

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以類神經網路建立序率水庫安全檢查之最佳檢查週期及次序

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-055-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：郭振泰

計畫參與人員：許永佳，呂欣懋

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 31 日

摘要

台灣(含金馬)地區目前重要水庫水壩計有 84 座之多，超過國際大壩協會 (ICOLD) 標準高於 15m 者多達 51 座，壩高超過 60m 及水庫容量逾一千萬立方公尺之大型水庫，也有 13 座之多。由於台灣位處地震及颱風頻繁地帶，河川既短且陡，尤其下游地區人口稠密，一旦水壩發生潰決，將對下游居民生命、財產及社會造成莫大影響，故水庫安全益形重要。因此「定期水壩安全評估」為確保水庫安全，及儘早發現警訊重要手段之一。

本研究以可用性模式進行水庫之可用性分析，以維修配合度、偵測度、檢查經費、潰壩損失進行水庫最佳安全檢查週期之建立，最後以遺傳演算法作水庫群之最佳檢查週期之建立，目標為在固定的檢查經費下，求出各水庫之最佳檢查週期，及其最佳之偵測度；在檢查經費不足下，亦可將較安全或叫不重要之水庫剔除，以符合經濟與適度安全之原則。最後以類神經網路進行模擬，未來只要知道各水庫之潰壩風險、潰壩損失、安全檢查經費，即可模擬出固定檢查經費下的各水庫之檢查週期及其偵測度。

本研究以 10 個水庫作模擬，以每年 30,000,000 元作為目標值，以遺傳演算法逼近最佳解結果顯示良好，但可行解組數仍過多，未來可根據不同水庫的重要性給予最低的偵測度值，將可減少可行解的數目。最後以遺傳演算之結果當作觀察值，進行類神經網路之訓練、驗證及測試，其結果顯示網路目標值與觀察值極相近。

關鍵字：檢查週期，偵測度，維修配合度，可用性分析，潰壩風險，遺傳演算，類神經網路。

Key words: inspection interval, deficiency detectability, repair compliance probability, availability analysis and risk of dam break, genetic algorithm, and neural network..

一、前言及研究目的

傳統安全評估週期為每五年檢查一次，且並未考慮水庫老化等問題，對新水庫而言形成浪費，對老化水庫而言是一種風險，且未針對各水庫之特性、敏感因子之不同及重點安全項目予以評估。

水利署於民國 91 年提出「水壩安全檢查週期及次序之建立」之研究，其缺點為考慮之不確定性因素不足，且其次序 (scheduling) 之理論分析尚未成熟，因此本研究以遺傳演算及類神經網路進行可用性模式 (availability Model) 推估檢查期距的最佳化，作為訂定國內水壩安全檢查最佳週期之參考依據，其目的在延長或縮短水庫安全評估期距。在減少經費之浪費及水庫之安全間作取捨，以提供管理單位決策之參考。利用遺傳演算 (genetic algorithm) 進行水庫最佳次序之模擬 (Optimal Scheduling)，並以類神經網路 (Neural Network) 學習，以建立水庫群水庫安全檢查之次序。將過去研究之缺點修正，以建立適用於台灣本土之水庫檢查。

二、研究方法

2.1 可用性模式 (Availability Model)

由水庫潰壩之風險推求大壩的平均損壞時間，再利用可用性模式來計算水庫的最佳檢查時間表與費用的關係；而大壩的平均損壞時間為估算大壩的可用性 (或可用率，availability) 之重要參數之一，可視為一個操作週期內水壩損壞 (breakdown) 時間的期望值，以作為水庫安全檢查的參考。

水壩在運轉操作的條件下，可區分為狀態 S(satisfactory) 和狀態 F(failure) 兩種情況。假設剛開始水壩在狀態 S，則經過一段時間 X，則狀態 F 會出現。定義 X 為隨機故障發生時間，在不當操作情況下水壩會導致嚴重的後果，因此要經常檢查，使其儘可能減少在狀態 F 下操作的機率。

則水壩在一個循環的操作下其淨可用性為(Ang and Tang, 1984)：

$$\bar{A} = 1 \cdot P_S(\tau) + \frac{X'}{\tau + \tau_r} P_F(\tau) \quad (1)$$

$P_S(\tau)$ 和 $P_F(\tau)$ 分別為狀態S和狀態F的機率，則水庫在連續操作循環下之期望(expected)可用性為(Ang and Tang, 1984)

$$E(\bar{A}) = 1 - \frac{\tau_r}{\tau + \tau_r} F_X(\tau) - \frac{1}{\tau + \tau_r} \int_0^{\tau} F_X(x) dx \quad (2)$$

其中 $F_X(x)$ 為故障時間X的累積分布函數 (cumulative distribution function)。

假設偵測度 p 隨檢查次數的增加而增加，並假設其形式為 $p^{1/n}$ ，其中 n 為未偵測到缺點之操作循環數，且假設一旦偵測到缺點立即進行修復，例如在第一次檢查期間的偵測度為 p ，但在第二次檢查時會增加到 \sqrt{p} ，則其平均可用性為(Ang and Tang, 1984)：

$$\bar{A} = 1 \cdot P_S(\tau) + P_F(\tau) \left\{ \frac{X'}{\tau + \tau_r} p + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{X'}{n\tau + \tau_r} p^{1/n} \left[\prod_{i=1}^{n-1} (1 - p^{1/i}) \right] \right\} \quad (3)$$

上式中， τ 為檢查時距， τ_r 為維修時間， X' 為每次循環檢查時間內之故障時間。

一般而言，即使在檢查時間內檢查出缺點，而水庫擁有者可能未能及時修復，使水壩在不正常的狀況下繼續操作，在此情況下，該缺點在下次檢查時段內將再被偵測到。此外，缺點被偵測出才有是否該維修的問題，缺點雖一時沒有偵測出，但重複進行定期之檢測，最後終可被偵測到。

如假設隨機故障時間 X 呈指數分佈且其平均值為 μ ，亦即不考慮水庫之庫齡，在任何時間發生故障之可能性均相同，同樣地，一旦故障被排除後，其性能有如新的，則其期望可用性為：

$$E(\bar{A}) = e^{-\tau/\mu} + \left[1 - e^{-\tau/\mu} \left(\frac{\tau}{\mu} + 1 \right) \right] \left\{ p \left[\frac{q}{\frac{\tau}{\mu} + \frac{\tau_r}{\mu}} + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{q^{1/n} \prod_{i=1}^{n-1} (1 - q^{1/i})}{n \frac{\tau}{\mu} + \frac{\tau_r}{\mu}} \right] \right\} +$$

$$\sum_{m=2}^{\infty} p^{1/m} \left[\prod_{j=1}^{m-1} (1-p^{1/j}) \right] \left[\frac{q}{\frac{m\tau + \tau_r}{\mu} + \frac{\tau_r}{\mu}} + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{q^{1/n} \prod_{i=1}^{n-1} (1-q^{1/i})}{\frac{(n+m-1)\tau + \tau_r}{\mu} + \frac{\tau_r}{\mu}} \right] \quad (4)$$

一般檢查時距 τ 增加，則水庫可能在不良情況下操作的機率增加；因此，其期望可用性將隨檢查時距增加而減少。此外，當偵測度 p 和維修配合度 q 減少，則其期望可用性也隨之遞減。

2.2 水壩最佳檢查週期之建立

檢查和維修的目的是在減少水庫在不正常條件下操作之時間，檢查計畫所需之檢查費用與由於檢查計畫所減少的潛在風險損失金額之比較，可決定最佳檢查週期。

決策分析的目標函數，可以為期望年總費用，包括期望災害損失、檢查費用、生命保護、環境維持等。

茲考慮一理想狀況，當水庫在不正常的條件下操作之年災害損失 C 、水庫的不可用性為 $(1-E(\bar{A}))$ 、檢查費用假設為 $w p^d$ ，則水庫期望年總費用 T 為 (Tang and Yen, 1991)：

$$T = [1 - E(\bar{A})] C + \frac{w p^d}{\tau} \quad (5)$$

上式中， w 可詮釋為完美檢測所須之費用， τ 為檢測時距。當 C 、 w 、 d 為已知，將(5)式對 p 及 τ 予以最小化，可決定水庫之最佳檢查週期，及最小的檢查經費。

本研究之 10 個水庫之潰壩風險假設值。偵測度 p 乃根據檢查經費之多寡，由模式自行調整。其中假設包含石門水庫、烏山頭水庫、曾文水庫（大型水庫），2 個中型水庫（虛擬水庫）及 5 個小型水庫（虛擬水庫）進行可用性分析之模擬計算。輸入：年平均檢查費用、

維修配合度、平均潰壩時間及潰壩損失；輸出：偵測度、總費用及最佳安全檢查週期。

2.3 遺傳演算法 (Genetic Algorithm)

John H. Holland 強調以基因 (gene) 代替過往所運用的運算元數字，將問題轉換為自然界的演化程序 (Davis, 1987)；在演化中，各物種所面對的問題，在於搜尋一個複雜且多變的系統中，最為有效及有利的調適，而此種知識是建構於該物種成員的染色體組織之中，當親代複製子代時，此一調整染色體結構的方法便被使用上了。

調整程序中，包含了染色體的交配 (crossover) 與突變 (mutation)，交配為親代中相對應位置染色體材料的互換，目的在使較有利的材料能夠在子代中被合併，而突變提供了背景變化 (background variation)，並逢機地導入染色體一些有利的材料，使期能隨著群體一同適應環境。

本研究以輸入之參數進行基因之隨機交配，並設定突變率為 0.04。以總年平均檢查經費為搜尋目標，並假設大型水庫偵測度為 0.7 以上、中型水庫偵測度 0.6 以上、小型水庫偵測度 0.5 以上，若無達到此標準則非最佳解，並重新模擬。

2.4 類神經網路 (Neural Network)

類神經網路為利用數個處理單元當作人腦之中的神經細胞，每一個處理單元即是每個人工神經細胞。處理單元組成人腦的神經網路 (neural network) 結構型態，即為一個類神經網路。進而選定一個數學推論出來的演繹法則，將其置入此類神經網路。最後選定要讓類神經網路學習的資料，將資料轉換成類神經網路 (neural network) 所能接受的型態輸入。架構好類神經網路 (neural network) 後，即

可讓類神經網路開始學習，類神經網路會自動地調整每個處理單元之間的加權值，直到符合所要學習的目標為止。

本研究之類神經網路模擬設定五個隱藏層，並以四個輸入值為一組，3個輸出值為一組，並以200組進行類神經網路訓練。以隨機計算之200組作驗證，並以200組進行測試。

三、結果與討論

本研究以可用性模式進行10個水庫之可用性分析，並以遺傳演算法求不同水庫、不同偵測度及維修配合度下，以經濟之考量下求水庫群之最佳檢查週期。最後以類神經網路進行訓練、驗證與測試。其結果如下：

以遺傳演算法作水庫群之最佳檢查週期之建立，目標為在固定的檢查經費下，求出各水庫之最佳檢查週期，及其最佳之偵測度；在檢查經費不足下，亦可將較安全或叫不重要之水庫剔除，以符合經濟與適度安全之原則。

1. 以可用性模式計算最佳安全檢查週期，其最佳週期位於年平均檢查費用與潰壩損失之交點，因此總費用必為年平均檢查費用（或潰壩損失）之兩倍。
2. 遺傳演算之結果如圖2所列，其結果顯示以遺傳演算進行計算水庫群之安全檢查週期為可行之方法，以結果而言，雖尚未找到最佳解，卻已逼近最佳解，在實際應用上，可以依據所有水庫之安全檢查費用作為最佳解之搜尋目標並進行模擬。若需維持水庫真偵測度與維修配合度及固定的安全檢查費用，則可依照水庫之重要性，將較安全之水庫或是重要性不高之水庫剔除，則可進行模擬。
3. 本研究以10個水庫作模擬，以每年30,000,000元作為目標值，以遺傳演算法逼近最佳解結果顯示良好，但可行解組數仍過多，未來可根據不同水庫的重要性給予最低的偵測度值，將可減少可行解的數目。
4. 類神經網路計算之結果如圖3~圖5所示。本研究以遺傳演算所知結果，先行正規化並分為3組，分別作為類神經網路的訓練、驗證及測試。輸入參數包

括：潰壩損失(Bd_Cost)、潰壩時間(Bd_time)、偵測度(p)及維修配合度(q)。各參數在不同隱藏層之權重如表 2 所示。

5. 由圖 3(1)~圖 3(3)可知，類神經網路訓練情況良好，以圖 3(2)而言，以 10 個水庫的最佳安全檢查週期(分別 10 次)，訓練結果與觀察值幾乎重合，在最佳檢查週期的極低值與極高值時，會有些微的誤差。以圖 3(3)而言，訓練值與觀察值幾乎重合。造成 3(2)及圖 3(3)之誤差不同的主要原因為單位不同，圖 3(2)之變化範圍為 0-20 之間，而圖 3(3)之變化範圍為 0-25000000 之間，因此些微的誤差，在不同的圖中會有不同的顯示結果。
6. 圖 4(1)~圖 4(3)為類神經網路之驗證結果，其結果如圖 3(1)~3(3)相似。另外圖 5(1)~圖 5(3)為類神經網路之測試結果，其結果如圖 3(1)~3(3)相似。

Reference

1. Tang, W. H. and B. C. Yen, "Dam Safety Inspection Scheduling" *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 2, 1991.
2. Yen, B. C., "Reliability Analysis for Dam Safety" *Risk Analysis in Dam Safety Assessment*, ed. Jan Tai Kuo and Ben Chie Yen, Water Resources Publications, pp. 53-60, 1999
3. 郭振泰等,「台灣地區水庫入流泥砂、水質觀測方法及水壩安全評估風險分析(一)、(二)、(三)」,經濟部水資源局委託,台大水工試驗所、美國匹茲堡大學、伊利諾大學執行,1998年、1999年、2000年。

Other Reference

1. 國立台灣大學生物環境系統工程學系永續發展研究室,啟發式演算法與水資源管理,民國九十二年。

表 1 可用性模式計算結果

Op_itval	Total_Cost	Average_IC	Bd_Cost	Bd_Time	p	q	
-----							48
4.75	8126982.0	4132248.0	.200E+09	158.5	.703	.747	
5.00	7891495.0	4010865.0	.290E+09	239.2	.705	.825	
4.25	11091200.0	5598877.0	.345E+09	169.0	.725	.831	
6.75	6726949.0	3280128.0	.151E+09	189.8	.602	.877	
8.25	6038278.0	3018463.0	.126E+09	224.4	.619	.832	
15.75	969550.7	477884.9	.109E+08	206.0	.765	.884	
7.00	661741.5	332487.3	.158E+08	231.0	.531	.782	
11.75	1180585.0	584988.6	.159E+08	201.2	.747	.774	
10.50	1053045.0	521075.4	.188E+08	249.5	.701	.718	
15.00	1332369.0	655760.5	.173E+08	246.7	.818	.733	
		45072190.0			22612770.0		
Op_itval	Total_Cost	Average_IC	Bd_Cost	Bd_Time	p	q	
-----							45
9.50	13661060.0	6773441.0	.200E+09	158.5	.840	.894	
6.00	9065859.0	4533023.0	.290E+09	239.2	.740	.847	
5.50	13253360.0	6535856.0	.345E+09	169.0	.773	.889	
6.50	7413232.0	3654658.0	.151E+09	189.8	.612	.617	
20.00	13814300.0	6897040.0	.126E+09	224.4	.863	.771	
19.75	1454932.0	708949.5	.109E+08	206.0	.889	.525	
7.00	651608.7	328028.6	.158E+08	231.0	.528	.824	
7.00	721481.4	361952.8	.159E+08	201.2	.548	.890	
8.25	900687.0	446584.2	.188E+08	249.5	.622	.592	
14.75	1381301.0	687121.0	.173E+08	246.7	.824	.664	
		62317820.0			30926650.0		
Op_itval	Total_Cost	Average_IC	Bd_Cost	Bd_Time	p	q	
-----							46
8.50	12792500.0	6306940.0	.200E+09	158.5	.819	.835	
8.25	11895290.0	5985243.0	.290E+09	239.2	.810	.885	
4.00	10732270.0	5470268.0	.345E+09	169.0	.715	.807	
6.50	7250682.0	3634802.0	.151E+09	189.8	.611	.699	
8.50	6549931.0	3279726.0	.126E+09	224.4	.635	.724	
20.00	1337116.0	692256.7	.109E+08	206.0	.887	.769	
9.25	950133.9	470614.7	.158E+08	231.0	.656	.506	
10.00	1071879.0	534887.8	.159E+08	201.2	.697	.700	
12.50	1354446.0	663128.4	.188E+08	249.5	.784	.527	
15.00	1272783.0	624440.4	.173E+08	246.7	.809	.803	
		55207040.0			27662300.0		
Op_itval	Total_Cost	Average_IC	Bd_Cost	Bd_Time	p	q	
-----							45
9.50	13661060.0	6773441.0	.200E+09	158.5	.840	.894	
6.00	9065859.0	4533023.0	.290E+09	239.2	.740	.847	
5.50	13253360.0	6535856.0	.345E+09	169.0	.773	.889	
6.50	7413232.0	3654658.0	.151E+09	189.8	.612	.617	
20.00	13814300.0	6897040.0	.126E+09	224.4	.863	.771	
19.75	1454932.0	708949.5	.109E+08	206.0	.889	.525	

其中 Op_itval:最佳安全檢查週期

Total_Cost:總費用

Average_IC:年平均檢查費用

Bd_Cost:潰壩損失

Bd_Time:平均潰壩時間

p:偵測度

q:維修配合度

表 2 輸入參數在各隱藏層之權重

	Bd_Cost	Bd_Time	p	q
hidden layer 1	-1.9812	-7.3827	0.074353	3.4603
hidden layer 2	-11.608	0.8584	3.2396	1.6232
hidden layer 3	-10.493	0.81182	-1.719	0.030268
hidden layer 4	-4.1458	-1.6729	-2.3012	0.036084
hidden layer 5	8.6025	0.44026	-4.8094	-0.50571

表 3 部分可行解(接近最佳解)

Reservoir	Size	p	q	p	q	p	q
1	large	0.744	0.811	0.807	0.779	0.714	0.783
2	large	0.888	0.85	0.772	0.811	0.784	0.758
3	large	0.701	0.796	0.75	0.77	0.728	0.795
4	medium	0.624	0.683	0.763	0.767	0.696	0.687
5	medium	0.798	0.677	0.698	0.698	0.863	0.775
6	small	0.812	0.785	0.702	0.544	0.865	0.704
7	small	0.897	0.637	0.598	0.678	0.792	0.656
8	small	0.555	0.615	0.737	0.704	0.759	0.865
9	small	0.541	0.598	0.631	0.748	0.697	0.644
10	small	0.594	0.527	0.855	0.676	0.719	0.541
Total Budget		30,134,530		29,886,000		29,974,120	

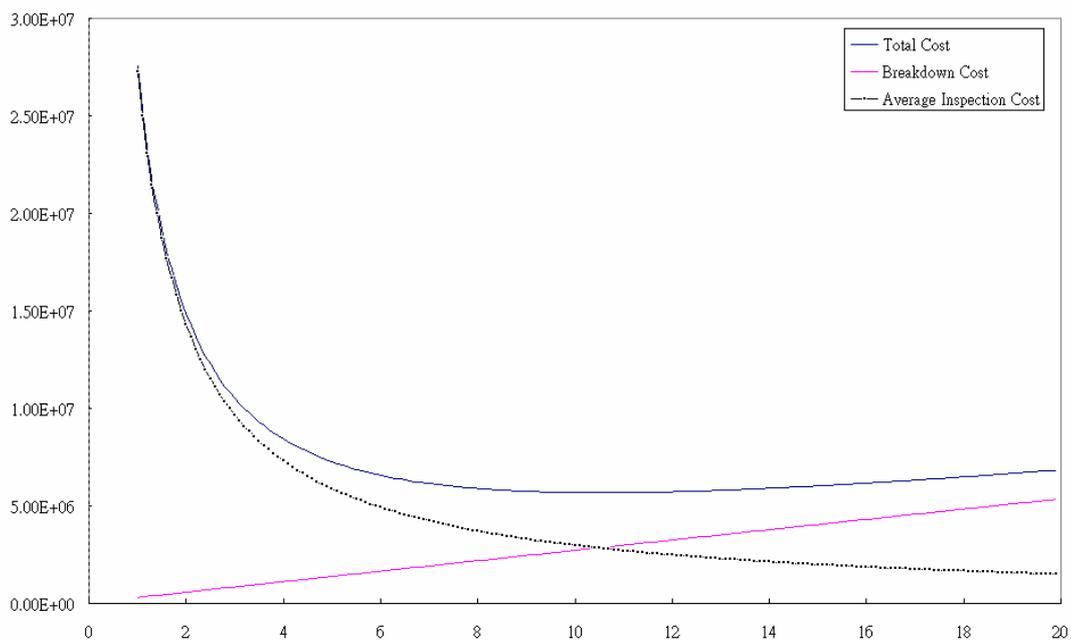


圖 1 最佳安全檢查週期示意圖

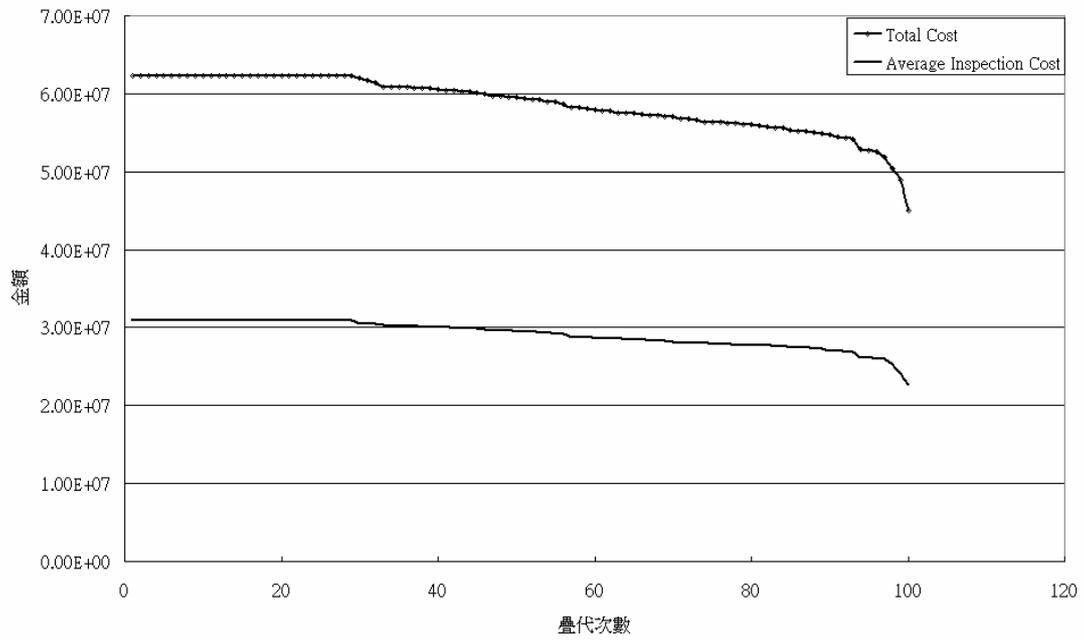


圖 2 遺傳演算目標函數之收斂情況

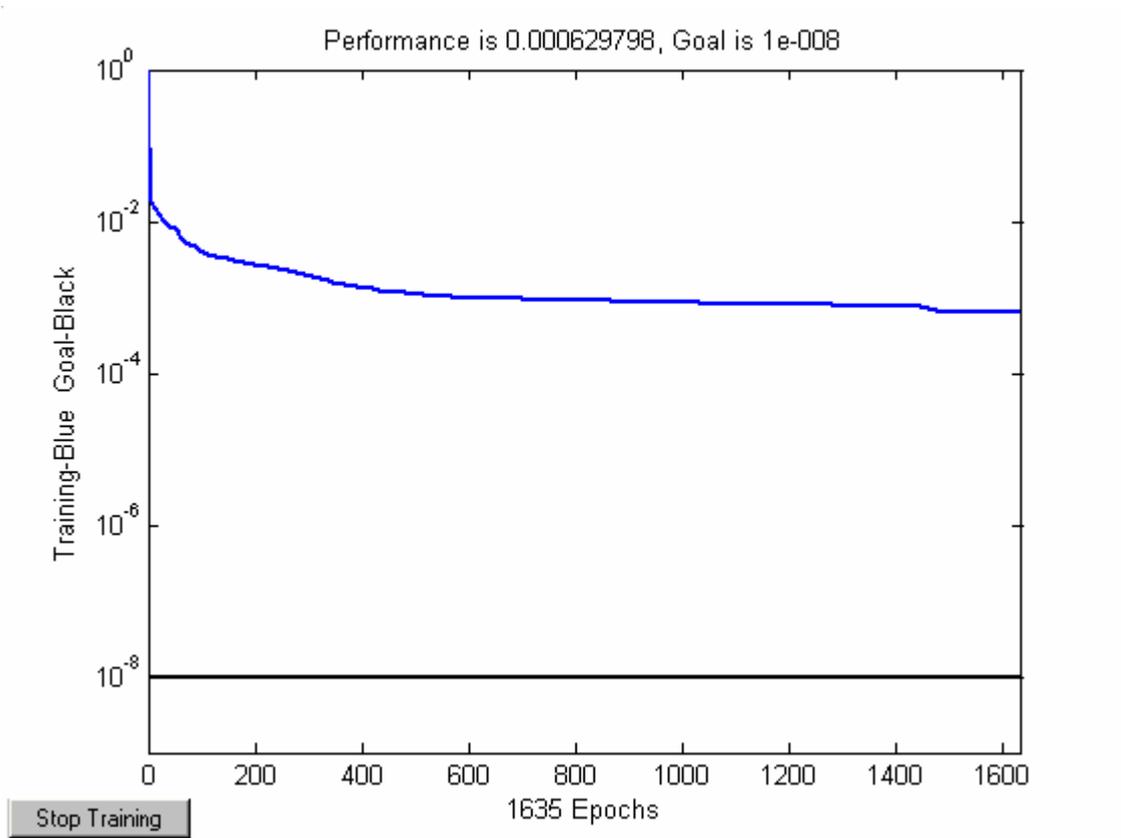


圖 3 類神經網路訓練收斂情形

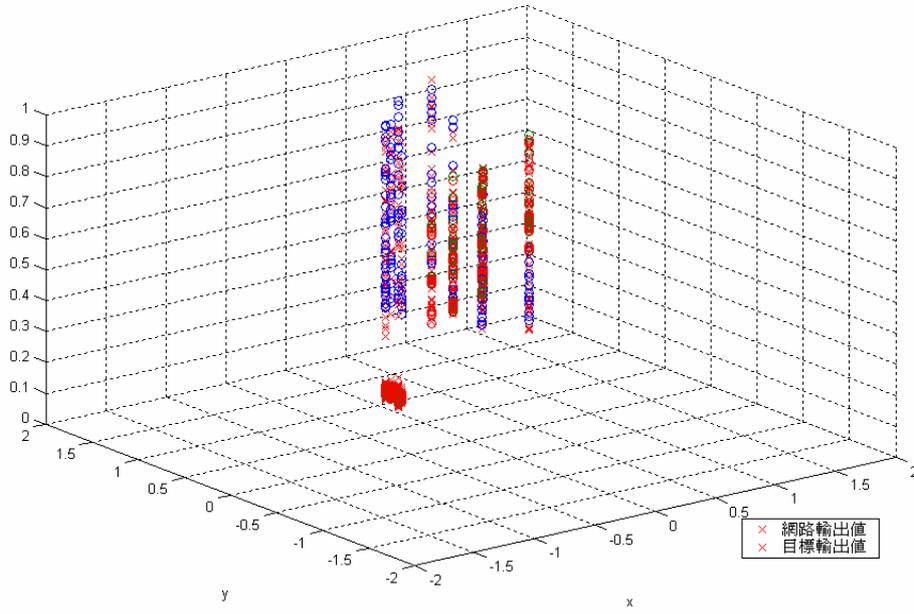


圖 4 類神經網路輸出值之訓練情形

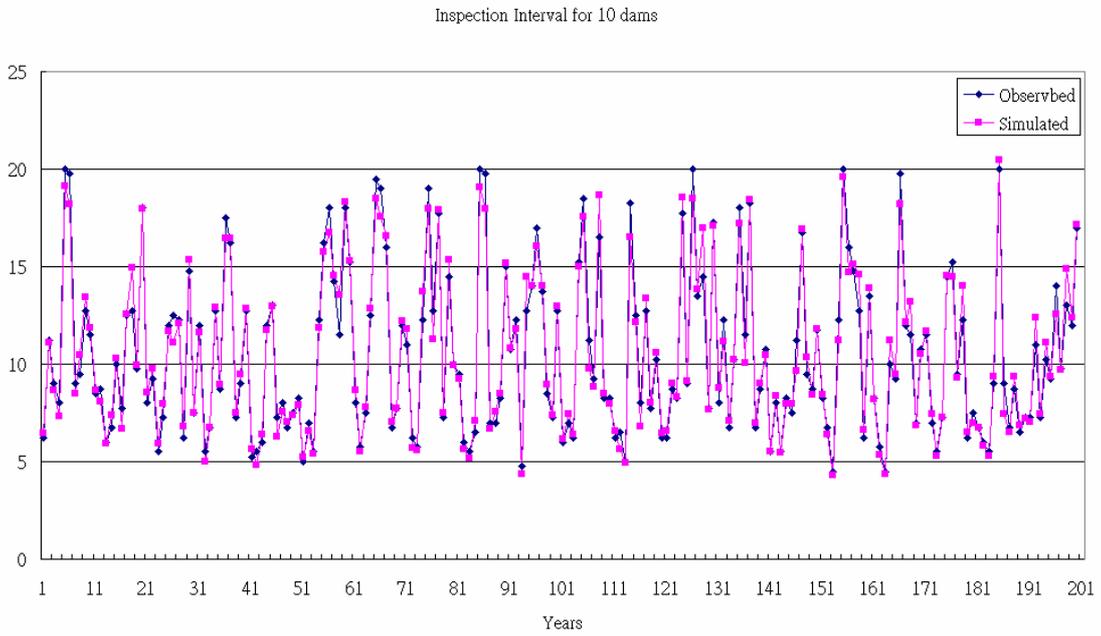


圖 5 類神經網路輸出值之訓練情形

Total Cost and Average Inspection Cost for 10 dams

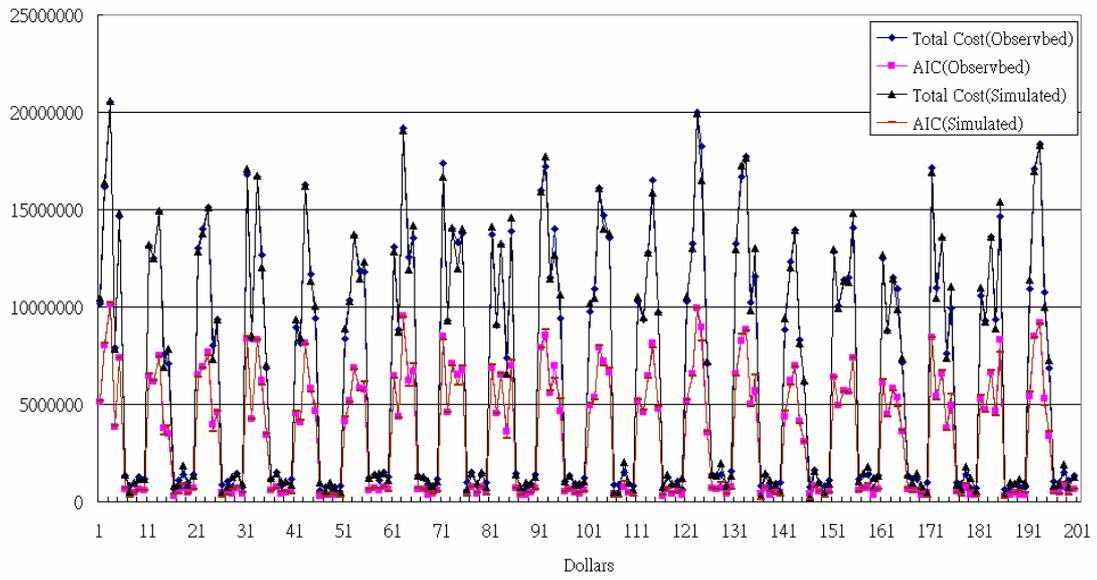


圖 6 類神經網路輸出值之訓練情形

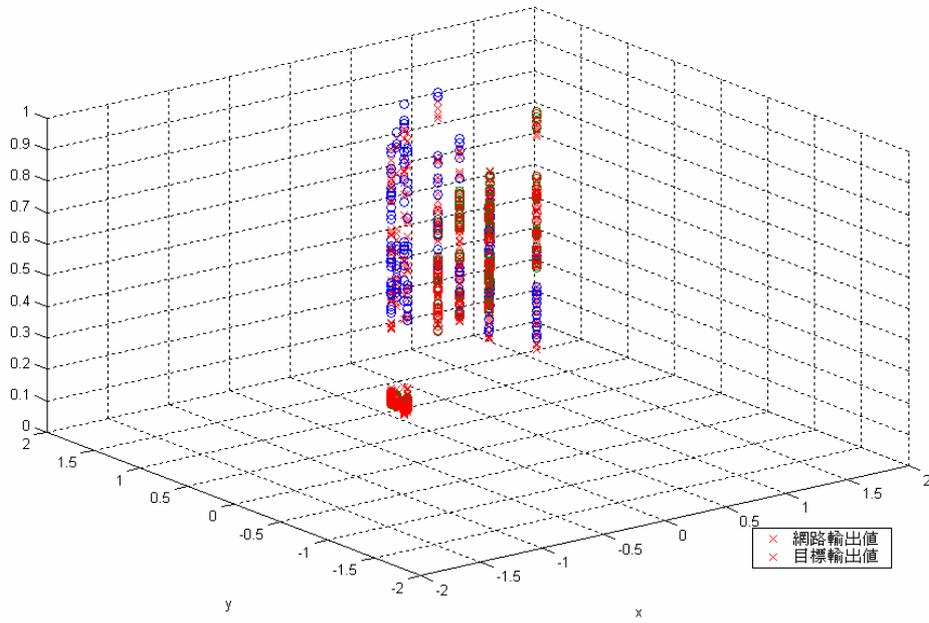


圖 7 輸出值之資料驗證(200 筆資料)

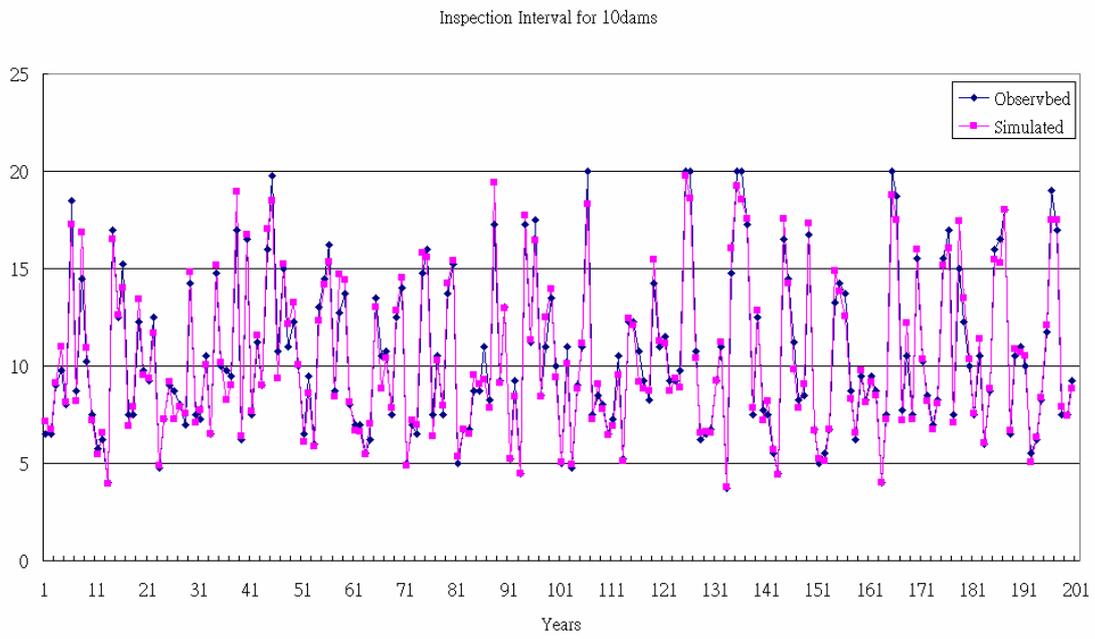


圖 8 輸出值之資料驗證(200 筆資料)

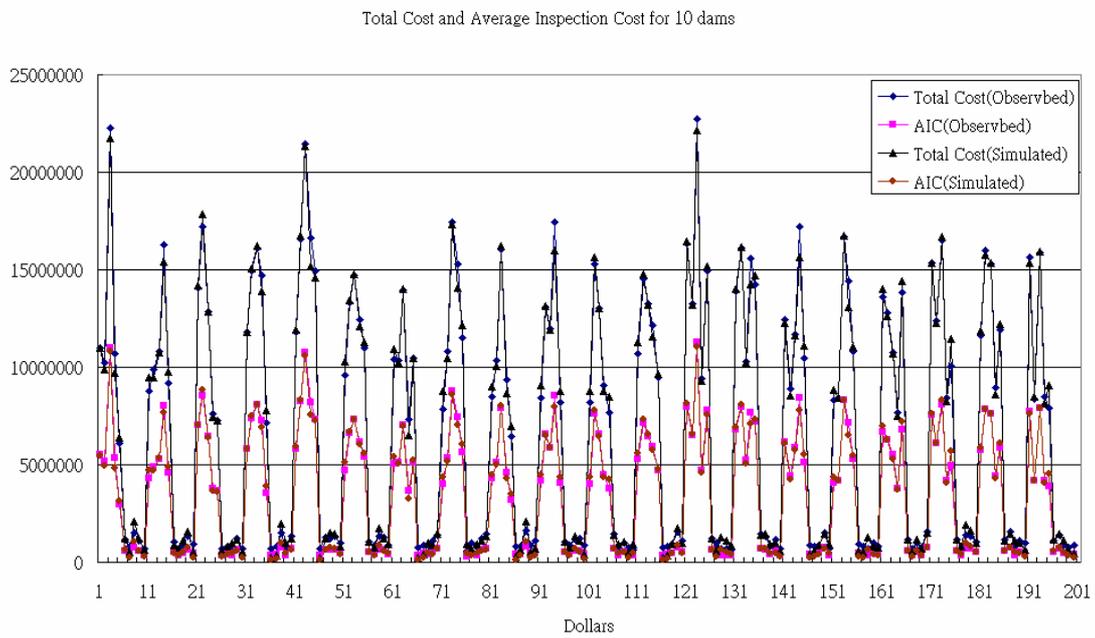


圖 9 輸出值之資料驗證(200 筆資料)

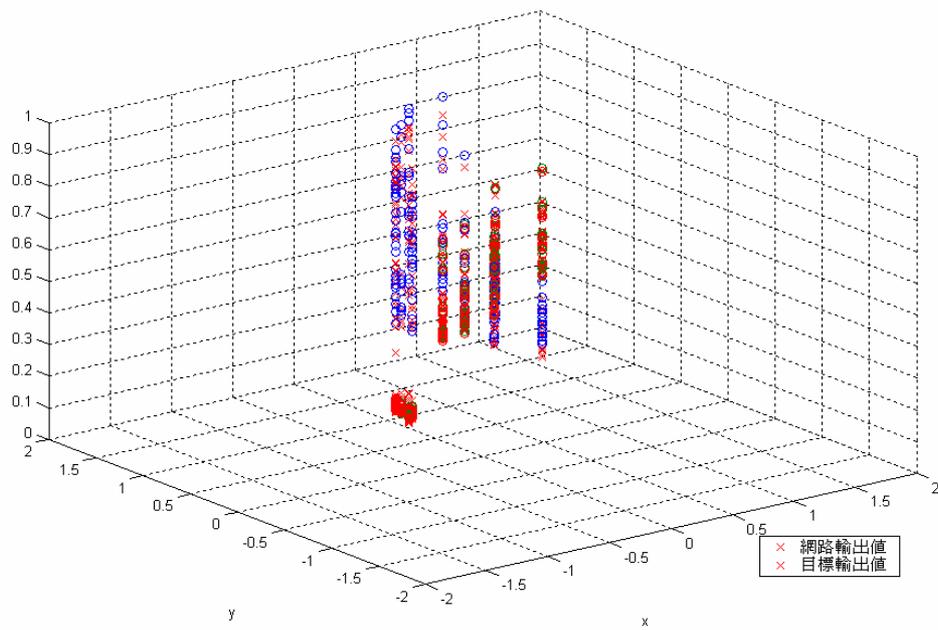


圖 10 輸出值之資料測試(200 筆資料)

Inspection Interval for 10 dams

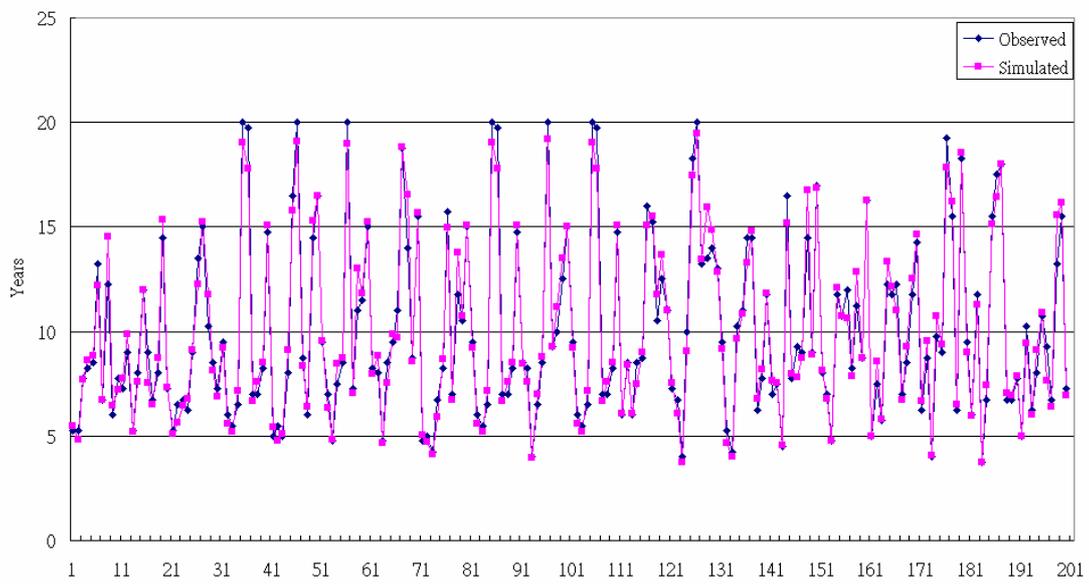


圖 11 輸出值之資料測試(200 筆資料)

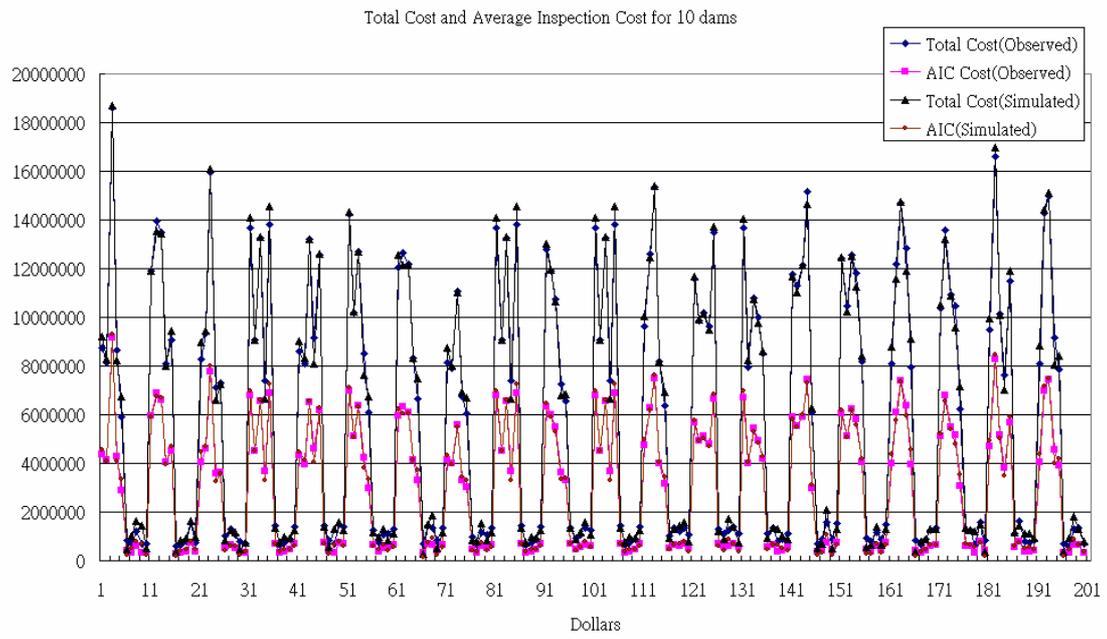


圖 12 輸出值之資料測試(200 筆資料)