

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis



預鑄構件應用於建築統包工程設計階段之研究

-以山坡地工業廠房導入預鑄樓梯為例

Study on Applying the Precast Moduling Components to Building
Projects- A lessons learned from A Design-Built Project on
Hillside Land

陳文彥

Wen-Yen Chen

指導教授：曾惠斌 博士

Advisor：Hui-Ping Tserng, Ph.D.

中華民國 112 年 6 月

June 2023

摘要



檢視國內預鑄建築相關研究文獻，從規劃設計階段、生產製程、成本分析、運輸吊裝、現場組裝、預鑄工法研究成果等皆非常豐富，惟這些相關研究皆針對梁、柱、板、牆等主要結構或構件進行探討，並未針對建築空間中屬於垂直動線的上下設備樓梯有所著墨，而樓梯構件之金額及數量雖然佔整體預鑄系統中屬於偏低之比例，但樓梯自規劃設計階段對建築物而言即扮演非常重要的項目，不僅在使用層面以垂直空間的方式串聯建築空間，更是施工過程中最重要的上、下樓層服務動線；本研究者身為建築師專業，除了建築設計層面外，對於施工層面及安全層面亦須同步妥善考量。故本研究擬從規劃設計階段之角度出發，根據山坡地工業廠房建廠需求之特性，透過實際的現況問題分析後。基於選擇以預鑄樓梯能夠有利於工程生命週期中達成減省施工人力、提升工法精度、縮短專業工期、降低施工風險等優點，將藉由真實執行之研究案例，以預鑄樓梯工法為出發，提出統包工程自投標規劃、基本設計、細部設計等各階段應考量之要點，並透過BIM模型建置以及ETABS結構軟體進行分析，確保設計階段之實證性，以及施工階段之真正落實，亦為國內整體預鑄建築系統提出更完整的研究；呈上所述，就目前國內整體營建市場因國際因素導致原物料上漲及長期缺工之情況下，本研究案例規劃採用預鑄樓梯構件不論就安全、品質、工期等各面向來看，相較於場鑄樓梯及鋼構樓梯，皆呈現出較佳的成果。而在加入造價成本的分析比較後，當重複樓層數量達到三層以上，預鑄樓梯之造價成本將低於鋼構樓梯，此一研究成果對照目前一般工業廠房主要皆採用鋼結構搭配鋼構樓梯之設計模式，未來進一步評估採用鋼結構搭配預鑄樓梯應是另一項更好的選擇，亦是台灣營建產業未來長期發展之趨勢。

關鍵字：預鑄工法、預鑄構件、預鑄樓梯、建築統包工程

Abstract

Despite the abundance of literature on precast construction research in Taiwan, covering stages from planning and design, production process, cost analysis, transport and lifting, site assembly, and outcomes of precast methods, most of these studies focus primarily on main structural components like beams, columns, slabs, and walls, with little attention given to stairs, which form a crucial vertical movement line within building spaces. While the cost and quantity of staircase components represent a lower proportion within the overall precast system, their planning and design from the outset play a significant role in buildings, not only in connecting architectural spaces vertically but also as a vital service line for moving between floors during construction. As an architect, the researcher considers not only the architectural design aspect but also the construction and safety aspects.

This study intends to approach from the perspective of planning and design phase, taking into account the specific requirements of building industrial factories on hillside lands. After a detailed analysis of actual field problems, it's determined that selecting precast stairs can contribute to reducing labor during the project life cycle, enhancing precision of methods, shortening professional work periods, and mitigating construction risks. By relying on a real research case study that adopted the precast staircase method, this study aims to outline considerations at different stages, from tender planning, basic design, to detailed design. The use of BIM modeling and ETABS structural software for analysis ensures the validity of the design phase and the implementation during the construction phase, thus providing a more comprehensive study for the overall precast construction system in Taiwan.

Under the current circumstances where the domestic construction market faces raw material price hikes and a long-term labor shortage due to international factors, the adoption of precast staircase components in this research case shows better results in terms of safety, quality, and work period, compared to cast-in-place and steel structure stairs. When the cost analysis is included and the number of repetitive floors reaches three or more, the construction cost of the precast staircase is lower than that of the steel structure staircase. Compared with the current design model of general industrial factories mainly adopting steel structures with steel stairs, a better choice in the future would be to evaluate the adoption of steel structures in combination with precast stairs. This trend aligns with the long-term development of the construction industry in Taiwan.

Keywords: Precast Method, Precast Components, Precast Stairs, Building General Contracting

謝誌

感謝我的父母

給了我無憂無慮的時光

讓我得以安靜的學習建築真正的意義與價值

感謝我的指導老師曾惠斌教授

過去的教導

給了我如何思考以及思考什麼的想像推力

沒有他過去的身教、言教自己肯定會是走在另一條路上的我

同時

感謝一路上陪伴著我、指導我的

家人、朋友、師長

你們的支持是我能夠持續走下去的最大動力

以下僅將此論文獻給你們



目錄



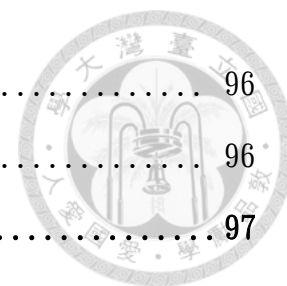
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究問題	2
1.3 研究目的	3
1.4 研究範圍與限制	3
1.5 研究方法與流程	4
1.6 研究名詞定義	5
1.6.1 預鑄系統工法	5
1.6.2 預鑄工法	5
1.6.3 預製工法	5
1.6.4 預鑄構件定義	6
1.6.5 建築統包工程	6
第二章 文獻回顧與探討	8
2.1 國內預鑄工法發展過程及限制	8
2.1.1 國內預鑄工法發展概況	8
2.1.2 國內預鑄工法發展限制	9
2.1.3 預鑄工法優缺點分析	10
2.2 中央及學術單位相關研究文獻	12
2.2.1 內政部建築研究所相關研究	12
2.2.2 國內學術論文相關研究	14
2.3 預鑄系統工法採統包工程發展	17
第三章 研究案件設計內容研析	18
3.1 研究案件背景	18

3.2 基地環境分析	18
3.2.1 基地區位與交通	19
3.2.2 都市計畫與土地使用分區	20
3.2.3 山坡地檢核	20
3.2.4 基地氣候	21
3.3 基地地質環境調查	22
3.3.1 地層	22
3.3.2 淹水潛勢	23
3.3.3 土壤液化潛勢	23
3.3.4 地質構造	24
3.3.5 順向坡調查	25
3.4 基地地形實測	25
3.5 建築規劃方案	26
3.5.1 建築配置圖	26
3.5.2 地下層平面圖	27
3.5.3 地面層平面圖一	28
3.5.4 地上層平面圖二	29
3.5.5 地上層平面圖三	30
3.5.6 立面圖	31
3.5.7 剖面圖	32
3.5.8 模擬透視圖	33
3.6 結構系統架構	34
3.7 預鑄樓梯規劃	35
第四章 預鑄樓梯設計內容探討	36

4.1 預鑄樓梯各階段設計流程.....	36
4.2 規劃階段.....	37
4.2.1 建築規模、構造檢討.....	37
4.2.2 模矩化、規格化之配合.....	38
4.2.3 樓層高度分析與檢討.....	39
4.2.4 建築結構系統檢討.....	40
4.3 初步設計階段.....	41
4.3.1 設計流程.....	41
4.3.2 構件及接合部設計.....	42
4.3.3 初步結構計算檢核.....	42
4.3.4 接頭及構件設計標準圖繪製.....	43
4.3.5 圖說、規範之完成及成本計算.....	43
4.3.6 與傳統工法於設計階段之比較.....	43
4.4 細部設計階段.....	44
4.4.1 預鑄樓梯分割設計.....	44
4.4.2 預鑄樓梯構件設計.....	45
4.4.2 預鑄樓梯接合部設計.....	45
4.4.3 預鑄樓梯安全性設計.....	49
4.4.4 預鑄樓梯結構配筋設計.....	49
4.4.5 預鑄樓梯模具設計檢討.....	51
4.4.6 預鑄樓梯施工流程檢討(施工過程照片).....	52
4.4.7 預鑄樓梯設計規範.....	53
第五章 設計模擬及實證.....	56
5.1 設計模擬及實證之研究目標.....	56

5.2 建築資訊模型(BIM)建置.....	56
5.2.1 本研究使用軟體.....	56
5.2.2 輔助設計及介面衝突檢討、修正.....	57
5.2.3 預鑄樓梯 BIM 模型建置.....	57
5.3 結構資訊模型(ETABS)驗證.....	61
5.3.1 本研究使用軟體.....	61
5.3.2 結構分析結果.....	61
5.4 設計階段施工風險評估.....	71
5.4.1 辦理依據.....	71
5.4.2 工程規劃設計階段.....	71
5.4.3 風險分析.....	72
5.4.4 風險評量.....	73
5.4.5 設計成果施工風險評估.....	74
5.4.6 設計施工作業模擬程序及風險辨識.....	74
5.4.7 預鑄樓梯施工風險評估(系統版).....	75
5.4.8 預鑄樓梯施工風險評估.....	76
5.4.9 設計階段風險評估成果.....	77
5.5 預鑄樓梯安全、品質、成本效益分析.....	78
5.5.1 預鑄樓梯施工安全性分析.....	78
5.5.2 預鑄樓梯施工品質分析.....	82
5.5.3 預鑄樓梯成本分析.....	85
第六章 結論與建議.....	95
6.1 設計階段之研究.....	95
6.2 安全、品質、經濟性之研究.....	95

6.3 後續施工階段之研究.....	96
6.4 未來使用階段之研究.....	96
參考文獻.....	97



圖目錄

圖 1 研究方法流程圖.....	4
圖 2 預鑄構件系統分類.....	6
圖 3 統包工程各單位履約關係架構.....	7
圖 4 預鑄工法採統包模式流程.....	17
圖 5 工業園區範圍及本案基地位置(資料來源:參 14).....	18
圖 6 園區配置及基地連通通路(資料來源:參 14).....	19
圖 7 變更林口特定區部分「工三」工業區都市計畫圖(資料來源:參 14)...	20
圖 8 山坡地範圍檢核(資料來源:參 14).....	20
圖 9 2010~2022 年桃園地區逐月風配圖(資料來源:參 14).....	22
圖 10 基地鄰近斷層位置(資料來源:參 14).....	22
圖 11 基地淹水潛勢圖(國家災害防救科技中心)(資料來源:參 14).....	23
圖 12 基地土壤液化潛勢圖(國家災害防救科技中心)(資料來源:參 14)...	23
圖 13 鑽探孔柱狀圖 2(資料來源:參 15).....	24
圖 14 鑽探孔柱狀圖 1(資料來源:參 15).....	24
圖 15 基地順向坡(資料來源:參 14).....	25
圖 16 基地測量調查圖(資料來源:參 16).....	25
圖 17 基地測量調查圖(資料來源:參 14).....	26
圖 18 地下二層平面圖(資料來源:參 14).....	27
圖 19 地下一層平面圖(資料來源:參 14).....	27

圖 20 一層平面圖(資料來源:參 14)	28
圖 21 二層平面圖(資料來源:參 14)	28
圖 22 地上三層平面圖(資料來源:參 14)	29
圖 23 地上四層平面圖(資料來源:參 14)	29
圖 24 四層平面圖.....	29
圖 26 五層平面圖(資料來源:參 14)	30
圖 26 六層平面圖(資料來源:參 14)	30
圖 27 立面圖 2(資料來源:參 14).....	31
圖 28 立面圖 1(資料來源:參 14).....	31
圖 29 剖面圖 2(資料來源:參 14).....	32
圖 30 剖面圖 1(資料來源:參 14).....	32
圖 31 鳥瞰圖及人視點模擬透視圖(資料來源:參 14)	33
圖 32 ETABS 分析 3D 模型(資料來源:參 14)	34
圖 33 預鑄樓梯工法(資料來源:參 17)	35
圖 34 預鑄樓梯設計流程.....	36
圖 35 不同構造系統銜接預鑄樓梯(資料來源:參 19)	37
圖 36 上行、下行對稱之預鑄樓梯(資料來源:參 19)	38
圖 37 預鑄樓梯接合部設計設計剖面圖(資料來源:參 19)	44
圖 38 預鑄樓梯上下行分割設計平面圖(資料來源:參 19)	44
圖 39 本研究預鑄樓梯製作圖(資料來源:參 19)	45
圖 40 接合部及吊掛點照片(資料來源:參 17)	45
圖 41 預鑄樓梯梁上接合部設計詳圖 1(地上層鋼骨構造) (資料來源:參 19)	46
圖 42 預鑄樓梯接合部設計詳圖 1(地下室 rc 構造) (資料來源:參 19).....	46
圖 43 預鑄樓梯平台接合部設計詳圖 1(資料來源:參 20).....	47

圖 44 預鑄樓梯平台接合部設計五金詳圖 2(資料來源:參 20).....	47
圖 45 預鑄樓梯托梁接合部設計詳圖(資料來源:參 19).....	47
圖 46 預鑄樓梯接合部鐵件照片(資料來源:參 17).....	48
圖 47 預鑄樓梯樓板接合部設計詳圖(資料來源:參 20).....	48
圖 48 護欄設置照片(資料來源:參 17).....	49
圖 49 臨時護欄及欄杆預埋件設計詳圖.....	49
圖 50 預鑄樓梯臨時護欄及欄杆預埋平面圖(資料來源:參 20).....	49
圖 51 預鑄樓梯結構配筋照片.....	50
圖 52 預鑄樓梯結構配筋照片.....	50
圖 53 預鑄樓梯結構配筋設計圖(資料來源:參 20).....	50
圖 54 鋼模製作過程照片.....	51
圖 55 直立式預鑄樓梯施工流程圖.....	52
圖 56 鐵件尺寸檢查.....	54
圖 57 鋼模尺寸檢查.....	54
圖 58 板片平整度檢查.....	55
圖 59 板片直角檢查.....	55
圖 60 Autodesk Revit 使用平台.....	56
圖 61 地下二層至地下一層預鑄樓梯等角模型(施工護欄).....	57
圖 62 地下二層至地下一層預鑄樓梯等角模型(金屬扶手).....	58
圖 63 地下二層至地下一層預鑄樓梯等角模型(施工護欄).....	58
圖 64 地下一層至地上四層預鑄樓梯等角模型(金屬扶手).....	59
圖 65 地上五層至地上六層預鑄樓梯等角模型(金屬扶手).....	59
圖 66 預鑄樓梯平台接合部構件 2.....	60
圖 67 預鑄樓梯平台接合部構件 1.....	60

圖 68 ETABS 使用平台.....	61
圖 69 預鑄樓梯平面及剖面結構圖預鑄樓梯(資料來源:參 22).....	62
圖 70 預鑄樓梯平面及剖面結構圖(資料來源:參 22).....	62
圖 71 樓梯兩側外緣靜載重圖(資料來源:參 22).....	63
圖 72 等值載重 彎矩 剪力 變形圖 (由上而下) (資料來源:參 22).....	63
圖 73 P-M Interaction Ratios(資料來源:參 22).....	64
圖 74 彎矩圖(資料來源:參 22).....	64
圖 75 剪力圖(資料來源:參 22).....	64
圖 76 力學分析圖 1(資料來源:參 22).....	65
圖 77 力學分析圖 2(資料來源:參 22).....	66
圖 78 載重設定圖(踏階處) (資料來源:參 22).....	67
圖 79 建築物部分構體及非結構構材附件係數.....	68
圖 80 配筋需求檢討 1(資料來源:參 22).....	69
圖 81 配筋需求檢討 2(資料來源:參 22).....	69
圖 82 配筋需求檢討 2(資料來源:參 22).....	70
圖 83 配筋需求檢討 2(資料來源:參 22).....	70
圖 85 場鑄樓梯模板組立照片.....	78
圖 86 樓梯護欄安全衛生設施標準圖.....	79
圖 87 預鑄樓梯安全護欄照片(資料來源:參 17).....	80
圖 88 場鑄樓梯案例照片(取自工程會-工程品質常見缺失說明簡報).....	82
圖 89 預鑄樓梯版片及吊裝照片(資料來源:參 17、參 18).....	83
圖 90 場鑄樓梯模板組立流程(整理自勞委會模板支撐組立及拆除作業)....	85
圖 91 場鑄樓梯模板拆除流程(整理自勞委會模板支撐組立及拆除作業)....	86

表目錄



表 1 規劃及設計階段之問題.....	9
表 2 建築工程推動預鑄工法之問題與挑戰矩陣表(資料來源:參 13).....	10
表 3 預鑄工法之優點(資料來源:參 13).....	11
表 4 預鑄工法之缺點(資料來源:參 13).....	12
表 5 內政部建築研究所近年來執行的預鑄相關研究計畫案(資料來源:13)...	13
表 6 學術論文相關研究彙整表(資料來源:參 13).....	14
表 7 桃園氣象資料表(資料來源:參 14).....	21
表 8 研究預鑄樓梯鋼模開模規劃.....	39
表 9 預鑄樓梯材料規格表(資料來源:參 21).....	53
表 10 預鑄樓梯鋼模具品管要求表(資料來源:參 21).....	54
表 11 預鑄樓梯版製品檢查表(資料來源:參 21).....	55
表 12 靜載重及活載重.....	62
表 13 載重設定表(資料來源:參 22).....	67
表 14 工安事件衝擊及嚴重度(資料來源:參 23).....	72
表 15 工安事件發生之可能性(資料來源:參 23).....	72
表 16 風險可能性等級分級表(資料來源:參 23).....	73
表 17 風險等級區分表(資料來源:參 23).....	73
表 18 分項工程作業拆解表.....	74
表 19 預鑄樓梯施工作業模擬程序及風險辨識預防原則.....	74
表 20 施工風險評估表.....	75
表 21 預鑄樓梯工程風險評估表.....	76
表 22 各樓梯施工安全性比較.....	81
表 23 各樓梯施工品質比較.....	84

表 24 鋼構樓梯構件尺寸表 1	91
表 25 鋼構樓梯構件尺寸表 2	91
表 26 各樓梯施工成本比較.....	93



第一章 緒論



1.1 研究背景與動機

台灣自民國 80 年開始於工程生命週期中發展營建自動化，亦即自規劃設計、施工技術、施工機具、營建管理、營建材料等面向，採用代替、減輕人力或簡化程序之方式、技術或產品，以增進效率、效能，進而提升生產力，而當時亦同步開始發展預鑄工法。惟早期因預鑄技術未臻成熟，因此建築常出現防水品質不佳、造形受限於開模及成本、組裝技術等問題導致外型較為單調等缺點，對預鑄建築依舊普遍留有這些負面印象，建築成本也較一般場鑄建築高出許多。

然隨著近幾十年來台灣整體營建技術並未有大幅度提升，加上少子化的趨勢影響，年輕一代的人才投入營造產業意願較低，加上現場施工環境較差、高危險性以及高風險的因素，缺工的情形日益嚴重，嚴重影響營造業的發展及公共工程、民間工程的推動，在工資大幅上升的情況下，政府不得不開放外籍勞工以填補人力缺口。此外，在產業結構型態之改變、原物料居高不下等綜合因素加總下，預鑄建築系統的優勢(成本差距拉近、不受天候影響、較為精簡的勞工人力)已逐漸呈現出來。預鑄工法可以減少人力與時程，同時因為模組化設計、工廠化生產，不僅可以提升工程品質、減少廢料，同時也可以降低工地現場之噪音及廢棄物，符合節能減碳及環保需求，而從技術層面來看，在歷經這幾十年的發展，不論是設計、施工技術、防水、耐震等方面，預鑄技術已相當成熟，非常有機會成為台灣未來發展智慧營建重要的一環。

有鑒於此，檢視國內預鑄建築相關研究文獻，從規劃設計階段、生產製程、成本分析、運輸吊裝、現場組裝、預鑄工法研究等皆非常豐富，惟這些相關研究皆針對梁、柱、板、牆等主要結構或構件進行探討，並未針對建築空間中屬於垂直動線的上下設備樓梯有所著墨。而樓梯構件金額及數量雖然佔整體預鑄系統比



例偏低，但樓梯自規劃設計階段即屬於非常重要的設計項目。就建築功能而言，肩負串聯相隔兩層的空間；就每層樓之施工過程而言，屬於工程要徑上之項目，肩負所有人員上下樓層動線、簡易物料輸運等；就施工安全方面，樓梯結構開口墜落危害，若能以預鑄樓梯先行吊裝方式克服，能將施工過程之風險降至最低。

本研究者身為建築師專業，除了建築設計層面外，對於施工面及施工安全層面亦須同步妥善考量。故本研究擬從規劃設計階段之角度出發，根據山坡地工業廠房建廠需求之特性，透過實際的現況問題分析後。基於選擇以預鑄樓梯能夠有利於工程生命週期中達成減省人力、提升精度、縮短工期、降低施工風險等優點，將藉由真實之研究案例擬採用預鑄樓梯之機會，提出統包工程自規劃、基本設計、細部設計等各階段應考量之要點，並透過 BIM 模型建置以及結構分析進行實證，確保後續施工階段之精確性，亦為國內整體預鑄建築系統提出更完整的研究，此為本研究之主要動機。

1.2 研究問題

依據內政部建築研究所研議國內建築工程推廣應用預鑄技術及獎勵機制，一般最常用之建築物預鑄構件共分為外牆、柱、梁、樓板、樓梯及衛浴等 5 項。其中樓梯的部分雖非屬於結構物，數量及金額佔比亦最低，但預鑄樓梯構件設計過程中涉及之結構介面及複雜度皆高於單一柱、梁或外牆板等，其變化性亦高於其他預鑄構件，在大多數研究都以主要結構(柱、梁、板、牆)為主之情形下，有關預鑄樓梯之研究皆甚少著墨。是故，本研究擬欲研析之問題如以下四方向。

研究問題其一為：統包工程規劃預鑄樓梯構件於設計階段檢核之內容。

研究問題其二為：山坡地工業廠房規劃預鑄樓梯所帶來之效益與幫助。

研究問題其三為：預鑄樓梯於設計階段施工風險評估應回饋及傳遞之內涵。

研究問題其四為：預鑄樓梯如何透過 BIM 模型元件建置及結構程式進行驗證。



1.3 研究目的

預鑄樓梯是整體建築預鑄系統中最複雜且特別的構件，它不僅需滿足自身的功能，同時更像一個建築縮影，有其獨特的空間與造型意義，亦能在建築中扮演起承轉合之作用，合理利用樓梯構造與材料的多樣性，可以將它與不同高程的室內空間巧妙地銜接。為提升國內目前設計單位及專業廠商對於預鑄樓梯設計流程的了解，並提升預鑄建築系統整體設計之完整性，本研究之研究目的如後：

1. 透過文獻回顧、案例研究、專業廠商及結構技師之協力等方式，了解不同角色(建築師、結構技師、營造廠、鋼構廠、預鑄廠等)在預鑄樓梯設計之參與，建立出在統包工程模式下，預鑄樓梯之設計流程。
2. 提出本研究規劃預鑄樓梯之安全、品質、工期、成本之效益分析。
3. 如何藉由預鑄樓梯設計提升山坡地工業廠房施工階段之安全性，透過設計階段之風險評估有效降低施工風險。
4. 如何利用預鑄系統之最大特點，將預鑄樓梯的精確性、安全性及設計性(如承重能力、踏步級高、級深的合理性、扶手的舒適性等設計內容)妥善呈現。

1.4 研究範圍與限制

本研究以案例實證之方式，從規劃設計角度探討預鑄樓梯於工業廠房統包工程規劃設計階段之實務，研究範圍以山坡地工業廠房規劃預鑄樓梯構件為研究主體。由於該研究案例主要以預製工法為主，亦即結構體為鋼骨構造，樓板為廠鑄 DECK 板，外牆為複合式金屬板(三明治板)所構成，而非以傳統預鑄工法(預鑄混凝土梁、柱、板、牆)為主，因此未將前述構件納入研究範疇內。

在研究限制方面由於該案之施工工期執行階段與本研究有時程上之落差，故無法針對預鑄樓梯於規劃設計完成後，自生產製程、運輸、吊裝、組裝、施工計畫等構面進行實證，建議此部分可列為接續研究之範疇。



1.5 研究方法與流程

本研究之動機、問題、目的、限制內容確認後，後續將進行相關文獻蒐集及研析彙整相關資料，藉由研究案例實證分析以獲得預鑄樓梯於統包工程各設計階段所應著重之程序及流程，相關研究流程架構如下圖 1。

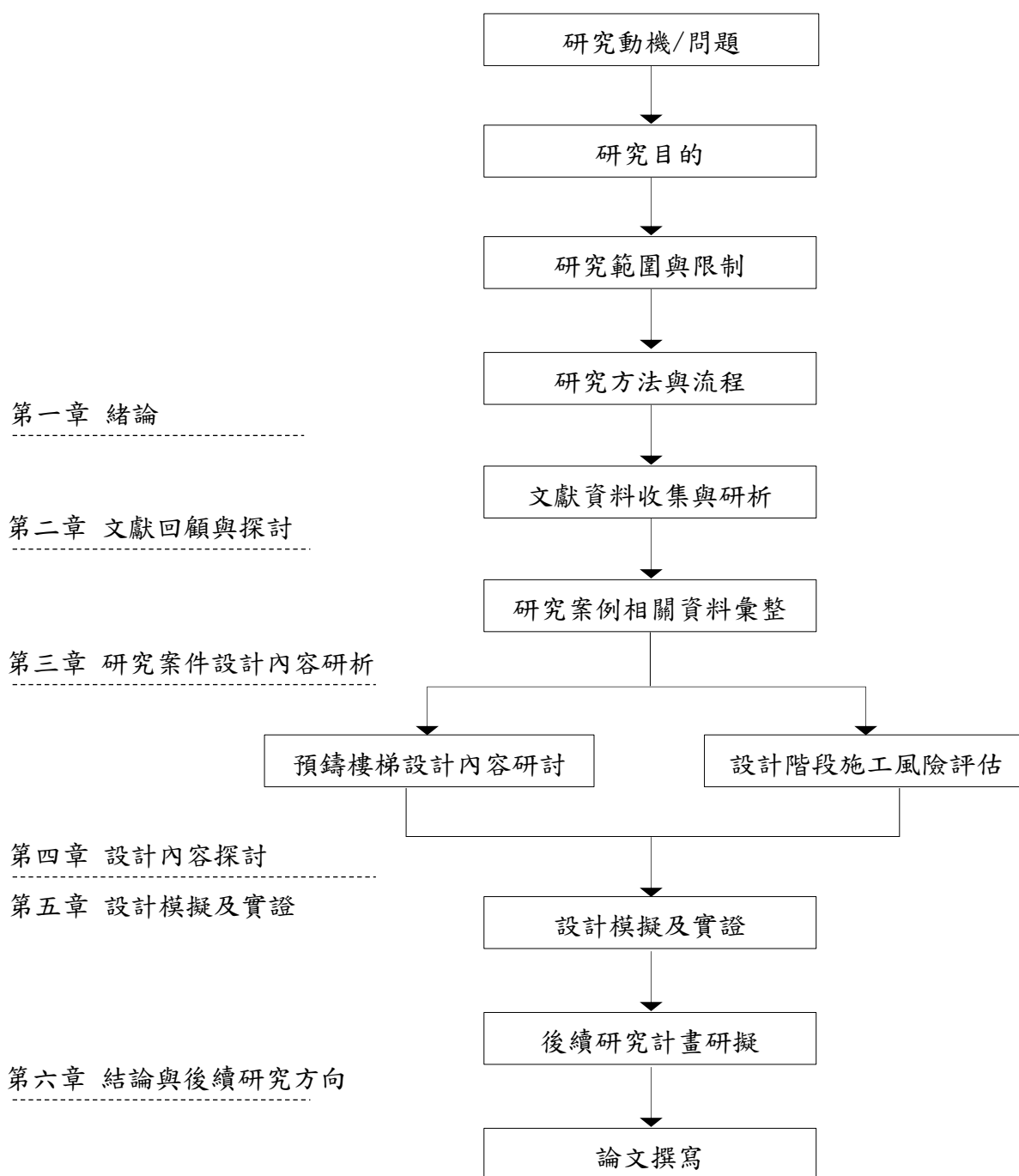


圖 1 研究方法流程圖



1.6 研究名詞定義

本章節主要針對研究內容所提出之名詞進行定義，實證案例研究之各專業角色關係闡述(統包工程履約架構)，以更為精確呈現研究過程及成果。以下包括預鑄系統工法、預鑄工法、預製工法、預鑄構件、建築統包工程等內容為主。

1.6.1 預鑄系統工法

預鑄系統工法以廣義的角度而言，只要構造物各部分之單元有使用預鑄構件製品即稱之。因此一般而言建築工程採用全預鑄或半預鑄之差異應是指涉建築物，各部分單元構件之預鑄性，而非指結構物之預鑄性，故不論採全預鑄或半預鑄系統工法皆屬於預鑄系統工法。(翁敏欽，2007)

1.6.2 預鑄工法

預鑄工法專指預鑄混凝土(precast concrete 或 prefabricated concrete)而言。換言之，prefabrication 泛指廣義的預製組合，材料除混凝土外，尚包括鋼材、木材、鋁材等，故預鑄混凝土可稱為 prefabricated concrete，一般工程常用 precast concrete。(葉文凱, 2000)

1.6.3 預製工法

所謂預製工法(prefabrication)指經過系統化規劃設計之建築物，以模矩化、標準化、規格化等方式，將之分割成許多單元或構件(element 或 component)，並在工廠以工業化方式預先生產後，待即將施工時，再將其載運至工區內加以組裝。例如鋼骨(構)、金屬(玻璃)帷幕牆乃至鋁格柵、鋁窗(門)、金屬扶手等皆為廣義預製工法。以本研究案例而言，工業廠房地上層之主要結構為鋼骨構造，外牆採用三明治板系統，樓梯間採用金屬帷幕牆等設計，即屬於預製工法之一環。



1.6.4 預鑄構件定義

預鑄構件主要包含結構體、非結構體兩大部份，以工法系統而言，包括 RC 構架預鑄工法、積層工法以及複合工法等三種。本研究之預鑄樓梯依據前述之分類方式，屬於非結構體之一環，本案研究案例結構體主要為 SC 梁及 SC 柱，下圖 2 為預鑄構件系統分類。

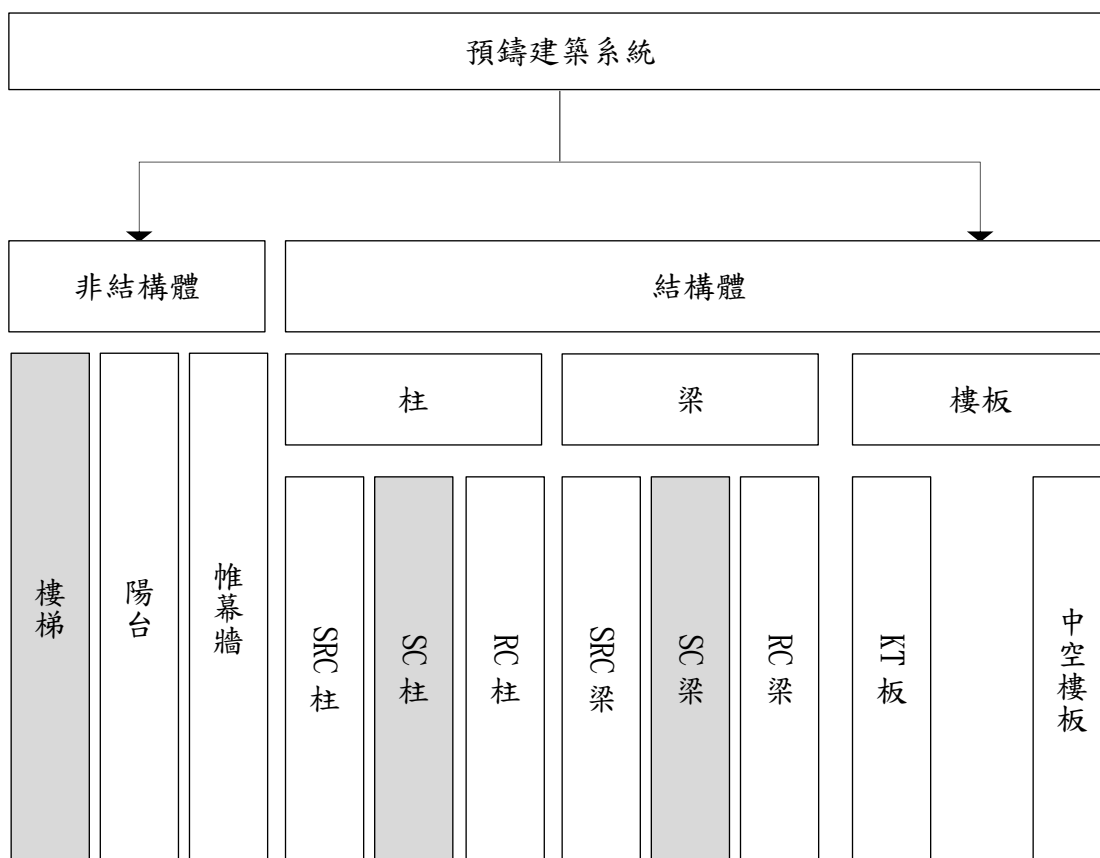


圖 2 預鑄構件系統分類

1.6.5 建築統包工程

有鑑於傳統由建築師負責設計(預算書圖編制)、監造，營造廠負責施工之採購模式，機關有時在時程、成本、施工性等層面較不易掌控。近年十餘來統包(Turnkey)之採購方式亦被廣泛應用，就概念上，統包工程是由一個專業團隊，以整合性的設計與施工為業主量身訂製出符合需求的專案內容，機關無須懂得專

業、複雜的設計與建造技術，只要明確列出需求，確認好預算和管控完成時間即可。這樣的觀念具有依需求量身訂製，整合設計與施工，減少分包界面，節省工期，符合預算等五大特色。本研究案例主要由統包商與機關簽約，再以分包方式委託設計單位(建築師事務所、各專業技師)、專業分包商、材料設備供應商等架構執行案件(在此不另討論其他與機關簽約、履約之模式)，詳下圖 3。

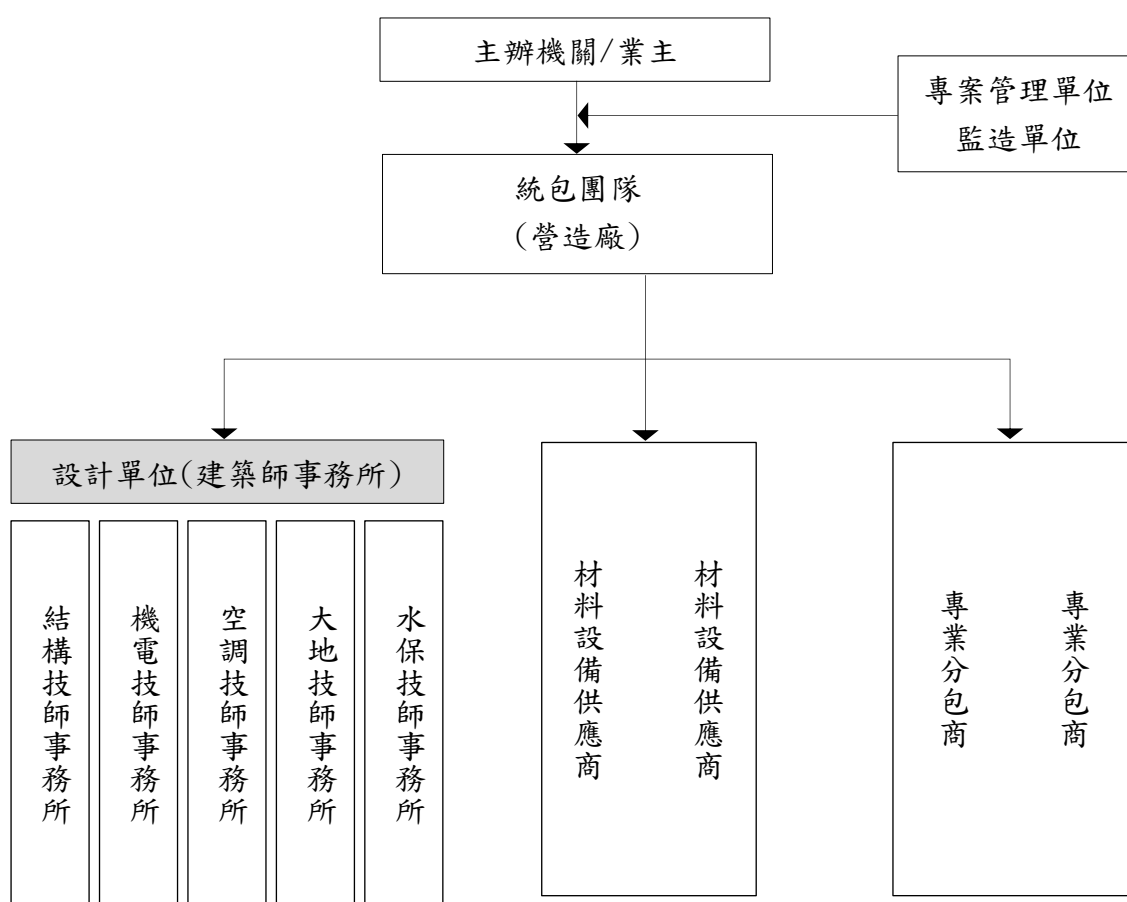


圖 3 統包工程各單位履約關係架構

第二章 文獻回顧與探討



本章節文獻回顧主要分為兩大部分，其一為國內目前推動預鑄工法之情形及面對之限制，由於預鑄工法為所有營建工法中，最具自動化內涵的施工方式，其在人力之節省、縮短工期、營造產能提升、安全衛生、環境污染等，都是不爭的事實，故預鑄工法的經濟效益仍可能是未來發展的目標；其二為國內針對預鑄系統相關研究之回顧與分析，隨著社會經濟環境的轉變及技術的進步，現今的預鑄工法，不僅只是經濟的誘因，在環境的保護及技術提升的必要性上，預鑄工法也是未來的趨勢所在，因此從政府機關到學術單位，相關的研究也非常豐富。綜上，本研究期盼藉由目前國內實務推動預鑄系統工法之情形輔以相關研究之比對，確認本研究之方向及內涵並未與既有研究成果重複，亦確認現階段專業廠商執行之情形與未來可能發展之方向。

2.1 國內預鑄工法發展過程及限制

本節以下針對國內近十餘年發展預鑄工法之情形及目前所遭遇之問題及挑戰進行回顧與研析，期盼藉由此部份之探討，瞭解階段性預鑄建築系統發展之現況。

2.1.1 國內預鑄工法發展概況

隨著國內專注於建築工業 4.0 的發展，各單位對於建築工程引進新技術、新工法、新材料不斷精進，而預鑄工法其施工品質較傳統工法可有效的掌握，雖然國內營建產業引進預鑄工法已有多年，目前專業的預鑄工廠亦已存在，惟早期技術尚未成熟，造成品質不佳的刻板印象，導致推廣不易，市場需求萎縮(國內發展建築預鑄工法自 1970~1995 年後約可分為四個時期，葉文凱，(2000))。

然近二十年來，國內部份專業廠商一直專注於預鑄工法的研發，例如潤弘精密工程、亞利預鑄工業股份有限公司、榮工實業股份有限公司等。因此，預鑄工法不但並未消失，反而因為在技術提升、缺工以及營建物料漲價之情況下，持續



在私人建案(集合住宅、高科技廠房)及公共工程(社會住宅、工業廠房)增加使用比重，亦繳出令各界滿意的品質，因此預鑄工法系統在國內工程界仍有相當的發展潛力與可能性。

2.1.2 國內預鑄工法發展限制

國內預鑄工法之發展雖然於近二十年仍有持續的成果，惟仍有許多待克服之困難及挑戰，依據黃斌(1996)彙整出規劃及設計階段之問題如下表 2-1。

表 1 規劃及設計階段之問題

階段	內容
規劃階段	1. 初期發展時期的失敗，造成市場接受度不足。
	2. 預鑄構件單價過高，市場競爭力不足。
	3. 預鑄化成效不明確，案量不足導致說服力不足，業主採用意願較低。
	4. 規劃初期未考量預鑄系統工法，造成後續作業困擾。
	5. 預鑄相關法令的缺乏，與傳統工法的衝突，造成作業程序的困擾。
	6. 相關獎勵政策及金融融資的缺乏導致業主採用意願不高。
	7. 公家機關採用意願較低，形成推動的阻力。
設計階段	1. 案量不多，設計人才缺乏。且預鑄施工過程的經驗及問題，亦未能回饋至規劃設計中，造成配合作業不良、人才與經驗斷層。
	2. 結構計算模式的改變，造成結構技師配合度較低，有經驗的較少。
	3. 水電設備的細部設計，影響後續板片的設計。
	4. 帷幕牆與結構體分離，在住宅中形成室內空間梁柱過多，而法規規定面積計算以外牆心為主，造成面積加大，間接形成虛坪數，消費者接受意願不高。
	5. 設計階段檢討不足，造成後續作業困擾(尺寸錯誤)。
	6. 細部設計檢討權責不明確，造成後續作業困擾。
	7. 預埋鐵件精度不足，影響後續吊裝。
	8. 設計階段必須與專業預鑄廠商，規劃設計作業時拉長。

國內預鑄工法目前推動之問題與挑戰包括廠商經驗不足、寡占市場、技術普及性低、缺乏預鑄專業人才等十一項，其對應之作法與策略包含經驗分享與傳承、成立預鑄協會、民間市場推廣、結合 AI 技術、建構人才培植機制等十三項目，下表 2-2 為建築工程推動預鑄工法之問題與挑戰矩陣表。

表 2 建築工程推動預鑄工法之問題與挑戰矩陣表(資料來源:參 13)

作法與策略 問題與挑戰	經驗分享與傳承	成立預鑄學協會	民間市場推廣	結合 B 技術	建構人才培植機制	政府帶頭採用預鑄	提供獎勵	推廣預鑄設計施工規範	舉辦講習與參訪	執行指標示範案例	推廣預鑄效益	形成產業聯盟或團隊	導入 BIM 技術
廠商經驗不足	●	●	●		●				●			●	
寡占市場	●	●	●		●				●			●	
技術普及性低	●	●	●		●				●				●
產業升級迫切	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	
缺乏預鑄人才	●	●	●		●		●		●				●
預鑄市場小		●	●		●	●					●	●	
規範尚未完備						●		●		●			
技術門檻高		●	●	●	●			●		●			●
市場接受度需求提升	●	●	●		●	●	●		●	●	●	●	
預鑄專業勞動力不足		●	●	●	●		●			●	●		
費用高							●						

2.1.3 預鑄工法優缺點分析

過相關文獻及訪談可發現，國內在預鑄相關研究上相當全面 國內的建築結構、外牆等預鑄產能以目前市場的需求程度，在執行預鑄工程的廠商都已經產能飽和的狀態，若未來國內要大量採用預鑄工法，則需要對水泥製品工業做更多的輔導轉型。然而建築採用預鑄工法可達成高品質、工期短、出工數減少等效益，各界普遍也認為國內缺工及工資高漲等問題，採用預鑄工法為國內當務之急之作法。

此外，本研究透過前述文獻回顧，探究預鑄工法在各面向之優缺點如後表。

表 3 預鑄工法之優點(資料來源:參 13)

項目	說明	參考文獻
節省施工工期	1. 預鑄工法有別於傳統場鑄工法，直接在工地以外的場域進行結構構件之生產，而後直接於施工現場將構件進行組裝，大幅縮短施工工期。 2. 根據研究調查，約有66%之受訪者認為預鑄工法有效節省施工工期，甚至有35%受訪者認為，至少可以節省4週以上之施工工期。 3. 預鑄工法相較於傳統場鑄工法可節省至少 20%~50%之施工工期。	1. Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry, 2020 2. 台灣地區預鑄技術發展與應用。
混凝土品質優良	1. 傳統場鑄工法在施工性不佳處，可能會有蜂窩、冷縫及孔洞等問題產生，需進行拆模後補強作業。 2. 反觀預鑄工法所有構件，皆在廠房內生產，特別在其鋼筋之綁紮部分，直接以焊接方式固定、甚至發展出螺旋箍筋、一筆箍等技術，增強耐震能力，降低柱、梁構件在高強度地震下爆筋之風險，有效確保構件之品質。	1. Prefabrication and Modular Construction 2020 2. (2007)台灣地區預鑄技術發展與應用，2007 3. 預鑄混凝土工法應用於建築之優勢。
節省人力成本	在預鑄工法施工階段上所投入之勞動力，明顯低於傳統場鑄工法，由於場鑄工法在每項施工項目中皆需投入大量人員，如鋼筋綁紮、模板架設等，使得預鑄工法在人力成本上有非常大之節省。	1. Prefabrication and Modular Construction 2020 2. 台灣地區預鑄技術發展與應用，2007
提升施工安全性	由於預鑄工法在施工過程中，樓板可能尚未吊裝，為確保人員之安全，皆會事先安裝安全措施、或是在建築物周圍之梁體上安裝欄杆及安全母鎖，確保施工人員安全。	1. Prefabrication and Modular Construction 2020 2. 台灣地區預鑄技術發展與應用，2007

表 4 預鑄工法之缺點(資料來源:參 13)

項目	說明	參考文獻
產業的不普及性	由於預鑄工法在其設計、施工上，更具有其技術性，因此在目前產業上來說，並不普遍用於施工上。甚至在國內市場來說，僅擁有少數廠商有用設計、施工之能力，因此在預鑄工法之推動或使用上，目前尚處於初起步階段。	Prefabrication and Modular Construction 2020
運輸之可行性及運輸花費	由於預鑄構件並非在施工場域進行生產，因此勢必須以板車載運之方式運送，而當中需考量每項構件之重量、尺寸，以決定該採取何種大小之運送車輛，因此，在其運送成本上勢必較傳統工法增加不少。	1.Prefabrication and Modular Construction 2020 2.Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry, 2020
變更設計之困難	執行預鑄工法之專案，若遇上變更設計等狀況，在其構件變更上非常之困難，由於構件皆事先在廠房生產完畢，若要大幅度調整整體結構，可能會造成構件生產之浪費，使得建築成本提高。	1.Prefabrication and Modular Construction (2020) 2.Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry, 2020
預鑄人才短缺	由於目前廠商施作尚未普及，在預鑄技術設計及施工人才上相當缺乏，導致目前國內推動上的困難。	Prefabrication and Modular Construction (2020)

2.2 中央及學術單位相關研究文獻

2.2.1 內政部建築研究所相關研究

內政部建築研究所自 1994 年起即開始進行預鑄工法相關的研究，於 1997 年提出「預鑄混凝土工程設計規範」，並於 1999 年進行建築工程預鑄工法的推廣，並提出「預鑄建築工法技術推廣手冊」。此外，建研所並於 2005~2013 年期間並陸

續累積與拓展預鑄技術相關研究領域，並於 2020 年「建築產業跨域創新發展策略擬訂」提出建築數位模型(建 4.0)計畫架構，期望持續強化國內應用預鑄技術之能力。上述相關內容詳下表 5。

表 5 內政部建築研究所近年來執行的預鑄相關研究計畫案(資料來源:參 13)

項次	年度	計畫名稱	與本研究 相關
1	1994	乾拌/蒸汽混凝土帷幕牆及預鑄版之開發	—
2	1996	預鑄混凝土工程施工規範(草案)	●
3	1995	混凝土牆預鑄接頭組裝之應用	—
4	1995	混凝土預鑄構件之應用及開發	●
5	1996	高性能混凝土預鑄構件自動化產製技術	—
6	1996	集合住宅工程自動化結構體預鑄工法之應用	—
7	1997	預鑄混凝土工程設計規範(草案)	●
8	1999	預鑄建築工程實務	●
9	1999	建築預鑄工法之推廣應用	●
10	1999	預鑄建築工法技術推廣手冊	●
11	2005	輕質骨材混凝土牆板之開發應用與經濟效益評估- 輕質骨材混凝土預鑄牆板構件標準化之研發	—
12	2005	無線射頻辨識(RFID)於建築產業應用之研究	—
13	2006	高強度輕質預鑄牆板之產製技術開發	—
14	2007	大量客製化之開放式住宅系統原型研發	—
15	2009	超高強度鋼筋混凝土建築設計施工指針之研擬	—
16	2013	超高強度鋼筋混凝土建築結構設計施工審核要項 之研擬	—

17	2020	建築產業跨域創新發展策略擬定	—
18	2021	結合建築資訊建模(BIM)、辨識技術與人工智慧(AI)技術於建築物預鑄工法應用	●
19	2021	國內建築工程推廣應用預鑄技術及獎勵機制研究	●

2.2.2 國內學術論文相關研究

國內學術論文目前在預鑄推動之研究相當廣泛，其中以預鑄工法在應用上之優點為多數，其他部分則是以供需議題、構件優化及構件儲存為主。相關研究成果本研究彙整如表 6 所示。

表 6 學術論文相關研究彙整表(資料來源:參 13)

年份	作者	論文名稱	摘要
2021	陳松右	預鑄暨土建工法與機電介面施工管理案例之探討	以私人廠房之實際案例，就設計及施工兩個層面所產生的施工界面問題加以分析、歸納及探討，在設計階段介面管理及施工階段問題解決改善方式，並從工程案例中得到的經驗提出結論與建議改善方式。
2022	李侑學	統包模式下預鑄建築設計流程中導入預鑄 BIM 元件之研究	針對國內營建產業之預鑄設計流程及 BIM 應用情形進行專家訪談，彙整出國內建築工程在統包模式下之設計流程，建立通用性之預鑄 BIM 元件及元件應用流程，並以實際案例模擬本研究所提出之預鑄 BIM 元件應用流程。
2017	劉賓亮	預鑄混凝土廠生產自動化節能減碳之研究以潤弘楊梅預鑄廠為例	該研究嘗試導入建築資訊模型 BIM 概念，期望對預鑄混凝土廠自動化提出另一可行解決方法，研擬出一套專屬於預鑄系統使用最佳效益的預鑄混凝土材料，以供業界對於未來建築結構的生命週期維護及整建經費的比較排序，因此在往後的材料運用及選擇時將可以更客觀與合理的回饋給營運者。最後透過預鑄建築資訊系統之管理平台，將該研究所找出之自動化效能分析、節能減

年份	作者	論文名稱	摘要
			碳分析、試驗成果分析等資料透過平台的方式進行彙整，並以 BIM 的導入後所提升的 KPI 優化指標工項與數值進行探討，將其提升之內容與驗證之成果透過管理平台的方式進行展示與功能應用。
2017	王翊	運用限制理論改善預鑄工廠構件生產效能之研究	該研究以限制理論(Theory of Constraints, TOC)的管理思維，導入預鑄的生產系統中，試圖解決預鑄廠以營造工地的觀念進行錯誤的管理模式，並利用理論中所提出的衝突圖，找出預鑄生產系統中所遭遇諸多的問題，包含生產系統中鋼筋籠半成品過多、生產排程混亂、以及成品庫存量增加等。該研究歸納出生產的核心問題，進而利用限制理論中的限制趨導概念即鼓-緩衝-繩(Drum Buffer Rope, DBR)排程法，重新制定生產排程規則。最後將 DBR 生產規則導入已完工之預鑄生產案例進行排程模擬，以檢討原排程與 DBR 排程之間的差異。經過比較後利用 DBR 排程可較原排程可減少半成品庫存數量 58%、減少鋼模數量 42%、以及減少人力支出 16%，而整個預鑄生產系統的改善效益，可達到降低生產成本 9.4%。
2016	蘇章鈞	集合住宅磁磚外牆預鑄版工法之研究	該研究對於預鑄工法的預鑄外牆版濕式工法進行研討藉由文獻、前案瞭解問題癥結後，對照近年完工與興建中之個案檢討。從研究結果得知預鑄工法利用混凝土直接黏結磁磚以減少界面，且可降低磁磚剝落情形，分析結果雖無法有效縮短結構體構築期間，但大幅縮短外牆裝修工期。研究中探討現場吊裝啟始與樓版初硬化混凝土承载力之強度、版片接縫防導水之情況等，發現可藉由規劃，降低滲水機率情況，說明

年份	作者	論文名稱	摘要
			近年來興建技術足以消弭先前預鑄房屋所產生之問題。
2009	張兆	預鑄廠生產儲運最佳化模式之研究	該研究考慮預鑄生產及儲存運輸的模式，建構一預鑄構件生產儲運的最佳化模式，協助決策者在有限的資源限制下，進行最佳決策以使公司獲得最大收益；當相關限制條件改變時，該模式可隨時依最新條件調整參數，重新進行分析評估，以使公司獲得最大收益；該研究模式為一整數規劃問題，利用 LINGO 7.0 套裝軟體求解模式，為驗證模式適用性，該研究以國內某預鑄廠工程專案為範例測試，測試結果與人工經驗決策及指派方式比較成效良好，顯示該研究可靈活運用於預鑄專案生產與儲運規劃等問題，具有輔助決策者之實用性。
2005	卓進豐	預鑄工法應用在科技廠房之個案研究	該研究以工程實際建廠案例，從施工速度、成本、品質及勞安衛等各層面探討分析預鑄工法在目前高科技廠房的應用。研究結果顯示，預鑄工法透過模矩化、標準化及自動化的設計生產流程，減少現地施工項目，在工地組裝過程中，可同步進行其他工程，大幅縮短施工日程，比傳統工法在工期上約可節省33%，在成本上約可節省14%，其品質及勞安衛均較傳統工法為佳。該研究也顯示業主的工程經驗、發包方式、整體預鑄化的程度、營造施工廠商之素質、鋼構廠商之施工技术技術及精準度等皆會影響預鑄工法的效能。



2.3 預鑄系統工法採統包工程發展

國內在預鑄系統工法採統包工程發包方式推展之案例較少，直到近十年內才開始逐漸出現，惟依據葉文凱(1999)於預鑄工程實務研究指出由於預鑄工法在規劃設計階段即須導入版面分割之觀念，讓整個過程中建築師能夠事先整體考量，以使版片分割單純化。因此最適合預鑄工法系統且對業主最有利之發包方式為統包(TURN-KEY)。建築師於設計階段即向專業預鑄廠或顧問公司進行諮詢，就結構分析、法令規範、成本效益、施工性等進行評估。

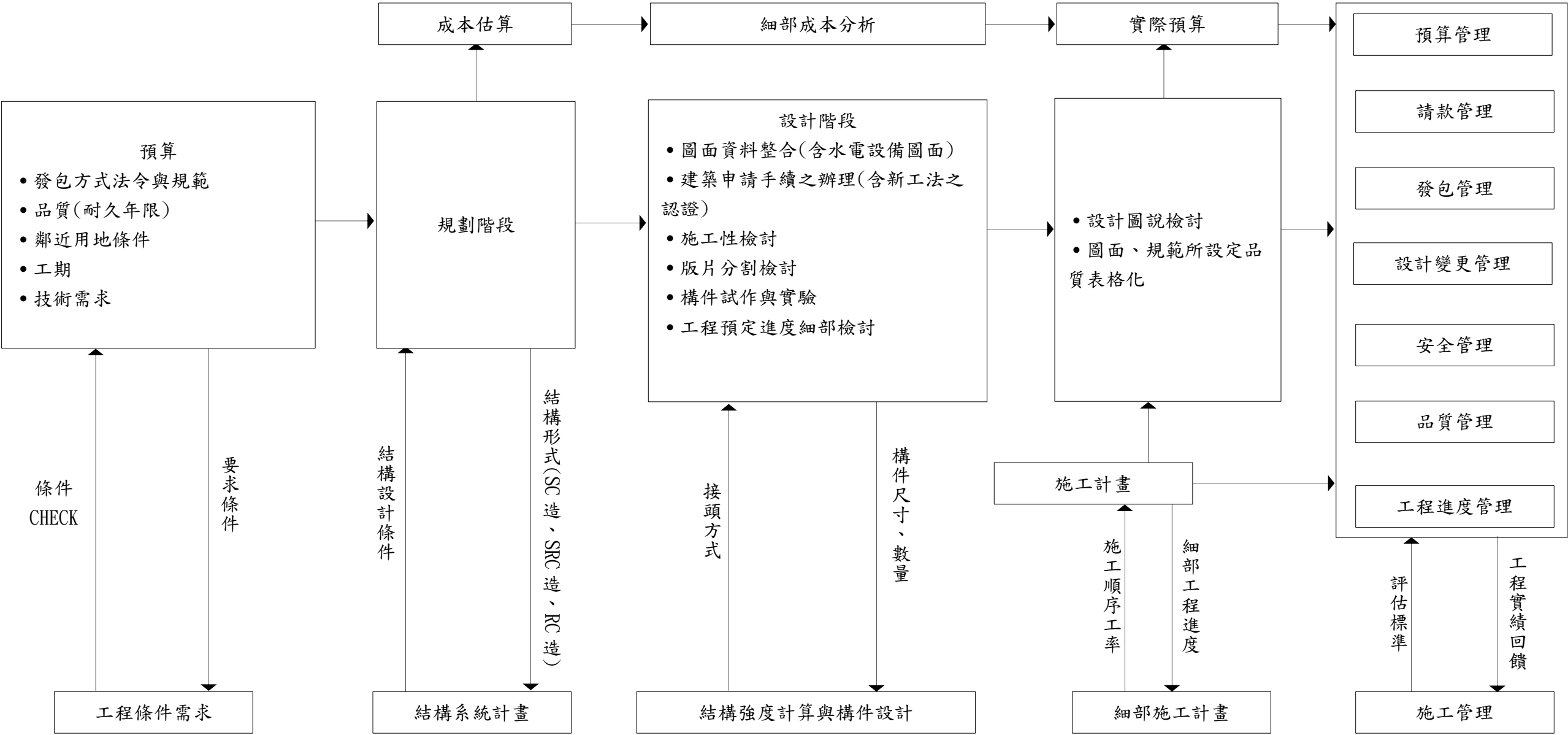


圖 4 預鑄工法採統包模式流程(資料來源:葉文凱(1999)，預鑄工程實務研究)

第三章 研究案件設計內容研析



3.1 研究案件背景

本研究案件為林口工業區某國營事業機構因應園區內既有生產線空間不敷使用，經全區檢討整合後，於本基地規劃興建地下 2 層、地上 6 層之工業廠房，與西北側鄰棟工廠形成一完整作業區。另為降低本工業廠房對環境的影響，提高資源效率，同時創造一個健康、舒適的室內環境，將整體考量建築的全生命周期中實現可持續性，包括建造過程、使用階段和拆除後的資源回收，儘量使用最少的原物料(或可回收再利用的材料)，創造最大的價值，達到綠色建築之目標。



圖 5 工業園區範圍及本案基地位置(資料來源:參 14)

3.2 基地環境分析

由於預鑄樓梯於設計階段除構件本身之設計外，仍須整體考量其整體施工性，之運輸及吊裝等各層面環節與基地周邊環境、氣候、風速等施工條件息息相關，故本節內容主要說明本研究案例基地區位與交通、土地使用、基地氣候等自然環境條件，以作為後續研究之基礎參考資料。

3.2.1 基地區位與交通

本案基地四面均無直接臨接道路，基地內部交通依靠一條東北至西南向之內部道路串聯主要設施與唯一聯外道：文明路 29 巷，文明路 29 巷位於基地南側，可分別連接至文明路與文化路一段。考量與基地內部道路之連接，本案大門將位於西北側。本案周邊設施分別為：西南側臨林口工業特區，北側為中山高速公路，南側臨接台電林訓會館與核能訓練中心；東側為長庚國小。

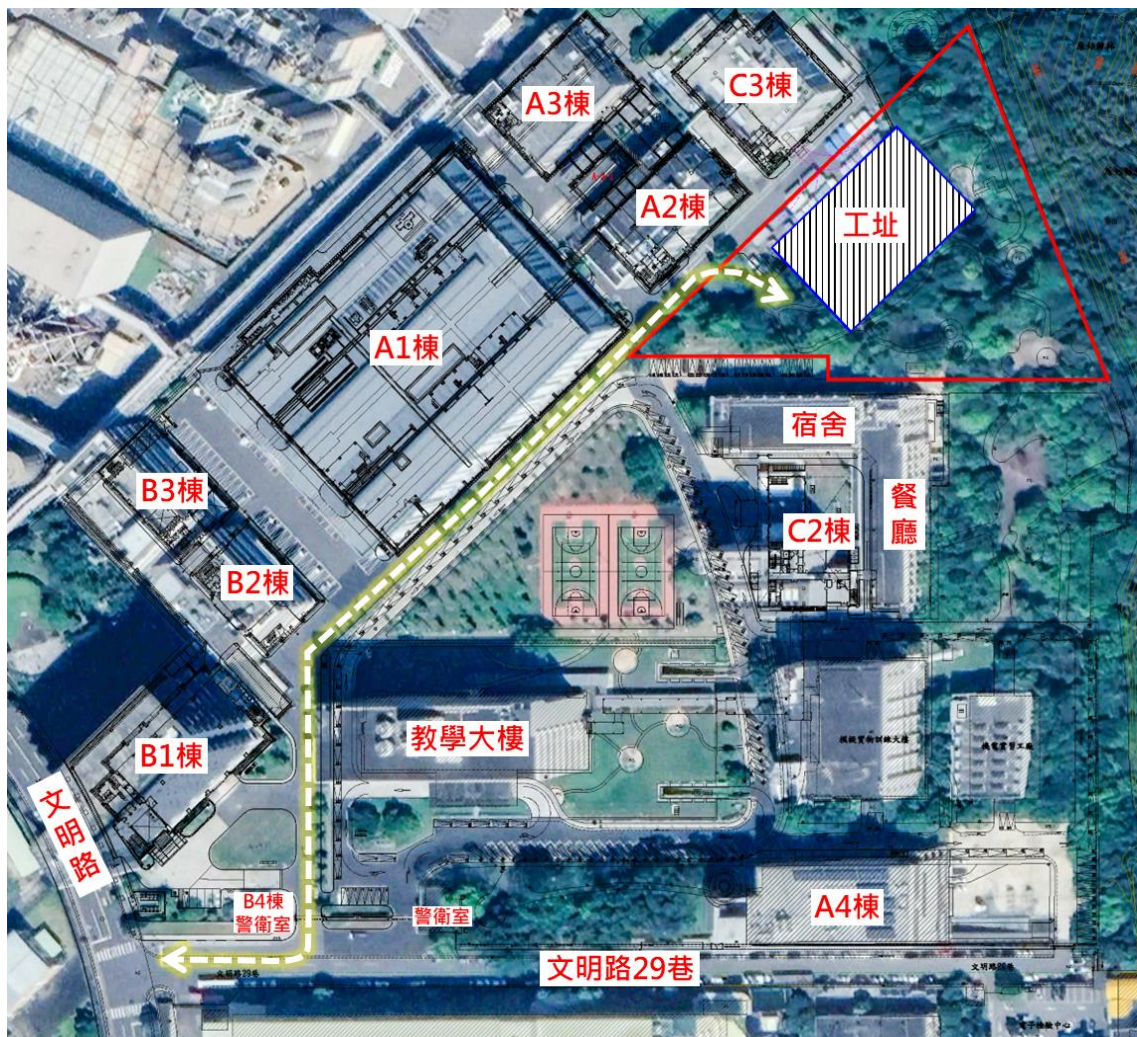


圖 6 園區配置及基地連通通路(資料來源:參 14)



3.2.2 都市計畫與土地使用分區

1. 都市計畫：變更林口特定區部分「工三」工業區計畫範圍內。
2. 基地面積：99,174 平方公尺。
3. 土地使用分區：乙種工業區。
4. 法定建蔽率：60%、法定容積率：140%。



圖 7 變更林口特定區部分「工三」工業區都市計畫圖(資料來源:參 14)

3.2.3 山坡地檢核

研究案例基地座落於桃園市龜山區樂善段等 2 筆土地，屬法定山坡地範圍，建築興建工程屬水土保持計畫法第 12 條規範之開發建築行為。



圖 8 山坡地範圍檢核(資料來源:參 14)



3.2.4 基地氣候

1.-降水量/氣溫/降水日數/相對溼度

本基地位於桃園市龜山區，屬副熱帶季風氣候區，冬季盛行東北季風，每年 11 月至翌年 3 月間受蒙古高壓南下，東北季風強大，常造成桃園空曠地區出現全台最低溫。夏季則盛行東南季風，主要為每年 5~9 月之間。氣溫及濕度方面，全年平均氣溫約 22.5℃，最高溫度集中在每年的七月至八月，約 29℃，最低溫則在一月至二月為 13.7~22.5℃。雨量方面，以夏季雨量較豐沛，冬季較少，而 7~8 月乃颱風季節，其瞬間降雨量經常出現豪大雨，造成低窪地區淹水災情。

表 7 桃園氣象資料表(資料來源:參 14)

桃園氣象資料表					
月份	氣溫(℃)	降雨量(mm)	降雨日數(天)	日照時數(hr)	雲量
1 月	15.5	196.2	17	80.6	8.0
2 月	16.2	209.6	16	71.3	8.3
3 月	18.2	170.1	16	89.6	8.3
4 月	18.4	170.1	14	92.6	8.4
5 月	24.5	292.3	16	113.7	8.0
6 月	28.2	367.4	16	121.7	7.9
7 月	28.9	202.3	9	179.0	6.7
8 月	27.9	314.1	13	188.9	6.6
9 月	25.4	417.9	14	153.7	6.7
10 月	22.3	325.4	17	124.0	7.2
11 月	21.0	224.1	18	99.4	7.6
12 月	15.9	248.1	19	90.7	7.7
平均	22.9	261.5	76.6	117.7	7.6
合計		3137.7	15.4	1405.2	

2.風環境

依桃園地區 2010 年至 2020 年風配圖顯示，全年以東風及東北風頻率較高，2 月為東北風高峰，6~8 月則是東南風頻率較高。全年風速約為 2.4m/s 至 3m/s 不

等。颱風方面，桃園地區受地形、地質及水文影響，颱風影響地面及地下水相當大。

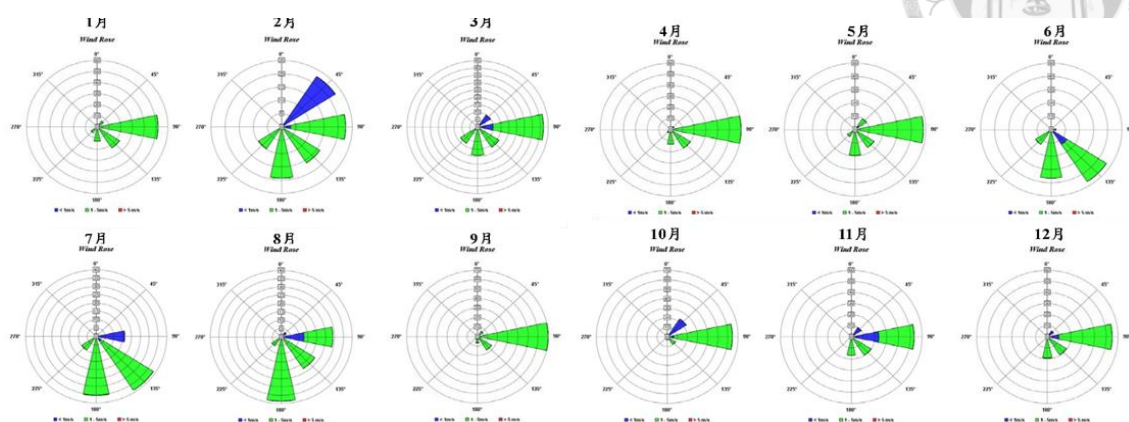


圖 9 2010~2022 年桃園地區逐月風配圖(資料來源:參 14)

3.3 基地地質環境調查

3.3.1 地層

基地位處於桃園市龜山區樂善段，屬林口台地區域，因其與台北盆地之邊界接壤，台地與盆地之間發生相對抬升作用，因此屬於斷層地壘，惟本基地 500 公尺範圍內並無活動斷層潛勢區；距離本案基地最近之活動斷層為山腳斷層(約 4.95KM)。



圖 10 基地鄰近斷層位置(資料來源:參 14)



3.3.2 淹水潛勢

根據國家災害防救科技中心災害潛勢分析，基地位於園區最高點，故並無直接位於淹水潛勢區(周鄰 500 公尺範圍有淹水潛勢)。

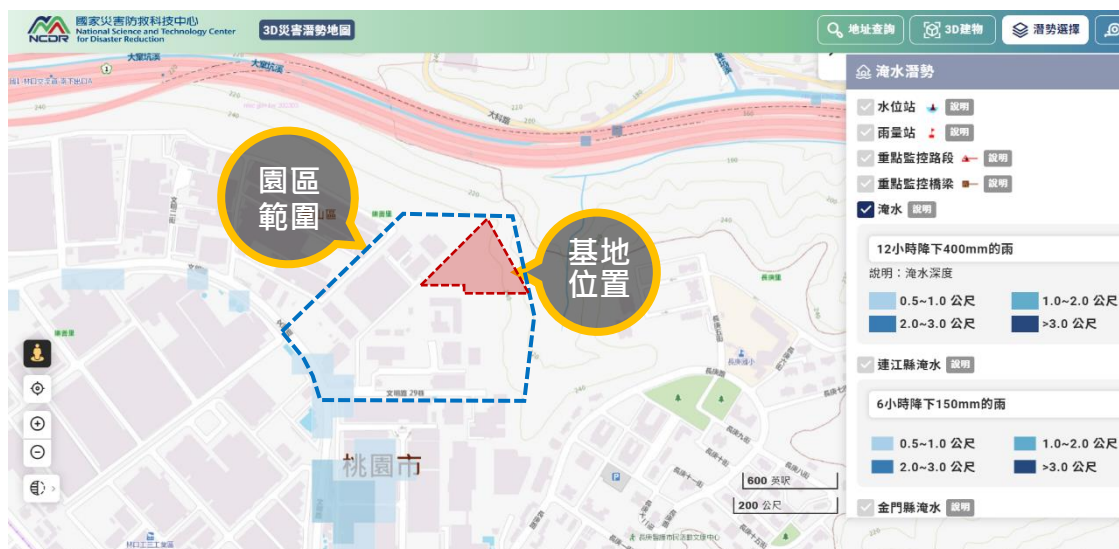


圖 11 基地淹水潛勢圖(國家災害防救科技中心) (資料來源:參 14)

3.3.3 土壤液化潛勢

根據國家災害防救科技中心災害潛勢分析，本案基地非屬土壤液化潛勢區域。距離最近處約 5 公里，詳下圖 12。



圖 12 基地土壤液化潛勢圖(國家災害防救科技中心) (資料來源:參 14)



3.3.4 地質構造

本研究案件預定開挖 GL-10M，地層概況屬於紅棕色粉土質黏土層(分布深度 11.9M~12.6M)，平均 N 值約為 15。地下水位為-15M~-17M，初步研判開挖過程應無隆起、上舉、砂湧之課題。在土壤液化方面，根據鑽探結果，基地地表面下 20 m 內之地層無發生液化之條件，故研判本基地應無液化損害之疑慮。

Depth m	Sample No.	S. P. T.				Core Rec. %	RQD %	F.I.	LOG	Description	Grain Size %				Classi- fication	r_f g/m ²	w_n %	G_z	w_L %	I_p %
		S1	S2	S3	N 值						Gravel	Sand	Silt	Clay						
2	S-1	2	2	4	6					表土層，卵礫石夾紅棕色粉土質黏土。 0.9 m 粉土質黏土層，棕紅色，高塑性，中等 堅實至極堅實稠度。--深度3.1m-5.2m偶 夾風化卵礫石。	0	6	34	60	CH	1.74	42.4	2.76	60.4	36.2
		4	5	9	14						0	2	35	63	CH	1.79	43.2	2.75	63.1	41.7
6	S-3 T-1	4	5	8	13						0	2	35	63	CH	1.88	35.7	2.78	64.3	43.4
											0	5	36	60	CH	1.84	37.6	2.77	58.3	29.7
8	S-4	5	7	8	15						0	5	42	53	CH	1.84	37.6	2.77	54.2	28.0
		7	10	12	22						0	6	43	51	CH	1.85	38.3	2.76	53.1	32.4
12	S-6	5	8	10	18						0	8	38	55	CH	1.83	40.7	2.77	55.3	33.8
14	S-7	50/4cm			>50					卵礫石層夾紅棕色粉土，屬極緊密程 度。 12.25 m 15.0 m										

圖 14 鑽探孔柱狀圖 1(資料來源:參 15)

Depth m	Sample No.	S. P. T.				Core Rec. %	RQD %	F.I.	LOG	Description	Grain Size %				Classi- fication	r_f g/m ²	w_n %	G_z	w_L %	I_p %
		S1	S2	S3	N 值						Gravel	Sand	Silt	Clay						
2	T-1 S-1	3	3	4	7					粉土質黏土層，棕紅色，高塑性，中 等堅實至極堅實稠度。- 深度10.3m~12.5m偶夾風化卵礫石。	0	3	46	51	CH	1.78	42.2	2.74	54.6	28.1
											0	7	31	62	CH	1.71	40.0	2.79	61.1	39.4
4	S-2 T-2	3	5	6	11						0	6	33	61	CH	1.74	37.5	2.79	60.6	36.5
											0	4	30	65	CH	1.82	40.5	2.79	66.6	37.0
6	S-3	4	6	7	13						0	6	35	59	CH	1.78	39.3	2.78	58.3	33.8
		4	6	9	15						0	4	39	57	CH	1.81	37.0	2.75	57.6	31.8
10	S-5	5	10	12	22						0	4	39	57	CH	1.89	32.4	2.76	57.9	31.8
		7	11	13	24						0	5	40	55	CH	1.91	31.7	2.80	51.3	30.6
14	S-7	50/6cm			>50					卵礫石層，極緊密程度。 12.5 m 15.0m										

圖 13 鑽探孔柱狀圖 2(資料來源:參 15)

3.3.5 順向坡調查

本案基地走勢平坦，且相對本區域而言地勢較高，因此基地及其周邊並未存在可能造成危害之順向坡，因此地質相對穩定且無土石流、山體滑坡等風險。



圖 15 基地順向坡(資料來源:參 14)

3.4 基地地形實測

現況地形圖及高程測繪以基地地籍外圍 25 公尺範圍為原則，包括高程控制測量、平面控制測量等兩部分。本研究基地位於園區地勢最高點，東側為下邊坡坡地，測量成果詳下圖 3-11。

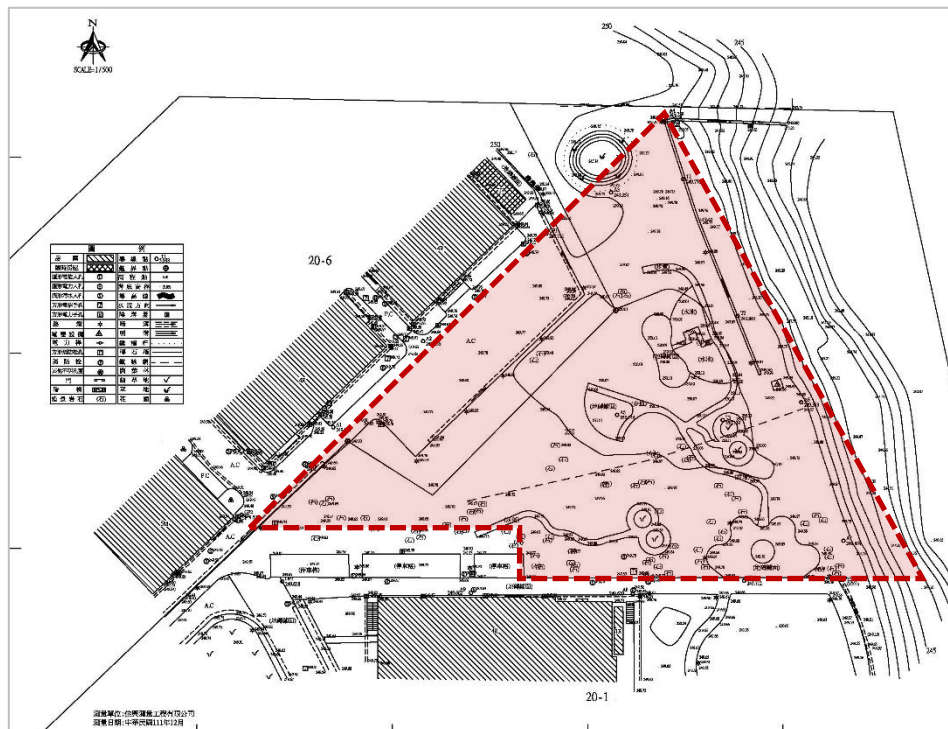


圖 16 基地測量調查圖(資料來源:參 16)



3.5 建築規劃方案

3.5.1 建築配置圖

1. 工務面

為園區主要人員、汽機車、貨車動線，沿街面推縮規劃綠帶，利用園區有價樹移植為行道樹，形塑舒適帶狀開放空間、人行道與空間品質。

2. 生活面

南側連接員工宿舍餐廳，盡量保留現有植栽以複層式綠化銜接宿舍、餐廳，東側連結核能訓練中心生態公園，規劃散步道及休閒座椅，提供優質森林休閒綠化空間。

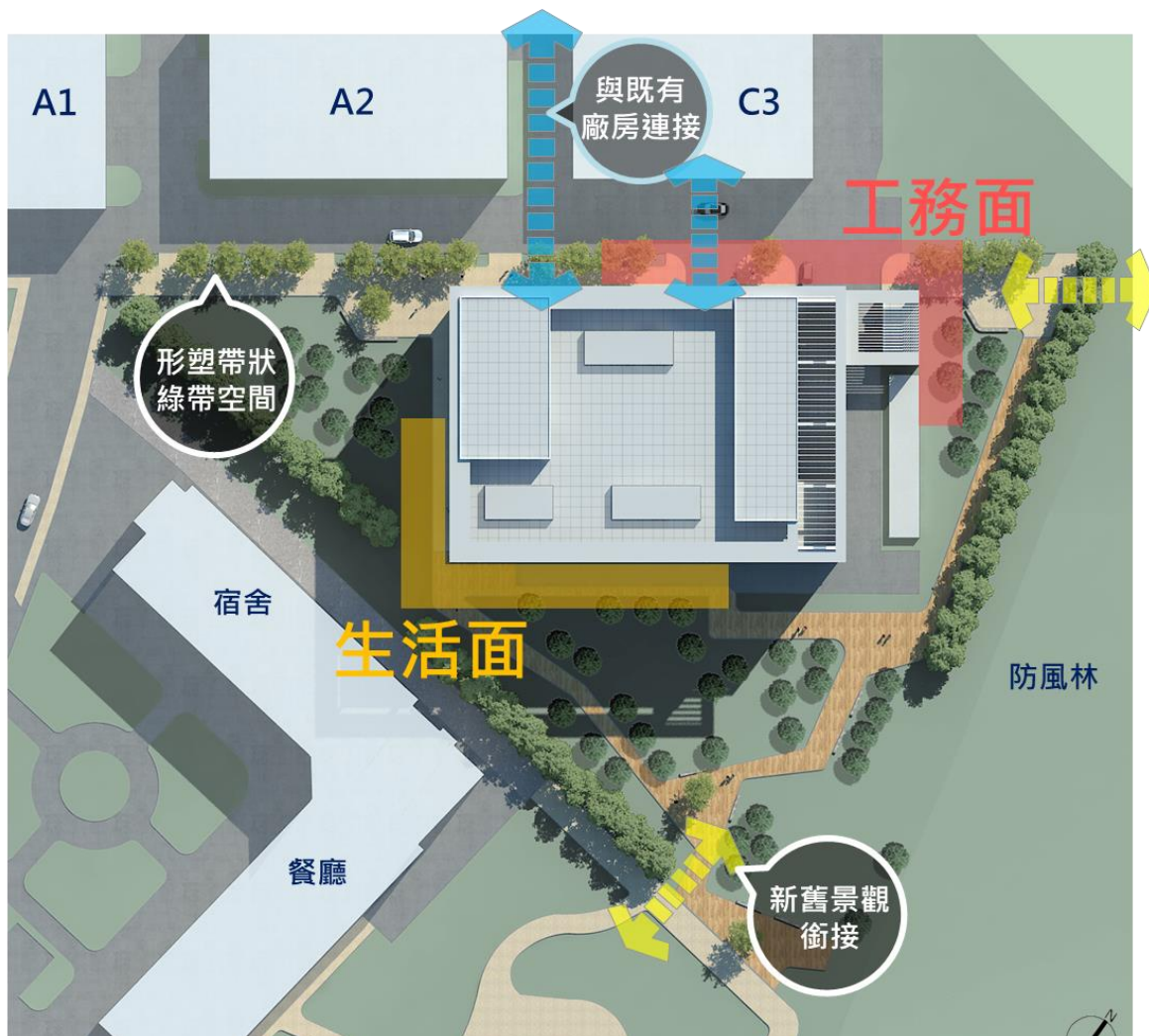


圖 17 基地測量調查圖(資料來源:參 14)

3.5.2 地下層平面圖

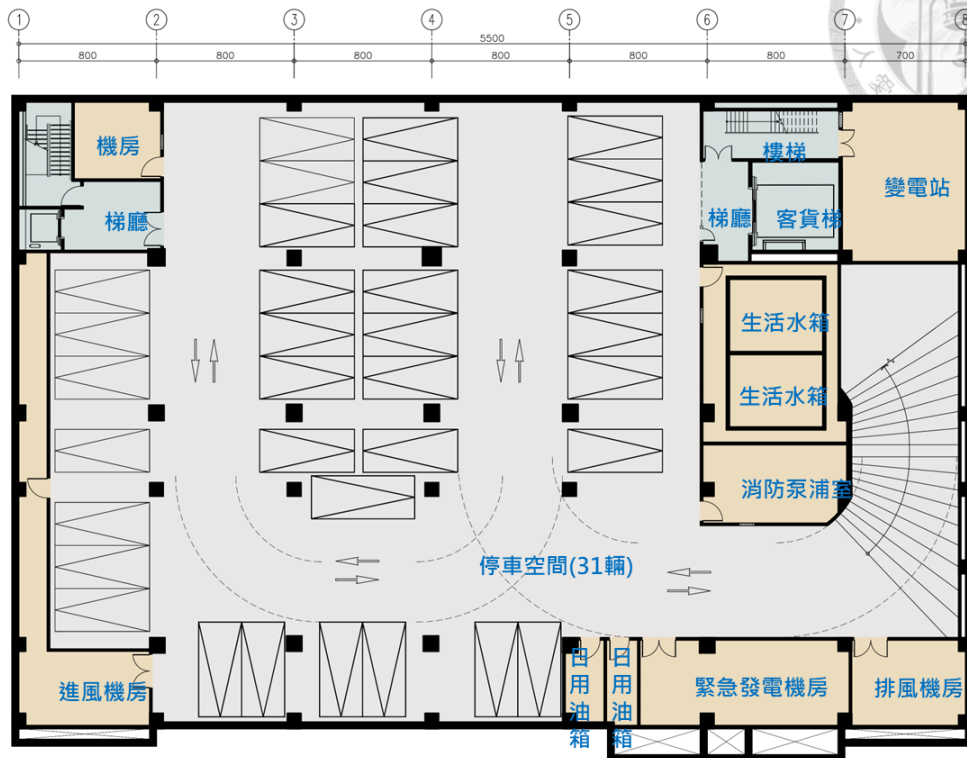


圖 18 地下二層平面圖(資料來源:參 14)

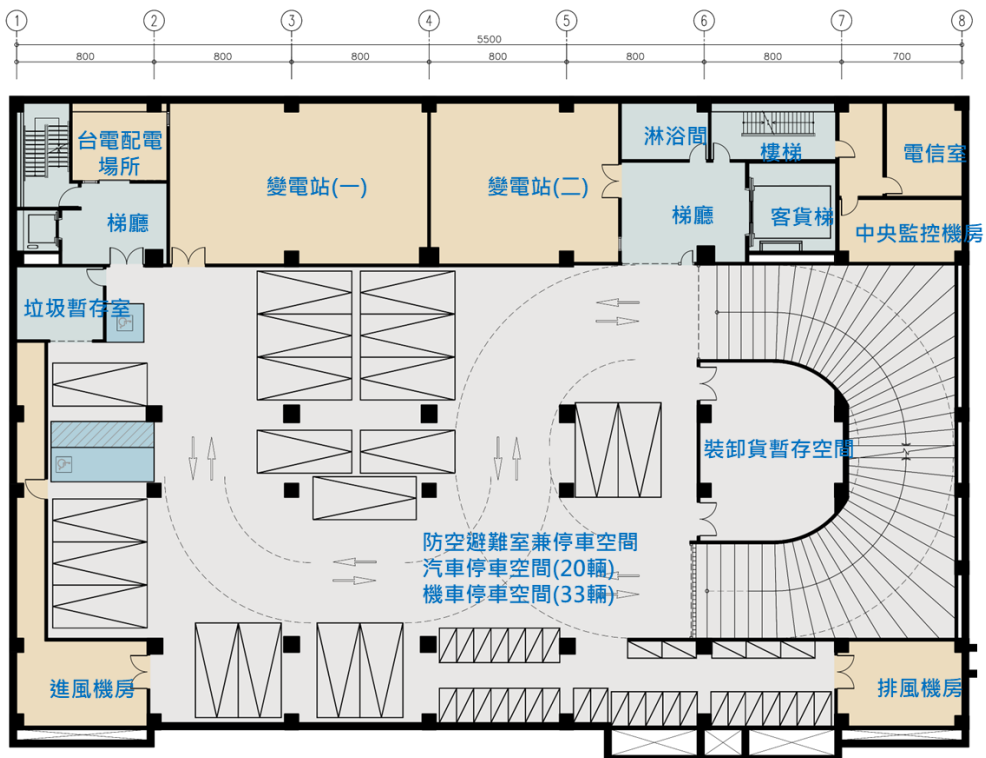


圖 19 地下一層平面圖(資料來源:參 14)

3.5.3 地面層平面圖一

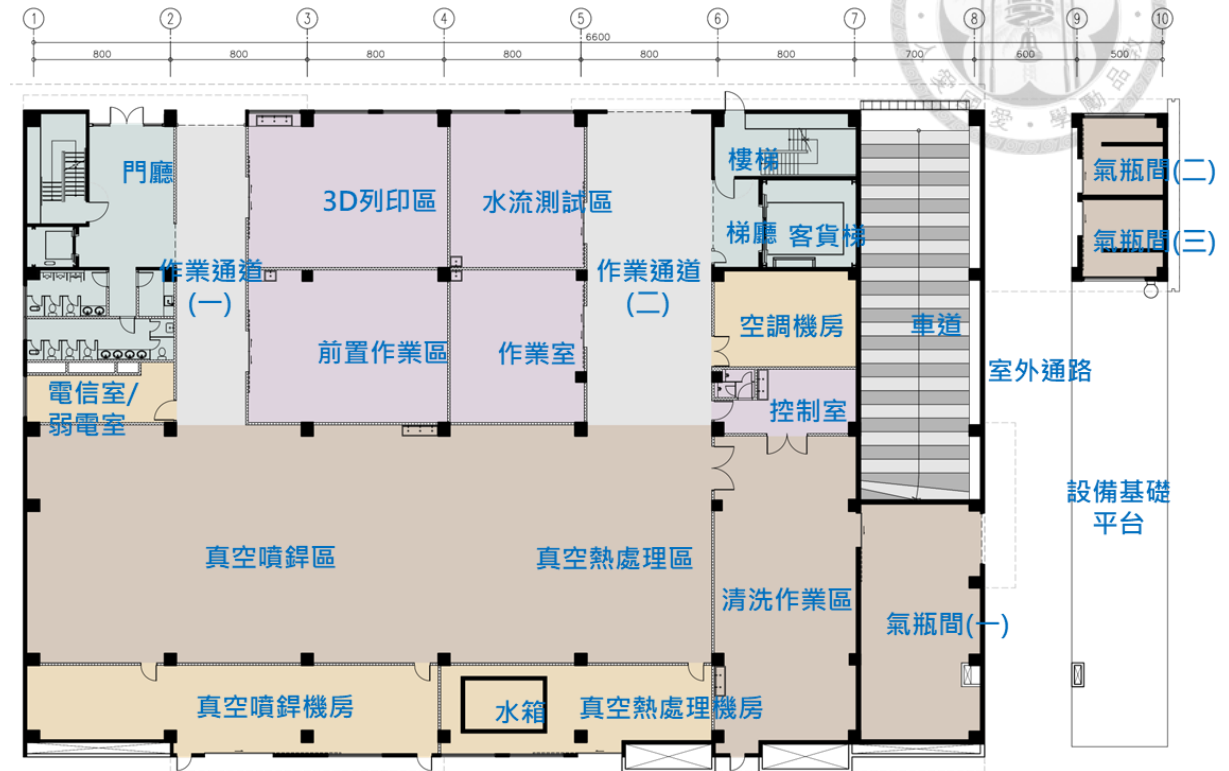


圖 20 一層平面圖(資料來源:參 14)

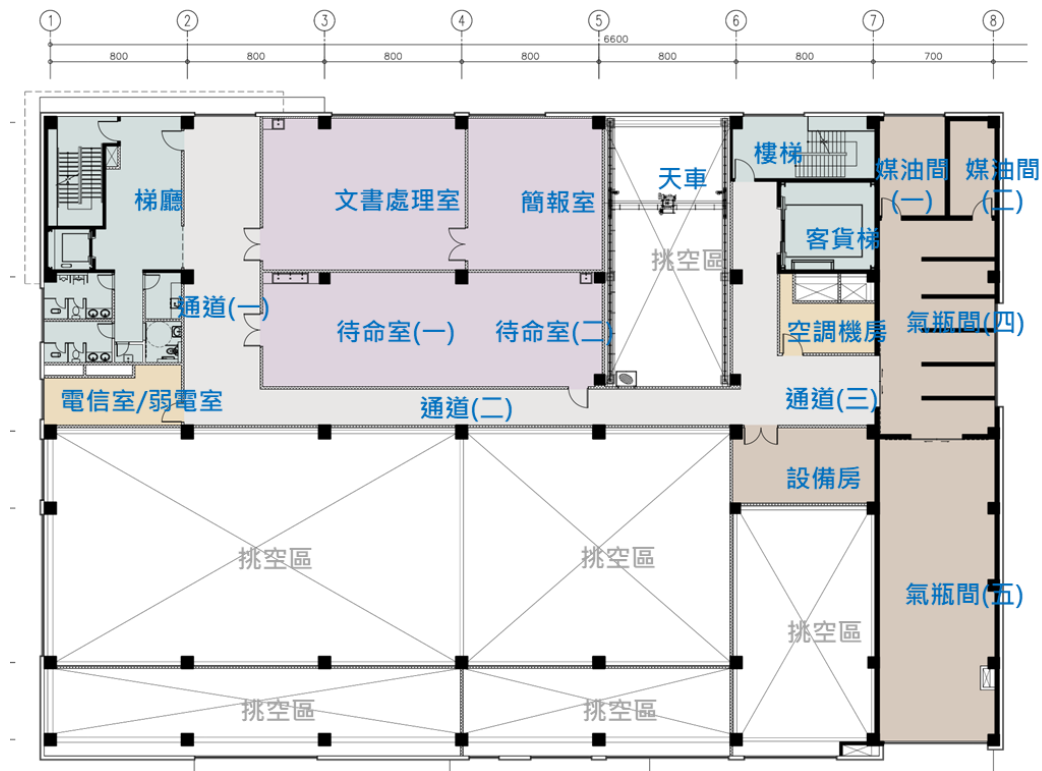


圖 21 二層平面圖(資料來源:參 14)

3.5.4 地上層平面圖二

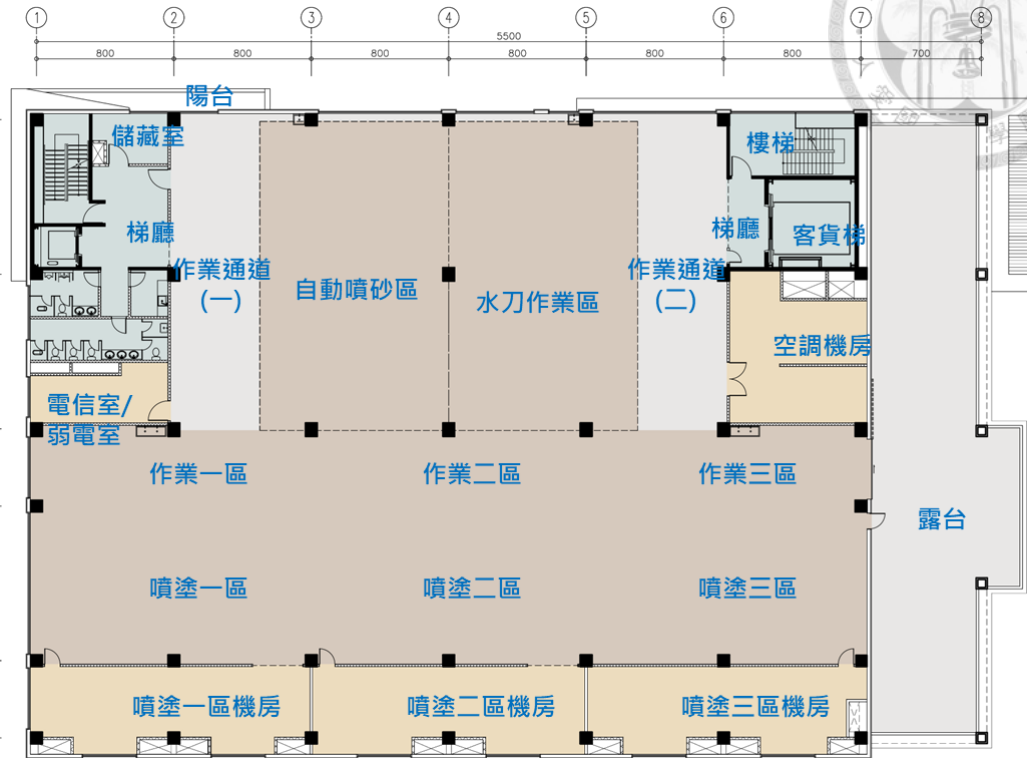


圖 22 地上三層平面圖(資料來源:參 14)

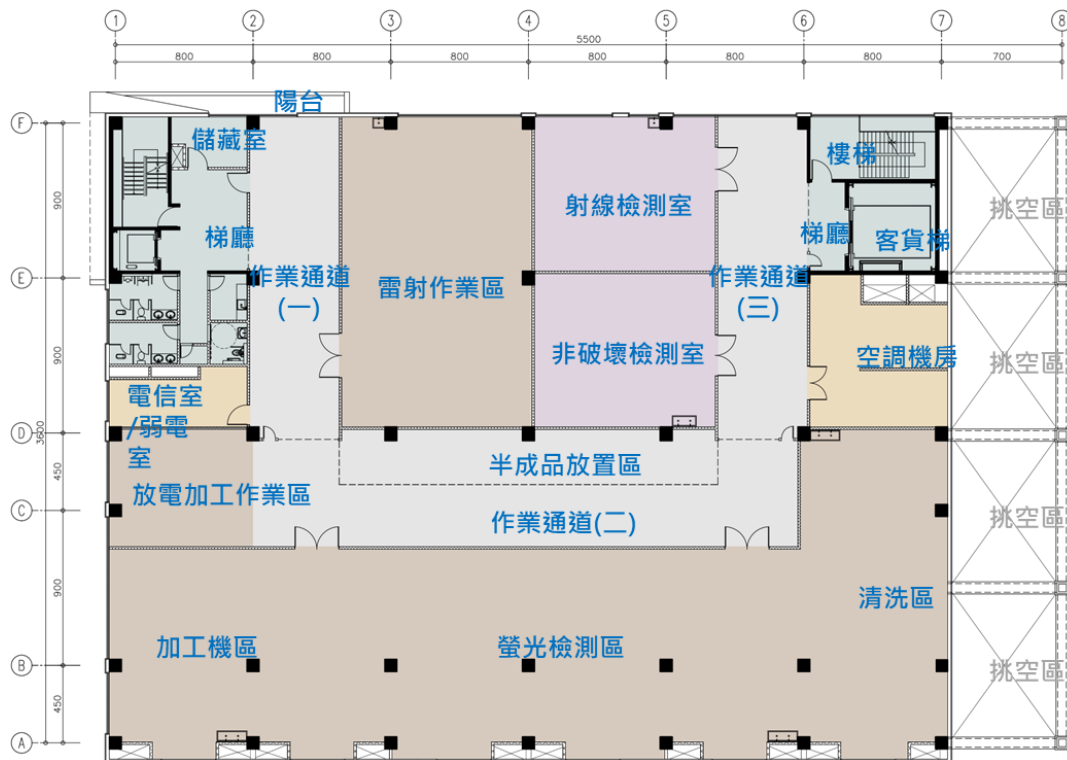


圖 23 地上四層平面圖(資料來源:參 14)

3.5.5 地上層平面圖三

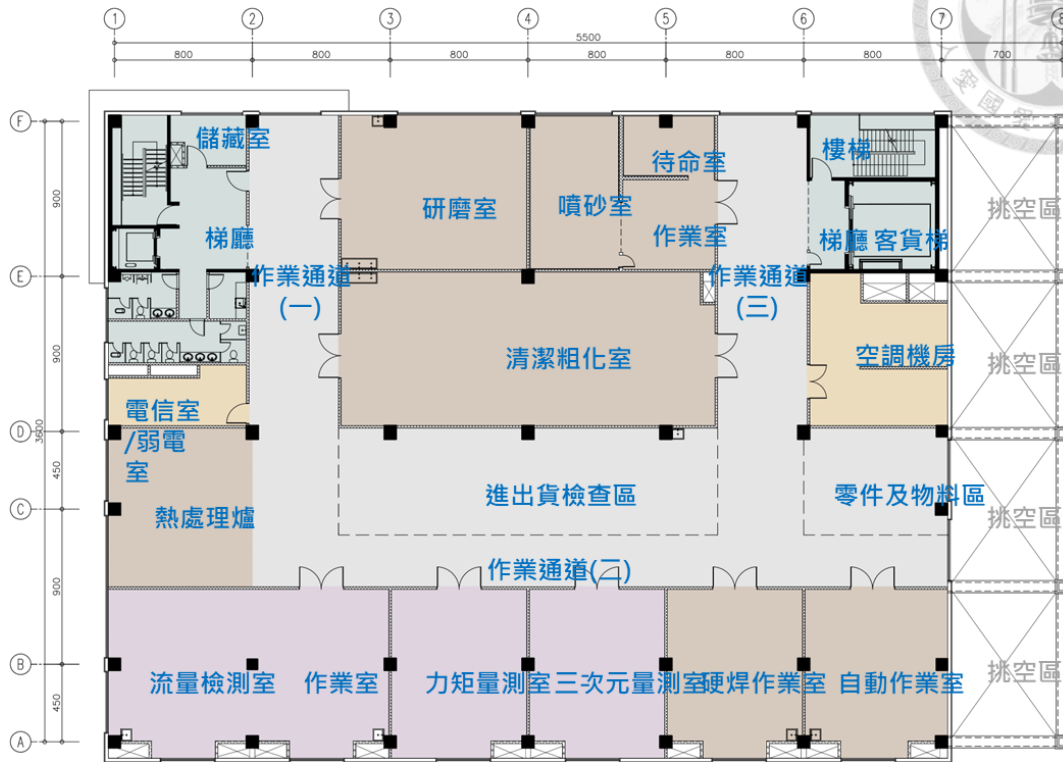


圖 26 五層平面圖(資料來源:參 14)

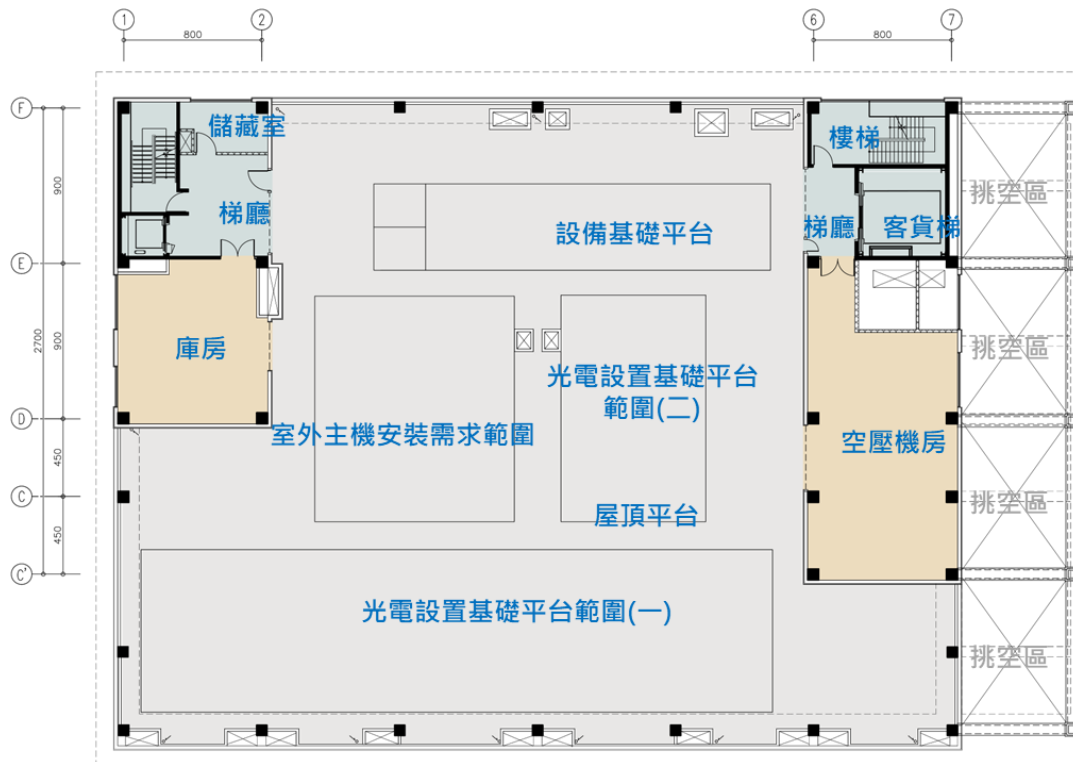


圖 26 六層平面圖(資料來源:參 14)

3.5.6 立面圖

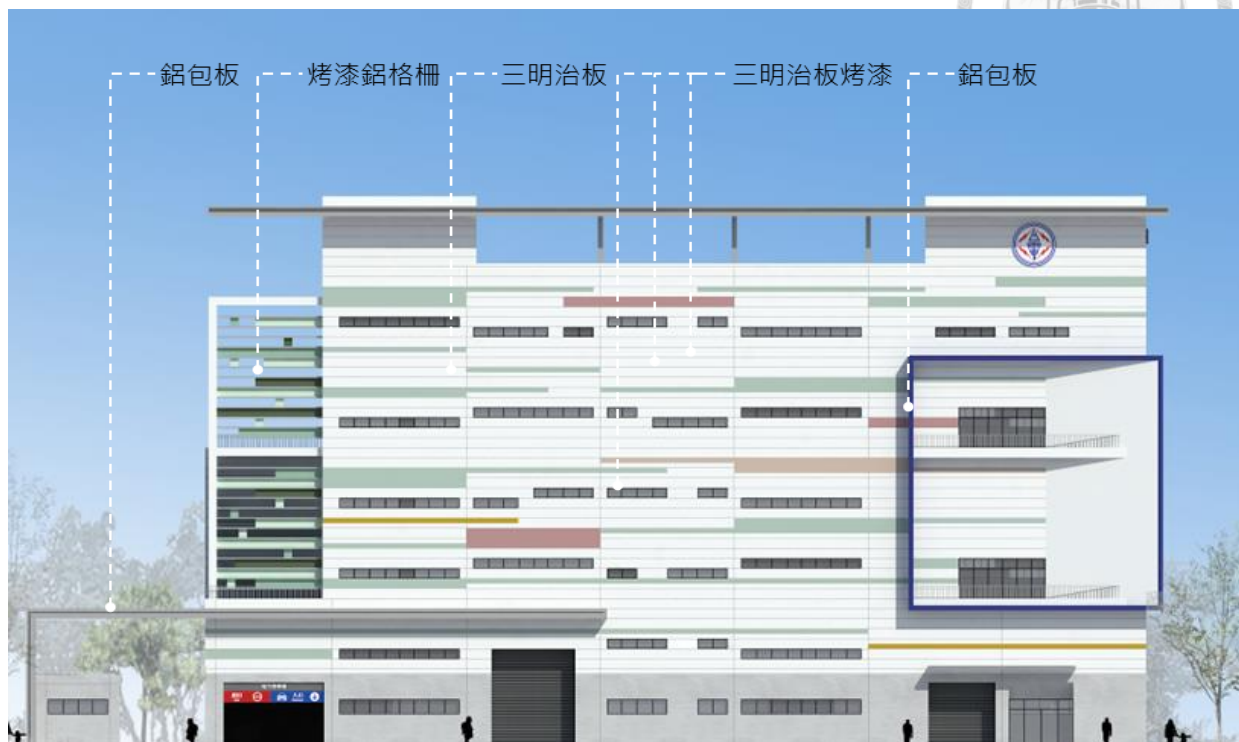


圖 28 立面圖 1(資料來源:參 14)



圖 27 立面圖 2(資料來源:參 14)

3.5.7 剖面圖

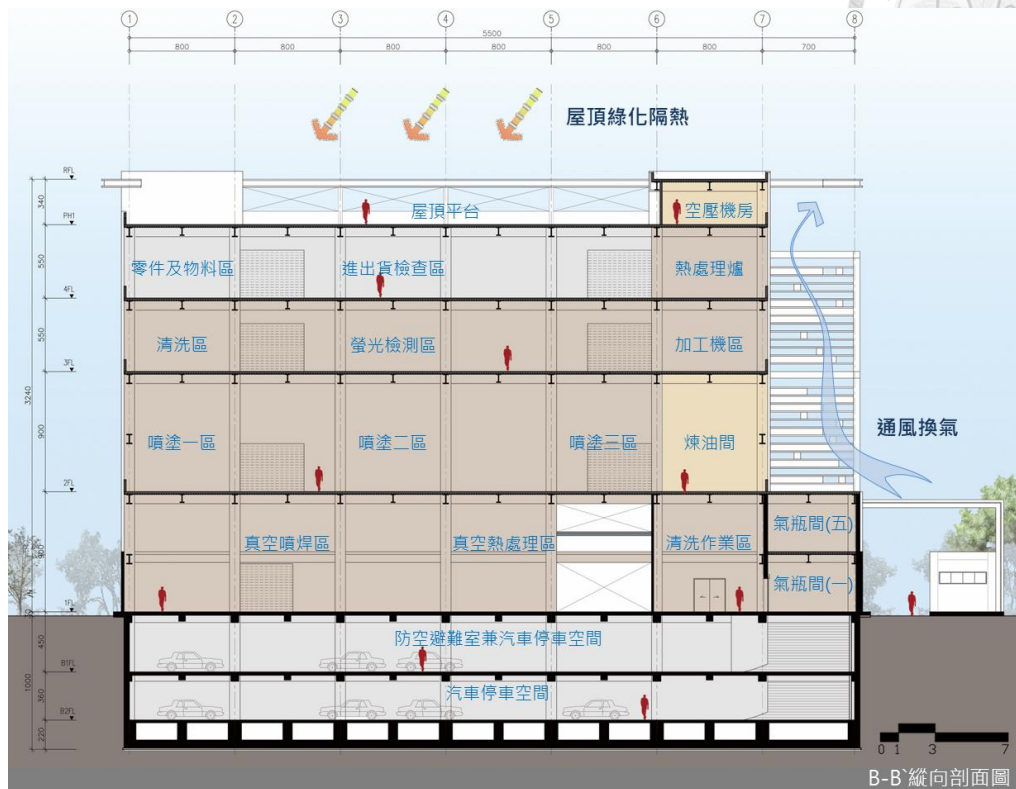


圖 32 剖面圖 1(資料來源:參 14)

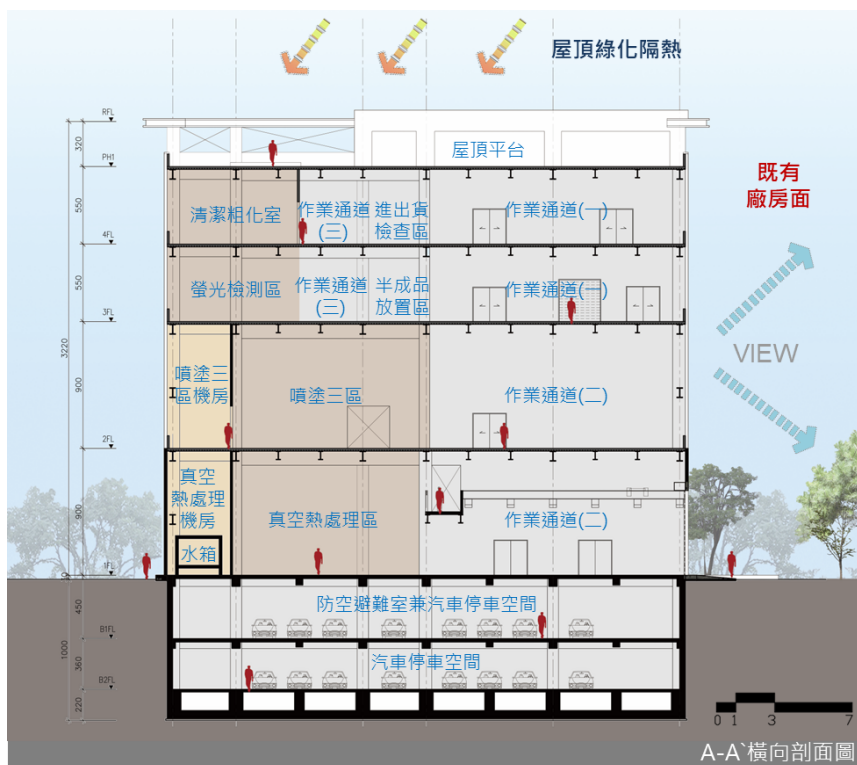


圖 31 剖面圖 2(資料來源:參 14)

3.5.8 模擬透視圖



圖 33 鳥瞰圖及人視點模擬透視圖(資料來源:參 14)

3.6 結構系統架構

結構系統採用二元系統:特殊抗彎矩系統(SMRF) +BRB 韌性束制斜撐作為主要之抗側力系統，結構形式則採鋼骨構造用(SS)，並地上層於四個邊配置單斜 BRB 韌性束制斜撐構造。

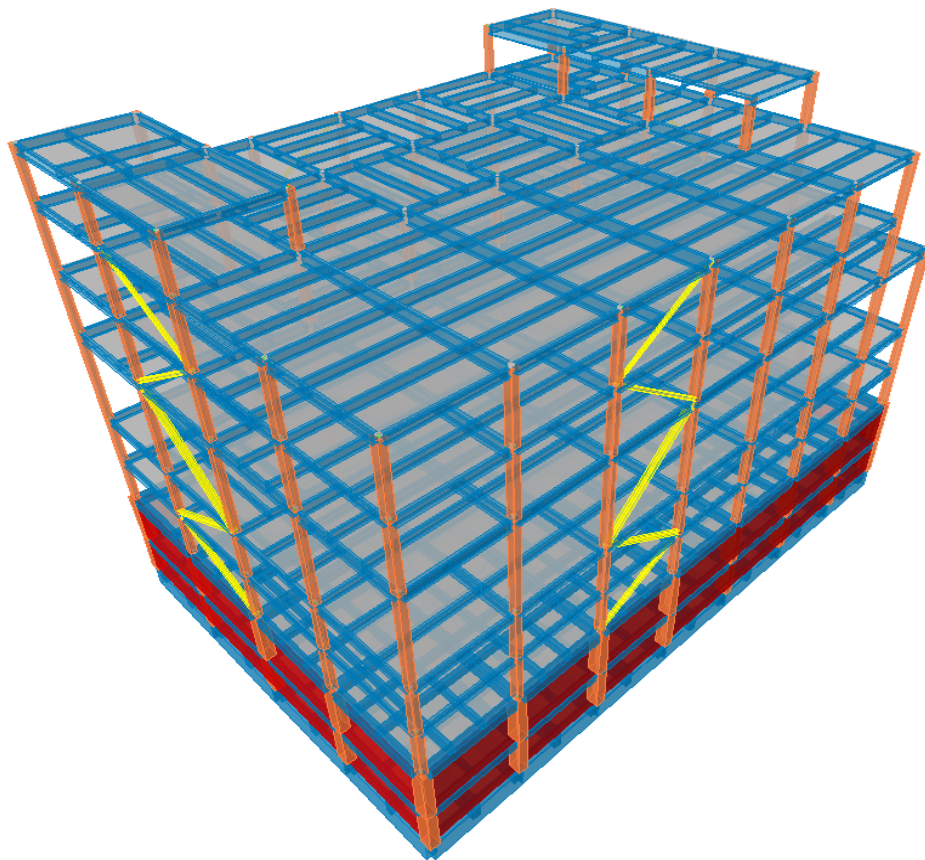
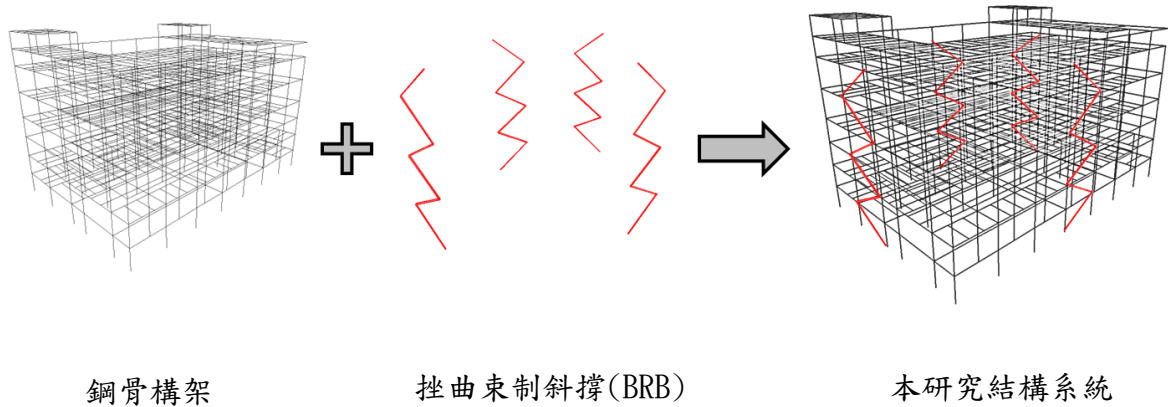


圖 34 ETABS 分析 3D 模型(資料來源:參 14)



3.7 預鑄樓梯規劃

本研究案例規劃樓梯採預鑄工法，將樓梯組成元件，梯段、平台板，預先在工廠內鑄造完成運至施工現場進行吊運及安裝，減少工時、人力需求、並且確保品質、減少現場廢棄物，提升職業安全、工程效率、品質。



圖 36 預鑄樓梯工法(資料來源:參 17)

第四章 預鑄樓梯設計內容探討



4.1 預鑄樓梯各階段設計流程

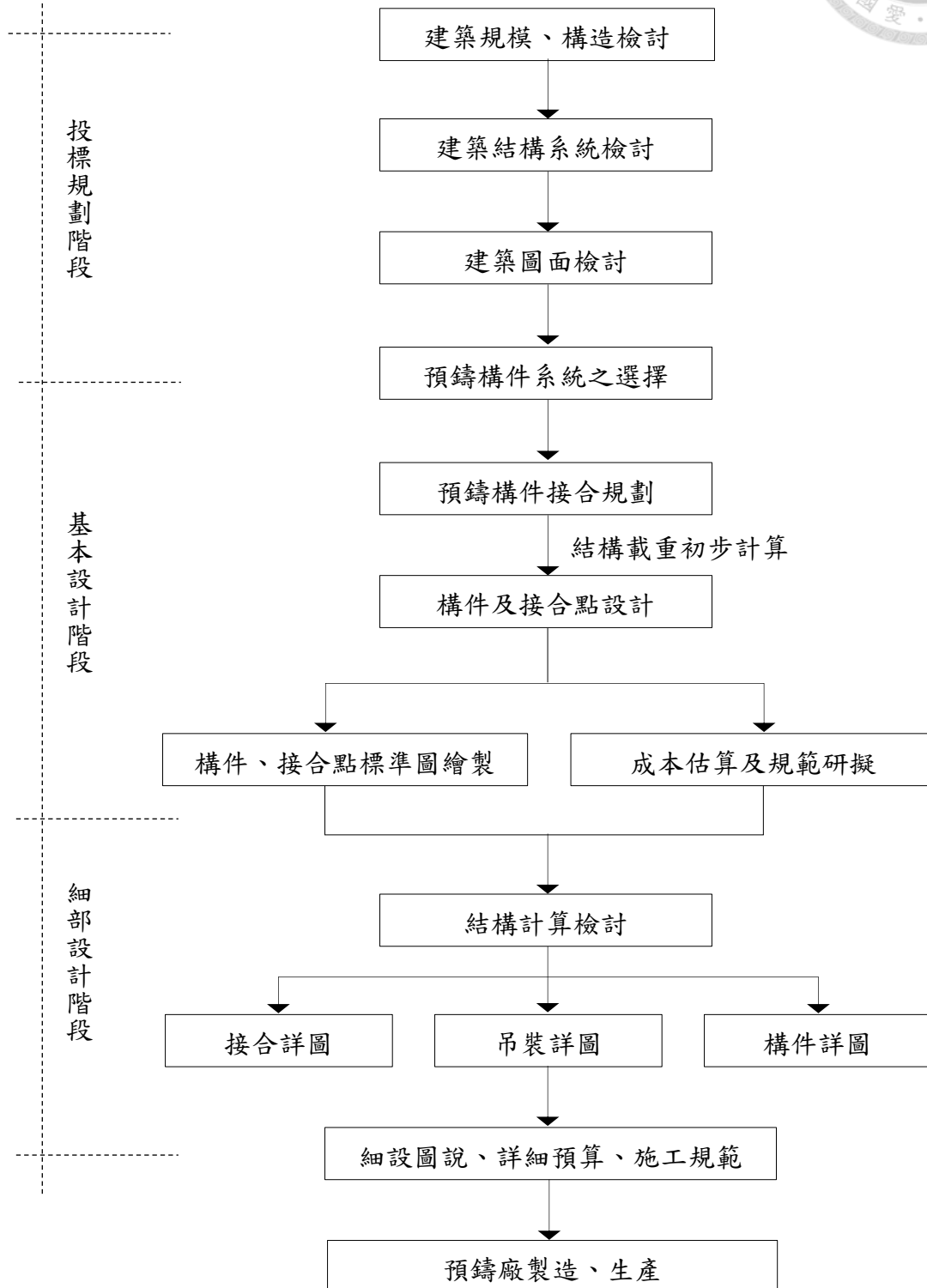


圖 39 預鑄樓梯設計流程



4.2 規劃階段

本章節內容以下就預鑄樓梯於規劃階段所需考慮之項目進行研討，包括建築規模、構造、結構系統、樓層高度分析及構件系統等。

4.2.1 建築規模、構造檢討

預鑄樓梯於規劃階段應優先考量案件建築規模、構造結構形式，以本研究案例來說，建築規模為地下二層、地上六層之建築物，地下二層為 RC 構造，地上六層為鋼骨構造，若以預鑄樓梯之規劃來說，不同構造系統與其接合部、結構性、施工性及施工順序等之設計等皆不相同。

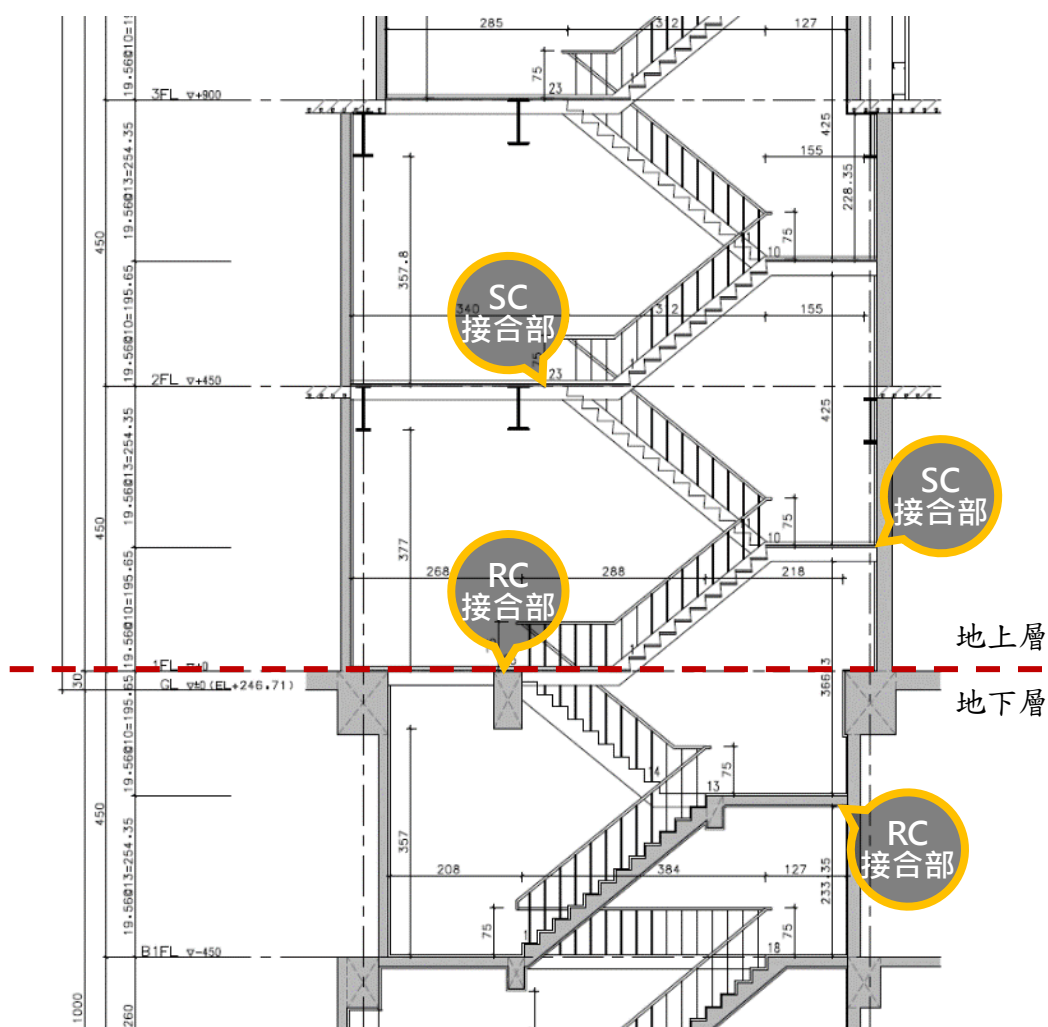


圖 41 不同構造系統銜接預鑄樓梯(資料來源:參 19)



4.2.2 模矩化、規格化之配合

即使建築形態稍有變化，並非簡單形體，但設計時如能透過模矩化、規格化尺寸安排形體，也能降低模具種類及數量，使後續進行基本設計及細部設計階段能夠更易於進行預鑄樓梯之單元分割設計。一般預鑄業者繪製施工圖時間常需花費數周或數月的時間，並投入相當之人力、物力，以求得最佳單元分割設計，因此於規劃階段即將此部分納入考量，將有助於降低後續設計時程及造價成本。

建築物之型態亦影響預鑄樓梯規劃甚鉅，型態包含平面與立面規則與否，建築平面規則，樓梯平面上行、下行對稱，平台規劃單純，則預鑄成本相對較低。反之，若樓梯平面上行、下行不對稱或階數差異過大，則預鑄成本較高，且同時影響開模之數量。因此在規劃階段應由設計單位與專業預鑄場或專業設計顧問初步溝通協調，若無必要之造型需求，樓梯平面對稱規劃對於預鑄樓梯之採用較有優勢。

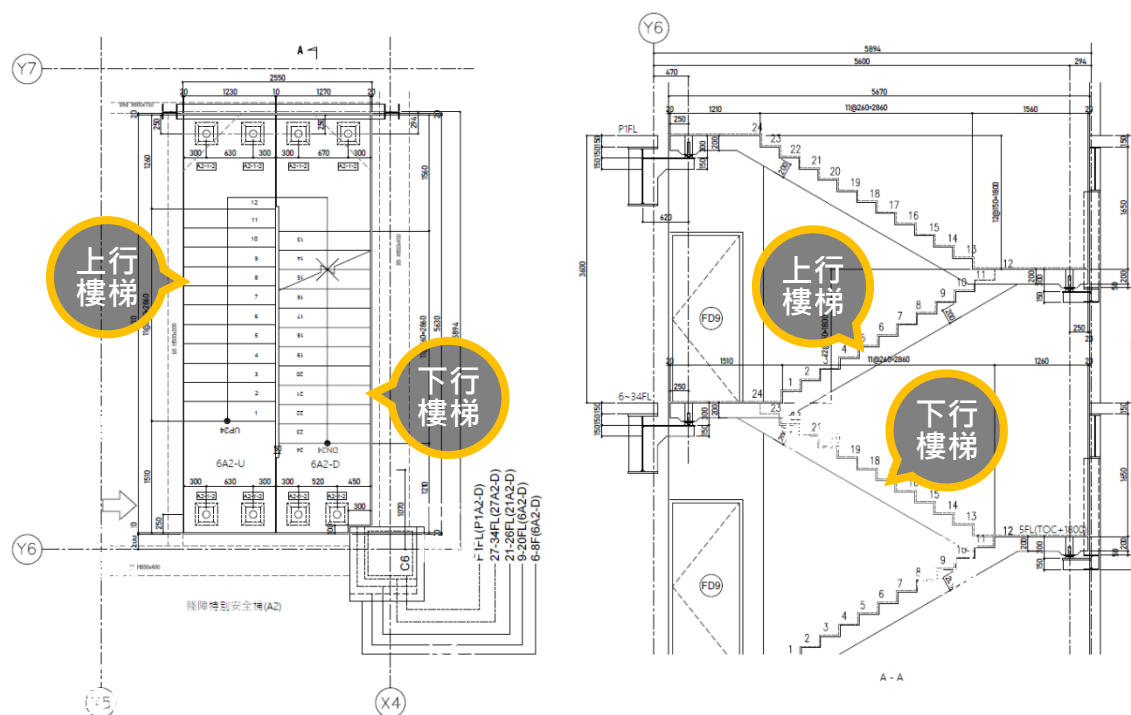


圖 43 上行、下行對稱之預鑄樓梯(資料來源:參 19)



4.2.3 樓層高度分析與檢討

對於預鑄樓梯規劃設計而言，建築樓層高度及重複高度之樓層數量是影響預算最高之因子。由於預鑄樓梯精準度極高，若因不同樓高設計導致每階樓梯級高、級深所產生之些微差異，即必須重新製作一組鋼模模具。如此在重複製作、利用性低的情況下，將導致成本越高，越不符合預鑄樓梯應創造之經濟效益。

因此若須規劃預鑄樓梯，則應儘量將各樓層高度統一，提升每組鋼模模具製作預鑄樓梯的數量為宜。以本研究案例表 4-1 為例，目前全棟廠房依據用途需求規劃自地下室至屋頂層共有三種樓高，包括地下二層 3.5M、地下一層至四層 4.5M 以及地上五層至六層 5.5M，若全數採用預鑄樓梯，以每座鋼模開模費用約 60 萬計算，地下二層鋼模費用平均每座 15 萬，地下一層至地上四層鋼模費用平均每座 1.6 萬，地上五層至六層則為 7.5 萬。綜上分析，若單獨以經濟效益進行分析，則本研究之預鑄樓梯應規劃地下一層至地上四層採用，其餘樓層可採用場鑄或是鋼構樓梯搭配為宜。

表 8 研究預鑄樓梯鋼模開模規劃

預鑄樓梯編號	上下行	樓層	數量(座)	級高@階數	級深	鋼模組數 (一組兩套) (上下行各一套)	鋼模成本
樓梯 A (無障礙安全梯)	上行 (1.75M)	B2FL~B1FL (3.5m)	1	17.5cm@10	26cm	1 組	15 萬/座
	下行 (1.75M)		1		26cm		
	上行 (2.25M)	B1FL~4FL (4.5m)	9	18.75@12	26cm	1 組	1.6 萬/座
	下行 (2.25M)		9		26cm		
	上行 (2.75M)	5FL~6FL (5.5m)	2	18.33@15	26cm	1 組	7.5 萬/座
	下行 (2.75M)		2		26cm		
總計			48				

註：生產工期不含鋼模開模及備料期程



4.2.4 建築結構系統檢討

在一般鋼筋混凝土建築物內，非結構構材可分為構成建築物的構材與附掛在建築物上的構材等兩類。非結構構材因其材料的性能，以及非結構構材與主結構接合之狀態，並無法發揮類似主結構體之結構強度，故預鑄樓梯設計強度無須納入考慮。

於規劃階段應非結構構材在建築物內所處之位置，對建築物之垂直面或水平面的剛性貢獻較低，因此，非結構構材與建築物之接合位置的相對變位比結構性構材大，鄰近接合位置之裝修材，常因相對變位較大而發生局部破損，故應規劃適當之分割縫。另外，如陽台版、扶手牆、室外樓梯、煙囪等突出並固定於建築物之非結構構材，因其與主結構間並無相對變位產生，設計安全性的檢討與主結構同。

據此，由以說明可得知以下結構設計原則：預鑄工法結構系統的分析與傳統工法結構系統的分析方式，以上二者完全相同。故預鑄結構設計若為主要結構應符合諧合變位、應力平衡、強柱弱梁、彎矩強度、剪力強度等結構基本設計原則，其餘非主要結構(預鑄樓梯)則以非結構材進行檢討，以下針對結構體與預鑄樓梯之性能要求分述如後：

1. 自重、活載重及地震力等各載重

結構體之結構安全性能應要求標準依設計圖說所示。為確保結構安全性能，採用符合品質規定之混凝土與鋼筋製造出結構上無缺陷之預鑄樓梯，並依要求之精度組立各預鑄構件，再使用符合品質規定之混凝土與鋼筋進行接合，使其具有需要之強度與變形能力。

2. 施工載重作用下的結構安全性

為確保施工過程各階段之結構安全性能，宜考慮預鑄樓梯之結構性能及施工順序以建立完整之施工計畫，並依施工計畫進行施作。



3. 設計載重計算

若屬於預鑄樓梯一般載重及載重之組合，依相關規範之規定計算。另屬於脫模、搬運及翻轉時所引起之其他載重，於設計時須適當加以考慮。

4. 預鑄樓梯構件

若依照結構系統檢核，一般預鑄樓梯應屬於非結構體之構件，除應考量自身之結構強度與功能需求外，其與結構構材之間的接合設計，應就變位型態、固定方式及接合方法等詳加考慮。

5. 預鑄樓梯與結構體間距

由於材料剛性與變位之不同，因此預鑄樓梯與周邊梁、柱、牆等距離應至少保持鋼樓梯淨距至少 3 公分，預鑄樓梯淨距至少 5 公分為宜。

4.3 初步設計階段

預鑄樓梯於初步設計階段的注意事項及重點約有五項，主要延續規劃階段後的設計發展，應考量之重要因子分述如後：

1. 結構的安全性及施工性。
2. 機能要求的滿足，包括樓板面積、建築法規、設備、造型等。
3. 材料選用的耐久性。
4. 以成本滿足 1~3 條件為前提，設計出較經濟、低耗能的建築。
5. 結構體與非結構體、設備之界面的協調。

4.3.1 設計流程

一般而言，預鑄樓梯在初步設計階段進行，主要著重在於構件尺寸的確認及標準化(模矩化)，預鑄構件尺寸的標準化可使生產製造施工作業單純化，效率化，且有量產效果。以預鑄樓梯來說，一套鋼模規畫應盡量將翻用次數有限度最多化，以達到規劃預鑄樓梯之經濟規模。以下初步設計流程步驟約分為四階段，分述以下各章節。



4.3.2 構件及接合部設計

依據建築初步設計圖面評估整體評估預鑄樓梯之可行性及經濟性，若採行時之模矩設計、構件生產、製造、運輸、吊裝等條件，再檢核構件尺寸、種類、基地動線及施工腹地條件等，以確認構件之設計。

一般而言預鑄樓梯屬於非結構物，因此較無須考量結構連續性，應考慮地震、層間變位等，作為接合部之計算檢討。呈上所述，以預鑄樓梯結構設計而言，接合部之設計主要與結構梁銜接(托梁)，在空間及材料介面方面則與柱、牆、樓板相連，因此接合部於初步設計階段需考量之原則如後。

1. 設計應確認該建築物對垂直載重，具強度及剛性，對地震淺重聚強度及韌性等。
2. 各種應力以基本設計及極限強度所得之結構應力當作設計應力，據此決定預鑄構件接合部之形狀及補強材之接合法，首先要分析出接合部之應力傳遞機構，確立設計思維。
3. 細部設計之基本重點須選擇能充分發揮構件性能之設計，接合方式若能依數據或實驗評估力學的狀況，則可依接合部特性設計具結構形式的構架。
4. 結構構件之接合部對其剛性及強度等須充分考慮實驗結果，在設計時對於預期之應力應作安全之考慮。
5. 接合部施工會影響接合部之性能，但接合部之性能又是影響結構整體之關鍵，故設計接合部時，應非常充分考慮工法之施工性。

4.3.3 初步結構計算檢核

依據建築物功能需求、設計載重等，可設計出基本構件之配筋、尺寸，再考慮其餘內部裝修等荷重。進行初步結構計算時得併同針對配筋量及其施工性。若鋼筋間距過密則施工較不易，亦可能導致混凝土握裹不足甚至是蜂窩現象，如此情形應適時調整斷面尺寸，並重複進行結構檢核，直到符合強度設計及施工性為原則。



4.3.4 接頭及構件設計標準圖繪製

依據上述兩步驟反覆檢核至滿足施工性後，開始繪製接頭及構件設計標準圖。

(1)構件：考慮相關之設備套管、安裝鐵件、飾材選用等。因此階段為初步設計，僅陳述相同類型之構件即可。

(2)接頭：接頭分為結構接頭、非結構接頭、防水接頭，標準圖須將構件上、下、左、右彼此接合之方式表示出，以利將來組立使用，製圖時須考慮製作及施工之可行性。

4.3.5 圖說、規範之完成及成本計算

依據設計圖說及規範，即可算出單元數量和預鑄成本，進而算出整體預算，完成的圖說、規範、成本分析為將來施工之預鑄廠及營造廠之依據。專業廠商依據設計圖說及規範作細部設計圖，並提出相關結構計畫書，並經設計單位及機關確認後始得施作。

4.3.6 與傳統工法於設計階段之比較

預鑄工法與傳統工法比較來說，初步設計應確定的內容不只較多，而且須進行相較詳細的檢討。分述如下：

1. 確認安全性、模具、生產、搬運、安裝上有無問題。
2. 對照建築技術規則及相關預鑄設計規範有無衝突之處。
3. 接頭相互的位置在結構上配置須適當。
4. 構件的接頭與設備套管開口的位置不可在一起。
5. 初步設計是與機關、設計單位、水電設計單位以及預鑄廠及專業設計顧問等不斷進行協調討論後，確認結構上無問題而定案，並繪製設計標準圖。



4.4 細部設計階段

4.4.1 預鑄樓梯分割設計

預鑄樓梯版片分割主要以樓梯上行及下行作為切分點，每一套鋼模包含此兩部分之製造及生產。分割原則主要將當層樓之樓板與半層樓之樓板各以托梁接合組成完整的一層樓梯。

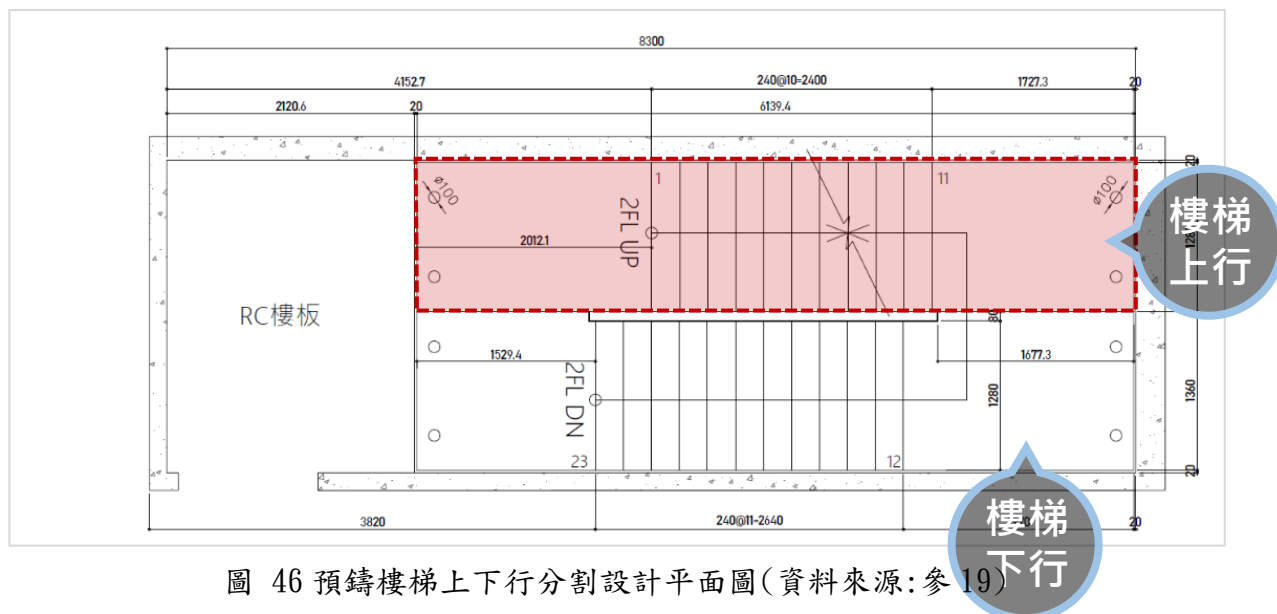


圖 46 預鑄樓梯上下行分割設計平面圖(資料來源:參 19)

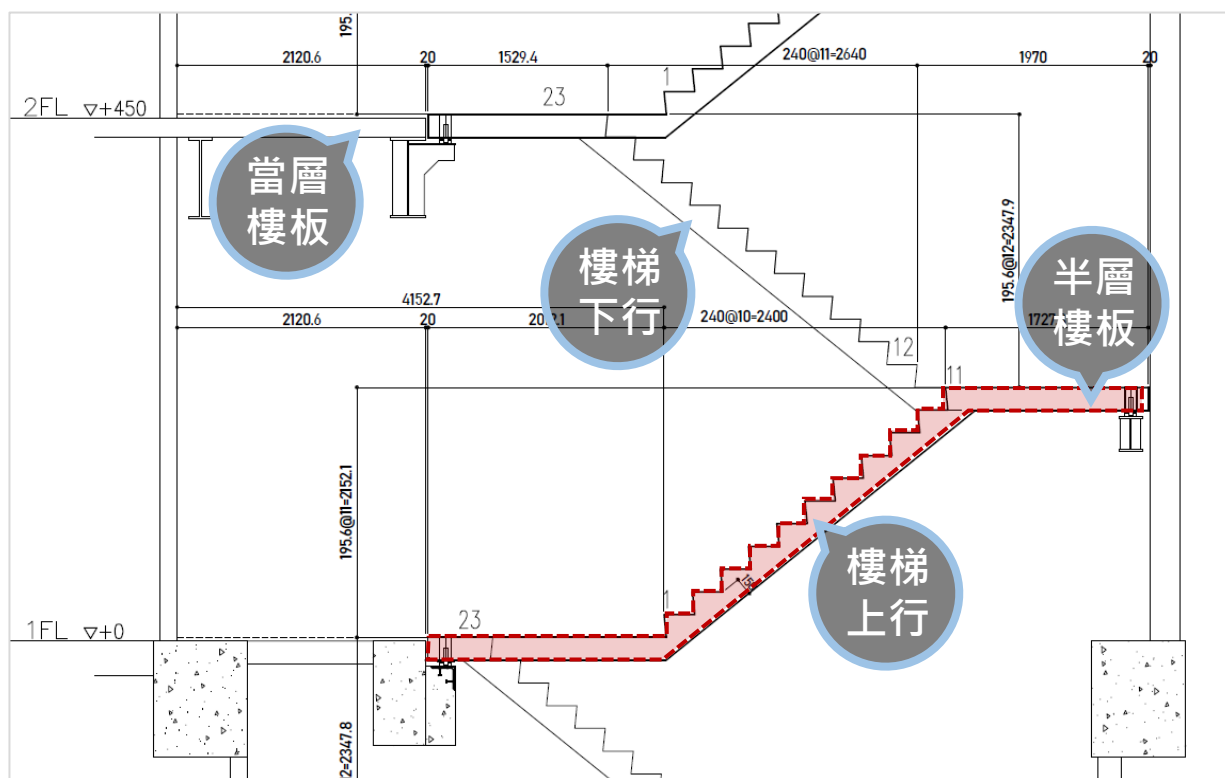


圖 45 預鑄樓梯接合部設計設計剖面圖(資料來源:參 19)

4.4.2 預鑄樓梯構件設計

預鑄樓梯除樓梯平台及踏階外，每座預鑄樓梯於左右兩側各規劃兩處接合部預留孔以及吊裝用預埋件，做為與鋼構接合鐵件銜接點及現場吊裝之用途。踏接處兩端預留欄杆孔座，可作為施工過程中之臨時安全欄杆。

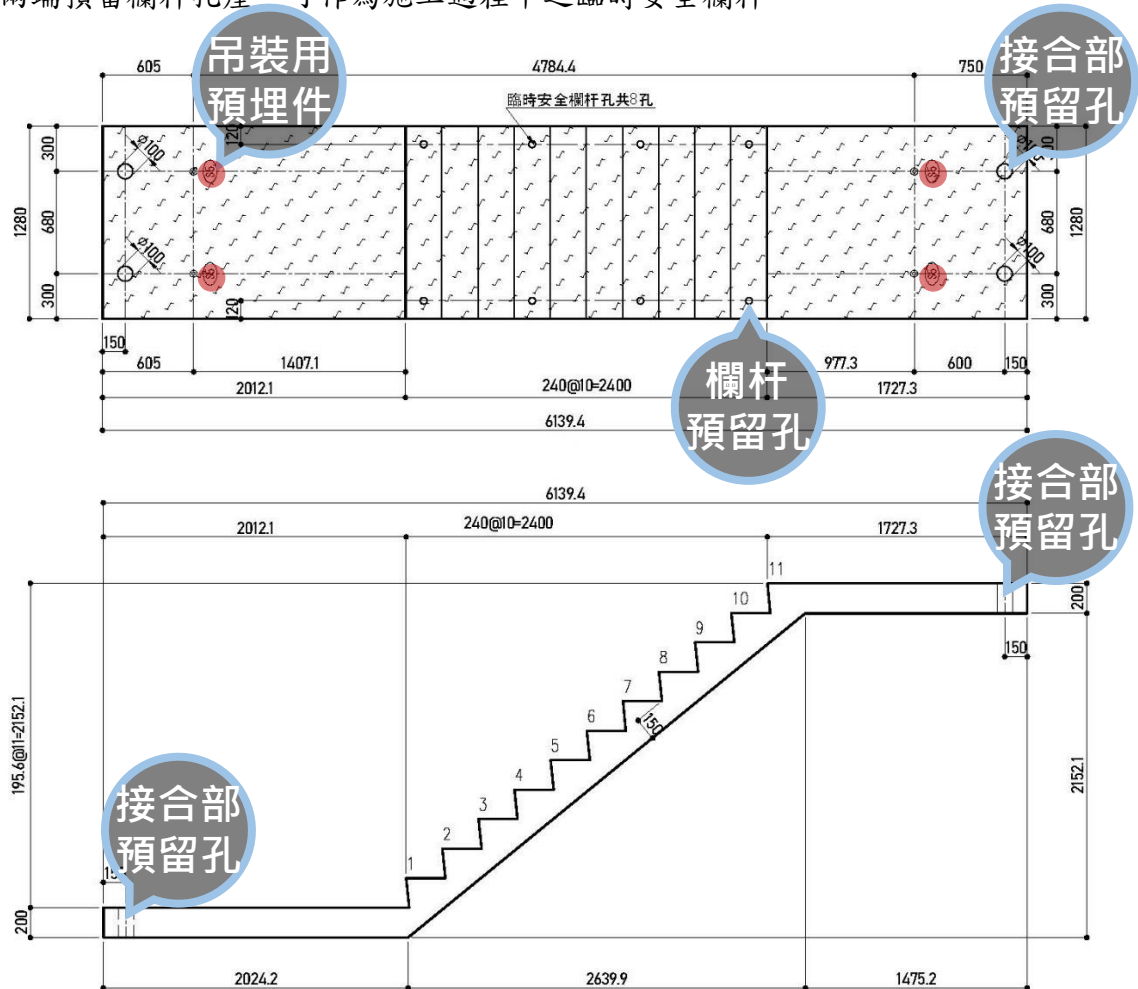


圖 50 本研究預鑄樓梯製作圖(資料來源:參 19)



圖 49 接合部及吊掛點照片(資料來源:參 17)



4.4.2 預鑄樓梯接合部設計

本研究案例規劃預鑄樓梯自地下室至地面層，由於其上部結構及下部結構分別為鋼骨構造及鋼筋混凝土構造。因此在結合部之設計方面，預鑄樓梯雖屬於非主要結構，惟仍需考量地面層與地下層不同地震力、構造材料之結構剛性、結構行為以及層間變位等。以下圖為預鑄樓梯針對不同接合部位所規劃接頭。

1. 接合部設計(地下室 RC 構造)

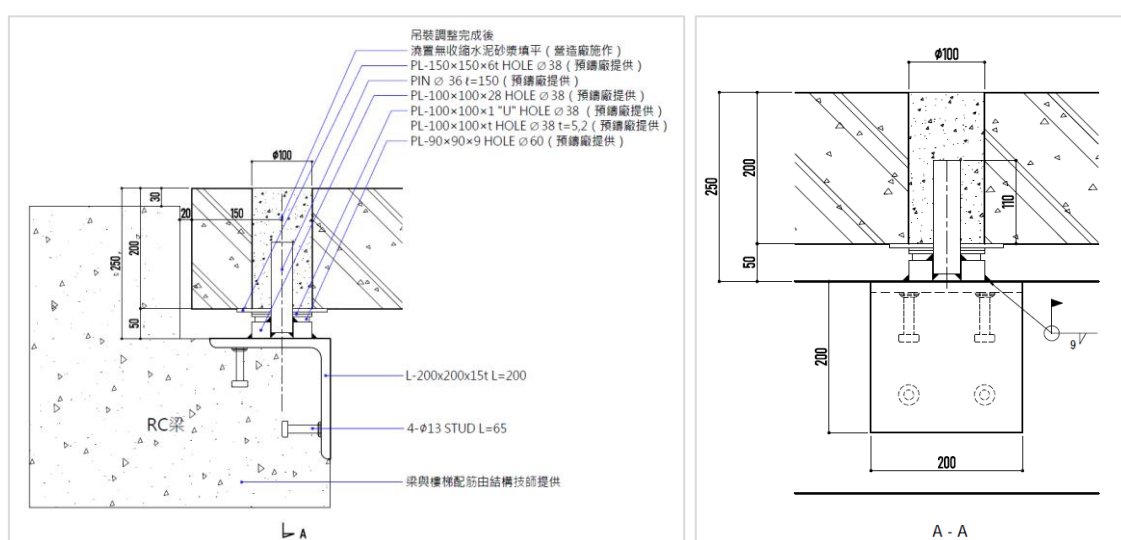


圖 52 預鑄樓梯接合部設計詳圖 1(地下室 rc 構造) (資料來源:參 19)

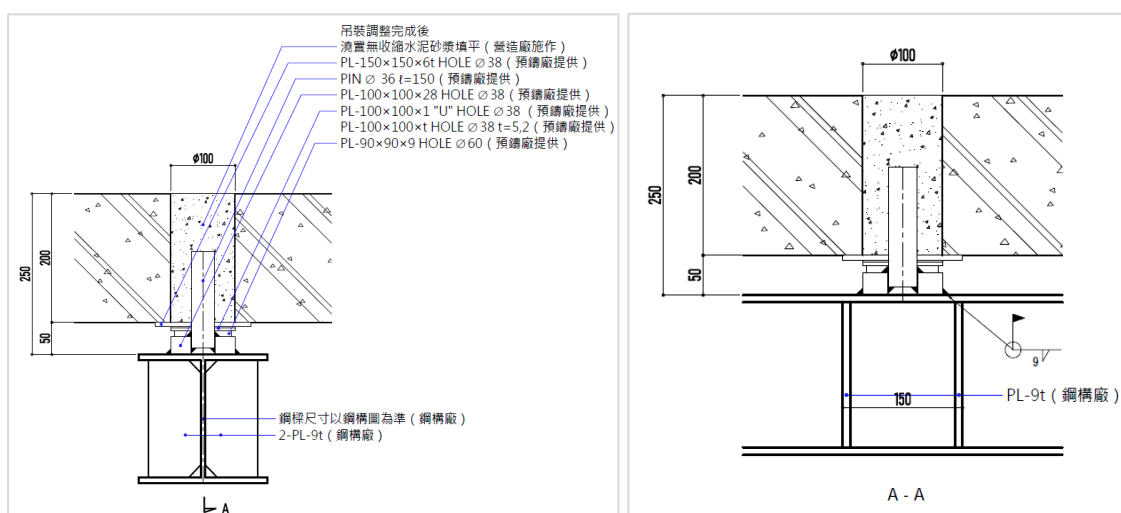
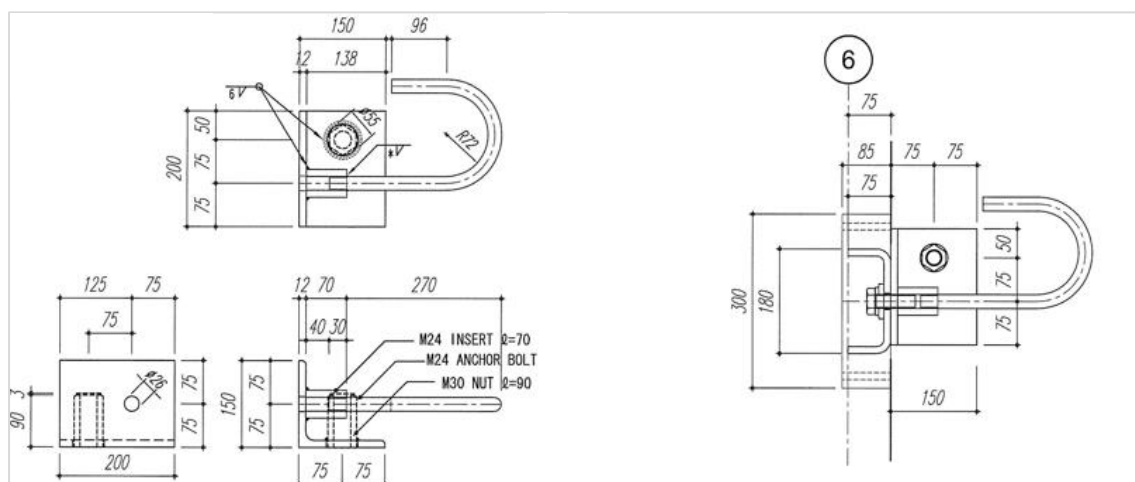
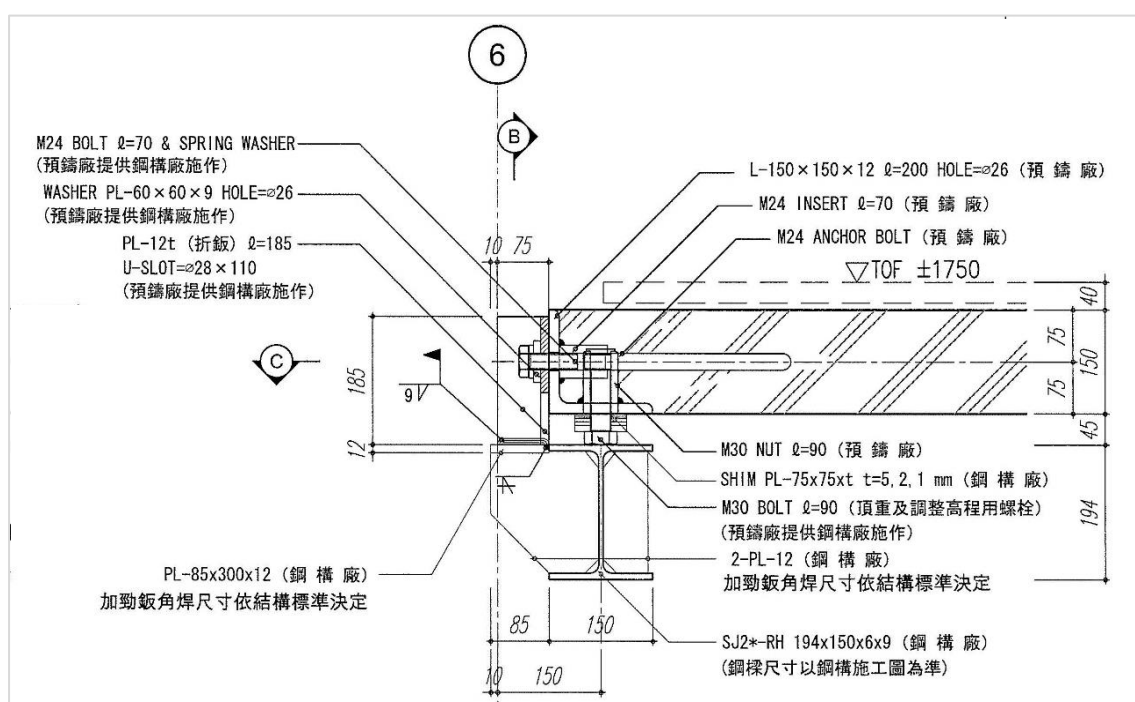
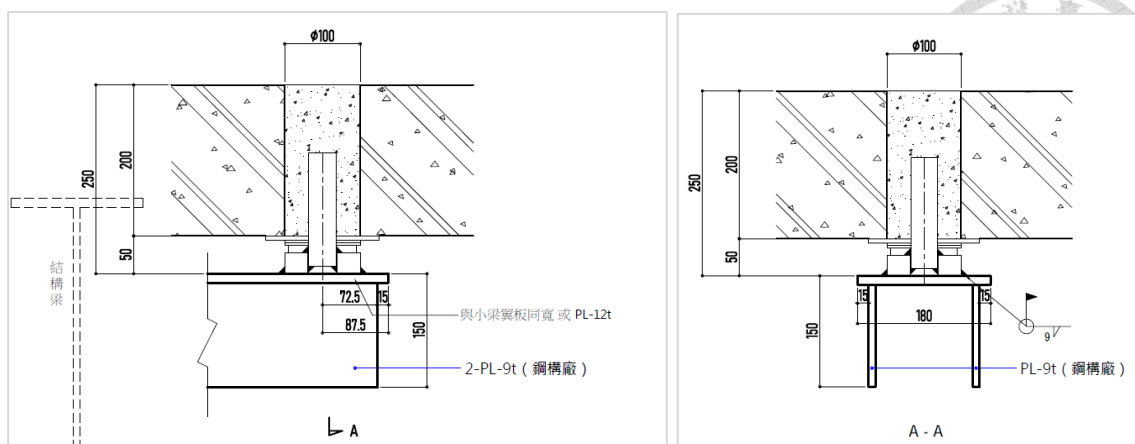


圖 53 預鑄樓梯梁上接合部設計詳圖 1(地上層鋼骨構造) (資料來源:參 19)



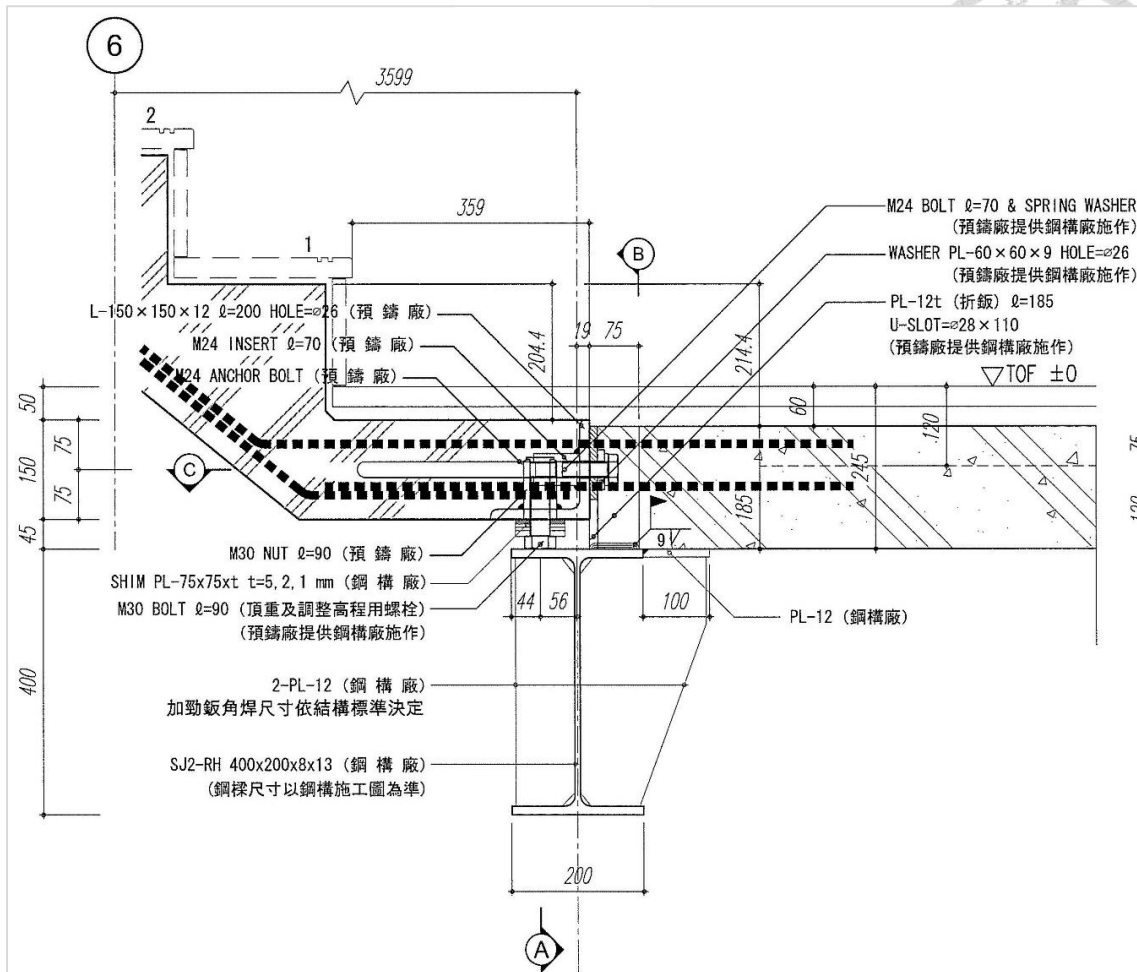


圖 58 預鑄樓梯樓板接合部設計詳圖(資料來源:參 20)



圖 57 預鑄樓梯接合部鐵件照片(資料來源:參 17)

4.4.3 預鑄樓梯安全性設計

預鑄樓梯則可於設計階段檢討預留臨時護欄及欄杆(永久)預埋五金鐵件，待樓梯於現場吊裝完成後即可快速安裝符合職業安全衛生規定之臨時護欄，達到扶手先行之目標。

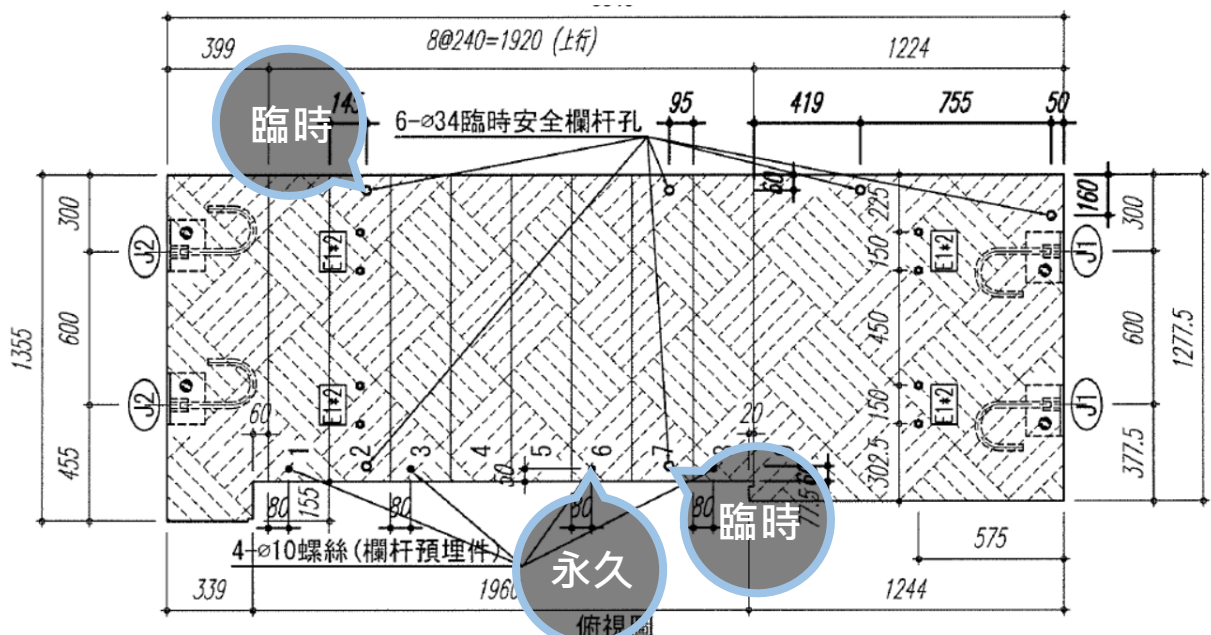


圖 63 預鑄樓梯臨時護欄及欄杆預埋平面圖(資料來源:參 20)

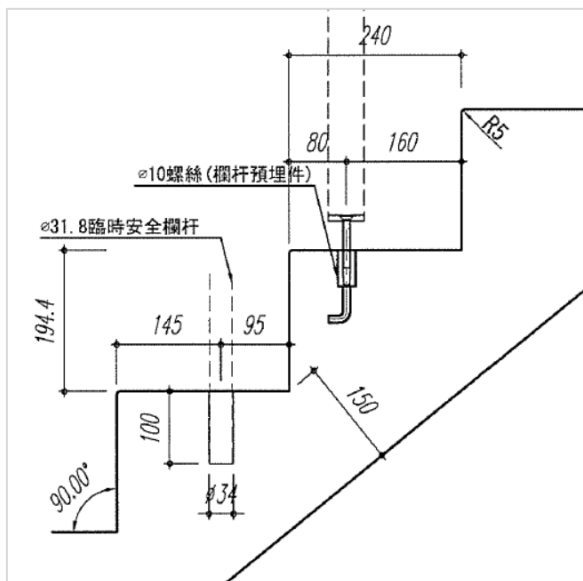


圖 62 臨時護欄及欄杆預埋件設計詳圖

(資料來源:參 20)

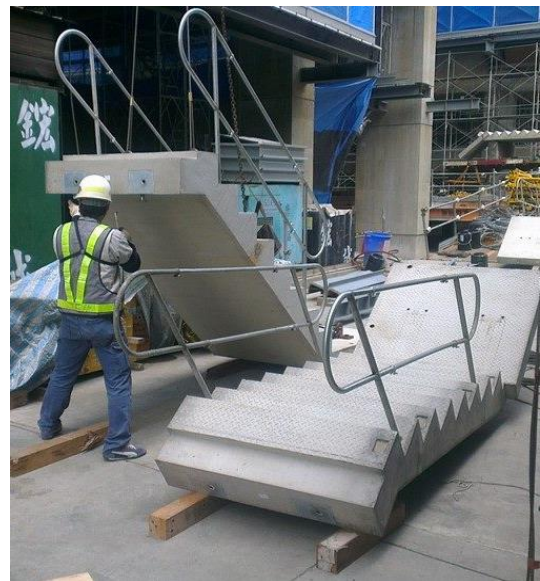


圖 61 護欄設置照片

(資料來源:參 17)

4. 4. 4 預鑄樓梯結構配筋設計

一般而言，預鑄樓梯結構配筋主要由結構技師依據樓梯之級高、級深、級數、樓板跨度級載重等條件進行設計，包含鋼筋規格及混凝土 28 天抗壓強度等內容，後由專業預鑄廠繪製施工圖提送結構技師進行審查，確保與原設計內容相符。

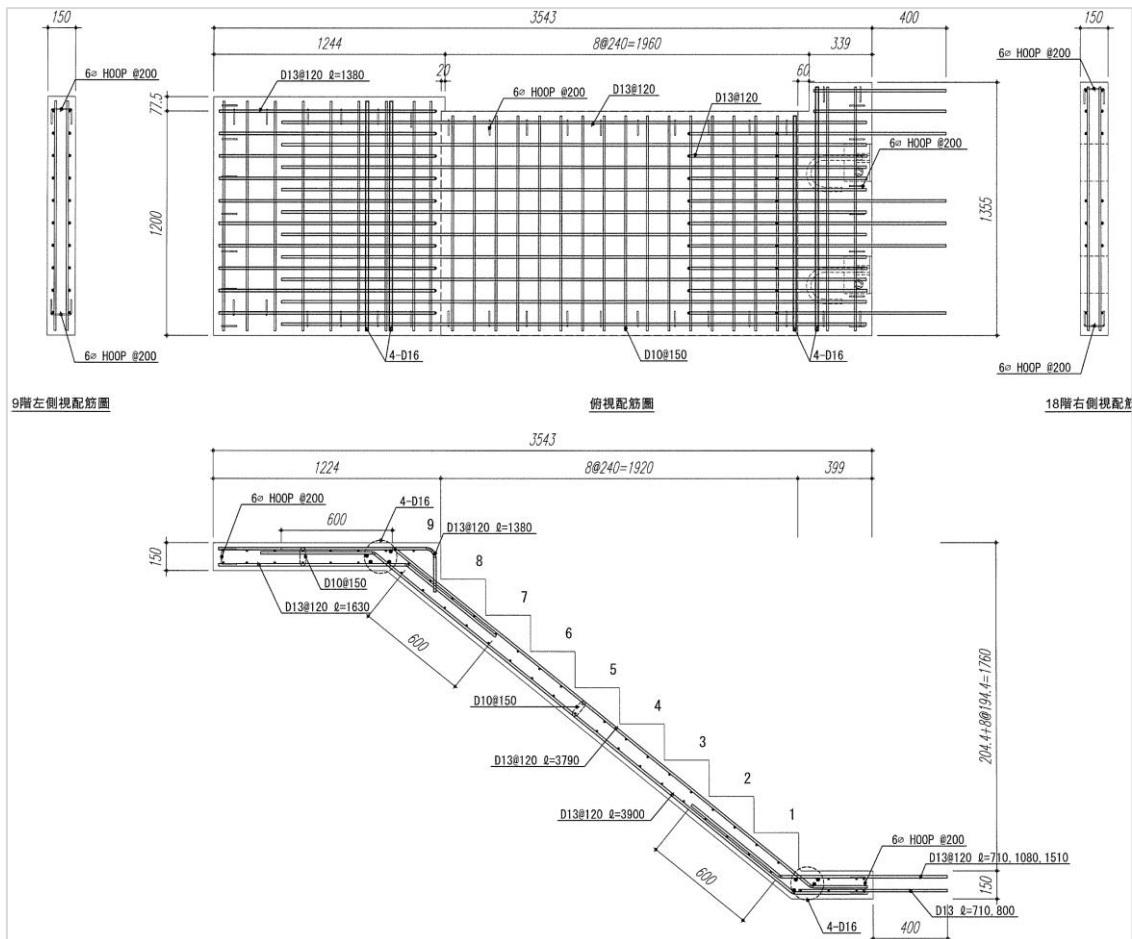


圖 64 預鑄樓梯結構配筋設計圖(資料來源:參 20)



圖 65 預鑄樓梯結構配筋照片
(資料來源:參 18)



圖 68 預鑄樓梯結構配筋照片
(資料來源:參 18)

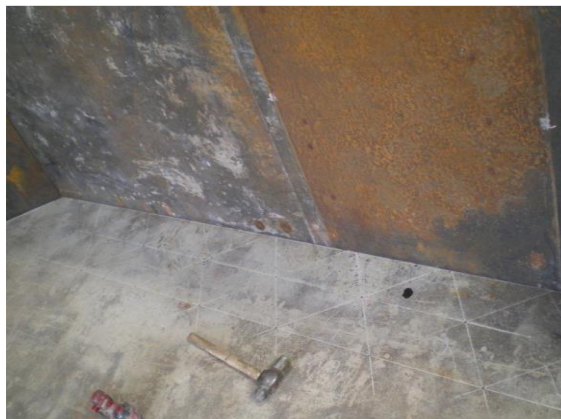


4.4.5 預鑄樓梯模具設計檢討

預鑄樓梯於統包規劃階段由設計單位針對建築樓層高度分析與檢討後，由複委託結構技師進行鋼筋配筋及混凝土強度設計，待結構檢討完成後使得確認預鑄樓梯之尺寸。採用預鑄樓梯之樓層，每組鋼模開模前配合樓梯上行及下行尺寸設計，階高、階深、階數、階寬為不能更動之尺寸，僅有樓梯平台惟可更動之尺寸。



預鑄樓梯鋼模板片



預鑄樓梯階梯放樣



預鑄樓梯鋼模開設程圖



預鑄樓梯鋼模尺寸檢查



水性脫模油塗佈



水性脫模油塗佈

圖 71 鋼模製作過程照片(資料來源:參 17、參 18)

4.4.6 預鑄樓梯施工流程檢討(施工過程照片)

預鑄樓梯之施工圖經權責單位核准後，即可進行工廠之生產製作，從鋼模製作到鋼筋綁紮、設備配管、五金預埋等，經自主檢查確認後使得進行灌漿、養護即脫模等作業，相關流程如下圖 4-25。

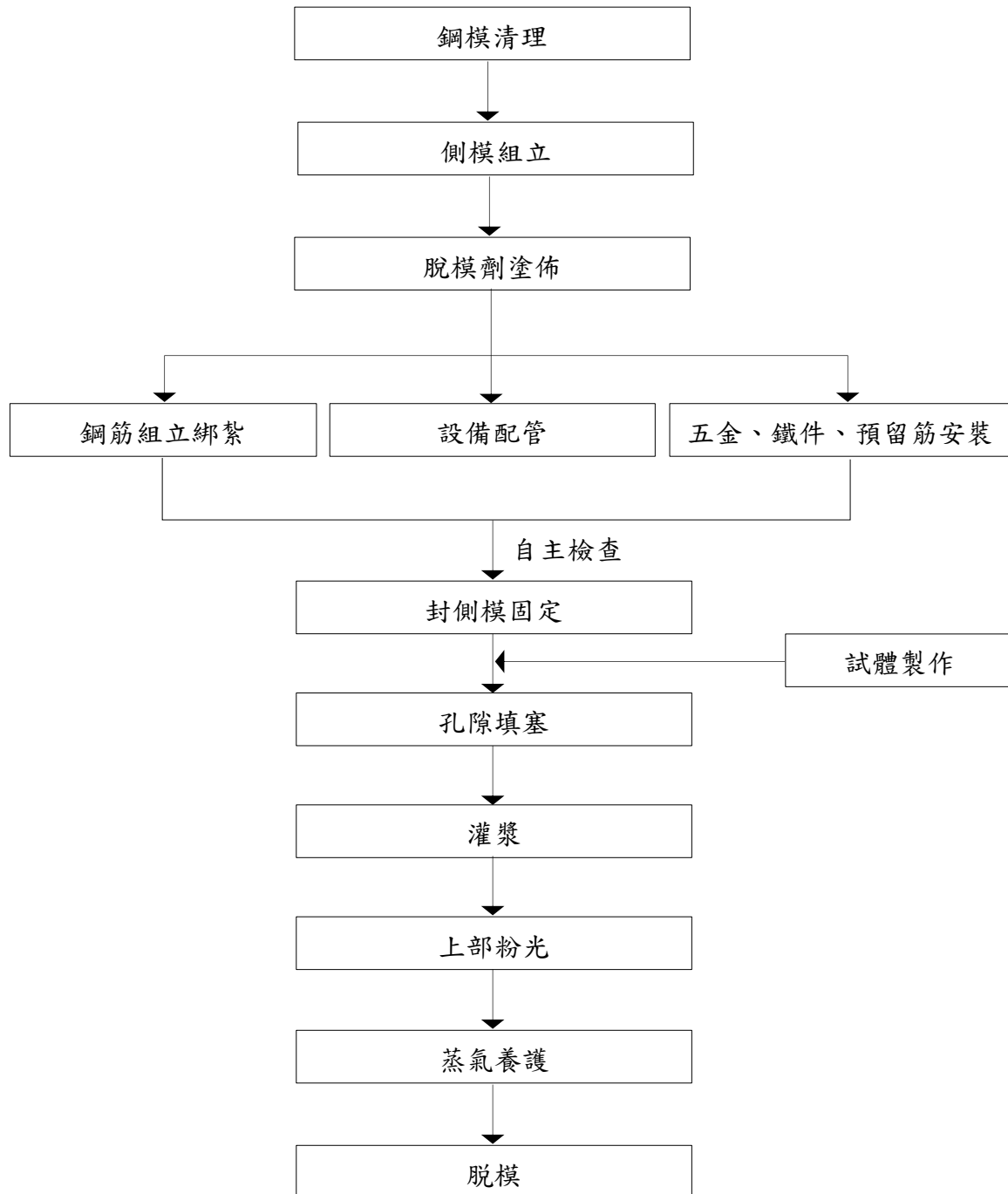


圖 72 直立式預鑄樓梯施工流程圖



4.4.7 預鑄樓梯設計規範

1. 材料規格

有關材料規格包括 RC 混凝土、接合鐵件以及鋼模具等三部分。內容詳表 4-2。

表 9 預鑄樓梯材料規格表(資料來源:參 21)

項次	項目	內容
1	RC 混凝土	(1)單位重：約 2.45t/m³ (含鋼筋)。 (2)28 天抗壓強度：混凝土 28 天抗壓強度：$f_c' = 300\text{kgf/cm}^2$ 以上。 (3)脫模強度：至少為 150kgf/cm² 以上始可脫模。 (4)拌合混凝土用之材料（水泥、骨材、水、添加劑）等均按 CNS 規定辦理。 (5)配比 加添加劑時之混凝土，坍度不得超過 12cm，水灰比不得超過 0.55，製作前應先提送數組配比計算書予甲方並據以試作試體，壓驗合格後始可採用。 (6)試體製作 於每天澆置時均製作 6 個標準圓柱形試體，以施作抗壓試驗，求取下列不同階段時之混凝土壓縮強度：2 日脫模強度（2 個）、7 日材齡強度（1 個）、28 日材齡強度（3 個）。以上將各階段驗強度予以統計分析，以了解是否在管制狀態。試驗結果及其相關資料均應妥善規檔保存，俾供日後調閱用。
2	接合鐵件	(1)鋼筋 預鑄梯鋼筋分為#4(含)以上(採用 SD420, $f_y = 4200\text{kgf/cm}^2$)以及#4 以下(採用 SD280, $f_y = 2800\text{kgf/cm}^2$)，以上鋼筋需符合 CNS560-A2006 之規定，另應提供無幅射性鋼筋之檢驗證明單、出廠證明。 (2)點焊鋼絲網：符合 JIS-G-3551 規格或 CNS6919-G-3132 標準鋼絲網。 (3)結合鐵件：SS-400 鋼材，符合 JIS-G-3101 或 CNS2473-G-3039。 (4)螺栓 A. 普通螺栓：SS-41 六角螺栓，合乎 JIS-B0205, JIS-B1180。 B. 高拉力螺栓：F10TH. T. B. WASHER-F35 以上鐵件之防銹均應作二種三級電鍍鋅處理 (CNS-4827-H3079) (高拉力螺栓除外)，螺紋及空隙處在送入儲存場前應塗以黃油，吊裝前應將黃油消除乾淨，焊接處及因焊接而損傷電鍍皮膜時，應補以 EPOXY 漆，鐵件加工精度，尺寸誤差不得超過$\pm 3\text{mm}$，並應提出材料之檢試驗報告備查。
3	鋼模具	(1)採用鋼模。 (2)鋼模之設計使用必須易拆模，具強度足以抵抗澆築混凝土時之衝擊力，側壓，振動棒之振力及不因受熱蒸汽之作用而變形。 (3)鋼模之精度應能確保 PC 版片成品能合乎規定之容許誤差範圍內，其翻用次數應能確保所有 PC 版片均能合於容許誤差規定。 (1)鋼模應置於高精度水平面上，組模後應不能漏漿。 4. 脫模劑 (1)鋼模與混凝土接觸面應塗刷脫模劑，但限用水性者，不得使用油性者以避免水泥漆或磁磚與混凝土之黏著不佳。 (2)應以噴霧器均勻噴塗，如有餘液殘留必須使用布予擦拭乾淨。 5. 工廠製作及品管要求。



2. 工廠製作及品管要求

(1) 樣品製作及檢驗流程

乙方於第一組 PC 施作時，請甲方進行下列各項流程之廠驗，確認標準後始可大量施作。各項流程如下：鋼模、鋼筋籠廠驗完成→灌漿→拆模檢驗→檢補確認→標準確認後方可全面施作。

(2) 鋼模容許誤差

鋼模於初次組立時或使用多次以後，須量測其尺寸精度是否在容許誤差範圍內，要部份鋼板厚度應達 6mm 以上。

表 10 預鑄樓梯鋼模具品管要求表(資料來源:參 21)

量測部位	容許差 (mm)	量測部位	容許差 (mm)
邊長	± 2	模床面二向之彎曲量 (bowing)	2
鋼板厚	± 1	開口內部尺寸	1
對角線長差	3	模床面之凹凸 (smoothness)	1
側面彎曲量	1	預埋鐵件位置	3
模床角隅之翹曲量 (warping)	2	—	—



圖 74 鐵件尺寸檢查
(資料來源:參 17)



圖 75 鋼模尺寸檢查
(資料來源:參 17)



3. 預鑄樓梯版製品檢查

(1)應有專責人員確實量測各點尺寸值。

(2)檢查項目包括 PC 版製品尺寸及精度、鋼模、配筋、材料檢驗、鐵件、混凝土配比、養生、壓試試體、修補、標記、磁磚等等必要項目，其檢查表格式須事先提送甲方工地工程師核可。

(3)每一 PC 版片均須檢查尺寸及精度並記錄於 PC 版片檢查表 (checklist) 上，容許誤差之規定如下：

表 11 預鑄樓梯版製品檢查表(資料來源:參 21)

量測部位	容許差 (mm)	量測部位	容許差 (mm)
邊長	± 2	版面二向之彎曲量 (bowing)	2
版厚	± 2	開口內部尺寸	1
對角線長差	3	表面之凹凸 (smoothness)	1
側面彎曲量	1	預埋鐵件位置	3
版角隅之翹曲量 (warping)	2	—	—



圖 77 板片直角檢查
(資料來源:參 17)



圖 76 板片平整度檢查
(資料來源:參 17)

第五章 設計模擬及實證



5.1 設計模擬及實證之研究目標

本章節主要藉由研究案例之工業廠房規劃預鑄樓梯以進行設計模擬及實證，由於一般工業廠房樓梯系統多配合結構行為進行設計，例如鋼骨構造(SC)系統搭配鋼結構樓梯，鋼筋混凝土構造(RC)系統搭配傳統場鑄樓梯。因此本研究之特殊性主要規劃預鑄樓梯於地下室銜接 RC 構造系統，於地面層銜接 SC 構造系統，由於以往較少案件以此種模式進行規劃，為確保設計階段之可證性，將以 BIM 模型建構(Autodesk Revit)及結構程式(Tekla Structures)等兩方面同步檢討、驗證，

5.2 建築資訊模型(BIM)建置

5.2.1 本研究使用軟體

本研究 BIM 模型建置主要使用 Autodesk Revit 為主，該程式為國內最普及使用之軟體，本案將預鑄樓梯之 2D 詳細設計圖運用參數準確度、精確度和簡便性，為形狀、結構和系統建立 3D 模型，以實現設計介面之檢討，並以精確之尺寸進行各項衝突檢討。



圖 78 Autodesk Revit 使用平台



5.2.2 輔助設計及介面衝突檢討、修正

一般而言，設計單位在執行建築設計發展階段方面，主要以 2D 軟體(如 AutoCAD)執行，而在後續之執行上，營造廠或專業預鑄廠商在執行完初步檢討以後，才會以將預鑄建築進行 BIM 模型之建置，並且透過 BIM 模型產出預鑄製造圖說，以供預鑄構件之製造使用。目前在預鑄設計之流程中，設計單位在建築設計節點上所使用之建模軟體與後續預鑄廠商所使用之軟體可能產生差異，另模型建置習慣亦不相同，因此在整個設計流程中可能導致 BIM 技術上應用不連續，無法將 BIM 技術發揮最大效益。本研究在預鑄樓梯進行細部設計階段即使用 Revit 軟體進行 BIM 模型建置，一方面可透過 BIM 3D 視覺化模型檢視各專業設計介面，確保本設計之可證性，過程中若有發現衝突部分，可隨時進行修正整合。

5.2.3 預鑄樓梯 BIM 模型建置

本研究案例預鑄樓梯依據不同樓層高度(級高、級深、階數)及接合方式共採用三套鋼模，分別為地下二層至地下一層、地下一層至地上四層、地上五層至地上六層。分別以不同顏色區分不同模組之樓梯。

1. 地下二層至地下一層

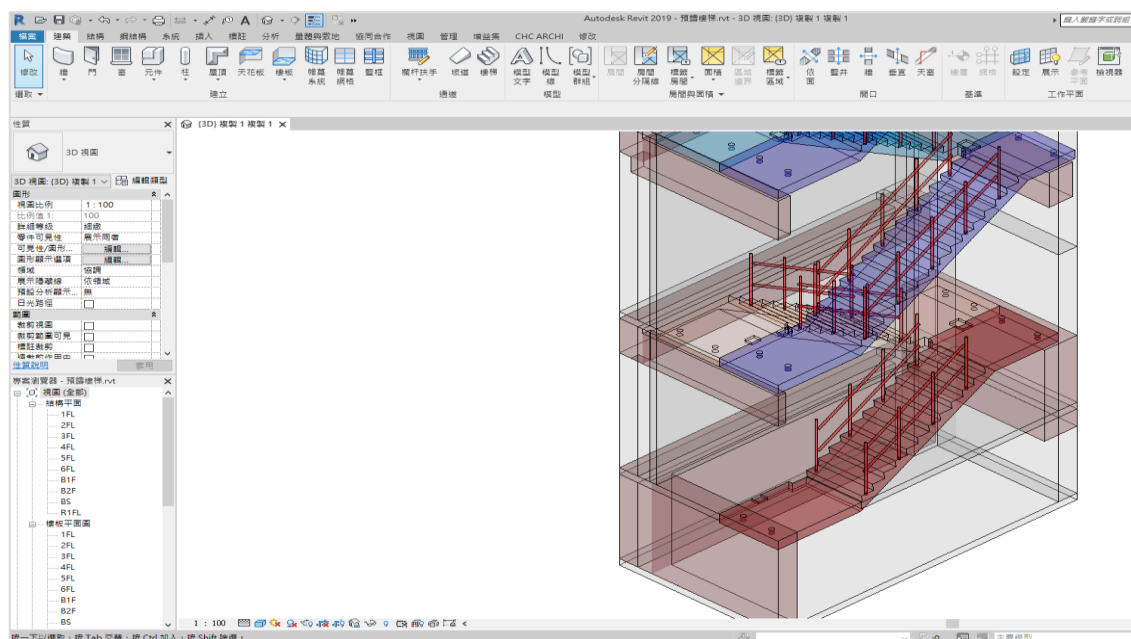


圖 79 地下二層至地下一層預鑄樓梯等角模型(施工護欄)

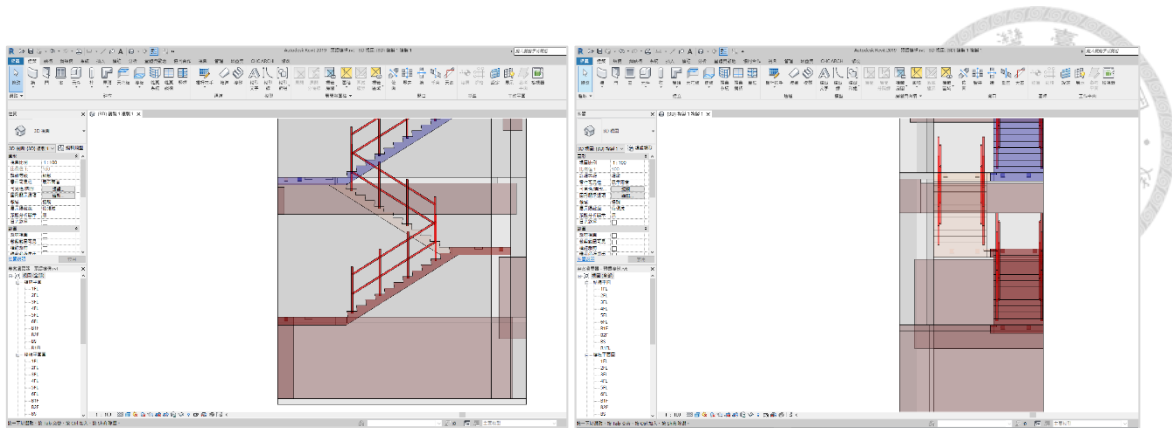


圖 81 地下二層至地下一層預鑄樓梯等角模型(施工護欄)

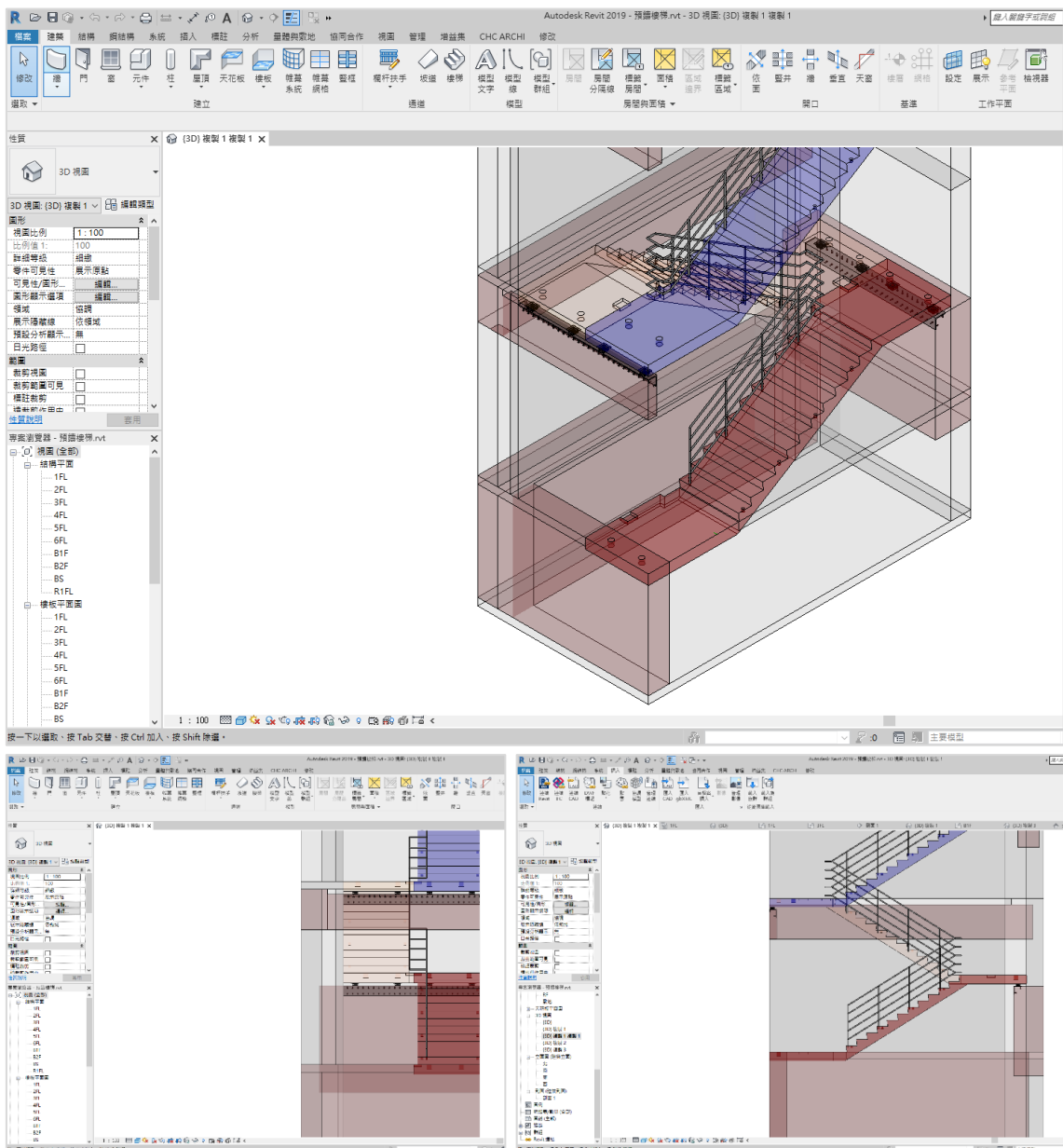


圖 80 地下二層至地下一層預鑄樓梯等角模型(金屬扶手)

2. 地下一層至地上四層

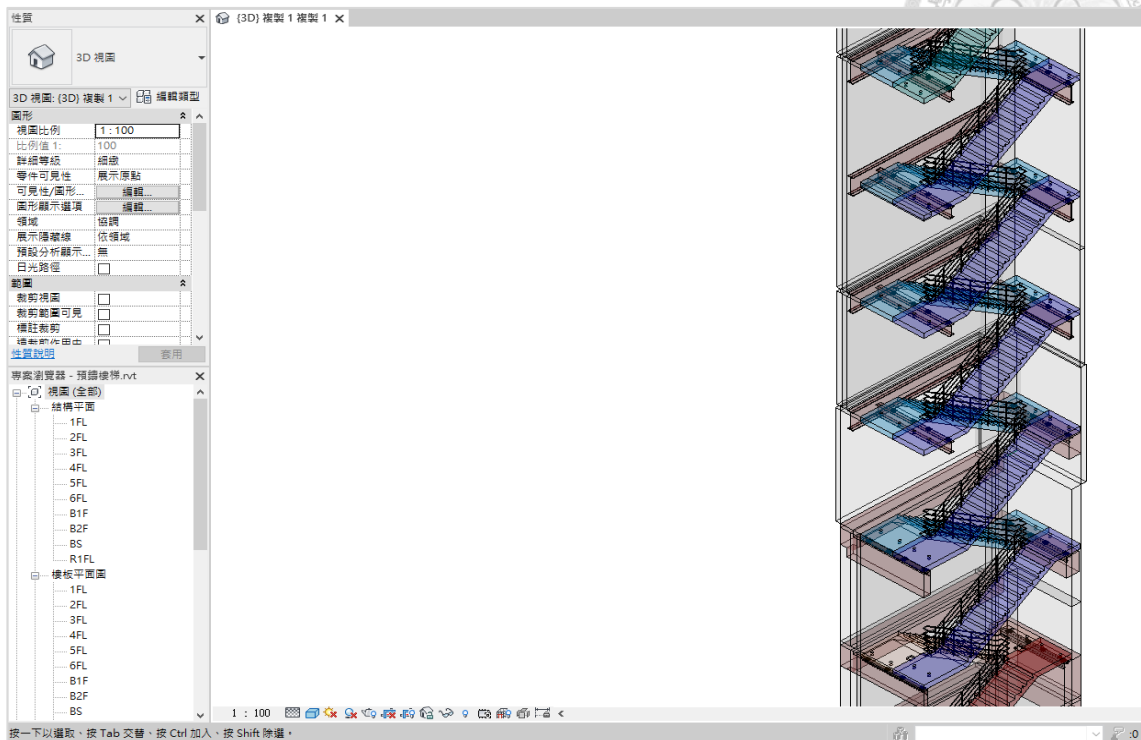


圖 82 地下一層至地上四層預鑄樓梯等角模型(金屬扶手)

3. 地上五層至地上六層

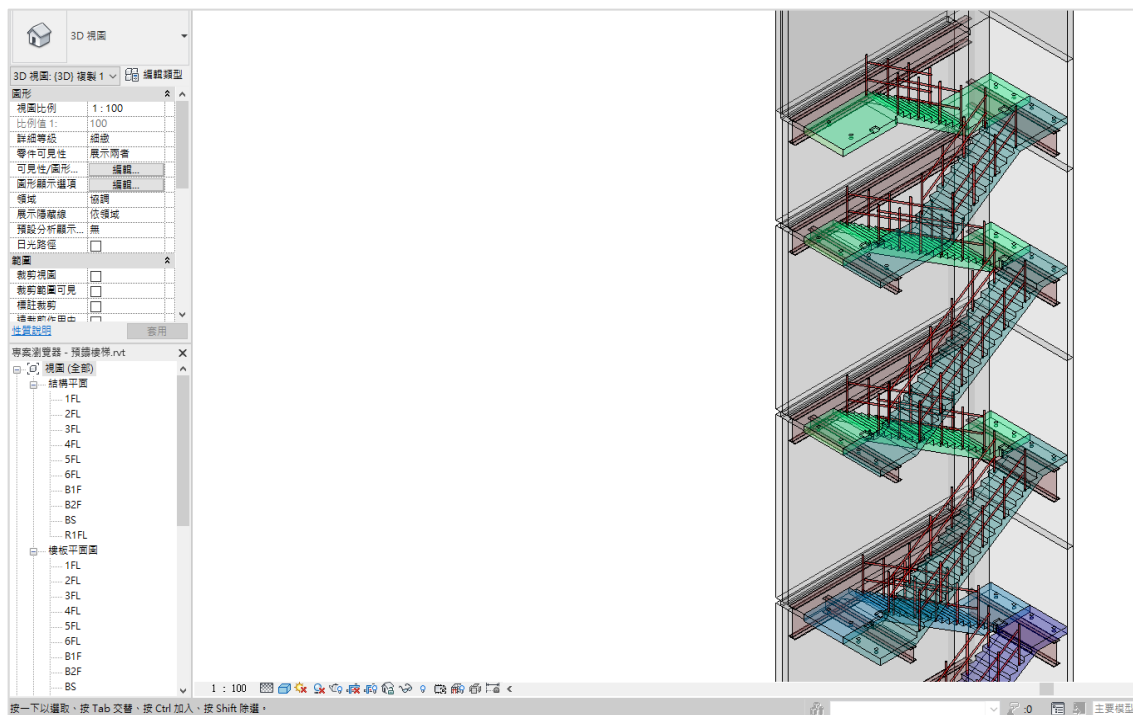


圖 83 地上五層至地上六層預鑄樓梯等角模型(金屬扶手)

4. 接合部設計

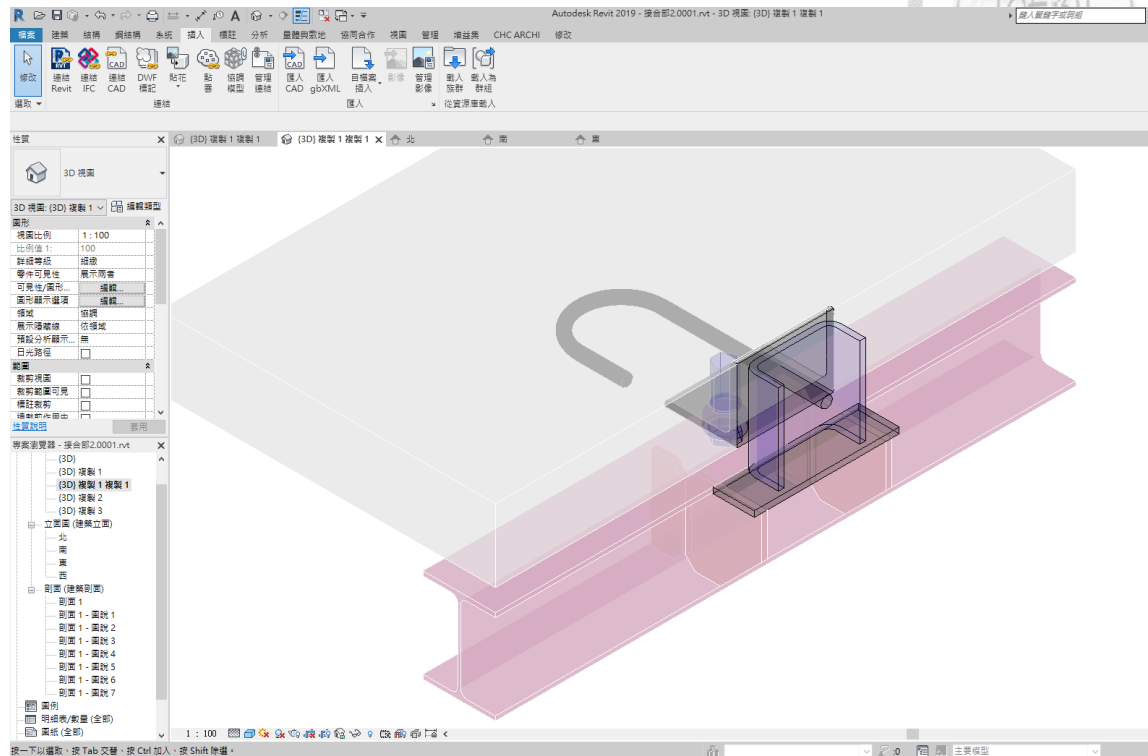


圖 85 預鑄樓梯平台接合部構件 1

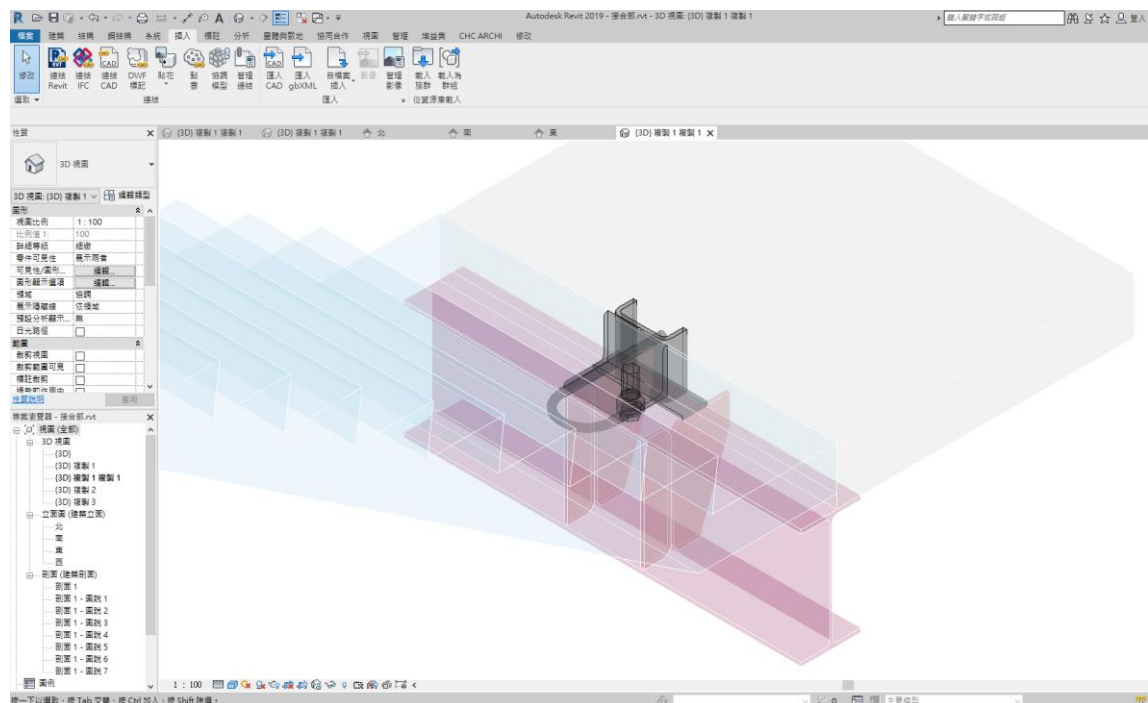


圖 84 預鑄樓梯平台接合部構件 2



5.3 結構資訊模型(ETABS)驗證

5.3.1 本研究使用軟體

ETABS(Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems)由美國 CSI 公司所開發的一套房屋建築結構分析軟體，發展已將近 30 年。ETABS 有直觀且強大的圖形介面跟完整的分析與設計功能，目前已是國內主流之結構分析軟體。本研究利用此軟體進行預鑄樓梯及周邊梁之結構檢核，以設計預鑄樓梯斷面尺寸及鋼筋配筋等結構系統。

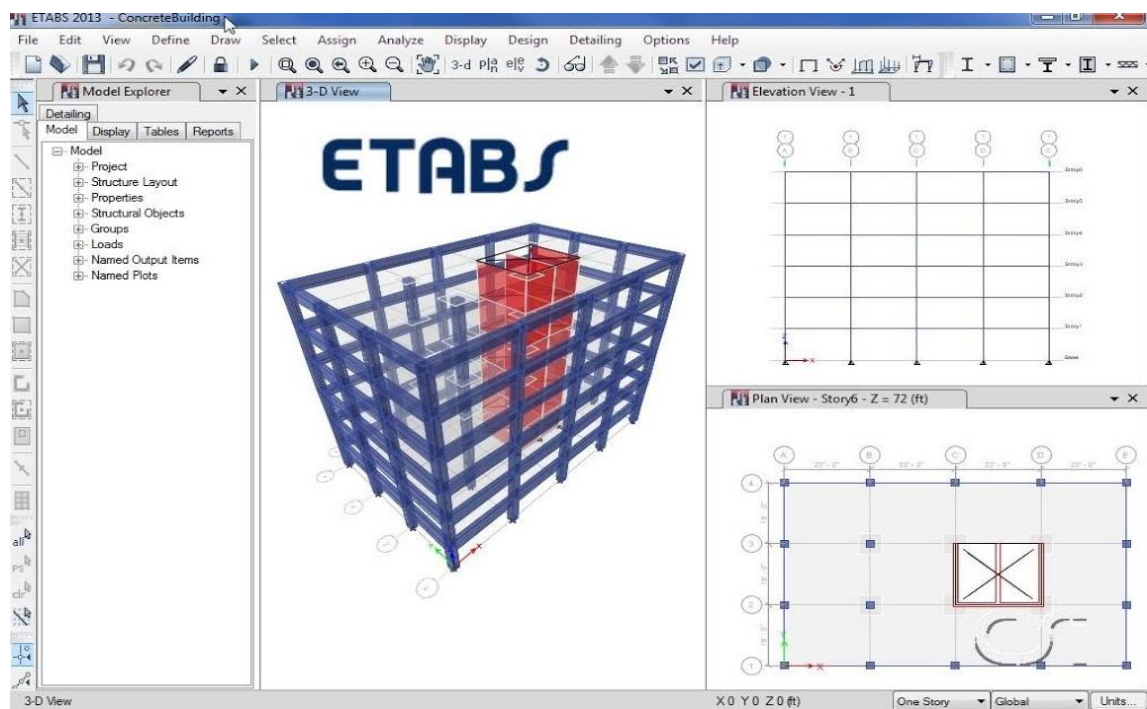


圖 86 ETABS 使用平台

5.3.2 結構分析結果

1. 樓梯間周邊梁分析

(1) 基本設定

鋼梁斷面：RH200*200*8*12

鋼梁材質：SN400YB

載重設定：以線載給在樓梯側版

載重組合:1.4DL、1.2DL+1.6LL

表 12 靜載重及活載重

項次	DL= 505kgf/m	LL= 325 kgf/m
一	A. 鋪面=100 kgf/m ² B. 欄杆=50*2(條) kgf/m C. 自重=600kgf/m ² D. 計算： $600*1.3/2+50+100*1.3/2=505\text{kgf/m}$	A. 500 kgf/m ² B. 計算： $500*1.3/2=325\text{kgf/m}$

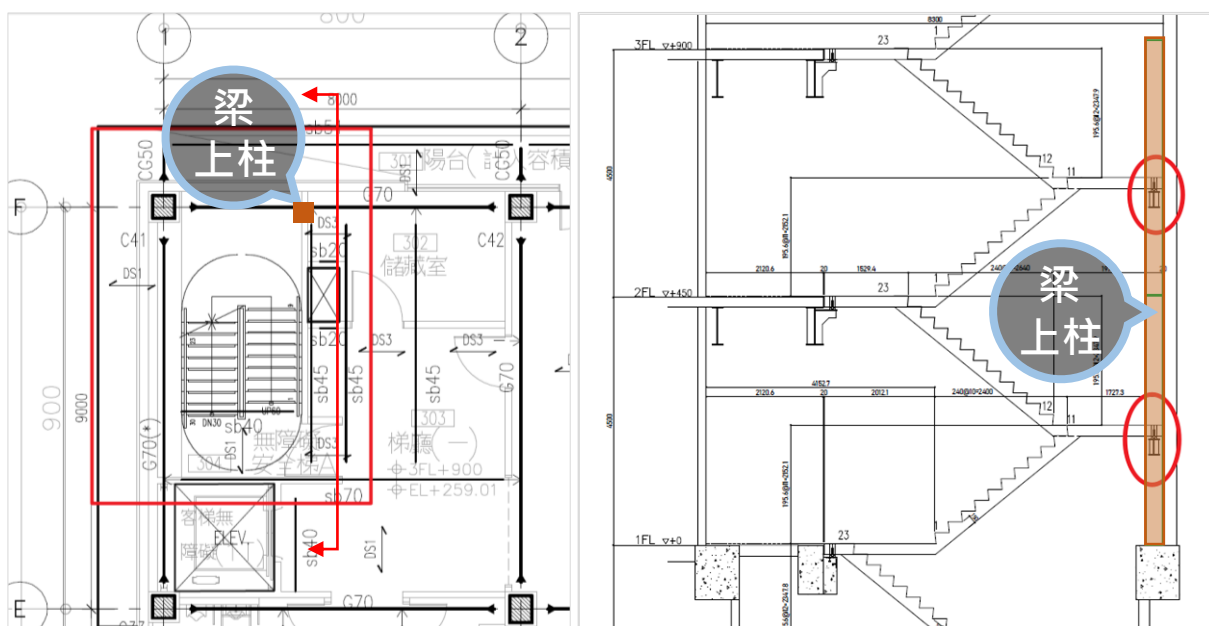


圖 89 預鑄樓梯平面及剖面結構圖(資料來源:參 22)

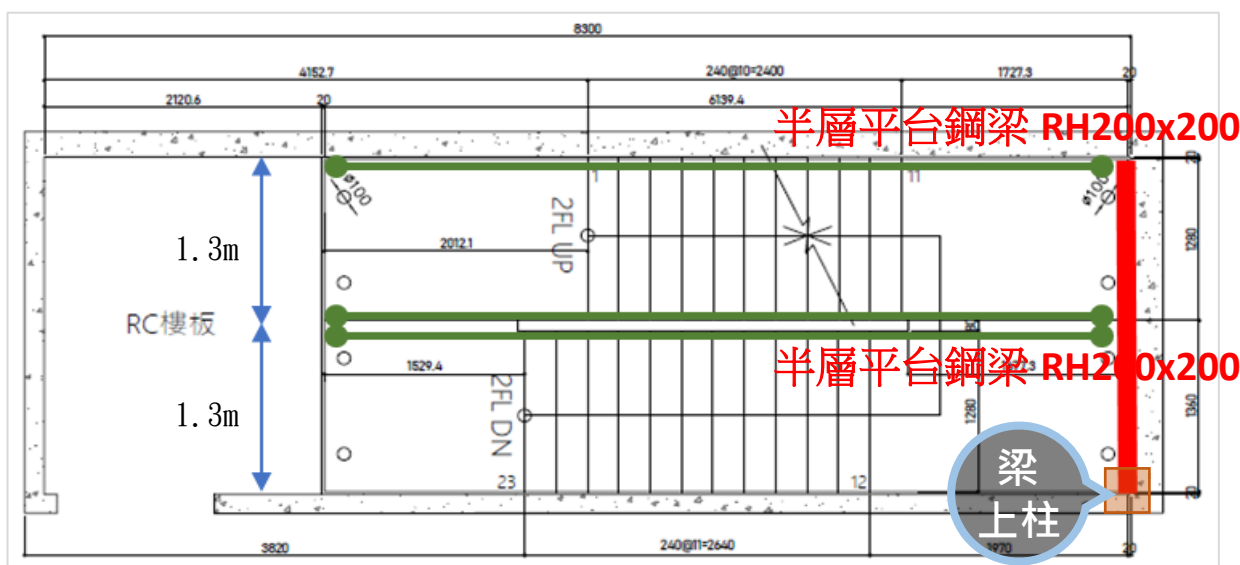


圖 88 預鑄樓梯平面及剖面結構圖(資料來源:參 22)

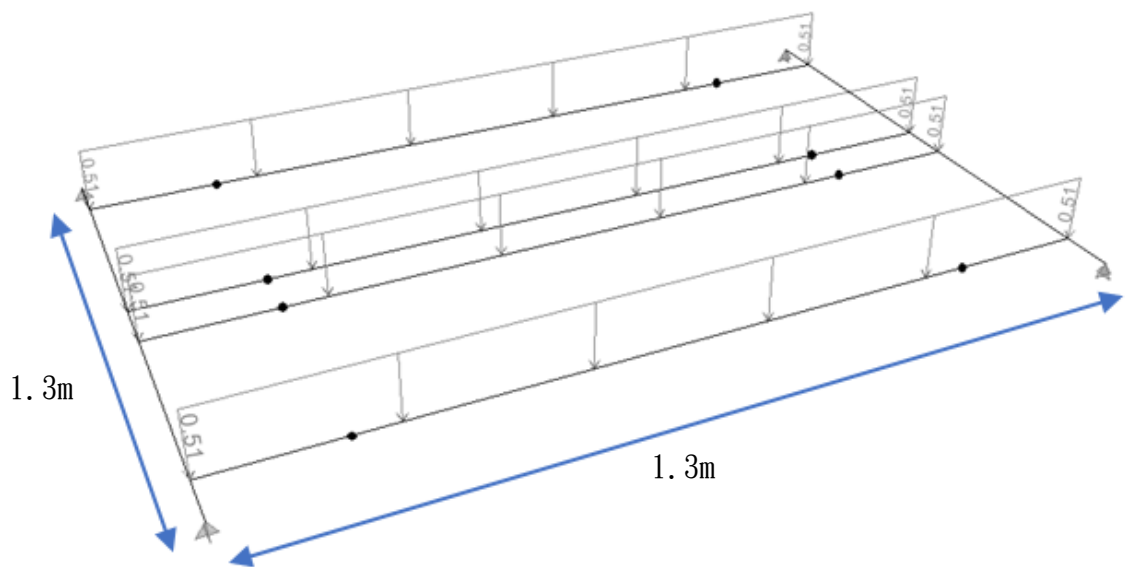


圖 91 樓梯兩側外緣靜載重圖(資料來源:參 22)

(2)剪力、彎矩圖

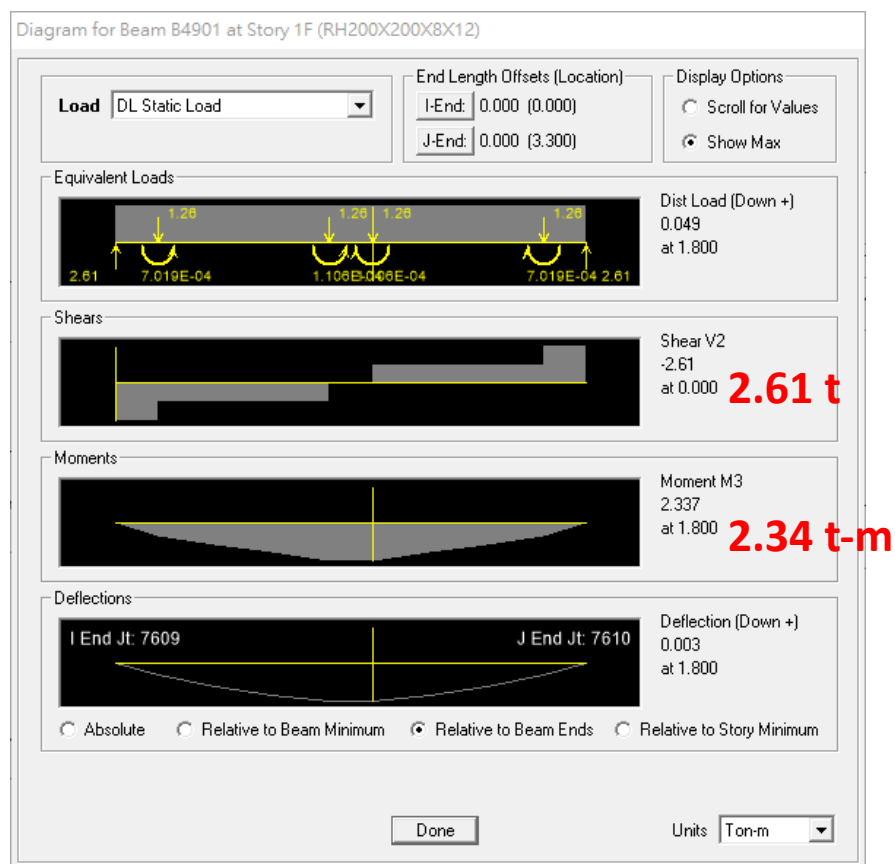


圖 93 等值載重 彎矩 剪力 變形圖 (由上而下) (資料來源:參 22)

2. 預鑄樓梯結構分析

(1)基本設定

断面：

平台區-1.28m*0.2m

台階區-1.28m*0.15m

材質：C280

邊界條件：Roller+Hinged

保護層：2cm

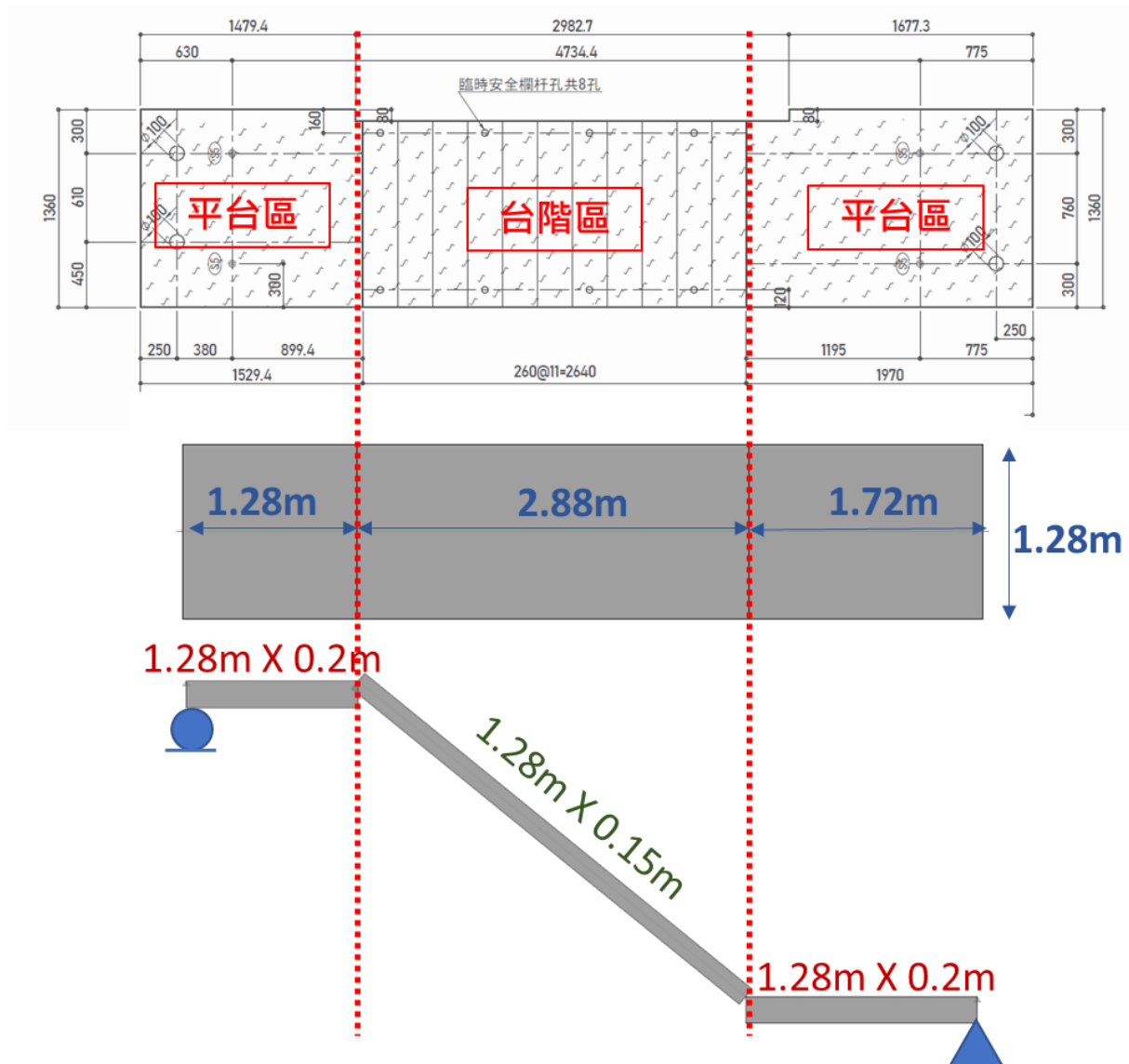


圖 98 力學分析圖 1(資料來源:參 22)

2. 預鑄樓梯結構分析

(1)基本設定

断面：

平台區-1.28m*0.2m

台階區-1.28m*0.2m

材質：C280

邊界條件：Roller+Hinged

保護層：2cm

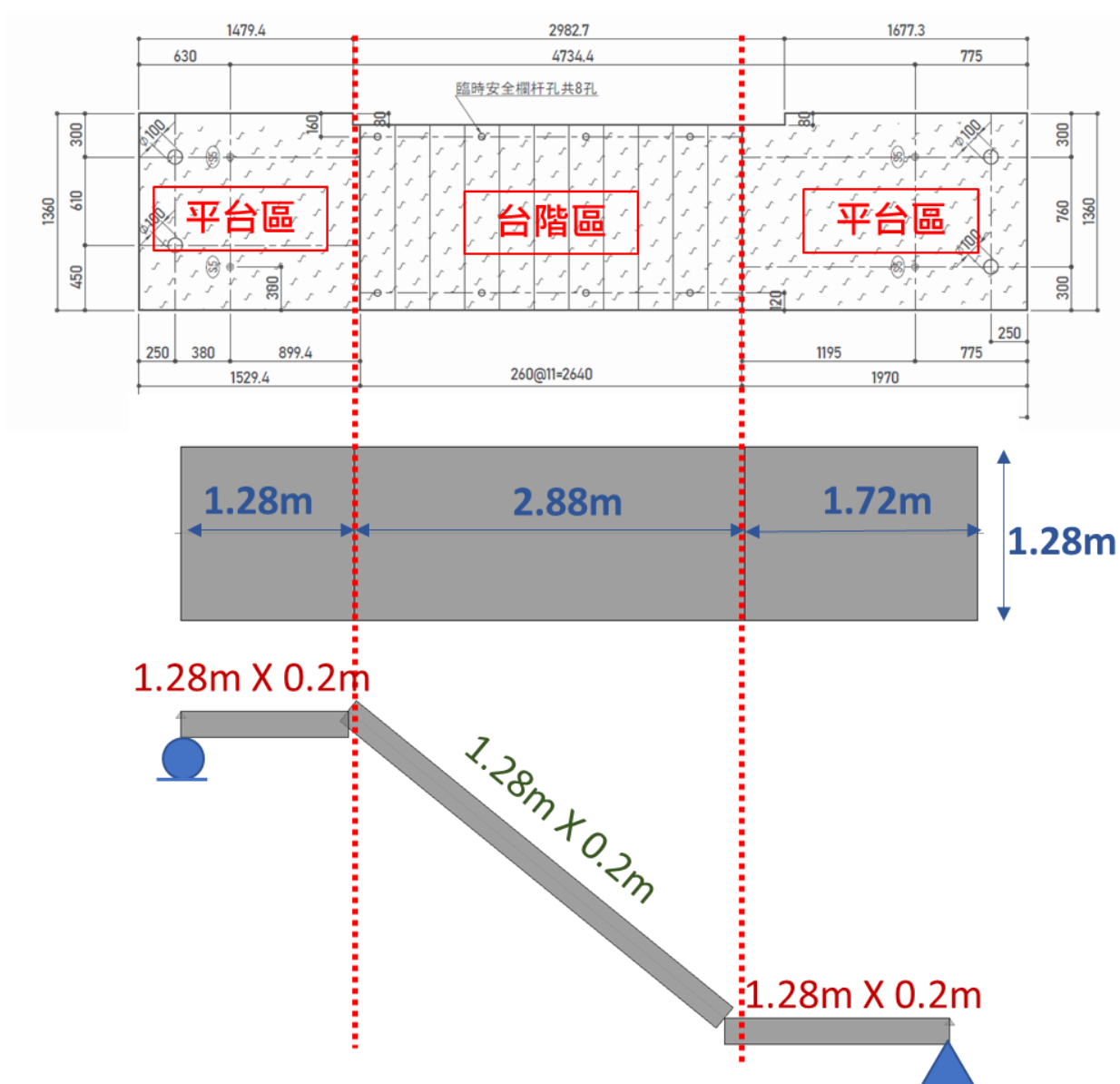


圖 99 力學分析圖 2(資料來源:參 22)



2. 預鑄樓梯結構分析

(2) 載重設定

表 13 載重設定表(資料來源:參 22)

項次	平台區	台階區
一	SDL=228 kgf/m 1. 鋪面=100 kgf/m ² 2. 欄杆=50*2(條) kgf/m LL=500kgf/m ²	SDL=568 kgf/m 1. 鋪面=100 kgf/m ² 2. 欄杆=50*2(條) kgf/m 3. 階梯=340 kgf/m LL=500kgf/m ²

$$\text{階梯} = 0.026(\text{m}^2) * 1.28(\text{m}) * 2.4(\text{t/m}^3) * 12(\text{階}) / 2.88(\text{m}) = 0.34 \text{ t/m}$$

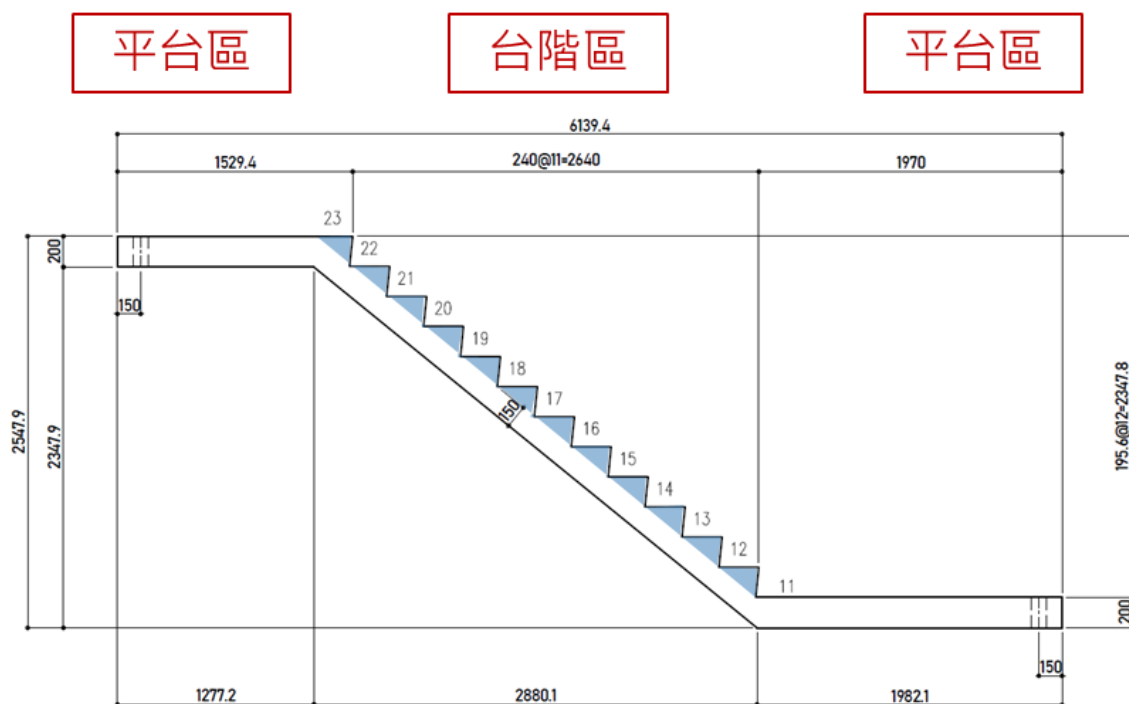


圖 100 載重設定圖(踏階處) (資料來源:參 22)

(3)地震力

縣市	鄉鎮市區	村里	地盤類別	樓高(公尺)	用途係數, I
桃園縣	龜山鄉	--	1	29.3	1.50



第四章 附屬結構物地震力					
$S_{DS} =$	0.5	$R_p =$	1.25		
$I_p =$	1.5	$R_{pa} =$	1.16667	(一般工址與近斷層)	
$a_p =$	1	$h_x =$	29.3		
		$h_n =$	29.3		
(1) $F_{ph} = 0.4S_{DS}I_p(a_p/R_{pa})(1+2h_x/h_n)W_p =$		0.77	W_p	不必大於 $F_{ph} = 1.6S_{DS}I_pW_p =$	1.2 W_p
(2) $F_{ph} = 0.3S_{DS}I_pW_p =$		0.225	W_p	=	
因此 $F_{ph} =$		0.77	W_p		

表 4-1 建築物部分構體及非結構構材附件係數

	a_p	R_p
1.內部非結構牆及隔間		
a.平面(無鋼筋)圬工牆	1.0	1.25
b.其他種牆及隔間	1.0	2.5
2.懸臂結構(無側撐或在其重心之下有側撐)		
a.女兒牆及內部懸壁非結構牆	2.5	2.5
b.煙囪	2.5	2.5
3.半懸臂結構(在其重心之上有側撐)		
a.女兒牆	1.0	2.5
b.煙囪	1.0	2.5
c.外部非結構牆	1.0	2.5
4.外部非結構牆及其接合		
a.牆	1.0	2.5
b.牆版接合本體	1.0	2.5
c.接合系統之固定物	1.25	1.0
5.飾版		
a.有變形限制之飾版及附件	1.0	2.5
b.低變形之飾版及附件	1.0	1.25
6.屋頂突出物(由建築物構架延伸者除外)	2.5	3.5
7.天花板	1.0	2.5
8.儲櫃		
a.儲櫃及實驗室設備	1.0	2.5
9.通道處地版		
a.特殊通道處地版	1.0	2.5
b.其他	1.0	1.25

圖 101 建築物部分構體及非結構構材附件係數



(5)配筋需求

A. 台階區-T=15cm

台階區： $30.547\text{cm}^2 / 1.28\text{m} = 23.87\text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \#6@10 = 28.65 > 23.87$

平台一： $12.690\text{cm}^2 / 1.28\text{m} = 9.91\text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \#6@20 = 14.33 > 9.91$

平台二： $15.433\text{cm}^2 / 1.28\text{m} = 12.05\text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \#6@20 = 14.33 > 12.05$

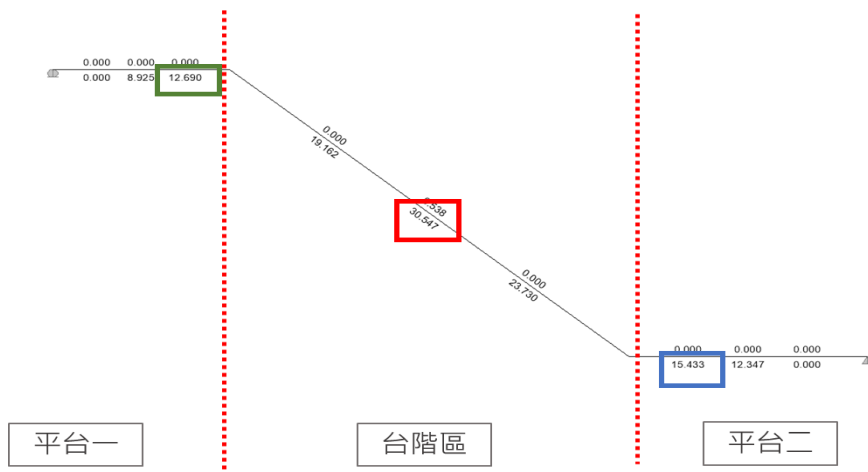


圖 102 配筋需求檢討 1(資料來源:參 22)

B. 台階區-T=20cm

台階區： $20.898\text{cm}^2 / 1.28\text{m} = 16.33\text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \#5@10 = 19.86 > 16.33$

平台一： $13.511\text{cm}^2 / 1.28\text{m} = 10.56\text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \#5@10 = 19.86 > 10.56$

平台二： $16.408\text{cm}^2 / 1.28\text{m} = 12.82\text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \#5@10 = 19.86 > 12.82$

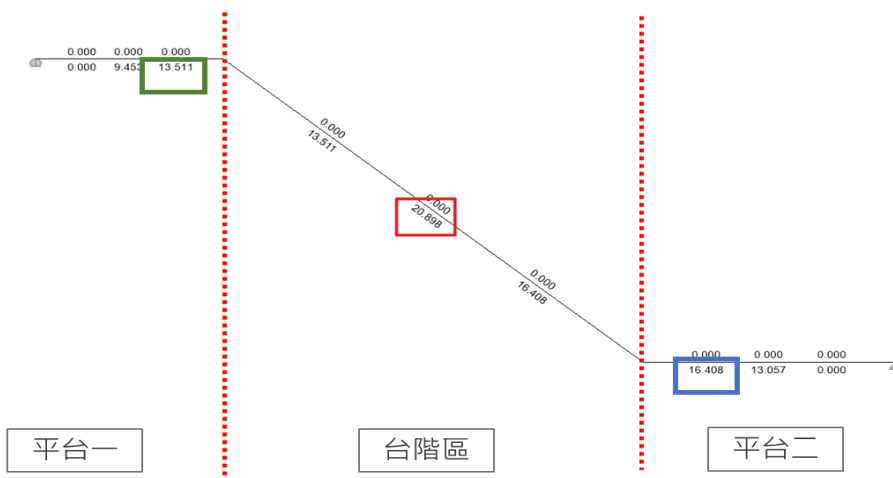


圖 103 配筋需求檢討 2(資料來源:參 22)



(6) DL 預拱計算(台階段 20cm 厚)

預拱

$$A: 1.3 \times 0.8 = 1.0 \text{ cm}$$

$$B: 1.7 \times 0.8 = 1.4 \text{ cm}$$

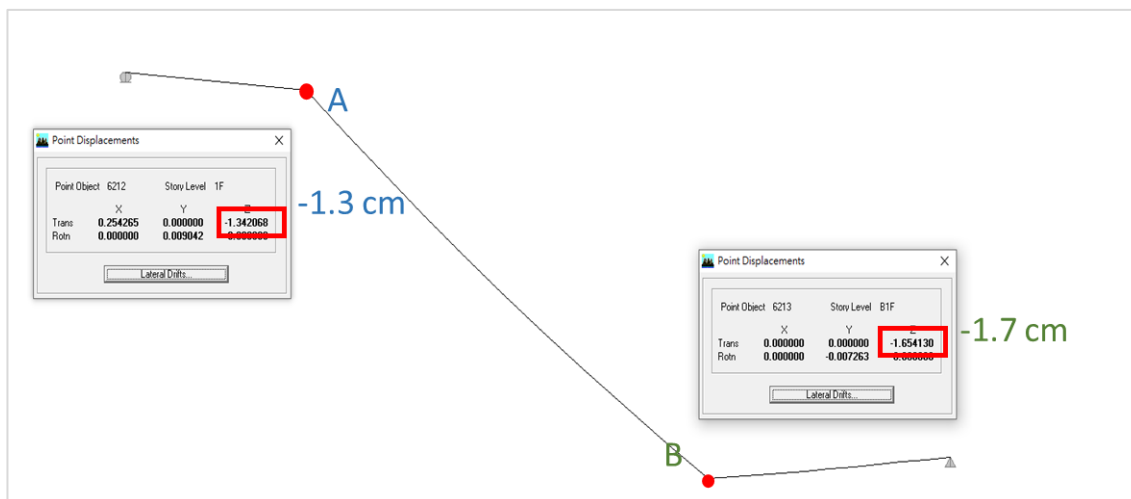


圖 104 配筋需求檢討 2(資料來源:參 22)

(7) LL 即時變形(台階段 20cm 厚)

$$A: 0.8 \text{ cm}$$

$$B: 0.8 \text{ cm}$$



圖 105 配筋需求檢討 2(資料來源:參 22)



5.4 設計階段施工風險評估

由於我國營造業職災相較於其他行業，發生率及嚴重度皆高出許多，顯示具高度之風險。故勞動部職業安全衛生署爰訂定「營造工程風險評估技術指引」，營造工程必須由工程業主、設計者、施工者及使用者等權責單位，於營造工程全生命週期各階段之適當時機，實施風險辨識、分析、評量等施工風險評估程序，掌握風險狀況，研擬風險對策，據以修正、補充原有工程設計、施工計畫、作業方法、變更計畫等內容之施工安全衛生相關事項，將風險控制在最低合理可行範圍，以有效提升施工安全。以下針對本研究預鑄樓梯設計階段所需要進行之施工風險評估進行檢討。

5.4.1 辦理依據

前述施工風險評估主要依政府採購法、職業安全衛生法、職業安全衛生管理辦法、加強公共工程職業安全衛生管理作業要點等法規訂定。

5.4.2 工程規劃設計階段

安全管理之實施流程工程於規劃設計階段辦理之工作內容包括：確認設計需求、基地調查、方案研擬、設計、規範編定、預算編列等。該作業過程，實施安全管理之方式及內容如下：

1. 設計需求分析及低地環境調查：危害辨識。
2. 方案研擬及評選：將施工安全納入評選項目。
3. 設計成果安全評估：就設計成果內容進行安全評估，以確保本質安全。
4. 安全衛生圖說繪製：依據設計需求繪製安全衛生設施圖說。
5. 施工規範定性：依據前列各階段執行結果編列施工作業安全需求。
6. 預算編列：詳列執行項目與計量計價規定。



5.4.3 風險分析

風險分析主要在辨識內、外在風險因素發生之後果，以及該內、外在因素發生之可能性。由於發生工安事件之因素甚多，且因不同地形環境條件、不同施工方法、不同承攬廠商及不同之主辦機關、監造單位，均會影響工安事故發生之機率與嚴重程度，故以目前有限之個案數據，僅能以定性方式分析風險之機率與嚴重程度，再利用風險評量鑑別內、外在因素影響目標達成之風險等級，以進行後續檢討與對策精進作業。以定性方式分析工安事件衝擊或嚴重度，如下表 14 所示；以定性方式分析工安事件發生之可能性，如下表 15 所示。

表 14 工安事件衝擊及嚴重度(資料來源:參 23)

等級		人員傷亡
3	重大	造成一人死亡以上、三人以上受傷、或是暴露於無法復原之職業傷害或職業病或致癌的環境中
2	高度	造成永久失能或可復原之職業傷害或職業病的災害
1	輕度	輕度傷害： 僅需急救處禮，或外送就醫但未造成工時損失之災害

表 15 工安事件發生之可能性(資料來源:參 23)

等級		預期危害事件發生之可能性	防護設施之完整性及有效性
3	極可能	每年 1 次(含)以上； 在施工、活動或服務之生命週期內可能會發生 5 次以上	施工現場未設置必要的防護設施，或所設置之防護設施並無法發揮其功能
2	較有可能	每 1-10 年 1 次； 在施工、活動或服務之生命週期內可能會發生 2 至 5 次以上	施工現場僅設置部分必要的防護設施，或對已設置之防護設施，未定期維護保養或監督查核
1	不太可能	每 10-100 年 1 次； 在施工、活動或服務之生命週期內可能會發生 1 次	施工現場已設置必要的防護設施，且有定期維護保養或監督查核使其維持在可用狀態



5.4.4 風險評量

風險評量之目的，主要在釐清可接受之風險及主要風險，俾將有限之資源投入主要風險之管控。針對工安事故發生機率極高且後果非常嚴重之因素，自當是為極度危險之風險，而立即採取行動。對於發生機率較底或發生後果仍屬嚴重之因素，則須是為高度風險之危險，需研擬因應計畫並投入足夠之資源，以為因應。

有關工安事故風險評估方式，可分風險等級 1~9，風險等級 1~2 者，屬低度風險；風險等級 3~4 者，屬中度風險；風險等級 6~9 者，屬高度風險，如下表所示。

表 16 風險可能性等級分級表(資料來源:參 23)

風險評量值			嚴重度		
			重大的	中度的	輕微的
			3	2	1
可能性	極有可能	3	高度風險	高度風險	中度風險
			9	6	3
	有可能	2	高度風險	中度風險	輕度風險
			6	4	2
	可能性低	1	中度風險	輕度風險	輕度風險
			3	2	1

表 17 風險等級區分表(資料來源:參 23)

風險評估值	危害等級	危害	採取措施基準
6~9	高度危害	有重大影響之問題	需立即採取措施
3~4	中度危害	有影響之問題	需採取措施
1~2	低度危害	可乎略之問題	需採取警戒措施



5.4.5 設計成果施工風險評估

為評估設計成果施工風險，以下逐一將各分項工程(或維護作業程序等)拆解為：第一階作業、第二階作業、作業內容等，以明確施工作業內容、使用之機具設備、設施、作業程序及步驟等，如表 18 分項工程作業拆解表所示。

表 18 分項工程作業拆解表

分項作業	第一階	第二階	作業內容(方法、程序、機具設備、工具、材料、安全設施、防護具等)
結構工程	預鑄樓梯	預鑄樓梯組立	1. 掛機具進場(吊車進場) 2. 預鑄樓梯(構件)進場 3. 大小梁吊裝 4. 樓梯吊裝 5. 電焊作業 6. 作業前應提報相關施工計畫及結構計算書

5.4.6 設計施工作業模擬程序及風險辨識

依據表作業拆解內容，可進一步設計施工風險成果，如下表設計施工作業模擬程序及風險辨識所示，以下依據預鑄樓梯特性彙整主要之風險項目。

表 19 預鑄樓梯施工作業模擬程序及風險辨識預防原則

第一階作業	第二階作業	危害來源	主要風險影響	預防原則
預鑄樓梯工程	樓梯組立工程	1. 物體飛落 2. 人員墜落	1. 物體飛落 2. 人員墜落 3. 感電 4. 熱傷害	1. 應依據預鑄樓梯作業標準施作 2. 安全網、個人防護具、安全母索應作業前檢查 3. 吊掛機具應每日進行設備檢點、檢查，並依規定提出吊掛申請作業 4. 應依據吊掛作業標準施作 5. 作業前應透過 BIM 進行 3D 模擬工區環境與可行性 6. 作業前應提報相關施工計畫及計算書



5.4.7 預鑄樓梯施工風險評估(系統版)

依據前述章節內容，以下針對預鑄樓梯之風險辨識、防護設施、風險分析及對策處理等進行檢討預鑄樓梯設計階段施工風險評估。

表 20 施工風險評估表

作業內容				風險辨識		現有防護設施			風險分析				風險處理
編號	作業步驟	作業條件		危害類型	可能風險狀況	工程控制	管理控制	個人防護具	可能性	嚴重性	風險值	風險等級	風險對策
		作業環境	機具設備										處理風險與機會之措施
8	第一階作業名稱:預鑄樓梯工程												
C8i	第二階作業名稱:樓梯組立工程												
C8i01	1. 吊掛機具進場 2. 構件進場 3. 樓梯吊裝 4. 電焊作業	工業廠房基地範圍	吊車、電焊機	機械或吊掛物撞傷人員 人員墜落	作業人員致傷	作業範圍圍管制設施	指派專人指揮監督施工前危害告知	安全帽反光背心 安全鞋	P2	S3	7	高度風險	1. 施工前危害告知 2. 設置吊掛指揮人員 3. 人員教育訓練 4. 吊掛區域應設置警告標示，禁止無關人員進入操作半徑，並定期檢點吊掛機具與設備 5. 吊車證照檢查\鋼索\吊鉤檢查\防滑舌片檢查\腳座確實延伸固定 6. 使用個人防護具 7. 吊裝應依據預鑄樓梯作業標準施作 8. 確實拉設安全母索/安全網/護籠爬梯，並定期檢點 9. 預鑄樓梯隨層安裝，作為上下設備 10. 施工前承包商應提送吊裝計畫

5.4.8 預鑄樓梯施工風險評估

以下針對本研究預鑄樓梯於施工過程中之潛在危害進行風險評量及風險對策之評估。



表 21 預鑄樓梯工程風險評估表

作業內容 (作業方法、程序、機具設備、工具、材料、安全設施、防護具等)		風險評量				風險對策
危害辨識/風險分析		可能性	嚴重性	風險性	風險等級	
潛在危害	可能的災害狀況					
物體倒塌	各類物料之儲存、堆積及排列，應井然有序；且不得妨礙交通。	2	2	4	中	1. 物料整齊堆放於預定之規劃位置區。 2. 堆放平穩整齊，不得妨礙作業人員或阻礙通道。
	材料之堆放，應置放於穩固、平坦之處，整齊緊靠堆置，其高度不得超過 1.8 公尺，儲存位置鄰近開口部分時，應距離該開口部分 2 公尺以上。	2	2	4	中	堆放高度不得超過 1.8m。
感電	濕潤場所使用電壓 150 伏特以上之移動式攜帶式電動機具及臨時用電設備，應於電路設置高敏感度之感電防止用漏電斷路器或將電動機具依規定接地。	2	2	4	中	1. 電焊機加設自動電擊防止裝置。 2. 配電箱各開關使用漏電斷路器。 3. 設置接地裝置。
	勞工於作業中或通行時，有接觸被覆配線或移動電線或電氣機具、設備之虞者，應有防止絕緣被破壞或老化等致引起感電危害之設施。	2	2	4	中	電線架高 2 公尺以上
	電焊作業之焊接柄，應有相當之絕緣耐力及耐熱性。	2	2	4	中	焊接柄須有絕緣力及耐熱性。
物體飛落	1. 工作場所有物體飛落之虞者應防置防止物體飛落設備。	2	2	4	中	1. 要求勞工戴安全護具、安全帽 2. 以警示帶設置警示區及

作業內容 (作業方法、程序、機具設備、工具、材料、安全設施、防護具等)		風險評量				 風險對策
危害辨識/風險分析		可能性	嚴重性	風險性	風險等級	
潛在危害	可能的災害狀況					
	2. 作業中有物體飛落或飛散，致有危害之虞者，應備安全帽或其他防護具。					警告標語未通報核准不得進入作業
墜落	勞工於 2 公尺以上開口處從事作業	3	2	6	高	1. 開口架設護欄、護蓋、安全網及警告標示 2. 柱筋上設置安全母索 3. 作業面護欄、護蓋需暫時拆除時，於堅固面設置環扣，使勞工配戴安全帶並扣於環扣上，且於作業完時，立即恢復原狀 4. 樑側模設置護欄，並以繫材與外牆施工架連接

5.4.9 設計階段風險評估成果

風險評估流程為一連串的施工模擬及安全評估，目的係為確保設計成果之安全性，檢核出設計內容於施工時可能出現之危害狀況並研擬預防對策。風險評估係以研擬各項施工計畫及施工安全控管事項，透過施工順序模擬施工項目的組建邏輯等情境，模擬方式及推演討論，係為發掘潛在的危害，並依據危害辨識結果研擬適當之預防對策及規劃各項安全防護措施。

本案風險評估設計成果所進行之風險評估雖僅針對預鑄樓梯為主，惟經由辨識潛在之施工危害狀況分析可能導致之災害類型後果，能建構出評估發生災害之可能性、嚴重度，再評定風險等級。後再依據風險等級高低決定風險處理之優先順序，進而檢討施工安全防護措施的完備性，擬訂適當之施工安全處理措施。相對的，在施工階段施工廠商依據設計風險評估成果提送施工階段之風險管理計畫，於工程實施過程進行施工安全管制及追蹤，以確保施工風險評估成果落實實施。



5.5 預鑄樓梯安全、品質、成本效益分析

綜合以上章節之研究結果，以下就本研究案例規劃採用預鑄樓梯之施工安全性、施工品質及成本效益與傳統場鑄樓梯、鋼構樓梯進行分析比較。

5.5.1 預鑄樓梯施工安全性分析

1. 場鑄樓梯安全分析

而場鑄樓梯模板常需要使用施工架、直梯、或合梯等施工輔助物進行組立作業，勞工於其上工作時，若不慎由施工架或梯上摔下來，由於樓梯造型的關係，致使勞工常由可能沿著階梯一路滾翻下來，造成除墜落之外額外的傷害。

此外，場鑄樓梯模板底部配合樓梯底板之斜面造型，主要常以三角楔木搭配垂直支撐為主，此種作法經檢討後雖符合結構強度及安全規定，惟現場樓梯間往往施工空間及高度較為狹小，加上支撐數量非常密集、料件又往往反覆多次使用，在施工人員須從下方穿越之情況下，往往可能因此產生碰撞之情形，影響勞工安全甚鉅。

呈上，勞工於模板拆除作業時，如同樑模板與樓版模板拆除作業面臨之危害，勞工若不慎將隨時有被掉落之模板砸傷或由施工架等摔下來的傷害。此外，如前所述模板作業須涉及電力之使用，若遇下雨即導致作業環境潮濕，漏電之情形大增，亦可能造成感電意外。



圖 106 場鑄樓梯模板組立照片

立完成、灌漿養護
置欄杆及安全網等，

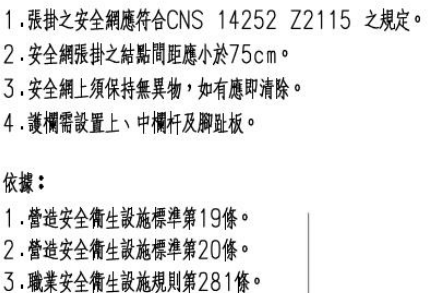


圖 107 樓梯護欄安全衛生設施標準圖

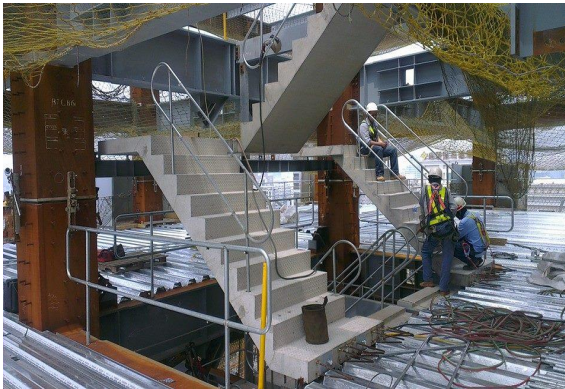
與樓梯相關之職業安全衛生規定主要以營造安全衛生設施標準第 19 條(高度二公尺以上之樓梯勞工有遭受墜落危險之虞者，應於該處設置護欄、護蓋或安全網等防護設備)、第 20 條(具有高度九十公分以上之上欄杆、中間欄杆或等效設備(以下簡稱中欄杆)、腳趾板及杆柱等構材；護欄於任何一點、任何方向加以 75 公斤之荷重須無變形)、職業安全衛生設施規則第 281 條為主。

因此一般場鑄樓梯在混凝土灌漿初凝後，為達前述之護欄規定與強度標準，多於現場以鋼管結合膨脹螺絲鎖固於樓梯，由於缺乏固定位置及標準，加上並未有明確設計規劃，導致護欄鬆脫、規格不符標準等問題時有所聞，

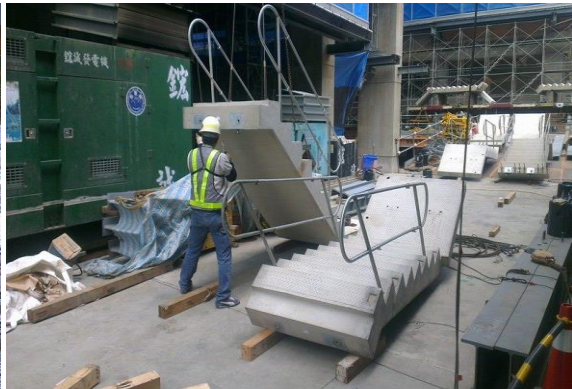
綜上所述，場鑄樓梯系統作為施工過程中串聯上下各樓層唯一的通道，使用機率極高。惟自梯模模板組立乃至施工全期程之臨時安全設施設置等過程，若未經妥善規劃、檢討及設置，極可能導致使用樓梯上下設備過程造成傷害，對於現場勞工安全性可說影響甚鉅。

2. 預鑄樓梯安全分析

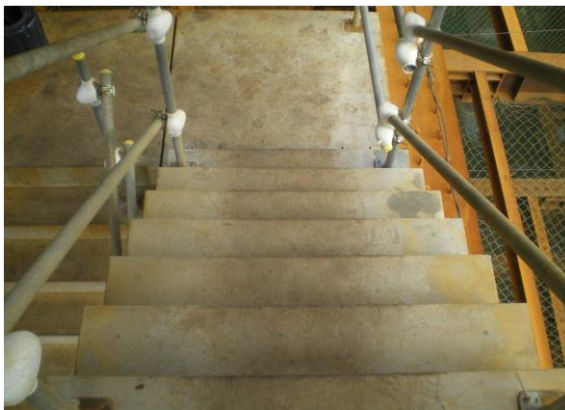
呈上，若是在工程內導入預鑄樓梯系統，則無梯模組立過程之所有行走問題，減少混凝土澆置過程中倒塌之施工風險，預鑄樓梯於工廠製造完成後運輸到現場進行吊裝、組裝即可，樓梯護欄亦可透過預鑄樓梯所預埋之金屬構件進行安裝，確保現場強度，藉由樓梯、扶手先行，大幅提升施工現場之安全性，在現今缺工趨勢以及職安意外頻傳的形況下，預鑄樓梯勢必成為未來之發展趨勢。



鑄樓梯先行



預鑄樓梯先行安裝護欄



預鑄樓梯及安全護欄定位



預鑄樓梯樓板安全護欄

圖 109 預鑄樓梯安全護欄照片(資料來源:參 17)



3. 施工安全性綜合比較

本研究以下分別針對場鑄樓梯、預鑄樓梯及鋼構樓梯於各階段之施工安全性，以及與施工安全相關之因子(如施工風險)進行比較，詳如下表。

表 22 各樓梯施工安全性比較

項目 階段	場鑄樓梯	預鑄樓梯	鋼構樓梯
施工前	1. 高架作業 2. 吊掛作業(物料) 3. 樓梯間開口防護 4. 設計階段施工風險評估(施工架、鋼筋、模板、混凝土) 5. 模板支撐結構計算 6. 模板軀體圖繪製	1. 吊車設備機具 2. 吊掛作業(證照) 3. 樓梯間開口防護 4. 設計階段施工風險評估(預鑄樓梯吊裝) 5. 預鑄樓梯施工圖 欄杆、扶手預埋設計	1. 吊車設備機具 2. 吊掛作業(證照) 3. 樓梯間開口防護 4. 設計階段施工風險評估(鋼構工程吊裝) 5. 鋼構製造圖
	潛在危害(安全性低)	潛在危害(安全性高)	潛在危害(安全性中)
	物體倒塌、物體飛落、墜落	墜落	物體倒塌、墜落
施工中	1. 模板切割及感電 2. 樓梯間開口防護 3. 混凝土澆築風險高 3. 模板支撐倒塌 4. 人員墜落滾落 5. 樓梯臨時扶手 6. 樓梯臨時踏步	1. 吊掛作業(指揮) 2. 合格安裝人員 3. 現場安全母索 4. 安裝人員墜落 5. 吊掛物體飛落 6. 安裝樓梯碰撞	1. 吊掛作業(指揮) 2. 合格安裝人員 3. 現場安全母索 4. 現場焊接及感電 5. 安裝人員墜落 6. 吊掛物體飛落 7. 安裝樓梯碰撞
	潛在危害(安全性低)	潛在危害(安全性高)	潛在危害(安全性中)
	物體倒塌、感電、物體飛落、墜落、刺傷	感電、墜落	物體倒塌、感電、物體飛落、墜落
施工後	1. 版面開口防護 2. 樓梯間開口防護 3. 樓梯固定扶手鬆脫 4. 拆模物體飛落 5. 拆模前模板倒塌	1. 版面開口防護 2. 樓梯間開口防護 3. 樓梯固定扶手	1. 版面開口防護 2. 樓梯間開口防護 3. 樓梯固定扶手 4. 踏階鋼板預留裝修厚度易導致滾落
	潛在危害(安全性低)	潛在危害(安全性高)	潛在危害(安全性中)
	墜落、刺傷	—	墜落

由上表可知，預鑄樓梯相較於鋼構樓梯以及場鑄樓梯之安全性，於施工前、中、後之風險及潛在危害皆是最低。相對於現場施工環境對於勞工最為有利。



5.5.2 預鑄樓梯施工品質分析

1. 場鑄樓梯品質分析

一般來說場鑄樓梯由於是現場組立梯模，故每階階梯之級高與級深必然有些許差異，此部分需視現場模板工班之經驗與技術來掌控，若遇到品質較差之模板工班，將導致澆置後的階梯高低不一、深度不一。澆置過程中若震動搗實不足（樓梯往往會產生蜂窩現象，理由為樓梯灌漿順序為踏面及牆分段澆築，震動棒往往無法確實震動），更可能導致蜂窩等現象，加上現場養護等問題，樓梯作為版式結構，若斷面尺寸不足或養護不佳，將導致大幅影響其強度及品質。

此外，在樓梯附屬設施(永久扶手)方面，由於現場澆置過程會導致扶手預埋鐵件位移，故扶手僅能現場就結構體直接以螺栓鎖固方式為主。此種方式導致兩問題，一方面扶手強度可能不足導致搖晃，另一問題則為美觀層面，鎖固之螺栓僅能採外露處理，間接導致產生生鏽等問題。

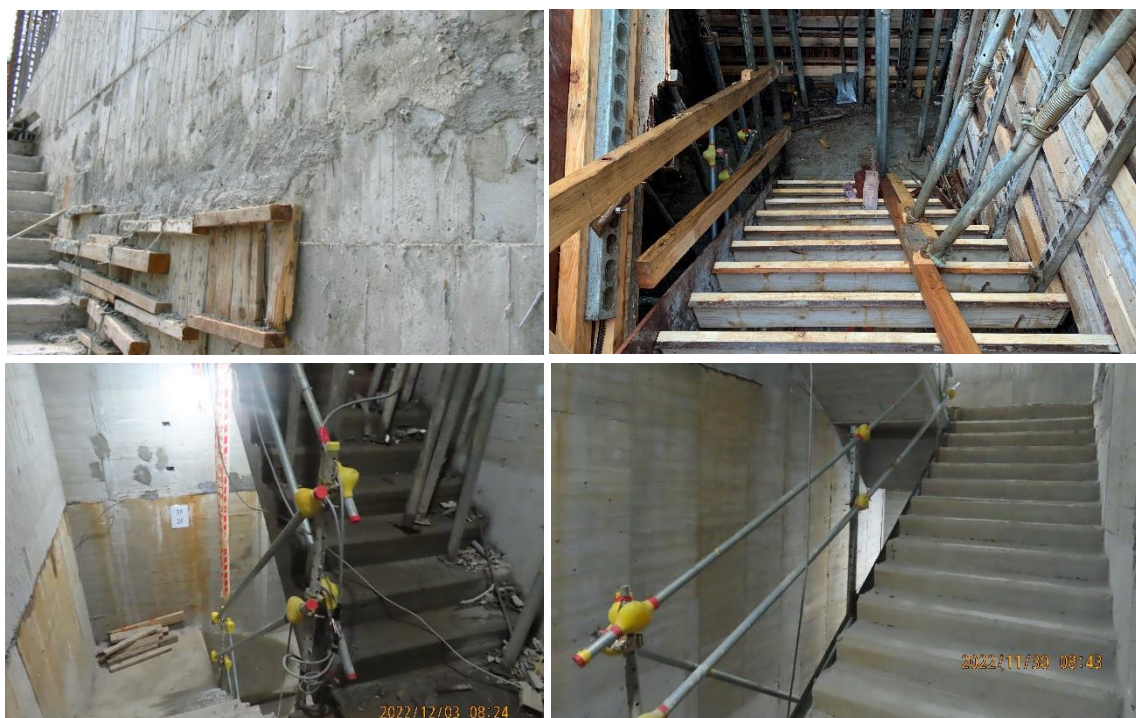


圖 110 場鑄樓梯案例照片(取自工程會-工程品質常見缺失說明簡報)



2. 預鑄樓梯品質分析

預鑄樓梯相較於場鑄樓梯之施工品質可說優異許多，預鑄樓梯在工廠內進行，可以受到嚴格的品質控制，節省大量的時間，同時，也減少了天氣條件對施工進度的影響(有關品質管控請參閱 4.4.6、4.4.7)。此外，製造過程中使用的模具和設備可以確保產品的一致性和精度，消除了現場建造可能出現的一些人為錯誤和材料差異，提供了更高的品質保證。此外，預鑄樓梯之鋼模製作後可非常多次重複使用，得以確保同一批鋼模製造生產之樓梯構件尺寸一致；相較於場鑄樓梯採用木模板尺寸差異較大，現場也較難掌控材料及人為因素所產生之差異。

在混凝土材料品質方面，預鑄樓梯混凝土係於工場內進行澆置，澆置後以高溫蒸氣進行養護且置放於有屋頂室內廠房空間，其對於混凝土品質之控制可達到最佳化。



圖 111 預鑄樓梯版片及吊裝照片(資料來源:參 17、參 18)



3. 施工品質綜合比較

本研究以下分別針對場鑄樓梯、預鑄樓梯及鋼構樓梯於各階段之施工品質以及與施工品質相關之因子進行比較，詳如下表。

表 23 各樓梯施工品質比較

項目 階段	場鑄樓梯	預鑄樓梯	鋼構樓梯
施工前	1. 樓梯施工圖 2. 樓梯模板軀體圖 3. 混凝土驗廠 3. 現場放樣精準度	1. 樓梯設計圖 2. 預鑄場驗廠 3. 工廠生產 4. 現場預埋件安裝	1. 樓梯設計圖 2. 鋼構廠驗廠 3. 工廠生產 4. 現場預埋件安裝
	前置作業要求較低	前置作業要求最高	前置作業要求較高
	屬於傳統鋼筋、模板組立，前置作業較為單純。	設計階段必須精確考量各部位尺寸以及接合部設計，進行多方整合。	設計階段需多方考量結構設計尺寸及接合方式。
施工中	1. 模板與鋼筋搭配 2. 模板清潔問題 3. 鋼筋綁紮不易 4. 天候環境因素 5. 灌漿順序分段 6. 養護不易	1. 空間尺寸確認 2. 廠製施工環境佳 3. 廠製鋼筋綁紮佳 4. 廠製混凝土佳 5. 廠製養護容易 6. 現場吊裝作業 7. 圖面生產尺寸與現場空間預留尺寸	1. 空間尺寸確認 2. 廠製施工環境佳 3. 廠製電銲作業佳 4. 現場吊裝作業 5. 圖面生產尺寸與現場空間預留尺寸
	可變動性最高	可變動性最低	可變動性中等
	屬於現場組立模板後澆置混凝土，故現場可配合現地條件調整各部份尺寸	屬於工廠內生產製造之預鑄構件成品，混凝土強度及品質高，現場施工精確度要求較高，較難配合現場調整	屬於工廠內生產製造之鋼構件成品，現場仍可小幅度配合調整。
施工後	1. 蜂窩及冷縫 2. 樓梯踏面破損 3. 品質較差	1. 總品質高 2. 易於後續裝修	1. 總品質高 2. 易於後續裝修
	施工品質差異大	施工品質最佳	施工品質差異小

由上表可知，預鑄樓梯相較於鋼構樓梯以及場鑄樓梯之品質，於施工中、後皆屬較佳，不論對於後續裝修工程或整體施工品質皆是如此。



5.5.3 預鑄樓梯成本分析

1. 場鑄樓梯成本分析

一般而言，相較於預鑄樓梯主要以現場組裝為原則，場鑄樓梯主要於施工現場以梯模組立方式進行，其施工順序如下：

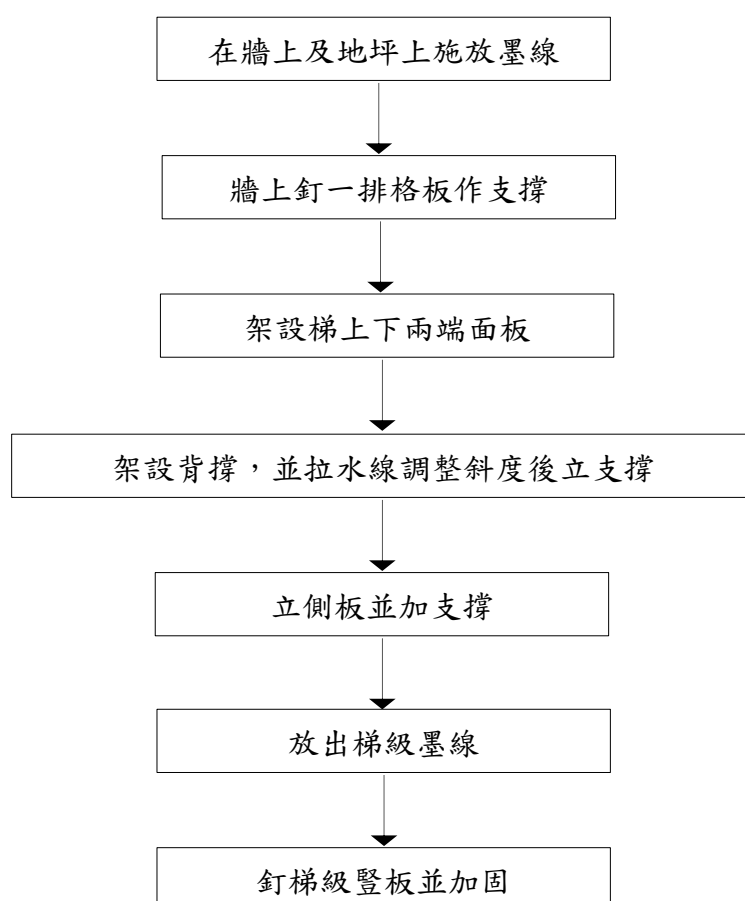


圖 113 場鑄樓梯模板組立流程(整理自勞委會模板支撐組立及拆除作業)

由前述模板組立流程已知牆、柱模板屬於垂直模板，而樑及樓版模板為水平模板。樓梯模板則是由垂直、水平及斜向模板組合而成，其構造較為複雜且施工困難，樓梯模板之施工通常與主體工程分開，以避免延誤工程進行。

梯模組立完畢後，樓梯踏面及牆採分段澆築，由於樓梯版筋配筋較為密集，故澆置過程中應全程震動搗實，以避免產生蜂窩現象。澆置完成後於現場採濕治養護。

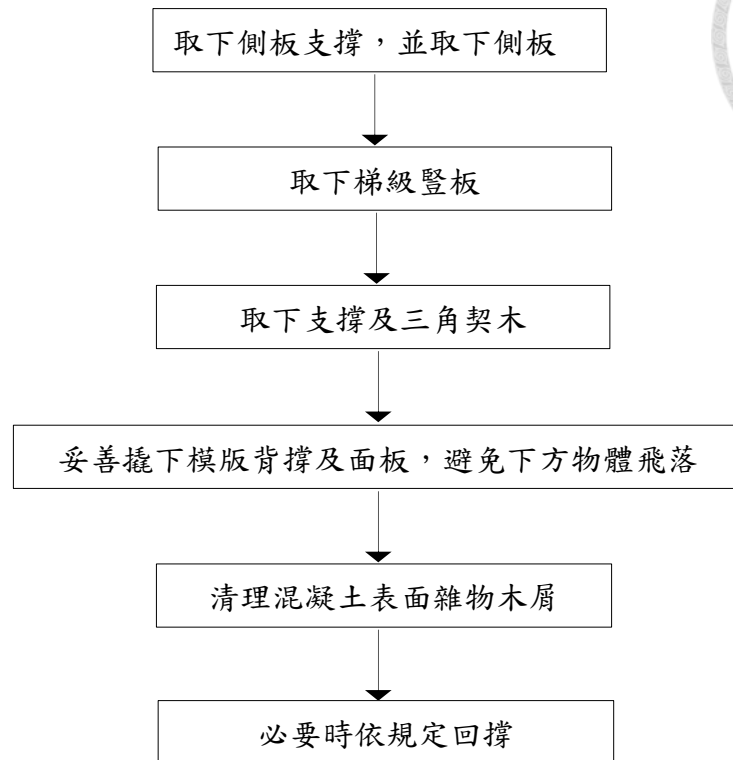


圖 115 場鑄樓梯模板拆除流程(整理自勞委會模板支撐組立及拆除作業)

傳統場鑄樓梯施工成本主要在於模板及鋼筋組立、混凝土現場澆置與養護、模板拆除等三大部分，整體成本除了材料以外，主要以人力工資佔大部分比重。

2. 預鑄樓梯成本分析

若單純就預鑄樓梯構件來探討成本，主要包括生產、運輸、吊裝等三大部分為主，由於預鑄組件施工前必須先行將組件分割設計，再在工廠生產、養護(其規劃設計生產製作流程，另參考第三張各節)後，由工廠運輸至工地，再行吊裝、組合等程序，因此影響預鑄組件成本之因素包括如下述九部分(翁敏欽，房屋建築工程預鑄工法生產成本分析之研究，2008)。

- (1) 規劃設計、施工圖說製作費用
- (2) 組件生產材料成本(含外飾材)
- (3) 組件生產工資成本



(4) 組件所分攤模組成本之多寡(模組成本與使用次數)

預鑄樓梯每套鋼模開模成本約 60 萬元，故同一套模具在使用次數越多之情況下，能夠降低成本，同時由於材料可大量採購，增加議價空間，相對降低材料成本。此外，工廠生產功率、工地吊裝組合功率也因學習曲線之熟練而提高，平均工資成本會降低。但建築物較高時，則因吊裝距離較高，也會影響吊運能力與成本。

(5) 組件所分攤生產設備費之多寡(包括固定廠房折舊、生產人力等)

(6) 組件之運輸成本(從產地搬至工地)

工區之位置、地點主要為影響到運輸之成本。一般而言，運費計算方式為先考慮工區位置與預鑄廠生產之距離，再以預鑄製品重量計算運費，通常重量以每噸為一單位計算。

預鑄系統工法於運輸過程中，由於預鑄構件尺寸多半較大，主要多以大型拖板車為主，故應於事前評估工區當地以及預鑄場至工地現場間之交通路線及當時車流狀況進行調整。藉由妥當的安排、選擇運輸路線，避免因交通狀況不良而導致工程進行的延誤。

對於預鑄系統工法而言，由於預鑄的特性，通常預鑄製品事先於預鑄場生產、儲存，然後依造工地現場施工裝況，依每日能施工吊裝之預鑄單元數進行運輸，而非儲存於工地現場。因此，若於運輸過程中沒有慎選交通路線，因交通狀況的不良而導致工程延誤，將造成工程成本的增加，故交通狀況亦是影響預鑄系統工法之因素之一。(曾銘文，1996)。

(7) 工區動線配置

工區之內、外之動線配置無論是什麼工程，均為影響工程進行的最主要因素之一。工區動線若安排的妥當，則工程進行必相當順利。而對於預鑄系統工法而言，工區儲放材料及動線的安排配置亦相當重要，因預鑄製品於預鑄場生產完成



後，必須運至工區現場進行存放組裝之作業。然而在裝運的過程中，工區動線若安排不當，則平板車與吊車之間則無法配合，在此情況下將影響吊車組裝的效率，而間接影響到工程成本。(曾銘文，1996)。

(7)組件之吊裝費用(含揚重機具)

雖說預鑄系統工法施工時較不受天候之影響，但對於預鑄樓梯最主要的吊裝作業來說卻可能因天候的不良而有所影響。一般預鑄樓梯視情況多以輪式吊車或是塔式吊車為主要的吊裝工具。當吊裝作業在於雷雨季節時，雖然吊車上裝有避雷針，但在雷雨季節較頻繁時(尤其是山區)，通常不進行吊裝作業。因此，在雷雨季節，吊裝作業可能因氣候因素無法進行，而導致工程延遲，進而將可能增加工程成本的負擔，造成工程費用的精加。(曾銘文，1996)。

(8)其他(含市場因素、管理、管銷等)

市場的因素包括物價指數之升高，造成材料費用的增加。技術工人之工資上漲、人事費用之增加或因市場上的競爭壓力而導致工程費用需折價競爭等。若面臨市場競爭壓力，預鑄系統工法之工程費用可能不計入預鑄廠房、預鑄廠土地，機具設備等成本之攤提。(曾銘文，1996)。

整體而言預鑄樓梯系統成本資源主要有兩大項，就是材料與人力；此二項本就有一定成本結構但也受市場供需量影響其價格與競爭力，例如預鑄系統是以節省人力為其優勢，當工資高漲時，對預鑄品的價格較不受影響，但和傳統工法相比價格可更具競爭力，進而當供應量更大時，價格可更進一步降低。同樣的，若物價上漲時，造成材料費用增加，此時可能需視工資上漲幅度，來確認預鑄與傳統場鑄樓梯的成本高低。

據此，就目前國內整體營建市場因俄烏戰爭導致原物料上漲及缺工之長期現象情況下，就安全、品質、工期等面相來看，預鑄樓梯無庸置疑是較佳的選擇，而在加入經濟性的考量後，整體評估採用預鑄樓梯系統仍是未來長期之發展趨勢。



(9) 預鑄樓梯成本分析

依據前述章節針對預鑄樓梯設計及結構之檢討，以下針對本研究案例之預鑄樓梯數量及成本進行分析。

A. 混凝土量

混凝土	總重 (t) =	4.66	總體積 (m3) =	1.94
L	t (cm)	Total (t)		
L1+L2+L6	20	0.74		
L3	15	1.71		
L4+L5+L6	20	1.23		
階梯	體積(m3)	Total (t) (12階)		
	0.4096	0.98		

B. 鋼筋量

表面積 (m2)	41.05					
W (cm)	128					
L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	L5(cm)	L6(cm)	Total
0	50	372	50	80	70	622
鋼筋	總重 (kg) =	238.86	Unit Rebar(kg/m2) =	30.00		
下層筋	鋼筋號數	鋼筋剖面積(cm2)	鋼筋間距(cm)	鋼筋量(kg)	Total (kg)	
Rebar 1	#5	2.00	10	0.00	140.27	
Rebar 2	#5	2.00	10	10.05		
Rebar 3	#5	2.00	10	74.76		
Rebar 4	#5	2.00	10	10.05		
Rebar 5	#5	2.00	10	14.07		
伸展長度	鋼筋號數	鋼筋剖面積(cm2)	Ld(cm)	鋼筋量(kg)		
R3搭階	#5	2.00	52	20.90		
R2搭階	#5	2.00	52	10.45		
上層筋	鋼筋號數	鋼筋剖面積(cm2)	鋼筋間距(cm)	鋼筋量(kg)	Total (kg)	
#3	0.71	20	22.19	26.47		
伸展長度	鋼筋號數	鋼筋剖面積(cm2)	Ld(cm)	鋼筋量(kg)		
#3	0.71	30	4.28			
開口補強	鋼筋號數	鋼筋剖面積(cm2)	鋼筋間距(cm)	鋼筋量(kg)	Total (kg)	
Rebar 6-上	#3	0.71	10	4.99	14.49	
Rebar 6-下	#5	1.35	10	9.50		
側向筋	鋼筋號數	鋼筋剖面積(cm2)	鋼筋間距(cm)	鋼筋量(kg)	Total (kg)	
#3	0.71	25	17.75	17.75		
斜向筋	鋼筋號數	鋼筋剖面積(cm2)	長度(cm)	鋼筋量(kg)	Total (4孔)	
1孔	#3	0.71	8*70	3.12	12.48	
台階鋼筋	鋼筋號數	鋼筋剖面積(cm2)	鋼筋間距(cm)	鋼筋量(kg)	Total (12階)	
1階	#3	0.71	25	2.28	27.39	

C. 造價估算(每半層費用)

項次	數量	單位	單價	複價
鋼筋(搭接、損耗15%)	0.27	tf	\$ 32,000	\$ 8,790
混凝土	1.94	m3	\$ 3,600	\$ 6,984
模板	41.05	m2	\$ 800	\$ 32,840
吊裝費用				另計
			Total	\$ 48,614
結構總重(tf)	4.66	單位重(kg/m2)	586	
總用鋼量(kg)	238.86	平均鋼量(kg/m2)	30	



3. 鋼構樓梯

一般而言，若建築物之主要結構採用鋼結構，大部分樓梯皆以鋼構樓梯為主，以下針對本研究若採鋼構樓梯所耗費之成本進行分析。

(1) 基本設定

A. 材質: SS400

B. $F_y = 2.5t_f/cm^2$

C. 邊界條件: 簡支

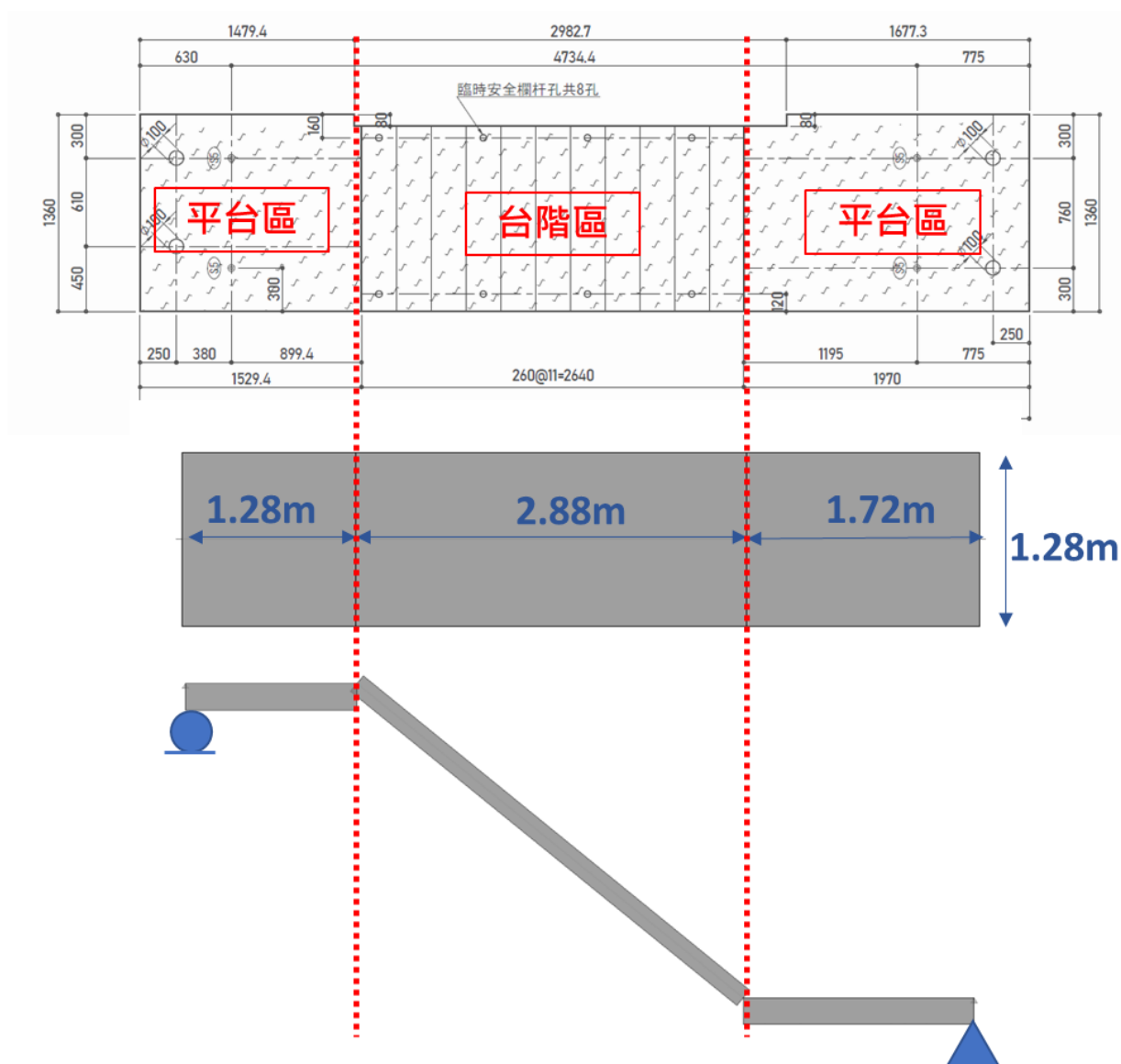


圖 116 鋼結構樓梯基本設定結構圖



(2)平台、台階區載重設定

A. $SDL=228 \text{ kgf/m}$

5cm 水泥砂漿+點焊鋼絲網 6/6@150x150=100 kgf/m^2

欄杆=50*2(條) kgf/m

B. $LL= 500 \text{ kgf/m}^2$

(3)樓梯構件尺寸

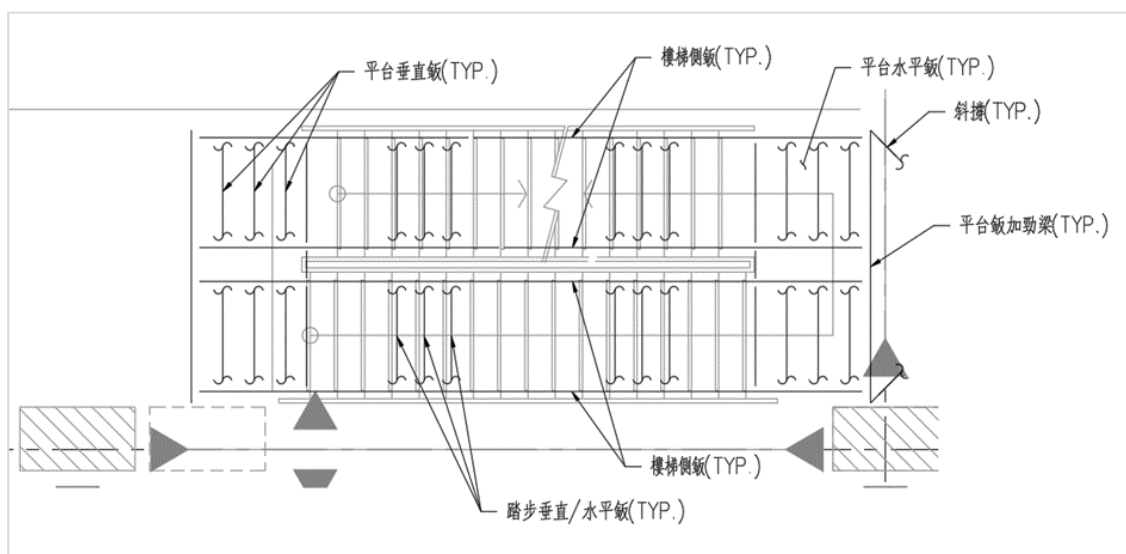


圖 117 鋼樓梯平面示意圖

表 24 鋼構樓梯構件尺寸表 1

樓梯編號	樓梯側板 @斜板段	樓梯側板 @平台板內緣	樓梯側板 @平台板外圍	踏步 垂直板
TYPE A	PL 20*300	PL 22*300	PL 8*200	PL8

表 25 鋼構樓梯構件尺寸表 2

樓梯編號	踏步 水平板	平台板 垂直向加勁板	平台板 水平板	踏步與平台板 鋪面
TYPE A	PL8	PL8100*300	PL8	5cm 水泥砂漿 點焊鋼絲網 6/6@150/150

(4)鋼構樓梯成本分析

A. 鋼骨量

鋼骨量(kg)	1480	平均鋼量(kg/m ²)	197			
構件	版厚(mm)	版寬/版深(mm)	版長(mm)	數量	間距(mm)	重量(kg)
台階段						
樓梯側板	20	300	3720	2	-	350.4
踏階垂直板	8	200	1280	12	-	192.9
踏階水平板	8	240	1280	11	-	212.2
上平台段						
縱向側板	20	300	1280	2	-	120.6
端部側板	20	300	1280	1	-	60.3
平台水平板	8	1280	1280	1	-	102.9
垂直加勁板	8	100	1280	-	300	34.3
下平台段						
縱向側板	20	300	1720	2	-	162.0
端部側板	20	300	1280	1	-	60.3
平台水平板	8	1280	1720	1	-	138.3
垂直加勁板	8	100	1280	-	300	46.1

B. 鋪面計算

總砂漿量(m ³)	0.36					
鋪面量計算	鋪面類型	單位重(tf/m ³)	厚度(cm)	面積(m ²)	體積(m ³)	重量(kg)
台階段	5cm砂漿	2	5	3.38	0.17	337.9
上平台	5cm砂漿	2	5	1.64	0.08	163.8
下平台	5cm砂漿	2	5	2.20	0.11	220.2
總鋼絲量(kg)	21.36	平均鋼量(kg/m ²)	3			
點焊鋼絲網	鋼絲網直徑(mm)	間距(雙向)(mm)	單位重(tf/m ³)	單位鋼重(kg/m ²)	面積(m ²)	重量(kg)
台階段	6	150	7.85	2.96	3.38	10.0
上平台	6	150	7.85	2.96	1.64	4.8
下平台	6	150	7.85	2.96	2.20	6.5

C. 造價估算

造價	數量	單位	單價	複價
鋼造 (耗損、零件10%)	1.65	tf	\$ 90,000	\$ 148,662
混凝土	0.36	m ³	\$ 3,200	\$ 1,155
吊裝費用				另計
Total				\$ 149,817

結構總重(tf)	2.22	單位重(kg/m ²)	295
總用鋼量(tf)	1.50	平均鋼量(kg/m ²)	200



4. 施工成本綜合比較

本研究以下分別針對場鑄樓梯、預鑄樓梯及鋼構樓梯於各階段之施工經濟性，以及與施工成本相關之因子進行比較，詳如下表。

表 26 各樓梯施工成本比較

項目 階段	場鑄樓梯	預鑄樓梯	鋼構樓梯
設計費用	設計費用最低 (整合界面最少)	設計費用最高 (整合界面最多)	設計費用中等 (整合界面較多)
	由結構技師設計樓梯配筋方式及混凝土強度、配比	由專業設計顧問整合結構技師、預鑄場設計預鑄樓梯及接合構件	由結構技師設計鋼構樓梯之鋼梁、鋼板及接合構件
結構總重(tf)	4.66	4.66	2.22
單位面積重 (tf/m ²)	586	586	295
最大配筋量	#5@10	#5@10	—
總用鋼量(Kg)	239	239	1502
單位用鋼量 Kg/m ²	30	30	200
總造價 (不含吊裝)	48,614	48,614	149,817
模板費用	15,000	—	—
鋼模開模費用	—	300,000	—
小計(半層)	63,614	348,614	149,817
小計(每層)	127,228	648,614	299,634
合計(本研究)	254,456(2層)	1,491,684 (6層/兩套鋼模)	1,797,804 (6層)
預拱值(cm)	上平台:1.0cm 下平台:1.4cm	上平台:1.0cm 下平台:1.4cm	—
活載重即時變形(cm)	上平台:0.8cm 下平台:0.8cm	上平台:0.8cm 下平台:0.8cm	—

由上表所分析各種樓梯每半層樓之單位造價由低至高依序為場鑄樓梯、鋼構樓梯及預鑄樓梯。主要因為預鑄樓梯開模費用較高(每套鋼模(上行+下行)約 60 萬元)所致。但若相同樓層數量較多之情況下，以本研究來說，開兩組鋼模之預鑄樓梯造價相較於鋼構樓梯造價更為便宜(低 306,120 元)。

5.6 預鑄樓梯綜合研析成果

以下綜合前述章節之分析比較，闡述場鑄樓梯、預鑄樓梯、鋼構樓梯之差異。

表 27 預鑄樓梯綜合研析成果表

階段 \ 項目		場鑄樓梯	預鑄樓梯	鋼構樓梯
設計界面	結構體形式 (預鑄樓梯銜接)	限 RC 構造	RC 構造、鋼骨構造	限鋼骨構造
	接合部銜接	場鑄方式接合	乾式接合	乾式接合
	接合模式	混凝土場鑄 澆置鋼筋	鐵件鎖固於 RC 托 梁或鋼梁	鋼構梁焊接
營建自動化程度	工業化程度	低	高	中
	現場作業量	多	最少	少
	管理介面	管理不易	單純易管理	單純易管理
	作業重複性	低	高	中
	機械化程度	低	高	中
	標準化程度	低	高	中
	技術難易度	低	高	中
	施工設備需求	不須特別設備	現場吊裝設備	現場吊裝設備
施工安全	生產條件	現場生產 以人力為主	工廠生產 以設備機具為主	工廠生產 以人力為主
	施工風險評估	安全性低	安全性高	安全性中等
	施工過程危害	風險最高	風險最低	風險中等
	營建環境污染	最高	最低	中等
施工品質	一定規模差異	風險越高	風險越低	風險中等
	生產條件	現場生產 無須設備	工廠生產 固定設施	工廠組裝 現場接合
	天候影響	易受影響	影響性低 影響吊裝階段	影響性中等 組裝易受影響
	品質穩定性	低	最高	高
施工成本	施工環境	最差	最佳	中等
	營建材料	低	低	高
	材料耗損	中	低	較高
	運輸需求	一般材料運輸	重型組件運輸	一般組件運輸
	資源運用	較差	佳	佳
工期	一定規模差異	無差別	重複樓層越多 成本造價越低	無差別
	工期掌控	低	高	中
	施工期程	長	短	中
一定規模差異		重複樓層越多越長	重複樓層越多越短	重複樓層越多越長

第六章 結論與建議



6.1 設計階段之研究

本研究以山坡地工業廠房為例，探討預鑄樓梯設計階段之內容，由於研究案例之業主為某國營事業機構，故該案之屬性為公共建築，所有與公部門相關之建管行政流程相較於一般私人企業新建廠房皆較為繁瑣。本研究論文在撰寫過程中對應研究案例之執行時程仍處於初步設計階段。故本研究所撰擬之各階段設計(投標規劃階段、基本設計、細部設計)內容探討乃至設計模擬及實證(BIM 模型建置、ETABS 結構軟體驗證)、設計風險階段施工風險評估等，皆以該研究案例之基本條件為假設。

本研究於第四章節及第五章節之內容，主要結合統包團隊之營造廠、建築師事務所、結構技師、專業預鑄廠、預鑄廠專業設計顧問等五方專業進行整合。提出預鑄樓梯於全設計階段所需探索之內容。除了 2D 細部設計圖面以外，包括 3D 模型建置、結構軟體檢核以及設計階段施工風險評估等，兼具設計與實務執行等面向，可作為預鑄樓梯由設計階段進入實質施工階段之基礎資料。

6.2 安全、品質、經濟性之研究

綜合綜合以上章節之研究結果，以下就本研究案例規劃採用預鑄樓梯之施工安全性、施工品質及成本效益與傳統場鑄樓梯、鋼構樓梯之比較結果分述如後。在安全性方面，藉由設計階段施工風險評估分析三種樓梯工法分別於施工前、施工中、施工後之潛在危害。由表 22 可得知，預鑄樓梯安全性高於鋼構樓梯，傳統場鑄樓梯為安全性最低之工法，現場施工環境對勞工潛在危害程度最高；在品質方面，預鑄樓梯在施工前之設計階段作業雖然要求最高，需整合之專業單位最多，但施工過程之精確度亦可達到最高。雖然吊運到現場後工程可變動性最低，但對於後續裝修工程之進行或整體施工品質亦是最佳；在成本效益方面，依據表 26 所述，預鑄樓梯額外計算每套鋼模的開模成本，在重複使用三個樓層的情況下，其

工程造價即低於鋼構樓梯。本研究案例為六層樓之工業廠房，由於有兩種不同樓層高，故需採用兩套鋼模，總造價成本亦低於鋼構樓梯。綜上所述，本研究案例規劃採行預鑄樓梯，不論就安全性、品質、工期與經濟性皆屬於最佳方案。

6.3 後續施工階段之研究

呈前述章節所述，預鑄樓梯由設計階段進入施工階段非屬於本研究之範疇，惟後續施工層面仍有許多待探究之課題。例如預鑄樓梯於工區現場之分項施工計畫執行層面，包括從進料、存放、吊裝、安裝、固定、安全設施、施工風險評估等各面向皆屬於重要課題。另藉由施工過程中由專業預鑄廠所提出之施工圖，營造廠據此所提出之 BIM 模型等，藉由 4D 方式進行施工模擬之驗證，亦是可研究之方向。

6.4 未來使用階段之研究

呈前述章節所述，預鑄樓梯由施工階段完成後進行使用階段仍有許多待探究之課題，包括 BIM 模型建置完成後移交予機關，針對預鑄樓梯端部接合處之變位較大特性進行變形及破壞監測等，以及相關監測如何回饋物業管理移交等課題。

參考文獻



1. 李侑學(2022)，統包模式下預鑄建築設計流程中導入預鑄 BIM 元件之研究，國立中央大學土木工程學系，碩士論文。
2. 卓進豐(2005)，預鑄工法應用在科技廠房之研究，中華大學土木工程學系，碩士論文。
3. 陳松右(2021)，預鑄暨土建工法與機電介面施工管理案例之探討，國立臺灣大學土木工程學系，碩士論文。
4. 施國銓(2010)，營建專案供需議題之研究－以預鑄專案為例，國立雲林科技大學工程科技研究所，博士論文
5. 翁敏欽(2007)，房屋建築工程預鑄工法生產成本分析之研究，國立臺灣大學土木工程學系，碩士論文。
6. 葉冠志(2012)，建築物生命週期之環境成本模擬分析混凝土預鑄與場鑄工法之比較，國立台灣科技大學營建工程系，碩士論文。
7. 勞動部職業安全衛生署(2021)，營造工程風險評估技術指引。
8. 公共工程委員會(2022)，公共工程採用自動化及預鑄化之規劃設計參考指引。
9. 內政部建築研究所(1999)，預鑄建築工程實務
10. 內政部建築研究所(1996)，預鑄混凝土工程施工規範(草案)
11. 內政部建築研究所(1997)，預鑄混凝土工程施工規範(草案)
12. 內政部建築研究所(1999)，預鑄建築工法技術推廣手冊
13. 內政部建築研究所(2021)，國內建築工程推廣應用預鑄技術及獎勵機制研究
14. 泛亞工程建設股份有限公司(2022)，電力修護處熱段組件再生大樓統包工程服務建議書
15. 泛亞工程建設股份有限公司(2023)，電力修護處熱段組件再生大樓統包工程地質調查報告書

- 
16. 泛亞工程建設股份有限公司(2023)，電力修護處熱段組件再生大樓統包工程
測量成果報告書
17. 亞利預鑄工業股份有限公司(2022)，預鑄樓梯說明簡報
18. 榮工實業股份有限公司(2022)，預鑄工法及產品說明簡報
19. 華清技術開發有限公司(2023)，電力修護處熱段組件再生大樓統包工程預鑄
樓梯設計圖
20. 華清技術開發有限公司(2013)，明日博集合住宅案預鑄樓梯施工圖
21. 榮工實業股份有限公司(2023)，預鑄樓梯設計規範
22. 圓方結構工程顧問有限公司(2023)，電力修護處熱段組件再生大樓統包工程
預鑄樓梯結構檢討
23. 勞動部職業安全衛生署(2020)，營造工程施工風險評估技術指引解說手冊