

探勘分析歷史資料 建置公路工程初設階段預估模型

大數據應用 推估工期有一套

林致緯 國立臺灣科技大學 博士生 / 臺灣營建研究院 研發工程師

周瑞生 國立臺灣科技大學 營建工程系教授

李孝安 臺灣營建研究院 推廣處副處長

李孟學 台灣大學 氣候天氣災害研究中心博士後研究員

初設階段 建置工期推估模型

公共工程之興建乃以提供社會公眾使用為主要目的，為確保工程品質與如期完工，在工程初步設計階段，常因擁有的資訊不足，而使得承辦人員多以過去相似之工程經驗做為完工工期推估依據，以致國內常發生多數工程未能如期完工之狀況。

有鑑於此，國內標案管理系統中，各主辦機關歷年皆儲存數百件標案資訊，卻鮮少透過大數據分析，探勘該系統之隱涵資訊。因此，本文將藉由標案管理系統大數據資料庫，綜整分析公路總局 97-101 年非開口契約標案管理系統 2,413 件標案、非開口契約標案工程結算書明細表及公路工程 90 件標案，以資料探勘技術，研提初設階段工程規模推估完工工期之模型，其成果可提供後續業務單位快速工期預測與審核之依據。

影響工期 兩類型因素探討

合理推估工程專案執行所需的時間，一直是土木營建產業所面臨的重要議題，

然而由於土木營建產業充滿不確定因素特性，因此要預測工程專案完成所需時間並不容易。道路工程於施工階段常受到工程規模大小、施工地點現況、標案類型、發包方式等因素影響，以致工程計畫之完工成果複雜化而影響工期；上述等影響工期之因素，可概分為兩類，一類為確定性因素，另一類則為不確定性因素。

一、 確定性因素：

在工程計畫核定時，即已知將影響工期長短的因素，例如工程規模、工程地點、工項內容、施工方法及施工技術等。

二、 不確定因素：

在工程計畫核定前，無法確知是否會發生的因素，例如用地取得、居民抗爭、政策變更、相關單位配合度、材料設備供應狀況、物價波動、天然災害等。

目前歸納因素中，影響各養護工程處工期較大者包含氣候的變化(如：颱風、豪大雨、降雨)、環境的阻礙(如：地質、地形及地物)、承包商的優劣、交通運輸的便利性(如：都市、郊區、山區)等。

其中，地質因素需以工址調查探勘的方式克服。而工址調查之目的在於查出或預估施工中乃至施工後地盤與結構物間之互制行為，並決定從事設計或分析時所需之地層結構，狀況及各土層之土壤參數等資料。然而工址探勘不完備的因素，主要因為自然形成之地盤層次複雜、土壤的應力歷史極富變化、填土材料之性質與使用區分，使其在設計階段不易明確預估。

為避免工址調查探勘不完備以致影響施工階段，且鑽探並不同於工址調查，建議自規劃階段至維護階段皆需安排適當之勘查，包含(1)規劃階段之可行性調查、(2)基本設計階段之初步調查、(3)細步設計階段之細步調查、(4)施工階段之施工調查、(5)維護管理時之調查。

工期預估 專案成敗關鍵

本文重點在於如何有效率的預測工期並減少進度落後的發生，是相關工程人員的重要目標之一，營建工程專案之進度管理與工期計算，主要是以工程專案中各項作業的時間作為評量基礎。因此，作業工期預估的正確與否，關係著工程專

案之成敗。若各作業的工期估計過短，將因趕工所須增加的工時人力、機具材料，以及展延工期進而增加工程利潤損失的風險，促使履約爭議事件產生；反之，若因各作業的工期預估過長，則可能導致作業開始時間的延後，施工效率的低落，及工程資源的閒置，以致增加額外的工程管理費用。

目前國內營建工程因缺乏完整的作業預估模式，負責排程者因而多半只能依據其工程經驗及工率分析來進行作業時間的估計。又作業工率的估計，係參考各縣市政府與工程主辦單位所訂定之工率表及工程經驗，來調整各作業項目的工率。一般而言，會利用政府規定時程、類似的歷史標案工期、參考承包商之工期推估值、資深工程師或專家諮詢等四種方式進行預測。

過去研究中對於預測專案工期方式大致上可分為兩種，一是專案在初步規劃設計階段的預測，另一則是在詳細設計完成後的預測。在詳細設計完成後的預測大多先將專案解析成可分解的工項，再依據作業時間之關係與完成作業所需資源，決定作業完成的時間，進而建立專案網圖，並且預測完成專案所需之時間，因此此一階段的工期預測雖然較精準，但卻相當費工費時。而在初步規劃設計階段的預測，由於能獲得的資料較少，所以大多是透過類似的歷史工程經驗作為預測依據，因此雖能快速預測，但是預測精度較差。

而專案的成功與否，有賴於初期的完善規劃設計與執行時良好的控管，因此在專案初步規劃設計階段，即以預測之概略工期進行後續執行詳細設計及規劃的決策參考；對於營造廠而言，則可作為投標前之決策依據，有助於多數之專案管理，並可隨更新工程資訊，更新推估的工期，縮減與實際工期的誤差。

合理工期的定義係由工程主辦機關於工程規劃設計完成後，依工程規模、施工區域、工程難易度、天候因素等面向，參考過去施工經驗之工率，以各種排程方式，建立各工項施工先後關係，產生「要徑工期」，要徑工期則依據一般施工工率或施工經驗排定，其工期長短必有彈性範圍，要徑工期加上合理彈性範圍，相關合理範圍應考量人機料可調配之資源，故須在工程進行前先針對此部分做足調查，即為合理工期[1]，計算施工工期之基準有兩種：

- 一、從開工到竣工按全部日曆天數計算，不扣除停工日數，稱為「日曆工期」；例如：計劃工期 300 個日曆，意思是承攬契約的起始日至結束日期，包括周末、大小月日曆天數的總和。
- 二、從全部日曆天數中扣除節假日未施工的天數及由於設計、材料、氣候等

原因停工的天數，稱為「實際工期」。

一般承包契約規定採用日曆工期，以便於檢查契約執行情況；實際工期由於排除了客觀因素的影響，便於分析工期定額執行的情況。

初設階段 影響工期因子

本文蒐集國內外探討工期相關之文獻，並針對初設設計階段影響工期之因素進行彙整如表一，其說明如下：

E. William East et al. (1992)，探討影響工程工期之因素，其中以工程初設階段的影響因素，包含合約類型、基地面積、總樓層數、地上樓層數、地下樓層數、總樓地板面積、地上樓地板面積、地下樓地板面積、建築主體構造、施工所在地、地質狀況、地下水位[2]。

表一 初設階段影響工期之因素彙整

影響因素	E. William East [2]	Chan, Wai-ming [3]	Huawang Shi [4]	Raymond N. Nkado [5]	Miguel A. Guerrero [6]	Daniel W. M. [7]	Ayman A. Abu et al. [8]	簡崑棋 [9]	詹世杰 [12]	鄭明淵 [11]
工程預算		√			√	√	√	√	√	√
合約類型	√	√		√				√		
基地面積	√									
總樓層數	√	√	√		√	√				
地上樓層數	√				√			√		√
地下樓層數	√				√			√		√
總樓地板面積	√	√	√		√	√	√	√	√	
地上樓地板面積	√				√					√
地下樓地板面積	√				√					√
建築主體構造	√							√		
施工工法			√	√						
建築物功能		√	√	√			√	√		
施工所在地	√		√							
地質狀況	√	√		√				√		√
地下水位	√	√		√				√		
勞動生產力		√	√					√		
物價指數								√		

Chan Wai-ming(1998)，以香港的工程案例為背景，確立了工程初步設計階段之影響因素，包含工程預算、合約類型、總樓層數、總樓地板面積、建築物功能、地質狀況、地下水位、勞動生產力 [3]。

Huawang Shi & Wanqing Li (2009)，應用灰色關聯分析(Grey Relational Analysis)探討影響因素與工期間的關聯性，其中屬於工程初步設計階段的影響因素，包含總樓層數、總樓地板面積、施工工法、建築物功能、施工所在地、勞動生產力 [4]。

Raymond N. Nkado (1995)，以承包商的觀點探討影響工程工期的因素，其中屬於工程初步設計階段的影響因素，包含合約類型、施工工法、建築物功能、地質狀況、地下水位[5]。

Miguel A. Guerrero et al. (2013)，蒐集西班牙的 168 筆工程案例，應用多元迴歸分析建立以建設速度為預測變量的模式，其中屬於工程初步設計階段的影響因素，包含工程預算、總樓層數、地上樓層數、地下樓層數、總樓地板面積、地上樓地板面積、地下樓地板面積[6]。

Daniel W. M. Chan & Mohan M. Kumaraswamy (1995)，以香港的工程為例，採用簡單迴歸分析以及多元迴歸分析建立迴歸公式，其中屬於工程初步設計階段的影響因素，包含工程預算、總樓層數、總樓地板面積[7]。

Ayman A. Abu Hammad et al. (2010)，蒐集約旦的工程案例 113 筆，應用迴歸分析建立迴歸公式預測工程工期與工程成本，其中屬於工程初步設計階段的影響因素，包含工程預算、總樓地板面積、建築物功能[8]。

簡崑棋(2004)在，應用模糊類神經網路加上快速混雜基因演算法建立預測模式，其中屬於工程初步設計階段的影響因素，包含工程預算、合約類型、地上樓層數、地下樓層數、總樓地板面積、建築主體構造、建築物功能、地質狀況、地下水位、勞動生產力、物價指數[9]。

詹世杰(2004)，以 921 災後校舍重建的案例，應用迴歸分析及倒傳遞類神經網路建立預測模式，其中屬於工程初步設計階段的影響因素，包含工程預算、總樓地板面積[12]。

鄭明淵(2016)，透過文獻彙整、專家問卷調查與統計分析工具篩選出 6 個初步設計階段之影響因子，其中包含工程預算、地上樓層、地下樓層、地上樓板、

地下樓板、及地質[11]。

依據上述國內外文獻，初設階段相關影響工期之因子彙整多著重於建築工程之研究，較少探討公路工程。故，本文透過工程實務深度訪談，擷取相關初設階段之重要因子與可及性，另以文獻的出現次數由高至低排序，對照研析對象-標案管理系統及結算書與明細表之欄位，彙整如表二所示。

表二 初步設計階段影響因子出現次數與欄位對照表

編號	影響因子	文獻出現次數	標案管理系統欄位	結算明細表欄位
1	工程規模	12	N/A	✓
2	施工地點	12	✓	✓
3	工程類別	11	✓	N/A
4	契約金額	10	✓	✓
5	契約工期	9	✓	N/A
6	路面種類	8	N/A	✓
7	開工日期	6	✓	✓
8	交通量	4	N/A	✓
9	材料金額	3	N/A	✓
10	勞工生產力	3	N/A	✓
11	施工季節	3	N/A	✓
12	設計單位	2	✓	N/A
13	承包商	2	✓	✓
14	施工方法	1	N/A	✓
15	施工難易度	1	N/A	N/A

資料探勘蔚為應用顯學

工程標案執行過程中，往往產生許多不可預測的狀況，不但工程類別、招標決標方式、工期、金額規模、進度、落後原因、停工、展延等會影響工程的進行，廠商、專業人員的素質也對工程執行影響很大，而這些資料都有其顯性或隱性的關聯性。

傳統營建業的管理知識、實務經驗只能累積在公司員工的腦海中，無法有系統的記錄下來。即使記錄成文件，在檢索閱讀上也十分繁複。近年來由於網際網路的蓬勃發展，知識管理開始成為產業管理的顯學。而營建產業向來以勞力、經驗密集著稱，專業知識的累積更成為產業的重要資產。隨著經濟發展，國內工程

《每月專題/利用大數據 創新工程價值》

建設複雜，工程執行的分工更趨專業化，使得統合組織的專業知識及管理能力的備受挑戰。

從規劃設計至施工維護等生命週期中，營建工程所伴隨的技術資訊及工程知識甚多且繁雜，使得在資料與資訊的保存、分類、存放、傳輸、維護與再利用上，受到多方面的考驗。在傳統營造環境中，運用資訊科技來整合營建資訊並不常見，使得生命週期中之工程資訊管理上，往往造成資訊重覆建置或者是資訊遺失等現象，進而嚴重影響工程知識的效能。

因此，如何更有效的進行資訊整合及運用，便成為現今營建產業改造的一個重要課題。有鑑於此，近年來透過資訊科技技術，將資料予以整合，利用網際網路傳遞資訊，在查詢的表現方式利用知識地圖的觀念，並結合資料庫之功能，將每筆資料做有系統的儲存，改善以往查詢資料之方式，為目前政府部門所致力的方向。

在如此巨大的資訊量中，其所隱含的重要資訊價值並無法有效透過人類有限的學習能力而獲得。也因此，如何應用高運算能力的電腦，透過演算法，使得從資料中挖掘有用的資訊成為一種系統性且可實行的程序，更使得資料探勘(Data Mining)成為近年來資料庫應用的領域中非常熱門的新興產業。

因而，本文整理出國內外大數據應用公路工程工期或成本之相關文獻及其使用之影響因子與演算方法(表三)。

表三 數據分析應用於工期與成本相關研究彙整

編碼	作者(年份)	工程類型	影響因子	演算方法	預測物理量
I	Yi Jiang et al. (2004) [13]	道路工程	契約工期、實際工期、路面種類、交通量、施工季節、施工地點	簡單回歸	工期
II	簡崑棋 (2004)[9]	建築工程	實際工期、契約金額、工程規模、路面種類、工期落後天數、勞工生產力	類神經網路基因演算法	工期
III	Jamshid Sodikov (2005) [14]	道路工程	契約工期、實際工期、結算金額、工程規模、路面種類、施工地點	多元回歸 類神經網路	成本
IV	Chester G. Wilmot et al. (2005) [15]	道路工程	結算金額、路面種類、材料金額	類神經網路	成本

《每月專題/利用大數據 創新工程價值》

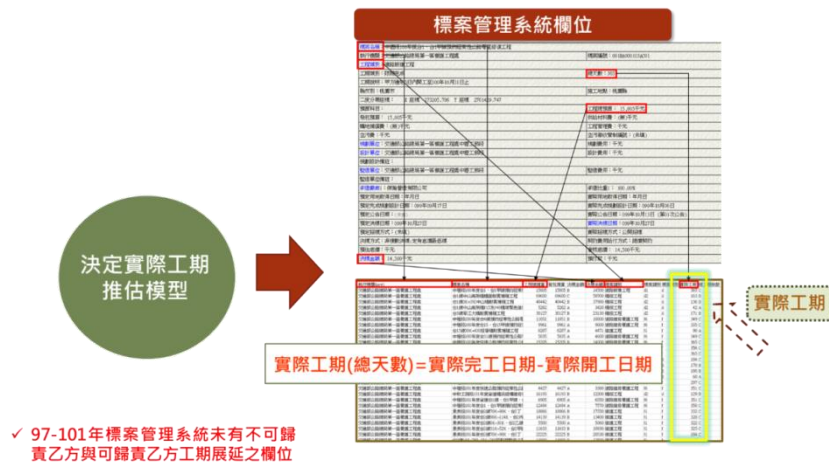
V	Jin-Fang Shr et al.(2006) [16]	道路工程	契約工期、開工日期、實際工期、契約金額、結算金額、工程類別	多種回歸方程式比較	成本、工期
VI	張文育 (2007) [17]	道路工程	開工日期、實際工期、結算金額	簡單回歸	工期
VII	Jui-Sheng Chou et al.(2007) [18]	道路工程	契約金額、工程規模、工程類別、路面種類、交通量、施工地點	廣義線性模型(GLM)	成本
VIII	Robert C.Williams et al. (2008) [19]	道路工程	契約工期、開工日期、實際工期、契約金額、結算金額、工程規模、降雨天數、工程類別、路面種類、施工地點	Bromilow's time-cost 回歸分析	工期
IX	Stanislav Berlin et al. (2008) [20]	建築工程	實際工期、結算金額、工程規模、施工難易度	線性回歸類神經網路	成本、工期
X	Jui-Sheng Chou (2009) [21]	道路工程	契約工期、結算金額、工程規模、工程類別、交通量、施工地點	廣義線性模型(GLM)	成本

初設階段工期預測模式

目前國內外很少針對初設階段工期推估進行探討，而近年「合理工期」已成為工程界之重要議題。依據 Bromilow 之工期成本回歸模 $T=K*C^B$ 中，對推估工期(T)之定義而言，其合理工期係指「考量最適當人力、機具、材料、施工作業程序及工率條件，排除工程進行期間之外部影響因素，如假日、天候及可歸責於甲方之延遲等，再給定的費用下能實際完成工程的可能工期」[17]。合理工期一詞，就字面解釋應是「社會上具有相同工程背景且近年從事相同工程業務之專業人員，以公正、客觀的態度評量“在客觀之施工情境下能完成某件工程之施工工期”謂之[17]。

基於上述，本文係由探討標案管理系統中，公路總局於民國 97-101 年非開口契約 2,413 筆資料與整合工程結算書明細表公路工程 90 筆資料，發現民國 97-101 年標案管理系統未有不可歸責乙方與可歸責乙方工期展延之欄位。因此，本團隊僅能依現有欄位完工工期(總天數)=實際完工日期-實際開工日，作為決定初步設計階段完工工期推估模型之依據，相關定義說明詳圖一。

《每月專題/利用大數據 創新工程價值》

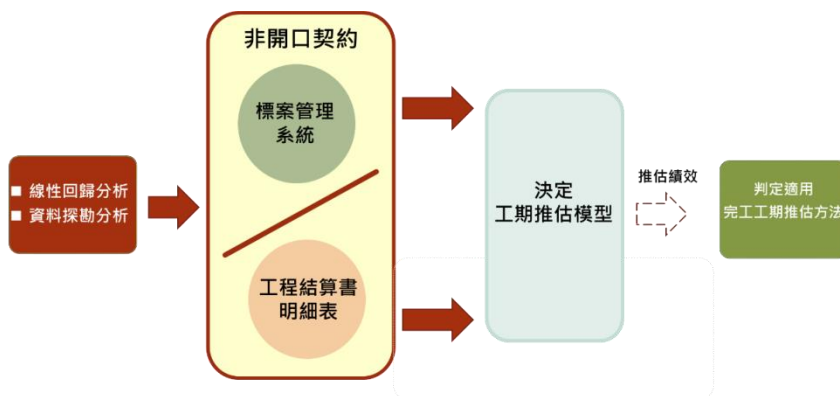


圖一 實際工期推估示意圖

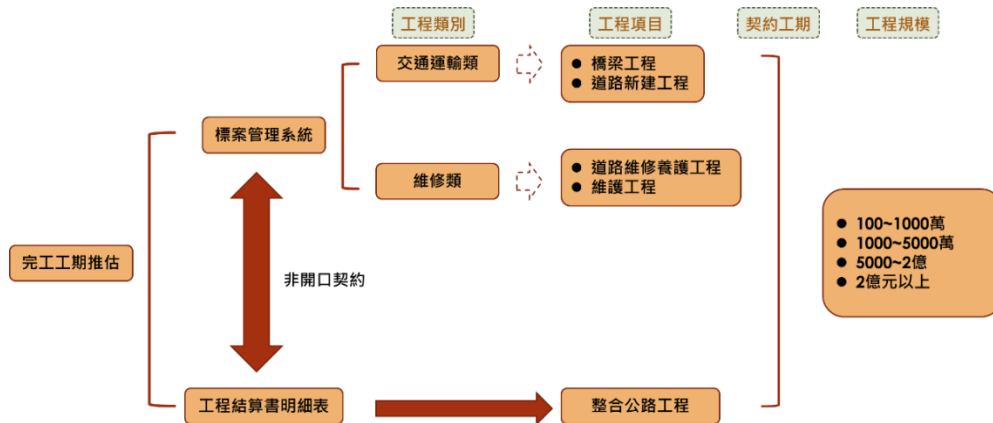
綜整上述資料分析之成果，本文欲將檢討以初步設計階段不同工程類別、工程規模之影響因子下，以線性迴歸與資料探勘之研究分析，決定初設階段工期推估模型，進而透過推估績效，判定完工工期，本文相關作業流程與完工工期推估示意詳圖二、圖三所示。相關初設階段工期預測模式推估成果說明如下：

一、以標案管理系統篩選道路新建工程類別，且工程規模級距介於1000~5000 萬，利用線性迴歸推估工期，其成果 $R^2=0.5946$ ，推估方程式為 $y=1.0396x+20.279$ ，說明本模型可作為工期推估參考使用。

二、以標案管理系統篩選橋梁工程類別，且工程規模級距介於>2億元，利用線性迴歸模型推估工期，其成果 $R^2=0.840$ ，推估方程式為 $y=0.9139x+123.95$ ，說明本模型可作為工期推估參考使用。



圖二 完工工期推估示意圖



圖三 本文分析流程圖

三、以工程結算書明細表中整合公路工程(道路新建工程、橋梁工程)且工程規模級距介於<1000 萬，利用線性迴歸模型推估工期，其成果 $R^2=0.953$ ，推估方程式為 $y=1.1522x-2.91$ ，說明本模型可作為工期推估參考使用。

四、以工程結算書明細表中整合公路工程類別(道路新建工程、橋梁工程)，且工程規模級距介於 5000 萬~2 億，利用線性迴歸模型推估工期，其成果 $R^2=0.818$ ，推估方程式為 $y = 1.1869x - 28.313$ ，說明本模型可作為工期推估參考使用。

五、以工程結算書明細表中整合公路工程類別(道路新建工程、橋梁工程)，且工程規模級距介於<1000 萬，以不同地區推估完工工期，其成果呈現具有高度相關性，說明可作為不同地區工期訂定參考使用。

六、以工程結算書明細表整合公路工程類別(道路新建工程、橋梁工程)，應用進階資料探勘模式 Voting(GENLIN+SVR)，進行工期預測，其 R^2 值為 0.984，而 MAPE 為 21.57%，其說明可提供工期預測上另一種可靠及有效之選項。

建置推估模型可持續強化

良好時程管理必須以合理工期為基礎，公平的契約亦必須以合理工期維繫契約雙方之基本權益，故合理工期是公共工程成功與否的重要關鍵。本文蒐集國內外相關文獻彙整出工程初步設計階段影響工期的影響因素，且利用專家訪談，以初步設計階段影響工期之因子，針對公路總局於民國 97-101 年非開口契約 2,413

筆資料，並整合工程結算書明細表公路工程 90 筆資料，進行線性迴歸與資料探勘訓練及測試，找出輸入(影響因子)與輸出(工期)的映射關係，以建立完工工期推估模型之依據。對於初設階段完工工期之推估成果，本文提出一套系統化的推估方法，除針對影響工期相關因子進行模擬預測，並且以工程特性建立快速評估模式。

然而，完工工期涉及許多因素，其中包含承包商能力、地區、工項難易度、地質因素、及變更設計因子等，且目前國內初設階段相關因子於標案管理系統與工程結算書明細表皆未有欄位或是說明不足，常有缺漏或誤植之現象。因此，建議後續於標案管理系統或工程結算書明細表內可新增初設階段相關因子，如承包商力量化說明、承包商人機料使用說明等欄位，或結合施工階段重大變更報告書內容，以獲取更完整深入相關資訊。另，後續亦應持續導入近 5 年之資訊，以歷年改善滾動修正方式，進而提昇預測模式之精準度。

參考文獻

- [1] 鄭順仁，公共工程契約工期評估之探討，營建工程研究所，國立高雄第一科技大學，2012.
- [2] E.W. East, A. Hassanein, J. Melin, Evaluating Factors that Affect Construction Project Duration, DTIC Document, 1992.
- [3] 陳煒明, W.-m. Chan, Modelling construction durations for public housing projects in Hong Kong, HKU Theses Online (HKUTO), The University of Hong Kong (Pokfulam, Hong Kong), 1998.
- [4] S. Huawang, L. Wanqing, The grey relational analysis on building construction duration cases, 2009 International Conference on Future BioMedical Information Engineering (FBIE), 2009, pp. 358-361.
- [5] R.N. Nkado, Construction time-influencing factors: the contractor's perspective, Construction Management and Economics 13 (1) (1995) 81-89.
- [6] M.A. Guerrero, Y. Villacampa, A. Montoyo, Modeling construction time in Spanish building projects, International Journal of Project Management 32 (5) (2014) 861-873.

- [7] D.W.M. Chan, M.M. Kumaraswamy, A study of the factors affecting construction durations in Hong Kong, *Construction Management and Economics* 13 (4) (1995) 319.
- [8] A.A.A. Hammad, S.M.A. Ali, G.J. Sweis, R.J. Sweis, Statistical Analysis on the Cost and Duration of Public Building Projects, *Journal of Management in Engineering* 26 (2) (2010) 105-112.
- [9] 簡崑棋, 結合模糊類神經網路與快速混雜基因演算法於專案工期之預測, 土木工程學系碩博士班, 國立成功大學, 2004.
- [10] M.-Y. Cheng, D. Prayogo, Y.-W. Wu, Novel Genetic Algorithm-Based Evolutionary Support Vector Machine for Optimizing High-Performance Concrete Mixture, *Journal of Computing in Civil Engineering* 28 (4) (2014) 06014003.
- [11] 張鈞堡, 工程初設階段自調適工期預測模式之研究, 營建工程系碩士班, 國立台灣科技大學, 2016.
- [12] 詹世杰, 學校建築成本與工期之預測—以南投縣 921 校園重建工程為例, 營建工程系碩士班, 國立雲林科技大學, 2004.
- [13] Y. Jiang, H. Wu, Determination of INDOT Highway Construction Production Rates and Estimation of Contract Times, Joint Transportation Research Program, 2004.
- [14] J. Sodikov, COST ESTIMATION OF HIGHWAY PROJECTS IN DEVELOPING COUNTRIES: ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPROACH, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6 (2005) 1036-1047.
- [15] C.G. Wilmot, B. Mei, Neural Network Modeling of Highway Construction Costs, *Journal of Construction Engineering and Management* 131 (7) (2005) 765-771.
- [16] J.-F. Shr, W.-T. Chen, Functional model of cost and time for highway construction projects, *Journal of Marine Science and Technology* 14 (3) (2006) 127-138.
- [17] 張文育, 臺中市政府重大工程執行效能之探討—合理工期之建立與效能的提升, 臺中市政府計畫室, 2007.
- [18] J.-S. Chou, M. Peng, K. Persad, J. O'Connor, Quantity-Based Approach to Preliminary Cost Estimates for Highway Projects, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1946 (2006) 22-30.
- [19] R.C. Williams, The development of mathematical models for preliminary

prediction of highway construction duration, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2008.

[20] S. Berlin, T. Raz, C. Glezer, M. Zviran, Comparison of estimation methods of cost and duration in IT projects, *Information and Software Technology* 51 (4) (2009) 738-748.

[21] J.-S. Chou, Generalized linear model-based expert system for estimating the cost of transportation projects, *Expert Systems with Applications* 36 (3, Part 1) (2009) 4253-4267.