

結構化風險資訊在營造工程 施工安全 BIM 應用的探討

鄒子廉¹、羅紫萍²、李文進¹、張志銘¹、張建偉¹

¹勞動部職業安全衛生署

²月進整合科技有限公司

摘要

建築資訊模型（BIM）由於其豐富的三維模擬與資訊承載能力，改變了施工安全管理等營造工程許多領域的工作模式，也成為了一項重要的營造工程職安衛科技。因此，研究營造工程施工安全 BIM 應用的務實可行方法，將有助於營造工程職安衛管理能力的提升。為此，本研究首先探討各國推動營造工程施工安全 BIM 應用的做法，並歸納出營造工程施工安全 BIM 應用朝向「場景模擬→安衛元件庫→結構化風險資訊」的趨勢發展，回歸到風險資訊的傳遞與共享。因此，本研究根據國際發展趨勢、國內制度指引、工程習慣與職災案例報告等，建立一套將結構化風險資訊應用在營造工程施工安全的務實可行方法，包括使用 BIM 來定義結構化風險資訊、呈現風險資訊以及產出風險資訊清單等步驟，讓風險資訊經由 BIM 有效傳遞至工程相關參與者進行協作使用。本研究同時以管道間開口墜落、電梯直井墜落、吊料作業墜落等風險進行案例驗證，結果顯示本研究所提的方法可有效描述風險資訊，並能呈現風險控制措施前後差異，有利於風險資訊的共享與使用。使用結構化風險資訊方法可有助於工程規劃施工風險評估、工程變更施工風險評估、復工申請、危害告知、組織知識累積等工作，提高風險評估與風險管理能力。

關鍵詞：建築資訊模型、施工安全、營造工程、結構化風險資訊、職業安全衛生管理（職安衛管理）

民國 109 年 12 月 9 日投稿，民國 110 年 2 月 22 日修改，民國 110 年 3 月 2 日接受。

通訊作者：羅紫萍，月進整合科技有限公司，新北市中和區中山路二段 296 號 9 樓之 8，電子郵件信箱：kinolu9@gmail.com

緒言

營造工程特性在於專案性質，每個工程專案的地點、環境、作業項目與人員組成都會有所差異，營造工程職安衛管理相較於其他產業有其複雜性。此外，隨著近年來基礎建設與台商回流的帶動，全台建設遍地開花之際，對於營造工程各類型工班的需求孔急，工班流動的加速對於營造工程職安衛管理帶來更大的挑戰。除了政策制度與管理系統的持續推動之外，新興科技（*emerging technologies*）的應用也是促進營造工程職安衛管理的有效方法。其中，建築資訊模型（*Building Information Modeling, BIM*）就是有助於營造工程職安衛管理的一項重要科技。

BIM 的發展源由於 1970 年代，由喬治亞理工大學的 Charles M. Eastman 教授提出概念，並在其著作「*BIM Handbook*」中介紹業主、建築師、工程師、營造工程、設施管理者等角色如何使用 BIM[1]。由於 BIM 能夠提供豐富的幾何圖形與非幾何數據，讓使用者可彈性與靈活地進行管理，BIM 在設計方案的環境最佳化、日照與能源分析、排程模擬、衝突檢討、漫遊分析等應用都得到良好的成效。國內許多公部門，例如臺北市政府、新北市政府、桃園市政府、台中市政府、經濟部水利署、交通部公路總局、交通部高速公路局等，也曾在工程契約中納入 BIM 要求。

BIM 的發展改變了營造工程許多領域的工作模式，也包括施工安全管理。芬蘭在 2012 年提出「一般 BIM 要求（*Common BIM Requirements*）」，

開啟了營造工程施工安全 BIM 應用的要求。隨後，美國、英國與葡萄牙等國家也都紛紛提出規範或標準來推動營造工程施工安全 BIM 應用，而應用的重點也從場景模擬到安全設施元件提供，再到結構化風險資訊。營造工程施工安全 BIM 應用不僅有助於工程規劃階段或工程變更的風險評估，記錄結構化風險資訊的 BIM 模型更有助於風險資訊的協作共享與使用，更可成為組織累積的知識。

為進一步說明營造工程施工安全 BIM 應用的演進，本研究將針對各國的推行模式進行說明與探討，以歸納出應用的趨勢。同時，本研究也根據國內相關規定與工程習慣，針對營造工程施工安全 BIM 應用提出一個務實可用的方法。

各國推動營造工程施工安全 BIM 應用的作法

目前國際上推動營造工程施工安全 BIM 應用的主要國家包括芬蘭、美國、英國、葡萄牙等，下面就各國推動情況進行說明：

1. 芬蘭

芬蘭在 2012 年頒佈「一般 BIM 要求（*Common BIM Requirements*）」，是全球第一個將施工安全 BIM 應用寫入規範文件的國家，內容主要在該規範中的 4.5 節：在 BIM 的協助下確保施工階段安全（*Ensuring Safety at Construction Phase with help of BIM*）（圖 1）。

在該章節中提到承包商可以在業主同意的建模精度與範圍下，經由 BIM 模型的協助下呈現危害防止的解決方案。該標準認為可從三個層面應用 BIM 來改進施工安全：（1）通過提

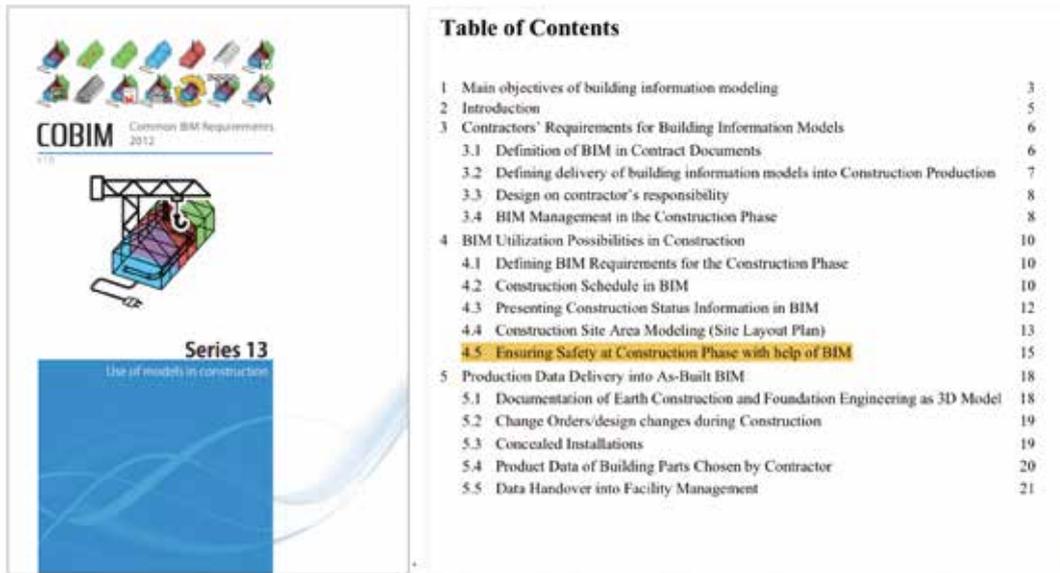


圖 1 芬蘭一般 BIM 要求 [2]

前規劃與模擬施工作業，以及將在現場過程不同階段的必要安全預防措施與設備（圖 2）；（2）確保結構能被安全地建造，且必要的安全設備連結件能在結構中正確地安裝；（3）所規劃的安全方案可以適當地可視化。

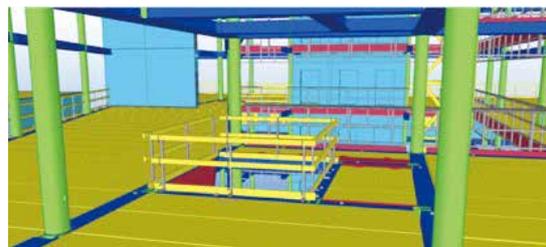


圖 2 施工安全作業場景模擬 [2]

2. 美國

美國紐約建設局（New York City Department of Buildings）在 2013 年發佈了「工地安全建築資訊模型指導綱要與標準（Site Safety Building Information Modeling Guidelines and

Standards）」，說明了提交施工安全 BIM 模型的要求、過程與程序。該標準對於安全設施的參數與發展程度（Level of Development, LOD）都有建議，同時在紐約建設局的網頁上也提供元件庫使用（圖 3）。

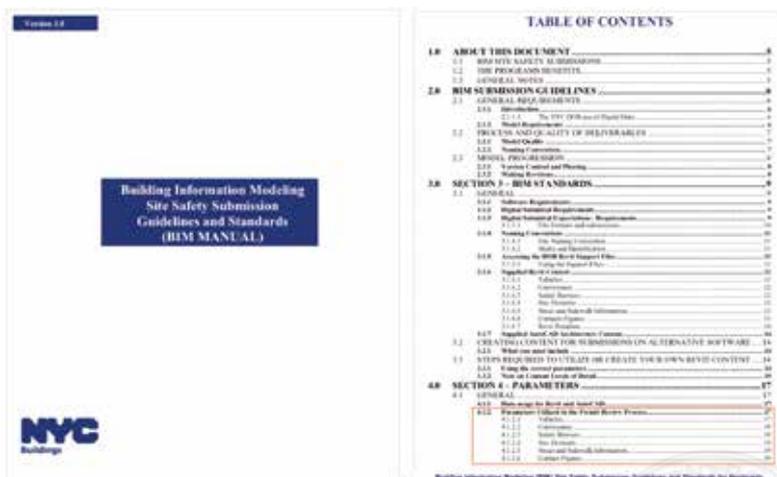


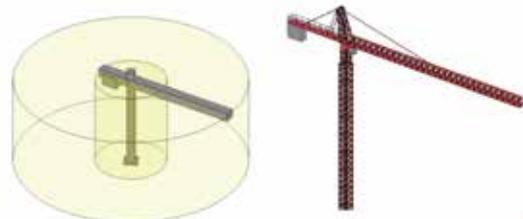
圖 3 美國紐約建設局工地安全建築資訊模型指導綱要與標準 [3]

在該標準中針對車輛載具 (vehicles)、運輸工具 (conveyance)、安全護欄 (safety barriers)、場地元素 (site elements)、街道與人行道資訊 (street and sidewalk information) 等元件提出了安全相關參數的記錄要求。以吊車 (cranes) 為例，要求記錄類型 (type)、製造商 (manufacturer)、許可號碼 (permit number)、許可連結 (link to permit)、規範連結 (link to specifications)、迴轉半徑 (radius of swing) 等。

值得注意的是，該標準認為相較於一個貼近真實的複雜模型 (如圖 4 (b))，一個具有正確資訊的簡單模型 (圖 4 (a)) 更能發揮作用。因此，該標準重視 BIM 模型記載資訊的正確性，而不是其模擬效果。

3. 英國

英國標準協會 (British Standards Institution) 在 2018 年發佈了 PAS



(a) 具有正確資訊的模型 (b) 貼近真實的模型

圖 4 美國紐約建設局工地安全建築資訊模型要求 [3]

1192-6: 2018 標準「使用 BIM 結構化安衛資訊的協作分享與使用規範 (Specification for collaborative sharing and use of structured Health and Safety information using BIM)」。該標準將結構化安衛資訊記錄在 BIM 模型，並經由風險管理循環與業主、設計者、承包商、最終使用者等參與者協作分享與使用 (圖 5)。

該標準通過將結構化安衛風險資訊記錄在 BIM 模型中的元件 (component) 或工作面 (space) 的方



圖 5 英國 PAS 1192-6: 2018 標準 [4]



式（圖 6），再經由風險管理循環分享給各參與者使用。該標準整合了建築資訊模型、結構化安衛風險資訊、風險管理循環、參與者協作分享與使用等要素，為營造工程施工安全 BIM 應用提供了一個具體的方向（圖 7）。

4. 葡萄牙

葡萄牙目前也積極在推動營造工程施工安全 BIM 應用 [5]，主要將參考 PAS 1192-6: 2018 標準的架構以及芬蘭與美國的規範標準，結合葡萄牙的法

規與習慣來研擬應用標準。其中主要的差異在於葡萄牙將安衛協調員（H&S Coordinator）列入施工安全 BIM 應用的主要參與者（圖 8）。

營造工程施工安全 BIM 應用的實務方法

1. 基本概念

從各國制訂的標準規範來看，營造工程施工安全 BIM 應用朝著「場景模擬→安衛元件→結構化風險資訊」

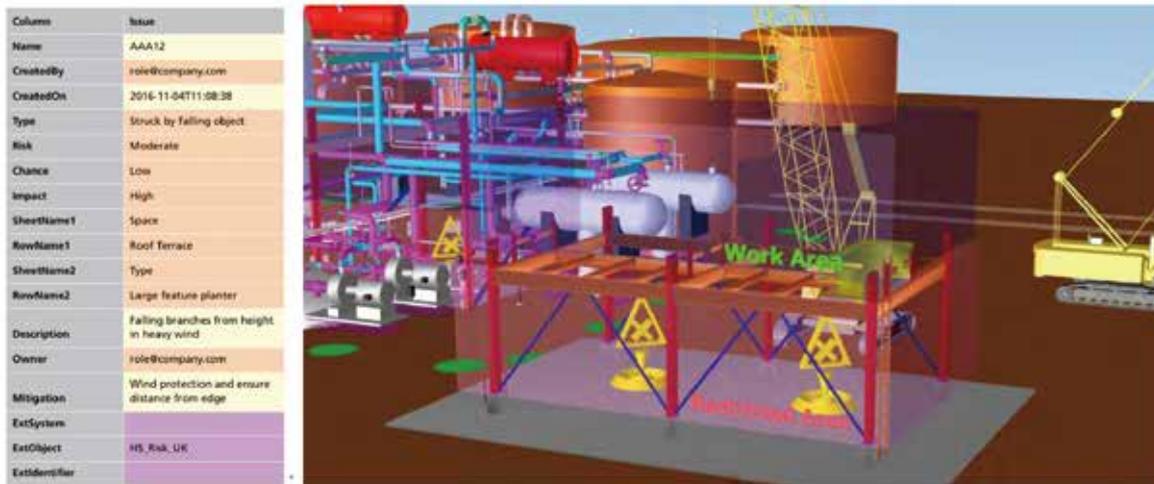


圖 6 結構化安衛風險資訊 [4]

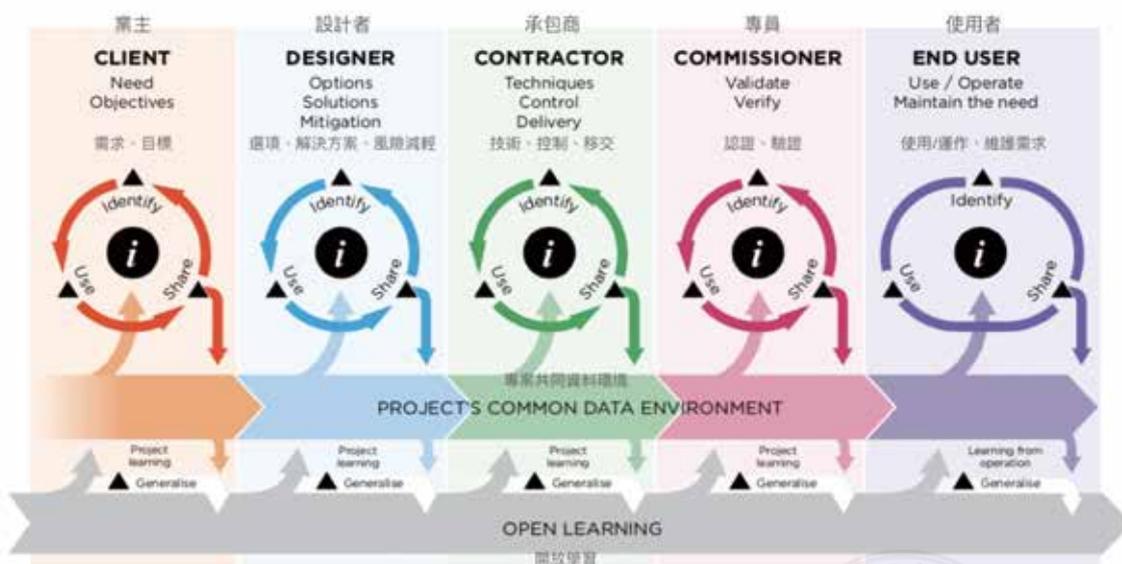


圖 7 風險管理循環 [4]

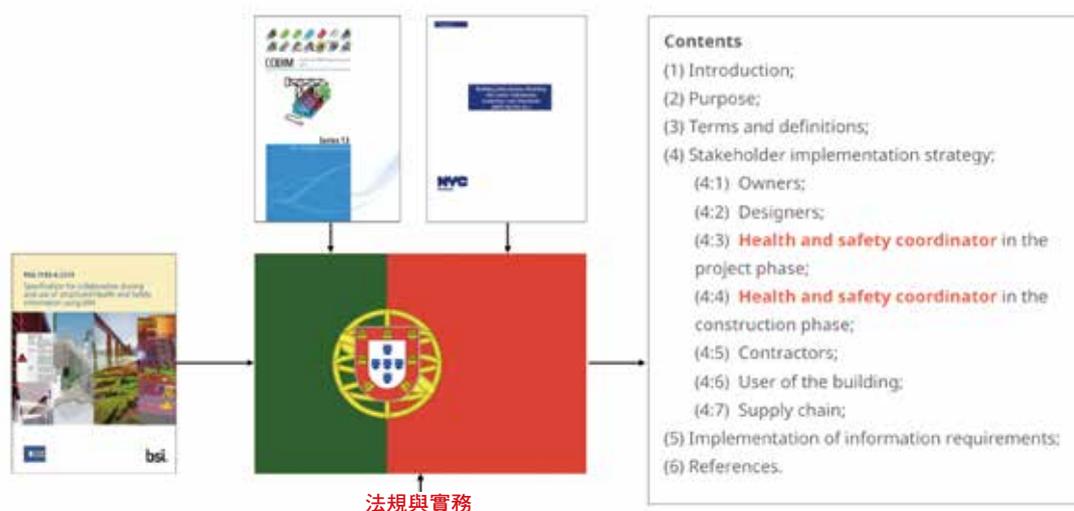


圖 8 葡萄牙營造工程施工安全 BIM 應用標準研擬過程

的趨勢發展。因此，在 BIM 模型中記錄結構化風險資訊，並經由風險管理循環讓工程各參與者能夠協作分享與使用是必然的方向。

因此，在營造工程施工安全 BIM 應用方面，透過風險評估在危害源的元件或空間（工作面）上記錄結構化風險資訊，包括控制前後的風險變化。同時，也經由添加安衛元件或管理措施的描述來說明風險控制的作法，再經由風險控制前後階段的切換來探討風險處置措施的有效性 [6]（圖 9）。當這些結構化風險資訊經由 BIM 來呈現，就可以隨著風險管理循環跟各參與者協作分享與使用。

因此，本研究根據國際發展趨勢、國內制度指引、工程習慣與職災案例報告等，建立一套將結構化風險資訊應用在營造工程施工安全的務實可行方法，包括使用 BIM 來定義結構化風險資訊、呈現風險資訊以及產出風險資訊清單等步驟，讓風險資訊經由 BIM 有效傳遞至工程相關參與者進行協作使用。

2. 營造工程施工 BIM 應用的實施步驟

(1) 定義結構化風險資訊

風險資訊來自於風險評估小組，風險評估的實施方法可參照「營造工程施工風險評估技術指引」，而結構化風險資訊的第一步就是定義描述風險所需要的欄位（風險要項）。表 1 從營造工程施工風險評估指引中歸納出 17 個風險要項，其中英文簡稱有利於未來資料庫從 BIM 模型中抓取一致的名稱與其數值。在格式的部分，除了使用文字（text）描述之外，部分風險要項也可使用網址（url）或檔案（file）形式附加，例如工程控制、管理控制、個人防護具可連結內外部網頁、職安衛管理系統的文件編號，或附加相關文件檔案以更好地描述風險資訊。為了讓 BIM 模型能表達時間資訊，除了原有的風險評估內容之外，本研究新增「4D 排程」欄位，便於將時間資訊以文字、檔案或連結的方式表達。除了表 1 所述的風險要項之外，組織也可考慮自身的條件進行調整。例如組織可增加



圖 9 營造工程施工安全 BIM 應用發展方向 [6]

「機會 (opportunity)」欄位，考慮是否有帶來機會的可能性。

(2) 呈現結構化風險資訊

營造工程風險常發生於施工過程，因此結構化風險資訊的呈現需要考慮風險發生的時間與位置。在風險發生時間方面，可以透過「階段」的方式來進行描述，風險評估小組也可根據風險資訊描述的需求設定多個階段，以更好地呈現風險發生的時段。階段設定方式 (圖 10)。

此外，風險發生位置可用實體或區域來呈現 [4]，例如樓版混凝土工程開口墜落發生在樓版的實體 (元件) 上 (圖 11 (a))，而高處作業墜落則發生在作業的區域 (工作面) 上 (圖 11 (b))，風險評估小組可以視風險資訊彈性在元件上或工作面上表達風險要項，符合風險描述內容與使用需求。

在風險要項中，風險可能性與嚴重度分析以及風險等級是呈現風險評估結果的主要數值。風險評估小組可



圖 10 根據風險資訊描述需求設定所需的階段

表 1 風險要項格式說明

風險要項：描述一個風險事件所需要的欄位				
No.	風險要項	Name	格式	英文全名
1	工程項目	EngItem	text	Engineering Item
2	工程分項	EngSItem	text	Engineering Sub-Item
3	危害類型	HazCate	text	Hazard Category
4	風險描述	RiskDis	text	Risk Description
5	原始嚴重度	ISeverity	text	Initial Severity
6	原始可能性	IProbability	text	Initial Probability
7	原始風險值	IR Value	text	Initial Risk Value
8	原始風險等級	IRLevel	text	Initial Risk Level
9	工程控制	EngContr	text/url/file	Engineering Control
10	管理控制	MagContr	text/url/file	Management Control
11	個人防護具	PPE	text/url/file	Personal Protective Equipment
12	控制後嚴重度	RSeverity	text	Revised Severity
13	控制後可能性	RProbability	text	Revised Probability
14	控制後風險值	RRvalue	text	Revised Risk Value
15	控制後風險等級	RRlevel	text	Revised Risk Level
16	控制措施	ContrAct	text/url/file	Control Action
17	4D 排程	4D_schedule	text/url/file	4D_schedule

以參考勞動部職安署「營造工程施工風險評估技術指引（109 第一次）改版草案」中 [7] 所列舉的風險矩陣，本研究在此使用的是（5X5）-5 風險矩陣來描述控制前後的風險等級，並對照使用五個風險等級的顏色來直觀呈現風險值，如表 2。此外，風險評估小組也可以從勞動部職安署營造工程職業安全衛生管理系統資訊應用平台中下載所需的安衛元件，用以呈現風險控制措施。

(3) 產出風險資訊清單

經過結構化風險資訊後，風險評估小組就可以建立風險資訊清單，如圖 12。風險資訊清單記錄著豐富的風險資訊，包括風險發生的所在位置（元件或工作面）、描述風險資訊的各個要項、描述風險資訊的輔助外部連結，以及 4D 排程資訊（亦可直接記錄風



圖 11 風險呈現方式

險發生時間)。記錄結構化風險資訊的 BIM 模型就可以隨著風險管理循環傳遞至工程各參與者進行協作分享與使用。

經由結構化風險資訊，風險控制前後的差異對比也可以清楚顯

表 2 風險矩陣 (5X5) -5 等級 [7]

風險等級分析		可能性分級				
		災難性的 5	重大 4	中等 3	較低 2	可忽略的 1
嚴重度分級	幾可確定 5	25	20	15	10	5
	極有可能 4	20	16	12	8	4
	可能 3	15	12	9	6	3
	不太可能 2	10	8	6	4	2
	幾乎不可能 1	5	4	3	2	1

■ 極高風險 (20-25)
 ■ 高度風險 (12-16)
 ■ 中度風險 (8-10)
 ■ 低度風險 (3-6)
 ■ 極低風險 (1-2)

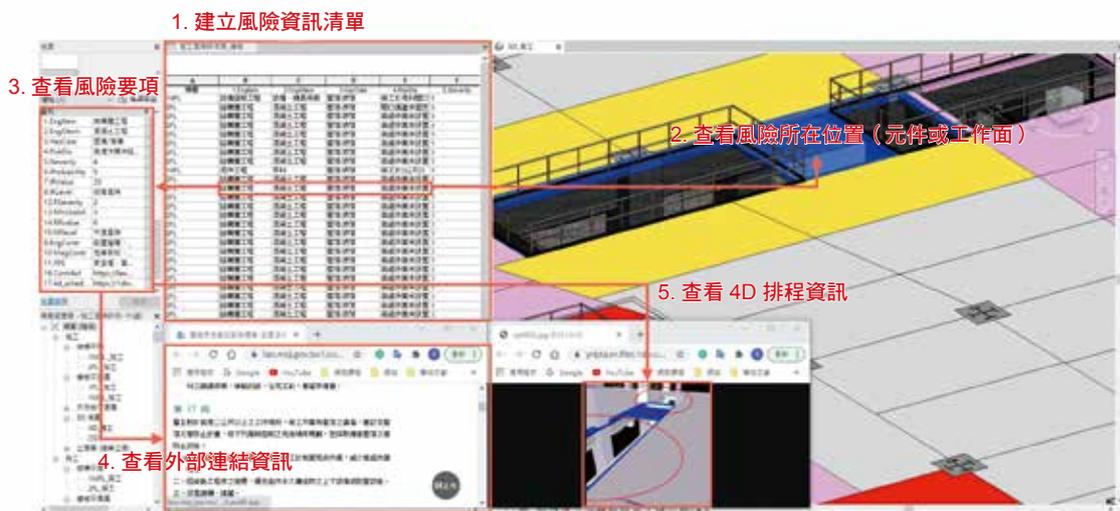


圖 12 風險資訊清單

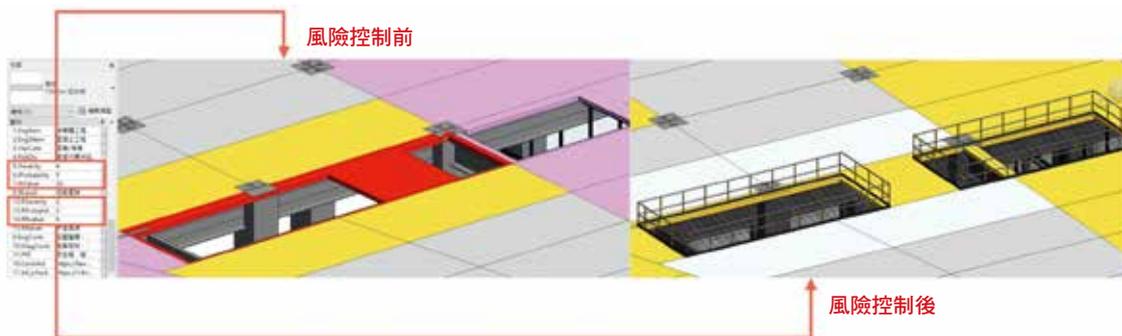


圖 13 風險控制前後對比

示，如圖 13。風險控制前後的差異對比將有助於風險控制措施的有效性[6]，協助各參與者溝通與檢討。

應用場景

本研究根據國際發展趨勢與國內風險評估指引，提出一個具有彈性與實

務操作可行性的方法，將結構化風險資訊記錄在 BIM 模型，使風險資訊能更好地傳遞至各參與者進行共享與溝通。本研究就幾個應用場景進行說明：

1. 管道開口未設防護以致勞工墜落

建築工地在施工過程中常有管道開口，若無設置防護措施，將成為墜落

的危害源。當風險評估小組檢討到 2 公尺以上的管道開口時，應設置護欄、護蓋或安全網等防護措施，使風險控制在可接受範圍中（圖 14）。

2. 電梯井未設置電梯閘門以致勞工墜落

當風險評估小組檢討到電梯井時，應以元件或工作面的方式記錄結構化風險資訊，包括其風險等級與防護措施等，在電梯直井設置電梯閘門，並在風險要項中描述打開電梯閘門前先繫安全帶、上鎖管制等說明，可供

危害告知等風險資訊傳遞使用（圖 15）。

3. 從事吊料作業發生墜落

工作者在從事吊料作業時，於高度二公尺以上之工作場所，有墜落之虞者應設置護欄、護蓋、張掛安全網，使工作者正確戴用安全帶。當風險評估小組進行討論時，除了結構化風險資訊之外，也可以經由風險控制前後的差異對比，進一步探討風險控制措施的有效性（圖 16）。

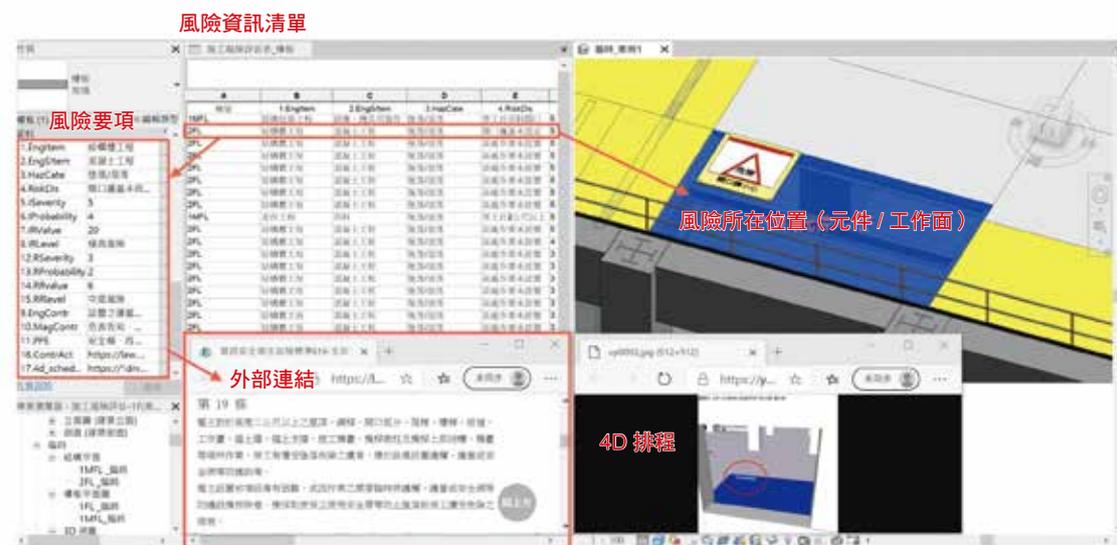


圖 14 管道開口未設防護以致勞工墜落



圖 15 電梯井未設置電梯閘門以致勞工墜落



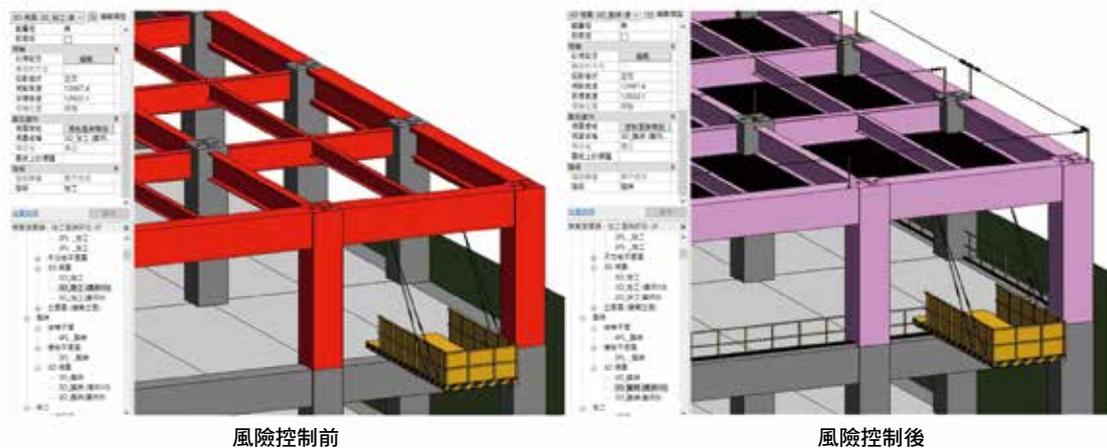


圖 16 從事吊料作業發生墜落

結論與建議

從各國推動營造工程施工安全 BIM 應用的模式可知，其發展朝向「場景模擬→安衛元件庫→結構化風險資訊」的趨勢。換言之，未來營造工程施工安全 BIM 應用將著重於在 BIM 模型中適當地記錄結構化風險資訊，並藉由風險管理過程傳遞至各參與者進行協助分享與使用。為此，本研究根據國際發展趨勢與國內風險評估制度及工程習慣，提出一個務實可行的結構化風險資訊方法，以供風險評估小組參考使用。本研究結構化風險資訊方法具有彈性，可依照風險資訊描述的需求調整階段或風險要項，以更好地進行風險資訊溝通。使用結構化風險資訊方法可有助於工程規劃施工風險評估、工程變更施工風險評估、復工申請、危害告知、知識共享與累積等，提高組織風險評估與風險管理能力。

參考文獻

- [1] Charles M. Eastman, et al. BIM handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. Wiley Publishing 2008.
- [2] Tietoa Finland Oy, Marko Rajala. COBIM common BIM requirements 2012; series 2: modeling of the starting situation. BuildingSMART Finland:Helsinki, Finland 2012.
- [3] NYC Buildings. Building Information Modeling site safety submission guidelines and standards (BIM manual) 2013.
- [4] The British Standards Institution (BSI). PAS 1192-6:2018 Specification for collaborative sharing and use of structured health and safety information using BIM, London, UK 2018.
- [5] Bragança D, Tender M, Couto JP. Building Information Modeling normative analysis applied to occupational risk prevention. In occupational and environmental safety and health II 2020; 83-92.
- [6] Cortés-Pérez JP, Cortés-Pérez A, Prieto-Muriel P. BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance. Automation in construction 2020; 113: 103-115.
- [7] 勞動部職業安全衛生署：營造工程施工風險評估技術指引（109 年第 1 次改版草案）2020。

The Application of BIM on Construction Safety Management by Using the Structured Risk Information

Tzu-Lien Tzou¹ Tzu-Ping Lo² Wen-Jinn Lee¹ Chih-Ming Chang¹ Chien-Wei Chang¹

¹Occupational Safety and Health Administration, Ministry of Labor

²Yuejin Integration Technology

Abstract

Building Information Modeling, due to its rich 3D simulation and information carrying capacity, has changed the work mode of many fields in the construction industry such as construction safety management, and has also become an important construction OSH technology. Therefore, studying the practical and feasible method of BIM application in construction safety will facilitate improving construction occupational safety and health management capability. Hence, this paper first explores the BIM applications from various countries and concludes that the BIM application on construction safety is developing towards the trend of scenario simulation to BIM component library and then to structured risk information, returning to the sharing and using of risk information. Therefore, according to international development trends, domestic guidelines, engineering habits, and occupational disaster reports, this paper establishes a practical and feasible method for applying structured risk information on construction safety management, including the using of BIM to define structured risk information, present risk information, and produce risk information lists, etc., so that the risk information can be effectively shared to relevant project participants through BIM for collaborative using. This paper also takes the falling risks of pipe openings, elevator shafts, and lifting operations to verify the proposed method. The results show that the proposed method can effectively describe the risk information and present the differences before and after risk control measures, which is beneficial for sharing and using the risk information. The using of the structured risk information method can contribute to the risk assessment of project planning and construction, risk assessment of project changing, application of work resumption, hazard notification, and organizational knowledge accumulation to improve the risk assessment and risk management capabilities.

Keywords: Building Information Modeling, Construction safety, Construction industry, Structured risk information, Occupational safety and health management

Accepted 2 March, 2021

Correspondence to: Tzu-Ping Lo, Yuejin Integration Technology, 9F-8, No. 296, Sec. 2, Zhongshan Rd., Zhonghe Dist., New Taipei City 235072, Taiwan (R.O.C.), E-mail: kinolu9@gmail.com

