

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

水庫集水區溪流棲地變遷對水質衝擊影響之研究

Water quality impact and evaluation technique development for the stream habitat within reservoir watershed

計畫編號：NSC 94-2211-E-216-012

執行期限：94年8月1日至95年7月31日

主持人：陳有祺 中華大學景觀建築學系副教授

共同主持人：周文杰 中華大學土木與工程資訊學系助理教授

一、摘要

石門水庫是北台灣重要的水庫之一，兼具灌溉、發電、公共給水、防洪、及觀光等多重功能。然而，由於台灣夏季颱風盛行，平均每年有3~4個颱風侵襲，而颱風所挾帶的強風及豪雨，嚴重侵蝕水庫集水區，造成集水區溪流棲地變遷、支流水質混濁以及下游水庫水質惡化。近年來，石門水庫屢因颱風造成水質濁度飆升，以致無法正常供水。本研究利用石門水庫集水區支流的水質檢測數據，以變異共變異矩陣（Covariance Matrix）配合主成份分析（Principal Component Analysis）探討其各項水質因子與各測站間在颱風期與非颱風期之變化情形，分析颱風期間暴雨所引起之水質變化。結果顯示颱風所引起的溪流棲地變遷對懸浮固體及總磷濃度影響最大，以空間分佈而言，則秀巒（A07）地區所受影響最大。

關鍵字：水庫、集水區、水質、主成份分析

ABSTRACT

The Shihmen Reservoir is one of the important reservoirs in the northern Taiwan, with multiple functions of irrigation, power generation, public water

supply, flood control and tourism. The typhoon that prevails in summer and attacks Taiwan 3 to 4 times every year, significantly impacts the watershed and damages the habitat of streams within watershed, resulting the poor water quality in the streams and reservoir. Recently, the water supply was significantly affected in the Shihmen Reservoir, due to high turbidity caused by typhoon. This research applied the water monitoring data to analyze the variation of water quality between the typhoon period and non-typhoon period, by using the methods of Covariance Matrix and Principal Component Analysis. The results of the study indicate that the habitat-changing caused by typhoon, has the most strong impact on the Suspended Solids (SS) and Total Phosphorous (TP) and the Show-Lan is the area suffers the most from the typhoon event.

Keywords: Reservoir、Watershed、Water Quality、Principal Component Analysis

二、研究目的

石門水庫兼具灌溉、發電、公共給水、防洪及觀光等效益之多目標水庫，

於 1963 年 5 月開始蓄水，迄今營運已過 40 年，對於提昇農業產量、工商業發展迅速、提高人民生活水準、增加就業機會及減輕滂旱災害均有重大貢獻。石門水庫集水區山坡陡峻、溪流湍急、地質構造複雜（陳有祺等，2003、2004、2005），尤其九二一大地震後更造成土石鬆軟，使集水區不時發生坡地崩塌及土壤沖蝕狀況。再加上 2004 年 8 月發生之艾莉颱風，使集水區土石崩塌面積高達 854 公頃，估計超過 2,700 萬立方公尺泥砂流入水庫，造成石門水庫嚴重之淤積（賴伯勳等，2005），除對水庫正常運轉功能與壽命造成嚴重影響外，高濁度原水更造成桃園地區停水，嚴重影響人民生活及各行業產能。

石門水庫集水區水系以大漢溪為主流，集水區面積達 764.4 平方公里，全集水區由泰崗溪、白石溪、霞雲溪、三民溪、南仔溝溪、三峽河等多數支流匯合而成，支流總數達 64 條（賴伯勳等，2005）。流域年平均降雨量約 2,476mm，年平均逕流量約 14 億立方公尺。本研究以石門水庫集水區作為研究區域，採 2003 年 2 月至 2005 年 12 月間的水質監測數據（陳有祺等，2003、2004、2005），評估颱風暴雨前後溪流棲地變遷對水質的影響，藉由集水區支流之水質採樣及檢測分析，以瞭解目前水質於季節與空間之變化關係；並以變異共變異矩陣（Covariance Matrix）配合主成份分析（Principal Component Analysis），檢視颱風前後集水區支流水質之變動情形。

三、研究區域及範圍

本研究範圍為石門水庫集水區支流及水庫流域內，水質調查地點包括：

集水區支流 10 點（編號 A1~A10），其採樣點編號、地點及 GPS 定位詳表 1，採樣地點分佈圖如圖 1。

表 1 採樣點編號與地點

採樣編號	採樣地點	GPS 定位	
A01	新興	N: 24°40.554'	E: 121°23.036'
A02	馬里光	N: 24°39.260'	E: 121°18.364'
A03	下蘇樂	N: 24°42.118'	E: 121°22.340'
A04	榮華壩	N: 24°44.142'	E: 121°21.461'
A05	雪霧閣	N: 24°44.528'	E: 121°23.000'
A06	羅浮	N: 24°47.828'	E: 121°22.287'
A07	秀巒	N: 24°37.279'	E: 121°17.219'
A08	三民溪	N: 24°49.933'	E: 121°19.928'
A09	南仔溝	N: 24°49.501'	E: 121°19.897'
A10	高遠坪	N: 24°48.590'	E: 121°17.450'

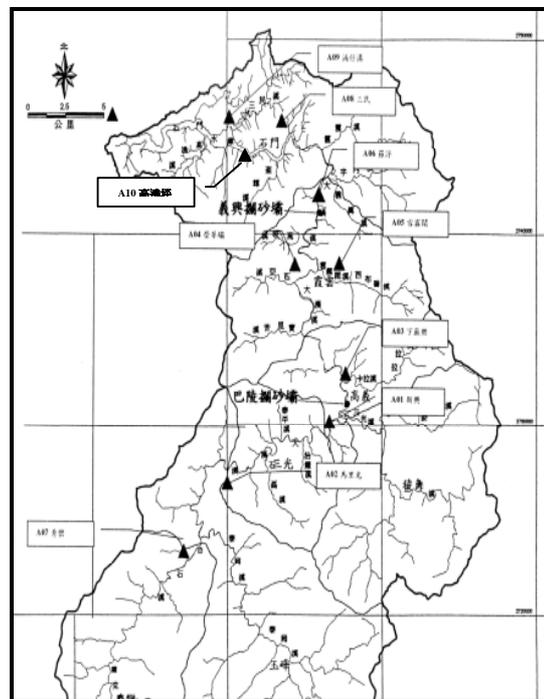


圖 1 石門水庫集水區支流採樣點分佈圖

四、研究方法

4.1 水質因子調查：

集水區支流水樣的檢測項目包括：溶氧量 (DO)、生化需氧量 (BOD₅)、懸浮固體 (SS)、氨氮 (NH₃-N)、總磷 (TP)、硝酸鹽氮 (NO₃-N) (合計 6 項)，其採樣、保存及檢測方法如表 2。

表 2 各種水質檢測項目的採樣及檢測方法一覽表

檢測項目	水樣需要量 (mL)	容器	保存方法	保存期限	NIEA 編號
溶氧量 (DO)	300	BOD 瓶	無特殊規定。	立刻分析	W421.54C
生化需氧量 (BOD ₅)	1000	玻璃或塑膠瓶	暗處，4°C 冷藏。	48 小時	W510.54B
懸浮固體 (SS)	1000	玻璃或塑膠瓶	暗處，4°C 冷藏。	7 天	W210.56A
氨氮 (NH ₃ -N)	1000	玻璃或塑膠瓶	加硫酸使水樣之 pH<2。暗處，4°C 冷藏。	7 天	W448.50B
總磷 (TP)	100	以 1+1 硝酸洗淨之玻璃瓶	加硫酸使水樣 pH<2。4°C 冷藏。	7 天	W427.52B
硝酸鹽氮 (NO ₃ -N)	100	玻璃或塑膠瓶	暗處，4°C 冷藏。	48 小時 (已氣化水樣則為 28 天)	W417.50A

(資料來源：行政院環保署)

4.2 颱風事件調查

台灣地區於 1999 年發生 921 的超級地震，使得台灣各地土石鬆散，於 2004 年石門水庫集水區又遭逢歷史性的大型降雨事件 (艾利颱風)，受颱風外圍環流影響，台灣北部、東北部、中南部皆有豪雨發生，引發嚴重土石流災情，石門水庫集水區則因原水濁度太高，致使桃園地區大停水。其後更於 2005 年 7 月至 10 月間，連續發生多次影響台灣地區之重大颱風 (海棠、馬莎、泰利、卡努、龍王等颱風)，進一步導致石門水庫上游集水區遭受重創，相關颱風與最大強度等氣象資料如表 3 所列。

4.3 主成份分析

主成份分析法是以線性方程式 (linear combination) 將所有變項加以合併，計算所有變項共同解釋的變異

量，該線性組合稱為主要成分。第一次線性組合建立後，計算出的第一個主成份估計，可以解釋全體變異量的最大一部份。主成份分析是將 2 個座標軸 X₁、X₂，一面進行平行移動或迴轉移動，一面求出新的座標軸 Z₁、Z₂ 的一種方法，如圖 2 所示。若有 2 變量 X₁ 與 X₂ 使用此方法時，能將 2 個變量歸納成一個，並可將變量訂出順位，主成份分析可將 2 個變量 X₁、X₂ 綜合成一新的變量，此新的變量 a₁X₁+a₂X₂ 稱為第一主成份 Z₁，其中 X₁、X₂ 的係數 a₁、a₂ 亦可想成 X₁、X₂ 的重要性權重 (邱皓政，2000)。

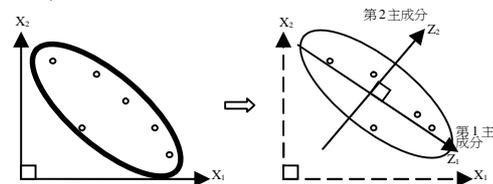


圖 2 主成份分析二維圖

表 3 2003-2005 年颱風一覽表

	事件一	事件二	事件三	事件四	事件五
名稱	莫拉克 (MORAKOT)	敏督利 (MINDULLE)	艾利 (AERE)	海馬 (HAIMA)	納坦 (NOCK-TEN)
編號	0309	0407	0417	0420	0424
生成地點	呂宋島東北方海面	關島西北方海面	菲律賓東方海面	台灣東方海面	關島東方海面
侵(近)台日期	2003 年 8 月 3 日	2004 年 7 月 1 日	2004 年 8 月 25 日	2004 年 9 月 12 日	2004 年 10 月 25 日
最大強度	輕度	中度	中度	輕度	中度
近中心最大風速	23.0(公尺/秒)	45.0(公尺/秒)	38.0(公尺/秒)	18.0(公尺/秒)	43.0(公尺/秒)
登陸地段	台東大武附近	花蓮	--	--	頭城至三貂角間
	事件六	事件七	事件八	事件九	事件十
名稱	海棠 (HAITANG)	馬莎 (MATSA)	泰利 (TALIM)	卡努 (KHANUN)	龍王 (LONGWANG)
編號	0505	0509	0513	0515	0519
生成地點	關島北北東方海面	關島西南西方海面	關島西方海面	關島西方海面	關島北方海面
侵(近)台日期	2005 年 7 月 18 日	2005 年 8 月 4 日	2005 年 9 月 1 日	2005 年 9 月 10 日	2005 年 10 月 2 日
最大強度	強烈	中度	強烈	中度	強烈
近中心最大風速	55.0(公尺/秒)	40.0(公尺/秒)	53.0(公尺/秒)	43.0(公尺/秒)	51.0(公尺/秒)
登陸地段	宜蘭東澳附近	--	花蓮宜蘭之間	--	花蓮豐濱

(資料來源：中央氣象局颱風資訊網)

五、結果與討論

由表 3 資料得知：2003-2005 年的颱風發生月份為 7 月至 10 月，因此，本研究以颱風期（7-10 月）及非颱風期（其他月份）來探討集水區支流的水質變化。2003 年-2005 年的支流測點月平均水質於非颱風期（其他月份）與颱風期（7-10 月）之變化表分別列於表 4 及表 5，各項水質因子的變化圖如圖 3-圖 8 所示。各項水質因子變化之討論如下：

表 4 2003-2005 年（其他月份）支流各測點水質月平均值（單位：mg/l）

測站 因子	A01 新興	A02 馬里光	A03 下蘇樂	A04 榮華壩	A05 雪霧閣	A06 羅浮	A07 秀巒	A08 三民溪	A09 樟仔溝	A10 高過坪	平均 值
溶氧量	6.66	6.94	6.74	5.91	6.66	6.71	7.00	6.21	5.69	6.87	6.66
生化需氧量	1.9	1.7	1.8	2.1	1.7	1.8	2.0	3.2	2.4	2.2	2.1
懸浮固體	3.8	37.9	41.5	26.1	1.6	6.4	6.4	17.9	12.2	7.5	24.1
氨氮	0.122	0.07	0.113	0.100	0.15	0.102	0.08	0.105	0.102	0.103	0.107
總磷	0.086	0.03	0.041	0.033	0.03	0.039	0.03	0.040	0.051	0.023	0.041
硝酸鹽氮	0.395	0.271	0.251	0.223	0.379	0.259	0.23	0.480	0.752	0.351	0.387

表 5 2003-2005 年（7-10 月）支流各測點水質月平均值（單位：mg/l）

測站 因子	A01 新興	A02 馬里光	A03 下蘇樂	A04 榮華壩	A05 雪霧閣	A06 羅浮	A07 秀巒	A08 三民溪	A09 樟仔溝	A10 高過坪	平均 值
溶氧量	5.89	5.98	6.13	5.75	6.42	5.91	6.58	6.65	5.60	5.99	6.09
生化需氧量	1.3	3.0	3.1	3.2	1.3	2.3	5.6	1.6	2.1	2.2	2.6
懸浮固體	17.1	387.5	414	688.7	6.1	302	681	6.8	74.8	4.0	259.2
氨氮	0.095	0.184	0.58	0.472	0.112	0.20	0.157	0.240	0.308	0.180	0.255
總磷	0.046	0.147	0.17	0.236	0.041	0.091	0.27	0.062	0.057	0.051	0.107
硝酸鹽氮	0.304	0.295	0.16	0.375	0.473	0.305	0.314	0.632	0.770	0.222	0.430

1. 溶氧量 (DO)

颱風期溶氧量 (DO) 的檢測值明顯低於非颱風期 (參圖 3)，其月平均值由非颱風期 6.66mg/l 降低至颱風期 6.09mg/l 降低幅度達 9.4%。其中以新興 (A01) 及秀巒 (A07) 影響幅度最大。然而，溶氧量與溫度有關，颱風期發生於高溫的夏季，其溶氧量原本低於非颱

風期，因此，無法斷言圖 3 的溶氧曲線下降係完全由於颱風因素。

2. 生化需氧量 (BOD₅)

生化需氧量 (BOD₅) 於颱風期的濃度較非颱風期的濃度為高 (參圖 4)，其月平均值由非颱風期的 2.1mg/l 增加至颱風期 2.6mg/l，變化量為 23.8%。因為暴雨的逕流會將部分有機碎屑帶入河川中，因此在颱風期的生化需氧量的濃度偏高，其中以秀巒 (A07) 變化最大。

3. 懸浮固體 (SS)

颱風期的懸浮固體 (SS) 明顯較非颱風期的濃度為高 (參圖 5)，其月平均值由非颱風期的 24.1mg/l 增加至颱風期的 259.2mg/l 變化量為 975.5%。而以榮華壩 (A04) 的濃度變化最大，其檢測濃度最高達到 (688.7mg/l)，判斷為測點本身受到壩體淤積嚴重而產生影響有關。另外支流各測點受到多次颱風侵襲後，其懸浮固體濃度亦均呈現偏高的情況。

4. 氨氮 (NH₃-N)

颱風期之氨氮 (NH₃-N) 濃度較非颱風期為高 (參圖 6)，其月平均值由非颱風期的 0.107mg/l 增加至颱風期的 0.255mg/l，增加幅度達 13.4%，以下蘇樂 (A03) 變化最大。

5. 總磷 (TP)

檢測颱風期總磷 (TP) 濃度較非颱風期時濃度為高 (參圖 7)，其月平均值由非颱風期的 0.041mg/l 增加至颱風期的 0.107mg/l，變化量 161.0%。由於集水區果園施肥使得總磷殘留於土壤，故颱風期的暴雨造成集水區的部分土壤遭沖刷進入支流中，造成支流總磷濃度增高的原因。

6. 硝酸鹽氮 (NO₃-N)

硝酸鹽氮 (NO₃-N) 可由農業肥料、家庭污水、畜牲廢水、堆肥等轉化而成，並隨地表逕流進入支流水體，其月平均值由非颱風期的 0.387mg/l 增加至颱風期的 0.430mg/l，增加幅度為 11.1%。而三民溪 (A08) 及滄仔溝 (A09) 的濃度較高 (參圖 8)，可能因為測點附近有大型社區存在，河川水質較易受到人為污染影響。

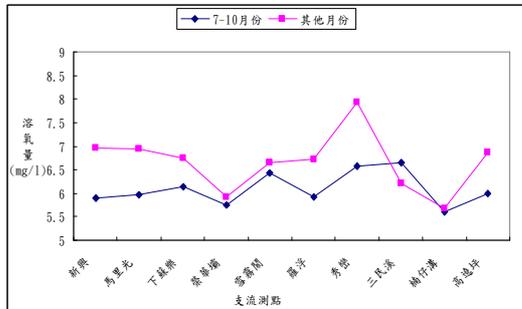


圖 3 颱風期與非颱風期溶氧量 (DO) 變化圖

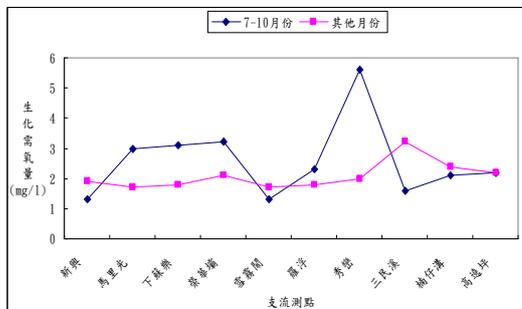


圖 4 颱風期與非颱風期生化需氧量 (BOD₅) 變化圖

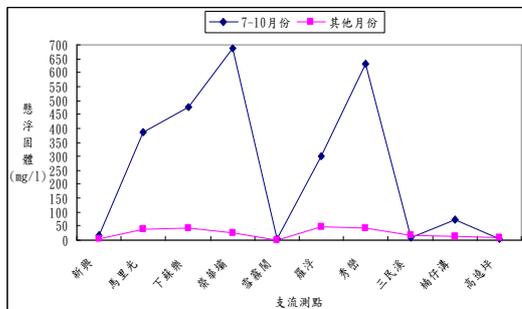


圖 5 颱風期與非颱風期懸浮固體 (SS) 變化圖

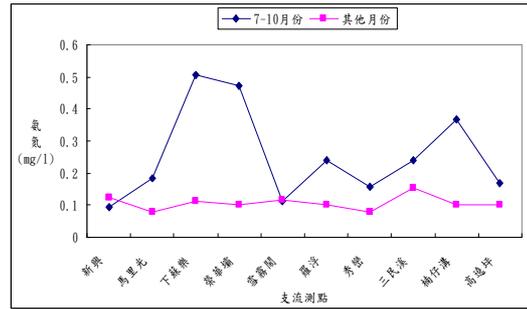


圖 6 颱風期與非颱風期氨氮 (NO₃-N) 變化圖

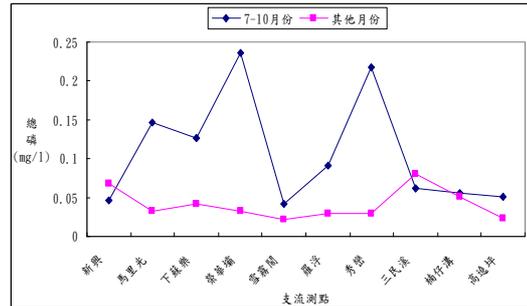


圖 7 颱風期與非颱風期總磷 (TP) 變化圖

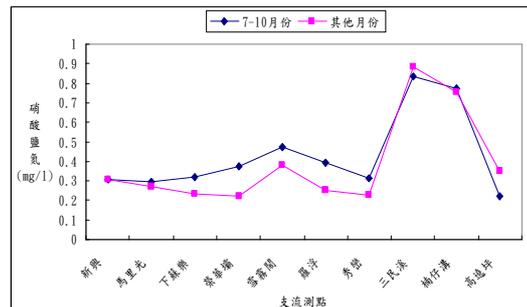


圖 8 颱風期與非颱風期硝酸鹽氮 (NO₃-N) 變化圖

主成份分析結果：

(一) 非颱風期

1. 主成份分析結果如表 6 所示，6 個水質因子變量經整理後，其第一主成份之方程式表示如下：

$$Z_1 = -0.63153 X_1 + 0.869866 X_2 + 0.908655 X_3 + 0.845831 X_4 + 0.804528 X_5 - 0.54046 X_6 \quad (1)$$

【其中：X₁=溶氧量、X₂=生化需氧量、X₃=懸浮固體、X₄=氨氮、X₅=總磷、X₆=硝酸鹽氮。】

由式 (1) 得知：變量 X₁ (溶氧量) 及 X₆ (硝酸鹽氮) 係數為負值，有負相關影響，其餘各變量係數為正值，顯示 Z₁ 值愈大所呈現的水質愈

差。其中 X_3 (懸浮固體) 係數最大, X_2 (生化需氧量) 係數次之, 這表示於非颱風期懸浮固體 (SS) 及生化需氧量 (BOD_5) 對支流水質的影響較大。

- 主成份分數 Z_1 值輸出結果於資料如表 7 所示, 秀巒 (A07) 呈現的分數 (-1.13588) 為最低, 顯示在非颱風期間該地區水質影響最少; 三民溪 (A08) 的分數 (2.24357) 為最高, 顯示在非颱風期間該地區水質影響最為嚴重。

(二) 颱風期

- 主成份分析結果如表 8 所示, 6 個水質因子變量經整理後, 其第一主成份之方程式表示如下:

$$Z_1 = -0.03522 X_1 + 0.886607 X_2 + 0.985446 X_3 + 0.470524 X_4 + 0.964522 X_5 - 0.45792 X_6 \quad (2)$$

【其中： X_1 =溶氧量、 X_2 =生化需氧量、 X_3 =懸浮固體、 X_4 =氨氮、 X_5 =總磷、 X_6 =硝酸鹽氮。】

由式 (2) 得知： X_3 (懸浮固體) 係數最大, X_5 (總磷) 係數次之, 顯示於颱風期懸浮固體 (SS) 及總磷 (TP) 對支流水質影響較大, 這結果可能肇因於集水區遭暴雨沖刷, 導致泥沙及非點源污染的營養鹽流入河川中。

- 主成份分數 Z_1 輸出結果於資料如表 9 所示, 雪霧閣 (A05) 呈現的分數 (-1.04755) 為最低, 在颱風期間該地區水質影響最少; 秀巒 (A07) 的分數 (1.53901) 為最高, 在颱風期間該地區水質影響最為嚴重。

表 6 非颱風期第一主成份係數

	變量	1
X_1	溶氧量	-0.63153
X_2	生化需氧量	0.869866
X_3	懸浮固體	0.908655
X_4	氨氮	0.845831
X_5	總磷	0.804528
X_6	硝酸鹽氮	-0.54046

表 7 非颱風期各測點第一主成份 Z_1 值

測點	變量	溶氧量	生化需氧量	懸浮固體	氨氮	總磷	硝酸鹽氮	Z_1 值
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	
A01		6.96	1.9	3.8	0.122	0.068	0.305	0.36993
A02		6.94	1.7	37.9	0.077	0.033	0.271	-0.92113
A03		6.74	1.8	41.5	0.113	0.041	0.231	-0.41521
A04		5.91	2.1	26.1	0.1	0.033	0.223	-0.13519
A05		6.66	1.7	1.6	0.115	0.021	0.379	-0.16085
A06		6.73	1.8	48.8	0.102	0.03	0.25	-0.6936
A07		7.93	2	43.6	0.08	0.03	0.225	-1.13588
A08		6.21	3.2	17.9	0.155	0.08	0.883	2.24357
A09		5.69	2.4	12.2	0.102	0.051	0.752	0.98691
A10		6.87	2.2	7.5	0.103	0.023	0.351	-0.13856

表 8 颱風期第一及第二主成份係數

	變量	1	2
X_1	溶氧量	-0.03522	0.794326
X_2	生化需氧量	0.886607	0.299953
X_3	懸浮固體	0.985446	-0.04911
X_4	氨氮	0.470524	-0.7602
X_5	總磷	0.964522	0.03832
X_6	硝酸鹽氮	-0.45792	-0.28644

表 9 颱風期各測點第一主成份 Z_1 值

測點	變量	溶氧量	生化需氧量	懸浮固體	氨氮	總磷	硝酸鹽氮	Z_1 值
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	
A01		5.89	1.3	17.1	0.095	0.046	0.304	-0.89429
A02		5.98	3	387.5	0.184	0.147	0.295	0.44021
A03		6.13	3.1	474.8	0.508	0.127	0.316	0.79229
A04		5.75	3.2	688.7	0.472	0.236	0.375	1.46167
A05		6.42	1.3	6.1	0.112	0.041	0.473	-1.04755
A06		5.91	2.3	302.2	0.24	0.091	0.395	-0.06487
A07		6.58	5.6	630.1	0.157	0.217	0.314	1.53901
A08		6.65	1.6	6.8	0.24	0.062	0.832	-1.01955
A09		5.6	2.1	74.8	0.368	0.055	0.77	-0.64991
A10		5.99	2.2	4	0.169	0.051	0.223	-0.55702

六、結論

1. 颱風期之各項水質濃度升(+)降(-)百分比如下：溶氧量(-9.4%)、生化需氧量(+23.8%)、懸浮固體(+975.5%)、氨氮(+13.4%)、總磷(+161.0%)、硝酸鹽氮(+11.1%)。其中以懸浮固體(SS)變化最大，溶氧量(DO)變化最小。
2. 非颱風期影響各項水質權重依序為：懸浮固體>生化需氧量>氨氮>總磷>溶氧量>硝酸鹽氮。
3. 颱風期影響各項水質權重依序為：懸浮固體>總磷>生化需氧量>氨氮>硝酸鹽氮>溶氧量。
4. 非颱風期影響各測點水質的大小依序為：三民溪(A08)>湳仔溝(A09)>新興(A01)>榮華壩(A04)>高遠坪(A10)>雪霧閣(A05)>下蘇樂(A03)>羅浮(A06)>馬里光(A02)>秀巒(A07)。
5. 颱風期影響各測點水質的大小依序為：秀巒(A07)>榮華壩(A04)>下蘇樂(A03)>馬里光(A02)>羅浮(A06)>高遠坪(A10)>湳仔溝(A09)>新興(A01)>三民溪(A08)>雪霧閣(A05)。

七、參考文獻

1. 陳有祺、陳曉華、朱達仁等，(2003、2004、2005)，石門水庫水質監測、水域生態環境調查及非點源污染之調查研究，經濟部水利署北區水資源局委辦。
2. 北水局，(2004)，石門水庫艾莉颱風災害檢討報告，經濟部水利署北區水資源局。
3. 農業工程研究中心，(2002)，石門

水庫水質調查監測及水質管理系統之研究(三)，經濟部水利署北區水資源局委外計畫案。

4. 環保署，(2000)，河川監測應用技術，行政院環保署。
5. 中央氣象局全球資訊網，<http://www.cwb.gov.tw>
6. 邱皓政，(2000)，量化研究與統計分析。台北：五南圖書出版股份有限公司。
7. George Argyrous，(2004)，統計學，史麗珠、林莉華編譯。台北：學富文化事業有限公司。
8. 賴伯勳、鍾朝恭、王瑋，(2005)，颱風期間石門水庫濁度處理與應變措施，水利，12(15)，25-35。
9. 歐陽元淳，(2003)，水庫集水區土壤沖蝕之研究-以石門、翡翠水庫為例，碩士論文，國立台灣大學地理環境資源學研究所，台北。