

應用 BIM 於建築工程之資源分配及時程 規劃策略研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 106 年 12 月

應用 BIM 於建築工程之資源分配及時程 規劃策略研究

研究主持人：陳士明

研究期程：中華民國 106 年 2 月至 106 年 12 月

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 106 年 12 月

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

A Study on Application of BIM to Resource Planning
and Scheduling in Building Construction Project

BY

Shih-Ming Chen

Dec 12, 2017

目次

目次.....	I
表次.....	II
圖次.....	III
摘 要.....	V
ABSTRACT.....	X
第一章 緒 論.....	1
第一節 研究緣起與目的.....	1
第二節 研究範圍.....	2
第三節 研究流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
第一節 BIM 相關應用文獻回顧.....	4
第二節 營建工程資源分配方法文獻回顧.....	4
第三節 營建工程主要影響參數文獻回顧.....	5
第四節 空間規劃文獻回顧.....	5
第五節 電腦數值模擬分析方法文獻回顧.....	5
第六節 BIM 的建築資訊交換標準文獻回顧.....	6
第三章 應用 BIM 於建築工程之資源分配及時程規劃策略.....	8
第一節 應用 BIM 於建築工程自動化之資源分配、時程規劃及營建管理整合系統架構.....	8
第二節 BIM 傳輸資料至資源分配及時程規劃系統策略.....	14
第四章 實作驗證- 宿舍大樓.....	16
第一節 方式一操作方法說明.....	16
第二節 方式一匯出及重新整合 3D BIM 模型資料供後續做資源分配及時程規劃之流程.....	16
第三節 方式二操作方法說明.....	26
第四節 方式二匯出及重新整合 3D BIM 模型資料供後續做資源分配及時程規劃之流程.....	26
第五章 結論與建議.....	38
第一節 結論.....	38
第二節 建議.....	38
附錄一.....	43
附錄二.....	44
附錄三.....	52
參考書目.....	57

表次

表 1 本研究之期初審查會議意見回應表	43
表 2 本研究之期中審查會議意見回應表	44
表 3 本研究之期末審查會議意見回應表	52

圖次

圖 2-1 整合系統架構.....	11
圖 4-1 自宿舍大樓 3D BIM 模型匯出 IFC 格式檔案	17
圖 4-2 使用 xBIM Xplorer 將 3D BIM 模型 IFC 格式檔案轉成 COBie 格式檔案	18
圖 4-3 3D BIM 模型 COBie 格式檔案	18
圖 4-4 「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能.....	19
圖 4-5 擷取 3D BIM 模型資料至「工作分解結構及資料庫系統」	20
圖 4-6 自所建置之不同類別資料表截取各工項所需資料，並調整資料欄位名稱.....	21
圖 4-7 建構 3D BIM 模型元件與工項物件(由數個元件組成)對應關係資料表	22
圖 4-8 建構 3D BIM 模型物件與工項 (由數個物件組成)對應關係資料表	23
圖 4-9 建構工項資訊資料表.....	24
圖 4-10 設定資料表連結對應關係.....	25
圖 4-11 依類別需求彙整出各工項所需 3D BIM 模型資料	25
圖 4-12 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表-1.....	26
圖 4-13 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表-2.....	27
圖 4-14 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表-3.....	27
圖 4-15 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表-4.....	28
圖 4-16 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-1.....	29
圖 4-17 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-2.....	29
圖 4-18 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-3.....	30
圖 4-19 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-4.....	30
圖 4-20 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-5.....	31
圖 4-21 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-6.....	31
圖 4-22 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-7.....	32
圖 4-23 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-8.....	32
圖 4-24 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-9.....	33
圖 4-25 分離 Excel 格式檔案數據資料與單位文字資料-10	33
圖 4-26 將 BIM 模型明細表 Excel 格式檔案資料匯至「工作分解結構及資料庫系統」	35
圖 4-27 調整所建置之不同明細表資料表欄位名稱，並重設 BIM 元件編號	35
圖 4-28 建構工項資訊資料表.....	36
圖 4-29 設定資料表連結對應關係.....	37
圖 4-30 依類別需求彙整出各工項所需 3D BIM 模型明細表資料	37

摘要

關鍵詞：建築資訊建模(BIM)、數值模擬、工程排程、工程管理、資料庫系統

一、研究緣起

建築資訊建模 BIM (Building Information Modeling)應用領域含括資訊技術、建築及營建等範疇，故被視為營建管理應用中劃時代的改變。然而，BIM 在施工領域的應用仍然具有很大的應用發展空間。例如，BIM 可快速提供空間及數量等資訊，供建築工程施工階段之資源分配、時程規劃、資訊管理及多維度 BIM 模型建置等相關應用，但是 BIM 無法提供這些應用所需之全部資訊。如何以 BIM 模型及資料為基礎，並做進一步之資料計算分析及整合不同的應用層面，將是未來 BIM 應用發展的主軸之一。

近年隨著建築工程技術提昇，工程規模日趨龐大及複雜，導致工程成本亦日趨提高，建築過程之資源分配及時程規劃優劣對工程成本及完工時程之影響亦日益重大。

目前建築工程對於營建過程之資源分配及時程規劃多以經驗或過往工程資料為依據，更鮮少考慮空間參數或變因，即使專業人士也難以根據工程目標及工程限制條件精確計算出工程各工項之最佳資源與空間分佈，及其相關之最佳工程時程及工程成本，導致營建過程之資源分配及時程規劃難以最佳化。不同於傳統數值分析方法，離散事件模擬 DES(Discrete-Event Simulation)技術可被應用發展為模擬及分析營建過程之嶄新且功能強大之資源分配及時程規劃系統，該系統除了能依據建築工程人力限制、空間限制、成本限制、時程限制、材料限制及設備限制等個別工程不同限制提供較傳統數值分析方法更精準之資源分配及時程規劃外，亦能依據使用者不同工程目標（如：最低成本、最短工期或工期不超過特定期限之最低成本等）、工程限制（如：可提供之各工種數量、各類機具數量及空間等）或施工現場臨時突發狀況提供不同資源分配、時程規劃、結果預測及風險性評估。

營建管理中最最基本，但也是最耗時及易產生人為錯誤的部分就是各類資料的輸入，及因應各種不同需求及不同形式的資料轉換、計算及報告輸出。由於營建管理的過程中涉及多種不同軟體，有些無法做資料的輸出，有些可做部分或全部資料的輸出，又可輸出的資料內容、格式及單位等又大多無法完全符合其他不同軟體的輸入需求，因此使用者常常需耗費許多精力及時間在尋找不同軟體所需資料、轉換格式及單位、輸入及報告輸出。

綜上，本研究研提一結合 BIM、DES 及資料庫管理之建築工程營建管理策略藍圖，實際案例驗證則聚焦於研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能，並研訂如何自 BIM 匯出資料及使用資料格式，並經「工作分解結構及資料庫系統」依工項需求重新整合這些資料，供後續資源分配及時程規劃系統分析計算。

二、研究方法及過程

本計畫將依文獻資料探討了解目前 BIM、營建工程資源分配、營建工程主要影響參數、空間規劃、電腦數值模擬分析方法及 BIM 的建築資訊交換標準現況，並依文獻資料探討發展建築

工程營建管理策略。

另本研究以一 Autodesk Revit 軟體建置之 12 層樓高宿舍大樓之 BIM 模型為實際案例，研訂如何自 BIM 匯出資料及使用資料格式，並經自行研發之「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能依工項需求重新整合這些資料，供後續資源分配及時程規劃系統分析計算。

三、 重要發現

本研究計畫研提一應用 BIM 於建築工程自動化之資源分配、時程規劃、營建管理及資料庫管理之整合系統架構，此架構涵蓋四個主要部分：(1) 3D BIM 模型；(2) 工作分解結構及資料庫系統；(3) 資源分配及時程規劃系統；(4) 多維度 BIM 模型產生器。此架構內容包含如何從 BIM 模型獲取適當檔案格式之 BIM 元件資訊、於資源分配及時程規劃系統自行設定工程目標及工程限制條件，透過系統自動發展出近乎最佳的資源分配、時程規劃及營建管理計劃，並讓工程管理人員能藉由檢視動態多維度 BIM 模型了解工程狀況，並執行風險性分析及資料庫自動化管理。此架構能幫助管理人員預測未來任何時段的工程執行率，並提供突發狀況對工程造成衝擊影響完整預測資料。一旦 BIM 模型設計、工程資源、工程目標或工程限制條件發生變化，工程管理人員也將即時獲得包含資源分配、時程規劃、營建管理、資料庫管理及多維度 BIM 模型等相關更新資料。因此，管理者可以在突發狀況發生後立即採取修正措施，並減輕對正在進行工程的潛在損害。

3D BIM 模型元件及其他基本資料(例如：元件代號、種類、面積、體積、材料、空間面積等資料)須經過「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能彙整後，才可與「資源分配及時程規劃系統」各工項相關參數連結，並做後續模擬分析計算，本研究計畫開發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能及研訂二種不同方式的細部執行策略，並以一宿舍大樓為案例進行操作，驗證其可行性。

根據研究結果，本研究有四項建議，建議一為持續研究及推廣應用 BIM 於工程施工階段與維護管理階段；建議二為拓展結合 BIM 與離散事件模擬(Discrete-Event Simulation, DES)技術應用於建築工程施工階段資源分配及時程規劃之研究；建議三為拓展結合 BIM 與資料庫管理應用於建築工程施工階段及維護管理階段之研究；建議四為拓展結合 BIM、DES 技術及資料庫管理，及研發多維度 BIM 模型產生器，應用於建築工程營建管理及維護管理之研究，詳細說明請參考下面章節。

四、 主要建議事項

建議一

立即可行建議—持續研究及推廣應用 BIM 於建築工程施工階段與維護管理階段

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

在公共工程委員會、本所、財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院、各機關學

校 BIM 中心及 BIM 軟體廠商共同努力推廣下，BIM 於工程規劃設計階段之應用在本國已逐漸成熟。相對的，BIM 於本國工程施工階段與維護管理階段之應用範圍仍較小，大部分稍具規模工程僅應用於施工階段之 4D、虛擬實境及碰撞檢查，尚屬 CAD 應用範圍，僅少數大型工程或高科技廠建置會搭配基本 BIM 模型資料管理，故建議加強 BIM 於本國工程施工階段與維護管理階段之深層應用研究，並將研究成果於國內業界推廣。

建議二

立即可行建議—拓展結合 BIM 與離散事件模擬(Discrete-Event Simulation, DES)技術應用於建築工程施工階段資源分配及時程規劃之研究

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

3D BIM 模型本身具有相當豐富的工程基本資訊，但是 BIM 模型並未包含任何施工順序相關資訊，所以需要一工項時程規劃系統提供工項排程功能。傳統工項時程規劃系統決定各工項所需時間時常靠經驗或過往工程資料估計，然而每個工程都有其不同的工程條件(例如：工班數量、機具數量、材料數量、施工範圍、受限施工環境之施工效率等) 及不同最佳化目標(例如：最短施工時間、最低施工成本、有施工時間限制之最低施工成本等)，經驗或過往工程資料無法保證能適用於新的工程。

另外，傳統資源最佳化技術主要包括數學方法和啟發式方法。然而，數學模型由於公式複雜可能導致求得局部最佳解[35,36]。啟發式模型則是在不同情況下具有不同的有效性，因此無法適用於所有的工程案例。此外，使用者也無法針對給定的工程案例事先知道適用於何種啟發式模型。所以，啟發式模型無法保證獲得最佳解。啟發式模型不一致的解決方案已經導致商用工程管理軟體於資源調度功能間巨大分歧[37]。

電腦數值模擬分析是為真實系統設計一數學邏輯模型並在電腦上對該模型進行實驗的過程[35]。過程模擬的目標涵蓋生產力提升、風險分析、資源分配和現場規劃等範圍。經由對構成該過程之活動本身及活動間順序關係精確表示於模型中，建模者可以預估該過程最後成果的相關資訊和於某特定時間內完成該過程的機率。由於營建工程所需資源包括笨重且昂貴的設備，透過電腦數值模擬分析可以檢視各種可能的資源動態空間規劃選項，並從中挑選出最佳的資源動態空間規劃。施工建模需要使用各模型所定義的建模元素來表達及組成施工過程。電腦數值模擬分析可應用於動態性模擬分析施工過程隨時間產生的變化。

應用離散事件模擬(Discrete-Event Simulation, DES)技術於電腦數值模擬分析為協助使用者於施工管理過程中迅速做出決策分析的利器之一。精確建立施工過程模型後，可利用電腦數值模擬分析出較佳的替代方案及優化相關資源的動態空間規劃。然而，在建築業中應用電腦數值模擬分析技術於施工管理的案例幾乎很難找到，主要因為電腦數值模擬分析技術的複雜性和建築業人員缺乏該技術的相關知識，另一個可能的原因為需要針對不同的營建管理目標開發不同的電腦數值模擬模型。由於通常不同的工程會有不同的工項及工項間網絡關係，導致不同的工程需要使用不同的電腦數值模擬模型。另外，目前工程管理一般皆使用要徑法 (Critical Path

Method，CPM）技術做排程、時程控制，然而應用要徑法技術的電腦軟體與應用電腦數值模擬技術的電腦軟體間並不相容，因此想同時應用這兩種技術仍存在一個很大的技術門檻，也導致幾乎很難找到應用電腦數值模擬分析技術於建築業施工管理做排程、時程控制的案例。

綜上，建議研究開發一可匯入及應用 BIM 工程基本資訊，並與實際建築工程施工管理系統有極高相似性、可視覺化，且可靈活應用於不同工程與適用於不同施工管理目標的資源分配及時程規劃電腦數值模擬分析系統，以利將 DES 技術轉移到施工管理實際應用層面。

建議三

立即可行建議—拓展結合 BIM 與資料庫管理應用於建築工程施工階段及維護管理階段之研究

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

資料準備是營建管理過程中非常重要的工作之一，並且是最耗時間及最困難的工作之一。雖然 3D BIM 模型本身具有相當豐富的工程基本資訊，但是 BIM 模型並無法提供工程施工階段及維護管理階段所需之全部資訊(例如：施工階段之工項施工順序、工項起迄時間、施工成本控管及材料採購控管，及維護管理階段之設施管理等相關資訊)，所以需要於工程施工階段及維護管理階段另增加一資料庫管理系統，以補足 3D BIM 模型本身不足之處。

綜上，建議拓展結合 BIM 與資料庫管理應用於工程施工階段及維護管理階段之研究，以符工程施工階段及維護管理階段之實際需求。

建議四

立即可行建議—拓展結合 BIM、DES 技術及資料庫管理，及研發多維度 BIM 模型產生器，應用於建築工程營建管理及維護管理之研究

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

在近期營建管理的發展上，3D-CAD 電腦模式在營建管理的設計階段提供革命性的進展，讓設計者能有如身歷其境般檢視修改其龐大複雜的設計內容，也能以此電腦模式輕易與一般無建築概念的人溝通設計內容；其後，Koo and Fischer (2000)研究指出 4D-CAD 電腦模式(3D 的模式與時間結合之特性)較傳統的桿狀圖(Bar chart)更能幫助專案團隊定義問題。在規劃設計階段，4D-CAD 可幫助使用者清楚的了解施工流程及發現可能遭遇之問題；在施工階段，4D-CAD 可幫助使用者管控施工進度。

然而，4D-CAD 只能模擬營建過程的影像變化，使用者無法掌握每一工項背後所隱含的資訊（如施作物件的尺寸、材料；所需物料、人員、機具、空間及起迄時間等），也因此無法幫助使用者做精確的分析及管理，建議針對上述 4D-CAD 電腦軟體不足處研發「多維度 BIM 模型產

生器」，產製多維度 BIM 模型，允許使用者檢視施工流程之動態多維度資料 (3D+時間+資料)。「多維度 BIM 模型產生器」連結 3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」之資源分配及時程規劃等模擬運算結果，允許使用者在電腦上觀看施工流程時，可從另一動態視窗同時檢視正在施作的工項名稱、工項總施作時間、工項開始施作日期、工項施作完成日期、工項花費成本、工項所需資源名稱及數量等資料。如此，使用者不僅能掌握 4D-CAD 影像中正在施作的工項為何，也能輕鬆掌握相關重要資訊。此外，因「多維度 BIM 模型產生器」已設定連結 3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」，3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」任何變更皆能立即反映在多維度 BIM 模型動態資料，避免人為輸入錯誤及提高效率。

另外如上所述，拓展結合 BIM 與 DES 技術應用於建築工程施工階段資源分配及時程規劃之研究，及拓展結合 BIM 與資料庫管理應用於建築工程施工階段及維護管理階段之研究，皆有其實際需求。為能提升應用效率，上述功能各資料間移轉須能儘量自動化或半自動化，故建議研發整合上述功能成一完整系統。

綜上，建議拓展結合 BIM、DES 技術及資料庫管理，及研發多維度 BIM 模型產生器，應用於建築工程營建管理及維護管理之研究，並研發整合上述功能成一完整系統，使上述功能各資料間移轉能儘量自動化或半自動化，以提升應用效率。

ABSTRACT

Keywords: BIM 、 numerical simulation 、 project scheduling 、 project management 、 database system

Building information modeling (BIM) has been recognized as a revolutionary change for its applications in the entire lifecycle of a construction project. However, the applications of BIM within the construction domain still have a lot of potential. This research presents a BIM-based framework, which integrates a numerical simulation-based project scheduling and management system, a work breakdown structure and database system, and a MD (multi-dimensional) BIM model creator. The numerical simulation-based project scheduling and management system can develop the near-optimum schedule plan according to project objectives and project constraints. The work breakdown structure and database system can organize takeoff data generated from BIM model according to activity, and perform the database management. The MD BIM model creator links BIM model with scheduling simulation analysis results of numerical simulation-based project scheduling and management system to construct a MD BIM model (i.e., BIM + schedule + related data). A case study focursing on exporting takeoff data from a BIM model and using the work breakdown structure and database system to organize those data according to activity is subsequently presented to demonstrate the methodology.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與目的

建築工程施工階段營建管理的主要目標為達成工程進度如期、成本如度、品質如式、安全無虞。為達成上述目標，施工過程中可靠及有效率的資源分配、時程規劃及資料管理扮演著非常重要的角色。

在近期營建管理的發展上，3D-CAD(3 Dimension-Computer Aided Design)電腦模式在營建管理的設計階段提供革命性的進展，讓設計者能有如身歷其境般檢視修改其龐大複雜的設計內容，也能以此電腦模式輕易與一般無建築概念的人溝通設計內容；其後，Koo and Fischer (2000)研究指出 4D-CAD 電腦模式(3D 的模式與時間結合之特性)較傳統的桿狀圖(Bar chart)更能幫助專案團隊定義問題。在規劃設計階段，4D-CAD 可幫助使用者清楚的了解施工流程及發現可能遭遇之問題；在施工階段，4D-CAD 可幫助使用者管控施工進度。然而，4D-CAD 只能模擬營建過程的影像變化，使用者無法掌握每一工項背後所隱含的資訊（如施作物件的尺寸、材料；所需物料、人員、機具、空間及起迄時間等），也因此無法幫助使用者做精確的分析及管理。

建築資訊建模 BIM (Building Information Modeling)應用領域含括資訊技術、建築及營建等範疇，故被視為營建管理應用中劃時代的改變。然而，BIM 無法提供施工過程中所需資源分配、時程規劃及資料管理等所需之全部資訊。

目前建築工程對於營建過程之資源分配及時程規劃多以經驗或過往工程資料為依據，更鮮少考慮空間參數或變因，即使專業人士也難以根據工程目標及工程限制條件精確計算出工程各工項之最佳資源與空間分佈，及其相關之最佳工程時程及工程成本。不同於傳統數值分析方法，離散事件模擬 DES(Discrete-Event Simulation)技術可被應用發展為模擬及分析營建過程之嶄新且功能強大之資源分配及時程規劃系統，該系統除了能依據建築工程人力限制、空間限制、成本限制、時程限制、材料限制及設備限制等個別工程不同限制提供較傳統數值分析方法更精準之資源分配及時程規劃外，亦能依據使用者不同工程目標（如：最低成本、最短工期或工期不超過特定期限之最低成本等）、工程限制（如：可提供之各工種數量、各類機具數量及空間等）或施工現場臨時突發狀況提供不同結果預測及風險性評估。

營建管理中最最基本，但也是最耗時及易產生人為錯誤的部分就是各類資料的輸入，及因應各種不同需求及不同形式的資料轉換、計算及報告輸出。由於營建管理的過程中涉及多種不同軟體，有些無法做資料的輸出，有些可做部分或全部資料的輸出，又可輸出的資料內容、格

式及單位等又大多無法完全符合其他不同軟體的輸入需求，因此使用者常常需耗費許多精力及時間在尋找不同軟體所需資料、轉換格式及單位、輸入及報告輸出。

綜上，本研究研提一結合 BIM、DES 及資料庫管理之建築工程營建管理策略藍圖，實際案例驗證則聚焦於研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能，並研訂如何自 BIM 匯出資料及使用資料格式，並經「工作分解結構及資料庫系統」依工項需求重新整合這些資料，供後續資源分配及時程規劃系統分析計算。

第二節 研究範圍

本研究針對建築工程施工階段營建管理研提一結合 BIM、DES 及資料庫管理之建築工程營建管理策略藍圖，實際案例驗證則聚焦於研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能，並研訂如何自 BIM 匯出資料及使用資料格式，並經「工作分解結構及資料庫系統」依工項需求重新整合這些資料，供後續資源分配及時程規劃系統分析計算。

第三節 研究流程

本研究擬蒐集及探討分析國內外包含 BIM、營建工程資源分配、營建工程主要影響參數、空間規劃、電腦數值模擬分析方法及 BIM 的建築資訊交換標準現況等相關文獻，並依文獻資料探討發展建築工程營建管理策略，供國內後續整體政策推動、方案擬訂及本所應用 BIM 中程個案計畫執行之參考。

另本研究以一 Autodesk Revit 軟體建置之 12 層樓高宿舍大樓之 BIM 模型為實際案例，研訂如何自 BIM 匯出資料及使用資料格式，並經自行研發之「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能依工項需求重新整合這些資料，供後續資源分配及時程規劃系統分析計算。研究流程詳列如下：

- 蒐集國內外相關文獻。
- 翻譯及探討分析國內外相關文獻。
- 依文獻資料探討發展建築工程營建管理策略。

- 實際案例驗證。

第二章 文獻回顧

第一節 BIM 相關應用文獻回顧

BIM 不僅提供關於數量、成本、時程及材料等可預測的資訊，也讓建構在結構及環境上的資料分析變成可能[1]。目前研究人員應用 BIM 於營建工程主要可分成兩種類型：(1)應用 3D (three-dimensional)幾何模型製作 4D (four-dimensional)模擬；(2) 應用例如 IFCs (Industry Foundation Classes)等通用格式發展兼容性支持模組。

4D 模擬相關研究主要聚焦於協助工程人員有效率的溝通協調工程流程、分析可能的時間－空間衝突、降低營建相關衝突，及施工流程的動態模擬。例如，Dawood et al.[2]發表一稱為 VIRCON (virtual construction site)的營建計畫決策支持系統。Tulke et al. [3] 發表一可自動產出營建時程並依營建時程動態模擬成本估算之協作架構。Chau et al. [4] 發表一稱為 4DSMM (4D site management model)的營建管理模型。Tulke and Hanff [5] 發表一 4D 模擬系統，該系統可自動連結建築模型的幾何資訊與營建時程，以利營建流程規劃。Migilinskas and Ustinovichius [6]發展一稱為 4D PLM 模型，該系統可協助工程管理。Wang et al. [7], Dawood, 及 Mallasi [8,9]研究 4D CAD 技術於工作空間及資源分配之應用。此外，4D CAD 觀念已被部分商用營建規劃軟體採用，例如 CommonPoint [10]、Synchro [11]、Autodesk Navisworks 及 Bentley Navigator。部分軟體則將「成本」工程資訊併入 4D 成為 5D，例如 VICO [12]及 Autodesk Navisworks。

使用 IFCs 發展兼容性支持模組的研究主要聚焦於 IFCs 資料結構或幾何資訊之兼容性或互通性應用，並於設計時程裡面同時考量某些工程參數之資訊[13–15]。

第二節 營建工程資源分配方法文獻回顧

傳統資源最佳化技術主要包含數學方法及啟發式方法。然而，數學模型由於公式複雜可能導致求得局部最佳解[35,36]。啟發式模型則是在不同情況下具有不同的有效性，因此無法適用於所有的工程案例。此外，使用者也無法針對給定的工程案例事先知道適用於何種啟發式模型。所以，啟發式模型無法保證獲得最佳解。啟發式模型不一致的解決方案已經導致商用工程管理軟體於資源調度功能間巨大分歧[37]。

第三節 營建工程主要影響參數文獻回顧

營建工程於工地現場使用各種不同形式的資源，包含材料、設備、人力、金錢、時間及空間[38]。營建工程可能會因為空間限制而無法如期完工[39]。營建工程之營建效率與人力數量、設備數量、材料數量、空間面積等參數息息相關，營建效率是工程完工時間之主要影響參數，人力成本、設備成本及材料成本為營建工程成本估算之基本要項[40]，故材料數量、設備數量、人力數量、空間面積、工程完工時間及工程成本各營建工程參數間相互影響，而工程完工時間與各工項網絡關係及施作時間所決定之施作要徑息息相關，各工項施作時間乃由材料數量、設備數量、人力數量、空間面積、人力效率及設備效率等參數決定，另提前完工可能導致工程成本增加，工程成本限制亦可能會影響工程完工時間。綜上，在各工項網絡關係、人力效率及設備效率無法變更之前提下，材料數量限制、設備數量限制、人力數量限制、空間面積限制、工程完工時間及工程成本限制為營建工程主要影響參數，且互為因果關係。

第四節 空間規劃文獻回顧

在計算機技術快速發展的過程中，由於施工過程複雜性的增加，近年來建築施工過程的模擬與分析越來越受到重視[41]。

啟發式、數值和遺傳演算法已經在數個研究案中被用於解決靜態空間規劃的問題(例如[42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55])。這些研究案所研訂之模型在整個施工工程期間為包含永久及臨時設施等資源靜態分配所需空間。然而，上述這些模型忽略工地現場可於不同時間依據當時不同資源需求動態重新分配資源所需空間。

於工程施工過程之不同時段為資源規劃不同空間分配被稱為動態空間規劃。動態空間規劃的需求已於近年逐漸受到重視[46,56]。

第五節 電腦數值模擬分析方法文獻回顧

電腦數值模擬分析是為真實系統設計一數學邏輯模型並在電腦上對該模型進行實驗的過程[35]。過程模擬的目標涵蓋生產力提升、風險分析、資源分配和現場規劃等範圍。經由對構成該過程之活動本身及活動間順序關係精確表示於模型中，建模者可以預估該過程最後成果的相關資訊和於某特定時間內完成該過程的機率。由於營建工程所需資源包括笨重且昂貴的設備，

透過電腦數值模擬分析可以檢視各種可能的資源動態空間規劃選項，並從中挑選出最佳的資源動態空間規劃。施工建模需要使用各模型所定義的建模元素來表達及組成施工過程。電腦數值模擬分析可應用於動態性模擬分析施工過程隨時間產生的變化。

電腦數值模擬分析是於施工管理過程中協助使用者做決策分析的利器之一。精確建立施工過程模型後，可利用電腦數值模擬分析出較佳的替代方案及優化相關資源的動態空間規劃。然而，在建築業中應用電腦數值模擬分析技術於施工管理的案例幾乎很難找到，主要原因為電腦數值模擬分析技術的複雜性和建築業人員缺乏該技術的相關知識，另一個可能的原因為需要針對不同的營建管理目標開發不同的電腦數值模擬模型。由於通常不同的工程會有不同的工項及工項間網絡關係，導致不同的工程需要使用不同的電腦數值模擬模型。另外，目前工程管理一般皆使用要徑法（Critical Path Method，CPM）技術做排程、時程控制，然而應用要徑法技術的電腦軟體與應用電腦數值模擬技術的電腦軟體間並不相容，因此想同時應用這兩種技術仍存在一個很大的技術門檻，也導致幾乎很難找到應用電腦數值模擬分析技術於建築業施工管理做排程、時程控制的案例。

綜上，開發一與實際建築工程施工管理系統有極高相似性、可視覺化，且可靈活應用於不同工程與適用於不同施工管理目標的電腦數值模擬分析系統，將是把電腦數值模擬分析技術轉移到施工管理實際應用層面一個很好的策略。

第六節 BIM 的建築資訊交換標準文獻回顧

建築工程於規劃、設計、施工、維護管理等生命週期各階段會有不同的專業團體(如建築設計、結構設計、機電設計、暖通空調系統設計、專案進度控管等)共同參與，不同的專業團體常使用各自領域不同的軟體，但建築工程生命週期各階段標的常須經由各專業團體協調合作才能順利完成，而協調合作的過程就涉及各專業團體間不同專業領域的資訊交換及整合，資訊交換及整合最有效率且可避免人為錯誤的方式莫過於各專業領域軟體間的資訊交換及整合，但不同軟體有各自不同的資訊格式，所以須要制定 BIM 的建築資訊交換標準，以利建築工程生命週期各階段各專業領域資訊皆能持續被充分運用及整合。

目前較普遍的資訊交換格式為工業基礎類別 (Industry Foundation Classes, IFC)及施工營運建築資訊交換(Construction Operations Building information exchange, COBie)，分述如下：

1. 工業基礎類別 (IFC)

IFC 是由國際組織 buildingSMART (早先稱為 IAI) 發展的一套供建築業不同軟體間做資訊交換及整合的建築資訊交換標準。為了供不同軟體應用，IFC 的檔案格式包含.ifc、.ifcXML 及.ifcZIP。

2. 施工營運建築資訊交換(COBie)

COBie 是由美國陸軍工兵單位發展的一套可供工程業主應用於營運階段做設施維護管理使用的建築資訊交換標準，希望工程於規劃設計階段、施工階段、維護管理階段等全生命週期持續記錄及收集包括聯絡人、設施、樓層、空間、分區、資源、備品、文件.....等重要資訊，供營運階段做設施維護管理使用。

美國 BIM 國家標準 NBIMS (United States-National Building Information Modeling Standard) 自 2007 年 12 月起即將 COBie 納為國家標準，英國政府則要求政府公共工程廠商自 2016 年起須於工程竣工時交付工程 COBie 檔案，且 BIM 主流建模軟體（如 Autodesk Revit、Bentley AECOsim、Tekla 及 Grapgisoft ArchiCAD 等）、營建專案管理軟體(如 4Projects、Constructivity、Project blueprint 等)及設施管理軟體(如 ARCHIBUS、EcoDomus FM、FM:System、Onuma 等)亦相繼發展可支援 COBie 的功能或工具，使工程於規劃設計階段、施工階段、維護管理階段等全生命週期可用 COBie 串聯、持續記錄及收集各階段重要資訊(如空間、設備等)。

第三章 應用 BIM 於建築工程之資源分配及時程規劃策略

第一節 應用 BIM 於建築工程自動化之資源分配、時程規劃及營建管理整合系統架構

目前，建築工程從設計階段到施工階段的大部分資訊傳輸過程都是人工進行的，且對於大部分施工作業都是重複的。這種重複來自於不同的施工作業需要不同類型的資訊，且所需資訊詳細程度也都不同。人工進行資訊傳輸作業有許多缺點，主要的缺點詳列如下[23,24,25,26]：

- 這是許多錯誤的潛在來源。
- 這些錯誤通常僅在某一施工元件建立後才會發現，從而因為重複工作及超過計畫時程而導致額外的成本以及可能的損失。
- 人工資訊處理的成本很高，因為它們是用來支付給業內薪資昂貴的員工 - 工程師。
- 那些為配合不同使用目的而人工整理出的不同格式資訊，由於在不同時間由不同參與者處理，很可能因為彼此間資訊不相容而導致很大的資訊交流問題。
- 通常從初步設計完成到現場開始施工皆經歷了相當漫長的時間，這延遲的原因常是由設計過程、資料擷取過程和資料傳輸過程引起的。

由於對人工資訊傳輸作業的不滿，營建業逐漸產生了電腦整合建設(computer-integrated construction, CIC) 的理念。Bjork 指出 CIC 的關鍵因素是藉由建築物全生命週期不同電腦應用軟體間數位資料的轉換而達到不同電腦應用軟體整合的目的[27]。Warszawski 描述一個自動化過程，首先是以業主的要求作為輸入，並產生初步、詳細的設計及施工計劃[28]。

Choi 和 Ibbs 曾對各建築研究所組織成員進行調查研究，以確定設計階段和施工階段在電腦自動化應用的趨勢和現狀[29]。研究報告確認以下領域能改善設計和施工作業：設計與製圖不同領域的整合、數值分析系統與 CAD 之間的整合、材料管理的整合。

目前的電腦應用軟體整合控制系統有以下一個或多個缺點[30,31]：

- 手動資料收集/輸入
- 缺乏整合工程管理系統的一些重要功能，如預測績效，分析變化，及建議修正措施
- 系統不靈活及無法與其他系統互通

- 資料共享困難
- 方案計劃及設計只針對有限領域中的有限參數進行優化
- 建模及規劃未能有效地將生命週期各方面都納入考慮

本章節依據上述缺點研提一應用 BIM 於建築工程自動化之資源分配、時程規劃、營建管理及資料庫管理之整合系統架構，此架構涵蓋四個主要部分：(1) 3D BIM 模型；(2) 工作分解結構及資料庫系統；(3) 資源分配及時程規劃系統；(4) 多維度 BIM 模型產生器。此架構內容包含如何從 BIM 模型獲取適當檔案格式之 BIM 元件資訊、於資源分配及時程規劃系統自行設定工程目標及工程限制條件，透過系統自動發展出近乎最佳的資源分配、時程規劃及營建管理計劃，並讓工程管理人員能藉由檢視動態多維度 BIM 模型了解工程狀況，並執行風險性分析及資料庫自動化管理。此架構能幫助管理人員預測未來任何時段的工程執行率，並提供突發狀況對工程造成衝擊影響完整預測資料。一旦 BIM 模型設計、工程資源、工程目標或工程限制條件發生變化，工程管理人員也將即時獲得包含資源分配、時程規劃、營建管理、資料庫管理及多維度 BIM 模型等相關更新資料。因此，管理者可以在突發狀況發生後立即採取修正措施，並減輕對正在進行工程的潛在損害。

此架構藉由 BIM 及綜合方法（Integrated Approach）提供 BIM、資源分配、時程規劃及營建管理等不同功能需求一高效率整合應用，並具有減少人為錯誤、提高資料傳輸效率、與其他系統互通性、系統可重複應用性、靈活性和高效率等優點。

1. 用於架構開發的工具和概念

為了讓讀者對上述架構有較具體的概念，本章節將介紹在開發上述架構中所使用的工具和概念。

1.1 BIM 及綜合方法

BIM 如同一共享知識的資源，並允許使用者在虛擬建築模型與其他工程元素(如:結構、機電.....)之間建立功能關係。虛擬建築模型一旦有任何改變，這建築工程的所有相關資訊也會自動配合更新。在最簡單的應用層面上，BIM 工具讓不同用戶可以藉由對建築物作品較佳的視覺了解，實現用戶之間的協同合作。然而，如果合作夥伴不僅可以在視覺上分享其模型，還可以在直接分析、編輯和開發等不同應用上分享其模型，那麼用戶之間的協同合作成效將大為提升 [15]。

綜合方法是建築建模、協同設計及綜合項目交付的新興技術，這是一種應用資訊科技

(Information Technology, IT)的方法，其基本上涉及創建一虛擬建築模型、應用及維護工程生命週期不同階段所有參數所定義的圖形及非圖形資訊的整體數位成果。

1.2 自動資料獲得(Automatic Data Capturing , ADC)

自動資料獲得是關於無須敲打電腦鍵盤就可將資料輸入的技術。資料可以藉由這技術自動獲得，無需人為操作。自動資料獲得的優點包括降低成本、提高準確性，並激勵研究人員利用它進行即時資料收集。此架構應用自動資料獲得來獲得從 BIM 工具產生的數量、空間等資料，並將整合後的資料轉移到數值模擬模型。

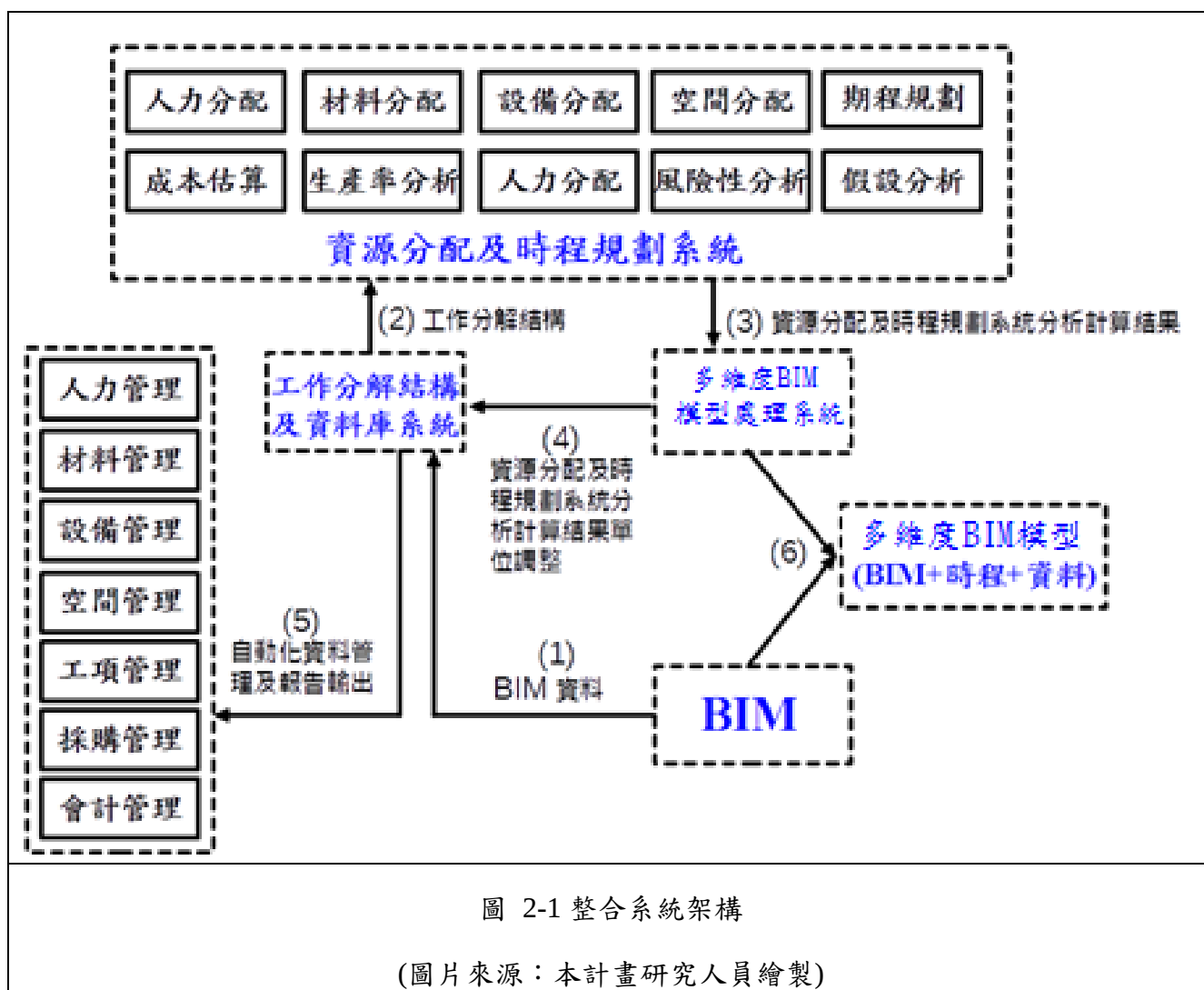
1.3 電腦數值模擬

電腦數值模擬是經由設計一真實系統的數學模型並在電腦上對該模型進行實驗的過程。電腦數值模擬可以在滿足建築工程施工過程的隨機性質、資源驅動特性及各影響因素相互動態影響等特性下模擬建築工程施工過程。由於電腦數值模擬具有模擬複雜系統的優異性能，使其成為建築工程經理常用的決策輔助工具[30]。

2. 整合系統架構

良好的資源分配、時程規劃及營建管理、資料庫管理對於建築工程至關重要，並可以節省下大量的時間和金錢。因此，可靠的資源分配、時程規劃、營建管理及資料庫管理工具對於工程管理人員是否能及時做出正確的決策影響重大。此架構提出了一個自動化和整合的資源分配、時程規劃、營建管理及資料庫管理系統，將協助工程管理人員與參與相同工程的其他單位進行協同合作，有效執行資源分配、時程規劃、營建管理及資料庫管理。

此架構涵蓋四個主要部分：(1) 3D BIM 模型；(2) 工作分解結構及資料庫系統；(3) 資源分配及時程規劃系統；(4) 多維度 BIM 模型產生器。此架構詳如圖 2-1，並簡述如下：



2.1. 3D BIM 模型

因 3D BIM 模型本身即擁有模型元件及其他基本資料(例如：元件代號、種類、面積、體積、材料、空間面積.....等)，所以 BIM 模型在此架構中的角色即為模型元件資料中心，這些元件資料經過「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能彙整後即可提供「資源分配及時程規劃系統」各工項數量、空間等基本運算資料。另外，藉由「多維度 BIM 模型產生器」，3D BIM 模型可與「資源分配及時程規劃系統」運算產出結果整合展現動態之多維度 BIM 模型 (3D+時間+資料)。

2.2. 工作分解結構及資料庫系統

2.2.1. 工作分解結構

3D BIM 模型本身即擁有模型元件各項基本資料，但是這些元件各項基本資料無法直接對應到各工項，必須經由「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能彙整出各工項數量、

空間等基本運算資料，始可供「資源分配及時程規劃系統」計算分析。

2.2.2. 資料庫

資料準備是營建管理過程中非常重要的工作之一，並且是最耗時間及最困難的工作之一。「工作分解結構及資料庫系統」於此架構的另一功能為依據不同資料整理需求(例如：人員管理、設備管理、材料管理、工項管理、採購管理、會計管理等)自「資源分配及時程規劃系統」收集分析計算結果資料，經由「多維度 BIM 模型產生器」做計算結果單位調整後，依據不同資料整理需求加以萃取、分析、重組所需資料。

2.2.3. 流程

「工作分解結構及資料庫系統」匯入 3D BIM 模型元件基本資料後，經工作分解結構功能彙整出各工項數量、空間等基本運算資料，再提供「資源分配及時程規劃系統」計算分析，計算分析結果資料經由「多維度 BIM 模型產生器」做單位調整後，依據不同資料整理需求加以萃取、分析、重組所需資料。此外，因「工作分解結構及資料庫系統」與「資源分配及時程規劃系統」連動，故可自動更新資料，並可自動產製報告。建築工程管理人員藉由「工作分解結構及資料庫系統」，可非常有效率整理分析大量的建築工程資料。

2.3. 資源分配及時程規劃系統

因 3D BIM 模型本身並未包含任何施工順序相關資訊，所以需要一工項時程規劃系統提供工項排程功能。傳統工項時程規劃系統決定各工項所需時間時常靠經驗或過往工程資料估計，然而每個工程都有其不同的工程條件(例如：工班數量、機具數量、材料數量、施工範圍、受限不同施工環境之不同施工效率等)及不同最佳化目標(例如：最短施工時間、最低施工成本、有施工時間限制之最低施工成本等)，經驗或過往工程資料無法保證能適用於新的工程。

另外，傳統資源最佳化技術主要包括數學方法和啟發式方法。然而，數學模型由於公式複雜可能導致求得局部最佳解[35,36]。啟發式模型則是在不同情況下具有不同的有效性，因此無法適用於所有的工程案例。此外，使用者也無法針對給定的工程案例事先知道適用於何種啟發式模型。所以，啟發式模型無法保證獲得最佳解。啟發式模型不一致的解決方案已經導致商用工程管理軟體於資源調度功能間巨大分歧[37]。

「資源分配及時程規劃系統」之各工項所需時間，並非如傳統靠經驗或既有資料判斷訂定，而是在不同的工程條件及不同最佳化目標下，經由數值模擬分析各工項數量及可能之工班組合生產率計算而得，各工項數量是經由 3D BIM 模型匯出元件基本資料至「工作分解結構及資料庫系統」，再由「工作分解結構及資料庫系統」彙整出各工項數量供「資源分配及時程規劃系統」

計算分析。

「資源分配及時程規劃系統」應用數值模擬分析技術，針對建築工程設計一數學邏輯模型，在電腦上對該模型進行工程模擬分析，並依據各工程不同的工程條件及不同最佳化目標，計算分析出各工項較佳資源分配及時程規劃。數值模擬分析技術不僅可突破傳統資源分配及時程規劃技術的使用限制(例如:無法設定工程條件及最佳化目標、工項施工時間僅能靠經驗或過往工程資料估計等)，也可避免求得局部最佳解。

此外，使用者可應用「資源分配及時程規劃系統」依不同假設狀況(例如:工程提早 1 星期完工須增加多少工程成本)做假設分析，並配合工地突發狀況(例如：變更設計、材料運送延誤等)自動調整各工項資源分配及時程規劃，讓工程管理人員可立即依據調整後資料採取修正措施，並減輕對正在進行工程的潛在損害。

2.4. 多維度 BIM 模型產生器

在近期營建管理的發展上，3D-CAD 電腦模式在營建管理的設計階段提供革命性的進展，讓設計者能有如身歷其境般檢視修改其龐大複雜的設計內容，也能以此電腦模式輕易與一般無建築概念的人溝通設計內容；其後，Koo and Fischer (2000)研究指出 4D-CAD 電腦模式(3D 的模式與時間結合之特性)較傳統的桿狀圖(Bar chart)更能幫助專案團隊定義問題。在規劃設計階段，4D-CAD 可幫助使用者清楚的了解施工流程及發現可能遭遇之問題；在施工階段，4D-CAD 可幫助使用者管控施工進度。

然而，4D-CAD 只能模擬營建過程的影像變化，使用者無法掌握每一工項背後所隱含的資訊（如施作物件的尺寸、材料；所需物料、人員、機具、空間及起迄時間等），也因此無法幫助使用者做精確的分析及管理，所以「多維度 BIM 模型產生器」針對上述 4D-CAD 電腦軟體不足處提出改善策略，允許使用者檢視施工流程之動態多維度資料- 多維度 BIM 模型(BIM+時程+資料)。「多維度 BIM 模型產生器」連結 3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」之資源分配及時程規劃等模擬運算結果，允許使用者在電腦上觀看施工流程時，可從另一動態視窗同時檢視正在施作的工項名稱、工項總施作時間、工項開始施作日期、工項施作完成日期、工項花費成本、工項所需資源名稱及數量等資料。如此，使用者不僅能掌握 4D-CAD 影像中正在施作的工項為何，也能輕鬆掌握相關重要資訊。此外，因「多維度 BIM 模型產生器」已設定連結 3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」，3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」任何變更皆能立即反映在多維度 BIM 模型動態資料，避免人為輸入錯誤及提高效率。

第二節 BIM 傳輸資料至資源分配及時程規劃系統策略

3D BIM 模型元件及其他基本資料(例如：元件代號、種類、面積、體積、材料、空間面積等資料)須經過「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能彙整後，才可與「資源分配及時程規劃系統」各工項相關參數連結，並做後續模擬分析計算，本研究計畫開發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能及研訂二種不同方式的細部執行策略供讀者參考，各方式的主要執行步驟詳述如下：

1. 方式一：自 Cobie 格式檔案匯出 BIM 模型資料

1.1 3D BIM 模型匯出 IFC 格式檔案

Revit 為目前市面上 BIM 主流軟體之一，本研究計畫採用 Autodesk Revit 為 3D BIM 建模軟體，並於下一章節以一 12 層樓學生宿舍為實作案例說明。Revit 匯出 3D BIM 模型 IFC 格式檔案，可以 Revit 既有「匯出 IFC 檔案」功能操作。

1.2 3D BIM 模型 IFC 格式檔案轉成 COBie 格式檔案

Revit 匯出 COBie 格式檔案方式有二，第一種方式為使用 Revit 增益集「COBie Extension」直接匯出 COBie 格式檔案，第二種方式為使用第三方軟體將上述 IFC 格式檔案轉成 COBie 格式檔案。

使用 Revit 增益集「COBie Extension」直接匯出 COBie 格式檔案的優點「在於因為 COBie 專屬欄位是直接對應 COBie 所產生，所以資料可以完整的被移轉至 COBie，不易丟失」[57]，主要缺點包含：(1)「若非在建立 BIM 模型前就先導入 COBie Extension，並將其資料都填寫在 COBie 專用欄位上，COBie Extension 所產出的 COBie 檔案會有相當多的欄位是處於空白的狀態。」；(2)「COBie Extension 並非開放式的資源，只有原開發商能對程式進行變更設定.....，使用者則是只能照著 COBie Extension 已經設定好的選項去進行設定，無法自行再修改成客製化的增益集.....因為在許多的情況中，設計團隊、營建團隊、營運團隊彼此之間是相互獨立的，不一定能在建模階段就導入 COBie Extension，因此非但不能發揮 COBie Extension 的優點，反而還會增加營運團隊重新操作 Revit 填寫資料的工作量。」[57]。

為擴大應用廣度及深度，本研究計畫方式一採用從 BIM 模型匯出 IFC 格式檔案，再使用第三方軟體 xBIM Xplorer 將上述 IFC 格式檔案轉成 COBie 格式檔案。xBIM Xplorer 為一免費開放式軟體，可供使用者用其「COBie-Export」功能匯出 COBie 格式檔案。

1.3 3D BIM 模型 COBie 格式檔案資料依工作分解結構重新整合

3D BIM 模型 COBie 格式檔案資料是從 3D BIM 模型直接或間接匯出，而 3D BIM 模型是設計者或模型建置者依其個人角度建置，並未依施工工項做分類及重組，因此 3D BIM 模型 COBie 格式檔案資料無法直接對應到各工項，本研究計畫研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能，將 3D BIM 模型 COBie 格式檔案資料依施工工項做分類及重組，以利後續「資源分配及時程規劃系統」計算分析。

2. 方式二：自 Excel 格式檔案匯出 BIM 模型明細表資料

Revit 於使用者建立所需明細表後，可以 Revit 既有「匯出明細表」功能操作，匯出 3D BIM 模型明細表資料，本研究計畫介紹如何存成 Excel 格式檔案，並應用「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能，將該 Excel 格式檔案資料依工作分解結構重新整合。

第四章 實作驗證- 宿舍大樓

3D BIM 模型元件及其他基本資料(例如：元件代號、種類、面積、體積、材料、空間面積.....等)須經過「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能彙整後，才可與「資源分配及時程規劃系統」各工項相關參數連結，並做後續模擬分析計算，本研究計畫開發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能及研訂二種不同方式的細部執行策略，並以一宿舍大樓為案例進行操作。

第一節 方式一操作方法說明

本方式(自 Cobie 格式檔案匯出 BIM 模型資料)案例操作包含下列步驟：

- 自宿舍大樓 3D BIM 模型匯出 IFC 格式檔案
- 3D BIM 模型 IFC 格式檔案轉成 COBie 格式檔案
- 研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能
- 3D BIM 模型 COBie 格式檔案資料依工作分解結構重新整合

第二節 方式一之匯出及重新整合 3D BIM 模型資料供後續做資源分配及時程規劃之流程

- 步驟一：自宿舍大樓 3D BIM 模型匯出 IFC 格式檔案

以 Autodesk Revit 開啟宿舍大樓 3D BIM 模型，點選 Revit 操作介面左上角「R」圖示後，點選「匯出」選項內的「IFC」次選項，即可匯出 3D BIM 模型 IFC 格式檔案，如圖 4-1 所示。

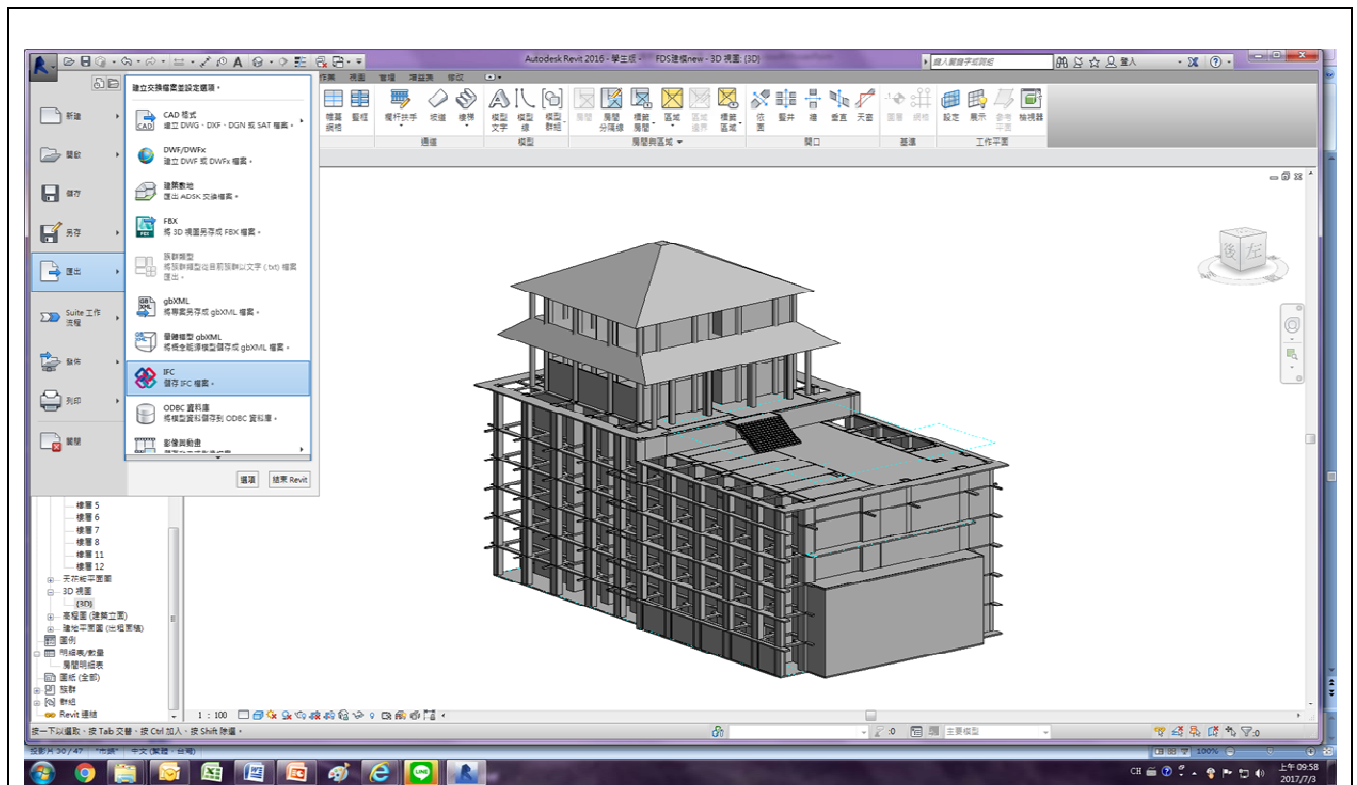


圖 4-1 自宿舍大樓 3D BIM 模型匯出 IFC 格式檔案

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

- 步驟二：3D BIM 模型 IFC 格式檔案轉成 COBie 格式檔案

下載安裝第三方免費開放式軟體 xBIM Xplorer 後，在 xBIM Xplorer 操作介面功能表中點選「Model」選項並載入步驟一匯出之 IFC 格式檔案，再點選「COBie」選項內的「Export」次選項(如圖 4-2 所示)，即可將 3D BIM 模型 IFC 格式檔案轉成 COBie 格式檔案，如圖 4-3 所示。

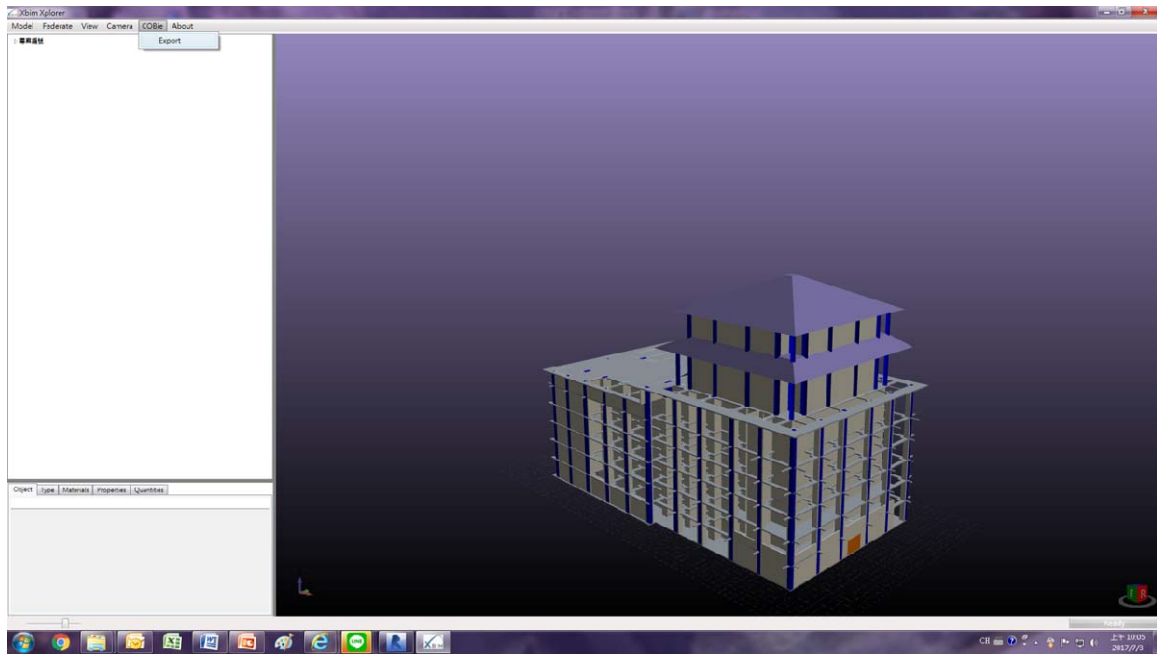


圖 4-2 使用 xBIM Xplorer 將 3D BIM 模型 IFC 格式檔案轉成 COBie 格式檔案

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

Microsoft Excel - tmpF33D_COBIE_20170713全部樓層.xls

FileEditViewInsertFormatToolsDataWindowHelp

<

圖 4-3 3D BIM 模型 COBie 格式檔案

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

- 步驟三：研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能

由於 3D BIM 模型是設計者或模型建置者依其個人角度建置，因此從 3D BIM 模型直接或間接匯出之 COBie 格式檔案資料無法直接對應到各工項，也無法直接被任何排程軟體所應用，本研究計畫針對此需求，以 Microsoft Access 軟體研發「工作分解結構及資料庫系統」(如圖 4-4 所示)工作分解結構功能，將 3D BIM 模型 COBie 格式檔案資料依施工工項做分類及重組，以利後續供「資源分配及時程規劃系統」計算分析或其他建築工程排程軟體排程利用。

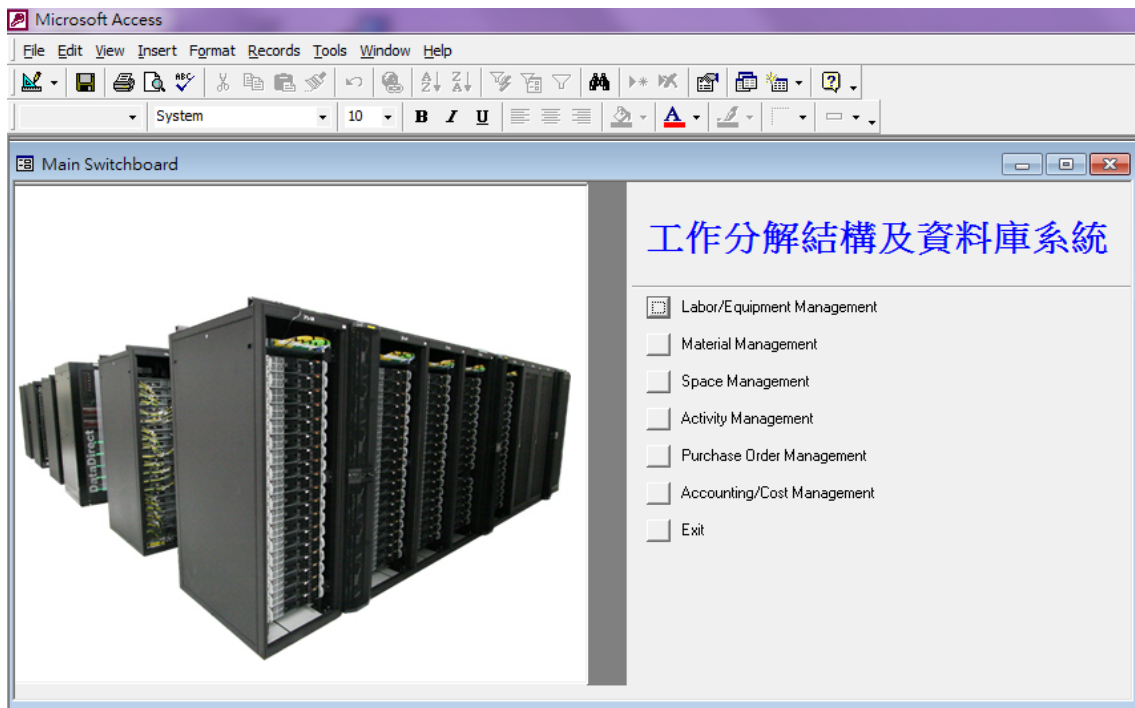


圖 4-4 「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能

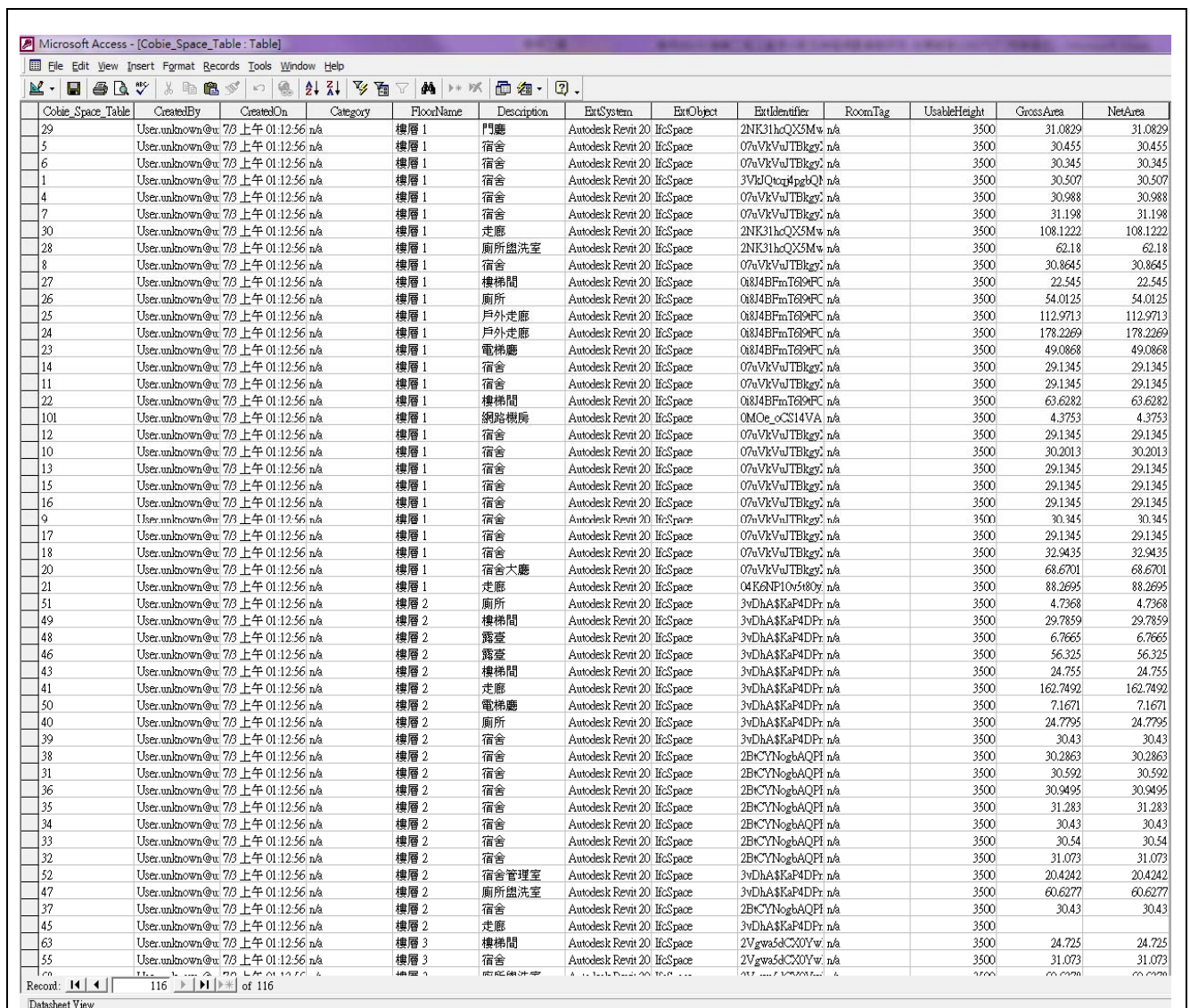
(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

- 步驟四：3D BIM 模型 COBie 格式檔案資料依工作分解結構重新整合

應用「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能，將宿舍大樓 3D BIM 模型 COBie 格式檔案資料，依施工工項做分類及重組步驟如下：

- (1) 擷取 3D BIM 模型 COBie 格式檔案中所需之不同頁籤(類別)資料至「工作分解結構及資料庫系統」，並分別建置不同類別資料表，如圖 4-5 所示。
- (2) 自所建置之不同類別資料表截取各工項所需資料，並調整資料欄位名稱，如圖 4-6 所示。

- (3) 建構 3D BIM 模型元件與工項物件(由數個元件組成)對應關係資料表，如圖 4-7 所示。
- (4) 建構 3D BIM 模型物件與工項 (由數個物件組成)對應關係資料表，如圖 4-8 所示。
- (5) 建構工項資訊資料表，如圖 4-9 所示。
- (6) 設定(2)、(3)、(4)、(5)各資料表連結對應關係，如圖 4-10 所示。
- (7) 依類別需求彙整出各工項所需 3D BIM 模型資料，以利後續供「資源分配及時程規劃系統」計算分析或其他建築工程排程軟體排程利用，如圖 4-11 所示。



Cobie_Space_Table	CreatedBy	CreatedOn	Category	FloorName	Description	ExtSystem	ExtObject	ExtIdentifier	RoomTag	UsableHeight	GrossArea	NetArea
29	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	門廳	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2NK31hcQX5Mw	n/a	3500	31.0829	31.0829
5	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	30.455	30.455
6	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	30.345	30.345
1	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3VdQucqHpgbQh	n/a	3500	30.507	30.507
4	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	30.988	30.988
7	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	31.198	31.198
30	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	走廊	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2NK31hcQX5Mw	n/a	3500	108.1222	108.1222
28	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	廁所盥洗室	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2NK31hcQX5Mw	n/a	3500	62.18	62.18
8	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	30.8645	30.8645
27	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	樓梯間	Autodesk Revit 20	lfcSpace	08I4BFmT694FC	n/a	3500	22.545	22.545
26	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	廁所	Autodesk Revit 20	lfcSpace	08I4BFmT694FC	n/a	3500	54.0125	54.0125
25	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	戶外走廊	Autodesk Revit 20	lfcSpace	08I4BFmT694FC	n/a	3500	112.9713	112.9713
24	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	戶外走廊	Autodesk Revit 20	lfcSpace	08I4BFmT694FC	n/a	3500	178.2269	178.2269
23	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	電梯廳	Autodesk Revit 20	lfcSpace	08I4BFmT694FC	n/a	3500	49.0868	49.0868
14	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	29.1345	29.1345
11	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	29.1345	29.1345
22	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	樓梯間	Autodesk Revit 20	lfcSpace	08I4BFmT694FC	n/a	3500	63.6282	63.6282
101	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	網路機房	Autodesk Revit 20	lfcSpace	0M0e_oCS14VA	n/a	3500	4.3753	4.3753
12	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	29.1345	29.1345
10	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	30.2013	30.2013
13	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	29.1345	29.1345
15	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	29.1345	29.1345
16	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	29.1345	29.1345
9	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	30.345	30.345
17	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	29.1345	29.1345
18	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	32.9435	32.9435
20	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	宿舍大廳	Autodesk Revit 20	lfcSpace	07wVKVuTBkgg	n/a	3500	68.6701	68.6701
21	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 1	走廊	Autodesk Revit 20	lfcSpace	04KGNP1ov5t80y	n/a	3500	88.2695	88.2695
51	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	廁所	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	4.7368	4.7368
49	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	樓梯間	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	29.7859	29.7859
48	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	露臺	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	6.7665	6.7665
46	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	露臺	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	56.325	56.325
43	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	樓梯間	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	24.755	24.755
41	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	走廊	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	162.7492	162.7492
50	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	電梯廳	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	7.1671	7.1671
40	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	廁所	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	24.7795	24.7795
39	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	30.43	30.43
38	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2BkCYNogbAQFI	n/a	3500	30.2863	30.2863
31	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2BkCYNogbAQFI	n/a	3500	30.592	30.592
36	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2BkCYNogbAQFI	n/a	3500	30.9495	30.9495
35	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2BkCYNogbAQFI	n/a	3500	31.283	31.283
34	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2BkCYNogbAQFI	n/a	3500	30.43	30.43
33	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2BkCYNogbAQFI	n/a	3500	30.54	30.54
32	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2BkCYNogbAQFI	n/a	3500	31.073	31.073
52	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍管理室	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	20.4242	20.4242
47	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	廁所盥洗室	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500	60.6277	60.6277
37	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2BkCYNogbAQFI	n/a	3500	30.43	30.43
45	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 2	走廊	Autodesk Revit 20	lfcSpace	3vDhA\$KaP4DPr	n/a	3500		
63	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 3	樓梯間	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2Vgwa5dCXX0Yw	n/a	3500	24.725	24.725
55	User:unknown@u	7/3 上午 01:12:56	n/a	樓層 3	宿舍	Autodesk Revit 20	lfcSpace	2Vgwa5dCXX0Yw	n/a	3500	31.073	31.073

圖 4-5 擷取 3D BIM 模型資料至「工作分解結構及資料庫系統」

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

Microsoft Access - [Cobie_Space_Adjust_Table : Table]

File Edit View Insert Format Records Tools Window Help

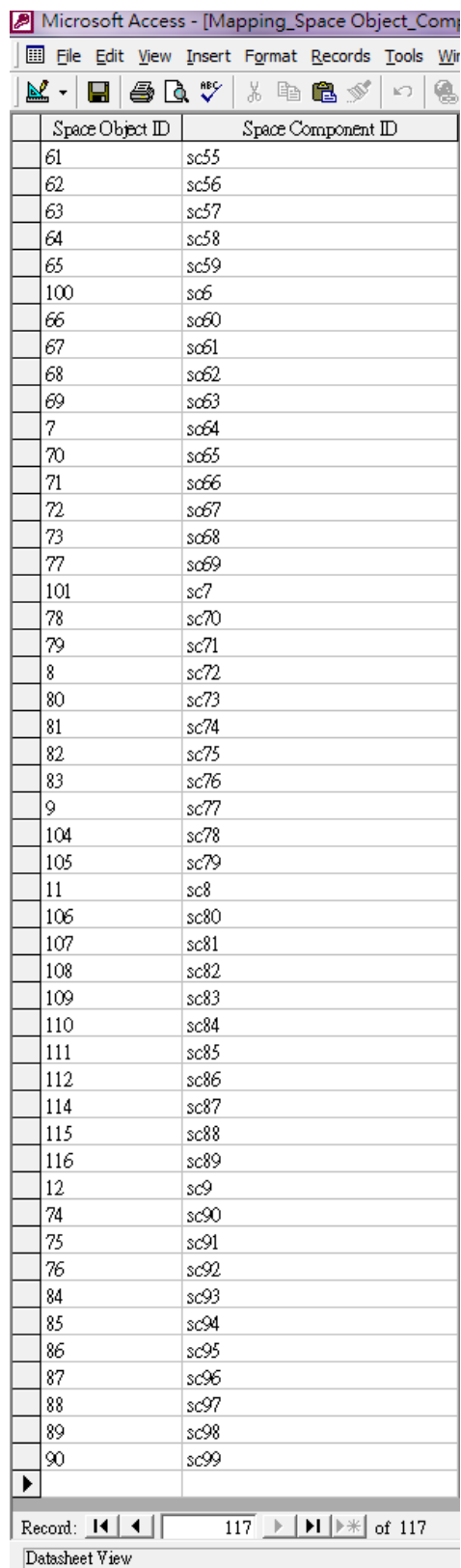
Cobie_Space_ID	Floor Name	Description	Usable Height	Net Area
29	樓層 1	門廳	3500	31.0829
5	樓層 1	宿舍	3500	30.455
6	樓層 1	宿舍	3500	30.345
1	樓層 1	宿舍	3500	30.507
4	樓層 1	宿舍	3500	30.988
7	樓層 1	宿舍	3500	31.198
30	樓層 1	走廊	3500	108.1222
28	樓層 1	廁所盥洗室	3500	62.18
8	樓層 1	宿舍	3500	30.8645
27	樓層 1	樓梯間	3500	22.545
26	樓層 1	廁所	3500	54.0125
25	樓層 1	戶外走廊	3500	112.9713
24	樓層 1	戶外走廊	3500	178.2269
23	樓層 1	電梯廳	3500	49.0868
14	樓層 1	宿舍	3500	29.1345
11	樓層 1	宿舍	3500	29.1345
22	樓層 1	樓梯間	3500	63.6282
101	樓層 1	網路機房	3500	4.3753
12	樓層 1	宿舍	3500	29.1345
10	樓層 1	宿舍	3500	30.2013
13	樓層 1	宿舍	3500	29.1345
15	樓層 1	宿舍	3500	29.1345
16	樓層 1	宿舍	3500	29.1345
9	樓層 1	宿舍	3500	30.345
17	樓層 1	宿舍	3500	29.1345
18	樓層 1	宿舍	3500	32.9435
20	樓層 1	宿舍大廳	3500	68.6701
21	樓層 1	走廊	3500	88.2695
51	樓層 2	廁所	3500	4.7368
49	樓層 2	樓梯間	3500	29.7859
48	樓層 2	露臺	3500	6.7665
46	樓層 2	露臺	3500	56.325
43	樓層 2	樓梯間	3500	24.755
41	樓層 2	走廊	3500	162.7492
50	樓層 2	電梯廳	3500	7.1671
40	樓層 2	廁所	3500	24.7795
39	樓層 2	宿舍	3500	30.43
38	樓層 2	宿舍	3500	30.2863
31	樓層 2	宿舍	3500	30.592
36	樓層 2	宿舍	3500	30.9495
35	樓層 2	宿舍	3500	31.283
34	樓層 2	宿舍	3500	30.43
33	樓層 2	宿舍	3500	30.54
32	樓層 2	宿舍	3500	31.073
52	樓層 2	宿舍管理室	3500	20.4242
47	樓層 2	廁所盥洗室	3500	60.6277
37	樓層 2	宿舍	3500	30.43
45	樓層 2	走廊	3500	
63	樓層 3	樓梯間	3500	24.725
55	樓層 3	宿舍	3500	31.073
60	樓層 3	廁所盥洗室	3500	60.6277

Record: 116 of 116

Datasheet View

圖 4-6 自所建置之不同類別資料表截取各工項所需資料，並調整資料欄位名稱

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)



Space Object ID	Space Component ID
61	sc55
62	sc56
63	sc57
64	sc58
65	sc59
100	sc6
66	sc60
67	sc61
68	sc62
69	sc63
7	sc64
70	sc65
71	sc66
72	sc67
73	sc68
77	sc69
101	sc7
78	sc70
79	sc71
8	sc72
80	sc73
81	sc74
82	sc75
83	sc76
9	sc77
104	sc78
105	sc79
11	sc8
106	sc80
107	sc81
108	sc82
109	sc83
110	sc84
111	sc85
112	sc86
114	sc87
115	sc88
116	sc89
12	sc9
74	sc90
75	sc91
76	sc92
84	sc93
85	sc94
86	sc95
87	sc96
88	sc97
89	sc98
90	sc99

圖 4-7 建構 3D BIM 模型元件與工項物件(由數個元件組成)對應關係資料表

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

Microsoft Access - [Mapping_Space Component]

File Edit View Insert Format Records Tools Win

Space Component ID	Activity ID
sc1	29
sc10	13
sc100	91
sc101	92
sc102	93
sc103	94
sc104	95
sc105	97
sc106	98
sc107	99
sc108	117
sc109	118
sc11	14
sc110	119
sc111	120
sc112	121
sc113	122
sc114	113
sc115	123
sc116	113
sc12	15
sc13	16
sc14	17
sc15	18
sc16	20
sc17	21
sc18	22
sc19	23
sc2	5
sc20	24
sc21	25
sc22	26
sc23	27
sc24	28
sc25	30
sc26	31
sc27	32
sc28	33
sc29	34
sc3	6
sc30	35
sc31	36
sc32	37
sc33	38
sc34	39
sc35	4
sc36	40
sc37	41
sc38	43
sc39	45
...	...

Record: 117 of 117

Datasheet View

圖 4-8 建構 3D BIM 模型物件與工項 (由數個物件組成)對應關係資料表

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

Microsoft Access - [Activity Information_Table: Table]							
File Edit View Insert Format Records Tools Window Help							
Activity ID	Activity Description	Start Time	Finish Time	Duration	Activity Budget Cost	% Complete	
1	抽水，臨時排水，箱涵用						
10	圓形推進坑(D=2.0M,平均挖深4M)						
101	D=300MM短管推進施工費						
11	預鑄人孔(D=1.5M,平均埋深6M)						
111	夾層樓地板混凝土澆置						
12	D=400MM短管推進施工費						
121	第1層樓地板混凝土澆置						
13	圓形推進坑(D=2.0M,平均挖深6M)						
131	第2層樓地板混凝土澆置						
14	鋼筋混凝土擋土牆，平均高2M						
141	第3層樓地板混凝土澆置						
15	圓形到達坑(D=1.5M,平均挖深4M)						
151	第4層樓地板混凝土澆置						
16	圓形到達坑(D=1.5M,平均挖深6M)						
161	第5層樓地板混凝土澆置						
17	陰井						
171	第6層樓地板混凝土澆置						
18	場鑄人孔(1.3MX1.1M,平均埋深1.6M)						
181	第7層樓地板混凝土澆置						
19	工程配管箱【平均埋深1.2mM】						
20	預鑄人孔(D=1.5M,平均埋深2.5M)						
21	D=150MM/PVC管連接及埋設【平均埋深1.2M】						
22	場鑄人孔(5.8MX3.6M,平均埋深9M)						
23	全套管式鑽掘混凝土基樁，D=1500mm						
24	反循環式鑽掘混凝土基樁，D=120cm，含空鑽						
25	泥漿運棄及處理						
26	路基整理						
27	餘方自行處理(含水土保持)，總重35噸卸貨車						
28	選擇材料回填，透水材料，砂，用於構造物回填						
29	開挖臨時覆蓋板及其支撐，混凝土與鋼之複合式覆蓋板						
30	構造物回填，回填及夯實						
31	瀝青混凝土鋪面，粗粒料19.0mm，AC(1)-20						
32	建築線及騎樓線界石						
33	行道樹圍石						
34	道路路面，含路基						
35	預鑄綠島綠石(L=2m,路面以上高35公分)						
36	瀝青透層，中凝油溶瀝青，MC-70						
37	植栽，支柱，原木(含防腐處理)，三支，(D=6~8cm，L=240cm)						
38	瀝青混凝土鋪面，鋪設及滾壓						
39	瀝青混凝土面層鋪設						
4	臨時擋土樁設施，鋼板樁，L=6m，(單邊水平長度，未含擋土支撐系統)						
40	級配粒料底層，碎石級配						
41	人孔井【新築箱涵、埋管用】						
43	鋼筋混凝土管(B型)，D=800mm，三級管，含開挖回填						
45	植栽，換置客土，機械挖方						
46	鋼筋混凝土管(B型)，D=600mm，三級管，含開挖回填						
47	型樁植生護坡，植生基材厚度5cm						
48	排水管溝，U型溝(場鑄)，600≤H<800mm，300≤W<500mm，(含開挖、回填)						
49	排水管溝，U型溝(場鑄)，400≤H<600mm，300≤W<500mm，(含開挖、回填)						
5	房屋廢方挖除及清理，含運費						

圖 4-9 建構工項資訊資料表

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

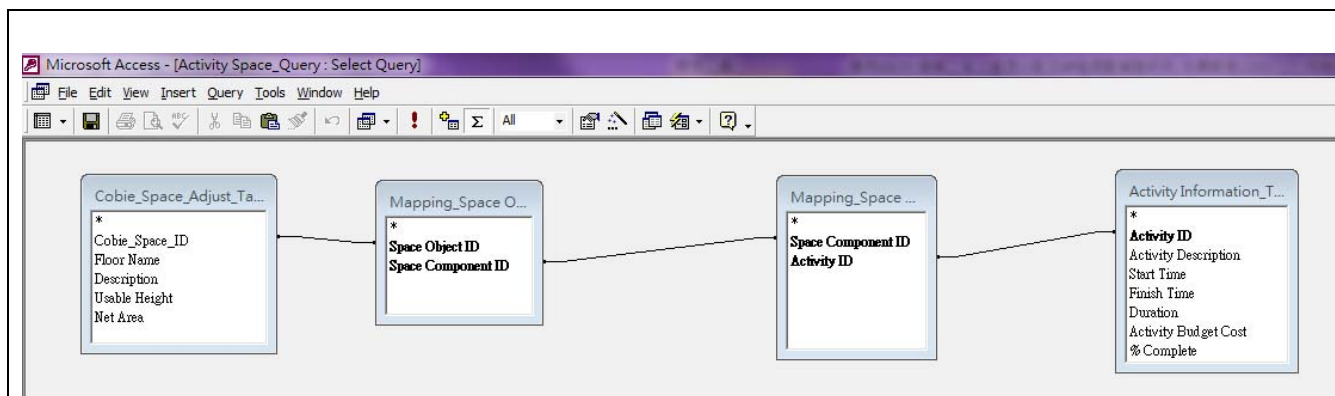


圖 4-10 設定資料表連結對應關係

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

Activity ID	Activity Description	Start Time	Finish Time	Duration	Floor Name	Description	Usable Height	Total Usable Area
1	排水，臨時排水，箱涵用				樓層 1	宿舍	3500	30.507
10	圓形推進坑(D=2.0M,平均挖深4M)				樓層 1	宿舍	3500	30.2013
101	D=300MM短管推進施工費				樓層 1	網路機房	3500	4.3753
11	預鑄人孔(D=1.5M,平均挖深6M)				樓層 1	宿舍	3500	29.1345
12	D=400MM短管推進施工費				樓層 1	宿舍	3500	29.1345
13	圓形推進坑(D=2.0M,平均挖深6M)				樓層 1	宿舍	3500	29.1345
14	鋼筋混凝土牆土牆，平均高2M				樓層 1	宿舍	3500	29.1345
15	圓形到達坑(D=1.5M,平均挖深4M)				樓層 1	宿舍	3500	29.1345
16	圓形到達坑(D=1.5M,平均挖深6M)				樓層 1	宿舍	3500	29.1345
17	陰井				樓層 1	宿舍	3500	29.1345
18	場鑄人孔(1.3MX1.1M,平均埋深1.6M)				樓層 1	宿舍	3500	32.9435
20	預鑄人孔(D=1.5M,平均埋深2.5M)				樓層 1	宿舍大廳	3500	68.6701
21	D=150MMPPVC管連接及埋設【平均埋深1.2M】				樓層 1	走廊	3500	88.2695
22	場鑄人孔(5.8MX3.6M,平均埋深9M)				樓層 1	樓梯間	3500	63.6282
23	全套管式鑽掘混凝土基樁，D=1500mm				樓層 1	電梯廳	3500	49.0868
24	反循環式鑽掘混凝土基樁，D=120cm，含空鑽				樓層 1	戶外走廊	3500	178.2269
25	泥漿循環及處理				樓層 1	戶外走廊	3500	112.9713
26	路基整理				樓層 1	廁所	3500	54.0125
27	餘方自行處理(含水土保持)，總重35噸卸貨車				樓層 1	樓梯間	3500	22.545
28	選擇材料回填，透水材料，砂，用於構造物回填				樓層 1	廁所盥洗室	3500	62.18
29	開挖臨時覆蓋板及其支撐，混凝土與鋼之複合式覆蓋板				樓層 1	門廳	3500	31.0829
30	構造物回填，回填及夯實				樓層 1	走廊	3500	108.1222
31	澆置混凝土鋪面，粗粒料19.0mm，AC(1)-20				樓層 2	宿舍	3500	30.592
32	建築線及騎樓線界石				樓層 2	宿舍	3500	31.073
33	行道樹圍石				樓層 2	宿舍	3500	30.54
34	道路路面，含路基				樓層 2	宿舍	3500	30.43
35	預鑄綠島綠石(L=2m,路面以上高35公分)				樓層 2	宿舍	3500	31.283
36	瀝青透層，中凝油容瀝青，MC-70				樓層 2	宿舍	3500	30.9495
37	植栽，支柱，原木(含防腐處理)，三支，(D=6~8cm，L=240cm)				樓層 2	宿舍	3500	30.43
38	瀝青混凝土鋪面，鋪設及滾壓				樓層 2	宿舍	3500	30.2863
39	瀝青混凝土面層鋪設				樓層 2	宿舍	3500	30.43
4	臨時擋土樁設施，鋼板樁，L=6m，(單邊水平長度，未含擋土支撐系統)				樓層 1	宿舍	3500	30.988
40	綠島粒料底層，碎石級配				樓層 2	廁所	3500	24.7795
41	人孔井【新築預鑄、埋管用】				樓層 2	走廊	3500	162.7492
43	鋼筋混凝土管(B型)，D=800mm，三級管，含開挖回填				樓層 2	樓梯間	3500	24.755
45	植栽，換置客土，機械挖方				樓層 2	走廊	3500	
46	鋼筋混凝土管(B型)，D=600mm，三級管，含開挖回填				樓層 2	露臺	3500	56.325
47	型植生覆蓋，植生基材厚度5cm				樓層 2	廁所盥洗室	3500	60.6277
48	排水溝溝，U型溝(場鑄)，600≤H<800mm，300≤W<500mm，(含開挖、回填)				樓層 2	露臺	3500	6.7665
49	排水溝溝，U型溝(場鑄)，400≤H<600mm，300≤W<500mm，(含開挖、回填)				樓層 2	樓梯間	3500	29.7859
5	房屋廢方挖除及清理，含運費				樓層 1	宿舍	3500	30.455
50	集水井				樓層 2	電梯廳	3500	7.1671
51	D=200MMPPVC管連接及埋設【平均埋深1.6M】				樓層 2	廁所	3500	4.7368
52	人行道面層，鋪面磚(高壓)				樓層 2	宿舍管理室	3500	20.4242
55	瀝青混凝土面層刨除，平均厚5.0cm，刨除機1.2m寬				樓層 3	宿舍	3500	31.073
6	機械拆除，鋼筋混凝土，含運費				樓層 1	宿舍	3500	30.345
63	第一類喬木樹名，米高直徑<10cm，300≤樹高<350cm				樓層 3	樓梯間	3500	24.725
68	場鑄結構混凝土用模板，普通，(乙種，擋土牆，橋台，車行箱涵等)				樓層 3	廁所盥洗室	3500	60.6278
7	構造物開挖，人工挖砂土，深度<2m，含裝車未含運費				樓層 1	宿舍	3500	31.198
8	基地及路幅開挖，未含運費，(機械挖，0.7~0.79m2開挖機)				樓層 1	宿舍	3500	30.8645

圖 4-11 依類別需求彙整出各工項所需 3D BIM 模型資料

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

第三節 方式二操作方法說明

本方式(自 Excel 格式檔案匯出 BIM 模型明細表資料)案例操作包含下列步驟：

- 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表
- 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案
- 研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能
- 3D BIM 模型明細表 Excel 格式檔案資料依工作分解結構重新整合

第四節 方式二之匯出及重新整合 3D BIM 模型明細表資料供後續做資源分配及時程規劃之流程

- 步驟一：自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表
- 以 Autodesk Revit 開啟宿舍大樓 3D BIM 模型，自 Revit「明細表/數量」按滑鼠右鍵點選「新明細表/數量」圖示後，依後續步驟新增所需資料明細表，如圖 4-12 至 4-15 所示。

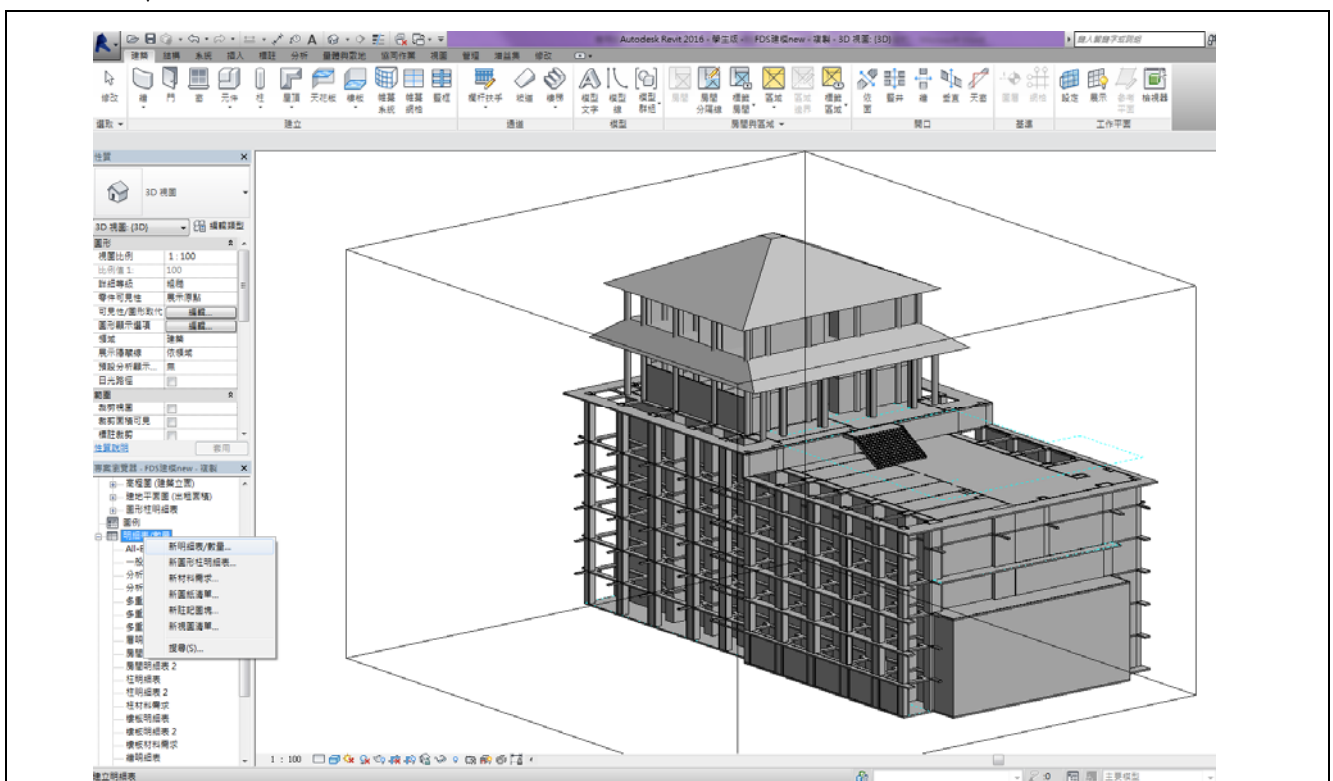


圖 4-12 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表-1

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

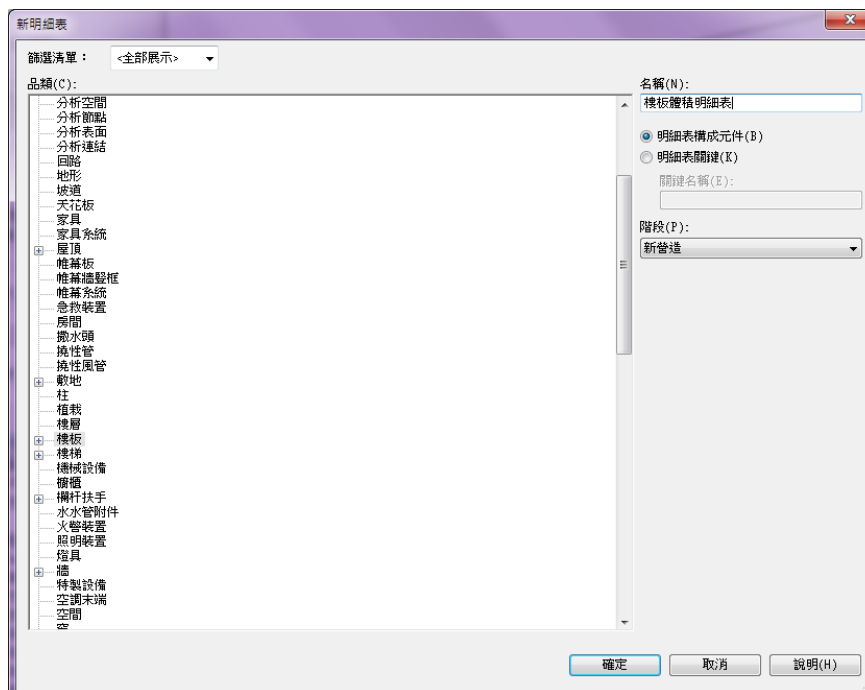


圖 4-13 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表-2

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

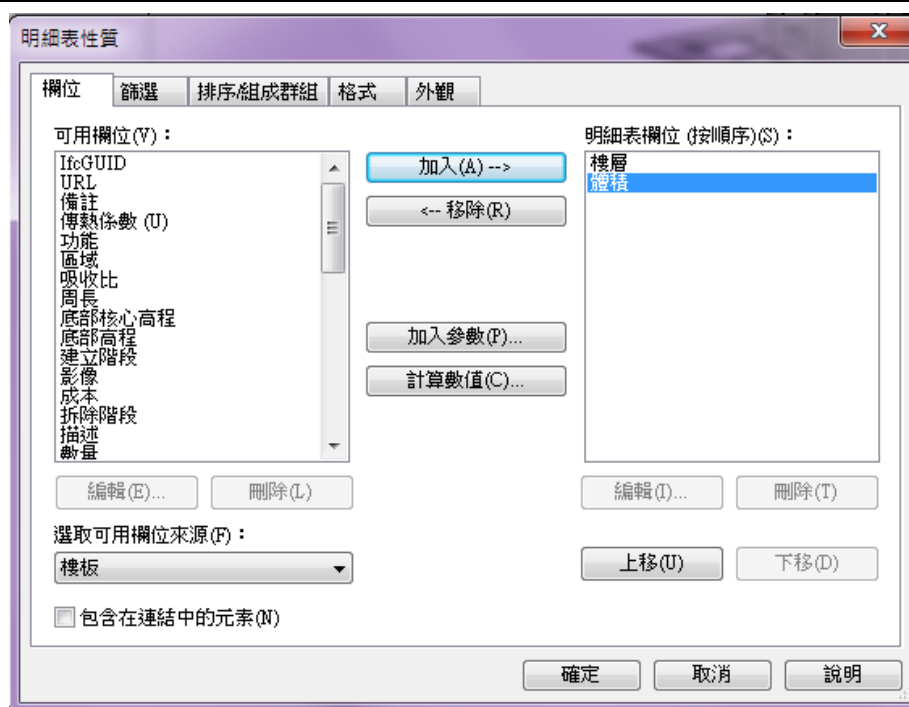


圖 4-14 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表-3

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

<樓板體積明細表>	
A	B
樓層	體積
樓層 1	224.34 m ³
樓層 5	154.44 m ³
樓層 2	46.70 m ³
樓層 5	5.30 m ³
樓層 6	8.11 m ³
樓層 6	69.89 m ³
樓層 7	105.24 m ³
樓層 2	137.45 m ³
樓層 3	154.29 m ³
樓層 4	164.97 m ³
夾層	99.59 m ³

圖 4-15 自宿舍大樓 3D BIM 模型新增所需資料明細表-4

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

- 步驟二：匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案

點選 Revit 操作介面左上角「R」圖示後，點選「匯出」選項內的「報告」及「明細表」次選項，依後續步驟匯出明細表資料並存成 Excel 格式檔案，及分離 Excel 格式檔案數據資料與單位文字資料如圖 4-16 至 4-25 所示。

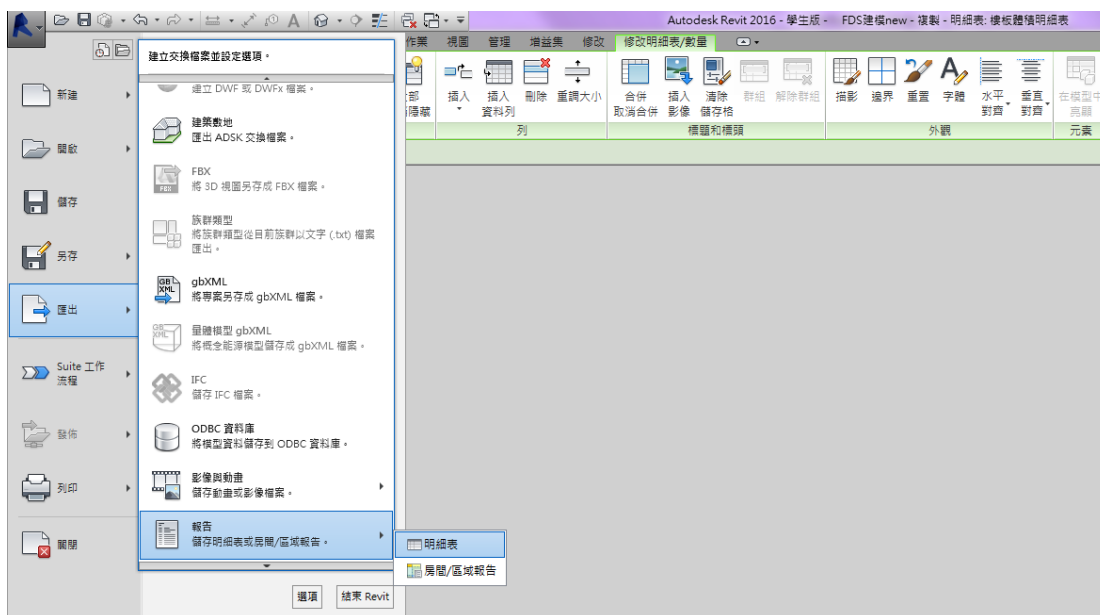


圖 4-16 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-1

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

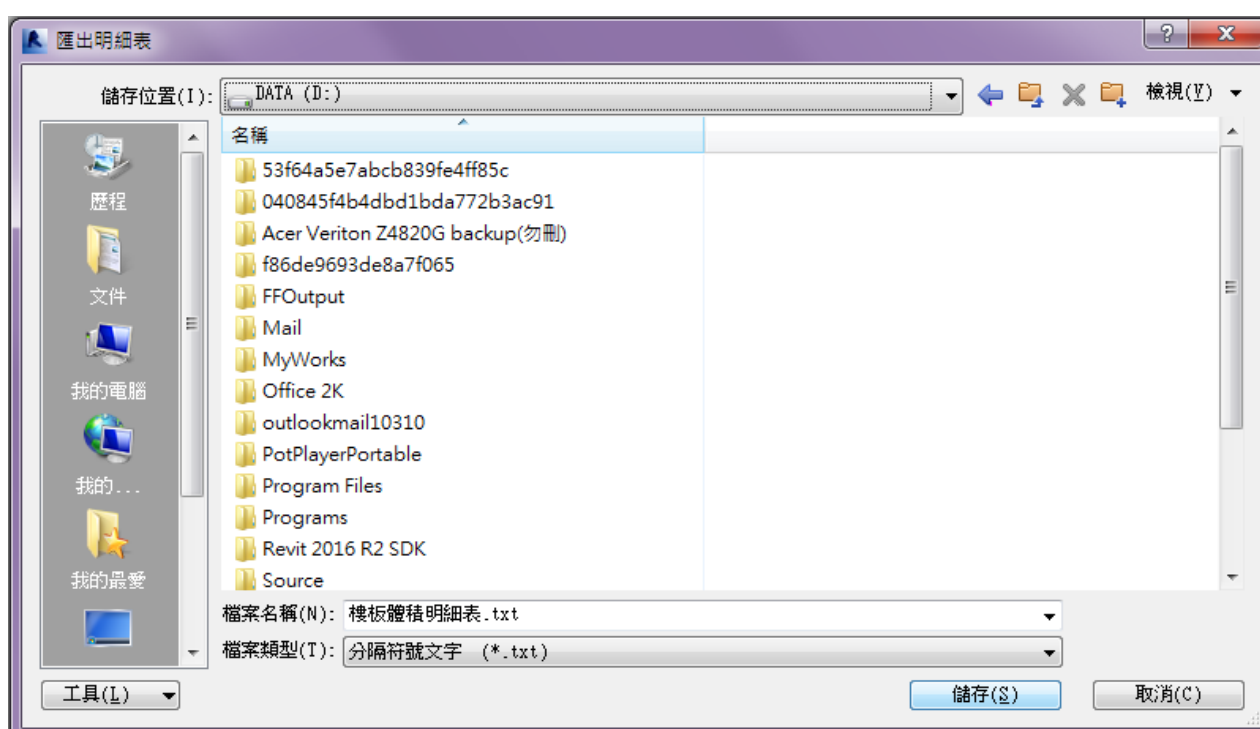


圖 4-17 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-2

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

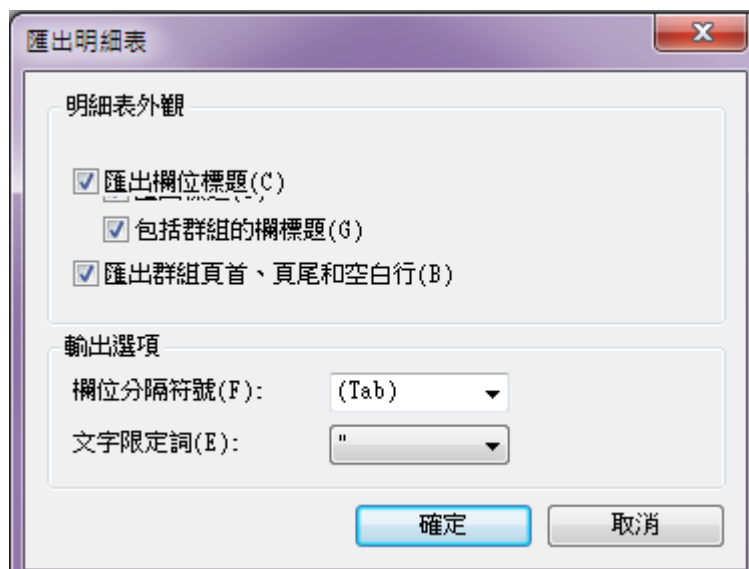


圖 4-18 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-3

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

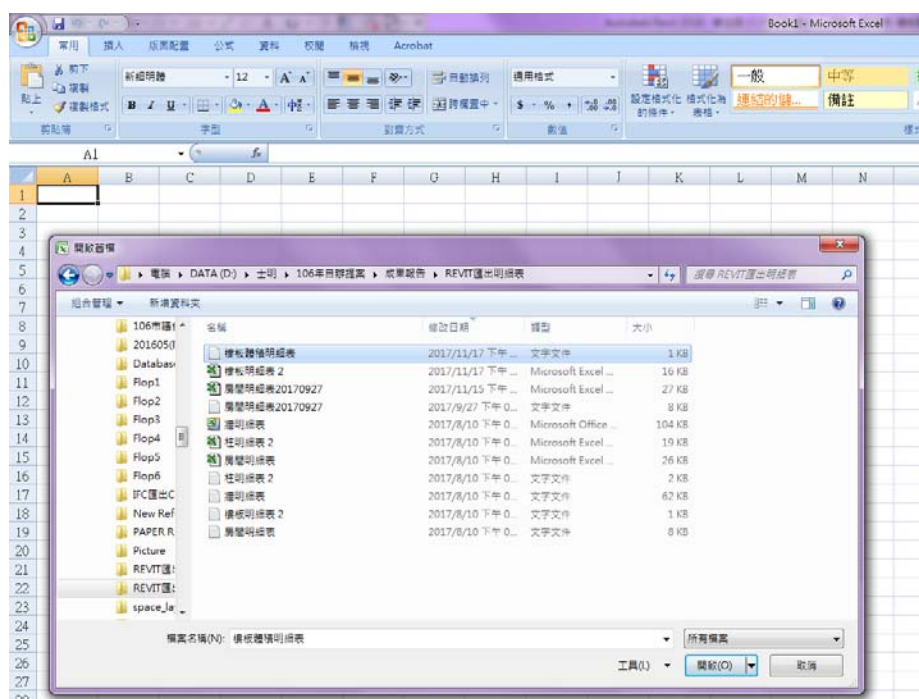


圖 4-19 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-4

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

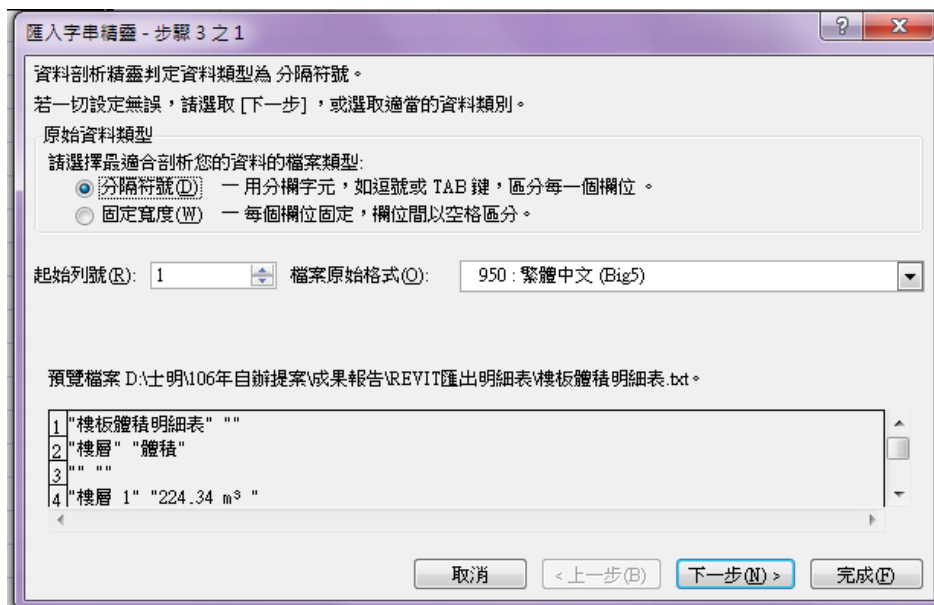


圖 4-20 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-5

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

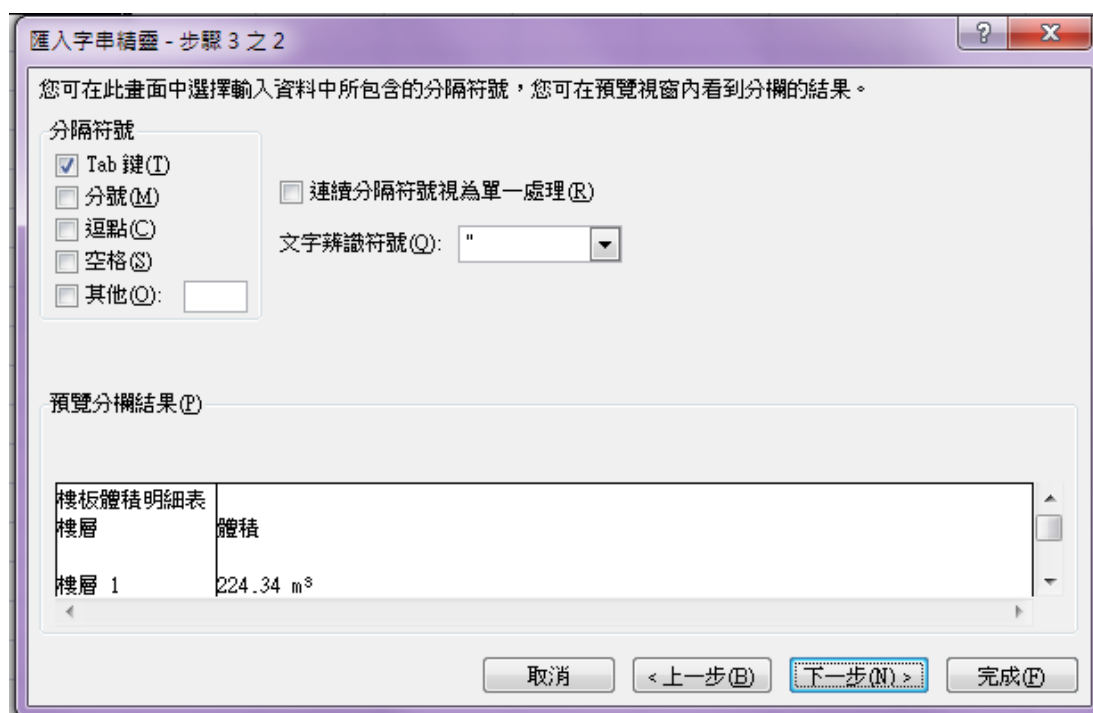


圖 4-21 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-6

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

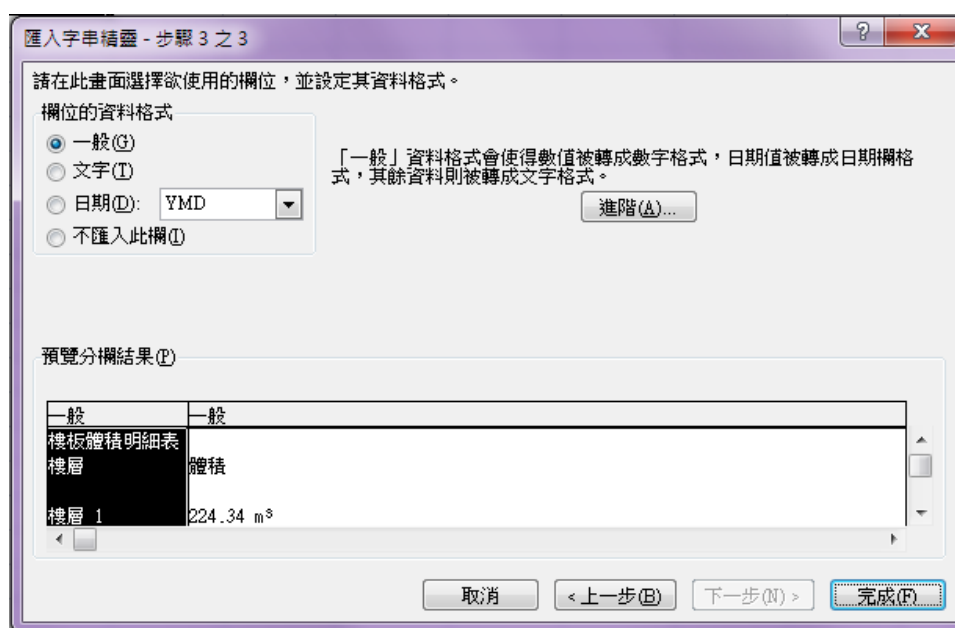


圖 4-22 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-7

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	樓板體積明細表													
2	樓層	體積												
3														
4	樓層 1	224.34 m³												
5	樓層 5	159.74 m³												
6	樓層 2	184.15 m³												
7	樓層 6	78.00 m³												
8	樓層 7	105.24 m³												
9	樓層 3	154.29 m³												
10	樓層 4	164.97 m³												
11	夾層	99.59 m³												
12														

圖 4-23 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-8

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

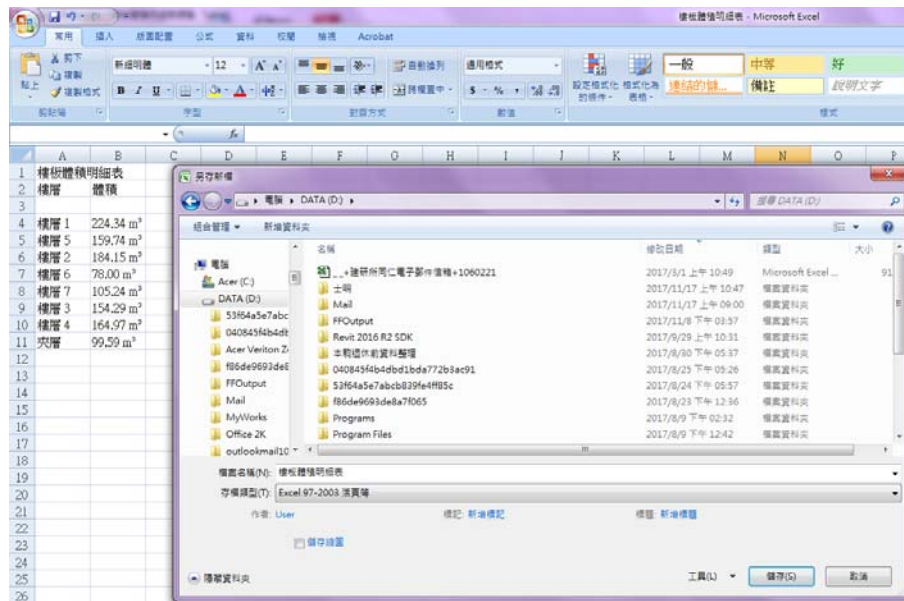


圖 4-24 匯出 3D BIM 模型明細表資料並存成 Excel 格式檔案-9

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

樓板體積明細表3 - Microsoft Excel												
O20												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Floor Name	Floor Volume (m³)										
2	樓層 1	224.34										
3	樓層 5	159.74										
4	樓層 2	184.15										
5	樓層 6	78										
6	樓層 7	105.24										
7	樓層 3	154.29										
8	樓層 4	164.97										
9	夾層	99.59										
10												

圖 4-25 分離 Excel 格式檔案數據資料與單位文字資料-10

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

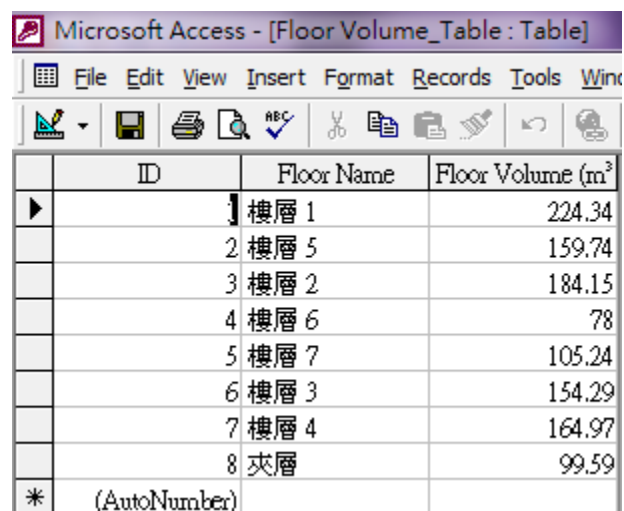
- 步驟三：研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能

由於 3D BIM 模型是設計者或模型建置者依其個人角度建置，因此從 3D BIM 模型直接或間接匯出之 Excel 格式檔案資料無法直接對應到各工項，也無法直接被任何排程軟體所應用，本研究計畫針對此需求，以 Microsoft Access 軟體研發「工作分解結構及資料庫系統」(如圖 4-4 所示)工作分解結構功能，將 3D BIM 模型 Excel 格式檔案資料依施工工項做分類及重組，以利後續供「資源分配及時程規劃系統」計算分析或其他建築工程排程軟體排程利用。

- 步驟四：3D BIM 模型 Excel 格式檔案資料依工作分解結構重新整合

應用「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能，將宿舍大樓 3D BIM 模型 Excel 格式檔案資料，依施工工項做分類及重組步驟如下：

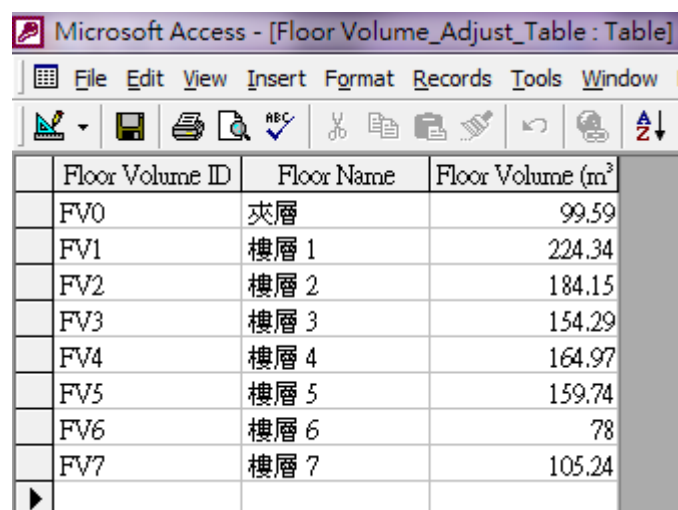
- (1) 將 3D BIM 模型不同明細表之 Excel 格式檔案資料匯至「工作分解結構及資料庫系統」，並分別建置不同明細表資料表，如圖 4-26 所示。
- (2) 調整所建置之不同明細表資料表欄位名稱，並重設 BIM 元件編號，如圖 4-27 所示。
- (3) 建構 3D BIM 模型元件與工項物件(由數個元件組成)對應關係資料表。(不適用本示範例)
- (4) 建構 3D BIM 模型物件與工項 (由數個物件組成)對應關係資料表。(不適用本示範例)
- (5) 建構工項資訊資料表，如圖 4-28 所示。
- (6) 設定(2)及(5)各資料表連結對應關係，如圖 4-29 所示。
- (7) 依類別需求彙整出各工項所需 3D BIM 模型明細表資料，以利後續供「資源分配及時程規劃系統」計算分析或其他建築工程排程軟體排程利用，如圖 4-30 所示。



ID	Floor Name	Floor Volume (m³)
1	樓層 1	224.34
2	樓層 5	159.74
3	樓層 2	184.15
4	樓層 6	78
5	樓層 7	105.24
6	樓層 3	154.29
7	樓層 4	164.97
8	夾層	99.59
*(AutoNumber)		

圖 4-26 將 BIM 模型明細表 Excel 格式檔案資料匯至「工作分解結構及資料庫系統」

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)



Floor Volume ID	Floor Name	Floor Volume (m³)
FV0	夾層	99.59
FV1	樓層 1	224.34
FV2	樓層 2	184.15
FV3	樓層 3	154.29
FV4	樓層 4	164.97
FV5	樓層 5	159.74
FV6	樓層 6	78
FV7	樓層 7	105.24

圖 4-27 調整所建置之不同明細表資料表欄位名稱，並重設 BIM 元件編號

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

應用 BIM 於建築工程之資源分配及時程規劃策略研究

Microsoft Access - [Activity Information_Table : Table]						
File Edit View Insert Format Records Tools Window Help						
						
Activity ID	Activity Description	Start Time	Finish Time	Duration	Activity Budget Cost	% Complete
1	排水，臨時排水，箱涵用					
10	圓形推進坑(D=2.0M,平均挖深4M)					
101	D=300MM短管推進施工費					
11	預鑄人孔(D=1.5M,平均埋深6M)					
111	夾層樓板混凝土澆置					
12	D=400MM短管推進施工費					
121	第1層樓地板混凝土澆置					
13	圓形推進坑(D=2.0M,平均挖深6M)					
131	第2層樓地板混凝土澆置					
14	鋼筋混凝土擋土牆，平均高2M					
141	第3層樓地板混凝土澆置					
15	圓形到達坑(D=1.5M,平均挖深4M)					
151	第4層樓地板混凝土澆置					
16	圓形到達坑(D=1.5M,平均挖深6M)					
161	第5層樓地板混凝土澆置					
17	陰井					
171	第6層樓地板混凝土澆置					
18	場鑄人孔(1.3MX1.1M,平均埋深1.6M)					
181	第7層樓地板混凝土澆置					
19	工程配管箱【平均埋深1.2mM】					
20	預鑄人孔(D=1.5M,平均埋深2.5M)					
21	D=150MMPVC管連接及埋設【平均埋深1.2M】					
22	場鑄人孔(5.8MX3.6M,平均埋深9M)					
23	全套管式鑽掘混凝土基樁，D=1500mm					
24	反循環式鑽掘混凝土基樁，D=120cm，含空鑽					
25	泥漿運棄及處理					
26	路基整理					
27	餘方自行處理(含水土保持)，總重35噸卸貨車					
28	選擇材料回填，還水材料，砂，用於構造物回填					
29	開挖臨時覆蓋板及其支撐，混凝土與鋼之複合式覆蓋板					
30	構造物回填，回填及夯實					
31	瀝青混凝土鋪面，粗粒料19.0mm，AC(1)-20					
32	建築線及騎樓線界石					
33	行道樹圍石					
34	道路路面，含路基					
35	預鑄綠島綠石(L=2m,路面以上高35公分)					
36	瀝青透層，中凝油容瀝青，MC-70					
37	植栽，支柱，原木(含防腐處理)，三支，(D=6-8cm，L=240cm)					
38	瀝青混凝土鋪面，鋪設及滾壓					
39	瀝青混凝土面層鋪設					
4	臨時擋土樁設施，鋼板樁，L=6m，(單邊水平長度，未含擋土支撐系統)					
40	級配粒料底層，碎石級配					
41	人孔井【新築箱涵、埋管用】					
43	鋼筋混凝土管(B型)，D=800mm，三級管，含開挖回填					
45	植栽，換置客土，機械挖方					
46	鋼筋混凝土管(B型)，D=600mm，三級管，含開挖回填					
47	型樁植生護坡，植生基材厚度5cm					
48	排水溝溝，U型溝(場鑄)，600≤H<800mm，300≤W<500mm，(含開挖、回填)					
49	排水溝溝，U型溝(場鑄)，400≤H<600mm，300≤W<500mm，(含開挖、回填)					
5	房屋廢方挖除及清理，含運費					
50	植栽					
Record: 19 of 59						
Datasheet View						

圖 4-28 建構工項資訊資料表

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

圖 4-28 建構工項資訊資料表

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

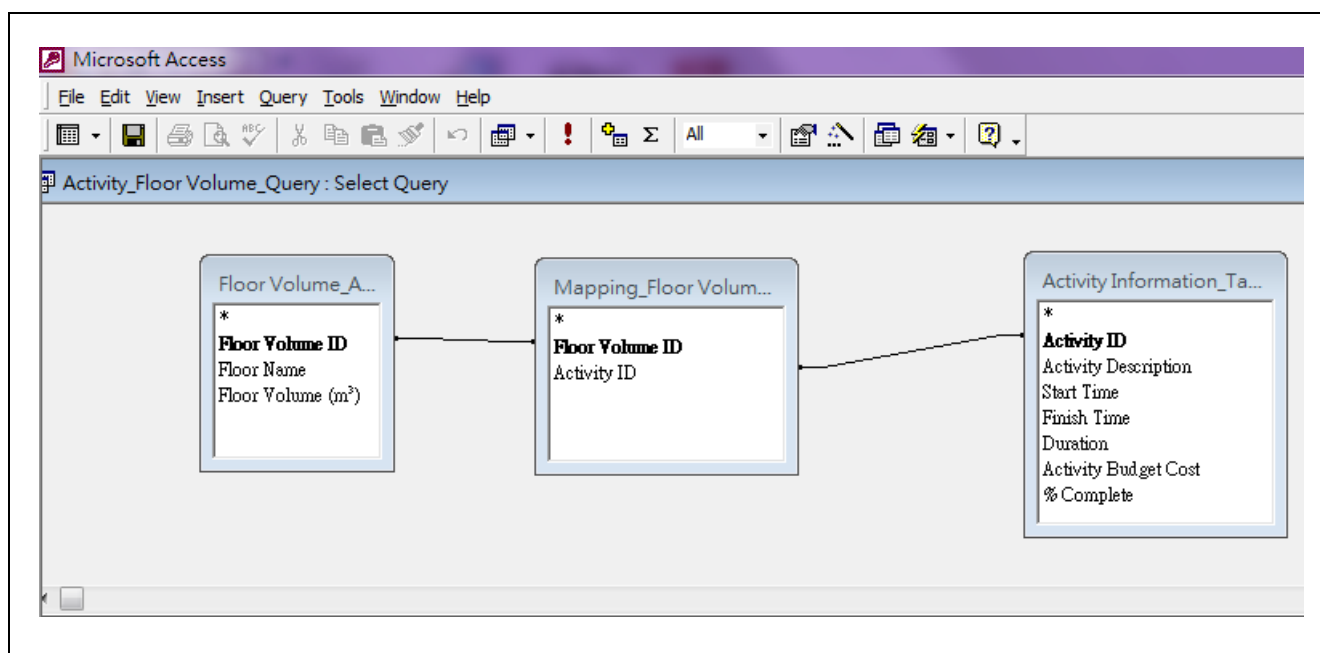


圖 4-29 設定資料表連結對應關係

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

Activity ID	Activity Description	Floor Volume (m³)
111	夾層樓版混凝土澆置	99.59
121	第1層樓地板混凝土澆置	224.34
131	第2層樓地板混凝土澆置	184.15
141	第3層樓地板混凝土澆置	154.29
151	第4層樓地板混凝土澆置	164.97
161	第5層樓地板混凝土澆置	159.74
171	第6層樓地板混凝土澆置	78
181	第7層樓地板混凝土澆置	105.24

圖 4-30 依類別需求彙整出各工項所需 3D BIM 模型明細表資料

(圖片來源：本計畫研究人員操作的螢幕截圖)

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究計畫研提一應用 BIM 於建築工程自動化之資源分配、時程規劃、營建管理及資料庫管理之整合系統架構，此架構涵蓋四個主要部分：(1) 3D BIM 模型；(2) 工作分解結構及資料庫系統；(3) 資源分配及時程規劃系統；(4) 多維度 BIM 模型產生器。此架構內容包含如何從 BIM 模型獲取適當檔案格式之 BIM 元件資訊、於資源分配及時程規劃系統自行設定工程目標及工程限制條件，透過系統自動發展出近乎最佳的資源分配、時程規劃及營建管理計劃，並讓工程管理人員能藉由檢視動態多維度 BIM 模型了解工程狀況，並執行風險性分析及資料庫自動化管理。此架構能幫助管理人員預測未來任何時段的工程執行率，並提供突發狀況對工程造成衝擊影響完整預測資料。一旦 BIM 模型設計、工程資源、工程目標或工程限制條件發生變化，工程管理人員也將即時獲得包含資源分配、時程規劃、營建管理、資料庫管理及多維度 BIM 模型等相關更新資料。因此，管理者可以在突發狀況發生後立即採取修正措施，並減輕對正在進行工程的潛在損害。

3D BIM 模型元件及其他基本資料(例如：元件代號、種類、面積、體積、材料、空間面積等資料)須經過「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能彙整後，才可與「資源分配及時程規劃系統」各工項相關參數連結，並做後續模擬分析計算，本研究計畫開發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能及研訂二種不同方式的細部執行策略，並以一宿舍大樓為案例進行操作，驗證其可行性。

根據研究結果，本研究有四項建議，建議一為持續研究及推廣應用 BIM 於工程施工階段與維護管理階段；建議二為拓展結合 BIM 與離散事件模擬(Discrete-Event Simulation, DES)技術應用於建築工程施工階段資源分配及時程規劃之研究；建議三為拓展結合 BIM 與資料庫管理應用於建築工程施工階段及維護管理階段之研究；建議四為拓展結合 BIM、DES 技術及資料庫管理，及研發多維度 BIM 模型產生器，應用於建築工程營建管理及維護管理之研究。

第二節 建議

建議一

立即可行建議—持續研究及推廣應用 BIM 於建築工程施工階段與維護管理階段

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

在公共工程委員會、本所、財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院、各機關學校 BIM 中心及 BIM 軟體廠商共同努力推廣下，BIM 於工程規劃設計階段之應用在本國已逐漸成熟。相對的，BIM 於本國工程施工階段與維護管理階段之應用範圍仍較小，大部分稍具規模工程僅應用於施工階段之 4D、虛擬實境及碰撞檢查，尚屬 CAD 應用範圍，僅少數大型工程或高科技廠建置會搭配基本 BIM 模型資料管理，故建議加強 BIM 於本國工程施工階段與維護管理階段之深層應用研究，並將研究成果於國內業界推廣。

建議二

立即可行建議—拓展結合 BIM 與離散事件模擬(Discrete-Event Simulation, DES)技術應用於建築工程施工階段資源分配及時程規劃之研究

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

3D BIM 模型本身具有相當豐富的工程基本資訊，但是 BIM 模型並未包含任何施工順序相關資訊，所以需要一工項時程規劃系統提供工項排程功能。傳統工項時程規劃系統決定各工項所需時間時常靠經驗或過往工程資料估計，然而每個工程都有其不同的工程條件(例如：工班數量、機具數量、材料數量、施工範圍、受限施工環境之施工效率等) 及不同最佳化目標(例如：最短施工時間、最低施工成本、有施工時間限制之最低施工成本等)，經驗或過往工程資料無法保證能適用於新的工程。

另外，傳統資源最佳化技術主要包括數學方法和啟發式方法。然而，數學模型由於公式複雜可能導致求得局部最佳解[35,36]。啟發式模型則是在不同情況下具有不同的有效性，因此無法適用於所有的工程案例。此外，使用者也無法針對給定的工程案例事先知道適用於何種啟發式模型。所以，啟發式模型無法保證獲得最佳解。啟發式模型不一致的解決方案已經導致商用工程管理軟體於資源調度功能間巨大分歧[37]。

電腦數值模擬分析是為真實系統設計一數學邏輯模型並在電腦上對該模型進行實驗的過程[35]。過程模擬的目標涵蓋生產力提升、風險分析、資源分配和現場規劃等範圍。經由對構成該過程之活動本身及活動間順序關係精確表示於模型中，建模者可以預估該過程最後成果的相關資訊和於某特定時間內完成該過程的機率。由於營建工程所需資源包括笨重且昂貴的設備，透過電腦數值模擬分析可以檢視各種可能的資源動態空間規劃選項，並從中挑選出最佳的資源動態空間規劃。施工建模需要使用各模型所定義的建模元素來表達及組成施工過程。電腦數值模擬分析可應用於動態性模擬分析施工過程隨時間產生的變化。

應用離散事件模擬(Discrete-Event Simulation, DES)技術於電腦數值模擬分析為協助使用者於施工管理過程中迅速做出決策分析的利器之一。精確建立施工過程模型後，可利用電腦數值模擬分析出較佳的替代方案及優化相關資源的動態空間規劃。然而，在建築業中應用電腦數值模擬分析技術於施工管理的案例幾乎很難找到，主要原因為電腦數值模擬分析技術的複雜性和建築業人員缺乏該技術的相關知識，另一個可能的原因為需要針對不同的營建管理目標開發不同的電腦數值模擬模型。由於通常不同的工程會有不同的工項及工項間網絡關係，導致不同的工程需要使用不同的電腦數值模擬模型。另外，目前工程管理一般皆使用要徑法（Critical Path Method，CPM）技術做排程、時程控制，然而應用要徑法技術的電腦軟體與應用電腦數值模擬技術的電腦軟體間並不相容，因此想同時應用這兩種技術仍存在一個很大的技術門檻，也導致幾乎很難找到應用電腦數值模擬分析技術於建築業施工管理做排程、時程控制的案例。

綜上，建議研究開發一可匯入及應用 BIM 工程基本資訊，並與實際建築工程施工管理系統有極高相似性、可視覺化，且可靈活應用於不同工程與適用於不同施工管理目標的資源分配及時程規劃電腦數值模擬分析系統，以利將 DES 技術轉移到施工管理實際應用層面。

建議三

立即可行建議—拓展結合 BIM 與資料庫管理應用於建築工程施工階段及維護管理階段之研究

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

資料準備是營建管理過程中非常重要的工作之一，並且是最耗時間及最困難的工作之一。雖然 3D BIM 模型本身具有相當豐富的工程基本資訊，但是 BIM 模型並無法提供工程施工階段及維護管理階段所需之全部資訊(例如：施工階段之工項施工順序、工項起迄時間、施工成本控管及材料採購控管，及維護管理階段之設施管理等相關資訊)，所以需要於工程施工階段及維護管理階段另增加一資料庫管理系統，以補足 3D BIM 模型本身不足之處。

綜上，建議拓展結合 BIM 與資料庫管理應用於工程施工階段及維護管理階段之研究，以符工程施工階段及維護管理階段之實際需求。

建議四

立即可行建議—拓展結合 BIM、DES 技術及資料庫管理，及研發多維度 BIM 模型產生器，應用於建築工程營建管理及維護管理之研究

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

在近期營建管理的發展上，3D-CAD 電腦模式在營建管理的設計階段提供革命性的進展，讓設計者能有如身歷其境般檢視修改其龐大複雜的設計內容，也能以此電腦模式輕易與一般無建築概念的人溝通設計內容；其後，Koo and Fischer (2000) 研究指出 4D-CAD 電腦模式(3D 的模式與時間結合之特性)較傳統的桿狀圖(Bar chart) 更能幫助專案團隊定義問題。在規劃設計階段，4D-CAD 可幫助使用者清楚的了解施工流程及發現可能遭遇之問題；在施工階段，4D-CAD 可幫助使用者管控施工進度。

然而，4D-CAD 只能模擬營建過程的影像變化，使用者無法掌握每一工項背後所隱含的資訊（如施作物件的尺寸、材料；所需物料、人員、機具、空間及起迄時間等），也因此無法幫助使用者做精確的分析及管理，建議針對上述 4D-CAD 電腦軟體不足處研發「多維度 BIM 模型產生器」，產製多維度 BIM 模型，允許使用者檢視施工流程之動態多維度資料 (3D+時間+資料)。「多維度 BIM 模型產生器」連結 3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」之資源分配及時程規劃等模擬運算結果，允許使用者在電腦上觀看施工流程時，可從另一動態視窗同時檢視正在施作的工項名稱、工項總施作時間、工項開始施作日期、工項施作完成日期、工項花費成本、工項所需資源名稱及數量等資料。如此，使用者不僅能掌握 4D-CAD 影像中正

在施作的工項為何，也能輕鬆掌握相關重要資訊。此外，因「多維度 BIM 模型產生器」已設定連結 3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」，3D BIM 模型與「資源分配及時程規劃系統」任何變更皆能立即反映在多維度 BIM 模型動態資料，避免人為輸入錯誤及提高效率。

另外如上所述，拓展結合 BIM 與 DES 技術應用於建築工程施工階段資源分配及時程規劃之研究，及拓展結合 BIM 與資料庫管理應用於建築工程施工階段及維護管理階段之研究，皆有其實際需求。為能提升應用效率，上述功能各資料間移轉須能儘量自動化或半自動化，故建議研發整合上述功能成一完整系統。

綜上，建議拓展結合 BIM、DES 技術及資料庫管理，及研發多維度 BIM 模型產生器，應用於建築工程營建管理及維護管理之研究，並研發整合上述功能成一完整系統，使上述功能各資料間移轉能儘量自動化或半自動化，以提升應用效率。

附錄一、本研究之期初審查會議意見回應表

表 1 本研究之期初審查會議意見回應表

日期/時間	106 年 3 月 8 日(星期三)上午 9 時 30 分及下午 2 時 30 分	
主持人	陳所長瑞鈴	
地點	內政部建築研究所簡報室	
綜合討論與建議事項		本研究回應與處理
1. 營建工程之資源分配與時程規劃 所需資訊與可執行相關項目繁多，建議應先說明清楚本研究案可執行哪些項目、哪些項目所需資訊可由 BIM 模型匯出、匯出的資訊為何。		遵示辦理。
2. 本案涉及 BIM 及模擬分析技術，且營建工程包含類型繁多，建議本案先以 BIM 技術為主，並擇定適用工程類型，以便於本年度內提出具體成果。		遵示辦理。
3. 本研究範圍較大，恐不易於一年內完成，建議縮小研究範圍，題目修正為「應用 BIM 於建築工程之資源分配及時程規劃策略研究」。		遵示辦理。

附錄二、本研究之期中審查會議意見回應表

表 2 本研究之期中審查會議意見回應表

日期/時間	106 年 8 月 2 日（星期三）下午 2 時 30 分		
主持人	陳組長建忠		
地點	內政部建築研究所簡報室		
綜合討論與建議事項		本研究回應與處理	
新北市政府工務局 彭技士瑞章			
1.	建議補充說明簡報第 12 頁「工作分解及資料庫系統」如何對應本研究案實作驗證之 12 層樓高宿舍大樓工程工項、分解流程關聯性架構為何，及可提供之管理範疇。	已依委員建議於第四章補充相關討論。	
2.	本研究報告未敘明所假設之工程案例既有項目與 COBie 的關係，	已依委員建議於第三章及第四章補充相關討論。	
中華民國全國建築師公會 許建築師坤榮及林建築師志瑞			
3.	建築工程之資源分配及時程規劃會涉及工程編碼之實務應用。	工程編碼將有助於縮減本研究「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構工作量，惟亦可使用 3D BIM 模型元件之 ID 於工作分解結構處理。	
4.	用 IFC 及 COBie 通用格式發展工程資源分配及時程規劃，難度極高，建議調查國外已開發相關軟體之作法，調整研究策略。	感謝委員建議，將納入後續研究參考。	
5.	建議用小建築案例，依研究架構實際深入操作。	感謝委員建議，將納入後續研究參考。	
中華民國電機技師公會 劉總經理火炎			
6.	如何確保自動拆解的工作分解結構有符合工程單位的需求？	本研究案工作分解結構係由使用者決定拆解內容。	

7. 部分工程項目(例如, 假設工程及進料堆放等作業)在BIM模型裡通常是沒有建置的, 針對這種情況如何因應?	部分工程項目(例如, 假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在BIM模型裡沒有相對應的(單一)BIM元件, 也將無法自BIM模型輸出(單一)相關資料, 這類工程項目將納入另一表單, 手動輸入補充資料。
8. 實際案例驗證範例裡多是針對空間元件, 是否能對其他元件進行示範?	已依委員建議於第四章補充樓板元件進行示範。
財團法人臺灣營建研究院 巫工程師孟儒	
9. 假設工程未於BIM模型中體現, 請說明假設工程如何呈現於工作分解結構中。	部分工程項目(例如, 假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在BIM模型裡沒有相對應的(單一)BIM元件, 也將無法自BIM模型輸出(單一)相關資料, 這類工程項目將納入另一表單, 手動輸入補充資料。
10. 建議先以量體小之工程作案例驗證。另請問本研究成果為發展成一系統或為架構構想?	感謝委員建議, 後續研究將視情況考慮納入量體小之工程進行實作驗證。另本研究成果為研提一結合BIM、DES及資料庫管理之建築工程營建管理策略藍圖, 實際案例驗證則聚焦於研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能, 並研訂如何自BIM匯出資料及使用資料格式, 並經「工作分解結構及資料庫系統」依工項需求重新整合這些資料, 供後續資源分配及時程規劃系統分析計算。
林經理淑滿	

11. 成果報告第 11 頁圖 2-1 整合系統架構非常清楚，但用簡報檔解釋時有點模糊，建議以後可以更有系統去說明成果，避免過多解釋名詞。	感謝委員建議，已納入後續簡報參考。
12. 請考慮若將假設工程放入自動化時程或資源分配項目，是否會比整個工程更易得到驗證？	感謝委員建議，將納入後續研究參考。
黃協理隆茂	
13. 有關期中報告摘要中「BIM 於本國工程施工階段與維護管理階段之應用範圍仍較小」一節，雖然 BIM 開始應用在施工階段的時間很早，但是應用範圍較小，原因為目前 BIM 軟體仍侷限於設計工具，如果施工階段要廣泛應用 BIM，施工廠商必須自行研發或開發相關 BIM 軟體或平台。	感謝委員補充說明。
14. 建議實際案例驗證至少要有 2 種以上不同類型的建築類型。例如，研發時除了以 12 層樓高宿舍大樓為驗證案例外，也可採用住宅大樓外之不同類型的建築類型（例如，運動中心、量販店、廠房或校舍等）為驗證案例。	本研究案囿於人力時間，無法採用 2 種以上不同類型的建築類型進行驗證，將納入後續研究參考。
15. 期中報告第 9 頁提到「集成方法（Integrated Approach）」，建議採用臺灣用語。	感謝委員建議，已於成果報告中配合修改。

16. 提醒有些 BIM 構件不容易用於排程，係因為有些構件於工地現場施作時，須分梯次完成，難於一次施作完成。	感謝委員提醒，部分工程項目(例如，假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在 BIM 模型裡沒有相對應的(單一)BIM 元件，也將無法自 BIM 模型輸出(單一)相關資料，這類工程項目將納入另一表單，手動輸入補充資料。
17. 有些工程進度無法用 BIM 模型表示，因此將造成工程進度無法全部展現於 BIM 模型上。	感謝委員提醒，部分工程項目(例如，假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在 BIM 模型裡沒有相對應的(單一)BIM 元件，也將無法自 BIM 模型輸出(單一)相關資料，這類工程項目將納入另一表單，手動輸入補充資料。
陳建築師澤修	
18. 資源分配是以多個工地同時動工，相同資源互相調配為主，不是針對單一工地來做資源分配。	同一工程的不同工項可能會使用相同的人力、設備等資源，在人力、設備等資源總數量有限的情況下，「資源分配及時程規劃系統」可配合各工程不同工程限制條件及不同工作目標計算分析出較佳的資源分配及時程規劃。

19. 時程規劃如何用 BIM 模型呈現？ 如何建立各單元的預計時程？工程落後時如何建立趕工計畫？	「資源分配及時程規劃系統」可配合各工程不同工程限制條件及不同工作目標計算分析出較佳的資源分配及時程規劃，多維度 BIM 模型產生器將計算分析出的資源分配及時程規劃結果連結 3D BIM 形成動態之多維度 BIM 模型 (3D+時間+資料)。工程落後時，使用者可於「資源分配及時程規劃系統」輸入工程現況及完工時限等已知條件，系統將重新計算分析出較佳的資源分配及時程規劃，使用者可據以建立趕工計畫。
20. 單元編碼及定義是一個龐大的作業量。	工程編碼將有助於縮減本研究「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構工作量，惟亦可使用 3D BIM 模型元件之 ID 於工作分解結構處理。
康總經理思敏	
21. 研究內容符合計畫名稱及預期目標。	感謝委員肯定。
22. 建議可考慮研究將 BIM 3D 元件圖形也納入資料庫管理，以利後續對應關聯性。	感謝委員建議，將納入後續研究參考。
23. 假設工程是否須納入？	部分工程項目(例如，假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在 BIM 模型裡沒有相對應的(單一)BIM 元件，也將無法自 BIM 模型輸出(單一)相關資料，這類工程項目將納入另一表單，手動輸入補充資料。

24. 結案報告是否有 BIM 應用策略的建議，譬如說如何利用 BIM 模型及資訊，輔助資源分配及時程規劃的「策略」。	已依委員建議於第三章及第四章補充相關說明。
黃建築師鄧堯	
25. 資源分配系統與 PCCES 的資料總表有什麼差異？	「資源分配及時程規劃系統」(不同於 PCCES 或工程預算書單價分析表已預設各工項資源分配數量)可配合各工程不同工程限制條件及不同工作目標計算分析出較佳的資源分配及時程規劃。
26. 多維度 CAD 模型產生器與 Autodesk Navisworks 有什麼不同？	多維度 BIM 模型產生器將計算分析出的資源分配及時程規劃結果連結 3D BIM 形成動態之多維度 BIM 模型 (BIM+時程+資料)。另部分工項無法用 BIM 模型表示，因此將造成此部分工程進度無法展現於傳統 4D 模型(如: Autodesk Navisworks)中，但可展現於本研究提出之多維度 BIM 模型的動態資料視窗中，讓使用者仍可追蹤此部分工程進度。
27. 不是所有的工項都可以在 BIM 模型找到相對應的元件。	部分工程項目(例如，假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在 BIM 模型裡沒有相對應的(單一)BIM 元件，也將無法自 BIM 模型輸出(單一)相關資料，這類工程項目將納入另一表單，手動輸入補充資料。

28. 4D 模型如果應用於研究一至二個工項內的細部工序探討較能發揮效果，如果只是純粹做成類似好萊塢電影動畫觀看就無法充分發揮效果。	多維度 BIM 模型產生器將計算分析出的資源分配及時程規劃結果連結 3D BIM 形成動態之多維度 BIM 模型 (BIM+時程+資料)。另部分工項無法用 BIM 模型表示，因此將造成此部分工程進度無法展現於傳統 4D 模型(如: Autodesk Navisworks)中，但可展現於本研究提出之多維度 BIM 模型的動態資料視窗中，讓使用者仍可追蹤此部分工程進度。
謝教授育穎	
29. 研究實作驗證的成果，建議可轉換內容，用於與工程預算書工項及施工進度網圖之結合，一則可強化研究成果之應用，二則可以增進業界對 BIM 引進之意願。	感謝委員建議，將納入後續研究參考。
30. 本研究應用於建物管理維護之具體事項為何。	本研究成果為研提一結合 BIM、DES 及資料庫管理之建築工程營建管理策略藍圖，實際案例驗證則聚焦於研發「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能，並研訂如何自 BIM 匯出資料及使用資料格式，並經「工作分解結構及資料庫系統」依工項需求重新整合這些資料，供後續資源分配及時程規劃系統分析計算，惟建物管理維護並未納入本研究案研究範圍。
陳組長建忠	

31. 傳統 4D 模型是將已預設好的固定施工時程連結 3D BIM 模型形成 4D (3D+時間)模型，因整個工程項目繁多，故使用者常難以辨識播放中的工項為何。不同於傳統 4D 模型，本研究案應是匯出 3D BIM 模型資料供「資源分配及時程規劃系統」計算分析後，再將計算分析結果連結 3D BIM 模型形成動態之多維度 CAD 模型 (3D+時間+資料)。	感謝委員補充說明。
32. 請補充說明本研究案 BIM 模型可提供什麼資料供「資源分配及時程規劃系統」使用，也請說明本研究案成果是否針對施工階段。	本研究案 BIM 模型可提供元件代號、種類、面積、體積、材料、空間面積等資料，供「工作分解結構及資料庫系統」工作分解結構功能彙整各工項所需資料後，再供「資源分配及時程規劃系統」分析計算。另本研究案成果是針對施工階段。

附錄三、本研究之期末審查會議意見回應表

表 3 本研究之期末審查會議意見回應表

日期/時間	106 年 11 月 29 日（星期三）上午 9 時 30 分		
主持人	陳組長建忠		
地點	內政部建築研究所簡報室		
綜合討論與建議事項		本研究回應與處理	
桃園市政府住宅發展處 陳副總工程司松長			
1.	後續是否針對不同管理人員(業主、設計、施工)說明使用此系統之指導方針。	本研究案成果是針對施工階段，業主及施工廠商可依業務需求選擇使用範圍。	
2.	系統軟體取得便利性及成本投入會影響系統(計畫)推動之成效。	感謝委員補充提醒。	
中華民國全國建築師公會 林建築師志瑞			
3.	本報告內容介紹新觀念，建議後續可於另一研究案再深入研究，並宣導其省工、省時、省施工失誤之優點，使營建業和建設公司決策者樂於要求設計者(即建築師)採用，且願意編列 BIM 之繪圖經費。	感謝委員肯定，建議將納入後續研究參考。	
財團法人台灣建築中心 侯工程師雅壹			
4.	架構龐大，與其他支援軟體如何架接？	本研究所提架構涵蓋四個主要部分： (1) 3D BIM 模型；(2) 工作分解結構及資料庫系統；(3) 資源分配及時程規劃系統；(4) 多維度 BIM 模型產生器，目前除了 3D BIM 模型採用商業軟體 Autodesk Revit 外，其餘 3 系統皆規劃自行研發，尚無軟體間架接問題。	

5. 所有工項不見得有對應的元件，工作分解結構系統如何確保完整，及與 BIM 模型的對應關係？	部分工程項目(例如，假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在 BIM 模型裡沒有相對應的(單一)BIM 元件，也將無法自 BIM 模型輸出(單一)相關資料，這類工程項目將納入另一表單，手動輸入補充資料。
6. 系統資訊的來源，如工期、工率、單價等，是由元件提供或資源分配系統提供(系統資料庫預設值或手工鍵入)？	資源分配及時程規劃系統提供介面供使用者選擇各工項所需工種、工率及單價，工期可由系統依設定目標及限制條件自動計算分析求得。
陳建築師澤修	
7. 本研究與工程預定進度表息息相關，如何將進度管制與 BIM 系統結合是一項非常重要的課題。	感謝委員肯定。
8. 進度的超前或落後能在 BIM 系統中圖像化，是一項重要的功能。	感謝委員建議，將納入後續研究參考。
9. 變更設計及趕工計畫皆與資源數量的變化產生重要的關連，本研究可以提供上位總公司的總體資源調派做有效率的整體資源規劃。	感謝委員肯定。
林經理淑滿	
10. 施工模型元件代號、種類及面積等可提供離散模擬參考用資料，但施工模型用於模擬可能硬體需求會太高。	感謝委員提醒，經評估目前硬體效能應尚能執行離散事件模擬 DES(Discrete-Event Simulation)。

11. 請問工作分解結構及資料庫系統與工項進度表的內容相似嗎?是否搭配 Navisworks 或 Navigator 可執行類似內容?	「資源分配及時程規劃系統」之各工項進度皆由系統計算分析而得，搭配 3D BIM 模型、「資源分配及時程規劃系統」及「多維度 BIM 模型產生器」可產生系統間互相連動之多維度 BIM 模型，與傳統於 Microsoft Project 或 Primavera P3、P6 等排程軟體，依經驗或過往工程資料估計各工項時間及進度，再搭配 Navisworks 或 Navigator 執行 4D 不同。
12. 請說明多維度 CAD 模型產生器產生什麼?	「多維度 BIM 模型產生器」可產生系統間互相連動之多維度 BIM 模型。
13. 本研究所提架構涵蓋四個主要部分：(1) 3D BIM 模型；(2) 工作分解結構及資料庫系統；(3) 資源分配及時程規劃系統；(4) 多維度 CAD 模型產生器，請說明各系統間連結關係及應用目的為何?若能將資訊自動導入後，直接輸出各項相關報表會非常有貢獻。	感謝委員肯定。已依委員提問於第三章補充相關說明。
張建築師啟明	
14. 可以考慮調整系統架構圖各功能位置，將 WBS 及 BIM 調整至較明顯位置，其餘資源分配及時程規劃與多維度 CAD 模型產生器可調整至較不明顯位置。	感謝委員建議，將納入後續研究參考。
黃協理隆茂	

15. 施工過程會有假設工程係屬要徑，實際案例操作是否納入考量？	部分工程項目(例如，假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在 BIM 模型裡沒有相對應的(單一)BIM 元件，也將無法自 BIM 模型輸出(單一)相關資料，這類工程項目將納入另一表單，手動輸入補充資料。
16. 在模型上無法顯示的作業，在時程上須加以考量如何操作。	部分工程項目(例如，假設工程、須分梯次完成的工項及進料堆放等工程項目)在 BIM 模型裡沒有相對應的(單一)BIM 元件，也將無法自 BIM 模型輸出(單一)相關資料，這類工程項目將納入另一表單，手動輸入補充資料。
蘇副理瑞育	
17. 本案以施工階段為標的，以 BIM 整合資料、營建資源及時程，是非常深入的探討題目，困難可能會在於資料庫的建立。	感謝委員肯定及提醒。
18. 營建產業目前通常只用 5D(3D BIM+時程+預算/成本)來做這類的 BIM 應用，以利業主或施工單位控管時程及預算/成本，目前已有 Vico Office 等商業軟體可以使用。	感謝委員補充說明。
19. 目前國內在 4D/5D 大多是展示應用，與實際工程營管活動尚無緊密串連，整體環境尚未成熟，營建資訊化尚需努力，方可水到渠成。	感謝委員補充說明。
林建築師煒郁	
20. 本研究除資源分配及時程規劃外，建議或可同時探討實際施工時之細部工序及工進。	感謝委員建議，將納入後續研究參考。

21. 在實務經驗中，常會有變更設計或材料工法改變或臨時突發狀況等，或可考慮比較應用本研究與傳統工程之差異及效益。	感謝委員建議，將納入後續研究參考。
陳組長建忠	
22. 請進一步了解目前工地或營造廠是怎麼做的，以便在新研究案可以界定符合需要做的焦點。	遵示辦理。

參考書目

- [1] J. Choi, I. Kim, C. Jo, J. Choi, Application status of domestic architectural industry of open BIM and development direction, Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers 14 (6) (2009) 355–363.
- [2] N. Dawood, A. Akinsola, B. Hobbs, Development of automated communication of system for managing site information using internet technology, Automation in Construction 11 (5) (2002) 557–572.
- [3] J. Tulke, M. Nour, K. Beucke, A dynamic framework for construction scheduling based on BIM using IFC, in: Proceedings of the 17th IABSE Congress, Chicago, USA, 2008.
- [4] K.W. Chau, M. Anson, J.P. Zhang, 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development, Automation in Construction 14 (4) (2005) 512–524.
- [5] J. Tulke, J. Hanff, 4D construction sequence planning – new process and data model, in: Proceedings of the CIBW78 24th International Conference on Information Technology in Construction, Maribor, Slovenia, (2007), pp. 79–84.
- [6] D. Migilinskas, L. Ustinovichius, Computer-aided modelling, evaluation and management of construction projects according to PLM concept, Lecture Notes in Computer Science 4101 (2006) 242–250.
- [7] H.J. Wang, J.P. Zhang, K.W. Chau, M. Anson, 4D dynamic management for construction planning and resource utilization, Automation in Construction 13 (5) (2004) 575–589.
- [8] N. Dawood, Z. Mallasi, Construction workspace planning: assignment and analysis utilizing 4D visualization technologies, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 21 (7) (2006) 498–513.
- [9] Z. Mallasi, Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilising 4D visualisation, Automation in Construction 15 (5) (2006) 640–655.
- [10] CommonPoint, Common Point Inc., Common Point Inc., Mountain View, CA, <http://www.commonpointinc.com/>.
- [11] Synchro, The New Dimension in Construction Project Management, Synchro Ltd, Coventry UK, www.synchrold.com/.
- [12] VICO, Virtual Construction 2007, Vico Software, Inc., Boulder, CO, <http://www.vicosoftware.com/>, last accessed April 2009.

- [13] G. Lee, J. Won, S. Ham, Y. Shin, Metrics for quantifying the similarities and differences between IFC files, *Journal of Computing in Civil Engineering* 25 (2) (2011) 172–181.
- [14] R. Lipman, M. Palmer, S. Palacios, Assessment of conformance and interoperability testing methods used for construction industry product models, *Automation in Construction* 20 (4) (2011) 418–428.
- [15] Jeong, Y.S., Eastman, C.M., Sacks, R., Kaner, I. (2009). “Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete. *Automation in Construction*, 18, 469–484.
- [16] D.W. Halpin, CYCLONE – method for modeling job site processes, *Journal of the Construction Division* 103 (3) (1977) 489–499.
- [17] R. Pilcher, I. Flood, The use of simulation models in construction, in: *Proceedings of Institution of Civil engineers, Part 1, Design and Construction*, ICE, London, vol. 76, 1984.
- [18] B. Paulson Jr., W. Chan, C. Koo, Construction operations simulation by microcomputer, *Journal of Construction Engineering and Management* 113 (2) (1987) 302–314.
- [19] D.W. Halpin, *MicroCYCLONE User’s Manual*, Division of Construction Engineering and Management, Purdue University, West Lafayette, Indian, 1990.
- [20] R. Huang, D.W. Halpin, Visual construction operation simulation: the DISCO approach, *Microcomputers in Civil Engineering* 9 (6) (1994) 175–184.
- [21] J.C. Martinez, G.P. Ioannou, General purpose simulation with stroboscope, in: *Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, United States, 1994.
- [22] D. Hajjar, S. AbouRizk, Unified modeling methodology for construction simulation, *Journal of Construction Engineering and Management* 128 (2) (2002) 174–185.
- [23] Kartam, N. A. (1994). “ISICAD: Interactive System for Integrating CAD and computer-based construction systems.” *Microcomputers in Civ. Engrg.*, 9, 41–51.
- [24] Krom, R., and Tolman, F. (1991). “Integrated product and process modeling for construction robot control.” *Proc., 4th Int. Conf. on Comp. in Civ. And Build. Engrg.*, Kozo Systems, Tokyo, Japan, 451–458.
- [25] Navon, R. (1995a). “COCSY I: CAM oriented CAD system.” *J. Comp. in Civ. Engrg.*, ASCE, 9(4), 236–243.

- [26] Teicholz, P., and Fischer, M. (1994). “Strategy for computer integrated construction technology.” *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, ASCE, 120(1), 117–131.
- [27] Bjork, B. C. (1994). “RATAS project-developing an infrastructure for computerintegrated construction.” *J. Comp. in Civ. Engrg.*, ASCE, 8(4), 401-419.
- [28] Warszawski, A. (1992). “Automation of the building process.” *Proc., 9th Int. Symp. On Automation and Robotics in Constr.*, IAARC, Tokyo, Japan, 29-34.
- [29] Choi, K. C., and Ibbs, C. W. (1990). “CAD/CAE in construction: Trends, problems, and needs.” *J. Mgmt. in Engrg.*, ASCE, 6(4), 394–415.
- [30] Azimi, R., Lee, S.H., AbouRizk, S.M., Alvanchi, A. (2011). “A framework for an automated and integrated project monitoring and control system for steel fabrication projects.” *Automation in Construction*, Vol. 20, pp. 88-97.
- [31] FIATECH, <http://www.fiatech.org/>.
- [32] C.M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Architects, Engineers, Contractors, and Fabricators*, John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, 2008.
- [33] Chen, S.M., Griffis, F.H., Chen, P.H., Chang, L.M., *Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling*, *Automation in Construction* 21 (2012) 99–113.
- [34] Accepted by *Automation in Construction*.
- [35] Pritsker, A. A. B., O'Reilly, J. J., and LaVal, D. K. (1997). *Simulation with visual SLAM and AweSim*. Wiley, New York.
- [36] H. Li, P. Love, Using improved genetic algorithms to facilitate time-cost optimization, *J. Constr. Eng. Manage.* 123 (3) (1997) 233–237.
- [37] T. Hegazy, *Computer-based Construction Project Management*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 2002.
- [38] Aparna. B, Linu.T Kuriakose, Influential Factors Affecting Labour Productivity in Concreting of Columns, *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJIET)*, Vol. 5, Issue 2, April 2015, pp. 71–77.

- [39] Margaret Fulenwider, Philip Helmes, Mohammad Mojtajedzadeh, Rod MacDonald, Operational Labor Productivity Model, System Dynamics Society Conference in 2004
- [40]<http://osp.mans.edu.eg/elbeltagi/Cost%20Ch4.pdf>
- [41] A. Sawhney, O. Abudayyeh, T. Chaitavatputtiporn, Modeling and Analysis of a Concrete Production Plant using Colored Petri Nets, Journal of Computing in Civil Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), 1999 To Appear in July 1999 Issue.
- [42] A. Warszawski, S. Peer, Optimizing the location of facilities on a building site, Oper. Res. Q. 24 (1) (1973) 35–44.
- [43] W.E. Rodriguez-Ramos, “Quantitative techniques for construction site layout planning,” PhD dissertation, University of Florida, Gainesville, Fla. 1982.
- [44] A. Hamiani, “CONSISTE: a knowledge-based expert system framework for construction site layout,” PhD dissertation, Civil Engineering Dept., University of Texas, Austin, Tex. 1987.
- [45] I.D. Tommelein. “SightPlan—an expert system that models and augments human decision-making for designing construction site lay-outs,” PhD dissertation, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, Calif. 1989.
- [46] I.D. Tommelein, Site layout: where should it go? Proc., Constr. Congr., 91, ASCE, New York, 1991, pp.632–637.
- [47] I.C. Yeh, Construction-site layout using annealed neural network, J. Comp. Civ. Eng. ASCE 9 (3) (1995) 201–208.
- [48] T. Hegazy, E. Elbeltagi, EvoSite: evolutionary-based model for site layout planning, J. Comput. Civ. Eng. 13 (3) (1999) 198–206.
- [49] M.J. Mawdesley, S.H. Al-jibouri, H. Yang, Genetic algorithms for construction site layout in project planning, J. Constr. Eng. Manage. 128 (5) (2002) 418–426.
- [50] P.P. Zouein, H. Harmanani, A. Hajar, Genetic algorithms for solving site layout problem with unequal-size and constrained facilities, J. Comput. Civ. Eng. 16 (2) (2002) 143–151.
- [51] S. Cheung, T.K. Tong, C. Tam, Site pre-cast yard layout arrangement through genetic algorithms, Autom. Constr. 11 (2002) 35–46.

- [52] C.M. Tam, T.K. Tong, W.K.W. Chan, Genetic algorithms for optimizing supply locations around tower crane, *J. Constr. Eng. Manage.* 127 (4) (2001) 315–321.
- [53] H. Osman, M.E. Georgy, M.E. Ibrahim, A hybrid CAD based construction site layout planning system using genetic algorithms, *Autom. Constr.* 12 (2003) 749–764.
- [54] A. Khalafallah, K. El-Rayes, Trade-off between safety and cost in planning construction site layouts, *J. Constr. Eng. Manage.* 131 (11) (2005) 1186–1195.
- [55] A. Khalafallah, K. El-Rayes, Minimizing construction related hazards in airport expansion projects, *J. Constr. Eng. Manage.* 132 (6) (2006) 562–572.
- [56] D.M. Smith, An investigation of the space constraint problem in construction planning, Major Paper, MS, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va, 1987.
- [57] 陳建忠, 施宣光(2015). 臺灣 COBie-TW 標準與使用指南規劃與雛型建置, 內政部建築研究所.