



參數化建模 與 BIM 整合： 資訊爆量時代 的 橋梁工程資訊管理 新思維

藍士棠*／林同棧工程顧問股份有限公司資訊技術服務中心 BIM工程師

林禮賢／林同棧工程顧問股份有限公司資訊技術服務中心 經理

吳承諳／林同棧工程顧問股份有限公司資訊技術服務中心 BIM組副組長

在資訊爆量時代，工程資訊的管理面臨前所未有的挑戰。橋梁工程作為高度定製化的設計產物，即使是同一座橋梁，其組成單元也可能存在高度差異性，難以重複利用既有設計。因此，如何在爆炸性增長的數據中，有效率地以參數化方法描述橋梁設計單元，並整合各階段的資訊，成為提升工程效率的關鍵。

本文著眼於此，沿用內部既有的鋼橋設計制式化表格，透過參數化建模工具 Grasshopper 彙整鋼橋關鍵構件的設計數據，工程師僅須調整表格數據，即可同步更新模型與圖說，此方法不僅能精確之 3D 模型重現設計意圖，制式表格更能有效管理大量的設計變數。在 Rhino/Grasshopper 環境中，將模型透過 API 無縫銜接至對應的 BIM 軟體環境，同時寫入必要之參數，實現設計資訊在不同平台間的有效傳遞與應用。圖說作業亦透過 Rhino/Grasshopper 的製圖功能，自動化生成箱梁之平面與縱向配置圖，並且完成尺寸標注及圖層設定，不僅減少了傳統作業中繁瑣的人工操作，更重要的是，透過單一平台整合設計的 2D 及 3D 作業，有效避免了不同軟體間的版本誤差與資訊遺失，確保了橋梁設計資訊的一致性與準確性。

關鍵詞：鋼箱梁、BrIM、資訊管理、Grasshopper、Tekla

前言

隨著資訊科技迅速發展之下，工程的目的不僅僅是如質如期完成，全生命週期與永續管理已經是設計與施工單位必須重視的課題，在此前提下，如何有效、系統化的管理工程資訊，將影響專案執行成效。在此背景下，建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）已被廣泛應用於建築領域，模型完整紀錄了外型幾何、地理資訊、空間資訊以及物件屬性

資訊，用於工程衝突檢討、圖說產出、數量計算、協同作業等，有效提升工程效率與品質，此外，BIM 更可作為資訊整合平台，延伸應用至建築執照審查、社會住宅營運管理、建築能效評估（如 BERS 系統）等領域，甚至結合地理資訊系統（GIS）應用於智慧城市之規劃與管理，展現其在推動產業升級與永續發展上的巨大潛力。

然而，由於橋梁設計的高度客製化且線性分佈之特性，使得現有以建築設計為主的 BIM 平台應用於橋梁工程時顯得力不從心，不僅在建模上存在諸多

* 通訊作者，stlan@tylin.com.tw

不便，延伸應用亦相當受限。橋梁資訊模型（Bridge Information Modeling, BrIM）在設計階段之建置方法仍以後 BIM 方式為主，原則上由路工完成定線設計，橋梁工程師依據定線進行橋梁結構分析與配置，BIM 工程師則依據定線、橋梁設計圖說及設計數據建置模型。BrIM 模型組成一般可分為上構及下構兩部份，依據不同橋型構件，其上構建置作法存在差異^[1,2]。以 Revit 為例，有別於建築類可以使用程式內建之柱、梁、板、牆等元件進行組合，由於 Revit 本身不具備橋梁相關元件，因此需要自行依設計需求另外建立參數化之橋梁族群使用，搭配 Dynamo 放置橋梁單元至指定座標位置並完成單元幾何參數之設定，其特點是每個單元可視為獨立模型，但對於鋼構細部的支援有限，複雜幾何造型可能須人工調整；Tekla Structures（以下簡稱 Tekla）則是提供橋梁創建工具（Bridge Creator）之擴充功能，工程師可透過設定關鍵斷面之方式進行橋梁外型量體建模，適合混凝土箱型梁或 U 型梁等外型連續變化之橋梁類型。然而，鋼箱型梁是由多個構件組成，包含翼板、腹板、隔板、縱向加勁板、豎向加勁板、橫梁等，其各個構件之施工切割點與尺寸變化點位置均不相同，故若要精確再現鋼箱梁幾何外型，則需將鋼箱各構件分別獨立建置，故上述方法並不完全適用。

除了使用常見 BIM 軟體建置 BrIM 模型，國內另外也有以結構分析模型建模再匯入 Revit 模型之案例（家源橋）^[3]；以空拍機傾斜攝影之高解析度影像搭配點雲建立三維模型（安坑輕軌系統安心橋）^[4]；因應複雜造形設計而採用 Dassault 3DEXPERIENCE 平台（淡江大橋）^[5]；自行開發之鋼箱梁參數化建模程式並串連 Tekla（三鶯大橋）^[6] 等案例。

目前橋梁設計圖說產製作業與 BrIM 建置作業彼此是無關聯，內部橋梁作業流程是先透過 AutoCAD 自動化程式讀取設計數據與出圖參數設定，進而完成 2D 圖說繪製，再交由 BIM 工程師依據圖說內容及設計數據表格進行 BrIM 模型建置，此流程最大的缺點在於 2D 圖說與 3D 模型為獨立產出，當設計發生變更時，無法即時同步更新，須等待圖說修正完成，並額外花費時間人工確認，方能確保 2D 圖說與 3D 模型的一致性。因此，現行橋梁資訊模型建置流程亟需改良，應探索更高效且整合度更高的 BrIM 技術，以充分發揮其在橋梁工程中的價值。

技術方法

利用 Tekla 結合參數化工具 Grasshopper，透過制式化表單及可重複應用之程式腳本，提供橋梁資訊模型與圖說連動之作業方案，降低建模與出圖所需之人力，並提高鋼箱型梁精確度，並且增進 BrIM 後續應用的可能性（圖 1）。

BIM 與參數化工具

Tekla 是專注於結構專業之 BIM 軟體，針對結構細部、鋼筋、鋼鍵、螺栓等具備豐富的元件與自動化工具，使用者可以輕易的完成結構模型建置與圖說製作工作。Tekla 在橋梁工程方面也有豐富的實際案例，如：Norway 的 Randselva Bridge 即是使用 Tekla 取代傳統圖紙施工案例；E6 Ranheim- VÆRNES HIGHWAY 使用 Grasshopper 與 Tekla 完成高架橋及隧道入口模型建置，其橋梁模型採用參數化方式建置，可隨定線方案調整即時更新橋梁模型。

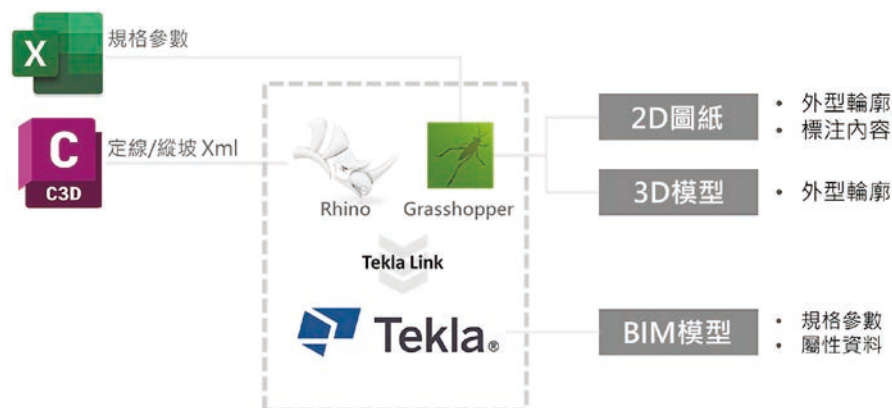


圖 1 Grasshopper + Tekla 鋼箱梁建模作業原理

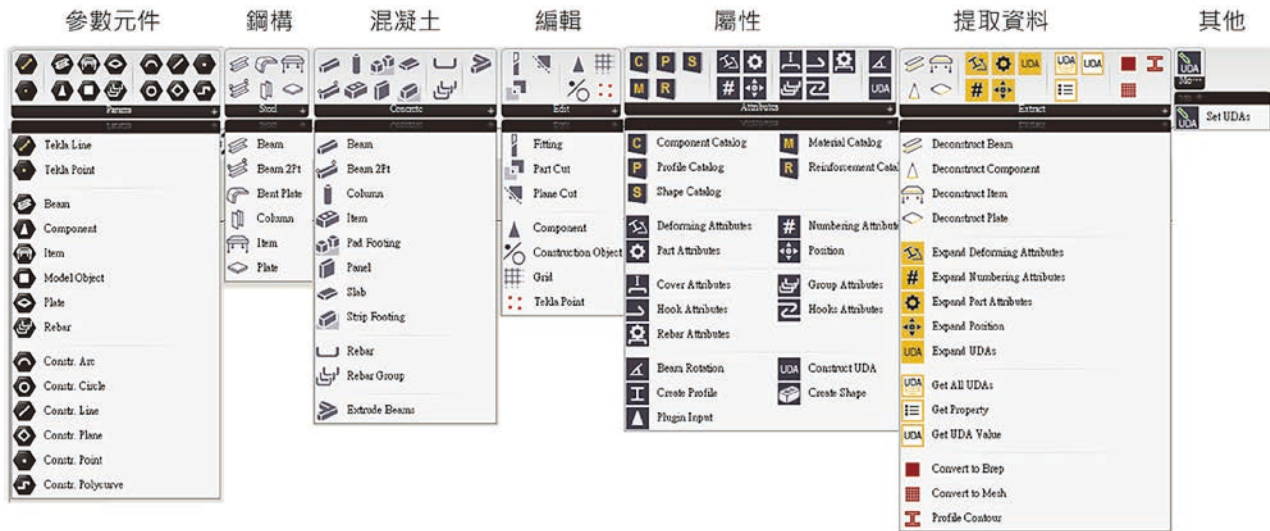


圖 2 Grasshopper-Tekla Live Link 功能

Rhinoceros 3D（以下簡稱 Rhino）是一款 3D 建模軟體，因其強大的自由造型功能，Rhino 應用領域相當廣泛，包含建築設計、工業設計、珠寶設計、遊艇設計等不同領域。而 Grasshopper 為針對 Rhino 環境之視覺化程式設計語言，使用者透過串連節點的方式，即可直觀的建立程式指令並執行參數化設計與分析工作，熟悉 Python 或 C# 的使用者亦可直接在 Grasshopper 環境以程式語言建立客製化之節點，可增進程式運算的效率。Rhino/Grasshopper 同時具備相當豐富的外掛資源，近年並已發展多種跨平台之解決方案，可針對不同專業之作業流程，增強既有工具操作體驗，例如：Grasshopper-Tekla Live Link（圖 2）、Rhino. Inside®.Revit、MIDAS GH 等，可將 Rhino/Grasshopper 之作業成果快速連接至不同軟體平台，並透過 Grasshopper 進行參數化控制，實現最佳化設計的任務，亦可將成果反向回傳至 Grasshopper，再做其他分析與應用。

BrIM 建模流程

鋼箱梁建模作業流程整合 Tekla、Rhino 及 Grasshopper 工具，主要共 4 個步驟（圖 3），(1) 設計數據與定線資料匯入與整理；(2) 建立全線箱梁外型輪廓線；(3) 依里程提取個別構件輪廓線與塑形；(4) 模型及屬性資料轉換至 Tekla 環境。

BrIM 建模前置作業

首先，啟動 Tekla、Rhino 與 Grasshopper，並確認模型單位和公差設定無誤。完成初始設置後，即可匯入設計數據與定線資料。設計數據是由橋梁工程師負



圖 3 鋼箱梁建模流程圖

責填寫並以純文字格式形式儲存，包含零件里程、零件尺寸、板厚、編號、材質、標注內容等資訊，可利用 Grasshopper 之 Read File 功能直接讀取，或是透過 Python 匯入檔案，並利用 Codecs 模組將設計數據轉換為 Big5 編碼，確保中文內容正確顯示。由於原始數據中常包含空值與註解，因此需進行清理、轉換和分類操作。由於 Grasshopper 腳本是透過連接節點的方式實踐，故若腳本包含一連串複雜指令或腳本中存在大量參數時，其界面將充斥大量連接節點的線段而難以閱讀與管理（圖 4），故可將設計參數定義全域黏性變數（Global Sticky Variables），以便於後續調用參數時，不需線段連接數據之節點（圖 5）。

基於定線數據建立箱梁外型輪廓線

橋梁設計是以定線為基礎，而定線是以 Civil 3D 製作並使用 XML 作為資料交換格式。XML 為可延伸標識語言，其數據可在 Grasshopper 環境透過 Python 中的

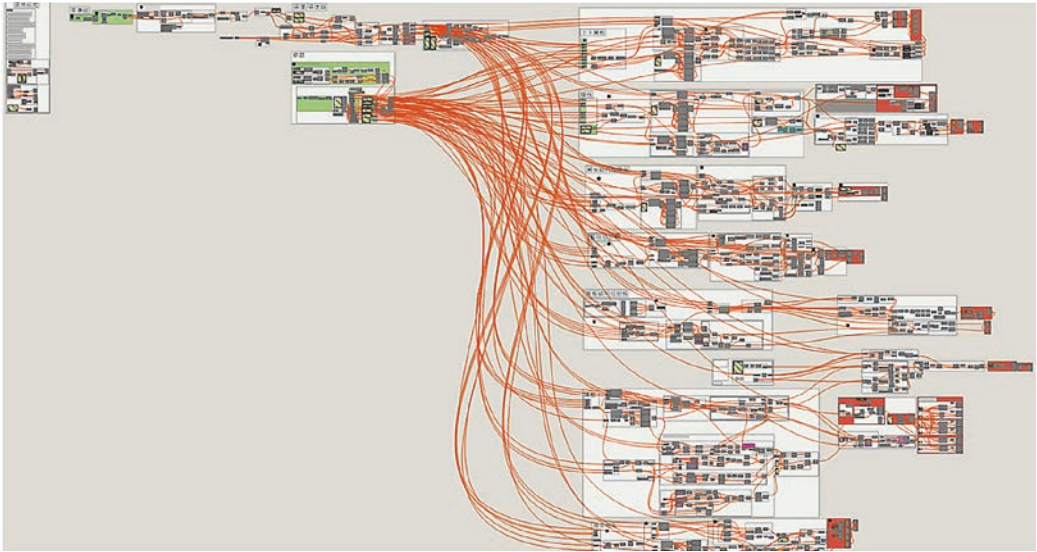


圖 4 未經最佳化的鋼箱梁脚本

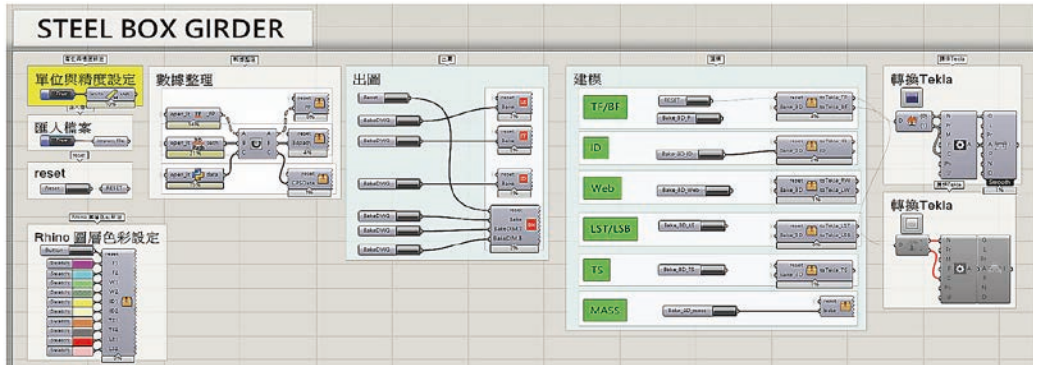


圖 5 經最佳化的鋼箱梁脚本

ElementTree 模組讀取，並根據 XML 文件中的平面線型與縱坡資料於 Rhino 環境中再現三維定線曲線。定線完成後，依據設計之漸變、高程漸變、超高、HUNCH 之偏移量與里程，定義全線箱梁上下翼板、左右腹板之輪廓線位置（圖 6），為後續提取各構件輪廓線提供參考。

依里程與輪廓線建立箱梁構件實體

鋼箱型梁的組成包括翼板、腹板、縱向加勁板及隔板等構件。建模方法是根據各構件設計斷點里程建立以定線方向為法向量的切割平面，利用該切割平面對輪廓線（表 1）進行切割，進而確定各構件單元在三維空間中的範圍（圖 7）。隨後，將該範圍圍塑成曲



圖 6 箱梁輪廓線位置定義

面，並依據設計之鋼板厚度沿曲面法向量方向擠出形成封閉實體（Closed BREP），此即構件單元。此方法不受線形限制，並解決以往在曲線段單元間未能順接而產生間隙的問題。

依構件特性建立 Tekla 箱梁構件

再透過 Grasshopper-Tekla Live Link，可將 Grasshopper 中的封閉實體及屬性資料轉換至 Tekla 環境。由於 Tekla 在幾何功能上的限制（表 2），除了完全為平面之構件，非平面構件需以「項目」（Item）匯入，確保模型整體平滑與正確性。屬性資料則可利用 User-Defined Attributes（UDAs）加入至 Tekla 零件屬性中。至此，

表 1 構件建置使用之輪廓線

構件	翼板輪廓線	腹板輪廓線
翼板	○	—
腹板	—	○
隔板	○	○
縱向加勁板	○	—
豎向加勁板	○	○

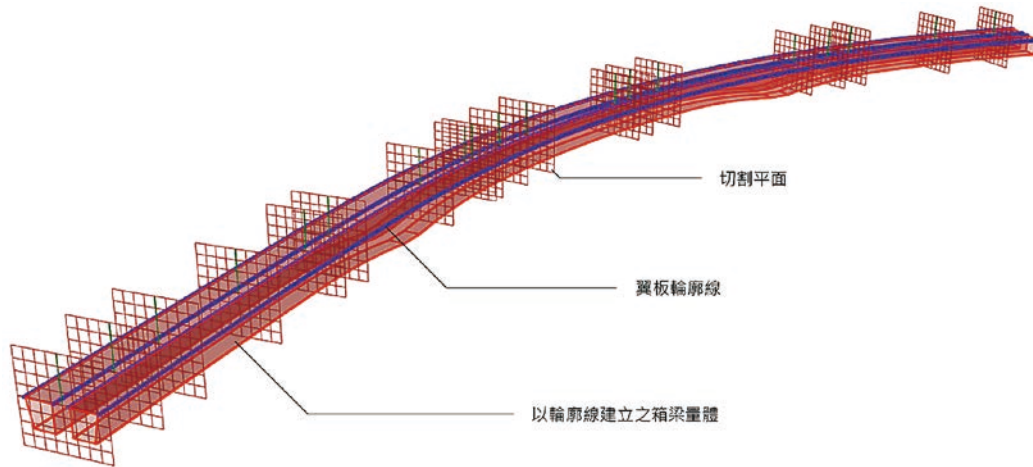


圖 7 依據里程建立切割平面

表 2 Tekla 元件之功能限制比較

Tekla 元件		功能限制
	板	板控制點須要共平面
	梁	斷面無法漸變
	梁 + 可變橫斷面	僅適合直線漸變元件，如：托架
	梁 + 零件切割	以切割多餘零件型塑所需要的造型，整體作業複雜
	項目 (Item)	適合特殊、複雜造型，無法直接編輯
	元件 (Components)	適合大量且重複之細部。透過約束條件及參數控制造型，類似 Revit 參數化元件。

箱梁的翼板、腹板、縱向加勁板及隔板等主要構件的建置即可完成 (圖 8)。

BrIM 模型深化方法

鋼構細部如連接板、螺栓、開孔、焊接等，可透過 Tekla 自定義元件 (Custom Components) 補充，再借助 Grasshopper 即可實現批次元件放置，大幅提高模型深化的效率並降低遺漏的風險。例如，在橫梁細部建模中，首先建立橫梁腹板，然後在 Grasshopper 中將橫梁腹板指定為 Detail Component 的主件，使自定義元件自動依主件補充相關細節 (圖 9)，如橫梁翼板、加勁板、連接板、螺栓孔等，進一步完善 BrIM 模型。

鋼箱梁出圖作業

針對現有 BIM 軟體在橋梁設計圖繪製上的不足，透過 Grasshopper 讀取設計數據，依據設計比例自動生成翼板與腹板之配置圖與標註，並匯出 CAD 圖說 (圖 10)。當設計數據需要修正時，工程師僅需更新制式化表格中的數據，即可快速同步更新模型與圖說。

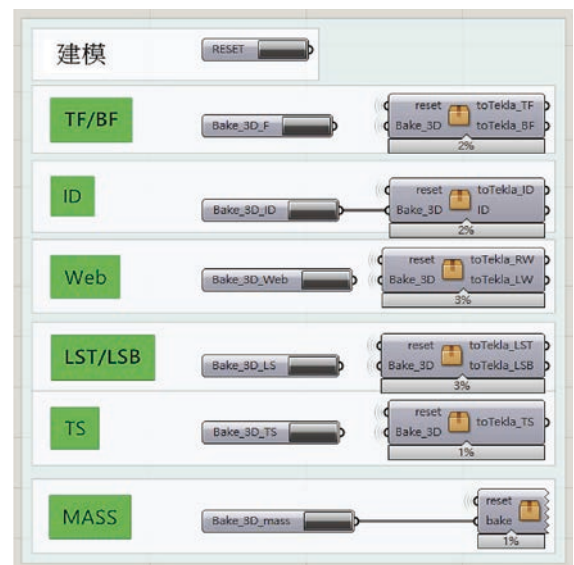


圖 8 依構件分別提取輪廓線並完成型形

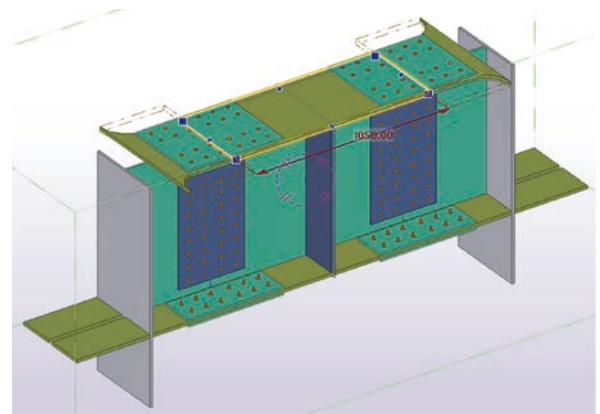


圖 9 自定義之橫梁元件

此外，透過 Grasshopper 的預覽功能，工程師隨時檢視 2D 圖說與 3D 模型 (圖 11、圖 12)，從而降低人為錯誤，並確保設計資訊的一致性。

結語與建議

BrIM 作為橋梁工程資訊的整合平台，其模型資訊的一致性與準確性至關重要，本研究基於既有鋼箱梁設計繪圖流程，發展出結合 Tekla Structures 與 Grasshopper 的橋梁資訊建模作業流程。此流程以制式表格為基礎，透過自動化方式讀取設計數據，快速生成鋼箱梁模型，顯著縮短了傳統仰賴設計圖說與人工判讀的時間，大幅提升了建模效率。不僅有效解決傳統設計與建模過程中常見的痛點，更為後續的應用與管理奠定

可靠的基礎。具體結論與建議如下：

1. 完善橋梁資訊模型：透過 Grasshopper 讀取設計數據，並控制鋼箱梁構件幾何形狀與屬性資訊，運用 Grasshopper-Tekla Live Link 於 Tekla 環境建立鋼箱梁模型。後續建議運用 Tekla 在鋼構細部的強項，針對鋼構製造圖、組裝圖、BOM 表等應用，建立相關自動化作業程序，以發揮 BrIM 技術於工程全生命週期之最大價值。
2. 深化模型細節與元件管理：透過 Grasshopper 批次

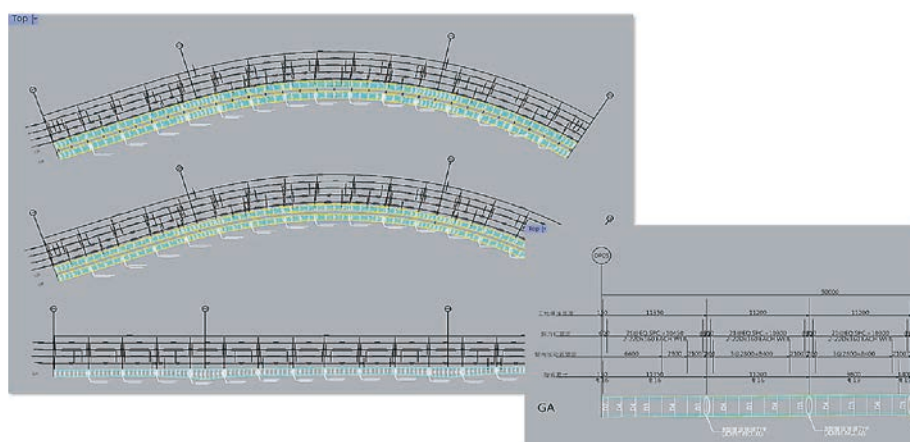


圖 10 以 Grasshopper 自動化繪製鋼樑配置圖說

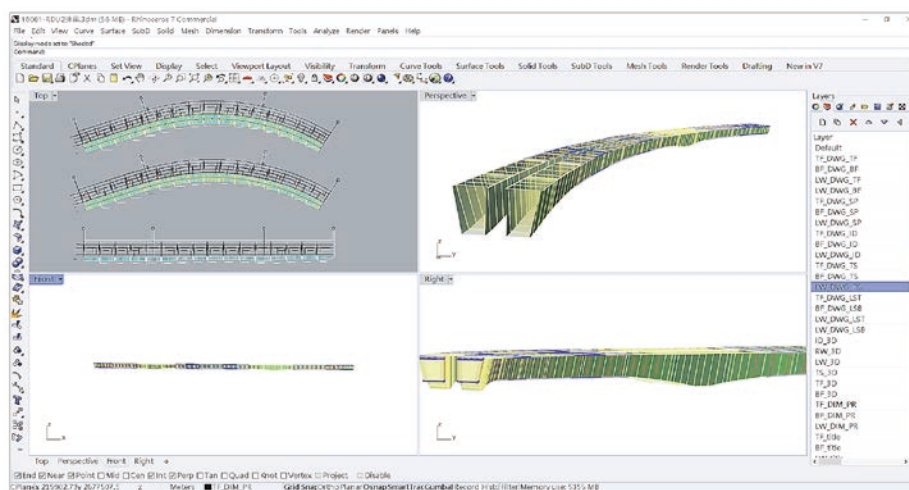


圖 11 於 Rhino 環境檢視 2D 及 3D 作業

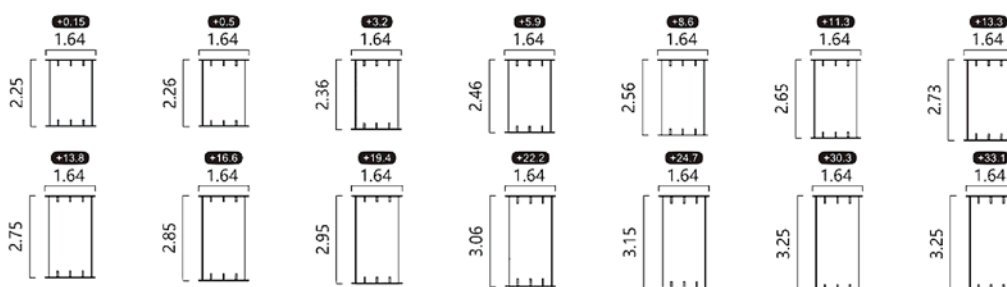


圖 12 任意指定里程產出箱梁斷面

放置 Tekla 自定義元件，可有效深化模型細節，進而提升模型的完整度與應用價值。為確保模型準確性與一致性，建議在建模前即依據設計圖說完成細部元件的設計與定義，並建立完善的元件庫管理機制，以利後續維護與應用。

3. 實現模型與圖說的同步更新：透過 Grasshopper 實現橋樑參數化設計，2D 圖說與 3D 模型的同步更新，有效解決傳統作業流程中模型與圖說資訊不一致的問題，並確保資訊的一致性。建議持續針對 Grasshopper 腳本的最佳化，提升模型與圖說產製的效率與完整性。

4. 拓展 BrIM 應用與資料串連：Grasshopper 具備豐富的外掛資源及 API，可與其他軟體平台串連，進一步擴展 BrIM 應用並促進資料交換與跨領域協作。建議後續研究可將此流程擴展至以下面向：

(1) 結構分析軟體：整合結構分析與驗證流程，加速設計迭代與優化過程。

(2) 地理資訊系統 (GIS)：整合橋樑周邊環境資訊，進行更全面的規劃與分析。

(3) 生命週期評估工具 (如 One Click LCA)：進行橋樑工程的碳足跡評估，輔助工程師落實橋樑的永續設計。

參考文獻

1. 蔡俊鏡 (2022)，「BIM-Revit 應用在橋樑概念設計」，營建知訊，第 473 期，第 71-81 頁。
2. 許舜翔、劉鎧禎、林子皓、周敬淳、謝尚賢、曾榮川、李育謙 (2019)，「橋樑於備標階段外觀塑型自動化之初步研究」，營建知訊，第 434 期，第 66-73 頁。
3. 王茲為、石晉方、廖吳章 (2017)，「BIM 在橋樑工程的應用—以家源橋為例」，土木水利，第 44 卷，第 3 期，第 108-113 頁。
4. 李政安、鄒宏基、周茂益、劉泰儀、吳崇弘 (2021)，「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」，土木水利，第 48 卷，第 1 期，第 29-36 頁。
5. 鄧挺發、藍毅哲、林舜元、詹文宗 (2020)，「3D 數位化橋樑設計、整合與管理—從淡江大橋出發」，中興工程，第 147 期，第 81-88 頁。
6. 曾榮川、陳政雄、李育謙、吳淑珍 (2017)，「鋼箱梁參數化三維建模—以三鶯大橋改建工程為例」，土木水利，第 44 卷，第 3 期，第 6-11 頁。

EARTHPOWER CONSTRUCTION CO., LTD

義力營造股份有限公司

卓越
誠信
安全
品質

義呈實諾 力呈卓越

創立於民國八十三年，甲等綜合營造業

深耕台灣，致力鑽研土木、環境、建築、區段徵收、開發工程，秉持追求全員工安、品質提升的精神，在誠信踏實的經營態度之下，堅守營建道德崗位，各項工程實績屢獲優良工程金安獎、公共工程金質獎

土木工程	整地、道路、排水橋樑、隧道、護坡、植生景觀、管線工程
建築工程	辦公大樓、廠辦新建、特殊建築、集合住宅
環境工程	掩埋廢棄物分類清除、土壤污染改良、污水處理、復育工程、廢棄物分類機械製造
區段徵收	區段徵收工程、土地重劃、公設工程施工
開發工程	工業園區開發、社區開發、租售管理

