



建築資訊模型 (BIM) 於 安坑輕軌系統安心橋 設計施工應用實務探討

李政安 / 新北市政府捷運局 局長

鄒宏基 / 新亞建設開發股份有限公司 董事長

周茂益 / 新北市政府捷運局安坑所 主任

劉泰儀 / 新亞建設開發股份有限公司 主任技師

吳崇弘 / 台賓科技 BIM專案經理

安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程 (以下簡稱本工程)，為目前新北市政府捷運局積極推動三環六線交通建設計畫中的一個重要項目，工程完成後連接安坑區安泰路地區及新店區建國路、民權路商圈，與環狀線十四張站銜接。此一建設工程規模龐大，設計及施工階段，營建管理技術複雜，其中的安心橋，是連接本工程 K8 和 K9 站間跨越新店溪一座重要之鋼構橋樑，為新北市之新地標。其主橋塔高度 130 公尺，全長 502 公尺，是目前國內跨徑最長之軌道橋，共使用鋼板 11,280 公噸及 243 噸預力鋼纜，構件細部分割達數萬片，施工困難度極高。本論文詳細說明 3D 建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 如何輔助解決本項安心橋之設計和施工階段所面臨之問題，並提供工程師最有效的規劃工具，同時也介紹 BIM 技術導入之相關基本概論。

關鍵詞：安心橋、安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程、BIM

Abstract

The Ankeng Light Rail Metro System (ALRMS) is a Design-Build (DB) based contract project, which is located in New Taipei City, Taiwan. It is recognized as an important project of the New Taipei City transportation development. The Anhsin Bridge (AB) is one of the major parts of ALRMS and serves as the most critical transportation route to connect two banks of the Hsindian River, Ankeng and Hsindian districts. The AB will become the landmark of New Taipei City. The height of the main pylon is 130m, and the total length of the steel structure frame is 502m. The AB is a new record with the most extended length of Rail Bridge in Taiwan. The quantities of 11,280 tons of steel plates and 243 tons of cable tendon are used for the AB. More than ten thousand pieces of body members were contained for the construction work. It leads to the most complicated manage-

ment for construction work. In this paper, the application of the 3D BIM technique to resolve the difficulty faced in the design and construction stages is presented.

Keywords: Anhsin Bridge, AB, The Ankeng Light Rail Metro System, ALRMS, BIM

工程概述

安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程，總共包含一處輕軌列車駐車與維修用之機廠，面積達 3.7 公頃，其中除駐車廠、維修廠、變電廠之外，另包括營運中心行政大樓及進出廠軌道橋與為新安泰路改道用之安泰路橋；總長度 7.5 公里之路線段中，包含 4 座平面車站、5 座高架車站，主要橋梁則包括安和路全線高架橋、跨

越國道三號橋、跨越新北環快與五重溪橋^[1]，以及本文所介紹的『跨越新店溪安心橋』(以下簡稱安心橋)。

本工程全線位於新店區安坑地區，路線段由安泰路與安一路交會處之機廠起，沿著安一路北行，至安捷路前進入箱涵出土段轉至安捷路並採高架方式接安和路，續以高架方式沿安和路北行，於安和路三段水利署新店辦公區轉向東行，隨後跨越新北環快道路、新店溪至新店十四張地區，以銜接進入大臺北都會區捷運路網。沿線於安一路平面段上，分別於雙城路附近設 K1 站，玫瑰路口設 K2 站，僑信路口設 K3 站，車子路口設 K4 站，安忠路口東側設 K5 站，續左轉安捷路接安和路，以高架方式沿安和路北行，於安和路與安康路口設 K6 站，全國加油站附近設 K7 站，於安和路三段水利署新店辦公區設 K8 站，隨後跨越新北環快道路、新店溪至新店十四張地區，設置 K9 站與環狀線 Y7 站轉乘^[2]。本工程全線路線圖詳如圖 1 所示^[1]。

本工程由新北市政府捷運局承辦，採統包 (Design-Build) 方式發包，統包商為新亞建設開發股份有限公司，統包設計顧問為台灣世曦工程顧問公司。專案管理單位由中興工程顧問公司擔任，現場施工監造作業由亞新工程顧問公司負責。與一般工程比較不一樣的，本工程另設有第三方獨立認證單位 (Independent Verification and Validation, IV&V)^[3]，由德商萊茵公司負責此項認證業務。整體施工團隊均由具有豐富工程經驗之專業廠商所組成。

建築資訊模型 (BIM) 應用概述

本工程全線全程導入 3D 建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 協助進行設計規劃及施工管理，目的係希望透過設計及施工過程中使用 BIM 技術，運用 BIM 整合各項資訊之能力，結合其他應用軟硬體作業，希望促使統包的設計與施工階段之成果更具正確性，減少施工錯誤及設計衝突之發生機會，讓工程整合過程及現場施作更加有效率^[4-10]。導入本項技術主要之目的是促進 BIM 之使用以達成下列目標^[2]：

1. 為本工程專案設計開始至施工結束交付營運過程中，提供所有參與人員合作溝通之友善平台。
2. 經由 BIM 3D 建模及參數化之特性，協助不同文件間之整合及協調。
3. 可藉由 2D 設計圖說、數量估算及 3D 模型之連動性，輔助產生施工所需之設計圖與數量報表，同時亦可減少設計變更時所需之文書作業及時間。
4. 藉由各專業之模擬施工過程，改善施工系統的協調性和減少物件衝突及重覆施作之情況，以達到提高施工效率並盡可能減少變更設計次數之目的。
5. 利用 4D 技術和方法，加入時間軸，以達到從設計過渡到施工期間更好的管理。
6. 整合 BIM 模型中之各項資訊 (包含基礎設施及建築物系統) 至地理資訊系統。

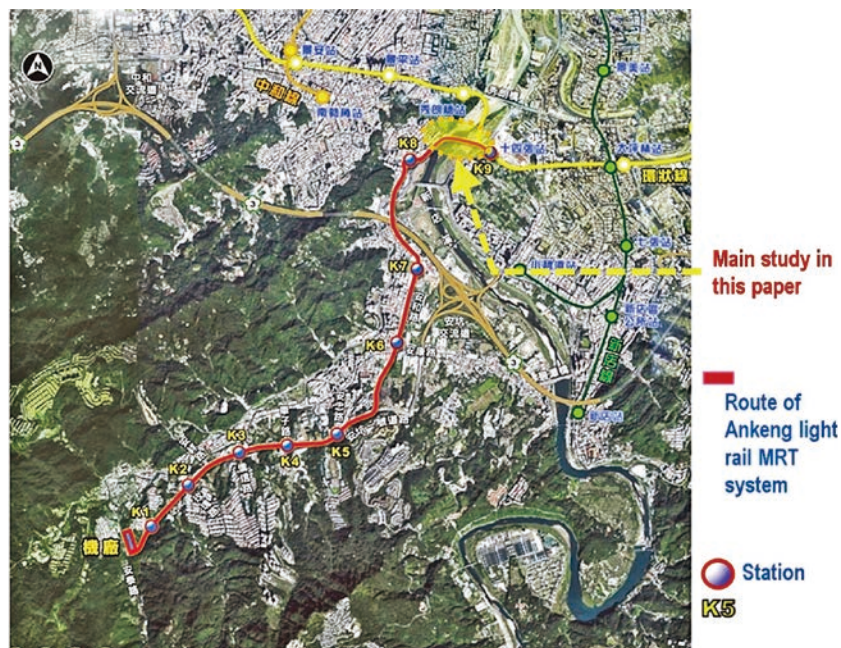


圖 1 安坑輕軌系統路線全圖^[1]

7. 於本工程竣工時，能提供竣工相關圖面及營運階段設施管理所需之相關資訊，並期能配合未來營運維護階段所使用之工具與軟體。

一般 BIM 技術的應用上，依不同的工程階段，在 BIM 的服務等級，也會有不同的發展，我們通稱為『發展等級』(Level of Development, LOD)，以因應在不同階段的技術服務需求。以目前常用的等級分類，可分成 LOD100、LOD200、LOD300、LOD400 和 LOD500 等五個等級。表 1 所示為 LOD100 至 LOD500 各等級需求及使用用途說明^[2]。

依業主之契約規定，本工程因應不同階段之使用需求，包商所提供之 BIM 等級分類如表 2 所示^[2]。

BIM 於安心橋之運用實務

本工程 BIM 所服務之內容和範圍，涵蓋安坑輕軌路線所經之地勢、橋墩、橋梁、軌道、站體、機廠、週邊建物已及道路等，而安心橋部份，則包含了這些內容之大多數元素，整體建模型態多樣且複雜^[1]。為考量實際之電腦軟硬體設施及工具之執行效率，將模型結構以不同專業領域、不同棟建物、軌道與道路分段化等不同分類，最後以依綜合展示之整合檔案呈現全貌。且因應不同的軟體工具使用，產生不同的模型架構，但主要仍以「房屋建築」、「土木基礎設施」兩種主要模型階層分類進行組構，再搭配機電系統標（本

表 1 LOD100 至 LOD500 各等級需求及使用用途說明一覽表^[2]

LOD 等級	模型內容需求	使用用途		
		供分析 能力	數量估算	期程展示與協同作業
LOD100	模型元素由圖像表示呈現於模型中，不一定需要滿足 LOD200 需求，與模型相關的資訊如：每平方呎的造價、空調所需噸數等可以來自於其他模型元素中。	用於其他分析模型需求上，以基於量體、面積、方位的分析。	基於面積、體與其他類似概念的技術資料如：單樓層面積等。	<ul style="list-style-type: none"> 期程展示：模型可用於專案分期或專案開發時程預估。 協同作業：本階段尚無需求。
LOD200	模型元素由圖像表示，呈現一般（營建）系統、物件、或由概略的數量、大小、形狀、位置及方位組成。非圖形化的資訊也可能包含在模型元素中。	用於其他分析模型需求上，進行所選定的系統一般效能分析。	用於發展基於模型所提供的概略數量，以及工料估算技術，如：體積、元件數量、系統類型的估算。	<ul style="list-style-type: none"> 期程展示：主要元素或系統的次序與期程。 協同作業：基於大小、位置、與其他模型間的衝突排除所做的一般模型協同作業。
LOD300	模型元素由圖像表示，呈現個別的（營建）系統、物件、或由數量、大小、形狀、位置及方位組成。非圖形化的資訊也可能包含在模型元素中。	用於其他分析模型需求上，進行所選定的系統的特定效能分析。	用於提供採購發包所需要的資料而進行的估算。	<ul style="list-style-type: none"> 期程展示：可用於顯示細部元素或系統的次序與期程。 協同作業：基於大小、位置、與其他模型間包括操作議題的衝突排除，所做的精準模型協同作業。
LOD400	模型元素由圖像表示，呈現個別的（營建）系統、物件、或由數量、大小、形狀、位置及方位組成，並包含組裝製造與安裝資訊。非圖形化的資訊也可能包含在模型元素中。	用於其他分析模型需求上，進行所選定的系統的精確效能分析。	用於依據採購特定元素的數量估算。	<ul style="list-style-type: none"> 期程展示：可用於顯示詳細的特定元素或系統的次序與期程，包括營造與施工法。 協同作業：基於大小、位置、與其他模型間包括組裝製造、安裝與操作議題的衝突排除，所做的精準模型協同作業。
LOD500	模型元素做為現場驗證，呈現個別的（營建）系統、物件、或由數量、大小、形狀、位置及方位組成。非圖形化的資訊也可能包含在模型元素中。	用於維護資訊提取與系統連接區分。	設備使用年限與後續維護成本預估。	<ul style="list-style-type: none"> 期程展示：無特別規範，視業主需求而定。 協同作業：延續上個階段，本階段無特別需求。

表 2 本工程各階段 BIM 模型 LOD 等級對應表^[2]

模型分類	細部設計階段	施工階段	營運維護階段
房屋建築類模型	建築模型	LOD300	LOD400
	結構模型	LOD300	LOD300
	MEP 模型 (Mechanical, Electrical, Plumbing)	LOD300	LOD400
土木及基礎設施類模型	橋梁模型	LOD300	LOD400
	平面段模型	LOD300	LOD300
	地下管線模型	LOD300	LOD300
	定線	LOD200	LOD300
軌道類模型	軌道模型	LOD300	LOD300

工程之機電統包商為中國鋼鐵公司) 之「系統機電整合連結檔」, 以使 BIM 能發揮最大之整合效能^[1]。圖 2 所示為本工程 BIM 整體模型架構^[2]。

設計衝突問題解決

BIM 技術發展至今, 大家最熟悉的一項基本功能, 就是於施工前預先發現並解決現場設計衝突問題。為有效解決這個問題, BIM 技術服務即在「虛擬設計與施工 (Virtual Design/Construction, VDC)」的概念, 提前於電腦中檢核這些整合問題, 並可預先提出解決方式, 避免現場的問題產生。

碰撞檢討在各階段都是依反覆不斷進行的程序,

在安心橋的 BIM 技術之運用上, 以「細部設計」和「現場施工」為兩個大段落; 再以鋼橋構造物的不同為第二層區分, 往下設定所產生的不同系統項目, 進行各專業的碰撞檢核; 而在操作過程, 以各階段所要檢討的範圍設定目的, 並 (1) 以工具軟體中的選項紀錄碰撞物件的分類, (2) 再以準則的設定產生有效的碰撞點, (3) 最後展示便於觀察的視圖, 以上的過程以系統化的方式記錄為一動作樣板, 在反覆不斷的操作時套用此動作樣板, 提升效率之外, 也應成為一個標準操作步驟。圖 3 所示為安坑輕軌工程 BIM 碰撞檢討的系統化之操作流程圖^[2]。圖 4 所示為安心橋 BIM 碰撞檢討及衝突問題之範例。

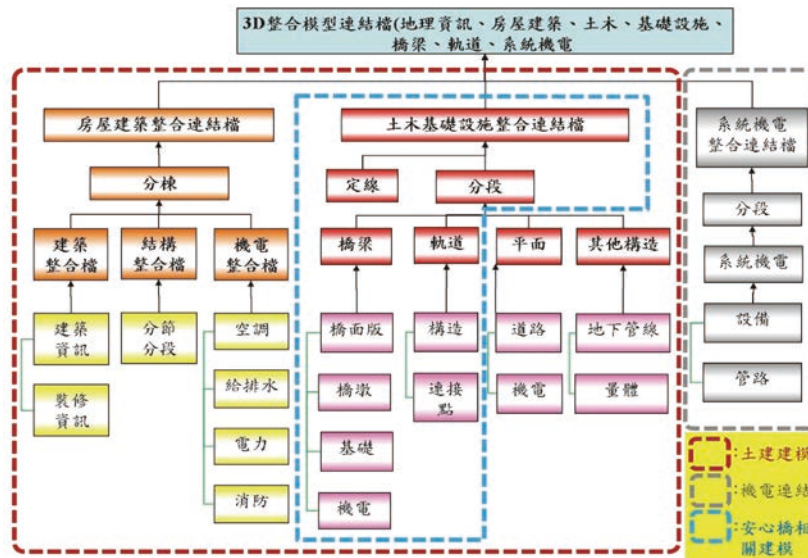


圖 2 本工程 BIM 整體模型及安新橋相關建模架構圖^[2] (劉泰儀重製)

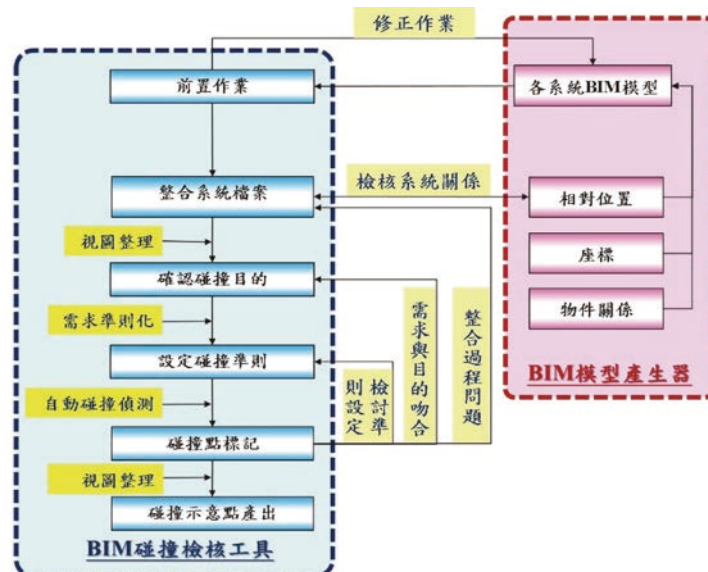


圖 3 安坑輕軌工程 BIM 碰撞檢討的系統化之操作流程圖^[2] (劉泰儀重製)

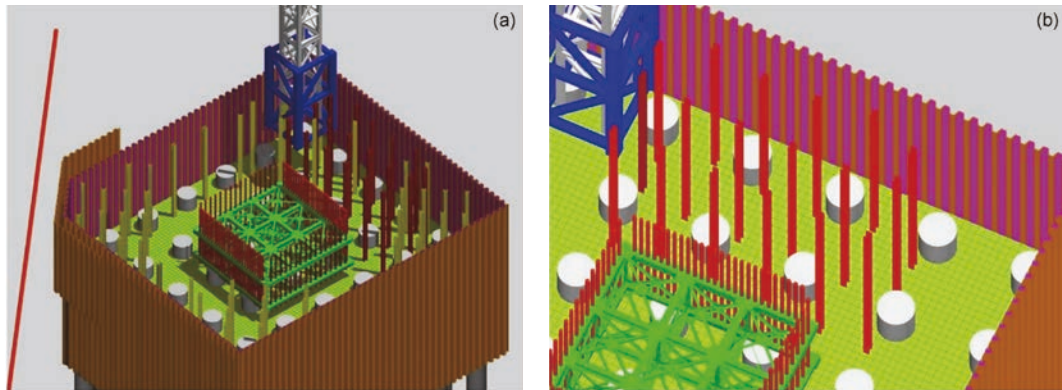


圖 4 安心橋 BIM 碰撞檢討及衝突問題之範例：(a) 塔式吊車基座與基樁及中間柱衝突
(b) 鋼橋塔錨碇座與基樁鋼筋

圖說輸出

本項安心橋 BIM 專業服務項目，分別創建主橋塔結構、鋼桁架橋樑、附掛管線、路線定線、列車軌道與其他結構物之安心橋專案樣板 (Project Model Template)，並依據工程測量訂定工程測量的基準點 (Survey Point) 設立所有工項之樣板中，各樣板包含所有分項工程種類在 BIM 模型建模時所需的族群 (Family)，BIM 建模人員則將應用安心橋專案樣板建立專案內各工程所需的模型 (Central Model)。經由模型之建置，輔助設計與施工的圖說即可從安心橋各項專業所建置的 BIM 模型中提取，可提取的輔助圖說包括：平面圖、正視圖、剖面圖、放大平面圖、詳圖、附表圖、示意圖、自行定義圖與 3D 視圖^[2]。至於提取何種輔助圖說，工程師可依工程階段即相關進度決定，在與業主達成某種程度的共識之下，可直接將此輸出之輔助圖說交付設計階段之設計圖面、施工階段之現場施工圖說，以及運維階段之營運資訊使用。

圖 5 所示為安心橋 BIM 輸出之輔助圖說：(a) 設計圖及 (b) 施工透視圖。

三維 (3D GIS) 模型建立成果

本工程結合空拍機之地面實景，搭配 BIM 之三維建模功能，可輸出高解析度之 3D GIS 模型，其中一包含 K8 車站至 K9 車站間之安心橋三維模型輸出，此一作業之各工作項目執行內容簡要說明如下^[2]：

- 航空攝影：亦即空拍機之攝影作業，空拍前需規劃完整的飛航計畫，考量儀器參數、測區範圍、重疊率、航拍解析度等規劃航線，並須申請新店溪水域之空拍作業許可。
- 控制測量：包含安心橋施工已知平面及高程檢測點、航空標布設及測量、控制點埋設及控制點導線點清查測量，提供後續空中三角測量使用。
- 空中三角測量及正射影像製作：本工程製作 10 公分解析度正射影像，經由空中三角測量平差計算取得所有影像之外方位參數，以影像糾正取得正射影像，鑲嵌後分幅為 1/1000 圖幅。
- Acute 3D 建模：透過空拍機傾斜攝影拍攝安心橋不同角度之高解析度影像，並以 Bentley Context Capture (Acute 3D) 產製三維安心橋模型，經由影

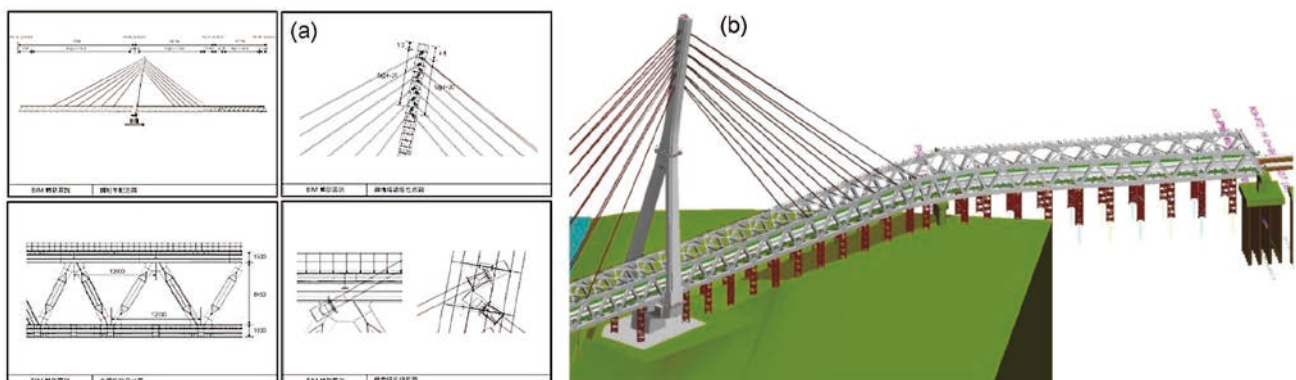


圖 5 安心橋 BIM 輸出之輔助圖說：(a) 設計圖及 (b) 施工透視圖

像密匹配技術取得計畫範圍之高密度點雲，再輸出高精度高解析度之三維安心橋模型。

- 系統平台及飛行模擬：本工程採用 Skyline 作為 3D GIS 瀏覽平台，輸入成果包含正射影像及週邊三維地景模型，並可與各階段產出之 BIM 模型進行套疊，並錄製飛行模擬動畫。
- 成果輸出：統整各階段成果並完成三維街景輸出。

圖 6 所示為安心橋三維 (3D GIS) 模型輸出圖範例。

另外，3D GIS 技術也可以由列車內之視角，來觀察列車行駛情況之模型輸出，圖 7 所示為列車內部視角之 3D GIS 模型圖。

4D 模型運用

目前在土木工程領域，除了 3D 模型技術之外，加入時間軸的 4D 技術，或是加入時間軸和成本的 5D 技術，都有相當成熟的發展，例如台積電晶圓廠建造的 5D Cristal 技術，算是發展得最完整的整合平台。

本工程在既有的 3D 模型技術上，也加入時間軸之技術成為管理成效優異的 4D 技術平台，透過不同專業項目之 4D 整合，能提供各項模型中資源的管理，能發揮更高之效率，進而避免發生資源過剩或不足之管理缺失，而影響整體工程之施工進度。

圖 8 所示為安心橋時間軸中不同階段之 4D 模型輸出圖。



圖 6 安心橋三維 (3D GIS) 模型輸出圖範例



圖 7 安心橋車內視腳之三維 (3D GIS) 模型輸出圖

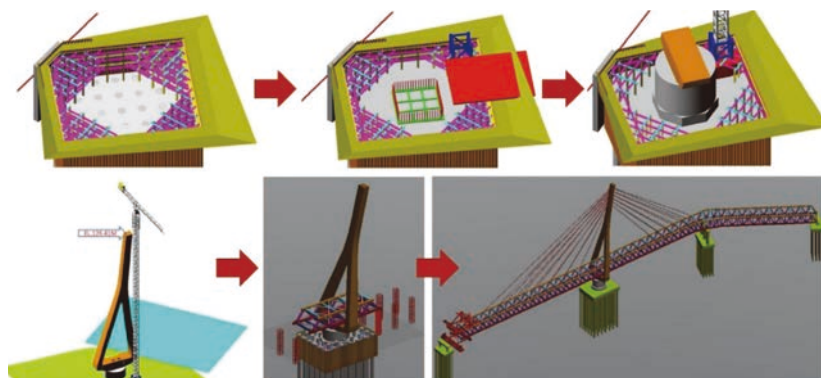


圖 8 安心橋時間軸中不同階段之 4D 模型輸出圖

表 3 安心橋圖裝配色選色方案一覽表

	色票依據	顏色	方案 A	方案 B	方案 C	方案 D
單色	油漆工會	白色	橋塔	橋塔		橋塔
		38 鼠灰		桁架		
		37 珍珠灰	桁架		橋塔、桁架	
		94 灰藍				桁架
漸層	PANTONE	白色	橋塔			
		Pantone 420	桁架			
		Pantone 421				
		Pantone 422				
		Pantone 423				
		Pantone 424				

橋體塗裝配色模擬

BIM 技術亦運用於安心橋之配色方案之選擇上，選色時搭配 3D GIS 實際地景之視覺效果上，進行各方案顏色搭配之預視及評選，表 3 為安心橋不同方案配色之列表。

圖 9 所示為安心橋單色與漸層色圖裝配色模擬 3D 透視圖。

經業主及建築師在 BIM 3D GIS 之輔助配色模擬及多方討論之後，本工程安心橋選定主橋塔塗裝為白色，鋼桁架橋塗裝為單色 Pantone 422 號灰色，鋼纜採 HDPE 保護套管之原色白色，整體明亮顯眼，堪稱新北市之新地標。

工程數量計算

使用 BIM 工具對於數量統計而言，最重要的就是運用軟體提供之建模工具使結構體元件可以附帶數量統計所需之數量資訊。已安心橋為例，其鋼桁架橋使用橋梁工具來建立。而不同專業領域之 BIM 模型（例如：橋梁混凝土和軌道混凝土）之部分元件可能會重複建置，於數量計算時應確實檢查並排除重複建置部分。

本工程經由 BIM 技術進行之副柱數量計算含下列各主要項目：

- 鋼橋塔構件數量。
- 鋼桁架橋構件數量。
- 橋面混凝土數量。
- 軌道數量。
- 軌道混凝土數量。

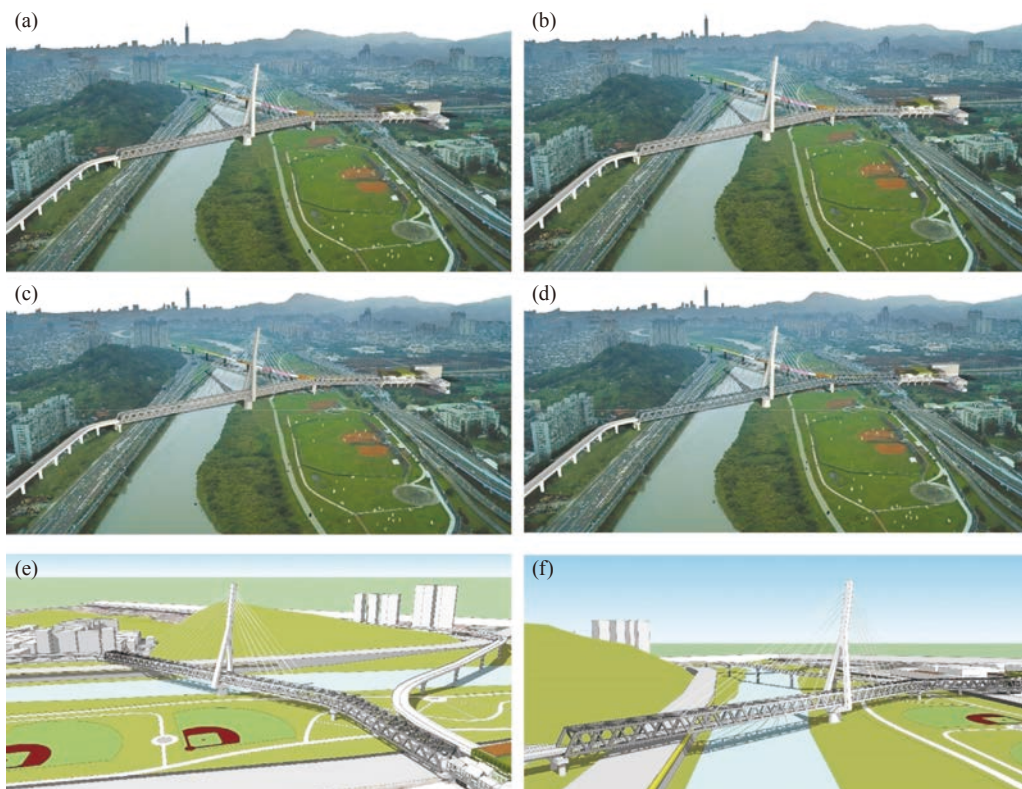


圖 9 安心橋單色與漸層色塗裝配色模擬 3D 透視圖：(a) 至 (d) 為單色方案，(e)(f) 為漸層色方案

BIM 應用於安心橋之成效說明

自本工程開工進行細部設計開始，至目前施工階段，已於各階段有效應用 BIM 技術建構虛擬建築結構與土木工程之模型，以模擬設計與施工輔助設計至竣工之各工程階段的應用。並於工程進程中將 BIM 之資料、模型及其產出之設計圖、材料數量等能即時的與專案成員共同作業分享資料。BIM 技術服務系統即是為滿足專案各方專業項目之需求而建置，供專案彙總、發佈、歸檔及管理 BIM 資料及成果，並供專案成員協同作業、資料共享、成果驗證等作業。業主、專管顧問及監造單位亦可由網際網路隨時登入此系統檢視最新 BIM 作業成果。表 4 所是為 BIM 技術於安心橋相關項目所產出交付之輔助文件一覽表。

表 4 BIM 技術於安心橋相關項目所產出交付之輔助文件一覽表^[2]

交付里程碑	交付文件	
細部設計階段	BIM 執行計畫書	
	安心橋基礎模型	
	安心橋主橋塔模型	
	安心橋鋼桁架橋模型	
	定線	
	軌道模型	
	系統機電整合模型	
施工階段	各專業施工模型及協調模型	
	2D 施工圖 (製造圖)	
	時程及階段模型	
	完工後 3D GIS 模型	
移交階段	設計團隊	配合現場施工修改之設計模型 施工期間修改紀錄文件及圖說
	統包商	竣工模型
		協調模型
		竣工圖說
		操作及維護手冊

結論

3D 建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 為現今工程專案開發之應用上，日漸廣泛及深入。在本論文中，作者說明 BIM 在本工程中各階段之對應等級，以及各等級的要求交付內容。本論文並以安心橋之設計及施工等各階段為例，來說明並討論 BIM 技術在設計衝突問題解決、橋塔錨碇座與基樁鋼筋、圖說輸出、三維 (3D GIS) 模型建立成果、4D 模型運用、橋體塗裝配色模擬以及工程數量計算等各項之輔助成效，並於各階段有效應用 BIM 技術建構虛擬安心橋土木工程之模型，以模擬設計與施工輔助設計至竣工之各工程階段的應用。這些在 BIM 技術的運用，我們以深切了解，BIM 技術服務系統即是為滿足專案各方專業項目之需求而建

置，供專案彙總、發佈、歸檔及管理 BIM 資料及成果，並供專案成員協同作業、資料共享、成果驗證等作業。

誌謝

本論文所有作者，感謝本工程業主新北市政府捷運局、專案管理中興工程顧問股份有限公司、亞新工程顧問股份有限公司、統包商新亞建設開發股份有限公司、俊吉營造股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、十匯建築師事務所、台賓科技有限公司、長榮鋼鐵股份有限公司，以及其他參與本工程之所有公司、單位及工程人員等之努力與協助，並有效運用 BIM 技術之輔助，始能精準並順利且如期如質地完成此一安心橋之建造工作，這些努力所產出之資料，亦係為完成本論文之基本元素。

參考文獻

- Liu, T.Y., Chen, P.H., Chou, N.S., Chou, M.Y., Lin, R.J.C., and Luo, Han-Ding (2019). "Environmental Sustainability Approaches Adopted for Construction of Anhsin Bridge of Ankeng Metro System in New Taipei City." E3S Web of Conferences 117, 00013 (2019) (EI Conference proceedings).
- 新亞建設開發股份有限公司 (2017), 「BIM 執行計畫書」, 新北市政府捷運局 - 安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程 (Unpublished Article), September 11, 2017, pp. 1-171.
- 林逸羣、林仁國、詹家雄、田若農 (2018), 「獨立驗證與認證 (IV&V) 如何結合獨立安全評估 (ISA) 作業說明—以新北市捷運車輛系統為例」, 工程與技術期刊, 91 卷 03 期, June, 2018, pp. 130-141.
- Succar, B. and Kassem, M. (2016), "Building Information Modelling: Point of Adoption, CIB World Congress." Tampere Finland, May 30 - June 3, 2016.
- Kassem, M. and Succar, B. (2017), "Macro BIM adoption: Comparative market analysis." Automation in Construction, 81, pp. 286-299.
- Kassem, M., Succar, B., and Dawood, N. (2015). "Building Information Modeling: analyzing noteworthy publications of eight countries using a knowledge content taxonomy In R. Issa & S. Olbina (Eds.), Building Information Modeling: applications and practices in the AEC industry." University of Miami: ASCE.
- Sanguinetti, P., Abdelmohsen, S., Lee, J.M., Lee, J.K., Sheward, H., and Eastman, C. (2012). "General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis" Advanced Engineering Informatics 26 (2012) 317-333
- Shin, H.M., Lee, S.J., and Chen, J.H. (2011). "Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Column Based on BIM", The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction: Procedia Engineering 14 (2011), pp. 2160-2163
- Fox, S. and Hietanen, J., (2007). "Interorganizational use of building information models: potential for automational, Informational and transformational effects." Construction Management and Economics 25 (2007), pp. 289-296.
- Choi, J., Kim, I., Jo, C., and Choi, J. (2009). "Application status of domestic architectural industry of open BIM and development direction." Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers 14 (6) (2009), pp. 355-363.
- 新亞建設開發股份有限公司 (2020), 「安坑輕軌_細設第二部分 BIM 成果報告書」, 新北市政府捷運局 - 安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程 (Unpublished Article), July 15, 2017, pp. 1-2 - 2-74.