

專家系統在大地工程上的應用

**THE APPLICATION OF  
THE EXPERT SYSTEM IN  
GEOTECHNICAL ENGINEERING**

秦中天，徐中銘，梁龍書，謝旭昇  
C. T. Chin, C. M. Hsu, L. S. Liang, H. S. Hsieh

原著載於第三屆大地工程學術研究討論會論文集，  
1989年 5月， 1 - 6頁

*Reprinted from Proceedings,  
The 3rd Conference on Current Researches  
in Geotechnical Engineering in Taiwan,  
CICHE, Kenting,  
May 1989,  
pp. 1-6*

## 專家系統在大地工程上的應用

秦中天 徐中銘 梁龍書 謝旭昇

亞新工程顧問公司

### 摘 要

專家系統是人工智慧的領域中一項重要的發展。由於大地工程經常遇到不完整、不精確的問題，而決策過程中經驗與判斷更是扮演著關鍵性的角色，因此使得大地工程成為極適合發展專家系統的一個領域。本文介紹了國外一些已經發展完成的地工專家系統，並且討論了發展專家系統的工具，尤其強調發展應用於大地工程的專家系統，必須特別注意計算的能力，資料庫的功能以及與繪圖程式的結合。最後，並提出幾個目前值得在國內發展專家系統的題目。

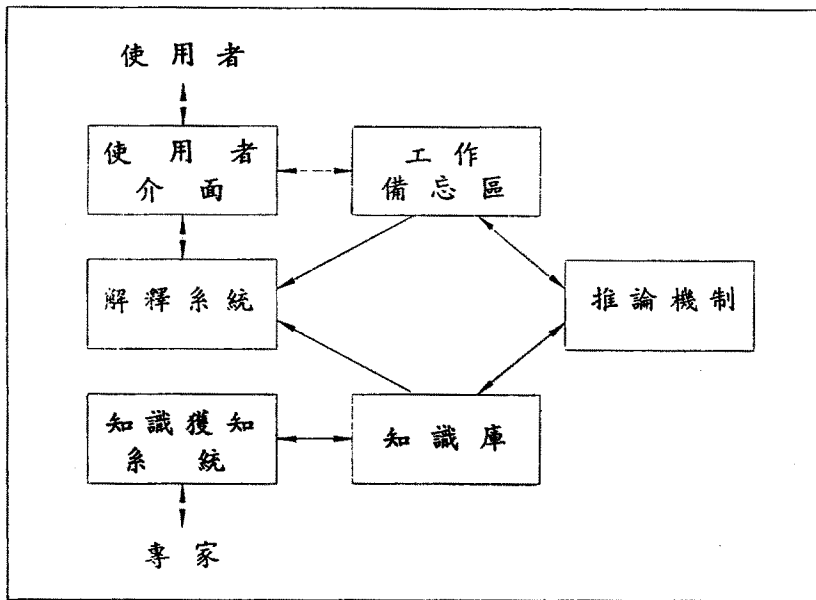
### 一 前 言

專家系統 (Expert System) 是人工智慧 (Artificial Intelligence) 的領域中一項重要的發展。人工智慧的定義，目前尚無定論。簡單的說，人工智慧的研究是使電腦具備一些人類處理事情所使用到歸納、分析等能力，而能做智慧性思考的工作。早期人工智慧的研究是希望能建立一些方法以解決各種不同類型的問題，但後來領悟到這種一般性問題的解決，太過複雜而很難做到。因此，將研究的範疇縮小於專門領域問題的解決，也終於發展出一些具有實用價值的專家系統。

專家系統基本上是一套電腦程式，運用一個專門領域的知識，並以推論的過程來解決這個領域內一些特定的問題。綜合各種意見，專家系統大致具有下列幾個特色 (Maher, 1987)：

- (a) 在專家系統中專業領域的知識 (Domain Knowledge) 和程式控制的知識 (Control Knowledge) 是分開的。換言之，“那些是用來解決問題的知識”和“如何運用知識去解決問題”是截然不同的兩件事。
- (b) 在專家系統裏用來解決問題的專業領域中的知識大部份是能以符號 (含文字) 的方式表示出來，而不是以數字為主。
- (c) 在專家系統裏這些專業領域中的知識往往是專家們從實做中得到的經驗和判斷，而並非全是能用理論證明的。
- (d) 專家系統大部份都具有能夠處理定義不完整和不精確知識的能力。

專家系統的架構以及運作的方式大致可以用圖一來表示。圖一中各部份的功能，茲分別說明如下 (Maher, 1987)：



圖一 專家系統的架構 (摘自 Maher, 1987)

- (a)知識庫 ( Knowledge Base ) : 專家系統的知識庫中包含有用來解答問題的事實, 經驗法則 ( Heuristics) 和推論的規則 ( Rule ) 。
- (b)工作備忘區 ( Context ) : 專家系統中這個部份存放了目前所要解決的問題中相關的資料。最初這部份只包括界定問題的一些參數, 隨著推理地進行, 過程中各階段的結果也被記錄下來。
- (c)推論機制 ( Inference Mechanism ): 推論機制的功能在運用知識庫裏的知識去修改並增加工作備忘區的資料, 再根據新的訊息去繼續推理, 直到問題解決或無法再進一步的推論為止。
- (d)解釋系統 ( Explanation Facility ) : 這部份不僅記錄了整個推理的過程, 並且能回答有關推論過程中的任何疑問。
- (e)知識獲取系統 ( Knowledge Acquisition Facility ) : 這個系統是將專家的專業知識轉換成電腦可以處理的知識並存放入知識庫中。
- (f)使用者介面 ( User Interface ) : 使用者可利用這個界面以功能選擇或問答的方式來使用專家系統。

專家系統基本上可以分為歸納和分析兩大類, 就其應用的形式來說, 則包括了解釋、預測、診斷、設計、籌劃、監督、偵錯、修護、指導、控制等功能 ( Waterman, 1986 )。因此, 專家系統也已經被成功的運用在醫學、化學、地質、電腦系統等各個領域 ( Winston, 1984

)。近年來在土木工程的应用上，也日漸受到重視。以下各節則就專家系統在大地工程上的應用加以討論。

### 二、專家系統對大地工程的適用性

在一般大地工程的工作中，調查、實驗、分析都分別提供了一部份的資訊，然而在做決定的過程中，經驗和判斷卻往往扮演著關鍵的角色。大地工程的這項特質在Tomlinson(1969)引用Peck的一段話中被很清楚的表現出來(Santamarina and Chameau, 1987)：Peck認為一般大地工程師在計算承载力，估計邊坡的安全係數等工作，無非只是利用土壤力學的架構將經驗組織起來。如果實驗和理論所得到的結果，與過去的經驗有很大的差距，這些分析的結果還是不會在實際的工作中被接受。這段話說明了經驗和判斷對大地工程的重要性，也顯現出大地工程是一個極適合於發展專家系統的領域。對於大地工程的問題，專家系統之所以於傳統電腦程式可以更具體的以下列兩項特質加以說明(Siller, 1988)：

(a)在許多大地工程的設計和分析的過程中，經常是有經驗和判斷介入，而這些經驗與判斷是很難以公式的形態表達出來，也是傳統的電腦程式所無法克服的困難。但這些經驗和判斷，在專家系統中都能被轉換納入知識庫中而成為一些可以被處理的法則。

(b)大地工程師經常面對一些定義不完整的問題。土壤的許多工程性質不僅很難被準確的量測，並且有很大的變異性，因此大地工程的問題在處理上會比其他一些定義完整，材料性質能被較精確定義的問題困難許多。但專家系統則較傳統電腦程式更能有效的處理這些定義不完整的問題和考慮不精確的因素。

基於以上的考慮，已經有許多研究工作開始進行，企圖將許多專家的經驗和知識記錄起來，並且轉換成專家系統中的一些規則，不僅使這些寶貴的經驗得以保存起來供他人使用，同時更可以有系統的考慮一個特殊問題各個相關的因素。因此，可以預期的是當這些專家系統完成以後會對大地工程界作業的方式造成巨大的衝擊。很遺憾的是，目前專家系統的發展還沒有引起大地工程界廣泛的重視。因此，本文將先介紹一些已經發展出來地工方面的專家系統，再探討發展地工專家系統一些相關的問題。

### 三、地工專家系統舉例

目前應用於大地工程的專家系統依功能大致可以分為分類、選擇以及規畫等三類，分別舉例說明如下：

(a)分類型專家系統：“CONE”是一個以OPS-5 語言寫成的專家系統(Mullarkey, 1985)，主要的用途是利用圓錐貫入試驗的結果進行土壤分類並估算土壤的強度參數。“CONE”在執行時是先收集資料，再檢核數據的正確性並進行必要的前處理，然後

再進行土壤分類和土層剖面分層的工作，最後再來推算土層的相關性質。它和一般程式最大的不同是這個程式包含了三個分類系統，而在推理過程中則分別考慮了各分類系統對試驗地區的適用性以及系統對各種土樣的準確性，並且使用者可以用試驗室數據與得到的結果做檢核，以求得一個最佳的答案，同時，相對應於這個答案的不確定程度可用一個數值明確的表示出來。

此外，在工址調查時經常發現某一個土層在一個地區中的某些鑽孔中出現，但卻未在另一些鑽孔中鑽到，因此造成工程師分層次的困擾。這種分層的問題，也可以運用專家系統來解決（Rehak，1985）。

- (b)選擇型專家系統：基礎型式選擇的專家系統是目前應用在大地工程上較多的一種。“PILE”是用LISP語言寫成幫助使用者來選擇基樁的種類（Santamarina and Chameau，1987）。“PILE”所引用的知識庫，不僅來自發展系統的作者本身，還包括了許多不在發展程式而是基樁方面的專家（如普渡大學的Leonard）。“PILE”有幾項特色是一般程式不容易都做到的。“PILE”能推估所推薦基樁種類不確定的程度，處理相互衝突的條件，提供做成決定的理由，同時可以考慮相當複雜的土層狀況（化學環境、地下水、軟弱夾層、不規則層次等問題）。此外，如RETWALL是以一種稱為空殼（Shell）的專家系統建構工具所發展出來做為選擇擋土結構的系統（Hutchinson，1985），它和後續的程式相銜接，可以連設計的工作一起完成。
- (c)規畫型專家系統：“SOILCON”是利用M.1專家系統空殼所發展出來的系統（Wharry and Ashley，1986）。“SOILCON”根據結構物的特性以及已有的土層資料，來規畫需要進行的工址調查。這個系統包含了24種進行工址調查技術的各項特質，這些技術包含了最簡單的地形圖查閱，一直到複雜的現場試驗。但是，這個系統目前對於數量的處理仍有缺陷；例如，對於基礎形狀的考慮，它只能輸入深基礎或是淺基礎，而無法做定量的描述。

#### 四 發展專家系統的工具

基本上，傳統的程式語言如FORTRAN或PASCAL也可以被用來發展專家系統，但是這些語言不適於做大量的符號處理。因此，一般發展專家系統所使用的都是適於符號處理的LISP或PROLOG。即使如此，如果每次都由這些語言所提供的基本結構來發展各別的專家系統也相當複雜，於是在發展專家系統的過程中，為了因應需要，也發展了些可簡化建立專家系統過程的工具。這類工具提供了知識表示法和推理機能，因此，建構專家系統的知識工程師便不須費神在這些事情上，而能專心地蒐集和輸入知識。這類工具，就是一般所稱發展專家系統的“空殼”（Shell）。目前，已有許多從電腦主機到個人電腦上使用的空殼被發展完成而到達商用

的階段。雖然，空殼是一個價格較低容易使用的工具，但發展專家系統的工程師通常無法視系統的需要去修改空殼本身控制的結構和推理的方法。因此，在融合了許多人工智慧的方法與技巧之後，有了知識工程程式發展環境 ( Knowledge Engineering Programming Enviroment ) 的產生，不但消除了上述許多空殼的限制，還提供了多種知識表示法和推理方式。這類的工具成本較高，發展的工程師也必須具備相當的寫程式的專業技能。

從上節現有地工專家系統的舉例中來看，選用那一種工具來發展專家系統並無定論，必須視系統的需求而定。此外，應當考慮的是發展系統的工程師本身程式設計的能力。對於特定的小問題 ( 例如，根據現場研判做土壤、岩石的分類 )，不需要長時間的訓練，大地工程師也可利用現有的空殼發展出一套分類用的專家系統。但是對於較為複雜的問題 ( 例如使用工地所有鑽孔及實驗資料，得到土壤的分層甚至簡化土層參數表 )，則可能需要用到較複雜的工具甚至最基本的語言來發展。總結來說，雖然目前市場上已經有許多可供選擇建構專家系統的工具，但是對大地工程師發展地工專家系統而言，應該特別注意到大地工程的特性，而加強下列三項功能：

- (1) 具備相當的計算能力。
- (2) 必需能與處理大量資料的資料庫互通。
- (3) 能與繪圖程式相結合。

## 五 結 論

由於大地工程的工作中，經常遇到不完整及不精確的問題，而在決策的過程中，判斷與經驗更扮演了關鍵性的角色，因此，使得大地工程成為一個很值得發展專家系統的領域。國外地工界已得到一些令人鼓舞的結果，然而，還有許多大地工程適合發展專家系統的問題猶待開發，例如：土壤改良方法的選擇及設計，地質調查的規畫，安全監測系統的規畫都是很值得國內地工界努力研究的課題。這些系統的開發，不僅有助於解決目前的問題，更可以將地工界作業的方式提昇到一個新的境界。

## 參 考 文 獻

1. Hutchinson, P.J. (1985), "An Expert System for the Selection of Earth Retaining Structure," Master Thesis, Univ. of Sydney, Australia.
2. Maher, M.L. (1987), "Expert System Components" Chap. 1 of Expert Systems for Civil Engineers, Ed. by Maher, M.L., ASCE, pp.3-13.
3. Mullarkey, P.W. (1987), "CONE-An Expert System for Interpretation of Geotechnical Characterization Data from Cone Penetrometers," Ph.D.

Thesis, Carneigie-Mellon Univ., Pennsylvania.

4. Rehak, D.R. (1985), "An Electronic Workbench for Geotechnical Site Characterization," Proc. of the 4th Int'l. Offshore Mech. and Arctic Engrg. Symposium, Texas, pp.570-576.
5. Santamarina, J.C. and Chameau, J.L. (1987), "Expert Systems for Geotechnical Engineers," Journal of Computing in Civil Engrg., ASCE, Vol. 1, No. 4, pp.241-252.
6. Siller, T.J. (1987), "Expert Systems in Geotechnical Engineering," Chap. 5 of Expert Systems for Civil Engineers, Ed. by Maher, M.L., ASCE, PP. 77-84.
7. Tomlinson, M.J. (1969), Foundation Design and Construction, Pitman, London.
8. Wharry, M.B. and Ashley, D.B. (1986), "Resolving Subsurface Risk in Construction Using An Expert System," Technical Report UTCEPM-86-1, Univ. of Texas at Austin.
9. Waterman, D. (1986), A guide to Expert systems, Addison-Wesley, Massachusetts.
10. Winston, P.H. (1984), "Artificial Intelligence," 2nd Ed., Addison-Wesley, Massachusetts.