

深開挖施工訊息化系統

洪世勳、龔樹勇、陳錦清
中興工程顧問社大地工程研究中心

摘要

本文所介紹之深開挖施工訊息化系統，藉由擋土壁體之變形資料來作回饋分析，以最佳化方式求得符合壁體變形之土壤參數，並據此以 RIDO 程式進行後續施工之行為預測。另將以往案例資料累積為深開挖資料庫，透過類神經網路之學習與預測，達到預測後續施工所可能產生之壁體變形之目的。壁體變形的預測結果，進一步透過理論計算與經驗法檢討壁體的應力與地盤沉陷，提供施工單位作為安全評估之依據。本文並以台北地區深開挖之工程案例，來印證本系統所預測之結果和實際監測值是否相符。

關鍵字：深開挖、回饋分析、類神經網路、安全評估。

Construction Information System for Deep Excavation

Hsih-Hsun Hung, S. Y. Chi, J. C. Chern
Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC.

ABSTRACT

In this paper, the construction information system for deep excavation was developed, the lateral displacement of the retaining wall was taken into account to obtain the optimized soil parameters via back-analysis. According to the optimized soil parameters, we can predict the response of retaining system for next construction stage by RIDO program. In addition, we establish the database of the wall deflection of case histories. Through the learning and analysis processes of artificial neural network, we use the network to predict the lateral displacement of the retaining wall in the coming excavation, too. Furthermore, the stress of the retaining wall and the settlement of the ground can be predicted by theoretical calculation and empirical formula. With this prediction, the safety of the buildings adjacent to the construction site can be assessed. In the end of this paper, the case history analysis of a deep excavation site located at Taipei City was performed. From this analysis, it will prove that good agreements between the results of prediction and field measurement are obtained.

Keywords: deep excavation, back-analysis, Artificial Neural Network, safety assessment.

一、前言

都會區之深開挖工程往往因為地質之不確定性、對環境與交通造成之衝擊，及鄰房保護等因素，使工程施工顯得格外困難 [1]。因為對於施工安全與所造成之影響要求較一般工程高，故在施工中對於工程本身之掌握需藉由各方面之配合，監測分析即為目前廣被採用之方法。監測資料可充分反映施工中之不確定因素，若將該監測資料透過合理模式之處理，可進行施工中之系統行為預測，對於後續工程可提出符合安全與經濟之對策。深開挖施工訊息化系統即針對此目的而開發。

施工訊息化系統係將施工中所獲得之壁體變形

監測資料，透過力學模式最佳化反算及類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 運算等過程，求得可

反映施工狀況等不確定因素之系統參數，進而預測下一開挖階段之行為反應，並評估後續施工之安全性與經濟性。其系統發展架構與運作流程如圖1所示。

本文主要針對深開挖施工訊息化系統作一介紹，將於以下各節分別針對系統的規劃與設計、案例分析等來作討論，並於最後對於分析結果作一結論探討。

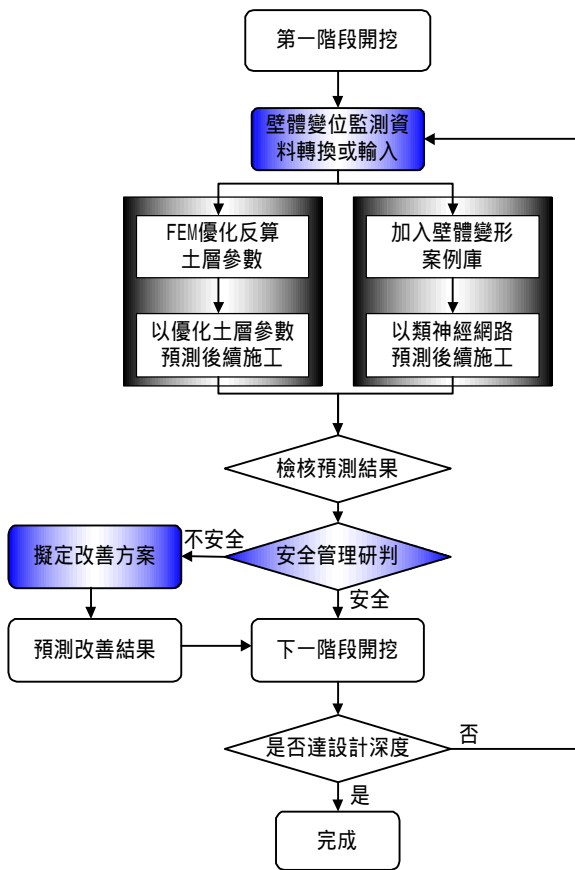


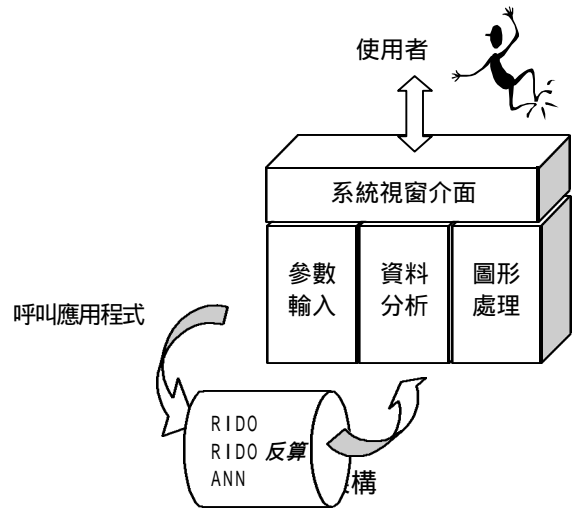
圖 1 系統發展架構與運作流程

二、系統規劃與設計

2.1 擬訂系統架構

本系統所規劃的系統架構如圖2所示，使用者的操作皆在系統視窗介面下完成，將以Visual Basic 6.0作為此介面軟體。因為RIDO為商業軟體，只有執行檔，所以系統必須以呼叫的方式來執行此程式，而RIDO反算程式本身即需呼叫RIDO程式，故系統也以呼叫的方式來執行RIDO反算程式。至於ANN則為學術軟體以C語言寫成，若要修改成Basic語言將要很長的時間也無此必要，所以系統也將採取直接呼叫較為便利。

經由系統視窗介面輸入參數成為輸入檔，並經由系統呼叫應用程式 (RIDO、RIDO反算及ANN) 執行此輸入檔後產生輸出檔，系統再讀取輸出檔的結果作資料分析及圖形的處理，此即為本系統的主要架構。



2.2 規劃系統功能

根據系統發展之目標及擬定的架構而規劃如圖3所示之功能，共分成五個主功能模組，以下針對此五個部分加以說明。

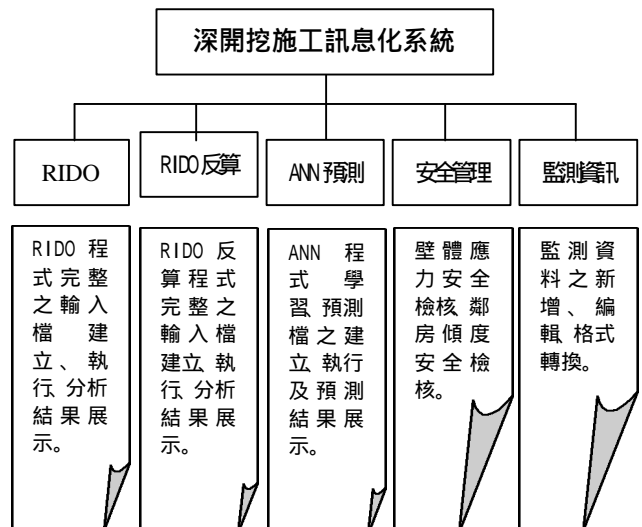


圖 3 系統主要功能

2.2.1 RIDO

本項模組的功能規劃為RIDO程式完整之前處理、執行及後處理。RIDO程式係利用彈塑性平衡 (ELASTOPLASTIC EQUILIBRIUM) 理論來模擬擋土壁體 (連續壁、鋼板樁..等) 各階段開挖時壁體所承受之彎矩、剪力及變形，並可以計算擋土支撐之荷重。

然而RIDO為DOS版本，其輸入檔、輸出檔皆為數值檔而不易閱讀，為了達成親善性的目標，因此擬設計以視窗式引導空格來建立輸入檔，而在執行完RIDO後，能夠立即地繪出「壁體深度 位移曲線」、「壁體深度 彎矩曲線」及「壁體深度 剪力曲線」，而擋土壁開挖的側視圖也隨著開挖的進行而同步顯示。該模組畫面如圖4所示。

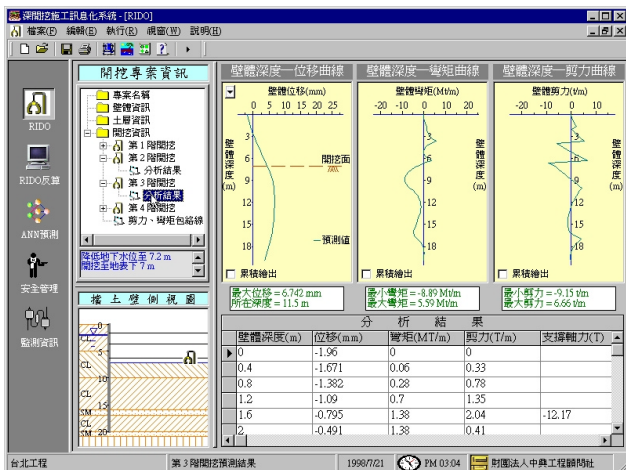


圖4 RIDO模組畫面

2.2.2 RIDO 反算

本項模組的功能規劃為RIDO反算程式完整之前處理、執行及後處理。反算在工程施工階段屬相當重要之步驟，除可評估設計參數之合理性外，更可藉由所反算之參數進行往後施工之預測。

本系統使用單純形法 [2] 及共軛梯度法對於土層參數進行最佳化，再以此最佳化後的土層參數利用RIDO程式進行反算分析，以預測下一階之開挖結果 [3]。因此基本上，此RIDO反算程式主要還是執行RIDO程式，故其輸出結果也將和RIDO程式相同。所以在此模組中，除了增加建立「土層最佳化參數檔」之外，其於各項結果的展示，規劃和「RIDO」模組相同。

2.2.3 ANN 預測

本模組的功能規劃以類神經網路的程式來預測深開挖之壁體位移。類神經網路是模仿生物神經網路的資訊處理系統，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，輸出其結果到外界環境或者其它人工神經元。

目前類神經網路有多種模式，本系統係採用在土木工程領域中最常被探討的倒傳遞類神經網路 (Back-Propagation Neural Network, BPN)，其優點為計算簡單、適用性廣和有良好容錯能力。

類神經網路於本系統主要有兩項功能，即「學習」與「預測」：

(1) 學習功能 (Learning)

學習是類神經網路的最大特徵，將輸入參數及結果置於類神經網路中學習以產生「權值」，作為預測之用。在案例學習之前，還需指定類神經網路有幾層隱藏層及各隱藏層有多少節點 (Node)，每一節點都和上一層及下一層的節點以連結 (Link) 彼此串連，由此參數經過類神經網路的學習後所得的權值即儲存在這些連結上。

本系統即將以往深開挖案例資料庫放入類神經

網路中學習，以產生權值。

(2) 預測功能 (Analysis)

本系統主要是為了預測深開挖壁體位移值。由學習功能所得到的權值及輸入參數加入類神經網路的分析後，即可預測出該階壁體位移值。

由上之說明，本模組規劃了ANN程式學習檔、預測檔之建立、執行及預測結果展示。該模組畫面如圖5所示。

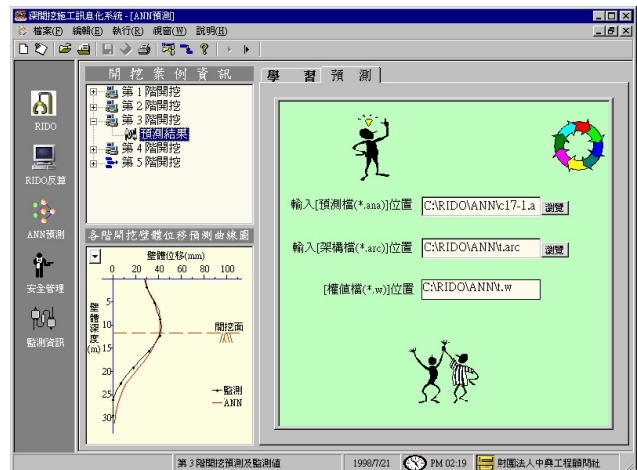


圖5 ANN預測模組畫面

2.2.4 安全管理

此「安全管理」之模組，主要之功能規劃作為基地周圍地表沉陷預測、鄰房傾度安全檢核及壁體剪力、壁體彎矩安全檢核等以作為施工之安全管理參考。

地表沉陷的預測乃根據台科大歐章煜、華夏工專謝百鈞[4,5]所提出之方法，將壁體位移曲線依沉陷型態之不同，而歸納預測地表沉陷曲線為「三角型」及「凹槽型」兩類。本文即根據所預測的沉陷曲線，分別使用「臨界張應力應變」及「建物角變量」兩法 [6,7,8,9] 來檢核鄰房傾度是否有超過安全值。而「壁體彎矩檢核」、「壁體剪力檢核」及「支撐軸力檢核」則根據RIDO程式所分析出的彎矩、剪力和軸力，以此和設計值比較，以檢核設計值是否安全。該模組畫面如圖6所示。

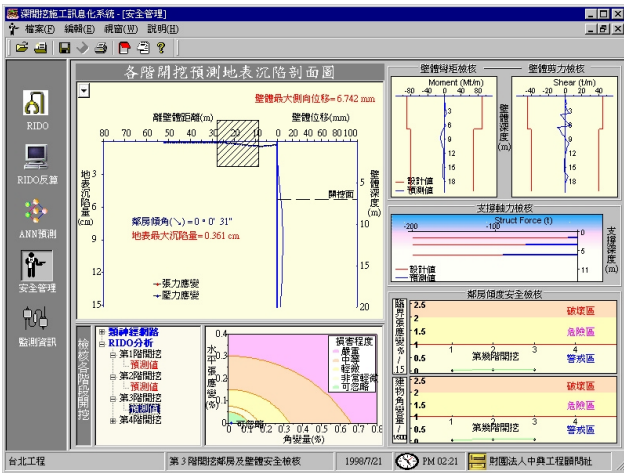


圖6 安全管理模組畫面

2.2.5 監測資訊

因為RIDO反算程式及類神經網路程式皆需要監測資料，因此本模組主要的功能即在於編輯及轉換監測資料檔的格式，並存成本系統固定的格式，以利上述兩程式輸入檔的建立。

現場監測資料檔的存檔格式因系統不同而有所差異，造成讀取檔案的困難，所以轉換成固定的格式有其必要性。而鑑於目前有許多監測檔案多存成EXCEL格式 (.xls)，因此本系統設計將EXCEL的資料以剪貼佈的方式，將於EXCEL所複製的資料貼入本系統。該模組畫面如圖7所示。

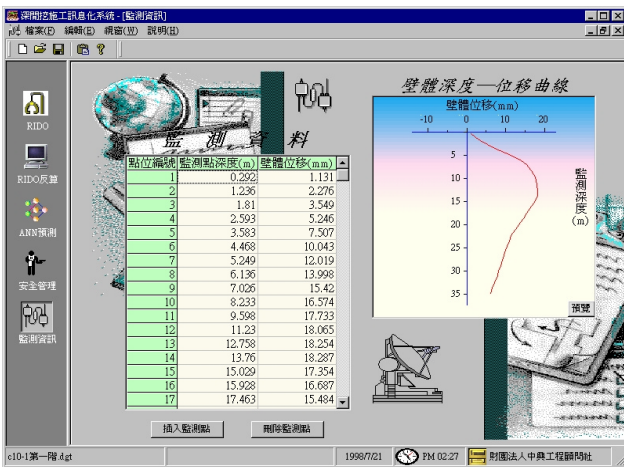


圖7 監測資訊模組畫面

2.3 系統執行流程

整個系統的執行流程如圖8所示，由系統主畫面可以直接進入各模組，而「監測資訊」模組只作為轉

換檔案格式的工具，「安全管理」模組則只有在執行完「RIDO」或「RIDO反算」或者是「ANN預測」後才能作分析。

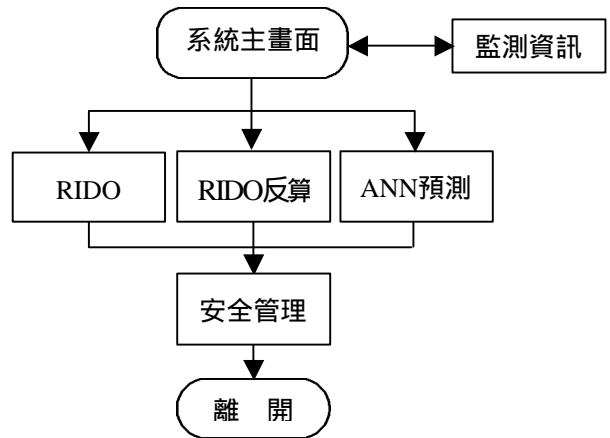


圖8 系統執行流程圖

三、案例分析

本節將以台北盆地一個開挖案例，來印證本系統的適用性。

3.1 開挖案例

基地位於台北盆地，開挖面積為 54m × 49m，共分四階開挖，總開挖深度為 9.8m。第一階開挖至 2.1m，第二階開挖至 4.3m，第三階開挖至 7m，第四階則開挖至 9.8m。共建構三層支撐，連續壁長 20m，在基地週圍佈設有沉陷計及建物傾斜計，基地內則有傾度管、鋼筋計等。其監測儀器配置圖如圖 9 所示。

此基地土層為砂土黏土互層，其簡化土層資料如下表 1 所示。

表 1 案例基地簡化土層表

深度 (m)	土層厚度 (m)	土層分類	N 值	γ (t/m^3)	C (t/m^2)	ϕ (°)	C' (t/m^2)	ϕ' (°)
16	16	CL	2	1.88	1.2	12.3		
					1.7	14.6	0.4	26.2
17	1	SM	4	1.85		26.9		
20	3	CL	2	1.85	1.8	13.8	0.3	25.5
21	1	SM	6	1.89		28.5		
26	5	CL	4	1.89	3.3			
大於 26	大於 5M	GM	50			44.5		

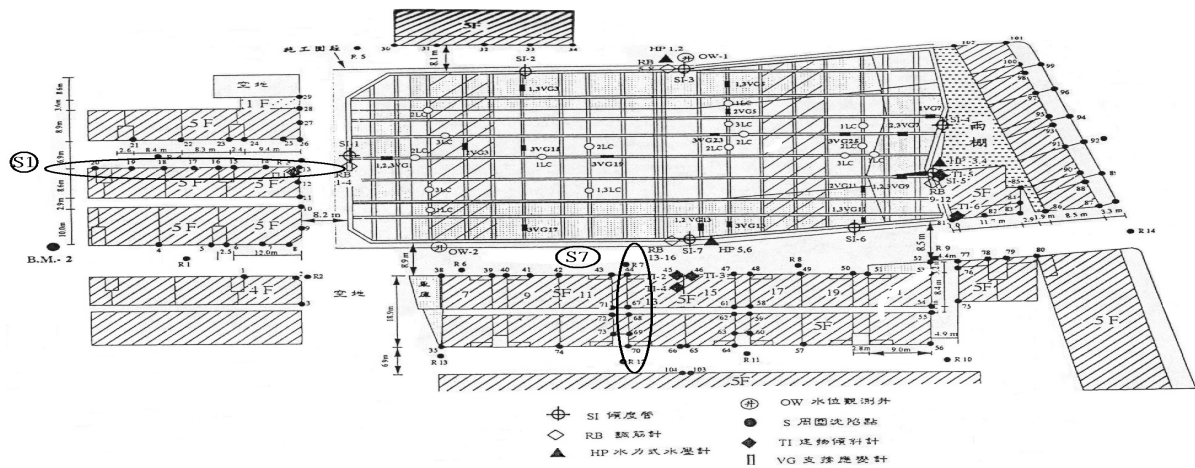


圖 9 案例基地監測儀器配置圖

而 RIDO 土層輸入參數中，水平地盤反力係數 K_h (t/m^3) 於黏土採用 $K_h=200S_u$ ，於砂土則採用 $K_h=100N$ [3]，詳細的參數值則如表 2。

表 2 RIDO 土層輸入參數

深度 (m)	(t/m^3)	K_a	K_o	K_p	v'_v (t/m^2)	S_u (t/m^2)	()	D_a	D_b	K_h (t/m^3)
5	1.88	1	0.527	1	4.2	1.74	0	0.5	-0.5	348
10	1.88	1	0.508	1	8.6	2.75	0	0.5	-0.5	466
16	1.88	1	0.508	1	13.44	4.3	0	0.5	-0.5	860
17	1.85	0.23	0.548	4	16.51	0	26.9	0	0	400
20	1.85	1	0.519	1	18.21	5.83	0	0.5	-0.5	1165
21	1.89	0.3	0.523	4.35	18.65	0	28.5	0	0	600

$K_o=1-SIN$ (Sand) $S_u/v'_v=0.32$ (NC) $=2/3$ $K_h=100N$ (Sand)
 $K_o=0.95-SIN$ (Clay) $S_u=30-0.3 v'_v$ (OC) $K_h=200S_u$ (Clay)

針對開挖基地選取兩個斷面來作分析，分別為 S1 及 S7 如圖 9 所標示。因第 1 階開挖尚無監測資料可作反算分析，所以將針對第 2~4 階的開挖來作分析

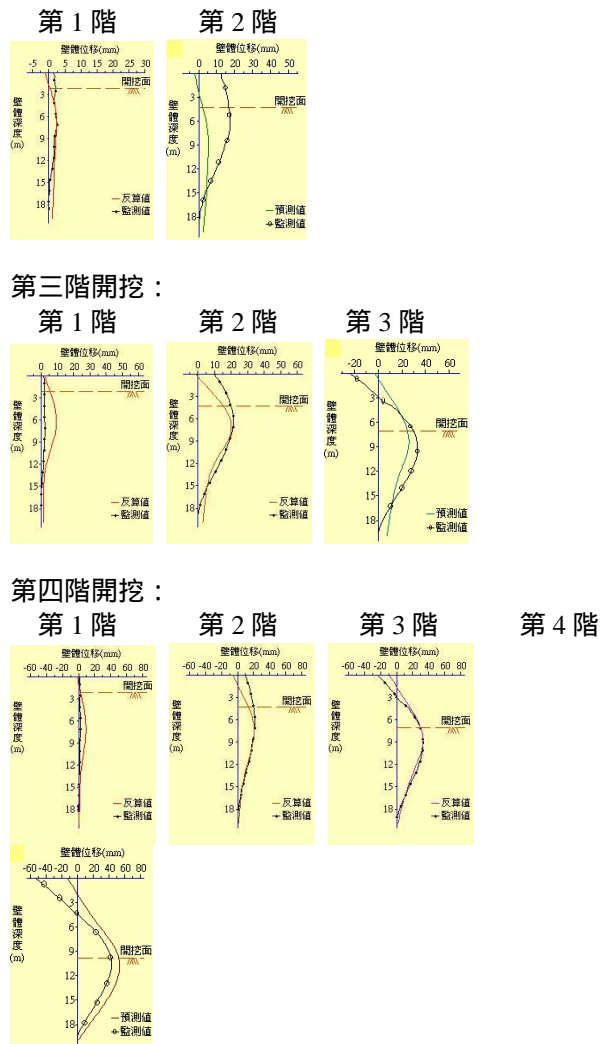
斷面 S1 :

1. 預測壁體位移 :

RIDO 反算分析

將前幾階壁體位移監測資料加入反算，以預測下一階之開挖結果。例如第二階開挖，需以第一階監測資料加入反算，以預測第二階壁體位移，各階分析結果如下：

第二階開挖 :



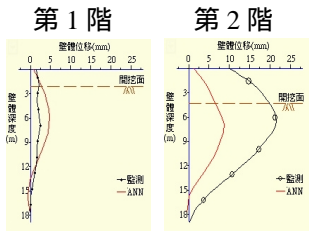
由上顯示，當監測資料階數越多時，則預測下一階的壁體位移值越準確。

ANN 預測分析

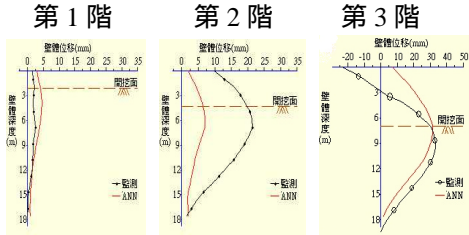
為預測下一階之開挖結果，需將前三階壁體位移監測資料加入分析。例如第二階開挖，前三階監測資

料只有第一階，所以只要將第一階監測資料加入，即可預測第二階壁體位移。各階分析結果如下：

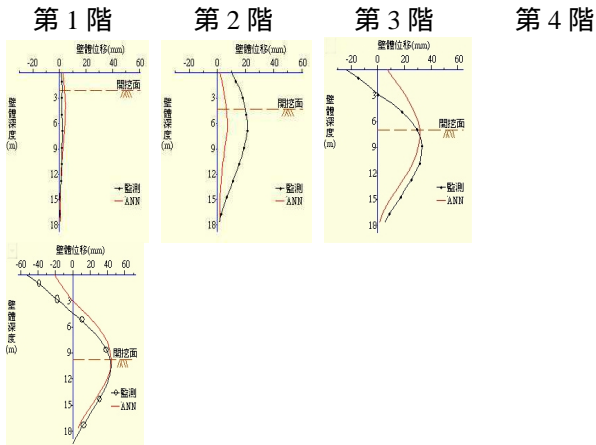
第二階開挖：



第三階開挖：



第四階開挖：



由上顯示，ANN 預測和 RIDO 反算相同，當加入的監測資料階數越多時，則預測下一階的壁體位移值越準確。

2. 預測地表沉陷

第一階開挖地表沉陷量(cm)

沉陷點	SM13	SM14	SM15	SM16	SM17	SM18	SM19	SM20
監測值	0.26	0.44	0.3	0.33	0.31	0.2	0.24	0.19
預測值	0.08	0.05	0.03	0.02	0.013	0.006	0.002	0.001
誤差值	-0.18	-0.39	-0.27	-0.31	-0.3	-0.19	-0.23	-0.19

第二階開挖地表沉陷量(cm)

沉陷點	SM13	SM14	SM15	SM16	SM17	SM18	SM19	SM20
監測值	0.86	0.5	0.4	0.36	0.32	0.2	0.24	0.19
預測值	0.74	0.46	0.26	0.2	0.12	0.06	0.025	0.009
誤差值	-0.12	-0.04	-0.14	-0.16	-0.2	-0.14	-0.21	-0.18

第三階開挖地表沉陷量(cm)

沉陷點	SM13	SM14	SM15	SM16	SM17	SM18	SM19	SM20
監測值	1.44	0.98	0.82	0.87	0.63	0.41	0.45	0.38

預測值	2.0	1.54	0.75	0.46	0.18	0.04	0.005	0.0003
誤差值	+0.56	+0.56	-0.07	-0.41	-0.45	-0.37	-0.44	-0.38

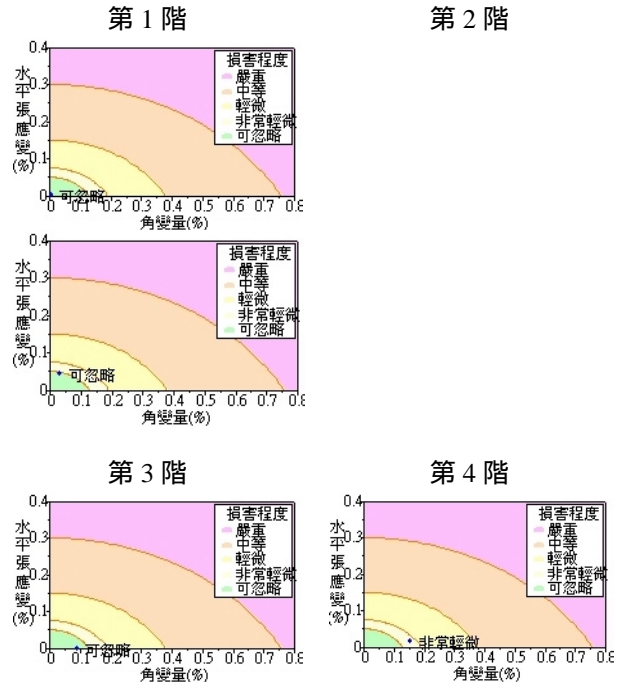
註：第四階無監測值。

由上顯示，地表沉陷預測誤差量在 -0.5cm~+0.5cm 之間，有相當的準確性。

3. 鄰房傾角預測

	第一階	第二階	第三階	第四階
監測值		0' 50"	1' 06"	
預測值	0' 03"	0' 35"	1' 37"	2' 15"

4. 鄰房損害度預測



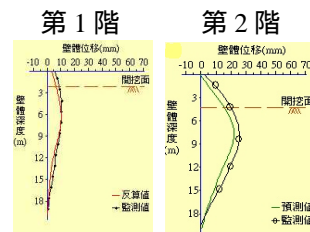
各階損害程度皆落於「非常輕微」以下，表示 S1 面鄰房沒有發生毀損，此和現地情形相符。

斷面 S7：

1. 預測壁體位移：

RIDO 反算分析

第二階開挖：



第三階開挖：

第一階 第二階 第三階

此 S7 斷面和 S1 斷面相同，當加入的監測資料階數越多時，則預測下一階的壁體位移值越準確。

2. 預測地表沉陷

第一階開挖地表沉陷量 (cm)

沉陷點	R7	SM44	SM67	SM68	SM69	SM70	R12	SM104
監測值		0.33	0.26	0.28	0.18	0	0	0
預測值	0.41	0.34	0.16	0.13	0.07	0.05	0.02	0.01
誤差值		+0.01	-0.1	-0.15	-0.11	+0.05	+0.02	+0.01

第二階開挖地表沉陷量 (cm)

沉陷點	R7	SM44	SM67	SM68	SM69	SM70	R12	SM104
監測值		1.0	0.53	0.48	0.34	0.32		0
預測值	1.48	1.5	0.8	0.63	0.23	0.1	0.03	0.01
誤差值		+0.5	+0.27	+0.15	-0.11	-0.22		+0.01

第三階開挖地表沉陷量 (cm)

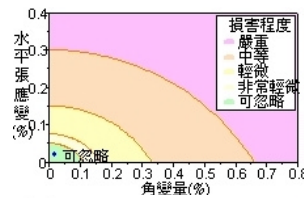
沉陷點	R7	SM44	SM67	SM68	SM69	SM70	R12	SM104
監測值	3.17	3.6	2.66	2.38	2.27	1.33	0.5	0.36
預測值	2.57	2.6	1.4	1.1	0.39	0.17	0.05	0.02
誤差值	-0.6	-1.0	-1.26	-1.28	-1.88	-1.16	-0.45	-0.34

3. 鄰房傾角預測

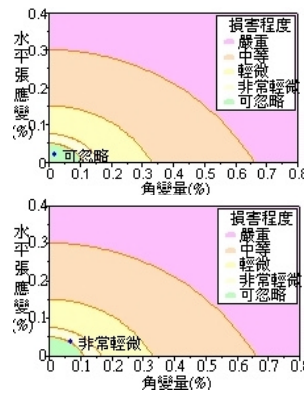
	第一階	第二階	第三階	第四階
監測值		2' 08"	3' 55"	4' 24"
預測值	0' 26"	2' 10"	3' 46"	5' 48"

4. 鄰房損害度預測

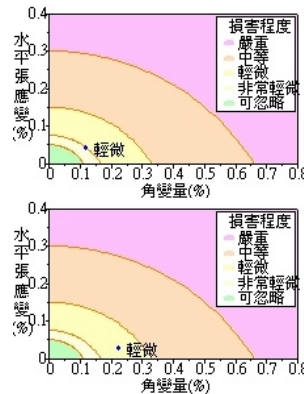
第 1 階



第 2 階

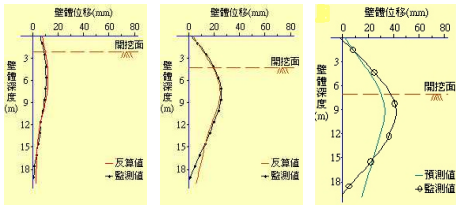


第 3 階



第 4 階

在第三階開挖後，損害程度落於輕微範圍，表



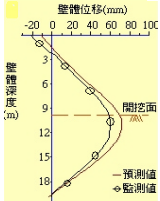
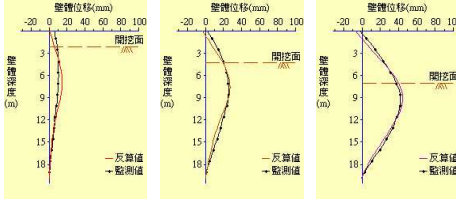
第四階開挖：

第 1 階

第 2 階

第 3 階

第 4 階

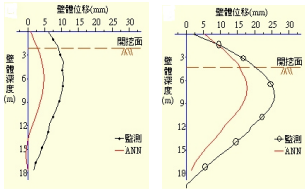


ANN 預測分析

第二階開挖：

第 1 階

第 2 階

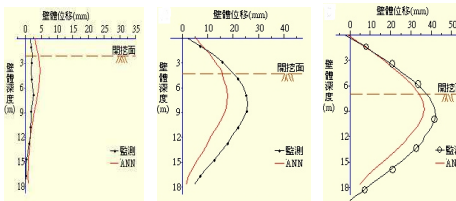


第三階開挖：

第 1 階

第 2 階

第 3 階



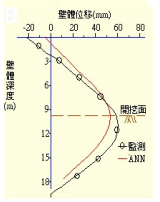
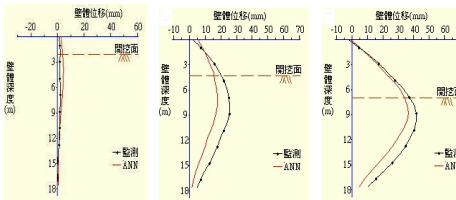
第四階開挖：

第 1 階

第 2 階

第 3 階

第 4 階



S7 面鄰房會發生毀損，此和現地情形相符。

統土木工程設計手冊(CEDM)」(1998)。
Form1.HevPic(p)

四、結論

1. 由案例分析可知，本系統對於深開挖工程的壁體位移預測、地表沉陷量預測、鄰房傾度預測及鄰房損害度預測都有相當的準確性。
2. 透過最佳化反算分析與預測，可依據實際狀況採用適當之物理模式進行數值模擬。而類神經網路學習與預測，則依據既有案例資料庫與網路架構尋找輸出入值間之函數映射關係。兩種方式所預測之壁體變形，皆能充分反映地盤狀況與各階段施工等不確定因素，因此可預測較為合理之壁體變形，以供後續施工時之安全評估。
3. 深開挖施工所產生之影響，除造成鄰近地盤沉陷外，最重要之考量重點則在於因地盤沉陷所造成之鄰房損壞。由本文所提出之鄰房損害評估，不僅包含地表沉陷因素，更包含地表下之沉陷影響，因為鄰房結構常因地下室深度而使以地表沉陷為評估方式者無法反映實際狀況。因此本文之評估模式較為精確，已由實際案例得到驗證。

深開挖施工訊息化系統係以輔助工程施工為目的，因此應應用於工程之施工階段，對於提昇深開挖工程設計及施工品質應有相當之正面效益。

五. 參考文獻

1. 亞新工程顧問股份有限公司，台北盆地地層大地工程性質調查分析與研究工作 - 台北市地下工程失敗實例探討及建議工作，報告編號：347-1 (1986)。
2. Nelder, J. A. and R. Mead "A simplex method for function minimization." *Computer Journal*, Vol. 7, pp. 308-313 (1965).
3. 冀樹勇，陳錦清，王建智，「RIDO 程式之最佳化土層參數之探討」，*土工技術*，75 期，第 62-76 頁 (1999)。
4. Hsieh, P. G. and C. Y. Ou, "Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, No. 5, pp. 1-14 (1998).
5. . Ou, C. Y., P. G. Hsieh and D. C. Chiou, "Characteristic of ground surface settlement during excavation," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 30, No. 5, pp. 758-767 (1993).
6. Boone, S. J., "Ground-movement-related building damage." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 11, pp. 886-896 (1996).
7. Boscardin, M. D. and E. J. Cording, "Building response to excavation-induced settlement." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 1, pp. 1-21 (1989).
8. Burland, J. B. and C. P. Wroth, "Settlement of buildings and associated damage." *Conference on Settlement of structures*, Cambridge, Pentech Press, pp. 611-654 (1975).
9. 台北市政府捷運工程局，「台北都會區大眾捷運系