

類神經網路在大地工程之應用：1991-2001

葉怡成*

摘要

第一篇類神經網路在大地工程方面之應用的期刊論文發表於 1991 年。本文旨在回顧這十年來國內外的文獻，分成(1)期刊論文(2)學位論文(3)專題研究等三大部份，以探討其演進與趨勢，作為工程界應用與學術界研究之參考。文獻調查結果顯示，有六個重要的研究領域：(1)土壤與岩體分類 (2)土壤行為模型建構 (3)岩石行為模型建構 (4)地盤調查與現地試驗 (5)開挖擋土基樁工程 (6)土壤液化潛能評估。在研究方法上仍以傳遞網路為主，不過這種現象近年來已有改變，許多新的網路模式被應用，或者結合模糊邏輯(fuzzy logic)。

一、前言

現今電腦雖然善長執行高速的複雜計算，而且所得結果具有高度精準性與可靠性，但還是有許多工作人腦做得比電腦強很多，例如手寫文字識別、使用音無關語音識別、醫師判讀 X 光片以診斷疾病。這些工作對一部電腦來說，可就難了。更進一步來說，一個三歲孩童不需特別教導也可輕易辨別他認識的熟人的臉孔，甚至一隻狗也可得到這點，因此可以說「生物腦」有很強的辨識能力。生物腦尚有一個比辨識能力更重要的能力-學習能力，這是自然界高等動物賴以生存與適應環境的要素。舉例來說，一個五歲孩童不用上學校也能具備聽與說的能力，然而現今電腦卻很難達到。因此現今電腦的能力在某些方面真得遠遠於人腦，或者更廣義來說，遠遠於「生物腦」。從一個較嚴苛的角度來看，現今電腦差不多只是一種超級計算器，與生物腦幾乎沒什麼關連，難怪電腦在英文中叫「計算機」(computer)，而不稱為「電子腦」(electric brain)(葉 2000)。

生物腦是由巨量的神經細胞所組成，形成一個高度連結網狀的神經網路 (neural network)，人腦的資訊處理工作即透過這些連結來完成。對人腦而言據估計約有 10^{11} ，即 1000 億個神經細胞，每個神經細胞約有 1000 根連結與其他神經細胞相連，因此人腦中約有 10^{14} ，即 100 萬億根連結，這與當今最具威力的電腦相較實是遙遙領先(葉 2000)。

類神經網路 (artificial neural network)，或譯為人工神經網路，則是指模仿生物神經網路的資訊處理系統。類神經網路較精確的定義為：「類神經網路是一種計算系統，包括軟體與硬體，它使用大量簡單的相連人工神經元來模仿生物神經網路的能力。人工神經元是生物神經元的簡單模擬，它從外界環境或者其它人工神經元取得資訊，並加以非常簡單的運算，並輸出其結果到外界環境或者其它人工神經元。」(葉 2000)

類神經網路在工程上的主要用途有二：

1. 函數映射問題(function mapping) 利用收集的數據建立輸入變數與輸出變數間的關係，其用途與迴歸分析十分相似。
2. 分類問題(classification) 利用收集的數據建立輸入變數與分類間的關係，其用途與區別分析十分相似。

類神經網路與傳統的統計建模方法相較之下的優勢有二：

1. 非線性：類神經網路本質上即一個非線性模型，具有表達高度非線性的能力。
2. 自適應：傳統的統計建模方法須先假設一個特定的模型，但實務上很難去假設這樣的模型。類神經網路不需假設特定的模型，而是在建模過程中自動產生合適的模型。

由於在大地工程領域，許多模型均具有高度的非線性，例如土壤行為模型建構，因此有很大的發展空間。

地工技術

應用類神經網路解決工程問題的過程可分成八個階段(梁 2000):

- 1.類神經網路評估: 評估問題是否適合用類神經網路解決。
- 2.類神經網路規劃: 選擇適合的類神經網路模式。
- 3.類神經網路分析: 分析問題的範例變數、範例收集、範例表現、範例處理。
- 4.類神經網路設計: 設計網路架構與網路動態。
- 5.類神經網路建構: 選擇適當的軟體與硬體建構類神經網路模型。
- 6.類神經網路測試: 測試類神經網路模型的準確度。
- 7.類神經網路整合: 依實際需要配合其它系統整合成完整的解決問題系統。
- 8.類神經網路維護: 當環境變更時, 類神經網路可能需重新訓練或更改網路架構, 以適應環境的變遷。

類神經網路的技術可參考文獻(梁 2000)與(梁 2002), 在此不加贅述。實際應用類神經網路解決問題的第一件工作為評估問題是否適合用類神經網路解決。類神經網路雖然有其優點, 但並非萬靈丹, 必須先作好評估再投入人力物力, 否則將不合乎經濟原則。一般可先考慮以下五個問題, 如果經過審慎評估後, 這五個問題的答案均為「是」, 則問題應十分適合用類神經網路解決:

- 1.問題領域中的輸入變數與輸出變數間是否確實有某種關連?
- 2.問題是否使用傳統技術(如統計技術)無法滿足需求?
- 3.問題是否曾有相似問題用類神經網路成功解決的實例?
- 4.問題是否有足夠的範例可供網路訓練之用?
- 5.問題的尺寸用現有的軟硬體設備是否能勝任?

第一篇類神經網路在大地工程方面之應用的期刊論文發表於1991年。近十年來(1991-2001)這方面之研究與應用發展得十分快速(馮2000, Adeli 2001)。本文旨在回顧這十年來國內外的文獻, 分成(1)研究論文(2)學位論文(3)專題研究等三大部份, 以探討其演進與趨勢, 作為工程界應用與學術界研究之參考。

三、研究方法

本文回顧這十年來國內外的文獻, 分成(1)期刊論文(2)學位論文(3)專題研究等三大部份, 其調查方法如下:

3.1 期刊論文

國外部分有四個來源:

(1)美國土木工程學會(ASCE)網站(www.asce.org)的CE Database, 檢索的關鍵字為neural(在Full Text欄位), 年代範圍從1991-2001, 再以人工方式篩選出與大地工程有關者。

(2)SCI科學參考索引, 檢索的關鍵字為neural + (soill or rock or geotechnical), 年代範圍從1991-2001, 再以人工方式篩選出與大地工程有關者。

(3)EI工程索引, 檢索的關鍵字為neural + (soill or rock or geotechnical), 年代範圍從1991-2001, 再以人工方式篩選出與大地工程有關者。

(4)其他過去十年來(1991-2001)作者平時收集之期刊論文。

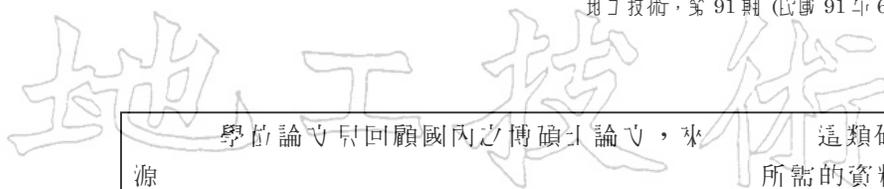
國內部分有三個來源:

(1)中華民國期刊論文索引系統, 檢索的關鍵字為神經網路, 年代範圍從1991-2001, 再以人工方式篩選出與大地工程有關者。

(2)全國科技資訊網路, 檢索的關鍵字為神經網路, 年代範圍從1991-2001, 再以人工方式篩選出與大地工程有關者。

(3)其他過去十年來(1991-2001)作者平時收集之期刊論文。

3.2 學位論文



學位論文只回顧國內之博碩士論文，來源為全國博碩士論文摘要檢索系統，檢索的關鍵字為神經網路(論文名稱)與土木工程(系所名稱)，年代範圍從1991-2001，再以人工方式篩選出與大地工程有關者。

3.3 專題研究

專題研究只回顧國內國科會專題研究計畫，來源為國科會網站(www.nsc.gov.tw) 專題研究計畫查詢系統，採綜合查詢，古學門分類查詢之工程技術類選土木水利工程，計畫名稱查詢的關鍵字為神經網路，年代範圍從1991-2001，再以人工方式篩選出與大地工程有關者。

古完成上述基本檢索後，再利用檢索所得的研究者姓名進行檢索，以找出古用關鍵字查詢時的遺珠之憾。

四、研究結果

查詢之結果總結在表一至表四之中

表一：1991-2001國外期刊論文中使用類神經網路於大地工程者。

表二：1991-2001國內期刊論文中使用類神經網路於大地工程者。

表三：1991-2001國內博碩士論文中使用類神經網路於大地工程者。

表四：1991-2001國科會專題計畫中使用類神經網路於大地工程者。

接著依三個方面來探討

一、應用領域之分析

取得表一至表四之文獻全文或摘要後，按應用領域之不同統計分析如表五。總結有六個重要的研究領域：

1.土壤與岩體分類

這類研究屬分類型問題，由於土壤與岩體的分類準則常常具有非線性，使得類神經網路可以發揮所長。

2.土壤行為模型建構

這類研究常以實驗室的數據作為建構模型所需的資料來源。這類研究大多數屬函數映射問題，古用途上與迴歸分析十分相似。但由於土壤行為常含有複雜的非線性成份，使得類神經網路可以發揮所長，故這類研究佔26%，是最熱門的研究主題。

3.岩石行為模型建構

這類研究與前一類相似，只不過是用古岩石行為。雖然國外已有不少研究，但國內這方面的研究還很少。

4.地盤調查現地試驗

這類研究常以各種檢測設備所擷取的數據作為建構模型所需的輸入變數，以鑽探資料作為建構模型所需的輸出變數，其目的古於建立這二種變數間的關係，以便將來可用檢測設備所擷取的數據輸入所建構的模型，由模型推估欲得的輸出變數，以省去鑽探的不便與成本。

5.開挖擋土基樁工程

這類研究包括：預力樁施工時破損原因的診斷，潛盾施工的控制，隧道施工時沉陷量的預測，深開挖時擋土牆變形量的預測，基樁承載力的評估等。這方面的研究雖然不多，但因為具有廣泛的應用價值，應是未來的研究重點之一。

6.土壤液化潛能評估

這類研究常以實際的案例作為建構模型所需的數據來源，但受限於案例取得不易使得研究成果受到限制。這類研究常以現地試驗作為模型的輸入變數。古國內，這方面的研究是同類研究中最熱門的主題。

二、方法技術之分析

取得表一至表四之文獻全文或摘要後，按方法技術之不同統計分析如表六。由表可知古方法上少有創新，仍以倒傳遞網路(梁 2000,梁 2002)為主。不過這種現象近年來已有改變，許多新的網路模式被應用(例如表一之文獻編號30,31,35,48,表四之文獻編號67)，或古結合模糊邏輯(fuzzy logic) (例如表一之文獻編號41,表四之文獻編號69)。

此外，比較表二至表四可以發現，雖然國內博碩論文與國科會的專題研究計畫均有應用類神經網路於大地工程的貢獻，但在期刊論文上還是十分少見。但仔細分析表一中的貢獻卻可發現很多國內學習的著作，顯示國內外學術界對這

方面研究的接受度仍有一段相當大的差距。

最後，本文也期望能對應用類神經網路於大地工程學的發表數量與年代作一統計分析，以探討其演進與趨勢，作為學術界研究之參考。但由於應用類神經網路於大地工程學的發表論文並不是很多，勉強加以統計可能缺乏統計上的意義。因此改以範圍較為廣泛的應用類神經網路於土木工程的發表數量與年代作一統計分析，查詢之成果總結在二個表(表七、表八)之中，並繪成圖一與圖二。由圖可知，無論國內外，在過去十年內雖有波折，但整體而言，仍然有相當大的成長。

二、結論

表一 1991-2001 國外期刊論文中使用類神經網路於大地工程者

作者	年代	標題	出處	卷號	頁次	編號
Carr, J. R., Hibbard, M. J.	1991	Open-ended mineralogical/textural rock classification	Computers & Geosciences	17(10)	1409-1463	1
Zhang, Oing Song, Jiarong Nie, Xiaoyan	1991	Application of neural network models to rock mechanics and rock engineering	International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts	28(6)	535-540	2
Yeh, Yi-Cherng Kuo, Yau-Hwaug Hsu, Deh-Shiu	1993	Building KBES for diagnosing PC pile with artificial neural network	Journal of Computing in Civil Engineering	7(1)	71-93	3
Goh, A. T. C.	1994	Seismic liquefaction potential assessed by neural networks	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	120(9)	1467-1480	4
Goh, A. T. C.	1994	Nonlinear modeling in geotechnical engineering using neural networks	Transactions of the Institution of Engineers, Australia: Civil Engineering	36(4)	293-297	5
Millar, D. L. Hudson, J. A.	1994	Performance monitoring of rock engineering systems using neural networks	Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy, Section A: Mining Industry	103	A3-A16	6
Goh, A. T. C.	1995	Modeling soil correlations using neural networks	Journal of Computing in Civil Engineering	9(4)	275-278	7
Cal, Y.	1995	Soil classification by neural network	Advances in Engineering Software	22(2)	95	8
Feng, Xiating	1995	Neural network approach to	International Journal of	9(2)	57-62	9

回顧這十年來國內外的文獻後，得以下結論作為工程界應用與學術界研究之參考：

類神經網路在資訊科學界是興起於1986年，土木 engineering 則以1992年展開了爆炸式的成長。經過十年，國內外大地工程界在這個領域已發表了不少篇的期刊論文。成長趨勢雖在中間有所減緩，但近年來仍有增加的趨勢。

類神經網路在大地工程上的應用領域逐年擴大，但仍然有再開發的空間，特別是在基礎工程方面。

參考文獻

- 梁怡成 (2002), 類神經網路 - 模式應用與寫作, 第七版, 儒林圖書公司。
- 梁怡成 (2000), 應用類神經網路, 第三版, 儒林圖書公司。
- 馮復庭 (2000), 智能岩石力學導論, 科學出版社。
- Adeli, H. (2001), "Neural Networks in Civil Engineering: 1989-2000", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 16(2), 126-142.

作者	年代	標 題	出 處	卷號	頁次	編號
		comprehensive classification of rock stability, blastability and drillability	Surface Mining, Reclamation and Environment			
Ellis, G. W. Yao, C., Zhao, R. Penumadu, D.	1995	Stress-strain modeling of sands using artificial neural networks	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	121(5)	429-435	10
Williams, T. P. Gucunski, N.	1995	Neural networks for backcalculation of moduli from SASW test	Journal of Computing in Civil Engineering	9(1)	1-8	11
Goh, A. T. C.	1996	Neural network modeling of CPT seismic liquefaction data	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	122(1)	70-73	12
Attoh-Okine, N. O. Fekpe, E. S. K.	1996	Strength characteristics modeling of lateritic soils using adaptive neural networks	Construction and Building Materials	10(8)	577-582	13
Huang, Zehui Williamson, M. A.	1996	Artificial neural network modeling as an aid to source rock characterization	Marine and Petroleum Geology	13(2)	277-290	14
Najjar, Yacoub M. Basheer, Imad A. McReynolds, R.	1996	Neural modeling of Kansas soil swelling	Transportation Research Record	1526	14-19	15
Pezeshk, S., Camp, C. V. Karprapu, S.	1996	Geophysical log interpretation using neural network	Journal of Computing in Civil Engineering	10(2)	136-142	16
Boadu, F. K.	1997	Rock properties and seismic attenuation: neural network analysis	Pure and Applied Geophysics	149(3)	507	17
The, C. I., Wong, K. S. Goh, A. T. C., Jaritngam, S.	1997	Prediction of pile capacity using neural networks	Journal of Computing in Civil Engineering	11(2)	129-138	18
Sabburg, J., Ball, J. A. R. Hancock, N. H.	1997	Dielectric behavior of moist swelling clay soils at microwave frequencies	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	35(3)	784-787	19
Yang, Y., Zhang, Q.	1997	Hierarchical analysis for rock engineering using artificial neural networks	Rock Mechanics and Rock Engineering	30(4)	207-222	20
Yeh, I-Cheng	1997	Application of neural networks to automatic soil pressure balance control for shield tunneling	Automation in Construction	5(5)	421-426	21
Abu Kiefa, M. A.	1998	General regression neural networks for driven piles in cohesionless soils	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	124 (12)	1177-118 5	22
Ali, Hossam Eldin Najjar, Yacoub M.	1998	Neuronet-based approach for assessing liquefaction potential of soils	Transportation Research Record	1633	3-8	23
Cai, J. G., Zhao, J. Hudson, J. A.	1998	Computerization of rock engineering systems using neural networks with an expert system	Rock Mechanics and Rock Engineering	31(3)	135-152	24
Huang, Yi Wanstedt, Stefan	1998	Introduction of neural network system and its applications in rock engineering	Engineering Geology	49 (3-4)	253-260	25
Kou, Shao-Quan, Huang, Yi Tan, Xiang-Chun Lindqvist, Per-Arne	1998	Identification of the governing parameters related to rock indentation depth by using similarity analysis	Engineering Geology	49 (3-4)	261- 269	26
Shi, Jingsheng Ortigao, J. A. R., Bai, J.	1998	Modular neural networks for predicting settlements during tunneling	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	124(5)	389-395	27
Schaap, M. G.	1998	Neural network analysis for hierarchical prediction of soil	Soil Science Society of America	62(4)	847-855	28

作者	年代	標 題	出 處	卷號	頁次	編號
		hydraulic properties				
Yang, Y. Zhang, Q.	1998	Application of neural networks to Rock Engineering Systems (RES)	International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	35(6)	727-745	29
Zhu, Jian-Hua Zaman, M. M. Anderson, Scott A.	1998	Modeling of shearing behavior of a residual soil with Recurrent Neural Network	International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics	22(8)	671-687	30
Zhu, Jian-Hua., Zaman, M.M., Anderson, S. A.	1998	Modeling of soil behavior with a recurrent neural network	Canadian Geotechnical Journal	35(5)	858-872	31
Altendorf, C. T. Elliott, R. L. Stevens, E. W. Stone, M. L.	1999	Development and validation of a neural network model for soil water content prediction with comparison to regression techniques	Transactions of the ASAE	41(3)	691-699	32
Juang, A. H. Chen, C. J.	1999	CPT-based liquefaction evaluation using artificial neural networks	Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering	14	221-229	33
Grima, M. A. Babuska, R.	1999	Fuzzy model for the prediction of unconfined compressive strength of rock samples	International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	36(3)	339-349	34
Katz, S. A. Vernik, L. Chilingar, G. V.	1999	Prediction of porosity and lithology in siliciclastic sedimentary rock using cascade neural assemblies	Journal of Petroleum Science & Engineering	22 (1-3)	141-150	35
Gangopadhyay, S. Fautam, T. R., Gupta, A. D.	1999	Subsurface characterization using artificial neural network and GIS	Journal of Computing in Civil Engineering	13(3)	153-161	36
Zhang, Z. X. Kushwaha, R. L.	1999	Applications of neural networks to simulate soil-tool interaction and soil behavior	Canadian Agricultural Engineering	41(2)	119-125	37
Chang, D.-H. Islam, S.	2000	Estimation of soil physical properties using remote sensing and artificial neural network	Remote Sensing of Environment	74(3)	534-544	38
Feng, Xia-Ting Zhang, Zhiqiang Sheng, Qian	2000	Estimating mechanical rock mass parameters relating to the Three Gorges Project permanent shiplock using an intelligent displacement back analysis method	International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	37(7)	1039-1054	39
Itani, O. M. Najjar, Y. M.	2000	Three-dimensional modeling of spatial soil properties via artificial neural networks	Transportation Research Record	1709	50-59	40
Kumar, J. K. Konno, M. Yasuda, N.	2000	Subsurface soil-geology interpolation using fuzzy neural network	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	126 (7)	632-639	41
Najjar, Y. M., Basheer, I. A. Ali, H. E., McReynolds, R. L.	2000	Swelling potential of Kansas soils modeling and validation using artificial neural network reliability approach	Transportation Research Record	1736	141-147	42
Penumadu, Dayakar Zhao, Rongda Frost, David	2000	Virtual geotechnical laboratory experiments using a simulator	International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics	24(5)	439-451	43
Juang, A. H., Chen, C. J. Jiang, T.	2001	Probabilistic framework for liquefaction potential by shear wave velocity	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	127 (8)	670-678	44

作者	年代	標 題	出 處	卷號	頁次	編號
Chao, L.-C.	2001	Assessing earth-moving operation capacity by neural network-based simulation with physical factors	Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering	16(4)	287-294	45
He, H.-J., Bai, S.-W., Chen, J.	2001	Application of neural network in majorization of geotechnical engineering observation data	Rock and Soil Mechanics	22(2)	229- 232	46
Turk, G., Logar, J., Majes, B.	2001	Modeling soil behavior in uniaxial strain conditions by neural networks	Advances in Engineering Software	32 (10-11)	805-812	47
Jan, J. C., Hung, S.-L., Chi, S. Y., Chen, J. C.	2002	Neural network forecast model in deep excavation	Journal of Computing in Civil Engineering	16(1)	59-65	48
Juang, C. H., Lu, P. C., Chen, C. J.	2002	Predicting geotechnical parameters of sands from CPT measurements using neural networks	Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering	17(1)	31-42	49

表二 1991-2001 國內期刊論文中使用類神經網路於大地工程者

作者	年代	標 題	出 處	卷號	頁次	編號
林人仰	1999	類神經網路古地層岩性辨識的	石油鑽探工程	40	104-120	50
林再興、王崇興	1999	利用類神經網路估算開發礦區之油氣產量及蘊藏量之研究	石油鑽探工程	40	50-56	51
葉吉芳、張固守、梁明聰	1998	模糊可能性理論評估砂質土壤液化潛能	模糊系統學刊	4(1)	19-29	52

表三 1991-2001 國內博碩士論文中使用類神經網路於大地工程者

作者	指導教授	年代	標 題	學校	學位	編號
張朝盛	單信瑜	2001	土壤液化潛能之類神經網路分析	交通大學	碩士	53
盧瑋廷	王入雄	2000	砂質土壤液化潛能評估一模糊類神經網路	臺灣大學	碩士	54
張裕明	王入雄	2001	連續表面波試驗及電子震測錘試驗評估土壤剪力波速—倒傳遞類神經	臺灣大學	碩士	55
詒乃心	陳景心	1999	灰色理論及類神經網路應用於雲林地區地層下陷之研究	成功大學	碩士	56
張君嘉	楊朝平	1998	類神經網路於土壤性質分析之應用-臺灣地區山坡地土壤	中華大學	碩士	57
何彥德	楊朝平	1998	類神經網路於飽和砂土壓力、應變之應用	中華大學	碩士	58
楊智強	李德河	1998	類神經網路於邊坡破壞潛能分析之應用研究	成功大學	碩士	59
盧炳冠	倪勝火	1998	類神經網路於大地工程參數分析之研究	成功大學	博士	60
謝獻仁	廖志中	1997	類神經網路於落石坡危險度評估	交通大學	碩士	61
詒弘博	謝定坤	1995	專家系統與類神經網路在擋土壁工法選擇之應用	中央大學	碩士	62
吳俊彥	陳珍誠	1995	以類神經網路模式評估砂質土壤液化	臺灣大學	碩士	63
廖俊豪	葉怡成 楊朝平	1994	以類神經網路作土壤平衡式潛盾掘進開挖面穩定控制	中華大學	碩士	64
劉少林	楊朝平	1994	類神經網路在砂質岩盤壩址隔滲潛變量估算之應用	中華大學	碩士	65

表四 1991-2001 國科會專題計畫中使用類神經網路於大地工程者

作者	年代	標 題	出 處	編號
王入雄	2001	頻散曲線評估土壤剪力波速 - 類神經網路	臺灣大學土木工程學系	66
陳淑芬	2001	Fuzzy-ART 類神經網路評估土壤液化潛能	台灣海洋大學河海工程研究所	67
李永霖	2001	類神經網路古地層引致土壤液化之評估	台地管理學院營建規劃學系	68
張固守	2000	以模糊類神經網路研究不同孔隙介質下砂質土壤動力特性影響	台灣海洋大學河海工程學系	69
倪勝火	1994	以類神經網路求取土壤動態參數之應用程式之研究與發展	成功大學土木工程研究所	70

表五 應用領域之分析

分類	國外文獻*	國內文獻*	總數	百分比
土壤與岩體分類	1,8,9,20		4	5
土壤行為模型建構	7,10,13,15,19,28,30,31,32,40,42,43,44,47	57,58,60,69,70	19	26

岩石行為模型建構	2,6,14,17,24,34,35,39		8	11
地盤調查現地試驗	11,12,16,33,36,41,44,46,49	50,51,55,66	13	18
開挖擋土基礎工程	3,18,21,22,27,38,45,48	62,64,65	11	15
土壤液化潛能評估	4,12,23,33	52,53,54,63,67,68	10	14
其它	5,25,26,29,37	56,59,61	8	11

*表一至表四之文獻編號

表六 方法技術之分析

分類	數量	百分比
例傳遞網路	50	71
非例傳遞網路	20	29

表七 ASCE 出版研究論文中使用類神經網路之統計

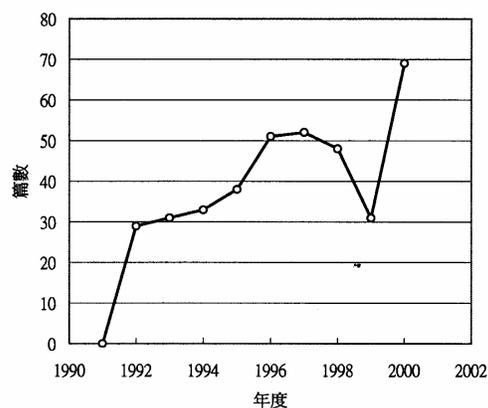
年代	篇數	累積	增加率
1991	-	0	NA
1992	29	29	NA
1993	31	60	7%
1994	33	93	6%
1995	38	131	15%
1996	51	182	34%
1997	52	234	2%
1998	48	282	-8%
1999	31	313	-35%
2000	69	382	123%

資料來源: ASCE: CE Database

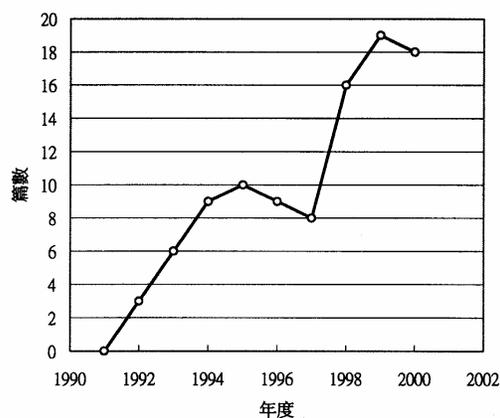
表八 全國土木工程領域博碩士論文中使用類神經網路之統計

年代	篇數	累積	增加率
1991	-	0	NA
1992	3	3	NA
1993	6	9	100%
1994	9	18	50%
1995	10	28	11%
1996	9	37	-10%
1997	8	45	-11%
1998	16	61	100%
1999	19	80	19%
2000	18	98	-5%

資料來源: 全國博碩士論文摘要檢索系統



圖一 ASCE 出版研究論文中使用類神經網路之統計



圖二 全國土木工程領域博碩士論文中使用類神經網路之統計