

2015 中華民國營建工程學會第十三屆營建產業 永續發展研討會

BIM於建築施工性檢核之研究

余文德(Wen-der Yu)
中華大學營建管理學系
研究所教授

許伯誠(Po-Cheng Hsu)
中華大學營建管理學系
碩士班研究生

陳柏融(Bo-Rong Chen)
中華大學營建管理學系

國科會計畫編號：MOST 103-2622-E-216-002-CC3

摘要

過去研究證實應用建築資訊模型(BIM)技術，可以在初步設計及細部設計階段發掘建築元件之碰撞問題。然而目前實務上之應用，大多僅止於施工階段之前；對於 BIM 於專案生命週期施工性分析，缺乏全面性之討論。為了較深入瞭解 BIM 技術於目前產業環境下之應用問題，本文提出一個「以 BIM 為基礎之施工性分析模式(BICRM)」，用以輔助建築工程專案自初步設計階段至施工安裝階段之施工性分析工作。本施工性分析模式將專案生命週期之施工性分析分為四個階段：初步設計階段、細部設計階段、施工規劃階段及預製/鑄前階段。為了驗證所提出之模式的可行性，本研究以竹北地區一棟 14 層樓高層住宅建築專案進行實證研究。經實證分析結果發現，本文所提出之 BICRM 模式確實可以改善建築專案之施工性，其成本效益與傳統施工性改善計畫相當。本文並歸納討論目前產業環境下應用 BIM 進行施工性分析所遭遇之問題，以提供產業相關人士參考。

關鍵字：營建工程、施工性分析、建築資訊模型、碰撞分析

A Study on the BIM-based Constructability Review of Building Project

ABSTRACT

Building Information Modelling (BIM) has demonstrated its advantages in detecting collisions among the Architectural, structural and MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) components during constructability review in preliminary design and detailed design stages of many building projects. However, such applications usually stop prior to the construction stage, and there has been no empirical study on BIM-based constructability review for a complete building project. Problems encountered with such BIM applications remain unknown. To better understand the problems faced with BIM-based constructability reviews under current construction culture and environment, this paper proposes a BIM Integrated Constructability Review Model (BICRM) to assist construction engineers in conducting

constructability review tasks throughout the lifecycle of a construction project. In the proposed model, the constructability review tasks are classified into four stages: Preliminary design, 3D detailed design, construction planning, and pre-prefabrication stage. A case study was conducted on a 14 story high-rise residential building construction project to validate the proposed BICRM model. It is demonstrated that the proposed BICRM is useful in constructability problem identification and improvement. The benefit analysis results also show that the proposed BICRM can reach cost benefits similar to that reported in literature. The identified problems encountered with BIM-based constructability reviews from the results of the empirical study are also addressed and discussed at the end of the paper for references of the related practitioners.

Keywords: Construction engineering, constructability analysis, BIM, Clash detection.

一、前言

營建業因其分包承攬之特性，導致工程專案之組織為臨時性且分散之結構，不同參與者之間的溝通常常無法即時而精確，而造成大量變更、重工與浪費，致使成本居高不下而時程經常延宕。美國 Stanford 大學營建設施整合研究中心(CIFE)分析美國營建產業自 1964 至 2004 年的生產力指標，結果發現當其他非農業產業因為生產自動化而使生產力提升至 220%時，營建產業的生產力卻下降至僅達 1964 年水準之 80%(Eastman *et al.*, 2011)。為了改善營建產業生產力不佳之問題，美國及其他先進國家自 1980 年代開始就投入大量研究人力與物力，推動「施工性改善計畫」之研究(Ardery, 1991)。從美國的實施經驗發現，「施工性改善計畫」的投資報酬率約可達 10 至 20 倍(Ardery, 1991)，即每投資一塊錢在「施工性改善計畫」上，相對可以節省十至廿元的工程成本。

隨著資訊科技的快速發展，施工性檢查的技術也得到提升，依據 Stanford 大學 CIFE 中心針對 32 個重大營建工程專案之研究分析發現，應用 BIM 技術可以達到(CIFE, 2007)：(1) 減少高達 40%之原本預算以外的變更工作；(2) 使估價誤差降到 3%以內；(3) 專案成本估價時間減少 80%；(4) 透過碰撞檢查可以減少 10%之契約金額；(5) 縮短約 7%的專案時程。

雖然文獻報告中 BIM 可以達到上述效益，為了較深入瞭解 BIM 技術於目前產業環境下之應用問題，本文提出一個「以 BIM 為基礎之施工性分析模式(BICRM)」，用以輔助建築工程專案自初步設計階段至施工安裝階段之施工性分析工作。本施工性分析模式將專案生命週期之施工性分析分為五個階段：(1) 初步設計階段；(2) 細部設計階段；(3) 施工規劃階段；(4) 施工階段；及 (5) 預製/鑄階段。為了驗證所提出之模式的可行性，本研究以竹北地區一棟 14 層樓高層住宅建築專案進行實證研究，歸納並討論目前產業環境下應用 BIM 進行施工性分析所遭遇之問題，以提供產業相關人士參考。

二、文獻回顧

2.1 施工性改善與施工性改善計畫

廣義的「施工性」涵蓋整個營建專案生命週期的規劃、設計、施工及營運等各個階段，整合這計畫所有參與者的工程知識與經驗，以追求該工程專案整體之最大利益及計畫目標。美國「營建產業研究中心」(Construction Industry Institute, CII)對「施工性」的定義是：「將過去所累積的工程知識與經驗，最有效地應用在規劃、設計、採購及現場施工等各階段，以達成專案整體之目標。」專案計畫的改進過程從業主提出需求構想時開始，一直持續到整個工程專案完成啟用為止，稱為「施工性改善計畫」。

2.2 建築資訊模型(BIM)

築資訊模型(Building Information Model 或 BIM)為物件導向之參數式建模方法，BIM 定義了物件之間的相互關係，倘若物件遭到改變，BIM 系統將自動地改變受到影響的其它物件(Eastman et al., 2011)。傳統 2D CAD 設計圖在處理變更時，往往必須一一變更，容易造成掛萬漏一之情形。在導入 BIM 系統之後，這些個別圖面的變更將自動完成。利用 BIM 的技術，使得此模型可用於分析、模擬及最佳化設計方案，且具有自動產生圖面和報表、自動估算成本、工程施工的排程、設備維護管理等功能(張鎧峻、徐德修，2013)。

2.3 BIM 於施工性檢核之應用

美國 Stanford 大學 CIFE 中心針對 32 個重大營建工程專案，分析 BIM 應用之效益，發現透過 BIM 分析可以事先發掘施工衝突問題，減少變更，降低成本並縮短工期(CIFE, 2007)。然而該研究報告並未針對 BIM 於施工性分析之應用，進行分析及討論。

Folkestad and Sandlin (2003)應用 3D BIM 模型來改善工程之施工性，主要是應用立體模型進行施工空間需求之分析，屬於較早期之 BIM 應用。Hartmann and Fischer (2007)則是將 BIM 導入施工預備階段之施工方案評估，以分析施工順序、施工排程以及施工設計方案。

大陸學者 Wang et al. (2013)提出應用 BIM 技術來進行 MEP 空間配置最佳化模式，他們的模式首次以營建專案全生命週期之觀點來探討，而該研究主要是針對 MEP 配置之最佳化，而非全面性之施工性改善模式。

2.4 小結

由以上文獻探討可知，國內外雖然有針對以 BIM 為基礎之營建專案施工性改善方法之研究，除了 Wang et al. (2013)之報告外，也較少實證數據之佐證。有鑑於此，本研究擬針對建築工程專案生命週期各階段之施工性改善提出整合分析模式，並透過實證研究探討相關工作可能遭遇之問題。

三、以 BIM 為基礎之整合施工性檢查模式(BICRM)

有鑑於文獻中所提出之施工性改善皆有其侷限性，本研究以 Wang et al. 針對 MEP 空間配置最佳化所提出之模式為基礎，參酌其他學者針對施工性改善所提出之方法，提出一個「以 BIM 為基礎之整合施工性檢查模式(BIM-based Integrated Constructability Review Model, BICRM)」之初步架構，如圖 1 所示。

3.1 BICRM 分析流程

本研究所提出之 BICRM 分析模式共包含四個階段，以下說明此四階段之施工性檢查與分析內容：

1. 初設階段施工性檢查與分析—負責檢查之人員為設計建築師及專業技師，參考模型為 3D 初步設計 BIM 模型，所採用之設計/施工性改善方法為「依據功能需求及成本預算限制規劃建築構件設計方案」。

2. 細設階段施工性檢查與分析—負責檢查之人員為設計建築師及專業技師，參考模型為 3D 細部設計 BIM 模型，所採用之設計/施工性規劃方法為「依據空間需求與限制規劃建築與 MEP 構件配置方案」。

3. 施工規劃階段施工性檢查與分析—本階段負責檢查之人員為總承包商，參考模型為 3D 施工規劃 BIM 模型，所採用之設計/施工性規劃方法為「依據施工可行性規劃建築與 MEP 構件空間配置與結構施工流程方案」。

4. 預製前階段施工性檢查與分析—本階段負責檢查之人員為各專業承包商，參考模型為 3D 完工 BIM 模型，所採用之設計/施工性規劃方法為「依據完工偏差規劃廠製/預鑄構建設計與施工流程方案」。

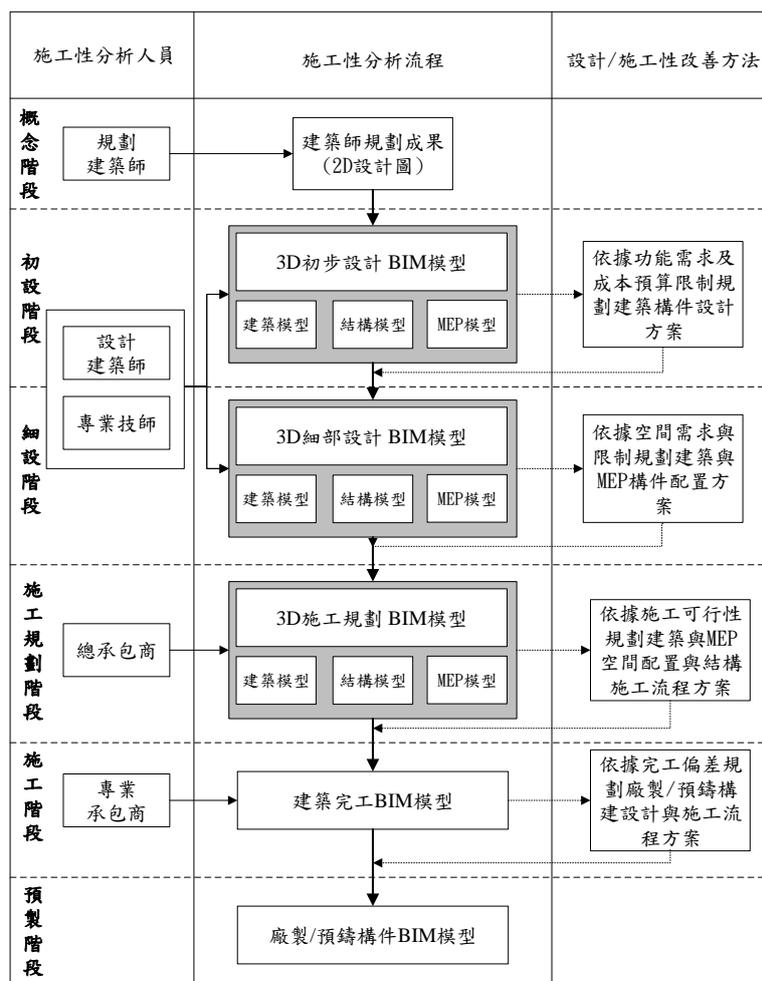


圖 1、以 BIM 為基礎之整合施工性檢查模式(BICRM)架構

3.2 施工性改善方法

圖 2 中所提出之 BICRM 模式包含四種設計與施工性改善方法說明如下：

1. 依據功能需求及成本預算限制規劃建築構件設計方案—建築師/工程師可依據 3D 初步設計 BIM 模型，並參考日照、能源效率等資訊的分析，以決定最佳之初步設計方案。
2. 依據空間需求與限制規劃建築與 MEP 構件配置方案—建築師/工程師可利用 BIM 軟體進行碰撞分析及干擾分析以決定最佳之建築及 MEP 構件空間配置。
3. 依據施工可行性規劃 MEP 構件空間配置與結構施工流程方案—營建工程師可依據 3D 細部設計 BIM 模型，應用施工性經驗學習檔案來檢查以下四項施工性課題：
 - 施工進出需求—人員、材料及機具等施工所需之進出路徑及空間需求；
 - 構件配置—參考標準構件之尺寸進行廠製/預鑄規劃，以減少現場修正需求，達到最佳之施工效率及成本效益；
 - 施工法規劃—透過大量廠製/預鑄構件，達到更有效率的材料運送及構件組裝；
 - 安全性規劃—將高空作業時間減少至最低，以避免施工人員之危險暴露機率，以提升施工之安全性。
4. 依據實際完工偏差規劃廠製/預鑄構建設計與施工流程方案—機電工程師可以依據 3D 之建築竣工 BIM 模型修正廠製/預鑄構件之尺寸，以避免因為施工偏差所造成的現場施工性問題。

四、個案實證

為驗證所提出之 BICRM 模式的可行性，本研究選擇一棟 RC 構造集合住宅建築工程

興建專案為實證案例，應用所提出 BICRM 模型，配合專案人員進行實證研究。

4.1 案例資訊

本實證案例為一棟位於新竹縣竹北市自強段，地下二層、地上十四層之 RC 構造集合住宅建築工程興建專案。本專案之基本資訊，如表 1 所示。

表 1 實證專案基本資訊

工程概要	地下 2 層，地上 14 層 RC 構造
起造人	○○建設股份有限公司
設計單位	吳○○ 建築師事務所
施工廠商	○○營造有限公司
基地面積	2270.01 m ²
建蔽率	49.96%
容積率	199.92%
總樓板面積	4538.20 m ²
工程造價	91,658,000 元

受限於本研究之時程以及個案之實際專案執行進度，故本案例實證之範圍僅涵蓋自細部設計檢討至部分施工階段之施工性檢核。

4.2 模型建置

本研究主要探討各建築構件與機電系統之施工性問題。故依現場需求建置建築模型與機水電模型。

1. 建置建築模型時，以樓層為單位分別建置模型並獨立儲存檔案。確認各層模型無誤後並整合各層建築模型檔案以作為施工性檢核之 BIM 模型。所建置之建築 BIM 模型，如圖 3 所示。

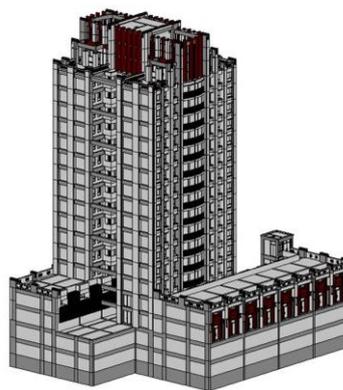


圖 3 範例專案建築 BIM 模型

2. MEP 模型之建置

機電模型在營建專案施工性中扮演非常重要之角色。因此，機電模型之建置是 BICRM 模式能否成功應用之關鍵。本計畫所需建置的機水電(MEP)模型包含：(1)消防系統、(2)排水系統、(3)弱電系統和(4)電力系統等四大系統。本 MEP 模型除了分系統外，也分樓層來建置，以樓層為單位來儲存檔案。所建置之機水電 BIM 模型，如圖 4 所示。

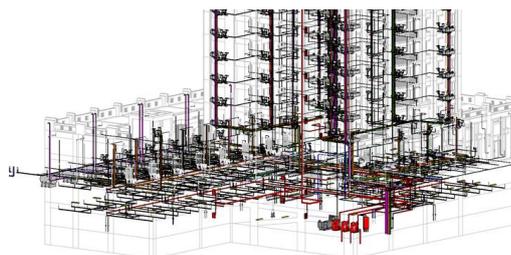


圖 4 範例專案機水電系統 BIM 模型

3. 模型審核

為了更有效率地進行施工性檢核工作，本研究選擇 Autodesk Navisworks® Manage 作為 BIM 模型之分析工作。使用軟體「Clash Detective」功能執行衝突檢核，相較於直接在 Revit® 軟體中進行模型檢核審核的作業更具效率。

4.3 細設階段至施工階段施工性檢核應用

如前文所述，受限於本研究之執行期間以及實證個案之實際專案執行進度，故本案例實證之範圍僅涵蓋自細部設計檢討至部分施工階段之施工性檢核。

4.3.1 細設階段

1. 細設階段施工性檢核

BIM 工具應用於本階段，主要在進行各系統間之設計衝突分析。為發掘實證案例之施工性問題，在細設階段至施工規劃階段共執行以下七項衝突檢查：(1) 結構 vs. 排水；(2) 結構 vs. 消防；(3) 結構 vs. 弱電；(4) 結構 vs. 給水；(5) 排水 vs. 消防；(6) 排水 vs. 弱電；及(7) 消防 vs. 弱電。偵測結果，如表 2 所示。由表 2 可知，透過 Navisworks 偵測出之系統碰撞衝突總數為 423 個，其中結構 vs. 排水所佔之比例最高，達到 82.03%。表 2 為本階段所執行七項衝突檢查之結果統計表。

表 2 偵測衝突數量統計表

偵測對象	已偵測之衝突數量	%
結構 vs. 排水	347	82.03%
結構 vs. 消防	44	10.40%
結構 vs. 弱電	4	0.95%
結構 vs. 給水	3	0.71%
排水 vs. 消防	9	2.13%
排水 vs. 弱電	5	1.18%
消防 vs. 弱電	11	2.60%
總計	423	100.00%

表 2 顯示實證案例之細部設計成果，這些衝突問題若無法在執行施作前加以解決，則將造成現場之施工性問題。最終將導致重工，而造成成本增加與時程之延宕。

一般 BIM 模型檢視之碰撞種類，可分為「硬碰撞」與「軟碰撞」兩種。其中，「硬碰撞」是屬於構建間的實體衝突，亦即物件發生重疊之情形；而「軟碰撞」雖然沒有發生實體衝突，但可能影響到系統功能性。為了區分所辨識出之系統碰撞之施工性，本研究定義以下三種碰撞類型：

- (1) 「有效的衝突」—即真正會導致施工性問題的真實碰撞，當場施作時，將會導致額外之解決時間與成本。例如圖 5 中排水立管與樑衝突問題：一般而言排水立管不可能會從樑中央垂直穿越。

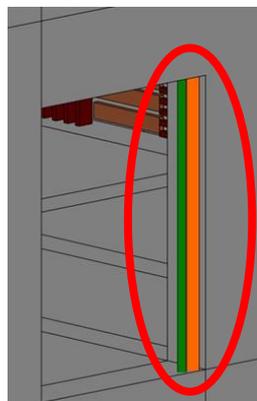


圖 5 排水立管與樑衝突

(2) 「無效的衝突」—這類衝突雖可透過 BIM 分析軟體偵測出來，也是現場施工時實際發生之衝突；不會付出任何額外之人力、時間和材料等成本。將其列為無效的衝突大致可分為以下兩種類型：

1. 第一種類型是灑水管線與結構體衝突—考量到灑水管線吊管位置要在天花板上，以至於故意衝突。所以判定為無效衝突，如圖 6 所示之排水吊管與結構體衝突。

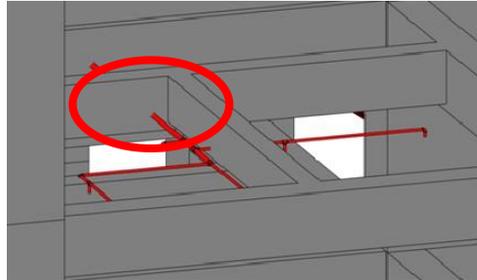


圖 6 灑水管線與結構體衝突

2. 第二種類型是常發生於 2 吋以下管線與結構體衝突—因為 2 吋以下，衝突對結構體影響不大，因此現場施作時常不會加以迴避，所以亦判定為無效衝突。例如圖 7 所示之洗手檯的排水管線與結構體衝突。

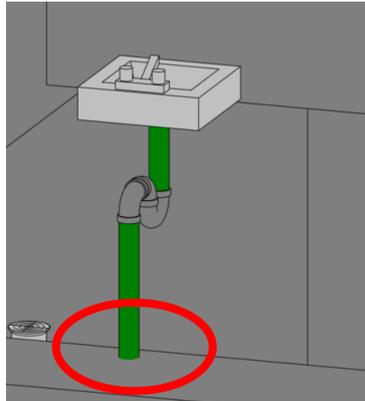


圖 7 洗手檯的排水管線與結構體衝突。

(3) 「非實際的衝突」—主要是建模者不了解機電實務之施作方式，而導致建置出不正確、不符合現場的模型，可以透過修改模型來改善，如圖 8 之弱電線槽與結構體衝突。

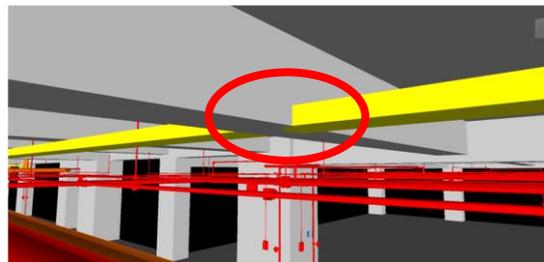


圖 8 弱電線槽與結構體衝突

2. 細設階段施工性改善效益分析

由表 3 之統計數據分析發現，本實證專案所辨識出之 423 個衝突中，共計 38 個，約佔總衝突數之 9%；估計解決成本合計僅 14,800；預估總解決時程，約為 120 小時。

本階段施工性檢核之成本包括 BIM 建築及 MEP 模型建置成本(約 10 萬元)、相關人員之會議成本(約 1.0 萬元)，尚且不包含 BIM 軟體購置成本等。然而 BIM 建築及 MEP 模型並非完全為施工性檢核而建置，施工性檢核僅為 NBIMS 所定義的 25 種 BIM 應用之一(CIC Research Program, 2010)。將 BIM 模型之建置成本均攤後($100,000/25=4,000$)，再依

據上述案例實證數據評估，本專案細設階段應用 BICRM 之成本效益約為 $(14,800 - (4,000 + 10,000)) / (4,000 + 10,000) = +5.7\%$ 。

表 3 實證專案衝突類型統計與成本分析

衝突偵測	偵測衝突總數(個)	有效衝突(個)	無效衝突(個)	非衝突(個)	施工前解決所需時間(小時)	施工前解決所需人力成本(人時)	施工前解決所需材料成本(元)	施工中解決所需時間(小時)	施工中解決所需人力成本(人時)	施工中解決所需材料成本(元)
結構/排水	347	10	313	24	20	3	0	40	5	4800
結構/消防	44	18	25	1	25	3	0	50	5	6000
結構/弱電	4	-	-	4	-	-	-	-	-	-
結構/給水	3	-	-	3	-	-	-	-	-	-
排水/消防	9	-	-	9	-	-	-	-	-	-
排水/弱電	5	-	-	5	-	-	-	-	-	-
消防/弱電	11	10	-	1	15	3	0	30	5	4000
總計	423	38	338	47	60	9	0	120	15	14800

雖然表 3 所顯示之施工性檢核及改善效益似乎並不明顯，該專案之工地主任亦同意要避免 338 個「無效衝突」，需要至少五年以上現場實務經驗，否則可能會發生後續之施工性問題以及工期之延宕。因此，實際之成本效益尚需考量現場人員之經驗而定。

3. 細設階段施工性改善問題範例

- (1) 地下室排水管線設置問題檢討—由於地下室寬度太寬，導致排水管線過長，進而影響地下之淨高，如圖 9 所示；透過 BIM 軟體之分析，事先偵測到此一問題，更改排水管線起始位置，以改善淨高不足之問題。

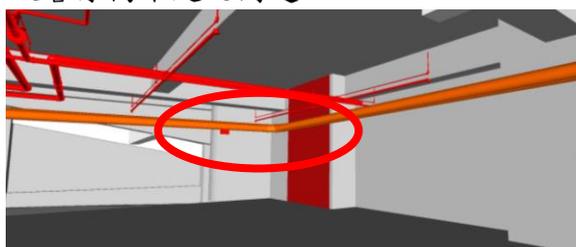


圖 9 地下室排水管線淨高不足之問題

- (2) 小樑與水箱開口施工性問題檢討—小樑所在位子正好是水箱開口的正上方，如圖 10 所示；透過 BIM 軟體之視覺化分析，辨識出本施工性問題，並不施做其小樑。

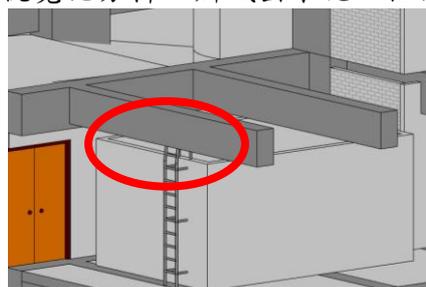


圖 10 小樑位置在水箱開口正上

4.3.2 施工規劃階段

1. 施工規劃階段施工性檢核

施工規劃階段之施工性檢核，主要是透過詳細的施工順序規劃，進行施作方案之最佳化；並事先找出可能的施工衝突，加以改正或避免。以下僅舉例說明施工規劃階段 BIRCM 之應用：

- (1) 土方工程與擋土工程施工序規劃—由於本專案鄰近人口密集交通繁忙之竹北高鐵特定區，施工車輛之進出受到嚴格限制。本專案利用 BIM 軟體之體積估算功能，精確估算土方之數量(如圖 11 所示)，順利完成地下工程之施作。

<挖土方明細表>		A	B
	A	B	
	類型	體積	
第一次開挖-中間		4079.93 m ³	
第一次開挖-底層		4056.61 m ³	
第一次開挖-表土		4587.84 m ³	
第三次開挖		1923.05 m ³	
第二次開挖		1934.10 m ³	
		16581.53 m ³	



	A	B
1	挖土方明細表	
2	類型	體積
3		
4	第一次開挖-中間	4079.93 m ³
5	第一次開挖-底層	4056.61 m ³
6	第一次開挖-表土	4587.84 m ³
7	第三次開挖	1923.05 m ³
8	第二次開挖	1934.10 m ³
9		16581.53 m ³

圖 11 土方之數

- (2) 一樓店鋪污水處理池高程不足問題檢討—污水橫主管與廢水橫主管設計在地下下一層，然因最終排放管出口必須高於鄰近之排水溝，導致排水管架設過低必須穿樑，致使一樓使用空間淨高降低。此一施工性問題在配置一樓排水管施工時發現，透過 BIM 軟體之輔助，更改排水管之管路配置，終於滿足洩水坡度。

2. 施工規劃階段施工性改善效益分析

上述施工規劃階段施工性問題檢討之效益不易估算，經過與工地主任討論後，姑且粗略估算 BICRM 於工規劃階段之成本效益至少達到 30 萬，而工期之節省至少兩周以上。仿照細設階段施工性效益評估方法，本專案施工規劃階段應用 BICRM 之成本效益約為 $(300,000 - (4,000 + 10,000)) / (4,000 + 10,000) \geq +2,042\%$ ，此一效益不低於文獻中所記載的傳統施工性改善效益(Russell *et al.*, 1993; Russell *et al.*, 1992; Russell and Gugel, 1993)。

五、實證結果討論

5.1 主要研究成果與發現

- 本研究之實證發現，過去阻礙工程人員執行施工性檢核之關鍵—缺乏有效之分析工具，在 BIM 技術提出後，可以改善過去難以辨識之施工性問題。在 BIM 導入後，可以讓施工廠商之間的介面協調更為有效。
- 本研究實證案例分析發現，衝突分析後，共發掘出 423 個衝突問題，338 個(約佔 80%)為故意或無效之衝突；這些衝突大多以管線穿越結構體來解決。大多未經過結構技師之分析，或多或少會影響到結構安全，是我國營建工程實務之惡習所致，而非 BIM 分析工具之分析能力不足。

5.2 BIM 工具應用於施工性檢核之限制

- 目前坊間的 BIM 工具在施工性問題檢核上仍然受到較大限制。主要功能是 3D 視覺化的空間衝突分析，雖有支援 4D 模擬分析之功能，但建模與分析過程繁複，效益不高。
- BIM 分析工具對於經驗性之施工性知識缺乏支援功能，例如一些材料選擇、現場配置、勞工安全等方面之施工性知識，皆無法直接以現有之 BIM 工具加以分析。

六、結論與建議

6.1 結論

本文提出一個「以 BIM 為基礎之施工性分析模式(BICRM)」，用以輔助建築工程專案自初步設計階段至施工安裝階段之施工性分析工作。最後以竹北地區一棟 14 層樓高層住宅建築專案進行實證研究，歸納並討論目前產業環境下應用 BIM 進行施工性分析所遭遇之問題，以提供產業相關人士參考。

經過本實證研究發現，本文所提出之「以 BIM 為基礎之整合施工性檢核模式(BICRM)」頗為可行，其效益亦與傳統施工性改善計畫相當，非常值得國內營建專案參與各界加以採用。然而現有 BIM 分析工具對於施工性檢核工作之執行仍然存在許多限制，亟待有志研究人員投入研究。

6.2 建議

經過本實證研究後，建議後續研究者可以繼續朝以下方向進行：

1. 以 BIM 為基礎之營建施工技術知識庫之建立—要解決此一問題，必須建立以 BIM 為基礎之營建施工技術知識，如此，施工性分析便可以透過知識系統進行自動化分析。
2. 施工性知識建築資訊建模化—要解決此一問題，必須建立以 BIM 為基礎之營建施工技術知識表達方式，再將過去所累積之施工性知識進行轉換，成為 BIM-based 系統所能辨識與應用之知識。
3. 新一代自動化施工性檢核系統之研發—雖然有學者針對施工性審查研發相關之自動化分析與評估系統，這些系統大多以傳統文字法則為基礎，未能利用 BIM 模型所提供之相關資訊。實有必要研發新一代以 BIM 為基礎之自動化施工性檢核系統。

七、誌謝

本研究之經費由科技部產學合作計畫資助，計畫編號：MOST 103-2622-E-216-002-CC3。此外，本研究之實證案例承蒙美地建設鄭苗英董事長、呂明仁主任及其他專案人員協助訪談，並提供相關之專案資料以利研究之進行，謹此誌謝。

八、參考文獻

1. Ardery, E. R. "Constructability and constructability programs." White paper, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 117(1), pp. 67-89, 1991.
2. CIFE. CIFE Technical Reports (November 22, 2007) [WWW document] URL <http://cife.stanford.edu/Publications/index.html>, 2007.
3. CIC Research Program, 2010, "BIM Project Execution Planning Guide," version 2.0, developed by Computer Integrated Construction Research Program at The Pennsylvania State University.
4. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K., BIM handbook, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., p. 10, 2011.
5. Folkestad, J. E. and Sandlin, D. (2003). "Digital Construction: Utilizing three dimensional (3D) computer models to improve constructability." Internet article: accessed at: www.cm.cahs.colostate.edu/Faculty_and_Staff/folkestad/PDF/Folkestad%20&%20Sandlin%20IEMS%202005.pdf, accessed 2014/4x.
6. Hartmann, T. and Fischer, M., "Supporting the constructability review with 3D/4D models," Building Research and Information, 35, pp. 70-80, 2007.

7. Russell, J., and Gugel, J., "Comparison of two corporate constructability programs," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 119, No. 4, pp. 769-784, 1993.
8. Russell, J., Gugel, J., and Radtke, M., "Documented constructability savings for petrochemical-facility expansion," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, Vol. 7, No. 1, pp. 27-45, 1993.
9. Russell, J., and Gugel, J., and Radtke, M., "Benefits and cost of constructability: Four case studies," Source Document 83, Construction Industry Institute, Austin, TX, U.S.A., 1992.
10. Wang, J., Wang, X., Shou, W.C., and Guo, J. (2013). "An Approach of Utilizing Building Information Modeling to Optimize MEP Layout." *Proceedings of the 30th CIB W78 International Conference*, Oct. 9-12, Beijing, China.
11. 張鎧峻、徐德修，「建築資訊模型應用於結構分析設計之整合流程」，2013年電子計算機於土木水利工程上之應用研討會，201/9/5~6，台北，C14-1，8 pp.，2013