

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

建築工程連續亦單元分割知識歸納學習系統之研究

Inductive Knowledge Learning System for Determining of Slurry Wall Unit Length

計畫編號：NSC 89-2211-E-009-046

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：曾仁杰 國立交通大學土木工程系

壹、中英文摘要

一. 中文摘要

對營建產業而言，由於各工程案例的條件與狀況變化多端，很難用一套簡單明確且有系統的知識法則來解決所有可能的問題（如結構設計、施工規劃、工地現場配置等）。因此，概念學習對每一個營建工程師而言應是十分基本而重要的。在遭遇新問題時，工程師會依據其本身的工作經驗將新問題分類，再依循過去解決此類問題的方法來解決新問題。然而此分類卻是動態而不固定的（與一般知識領域不同，如鳥的分類、幾何物件的分類等是屬於靜態的分類方法）。其分類方式可能會因考慮的角度不同而有所差異，即使是同一個工程案例亦可能被歸類為不同的群組，而不同的工程師其分類的準則可能也不盡相同。

本研究以連續壁工程單元分割計劃為例，模擬人類解決問題的過程，使用者可以以動態的分類方式，於案例庫中篩選出與新問題同類別的舊案例，再從這些舊案例中以歸納學習的方式推導出一般性的知識法則，藉以

推論新問題的答案。在歸納學習方面，本系統採用 STAR 歸納學習演算法進行歸納，並容許使用者訂定雜訊的敏感度以改善傳統 STAR 歸納學習演算法易受雜訊資訊影響的缺點。

二. 英文摘要

The problem of concept learning is an important research area in machine learning. Given a set of specific examples and/or non-examples about a class of objects, the purpose of concept learning is to reach a generalized idea about the class of objects. Concept learning is essential to construction engineers (e.g., structure designer, construction planner, and site planner). Based on their work experience, the engineers approach a new problem by first classifying the problem and then find the solution to the problem according to the guidelines for the class of problems. Compared to learning a static concept as in most of common sense learning (e.g., learning to classify birds, geometric objects), the concept about a construction product usually is dynamic corresponding to the

engineering task at hand. For example, the classification of a construction product for planning the construction process and for laying out the construction site may be different. Sometimes different engineers may have different classifications even though they are dealing with the same kind of task.

This research uses construction planning for slurry walls as an example and presents a computer system that allows its user to dynamically define a concept about a particular type of construction products. Based on the user-defined concept, the system searches for qualified cases and generalizes their planning solutions by inductive learning. The system uses a modified version of the STAR methodology to allow its user to control the sensitivity level in the rule generation process and reduce the effect of noise information.

貳、緣由與目的

隨著國內經濟的快速成長與土地價值的增加，大型結構物構築地下室除符合相關法規之要求外，亦具有相當之經濟效益，因此深開挖工程到處可見。由於高度都市化的現象之一是：建築物或其他構造物（如箱涵、橋樑等）的分佈愈來愈密集。尤其在市區，若新開工的工程需要深開挖，常會使鄰近的構造物受到影響。輕則傾斜沉陷，重則倒塌崩坍或發生其他事故，釀成工程災害。

為了確保鄰近建物之安全並減少與鄰房之糾紛，地下連續壁工法已廣泛應用於都市深開挖擋土結構或地下室主體結構。其原因為是連續壁工法適用於較深之開挖擋土牆，具有可鄰接地界施工、能減少或控制對鄰房之損害，降低施工產生的噪音與振動、防水性良好、勁度及強度均佳等優點，近年來已被大量運用在都市之中，作為施工中之臨時擋土設施，甚至作為永久的結構牆 [1]。

連續壁工法施工前之規劃涵蓋許多分析與決策（例如決定開挖使用之機具、連續壁單元之分割長度），欲達最佳之安全與經濟效益，決策過程須考慮複雜之地工特性（如地下水位、土壤化學性質）、工法設計（如擋土支撐、沉陷量）和工地性質（施工空間、既存地下管線、運輸動線），也常須使用如有限元素法之複雜計算，而且最終結果往往是須靠重複的錯誤嘗試才能定案的[2]。

以連續壁施工單元的分割為例，由於最佳之設計方案所需之分析過於複雜，國內連續壁設計與施工廠商多是以經驗判斷為原則。依經驗判斷雖可快速決定連續壁施工單元之長度，但因工程師經驗多寡之差異，判斷的原則不迥相同，所決定之單元長度亦不見得適用，施工前之臨時變更往往耗資耗時過多或實務上不可行，因而錯失選擇更佳設計長度之機會。在另一方面，工程師經由錯誤嘗試所累積之設計經驗往往存留於其個人，一旦其離開公司，其累積之經驗也隨之而去。錯誤嘗試造成公司之損失，而所學之經驗卻又無法存留於公司，這對

公司而言之雙重損失，殊為可惜。

專家系統是解決上述問題的方法之一，但其發展之主要瓶頸在於知識擷取之困難。專家系統的知識庫通常需要領域專家 (domain expert) 提供其專業推理知識，再由知識工程師 (knowledge engineer) 將推理知識轉成電腦可讀之語彙。知識擷取往往因專家無法抽出足夠時間說明其推理知識，或是其推理知識過於抽象或凌散而不容易清楚、確切地述諸於語言，或是受限於背景知識之不足知識工程師無法確切了解專家知識所欲表達之知識，或是知識工程師受限於知識表達之方式而無法充份清楚地表達專家所傳達之知識 [Ian Watson 1997]。

知識擷取依自動化的程度可分為人際溝通模式、人機交談模式和機器學習模式 [葉怡成、郭耀煌 1991] [Arcisaewski and Ziarko 1992]，其中機器學習依學習策略又分為強記式學習 (rote learning)、演繹式學習 (deductive learning)、歸納式學習 (inductive learning)、發現觀察式學習 (learning from observation)、類比式學習 (learning from analogy)、案例式學習 (case-based learning) 和類神經網路學習 (neural network learning) [3]。

本研究應用人工智慧技術中之規則式推理以及案例式推理和歸納式推理之機械學習，發展一專家系統以協助工程師決定適當之連續壁施工單元分割長度，並提供設計與施工廠商一保存累積相關工程經驗之工具。

參、研究方法

一. 文獻回顧

收集國內有關人工智慧，尤其是歸納學習之文獻及研究成果，瞭解其理論背景與技術，並研究其應用於國內營建業之適合性。

收集連續壁工程施工規劃技術之文獻，瞭解連續壁工程的施工順序、規劃管理所需注意的事項以及現階段連續工程單元規劃的進行方式等，以助於知識擷取系統之建立。

二. 專家訪談

訪談具有豐富連續壁工程經驗的營造廠商，並瞭解業者所希望知識庫的表達方式與查詢模式，以作為將來介面設計之參考。

三. 系統實作與案例測試

依據文獻分析及專家訪談的結果，選擇知識擷取的方式、分析各關連式資料庫元件、透過使用者圖形介面 (GUI : Graphic User Interface) 的安排建立系統，並選擇合適此系統之開發工具。最後輸入實際與虛擬之工程案例，以測試並評估系統能力。

肆、結果與討論

一. 系統建立

案例表達

影響連續壁標準單元長度的因素很多，且各因素彼此之間的關係亦甚為複雜。限於時間人力等因素，本研究未能將所有連續壁工程的屬性列入，僅就影響層面較大的因素列為案

列表達的屬性。本系統所考慮的屬性介紹如下（其中「工程地點」至「挖掘機機型」等 14 項為系統歸納時所考慮的屬性值）：

工程名稱：工程案例的名稱，其資料型態為字串（String）。例如「富邦敦南大樓新建工程」。

案例編號：工程案例的編號，其資料型態為字串，「案例編號」為系統案例資料庫中的索引值（Index），且其編號為不可重複。例如「A0001」。

工程地點：為工程案例所處之地點，其資料型態為預設值（Keyword），在本系統中，以縣市這一級為最小單位。例如「台北縣」、「新竹市」等。

地上層數：建築物地上樓層的數目，其資料型態為數字。

地下層數：建築物地下樓層的數目，其資料型態為數字。

地下室面積：為連續壁所包圍之封閉區域內的平面面積，其資料型態為數字，單位為 m^2 。

鋼筋製作場大小：鋼筋製作場為施工場所中最佔面積的設施之一，為求連續壁工程的安全、順暢，原則上希望鋼筋籠能夠一次吊放而不須搭接，其資料型態為預設值，共分下列兩項：

1. 寬敞：鋼筋籠能夠一次吊放而不須搭接
2. 不足：鋼筋籠須搭接一次以上

沈澱池容量：穩定液沈澱池的容量，其資料型態為數字，單位為 m^3 。若工地現場沒有足夠的空間設置固定的沈澱池，而以卡車存放時，則以能不中斷作業所能提供的容量總和為主。

廢土場容量：廢土場的容量，其資料

型態為數字，單位為 m^3 。若工地現場沒有足夠的空間設置固定的廢土場，挖掘機挖掘出來的土壤是直接丟入棄土卡車時，則以能不中斷作業所能提供的容量總和為主。

土質狀況：工程所在地的土壤種類，其資料型態為預設值，分為黏土、砂石與礫石三項。

土壤 N 值：現地標準貫入試驗所得到的土壤 N 值，其資料型態為數字。例如「15」。

地下水位：地下水位高度，其資料型態為數字，單位為m。且地下水位本身即為負值，例如「4」m表示地表面以下 4 公尺。

連續壁深度：連續壁的設計深度，其資料型態為數字，單位為m。例如「40」m。

連續壁厚度：連續壁的設計厚度，其資料型態為數字，單位為cm。

預留筋長度：公單元與母單元搭接區所需預留的長度，其資料型態為數字，單位為cm。

挖掘機機型：挖掘作業所使用的挖掘機機型，其資料型態為預設值。本系統現階段只考慮兩種國內較為流行的機型—MHL 60100 與 MHL 80120。

公單元長度：連續壁公單元之標準長度，為本系統歸納學習的目標，其資料型態為數字，單位為m。

母單元長度：連續壁母單元之標準長度，也是系統歸納學習的目標，其資料型態為數字，單位為m。

公單元開挖長度：連續壁公單元挖掘時的實際開挖長度，其資料型態為數字，單位為m。

母單元開挖長度：連續壁母單元挖掘時的實際開挖長度，其資料型態為數

字，單位為m。

公單元開挖刀數：抓斗式挖掘機(MHL 60100 與 MHL 80120 均屬於抓斗式挖掘機) 抓斗張開一次所能挖掘的範圍稱為一刀。此項屬性為連續壁公單元挖掘時所需的刀數(通常為奇數，且挖掘時兩邊均已挖空的那一刀稱為「洗」)，其資料型態為數字。例如「3」代表「兩刀一洗」、「5」代表「三刀兩洗」。

母單元開挖刀數：連續壁母單元挖掘時所需的刀數，其資料型態為數字。例如「3」代表「兩刀一洗」、「5」代表「三刀兩洗」。

公單元特密管組數：連續壁公單元澆置混凝土時所須安置的特密管組數，其資料型態為數字。

母單元特密管組數：連續壁母單元澆置混凝土時所須安置的特密管組數，其資料型態為數字。

歸納式推理機制

歸納式推理嘗試從舊有案例中尋得普遍性的決策法則。IKAS 所使用的歸納學習模式基本上是根據 Michalski 於 1983 年所提出的 STAR 歸納學習演算法[4]修改而成的。

為了說明方便，假設有 5 個簡化案例，每一案例用 4 個屬性 - 土壤、連續壁厚度、連續壁深度、母單元長度來描述，表一列出 5 個舊有案例之屬性值。例如，案例 A001 其施工地點土壤性質為黏土，連續壁厚度為 80 公分，深度為 30 公尺，其母單元之施工長度為 4 公尺。

表(一) 簡化連續壁案例資料

案例編號	土壤	連續壁厚度(cm)	連續壁深度(m)	母單元長度(m)
A001	黏土	80	30	4.0
A002	黏土	100	45	3.6
A003	黏土	100	43.5	3.6
A004	砂土	80	40	3.6
A005	黏土	80	38	4.0

根據表一，母單元的長度可能是 4.0 公尺或 3.6 公尺。由於新工程之適用母單元長度為未知，我們欲知案例在何種屬性值條件下適用 4.0 公尺長度，而又在哪種屬性值下適用 3.6 公尺長度。假設歸納學習的對象為“母單元長度等於 4.0 公尺”，亦即希望從案例中歸納出所有適用於母單元為 4.0 公尺的屬性條件，則母單元長度等於 4.0 公尺的案例可稱之為正案例 (positive examples) (如案例 A001 和 A005)，而母單元長度不等於 4.0 m 的案例則稱之為反案例 (negative examples) (如案例 A002、A003 和 A004)。

每一舊的案例可以用 STAR 敘述描述成類似 If-Then 法則，例如案例 A001 可以描述成：

If (土壤 = 黏土) and (連續壁厚度 = 80) and (連續壁深度 = 30), Then (母單元長度 = 4.0)

意指若有一案例其土壤為黏土、連續壁厚度為 80 公分且連續壁深度為 30 公尺，則建議母單元之長度為 4.0 公尺。該敘述並可簡化成：

(黏土, 80, 30) (4.0).....STAR-1

若一個 STAR 敘述能夠適用於所有的案例 (包括正案例與反案例), 則此 STAR 敘述必須滿足兩個條件:

STAR 敘述的條件子句必包含所有的正案例, 稱為「完整性條件」(Completeness Condition)。

STAR 敘述的條件子句必不包含任何一個反案例, 稱為「一致性條件」(Consistency Condition)。

若原有 STAR 敘述無法滿足上述的兩個條件, 則必須加以「普遍化」或「特殊化」以產生所需的 STAR 敘述。普遍化是針對一 STAR 敘述之單一或多個屬性值加以擴充其適用範圍而得到另一個 STAR 敘述, 以期能包含更多案例。例如 STAR-2 和 STAR-3 皆為 STAR-1 普遍化後可能的敘述。

(黏土, 80, all) (4.0).....STAR-2

({黏土, 砂土}, all, all)

(4.0).....STAR-3

對同一個 STAR 敘述而言, 普遍化之後所產生之新的 STAR 敘述可能甚多, 即使是針對相同的屬性普遍化, 所產生的 STAR 敘述也不是唯一的。因此, 如果某一案例適用於某 STAR 敘述, 則它一定適用於該 STAR 敘述之任一普遍化敘述。然而, 若某一案例適用於某一普遍化 STAR 敘述, 它未必會適用於其原始 STAR 敘述。因此, 如圖二所示, 當原本的 STAR 敘述 (STAR) 無法滿足完整性條件時, 就必須逐步將之普遍化 (如 STAR'、STAR'' 和 STAR''') , 以涵

蓋所有的正案例。在本例中, (all, all, all) (4.0) 便是最普遍化 STAR 敘述之一例。

特殊化與普遍化互為相反步驟; 特殊化是針對一 STAR 敘述之某單一或多個屬性值加以縮小其適用範圍而得到另一個 STAR 敘述, 以期能排除原本涵蓋的部份案例。如圖二所示, 當 STAR'' 敘述因涵蓋反案例而未能符合一致性條件, 它須逐步特殊化 (如 STAR''、STAR' 和 STAR) 以將所有的反案例排除於其適用範圍之外。在本例中, STAR-1 敘述便是最特殊化 STAR 敘述之一例。若存在有 STAR 敘述可同時滿足完整性條件和一致性條件時, STAR 歸納學習演算法可以將其找到, 此搜尋稱為達到收斂 (convergence)。

系統架構

本研究所建立之系統其知識表達以規則為主 (rule-based), 而其推理機制則使用了規則式推理、歸納式推理和案例式推理。由於其學習機制以歸納式推理為主, 故取名為 IKAS (Inductive Knowledge Acquisition System for slurry wall construction), 其功能架構如圖一所示。

IKAS 的知識庫皆以 If-Then 法則表達, 依其產生之過程或其變動程度可分為靜態法則與動態法則。靜態法則為本研究經由專家訪談所蒐集到專家意見一致的法則, 這些法則代表專家知識中較為確定且不因個案不同而有原則性變動之部份, 動態法則則代表專家知識中較為不確定且常因個案不同而有原則性變動之部份。靜態法

則於系統發展過程中已由知識工程師（本研究群）建立，於必要時使用者雖可自己擴充或修正，但在一般解決新工程問題的狀況下並不會變動。

IKAS 於執行之初並無動態法則，依據所給予新工程之屬性，系統蒐尋相似之案例並嘗試歸納其決策原則並以法則方式表達。由於每次新工程之屬性可能不同，用以歸納法則之類似案例亦不同，所得法則亦不同，故稱為動態法則。靜態法則與動態法則經由使用者刪除不適法則之後即成為用以推理解決新工程問題的主體知識。從動態法則中，使用者若發現適用一般性之法則，亦可將之轉換儲存為靜態法則。

二. 實例驗證

IKAS 系統目前已建立包括台北、新竹等地共 20 個連續壁工程案例。然而，經實際測試的結果，發現 IKAS 每次進行歸納前所篩選的案例個數對 IKAS 進行歸納所需的時間影響甚大(可能從幾秒鐘至幾個小時)。其測試過程如下：

測試方式

由於沒有正範例或沒有反範例的情況對歸納學習而言並無意義（因為沒有正範例表示於系統案例庫內未曾出現過此長度的連續壁工程；而沒有反範例則表示任何工程條件下連續壁單元均可規劃為此一長度）。測試由一個正範例及一個反範例開始，並循序增加正範例數或反範例數目，在每一種組合中（如「一個正範例及一個反範例」、「二個正範例及三個反範

例」等稱之為組合），隨機選擇單一的歸納學習對象（如「母單元長度 = 3.6m」），再隨機由案例庫中選取所需的正範例與反範例，重複 10 次（公、母單元各 5 次）以得到此一組合的平均時間與平均產生的知識法則數，其結果如圖二、三與表二、三所示：

表二、IKAS 歸納學習平均時間（單位：Sec）

		正範例數			
		1	2	3	4
反範例數	1	2.0	1.7	1.2	1.1
	2	13.9	7.2	6.1	5.9
	3	48.2	30.6	26.5	23.1
	4	201.2	135.4	106.6	85.4

表三、IKAS 歸納之平均法則數

		正範例數			
		1	2	3	4
反範例數	1	11.6	8.3	5.2	4.7
	2	61.5	25	15.5	10.2
	3	129.7	72.4	32.3	22.3
	4	199.2	136.2	73	51.2

由圖二、三及表二、三中觀察可以得到以下幾點推論：

- } IKAS 歸納知識法則所需的時間與反範例呈指數型態地成長。
- } 當正範例增加時，IKAS 歸納知識法則所需的時間反而下降。
- } 歸納後所得的知識法則數目與 IKAS 歸納知識法則的時間成正比。

IKAS 於歸納學習時是最普遍化的 STAR 敘述 (All, All, All, ...) 為起點，逐一檢核每一個反範例，若

無法排除此反範例則將原 STAR 敘述特殊化以排除此反範例，若可以排除此反範例則保留此 STAR 敘述。在檢核完所有的反範例之後，針對每一條系統所保留的 STAR 敘述，檢核所有的正範例，若此 STAR 敘述所能滿足的正範例數經計算能夠大於正確率與普及率門檻值時，則予以保留此 STAR 敘述，否則乃刪除之（而最後仍被系統保留的 STAR 敘述就是推理所需的知識法則）。

由此可見，在歸納的過程中，反範例的存在可能會導致 STAR 敘述的增加（因特殊化的結果常產生不只一個新的 STAR 敘述）。若特殊化所針對的屬性，其屬性型態為預設值時，特殊化後所得到的結果最多也只有一個（無論是「目標搜尋」或「無目標搜尋」）。例如，原 STAR 敘述於「土質狀況」的屬性值為（{黏土，砂土，礫石}），欲排除的反範例於「土質狀況」的屬性值為（砂土），則特殊化後的結果為（{黏土，礫石}），至於特殊化後之 STAR 敘述其他屬性的屬性值則與原 STAR 敘述相同。

若特殊化所針對的屬性，其屬性型態為數字時，於「無目標搜尋」時特殊化後所得到的結果最多則可能有二個。例如，原 STAR 敘述於「連續壁深度」的屬性值為（10m 連續壁深度 50m），欲排除的反範例於「連續壁深度」的屬性值為（30m），則特殊化後的結果為（10m 連續壁深度 < 30m）及（30m < 連續壁深度 50m）。於「目標搜尋」時特殊化後所得到的結果最多只可能有一個，因為新問題最多只可能滿足（10m 連

續壁深度 < 30m）與（30m < 連續壁深度 50m）其中的一個。

於 IKAS 中，歸納時所考慮的屬性值共 14 項，其中「工程地點」、「鋼筋製作場大小」、「土質狀況」與「挖掘機機型」等 4 個屬性為預設值，其餘為數字。若原 STAR 敘述無法排除某一反範例，於「無目標搜尋」下所可能產生的 STAR 敘述為 $4 + 10 \times 2 = 24$ 個；於「目標搜尋」下所可能產生的 STAR 敘述為 $4 + 10 = 14$ 個。而所產生的 STAR 敘述在遭遇下一個反範例時又可能分別產生相同數目的 STAR 敘述。

因此，歸納過程中，扣除所有被覆蓋的 STAR 敘述（例如，（10m 連續壁深度 < 30m）會被（10m 連續壁深度 < 40m）所覆蓋，詳見 3.4 節），所可能產生最多的 STAR 敘述為：

無目標搜尋

$$C_1^{24} + C_2^{24} + C_3^{24} + \dots = \sum_{k=1}^n C_k^{24}, n \leq 23$$

n 為反範例數（公式 1）

$$C_1^{14} + C_2^{14} + C_3^{14} + \dots + C_{13}^{14} = 16382, n \geq 13$$

n 為反範例數（公式 2）

目標搜尋

$$C_1^{14} + C_2^{14} + C_3^{14} + \dots = \sum_{k=1}^n C_k^{14}, n \leq 13$$

n 為反範例數（公式 3）

$$C_1^{24} + C_2^{24} + C_3^{24} + \dots + C_{23}^{24} = 16777214, n \geq 23$$

n 為反範例數（公式 4）

如此龐大的搜尋空間是造成系統執行效率緩慢的原因之一。然而，IKAS 於歸納時真正瓶頸卻是在檢查 STAR 敘述是否有被其他的 STAR 敘述所覆蓋（若不檢查覆蓋關係，則可能的 STAR 敘述將是 23^n 與 13^n ）。舉例來說，若系統已存在 10 個 STAR 敘述，當第 11 個 STAR 敘述產生時，必須與前 10 個 STAR 敘述作覆蓋關係的檢查；而第 12 個 STAR 敘述產生時，則必須與前 11 個 STAR 敘述作覆蓋關係的檢查。若系統保留了 n 個 STAR 敘述，則至少作了 $n!$ 次的覆蓋關係的檢查。

與反範例相反的，正範例的存在則可能會導致 STAR 敘述的減少。也因為 STAR 敘述的減少，對 IKAS 而言，需要轉換（將電腦內部儲存的格式轉換成為自然語言的形式）與顯示的時間亦減少。故正範例的增加會使歸納的時間略微縮短。

系統實例測試

以現有案例庫內其中的一個案例—編號 A0006 為例，進行案例篩選與未篩選的測試與比較。如上所述，由於 IKAS 的效率問題，在進行本試驗時，將原本擁有 20 個連續壁案例的案例庫，縮減為如表四所列之 9 個連續壁案例，作為案例庫內的全部案例。

表四、測試案例庫案例資料

案例編號	母單元長度	公單元長度
A0004	5.6	4.4
A0005	6	4
A0008	6	4

A0009	6	4
B0004	5.6	4.4
B0005	5.6	4.4
B0006	6	4.4
B0010	5.6	4
B0011	6	4.4

「篩選條件」為：土質狀況 = "砂土" And 土壤 N 值 < 20 And 地下水位 < 15，所得的結果如表 6.4 所示

表五、案例篩選與案例未篩選

	篩選	未篩選
時間（無目標搜尋）	91 秒	5 小時
時間（目標搜尋）	7 秒	453 秒
答案（母單元）	4	4
產生的法則數（母單元）	42	116
相關的法則數（母單元）	4	26
答案（公單元）	6	6
產生的法則數（公單元）	38	92
相關的法則數（公單元）	4	9

由表四可知，案例篩選除了在 IKAS 執行的時間上有很大的優勢外，其所產生的法則數與相關的法則數亦較少（所謂相關的法則，是意指新問題推理所需引用之法則，也就是以目標搜尋所產生的法則數），較便於領域專家修改與確認系統所歸納出來的知識法則。因此，案例篩選有其必要性。

三. 研究限制

在無需大量人為計算與分析下，借助舊有連續壁工程案例，以協助連續壁工程規劃專家決定適當之連續壁單元分割長度是本研究主要問題。限於研究人力，研究所指連續壁工程為建築工程之連續壁，所探討之單元長

度為標準施工單元長度，意即不考慮因應實際建築物的形狀、轉角、柱位等須做個別調整之部份單元。工程案例之儲存與表達架構亦以與決定連續壁單元適當長度相關之知識為主。

本研究結果之驗證亦有其限制，其一是決策的品質只能以專家意見作主觀判斷。由於本研究旨在建立一電腦輔助決策系統，其推理的依據為舊有案例，因而經由機械推理所得決策之品質與所存案例之品質關係密切。然而由於雖能確定所蒐集之舊有案例其所決定之單元長度皆為實際可行並已完成，但由於資料不足並無法得知其在經濟與安全之效益是否最大，本研究透過專家之意見從所蒐集案例中只保留專家事後仍認定當初規劃長度為適當之案例，並假設這些案例皆已滿足使用者之需求（亦即皆為成功之案例），經由系統推理所得之決策亦只是使用者過去所能接收案例品質之反應，系統目的在於避免因專家之疏忽或經驗不足所導致無法接受之決策。

其二是系統適用之一般性無法得知。由於專家時間有限，願意協助配合本研究實驗的專家亦不容易尋得，所作決策通常亦須等待完工之後的反思始能確定其適用性。因而本文旨在描述本研究所建立之系統如何協助專家之決策，系統適用之一般性在尋得更多願意配合的廠商與允許更長研究時間前無法得知。

伍、計畫成果自評

一. 結論

1. 本研究建立一個以歸納學習技術自過去成功的工程案例中擷取專家知識的系統模式。於此系統模式中，使用者可以動態地挑選與新問題相關的工程案例進行歸納。探討合適的搜尋策略並降低其對雜訊的敏感度以增進系統歸納學習的效率與能力。
2. 依據本研究所提出之歸納學習系統，實際運用於決定連續壁施工標準單元長度。而本系統除了提供新規畫案例的答案外，更在規劃的過程中將系統所歸納推導而得到的知識法則呈現在使用者眼前，可誘導或觸發使用者建立與修正更正確完整的知識法則。
3. 分析並探討影響連續壁施工單元長度的考量因素，而這些因素不止僅適用於連續壁工程基本計畫中的標準單元長度，也適用於考量非標準單元的單元長度。

二. 建議

1. 改善系統效率：目前 IKAS 執行效率太慢是其一大缺陷，其關鍵在新的 STAR 敘述產生時必須檢查所有舊的 STAR 敘述。未來可透過資料結構等技巧增進系統執行的效率。
2. 結合地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）技術：IKAS 目前只針對連續壁的標準單元長度作規劃，未來可結合 GIS 強大的圖形查詢與展示的能力，不但

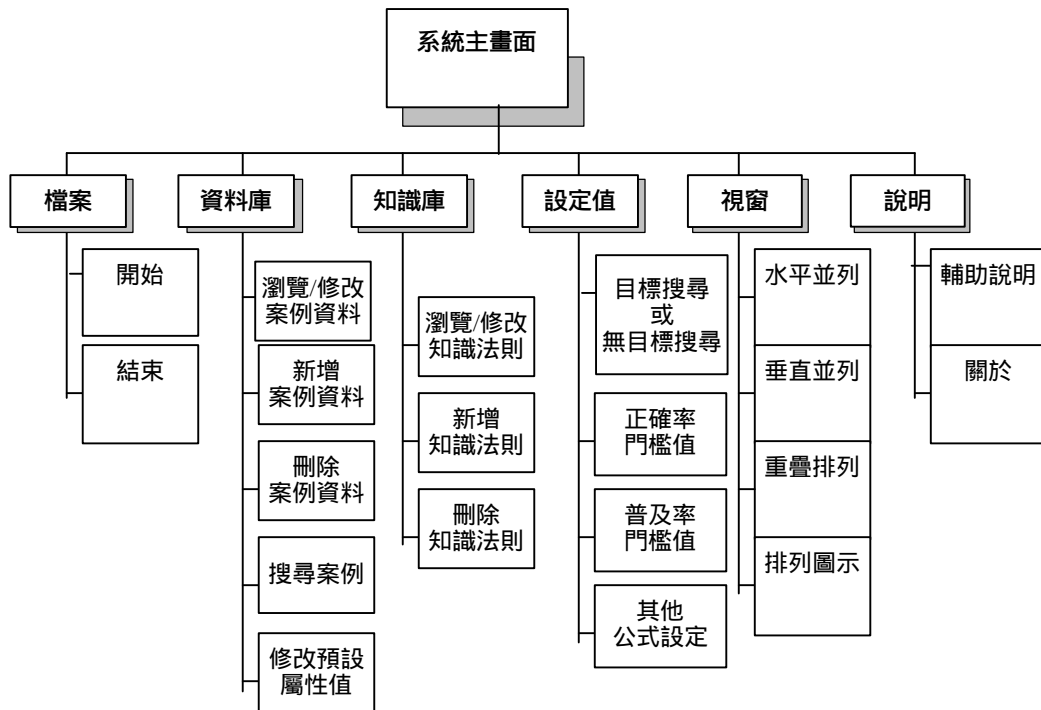
可以考慮基地的特殊形狀、柱頭位置，以及基地平面配置、動線等問題，進而針對每一個連續壁單元長度進行規劃，甚至由系統直接輸出連續壁單元分割圖。

3. 整合其他專家系統軟體：當 IKAS 的靜態知識庫儲存足夠完整且正確的知識法則後，其本身應可以作為傳統專家系統的知識庫。未來可與著名的專家系統套裝發展軟體整合（如 KAPPA-PC），直接將 IKAS 的靜態知識庫與之連結，更新與維護專家系統的知識庫，更增加其實用性。
4. 應用於其他營建管理知識擷取：除了連續壁單元分割之外，仍有許多營建管理的知識與經驗面臨傳承與擷取不易等問題。可將 IKAS 擴充應用在營建管理領域的其他方面（如進度規劃、工地佈置等等）。

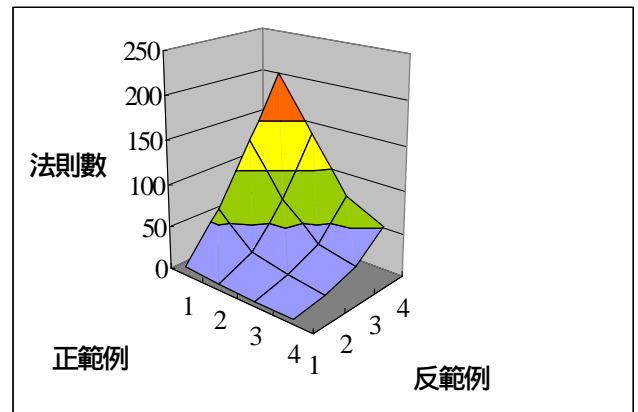
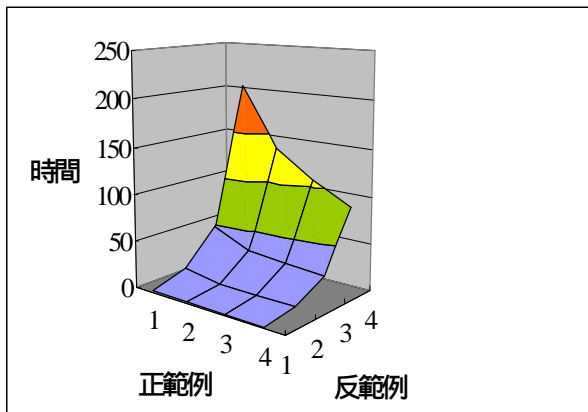
6. Arcisaewski, T. and Ziarko, W. , 1992, “Machine learning in knowledge acquisition”, Knowledge Acquisition in Civil Engineering, Arciszewski, T. and Rossman, L. A., American Society of Civil Engineers, pp.50-68

陸、參考文獻

- 1、石正義,1995, “ 連續壁工程施工與管理實務 ” , 詹式書局。
- 2、Xanthakos,P.P.,1979 , “ Slurry Walls ” , McGraw-Hill,pp.58-91。
- 3、Rich, E. and Knight, K., Artificial Intelligence, McGraw-Hill, pp.447-479, 1991.
- 4、Michalski, R. S., 1983, “A Theory and Methodology of Inductive Learning” Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach, Vol. I.
- 5、葉怡成, 郭耀煌, 1991, “ 專家系統方法應用與實作 ” , 全欣資訊, 120 137 頁, 。



圖一、IKAS 功能架構圖



圖二、IKAS 歸納學習平均時間 (單位：Sec) 圖三、IKAS 歸納之平均法則數