

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

Web-based 案例式推理專家系統在中小學校舍建築耐震評估上之應用研究

Application of Web-based Expert System with CBR on the Seismic Assessment of School Buildings

計畫編號：NSC90-2211-E-002-058

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

主持人：謝尚賢 國立台灣大學土木工程學系

計畫參與人員：蔡承恩、王世擘、呂卓堅

國立台灣大學土木工程學系

一、中文摘要

學校建築屬公共建設，每當遭遇重大災難致使民眾流離失所時，常常必須做為政府暫時安置民眾的地方；因此，學校建築的耐震能力狀況，更需要各界重視，並加以有效的掌握。耐震安全評估便是衡量建築結構物耐震能力的方法，一般會先普遍性地實施耐震能力的初步評估，篩選出安全有疑慮的建築物，針對該建築物再進行詳細的評估與檢測。本研究設計並實作出一以網路為基礎的中小學學校建築耐震評估專家系統雛型，著眼於耐震能力的初步評估，透過專家訪談，重新整理中小學學校建築耐震評估之相關參數項目，應用分析層級程序法對參數進行分析，求得其權重。此外，本研究應用專家系統中案例式推理的技術來管理耐震評估的歷史案例，以強化傳統知識庫法則式推理所沒有之經驗累積的缺點。並利用 XML 技術來定義本研究所設計開發的耐震初步評估雛形系統中之各種資料，以利資料之共享與交換。

關鍵詞：學校建築、耐震初步評估、專家系統、案例式推理、XML

Abstract

This research prototypes a web-based expert system with Case-Based Reasoning (CBR) on seismic safety assessment of school buildings. The present prototype focuses on the preliminary seismic safety assessment of buildings and the data schema

design for representing domain experts' knowledge. For the preliminary seismic safety assessment of buildings, this work interviews domain experts to obtain the major parameters affecting seismic safety of school buildings and employs Analytic Hierarchy Process method to determine the weights for the parameters. Furthermore, this research integrates CBR technique and Java technology with XML technique to represent and manage the experts' knowledge and experiences from existing building cases. It also makes sure that the system can function well under a unified interface and provide high flexibility to be expanded and upgraded.

Keywords: Expert System、Seismic Safety Assessment、XML、Analytic Hierarchy Process、Case-based Reasoning

二、緣由與目的

學校建築屬公共建設，其功用不僅在於提供國人受教育的環境，每當遭遇重大災難致使民眾流離失所時，也常常都是受難民眾暫時安身的地方，其重要性不言可喻，但卻往往被一般人所忽略。學校建築的耐震能力會因多種因素影響而有所差異，可能為設計時所採用的規範不同，可能為年代久遠材料強度與設計時的標稱強度產生落差，也可能現地施工未完全依照設計圖進行。既然以現今的科學技術尚不能預測地震的發生，那麼對於現有的建築物進行耐震評估，並針對有危險疑慮者及

早補強或拆除，是目前能夠降低在遭遇地震時人命傷亡與財產損失的最有效方法。

建築物耐震評估一般可分為兩大類，一為耐震安全初步評估，另一則為耐震安全詳細評估。耐震安全初步評估通常應用在對建築物進行定期性之檢查，或是在待評估建築物數量龐大而時間與經費皆有限的情況下，其目的為快速決定建築物約略的耐震等級，篩選出耐震能力較有疑慮的建築物，視實際需求再執行更進一步的詳細診斷與評估。耐震安全詳細評估則使用於經過初步評估後篩選出之耐震能力仍有疑慮之建築物，各種詳細評估法的立論根據均十分紮實，演算過程也較初步評估法來得複雜繁瑣，目的為求確定建築物之實際耐震性能，並提供補強修復之建議。本研究著眼於耐震能力的初步評估，透過專家訪談，重新整理中小學學校建築耐震評估之相關參數項目，應用分析層級程序法對參數進行分析，求得其權重。此外，本研究應用專家系統中案例式推理的技術來管理耐震評估的歷史案例，以強化傳統知識庫法則式推理所沒有之經驗累積的缺點。又利用 XML[1]技術來定義各種資料，以提高資料之共享與交換性，設計並實作出一以網路為基礎的中小學學校建築耐震評估專家系統雛型。

三、結果與討論

(一)耐震評估參數與權重研究

本研究以案例為基礎，參考耐震安全初步評估[2]的評分方式對案例進行量化，以得到單一案例之評分值。首先決定所採用的專家權重，應用到參數項目上，對目標建築物進行危險度評分，再從案例庫中挑選出相似度評分相近的案例，並給予系統使用者相關的評估建議。因此，參數的項目與每個項目的權重大小，都將影響到評估的結果。本節以下將對中小學學校建築耐震評估的參數決定與權重分析做一說明。

1.參數項目說明

中小學學校建築耐震評估著眼於耐震能力的初步評估，其參數在經由匯整建築物耐震能力初步評估表[2]，學校建築耐震能力初步評估表[3]，以及中小學校舍耐震

評估與補強[4]中對中小學校舍進行的各項調查與討論得到初步結論之後，又考量目前國內的中小學學校建築所具有的共通特色與常見結構系統型態，再與專家進行訪談與初步權重分析，決定出建築物耐震安全初步評估表之參數項次共計 21 項，含細部項目共 32 項。

2.參數權重分析

在本研究中，對案例的評分方法是由各參數的權重與其細項評估之得（配）分相乘後，再進行加總而得，而各參數權重的產生必須由耐震評估領域的專家來決定。然而不同專家依本身的學識與經驗，對各參數所給定的權重值並不會一致，因此本研究規劃以分析層級程序法(Analytic Hierarchy Process, AHP)[5-6]，整合各個專家的意見，化解其中之歧異。

AHP 法設計的原意在於將專家會聚一堂，在共同討論之後決定各項參數之間的比例關係，但由於諸多原因以及專家們的時間撮合不易，本研究在儘量不影響 AHP 法精神下，改採問卷調查的方式，請兩位教授專家個別填答問卷，最後再匯整出結果。

第一階段之參數項目決定與權重分析在兩位專家填答問卷完成後，經 AHP 法之優先向量計算與一致性檢驗，CI 值均小於 0.1，結果十分合理。由分析結果可發現，不同專家對於部份參數的確存有不同之見解，然此為專家學識與經驗所致，本研究並不試圖解釋其中差異，而是提出一嶄新的衡量角度與思維方向，以供參考。最後，經過權重分析後的參數篩選與再次的專家訪談，確定分析結果符合專家想法後，本研究決定出最後之中小學學校建築耐震評估參數項目。

(二)系統分析設計與實作

一個系統的開發過程通常可分為三大階段—系統分析、系統設計，與系統實作；本研究所欲開發之系統亦不例外。首先，必須先界定此系統之使用對象，接著調查使用者的需求，做詳細的分析；再針對分析後的結果，進行系統功能的設計。在分析與設計完畢後，才是應用資訊技術將所設計功能實作完成的階段。

本章由分析 Web-based 案例式推理中小學學校建築耐震評估專家系統開始，介紹系統在分析之後之設計功能與使用者介面，進而實作完整之系統功能，並展示實作成果。

1. 系統分析與設計

系統經 UML[7]分析後，Use Case 共有四個，即系統必須提供的四大基本功能：耐震初步評估、專家權重管理、系統法則管理，與系統案例管理。本系統開發時即將此四大功能規劃為四個子系統，並分別分析設計與實作之。

為符合簡化使用者端需求的原則，本系統採 3-tier 之網路架構，如圖 1 所示，將系統功能實作至伺服器端，分離使用者介面與應用程式部份。3-tier 包含的內容分別為：Presentation tier—使用者介面，即為瀏覽器如 Microsoft Internet Explorer 或 Netscape Communicator 等的操作介面；Functionality tier—含四個子系統，即耐震初步評估子系統、專家權重管理子系統、系統法則管理子系統，以及系統案例管理子系統；Data tier—含三個資料庫，即權重資料庫、法則庫，及案例庫(如圖 1)。

本系統以 Web 做為架設的平台，依循簡化使用者端軟體需求的原則，讓操作更為容易。此外，為了跨平台的考量，本研究以支援跨平台的 Java 相關技術來開發系統。

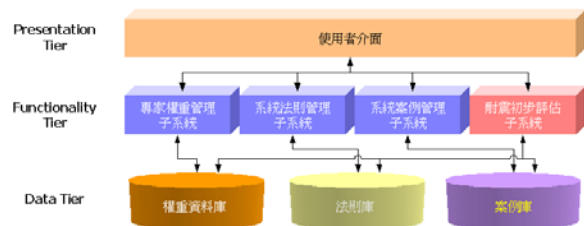


圖 1 3-tier 的系統架構

2. 耐震初步評估子系統之分析設計與實作

本系統耐震評估的方法依據耐震安全初步評估[2]的精神，利用填寫本研究之「建築物耐震安全初步評估表」的方式，選擇評估目標所符合的選項，配合每個參數之權重值，計算出此案例的危險度評分。

耐震初步評估子系統設計讓使用者自行選擇權重資料庫中的專家權重來進行耐震評估。本系統將以使用者所選定之專家權重，對輸入的案例進行評判危險度評分

的動作，並和案例庫中的所有案例的相似度評分完成後，於其中挑選出與輸入之案例相似度較高之案例，供使用者參考。另外，系統輸出的結果也包括在推理過程中曾被啟動的法則。若使用者為耐震評估領域之專家，則可以在追蹤系統之法則啟動順序後，檢視其推理過程是否合理，進一步對系統法則做必要之修正。經由被啟動的法則，也可告知使用者案例的耐震評估結果以及相關的評估建議。耐震初步評估子系統執行耐震初步評估之流程如圖 2 所示。

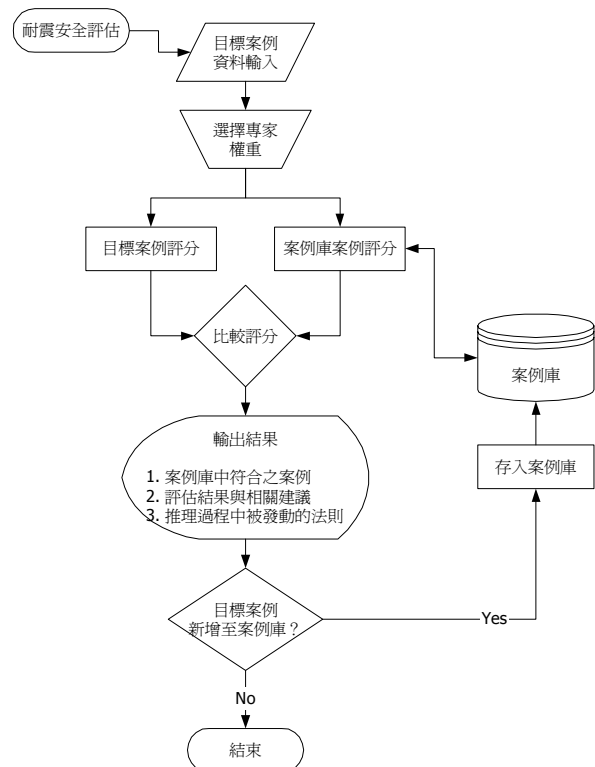


圖 2 系統耐震初步評估流程

3. 耐震初步評估子系統之評分方法

耐震初步評估子系統對建築物案例評定的分數可分為兩類，其一是為目標建築物給定一「危險度評分」，並告知使用者此建築物屬於何種耐震標準等級；另一則是本系統為從案例庫中挑選出與目標案例相似的案例，而必須對案例庫中的案例所評判之「相似度評分」。

本研究提出之危險度評分係參考鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估法[2]的方式，由系統將使用者在建築物耐震安全初步評估表中所填寫（或勾選）的參數值，依其配分和權重相乘並加總後，所得分數

即該建築物案例的危險度評分。其計算式如下：

$$\text{危險度評分} = \sum (\text{參數項目權重} \times \text{該參數項目之細部分項的配分})$$

此外，危險度評分的判定僅對目標案例執行，目的在於讓使用者能夠概要地、快速地掌握該建築物之耐震現況。

評估表中各參數項目的權重總和為 1000，而各參數細部分項的配分則從 0 至 1 不等，因此危險度評分將介於 0 至 1000 之間。經計算求得之危險度評分有其相對應之耐震能力標準等級，分成三級：A 級—危險度評分總計大於 600 分，耐震能力確有疑慮，應立即進行詳細評估或拆除；B 級—危險度評分總計大於 300 分至等於 600 分間，耐震能力有疑慮，近期應進行詳細評估；C 級—危險度評分總計小於等於 300 分，耐震能力尚無疑慮，但須繼續進行例行性維護。

相似度的定義係指某一案例所具有的某參數項目之值與另一案例的相同參數之值兩者間所存在之關聯性的強弱，且此關聯性必須能夠以數值來描述之，意即數值愈大，其相似度愈高。案例整體的相似度，稱該案例之「相似度評分」，係各參數個別之相似度累積起來的整體表現。

評斷相似度的過程，目標案例是主要角色，而案例庫中的所有案例皆為配角，必須分別與目標案例比較，決定本身與目標案例之相似度，即相似度評分。相似度評分的計算方式與危險度評分類似，均是在各個參數項目的權重和配分相乘後，求取其總和，得到相似度評分。計算式如下：
$$\text{相似度評分} = \sum (\text{參數項目權重} \times \text{該項目之相似度配分})$$
此處的參數權重仍採用使用者所選擇之專家權重，但相似度配分則不同於危險度評分中的配分，相似度配分係指同一參數項目中之各細部分項彼此之間的關聯性強弱，並以數值描述之。各細部分項之間的相似程度必須由專家判斷決定，並定義在法則裡，系統將會依照法則的敘述，對案例進行相似度評分。相似度配分由領域專家決定，其可為布林型式、線性型式，或任何被專家認可的其它型式。其各參數項目的權重總和為 1000，而各項目之相似度配分則從 0 至 1 不等，因此相似度評分將介於 0 至 1000 之間。相似度若以百分比表

示，意為將相似度評分的總分正規化至 100，即案例的相似度評分除以 10 所得之值，為該案例與目標案例之相似度。

4. 專家權重管理、系統法則管理、及系統案例管理子系統之設計與實作

此三個子系統之基本操作方式相似，皆有列表、新增、修改等三項主要功能，並且皆為以 JSP 程式寫成的網路介面，如圖 3 所示。此外，本系統中所有的資料均以 XML 文件格式儲存以利系統未來擴充與資料交換。



圖 3 專家權重管理、系統法則管理、及系統案例管理子系統之部分網頁畫面

5. 系統的推理與策略運用

本系統目的為耐震評估，欲探求一棟建築物的耐震性能，因此所使用的是前向鏈結[8]推理方式，目標建築物案例的各項參數之值為已知的事實，在經法則庫中定義的法則判斷後，可產生這些事實所支持的結論。本研究中，結論的內容包含對目標案例的危險度評分、專家的評估建議等等。法則定義得愈明確、愈詳盡，系統所能提供的回應與服務就愈完整、愈清晰。

在專家權重應用的策略上，使用者填寫評估表後，可以從系統權重資料庫中挑選專家權重對案例進行評估。系統與權重資料庫溝通，取出可供選擇之專家權重，未通過分析層級程序法之一致性檢驗的權重資料將不會出現在選單中。若使用者選擇兩位以上專家之權重資料進行評估，則系統會將專家們的權重資料匯整後取其平均值做為專家系統引擎用以推理之最後參數權重。

在法則應用的策略上，專家系統進行推理的過程或有衝突、或有不合理之處，均可以在評估完畢後，由專家使用者檢視在推理過程中曾被啟動的法則，由這些法則，專家使用者可得知系統推論的依據與順序，藉此來判斷系統的推理是否正確。此外，專家使用者亦能針對有問題之法則

進行修改，除可更新法則的內容之外，更可決定其是否要載入推理引擎中參與推理，或設定其優先權，改變其啟動的順序。藉由對法則執行這些控制，達到調整系統正確推論的目的。

在案例挑選的應用策略上，耐震初步評估子系統會在系統案例庫中找出與評估目標案例相似之案例，供使用者參考；並且，透過由系統搜尋出來的案例，使用者能夠藉此衡量系統的推理能力，進而修正法則，案例與法則具有相輔相成的關係。案例的相似程度以其相似度評分決定，使用者可設定搜尋相似度評分的範圍，系統將在此區間內搜尋分數符合之案例。若在使用者設定之區間內並未發現符合者，則系統自動輸出與相似度評分最高之案例，並敘述該案例與目標案例之相似度。

四、計畫成果自評

本研究已成功地設計並實作出一以網路為基礎且具案例式推理能力的中小學學校建築耐震評估雛形系統，其採用 3-tier 的網路架構而能較容易地達成系統功能的增刪修改，而整合 XML 技術則等於為系統加入了與外界溝通的共同語言，在資料存取與交換上易於和其它系統或模組整合。此外，以 XML 設計的耐震評估表在外觀上遵循目前專家所提出的耐震評估表格式，在內容上則跳脫出制式的規格，未來要增刪參數內容毋須做大幅調整。且系統的運作邏輯不包含在構成系統本身的程式碼中，而是定義在法則裡，可以透過法則管理子系統不斷地新增，擴充容易；各項參數權重及其細項配分均定義在法則中，更動亦很容易。

本研究從新匯整中小學學校建築耐震評估的參數項目，提出將分析層級程序法應用至參數權重的分析上，使權重的產生具有數學方法和理論根據支持，而所得到的初步結果也可供各界參考。

本研究將專家系統進行推理所需要的資料全部以 XML 格式定義，並以 XML 文件儲存，知識庫的內容與代表意義透過 XML 的自我描述特性而一目了然。另外，XML 標準在各界的普遍應用也使系統知識庫能夠容易與其它知識來源整合。因

此，知識庫以 XML 標準定義，對系統內外皆是提供了一個整合與共享的介面。

本研究所發展的系統在整體架構上已完成，惟知識庫的內容上目前仍在充實階段，因此本研究所設計、定義的網頁介面，多為領域專家和知識工程師使用的管理介面。也因此目前本研究的重心較偏在「以資訊技術來保有系統的彈性」，很多與耐震初步評估相關且尚未有定論的議題都可以藉由本系統提供的彈性來測試、探討在不同狀況下所產生的影響。待專家認可系統已達到能夠服務一般使用者時，即可逐步調降系統彈性，成為正式上線的系統。

五、參考文獻

- [1] Martin, D., M. Birbeck, M. Kay, B. Loesgen, J. Pinnock, S. Livingstone, P. Stark, K. Williams, R. Anderson, S. Mohr, D. Baliles, B. Peat, and N. Ozu. *Professional XML*, Wrox Press Inc., Chicago, 2000.
- [2] 蔡益超、陳清泉，「國立台灣大學校舍建築結構安全評估系統研究—第二年第一次期中報告」，財團法人臺灣營建研究院研究報告，台北，1999。
- [3] 許茂雄等，「教育部國民中小學校園建築安全總體檢初步評估表」，教育部，台北，2000。
- [4] 張嘉祥、呂國維，「中小學校舍耐震評估與補強—學校建築常見之結構系統型態」，國家地震工程研究中心研究報告，台北，2000。
- [5] Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hall, Inc., New York, U.S.A., 1980.
- [6] Saaty, T. L., and L. G. Vargas. *The Logic of Priorities*, Kluwer Nijhoff Publishing, 1982.
- [7] Fowler, M., and K. Scott, *UML Distilled*, 2nd Edition, Addison Wesley, Boston, 2000.
- [8] Giarratano, J., and G. Riley. *Expert Systems: Principles and Programming*, 3rd Edition, PWS Publishing Company, Boston, MA, 1998.