



BIM 在職業安全衛生管理中 實務案例之應用

黃隆茂* / 浦海工程技術有限公司、謙任股份有限公司 副總經理
朝陽科技大學營建工程系、逢甲大學土木系 兼任助理教授

本文藉由筆者以往的管理經驗，分享 BIM 在職業安全衛生管理的實際應用及作法，包括：施工規劃、數量計算與分析、施工情境模擬風險評估、環境監測與自動化改善、VR 職安衛作業前訓練、AI 環境監控與安全警示、職安衛施工界面整合等，有些已經在產業界逐漸受到採用，為克服職業安全衛生特有的變動性及不可靠性，筆者亦提供創新作法，供有心朝向工安零災害的營造產業一同創新發展，達到降低營造業職業災害的目標。

前言

依據勞動部職業安全衛生署民國 111 年勞動檢查統計年報^[1]顯示，營造業自民國 99 年至 111 年間職業傷害千人率雖然從 13.6‰ 逐年下降至 7.7‰，但是營造業之職業傷害千人率是全產業的 3.5 倍（如圖 1 所示），仍是發生職業傷害頻率最高的產業，其中民國 111 年死亡人數營造業為 156 人，佔全產業職災死亡總人數 320 人中之將近一半比例。而這些重大職災死亡人數中以墜落、滾落佔 48% 最高，分析重大職災發生原因則以不安全動作與設備兼具佔 44% 最高，不安全動作佔 31% 次之，緊接著是不安全設備佔 21%。

隨著 2011 年國內公共工程導入 BIM 技術開始，利用科技的技術來模擬設計成果（3D）及施工過程（4D, 5D …），變成可以實現的目標，加上近年大力發展的無人機、虛擬實境 VR、擴增實境 AR、人工智慧 AI 及物聯網 IoT 等技術，使得營建管理能夠達到易執行、有效性及精確性的管理目的，代替以往營造公司大多採用的粗放式的管理模式。

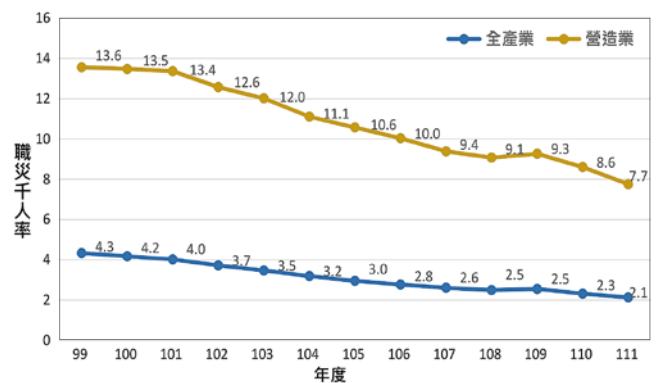


圖 1 民國 99 年至 111 年職災千人率統計表

本文筆者除了提出一些以往 BIM 應用在職業安全衛生實際案例的經驗，並提出一些創新思維的作法供業界參考，期能發展一些未來可以快速的數值化衡量工具，一起努力降低職業安全災害的目標。

BIM 在職業安全衛生之應用

根據 Vaysburd^[2] 引用各國統計資料指出，設計不良導致工程 缺失或瑕疵是的原因，在法國及瑞士約佔 37%，在美國約佔 57%；而 Lopez^[3] 根據美國 139 件營建工程調查結果發現：工程失敗的原因有 80% ~ 90%

* 通訊作者，Dannyhuang2013@gmail.com

因設計錯誤造成，其直接及間接成本損失佔合約金額之 6.85%~7.36%。因此以往 BIM 大多著重於提升設計品質之提升，由於營造工地環境複雜，許多學者及工程師陸續嘗試以 BIM 技術應用於職業安全衛生管理，以達到預防災害及降低災害的目標。

一般 BIM 技術於職業安全衛生的應用有：初期施工規劃、數量計算與分析、施工情境模擬風險評估、環境監測與自動化改善、VR 職安衛作業前訓練、AI 環境監控與安全警示、職安衛施工界面整合等，以下為實際案例說明。

初期施工規劃

職業安全衛生設施的規劃，必須配合建築物的外觀造型、施工法及施工進度來進行規劃，僅僅依賴 2D 圖紙進行規劃作業，往往因為建築物外觀變化，需要藉由空間想像力來完成，這在規劃過程便存在一些不可靠度因素存在，而 BIM 恰恰能夠提供模型使規劃者能夠直觀的依據建築物外觀造型進行規劃，降低施工規劃誤判的風險（如圖 2）。

數量計算與分析

在營造階段存在一些目前 2D 技術難以計算精確的數量，例如施工架數量，主要是因為大部分施工架廠商仍習慣以 2D 圖進行規劃圖繪製，2D 規劃圖的正確與否取決於施工架廠商對於設計圖紙的理解，在複雜的建築設計案中往往容易造成規劃錯誤，這時也反應

在原先報價基準的差異，不願承擔風險的營造公司往往會將風險轉嫁給施工架廠商，而施工架廠商在不願意承擔被「拗」的結果，使得原本可以依照標準施作的職安衛設施，因為施工廠商規劃失誤不願承擔成本損失，便開始用降低成本的方式施作，其結果又產生另一個不可控的風險。

下列案例即是施工廠商以 2D 圖紙規劃施工架施工圖，本案在三樓外牆突然變化，而施工規劃人員並未察覺，仍依照外牆邊緣線繪製施工架施工圖（如圖 3 所示），經由 BIM 檢視後，發現該項錯誤並即時修正規劃方案，圖 4 為施工方案修正前後對照。

施工規劃錯誤直接影響的是施工成本，大多數營造公司最重視的是營造成本，倘若原先估算數量與實際數量差異很大時，營造公司與業主間，或是營造公司與專業施工廠商間，便存在著爭議，爭議的產生與解決方式往往影響職業安全設施施工方式的走向。

圖 5 至圖 7 所示為典型案例，施工架廠商以 2D 圖規劃後，計算施工架數量與 BIM 模型產出數量比較結果（如表 1），施工架廠商原先計算施工架面積 12,576 m²，再以經驗係數乘 1.3 倍，原先數量比 BIM 模型產出數量短少 16%，乘以經驗係數後又比 BIM 模型產出數量增加 14%，顯見一般施工廠商數量估算能力是很不精確的。以 BIM 繪製的施工架模型，目前業界皆視為可以作為施工與發包數量的標準，如果以其他方式估算皆無法替代其正確型。

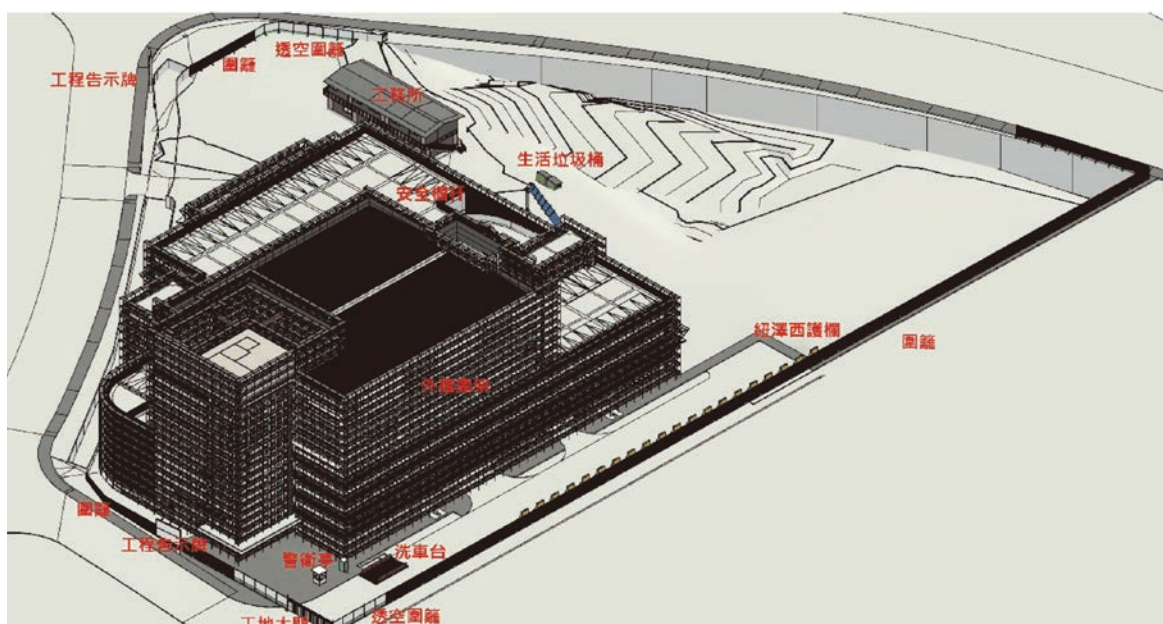


圖 2 營造工地利用 BIM 模型進行職業安全衛生設施的施工規劃案例

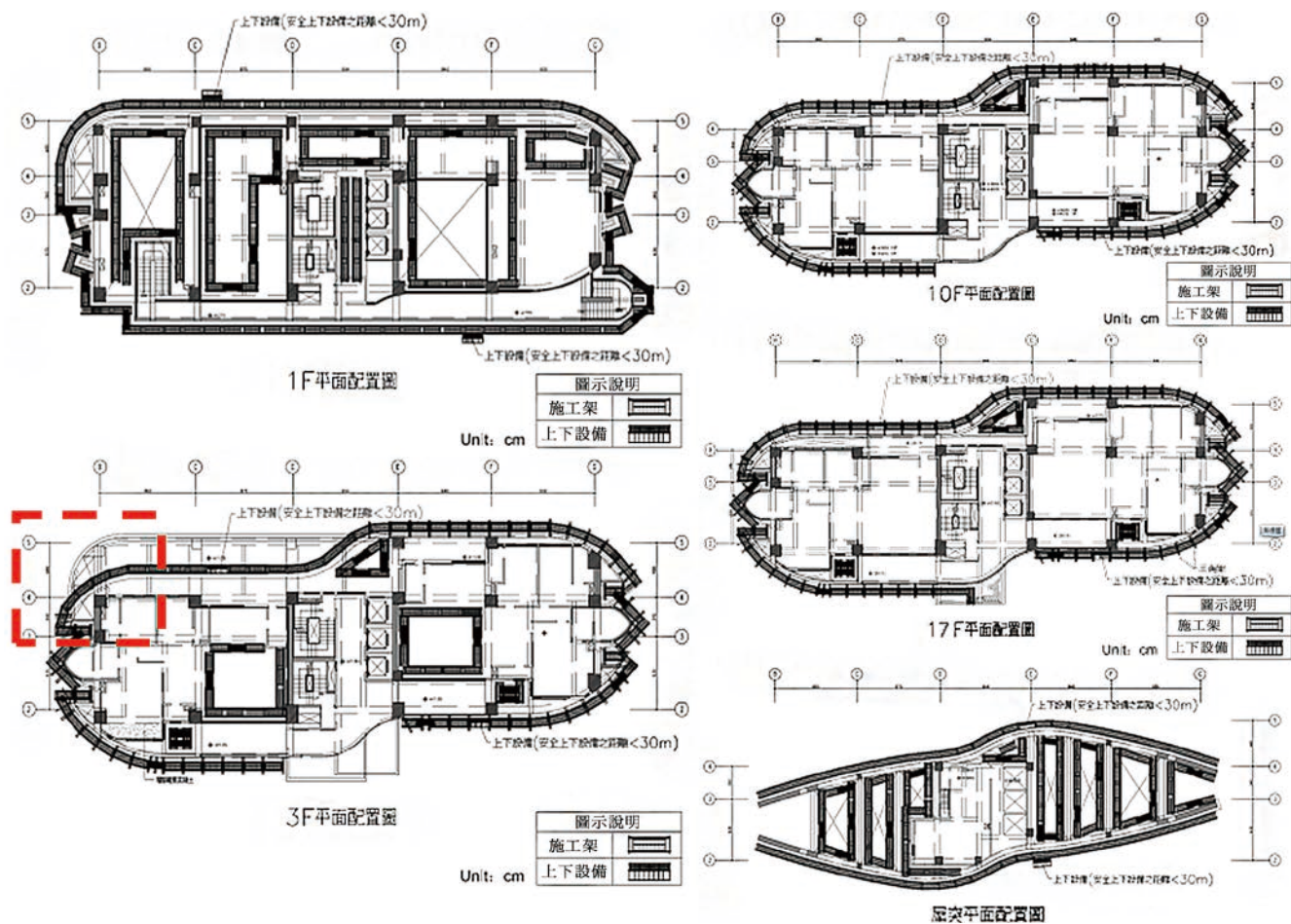


圖 3 施工架施工圖因外牆造型變化，施工規劃錯誤的案例

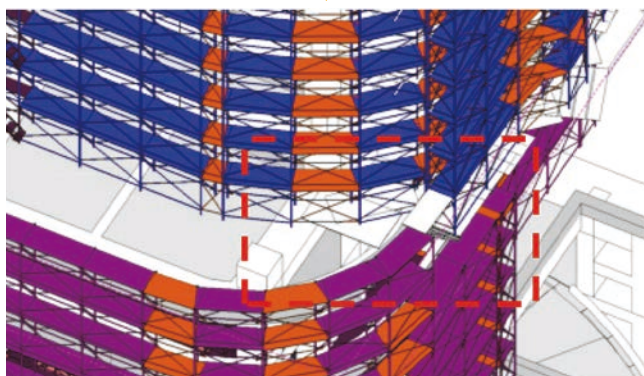
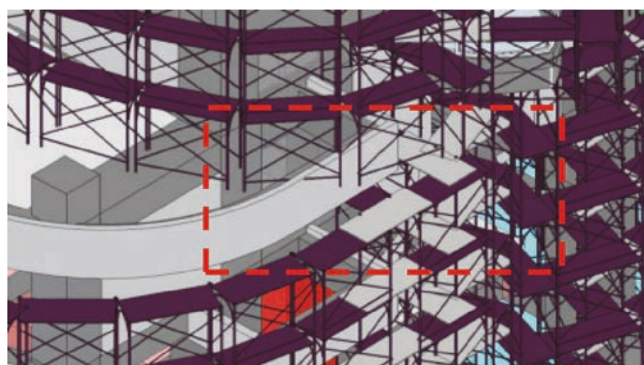


圖 4 施工架施工規劃錯誤，以 BIM 檢核後適時修正前後比較圖

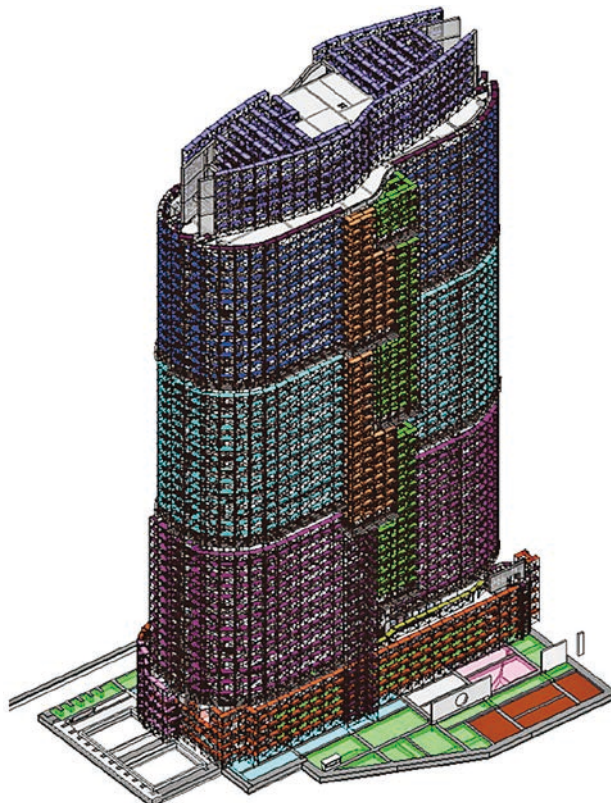


圖 5 建築物外型複雜，施工架廠商原估數量與實際數量差異大

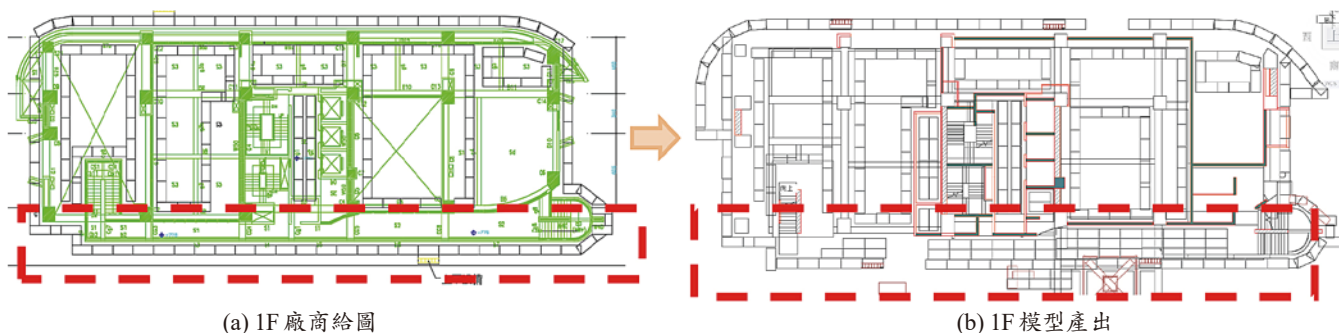


圖 6 營造公司及施工架廠商原本估算施工架數量與實際數量差異對照圖

表 1 施工架廠商與 BIM 模型產出施工架數量比較表

施工架廠商計算	(外牆面積 × 修正係數 1.3)
1F-22F	$140 \times 83.4 = 11,676 \text{ (m}^2\text{)}$
R 層	$100 \times 9 = 900 \text{ (m}^2\text{)}$
	$(11,676 + 900) \times 1.3 = 16,348.8 \text{ (m}^2\text{)}$
BIM 建模產出	(計算施工架組數 × 單一施工架面積)
1F-22F	$345 \times 3.06 = 1,056 \text{ (m}^2\text{)}$
3F-22F	$3,067 \times 3.06 = 9,385 \text{ (m}^2\text{)}$
R 層	$384 \times 3.06 = 1,175 \text{ (m}^2\text{)}$
陽台 (5F.13F.21F)	$516 \times 3.06 = 1,579 \text{ (m}^2\text{)}$
陽台 (9F.17F)	$330 \times 3.06 = 1,010 \text{ (m}^2\text{)}$
5F.13F 陽台底	$133 \times 3.06 = 407 \text{ (m}^2\text{)}$
1F 牆壁內縮	$102 \times 3.06 = 312 \text{ (m}^2\text{)}$
	$1,056 + 9,385 + 1,175 + 1,579 + 1,010 + 407 + 312 = 14,924 \text{ (m}^2\text{)}$

施工情境模擬風險評估

公共工程的分項施工計畫中，一般都被要求須進行該單項作業之施工風險評估，然而該評估作業係以召開風險評估小組，依照其可能性及嚴重程度將風險值列為 9 個等級，再依照風險等級及是否接受來採取對策及改善措施，若於風險評估小組討論階段導入 BIM 技術，模擬施工節點的情境，將有助於該小組提出更為具體的改善作為。

一般施工過程是動態的，而隨時間有不同情境將隨之變化，要模擬這種動態變化，以目前 BIM 工具不易達成，因此大多以多節點式靜態的表達方式來一一呈現及檢視，職業安全衛生署曾於民國 108 年嘗試在丁類危險性工作場所施工安全評估作業中導入 BIM 應用，並完成營造業安全衛生 BIM 軟體操作手冊^[4]，在丁類危險性工作場所施工安全評估作業 BIM 應用示範案例中，有許多值得學習與參考的實例，圖 7 為職業安全衛生設施施工模擬案例，在安裝橋樑補強裝置前必須先安裝安全欄杆，但是當安裝橋樑補強裝置時，該裝置與安全欄杆位置衝突（如圖 8），造成安全欄杆此時必須修改，這是若未事先

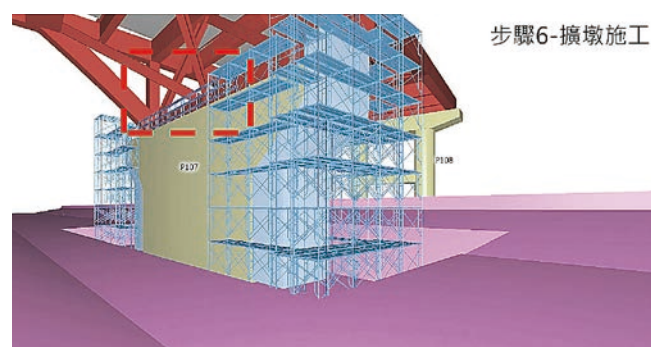


圖 7 橋梁結構補強施工案例，安裝橋樑補強裝置前先安裝安全欄杆

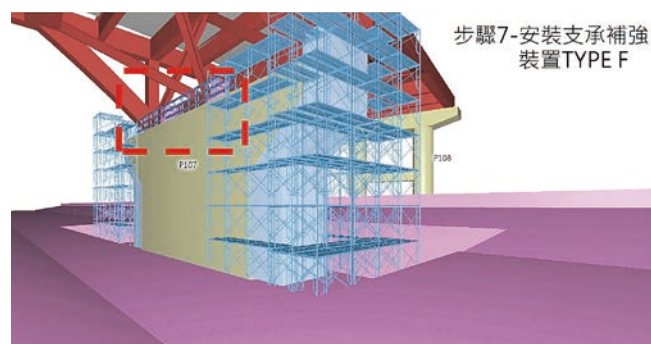


圖 8 當要安裝橋樑補強裝置時發現安全欄杆與該裝置發生衝突

察覺，現場施工人員將依照自身經驗，就地取材修改安全欄杆，施工安全風險自此而生。

環境監測與自動改善

原本安裝在特殊環境及設備的感測器，近幾年隨著感測器的價格普及化，能夠在工地透過物聯網來遠端監控及操控（如圖 9），無論是現場溫度偵測來控制噴霧系統降低工人施工環境溫度；抑或在侷限空間安裝氧氣濃度感測器，並主動控制通風設備達到氧氣濃度安全值；或是在起重機吊索下方安裝熱紅外線感知器，主動告知起重機司機、該名勞工及職安衛人員；在容易發生墜落的電梯口安裝開門啟動感測器，監控施工人員的安全裝備及安全帶是否勾掛；在綠籬安裝濕度感測器，主動提

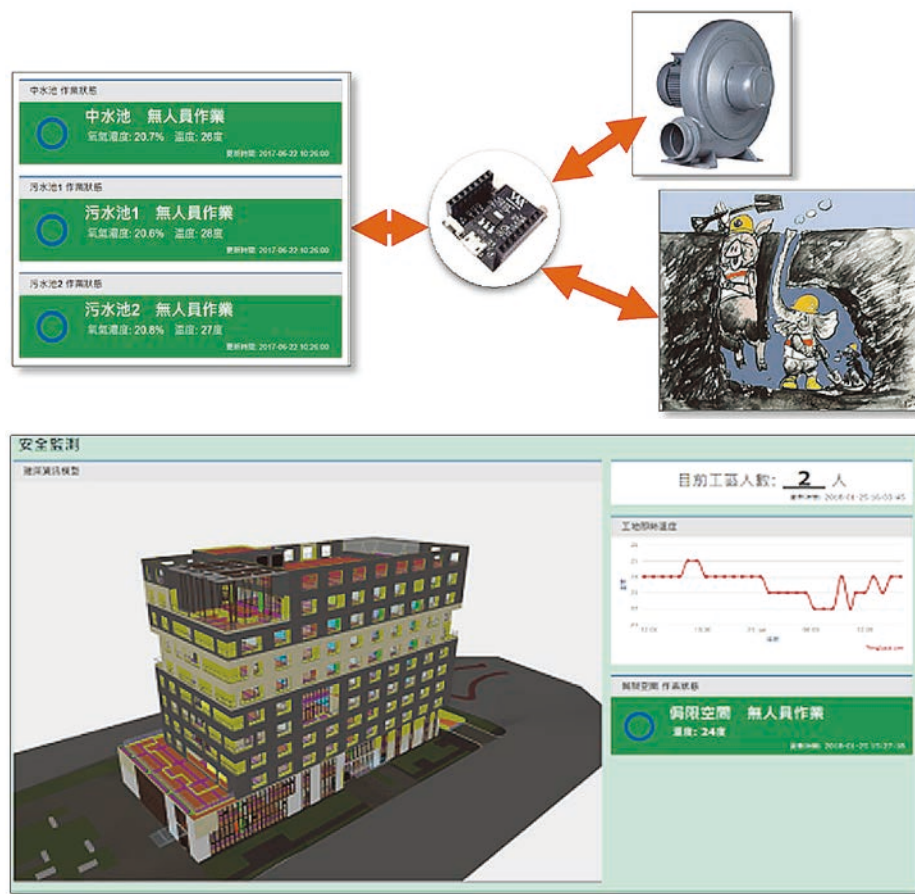


圖 9 結合 BIM 與物聯網，將安裝在工地的感測器訊號傳到遠端，並進行遠端監控及管理

供植栽灑水；在行車路徑安裝粉塵感測器，主動灑水降低粉塵；在臨時電安裝電流感測器，進行能源管理避免浪費 … 等，當發生異常狀態時，主動透過通訊軟體 LINE、簡訊、警報器等推撥給操作人員或相關管理人員，使工地管理更為容易、有效及可行。

VR 職安衛作業前訓練

職業安全衛生訓練大多以職安法令、職災案例宣導及標準化作法作為訓練課程內容，訓練手法多以文字、圖案、照片或影片作說明，難以身歷其境，現場工作往往需要工程師作判斷或決策，這種多重條件的判斷便需要虛擬實境 VR 的環境來訓練工程師或施工人員，尤其是針對施工人員，用文字或是圖表不易表達工地現場狀況，險峻的工作環境亦不易直接在現場指導，用虛擬實境來模擬現場施工環境，即便是危險環境像是墜落意外，在虛擬實境中都可以重新再體驗一次，也不至因為不小心而身歷險境，虛擬實境的訓練環境比較活潑、令人印象深刻，記憶容易停留在腦海，這種特性用其他工具難以達到相同效果（如圖 10）。



圖 10 虛擬實境能感受 360 度的視覺與聽覺的沉浸式體驗，適合於危險情境且不易重現的環境或是高成本的訓練

AI 環境監控與安全警示

依據重大職災發生原因分析，以不安全動作與設備兼具佔 44% 最高，不安全動作佔 31% 次之，因此勞工的不安全動作致使發生重大職災佔比最高，如何即時發現勞工的不安全動作，在發生悲劇前便能提前警示、推撥或採取行動，藉由人工智慧 AI 讓電腦監視器的影像比對，使之具有辨識能力並可隨時提高稽查頻率，彌補人為稽查頻率不足問題，圖 11 所示為人工智慧 AI 辨識的影像，將工地勞工劃分為安全、須注意及危險等級，分別以綠色、黃色及紅色標示這些施工人員，管理人員透過人工智慧 AI 很輕易的對身處危險的工人採取立即行動，對於須注意的施工人員發出警示，彌補人為無法時時監控的缺點。

職安衛施工界面整合

在營造工地撰寫施工計畫、繪製施工圖、進行結構計算分析及現場施工往往是 4 組團隊的作業，各做各的，如果沒有人進行整合，往往施工計畫、施工圖、結構計算書及現場施工完全兜不起來，這樣偏離結構分析的施工，往往存在極高的風險，或許安全，或許不安全，變成不可控的施工環境。圖 12 是透過 BIM 整合的水平支撐施工圖，透過 BIM 作業，比對施工計畫、施工圖及結構計算書之間的差異，結果發現預定進度表是不可靠的、中間柱與主結構的樑是衝突

的、廠商的鋼板樁施工圖是錯的，但是工地採用傳統的管理方式，卻沒有事先發現任何錯誤。

其他創新作法及應用

根據筆者以往在工地管理及職業安全衛生稽查的經驗得知，營造工地有著變動性大及變動頻率高之特性，如果管理機制無法依照這兩種特性進行管理，管理成效將很有限，透過科技技術的研發，提高職安衛稽查的頻率、即時辨識危害因子並逕行通報、透過雲端運算隨時提供數值化分析結果作為危害辨識的依據等，是未來可以發展的方向，茲舉例說明如下。

無人機 + 人工智慧 AI 自動巡檢

目前人工智慧 AI 大多應用於定點的監視系統，而隨著無人機的普及，讓無人機搭配人工智慧的功能，定期巡視檢查、不定時隨機巡視檢查或重點式巡視檢查替代檢查頻率不足的問題，由於巡視過程中，產生大量圖資，必須透過人工智慧加以篩選，或是雲端運算比對差異得出工地施工數量即時反應施工進度問題，或是施工品質問題，可以提供決策者即時做出正確決策，降低產生職業安全衛生管理盲點之風險（如圖 13）。

政府亦可以透過無人機 + 人工智慧 AI 自動巡檢的功能進行管理，例如工廠是否進行非法廢水排放、非法傾倒廢棄物、盜採砂石等，都可以達到一定的嚇阻效果，使管理工作事半功倍。

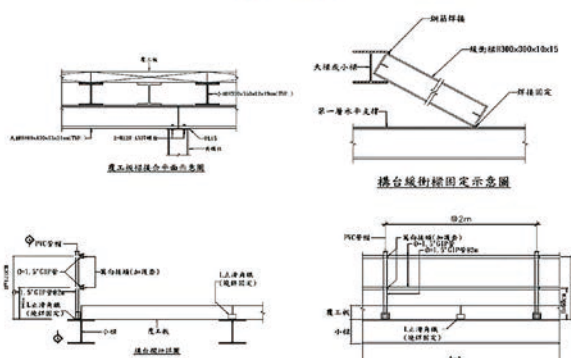


圖 11 用人工智慧 AI 來辨識工地施工人員不安全動作，並即時採取有效的管理措施

表1-3 水平支撐數量表

項次	工程項目	單位	數量	備註
第一層水平支撐				
1	圖令 H300x300x10x15	m ²	6524	
2	水平支撐 H300x300x10x15			間距≤6.5m
3	角撐 H300x300x10x15			
第二層水平支撐				
1	圖令 H300x300x10x15	m ²	6524	
2	水平支撐 H300x300x10x15			間距≤6.5m
3	角撐 H300x300x10x15			
擋土板				
1	木襯板 t≥1.5 cm	m ²	3304	

施工計畫



施工圖

結論：設計採用	
小梁長(跨距)=	6.50 m, 間距= 2.00 m, 型鋼 H350x350x12x19
大梁長(跨距)=	6.50 m, 間距= 6.50 m, 型鋼 H400x400x13x21
構台柱打入方式：	
構台柱H鋼總長L =	12.70 m 型鋼 1-H350x350x12x19
構台柱H鋼入土深=	3.50 m

一、構台梁設計

A. 小梁設計

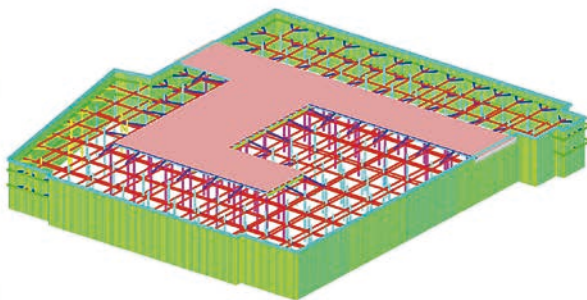
- (1) DESIGN LOADING, $Ww1 = 3.44$ t/m (含小梁自重)
 (2) L (小梁跨距) = 6.50 m
 (3) Temperature FORCE, $Ft = 15$ t, $f_{tem} = Ft/As$
 (4) $Mu(max) = Ww1 * (L^2) / 8 = 18.152$ t-m
 $Qu(max) = Ww1 * L / 2 = 11.170$ t
 (5) $N = 48 * 5\% = 2.4$ t (依據AASHTO 規範, 作用之縱向力為作用活載重之5%)

(6) use: H350x350x12x19

$$\begin{aligned}
 As &= 173.9 \text{ cm}^2, Ix = 40300 \text{ cm}^4, Zx = 2300 \text{ cm}^3 \\
 rx &= 15.2 \text{ cm}, ry = 8.84 \text{ cm} \\
 hw &= 35 \text{ cm}, tw = 1.2 \text{ cm}, ws = 0.137 \text{ t/m} \\
 fa &= N / 0.9 = 0.015 \text{ t/cm}^2, ft = 0.086 \text{ t/cm}^2 \\
 k * L / ry &= 73.53, k * L / rx = 42.76 \\
 Cc &= (2\pi^2 E / Fy) * 0.5 = 128.767 \\
 k * L / ry < Cc &\text{ then let } (k * L / ry) / Cc = 0.571 \\
 Fa &= 1.25 * Fy * [1 - R^2 / 2] / [5/3 + 3 * R^2 / 8 - R^2 / 8] = 1.41 \text{ t/cm}^2 \\
 * fa + f_{tem} &= 0.102 \text{ t/cm}^2 < Fa \quad 0. \text{K.} \\
 (fa + f_{tem}) / Fa &= 0.072 < 0.15 \text{ then} \\
 fbx &= Mu / Zx = 0.789 \text{ t/cm}^2
 \end{aligned}$$

結構計算書

BIM模擬



現場施工

圖 12 使用 BIM 建模過程中，比對施工計畫、施工圖及結構計算書發現許多錯誤



圖 13 無人機+人工智慧 AI 自動巡檢構想圖

人工智慧 AI + 即時結構運算

工地管理經常需要即時決定當下應當怎麼做，但是在做決定之前往往沒有任何計算、分析或是數據供作決定之參考，只能憑藉個人經驗來做決策，然而個人經驗有限，未經分析的決策往往偏於主觀且常常發現失誤，再從失誤中累積經驗，這都不是好的做法，尤其是職業安全衛生的失誤，往往只有一次機會不容許失誤。

透過人工智慧 AI 的影像辨識及判斷來採集數據，將所採集數據傳送給雲端結構分析及運算，將現場施

工過程用安全係數反應出來，讓工程師能夠依照輕重緩急進行工地有效管理，圖 14 所示為該系統構想圖。

工地施工過程中，是一步一步完成並非一步到位，然在一般結構分析作業只提供最終完成步驟的結構分析，例如施工架組裝或拆除，每一步驟都潛藏危機，現場能不能這樣做？往往考驗現場工程師的經驗判斷，也無法判斷何時才是管理重點，圖 15 所示為施工步驟自動分析安全係數的趨勢，容易讓工程師判斷何時才是管理重點。



圖 14 人工智慧 AI + 即時結構運算應用於營造工地供工程師決策之構想圖

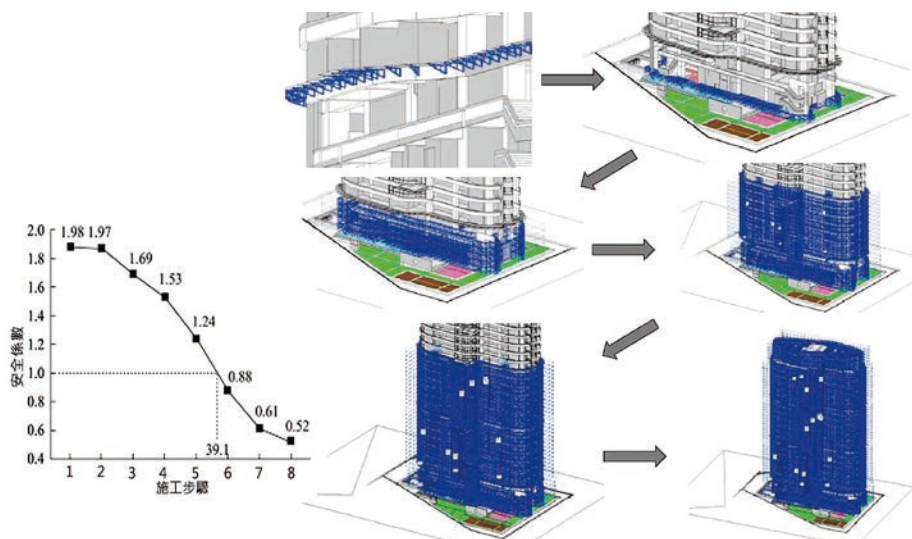


圖 15 依據施工步驟自動分析安全係數的趨勢，容易讓工程師判斷何時是管理重點

結論

目前 BIM 及相關電腦軟體工具的發展迅速且日趨成熟，如果能夠善用這些工具，改善目前無法即時反應工地現況或是無法提供可靠的數據，作為決策的參考，這種情況將隨著科技的進步而改觀，期待國內營造產業能夠撥出一些預算來進行研發新技術，改善我國營造工地管理環境方是甚幸。

參考文獻

1. 勞動部職業安全衛生署 111 年勞動檢查統計年報，<https://www.osha.gov.tw/48110/48331/48333/48339/150732/post>。
2. Vaysburd (2004), "Concrete Repair Technology- A Revised Approach is Needed", Concrete International.
3. Lopez, R. and P.E.D. Love, Design Error Costs in Construction Projects. Journal of Construction Engineering and Management-Asce, 2012. 138(5), pp. 585-593.
4. 勞動部職業安全衛生署，「營造業安全衛生 BIM 軟體操作手冊」，民國 108 年 12 月。