

關聯規則挖掘與網路層級分析法於工程等級與主要缺失之研究

林建良^{1*} 范慶龍²

¹國立高雄科技大學營建工程系

²國立高雄科技大學工程科技博士班

摘要

工程施工過程中，時間及資源都是有限的，執行團隊無法管理所有可能的潛在缺失。因此，需運用科學的分析方法，深入瞭解缺失之間的關係，並針對會直接影響工程等級之缺失，實施有效的管理，以提升工程品質與績效。本研究整合關聯規則挖掘(Association rules mining, ARM)和網路層級分析法(Analytic network process, ANP)分析 990 件工程個案。ARM 從查核資料中挖掘出具特殊價值的 57 條關聯規則及 30 個主要缺失；並使用 ANP 比較主要缺失之間的重要性。主要目的：(1)獲取關聯規則背後所隱藏的知識，並選擇和解釋潛在的有用規則；(2)客觀與量化的成對比較矩陣，獲得主要缺失的重要性。最後，建立一套有效的缺失分析模式，可提供工程團隊管理之參考。

關鍵詞：關聯規則挖掘，網路層級分析法，主要缺失，工程等級

Research on Association Rule Mining and Analytic Network Process to Examine the Engineering Grade and Major Defect

Chien-Liang Lin¹ and Ching-Lung Fan^{2*}

¹Department of Construction Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

²Institute of Engineering Science and Technology, National Kaohsiung University of Science and Technology

ABSTRACT

In the construction process, time and resources are limited, and the executive team cannot manage all possible potential defects. Therefore, it is necessary to use scientific analysis methods to understand in depth the relationship between various types of defect. Effective management will be implemented for the defect of direct impact on engineering grades to improve project quality and management performance. This study integrates association rules mining (ARM) and Analytic Network Process (ANP) to analyze 990 project cases. ARM discovered 57 association rules with special value and 30 major defects from the inspection data. Use ANP to compare the importance of these major defects. The main purposes of this paper are: (1) to obtain the hidden knowledge behind the association rules, select and explain potential useful rules. (2) The importance of major defects is achieved through the objective and quantitative pairwise comparison matrix. Finally, establishing an effective defect analysis model can provide a reference for the management of the project team.

Keywords: association rules mining、analytic network process、major defects、engineering grade

文稿收件日期 107.04.27; 文稿修正後接受日期 107.11.30; *通訊作者

Manuscript received April 27, 2018; revised November, 30, 2018; * Corresponding author

一、前言

我國 2017 年營建業產值約為新台幣 4,176 億元，占國內生產毛額 (Gross Domestic Product, GDP) 2.4%。其中，公共建設經費占營建業總產值之 44.8% (約 1,869 億元)，為國內營建產業近一半的產值。由此可知，公共工程對國家整體經濟發展具有重大之貢獻。然而，公共工程施工品質卻時常被討論與檢驗；因此，政府部門透過「工程施工查核制度」，強化品質管理制度、施工品質、進度管控與工程之規劃設計，以提升公共工程的品質。惟審計機關實際調查發現台灣公共工程品質管理未臻落實，品質管理觀念欠佳，且相同類似之施工缺失一再重複發生[1]。

實務上，工程品質的良窳，通常是以缺失種類(項目)與數量(頻率)作為衡量的指標。例如：有研究者[2-4]分析從中央部會到各地方政府施工查核常見之缺失項目；林岳勳[5]統計台北市政府 2007-2013 年施工查核結果，顯示每件工程平均有 18.68 項缺失。Chong 和 Low[6]認為減少缺失是營建業施工階段重要的任務。所以缺失不僅是品質管理的重點，也是工程專案績效的表現。

此外，缺失也會造成成本與工期的增加。在工程專案成本、時間和資源可能產生負面影響，導致不必要的開支和延遲[7]。其他研究估計缺失消耗的直接成本範圍是 2%~10% [8]，間接成本大約是直接成本的 5 倍[9]。施工過程中發生的缺失成本為生產成本的 6% [10]。簡言之，在台灣有超過 112 億元之公共建設經費，係用於處理及改善工程執行過程中所造成的缺失。

政府於 1993 年制定公共工程三級品質管理制度，建立承包商「施工品質管制系統」、主辦工程單位「施工品質保證系統」及主管機關「施工品質查核機制」三個層級的品質管理架構。本研究所稱之工程施工查核，係指中央及地方政府施工查核小組，執行第三級品質管理之查核制度。

施工查核小組由若干專家及學者組成，進行工程查核時聘任，於查核當日親赴工地現場，依公共工程施工品質管理制度、相關法令及工程契約規定，並參照工程施工查核作業參考基準，實施工程品質及進度等查核事項。最後，召開查核品質缺失扣點會議，並在「工程

施工查核小組查核品質缺失扣點表」之扣點範圍內，討論扣點項目及點數，工程主辦單位彙整各查核委員紀錄、評分與決定查核等級，並將查核結果與相關資料登載於「公共工程標案管理系統」。

查核等級分成優等(90-100 分)、甲等(80-89 分)、乙等(70-79 分)及丙等(<70 分)四種，查核分數係以各查核委員評分之總和平均計算之。因此，查核等級與評分較高，往往代表工程具有較佳之品質管理制度、施工品質、進度管理及規劃設計等。若查核等級差(丙等)會影響承包商後續承攬公共工程的機會，嚴重者相關人員將受到懲戒、撤換工地管理人員或處以品質缺失之懲罰性違約金等，對整個工程執行團隊影響重大。

政府自從實施「施工品質查核機制」以來，已經累積不少公共工程的查核資料，查核內容區分四種類別：第一類為品質管理制度(Q，缺失編號：4.00)，有 113 項缺失；第二類為施工品質(W，缺失編號：5.00)有 356 項缺失，第三類為施工進度(P，缺失編號：6.00)有 10 項缺失，以及第四類為規劃設計(D，缺失編號：7.00)有 20 項缺失。

本研究查核工程總樣本為 990 件，優等(0.6%)與丙等(0.2%)之樣本數明顯少於甲等(77.1%)與乙等(22.1%)，為避免不同查核等級之樣本數差異，造成顯著性檢定時發生資料不平衡(unbalanced data)的問題，也就是當群組之樣本數較少，即使差異極大亦不會產生統計上之顯著性[11]。故將每件查核工程之缺失頻率與評分實施群集分析，重新分群並建立工程等級(A、B、C 及 D)，以確保分析結果之正確性及有效性。

工程等級與缺失之間是否有明顯關係，藉由 ANOVA 單因子變異數檢定兩者的差異性，若達到顯著性($p < 0.05$)，表示這些特定缺失會影響工程等級，也攸關工程品質與成本，則需要特別關注與管理。

Das 和 Chew[12]認為需藉由缺失資料庫及其系統分析或缺失分級，建立科學化之評分系統，才能明確定義出缺失的影響。此外，大型資料庫通常包含有趣的隱藏知識模式，可以使用資料挖掘(Data Mining, DM)技術發現這些模式[13]。雖然資料挖掘技術已經在建築領域中使用，但是之前的研究卻很少充分地利用 DM 技術來發現大量資料集(data sets)的知識

[14]。Liao 和 Perng[15]認為關聯規則可用於發現大量資料之屬性的關係與潛在關聯。這些規則可以有效地揭示未知關係，並提供可作為預測和決策的基礎[16]。

因此，本文運用「公共工程標案管理系統」之工程查核資料，進行關聯規則挖掘(Association rules mining, ARM)，期望由巨量的資料之中，找到缺失的關聯性，發掘出哪些特定缺失會一起發生，也就是缺失的關聯規則。若缺失同時具有「關聯性」與「顯著性」，即為「主要缺失(Major defects)」，之後，結合網路層級分析法(Analytic network process, ANP)評估主要缺失之相對權重大小(重要性)，作為缺失管理之重點項目。

本文使用 ARM 與 ANP 組成的模式，其目的：(1)從大量的查核資料之中發掘缺失之間有用的規則與具價值的知識；(2)比較主要缺失相對重要性，且確認對工程等級之影響力。其模式所建構工程等級與主要缺失之分析模型，可有效提供工程執行團隊擬定缺失預防計畫，以提升工程品質與管理績效，並可達到節省營建成本之效益。

二、文獻回顧

2.1 關聯規則挖掘(ARM)

不同的資料挖掘方法用於不同類型的問題，並且使用適當的工具有助於確保滿意的探勘結果。其中，關聯規則為資料挖掘技術中最著名的方法之一，該技術最初使用於分析超級市場之產品購買行為，例如：顧客習慣同時購買哪些產品，快速應用於市場行銷領域。亦稱為購物籃分析(Market basket analysis, MBA)。

近幾年，ARM 也應用在建築業的各種分析，例如：建築物能源運轉績效、建築業職業傷害、工程專案爭議及工地的意外事故[14, 15, 17-20]等。過去有學者提出 ARM 在工程缺失上的應用。例如：Cheng 等人[21]提出一種基於基因演算法(Genetic Algorithm, GA)，結合施工缺失的概念層次，從缺失資料庫中發現隱藏在歷史缺失情況下的有用知識，以及缺失之間的原因關係。Lee 等人[22]使用 ARM 量化缺失原因之間的因果關係，並結合社會網絡分析(Social Network Analysis, SNA)，以找出混凝土缺失的間接因果關係。

以前大多數的研究較為重視缺失原因的分析或缺失起源的討論[23-30]，但它們的局限性在於闡明缺失的因果關係是不明確的，僅關注於缺失原因分佈的統計，傳統的定量分析方法也無法用於識別導致缺失的根本原因；因此，缺失產生的複雜模式不容易被理解。所以，有學者嘗試使用 ARM 找出缺失發生的關聯性。

雖然關聯規則可以反映缺失共同發生方面的明確關係，透過管理增益度較高的規則，降低其他關聯性缺失發生的可能性。然而，當施工項目或工程較為複雜時，將產生大量的缺失與關聯規則，在各方面資源有限的情況下，面臨不知該如何選擇有效的管理模式，以致缺失預防的效益不足；因此，需結合其他方法找出相對重要的缺失，進行重點管理。本文使用 ANP 評估缺失的權重，並乘以缺失頻率，即可得到缺失之重要值，並針對主要缺失投入適當的資源進行改善或預防，可到得到較佳的管理績效。

2.2 網路層級分析法(ANP)

近幾年，有許多研究應用網路層級分析法解決與建築工程相關的問題，例如：使用 ANP 在施工技術的評估與材料的選擇，以及評選工程採購之標價與投標方案。

Shariati 等人[31]提出基於直覺模糊合集(Intuitionistic fuzzy set, IFS)和 ANP 的新模型，來評估奈米技術在建築業中應用的關鍵因素。或是採用 ANP 建構決策模型，以選擇最可行的環保施工方法[32]、評估適當的地下施工技術[33]，以及評選適合公路鋪面之瀝青混凝土材料[34]。

此外，Bu-Qammar 等人[35]則運用 ANP 獲取風險因素的相對優先順序，可用於標價決策之支持工具；Chen 等人[36]藉由知識架構 ANP(Knowledge-framed analytic network process, KANP)選擇最合適的投標方案。

三、研究方法

本研究採用自 2003 年 1 月起，迄 2016 年 10 月之「公共工程標案管理系統」工程查核資料，工程案共計有 990 件，包括：499 項缺失項目及 17,648 缺失頻率，使用關聯規則挖掘分析不同缺失之間的關聯性，也就是不同缺

失項目同時發生的程度，挖掘缺失關聯規則與主要缺失，提供業主、監造或承包商缺失管理的參考。本文所使用的理論與方法包括：關聯規則挖掘、群集分析、ANOVA 單因子變異數分析及網路層級分析法，其內容與運算公式說明如下：

3.1 關聯規則挖掘

關聯規則挖掘允許研究人員根據項目(或產品)之相關頻率及相依項目，定義變數之同時發生程度。本文關聯規則挖掘主要目的為分析缺失項目間之關聯性及相依(同時發生)機率，以建立缺失之間的連結，發掘有意義的規則集。

依工程查核之缺失項目與頻率，設定關聯規則之支持度(Support)及信賴度(C Confidence)，並計算各規則之增益度(Lift)，其目的在於篩選重要之關聯規則，確認缺失項目間之關聯性，分析各條關聯規則強度及缺失項目之關係。上述關聯規則指標計算公式說明如下[37]：

$$\text{Support } A \rightarrow B = P(A \cap B) \quad (1)$$

支持度通常以百分比(0%~100%)表示，支持度可視為 A、B 事件同時發生之機率，表示該規則所有交易紀錄中所佔的比例。關聯規則相對全部資料必須有一定普遍性，才是有效的資訊。因此，需要設定最小支持度(minimum support)的門檻值，以刪除比率偏低的關聯性。

$$\text{Confidence } A \rightarrow B = P(A \cap B) / P(A) \quad (2)$$

信賴度代表 A 事件發生，並造成 B 事件發生之機率，即 $P(A | B)$ 。當前項(antecedent)A 事件發生時，可推得後項(consequent)B 事件的規則，其正確性之信心程度，可用來衡量關聯規則的可信度，並設定最小信賴度(minimum confidence)的門檻值，以刪除正確機率較低的關聯規則。

$$\text{Lift } A \rightarrow B = P(A \cap B) / P(A) \times P(B) \quad (3)$$

增益度係比較信賴度與後項 B 事件單獨發生時，兩者機率的大小。增益度大於 1，則表示該關聯規則的結果比原本的效益還要好。支持度代表事件發生的可能性，被定義為

支援決策變數出現在資料庫中所佔的比例，其中更高的比例表示更高程度的支持，而信賴度是獲得使用此關聯規則的可信度[38]。另外，增益度是衡量前項與後項之間的依賴關係及相關性[14]。在執行關聯規則挖掘時，會依據研究目標先設定規則之最小支持度與最小信賴度，作為挑選關聯規則的標準，當規則符合設定的門檻值條件後，再保留增益度大於 1 的規則。

3.2 群集分析

群集分析是藉由分群以找出各群集資料隱藏相似的特徵、特性、性質或關聯現象。因此，又稱同質分組，是屬於非監督式的分析方式，將資料分割成數個群組，形成群組內同質性高，不同的群組則有明顯的差異性，其目的為重新分群，並找出各群組內的共同特性有助於減少資料集之間的距離，並增強每一個集群中資料集的相似度。進行群集分析可以提高下一步中發現知識的可靠性[14]。群集分析已成功用於處理大數據、識別異常值和發現潛在模式[39-41]。

群集分析常用的演算法為 K-means，該演算法係從資料中依據預期要劃分的群集數(k)，隨機選取 k 個種子(seed)，並以這些種子當作這些群集的初始中心，一旦 k 個種子確定後，接著要將其他剩餘的樣本 p 分派到距離最近的群集中，再重新計算各群的中心，然後再比較每一個樣本與新的群集中心的距離，並重新分群，反覆以上運算，直到達到誤差平方和(sum of the squared error, SSE)最小值。有關 K-means 計算公式說明如下：

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in c_i} |p - m_i|^2 \quad (4)$$

k 為分群個數；p 是空間中的樣本， m_i 是 c_i 類別的樣本平均值；SSE 是所有樣本的誤差平方和。本研究為求各查核等級樣本數應盡可能相近，且同等級之樣本特性趨於相似，將 990 件工程之評分與缺失頻率(17,648 次)，使用群集分析之 K-means 演算法執行重新分群，以建立工程等級；最後，本研究得到四種新等級的樣本數，A 為 458 件、B 為 135 件、C 為 303 件及 D 為 94 件(表 1)。

表 1. 查核等級與群集分析之工程等級

查核等級	分數	樣本數量	工程等級	群集分析	樣本數量
優等	90-100	6 (0.6%)	A	1	458 (46.3%)
甲等	80-89	763 (77.1%)	B	2	135 (13.6%)
乙等	70-79	219 (22.1%)	C	3	303 (30.6%)
丙等	< 70	2 (0.2%)	D	4	94 (9.5%)
合計	990		合計	990	

3.3 ANOVA 單因子變異數分析

若檢定之母體超過兩個，需要一個能同時對三個以上樣本之平均數差異進行檢定，稱為變異數分析 (Analysis of Variance)，簡稱 ANOVA。其原理乃是以平均數之間的變異數(組間變異)除以隨機變異(組內變異)得到的比值(F 值)作檢定。當 F 值越大，表示組間變異的平均數的分散情形大於組內變異，即各組平均數之間的差異愈大，若大於所設定的臨界值，即可獲得拒絕虛無假設(H_0)，並接受對立假設的結論。所謂虛無假設是指「原本假設兩組的平均數沒有顯著差異」，如果 ANOVA 檢定為顯著的話，及代表要拒絕 H_0 ，也就是「有」顯著的差異。

ANOVA 可同時檢定多個自變數對於依變數的影響，以及自變數之間的交互作用，當一組資料發生變異時，用以測量這些變異來源，可瞭解各變異間是否有差異，用以檢定自變數(二組以上)與依變數間之假設是否達到顯著水準。本研究自變數為 A、B、C 及 D 四種等級，依變數為缺失。

另外，ANOVA 係屬於有母數之群組比較方法，故必須符合常態分佈(normal distribution)及變異數同質性(homogeneity of variance)等二項假設[11]。Gravetter 和 Wallnau[42]指出僅要各群組樣本超過 30 個，即使資料未通過常態性檢定，亦不會對統計結果產生顯著影響，本文群集分析建立新的四種工程等級之樣本數皆超過 30 個。

工程等級隱含查核委員認為缺失對工程品質結果之影響程度。因此，透過 ANOVA 檢定不同等級與各缺失是否具有顯著差異($p < 0.05$)。若缺失具有顯著性，即符合「主要缺失」條件之一；另一條件則需具有關聯性。

3.4 網路層級分析

Saaty[43] 提出層級分析法 (Analytical hierarchy process, AHP)，係以成對相比 (pairwise comparison) 產生準則(criteria)之權重，且須符合一致性指標(Consistency index, CI)檢定，再進行選項評分，以協助決策者從眾多替選方案之中，評選出最佳的方案。同一層之因子或選項間之成對相比係就對次高層之某因子的相對重要性、貢獻或大小，以 1~9 的尺度給予評定值(rating)，並建立比較矩陣 (comparison matrix)，解出各矩陣的特徵向量 (eigenvector)，再將它們依序相乘可整合出準則權重及各選項之總分。由於 AHP 僅能針對同一層之因子間兩兩相比，每層級之評估都依據上一層級之因子做為標準，但是不考慮不同層級的因子關係，即只有單向的思考，且假設因子之間均為獨立；然而，在許多現實的情況中各個影響因子，不一定是獨立，反而會彼此相互影響。

因此，Saaty[44]在 AHP 的基礎上發展而形成一種新的決策方法，即網路層級分析法 (Analytic network process, ANP)，以補足 AHP 於應用上的缺點，主要是在決策分析中加入回饋(feedback)的機制，使得因子間可存在相互影響的關係，以符合人類決策的思考模式與實際狀況。ANP 模型並不會要求如同 AHP 模型般嚴格的層次關係，各決策層或相同層級之間都存在相互作用，用雙箭頭表示層級之間的相互作用關係。若是同一層中的相互作用則用迴圈箭頭表示。另外，各層級內有若干因子，各因子間之優劣與強度關係需同時滿足遞移律 (transitivity)，並通過一致性的程度。

ANP 的優點是將因子之間的回饋與相依賴關係納入分析模式，因子間的關係採用網路架構而非層級架構，此方法是透過超級矩陣 (Super Matrix) 計算成對比較矩陣之特徵向量 (eigenvector) 與特徵值 (eigenvalue)；最後，得到各個因子權重或各選項之總得分。本研究 ANP 的運算步驟說明如下：

(1) 建構比較矩陣與特徵向量

AHP 依層級架構計算每層因子之相對重要性，建立成對比較矩陣，準則間之成對比較以 1~9 尺度評估，透過專家或學者依各準則之重要程度進行成對比較，比較矩陣 A 之方式表示(5)：

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_j & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_j & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_j/w_1 & w_j/w_2 & \cdots & w_j/w_j & \cdots & w_j/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_j & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中， $a_{ij} = w_i/w_j$ ， w_i 、 w_j 分別為準則 i 與 j 之權重， $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ， A 為一正倒值矩陣。若所有成對比較評估符合遞移律，則 A 為一致性矩陣(理想的正倒值矩陣)。成對比較矩陣建立後，使用數值分析中的特徵值解法，找出特徵向量。根據數值分析理論，若 A 為 $n \times n$ 的一致矩陣時， A 的特徵向量 X 與特徵值 λ 和矩陣 A 的關係如公式(6)，經移項可得公式(7)。

$$AX = \lambda X \quad (6)$$

$$(A - \lambda I) X = 0 \quad (7)$$

當特徵向量 X 為非零向量時，則 $\det(A - \lambda I) = 0$ 。將行列式解開後，即可求得矩陣 A 的 n 個特徵值 λ 。令 W 為 n 個屬性的權重向量，即 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ ，則成對比較矩陣 A 與權重向量 W 內積可得公式(8)。其中，在求算最大特徵值 $\lambda_{\max}$ 時，Saaty 建議以矩陣 A 求解，即 $AW = \lambda_{\max} W$ ， $\lambda_{\max}$ 可利用公式(9)求得。

$$AW = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_j & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_j & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_j/w_1 & w_j/w_2 & \cdots & w_j/w_j & \cdots & w_j/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_j & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_j \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1' \\ w_2' \\ \vdots \\ w_j' \\ \vdots \\ w_n' \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left(\frac{w_1'}{w_1} + \frac{w_2'}{w_2} + \cdots + \frac{w_n'}{w_n} \right) \quad (9)$$

(2) 成對比較矩陣之一致性檢定

由於各層級間的重要性不同，需檢查整個層級結構是否具有遞移性，在成對比較時，要確認達到前後一貫性，需符合一致性的檢定，並藉由一致性指標(CI)，來檢查衡量比較矩陣的整體一致性，當 CI 小於 0.1 時，表示前後判斷不完全一致，但在可接受的偏差範圍內，其公式(10)如下所示。 $\lambda_{\max}$ 為矩陣 A 的最大特徵值， n 為矩陣階數。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

(3) 建立超級矩陣

將超級矩陣的行向量標準化，當每個行向量總和等於 1 時，稱為「隨機矩陣」；未隨機化的超級矩陣稱為未加權超級矩陣(Unweighted Super Matrix)；隨機化後則稱為加權超級矩陣(Weighted Super Matrix)。超級矩陣能有效解決因子間存在相依關係，其由多個子矩陣組成，若矩陣內因子彼此相依，則矩陣多次相乘後將會得到收斂極值，此即為各因子之權重，此收斂之矩陣稱為「極限化超級矩陣(Limiting Super Matrix)」。

四、結果與分析

4.1 結果

關聯規則之支持度及信賴度的門檻值設定與總樣本數(缺失頻率)、屬性項目(缺失項目)有直接關係。因此，關聯規則產生的結果與門檻值之比例，取決於研究者對研究目的與結果應用之解釋意義而有差異。當樣本數或關聯屬性太少，門檻值設定太高，即無法產生有價值的規則資訊，能提供解釋的意義也會不足；若門檻值設定過低，則產生太多的規則，而不具有意義的資訊，對實務應用並無實質的幫助。

規則數量和挖掘結果的有用性，隨著支持度和信賴度的閾值而變化，兩者都由使用者定義[45]。如果閾值設置太高，則會縮減一些有用的模式。反之，太低的值將導致挖掘結果是無用的。本文參考相關文獻中使用的閾值設置[46-48]，以及這些研究的分析目標要求，將最小支持度閾值設定大於 10%，最小信賴度大於 80%。

支持度和信賴度通常用於確定規則是否具有統計顯著性。增益度(Lift)是前項(antecedent)和後項(consequent)之間的依賴性和相關性的度量。若增益度等於 1，則表明前項和後項是彼此獨立的，發現的知識沒有什麼價值。增益度大於 1 表示正相關，意味後項的機率是受到前項的發生而有絕對之影響[49]。

本研究使用 IBM SPSS Modeler 進行關聯規則挖掘，將增益度大於 1 的規則，列為具有因果意義與特殊價值，總計有 57 條關聯規則(附錄 1)。本文 ANOVA 分析是用於檢定工程等級與缺失是否有顯著差異，若 $p < 0.05$ 表示兩者有顯著關係。從關聯規則挖掘得到具有關

聯性之缺失，實施 ANOVA 檢定，發現與工程等級具有顯著性之缺失總計 30 項(表 2)，這些

缺失也就是同時具有「關聯性」及「顯著性」，本文稱之為「主要缺失」。

表 2. 主要缺失統計

項次	因子(準則)	缺失編號	主要缺失
1	Q1	4.01.04	無品質督導及查驗紀錄，或未落實，或記載不完整
2		4.01.06	監造計畫無核定紀錄或未確實審查
3		4.01.14	發現工程缺失，未以書面通知監造單位或廠商限期改善
4		4.01.99	主辦機關/專案管理廠商其他缺失
5	Q2	4.02.01.03	未訂定對廠商品質計畫及施工計畫之審查時限或未符合需求
6		4.02.01.05	未訂定各材料/設備及施工之品質管理標準或未符合需求
7		4.02.01.06	未訂定各材料/設備及施工之檢驗停留點或未符合需求
8		4.02.01.08	未訂定品質稽核範圍或頻率或未符合需求
9		4.02.03.04	無抽查施工作業及抽驗材料設備，並填具抽查(驗)紀錄表，或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控，或判讀認可，或落實執行
10		4.02.03.05	發現缺失時，無立即通知廠限期改善，並確認其改善成果，或無督導施工廠商執行工地安全衛生、交通維持及境保護等工作，或是否確實
11		4.02.03.08	無依契約規定填報監造報表或無落實記載
12		4.02.99	其他監造單位品管缺失
13	Q3	4.03.02.05	未訂定各材料/設備及施工之檢驗時機或檢驗頻率
14		4.03.03	施工日誌未落實執行，或未依規定制定格式，或記載不完整
15		4.03.04	品管自主檢查表未落實執行，或檢查標準未訂量化值、容許誤差值，或未確實記載檢查值
16		4.03.05	對材料檢(試)驗報告未予審查，或未製作材料設備送審管制總表、材料設備檢(試)驗管制總表，或未符合工程需求
17		4.03.11.06	無填具督察紀錄表或無落實記載
18		4.03.99	其他承攬廠商品管缺失
19	W1	5.01.01	混凝土澆置、搗實不合規範，有冷縫、蜂窩或孔洞產生
20		5.01.04	混凝土表面殘留雜物(如鐵絲、鐵件、模板)
21		5.05.09	垃圾及廢棄物未清理，影響環境或未符合規定
22		5.07.01.99	其他一般施工缺失
23	W2	5.08.99	其他影響裝修雜項工程施工缺失
24		5.09.08	無工程告示牌或內容未符合規定
25		5.09.99	其他工地管理缺失
26	W3	5.10.99	其他材料設備檢驗審查紀錄缺失
27	W4	5.14.01.01	於高差 2 公尺以上之工作場所邊緣及開口部分，未設置符合規定之護欄
28		5.14.04	承包商無勞安自動檢查紀錄或不確實
29		5.14.06.03	雇主對進入營繕工程工作場所作業人員，未提供適當安全帽，或防護用具
30		5.14.99	其他違反職業安全衛生相關法規情事

本研究所得到的 30 項主要缺失之間的相對重要性，可藉由 ANP 兩兩成對相比，並建立比較矩陣求得各項因子之權重值，再分別乘以缺失頻率之後再加總，即可獲得各項缺失之重要值。ANP 操作計算說明如下：

(1) 建立決策目標、準則與層級架構

依據「工程施工查核小組查核品質缺失扣點表」及主要缺失定義「準則」為品質管理制度(Quality, Q)與施工品質(Work, W)等 2 項；「次準則」為主辦機關、監造單位、承包商、強度 I (結構)、美觀、強度 II (材料)、安全等 7

項(圖 1)。

(2) 建立準則之比較矩陣

本研究之第 1 層決策目標為「品質指標(QI)」，第 2 層準則由品質管理制度(Q)與施工品質(W)二類因子組成 A 矩陣，品質管理制度有 113 項缺失、施工品質有 356 項缺失，運用 AHP 的層級架構概念，實施 Q 與 W 之兩兩相比，以獲得因子之相對重要性。評比尺度係採用各缺失的查核歷史資料(2003-2016 年)，以 990 個工程案件之缺失頻率進行成對比較，評估因子之權重值。

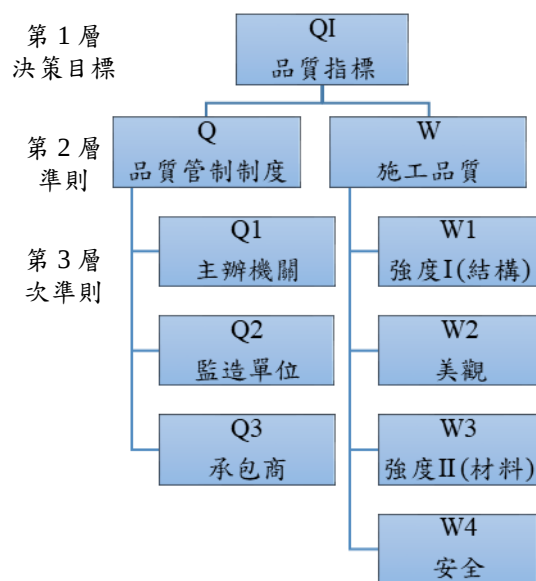


圖 1. 品質指標之層級結構

A 矩陣標準化為 A'矩陣後，再計算標準化矩陣中的每一行平均值，即可求得各因子權重 $W=[w_i]^T$ 。本研究計算得到「品質指標(QI)」第 2 層級因子 Q、W 之特徵向量為 $[0.67 \ 0.33]^T$ ，因為只有二個因子做兩兩比較，沒有一致性的問題。

$$A = \begin{matrix} & Q & W \\ \begin{matrix} Q \\ W \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\text{行因子標準化} \rightarrow A' = \begin{bmatrix} 0.67 & 0.67 \\ 0.33 & 0.33 \end{bmatrix}$$

$$\text{權重 } W \rightarrow \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0.67 & 0.67 \\ 0.33 & 0.33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.67 \\ 0.33 \end{bmatrix}$$

(3) 建立次準則之相依比較矩陣與超級矩陣

本研究依據第 3 層次準則間存在之「相依性」，建立網路架構之比較矩陣(圖 2)，並使用 ANP 來進行次準則間之成對比較，建構具有回饋關係的矩陣結構，以呈現網路中每一個因子之間的關係。

將所有群組與因子經成對比較後，可計算出層級中每一個準則的特徵向量，所有的特徵向量以矩陣的方式表示之，形成多個子矩陣，而子矩陣即是由因子與因子彼此交互比對後的特徵向量所構成，將所有的子矩陣組成一個完整的綜合矩陣，稱超級矩陣(Super Matrix)。

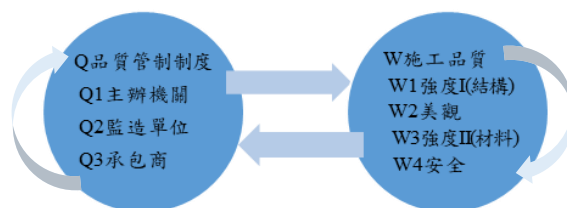


圖 2. 次準則因子的回饋與相依關係

本文超級矩陣是由 7 個因子所組成，其成對比較評比尺度係採用 990 件查核工程之缺失頻率(2003-2016 年)，各因子間進行兩兩相比，並使用 Super Decisions 軟體運算，得到極限化之超級矩陣(表 3)。

表 3. 極限化之超級矩陣

	Q1	Q2	Q3	W1	W2	W3	W4
Q1	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
Q2	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251
Q3	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294
W1	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113
W2	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
W3	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
W4	0.105	0.105	0.105	0.105	0.105	0.105	0.105

4.2 分析

AHP/ANP 運算得到各缺失因子之權重由高至低分別為承包商 Q3(0.294)、監造單位 Q2(0.251)、主辦機關 Q1(0.125)、強度 I W1(結構)(0.113)、安全 W4(0.105)、強度(材料)II W3(0.057)及美觀 W2(0.056)。

ANP 評比結果顯示品質管理制度(Q)之承包商、監造單位、主辦機關三個因子(次準則)，其權重值都大於施工品質(W)。其中，承包商是最重要的因子，顯示承包商是影響工程品質的關鍵角色。因此，如要有效提升施工品質與工程專案的績效，應著重在品質管理制度的缺失管理，避免或減少高權重因子的發生。

30 項主要缺失分屬於 7 個不同因子，其相對重要性，係將 990 件查核工程之主要缺失頻率分別乘以所屬因子之權重，加總之後會得到一組重要值(Important Value)(表 4)。

表 4. 主要缺失之重要性

因子	缺失編號	缺失項目	重要值
Q3	4.03.04	品管自主檢查表未落實執行，或檢查標準未訂量化值、容許誤差值，或未確實記載檢查值	192.9
Q3	4.03.03	施工日誌未落實執行，或未依規定制定格式，或記載不完整	119.2
Q3	4.03.99	其他承攬廠商品管缺失	109.51
Q2	4.02.99	其他監造單位品管缺失	87.45
Q3	4.03.05	對材料檢(試)驗報告未予審查，或未製作材料設備送審管制總表、材料設備檢(試)驗管制總表，或未符合工程需求	83.38
Q2	4.02.03.04	無抽查施工作業及抽驗材料設備，並填具抽查(驗)紀錄表，或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控，或判讀認可，或落實執行	73.63
Q2	4.02.01.06	未訂定各材料/設備及施工之檢驗停留點或未符合需求	58.05
Q2	4.02.03.05	發現缺失時，無立即通知廠限期改善，並確認其改善成果，或無督導施工廠商執行工地安全衛生、交通維持及境保護等工作，或是否確實	46.24
Q2	4.02.01.05	未訂定各材料/設備及施工之品質管理標準或未符合需求	45.99
Q2	4.02.03.08	無依契約規定填報監造報表或無落實記載	45.74
Q1	4.01.99	主辦機關/專案管理廠商其他缺失	45.04
Q3	4.03.02.05	未訂定各材料/設備及施工之檢驗時機或檢驗頻率	40.52
W4	5.14.99	其他違反職業安全衛生相關法規情事	35.21
Q2	4.02.01.03	未訂定對廠商品質計畫及施工計畫之審查時限或未符合需求	34.68
W1	5.01.01	混凝土澆置、搗實不合規範，有冷縫、蜂窩或孔洞產生	30.94
Q3	4.03.11.06	無填具督察紀錄表或無落實記載	29.95
Q2	4.02.01.08	未訂定品質稽核範圍或頻率或未符合需求	29.9
W1	5.01.04	混凝土表面殘留雜物(如鐵絲、鐵件、模板)	29.7
W3	5.10.99	其他材料設備檢驗審查紀錄缺失	26
W4	5.14.04	承包商無勞安自動檢查紀錄或不確實	24
W1	5.07.01.99	其他一般施工缺失	23.4
Q1	4.01.04	無品質督導及查驗紀錄，或未落實，或記載不完整	23.27
Q1	4.01.06	監造計畫無核定紀錄或未確實審查	22.14
W1	5.05.09	垃圾及廢棄物未清理，影響環境或未符合規定	17.66
W4	5.14.01.01	於高差 2 公尺以上之工作場所邊緣及開口部分，未設置符合規定之護欄	17.5
Q1	4.01.14	發現工程缺失，未以書面通知監造單位或廠商限期改善	14.01
W4	5.14.06.03	雇主對進入營繕工程工作場所作業人員，未提供適當安全帽，或安全防护用具	11.53
W2	5.08.99	其他影響裝修雜項工程施工缺失	9.67
W2	5.09.99	其他工地管理缺失	8.66
W2	5.09.08	無工程告示牌或內容未符合規定	6.76

本文採用工程查核資料實施關聯規則發掘，在某些缺失發生的情況下，會導致其他關聯性的缺失；且這些「主要缺失」與工程等級亦有顯著性關係，進而會影響工地管理的績效。因此，工程執行團隊面臨政府機關施工查核時，可以按照本文研究成果進行缺失預防，並提出以下五點結果說明：

- (1) 從查核資料庫中，可以發現某些缺失經常共同發生，經由關聯規則之支持度(Support)，來定義某些缺失在查核資料庫中出現之比例，支持度愈高的規則，工程管理者應愈重視。例如：「無依契約規定填報監造報表，或無落實記載

(4.02.03.08)」及「品管自主檢查表未落實執行，或檢查標準未訂量化值、容許誤差值，或未確實記載檢查值(4.03.04)」，這二項缺失一起發生的比例最高(Support = 16.67%)(附錄 1, Rule 6)。

- (2) 信賴度(Confidence)是用來檢驗關聯規則的可信程度，可表示 A 缺失成立時，B 缺失發生的機率。例如：「混凝土表面殘留雜物(如鐵絲、鐵件、模板)(5.01.04)」與「無抽查施工作業及抽驗材料設備，並填具抽查(驗)紀錄表，或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控，或判讀認可，或落實執行(4.02.03.04)」，這二項缺失成立

時，「品管自主檢查表未落實執行，或檢查標準未訂量化值、容許誤差值，或未確實記載檢查值(4.03.04)」發生的機率最高(Confidence = 93.94%)(附錄 1, Rule 1)。

- (3) 缺失之相關程度由增益度(Lift)決定，增益度代表缺失之間正相關的強弱，增益度愈高，關聯規則的效益愈大，可用來判斷哪些缺失具有較強的關聯性，列為施工管理的重點。
- (4) 各類施工報表資料填寫不完整，會被查核委員認定監造不確實與品管自主未落實，並影響查核評分，例如：「無依契約規定填報監造報表，或無落實記載(4.02.03.08)」且「施工日誌未落實執行，或未依規定制定格式，或記載不完整(4.03.03)」(附錄 1, Rule 7)；或者「無抽查施工作業及抽驗材料設備，並填具抽查(驗)紀錄表，或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控，或判讀認可，或落實執行(4.02.03.04)」、「施工日誌未落實執行，或未依規定制定格式，或記載不完整(4.03.03)」且「其他材料設備檢驗審查紀錄缺失(5.10.99)」(附錄 1, Rule 11)。上開二條關聯規則之前項，會導致後項「品管自主檢查表未落實執行，或檢查標準未訂量化值、容許誤差值，或未確實記載檢查值(4.03.04)」。
- (5) 在執行工程監造作業時，可優先將本研究所得到的 30 項「主要缺失」列為督導項目；其中「品管自主檢查表未落實執行，或檢查標準未訂量化值、容許誤差值，或未確實記載檢查值(4.03.04)」是最重要的主要缺失(Important Value = 192.9)。這項缺失凸顯工程品質自我管理與主動檢查的必要性。尤其，查核委員在實施工程查核時，會特別重視品質管理制度之執行情形，也就是沒有落實自主管理機制，就沒有工程品質。

由於施工過程相當複雜，研究者很難從單一方法分析出缺失之間的關聯或因果關係，需藉由大量缺失資料及挖掘方法，以瞭解缺失之間存在的相關性，防杜關聯規則之前項缺失，即可事先預防後項缺失的發生。

本文發現的 57 條關聯規則隱藏在缺失資料中的有用知識，具有參考價值。此外，使用 ANP 將主要缺失的重要性做排序，重要值

高的缺失具有顯著影響工程等級，應在實施監造任務時，列為首要管理的項目。

五、結論

本文藉由關聯規則挖掘(ARM)與網路層級分析法(ANP)組合之模型，可以有效掌握缺失的關聯規則，發掘出缺失發生的因果關係，並解釋缺失隱藏的規則，以及主要缺失的重要性，協助工程執行團隊有效管理。

ARM 是透過機器自動學習技術，企圖分析出人類的行為模式，從關聯規則中找出特定缺失之間的關係，以及背後隱含著查核委員執行施工查核的重點與方向；ANP 則是運用缺失頻率特性，藉由成對比較方式，客觀地評比出缺失的重要值。

在這些缺失之間的關聯規則當中，有些規則顯而易見的，例如：監造單位對「材料檢(試)驗報告未予審查，或未製作材料設備送審管制總表、材料設備檢(試)驗管制總表，或未符合工程需求(4.03.05)」，有很大的比例也未執行「無抽查施工作業及抽驗材料設備，並填具抽查(驗)紀錄表，或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控，或判讀認可，或落實執行(4.02.03.04)」，導致查核委員認定「品管自主檢查表未落實執行，或檢查標準未訂量化值、容許誤差值，或未確實記載檢查值(4.03.04)」(附錄 1, Rule 5)。

另外，一些規則是沒有合理的解釋且無法理解的，通常這一類規則是最有用的。而關聯規則真正的價值是在挖掘原本不知道而隱藏在大量資料庫中的潛在規則。例如：「垃圾及廢棄物未清理，影響環境，或未符合規定(5.05.09)」與「其他材料設備檢驗審查紀錄缺失(5.10.99)」(附錄 1, Rule 13)。這二項缺失具有潛在的作用，但是非一般常識可解釋，時常出現在意料之外的規則。

本文分析工程查核資料，主要使用 ARM 發掘出頻繁項目缺失之關聯規則，將大量的資料轉化為有用的資訊和知識，這些缺失與工程等級具有顯著性，在務實上，也是管理者所應加強關注的；因此，結合 ANP 找出主要缺失之重要值，提供有效之缺失預防機制。

最佳的工程專案管理制度與成效，需透過適當的挖掘分析與科學的管理模式，深入瞭解各項缺失之關聯性及重要性，才能清楚知道工

地管理的重點，並選擇「主要缺失」實施管控，降低缺失發生機率，以節省營建成本與提升工程品質。

參考文獻

- [1] 廖昶然，公共工程施工品質事後審計成效之探討-以審計機關查核機制為例，國立中央大學碩士論文，桃園，2007。
- [2] 蔡慧真，南投縣公共工程品質查核缺失改善對策研究，私立朝陽科技大學碩士論文，台中，2013。
- [3] 林呈俊，坡地工程施工管理查核之探討-以屏東縣為例，國立屏東科技大學碩士論文，屏東，2013。
- [4] 洪嘉祐，提升小型公共工程施工品質之對策探討-以新北市政府為例，國立台北科技大學碩士論文，台北，2017。
- [5] 林岳勳，從工程施工查核結果探討公共工程施工管理與品質管理制度問題，國立台北科技大學碩士論文，台北，2013。
- [6] Chong, W. K., and Low, S. P., "Assessment of Defects at Construction and Occupancy Stages," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 19, No. 4, pp. 283-289, 2005.
- [7] Ahzahar, N., Karim, N. A., Hassan, S. H., and Eman, J., "A Study of Contribution Factors to Building Failures and Defects in Construction Industry," *Procedia Engineering*, Vol. 20, pp. 249-255, 2011.
- [8] Mills, A., Love, P. E. D., and Williams, P., "Defects Cost in Residential Construction," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 135, No.1, pp. 12-16, 2009.
- [9] Love, P. E. D., "Auditing the Indirect Consequences of Rework in Construction: A Case Based Approach," *Managerial Auditing Journal*, Vol. 17, No. 3, pp. 138-146, 2002.
- [10] Josephson, P. E., and Hammarlund, Y., "The Causes and Costs of Defects in Construction: A Study of Seven Building Projects," *Automation in Construction*, Vol. 8, No. 6, pp. 681-687, 1999.
- [11] Pallant, J., SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using SPSS, McGraw-Hill, New York, 2013.
- [12] Das, S., and Chew, M.Y.L., "Generic Method of Grading Building Defects Using FMECA to Improve Maintainability Decisions," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 25, No.6, pp. 522-533, 2011.
- [13] Brijs, T., Vanhoof, K., and Wets, G., "Defining Interestingness for Association Rules," *International Journal of Information Theories and Applications*, Vol. 10, No.4, pp. 370-375, 2003.
- [14] Xiao, F., and Fan, C., "Data Mining in Building Automation System for Improving Building Operational Performance," *Energy and Buildings*, Vol. 75, pp. 109-118, 2014..
- [15] Liao, C. W., and Perng, Y. H., "Data mining for Occupational Injuries in the Taiwan Construction Industry," *Safety Science*, Vol. 46, No.7, pp. 1091-1102, 2008.
- [16] Chae, Y. M., Ho, S. H., Cho, K. W., Lee, D. H., and Ji, S. H., "Data Mining Approach to Policy Analysis in a Health Insurance Domain," *International Journal of Medical Informatics*, Vol. 62, pp. 103-111, 2001.
- [17] Chou, J. S., Hsu, S. C., Lin, C. W., and Chang, Y. C., "Classifying Influential for Project Information to Discover Rule Sets for Project Disputes and Possible Resolutions," *International Journal of Project Management*, Vol. 34, No. 8, pp. 1706-1716, 2016.
- [18] Cheng, C. W., Lin, C. C., and Leu, S. S., "Use of Association Rules to Explore Cause-effect Relationships in Occupational Accidents in the Taiwan Construction Industry," *Safety Science*, Vol. 48, No. 4, pp. 436-444, 2010.
- [19] Amiri, M., Ardeshir, A., Zarandi, M. H. F., and Soltanaghaei, E., "Pattern Extraction for High-Risk Accidents in the Construction Industry: A Data-Mining Approach," *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, Vol. 23, No. 3, pp. 264-276, 2016.
- [20] Li, H., Li, X. Y., Luo, X. C., and Siebert, J., "Investigation of the Causality Patterns of Non-helmet Use Behavior of Construction Workers," *Automation in Construction*, Vol. 80, pp. 95-103.
- [21] Cheng, Y., Yu, W. D., and Li, Q., "GA-based Multi-level Association Rule Mining Approach for Defect Analysis in the Construction Industry," *Automation in*

- Construction, Vol. 51, pp. 78-91, 2015.
- [22] Lee, S., Han, S., and Hyun, C., "Analysis of Causality between Defect Causes Using Association Rule Mining," *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp. 654-657, 2016.
- [23] Atkinson, A. R., "The Role of Human Error in Construction Defects," *Structural Survey*, Vol. 17, No.4, pp. 231-236, 1999.
- [24] Josephson, P. E., and Hammarlund, Y., "The Causes and Costs of Defects in Construction: A Study of Seven Building Projects," *Automation in Construction*, Vol. 8, No.6, pp. 681-687, 1999.
- [25] Love, P. E. D., and Edwards, D. J., "Forensic Project Management: The Underlying Causes of Rework in Construction Projects," *Civil Engineering and Environmental Systems*, Vol. 21, No.3, pp. 207-228, 2004.
- [26] Sommerville, J., "Defects and Rework in New Build: An Analysis of the Phenomenon and Drivers," *Structural Survey*, Vol. 25, No.5, pp. 391-407, 2007.
- [27] Aljassmi, H., and Han, S., "Analysis of Causes of Construction Defects Using Fault Trees and Risk Importance Measures," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 139, No.7, pp. 870-880, 2013.
- [28] Forcada, N., Macarulla, M., Gangolells, M., Casals, M., Fuertes, A., and Roca, X., "Post-handover Housing Defects: Sources and Origins," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 27, No.6, pp. 756-762, 2013.
- [29] Aljassmi, H., Han, S., and Davis, S., "Analysis of the Complex Mechanisms of Defect Generation in Construction Projects," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 142, No.2, 2016.
- [30] Shirkavand, I., Lohne, J., and Lædre, O., "Defects at Handover in Norwegian Construction Projects," *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 226, pp. 3-11, 2016.
- [31] Shariati, S., Abedi, M., Saedi, A., Yazdani-Chamzini, A., Tamosaitiene, J., Saparauskas, J., and Stupak, S., "Critical Factors of the Application of Nanotechnology in Construction Industry by Using ANP Technique under Fuzzy Intuitionistic Environment," *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 23, No. 7, pp. 914-925, 2017.
- [32] Ozcan-Deniz, G., and Zhu, Y., "A Multi-objective Decision Support Model for Selecting Environmentally Conscious Highway Construction Methods," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 21, No. 6, pp. 733-747, 2015.
- [33] Bobylev, N., "Comparative Analysis of Environmental Impacts of Selected Underground Construction Technologies Using the Analytic Network Process," *Automation in Construction*, Vol. 20, No. 8, pp. 1030-1040, 2011.
- [34] 潘乃欣, 陳沅佑, 侯勝彬, 陳奎言, "國道排水性瀝青混凝土鋪面材料施工績效評估模式之建立", *技術學刊*, 第 24 卷, 第 1 期, 第 27-41 頁, 2009。
- [35] Bu-Qammaz, A. S., Dikmen, I., and Birgonul, M. T., "Risk Assessment of International Construction Projects Using the Analytic Network Process," *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 36, No. 7, pp. 1170-1181, 2009.
- [36] Chen, Z., Li, H., Ross, A., Khalfan, M. M. A., and Kong, S. C. W., "Knowledge-driven ANP Approach to Vendors Evaluation for Sustainable Construction," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 134, No. 12, pp. 928-941, 2008.
- [37] Zhang, C., and Zhang, S., Association Rule Mining: Models and Algorithms, Springer, Heidelberg, 2002.
- [38] Chou, J. S., Cheng, M. Y., and Wu, Y. W., "Improving Classification Accuracy of Project Dispute Resolution Using Hybrid Artificial Intelligence and Support Vector Machine Models," *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, No. 6, pp. 2263-2274, 2013.
- [39] Olson, D. L., and Delen, D., Advanced Data Mining Techniques, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [40] Hastie, T., Tibshirani, R., and Friedman, J., The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction, Springer, Heidelberg.
- [41] Mansingh, G., Osei-Bryson, K., and

- Reichgelt, H., "Using Ontologies to Facilitate Post-processing of Association Rules by Domain Experts," *Information Sciences*, Vol. 181, No. 3, pp. 419-434, 2011.
- [42] Gravetter, F. J., and Wallnau, L. B., Statistics for the Behavioral Sciences, Wadsworth, Belmont, California, 2007.
- [43] Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [44] Saaty, T. L., Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
- [45] Han, J., and Kamber, M., Data Mining: Concepts and Techniques, Morgan Kaufmann Publishers, Massachusetts, 2006.
- [46] Coenen, F., Goulbourne, G., and Leng, P., "Tree Structures for Mining Association Rules," *Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 8, pp. 25-51, 2004.
- [47] Kouris, I. N., Makris, C. H., and Tsakalidis, A. K., "Using Information Retrieval Techniques for Supporting Data Mining," *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 52, pp. 353-383, 2005.
- [48] Olafsson, S., Li, X., and Wu, S., "Operations Research and Data Mining," *European Journal of Operational Research*, Vol. 187, pp. 1429-1448, 2008.
- [49] Tang, S. L., Aoieong, R. T., and Ahmed, S. M., "The Use of Process Cost Model (PCM) for Measuring Quality Costs of Construction Projects: Model Testing," *Construction Economics and Management*, Vol. 22, No. 3, pp. 263-275, 2004.

附錄 1. 工程查核缺失之關聯規則(節錄部分)

Rule ID	Antecedent (A)	Consequent (B)	Confidence (%)	Support (%)	Lift
1	5.01.04 & 4.02.03.04 (混凝土表面殘留雜物) & (無抽查施工作業及抽驗材料設備, 並填具抽查(驗)紀錄表, 或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控, 或判讀認可, 或落實執行)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	93.939	10	1.416
2	4.03.08.05 (品質文件、紀錄管理無妥適管制)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	92.105	14.141	1.388
3	4.01.06 & 4.03.03 (監造計畫無核定紀錄, 或未確實審查) & (施工日誌未落實執行, 或未依規定制定格式, 或記載不完整)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	91.304	10.606	1.376
4	4.02.03.04 & 4.01.99 (無抽查施工作業及抽驗材料設備, 並填具抽查(驗)紀錄表, 或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控, 或判讀認可, 或落實執行) & (主辦機關/專案管理廠商其他缺失)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	90.977	12.222	1.371
5	4.03.05 & 4.02.03.04 (對材料檢(試)驗報告未予審查, 或未製作材料設備送審管制總表、材料設備檢(試)驗管制總表, 或未符合工程需求) & (無抽查施工作業及抽驗材料設備, 並填具抽查(驗)紀錄表, 或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控, 或判讀認可, 或落實執行)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	90.714	12.828	1.367
6	4.02.03.08 (無依契約規定填報監造報表, 或無落實記載)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	90.659	16.667	1.366
7	4.02.03.08 & 4.03.03 (無依契約規定填報監造報表, 或無落實記載) & (施工日誌未落實執行, 或未依規定制定格式, 或記載不完整)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	90.37	12.323	1.362
8	5.14.06.03 (雇主對於進入營繕工程工作場所作業人員, 未提供適當安全帽, 或未使其正確戴用, 或工人未使用安全防護用具)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	90	10	1.356
9	4.02.03.04 & 4.03.03 (無抽查施工作業及抽驗材料設備, 並填具抽查(驗)紀錄表, 或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控, 或判讀認可, 或落實執行) & (施工日誌未落實執行, 或未依規定制定格式, 或記載不完整)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	89.941	15.354	1.355
10	4.02.03.08 & 5.10.99 (無依契約規定填報監造報表, 或無落實記載) & (其他材料設備檢驗審查紀錄缺失)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	89.216	10	1.344
11	4.02.03.04 & 4.03.03 & 5.10.99 (無抽查施工作業及抽驗材料設備, 並填具抽查(驗)紀錄表, 或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控, 或判讀認可, 或落實執行) & (施工日誌未落實執行, 或未依規定制定格式, 或記載不完整) & (其他材料設備檢驗審查紀錄缺失)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	89.216	10	1.344
12	4.02.03.04 & 5.14.99 (無抽查施工作業及抽驗材料設備, 並填具抽查(驗)紀錄表, 或製作材料設備檢(試)驗管制總表管控, 或判讀認可, 或落實執行) & (其他違反職業安全衛生相關法規情事)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	88.696	10.303	1.337
13	5.05.09 & 5.10.99 (垃圾及廢棄物未清理, 影響環境, 或未符合規定) & (其他材料設備檢驗審查紀錄缺失)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	88.679	10	1.336
14	5.14.04 & 4.03.03 (承包商無勞安自動檢查紀錄或, 或不確實) & (施工日誌未落實執行, 或未依規定制定格式, 或記載不完整)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	88.034	10.404	1.327
15	4.02.01.05 & 4.03.03 (未訂定各材料/設備及施工之品質管理標準, 或未符合需求) & (施工日誌未落實執行, 或未依規定制定格式, 或記載不完整)	4.03.04 (品管自主檢查表未落實執行, 或檢查標準未訂量化值、容許誤差值, 或未確實記載檢查值)	88	10	1.326