架.....	39

圖 31 以原有之施工架作為支撐架之上下設備及施工通道.....	40
圖 32 屋頂模板未放置前設安全網圖.....	40
圖 33 最上層設置安全母索.....	41
圖 34 系統支撐架用於大型公路橋梁工程.....	41
圖 35 上下設備設置於支撐架外.....	42
圖 36 系統支撐架用於跨路面工程.....	42
圖 37 特殊造型系統式支撐架.....	43
圖 38 箱涵中使用的系統式支撐架.....	43
圖 39 鋼骨承載施工.....	44
圖 40 橋墩下部工程中使用系統式支撐架.....	44
圖 41 紐西蘭 ROTOKAWA 發電站.....	45
圖 42 於地面組裝系統式支撐架.....	47
圖 43 上下設備及通道空間狹隘.....	48
圖 44 使用之安全設施未適當規劃.....	48
圖 45 施工通道之踏板無設置防脫落勾.....	49
圖 46 安全網上的鐵件及通道設置問題.....	49
圖 47 安全母索材質及設置方式不適當.....	50
圖 48 安全網不符合國家標準.....	50
圖 49 使用木梯做為上下設備.....	51
圖 50 特殊形式系統支撐架組搭完成後現地施工情形.....	55
圖 51 系統式支撐架配置之平面圖及剖面位置.....	56
圖 52 AA 剖面圖.....	56
圖 53 BB 剖面圖.....	57
圖 54 CC 剖面圖.....	57
圖 55 DD 剖面圖.....	58
圖 56 EE 剖面圖.....	58
圖 57 FF 剖面圖.....	59
圖 58 GG 剖面圖.....	59
圖 59 支撐架底設置鋼軌（示意圖）.....	60
圖 60 在地面建立網格線.....	60
圖 61 在立面建立樓層線.....	61
圖 62 放置下調整座.....	61
圖 63 放置扳手.....	62

圖 64 放置標準座.....	62
圖 65 放置主架.....	63
圖 66 放置橫桿.....	63
圖 67 放置斜桿.....	64
圖 68 放置輔助桿.....	64
圖 69 放置板手及上調整座.....	65
圖 70 現地照片與 BIM 模形外觀比較.....	65
圖 71 圖說 (左) 與模型產出 (右) AA 剖面圖比較.....	66
圖 72 圖說 (左) 與模型產出 (右) BB 剖面圖比較.....	66
圖 73 圖說 (左) 與模型產出 (右) CC 剖面圖比較.....	67
圖 74 圖說 (左) 與模型產出 (右) DD 剖面圖比較.....	68
圖 75 圖說 (左) 與模型產出 (右) GG 剖面圖比較.....	68
圖 76 橋面版斷面分區圖.....	69
圖 77 REVIT 建置的支撐架結構模.....	72
圖 78 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 中支撐架的結構模.....	72
圖 79 垂直載重分布區域.....	73
圖 80 配置滿鋪踏板後模型圖 (一).....	77
圖 81 配置滿鋪踏板後模型圖 (二).....	77
圖 82 配置滿鋪踏板後模型圖 (三).....	78
圖 83 輪盤之強度試驗.....	79
圖 84 續接端之拉力試驗例圖.....	80
圖 85 輪盤之固定插銷及裝設部位之強度試驗(單位：MM).....	80
圖 86 輪盤之固定插銷滑動量及拔出強度試驗(單位：MM).....	81
圖 87 撓曲及抗彎試驗.....	81
圖 88 金屬扣鎖本體及安裝部之剪斷試驗(單位：MM) (三) 金屬扣鎖防止外移之剪斷試驗.....	82
圖 89 金屬扣鎖防止外移之剪斷試驗(單位：MM).....	82
圖 90 強度試驗(單位：MM).....	83
圖 91 壓縮強度試驗(單位：MM).....	83
圖 92 斜撐及安裝端之強度試驗.....	84
圖 93 斜撐及安裝端之強度試驗.....	84
圖 94 扶手及中欄杆之水平移動量及強度試驗.....	85
圖 95 CIC 指引流程圖 (示意圖).....	87

圖 96 系統式支撐架設計流程圖..... 90

表目錄

表 1 鋼材種類之拉力強度	26
表 2 樓板模板自重標準值(KN/M ²)	33
表 3 危害要因分析表	52
表 4 結構分析構件承受最大力量結果	74

第一章 緒論

第一節 前言

依勞動部 2003 年至 2011 年職業災害統計資料顯示，營造業重大職災在全產業之比率一直偏高，死亡人數比例幾乎占全產業之一半以上（如圖 1）。而根據勞委會 100 年職災統計調查（如圖 2）可發現，墜落災害占重大職業災害類型的 65.4%，物體倒崩塌之災害占 9.4%，高居第一、二位。

近年來國內大型橋梁工程越來越高，如國道一號五股至楊梅段高架拓寬工程，且工程所在施工地區之地形地質變化大，由於系統式支撐架適應地形變化之彈性較大，因此使用漸廣，但國內目前對於系統式支撐架之規範並不明確，使得業界在使用上仍有許多疑慮與不確定，隨意搭接及不同架寬任意組合之情形屢見不鮮，除了結構上的強度問題外，同時也影響了後續的安全通道、上下設備、以及安全設施的配置。近幾年來除了國道六號北山交流道之重大（倒崩塌）災害之外，因施工通道與相關安全設施不當，也造成 5 人死亡，可見系統式支撐架除了結構強度的考量外，亦須考慮安全通道、上下設備、以及安全設施的配置，而且兩者間會互相影響，需同時考慮，無法偏重任何一邊。但因現在沒有一個可依循的依據，也沒有一個適切的方法及步驟，使用時常有安全之疑慮。如能依據現有法規及國內外之研究文獻，搭配最新的建築資訊模型技術與流程，建立可行之規畫設計及安全評估方法，應該可以對使用系統式支撐架的安全及墜落職災防止有相當大的助益。

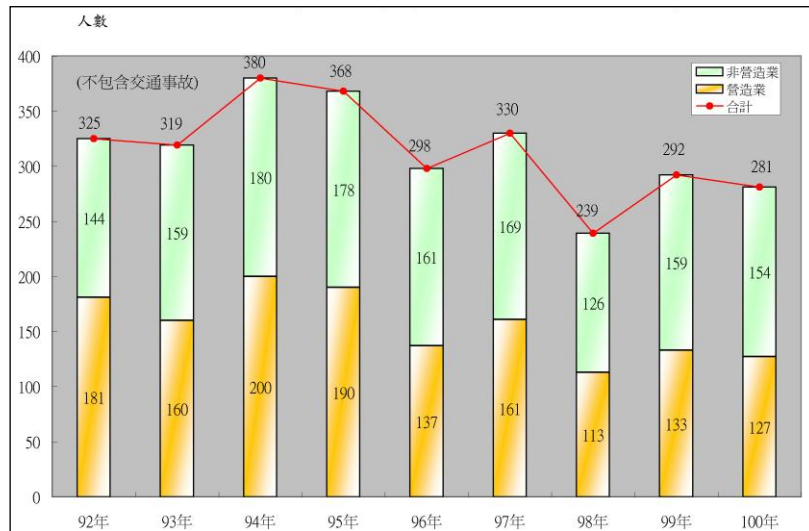


圖 1 92 年~100 年營造業及非營造業死亡人次各年度分佈情形

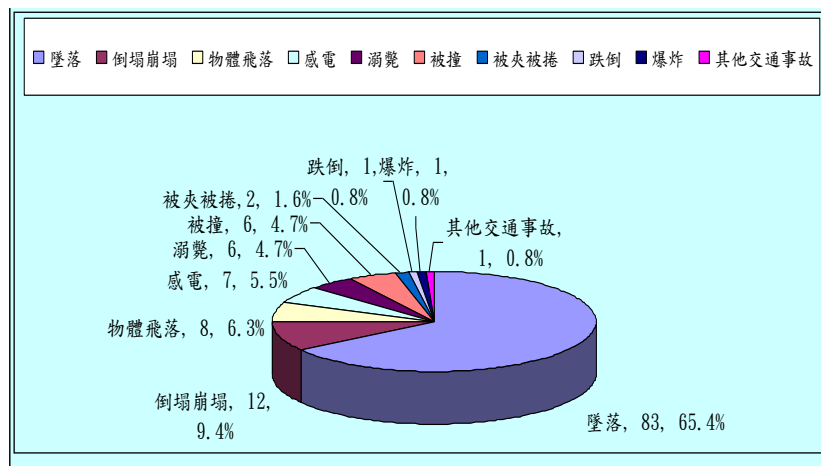


圖 2 100 年營造業職災死亡人數災害類型比較

第二節 研究動機與目的

高架工程在上部結構完成前須提供支撐，目前視現地狀況及結構計算結果，常利用鋼構支撐或以框式施工架作為支撐。國外多年前已開發並大量使用的系統式構件（形式之一及其組搭方式如圖3），其行為主要與單管式構件類似，但因立柱上預先製作了供橫桿、斜撐、以及其他相關構件組搭使用的模組，因此國外有時也稱之為“具預鑄模組的構件”，如將此構件使用於施工架，稱之為系統式施工架；使用為支撐，則簡稱為系統式支撐架。在國外已開發並大量使用系統式支撐架，因此有許多研究報告，例如美國高速公路管理署(Federal Highway Administration, FHWA)曾提出與高速公路橋梁相關之假設工程的報告（” Synthesis of Falsework, Formwork and Scaffolding for Highway Bridge Structures” , FHWA-RD-91-062, 1991）；各國政府或地方政府也因應此需求，制定支撐架的相關法規或安全指引；而部分系統支撐架廠

商亦提供相關產品，同時也提供使用時須注意的使用手冊（如圖3，國外廠商產品使用說明）。但這些資料均偏重於結構設計及使用方法，多未探討安全通道、上下設備、以及安全設施的配置問題，因此雖可提供使用及設計系統式支撐架時之參考，但整體而言，仍然有不足之處。

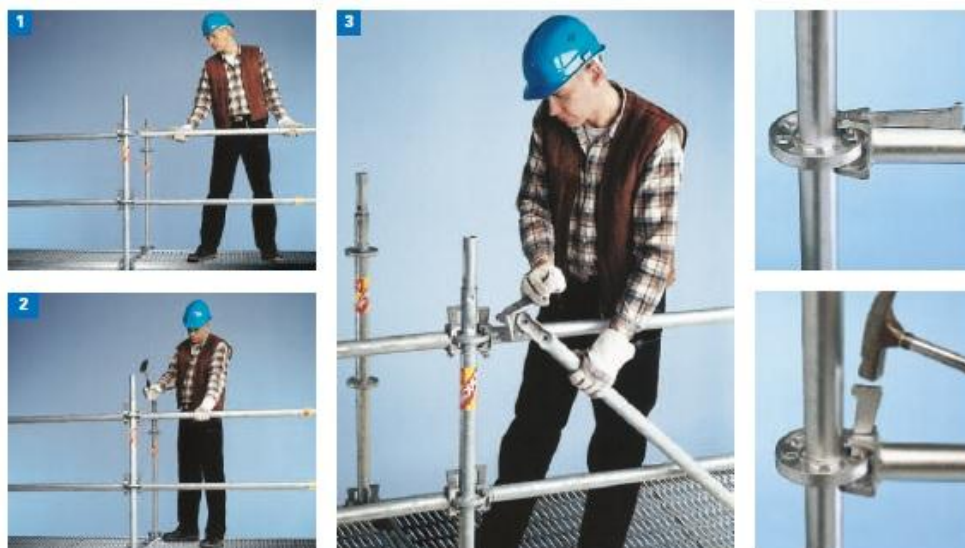


圖 3 國外廠商產品說明書內頁例

國內目前雖然沒有相關的法規及規範，但勞工安全衛生研究所於 99 年開始，即針對支撐架進行了一系列的研究，於研究成果中提出了系統式支撐架的（結構）安全指引以及安全通道、上下設備、與安全設施的指引。雖然為不同研究計畫之成果，制定時也未探討兩者整合的問題，但是對於一般的支撐架，範圍方正且無特殊造型時，分別在結構設計階段及安全通道、上下設備、與安全設施配置階段使用各自的指引，雖然可能有局部區域會造成困擾，但原則上影響不大。可是近年來之大型工程多為跨現有道路、軌道（如圖 4），或支撐架需有特殊造型（如圖 5），依現在常用之設計流程（如圖 6），先依照結構強度需求設計支撐架主體，完成後再考慮安全通道、上下設備、以及安全設施的配置，或者到現地後再依業主要求設置，最糟情形下，甚至不做配置，僅於不得已狀況下再臨時依工作人員經驗搭設。依此流程，結構設計人員與安衛人員以及安衛人員之間的界面常產生資訊交付時的資訊落差，是否能達到維護工作人員安全的目的無法確認，在某些情況下，有可能貪圖方便，設置後反而破壞了結構主體的完整性，造成強度或穩定性降低，產生倒崩塌。因此支撐架的（結構）安全指引以及安全通道、上下設備、與安全設施的配置指引實有整合的必要性，唯有從最初設計階段就整體考量，才能真正達到維護人員安全

的目標。以 BIM 流程進行時（如圖 7），結構設計人員完成初步支撐架 3D 模型時，安衛人員以及組搭人員即針對個別專業領域提供資訊，安衛人員將安全設施資訊加入模型，組搭人員則針對組搭工序提供意見，結構設計人員則進一步提供結構分析資訊，由於各專業領域人員均針對同一 3D 模型，因此不會有認知上的差異，同時各專業領域人員分享各自的專業知識，共同協同設計支撐架，設計完成後也不會有掛一漏萬的情形發生。在電腦中完成設計後，至現地組搭時即可避免大部份可能產生的問題，因此無論在組搭階段或使用階段，均可達到以設計維護人員安全的最終目標。

本研究將以以上文獻資料為基礎，透過現場諮詢，利用 BIM(建築資訊模型)建立 3D 模型並運用 BIM 協同設計流程，藉由電腦模擬研究系統式支撐架的（結構）安全指引以及安全通道、上下設備、與安全設施配置指引的整合及其可行性檢驗，再透過專家座談，納入專家意見，將成果提出整合指引，指引內容將針對系統式支撐架，包含可能災害要因，系統式支撐架結構設計注意事項，使用期間安全通道、上下設備、以及安全設施之配置及注意事項，以及整合之工作流程，提供事業單位及相關工程單位參採，以預防支撐架作業之災害發生，作為業者施工管理的參考依據。



圖 4 跨現有道路支撐架



圖 5 特殊造型支撐架

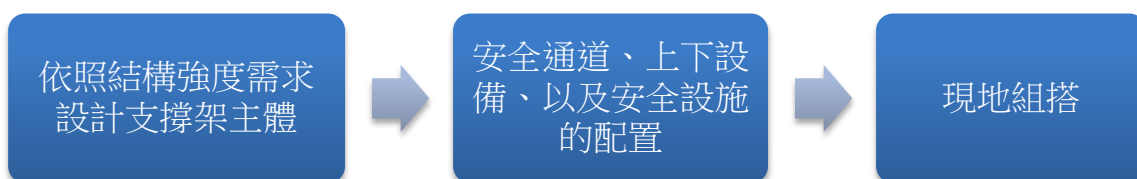


圖 6 傳統系統支撐架設計組搭流程

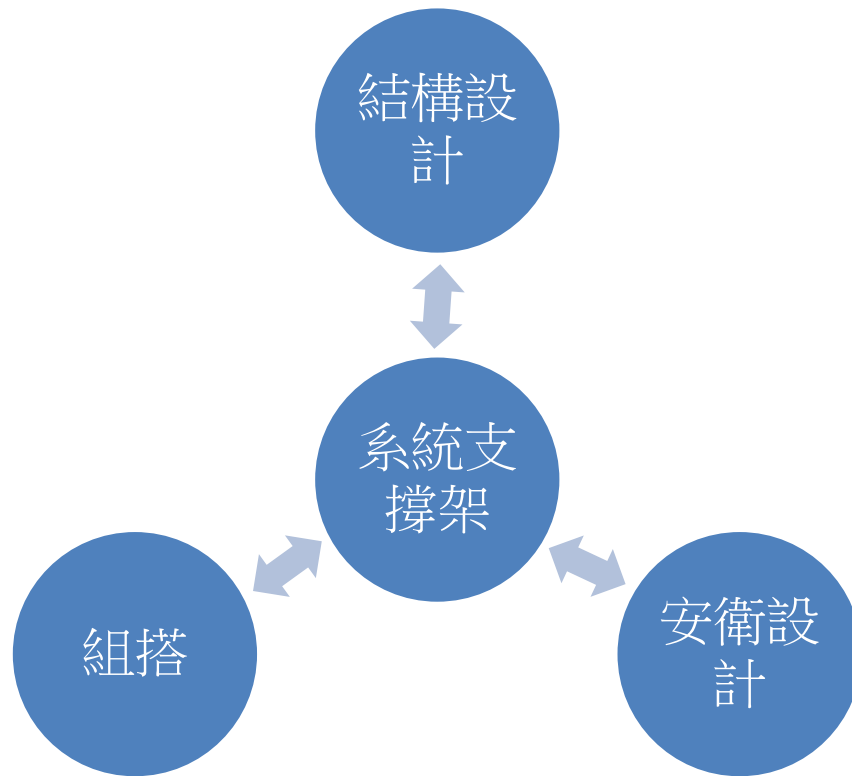


圖 7 BIM 系統支撐架設計組搭流程

第三節 研究方法與步驟

根據調查報告，大部分支撐架意外的造成可分為兩類，即倒崩塌意外和施作人員於支撐架組立貫材及鋪設安全網時，因安全設施不足或上下設備通道不佳，造成人員墜落意外。國內目前並無系統式支撐架相關法規，僅勞工安全衛生研究所之研究成果可供參考，該研究成果中提出了系統式支撐架的（結構）安全指引以及安全通道、上下設備、與安全設施的指引。但兩種指引為不同研究計畫之成果，制定時也未探討兩者整合的問題。對於一般的支撐架，如果範圍方正且無特殊造型時，分別在結構設計階段及安全通道、上下設備、與安全設施配置階段使用各自的指引，雖然可能有局部區域會造成困擾，但原則上影響不大。但目前一般的實際工作流程大多為結構設計完成後，再考慮安全通道、上下設備、與安全設施的配置問題，甚至完全未考慮，僅於業主要求或現場必要時，依現地工作人員經驗配置，無法確認其可行性，而且可能因人員便宜行事，破壞結構主體的完整性及穩定性，反而造成倒崩塌意外。因此支撐架的（結構）安全指引以及安全通道、上下設備、與安全設施的配置指引實有整合的必要性，唯有從最初設計階段就整體考量，才能真正達到維護人員安全的目標。

隨著電腦資訊與通訊技術不斷創新進步，建築與土木工程產業的電子化、資訊化與自動化也進展迅速，其中以 3D 為溝通的基礎，並能將建築資訊加以整合，且能表達建築構件間相互關係的 BIM，也同時在學術界與工程界受到關注。BIM 不只是 3D，除了避免傳統二維圖說容易發生的圖面不一致、遺漏、衝突或錯誤問題外，還能應用正確的三維模型進行模擬及結構分析，除確認結構主體之強度及穩定性，以及安全設施配置的完整性及可行性之外，還能整合二者，確認其中無干涉衝突。本研究將以系統式支撐架為主，運用 BIM 3D 建模，針對結構設計以及各種上下設備配置方式進行模擬，探討系統式支撐架結構主體以及安全通道，與上下設備及安全設施的設置方式之可行分析流程。同時參照國內外已有之規範及指引，進行必要之整合。最後透過專家座談，彙整專家意見，與結合電腦模擬結果，提出整合之系統式支撐架指引供業者參考。

一、本計劃擬採用下述方法進行研究：

蒐集國內外與系統支撐架相關資料，並調查現有系統支撐架結構設計方式與流程，以及現有供系統式支撐架使用之安全通道、上下設備、以及安全設施，以初步歸納出可供國內採用之標準及作業流程。

為掌握系統支撐架之設計與使用現況及使用之潛在危害，將至廠商及施工現場進行訪視調查，以瞭解實際狀況。同時依現場訪視結果，提出系統式支撐架之災害要因及預防對策。

針對現今常用系統式支撐架構件形式以及設置方式，參考國外文獻，建立 BIM 3D 模型，進行初步結構分析，並對各種安全通道、上下設備、以及安全設施之配置方式進行模擬，探討可行之整合流程，已達設計之最佳方案。

與有實務經驗的專家進行專家座談，以使所編訂之整合系統式支撐架安全指引更符合實際現況之所需。

二、研究步驟：

本研究之研究流程圖如圖 8 所示。

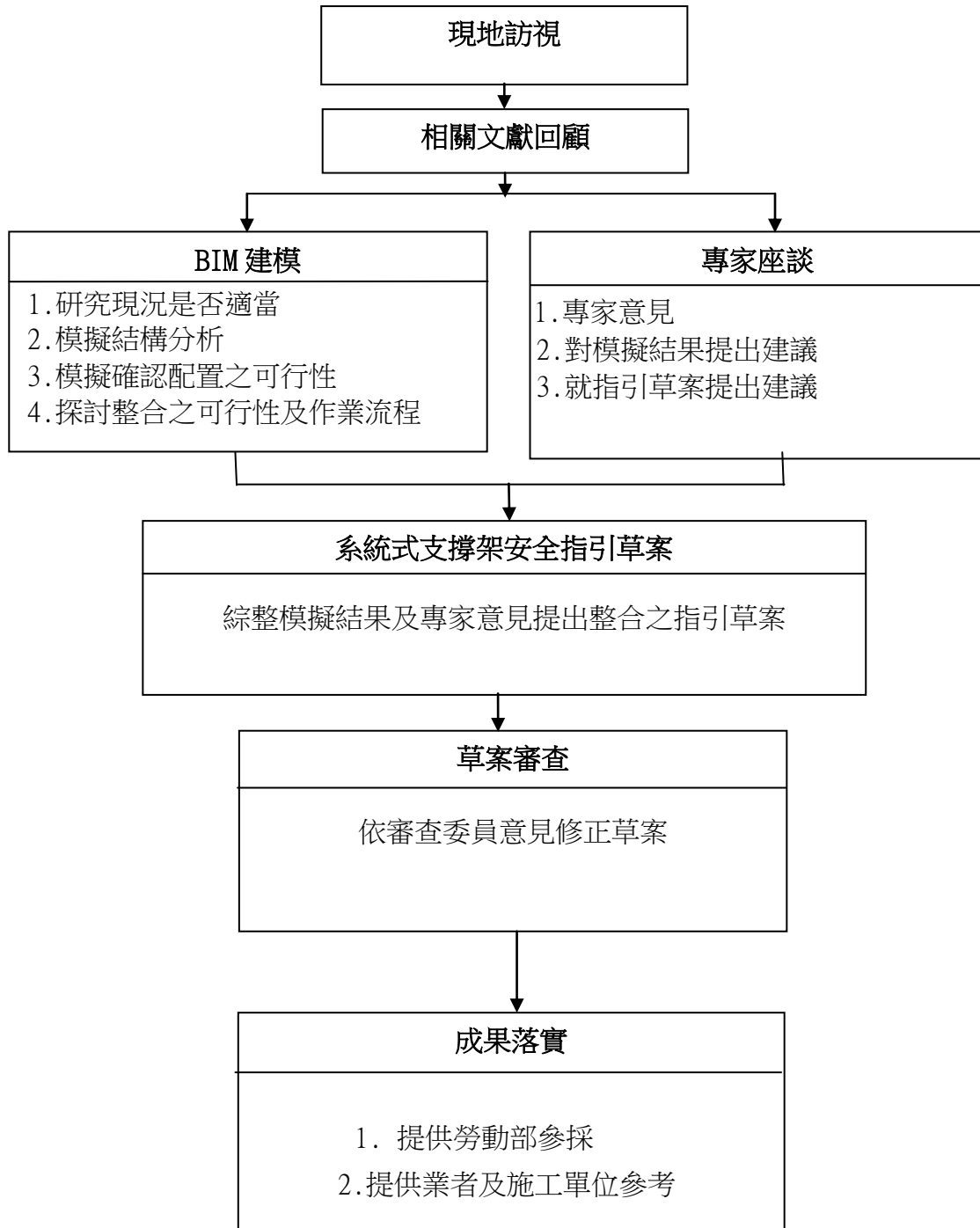


圖 8 研究流程圖

第二章 文獻回顧

第一節 災害案例摘述

一、國內系統式支撐架災害案例

(一)系統式施工架事先未做整體規劃，導致倒塌致死職業災害

災害發生經過：

某鋼鐵公司，煉膠廠新建工程，初期以搭設系統式施工架做為模板作業鋪設平台，及上下設備，因為事先未做整體規劃，在趕工下以至於施工架未做拆除，而將施工架做模板支撐使用，因施工架的部分強度不足，造成整體支撐架倒塌，導致一人死亡。(圖 9)

災害原因分析：

關鍵原因在於系統式支撐，未就作業面、通道及上下設備做整體規劃，以至於施作後產生作業界面的問題。



圖 9 鋼鐵煉焦廠擴建工程外觀



圖 10 施工現場之系統式支撐架

(二)某建築工地因模板支撐上下設備不足至人員墜落案例

災害發生經過：

99年12月19日下午15時40分許，○○工程有限公司勞工林○○至地下2樓模板支撐架上拿活動扳手時，因該處未設安全防墜設施及上下設備，導致該員由高處墜落至地面，經緊急通報消防局後，發現罹災者已經死亡。災害現場照片如圖11、圖12。

災害原因分析：

雇主對勞工從事模板作業時，未於模板支撐架上設置安全防墜設備及安全上下設備。

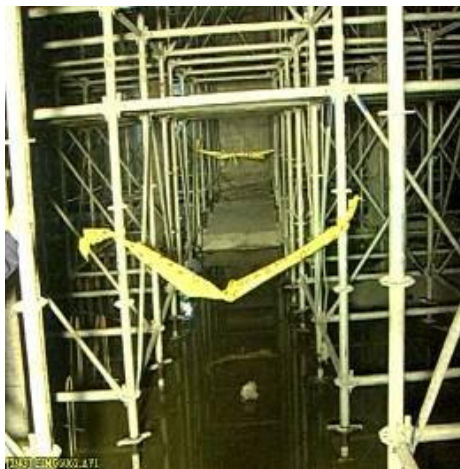


圖 11 發生災害現場狀況

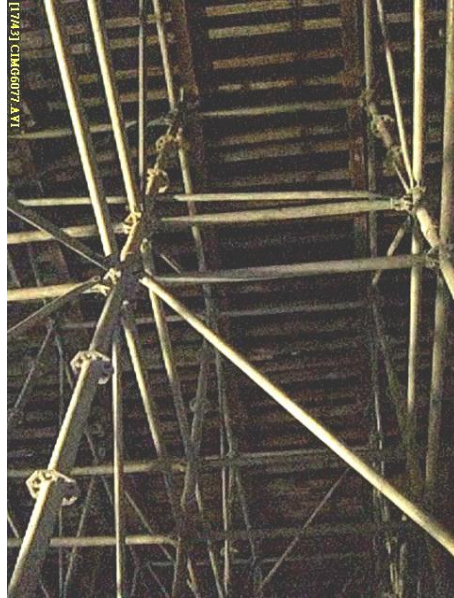


圖 12 模板支撐架，未設上下設備及安全防護

(三)從事支撐架拆除作業時發生墜落致死災害

災害發生經過：

100 年 6 月 1 日，罹災者在支撐架上進行支撐架拆除作業時，當罹災者走到支撐架之鋼樑上(高度約 9.2 公尺)，由鋼樑上墜落至地面，造成 1 人死亡。(災害現場狀況如圖 13 所示)

災害原因分析：

施工通道未妥善設計，且未提供適當之預防墜落措施。



圖 13 災害現場狀況 (資料來源：勞委會職災訊息)

(四) 於工作平台進行鋪設作業，因未設置安全設施墜落案例

災害發生經過：

93年11月4日，施作人員於工作平台進行鋪設作業，因未設置安全母索、安全網等防護設備，罹災者自高處墜落到地面，安全帽帶已扯斷掉於一旁(圖14所示)。



圖 14 模板支撐架，未設上下設備及安全防护

(五)勞工從事模板拆除作業因模板支撐架倒塌被壓致死職業災害

九十二年十一月十八日兩名勞工A與勞工B於橋墩之場撐邊跨箱型梁從事模板拆除工作，由於操作不慎且未依標準作業流程施件，下方系統式施工架因無法承受瞬間大荷重而崩塌，該場撐之邊跨橋塊突然倒塌(圖15、圖16)，造成當時之兩名勞工被壓致死。

災害原因分析：

1.直接原因：部份橋塊鋼管支撐架超過降伏應力，進而引起支撐架連續性之壓毀，橋塊因此掉落並挾帶兩位罹災者墜落被壓致死。

2.間接原因：

不安全狀況：

- (1)模板支撐施工方法、順序與鋼管支撐架未妥為分析與設計，鋼管支撐架之安全係數偏低。
- (2)邊跨橋塊與懸臂工作車施作之節塊尚未閉合，且邊跨橋塊未設置任何抵抗水平力之固定方式，邊跨結構易因不當擾動，引起連續性支撐壓毀，而致倒塌。
- (3)未於事前妥善規劃邊跨橋塊支撐系統，致於懸臂工作車施作閉合節塊時，必須拆除部份支撐，而致倒塌。

3.基本原因：

- (1)未確實執行門禁管制。
- (2)未設置模板支撐作業主管。
- (3)未具體告知工作環境危害因素。
- (4)未訂定標準作業程序。
- (5)未實施勞工安全衛生教育訓練及預防災變訓練。
- (6)未會同勞工代表訂定安全衛生工作守則。
- (7)未實施自動檢查。

災害防止對策：

- 1.模板支撐施工方法、順序與鋼管支撐架應妥為分析與設計，鋼管支撐架之安全係數應足夠。
- 2.在邊跨橋塊與懸臂工作車施作之節塊尚未閉合，且邊跨橋塊未設置任何抵抗水平力之固定方式前，邊跨結構不應有不當擾動。
- 3.應於事前妥善規劃邊跨橋塊支撐系統。



圖 15 橋塊前方之鋼筋皆已彎折



圖 16 橋塊腹版下 20 支鋼管支撐架皆遭壓垮

(六)林口某建築工地因模板支撐強度不足倒塌案例(如圖 17)

基地位於台北縣林口鄉，基地面積約為 14,494.53M²，地下 5 層，地上 19 層，共 7 棟 716 戶，基地略呈正方形。95 年 12 月 17 日上午開始進行 G 棟 1 樓底版灌漿作業，約下午 16 時左右，於施作最後階段之灌漿收邊耙平施工時，突然發生巨響，1 樓版模板支撐(臨中庭側)呈現崩塌及倒塌，造成 5 人罹難，1 人輕傷。崩塌區模板支撐高度版底為 515cm，樑底為 450cm，倒塌樓版崩塌之形狀為 L 型。

根據相關單位研判，災害原因包括：

- 1.模板支撐未依模板形狀、預期之荷重及混凝土澆置方式並委由專業技師妥為設計。
- 2.可調鋼管支柱連接使用時，未使用 4 個以上之螺栓或專用之金屬附屬配件加以連結。
- 3.模板支撐之以可調鋼管支柱為模板支撐之支柱，當高度超越 3.5 公尺以上時，未能於高度 2 公尺內設置足夠強度之縱向、橫向之水平繫條，以防止支柱移動。
- 4.可調鋼管支柱於調整高度時，未以制式之金屬附屬配件(如插銷)為之，以 #3 鋼筋及 #10 鐵絲替代制式之金屬附屬配件。
- 5.可調鋼管支柱與貫材及底座未確實固定。
- 6.模板支撐間距過大，支撐鋼架原規定間距是 80 公分，事故現場鋼架間距

達 1.2 公尺，支撐力不足。



圖 17 林口某建築工地模板支撐崩塌

(七)國道六號北山交流道崩塌災害(如圖 18)

國道 6 號北山交流道新建工程意外(圖 19)發生在民國 99 年 9 月 30 日下午 1 時多，工人進行國道 6 號北山交流道橋墩灌漿工程時，下方支撐鷹架突然倒塌，10 名作業工人來不及反應，陷在鋼筋鷹架、混凝土堆底下。經搜救人員搶救，陸續發現 6 名外籍勞工傷重死亡、另有 3 人受傷送醫；直到深夜 11 時 55 分發現最後 1 名失蹤外勞的屍體，整起意外共造成 7 人死亡、3 人受傷。

國道六號南投段工安已是第九度出事，此次支撐鷹架倒塌，也是最嚴重的一起，原因懷疑是支撐鷹架不穩固或施工過程出問題，學者專家認為較可能是人為疏失，而非地質等自然因素影響。

國道新工局南投工務所主任卓高端表示，初步研判可能是工人進行灌漿作業時，造成部分支撐移位，導致鷹架整體不平衡，並產生骨牌效應、連續坍塌，但詳細原因還有待進一步調查。

國工局總工程司呂介斌指出，一般鷹架倒塌多是因支撐不穩固，有時可能因鋼筋沒綁緊、綁扎不實，也可能因承載地點地質軟化、基礎沖刷或掏刷等環境變化，確實原因仍待追查。

依台大地理系教授林俊全之說法，鄰近九九峰的地質屬於較穩定的礫石層，不確定這起事故的地層是不是完全一樣，但研判不太可能有地層下陷或軟化現象，人為問題恐怕比較大。

一位不願具名的橋樑專家也指出，可能是搭設鷹架時螺栓鎖沒接好，在逐漸使用增加重量後，尤其是灌漿時重量較大，造成支撐架在沒鎖好的局部出現挫屈，引發載重失穩的骨牌效應，也有可能是長期使用後支撐鬆動，但都應透過定期檢查來確認結構穩定。

另一位不具名專家指出，高架施工應設監測系統，隨時了解鋼架結構及環境變化，55 公尺高的支撐架，每根鋼管接點就多達數百個，只要稍有幾個接點出問題，支撐架就會垮了，所以監測系統的設置與否，應列為此次事故調查重點。

國工局表示，倒塌前一天副局長陳福安才視察工程進度，包括支撐鋼架、混凝土設施均通過每日的例行性檢查才繼續施工。該局第二區工程處處長陳議標指出，目前施工中的混凝土載重量僅約完工時的三分之一，照理支架載重並無問題，初步研判可能因灌漿過程導致支撐穩定失去平衡，使鷹架出現骨牌效應而整座倒塌，但實際肇事原因仍須進一步調查釐清。

中區勞檢所官員則強調，將查明工程設計有無缺失及施工過程是否落實安檢及按圖施工，以釐清事故原因及責任歸屬。



圖 18 北山交流道未發生工安意外前的現場圖



圖 19 北山交流道崩塌現場

第二節 國內外系統式支撐架法令規定及規範

國內規範中雖無特定針對系統式支撐架的規定，但與支撐架中安全通道、上下設備、以及安全設施相關之規定，明訂於營造安全衛生設施標準中 [1]。以下列舉該相關法規之規定。營造安全衛生設施標準於民國 99 年 11 月 30 日行政院勞工委員會(99)勞安二字第 0990146556 號令修正發布，有關支撐中安全通道、上下設備、以及安全設施直接相關者整理如下：

第 17 條：雇主對於高度二公尺以上之工作場所，勞工作業有墜落之虞者，應依下列規定訂定墜落災害防止計畫，採取適當墜落災害防止設施：

- 一、經由設計或工法之選擇，儘量使勞工於地面完成作業以減少高處作業項目。
- 二、經由施工程序之變更，優先施作永久構造物之上下昇降設備或防墜設施。
- 三、設置護欄、護蓋。
- 四、張掛安全網。
- 五、使勞工佩掛安全帶。
- 六、設置警示線系統。
- 七、限制作業人員進入管制區。
- 八、對於因開放邊線、組模作業、收尾作業等及採取第一款至第五款規定之設施致增加其作業危險者，應訂定保護計畫並實施。

第 19 條：雇主對於高度二公尺以上之屋頂、鋼樑、開口部分、階梯、樓梯、坡道、工作台、擋土牆、擋土支撐、施工構台、橋樑墩柱及橋樑上部結構、橋台等場所作業，勞工有遭受墜落危險之虞者，應於該處設置護欄、護蓋或安全網等防護設備。雇主為前項設施有困難，或作業之需要臨時將護欄拆除，應採取使勞工使用安全帶等防止因墜落而致勞工遭受危險之措施。

第 20 條：雇主依規定設置之護欄，應依下列規定辦理：

一、具有高度九十公分以上之上欄杆、高度在三十五公分以上，五十五公分以下之中間欄杆或等效設備（以下簡稱中欄杆）、腳趾板及杆柱等構材。

二、以木材構成者，其規格如下：

(一)上欄杆應平整，且其斷面應在三十平方公分以上。

(二)中間欄杆斷面應在二十五平方公分以上。

(三)腳趾板高度應在十公分以上，厚度在一公分以上，並密接於地盤面或樓板面鋪設。

(四)杆柱斷面應在三十平方公分以上，相鄰間距不得超過二公尺。

三、以鋼管構成者，其上欄杆、中間欄杆及杆柱之直徑均不得小於三點八公分，杆柱相鄰間距不得超過二點五公尺。

四、採用前二款以外之其他材料或型式構築者，應具同等以上之強度。

五、任何型式之護欄，其杆柱、杆件之強度及錨錠，應使整個護欄具有抵抗於上欄杆之任何一點，於任何方向加以七十五公斤之荷重，而無顯著變形之強度。

六、除必須之進出口外，護欄應圍繞所有危險之開口部分。

七、護欄前方二公尺內之樓板、地板，不得堆放任何物料、設備，並不得使用梯子、合梯、踏凳作業及停放車輛機械供勞工使用。但護欄高度超過物料、設備、梯、凳及車輛機械之最高部達九十公分以上，或已採取適當安全設施足以防止墜落者，不在此限。

八、以金屬網、塑膠網遮覆上欄杆、中欄杆與樓板或地板間之空隙者，依下列規定辦理：

(一)得不設腳趾板。但網應密接於樓板或地板，且杆柱之間距不得超過一點五公尺。

(二)網應確實固定於上欄杆、中欄杆及杆柱。

- (三) 網目大小不得超過十五平方公分。
- (四) 固定網時，應有防止網之反彈設施。

第 22 條：雇主設置之安全網，應依下列規定辦理：

- 一、安全網之材料、強度、檢驗及張掛方式，應符合國家標準 CNS 14252 Z2115 安全網之規定。
- 二、工作面至安全網架設平面之攔截高度，不得超過七公尺。但鋼構組配作業得依本標準第一百五十一條之規定辦理。
- 三、為足以涵蓋勞工墜落時之拋物線預測路徑範圍，使用於結構物四周之安全網時，應依下列規定延伸適當之距離。但結構物外緣牆面設置垂直式安全網者，不在此限：
 - (一) 攔截高度在一點五公尺以下者，至少應延伸二點五公尺。
 - (二) 攔截高度超過一點五公尺且在三公尺以下者，至少應延伸三公尺。
 - (三) 攔截高度超過三公尺者，至少應延伸四公尺。
- 四、工作面與安全網間不得有障礙物；安全網之下方應有足夠之淨空，以避免墜落人員撞擊下方平面或結構物。
- 五、材料、垃圾、碎片、設備或工具等掉落於安全網上，應即清除。
- 六、安全網於攔截勞工或重物後應即測試，其防墜性能不符第一款之規定時，應即更換。
- 七、張掛安全網之作業勞工應在適當防墜設施保護之下，始可進行作業。
- 八、安全網及其組件每週應檢查一次。有磨損、劣化或缺陷之安全網，不得繼續使用。

第 23 條：雇主提供勞工使用之安全帶或安裝安全母索時，應依下列規定辦理：

- 一、安全帶之材料、強度及檢驗應符合國家標準 CNS 7534 Z2037 高處作業用安全帶、CNS 6701 M2077 安全帶(繫身型)、CNS 14253 Z2116 背負式安全帶及 CNS 7535 Z3020 高處作業用安全帶檢驗法之規定。
- 二、安全母索得由鋼索、尼龍繩索或合成纖維之材質構成，其最小斷裂強度應在二千三百公斤以上。
- 三、安全帶或安全母索繫固之錨錠，至少應能承受每人二千三百公斤之拉力。
- 四、安全帶之繫索或安全母索應予保護，避免受切斷或磨損。

五、安全帶或安全母索不得鈎掛或繫結於護欄之杆件。但該等杆件之強度符合第三款規定者，不在此限。

六、安全帶、安全母索及其配件、錨錠，在使用前或承受衝擊後，應進行檢查，如有磨損、劣化、缺陷或其強度不符第一款至第三款之規定者，不得再使用。

七、勞工作業中，需使用補助繩移動之安全帶，應具備補助掛鈎，以供勞工作業移動中可交換鈎掛使用。但作業中水平移動無障礙，中途不需拆鈎者，不在此限。

八、水平安全母索之設置，應依下列規定辦理：

(一)水平安全母索之設置高度應大於三點八公尺，相鄰二支柱間之最大間距得採下式計算之值，其計算值超過十公尺者，以十公尺計： $L=4(H-3)$ ，其中 $H \geq 3.8$ ，且 $L \leq 10$

L：母索支柱之間距（單位：公尺） H：垂直淨空高度（單位：公尺）

(二)支柱與另一繫掛點間、相鄰二支柱間或母索支柱間之安全母索僅能繫掛一條安全帶。

(三)每條安全母索能繫掛安全帶之條數，應標示於母索錨錠端。

九、垂直安全母索之設置，應依下列規定辦理：

(一)安全母索之下端應有防止安全帶鎖扣自尾端脫落之設施。

(二)每條安全母索應僅提供一名勞工使用。但勞工作業或爬昇位置之水平間距在一公尺以下者，得二人共用一條安全母索。

除了以上安全通道、上下設備、以及安全設施相關之規定外，國內針對模板支撐架之結構以及其他須注意事項，也有許多法規對其使用進行規範，而這些相關法規亦有部分可規範系統式支撐架之使用，與模板支撐直接相關之規定，明訂於營造安全衛生設施標準、勞工檢查法第 28 條所訂勞工有立即發生危險之虞認定標準，及加強公共工程勞工安全衛生管理作業要點等。以下列舉該相關法規之規定。

營造安全衛生設施標準：

營造安全衛生設施標準中有關模板支撐的規定主要規定在「營造安全衛生設施標準」的第九章 鋼筋混凝土作業，包括第 129 條至第 147 條。其中與模板支撐架直接相關者整理如下：

第 130 條：雇主對於供作模板支撐之材料，不得有明顯之損壞、變形或腐蝕。

第 131 條：雇主對於模板支撐，應依下列規定辦理：

- 一、為防止模板倒塌危害勞工，高度在五公尺以上，且面積達一百平方公尺以上之模板支撐，其構築應依相關法規所定具有建築、結構等專長之人員或委由專業機構，事先依模板形狀、預期之荷重及混凝土澆置方法等妥為安全設計；前述以外之模板支撐，由專人辦理構築設計，均應簽章確認之。
- 二、支柱應視土質狀況，襯以墊板、座板或敷設水泥等，以防止支柱之沉陷。
- 三、支柱之腳部應予以固定，以防止移動。
- 四、支柱之接頭，應以對接或搭接妥為連結。
- 五、鋼材與鋼材之接觸部分及搭接重疊部分，應以螺栓或鉚釘等金屬零件固定之。
- 六、對曲面模板，應以繫桿控制模板之上移。
- 七、橋樑上構模板支撐，其模板支撐架應設置側向支撐及水平支撐，並於上、下端連結牢固穩定，支柱（架）腳部之地面應夯實整平，排水良好，不得積水。
- 八、橋樑上構模板支撐，其模板支撐架頂層構台應鋪設踏板，並於構台下方設置強度足夠之防護網，以防止人員墜落、物料飛落。

雇主對於前項第一款模板支撐之構築，應繪製施工圖說、訂定混凝土澆置計畫，建立按施工圖說施作之查驗機制；設計、施工圖說、查驗等相關資料應簽章確認紀錄，於模板支撐未拆除前，應妥存備查。

前二項之設計、施工圖說等資料，由委外設計者提供時，雇主應責成所僱之專任工程人員依實際需要檢核，並簽章確認；有變更設計時，其強度計算書及施工圖說應重新製作。

第 131-1 條：雇主對於橋樑工程採支撐先進工法、懸臂工法等以支撐架或工作車推進方式施工時，應依下列規定辦理：

- 一、支撐架或工作車之支撐、懸吊及錨定系統，應依預期之荷重、混凝土澆置方法及支撐架或工作車推進時之移動荷重等因素，委由專任工程人員或指定專人妥為設計，確認具有足夠之強度，並設計必要之工作臺及防護設施，依設計資料繪製組立圖及施工圖說，以防止支撐架或工作車倒塌危害勞工，組立圖及施工圖說應保存至完工為止。
- 二、組立支撐架或工作車時，應指派專人決定作業方法及於現場直接指揮作業，並確認下列事項：
 - (一)依前款組立圖及施工圖說施工。

(二)支撐架或工作車推進前，軌道應確實錨錠。

(三)支撐架或工作車推進或灌漿前，承載工作車之箱型樑節塊，應具備充分之預力強度。

三、支撐架或工作車之支撐、懸吊及錨定系統之材料，不得有明顯之損傷、變形或腐蝕。使用之錨錠鋼棒型號不同時，鋼棒應標示區別之。

四、支撐架或工作車推進或灌漿前，應確認支撐架或工作車連接構件之螺栓、插銷等應妥實設置。

五、支撐架或工作車推進時，應設置防止人員進入推進路線下方之設施。

六、支撐架或工作車應設置制動停止裝置。

七、工作車千斤頂之墊片或墊塊，應採取繫固措施，以防止滑脫偏移。

第 131-2 條：雇主對於橋樑工程之預力施作，應俟混凝土達可施拉強度方得施拉，且施拉預力之千斤頂及油壓機等機具，應妥為固定。

施拉預力時及施拉預力後，雇主應設置防止鋼鍵等射出危害勞工之設備，並採取射出方向禁止人員出入之設施及設置警告標示。

第 132 條：雇主對於模板支撐之支柱之基礎，應依土質狀況，依下列規定辦理：

一、挖除表土及軟弱土層。

二、回填爐石渣或礫石。

三、整平並滾壓夯實。

四、鋪築預力混凝土層。

五、鋪設足夠強度之覆工板。

六、注意場撐基地週邊之排水，豪大雨後，排水應宣洩流暢，不得積水。

七、農田路段或軟弱地盤應加強改善，並強化支柱下之土壤承载力。

第 133 條：雇主對於模板支撐組配、拆除（以下簡稱模板支撐）作業，應指派模板支撐作業主管於作業現場辦理下列事項：

一、決定作業方法，指揮勞工作業。

二、實施檢點，檢查材料、工具、器具等，並汰換其不良品。

三、監督勞工確實使用個人防護具。

四、確認安全衛生設備及措施之有效狀況。

五、其他為維持作業勞工安全衛生所必要之措施。

前項第二款之汰換不良品規定，對於進行拆除作業之代拆物件不適用之。

第 134 條：雇主以一般鋼管為模板支撐之支柱時，應依下列規定辦理：

- 一、高度每隔二公尺內應設置足夠強度之縱向、橫向之水平繫條，並與牆、柱、橋墩等構造物或穩固之牆模、柱模等妥實連結，以防止支柱移位。
- 二、上端支以樑或軌枕等貫材時，應置鋼製頂板或托架，並將貫材固定其上。

第 135 條：雇主以可調鋼管支柱為模板支撐之支柱時，應依下列規定辦理：

- 一、可調鋼管支柱不得連接使用。
- 二、高度超過三點五公尺者，每隔二公尺內應設置足夠強度之縱向、橫向之水平繫條，並與牆、柱、橋墩等構造物或穩固之牆模、柱模等妥實連結，以防止支柱移位。
- 三、可調鋼管支撐於調整高度時，應以制式之金屬附屬配件為之，不得以鋼筋等替代使用。
- 四、上端支以樑或軌枕等貫材時，應置鋼製頂板或托架，並將貫材固定其上。

第 136 條：雇主以鋼管施工架為模板支撐之支柱時，應依下列規定辦理：

- 一、鋼管架與鋼管架間，應設置交叉斜撐材。
- 二、於最上層及每隔五層以內，模板支撐之側面、架面及每隔五架以內之交叉斜撐材面方向，應設置足夠強度之水平繫條，並與牆、柱、橋墩等構造物或穩固之牆模、柱模等妥實連結，以防止支柱移位。
- 三、於最上層及每隔五層以內，模板支撐之架面方向之二端及每隔五架以內之交叉斜撐材面方向，應設置水平繫條或橫架。
- 四、上端支以樑或軌枕等貫材時，應置鋼製頂板或托架，並將貫材固定其上。
- 五、支撐底部應以可調型基腳座鈹調整在同一水平面。

第 137 條：雇主以型鋼之組合鋼柱為模板支撐之支柱時，應依下列規定辦理：

- 一、支柱高度超過四公尺者，應每隔四公尺內向二方向設置設置足夠強度之縱向、橫向之水平繫條，並與牆、柱、橋墩等構造物或穩固之牆模、柱模等妥實連結，以防止支柱移位。
- 二、上端支以樑或軌枕等貫材時，應置鋼製頂板或托架，並將貫材固定其上。

第 138 條：雇主以木材為模板支撐之支柱時，應依下列規定辦理：

- 一、木材以連接方式使用時，每一支柱最多僅能有一處接頭，以對接方式連接使用時，應以二個以上之牽引板固定之。
- 二、上端支以樑或軌枕等貫材時，應使用牽引板將上端固定於貫材。

- 三、支柱底部須固定於有足夠強度之基礎上，且每根支柱之淨高不得超過四公尺。
- 四、木材支柱最小斷面積應大於三十一·五平方公分，高度每二公尺內設置足夠強度之縱向、橫向水平繫條，以防止支柱之移動。

第 139 條：雇主對模板支撐以樑支持時，應依下列規定辦理：

- 一、將樑之兩端固定於支撐物，以防止滑落及脫落。
- 二、於樑與樑之間設置繫條，以防止橫向移動。

第 147 條：雇主應依構造物之物質、形狀、混凝土之強度及其試驗結果、構造物上方之工作情形及當地氣候之情況，確認構造物已達到安全強度之拆模時間，方得拆除模板。

- 一、勞動檢查法第 28 條中對於勞工有立即發生危險之虞認定標準有立即發生危險之虞之認定標準中，與模板支撐有關的規定如下：

第 5 條第 4 款：模板支撐支柱基礎之周邊易積水，導致地盤軟弱，或軟弱地盤未強化承載力。

- 二、加強公共工程勞工安全衛生管理作業要點與模板支撐有關的規定如下：

第 12 條：機關辦理工程招標時，應於招標文件及契約明定下列安全衛生監督查核事項：

- (一) 監督查核之管理組織、查核人員資格及人力配置。
- (二) 訂定工程監督查核計畫及實施方式。
- (三) 監督查核計畫列明安全衛生監督查核之查驗點、查核項目、內容、判定基準、查核頻率、查核人員及查核後之處理方式與改善追蹤。
- (四) 施工架、支撐架、擋土設施等假設工程、起重機具組拆，及具有墜落、滾落、感電、倒塌崩塌、局限空間危害之虞之作業項目，應列為查核重點。
- (五) 於各作業施工前，就施工程序設定安全衛生查核點，據以執行。
- (六) 於施工中、驗收或使用前，分別實施必要之查核，以確認其符合性；相關執行紀錄自查核日起保存三年。
- (七) 監督查核人員未能有效執行安全衛生監督查核者，經工程主辦機關通知後，應即更換之。
- (八) 因監督查核不實致機關受損害者，應於契約明訂罰則。

前項監督查核事項，機關得單獨招標或列入契約之後續擴充條款規定辦理之。

本研究除蒐集整理上述國內對模板支撐之規範外，為使研究對系統式支撐架使用及特性能有更完整的瞭解與掌握，另外亦蒐集並整理了國外對於系統式支撐架之規範，包含美國、日本、中國大陸、及澳洲等國家之規定，整理如下所示：

一、美國

美國勞工部職業安全衛生部門(United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration)職業安全衛生標準第 1926 號營造安全與衛生規範 (Part 1926 - SAFETY AND HEALTH REGULATIONS FOR CONSTRUCTION) M 部分 (Subpart M - Fall Protection) [2] 規定營建現場工地支撐季墜落防護的各項安全要求。內容涵蓋適用範圍、雇主責任、以及墜落防護設施之標準，其中有關墜落防護設施之標準部分與前述之『營造安全衛生設施標準』相關條文相似。

另外針對支撐結構強度要求部分，則有以下規範：

美國國家標準(ANSI)A10.9 - 2004：施工及拆除國家標準：磚及混凝土構造施工安全規定(American National Standard for Construction and Demolition Operation: Safety Requirements for Masonry and Concrete Work)規定與混凝土施工相關的安全要求。針對垂直支撐方面，對於設計載重及安全係數、施工、拆除等也有規定。

美國混凝土協會 ACI 318-02 混凝土結構建造規範(Building Code Requirements for Structural Concrete)之第 6 章：模板、地下埋管及施工縫規範(Code for Formwork, Embedded Pipes, and Construction Joints)，訂定模板支撐之設計、拆除與回撐等規範，其中 6.2.2.1 節規定承包廠商於施工前應提送模板支撐拆除及回撐計畫書，以及模板支撐拆除過程中力量傳遞之計算書。

美國混凝土協會 ACI 347-04 混凝土模板支撐指引(Guide to Formwork for Concrete)主要目標為模板支撐的安全、品質及經濟。對象包括設計者及承包商，內容包括建築工程、橋梁工程、薄殼結構、巨積混凝土及地下結構物之模板支撐材料、設計、施作的相關規定。

美國混凝土協會 ACI 347.2R-05，混凝土模板指引[(Guide for Shoring/Reshoring of Concrete Multistory Buildings)規定混凝土及預力混凝土高樓施作時的支撐/回撐的設計準則，並提供安全的施工流程及設計範例以供支撐架設計工程師或承包廠商使用。

二、日本

日本在勞工安全衛生規則 [3] 中有明確對模板支撐之使用進行規範，其中針對

支撐架材料、構件之要求與支撐架中安全通道、上下設備、以及安全設施相關者包括第 237 條至 247 條，其詳細條文如下：

第 237 條：業主使用之模板支撐材料，需無明顯損傷、變形及腐蝕現象。

第 238 條：業主所使用之模板支撐支柱、橫梁及橫梁支撐物之主要鋼材部分，依日本工業規格 G3101(一般構造用壓延鋼材)、日本工業規格 G3106(熔接構造用壓延鋼材)、日本工業規格 G3444(一般構造用碳鋼鋼管)、日本工業規格 G3350(建築構造用冷凝成型輕量型鋼)所規定之適用規格，或日本工業規格 Z2241(金屬材料拉力試驗方法)所規定之試驗方法中，拉力強度之值達 330N/mm² 以上，另外伸長率之規定，依據鋼材之種類及所滿足之拉力強度，如表 1 所規定。

表 1 鋼材種類之拉力強度

鋼材之種類	拉力強度(單位：N/mm ²)	伸長率(單位：%)
鋼管	330 以上未滿 400	25 以上
	400 以上未滿 490	20 以上
	490 以上	10 以上
鋼板、型鋼、平鋼或輕量型鋼	330 以上未滿 400	21 以上
	400 以上未滿 490	16 以上
	490 以上未滿 590	12 以上
	590 以上	8 以上
棒鋼	330 以上未滿 400	25 以上
	400 以上未滿 490	20 以上
	490 以上	18 以上

第 239 條：業主在使用模板支撐時，若模板之形狀、混凝土之灌漿方法等無法使構造穩固，則不得使用。

第 240 條：

1. 業主在組搭模板支撐時需製作組搭圖，另外在組搭時需依照組搭圖之設計方式組搭。
2. 前項所規定之組搭圖中，內容需包含支柱、橫梁、繫條及拉桿等之配置、續接之方法及尺寸。
3. 與第一項相關之模板支撐設計上，需依下列事項所規定。

- (1)若支柱、橫梁及橫梁支撐物(以下簡稱「支柱等」)未被使用在組搭上，則設計載重(與模板支撐及支撐物相當之重量，在模板上每一平方公尺施加 50kg 之載重，以下各條文相同)需不得超過相關支柱等之自身極限載重及相關支柱材料之容許應力。
- (2)若使用支柱等物件組搭時，則設計載重不得超過相關支柱等製造商所訂定之最大使用載重。
- (3)若使用鋼管框架等作為支柱時，需使用在相關模板支撐之上端施加相當於設計載重之 2.5%水平力時，模板支撐本身之構造依舊安全之元件。
- (4)若使用鋼管框架以外之物件作為支柱時，需使用在相關模板支撐之上端施加相當於設計載重之 5%水平力時，模板支撐本身之構造依舊安全之元件。(平四勞令 24、部分修正)

第 241 條：前條第三項第一號材料之容許應力值依下列規定。

1. 鋼材之容許彎曲應力及容許抗壓應力之值，需為相關鋼材之降伏強度值或拉力強度值之四分之三以內或最小值之三分之二以下。
2. 鋼材之容許剪斷應力之值，需為相關鋼材之降伏強度值或拉力強度值之四分之三以內或最小值之 38%以下。
3. 鋼材之容許挫屈應力之值，需在下列式子所求得之數值以下。

$$l/i \leq \Lambda \text{ 時， } \sigma_c = ((1 - 0.4((l/i) / \Lambda)^2) / \nu) F$$

$$l/i > \Lambda \text{ 時， } \sigma_c = (0.29 / ((l/i) / \Lambda)^2) F$$

l ：支柱長度(若支柱有束縛住水平方向變位時，則為兩束縛點間之長度)(單位：cm)

i ：支柱之最小斷面二次半徑(單位：cm)

$$\Lambda : \text{臨界細長比} = \sqrt{(\pi^2 E / 0.6F)}$$

其中 π 為圓周率， E 為相關鋼材之楊氏係數(單位：N/cm²)

σ_c ：容許挫屈應力之值(單位：N/cm²)

$$\nu : \text{安全係數} = 1.5 + 0.57((l/i) / \Lambda)^2$$

F ：相關鋼材之降伏強度值或拉力強度值之四分之三以內之極小值(單位：N/cm²)

第 242 條：業主在使用模板支撐時，需遵照下列規定。

- 1.需採用角底板、打設混凝土、打樁等防止支柱下沉之措施。
- 2.需採取將支柱之腳部固定，裝設根部橫材等避免支柱腳部滑動之措施。
- 3.在支柱之續接上，使用突合式續接或插銷式續接方式。
- 4.鋼材與鋼材之接合處及交錯處，需用螺栓、夾具等金屬零件將其固定。
- 5-1.當模板形狀為曲面時，需另行裝設支撐等防止該模板浮出之設施。
- 5-2.在 H 型鋼或 I 型鋼 (以下各號簡稱為「H 型鋼等」)上使用地板下橫材、角底板之水平材時，在該 H 型鋼等之支柱、基腳座板等續接端，即集中載重作用之位置，若該 H 型鋼等之斷面產生變形時，需在該續接之位置裝設補強材料。
- 6.當使用鋼管(可調單管支撐除外。以下各條文相同)作支柱用途時，需針對該鋼管之部分進行下列規定。
 - (1)需在高度 2m 以內之水平方向二方向設置繫條，另需防止水平繫條之移位。
 - (2)若在鋼管上端使用橫梁及地板下橫材時，應在鋼管上端裝設鋼製之頂板使橫梁及地板下橫材固定。
- 7.當使用可調單管作支柱用途時，需針對該可調單管支撐進行下列規定。
 - (1)不可將三支以上之可調單管支撐續接使用。
 - (2)當可調單管支撐續接使用時，需使用四個以上之螺絲或專用之金屬固定元件固定後方得以續接。
 - (3)若使用高度超過 3.5m 以上時，需比照前號之相關規定實施。
- 8.當使用鋼管框架作支柱用途時，需針對該鋼管框架進行下列規定。
 - (1)鋼管框架與鋼管框架之間需設置交叉拉桿。
 - (2)在最上層及每五層以內之位置，其與模板支撐側面平行之框面方向及每五層以內之交叉拉桿面方向，需裝設水平繫條，另外需避免水平繫條之變位。
 - (3)在最上層及每五層以內之位置，其模板支撐之框面方向兩端及每五層以內之處，需在交叉拉桿面方向裝設水平踏板。
 - (4)需採用第六號 2 項所規定之措施。
- 9.若將組搭用鋼柱作支柱用途時，需針對該組搭用鋼柱進行下列規定。
 - (1)需採用第六號 2 項所規定之措施。

(2)若使用之高度超過 4m，則需在 4m 以內之兩方向裝設水平繫條，另外需防止水平繫條之變位。

(3)若使用 H 型鋼等作支柱用途時，該 H 型鋼之相關規定需採用第六號口項所規定之措施。

10.若使用以橫梁構成之物件，需遵循下列規定。

(1)橫梁之兩端需使用支撐物固定，並避免橫梁之脫落及滑動。

(2)在橫梁與橫梁間需設置繫條，以避免橫梁之傾倒。

第 243 條：業主在將底板、角底板等以夾層方式作段狀組搭模板支撐時，除需遵循前條各號所規定之事項外，另外需遵循下列各項規定。

1. 模板支撐除不得已之情形下，不得將底板及角底板等夾兩層以上。

2. 將底板及角底板重疊使用時，需將底板及角底板等牢牢固定。

3. 支柱需使用底板及角底板等固定。

第 244 條：業主在實行混凝土之打設作業時，需依照下列規定。

1. 需在當日施工開始前，將模板支撐相關之各元件作詳細檢查，如有發現異狀需立即補強。

2. 在施工中如發現模板支撐有異常狀況時，需採取馬上中斷施工之措施。

第 245 條：業主在實行模板支撐之組搭及拆卸時，需依照下列規定。

1. 在進行施工之區域中，不得令相關勞工以外之人員進入。

2. 若遇到強風、大雨、大雪等惡劣氣候、或預測施工時會有危險之情形下，不得令該工程之勞工從事工作。

3. 將材料、器具及工具上下移動時，需令勞工使用吊式綱繩、吊袋作移動。

第 246 條：業主在遵循勞動安全衛生法施行令第六條第十四項時，所任用之模板支撐組搭等工地主任需研修過模板支撐組搭工地等主任之技能講習後方能任用。

第 247 條：業主需令模板支撐組搭等工地主任遵循下列事項。

1. 決定施工之方法，並需直接在現場指揮施工。

2. 檢查材料、器具及工具有無缺陷，並汰除不良品。

在施工時，需監視現場勞工之安全帶及安全帽使用狀況。

另外規範中要求在組搭時需依照組搭圖之設計方式組搭;第 518 至 521 條與墜落防止及安全帶相關;而第 530 條則規範了人員管制要求。

三、中國大陸

中國大陸於 2010 年依據江蘇省工程建設標準之「建築施工承插型盤扣式鋼管支架安全技術規程」，建立了中華人民共和國行業標準-建築施工承插型盤扣式鋼管支架安全技術規程 (JGJ 231-2010) [4]，其中有針對系統式施工架與支撐架之相關規定，與本研究相關之支撐架部分，僅包括構造之要求、荷載標準值及模板支撐架之計算。其詳細條文如下：

(一) 構造要求

模板支撐架應根據施工方案計算得出的立桿排架尺寸組配水平桿，並根據支撐高度組配套插的立桿段、可調托座和可調底座。

搭設高度不超過 8m 的滿堂模板支架時，支架架體四周外立面向內的第一跨每層均應設置斜桿，架體整體最底層以及最頂層均應設置豎向斜桿，並在架體內部區域每隔 4~5 跨由底至頂層均設置豎向斜撐(圖 20)或採用扣件鋼管搭設的大剪刀撐(圖 21)，中間各道剪刀撐間的淨距不應大於四排支架立桿間距。滿堂模板支架的架體高度不超過 4m 時，可不設置頂層水平斜桿，架體高度超過 4m 時，應設置頂層水平斜桿。

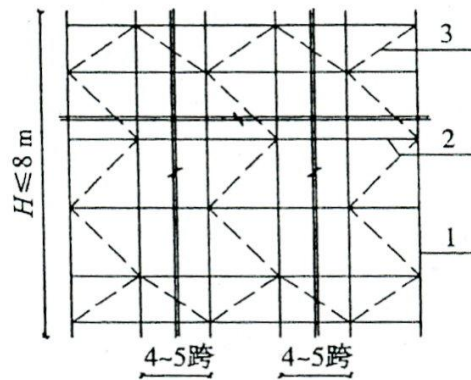


圖 20 高度小於 8m 的斜桿設置

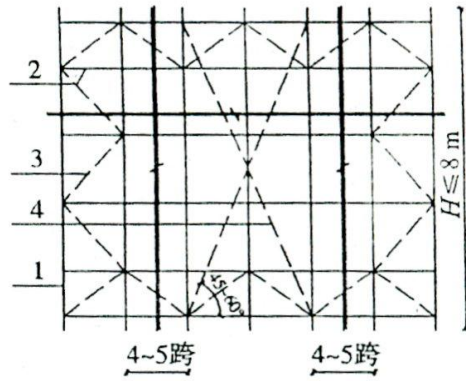


圖 21 高度小於 8m 的剪刀撐設置

搭設高度超過 8m 的滿堂模板支架時，斜桿應滿佈設置，並控制水平桿的步距不超過 1.5m，沿高度每隔 3~4 個標準步距設置水平層斜桿或大剪刀撐，並應與周邊結構形成可靠拉結(圖 22)。對於長條狀的獨立高支模架，應控制架體總高度與架體的寬度比 H/B 不大於 3(圖 23)，否則應擴大下部架體寬度，或者按有關規定驗算，並按照驗算結果採取設置纜繩等加固措施。

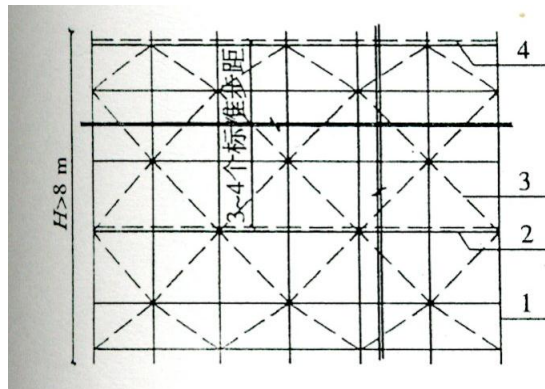


圖 22 高度大於 8m 水平斜桿設置

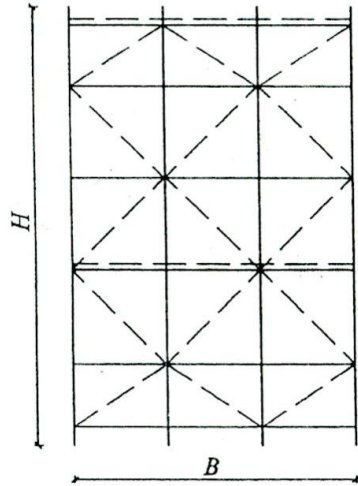


圖 23 條狀支模架的高寬比

模板支撐架應嚴格控制立桿可調托架的伸出頂層水平桿的懸臂長度(圖 24)。不應超過 650mm，架體最頂層的水平桿步距應比標準步距縮小一個盤扣間距。

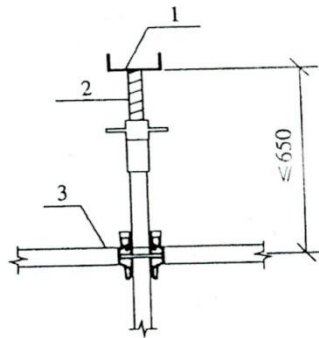


圖 24 可調托座伸出頂層水平桿的懸臂長度

(二) 荷重標準

模板支撐的荷載分類可分為永久荷載(恆荷載)和可變荷載(活荷載)，模板支撐的永久荷載一般包括兩種荷載，即作用在支架結構頂部的新澆築混凝土、鋼筋、模板以及模板支撐梁的自重，另一種為模板支撐架結構架體的自重，包括立桿、水平桿以及斜桿的自重，此外還有少量的配件自重。

模板支撐架的可變荷載一般包括下列四種荷載，分別為作用在支架結構頂部模板上的施工作業人員、施工設備、超過澆築構件厚度的混凝土料堆放荷載；振搗混凝土時產生的豎向荷載；泵送混凝土時泵管振動引起的水平荷載；以及風荷載。

模板支撐架荷載的標準值，作用於模板支撐架頂部的水平模板自重標準值，應根據模板設計圖紙確定。對一般肋形樓板及無梁樓板模板的自重標準值，可按表 2 採用。支架的架體自重標準值按支模方案並參照桿件自重計算確定。

表 2 樓板模板自重標準值(kN/m²)

模板構件名稱	木模板	定型鋼模板
平板的模板及小楞	0.3	0.5
樓板模板(包括梁模板)	0.5	0.75

模板支撐架的活荷載標準值，施工人員及設備荷載標準值按均布活荷載取 1.5 kN/m²；振搗混凝土時產生的垂直荷載標準值可採用 2.0 kN/m²，特別堆載應按實際情況另外計算。

模板支撐架水平荷載，考慮施工中的混凝土澆築時泵管振動等各種未預見因素產生的水平荷載的標準值一般可取 2%的垂直永久荷載標準值以及按 1.5 kN/m² 水平線荷載折算的荷載標準值之間的較大者，並且以線荷載的形式作用在架體頂部水平方向。

(三) 模板支撐架之計算

整體失穩是承插型盤扣式鋼管模板支撐架的主要破壞形式，考慮到該支架的設計計算一般由施工現場工程技術人員進行，因此採用單立桿穩定性驗算的形式來驗算模板支架的整體穩定性。

承插型盤扣式鋼管支撐架結構本質上是一種半剛性空間框架鋼結構，水平桿與立桿之間連接為介於「絞接」與「剛接」之間的一種連接形式。採用速接架作為模板支撐架一般要保證支架的立桿為軸心壓桿件。

承插型盤扣式鋼管支架作為支模架時可採用雙槽鋼擱置在八角盤上作為支撐模板面板及楞木的托梁，但應另外驗算雙槽鋼的強度(如圖 25)、撓度：

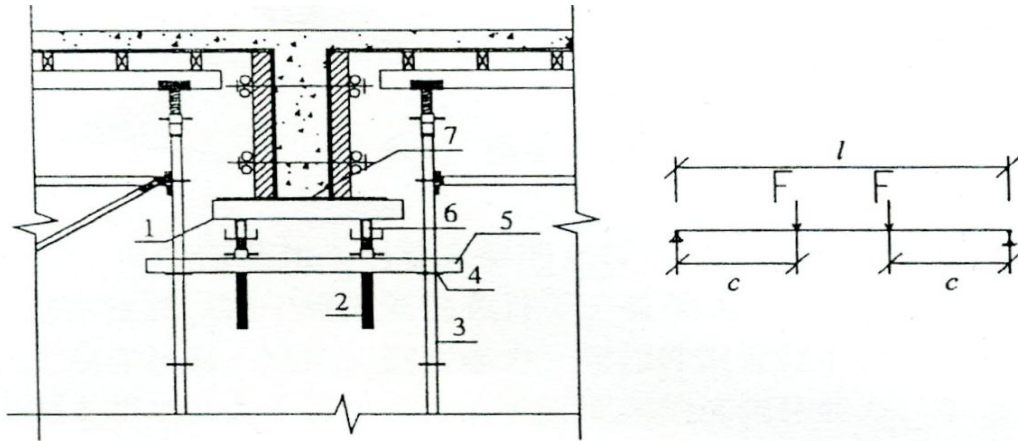


圖 25 雙槽鋼托梁承載力計算簡圖

1. 雙槽鋼托梁抗彎承載力計算

可將梁底模的均布荷載簡化為作用到托梁上的兩及中力 F ，水平桿上的彎矩按下式計算：

$$M = F \cdot c$$

其中 M —雙槽鋼托梁彎矩；

F —單跟雙槽鋼托梁支撐範圍內承擔的豎向荷載的一半；

c —模板木楞梁至雙槽鋼托梁端部水平距離。

雙槽鋼托梁的抗彎承載力應滿足：

$$M/W \leq f$$

式中 W —雙槽鋼的截面模量。

2. 雙槽鋼托梁撓度計算

雙槽鋼托梁的撓度應符合下式規定：

$$v_{\max} = Fc/24EI(3l^2 - 4c^2) \leq [v]$$

式中 v_{\max} —雙槽鋼托梁最大撓度；

E —鋼材的彈性模量， $E=2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ；

I —雙槽鋼的截面慣性矩；

$[v]$ —容許撓度，應按本規範表採用；

l —計算跨度。

四、澳洲

澳洲各省均有其各自的職業衛生、安全、及福利規範，現在最新修訂者為 2010 年修訂之南澳省職業衛生、安全、及福利規範 (South Australia Occupational Health,

Safety, and Welfare Regulations 2010) [5]。在該規範之第二部：一般工作場合 (Part 2: General workplace) 中的第九篇：墜落防止 (Division 9: Prevention of falls) 中有界定雇主責任，應使用之墜落防止設施及設備等條文。

第三節 國內外系統式支撐架文獻探討

一、國內相關文獻

- (一) 模板支撐失效模式與倒崩塌相關性研究[6]，文中主要針對模板支撐施工的安全性提出災害要因及失效模式，藉以掌握其相關性，達到控制失效要因。其中設計主要缺失包括載重考慮不當、與施工特性不符及未訂定模板支撐拆除時機與工序；施工主要缺失為使用材料強度不足、施加超過預期之載重、未依圖施作及支撐架過早拆除；管理缺失包含查驗項目不足及查驗頻率不足等，藉由統整出之危害要因建立模板支撐倒崩塌之風險評估，提出預防與控制對策，並建立模板支撐安全性能指引。
- (二) 橋梁型鋼支撐架及重型鋼管支撐架系統之安全性評估研究[7]，文中主要探討支撐形式，探討支撐架在何種情況下使用、應用何種方法及所忽略的安全作業流程，能讓施工人員處於最安全的施工環境、習慣最安全的行為及動作，並從業人員觀念、看法與作法的不同，探討其所產生的危害性，找出其災害防治方法。
- (三) 大型模板支撐之系統式支撐架安全性能評估與強度測試[8]，文中針對系統式支撐架安全上下設備之架設，提出工地一般常用的方式，搭設外掛式爬梯及於支撐架內部架設樓梯兩種作法，另外亦提出幾點作法及施作原則，提供現場依照工程實際狀況及需求，進行上下設備的規劃及考量。在各種形式的上下設備中，雖非在所有系統式支撐架之組搭下皆可適用，但仍可做為本研究後續進行評估考量後，尋找出最適於因應不同組搭條件之上下設備組搭形式，期望可以解決現場搭設不易之狀況。開發並整合一套系統式支撐架之上下設備，達到使勞工能安全上下之目的。

二、國外相關文獻

目前國外文獻搜尋，發現大多數模板支撐相關文獻均著重在結構方面，例如：Peng, Pan, and Chan, 1998的文章“Simplified models for analysis and design of modular falsework”[9] 探討以簡化模型分析與設計支撐架；Chandrangsu and

Rasmussen 2011的文章 "Structural modelling of support scaffold systems"[10] 則探討支撐系統的結構模型；而Zhang, Rasmussen, and Ellingwood, 2012的文章 "Reliability assessment of steel scaffold shoring structures for concrete"[11]則是針對混凝土模板支撐的可靠度進行探討。而與支撐架墜落防止較為相關的文章有Adam, Pallarés, and Calderón 的論文 "Falls from height during the floor slab formwork of buildings: Current situation in Spain"[12]，文中透過問卷調查方式探討西班牙國內在支撐架設置模板時，各式墜落防止裝置的安全性及可行性問題。

近幾年還有另外一類型的文獻則著重於利用資訊技術探討假設工程相關的問題，例如Meadati, Irizarry, and Aknoukh 2011年的研討會論文 "BIM and Concrete Formwork Repository"[13]探討利用BIM技術建立模板支撐構件資料庫及其應用；Zhou, Whyte, and Sacks 2012的文章"Construction safety and digital design: A review"[14]則是回顧了各種資訊技術在營造安全的應用，並建議須有各技術間溝通之工具才能進一步充分運用這些技術。Monteiro and Martins "A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design"[15] 中利用BIM技術進行數量估算，文中提及模板支撐數量估算的困難點以及可行的克服方式。2013年Zhang, et al. 的論文"Building Information Modeling (BIM) and Safety Checking of Construction Models and Schedules"[16]提出利用建築資訊模型，透過安全規範的程式化，進行安全規劃的自動檢查，該文中也建置了一個初步的檢查軟體系統。雖然如上所述研究類型論文較少直接探討支撐架的安全問題，但是政府機關仍然有許多技術報告或指引，例如美國聯邦高速公路管理局（Federal Highway Administration, FHWA）即曾於 1991 提出相關報告 "Synthesis of Falsework, Formwork, and Scaffolding for Highway Bridge Structures"[17]並於 1994 年修訂；美國加州運輸部也有相關手冊 "Trenching and Shoring Manual, 2010"[18]以及 "Falsework Manual, 2012"[19]，但前者所提之支撐著重在擋土支撐，後者則對支撐架有部分著墨；澳洲提出支撐與假設工程指引 "Formwork and Falsework Code of Practice"[20]，南澳省也有 "Industry Guide for Formwork, 2012"[21]。這些文獻都針對支撐架提書詳盡的指引，但其內容仍然多著重於結構分析及設計。

第三章 系統式支撐架危害分析及災害預防對策

第一節 國內外系統式支撐架使用現況探討

以下各圖示為系統式支撐架使用在工地之現況，其可靈活運用在各種不同條件之地形與各式建物外觀，在適當情況下還可同時與施工架合併使用。

一、系統式支撐架現場使用情形一(台中潭子)

該工地為一鐵道高架橋梁，現況如圖 26 所示。該組支撐架組搭方式為地面組裝後，再由吊車吊裝（流程示意圖如圖 27 、圖 28 ）所示。採用此方式可有效減少高處作業，降低墜落發生可能。



圖 26 系統式支撐架現場使用情形



圖 27 於地面組裝系統式支撐架



圖 28 由吊車吊掛組搭系統式支撐架

圖 29 所示為組搭完成後之支撐架，其中上下設備及通道（水平踏板）均於地面組裝時即設置完成。但現地訪視時發現通道僅有部分設置安全母索，有小部分無護欄或母索，雖然通道下面都有安全網，但如果有護欄或母索，安全性可更提高。上下設備方面，因支撐架組裝調整完成後，原則上不會有工作人員進入，因此現場該區域以管制，防止人員使用。



圖 29 支撐架中的上下設備及通道

二、系統式支撐架使用框式施工架為上下設備及施工通道(高雄橋頭)

此工地為一大型公共建築物，因大廳部分挑高，因此需使用支撐架，現況如圖 30 所示。

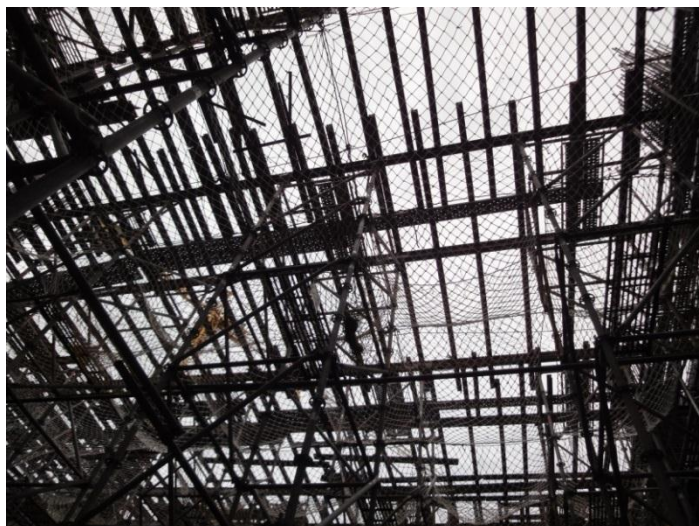


圖 30 建築物因挑高使用支撐架

為避免影響其他工作進度，該工地保留原有之施工架，並使用這些施工架作為支撐架的上下設備及施工通道（如圖 31）。在屋頂模板未放置完成前，於屋頂部分設置安全網防止墜落及物體飛落（如圖 32），同時於最上層也設置安全母索（圖 33 所示）。



圖 31 以原有之施工架作為支撐架之上下設備及施工通道



圖 32 屋頂模板未放置前設安全網圖



圖 33 最上層設置安全母索

三、系統式支撐架現場使用情形二(台南七股)

此工地與工第一類似，差別在於工第一為高架鐵道橋樑，本工地為高架公路橋樑（如圖 34 所示）。另一項差異為工地一的上下設備內建於支撐架中，而本工地上下設備在支撐架外（如圖 35 所示）。其餘皆與工地一類似。



圖 34 系統支撐架用於大型公路橋梁工程



圖 35 上下設備設置於支撐架外

四、系統支撐架用於跨路面工程(如圖 36)



圖 36 系統支撐架用於跨路面工程

五、特殊造型系統式支撐架(如圖 37)



圖 37 特殊造型系統式支撐架

在現今各個國家中，系統式支撐架的使用頻率相當高，除了使用於一般建築物外，也使用於各種不同類型的公共工程中，也因為其具有適應地形的靈活度之特性，施工業者往往會優先考慮使用。以下為日本及歐美等國家使用的現況：

一、箱型管線施工



圖 38 箱涵中使用的系統式支撐架

二、鋼骨承載施工



圖 39 鋼骨承載施工

三、橋墩下部工程施工



圖 40 橋墩下部工程中使用系統式支撐架

四、位於紐西蘭的 Rotokawa 發電站，高達 14m 的支撐架，總重 750 噸(圖 41)



圖 41 紐西蘭 Rotokawa 發電站

由以上幾個國外系統式支撐架使用的例子，可看出雖然國外大多未針對系統式支撐架的安全通道、上下設備、以及安全設施訂出規範，而是採用一般高處作業之墜落防止規範，但因國情及對安全認知上的差異，多能在使用系統式支撐架時設置式當之施工通道、上下設備、以及安全設施。而且多數系統式支撐架製造廠商也開發搭配使用之構件，並對產品提供使用說明，詳述產品的規格及使用方法，有效避免現地的誤用，也可提供施工單位採用時之參考依據。

第二節 系統式支撐架安全通道與安全設施危害要因探討

一、危害分析

由歷年來系統式支撐架相關職災案例顯示，災害形式以墜落及倒崩塌居多。其中倒崩塌職災原因多為強度不足、不當工序、或不當使用;墜落則多發生在組搭或拆除過撐中需進行調整作業時，因施工通道、上下設備、以及安全設施未設置或不足時發生。而且系統式支撐架常因現地狀況不同而有不同支組搭及使用方式，因此職災發生通常不是由單一因素造成，而是多重因素同時產生時所造成，而且各個因素之間通常有相當的因果關係。以骨牌理論因果關係模型來看，安全性能的改善，最重要的工作即在於不安全狀態及不安全行為等直接原因的消除。但是真正要落實系統式支撐架的安全，可能必須同時在設計方面的要求及人員觀念的改變做努力。

以下提出系統式支撐架在使用上的問題。

(一)結構設計考量

系統式支撐架之首要功能為支撐上部構造的重量，因此在設計時如果未充分考量，就可能造成因承載力不足產生的倒崩塌。另外設計時亦須考量支撐架現地之狀況，採取必要措施減少差異沉陷發生。

(二)安全設施設置不足

- 1.系統式支撐架使用吊車吊裝方式組裝，來減少人員高處作業，降低人員墜落發生可能，但因現場未設置警示線，或其他相關安全設施等，施工時人員容易誤入施工區域，施工過程中容易發生事故。
- 2.施工人員為求方便，對於安全防墜設施架設時，並沒有做好確實的固定，欠缺安全性及穩定性的考量。
- 3.現地訪視時，工地仍有僅設置部分安全母索或護欄，對於人員行走在通道上，仍有墜落之虞。
- 4.在鄰近道路之工地現場，未設置防止物體飛落砸傷路人之安全網等安全設施。

(三)通道不佳

- 1.未事先做好整體施工規劃配置，在設置通道時，並無實質的防護效果，如走道因地形、地物或轉角處等因素，踏板無法滿鋪。
- 2.現場使用系統式支撐架時，通道及上下設備則使用框式施工架，但施工通道未妥善設計，且未提供適當預防墜落措施。

(四)缺乏適當的上下設備

- 1.未就現場地域之不同，如山坡地、地表土質鬆軟等地區，事先規劃並設置上下設備。
- 2.未就工作面以及通道的鋪設做整體規劃，以至於施作後產生作業界面的問題。
- 3.由於支撐架以支撐模板為其主要功能，因此可供作業勞工上下之安全設備，經常被忽略。
- 4.支撐架未在一定之距離搭設上下設備，勞工進行架體組搭、拆除時，為節省時間、或者必須到支撐架上方進行之作業，直接踩踏系統架橫桿或

輪盤進行攀升動作。

二、由現場訪視、現場調查及災害資料顯示，目前工地系統式支撐架於架設(圖 42)使用階段仍存在許多問題，以及可能衍生的危害列述於下：

(一)吊掛方式組立系統式支撐架人員防護問題

系統式支撐架於現場使用吊車方式進行組裝時，未依作環境、作業條件事前規劃，並設置警界線之管制區、吊掛之安全控索等，以避免施作人員處於不安全的環境。



圖 42 於地面組裝系統式支撐架

(二)上下設備空間狹隘，樓梯梯面陡峭(圖 43)

上下設備未事前規劃，施作時人員爬升時因空間狹隘，或樓梯梯面的陡峭，造成人員施作的困擾。

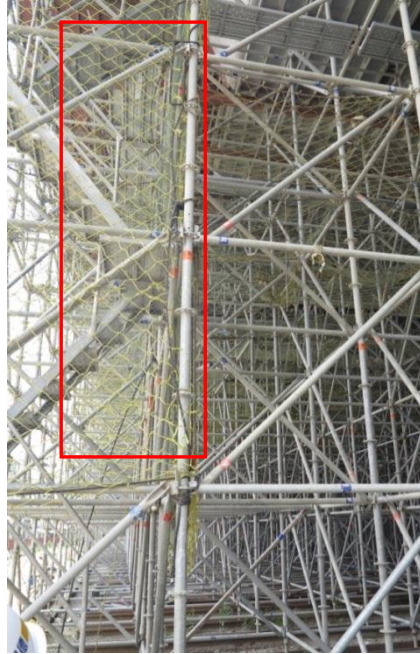


圖 43 上下設備及通道空間狹隘

(三)設施較雜亂，未適當規劃通道及上下設備(圖 44)

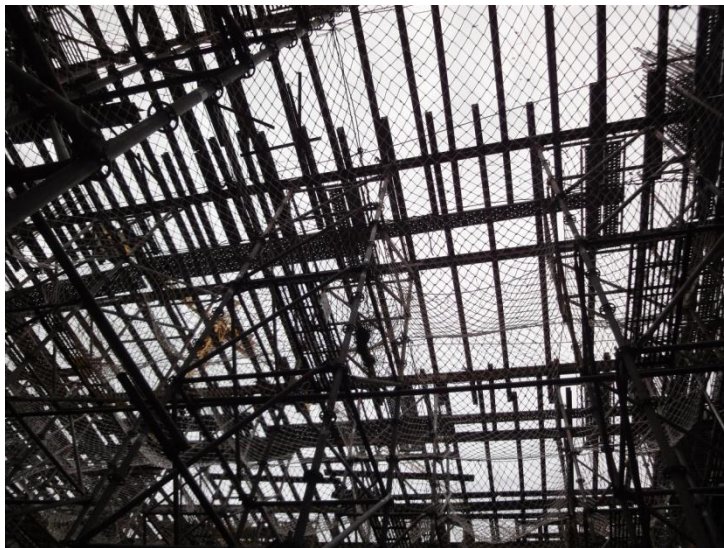


圖 44 使用之安全設施未適當規劃

(四)以施工架做上下設備，僅用鐵絲固定，踏板無防脫落勾(圖 45)



圖 45 施工通道之踏板無設置防脫落勾

(五)安全網上掉落物件未定期清除(圖 46)

未清除的鐵件不僅安全網失效，鐵件的飛落更容易造成人員受傷；另外，通道未適當規劃，人員行走之通道設置亦僅靠在踏板上，未適當做固定。



圖 46 安全網上的鐵件及通道設置問題

(六)做為通道防墜使用之安全母索，其材質及施作方式的不適當，無法發揮防護效能。(圖 47)



圖 47 安全母索材質及設置方式不適當

(七)安全網不符合國家標準，安全性有疑慮。(圖 48)



圖 48 安全網不符合國家標準

(八)上下設備(樓梯)以木梯做為上下設備，安全性有疑慮。(圖 49)



圖 49 使用木梯做為上下設備

第三節 系統式支撐架安全通道與安全設施災害預防對策

不安全的狀態或行為改善的首要目標，就在於避免與消除。為預防系統式支撐架災害發生，必須就系統式支撐架的規劃設計、支撐搭建及拆除流程等階段，提出災害防止對策。

(一)系統式支撐架的規劃設計

為增加系統式支撐架的安全性，除了結構設計分析時需詳細考量，在規劃設計階段就必須針對支撐中必要之施工通道、上下設備、以及安全設施做好完整的規劃，避免於搭設過程中或搭設完成後再視情況增設。

(二)搭建及拆除階段

於搭建及拆除階段，須完整規畫安全之組搭流程，依安全等級及現地狀況選擇最適當之搭建及拆除流程。例如現地狀況許可時，採用地表組裝後再以吊車組立方式，可減少高處作業的必要性；如果無法以地面組裝、吊車組立方式進行，則須已具相當安全性之方式進行組搭，例如以先行護欄方式進行；如果前述方式均不可行，則採用水平母索及雙掛勾背負式安全帶。

(三)安全檢查階段

系統式支撐架於搭建完成後，應確實執行安全檢查後才能使用，檢查又可分為施工前檢查、定期檢查、重點檢查等，營造業主應確實執行自主管理計畫，因組搭完成後，原則上不會有工作人員進入支撐架，所以對組搭流程中設置之

上下設備應進行管制，除必要狀況之需要，應禁止人員進入或使用，並在入口處設置非施工人員禁止進入等警告標誌。

綜合以上由現地諮詢所得資料以及危害要因分析，可建立如表 3 之支撐架危害要因分析表。

表 3 危害要因分析表

工作階段	危害要因	可能危害	改善方式
設計階段	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未適當考慮載重 2. 設計未符合土質狀況 3. 支柱腳部設計不當 4. 接頭設計不當 5. 斜撐(含水平支撐)設計不當 6. 設計與施工工序或混凝土澆置計畫不符 7. 未明定拆除時機及工序 8. 計算書或施工圖說缺乏 	設計缺失	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設計應符合相關規範，特殊結構型式或造型應特別設計。 2. 依地質鑽探資料設計。 3. 依地質鑽探資料設計支柱腳部並訂定工址排水系統或方案。 4. 擬採用非制式的金屬接頭時，應附接頭相關計算書，確認接頭強度符合需求。 5. 計算書應依使用的支撐架型式及材質，檢核受壓構材的長細比，設計足構強度及數量的斜撐(含水平支撐)。 6. 依施工工序及混凝土澆置計畫考慮施工載重及衝擊力。 7. 施工圖說應明定如何確認混凝土的強度是否已達要求強度的判斷方式，並訂定支撐架之拆除工序。 8. 建立結構計算書及施工圖說的送審機制。
準備階段	地面過多雜物、不平	絆倒、滑倒	地面確實清理、整平
	無適當工作通道 物料未整備	刮傷、拉傷、及其他搬運物料時受傷	物料確實整齊堆放 規劃適當工作通道
	物料運送器具	撞傷	確實管制物料運送器具

工作階段	危害要因	可能危害	改善方式
組立階段	地面不平整、差異沉陷	支撐架傾斜造成倒塌或人員墜落	地面確實整平、夯實
	吊車	撞傷	吊掛作業確實管制
	吊車	翻覆、壓傷	事先規劃吊掛作業
	施工通道	墜落	通道寬度符合規範、踏板需固定、設置安全設施
	上下設備	墜落	設置符合要求之上下設備
工作階段	高處作業	物件飛落	設置符合安全之設施
	高處作業	墜落	工作平台滿鋪、設置適當安全設施、規劃並設置符合要求之上下設備
	受力不平衡	倒塌、人員墜落	地面整平、夯實 確實遵守澆置計畫
拆除或移動階段	地面不平整、差異沉陷	支撐架傾斜造成倒塌或人員墜落	地面確實整平、夯實
	施工通道	墜落	通道寬度符合規範、踏板需固定、設置安全設施
	上下設備	墜落	設置符合要求之上下設備
	吊車	撞傷	吊掛作業確實管制
	吊車	翻覆、壓傷	事先規劃吊掛作業

第四章 特殊形式系統支撐架建模與結構分析

第一節 BIM 3D 建模規劃說明

在傳統的施工圖說中，多以平面（2D）的製圖工具（如 AutoCAD）進行，雖比更早期的手繪製圖已經方便許多，但施工圖說中所有物件在現實中均為立體（即所謂的 3D 物體），以 2D 圖表達 3D 物件，使用者就必須經過一個轉換過程，此過程通常都須有一定訓練。在從事土木營建工作的相關人員中，一定都受過類似的訓練，因此解讀 2D 圖面的結果應該不會有太大差異。但每個人學習成長過程不盡相同，因此細部可能就有小的差異存在。傳統營建產業完全依賴 2D 圖面，常發生圖面不一致、遺漏、衝突或錯誤問題。如能以 3D 模型進行溝通，應可避免這一類問題。

近年來由於資訊軟硬體之進步，開始有所謂的建築資訊模型（BIM）。這種模型除了模型本身是尺寸正確的 3D 模型外，更連結了與模型中每一構件相關的資訊，以此模型進行溝通，可避免大多數以 2D 圖面溝通可能產生的問題，同時由於模型本身包含相關資訊，因此其應用遠超過僅以 3D 溝通所能提供的好處。本研究計畫應用其 3D 特性，為研究、溝通、以及探討提供一較佳平台。

為了建立適當的溝通平台，首先要選定一個使用系統式支撐架的工地。本計畫選擇五股一楊梅段高架道路之橋墩，因其設計為 Y 字型，在設置橋面模板的支撐時，支撐架需有一定的特殊形式。有了模擬的工地後，要能確實建立該工地符合本研究需求的系統支撐架模型，首先要確定研究目的。因為建築資訊模型會隨專案進行演進，在不同階段有不同的資訊需求，類似設計階段採用的設計圖，其詳細程度與施工階段需要的施工圖有所不同。在建築資訊模型領域中就有所謂的模型發展程度（LOD, Level of Development），如果需求為結構分析或安全設施配置可行性分析，所需之模型發展程度較低，可使用軟體工具中既有的元件建置模型；但要製作擬真動畫的畫，可能就需要較高的模型發展程度（如立柱上的輪盤就需要呈現），有必要建置符合實際支撐架構件的元件。本研究建置了兩種不同 LOD 之模型，但為求降低模擬分析時對電腦硬體的需求，在後續結構分析及安全設施配置可行性探討中多採用 LOD 較低之模型。

要建立 LOD 較高之模型時，因為軟體工具中並無需要的元件，需先依照現地使用之構件，透過建築資訊模型軟體（本計畫中使用 Autodesk 公司的產品 Revit），

先行建立系統支撐架中使用的元件。在一般的系統支撐架中，常用的元件有主架、橫桿、斜桿、上調整座、下調整座、調整座中用以調整高度的扳手、標準基座、輔助桿、定位桿、上下設備、踏板。由廠商所提供的資料，在 Revit 軟體中分別建立元件。

第二節 工地現況條件說明

該工程為國道五股－楊梅高架路段橋墩之一，因其中包含已完成之 Y 行橋柱，因此支撐架組大型是較為特殊。系統支撐架組搭完成後現地施工情形如圖 50 所示。因為支撐架中央有已完成之 Y 行橋柱，經過結構計算後，核心部分採用 90 cm x 90 cm 以及 90 cm x 60 cm 的單元組成，外圍則以 180cm x 150cm 的單元組成，Y 型橋柱上方設置一鋼板，鋼板上再放置 180cm x 90cm 以及 90 cm x 90 cm 單元，由橫桿連結核心區塊形成支撐架結構。由於型式特殊，因此圖說中加入 AA、BB、CC、DD、EE、FF、GG 等剖面圖，實際配置平面圖及剖面位置如圖 51，AA、BB、CC、DD、EE、FF、GG 等剖面圖如圖 52 至圖 58。



圖 50 特殊形式系統支撐架組搭完成後現地施工情形

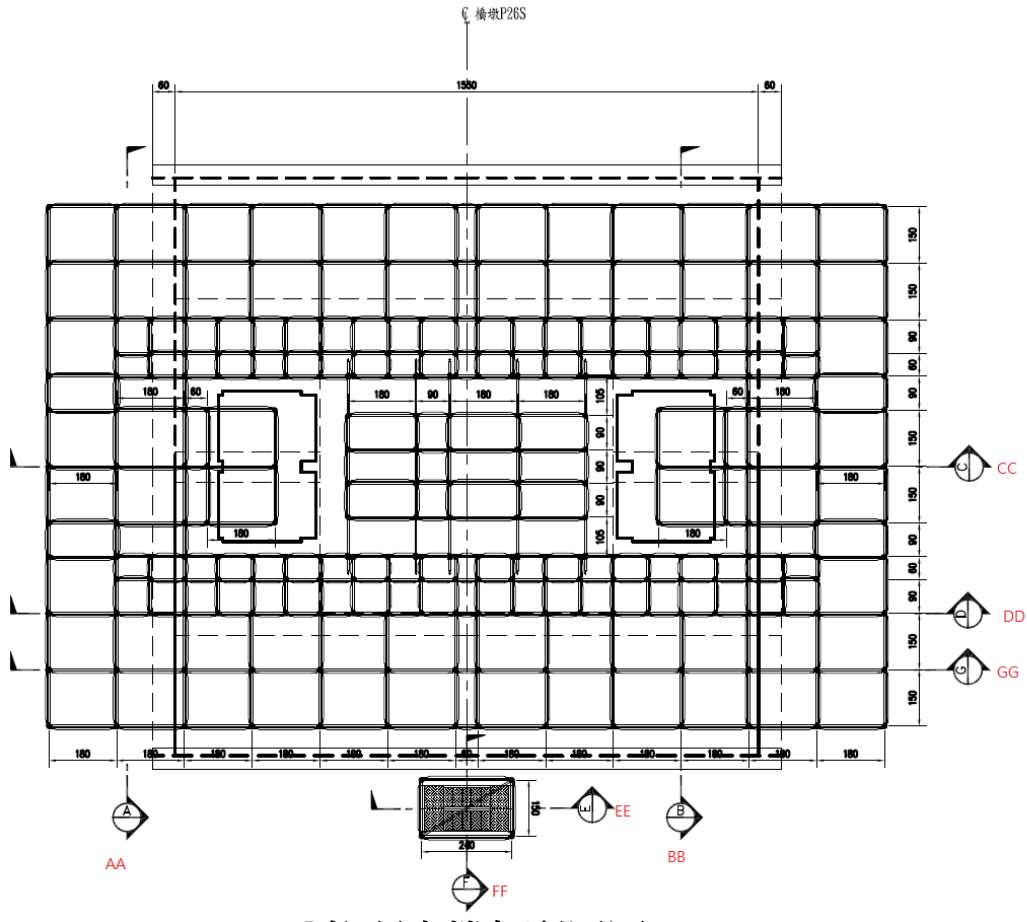


圖 51 系統式支撐架配置之平面圖及剖面位置

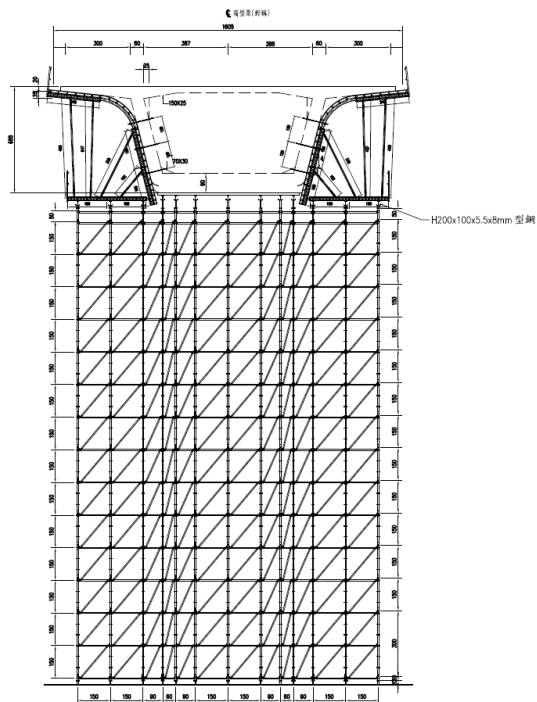


圖 52 AA 剖面圖

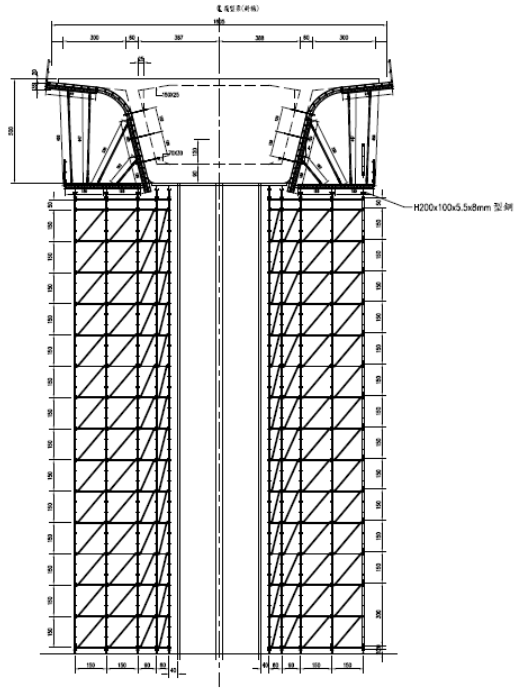


圖 53 BB 剖面圖

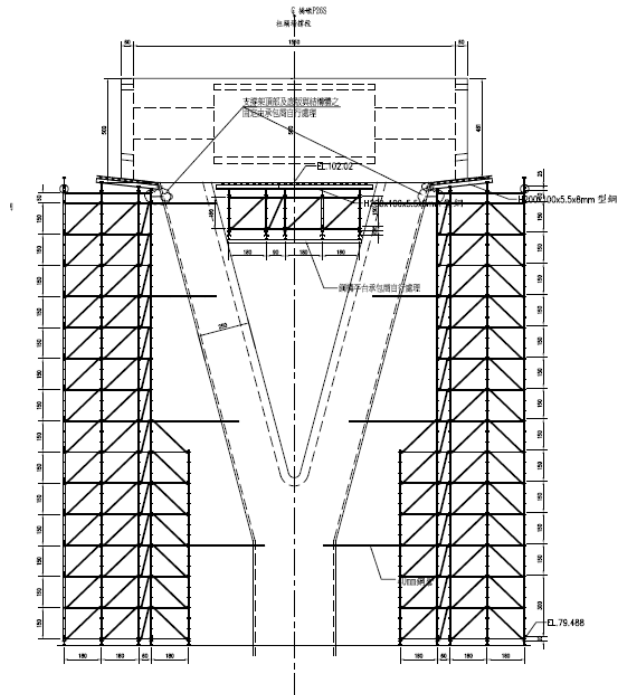


圖 54 CC 剖面圖

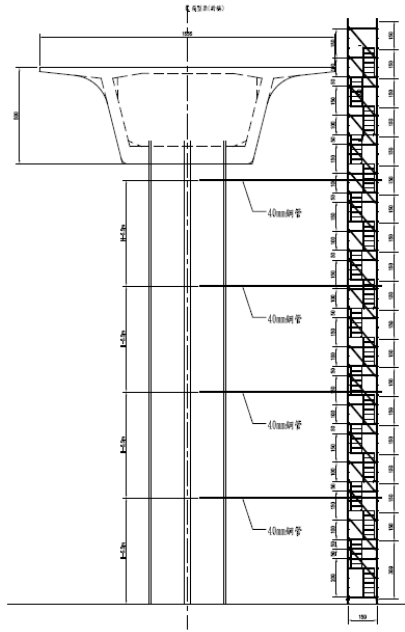


圖 57 FF 剖面圖

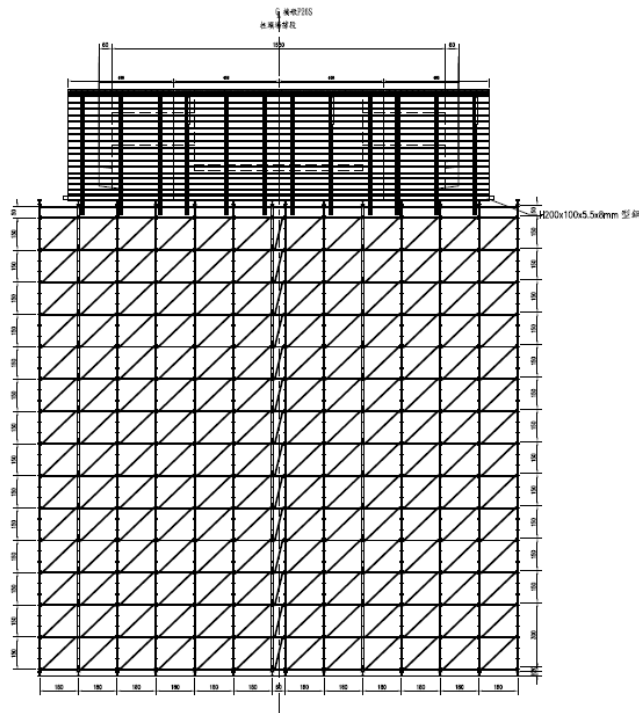


圖 58 GG 剖面圖

以上圖說中，EE 及 FF 剖面圖為獨立之鋼構上下設備，與支撐架結構分析無太大關連，因此未加以建模。

由於該工地地質尚稱良好，整地完成後無太多高低起伏，同時在支撐架底鋪設了鋼軌（如圖 59，示意圖，非現場狀況），因此在建模時，把地面視為同一高程。



圖 59 支撐架底設置鋼軌（示意圖）

第三節 BIM 建模

本研究採用 Autodesk 公司的 Revit 建立模型，Revit 為目前較多使用者的建築資訊模型軟體工具，但使用者可自行選用適合本身作業習慣及電腦硬體設備之建築資訊模型軟體工具（如 Tekla Structure 或 ArchiCAD）。

利用預先建立的元件，在電腦中建立支撐架之流程如下列所述：

一、於地面建立網格（功能類似實際組搭時之放樣動作）。

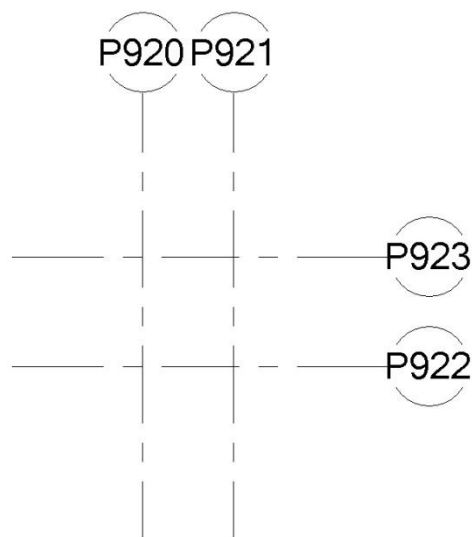


圖 60 在地面建立網格線

二、在立面建立樓層線（功能接近將各層調整水平）

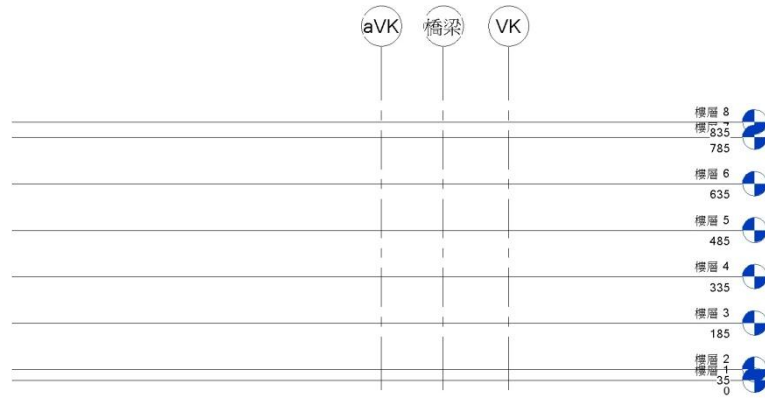


圖 61 在立面建立樓層線

三、放置下調整座及板手

模擬時分為兩個動作，實際組搭時為直接放置下調整座並調整板手高度。模擬時分為兩個動作方便將地一層主架底部調整為同一高程。

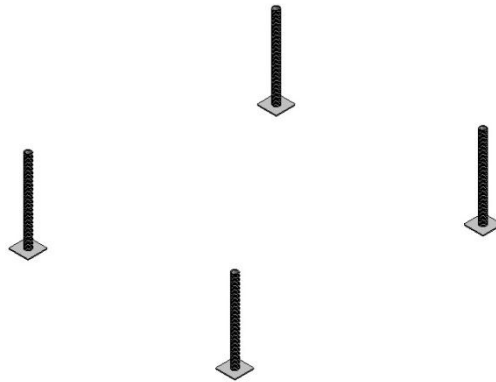


圖 62 放置下調整座

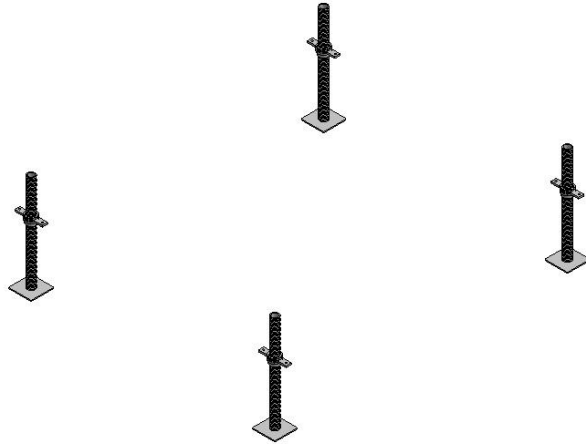


圖 63 放置板手

四、放置標準座

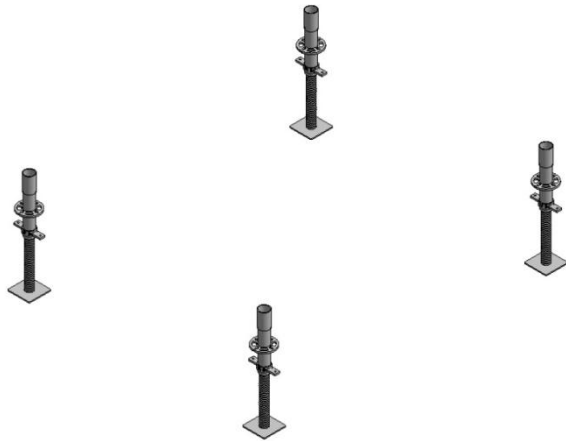


圖 64 放置標準座

五、放置主架

一般來說，系統式構件之主架有許多尺寸，但使用在支撐架時多採用 1.5 公尺長之主架。

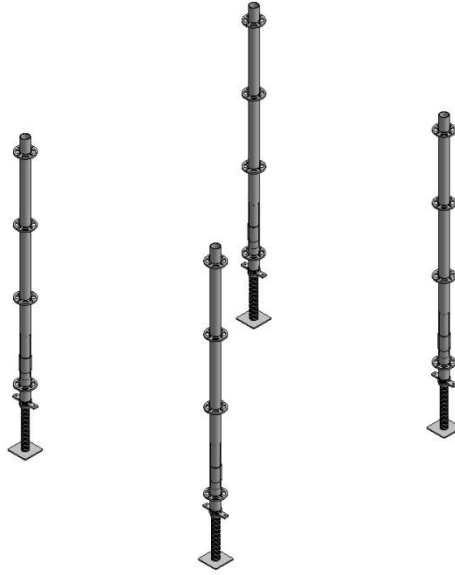


圖 65 放置主架

六、放置橫桿

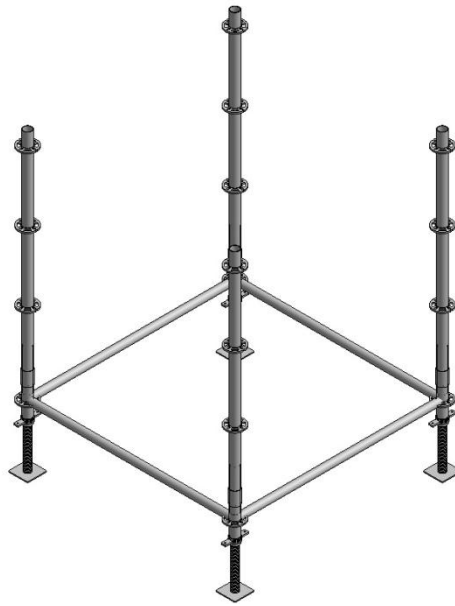


圖 66 放置橫桿

七、放置斜桿

斜桿尺寸須配合使用之橫桿。

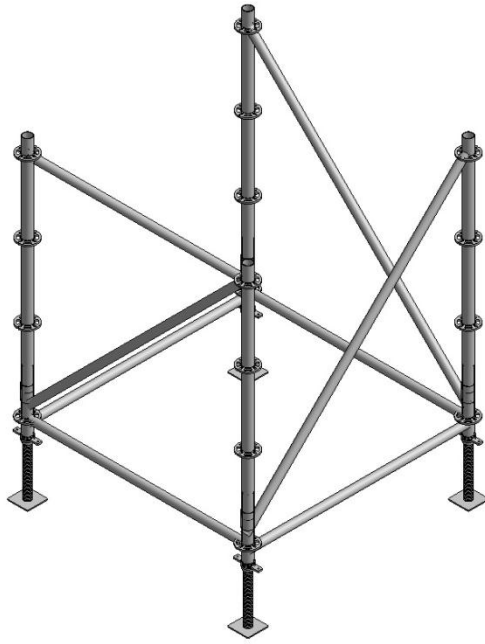


圖 67 放置斜桿

八、放置輔助桿

依上述流程依序組搭至最上層，然後放置輔助桿（圓圈所示處）。

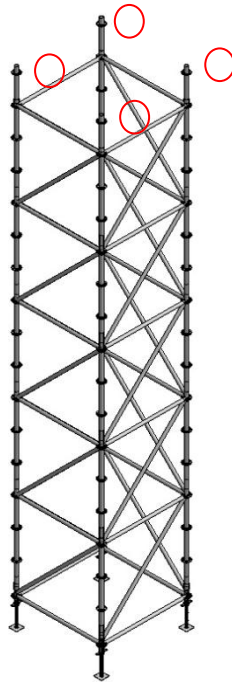


圖 68 放置輔助桿

九、放置板手及上調整座

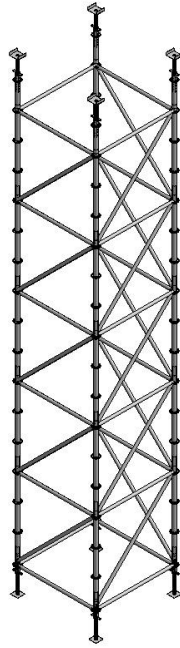


圖 69 放置板手及上調整座

十、所有區塊完成後，在區塊間加橫桿連結即完成支撐架組搭。

依據案例之圖說，建置完成之 BIM 模型，其整體外觀與現地照片之比較如圖 70。

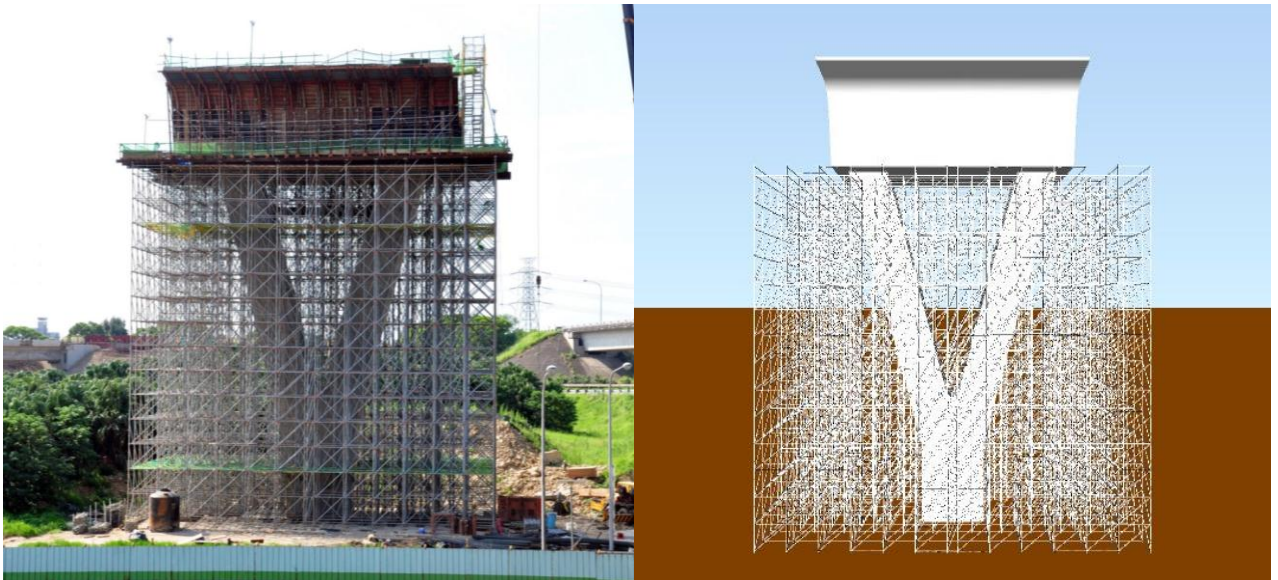


圖 70 現地照片與 BIM 模形外觀比較

除了外觀之比較外，BIM 模形亦可任意選取剖面製作剖面圖，因本眼就中未針對獨立之鋼構上下設備建模，因此由模型中建立 AA、BB、CC、DD、以及 GG 剖面圖，圖 71 至圖 75 為案例圖說提供之剖面圖與模型產出剖面圖之比較。

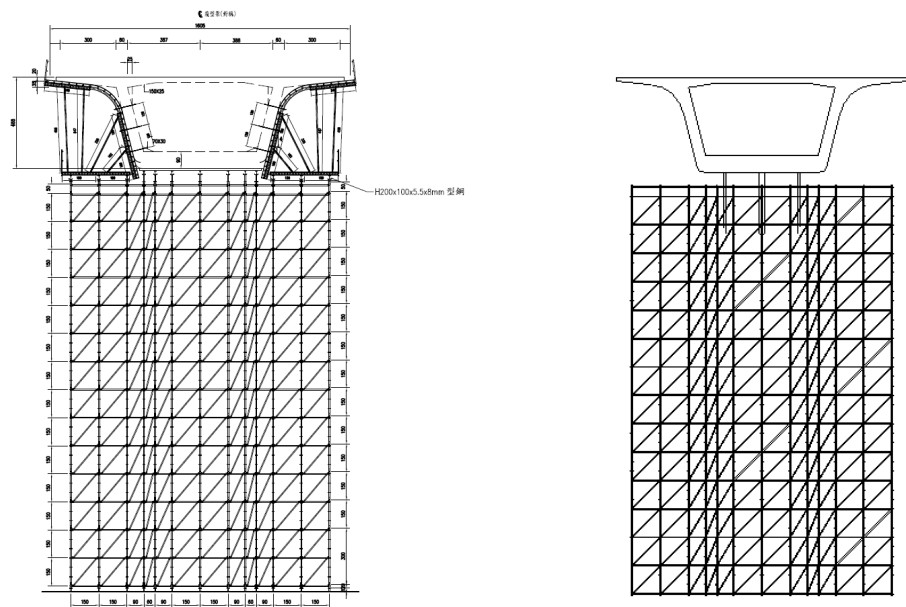


圖 71 圖說 (左) 與模型產出 (右) AA 剖面圖比較

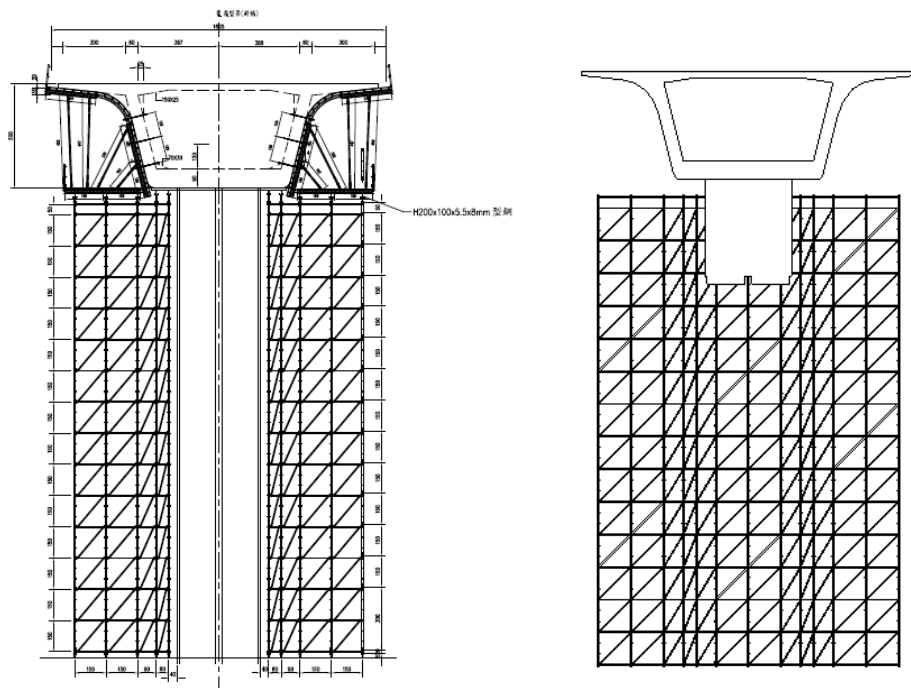


圖 72 圖說 (左) 與模型產出 (右) BB 剖面圖比較

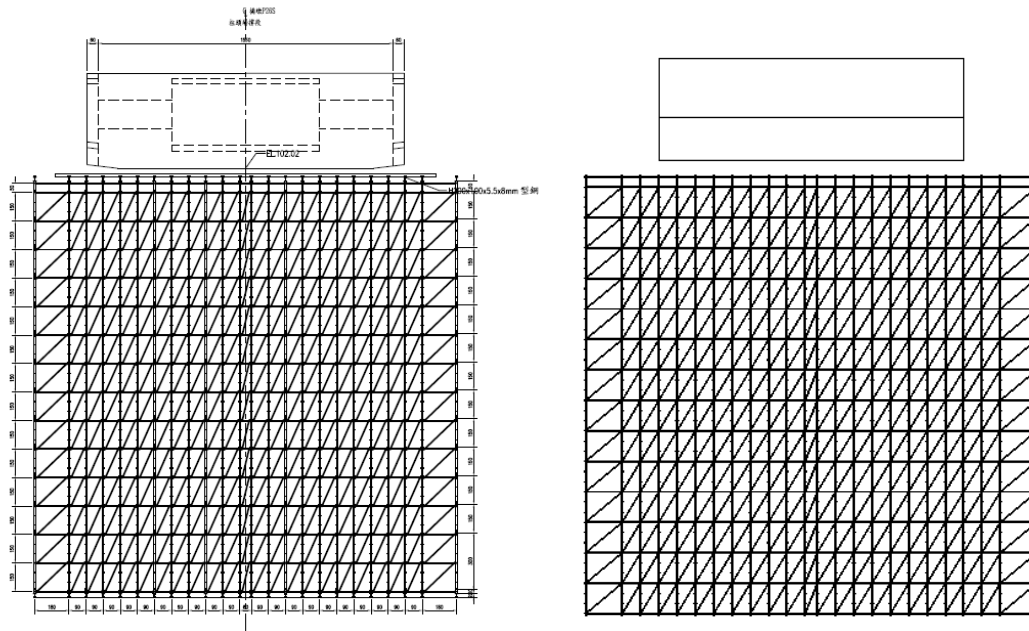


圖 74 圖說（左）與模型產出（右）DD 剖面圖比較

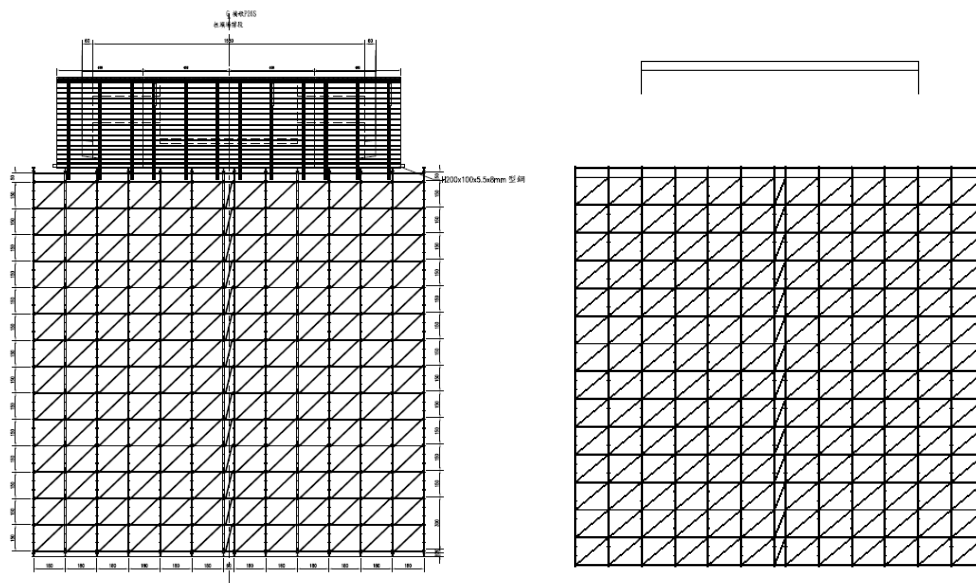


圖 75 圖說（左）與模型產出（右）GG 剖面圖比較

由以上比較，可知建置的建築資訊模型與案例之支撐架非常相近。

第四節 BIM 模型之結構計算

本案利於實際進場施作前，須提交結構計算書供建造單位審查，通過後方可進行施工。原始結構計算書如附錄一，其主要內容簡述如下：

一、設計參考

因目前國內並無明確的支撐架設計規範，因此結構設計時參考國內外相關建築技術規範（如國內外之橋梁設計規範、鋼構設計規範等），支撐架構件強度則參考廠商委託學術單位進行之強度測試以及國外鋼構設計規範（AISC）。

二、載重組合

分析時考慮靜載重、衝擊載重、施工活載重、風力、以及地震力。其中靜載重、衝擊載重、以及活載重部分依以下數據

混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L)	••••	2.57 ton/m ³
澆注之衝擊載重(Impact Load)	••••	30% (D/L)
施工活載重(L/L)	••••	0.10 ton/m ²

三、結構分析方式

案例計算書中採用支撐架支撐斷面分析，首先將橋面版部分分為數個斷面（如圖 76），估算每一段面底下支撐架單腳所受之最大荷載，設定適當的安全係數（本案例採用之安全係數為 2.5）後，與廠商委託學術機構進行之測試值比較。

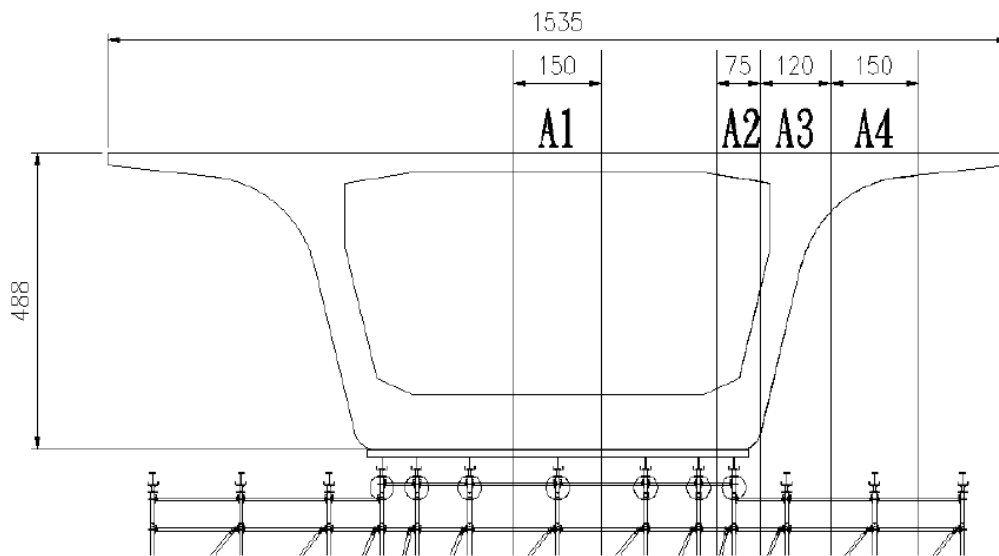


圖 76 橋面版斷面分區圖

計算書中最大荷載（A3 斷面）之計算結果如下：

主桿、橫桿為非彈性挫曲，斜桿為彈性挫曲。

主桿容許軸向承載力 Pa = 8.32 ton

橫桿容許軸向承載力 Pa = 3.82 ton

斜桿容許軸向承載力 Pa = 2.26 ton

檢核支撐架荷載

→ 8.20 ton < 8.32 ton **OK!**

水平力部分，案例計算書考慮地震力與風力，經比較兩者大小後，計算考慮地震力（21.5 噸）。分析方法考慮傾倒力矩，結果可行。

本研究採用建築資訊模型方式建立結構模，將模型轉至結構分析軟體，進行分析後如有需修正地方則直接在結構分析軟體中修改後回傳至建築資訊模型軟體中，如無須修改則之街傳回。建模軟體使用 Autodesk 公司的 Revit，分析則採用 Autodesk 公司的 Robot Structural Analysis Professional。建模分析過程中考量電腦硬體及分析所需時間，因此在 Revit 軟體中建模時，未採用自行建置的系統支撐架構件，而是使用 Revit 軟體中已有的空心圓鋼管進行建模。以此方式建立的案例支撐架結構模如圖 77 所示。由於使用同樣是 Autodesk 公司的 Robot Structural Analysis Professional，建立之結構模可直接輸出。如果使用其他公司的結構分析軟體（如目前業界常用之 SAP2000），則需要先匯出為 IFC 格式，再匯入到結構分析軟體。模型轉到 Robot Structural Analysis 如圖 78 所示。

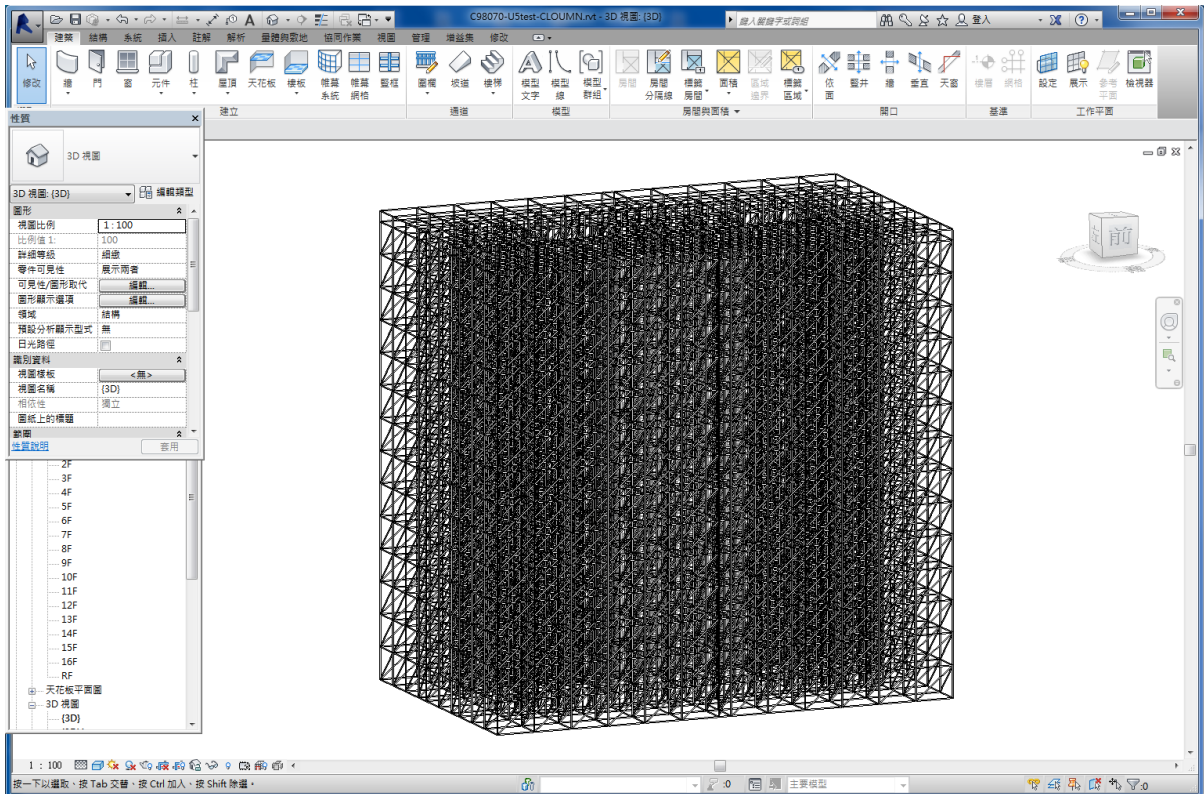


圖 77 Revit 建置的支撐架結構模

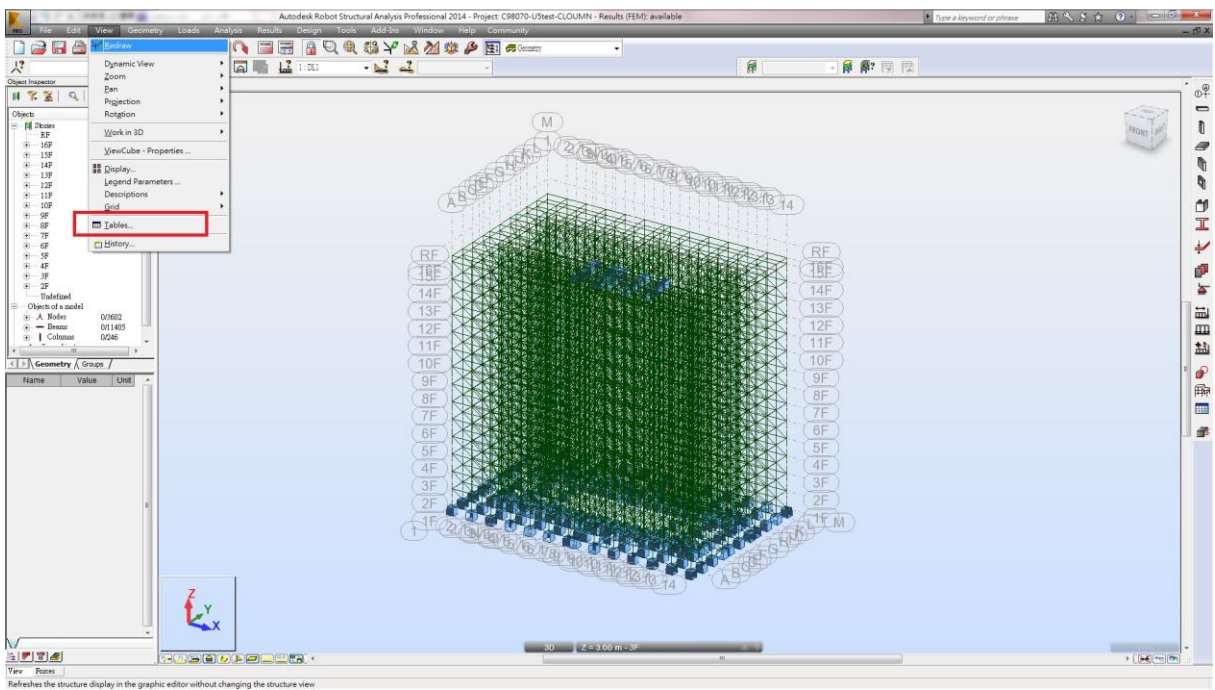


圖 78 Robot Structural Analysis 中支撐架的結構模

接下來須在結構模中加入荷載，依據原始例計算書中採用數據，本研究使用三種載重組合：第一種組合只考慮垂直載重，將橋面版重量、衝擊荷重、以及活載重平均分布在圖 79 中框內頂部節點上，計算結果每一節點受垂直向下力約 7.7 噸，分析時採用 8 噸。

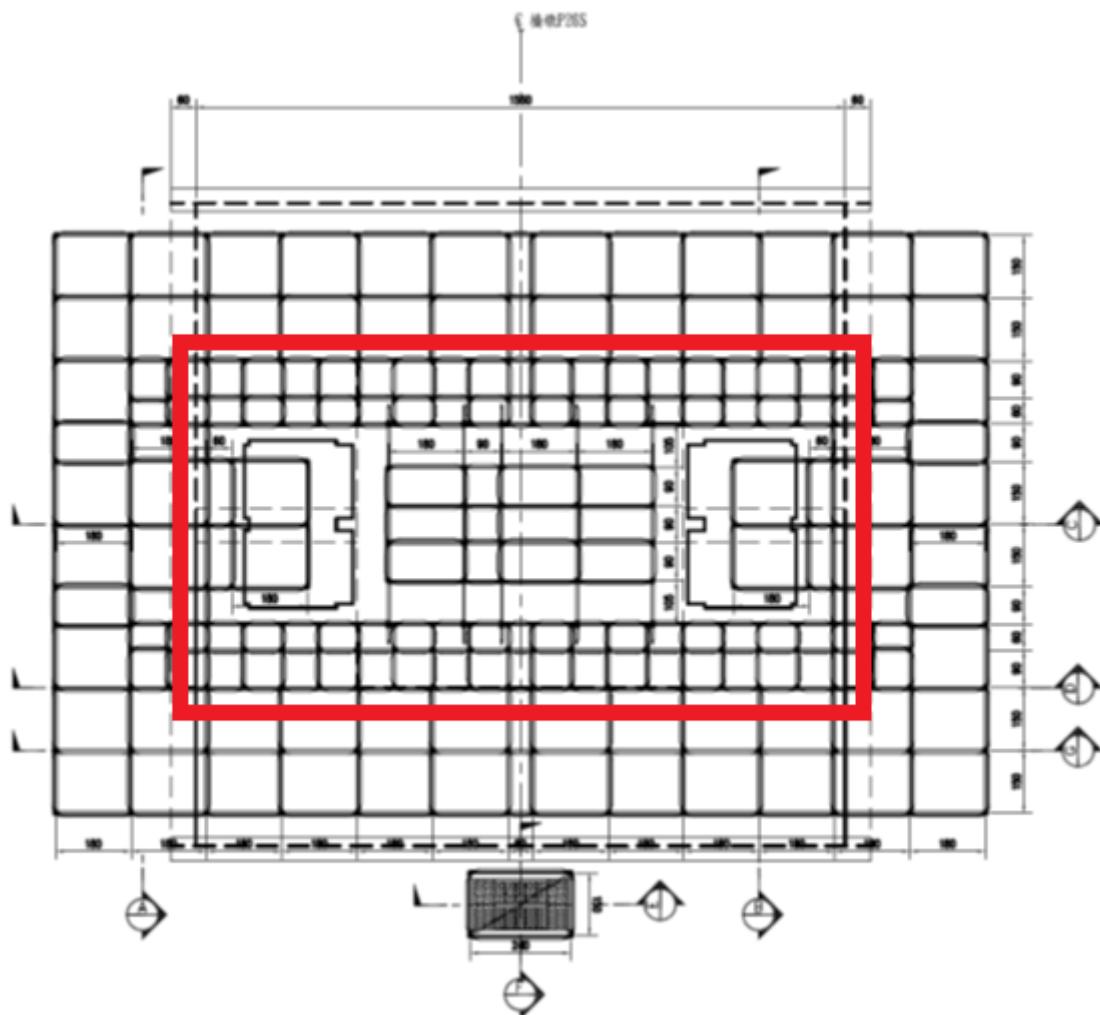


圖 79 垂直載重分布區域

第二種載重組合考慮水平力，依原始計算書，水平力為地震力控制，大小為 21.5 噸，將其平均分布在支撐架頂部所有節點，每一節點受 110 公斤的水平力。第三種組合則同時考慮地一級第二種組合。分析時支撐架主架部分均視為由底部到頂部單一構件，橫桿、斜桿與主架交接處視為鉸接，立架底部則假設為固接。

載重組合與邊界條件設置完成後，即可進行結構分析，本研究之結構分析為線性結構分析，未考慮非線性效應。各構件承受力量之最大值如表 4 所示，最大力量大小為 81.42 kN（約 8.3 噸），與原始計算書中單腳所受最大荷重相當。

表 4 結構分析構件承受最大力量結果

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	81.42	0.66	0.99	0.00	0.05	0.05
Bar	3954	114	9894	25	4120	4120
Node	1668	228	200	49	1738	1738
Case	7	7	4	7	7	7

分析結果顯示，透過 BIM 進行結構分析與傳統分析方式並無太大差異，但採用 BIM 方式進行有以下優點：

- 一、溝通無資訊落差：系統支撐架使用構件眾多，在特殊形式支撐架設計中，其幾何也非常複雜，傳統方式利用平面圖、立面圖、以及剖面圖進行溝通時易產生資訊落差，可能造成誤解。
- 二、利用 BIM 進行設計分析，無論是結構分析人員、安衛人員、或組搭人員進行修改，其他人員多需要重新進行建模及分析，但透過 BIM 模型，任一單位進行修改，其結果立即顯示於模型中，其他人員可立即依新模型進行對應的修正，無須浪費重工資源建模。

第五章 系統支撐架設施配置規劃之可行性及安全設施的適用性

第一節系統支撐架安全設施配置基本原則

系統式支撐架之配置須考量安全通道、上下設備、及安全設施，其配置之基本原則如下：

一、安全通道

支撐架組搭完成後，絕大多數作業侷限在最上層，因此將支撐架最上層須進行作業的區域定義為工作平台，須符合營造安全衛生設施標準中對工作平台之要求，包含滿鋪及平台周邊須設護欄、腳趾板等。如因現地狀況，於局部區域無法完成滿鋪時，則依安全網、安全母索、其他足以提供適當安全防護之設施之順序，設置具同等防護之安全設施。

如有需要於地面至最上層中間之樓層進行作業，可將其視之為施工通道，須滿足勞工安全衛生設施標準及營造安全衛生設施標準中對施工通道之要求，包含板料寬度、護欄、及安全母索等。

二、上下設備

支撐架與一般施工架不同，施工架在組搭完成後、拆除開始前的這一段時間內，每一層均可能有人員進行工作；而支撐架在組搭完成後、拆除開始前的這一段時間內，原則上只有支撐架最上層有人員作業。因此在設計階段，即須針對支撐架的特性，先行配置完整之上下設備，並將其納入結構計算之考量。上下設備之設置，須符合勞工安全衛生設施標準及營造安全衛生設施標準中之要求，包含上下設備之寬度、斜度等。如因結構設計須求，無法在支撐架內部設置上下設備，可在支撐架外部搭設，但仍須將其納入結構計算中一併考輻。如因地形狀況限制，支撐架內、外部均無法設置合乎要求之上下設備，可考慮採用在支撐架內部設置垂直式的臨時上下設備，但如採用此種上下設備，仍須提供足夠之墜落防止功能。

除了上下設備之型態外，現地人員常因求方便，不使用上下設備，而是直接攀爬支撐架，為防止這一類狀況發生，須對上下設備嚴格管制，非必要人員不得使用，且不得以攀爬支撐架方式上下支撐架。同時也要提供更方便的上下設備，也就是提供足夠數量的上下設備。勞工安全衛生設施標準中要求參照建築規範，因此參考建築技術規則中對直通樓梯之要求，系統式支撐架之上下設備間距（步行距離，非直

線距離)以不超過60公尺為準。

三、安全設施

在系統式支撐架中基本的安全設施包含以下幾項：

(一) 安全網：

使用之安全網，其性質及設置方式，須符合中華民國國家標準CNS14252 Z2115安全網標準。

(二) 物料攔截網：

有物件飛落之於處，須設置物料攔截網。

(三) 安全母索：

使用之安全母索的性質及設置方式，須符合營造安全衛生設施標準之要求。

(四) 上下設備之扶手

(五) 安全告示

(六) 欄杆：

須符合營造安全衛生設施標準之要求。

第二節 系統支撐架設施配置規劃之可行性及安全設施的適用性

原則上，採用 BIM 流程時，結構分析與安全設施配置同步進行，雙方依據最新的模型檢討並提出修正建議，達到協同設計的目的。本研究先假設安衛人員對結構設計無特殊建議，僅檢討安全設施配置之可行性。

安全設施主要包含安全通道、護欄、上下設備等。在勞研所 102 年度研究中，建議將支撐架頂部須進行作業區間定義為工作平台，如將該區域定義為工作平台，就需要踏板滿鋪，因此先針對目前的結構配置探討踏板滿鋪的可能性。依目前的結構配置，頂部區域有 180 cm x 150 cm、180 cm x 90 cm、150 cm x 60 cm、90 cm x 90 cm、以及 90 cm x 60 cm 等區塊，而有長度為 90、150、以及 180 cm，寬度為 26.5 以及 55 cm 的踏板，因此只要是阿當的配置踏板，工作區間可達滿鋪，也因為可達滿鋪，工作檯周邊加裝護欄後，無需使用安全母索等輔助設施，同時因為工作台滿鋪，應該也可以減少或完全不用安全網。本研究依此原則，在模型中配置踏板及裝設護欄，其結果如圖 80、81、以及 82 所示。

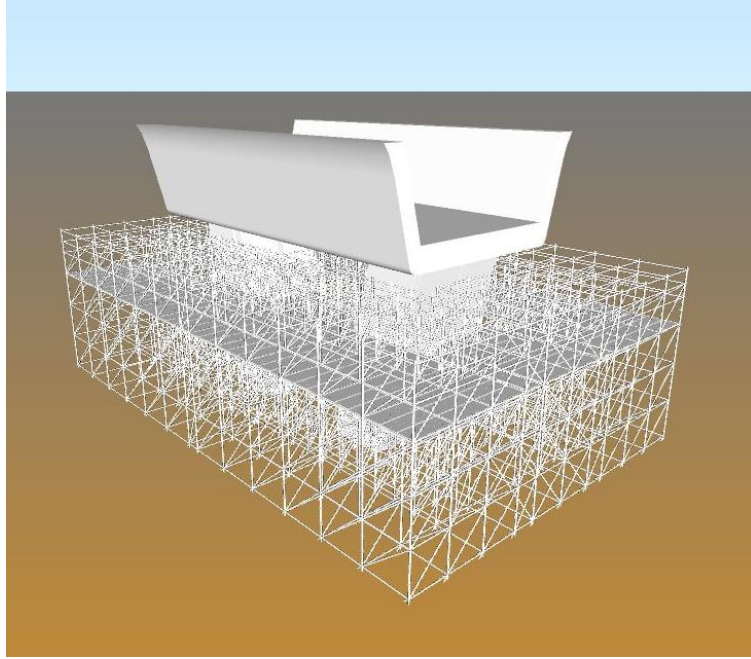


圖 80 配置滿鋪踏板後模型圖（一）

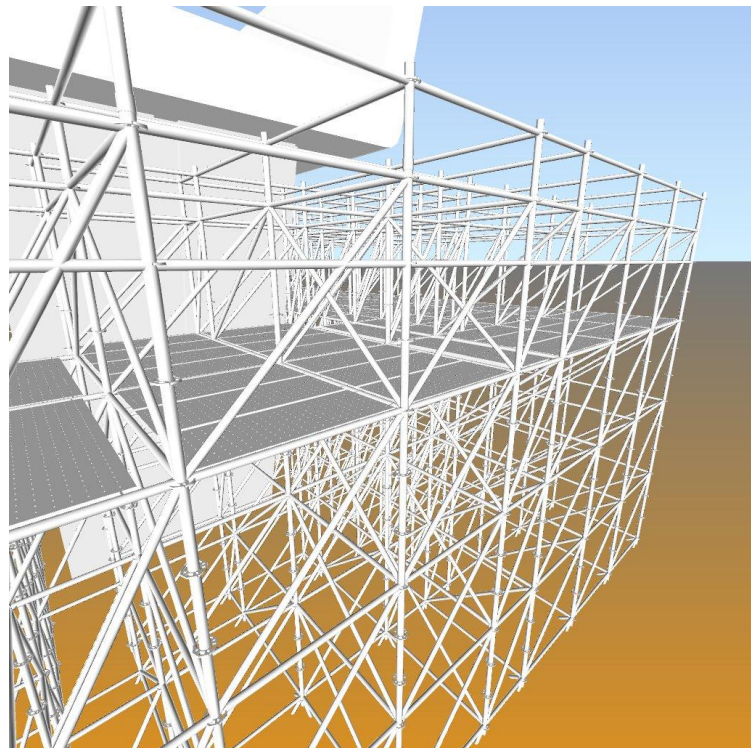


圖 81 配置滿鋪踏板後模型圖（二）

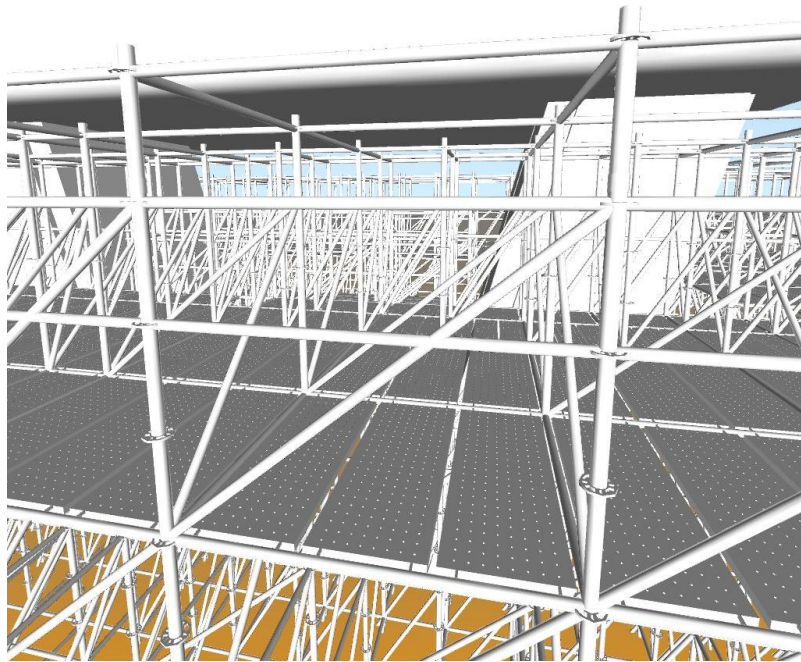


圖 82 配置滿鋪踏板後模型圖（三）

使用 BIM 模型的另外一項好處是衝突檢查，配置踏板完畢後可在進行衝突檢查，以確認配置踏板時沒有因疏忽造成實際施作時窒礙難行的狀況。

除了通道（工作平台）、護欄、母索、以及安全網外，另外一項重要的安全設備為上下設備。依現行法規規定，上下設備間距離不得超過 60 公尺。以本案例而言，其範圍大致為 22 公尺 x 14 公尺，總週長大約 72 公尺，但原始設計僅設置一座鋼構上下設備，建議須再增設一組上下設備。

第三節 系統式鋼管架測試方法

基於系統架之構造功能需求，本研究參考日本 JIS 之測試規範及 CNS 鋼管施工架檢驗法，於本節中訂定出系統式施工架之測試基準，包含系統式施工架之 元件及金屬附屬配件之強度測試規劃，以各構件在此強度基準下，能符合國內 使用現況並達到安全無虞為目的。以下針對不同種類之元件分別以不同之試驗 測試，並詳列所限制之元件載重如後。

一、立柱

(一) 輪盤強度試驗

如圖 83 所示，在使用可調型基腳座鉸及荷重梁之狀況下，將水平桿裝設在立柱後，在其上端裝設加壓板，並在水平桿上施加垂直載重，量測立柱之輪盤強度。其輪盤之載重最大值需在 9.00kN 以上，平均值 10.0kN 以上。

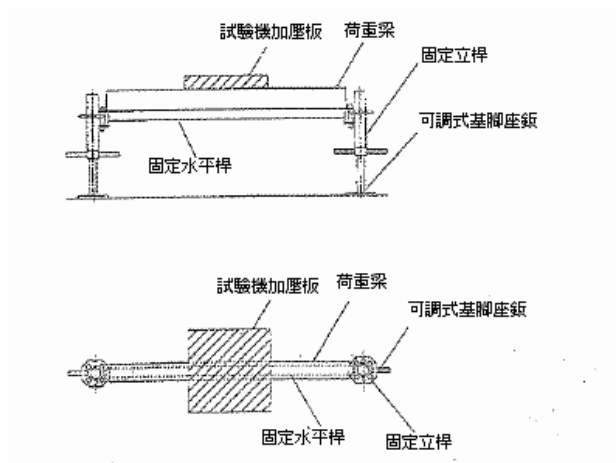


圖 83 輪盤之強度試驗

(二) 續接端之拉力試驗

如圖 84 所示，用鐵心、D 型環接管銷等將自立柱上切下之鋼管緊 緊固定住後，裝設試驗機並施加拉力荷重，量測其荷重之最大值。其 載重之最大值在 9.00kN 以上，平均值在 10.0kN 以上。



圖 84 續接端之拉力試驗例圖

(附註：1.尺寸之單位為 mm。2.與接管銷接合之管孔直徑為 16mm。)

二、水平桿

(一) 固定插銷及裝設部位之強度試驗

如圖 85 所示，在使用可調型基腳座鈑、荷重梁及加力梁之狀況下，將水平桿裝設在立柱後，將試驗機加壓板裝設上去，在水平桿之固定插銷附近施加垂直載重，量測水平桿之固定插銷及裝設部位之強度。其載重之最大值在 9.00kN 以上，平均值在 10.0kN 以上。

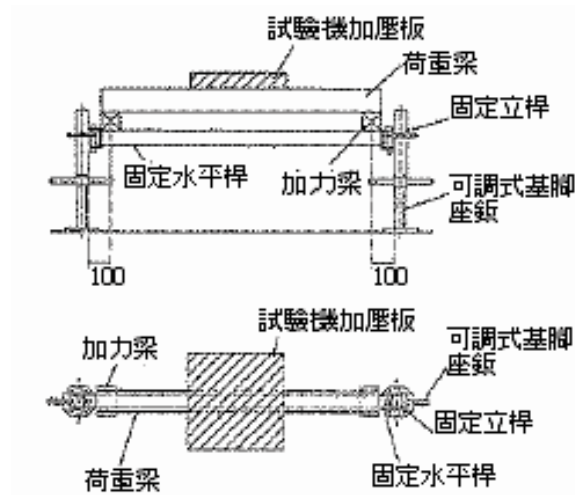


圖 85 輪盤之固定插銷及裝設部位之強度試驗(單位：mm)

(二) 固定插銷之滑動量及拔出強度試驗

如圖 86 所示，在使用可調型基腳座鈑、荷重梁及加力梁之狀況下，將水平桿倒置並充分打進在立柱後，將加壓板裝設上去，在水平桿之固定插銷附近施加垂直載重，當載重值達到 7.0kN 時，量測水平桿之固定

插銷滑動量及載重之最大值。其中固定插銷之滑動量需在 5mm 以下，而拔出強度載重之最大值在 9.00kN 以上，平均值在 10.0kN 以上。

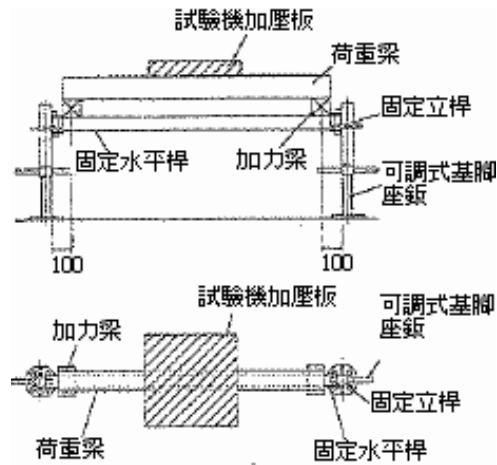


圖 86 輪盤之固定插銷滑動量及拔出強度試驗(單位：mm)

三、水平踏板

(一) 撓曲及抗彎試驗

如圖 87 所示，在使用加力梁之狀況下，在水平踏板上將加壓板裝設上去，並在中央部位施加垂直載重，令方程式「寬(mm) $\times 3.9 \times 10^{-3}$ kN」計算所得之值與垂直載重相同後，量測與求得撓曲量及載重之最大值。關於強度之限制上，水平踏板之垂直撓曲量需在 11mm 以下，載重之最大值在「寬(mm) $\times 9.8 \times 10^{-3}$ kN」以上，平均值在「寬(mm) $\times 1.08 \times 10^{-2}$ kN」以上。

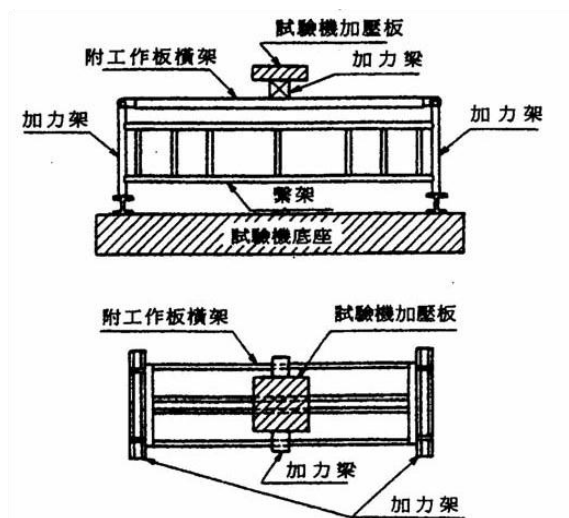


圖 87 撓曲及抗彎試驗

(二) 金屬扣鎖本體及安裝部之剪斷試驗

如圖 88 所示，在使用荷重梁及加力梁之狀況下，在水平踏板上裝設試驗機加壓板後，在載重梁之中央部位施加垂直載重，量測其載重之最大值。關於強度之限制上，水平踏板之金屬扣鎖本體及安裝部載重之最大值需在「寬 (mm)×3.5×10⁻² kN」以上，平均值在「寬 (mm)×3.92×10⁻² kN」以上。

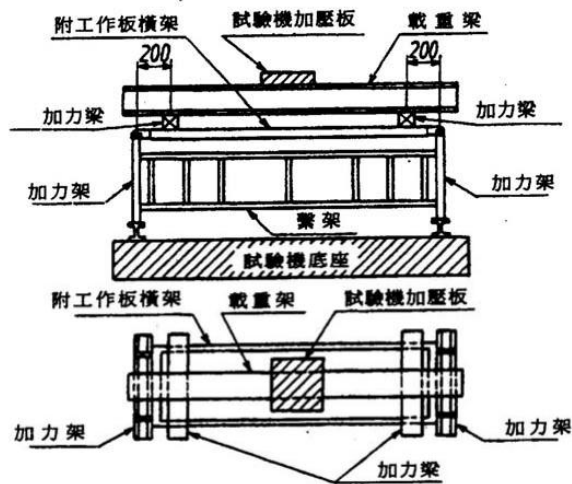


圖 88 金屬扣鎖本體及安裝部之剪斷試驗(單位：mm) (三) 金屬扣鎖防止外移之剪斷試驗

如圖 89 所示，在使用荷重梁及加力梁之狀況下，在水平踏板上裝設加壓板後，在載重梁之中央部位施加垂直載重，量測其載重之最大值。其剪斷強度之載重最大值需在 2.95kN 以上，平均值需在 3.25kN 以上。

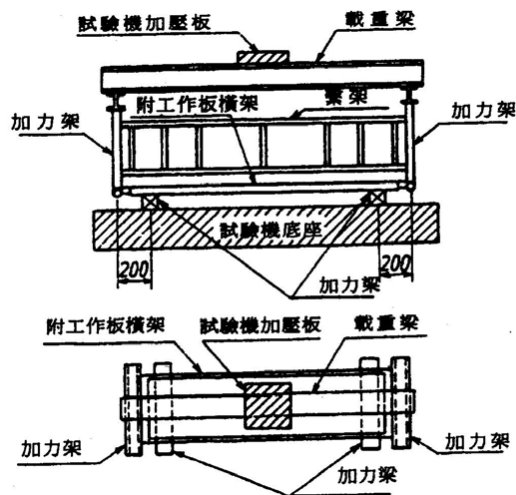


圖 89 金屬扣鎖防止外移之剪斷試驗(單位：mm)

四、托架

關於托架之強度試驗如圖 90 所示，在使用固定四腳夾具之狀況下，將托架 以四個為一組裝設在試驗機上方，並在水平材之中央部位施加垂直載重，量測 載重之最大值。在強度之規定標準上，托架之載重最大值需在 27.0kN 以上，平 均值在 30.0kN 以上。

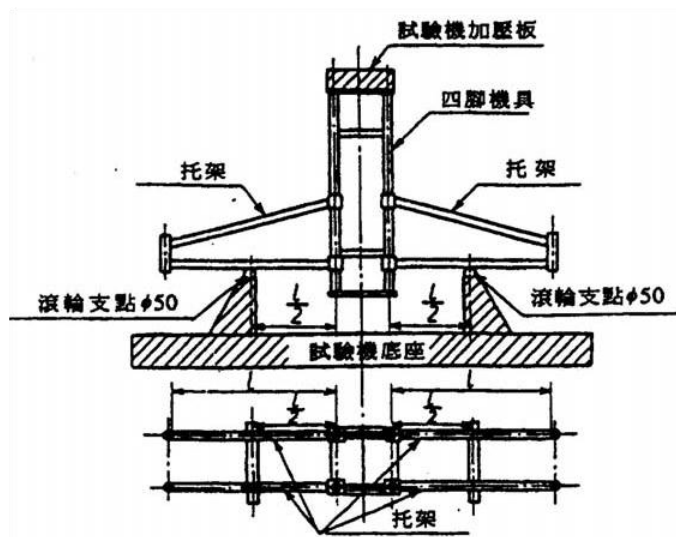


圖 90 強度試驗(單位：mm)

五、可調型基腳座鈹

關於可調型基腳座鈹之壓縮強度試驗，如圖 91 所示，將刀口、刀口支座與 鋼管並用，在可調型基腳座鈹上裝設試驗機加壓板後，對其施加壓縮載重，量 測當使用高度為最大值時之載重。關於強度之規範上，可調型基腳座鈹之載重 最大值需在 40.0kN 以上，平均值在 45.0kN 以上。

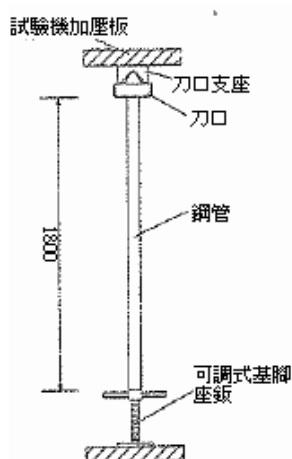


圖 91 壓縮強度試驗(單位：mm)

附註：鋼管之材質依據 CNS 4435(一般結構用碳鋼鋼管)所規定之 STK500

規格，外直徑為 48.6mm，管厚為 2.5mm。六、系統式施工架用斜撐
 關於系統施工架用斜撐及固定端之強度試驗方法，如圖 92 所示，將立柱、水平桿及系統式施工架用斜撐以下圖所示之方式組搭而成後，在其上方裝設荷重梁，並在中央部位施加垂直載重，量測載重之最大值。在強度之規定上，斜撐之載重最大值需在 12.0kN 以上，平均值在 13.0kN 以上，並且當載重達到最大值時，在固定端之斜材不可脫落。

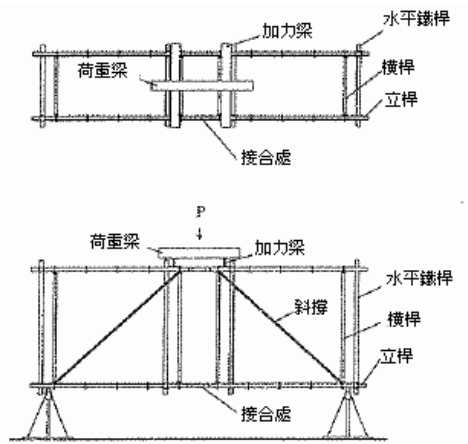


圖 92 斜撐及安裝端之強度試驗

六、系統式施工架用斜撐

關於系統施工架用斜撐及固定端之強度試驗方法，如圖 93 所示，將立柱、水平桿及系統式施工架用斜撐以下圖所示之方式組搭而成後，在其上方裝設荷重梁，並在中央部位施加垂直載重，量測載重之最大值。在強度之規定上，斜撐之載重最大值需在 12.0kN 以上，平均值在 13.0kN 以上，並且當載重達到最大值時，在固定端之斜材不可脫落。

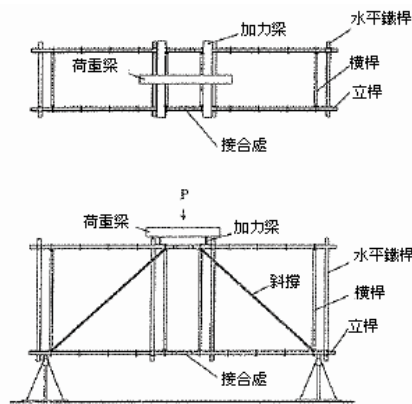


圖 93 斜撐及安裝端之強度試驗

七、系統式施工架用扶手及中欄杆 在扶手及中欄杆之試驗，主要測試其水平移動量及強度，試驗方式如圖 94 所示，在試驗用固定器上將系統式施工架用扶手及中欄杆裝設上去，並在中央 部位使用滑輪施加重力，當重量達到 50kg 時，量測扶手及中欄杆受力位置之水平移動量；當重量達到 115kg 時，觀察滑輪有無損壞之情形。在強度等相關規定中，水平移動量需在 100mm 以下，且在施加 115kg 之重量時，滑輪應無任何 損壞情形。

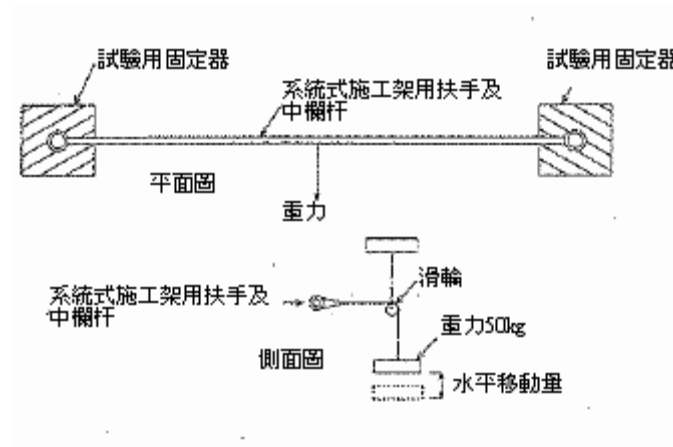


圖 94 扶手及中欄杆之水平移動量及強度試驗

第六章 系統式支撐架指引製作

第一節 BIM 專案執行計畫指引

所有 BIM 專案，其基本原則大致相同，也就是透過 3D 的參數化物件建置的資訊與知識交換平台（建築資訊模型，Building Information Model），運用協同設計的作業流程，有效率地完成最佳化的專案設計及執行。但是要落實到執行面，仍然需要有一定的流程。國外學者及相關組織針對這一個議題進行許多研究，其成果最具代表性的是由美國賓州州立大學(Penn State University)的 CIC(Computer Integrated Construction) 研究中心所制定的 BIM 執行計畫指引（BIM Execution Planning Guide [22]）。該指引現在已更新到第二版，推出後被制定中的美國 BIM 國家標準（National Building Information Modeling Standard, NBIMS）第二版納入，美國空軍也依其內容建立了美國空軍 BIM 執行計畫的樣板供空軍工程單位使用。此外，其他國家如新加坡則以該指引為範本;國內第一本出版的 BIM 指引 [23]，其主要內容也是該指引的翻譯。因此本研究的指引也將以 CIC 的 BIM 執行計畫指引為依據，考量支撐架工程與一般營造專案的差異，加以簡化後建立系統式支撐架指引。

在 CIC 的 BIM 執行計畫指引中，將 BIM 專案的執行計畫分為四個步驟：

1. 確認 BIM 的目標及服務項目（Identify BIM Goals and Uses）
2. 設定 BIM 專案執行情序（Design BIM Project Execution Process）
3. 設定資訊交換規範（Develop Information Exchanges）
4. 設定 BIM 建置的基礎架構（Define Supporting Infrastructure for BIM Implementation）

以下將此四步驟簡單說明。

第一步驟的目的在於確認專案中使用 BIM 的目標為何？這也是規劃過程中最重要的步驟，目標通常以提升或強化專案的價值為主，例如縮短工期、提高品質、降低成本、或減少設計變更等。一旦專案採用 BIM 的目標設定後，就可以進一步確定專案中所需的 BIM 服務項目（BIM Uses）。在 CIC 的指引制定過程中，透過數次專家座談、案例分析、以及文獻探討，提出 25 項 BIM 的服務項目，包括成本估算、工程分析（含結構分析、能耗分析、照明分析...等）、敷地分析...等項目。這些服務項目通常是導

程圖中，就有能耗分析的詳細流程。如果執行專案的單位認定有其必要性，可依序訂定第三級、第四級…等流程圖。

第三步驟與第二步驟中的資訊流有關。因為在執行專案過程中，資訊交換是不可或缺的一環，而資訊交換過程中最重要的條件就是確認提供以及接收的資訊是正確且一致的資訊。所以第三步驟的重點就在於明確定義資訊交換的內容及格式。

第四步驟的目的在於確認支援 BIM 專案的基礎架構，包含合約內容、資訊交換程序、以及使用的技術（含軟、硬體等）。

以上四個步驟是一般性原則，適用所有類型的 BIM 專案。但是應用於不同專案中，執行計畫指引之內容應可視專案做適度調整。如將系統式支撐架設計用 BIM 專案方式處理，因為其作業內容相較於一般土木營造專案而言相對單純，例如 CIC 指引中所列的 25 種 BIM 服務項目，大多數在系統式支撐架的設計中都不需要考慮（如能耗分析、照明分析、LEED 評估等）。參與者也相對單純（大約只有結構分析設計人員、安衛人員、以及組搭人員），溝通方式較為簡單，可以書面（含電子形式）溝通即可。而其間相關的軟硬體問題也不大。因此應該可做適度簡化，考慮第一及第二步驟即可。

第二節 系統式支撐架 BIM 執行計畫指引

如前節所述，相對於一般土木營造專案，系統式支撐架較為單純，參與專業團隊也較少，大致為結構設計分析人員、安衛人員、以及組搭人員。依此進行 BIM 指引的規劃。

步驟一：確認 BIM 的目標及服務項目

對於系統式支撐架而言，採用 BIM 流程想要達到的目標不外乎安全的結構設計，完善且符合安衛法規的設施，以及正確估價以達合理計價的目標。為了要達成這些目標，需要 BIM 服務項目有結構分析，法規檢核，以及成本估算。

步驟二：設定 BIM 專案執行政序

確定專案採用 BIM 的目標以及需要的服務項目後，接下來規劃需要的服務項目執行流程。與一般流程圖不同的地方在於 BIM 執行流程中，須將資訊交換時間點及資訊接收者適當的標註在流程圖中，為區分作業流程與資訊交換，流程圖中採用實線代表作業流程，虛線代表資訊交換。

針對系統式支撐架而言，一般的流程如下：

首先結構設計分析人員接受業主需求以及使用者需求的資訊，內容包含載重、安全係數、量體、現地狀況等，使用者需求主要指支撐架組搭完成後，後續工作人員需進行的工作，如放置模板、設置感測器、以及灌漿等。

透過這些需求的資訊，結構設計分析人員建立支撐架的初步結構配置，這些資訊傳給組搭人員，組搭人員依據結構初步配置圖進行粗估，同時確認可提供材料的性質，這項資料回傳給結構設計分析人員，作為最後結構分析時須採用多大安全係數的依據之一（另一項依據為業主的要求）。

下一步驟，結構設計分析人員提出詳細的結構設計，這項資訊分別傳給安衛人員以及組搭人員。安衛人員依據此一詳細設計評估是否符合安衛要求，並針對可改善的部分提出建議；組搭人員則針對設計探討組搭過程是否可順利進行，同樣針對可改善部分進行建議。安衛人員及組搭人員的建議回傳給結構設計分析人員後，設計人員調整設計後，將模型轉為結構模，進行結構分析。結構分析時依據業主需求，並依據組搭人員提供的用料性質資訊，審慎選定安全係數。分析結果如果不符合結構安全，則重複執行本段中所述之步驟，直到結構設計經分析後符合結構安全為止。如果結構分析結果符合結構安全要求，則結構設計分析完成，進入下一步驟。

最後的步驟是組搭人員依據完成的結構設計進行數量估算，進一步作成本估算。

依據以上步驟完成的結構設計，除了結構安全外，因為已經由安衛人員評估，且將安衛建議納入，應該符合安全法規要求；同時，組搭人員也提供了組搭流程相關的建議，經採納後融入結構設計中，實際組搭時也不至於有太大問題。

以上所述之流程，其流程圖如圖 96 所示。

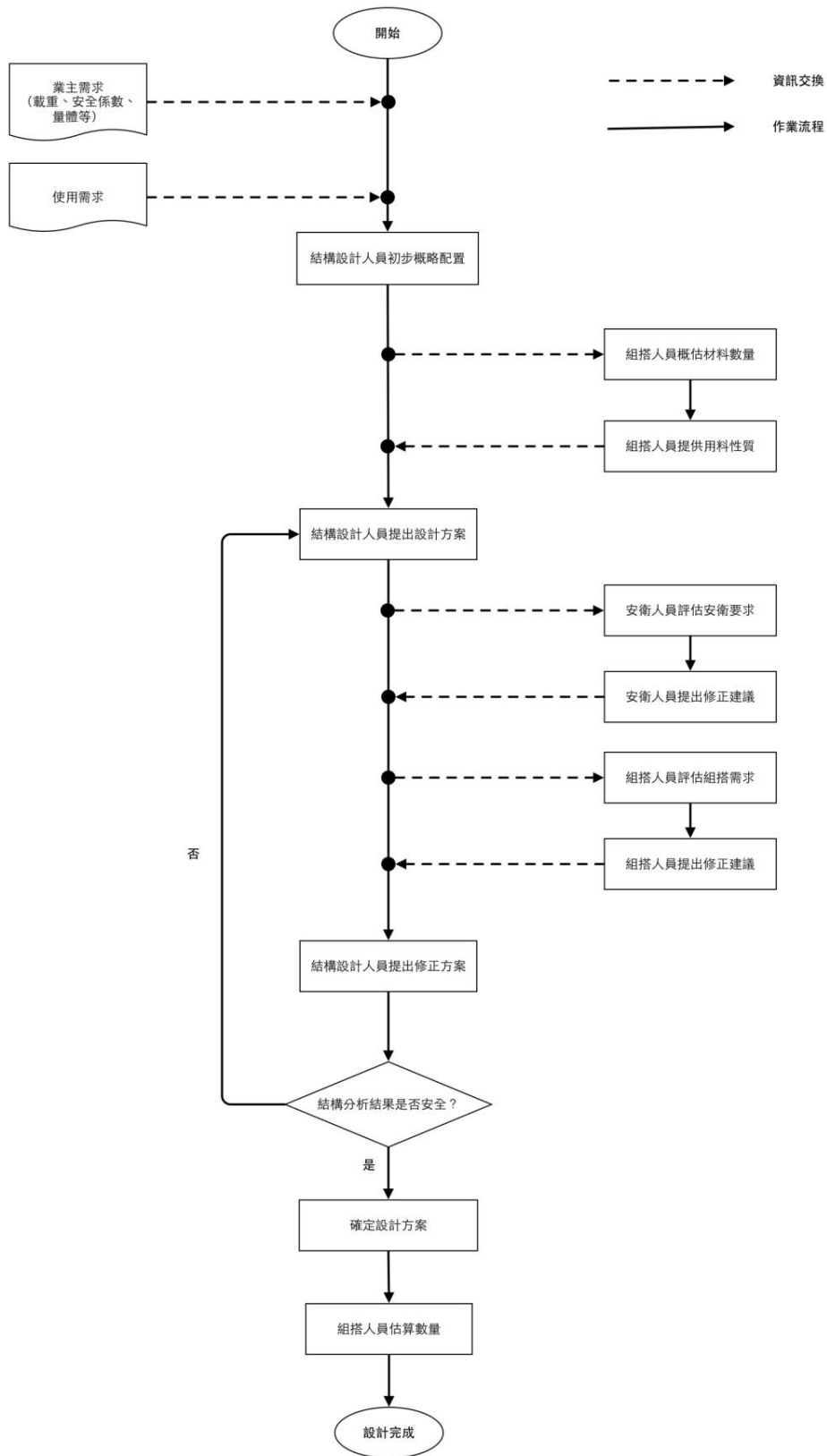


圖 96 系統式支撐架設計流程圖

第七章 結論與建議

第一節 結論

- 一、藉由現場訪視發現模板支撐許多缺失源於規劃設計階段，例如模板支撐架最頂層需進行工作項目的區域必須視為施工平台，但那些區域為施工平台但無法滿鋪，須以母索搭配安全帶補充，這些決定在設計階段確定最為有效。因此結構設計及安全設施的配置應由設計階段開始，避免後續更大衝突或施工後無法變更。
- 二、模板支撐藉由 BIM 的 3D 模型建立，比傳統二維圖面更能呈現工地現場實況，有較佳的現地掌握性，在支撐架之安全通道及安全設施上的缺失亦能避免。
- 三、BIM 之建模與結構設計整合，可兼顧結構安全及安衛需求，在設計階段結構設計人員與安衛人員可充分溝通，並提供各自的專業知識，運用整合式協同設計模式，能兼顧支撐架結構及施工安全的目的。
- 四、BIM 模型之建立團隊間要充分溝通，不同團隊間的資訊交換管道必須順暢無阻，而且要確保資訊輸出方與資訊接收方之間沒有資訊落差，方能確保規劃方案的周全性。
- 五、本研究提出運用 BIM 與結構設計整合的支撐架安全設施規劃流程，並提供實務範例指引供設計、施工及安全衛生管理人員參考，以運用於未來系統支撐架之安全設施規畫，提升支撐架結構及施工之安全性。

第二節 建議

- 一、相對於主體結構，假設結構的執行較為單純，因此若能將每項假設工程視為一個專案，其 BIM 與結構分析整合之應用推廣較易進行
- 二、為提升模板支撐之作業安全，建議針對假設工程從業人員、設計人員、安全衛生管理人員進行教育訓練，使其具備基本的執行或運用 BIM 時必要之職能，如此才能進行整合式的協同規劃設計作業。
- 三、目前假設工程之檢查方式多採用目視方式進行，執行時難免掛一漏萬，透過人工審查不僅費時耗力，且結果常常不能令人滿意。建議當未來 BIM 推廣應用趨於成熟時，採用 BIM 進行虛擬檢查及電子化審查作業，不但節省人力、時間，其結果

也較少爭議。

四、建議將建立的假設工程 BIM 模型與主體工程的 BIM 流程融合，使土木營造專案從上到下，由開始到結束，都真正貫徹 BIM 流程的協同設計概念，對專案品質應能產生巨大的提升，同時也能更加完善照顧勞工的安全。

參考文獻

- [1] 「營造安全衛生設施標準」，民國 99 年 11 月 30 日行政院勞工委員會修正發布
- [2] “Safety and Health Regulation for Construction – Fall Protection”, Part 1926, Subpart M, Occupational Safety & Health Administration, Department of Labor, United States
- [3] 「勞働安全衛生規則」，厚生勞動省，日本
- [4] 「建築施工承插型盤扣式鋼管支架安全技術規程」，中華人民共和國行業標準 JGJ 231-2010，中華人民共和國
- [5] “South Australia Occupational Health, Safety, and Welfare Regulations 2010”, Government of South Australia, Australia
- [6] 張智奇，問世賢，「模板支撐失效模式與倒崩塌相關性研究」，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2011
- [7] 張智奇，問世賢，「大型模板支撐之系統式支撐架安全性能評估與強度測試」，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2012
- [8] 張智奇，問世賢，「橋梁型鋼支撐架及重型鋼管支撐架系統之安全性評估研究」，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2012
- [9] J.L. Peng, A.D.E. Pan, and S.L. Chan, “Simplified models for analysis and design of modular falsework”, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 48, Issues 2–3, November 1998, Pages 189-209
- [10] Tayakorn Chandrangu, Kim J.R. Rasmussen, "Structural modelling of support scaffold systems", *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 67, Issue 5, May 2011, Pages 866-875
- [11] Hao Zhang, Kim J.R. Rasmussen, and Bruce R. Ellingwood, “Reliability assessment of steel scaffold shoring structures for concrete”, *Engineering Structures*, Volume 36, March 2012, Pages 81-89
- [12] Jose M. Adam, Francisco J. Pallarés, and Pedro A. Calderón, "Falls from height during the floor slab formwork of buildings: Current situation in Spain”, *Journal of Safety Research*, Volume 40, Issue 4, August 2009, Pages 293-299
- [13] Pavan Meadati, Javier Irizarry, and Amin Aknoukh, “BIM and Concrete Formwork Repository” , 47th ASC Annual International Conference Proceedings, 2011

- [14] Wei Zhou, Jennifer Whyte, and Rafael Sacks, “Construction safety and digital design: A review”, *Automation in Construction*, Volume 22, March 2012, Pages 102-111
- [15] André Monteiro, João Poças Martins, “A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design”, *Automation in Construction*, In Press, Corrected Proof, Available online 14 June 2013
- [16] Sijie Zhang, Jochen Teizer, Jin-Kook Lee, Charles M. Eastman, and Manu Venugopal, “Building Information Modeling (BIM) and Safety Checking of Construction Models and Schedules”, *Automation in Construction*, Volume 29, January 2013, Pages 183-195
- [17] “Synthesis of Falsework, Formwork, and Scaffolding for Highway Bridge Structures”, Publication No. FHWA-RD-91-062, Federal Highway Administration, United States, 1991, Revised 1994
- [18] “Trenching and Shoring Manual, 2010”, California Department of Transportation, State of California, United States, 2010
- [19] “Falsework Manual, 2012”, California Department of Transportation, State of California, United States, 2012
- [20] “Formwork and Falsework Code of Practice – Draft”, Safe Work Australia, Australia, 2012
- [21] “Industry Guide for Formwork, 2012”, Safe Work SA, South Australia, Australia, 2012
- [22] “BIM Project Execution Planning Guide, Version 2.0”, CIC Research Group, 2010
- [23] 孔承儒，蕭漢臣，「第一次使用 BIM 就上手」，台灣營建研究院，2014

誌謝

本研究計畫由本所林副研究員楨中、黃助理研究員奕叡執行外，另應用建築資訊模型於系統支撐架之規劃設計及安全評估，由中華大學徐助理教授增興協助，謹此表示謝忱。

附錄一 案例原始結構計算書

— 目 錄 —

壹、設計參考	
貳、設計範圍	
參、支撐架性質	
肆、支撐架設計載重	
一、檢查圓盤支撐架荷載	
二、由 AISC 規範檢核圓盤支撐架之承載力	
三、設計主墊條	
四、檢查土壤承載力	
五、水平力分析	
附錄1、支撐架施工程序及拆除	
附錄2、支撐架組裝安檢步驟	
附錄3、支撐架施工組裝點檢表	
附錄4、支撐架自主檢查表	
附錄5、H型鋼型錄	
附錄6、支撐架試驗報告	
附錄7、支撐架調整座試驗報告	
附錄8、鋼管固定活扣試驗報告	
附錄9~11、建築模板施工設計實務	

五楊段C907標新建工程 柱頭節塊支撐架結構計算

壹、設計參考：

- 一、結構力學設計手冊，清田清司、高須治男原著，江新煌、蔡震邦編譯86年6月。
- 二、最新建築技術規則，89年1月，詹氏書局出版。
- 三、鋼結構設計學，鄒承曾著，詹氏書局出版85年9月。

貳、設計範圍：

本計算資料內容針對五楊段C907標新建工程柱頭節塊支撐架設計，其中包含H型鋼及圓盤支撐架配置結構計算。

參、支撐架性質：

一、主墊條型式:H型鋼，如附錄5。

- 1.性質: $E=2100000\text{kg/cm}^2$ ， $F_b=1512\text{kg/cm}^2$ ， $F_v=1008\text{kg/cm}^2$ 。
- 2.尺寸: $200\times100\times5.5\times8\text{mm}$ 。

二、圓盤系統支撐架型式：

1.性質：

- 主 桿：JIS STK500， $F_y=3600\text{kg/cm}^2$ ， $E=2100000\text{kg/cm}^2$ 。
水平桿：JIS STK400， $F_y=2880\text{kg/cm}^2$ ， $E=2100000\text{kg/cm}^2$ 。
斜 桿：JIS STK400， $F_y=2880\text{kg/cm}^2$ ， $E=2100000\text{kg/cm}^2$ 。

2.尺寸：

- 主 桿： $\phi 60.2\text{mm} \times T:3.2\text{mm}$
水平桿： $\phi 48.2\text{mm} \times T:2.5\text{mm}$
斜 桿： $\phi 48.2\text{mm} \times T:2.5\text{mm}$

3.破壞荷重(a tower):

參考100年1月25日會驗之成大抗壓試驗值 91.75 t，如附錄6。

肆、支撐架設計載重：

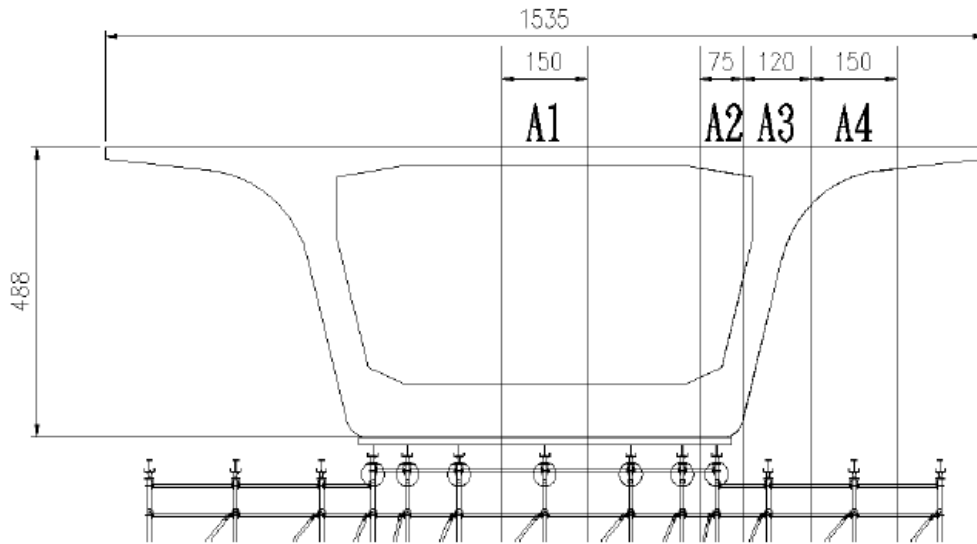
混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L)	••••	2.57 ton/m ³
澆注之衝擊載重(Impact Load)	••••	30% (D/L)
施工活載重(L/L)	••••	0.10 ton/m ²

DESIGN CALCULATION SHEET

一、檢查圓盤支撐架荷載

考慮：混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L)	: 2.57 ton/m ³
澆注之衝擊載重(Impact Load)	: 30% DL
施工活載重(L/L)	: 0.1 ton/m ²

取支撐架支撐斷面進行分析：



A1= 1.8 m² A2= 1.40 m² A3= 2.69 m² A4= 0.84 m²

A1斷面，型鋼支距 0.9m：

計算單腳最大荷載(maximum bearing load of a leg)

先求得單腳最大受力面積 = 1.5 × 0.9 = 2.25 m²

單腳支撐立方體積 = 1.80 × 0.9 = 1.62 m³

D/L	=	2.57	ton/m ³	×	1.62	m ³	=	4.16	ton
Impact Load	=	0.30	DL				=	1.25	ton
L/L	=	0.10	ton/m ²	×	2.25	m ²	=	0.23	ton
								5.64	ton

單腳最大荷重： 5.64 ton

採用 100年1月25日之成大抗壓試驗值----- 91.75 ton

$$91.75 \text{ ton} / 4.0 = 22.9 \text{ ton}$$

假設安全係數=2.5

$$\therefore \text{單腳容許負載} = 22.9 \div 2.5 = 9.175 \text{ ton}$$

檢核支撐架荷載

$$\rightarrow 5.64 \text{ ton} < 9.175 \text{ ton} \quad \text{OK!}$$

DESIGN CALCULATION SHEET

A2斷面，型鋼支距 0.9m：

計算單腳最大荷載(maximum bearing load of a leg)

先求得單腳最大受力面積 = $0.75 \times 0.9 = 0.675 \text{ m}^2$

單腳支撐立方體積 = $1.4 \times 0.9 = 1.26 \text{ m}^3$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{D/L} & = & 2.57 \text{ ton/m}^3 \times 1.26 \text{ m}^3 = 3.24 \text{ ton} \\
 \text{Impact Load} & = & 0.30 \text{ DL} = 0.97 \text{ ton} \\
 \text{L/L} & = & 0.10 \text{ ton/m}^2 \times 0.675 \text{ m}^2 = 0.07 \text{ ton} \\
 & & \hline
 & & 4.28 \text{ ton}
 \end{array}$$

單腳最大荷重： 4.28 ton

採用 100年1月25日之成大抗壓試驗值----- 91.75 ton

$$91.75 \text{ ton} / 4.0 = 22.9 \text{ ton}$$

假設安全係數 = 2.5

$$\therefore \text{單腳容許負載} = 22.9 \div 2.5 = 9.175 \text{ ton}$$

檢核支撐架荷載

$$\rightarrow 4.28 \text{ ton} < 9.175 \text{ ton} \quad \text{OK!}$$

A3斷面，型鋼支距 0.9m：

計算單腳最大荷載(maximum bearing load of a leg)

先求得單腳最大受力面積 = $1.2 \times 0.9 = 1.08 \text{ m}^2$

單腳支撐立方體積 = $2.69 \times 0.9 = 2.421 \text{ m}^3$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{D/L} & = & 2.57 \text{ ton/m}^3 \times 2.421 \text{ m}^3 = 6.22 \text{ ton} \\
 \text{Impact Load} & = & 0.30 \text{ DL} = 1.87 \text{ ton} \\
 \text{L/L} & = & 0.10 \text{ ton/m}^2 \times 1.08 \text{ m}^2 = 0.11 \text{ ton} \\
 & & \hline
 & & 8.20 \text{ ton}
 \end{array}$$

單腳最大荷重： 8.20 ton

採用 100年1月25日之成大抗壓試驗值----- 91.75 ton

$$91.75 \text{ ton} / 4.0 = 22.9 \text{ ton}$$

假設安全係數 = 2.5

$$\therefore \text{單腳容許負載} = 22.9 \div 2.5 = 9.175 \text{ ton}$$

檢核支撐架荷載

$$\rightarrow 8.20 \text{ ton} < 9.175 \text{ ton} \quad \text{OK!}$$

DESIGN CALCULATION SHEET

A4斷面，型鋼支距 1.8m：

計算單腳最大荷載(maximum bearing load of a leg)

先求得單腳最大受力面積 $= 1.5 \times 1.8 = 2.7 \text{ m}^2$

單腳支撐立方體積 $= 0.84 \times 1.8 = 1.512 \text{ m}^3$

D/L	=	2.57	ton/m ³	×	1.512	m ³	=	3.89	ton
Impact Load	=	0.30	DL				=	1.17	ton
L/L	=	0.10	ton/m ²	×	2.700	m ²	=	0.27	ton
								5.32	ton

單腳最大荷重： 5.32 ton

採用 100年1月25日之成大抗壓試驗值----- 91.75 ton

$$91.75 \text{ ton} / 4.0 = 22.9 \text{ ton}$$

假設安全係數= 2.5

$$\therefore \text{單腳容許負載} = 22.9 \div 2.5 = 9.175 \text{ ton}$$

檢核支撐架荷載

$$\rightarrow 5.32 \text{ ton} < 9.175 \text{ ton} \quad \underline{\text{OK!}}$$

DESIGN CALCULATION SHEET

二、由 AISC 規範檢核圓盤支撐架之承载力

※圓盤重型支撐架構件力學性質

主桿	STK500 鋼管 $\phi 60.2 \times T3.2$	$E=2100000(\text{kg/cm}^2)$	$F_y = 3600(\text{kg/cm}^2)$
橫桿	STK400 鋼管 $\phi 48.2 \times T2.5$	$E=2100000(\text{kg/cm}^2)$	$F_y = 2880(\text{kg/cm}^2)$
斜桿	STK400 鋼管 $\phi 48.2 \times T2.5$	$E=2100000(\text{kg/cm}^2)$	$F_y = 2880(\text{kg/cm}^2)$

※考慮 AISC 規範支撐鋼管理論容許荷重：

主桿，橫桿與斜桿允許軸向力 Pa 計算：

$$K = 1 \quad L : \text{無側撐長度}$$

$$r = \text{迴轉半徑} \quad C_c = \pi (2E/F_y)^{1/2}$$

$$(KL/r) < C_c \quad \text{非彈性挫曲}$$

$$R = (KL/r) / C_c \quad FS = 5/3 + 3/8R - 1/8 \times R^3$$

$$\text{允許壓應力} \quad F_a = (1 - 0.5R^2) \times F_y / FS$$

$$(KL/r) > C_c \quad \text{彈性挫曲}$$

$$\text{允許壓應力} \quad F_a = (12/23) \pi^2 E / (KL/r)^2$$

$$\text{允許軸向力} \quad P_a = F_a \times A$$

計算出允許軸向荷重如下：

	外徑	內徑	管厚	面積	L	r	KL/r
主桿	6.02	5.38	0.32	5.73	150	2.018	74.33
橫桿	4.82	4.32	0.25	3.59	150	1.618	92.71
斜桿	4.82	4.32	0.25	3.59	212	1.618	131.03

實際荷重與允許軸向力：

	Cc	R	FS	Fa	Pa(t)
主桿	107.31	0.693	1.885	1451.707	8.32
橫桿	119.97	0.773	1.899	1063.922	3.82
斜桿	119.97			629.879	2.26

由上表可知：

主桿、橫桿為非彈性挫曲，斜桿為彈性挫曲。

主桿容許軸向承载力 $P_a = 8.32 \text{ ton}$

橫桿容許軸向承载力 $P_a = 3.82 \text{ ton}$

斜桿容許軸向承载力 $P_a = 2.26 \text{ ton}$

檢核支撐架荷載

→ $8.20 \text{ ton} < 8.32 \text{ ton}$ **OK!**

DESIGN CALCULATION SHEET

三、設計主墊條(H型鋼200×100×5.5×8mm)

1. 檢核翼版主墊條

取翼版最大厚度 0.6 m

型鋼間距 1.5 m , 型鋼支距 1.8 m

混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L) : 2570 kgf/m³

$$=[(0.6 \times 1.5 \times 1.8)] \times 2570 = 4163 \text{ kgf}$$

澆注之衝擊載重(Impact Load) : 取混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L)30%計算

$$=[(0.6 \times 1.5 \times 1.8)] \times 2570 \times 30\% = 1249 \text{ kgf}$$

施工活載重(L/L) : 100 kgf/m²

$$=[(1.5 \times 1.8)] \times 100 = 270 \text{ kgf}$$

總載重(kg/m)

$$=(D/L) + (\text{Impact Load}) + (L/L) = 5682 \text{ kg}$$

單位長度重量

$$w = \frac{5682 \text{ kg}}{180 \text{ cm}} = 32 \text{ kg/cm}$$

測試 20 cm × 10 cm × 0.55 cm × 0.8 cm H型鋼

$$\text{剖面模數}(Z) = 181 \text{ cm}^3$$

$$\text{慣性矩}(I) = 1810 \text{ cm}^4$$

$$\text{斷面積}(A) = 11 \text{ cm}^2$$

型鋼之容許應力值計算

$$\text{彈性係數}(E) = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{容許應力}(F_b) = 1512 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{容許剪力}(F_v) = 1008 \text{ kg/cm}^2$$

檢核型鋼強度(strength of H-beam) :

$$M = \frac{wL^2}{10} = \frac{32 \text{ kg/cm} \times (180 \text{ cm})^2}{10} = 102284 \text{ kg-cm}$$

$$F_b = \frac{M}{Z} = \frac{102284 \text{ kg-cm}}{181 \text{ kg/cm}^2}$$

$$= 565 \text{ kg/cm}^2 < 1512 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$F_v = \frac{0.5W}{A} = \frac{5682 \text{ kg} \times 0.5}{11 \text{ cm}^2}$$

$$= 258 \text{ kg/cm}^2 < 1008 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$\delta = \frac{1wL^4}{128EI} = \frac{1 \times 32 \text{ kg/cm} \times (180 \text{ cm})^4}{128 \times 2100000 \text{ kg/cm}^2 \times 1810 \text{ cm}^4}$$

$$= 0.07 \text{ cm} < 0.417 \text{ cm} \quad \frac{L}{360} \quad \text{OK!}$$

∴ 使用 20 cm × 10 cm × 0.55 cm × 0.8 cm H型鋼

DESIGN CALCULATION SHEET

2. 檢核腹版主墊條

取腹版厚度 5 m
 型鋼間距 0.9 m , 型鋼支距 0.9 m

混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L) : 2570 kgf/m³
 = [(5×0.9×0.9)]×2570=10409 kgf

澆注之衝擊載重(Impact Load) : 取混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L)30%計算
 = [(5×0.9×0.9)]×2570×30%=3123 kgf

施工活載重(L/L) : 100 kgf/m²
 = [(0.9×0.9)]×100=81 kgf

總載重(kg/m)
 =(D/L) + (Impact Load) + (L/L) = 13612 kg

單位長度重量
 $w = \frac{13612 \text{ kg}}{90 \text{ cm}} = 151 \text{ kg/cm}$

測試 20 cm × 10 cm × 0.55 cm × 0.8 cm H型鋼
 剖面模數(Z) = 181 cm³
 慣性矩(I) = 1810 cm⁴
 斷面積(A) = 11 cm²

型鋼之容許應力值計算

彈性係數(E) = 2100000 kg/cm²

容許應力(Fb) = 1512 kg/cm²

容許剪力(Fv) = 1008 kg/cm²

檢核型鋼強度(strength of H-beam) :

$$M = \frac{wL^2}{10} = \frac{151 \text{ kg/cm} \times (90 \text{ cm})^2}{10} = 122508 \text{ kg-cm}$$

$$F_b = \frac{M}{Z} = \frac{122508 \text{ kg-cm}}{181 \text{ kg/cm}^2} = 677 \text{ kg/cm}^2 < 1512 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$F_v = \frac{0.5W}{A} = \frac{13612 \text{ kg} \times 0.5}{11 \text{ cm}^2} = 619 \text{ kg/cm}^2 < 1008 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$\delta = \frac{1wL^4}{128EI} = \frac{1 \times 151 \text{ kg/cm} \times (90 \text{ cm})^4}{128 \times 2100000 \text{ kg/cm}^2 \times 1810 \text{ cm}^4} = 0.02 \text{ cm} < 0.417 \text{ cm} \times \frac{L}{360} \quad \text{OK!}$$

∴ 使用 20 cm × 10 cm × 0.55 cm × 0.8 cm H型鋼

DESIGN CALCULATION SHEET

3. 檢核腹版主墊條

取腹版厚度 5 m
 型鋼間距 1.5 m , 型鋼支距 0.6 m

混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L) : 2570 kgf/m³
 = [(5×1.5×0.6)]×2570=11565 kgf

澆注之衝擊載重(Impact Load) : 取混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L)30%計算
 = [(5×1.5×0.6)]×2570×30%=3470 kgf

施工活載重(L/L) : 100 kgf/m²
 = [(1.5×0.6)]×100=90 kgf

總載重(kg/m)
 =(D/L) + (Impact Load)+ (L/L) = 15125 kg

單位長度重量
 w = 15125 kg / 60 cm = 252 kg/cm

測試 20 cm × 10 cm × 0.55 cm × 0.8 cm H型鋼
 剖面模數(Z) = 181 cm³
 慣性矩(I) = 1810 cm⁴
 斷面積(A) = 11 cm²

型鋼之容許應力值計算

彈性係數(E) = 2100000 kg/cm²

容許應力(Fb) = 1512 kg/cm²

容許剪力(Fv) = 1008 kg/cm²

檢核型鋼強度(strength of H-beam) :

$$M = \frac{wL^2}{10} = \frac{252 \text{ kg/cm} \times (60 \text{ cm})^2}{10} = 90747 \text{ kg-cm}$$

$$F_b = \frac{M}{Z} = \frac{90747 \text{ kg-cm}}{181 \text{ kg/cm}^2} = 501 \text{ kg/cm}^2 < 1512 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$F_v = \frac{0.5W}{A} = \frac{15125 \text{ kg} \times 0.5}{11 \text{ cm}^2} = 687 \text{ kg/cm}^2 < 1008 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$\delta = \frac{1wL^4}{128EI} = \frac{1 \times 252 \text{ kg/cm} \times (60 \text{ cm})^4}{128 \times 2100000 \text{ kg/cm}^2 \times 1810 \text{ cm}^4} = 0.01 \text{ cm} < 0.417 \text{ cm} \quad \frac{L}{360} \quad \text{OK!}$$

∴ 使用 20 cm × 10 cm × 0.55 cm × 0.8 cm H型鋼

DESIGN CALCULATION SHEET

4. 檢核頂版+底版主墊條

取頂版+底版厚度 1.2 m
 型鋼間距 0.9 m , 型鋼支距 1.8 m

混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L) : 2570 kgf/m³
 = [(1.2×0.9×1.8)]×2570=4996 kgf

澆注之衝擊載重(Impact Load) : 取混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L)30%計算
 = [(1.2×0.9×1.8)]×2570×30%=1499 kgf

施工活載重(L/L) : 100 kgf/m²
 = [(0.9×1.8)×100]=162 kgf

總載重(kg/m)
 =(D/L) + (Impact Load)+ (L/L) = 6657 kg

單位長度重量
 w = 6657 kg / 180 cm = 37 kg/cm

測試 20 cm × 10 cm × 0.55 cm × 0.8 cm H型鋼
 剖面模數 (Z) = 181 cm³
 慣性矩 (I) = 1810 cm⁴
 斷面積 (A) = 11 cm²

型鋼之容許應力值計算

彈性係數 (E) = 2100000 kg/cm²

容許應力 (Fb) = 1512 kg/cm²

容許剪力 (Fv) = 1008 kg/cm²

檢核型鋼強度 (strength of H-beam) :

$$M = \frac{wL^2}{10} = \frac{37 \text{ kg/cm} \times (180 \text{ cm})^2}{10} = 119824 \text{ kg-cm}$$

$$F_b = \frac{M}{Z} = \frac{119824 \text{ kg-cm}}{181 \text{ kg/cm}^2} = 662 \text{ kg/cm}^2 < 1512 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

$$F_v = \frac{0.5W}{A} = \frac{6657 \text{ kg} \times 0.5}{11 \text{ cm}^2} = 303 \text{ kg/cm}^2 < 1008 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

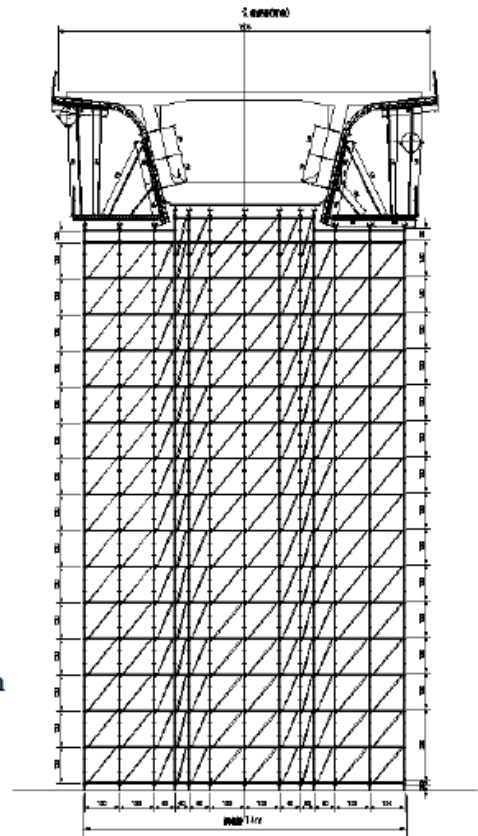
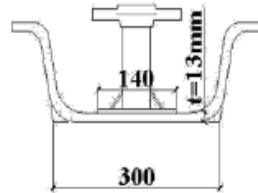
$$\delta = \frac{1wL^4}{128EI} = \frac{1 \times 37 \text{ kg/cm} \times (180 \text{ cm})^4}{128 \times 2100000 \text{ kg/cm}^2 \times 1810 \text{ cm}^4} = 0.08 \text{ cm} < 0.417 \text{ cm} \quad \frac{L}{360} \quad \text{OK!}$$

∴ 使用 20 cm × 10 cm × 0.55 cm × 0.8 cm H型鋼

DESIGN CALCULATION SHEET

四、檢查土壤承载力

原土夯實達90%以上後，在支撐腳位置鋪設鋼板樁。



柱頭節塊箱型梁面積 16.87 m^2 ，鋼板樁間距 0.9 m
鋼板樁尺寸為 $0.3 \text{ m} \times 14 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \Rightarrow q &= \frac{16.87 \times 0.9 \times 2.57}{14 \times 0.3} \\ &= 9.29 \quad \text{ton/m}^2 \end{aligned}$$

工法以鋼板樁作為支撐架之基礎，支撐基礎下方若有軟弱土層須刮除。

整地夯實完後，若現場資料不足，需做現地載重試驗，判斷是否符合設計需求，支撐基礎土壤承載能力須不小於 20 ton/m^2 。

預估沉陷量及承载力：

土壤承载力檢核

由鑽探資料可得知基礎所在N值(基腳寬度之深度內標準貫入試驗平均值)

依據 Meyerhof 公式：(取容許沉陷量 2.5 cm)，則容許淨承载力 q 為

$$q = 0.88N \left[\frac{B+0.33}{B} \right]^2 \quad \text{ton/m}^2 \quad - \text{OK} -$$

由預估土壤反力可得預估沉陷量，可做為預拱值之參考

$$\delta = \frac{2.84q}{N} \left[\frac{B}{B+0.33} \right]^2 \quad \text{cm}$$

$$\text{以 } N=16, q=9.29 \text{ ton/m}^2 \text{ 為例 } \delta = \frac{2.84 \times 9.29}{16} \left[\frac{0.3}{0.3+0.33} \right]^2 = 0.37 \text{ cm}$$

DESIGN CALCULATION SHEET

五、水平力分析

※水平分力主要考量水平地震力、風力所造成之水平推力，由上述水平分力造成之傾倒力矩，以檢核本支撐架抗傾倒之安全性。

1. 地震力分析

施工期間(年)	V(地震甲區)	V(地震乙區)
1	0.047W	0.032W
2	0.058W	0.041W
3	0.068W	0.047W

支撐架施工期間不足1年，以1年計，且施工工區為地震乙區

∴水平地震力採用 $V_e = 0.032W$ (W：箱型樑總靜重)

依據柱頭節塊箱型梁面積 16.87 m^2 ，長度15.5m

靜載重(RC)：2570 kg

W 總載重： $16.87 \times 15.5 \times 2570 = 672016 \text{ kg} = 672 \text{ ton}$

∴ $V_e = 0.032 \times 672 \text{ ton} = 21.50 \text{ ton}$

2. 風力分析

支撐架高度 h (m)	最小風壓 (kgf/m ²)
$h \leq 9$	$(1.6V - 24) \times Q$
$9 < h \leq 15$	$(1.6V - 16) \times Q$
$15 < h \leq 30$	$(1.6V - 8) \times Q$
$h > 30$	$1.6V \times Q$

a. 桃園縣基本設計風速為 37.5 m / sec。

b. $Q = 0.3 + 0.2 \times W$ ，W為支撐架沿風力方向之基本寬度。

$$Q = 0.3 + 0.2 \times 1.5 = 0.6 \text{ m}$$

c. 支撐架施工期間不足1年，以1年計，風速則依上表在乘 0.78。

d. 支撐架下方有交通出入口供公眾車輛進出，最小風壓應再加 25 kgf/m²。

支撐架高度 $15 < h \leq 30$ 。

依上表計算風壓力為 $(1.6 \times 37.5 - 8) \times 0.6 \times 0.78 + 25 = 49.336 \text{ kgf/m}^2$

最小設計風力 = 最小風壓 × 受風面積

受風面積 = $5 \times 15.5 = 77.5 \text{ m}^2$

$$\text{最小設計風力 } V_w = 0.049336 \times 77.5 = 3.82 \text{ ton}$$

DESIGN CALCULATION SHEET

取 $L = 26.5\text{m}$ 分析：

水平地震力 $>$ 風力，所以由地震力控制，
而採用 $H_{\max} = 26.5\text{m}$ 進行傾倒分析：

總傾倒力矩 $M_d = V_e \times H$

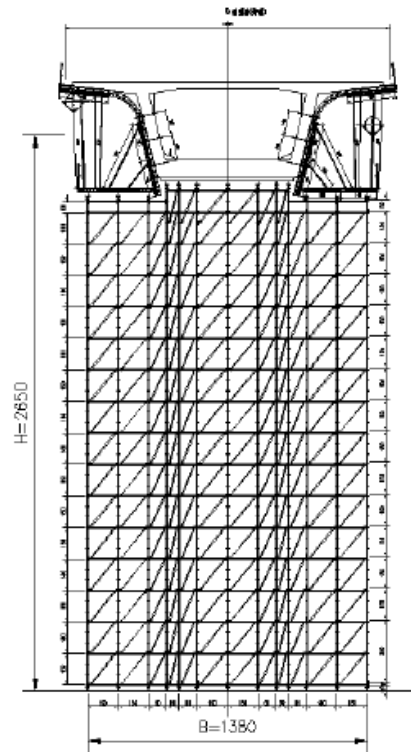
$$\begin{aligned} M_d &= 21.50 \times 26.50 \\ &= 569.86 \text{ t-m} \end{aligned}$$

總抵抗力矩 $M_r = W \times B/2$

$$\begin{aligned} M_r &= 672 \times 6.90 \\ &= 4636.80 \text{ t-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{安全係數 } FS &= \frac{M_r}{M_d} \\ &= \frac{4636.80}{569.86} \\ &= 8.14 \end{aligned}$$

OK!



支撐架合計淨載重為 113,000 kg

抗傾倒力矩為 淨載重 $\times 0.75\text{m} = 113 \text{ ton} \times 0.75\text{m} = 84.75 \text{ T-m}$

※計算抗傾倒力矩

每5.5m埋設A307-19mm螺栓兩支，依據「鋼結構設計手冊」每支螺栓其容許剪應力為2.0ton。

鋼管可承受拉力 $= 0.6 \times F_y = 1.5 \text{ ton}$ 。

鋼管固定活扣滑脫強度為1896kg(附錄)，故每處可提供容許值為0.95ton。

抗傾倒力矩為 $1.5 \times 4 \text{ 處} \times 22\text{m} + 1.5 \times 4 \text{ 處} \times 16.5\text{m} + 1.5 \times 4 \text{ 處} \times 11\text{m} + 1.5 \times 4 \text{ 處} \times 5.5\text{m}$
 $= 330 \text{ ton-m}$

$330 \text{ ton-m} > 84.75 \text{ ton-m (OK.)}$

重型圓盤系統支撐架非一般傳統門型支撐架，採用制式規格主架、橫桿、斜桿組立為 $60 \times 90\text{cm}$ 、 $60 \times 150\text{cm}$ 、 $90 \times 150\text{cm}$ 兩類單元性結構，且各小單元間每1.5m高度均採用制式規格橫桿固定，形成穩定性結構體可有效抵抗水平力。

附錄1：

支撐架施工程序及拆除：

1.現場檢查：

(1)支撐架施工前首先檢查施工場地是否回填整地及滾壓夯實。

(2)再檢查施工材料是否變形，是否足夠。

(3)再由施工人員安排吊具、運輸動線及組立人員。

2.施工組立：

(1)檢查放樣點是否正確。

(2)依組立施工圖將鋼板樁或覆工板正確擺放。

(3)依組立施工圖組立支撐。

(4)高程控制檢查。

(5)檢查各固定銷是否固接。

(6)各種長短支撐材檢查。

(7)安全網檢查是否足夠安全。

(8)不定期檢查支撐架是否變形，固定銷是否鬆動。

3.支撐架拆除：

(1)安排拆除工具、吊具及出入動線。

(2)逐一拆除並防止不當碰撞。

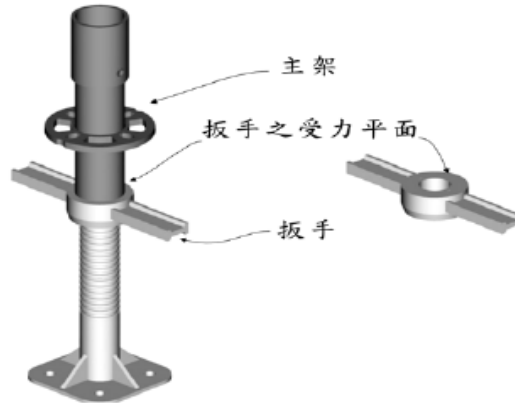
(3)支撐架拆除：先退模放鬆U型調整座，以方便模板先拆除之後，再移開木樑、H型鋼接下來再拆除U型調整座及各斜撐、橫桿及主架，並將支撐架依各形狀大小整齊堆放置一旁，以方便機具人員出入。

(4)清點拆除項目，避免遺失。

附錄2：

支撐架組裝安檢步驟：

- 1、主架或標準基座之軸向平面是否與上、下調整座的扳手受力面確實組合，如下圖之圖例：



- 2、組立完成後於灌漿前，確認每一橫桿及斜拉插銷是否確實咬緊圓盤。
- 3、於腹版垂直線下之支撐架的相關支點，是否依據圖面來施以斜拉加強。
- 4、上調整座與H型鋼之介面須以鱘魚夾或其它可確實結合之器具固定，一支型鋼最少於頭中尾各夾1個。
- 5、地基已完成夯實，且與下調整座之間隙有加勁材，其介面無空隙。
加勁材可使用：木隔板、H型鋼、鋼板樁...覆工板...等。
- 6、豪雨或雨季中，於灌漿前，須再度確認地基之安全無虞，且基地面未遭掏空，否則應立即補強。
- 7、地震後，立即檢查各元件之組合是否變形、損壞或插銷鬆脫。
- 8、面臨施工道之支撐架主架於外觀上，檢查是否變形。
- 9、組立完成後支撐架之主架應無外觀目視之變形或彎曲。
- 10、檢查現場支撐架之搭建，是否與設計圖面一致，否則應立即修改，依設計施工，避免因偷工減料或不當搭建等發生危險及不必要的困擾和成本上的增加。
- 11、若頂版(SLAB版)或基地面之斜度過大，支撐架上調整座與貫材之間隙或下調整座與基地面整間隙應使用三角墊片(角材)作補強，使其可達最大受力面積。

附錄3：

工程名稱				
承攬廠商				
檢查位置		檢查日期		
檢查時機				
檢查結果				
項目	檢查細項	實際檢查情況	檢查結果	
			合格	不合格
1	施工場地是否回填整地並滾壓夯實			
2	施工材料是否變形、數量是否足夠			
3	施工吊具、運輸動線及施工人員確認			
4	施工位置放樣是否正確			
5	支撐架鋪底材料是否正確擺放			
6	支撐架組立是否照圖施工			
7	支撐架固定銷是否均確實固接			
8	不定期檢查支撐架是否變形，固定銷是否鬆動			
9	支撐架需逐一拆除防止不當碰撞			
10	支撐架拆除前上部模板是否已經拆除完成			
11	拆除後支撐架桿件是否依照尺寸分類整理			
12	是否確實清點桿件數量			
<p>缺失複查結果</p> <p><input type="checkbox"/>已完成改善(檢查改善前中後照片)</p> <p><input type="checkbox"/>未完成改善，填具「缺失改善追蹤表」進行追蹤改善</p> <p>複查日期： 年 月 日</p> <p>複查人員職稱 簽名：</p>				
<p>備註：</p> <p>1.檢查結果及實際檢查情形應具體明確或量化尺寸</p> <p>2.檢查結果合格者註明「○」，不合格者註明「×」，如無須檢查之項目則打「/」</p> <p>3.嚴重缺失，缺失複查未完成改善，應填具「缺失改善追蹤表」進行追蹤改善</p> <p>4.本表由工地現場工程師實地檢查後確實記載簽認</p>				

現場工程師簽名：

工地主任簽名：

附錄4：

工程名稱				
承攬廠商				
檢查位置		檢查日期		
檢查時機				
檢查結果				
項目	檢查細項	實際檢查情況	檢查結果	
			合格	不合格
1	主架或標準基座之軸向平面是否與上、下調整座的板手受力面確實組合			
2	組立完成後於灌漿前，確認每一橫桿及斜拉插銷是否確實咬緊圓盤			
3	於腹版垂直線下之支撐架的相關支點，是否依據圖面來施以斜拉加強			
4	上調整座與H型鋼之介面須以鱷魚夾或其它可確實結合之器具固定，一支型鋼最少於頭中尾各夾1個			
5	地基已完成夯實，且與下調整座之間隙有加勁材，其介面無空隙。加勁材可使用：木隔板、H型鋼、鋼板樁……等			
6	豪雨或雨季中，於灌漿前，須再度確認地基之安全無虞，且基地面未遭掏空，否則應立即補強			
7	地震後，立即檢查各元件之組合是否變形、損壞或插銷鬆脫			
8	面臨施工道之支撐架主架於外觀上，檢查是否變形			
9	組立完成後支撐架之主架應無外觀目視之變形或彎曲			
10	檢查現場支撐架之搭建，是否與設計圖面一致，否則應立即修改，依設計施工，避免因偷工減料或不當搭建等發生危險及不必要的困擾和成本上的增加			
11	若頂版(SLAB版)或基地面之斜度過大，支撐架上調整座與貫材之間隙或下調整座與基地面整間隙應使用可調角度之調整座或用三角墊片(角材)作補強，使其可達最大受力面積。			
<p>缺失複查結果</p> <p><input type="checkbox"/>已完成改善(檢查改善前中後照片)</p> <p><input type="checkbox"/>未完成改善，填具「缺失改善追蹤表」進行追蹤改善</p> <p>複查日期： 年 月 日</p> <p>複查人員職稱 簽名：</p>				
<p>備註：</p> <p>1.檢查結果及實際檢查情形應具體明確或量化尺寸</p> <p>2.檢查結果合格者註明「○」，不合格者註明「x」，如無須檢查之項目則打「/」</p> <p>3.嚴重缺失，缺失複查未完成改善，應填具「缺失改善追蹤表」進行追蹤改善</p> <p>4.本表由工地現場工程師實地檢查後確實記載簽認</p>				

現場工程師簽名：

工地主任簽名：

附錄5：

熱軋H型鋼

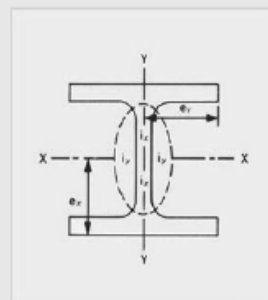
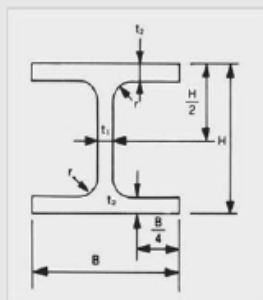
Hot Rolled H-Beam

截面積(Section Area) : a

截面慣性矩(Moment of Inertia) : $I = ar^2$

截面迴轉半徑(Radius of Gyration) : $r = \sqrt{I/a}$

截面模數 : $S = I/e$ (Section Modulus)



公稱尺寸 Nominal size (mm)	標準尺寸 Standard dimension		截面積 Section area (cm ²)	單重 Unit weight (kg/m)	參考資料 Reference							
	截面尺寸 Section dimensions (mm)				慣性矩 Moment of inertia (cm ⁴)		迴轉半徑 Radius of gyration (cm)		截面模數 Section modulus (cm ³)		塑性截面模數 Plastic section modulus (cm ³)	
	H x B x t1 x t2	R			Ix	Iy	rx	ry	Sx	Sy	Zx	Zy
100 x 100	100 x 100 x 6 x 8	8	21.59	16.9	378	134	4.18	2.49	76	27	86	41
125 x 125	125 x 125 x 6.5 x 9	8	30.00	23.6	839	293	5.29	3.13	134	47	152	72
150 x 75	150 x 75 x 5 x 7	8	17.85	14.0	666	50	6.11	1.66	89	13	102	21
150 x 100	148 x 100 x 6 x 9	8	26.35	20.7	1000	150	6.17	2.39	135	30	154	46
150 x 150	150 x 150 x 7 x 10	8	39.65	31.1	1620	563	6.40	3.77	216	75	243	114
175 x 90	175 x 90 x 5 x 8	8	22.90	18.0	1210	98	7.26	2.06	138	22	156	34
175 x 175	175 x 175 x 7.5 x 11	13	51.42	40.4	2900	984	7.50	4.37	331	112	371	171
200 x 100	198 x 99 x 4.5 x 7	8	22.69	17.8	1540	113	8.25	2.24	156	23	176	35
	200 x 100 x 5.5 x 8	8	26.67	20.9	1810	134	8.23	2.24	181	27	205	42
200 x 150	194 x 150 x 6 x 9	8	38.11	29.9	2630	507	8.30	3.65	271	88	301	103
200 x 200	200 x 200 x 8 x 12	13	63.53	49.9	4720	1600	8.62	5.02	472	160	526	243
	*200 x 204 x 12 x 12	13	71.53	56.2	4980	1700	8.35	4.88	498	167	566	257
250 x 125	248 x 124 x 5 x 8	8	31.99	25.1	3450	255	10.40	2.82	278	41	312	63
	250 x 125 x 6 x 9	8	36.97	29.0	3960	294	10.40	2.82	317	47	358	73
250 x 175	244 x 175 x 7 x 11	13	55.49	43.6	6040	984	10.40	4.21	495	112	551	172
250 x 250	250 x 250 x 9 x 14	13	91.43	71.8	10700	3650	10.80	6.32	860	292	953	443
	*250 x 255 x 14 x 14	13	103.9	81.6	11400	3880	10.50	6.11	912	304	1030	467
300 x 150	298 x 149 x 5.5 x 8	13	40.80	32.0	6320	442	12.40	3.29	424	59	475	91
	300 x 150 x 6.5 x 9	13	46.78	36.7	7210	508	12.40	3.29	481	68	543	105
300 x 200	294 x 200 x 8 x 12	13	71.05	55.8	11100	1600	12.50	4.75	756	160	842	245
300 x 300	*294 x 302 x 12 x 12	13	106.3	83.4	16600	5510	12.50	7.20	1130	365	1260	558
	300 x 300 x 10 x 15	13	118.4	93.0	20200	6750	13.10	7.55	1350	450	1480	682
	*300 x 305 x 15 x 15	13	133.4	105	21300	7100	12.60	7.30	1420	466	1600	714
	*304 x 301 x 11 x 17	13	133.5	105	23200	7730	13.20	7.61	1520	514	1690	779
	*312 x 303 x 13 x 21	13	163.8	129	29400	9750	13.39	7.72	1880	644	2110	976
	*318 x 307 x 17 x 24	13	194.7	153	35000	11600	13.40	7.72	2200	756	2500	1150

財團法人成大研究發展基金會

土木工程材料試驗報告單

第 2 頁 共 3 頁

(100) 第 SB0012 號

發文日期： 100 年 1 月 25 日

工程名稱：N/A

委託單位：實固股份有限公司

承包商：N/A

製品工廠：實固股份有限公司

取樣人員：陳偉政

送樣人員：陳偉政

試樣名稱：φ60mm圓盤系統支撐架(1.8m×1.5m 主架STK500)

收件日期：100 年 1 月 25 日

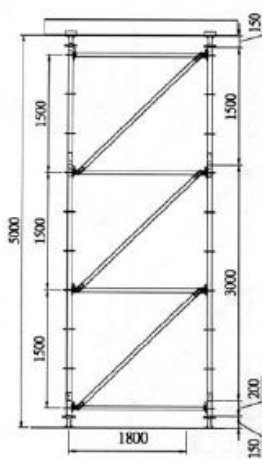
試驗日期：100 年 1 月 25 日

結構部位：—

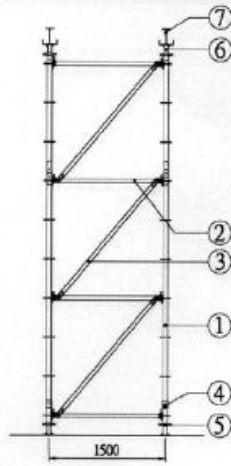
試驗方法：—

會驗人員：楊俊勝

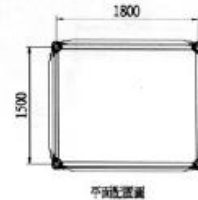
管外徑 (mm)	管厚 (mm)	框架寬度 (mm)	框架高度 (mm)	破壞荷重 P(tf)
60.3	3.5	1800/1500	5000	91.40



A-A剖面配置圖



B-B剖面配置圖



平面配置圖

No.	品名	材質	規格
1	主架	STK500	φ60.2mm×T:3.2mm
2	橫樑	STK400	φ48.2mm×T:2.5mm
3	斜樑	STK400	φ48.2mm×T:2.5mm
4	標準基座	STK500	φ60.2mm×T:3.2mm
5	調整座	STK400	φ48.2mm×T:5.0mm
6	U型調整座	STK400	φ48.2mm×T:5.0mm
7	H型鋼	試驗單位提供	

本試樣並非由試驗室方面取樣或送樣，故所列紀錄僅對所收到試樣本負責。

試驗者 _____



財團法人成大研究發展基金會

土木系材料試驗報告單

第 3 頁 共 3 頁

(100) 第 SB0012 號

發文日期：100 年 1 月 25 日

工程名稱：N/A

委託單位：實固股份有限公司

承包商：N/A

製品工廠：實固股份有限公司

取樣人員：陳偉政

送樣人員：陳偉政

試樣名稱：φ60mm圓盤系統支撐架(1.5m×1.5m 主架STK500)

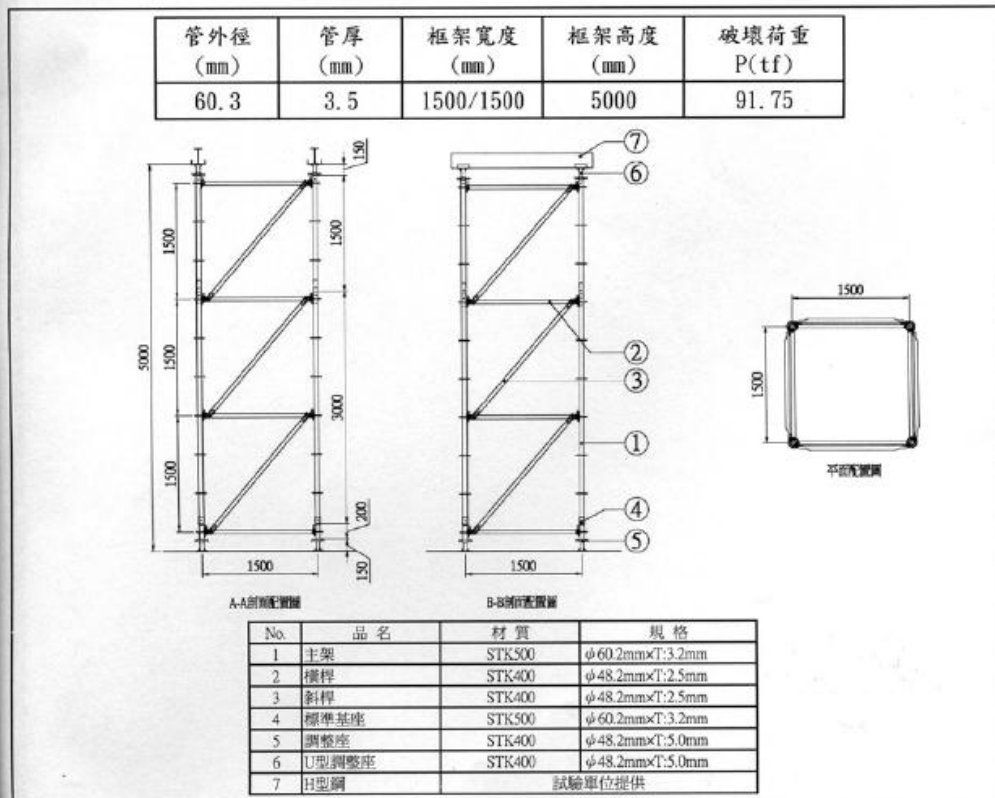
收件日期：100 年 1 月 25 日

試驗日期：100 年 1 月 25 日

結構部位：-

試驗方法：-

會驗人員：楊俊勝



本試樣並非由試驗室方面取樣或送樣，故所列紀錄僅對所收到試樣本負責。

試驗者 _____





Material & Engineering Laboratory-Taichung

TEST REPORT

Report No. : TK-08-03517X
 Page : 1 OF 1
 Date : Nov. 13, 2008

Project: Self Evaluation
 Client: SUCOOT INDUSTRIAL CO.,LTD./ TAE HYUN ENGINEERING CO.,LTD.
 Contractor: -----
 Supplier: -----
 Sample: Jack Base ϕ 48.2mm×600mm×T:5.0mm
 Submitted By: SUCOOT INDUSTRIAL CO.,LTD.-TUNG MIN SHING
 Received Date: Nov. 11, 2008
 Tested Date: Nov. 11, 2008~ Nov. 13, 2008
 Test Method: Compression test
 Remark: The information mentioned in the above section is provided by testing applicant
 (Exclude tested date)

RESULTS:

- 1.Fixed test sample on load test machine ◦
- 2.Starting compression test and record max load value(test speed 10 mm/min) ◦



Compression test

Sample Name	Max load (kgf)
Jack Base ϕ 48.2mm×600mm×T:5.0mm	25651

-----oO-----

The required specification(s) offered in this test report is/are for reference only.
 The conformity judgment is at the Applicant's final verdict.

(Signature)
 Signed for and on behalf of
 SGS TAIWAN Ltd.

Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. This test report cannot be reproduced, except in full, without prior written permission of the Company. 除非另有說明，此報告結果僅對測試之樣品負責。本報告未經本公司書面許可，不可部份複製。
 This Test Report is issued by the Company under its General Conditions of Service printed overleaf or available on request and accessible at http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this Test Report is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

TW 7497683

SGS Taiwan Ltd. | No. 115, Yueyuan N. Rd., Lungjing Shiang, Taichung County, Taiwan. / 台中縣龍井鄉遼園北路115號
 台灣檢驗科技股份有限公司 | t (886-4) 2631-1838 | f (886-4) 2631-1990 | www.tw.sgs.com

Member of SGS Group

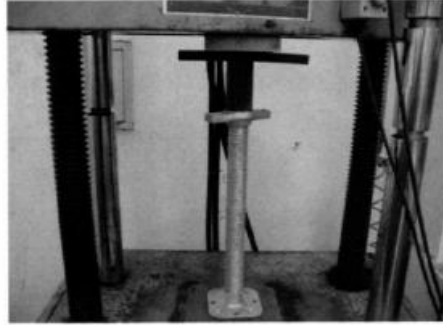


台灣檢驗科技股份有限公司
SGS Taiwan Ltd.

SAMPLE CARD

Laboratory Testing · ISO Certification · Inspection
No.115, Youyuan N.Rd., Lungjing Shiang
Taichung County, Taiwan
Tel : (04) 26311838 (代表號)
Fax : (04) 26311990

REPORT NO: **PAGE NO 1**
TK-08-03517X



Tset




After test



附録8：

平成9年 3月31日

試験成績表

社団法人板設工業会会長 

申請者名 平和技研株式会社 本社工場

供試体の種類、型式及び数量 緊結金具 HKCR-N自在 5組

1. 構造等 構造図のとおり。

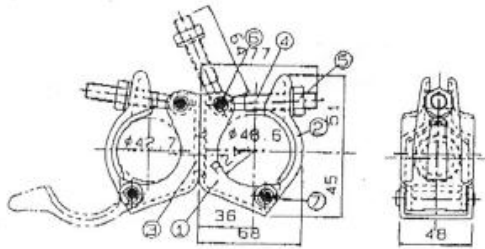
2. 試験方法 試験方法は、鋼管足場用の部材及び附属金具の規格（労働省告示第103号）による。

3. 試験結果 次のとおり。

引 張 試 験

供試体組 No	1	2	3	4	5	平均値	
荷重50～750 kg時におけるローラーの中心間の距離の変化量 mm	締付182 350kg.cn	6.5	7.1	8.4	9.5	6.3	—
	締付182 450kg.cn	4.2	3.8	4.7	8.2	5.2	—
強 度 kg	1870	1865	1890	1810	1945	1896	
労働省規格による値	変化量：10 mm以下、強度：1000kg以上						

(構造図)



NO	名 称	数	材質、寸法	NO	名 称	数	材質、寸法
①	クランプネジ	2	SP+C400-3.2mm	⑤	フランジナット	2	W7/16、H-9
②	クランプ	2	SP+C400-3.2mm	⑥	ワッシャー	2	W7/16、H-9
③	本鋼ローリング鋼にて製成	2		⑦	ワッシャー	2	W7/16、H-9
④	ワッシャー	2	W7/16	⑧	ワッシャー	2	W7/16、H-9

實 固 股 份 有 限 公 司

附錄9：(本頁取自「建築模板施工設計實務」石正義編著，詹氏書局。)

作業荷重

澆灌混凝土時設置於模板上的臨時假設設施以及作業人員的重量等的荷重，我們稱之為「作業荷重」。作業荷重由於臨時假設設施如混凝土輸送管和作業員重量在施工中常常移動的關係，因此在那個位置有多大荷重實在很難有明確的數字可做參考。

衝擊荷重

對模板而言，如前所述非僅承受混凝土重量而已，尚承受有混凝土澆灌時的衝擊荷重。衝擊荷重尚應包括澆灌混凝土時在局部澆置了過量的混凝土以及作業員，將這些過量的混凝土攤平時模板所承受的荷重、衝擊荷重一如作業荷重，很難預測出那個部位會承受澆灌時的衝擊、那個部位在澆灌時會澆置過量的混凝土。

「作業荷重」及「衝擊荷重」到底應該多少才算合理呢？茲提供各種文獻資料之建議如下表以供參考。

「各種文獻對作業荷重大小的建議」

表 2-2

文 獻	作業荷重 (包括衝擊荷重)
ACI 中對模板 Recommended Practice 之規定	244kg/m ² (50psf)
ACI中規定使用附有動力的混凝土搬運車時	370kg/m ² (75psf)
日本勞動安全衛生規則	150kg/m ² 以上
Befon Kelender	300~500kg/m ²
「模板、支撐工程實務手冊」 假設工業會編	若承受作業荷重的部材之負擔面積為 Am ² ，則 A ≤ 1 m ² 時 W = 350kg/m ² 1 m ² < A ≤ 5 m ² 時 W = (400-50A) kg/m ² 5 m ² < A 時 W = 150kg/m ²
舊 JASS 5 (昭和 51.1 改訂前)	澆置混凝土時的荷重 150 Kg / m ² 衝擊荷重 (鋼筋混凝土自重 × 1/2)
新 JASS 5	依實際情況而定
模板的設計施工指針 (案) 日本建築學會 (預測)	依實際情況而定 以 pump 澆灌時為 150 Kg / m ²

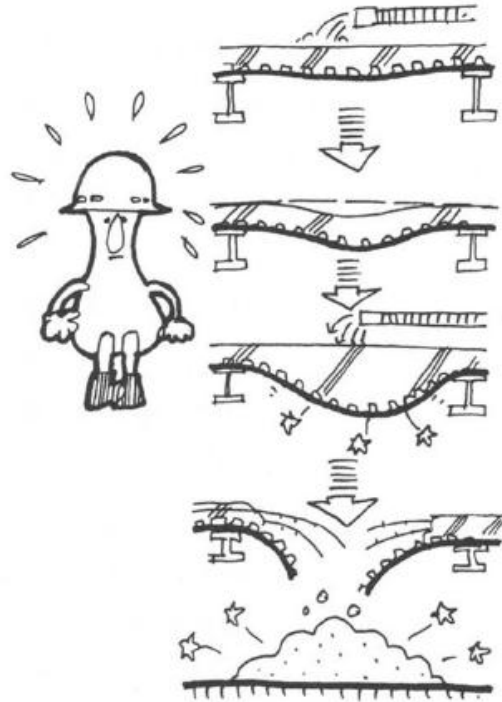


圖 2-12

撓度量的概算

撓度量的計算式與應力的計算式相比，因其條件不同而有更複雜及更具變化的係數。若是真的依荷重位置及支點的支撐條件求其計算式的話，那就顯得複雜且不實際。因此在實務上與上述計算應力的過程相同採用簡支梁與兩端固定梁兩種情況之中間值，也可採用下述之概算式。

- ① 1 點集中荷重時 $\frac{Pl^3}{96EI}$
- ② 2 點集中荷重時 $\frac{14Pl^2}{648EI} = \frac{7Pl^2}{324EI}$
- ③ 3 點集中荷重時 $\frac{Pl^3}{32EI}$
- ④ 等分布荷重時 $\frac{wl^4}{128EI}$

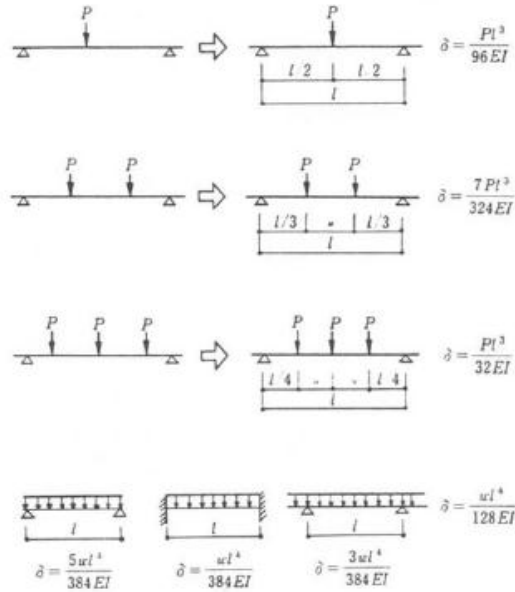


圖 2-13

假設構造物之構造計算難免會有若干的誤差，這是因為攔柵、托梁之間隔往往無法保持正確的距離間隔或者有時荷重大小、位置與計算時之假設有所出入而產生的。若是要求必定要有準確的計算結果那是強人所難。與其要求有準確的計算結果倒不如要求能確認計算結果的安全性與要求能簡單扼要的計算來得恰當。

有一點必需要加以注意的是，在構造計算過程中常常會忽略了整體模板構造的剛性。因此在營造整個模板構造之際應設置足夠數量的，可以提高整個構造剛性之斜撐以及水平繫材。

附錄11：(本頁取自「建築模板施工設計實務」石正義編著，詹氏書局。)

附表2 鋼材的容許應力度 (單位 t/cm²)

材 料		應 力 種 別						短 期
		長 期						
		拉 張	壓 縮	彎 曲	剪 斷	直 壓	接 觸	
構 造 用 鋼 材	普通鋼材	1.4	1.4	1.4	0.8	2.8	4.0	長期應力值 的1.5倍
	SS 41 SM 41	1.6	1.6	1.6	0.9	3.0	4.6	
	SS 50	2.0	2.0	2.0	1.2	3.8	5.8	
	SM 50	2.2	2.2	2.2	1.3	4.1	6.3	
鋼 釘	SV 34 SV 41	1.6	—	—	1.2	—	—	
螺 絲	SS 41	0.8	—	—	—	—	—	
	SM 41	1.0	—	—	1.2	—	—	
磅 鐵		—	1.0	—	—	—	2.8	
一 般 構 造 用 炭 素 鋼 管	STK 41 t < 4mm	1.4	1.4	1.4	0.8	2.4		
	STK 41 t ≥ 4mm	1.6	1.6	1.6	0.9	3.0		
	STK 50 t < 4mm	2.0	2.0	2.0	1.2	3.8		
	STK 50 t ≥ 4mm	2.2	2.2	2.2	1.3	4.1		
鋼 筋 混 凝 土 用 鋼 筋	SR 24 SD 24	1.8	1.8					
	SR 30 SD 30	2.0	2.0					
	SD 35	2.2	2.2					

(備注) • 鋼鋼包含鐵鋼。
• 鋼釘之容許應力由鋼釘孔之直徑算出。
• 螺絲之容許應力由軸之斷面算出。

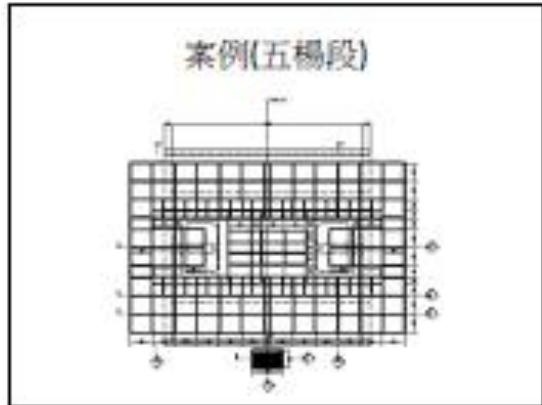
附表3 普通構造木材之容許應力

容 許 應 力 (kg/cm ²)	樹 種	長 期 應 力			短期應力	場 保 數 (10 ⁴ kg/cm ²)				
		壓 縮	拉 張、彎 曲	剪 斷		E _s	E _t			
縱 橫 方 向 的 容 許 應 力	針 葉 樹 I 類	紅松、黑松、落葉松、綠柏、檜木、鐵杉、美松、美檜	80	90	7	長期應力值 之2倍	80	2.5		
		杉、樺木、北海道松、冷杉、美國鐵杉	60	70	5		70			
	闊 葉 樹 I 類	橡 樹	90	130	14		100	4		
	II 類	栗木、櫻木、山毛櫸、樺木、海狗羅香木	70	100	10		80			
	III 類	柳 安	70	90	6		70		3	
	與 縱 橫 方 向 傾 斜 的 容 許 應 力 係 數	力 量 作 用 於 構 材 中 間 部	針葉樹	1.00	0.87		0.73	0.60	0.47	0.33
闊葉樹			1.00	0.89	0.78	0.67	0.58	0.44	0.30	
力 量 作 用 於 構 材 端 部		針葉樹	1.00	0.86	0.72	0.58	0.45	0.31	0.18	
		闊葉樹	1.00	0.88	0.75	0.63	0.50	0.38	0.25	
全 面 壓 縮		針葉樹	1.00	0.86	0.71	0.56	0.42	0.27	0.125	
		闊葉樹	1.00	0.87	0.73	0.60	0.47	0.33	0.20	

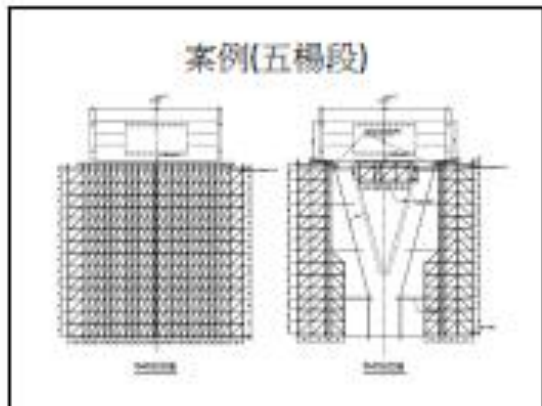
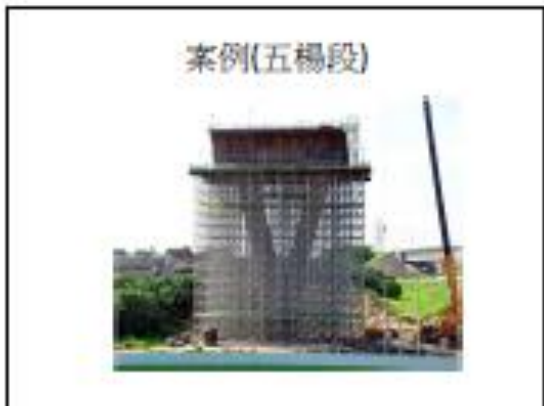
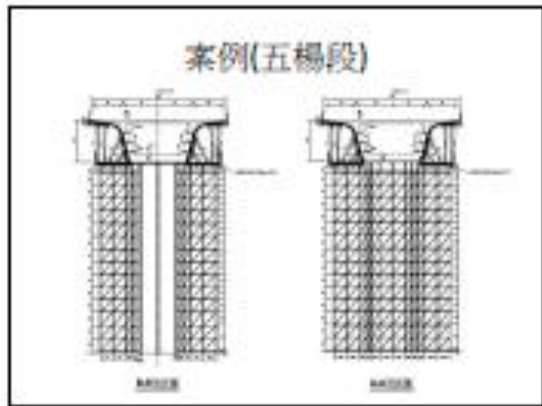
★ 低品質之杉木(氣乾比重0.3以下或平均年輪寬度6mm以上)時應取表內之值的70%。
★★ 樺木、櫻木應為平均年輪寬度1mm以上之材質

附錄二 專家座談會議資料

「應用建築資訊模型於系統支撐架之規劃設計及安全評估」
專家座談

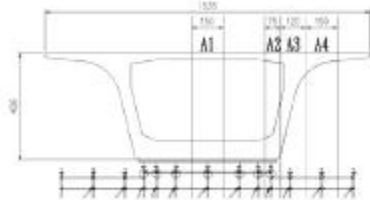


- 座談議題
- 系統式支撐結構計算
 - 目前國內無規範
 - 分析使用載重組合
 - BIM流程
 - 結構分析及安全設施配置



案例(五楊段)

混凝土自重、鋼板及支撐架重量(D.L) 2.57 ton/m²
 流注之衝擊載重(Impact Load) 30% (D.L)
 施工活載重(L.L) 0.10 ton/m²



案例(五楊段)

考慮AISC規範支撐鋼管理論容許荷重：

	Cc	R	FS	Fa	Pa(t)
主桿	107.31	0.693	1.885	1451.707	8.32
邊桿	119.07	0.773	1.899	1063.922	3.82
斜桿	119.97			629.879	2.26

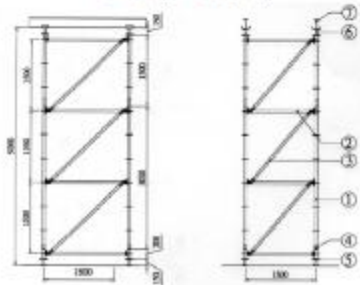
案例(五楊段)

A3斷面 - 斜腳支撐 0.9m :
 計算單腳最大荷載(maximum bearing load of a leg)
 先求單腳最大受力面積 = 1.2 × 0.9 = 1.08 m²
 單腳支撐立方體積 = 2.69 × 0.9 = 2.421 m³
 D.L = 2.57 ton/m² × 2.421 m³ = 6.22 ton
 Impact Load = 0.30 D.L = 1.87 ton
 L.L = 0.10 ton/m² × 1.08 m² = 0.11 ton
 8.20 ton
 單腳最大荷重 = 8.20 ton
 採用100#-1# 25#之成大抗壓試驗值 = 91.75 ton
 91.75 ton / 4.0 = 22.9 ton
 斜腳安全係數 = 2.5
 單腳容許荷重 = 22.9 × 2.5 = 57.38 ton
 檢核支撐容許值
 → 8.20 ton < 57.38 ton **OK**

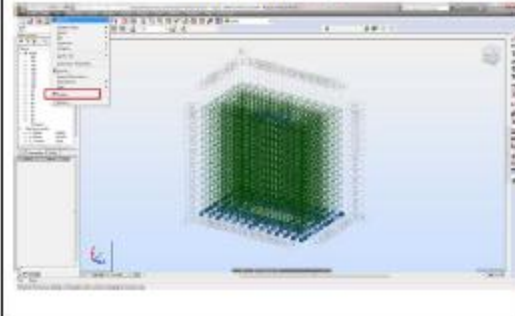
BIM建模分析



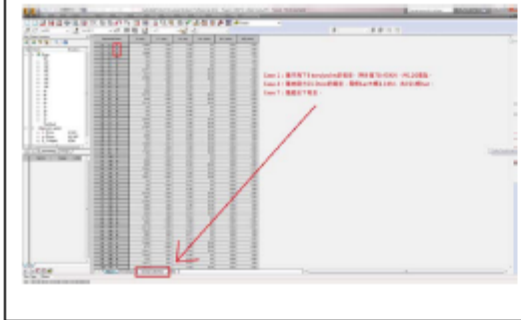
案例(五楊段)



BIM建模分析



BIM建模分析

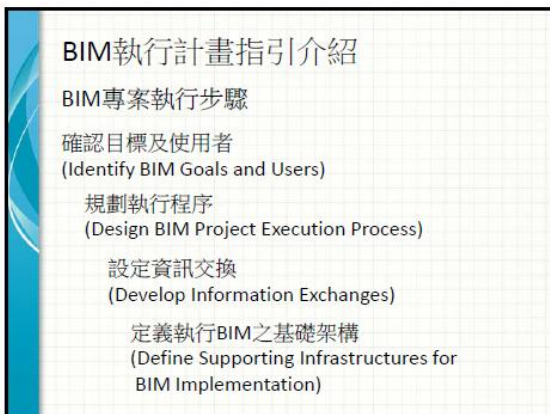


BIM建模分析

	FX (座)	FY (座)	FZ (座)	MX (座)	MY (座)	MZ (座)
SWR	07-02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SWR	1054	114	9994	20	4102	4928
SWR	1880	233	200	48	1733	1738
Case	7	1	4	3	7	3

設計規劃流程





針對系統式支撐架之BIM執行計畫

較為單純

確認目標及使用者

規劃執行程序

設定資訊交換

討論

確認目標及使用者

目標

- 結構分析
- 法規檢核
- 正確估價

使用者

- 結構設計、分析人員
- 安衛人員（使用者）
- 組搭人員

規劃執行程序

結構設計、分析

安全設施配置（法規、使用需求）

估價

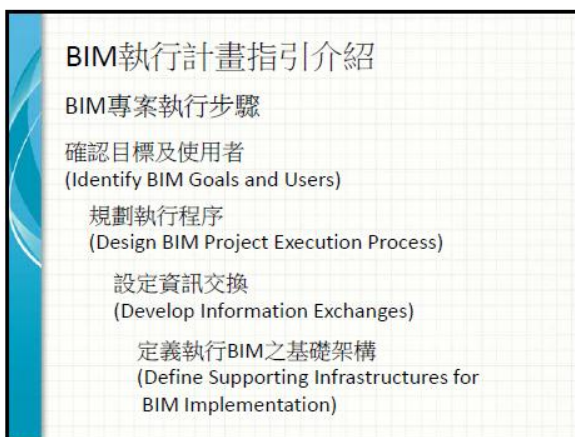
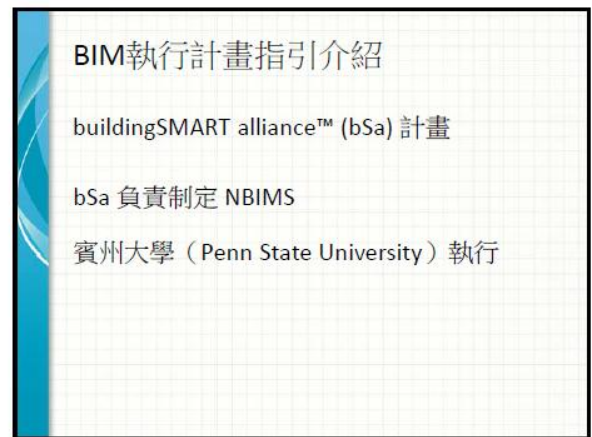
設定資訊交換

什麼資訊？

什麼時候？

誰提供？

給誰？



針對系統式支撐架之BIM執行計畫

較為單純

確認目標及使用者

規劃執行程序

設定資訊交換

討論

確認目標及使用者

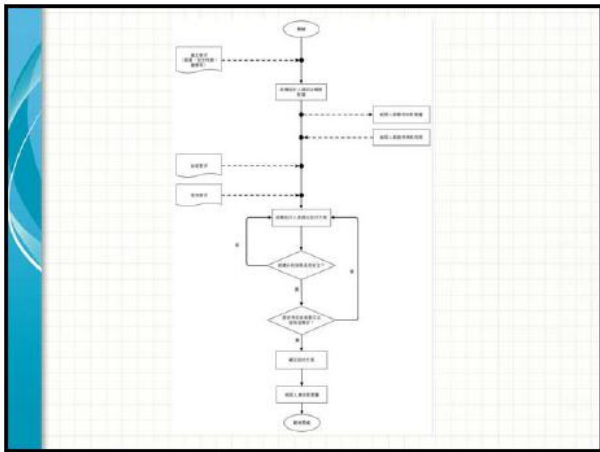
<p>目標</p> <ul style="list-style-type: none"> • 結構分析 • 法規檢核 • 正確估價 	<p>使用者</p> <ul style="list-style-type: none"> • 結構設計、分析人員 • 安衛人員（使用者） • 組搭人員
--	---

規劃執行程序

結構設計、分析

安全設施配置（法規、使用需求）

估價



附錄三 專家座談會議紀錄

中華大學

「應用建築資訊模型於系統支撐架之規劃設計及安全評估」

專家座談會會議記錄

一、開會時間：103年9月24日（星期三）下午14時00分

二、開會地點：鐵路改建工程局中部工程處

三、主席：徐助理教授增興

記錄：

四、出（列）席單位人員：

台中市結構技師公會	林委員明勝	林明勝
實固(股)公司	何委員崇銘	何崇銘
實固(股)公司	王委員俊傑	王俊傑
中興工程顧問	陳委員祈昌	陳祈昌
莫特顧問	侯委員錦旋	侯錦旋
華盛營造工程有限公司	蘇委員曉貞	蘇曉貞
勞工安全衛生研究所	林禎中、黃奕叡	林禎中、黃奕叡

五、委員意見：

- (一) 支撐架是組合式的，接合點之接合條件、構件、桿件之變形、老舊等，會影響其實際強度，此與新建完工之結構體不同，目前有關支撐架之設計規範尚無，業者多依現有建築物或橋梁設計規範，並作適當假設。

- (二) 載重之設定僅靜載重較為明確，其餘如施工載重、地震力、已完成結構體分擔之載重等，皆待專業人士詳細評估確認。
- (三) 以結構模型進行分析，並依設計規範計算檢核強度，其準確性仍待確認。業者仍較依賴實驗破壞載重作為強度之依據，惟對於高度不同、支撐架層數不同者，其差異性仍須考量。
- (四) 依環境因素設計安全係數：如地質、高度、風力、載重、施工外力、地震、以及是否於河床施工等。
- (五) 須依結構物、材質、強度、折舊、構件使用年限等考慮安全係數。
- (六) 支撐架載重試驗：如果支撐架因外力傾斜，將影響載重限制，建議支撐架傾斜試驗。

六、散會：16時00分

中華大學

「應用建築資訊模型於系統支撐架之規劃設計及安全評估」

專家座談會會議記錄

一、開會時間：103 年 12 月 3 日（星期三）下午 14 時 30 分

二、開會地點：鐵路改建工程局中部工程處

三、主席：徐助理教授增興

記錄：

四、出（列）席單位人員：

實固(股)公司	何委員崇銘	何崇銘
實固(股)公司	張委員鈞閔	張鈞閔
中興工程顧問	陳委員祈昌	陳祈昌
台灣施工架發展協會	楊委員佳宸	楊佳宸
華盛營造工程有限公司	蘇委員曉貞	蘇曉貞
勞工安全衛生研究所	林禎中、黃奕叡	林禎中、黃奕叡

五、委員意見：

1. 使用者一詞改為參與者較佳，以及將工程中各項工程不同工種的人員都納入考量。
2. 將流程限定在系統支撐架，對於初步較容易達到目標。
3. 是否考慮建立系統施工架強度折減表，用於設計時考量因素。
4. 從規劃開始，然後建立契約，讓廠商依據契約規定的施作。
5. 因施工時變更影響過大，所以還是回歸到設計時就應該使用此流程。
6. 對於 BIM，將未來可行的方向或是執行的階段加入考量，若是 BIM 用在細部設計階段，或許能讓業主方有依據提出要求。

7. 強度的標準應該由規範來控制，而不是各自廠商提供各自的數據。
8. 架構完成後，針對此流程的試用，可行後再進入廣泛使用。
9. 探討業主的接受度（業主若是喜歡，在設計階段會提出使用的要求）。
10. 探討製造商的接受度。未來的設計者，會是製造商?還是營造商?
11. 技師是否能使用此 BIM Model 在力學分析、對工程的判斷或是對於安全的評估依據。
現場的施工人員是否能用於現場辦定依據。
12. 探討軟體和建模需要多少成本？
13. 此流程是否能應用於其他施工架？是否符合採購上的規範？

中華大學

「應用建築資訊模型於系統支撐架之規劃設計及安全評估」

專家座談會會議記錄

一、開會時間：103 年 12 月 16 日（星期三）下午 14 時 30 分

二、開會地點：鐵路改建工程局中部工程處

三、主席：徐助理教授增興

記錄：

四、出（列）席單位人員：

實固(股)公司	李委員勇增	李勇增
實固(股)公司	張委員珊萍	張珊萍
中興工程顧問	陳委員祈昌	陳祈昌
台灣施工架發展協會	楊委員佳宸	楊佳宸
華盛營造工程有限公司	蘇委員曉貞	蘇曉貞
鐵路改建工程局中部工程處	任委員一鳴	任一鳴
泰山鷹架	馬委員啟晃	馬啟晃
大陸工程	朱委員秋祥	朱秋祥
勞工安全衛生研究所	張智奇、鄧景元	張智奇、鄧景元

五、委員意見：

1. 建議主辦機關將 BIM 之需求，如危評、支撐架計算、土建機電介面處理等納入合約，經有助於推廣 BIM。
2. 流程圖是否可用 3D 呈現方式，以凸顯 BIM 之特質。

3. 主管機關法規訂定，主辦機關設計階段契約規範，合理費用編列並
量化。

4. 系統式支撐架組搭前作業：

技師檢核施工圖，製訂不同樣式標準圖。

地面平整。

材料選擇（構件整齊）。

附錄四 **BIM** 支撐架結構設計與安全通道、上下設備及安全設施 設置最佳化之整合指引

一、BIM使用特色與導入

近年來之大型工程多為跨現有道路、軌道（如圖 ），或支撐架需有特殊造型（如圖 ），依現在常用之設計流程（如圖 ），先依照結構強度需求設計支撐架主體，完成後再考慮安全通道、上下設備、以及安全設施的配置，或者到現地後再依業主要求設置，最糟情形下，甚至不做配置，僅於不得已狀況下，再臨時依工作人員經驗搭設。依此流程，結構設計人員與安衛人員以及安衛人員之間的界面常產生資訊交付時的資訊落差。在某些情況下，設置後反而破壞了結構主體的完整性，造成強度或穩定性降低，產生倒崩塌。

因此本指引利用建築資訊模型(BIM)之技術與流程，建立可行的規畫設計及安全的評估方法，支撐架的（結構）安全以及安全通道、上下設備與安全設施的配置，從最初設計階段就做整體考量(圖)，結構設計人員在完成初步支撐架 3D 模型時，安衛人員以及組搭人員針對個別專業領域，提供安全設施資訊及提供組搭工序的意見，同時結構設計人員則進一步提供結構分析資訊，以有效整合、運用 BIM 協同之設計流程。在各專業領域人員，藉由對電腦中同一個 3D 模型，進行系統式支撐架的（結構）安全以及安全通道、上下設備、與相關安全設施的配置等做其可行性檢驗，在完成設計後，再至現地組搭時即可避免大部份可能產生的問題，因此無論在組搭階段或使用階段，均可透過設計，提升使用系統式支撐架的安全及預防墜落職災的發生。



圖 1 跨現有道路支撐架



圖 2 特殊造型支撐架

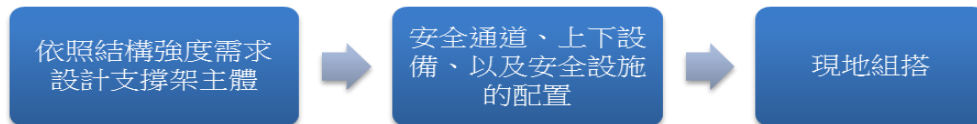


圖 3 傳統系統支撐架設計組搭流程

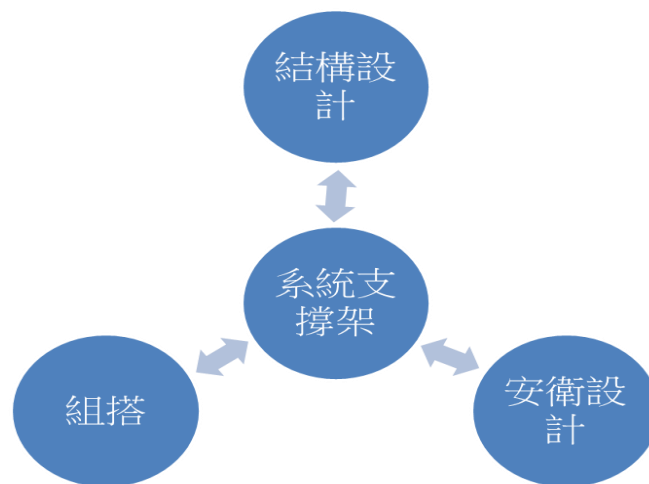


圖 4 使用 BIM 系統支撐架設計組搭流程

二、BIM支撐架結構設計適用場所及對象

本指引所指之「系統式支撐架」為採用承重型系統式單管作為支撐樓板板模、樑模板施工架、與土木工程方面作為支撐之應用。指引內容僅針對系統式支撐架中之安

全通道、上下設備、及安全設施加以探討。指引之主要項目參考國外相關指引及我國勞工安全衛生法規而訂立；本指引未排除其他形式之安全通道、上下設備、及安全設施，但業者採用其他工法時須確認該工法符合現有的法規之規定，確保作業人員之安全。

本指引使用對象為支撐架設計人員、工地負責人員、安衛人員以及現場施工人員，提供一整合性的安全通道、上下設備、及相關安全設施配置指引。相關專責人員在設計支撐架結構安全及擬訂安全工作計畫時，除參考本指引之各項注意事項外，並應依工地狀況的特性，擬訂適用該工地現場之特別應注意事項。本指引之防護理念針對支撐架的特性，在人員進行高架作業前，先行進行 BIM 支撐架結構設計，並且有效配置完整之安全通道、上下設備及相關安全設施。

三、系統式支撐架之災害要因及預防對策分析

四、系統式支撐架之災害要因

由歷年來系統式支撐架相關職災案例顯示，災害形式以墜落及倒崩塌居多。其中倒崩塌職災原因多為強度不足、不當工序、或不當使用；墜落則多發生在組搭或拆除過撐中需進行調整作業時，因施工通道、上下設備、以及安全設施未設置或不足時發生。而且系統式支撐架常因現地狀況不同而有不同支組搭及使用方式，因此職災發生通常不是由單一因素造成，而是多重因素同時產生時所造成，而且各個因素之間通常有相當的因果關係。以骨牌理論因果關係模型來看，安全性能的改善，最重要的工作即在於不安全狀態及不安全行為等直接原因的消除。但是真正要落實系統式支撐架的安全，可能必須同時在設計方面的要求及人員觀念的改變做努力。以下提出系統式支撐架在使用上常見的問題。

1. 結構設計考量

系統式支撐架之首要功能為支撐上部構造的重量，因此在設計時如果未充分考量，就可能造成因承載力不足產生的倒崩塌。另外設計時亦須考量支撐架現地之狀況，採取必要措施減少差異沉陷發生。

2. 安全設施設置不足

- (1) 系統式支撐架使用吊車吊裝方式組裝，來減少人員高處作業，降低人員墜落發生可能，但因現場未設置警示線，或其他相關安全設施等，施工時人員容易誤入施工區域，施工過程中容易發生事故。

- (2) 施工人員為求方便，對於安全防墜設施架設時，並沒有做好確實的固定，欠缺安全性及穩定性的考量。
- (3) 現地訪視時，工地仍有僅設置部分安全母索或護欄，對於人員行走在通道上，仍有墜落之虞。
- (4) 在鄰近道路之工地現場，未設置防止物體飛落砸傷路人之安全網等安全設施。

3. 通道不佳

- (1) 未事先做好整體施工規劃配置，在設置通道時，並無實質的防護效果，如走道因地形、地物或轉角處等因素，踏板無法滿鋪。
- (2) 現場使用系統式支撐架時，通道及上下設備則使用框式施工架，但施工通道未妥善設計，且未提供適當預防墜落措施。

4. 缺乏適當的上下設備

- (1) 未就現場地域之不同，如山坡地、地表土質鬆軟等地區，事先規劃並設置上下設備。
- (2) 未就工作面以及通道的鋪設做整體規劃，以至於施作後產生作業界面的問題。
- (3) 由於支撐架以支撐模板為其主要功能，因此可供作業勞工上下之安全設備，經常被忽
- (4) 4.支撐架未在一定之距離搭設上下設備，勞工進行架體組搭、拆除時，為節省時間、或者必須到支撐架上方進行之作業，直接踩踏系統架橫桿或輪盤進行攀升動作。

五、另外由現場訪視、現場調查及災害資料顯示，目前工地系統式支撐架於架設使用階段仍存在許多問題，以及可能衍生的危害列述於下：

1. 吊掛方式組立系統式支撐架人員防護問題

系統式支撐架於現場使用吊車方式進行組裝時，未依作環境、作業條件事前規劃，並設置警界線之管制區、吊掛之安全控索等，以避免施作人員處於不安全的環境。



圖 5 於地面組裝系統式支撐架

2. 上下設備空間狹隘，樓梯梯面陡峭

上下設備未事前規劃，施作時人員爬升時因空間狹隘，或樓梯梯面的陡峭，造成人員施作的困擾。



圖 6 上下設備及通道空間狹隘

3. 設施較雜亂，未適當規劃通道及上下設備



圖 7 使用之安全設施未適當規劃

4. 以施工架做上下設備，僅用鐵絲固定，踏板無防脫落勾



圖 8 施工通道之踏板無設置防脫落勾

5. 安全網上掉落物件未定期清除

未清除的鐵件不僅安全網失效，鐵件的飛落更容易造成人員受傷；另外，通道未適當規劃，人員行走之通道設置亦僅靠在踏板上，未適當做固定。



圖 9 安全網上的鐵件及通道設置問題

6. 做為通道防墜使用之安全母索，其材質及施作方式的不適當，無法發揮防護效能。



圖 10 安全母索材質及設置方式不適當

7. 安全網不符合國家標準，安全性有疑慮。



圖 11 安全網不符合國家標準

8. 上下設備(樓梯)以木梯做為上下設備，安全性有疑慮。



圖 12 使用木梯做為上下設備

六、系統式支撐架之預防對策

不安全的狀態或行為改善的首要目標，就在於避免與消除，因叔為預防系統式支撐架災害發生，必須就系統式支撐架的規劃設計、支撐搭建及拆除流程等階段，提出災害防止對策。

1. 系統式支撐架的規劃設計

為增加系統式支撐架的安全性，除了結構設計分析時需詳細考量，在規劃設計階段就必須針對支撐中必要之施工通道、上下設備、以及安全設施做好完整的規劃，避

免於搭設過程中或搭設完成後再視情況增設。

2. 搭建及拆除階段

於搭建及拆除階段，須完整規畫安全之組搭流程，依安全等級及現地狀況選擇最適當之搭建及拆除流程。例如現地狀況許可時，採用地表組裝後再以吊車組立方式，可減少高處作業的必要性；如果無法以地面組裝、吊車組立方式進行，則須已具相當安全性之方式進行組搭，例如以先行護欄方式進行；如果前述方式均不可行，則採用水平母索及雙掛勾背負式安全帶。

3. 安全檢查階段

系統式支撐架於搭建完成後，應確實執行安全檢查後才能使用，檢查又可分為施工前檢查、定期檢查、重點檢查等，營造業主應確實執行自主管理計畫，因組搭完成後，原則上不會有工作人員進入支撐架，所以對組搭流程中設置之上下設備應進行管制，除必要狀況之需要，應禁止人員進入或使用，並在入口處設置非施工人員禁止進入等警告標誌。

4. 綜合以上由現地諮詢所得資料以及危害要因分析，可建立如表 1 之支撐架危害要因分析表。

表 1 危害要因分析表

工作階段	危害要因	可能危害	改善方式
設計階段	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未適當考慮載重 2. 設計未符合土質狀況 3. 支柱腳部設計不當 4. 接頭設計不當 5. 斜撐(含水平支撐)設計不當 6. 設計與施工工序或混凝土澆置計畫不符 7. 未明定拆除時機及工序 	設計缺失	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設計應符合相關規範，特殊結構型式或造型應特別設計。 2. 依地質鑽探資料設計。 3. 依地質鑽探資料設計支柱腳部並訂定工址排水系統或方案。 4. 擬採用非制式的金屬接頭時，應附接頭相關計算書，確認接頭強度符合需求。 5. 計算書應依使用的支撐架型式及材質，檢核受壓構材的長細比，設計足構強度及數量的斜撐(含水平支撐)。 6. 依施工工序及混凝土澆置計畫考慮施工載重及衝擊力。 7. 施工圖說應明定如何確認混凝土的強度是否已達要求強度的判斷方式，並訂定支撐架之

工作階段	危害要因	可能危害	改善方式
	8.計算書或施工圖說缺乏		拆除工序。 8.建立結構計算書及施工圖說的送審機制。
準備階段	地面過多雜物、不平	絆倒、滑倒	地面確實清理、整平
	無適當工作通道 物料未整備	刮傷、拉傷、及其他搬運物料時受傷	物料確實整齊堆放 規劃適當工作通道
	物料運送器具	撞傷	確實管制物料運送器具
組立階段	地面不平整、差異沉陷	支撐架傾斜造成倒崩塌或人員墜落	地面確實整平、夯實
	吊車	撞傷	吊掛作業確實管制
	吊車	翻覆、壓傷	事先規劃吊掛作業
	施工通道	墜落	通道寬度符合規範、踏板需固定、設置安全設施
	上下設備	墜落	設置符合要求之上下設備
工作階段	高處作業	物件飛落	設置符合安全之設施
	高處作業	墜落	工作平台滿鋪、設置適當安全設施、規劃並設置符合要求之上下設備
	受力不平衡	倒崩塌、人員墜落	地面整平、夯實 確實遵守澆置計畫
拆除或移動階段	地面不平整、差異沉陷	支撐架傾斜造成倒崩塌或人員墜落	地面確實整平、夯實
	施工通道	墜落	通道寬度符合規範、踏板需固定、設置安全設施
	上下設備	墜落	設置符合要求之上下設備
	吊車	撞傷	吊掛作業確實管制
	吊車	翻覆、壓傷	事先規劃吊掛作業

BIM 支撐架結構設計注意事項

進行支撐架結構設計時，首先要建立適當的溝通平台，並依工地現況條件說明後，依序做 BIM 建模以及 BIM 模型結構計算。本研究以五股－楊梅段高架道路之 Y 字型橋墩，來說明系統式支撐架結構設計注意事項。

(一)建立溝通平台

1. 首先要選定一個使用系統式支撐架的工地做為溝通平台。如本計畫選擇五股－楊梅段高架道路之橋墩，因其設計為 Y 字型，在設置橋面模板的支撐時，支撐架需有一定的特殊形式。
2. 有了模擬的工地後，要能確實建立該工地符合本研究需求的系統支撐架模型，要確定研究目的。因為建築資訊模型會隨專案進行演進，在不同階段有不同的資訊需求，類似設計階段採用的設計圖，其詳細程度與施工階段需要的施工圖有所不同。
3. 模型發展程度之需求，在建築資訊模型領域中就有所謂的模型發展程度 (LOD, Level of Development)，如果需求為結構分析或安全設施配置可行性分析，所需之模型發展程度較低，可使用軟體工具中既有的元件建置模型；但要製作擬真動畫的畫，可能就需要較高的模型發展程度 (如立柱上的輪盤就需要呈現)，要建立 LOD 較高之模型時，因為軟體工具中並無需要的元件，需先依照現地使用之構件，透過建築資訊模型軟體 (本計畫中使用 Autodesk 公司的產品 Revit)，先行建立系統支撐架中使用的元件。在一般的系統支撐架中，常用的元件有主架、橫桿、斜桿、上調整座、下調整座、調整座中用以調整高度的扳手、標準基座、輔助桿、定位桿、上下設備、踏板。由廠商所提供的資料，在 Revit 軟體中分別建立元件。

(二)工地現況條件說明

1. 該工程為國道五股－楊梅高架路段橋墩之一，因其中包含已完成之 Y 行橋柱，因此支撐架組大型是較為特殊。系統支撐架組搭完成後現地施工情形如圖 所示。因為支撐架中央有已完成之 Y 行橋柱，經過結構計算後，核心部分採用 90 cm x 90 cm 以及 90 cm x 60 cm 的單元組成，外圍則以 180cm x 150cm 的單元組成，Y 型橋柱上方設置一鋼板，鋼板上再放置 180cm x 90cm 以及 90 cm

x 90 cm 單元，由橫桿連結核心區塊形成支撐架結構。由於型式特殊，因此圖說中加入 AA、BB、CC、DD、EE、FF、GG 等剖面圖，實際配置平面圖及剖面位置如圖，AA、BB、CC、DD、EE、FF、GG 等剖面圖如圖 至圖。



圖 13 特殊形式系統支撐架組搭完成後現地施工情形

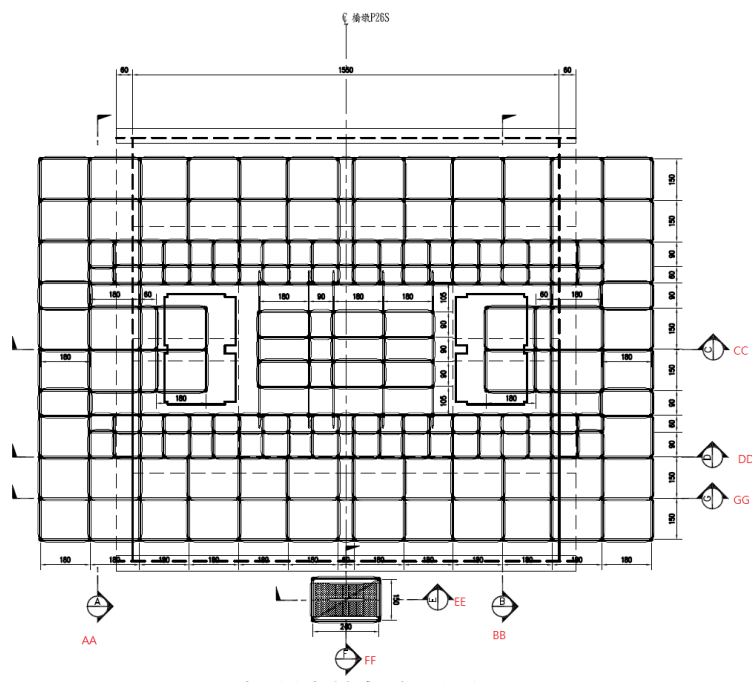


圖 14 系統式支撐架配置之平面圖及剖面位置

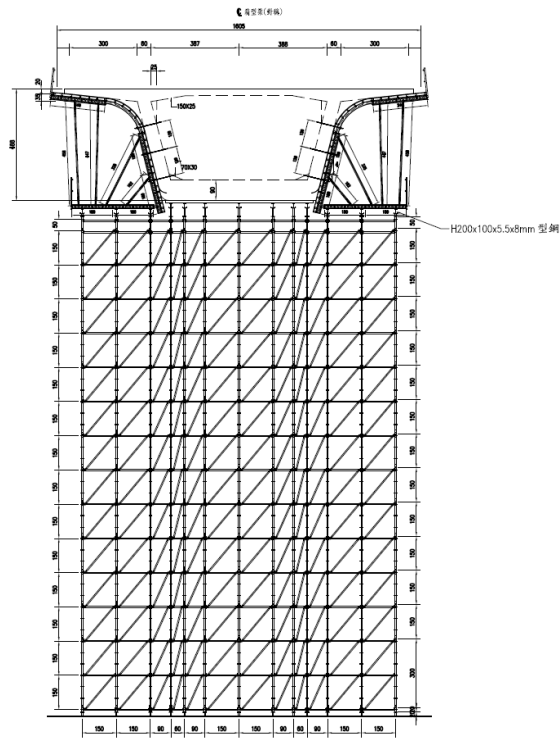


圖 15 AA 剖面圖

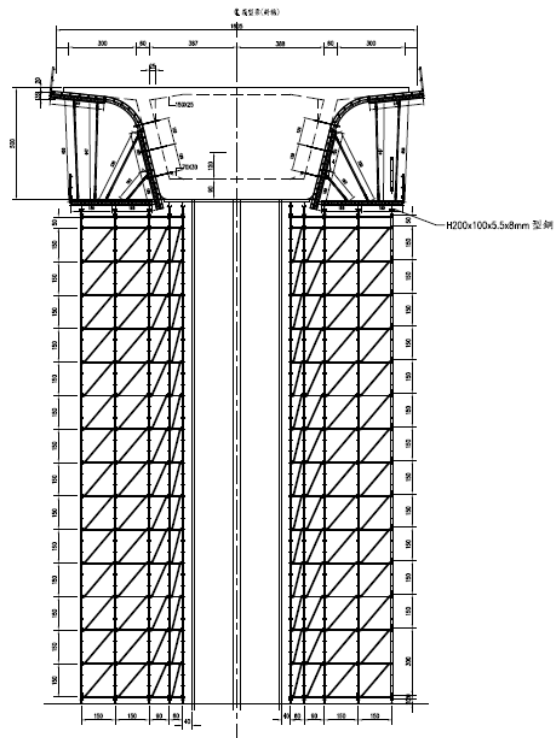


圖 16 BB 剖面圖

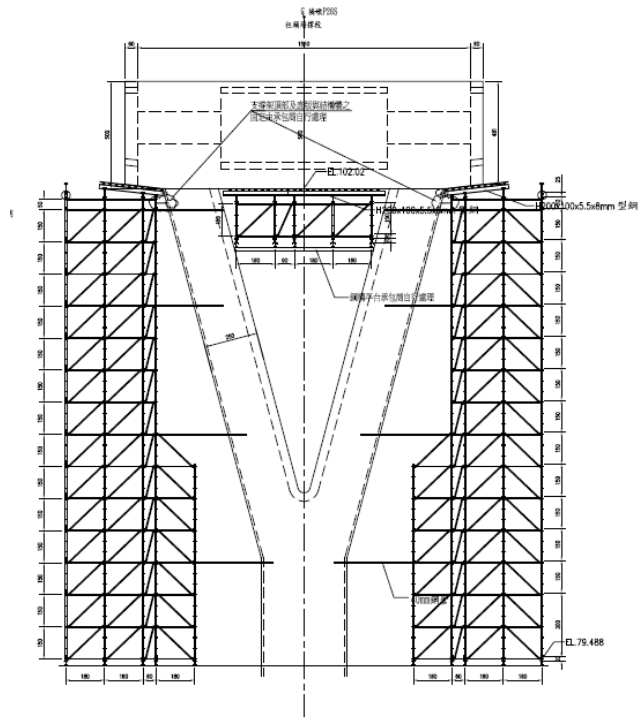


圖 17 CC 剖面圖

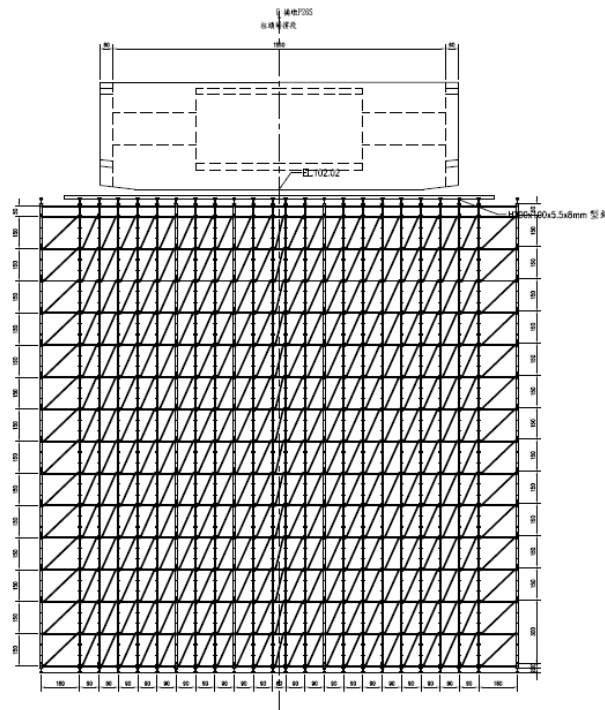
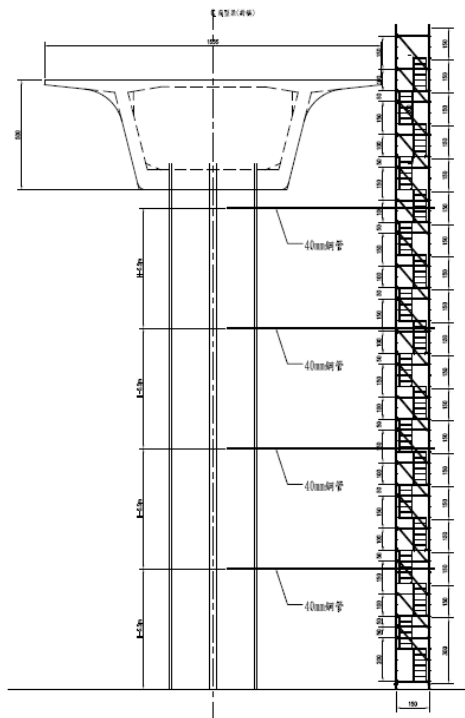
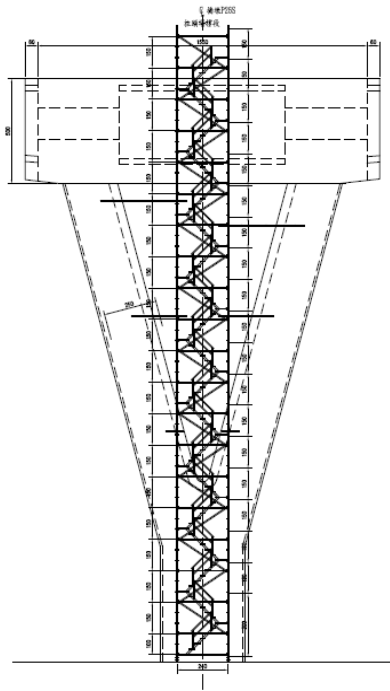


圖 18 DD 剖面圖



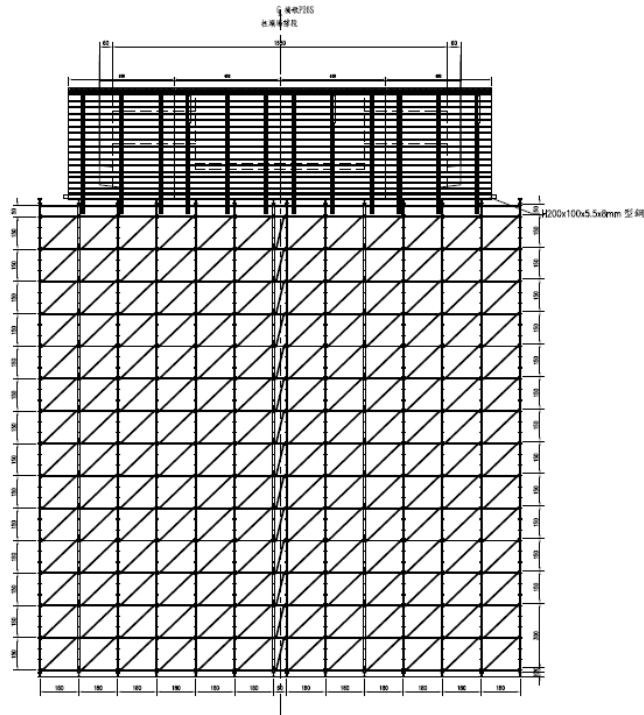


圖 21 GG 剖面圖

2. 以上圖說中，EE 及 FF 剖面圖為獨立之鋼構上下設備，與支撐架結構分析無太大關連，因此未加以建模。
3. 由於該工地地質尚稱良好，整地完成後無太多高低起伏，同時在支撐架底鋪設了鋼軌（如圖，示意圖，非現場狀況），因此在建模時，把地面視為同一高程。



圖 22 支撐架底設置鋼軌（示意圖）

(三)BIM建模

本研究採用Autodesk公司的Revit建立模型，Revit為目前較多使用者的建築資訊模型軟體工具，但使用者可自行選用適合本身作業習慣及電腦硬體設備之建築資訊模型軟體工具（如Tekla Structure或ArchiCAD）。利用預先建立的元件，在電腦中建立支撐架之流程如下列所述：

- 1.如圖於地面建立網格（功能類似實際組搭時之放樣動作）。

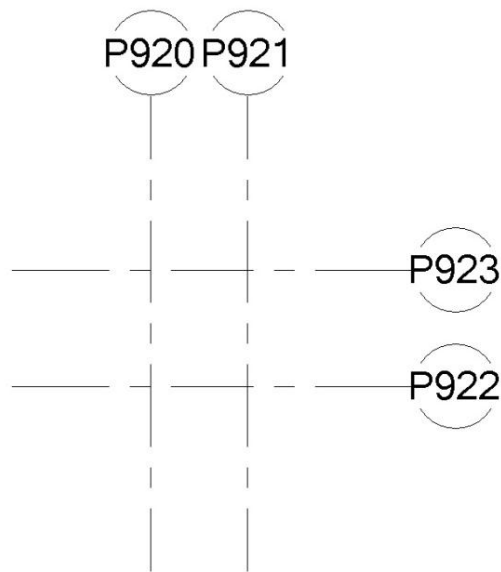


圖 23 在地面建立網格線

- 2.如圖 在立面建立樓層線（功能接近將各層調整水平）

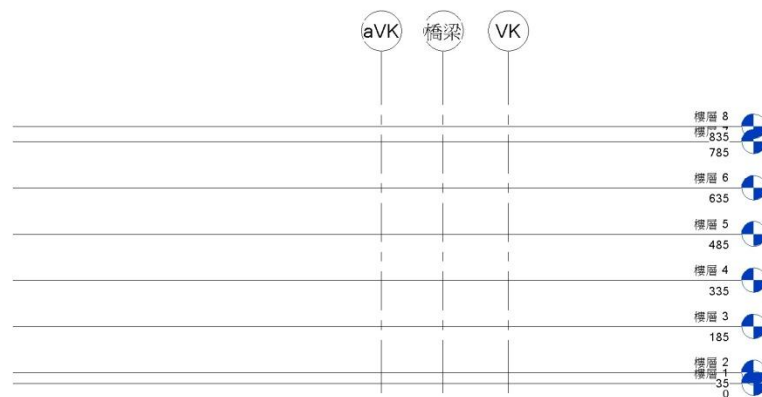


圖 24 在立面建立樓層線

- 3.如圖、圖 放置下調整座及板手

模擬時分為兩個動作，實際組搭時為直接放置下調整座並調整扳手高度。
模擬時分為兩個動作方便將地一層主架底部調整為同一高程。

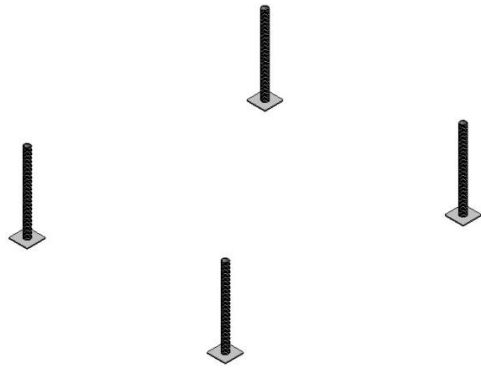


圖 25 放置下調整座

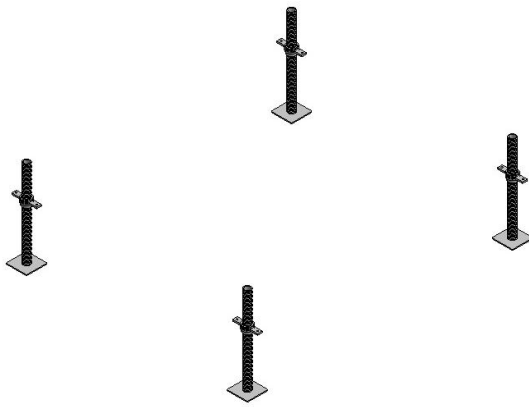


圖 26 放置扳手

4.如圖 放置標準座



圖 27 放置標準座

5.如圖 放置主架

一般來說，系統式構件之主架有許多尺寸，但使用在支撐架時多採用 1.5 公尺長之主架。

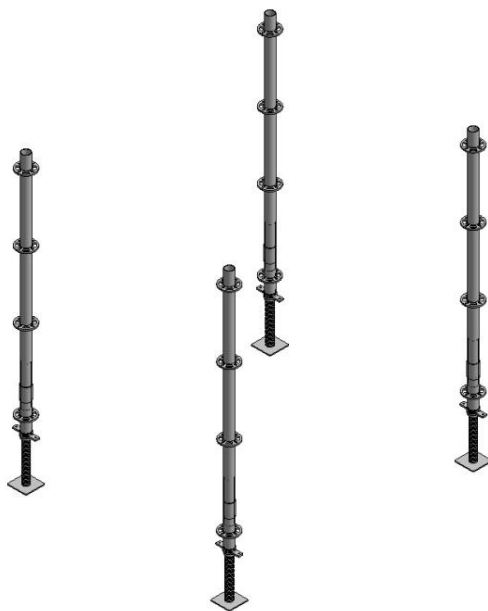


圖 28 放置主架

6.如圖 放置橫桿

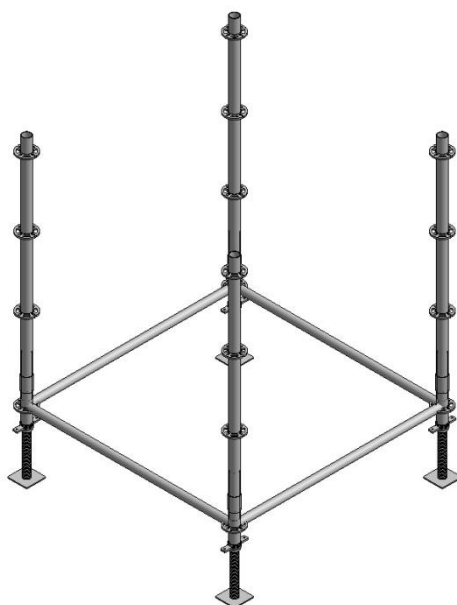


圖 29 放置橫桿

7.如圖 放置斜桿

斜桿尺寸須配合使用之橫桿。

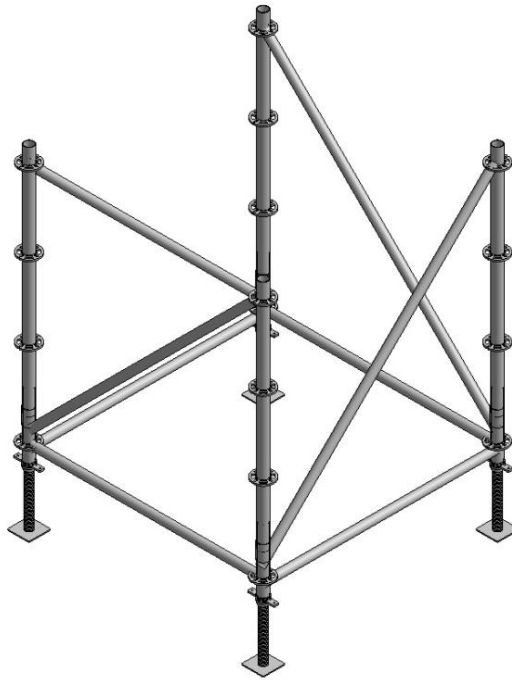


圖 30 放置斜桿

8.如圖放置輔助桿

依上述流程依序組搭至最上層，然後放置輔助桿（圓圈所示處）。

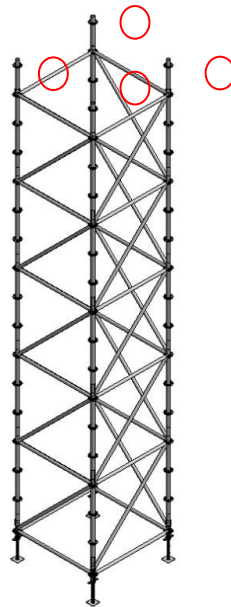


圖 31 放置輔助桿

9.如圖 放置板手及上調整座

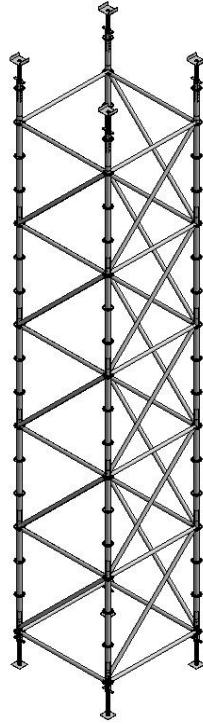


圖 32 放置板手及上調整座

10. 所有區塊完成後，在區塊間加橫桿連結即完成支撐架組搭。
11. 依據案例之圖說，建置完成之 BIM 模型，其整體外觀與現地照片之比較，如圖 所示。

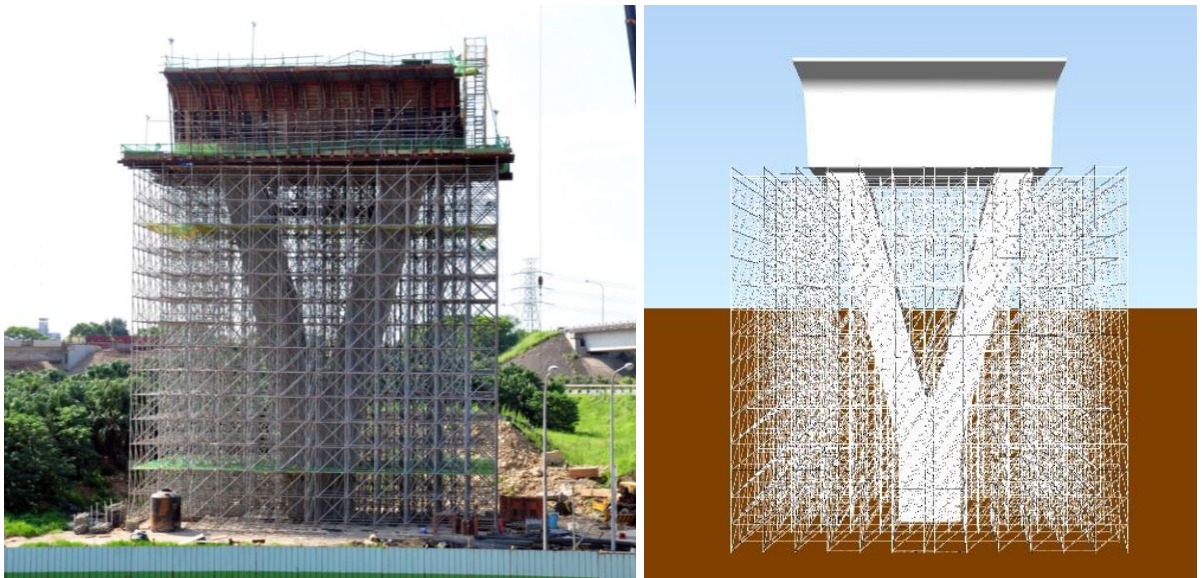


圖 33 現地照片與 BIM 模形外觀比較

12.除了外觀之比較外，BIM 模形亦可任意選取剖面製作剖面圖，因本眼就中未針對獨立之 鋼構上下設備建模，因此由模型中建立 AA、BB、CC、DD、以及 GG 剖面圖，圖 至圖 為案例圖說提供之剖面圖與模型產出剖面圖之比較。經由以上比較結果，可知建置的建築資訊模型與案例之支撐架非常相近。

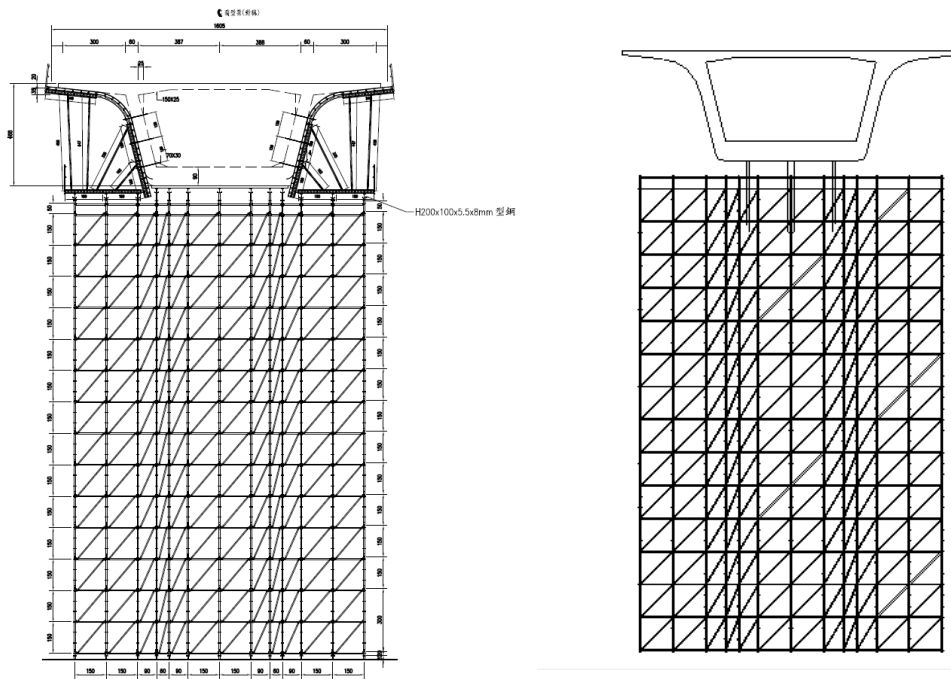


圖 34 圖說（左）與模型產出（右）AA 剖面圖比較

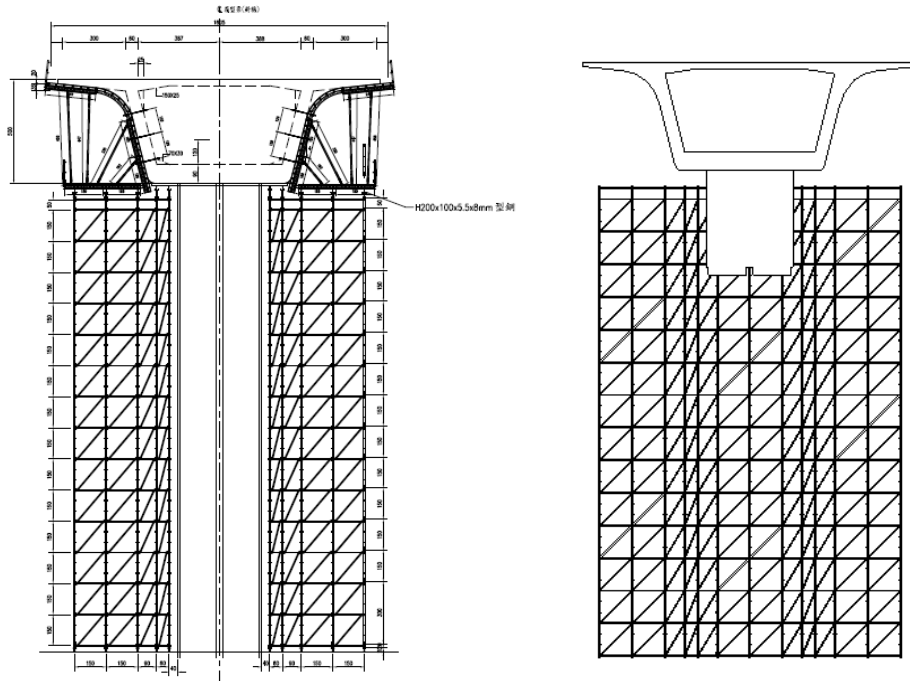


圖 35 圖說 (左) 與模型產出 (右) BB 剖面圖比較

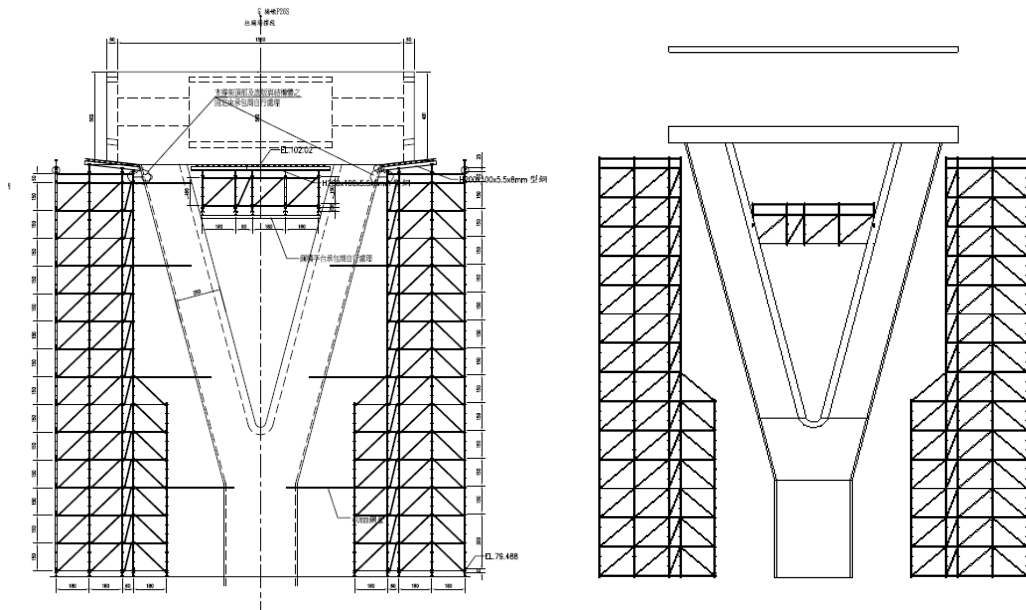


圖 36 圖說 (左) 與模型產出 (右) CC 剖面圖比較

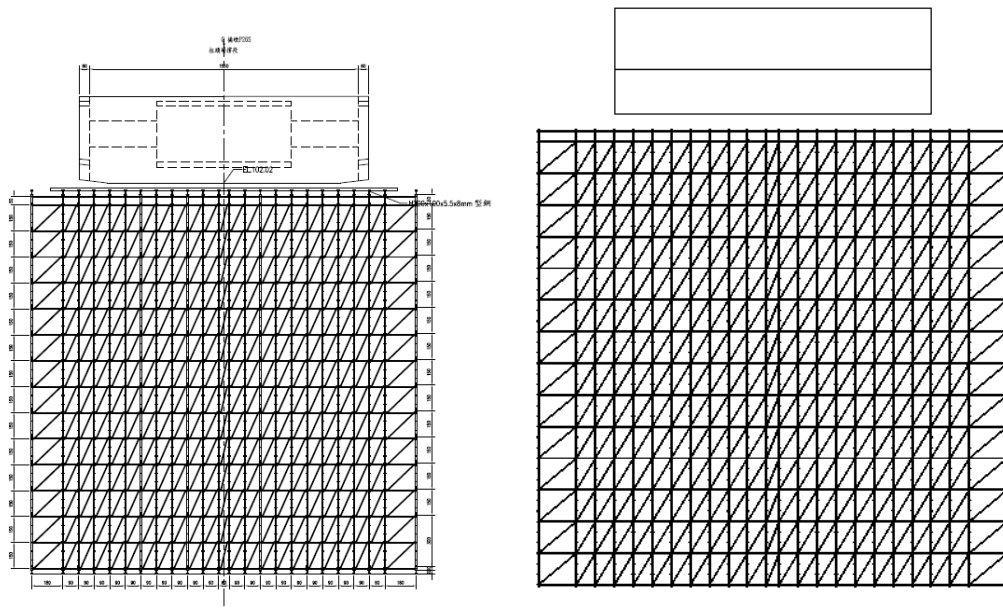


圖 37 圖說（左）與模型產出（右）DD 剖面圖比較

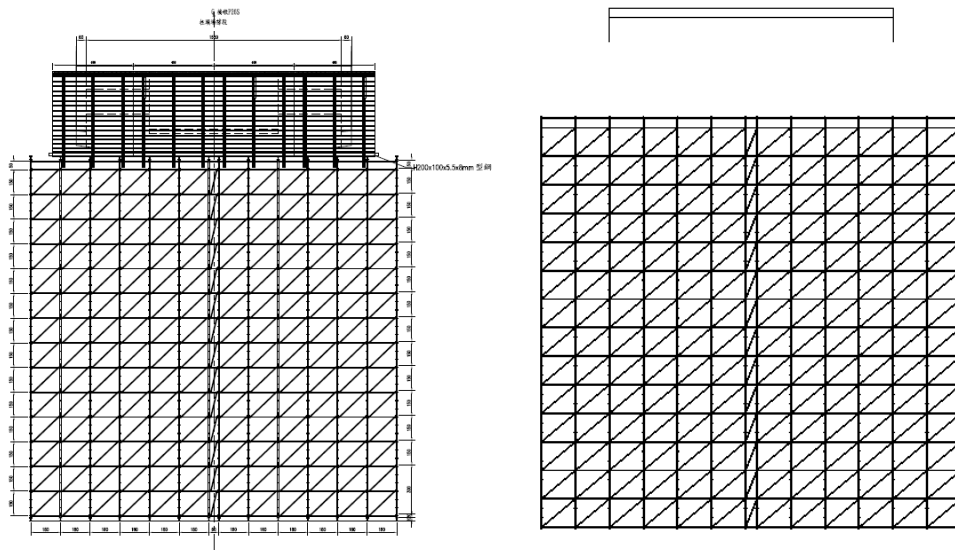


圖 38 現圖說（左）與模型產出（右）GG 剖面圖比較

(四) BIM 模型之結構計算

本案利於實際進場施作前，須提交結構計算書工建造單問審查，通過後方可進行施工。原始結構計算書如附錄一，其主要內容簡述如下：

1. 設計參考

因目前國內並無明確的支撐架設計規範，因此結構設計時參考國內外相關

建築技術規範（如國內外之橋梁設計規範、鋼構設計規範等），支撐架構件強度則參考廠商委託學術單位進行之強度測試以及國外鋼構設計規範（AISC）。

2. 載重組合

分析時考慮靜載重、衝擊載重、施工活載重、風力、以及地震力。其中靜載重、衝擊載重、以及活載重部分依以下數據

混凝土自重、模板及支撐架等重量(D/L)	••••	2.57 ton/m ³
澆注之衝擊載重(Impact Load)	••••	30% (D/L)
施工活載重(L/L)	••••	0.10 ton/m ²

3. 結構分析方式

(1) 案例計算書中採用支撐架支撐斷面分析，首先將橋面版部分分為數個斷面（如圖），估算每一段面底下支撐架單腳所受之最大荷載，設定適當的安全係數後（本案例採用之安全係數為 2.5），與廠商委託學術機構進行之測試值比較。

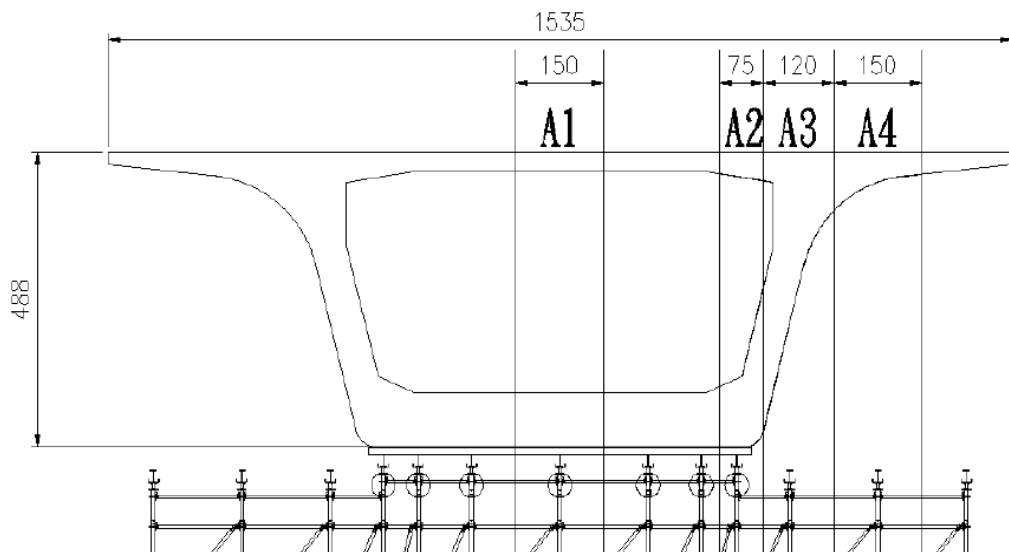


圖 39 橋面版斷面分區圖

(2)計算書中最大荷載（A3 斷面）之計算結果如下：

A3斷面，型鋼支距 0.9m：

計算單腳最大荷載(maximum bearing load of a leg)

先求得單腳最大受力面積 = $1.2 \times 0.9 = 1.08 \text{ m}^2$

單腳支撐立方體積 = $2.69 \times 0.9 = 2.421 \text{ m}^3$

$$\begin{array}{rclcl} \text{D/L} & = & 2.57 & \text{ton/m}^3 & \times & 2.421 & \text{m}^3 & = & 6.22 & \text{ton} \\ \text{Impact Load} & = & 0.30 & \text{DL} & & & & = & 1.87 & \text{ton} \\ \text{L/L} & = & 0.10 & \text{ton/m}^2 & \times & 1.08 & \text{m}^2 & = & 0.11 & \text{ton} \\ & & & & & & & & \hline & & & & & & & & 8.20 & \text{ton} \end{array}$$

單腳最大荷重： 8.20 ton

採用 100 年 1 月 25 日之成大抗壓試驗值----- 91.75 ton

$$91.75 \text{ ton} / 4.0 = 22.9 \text{ ton}$$

假設安全係數 = 2.5

$$\therefore \text{單腳容許負載} = 22.9 \div 2.5 = 9.175 \text{ ton}$$

檢核支撐架荷載

$$\rightarrow 8.20 \text{ ton} < 9.175 \text{ ton} \quad \text{OK!}$$

(3)除了與試驗結果比較外，計算書中還將估算之單腳最大荷載與 AISC 規範比較。在 AISC 中對於鋼管之理論容許荷重採用以下公式計算：

主桿，橫桿與斜桿允許軸向力 P_a 計算：

$K = 1$

L ：無側撐長度

r = 迴轉半徑

$$C_c = \pi (2E/F_y)^{1/2}$$

$$(KL/r) < C_c$$

非彈性挫曲

$$R = (KL/r) / C_c \quad FS = 5 / 3 + 3 / 8R - 1 / 8 \times R^3$$

$$\text{允許壓應力} \quad F_a = (1 - 0.5 R^2) \times F_y / FS$$

$$(KL/r) > C_c$$

彈性挫曲

$$\text{允許壓應力} \quad F_a = (12 / 23) \pi^2 E / (KL / r)^2$$

$$\text{允許軸向力} \quad P_a = F_a \times A$$

(4)將使用的系統支撐架構件之材質參數及幾何尺寸代入公式後中計算之支撐鋼管理論容許荷重與估算的單腳最大荷載比較，結果如下：

主桿、橫桿為非彈性挫曲，斜桿為彈性挫曲。

主桿容許軸向承載力 Pa = 8.32 ton

橫桿容許軸向承載力 Pa = 3.82 ton

斜桿容許軸向承載力 Pa = 2.26 ton

檢核支撐架荷載

→ 8.20 ton < 8.32 ton **OK!**

(5)水平力部分，案例計算書考慮地震力與風力，經比較兩者大小後，計算考慮地震力（21.5 噸）。分析方法考慮傾倒力矩，結果可行。

(五)BIM模型之結構分析及修正

本研究採用建築資訊模型方式建立結構模，將模型轉至結構分析軟體，進行分析後如有需修正地方則直接在結構分析軟體中修改後回傳至建築資訊模型軟體中，如無須修改則直接傳回。建模軟體使用 Autodesk 公司的 Revit，分析則採用 Autodesk 公司的 Robot Structural Analysis Professional。建模分析過程中考量電腦硬體及分析所需時間，因此在 Revit 軟體中建模時，未採用自行建置的系統支撐架構件，而是使用 Revit 軟體中已有的空心圓鋼管進行建模。以此方式建立的案例支撐架結構模如圖 所示。由於使用同樣是 Autodesk 公司的 Robot Structural Analysis Professional，建立之結構模可直接輸出。如果使用其他公司的結構分析軟體（如目前業界常用之 SAP2000），則需要先匯出為 IFC 格式，再匯入到結構分析軟體。模型轉到 Robot Structural Analysis 如圖 所示。

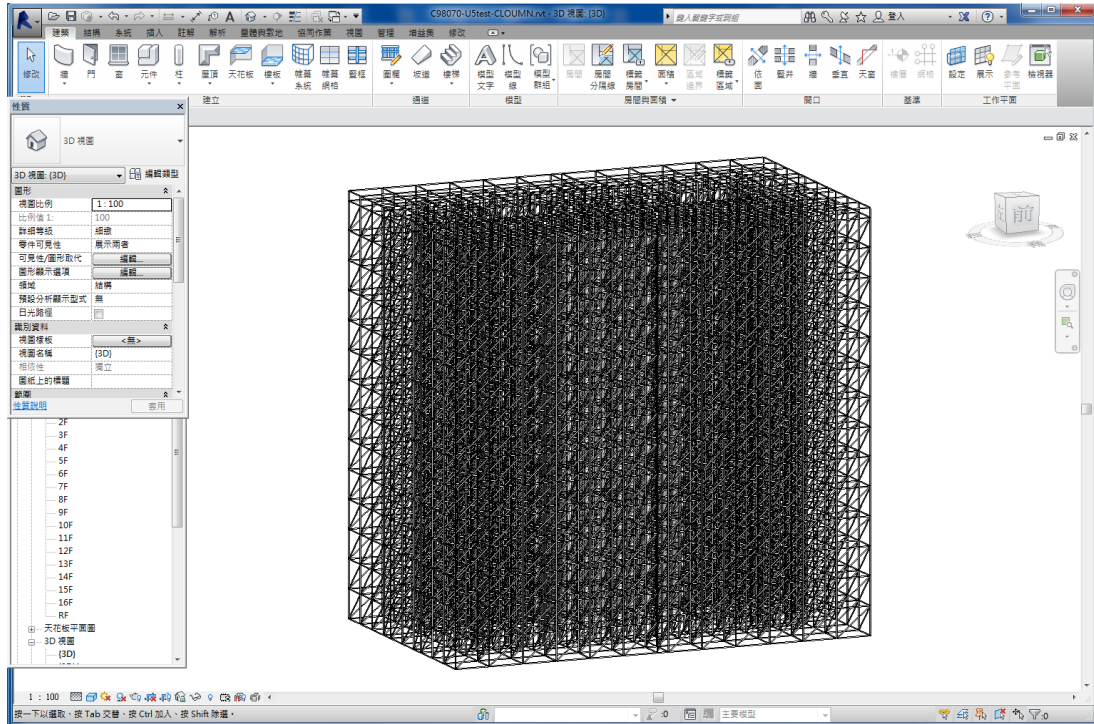


圖 40 Revit 建置的支撐架結構模

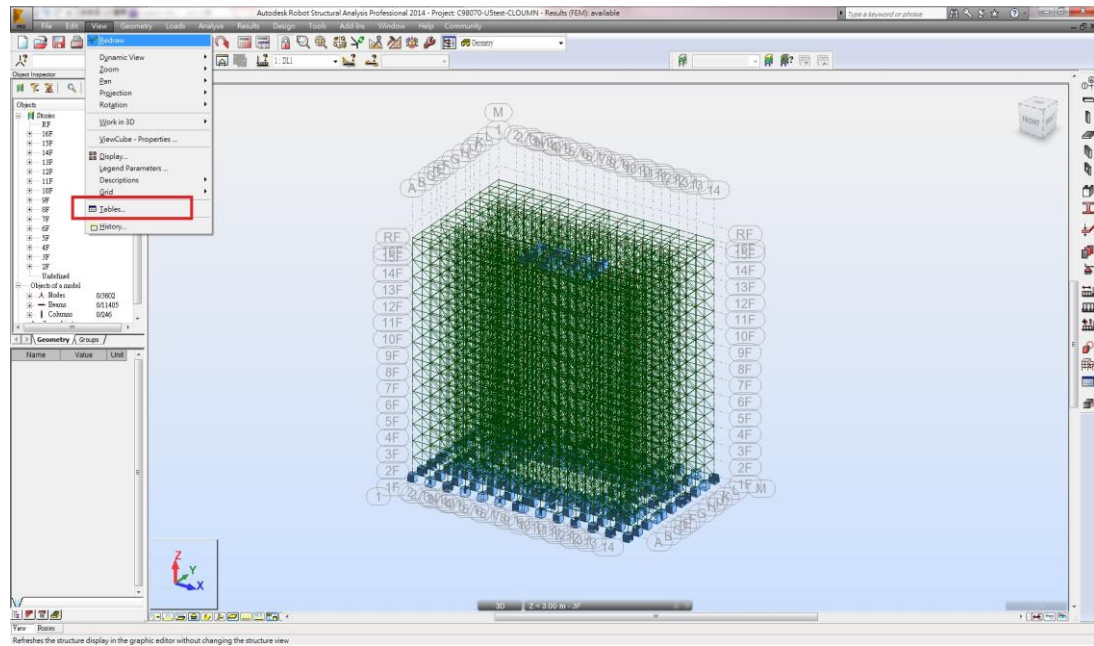


圖 41 Robot Structural Analysis 中支撐架的結構模

接下來須在結構模中加入荷載，依據原始案例計算書中採用數據，本研究使用三種載重組合：第一種組合只考慮垂直載重，將橋面版重量、衝擊荷重、以及活載重平均分布在圖中框內頂部節點上，計算結果每一節點受垂直向下力約 7.7 噸，分析時採用 8 噸。

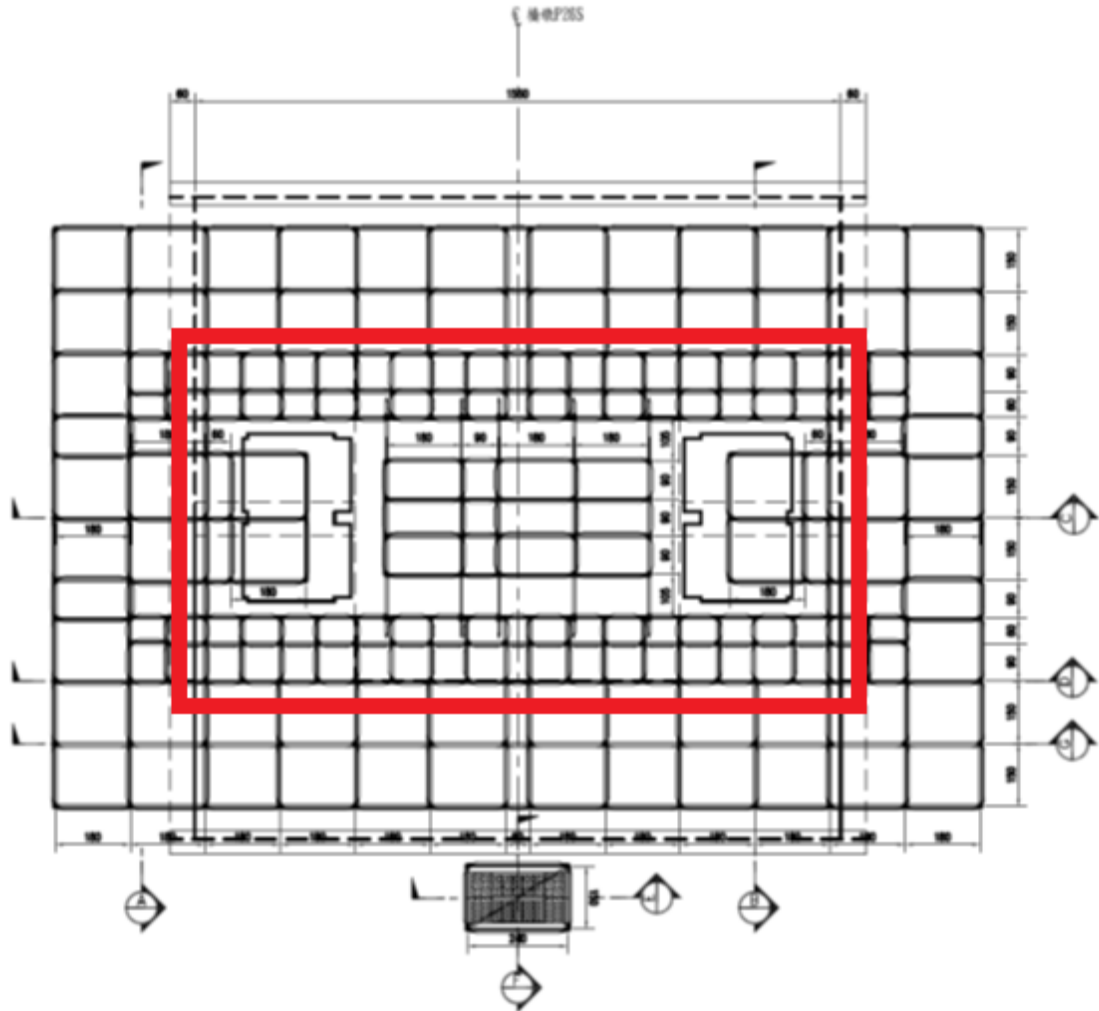


圖 42 垂直載重分布區域

第二種載重組合考慮水平力，依原始計算書，水平力為地震力控制，大小為 21.5 噸，將其平均分布在支撐架頂部所有節點，每一節點受 110 公斤的水平力。第三種組合則同時考慮地一級第二種組合。分析時支撐架主架部分均視為由底部到頂部單一構件，橫桿、斜桿與主架交接處視為鉸接，立架底部則假設為固接。

載重組合與邊界條件設置完成後，即可進行結構分析，本研究之結構分析違憲性

結構分析，未考慮非線性效應。各構件承受力量之最大值如表 2 所示，最大力量大小為 81.42 kN（約 8.3 噸），與原始計算書中單腳所受最大荷重相當。

表 2 結構分析構件承受最大力量結果

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	81.42	0.66	0.99	0.00	0.05	0.05
Bar	3954	114	9894	25	4120	4120
Node	1668	228	200	49	1738	1738
Case	7	7	4	7	7	7

分析結果顯示，透過 BIM 進行結構分析與傳統分析方式並無太大差異，但採用 BIM 方式進行有以下優點：

1. 溝通無資訊落差：系統支撐架使用構件眾多，在特殊形式支撐架設計中，其幾何也非常複雜，傳統方式利用平面圖、立面圖、以及剖面圖進行溝通時易產生資訊落差，可能造成誤解。
2. 利用 BIM 進行設計分析，無論是結構分析人員、安衛人員、或組搭人員進行修改，其他人員多需要重新進行建模及分析，但透過 BIM 模型，任一單位進行修改，其結果立即顯示於模型中，其他人員可立即依新模型進行對應的修正，無須浪費重工資源建模。

BIM 系統支撐架安全設施配置原則

(一) 配置之基本原則

系統式支撐架建模成後，必須依據安衛人員、組搭人員及相關人員等所提供的資訊及意見，配置安全通道、上下設備、及安全設施等相關配置，其配置之基本原則如下：

1. 安全通道

支撐架組搭完成後，絕大多數作業侷限在最上層，因此將支撐架最上層須進行作業的區域定義為工作平台，須符合營造安全衛生設施標準中對工作平台之要求，包含滿鋪及平台周邊須設護欄、腳趾板等。如因現地狀況，於局部區域無法完成滿鋪時，則依安全網、安全母索、其他足以提供適當安全防護之設施之順序，設置具同等防護之安全設施。

如有需要於地面至最上層中間之樓層進行作業，可將其視之為施工通道，

須滿足勞工安全衛生設施標準及營造安全衛生設施標準中對施工通道之要求，包含板料寬度、護欄、及安全母索等。

2. 上下設備

支撐架與一般施工架不同，施工架在組搭完成後、拆除開始前的這一段時間內，每一層均可能有人員進行工作；而支撐架在組搭完成後、拆除開始前的這一段時間內，原則上只有支撐架最上層有人員作業。因此在設計階段，即須針對支撐架的特性，先行配置完整之上下設備，並將其納入結構計算之考量。上下設備之設置，須符合勞工安全衛生設施標準及營造安全衛生設施標準中之要求，包含上下設備之寬度、斜度等。如因結構設計須求，無法在支撐架內部設置上下設備，可在支撐架外部搭設，但仍須將其納入結構計算中一併考輔。如因地形狀況限制，支撐架內、外部均無法設置合乎要求之上下設備，可考慮採用在支撐架內部設置垂直式的臨時上下設備，但如採用此種上下設備，仍須提供足夠之墜落防止功能。

除了上下設備之型態外，現地人員常因求方便，不使用上下設備，而是直接攀爬支撐架，為防止這一類狀況發生，須對上下設備嚴格管制，非必要人員不得使用，且不得以攀爬支撐架方式上下支撐架。同時也要提供更方便的上下設備，也就是提供足夠數量的上下設備。勞工安全衛生設施標準中要求參照建築規範，因此參考建築技術規則中對直通樓梯之要求，系統式支撐架之上下設備間距（步行距離，非直線距離）以不超過60公尺為準。

3. 安全設施

在系統式支撐架中，基本的安全設施包含以下幾項：

- (1)安全網：使用之安全網，其性質及設置方式，須符合中華民國國家標準 CNS14252 Z2115安全網標準。
- (2)物料攔截網：有物件飛落之虞處，須設置物料攔截網。
- (3)安全母索：使用之安全母索的性質及設置方式，須符合營造安全衛生設施標準之要求。
- (4)上下設備之扶手
- (5)安全告示

(6) 欄杆：須符合營造安全衛生設施標準之要求。

(二) 系統式支撐架設施規劃及配置圖

採用BIM流程時，原則上結構分析與安全設施配置同步進行，雙方依據最新的模型檢討並提出修正建議，達到協同設計的目的。本研究先假設安衛人員對結構設計無特殊建議，僅檢討安全設施配置之可行性。

安全設施主要包含安全通道、護欄、上下設備等。在勞研所102年度研究中，建議將支撐架頂部須進行作業區間定義為工作平台，如將該區域定義為工作平台，就需要踏板滿鋪，因此先針對目前的結構配置探討踏板滿鋪的可能性。依目前的結構配置，頂部區域有180 cm x 150 cm、180 cm x 90 cm、150 cm x 60 cm、90 cm x 90 cm、以及90 cm x 60 cm等區塊，而有長度為90、150、以及180 cm，寬度為26.5以及55 cm的踏板，因此只要是阿當的配置踏板，工作區間可達滿鋪，也因為可達滿鋪，工作檯周邊加裝護欄後，無需使用安全母索等輔助設施，同時因為工作台滿鋪，應該也可以減少或完全不用安全網。本研究依此原則，在模型中配置踏板及裝設護欄，其結果如圖、圖、以及圖所示。

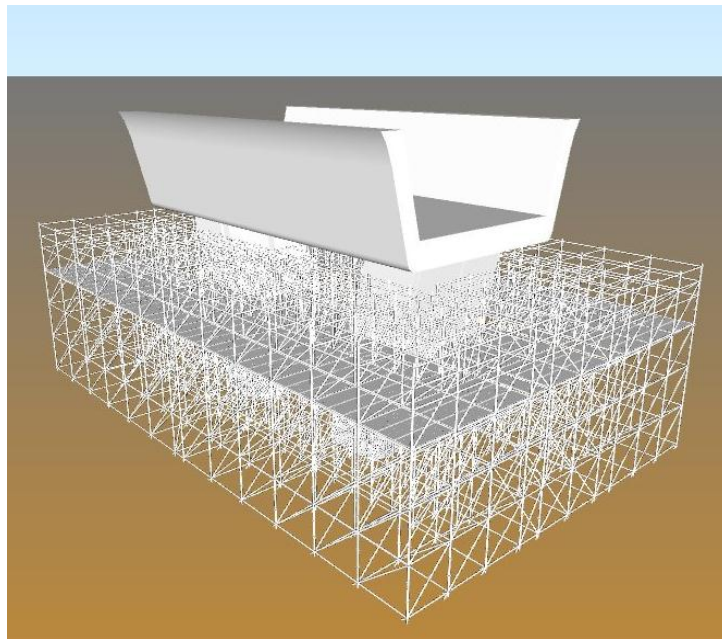


圖 43 配置滿鋪踏板後模型圖（一）

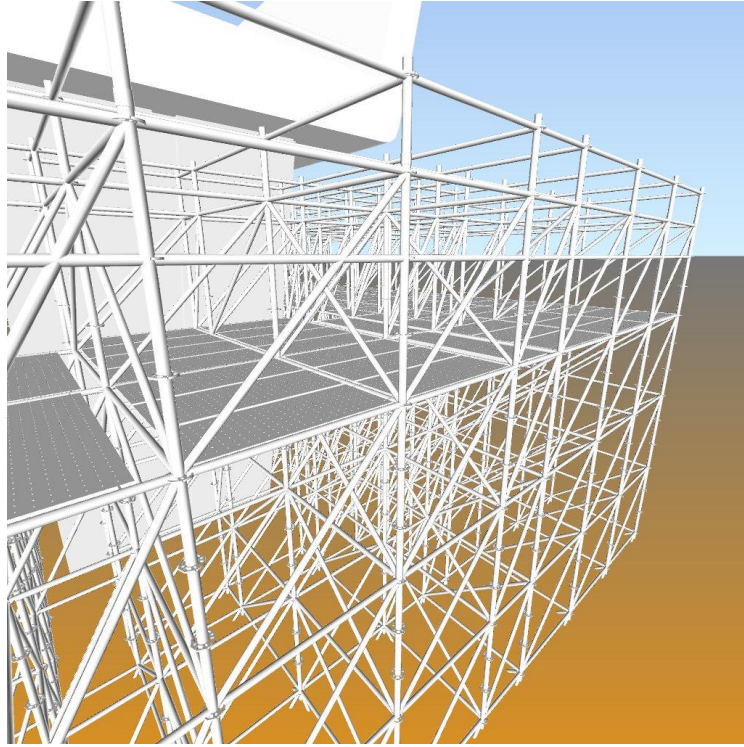


圖 44 配置滿鋪踏板後模型圖（二）

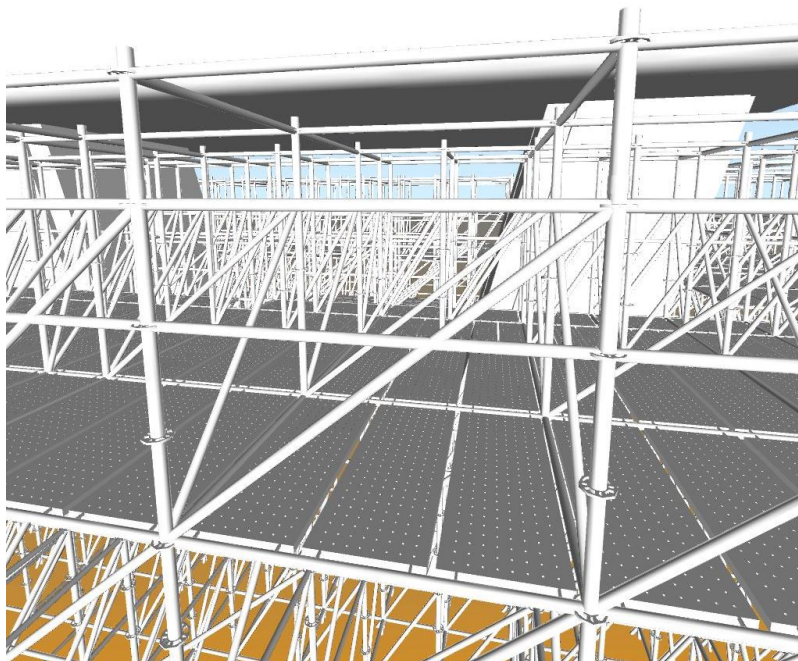


圖 45 配置滿鋪踏板後模型圖（三）

使用BIM模型的另外一項好處是衝突檢查，配置踏板完畢後可在進行衝突檢查，以確認配置踏板時沒有因疏忽造成實際施作時窒礙難行的狀況。

除了通道（工作平台）、護欄、母索、以及安全網外，另外一項重要的安全設備為上下設備。依現行法規規定，上下設備間距離不得超過 60 公尺。以本案例而言，其範圍大致為 22 公尺 x 14 公尺，總週長大約 72 公尺，但原始設計僅設置一座鋼構上下設備，建議須再增設一組上下設備。

(三) 系統式支撐架配置之整合工作流程圖 所示。

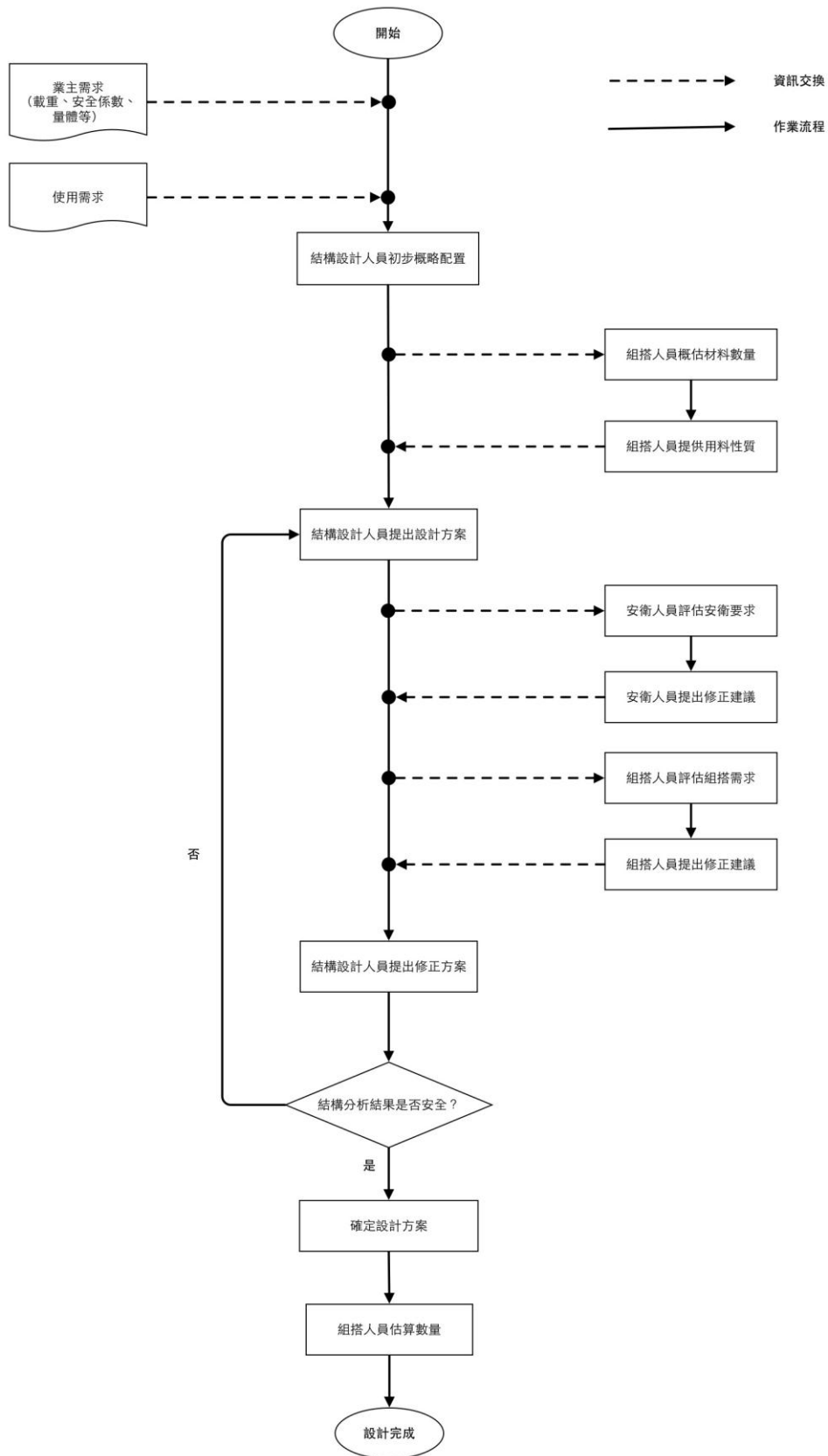


圖 46 系統式支撐架配置之整合工作流程圖

(四) BIM系統式支撐架規劃設計及安全評估之使用範例

以下以第四節中使用之案例進行圖 46 之支撐架配置整合流程作為範例。

首先結構設計分析人員接受業主需求以及使用者需求的資訊，內容包含載重、安全係數、量體、現地狀況等，使用者需求主要指支撐架組搭完成後，後續工作人員需進行的工作，如放置模板、設置感測器、以及灌漿等。

透過這些需求的資訊，結構設計分析人員建立支撐架的初步結構配置，這些資訊傳給組搭人員，組搭人員依據結構初步配置圖進行粗估，同時確認可提供材料的性質，這項資料回傳給結構設計分析人員，作為最後結構分析時須採用多大安全係數的依據之一（另一項依據為業主的的要求）。假設此案例中組搭人員確認將採用新料組搭，因此支撐沒有因重複使用產生的強度折減問題，資訊回傳給結構設計分析人員後，確認後續結構分析採用之安全係數依業主要求訂定，不必再提高。

下一步驟，結構設計分析人員提出詳細的結構設計，因考慮後續工作人員需進行的工作，如放置模板、設置感測器、以及灌漿等，結構設計分析人員確定採用最上層踏板滿鋪方式（如圖 34 所示）。針對這種設計，結構人員建立 BIM 模型，透過 BIM 3D 模型將這項資訊分別傳給安衛人員以及組搭人員。安衛人員依據此一模型評估是否符合安衛要求，並針對可改善的部分提出建議。因最上層踏板滿鋪雖可提供安全通道，但斜桿會影響工作人員行動，因此建議更改設計，提供無障礙或較少障礙的安全通道；組搭人員則針對設計探討組搭過程是否可順利進行，同樣針對可改善部分進行建議。針對現有設計，組搭方面並無問題，但建議是否可探討如何以較少數量的踏板，達到完整安全通道的效果。

安衛人員及組搭人員的建議回傳給結構設計分析人員後，結構人員分析最上層的平面圖，決定將最上層的踏板配置如圖 47（黃色部分為踏板），圖中踏板部分撤除斜桿，提供無障礙的安全通道，黑色部分的四周仍然保留斜桿，同時放置中欄杆（50 公分處）及上欄杆（100 公分）處。

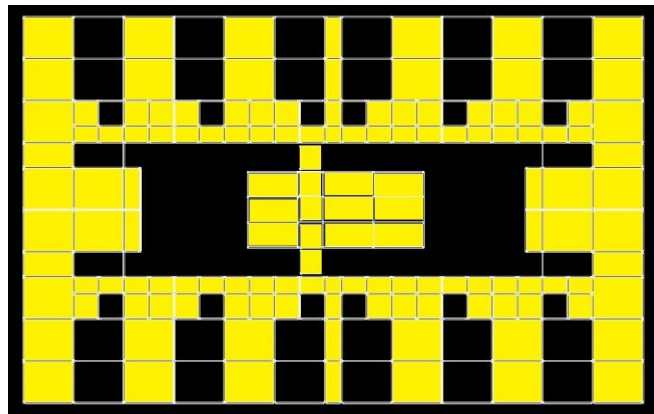


圖 47 修改後之最上層踏板配置圖

設計人員調整設計後，將模型轉為結構模（圖 48），進行結構分析。結構分析時依據業主需求，並依據組搭人員提供的用料性質資訊，審慎選定安全係數。

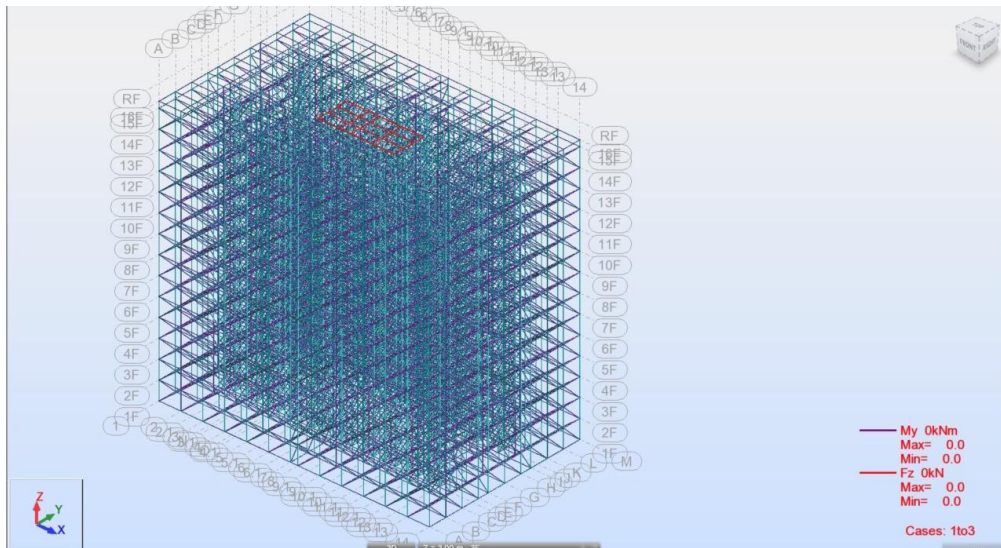


圖 48 修改後支撐架結構模

分析結果如果不符合結構安全，則重複執行本段中所述之步驟，直到結構設計經分析後符合結構安全為止。如果結構分析結果符合結構安全要求，則結構設計分析完成，本次分析結果如表 3，符合結構安全，進入下一步驟。

表 3 結構分析構件最大受力結果

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	78.45	1.03	0.11	0.07	0.05	0.29
Bar	9764	9814	9449	101	9452	9754
Node	3565	3570	24	202	246	1737
Case	3	3	3	3	3	3
MIN	-0.83	-1.05	-0.11	-0.07	-0.05	-0.33
Bar	9440	9815	9452	110	9449	9815
Node	220	3570	246	220	24	3570
Case	3	3	3	3	3	3

最後的步驟是組搭人員依據完成的結構設計進行數量估算，進一步作成本估算。依據以上步驟完成的結構設計，除了結構安全外，因為已經由安衛人員評估，且將安衛建議納入，應該符合安全法規要求；同時，組搭人員也提供了組搭流程相關的建議，經採納後融入結構設計中，實際組搭時也不至於有太大問題。

國家圖書館出版品預行編目資料

模板支撐安全設施規劃及結構計算整合研究 / 林楨中,
徐增興, 黃奕叡著. -- 1 版. -- 新北市 : 勞動部勞研所,
民 104. 03

面 ; 公分

ISBN 978-986-04-4680-7(平裝)

1. 職業災害 2. 勞工安全

555.56

104005990

模板支撐安全設施規劃及結構計算整合研究

著(編、譯)者: 林楨中、徐增興、黃奕叡

出版機關: 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話: 02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月: 中華民國 104 年 4 月

版(刷)次: 1 版 1 刷

定價: 250 元

展售處:

五南文化廣場

台中市 中區 中山路 6 號

電話: 04-22260330

國家書店松江門市

台北市 松江路 209 號 1 樓

電話: 02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」, 網址為:
<http://www.ilosh.gov.tw/wSite/ct?xItem=3131&ctNode=278&mp=11>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述, 並請注意需註明資料來源; 有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN: 1010400738

ISBN: 978-986-04-4680-7

