

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

建築資訊模型應用於高樓基礎實務

**Application of BIM on construction
of building foundation**

1896

研究生：林京陞

指導教授：林昌佑 博士

中華民國一百零二年十月

建築資訊模型應用於高樓基礎實務
**Application of BIM on construction
of building foundation**

研究生：林京陞

Student : Jing- Sheng Lin

指導教授：林昌佑 博士

Advisor : Dr. Chang-Yu Lin

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

In

Civil Engineering

October 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零二年十月

建築資訊模型應用於高樓基礎實務

研究生：林京陞

指導教授：林昌佑 博士

國立交通大學土木工程學系碩士班

摘要

近年來，應用建築資訊模型（Building Information Modeling，BIM）在建築物生命週期各階段已為趨勢。應用範圍涵蓋規劃設計、營建施工和營運維護，整合資訊的 4D 模型亦提供了更好的視覺化表達方式。能有效使用 BIM 技術的專案團隊，能夠整合完整專案資訊，讓不同領域的專案人員在單一平台上進行設計、協作，達到真正有效的團隊合作。

為驗證BIM技術的應用層面，本研究以集合式住宅新建工程之地下室開挖、臨時支撐工程至地下室結構體完成等階段作為案例，透過實際參與施工過程，收集、整理營建工法相關資訊及經驗，建立 BIM 模型，進而探討 BIM 技術於集合式住宅新建工程的相關應用及實質幫助。

本研究排定各階段工程進度，將施工項目連結 3D 模型達到完整的 BIM 4D 模擬，並探討其應用與實際施工情況之差異。另一方面，應用 API 程式技術，模擬工程車輛的行進路線，規劃最佳路徑。最後，將研究成果與現場工程人員進行簡報討論，整理討論結果及回饋建議提出改善方法。

Application of BIM on construction of building foundation

Student : Jing-Sheng Lin

Advisor : Dr. Chang-Yu Lin

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

Recent years, BIM (Building Information Modeling) On AEC industry from a new way of thinking becomes a trend. BIM technology integrates the complete building project information and makes diverse areas of project personnel on a single platform for design collaboration unitedly. Applications ranging from planning and design, building construction and maintenance, information 4D models also provided more good visual presentation. To achieve a truly effective teamwork.

In this research, the BIM technology is applied on basement excavation of building foundation, excavation shoring and basement structure as a study case. Through actual participation construction, collect, collate constructional information of buildings and experience, establish BIM 3D model to study BIM technology for new construction of building applications and real help.

Arrangements for the various stages of construction progress, Construction project link to 3D model to achieve complete BIM 4D simulation. Further, a API program was designed to control 3D model to simulate the route of construction vehicles, planning the best path. Finally, the research results briefing with field Engineer, collate findings and recommendations to improve the way back.

誌謝

最後的學校生活隨著論文的完成逐漸進入尾聲，很高興有這麼好的機會能在交大裡學習並完成研究所學業。首先我要感謝我的指導老師 林昌佑教授，在論文研究及撰寫期間，昌佑老師提供了非常多的幫助以及論文方面諸多的指導。

口試期間，趙文成教授及洪士林教授於百忙中仍撥空蒞臨指教，亦提供寶貴的建議使本論文能更臻完善，在此表達最由衷的謝意。也很感謝建設公司的林董事長及工務部經理、副理和現場工程人員的熱情指教，讓我有機會實際參與建築工程，學習相關知識、經驗，並以本次工程作為論文研究對象。

再來，要感謝交大土木的各位夥伴；資訊組的學長、同學以及優秀的學弟妹們，還有營管、測量組的朋友，這段時間有你們的幫助，我才能順利完成學業，也謝謝你們讓我在研究所的日子更增添色彩。另外，感謝大學時期的好友、公司同事以及一起 LONGBOARD 的朋友們，不管是加油打氣還是奇怪的激勵，都確實加速了這篇論文的完成。

最後最要感謝我的家人。老爸、老媽還有老弟，有你們的支持和鼓勵，讓我得以無後顧之憂的專心完成學業，謝謝你們。

目 錄

頁次

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌 謝	ii
目 錄	iv
表目錄	vii
圖目錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機與目的	2
1.3 研究流程	3
1.4 論文架構	4
第二章 文獻回顧與背景資料探討	7
2.1 BIM 介紹	7
2.1.1 建築資訊模型定義	7
2.1.2 建築資訊模型特色	9
2.2 BIM 4D 模型	10
2.2.1 4D 模型優勢	11

2.2.2	4D 模型相關軟體	12
2.3	API 介紹	13
2.3.1	Tekla Open API	14
2.4	BIM 手持裝置	15
2.5	BIM 相關案例文獻.....	16
第三章	案例 BIM 模型建構.....	18
3.1	案例與研究方法	18
3.2	建立 BIM 3D 模型.....	19
3.2.1	基礎構件建模	22
3.2.2	案例模型建模	39
3.3	BIM 模型管理	64
3.3.1	模型管理器	65
3.3.2	自定義分類管理	66
第四章	BIM 模型相關應用.....	68
4.1	干涉檢察.....	68
4.2	建立 BIM 4D 模型.....	73
4.2.1	專案施工進度排程	74
4.2.2	案例 4D 模型建模	81
4.2.3	BIM 4D 模型應用.....	85
4.3	工程車輛路線模擬	90

4.3.1	API 程式介面	92
4.3.2	車行情況模擬	94
4.4	研究結果與實例探討	97
4.4.1	BIM 手持裝置應用	98
4.4.2	BIM 模型與實體建物對比	100
4.4.3	BIM 4D 模型檢核施工進度	103
4.4.4	探討結果及意見回饋	106
第五章	結論與建議	108
5.1	結論	108
5.2	建議	109
參考文獻	110

表目錄

	頁次
表 3.1 案例資料	18
表 3.2 柱性質	22
表 3.3 梁性質	25
表 3.4 牆性質	28
表 3.5 版性質	30
表 3.6 擋土樁性質	34
表 3.7 鋼結構梁性質	38
表 3.8 模型分類編號	67
表 4.1 單位生產率	76
表 4.2 施工作業明細	77

圖目錄

	頁次
圖 1.1 研究流程.....	6
圖 2.1 BIM 概念.....	9
圖 2.2 BIM 4D 建構流程.....	11
圖 3.1 簡化參考圖面減少誤判.....	21
圖 3.2 簡化 CAD 圖面匯入參考模型.....	22
圖 3.3 設定柱構件性質.....	24
圖 3.4 依照參考圖面建立柱構件.....	24
圖 3.5 透過模型分類過濾選取物件.....	25
圖 3.6 梁建模方式.....	26
圖 3.7 設定梁構件性質.....	27
圖 3.8 牆建模方式及裁切.....	29
圖 3.9 設定牆構件性質.....	29
圖 3.10 設定版構件性質.....	31
圖 3.11 依參考圖面建立筏基版.....	31
圖 3.12 樓梯數據輸入.....	32
圖 3.13 樓梯建模方式.....	33

圖 3.14 擋土樁性質設定	35
圖 3.15 擋土樁建模	35
圖 3.16 中間樁性質設定	36
圖 3.17 中間樁建模	37
圖 3.18 水平支撐鋼梁性質設定	38
圖 3.19 水平支撐鋼梁建模	39
圖 3.20 模型組成	40
圖 3.21 模型構件	40
圖 3.22 結構體建模流程圖	41
圖 3.23 格子線	42
圖 3.24 格子線各軸向數據取得	43
圖 3.25 格子線數據輸入	44
圖 3.26 筏基回填區建模	45
圖 3.27 建模順序	46
圖 3.28 地下一樓車道圖	49
圖 3.29 車道總剖面圖	49
圖 3.30 車道模型梁位	50
圖 3.31 以輔助線建立模型	50
圖 3.32 車道梁版建模	51

圖 3.33 依照基準點建立模型版面	51
圖 3.34 調整基準點高程	52
圖 3.35 安全支撐施工流程	53
圖 3.36 安全支撐建模流程	54
圖 3.37 擋土樁及中間樁建模	55
圖 3.38 建立圍苓及水平鋼梁	56
圖 3.39 鋼梁跨接部位	57
圖 3.40 模型零件	58
圖 3.41 構台樁帽建模	63
圖 3.42 施工構台模型	64
圖 3.43 模型管理器	65
圖 3.44 模型分類	66
圖 3.45 模型過濾器	67
圖 4.1 干涉檢察資訊	69
圖 4.2 結構體干涉檢察	69
圖 4.3 施工構台干涉檢察	70
圖 4.4 傳統套圖檢視	72
圖 4.5 中間樁和結構體干涉檢察	72
圖 4.6 碰撞問提回饋	73

圖 4.7 專案分工結構圖	75
圖 4.8 任務管理器-進度表單	79
圖 4.9 任務管理器-施工網圖	80
圖 4.10 模型構件連結作業項目	82
圖 4.11 物件表示方法視窗	84
圖 4.12 物件群組表示方法視窗	85
圖 4.13 擋土樁打樁作業	86
圖 4.14 臨時結構拆除作業	87
圖 4.15 水平支撐高度	88
圖 4.16 車道梁複雜圖面	89
圖 4.17 中間樁與牆面距離	89
圖 4.18 擋土樁高度過高	90
圖 4.19 Open API 編寫	91
圖 4.20 車輛規格	91
圖 4.21 阿克曼轉向	92
圖 4.22 模擬車輛模型	93
圖 4.23 控制介面	93
圖 4.24 車輛行進路線	95
圖 4.25 車輛行進情況一	96

圖 4.26 車輛行進情況二	96
圖 4.27 車輛行進情況三	97
圖 4.28 Tekla BIMsight 與現場比較	99
圖 4.29 問題標記與回饋	100
圖 4.30 臨時支撐模型與實體對比	101
圖 4.31 水平支撐模型與實體對比	102
圖 4.32 結構體模型與實體對比	103
圖 4.33 第三層安全支撐拆除作業	104
圖 4.34 實際工程進度	105
圖 4.35 BIM 4D 預定進度	105



第一章 緒論

1.1 研究背景

建築工程隨著時代的轉變其工程規模逐漸擴大也更加複雜，從傳統加強磚造演變到目前台灣普遍的鋼筋混凝土(Reinforced Concrete, RC) 結構大樓，樓高可至二十多樓，地下室開挖的規模、深度不斷增加，所使用的設備、人員、物料等資源需求量也日漸增多。伴隨著建築工程規模的擴大，施工者需要擬定更審慎詳細的專案計劃也需要更多施工前的評估和施工模擬以降低不必要的風險。

以集合住宅新建工程為例，一個建案從基礎工程、結構體工程、裝修工程到完工，每一個環節都需要詳細的規劃和設計，其中又以基礎工程為整個營建工程中造價最高也是最具危險性的項目。地下室開挖時伴隨著地質、氣候、交通、施工等的眾多不確定因素，亦需兼顧工期進度、施工成本以及施工的安全性，實為不易。

2002 年建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 一詞初次被導入營建業，BIM 以三維圖形為主結合物件導向和建築學，將所有建築相關資訊參數化，舉凡時間、空間、營建資源等，讓使用者可以透過電腦輔助以數位化的方式來建構出精確的建築物虛擬模型，甚至包含整個建築物的生命週期[1]；施工者可透過 BIM 概念的電腦軟體進行更精確的施工模擬和評估。

在高風險、高成本的基礎工程階段，任何意外的發生都可能會造成嚴重的後果，施工者無不希望工程能依照擬定好的施工進度順利進行，在最短的時間順利完成各項工作，以減少不必要的意外發生。所以實際施工前的規劃設計階段變得非常重要，如何完整考慮到每一個施工環節以及各種可能發生的狀況成為施工人員的重要課題，但是傳統 2D 施工圖所能給予的資訊量有限，也缺乏一個真正的協作平台讓不同領域的施工者可以參與並討論規劃整個建築工程。

1.2 研究動機與目的

本研究主要針對集合住宅新建工程的基礎工程階段，透過 BIM 概念，將所有建築資訊參數化，建構虛擬的 BIM 3D 建物模型並且結合工程進度以 BIM 4D 模型方式呈現各階段的工程狀況。以虛擬的地下室結構體模型配合假設工程進行施工流程的沙盤推演，並且探討 BIM 模型應用於實際建案的優勢以及研究 BIM 技術如何與傳統營造單位有效結合，達到降低工程風險、減少不必要資源、提高施工效率、維護工程品質。

以實際參與的大樓建案基礎工程階段為研究案例，工程項目包含土方工程、安全支撐工程、臨時施工構台以及地下室結構體；現場各項工程進行主要仰賴工程師的累積工程經驗，配合各項 2D 施工圖與不同承包商不斷開會討論以擬定適合的施工方式，但是在建築工地有限的時間、空間影響下，稍微疏忽就容易造成空間衝突和工期延宕。

1.3 研究流程

研究整體流程如圖 1.1 所示，相關資料蒐集與使用軟體部分如下：

1. 資料蒐集和整理：

建模軟體方面，蒐集 BIM 相關資訊、BIM 相關建模軟體操作資料以及 BIM 3D、4D 相關之文獻，用以探討將 BIM 的概念及軟體技術應用在實際大樓建案的成效以及益處。

營建資料方面，實際參與大樓建案興建過程，進度從基地開挖至地下一樓結構體完成，過程中蒐集現行建築工法資料、工期進度及 2D 圖面資料，並且與建案工地主任、工程師以及現場施工人員討論相關建築工法與 BIM 軟體導入營建工地之影響，探討 BIM 概念是否有助於提高施工效率及維護工程品質。

2. BIM 建模工具：

本研究以 Tekla Structures 之 BIM 軟體，作為主要 BIM 模型建模工具，以模型管理器功能(Model Organizer)，建構以及管理 3D 虛擬模型，使用任務管理器功能(Task Manager)，規劃各項施工任務、計畫生產率以及基礎工程工期進度，最後再以專案狀態可視化功能(Project status visualization)，連結 BIM 3D 模型和基礎工程任務進度達到 BIM 4D 模型的專案狀態可視化。

3. 相關應用軟體：

- a.使用 Microsoft C#編寫 Tekla Open API 程式用以模擬工程車輛行駛進入施工構台上之情況。
- b.使用 Tekla BIMsight 研究不同工種之間即時視覺化的溝通檢討及 BIM 於手持裝置上之應用。
- c.使用 Autodesk AutoCAD 軟體處理 2D 圖說資料，將建設公司所提供實際案例之 2D 圖說加以整理、套圖，最後匯入 BIM 軟體建 3D 模型。

1.4 論文架構

本論文一共分成五章，第一章為緒論、第二章為文獻回顧與背景資料探討、第三章為案例 BIM 模型建構、第四章為 BIM 模型相關應用、第五章為結論與建議等五個部分，各章內容分別敘述如下：

第一章、緒論

敘述本論文的研究背景、研究動機與目的、研究流程與論文架構，並論述目前工程現況以及施工過程可能遭遇之狀況，以及探討 BIM 模型應用於實際工程建案之優勢，研究 BIM 技術如何與傳統營造單位作有效結合。

第二章、文獻回顧與背景資料探討

收集整理相關知識與文獻，內容包含 BIM 3D、4D 文獻、工程案例背景資料、營建工法相關知識，以及 BIM 相關案例。

第三章、案例 BIM 模型建構

介紹本研究所使用 BIM 軟體之模型構件的建構方式、數值設定，以及建構研究案例的地下室結構體模型與臨時支撐模型兩部分 BIM 3D 模型，最後說明 BIM 3D 模型之分類及管理方式。

第四章、BIM 模型相關應用

本章主要研究 BIM 模型之相關應用，內容包含模型干涉檢察、檢討模型構件碰撞問題、工程進度表編排、BIM 4D 模型的建構與應用，及工程車輛與模型間的行進路線模擬；最後透過 BIM 模型之相關應用與實際營建工程案例作比較探討，並且將其結果與現場施工單位之工程人員進行簡報以及討論來獲取回饋建議。

第五章、結論與建議

根據就本研究 BIM 建構之過程與現場工程人員討論之結果進行結論，並提出建議作為後續研究之方向研究提出結論以及建議。

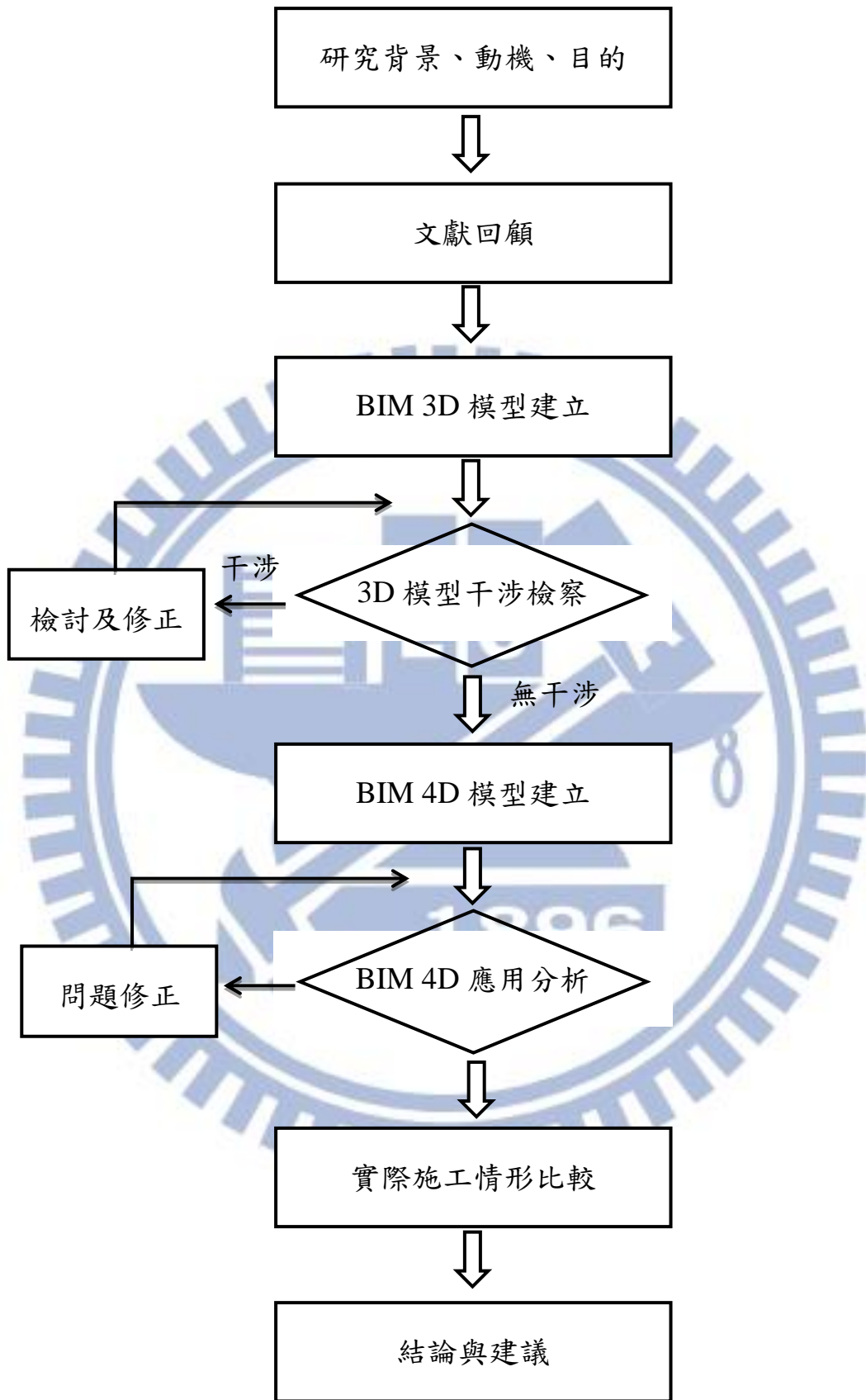


圖 1.1 研究流程

第二章 文獻回顧與背景資料探討

此章文獻蒐集整理部分，首先回顧 BIM 之定義與其發展優勢，整理探討 BIM 4D 相關案例及文獻，最後探討 BIM 技術應用於營造業、承包商以及施工人員所帶來的益處及優勢。

2.1 BIM 介紹

BIM (Building Information Modeling, 建築資訊模型) 為建築學、工程學及土木工程的新工具，內容涵蓋幾何學、空間關係、地理資訊系統、各種建築元件的性質及數量，可以用來展示整個建築生命週期[1]。

營建工程從設計、招標、建造到完工，其中間過程需要大量不同專業領域人士的互相配合，光是人員組織就包含業主、設計團隊、營建團隊、承包商、分包商至基礎的現場施工人員，單是相關人員團隊編制就如此龐大，而且還要考慮到投資控制、進度控制和品質掌控...等，所以事前必需有良好的施工進度規劃與檢討，才能使各個施工項目和施工環節能夠順利接續進行，讓工程人員以及現場不同工種的施工單位之間能達到最好的合作和協調。

2.1.1 建築資訊模型定義

目前的 ACE 相關產業(建築 Architecture、工程 Engineering、營建 Construction)，大部分都還是都仰賴 2D 的紙本圖說資料作為主要的工程營

和建溝通管道，但是隨著大樓越蓋越高與各種新穎工程產品的問世，工程項目變得越來越多元化但也越來越複雜，需要處理的資料越加繁瑣，間接使得工程人員的工作量不斷增加；繁忙中造成各類紙本文件遺漏或資料錯誤傳遞的機率提高，很容易造成不可挽回的施工錯誤或是日後工程爭議。

在 2002 年 Autodesk 公司面臨這種情況時首先提出了將所有工程訊息、資料放在同一個平台上，讓所有營建相關人員都可以從此平台獲取訊息，以確保工作協同減少錯誤增加工作效率，此平台就是 BIM 的最初原型，之後便於其發布的 Autodesk BIM 白皮書中正式定義了 BIM 一詞[2]。

2006 年美國建築師學會(American Institute of Architects, AIA)定義 BIM 為「以模型為基礎並且連結至建物資料庫的技術」，應用實際數值創建設計虛擬物件，模擬建造、設計及營運管理，3D 模型物件連結電腦資料庫使營建相關人員在同一平台上分工建模、協作設計，以及整合分析之完整的流程技術[3]。

BIM 技術實現在虛擬空間中進行擬真的營建模擬，透過數位化的模型建構、管理與應用，整合建築資訊，以虛擬空間在工程生命週期中的各階段作業進行擬真模擬，積極地整合工程生命週期中的各項作業，降低工程成本與錯誤，提升工程的品質、效率與安全，也能有效地回應現今工程在永續發展與節能減碳上之需求[4]。

2.1.2 建築資訊模型特色

BIM 是以 3D 訊息技術為基礎，將一棟建築從設計、施工、營運的全生命週期內所需的各種資料、訊息集成到 3D 的模型中，並將訊息共享，在不同建築階段，相關人員可隨時提取訊息，作有效的管理、討論和評估(圖 2.1)；整個建築生命週期各階段環繞著同一平台上的 3D 資訊模型，各階段施工人員可以對其進行規劃檢討與問題回饋，建物週期概念分別為程序設計 (Programming)、概念設計 (Conceptual Design)、建築與環境分析 (Analysis)、營造建構 (Construction Logistics)、文件紀錄與施工說明 (Documentation)、製作與生產 (Fabrication)、營造物流 (Construction 4D/5D)、維護與營運 (Operation and Maintenance)、拆除 (Demolition)、建物翻新 (Renovation) .. 等等。

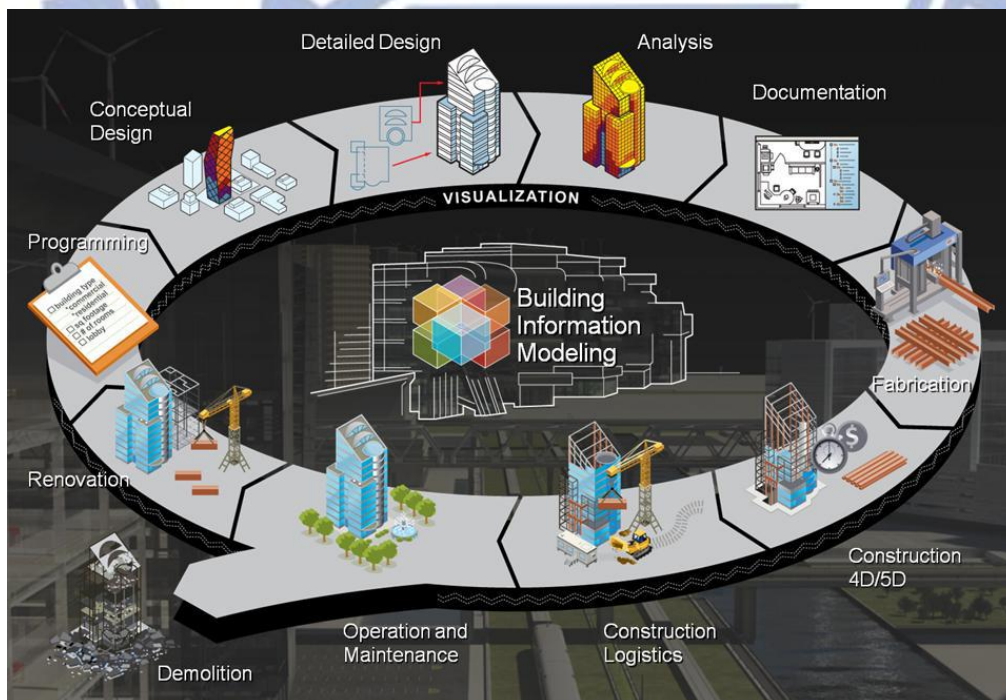


圖 2.1 BIM 概念

自從電腦問世以來，電腦相關應用慢慢改變了人類的生活方式，各行各業已經普遍運用電腦強大運算處理能力提升工作效率，尤其在 PC GAME(Personal computer games)上電腦技術的運用已經非常成熟而且強大，舉凡各種 2D、3D 呈現，以及友善的圖形使用者介面；網際網路的成熟更將龐大的資料庫數據連結物件到雲端，讓所有使用者在同一個雲端平台上進行遊戲操作；「藉由電腦強大的計算能力輔助工程師進行複雜的的規劃與設計，是電腦發明以來的應用方向」[5]，相較於市面上各類 PC GAME 成熟的電腦技術應用來說，現階段的 BIM 除了以模型為基礎連結建物資料庫的技術外，相信再往後還會有更多的發展空間及更強大的應用。

2.2 BIM 4D 模型

BIM 4D 模型是指帶有時間關聯性的 BIM 3D 模型，4D 模型的建構(圖 2.2)首先需要完整的 BIM 3D 模型以及完善的施工進度，將各階段的施工進度連結到模型中的各種 3D 物件，使 3D 物件能夠隨著工程進度呈現不同變化，讓建築施工模型達到專案狀態可視化[5]。

採用 4D 視覺化方式進行專案的規劃與控制，除了具有 3D 的優勢外，多了時間的維度，可以兼顧時間排程、進度控制，並且容納更多所需資訊，如體積、面積、材質、成本...等[6]。

以 BIM 4D 模型作為專案規劃階段的溝通協調平台，從模型所能呈現的工程各階段狀態中，可以提前發現工程不同階段可能會遇到的問題，而且

直覺方式的視覺傳達可以讓不同廠商之間能有效地作溝通協調以確保整體進度規劃的可行性。

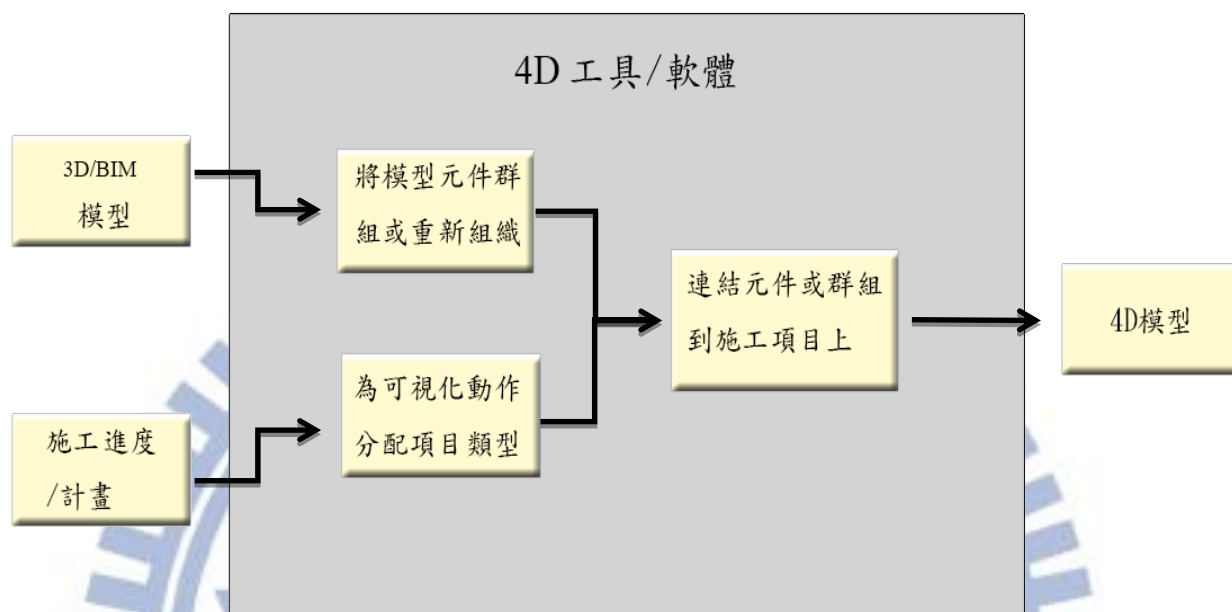


圖 2.2 BIM 4D 建構流程

2.2.1 4D 模型優勢

管理上常用 5W1H 來清楚表達一個專案在規劃時所必須的資訊，包括：

1. 為什麼要完成此專案 (Why)
2. 什麼該被完成 (What)
3. 要在哪裡完成 (Where)
4. 何時該完成 (When)
5. 要由誰來完成 (Who)

6. 要如何完成 (How)

4D 模擬可以完整呈現工程某段時間或是某項工種的 3D 模型的狀態，規劃者可以用非常直觀的視覺方式向所有施工人員溝通所規劃的施工程序，以及呈現各階段所使用的材料數量、建築成本。甚至用於向業主作進度報告時以 BIM 4D 模型比起傳統進度表、甘特圖等 2D 圖紙更能清楚傳達 5W1H 達到有效的溝通[7]。

BIM 4D 模型體現 5W1H，以施工構台的建構階段模型為例，建構目的為讓工程車輛能順利進入施工(Why)，組成的模型構件為鋼梁和構台版(What)，完成的位置如同模型所示範圍(Where)，3D 模型聯結進度表可清楚呈現施工工期(When)，從計畫生產率可得知構台施工包商為何(Who)，構台建構方式就如同 4D 模型所呈現的施工順序(How)。

用於施工現場物流時，工程人員可以規劃各階段物料堆放位置以及各種大型機具如怪手、卡車、預拌混凝土車的停放位置及動線分配；專案經理也可以很快地透過 4D 模型清楚了解工程是否有跟上進度或是處於進度落後狀態。

2.2.2 4D 模型相關軟體

BIM 概念的相關軟體總類繁多，但並非所有 BIM 軟體都有直接支援 4D 功能，一般建制 BIM 4D 模型的方法有：

1. 使用有內建 4D 功能的 BIM 軟體。
2. 將 BIM 模型輸出到 4D 工具再輸入進度表。
3. 使用者透過 API 自行撰寫連結窗口(像是連結 MS Project 等的進度軟體)。

本研究使用的 Tekla Structures 軟體，為有內建 4D 功能的 BIM 軟體，其 Task Manager 功能包含了完整的甘特圖進度表介面，可以使 3D 物件連結到定義好的單一個或多個任務上，再依照進度時間、屬性變換不同彩色編碼或透明度達到 4D 專案進度可視化狀態。使用單一軟體製作 4D 模型也可以免除跨軟體所造成的資料流失。

然而也並非所有內建 4D 功能的 BIM 軟體都有完善的「日期」、「排程」功能，像是 Autodesk Revit Architecture 2013 可以使用物件連結「階段」參數，再透過過濾器顯示達到 4D 效果，但卻並非是直接整合進度表，要達到連結進度表還必須透過撰寫 API 方式連接進度軟體。

2.3 API 介紹

API (Application Programming Interface, 應用程式介面) [8], 是程式函式庫提供給應用程式呼叫所使用的程式碼，也是軟體系統不同組成部分銜接的約定，串起軟體系統的溝通方式。有點類似一個大型且介面完整的函式，API 本身是抽象的，主要功能是在程式開發時只需呼叫一組常態功能而無需考慮最底層的程式碼，且不需要了解其內部運作方式，也不會因為編

寫 API 而干涉應用程式內部的基礎程式運作。

例如繪圖時，把繪圖者比喻成程式編寫者，電腦就是呈現圖案的繪圖紙，則 API 就像各種筆刷效果，繪圖者可以透過 API 使用各種筆刷繪製不同圖案，如果少了 API 定義的筆刷效果，繪圖者想使用不同筆刷特效時就必須自行編寫一個筆刷相關的程式來使用。

軟體的規模日益龐大，常常會需要把複雜的系統劃分成小的組成部分，API 設計便十分重要，透過 API 可使軟體系統的職責得到合理劃分，使程式達到高內聚，低耦合(high cohesion、low coupling)，讓程式本身可以在不影響其他程式的情況下自由的修改與變化，而外部程式的修改也不會影響到程式本身的運作，進而提高整個系統的維護性和擴展性。

2.3.1 Tekla Open API

Tekla Open API [9]是 Tekla 針對應用開發者提供的應用程式整合介面，提供使用者和廠商在 Tekla 建模平台上開發外掛程式應用程式和附加功能。Tekla Open API 的實施可採用 Microsoft .NET 技術以及 COM 或 .NET 相容的任何程式，如基於 MS Access、Excel、Word 或 Mathcad 的資料庫應用程式和 MIS 和 ERP 軟體等，可以從 Tekla 模型接收資料，運行計算，然後再將結果返回模型。

Tekla 目前提供的主要 API 及功能如下

1. Tekla.Structures.dll

包含基本模型和圖紙中常見的類型共享。

2. Tekla.Structures.Model.dll

包含在連結和操控模型時所使用的類別和方法。

3. Tekla.Structures.Drawings.dll

包含繪圖物件的查詢，插入，選擇，修改或刪除等功能。

4. Tekla.Structures.Plugins.dll

功能為創建並導入外掛程式到 TEKLA。

5. Tekla.Structures.Analysis.dll

包含存取分析和設計資訊用的類別

6. Tekla.Structures.Catalogs.dll

用於存取元件庫如螺栓，材料類型，鋼筋，網格等。

7. Tekla.Structures.Datatype.dll

包含數據類型以及用來傳遞 Tekla Structures 和其他程式之間的數據。

8. Tekla.Structures.Dialog.dll

創建對話框連結資料到外掛程式。

2.4 BIM 手持裝置

BIM 在施工現場的應用，因受電腦設備的限制，僅侷限於在工務所中使用，但隨著近年由於行動裝置的發展，可利用行動裝置輕巧便攜的特性將動態的模型資訊帶入工地。許多工程師們透過平板電腦，即能在施工的現場即時取得現場的三維模型，不需要再攜帶大量的紙本資訊，來回查閱圖面和工進資訊，僅需透過拖拉點選等動作，以互動方式在行動裝置中查詢所需之 BIM 資訊即可，並可同步進行工作記錄，充分發揮了 BIM 的價值[10]。

Tekla BIMsight 及其手持裝置 APP 軟體[11]，讓工程人員可以透過隨身攜帶的手持裝置隨時於現場使用 Tekla BIM 模型，並且透過網路連線即時傳遞問題；Tekla BIMsight 為 BIM 模型的檢視軟體(圖 2.4)，功能有限有較簡易的模型管理介面，能進行干涉檢察以及產生模型檢討截圖和問題紀錄。



圖 2.4 Tekla BIMsight APP [11]

2.5 BIM 相關案例文獻

康仕仲[12]等人於「4D 營建管理系統導入與初步成效分析」之研究中與中鼎工程股份有限公司共同研發 4D 營建管理系統 Construction Director，實際導入中鼎新大樓新建工程案例的營建管理。

該系統結合專案時程資料及 3D 建物模型，可以隨著時間軸以動態的方式來模擬工程中每一建築物件每一時段的施工進度；於 4D 模擬過程中，以

顏色區分施工狀態，粉紅色代表在指定的期間之前就已經完工，紅色代表正在施工中，黃色代表剛完工，藍色代表已完工，橘色代表尚未施工。

該研究針對導入 4D 管理工具進行成效分析，結果發現使用 4D 管理工具可產生許多效益，其優點下：

1. 能在早期施工規劃階段中，及早了解計畫的可行性與可施工性。
2. 對施工團隊而言是一個有效的溝通工具可更精確地規劃工作。
3. 讓工程師可以依據 3D 模型和專案時程資料做更精確的成本評估 可協助預先發現空間及時間衝突問題，以利事先改善。
4. 可記錄實際施工過程，供日後它案之參考、改進及訓練使用。

康思敏[13]等人於「BIM 於施工階段導入應用-以新北市立圖書館興建工程為例」之研究；文中針對建模完成的衝突檢查，發現衝突數量共 32 項，其中軟體碰撞檢核為 23 項，工程師判讀的視覺衝突為 9 項，透過衝突檢查可提早發覺施工問題與研擬解決方案，並透過修正模型來提早發覺新的衝突與碰撞問題。

從導入 BIM 之實際工程中之發現，可於各階段施工前找出衝突點，與相關承商討論解決釋疑，有效降低施工時因衝突而造成時間延滯；針對特殊構造部位「車道斜坡」提供放樣參考基準，可降低施工困難度；針對特定目標，與承商直接運用模型討論，並利用 BIM 之優點，可更有效的將施工底圖產置。

第三章 案例 BIM 模型建構

3.1 案例與研究方法

本次研究的案例為集合式住宅新建工程，基地座落新竹市長春段關埔重劃區內，基地面積約 1,517 坪，土地使用分區為第一種住宅區，規劃三棟 RC 構造建物，前棟地上 23 層後兩棟地上 13 層，地下 3 層(表 3.1)。

表 3.1 案例資料

建築種類	集合式住宅新建工程
使用分區	第一種住宅區
興建層數	地下參層，地上貳拾參層，RC 構造
使用用途	店鋪 10 戶，住宅 134 戶，共 144 戶
開工日期	民國 101 年 6 月 1 日
完工日期	民國 103 年 12 月 31 日

BIM 3D 模型的建構範圍為集合住宅新建工程建築物的地下室部分，進度包含從地下室開挖開始一直到地下結構體完成，本研究案例地下室開挖使用順打工法、擋土支撐使用 H300 型鋼之內支撐工法，作業內容主要分成土方工程、安全支撐工程、臨時施工構台以及地下室結構體。

在建構模型之前，透過實際參與施工過程，了解傳統施工方法之現況及優缺點並且蒐集相關資料，研究集合住宅新建工程如何導入 BIM 技術，如

何透過 BIM 解決施工問題及提高工作效率。在建模階段使用 BIM 軟體配合建築、結構等 2D 施工圖說，分別建立建築物結構體及擋土支撐假設工程的資料模型，使用 Task Manager (任務管理器) 規劃、擬定建物的各項施工作業與其計畫生產率，完成整體施工進度表。最後以 Project status visualization (專案狀態可視化) 功能連結 BIM 3D 數值模型與施工進度，完成 BIM 4D 模型，使其達到各個施工階段狀態的可視化，讓 BIM 4D 模型可以模擬實際工程進度。

完成 4D 模型後透過 Tekla Open API 的編寫，模擬施工構台上工程車輛行進狀況及路線規劃，最後整理研究內容透過與現場工程師簡報討論方式，探討 BIM 3D、4D 技術使用於集合住宅新建工程其可行性及各種問題。

3.2 建立 BIM 3D 模型

最理想的 BIM 3D 模型建構方式應是由建築師、建築事務所設計規劃並直接建構成 BIM 3D 模型，各階段領域的施工參與者作業皆以 BIM 3D 模型為圓心運作以達到真正 BIM 所提倡的理念，但是目前 BIM 發展的階段尚未成熟，BIM 3D 模型的建立多半由 BIM 建模團隊依照建築師的各項 2D 建築圖說來建立模型，透過原始 2D 建築圖來建立模型的方式為目前階段較容易可行的方法。

本研究使用建模方式為後者，由建設公司所提供之各作業項目 2D 施工圖說作為基本資料來建構 BIM 3D 模型，使用資料包含地籍圖、各層結構圖、

各層建築圖、土方開挖計劃書、施工構台計畫書及鋼軌樁工程檢討圖面...等，透過 BIM 建模軟體的運用，分別建立筏基層至地下一樓結構體、擋土支撐、施工構台、及基地周圍現地模型。

基本 2D 圖說資料處理使用 Autodesk Auto CAD 2012 軟體，透過 AutoCAD 軟體對施工 CAD 2D 圖說資料，加以整體及套圖，刪去不必要圖層及多餘圖形資料，僅保留建構 BIM 3D 模型所需資訊，最後再將 CAD 2D 圖說資料匯入 BIM 軟體建構 BIM 3D 模型之底圖，如此可以簡化參考圖面並減少建構模型時發生誤判。

以地下三樓結構體為例，圖 3.1-A 的原始圖檔包含較多不必要圖層，整理圖面時使用 AutoCAD 的圖層管理功能(圖 3.1-B)，考慮日後建模需求僅保留柱、梁、牆、版圖層以及相對應的尺寸標註圖層，關閉不必要如車位、門窗編號、家具及裝飾等圖層資料，最後將圖面整理完成的簡化圖檔(圖 3.1-C)另存.dwg 新檔；依照上述流程，將其他需使用的 CAD 2D 參考圖檔，作同樣清圖與簡化動作後另存成.dwg 新檔，最後將各類參考圖檔使用 Tekla Structures 軟體的匯入參考模型功能(圖 3.2)將其匯入 BIM 軟體中。

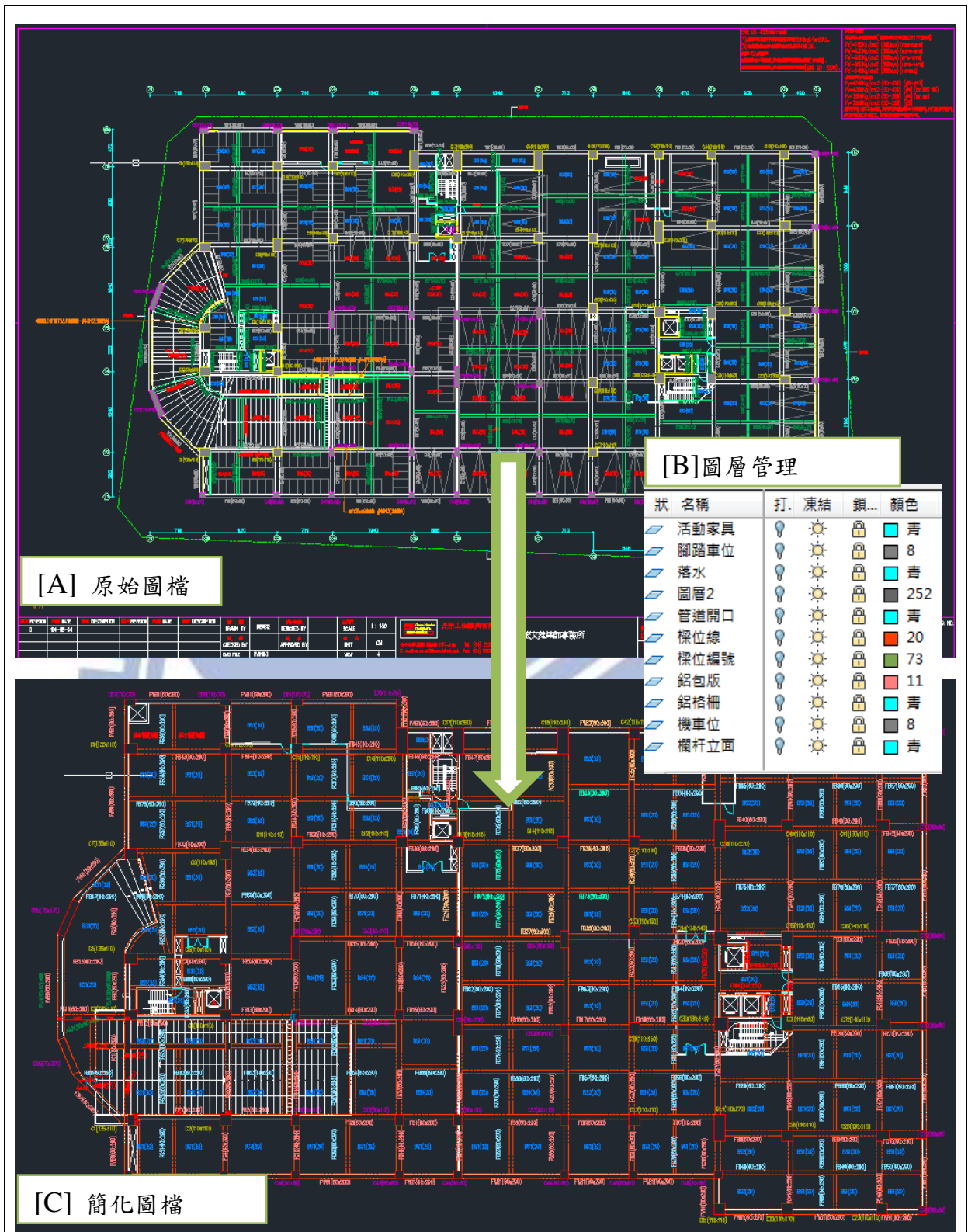


圖 3.1 簡化參考圖面減少誤判

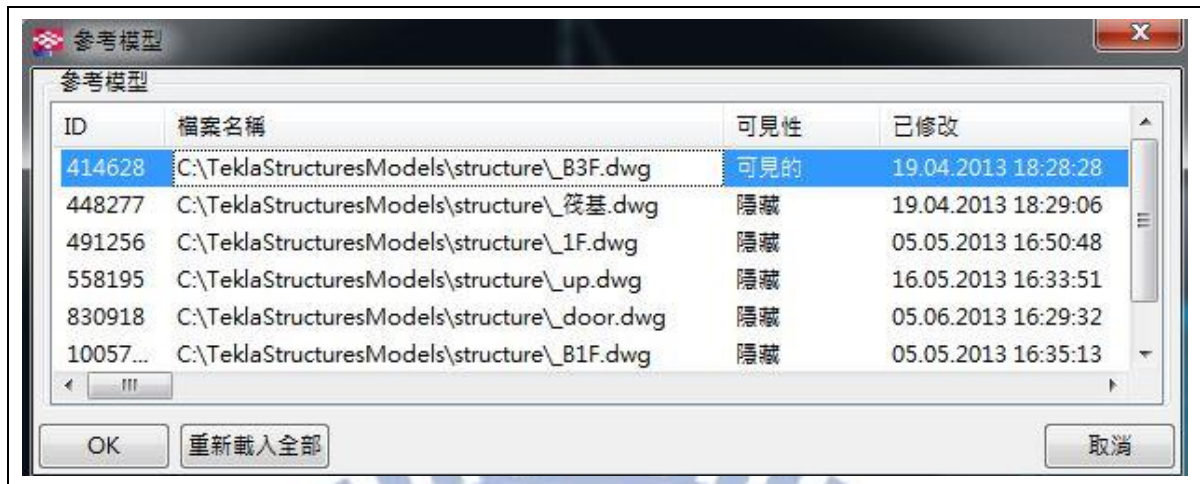


圖 3.2 簡化 CAD 圖面匯入參考模型

3.2.1 基礎構件建模

本節主要介紹 BIM 3D 模型的基礎構件建立方式，基礎構件大致分為柱、梁、牆、版及樓梯...等幾個種類，本次研究的 BIM 3D 模型在建構上分成結構體及臨時支撐模型兩大類，結構體模型基礎構件包含混凝土柱、梁、牆、版及樓梯，臨時支撐模型基礎構件包含鋼結構柱、梁兩部分，詳細建立方法如下：

1. 結構體模型基礎構件建立

a. 柱：

使用 Tekla Structures 軟體「混凝土柱」功能，設定柱構件的名稱、斷面規格、材料、分類、高程...等性質後，依照 CAD 圖面上所示位置放置結構柱，性質設定功能如下表 3.2 所示。

表 3.2 柱性質

斷面規格	為設定柱子的長寬，可自行輸入長寬大小
材料	為使用的混凝土強度，需使用軟體已有的內建強度資料
分類	可依照柱牆梁版...等不同模型單位分別編號不同分類
高程	分成底面和頂面兩點用於定義柱子的高度

以建立筏基層柱構件為例，首先設定柱構件之性質(圖 3.3)，構件名稱為 CCOLUMN，斷面規格為「700X1100」(單位 mm)，使用強度 420 kgf/cm² 的混凝土澆置，柱高度為 5000mm，柱子分類為第 9 類；設定完性質後建模時依照參考圖的柱子位置，點選圖面便會建立模型構件(圖 3.4)，最後依照參考圖面各個柱子的位置以及其相對性質，依序完成建立筏基層柱子的模型構件。

在設定構件性質時，「分類」屬性可依照不同類型的模型作不同的分類，詳細的分類有助於日後整體模型的細部操作，模型會依照不同的分類而有不同顏色區別，也可以透過分類作為選取相同種類模型構件的條件，如圖 3.5 的選擇過濾器功能，以不同分類的編號作為選取模型構件的條件依據，當構件的分類編號等於輸入的編號數字時，構件可以被選取，反之則無法選取；以圖 3.5 內所設定條件為例，在軟體的模型視窗中使用框選方式框選所有模型時，只有分類編號為 1 以及分類編號為 2 的模型構件會被選取。



圖 3.3 設定柱構件性質

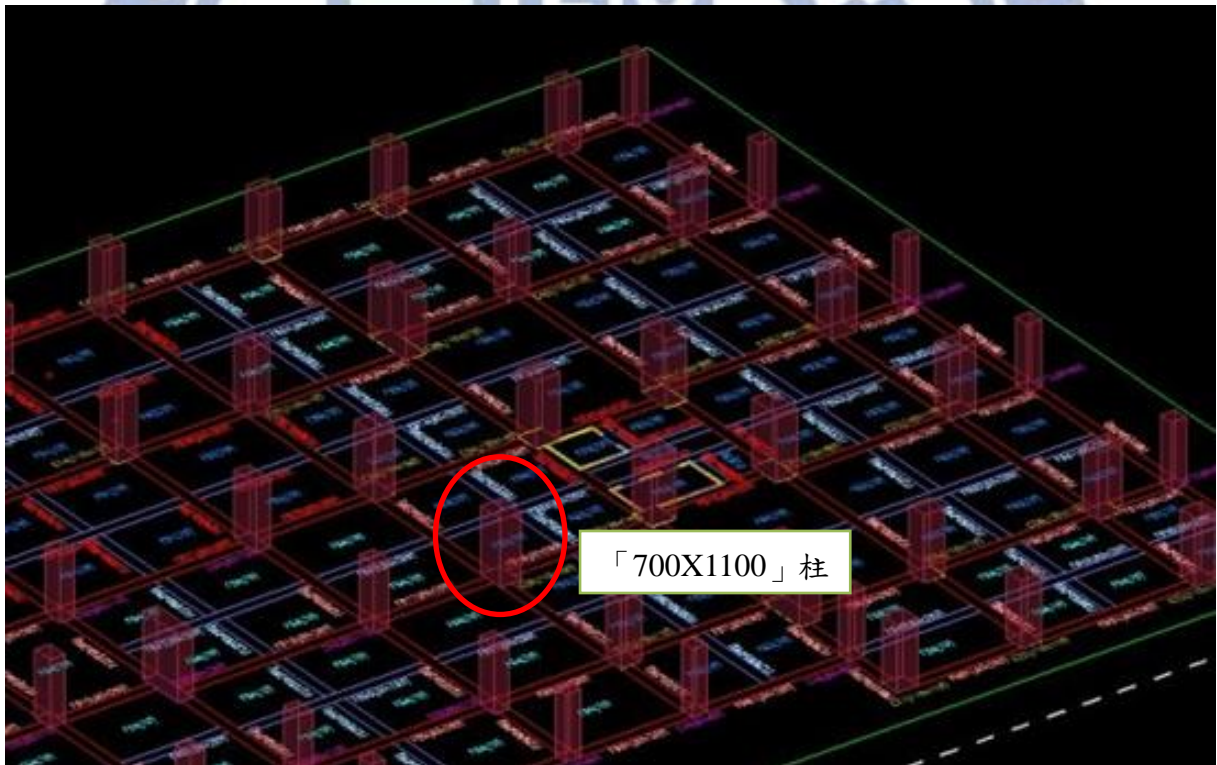


圖 3.4 依照參考圖面建立柱構件

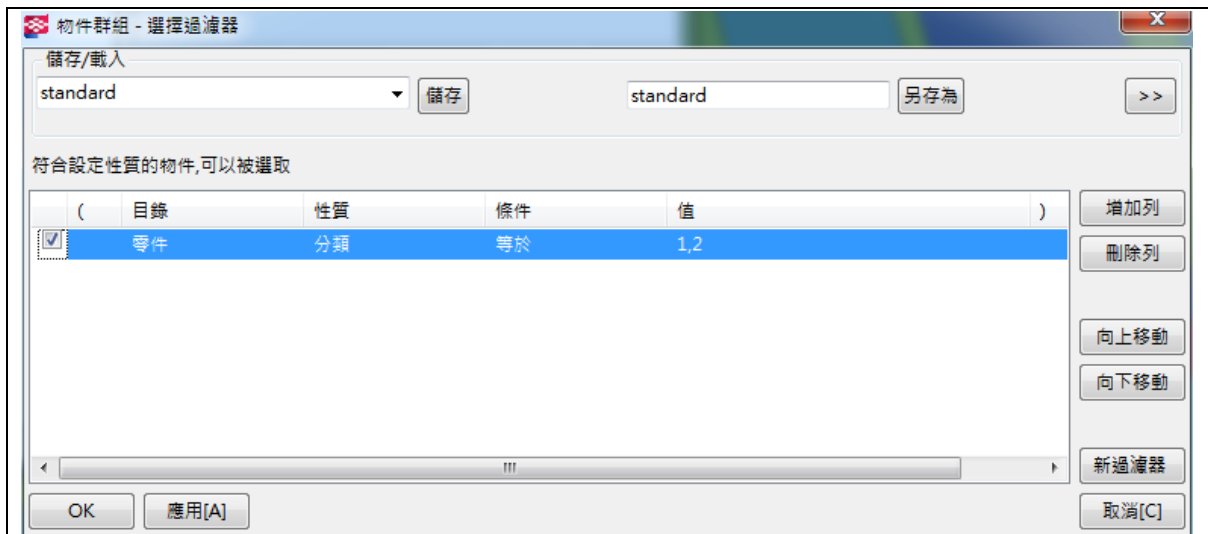


圖 3.5 透過模型分類過濾選取物件

b. 梁：

使用 Tekla Structures 軟體「混凝土梁」功能，設定梁名稱、形狀、材料、分類...等性質後依照 CAD 圖面上所示位置放置結構梁，性質設定功能如表 3.3。

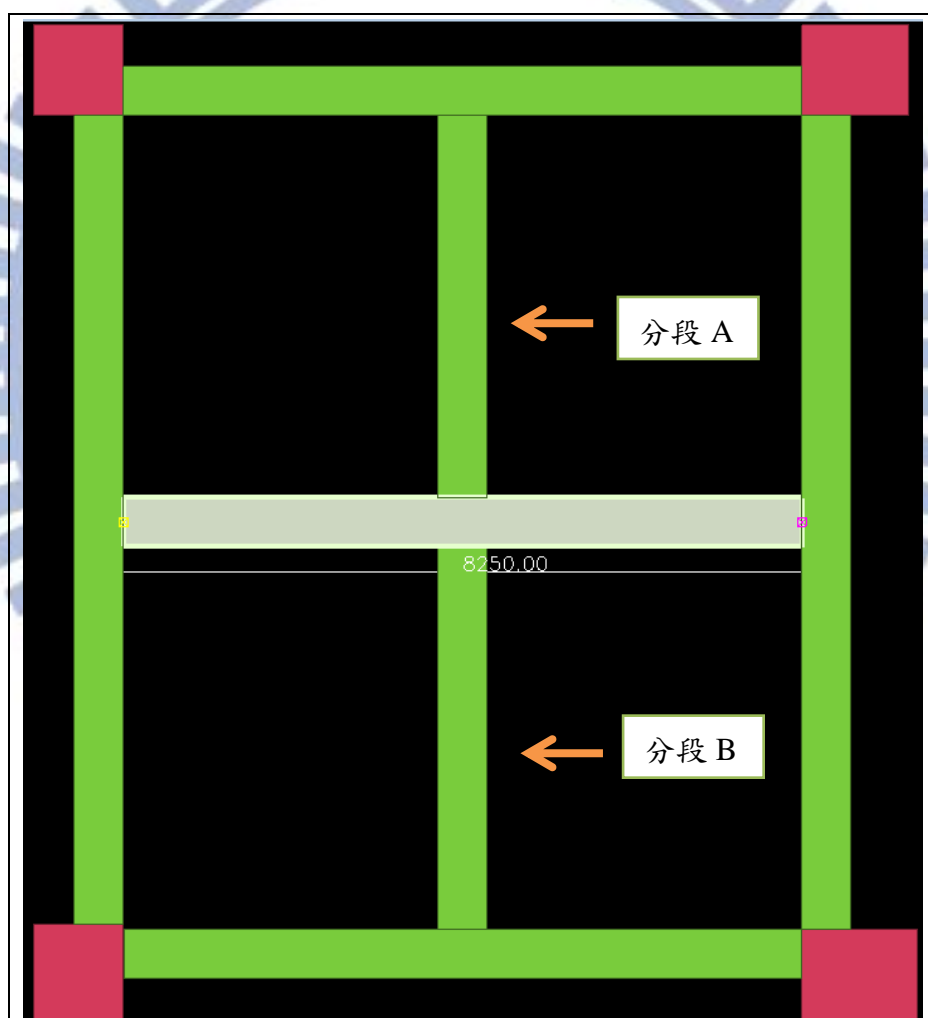
表 3.3 梁性質

形狀	為設梁寬與梁深，可自行輸入數值大小
材料	為使用的混凝土強度，需使用軟體已有的內建強度資料
分類	可依照柱牆梁版...等不同模型單位分別編號不同分類

建立梁構件時，主梁由柱的一端為起始點，連接到下一支柱的點為結束點，副梁則是由主梁的一端為起始點，連接到下一支主梁的點為結束點，需依照不同位置分段建立梁構件，如圖 3.6 分段建模，梁構件若重疊建模會造成模型碰撞以及數量的重複計算，建模順序應為短向主梁

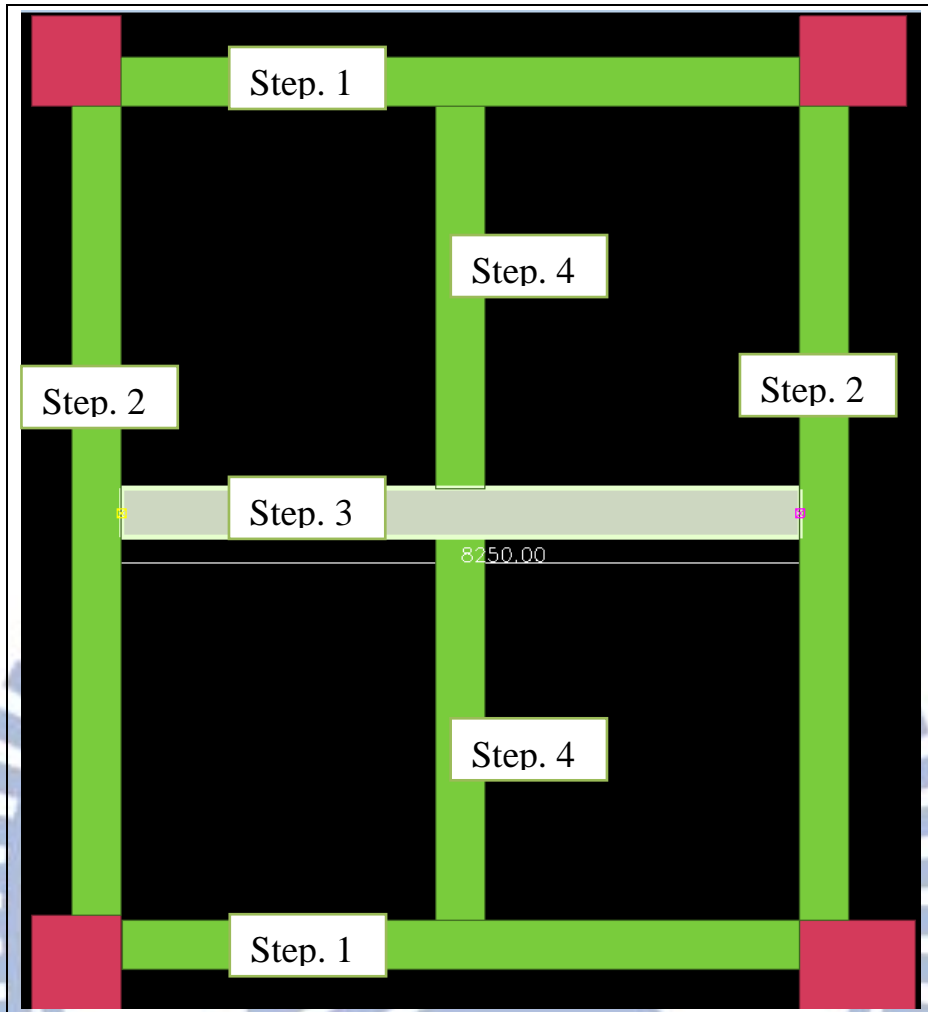
→ 長向主梁→ 短向副梁→ 長向副梁；如圖 3.6 建模順序，以此順序建模較不會造成建模時的遺漏與副梁分段錯誤。

以建立筏基層梁構件為例，首先設定梁構件之性質(圖 3.7)，構件名稱為 CBEAM，梁寬及深度為「2900X600」，使用強度 420 kgf/cm^2 的混凝土澆置，梁分類為第 10 類，最後依照參考圖面位置依序建立筏基層梁的模型構件。



[a] 分段建模

圖 3.6 梁建模方式



[b]建模順序

圖 3.6 梁建模方式(續)

屬性	位置編號	鑄造件	變形
<input checked="" type="checkbox"/> 名稱	CBEAM		
<input checked="" type="checkbox"/> 形狀	2900X600		選擇[e]...
<input checked="" type="checkbox"/> 材料	420		選擇[e]...
<input checked="" type="checkbox"/> 修整			
<input checked="" type="checkbox"/> 分類	10		
<input checked="" type="checkbox"/>	用戶定義屬性[U]...		

圖 3.7 設定梁構件性質

c. 牆：

使用 Tekla Structures 軟體「混凝土面版」功能，設定牆名稱、形狀、材料、分類...等性質後依照 CAD 圖面上所示位置放置結構牆，性質設定功能如表 3.4。

表 3.4 牆性質

形狀	為設牆寬以及牆高度，可直接輸入數值
材料	為使用的混凝土強度，需使用軟體已有的內建強度資料
分類	可依照柱牆梁版...等不同模型單位分別編號不同分類

在建立牆時，以 CAD 參考圖面建立牆所在的位置，接著依照牆面所接觸範圍的各種梁深及不同版厚調整牆的高度，無法調整部分使用「裁切」功能將牆與梁重疊的部位作裁切以避免數量重複計算以及構件相互碰撞的問題，如圖 3.8 所示 A 部分為重疊梁構件之裁切，B 部分為依照版厚調整牆面高度。

以建立筏基層之牆構件為例，首先設定牆構件的性質(圖 3.9)，構件名稱為 CPANEL，牆高及寬為「3400X1500」，使用強度 420 kgf/cm² 的混凝土澆置，梁分類為第 12 類，最後依照參考圖面位置依序建立筏基層牆的構件模型。

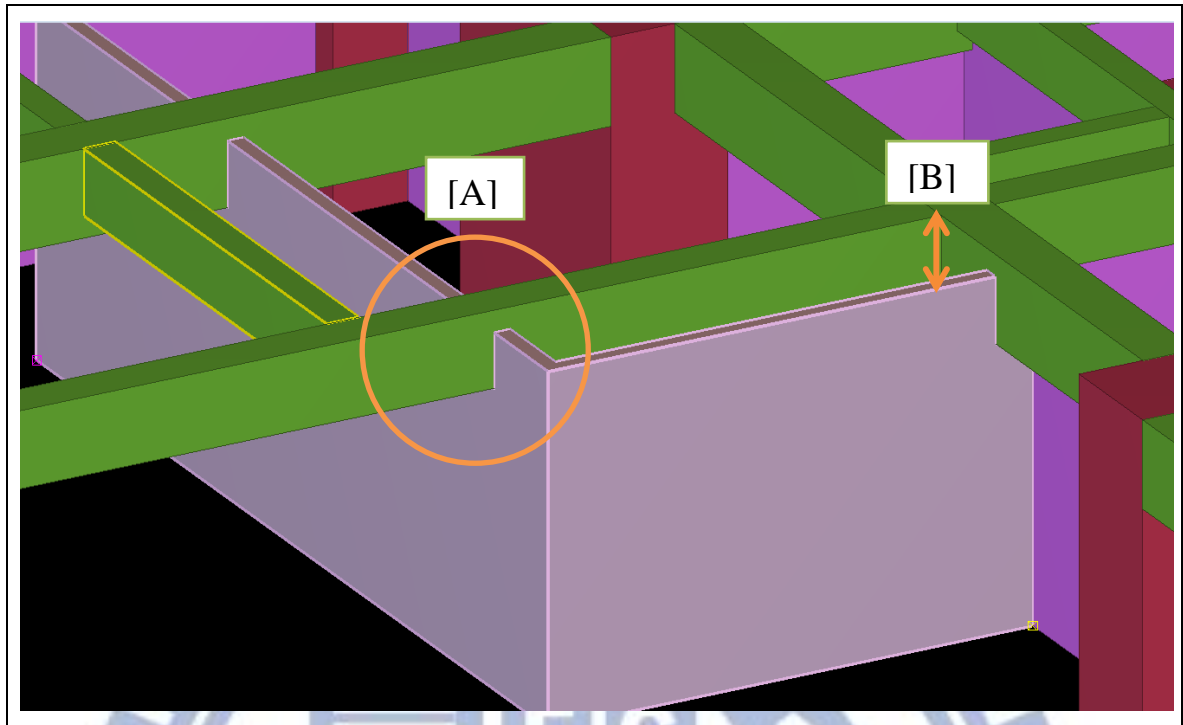


圖 3.8 牆建模方式及裁切



圖 3.9 設定牆構件性質

d. 版：

使用 Tekla Structures 軟體「混凝土平版」功能，設定版名稱、厚度、材料、分類...等性質後依照 CAD 圖面上所示位置放置樓版，質設定功能如下表 3.5，在完成柱、梁模型後，柱和梁的所圍成的區域便為版面模型的區域，使用「混凝土平版」功能建模，依序點選區域各點位置最後連結出版面的範圍。

表 3.5 版性質

厚度	為設版面厚度，可直接輸入數值
材料	為使用的混凝土強度，需使用軟體已有的內建強度資料
分類	可依照柱牆梁版...等不同模型單位分別編號不同分類

以建立筏基層頂版構件為例，首先設定版構件之性質(圖 3.10)，構件名稱為 CSLAB，版厚度為 200mm，使用強度 420 kgf/cm² 的混凝土澆置，版分類為第 11 類，建模時依照模型內梁、柱所圍成的範圍依序點選區域各點交點的位置(圖 3.11)。



圖 3.10 設定版構件性質

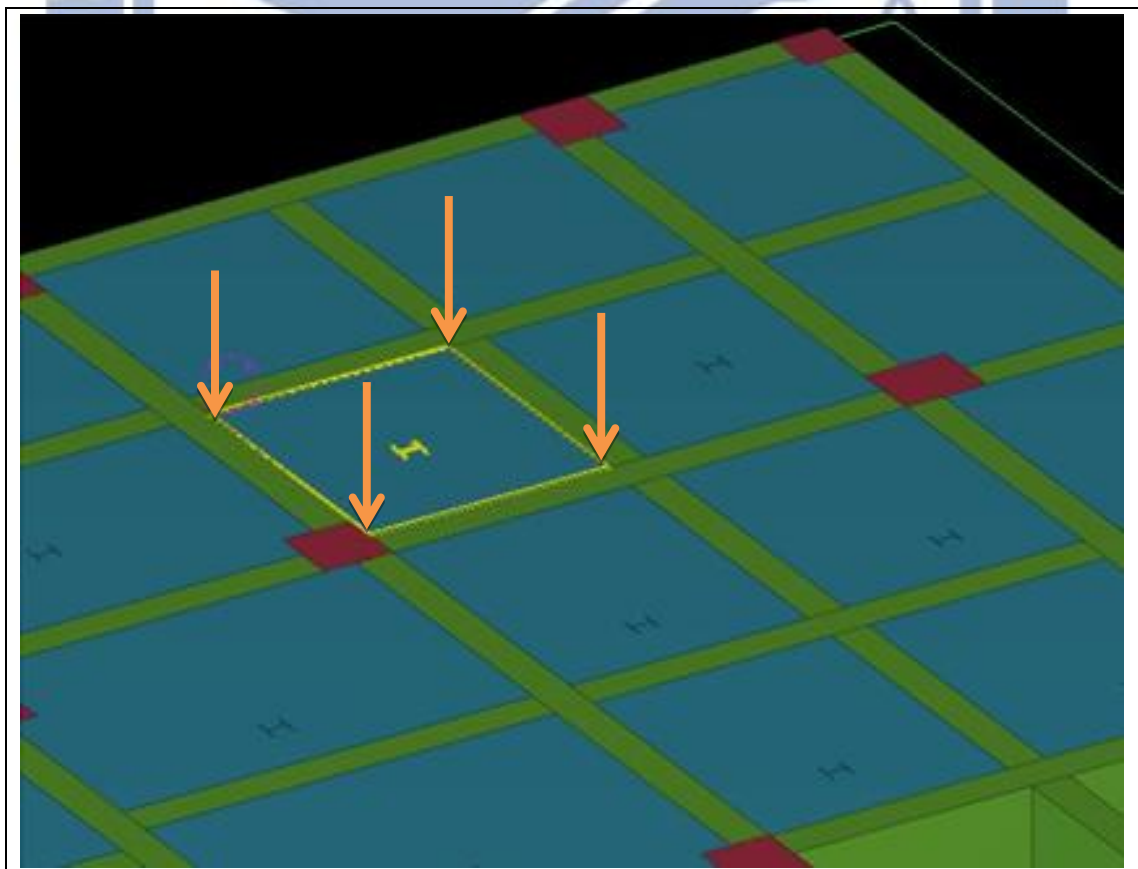


圖 3.11 依參考圖面建立筏基版

e. 樓梯：

使用 Tekla Structures 軟體「接頭功能」中的樓梯項目，將 CAD 圖面上的樓版厚度、起踏位置、樓梯寬度及單踏的深度等數據，輸入「接頭功能」的樓梯項目，以地下三樓的樓梯為例(圖 3.12)，輸入的樓版厚度為 200mm、起踏位置離梁距離 480mm、樓梯寬度為 1200mm、單踏深度 240mm，使用強度 420 kgf/cm² 的混凝土，之後連結模型上當層樓的開始位置與上層樓的結束位子兩點(圖 3.13)，軟體便會依照輸入數據計算出樓梯單踏高度然後建立出模型。

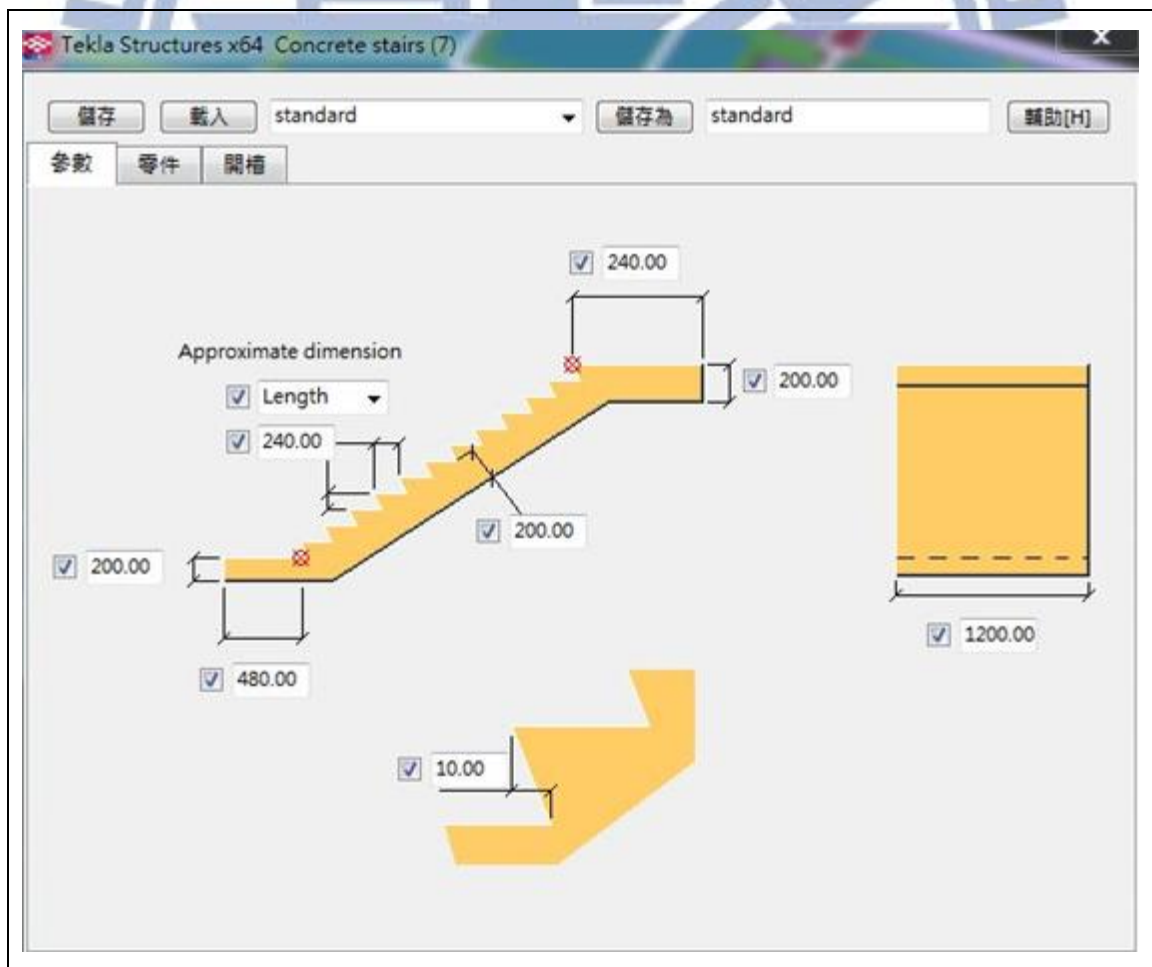


圖 3.12 樓梯數據輸入

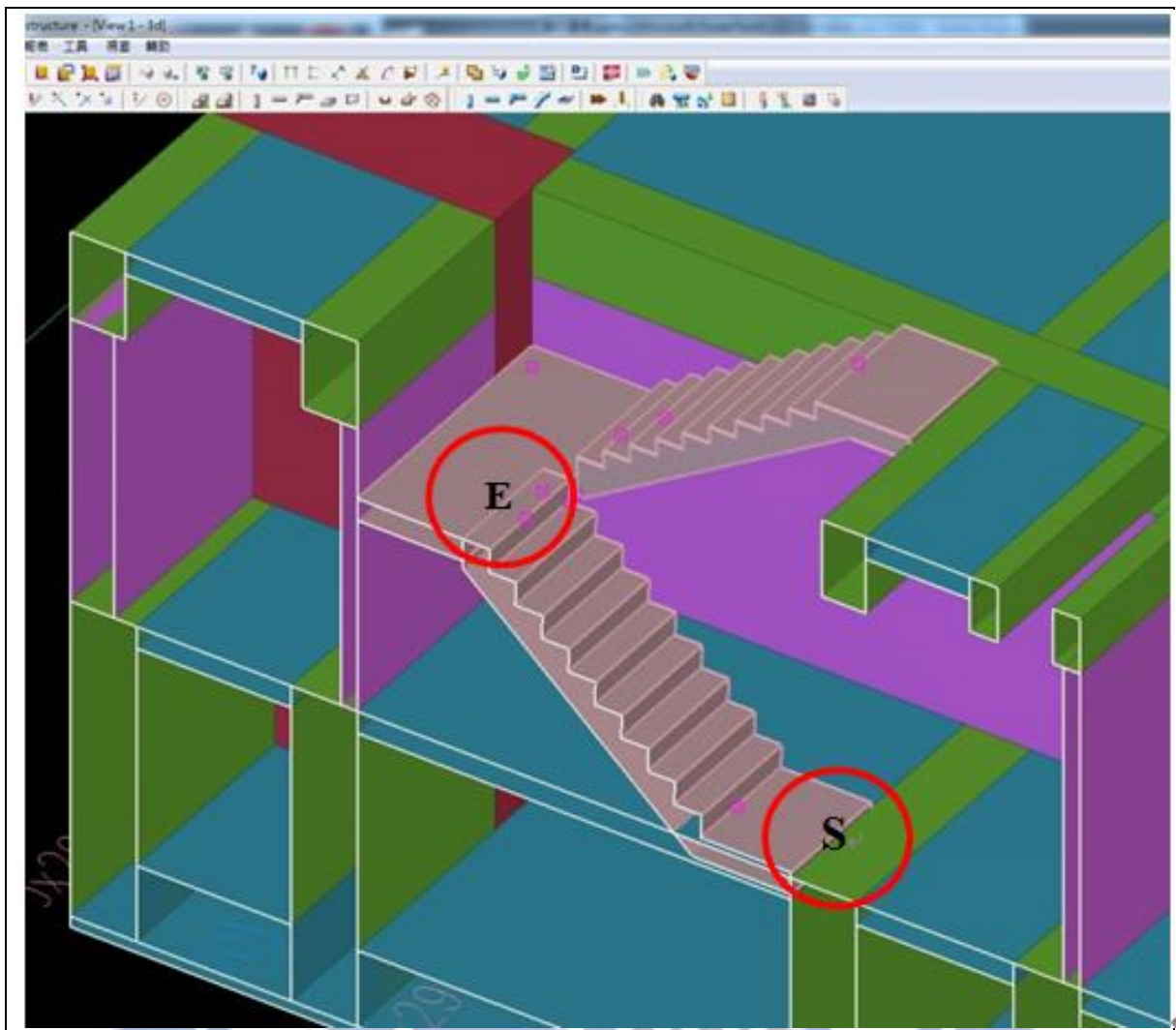


圖 3.13 樓梯建模方式

2. 臨時支撐模型基礎構件建立

a. 擋土樁：

使用 Tekla Structures 軟體「鋼結構柱」功能，設定柱構件的名稱、斷面規格、材料、分類、高程...等性質後，依照 CAD 圖面上所示位置放置結構柱，性質設定功能如表 3.6 所示。

表 3.6 擋土樁性質

斷面規格	擋土樁的斷面規格，需使用軟體已有的內建斷面資料
材料	擋土樁的鋼材，需使用軟體已有的內建鋼材資料
分類	依不同模型單位分別編號不同分類
高程	分成底面和頂面兩點用於定義柱子的高度

本案例所使用擋土樁規格為「H300X300X10X15」之 H300 型鋼樁，性質設定如圖 3.14，使用材料為 A36 板材，長度為 17.5m，分類為第 3 類，高程為「頂面 14200、底面-3300」，由於此次建模主要為地下室結構體，故在建模時已將基準點設於基地開挖完成深度的位置，所以 17.5m 長度的擋土樁，基準點以上長度為 14200 mm，埋入於土壤內的長度為 3300mm，擋土樁建構位置於基地四周圍，以水刀工法打入地下，主要用途為支撐開挖後基地四周土壤，總數量 333 支；設定完擋土樁性質後，建模時依照先前匯入之安全支撐參考圖檔內的擋土樁位置建置(圖 3.15)，調整擋土樁的轉向使 H 型鋼樁的樁面皆朝向基地內部用以日後固定三角架。

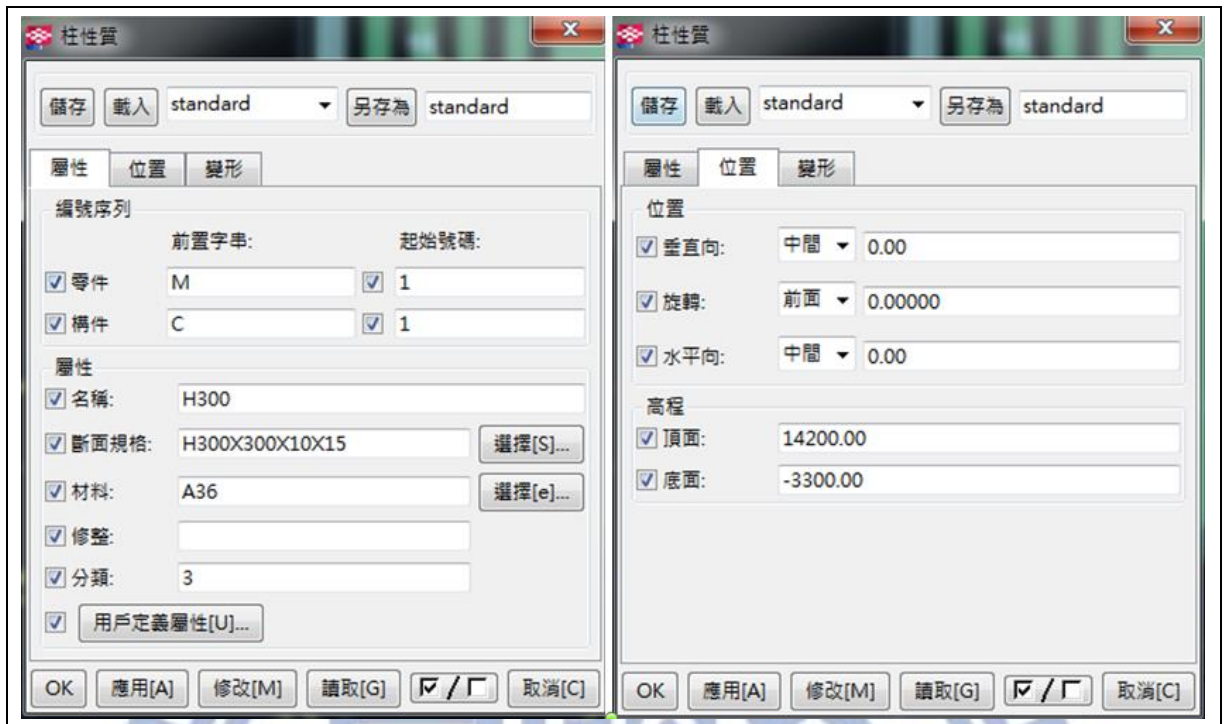


圖 3.14 擋土樁性質設定

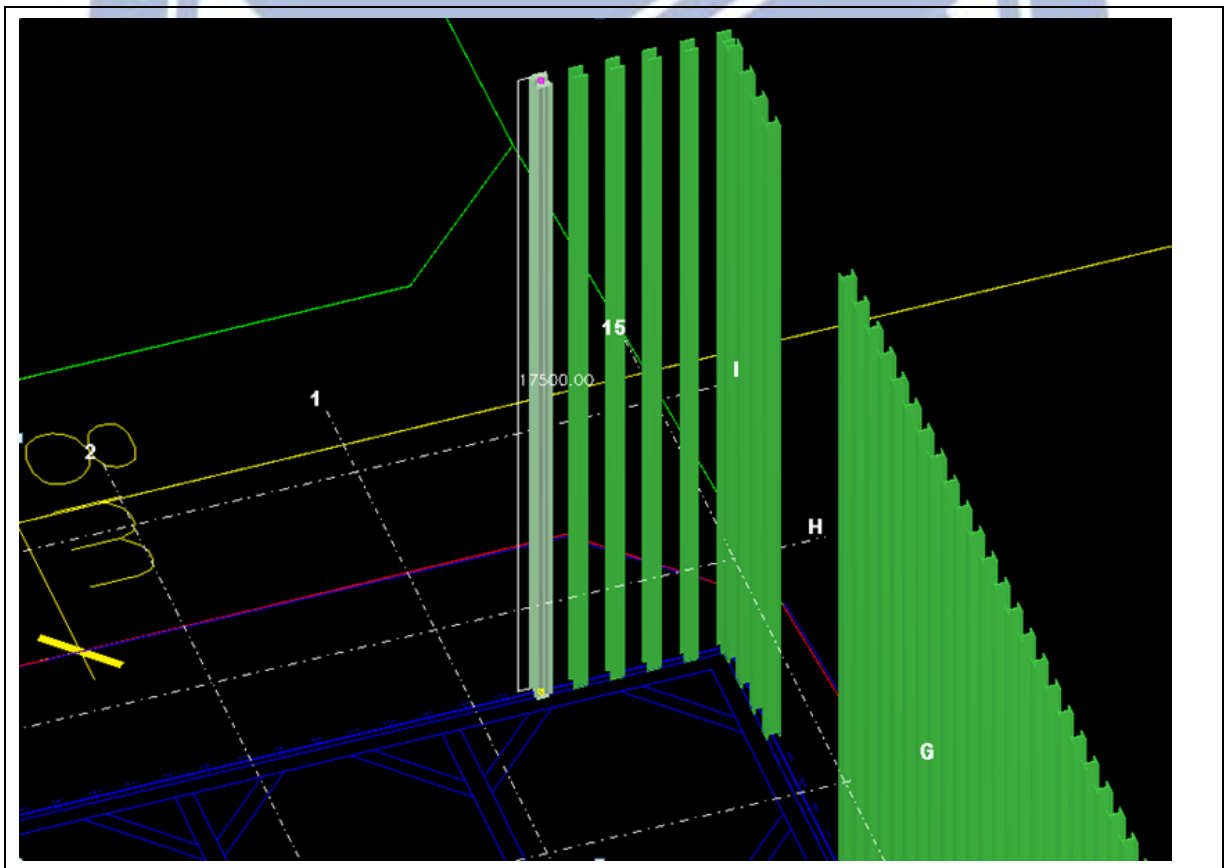


圖 3.15 擋土樁建模

b.中間樁：

同擋土樁使用 Tekla Structures 軟體「鋼結構柱」功能，性質設定亦同差別在中間樁使用 H350 型鋼樁，長度約為 16 m。

中間樁規格為「H350X350X12X15」之 H350 型鋼樁，性質測定如下圖 3.16，使用材料為 A36 板材，高程為「頂面 12800、底面-3300」，分類為第 5 類，於開挖整土後在基地內以水刀工法打入地下，主要用途作為安全支撐時的結構柱，總數量為 88 支，建模時依照安全支撐參考圖檔內的中間樁位置建模(圖 3.17)。

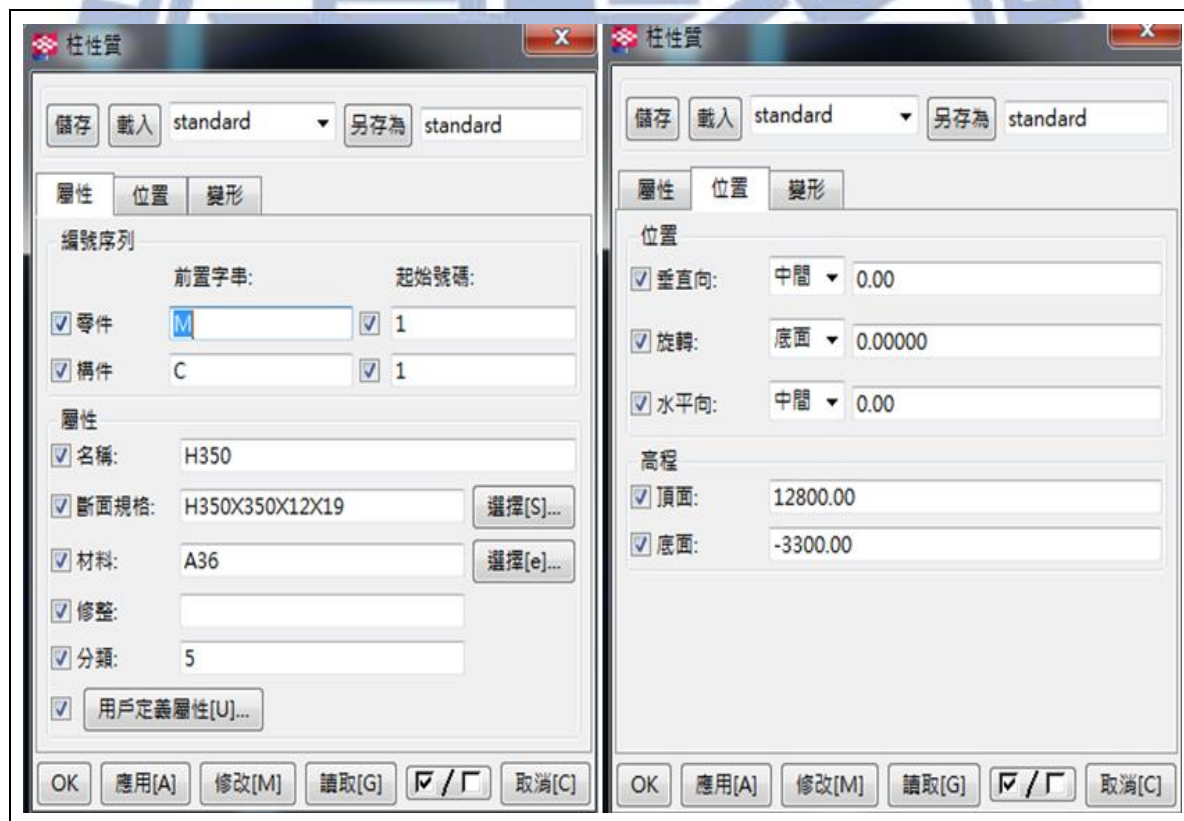


圖 3.16 中間樁性質設定

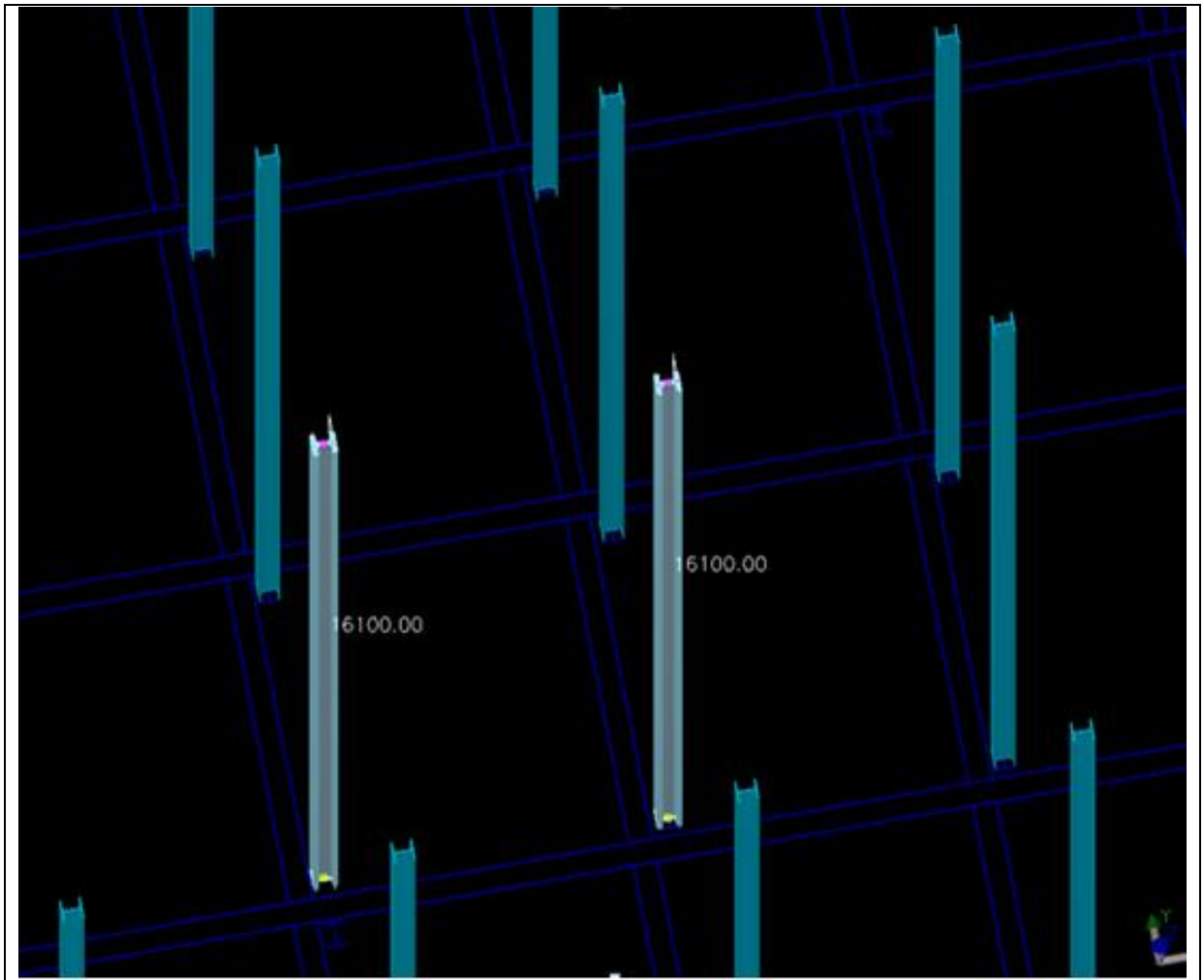


圖 3.17 中間樁建模

c. 鋼結構梁：

使用 Tekla Structures 軟體「鋼結構梁」功能，性質設定與鋼構元件的「鋼結構柱」性質類似，同樣需要設定斷面規格、鋼材以及分類，差別在於鋼結構梁無高程的設定；其建模方式與「混凝土梁」的建模方式相同，選定一點作為起始點連接到下一點作為結束點，兩點間的距離便是鋼梁的長度，性質設定說明如表 3.7。

表 3.7 鋼結構梁性質

斷面規格	鋼結構梁的斷面規格，需使用軟體內的鋼梁斷面資料
材料	鋼結構梁的鋼材設定，需使用軟體已有的內建鋼材資料
分類	依不同模型單位分別編號不同分類

以本研究案例的水平支撐鋼梁為例，性質設定如下圖 3.18，使用規格為「H350X350X12X19」之 H350 型鋼樁，使用材料為 A36，分類為第 1 類，水平支撐鋼梁用於聯接四周圍令並將擋土壁所承受之土壓力，傳遞到水平支撐鋼梁，為支撐工程之重要構材(圖 3.19)。

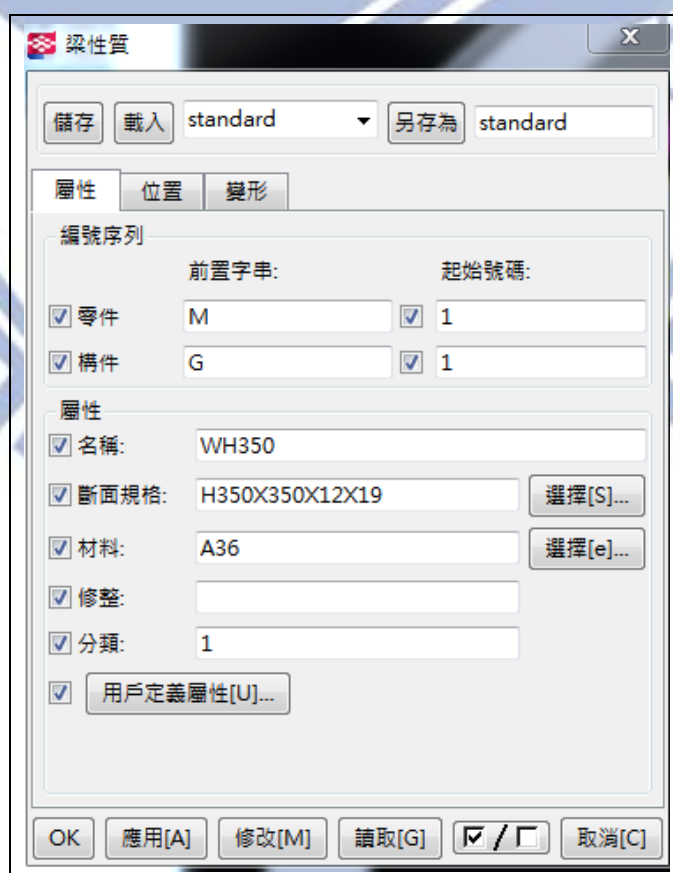


圖 3.18 水平支撐鋼梁性質設定



圖 3.19 水平支撐鋼梁建模

3.2.2 案例模型建模

在建立 BIM 3D 模型前需先了解建築物實際施工先後順序及方法，作為建構模型的原則，用以分別不同的模型基礎構件及建立順序，也需考慮日後數量計算需求或是 LOD (Level of Development) 細緻程度決定建模的細緻度，讓模型能達到使用者需求，例如牆面泥作粉刷、天花板批土...等細部項目雖不影響整體模型的建立，但在日後如果數量計算上需要就必需額外建立該模型構件。

本次研究的 BIM 3D 模型在建構上分為結構體及臨時支撐模型兩大類，結構體模型組成分為筏基層、地下三層、地下二層、地下一層，臨時支撐

模型組成分為鋼軌樁、水平支撐及施工構台模型(圖 3.20)，結構體模型的基礎構件為柱、梁、牆、版、樓梯以及車道，臨時支撐模型基礎構件為擋土樁、中間樁、鋼結構梁、構台版、鋼構接頭及其他細部構件(圖 3.21)。

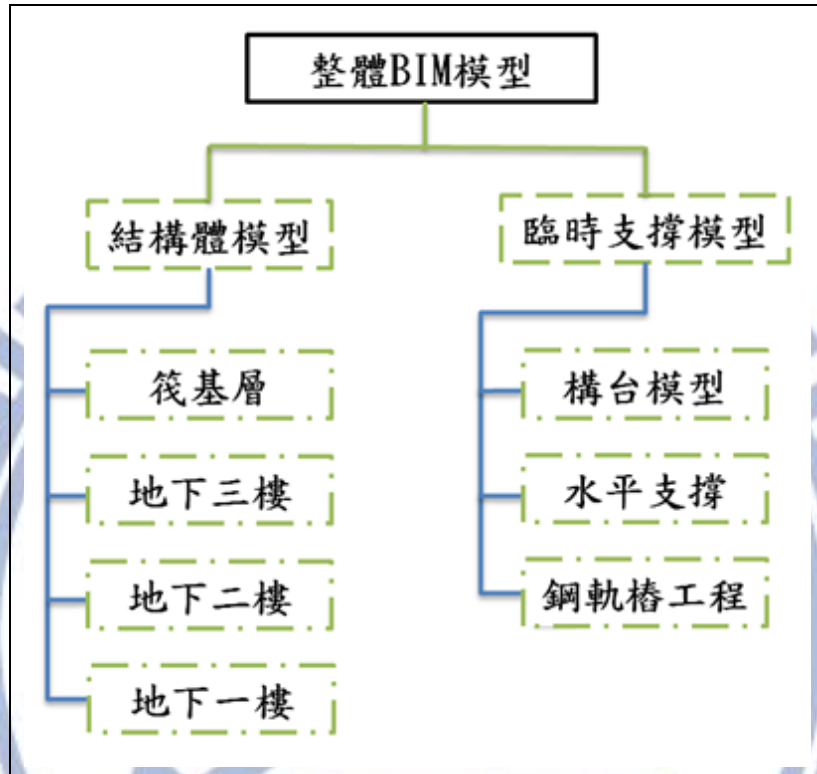


圖 3.20 模型組成

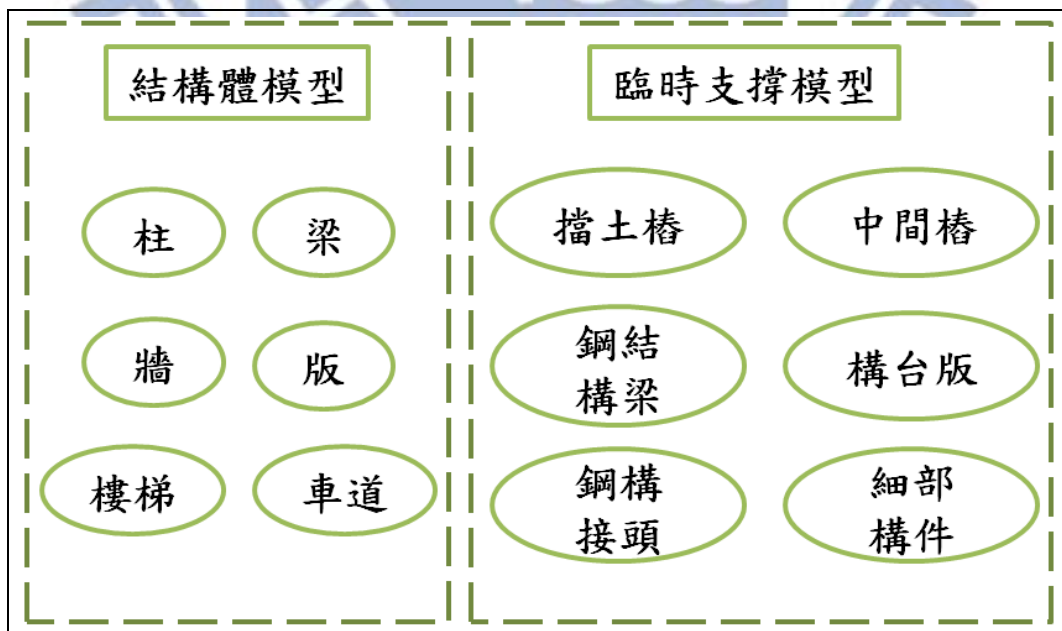


圖 3.21 模型構件

1. 結構體 BIM 模型建立

地下室結構體的 BIM 3D 模型的建模流程(圖 3.22)，首先將 2D 施工圖說匯入成參考模型，接著定義格子線及高程，設定模型構件的性質及分類，依照匯入參考圖說建立當層的樓層模型，最後使用干涉檢察功能針對模型碰撞部分作修正調整，完成後再將模型分類管理，步驟細節如下：

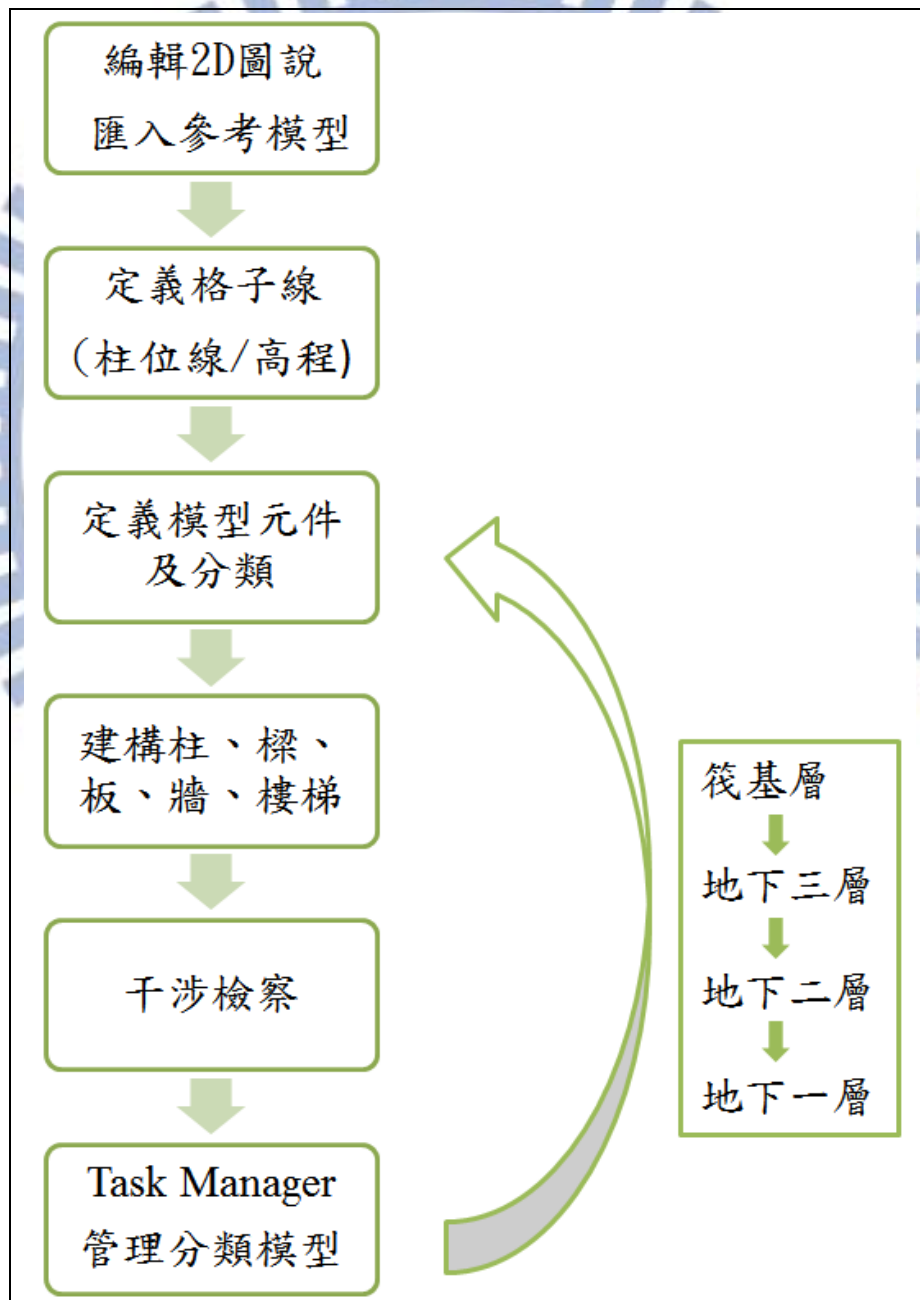


圖 3.22 結構體建模流程圖

a. 建立格子線及高程：

格子線(圖 3.23)功能為輔助建模的參考線，使用柱子的位置來定義格子線的分隔，以便描述每層柱子的相關位置幫助建模，在建立格子線時除了平面 X、Y 軸向的柱位外也需一併定義 Z 軸的各樓層高程，日後各種 2D 圖面剖面、切面的位置也可以依造格子線作為劃分標準；

以本研究建案為例，格子線的建立步驟首先由 2D 施工圖的平面及立面圖獲得各項數據，以平面圖之柱位(圖 3.24-A)量測柱子相對距離，取得 X、Y 軸數據，再從高程圖中(圖 3.24-B) 量測各樓層高度取得 Z 軸的高度數據，完成後開啟軟體建立格子線功能(圖 3.25)將所得數據依序填入 X、Y、Z 三項座標，最後在 X、Y、Z 三項的標籤欄位，標示上對應位置的標籤名稱完成格子線的建立。

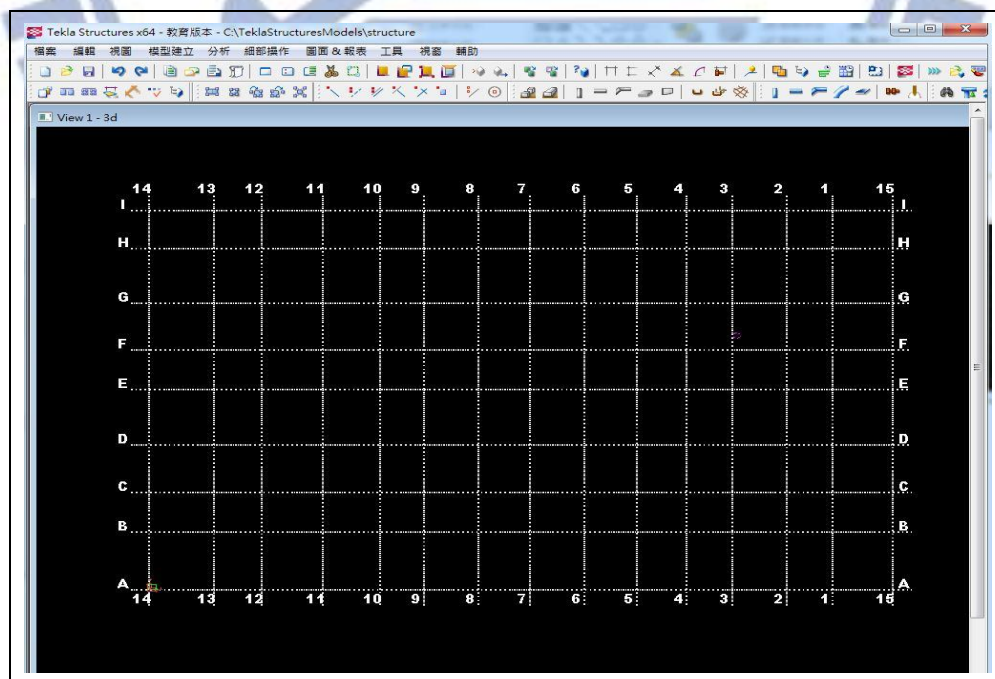


圖 3.23 格子線

[A] 由平面圖取得 X、Y 軸數據



[B] 由高程圖取得 Z 軸數據

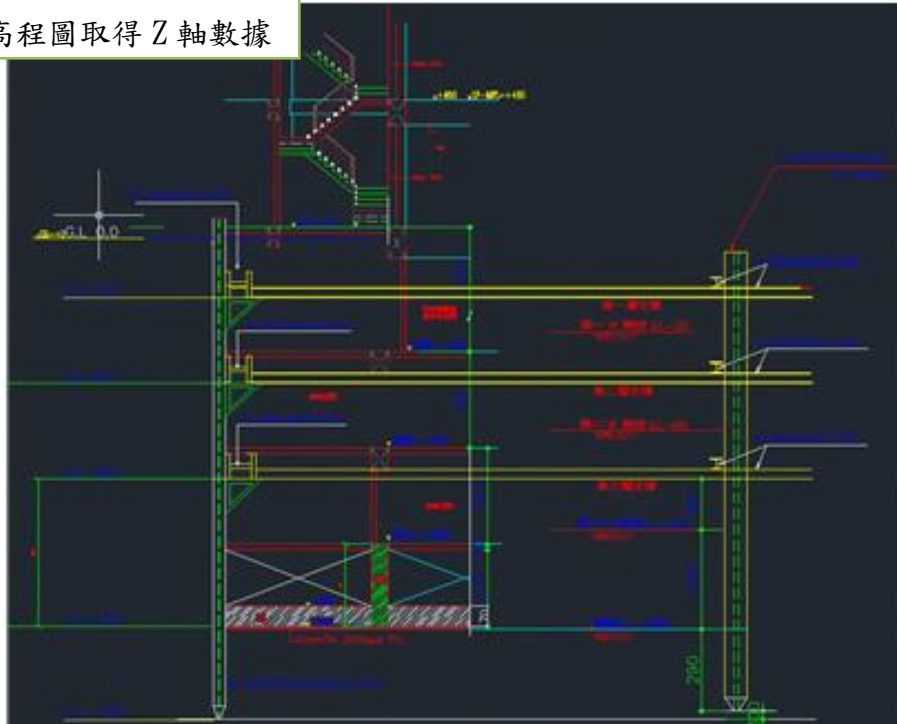


圖 3.24 格子線各軸向數據取得

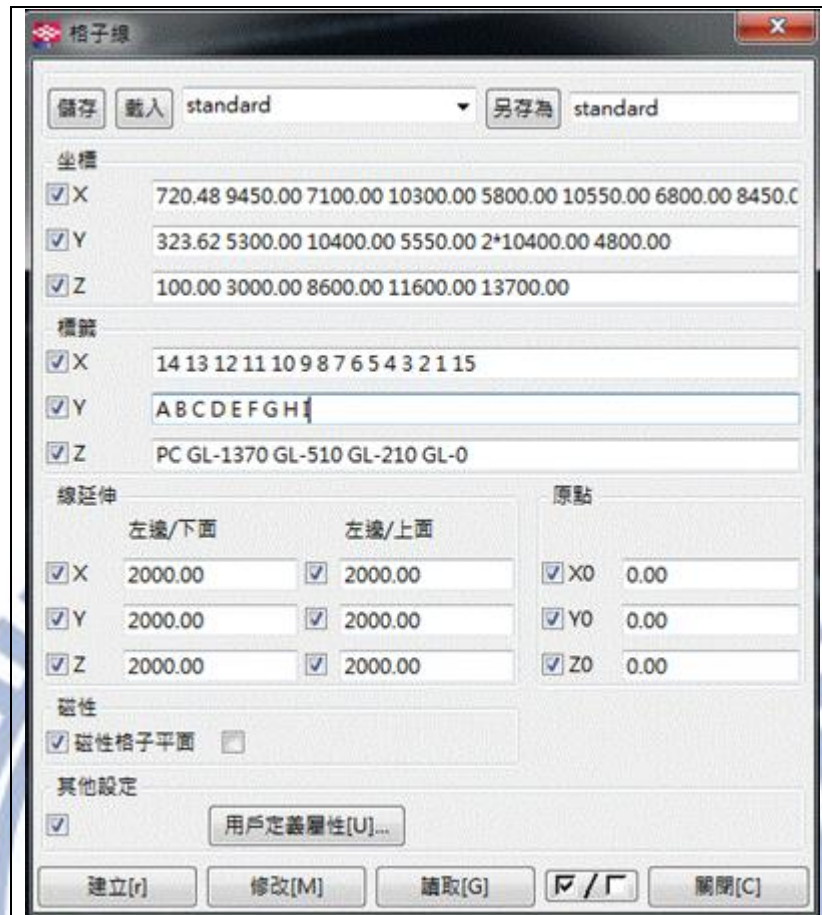


圖 3.25 格子線數據輸入

b. 筏基層建模

筏基層不同於其他樓層，使用大型基礎版結合地梁及地下室牆體，將建築物所有柱或牆之各種載重傳佈於基礎底面之地層，並且回填劣質混凝土以平衡建物載重。建模順序首先依照模型範圍使用混凝土平版功能建立 10 cm 厚度，材料種類為低強度混凝土的 PC 層模型，接著依序建立柱、地梁、牆、筏基底版、回填區、筏基頂版等模型構件，回填區模型同 PC 層模型一樣使用低強度混凝土材料，所以設定厚度時需扣除筏基頂版，與筏基頂版分開建模(圖 3.26)。

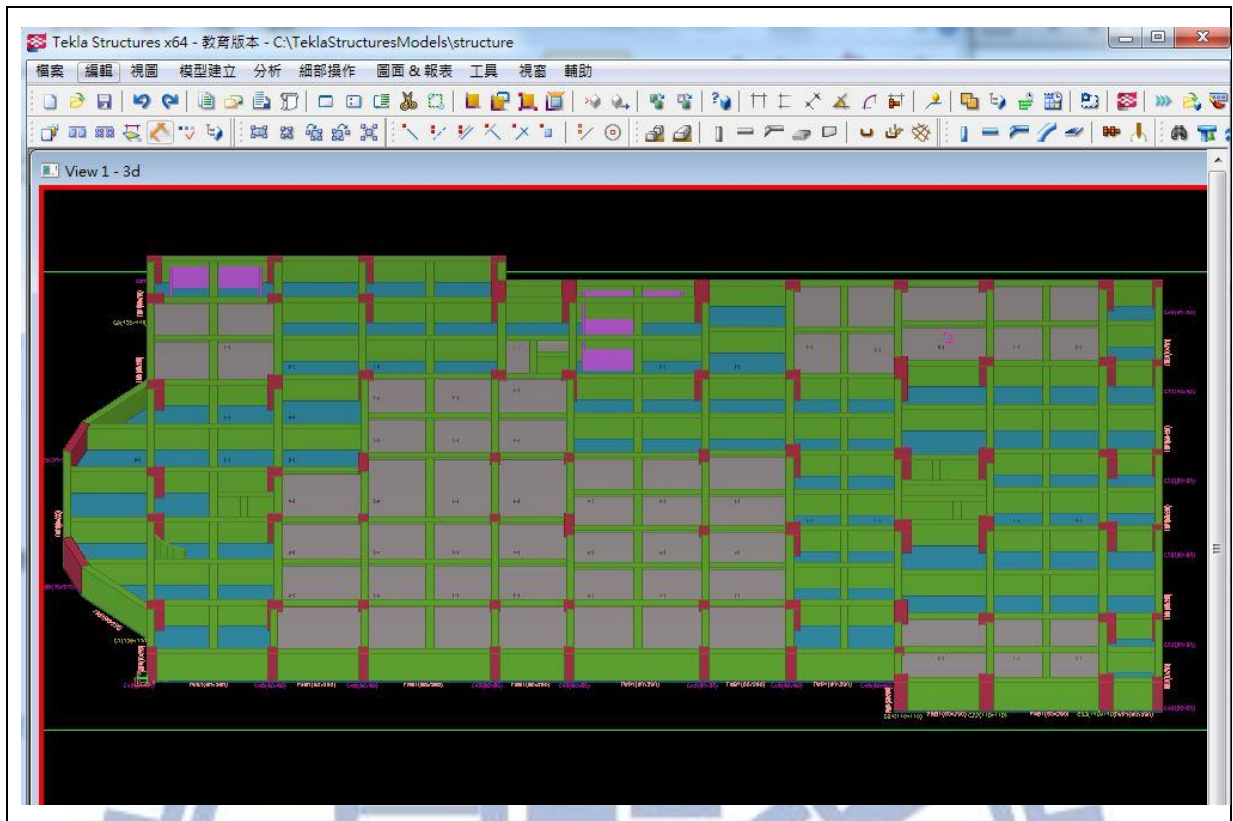


圖 3.26 筏基回填區建模

c. 地下室樓層建模：

地下室樓層分別為地下三樓、地下二樓、地下一樓，建模時依照事先定義好的高程，按照樓層順序分層建立，各樓層建模順序為柱、梁、牆、版及樓梯如下圖 3.27 所示，最後再建立車道模型。

本研究建模過程中發現相較於地上層之標準樓層，地下室各樓層變化較多也盡不相同，無法使用直接複製樓層方式，需要逐層各別建模並作修改，建模時需要注意部分如下：

2D 參考圖檔：樓層建模使用當樓層的 CAD 柱牆圖面，配合上一樓層 CAD 梁版圖面建構模型。

樓高：地下室各樓層高度並不相同，其對應的柱梁牆高度需要依照樓高作修正。

柱：各層樓的柱子斷面規格不盡相同。

梁：地下室不同層梁的大小深度會改變，位置也會有位移之情況。

版：當樓層及不同樓層，樓版厚度不會皆相同。

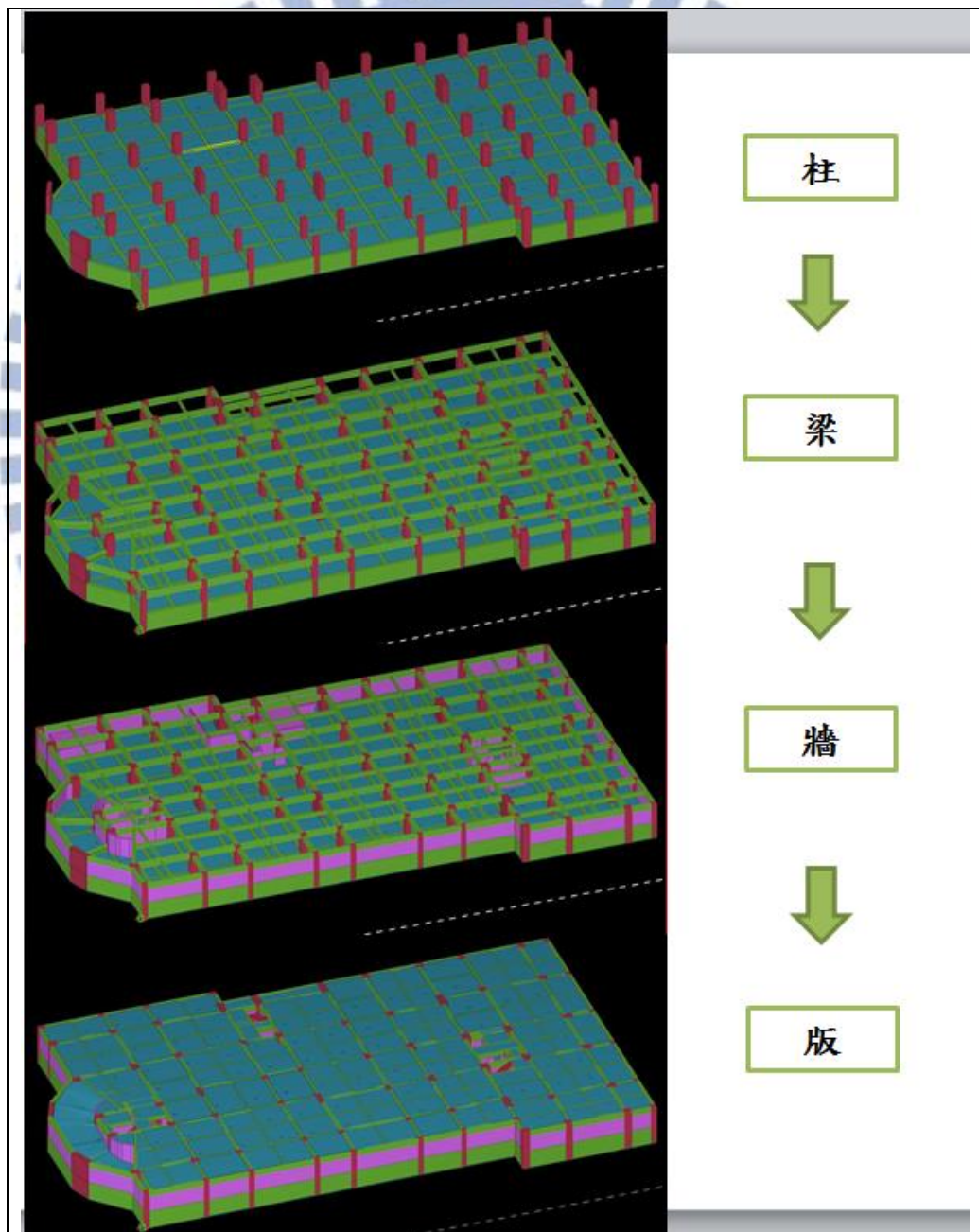


圖 3.27 建模順序

d. 車道建模：

在建立車道模型前需要注意車道梁的位置，由於車道介於上下樓層之間，施工圖也多半只有以幾張平面及剖面圖來表示，如圖 3.28 一張圖面表示了地下一樓及地下二樓兩部分的車道圖，以及僅有的單一張車道剖面圖(圖 3.29)，需要的圖資不足以及較為複雜的圖面使得施工人員在讀圖時費時又費工；尤其車道梁上下重疊的部分，如果沒特別注意就很容易造成遺漏的情況，所以建模過程中需要特別檢視是否遺漏或是圖面誤判的情形。

上述同樣狀況也容易在現場實際施工時發生，如果剛好施工的板模師傅缺乏車道施工經驗，只憑藉著幾張 2D 圖面照圖施工，很容易造成施工錯誤使工期延宕，但是在有 BIM 模型的情況下，使用 3D 模型輔助解釋 2D 圖面可使錯誤發生機率降低，如圖 3.30 所示，BIM 3D 模型可以使施工者清楚了解，不同樓層的車道 2D 圖面以及圖面上所標示梁的位置和重疊的部分。

本次研究案例中地下室車道模型分成「平面車道」及「曲面車道」兩種形式，地下一樓至地面一樓為「平面車道」，地下二及地下三樓為「曲面車道」，「平面車道」建模方式較單純，依照車道起始點及終點不同樓高建立車道梁及版面，「曲面車道」則需計算各基準點的高程，依照車道版面各點不同的高度來建構模型；兩者建模過程如下：

平面車道：

在建立「平面車道」模型時，依照車道平面及剖面圖，使用軟體「混凝土梁」及「混凝土平版」功能，再利用輔助線作為放樣點幫助建模，依照 CAD 圖面的標示，延伸車道地下一樓起始點及一樓的終點繪製成代表車道平面的輔助線，再依照參考圖的梁位繪製 Z 軸方向的輔助線，Z 軸的輔助線與車道線交點便為車道梁的高程放樣點(圖 3.31)，完成代表梁位置的放樣點後依參考圖面建構車道梁及車道版，最後完成平面車道模型(圖 3.32)。

曲面車道：

建立「曲面車道」模型時，無法像建立平面車道直接使用兩端方式建模，必需先於車道平面圖上定義數個基準點(圖 3.33-A)，再依照相對距離計算出各基準點所對應之高程，算得各基準點位的高程數據後於 BIM 軟體中使用「混凝土平版」功能，依照車道參考圖面上所定義的基準點位置描繪出平面的車道版面(圖 3.33- B)，完成車道版面涵蓋的範圍後，再依照各個點位的高程數據調整車道版面的高度，完成車道版面部分模型(圖 3.34)，車道梁部分使用「混凝土梁」功能依照高程數據延著車道版面建立車道梁，最後再作調整完成曲面車道模型。

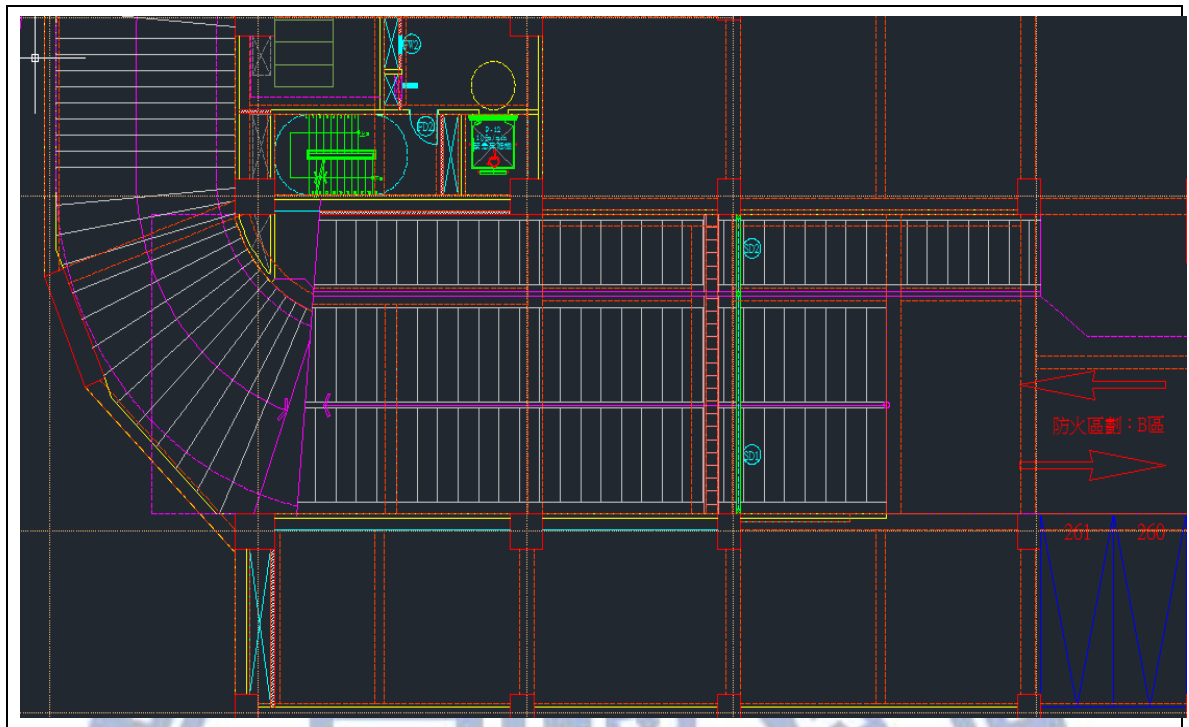


圖 3.28 地下一樓車道圖

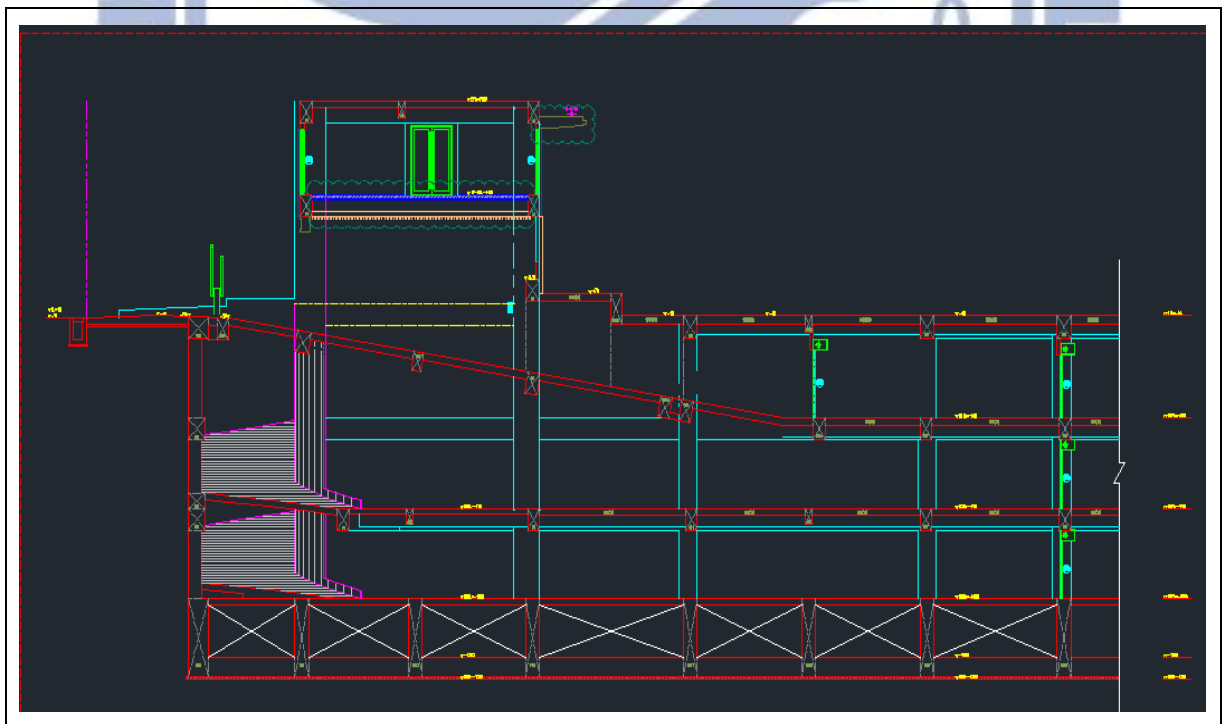


圖 3.29 車道總剖面圖

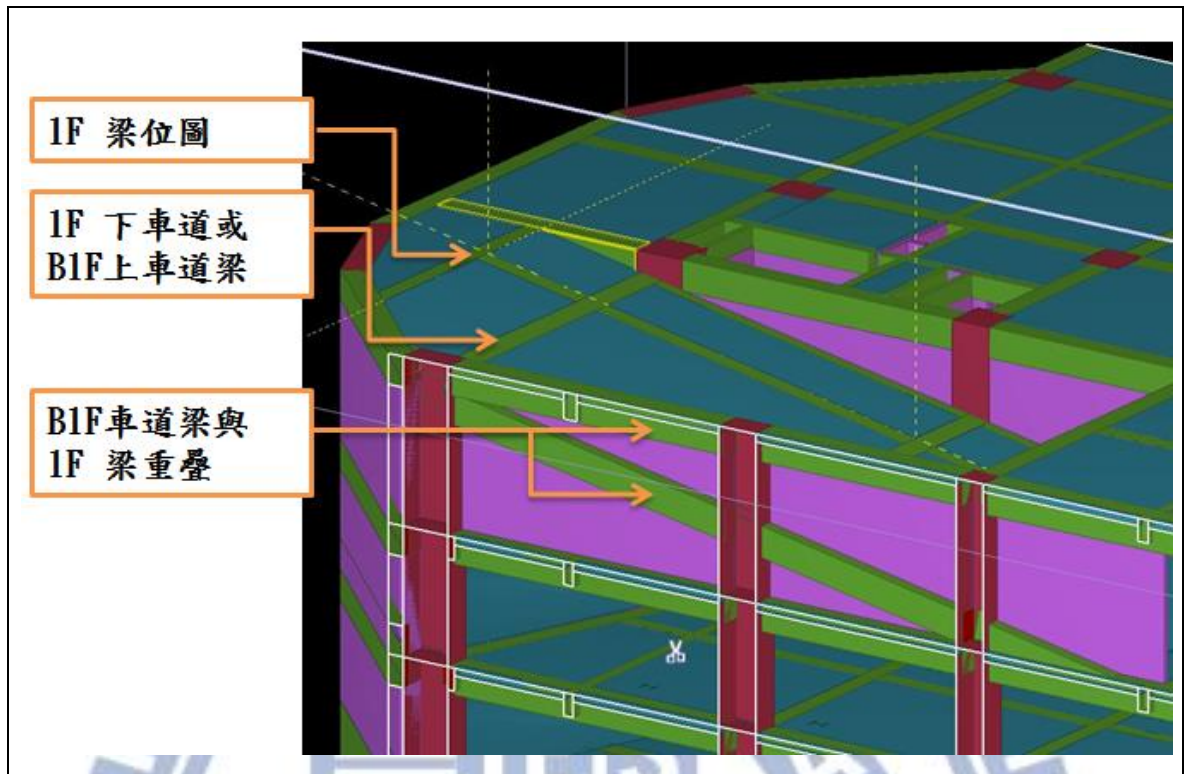


圖 3.30 車道模型梁位

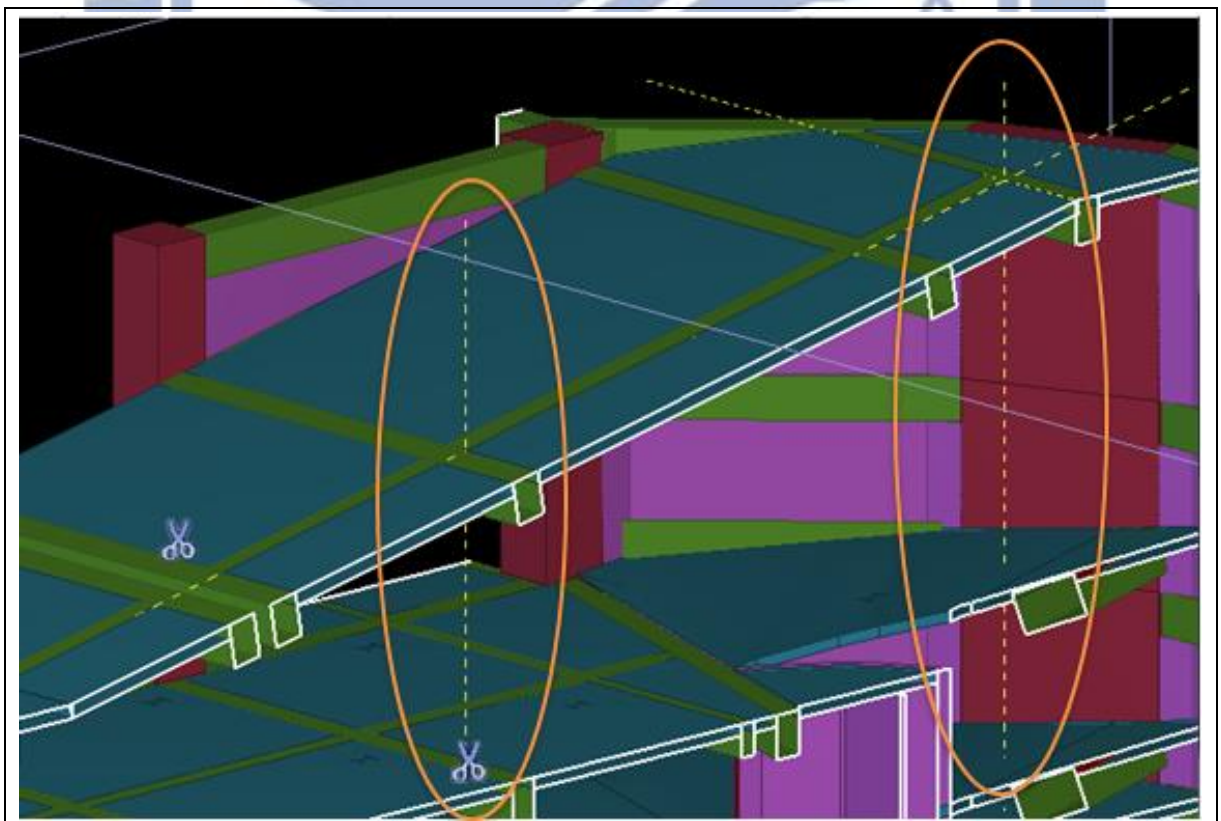


圖 3.31 以輔助線建立模型

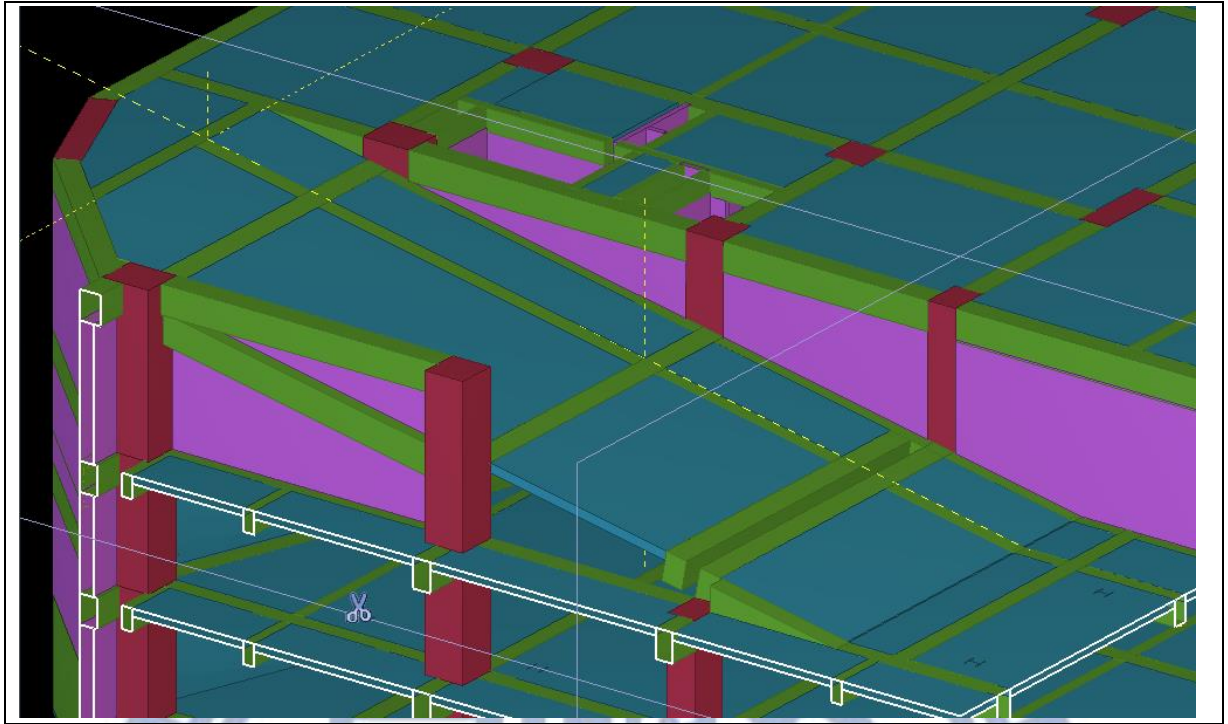


圖 3.32 車道梁版建模

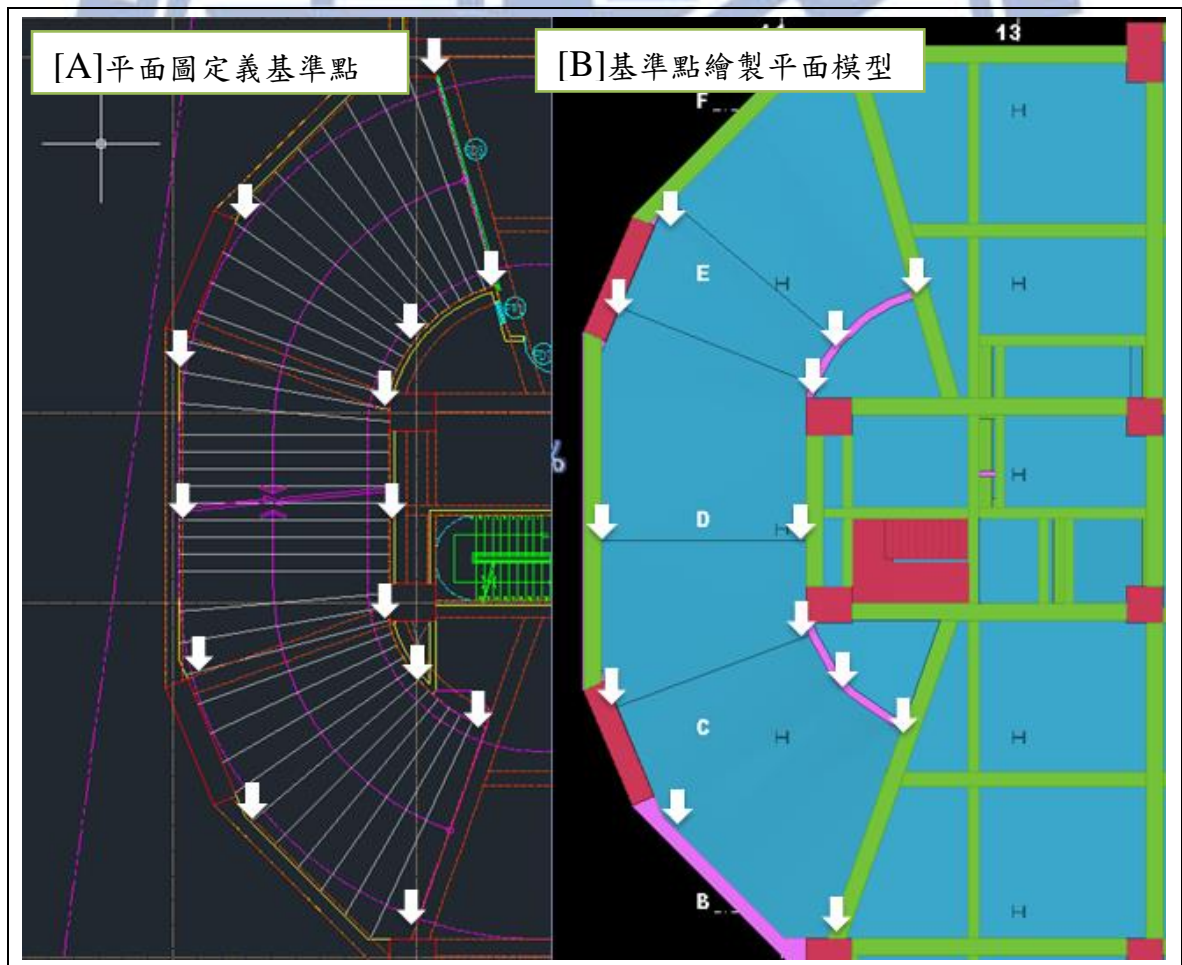


圖 3.33 依照基準點建立模型版面

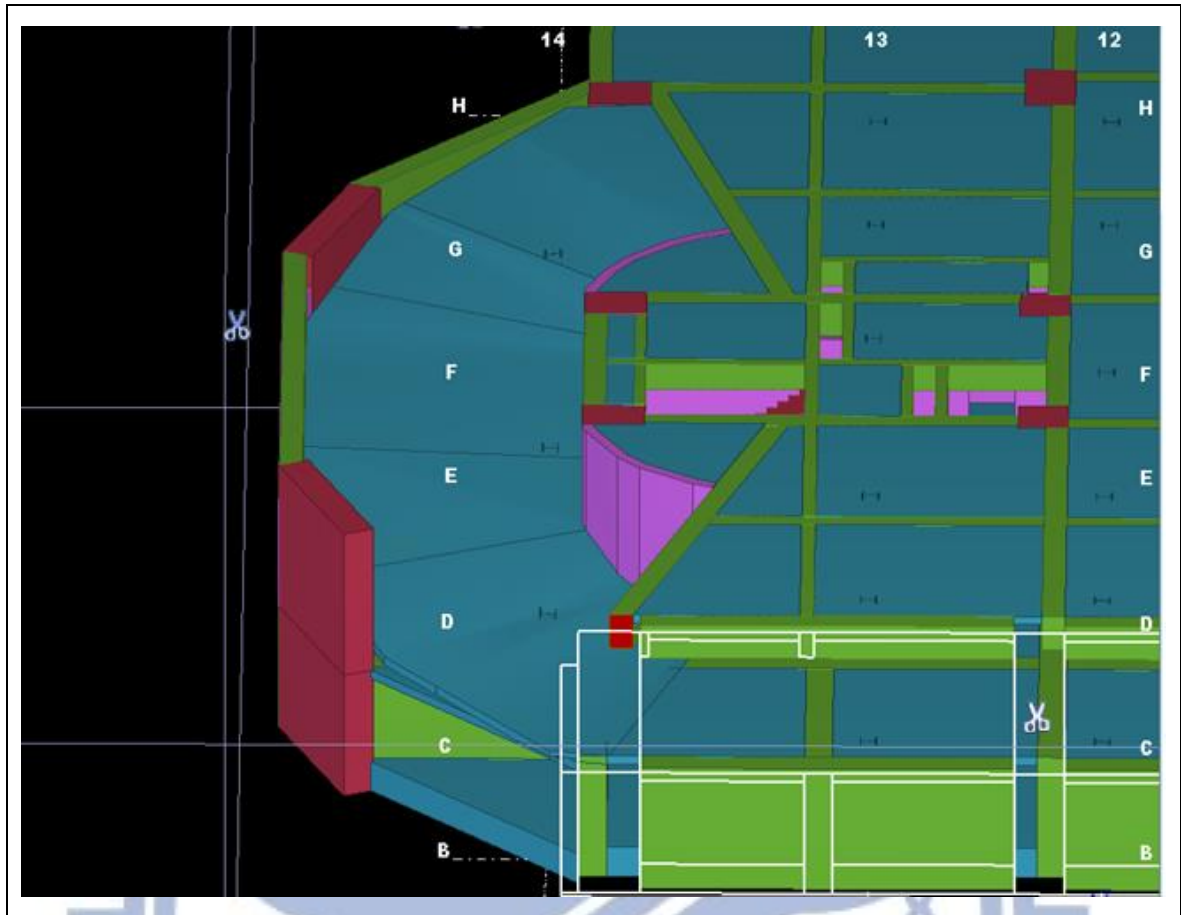


圖 3.34 調整基準點高程

2. 臨時支撐 BIM 模型建立

本研究案例位於關埔重劃區內，基地四周四面臨路，所採使用安全支撐為內支撐工法，其目的為建立開挖後的擋土設施，使基地內的土方開挖工程能夠安全順利的進行，實際施工流程為部分開挖後於基地四周及內部打入鋼軌樁，開始第一層土方開挖並且建立施工構台及第一層水平支撐，最後重複土方開及水平支撐至預定開挖深度(圖 3.35)。

不同於實際施工情形，在建構 BIM 3D 模型時，可先不考慮土方開挖由上至下的施工順序；為了方便模型管理以及建模習慣考量，將安全支撐模

型與施工構台模型分為兩個部分來建模，水平支撐模型的建模順序則改為由下往上的習慣方式建模，最後才建立施工構台，建模流程為先建構基地四周擋土樁及基地內部中間樁，然後由開挖完成面開始向上建立水平支撐，完成第三層的水平支撐及其細部構件的模型後，依序向上建立第二層及第一層水平支撐模型，最後才開始建構施工構台模型(圖 3.36)。

在建立支撐模型前需先匯入參考模型及重新定義格子線，方式與結構體模型建立方式相同，匯入臨時支撐 CAD 施工圖為參考模型，並以施工圖中鋼軌樁的點位重新定義格子線及高層，其他細部建模過程如下：

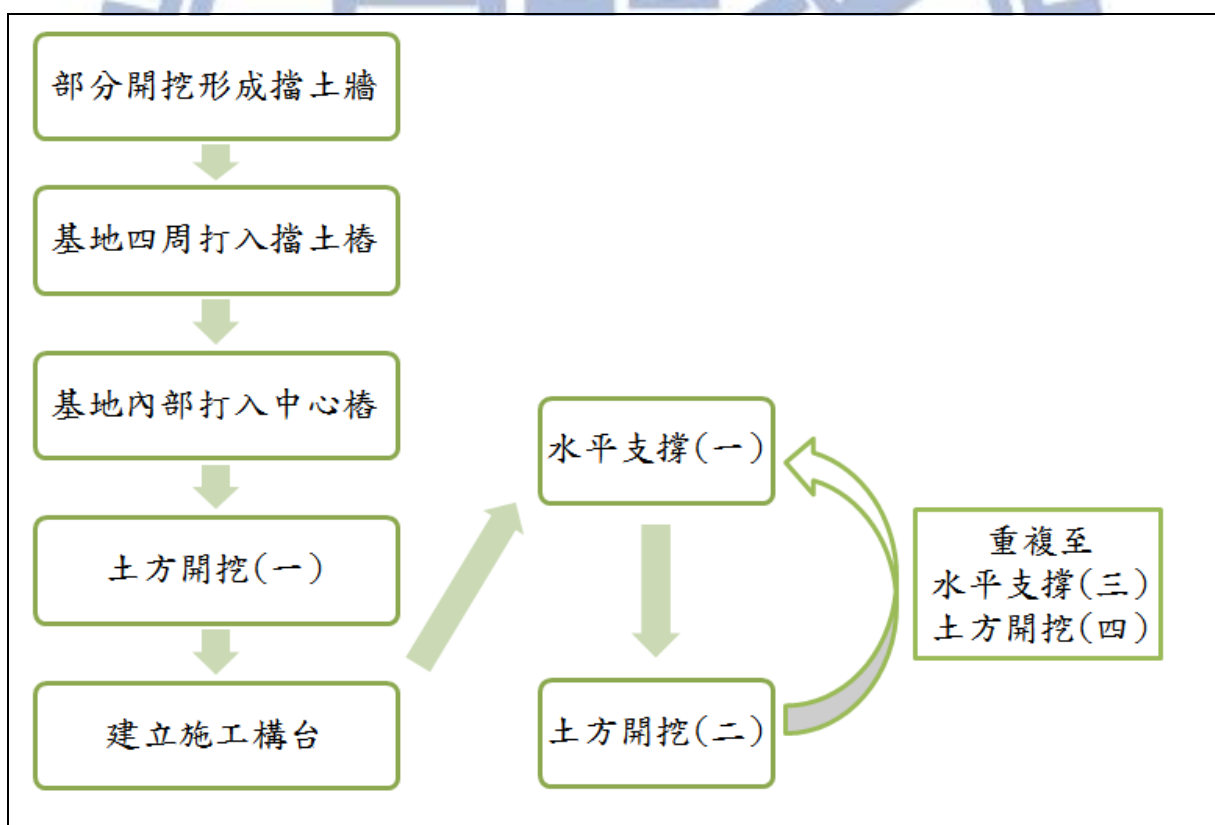


圖 3.35 安全支撐施工流程

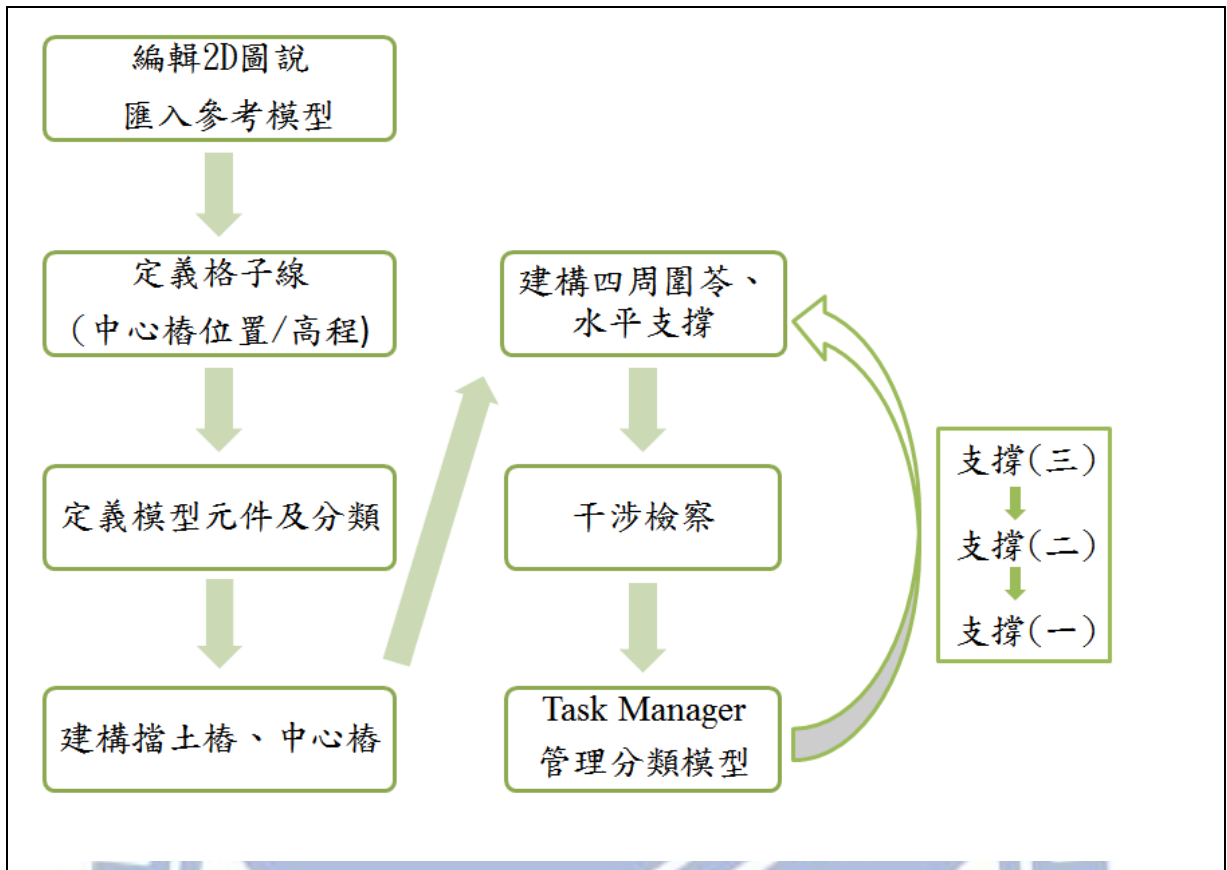


圖 3.36 安全支撐建模流程

a. 擋土樁及中間樁建模：

模型構件的建立同 3.2.1 所設定之擋土樁及中間樁構件，擋土樁規格為「H300X300X10X15」之 H300 型鋼樁，材料 A36，長度 17.5m，分類為第 3 類，高程為「頂面 14200、底面-3300」；中間樁規格為「H350X350X12X15」之 H350 型鋼樁，材料 A36，高程為「頂面 12800、底面-3300」，設定完模型構件後依照臨時支撐 CAD 施工圖的鋼軌樁點位逐一建立鋼樁(圖 3.37)。

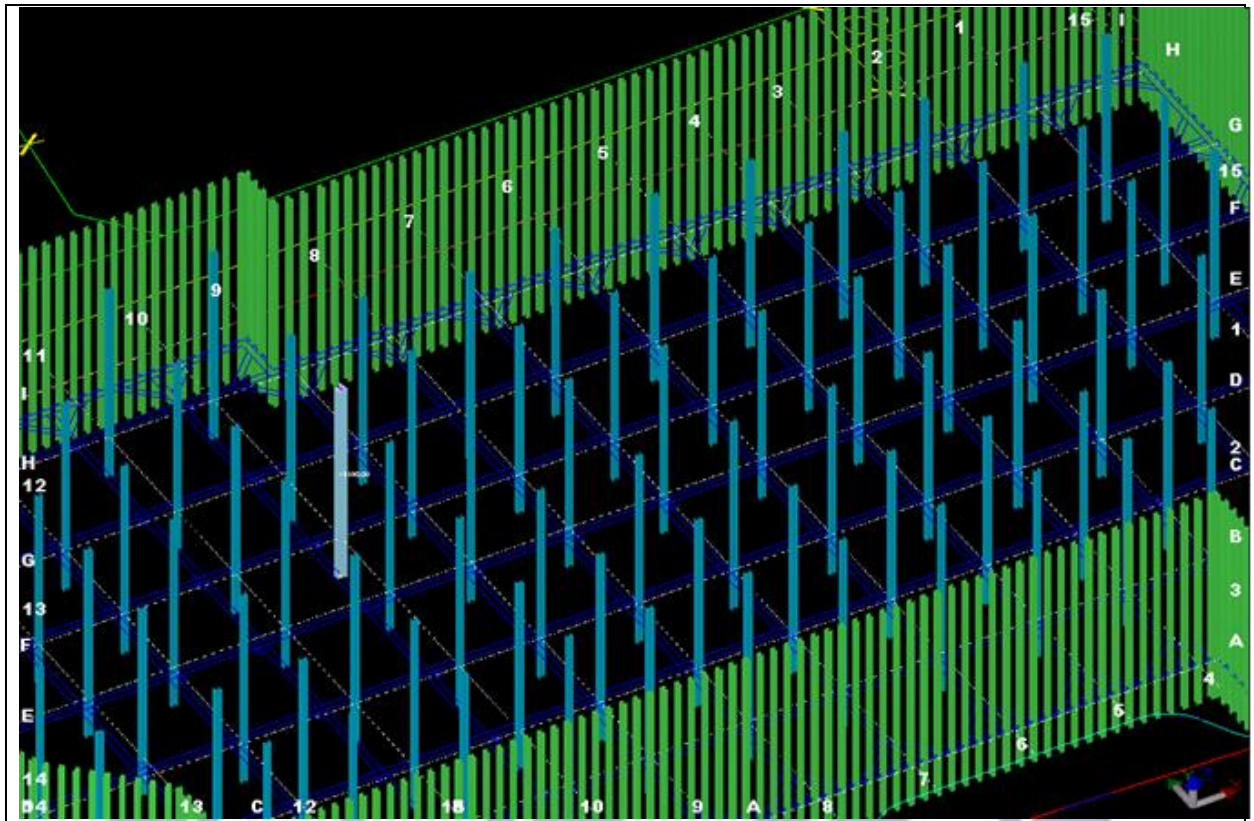


圖 3.37 擋土樁及中間樁建模

b. 水平支撐建模：

水平支撐模型由圍苓、水平鋼梁及其他細部構件組成，圍苓及鋼梁使用規格為「H350X350X12X19」之 H350 型鋼樁，材料 A36，分類為第 1 類，建模順序先建立四周圍苓，再建構鋼梁並延伸接至四周圍苓上(圖 3.38)。

建立水平鋼梁時由短向鋼梁先建立才建立長向鋼梁，由於長向鋼梁跨接在短向的 H350 鋼梁上，使圍苓及水平鋼梁長短向高程會差 35cm(圖 3.39)，以第三層水平支撐為例，短向鋼梁標準高程為 GL-850 延伸接至長向圍苓，長向鋼樑高程為 GL-815 延伸接至短向圍苓。

建構完成圍苓及水平鋼梁後，才建立其他較細部的零件模型如「三角托架」、「U型螺栓」、「鋼構斜撐」及「斜撐擋頭」...等零件，由於軟體沒有內建的零件接頭模型可以直接使用所以需要另外自行建模；加上模型零件後，執行干涉檢察及調整位置，最後將單層完整的水平支撐模型以參考線及基準點方式複製至其他兩層的位置再作部分修改完成水平支撐模型。

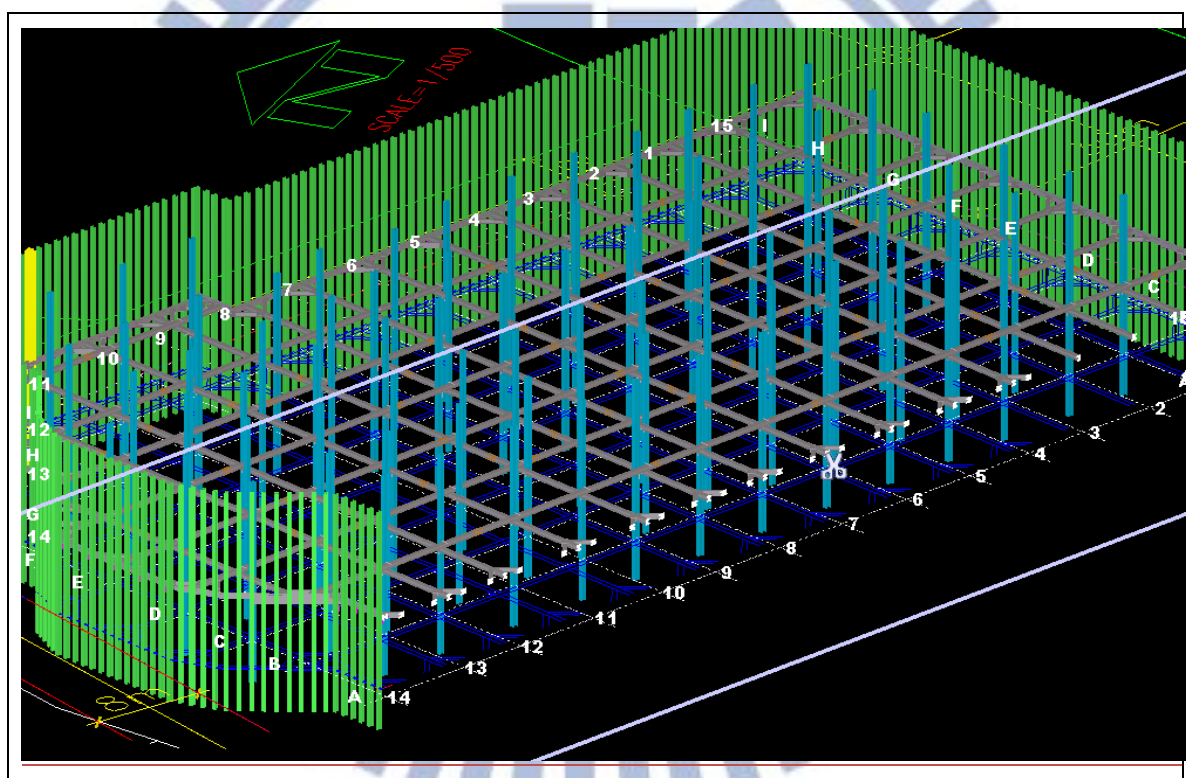


圖 3.38 建立圍苓及水平鋼梁

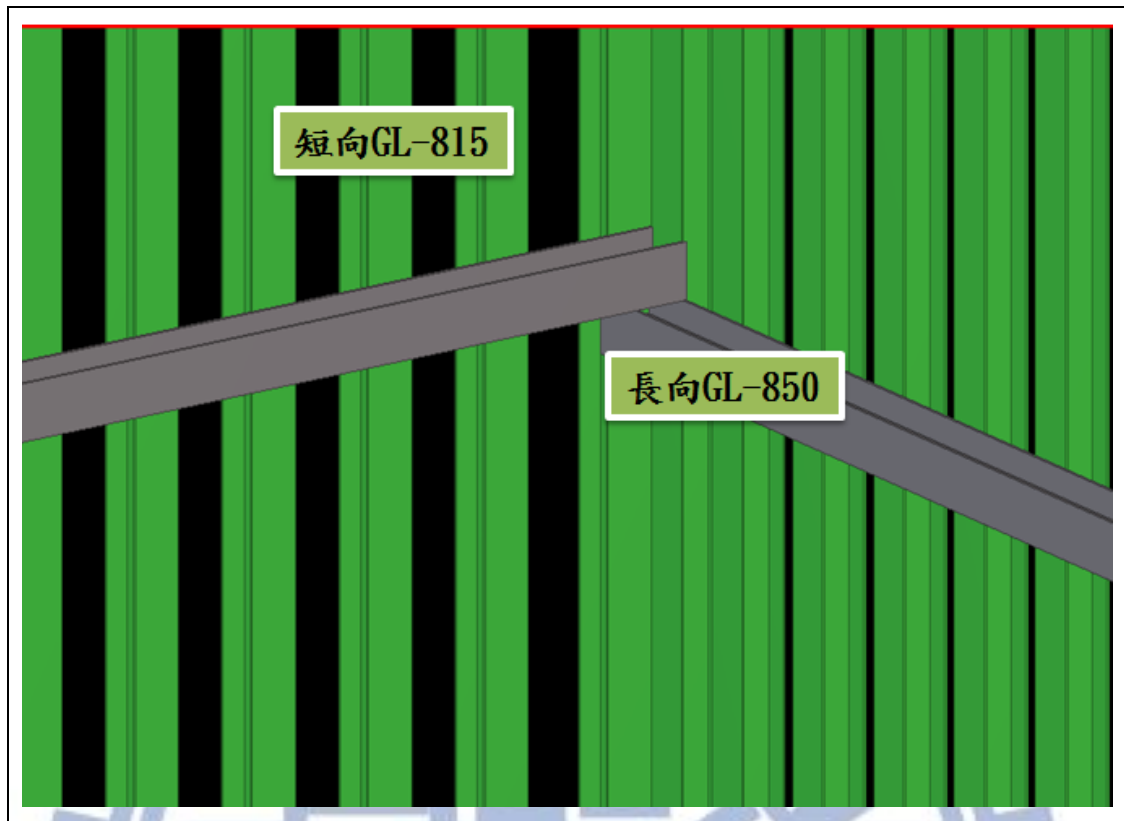


圖 3.39 鋼梁跨接部位

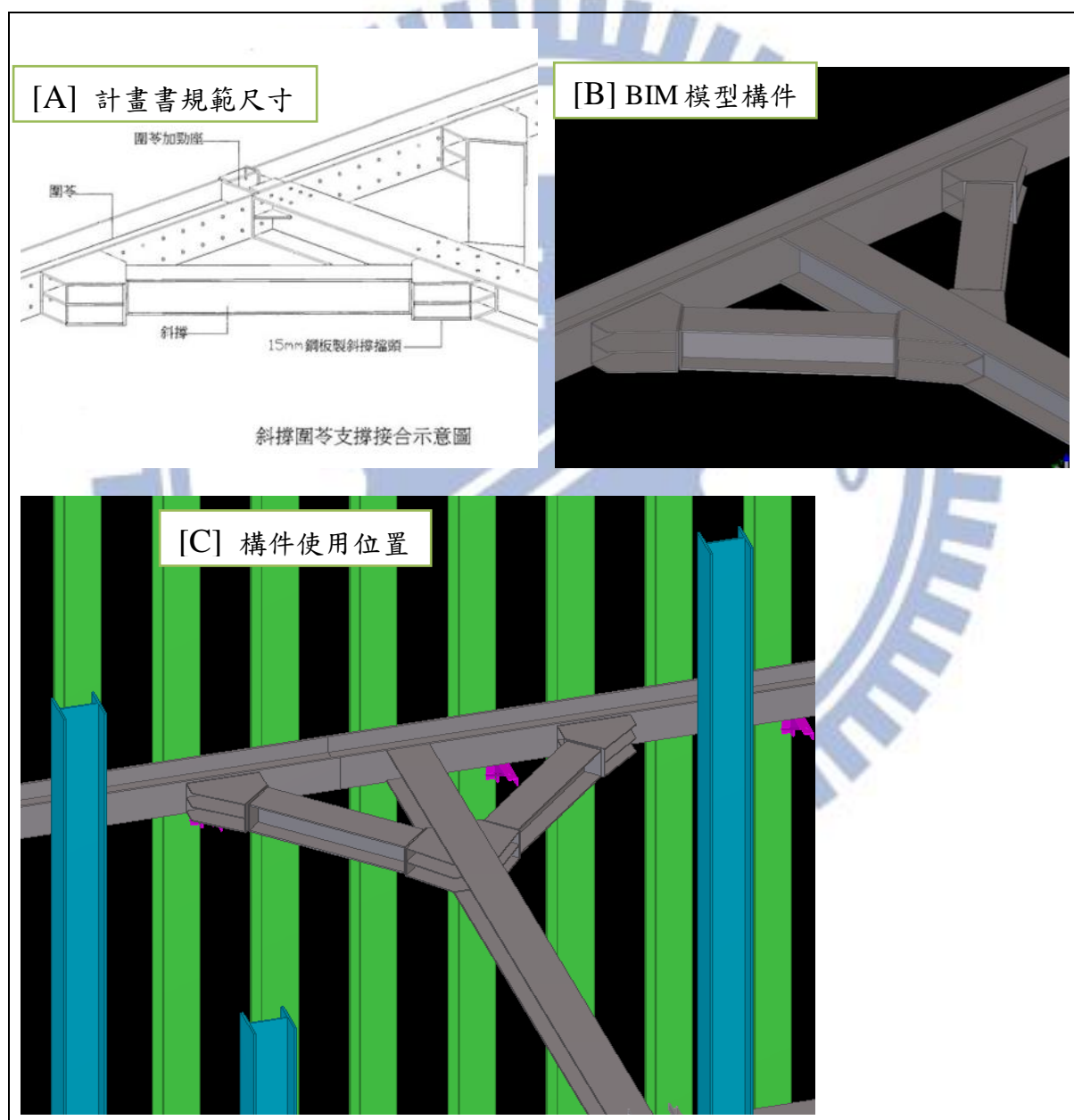
c. 細部模型零件建模：

鋼構接頭部分可使用軟體內的「接頭目錄」功能直接建立構件，雖然 Tekla Structures 軟體在鋼結構部分有強大的功能，但由於地下室安全支撐所使用的鋼結構物件，並不同於地上層的鋼構建物，軟體內的鋼構接頭主要還是以地上層的鋼構建物零件為主，所以安全支撐所使用鋼構零件部分需要另外再自行建模。

建模方式以軟體基礎柱、牆、梁、版等建模功能配合構件切割及黏貼的功能建立安全支撐模型零件，在建模時會有模型零件的組成原件互相重疊部分，重疊的原件需使用「黏貼零件」功能，將兩個不同物件結

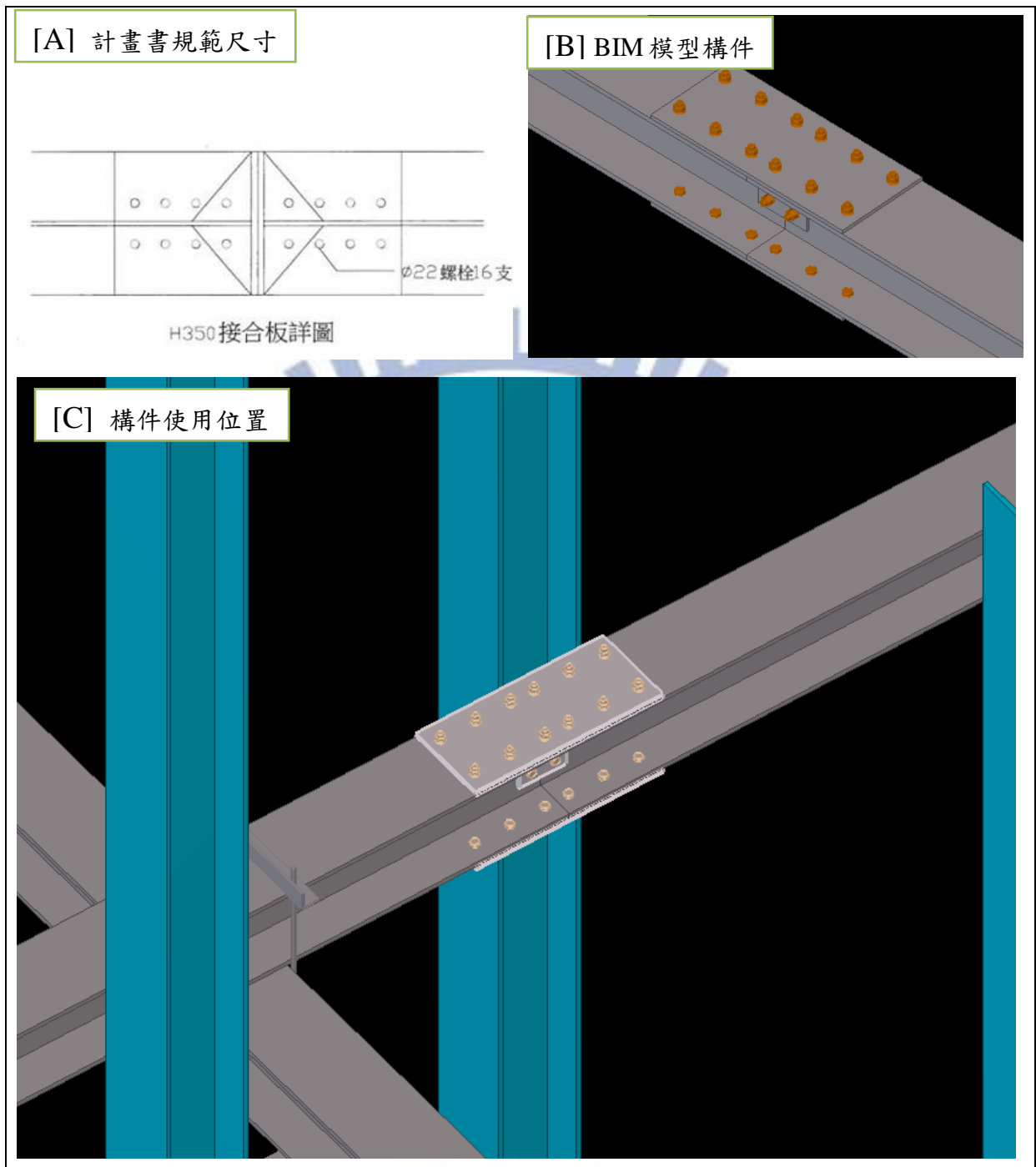
合成相同物件以避免執行干涉檢察時，出現不必要的碰撞結果。

細部模型零件尺寸為「東京中城建案施工構台計畫書」內所規範之標準尺寸，所使用模型零件如下圖 3.40 所示，圖中 A 為計畫書規範尺寸，B 為 BIM 模型構件，C 為模型構件使用位置。



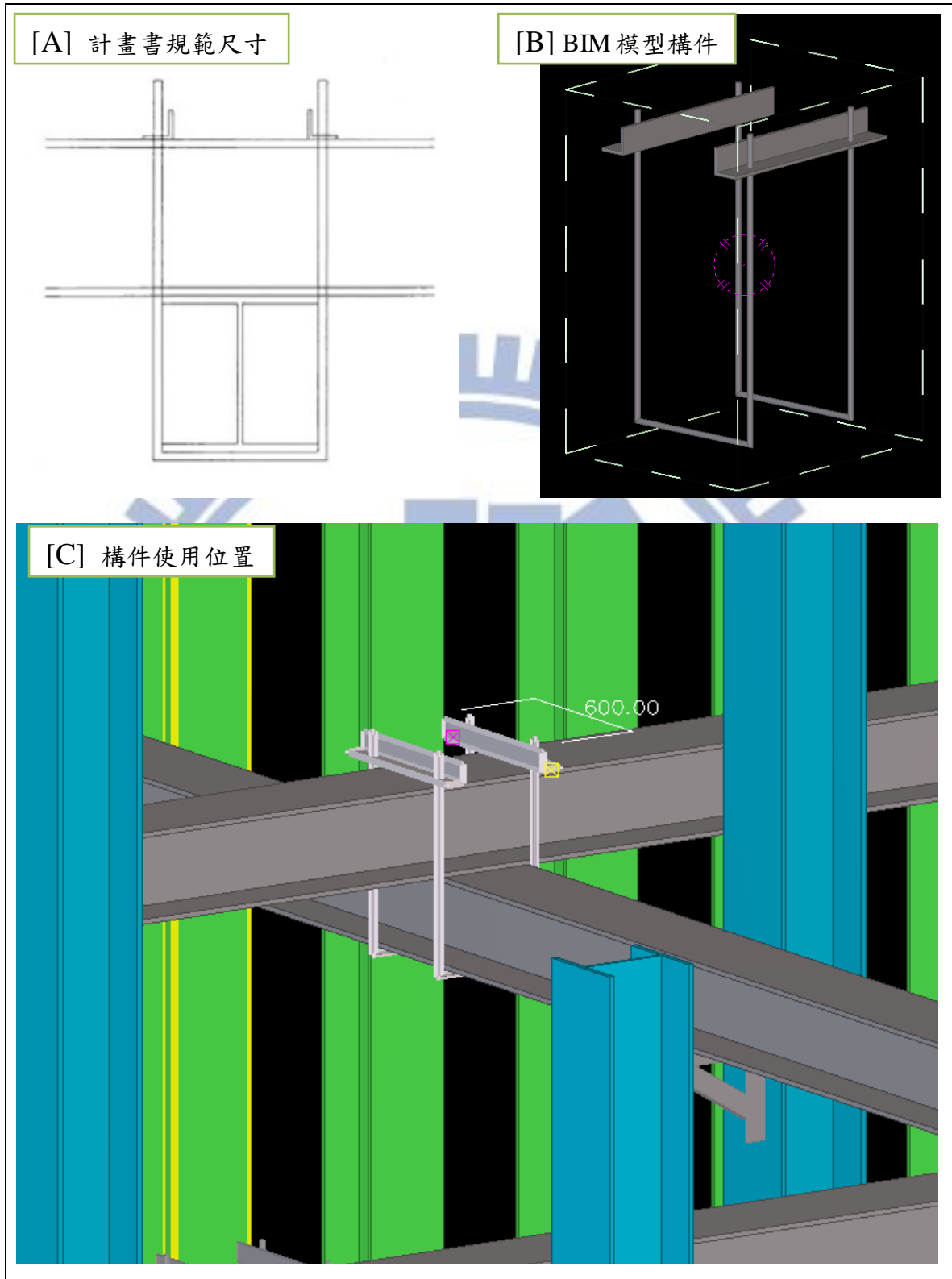
[a] 鋼構斜撐及斜撐擋頭

圖 3.40 模型零件



[b] 水平鋼梁接合版

圖 3.40 模型零件(續)



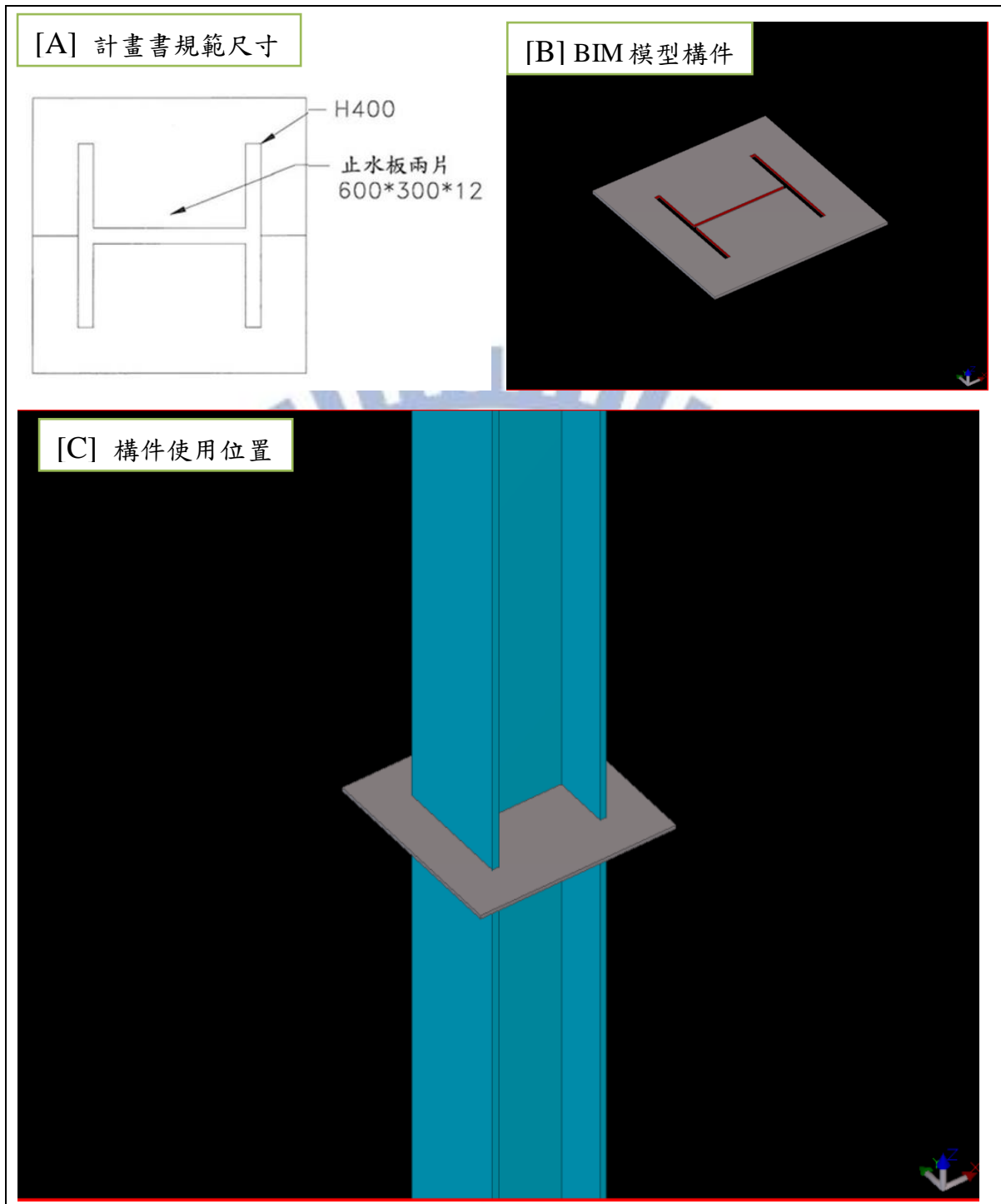
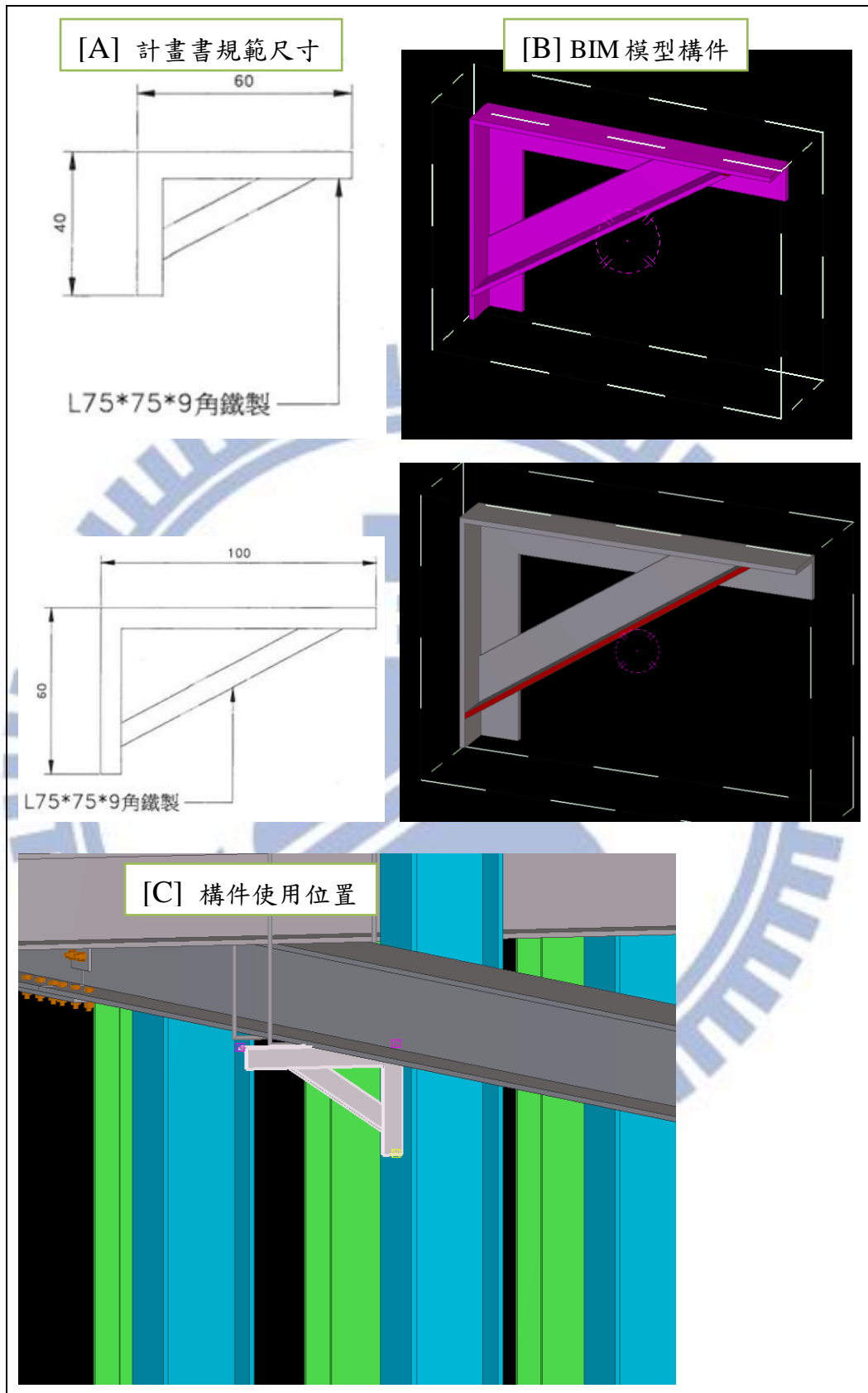


圖 3.40 模型零件(續)



[e]三角架

圖 3.40 模型零件(續)

3. 施工構台 BIM 模型建立

組成施工構台的構件分為，「構台樁」、「樁帽」、「鋼梁」、及「覆蓋板」，其中構台樁為施工構台涵蓋範圍的中間樁，建模時先將構台樁部分加上樁帽零件用以固定構台樁與構台鋼梁(圖 3.41)，然後建立短向鋼梁、長向鋼梁，再於鋼梁上鋪設覆蓋板，覆蓋板規格為 H200×200×8×12 之鋼板，最後加上構台斜撐，完成施工構台模型(圖 3.42)。

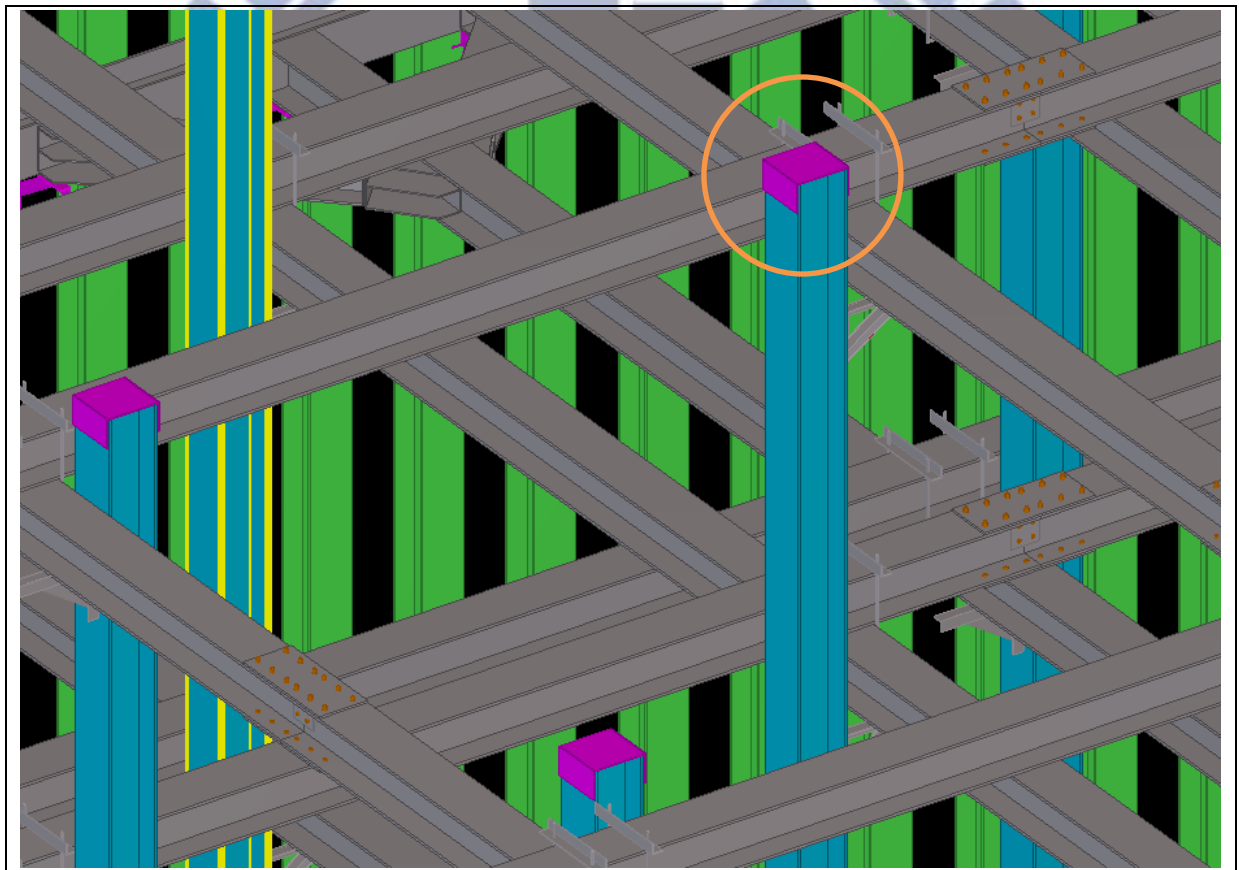


圖 3.41 構台樁帽建模

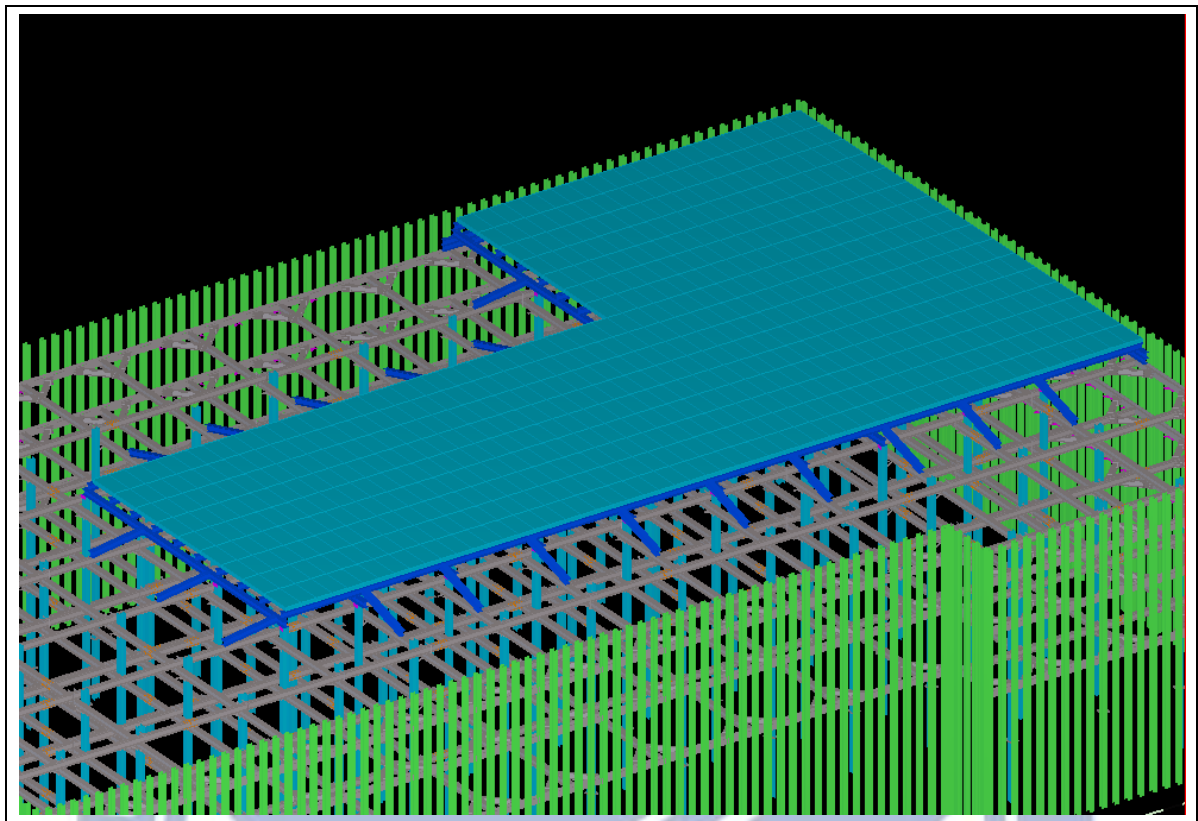


圖 3.42 施工構台模型

3.3 BIM 模型管理

建構完成的地下室結構體及臨時支撐 BIM 3D 模型，其模型零件組成數量龐大，除了模型構件本體外還附加了大量的模型資訊，所以將建構好的模型加以分類管理有助於模型的建立、查詢以及日後的修改，例如在建立 BIM 4D 模型時需要將模型零件各別連結到相對應的施工進度上，此時有效的模型管理就會非常有幫助，模型管理工具使用及分類管理方式介紹如下：

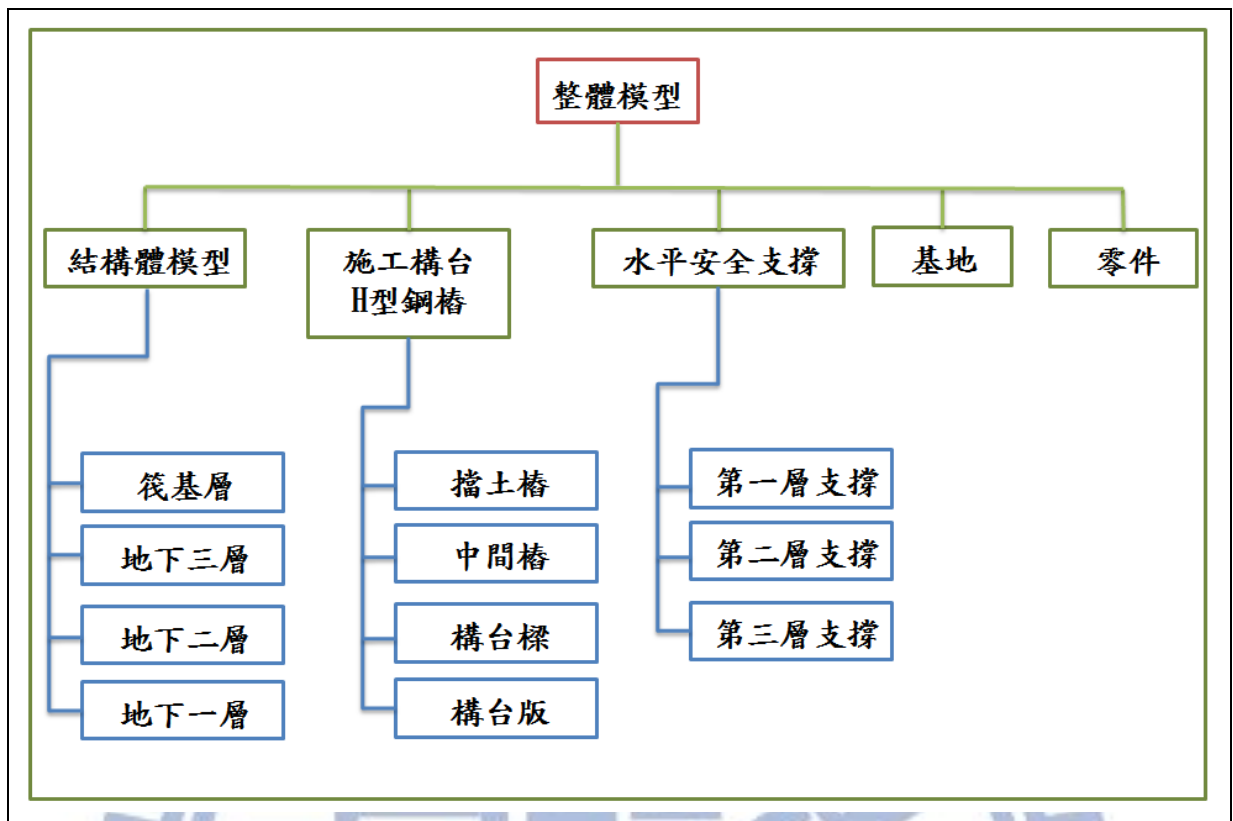


圖 3.44 模型分類

3.3.2 自定義分類管理

建立模型構件時會設定各項構件性質，如名稱、斷面規格、材料、分類...等，不同的性質皆可以作為模型分類的基本依據，但由於規格、材料等這類型的性質重複性較大，模型分類時不容易按照使用需求區分，所以在處理模型分類時通常使用「分類」這項性質，而模型也會依照「分類」的不同顯示相對應的顏色，例如案例中擋土樁使用「分類 3」顯示綠色，中間樁使用「分類 5」顯示藍色，分類方式依照不同使用者及用途會有不同的分類方式，本研究案例構件分類性質如下表 3.8。

完成分類後的構件，配合軟體「選擇過濾器」及「視圖過濾器」功能利

用條件過濾，可以只選擇或只顯示屬於同樣分類的物件(圖 3.45)，使用自訂義分類加上模型管理器的使用可以使模型操作更靈活。

表 3.8 模型分類編號

結構物件	分類	臨時物件	分類
結構體柱	9	水平支撐鋼梁	1
結構體梁	10	模型零件	2
結構體版	11	擋土樁	3
結構體牆	12	構台鋼梁	4
結構體回填區	13	構台板	5
		中間樁	6

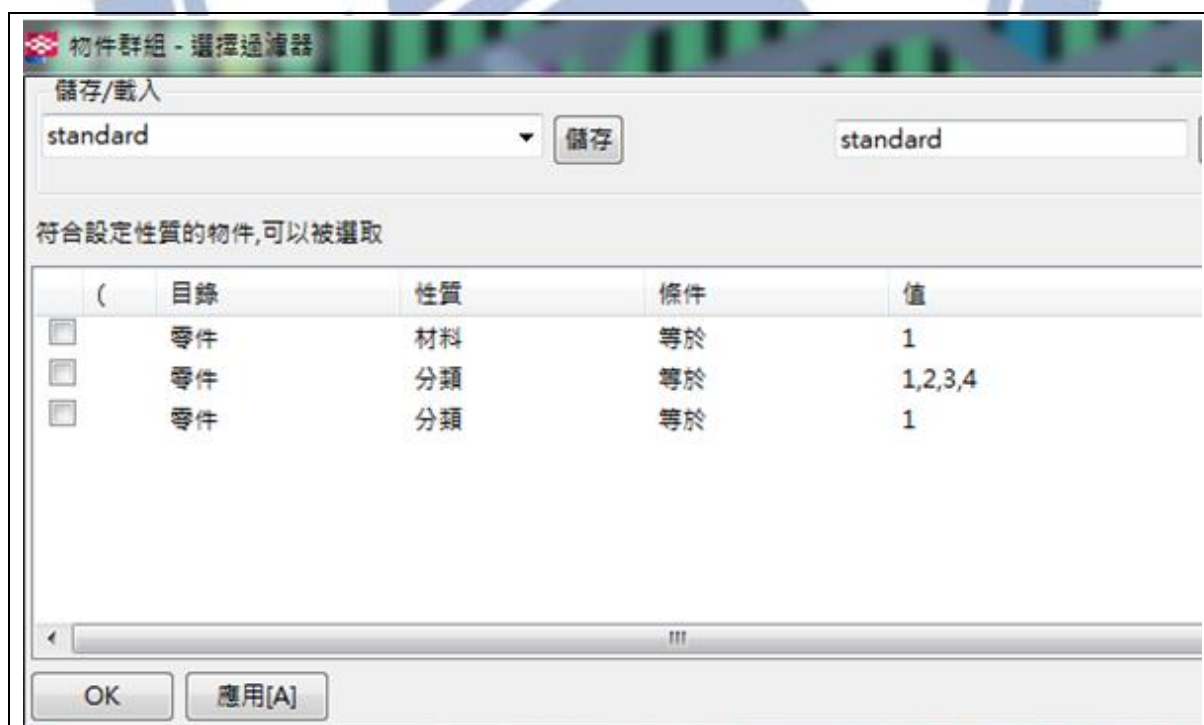


圖 3.45 模型過濾器

第四章 BIM 模型相關應用

4.1 干涉檢察

在 BIM 3D 整體模型完成後或是部分模型建構完成時，可以用「干涉檢察」功能，自動檢查空間中衝突以及模型重疊的問題，干涉檢察可以預期日後衝突的發生以便檢討衝突發生原因，提早制定處理方式減少日後不必要的二次修正作業，也可以避免數量的重複計算。

干涉檢察對象可以檢查模型主體內部碰撞以及外部匯入模型與主體模型間的碰撞，模型主體的干涉檢察可以檢核建模時物件重疊部分或是複雜 2D 圖面的建物在建構時出現的建模錯誤，外部參考模型的干涉檢察則是檢查模型主體和參考模型間的衝突問題，像是水電消防管線的碰撞問題、機電設備的空間配置。

1. 模型主體干涉檢察

干涉檢察可以快速找到衝突物件的資訊及位置便於修正(圖 4.1)，執行干涉檢察時將所要檢查的物件以框選方式選取，軟體會針對選取部分檢查物件是否發生碰撞，如圖 4.2 所示結構體模型在建模過程中發生柱子與相鄰樓版重疊，需要調整樓版的位置；圖 4.3-A 為建構施工構台時產生的碰撞問題，原因是在當初施工時並沒有考慮三角架長度和第一層圍苓的距離，使兩個物件發生碰撞，最後修正方式是使用 H350 型鋼代替原本的三角架作為構台梁的支撐(圖 4.3-B)。

干涉檢查管理員 - 進階 模式 - 無標題的工作階段 2

搜尋

旗標	數量	類型	狀態	優先性	日期已修改	物件識別碼	構件識別碼	物件名稱
✱	1	複雜碰撞			2013/8/29 下午 11:41	428551; 433937	428555; 433941	CCOLUMN; CSLAB
✱	2	複雜碰撞			2013/8/29 下午 11:41	467403; 471816	467407; 471821	CCOLUMN; CSLAB

干涉資訊

物件詳圖 註解 歷史

物件識別碼	物件名稱	物件斷面規格	物件材料	物件分類	構件識別碼	元件識別碼
467403	CCOLUMN	1100X1100	420	9	467407	
471816	CSLAB	200*4350	420	11	471821	

2 物件

圖 4.1 干涉檢察資訊

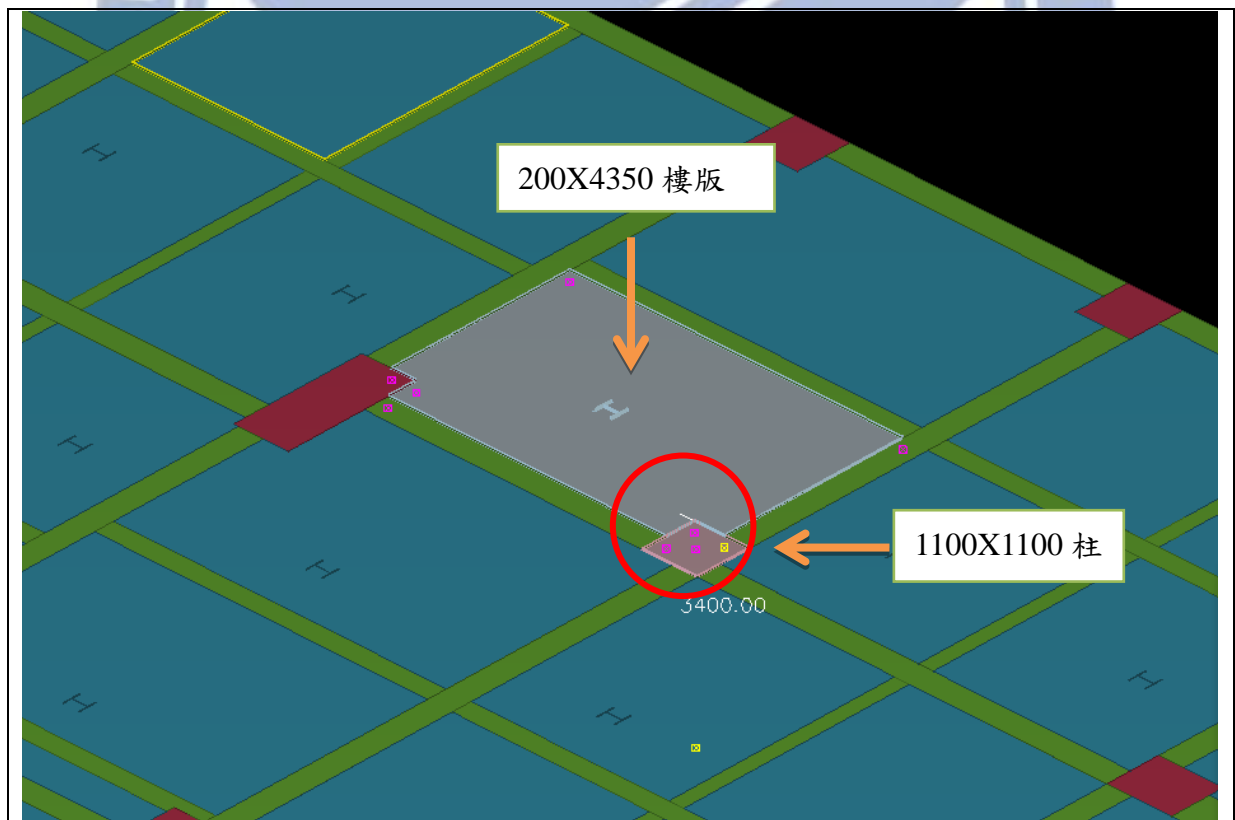


圖 4.2 結構體干涉檢察

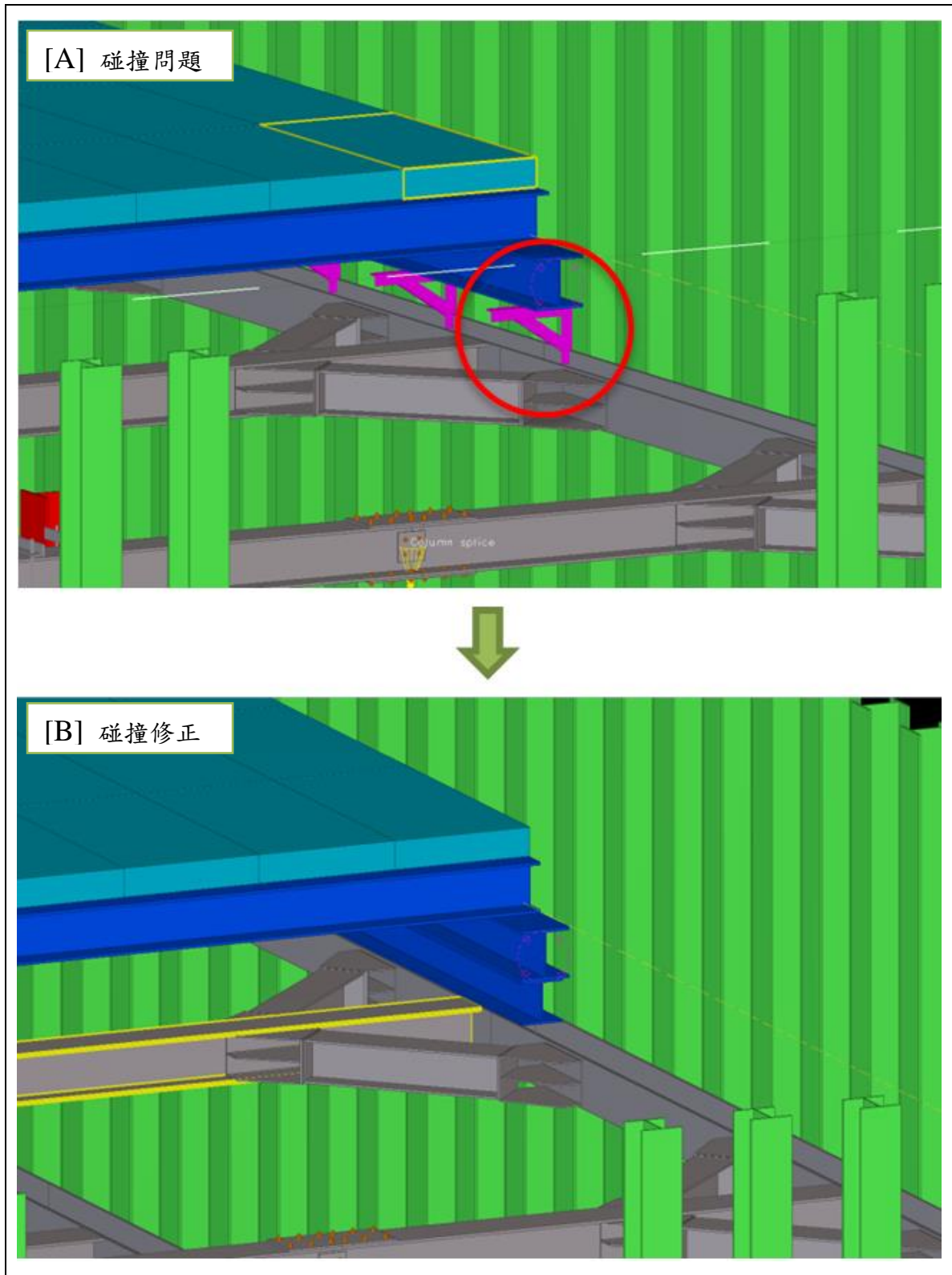


圖 4.3 施工構台干涉檢察

2. 外部模型干涉檢查

以往在開挖支撐工程中，最容易發生物件衝突的是臨時支撐工程的中間樁與結構體的梁和牆，所以工程師拿到開挖支撐的 2D CAD 圖後便需要將其與地下室各層的結構體 2D CAD 圖進行套圖比對工作，如果中間樁的放樣點和結構體產稱衝突時便需提早做調整，開挖支撐和筏基層套圖如圖 4.4 所示，以套圖的方式檢查必需非常小心謹慎地重複檢視，但是要將筏基層至地下一樓一共四張都進行人工套圖比對，很容易出現疏忽造成錯誤。

以本研究為例，將結構體模型與臨時支撐模型進行干涉檢察，針對 H350 中間樁和結構體梁、牆進行干涉檢察，檢察結果如圖 4.5 所示，發生 H350 型鋼和 40*70 的梁互相切穿情況，可見以人工套圖方式檢查調整後還是會有遺漏部分，碰撞問題的回饋 (圖 4.6) 可以使用模型構件碰撞資訊、3D 模型產生碰撞之圖面位置，配合上 2D 施工圖面的碰撞位置來呈現，讓施工人員可以清楚了解發生碰撞的位置，以其發生碰撞問題的原因，以便快速解決問題；利用 BIM 模型干涉檢察可預先發現日後可能產生的衝突並且提前作檢討及調整，如果工程進行時才發現需要調整 H350 型鋼位置時，便會造成工程延誤及修改的大量額外花費。

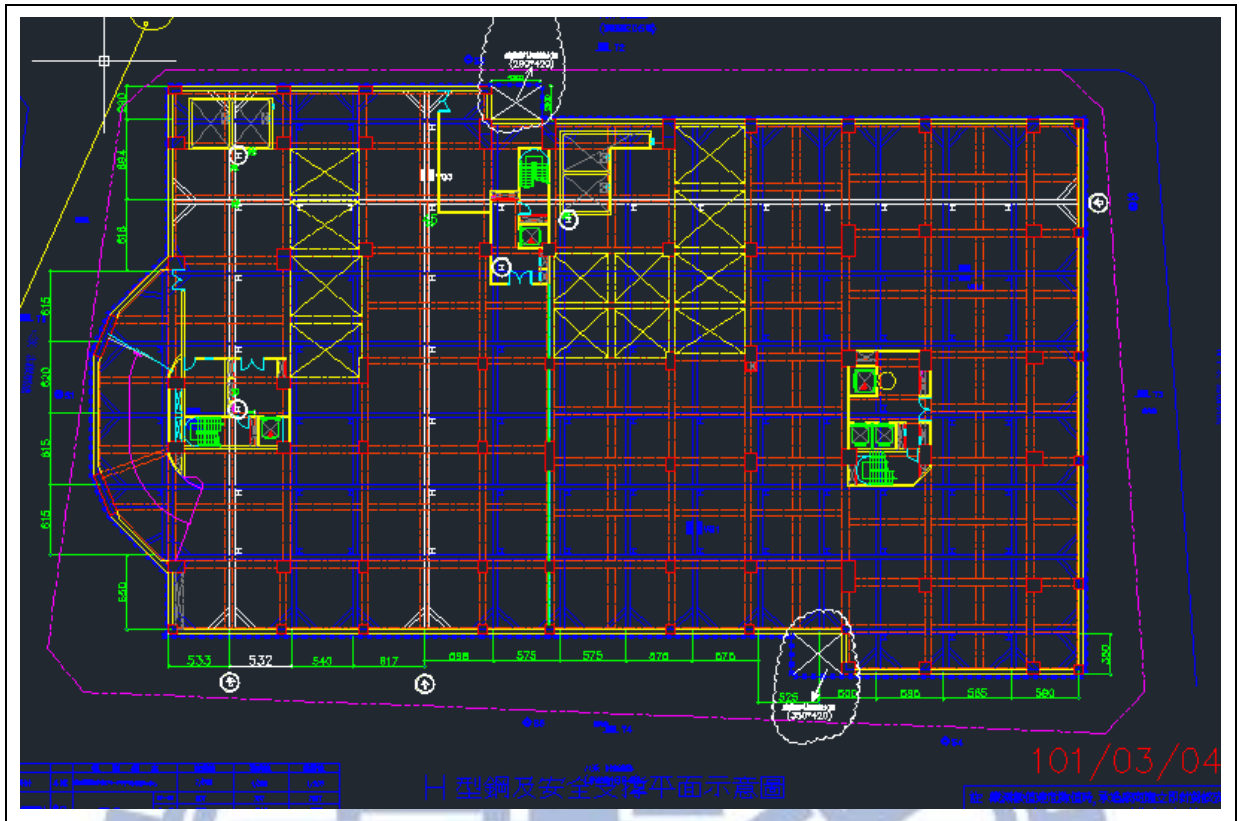


圖 4.4 傳統套圖檢視

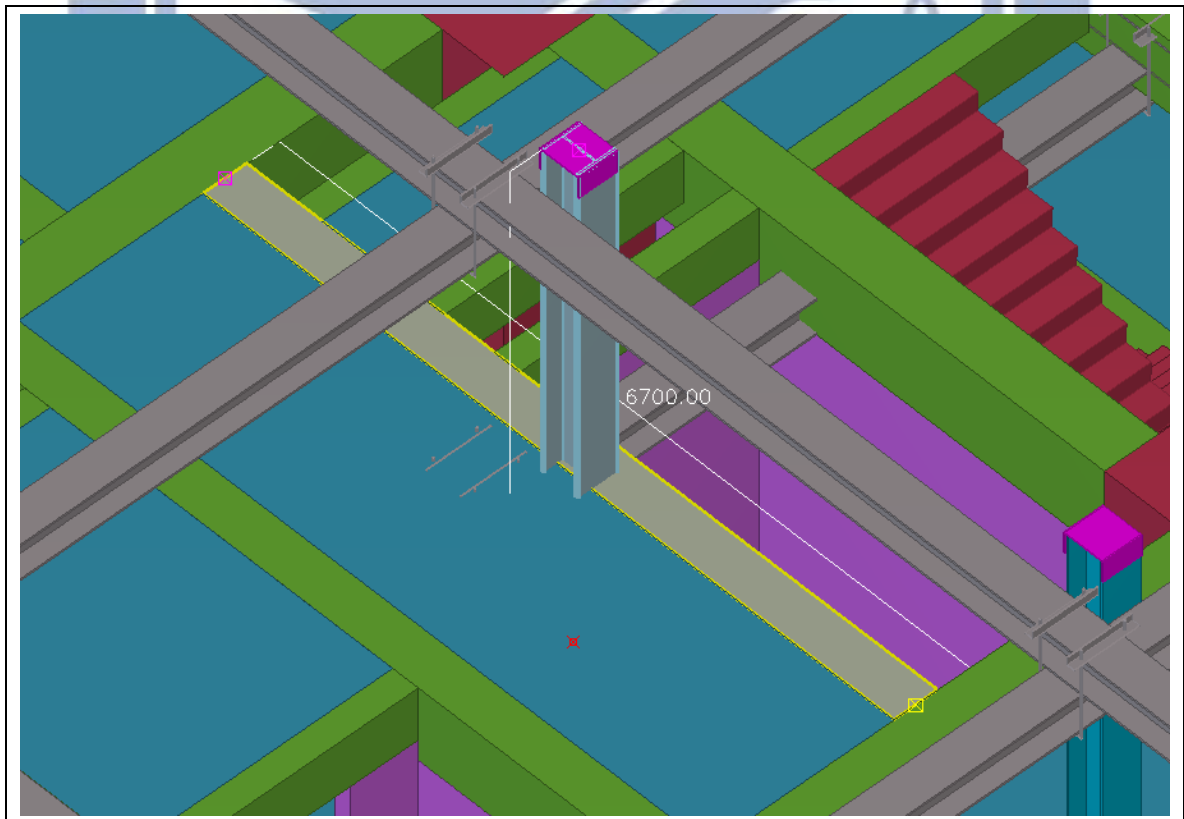


圖 4.5 中間樁和結構體干涉檢察

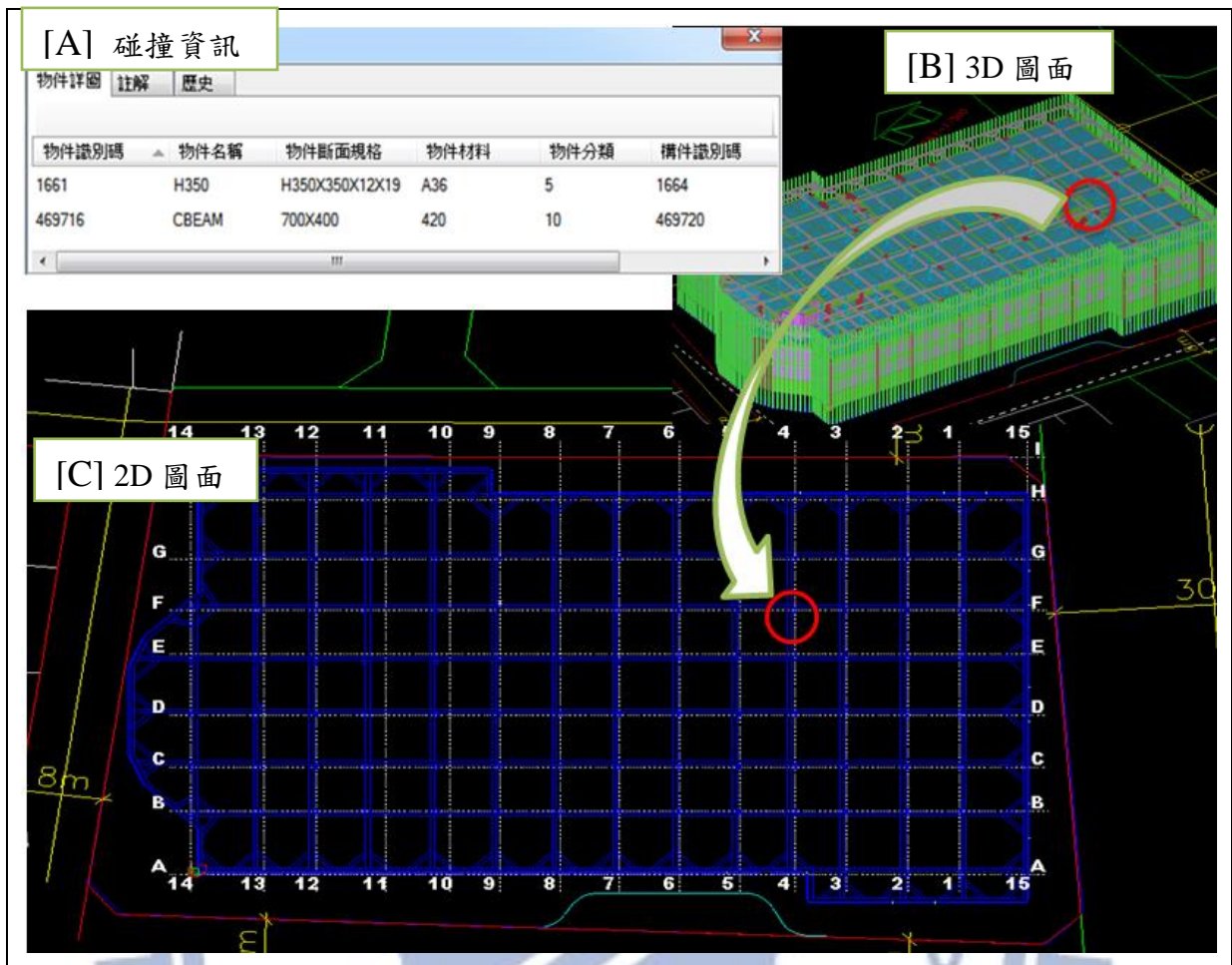


圖 4.6 碰撞問提回饋

4.2 建立 BIM 4D 模型

BIM 4D 模擬能完整呈現工程某段時間或是某個時間的進度的狀態，規劃者可以用直觀的視覺方式向所有施工人員溝通所規劃的施工程序，呈現各階段所使用的材料數量、成本建築，也可以規劃各階段物料、機具堆放位置和車輛的動線規劃，專案經理透過 4D 模型可清楚了解工程是否有跟上進度或是處於進度落後狀態，更能體現管理學的 5W1H；在建立 4D 模型前需要有完整 BIM 3D 模型與施工進度排程。

4.2.1 專案施工進度排程

建立 BIM 4D 模型需要完整的專案施工進度表用以連結 BIM 3D 模型的物件，本研究依照實際工程進度制定了作業 WBS (Work Breakdown Structure，分工結構圖)，將案例分成土方及支撐工程、基礎工程、B3F 結構體、B2F 結構體以及 B1F 結構體五大項，再由這五大項的工程作業項目向下細分，詳細分項如圖 4.7 所示。

各項作業之「計畫生產率」，係以實際案例中於無工程延誤之標準工作天的工作進度以及施工單位廠商所提供之經驗數據來計算出生產率，最後依照計畫生產率製作成施工網圖，排定各項作業的施工天數、延遲天數，最後整理成本次研究使用的工程進度表。

製作工程進度表使用 Tekla Structures 軟體的任務管理功能，將排定好的進度表匯入 BIM 軟體，建立施工網圖並連結各項作業之從屬關係；工程進度表製作流程如下：

收集實際施工進度資料及施工單位經驗數據→規劃分工結構圖→定義作業項目計畫生產率→使用任務管理器建立施工進度表及作業項目→將作業項目連結作業計畫生產率→連結各項作業間從屬關係完成施工網圖。

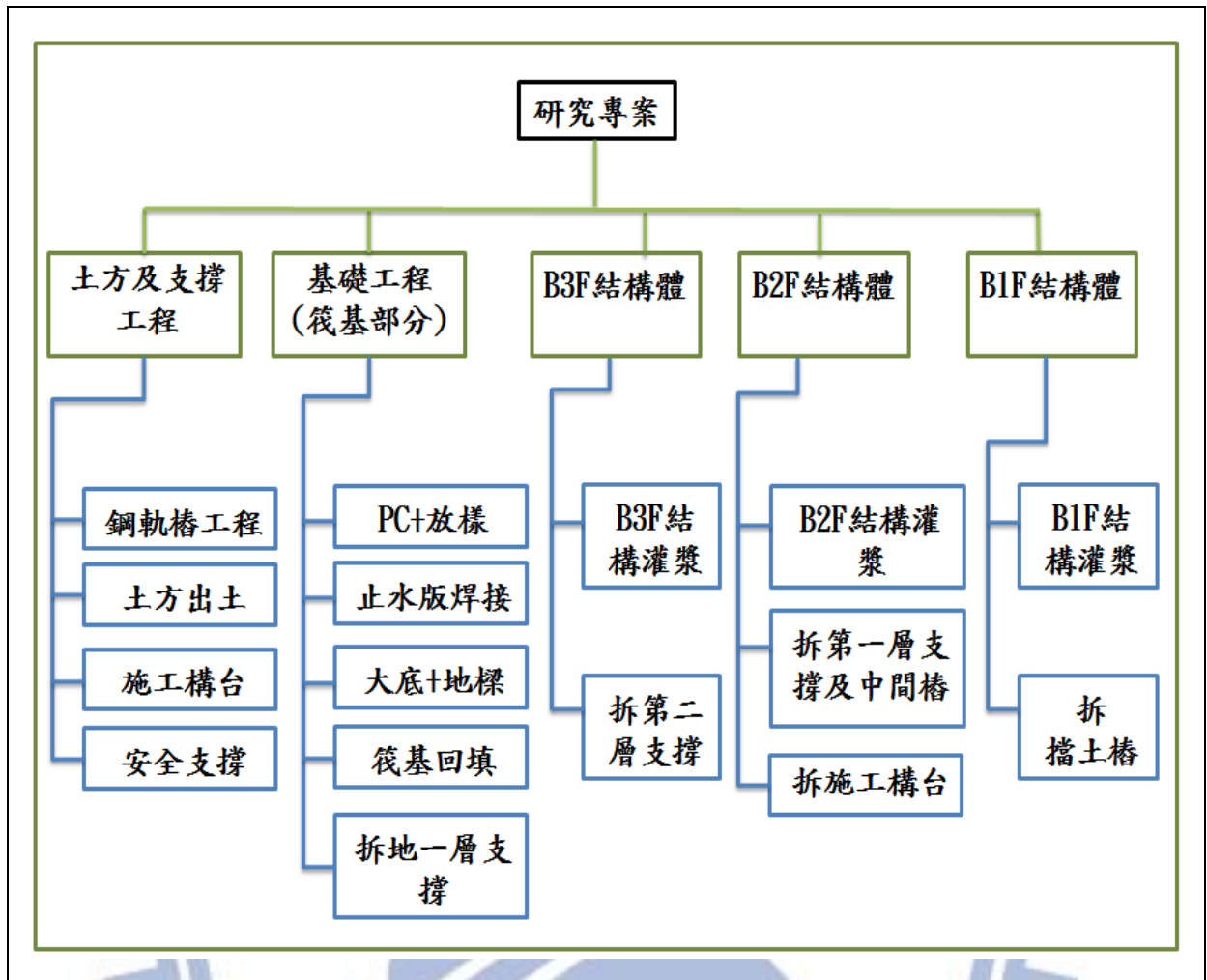


圖 4.7 專案分工結構圖

1. 計畫生產率

計畫生產率數據來源由本研究案例之施工日報表、施工人員現場經驗以及各承包廠商所提供數據而來，施工日報表所使用的工作天數依照無工程延誤且正常情況施工的標準工作天作為計算依據，由於軟體使用生產率時間單位為「小時」，最後再將各項生產率由天數除以正常上班時間八小時算至小數點下兩位；各作業單位生產率如下表 4.1 所示。

表 4.1 單位生產率

項次	項目	計畫生產率(d)	計畫生產率(h)
1.	H 鋼樁打樁	13 pce/d	1.63 pcs/h
2.	土方出土量	1,127 m ³ /d	140.88 m ³ /h
3.	支撐安裝	144 pcs/d	18 pcs/h
4.	PC+放樣	344 m ³ /d	48 m ³ /h
5.	止水板焊接	44 pcs/d	5.5 pcs/h
6.	結構體灌漿	800 m ³ /d	100 m ³ /h
7.	支撐拆除	144 pcs/d	18 pcs/h
8.	H 鋼樁拔除	13 pce/d	1.63 pcs/h
9.	擋土樁拔除	45 pce/d	5.63 pcs/h

2. 施工網圖作業明細

由於此次 BIM 3D 模型不包含鋼筋綁紮及模板施工作業模型，所以進度表內無鋼筋及模板作業項目，但已將上述兩項作業的工期時間加入前項作業，以前項作業完成的等待時間來表示，如結構體灌漿前等待 16 個工作天為模板及鋼筋作業時間；其它等項目如水平支撐拆除作業前 3 個工作天作為養護日期，擋土樁拔除前 15 個工作為養護日期，施工網圖作業明細如表 4.2 所示。

表 4.2 施工作業明細

項次	作業名稱	生產率項目	作業數量	開始日期	結束日期	持續期間
	總工程			2012/7/1	2013/2/5	220.00 d
A	土方支撐工程			2012/7/1	2012/10/9	101.00 d
a1	擋土樁+中心樁			2012/7/1	2012/7/30	30.00 d
a1-1	_擋土樁打樁	H 鋼樁打樁	333 pcs	2012/7/1	2012/7/26	25.62 d
a1-2	_中心樁打樁	H 鋼樁打樁	48.00 pcs	2012/7/27	2012/7/30	3.69 d
a2	第一次出土階段			2012/7/31	2012/8/15	16.00 d
a2-1	_第一次出土	土方出土量	13433.35 m ³	2012/7/31	2012/8/11	11.92 d
a2-2	_中心樁打樁 2	H 鋼樁打樁	40.00 pcs	2012/8/12	2012/8/15	3.08 d
a3	第一層支撐+構台			2012/8/16	2012/8/25	10.00 d
a3-1	_第一層支撐 A 段	支撐安裝	419.00 pcs	2012/8/16	2012/8/18	2.91 d
a3-2	_施工構台安裝	支撐安裝	698.00 pcs	2012/8/19	2012/8/23	4.85 d
a3-3	_第一層支撐 B 段	支撐安裝	181.00 pcs	2012/8/24	2012/8/25	1.26 d
a4	第二次出土階段			2012/8/26	2012/9/5	11.00 d
a5	第二層支撐安裝	支撐安裝	556.00 pcs	2012/9/6	2012/9/9	3.86 d
a6	第三次出土階段	土方出土量	13049.54 m ³	2012/9/10	2012/9/21	11.58 d
a7	第三層支撐安裝	支撐安裝	556.00 pcs	2012/9/22	2012/9/25	3.86 d
a8	第四次出土+整平	土方出土量	14968.59 m ³	2012/9/26	2012/10/9	13.28 d
B	基礎工程			2012/10/10	2012/11/5	27.00 d
b1	PC+放樣	PC+放樣	383.61 m ³	2012/10/10	2012/10/10	1.00 d
b2	接地+止水版焊接	止水版焊接	88.00 pcs	2012/10/10	2012/10/11	2.00 d
b3	大底+地梁	結構體灌漿*3	4794.60 m ³	2012/10/22	2012/10/23	2.00 d
b4	筏基回填	結構體灌漿*3	2446.04 m ³	2012/10/24	2012/10/24	1.00 d
b5	BS 版(B3FL)	結構體灌漿*2	577.02 m ³	2012/10/29	2012/10/29	0.36 d
b6	拆第三層支撐	支撐拆除	556.00 pcs	2012/11/2	2012/11/5	3.86 d
C	B3F 結構			2012/11/21	2012/11/28	7.00 d
c1	B3F 結構灌漿	結構體灌漿*3	1759.92 m ³	2012/11/21	2012/11/21	0.73 d
c2	拆第二層支撐	支撐拆除	556.00 pcs	2012/11/25	2012/11/28	3.86 d

表 4.3 施工作業明細 (續)

D	B2F 結構			2012/12/14	2012/12/29	16.00 d
d1	B2F 結構灌漿	結構體灌漿*3	1688.58 m ³	2012/12/14	2012/12/14	0.70 d
d2	拆第一層支撐 A 段	支撐拆除	196.00 pcs	2012/12/18	2012/12/19	1.36 d
d3	拆中間樁 A 段	H 鋼樁拔除	26.00 pcs	2012/12/20	2012/12/21	2.00 d
d4	拆施工構台	支撐拆除	698.00 pcs	2012/12/20	2012/12/24	4.85 d
d5	拆第一層支撐 B 段	支撐拆除	404.00 pcs	2012/12/25	2012/12/27	2.81 d
d6	拆中間樁 B 段	H 鋼樁拔除	62.00 pcs	2012/12/25	2012/12/29	4.77 d
E	B1F 結構			2013/1/14	2013/2/5	23.00 d
e1	B1F 結構灌漿	結構體灌漿*3	2073.84 m ³	2013/1/14	2013/1/14	0.86 d
e2	拆擋土樁	擋土樁拔除	333.00 pcs	2013/1/29	2013/2/5	7.40 d

3. 進度表及施工網圖

於 Tekla Structures 軟體上建立施工進度表的方式可由 Excel 軟體編輯完成才，匯入 Tekla 任務管理器中再作修改，或是直接在任務管理器上建立進度表，進度表內容項目包括任務名稱、任務類型、計畫生產率、任務數量和任務時間(圖 4.8)，從任務名稱欄位可建立進度表的各項作業名稱項目。

計畫生產率數據的建立，需先開啟進度表內的任務類型編輯功能，在任務類型內重新建生產率的名稱以及單位數量的表單，完成後才從任務類型欄位的下拉選單內作選取；任務數量欄位的數量來源為連結 BIM 3D 模型構件後產生的構件數量或是體積、面積。

建立各項作業的開始、結束時間排程前，先從施工網圖連結各項作業的從屬關係(圖 4.9)，再讓軟體由計畫生產率和作業數量的數據直接進行計算排程，最後作部分細節修正完成整體施工進度表。

	任務名稱	任務類型	計劃生產率	數量	計劃開始日期	實際開始日期	計劃持續期間	計劃結束日期	實際結束日期	完成百分比				
1	總工程				2012/7/1	2012/7/1	220.0...	2013/2/5	2013/2/5	100 %				
2	土方支撐工程				2012/7/1	2012/7/1	101.0...	2012/10/9	2012/10/9	100 %				
3	擋土樁中心樁				2012/7/1	2012/7/1	30.00 d	2012/7/30	2012/7/30	100 %				
6	第一次出土階段				2012/7/31	2012/7/31	16.00 d	2012/8/15	2012/8/15	100 %				
7	第一次出土	出土量	140.88 m3/h	13433.35 m3	2012/7/31	2012/7/31	11.92 d	2012/8/11	2012/8/11	100 %				
8	中心樁打樁2	H鋼樁(裝)	1.63 pcs/h	40.00 pcs	2012/8/12	2012/8/12	3.08 d	2012/8/15	2012/8/15	100 %				
9	第一層支撐+構台				2012/8/16	2012/8/16	10.00 d	2012/8/25	2012/8/25	100 %				
10	第一層支撐A段	支撐施作(裝)	18.00 pcs/h	419.00 pcs	2012/8/16	2012/8/16	2.91 d	2012/8/18	2012/8/18	100 %				
11	施工構台安裝	支撐施作(裝)	18.00 pcs/h	698.00 pcs	2012/8/19	2012/8/19	4.85 d	2012/8/23	2012/8/23	100 %				
12	第一層支撐B段	支撐施作(裝)	18.00 pcs/h	181.00 pcs	2012/8/24	2012/8/24	1.26 d	2012/8/25	2012/8/25	100 %				
13	第二次出土階段				2012/8/26	2012/8/26	11.00 d	2012/9/5	2012/9/5	100 %				
14	第二次出土	出土量	140.88 m3/h	11514.30 m3	2012/8/26	2012/8/26	10.22 d	2012/9/5	2012/9/5	100 %				
15	第二層支撐安裝	支撐施作(裝)	18.00 pcs/h	556.00 pcs	2012/9/6	2012/9/6	3.86 d	2012/9/9	2012/9/9	100 %				
16	第三次出土階段	出土量	140.88 m3/h	13049.54 m3	2012/9/10	2012/9/10	11.58 d	2012/9/21	2012/9/21	100 %				
17	第三層支撐安裝	支撐施作(裝)	18.00 pcs/h	556.00 pcs	2012/9/22	2012/9/22	3.86 d	2012/9/25	2012/9/25	100 %				
18	第四次出土+整平	出土量	140.88 m3/h	14968.59 m3	2012/9/26	2012/9/26	13.28 d	2012/10/9	2012/10/9	100 %				
19	基礎工程				2012/10/10	2012/10/10	27.00 d	2012/11/5	2012/11/5	100 %				
20	PC+放樣	PC	48.01 m3/h	383.61 m3	2012/10/10	2012/10/10	1.00 d	2012/10/10	2012/10/10	100 %				
21	接地+止水版焊接	止水版	5.50 pcs/h	88.00 pcs	2012/10/10	2012/10/11	2.00 d	2012/10/11	2012/10/12	100 %				
22	大底+地樑	灌漿*3	300.00 m3/h	4794.60 m3	2012/10/22	2012/10/22	2.00 d	2012/10/23	2012/10/23	100 %				
23	筏基回填	灌漿*3	306.14 m3/h	2446.04 m3	2012/10/24	2012/10/24	1.00 d	2012/10/24	2012/10/24	100 %				
24	BS版(B3FL)	灌漿*2	200.01 m3/h	577.02 m3	2012/10/29	2012/10/29	0.36 d	2012/10/29	2012/10/29	100 %				
25	拆第三層支撐	支撐施作(拆)	18.00 pcs/h	556.00 pcs	2012/11/2	2012/11/2	3.86 d	2012/11/5	2012/11/5	100 %				
26	B3F結構				2012/11/21	2012/11/21	8.00 d	2012/11/28	2012/11/28	100 %				
27	B3F結構灌漿	灌漿*3	300.00 m3/h	1759.92 m3	2012/11/21	2012/11/21	0.73 d	2012/11/21	2012/11/21	100 %				
28	拆第二層支撐	支撐施作(拆)	18.00 pcs/h	556.00 pcs	2012/11/25	2012/11/25	3.86 d	2012/11/28	2012/11/28	100 %				
29	B2F結構				2012/12/14	2012/12/14	16.00 d	2012/12/29	2012/12/29	100 %				
30	B2F結構灌漿	灌漿*3	300.00 m3/h	1688.58 m3	2012/12/14	2012/12/14	0.70 d	2012/12/14	2012/12/14	100 %				
31	拆第一層支撐A段	支撐施作(拆)	18.00 pcs/h	196.00 pcs	2012/12/18	2012/12/18	1.36 d	2012/12/19	2012/12/19	100 %				
32	拆中心樁A段	H鋼樁(拆)	1.63 pcs/h	26.00 pcs	2012/12/20	2012/12/20	2.00 d	2012/12/21	2012/12/21	100 %				
33	拆施工構台	支撐施作(拆)	18.00 pcs/h	698.00 pcs	2012/12/20	2012/12/20	4.85 d	2012/12/24	2012/12/24	100 %				
34	拆第一層支撐B段	支撐施作(拆)	18.00 pcs/h	404.00 pcs	2012/12/25	2012/12/25	2.81 d	2012/12/27	2012/12/27	100 %				
35	拆中心樁B段	H鋼樁(拆)	1.63 pcs/h	62.00 pcs	2012/12/25	2012/12/25	4.77 d	2012/12/29	2012/12/29	100 %				
36	B1F結構				2013/1/14	2013/1/14	23.00 d	2013/2/5	2013/2/5	100 %				
37	B1F結構灌漿	灌漿*3	300.00 m3/h	2073.84 m3	2013/1/14	2013/1/14	0.86 d	2013/1/14	2013/1/14	100 %				
38	拆擋土樁	擋土樁(拆)	5.63 pcs/h	333.00 pcs	2013/1/29	2013/1/29	7.40 d	2013/2/5	2013/2/5	100 %				

圖 4.8 任務管理器-進度表單

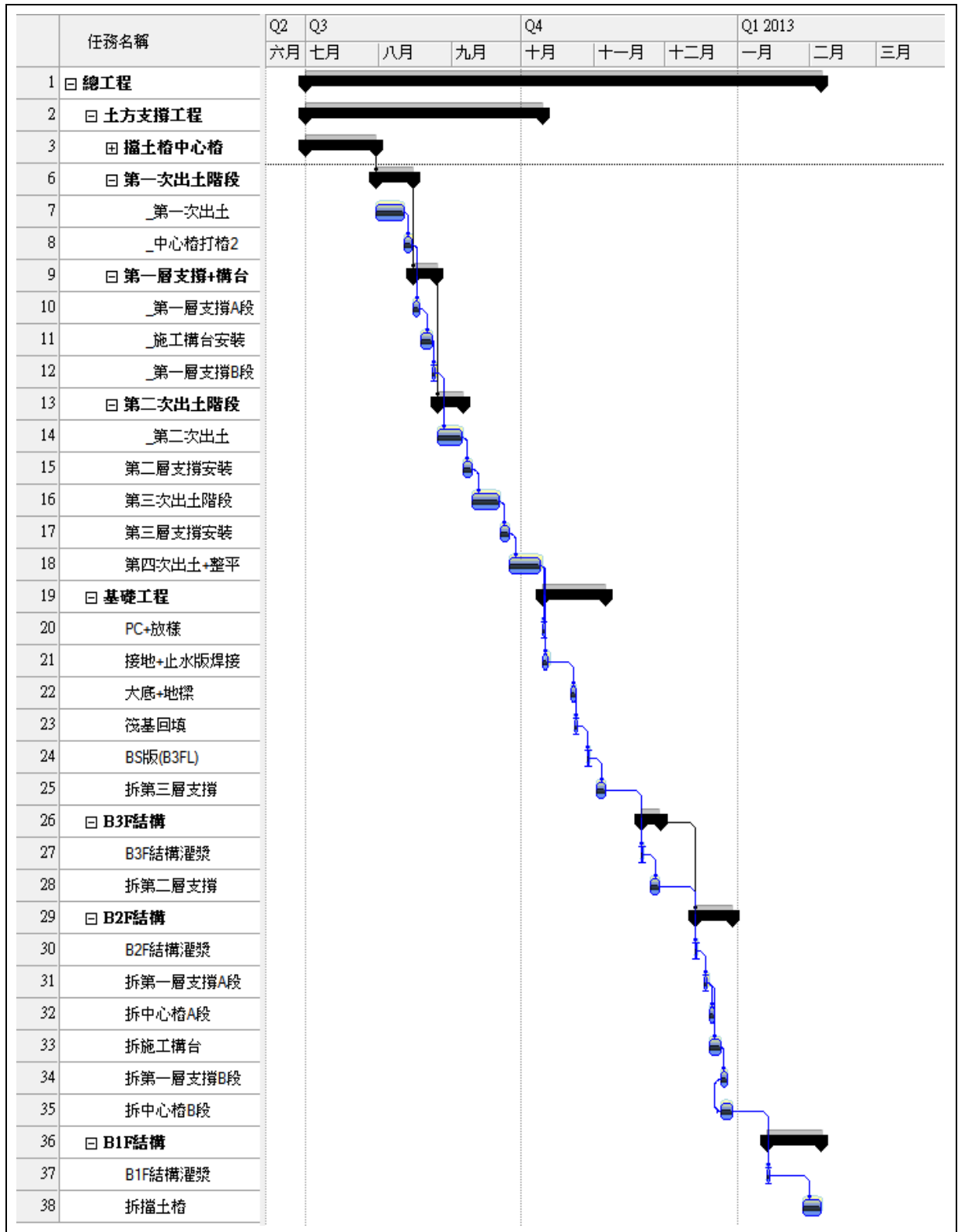


圖 4.9 任務管理器-施工網圖

4.2.2 案例 4D 模型建模

相對於 BIM 3D 模型，4D 模型針對決策者及管理者，提供在施工前詳細的規劃討論資訊及平台，在營建產業設計規劃階段，能提供更多比較分析資訊，達到更有效、更精確、更快速的決策，在施工現場管理者亦可使用 4D 模型充分掌握工程進度傳達工作目標，亦可作為與承包商之溝通平台，使用 Tekla Structures 軟體的建模流程如下：

建立完整 BIM 3D 模型→以任務管理器建立施工進度表→連結作業項目與該作業所屬模型→使用專案狀態可視化功能設定物件表示函式→完成 BIM 4D 模型。

1. 連結作業項目與作業模型

BIM 4D 模型的建立需在有完整資訊的 BIM 3D 模型以及可連結模型物件的施工進度表架構上，以本次研究所使用的 BIM 軟體為例，使用任務管理器內的連結物件功能串起 3D 模型及時間軸，使用專案狀態可視化功能將已連結時間軸的 3D 模型作 4D 方式的呈現。

連結物件功能流程如下，使用「擋土樁打樁作業」及「擋土樁模型」作為流程範例，首先使用任務管理器過濾模型構件只顯示本次作業所使用「擋土樁模型」，於進度表內開啟「擋土樁打樁作業」項目(圖 4.10)，將擋土樁模型選取匯入擋土樁打樁作業，再依照預定的施工順序逐一點選模型構件的排列順序，完成後的模型排序便會依照事先定義好的生產率計畫「H 鋼

樁打樁 1.63 pcs/h」施工功率，計算每一支 H 鋼樁打樁作業所需時間即開始結束日期。

H 鋼樁模型逐一點選的排序就相當於工地現場實際施工的打樁順序，所以在連結模型物件時必需先考慮工地現場實際狀況及預定施工順序來作為模型排序的依據，越是精確的 4D 模型就越能完整呈現日後施工現場當下工程的完整度。

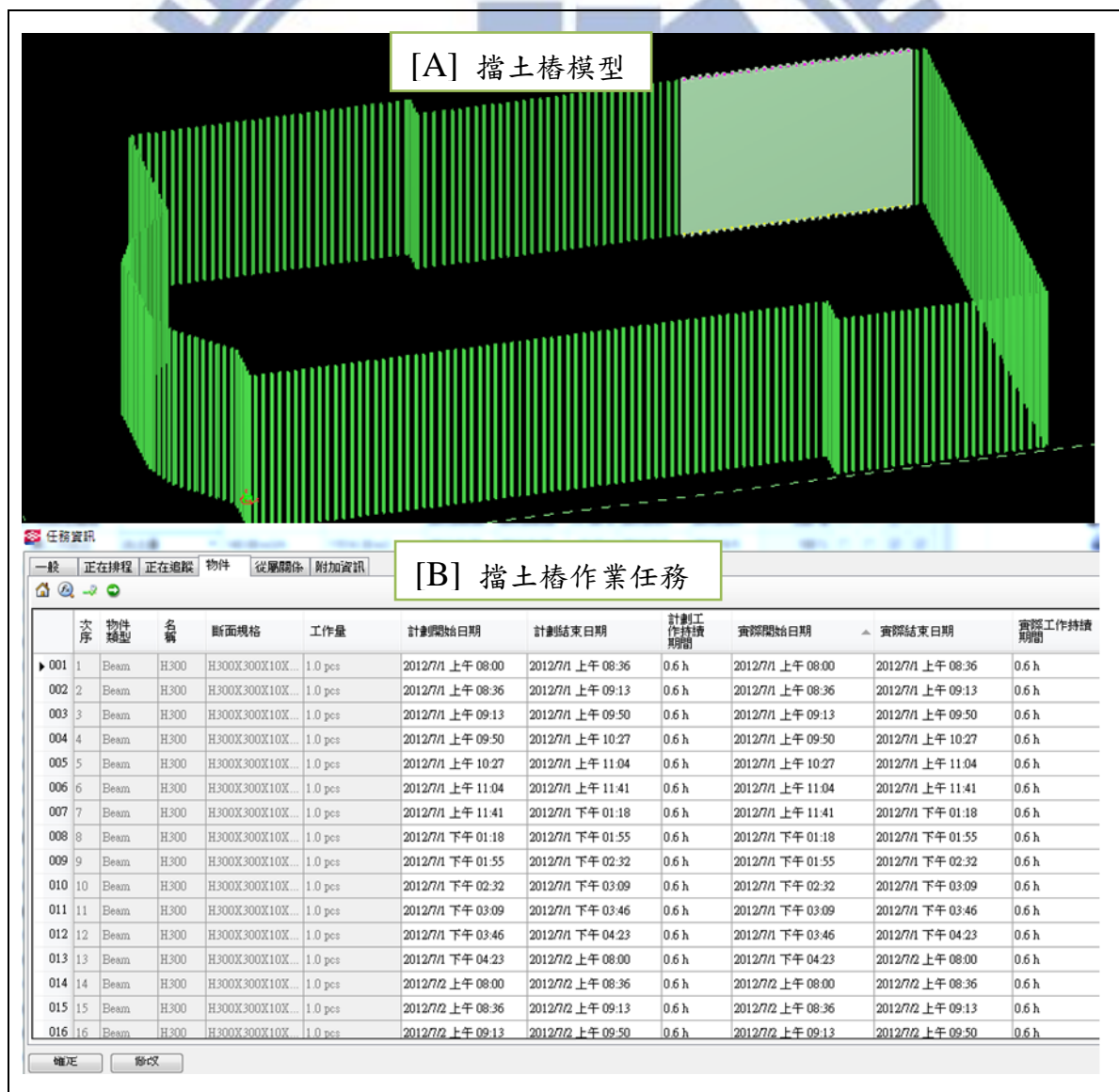


圖 4.10 模型構件連結作業項目

2. BIM 4D 模型呈現

Tekla 專案狀態可視化功能，透過編寫各種函式條件過濾 BIM 3D 模型，達到管理者理想的模型檢視需求；以本研究的 BIM 4D 模型為例，進行專案狀態可視化功能編寫前需先將模型分成結構體模型與臨時支撐模型，由於結構體模型性質為完工便存在，臨時支撐模型則是只有安裝其間存在，所以在設計函式時需要將 BIM 3D 模型分成實體模型及臨時性模型兩種類型，實體模型完成即存在，臨時性模型安裝時存在及拆除後便隱藏，函式邏輯設定如下：

a. 實體模型

未施工部分：檢視時間小於實際完成時間顯視為隱藏。

施工中部分：檢視時間介於實際開始、實際完成時間顯視為紅色。

施工完成部分：檢視時間大於實際完成時間為正常顯示。

隱藏土方：針對土方模型，大於實際完成時間現視為隱藏。

b. 臨時性模型

未安裝部分：檢視時間小於安裝開始時間顯視為隱藏。

安裝中部分：檢視時間介於安裝開始、安裝完成時間顯視為紅色。

安裝完成部分：檢視時間大於安裝完成時間為正常顯示。

拆除部分：檢視時間大於拆除完成時間顯視為隱藏。

定義完函式概念後，開啟軟體專案狀態可視化功能底下的物件表示方法(圖 4.11)使用該功能的函式庫設計邏輯函式，視窗表單內分成物件群組、色彩及透明度三項，色彩及透明度為 4D 模型呈現時的構件顏色及透明度，物件群組則為表示函式方法可自行編寫模型呈現條件，物件群組的程式執行順序上至下，越下方的物件群組權限越低，相同工期的物件群組同時執行時，只會顯示權限較高的物件群組，透過物件群組的編寫便可使 BIM 4D 模型依照使用者的需求作不同方式的模型呈現。

編寫物件群組內容時，點擊開啟物件群組表示方法(圖 4.12)，以表達「正在進行作業」的物件群組為例，執行對象為模型構件，使用的性質設為實際開始及實際完成時間，判斷的條件為檢視時間介於實際開始、實際完成時間；此物件群組的函式所表示方法為，如果檢視時間介於實際開始與實際完成時間時之間，此時正在進行的作業模型就顯視為紅色。

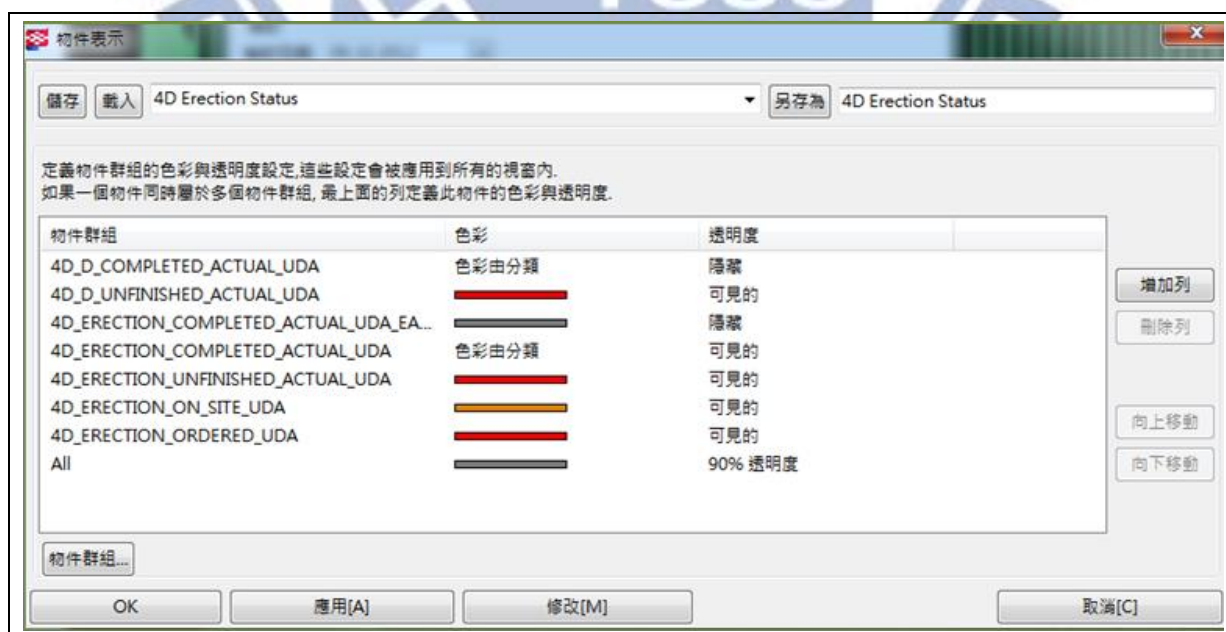


圖 4.11 物件表示方法視窗



圖 4.12 物件群組表示方法視窗

4.2.3 BIM 4D 模型應用

檢視平面圖時由於表達建築物的空間概念有限，偶而會造成平面圖上看似合理，實際施工才會出現問題的視覺衝突[14]，4D 模型檢視可針對工程進行中的任何日期或是作業項目作為檢視對象，在設計規劃階段，能為施工人員及設計人員提供完整資訊的討論平台，於施工現場，亦可提供施工人員與承包商對於施工現場的檢討或日後進度安排。

1. 4D 進度檢視

以 2012/07/01 擋土樁打樁作業開始施工第一天為例(圖 4.13)，圖中鋼軌樁呈現紅色部分為當天所需要完成打樁的鋼軌樁數量及位置，透過 4D 方式模型呈現管理者可清楚知道鋼軌樁材料使用數量及所需備料的數量還有工程進行的進度。

於 2012/12/20 的中間樁與施工構台拆除作業(圖 4.14)，圖中紅色部分的

中間樁以及施工構台板為當天作業進行項目，其他顏色為已經完成的項目，鋼軌樁與構台的拆除作業危險性極高，在拆除工程時管理者與施工廠商可由 BIM 4D 模型以及模型顯示拆除的位置及順序作為施工前的各種工作檢討，包含拆除時所需注意的項目以及施工構台物料堆放的問題...等。除了 12/20 當天的作業項目外，管理也可以考慮到 12/20 作業前或是作業後數日的工程安排，模型構件結合施工進度後呈現的 BIM 4D 模型提供了施工管理者更靈活的檢視方式以及有完整資訊的施工討論平台。

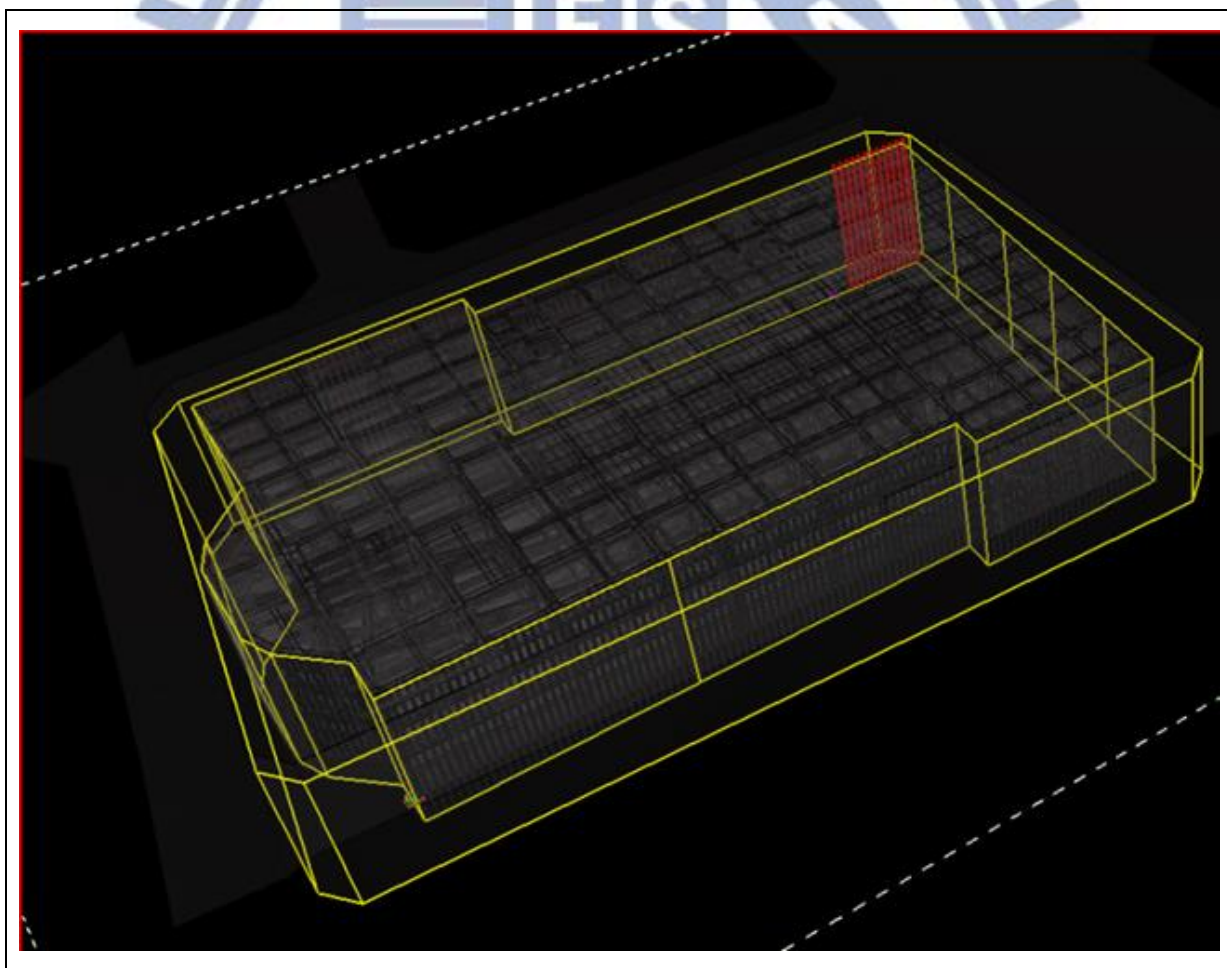


圖 4.13 擋土樁打樁作業

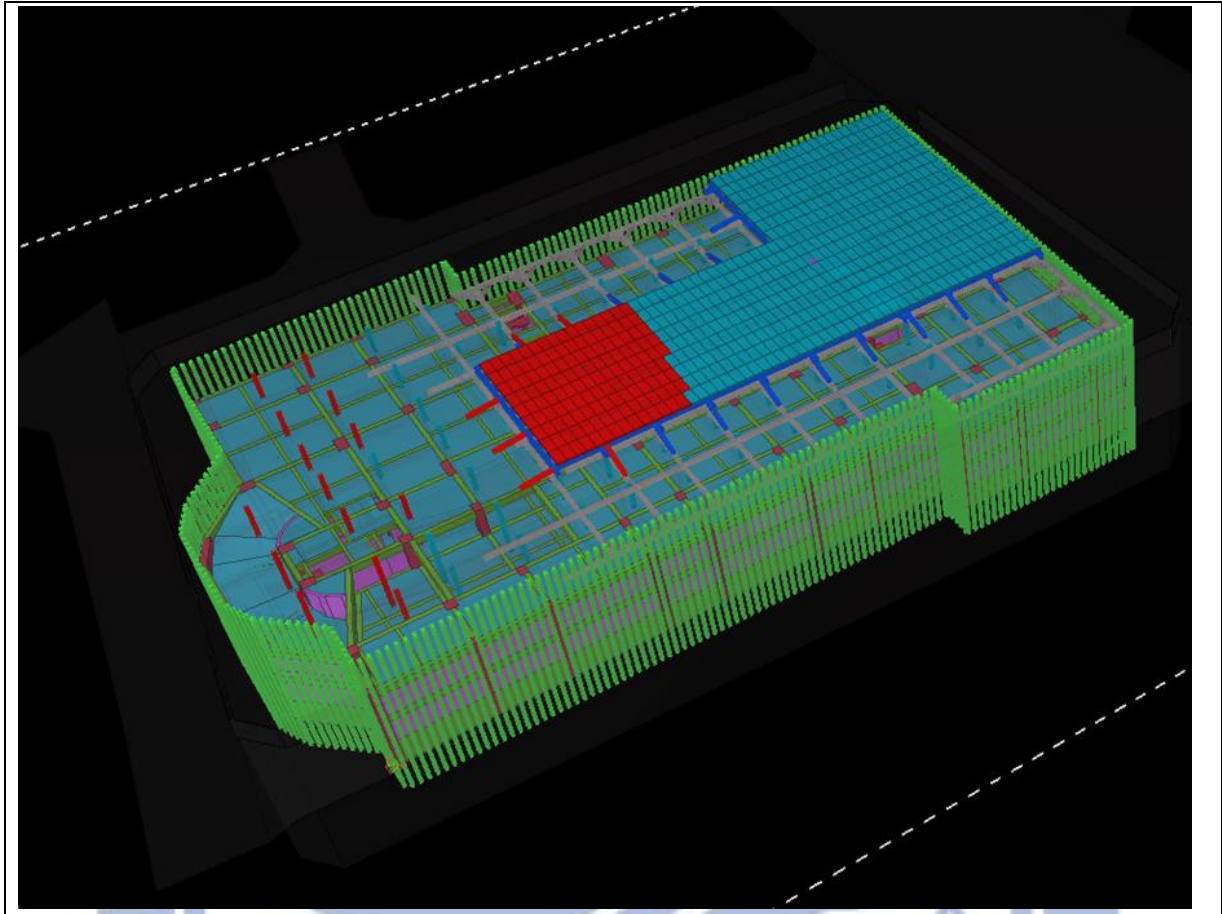


圖 4.14 臨時結構拆除作業

2. 視覺衝突

透過 BIM 4D 模型，除了可以掌握進度外也容易發現實際施工才會出現問題的視覺衝突，例如水平支撐與結構體版面的高度是否足夠讓工人施工順暢(圖 4.15)，當地梁進行施工時工人常需要跨越過地梁如果高度不足容易造成意外；對於較複雜的圖面設計如結構體車道部分的梁位施工(圖 4.16)，當層梁延伸至車道部分會產生分段以及車道配合坡度傾斜，透過視覺檢視方式可以讓板模工人快速了解圖面以及施工方式和施工該注意的問題。

由於 2D 平面圖表達建築物的空間概念有限，但在 BIM 模型上檢視可以檢討出平面圖資訊傳達不足而造成的施工錯誤以及干涉檢察無法檢測的視覺衝突狀況，如下圖 4.17 的中間樁與牆面的距離是否足夠讓板模工人可以進行施工，以及圖 4.18 紅圈處所示，車輛進出施工構台的通道部分擋土樁需切除才能覆蓋鋼板讓車輛順利進入施工構台。

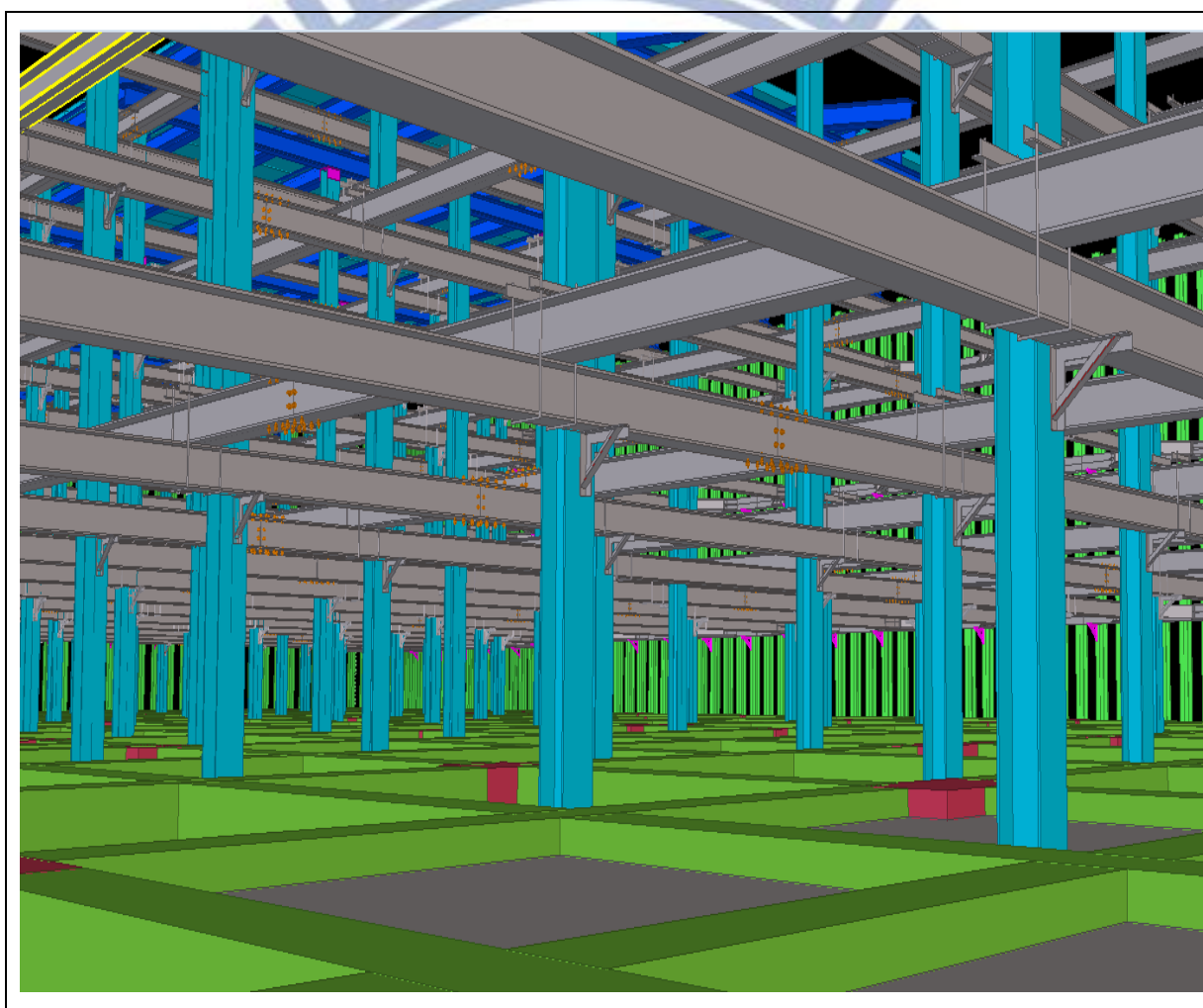


圖 4.15 水平支撐高度

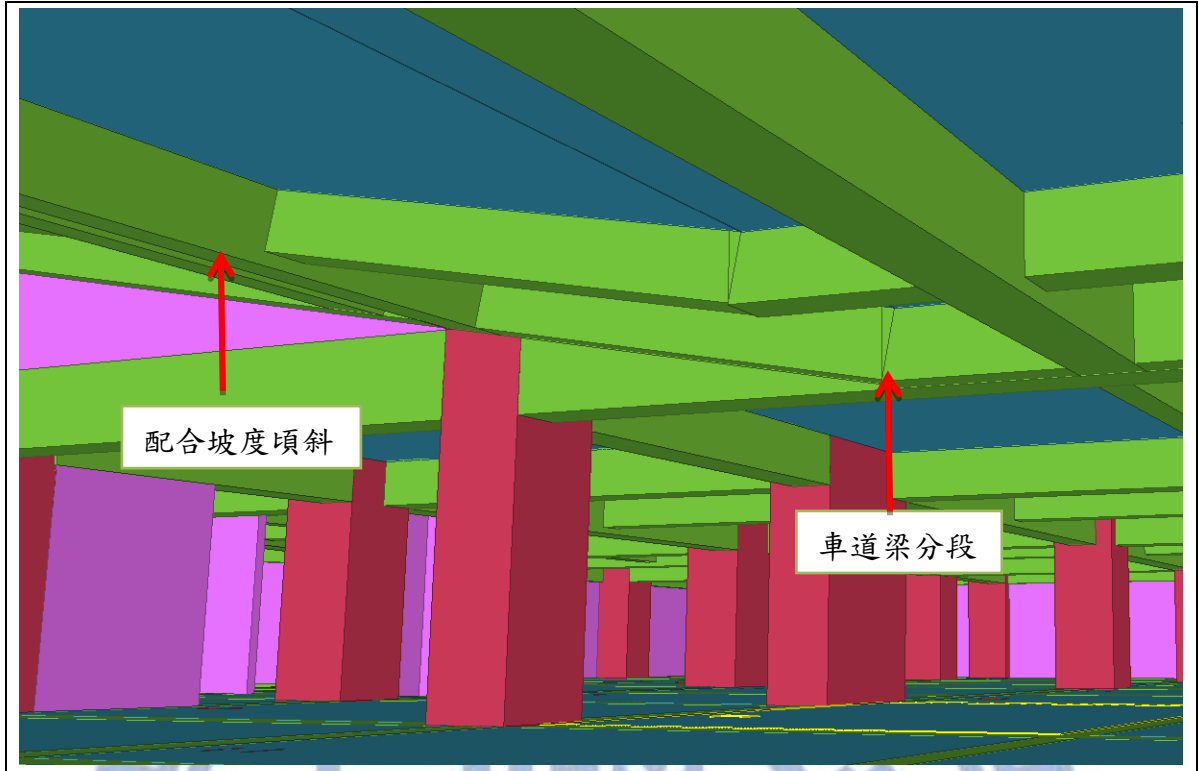


圖 4.16 車道梁複雜圖面

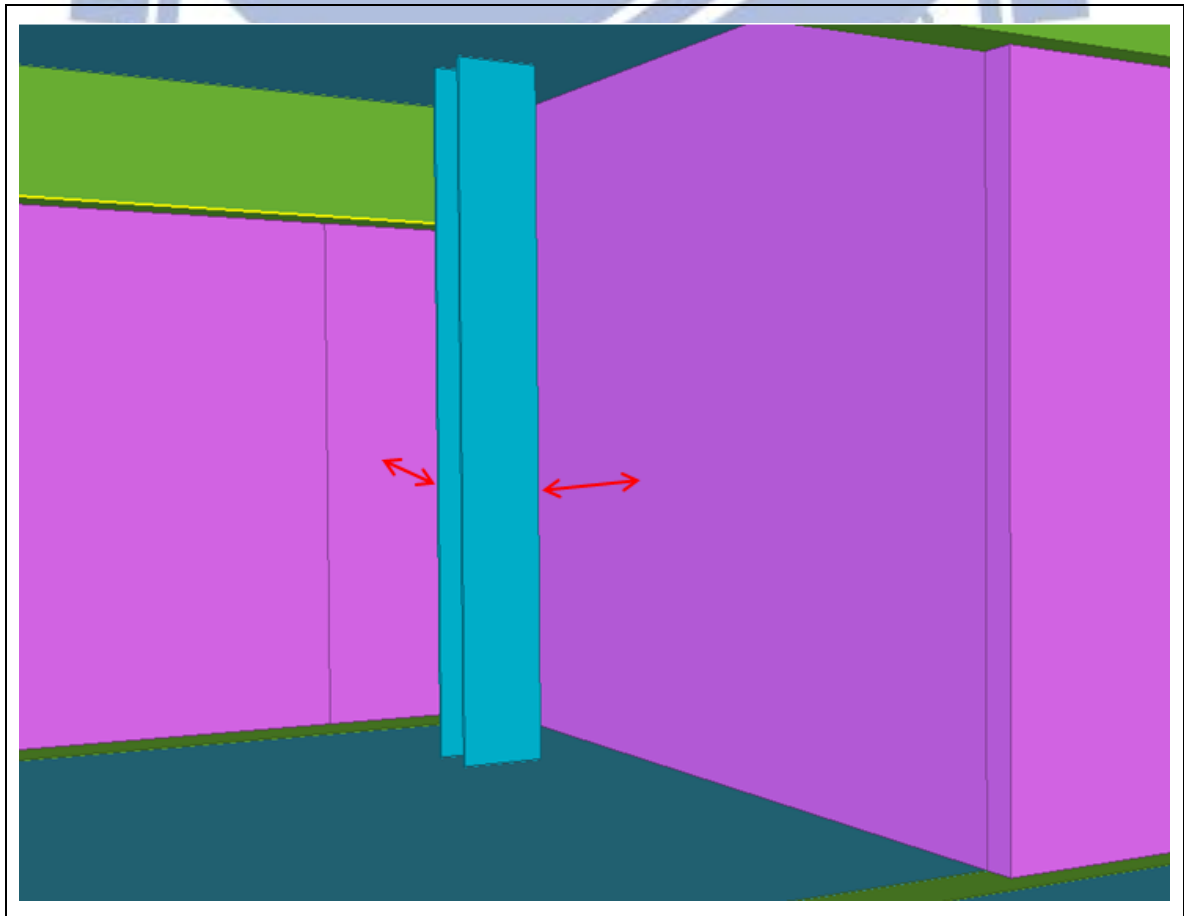


圖 4.17 中間樁與牆面距離

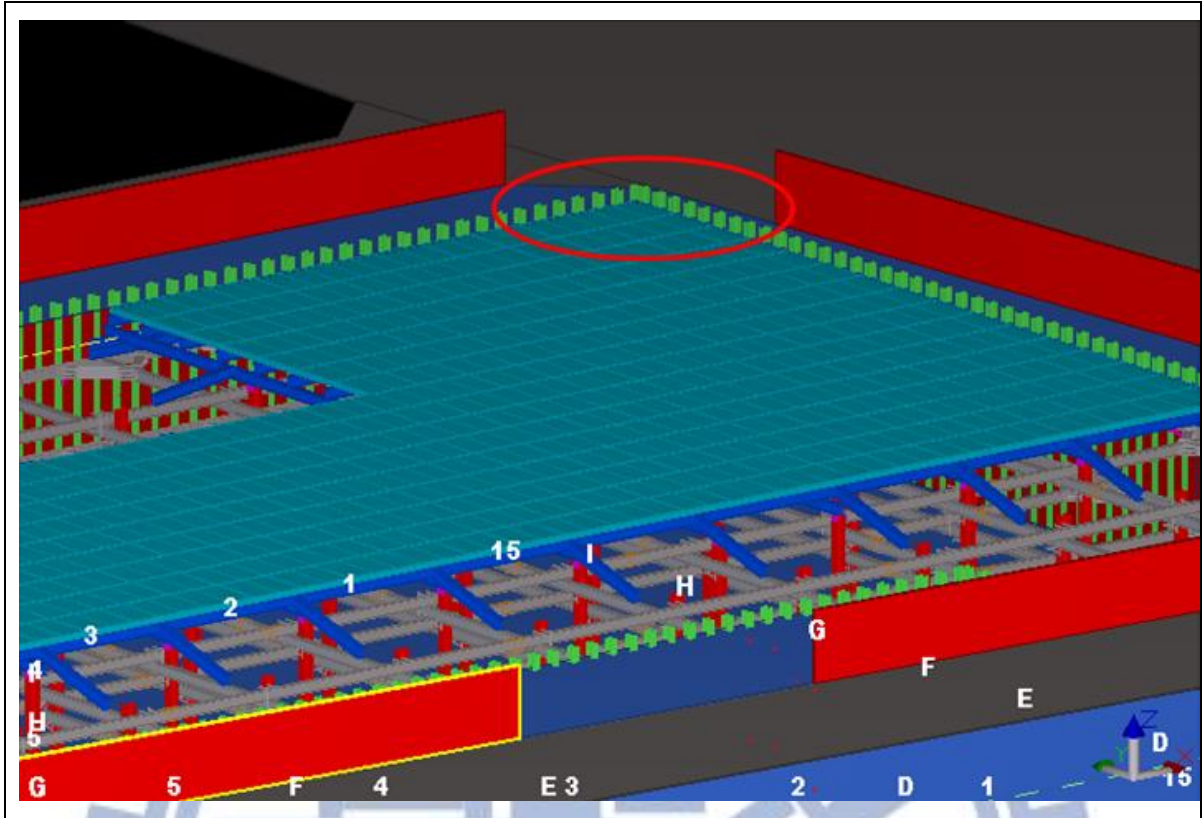


圖 4.18 擋土樁高度過高

4.3 工程車輛路線模擬

建築工程進行中，工程車輛會經常性的反覆進出建築基地，尤其大型車輛在工程的往返其間常會影響到附近居民交通及生活，本節針對預拌混凝土車進行混凝土澆置作業時的行車路線，使用建立好的 BIM 3D 模型並透過 C# 編寫 Tekla Open API 程式 (圖 4.19)，模擬預拌混凝土車在進出建築基地時與 BIM 3D 模型的相關位置，以找出適合的行車路線。

透過 Tekla Open API 的撰寫以動態的方式操作 BIM 模型中的車輛，使用軟體為車輛模型尺寸參考如下圖 4.20 所示，依照實際車輛尺寸建立一長寬高為 8900X3798X2500(單位 mm)的柱形模型作為車輛的邊界，車輛行進

時的彎路徑設計參考阿克曼轉向原理(圖 4.21)，四個輪子路徑的圓心大致上交會於後軸的延長線上瞬時轉向中心，利用柱形模型的後方作為轉向中心。

```

WindowsFormsApplication1 - Microsoft Visual Studio
File Edit View Refactor Project Build Debug Team Data Tools VMware Test Window Help
Debug x86 m
Form1.cs x Form1.cs [Design]
WindowsFormsApplication1.Form1

TSM.Model MyModel = new Model();
//CREATE m1
TSM.Beam MyBeam = new Beam(new TSG3D.Point(_tsX, _tsY, 100), new TSG3D.Point(_teX, _teY, 100));
MyBeam.Name = "xxx";
MyBeam.Profile.ProfileString = "3798x2500";
MyBeam.Material.MaterialString = "280";
MyBeam.Class = "4";
MyBeam.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
MyBeam.Position.Plane = Position.PlaneEnum.MIDDLE;
MyBeam.Position.Rotation = Position.RotationEnum.TOP;
MyBeam.Insert();
MyModel.CommitChanges();
//CREATE m2
TSM.Beam MyBeam1 = new Beam(new TSG3D.Point(_dsX, _dsY, 100), new TSG3D.Point(_deX, _deY, 100));
MyBeam1.Name = "xx1";
MyBeam1.Profile.ProfileString = "10x3000";
MyBeam1.Material.MaterialString = "280";
MyBeam1.Class = "2";
MyBeam1.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
MyBeam1.Position.Plane = Position.PlaneEnum.MIDDLE;
MyBeam1.Position.Rotation = Position.RotationEnum.TOP;
MyBeam1.Insert();
MyModel.CommitChanges();
MyBeam.Delete();
MyBeam1.Delete();
    
```

圖 4.19 Open API 編寫


FV 系列混凝土預拌車

2010 NEW CONCRETE MIXER
FUSO FV 新式混凝土預拌輸送專用車

型式 Model		GSM-6B
全車尺寸 Dimension of Vehicle	全長	約8900mm
	全寬	約2500mm
	全高	約3798mm
桶身容量 Drum capacity		13m ³
攪拌能力 Agitating capacity		5.4m ³ 以上
桶身傾斜 Drum inclination		13°
桶內全長 Drum inside length		約4722mm
桶內最大直徑 Drum max. inside diameter		約2050mm
桶身轉數 Drum revolution	裝載 charging	4-14rpm
	攪拌 agitating	2-14rpm
	排放 discharging	4-14rpm
運轉系統 Drive system		直結傳動 Direct drive
動力取出裝置 P.T.O.		引擎飛輪 Engine fly-wheel
油壓驅動系統	減速機	OKUBO/或同級品
	油壓可變幫浦	KAYABA/DAIKIN/或同級品
	油壓馬達	KAYABA/DAIKIN/或同級品
漏斗尺寸 Hopper dimensions		900mm
洩料槽長度 Chute length		1520+760mm
水箱容量 water tank capacity		200L / 250L / 300L
供水系統 Water supplying system		電動強制式 Electric supply
操縱桿 Control lever		手動式 Manual
通用底盤 Apply to truck chassis		G.V.W 24噸

輕量化・高乘載・高性能・高安全・實用又美觀
 累積30餘年開發、設計經驗，為國內水泥預拌車的基準
 健益產品・品質保證・權威產品・賺錢利器



健益汽車工業
國際品質認證合格工廠

・The information in this brochure is obtained or derived to be accurate.
 ・If this specification improves the change, without notice in this brochure.

・本規格若有改良變更，恕不另行通知
 ・桶身容量可以依客戶之需求設計製造

圖 4.20 車輛規格[15]

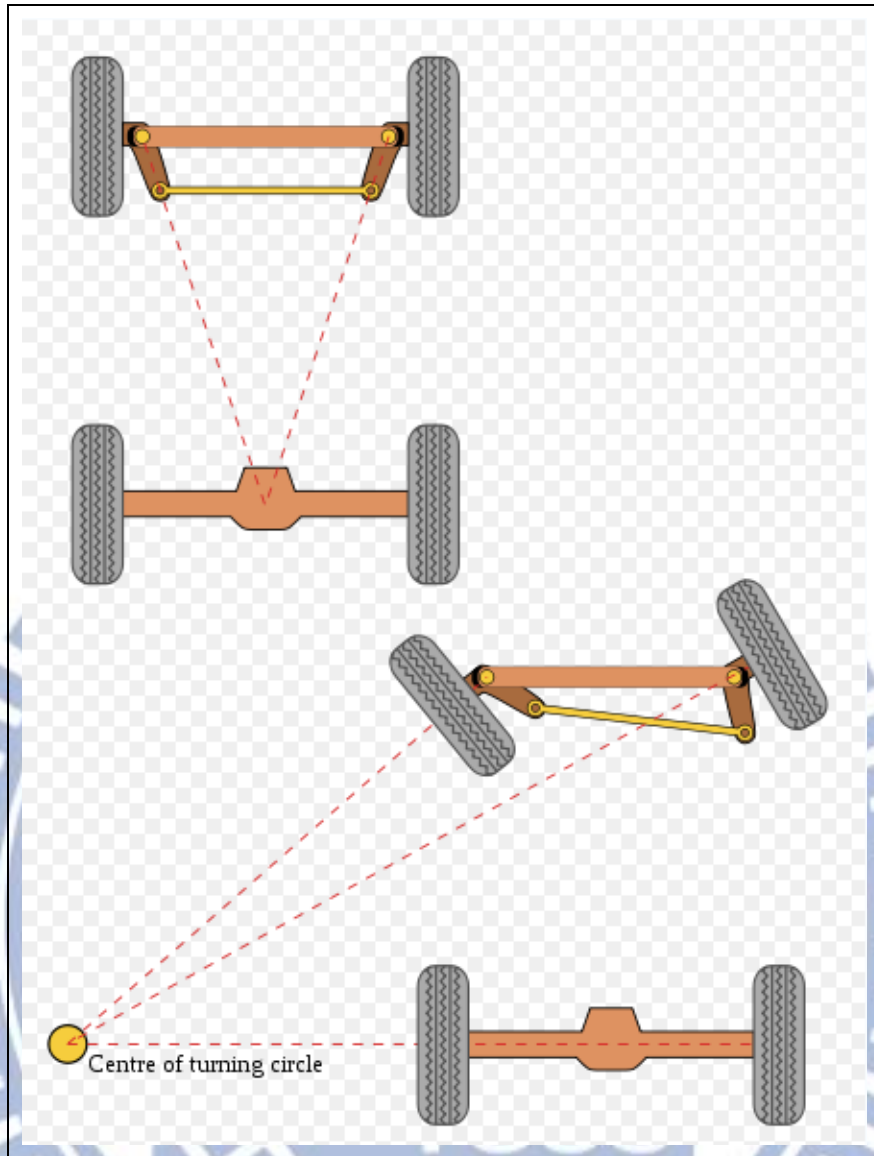


圖 4.21 阿克曼轉向[16]

4.3.1 API 程式介面

車輛模型操作上藍色柱形模型為預拌混凝土車的模擬車輛邊界，前方紅色向量用來定義車輛前輪的轉向角度，車輛前進時的方向為轉向角度所指示的方向，如下圖 4.22 所示；控制車輛介面按鍵(圖 4.23)，Create Car 為建立模型車輛，up、down、left 及 right 按鍵分別為控制車輛前進、倒車、左轉和右轉。

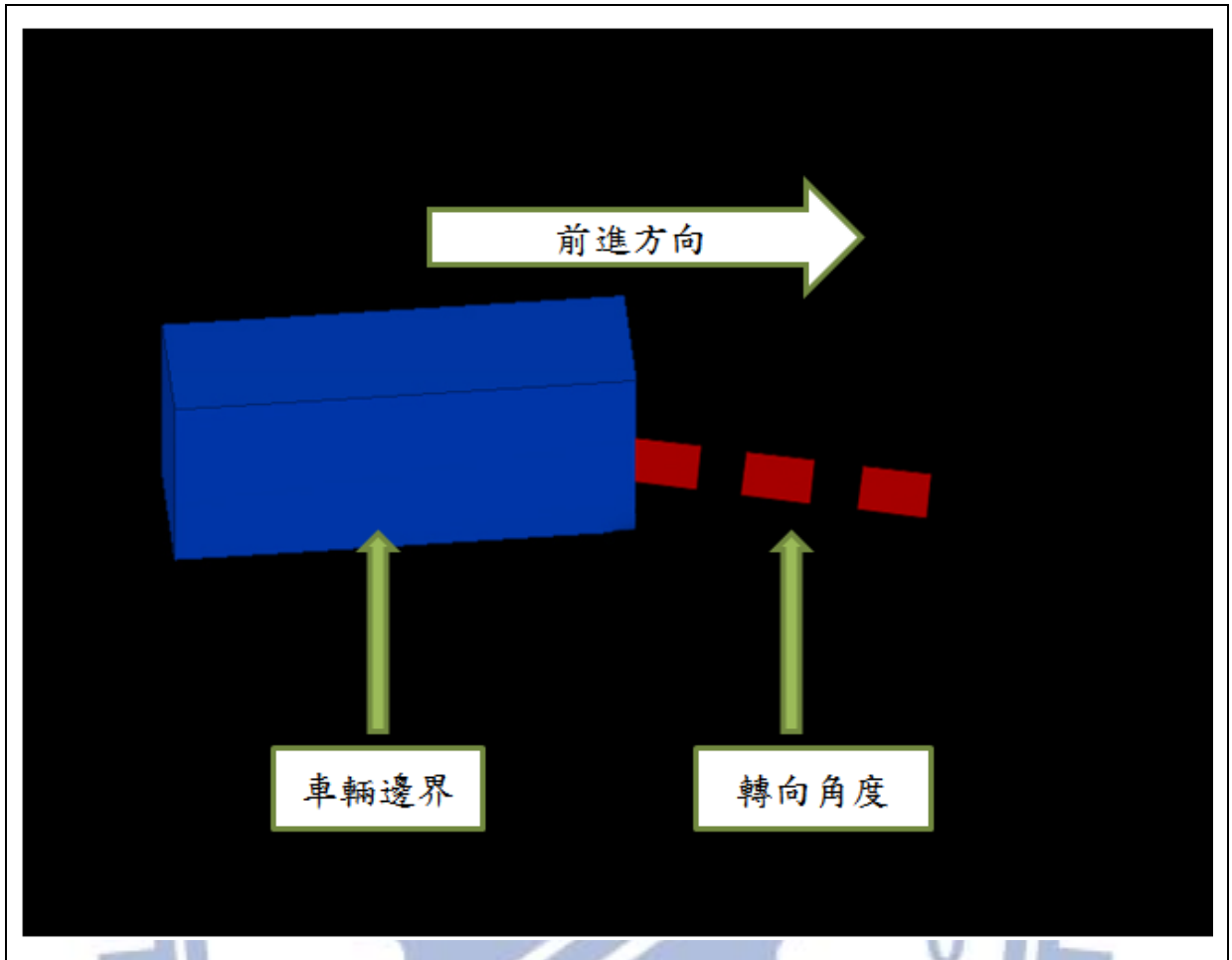


圖 4.22 模擬車輛模型



圖 4.23 控制介面

4.3.2 車行情況模擬

模擬的情況為地下二樓混凝土澆置作業，如圖 4.24 所示，車輛使用道路設定為路寬 30 米的關新路，行徑路線從關新路南向出發，進入建築工地預定位置後再從關新路北向離開，依照行車路線及實際道路狀況將行車方式分成以下三種情況，再分別對三種情況使用 API 程式模擬車輛行進間的狀況。

情況一：從關新路南向開至十字路口，左轉進入基地施工構台，於施工構台將車輛迴轉調頭至指定位置。

情況二：從關新路南向開至十字路口，右轉 15 米路後，以倒車方式進入基地施工構台。

情況三：從關新路南向開至十字路口，再往前開過十字路口後，以倒車方式進入基地施工構台。

使用 API 程式的控制介面操作車輛行駛的結果，三種情況皆能將車輛停放至指定位置，但是在操作控制介面將車輛停放至指定位置的過程中，操作上的困難度有明顯不同，在情況一的路線上行駛車輛時，發現車輛要在空間有限的施工構台上迴轉並不方便，需要靠多次的前進和後退來調整車輛角度，如圖 4.25 所示，加上施工構台有堆放物料及停放其他工程車輛的時候，所以情況一並非合適路線。

情況二如圖 4.26 所示，使用倒車方式進入基地施工構台，可以避免車輛在施工構台上進行多次的迴轉動作，與情況一的路線比較上，較容易將車輛停放至指定位置，但是在右轉至關新北路準備倒車時會容易跨越至逆向車道，車頭轉向角度也需要較精確的控制；最後測試情況三的路線，如圖 4.27 所示，情況三和情況二一樣使用倒車方式進入基地施工構台，但是在行駛過程中發現，相較於情況二的倒車路線，情況三的行駛過程車輛需要的轉向角度較小操作容易，停放至指定位置所需時間較短，動線也較流暢，所以三種情況比較起來，情況三為最適合的行車路線。

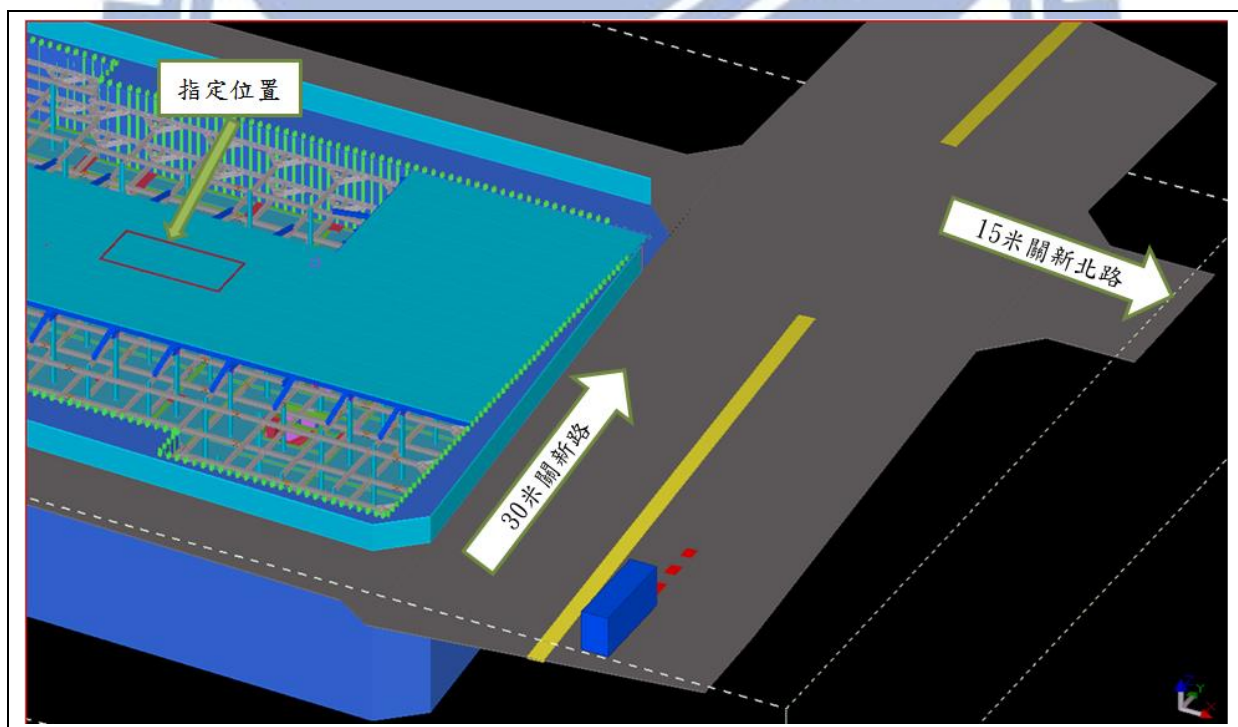


圖 4.24 車輛行進路線

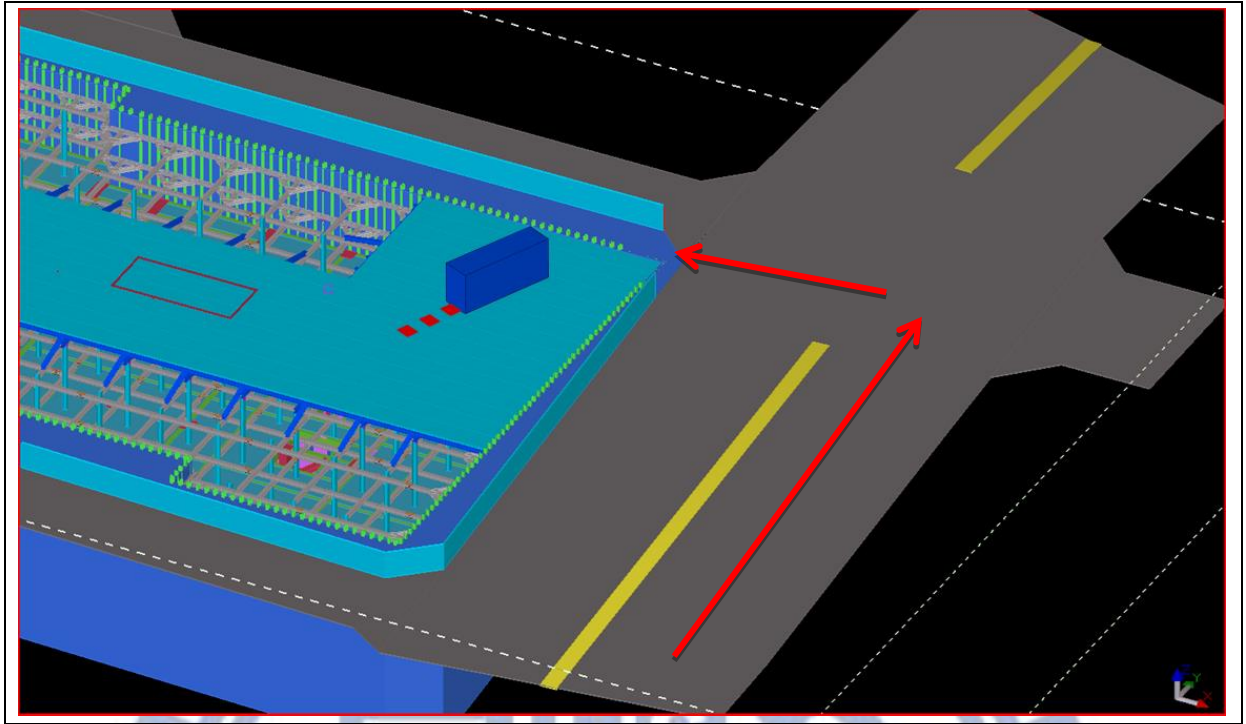


圖 4.25 車輛行進情況一

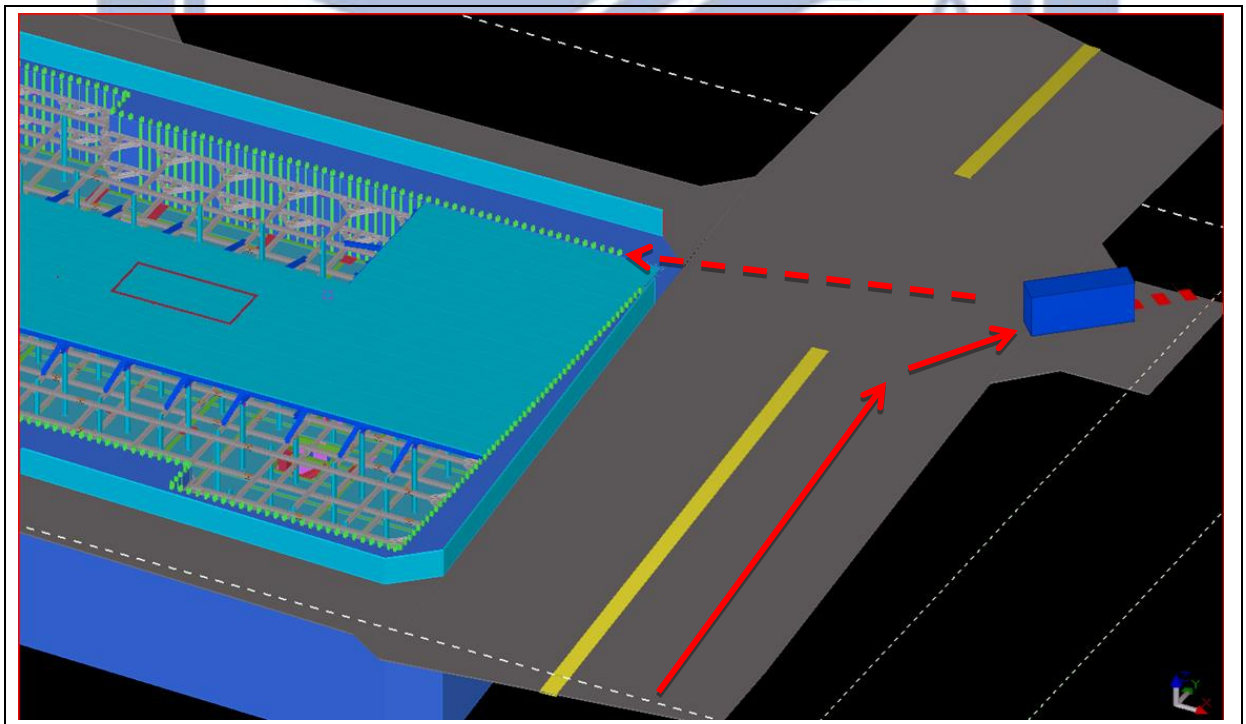


圖 4.26 車輛行進情況二

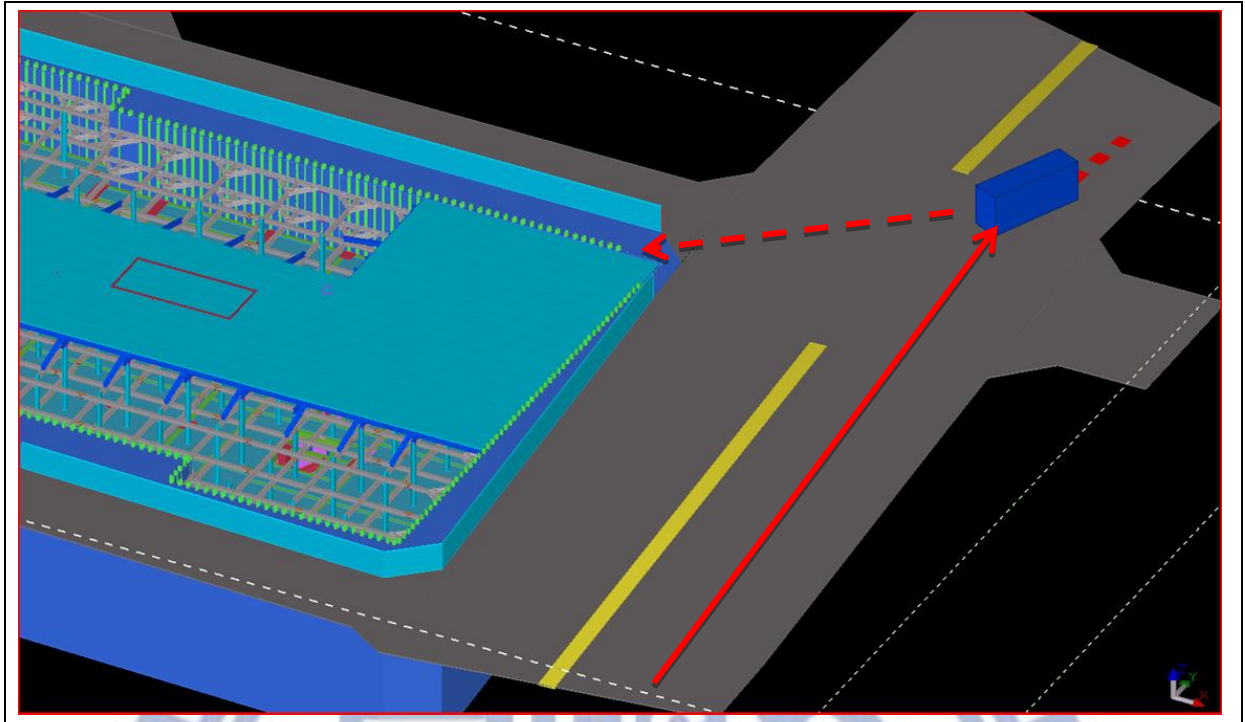


圖 4.27 車輛行進情況三

4.4 研究結果與實例探討

BIM 技術提供更好的視覺化表達方式及有效溝通協調平台及施工規劃，利用模型配合假設工程進行相關施工程序沙盤推演，可減少施工衝突降低風險，提高施工效率維護施工品質。

本節將以完成的 BIM 4D 模型與現場營造單位人員作簡報討論，此次 BIM 模型製作至結合工程應用簡報，參與人員有美麗華建設工務經理、機電經理及現場工地主任；本次研究案例的建設公司目前階段工法以傳統工法為主尚未導入 BIM 概念，其公司建案主要為集合住宅新建工程；本次簡報研究目的為討論 BIM 概念導入集合住宅新建工程其可行性及各種問題。

簡報內容為 BIM 理念、BIM 3D、4D 建模過程及其相關應用，透過 Tekla

Structures 軟體展示 BIM 的各項 3D 模型建構、BIM 模型與實體建物對比審核，結構體模型與臨時支撐模型間的施工衝突檢核以及 4D 模型專案進度排程和專案進度可視化功能，後最後使用 Tekla Open API 的車輛模擬探討 BIM 軟體的擴充能力以及 BIM 模型使用於手持裝置的優勢。

4.4.1 BIM 手持裝置應用

Tekla BIMsigh 及 APP 軟體使現場工程師能夠將 BIM 模型資訊帶至工地現場，以 BIM 3D 模型資訊實際比對工程現場情況(圖 4.28)，當發現工程現場有施工問題時，可直接使用軟體簡單的「標記」及「添加說明」功能(圖 4.29)，以紀錄現場位置並且將問題回報至工務所的伺服器。

此類型軟體優勢在於軟體執行效能需求不高、檔案空間較小，作為即時視覺化的溝通檢討介面非常合適，實際轉檔測試發現 Tekla Structures 檔案容量大小約 50MB，轉存為 Tekla BIMsigh 所使用檔案格式.tbp 檔後，容量大小為 4.33MB，檔案壓縮量約為 0.1 倍。

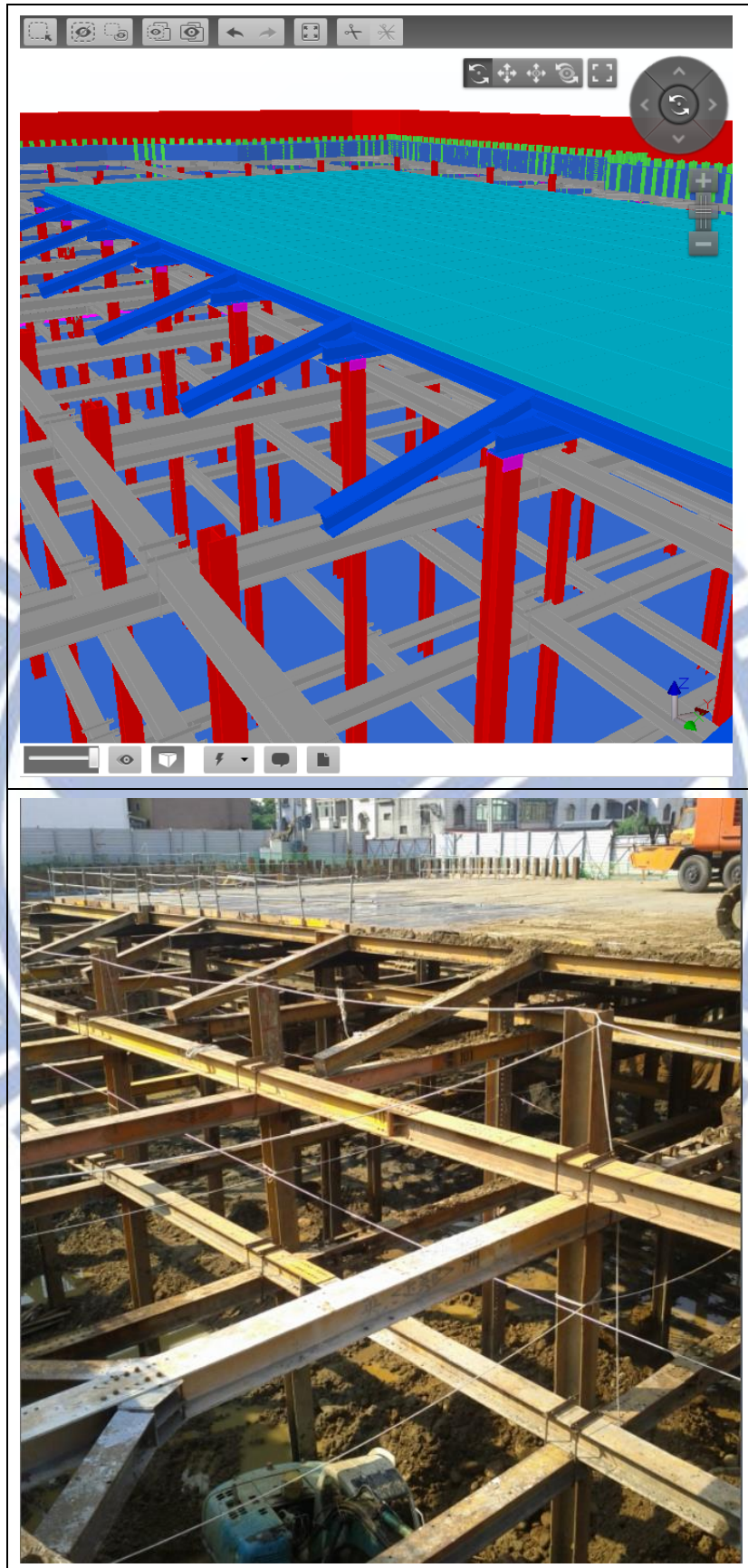


圖 4. 28 Tekla BIMsight 與現場比較

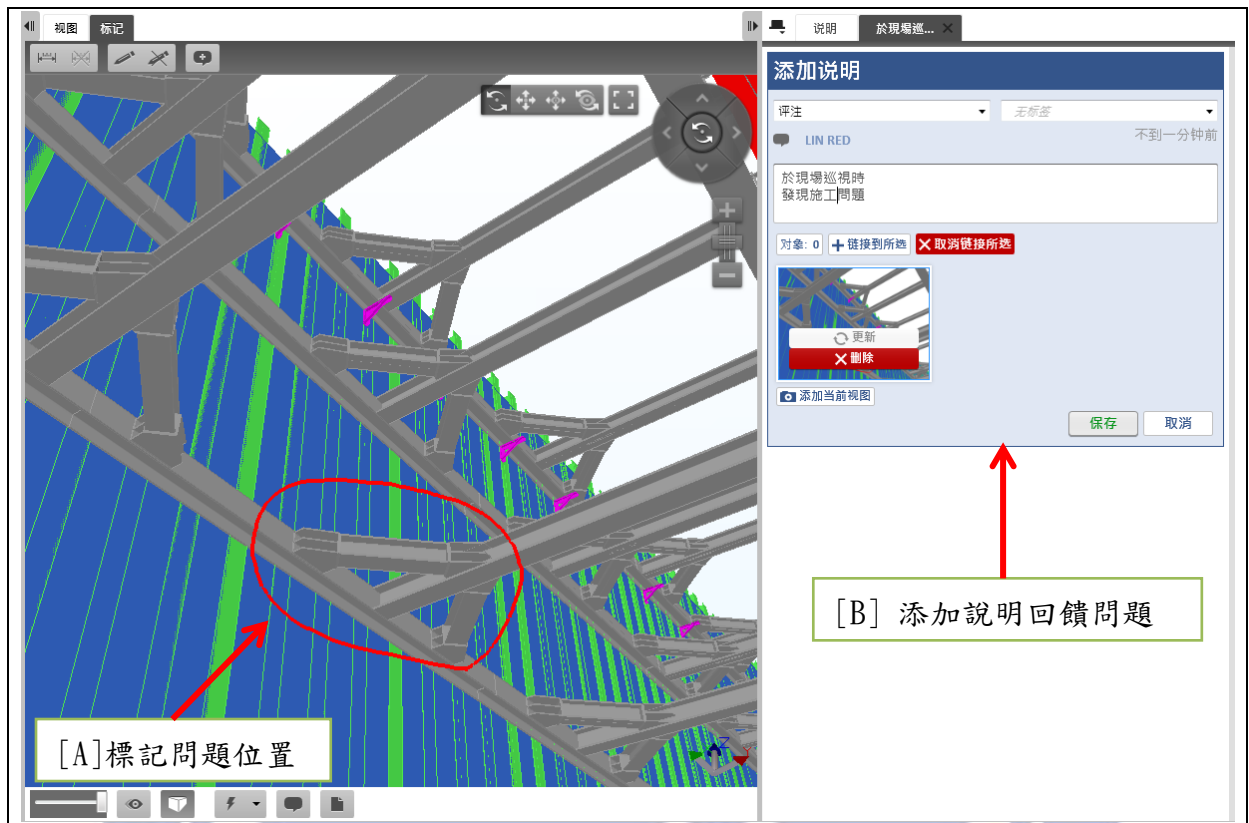


圖 4.29 問題標記與回饋

4.4.2 BIM 模型與實體建物對比

BIM 模型除了應用於規劃及監造階段，亦可作為竣工後與實體建物對比檢核，將 BIM 模型納入工程合約規範亦可依造 BIM 模型作為竣工檢核依據，用以檢驗工程項目的完成程度與完工品質，以本研究之假設工程部分為例，圖 4.30 為 BIM 模型與實際施工構台範圍及斜撐的比較，圖 4.31 檢視基地內部的水平支撐高度及施作標準度，結構體部分檢核柱、梁、牆、版施工位置是否在施工過程有過度偏移之情形(圖 4.32)。

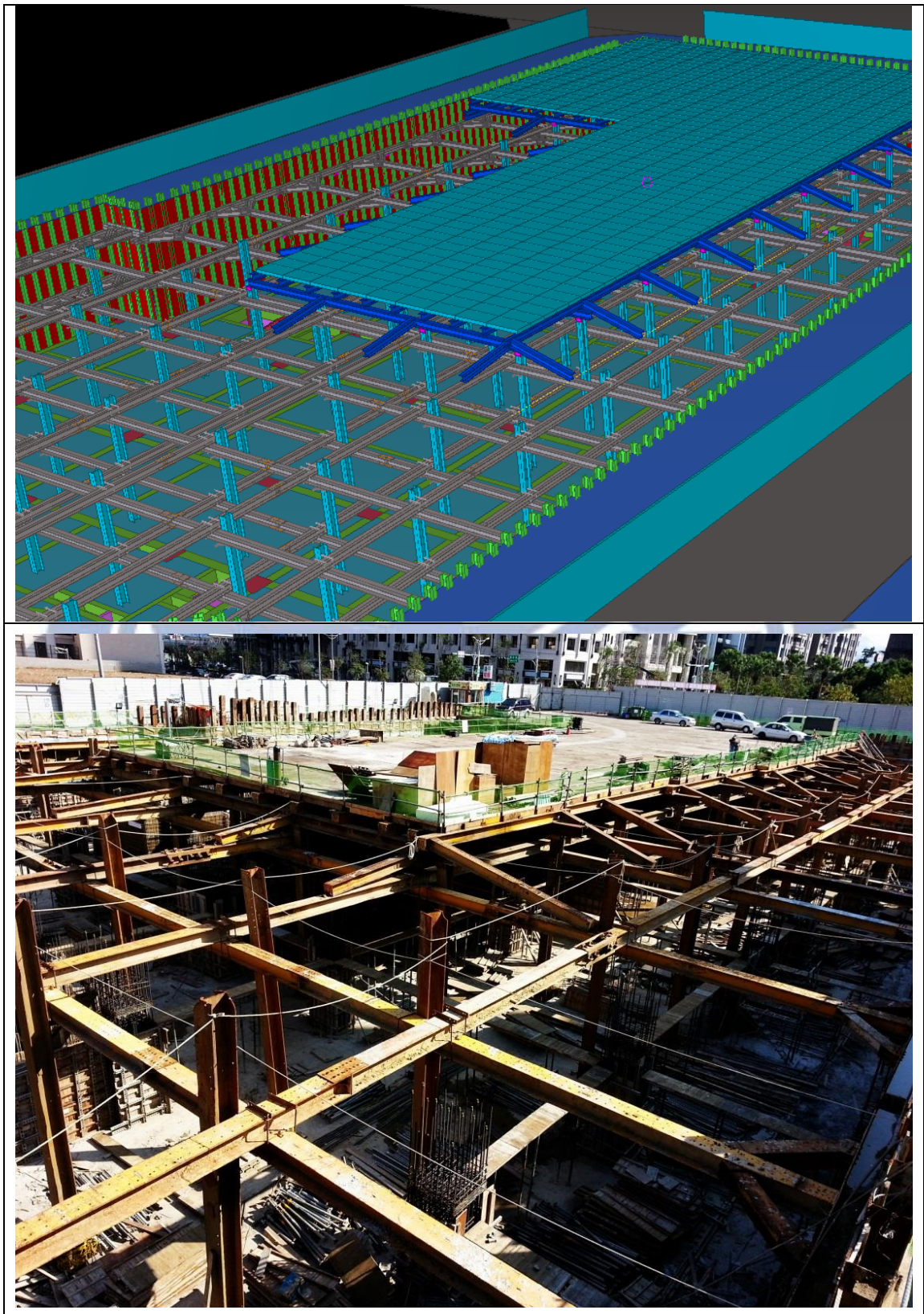


圖 4.30 臨時支撐模型與實體對比

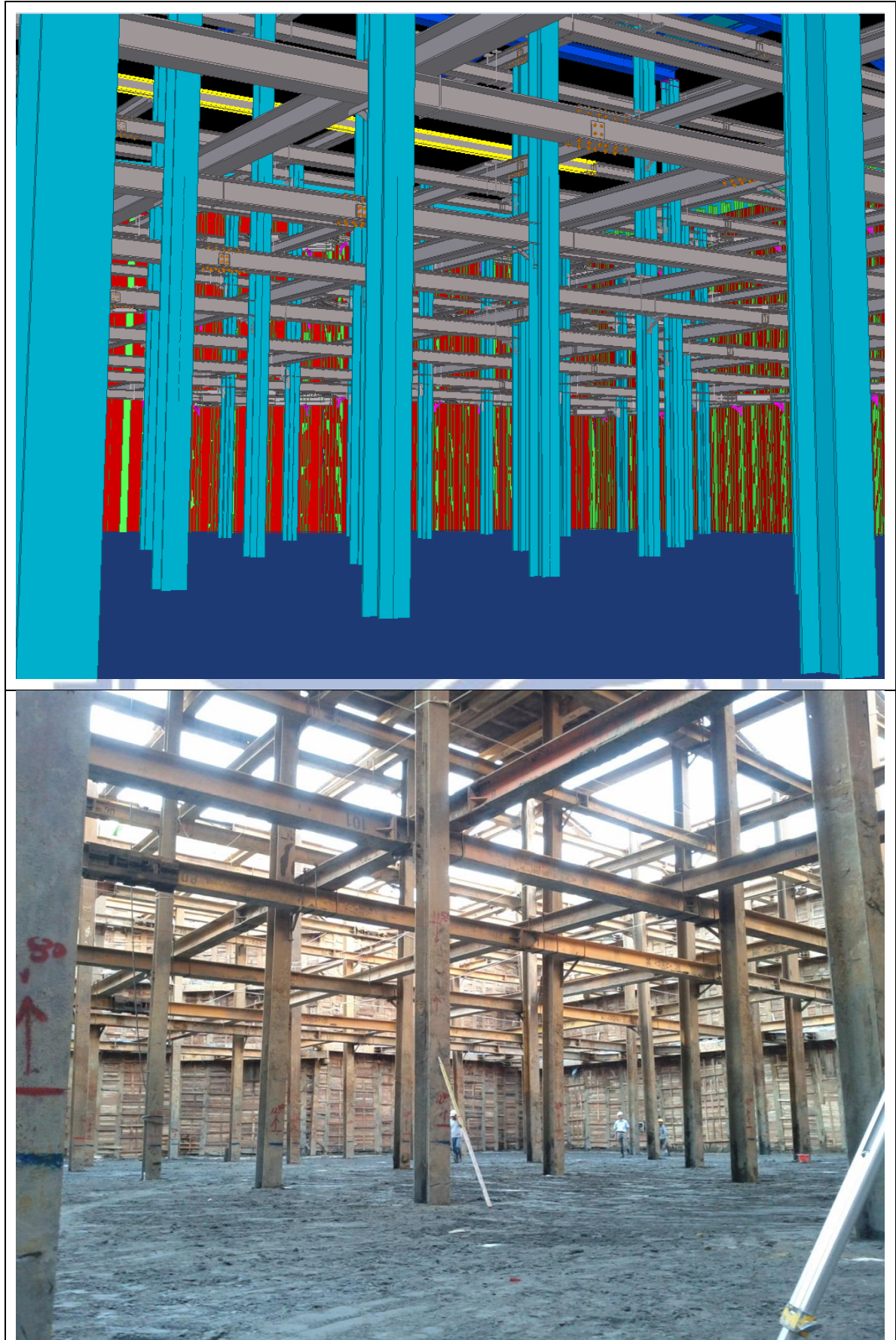


圖 4.31 水平支撐模型與實體對比

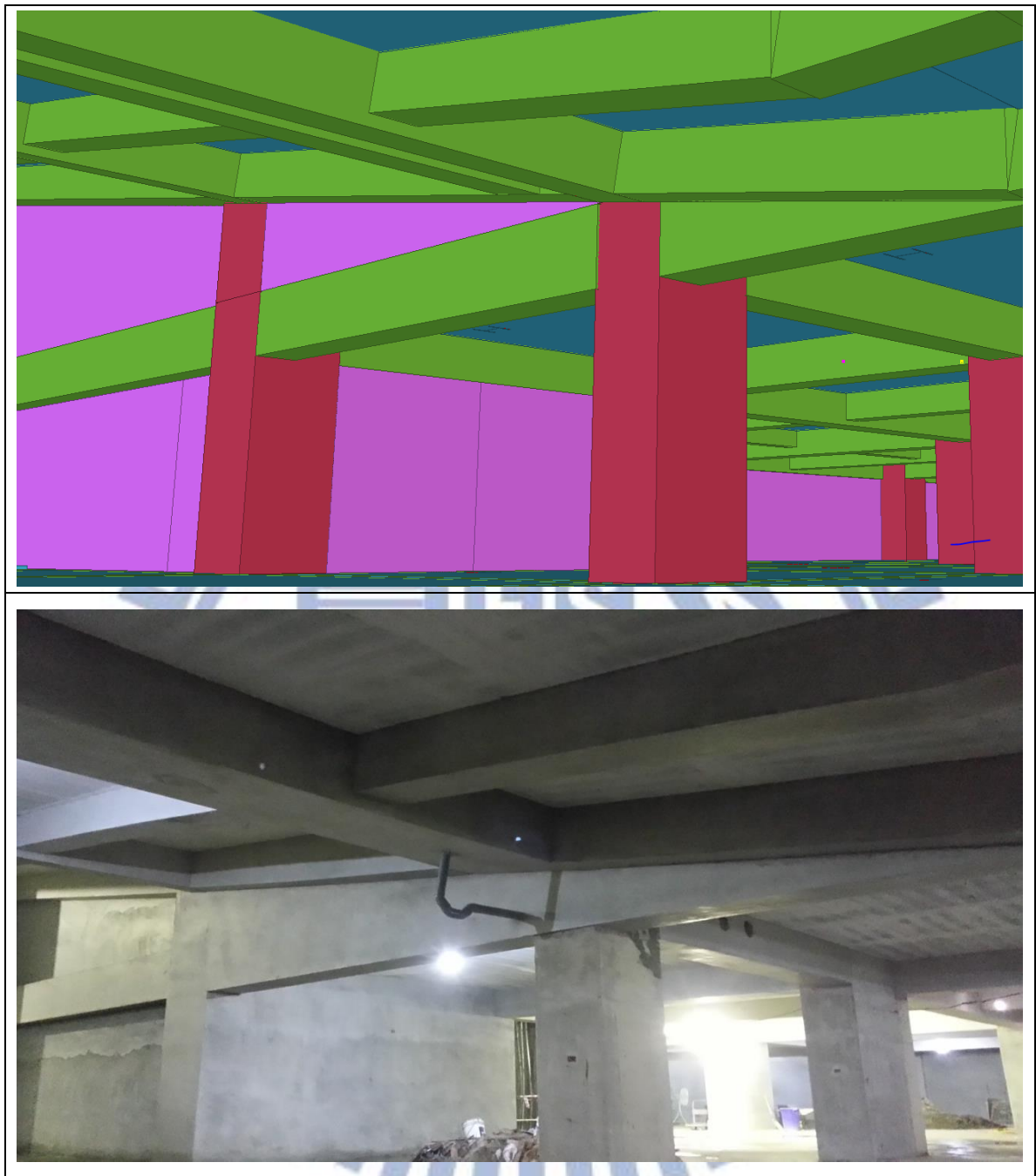


圖 4.32 結構體模型與實體對比

4.4.3 BIM 4D 模型檢核施工進度

使用 BIM 4D 模型檢核工地進度狀況時，可以隨時查驗實際施工進度是否與預排進度表有落差，管理者可以依照 4D 模型與施工當日的進度比較，查看

施工進度是否順利，若發生工期延誤之狀況也可以從 4D 模型中查詢前置作業或是後續作業的各項資訊，以決策趕工與否。

實際比較 4D 模型與工地實際進度，以拆除第三層支撐作業為例(圖 4.33)，作業日期為 2012/11/2 至 2012/11/5，作業天數 4 天；工地實際進度狀況(圖 4.34)，照片拍攝日期為 2012/11/3，當日長向水平鋼梁已全部拆除完畢，正在進施工構台下方的短向鋼梁拆除作業，對比 BIM 4D 模型呈現的進度(圖 4.35)，4D 模型開始拆除短向鋼梁的時間為 2012/11/4，並於 2012/11/5 拆除完畢，圖中紅色部分為當日正在拆除的鋼梁。

由拆除第三層支撐作業比較結果可知，工地實際進度比預定進度表上的作業日期還要快上一個工作天，表示工程到目前為止都還依照著預定進度表上的時間順利進行。

任務名稱	任務類型	計劃生產率	數量	計劃開始日期	實際開始日期	計劃持續期間	計劃結束日期	實際結束日期
21 接地+止水版...	止水版	5.50 pcs/h	88.00 pcs	2012/10/10	2012/10/10	2.00 d	2012/10/11	2012/10/11
22 大底+地樑	灌漿*3	300.00 m3/h	4794.60 m3	2012/10/22	2012/10/22	2.00 d	2012/10/23	2012/10/23
23 筏基回填	灌漿*3	306.14 m3/h	2446.04 m3	2012/10/24	2012/10/24	1.00 d	2012/10/24	2012/10/24
24 B3F(B3FL)	灌漿*2	200.01 m3/h	577.02 m3	2012/10/29	2012/10/29	0.36 d	2012/10/29	2012/10/29
25 拆第三層支撐	支撐施作(拆)	18.00 pcs/h	556.00 pcs	2012/11/2	2012/11/2	3.86 d	2012/11/5	2012/11/5
26 日 B3F結構				2012/11/21	2012/11/21	75.00 d	2013/2/3	2012/11/28
27 B3F結構	灌漿*3	300.00 m3/h	1759.92 m3	2012/11/21	2012/11/21	0.73 d	2012/11/21	2012/11/21

圖 4.33 第三層安全支撐拆除作業



圖 4.34 實際工程進度

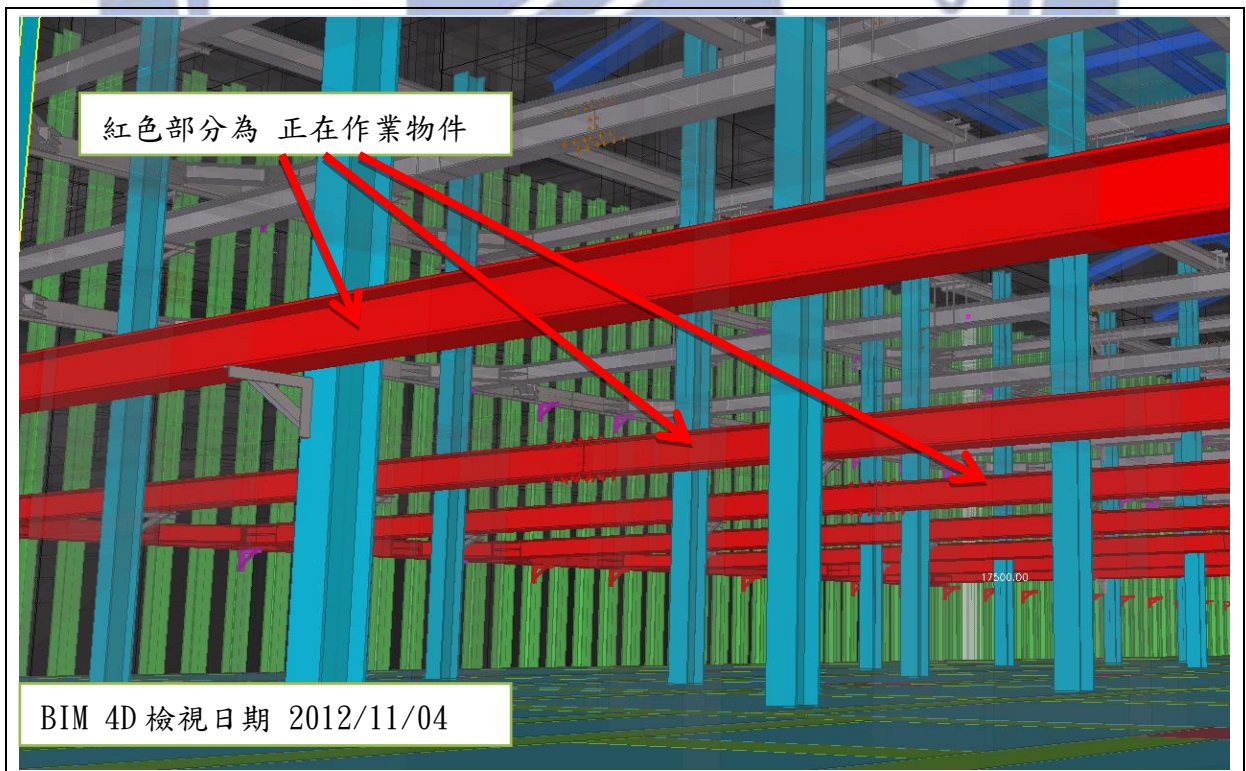


圖 4.35 BIM 4D 預定進度

4.4.4 探討結果及意見回饋

根據簡報結果，綜合工程人員的意見及問題回饋整理成以下幾點：

1. 導入 BIM 初期需購買軟硬體設備或升級、以及人員教育訓練，需投入時間與成本頗高，以公司規模較大者較易投入 BIM 研發與應用。
2. BIM 規劃設計之優勢使用於外觀設計較特別之建案可行性較高，提升建案品質及售價，將超額利潤導入於營建成本。
3. 一般規模建設公司初期導入 BIM 技術的方法，可以由發包 BIM 相關廠商方式，由 BIM 廠商執行模型建構及提供軟體、技術支援，建設公司方面則額外增加一至兩位 BIM 工程師負責 BIM 模型的操作及所需資訊提取。
4. BIM 施工廠商之合約、單價、價金給付方式以及模型細緻程度(LOD 等級)需求...等，皆需經過多次嘗試修正或是從其他合作案例經驗所得。
5. 在模型建構前需先提供廠商完整之建築、結構、機電施工圖說，加上建模所費時日與日後規劃檢討時間，勢必會拉長整個專案的施工規劃階段造成營建成本大量提高。

4.4.5 小結

與現場工程人員簡報過程中，大多數人對於 BIM 技術應用在集合式住宅新建工中所提供的優點及優勢大多表示贊同，也認同 BIM 確實有助於提高施工效率及維護施工品質，以 BIM 模型作為視覺化溝通平台除了有助於檢討規劃階段，亦能使施工人員清楚明白管理者所要表達的內容。

其中工地主任也提出，在地下室車道放樣建造階段，由於構造複雜以及 2D 圖說資料不足，當時花費了非常多的時間與板模工人作施工協調；3D 模型的視覺化表現可以省下非常多的溝通時間，且能依照施工需求輸出不同位置的剖面圖，克服了傳統圖面資訊不足的問題；4D 的進度模擬可提前與施工廠商協調鋼軌樁的吊裝空間與物料堆放位置，亦可作為掌控工期及回報施工進度的工具。

雖然 BIM 技術應用於集合住宅新建工程，會對營建業帶來非常多幫助，但是對於一般規模的建設公司及營造廠尚需克服的最大問題還是在於成本考量以及軟體操作技術的提升。

第五章 結論與建議

5.1 結論

依據本研究之 BIM 模型建構過程以及 BIM 應用於集合住宅新建工程評估的結果，可知藉由 BIM 3D、4D 模型，對營建業確實提供了更好的視覺化表達方式及有效溝通的協調平台，能達到減少施工衝突降低風險，提高施工效率維護施工品質；此次研究中從參與工地基礎開挖階段所得之經驗以及 BIM 軟體結合實際工地的 4D 建模的過程中得到以下結論：

1. BIM用於特別困難的施工案例或是較複雜的施工項目時，能夠充分發揮BIM及電腦技術的優勢，幫助專案管理者及工程人員預先檢討技術上的疑慮及施工流程，4D模擬亦可針對建物的各階段進度提供當下施工現場模擬以及累積使用的物料數量。
2. 在2D圖面不容易表達的複雜形狀的結構，使用3D模型可以很清楚傳達工程情況，且傳統平面圖常會出現建築物的剖面、立面圖，圖資資訊不夠充足的問題，BIM模型可以依照施工人員需求，提供充分的圖面資料。
3. BIM整合所有工程資訊，使各工程單位使用同一模型進行討論與協作，整合的資訊平台亦可以確保工程資料為最新狀態，大大降低了當2D圖面版本更新時，工程師卻誤使用舊圖資的情況。
4. 工程車輛路線模擬確實有助於施工構台動線規劃，提供工程人員修

正施工構台範圍及物料放置位置的資訊，透過 Open API，可以擴充 BIM 軟體當下功能限制，對不同工程需求提供確切幫助。

5.2 建議

本研究為 BIM 3D 模型建構及 4D 進度排程模擬，透過 BIM 研究過程與工程人員意見回饋列出以下幾點建議，以提供參考與改良：

1. 以工程進度加入營造費用建構 BIM 5D 模型可幫助業主清楚了解專案成本，用於施工現場可幫助工程師於請款計價時省下數量計算上耗費的時間，加入施管理工具建構 BIM 6D 模型可用於集合住宅日後的設施管理。
2. 本研究之 BIM 模型尚未加入鋼筋及模板等構件，未來可以針對鋼筋、模板...等，單項工程項目作為深入研究之對象，以模板為例，複雜結構體的組模方式，各種板材數量總計如何分類規劃以減少耗材，或使用結構計算軟體分析地下室外牆之單面模板所能承受之應力。
3. Trimble 公司與 Tekla 和 Google SketchUp 的結合，使 GIS BIM 及 SketchUp BIM 將會有更多發展空間。
4. Tekla Open API 程式撰寫部分，本研究只使用部分功能，可以針對 4D 模擬作深入探討使加強 4D 模擬細節及內容，5D 方面可以增加 BIM 模型的 LOD 等級以數量計算的介面程式作為深度開發研究。

參考文獻

1. 維基百科，「建築信息模型」：<http://zh.wikipedia.org/wiki/BIM>。
2. Autodesk, Inc , 「Building Information Modeling」, Autodesk's White Paper. , 2002 。
3. Lee, G. , Sacks, R. and Eastman, C.M. , 「Specifying parametric object behavior (BOB) for a building information modeling system」, Automation in Construction Vol.15 , pp. 758-776 , 2006 。
4. 謝尚賢，「導入BIM資訊科技從做中學」，營建知訊第353期，pp. 38-45，2012 。
5. Eastman, C. , Teicholz, P. , Sacks, R. and Liston, K. 著，「BIM 建築資訊建模手冊」，賴朝俊，蔡智敏 譯，松崗資產管理，台北，2013 。
6. 鄭介旗，「4D 於困難施工對策研擬應用」，國立成功大學，碩士論文，2005 。
7. 張智棋，「4D 施工計畫之資訊管理研究」，國立成功大學，碩士論文，2004 。
8. 維基百科，「應用程式介面」：<https://zh.wikipedia.org/wiki/API>。
9. TEKLA, Inc , 「Tekla Open API」：<http://www.tekla.com/>。
10. 康仕仲，「BIM 新曙光-Windows 8 平板」，營建知訊第 360 期，pp. 65-69，

2013。

11. 歐亞電腦公司，「Tekla BIMsight」：<http://www.ecs-ap.com/>。
12. 康仕仲，廖源輔，吳翌禎，郭政翰，謝尚賢，「4D 營建管理系統導入與初步成效分析」，CCACHE 2007，台北，2007。
13. 康思敏，莫仁維，陳景田，「BIM 於施工階段導入應用-以新北市立圖書館興建工程為例」，CCACHE 2013，台北，2013。
14. 江英二、李萬利、蘇瑞育，「BIM 於商旅大樓興建工程之施工應用實務與效益」，中華技術期刊 91 期，2011。
15. 建益汽車股份有限公司：<http://www.gsic.com.tw/>。
16. 維基百科，「阿克曼轉向幾何」：
http://en.wikipedia.org/wiki/Ackermann_steering_geometry。
17. 建設公司，「地籍圖結構平面圖」，2012。
18. 建設公司，「土方開挖計畫書」，2012。
19. 建設公司，「施工構台計畫書」，2012。
20. 建設公司，「擋土支撐計畫書」，2012。
21. 廖基全，「施工計畫與管理」，詹式書局，台北，2012。
22. 龍國忠、洪國勝、陳炎慶，「C#程式設計快樂上手」，旗標出版股份有限公司，台北，2004。
23. 李孟星、林祐正，「建築工程施工階段 BIM 模型應用之探討」，臺灣公

路工程第 38 卷第 3 期， pp. 45-54， 2012。

24. 台灣世曦，「BIM 技術整合性應用」，2011。

25. 邱垂德、林豎程、吳銚堂，「埔里工務段辦公大樓新建工程應用 BIM 的實證經驗」，臺灣公路工程第 37 卷第 9 期， pp. 39-52， 2011。

26. Lai, K.C., Kang, S.C., 「Collision Detection Strategies for Virtual ConstructionSimulation」, 2009。

27. 許文國、張智傑、白璧玲、廖法銘，「GIS 與 BIM 之整合應用」，TGIS 2011，台北，2011。

