

摘 要

學號：M9537012

論文題目：應用類神經網路推估河川懸浮載含量

總頁數：76

學校名稱：國立屏東科技大學

系別：水土保持系

畢業年月：2009 年 7 月

學位別：碩士學位論文摘要

研究生：葉 家 勳

指導教授：江 介 倫 博士

論文摘要內容：

台灣地區破碎的地質、陡峻的地形和強烈的降雨特性，經常引發山地邊坡的崩塌。九二一地震在台灣中部地區造成大規模的崩塌，其崩塌物質沖刷至河道中，進而提升河道中的懸浮載含量，值得進一步探討。因此本研究以九二一地震為分界，針對東部地區(秀姑巒溪流域、花蓮溪流域及知本溪流域)、南部地區(高屏溪流域)、中部地區(濁水溪流域)及北部地區(淡水河流域)，以統計方法探討九二一地震前後懸浮載含量之變化。研究顯示，九二一地震後東部地區流域與濁水溪流域，懸浮載含量有明顯增加，而高屏溪及淡水河流域懸浮載含量較無明顯變化。

此外，另一方面河川流量與懸浮載含量資料建立之率定曲線，一般常見有線性迴歸模式、乘冪迴歸模式兩種，本研究則加入類神經網路模式，並與迴歸模式做比較，將懸浮載資料分成訓練模組與驗證模組，經由誤差百分比來比較各模式之差異，其結果優劣順序為：類神經網路模式 > 線性迴歸模式 > 乘冪迴歸模式。類神經網路推估出來懸浮載誤差量比迴歸模式來的小；再經由判定係數比較各模式，其結果優劣順序為：類神經網路模式 > 乘冪迴歸模式 > 線性迴歸模式，由此可知運用類神經網路判定係數比迴歸模式來的高，顯示類神經網路模式優於迴歸模式，可有效推估河川之懸浮載含量。

關鍵字: 倒傳遞類神經網路、懸浮載、地震、土壤沖蝕、河川衝擊

Abstract

Student ID: M9537012

Title of Thesis: Suspended Sediment Load Estimation Using Artificial
Neural Network

Total Pages: 76

Name of Institute: National Pingtung University of Science and
Technology

Name of Department: Department of Soil and Water Conservation

Date of Graduation: July,2009

Degree Conferred: Master

Name of Student: Chia-Hsun Yeh

Adviser: Jie-Lun Chiang

The Contents of Abstract in this Thesis:

Steep terrain and fragile geology in the mountain area of Taiwan make the landslides susceptible to slope during heavy rainfall and earthquakes. In 1999, Chi-Chi Earthquake (Mw7.3) induced a great deal of landslides and increase suspended load in river in central Taiwan. In this study, we survey the change of sediment load between pre- and post-Chi-Chi Earthquake by linear regression statistical approach. The river discharge and suspended sediment load of eastern area (Siouguluan river, Hualien river, Chihben river), southern area (Kaoping river), central area (Choshui River) and northern area (Danshui River) were used in this study. The suspended sediment load in central and eastern Taiwan had obviously increased after Chi-Chi earthquake and those in southern and northern Taiwan had changed not obviously.

The relationship of river discharge and suspended sediment load by linear regression model, power regression model and artificial neural network was established. The training data set (85%) and verification data set (15%) were used to develop those three models. The estimate errors

show: artificial neural network < linear regression model < power regression model. The estimate error derived from artificial neural network was smaller than other regression models. Comparing these three models by coefficient of determination (R^2), shows artificial neural network > power regression model > linear regression model. The result shows that ANN outperforms the other two regression models. Therefore, ANN approach was proposed to estimate the river suspended sediment load.

Keywords: Back-propagation network, suspended load, earthquake, soil erosion, river discharge

謝誌

在屏東科技大學的日子裡，研究所三年的時光，轉眼間已及將步入尾聲，隨著結論與建議的句點，與其中的過程交織成美好的回憶。

本研究能夠順利完成，首先要感謝江介倫老師三年來的悉心指導與照顧，老師嚴謹的教學態度及生活中亦師亦友的身教薰陶，讓我在撰寫論文的日子裡受益良多，雖然相處短暫，不過相信已成為我心目中的典範。論文初成，有幸得國立成功大學水利及海洋工程學系孫助理教授建平與本校水土保持系黃副教授國禎與陳副教授天健的費心指正與建議，使學生收穫良多。在此致上最誠摯的謝意。

在學校求學及大家忙碌的期間，也感謝本研究中學弟妹姿雅、駿騰、茵婷、若穎等人，在本研究進行時大力的支援與意見，使本研究能順利進行完成。

在此，也特別感謝在學時，同窗好友祥華、東銘、裕山、小希、宏彬、季翰、志豪、湘閔、美玲等，彼此支持相互勉勵。在謝誌的最後，我要感謝長久以來在身後默默支持家人，使我能無後顧之憂的完成學業，要感謝於你們給於的鼓勵與支持，在此一併誠摯的表達謝意。

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	III
謝誌.....	V
目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	X
壹、前言.....	1
貳、文獻回顧.....	2
一、地震及颱風豪雨與輸砂量之關係.....	2
二、流量與懸浮載濃度之關係.....	6
三、類神經網路.....	10
(一) 理論發展起源.....	10
(二) 類神經網路發展史.....	11
(三) 類神經原理.....	11
(四) 類神經網路之相關研究.....	17
參、研究方法.....	19
一、九二一地震前後斜率之比較.....	21
二、九二一地震前後統計檢定.....	22

三、類神經網路與迴歸模式之比較	23
(一) 線性迴歸式	23
(二) 乘冪迴歸式	24
(三) 倒傳遞類神經網路	24
(四) 類神經網路參數設定	27
(五) 類神經網路模式效能評鑑指標	28
肆、結果與討論.....	31
一、九二一地震前後斜率比較.....	31
二、九二一地震前後統計檢定之比較	35
三、類神經網路與迴歸模式推估之比較	40
(一) 均方根值	41
(二) 懸浮載誤差百分比	44
(三) 判定係數(R ²)之比較.....	46
伍、結論.....	54
參考文獻.....	56
附錄.....	61
作者簡介.....	76

表目錄

表 4-1 東部地區九二一地震前後斜率比較.....	33
表 4-2 高屏溪流域九二一地震前後迴歸式.....	33
表 4-3 濁水溪流域九二一地震前後迴歸式.....	34
表 4-4 淡水河流域九二一地震前後迴歸式.....	34
表 4-5 東部地區九二一地震前後統計 Z 檢定.....	38
表 4-6 高屏溪流域九二一地震前後統計 Z 檢定.....	38
表 4-7 濁水溪流域九二一地震前後統計 Z 檢定.....	39
表 4-8 淡水河流域九二一地震前後統計 Z 檢定.....	39
表 4-9(a)訓練資料類神經網路輸入層誤差百分比.....	40
表 4-9(b)驗證資料類神經網路輸入層誤差百分比.....	41
表 4-10 東部地區流域 RMSE 及相關係數.....	42
表 4-11 高屏溪流域 RMSE 及相關係數.....	43
表 4-12 濁水溪流域 RMSE 及相關係數.....	43
表 4-13 淡水河流域 RMSE 及相關係數.....	44
表 4-14 東部地區流域各模式誤差百分(%)比之比較.....	49
表 4-15 高屏溪流域各模式誤差百分比(%)之比較.....	50
表 4-16 濁水溪流域各模式誤差百分比(%)之比較.....	50
表 4-17 淡水河流域各模式誤差百分比(%)之比較.....	51

表 4-18 東部地區流域各模式判定係數(R^2)之比較	51
表 4-19 高屏溪流域各模式判定係數(R^2)之比較	52
表 4-20 濁水溪流域各模式判定係數(R^2)之比較	52
表 4-21 淡水河流域各模式判定係數(R^2)之比較	53
附表 1 各流域測站記錄資料	61

圖目錄

圖 2-1 台灣侵蝕率及河川年輸砂量	5
圖 2-2 台灣 49 個主要集水區輸砂量	5
圖 2-3 懸浮載輸砂濃度與流量的關係	8
圖 2-4 懸浮載輸砂濃度的供應量變化圖	9
圖 3-2 生物神經元組成結構圖	12
圖 3-3 人工神經元模型	15
圖 3-1 各流域位置圖	19
圖 3-2 研究流程圖	20
圖 3-3 左圖雙彎曲函數，右圖為雙曲線正切函數	25
圖 3-4 類神經網路架構	26
圖 4-1 全台灣九二一地震水平最大地動加速度	37
圖 4-2 六個流域九二一地震前後一年懸浮載含量差異	37
附圖 1 秀姑巒溪—玉里大橋 RMSE	62
附圖 2 秀姑巒溪—立山 RMSE	62
附圖 3 秀姑巒溪—立山 RMSE	62
附圖 4 秀姑巒溪—馬遠橋 RMSE	63
附圖 5 秀姑巒溪—瑞穗大橋 RMSE	63
附圖 6 花蓮溪—仁壽橋 RMSE	63

附圖 7 花蓮溪—平林 RMSE.....	64
附圖 8 花蓮溪—花蓮大橋 RMSE	64
附圖 9 花蓮溪—馬鞍溪橋 RMSE	64
附圖 10 花蓮溪—萬里溪橋 RMSE	65
附圖 11 花蓮溪—箭瑛溪橋 RMSE.....	65
附圖 12 知本溪—知本(3)RMSE.....	65
附圖 13 高屏溪—九曲堂 RMSE	66
附圖 14 高屏溪—三地門 RMSE	66
附圖 15 高屏溪—大津 RMSE	66
附圖 16 高屏溪—大津橋 RMSE	67
附圖 17 高屏溪—六龜 RMSE	67
附圖 18 高屏溪—月眉 RMSE	67
附圖 19 高屏溪—杉林大橋 RMSE	68
附圖 20 高屏溪—里嶺大橋 RMSE	68
附圖 21 高屏溪—阿其巴橋 RMSE	68
附圖 22 高屏溪—美濃 RMSE	69
附圖 23 高屏溪—荖濃 RMSE	69
附圖 24 高屏溪—楠峰橋 RMSE	69
附圖 25 濁水溪—內茅埔 RMSE	70

附圖 26 濁水溪－玉峰橋 RMSE	70
附圖 27 濁水溪－自強大橋 RMSE	70
附圖 28 濁水溪－西螺 RMSE	71
附圖 29 濁水溪－延平橋 RMSE	71
附圖 30 濁水溪－桶頭(2)RMSE	71
附圖 31 濁水溪－溪州大橋 RMSE	72
附圖 32 濁水溪－彰雲橋 RMSE	72
附圖 33 濁水溪－寶石橋 RMSE	72
附圖 34 淡水河－三峽(2)RMSE	73
附圖 35 淡水河－三鶯橋 RMSE	73
附圖 36 淡水河－五堵 RMSE	73
附圖 37 淡水河－介壽橋 RMSE	74
附圖 38 淡水河－秀朗 RMSE	74
附圖 39 淡水河－屈尺 RMSE	74
附圖 40 淡水河－橫溪 RMSE	75
附圖 41 淡水河－寶橋 RMSE	75

壹、前言

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界處，板塊與板塊間相互擠壓造就出陡峭的地形、地貌和不規則破碎的地質，為一狹長形海島，多數為高山、丘陵及坡地。故台灣地區大型河川如：淡水河、濁水溪、高屏溪、花蓮溪、秀姑巒溪等皆以多砂河川著稱。台灣地理位置處於西太平洋上颱風通過路徑範圍內，又因豐枯期季節水量相差懸殊，每當颱風豪雨來時，常挾帶豐沛且集中的雨量，使得崩落的物質隨著颱風豪雨，被水流搬運至河川，成為河川懸浮載含量的供應來源。歷經九二一地震後導致土壤地質鬆動，上游集水區土石崩落，每當颱風豪大雨時，河川中懸浮載含量更是倍增。

台灣地區的山地佔總面積的75%，因人口數量增加，使得平原地區的開發幾乎達到飽和狀態，進而轉向山坡地開發愈來愈多。但因台灣山區地形陡峭、地質脆弱，加上颱風豪雨頻繁，經常引起許多山坡崩塌災害。而崩塌所產生的大量土石將被暴雨帶動形成土石流，如：賀伯颱風挾帶大量豪雨過境時，造成陳有蘭河流域大規模的土石流災害。

河川中懸浮載的傳輸對集水區內河道中形貌的改變、水庫使用年限的長短、農作物之灌溉、船隻的航行、水質污染及水生動植物的棲地等，均會造成不同程度之影響。其中，颱風豪雨事件中所造成的高流量，更可讓懸浮載輸砂濃度產生極大的變化，在短時間內對環境造成嚴重的衝擊和災害。因此，若能有效推估河川中懸浮載輸砂濃度，則可幫助水利單位修建引水設施、輸水渠道及引水渠道建造沉砂池等，以降低懸浮載輸送至下游用水單位水源中之泥砂濃度，進而有效降低或減少下游地區的衝擊及災害。

貳、 文獻回顧

一、 地震及颱風豪雨與輸砂量之關係

以山嶺線為界而區分出一個流域範圍，地面所降下的雨水、融雪水、地下水和地表下之飽和層滲出水等匯流於一處流出的範圍，稱為集水區（catchment 或 watershed）。

在一個集水區系統中，河川輸砂來源可區分為河道邊坡（slope）及河道（channel）兩種。在河道邊坡中，產生輸砂的方式有四種型態：雨濺沖蝕（splash erosion）、紋溝沖蝕或指狀沖蝕（rill erosion）、溝谷沖蝕（gully erosion）及土體運動（mass movement）等；河道所產生出輸砂主要來自河川渠道中沖蝕，包括河岸沖蝕（bank erosion）及河道沖蝕（channel erosion）（Gregory and Walling, 1973）。由邊坡和河川渠道中所沖蝕下來的物質，經由水流搬運至下游，以四種方式表示，有溶解（solution）、懸浮（suspended）、滾動（rolled）及跳躍載（saltation load）等方式。以上述四種搬運方式，搬運物質可分為河床載（bed load）、懸浮載（suspended load）與溶解質（dissolved load）三種。河床載指鄰近河床底部流動之較粗粒泥砂、礫石或卵石，其粒徑大於細砂以上，通常呈滑動、滾動或跳動運行，會隨水流強弱，時停時移；懸浮載顆粒粒徑較細小，以懸浮的方式移動，介於水面以下河床載以上之懸浮之泥砂；溶解質則以離子方式被溶解至水中而移動。受到邊坡和河川渠道兩個作用下，集水區內河床載、懸浮載和溶解質，經由河川水流運移至下游，即為河川輸砂量（sediment yield）。

由於河床載因在水流底部移動，在施測上較為困難，只能以不定期的河床載取樣資料及水流特性資料，選定適合公式，如利用蕭克立契氏（Schoklitsch）來計算河床載（吳建民，1978），很難有長期的實測資料。台灣河流的輸砂量，河川的流量、河床坡度，以及河床載的粒徑大小有關，（何智武、黃宏斌，1983）提出河床輸砂估計公式，進而比較台灣河川平均的河床載量約為懸浮載輸砂量的15%（何智武，1984）。溶解質方面對集水區影響較不大，在輸砂量中所佔的比例較微小。懸浮載由於施測較容易，

資料取得完整，在河川總輸砂量的比例較高，通常河川的中輸砂量大部分指的是懸浮載的含量。

台灣地區因颱風豪雨經常帶來強大且集中的降雨，而造成山區崩塌，崩落的物質則被颱風豪雨搬運至河道，成為河川懸浮載含量輸砂的來源。然而台灣在自然環境條件影響下，雖然陸地面積僅占全世界陸地面積的0.024%，但產生出懸浮載含量卻佔全球產量的1.9% (Dadson *et al.*, 2003)。台灣地區因處於地震帶常有地震出現、土壤地質鬆散、又加上颱風經常過境和河川坡降大等地理環境條件，使得在單位面積下所產生出來的砂率超越全世界平均值產砂率100倍之多 (Milliman and Meade., 1983; Milliman and Syvitski., 1992)。其中，崩塌是台灣山區集水區產砂量的重要供應來源之一，而大規模的地震發生及強烈颱風豪雨，經常使得山區引發較大規模的崩塌現象，而這些崩塌物質底部堆積大量的岩屑，又缺乏地表植被覆蓋，每逢颱風豪雨來襲時，易造成地表逕流沖蝕和搬運現象，使河川內輸砂含量大增，對於水庫或下游地區之居住人民，造成嚴重的災害。

Keefe(2000)研究中發現，地震所釋放出來的能量導致山區崩塌的密度隨著距離越接近震央而提升，而不是沿著破碎裂帶均勻的分布。張瑞津等(2001)等人針對陳有蘭溪中游的4個區域小流域進行山崩與土石流發生頻率之研究，整理出在內茅埔、龍神橋等，雨量測站量測的累積降雨量若超過200mm時，豐丘溪及白不仔溪流域就會開始發生山崩與土石流現象。Lin *et al.*(2003)研究陳有蘭溪流域山崩及土石流發生的降雨門檻值及山崩發生的變化特性，發現九二一地震後造成土石流的累積降雨量及最大降雨強度均下降為地震前的1/3，而且地震後所發生的山崩大多出現在坡度40°~50°之間的邊坡。

王俊哲(2003)利用「通用土壤流失公式 (USLE)」、「土壤沖蝕指標模式 (SEIM)」及「集水區資訊系統 (WinGrid)」等三種泥砂推估模式，推估該集水區泥砂之產量，並將推估值與實際值進行比較與探討。在九二一地震前後對該集水區之泥砂生產評量採用「坡地土壤沖蝕量」

及「山區河道土砂輸送量」兩項相加。顯示崩塌土石輸送之泥砂量佔總推估量之76%，為集水區泥砂主要來源。另外，再將推估之懸浮載輸砂量與下游水文流量站之懸浮載輸砂量實測值進行比較，結果得知推估量與實測值相當。Dadson *et al.*(2004)在九二一地震後，濁水河流域中有92%之崩塌物質仍堆積在山區邊坡上，但受到桃芝颱風豪雨事件的沖刷，有13%之邊坡上的崩塌物質進入了河川中。許盈松等(2005)台灣地區之河川高流量多發生於颱風豪雨時期，故泥砂人工採樣工作受限於天候、交通及經費條件限制，以致泥砂濃度資料質量、記錄歷時代表性仍顯不足。

Hovius *et al.* (2000) 研究台灣中央山脈東部的馬鞍溪和萬里溪在1970~1996年的水量及懸浮載含量資料顯示，在低流量時都有運移懸浮載的能力；然而在相同流量下不同時間的懸浮載輸砂含量卻出現時有時無的情形，此與當時集水區中是否有崩塌堆積物質在邊坡有關，一旦有堆積物質，即使流量不大時，也有運移懸浮載的能力。

Dadson *et al.*(2003)利用經濟部水利署在各主要河川的水文測站資料來推估河川含砂量，以研究台灣的侵蝕率，並計算出台灣每年約384百萬噸的含砂量會被輸送進入海洋如圖2-1。九二一地震後，震央地區鄰近山脈之平均侵蝕率有呈現上升的趨勢2~4倍。Hwang(1982)研究台灣主要的49個集水區之泥砂輸砂之特性中發現，物理剝蝕率每年達3.526mm，此輸砂率與集水區周遭之地質環境有相關密切如圖2-2。

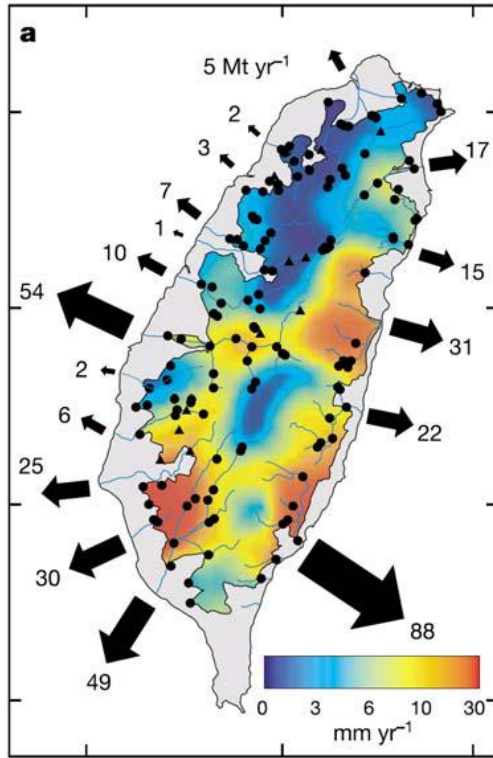


圖2-1台灣侵蝕率及河川年輸砂量(取自 Dadson *et al.*, 2003)

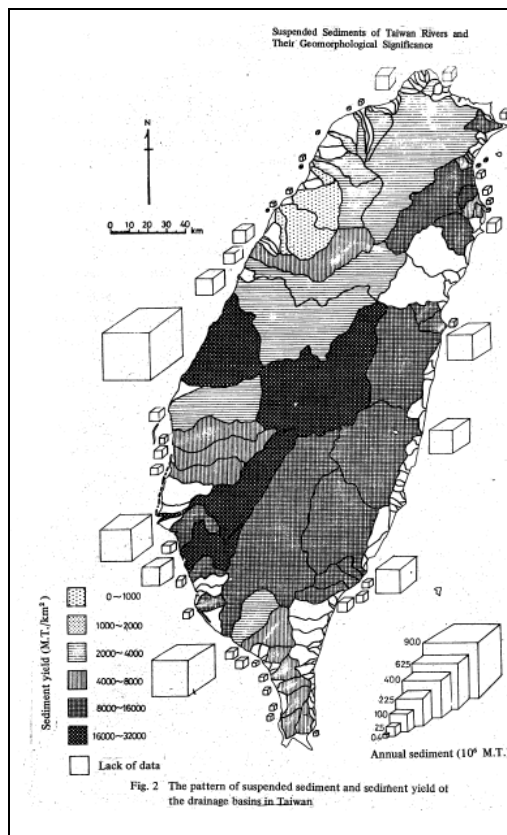


圖2-2台灣49個主要集水區輸砂量(取自 Hwang, 1982)

九二一地震在台灣中部山區產生大量的崩塌地物質，Dadson *et al.* (2004) 研究濁水溪和陳有蘭溪的懸浮載含量濃度變化，發現在九二一地震後崩塌地物質的增加，使河川的懸浮載含量濃度也大為提升。為了瞭解在九二一地震前後輸砂濃度的變化，Dadson *et al.* (2004) 以式(1)計算出集集地震前和地震後懸移質濃度的K值：

$$C = KQ^b \quad \text{式(1)}$$

其中，C為懸浮載濃度 (mg/L)，Q是流量 (m³/s)，b為一個固定值的係數。再以 $\Delta K = K_{\text{post}}/K_{\text{pre}}$ ，表示地震前後單位懸浮載輸砂濃度的改變；當 $\Delta K > 1$ 時，表示地震後單位懸浮載輸砂濃度增加。結果顯示單位輸砂濃度在地震後有增加的趨勢現象，驗證出在九二一地震中所產生的崩塌物質在降雨中，被沖刷至河道，使河川的輸砂濃度增加。

二、 流量與懸浮載濃度之關係

河川集水區的懸浮載含量可視為水流造成地表侵蝕速率指標，可透過河川的流量歷線和懸浮載含量濃度之間關係加以推估。因此，河川流量與懸浮載含量濃度常有著複雜的關係，在相同流量下，懸浮載含量濃度可相差到十的數次方倍 (Walling *et al.*,1982)，尤其在颱風豪雨事件中懸浮載含量濃度變化更為明顯，其河川洪峰流量與懸浮載含量高峰並不會完全一致，而會出現所謂的遲滯效應現象(hysteresis effect)，懸浮載含量濃度在水文歷線的上升段和下降段的變化會因當時的地理環境條件及懸浮載含量輸砂供應情形，而出現很多不同的型態，但以水利署現階段懸浮載資料中，無法呈現出此型態的變化。須透過現場密集的觀測採樣資料才能看出變化情形。

懸浮載含砂量濃度乃指天然河川或人工渠道水流中攜帶的泥砂重量比例，通常以在水中的濁度(turbidity)計算，其單位是單位重量水中所含

泥砂的乾重量，用百萬分之一表示，簡寫為ppm（parts per million），如式(2)（王如意、易任，1979）。經濟部水利署的觀測資料即以ppm為單位來表示。

$$\text{含砂量} = (\text{乾泥砂重量} / \text{水樣容積之清水重量}) \times 10^6 \text{ ppm} \quad \text{式(2)}$$

懸浮載含量濃度又可表示成乾泥砂的重量（mg）除以水和砂混合的體積（L），許多國外的相關研究幾乎都是以此mg/l 單位來表示。這兩種單位不完全相同一致，但兩者之間可以利用參數來加以轉換；將以ppm為單位所得的數據乘以一個參數值(1~1.5)，即可推估以mg/l 為單位的數值。當濃度接近或低於15000ppm時，參數轉換值為1，而濃度超過529000ppm時，則以1.5為參數進行轉換(Gregory and Walling, 1973)。

一般含砂量的表達方式有三種（中國水利學會泥砂專業委員會，1988）：

- (1) 以單位體積水內所含乾砂質量表達，這是常用的表達方法，其單位為kg/m³（或g/l）和g/m³（或mg/l）。
- (2) 以單位體積水內所含泥砂體積表達，稱為體積百分比含砂量。
- (3) 以單位重量水中所含乾砂重表達，稱為重量百分比含砂量。在含砂量很小的情況，常以百萬分數為單位來表示，單位為ppm。

懸浮載輸砂含量濃度與流量的關係並不一致，以長期的懸浮載輸砂含量濃度和流量關係，可發現在相同的流量下，懸浮載輸砂含量濃度卻有很大的差異。Walling and Webb(1987)分析集水區中13個測站的資料，發現懸浮載輸砂含量濃度和流量的關係在枯水期(冬季)(十月至三月)和豐水期(夏季)(四月至九月)有明顯的區別，因此，相同流量下冬天懸浮載輸砂含量濃度較低；但將各時期的暴雨事件分析時，發現豪雨時期流量和濃度沒有明顯的相關性，而且季節性差異也很小。另外，當其將資料分

成上升段與下降段加以分析時，其懸浮載輸砂含量濃度也不相同如圖2-3。

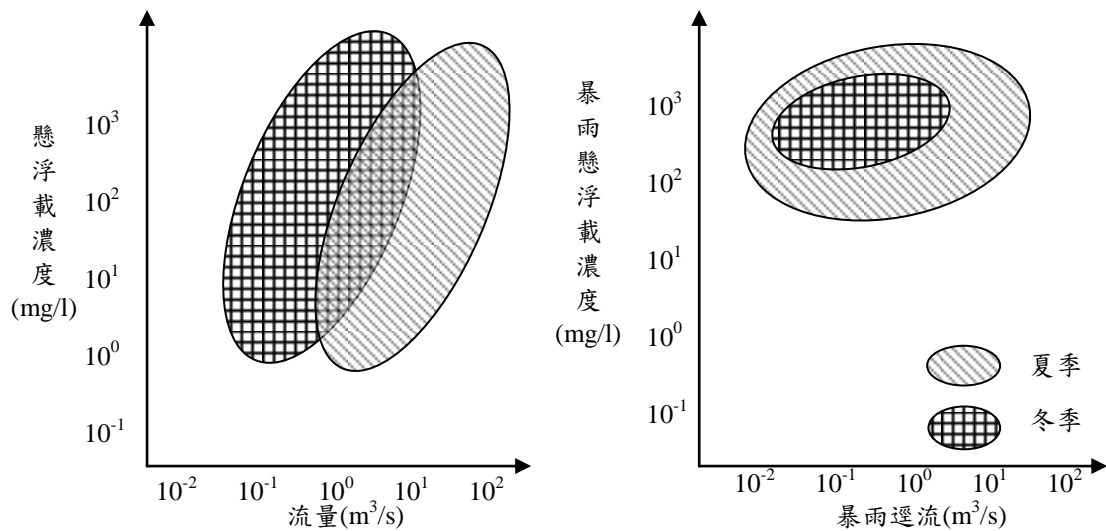


圖2-3懸浮載輸砂濃度與流量的關係（左圖為冬、夏季流量狀況；右圖為涵蓋暴雨資料）（修繪自Walling and Webb,1987）

懸移質輸砂濃度和流量的關係，和相鄰連續事件的間隔時間、延遲時間及降雨強度有關。以單場事件來看，地表暫存的堆積物質受到流水的沖蝕，在供應量有限的情況下，延遲時間越長，消耗的情況越明顯(Wood,1977)如圖2-4。懸浮載輸砂在乾季裡會累積貯存在邊坡或河床上，因此貯存量高，當雨季來臨時，有足夠的水量可以將懸浮載運移，使河川懸浮載輸砂濃度提高，但接著發生的降雨事件，卻因懸浮載輸砂貯存量漸漸減少，使得懸浮載濃度逐漸下降。但相鄰兩降雨事件的間隔期間越長，懸浮載輸砂貯存量就越高，洪水發生時，濃度也會跟著提高(Asselman,1999)。

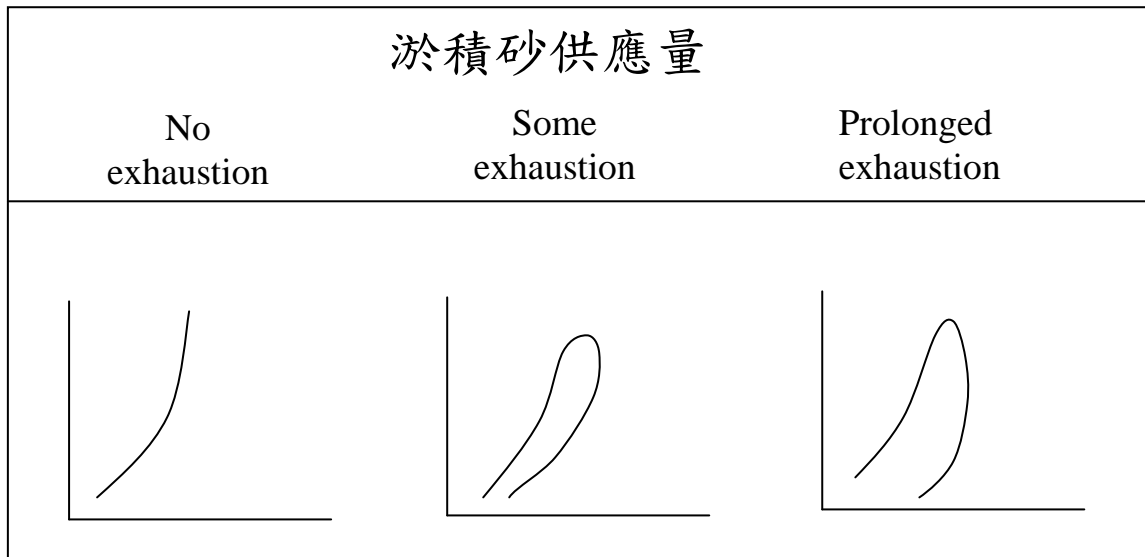


圖2-4懸浮載輸砂濃度的供應量變化圖(修繪自Wood,1977)

林孟龍、林俊全（1999）利用率定曲線分析懸浮載與流量來推估蘭陽溪上游集水區懸浮載生產量。在觀測期間，低流量30cms以下狀態佔總觀測次數約90%，只搬運懸浮載總生產量約19.69%；而在高流量500cms以上事件中有二件，一共搬運總生產量約8.39%，顯示較大規模流量事件對於集水區的輸砂影響重大。觀測期間，颱風季節所搬運的懸浮載佔了總懸浮載含量約59%，此顯示在颱風季節中集水區所生產懸浮載的重要性。Kao *et al.*(2005)從花蓮地區河川輸砂量的研究中顯示，在流量小於10cms之低流量狀態下，河川流量與輸砂量仍然會維持良好的正相關。

懸浮載依各河川流域、河道及水文特性，佔整個輸送總載中不同比重。一般而言河床載可能佔輸移總載總量約25%（錢寧、萬兆惠，1991）。因河床載觀測不易（Lee and Hsu,1994），觀測資料在時間及空間上之代表性低；相較之下，懸浮載觀測技術較成熟、觀測可行性較高，並可藉由懸浮載濃度推估河床載輸送量。

Dadson(2004)認為現今常用的6種輸砂量模式包括了：(1)直接平均法(Direct average,AVG)，(2)月權重平均法(Monthly weighted average,MWA)，(3)機率權重平均法(Flow probability weighted average,PW)，(4)率定曲線估計法(Rating curve estimate,RC)，(5)最小變異

公平率定曲線估計法 (Minimum variance unbiased rating estimate, MVUE)，(6)無參數率定曲線估計法(Non-parametric rating curve estimate, SM)等，以月權重平均法(MWA)最適合用於推估年平均輸砂量，而暴雨事件中則常因測資料的不足，改以率定曲線法較適合用於推估輸砂量。

三、類神經網路

(一)理論發展起源

科技技術發展日新月異，電腦的運算能力也大幅躍進，擅長執行高速的複計算，而且所得的結果具有高精確性與可靠性，已經變成現今日常生活中不可缺少的幫手。因手寫辨識、語音辨識、影像處理以及決策分析上，人類所表現出來的遠超過電腦，探討其原因之後，可發現人腦的記憶方式屬於聯想式，可重新將記憶重新組合、歸納而推演出新型態的變化，也就是學習與創意能力。類神經網路屬於人工智慧(Artificial Intelligence, AI)重要的一環，為現今熱門科技研究項目。所謂的人工智慧，是以電腦科學、數學、生物學、心理學、神經科學、物理學、哲學、語言學、工程學等多種科學的綜合性高科技，將人類智能加以電腦化，使電腦具有思考、學習及解決問題的能力。整體來說，電腦所缺乏的是學習方面能力，無法具備思考能力、應變與聯想等複雜性的生物行為，還稱不上擁有智能。

在這種情況下，類神經網路藉由生物學研究誕生，是一種模仿生物神經連結的資訊處理系統，其組成的個別單元能夠像生物的神經細胞(neuron)一樣，組成類似神經的構造，從而具備腦神經的某些特性，可以從過去的經驗進行學習、歸納、推理而得到結論。

於 1950 年代，當時由康乃爾的神經生物學家 (Frank Rosenblatt) 仿造人類的大腦神經構造組織及其運作方式，進而提出類神經網路模式—感知機 (Perceptron) 模式，是至今仍被使用最古老的類神經網路。由於感知機模式限制，使它無法產生複雜的邏輯函數，只能拿來做分類器

(classifier) 使用。但是在 1980 年代之前，當時人工智慧基礎也相當盛行，加上類神經網的理論發展，但是，感知機模式無法處理複雜的邏輯運算，因此類神經網路並沒有受到很大的重視，直到 1982 年代之後，由霍普菲爾 (Hopfield) 神經網路在 1982 年被提出，使得類神經網路理論才逐漸受到重視。直到今日，類神經網路仍不斷有新的理論與架構被提出，配合電腦運算能力速度的增加，使得類神經網路的功能更強大，運用層面也更加廣泛。

(二)類神經網路發展史

整個類神經網路發展歷程，發展時期可分成五個重要時期：

1. 孕育期 (1956 之前)：Frank Rosenblatt 提出「感知機」模式前。
2. 誕生期 (1957~68)：Frank Rosenblatt 提出「感知機」模式起。
3. 挫折期 (1969~81)：Minsky 與 Papert 出版「感知機」一書起。
4. 重生期 (1982~86)：霍普菲爾 (J.Hopfield) 提出霍普菲爾網路起。
5. 成熟期 (1987 迄今)：第一次正式的國際類神經網路研討會召開起。

(三)類神經原理

人類的大腦約由數百億個神經細胞 (nerve cells) 組成，而每個神經細胞又有數千個突觸 (synapses) 與其他細胞互相連結，形成一個非常複雜的神經網路。類神經網路則是模仿生物神經網路的資訊處理系統。類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 的定義為：「類神經網路是一種計算功能，包含軟體與硬體，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，它從外界環境或其他人工神經元取得資訊，以非常簡單的運算，並輸出其結果到外界環境或者其他人工神經元。」(葉怡成，2000)

生物神經網路是由數千億個神經細胞，又稱為神經元 (Neuron) 所組成的，其生物神經元的基本單位，如圖 3-2。

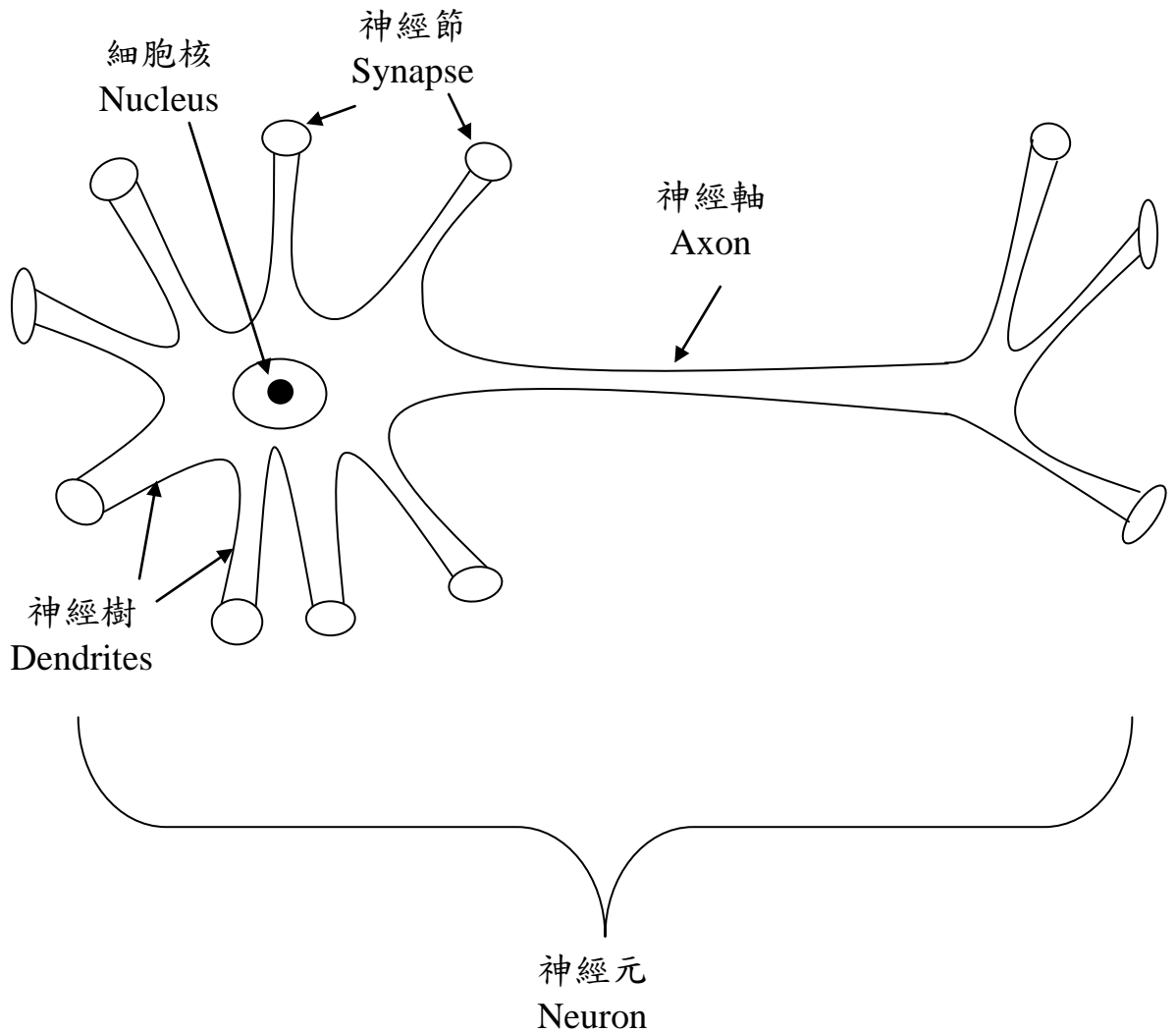


圖 3-2 生物神經元組成結構圖

1. 細胞核/神經核 (Nucleus)：

為神經細胞主體，主要的工作為處理訊號之結構。

2. 軸突/神經軸 (Axon)：

神經細胞呈軸索狀之輸送結構，主要的工作將細胞核訊號處理，輸送到其他神經元去。

3. 樹突/神經樹 (Dendrites) :

神經細胞呈樹枝狀之輸送結構，主要的工作將外界或其它神經元之訊號輸入神經細胞內處理。

4. 突觸/神經節 (Synapse) :

神經樹上呈點狀之結構，主要的工作將接收到的訊號，去判斷調整訊號的最佳途徑。

5. 神經元 (Neuron) :

又稱為神經細胞，主要為構成神經系統的基本的功能單位。

當外界各種不同形式的資訊或能量訊號（例如，聲、光、電、熱等刺激），當神經細胞透過神經節與神經樹從其它神經元輸入脈波訊號後，經過神經核處理，產生一個新的脈波訊號，如果脈波訊號夠強，將產生一個約100毫伏0.001秒的脈波訊號，這個訊號再經過神經軸傳送到其神經樹，再透過神經節與神經樹成為其它神經元的輸入脈波訊號，如果脈波訊號是經過興奮神經節(excitatory synapse)，則會增加脈波訊號的速率(pulse rate)，如果脈波訊號是經過抑制神經節(inhibitory synapse)，則會減少脈波訊號的速率，因此，脈波訊號的速率是同時取決於輸入脈波訊號的速率，以及神經節的強度(strength)而神經節的強度可視為神經網路儲存資訊之地方，生物神經網路的學習就是在調整神經節的強度。

因此，我們可以說神經樹是細胞本體的輸入路徑，透過細胞本體許許多多聯絡的神經節來接受周圍細胞本體所傳出的訊號，也就是說，神經軸就相當於細胞本體的輸出路徑，類神經網路則是由許許多多人工神經元聯結所組成的。

所以類神經網路是要對生物神經網路做出最簡單的模擬，而人工神經元則是最基本的類神經網路單元，又可以稱為處理單元(processing element)或節點(node)。圖3-3是一個人工神經元模型(artificial neuron)。這

些人工神經元又稱為處理單元(processing unit)，每一個處理單元的輸出以扇狀送出，成為其它許多處理單元的輸入。

處理單元其輸出值與輸入值的關係式，一般可用輸入值的加權乘積和之函數來表示，如式(3)：

$$Y = f(\sum W_{ij} X_i - \theta) \quad \text{式(3)}$$

Y：輸出變數值，模仿生物神經元的模型的輸出訊號。

f：活化函數，模仿生物神經元的模型的輸換函數(transfer function)非線性處理機能，是一個用以其它處理單元輸入的輸入值之加權乘積和轉換成處理單元輸出的數學公式。

W_{ij} ：連結加權值，模仿生物神經元的模型的神經節強度，又稱連結加權值。

X_i ：輸入變數，模仿生物神經元的模型的輸入訊號。

θ ：門限值，模仿生物神經元的模型的閾值，又稱偏權值。

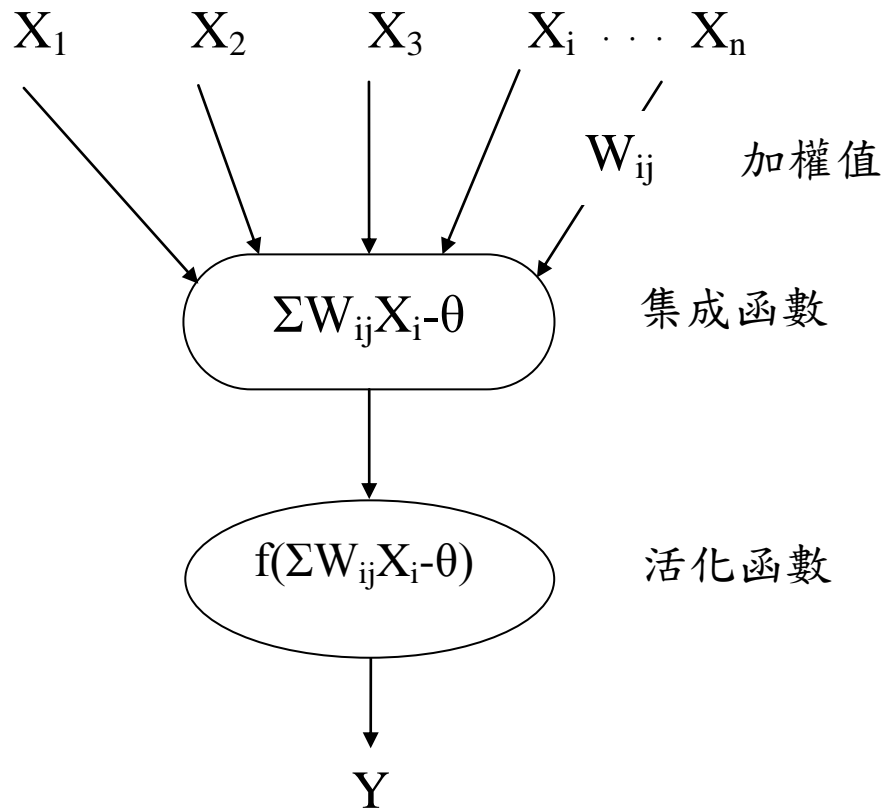


圖 3-3 人工神經元模型(artificial neuron)

介於處理單元間的訊號傳遞路徑稱為連結(connection)，每一個連結上有一個數值的加權值 W_{ij} ，用以表示第 i 處理單元對第 j 個處理單元之影響強度。

類神經網路訓練的目的，就是讓類神經網路的輸出值越接近目標值。亦即，相同的輸入到系統與類神經網路，得到的輸出值亦要相同。類神經網路未訓練前，其輸出是凌亂的，隨著訓練次數的增加，類神經網路的鍵結值會逐漸的被調整，使得目標值與神經網路的輸出兩者誤差越來越小，當兩者的誤差幾乎不再變化時，類神經網路已收斂(Convergence)，此時類神經網路便訓練完成。通常會定義一個價值函數(Cost function)作為神經網路收斂的指標，除了輸入和輸出無相關性或網路配置失當外，價值函數將會隨著網路的訓練次數越變越小最後幾乎不再變化。

一個類神經網路是由許許多多個人工神經元與其連結所組成，並且可組成各種網路模式 (network model)，其中以倒傳遞網路 (back-propagation network, BPN) 應用最為普遍。一個倒傳遞網路包含許多層，每一層包含若干個處理單元，輸入層處理單元用以輸入外在環境的訊息，輸出層處理單元用以輸出訊息給外在環境。此外，一個層狀類神經網路經常包含若干層隱藏層 (hidden layer)，隱藏層的存在提供類神經網路表現處理單元間的交互作用，與問題的內部結構的能力。通常每一層處理單元均有連結與相鄰層的處理單元連接。(葉怡成，2000) 倒傳遞類神經網路的重要概念說明如下：

1. 推導過程 (Reasoning process)：

在執行推導時，由於網路訊號的傳遞均是由輸入層開始，經由數千層隱藏層函數轉換後，最後傳達到輸出層。

2. 訓練範例 (Training example)：

一個完整訓練完成範例包括一組輸入層處理單元的輸入值，與另一組輸出層處理單元的輸出值，才能完成一個訓練模組。

3. 學習過程 (Learning process)：

在一個模組學習過程中，誤差訊號產生的傳遞是從輸出層開始，經由若干層隱藏層函數轉換後，最後傳達到輸入層，並將誤差訊號的傳遞過程修正連接上的加權值大小。

4. 學習演算法 (Learning algorithm)：

學習演算法是一種修正連結中的加權值的演算法，可從一組已訓練完成範例中，學習此範例隱函數演算法。

(四)類神經網路之相關研究

類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)為近年來應用廣泛於瞭解水資源領域之非線性問題，其結果可進一步與多變量分析與迴歸分析等統計方法校正以克服傳統經驗估算法無法解決之困境。

近年慢慢開始有人利用類神經網路來推估河川中懸浮載含量濃度，在運用類神經網路模式推估懸浮載濃度，採用以月為間隔的資料，可快速推估得到的懸浮載含量濃度，並可提前預警懸浮載含量濃度變化的趨勢(Cigizoglu,2002)。Sajikumar *et al.* (1992)，將類神經網路應用在月流量的研究上，討論雨量資料缺乏時如何建立模式以推求月流量。Cameron *et al.* (1999) 探討多種類輸入層資料之應用對月流量之推估有何影響，其輸入層資料包含雨量、溫度及流量。謝明翰(2002)針對水庫水質分析，對於各項水質進行時間上連續的預測，在研究中以曾文水庫2001年的實測資料與倒傳遞類神經網路所推估出預測值來進行比較，結果可知，在具備充足資料的情形之下，利用類神經網路來預測各項水質因子是可行的，但是研究中並無探討如何推估懸浮載含量濃度。張郁麟(2007)於台灣北部水庫利用類神經網路架構來推估懸浮固體濃度，預測與實測值的迴歸式係數達到0.90，表示推估趨勢十分良好。

利用地文特性參數加以推估河川懸浮載含量，其效果較佳。錢玉珠(1999)針對台灣地區100個集水區進行河川網路架構，推求地文特性參數，並進行統計特性分析，進而分別針對北、中、南、東各區與整個台灣地區之地文因子與水文量間之關係做相關性分析，針對相關性高之變數推求其迴歸式，建立地文因子與水文量之間迴歸關係式。Asaad *et al.* (1997) 探討不同的輸入層資料對模擬結果有何影響，其輸入層資料包含雨量、季節性資料、鄰近區域資訊等。詹仕堅等(2004)，將集水區地文特徵參數因子導入類神經網路的學習機制內，可進一步預測未設流量站集水區的洪水流量推估。Nagy *et al.*(2002)利用類神經網路系統(非線性系統模式)，模式中考量沉滓隨機運動之特性，所有輸入之變數不須簡化或忽略，應用時亦可不受邊界條件之限制，但須先收集足夠且準確之河川現場實測資料，作為類神經網路系統學習過程(learning process)之訓練資

料，因此實測資料不足或計算之情況超出訓練資料之範圍時，無法得到模擬正確之測料。

(Baruah *et al.*,2002)使用SPOT衛星影像照片的多段光譜影像與倒傳遞類神經網路推估兩者合並加以分析，在整個流域懸浮載含量濃度和葉綠素濃度的分佈，其分別利用1993/09/10和1994/04/22這兩天的LandsatTM衛星影像照片和當天的現場實測來進行分析比對，衛星光譜影像較不適合應用在懸浮載含量濃度突然上升的預警系統，因為需要完全無雲的狀態下才可進行分析處理，資料取得較不易。

類神經網路模式中，其學習的系統種類有許多種，其類神經網路系統運作方式和運作效果也不一樣。郭益銘(1999)應用多變量統計分析之因子分析，將雲林沿海地區地下水水質進行整理、歸納及分類，篩選出主要影響因子為「海水鹽化因子」及「砷污染因子」並以其為輸入值，應用「倒傳遞神經網路理論」來預測雲林沿海地區水質濃度變化之趨勢。陳昶憲等(1998，2001)，分別以時序類神經、模糊類神經建立集水區內流量測站的預測模式。賴建信、陳彥璋(2003)，以幅狀基底函數網路建立玉峰橋站高水位時期之流量預測模式，預測高水位時期之洪水流量。Chen *et al.*(2000)研究利用倒傳遞網路模式建立高屏溪流量預報模式，其模式架構是以河川上游的兩個測站作為模式的輸入向量，下游的一個測站作為輸出向量，配合不同的time steps (3~6小時)建立預報模式，其預報成果相當好。顯示出類神經網路模式對時序列穩定及合乎物理意義的資料具有模擬的功能。孫建平(1997)利用倒傳遞類神經網路演算法(BPN)，取前數小時之流量及雨量資料來預測下一個小時的流量，探討降雨-逕流過程中前期輸入個數對訓練及預測之影響，其類神經網路學習對水文事件中複雜關係，結果顯示良好。林淑真、李宗仰(1996)以神經元傳輸函數設定在水文時序建模之分析，以降雨事件中的流量歷線為研究對象，所得之結果顯示出，不同的轉換函數與網路參數的設定，對於預測準確度有所不同。

參、 研究方法

為瞭解九二一地震前後所造成邊坡上崩塌之災害，進而影響到河川中懸浮載含量之變化，本研究主要探討東部地區、高屏溪流域、濁水溪流域及淡水河流域在九二一前後懸浮載含量之變化及各模式懸浮載含量之推估比較，如圖3-1，研究的分析方法包括：(1)九二一地震前後斜率之比較，(2)九二一地震前後統計檢定，(3)類神經網路與迴歸模式之比較等工作項目。本研究資料的來源為經濟部水利署所提供的流量與懸浮載含量資料，因台灣地區氣候變化較為明顯，雨季常集中在夏季時期，故分為豐水期(夏季)與枯水期(冬季)，將所有流量資料分成枯水期(11月~隔年4月)與豐水期(5月~10月)兩類，因枯水期流量與懸浮載變化較不明顯，豐水期流量與懸浮載變化較為明顯，故本研究採用豐水期做為研究資料，研究流程如下圖3-2。

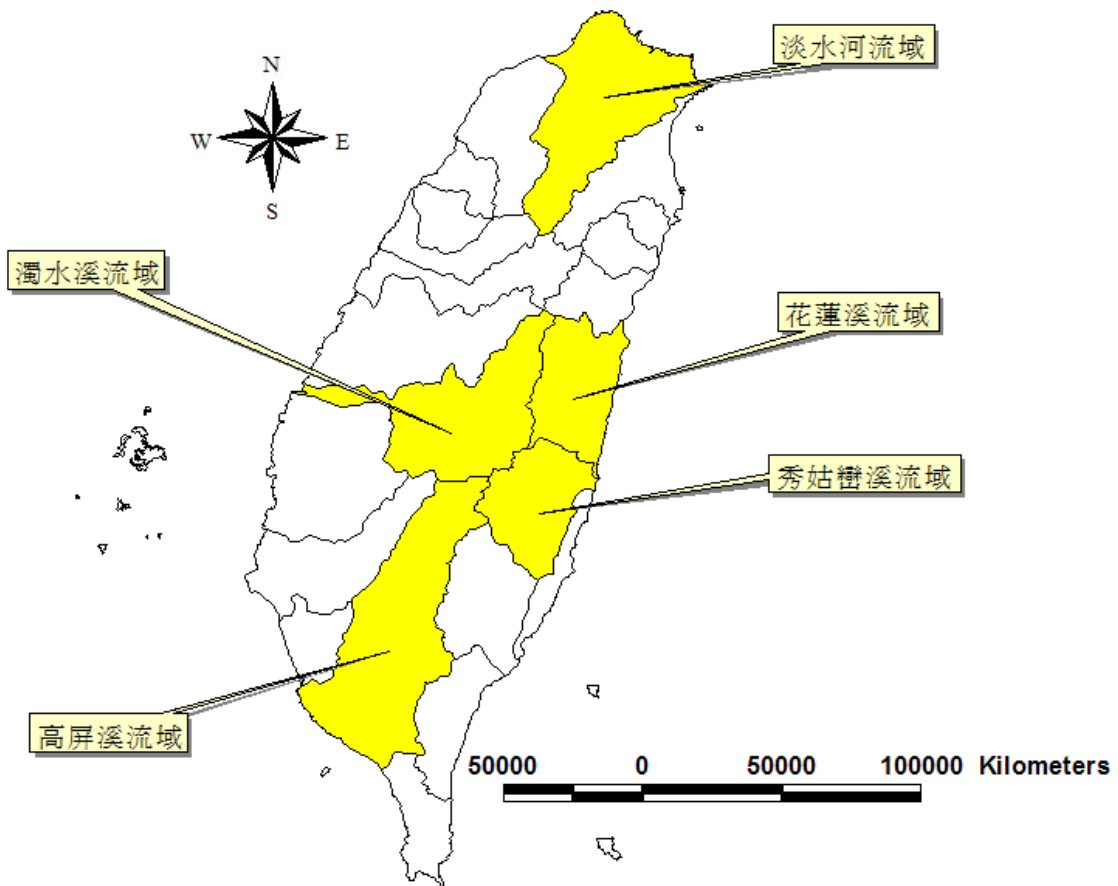


圖3-1各流域位置圖

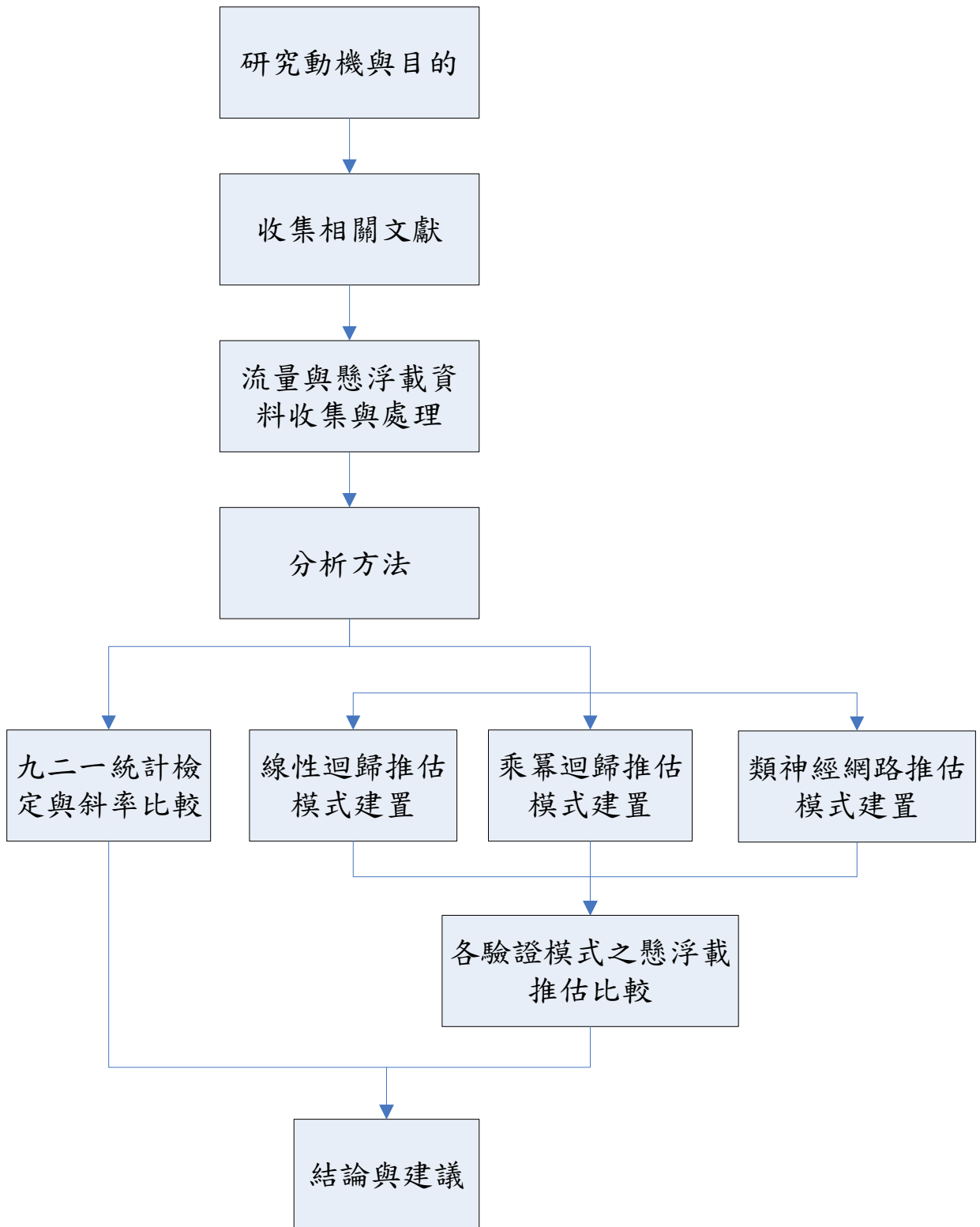


圖3-2研究流程圖

一、 九二一地震前後斜率之比較

台灣地區地質破碎、陡峻的地形和強烈的降雨特性，經常引發邊坡的崩塌，又經九二一大地震，造成山坡地大量崩塌物質，經由颱風豪雨沖刷至河川中，造成河川中懸浮載含量之提升。本節研究主要將經濟部水利署流量與懸浮載含量資料，進行資料整理計算，探討九二一地震前後懸浮載含量之變化，比較九二一地震前後斜率的變化，若九二一地震後斜率高於九二一地震前，表示在同流量時，九二一地震後懸浮載含量大於九二一地震前懸浮載含量，否則反之。

流量和懸浮載輸砂濃度的變化受到季節、遲滯現象及流量上升段及下降段的影響等而有不同現象。因此，在推估河川懸浮載的輸砂量時有必要加以區隔。目前懸浮載輸砂量主要是以率定曲線(rating curve)方式來推估，如式(4)(黃朝恩，1982；林孟龍，2002；陳翰霖和張瑞津，2003；Walling, 1977；Walling and Webb, 1987；Hovius *et al.*, 2000)：

$$Q_s = \alpha Q^\beta \quad \text{式(4)}$$

其中， Q_s 為單位懸移質輸砂濃度 (mg/L)， Q 為流量 (m³/s)， α ， β 為經驗係數， β 為一個固定值的係數(β 通常介於1.0~2.5之間)(Walling and Teed,1971)。

α_1 為地震前斜率係數， α_2 為地震後斜率係數，再以 $\Delta\alpha = \alpha_2/\alpha_1$ ，表示地震前後單位懸浮載輸砂濃度的改變；當 $\Delta\alpha > 1$ 時，表示地震後單位懸浮載輸砂濃度增加；當 $\Delta\alpha \leq 1$ 時，表示地震後單位懸浮載輸砂濃度減少或相近。其式是建立在運移限制的基礎上。事實上，大部分的河川皆有遲滯現象、產砂量不定和季節差異性等問題，因此使用率定曲線所推估懸浮載含砂量可能有很大的誤差，例如(Walling,1977)用於小型集水區，比較觀測實際值和率定曲線所推估值，其誤差可以達到280%，故在使用率定

曲線推估懸浮載輸砂量時宜謹慎考慮。

二、 九二一地震前後統計檢定

因九二一大地震，造成山坡地邊坡土石崩塌，加上颱風豪雨的沖刷，沖刷搬運至河川中，造成河川中懸浮載含量變化。因此，本節研究主要將經濟部水利署流量與懸浮載含量資料，利用統計Z檢定方法，探討在九二一地震前跟九二一地震後懸浮載含量之變化之差異是否達顯著水準。

以兩母體平均數差 $\mu_1 - \mu_2$ 的假設檢定方法，此檢定假設兩個獨立樣本各由個別的可測度母體中抽出，這些樣本是用來檢定兩個母體平均數是否相等，亦即是否 $\mu_1 = \mu_2$ 。若母體皆為常態分配且變異數皆已知，則不論樣本大小皆以常態分配處理。若不知母體分配為何，且皆為大樣時也以常態分配處理。假設條件如下：

- (1) 隨機且獨立抽取自常態分母體之樣本。(母體之樣本兩群分為九二一地震前跟九二一地震後懸浮載含量)
- (2) 母體變異數已知或未知。
- (3) 兩樣本之樣本數至少30天以上。

設立虛無假設與對立假設為：

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

檢定統計量Z：

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \quad \text{式(5)}$$

\bar{X}_1 ：樣本1平均數

\bar{X}_2 ：樣本2平均數

σ_1 ：母體1標準差(可用樣本標準差 S_1)

σ_2 ：母體2標準差(可用樣本標準差 S_2)

N_1 ：母體1數量

N_2 ：母體2數量

μ_1 ：母體1平均數

μ_2 ：母體平均數

三、類神經網路與迴歸模式之比較

本節研究中，在花蓮溪流域、秀姑巒溪流域、知本溪流域、高屏溪流域、濁水溪流域及淡水河流域，以經濟部水利署流量與懸浮載資料來做迴歸模式比較。在率定曲線法(Rating Curve, RC)中，基本假設將河川的輸砂行為設定於搬運限制(Transport-limited)的狀況，也就是有流量狀態下就會搬運泥砂，而泥砂搬運量的多寡會受到河川流量大小所控制(Hovius *et al.*, 2000)。因此利用河川流量與懸浮載輸砂量之實測資料建立率定曲線，一般常見有線性迴歸式、乘冪迴歸式兩種，另外加入類神經網路來推估比較，藉由三種不同模式來進行懸浮載含量推估之比較，模式關係式如下：

(一)線性迴歸式

將流量與懸浮載輸砂量資料進行整理分析，以線性方程式(二變數資料)來表示，如式(6)。

$$Q_s = \alpha Q + \beta \quad \text{式(6)}$$

其中：

Q_s ：單位懸移質輸砂濃度 (mg/L)

Q ：流量 (m^3/s)

α ：係數值

β ：係數值

(二)乘冪迴歸式

一般較常見迴歸模式，以乘冪迴歸式最為普遍，將流量與懸浮載輸砂量資料進行分析整理，如式(7)。

$$Q_s = \alpha Q^\beta \quad \text{式(7)}$$

其中：

Q_s ：單位懸移質輸砂濃度 (mg/L)

Q ：流量 (m^3/s)

α ：係數值

β ：係數值

(三)倒傳遞類神經網路 (back-propagation network,BPN)

本研究中類神經網路採用倒傳遞類神經網路模式來預測懸浮載之含

量，因為倒傳遞類神經網路模式是目前類神經網路學習模式中具代表性，學習過程採監督式的學習策略，依據類神經網路之輸出值與目標值之間的誤差，將誤差函數給予以最小化。此類神經網路演算法有強大的運算能力將大量之資料輸入、輸出，有效地完成眾多複雜之運算式。

其中激發函數模仿生物神經元之激發抑制的非線性處理機能，用以將從其他處理單元輸入的輸入值之加權乘積加，轉換成處理單元的輸出，倒傳遞網路最常用的非線性轉換函數為雙彎曲函數(sigmoid function)，其式(8)如下函數所示：

$$f(x)=1/1+e^{-x} \quad \text{式(8)}$$

此函數的輸入在負無限大和正無限大之間取值，輸出則是在0~1之間取值，代表神經元被激發或抑制,如圖3-3。

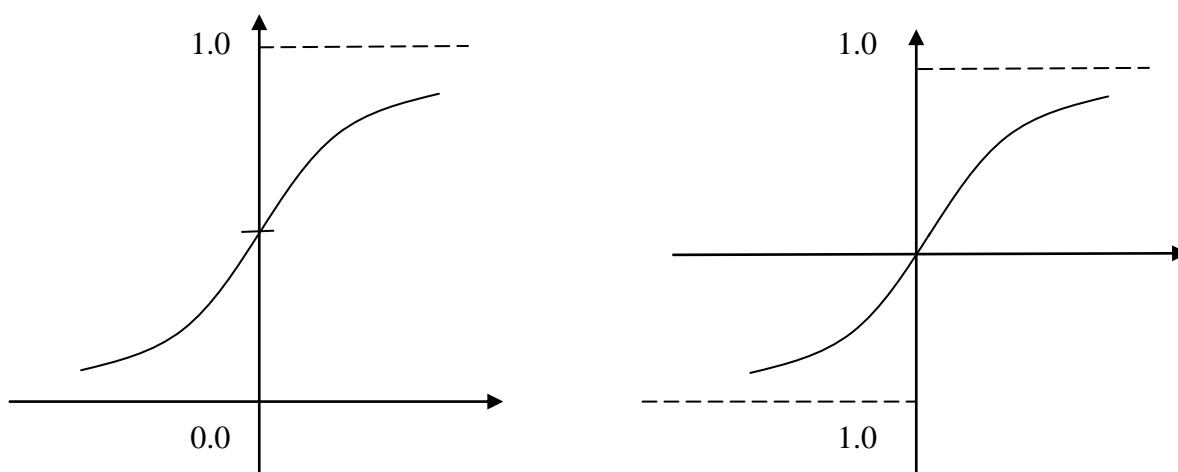


圖3-3左圖雙彎曲函數，右圖為雙曲線正切函數

倒傳遞類神經網路為三層架構之類神經網路，包含輸入層(Input layer)、隱藏層(Hidden layer)及輸出層(Output layer)，架構如圖3-4所示。

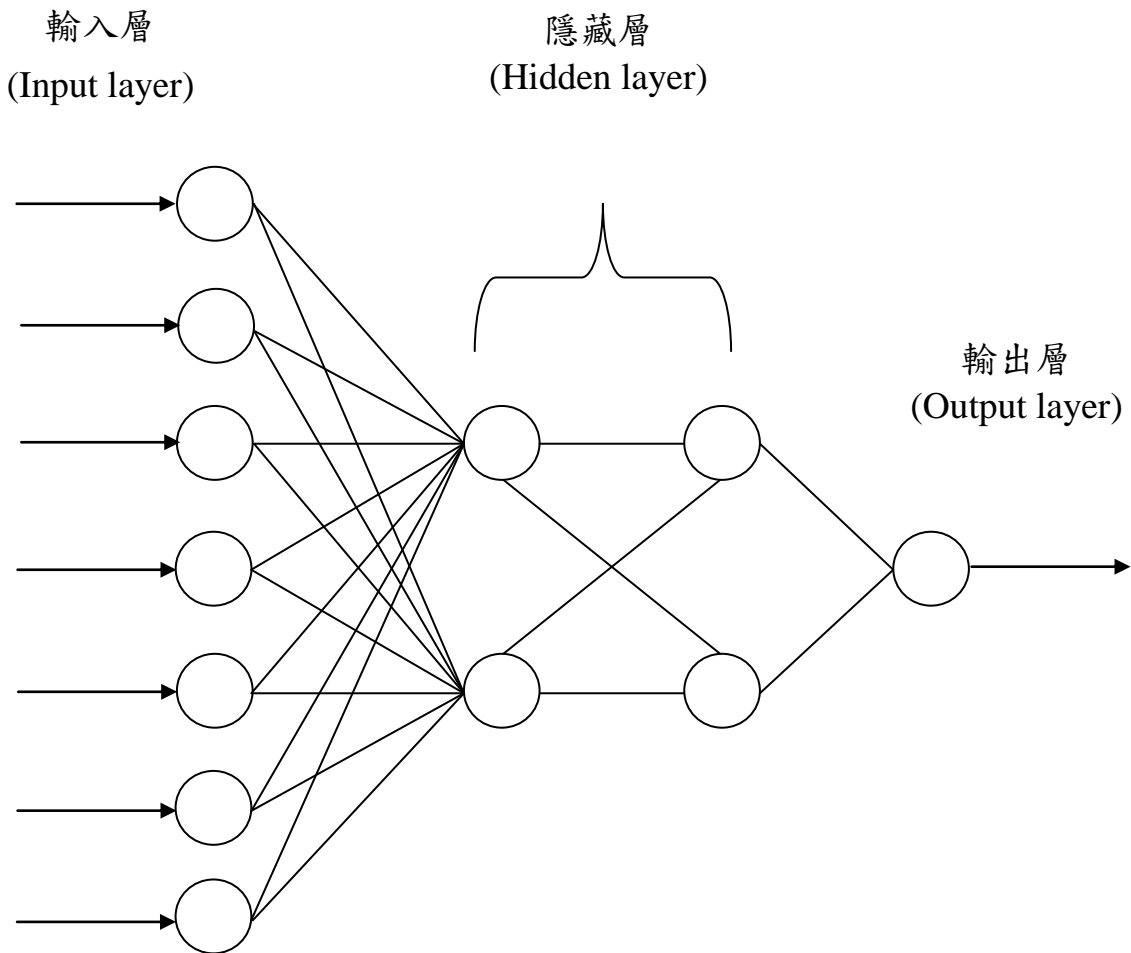


圖3-4類神經網路架構

在隱藏層神經元（節點）數目之決定並無一定原則，有時必須經由試誤法（try-and-error）求得最佳模式效能值，惟嘗試之初仍有一些經驗法則可供參考。調整隱藏層神經元個數之原則如下：（葉怡成，2000）

- (1) 問題複雜性高，隱藏層神經元數目宜較多。
- (2) 問題雜訊高，隱藏層神經元數目宜較少。
- (3) 測試/預測誤差遠高於訓練誤差，則隱藏層神經元數目宜較少；反之則較多。
- (4) 一般較常用隱藏層神經元數目決定之原則有二，如式(9)、式(10)

$$h = \frac{I + O}{2} \quad \text{式(9)}$$

$$h = \sqrt{I \times O} \quad \text{式(10)}$$

式中：

h ：隱藏層神經元數目

I ：輸入層神經元數目

O ：輸出層神經元數目

輸入層—用以接受外在環境的訊息；輸出層—用以輸出訊息給外在環境；隱藏層—倒傳遞類神經網路模式之學習訓練為監督式學習網路，其係從所探討問題中取得訓練案例，利用最陡坡降法(The Gradient Steepest Descent Method)的觀念，將誤差函數予以最小化，以由案例中推求輸入變數與輸出變數的內在對應規則，之後可應用回想功能，確定的內在對應規則，進行新案例之輸出變數值推估(葉怡成，2000)。

(四)類神經網路參數設定

類神經網路模式重要參數選擇，例如輸入層數目、隱藏層數目、隱藏層處理單元數目、學習循環次數等，本研究所使用的設定如下。

(1) 輸入層數目

在研究中，以經濟部水利署所觀測流量與懸浮載資料，去比時流量資料，因觀測時間較為不知，就以懸浮載流量去比對時流量資料，將採用最近時流量，並以此時流量為中心，向前後三小時流量做為輸

入層之資料。

(2) 隱藏層數目

一般在研究非線性問題時，隱藏層的數目為一至三層，例如在河川流量預報模式中，所採用的隱藏層數目為三層(Chen *et al.*,2000)，依網路增長法(Constructive algorithm)(Kwok and Yeung, 1997)尋找最合適的隱藏層神經元個數，先設定小數目的隱藏層神經元個數，逐一增加神經元個數，直到網路輸出懸浮載濃度和實測懸浮載濃度變化不大時的最少神經元個數。本研究中所使用隱藏層之層數以增長法求得最佳模式效能值，以採用二層隱藏做為模組。

(3) 隱藏層處理單元數目

隱藏層處理單元數目愈多，收斂時間愈慢，有可能取得更小的誤差值，但也有可能產生過度學習現象(overlearning)，造成訓練範例的誤差愈來愈小，測試範例誤差越來越小；隱藏層處理單元數目太少，雖然使得收斂速度加快，但是無法建構問題輸入與輸出間的非線性關係，誤差值可能較大。本研究於隱藏層處理單元數，以試誤法求得最佳模式效能值，採用4個節點數。

(4) 學習循環次數

學習循環次數的多寡，應視類神經網路收斂速度的快慢來取決，一般在設定網路學習過程結束的參數有二，一種是以誤差值為標準，當誤差值達到設定值時則結束學習過程，另一種則是學習循環次數為標準，本研究以學習循環次數達到設定值時則結束學習過程，研究學習循環次數6000~8000次為較佳，以取7000以學習次數。

(五)類神經網路模式效能評鑑指標

類神經網路模式效能之好壞，可以由均方根值 (Root of Mean Square Error, RMSE)、懸浮載誤差百分比(Error of Suspended load)及判定係數 (Coefficient of determination, R^2)，作為評估好壞的依據。當均方根值

(RMSE) 數值愈低，代表網路輸出值與目標值的差距愈小，即網路訓練與預測效果良好，誤差百分比數值愈小，代表網路輸出值愈接近目標值，當判定係數(R^2)數值愈高，代表網路輸出值與目標值趨勢相似程度愈好。本次研究是以此為評鑑網路效能優劣依據。

1. 均方根值 (Root of Mean Square, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (Q_{ij} - \hat{Q}_{ij})^2}{MN}} \quad \text{式(11)}$$

Q_{ij} : 第j個範例的第i個輸出神經元的目標輸出值

\hat{Q}_{ij} : 第j個範例的第i個輸出神經元的推論輸出值

M : 輸入層樣本之數目

N : 輸出層節點之數目

2. 懸浮載誤差百分比(Error of Suspended load, ES)

$$ES(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N |\hat{Q}_i - Q_i|}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad \text{式(12)}$$

Q_i : 時間i之觀測懸浮載量

\hat{Q}_i : 時間i之推估懸浮載量

N : 觀測值之數量

3. 判定係數 (Coefficient of determination, R^2)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q}_i)^2 - \sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2} \quad \text{式(13)}$$

Q_i : 時間i之觀測懸浮載量

\hat{Q}_i : 時間i之推估懸浮載量

\bar{Q}_i : 懸浮載量平均數

N : 懸浮載觀測量數

肆、 結果與討論

在台灣北中南東地區，因地震及颱風豪雨，造成各流域內山崩及土石流活動頻繁，因此，集水區內的河流流量與懸浮載輸砂量的關係是很值得更進一步去探討其彼此間的關連性。而九二一地震造成各山區大規模的崩塌，也影響到河川中懸浮載含量的變化差異。

一、 九二一地震前後斜率比較

九二一大地震發生於1999年9月21日凌晨1時47分15.9秒，台灣地區發生芮氏規模7.3強震，地震深度達8.0公里，震央在北緯23.85度，東經120.78度，即在南投魚池地震站西南方7.0公里，約在日月潭西偏南12.5公里處。此次地震造成二千多人死亡，一萬餘人受傷，數萬間房屋倒塌損毀。本次地震係主因為車籠埔斷層發生錯動所造成，並於地表產生約達100公里之地表錯動，斷層上下盤間之高差最大可達7~8公尺。此外，因車籠埔斷層屬逆衝斷層型態，斷層東側之上盤地區，震力額外激烈，導致車籠埔斷層以東地區災情加重。

本節分析東部地區流域、高屏溪流域、濁水溪流域及淡水河流域，研究資料來源為經濟部水利署所觀測流量及懸浮載含量數據，以懸浮載含量濃度變化之資料在九二一地震前後來比較。將 β 為一個固定值的係數 $\beta=1$ ，並計算出 α_1 為地震前斜率係數， α_2 為地震後斜率係數，再以 $\Delta\alpha = \alpha_2/\alpha_1$ ，當 $\Delta\alpha > 1$ 時，表示地震後單位懸浮載輸砂濃度增加；當 $\Delta\alpha < 1$ 時，表示地震後單位懸浮載輸砂濃度減少。

(1) 東部地區流域：

從表4-1中花蓮溪流域、秀姑巒溪流域及知本溪流域，在九二一地震前後的斜率可看出，在所有測站中幾乎九二一地震後的斜率比九二一地震前的斜率高，表示在下九二一地震後單位懸浮載含量有明顯的增加。另在花蓮溪流域中馬鞍溪橋測站中，九二一地震前斜率比九二一地震前後高，顯示在下九二一地震後單位懸浮載含量有明顯的減少。

(2) 高屏溪流域：

從表4-2中高屏溪流域中，在九二一地震前後的斜率比較可看出，在所有測站中大多九二一地震後的斜率比九二一地震前的斜率高，表示在下九二一地震後單位懸浮載含量有明顯的增加。另在高屏溪流域中大津橋、里嶺大橋及阿其巴橋測站中，九二一地震前斜率比九二一地震前後高，顯示在下九二一地震後單位懸浮載含量有明顯的減少。

(3) 濁水溪流域：

從表4-3中濁水溪流域中，在九二一地震前後的斜率比較可看出，在所有測站中大多九二一地震後的斜率比九二一地震前的斜率高，表示在下九二一地震後單位懸浮載含量有明顯的增加。因九二一地震區域主要在中部地區，造成山坡地邊坡土石崩塌，加上颱風豪雨沖刷，將崩塌物質沖刷至河川中，造成河川中懸浮載含量之提升。

(4) 淡水河流域：

從表4-4中淡水河流域中，在九二一地震前後的斜率比較可看出，在淡水河流域中三峽(2)、三鶯橋五堵、秀朗及稜角測站，九二一地震後的斜率比九二一地震前的斜率高，佔所近測站之一半，表示在下九二一地震後單位懸浮載含量有明顯的增加。另一半測站介壽橋、橫溪、寶橋、上龜山橋、玉峰、高義及霞雲測站，九二一地震前斜率比九二一地震前後高，顯示在下九二一地震後單位懸浮載含量有明顯的減少。

表 4-1 東部地區九二一地震前後斜率比較

溪流	流量站	921 前方程式	921 後方程式	921 後比前斜率高
花蓮溪	仁壽橋	$y = 26.677x^1$	$y = 39.039x^1$	○
花蓮溪	平林	$y = 218.077x^1$	$y = 254.398x^1$	○
花蓮溪	花蓮大橋	$y = 5.677x^1$	$y = 6.763x^1$	○
花蓮溪	馬鞍溪橋	$y = 72.892x^1$	$y = 43.368x^1$	×
花蓮溪	萬里溪橋	$y = 28.958x^1$	$y = 35.611x^1$	○
知本溪	知本(3)	$y = 13.716x^1$	$y = 14.665x^1$	○
秀姑巒溪	玉里大橋	$y = 9.732x^1$	$y = 18.486x^1$	○
秀姑巒溪	立山	$y = 26.373x^1$	$y = 63.376x^1$	○
秀姑巒溪	卓樂橋	$y = 24.888x^1$	$y = 36.678x^1$	○
秀姑巒溪	馬遠橋	$y = 13.171x^1$	$y = 22.893x^1$	○
秀姑巒溪	瑞穗大橋	$y = 3.596x^1$	$y = 10.235x^1$	○

○ : $\Delta\alpha > 1$ × : $\Delta\alpha \leq 1$

表 4-2 高屏溪流域九二一地震前後迴歸式

溪流	流量站	921 前方程式	921 後方程式	921 後比前斜率高
高屏溪	大津橋	$y = 14.422x^1$	$y = 8.995x^1$	×
高屏溪	三地門	$y = 10.402x^1$	$y = 12.095x^1$	○
高屏溪	六龜	$y = 2.924x^1$	$y = 9.820x^1$	○
高屏溪	杉林大橋	$y = 3.168x^1$	$y = 7.892x^1$	○
高屏溪	里嶺大橋	$y = 2.516x^1$	$y = 1.634x^1$	×
高屏溪	阿其巴橋	$y = 4.900x^1$	$y = 4.276x^1$	×
高屏溪	荖濃	$y = 1.277x^1$	$y = 2.531x^1$	○
高屏溪	楠峰橋	$y = 3.273x^1$	$y = 4.924x^1$	○

○ : $\Delta\alpha > 1$ × : $\Delta\alpha \leq 1$

表 4-3 濁水溪流域九二一地震前後迴歸式

溪流	流量站	921 前方程式	921 後方程式	921 後比前斜率高
濁水溪	內茅埔	$y = 10.589x^1$	$y = 55.811x^1$	○
濁水溪	玉峰橋	$y = 28.037x^1$	$y = 47.139x^1$	○
濁水溪	自強大橋	$y = 16.210x^1$	$y = 23.293x^1$	○
濁水溪	桶頭(2)	$y = 4.847x^1$	$y = 27.499x^1$	○
濁水溪	彰雲橋	$y = 5.940x^1$	$y = 20.559x^1$	○

○ : $\Delta\alpha > 1$ × : $\Delta\alpha \leq 1$

表 4-4 淡水河流域九二一地震前後迴歸式

溪流	流量站	921 前方程式	921 後方程式	921 後比前斜率高
淡水河	三峽(2)	$y = 6.356x^1$	$y = 6.592x^1$	○
淡水河	三鶯橋	$y = 7.532x^1$	$y = 13.493x^1$	○
淡水河	五堵	$y = 6.940x^1$	$y = 17.425x^1$	○
淡水河	介壽橋	$y = 7.903x^1$	$y = 6.492x^1$	×
淡水河	秀朗	$y = 6.580x^1$	$y = 14.845x^1$	○
淡水河	橫溪	$y = 7.234x^1$	$y = 4.419x^1$	×
淡水河	寶橋	$y = 12.143x^1$	$y = 15.489x^1$	×
淡水河	上龜山橋	$y = 3.959x^1$	$y = 3.912x^1$	×
淡水河	玉峰	$y = 8.746x^1$	$y = 2.648x^1$	×
淡水河	高義	$y = 4.046x^1$	$y = 1.363x^1$	×
淡水河	稜角	$y = 10.653x^1$	$y = 16.865x^1$	○
淡水河	霞雲	$y = 4.919x^1$	$y = 1.233x^1$	×

○ : $\Delta\alpha > 1$ × : $\Delta\alpha \leq 1$

二、 九二一地震前後統計檢定之比較

在九二一地震後，台灣山坡地邊坡產生出大量的崩塌地，在颱風豪雨中崩塌物質沖刷至河道中，使河道中懸浮載含量提升，造成河川下游之災害，本節利用統計 Z 檢定方法來探討九二一前後之懸浮載含量之變化。

(1) 東部地區流域

表 4-5 中統計檢定在顯著水準 90% 可發現，東部地區只有知本(3)及馬鞍溪橋測站有較顯著，表在九二一地震前後的懸浮載含量較為明顯變化。其他測站則無顯著，表示在九二一地震前後的懸浮載含量變化較為不明顯。

從圖 4-1~4-2 中可以看出地震水平最大地動加速度震幅與懸浮載含量變化差異大，雖然東部地區震幅不是最大，可能是因為東部山區上游地區，崩塌物質長期的累積，而在九二一地震後加上颱風豪雨的沖刷，使用河川中懸浮載含量變化量大。

(2) 高屏溪流域

表 4-6 中統計檢定在顯著水準 90% 可發現，高屏溪流域中所有測站均無顯著的現象，表示在九二一地震前後的懸浮載含量變化都較為不明顯。可能九二一震央在中部地區離南部地區較遠，因此南部地區較沒有影響。

從圖 4-1~4-2 中可以看出在高屏溪流域地震水平最大地動加速度沒有較明顯震幅變化，而在懸浮載含量變化也沒明顯的變化，可能是高屏溪流域離震央較遠，其對高屏溪流域懸浮載含量變化較不明顯。

(3) 濁水溪流域

表 4-7 中統計檢定在顯著水準 90% 可發現，濁水溪流域中內茅埔、玉峰橋、自強大橋、桶頭(2)及彰雲橋測站有顯著的現象，表示在

九二一地震前後的懸浮載含量變化較為明顯。因九二一震央在中部地區，此中部地區影響較為明顯。

從圖 4-1~4-2 中可以看出在濁水河流域地震水平最大地動加速度有明顯震度變化，而在懸浮載含量變化也有明顯的差異變化，可能是濁水河流域在震央附近其震度變化較大，因此濁水河流域懸浮載含量變化差量較為明顯。

(4) 淡水河流域

表 4-8 中統計檢定在顯著水準 90%可發現，淡水河流域中三鶯橋、玉峰、秀朗、高義及寶橋測站有顯著的現象，表在九二一地震前後的懸浮載含量較為明顯變化。另三峽(2)、山龜山橋、五堵、介壽橋及寶橋測站則無顯著現象，表示在九二一地震前後的懸浮載含量變化較為不明顯。

從圖 4-1~4-2 中可以看出在淡水河流域地震水平最大地動加速度有些微震度變化，而在懸浮載含量變化差異也較小，可能是淡水河流域離震央較遠，其淡水河流域懸浮載含量變化差異為較小。

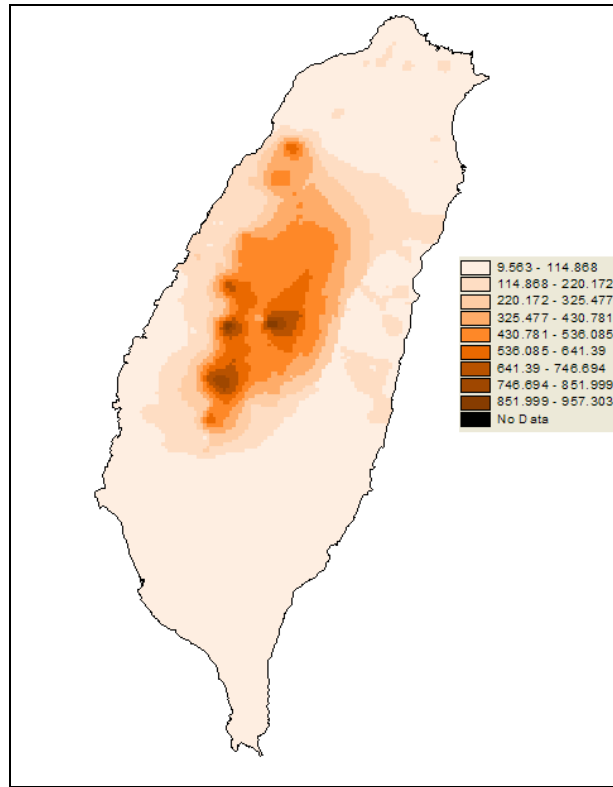


圖 4-1 全台灣九二一地震水平最大地動加速度

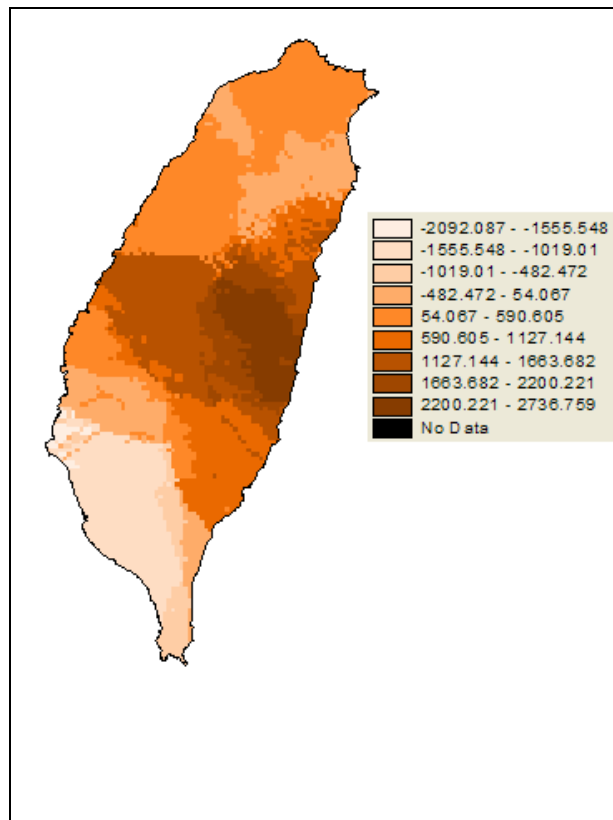


圖 4-2 六個流域九二一地震前後一年懸浮載含量差異

表 4-5 東部地區九二一地震前後統計 Z 檢定

流域	站名	70%	80%	90%	95%	99%
知本溪	知本(3)	○	○	○	○	○
花蓮溪	仁壽橋	○	×	×	×	×
花蓮溪	平林	×	×	×	×	×
花蓮溪	花蓮大橋	×	×	×	×	×
花蓮溪	馬鞍溪橋	○	○	○	○	○
花蓮溪	萬里溪橋	×	×	×	×	×
秀姑巒溪	玉里大橋	×	×	×	×	×
秀姑巒溪	立山	×	×	×	×	×
秀姑巒溪	卓樂橋	×	×	×	×	×
秀姑巒溪	瑞穗大橋	×	×	×	×	×

○：顯著 ×：不顯著

表 4-6 高屏溪流域九二一地震前後統計 Z 檢定

流域	站名	70%	80%	90%	95%	99%
高屏溪	荖濃	×	×	×	×	×
高屏溪	三地門	×	×	×	×	×
高屏溪	六龜	×	×	×	×	×
高屏溪	大津橋	×	×	×	×	×
高屏溪	杉林大橋	×	×	×	×	×
高屏溪	里嶺大橋	×	×	×	×	×
高屏溪	阿其巴橋	×	×	×	×	×
高屏溪	楠峰橋	×	×	×	×	×

○：顯著 ×：不顯著

表 4-7 濁水溪流域九二一地震前後統計 Z 檢定

流域	站名	70%	80%	90%	95%	99%
濁水溪	內茅埔	○	○	○	○	○
濁水溪	玉峰橋	○	○	○	○	○
濁水溪	自強大橋	○	○	○	○	×
濁水溪	桶頭(2)	○	○	○	○	×
濁水溪	彰雲橋	○	○	○	○	×

○：顯著 ×：不顯著

表 4-8 淡水河流域九二一地震前後統計 Z 檢定

流域	站名	70%	80%	90%	95%	99%
淡水河	三峽(2)	×	×	×	×	×
淡水河	三鶯橋	○	○	○	○	×
淡水河	上龜山橋	×	×	×	×	×
淡水河	五堵	×	×	×	×	×
淡水河	介壽橋	×	×	×	×	×
淡水河	玉峰	○	○	○	○	○
淡水河	秀朗	○	○	○	○	○
淡水河	高義	○	○	○	○	○
淡水河	橫溪	×	×	×	×	×
淡水河	寶橋	○	○	○	○	×

○：顯著 ×：不顯著

三、 類神經網路與迴歸模式推估之比較

河川中懸浮載含量多寡對農作物之灌溉、水質的污染及水生動植物的棲地等，均會造成影響。當暴雨事件中所造成懸浮載含量濃度有極大的變化，在短時間內對河川環境造成嚴重的衝擊和災害影響。若能有效的推估河川中懸浮載含量濃度，可幫助水利單位河川整治，以降低懸浮載輸送泥砂濃度，而有效降低或減少環境的衝擊及災害。

在河川流量與懸浮載含量中，一般最常用迴歸模式為線性迴歸模式與乘冪迴歸模式兩種，另加入類神經網路來做為比較。以誤差百分比與判定係數為各模式優劣比較。

在類神經網路，因流量觀測時間較為不定時，就以懸浮載流量去比對時流量資料，將採用最近時流量，並以此時流量為中心，以時流量中心、前後一小時、前後二小時、前後三小時及前後四小時流量做為輸入層之資料，在表 4-9 中顯示，前後三小時流量誤差百分比較小，故本研究採用前後三小時流量做為輸入層值。

表 4-9(a)訓練資料類神經網路輸入層誤差百分比

誤差百分比		訓練資料						
流域	測站	線性(1)	乘冪(1)	ANN(1)	ANN(3)	ANN(5)	ANN(7)	ANN(9)
濁水溪	內茅埔	59%	55%	55%	55%	49%	51%	52%
濁水溪	玉峰橋	41%	36%	36%	32%	30%	29%	28%
濁水溪	自強大橋	44%	52%	38%	40%	36%	36%	38%
濁水溪	西螺	48%	41%	41%	39%	39%	39%	39%
濁水溪	延平橋	46%	73%	40%	34%	28%	25%	26%
濁水溪	桶頭	60%	66%	56%	55%	51%	52%	53%
濁水溪	溪州大橋	29%	32%	30%	29%	27%	25%	24%
濁水溪	彰雲橋	45%	48%	42%	40%	41%	37%	38%
濁水溪	寶石橋	36%	35%	36%	34%	32%	29%	28%

表 4-9(b)驗證資料類神經網路輸入層誤差百分比

誤差百分比		驗證資料						
流域	測站	線性(1)	乘冪(1)	ANN(1)	ANN(3)	ANN(5)	ANN(7)	ANN(9)
濁水溪	內茅埔	52%	58%	51%	49%	50%	49%	51%
濁水溪	玉峰橋	51%	72%	49%	45%	42%	41%	41%
濁水溪	自強大橋	75%	59%	66%	64%	62%	62%	62%
濁水溪	西螺	43%	40%	38%	35%	34%	34%	35%
濁水溪	延平橋	44%	60%	35%	33%	30%	28%	29%
濁水溪	桶頭	82%	73%	73%	74%	71%	72%	72%
濁水溪	溪州大橋	46%	29%	36%	35%	35%	33%	34%
濁水溪	彰雲橋	38%	36%	46%	46%	44%	44%	42%
濁水溪	寶石橋	36%	35%	35%	35%	34%	35%	35%

ANN(1)：單一時流量，輸入值 1 點；ANN(3)：前後一小時，輸入值 3 點；
ANN(5)：前後二小時，輸入值 5 點；ANN(7)：前後三小時，輸入值 7 點；
ANN(9)：前後四小時，輸入值 9 點。

(一)均方根值 (Root of Mean Square, RMSE)

將各範例之推估結果以及目標輸出值點繪成散佈圖，並觀察資料點集中分佈於對角線之情形，資料點集中在對角線的程度可以相關係數來評量，RMSE 愈低相關係數愈大，網路之推估能力愈佳。

(1) 東部地區流域

在表 4-10 可看出，均方根值(RMSE)範圍為 0.01~0.1 之間，相關係數為 0.75 以上。東部地區流域(RMSE)，如附圖 1~1。

(2) 高屏溪流域

在表 4-11 可看出，均方根值(RMSE)範圍為 0.02~0.1 之間，相關係數為 0.75 以上。高屏溪流域(RMSE)，如附圖 13~24。

(3) 濁水溪流域

在表 4-12 可看出，均方根值(RMSE)範圍為 0.02~0.07 之間，相關係數為 0.9 以上。濁水溪流域(RMSE)，如附圖 25~33。

(4) 淡水河流域

在表 4-13 可看出，均方根值(RMSE)範圍為 0.01~0.13 之間，相關係數為 0.85 以上。淡水河流域(RMSE)，如附圖 34~41。

由此可知當均方根值 (RMSE) 數值愈低，即類神經網路訓練與預測效果良好，而相關係數愈大，代表各流域類神經網路之推估能力愈佳。

表 4-10 東部地區流域 RMSE 及相關係數

流域	測站	RMSE	相關係數
秀姑巒溪	玉里大橋	0.071471	0.875966
秀姑巒溪	立山	0.047793	0.942863
秀姑巒溪	卓樂橋	0.013516	0.757286
秀姑巒溪	馬遠橋	0.070089	0.954973
秀姑巒溪	瑞穗大橋	0.061728	0.933631
花蓮溪	仁壽橋	0.098858	0.839489
花蓮溪	平林	0.040211	0.981135
花蓮溪	花蓮大橋	0.072550	0.867838
花蓮溪	馬鞍溪橋	0.023476	0.991944
花蓮溪	萬里溪橋	0.039193	0.977987
花蓮溪	箭瑛大橋	0.052126	0.964244
知本溪	知本(3)	0.087316	0.873156

表 4-11 高屏溪流域 RMSE 及相關係數

流域	測站	RMSE	相關係數
高屏溪	九曲堂	0.038612	0.906983
高屏溪	大津	0.092049	0.891414
高屏溪	大津橋	0.063752	0.897082
高屏溪	三地門	0.074730	0.779985
高屏溪	六龜	0.042539	0.929573
高屏溪	月眉	0.068291	0.853185
高屏溪	杉林大橋	0.068916	0.880959
高屏溪	里嶺大橋	0.049052	0.933092
高屏溪	阿其巴橋	0.059443	0.877040
高屏溪	美濃	0.079478	0.913563
高屏溪	荖濃	0.072513	0.815714
高屏溪	楠峰橋	0.021755	0.970463
高屏溪	萬大大橋	0.082885	0.844116

表 4-12 濁水溪流域 RMSE 及相關係數

流域	測站	RMSE	相關係數
淡水河	三峽(2)	0.015107	0.992280
淡水河	三鶯橋	0.027962	0.981557
淡水河	五堵	0.063797	0.904492
淡水河	介壽橋	0.028348	0.990041
淡水河	秀朗	0.063182	0.921082
淡水河	屈尺	0.025481	0.983579
淡水河	橫溪	0.040343	0.957362
淡水河	寶橋	0.032764	0.971139

表 4-13 淡水河流域 RMSE 及相關係數

流域	測站	RMSE	相關係數
濁水溪	內茅埔	0.048517	0.881063
濁水溪	玉峰橋	0.048675	0.930534
濁水溪	自強大橋	0.124902	0.827401
濁水溪	西螺	0.083896	0.858330
濁水溪	延平橋	0.023537	0.984730
濁水溪	桶頭(2)	0.063004	0.879664
濁水溪	溪州大橋	0.013590	0.987476
濁水溪	彰雲橋	0.040700	0.945190
濁水溪	寶石橋	0.033281	0.956608

(二) 懸浮載誤差百分比(Error of Suspended load, ES)

本節研究利用線性迴歸式、乘冪迴歸式及類神經網路模式等三種模式進行比較，針對主要集水區流域進行懸浮載含量之推估，在所推估出之懸浮載含量與實際懸浮載含量來比較，利用誤差百分比公式來計算進行比較。

(1) 東部地區流域

在東部地區流域中三種迴歸模式，分為訓練資料(85%)及驗證資料(15%)，我們可以表 4-14 中明顯看出，訓練資料(85%)，線性迴歸模式誤差百分比範圍在 29~60%之間，乘冪迴歸模式誤差百分比 29~69%之間，類神經網路誤差百分比範圍在 17~51%之間，驗證資料(15%)，線性迴歸模式誤差百分比範圍在 26~72%之間，乘冪迴歸模式誤差百分比 31~70%之間，類神經網路模式誤差百分比範圍在 18~63%之間，由此可知類神經網路模式誤差量大多比線性迴歸模式與乘冪迴歸模式的誤差量來的較小，表示類神經網路模式所推估出來的懸浮載含量較接近實際觀測值。三種模式在驗證資料(15%)比較各模式優劣順序，類神經網路模式 > 乘冪迴歸模式 > 線性迴歸模式。

(2) 高屏溪流域

在高屏溪流域中三種迴歸模式，分為訓練資料(85%)及驗證資料(15%)中，我們可以表4-15明顯看出，訓練網路資料(85%)，線性迴歸模式誤差百分比範圍在44~76%之間，乘冪迴歸模式誤差百分比43~70%之間，類神經網路模式誤差百分比範圍在33~57%之間，驗證資料(15%)，線性迴歸模式誤差百分比範圍在34~98%之間，乘冪迴歸模式誤差百分比34~84%之間，類神經網路模式誤差百分比範圍在27~73%之間，由此可知類神經網路模式誤差量大多比線性迴歸模式與乘冪迴歸模式的誤差量來的較小，表示類神經網路模式所推估出來的懸浮載含量較接近實際觀測值。但在所有測站中阿其巴橋測站其誤差百分比為最大。三種模式在驗證資料(15%)比較各模式優劣順序，類神經網路模式 > 乘冪迴歸模式 > 線性迴歸模式。

(3) 濁水溪流域

在濁水溪流域中三種迴歸模式，分為訓練資料(85%)及驗證資料(15%)中，我們可以表4-16明顯看出，訓練資料(85%)，線性迴歸模式誤差百分比範圍在29~60%之間，乘冪迴歸模式誤差百分比32~73%之間，類神經網路模式誤差百分比範圍在25~52%之間，驗證資料(15%)，線性迴歸模式誤差百分比範圍在36~82%之間，乘冪迴歸模式誤差百分比29~73%之間，類神經網路模式誤差百分比範圍在28~72%之間，由此可知類神經網路模式誤差量大多都有比線性迴歸模式與乘冪迴歸模式的誤差量來的較小，表示類神經網路模式所推估出來的懸浮載含量較接近實際觀測值。在彰雲橋測站中，驗證資料(15%)中的誤差量比另二種迴歸模式來的高，在訓練資料(85%)中，類神經網路比另二種迴歸模式來的低，由此可能推測在訓練資料方面誤差量強制降低，但可能會提高在驗證資料的誤差量。三種模式在驗證資料(15%)比較各模式優劣順序，類神經網路模式 > 乘冪迴歸模式 > 線性迴歸模式。

(4) 淡水河流域

在淡水河流域中三種迴歸模式，分為訓練資料(85%)及驗證資料(15%)中，我們可以表4-17明顯看出，訓練資料(85%)，線性迴歸模式誤差百分比範圍在35~55%之間，乘冪迴歸模式誤差百分比44~72%之間，類神經網路模式誤差百分比範圍在19~43%之間，驗證資料(15%)，線性迴歸模式誤差百分比範圍在23~89%之間，乘冪迴歸模式誤差百分比38~77%之間，類神經網路模式誤差百分比範圍在21~73%之間，由此可知類神經網路模式誤差量大多比線性迴歸模式與乘冪迴歸模式的誤差量來的較小，表示類神經網路模式所推估出來的懸浮載含量較接近實際觀測值。但有部分測站所計算出來的誤差量都超過50%以上，表示所推估出來的懸浮載含量跟實際觀測值還有一段落差。在介壽橋及秀朗測站中，驗證資料(15%)中的誤差量比另二種迴歸模式來的高，在訓練資料(85%)中，類神經網路比另二種迴歸模式來的低，由此可能推測在訓練資料方面誤差量強制降低，但可能會提高在驗證資料的誤差量。三種模式在驗證資料(15%)比較各模式優劣順序，類神經網路模式 > 線性迴歸模式 > 乘冪迴歸模式。

(三) 判定係數(R^2)之比較

本節研究利用線性迴歸式、乘冪迴歸式及類神經網路模式等三種模式進行比較，針對主要集水區流域進行懸浮載含量之推估，在所推估出之懸浮載含量與實際懸浮載含量來計算出判定係數 (R^2)，進而比較各模式之判定係數。

(1) 東部地區之流域

在東部地區流域中，我們可以表4-18明顯看出，三種模式之判定係數之比較，分為類神經網路在訓練資料(85%)及驗證資料(15%)中，在訓練資料(85%)線性迴歸模式中東部地區流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除測站馬遠橋 $R^2=0.423$ 未達0.5；乘冪迴歸模式東部地區流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除秀姑巒溪中玉里大橋、立山、卓樂橋及馬遠橋測站未達0.5；類神經網路模式東部地區流域所有測站判定係數(R^2)都達0.5以上，在驗證資料(15%)線

性迴歸模式中東部地區流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除馬遠橋、仁壽橋、花蓮大橋及箭瑛大橋未達0.5；乘冪迴歸模式東部地區流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除立山、卓樂橋、馬遠橋、仁壽橋、平林及花蓮大橋測站未達0.5；類神經網路模式東部地區流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除仁壽橋及箭瑛大橋測站未達0.5以上。由此可知類神經網路模式判定係數(R^2)都比另二種模式來的好，類神經網路模式判定係數(R^2)都有些微提升，表示在三種迴歸模式中類神經網路模式相關性較好。三種模式在驗證資料(15%)比較各模式優劣順序，類神經網路模式 > 線性迴歸模式 > 乘冪迴歸模式。

(2) 高屏溪流域

在高屏溪流域中，我們可以表4-19明顯看出，三種模式之判定係數之比較，分為類神經網路在訓練資料(85%)及驗證資料(15%)中，在訓練資料(85%)線性迴歸模式中高屏溪流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除大津橋、三地門及美濃測站未達0.5；乘冪迴歸模式高屏溪流域所有測站判定係數(R^2)幾乎未達0.5以上，佔所有測站一半以上，表示測站相關性較不佳；類神經網路模式高屏溪流域所有測站判定係數(R^2)都達0.5以上，在驗證資料(15%)線性迴歸模式中高屏溪流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除三地門、六龜、里嶺大橋及阿其巴橋未達0.5；乘冪迴歸模式高屏溪流域所有測站判定係數(R^2)未達0.5以上佔所有測站將近一半，表示一半的測站相關性較不佳；類神經網路模式高屏溪流域所有測站判定係數(R^2)都達0.5以上。由此可知類神經網路模式判定係數(R^2)都比另二種模式來的好，類神經網路模式判定係數(R^2)都有些微提升，表示在三種迴歸模式中類神經網路模式相關性較好。三種模式在驗證資料(15%)比較各模式優劣順序，類神經網路模式 > 線性迴歸模式 > 乘冪迴歸模式。

(3) 濁水溪流域

在濁水溪流域中，我們可以表4-20明顯看出，三種模式之判定係

數之比較，分為類神經網路在訓練資料(85%)及驗證資料(15%)中，在訓練資料(85%)線性迴歸模式中濁水溪流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上；乘冪迴歸模式濁水溪流域所有測站判定係數(R^2)幾乎未達0.5以上佔將近一半測站，表示測站相關性較不佳；類神經網路模式濁水溪流域所有測站判定係數(R^2)都達0.6以上，在驗證資料(15%)線性迴歸模式中濁水溪流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除自強大橋、西螺及桶頭(2)未達0.5；乘冪迴歸模式濁水溪流域所有測站判定係數(R^2)未達0.5以上，佔所有測站將近一半以上，表示一半的測站相關性較不佳；類神經網路模式濁水溪流域所有測站判定係數(R^2)都達0.5以上。由此可知類神經網路模式判定係數(R^2)都比另二種模式來的好，類神經網路模式判定係數(R^2)都有些微提升，表示在三種迴歸模式中類神經網路模式相關性較好。三種模式在驗證資料(15%)比較各模式優劣順序，類神經網路模式 > 線性迴歸模式 > 乘冪迴歸模式。

(4) 淡水河流域

在淡水河流域中，我們可以表4-21明顯看出，三種模式之判定係數之比較，分為類神經網路在訓練資料(85%)及驗證資料(15%)中，在訓練資料(85%)線性迴歸模式中淡水河流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.6以上；乘冪迴歸模式淡水河流域所有測站判定係數(R^2)達0.5以上佔所有測站一半，表示有一半測站相關性較不佳；類神經網路模式淡水河流域所有測站判定係數(R^2)都達0.7以上，在驗證資料(15%)線性迴歸模式中淡水河流域所有測站判定係數(R^2)幾乎都達0.5以上，除三峽(2)及秀朗未達0.5；乘冪迴歸模式淡水河流域所有測站判定係數(R^2)未達0.5以上，將近佔所有測站，表示在淡水河流域幾乎所有測站相關性較不佳，另外三鶯橋測站，乘冪迴歸模式中出現負相關性；類神經網路模式淡水河流域所有測站判定係數(R^2)都達0.5以上，除秀朗測站 $R^2=0.423$ 未達0.5。由此可知類神經網路模式判定係數(R^2)都比另二種模式來的好，類神經網路模式判定係數(R^2)都有些微提升，表示在三種迴歸模式中類神經網路模式相關性較好。三種模式在驗證資料

(15%)比較各模式優劣順序，類神經網路模式>線性迴歸模式>乘冪迴歸模式。

表 4-14 東部地區流域各模式誤差百分(%)比之比較

絕對誤差百分比		訓練資料(85%)			驗證資料(15%)		
流域	測站	線性	乘冪	ANN	線性	乘冪	ANN
秀姑巒溪	玉里大橋	56%	59%	47%	50%	36%	51%
秀姑巒溪	立山	53%	69%	35%	49%	69%	41%
秀姑巒溪	卓樂橋	54%	50%	51%	54%	47%	47%
秀姑巒溪	馬遠橋	60%	60%	20%	72%	62%	18%
秀姑巒溪	瑞穗大橋	41%	38%	32%	66%	53%	48%
花蓮溪	仁壽橋	45%	44%	40%	58%	53%	52%
花蓮溪	平林	29%	29%	17%	42%	48%	19%
花蓮溪	花蓮大橋	45%	41%	37%	55%	51%	41%
花蓮溪	馬鞍溪橋	38%	42%	17%	40%	36%	34%
花蓮溪	萬里溪橋	43%	50%	29%	44%	35%	42%
花蓮溪	箭瑛大橋	35%	33%	27%	67%	70%	63%
知本溪	知本(3)	44%	44%	43%	26%	31%	26%

表 4-15 高屏溪流域各模式誤差百分比(%)之比較

誤差百分比		訓練資料(85%)			驗證資料(15%)		
流域	測站	線性	乘冪	ANN	線性	乘冪	ANN
高屏溪	九曲堂	44%	44%	42%	43%	39%	33%
高屏溪	大津	54%	50%	33%	46%	46%	45%
高屏溪	大津橋	70%	63%	54%	65%	71%	55%
高屏溪	山地門	64%	70%	57%	64%	75%	65%
高屏溪	六龜	47%	60%	39%	56%	53%	40%
高屏溪	月眉	44%	43%	42%	50%	43%	39%
高屏溪	杉林大橋	48%	55%	43%	43%	63%	34%
高屏溪	里嶺大橋	46%	45%	46%	52%	45%	61%
高屏溪	阿其巴橋	76%	65%	50%	98%	84%	73%
高屏溪	美濃	73%	70%	33%	49%	67%	33%
高屏溪	荖濃	51%	50%	50%	44%	39%	44%
高屏溪	楠峰橋	75%	63%	42%	63%	75%	28%
高屏溪	萬大大橋	54%	46%	47%	34%	34%	27%

表 4-16 濁水溪流域各模式誤差百分比(%)之比較

絕對誤差百分比		訓練資料(85%)			驗證資料(15%)		
流域	測站	線性	乘冪	ANN	線性	乘冪	ANN
濁水溪	內茅埔	59%	55%	51%	52%	58%	49%
濁水溪	玉峰橋	41%	36%	29%	51%	72%	41%
濁水溪	自強大橋	44%	52%	36%	75%	59%	62%
濁水溪	西螺	48%	41%	39%	43%	40%	34%
濁水溪	延平橋	46%	73%	25%	44%	60%	28%
濁水溪	桶頭(2)	60%	66%	52%	82%	73%	72%
濁水溪	溪州大橋	29%	32%	25%	46%	29%	33%
濁水溪	彰雲橋	45%	48%	37%	38%	36%	44%
濁水溪	寶石橋	36%	35%	29%	36%	35%	35%

表 4-17 淡水河流域各模式誤差百分比(%)之比較

絕對誤差百分比		訓練資料(85%)			驗證資料(15%)		
流域	測站	線性	乘冪	ANN	線性	乘冪	ANN
淡水河	三峽(2)	55%	72%	26%	89%	63%	73%
淡水河	三鶯橋	35%	57%	20%	23%	64%	21%
淡水河	五堵	47%	58%	42%	64%	73%	56%
淡水河	介壽橋	45%	45%	19%	40%	38%	45%
淡水河	秀朗	46%	49%	43%	56%	47%	59%
淡水河	屈尺	45%	44%	23%	67%	77%	32%
淡水河	橫溪	44%	72%	39%	61%	72%	39%
淡水河	寶橋	44%	45%	20%	34%	53%	28%

表 4-18 東部地區流域各模式判定係數(R^2)之比較

判定係數(R^2)		訓練資料(85%)			驗證資料(15%)		
流域	測站	線性	乘冪	ANN	線性	乘冪	ANN
秀姑巒溪	玉里大橋	0.619	0.430	0.711	0.494	0.852	0.622
秀姑巒溪	立山	0.659	0.257	0.880	0.608	0.132	0.871
秀姑巒溪	卓樂橋	0.519	0.471	0.566	0.503	0.437	0.515
秀姑巒溪	馬遠橋	0.423	0.269	0.884	0.357	0.310	0.947
秀姑巒溪	瑞穗大橋	0.763	0.755	0.847	0.681	0.711	0.803
花蓮溪	仁壽橋	0.587	0.572	0.666	0.418	0.428	0.416
花蓮溪	平林	0.906	0.901	0.958	0.606	0.463	0.942
花蓮溪	花蓮大橋	0.643	0.620	0.744	0.377	0.303	0.522
花蓮溪	馬鞍溪橋	0.894	0.832	0.983	0.628	0.798	0.801
花蓮溪	萬里溪橋	0.798	0.692	0.885	0.744	0.822	0.780
花蓮溪	箭瑛大橋	0.881	0.853	0.916	0.408	0.291	0.461
知本溪	知本(3)	0.746	0.687	0.759	0.963	0.873	0.954

表 4-19 高屏河流域各模式判定係數(R²)之比較

判定係數(R ²)		訓練資料(85%)			驗證資料(15%)		
流域	測站	線性	乘冪	ANN	線性	乘冪	ANN
高屏溪	九曲堂	0.677	0.595	0.797	0.615	0.546	0.610
高屏溪	大津	0.523	0.476	0.784	0.579	0.570	0.599
高屏溪	大津橋	0.411	0.291	0.624	0.514	0.294	0.639
高屏溪	山地門	0.499	0.097	0.594	0.487	0.053	0.527
高屏溪	六龜	0.694	0.400	0.824	0.486	0.629	0.826
高屏溪	月眉	0.678	0.642	0.721	0.760	0.783	0.861
高屏溪	杉林大橋	0.727	0.454	0.763	0.783	0.419	0.855
高屏溪	里嶺大橋	0.754	0.724	0.819	0.421	0.699	0.690
高屏溪	阿其巴橋	0.578	0.390	0.769	0.432	0.179	0.535
高屏溪	美濃	0.323	0.213	0.835	0.585	0.177	0.870
高屏溪	荖濃	0.651	0.568	0.663	0.690	0.761	0.759
高屏溪	楠峰橋	0.696	0.437	0.939	0.650	0.223	0.922
高屏溪	萬大大橋	0.651	0.624	0.708	0.736	0.720	0.791

表 4-20 濁水河流域各模式判定係數(R²)之比較

判定係數(R ²)		訓練資料(85%)			驗證資料(15%)		
流域	測站	線性	乘冪	ANN	線性	乘冪	ANN
濁水溪	內茅埔	0.633	0.583	0.759	0.514	0.392	0.536
濁水溪	玉峰橋	0.709	0.458	0.856	0.502	0.553	0.669
濁水溪	自強大橋	0.594	0.356	0.675	0.373	0.293	0.511
濁水溪	西螺	0.639	0.647	0.733	0.451	0.457	0.607
濁水溪	延平橋	0.902	0.305	0.964	0.754	0.400	0.859
濁水溪	桶頭(2)	0.678	0.351	0.767	0.437	0.253	0.563
濁水溪	溪州大橋	0.945	0.877	0.968	0.508	0.891	0.838
濁水溪	彰雲橋	0.815	0.692	0.888	0.611	0.624	0.652
濁水溪	寶石橋	0.858	0.854	0.906	0.714	0.690	0.770

表 4-21 淡水河流域各模式判定係數(R²)之比較

判定係數(R ²)		訓練資料(85%)			驗證資料(15%)		
流域	測站	線性	乘冪	ANN	線性	乘冪	ANN
淡水河	三峽(2)	0.867	0.294	0.971	0.420	0.738	0.626
淡水河	三鶯橋	0.820	0.320	0.959	0.843	0.382	0.836
淡水河	五堵	0.728	0.429	0.795	0.622	0.326	0.731
淡水河	介壽橋	0.734	0.658	0.968	0.552	0.406	0.599
淡水河	秀朗	0.679	0.579	0.789	0.424	0.602	0.443
淡水河	屈尺	0.825	0.762	0.964	0.611	0.360	0.937
淡水河	橫溪	0.880	0.311	0.907	0.690	0.218	0.890
淡水河	寶橋	0.729	0.594	0.939	0.729	0.304	0.735

伍、 結論

1. 在九二一大地震前後中，地震位移量與懸浮載含量之變化，可以發現在九二一地震，主要都集在中部地區和東部地區位移量較大，而九二一地震前後一年懸浮載含量差以濁水溪流域及東部地區流域為最大，而淡水河流域及高屏溪流域地震位移量較小，相對懸浮載含量差異也較不明顯。
2. 在統計檢定方面，九二一地震前後懸浮載含量變化，在各流域中懸浮載含量變化較明顯為濁水溪流域，全部測站達顯著水準90%以上，而其淡水河流域中，只有三鶯橋、玉峰、秀朗、高義及寶橋測站有達顯著水準90%；而東部地區流域與高屏溪流域中，懸浮含量變化較為不顯著。
3. 在九二一大地震前後斜率比較，可發現九二一地震後斜率顯明比九二一地震前斜率高，表示在九二一地震後懸浮載含量有明顯的增加。
4. 研中顯示當均方根值（RMSE）數值愈低，即類神經網路訓練與預測效果良好，而相關係數愈大，代表網路之推估能力愈佳。在東部地區流域均方根值介於0.01~0.1之間，相關係數0.75以上；高屏溪流域均方根值介於0.02~0.1之間，相關係數0.75以上；濁水溪流域均方根值介於0.01~0.07之間，相關係數0.9以上；淡水河流域均方根值介於0.01~0.13之間，相關係數0.85以上。
5. 在類神經網路模式中經由測試，輸入層點數以前後三小時流量輸入層值，訓練次數為七千次，隱藏層為二層四節點為最佳模式。
6. 東部地區流域、高屏溪流域、濁水溪流域及淡水河流域中，從本研究中可看出，在類神經網路與二種迴歸模式比較中，類神經網路在誤差百分比都比另二種迴歸模式來得小，顯示類神經網路模式有很好的推估能力。在東部地區流域、高屏溪流域及濁水溪流域中，各模式誤差百分比優劣順序比較，類神經網路模式 > 乘冪迴歸模式 > 線性迴歸模式；另淡水河流域中，模式誤差百分比優劣順序比較，類神經網路模式 > 線性迴歸模式 > 乘冪迴歸模式。
7. 在類神經網路與二種迴歸模式比較中，類神經網路判定係數(R^2)上都比另二種迴歸模式來略高，所以類神經網路可以有效推估河川懸浮載

含量。在集水區流域中，各模式判定係數優劣順序比較，類神經網路模式 > 線性迴歸模式 > 乘冪迴歸模式。

參考文獻

1. 中國水利學會泥砂專業委員會，1988，*泥砂手冊*，中國。
2. 王如意、易任，1982，*應用水文學(上、下)*，國立編譯館，臺北。
3. 王俊哲，2003，*九二一集集大地震前後集水區泥砂量推估之探討-以烏溪支流北港溪集水區為例*，碩士論文，國立中興大學。
4. 何智武，1984，「台灣河川上游集水區之泥砂來源與控制」，*中華水土保持學報*，第15期，第1-2卷，第15-25頁。
5. 何智武、黃宏斌，1983，「臺灣上游湍流河道之輸砂模式研究」，*中華水土保持學報*，第14期，第1-2卷，第95-106頁。
6. 吳建民，1978，「台灣地區河川輸砂量之推估公式」，*集水區及河川之經理研討會論文集*，國立臺灣大學水資源研究小組，第184-206頁。
7. 林孟龍，2002，*颱風對於蘭陽溪上游集水區懸移質生產特性的影響*，碩士論文，國立臺灣大學，地理環境資源研究所。
8. 林孟龍、林俊全，1999，「曾文水庫集水區山崩之規模與頻率分析關係之探討」，*國立台灣大學地理學系學報*，第26期，第13-23頁。
9. 林淑真、李宗仰，1996，「神經元傳輸函數在水文時序建模之分析」，*第八屆水利工程研討會*，221-218頁。
10. 孫建平，1997，*類神經網路及其應用於降雨及逕流過程之研究*，碩士論文，國立臺灣大學，農業工程學系。
11. 張郁麟，2007，*倒傳遞類神經網路應用於台灣北部水庫懸浮固體濃度即時分析與預測之研究*，碩士論文，國立臺灣大學，生物環境系統工程學系暨研究所。
12. 張瑞津、沈淑敏、劉盈劭，2001，「陳有蘭溪四個小流域崩塌與土石流發生頻率之研究」，*地理研究報告*，第34期，第63-83頁。
13. 許盈松、劉家豪、蔡俊鋒，2005，「水庫渾水觀測技術研究」，*逢甲大學專案研究計畫成果報告*，台中。
14. 郭益銘，1999，*應用多變量統計與類神經網路分析雲林沿海地區地下水水質變化*，碩士論文，國立台灣大學，農業工程研究所。
15. 陳昶憲、楊朝仲，1998，「時序類神經集水區洪水預測模式」，*臺灣水利*，第46期，第1卷，第84-98頁。

16. 陳昶憲、蔡國慶、黃尹龍，2001，「模糊類神經應用於集水區出流量之預測」，*中國土木水利工程學刊*，第13期，第2卷，第395-403頁。
17. 陳翰霖、張瑞津，2003，「曾文水庫對流量及輸砂量的影響」，*師大地理研究報告*，第39期，第37-53頁。
18. 黃朝恩，1982，「台灣河川輸砂特性及其地形意義」，*師大學報*，第27期，第649-679頁。
19. 葉怡成，2000，*類神經網路模式應用與實作*，儒林圖書有限公司，台北。
20. 詹仕堅、孫志鴻、徐美玲、李建堂，2004，「以集水區地文特徵為基礎的類神經網路洪水推估研究」，*中華水土保持學報*，第35期，第1卷，第1-16頁。
21. 賴建信、陳彥璋，2003，「以類神經網路預測玉峰橋站高水位時期之流量」，*中華水土保持學報*，第34期，第3卷，第261-269頁。
22. 錢玉珠，1999，*台灣地區集水區地文特性之初步分析*，碩士論文，國立台灣海洋大學，河海工程學系。
23. 錢寧，萬兆惠，1991，*泥砂運動力學*，科學出版社，中國大陸。
24. 謝明翰，2002，*應用倒傳遞類神經網路於水庫質之分析—以德基水庫為例*，碩士論文，國立台灣大學，土木工程學研究所。
25. Asaad, Y. S., Kieran, M. C., and Liang, G. C., 1997, "Methods for combining the outputs of different rainfall-runoff models," *Journal of Hydrology*, Vol. 197, pp. 203-229.
26. Asselman, N. E. M., 1999, "Suspended sediment dynamics in a large drainage basin: the River Rhine," *Hydrological Process*, Vol. 13, pp. 1437-1450.
27. Baruah, P. J., Tamura, M., Oki, K., and Nishimura, H., 2002, "Neural network Modeling of surface chlorophyll and sediment content in inland water from landsat thematic mapper Imagery using multivariate spectrometer Data," Gilbert, G. D., Frouin, R. J., (Eds.), *Ocean Optics: Remote Sensing and Underwater Imagery, Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering*, Vol. 4488, pp. 205-212.
28. Cameron, M. Z., Donald, H. B., and Lobodan, P. S., 1999, "Short term stream flow forecasting using artificial neural networks," *Journal of*

- Hydrology*, Vol. 214, pp. 32-48.
29. Chen, B. F., Chu, C. C., and Wu, C., 2000, "Neural network in hydrological forecasting and supplement of Kao-Pin-Chi," *The Fourth International Conference Hydroinformatics*, pp. 268.
 30. Cigizoglu, H. K., 2002, "Suspended sediment estimation and forecasting using artificial neural networks," *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* Vol. 26, pp. 15-25.
 31. Dadson, S. J., Hovius, N., Chen, H., Dade, W. B., Hsieh, M. L., Willett, S. D., Ching, H. J., Horng, M. J., Chen, M. C., Stark, C. P., Lague, D., and Lin, J. C., 2003, "Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen," *Nature*, Vol. 426, pp. 648-651.
 32. Dadson, S. J., 2004, "Erosion of an active mountain belt, Ph. D. Thesis, Department of Earth Sciences," *University of Cambridge*, pp. 40-129.
 33. Dadson, S. J., Hovius, N., Chen, H., Dade, W. B., Lin, J. C., Hsu, M. L., Lin, C. W., Horng, M. J., Chen, T. C., Milliman, J., and Stark, C. P., 2004, "Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt," *Journal of Geology*, Vol. 32, No. 8, pp. 733-736.
 34. Gregory, K. L., and Walling, D. E., 1973, *Drainage basin form and process: A geomorphological approach*, London: Edward Arnold Ltd., pp. 145-150, pp. 157, pp. 215-218.
 35. Hovius, N., Stark, C. P., Chu, H. T., and Lin, J. C., 2000, "Supply and removal of sediment in a landslide dominated mountain belt: central range, Taiwan," *Journal of Geology*, Vol. 108, pp. 73-89.
 36. Hwang, C. E., 1982, "Suspended sediment of Taiwan rivers and their geomorphological significance," *Bulletin of Nation Taiwan Normal University*, Vol. 27, pp. 649-677.
 37. Kao, S. J., Chan, S. C., Kuo, C. H. and Liu, K. K., 2005, "Transport-dominated sediment loading in Taiwanese rivers: a case study from the Ma-an stream," *Journal of Geology*, Vol. 113, pp. 217-225.
 38. Keefer, D. K., 2000, "Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution the 1989 Loma Prieta," *Engineering Geology*, Vol. 58, pp. 231-249.
 39. Kwok, T. Y., and Yeung, D. Y., 1997, "Constructive algorithms for structure learning in feedforward neural networks for regression

- problems,” *IEEE Transaction on Neural Networks*, Vol. 8, No. 6, pp. 630-645.
40. Lee, H. Y., and Hsu, I. S., 1994, “Investigation of saltating particle motions,” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 120, No. 7, pp. 831-845.
 41. Lin, C. W., Shieh, C. L., Yuan, B. D., Shieh, Y. C, Liu, S. H. and Lee, S. Y., 2003, “Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flow: example from the Chenyulan river watershed,” *Engineering Geology*, Vol. 71, pp. 49-61.
 42. Lin, M. L., and Tung, C. C., 2003, “A GIS-based potential analysis of the landslide induced by the Chi-Chi earthquake,” *Engineering Geology*, Vol. 71, pp. 63-77.
 43. Milliman, J. D. and Syvitski, J. P. M., 1992, “Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers,” *Journal of Geology*, Vol. 100, pp. 525-544.
 44. Milliman, J. D., and Meade, R. H., 1983, “World-wide delivery of river sediment to the oceans,” *Journal of Geology*, Vol. 91, pp. 1-21.
 45. Nagy, H. M., Watanabe, K., and Hirano, M., 2002, “Prediction of sediment load concentration in rivers using artificial neural network model,” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 128 No. 6, pp. 588-595.
 46. Sajikumar, N., and Thandaveswara, B. S., 1992, “A non-linear rainfall-runoff model using an artificial neural network,” *Journal of Hydrology*, Vol. 216, No. 1, pp. 32-55.
 47. Walling, D. E., 1977, “Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin,” *Water Resources Research*, Vol. 13, No. 3, pp. 531-538.
 48. Walling, D. E., and Teed, A., 1971, “A simple pumping sampler for research into suspended sediment transport in small catchments,” *Journal of Hydrology*, Vol. 13, No. 4, pp. 325-337.
 49. Walling, D. E., and Webb, B. W., 1982, “Sediment availability and the prediction of storm-period sediment yields,” In: Walling, D. E. (eds.) *Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield*, *IAHS Publication*, Vol. 137, pp. 327-337.
 50. Walling, D. E., and Webb, B. W., 1987, “Sediment Transport in

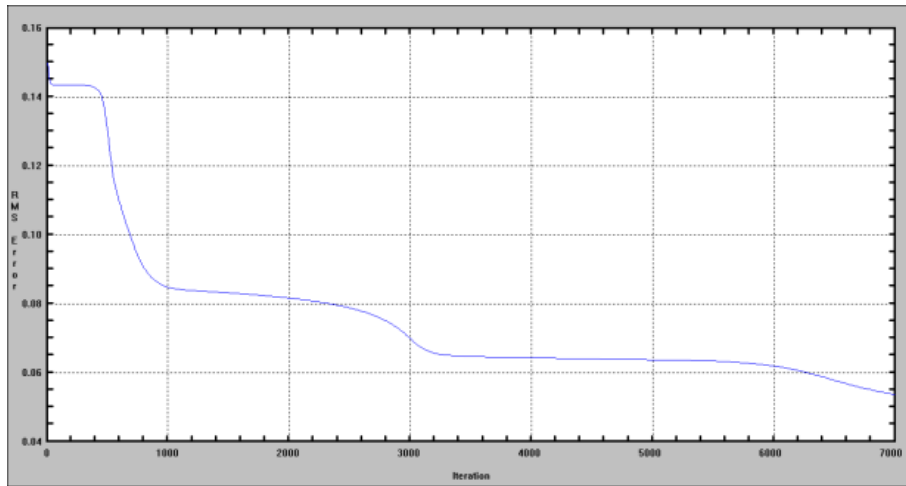
Gravel-Bed Rivers,” *John Wiley & Sons New York*, pp.691-723.

51. Wood, P. A., 2006, “Controls of variation in suspended sediment concentration in the river Rother,” West Sussex, England, *Sedimentology*, Vol. 24, No. 3, pp. 437-445.

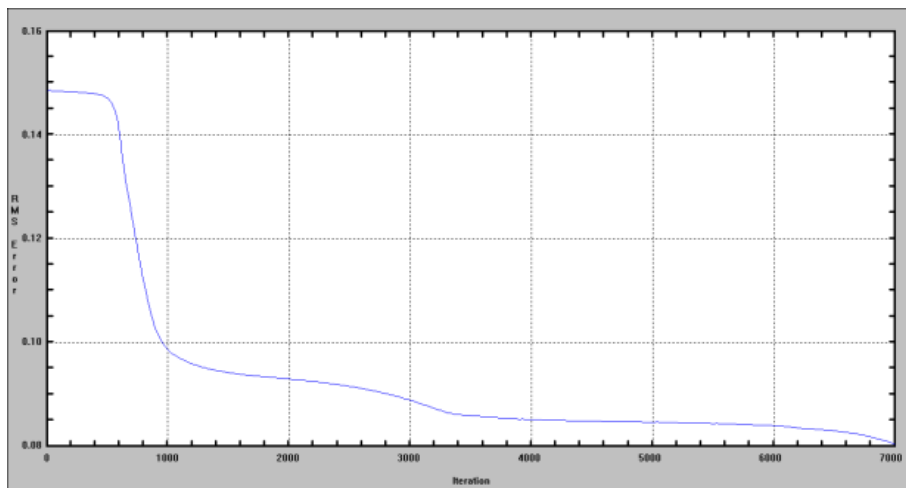
附錄

附表1各流域測站記錄資料

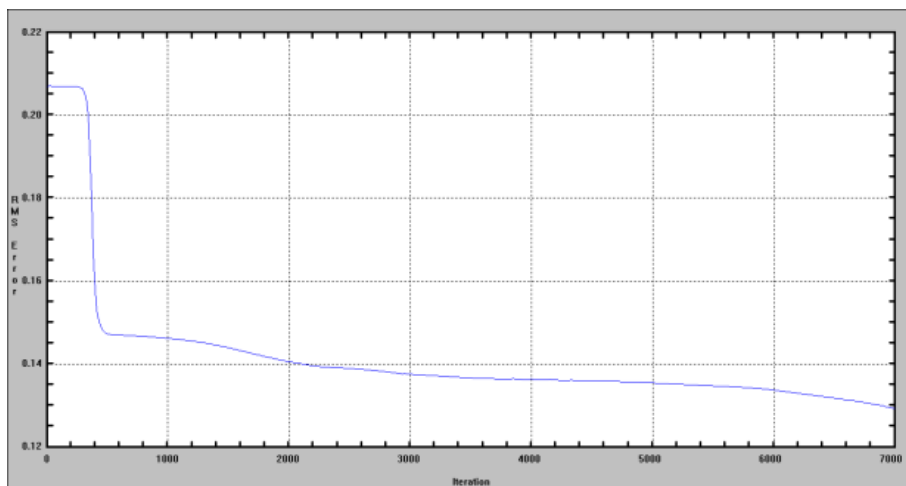
流域	測站	記錄年限	筆數	流域	測站	記錄年限	筆數
秀姑巒溪	玉里大橋	1980~2008	237	濁水溪	內茅埔	1972~2007	637
秀姑巒溪	立山	1959~2008	278	濁水溪	玉峰橋	1994~2007	283
秀姑巒溪	卓樂橋	1985~2008	205	濁水溪	自強大橋	1986~2000	253
秀姑巒溪	馬遠橋	1980~2008	65	濁水溪	西螺	1964~1985	493
秀姑巒溪	瑞穗大橋	1969~2008	370	濁水溪	延平橋	2003~2007	71
花蓮溪	仁壽橋	1960~2008	296	濁水溪	桶頭(2)	1948~2007	1004
花蓮溪	平林	1960~2008	348	濁水溪	溪州大橋	2000~2007	171
花蓮溪	花蓮大橋	1969~2007	338	濁水溪	彰雲橋	1987~2007	409
花蓮溪	馬鞍溪橋	1980~2008	175	濁水溪	寶石橋	2004~2007	115
花蓮溪	萬里溪橋	1980~2008	154	淡水河	三峽(2)	1974~2007	502
花蓮溪	箭瑛大橋	2001~2007	58	淡水河	三鶯橋	1970~2004	517
知本溪	知本(3)	1961~2008	572	淡水河	五堵	1962~2007	682
高屏溪	九曲堂	1948~1990	665	淡水河	介壽橋	1981~2006	435
高屏溪	大津	1965~1988	361	淡水河	秀朗	1970~2007	561
高屏溪	大津橋	1989~2005	195	淡水河	屈尺	1970~2007	361
高屏溪	山地門	1965~2007	767	淡水河	橫溪	1974~2007	495
高屏溪	六龜	1982~2007	366	淡水河	寶橋	1987~2007	291
高屏溪	月眉	1958~1986	513				
高屏溪	杉林大橋	1987~2006	289				
高屏溪	里嶺大橋	1991~2007	217				
高屏溪	阿其巴橋	1994~2007	187				
高屏溪	美濃	1958~1973	260				
高屏溪	荖濃	1956~2007	804				
高屏溪	楠峰橋	1997~2007	186				
高屏溪	萬大大橋	2005~2007	41				



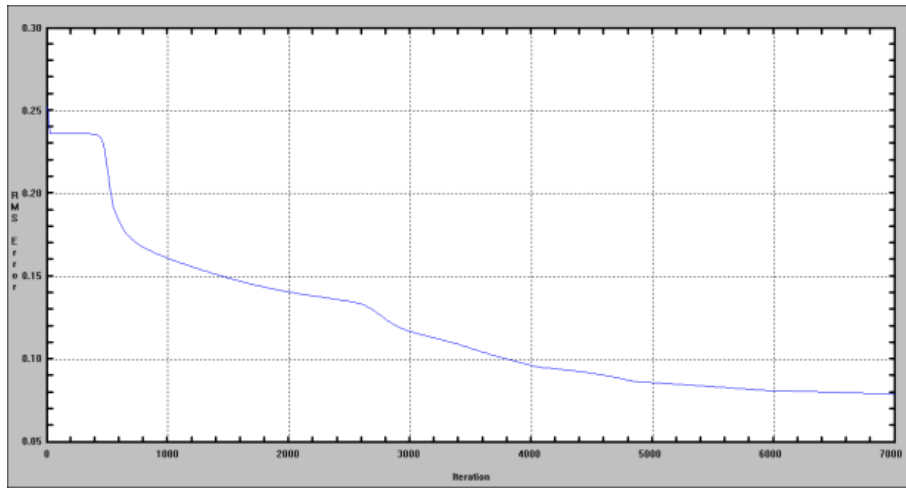
附圖1 秀姑巒溪—玉里大橋RMSE



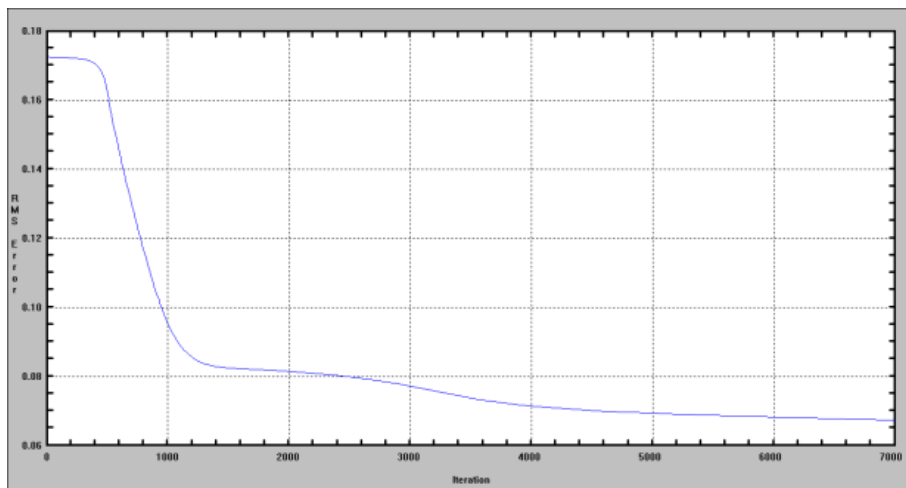
附圖 2 秀姑巒溪—立山 RMSE



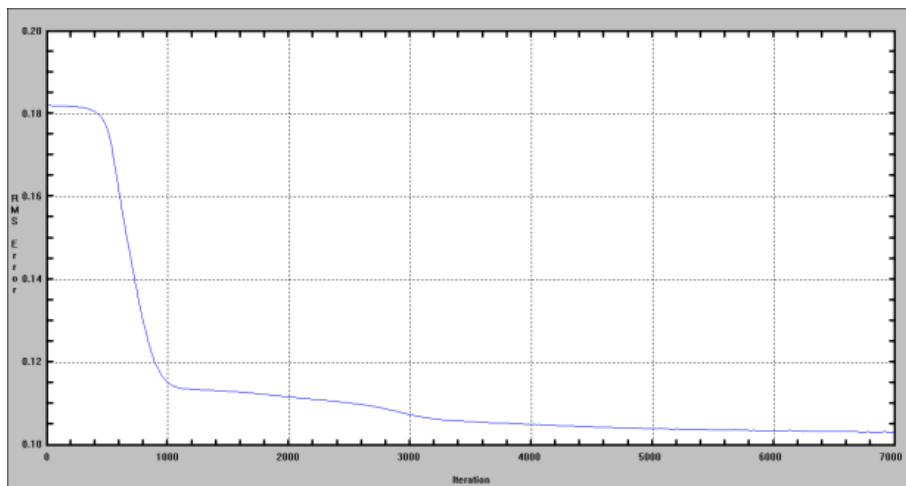
附圖3 秀姑巒溪—立山RMSE



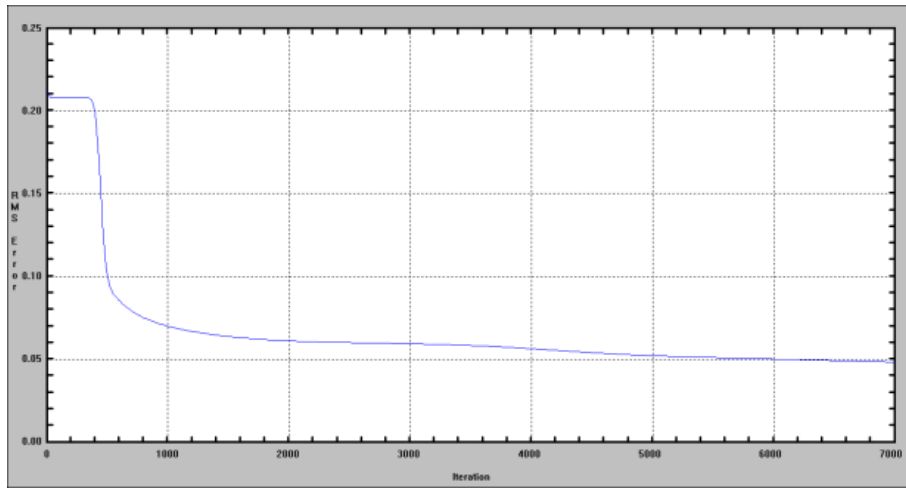
附圖4秀姑巒溪—馬遠橋RMSE



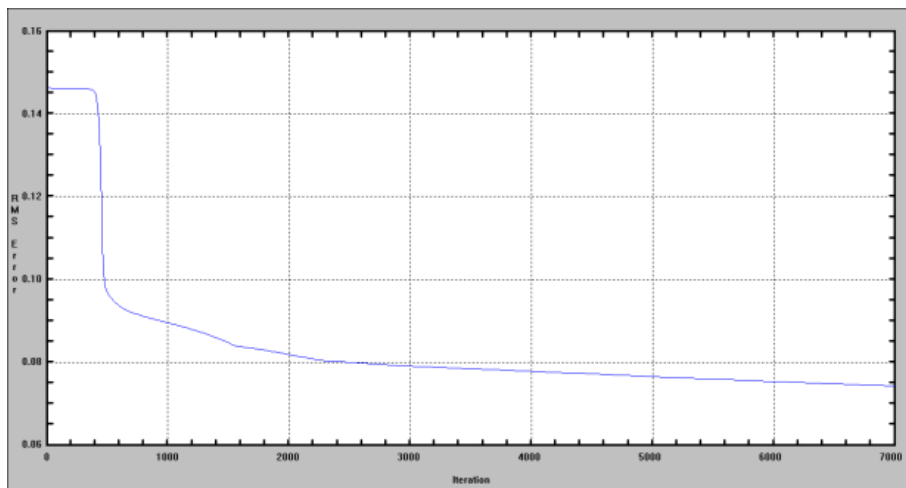
附圖5秀姑巒溪—瑞穗大橋RMSE



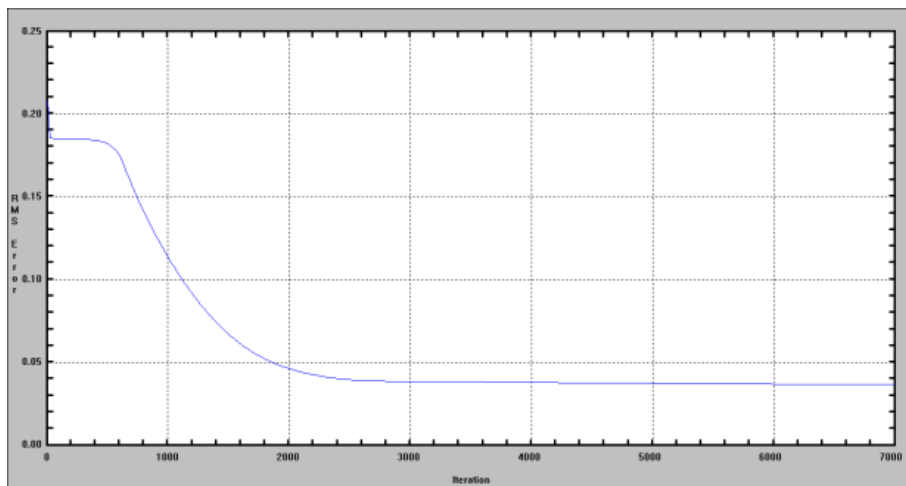
附圖6花蓮溪—仁壽橋RMSE



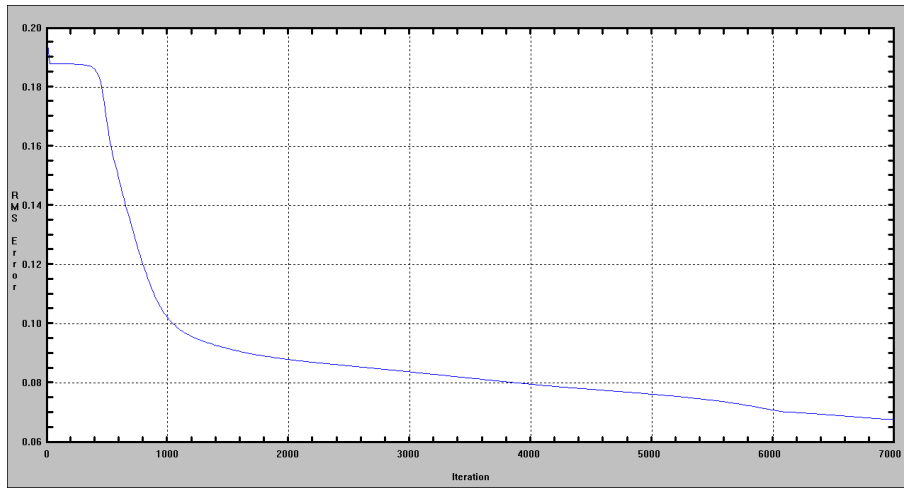
附圖7花蓮溪—平林RMSE



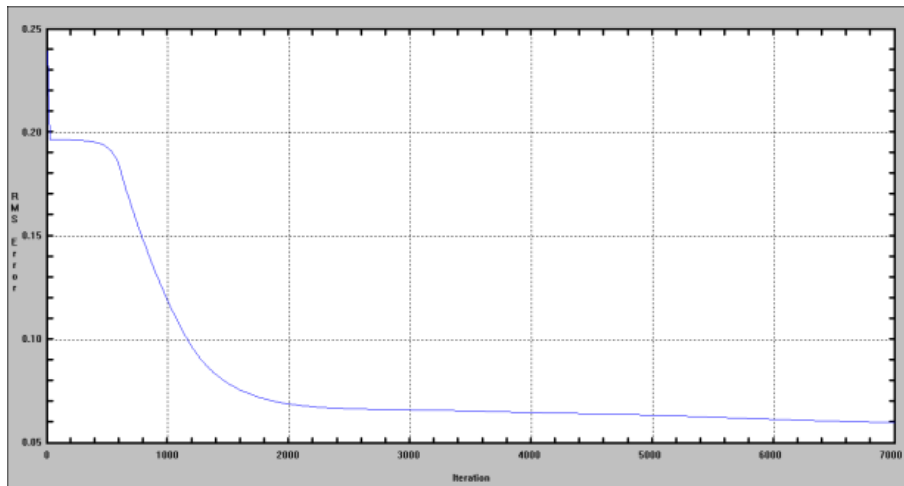
附圖8花蓮溪—花蓮大橋RMSE



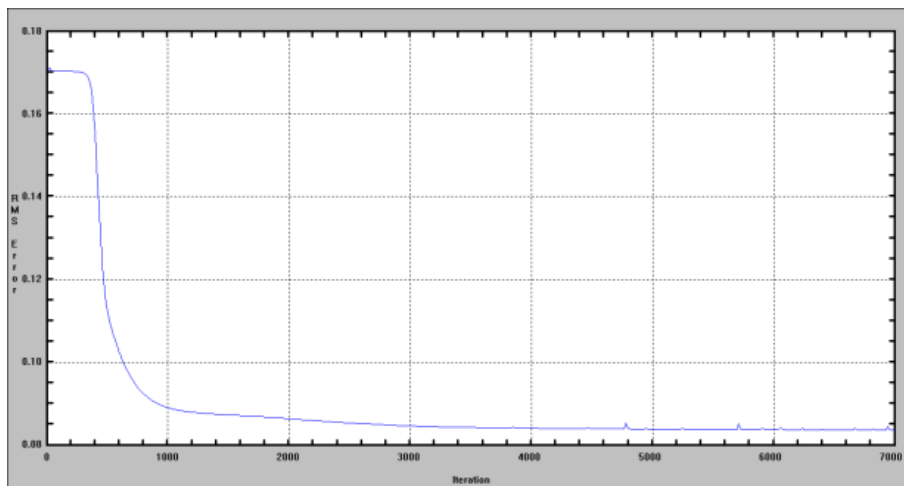
附圖9花蓮溪—馬鞍溪橋RMSE



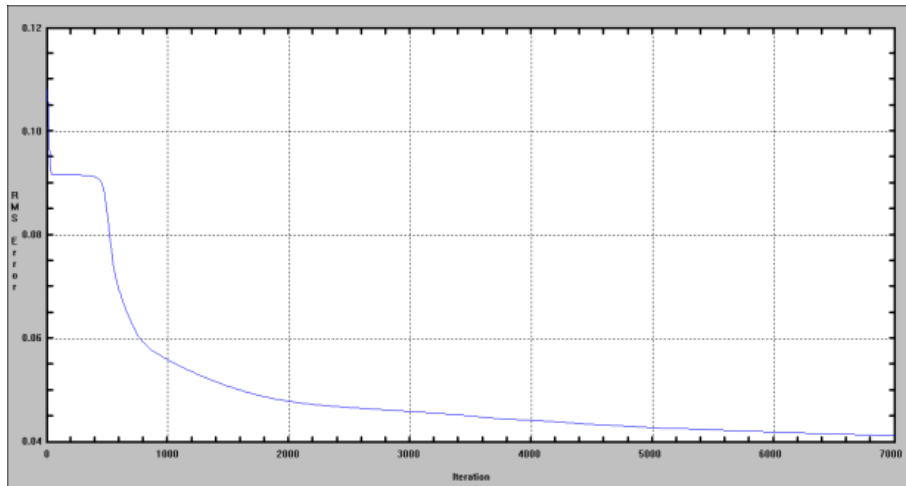
附圖10花蓮溪—萬里溪橋RMSE



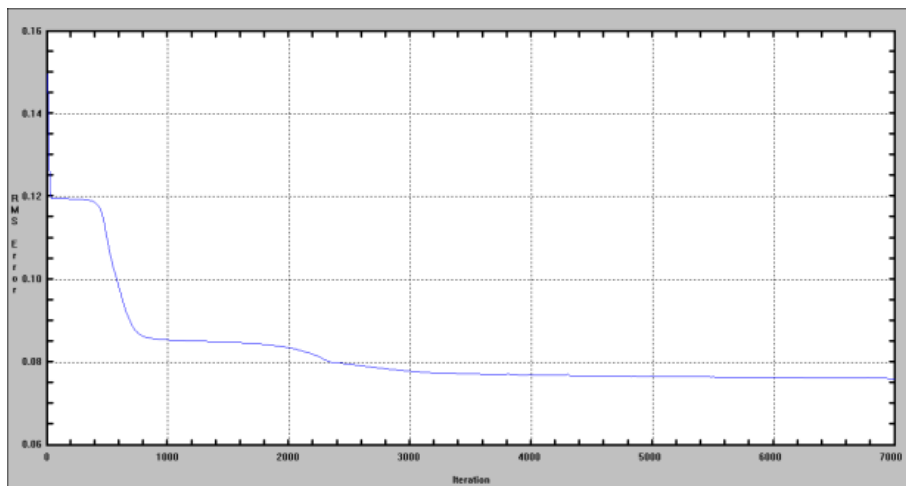
附圖11花蓮溪—箭瑛溪橋RMSE



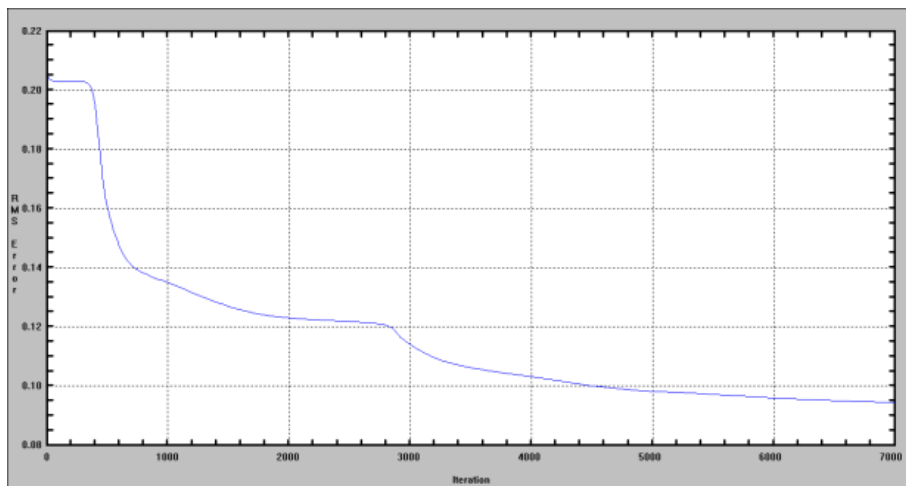
附圖12知本溪—知本(3)RMSE



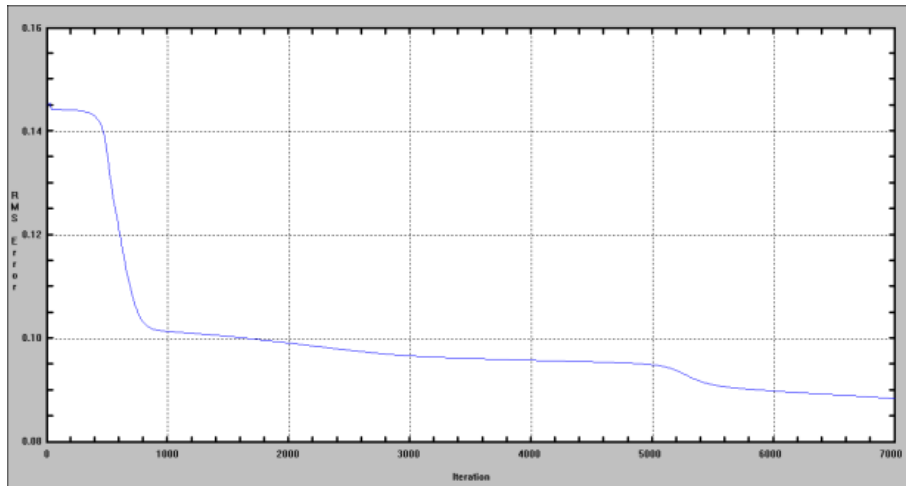
附圖 13 高屏溪—九曲堂 RMSE



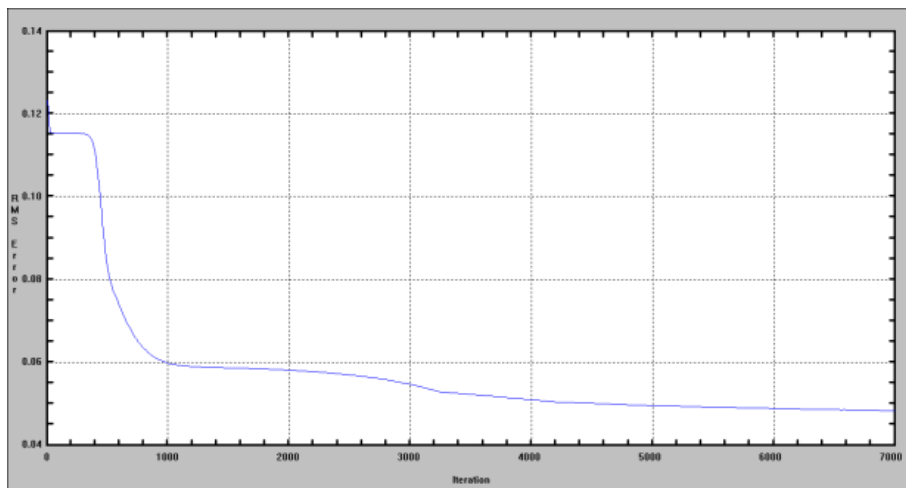
附圖 14 高屏溪—三地門 RMSE



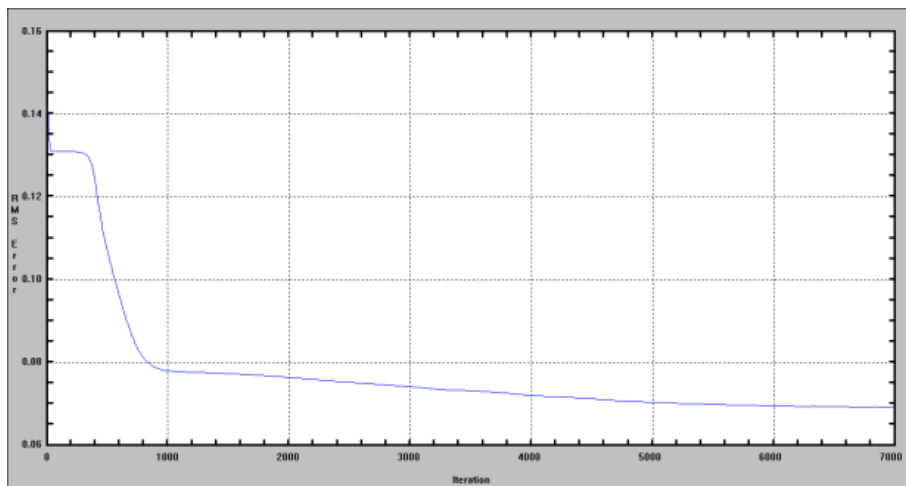
附圖 15 高屏溪—大津 RMSE



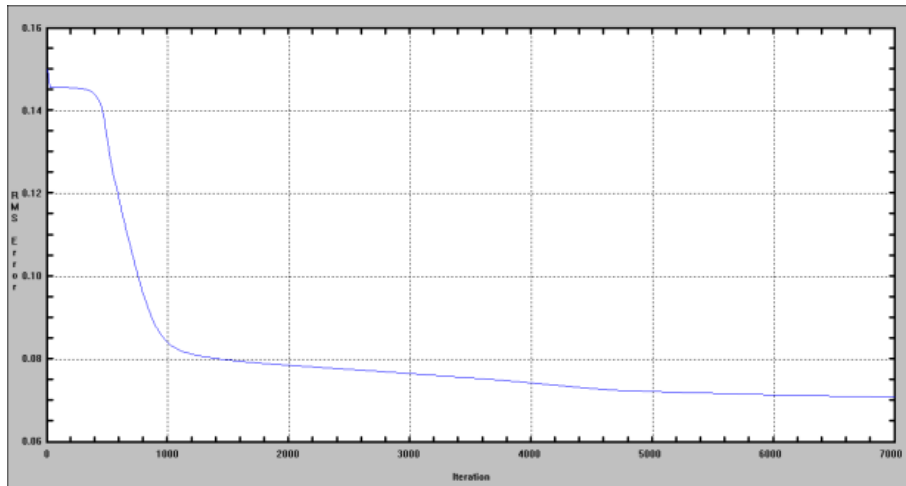
附圖 16 高屏溪—大津橋 RMSE



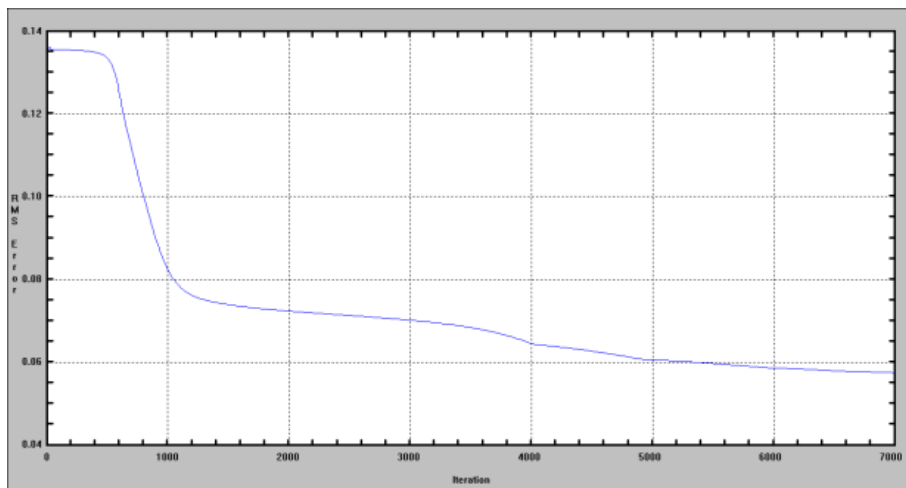
附圖 17 高屏溪—六龜 RMSE



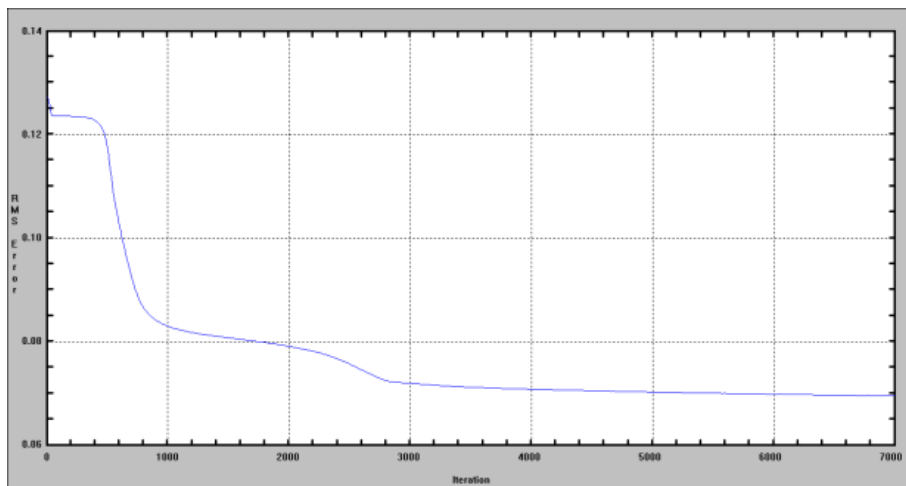
附圖 18 高屏溪—月眉 RMSE



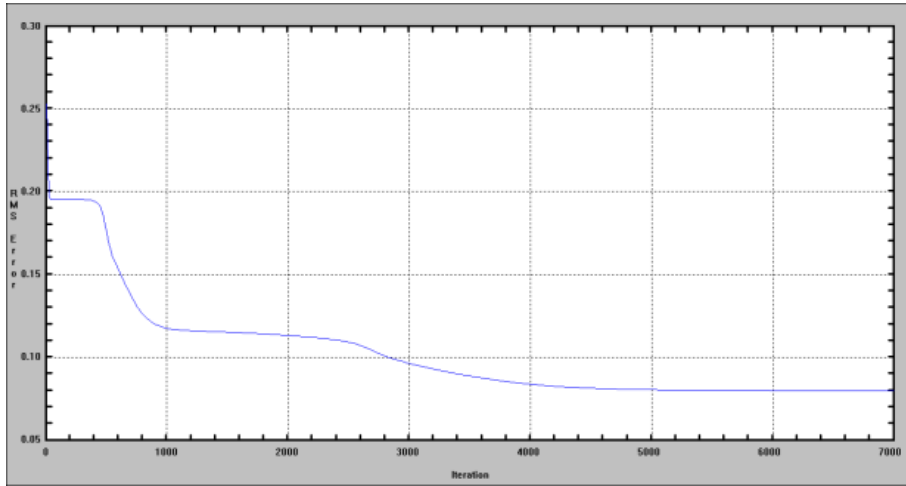
附圖 19 高屏溪—杉林大橋 RMSE



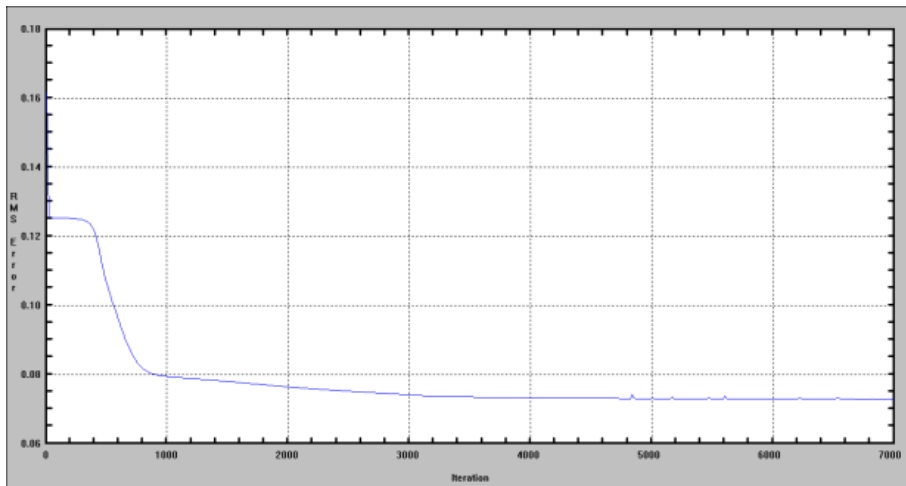
附圖 20 高屏溪—里嶺大橋 RMSE



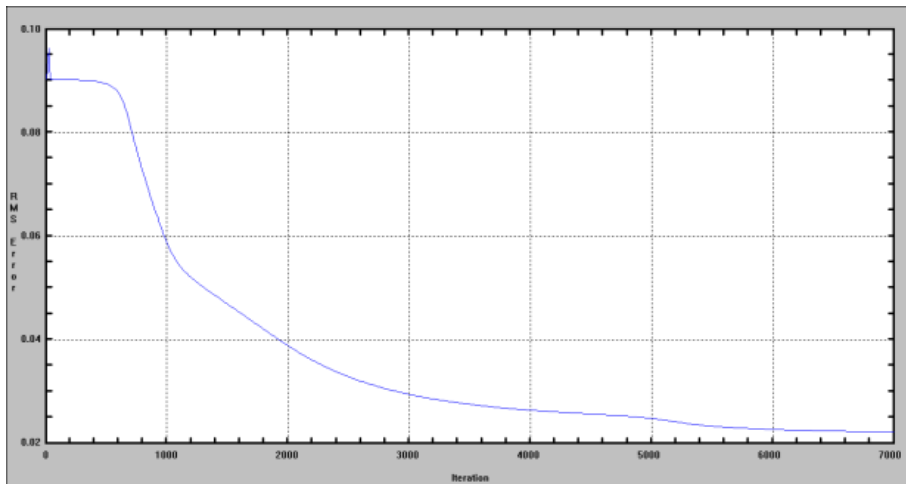
附圖 21 高屏溪—阿其巴橋 RMSE



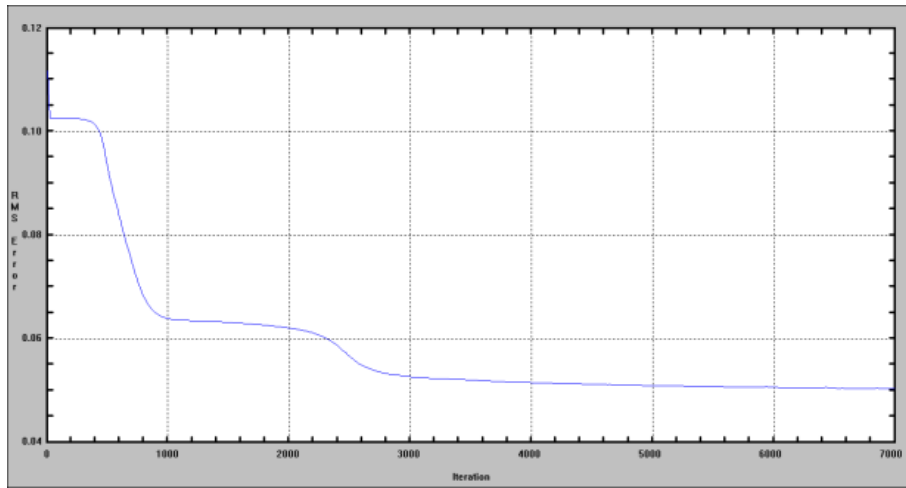
附圖 22 高屏溪—美濃 RMSE



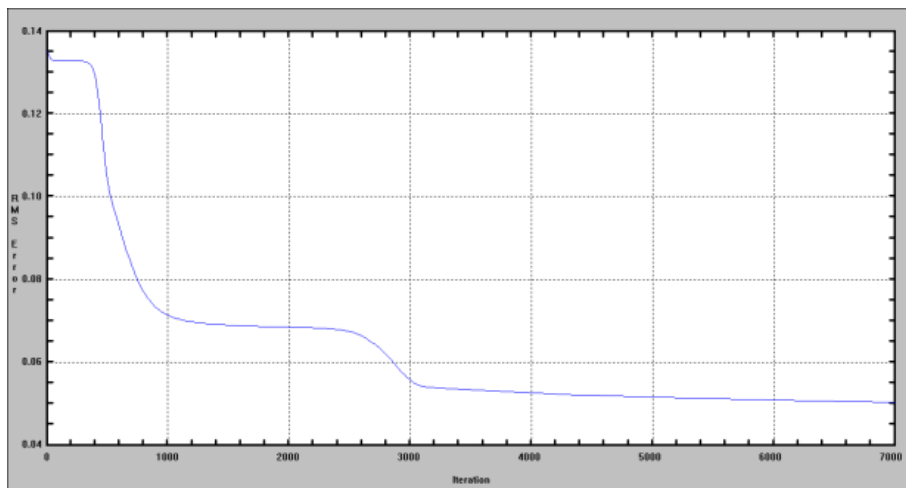
附圖 23 高屏溪—荖濃 RMSE



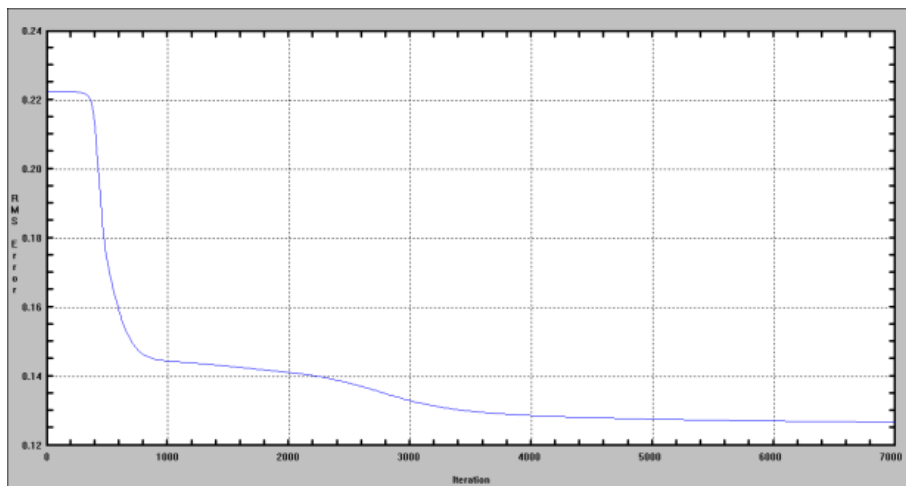
附圖 24 高屏溪—楠峰橋 RMSE



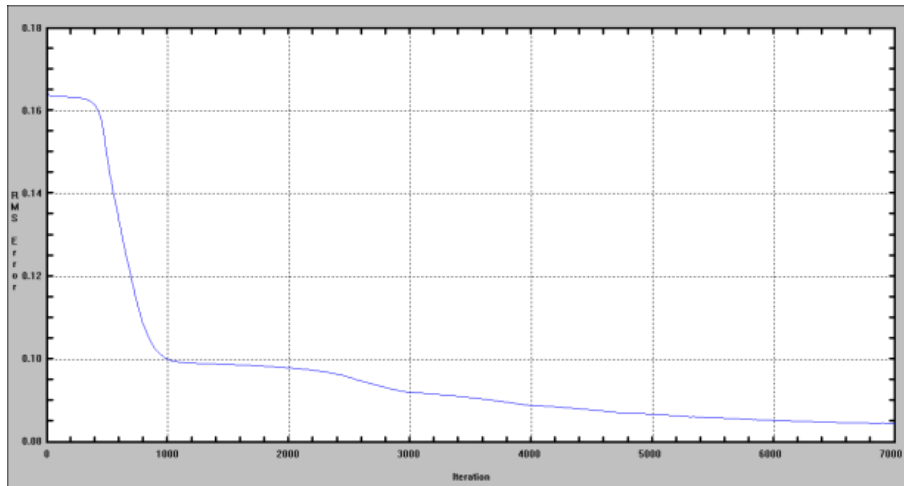
附圖 25 濁水溪—內茅埔 RMSE



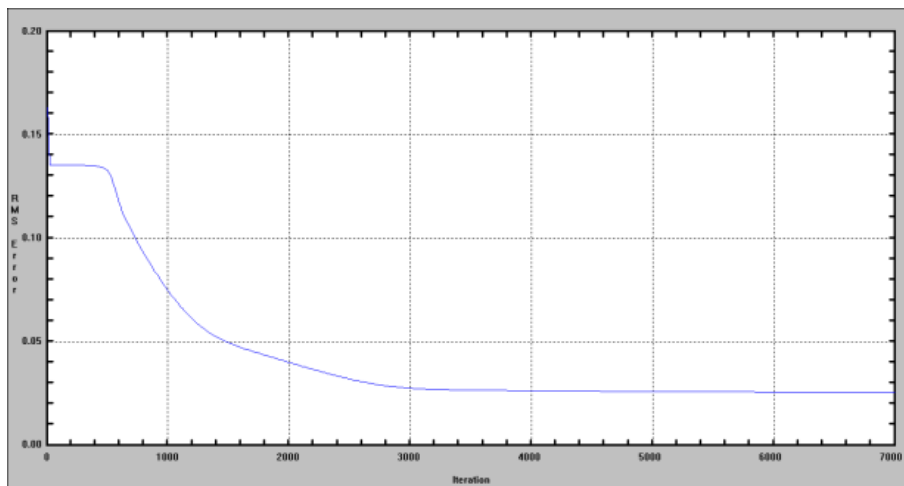
附圖 26 濁水溪—玉峰橋 RMSE



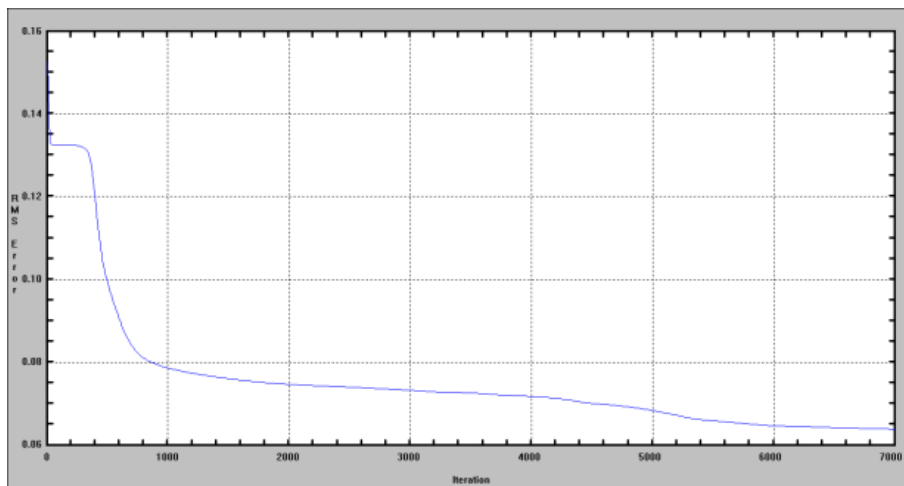
附圖 27 濁水溪—自強大橋 RMSE



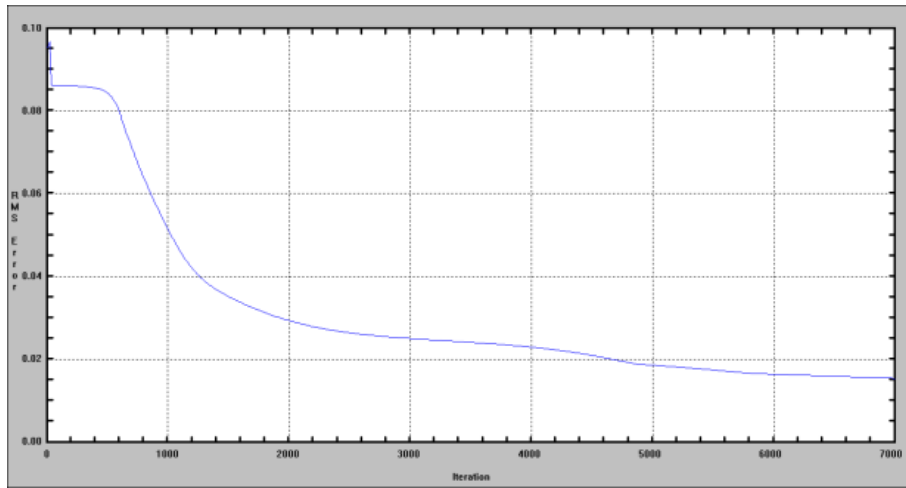
附圖 28 濁水溪—西螺 RMSE



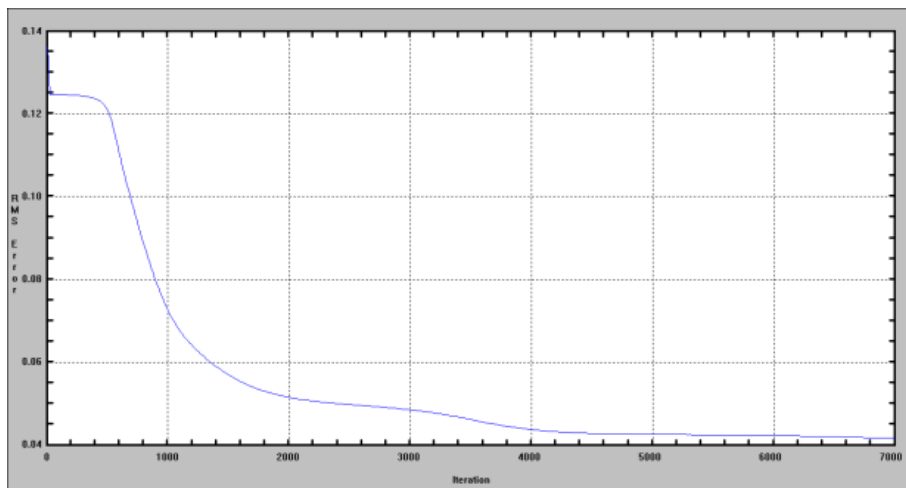
附圖 29 濁水溪—延平橋 RMSE



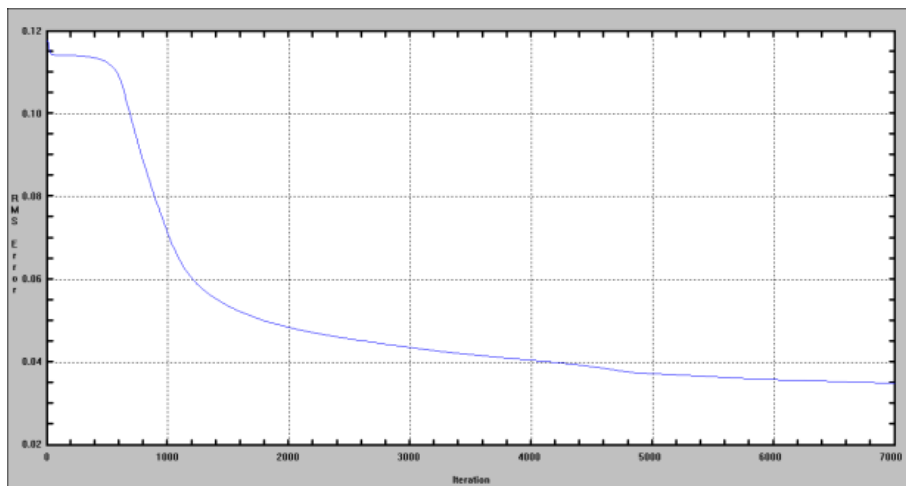
附圖 30 濁水溪—桶頭(2)RMSE



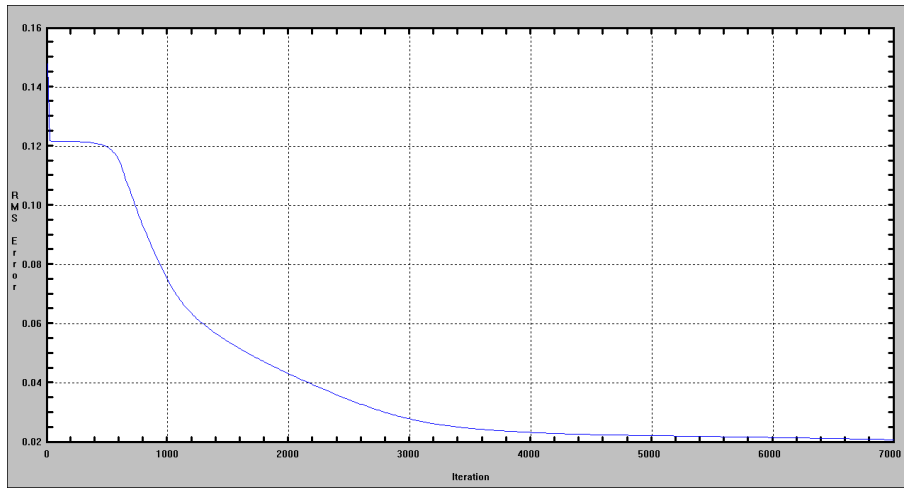
附圖 31 濁水溪—溪州大橋 RMSE



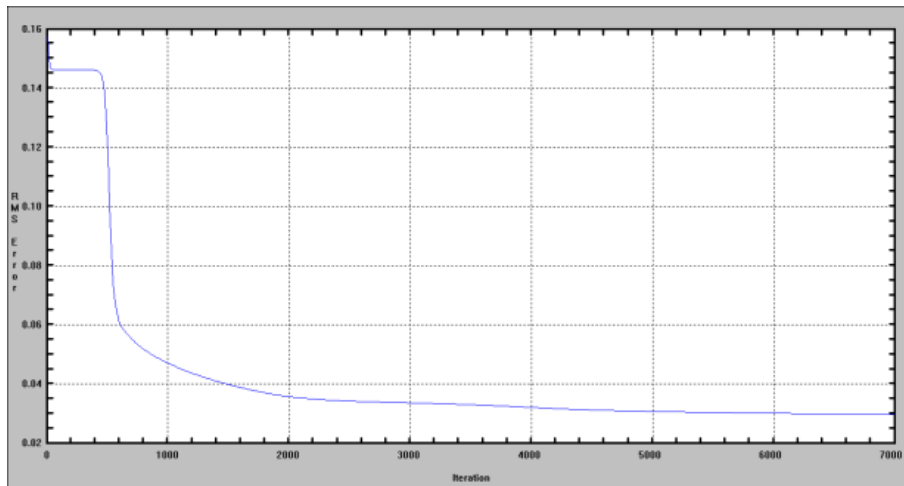
附圖 32 濁水溪—彰雲橋 RMSE



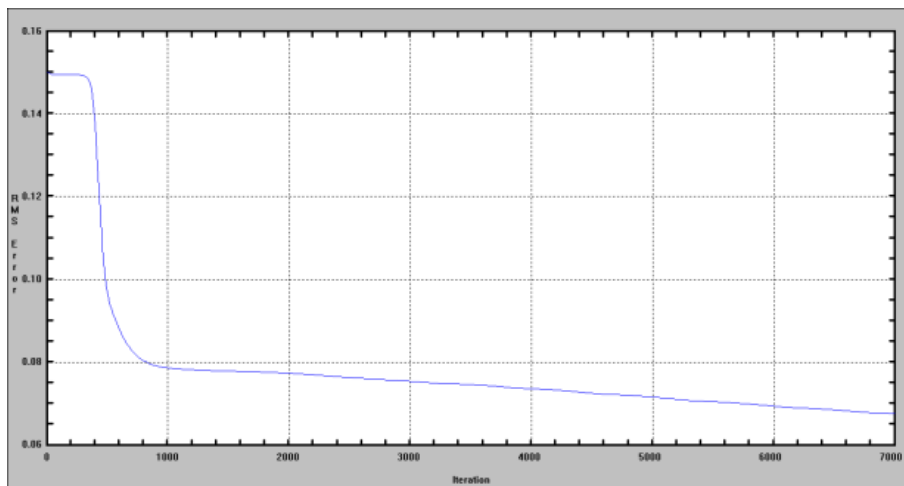
附圖 33 濁水溪—寶石橋 RMSE



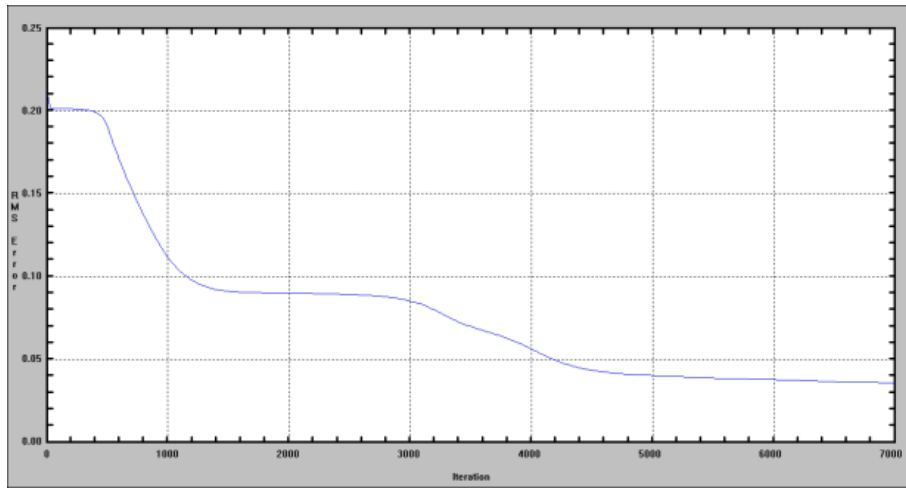
附圖 34 淡水河—三峡(2)RMSE



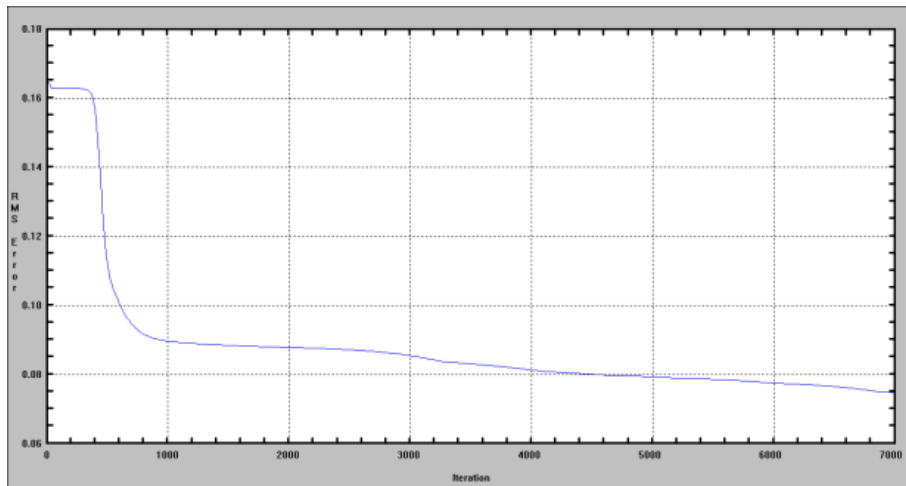
附圖 35 淡水河—三莺桥 RMSE



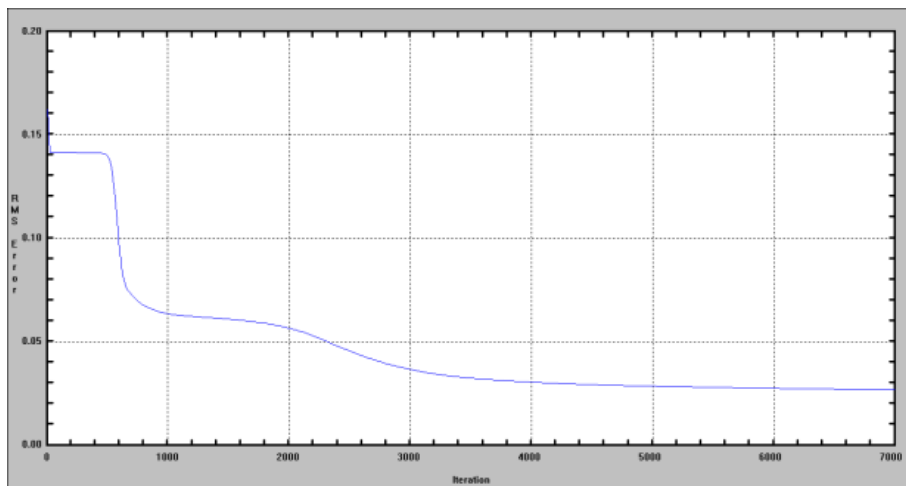
附圖 36 淡水河—五堵 RMSE



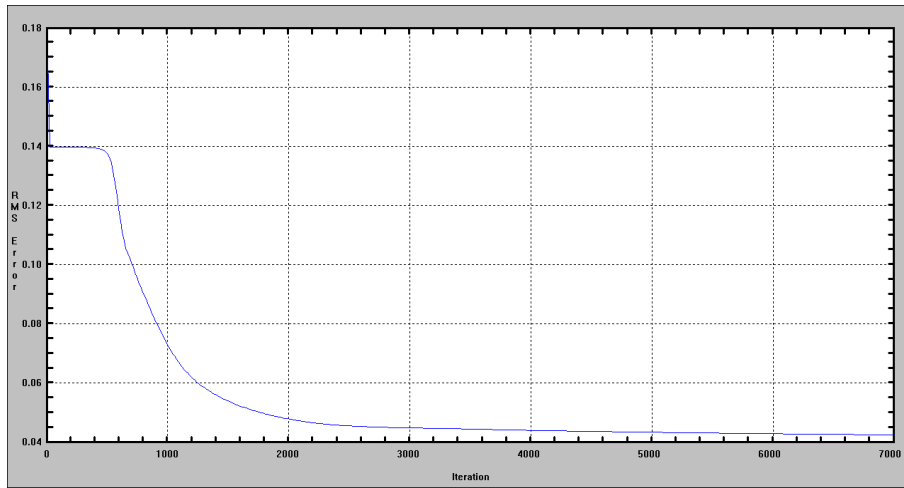
附圖 37 淡水河-介壽橋 RMSE



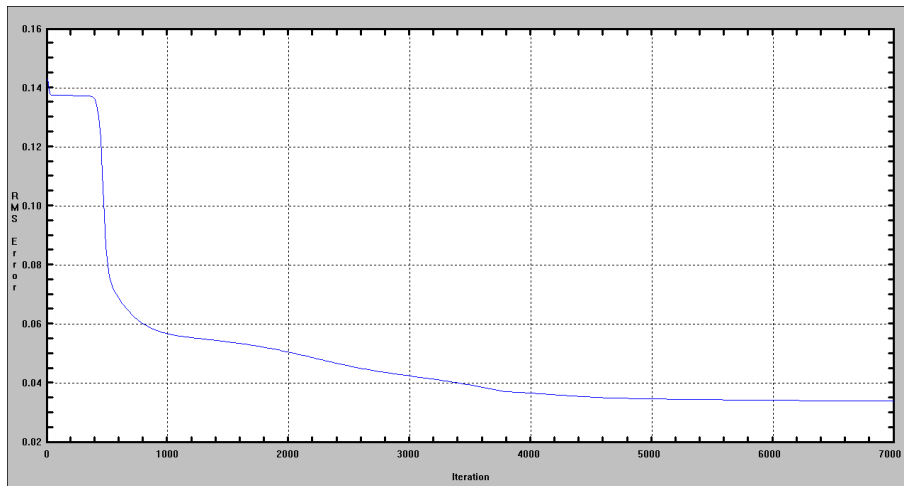
附圖 38 淡水河-秀朗 RMSE



附圖 39 淡水河-屈尺 RMSE



附圖 40 淡水河—橫溪 RMSE



附圖 41 淡水河—寶橋 RMSE

作者簡介

作者：葉家勳

性別：男

生日：民國 71 年 10 月 10 號

學歷：國立屏東科技大學 水土保持系學士班 (90.9~94.6)

國立屏東科技大學 水土保持系碩士班 (95.9~97.6)

電子信箱：m9537012@mail.npust.edu.tw