BIM在橋梁工程之應用發展與挑戰—以新北市三鶯大橋改建為例

關鍵詞：橋梁工程、BIM、參數化建模、前處理程式

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／協理／曾榮川 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／正工程師／陳政雄 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／工程師／李育謙 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／副理／吳淑珍 ❹

摘 要 ABSTRACT

研析BIM在橋梁工程應用上與建築物的差異及所面臨困境，並具體提出BIM在橋梁工程應用上應有之作法，本文同時介紹採工程師設計語彙與邏輯之參數化的BIM快速建模前處理程式，並以實際案例成果加以驗證其正確性與效率。結果顯示，以工程師設計語彙參數化作為資料輸入方式，並經由程式進行繁複計算及存成後續BIM模型使用之格式，確實發揮快速BIM建模的目標，大幅降低BIM建模成本及縮短期程，發揮BIM在橋梁工程的應用與效益。對於BIM在橋梁工程之應用推展及效益的發揮將有很大的助益。

壹、前言

建築物導入BIM作為全生命週期之考量，已是國內外工程技術發展之趨勢，不僅已發揮顯著的功能與效益，並有各專業常用之套裝建模軟體，包括傳統之AutoCAD(2D、3D製圖)、SketchUp(景觀、建築)、Autodesk 3ds Max(動畫)及可結合BIM的AutoDesk Civil 3D(鐵、公路、捷運路線設計、測量、整地)、Autodesk Revit(機電、建築)及Tekla(機械、結構)等。國內產官學研界也相當重視並積極推動，公共工程主管機關並擇定各類別公共建設的示範案的資訊模型擴及公共工程。但由於建築物與土木工程在使用機能、維護管理等需求及結構特性有所不同，導致全生命週期各階段之作業要求也有相當幅度的差異，造成BIM在土木工程的推展與應用因直接套用建築物的作法，面臨了一些包括各階段作業成果無法續用及效益未如預期等困境。

有鑒於此，研析建築與土木工程在本質上各方面的差異，是將BIM應用在土木工程上，並能發揮最大效益之要件，也方能據此提出最適的作業方式與流程。為此，本文將以橋梁工程為例來探討此一問題，並詳細解析橋梁工程與建築工程在本質及全生命週期各階段之不同。除此外，亦將探討說明現階段工程技術為何在橋梁工程上，其分析檢核模型與BIM模型間相互轉換使用困難的原因。而BIM參數化的快速建模，以及採用橋梁設計工程師語彙的資料輸入方式，是BIM在橋梁工程應用發展能否順利推展的關鍵，本文亦將以新北市三鶯大橋改建為例，說明即使最複雜的鋼橋亦可利用參數化的工程語彙來快速建模，並可作為施工中各項放樣檢核之用，甚至作為後續鋼板放樣裁切之基本資料(須在加上拱度及其他考量)，以發揮其最大效益之目的。

貳、橋梁工程的特性與本質

經彙整歸納橋梁與建築工程本質上的主要差異，概述如表1所示，詳細說明如下：

表1 橋梁與建築工程之功能與特性差異

項目	橋梁工程	建築工程
配置與機能	• 機能係僅利用結構物外部達成 • 內部的配置與構造不是維持機能及設計的重點	• 機能需結合利用結構物內、外部方可達成 • 內部配置與構造是維持機能及設計的重點
設施及其與機能關係	• 設施少、單純且非機能構成重要因子 • 設施與結構物衝突機會少	• 設施多、複雜且為機能構成重要因子 • 設施與結構物衝突機會多
維護管理	• 結構物及設施大多為外露，易檢視維修 • 劣化損傷具表徵特性且擴大速度慢 • 維修對機能影響不具急迫性	• 結構物及設施大多為隱藏，不易檢視維修 • 部分設施損傷不具表徵特性且快速或瞬間喪失功能 • 維修對機能影響常具急迫性

一、橋梁工程所提供之機能單純，主要是提供活載行為的進行與安全，而建築工程則不然，除需提供活載行為的進行與安全外，並需滿足使用者在生活及感官上的所有需求。

二、橋梁工程之使用機能是利用主要結構體外部進行與完成，因此結構體主要由少數主要構件所構成，構件配置與尺寸及整體結構內部空間一般僅考量結構安全及維護管理等需求與條件，基本上與使用機能並無關聯。而建築工程之使用機能主要在整體結構體內部進行與完成，由很多構件所聯合構成所想要的內部空間，構件配置及整體結構內部空間不僅需考量結構安全及維護管理等所需，滿足使用者在生活及感官上的需求也同等重要。

三、橋梁工程設施少、單純，配置容易，且主體結構構件衝突少，而建築工程設施多、複雜，不僅與使用機能息息相關，設施與主體結構構件衝突多，且事後調整修正困難。

四、另在維護管理上，橋梁工程的結構物及設施大多為外露，易檢視維修，其劣化損傷並具表徵特性且擴大速度慢，因此維修對機能影響不具急迫性。而建築工程則不一樣，結構物及設施大多為隱藏，不易檢視維修，部分設施損傷不僅不具表徵特性，且可能快速或瞬間喪失功能，因此，維修對機能影響常具急迫性。

如上面所述，橋梁與建築工程在本質上是有極大的差異，橋梁建設之全生命週期一般會並將其分成規劃、設計、施工、維管及拆除重建等幾個主要階段，但這樣的階段歸類著重於執行上的時間序，惟就包括規劃設計自動化及3D視覺化等工程技術與效率提升之觀點，瞭解各階段的相關性及互通性是為要件，而非表象的時間序。經檢視技術執行各面向及依據實務經驗，就土木建設特性及全態(All States)，本文首先提出「四個層次、八大流程、遞回重塑」的概念，其示意如圖1所示。

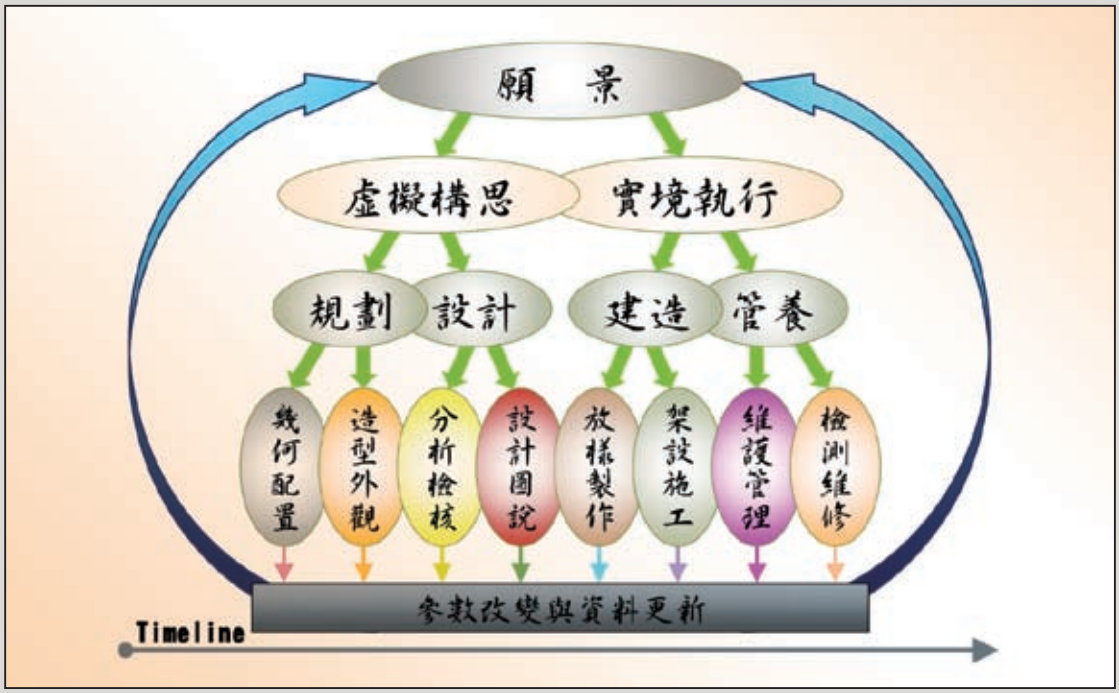


圖1 土木建設之特性與全態

所謂「遞回重塑」即上述八大流程在表象與時間序上，常會被認定一流程完成後再進入下一個流程，但實際執行並非如此。這八大流程息息相關但不相互產生，任一個流程過程中，任何參數或資料的調整或修改，由於涉及判斷與檢核工作，其他流程如要更新，均必須重新完整執行，方能確保更新結果符合需求，其必要性說明如圖2所示：

必須檢視是否與限制條件衝突，以及查對是否有採購困難、品質無保證或無法運輸、施工等問題。因此，任何參數或資料的更新，不論其表象為何，各流程本質上均是重回檢視，並進行判斷與更正，而不是單純依據一個流程的資料變動，直接跳躍至另一流程的某個步驟進行修正。

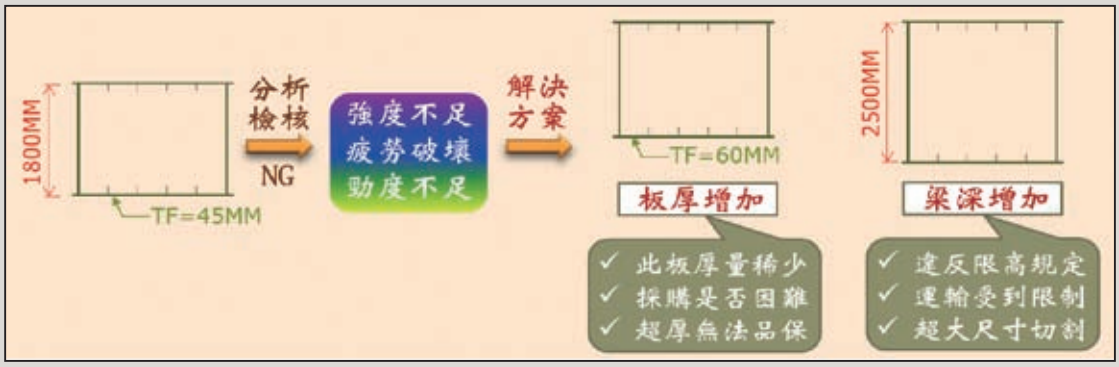


圖2 遞回重塑之必要性示意圖

圖2以鋼橋設計為例顯示，鋼梁分析檢核不符合需求或規定(NG)，有「強度不足應力太大」、「疲勞容許應力不足」及「勁度不足變位太大」等多種可能情形產生，最適解決方案

由上述的研析探討瞭解，橋梁工程共可分成八大流程，由於各流程之功能與成果成熟度截然不同，顯見各流程雖息息相關，但無法相互產生。因此，各流程之工程技術與效率的提

升必須獨立發展，設計自動化如此，BIM建模與使用亦是如此。依據圖1所述八大流程的特性，其中『分析檢核』採用BIM建模再簡退化模擬，就橋梁工程及現階段技術條件是不可行的，而『幾何配置』及『造型外觀』可合併為同一類型；『維護管理』及『檢測維修』可合併為同一類型。因此，就橋梁工程BIM模型而言，大致可分成五大類型，其功能及成熟度概述如后，實際執行瞭解各階段續用困難度高且效率低。

一、**幾何配置及造型外觀**：功能在與周遭環境之衝突檢查，以及橋梁結構尺寸、外型等視覺景觀，供方案比較研選之用。其重點在於快速調整修改及外觀視覺模擬真實。

二、**設計圖說**：包括各類構件形狀與構材尺寸、曲縱面、高程等預計完工後之精確資料，可作為施工中放樣檢核依據及完工驗收標準參考。

三、**放樣製作**：此一階段BIM模型可輸出資料供放樣及裁切製作之用，以鋼橋為例，包括拱度、螺栓孔、大小型開孔及各構材間相對關係等資料均須納入，並可直接輸出鋼板放樣及裁切資料。

四、**架設施工**：廠商依據其施工計畫所建之模型，而各種施工方法及條件的不同，BIM模型會有極大的差異，例如採全場撐供法施工或懸臂供法施工，由於考慮的步驟及拱度等截然不同，將會有完全不一樣BIM模型。

五、**維護管理及檢測維修**：此階段BIM模型的重點在竣工資料的保留、維護管理的重點與規定，以及構件、局部構材及設施等檢測維修的紀錄等。

由上述說明顯見，橋梁工程各階段BIM模型功能需求及成熟度等差異大，其間的互通性極低，難以依時間序採續用一貫化的方式建模。而目前建築結構BIM的發展與使用方式，就橋梁工程觀點，應僅是一個造型與條件極單純的特例。

參、橋梁工程分析模型與BIM模型的互通性受限

為何一般建築結構的分析模型與BIM模型的互通性容易，而橋梁工程則相當困難，甚至不可行。為了解此一問題癥結所在，本文將以構件複雜度(Complexity)來說明，就一個結構構件(兩節點之間)複雜度，基本上我們可以把它概略區分為C1～C5五種等級：

C1：直線等斷面構件
C2：在同一平面的曲線等斷面構件或直線變化斷面
C3：不在同一平面的空間曲線等斷面構件或在同一平面的曲線變化斷面構件
C4：不在同一平面的空間曲線變化斷面構件
C5：不在同一平面的空間曲線變化斷面且鋼板有坡度或斜度之構件

上述各等級複雜度示意圖如圖3所示。就建築結構而言，其構件複雜度一般均屬C1級，而鋼橋工程之構件一般均屬C2～C5級，除非是直線且單純的鋼橋工程，其構件複雜度才會屬C1級。

另目前的結構分析模模型係採用近似的骨架線，且主要採用梁元素，其資料均採直線等斷面，也就是構件元素之複雜度相當於C1級，這也說明了為何一般建築結構的分析模型(C1級)與BIM模型(C1級)的互通性高，但橋梁工程則幾乎無法互通的原因。因此在分析檢核或設計圖說流程，雖然常因時間序的關係被認為是相鄰

圖3 構件複雜度分級示意圖

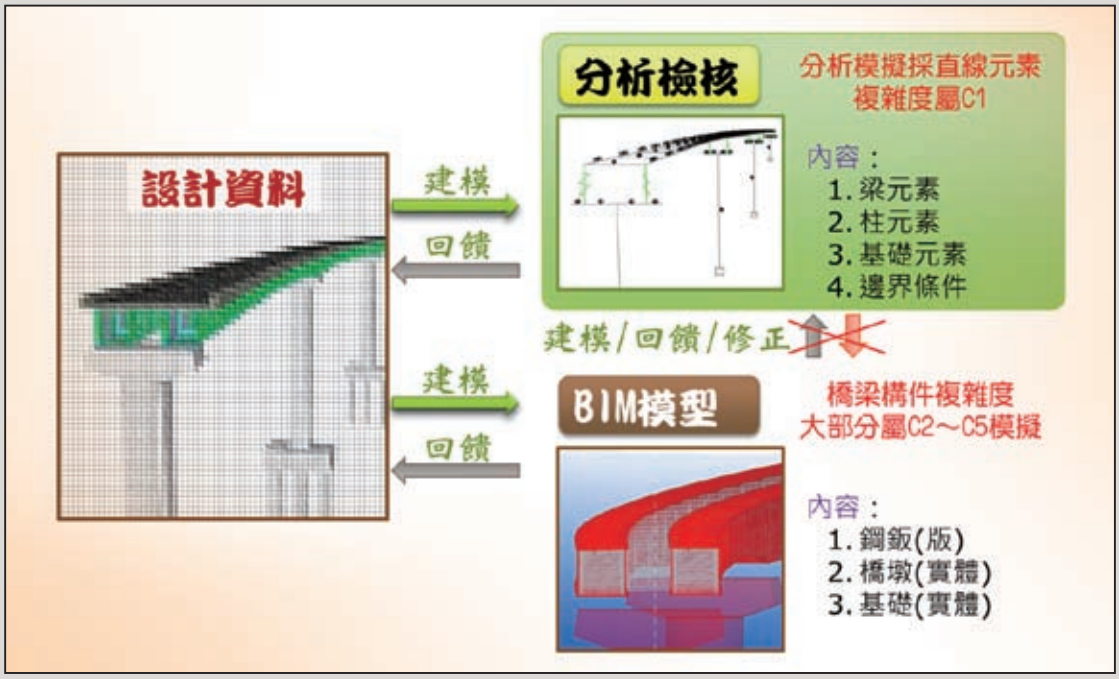


圖4 橋梁分析檢核模型與BIM模型相互關係示意圖

兩流程，相互間可直接調整修正，但實際上此兩流程的任何調整改變，另一流程均須遞回重塑，兩者相互關係如圖4所示。

另由於橋梁工程包括了平面曲線、縱坡、超高(橫坡)等幾何特性，加上構件斷面幾何，採用斷面加上旋轉近似，除非是特例，否則一般是無法精確到作為施工放樣之參考依據的。也因此要可作為施工放樣參考依據，則必須採用板或殼的方式來加以近似，導致有人認為橋梁工程既已採用板或殼元素建BIM模型，可一舉兩得直接用該等元素進行結構分析檢核，但這樣

的做法一般只使用於局部構造複雜且可能應力集中的情況，並僅為複核之用。因為現有橋梁工程技術與理論均是採用構件強度設計邏輯，而構件極限強度階段的力學行為複雜，不僅包含了材料特性及其非線性行為等因子，甚至構件是由極端不同的材料所組成，例如RC或PC構件，其計算公式或檢核標準一般係以經由實驗或經驗法則所獲得或認可，而不是單純的彈性力學分析。因此，對於橋梁工程直接採用板或殼元素建模及分析，現階段在設計邏輯及規範使用上是無法獲得認可或執行的。

肆、BIM在橋梁工程應用的瓶頸及參數化快速建模與案例說明

由上述幾節研析內容了解，對於建築結構首先建立一個包括造型外觀及詳細構件配置與尺寸的詳細BIM模型，由於各階段的模型需求差異小且續用性高，雖然有些情況會較傳統作法付出的額外成本，但其發揮的效益常遠高於此費用。但橋梁工程則不同，各階段所需的BIM模型差異極大，相互間續用性又極低，依目前經驗，其所到的效益遠低於所付出的額外成本，這也是BIM在土木工程上之應用無法順利推展之最大癥結所在。

基本上，要解決此一瓶頸，對於BIM在橋梁工程之應用，並無法套用建築物BIM模型的思維與作業方式，而是要有「以終為始」的思考邏輯，確實釐清各階段流程的最終目的及所需的資料與架構。不僅要採各階段流程獨立的方式，亦須有各階段流程自己的參數化快速建模策略，最後再將各階段自動化流程加以串連，最終達到快速設計3D化之目標。而各階段獨立之流程則採模組化，例如鋼橋細部設計圖之BIM建模，它可能包括箱型梁、I型梁及鋼橋面板鋼梁等各種不同的模組，如此就可分組進行，縮短自動化軟體開發期程。

底下將以細部設計階段的流程，針對下部結構及鋼箱梁說明參數化建模之特色及優點，並已使用於新北市三鶯大橋改建工程。首先以工程師的觀點與語彙來瞭解需要哪些參數化資料，而橋梁工程之基本資料概述如下，示意如圖5及圖6所示。

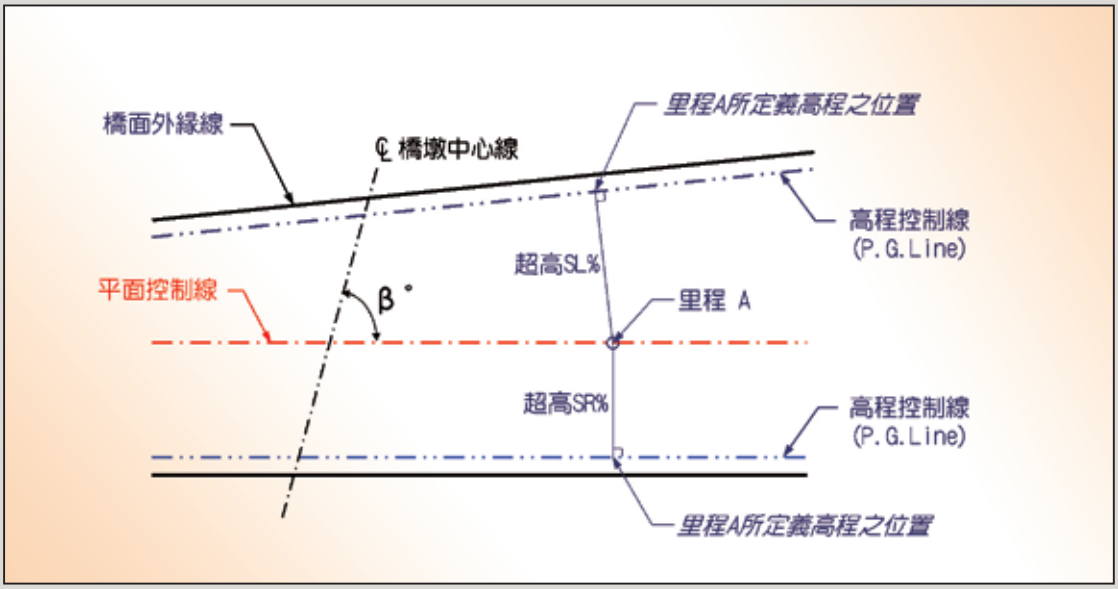


圖5 平面控制線、高程控制線、超高及橋墩中心等關係示意圖

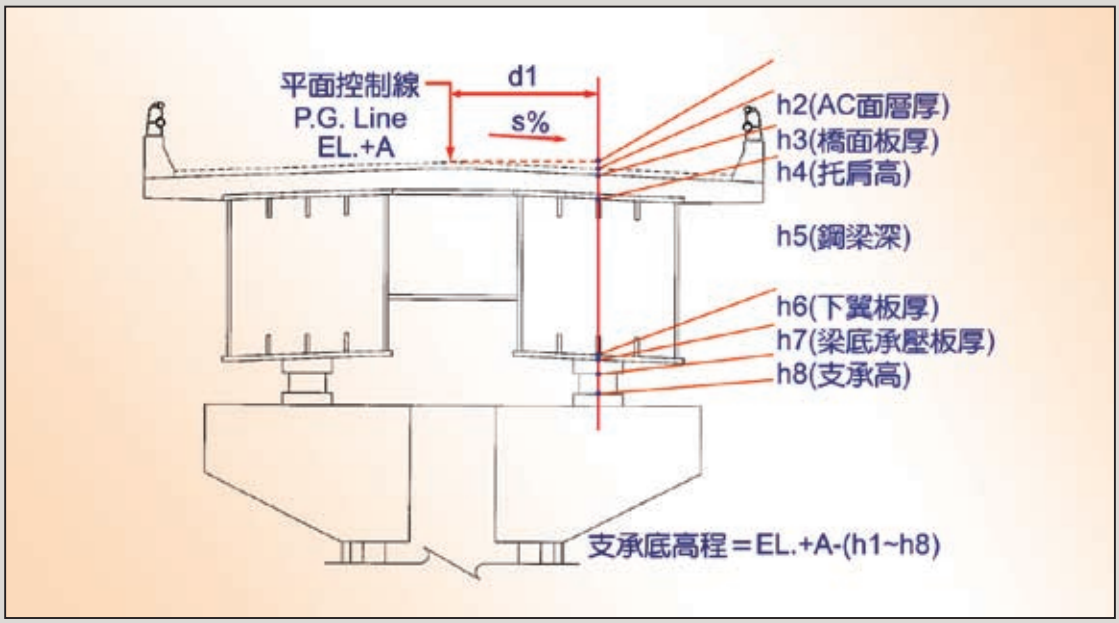


圖6 鋼箱型梁位置及斷面幾何關係示意圖

一、**平面控制線**：平面位置放樣的依據，具有起始座標、方向角、曲率半徑、里程等基本訊息。

二、**高程控制線(縱坡)**：高程放樣的原始依據，對應於平面控制線的里程。

三、**超高(橫坡)**：轉彎安全所需的坡度或洩水坡度。

四、**鋼梁平面位置**：鋼梁與平面控制線及高程控制線之關係，即鋼梁平面配置。

五、**斷面幾何**：構材位置及構材間之幾何關係。

將這些基本資料參數化，任何構材就可利用這些參數化的語彙，將其空間位置描述出，並直接輸入，再由程式代勞進行計算及轉成後續BIM模型所需要的格式，對於工程師可以使用設計語彙與邏輯，將大幅提升BIM建模效率及其正確性。

接著以新北市三鶯大橋改建工程鋼箱型梁為例，其資料輸入操作流程及成果摘述如后。結果顯示，複雜如克羅梭平面控制線及梁深變化斷面，參數化輸入其容易度與方便性是同樣的。

(一) 輸入PCL(平面控制線)資料

平面控制線					RL=A^2	(m)	
STA	N	E	Type	AZ度	A(+)	R(+)	Name
0+000.000	2760060.152	285633.348	TT	177.2		OC	主線
0+010.308	2760049.857	285633.857	TS	177.2	82.61		主線
0+045.308	2760014.876	285634.540	SC	182.3		195	主線
0+086.685	2759974.018	285628.514	CS	194.5	-82.61		主線
0+121.685	2759940.723	285617.763	ST	199.6		OC	主線
0+147.366	2759916.532	285609.144	TS	199.6	-71.41		主線

(二) 輸入橫坡(超高)資料

PG橫坡				
Name	PCL	STA	RS	LS
主線	主線	STA. 0+000.000	-2%	-2%
主線	主線	STA. 0+010.308	-2%	-2%
主線	主線	STA. 0+045.308	-3%	-3%
主線	主線	STA. 0+086.685	-3%	-3%

(三) 輸入縱坡(高程控制線)資料

道路縱坡線			單位：m
STA	EL	Slop	Name
STA. 0+030.000	44.312	2.000%	主線
STA. 0+070.000	45.532	4.100%	主線
STA. 0+170.000	49.632	4.100%	主線
STA. 0+230.000	50.859	-0.010%	主線
STA. 0+300.000	50.852	-0.010%	主線

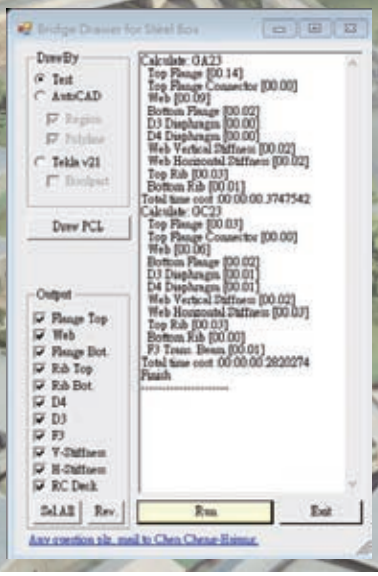
(四) 輸入鋼箱梁設計(鋼梁位置及斷面幾何)資料

名稱	梁曲線	橫坡控制線	梁深曲線	起始里程(M)	結束里程(M)	梁與PCL偏距	腹板長(MM)	腹板厚(MM)	上翼板內淨寬	上翼板Ext.(MM)	上翼板長(MM)	上翼板厚(MM)	上翼板Rib根	上翼板Rib厚(MM)	上翼板Rib寬(MM)
Name	PCL	PG	BG	STA0	STA1	Offset	WebL	TW	TT	TExt	TTL	TTF	TRibN	TRibT	TRibB
GA23	匝道2	匝道2	GDEPTH1	307	487	3600	180000	13	1800	120	180000	13	2	13	130
GA23									1800	120					

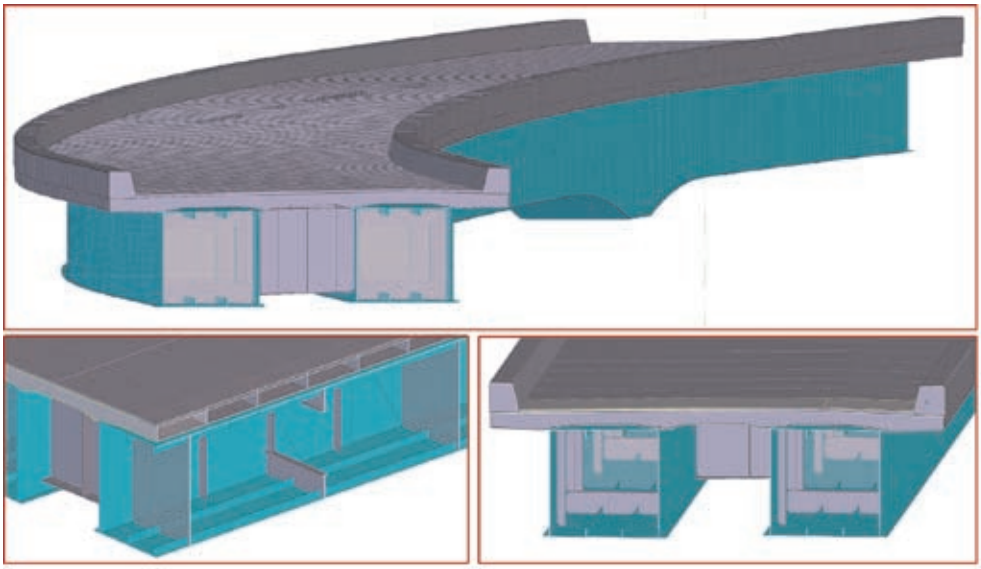
(五) 輸入橋面板設計(斷面幾何)資料

名稱	左側胸牆控制	左側胸牆偏距(CM)	右側胸牆控制線	右側胸牆偏距(CM)	胸牆型式	AC厚度(CM	最小厚度(CM)	橫坡	分割長度(CM)	起始里程(M)	結束里程(M)	鋼箱梁由左到右
Name	PCLL	OffsetL	PCLR	OffsetR	Type	AC	TT	PG	SecLen	STA0	STA1	Girder
S11	匝道2	-200	匝道2	550	TypeA	5	25	匝道2	100	307	487	GC23,GA23

(六) 執行自動建模程式



（七）自動三維放樣建構模型



對於下部結構亦可採用同樣的模式，其所需參數化資料有包括平面控制線、基樁與基礎資料及橋墩柱與帽梁資料等，以新北市三鶯大橋改建工程下部結構為例，其資料輸入操作流程及成果摘述如后。

1. 輸入PCL(平面控制線)資料

平面控制線					RL=A^2	(m)	
STA	N	E	Type	AZ度	A(+)	R(+)	Name
0+000.000	2760060.152	285633.348	TT	177.2		OC	主線
0+010.308	2760049.857	285633.857	TS	177.2	82.61		主線
0+045.308	2760014.876	285634.540	SC	182.3		195	主線
0+086.685	2759974.018	285628.514	CS	194.5	-82.61		主線
0+121.685	2759940.723	285617.763	ST	199.6		OC	主線
0+147.366	2759916.532	285609.144	TS	199.6	-71.41		主線

2. 輸入基礎&基樁資料

Foundation	STA.(橋墩)	?LNAM	Offset	ϕ_L	EL	H	NF	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	基樁	L	D	X1	Y1
PR2-2	STA. 0+527.000	匝道2	2.5	-14.36	25	2.6	4	2.975	2.975	-2.975	2.975	-2.975	-2.975	2.975	-2.975	PILE	31.000	1.500	1.875	1.875
PR2-3	STA. 0+487.000	匝道2	1.75	90.00	25	2.6	4	2.975	2.975	-2.975	2.975	-2.975	-2.975	2.975	-2.975	PILE	32.000	1.500	1.875	1.875
PR2-4	STA. 0+427.000	匝道2	1.75	90.00	25	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	PILE	37.000	1.500	4.200	1.875
PR2-5	STA. 0+367.000	匝道2	1.75	90.00	25	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	PILE	36.000	1.500	4.200	1.875
PR2-6	STA. 0+307.000	匝道2	1.75	90.00	40	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	PILE	24.000	1.500	4.200	1.875
PR2-7	STA. 0+247.000	匝道2	1.75	90.00	41	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	PILE	30.000	1.500	4.200	1.875
PR2-8	STA. 0+187.000	匝道2	1.75	90.00	41	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	PILE	29.000	1.500	4.200	1.875
PR2-9	STA. 0+127.000	匝道2	1.75	90.00	41	2.6	4	2.975	2.975	-2.975	2.975	-2.975	-2.975	2.975	-2.975	PILE	20.000	1.500	1.875	1.875
PR2-10	STA. 0+067.000	匝道2	2.35	90.00	41	1.5	4	3.275	2.975	-2.675	2.975	-2.675	-2.975	3.275	-2.975	PILE	28.000	1.500	2.175	1.875

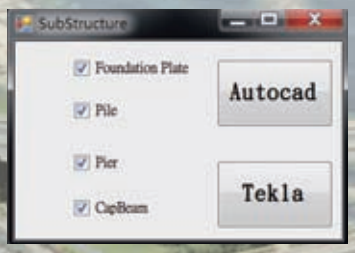
3. 輸入橋墩柱資料

Pier	STA.(橋墩)	PCLNAME	Offset	ϕ_L	ELT	ELB	D	X	Y
PR2-2	STA. 00+527.000	匝道2	2.5	90	46.6	25	3	0.0	0.0
PR2-3	STA. 00+487.000	匝道2	1.75	90	46.5	25	2.8	0.0	0.0
PR2-4	STA. 00+427.000	匝道2	1.75	90	46.1	25	3	0.0	0.0
PR2-5	STA. 00+367.000	匝道2	1.75	90	46.5	25	3	0.0	0.0
PR2-6	STA. 00+307.000	匝道2	1.75	90	47.3	40	2.8	0.0	0.0
PR2-7	STA. 00+247.000	匝道2	1.75	90	46.6	41	3	0.0	0.0
PR2-8	STA. 00+187.000	匝道2	1.75	90	46.3	41	3	0.0	0.0
PR2-9	STA. 00+127.000	匝道2	1.75	90	46.6	41	2.8	0.0	0.0
PR2-10	STA. 00+067.000	匝道2	2.35	90	46.6	41	3	0.0	0.0

4. 輸入橋墩帽梁設計資料

CapBeam	STA.(橋墩)	PCLNAME	Offset	ϕ_L	EL	B	NC	X1	Z1	X2	Z2	X3	Z3	X4	Z4	X5	Z5	X6	Z6
PR2-2	STA. 0+527.000	匝道2	2.5	90	48.100	3.2	6	2.8	0.0	3.1	-1.0	1.7	-1.5	-1.8	-1.5	-3.2	-1.0	-3.0	0.0
PR2-3	STA. 0+487.000	匝道2	1.75	90	48.000	3	6	3.3	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.4	-1.5	-3.8	-1.0	-3.6	0.0
PR2-4	STA. 0+427.000	匝道2	1.75	90	47.600	3.2	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-5	STA. 0+367.000	匝道2	1.75	90	48.000	3.2	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-6	STA. 0+307.000	匝道2	1.75	90	48.800	3	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-7	STA. 0+247.000	匝道2	1.75	90	48.100	3.2	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-8	STA. 0+187.000	匝道2	1.75	90	47.800	3.2	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-9	STA. 0+127.000	匝道2	1.75	90	48.100	3	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-10	STA. 0+067.000	匝道2	2.35	90	48.100	3.2	6	3.0	0.0	3.2	-1.0	1.8	-1.5	-1.8	-1.5	-3.2	-1.0	-3.0	0.0

5. 執行自動建模程式



6. 自動三維放樣建構模型

伍、結語

BIM在橋梁工程上之應用與建築物截然不同，橋梁工程的本質具有「四個層次、八大流程、遞回重塑」之特質，就BIM模型而言，本文將其歸納為五大類別。另八大流程具互不產生但息息相關之特性，因此各階段流程的自動化應獨立完成，並以參數化及模組化的方式進行，而參數化應採用工程師所使用的設計語彙與邏輯，方能為大家所接受與使用，並大幅降低BIM建模成本及縮短期程，以發揮BIM在橋梁工程的應用與效益。

本文以新北市三鶯大橋改建為例，針對鋼箱型梁及下部結構建立細部設計BIM模型，結果顯示，以工程師設計語彙參數化作為資料輸入方式，並經由程式進行繁複計算及存成後續BIM模型使用之格式，確實發揮快速BIM建模的目標，且每個工程師可以不必訓練了解BIM模型程式(如Tekla等)，對於BIM在橋梁工程之應用推展及效益的發揮應該會有很大的助益。

參考文獻

1. 許俊逸、徐景文、林傑、李文欽，BIM帶來的變革與政府的前瞻作為，2014。
2. C/O Mike Pullen, The Sellwood Bridge, Spring, 2013.
3. Colin Lane, Look inside the Cunard Building, Liverpool, 2016.
4. 交通部，公路橋梁設計規範，台灣，2009。
5. ActiveX Developer's Guide (ActiveX/VBA), help.autodesk.com, 2016.
6. Tekla Open API Reference Manual, Trimble Solutions Corporation, 2017.
7. C# Programming Guide, Visual Studio, 2015.