

## 摘要

由於水文水理不確定性之存在，可能造成依特定水文重現期距之水文量所設計之水利建造物無法達到原先設定的保護標準，而承受了相當大防洪不足之風險。台灣近年來水文氣象環境受全球氣候變遷之影響，水文資料可能已與過去有很大變異性，連帶使得水文水理特性（降雨量、逕流量等）亦產生了不確定性。為了確保防洪水利建造物(蓄水建造物除外)可達到設定的保護標準，本計畫主要針對規劃時所需進行之水文與水理分析中可能潛在之風險因子進行探討及評估，並建置一套風險分析程序，作為擬定減輕風險策略之參考。

根據分析結果，本計畫將影響水利防洪建造物功能之風險因子分別界定為水文風險因子(設計降雨量、雨型、降雨-逕流模式參數)、水理風險因子(起算水位、水工設施水理參數、河道糙度係數)及地文風險因子(土地利用及植被、河道斷面沖淤)。並依上述因子建置水利建造物防洪功能風險分析模式，進而計算其可靠度，以評估水利建造物是否可達到預期之防洪功能。最後將此風險分析程序應用於基隆河流域之防洪系統之風險評估。

**關鍵字：**風險分析，水利建造物，基隆河，不確定性

## **Abstract**

Due to the presence of various uncertainties, in addition to hydrologic inherent randomness, the performance reliability associated with hydraulic infrastructure is less than the anticipated reliability for a specified hydrologic return-period used in determining flood protection capability. Climatic change in the foreseeable future might have altered hydro-meteorological environments in Taiwan and introduce more complexity and uncertainty in hydrological and hydraulic characteristics in hydrosystem infrastructural designs. For the safety of hydraulic infrastructures, excluding reservoirs, this study attempts to identify and evaluate the uncertainty factors in hydrological and hydraulic analysis in the design of hydraulic infrastructures. Furthermore, the study develops a risk analysis procedure which can be used for establishing flood protection and mitigation schemes and strategies.

In the study, uncertainty factors are categorized into hydrologic factors (rainfall amount, pattern, and coefficients of the rainfall-runoff model), hydraulic factors (boundary condition of water level, weir coefficients of the flood-diversion channel, and roughness coefficients) and geomorphologic factors (land-use, erosion and siltation of river beds). Based on the above uncertainty factors, the risk analysis procedure and model are developed to evaluate overtopping probability of levee systems and to perform reliability assessment for of hydraulic infrastructures. For demonstration purpose, the flood control system along the Keelung River is chosen as the case study. From the numerical experiments, the proposed framework can be applied to risk assessment of the flood protection capacity of hydraulic infrastructures resulting from uncertainty factors in the hydrological and hydraulic analysis.

***Keywords : risk analysis · hydraulic structures · Keelung river · uncertainty***

# 目 錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫緣起與目的.....	1-1
1.2 計畫工作項目.....	1-2
1.3 本計畫工作方向.....	1-3
1.4 第一年度計畫成果摘要.....	1-3
1.5 本年度工作構想.....	1-5
第二章 國內外防洪系統風險分析相關文獻蒐集.....	2-1
2.1 防洪工程類別探討.....	2-1
2.2 水文及水理分析設計規劃相關資料.....	2-3
2.3 風險分析理論架構.....	2-6
2.4 不確定性方法簡介.....	2-10
第三章 風險因子評估與分析.....	3-1
3.1 風險因子之辨識程序.....	3-1
3.2 風險因子之界定與探討.....	3-2
第四章 風險分析程序及模式之建置.....	4-1
4.1 風險分析程序之建立.....	4-1
4.2 風險分析模式之建置.....	4-1
4.2.1 風險分析模式基本架構.....	4-1
4.2.2 風險因子之衍生.....	4-2

4.2.2.1 水文風險因子.....	4-2
4.2.2.2 水理風險因子.....	4-3
4.2.2.3 地文風險因子.....	4-4
4.2.3 降雨-逕流演算.....	4-4
4.2.4 水理演算.....	4-4
4.2.5 最高洪水位與風險因子關係式之建立.....	4-5
4.2.6 風險計算.....	4-5
4.2.7 風險分析模式之操作步驟.....	4-6
第五章 基隆河防洪系統風險分析實例應用.....	5-1
5.1 基隆河流域概況.....	5-1
5.1.1 地理位置及一般特性.....	5-1
5.1.2 人文狀況.....	5-2
5.1.3 土地利用狀況.....	5-2
5.1.4 氣象及水文.....	5-2
5.1.5 歷年災害.....	5-3
5.2 防洪系統瞭解.....	5-4
5.3 風險分析模式之建置.....	5-5
5.3.1 建置條件.....	5-5
5.3.2 模式架構.....	5-5
5.3.3 水文風險因子衍生.....	5-6
5.3.4 水理風險因子衍生.....	5-8
5.3.5 地文風險因子衍生.....	5-11
5.3.6 降雨-逕流演算.....	5-11
5.3.7 水理演算.....	5-12
5.3.7.1 演算條件.....	5-12

5.3.7.2 最高洪水位之推估.....	5-12
5.3.8 風險因子逐步迴歸分析.....	5-13
5.3.9 最高洪水位與風險因子關係式之建立.....	5-16
5.3.10 風險分析成果探討.....	5-16
5.3.10.1 各風險因子之不確定性對防洪功能之影響評估	5-17
5.3.10.2 堤防不同出水高之影響評估.....	5-18
5.3.10.3 員山子分洪道完成前後對溢堤機率之影響評估	5-19
5.3.10.4 定量流與變量流對溢堤機率之影響評估.....	5-20
5.3.10.5 斷面沖淤對溢堤機率之影響評估.....	5-21
第六章 風險分析程序可行性探討.....	6-1
6.1 實際颱風事件之應用.....	6-1
6.2 風險分析程序可行性之評估.....	6-2
第七章 教育訓練.....	7-1
第八章 結論與建議.....	8-1
8.1 結論.....	8-1
8.2 建議.....	8-3
參考文獻.....	R-1
附錄一 委託服務建議書審查意見回覆.....	A-1
附錄二 期中報告書審查意見回覆.....	B-1
附錄三 期末報告書審查意見回覆.....	C-1
附錄四 防洪工程構造物相關規劃設計資料.....	D-1
附錄五 多變量蒙地卡羅模擬法.....	E-1
附錄六 SOBEK水文水理模式概述.....	F-1

## 表 目 錄

表 2-1 流域(集水區)的上、中、下游防災因子分析 .....	2-18
表 2-2 水利署水利建造物治理規劃參考手冊或準則 .....	2-18
表 2-3 風險之定義 .....	2-19
表 2-4 不確定性分析方法之優缺點 .....	2-20
表 3-1 風險因子彙整表 .....	3-7
表 5-1 基隆河流域松山站平均氣溫統計表 .....	5-26
表 5-2 基隆河流域平均年月雨量 .....	5-26
表 5-3 基隆河流域橋樑相關資訊一覽表 .....	5-26
表 5-4 風險分析模式建制條件 .....	5-28
表 5-5 基隆河流域各控制點歷年最大三日降雨量 .....	5-28
表 5-6 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(1/3) .....	5-30
表 5-6 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(2/3) .....	5-31
表 5-6 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(3/3) .....	5-32
表 5-7 基隆河流域各控制點稽延時間關係式參數表 .....	5-33
表 5-8 稽延時間統計特性比較表 .....	5-33
表 5-9 稽延時間誤差項衍生值統計特性 .....	5-34
表 5-10 衍生起算水位之樣本資料 .....	5-34
表 5-11 起算水位之統計特性 .....	5-34
表 5-12 橋墩束縮係衍生值統計特性 .....	5-34
表 5-13 分洪堰流量統計特性比較表 .....	5-34
表 5-14 分洪道堰流公式誤差項衍生值統計特性 .....	5-37
表 5-15 基隆河流域各斷面河道糙度係數表 .....	5-37
表 5-16 河道糙度係數之統計特性 .....	5-37
表 5-17 逕流曲線係數CN值表 .....	5-38

表 5-18 基隆河流域各支流CN值 .....	5-38
表 5-19 CN衍生值統計特性 .....	5-39
表 5-20 基隆河流域各支流地文特性表 .....	5-39
表 5-21 風險因子代號表 .....	5-40
表 5-22 逐步迴歸分析選取斷面 .....	5-40
表 5-23 風險因子逐步迴歸分析結果 .....	5-41
表 5-24 風險因子逐步迴歸分析排序表 .....	5-43
表 5-25 各斷面最高洪水位與風險因子關係式係數值及 $R^2$ .....	5-44
表 5-26 風險因子之統計特性 .....	5-46
表 5-27 不同變異程度之風險因子之統計特性 .....	5-47
表 5-28 風險因子變異程度對溢堤機率變化 .....	5-48
表 5-29 風險因子對溢堤機率之影響程度排序表 .....	5-50
表 5-30 基隆河流域各斷面左右岸堤防高程 .....	5-50
表 5-31 不同出水高之溢堤機率 .....	5-51
表 5-32 底床變化率與溢堤機率及水位統計特性之比較表 .....	5-52
表 5-33 斷面沖淤對溢堤機率之分析表 .....	5-67
表 6-1 實際颱風事件應用之風險因子統計特性 .....	6-6
表 6-2 溢堤機率超越 0.5 之斷面 .....	6-6
表 6-3 風險分析程序可評估之風險因子彙整表 .....	6-7

## 圖目錄

圖 1-1 計畫工作流程 .....	1-6
圖 1-2 計畫工作架構 .....	1-7
圖 2-1 防洪工程架構圖 .....	2-21
圖 2-2 河川治理規劃之水文水理分析流程圖 .....	2-21
圖 2-3 不確定性與風險分析概念圖 .....	2-22
圖 2-4 防洪系統風險分析理論架構 .....	2-22
圖 3-1 風險辨識程序 .....	3-7
圖 3-2 防洪系統不足之風險來源 .....	3-8
圖 4-1 風險分析程序流程圖 .....	4-7
圖 4-2 防洪系統風險分析模式 .....	4-8
圖 4-3 三日暴雨設計雨型 .....	4-8
圖 4-4 降雨組體圖模擬過程 .....	4-9
圖 4-5 風險分析模式之操作步驟 .....	4-9
圖 5-1 基隆河流域概況 .....	5-68
圖 5-2 基隆河流域土地利用狀況 .....	5-68
圖 5-3 風險分析模式之應用流程圖 .....	5-69
圖 5-4 基隆河流域各控制點 200 年 3 日降雨量統計分析結果 .....	5-69
圖 5-5 基隆河流域三日雨型比較圖 .....	5-70
圖 5-6 稽延時間統計特性(標準偏差為 0.15) .....	5-70
圖 5-7 淡水河口與關渡水位關係圖 .....	5-71
圖 5-8 改變橋墩束縮係數之最高洪水水位圖 .....	5-71
圖 5-9 員山子分洪堰水位流量率定曲線圖 .....	5-72
圖 5-10 分洪堰流量統計特性(標準偏差為 0.15) .....	5-72
圖 5-11 基隆河流域無因次單位歷線 .....	5-73

圖 5-12	基隆河流域各控制點 200 年洪峰流量統計分析結果.....	5-73
圖 5-13	各斷面最高洪水位之相關係數.....	5-74
圖 5-14	各斷面最高洪水位與風險因子關係式 $R^2$ 值.....	5-74
圖 5-15	風險因子變異程度對溢堤機率之變化.....	5-75
圖 5-16	不同出水高對左岸堤防溢堤機率之比較.....	5-76
圖 5-17	不同出水高對右岸堤防溢堤機率之比較.....	5-76
圖 5-18	四個控制點不同出水高對左岸堤防溢堤機率之比較.....	5-77
圖 5-19	四個控制點不同出水高對右岸堤防溢堤機率之比較.....	5-77
圖 5-20	員山子分洪道完成前後之洪水位高程變化.....	5-78
圖 5-21	員山子分洪道完成前後之溢堤機率變化.....	5-78
圖 5-22	員山子分洪道完成前後對左岸堤防之溢堤機率.....	5-79
圖 5-23	員山子分洪道完成前後對右岸堤防之溢堤機率.....	5-79
圖 5-24	溢堤機率與堤防高程比較圖.....	5-80
圖 5-25	定量流與變量流之洪水位統計特性.....	5-80
圖 5-26	定量流與變量流對左岸堤防之溢堤機率.....	5-81
圖 5-27	定量流與變量流對右岸堤防之溢堤機率.....	5-81
圖 5-28	基隆河歷年大斷面豁壑線縱剖面線圖(K01~K88).....	5-82
圖 5-29	斷面沖淤指標示意圖.....	5-82
圖 5-30	基隆河流域歷年之底床高程變化率.....	5-83
圖 5-31	基隆河各斷面之相對位置.....	5-83
圖 5-32	斷面沖淤對溢堤機率之影響分析.....	5-93
圖 6-1	實際颱風事件應用對左岸堤防之溢堤機率.....	6-8
圖 6-2	實際颱風事件應用對右岸堤防之溢堤機率.....	6-8
圖 7-1	教育訓練上課情形.....	7-1

# 第一章 前言

## 1.1 計畫緣起與目的

台灣地區山脈縱向連綿、坡度陡峻、溪流短促，在氣候上又屬於溫帶與亞熱帶交界區，全年降雨量豐富，但大多集中於夏秋雨季，常造成雨季洪患而旱季缺水之旱澇現象。近年更由於高度經濟發展及社會變遷極為快速，居民對於河川邊際土地與窪地使用之需求激增，原屬洪氾區之土地相繼開發，造成建構防洪系統設施(例如築堤、擋水牆、疏(分)洪道、抽水站等水利建造物)成為不得不然之措施。

防洪系統可分為工程措施包括防水、洩水、引水及蓄水等水利建造物)與非工程措施(包括洪水平原管制、防洪預警、洪災保險等)，其中工程措施之水利建造物或非工程措施，其在規劃治理階段時首先皆需決定其設計基準，並依此進行水文及水理分析推得水文量(包括降雨量及逕流量)，再配合流域相關地文資料推得不同河段之洪水位，作為其防洪系統之保護標準。

然而，近年來台灣水文氣象環境是否受全球氣候變遷之影響雖仍有爭議，但事實上水文資料已與過去有很大變異性，進而影響了不同重現期距水文量之推求，亦影響了水文模式和水理模式及其參數之準確性。此外，民國 88 年所發生之 921 集集地震，除造成房屋倒塌人員傷亡外，亦導致河川流域山坡土質鬆軟，邊坡不穩定，因此每遇豪雨侵襲時，集水區上游容易發生土石流或坡地崩塌，使得大量土砂崩落至河川，造成河床淤積且通水面積減小而影響水理特性，相對也改變了河川地文特性。因此，防洪系統規劃治理過程中水文與水理分析之不確定性因子不僅會影響現況洪水位之推估，更可能造成現況洪水位可能高於原先保護標準能承擔的洪水位，導致防洪系統無法達到防洪減災目標的風險性。

因此防洪系統於治理規劃過程中因水文與水理分析具有諸多風險因子之存在，可能使得依特定重現期距水文量所設計之防洪系統設施，已無法達到原先設定的保護標準，而承受了相當大防洪失效之風險。為了確保防洪系統安全，本計畫針對防洪系統設施(水利建造物)治理規劃過程中潛在之水文、水理及地文風險因子進行探討及評估，建置一套整合水利建造物之防洪系統風險分析程序及風險計算模式，並應用於基隆河防洪系統，最後依據基隆河防洪系統風險分析結果作為擬定個別水利建造物(蓄水建造物除外)風險分析程序架構與風險分析簡易手冊之參考。

## 1.2 計畫工作項目

根據邀標書所載，茲將全程的工作項目說明如下所示。

### (一)、第一年:

1. 國內外水利建造物(蓄水庫除外)風險分析相關文獻蒐集
2. 基本資料蒐集與分析
3. 水利建造物風險因子之界定與探討
4. 水利建造物風險分析模式之建置-考量水文風險因子為基礎
5. 水利建造物風險分析模式之測試與驗證
6. 水利建造物風險分析程序之初步研析-(以基隆河流域為例)

### (二)、第二年：

1. 風險因子之持續評估與分析。
2. 完成影響水利建造物(蓄水建造物除外)風險分析程序之建立。
3. 增加考量其他風險因子之水利建造物風險分析模式建置。
4. 基隆河水利建造物風險分析實例應用。
5. 風險分析程序可行性探討。
6. 舉辦教育訓練。

本計畫參考招標文件之工作內容及項目，繪製其工作流程請參閱圖 1-1。

### 1.3 本計畫工作方向

本計畫擬首由水文、水理及地文特性之不確定性探討防洪系統承受之風險，以其為基礎同時提出水利建造物功能失效風險分析架構，來探討其對防洪系統風險之影響。預期將完成建置一套風險分析程序，並以使用者之角度擬訂風險分析成果展示方式，期使可作為防洪治理規劃與防洪預警制度建置規劃之參考。本研究預計分二階段，第一階段(共兩年)著重於前者系統風險分析探討。第二階段將納入水利建造物功能失效風險並予以整合分析。

### 1.4 第一年度計畫成果摘要

第一年主要蒐集水利建造物風險分析相關資料，界定出可能風險因子(例如水文地文及其他因子)，第一年以水文風險因子為基礎，發展風險分析模式及風險分析程序，並針對基隆河防洪系統進行初步之風險分析;第二年則以第一年所發展的風險分析模式為基礎，增加考量其他風險因子，建構一完整之防洪系統風險分析程序，並以基隆河水利建造物為應用案例，探討所建構之風險分析程序應用於評估水利建造物功能之可行性。茲將第一年工作成果及說明如下，

#### (一) 國內外水利建造物(蓄水庫除外)風險分析相關文獻蒐集

包括水利建造物之範疇、安全檢查相關法令、水利建造物毀損原因之彙整及風險分析模式之彙整。

#### (二) 基本資料蒐集與分析

完成研究基隆河流域之水文、水理、地文及 95 年河道斷面量測資料之蒐集，並彙整基隆河現有水利建造物相關資料(包括堤防、抽水站、橋樑及員山子分洪道)。

### (三) 水利建造物風險因子之界定與探討

完成影響水利建造物防洪功能之風險因子辨識程序並界定風險因子，主要可分為：

- (1) 水文風險因子：降雨延時、降雨量、及雨型。
- (2) 水理風險因子：河口潮位及河道糙度係數。
- (3) 地文風險因子：土地利用、植被及土壤特性。
- (4) 其他風險因子：有關水工設施之水理參數(如:分洪堰、橋樑束縮、攔河堰等)。

### (四) 水利建造物風險分析模式之建置-考量水文風險因子為基礎

完成水利建造物風險分析模式，其主要可分為以下四部份：

- (1) 風險因子之界定及衍生。
- (2) 河道不同斷面之最高洪水位之衍生。
- (3) 最高洪水位與風險因子之關係式之建立。
- (4) 防洪功能失敗機率之計算。

### (五) 水利建造物風險分析程序之初步研析-(以基隆河流域為例)

第一年主要建置以水文風險因子為主之風險分析程序，在此將水文風險因子之探討及最高洪水位推估之初步研究成果說明如下：

- (1) 從基隆河流域平均降雨序列資料選取 326 場降雨延時大於 5 小時且總雨量大於 30mm 之事件。
- (2) 採用集群分析方法(Cluster Analysis)與上述 326 場降雨事件將基隆河降雨型態分為前進型(Advanced Type)、中央集中型(Central Type)、均勻型(Uniform Type)及延後型(Delayed Type) 四類雨型。
- (3) 依四類雨型之統計特性分別衍生 100 組降雨組體圖及河口

(關渡)潮位，代入單位歷線推估支流入流歷線並經 SOBEK 模式計算基隆河各斷面之最高洪水位。

- (4) 採用九場暴雨事件驗證本計畫所建立之風險分析模式，所推得風險分析結果符合特定水文、水理及地文條件下基隆河防洪能力，顯示模式可適用基隆河水利建造物防洪功能之可靠度分析。
- (5) 評估基隆河保護標準重現期距 200 年三日降雨量之不確定性對防洪功能之影響。由風險分析結果顯示，堤防增加出水高 1.5 公尺可有效提高防洪功能之可靠度。此外，基隆河防洪功能之可靠度與水文紀錄長度有關，隨紀錄年份增加所推得之重現期距為 200 年三日降雨量增加而致使可靠度降低。

## 1.5 本年度工作構想

本計畫之工作構想第一年瞭解現行有關水利建造物之法律規定及其內涵，並界定本計畫水利建造物之範疇，再採用故障樹分析法界定水利建造物設計規劃中水文、水理及地文因子等影響防洪系統之風險因子，並以考量水文風險因子為基礎發展出水利建造物防洪風險分析模式及其分析程序，並以基隆河為應用案例，探討防洪系統受上述風險因子之影響程度。

然而若要實際評估水利建造物之風險，除了本計畫第一年度所進行之防洪能力失效之風險分析外，亦需探討結構物本身被破壞之風險性，但若要考量此一風險，則必須要具備完整之水利建造物設計、定期檢查及安全評估等資料，包括堤防之非破壞性檢測資料、抽水站之機械損耗情形及其機械性能評估、閘門使用年限、結構損壞情形等資料。但因現階段上述相關基本資料較為缺乏，對評估水利建造物本身破壞對防洪系統之風險性有一定程度之困難度。因此，本計畫第二年

調整研究方向，以水利建造物規劃角度，來評估現有防洪系統遭受水文水理分析規劃過程中之風險性。

因此第二年將以第一年考量水文風險因子為主之研究成果為基礎，另加入水理與地文等風險因子，確立以水文、水理與地文因子之不確定性與風險分析理論架構，並依此建立由水利建造物所組成之防洪系統風險分析程序及其風險計算模式，且以基隆河為應用案例，評估基隆河防洪系統規劃治理計畫中可能遭受防洪功能不足之風險，並依據前述之理論架構及應用成果，評估風險分析程序之可行性，包括水利建造物防洪功能風險分析程序及簡易風險分析手冊之擬定，以作為防洪規劃治理之參考。完整之工作架構可參閱圖 1-2。

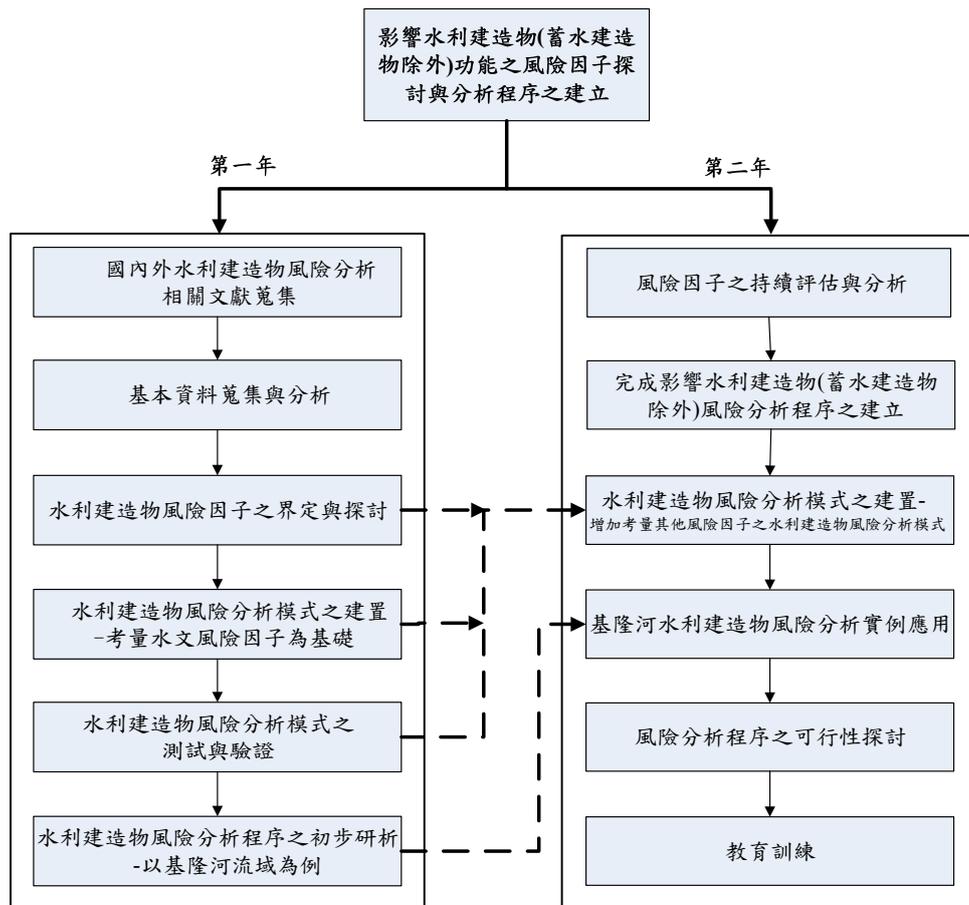


圖 1-1 計畫工作流程

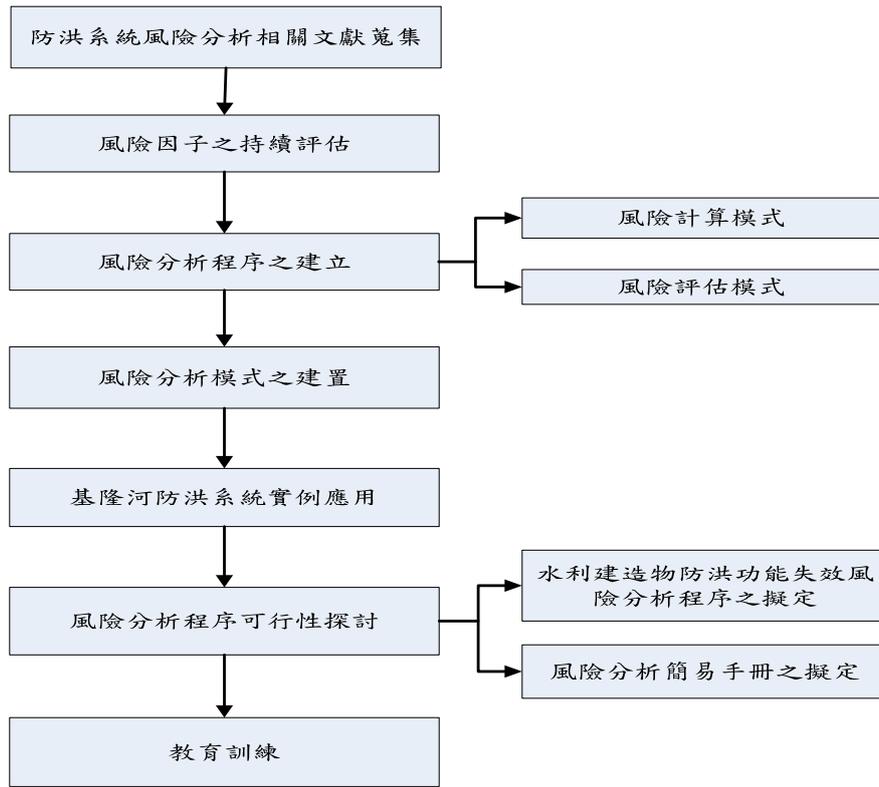


圖 1-2 計畫工作架構

## 第二章 國內外防洪系統風險分析相關文獻蒐集

在發展模式之前，須蒐集以下相關文獻以作為建立風險分析程序之基礎。

### 2.1 防洪工程類別探討

洪災屬於天然巨災之一，而以被保護區域的土地而言，洪水災害類型可分類為內水、外水、暴潮等三類型，此三類型災害特性分述如下：

#### 一、內水災害：

內水災害基本上是指被保護區域的土地範圍內，因天然降雨所造成被保護區域的土地內之積水，而形成之水患。而保護區域的土地範圍定義，在台灣大部分是指河川流域或集水區下游的都市計劃區及非都市計劃區。至於內水災害的成因，其原因相當複雜，概略上包括天然因子的降雨太大，地勢太低，及人為因子的排水設施不完備，部分土地使用不適當、保護標準太低等因子。在台灣辦理防制內水災害的工作，常稱之為排水。至於因保護區域的土地權屬不同，及負責各不同土地權屬的治水事業單位的不同，故排水事業的分工，又大致可分為市區排水、農田排水、區域排水、道路排水、工業區排水、坡地排水等。

#### 二、外水災害：

外水災害基本上是指被保護區域的土地範圍內，因流域中、上游之天然降雨而造成的洪水，其範圍束於水路範圍內，但當其流經至上、中、下游的保護區域的土地周邊時，其水量溢出水路範圍，而漫淹至被保護區域的土地內，所形成之積水災害，至於外水災害的成因，其原因相當複雜，概略上包括天然因子的降雨太大，被保護區域地勢相對較低，及人為因子的防洪設施不完

備，部分土地使用不適當(中上游水土保持不佳，人為使用河川區域不當)、保護標準不足等因子。在台灣地區辦理防洪工作的範圍，主要係依據河川管理辦法所劃定之河川水路，並依河川管理權責之不同，又分為中央管河川、縣管河川，分別由經濟部水利署、縣市政府分別依其管理權責，辦理外水災害防治工作。

### 三、暴潮災害

暴潮災害主要係指水路(河川、排水路)入海出口處與水路感潮段、海岸地區等區域周邊被保護區域土地，因暴潮發生及浸淹侵入，而使得被保護區域土地遭暴潮浸淹侵入，或使其排水不良而積水之災害，至於暴潮災害的成因，其原因相當複雜，概略上包括天然因子的氣象因子(颱風、暴雨量太大、氣象暴潮太大)、天文因子(天文潮太大)、被保護區域地勢低，及人為因子的禦潮設施不完備、部分土地使用不適當(人為使用海岸地區、水路出口區域的不當)、保護標準不足等因子。

因此依據被保護區域的土地而言，災害類型可分類為內水、外水、暴潮等三類型，但依據實務經驗而言，在台灣地區發生水患時，經常是內水、外水、暴潮等複合型之綜合因子，其差異性在於內水、外水、暴潮因子之主、次性因子之差異。但就保護區域土地之流域或集水區的上、中、下游而言，其災害因子的防治有主、次之別，可詳列如表 2-1 所示。

防洪系統工程即為防治水患所必須之措施，主要可分為工程措施與非工程措施，其中工程措施包括防水、洩水、引水及蓄水之水利建造物，而非工程措施包括洪氾區管制、防洪預警、洪災保險等，其組成架構如圖 2-1 所示。其中工程措施之水利建造物泛指與公共安全有關之水利設施，如下所述：

#### 一、防水水利建造物：

與水患防治有關之河堤(含防洪牆)、海堤、護岸與其他關聯設施。

#### 二、洩水水利建造物：

與水患防治有關之排水路(含明渠、涵管等型式)、抽水站、滯水與保水設施、分洪設施與其他關聯設施等。

#### 三、引水水利建造物：

與水資源利用有關之取水設施(攔河堰、沉砂池、進水口等)、輸水設施(含明渠、涵管等型式)及其他關聯設施。

#### 四、蓄水水利建造物：

與水資源利用與防洪有關之蓄水量達 2 萬立方公尺之水壩、攔河堰、人工湖及其他關聯設施。

由於水利建造物項目相當多，且本研究只針對蓄水建造物除外之水利建造物功能進行風險分析探討，因此著重於分析河川流域沿岸水利建造物之防洪功能，未來仍可針對洩水、引水及蓄水之水利建造物再持續進行風險分析以作為擬定河川治理規劃中減輕風險策略之參考。附錄四為參考經濟部水利署(2007)，「水利工程技術規範-河川治理篇(草案)」中所提及之河防構造物設計內容彙整，包括堤防、護岸、丁壩、防洪牆、閘門以及抽水設備。

## 2.2 水文及水理分析設計規劃相關資料

對防洪工程措施而言，在規劃治理階段時皆需先決定其設計基準，並依此進行水文及水理分析推得水文量(包括降雨量及逕流量)，作為其防洪系統之保護標準。表 2-2 中所列為水利署不同年份所擬定防洪系統設施規劃手冊(除蓄水庫除外)，雖針對不同防洪功能之系統進行設計規劃，但其水文與水理分析大致可分為以下步驟，其分析流

程圖如圖 2-2 所示。

#### (一) 基本資料蒐集調查

蒐集規劃所需之基本資料(包括人文、地文、氣象水文、土地利用等)，應依據流域整體規劃觀點進行資料蒐集，研擬河川流域之基本資料蒐集與調查作業，以適當的步驟與方法辦理調查工作。

#### (二) 河道調查與測量

針對規劃地區有關河道控制點、地形、縱斷面及橫斷面進行測量，俾供後續治理及佈設防洪系統設施之依據。

#### (三) 水文分析

水文分析之目的在由集水區雨量資料推估河川控制點各重現期距洪峰流量，配合水理分析以供河川保護程度依據之用，其分析步驟可概分為：

##### 1. 雨量站之選用：

選用流域內及鄰近雨量站觀測資料可靠、紀錄較長且資料完整之雨量站，雨量站紀錄年限以大於25年為原則。

##### 2. 水文資料之校正、補遺及延伸：

雨量站資料之可靠性及完整性應予以檢定，資料有誤應進行校正，資料有缺漏應進行補遺及延伸。

##### 3. 水文資料統計分析：

包括暴雨量頻率分析(包括合適機率分佈之選定與其參數、降雨時間分配型態分析(設計雨型)、洪峰流量推估。其中洪峰流量可分別由降雨-逕流模式、與實測流量頻率分析推得。

#### (四) 水理分析

一般進行水理演算時，依據輸入資料計算各斷面之洪水位及其他水理因素，如流速、水面寬、通水面積、能量坡降等，其中輸入資料

分別為斷面資料、曼寧糙度係數、計畫洪水量、起算水位，茲將說明如下：

1. 斷面資料：

主要依據河道調查與測量之成果，包括河道橫斷面資料、相鄰斷面之間距、橋樑之橋面及樑底高、橋墩之數量、尺寸及形狀、堰高及長度等現況資料。

2. 起算水位：

計算洪水位之正確性，有賴起算斷面之起始水位的適當設定，應依河川各種不同流況並考慮河口暴潮位，適當選定起算水位。

3. 曼寧糙度係數：

河川自由水面水流之阻抗計算一般採用曼寧公式，公式中之糙度係數 $n$ 值，應就水位流量站所蒐集之相關水理資料加以分析檢定後採用，但以往洪水資料缺少或精度較差時可採用經驗數值。

4. 計畫洪水量：

河川治理之計畫洪水量，依河川分類之類別及主管機關而設定。此外，治理河段內計畫洪水量之變化，應依區內排水系統與支流注入治理河段之地點及其排入流量作合理分配。

5. 水理分析模式之選用

水理分析應依渠道之流況、構造物之形式及集水區排水地形之條件，選用適當之模式，以符合河川之特性，求得較合理之渠道水位。變量流水理模式可模擬整個洪水歷線經過河川系統時各河段之水理因素，並可模擬每個時段於每個斷面間水流狀況之相互影響，其結果與實際之水流狀況較為接近，而定量流計算之水位較趨於保守，基於安全考量，一般河川治理大都採用定量流演

算治理河段之洪水位。

## 2.3 風險分析理論架構

風險是一種不確定性之表現，不確定性是指一個事件或一個數據可能有許多不同的結果。因此當事件或數據重覆發生時，其前後結果並不一致，其存在對於未來的結果可能有利，亦可能造成某種損害。此外風險之存在係因為人們對任何未來的結果不可能完全預料，實際結果與主觀預料之間的差異即構成了風險。另外有相當多的學者專家針對「風險」一辭定義，如表 2-3 所列。在本研究中，風險的定義採用 Yen and Tang(1976) 以失敗事件發生之機率。一般而言，在工程上風險可定義為當載重大於抗阻發生之機率，而防洪工程上系統之載重即為水文量；系統之抗阻即為堤防高程，因此在本研究主要為考量水文、水理及地文風險因子之不確定下，特定重現期距(保護標準)之最高洪水位超越堤防高程之失敗事件發生之機率，故風險即為溢堤機率。

拉丁高次取樣法是屬於不確定性分析機率理論的方法之一，適用於分析設定參數和預測值之間的關係。拉丁高次取樣法和一般的數值方法不同，它不是單純數學化求解各變量的數值關係，而是通過建立數學模型進行模擬試驗，然後從試驗過程測定各變量的數值，為一種通過試驗求數值解的方法，應當把它看作一系列的試驗過程。在考慮參數不確定性的情況下，若輸入的參數是有分佈特性的（如常態分佈或均勻分佈等），則模式的輸出結果也將呈現一個機率分佈，如此便能進行不確定性及風險分析，其概念如圖2-3所示。故本計畫在建構防洪系統風險分析理論時，將以拉丁高次取樣法為主，輔以高等一階二矩法建構防洪系統風險分析理論架構。

由圖2-3可知，在建構防洪系統風險分析理論時，於風險因子模擬

階段，需先建立各風險因子之分佈（利用有限觀測資料或適用數學模式），接著再以拉丁高次取樣法隨機衍生風險因子分佈之值，將所衍生參數值代入水文與水理模式中計算，即可得到一次之洪水位模擬結果，如此重複多次，輸出洪水位的可能樣本值也將呈現一個機率分佈，故可根據此一洪水位機率分佈進行防洪系統之風險分析，例如計算最高洪水位超越堤防高之機率。茲將上述防洪系統風險理論架構條列如下。

1. 利用有限觀測資料，將現有水文、水理及地文風險因子之數據依大小排序，劃分範圍及輸入各範圍之個數。
2. 依據範圍算其累積分佈函數（cumulative distribution function, CDF）。
3. 將風險因子隨機變數  $x$  之累積分佈函數設為  $F(x)$ ，則累積機率  $F(x)=u$  時，隨機變數  $x$  值可以逆推法求得：

$$x = F_x^{-1}(u) \quad (2-28)$$

式中  $u$  為介於0與1之間的均勻隨機變數。

4. 利用亂數產生器可產生一組標準均勻分佈之風險因子之隨機變數  $u$ ，經由(2-28)式可將  $u$  轉換為風險因子  $x$ 。
5. 重複步驟4同樣過程多次即可產生多組風險因子之數據。
6. 將多組風險因子模擬值代入水文及水理模式演算，推估其所對應之最高洪水位，並依此推估超越機率分佈即為風險值。

圖2-4所示為防洪系統風險分析理論架構。本研究另蒐集風險分析之相關文獻，說明如下：

#### (一) 國內部份

顏本琦與洪華生（1971），以雨水排水系統為例，首先介紹風險與可靠度分析在水利工程上之可行性後，此新學科在水利工程之應用

即漸推廣。

陳榮松（1985）引用洪水過程模式，以貝氏分析（Baresian Analysis）消減參數不確定性，探討堤防於各種設計洪水量下所發生之危險性，此法能使潛在之不確定性因子之影響減至最小，以獲取較可靠之設計。

黃志元（1990）利用高等一階二矩法（Advance First-Order Second-Moment Method，簡稱 AFOSM）分析壩堤溢流之風險；吳國儒（1991）也利用高等一階二矩法評估堤防之安全性；林景義（1992）亦利用該方法計算石門水庫之溢流風險並配合可用性模式計算水壩安全評估之最佳週期。

田振宏（1993）以蒙地卡羅模擬法（Monte Carlo Simulation，簡稱 MCS）與均值一階二矩法（Mean-value First-Order Second-Moment Method，簡稱 MFOSM）分別作風險計算之方法，探討明德水庫因洪水及風浪引起之溢頂潰壩的實際風險值。

張哲豪（1994）以一階變異數估計法、蒙地卡羅模擬法以及兩種點估計法應用於橋基刷深模式之不確定性分析。

黃翰林（1996）採用一階二矩法，考量各水文量不確定性，建立河堤溢流風險模式，並比較由均值一階二矩法（MFOSM）及高等一階二矩法（AFOSM）兩者所求得結果，再以蒙地卡羅模擬法（MCS）及拉丁高次取樣法（Latin Hypercube Sampling，簡稱 LHS）兩法作驗證，以期求得正確之河堤溢流風險值。

杜俊明（1998）採用一階二矩法，考量水文與地文因子之不確定性，進行堤防溢流風險的演算，並配合不同推估洪峰流量的方法，比較對溢流風險值的差異及保守度。

楊錦釗等（1999）藉由研究水庫 PMP 設計降雨強度與重現期距

之關係，進而利用 Harr 點估計法進行水庫設計重現期距之不確定性分析。

許永佳(2001)以翡翠水庫為應用案例，利用系統分析策略評估水庫溢流之重要因子，計算水庫在洪水期間之最高洪水位，再利用羅森布魯斯點估計法(Rosenblueth Point Estimate Method, 簡稱 Rosenblueth PEM)、哈爾點估計法(Harr's Point Estimates Method, 簡稱 Harr's PEM)、蒙地卡羅模擬法(MCS)以及拉丁高次取樣法(LHS)等四種不確定性分析進行溢流風險分析之探討。

康富智(2007)以 Hasofer-Lind 二次矩可靠度指標分析方法為基礎，應用 EXCEL 規劃求解工具，建立可考量暴雨量、集水區面積、粗糙係數、水利坡降四個變數不確定性之溢堤風險分析模式。

## (二) 國外部份

水利工程在二十世紀初，即已考慮洪水發生頻率之問題，以重現期距法(Return Period)為計算風險之代表，但此法忽略變數的不確定性，且僅能考慮少數的水文因子；雖然有上述的缺點，此法在目前仍廣泛應用於水工結構物的風險計算(Borgman,1963)，其後 Wood (1977)以直接積分法評估堤防的溢流與結構風險，Duckstein and Borgardi (1981)考慮各種可能因素，直接積分阻抗(Resistance)與荷重>Loading)之聯合機率密度函數，計算堤防系統的風險值。

近年來常見之均值一階二矩法(MFOSM)由 Meyer 於 1926 年建立，Conell(1967)將此法用到工程系統上；Tung and Mays(1981)以一階近似理論來估計靜態(static)與時變(time-dependent)性之情形而發展出風險與可靠度之模型並應用於河堤防洪設計上。

由於均值一階二矩法對於極端值與非線性問題的處理能力差，故 Rackwitz (1978)提出將執行變數於破壞點上以 Taylor 級數展開，

發展出高等一階二矩法 (AFOSM)，至今廣為應用水利建造物風險分析。

Warner and Kabaila (1968) 利用蒙地卡羅模擬法 (MCS) 模擬阻抗 (Resistance) 與荷重 (Loading) 之分佈情形，並計算結構物之安全性。

Melching (1992) 針對 HEC-1 和 Runoff Routing Program (RORB) 兩個水文模式應用於美國一農業集水區之實例，以均值一階二矩法 (MFOSM)、高等一階二矩法 (AFOSM) 與蒙地卡羅法 (MCS) 等三種統計分析方法，評估模式模擬之尖峰流量與超越機率之關係，並判定高等一階二矩法較能替代計算次數繁多之蒙地卡羅模擬法。

另外，Yeh and Tung (1993) 應用不確定性分析和參數敏感度分析探討採砂坑模式 (Pit-Migration Model) 中控制方程式係數及參數之不確定性，分別採用一階變異數估計法 (First-Order Variance Estimation, FOVE)，點估計法及拉丁高次取樣法等三種統計分析方法分析，比較各個係數、參數間的相關性、敏感度及不確定性，並列出係數及參數之重要性。

Apel et al (2004) 曾發展一套採用蒙地卡羅方法，並結合水文水理模式、水利建造物及人民財產災損曲線之風險模式。

## 2.4 不確定性方法簡介

不確定性分析之目的在於推求系統或模式輸出結果之統計特性 (例如平均值，及標準偏差) 以作為風險分析模式之基礎。防洪系統之防洪功能不足風險可能來自於規劃治理過程存在水文與水理分析之各種水文、水理與地文風險因子本身之不確定性，而各風險因子之不確定性計算方法隨因子本身特性及其是否可予以量化而有所不同。目前常用於水文及水理分析之不確定性分析方法主要有以下六種：

- (一) 均值一階二矩法 (mean-value first-order second-moment method, MFOSM)
- (二) 高等一階二矩法 (advanced first-order second-moment method, AFOSM)
- (三) 羅森布魯斯點估計法 (Rosenblueth's point estimation method, Rosenblueth's PEM)
- (四) 哈爾點估計法 (Harr's point estimation method, Harr's PEM)
- (五) 蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo simulation, MCS)
- (六) 拉丁高次取樣法 (Latin hypercube sampling, LHS)

茲將各不確定性分析之步驟詳述如下：

- (一) 均值一階二矩法 (MFOSM)：

在實際應用時，各個影響因子的機率分佈 (Probability Distributions) 常不易取得，為了避免此項限制，均值一階二矩法假設各個影響因子之機率分佈可以實際數據或假設的統計平均值 (Mean Value) 及變異係數 (Coefficient of Variation, cov) 來代表。此法之理論根據泰勒級數 (Taylor Series) 展開並忽略高次項，均值一階二矩法之計算流程如下：

1. 將系統的作業函數 (Performance Function)  $Z$  以各個影響因子表示如下：

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2-1)$$

2. 以泰勒展開式將作業函數  $Z$  對平均值點  $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$  展開

$$Z = g(\bar{x}) + \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x}_i) \left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_{\bar{x}} + H.O.T. \quad (2-2)$$

其中  $\left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_{\bar{x}}$  為對各項影響因子的一階導數， $H.O.T.$  代表高次項之展開

(忽略不計)。

3. 對(2.6)式求作業函數Z的平均值及變異數，其中：

$$\text{平均值：} \quad E(Z) \approx \bar{Z} = g(\bar{x}) \quad (2-3)$$

$$\text{變異數：} \quad \text{Var}(Z) \approx \sum_{i=1}^m C_i^2 \text{Var}(x_i) \quad (2-4)$$

$$\text{其中} \quad C_i = \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right)_{\bar{x}} \quad (2-5)$$

註:(2.4)式的基本假設為各影響因子為統計上互相獨立之隨機變數。

4. 系統作業函數Z的標準偏差 $\sigma_z$ 亦可由各影響因子之標準偏差 $\sigma_i$ 依下式求得：

$$\sigma_z = \left[ \sum_{i=1}^n (C_i \sigma_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2-6)$$

均值一階二矩近似法(MFOSM)為工程風險分析一種簡便的近似法。當各項影響子因素呈常態分佈或是系統作業函數Z可表示為各項影響子因素的線性組合 (linear combination) 時，均值一階二矩近似法可得相當準確的結果。

## (二) 高等一階二矩法(AFOSM)

當系統的表現呈非線性(non-linear behavior)或潰敗(failure)發生時，一些影響因素可能發生於極端值，此時如以均值一階二矩法估計風險，將產生可觀的誤差。高等一階二矩法(AFOSM)可改進風險分析的準確度(Yen et al., 1986)，其計算流程如下：

1. 將系統作業函數Z與各個影響因子如(2-7)式表示：

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2-7)$$

2. 將系統作業函數Z對破壞面(failure surface)  $g(x_p) = 0$ ，上之 $x_p$ 作泰勒展開(Taylor's Expansion)：

$$Z = \sum_{i=1}^m (X_i - x_{ip}) \frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{x_p} + H.O.T. \quad (2-8)$$

其中  $\frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{x_p}$  為各項影響子因素在  $x_p$  破壞面  $g(x_p)=0$  之一階導數。然

而破壞面  $x_p$  的落點無法事先預知，必須以試誤(trial-and-error)法疊代求出。其疊代過程如下：

- (1) 對各項影響因子  $X_i$  假設其相應之初始試誤點(trial value)
- (2) 根據每一變數之平均值及標準偏差，對每一變數，計算於初始試誤點上相對應之一階導數  $C_{ip}$

$$C_{ip} = \frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{x_p} \quad (2-9)$$

計算每一變數之相對應之敏感度因子(sensitivity factors)。

$$\alpha_i = \frac{C_{ip} \sigma_i}{\left[ \sum_{j=1}^n (C_{jp} \sigma_j)^2 \right]^{1/2}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (2-10)$$

- (3) 由下式計算可靠度指標

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ip} (\bar{x}_i - x_{ip})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i C_{ip} \sigma_i} \quad (2-11)$$

- (4) 如果此試誤點  $x_{ip}$  落在破壞面(failure surface)上，則

$$g(x_{ip}) = 0 \quad (2-12)$$

否則，調整失敗點

$$x_{ip} = \bar{x}_i - \alpha_i \beta \sigma_i, \quad i=1,2,\dots,n \quad (2-13)$$

- (5) 重複步驟(2)~(4)直到疊代出正確的失敗點位置。

3. 求取作業函數  $Z$  之平均值、變異數及標準差平均值。在假設各項影響子因素為統計上互相獨立(statistically independent)之變數。

平均值：
$$E(Z) = \sum_{i=1}^n C_{ip} (\mu_i - x_{ip}) \quad (2-14)$$

變異數：
$$Var(Z) \approx \sum_{i=1}^n (C_{ip}^2)_{x_p} Var(X_i) \quad (2-15)$$

標準偏差：
$$\sigma_z = \left[ \sum_{i=1}^n (C_{ip} \sigma_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2-16)$$

### (三) 羅森布魯斯點估算法(Rosenblueth's PEM)

Rosenblueth 於 1975 年首先提出點估計法(point estimation method)，但其僅考慮對稱的隨機參數；而後於 1981 年，Rosenblueth 又將其點估計法改進成可處理非對稱的隨機參數。此法由各項隨機參數  $X_i$  之第一及第二動差 (first and second moment) 來估計系統輸出 (model output) 對原點(origin) 的第  $k$  階動差；此法假設每一隨機參數以集中於距平均值正負一個標準偏差 (standard deviation) 的二個點來估計對每一隨機參數  $X_i$  總體機率質量 (total probability mass)；此外，每一隨機參數可視為統計相關或不相關之變數。一般而言，羅森布魯斯點估計法，當模式具有  $p$  個隨機參數時，則有  $2^p$  組之參數組合；因此當模式之參數個數過多時，則使用羅森布魯斯點估計法於不確定性分析所需之計算量將相當可觀。

就點估計法而言，當模式具有  $p$  個隨機參數時，作業函數  $Z$  對原點之  $N$  次動差(Nth moment)期望值，泰勒展開式之點機率估算近似如下式：

$$E[Z^N] \approx \left[ (p_{+++Kp}) (Z_{+++Kp})^N + (p_{-+++Kp}) (Z_{-+++Kp})^N + \dots + (p_{---Kp}) (Z_{---Kp})^N \right] \quad (2-17)$$

$$\text{其中 } Z_{+++Kp} = P(x_{m1} + \sigma_1, x_{m2} + \sigma_2, x_{m3} + \sigma_3, \dots, x_{mp} + \sigma_p)$$

$$Z_{---Kp} = P(x_{m1} - \sigma_1, x_{m2} - \sigma_2, x_{m3} - \sigma_3, \dots, x_{mp} - \sigma_p)$$

$Z$  之下標+、-號分別代表隨機參數之平均值加或減一個標準偏差；

$P()$ ：代表所使用之模式；

$x_{m1}$ 、 $x_{m2}$ 、 $x_{m3}$ 、...、 $x_{mp}$ ：代表隨機參數之平均值；

$\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ 、...、 $\sigma_p$ ：代表隨機參數之標準偏差；

函數  $P$  之定義如下：

$$P_{i,j,k,p} = \left[ 1 + \sum_{g=1}^p \sum_{h=1}^p g'h' \delta_{g,h} \rho_{g,h} \right] / 2^p \quad (2-18)$$

$$\text{其中 } \delta_{g,h} = \begin{cases} 0 & \text{if } g \geq h \\ 1 & \text{if } g < h \end{cases}$$

$g'h' = -1$  or  $+1$ ，係根據函數  $P$  下標之符號；

$\rho_{g,h}$  表示第  $g$  個和第  $h$  個隨機參數之相關係數。

舉一例子如下：

$$p_{+++} = (1 - \rho_{12} + \rho_{13} - \rho_{23}) / 8 \quad (2-19)$$

當  $N=1$  時， $Z$  之期望值，而  $E[Z] = \bar{Z}$  之變異數可由下式求得：

$$s_z^2 = E[Z^2] - (E[Z])^2 \quad (2-20)$$

#### (四) 哈爾點估算法 (Harr's PEM)

Harr 改進羅森布魯斯點估計法因模式參數個數增多而使計算量大增之缺點，於 1989 年提出另一種方法，將羅森布魯斯點估計法計算次數由  $2^p$  次減少至  $2p$  次。哈爾點估計法利用正交轉換 (principal axis transform) 將  $p$  個相關之隨機參數轉成  $p$  個不相關之隨機參數。根據模式中隨機參數之相關矩陣 (correlation matrix)，找出  $p$  個特徵向量與特徵值。然後找出特徵向量與以參數平均值為圓心，以  $p^{1/2}$  為半徑之圓的  $2p$  個交點，一旦求得  $2p$  個交點後模式輸出之  $N$  階動差便可求出。

至於哈爾點估計法步驟如下所示：

1. 分解隨機變數之相關係數矩陣  $\rho$  為特徵向量矩陣  $V$  和特徵值矩陣  $L$  所組成之關係式。

$$\rho = VLV^T \quad (2-21)$$

其中：

$V$  =eigenvector matrix =  $(v_1, v_2, \dots, v_p)$

$L = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$

2. 以下式求出特徵向量和以參數平均值為圓心，以  $\sqrt{p}$  為半徑之圓的交點  $2p$  個。

$$X_{i\pm} = \bar{X} \pm p^{1/2} \begin{bmatrix} \sigma_1 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \sigma_2 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & - & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & - & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \sigma_p \end{bmatrix} v_i \quad i = 1, 2, 3, p \quad (2-22)$$

$v_i$ ：為特徵向量的行矩陣

3. 計算和  $Z_{i\pm} = g(X_{i\pm})$  和  $Z_{i\pm}^2 = g^2(X_{i\pm})$  之值，其中  $i = 1, 2, 3, \dots, p$ 。
4. 計算每一特徵向量之模式輸出值平均，如下所示：

$$\bar{Z} = (Z_{i+} + Z_{i-}) / 2 \quad (2.23)$$

$$\text{和 } \bar{Z}^2 = (Z_{i+}^2 + Z_{i-}^2) / 2 \quad (2.24)$$

5. 計算模式輸出之平均值和變異數

$$E[Z] = \left[ \sum_{i=1}^p \bar{Z} \lambda_i \right] / p \quad (2.25)$$

$$E[Z^2] = \left[ \sum_{i=1}^p \bar{Z}^2 \lambda_i \right] / p \quad (2.26)$$

$$\text{Var}(Z) = E[Z^2] - E^2[Z] \quad (2.27)$$

### (五) 蒙地卡羅模擬法 (MCS)

蒙地卡羅模擬法為一傳統的技术，從參數定義域之機率分佈中隨機取樣。今日的蒙地卡羅模擬法應用於模擬牽涉隨機過程的複雜問

題。蒙地卡羅模擬法是一個完全隨機的取樣法；換言之，任何一次取樣將有可能取到參數定義域中的任何位置，因此此法是相當無效率的，一般而言，樣本愈大則所得的解愈正確。因此此法相當費時，且輸入之隨機變數之額外變化將直接影響模式輸出之統計動差。

#### (六) 拉丁高次取樣法 (LHS)

拉丁高次取樣法和蒙地卡羅模擬法皆是一種統計上的取樣方式，並在參數定義域中取出適當組數之模式輸入參數，但 LHS 和 MCS 不同之處在於 LHS 法一定要在參數定義域內均勻地取出參數樣本。經由 LHS 取出之樣本組，分別經過模式計算，然後得到相對應於各組數之模式輸出計算值，進而可統計出模式輸出之平均值以及標準偏差，LHS 取樣作業程序如下：

1. 首先定義於求解空間中，欲取出參數群之組數 $K$ 。
2. 對於每一個參數 $X$ ，分別指定其隨機型態或上下限，並決定其機率密度函數。
3. 將每一參數 $X$ 之可能區間劃分為 $K$ 組，並使得每一組被取得的機率均為 $1/K$ 。
4. 於每個細分區間中，以任意亂數之方式取樣。
5. 重覆步驟1~4直到各參數皆完成取樣。
6. 將各參數 $X$ 任意混合，得到 $K$ 組輸入參數群 $X$ ，均勻分佈於求解空間全域。

由以上步驟所得到之  $K$  組輸入參數，再將其個別代入模式計算，作為不確定性分析之用。

不確定性分析方法在實際應用時各有其優缺點，原則上可應用於各種問題，但實際應用上應根據蒐集之資料不同、問題性質及分析者程度等而使用不同之不確定性分析方法。茲將各不確定性方法之優缺

點列如表 2-4 所示。

表 2-1 流域(集水區)的上、中、下游防災因子分析

地區 防災因子	上游地區	中游地區	下游地區
主防災因子	外水	外水	外水、內水、暴潮
次防災因子	內水	內水	—

參考資料:經濟部水利署(2007),「水利建造物工程設計基準之檢討(2/2)」。

表 2-2 水利署水利建造物治理規劃參考手冊或準則

名稱	防洪功能	年份
防洪工程規劃講義	洩水、防水	1969
水資源工程規劃		1982
普通河川治理規劃作業手冊	洩水、防水	1985
河川環境保育規劃準冊	洩水、防水	1999
水文設計應用手冊		2001
區域排水整治及環境營造規劃參考手冊	洩水、防水	2006
河川治理及環境營造規劃參考手冊	洩水、防水	2006
水利工程技術規範-河川治理篇	洩水、防水	2007

(參考資料：水利署(2007),「水利建造物工程設計基準之檢討」(2/2))

表 2-3 風險之定義

年代	主張者	定義
1921	Knight	謂可測定之不確定性。
1951	Willett	謂不幸事件發生與否的不確定性。
1963	Borgman	以失敗事件之重現期距的倒數為其風險
1964	Denenberg	謂損失的不確定性。
1970	Young et al.,	以失敗事件的期望成本稱之(expected cost)
1976	Yen and Tang	以失敗事件發生之機率為其風險
1979	Bras	以失敗事件的真實成本稱之(actual cost)
1981	C.Arthur Williams,Jr. & Richard M. Heins	在特定情況及時間之下，對可能發生結果的變異情形。
1984	Nielsen	任何活動或事件會對計劃的目標、品質、績效或執行的時間、成本造成負面的影響者。
1985	Shrader-Frechette	事件之主觀機率與不利影響程度的綜合衡量。
1990	Belve	是造成傷害，破壞或損失的機率。
1991	Chapman	發生經濟或財務上損失或獲利，物質的損失、損壞或延遲之可能性。
1994	Raftery	謂某一特定事件或活動有可能與原估計或預測值偏差之可能性,其帶來或許是有利或不利的。
1999	雷勝強	在給定的情況下和特定的時間內，可能發生的結果之間的差異
2006	Tung	工程系統中之風險結合系統中基本風險(如結構物本身之風險)及外在的不確定性(主要來自於大自然的變化及未知的知識)之結果

參考資料：杜俊明(1998)，「河堤溢流風險之解析」；黃承傑(2002)，「專案進度風險分析模式－考慮不確性作業之影響」，本研究彙整。

表 2-4 不確定性分析方法之優缺點

	基本假設	優點	缺點
均值一階二矩法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設各項影響因子呈現常態分佈或系統表現函數呈線性。</li> <li>2. 假設各影響因子為統計上互相獨立變數。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 較簡便分析，當各項影響因子呈現常態分佈可得相當準確結果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 當影響因子呈現極值分佈時所估計的風險可能產生可觀誤差。</li> <li>2. 不能考慮有偏態性 (Skewness) 的分佈。</li> <li>3. 對於非線性之表現函數的平均值及變異數估計準確性低。</li> <li>4. 可靠性的計算受到不同表現函數形式的影響很大。</li> </ol>
改良一階二矩法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設各項影響因子呈現極端值分佈或系統表現函數呈非線性。</li> <li>2. 假設各影響因子為統計上互相獨立變數。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工程危險時，一些影響因子常呈極端值分佈，利用高等一階二矩法較均值一階二矩法可得較準確結果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 計算較均值一階二矩法複雜。</li> <li>2. 較適合極端事件之計算。</li> </ol>
羅森布魯斯點估計法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設每一變數之機率質量可以集中於距平均值正負一個標準偏差的二個點。</li> <li>2. 影響因子可為統計上相關或不相關的變數。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 影響因子可為統計上相關或不相關的變數。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 當不確定性變數增多時，計算量會大增。</li> </ol>
哈爾點估計法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設每一變數之機率可以集中於距平均值正負一個標準偏差的二個點。</li> <li>2. 影響因子可為統計上相關或不相關的隨機變數。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 利用主軸轉換的方法，大大減少了羅森布魯斯點估計法所需計算量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 主軸轉換會將相關性忽略，而造成與羅森布魯斯點估計法些微之差異。</li> <li>2. 程式撰寫較羅森布魯斯點估計法複雜。</li> </ol>
蒙地卡羅取樣法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設相關或不相關隨機變數的統計性質，計算過程中，系統的輸入參數係根據其統計分佈特性產生，當足夠的模擬數組產生後，便可計算相對應的系統輸出函數的統計特性。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 最基本、最簡單的不確定性分析方法。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 取樣效率較差。</li> <li>2. 計算量過大，所需模擬數組的數目又無法準確估計，以致無法確知所得之輸出函數是否具有足夠的代表性及準確性。</li> </ol>
拉丁高次取樣法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 依隨機變數的統計性質作均勻分層取樣，改進蒙地卡羅法取樣不均勻之情況。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 取樣效率佳，採樣均勻，因此可將模擬組數減少，節省時間。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 與蒙地卡羅法同屬於取樣法，因此模擬次數關係輸出函數的代表性，因此也需要大量計算。</li> </ol>

參考資料：經濟部水利署(2002)，「水壩安全檢查最佳次序及週期之建立」，本研究彙整。

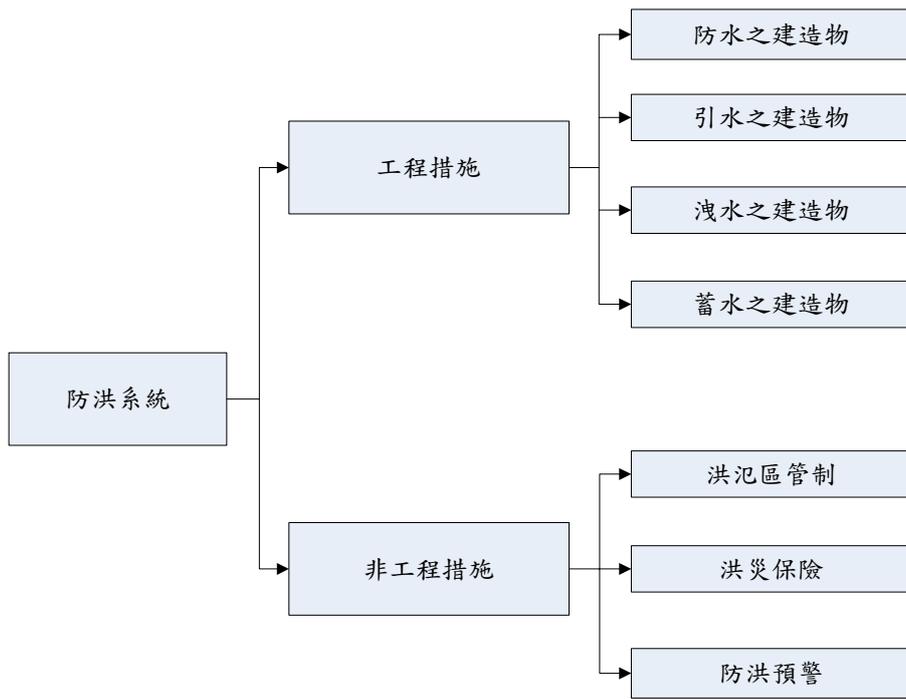


圖 2-1 防洪工程架構圖

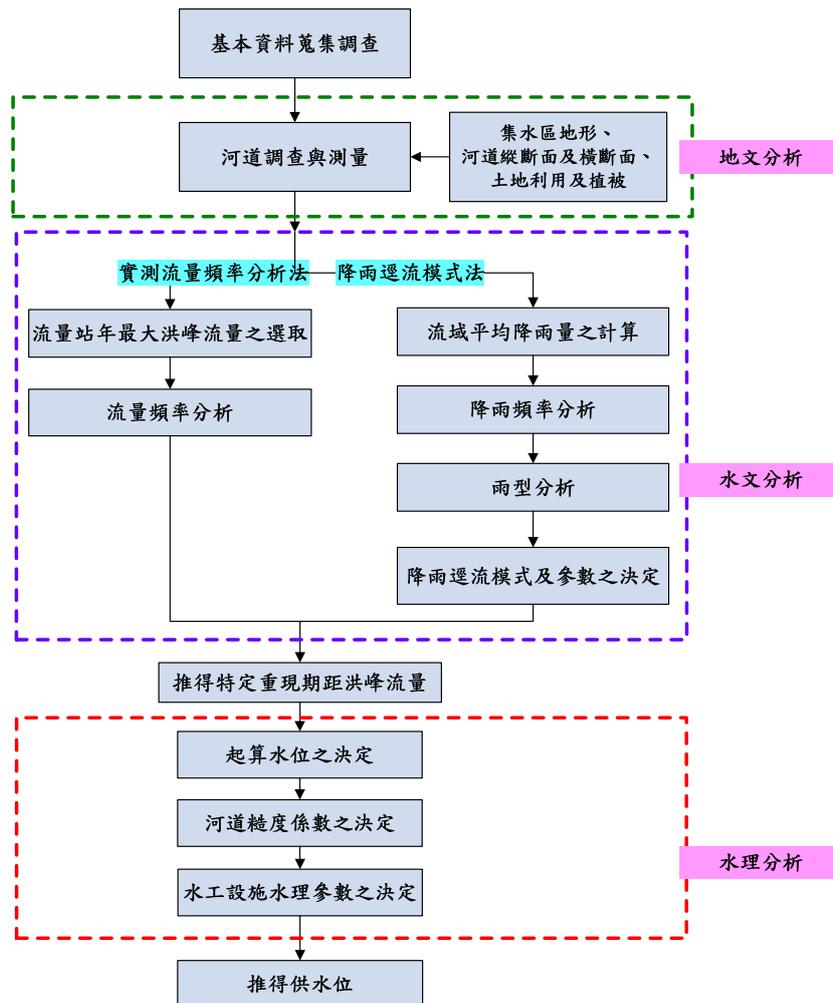


圖 2-2 河川治理規劃之水文水理分析流程圖

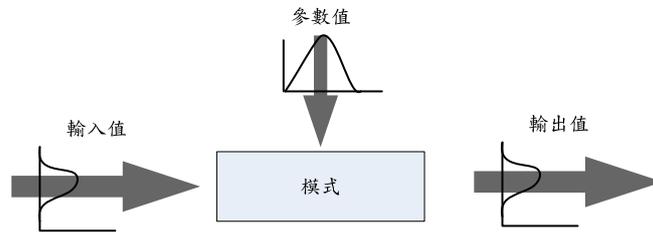


圖 2-3 不確定性與風險分析概念圖

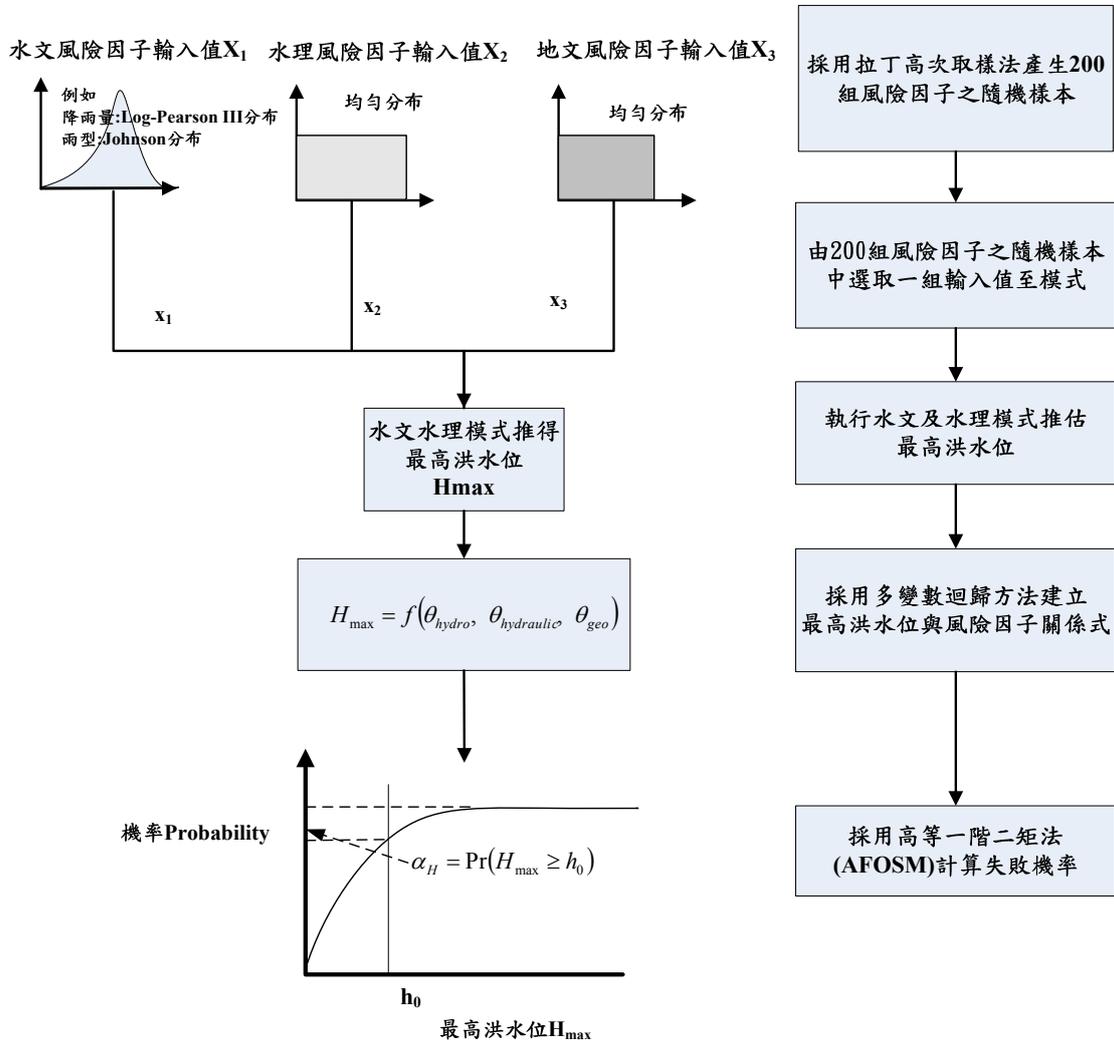


圖 2-4 防洪系統風險分析理論架構

## 第三章 風險因子評估與分析

### 3.1 風險因子之辨識程序

進行風險分析前，首先需進行風險辨識。所謂風險辨識為辨認所發現或推測的風險因子是否存在且具有潛在的不確定性，其辨識程序主要分為以下步驟(如圖 3-1)：

1. 檢查不確定性之存在：

首先以客觀之角度辨識所發現或推測之風險因子是否存在且具有潛在之不確定性。

2. 建立初步分析清單：

建立初步分析清單係辨識風險之起始點，清單中應以客觀角度明確列出存在及潛在之各種風險。

3. 確立各種風險事件並推測其結果：

根據初步風險清單列出各種重要之風險因子，並推測與其相關之各種可能性間接風險。

4. 進行風險分類：

其目的為對風險因子進行分類，以加深對風險之認知，進而更明確地制定風險管理之目標。依據風險因子之性質及可能結果，與彼此因子間可能發生之相互關係進行風險分類。

5. 建立風險目錄摘要：

通過建立風險目錄摘要，彙整可能面臨之風險因子。

本年度應用前一年所制定之故障樹(Fault-Tree, FT)，分析防洪系統防洪功能不足之風險因子，與現有防洪系統規劃中所需水文水理分析工作項目(包括資料類型、方法及模式)之關聯性，評估防洪系統規劃時可能潛在不確定性之來源，作為研擬風險分析程序之參考。

## 3.2 風險因子之界定與探討

防洪系統主要可分為工程措施與非工程措施，其中工程措施包括防水、洩水、引水及蓄水之防洪系統，而非工程措施包括洪氾區管制、防洪預警、洪災保險等。而不論採用工程措施之防洪系統或非工程措施，在規劃治理階段時皆需先決定其設計基準，並依此進行水文及水理分析來推得水文量(包括降雨量及逕流量)，作為防洪系統之保護標準。本計劃將根據 2.3 節所述之水文水理分析設計規劃為基礎，採用故障樹分析法，評估造成防洪系統不足之風險原因，藉以界定影響防洪系統功能之風險因子，圖 3-2 為故障樹之分析成果。由圖 3-2 可知，防洪系統功能不足之風險來源雖相當多，但基本上可彙整為以下原因，茲將造成防洪系統不足風險之來源說明如下：

### (一) 水文分析

在水文分析部份，其風險主要可概分為下列幾種來源：

#### 1. 降雨量之不確定性：

一般而言，在應用水文頻率分析推求不同重現期距的降雨量時，為獲得可靠的推估結果，常需要有足夠的雨量資料。但雨量記錄通常有限，再加上資料因雨量站儀器故障或人為疏失，造成紀錄中斷或紀錄錯誤，使得所記錄的觀測雨量產生了不確定性，或是資料型態不同(日雨量、時雨量)而影響水文頻率分析推估重現期距  $T$  年  $t$  小時降雨量之可靠度。

#### 2. 降雨型態(雨型)之不確定性：

所謂雨型為降雨在時間之分配情形，通常採用降雨量組體圖或累積雨量曲線表示。由於不同的雨型會有不同的降雨分佈，故會影響降雨所形成的逕流在時間上的分佈情形，例如二場暴雨事件雖具有相同的降雨量但若搭配不同雨型，則會產生不同形狀的

逕流歷線、洪峰流量及其到達時間。但雨型常因降雨資料本身已存在不確定性，或所採用推導方法不同，而產生不確定性。因此雨型對需依據洪峰流量來設計之堤防，或其他水利結構系統會造成一定程度的影響，顯示雨型亦為一必要考慮的風險因子。

### 3. 逕流量之不確定性：

不同重現期距的逕流量一般可直接藉由流量資料，應用水文頻率分析求得。但在台灣，常因經費及人力問題而難有充足之實測流量資料可供可靠之水文分析。因此，由較易獲得的長期降雨記錄配合降雨-逕流模式推估逕流歷線，為一合理可行方式。但降雨-逕流模式之參數，因所用以率定推估之降雨事件中之降雨量資料及流量資料不同而有所差異，進而產生不確定性，致使所探討之逕流量亦產生了不確定性。因此經由降雨-逕流模式推估洪峰流量，則模式參數值之不確定性會影響推估值之可靠度，因此本研究將模式參數定義為一必須考量之風險因子。

### 4. 土地利用及植被改變：

由於集水區經由開發之後，建地與道路等不透水面積增加，造成集水區透水性減少進而提高了逕流量，增加溢堤之風險，故集水區開發程度亦為一風險因子。

一般評估集水區開發程度大多藉由比較集水區開發前後不同的CN(Curve Number)值(如 3-1 式)所推得逕流量，來評估集水區開發程度之影響。

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

$$S = \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25.4 \quad (3-1)$$

$$\Phi = \frac{P - P_e}{t}$$

式中  $P_e$  為直接逕流量(有效降雨量)(mm)； $P$  為降雨量(mm)； $S$  為土壤最大蓄水量(mm)； $CN$  為逕流量曲線係數； $t$  為降雨延時；及  $\Phi$  為入滲指數。

## (二) 水理分析

在水理分析部份，其風險來源主要可概分為：

### 1. 起算水位(河口潮位)之不確定性：

由於台灣在颱風期間河口常因受到颱風暴潮影響而水位上升，此時若颱風暴潮與天文潮相結合，將造成相當嚴重之迴水現象。因此河口潮位的設定不僅會影響鄰近河口地區水位，更會因迴水效應而抬升上游水位，影響堤防功能與安全性。因此，為確保治理河段計畫洪水位計算之正確性，有賴起算斷面之起始水位的適當設定。但起算水位之給定常因暴潮位資料存在不確定性或河口流況改變，而存在不確定性，進而影響水理演算結果之準確性，故河口潮位亦為必需考量之風險因子。

### 2. 水工設施之水理參數之不確定性：

水工設施因使用年限過長、通水能力改變及維護管理不當等，造成其原本設計之水理參數可能不符合流域現況，而產生不確定性，進而對水理分析所得之洪水位推估產生風險，故水工設施之水理參數亦為必需考量之風險因子。茲將防洪系統系統中常見之水工設施水理參數說明如下：

### (1) 堰流公式參數

疏(分)洪道其功用主要將主流洪水引導至其他河川或海洋，以減小主流洪峰流量來達到減災的效果。其中分洪量主要如下之由堰流公式推得，

$$Q_w = \alpha H^\beta \quad (3-2)$$

其中  $\alpha$  及  $\beta$  為堰流公式之係數。由不同的堰流公式參數可推得不同的分洪量  $Q_w$ 。因此堰流公式參數亦為必需考量之風險因子。

### (2) 橋樑束縮係數

洪水經過橋樑等跨河構造物時，因能量損失而形成壅水現象使得上游水位抬升而有溢堤的風險。一般而言造成橋墩壅水的成因包括 A. 水流通過橋孔時，因橋樑之橋墩或基礎增加阻水面積，阻擋水流，迫使橋孔間單寬流量與流速加大，於流量固定下，造成橋址上游斷面水位抬升，此為束縮效應所造成的橋前壅水；B. 橋墩前面水流衝擊高度，是橋墩阻礙水流運動造成擾動波，並在橋墩前成衝擊水柱。衝擊水柱是水流動能轉化成位能，造成水位的抬升，此為超臨界水流衝擊橋墩造成的水位壅高；C. 在風力作用下水面波動產生波浪，波浪撞擊橋墩所造成的侵襲高度，亦為水位壅高的一種。

故跨河構造物之壅水現象亦為造成溢堤的風險因子之一。傳統的壅水公式之推導，不外乎明渠動量方程式及能量方程式，並依橋墩形狀選取束縮係數  $K$ 。因此本研究將橋墩束縮視為風險因子之一。

### 3. 河道糙度係數之不確定性：

河道糙度係數一般是藉由測站之水位流量等量測資料率定其

值。然而，實測逕流資料品質控制極為不易，尤其是高流量資料測得相當困難，再加上流量站站數不足(以基隆河為例，上游至下游只有介壽橋及五堵兩站)，造成檢定糙度係數在時空上的變化時產生了不確定性。

而河道斷面之糙度係數一般用 Manning 經驗公式中之  $n$  值估算，各段河道中若現況糙度係數較規劃防洪系統時所採用值為大時，則洪水位可能高於原規劃值，進而增加溢堤之風險。但 Manning  $n$  之給定，常因河床植被情況不同，含砂量改變及河床質粒徑不同，而產生不確定性，進而影響水理分析之結果，因此河道糙度係數亦為影響水理分析之風險因子。

#### 4. 河道斷面資料之不確定性：

在河川治理過程中，變動的河道需要定期量測，若無法準確量測或及時更新斷面資料，可能無法準確地判斷和估算水流路線及排洪容量，進而影響防洪功能之評估，並且河道斷面因受洪水沖淤影響而具不確定性。

本研究依所述之各風險因子屬性，將其區分為水文、水理及地文風險因子，並將採用之風險因子及其影響的對象彙整如表 3-1，作為發展風險分析模式之基礎。另水文、水理模式本身之不確定性，本研究並沒有將其納入考量。

表 3-1 風險因子彙整表

風險因子種類	影響的對象	風險因子
水文因子	影響推估不同重現期距之降雨量及逕流量	設計降雨量
		雨型
		水文模式參數
水理因子	影響推估洪水位	起算水位(河口潮位)
		堰流公式參數
		橋墩束縮係數
		河道糙度係數
地文因子	影響入滲量及逕流量或河道沖淤變化	土地利用及植被
		河道斷面資料

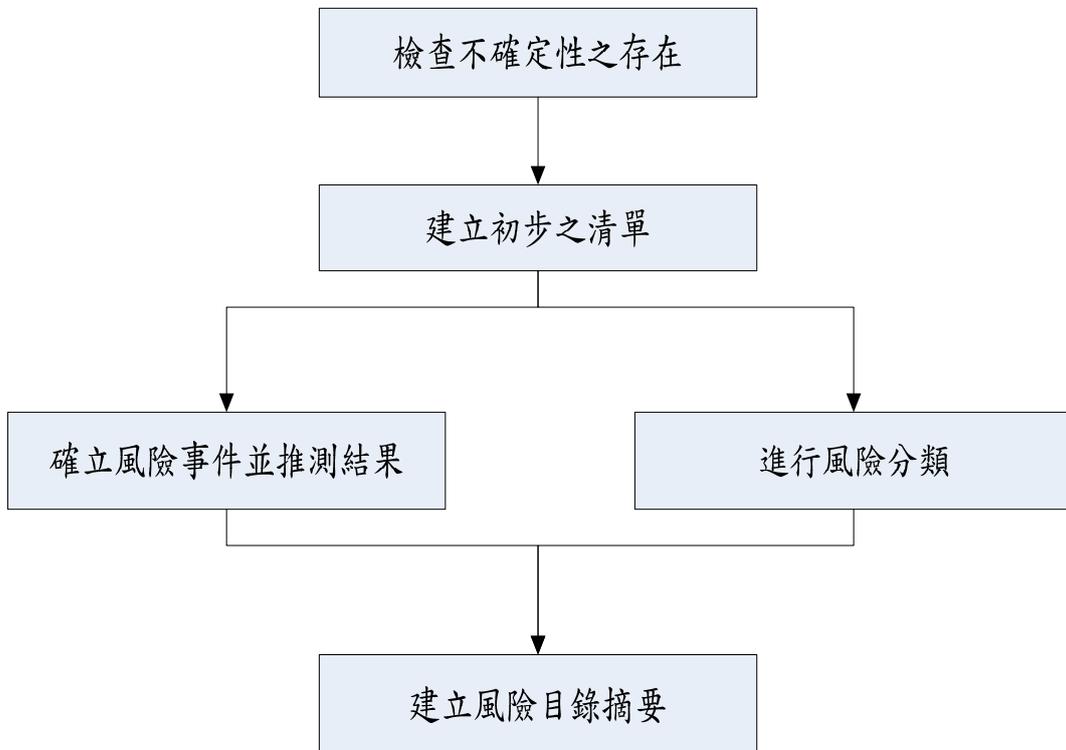


圖 3-1 風險辨識程序

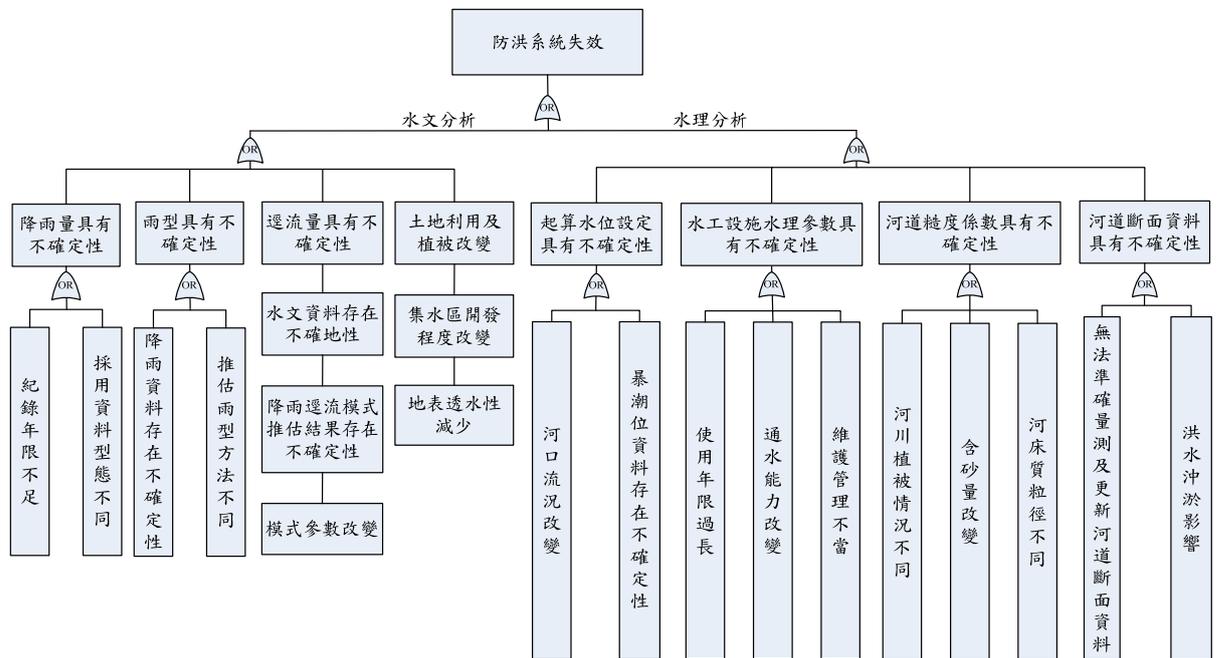


圖 3-2 防洪系統不足之風險來源

## 第四章 風險分析程序及模式之建置

### 4.1 風險分析程序之建立

本計畫風險分析程序主要分為二部份：一為風險計算模式(Risk Computation)；另一為風險評估模式(Risk Assessment)。風險計算主要應用本計畫所建置之風險分析模式，計算風險指標大於原先設定安全值之機率，即風險性(Risk)，而風險評估主要從風險計算結果去評估防洪系統是否可達到其防洪功能。其風險評估步驟如下所示：

步驟(一) 利用本計畫所建立之最高洪水位與風險因子之關係式，計算在改變風險因子之不確定性程度後之最高洪水位之統計特性。

步驟(二) 利用不確定性分析方法計算上步驟所推得最高洪水位大於防洪系統(例如堤防、閘門等)高度之溢堤機率。

步驟(三) 藉由溢堤機率，評估防洪系統功能受風險因子之影響程度。

其風險分析程序之流程圖如圖 4-1 所示。

### 4.2 風險分析模式之建置

#### 4.2.1 風險分析模式基本架構

延續第一年所建立之風險分析模式(如圖 4-2 所示)，其模式主要包含四部份：

- (一) 風險因子之衍生：模擬風險因子之不同組合
- (二) 河道各斷面之最高洪水位之衍生：將風險因子衍生值代入降雨-逕流及水理演算，推估河道不同斷面之最高洪水位。
- (三) 最高洪水位與風險因子關係式之建立：採用多變數迴歸分析方法建立最高洪水位與風險因子之關係式，作為最高洪水位統計特性推求之基礎。
- (四) 失敗機率(即溢堤機率)之計算：採用不確定性分析方法之高等一

階二矩法(AFOSM)，計算最高洪水位超越防洪系統防洪功能（例如堤防高程）之溢堤機率。

上述風險分析模式中所採用之理論方法將於後續各節分別加以說明。

#### 4.2.2 風險因子之衍生

根據 3.2 節所界定各風險因子之統計量(包括平均值、標準偏差、偏態係數、峰度係數、及相關係數等)，配合拉丁高次取樣法，衍生水文、水理與地文風險因子，以作為建置風險分析模式之基礎，茲將各因子之模擬方法說明如下：

##### 4.2.2.1 水文風險因子

###### 1. 設計降雨量

為評估記錄年限對不同重現期距降雨量之影響，本研究將採用 Bootstrap 再取樣法(Bootstrap sampling method)重覆選取流域不同控制點設計延時之年最大降雨量資料，並經由頻率分析算得不同重現期距降雨量，其中機率分佈函數主要沿用河川治理規劃報告所採用之分佈函數。

###### 2. 雨型

在河川流域規劃水文分析之雨型主要採用降雨強度公式、實際颱風事件之同位序平均法等，而上述方法所製造雨型皆屬於集中型(如圖 4-3)，因圖中所示之雨型僅為平均值且具有累加值必須為 1 之限制，故本研究將應用吳祥禎 (2006) 所發展之序列模擬機制具有限制式之多變量蒙地卡羅模擬法(多變量蒙地卡羅模擬法之理論請參見附錄五)，採用流域多場暴雨事件並配合同位序法所推得之無因次降雨量資料，以衍生多場雨型。

### 3. 降雨-逕流模式參數之模擬

本研究將以各流域規劃過程中所採用的無因次單位歷線法為主，為考量其稽延時間關係式(如 4-1 式)之不確定性，故增加此公式之誤差項，並配合拉丁高次取樣法衍生誤差項，藉以推估稽延時間，進而代入降雨-逕流模式中。

$$T_{lag} = \alpha \times \left( \frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}} \right)^{\beta} + \varepsilon \quad (4-1)$$

#### 4.2.2.2 水理風險因子

##### 1. 河口潮位之模擬

一般流域河川防洪治理規劃在河口潮位之設定大部份依據水利署水利規劃試驗所(海洋水文氣象年報)、港務局、港灣研究所等單位之觀測資料，取七、八月大潮平均高潮為起算水位。本研究將以規劃流域防洪系統時所採用之河口潮位為基礎，另蒐集數場實際颱風事件於河口所測得之暴潮位計算其統計特性，並配合拉丁高次取樣法衍生潮位值，作為水理演算時之下游邊界條件。

##### 2. 橋墩束縮係數

將參考水理模式中所建議之橋墩束縮係數值，並計算其統計特性，配合拉丁高次取樣法衍生其值。

##### 3. 分洪量之模擬

將參考河川治理規劃之堰流公式(如 4-2 式)，為考量其參數之不確定性，故增加此公式之誤差項，並配合拉丁高次取樣法衍生誤差項，藉以模擬分洪量。

$$Q = a \times L \times (H - H_0)^b + \varepsilon \quad (4-2)$$

##### 4. 河道糙度係數之模擬

由於河道不同斷面的糙度係數會受河道地表及植生狀況之影響而有連帶的變化。故本研究將流域分成數個河段，每一河段有

主深水槽 ( $n_c$ )及洪水平原( $n_f$ )二種糙度係數，以各河段糙度係數率定結果為基礎，計算其統計特性，以拉丁高次取樣法衍生其值，作為水理模式中輸入的參數。

#### 4.2.2.3 地文風險因子

##### 1. CN 值

流域某一地區開發程度較過去大時，則 CN 值必會連帶有所改變。故本研究將蒐集流域之 CN 值，以其統計特性為基礎，同樣採用拉丁高次取樣法衍生其值，作為水文分析之輸入資料。

#### 4.2.3 降雨-逕流演算

此機制包含三部份

##### 1. 降雨組體圖之推估

將步驟(一)所得之降雨量與雨型搭配組成一降雨組體圖  $P(t)$ ，如圖 4-4 所示。

##### 2. 有效降雨量之推估

將步驟(一)所衍生的 CN 值代入式(3.2)求得有效降雨量。

##### 3. 降雨-逕流演算

將上述步驟衍生之有效降雨量，配合經濟部水利署(2005)規劃報告中所使用之無因次單位歷線法，推求不同水文及地文條件下之各支流逕流歷線，進而求得各支流之洪峰流量。

#### 4.2.4 水理演算

由前述所衍生之各支流洪峰流量、河口暴潮位值、分洪堰流量、橋墩束縮係數及河道糙度係數，經由定量流的水理模式計算河道各斷面水深。其中常用的水理模式主要有 HEC-RAS、FLO-2D、MAKE11 及 SOBEK 等。因 SOBEK 模式具有較多水工建造物模擬功能，故本研究採用 SOBEK 水理模式進行水理演算(SOBEK 模式之理論請參見

附錄六)，再將上述步驟所得水深套疊，其中若考量河道沖淤之不確定性，可套疊不同年份所量測之斷面資料，求得河道各斷面之洪水水位，其亦可反映河道沖淤之不確定性對河道防洪功能之影響。

#### 4.2.5 最高洪水水位與風險因子關係式之建立

藉由上步驟所推得不同風險因子組合下於河道各斷面之最高洪水水位，採用應用於分析大量資料並建立不同變數關係的多變數迴歸分析方法，建立最高洪水水位與風險因子之關係式(如 4-3 式)，作為下一步驟風險計算之基礎。

$$H_{\max} = f(\theta_{hydro}, \theta_{hydraulic}, \theta_{geo}) \quad (4-3)$$

其中  $H_{\max}$  代表最高洪水水位； $\theta_{hydro}$  代表水文風險因子； $\theta_{hydraulic}$  代表水理風險因子； $\theta_{geo}$  代表地文風險因子。

#### 4.2.6 風險計算

當推得最高洪水水位與風險因子關係式(如 4-3 式)，則可計算不同水文及地文條件下所造成的最高洪水水位，配合高等一階二矩法(AFOSM)，求得最高洪水水位之統計特性(包括平均值及變異數)如下式，

$$\begin{aligned} E(H_{\max}) &= [H_{\max}]_* + \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial H_{\max}}{\partial \theta_i} \right)_{\theta_{i*}} (\mu_{\theta_i} - \theta_{i*}) \\ Var(H_{\max}) &= \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial H_{\max}}{\partial \theta_i} \right)_{\theta_{i*}}^2 \sigma_{\theta_i}^2 \\ [H_{\max}]_* &= f(\theta_{hydro}, \theta_{hydraulic}, \theta_{geo})_* \end{aligned} \quad (4-4)$$

式中  $\theta_{i*}$  為各風險因子之破壞值； $\mu_{\theta_i}$  為各風險因子之平均值； $\sigma_{\theta_i}$  為各風險因子之標準偏差；及  $[H_{\max}]_*$  為作業函數對破壞點展開之值。

因此本計畫將防洪系統無法達到預期防洪功能之風險定義為最高洪水水位大於防洪系統防洪能力之溢堤機率，則防洪系統防洪功能溢

堤機率可由下式求得。

$$\begin{aligned}\Pr(H_{\max} > h_0) &= \Pr\left(\frac{H_{\max} - \mu_{H_{\max}}}{\sigma_{H_{\max}}} > \frac{h_0 - \mu_{H_{\max}}}{\sigma_{H_{\max}}}\right) \\ &= \Pr(Z > \alpha_{H_{\max}}) = \Phi(-\alpha_{H_{\max}})\end{aligned}\quad (4-5)$$

式中  $\alpha_{H_{\max}}$  定義為風險指標； $h_0$  為防洪系統之防洪能力(例如堤防高度)； $Z$  為常態隨機變數；及  $\Phi(\bullet)$  為標準常態分佈(Standard Normal Distribution)。

#### 4.2.7 風險分析模式之操作步驟

綜合上述，本計畫所建置之防洪功能風險分析模式可區分為四部份：(1) 風險因子之衍生；(2) 河道各斷面之最高洪水位推估；(3) 最高洪水位與風險因子關係式之建置；及(4) 溢堤機率之計算。其中最高洪水位與風險因子關係式主要與高等一階二矩法(AFOSM)整合，予以推估最高洪水位之統計特性，進而計算風險指標，以求得溢堤機率  $\Phi(-\alpha_{H_{\max}})$ ，最後並根據風險計算結果去評估防洪系統是否可達到預期之防洪功能。根據上述概念將防洪功能風險分析模式操作步驟(如圖 4-5)整理如下：

- 步驟(一) 依據各風險因子之統計量，配合拉丁高次取樣法，衍生其值。
- 步驟(二) 將各風險因子衍生值代入降雨-逕流及水理演算，推估河道不同斷面之最高洪水位。
- 步驟(三) 確定各風險因子之平均值及變異數，並建立最高洪水位與風險因子之關係式(如 4-3 式)，採用高等一階二矩近似法(AFOSM)不確定性分析方法，求得最高洪水位之統計特性(包括平均值  $\mu_{H_{\max}}$  及變異數  $\sigma_{H_{\max}}^2$ )。

步驟(五) 計算風險指標  $\left( \alpha_{H_{\max}} = \frac{h_0 - \mu_{H_{\max}}}{\sigma_{H_{\max}}} \right)$  藉以推得溢堤機率  $\Phi(-\alpha_{H_{\max}})$

步驟(六) 藉由上步驟所算得溢堤機率，以評估防洪功能受風險因子之影響程度。

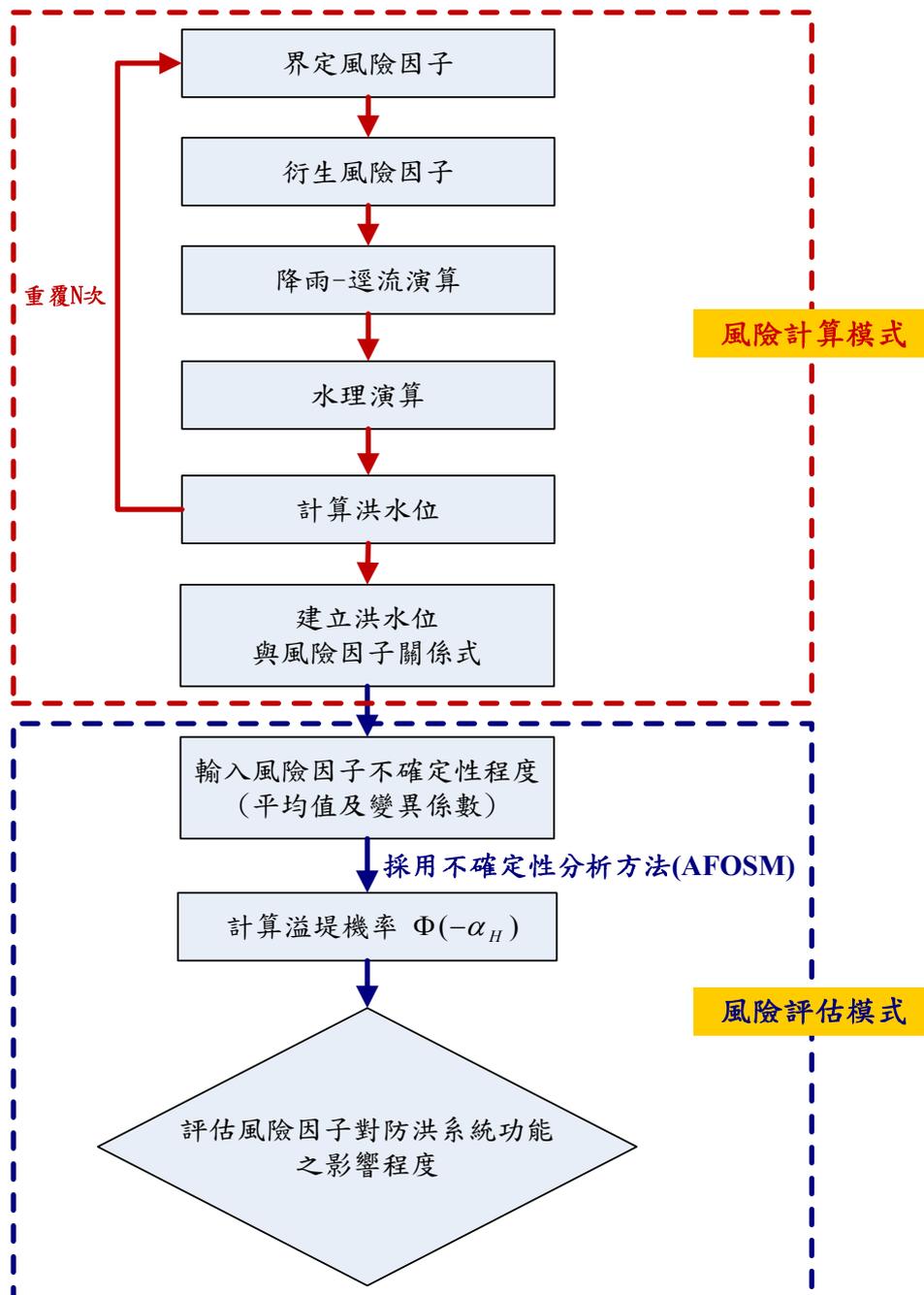


圖 4-1 風險分析程序流程圖

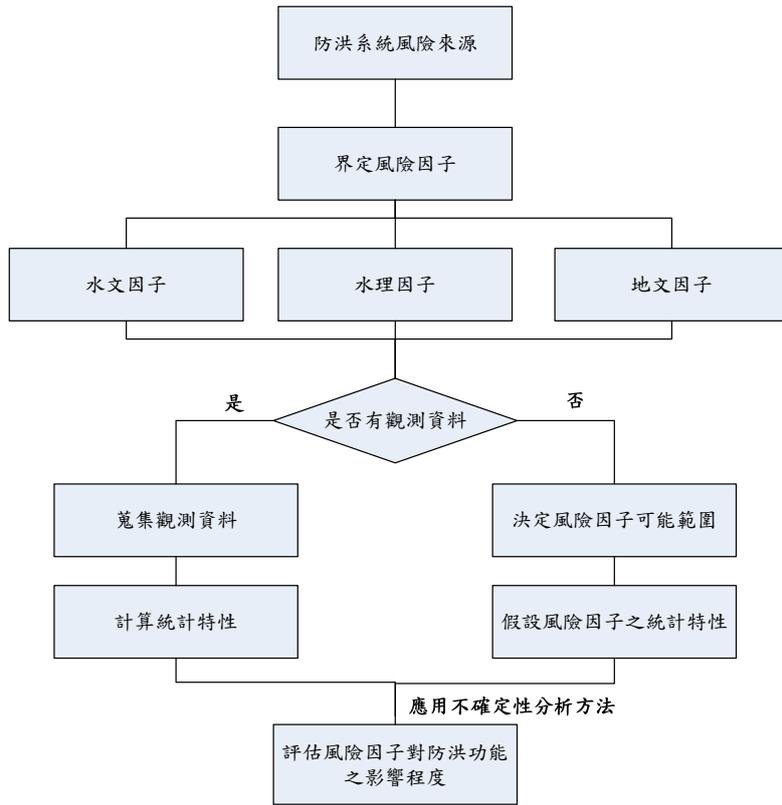


圖 4-2 防洪系統風險分析模式

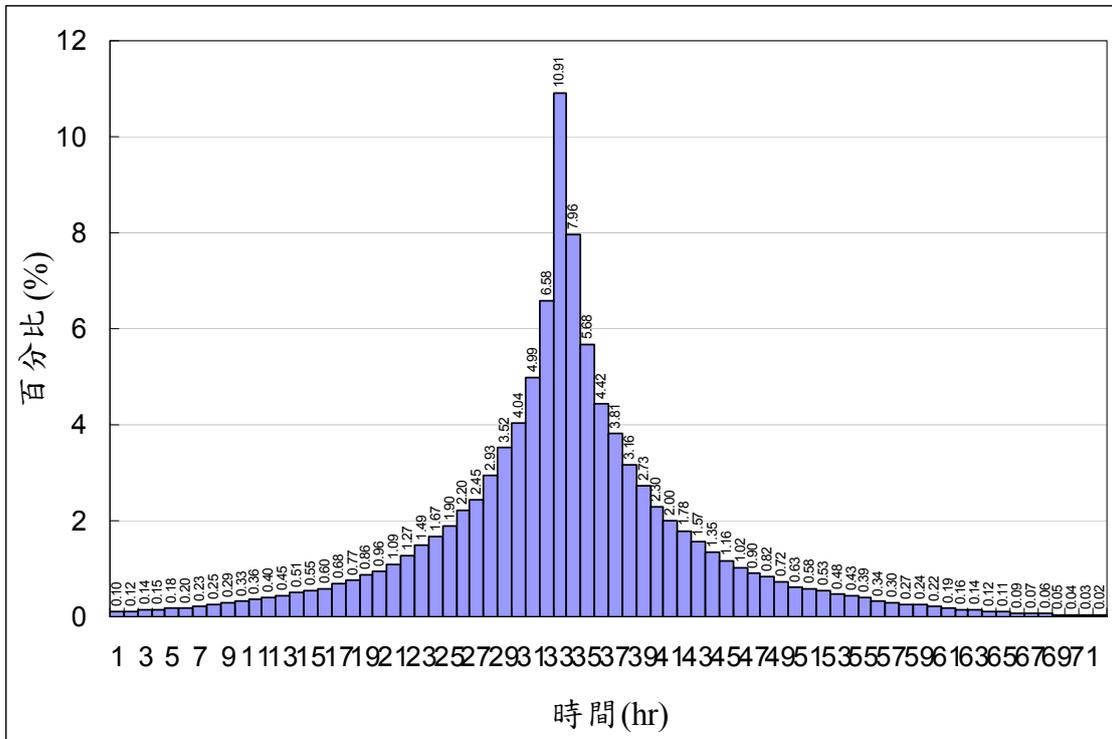
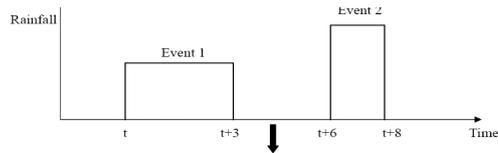
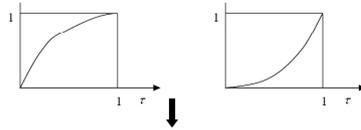


圖 4-3 三日暴雨設計雨型

### 衍生降雨延時及降雨量



### 衍生雨型



### 合成降雨組體圖

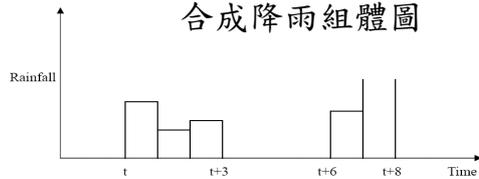


圖 4-4 降雨組體圖模擬過程

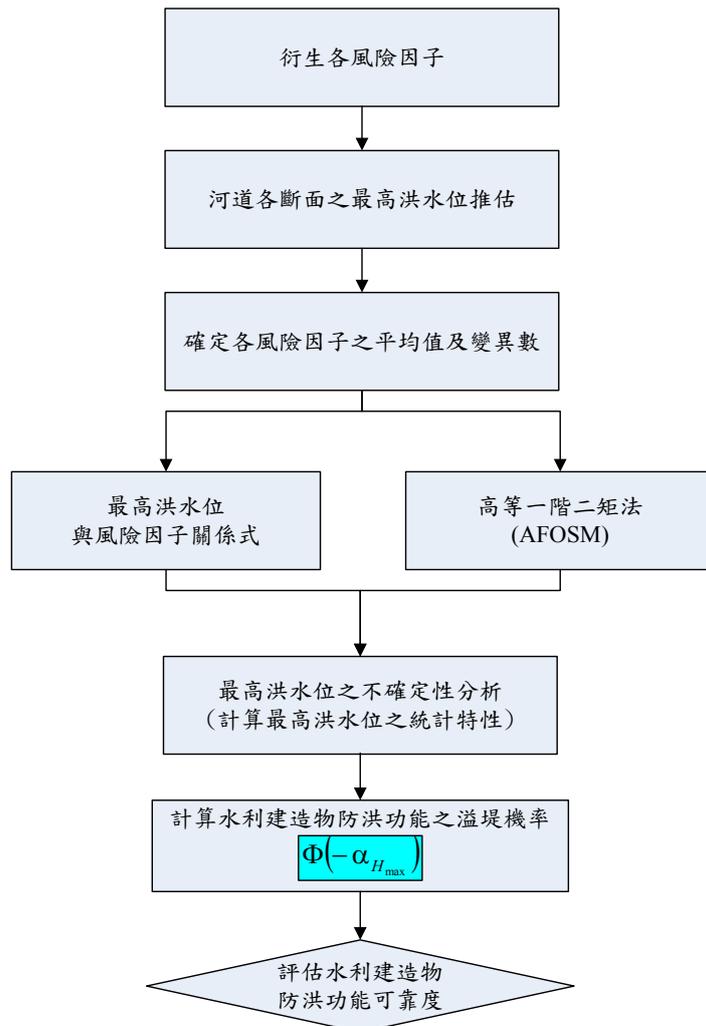


圖 4-5 風險分析模式之操作步驟

## 第五章 基隆河防洪系統風險分析實例應用

### 5.1 基隆河流域概況

#### 5.1.1 地理位置及一般特性

基隆河發源於台北縣平溪鄉菁桐山，河流於峽谷中蜿蜒下行，經平溪、十分寮、魚寮子、瑞芳、四腳亭、暖暖、八堵、汐止，再向西流經台北市區之南港、內湖、松山等地。流域面積 490.77 km<sup>2</sup>，平地面積約佔 57.55%，兩岸土地大都已開發，幹流長度 86.4 km，自河口起至南湖大橋為下游段，其河床平均坡降約 1/6,700，自南湖大橋起至七堵大華橋為中游段，其河床平均坡降約 1/4,900，自大華橋以上至侯硐介壽橋為上游段，其河床平均坡降約 1/250，侯硐介壽橋以上為山地河川。流域概況如圖 5-1 所示。

由於基隆河中、下游河道蜿蜒而平緩，加上河川兩岸土地高度開發，形成人與水爭地，而使河道窄縮，故其自然排洪條件不佳，每逢豪雨成災。依流域之地形、地勢狀況，歸納出河道變化與特性如下：

#### 1. 感潮河段

基隆河感潮河段上溯至汐止附近，於低流量時受潮汐之影響。

#### 2. 中、上游河幅狹窄

基隆河上游段為地質堅硬之 U 型河槽，河道相當穩定。中游段地質鬆軟，兩岸土地高度開發且築有堤防，使得河道窄縮，且橋墩座落河道中甚多，造成河道通水斷面不足。

自介壽橋流量水位站以下，計畫區域內之重要支排水路，自上游往下游方向，右岸有深澳坑溪、大武崙溪、瑪陵坑溪、友蚋溪、北港溪、叭噠溪、內溝溪、外雙溪、磺港溪、水磨坑溪及貴子坑溪，左岸有魚架魚坑溪、粗坑口溪、東勢坑溪、拔西猴溪、保長坑溪、茄東溪、康誥坑溪、下寮溪及四分溪。

## 5.1.2 人文狀況

基隆河流域行政區包括台北縣平溪鄉、瑞芳鎮、汐止鎮及基隆市、台北市。境內交通發達、高速公路貫穿其間，縱貫線鐵路、北迴線鐵路及北基、瑞金、瑞侯等公路分佈如網。

基隆河南湖大橋以下河段屬台北市轄區，其土地利用與經濟發展情形自不待言。南湖大橋以上河段兩岸亦已高度開發利用，住家、工廠林立橋樑密集，尤以台北縣汐止鎮及基隆市七堵與暖暖區為甚。

本流域丘陵地多，平原狹小，且多雨日照不足，農產有水稻、茶及少許旱作，農業遠不及工商業發達，社會型態趨向工商社會。

## 5.1.3 土地利用狀況

採用水利署水利規劃試驗所與海洋大學所發展之數值地形系統查詢基隆河土地利用狀況如圖 5-2 所示，由圖 5-2 可看出基隆河流域上游大部份為樹林區，而下游大多屬於市區。

## 5.1.4 氣象及水文

### 1. 一般氣象：

(1) 氣溫：年平均氣溫在攝氏 14.2 度至 22.2 度之間。松山站設於流域之下游，雖無法代表全流域，但亦可知其概略。松山站平均氣溫統計如表 5-1。

(2) 日照：流域內各地冬季常受大陸冷氣團影響，寒冷而多細雨，夏季雲量多日照時間短。

(3) 風：本流域盛行東北季風，風力強，夏季多西南風，風力弱。

### 2. 水文：

(1) 雨量：本流域平均年雨量為 3,946.9 mm，平均年降雨體積為 1,977.4 百萬立方公尺，其間 11~4 月為 1,910.7 mm，5~10 月為 2,036.2 mm，基隆河平均年月雨量如表 5-2。

(2) 逕流量：本流域平均年逕流體積 1,723.8 百萬立方公尺，逕流係數約為 0.87。各月流量變化較大，豐水期 9 月～3 月其逕流量佔全年之 80%，4 月～8 月為枯水期，其逕流量佔全年之 20%，其中以 7 月～8 月流量最低。

### 5.1.5 歷年災害

基隆河南湖大橋以上河段，河流蜿蜒於山谷間，河道兩岸均屬河谷地形，平地面積狹窄地勢低窪，因其鄰近台北都會區，致兩岸土地高度開發利用，造成嚴重與水爭地現象，且由於地理位置與地形影響，流域山區形成兩大降雨中心，一為上游火燒寮山區，一為下游陽明山區，每遇颱風極易產生暴雨，導致山洪暴發，引起低窪地區遭洪水淹沒形成災害，其中尤以汐止、五堵地區最為嚴重。

基隆河歷年發生較嚴重之洪災包括民國 76 年 10 月發生之琳恩颱風，經統計其 23 日～25 日基隆河流域平均三日暴雨量約 847 mm，其洪水淹沒區域約 916 公頃，淹沒範圍包括台北市之松山、內湖、南港及中山等區，台北縣之平溪、瑞芳、汐止等鄉鎮及基隆市之暖暖、七堵區。該颱風事件除造成 21 人死亡外，亦造成土地流失、農作物損失、房屋損失、財產損失、公共工程損失等。

民國 86 年 8 月發生之溫妮颱風，則因山洪導致坡地滑動，汐止林肯大郡因而倒塌，造成 28 人死亡，此次颱風基隆河本流雖有氾濫，但面積不大，約 38.8 公頃。

民國 87 年 10 月發生之瑞伯颱風較為嚴重，統計 14 日～16 日三日流域平均降雨量達 614 mm。

民國 89 年 10 月象神颱風。洪水淹沒區域約 465 公頃，淹沒範圍包括台北市之內湖、南港等區，台北縣之瑞芳、汐止等鄉鎮及基隆市之暖暖、七堵區，造成 59 人死亡，淹水戶數約 10,000 戶。

民國 90 年 9 月納莉颱風則為基隆河歷年發生最嚴重之洪災，經統計其 16 日~18 日基隆河流域平均三日暴雨量約 972 mm。納莉事件大台北地區的淹水範圍包括台北市之松山、內湖、南港、信義及中山等區，台北縣之平溪、瑞芳、汐止等鄉鎮及基隆市之暖暖、六堵、七堵等區，除造成 104 人死亡，約 20,000 戶淹水外，另造成土地流失、農作物損失、房屋損失、財產損失，公共工程損失等。

民國 93 年 9 月 11 日台灣北部發生大豪雨(簡稱 911 暴雨事件)，連下數天的暴雨，造成基隆河沿岸數個區域發生淹水情況，其中又以汐止地區較為嚴重。淹水地區包括智慧里與江北里相連處，長安里、保長里與鄉長里三個里交會處，淹水深度最大約 1 m。

民國 93 年 10 月 25 日納坦颱風過境北台灣，由於基隆河各集水區均發生較強烈且集中的暴雨，在集流時間短促下，洪水由集水區流至主流(基隆河)之時間均在 1~3 小時內，故從降雨集中的現象反映，納坦颱風之暴雨量已達 60 mm/hr 以上，低窪地區排水及洪水之宣洩均非常困難。此次事件的淹水區域與 911 暴雨事件類似，惟淹水深度較 911 暴雨事件為深，最大約 2 m。

## 5.2 防洪系統瞭解

在探討影響基隆河防洪系統之風險因子及建立其分析程序前，首先需針對基隆河現有防洪系統中之水利建造物進行瞭解，並將相關資料彙整如下。

### (一) 員山子分洪道

基隆河流域之員山子分洪工程於 2002 年 6 月開始動工，此計畫係於基隆河主流員山子(臺北縣瑞芳鎮瑞柑里瑞柑新村)處設一座高 8 公尺、長 30 公尺之低型攔河堰，以攔蓄員山子上游 91.2 平方公里集水區之洪水。攔河堰下方設置兩孔口，長

9 公尺、高 2.5 公尺之矩形放水孔，藉以排放 310 秒立方公尺之流量至下游。攔河堰前右側設長 186 公尺、高 2.5 公尺之側流堰，當洪水超過 310 cms 時，大過 310 cms 以上之洪水將由側流堰溢流分洪，此乃以重現期 200 年洪峰流量所做之設計量 ( $Q_{200}=1620\text{cms}$ )，當  $Q_{200}=1620\text{cms}$ ，則分洪量 1,310cms，分洪堰與攔河堰前水位為 EL.67.2m，攔河堰頂高程採用 EL.68.0m；當攔河堰前水位為 EL.63.0m(即 24 水位於分洪堰頂)，孔口流量為 110cms，即為不分洪時之流量。本研究洪水量分析資料擷取自基隆河整體治理計畫(草案 90 年 11 月)與基隆河員山子分洪工程規劃設計報告(91 年 2 月)。員山子分洪道完工後，除能有效控制全台最大暴雨中心火燒寮的影響，更助於流域 18%面積(約 90 平方公里)雨量的排放，其最大分洪量為 1310cms，下游洪水位平均可降低 1.5 公尺，瑞芳地區甚至可降低 3 公尺水位，充分發揮減災功能。

## (二) 橋樑

基隆河自上游到下游共有 61 座橋樑，其相關資訊如表 5-3 所示。

## 5.3 風險分析模式之建置

### 5.3.1 建置條件

本計畫第一年主要以水文風險因子為基礎，而本年度增加考量水理與地文風險因子，以建立基隆河防洪系統功能之風險分析模式。將風險分析模式建制條件所考量之風險因子列如表 5-4 所示。

### 5.3.2 模式架構

根據第四章可知防洪系統風險分析模式主要分為四部份(風險因子之界定與衍生、河道各斷面之最高洪水位之衍生、最高洪水位與風險因子關係式之建立、溢堤機率之計算)，其中有關於風險因子之界

定在第三章已說明本計畫所要考量之水文、水理與地文因子之風險。故藉由各風險因子之統計量配合拉丁高次取樣法衍生其值，將衍生之水文、水理及地文風險因子代入水文及水理分析推求基隆河不同斷面之最高洪水位，並建立最高洪水位與風險因子之關係式，用以計算溢堤機率，以評估基隆河防洪系統無法達到預期之防洪功能風險。上述模式架構可參閱圖 5-3。

### 5.3.3 水文風險因子衍生

#### 1. 三日降雨量

採用經濟部水利署(2005)，「基隆河流域治理規劃檢討」中所列基隆河流域各控制點歷年最大三日降雨量，如表 5-5 所示。利用 Bootstrap 再取樣法選取表 5-5 中華民國元年至 92 年的資料 200 次，並沿用基隆河歷年規劃報告中所採用的對數皮爾遜三型(Log Pearson Type III)分佈，計算各控制點在重現期距為 200 年的降雨量，再利用其統計特性以拉丁高次取樣法，衍生 200 組重現期距 200 年之降雨量，分析結果之統計特性如圖 5-4 所示。

#### 2. 三日雨型

採用經濟部水利署(2005)規劃報告中所分析基隆河流域之降雨雨型型態之颱風暴雨資料，自民國 76 年至 91 年共有 40 場颱風暴雨，各颱風時雨量位序百分比如表 5-6 所示。並配合同位序法來推求設計雨型，亦即將 40 場颱風暴雨 72 小時之各時間位序降雨量百分數，採用平均同位序法後，推得基隆河流域三日設計雨型，其降雨峰值為第 33 小時、無因次降雨比率為 0.1091(Rainfall percentage)。再利用非常態多變量蒙地卡羅模擬法，衍生 200 場雨型。圖 5-5 將比較衍生之 200 組三日雨型之平均值、95%上下限值與基隆河流域三日暴雨設計雨型，可發現所衍生之 200 場雨型之

平均值與設計雨型是穩合的，表示本研究所衍生之 200 場雨型可充份表現出基隆河的降雨分佈型態。

### 3. 稽延時間誤差項

參考經濟部水利署(2005)規劃報告中所推得之基隆河流域稽延時間關係式(如 5-1 式所示)：

$$T_{lag} = 0.15 \times \left( \frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}} \right)^{0.366} \quad (5-1)$$

其中  $T_{lag}$  為稽延時間(降雨中心至逕流一半之時間)； $L$  為水文站至集水區最遠點之主流河川距離； $L_{ca}$  為水文站至最接近集水區重心之主流河川距離； $S$  為主流河川平均坡度。表 5-7 為基隆河流域各控制點地文特性與稽延時間值。

為考量到降雨-逕流模式參數之不確定性，故將(5-1)式轉換成線性型態後增加誤差項，修正後之關係式如(5-2)式所示：

$$\ln(T_{lag}) = \ln(0.15) + 0.366 \times \left( \frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}} \right) + \varepsilon_{T_{lag}} \quad (5-2)$$

其中  $\varepsilon_{T_{lag}}$  為稽延時間誤差項。

在此將誤差項之平均值設定為 0 常態分佈之隨機變數，採用拉丁高次取樣法配合不同標準偏差(0.05、0.15、1) 衍生其值，並將其誤差項模擬值代入(5-2)式所推得之稽延時間與規劃報告中所列不同控制點之稽延時間設計值進行分析比較，其結果如表 5-8 與圖 5-6 所示。由分析結果發現當標準偏差增加，則稽延時間的變異程度也相對增大。標準偏差為 0.05 時雖平均值與規劃報告設計值相近，但是 95%上下區間則差距太小，可能會無法反映出稽延時間的不確定性；而標準偏差為 1 時，衍生之平均值與規劃報告設計值差距很大，故最後採用標準偏差為 0.15 所衍生之誤差項，作為稽延時間之誤差項，其統計特性如表 5-9 所示。

另由於依此方式所衍生之稽延時間誤差項( $\varepsilon_{T_{lag}}$ )，會產生負值，故在後續最高洪水位與風險因子關係式建立時無法取對數值，因此將稽延時間誤差項做一修正(如 5-3 式所示)：

$$\begin{aligned}
 T_{lag} &= e^{\ln(T_{lag})} \\
 &= e^{\ln(0.15)+0.366 \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}}\right) + \varepsilon_{T_{lag}}} \\
 &= e^{\ln(0.15) + \varepsilon_{T_{lag}}} \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}}\right)^{0.366} \\
 &= \varepsilon_{T_{lag}}^* \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}}\right)^{0.366}
 \end{aligned} \tag{5-3}$$

其中  $\varepsilon_{T_{lag}}^*$  即為修正後之稽延時間誤差項，後文中將以此作為風險分析模式中之風險因子，並以稽延公式係數值來代表。

### 5.3.4 水理風險因子衍生

#### 1. 起算水位(關渡潮位)

參考經濟部水利署(2005)規劃報告中所述在 200 年重現期距下，當淡水河河口之水位分別為 2.30 公尺、2.80 公尺及 4.16 公尺；關渡之水位分別為 5.45 公尺、5.68 公尺及 5.93 公尺之分析結果。若依此三個關渡水位之值作為衍生之基礎，將會得到 200 年重現期距下之關渡水位，再搭配 200 年重現期距下之降雨事件，則可能會組合成降雨事件發生機率為  $\frac{1}{200 \times 200}$  之事件，故依此所求得之最高洪水位與溢堤機率，將不符合 200 年重現期距下之結果。因此將上述淡水河口與關渡之水位值應用迴歸分析求得一線性關係式(如圖 5-7 所示)，再利用淡水河口 10 場歷史潮位資料(參考經濟部水利署(2007))代入此關係式，求得關渡 10 個潮位資料，作為衍生起算水位之基礎，其相關資料如表 5-10 所示，並計算其統計特性(如表 5-11 所示)，配合拉丁高次取樣法衍生 200 個河口潮位，

作為水理演算之起算水位值。由表 5-11 中可發現起算水位之 95% 上、下限值分別為 5.266、4.116，均低於原始規劃報告中 200 年重現期距之關渡水位，故以此統計特性衍生之起算水位，可符合實際狀況。

## 2. 橋墩束縮係數

本研究中所考量之基隆河橋樑共有 61 座，若要實際考量每一座橋樑對洪水位之不確定性，則應各別衍生每一座橋樑之束縮係數，但為簡化分析程序以及縮短模擬時間，故先針對橋墩束縮係數進行敏感度分析，探討分別衍生各橋樑束縮係數之必要性。

採用 SOBEK 水理模式中橋墩束縮係數之建議值，介於 0.22~1.56 間。假設其為常態分佈，平均值為 0.89、標準偏差為 0.67，以拉丁高次取樣法衍生 61 個橋墩束縮係數，並將其匯入水理模式中推求最高洪水位。另外則選用所有橋樑為同一橋墩束縮係數值(為 1)，同樣代入 SOBEK 模式中推求最高洪水位，其結果如圖 5-8 所示。由圖中可發現最高洪水位幾乎重合，表示沒有分別衍生各橋墩束縮係數之必要性。故在本研究中將橋墩束縮係數為各橋樑視為相同。並依此衍生 200 個橋墩束縮係數，其衍生結果之統計特性如表 5-12 所示。

## 3. 分洪道堰流公式參數

參考經濟部水利署水利規劃試驗所(2005)之員山子分洪水位流量率定曲線(如圖 5-9 所示)及其堰流公式(如 5-4 式所示)：

$$Q = 1.4098 \times L \times (H - H_0)^{1.9649} \quad (5-4)$$

其中， $Q$  為分洪堰流量(cms)； $L$  為 80(m)； $H$  為水位高程(m)； $H_0$  為分洪堰啟動之高程，63(m)。

為考量到分洪道堰流公式參數之不確定性，故採用與稽延時

間誤差項相同之分析方法，將(5-4)式轉換成線性型態後增加誤差項，修正後之關係式如(5-5)式所示：

$$\ln(Q) = \ln(1.4098 \times L) + 1.9649 \times (H - H_0) + \varepsilon_Q \quad (5-5)$$

其中  $\varepsilon_Q$  為堰流公式誤差項。

在此將誤差項之平均值設定為 0 常態分佈之隨機變數，採用拉丁高次取樣法配合不同標準偏差(0.05、0.15、1) 衍生其值，並將其誤差項模擬值代入(5-5)式所推得之分洪堰流量與規劃報告中之率定曲線進行分析比較，其結果如表 5-13 與圖 5-10 所示。而基於與前述稽延時間誤差項相同之理由，故最後採用標準偏差為 0.15 所衍生之誤差項，作為分洪道之堰流公式誤差項，其統計特性如表 5-14 所示。

另外，由於所衍生之堰流公式誤差項會產生負值，故亦如同前述稽延時間誤差項的方式，做一修正(如 5-6 式所示)：

$$\begin{aligned} Q &= e^{\ln(Q)} \\ &= e^{\ln(1.4098 \times L) + 1.9649 \times (H - H_0) + \varepsilon_Q} \\ &= e^{\ln(1.4098 \times L) + \varepsilon_Q} \times (H - H_0)^{1.9649} \\ &= \varepsilon_Q^* \times (H - H_0)^{1.9649} \end{aligned} \quad (5-6)$$

其中  $\varepsilon_Q^*$  即為修正後之分洪道堰流公式誤差項，後文中將以此作為風險分析模式中之風險因子，並以堰流公式係數值來代表。

#### 4. 河道糙度係數

參考水利署第十河川局(2005)，「基隆河洪氾指標之不確定性對洪氾區劃設之影響研究」報告中各河段糙度係數率定結果，如表 5-15 所示，將基隆河分成 12 個河段，每一河段有主深水槽 ( $n_c$ ) 及洪水平原( $n_f$ )二種糙度係數，並計算其統計特性如(表 5-16)所示，採用拉丁高次取樣法衍生 200 組  $n_c$  及  $n_f$  值，作為水理模式中

輸入之參數。

### 5.3.5 地文風險因子衍生

#### 1. CN 值

參考水利署水利規劃試驗所與海洋大學所發展之數值地形系統查詢基隆河土地利用狀況(如圖 5-2 所示)，對照表 5-17 之逕流曲線 CN 值表，推得各支流之 CN 值。另根據陳文福(2002)，基隆河逕流特性空間分佈之研究中提出，基隆河之土壤分類為表 5-17 之 B 類土壤條件下，因此基隆河各支流之 CN 值如表 5-18 所示。而由表 5-18 可看出基隆河流域中四控制點 CN 值均介於 58~85 間，故假設 CN 值之機率分佈型態為常態分佈，平均值為 71.5、標準偏差為 13.5，以拉丁高次取樣法衍生各控制點各 200 個 CN 值，其衍生結果之統計特性如表 5-19 所示。

#### 5.3.6 降雨-逕流演算

採用經濟部水利署(2005)規劃報告中所使用之無因次單位歷線法，來推估各支流洪峰流量，其詳細步驟如下：

1. 由 5.3.3 節所衍生之 200 組雨型、三日降雨量，合成各控制點 200 組降雨組體圖。
2. 由 5.3.3 節所衍生各控制點之 200 年三日降雨量及 CN 值，代入(3-1)式可求得各控制點之有效降雨量。
3. 以五堵水位流量站無因次單位歷線分析結果(如圖 5-11 所示)，再配合基隆河流域各控制點集水區面積與所衍生之稽延時間，推得各控制點單位歷線。再套配各控制點之有效降雨組體圖，即可推得各控制點之逕流歷線。進而推求各控制點 200 組之 200 年重現期距洪峰流量，分析結果之統計特性如圖 5-12 所示。
4. 採用表 5-20 中基隆河流域各支流之集水區面積，以比面積法推求

200 組各支流洪峰流量。

### 5.3.7 水理演算

由 5.3.4 節所衍生之起算水位、分洪堰流量、橋墩束縮係數與河道糙度係數，以及 5.3.6 節所推得 200 組各支流洪峰流量，利用 SOBEK 模式推估基隆河不同斷面之最高洪水位。

#### 5.3.7.1 演算條件

利用 SOBEK 定量流模式推估基隆河不同斷面之最高洪水位，其模擬範圍及條件設定說明如下：

1. 模擬範圍：侯硐介壽橋以下至基隆河與淡水河交會處(關渡)。
2. 模擬條件設定
  - (1) 河道上游入流邊界：採用侯硐介壽橋推估之 200 組洪峰流量。
  - (2) 河道下游水位邊界：採用 5.3.4 節所衍生之 200 組河口潮位值。
  - (3) 側入流邊界：採用降雨-逕流模式所衍生各支流 200 組重現期距 200 年三日降雨量及雨型所形成之洪峰流量。
  - (4) 河道橋樑資料：將表 5-3 中基隆河 61 座橋樑均納入水理分析，並考量其 200 組橋墩束縮係數衍生值。
  - (5) 員山子分洪：採用 5.3.4 節所衍生之分洪道堰流公式係數值代入(5-6)式推得 200 組員山子分洪堰水位流量率定曲線。
  - (6) 河道糙度係數：採用 5.3.4 節所衍生之 12 個河段各 200 組主深水槽( $n_c$ )及洪水平原( $n_f$ )二種糙度係數。
  - (7) 河道斷面：採用第十河川局提供之民國 96 年之斷面量測資料。

#### 5.3.7.2 最高洪水位之推估

本研究為考量員山子分洪道完工後對堤防安全之重要性，分別求得考量有無員山子分洪道條件下，各 200 組不同斷面之最高洪水位，以作為後續風險因子逐步迴歸分析及最高洪水位與風險因子關係式

之建立。圖 5-13 為有無考量員山子分洪道之情況下，洪水位對最上游斷面之相關係數。由圖中可發現對最上游之斷面而言，相關係數隨距離增加而呈現遞減之趨勢，且無員山子分洪道者由於沒有考量到其分洪之不確定性，故其相關係數較有考量員山子分洪道者高。另斷面 5 下游應是受潮位所影響，故其相關係數有明顯下降之效應。

### 5.3.8 風險因子逐步迴歸分析

為使最高洪水位與風險因子關係式建立更具可靠性，故需先針對表 5-21 各風險因子進行逐步迴歸分析，以求得最佳的風險因子組合。為節省分析時間與步驟，本研究在此部份從基隆河 128 個斷面中平均挑選 30 個斷面來進行各風險因子之逐步迴歸分析。

逐步迴歸分析是計算模式中每一個變數的 F-統計量與 p-value 值。假設迴歸式中包含有  $j$  個自變數，則對於任一個變數  $X_r$ ，F-統計量為

$$F_{(1, n-j-1)} = \frac{SSE_{j-X_r} - SSE_j}{MSE_j} \quad (5-7)$$

上式中  $n$  為觀測資料的個數， $SSE_{j-X_r}$  代表模式中刪除變數  $X_r$  之後的 SSE，而  $SSE_j$  與  $MSE_j$  代表包含全部  $j$  個自變數的 SSE 與 MSE。如果任一個變數的 F-統計量之 p-value 值大於信賴水準值 ( $\alpha$ )，則具有最大的 p-value 值的變數必須由迴歸式中刪除，然後迴歸式會重新組合。

假設沒有任一個變數必須被刪除，執行步驟會嘗試加進一個新的自變數，然後計算原本不再迴歸式中的變數之 F-統計量與 p-value 值。假設迴歸式中包含有  $j$  個自變數，則對於任一個變數  $X_a$ ，F-統計量為

$$F_{(1, n-j)} = \frac{SSE_j - SSE_{j+X_a}}{MSE_{j+X_a}} \quad (5-8)$$

上式中  $n$  為觀測資料的個數， $SSE_j$  代表模式中加入變數  $X_a$  之前的

SSE，而  $SSE_{j+X_a}$  與  $MSE_{j+X_a}$  代表包含全部  $j$  個自變數再加入變數  $X_a$  之後的 SSE 與 MSE。如果任一個變數的 F-統計量之 p-value 值小於指定的信賴水準值 ( $\alpha$ )，則具有最小的 p-value 值的變數可以加入迴歸模式中，然後迴歸方程式會重新組合。當不再有任何變數需要被刪除或加入迴歸式時，則得到最後逐步迴歸的最佳變數集合。

首先選取基隆河 128 個斷面中最高洪水位與堤防高差距最多的 30 個斷面，及底床高程與堤防高差距最少的 30 個斷面，將此 60 個斷面進行交叉比對，並從中選取 30 個斷面來做逐步迴歸分析，如表 5-22 所示。

由於 30 個斷面各 200 組之風險因子及最高洪水位，具有不同之單位與範圍，故需先分別對風險因子及最高洪水位正規化 (standardize)，如(5-9)式所示。進而採用正規化所得之 200 組  $Z_{ik}$ 、 $H_{\max k}$  利用逐步迴歸分析法，求得最佳的風險因子組合。

$$Z_{ik} = \frac{X_{ik} - \mu_i}{\sigma_i} ; Z_{H_{\max k}} = \frac{H_{\max k} - \mu_{H_{\max}}}{\sigma_{H_{\max}}} , i = 1, 2, \dots, 11 \quad k = 1, 2, \dots, 200 \quad (5-9)$$

其中  $X_{ik}$  為第  $i$  項風險因子在第  $k$  組之數值；

$\mu_i$  與  $\sigma_i$  為第  $i$  項風險因子之平均值與標準差；

$Z_{ik}$  為第  $i$  項風險因子在第  $k$  組之正規化數值；

$H_{\max k}$  為最高洪水位在第  $k$  組之數值；

$\mu_{H_{\max}}$  與  $\sigma_{H_{\max}}$  為最高洪水位之平均值與標準差；

$Z_{H_{\max k}}$  為最高洪水位在第  $k$  組之正規化數值；

由於各斷面所選取之最佳風險因子組合不一，故依據各風險因子之 T-value 值之大小來做排序。在此設定假說  $H_0$  是自變數與應變數間為統計獨立，當風險因子 T-value 值越大者，則可捨棄假說  $H_0$ ；反之，當風險因子 T-value 值越小者，則無法捨棄假說  $H_0$ 。故當 T-value 值

越大表示該自變數對應變數不是統計獨立，其對應變數之影響性較大。表 5-23 為 30 個選取斷面的逐步迴歸分析結果，表 5-24 為依照各因子之 T-value 值大小之排序結果。排序為 1 者為在此斷面中對最高洪水位影響最大的風險因子，排序為 2 者為在此斷面中對最高洪水位影響次之的風險因子，依此類推。而空白者為在此斷面中對最高洪水位較不具影響的風險因子。

由逐步迴歸分析結果可知，稽延公式係數值對最高洪水位的影響非常小，而各控制點 200 年三日降雨量與最大無因次降雨比率之影響較大。此外洪水平原之河道糙度係數雖然在各斷面的逐步迴歸分析結果中並未列入對最高洪水位有影響之風險因子，但是主深槽之河道糙度係數卻有被列入，造成此現象是由於主深槽與洪水平原之河道糙度係數是具有相關性，且主深槽之河道糙度係數輸入的順序在洪水平原之河道糙度係數前面，故在逐步迴歸分析時，會先把主深槽之河道糙度係數列入對最高洪水位有影響之風險因子，而洪水平原之河道糙度係數則未被列入，故本研究仍將主深槽與洪水平原之河道糙度係數 ( $n_c, n_f$ ) 列入分析中，則最後選定的最佳風險因子為下列 10 個風險因子：

- (1)  $D_{KD}$ ：關渡控制點重現期距 200 年三日降雨量(mm)
- (2)  $D_{CS}$ ：中山橋控制點重現期距 200 年三日降雨量(mm)
- (3)  $D_{WD}$ ：五堵控制點重現期距 200 年三日降雨量(mm)
- (4)  $D_{YS}$ ：員山子控制點重現期距 200 年三日降雨量(mm)
- (5)  $N_{Rp}$ ：最大無因次降雨比率
- (6)  $TD$ ：關渡潮位(m)
- (7)  $K$ ：橋墩束縮係數
- (8)  $\varepsilon_Q^*$ ：堰流公式係數值

(9)  $n_c$ ：主深槽之河道糙度係數

(10)  $n_f$ ：洪水平原之河道糙度係數

### 5.3.9 最高洪水位與風險因子關係式之建立

採用多變數迴歸分析方法，建立最高洪水位與上節中所選定的 10 個風險因子之關係式，其關係式型態如下式所示：

$$H_{\max} = \alpha(D_{KD})^{\beta_1}(D_{CS})^{\beta_2}(D_{WD})^{\beta_3}(D_{YS})^{\beta_4}(NR_p)^{\beta_5}(TD)^{\beta_6}(K)^{\beta_7}(\varepsilon_Q^*)^{\beta_8}(n_c)^{\beta_9}(n_f)^{\beta_{10}} \quad (5-10)$$

表 5-25 為各斷面最高洪水位與風險因子關係式係數值及  $R^2$ ，圖 5-14 為各斷面最高洪水位與風險因子關係式  $R^2$  值。圖中顯示各斷面之  $R^2$  均達 0.8 以上，顯示本計畫所推得之關係式應可適當反應出風險因子對最高洪水位的變化趨勢。

### 5.3.10 風險分析成果探討

藉由最高洪水位與風險因子關係式(5-10 式)與不確定性分析方法，推求已知風險因子統計特性下之最高洪水位的平均值與變異數，進而求得各斷面之溢堤機率(Failure probability)。因各斷面之最高高程皆採用位於此斷面之防洪構造物設計高程(堤防高程)，故該斷面之風險分析結果可作為評估基隆河設計保護標準(重現期距 200 年)遭受水文、水理及地文風險因子影響下，其所設計之堤防防洪功能之風險。

而採用高等一階二矩法(AFOSM)計算溢堤機率時需輸入各風險因子之統計特性，故將其各風險因子之統計特性整理如表 5-26 所示，其中各控制點三日降雨量平均值係採用經濟部水利署(2005)規劃報告中 200 年重現期距之三日降雨量，變異係數分別採用三日降雨量衍生值之統計特性，進而推得其變異數；而其餘各風險因子則採用衍生之統計特性。

以下將藉由本研究所建立之風險分析模式，進行下列研究重點，

分別為 (1)各風險因子之不確定性對防洪功能之影響評估；(2)堤防不同出水高之影響評估；(3) 員山子分洪道完成前後對溢堤機率之影響評估；(4) 定量流與變量流對溢堤機率之影響評估；(5) 斷面沖淤對溢堤機率之影響評估，並將其分析結果詳述如下。

### 5.3.10.1 各風險因子之不確定性對防洪功能之影響評估

本小節主要針對各風險因子進行敏感度分析，所謂敏感度分析主要目的在於分析模式承受變數對演算結果的影響程度。其中敏感度較高之風險因子，表示當此因子承受某一幅度之調整時，該變數對模式演算結果具較大影響。以衍生之各風險因子為基礎，計算其統計特性，分析不同變異程度對溢堤機率之敏感度分析，設計五個不同的案例，相同風險因子其變異數均相等，改變其平均值，逐一改變各因子之變異係數 (coefficient of variation)分別為 10%、20%、30%、40%、50%，進而探討各因子在不同的變異程度下對模式結果之影響，表 5-27 為高等一階二矩法(AFOSM)需輸入之各風險因子的平均值與變異數彙整。而基隆河自下到上游四控制點各風險因子不同變異程度分析成果如表 5-28、圖 5-15 所示，其控制點分別為關渡(斷面編號 1)、中山橋(斷面編號 19)、五堵(斷面編號 79)、員山子(斷面編號 123)。

當固定變異數，改變平均值時，各風險因子之平均值隨變異係數增加而減少，而當平均值減少，則溢堤機率亦會減少。但由圖5-15可發現，中山橋站、五堵站、員山子站左右岸之改變堰流公式係數值之風險因子，卻隨變異係數增加而溢堤機率增加，造成此現象是因在中山橋站、五堵站、員山子站之洪水位公式(式5-11)中其指數為負值，由此顯示當風險因子指數為負值者，其溢堤機率會隨變異係數增加而溢堤機率增大。同樣地當員山子分洪量越小時，則溢堤機率會增加。另橋墩束縮係數在各控制點的關係式之指數均較其他風險因子小，故

雖關渡站與員山子站其橋墩束縮係數其指數為負值，卻造成在關渡站溢堤機率增加0.0001，而員山子站溢堤機率呈水平線，因此可得知改變橋墩束縮係數之變異程度對其溢堤機率影響很小。

此外依據在不同控制點上，各風險因子在不同變異程度下之溢堤機率變化，將其風險變化斜率由大至小排序(如表 5-29 所示)，可發現左岸風險因子影響程度為  $N_{R_p} > D > \varepsilon_Q^* > n_c > n_f > TD > K$ ；右岸風險因子影響程度為  $N_{R_p} = D > TD = \varepsilon_Q^* = n_f > n_c > K$ 。

綜合上述，可得知由於各斷面所建立關係式之指數不同，以及左右岸堤防高程相異，故造成在高等一階二矩法中，疊代之破壞點隨所在位置而改變，進而影響各斷面左右岸之溢堤機率。故其風險因子對堤防防洪能力之影響程度會隨斷面不同而變化，但在相同斷面上左右岸之溢堤機率會呈現相同的上升或下降之趨勢。此外在基隆河流域四個控制點中改變最大無因次降雨比率與 200 年三日降雨量，對溢堤機率影響較大，為敏感度較高之風險因子，相對於橋墩束縮係數之變異程度對溢堤機率之影響則較小，故橋墩束縮係數應為敏感度較低之風險因子。

### 5.3.10.2 堤防不同出水高之影響評估

堤防高程之決定一般以計畫洪水位再加上出水高(Free Board)作為計畫堤頂高，現有基隆河堤防高程為增加 1.5m 出水高所得之。在此小節利用本模式探討增加不同出水高對溢堤機率所造成的影響，以現有堤防高為基礎(如表 5-30)，探討出水高 0m、0.5m、1m、1.5m 在各斷面之溢堤機率(如圖 5-16、圖 5-17 所示)。而表 5-31、圖 5-18、圖 5-19 為基隆河四個控制點所屬斷面在不同出水高下之溢堤機率。

由結果顯示出水高對防洪功能可靠度之影響，隨其所在位置不同，其防洪成效也有所差異。以關渡站而言，左岸增加 1.5m 出水高，

其溢堤機率減少 0.7607，換言之，即為增加 76.07%的堤防可靠度，相對於右岸只減少 0.0013 之溢堤機率，則左岸之成效較高；而對員山子站而言，左岸增加 1.5m 出水高可減少 0.0304 之溢堤機率，相對於右岸其成效較顯著。

對五堵站而言，增加 1.5m 出水高，分別減少 0.2236 與 0.2433 之溢堤機率，故在五堵站右岸增加 1.5m 出水高之成效較顯著；對中山橋站而言，左右岸增加 1.5m 出水高，分別減少 0.1148 與 0.4230 之溢堤機率，故其與五堵站相同，右岸增加 1.5m 出水高之成效較顯著。

整體而言，增加出水高 1.5m 左岸平均風險為 0.292、右岸平均風險為 0.363；不含出水高 1.5m 則左岸平均風險增加為 0.494、右岸平均風險增加為 0.6，由此顯示增加出水高確實可有效提高防洪功能之可靠度。

### 5.3.10.3 員山子分洪道完成前後對溢堤機率之影響評估

本小節主要探討員山子分洪道完成前後對基隆河溢堤機率之影響，因此考量分洪量之不確定性，其餘風險因子之衍生均如同 5.3 節所述，分別求得有無員山子分洪道條件下，各 200 組不同斷面之最高洪水位，並計算員山子分洪道完成前後之溢堤機率。

員山子分洪道於 2005 年正式完工，爾後在海棠、瑪莎、泰利、龍王、柯羅莎颱風侵台時，都有啟動分洪系統有效降低基隆河水位。圖 5-20 與圖 5-21 為員山子分洪工程完成前後洪水位與溢堤機率變化圖，對基隆河河道之洪水位而言，於瑞慶橋附近(斷面 105 處)有最大水位降低比率為 12%；對溢堤機率而言，大華橋至介壽橋間(斷面 93 至斷面 118 間)有較大之溢堤機率變化，左岸溢堤機率平均可降低比率為 50%，右岸溢堤機率平均可降低比率為 54%。另由圖 5-22 與圖 5-23 各斷面之溢堤機率中可發現若無員山子分洪道，則汐止五堵地區

(約位於斷面編號 48 至 100 間)其左右岸平均溢堤機率分別為 0.79 與 0.87，由此可說明員山子分洪道未完工前，此地區可能承受之溢堤機率較高。且過去賀伯、象神、納莉等颱風事件發生時，皆在基隆河造成淹水，而得到了驗證。此外分洪道完成後平均可將此地區之溢堤機率降低為 0.44 與 0.50，顯示設置員山子分洪道應可有效降低基隆河溢堤之風險。而在圖 5-24 中為斷面編號 59、60、61 之堤防高程與溢堤機率之比較圖，可發現堤防高程與溢堤機率呈現反比之趨勢，亦即當堤防高程較高時則溢堤機率相對較低，故由於各斷面之堤防高程有所差異，因此會造成溢堤機率有所變化。

#### 5.3.10.4 定量流與變量流對溢堤機率之影響評估

藉由 5.3.6 節所推衍之基隆河流域 4 個控制點之 200 組重現期距 200 年三日降雨量及設計雨型所形成之逕流歷線，配合基隆河流域各支流之集水區面積與稽延時間，以比面積法推求 200 組各支流逕流歷線，再代入水理模式中的河道上游入流邊界與側入流邊界，其餘之條件設定均等同於前述之定量流之模擬範圍與模擬條件設定，進行推估基隆河不同斷面之最高洪水位，以比較定量流與變量流演算模式不同對溢堤機率的影響。

圖 5-25 為定量流與變量流之洪水位統計特性比較圖，圖 5-26 與圖 5-27 分別為定量流與變量流之左、右岸溢堤機率比較圖。在溢堤機率方面，對左岸堤防而言，定量流之平均溢堤機率為 0.292、變量流之平均溢堤機率為 0.111；對右岸堤防而言，定量流之平均溢堤機率為 0.363、變量流之平均溢堤機率為 0.129。由上述結果顯示採用變量流因有考量洪峰稽延及洪峰消減之效應，所以模擬之最高洪水位較低於定量流之計算結果，故溢堤機率相對來說較低，由此結果亦可說明河川治理規劃時，為確保水利建造物之安全起見，較適宜採用定量

流相關水文水理分析結果進行水利建造物之相關規劃。

### 5.3.10.5 斷面沖淤對溢堤機率之影響評估

根據基隆河 90 年至 96 年共七年之河川大斷面量測資料，將歷年大斷面之河床最低點繪製成歷年大斷面豁壑縱剖面線，如圖 5-28 所示。由圖顯示，基隆河在此七年間之河床斷面呈沖、淤互見，如 89 年象神颱風與 90 年納莉颱風所造成汐止河段(江北橋附近)之淤積，而南湖大橋與社后橋附近則河床略為局部沖刷。而因納莉颱風造成大規模之淹水災害後，主管機關亦配合辦理河道清淤之工程，故造成河道斷面與 90 年比較後有所變化原因之一。一般而言，洪水位可能因河道淤積而上升，或者因河道沖刷而降低，故河道沖淤狀況為影響堤防防洪功能之風險因子之一，因此本研究採用基隆河 90 年至 96 年共七年之大斷面量測資料，評估藉由改變不同斷面資料，來反應河道斷面沖淤之不確定性，對河道防洪功能之影響。

以定性觀點而言，河道變遷可概分為橫向之河岸沖刷與淤積、垂向之河床沖刷與淤積、以及深槽偏移等三種型態。本研究將參考「砂質河川深槽變遷對河防建造物安全影響之分析(2008)」計畫中所提及之量化深槽變遷之數據，其共計算下列三項指標：

(1) 滿槽河寬變化率  $W_f$ ：

定義為「較新年份之滿槽河寬  $W_t$  / 較舊年份之滿槽河寬  $W_{t0}$ 」，如圖 5-29(a)所示，可評估深槽橫向之變化，其值大於 1 與小於 1 分別代表深槽變寬與變窄，且可表示深槽橫向變遷之程度(百分率)。

(2) 底床高程變化率  $H_b$ ：

一般河床垂向沖淤變化係依據河床最低點(或平均河床高)前後期之變化加以研判，然由於河川上、中與下游之高程皆不相同，

為方便進行斷面與斷面間之變遷程度比較，固定義底床高程變化率  $H_b$  如下式所示，圖 5-29(b) 為其示意圖：

$$H_b = \frac{\text{較新年份斷面平均河床高 } H_t - \text{較舊年份斷面最低高程 } H_{L0}}{\text{較舊年份斷面平均河床高 } H_{t0} - \text{較舊年份斷面最低高程 } H_{L0}} \quad (5-11)$$

其值大於 1 與小於 1 分別代表斷面淤積與沖刷，且  $H_b$  亦可小於零，當  $H_b$  小於零時代表較新年份斷面平均河床高已低於較舊年份之斷面最低點。一般而言，底床高程變化率增加，可能會造成洪水位上升，圖 5-30 為基隆河流域歷年之底床高程變化率。

### (3) 深槽偏移變化率 $A_f$ ：

定義為「(較新年份槽偏量  $A_t$  - 較舊年份槽偏量  $A_{t0}) /$  河寬」，如圖 5-29(c) 所示，其中槽偏量一般為深槽最低點與河道斷面中點之距離。亦可定義為深槽橫向重心位置與深槽最低點之距離，負值表深槽重心偏向左岸，正值表深槽重心偏向右岸，其示意圖如圖 5-29(d) 所示。深槽偏移變化率可評估是否發生深槽偏移，其值以 0 為臨界，正值與負值分別代表分析年份內深槽向右岸或左岸偏移，另外其絕對值則可表示相對於河寬之深槽偏移程度。

由於欲探討河床橫向變遷之程度必須由航照圖上清楚界定深槽、高灘地與砂洲之邊界，然而河川因季節與氣象等因素致使流量與水位變動不定，因此研判河寬(滿槽河寬)常具有困難度與不確定性 (Hooke and Kain, 1982)。因此本研究以底床高程變化率  $H_b$  為判斷河床沖淤之指標，並將 90 年份之斷面資料定義為基準斷面，亦為(式 5-11) 中之較舊年份。

為節省分析時間與步驟，並能充分反映基隆河之沖淤變化與溢堤機率之影響評估，因此參考「洪災後基隆河沖淤調查與對策(2002)」計畫中所提及之斷面選取原則，選定重要河川斷面計算溢堤機率以進

行風險分析，其選取標準如下所述：

- (1) 分析斷面數考慮近年基隆河洪災發生地區大多集中於中游，故提高中游之分析斷面數，用以了解該區之沖淤情況。故分配上游為 5~8 個，中游為 18~22 個，下游為 5~8 個。
- (2) 分析斷面位置盡量以十河局所規劃之現有量測斷面位置為原則，以利與歷史資料進行比對。此外，盡量選擇與河道垂直之斷面進行測量。
- (3) 接近河川匯流口下游處一般河道沖淤現象較為明顯，故建議考量選用。
- (4) 河道轉彎段一般為沖淤變化較大之區域，故建議考慮選用。
- (5) 河道平直段建議選擇一斷面作為代表該平直河道之沖淤狀況。

根據上述原則，下游段選用 SEC.10、SEC.14、SEC.22、SEC.23 與 SEC.34，共 5 處斷面；中游段選用 SEC.41、SEC.44、SEC.46、SEC.51、SEC.53、SEC.63、SEC.64、SEC.66、SEC.67、SEC.69、SEC.72、SEC.76、SEC.77、SEC.82、SEC.85、SEC.88、SEC.89、SEC.93、SEC.98，共 19 處斷面；上游段選用 SEC.99、SEC.101、SEC.112、SEC.118、SEC.125 與 K127 等，共 6 處斷面，全部共 30 處斷面。圖 5-31 為基隆河 128 個分析斷面之相對位置。此 30 處斷面之底床高程變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率，相關數據如表 5-32 與圖 5-32 所示，其中變化率均是以 90 年份為基準。以下將以下游、中游、上游三部份來探討此 30 處斷面，於 90 年至 96 年間底床高程變化率與溢堤機率及水位統計特性變化率之影響程度。

- (1) 在下游段部分：

此河段平均底床高程變化率之變化範圍為 0.039，左岸溢堤機率變化範圍為 0.027，右岸溢堤機率變化範圍為 0.060，平均洪

水位變化範圍為 0.277m，洪水位標準偏差變化範圍為 0.093。左、右岸溢堤機率與平均洪水位以及平均標準偏差之最小值均發生於民國 93 年，最大值發生於民國 92 年，惟獨 SEC.34 (麥帥二橋) 之溢堤機率與平均洪水位最大值均發生於民國 90 年，左岸溢堤機率最小值則發生於民國 95 年，造成此現象之原因可由五個歷年斷面圖中可發現 SEC.34 (麥帥二橋)較其餘 4 個斷面底床的變化幅度稍大所致。

(2) 在中游段部份：

此河段平均底床高程變化率之變化範圍為 0.281，左岸溢堤機率變化範圍為 0.043，右岸溢堤機率變化範圍為 0.040，平均洪水位變化範圍為 0.301m，洪水位標準偏差變化範圍為 0.046。而在 SEC.46 (南湖大橋附近) 處有最大之溢堤機率變化範圍，左右岸溢堤機率最大值分別為 0.679 與 0.730 均發生於 90 年，其平均洪水位於 90 年亦為最大值，造成此現象可對照其歷年斷面圖與底床高程變化率可發現 90 年之底床淤積情況的確較其他年份嚴重，故造成洪水位與溢堤機率均較高於其他年份。且溢堤機率在 93 年為最小值，爾後於 96 年溢堤機率有增加之趨勢，顯示疏濬工程必須持續進行，否則風險會增加。另在 SEC.77 (實踐橋)處底床高程變化率有最大之變化範圍，而由歷年斷面圖與底床高程變化率可發現 90 年至 94 年底床呈現沖刷之趨勢，爾後又逐漸淤積，且溢堤機率在 90 年至 94 年逐年下降，爾後又逐漸上升，故其變化趨勢與底床高程變化率呈正向，造成此現象之原因可能為該河段於 91 年至 94 年間陸續有整治及疏浚工程進行所致。

(3) 在上游段部份，

此河段平均底床高程變化率之變化範圍為 0.229，左岸溢堤

機率變化範圍為 0.003，右岸溢堤機率變化範圍為 0.044，平均洪水水位變化範圍為 0.486m，洪水位標準偏差變化範圍為 0.091。由此結果顯示，左岸溢堤機率變化範圍較右岸溢堤機率變化範圍小，其原因可能為左岸之堤防高程在上游段較高於右岸所導致。而在 SEC.125 (員山子分洪道附近)處，底床高程變化率於 91 年為最高，爾後幾年斷面呈現沖刷之趨勢，直至 94 與 95 年有稍為淤積，但於 96 年底床高程變化又呈現沖刷的現象，此斷面為底床高程變化率之變化範圍最大者，為 0.422，而溢堤機率隨底床高程變化率增加而上升之變化除了 90 年至 91 年沒有呈現此趨勢外，其餘各年份均有呈現出正向之趨勢，其原因推測為 90 與 91 年之溢堤機率差距較小之緣故。(左岸差距為  $1.560E-06$ ，右岸差距為  $3.694E-02$ )

整體而言，由底床高程變化率與溢堤機率及水位統計特性之變化圖，及其分析關係表 5-33 中可發現，大部分斷面(SEC.10、SEC.14、SEC.34、SEC.41、SEC.44、SEC.46、SEC.51、SEC.53、SEC.63、SEC.64、SEC.66、SEC.67、SEC.72、SEC.76、SEC.77、SEC.82、SEC.85、SEC.88、SEC.89、SEC.93、SEC.98、SEC.101、SEC.112、SEC.118、SEC.125、SEC.127)其溢堤機率隨底床高程變化率呈正向關係，即溢堤機率隨底床高程變化率上升而增加，亦隨底床高程變化率下降而減小，但部分斷面(SEC.22、SEC.23、SEC.69、SEC.99)底床高程變化率與溢堤機率並非完全隨著底床高程變化率增加(淤積)而上升，其呈現正向之趨勢並不明顯，造成此結果之原因可能是由於 90 至 96 年間之斷面沖淤變化程度並不明顯，故水位之變動幅度有限，進而造成以洪水位之統計特性再搭配高等一階二矩法所得之溢堤機率差距亦不明顯，導致底床高程變化率與溢堤機率之趨勢無法完整的呈現在數據上。

表 5-1 基隆河流域松山站平均氣溫統計表

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
14.9	15.4	17.4	21.0	24.3	26.3	28.1	28.0	26.4	22.8	20.1	16.5	21.9

表 5-2 基隆河流域平均年月雨量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年	11-4月	5-10月
公厘	337.5	305.9	273.5	183.9	239.2	311.8	210.4	256.5	485.5	532.8	420.3	389.6	3,946.9	1,910.7	2,036.2
%	8.6	7.7	6.9	4.7	6.1	7.9	5.3	6.5	12.3	13.5	10.6	9.9	100	48.4	51.6

表 5-3 基隆河流域橋樑相關資訊一覽表

No.	橋樑名稱	橋長(M)	橋面寬	橋面 高程	橋墩寬 及個數	樑底 高程	橋底高(M) (最高)/(最低)	引測點
1	百齡橋	442.05	46.5	9.01	2.0*13	6.31	7.26/6.20	基右 11A
2	承德橋	256.13	29	11.27	2.3*4	8.77	9.14/9.14	基右 14A
3	捷運橋	181.4	6.5	13.11	2.4*3	10.11	11.20/11.04	基左 15A
4	高速公路橋	562.3	40	--	3.3*3	--	20.35/16.21	基左 15B
5	新生高架橋	298.52	40	17.46	6.0*2	10.86	16.07/10.97	基左 16A
6	高速公路橋	404.61	29	--	3.14*7	--	18.04/14.72	基左 16C
7	大直橋	418.15	20	8.01	1.2*9	5.01	14.89/12.92	基右 19
8	高速公路橋	496.85	27	13.65	1.6*4	11.7	13.23/12.02	基左 27A
9	民權橋	438.58	24	14.66	3.4*4	11.16	16.19/15.75	基左 28A
10	麥帥一橋	512.16	24	17.77	4.8*2 2.4*2	15.37	15.12/13.43	基左 20-8A
11	麥帥二橋	403.63	24	13.32	2.0*5	11.72	15.48/13.57	基左 34A
12	長壽橋	155.87	3.5	13.05	1.4*4	11.85	11.85/11.73	基左 35A
13	成美橋	205.71	20	10.98	1.6*7	8.98	10.15/10.02	基右 35B
14	成功橋	231.03	20	13.82	2.4*6	11.42	11.34/11.06	基右 37T.P
15	南湖大橋	215.06	20	13.35	1.2*7	11.6	12.56/12.50	基右 43
16	北山大橋	240.64	14	14.88	2.0*4	12.03	14.75/12.21	基右 47-1
17	北山大橋	219.65	14	14.88	2.0*4	12.03	14.87/13.99	基右 48-1
18	南陽橋	114.52	14	14.23		12.63	15.00/12.55	基右 48-2
19	社后橋	78.5	14	12.02	3.95*4	10.72	10.99/10.61	基左 50
20	高速公路橋	147.77	13	19.86	2.2*5	17.96	18.14/14.63	基左 52-1
21	高速公路橋		33	15.35	2.3*4	13.45		基左 53
22	樟江橋	133.38	10	17.92	2.5*3	15.92	17.31/15.25	基左 55-1
23	高速公路橋	216.81	12	23.33	2.4*6	21.33	26.03/22.73	基左 55-2

24	高速公路橋	174.8	34	17.92	2.5*3	15.92	23.99/23.41	基左 55-3
25	高速公路橋	153.12	8	17.32	2.4*4	15.32	25.45/18.71	基左 55-4
26	高速公路橋	152.13	8	18.53	2.4*5	16.53	25.45/17.99	基左 55-5
27	高速公路橋	120.54	10	16.9	2.4*4	14.9	15.09/17.61	基左 56-1
28	高速公路橋	123.28	30	16.47	2.3*3	14.57	15.04/15.02	基左 57
29	江北橋	104.77	12	13.29	2.15*3	11.44	11.52/11.42	基右 61
30	禮門街橋	96.75	14	13.85	2.15*3	12.4	13.26/12.53	基左 62
31	高架(引道)	294.97	22.5	18.22	1.8*4	16.47	16.24/15.96	基左 65T.P
32	長安橋	107.71	10	12.91	1.5*3	11.26	13.88/13.46	基左 68
33	高速公路橋	121.98	30	17.9	2.3*5	16	15.93/15.81	基左 72
34	新台5線高架橋	120	24	22.98	2.4*4	20.98	15.55/15.25	基左 73-1
35	高速公路橋	121.36	30	17.34	2.3*3	15.44	23.10/19.94	基左 73
36	千祥橋	90	16	17.5	1.6*2	16	16.57/16.26	基左 74
37	百福橋	100	16	17.33	1.6*2	15.83	16.43/15.95	基左 76
38	實踐橋	84.33	20	17.21	2.0*2	15.41	16.63/16.06	基左 79
39	新台5線高架橋		24	24.57	2.4*5	22.57		基左 79
40	六堵橋		24	21.97	2.5*4	19.27		基右 82T·P
41	五福橋	111.8	21	21.54	2.2*5	19.94	19.40/19.37	基右 85
42	六合橋	127.96	21	21.08	2.2*3	19.18	20.41/19.72	基右 88
43	七賢橋	229.05	21	23.45	2.2*4	20.95	21.33/21.16	基右 90
44	崇智橋	73.11	15	20.94	3.0*4	19.54	19.68/19.46	基左 92
45	大華橋	75.2	11	24.02	4.75*2	22.22	23.64/23.59	基右 94
46	一高高架引道橋		22	---	2.0*2	---		基右 96
47	八德橋	112.1	10	25.4	2.2*2	22.9	23.19/22.89	基左 96-1
48	鐵路橋		15	24.07	4.0*4			基右 97
49	八堵橋	98.44	21	28.88	4.1*4	26.77	27.45/26.74	基右 98
50	暖江橋	57.92	5	26.24	2.2*2	25.76	24.62/24.55	基右 100
51	鐵路橋	116.39	9	32	2.2*6	30	31.71/29.90	基左 102
52	瑞慶橋	86.11	5	37.54	1.8*3	37.08	37.28/36.06	基左 105
53	鐵路橋		9	40.18	2.2*7	38.6		基左 107
54	鐵路橋	125.84	9	42.19	2.2*5	39.85	38.38/37.51	基左 112
55	國芳橋		7.3	42.83	2.4*1	40.63		基右 113
56	介壽橋	68.78	19	52.52	2.1*2	50.97	50.98/50.90	基左 119
57	瑞芳橋	112.54	16	54.74	2.5*3	54.38	52.28/50.25	基右 120
58	瑞峰橋	45.95	5	54.86	1.25*2	53.46	53.50/53.46	基左 121
59	圓山橋	74.96	5	61.3	1.5*2	59.5	59.45/59.40	基左 124
60	鐵路橋	122.14	27	66.95	2.0*5	65.8	65.77/64.15	基右 125
61	介壽橋	56.22	5	94.03	1.6*2	92.14	92.13/92.08	基右 129

參考資料:經濟部水利署第十河川局(2005), 水利署水利規劃試驗所(2005)

表 5-4 風險分析模式建制條件

風險因子	水文因子			水理因子				地文因子
	降雨量	雨型	稽延時間	起算水位	員山子分洪	橋樑	河道糙度係數	CN
	○	○	○	○	○	○	○	○
	年最大三日降雨量	規劃報告中所採用之雨型	水文模式參數	關渡水位	堰流公式參數	橋墩束縮係數	Manning n	入滲量

註：○表示考慮此風險因子

表 5-5 基隆河流域各控制點歷年最大三日降雨量

年(民國)	關渡	中山橋	五堵	員山子
1	337	318	258	225
2	269	286	307	330
3	288	274	244	210
4	267	269	288	310
5	136	136	142	145
6	276	286	292	305
7	341	381	396	428
8	311	310	237	210
9	426	436	386	380
10	203	199	193	186
11	208	217	219	230
12	252	255	311	331
13	376	396	389	410
14	321	335	397	450
15	479	547	646	760
16	93	109	131	160
17	194	218	243	280
18	309	305	265	260
19	456	450	434	420
20	250	264	326	370
21	473	461	440	430
22	211	218	258	275
23	298	318	377	410
24	222	213	213	210
25	118	115	118	117
26	277	276	266	265
27	167	163	175	178
28	238	240	227	220
29	302	307	288	280
30	131	131	125	122
31	159	179	194	210
32	369	356	349	340
33	193	207	199	190
34	121	127	128	130
35	-	-	-	-
36	185	201	234	255
37	348	328	297	270
38	-	-	-	-

39	193	207	265	300
40	153	130	127	118
41	139	135	187	190
42	406	385	339	320
43	-	-	-	-
44	321	288	223	200
45	346	333	351	354
46	209	196	233	250
47	180	168	164	156
48	303	274	239	200
49	326	326	349	360
50	150	167	166	166
51	321	321	358	375
52	457	398	359	300
53	159	145	132	120
54	239	248	250	260
55	388	385	406	415
56	593	583	676	750
57	588	569	560	545
58	872	791	691	692
59	328	280	577	325
60	354	302	338	384
61	359	285	277	302
62	487	409	525	569
63	392	324	416	422
64	301	238	287	329
65	239	237	198	183
66	480	474	572	675
67	676	504	570	600
68	370	332	335	341
69	260	257	273	294
70	351	318	282	269
71	328	233	237	278
72	159	178	207	218
73	286	258	301	340
74	255	249	274	323
75	499	413	413	456
76	847	809	966	970
77	387	397	575	627
78	375	372	429	512
79	289	250	337	400
80	258	269	518	424
81	239	177	268	380
82	118	124	216	190
83	314	261	288	383
84	140	127	193	219
85	353	307	380	407
86	258	286	294	367
87	631	614	610	641
88	248	228	225	246
89	580	554	674	758
90	972	944	900	972
91	234	229	283	305
92	202	191	230	251

(單位:mm)

參考資料:經濟部水利署水利規劃試驗所(2005),「基隆河流域治理規劃檢討」。

表 5-6 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(1/3)

名稱 日期 位序	賽洛 馬	亞力 士	傑魯 得	琳恩	蘇珊	克蒂	李尹	尼爾 森	魯碧	賀璞	羅拉	莎拉	瑪麗 安	歐菲 莉
	76.07	76.07	76.09	76.10	77.05	77.09	77.09	77.09	77.10	78.07	78.07	78.09	79.05	79.06
1	36.09	24.44	12.08	4.14	12.31	7.41	12.64	4.19	2.95	22.64	6.43	6.52	18.28	10.17
2	19.57	18.94	6.09	3.60	10.63	6.62	8.70	3.98	2.42	10.85	6.31	4.88	17.84	9.63
3	7.56	14.27	5.55	3.59	9.16	6.18	6.52	3.17	2.35	10.85	5.83	4.79	12.48	8.03
4	7.52	6.74	5.13	3.38	6.64	5.37	6.05	3.12	2.20	10.38	5.54	3.63	10.20	6.23
5	3.53	5.46	3.55	3.36	4.69	5.18	5.78	2.93	2.09	9.43	4.83	3.07	5.84	5.20
6	3.46	4.37	2.72	3.15	3.84	5.00	4.65	2.82	2.04	3.77	4.79	2.93	5.55	4.39
7	2.60	3.09	2.41	3.12	3.10	4.44	4.32	2.70	2.01	3.77	4.75	2.92	5.21	3.99
8	2.21	2.82	2.40	3.05	2.93	4.37	4.31	2.63	1.99	3.30	4.75	2.89	3.10	3.74
9	2.16	2.61	2.05	2.89	2.76	3.63	4.08	2.56	1.94	3.30	4.10	2.73	2.02	3.64
10	2.15	2.09	2.05	2.88	2.74	3.48	3.84	2.47	1.90	2.83	3.66	2.73	1.94	3.11
11	2.13	1.95	1.99	2.83	2.68	3.32	3.73	2.45	1.87	2.83	3.63	2.70	1.94	2.82
12	1.77	1.61	1.96	2.74	2.60	3.00	2.82	2.39	1.86	1.89	3.60	2.63	1.93	2.73
13	1.37	1.47	1.92	2.72	2.16	2.96	2.71	2.38	1.83	1.89	3.41	2.36	1.50	2.43
14	1.10	1.24	1.91	2.67	2.07	2.43	2.50	2.32	1.82	1.89	3.18	2.33	1.44	2.33
15	0.94	1.18	1.90	2.66	2.02	2.25	2.37	2.28	1.81	1.89	3.12	2.32	1.32	2.28
16	0.92	0.94	1.72	2.56	1.27	2.06	1.93	2.26	1.78	1.89	3.05	2.30	1.28	2.15
17	0.89	0.87	1.68	2.55	1.10	1.93	1.81	2.23	1.77	1.42	3.00	2.27	1.06	1.84
18	0.87	0.86	1.59	2.54	1.09	1.71	1.49	2.23	1.75	1.42	2.83	2.17	0.98	1.70
19	0.70	0.77	1.53	2.49	1.06	1.59	1.34	2.22	1.72	0.94	2.29	1.99	0.97	1.67
20	0.57	0.69	1.52	2.48	1.04	1.53	1.23	2.20	1.71	0.94	2.09	1.98	0.91	1.63
21	0.37	0.64	1.49	2.32	1.03	1.46	1.22	2.15	1.68	0.94	1.97	1.97	0.79	1.58
22	0.31	0.58	1.44	2.25	1.03	1.45	1.18	2.12	1.67	0.47	1.61	1.97	0.65	1.53
23	0.27	0.53	1.40	2.09	1.02	1.39	1.06	1.89	1.65	0.47	1.15	1.93	0.65	1.52
24	0.17	0.34	1.36	1.98	0.94	1.26	1.01	1.79	1.64	0.00	1.00	1.91	0.49	1.49
25	0.16	0.33	1.36	1.92	0.93	1.25	0.93	1.61	1.64	0.00	0.98	1.85	0.38	1.30
26	0.08	0.32	1.27	1.92	0.93	1.14	0.88	1.56	1.57	0.00	0.82	1.72	0.24	1.20
27	0.08	0.31	1.22	1.87	0.92	1.09	0.82	1.54	1.56	0.00	0.78	1.71	0.24	1.01
28	0.08	0.29	1.20	1.84	0.89	1.02	0.76	1.49	1.54	0.00	0.74	1.57	0.24	0.87
29	0.08	0.19	1.17	1.77	0.87	0.97	0.75	1.48	1.52	0.00	0.71	1.54	0.14	0.84
30	0.08	0.04	1.17	1.74	0.87	0.91	0.70	1.48	1.52	0.00	0.70	1.49	0.14	0.72
31	0.07	0.02	1.16	1.71	0.81	0.87	0.67	1.39	1.51	0.00	0.68	1.46	0.14	0.70
32	0.07	0.00	1.12	1.70	0.79	0.86	0.63	1.30	1.49	0.00	0.58	1.43	0.04	0.50
33	0.07	0.00	1.09	1.64	0.79	0.85	0.62	1.28	1.49	0.00	0.53	1.36	0.04	0.47
34	0.03	0.00	1.06	1.52	0.78	0.84	0.55	1.15	1.46	0.00	0.53	1.36	0.00	0.47
35	0.00	0.00	1.05	1.47	0.77	0.79	0.52	1.08	1.44	0.00	0.51	1.35	0.00	0.45
36	0.00	0.00	1.02	1.43	0.73	0.60	0.52	1.07	1.43	0.00	0.50	1.34	0.00	0.44
37	0.00	0.00	0.99	1.35	0.71	0.57	0.52	1.05	1.43	0.00	0.43	1.19	0.00	0.41
38	0.00	0.00	0.94	1.34	0.71	0.57	0.48	1.05	1.43	0.00	0.39	1.11	0.00	0.39
39	0.00	0.00	0.93	1.21	0.68	0.57	0.41	1.01	1.42	0.00	0.39	1.05	0.00	0.39
40	0.00	0.00	0.90	1.21	0.67	0.50	0.41	1.00	1.36	0.00	0.36	0.89	0.00	0.35
41	0.00	0.00	0.84	1.14	0.62	0.50	0.39	0.97	1.26	0.00	0.34	0.81	0.00	0.33
42	0.00	0.00	0.82	1.08	0.59	0.49	0.35	0.96	1.26	0.00	0.31	0.76	0.00	0.33
43	0.00	0.00	0.80	0.85	0.55	0.47	0.30	0.91	1.23	0.00	0.31	0.73	0.00	0.32
44	0.00	0.00	0.79	0.75	0.50	0.46	0.30	0.89	1.23	0.00	0.28	0.70	0.00	0.32
45	0.00	0.00	0.76	0.68	0.48	0.40	0.28	0.89	1.23	0.00	0.25	0.59	0.00	0.28
46	0.00	0.00	0.76	0.56	0.47	0.34	0.21	0.87	1.23	0.00	0.24	0.57	0.00	0.25
47	0.00	0.00	0.75	0.53	0.46	0.33	0.19	0.87	1.22	0.00	0.19	0.55	0.00	0.20
48	0.00	0.00	0.69	0.22	0.42	0.33	0.18	0.86	1.22	0.00	0.19	0.49	0.00	0.19
49	0.00	0.00	0.63	0.16	0.35	0.31	0.12	0.84	1.20	0.00	0.18	0.48	0.00	0.17
50	0.00	0.00	0.62	0.09	0.34	0.25	0.06	0.83	1.19	0.00	0.18	0.48	0.00	0.16
51	0.00	0.00	0.61	0.06	0.31	0.25	0.06	0.78	1.10	0.00	0.18	0.33	0.00	0.15
52	0.00	0.00	0.59	0.06	0.26	0.25	0.06	0.74	1.10	0.00	0.17	0.32	0.00	0.14
53	0.00	0.00	0.54	0.05	0.26	0.23	0.06	0.72	1.08	0.00	0.13	0.30	0.00	0.13
54	0.00	0.00	0.54	0.05	0.26	0.21	0.00	0.63	1.08	0.00	0.12	0.29	0.00	0.13
55	0.00	0.00	0.52	0.03	0.21	0.19	0.00	0.62	1.07	0.00	0.11	0.28	0.00	0.10
56	0.00	0.00	0.51	0.02	0.21	0.17	0.00	0.61	1.06	0.00	0.07	0.24	0.00	0.10
57	0.00	0.00	0.48	0.01	0.21	0.17	0.00	0.60	1.01	0.00	0.06	0.20	0.00	0.06
58	0.00	0.00	0.39	0.01	0.16	0.16	0.00	0.57	0.94	0.00	0.06	0.19	0.00	0.06
59	0.00	0.00	0.38	0.00	0.16	0.15	0.00	0.54	0.90	0.00	0.04	0.19	0.00	0.06
60	0.00	0.00	0.37	0.00	0.13	0.12	0.00	0.48	0.90	0.00	0.03	0.17	0.00	0.06
61	0.00	0.00	0.36	0.00	0.13	0.12	0.00	0.43	0.89	0.00	0.02	0.16	0.00	0.03
62	0.00	0.00	0.33	0.00	0.05	0.11	0.00	0.43	0.81	0.00	0.02	0.15	0.00	0.03
63	0.00	0.00	0.28	0.00	0.05	0.10	0.00	0.41	0.79	0.00	0.01	0.14	0.00	0.03
64	0.00	0.00	0.26	0.00	0.05	0.09	0.00	0.38	0.77	0.00	0.01	0.12	0.00	0.03
65	0.00	0.00	0.24	0.00	0.05	0.09	0.00	0.36	0.74	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
66	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.07	0.00	0.32	0.69	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
67	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.07	0.00	0.16	0.67	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
68	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.06	0.00	0.11	0.56	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
69	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.06	0.00	0.09	0.38	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.04	0.00	0.06	0.32	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
71	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.31	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
72	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

表 5-6 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(2/3)

名稱 日期 位序	羅纘	楊希	亞伯	黛特	愛麗	耐特	露絲	寶莉	泰德	提姆	道格	席斯	賀伯	薩恩
	79.07	79.08	79.08	79.09	80.08	80.09	80.10	81.08	81.09	83.07	83.08	83.10	85.07	85.09
1	12.61	16.74	11.99	6.56	9.38	19.77	5.45	3.68	6.45	12.96	7.68	5.58	10.36	7.48
2	10.85	7.34	6.20	5.27	7.74	12.48	4.75	3.24	5.87	8.20	7.40	5.52	9.14	6.30
3	10.61	6.58	5.01	4.94	7.17	7.86	4.42	3.18	4.16	6.30	6.51	5.41	8.25	5.89
4	10.40	5.19	4.92	4.69	5.96	6.49	3.31	3.13	4.00	6.03	6.48	4.63	8.25	4.04
5	8.96	4.95	4.74	4.53	5.91	5.94	3.08	2.90	3.97	4.59	6.01	4.53	8.08	3.61
6	8.76	3.93	4.73	4.44	5.60	5.83	2.94	2.63	3.41	4.43	5.62	4.50	6.27	3.32
7	6.93	3.75	4.66	4.22	5.18	5.58	2.20	2.63	3.18	4.33	4.68	4.30	5.51	3.04
8	6.84	3.67	4.66	4.19	4.98	5.32	2.15	2.62	3.16	4.15	4.56	3.98	4.75	2.72
9	6.62	2.74	4.50	4.12	4.98	4.43	2.09	2.60	3.14	4.00	4.41	3.70	4.39	2.48
10	4.97	2.35	4.24	3.50	4.54	3.94	2.07	2.47	2.61	3.76	4.38	3.58	3.63	2.35
11	2.91	2.12	3.85	3.16	4.21	3.59	2.07	2.44	2.39	3.75	4.17	3.23	3.02	2.34
12	2.86	2.02	3.62	2.88	3.79	3.37	2.01	2.43	2.35	3.68	3.63	3.09	2.81	2.33
13	1.38	1.57	3.34	2.84	3.21	1.75	1.99	2.39	2.08	3.59	2.77	3.03	2.29	2.27
14	1.21	1.53	3.34	2.72	2.92	1.52	1.95	2.34	2.08	3.52	2.74	2.89	1.68	2.19
15	1.05	1.52	3.00	2.62	2.92	1.52	1.89	2.28	2.06	3.34	2.70	2.76	1.54	2.15
16	0.53	1.48	2.89	1.83	2.74	1.02	1.89	2.27	1.98	2.98	2.57	2.53	1.52	1.99
17	0.49	1.47	2.87	1.78	2.41	1.01	1.88	2.18	1.96	2.47	2.44	2.51	1.49	1.69
18	0.42	1.44	2.09	1.77	2.22	0.94	1.76	2.15	1.92	2.44	2.29	2.34	1.46	1.67
19	0.33	1.40	2.02	1.68	2.16	0.84	1.73	2.10	1.91	2.24	2.00	2.21	1.46	1.63
20	0.28	1.39	1.97	1.52	2.01	0.76	1.61	2.03	1.83	1.31	1.94	2.19	1.43	1.61
21	0.28	1.33	1.83	1.50	1.93	0.58	1.59	1.92	1.67	1.27	1.80	2.18	1.28	1.47
22	0.28	1.22	1.71	1.43	1.43	0.54	1.51	1.89	1.64	1.13	1.46	1.97	0.72	1.46
23	0.18	1.17	1.64	1.33	1.42	0.51	1.51	1.86	1.54	1.13	1.35	1.86	0.70	1.34
24	0.18	1.03	1.57	1.23	1.09	0.51	1.49	1.80	1.51	0.96	1.15	1.79	0.69	1.32
25	0.05	0.95	1.32	1.18	0.98	0.51	1.48	1.72	1.50	0.94	1.13	1.55	0.66	1.27
26	0.00	0.95	1.30	1.17	0.63	0.50	1.47	1.68	1.47	0.91	1.09	1.52	0.62	1.21
27	0.00	0.89	1.22	1.17	0.48	0.49	1.37	1.67	1.37	0.82	0.96	1.42	0.56	1.21
28	0.00	0.88	1.15	1.15	0.47	0.36	1.36	1.67	1.28	0.60	0.86	1.41	0.54	1.19
29	0.00	0.87	0.98	1.15	0.47	0.29	1.34	1.65	1.22	0.55	0.70	1.36	0.51	1.14
30	0.00	0.86	0.85	1.08	0.46	0.25	1.31	1.63	1.19	0.48	0.67	1.35	0.50	1.12
31	0.00	0.86	0.59	1.04	0.31	0.25	1.30	1.57	1.17	0.41	0.66	1.33	0.49	1.10
32	0.00	0.85	0.43	1.00	0.16	0.25	1.30	1.56	1.13	0.37	0.56	1.18	0.45	1.09
33	0.00	0.76	0.29	0.97	0.14	0.25	1.27	1.46	1.08	0.37	0.37	1.10	0.43	1.09
34	0.00	0.72	0.19	0.82	0.00	0.16	1.26	1.46	1.04	0.37	0.35	0.90	0.42	1.03
35	0.00	0.72	0.12	0.78	0.00	0.15	1.26	1.40	0.99	0.31	0.32	0.87	0.41	0.99
36	0.00	0.71	0.07	0.78	0.00	0.13	1.23	1.39	0.95	0.29	0.27	0.83	0.39	0.99
37	0.00	0.66	0.07	0.76	0.00	0.10	1.17	1.38	0.92	0.18	0.26	0.78	0.36	0.98
38	0.00	0.65	0.02	0.75	0.00	0.09	1.17	1.19	0.91	0.18	0.21	0.76	0.29	0.96
39	0.00	0.64	0.00	0.75	0.00	0.08	1.14	1.18	0.90	0.18	0.18	0.72	0.28	0.89
40	0.00	0.64	0.00	0.75	0.00	0.02	1.12	1.16	0.88	0.18	0.18	0.68	0.28	0.86
41	0.00	0.61	0.00	0.73	0.00	0.00	1.09	1.14	0.86	0.18	0.10	0.47	0.26	0.82
42	0.00	0.59	0.00	0.72	0.00	0.00	1.06	1.10	0.80	0.13	0.10	0.42	0.22	0.82
43	0.00	0.57	0.00	0.59	0.00	0.00	1.02	1.06	0.79	0.00	0.10	0.31	0.22	0.80
44	0.00	0.57	0.00	0.59	0.00	0.00	1.00	1.01	0.77	0.00	0.10	0.28	0.21	0.78
45	0.00	0.56	0.00	0.58	0.00	0.00	0.95	0.86	0.73	0.00	0.10	0.22	0.21	0.76
46	0.00	0.54	0.00	0.57	0.00	0.00	0.95	0.85	0.73	0.00	0.00	0.13	0.18	0.76
47	0.00	0.53	0.00	0.57	0.00	0.00	0.94	0.80	0.72	0.00	0.00	0.06	0.14	0.76
48	0.00	0.53	0.00	0.53	0.00	0.00	0.93	0.70	0.67	0.00	0.00	0.04	0.13	0.73
49	0.00	0.53	0.00	0.50	0.00	0.00	0.92	0.69	0.65	0.00	0.00	0.00	0.11	0.72
50	0.00	0.44	0.00	0.49	0.00	0.00	0.90	0.69	0.62	0.00	0.00	0.00	0.10	0.70
51	0.00	0.44	0.00	0.48	0.00	0.00	0.88	0.66	0.62	0.00	0.00	0.00	0.10	0.62
52	0.00	0.39	0.00	0.48	0.00	0.00	0.85	0.65	0.57	0.00	0.00	0.00	0.08	0.60
53	0.00	0.39	0.00	0.45	0.00	0.00	0.83	0.62	0.55	0.00	0.00	0.00	0.04	0.60
54	0.00	0.36	0.00	0.44	0.00	0.00	0.80	0.62	0.51	0.00	0.00	0.00	0.02	0.60
55	0.00	0.29	0.00	0.41	0.00	0.00	0.79	0.61	0.50	0.00	0.00	0.00	0.02	0.58
56	0.00	0.25	0.00	0.39	0.00	0.00	0.76	0.61	0.46	0.00	0.00	0.00	0.01	0.58
57	0.00	0.25	0.00	0.37	0.00	0.00	0.73	0.57	0.43	0.00	0.00	0.00	0.01	0.55
58	0.00	0.22	0.00	0.21	0.00	0.00	0.72	0.56	0.42	0.00	0.00	0.00	0.01	0.51
59	0.00	0.21	0.00	0.17	0.00	0.00	0.66	0.38	0.41	0.00	0.00	0.00	0.01	0.49
60	0.00	0.19	0.00	0.17	0.00	0.00	0.63	0.35	0.40	0.00	0.00	0.00	0.01	0.47
61	0.00	0.19	0.00	0.17	0.00	0.00	0.60	0.34	0.40	0.00	0.00	0.00	0.01	0.46
62	0.00	0.18	0.00	0.11	0.00	0.00	0.60	0.33	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
63	0.00	0.13	0.00	0.10	0.00	0.00	0.55	0.32	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
64	0.00	0.12	0.00	0.08	0.00	0.00	0.49	0.31	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
65	0.00	0.12	0.00	0.05	0.00	0.00	0.48	0.31	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
66	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.28	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
67	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.20	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
68	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.15	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
69	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.15	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.15	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.09	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03

表 5-6 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(3/3)

名稱 日期 位序	溫妮	安珀	揚妮	瑞伯	芭比絲	碧利斯	巴比倫	象神	桃芝	納莉	利奇馬	雷馬遜
	86.08	86.08	87.09	87.10	87.10	89.08	89.08	89.10	90.07	90.09	90.09	91.07
1	8.80	10.34	5.54	8.05	5.68	27.57	13.23	7.17	8.15	7.60	5.35	11.77
2	8.77	9.83	4.96	5.86	5.16	9.23	10.44	6.77	6.50	6.64	4.51	9.33
3	8.22	8.21	4.06	5.59	4.97	7.36	6.46	6.10	6.48	6.03	4.31	8.88
4	8.04	7.53	3.36	5.57	4.68	5.75	4.98	5.94	6.34	5.50	4.12	5.60
5	7.87	7.39	2.85	5.55	4.42	4.62	4.97	5.03	5.97	4.81	3.99	5.56
6	7.33	5.71	2.79	5.30	4.34	3.79	4.61	4.73	5.73	4.15	3.55	5.05
7	6.67	5.57	2.76	5.12	4.07	3.17	4.20	4.41	5.50	3.77	3.13	4.54
8	6.21	5.54	2.74	4.45	3.76	2.99	3.74	4.27	5.47	3.62	2.90	4.53
9	5.88	4.01	2.62	3.81	3.64	2.42	3.68	4.16	5.32	3.19	2.80	4.41
10	3.46	3.53	2.61	3.79	3.53	2.38	3.39	4.15	3.76	3.11	2.57	3.88
11	3.41	3.33	2.58	3.48	3.42	1.84	2.95	3.75	3.71	2.80	2.38	3.26
12	3.32	2.75	2.55	3.37	3.40	1.67	2.94	3.49	3.57	2.40	2.35	3.17
13	3.13	2.69	2.46	3.21	2.81	1.37	2.27	3.47	3.52	2.38	2.13	2.86
14	2.14	2.67	2.41	3.17	2.55	1.34	2.11	3.44	3.19	2.27	2.13	2.80
15	1.76	2.54	2.36	2.98	2.50	1.33	1.99	2.99	2.86	2.19	2.08	2.64
16	1.18	2.39	2.36	2.66	2.16	1.24	1.89	2.72	2.79	1.89	2.07	2.47
17	1.09	2.35	2.21	2.57	2.11	1.18	1.87	2.63	2.59	1.85	2.07	2.27
18	0.80	2.19	2.12	2.37	1.84	1.11	1.84	2.39	2.40	1.82	1.97	2.12
19	0.77	2.00	2.12	2.18	1.79	1.07	1.79	2.15	2.16	1.79	1.97	1.87
20	0.73	1.82	2.09	2.18	1.71	0.94	1.46	2.11	2.15	1.68	1.93	1.46
21	0.72	1.51	2.00	1.99	1.62	0.90	1.43	2.09	2.03	1.66	1.88	1.37
22	0.67	0.91	1.87	1.90	1.38	0.89	1.35	1.85	1.88	1.53	1.83	1.36
23	0.67	0.65	1.74	1.59	1.24	0.88	1.16	1.78	1.86	1.49	1.83	1.21
24	0.64	0.47	1.70	1.55	1.17	0.85	1.16	1.76	1.20	1.41	1.79	1.15
25	0.59	0.45	1.45	1.33	1.16	0.84	1.15	1.40	1.01	1.39	1.78	1.10
26	0.57	0.44	1.38	1.25	1.14	0.70	1.11	1.05	0.89	1.38	1.74	1.04
27	0.55	0.43	1.37	1.21	1.05	0.70	0.98	0.97	0.68	1.20	1.66	0.95
28	0.52	0.36	1.30	0.91	1.04	0.68	0.97	0.75	0.62	1.11	1.64	0.81
29	0.52	0.31	1.29	0.88	1.01	0.67	0.96	0.50	0.62	1.07	1.55	0.59
30	0.48	0.27	1.19	0.87	1.00	0.67	0.87	0.50	0.61	1.06	1.39	0.53
31	0.45	0.25	1.13	0.86	0.99	0.65	0.72	0.38	0.44	1.01	1.33	0.44
32	0.45	0.24	1.08	0.83	0.95	0.61	0.68	0.37	0.00	0.99	1.28	0.31
33	0.43	0.23	1.03	0.58	0.93	0.59	0.68	0.34	0.00	0.88	1.24	0.31
34	0.39	0.20	1.01	0.36	0.92	0.59	0.67	0.29	0.00	0.85	1.20	0.29
35	0.38	0.20	1.01	0.33	0.91	0.56	0.65	0.28	0.00	0.83	1.18	0.06
36	0.35	0.17	0.97	0.28	0.91	0.54	0.63	0.26	0.00	0.83	1.17	0.00
37	0.27	0.10	0.92	0.26	0.86	0.54	0.55	0.25	0.00	0.81	1.16	0.00
38	0.26	0.07	0.92	0.20	0.83	0.54	0.54	0.24	0.00	0.79	1.15	0.00
39	0.26	0.07	0.91	0.18	0.83	0.42	0.53	0.23	0.00	0.78	1.09	0.00
40	0.17	0.07	0.90	0.14	0.81	0.40	0.45	0.22	0.00	0.72	0.99	0.00
41	0.16	0.07	0.88	0.14	0.76	0.40	0.40	0.19	0.00	0.67	0.99	0.00
42	0.14	0.06	0.88	0.14	0.74	0.36	0.32	0.17	0.00	0.62	0.97	0.00
43	0.12	0.06	0.84	0.12	0.73	0.36	0.31	0.17	0.00	0.59	0.84	0.00
44	0.11	0.02	0.83	0.12	0.73	0.36	0.31	0.16	0.00	0.57	0.83	0.00
45	0.10	0.00	0.80	0.11	0.67	0.35	0.24	0.15	0.00	0.56	0.72	0.00
46	0.10	0.00	0.77	0.10	0.66	0.32	0.16	0.13	0.00	0.51	0.71	0.00
47	0.10	0.00	0.73	0.10	0.56	0.32	0.13	0.13	0.00	0.47	0.69	0.00
48	0.08	0.00	0.70	0.10	0.54	0.31	0.07	0.13	0.00	0.45	0.65	0.00
49	0.06	0.00	0.69	0.10	0.53	0.28	0.00	0.12	0.00	0.43	0.64	0.00
50	0.06	0.00	0.66	0.08	0.50	0.26	0.00	0.11	0.00	0.42	0.57	0.00
51	0.03	0.00	0.60	0.04	0.49	0.23	0.00	0.10	0.00	0.34	0.53	0.00
52	0.01	0.00	0.60	0.04	0.47	0.22	0.00	0.10	0.00	0.33	0.47	0.00
53	0.00	0.00	0.60	0.04	0.47	0.20	0.00	0.09	0.00	0.31	0.42	0.00
54	0.00	0.00	0.57	0.03	0.42	0.19	0.00	0.09	0.00	0.26	0.41	0.00
55	0.00	0.00	0.56	0.00	0.33	0.13	0.00	0.08	0.00	0.23	0.40	0.00
56	0.00	0.00	0.56	0.00	0.30	0.09	0.00	0.08	0.00	0.23	0.33	0.00
57	0.00	0.00	0.52	0.00	0.29	0.04	0.00	0.07	0.00	0.20	0.31	0.00
58	0.00	0.00	0.52	0.00	0.29	0.00	0.00	0.06	0.00	0.20	0.28	0.00
59	0.00	0.00	0.50	0.00	0.23	0.00	0.00	0.06	0.00	0.19	0.27	0.00
60	0.00	0.00	0.49	0.00	0.20	0.00	0.00	0.06	0.00	0.18	0.26	0.00
61	0.00	0.00	0.45	0.00	0.18	0.00	0.00	0.06	0.00	0.17	0.24	0.00
62	0.00	0.00	0.45	0.00	0.18	0.00	0.00	0.05	0.00	0.17	0.24	0.00
63	0.00	0.00	0.44	0.00	0.18	0.00	0.00	0.03	0.00	0.13	0.24	0.00
64	0.00	0.00	0.43	0.00	0.12	0.00	0.00	0.03	0.00	0.12	0.20	0.00
65	0.00	0.00	0.43	0.00	0.12	0.00	0.00	0.03	0.00	0.08	0.16	0.00
66	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.07	0.11	0.00
67	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06	0.09	0.00
68	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06	0.08	0.00
69	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.07	0.00
70	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.06	0.00
71	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00
72	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00

表 5-7 基隆河流域各控制點稽延時間關係式參數表

控制點	關渡	中山橋	五堵	員山子
集水面積(km <sup>2</sup> )	490.91	394.62	180.66	90.68
稽延時間 T <sub>lag</sub> (小時)	9.67	8.55	4.85	3.02
L(公里)	88.42	79.85	49.19	26.34
Lca(公里)	34.58	30.46	19.79	13.51
S	0.0012	0.0015	0.0053	0.0094
基流量(cms)	165	134	70	31

資料來源:經濟部水利署水利規劃試驗所(2005),「基隆河流域治理規劃檢討」。

表 5-8 稽延時間統計特性比較表

(1)標準偏差為 0.05

控制點	設計值	平均值	標準 偏差	偏態 係數	峰度 係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
關渡	9.67	9.735	0.461	0.292	3.121	11.039	9.732	8.505	8.906	10.92
中山橋	8.55	8.605	0.407	0.292	3.121	9.758	8.602	7.518	7.873	9.653
五堵	4.85	4.879	0.231	0.292	3.121	5.533	4.878	4.263	4.464	5.473
員山子	3.02	3.04	0.144	0.292	3.121	3.447	3.039	2.656	2.781	3.41

(2)標準偏差為 0.15

控制點	設計值	平均值	標準 偏差	偏態 係數	峰度 係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
關渡	9.67	9.834	1.506	0.252	3.045	14.088	9.699	5.759	7.152	13.719
中山橋	8.55	8.693	1.331	0.252	3.045	12.453	8.573	5.091	6.322	12.127
五堵	4.85	4.929	0.755	0.252	3.045	7.061	4.861	2.887	3.585	6.876
員山子	3.02	3.071	0.47	0.252	3.045	4.399	3.029	1.798	2.233	4.284

(3)標準偏差為 1

控制點	設計值	平均值	標準 偏差	偏態 係數	峰度 係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
關渡	9.67	15.157	16.563	2.571	11.598	113.57	8.52	0.747	1.698	84.295
中山橋	8.55	13.398	14.641	2.571	11.598	100.39	7.531	0.66	1.501	74.513
五堵	4.85	7.597	8.302	2.571	11.598	56.923	4.27	0.374	0.851	42.25
員山子	3.02	4.733	5.172	2.571	11.598	35.464	2.661	0.233	0.53	26.323

註：1.本研究最後採用標準偏差為 0.15 者。

2.設計值摘自經濟部水利署(2005)之基隆河流域治理規劃檢討報告。

表 5-9 稽延時間誤差項衍生值統計特性

平均值	標準偏差	偏態係數	峰度係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
0.003	0.155	-0.224	3.216	0.374	0.001	-0.52	-0.304	0.348

表 5-10 衍生起算水位之樣本資料

No.	颱洪事件	淡水河口潮位(m)	關渡潮位(m)
1	尼爾森	2.461	5.532380125
2	葛樂禮	1.527	5.180734137
3	席斯	0.949	4.852514986
4	賀伯	0.958	4.858821544
5	溫妮	0.925	4.83544176
6	瑞伯	0.798	4.738170149
7	芭比絲	0.247	4.032089423
8	象神	0.799	4.738986715
9	巴比倫	0.685	4.639659156
10	納莉	0.22	3.968372353

資料來源：淡水河口潮位值為參考經濟部水利署 (2007)，「水利防洪設施受新類型災害之脆弱度與調適度分析(1/2)」。

表 5-11 起算水位之統計特性

平均值	標準偏差	偏態係數	峰度係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間		合適機率分佈
4.738	0.443	-0.247	2.685	5.532	4.787	3.968	4.116	5.266	對數常態分佈 (Log-Normal)

表 5-12 橋墩束縮係衍生值統計特性

平均值	標準偏差	偏態係數	峰度係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
1.053	0.583	-0.004	1.898	2.045	1.057	0.021	0.071	2.03

表 5-13 分洪堰流量統計特性比較表

(1)標準偏差為 0.05

編號	設計水位 H(m)	設計流量 Q(cms)	平均值	標準偏差	偏態係數	峰度係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
NO1	63.26	7.993	8.029	0.387	0.189	2.779	9.157	8.027	7.202	7.31	9.018
NO2	63.6	41.337	41.524	2.001	0.189	2.779	47.357	41.513	37.244	37.803	46.633
NO3	63.64	46.926	47.138	2.272	0.189	2.779	53.76	47.125	42.28	42.915	52.938

NO4	63.99	110.579	111.078	5.353	0.189	2.779	126.683	111.049	99.63	101.127	124.747
NO5	64.21	164.026	164.767	7.94	0.189	2.779	187.914	164.724	147.786	150.006	185.042
NO6	64.37	209.358	210.304	10.134	0.189	2.779	239.848	210.249	188.63	191.463	236.183
NO7	64.6	284.003	285.286	13.748	0.189	2.779	325.364	285.211	255.884	259.727	320.392
NO8	64.64	298.122	299.469	14.431	0.189	2.779	341.539	299.39	268.605	272.64	336.32
NO9	64.87	385.824	387.568	18.676	0.189	2.779	442.014	387.465	347.624	352.845	435.259
NO10	64.97	427.410	429.341	20.69	0.189	2.779	489.656	429.228	385.092	390.876	482.173
NO11	65.09	480.068	482.238	23.239	0.189	2.779	549.983	482.11	432.537	439.034	541.579
NO12	65.3	579.437	582.056	28.049	0.189	2.779	663.824	581.902	522.068	529.909	653.68
NO13	65.33	594.381	597.068	28.772	0.189	2.779	680.945	596.91	535.532	543.576	670.539
NO14	65.53	698.778	701.936	33.826	0.189	2.779	800.545	701.75	629.592	639.049	788.311
NO15	65.66	771.076	774.561	37.325	0.189	2.779	883.373	774.357	694.733	705.168	869.874
NO16	65.75	823.175	826.896	39.847	0.189	2.779	943.059	826.677	741.673	752.813	928.648
NO17	65.96	951.237	955.536	46.046	0.189	2.779	1089.771	955.283	857.056	869.928	1073.118
NO18	66.02	989.494	993.966	47.898	0.189	2.779	1133.6	993.703	891.525	904.916	1116.277
NO19	66.18	1095.132	1100.082	53.012	0.189	2.779	1254.623	1099.791	986.704	1001.524	1235.451
NO20	66.35	1213.132	1218.615	58.724	0.189	2.779	1389.808	1218.293	1093.02	1109.438	1368.57
NO21	66.53	1344.528	1350.605	65.084	0.189	2.779	1540.34	1350.248	1211.41	1229.603	1516.802
NO22	66.63	1420.391	1426.811	68.757	0.189	2.779	1627.252	1426.434	1279.76	1298.981	1602.385
NO23	66.71	1482.553	1489.253	71.766	0.189	2.779	1698.466	1488.86	1335.77	1355.83	1672.512

(2)標準偏差為 0.15

編號	設計 水位 H(m)	設計流量 Q(cms)	平均值	標準 偏差	偏態 係數	峰度 係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
NO1	63.26	7.993	8.116	1.258	0.558	3.027	11.873	7.974	5.489	6.081	11.528
NO2	63.6	41.337	41.969	6.505	0.558	3.027	61.402	41.236	28.388	31.446	59.617
NO3	63.64	46.926	47.644	7.385	0.558	3.027	69.704	46.811	32.226	35.697	67.677
NO4	63.99	110.579	112.271	17.402	0.558	3.027	164.254	110.308	75.94	84.12	159.479
NO5	64.21	164.026	166.536	25.813	0.558	3.027	243.646	163.625	112.645	124.778	236.562
NO6	64.37	209.358	212.562	32.946	0.558	3.027	310.982	208.846	143.777	159.263	301.941
NO7	64.6	284.003	288.35	44.693	0.558	3.027	421.86	283.308	195.04	216.047	409.595
NO8	64.64	298.122	302.685	46.915	0.558	3.027	442.833	297.393	204.736	226.788	429.958
NO9	64.87	385.824	391.729	60.717	0.558	3.027	573.106	384.88	264.966	293.505	556.443
NO10	64.97	427.410	433.951	67.261	0.558	3.027	634.878	426.364	293.525	325.14	616.419
NO11	65.09	480.068	487.416	75.548	0.558	3.027	713.098	478.894	329.688	365.199	692.364
NO12	65.3	579.437	588.306	91.185	0.558	3.027	860.701	578.02	397.931	440.791	835.677
NO13	65.33	594.381	603.478	93.537	0.558	3.027	882.899	592.927	408.193	452.159	857.229
NO14	65.53	698.778	709.473	109.966	0.558	3.027	1037.97	697.068	479.888	531.576	1007.792
NO15	65.66	771.076	782.878	121.343	0.558	3.027	1145.364	769.19	529.539	586.575	1112.062

NO16	65.75	823.175	835.774	129.542	0.558	3.027	1222.752	821.161	565.318	626.208	1187.2
NO17	65.96	951.237	965.796	149.695	0.558	3.027	1412.975	948.909	653.265	723.627	1371.893
NO18	66.02	989.494	1004.638	155.715	0.558	3.027	1469.803	987.073	679.538	752.73	1427.069
NO19	66.18	1095.132	1111.893	172.339	0.558	3.027	1626.719	1092.453	752.086	833.091	1579.422
NO20	66.35	1213.132	1231.699	190.909	0.558	3.027	1801.997	1210.164	833.122	922.856	1749.604
NO21	66.53	1344.528	1365.107	211.587	0.558	3.027	1997.174	1341.239	923.36	1022.813	1939.107
NO22	66.63	1420.391	1442.131	223.525	0.558	3.027	2109.862	1416.916	975.459	1080.523	2048.518
NO23	66.71	1482.553	1505.244	233.307	0.558	3.027	2202.198	1478.926	1018.15	1127.811	2138.169

(3)標準偏差為 1

編號	設計水位 H(m)	設計流量 Q(cms)	平均值	標準偏差	偏態係數	峰度係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
NO1	63.26	7.993	12.882	18.133	5.657	47.879	186.556	7.336	0.400	1.745	93.442
NO2	63.6	41.337	66.617	93.772	5.657	47.879	964.754	37.936	2.070	9.022	483.225
NO3	63.64	46.926	75.624	106.451	5.657	47.879	1095.192	43.065	2.350	10.241	548.559
NO4	63.99	110.579	178.204	250.847	5.657	47.879	2580.779	101.481	5.537	24.134	1292.658
NO5	64.21	164.026	264.338	372.093	5.657	47.879	3828.179	150.531	8.213	35.798	1917.454
NO6	64.37	209.358	337.394	474.929	5.657	47.879	4886.180	192.134	10.483	45.692	2447.385
NO7	64.6	284.003	457.689	644.260	5.657	47.879	6628.306	260.638	14.221	61.983	3319.979
NO8	64.64	298.122	480.443	676.290	5.657	47.879	6957.831	273.595	14.928	65.065	3485.031
NO9	64.87	385.824	621.779	875.241	5.657	47.879	9004.691	354.082	19.320	84.205	4510.260
NO10	64.97	427.410	688.797	969.578	5.657	47.879	9975.253	392.246	21.402	93.281	4996.394
NO11	65.09	480.068	773.660	1089.034	5.657	47.879	11204.247	440.573	24.039	104.774	5611.971
NO12	65.3	579.437	933.800	1314.453	5.657	47.879	13523.411	531.767	29.015	126.461	6773.592
NO13	65.33	594.381	957.883	1348.353	5.657	47.879	13872.185	545.481	29.763	129.723	6948.286
NO14	65.53	698.778	1126.124	1585.176	5.657	47.879	16308.677	641.289	34.991	152.507	8168.673
NO15	65.66	771.076	1242.638	1749.186	5.657	47.879	17996.048	707.639	38.611	168.286	9013.842
NO16	65.75	823.175	1326.599	1867.372	5.657	47.879	19211.976	755.452	41.220	179.657	9622.874
NO17	65.96	951.237	1532.978	2157.879	5.657	47.879	22200.784	872.978	47.632	207.606	11119.905
NO18	66.02	989.494	1594.632	2244.666	5.657	47.879	23093.665	908.087	49.548	215.956	11567.131
NO19	66.18	1095.132	1764.874	2484.306	5.657	47.879	25559.142	1005.035	54.838	239.011	12802.036
NO20	66.35	1213.132	1955.038	2751.988	5.657	47.879	28313.123	1113.326	60.747	264.764	14181.447
NO21	66.53	1344.528	2166.792	3050.061	5.657	47.879	31379.769	1233.913	67.326	293.441	15717.466
NO22	66.63	1420.391	2289.050	3222.156	5.657	47.879	33150.322	1303.534	71.125	309.998	16604.299
NO23	66.71	1482.553	2389.228	3363.170	5.657	47.879	34601.109	1360.582	74.238	323.565	17330.967

註:1.本研究最後採用標準偏差為 0.15 者。

2.設計值摘自經濟部水利署水利規劃試驗所(2005)之員山子分洪水位率定曲線值。

表 5-14 分洪道堰流公式誤差項衍生值統計特性

平均值	標準偏差	偏態係數	峰度係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
0.003	0.152	0.178	2.686	0.396	-0.002	-0.376	-0.274	0.366

表 5-15 基隆河流域各斷面河道糙度係數表

河段編號	包含之河道斷面	主深槽( $n_c$ )	洪水平原( $n_f$ )
1	00~14	0.025	0.03
2	15~17	0.04	0.045
3	18~31	0.035	0.06
4	32~46	0.04	0.05
5	47~54	0.04	0.05
6	55~65	0.04	0.055
7	66~74	0.04	0.07
8	75~87	0.045	0.075
9	88~96	0.05	0.075
10	97~102	0.055	0.075
11	103~119	0.055	0.075
12	120~129	0.055	0.075

表 5-16 河道糙度係數之統計特性

統計特性	主深槽	洪水平原
平均值	0.043	0.061
標準偏差	0.009	0.015
偏態係數	-0.232	-0.650
峰度係數	2.513	2.280
最大值	0.055	0.075
中位數	0.040	0.065
最小值	0.025	0.030
95%信賴區間	0.033	0.042
	0.055	0.075
合適機率分佈	對數常態分佈 (Log-Normal)	指數分佈 Shifted Exponential
相關係數	0.849	

表 5-17 逕流曲線係數CN值表

土壤分類 土地 利用情況	A	B	C	D
建地	77	85	90	92
針葉林、保安林	25	55	70	77
水田、濕地	62	71	78	81
公園、墓地	39	61	74	80
荒地、旱地	72	81	88	91
闊葉林	30	58	71	78
果園	45	66	77	83
流域	98	98	98	98
其他林地	39	61	74	80

(資料來源:美國 Soil Conservation Service(1972))

表 5-18 基隆河流域各支流CN值

控制點	支流名稱	CN 值						
關渡	外雙溪	71	85	58	85	66	61	81
	磺港溪	71	85	58	85	66		
	水磨坑溪	71	85					
	貴子坑溪	71	85	58	85			
中山橋	鹿寮溪	71	58					
	保長坑溪	71	58	85	81	85		
	茄苳溪	58	81	85				
	北港溪	71	58	85	81			
	康詒坑溪	71	58	85				
	叭連溪	71	58	85	81			
	下寮溪	71	58	81	85			
	內溝溪	71	58	85	61			
	四分溪	71	85	58	85	81	61	
五堵	深澳坑溪	58	85	58	85			
	魚架魚坑溪	58	85	58	85			
	粗坑口溪	71	58	85				
	大武崙溪	71	58	85	98			
	東勢坑溪	71	58	81	85			
	瑪陵坑溪	58	81					
	拔西猴溪	58	81	85				
員山子	介壽橋	58	58	85				

表 5-19 CN衍生值統計特性

控制點	平均值	標準 偏差	偏態 係數	峰度 係數	最大值	中位數	最小值	95%信賴區間	
關渡	71.635	13.437	-0.05	1.839	94.748	72.795	48.178	49.711	94.302
中山橋	70.387	13.026	0.085	1.868	94.798	70.291	48.165	49.787	94.321
五堵	71.167	12.829	0.018	1.806	94.234	70.606	48.364	50.407	93.936
員山子	71.907	12.955	0.087	1.885	94.864	71.301	48.439	50.133	94.237

表 5-20 基隆河流域各支流地文特性表

編號	支流	集水區 面積 A(km <sup>2</sup> )	主流長 L(m)	重心至出口 主流長度 L <sub>ca</sub> (m)	平均坡度 S	座標	
						TM_X	TM_Y
Branch 1	介壽橋	85.2	23745.6	11849.1	0.0192	332759	2776033
Branch 2	深澳坑溪	4.7	4030.8	1629.0	0.0065	329393	2778779
Branch 3	魚架魚坑溪	4.7	4030.8	1629.0	0.0065	329393	2778550
Branch 4	粗坑口溪	4.7	2950.8	1911.8	0.1007	327915	2777347
Branch 5	大武崙溪	16.4	9459.2	5728.6	0.0126	322518	2778467
Branch 6	東勢坑溪	17.0	6446.7	4754.9	0.0453	323514	2777596
Branch 7	瑪陵坑溪	18.9	8510.1	4836.2	0.0250	319742	2776932
Branch 8	拔西猴溪	5.5	3706.8	2667.8	0.0521	320677	2776227
Branch 9	鹿寮溪	17.1	8912.9	5212.7	0.0311	317379	2775726
Branch 10	保長坑溪	15.2	7468.9	4950.8	0.0439	316880	2775080
Branch 11	茄荃溪	4.4	3913.6	2980.9	0.0738	315709	2773909
Branch 12	北港溪	12.1	8946.1	6394.9	0.0349	314633	2774531
Branch 13	康詰坑溪	5.5	4775.9	3047.1	0.0710	314985	2773579
Branch 14	叭連溪	10.4	8289.5	6034.9	0.0352	314318	2774502
Branch 15	下寮溪	3.5	3054.2	2178.1	0.0291	313477	2773155
Branch 16	內溝溪	6.8	5632.5	3654.0	0.0162	311354	2773345
Branch 17	外雙溪	63.9	16246.4	7426.7	0.0429	300634	2776735
Branch 19	四分溪	21.4	8243.8	3694.0	0.0114	312076	2772232
Branch 18	磺港溪	12.5	8259.2	5557.7	0.0444	299315	2778513
Branch 21	水磨坑溪	5.4	6325.0	3164.3	0.0760	298641	2778966
Branch 20	貴子坑溪	4.0	6318.1	3670.6	0.0698	298083	2778921

註：上述地文特性皆由水利署水利規劃試驗數值地形系統查詢得知

表 5-21 風險因子代號表

風險因子	風險因子代號
關渡控制點重現期距 200 年三日降雨量	$D_{KD}$
中山橋控制點重現期距 200 年三日降雨量	$D_{CS}$
五堵控制點重現期距 200 年三日降雨量	$D_{WD}$
員山子控制點重現期距 200 年三日降雨量	$D_{YS}$
最大無因次降雨比率	$N_{Rp}$
稽延公式係數值	$\varepsilon_{T_{lag}}^*$
關渡潮位	$TD$
橋墩束縮係數	$K$
堰流公式係數值	$\varepsilon_Q^*$
主深槽之河道糙度係數	$n_c$
洪水平原之河道糙度係數	$n_f$

表 5-22 逐步迴歸分析選取斷面

斷面 編號	超越堤防高水位高程 (m)	斷面 編號	底床與堤防高之高程差 (m)	選取斷 面編號
50	6.937	1	9.29	3
51	7.334	2	8.38	6
52	8.132	3	7.63	14
53	7.896	6	10.9	17
54	8.069	7	11.87	21
55	8.108	8	12.91	25
57	7.803	37	12.92	29
58	7.716	39	12.79	35
63	7.768	51	11.78	39
64	7.759	53	12.56	45
66	7.955	97	11.72	51
67	7.474	99	12.81	53
68	8.103	101	11.84	57
69	8.073	102	10.95	63
70	6.887	103	10.76	68
72	7.254	110	11.64	72
73	6.952	111	12.02	75
75	6.845	113	8.96	81
80	6.962	114	11.21	83
81	7.287	115	10.69	86
83	6.964	117	11.78	88
84	6.895	118	10.67	91

86	9.255	119	7.7	97
87	7.07	120	11.2	103
88	7.162	121	8.12	110
89	7.186	122	7.87	113
91	8.05	123	12.07	119
92	7.999	124	10.37	122
94	7.322	125	9.53	125
97	7.175	127	11.8	127

表 5-23 風險因子逐步迴歸分析結果

NO.	斷面 編號	分析結果	排序 1	排序 2	排序 3	排序 4	排序 5	排序 6	排序 7
1	3	風險因子	$TD$	$N_{Rp}$	$D\_KD$	$n_c$			
1	3	T-value	24.55	20.07	12.29	9.55			
2	6	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_KD$	$TD$	$n_c$	$\epsilon_Q^*$		
2	6	T-value	20.48	13.68	8.46	5.02	-1.72		
3	14	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_KD$	$n_c$	S_TD	$\epsilon_Q^*$		
3	14	T-value	20.58	13.97	5.67	5.64	-1.94		
4	17	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_KD$	$TD$	$n_c$	$K$	$\epsilon_Q^*$	
4	17	T-value	19.75	13.28	5.34	4.15	1.96	-1.91	
5	21	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_KD$	$TD$	$n_c$	$K$	$\epsilon_Q^*$	
5	21	T-value	20.04	13.61	4.54	4.4	3.94	-2.13	
6	25	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$TD$	$n_c$	$K$	$\epsilon_Q^*$	
6	25	T-value	20.34	13.85	3.49	3.49	3.05	-2.34	
7	29	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$n_c$	$TD$	$K$	$\epsilon_Q^*$	
7	29	T-value	20.41	13.93	3.72	3.33	2.91	-2.38	
8	35	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$TD$	$n_c$	$K$	$\epsilon_Q^*$	
8	35	T-value	20.23	13.62	2.79	2.64	2.48	-2.04	
9	39	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$n_c$	$TD$	$K$	$\epsilon_Q^*$	
9	39	T-value	20.57	13.9	3.37	2.51	2.4	-2.22	
10	45	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$n_c$	$TD$	$\epsilon_Q^*$	$K$	
10	45	T-value	20.8	14.12	3.73	2.19	-2.39	2.05	
11	51	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$n_c$	$\epsilon_Q^*$	$TD$	$K$	
11	51	T-value	21.15	13.86	3.36	-2.45	1.9	1.74	
12	53	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$n_c$	$\epsilon_Q^*$	$K$	$TD$	
12	53	T-value	21.29	13.83	3.55	-2.51	2.23	1.91	
13	57	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$n_c$	$K$	$\epsilon_Q^*$	$TD$	
13	57	T-value	21.46	13.8	3.67	2.52	-2.59	1.91	

14	63	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$K$	$n_c$	$\varepsilon_Q^*$	$TD$	
14	63	T-value	21.66	13.36	3.47	2.88	-2.47	1.94	
15	68	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$TD$	
15	68	T-value	21.95	13.04	3.21	-2.61	2.16	1.95	
16	72	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$TD$	
16	72	T-value	22.46	12.76	2.93	-2.87	2.33	1.94	
17	75	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_CS$	$\varepsilon_Q^*$	$K$	$n_c$	$TD$	$D\_KD$
17	75	T-value	23.47	3	-3.19	2.85	2.18	2.25	2.21
18	81	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$TD$	$K$	$n_c$	$D\_KD$
18	81	T-value	24.05	3.92	-3.34	2.44	2.48	2.41	2.15
19	83	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$TD$	$K$	$n_c$	$D\_KD$
19	83	T-value	24.19	4.08	-3.4	2.45	2.51	2.53	1.97
20	86	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$TD$	$n_c$	$S\_K$	$D\_YS$
20	86	T-value	24.77	5.13	-3.32	2.77	2.58	2.38	-1.86
21	88	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$TD$	$K$	$S\_D\_Y$ $S$	$n_c$
21	88	T-value	24.59	5	-3.32	2.82	2.4	-1.77	1.7
22	91	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$TD$	$n_c$	$K$	
22	91	T-value	25.16	11.72	-3.64	2.68	2.11	2.07	
23	97	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$TD$	$K$	$S\_NC$	
23	97	T-value	25.96	11.33	-4.09	2.74	1.99	1.68	
24	103	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$TD$	$n_c$		
24	103	T-value	28.41	10.33	-5.02	3.01	2.48		
25	110	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$TD$	$D\_CS$	
25	110	T-value	29.43	6.07	-5.15	3.72	3.1	-2.06	
26	113	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_WD$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$TD$	$D\_CS$	
26	113	T-value	29.43	6.25	-5.59	3.97	3.07	-2.24	
27	119	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_YS$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$TD$		
27	119	T-value	29.85	9.32	-6.05	3.48	2.88		
28	122	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_YS$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$TD$		
28	122	T-value	29.7	9.31	-5.87	4.49	2.69		
29	125	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_YS$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$TD$		
29	125	T-value	32.49	10.67	-3.82	3.96	2.93		
30	127	風險因子	$N_{Rp}$	$D\_YS$	$n_c$	$TD$			
30	127	T-value	31.29	11.46	8.28	2.26			

表 5-24 風險因子逐步迴歸分析排序表

No.	斷面編號	$D\_KD$	$D\_CS$	$D\_WD$	$D\_YS$	$N_{Rp}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_{Tlag}^*$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
1	3	3				2	1				4	
2	6	2				1	3			5	4	
3	14	2				1	4			5	3	
4	17	2				1	3	5		6	4	
5	21	2				1	3	5		6	4	
6	25		2			1	3	5		6	4	
7	29		2			1	4	5		6	3	
8	35		2			1	3	5		6	4	
9	39		2			1	4	5		6	3	
10	45		2			1	4	6		5	3	
11	51		2			1	5	6		4	3	
12	53		2			1	6	5		4	3	
13	57		2			1	6	4		5	3	
14	63		2			1	6	3		5	4	
15	68		2			1	6	3		4	5	
16	72		2			1	6	3		4	5	
17	75		2	7		1	6	4		3	5	
18	81	7		2		1	4	5		3	6	
19	83	7		2		1	4	5		3	6	
20	86			2	7	1	4	6		3	5	
21	88			2	6	1	4	5		3	7	
22	91			2		1	4	6		3	5	
23	97			2		1	4	5		3	6	
24	103			2		1	4			3	5	
25	110		6	2		1	5			3	4	
26	113		6	2		1	5			3	4	
27	119				2	1	5			3	4	
28	122				2	1	5			3	4	
29	125				2	1	5			3	4	
30	127				2	1	4				3	

註:排序為 1 者為該斷面 T-value 值最大者，排序為 2 者為該斷面 T-value 次大者，依此類推...，排序最小者為該斷面 T-value 值最小者。

表 5-25 各斷面最高洪水水位與風險因子關係式係數值及R<sup>2</sup>

變數代號	常數項	D_KD	D_CS	D_WD	D_YS	N <sub>R<sub>p</sub></sub>	TD	K	ε <sub>Q</sub> <sup>*</sup>	n <sub>c</sub>	n <sub>f</sub>	
斷面編號	α	β <sub>1</sub>	β <sub>2</sub>	β <sub>3</sub>	β <sub>4</sub>	β <sub>5</sub>	β <sub>6</sub>	β <sub>7</sub>	β <sub>8</sub>	β <sub>9</sub>	β <sub>10</sub>	R <sup>2</sup>
1	1.1896	0.01126	0.04714	-0.00443	-0.01184	0.02063	0.91533	-0.00024	0.00572	0.04487	0.04382	0.97857
2	1.33762	0.05976	0.10854	0.00108	-0.04516	0.05538	0.77958	-0.00064	0.00386	0.12117	0.06372	0.92773
3	1.0212	0.14925	0.17102	-0.00538	-0.07515	0.10171	0.65113	-0.00033	-0.00367	0.18505	0.02292	0.87348
4	0.84313	0.24834	0.19459	-0.01143	-0.09566	0.13902	0.54323	0.00042	-0.01154	0.15927	0.08406	0.85452
5	0.67471	0.32615	0.22665	-0.01726	-0.11424	0.17119	0.45561	0.00134	-0.02074	0.15255	0.09943	0.84955
6	0.68501	0.34815	0.25366	-0.01815	-0.12312	0.1854	0.38973	0.00203	-0.02699	0.15564	0.11487	0.85053
7	0.58054	0.3729	0.28257	-0.02104	-0.13293	0.20088	0.3549	0.0026	-0.03246	0.1632	0.08934	0.85015
8	0.64667	0.40746	0.25206	-0.01932	-0.13409	0.20215	0.33246	0.00287	-0.03347	0.1827	0.09178	0.85211
9	0.65736	0.37716	0.29562	-0.02098	-0.13632	0.20616	0.31897	0.00306	-0.03599	0.19402	0.08521	0.85195
10	0.6485	0.36674	0.3092	-0.01975	-0.13797	0.20743	0.31535	0.00464	-0.03709	0.19471	0.07938	0.8515
11	0.69915	0.35252	0.32356	-0.01983	-0.13807	0.20769	0.30762	0.00469	-0.03793	0.20629	0.08282	0.85203
12	0.73672	0.33119	0.34855	-0.02056	-0.13897	0.20891	0.29571	0.00473	-0.03954	0.20823	0.08855	0.85203
13	0.7616	0.30891	0.37758	-0.02147	-0.1405	0.21101	0.2838	0.00477	-0.04145	0.20836	0.09313	0.85182
14	0.7851	0.28966	0.40099	-0.02015	-0.14258	0.21281	0.27477	0.00648	-0.04332	0.21238	0.09269	0.85147
15	0.61581	0.29291	0.36768	-0.00882	-0.12106	0.20737	0.27998	0.00772	-0.03921	0.24485	0.01162	0.83868
16	0.62665	0.28672	0.37823	-0.00978	-0.12195	0.20841	0.27708	0.00772	-0.03988	0.24806	0.01441	0.83926
17	0.63972	0.27105	0.40441	-0.00983	-0.12588	0.21134	0.27062	0.00979	-0.04216	0.24221	0.02886	0.83984
18	0.70236	0.2669	0.39889	-0.00867	-0.1245	0.20869	0.26635	0.01063	-0.04214	0.24162	0.04416	0.8401
19	0.67726	0	0.65506	0.11183	-0.21898	0.21701	0.26143	0.01239	-0.05132	0.23514	0.0411	0.83233
20	0.7316	0	0.68138	0.09337	-0.21592	0.22301	0.2423	0.02192	-0.05719	0.24363	0.04359	0.83518
21	0.80201	0	0.69796	0.07622	-0.20966	0.22567	0.22543	0.02276	-0.05984	0.22744	0.08016	0.83712
22	0.60581	0	0.74571	0.06753	-0.23829	0.22958	0.21461	0.02064	-0.06462	0.26604	-0.05841	0.833
23	0.72992	0	0.7528	0.05253	-0.23125	0.2303	0.19376	0.01864	-0.06661	0.24989	-0.00596	0.83591
24	0.75342	0	0.78285	0.03924	-0.23089	0.23787	0.18148	0.01798	-0.07006	0.24258	0.02202	0.83793
25	0.83785	0	0.77906	0.03205	-0.22589	0.23597	0.17147	0.01699	-0.0706	0.25627	0.01846	0.83913
26	0.88789	0	0.77448	0.0273	-0.22184	0.23417	0.16472	0.01628	-0.07056	0.26026	0.01559	0.8397
27	0.91366	0	0.77311	0.02512	-0.22019	0.23354	0.16182	0.01597	-0.07062	0.2633	0.01459	0.83998
28	0.93498	0	0.77275	0.02367	-0.21932	0.23327	0.15987	0.01578	-0.07076	0.26684	0.01395	0.84022
29	0.99648	0	0.76566	0.02219	-0.21669	0.23103	0.1571	0.01552	-0.07033	0.27206	0.01644	0.84045
30	1.13764	0	0.7574	0.01428	-0.20981	0.22782	0.14524	0.01451	-0.07041	0.28508	0.01347	0.84159
31	1.20323	0	0.75377	0.01216	-0.20761	0.22653	0.14197	0.01457	-0.07044	0.2922	0.01344	0.84186
32	1.28008	0	0.74949	0.00627	-0.20278	0.2247	0.13371	0.01362	-0.07042	0.29739	0.00681	0.84255
33	1.31095	0	0.74779	0.00489	-0.20144	0.22407	0.13162	0.01371	-0.07046	0.30018	0.00523	0.84265
34	0.80565	0	0.69857	-0.03287	-0.12963	0.22088	0.12617	0.01332	-0.05533	0.14925	0.00696	0.82971
35	0.92175	0	0.70467	-0.03441	-0.13216	0.22177	0.11932	0.0124	-0.0571	0.1642	0.02435	0.8332
36	1.00544	0	0.70659	-0.03561	-0.13308	0.22172	0.11462	0.01177	-0.05809	0.17062	0.0356	0.8352
37	1.03776	0	0.70619	-0.03576	-0.13339	0.22137	0.11279	0.01246	-0.05866	0.17313	0.03666	0.83558
38	1.18617	0	0.69873	-0.03665	-0.13241	0.21836	0.10645	0.01253	-0.05936	0.1785	0.04875	0.83736
39	1.36535	0	0.69035	-0.03747	-0.13141	0.21493	0.09969	0.01137	-0.05963	0.19399	0.0493	0.83936
40	1.53601	0	0.68831	-0.03684	-0.13244	0.21388	0.09545	0.01231	-0.06074	0.2105	0.0525	0.84054
41	1.79577	0	0.66176	-0.03436	-0.12799	0.20584	0.09047	0.0116	-0.05864	0.22075	0.0545	0.84147
42	1.86532	0	0.66968	-0.03688	-0.12939	0.20731	0.08659	0.0106	-0.05981	0.2291	0.05254	0.84284
43	1.53186	0	0.72261	-0.04656	-0.13676	0.22188	0.08647	0.00969	-0.06506	0.21119	0.04889	0.84296
44	1.60499	0	0.71862	-0.04702	-0.13571	0.22051	0.08477	0.00939	-0.06488	0.208	0.05728	0.84337
45	1.73691	0	0.71284	-0.04888	-0.13386	0.21784	0.08317	0.00964	-0.06419	0.20952	0.06877	0.84362
46	1.78544	0	0.71316	-0.04744	-0.13409	0.21897	0.08061	0.00902	-0.06515	0.19569	0.08328	0.84448
47	1.84006	0	0.71105	-0.04654	-0.13398	0.21865	0.07944	0.00875	-0.06525	0.19648	0.08591	0.84487
48	1.44884	0	0.71139	-0.05811	-0.11911	0.22032	0.0703	0.00884	-0.06405	0.1619	0.04818	0.84039
49	1.4697	0	0.7078	-0.0517	-0.12108	0.2214	0.07033	0.0086	-0.06497	0.16009	0.05069	0.84141
50	1.47606	0	0.7074	-0.05119	-0.12125	0.22142	0.07031	0.00859	-0.06503	0.16048	0.0512	0.84151
51	1.69938	0	0.68205	-0.03222	-0.12492	0.21898	0.06896	0.00804	-0.06622	0.14722	0.07767	0.84467
52	1.79496	0	0.67716	-0.02558	-0.12708	0.21949	0.06875	0.00781	-0.067	0.15406	0.08143	0.84582
53	1.81473	0	0.67538	-0.02011	-0.12893	0.22079	0.07039	0.01056	-0.06829	0.15625	0.08138	0.84526
54	1.89144	0	0.66874	-0.01304	-0.13058	0.22103	0.07016	0.01014	-0.06904	0.16107	0.08103	0.8463
55	1.93188	0	0.66368	-0.00819	-0.13152	0.22093	0.07062	0.01123	-0.0696	0.1612	0.08157	0.84637
56	1.91804	0	0.66282	-0.00724	-0.13159	0.22095	0.07115	0.01218	-0.06981	0.15862	0.0813	0.84602
57	1.97039	0	0.65951	-0.00475	-0.13207	0.22066	0.07087	0.01196	-0.06992	0.16302	0.08075	0.84643
58	1.60215	0	0.65235	-0.02779	-0.10185	0.22073	0.06792	0.01209	-0.06193	0.19178	-0.00781	0.83969
59	1.60933	0	0.65207	-0.02693	-0.10231	0.22086	0.06792	0.01204	-0.06207	0.19249	-0.00759	0.83984
60	1.61209	0	0.65087	-0.02463	-0.10331	0.22105	0.06825	0.01277	-0.06252	0.19151	-0.00741	0.83979
61	1.61042	0	0.6492	-0.02211	-0.1042	0.22116	0.06865	0.01364	-0.06298	0.18957	-0.0072	0.8397
62	1.57529	0	0.64136	0.0009	-0.11249	0.2265	0.07132	0.0173	-0.06713	0.1789	-0.00382	0.84044
63	1.64124	0	0.63388	0.0039	-0.1127	0.22457	0.07047	0.01702	-0.0667	0.182	-0.00287	0.84082

變數代號	常數項	$D\_KD$	$D\_CS$	$D\_WD$	$D\_YS$	$N_{Rp}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$	
斷面編號	$\alpha$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$	$\beta_9$	$\beta_{10}$	$R^2$
64	1.73869	0	0.62513	0.01192	-0.11483	0.22401	0.06981	0.01649	-0.06704	0.18813	0.00107	0.84183
65	1.78061	0	0.62059	0.01832	-0.11653	0.22477	0.07006	0.01668	-0.06764	0.19186	0.00212	0.84232
66	1.78635	0	0.61985	0.01923	-0.11678	0.22483	0.07003	0.01663	-0.06771	0.19219	0.00229	0.84242
67	1.52985	0	0.59596	0.05929	-0.12392	0.23052	0.06971	0.01505	-0.07026	0.18457	-0.03698	0.84317
68	1.56475	0	0.59246	0.06086	-0.12402	0.22975	0.06945	0.01491	-0.07013	0.18677	-0.03603	0.84344
69	1.68608	0	0.58	0.07289	-0.12672	0.22988	0.06956	0.01398	-0.07103	0.19323	-0.03123	0.84524
70	1.70343	0	0.56732	0.08739	-0.12968	0.2309	0.06951	0.01348	-0.07206	0.18713	-0.02877	0.8468
71	1.71236	0	0.56586	0.0889	-0.12995	0.23096	0.0695	0.01342	-0.07214	0.18763	-0.02852	0.84696
72	1.82722	0	0.53851	0.11682	-0.13431	0.23222	0.0696	0.01285	-0.07369	0.18862	-0.02253	0.84964
73	1.93538	0	0.50724	0.15035	-0.1393	0.23445	0.07029	0.01326	-0.07593	0.18901	-0.0185	0.85228
74	1.97042	0	0.47911	0.17466	-0.14181	0.23711	0.07267	0.01354	-0.08572	0.13725	0.0104	0.85248
75	2.03183	0	0.46104	0.19712	-0.14552	0.23988	0.0735	0.01313	-0.08701	0.14009	0.01271	0.8543
76	2.13659	0	0.45448	0.20134	-0.14607	0.23897	0.07325	0.01292	-0.08677	0.14888	0.01453	0.8547
77	2.20316	0	0.41991	0.23834	-0.15158	0.24107	0.07367	0.01162	-0.08768	0.14211	0.0164	0.85791
78	2.27637	0	0.42792	0.22515	-0.14913	0.23831	0.0732	0.01251	-0.08676	0.15047	0.0179	0.85663
79	2.75442	0	0	0.48192	-0.01398	0.23831	0.04996	0.00587	-0.07257	0.13437	0.04349	0.83191
80	2.72582	0	0	0.48775	-0.01866	0.23954	0.05063	0.00566	-0.07339	0.13031	0.04301	0.83408
81	2.70426	0	0	0.49484	-0.02522	0.24079	0.05195	0.00528	-0.07456	0.12464	0.04181	0.83712
82	2.74116	0	0	0.49665	-0.02772	0.24072	0.05223	0.00518	-0.07478	0.1263	0.04178	0.83811
83	2.88276	0	0	0.49977	-0.03608	0.23836	0.05291	0.00546	-0.0751	0.12616	0.04487	0.84112
84	2.90148	0	0	0.50606	-0.04272	0.239	0.05384	0.00511	-0.07597	0.12278	0.04478	0.84386
85	2.92135	0	0	0.5066	-0.04373	0.23891	0.05394	0.00505	-0.07603	0.12208	0.04627	0.84426
86	3.08854	0	0	0.51756	-0.05861	0.23822	0.05571	0.00463	-0.07682	0.12286	0.04772	0.84885
87	3.14662	0	0	0.51661	-0.05892	0.2382	0.05594	0.00447	-0.07729	0.12333	0.04864	0.84995
88	2.90315	0	0	0.49847	-0.04377	0.24008	0.06219	0.00508	-0.08136	0.14422	-0.01483	0.84696
89	3.01313	0	0	0.49731	-0.04342	0.24128	0.06217	0.00463	-0.08296	0.14339	-0.01038	0.85059
90	3.10498	0	0	0.49227	-0.04199	0.23987	0.06187	0.0044	-0.08269	0.1427	-0.00783	0.85141
91	3.57358	0	0	0.47549	-0.03863	0.23481	0.06059	0.00373	-0.08212	0.14745	0.00195	0.85534
92	3.81391	0	0	0.46771	-0.03674	0.23266	0.06015	0.00333	-0.08197	0.14999	0.00642	0.85725
93	4.01175	0	0	0.46161	-0.03528	0.23144	0.05985	0.00293	-0.08201	0.15278	0.00704	0.85909
94	4.1574	0	0	0.45379	-0.0332	0.22988	0.06071	0.00477	-0.08276	0.13828	0.01555	0.86081
95	4.39261	0	0	0.44807	-0.03206	0.22792	0.06043	0.00472	-0.08233	0.14111	0.02121	0.86164
96	4.91367	0	0	0.41751	-0.02604	0.21671	0.05904	0.00365	-0.07686	0.12417	0.02601	0.86187
97	4.33622	0	0	0.39769	-0.01553	0.21046	0.05905	0.00256	-0.07886	0.08975	-0.00629	0.85638
98	4.3247	0	0	0.39413	-0.01369	0.20948	0.05975	0.00481	-0.07711	0.08439	-0.00304	0.85394
99	6.94669	0	0	0.25356	0.06337	0.18908	0.05094	0.00098	-0.07747	0.08444	-0.00065	0.86035
100	8.58051	0	0	0.18433	0.09525	0.17351	0.04614	-0.00021	-0.07296	0.07408	-0.00226	0.8574
101	9.11757	0	0	0.15033	0.10847	0.16282	0.04487	-0.00022	-0.06655	0.0591	-0.00172	0.84754
102	9.85223	0	0	0.12288	0.11502	0.14904	0.04076	-0.00095	-0.06113	0.0567	-0.01078	0.84443
103	12.01133	0	0	0.10678	0.11486	0.14201	0.03696	-0.00188	-0.06233	0.0696	-0.00546	0.85576
104	14.8977	0	0	0.09396	0.11043	0.1337	0.0331	-0.00253	-0.06199	0.06932	0.00505	0.86813
105	14.6043	0	0	0.0968	0.1161	0.13951	0.03408	-0.00198	-0.06597	0.05019	0.01548	0.8706
106	15.89434	0	0	0.08171	0.11379	0.12882	0.03205	-0.00248	-0.05931	0.04812	0.01335	0.86482
107	17.18091	0	0	0.07104	0.10606	0.11715	0.02963	-0.00164	-0.05351	0.03689	0.01812	0.86111
108	18.71268	0	0	0.07247	0.10094	0.11495	0.02703	-0.0022	-0.05415	0.00823	0.05092	0.86873
109	18.91201	0	0	0.07339	0.10396	0.11756	0.02766	-0.00253	-0.05524	0.02194	0.03603	0.86877
110	20.03032	0	0	0.0648	0.10179	0.11053	0.02672	-0.00264	-0.0506	0.02853	0.03125	0.86426
111	21.63157	0	0	0.05295	0.09305	0.09639	0.02504	-0.0017	-0.04309	0.02767	0.02025	0.85568
112	25.77323	0	0	0.04276	0.0906	0.08963	0.02236	-0.00221	-0.04252	0.04166	0.01378	0.86698
113	28.90222	0	0	0.03674	0.0792	0.07841	0.01951	-0.00167	-0.03814	0.04708	0.00802	0.87295
114	29.98882	0	0	0.03631	0.08165	0.08059	0.01882	-0.00196	-0.03935	0.0486	0.00261	0.87232
115	29.84203	0	0	0.03677	0.0898	0.08586	0.02042	-0.00232	-0.04152	0.03763	0.00875	0.86887
116	31.54829	0	0	0.0405	0.08127	0.08285	0.01939	-0.00209	-0.04072	0.04338	0.00462	0.8754
117	34.08736	0	0	0.02047	0.09082	0.078	0.01833	-0.00222	-0.03923	0.04149	0.00634	0.86987
118	32.97349	0	0	0.00902	0.10228	0.07864	0.01824	-0.00201	-0.03957	0.02175	0.00405	0.86143
119	35.00473	0	0	0.00084	0.0984	0.0704	0.01714	-0.00208	-0.03505	0.01224	0.01115	0.85533
120	35.84185	0	0	0.00001	0.10067	0.0719	0.01666	-0.00199	-0.03593	0.01768	0.0108	0.85776
121	38.86304	0	0	-0.00203	0.09799	0.0689	0.01482	-0.00181	-0.03385	0.02191	0.01103	0.85542
122	42.3581	0	0	-0.00176	0.08272	0.05824	0.0125	-0.00174	-0.02799	0.01976	0.00917	0.85262
123	45.00251	0	0	0	0.07837	0.05653	0.01162	-0.00136	-0.02754	0.02351	0.00863	0.85528
124	50.65681	0	0	0	0.05551	0.03946	0.00837	-0.00123	-0.01848	0.01583	0.00578	0.8474
125	49.04427	0	0	0	0.08196	0.054	0.01303	-0.00127	-0.01187	0.01235	0.00369	0.85916
126	65.13777	0	0	0	0.0506	0.0346	0.0066	-0.00043	-0.00004	0.03178	0.0008	0.89958
127	73.34428	0	0	0	0.04048	0.02856	0.00453	-0.00019	0.00132	0.03497	0.00036	0.91725
128	76.69614	0	0	0	0.04658	0.03322	0.00482	-0.00011	0.00173	0.04256	0.00026	0.92412

表 5-26 風險因子之統計特性

風險因子	平均值	變異數	變異係數
$D_{KD}$	861	20006.971	0.164
$D_{CS}$	795	17150.370	0.165
$D_{WD}$	868	16716.140	0.149
$D_{YS}$	928	22571.015	0.162
$N_{Rp}$	0.116	0.005	0.635
$TD$	4.787	0.209	0.096
$K$	1.053	0.341	0.555
$\varepsilon_Q^*$	114.510	316.598	0.155
$n_c\_1$	0.030	1.27E-05	0.119
$n_c\_2$	0.034	8.41E-06	0.085
$n_c\_3$	0.037	7.00E-06	0.072
$n_c\_4$	0.038	8.19E-06	0.075
$n_c\_5$	0.040	9.42E-06	0.076
$n_c\_6$	0.042	1.01E-05	0.075
$n_c\_7$	0.044	1.12E-05	0.077
$n_c\_8$	0.045	1.09E-05	0.073
$n_c\_9$	0.048	1.54E-05	0.082
$n_c\_10$	0.050	1.78E-05	0.084
$n_c\_11$	0.054	2.41E-05	0.091
$n_c\_12$	0.060	4.21E-05	0.109
$n_f\_1$	0.048	1.22E-06	0.023
$n_f\_2$	0.051	1.07E-05	0.065
$n_f\_3$	0.052	1.30E-05	0.070
$n_f\_4$	0.053	1.94E-05	0.083
$n_f\_5$	0.055	3.91E-05	0.113
$n_f\_6$	0.058	5.44E-05	0.127
$n_f\_7$	0.059	5.42E-05	0.124
$n_f\_8$	0.063	8.27E-05	0.145
$n_f\_9$	0.066	1.29E-04	0.171
$n_f\_10$	0.071	1.36E-04	0.165
$n_f\_11$	0.078	2.25E-04	0.193
$n_f\_12$	0.089	3.88E-04	0.222

表 5-27 不同變異程度之風險因子之統計特性

風險因子	衍生值	CV=10%	CV= 20%	CV= 30%	CV= 40%	CV= 50%
統計特性	變異數	平均值	平均值	平均值	平均值	平均值
$D_{KD}$	17989.36	1341.24	670.622	447.081	335.311	268.249
$D_{CS}$	16019.9	1265.7	632.849	421.899	316.424	253.139
$D_{WD}$	14160.62	1189.98	594.992	396.661	297.496	237.997
$D_{YS}$	16120.96	1269.68	634.842	423.228	317.421	253.937
$N_{Rp}$	0.005412	0.735669	0.367834	0.245223	0.183917	0.147134
$TD$	0.209223	4.57409	2.287045	1.524697	1.143522	0.914818
$K$	0.341095	5.840338	2.920169	1.946779	1.460084	1.168068
$\varepsilon_Q^*$	316.5981	177.932	88.96602	59.31068	44.48301	35.58641
$n_{c\_1}$	1.27E-05	0.035657	0.017829	0.011886	0.008914	0.007131
$n_{c\_2}$	8.41E-06	0.029005	0.014502	0.009668	0.007251	0.005801
$n_{c\_3}$	7E-06	0.026454	0.013227	0.008818	0.006614	0.005291
$n_{c\_4}$	8.19E-06	0.028614	0.014307	0.009538	0.007153	0.005723
$n_{c\_5}$	9.42E-06	0.030694	0.015347	0.010231	0.007673	0.006139
$n_{c\_6}$	1.01E-05	0.031734	0.015867	0.010578	0.007934	0.006347
$n_{c\_7}$	1.12E-05	0.033479	0.01674	0.01116	0.00837	0.006696
$n_{c\_8}$	1.09E-05	0.032975	0.016487	0.010992	0.008244	0.006595
$n_{c\_9}$	1.54E-05	0.039248	0.019624	0.013083	0.009812	0.00785
$n_{c\_10}$	1.78E-05	0.042207	0.021103	0.014069	0.010552	0.008441
$n_{c\_11}$	2.41E-05	0.049054	0.024527	0.016351	0.012263	0.009811
$n_{c\_12}$	4.21E-05	0.06492	0.03246	0.02164	0.01623	0.012984
$n_{f\_1}$	1.22E-06	0.011058	0.005529	0.003686	0.002765	0.002212
$n_{f\_2}$	1.07E-05	0.032773	0.016387	0.010924	0.008193	0.006555
$n_{f\_3}$	1.3E-05	0.036038	0.018019	0.012013	0.009009	0.007208
$n_{f\_4}$	1.94E-05	0.044075	0.022037	0.014692	0.011019	0.008815
$n_{f\_5}$	3.91E-05	0.062553	0.031276	0.020851	0.015638	0.012511
$n_{f\_6}$	5.44E-05	0.073783	0.036891	0.024594	0.018446	0.014757
$n_{f\_7}$	5.42E-05	0.073594	0.036797	0.024531	0.018399	0.014719
$n_{f\_8}$	8.27E-05	0.090943	0.045472	0.030314	0.022736	0.018189
$n_{f\_9}$	0.000129	0.113372	0.056686	0.037791	0.028343	0.022674
$n_{f\_10}$	0.000136	0.116534	0.058267	0.038845	0.029134	0.023307
$n_{f\_11}$	0.000225	0.149925	0.074963	0.049975	0.037481	0.029985
$n_{f\_12}$	0.000388	0.197048	0.098524	0.065683	0.049262	0.03941

表 5-28 風險因子變異程度對溢堤機率變化

左岸							
關渡							
變異係數	$D$	$N_{Rp}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
10%	0.0052	0.0113	0.0008	0.0033	0.0037	0.0044	0.0000
20%	0.0025	0.0072	0.0000	0.0033	0.0032	0.0015	0.0000
30%	0.0020	0.0055	0.0000	0.0033	0.0029	0.0008	0.0000
40%	0.0020	0.0045	0.0000	0.0034	0.0027	0.0005	0.0000
50%	0.0024	0.0039	0.0000	0.0034	0.0026	0.0003	0.0000
中山橋							
變異係數	$D$	$N_{Rp}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
10%	0.1582	0.7246	0.0045	0.0092	0.0038	0.0018	0.0135
20%	0.0028	0.1707	0.0001	0.0077	0.0077	0.0000	0.0043
30%	0.0027	0.0487	0.0000	0.0070	0.0115	0.0000	0.0019
40%	0.0108	0.0209	0.0000	0.0065	0.0153	0.0000	0.0011
50%	0.0253	0.0111	0.0000	0.0061	0.0192	0.0000	0.0008
五堵							
變異係數	$D$	$N_{Rp}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
10%	0.8545	0.9982	0.4811	0.5410	0.4121	0.2820	0.6951
20%	0.1515	0.9433	0.3729	0.5210	0.5355	0.0950	0.5739
30%	0.0516	0.8095	0.3396	0.5093	0.6026	0.0436	0.5138
40%	0.0407	0.6848	0.3239	0.5009	0.6453	0.0259	0.4816
50%	0.0494	0.5854	0.3147	0.4944	0.6742	0.0184	0.4617
員山子							
變異係數	$D$	$N_{Rp}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
10%	0.0083	0.7188	0.0001	0.0001	0.0000	0.0004	0.0059
20%	0.0000	0.0261	0.0000	0.0001	0.0011	0.0000	0.0003
30%	0.0000	0.0028	0.0000	0.0001	0.0091	0.0000	0.0001
40%	0.0000	0.0008	0.0000	0.0001	0.0245	0.0000	0.0000
50%	0.0000	0.0003	0.0000	0.0001	0.0422	0.0000	0.0000

右岸							
關渡							
變異係數	$D$	$N_{R_p}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
10%	0.9991	0.9995	0.9945	0.9987	0.9988	0.9989	0.9613
20%	0.9983	0.9993	0.0080	0.9987	0.9986	0.9978	0.8646
30%	0.9973	0.9991	0.0000	0.9987	0.9985	0.9966	0.7540
40%	0.9962	0.9990	0.0000	0.9987	0.9985	0.9954	0.6517
50%	0.9944	0.9988	0.0000	0.9987	0.9984	0.9941	0.5660
中山橋							
變異係數	$D$	$N_{R_p}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
10%	0.6436	0.8809	0.0236	0.0478	0.0220	0.0126	0.0453
20%	0.0091	0.3257	0.0002	0.0411	0.0409	0.0001	0.0128
30%	0.0035	0.1301	0.0000	0.0376	0.0572	0.0000	0.0055
40%	0.0074	0.0720	0.0000	0.0353	0.0720	0.0000	0.0032
50%	0.0196	0.0481	0.0000	0.0336	0.0859	0.0000	0.0022
五堵							
變異係數	$D$	$N_{R_p}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
10%	0.9946	0.9994	0.6139	0.6824	0.5447	0.3595	0.6646
20%	0.1744	0.9609	0.4189	0.6617	0.6767	0.1110	0.5905
30%	0.0439	0.8580	0.3573	0.6494	0.7418	0.0451	0.5644
40%	0.0273	0.7655	0.3285	0.6409	0.7793	0.0256	0.5513
50%	0.0281	0.6968	0.3120	0.6343	0.8021	0.0177	0.5435
員山子							
變異係數	$D$	$N_{R_p}$	$TD$	$K$	$\varepsilon_Q^*$	$n_c$	$n_f$
10%	3.68E-05	1.57E-01	1.00E-08	2.00E-08	0.00E+00	1.50E-07	1.52E-06
20%	0.00E+00	1.23E-04	0.00E+00	2.00E-08	5.50E-07	0.00E+00	2.00E-08
30%	0.00E+00	2.67E-06	0.00E+00	2.00E-08	2.10E-05	0.00E+00	0.00E+00
40%	0.00E+00	3.00E-07	0.00E+00	2.00E-08	1.10E-04	0.00E+00	0.00E+00
50%	0.00E+00	7.00E-08	0.00E+00	2.00E-08	2.69E-04	0.00E+00	0.00E+00

表 5-29 風險因子對溢堤機率之影響程度排序表

左岸	關渡	中山橋	五堵	員山子	TOTAL
$D$	3	2	1	3	9
$N_{Rp}$	1	1	2	1	5
$TD$	5	5	6	6	22
$K$	6	6	7	7	26
$\varepsilon_Q^*$	4	3	4	2	13
$n_c$	2	7	3	5	17
$n_f$	7	4	5	4	20
左岸	關渡	中山橋	五堵	員山子	TOTAL
$D$	4	2	1	3	10
$N_{Rp}$	5	1	3	1	10
$TD$	1	5	4	6	16
$K$	7	6	7	7	27
$\varepsilon_Q^*$	6	3	5	2	16
$n_c$	3	7	2	5	17
$n_f$	2	4	6	4	16

註:排序為 1 者為風險因子在不同變異程度下之斜率平均值最大者,排序為 2 者次之...依此類推。故總和越小者表示敏感程度越大,反之則敏感程度越小。

表 5-30 基隆河流域各斷面左右岸堤防高程

樁號	斷面編號	左岸堤防高(m)	右岸堤防高(m)	樁號	斷面編號	左岸堤防高(m)	右岸堤防高(m)	樁號	斷面編號	左岸堤防高(m)	右岸堤防高(m)
K01	1	6.04	3.54	K43	44	12.89	13.92	K87	87	20.73	24.72
K02	2	5.9	3.49	K44	45	13.14	13.15	K88	88	20.77	22.28
K03	3	5.89	3.64	K45	46	13.16	13.71	K89	89	22.17	21.09
K04	4	5.68	5.04	K46	47	13.2	13.58	K90	90	23.27	23.92
K05	5	5.88	5.34	K47	48	13.43	13.68	K92	91	21.48	20.66
K06	6	6	9.62	K48	49	13.58	13.88	K93	92	20.92	20.99
K07	7	6.12	9.6	K48-1	50	13.38	13	K94	93	24.53	24.81
K09	8	10.05	5.98	K49	51	13.31	13.29	K95	94	22.33	23.26
K11	9	10.49	10.42	K50	52	13.36	12.79	K96	95	23.57	23.14
K11A	10	10.2	9.99	K51	53	13.25	13.26	K96-1	96	26.17	25.58
K12	11	10.06	10.03	K52	54	13.67	13.38	K97	97	24.19	23.34
K13	12	10.03	10.27	K52-1	55	13.53	16.93	K98	98	29.55	27.41
K14	13	10.17	9.78	K53	56	15.39	15.24	K100	99	28.78	27.33

K14A	14	10.17	9.78	K54	57	13.97	28.52	K101	100	39.88	30.58
K15	15	10.1	10.23	K55	58	14.01	24.63	K102	101	31.26	32
K15A	16	10.18	10.18	K55-1	59	16.38	20.49	K103	102	29.68	37.82
K15B	17	10.29	10.29	K55-2	60	19.92	19.42	K104	103	30.12	36.95
K16	18	10.67	10.43	K55-3	61	17.76	20.39	K105	104	39.38	37.99
K16A	19	10.89	10.5	K57	62	17.12	18.86	K106	105	45.36	35.69
K16C	20	12.93	10.93	K58	63	14.9	14.65	K107	106	42.14	38.43
K17	21	11	11.04	K60	64	14.79	14.98	K108	107	38.4	38.52
K18	22	11.6	10.89	K61	65	17.52	16.99	K109	108	39.29	39.31
K19	23	11.07	10.94	K62	66	15.12	14.77	K110	109	39.84	39.45
K20	24	11.08	10.24	K66	67	18.68	15.99	K111	110	39.88	42.57
K20-1	25	10.93	11.08	K67	68	15.37	17.53	K112	111	41.97	42.06
K20-2	26	11.14	11	K70	69	16.83	15.81	K113	112	44.43	45.11
K20-3	27	11.32	11.07	K71	70	17.2	17.95	K114	113	42.5	44.12
K20-4	28	11.4	11.08	K72	71	17.91	17.91	K115	114	46.55	45.5
K20-5	29	10.25	11.14	K73	72	17.77	17.14	K116	115	47.21	51.31
K20-7	30	11.4	11.15	K74	73	17.82	17.98	K117	116	53	52.31
K28A	31	11.56	11.43	K75	74	19.95	22.28	K118	117	53.19	51.13
K20-8	32	11.61	12.24	K76	75	18.59	18.77	K119	118	52.78	52.37
K20-8A	33	11.62	11.5	K77	76	23.39	19.01	K120	119	51.92	55.37
K34A	34	11.73	11.75	K78	77	19.9	19.65	K121	120	54.79	55.45
K35	35	11.75	12	K79	78	19.9	19.08	K122	121	54.37	63.24
K35A	36	14.03	12.95	K80	79	19.4	19.44	K123	122	57.65	56.76
K35B	37	12.08	11.99	K80-1	80	19.98	19.29	K124	123	61.8	62.95
K36	38	12.05	12.18	K81	81	19.51	19.26	K125	124	67.62	65.38
K37	39	13.94	12.2	K82	82	23.3	20.69	K126	125	77.77	73.16
K37-2	40	12.58	12.22	K83	83	20.17	19.84	K127	126	91.77	87.52
K40	41	12.85	12.85	K84	84	20.42	20.19	K128	127	89.46	88.1
K41	42	12.85	11.94	K85	85	20.37	21.39	K129	128	98.5	96.88
K42	43	12.96	13.96	K86	86	20.86	18.43				

表 5-31 不同出水高之溢堤機率

左岸				
出水高	關渡	中山橋	五堵	員山子
0m	0.7635	0.1259	0.6357	0.0306
0.5m	0.3299	0.0595	0.5611	0.0073
1m	0.0545	0.0264	0.4859	0.0013
1.5m	0.0028	0.0111	0.4121	0.0002
右岸				
出水高	關渡	中山橋	五堵	員山子
0m	1.0000	0.4559	0.8739	0.0003
0.5m	1.0000	0.2424	0.8053	0.0000
1m	1.0000	0.0999	0.7220	0.0000
1.5m	0.9987	0.0329	0.6306	0.0000

表 5-32 底床變化率與溢堤機率及水位統計特性之比較表

SEC.10(K11A)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.00450709	0.02451068	7.534	1.315
91 年	1.005112	0.0054218	0.02891567	7.587	1.326
92 年	1.008396	0.00690866	0.03605404	7.655	1.341
93 年	1.00195	0.00199763	0.01200601	7.413	1.235
94 年	1.006216	0.00253345	0.01534901	7.464	1.248
95 年	1.002288	0.00320215	0.0186163	7.527	1.259
96 年	1.015857	0.00287333	0.01719557	7.499	1.254
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	1.005112	1.202949131	1.179717168	1.007035	1.008365
92 年	1.008396	1.532842699	1.470952254	1.016061	1.019772
93 年	1.00195	0.443219461	0.4898277	0.983939	0.939163
94 年	1.006216	0.562103264	0.626217224	0.990709	0.949049
95 年	1.002288	0.710469505	0.759517892	0.999071	0.957414
96 年	1.015857	0.63751334	0.70155418	0.995354	0.953612
SEC.14(K14A)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.01439283	0.08215557	7.839	1.375
91 年	0.995457	0.01652168	0.09287807	7.895	1.384
92 年	1.000112	0.02001926	0.1092248	7.969	1.397
93 年	0.980365	0.00890341	0.05597228	7.734	1.308
94 年	0.982484	0.01091812	0.06765395	7.797	1.321
95 年	0.995372	0.0123213	0.07478044	7.846	1.328
96 年	0.994759	0.01246013	0.07478159	7.843	1.326
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	0.995457	1.147910453	1.130514583	1.007144	1.006545
92 年	1.000112	1.390918951	1.329487459	1.016584	1.016
93 年	0.980365	0.618600373	0.681296229	0.986605	0.951273
94 年	0.982484	0.758580488	0.823485857	0.994642	0.960727
95 年	0.995372	0.856072086	0.910229702	1.000893	0.965818
96 年	0.994759	0.865717861	0.9102437	1.00051	0.964364

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.22(K18)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.04933311	0.19573428	8.952	1.611
91 年	0.94436	0.05381162	0.21093389	9	1.628
92 年	0.94317	0.06183906	0.23432093	9.086	1.658
93 年	0.939915	0.03670756	0.15760489	8.771	1.56
94 年	0.924722	0.04241633	0.17725772	8.857	1.579
95 年	0.917704	0.04260972	0.18001384	8.871	1.58
96 年	0.921631	0.04481409	0.18381647	8.888	1.579
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	0.94436	1.090781019	1.077654308	1.005362	1.010552
92 年	0.94317	1.253500134	1.197137926	1.014969	1.029174
93 年	0.939915	0.744075531	0.8051982	0.979781	0.968343
94 年	0.924722	0.859794365	0.905603863	0.989388	0.980137
95 年	0.917704	0.863714451	0.919684789	0.990952	0.980757
96 年	0.921631	0.908397829	0.939112301	0.992851	0.980137
SEC.23(K19)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.14250237	0.26331022	9.295	1.67
91 年	0.967749	0.1464249	0.27334852	9.314	1.683
92 年	0.966151	0.15806666	0.29540192	9.39	1.711
93 年	0.973916	0.11610805	0.21732086	9.091	1.618
94 年	0.973182	0.1266639	0.23780871	9.171	1.635
95 年	0.959287	0.12477723	0.2374971	9.167	1.636
96 年	0.979407	0.13203645	0.24541284	9.204	1.635
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	0.967749	1.027526069	1.038123473	1.002044	1.007784
92 年	0.966151	1.109221271	1.121877913	1.010221	1.024551
93 年	0.973916	0.814779782	0.825341531	0.978053	0.968862
94 年	0.973182	0.888854691	0.903150322	0.986659	0.979042
95 年	0.959287	0.875615121	0.901966889	0.986229	0.979641
96 年	0.979407	0.926556169	0.9320293	0.99021	0.979042

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.34(K34A)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.26472667	0.39591421	10.654	1.789
91年	1.009992	0.23053491	0.35709958	10.474	1.797
92年	1.009025	0.23602641	0.36939055	10.515	1.813
93年	1.001058	0.21489069	0.32649026	10.359	1.735
94年	1.019887	0.21652061	0.33350614	10.376	1.75
95年	1.03367	0.21238683	0.33090089	10.365	1.748
96年	1.038153	0.2195439	0.33570187	10.389	1.747
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.009992	0.870841272	0.901962018	0.983105	1.004472
92年	1.009025	0.891585309	0.933006547	0.986953	1.013415
93年	1.001058	0.811745526	0.824649007	0.972311	0.969816
94年	1.019887	0.817902518	0.842369714	0.973907	0.9782
95年	1.03367	0.802287242	0.835789375	0.972874	0.977082
96年	1.038153	0.829322939	0.847915689	0.975127	0.976523
SEC.41(K40)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.39348591	0.54468804	12.266	1.91
91年	0.899121	0.3382083	0.48823028	12.003	1.914
92年	0.896121	0.34074091	0.49592395	12.03	1.929
93年	0.947585	0.34709525	0.48901315	11.987	1.882
94年	0.946518	0.34140942	0.48710909	11.973	1.89
95年	0.913856	0.3275367	0.47426407	11.916	1.889
96年	0.946438	0.33909514	0.48237406	11.96	1.885
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.899121	0.859518197	0.896348449	0.978559	1.002094
92年	0.896121	0.86595454	0.91047336	0.98076	1.009948
93年	0.947585	0.882103377	0.897785731	0.977254	0.98534
94年	0.946518	0.867653482	0.894290042	0.976113	0.989529
95年	0.913856	0.832397531	0.870707699	0.971466	0.989005
96年	0.946438	0.861772001	0.885596937	0.975053	0.986911

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.44(K43)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.5978279	0.55056178	13.311	2.231
91年	1.232885	0.57617489	0.53383207	13.199	2.251
92年	1.156416	0.57611134	0.54055391	13.232	2.266
93年	1.135797	0.57010365	0.51094925	13.061	2.204
94年	1.132376	0.5697247	0.51601348	13.082	2.207
95年	1.122572	0.56556688	0.51568525	13.073	2.218
96年	1.139907	0.58700939	0.53476339	13.177	2.233
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.232885	0.963780529	0.969613383	0.991586	1.008965
92年	1.156416	0.963674228	0.98182244	0.994065	1.015688
93年	1.135797	0.953625032	0.928050708	0.981219	0.987898
94年	1.132376	0.952991153	0.937249004	0.982796	0.989242
95年	1.122572	0.946036276	0.936652831	0.98212	0.994173
96年	1.139907	0.981903638	0.971304964	0.989933	1.000896
SEC.46(K45)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.67883423	0.73018858	14.082	2.339
91年	0.784226	0.60812444	0.66294088	13.653	2.308
92年	0.721467	0.60520905	0.66637336	13.677	2.341
93年	0.732334	0.60595996	0.64814586	13.531	2.281
94年	0.775527	0.60564452	0.65304499	13.552	2.28
95年	0.785807	0.60206565	0.65262102	13.546	2.29
96年	0.857004	0.62712272	0.67319285	13.677	2.303
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.784226	0.89583644	0.907903654	0.969536	0.986746
92年	0.721467	0.891541739	0.912604467	0.97124	1.000855
93年	0.732334	0.892647915	0.887641738	0.960872	0.975203
94年	0.775527	0.892183236	0.894351141	0.962363	0.974776
95年	0.785807	0.886911154	0.893770511	0.961937	0.979051
96年	0.857004	0.923823066	0.921943822	0.97124	0.984609

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.51(K49)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.74041696	0.86372519	14.679	2.503
91年	1.160669	0.70029224	0.83754726	14.388	2.486
92年	1.102597	0.69805682	0.83944267	14.42	2.509
93年	1.134813	0.71492079	0.84066599	14.342	2.451
94年	1.13622	0.71482736	0.84440353	14.372	2.453
95年	1.168973	0.71369428	0.84527827	14.373	2.452
96年	1.517747	0.75829194	0.87404329	14.662	2.451
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.160669	0.94580794	0.96969183	0.980176	0.993208
92年	1.102597	0.942788804	0.971886289	0.982356	1.002397
93年	1.134813	0.965565119	0.97330262	0.977042	0.979225
94年	1.13622	0.965438933	0.977629852	0.979086	0.980024
95年	1.168973	0.963908606	0.978642605	0.979154	0.979624
96年	1.517747	1.024141775	1.011946045	0.998842	0.979225
SEC.53(K51)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.78787446	0.8947891	14.965	2.532
91年	1.006604	0.7542667	0.87480065	14.681	2.511
92年	1.109435	0.74922464	0.8742467	14.68	2.508
93年	0.872643	0.76474164	0.87466929	14.62	2.502
94年	0.941861	0.76504301	0.87859181	14.654	2.504
95年	1.068493	0.76788205	0.88221107	14.686	2.511
96年	1.206352	0.81079696	0.90800466	15.019	2.524
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.006604	0.957343763	0.977661272	0.981022	0.991706
92年	1.109435	0.95094419	0.977042188	0.980956	0.990521
93年	0.872643	0.970638952	0.977514467	0.976946	0.988152
94年	0.941861	0.971021462	0.981898204	0.979218	0.988942
95年	1.068493	0.974624879	0.985943023	0.981356	0.991706
96年	1.206352	1.029094102	1.014769469	1.003608	0.99684

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.63(K58)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.70059389	0.82563127	15.94	2.629
91年	0.831497	0.67274643	0.80958273	15.744	2.624
92年	0.884973	0.67155486	0.81278839	15.778	2.648
93年	0.998884	0.69139865	0.81877184	15.758	2.65
94年	0.982564	0.68154441	0.81398346	15.713	2.643
95年	0.989123	0.67758248	0.81457996	15.698	2.653
96年	1.04355	0.72482989	0.84531632	16.011	2.658
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.831497	0.960251637	0.980562098	0.987704	0.998098
92年	0.884973	0.958550837	0.984444775	0.989837	1.007227
93年	0.998884	0.986875078	0.991691897	0.988582	1.007988
94年	0.982564	0.972809526	0.985892237	0.985759	1.005325
95年	0.989123	0.967154424	0.986614715	0.984818	1.009129
96年	1.04355	1.034593508	1.023842423	1.004454	1.011031
SEC.64(K60)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.73471485	0.80417779	16.052	2.627
91年	1.006371	0.70816994	0.7862308	15.856	2.623
92年	0.976051	0.70737626	0.79074826	15.892	2.64
93年	0.9389	0.72395585	0.79420836	15.847	2.633
94年	0.936675	0.7164557	0.79052379	15.816	2.627
95年	0.862714	0.71217962	0.79130607	15.807	2.662
96年	0.924835	0.75644622	0.8243453	16.118	2.667
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.006371	0.963870459	0.977682808	0.98779	0.998477
92年	0.976051	0.962790204	0.983300297	0.990032	1.004949
93年	0.9389	0.985356224	0.987602953	0.987229	1.002284
94年	0.936675	0.975147977	0.983021167	0.985298	1
95年	0.862714	0.969327924	0.983993937	0.984737	1.013323
96年	0.924835	1.029577965	1.025078422	1.004112	1.015226

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.66(K62)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.70699249	0.84210378	16.156	2.636
91 年	0.812637	0.67742792	0.82562577	15.952	2.635
92 年	0.762112	0.67918527	0.8306443	16.004	2.659
93 年	0.860761	0.70137716	0.83918445	16.012	2.667
94 年	0.954114	0.68822443	0.83186429	15.943	2.664
95 年	0.901062	0.68364394	0.83196921	15.926	2.683
96 年	0.788775	0.72838729	0.85911659	16.231	2.692
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	0.812637	0.958182625	0.980432329	0.987373	0.999621
92 年	0.762112	0.960668295	0.986391844	0.990592	1.008725
93 年	0.860761	0.99205744	0.99653329	0.991087	1.01176
94 年	0.954114	0.973453664	0.987840584	0.986816	1.010622
95 年	0.901062	0.966974826	0.987965177	0.985764	1.01783
96 年	0.788775	1.030261708	1.020202747	1.004642	1.021244
SEC.67(K66)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.23566172	0.76054821	16.665	2.775
91 年	0.723694	0.20491464	0.73471563	16.427	2.772
92 年	0.67785	0.21312417	0.7432737	16.49	2.794
93 年	0.703321	0.2252906	0.75451796	16.498	2.802
94 年	0.6767	0.21998757	0.75092802	16.475	2.793
95 年	0.640869	0.21457377	0.74770695	16.428	2.804
96 年	0.711947	0.24754623	0.7766331	16.684	2.805
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	0.723694	0.869528747	0.966034264	0.985719	0.998919
92 年	0.67785	0.904364824	0.977286765	0.989499	1.006847
93 年	0.703321	0.955991495	0.99207118	0.989979	1.00973
94 年	0.6767	0.933488774	0.987350979	0.988599	1.006486
95 年	0.640869	0.910516014	0.983115784	0.985779	1.01045
96 年	0.711947	1.05043038	1.021149074	1.00114	1.010811

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.69(K70)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.56428824	0.81691973	16.889	2.806
91年	0.786733	0.52606042	0.79684154	16.657	2.801
92年	0.740056	0.53158745	0.8029947	16.717	2.828
93年	0.529352	0.55870265	0.81615035	16.772	2.838
94年	0.635803	0.55432765	0.81500866	16.761	2.828
95年	0.700845	0.54857906	0.81474701	16.732	2.84
96年	0.699576	0.58802336	0.83659077	16.977	2.842
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.786733	0.932254799	0.975422077	0.99952	0.998218
92年	0.740056	0.942049492	0.982954225	1.00312	1.00784
93年	0.529352	0.99010153	0.999058194	1.006421	1.011404
94年	0.635803	0.982348401	0.997660639	1.005761	1.00784
95年	0.700845	0.972161071	0.997340351	1.00402	1.012117
96年	0.699576	1.04206205	1.024079526	1.018722	1.01283
SEC.72(K73)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.47005439	0.69344726	17.254	2.868
91年	1.06964	0.45925274	0.69192874	17.19	2.859
92年	1.004498	0.44291661	0.68155608	17.111	2.894
93年	0.91643	0.46389585	0.69185924	17.133	2.903
94年	0.950789	0.46039353	0.69125084	17.129	2.894
95年	0.975044	0.47448481	0.70731243	17.217	2.906
96年	1.036492	0.49480467	0.72101924	17.338	2.904
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.06964	0.977020425	0.997810187	0.996291	0.996862
92年	1.004498	0.942266724	0.982852077	0.991712	1.009066
93年	0.91643	0.98689824	0.997709963	0.992987	1.012204
94年	0.950789	0.979447357	0.996832607	0.992755	1.009066
95年	0.975044	1.009425335	1.019994556	0.997856	1.01325
96年	1.036492	1.052654077	1.039760745	1.004868	1.012552

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.76(K77)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.0212091	0.53753153	18.017	3.028
91 年	0.92713	0.02017717	0.53952005	17.973	3.021
92 年	1.120887	0.02005473	0.5337587	17.926	3.054
93 年	1.188387	0.02020024	0.5317335	17.884	3.043
94 年	1.237584	0.0197738	0.53566861	17.9	3.024
95 年	1.233086	0.02184348	0.5494512	17.954	3.045
96 年	1.122116	0.02426834	0.55578065	18.072	3.037
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	0.92713	0.951344942	1.003699355	0.997558	0.997688
92 年	1.120887	0.945571948	0.992981193	0.994949	1.008587
93 年	1.188387	0.952432682	0.9892136	0.992618	1.004954
94 年	1.237584	0.932326218	0.996534306	0.993506	0.998679
95 年	1.233086	1.029910746	1.022174829	0.996503	1.005614
96 年	1.122116	1.144241858	1.03394986	1.003053	1.002972
SEC.77(K78)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.33642743	0.48745165	18.364	3.123
91 年	0.498689	0.32412456	0.4828662	18.273	3.112
92 年	0.413702	0.31565132	0.4772494	18.225	3.144
93 年	0.414455	0.31972564	0.47513105	18.187	3.108
94 年	0.367381	0.31836488	0.47655473	18.181	3.104
95 年	0.737759	0.33103218	0.4960748	18.28	3.109
96 年	1.113768	0.35211093	0.5097731	18.449	3.109
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	0.498689	0.963430836	0.990593016	0.995045	0.996478
92 年	0.413702	0.938244899	0.979070232	0.992431	1.006724
93 年	0.414455	0.950355445	0.974724468	0.990362	0.995197
94 年	0.367381	0.94631071	0.977645126	0.990035	0.993916
95 年	0.737759	0.983963109	1.017690267	0.995426	0.995517
96 年	1.113768	1.04661778	1.045792131	1.004629	0.995517

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.82(k82)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.03832893	0.3274356	18.801	3.203
91年	0.933839	0.03523243	0.32532092	18.704	3.189
92年	0.820737	0.03820907	0.33441043	18.74	3.218
93年	0.730255	0.03495337	0.32304143	18.675	3.178
94年	0.788978	0.03474167	0.32552947	18.668	3.174
95年	0.762421	0.03712575	0.33773924	18.747	3.186
96年	0.845185	0.04267084	0.35046374	18.91	3.166
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.933839	0.919212459	0.993541692	0.994841	0.995629
92年	0.820737	0.996872858	1.02130138	0.996755	1.004683
93年	0.730255	0.911931797	0.986580048	0.993298	0.992195
94年	0.788978	0.906408554	0.994178611	0.992926	0.990946
95年	0.762421	0.96860909	1.031467684	0.997128	0.994692
96年	0.845185	1.11328023	1.070328761	1.005798	0.988448
SEC.85(K85)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.37486982	0.28934042	19.168	3.219
91年	0.802859	0.36230892	0.28591189	19.073	3.207
92年	0.837102	0.36842207	0.29573866	19.116	3.233
93年	0.858744	0.37067494	0.28940692	19.085	3.197
94年	0.869304	0.3703764	0.29286547	19.081	3.204
95年	0.793162	0.37842911	0.3024689	19.147	3.216
96年	0.800626	0.39941567	0.31607928	19.321	3.195
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.802859	0.966492635	0.988150532	0.995044	0.996272
92年	0.837102	0.982800029	1.022113191	0.997287	1.004349
93年	0.858744	0.988809769	1.000229833	0.99567	0.993166
94年	0.869304	0.988013386	1.012183054	0.995461	0.99534
95年	0.793162	1.009494736	1.04537382	0.998904	0.999068
96年	0.800626	1.065478331	1.092413151	1.007982	0.992544

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.88(K88)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.41969545	0.31282622	19.804	3.281
91年	0.883496	0.39734429	0.30091502	19.639	3.286
92年	0.775428	0.40998082	0.31738189	19.729	3.298
93年	0.770206	0.41028992	0.30572143	19.679	3.269
94年	0.810225	0.41066031	0.30948817	19.681	3.274
95年	0.831443	0.41941987	0.32152142	19.752	3.286
96年	0.778867	0.4443615	0.34634675	19.897	3.271
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.883496	0.946744336	0.961923908	0.991668	1.001524
92年	0.775428	0.976853144	1.014562942	0.996213	1.005181
93年	0.770206	0.977589631	0.977288381	0.993688	0.996343
94年	0.810225	0.978472152	0.989329379	0.993789	0.997867
95年	0.831443	0.999343381	1.027795624	0.997374	1.001524
96年	0.778867	1.058771307	1.107153838	1.004696	0.996952
SEC.89(K89)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.25690414	0.53842986	20.009	3.321
91年	0.970013	0.23500622	0.52260733	19.823	3.317
92年	1.014428	0.24798627	0.54044237	19.928	3.333
93年	1.061431	0.25289409	0.5357844	19.928	3.319
94年	1.123171	0.25623022	0.54353387	19.95	3.319
95年	1.076771	0.26263373	0.55449894	20.012	3.332
96年	1.065222	0.28090085	0.57447101	20.131	3.315
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.970013	0.914762292	0.970613573	0.990704	0.998796
92年	1.014428	0.965287169	1.003737738	0.995952	1.003613
93年	1.061431	0.98439087	0.995086714	0.995952	0.999398
94年	1.123171	0.997376765	1.009479433	0.997051	0.999398
95年	1.076771	1.022302443	1.029844333	1.00015	1.003312
96年	1.065222	1.093407253	1.066937502	1.006097	0.998193

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.93(K94)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.12707243	0.1799017	20.994	3.289
91 年	1.008932	0.10330538	0.15646723	20.674	3.287
92 年	0.826351	0.1265949	0.18957004	20.976	3.286
93 年	1.039149	0.1177098	0.17133668	20.785	3.336
94 年	1.078131	0.12954306	0.18904553	20.909	3.336
95 年	1.095763	0.12880575	0.19028176	20.956	3.303
96 年	1.099181	0.13365407	0.19647783	20.997	3.286
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	1.008932	0.812964543	0.869737362	0.984758	0.999392
92 年	0.826351	0.996242064	1.053742349	0.999143	0.999088
93 年	1.039149	0.926320524	0.952390556	0.990045	1.01429
94 年	1.078131	1.019442691	1.050826813	0.995951	1.01429
95 年	1.095763	1.01364041	1.05769851	0.99819	1.004257
96 年	1.099181	1.051794398	1.09213993	1.000143	0.999088
SEC.98(K98)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90 年	1	0.00127884	0.04799838	22.58	3.11
91 年	1.05255	0.00076428	0.03632167	22.307	3.094
92 年	1.109675	0.00106116	0.0447869	22.438	3.117
93 年	1.019204	0.00123237	0.0427474	22.319	3.165
94 年	1.028927	0.00167508	0.05104297	22.443	3.202
95 年	1.066578	0.0015572	0.05128762	22.524	3.191
96 年	1.063589	0.00188559	0.05695056	22.508	3.187
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90 年	1	1	1	1	1
91 年	1.05255	0.597635357	0.756726998	0.98791	0.994855
92 年	1.109675	0.829783241	0.933091909	0.993711	1.002251
93 年	1.019204	0.963662382	0.890600891	0.988441	1.017685
94 年	1.028927	1.309843295	1.063431099	0.993933	1.029582
95 年	1.066578	1.21766601	1.068528146	0.99752	1.026045
96 年	1.063589	1.474453411	1.186510045	0.996811	1.024759

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.99(K100)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.0137791	0.13569611	23.752	3.035
91年	1.01404	0.00997512	0.12048863	23.643	2.982
92年	1.035139	0.01410959	0.14997466	23.853	2.999
93年	1.083646	0.01128621	0.12161749	23.635	3.032
94年	1.123525	0.01353594	0.1343888	23.701	3.068
95年	1.115131	0.01366367	0.13691215	23.767	3.061
96年	1.11425	0.0159532	0.16108411	23.974	2.994
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.01404	0.723931171	0.887929875	0.995411	0.982537
92年	1.035139	1.023984876	1.105224461	1.004252	0.988138
93年	1.083646	0.819081798	0.896248905	0.995074	0.999012
94年	1.123525	0.982352984	0.990365899	0.997853	1.010873
95年	1.115131	0.99162282	1.008961495	1.000632	1.008567
96年	1.11425	1.157782439	1.187094531	1.009347	0.986491
SEC.101(K102)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.00066764	0.00007112	25.067	2.735
91年	0.954816	0.00045442	0.0000501	24.958	2.71
92年	0.93676	0.00074132	0.00008922	25.098	2.721
93年	1.085805	0.00064746	0.00007561	25.068	2.721
94年	1.200724	0.00064909	0.0000649	25.159	2.701
95年	1.132768	0.00061068	0.00006227	25.108	2.728
96年	1.056612	0.00083828	0.00011268	25.249	2.711
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.954816	0.680636271	0.704443195	0.995652	0.990859
92年	0.93676	1.110358876	1.254499438	1.001237	0.994881
93年	1.085805	0.96977413	1.063132733	1.00004	0.994881
94年	1.200724	0.972215565	0.912542182	1.00367	0.987569
95年	1.132768	0.914684561	0.87556243	1.001636	0.997441
96年	1.056612	1.255586843	1.584364454	1.007261	0.991225

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.112(K113)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.00025377	0.00004079	38.301	2.247
91年	1.022903	0.00038309	0.00004169	38.558	2.169
92年	0.968451	0.00090599	0.00013606	38.736	2.189
93年	1.071776	0.00036432	0.00003845	38.447	2.198
94年	1.15993	0.00103239	0.00014835	38.678	2.203
95年	1.168521	0.00058594	0.0000653	38.777	2.14
96年	1.150561	0.00045672	0.00006568	38.652	2.178
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.022903	1.509595303	1.022064231	1.00671	0.965287
92年	0.968451	3.570122552	3.335621476	1.011357	0.974188
93年	1.071776	1.435630689	0.942632998	1.003812	0.978193
94年	1.15993	4.068211373	3.636920814	1.009843	0.980418
95年	1.168521	2.308941167	1.600882569	1.012428	0.952381
96年	1.150561	1.799739922	1.610198578	1.009164	0.969292
SEC.118(K119)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.00609457	0.02669318	47.631	2.322
91年	1.080881	0.00671273	0.03010312	47.673	2.325
92年	1.154533	0.0140746	0.04546777	48.104	2.274
93年	0.962055	0.00472516	0.0162205	47.434	2.338
94年	1.160712	0.00799688	0.02854872	47.603	2.355
95年	1.152874	0.006945	0.02929986	47.586	2.356
96年	1.177999	0.00967501	0.02895923	47.676	2.349
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.080881	1.101427992	1.127745739	1.000882	1.001292
92年	1.154533	2.309367191	1.703347821	1.009931	0.979328
93年	0.962055	0.775306543	0.607664579	0.995864	1.006891
94年	1.160712	1.312131947	1.069513636	0.999412	1.014212
95年	1.152874	1.139538967	1.097653408	0.999055	1.014643
96年	1.177999	1.587480331	1.084892471	1.000945	1.011628

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

SEC.125(K126)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.00006232	0.5796909	71.794	2.265
91年	1.290043	0.00006076	0.54274604	71.668	2.311
92年	1.251806	0.00005615	0.52708953	71.497	2.368
93年	1.01174	0.00002758	0.38732469	71.048	2.467
94年	1.030095	0.00003238	0.41539664	71.09	2.462
95年	1.101041	0.00005593	0.46881536	71.277	2.455
96年	0.868446	0.00003923	0.46481817	71.169	2.432
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	1.290043	0.974967908	0.936268001	0.998245	1.020309
92年	1.251806	0.900994865	0.909259624	0.995863	1.045475
93年	1.01174	0.442554557	0.668157271	0.989609	1.089183
94年	1.030095	0.51957638	0.716582993	0.990194	1.086976
95年	1.101041	0.897464698	0.808733344	0.992799	1.083885
96年	0.868446	0.62949294	0.801837962	0.991295	1.073731
SEC.127(K128)					
年份	H <sub>b</sub>	Pf_L	Pf_R	HMAX_MEAN	HMAX_STDEV
90年	1	0.00000019	0.00171499	84.11	1.397
91年	0.933551	0.00000005	0.00068745	83.812	1.431
92年	0.85197	0.00000004	0.00060392	83.807	1.418
93年	0.990353	0.00000007	0.00117718	83.988	1.405
94年	0.938305	0.00000002	0.00050265	83.786	1.417
95年	0.906711	0.00000003	0.00059457	83.763	1.427
96年	0.934473	0.00000003	0.0004781	83.714	1.432
年份	H <sub>b</sub>	V_Pf_L	V_Pf_R	V_HMAX_MEAN	V_HMAX_STDEV
90年	1	1	1	1	1
91年	0.933551	0.263157895	0.400847818	0.996457	1.024338
92年	0.85197	0.210526316	0.352141995	0.996398	1.015032
93年	0.990353	0.368421053	0.686406335	0.99855	1.005727
94年	0.938305	0.105263158	0.293092088	0.996148	1.014316
95年	0.906711	0.157894737	0.346690068	0.995874	1.021475
96年	0.934473	0.157894737	0.278777136	0.995292	1.025054

註: H<sub>b</sub> 表示為底床高程變化率; Pf\_L 表示為左岸溢堤機率; Pf\_R 表示為右岸溢堤機率; HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值, HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差; V\_Pf\_L 表示為左岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_Pf\_R 表示為右岸溢堤機率與 90 年之溢堤機率變化率; V\_HMAX\_MEAN 表示為洪水位之平均值與 90 年之水位平均值之變化率; V\_HMAX\_STDEV 表示為洪水位之標準偏差與 90 年之水位標準偏差之變化率。

表 5-33 斷面沖淤對溢堤機率之分析表

斷面編號 年份	10	14	22	23	34	41	44	46	51	53	63	64	66	67	69
90 與 91	◎	◎				◎		◎			◎		◎	◎	◎
91 與 92	◎	◎							◎ (L)		◎ (R)	◎ (L)			
92 與 93	◎	◎	◎		◎		◎	◎ (L)	◎		◎		◎	◎	
93 與 94	◎	◎			◎	◎	◎ (L)	◎ (R)	◎ (L)	◎	◎	◎			◎
94 與 95		◎		◎		◎	◎		◎ (R)	◎	◎ (R)	◎ (L)	◎ (L)	◎	
95 與 96				◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	
斷面編號 年份	72	76	77	82	85	88	89	93	98	99	101	112	118	125	127
90 與 91		◎ (L)	◎	◎	◎	◎	◎					◎	◎	◎	◎
91 與 92	◎		◎		◎		◎		◎	◎			◎	◎	◎
92 與 93		◎ (L)	◎ (L)	◎	◎ (L)	◎ (R)	◎ (L)		◎ (R)				◎	◎	◎
93 與 94		◎ (R)	◎ (L)	◎ (R)	◎ (R)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
94 與 95	◎		◎			◎		◎ (R)	◎ (R)		◎		◎ (L)	◎	
95 與 96	◎		◎	◎	◎			◎				◎ (L)	◎ (L)	◎	

註：「◎」代表該斷面之底床高程變化率與溢堤機率呈現正比之趨勢。

「◎(L)」代表該斷面之底床高程變化率只與左岸溢堤機率呈現正比之趨勢，與右岸則呈反比之趨勢。

「◎(R)」代表該斷面之底床高程變化率只與右岸溢堤機率呈現正比之趨勢，與左岸則呈反比之趨勢。



圖 5-1 基隆河流域概況

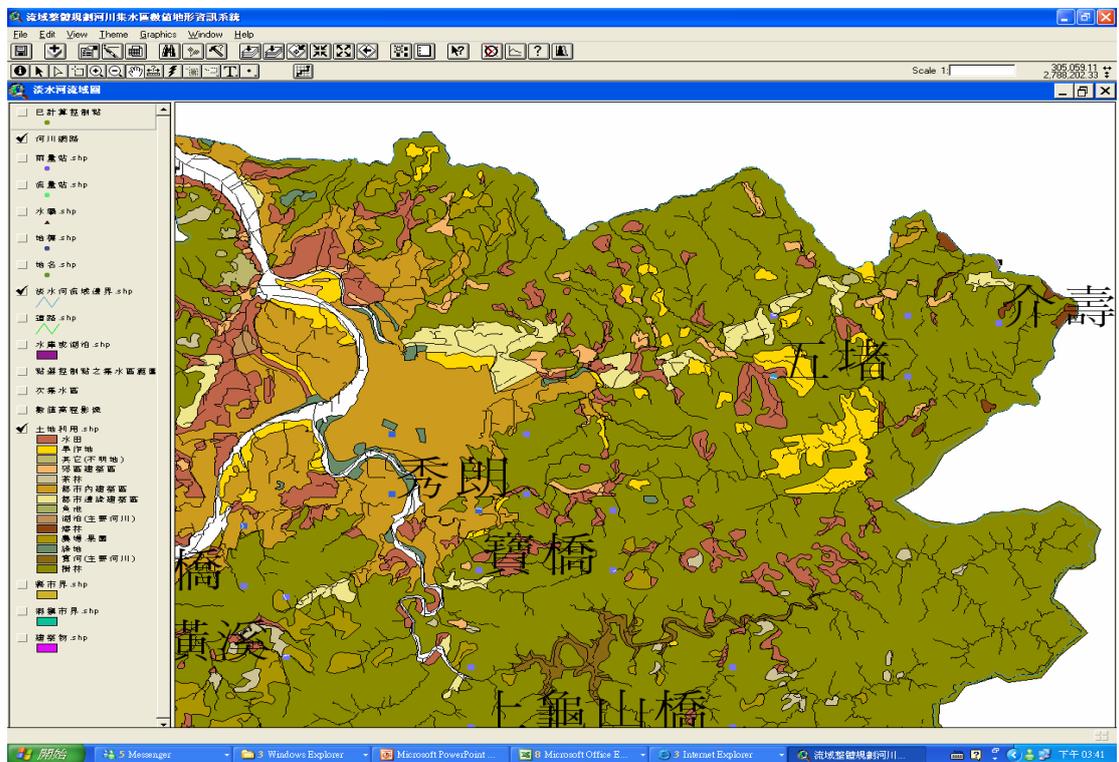


圖 5-2 基隆河流域土地利用狀況

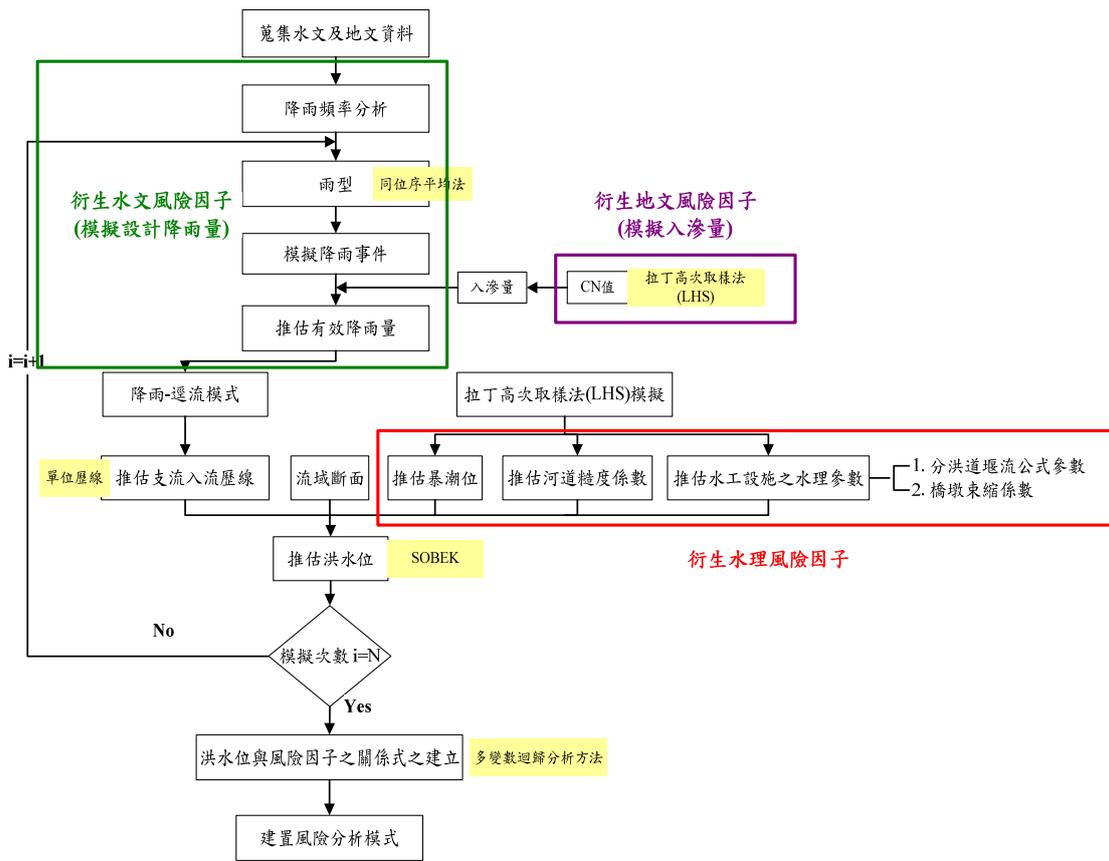


圖 5-3 风险分析模式之應用流程圖

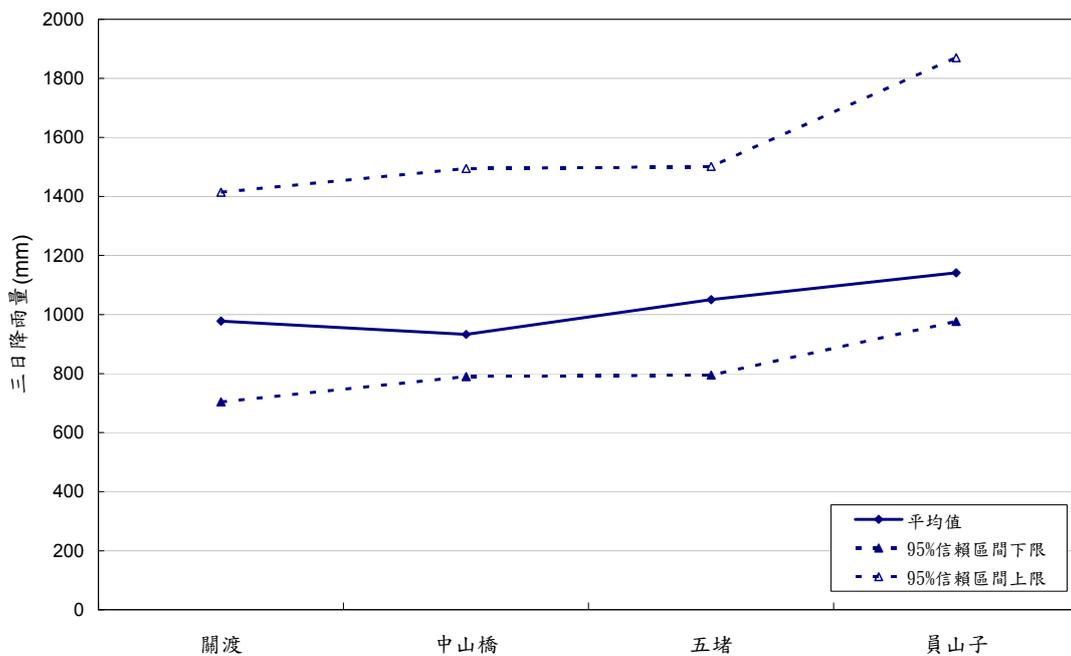


圖 5-4 基隆河流域各控制點 200 年 3 日降雨量統計分析結果

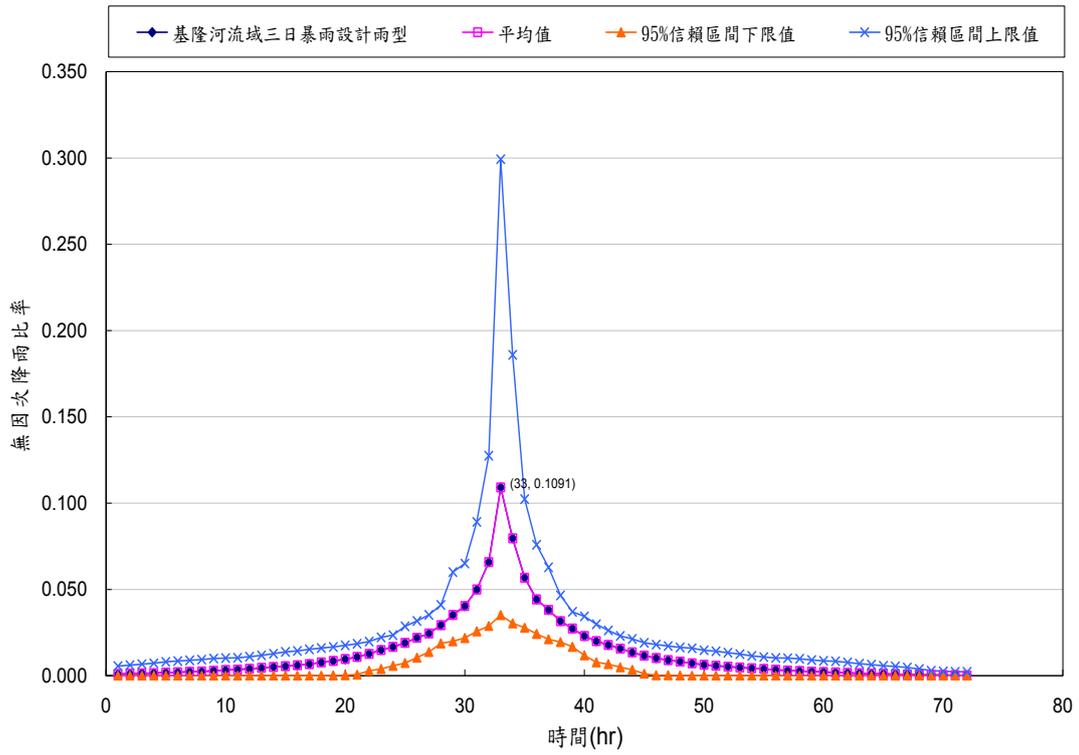


圖 5-5 基隆河流域三日雨型比較圖

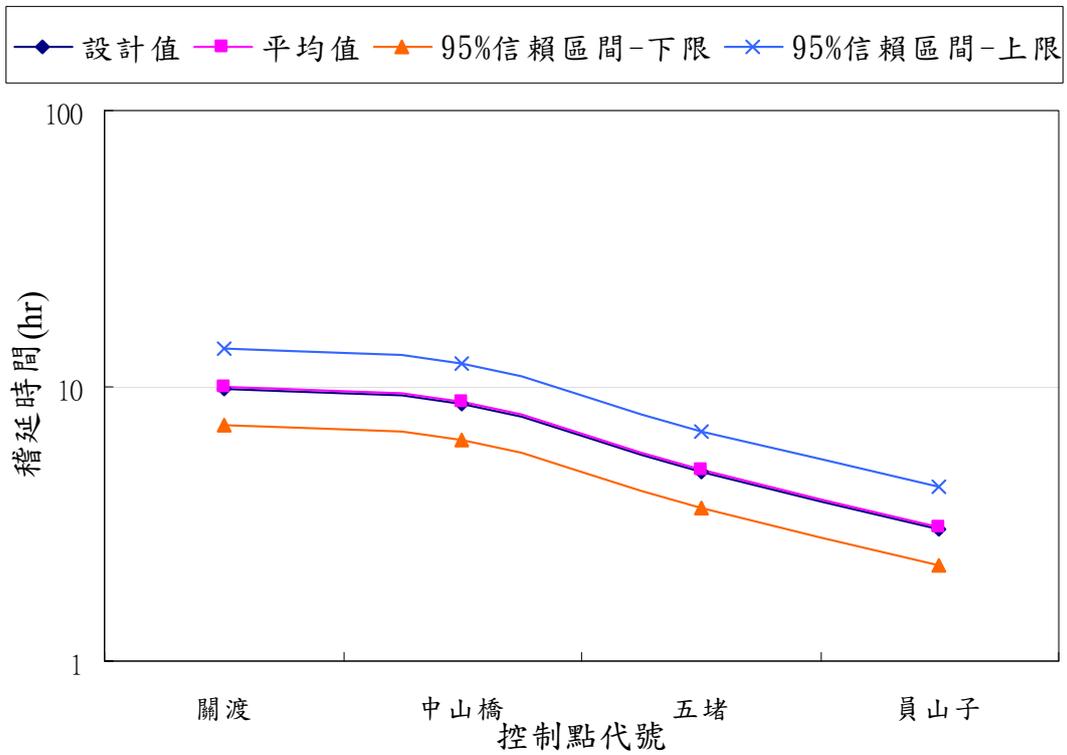


圖 5-6 稽延時間統計特性(標準偏差為 0.15)

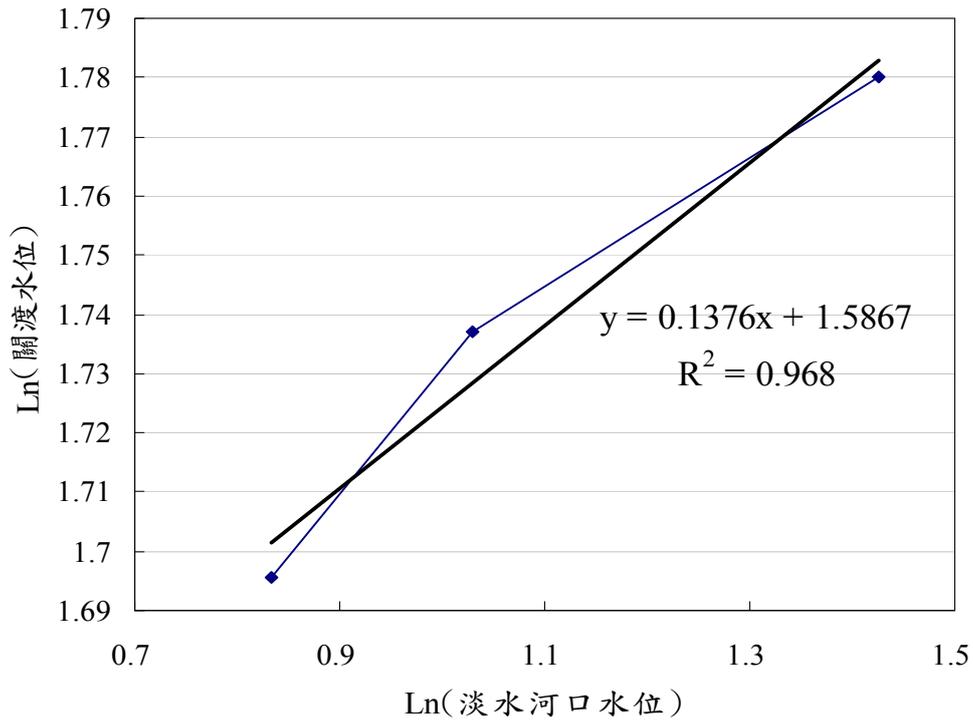


圖 5-7 淡水河口與關渡水位關係圖

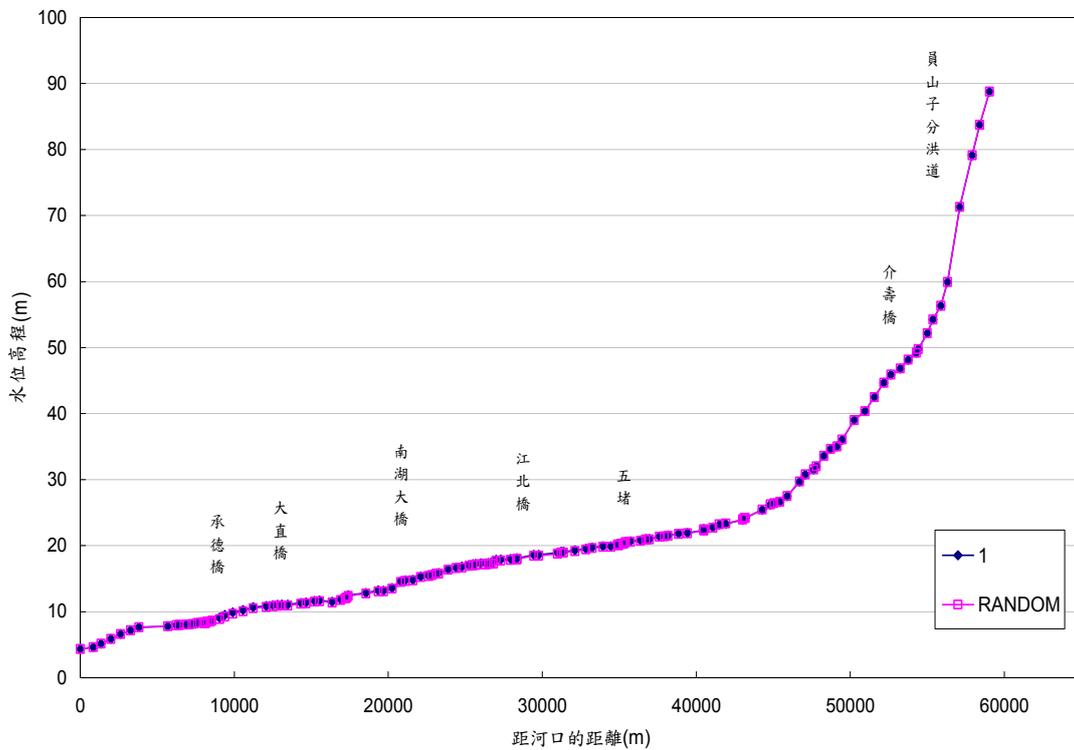


圖 5-8 改變橋墩束縮係數之最高洪水水位圖

註:1 為固定橋墩束縮係數值，RANDOM 為各橋樑使用不同之橋墩束縮係數。

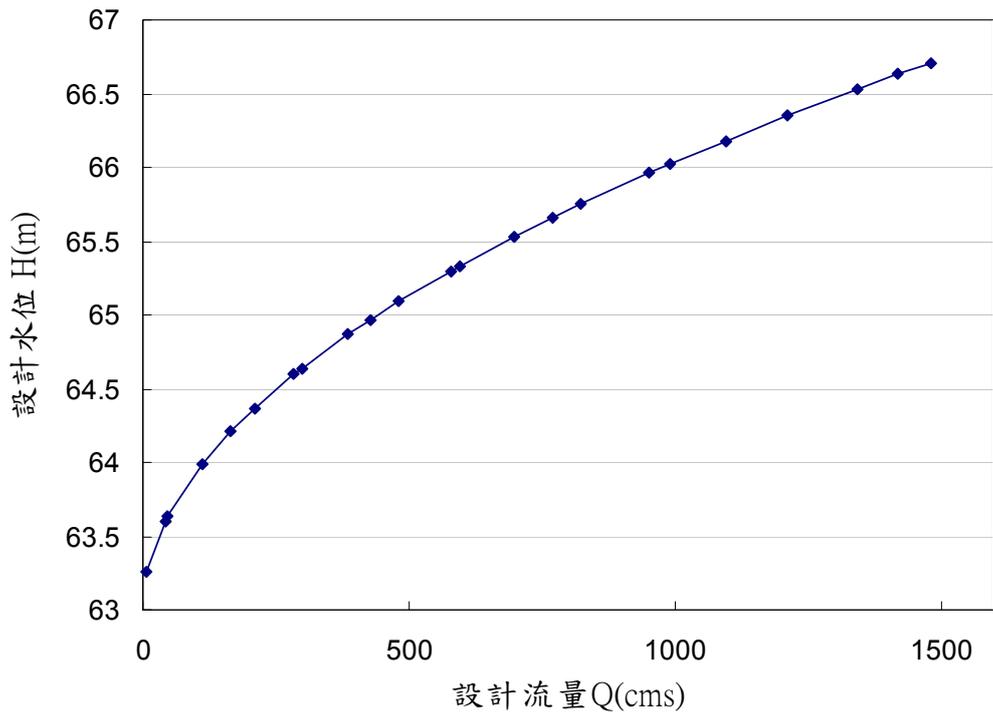


圖 5-9 員山子分洪堰水位流量率定曲線圖

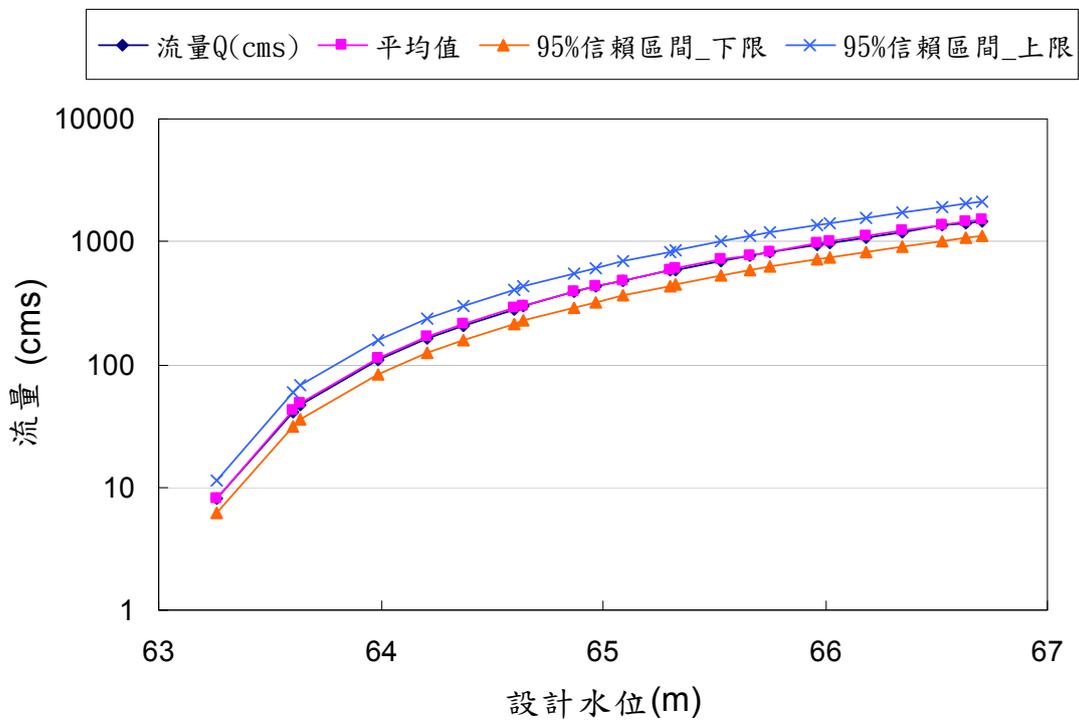


圖 5-10 分洪堰流量統計特性(標準偏差為 0.15)

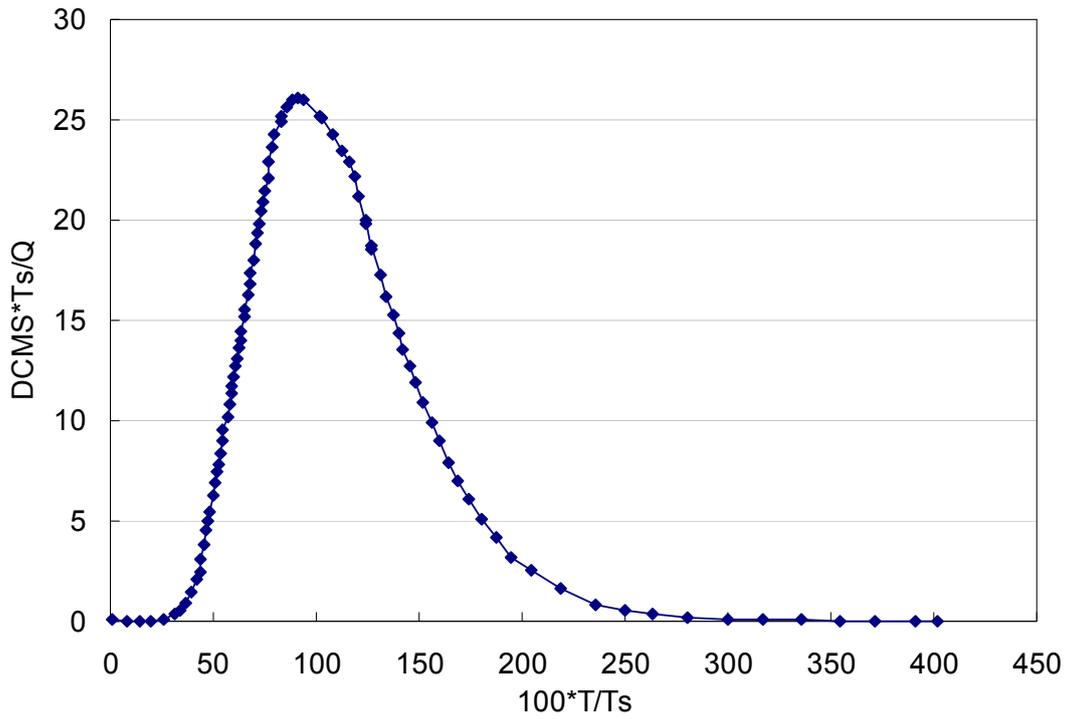


圖 5-11 基隆河流域無因次單位歷線

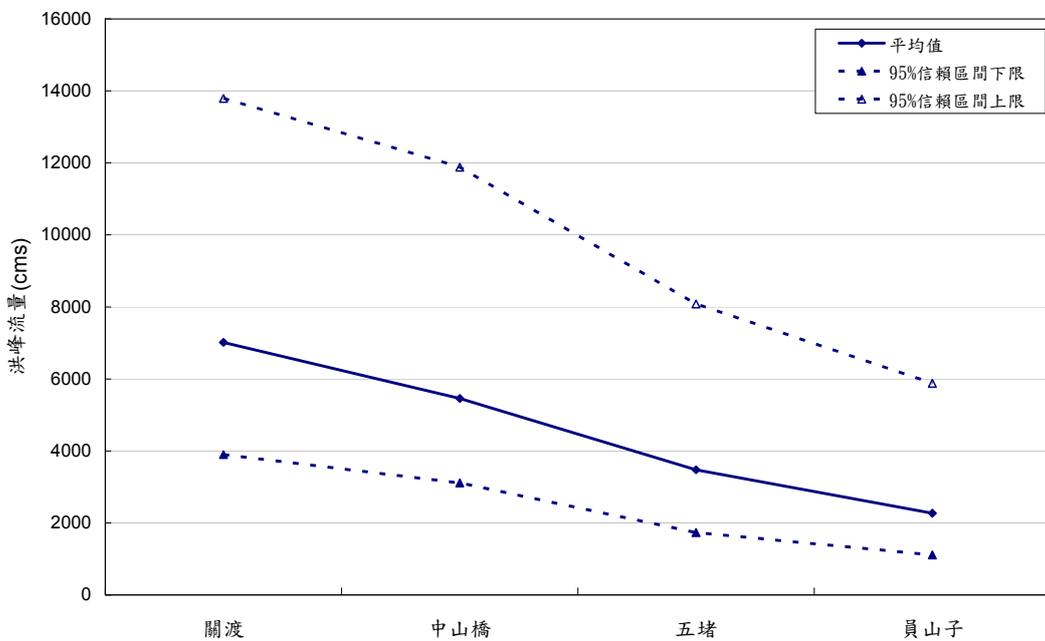


圖 5-12 基隆河流域各控制點 200 年洪峰流量統計分析結果

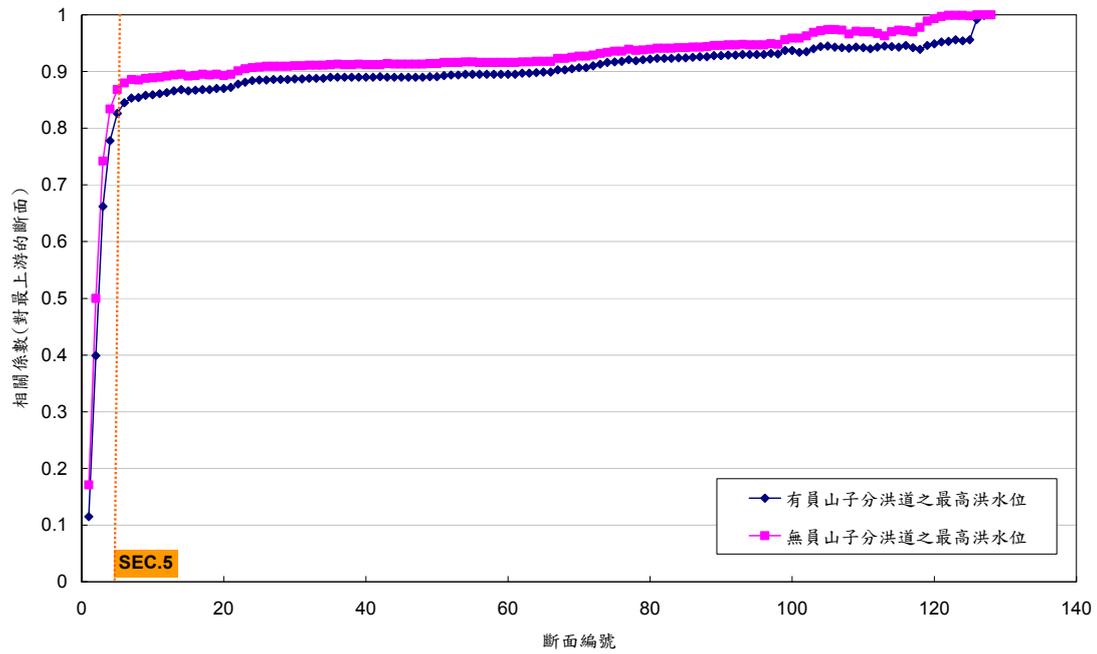


圖 5-13 各斷面最高洪水位之相關係數

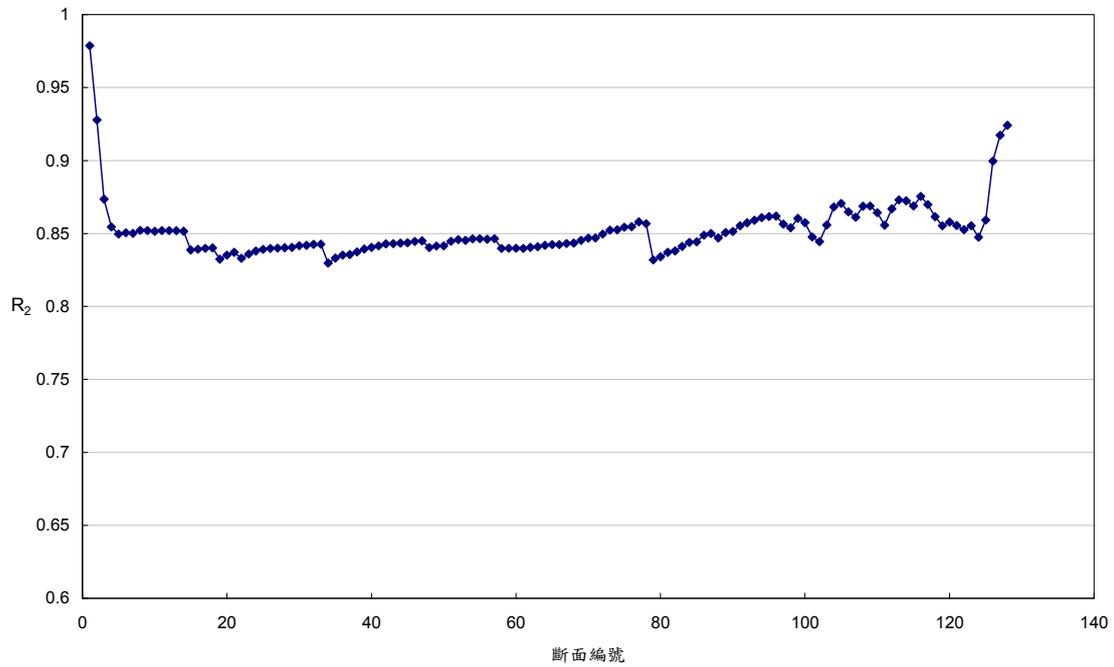
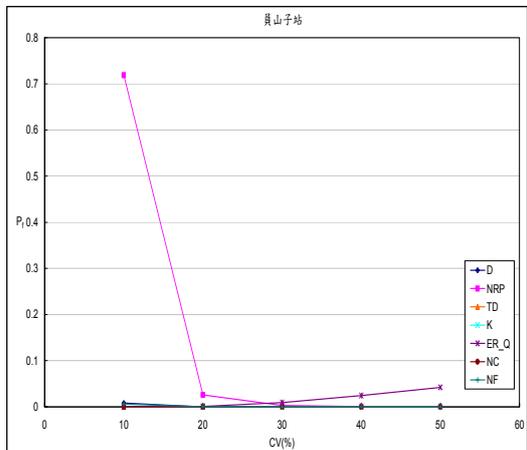
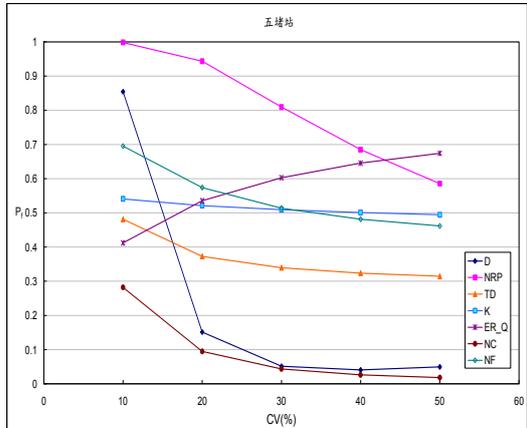
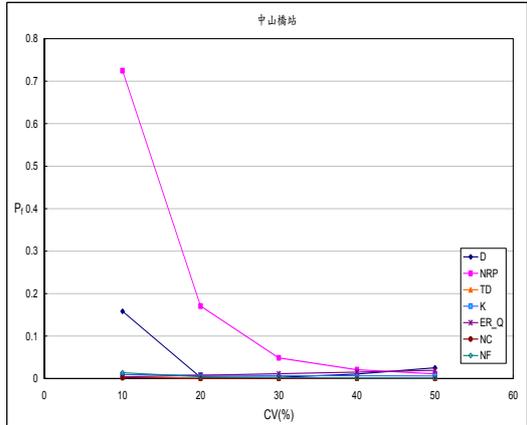
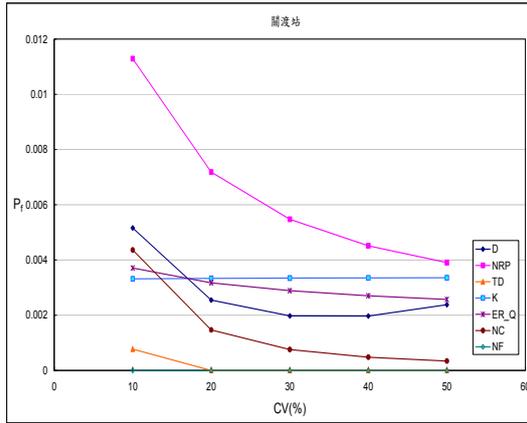


圖 5-14 各斷面最高洪水位與風險因子關係式 $R^2$ 值

(1) 左岸



(2) 右岸

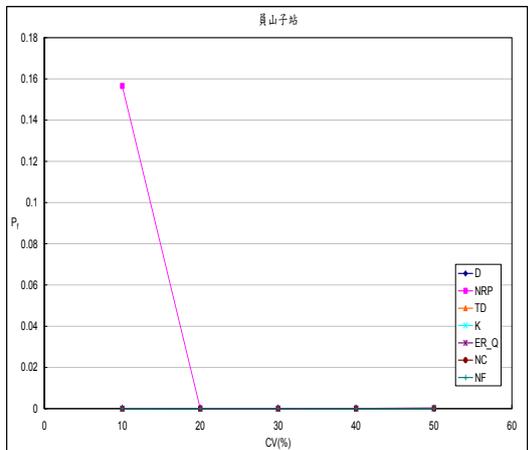
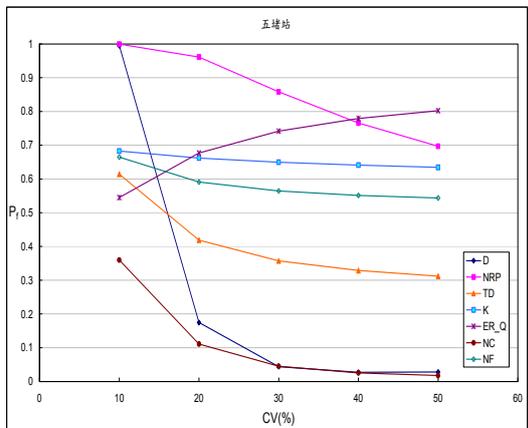
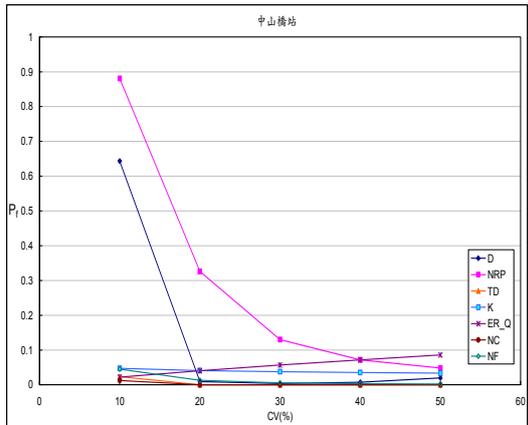
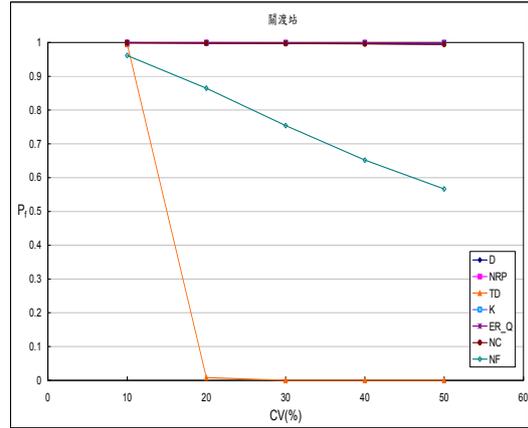


圖 5-15 風險因子變異程度對溢堤機率之變化

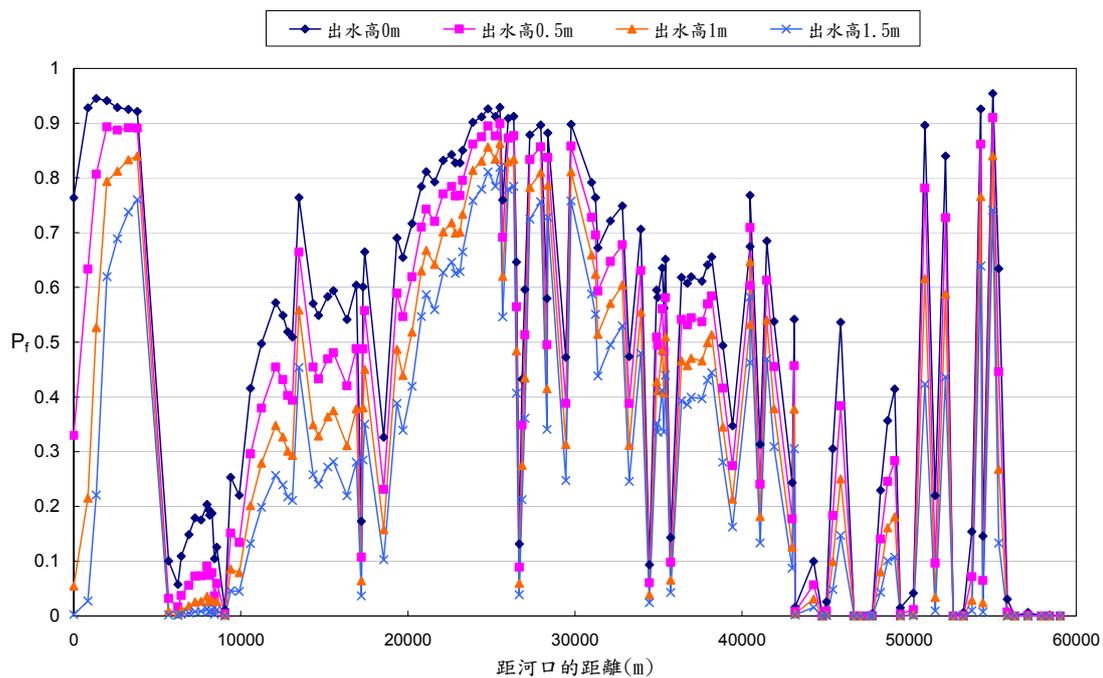


圖 5-16 不同出水高對左岸堤防溢堤機率之比較

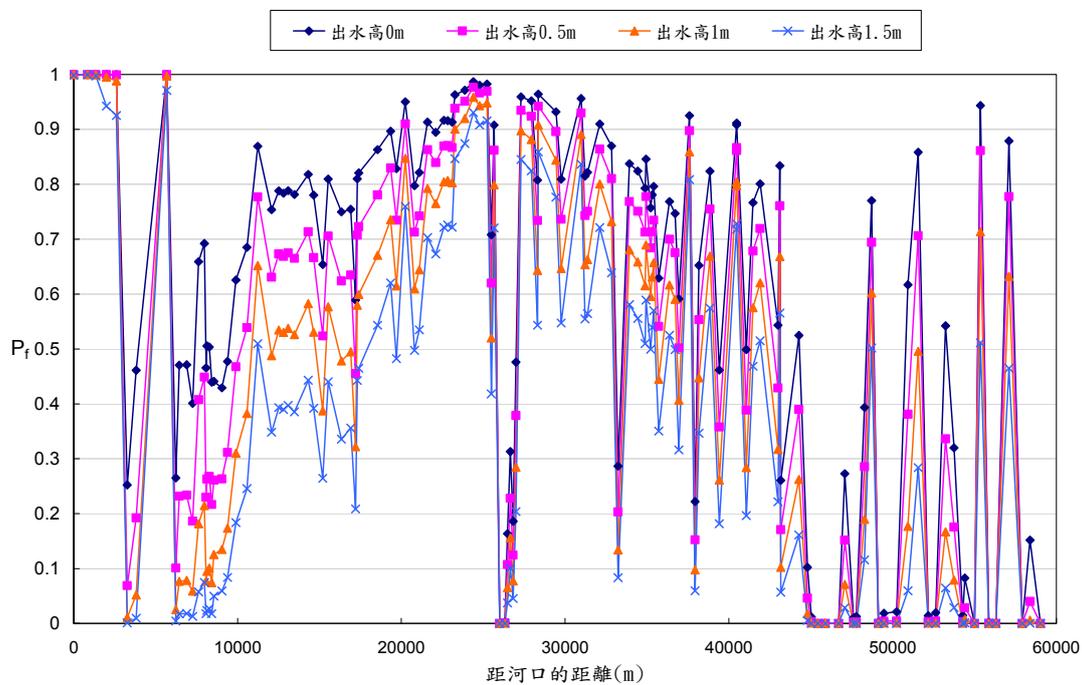


圖 5-17 不同出水高對右岸堤防溢堤機率之比較

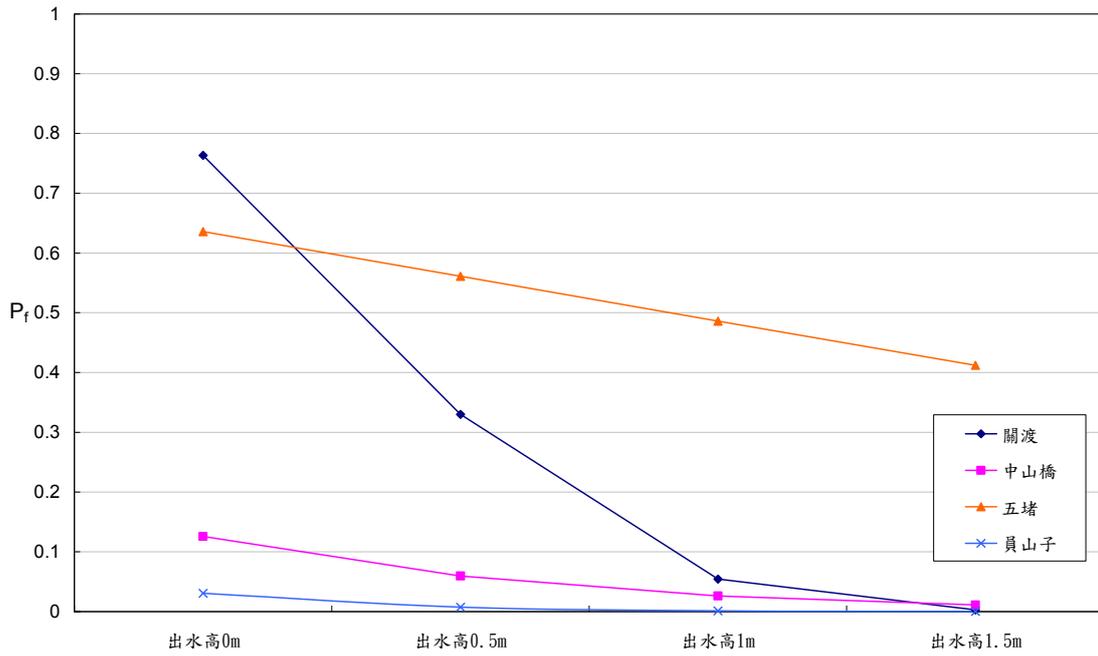


圖 5-18 四個控制點不同出水高對左岸堤防溢堤機率之比較

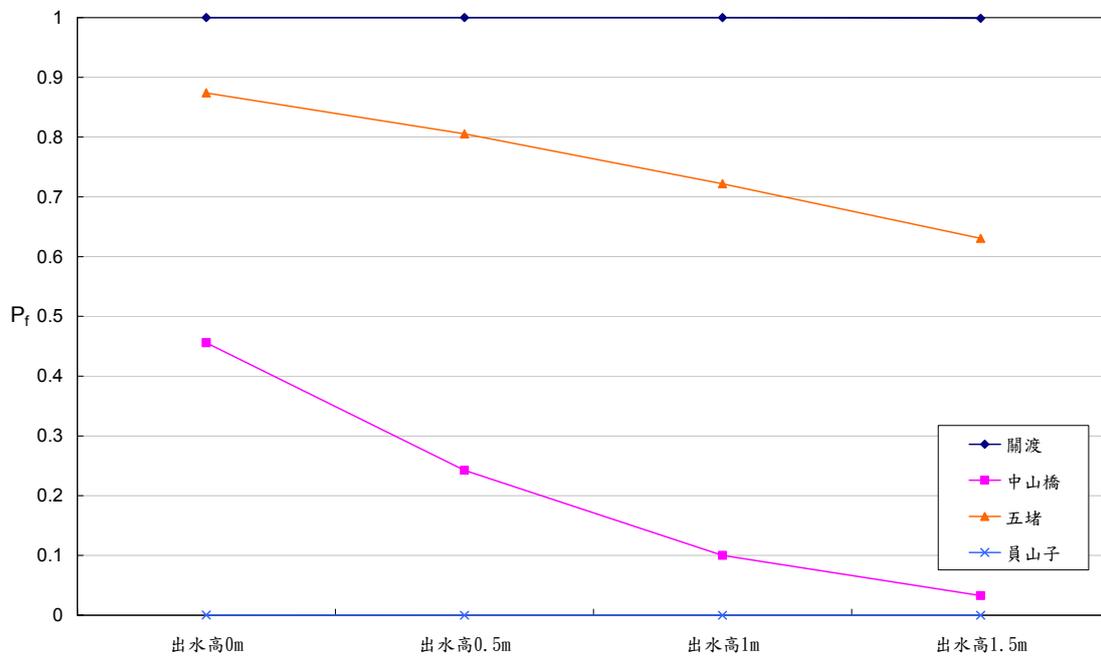


圖 5-19 四個控制點不同出水高對右岸堤防溢堤機率之比較

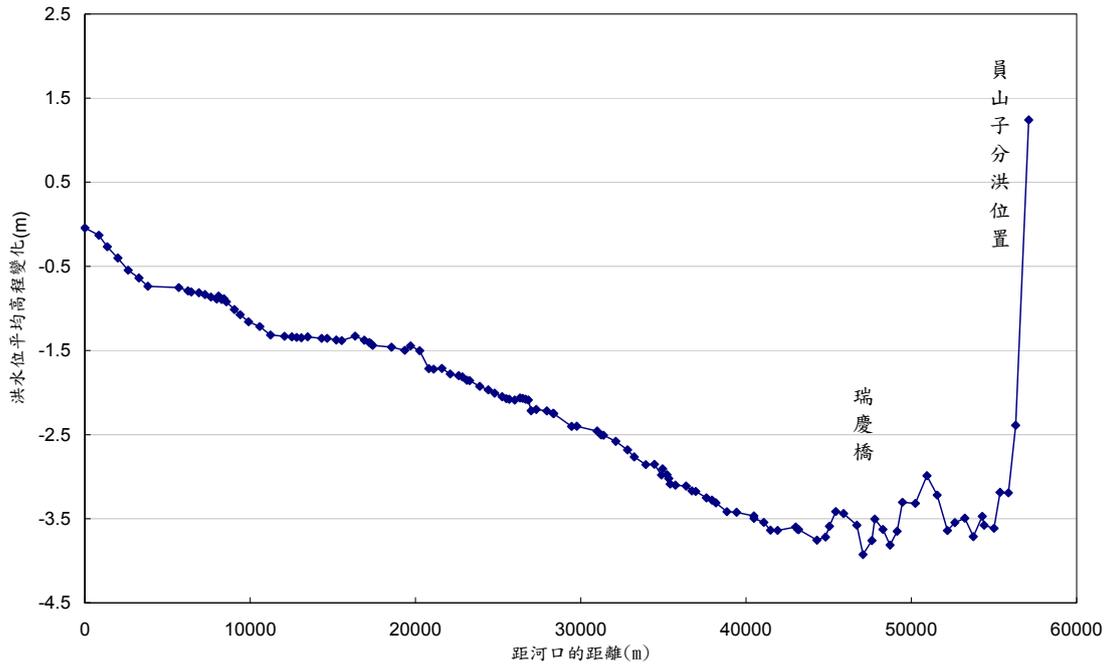


圖 5-20 員山子分洪道完成前後之洪水位高程變化

註:水位平均高程變化(m)=分洪後洪水位平均值(m)-分洪前洪水位平均值(m)

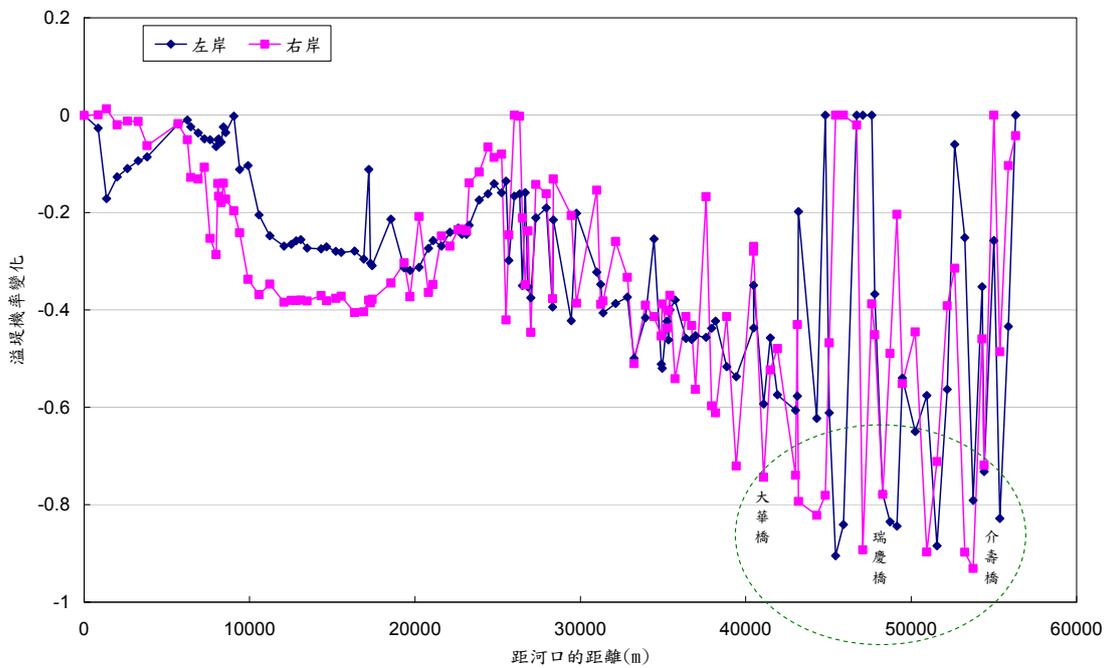


圖 5-21 員山子分洪道完成前後之溢堤機率變化

註:溢堤機率變化=分洪後溢堤機率-分洪前溢堤機率

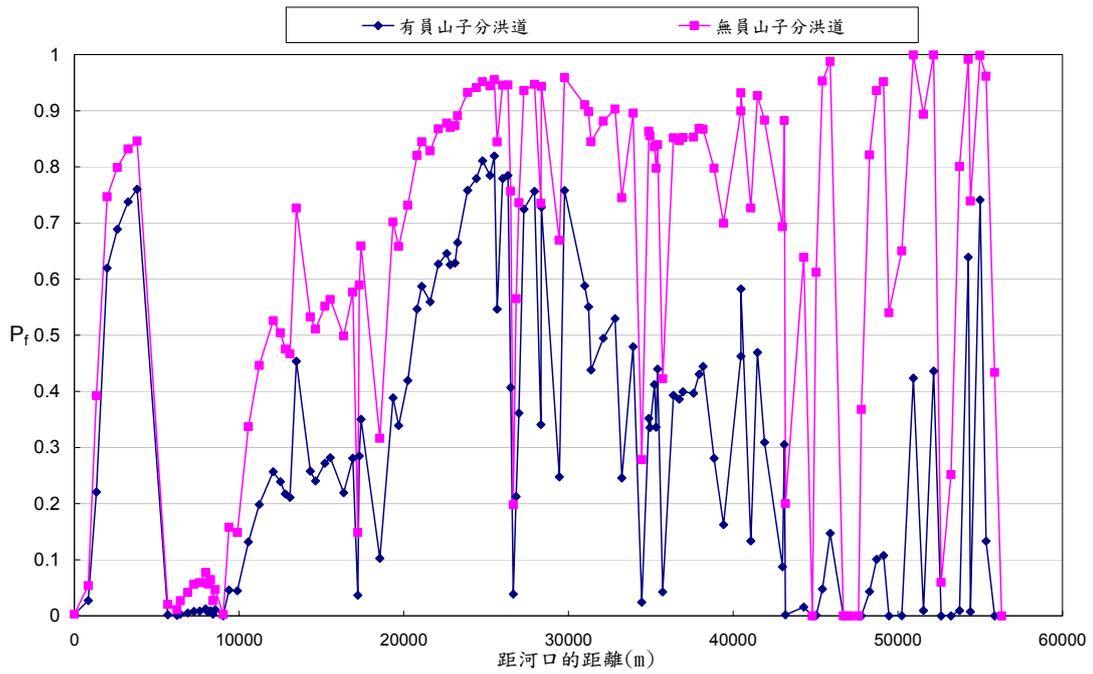


圖 5-22 員山子分洪道完成前後對左岸堤防之溢堤機率

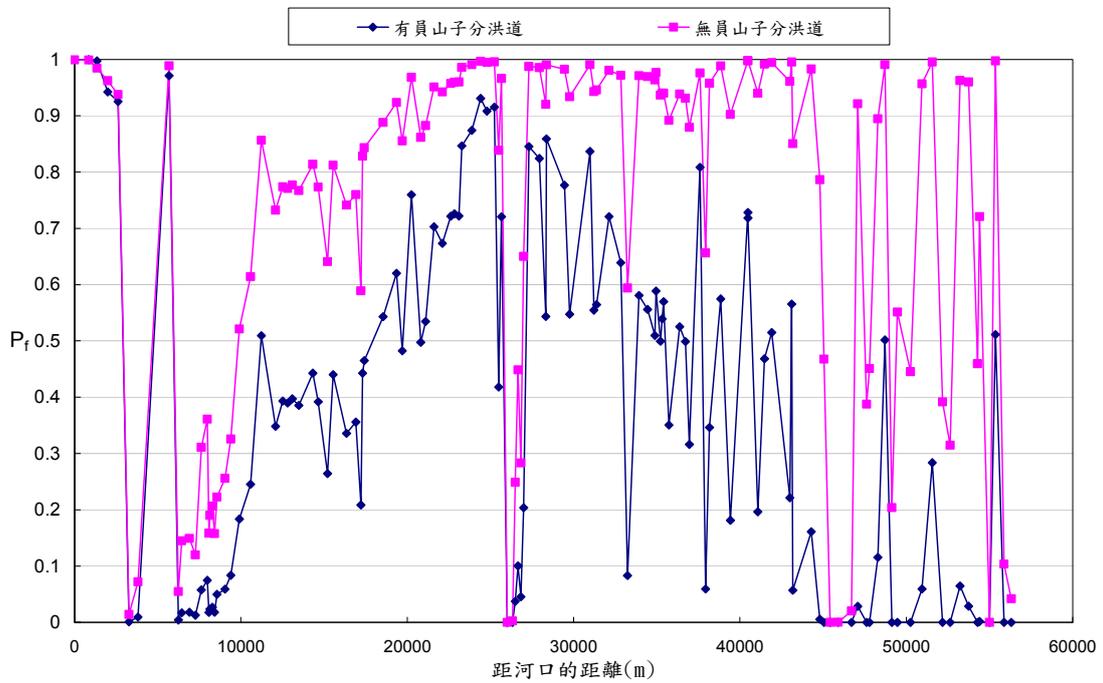


圖 5-23 員山子分洪道完成前後對右岸堤防之溢堤機率

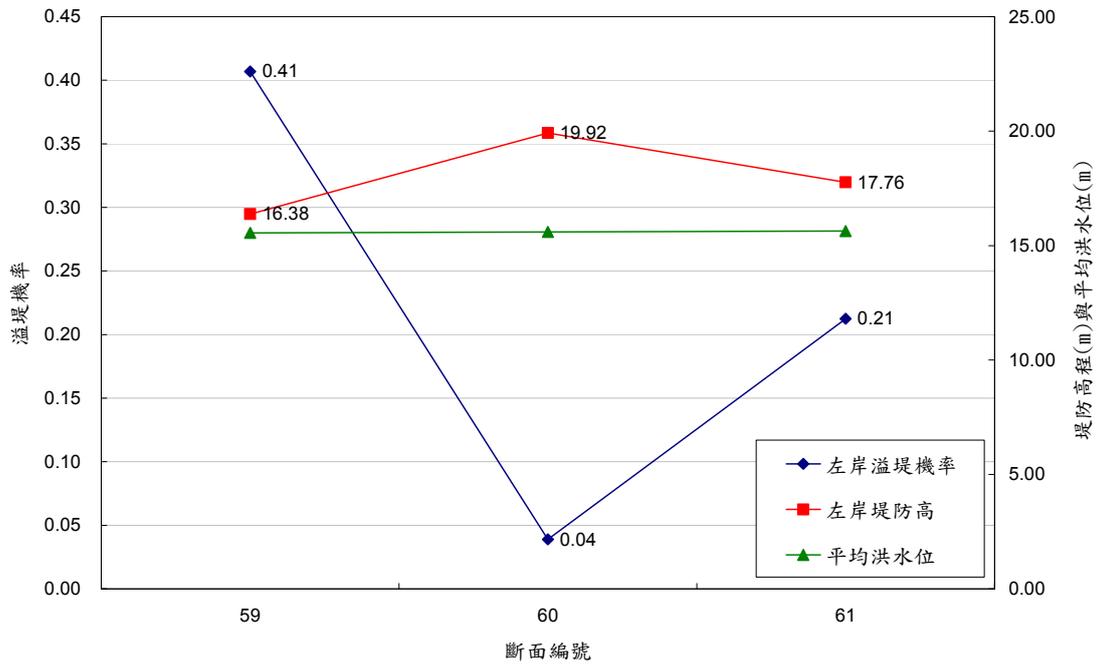


圖 5-24 溢堤機率與堤防高程比較圖

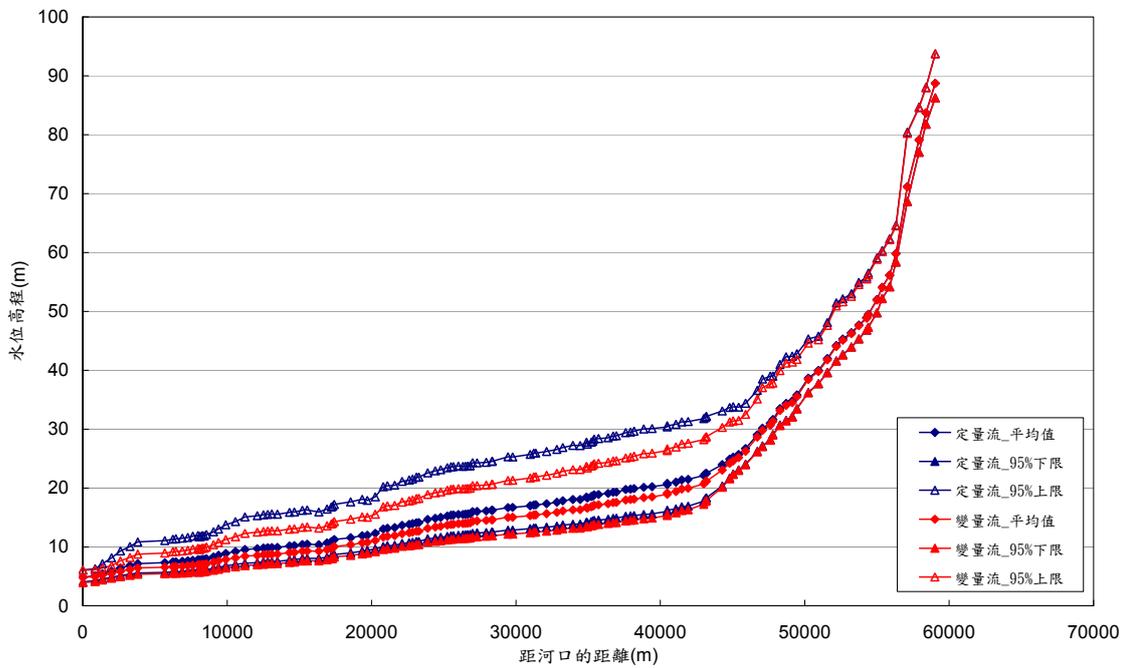


圖 5-25 定量流與變量流之洪水位統計特性

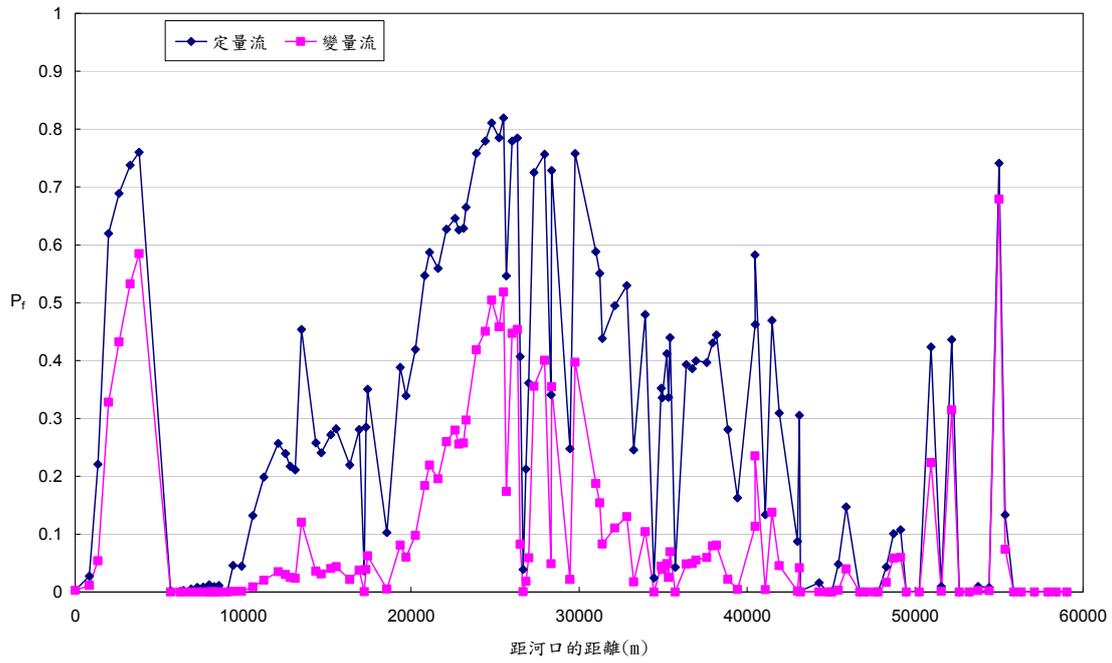


圖 5-26 定量流與變量流對左岸堤防之溢堤機率

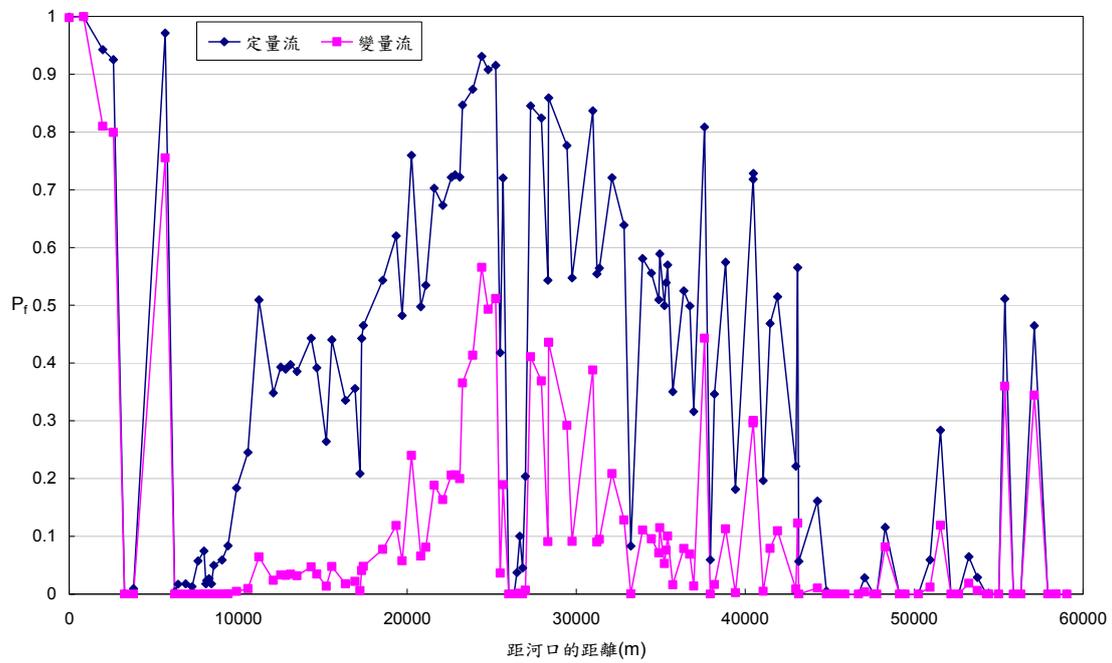


圖 5-27 定量流與變量流對右岸堤防之溢堤機率

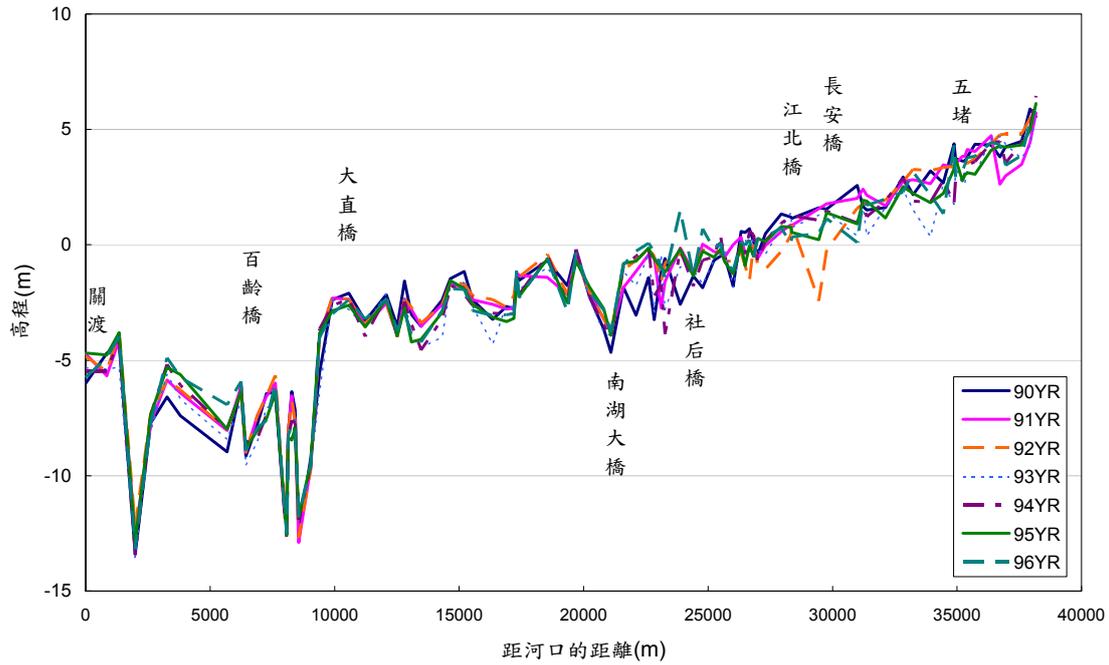


圖 5-28 基隆河歷年大斷面豁壑線縱剖面線圖(K01~K88)

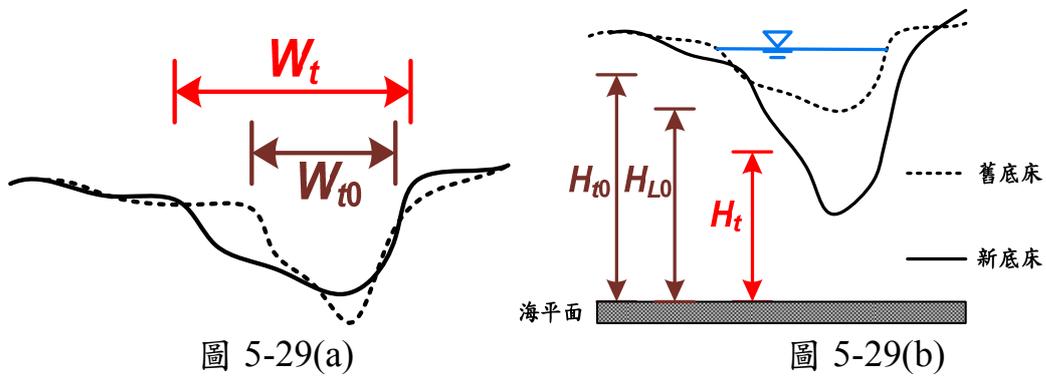


圖 5-29(a)

圖 5-29(b)

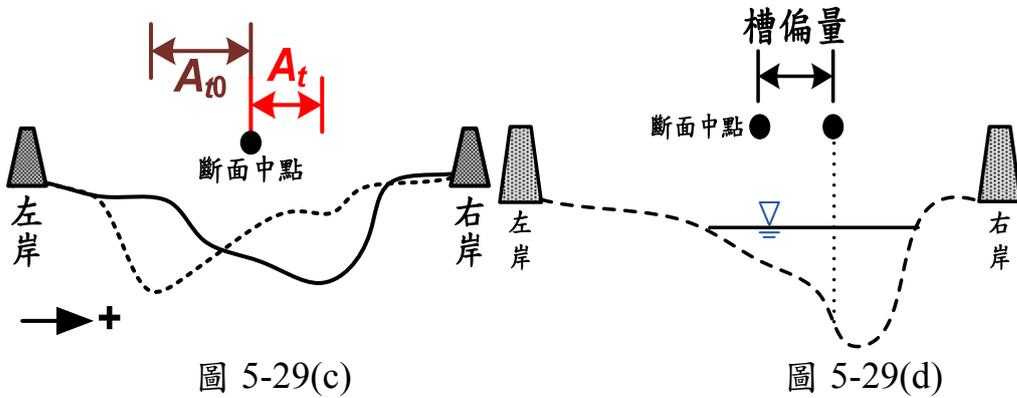


圖 5-29(c)

圖 5-29(d)

圖 5-29 断面冲淤指标示意图

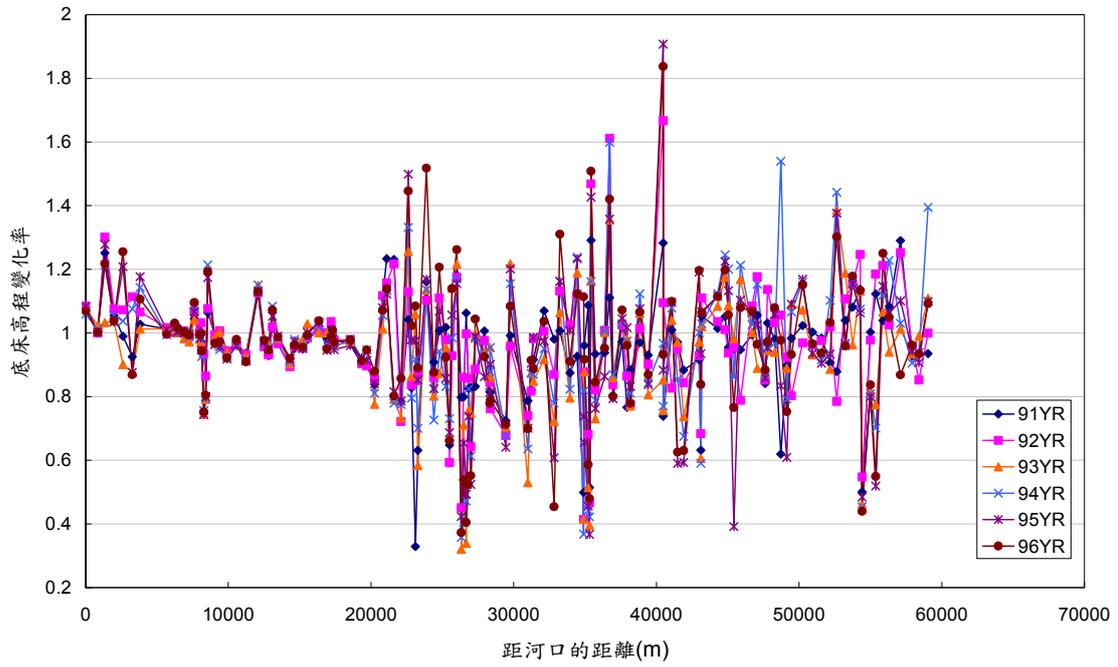


圖 5-30 基隆河流域歷年之底床高程變化率

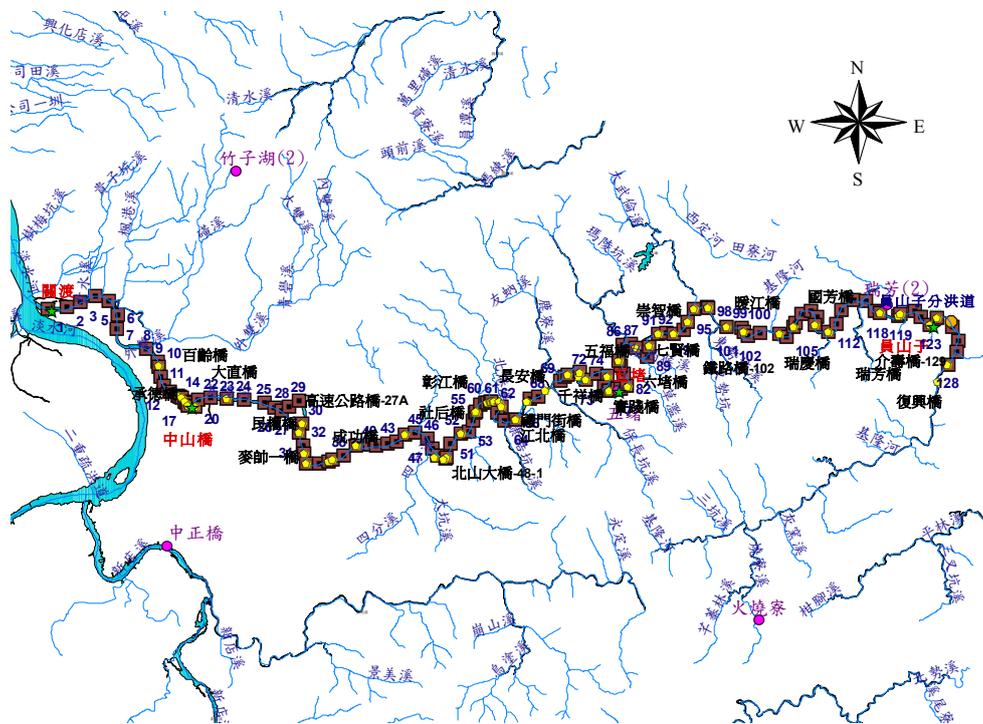
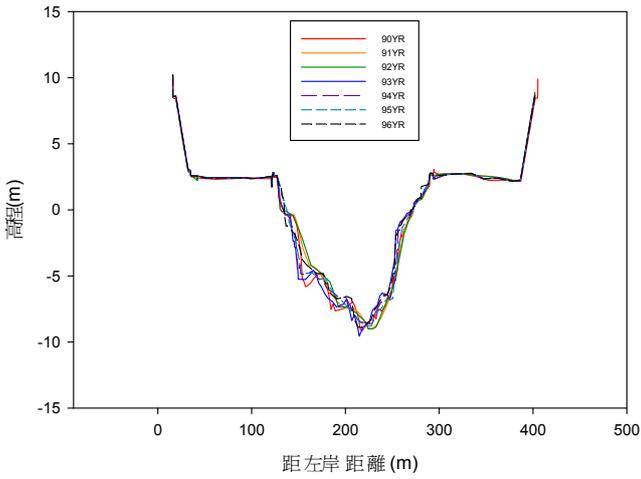
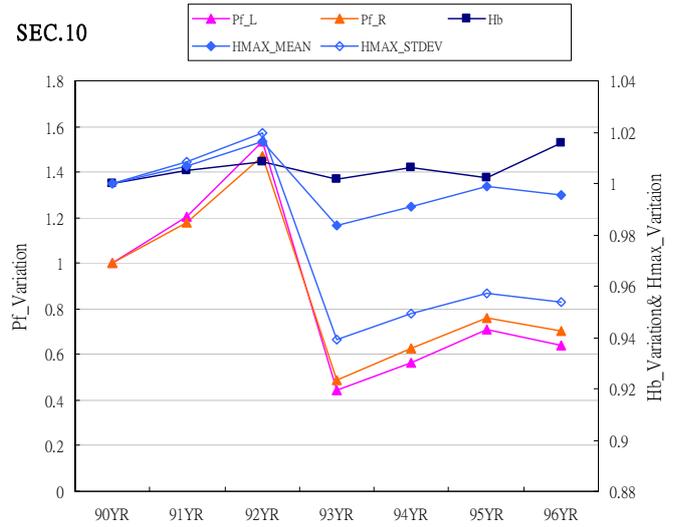


圖 5-31 基隆河各斷面之相對位置

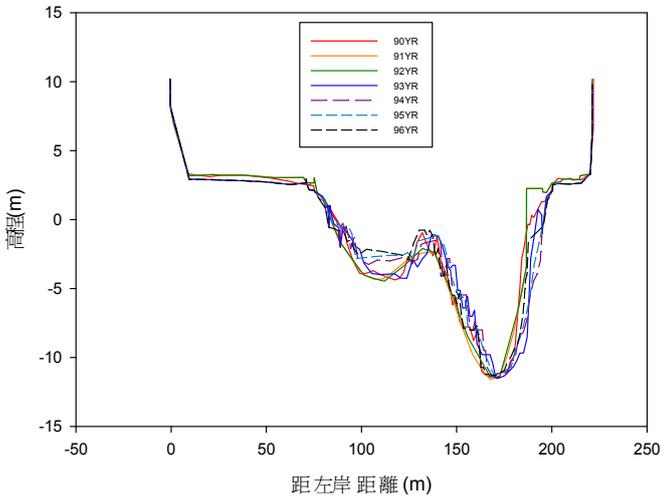
SEC.10



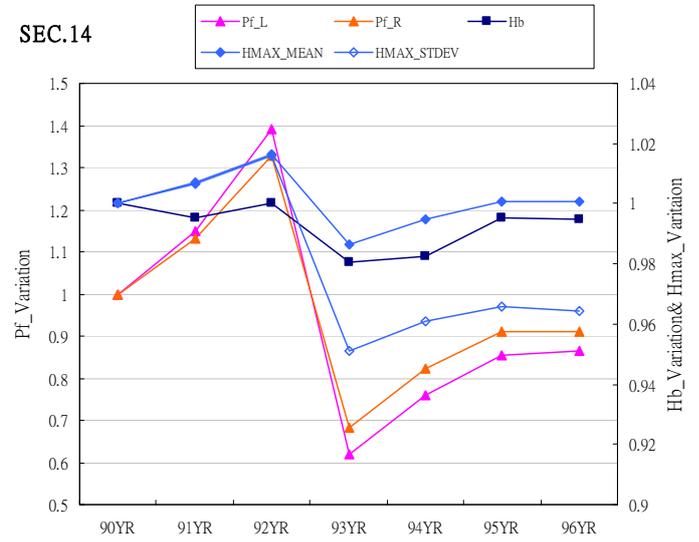
SEC.10



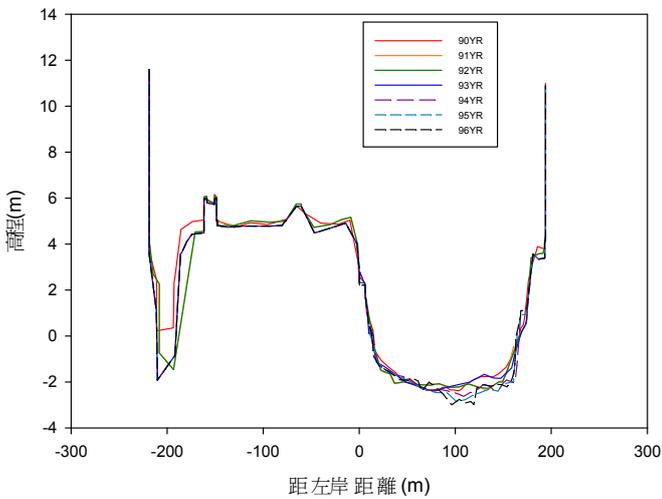
SEC.14



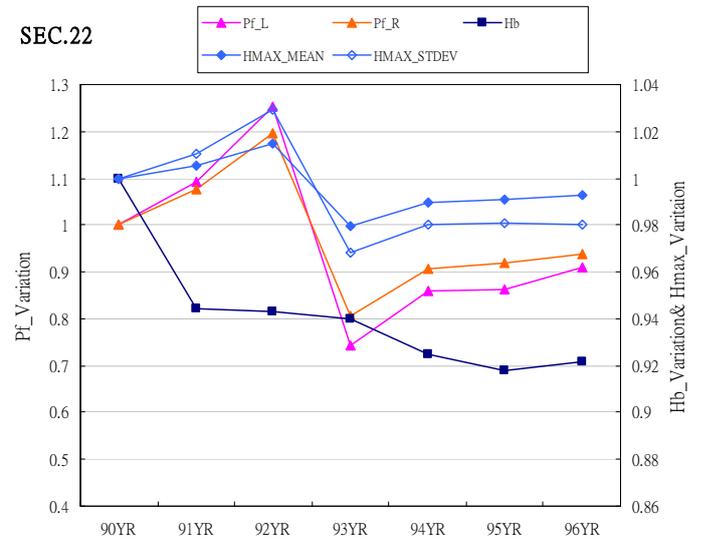
SEC.14



SEC.22



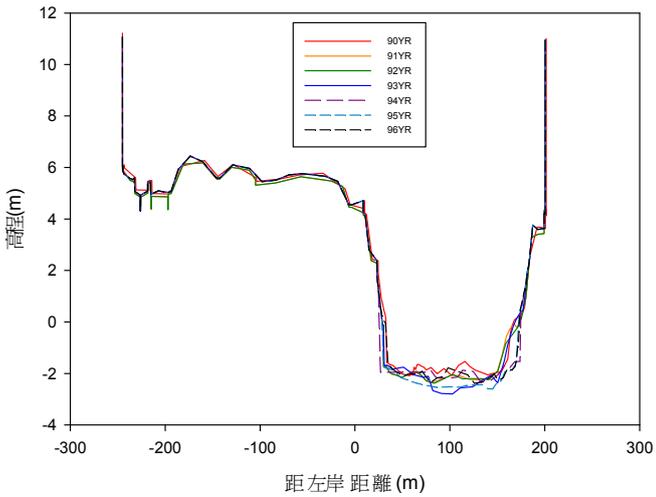
SEC.22



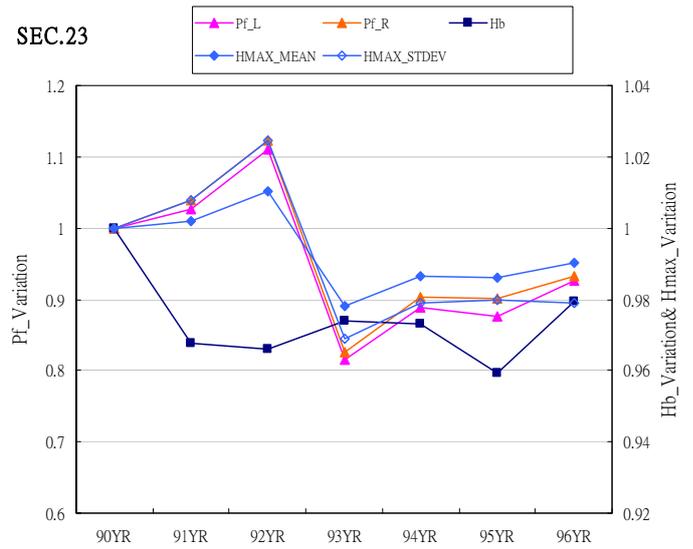
註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

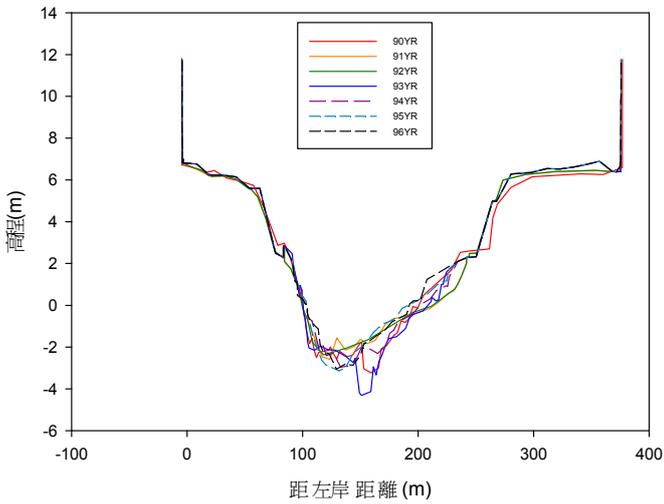
SEC.23



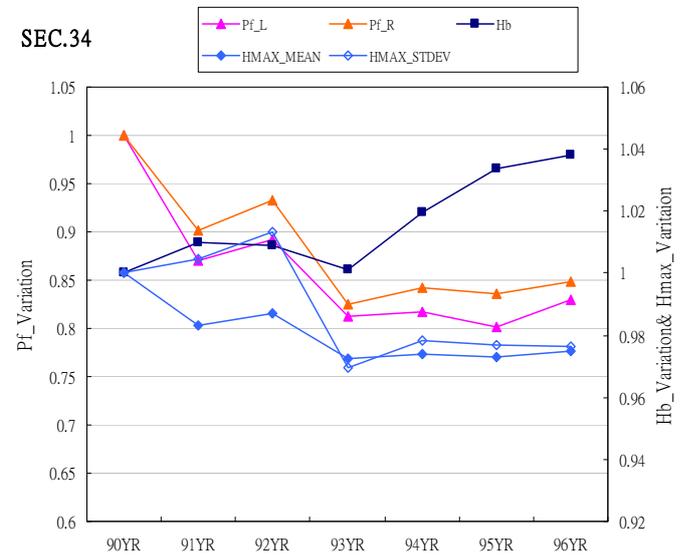
SEC.23



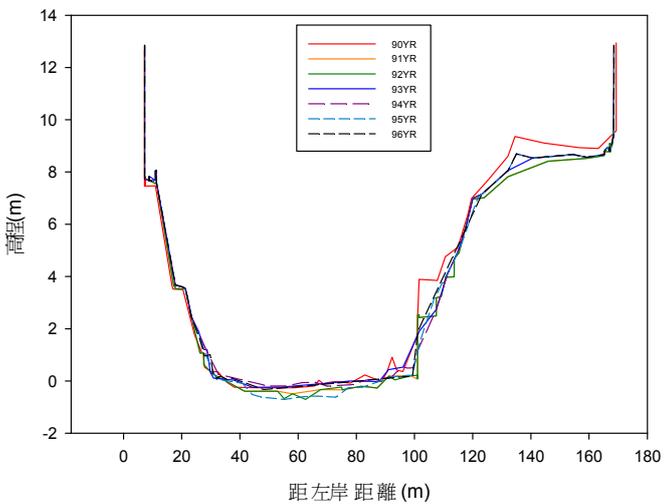
SEC.34



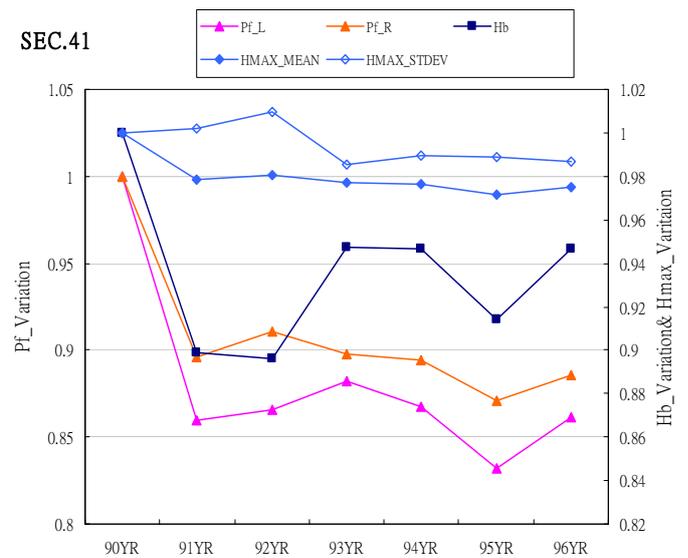
SEC.34



SEC.41



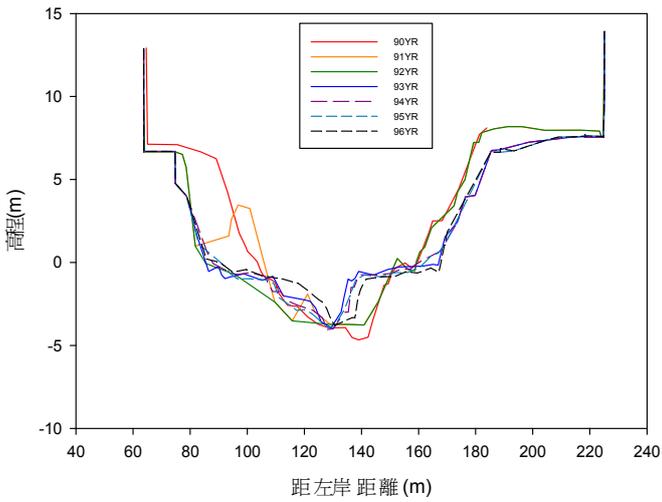
SEC.41



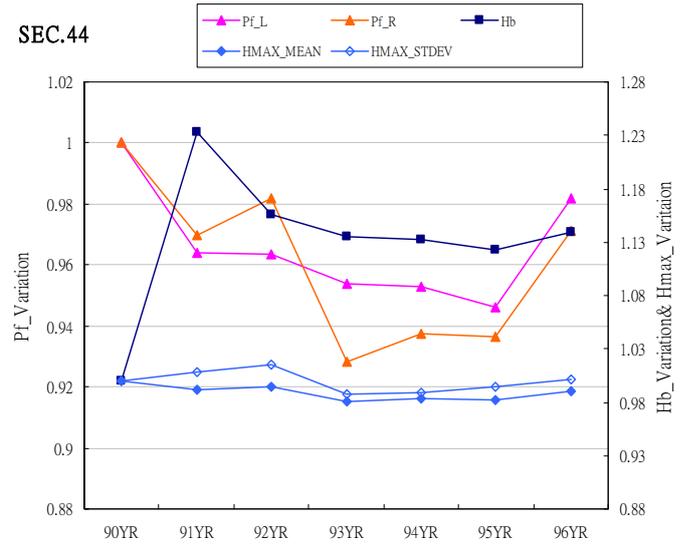
註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

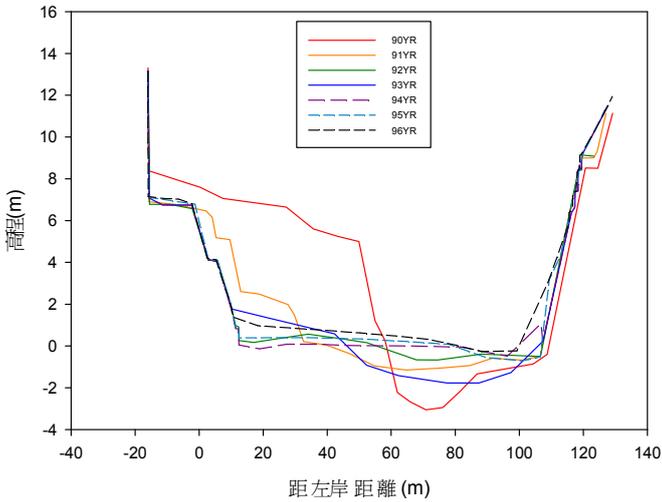
SEC.44



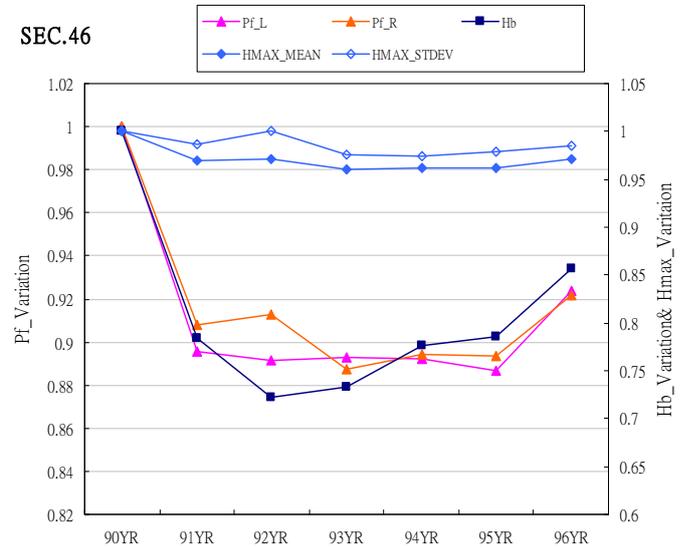
SEC.44



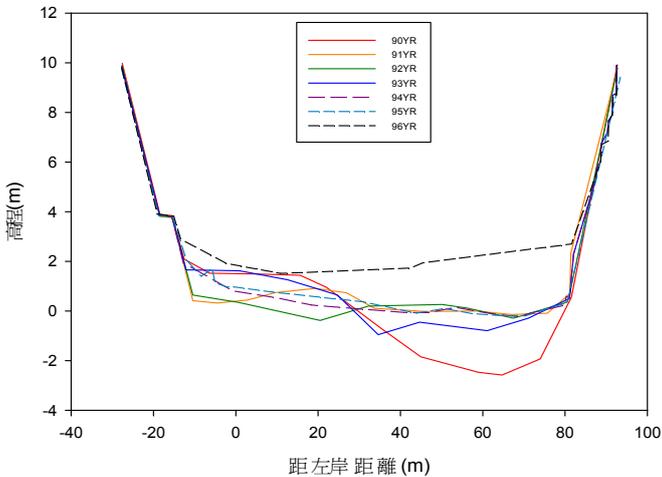
SEC.46



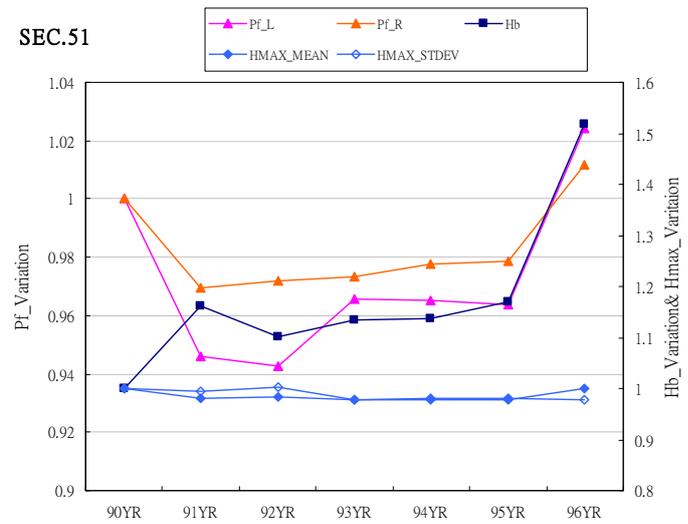
SEC.46



SEC.51



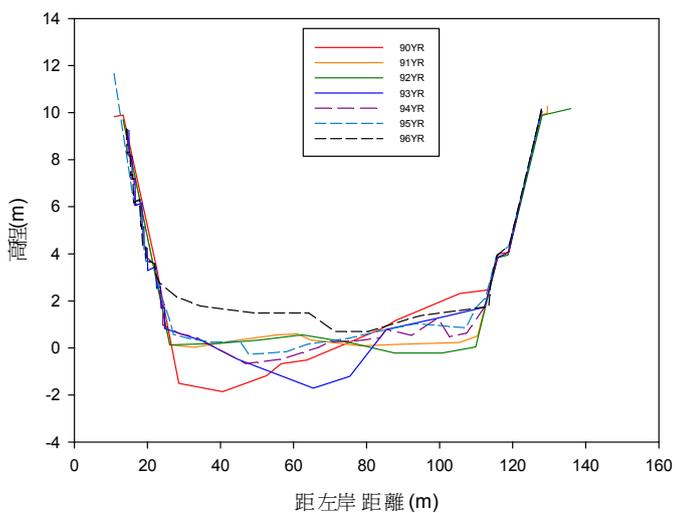
SEC.51



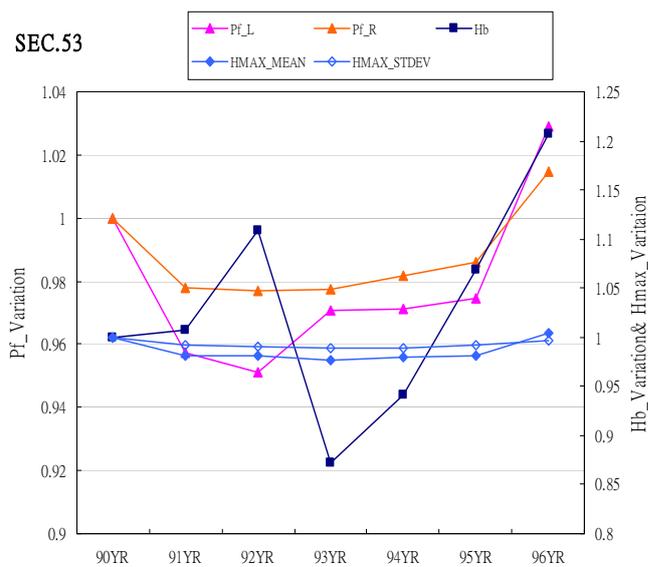
註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

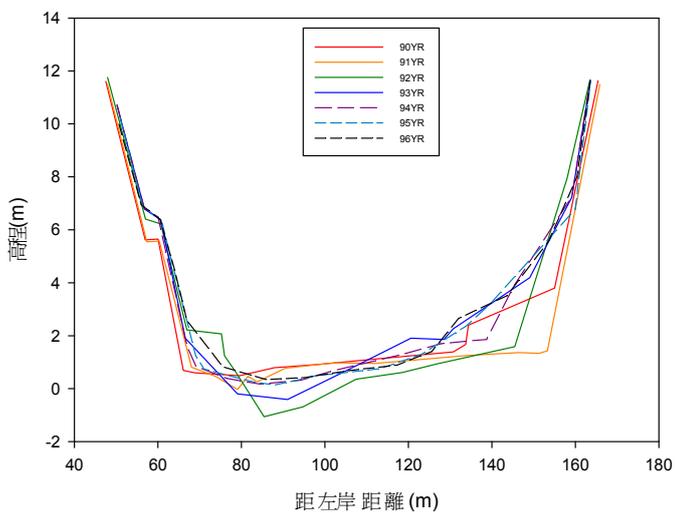
SEC.53



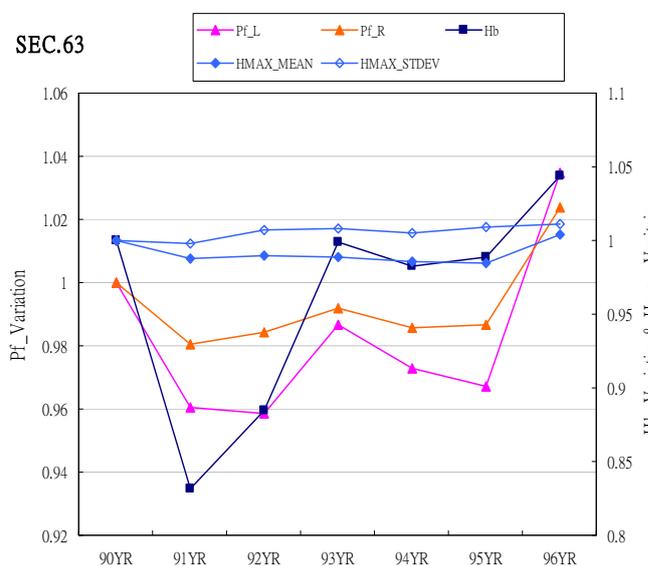
SEC.53



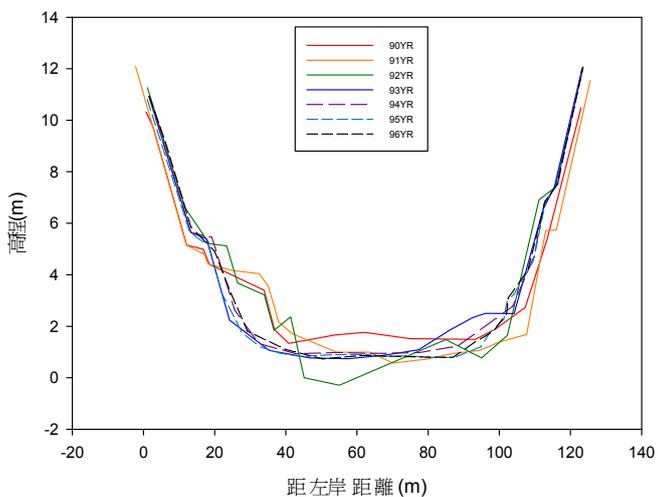
SEC.63



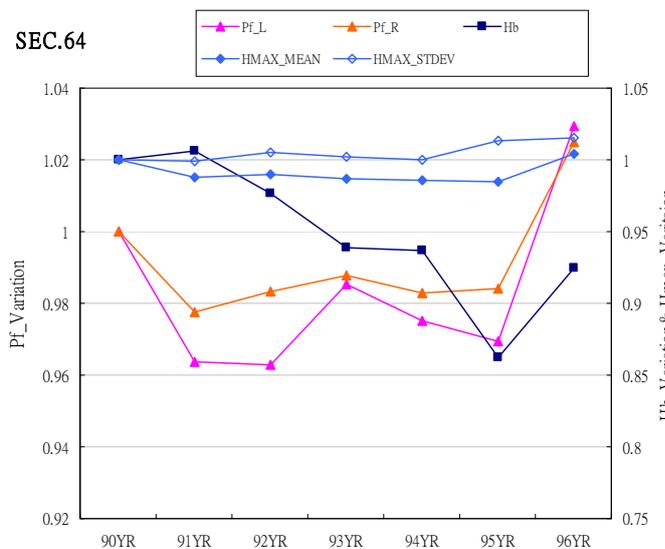
SEC.63



SEC.64



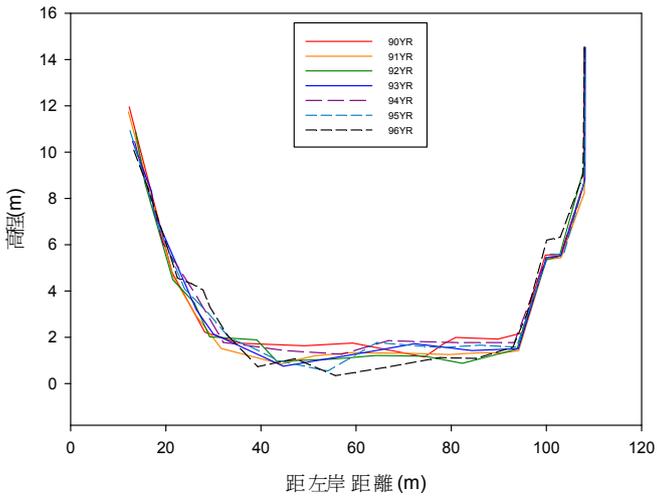
SEC.64



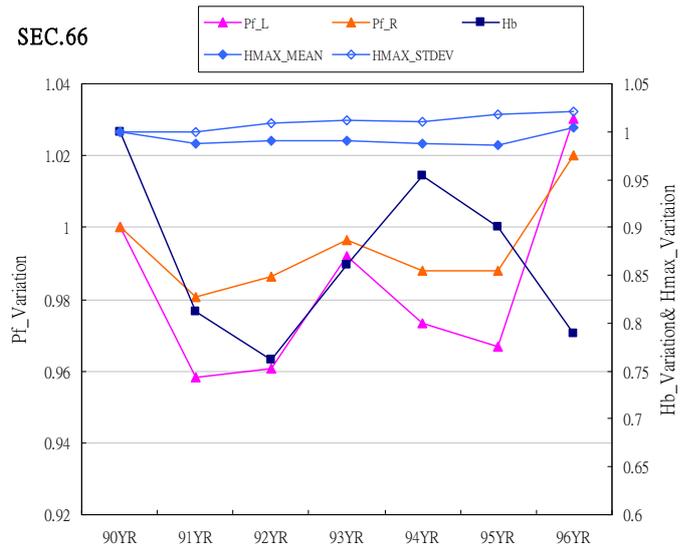
註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

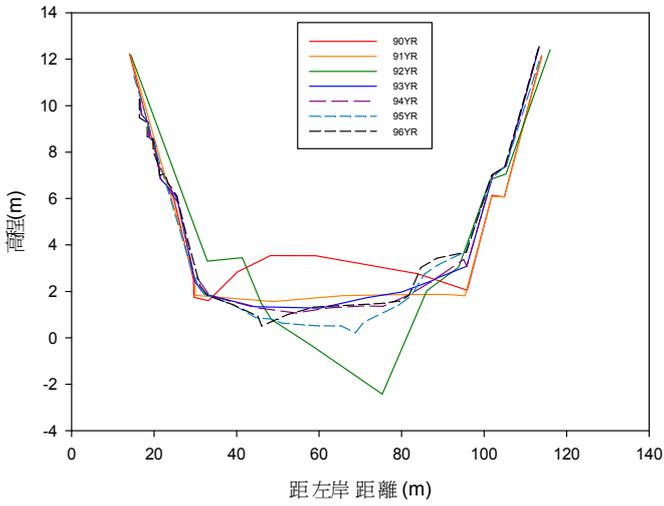
SEC.66



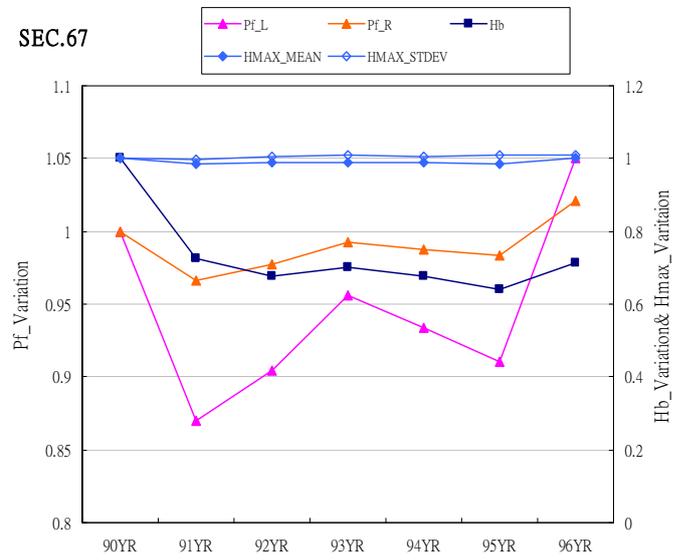
SEC.66



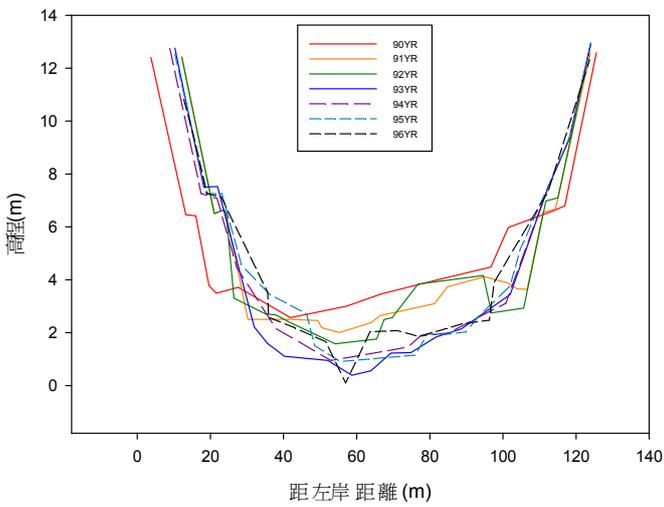
SEC.67



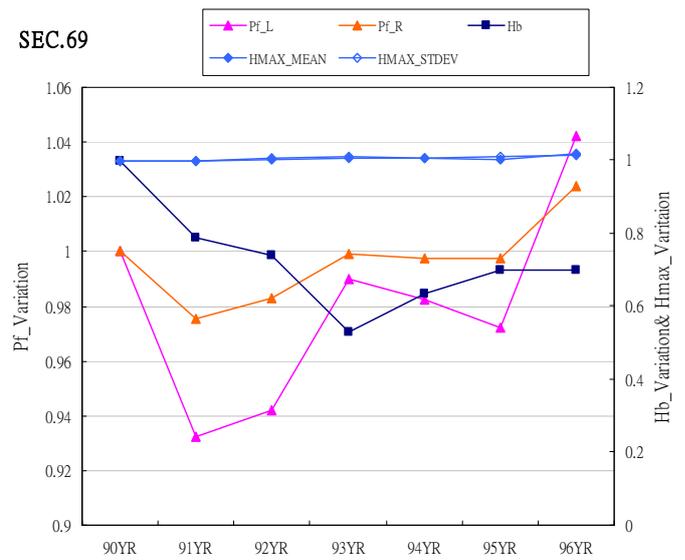
SEC.67



SEC.69



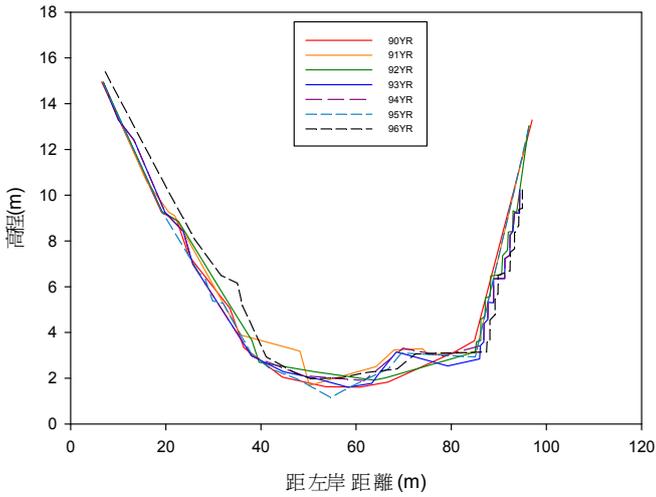
SEC.69



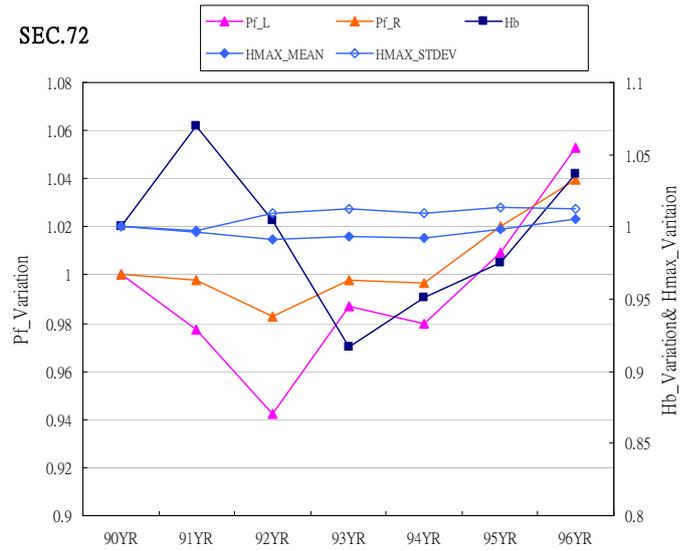
註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

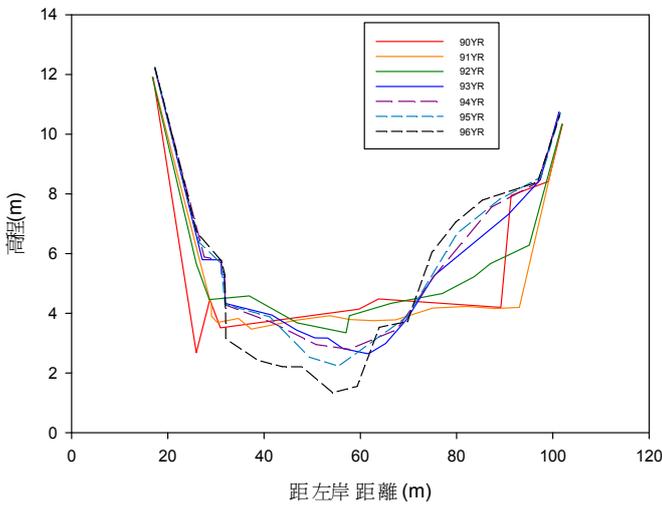
SEC.72



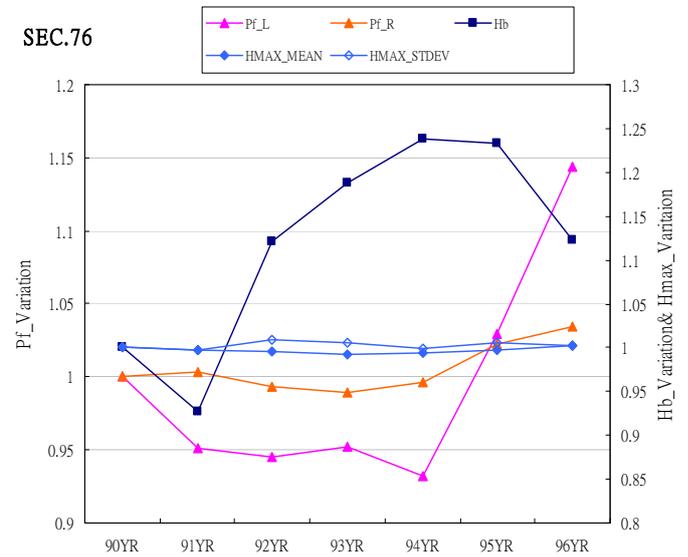
SEC.72



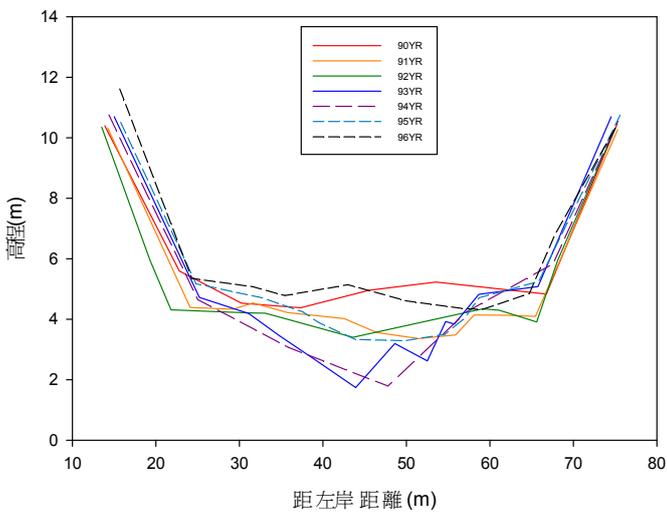
SEC.76



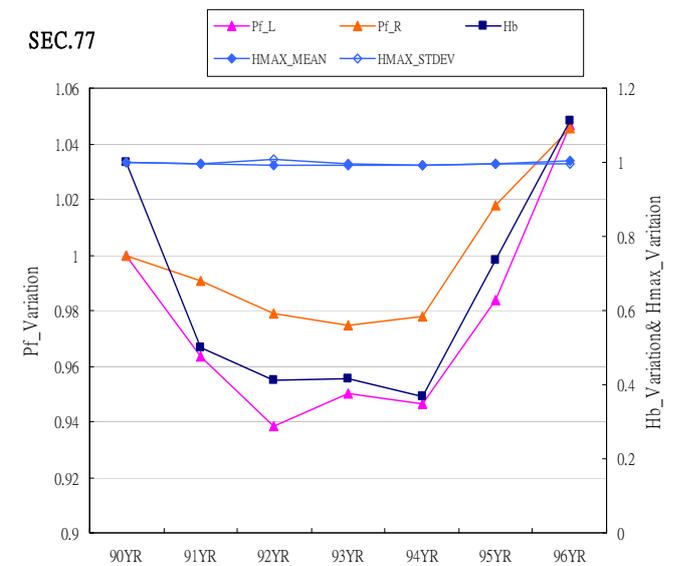
SEC.76



SEC.77



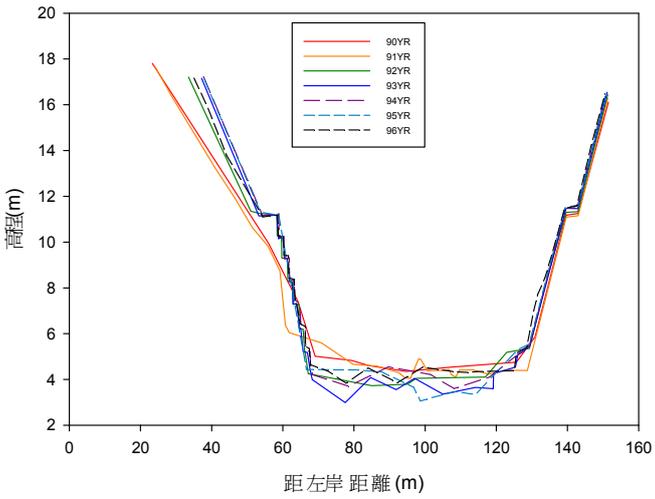
SEC.77



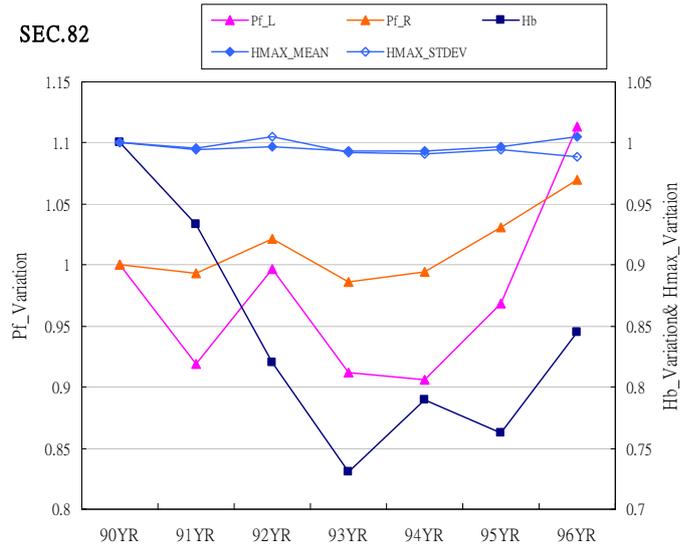
註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

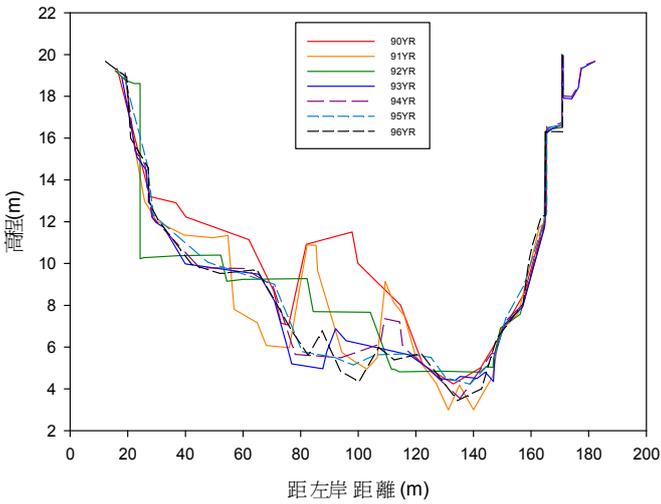
SEC.82



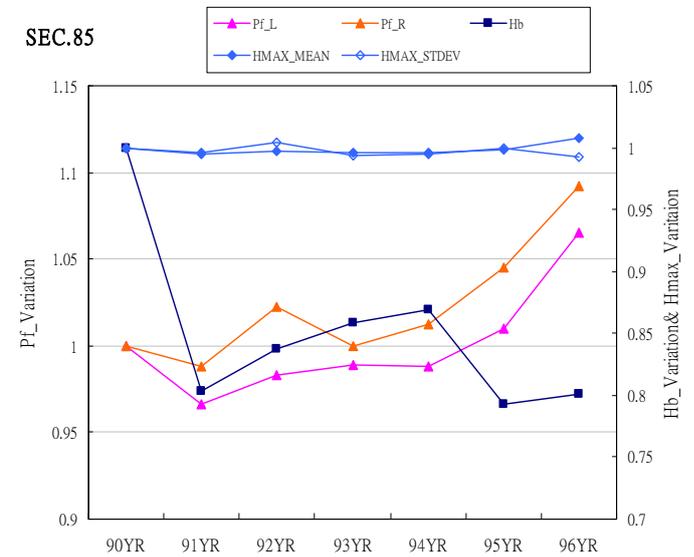
SEC.82



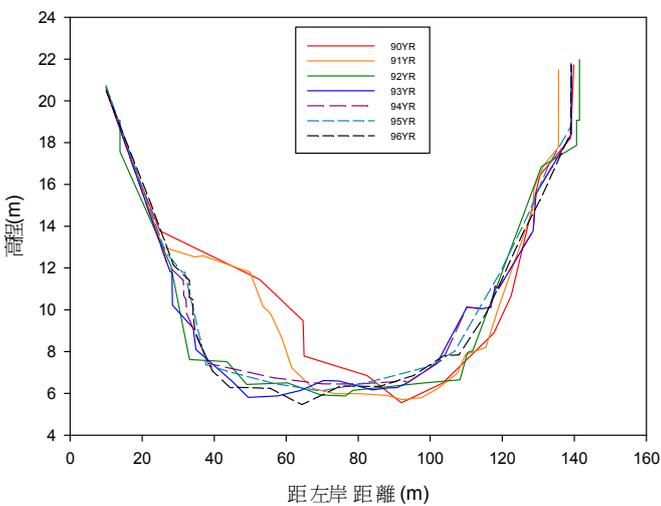
SEC.85



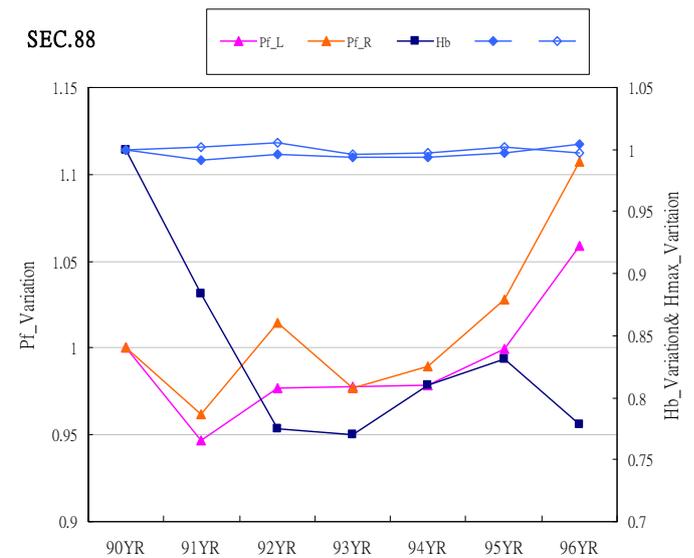
SEC.85



SEC.88



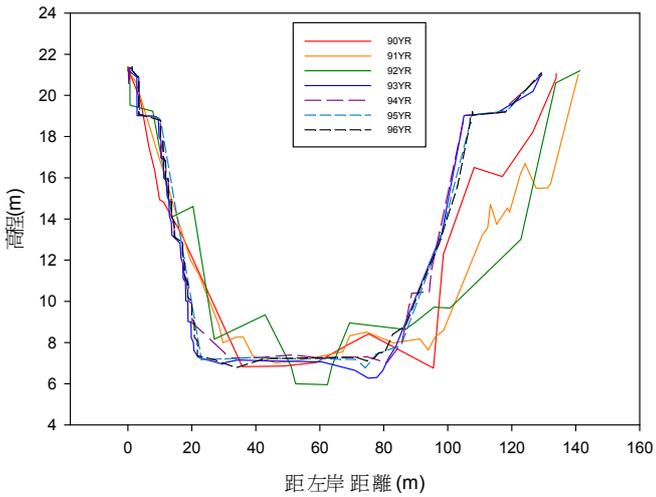
SEC.88



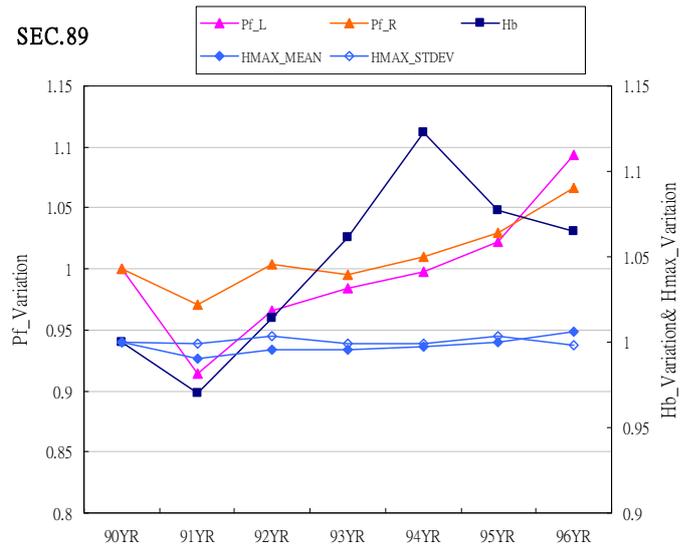
註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

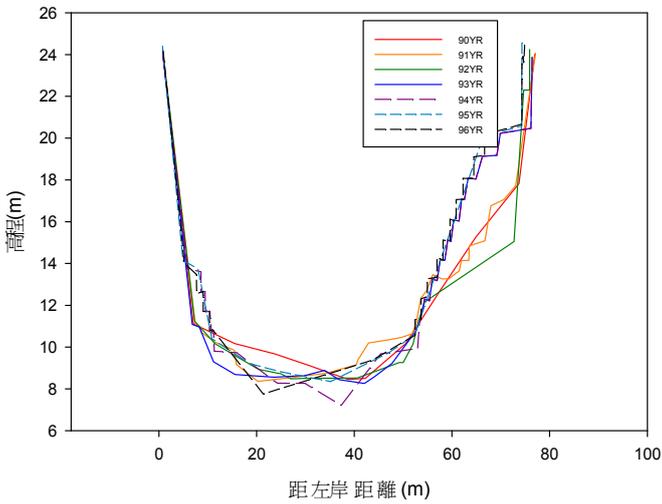
SEC.89



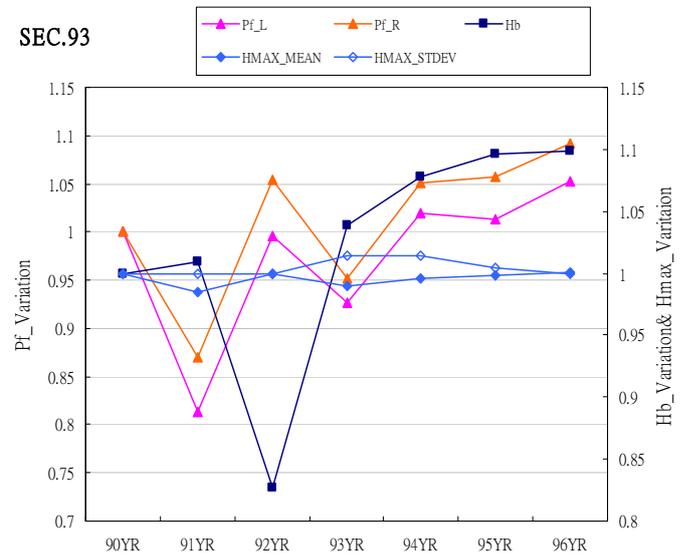
SEC.89



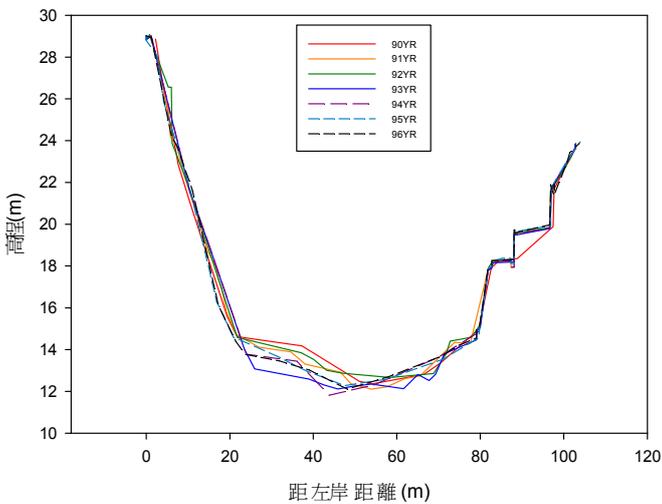
SEC.93



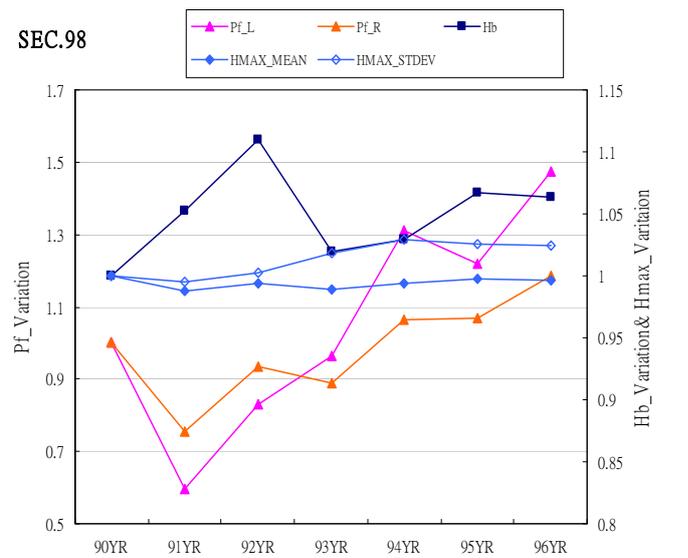
SEC.93



SEC.98



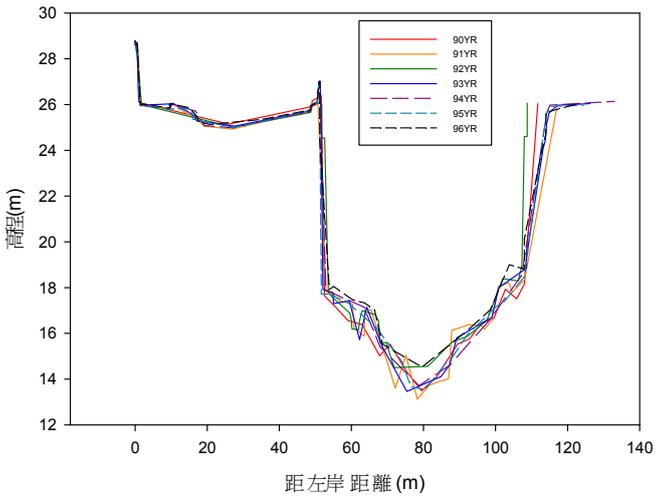
SEC.98



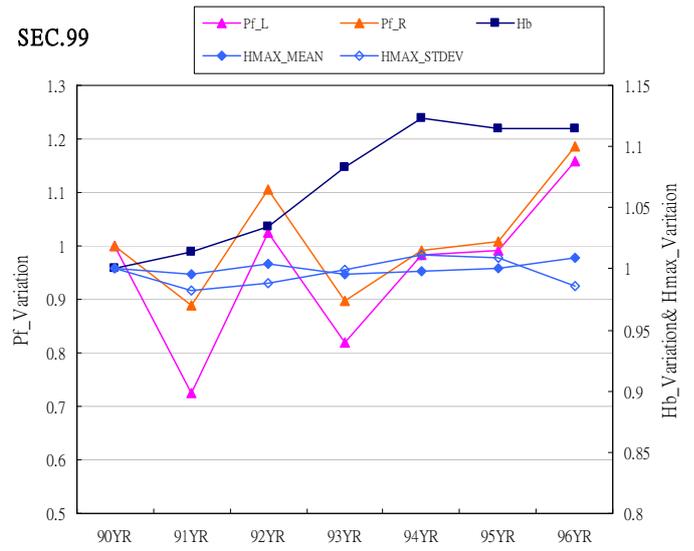
註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

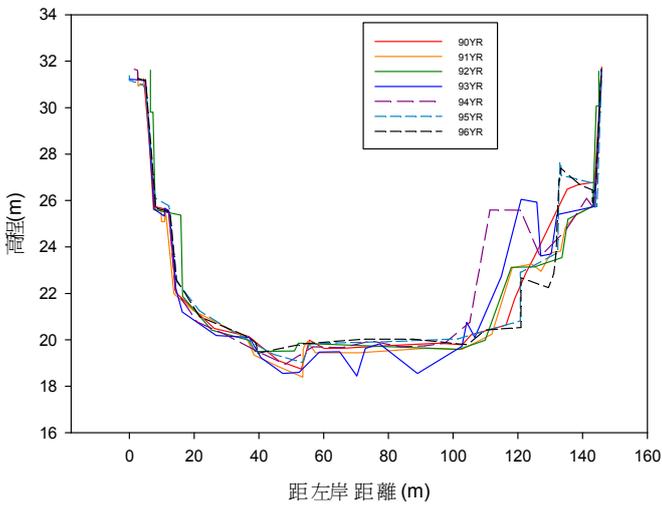
SEC.99



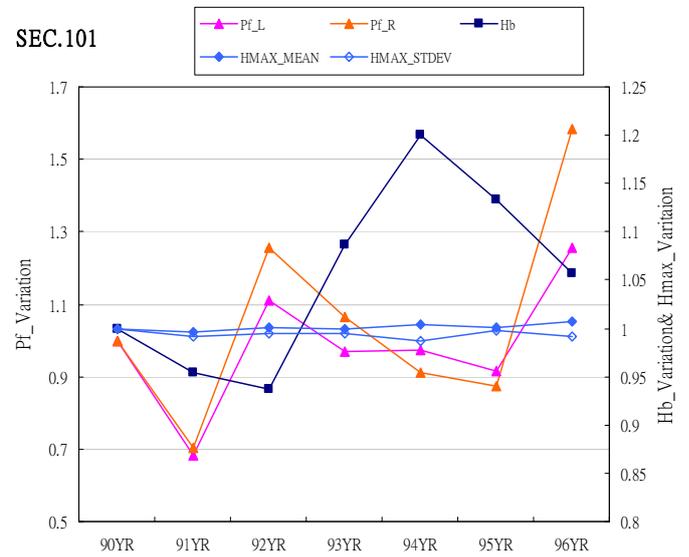
SEC.99



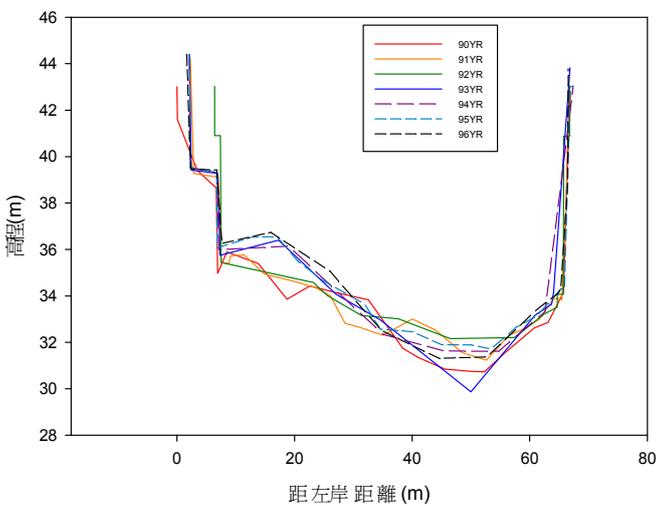
SEC.101



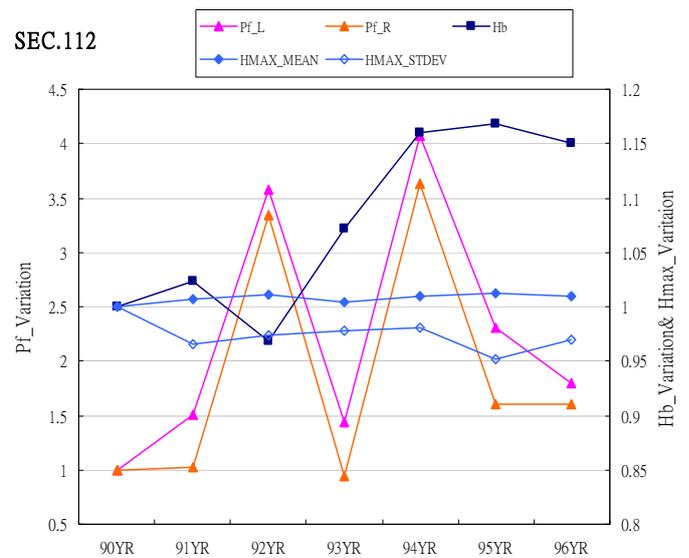
SEC.101



SEC.112

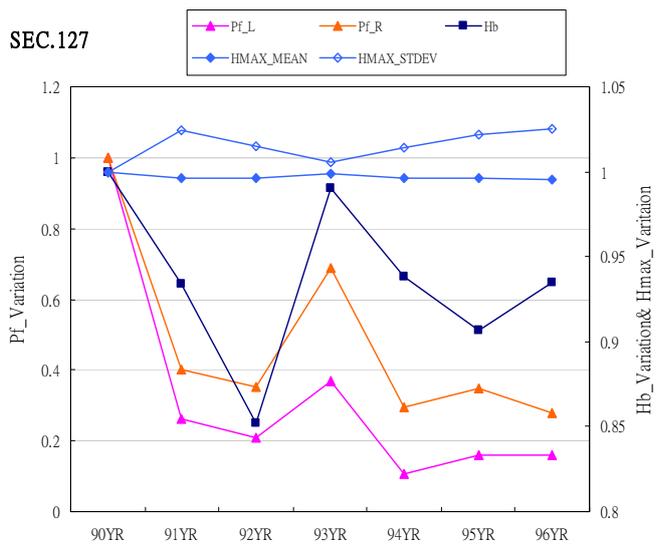
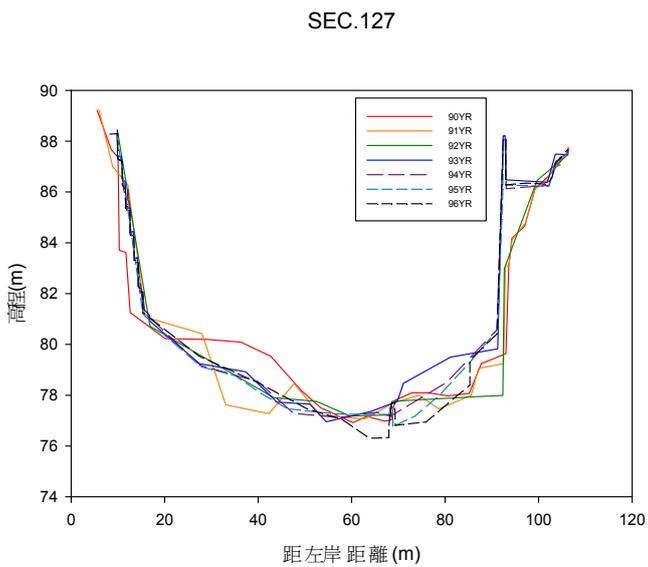
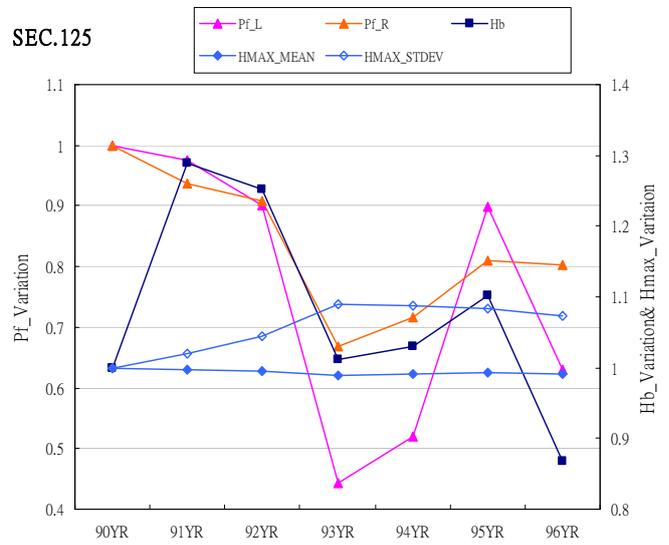
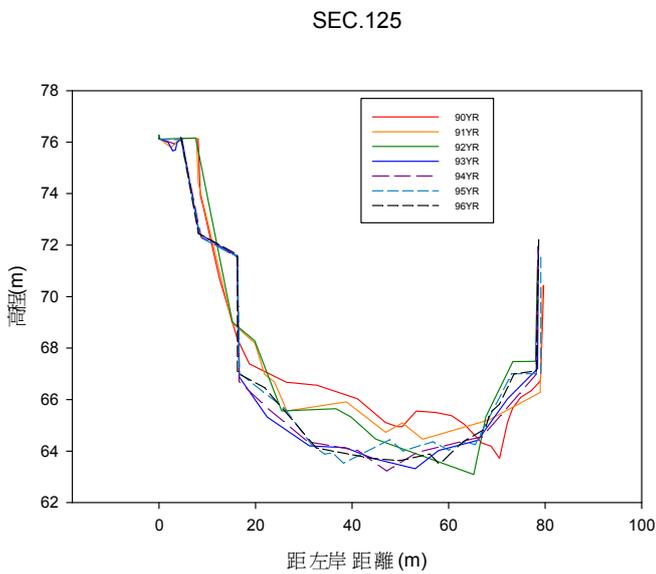
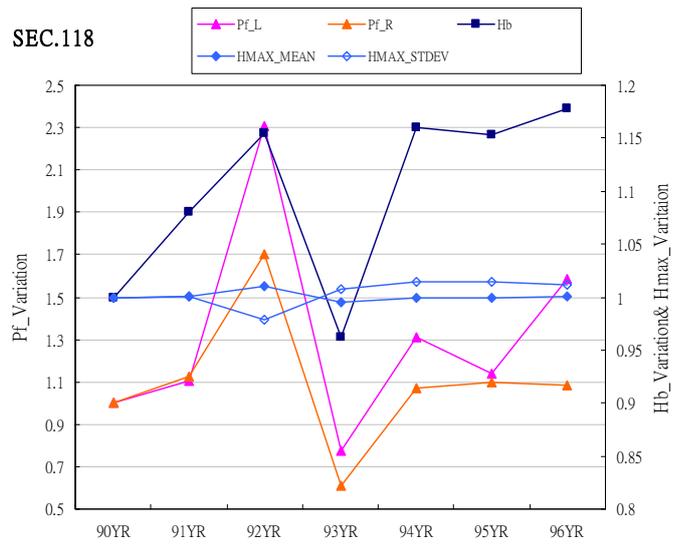
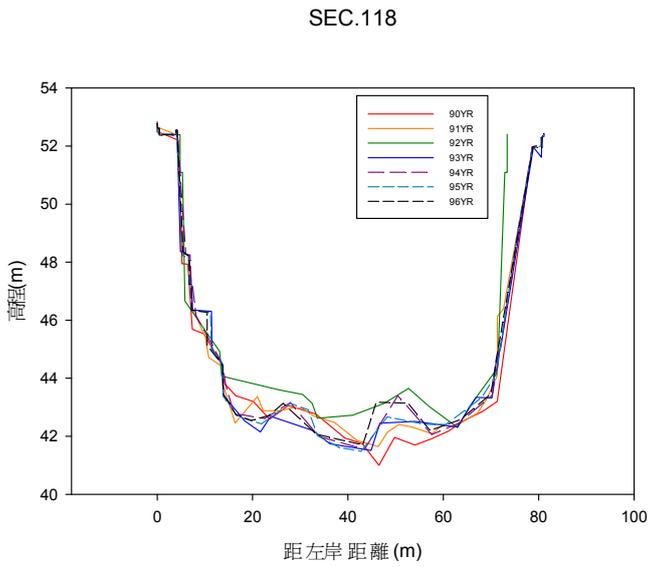


SEC.112



註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。



註:1.左圖為歷年(民國90~96年)之斷面變化圖;右圖為各年份(民國90~96年)底床變化率與溢堤機率及洪水位統計特性之變化率分析圖。

2.Pf\_L表示為左岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Pf\_R表示為右岸溢堤機率與90年之溢堤機率變化率;Hb表示為底床高程變化率;HMAX\_MEAN表示為洪水位之平均值與90年之水位平均值之變化率;HMAX\_STDEV表示為洪水位之標準偏差與90年之水位標準偏差之變化率。

圖 5-32 斷面沖淤對溢堤機率之影響分析

## 第六章 風險分析程序可行性探討

### 6.1 實際颱風事件之應用

本研究以納莉颱風實際之降雨事件進行風險分析，以測試本研究發展之風險分析程序可行性。納莉颱風發生於民國 90 年 9 月，為基隆河歷年發生最嚴重之洪災，經統計其 16 日~18 日基隆河流域平均三日暴雨量約 972 mm。納莉事件大台北地區的淹水範圍包括台北市之松山、內湖、南港、信義及中山等區，台北縣之平溪、瑞芳、汐止等鄉鎮及基隆市之暖暖、六堵、七堵等區，造成 104 人死亡，以及 20,000 戶淹水。以下將採用本研究建立之風險分析程序，應用於評估納莉颱風事件對基隆河防洪功能影響，以下為相關風險分析條件說明：

1. 蒐集基隆河於火燒寮、瑞芳、五堵、竹子湖、中正橋，五個雨量站民國 90 年 9 月 16 至 90 年 9 月 18 日共三日之實測降雨資料。並計算各雨量站之三日總降雨量與最大降雨強度。
2. 以距離倒數法推估基隆河流域四控制點之總降雨量  $D_{cp}$  與關渡站之最大無因次降雨比率，並沿用所衍生之各控制點 200 組重現期距 200 年三日降雨量與最大無因次降雨比率之變異係數，推估其變異數。其轉換過程如(6-1 式)所示：

$$\begin{aligned} D_{cp} &= \sum_{i=1}^{Ngage} (w_i \times D_i) & ; & \quad P_{\max(cp)} = \sum_{i=1}^{Ngage} (w_i \times P_{\max(i)}) ; \\ N_{Rp(cp)} &= \frac{D_{cp}}{P_{\max(cp)}} & ; & \quad w_i = \frac{(h_{i,cp})^{-1}}{\sum_{i=1}^{Ngage} (h_{i,cp})^{-1}} \end{aligned} \quad (6-1)$$

$D_{cp}$  表示為各控制點之總降雨量； $P_{\max(cp)}$  表示為各控制點之最大降雨強度； $N_{Rp(cp)}$  表示為各控制點之最大無因次降雨比率； $w_i$  表示為各雨量站與各控制點間之轉換權重。

三、採用 5.3 節所建置之風險分析程序及模式，計算各斷面之溢堤機率。表 6-1 為各風險因子之統計特性，其中各控制點之三日降雨量與最大無因次降雨比率，採用納莉颱風各控制點三日降雨量與無因次降雨比率之統計特性，其餘各風險因子則採用 200 組衍生值之平均值與變異數。

圖 6-1 與圖 6-2 所示為各斷面溢堤機率之計算結果，左岸之平均溢堤機率為 0.352、右岸之平均溢堤機率為 0.443，且發現於南港汐止、七堵八堵地區(約位於斷面編號 44~98 間)，具有較高之溢堤機率，而實際上納莉颱風亦曾造成此地區之淹水災情。故本研究所建立之風險分析程序應可適用於水利建造物之防洪功能之評估。

## 6.2 風險分析程序可行性之評估

風險分析在防洪工程上之目的為評估水文水理分析所得設計水文量受到不確定性因子之影響而發生可能低於實際水文量之機率。本研究中風險定義採用 Yen and Tang(1976)所提，為失敗事件發生之機率。也就是考量水文、水理及地文風險因子之不確定下，特定重現期距(保護標準)之最高洪水位超越堤防高程發生之機率，即為風險(溢堤機率)。因此本研究在應用案例基隆河上，主要為評估風險因子之不確定影響下，依據重現期距 200 年(保護標準)所設計堤防可能發生之防洪功能不足之風險。表 6-2 為在考量員山子分洪道與堤防出水高 1.5m 下溢堤機率超過 0.5 之斷面。亦可顯示在汐止南港地區(約位於斷面編號 44~73 間) 相對具有較高可能之溢堤風險。

本研究所建立之風險分析程序，應用於基隆河防洪系統上，主要探討以下五項研究重點：(1) 各風險因子之不確定性對防洪功能之影響評估：針對各風險因子進行敏感度分析，以衍生之各風險因子為基礎，計算其統計特性，分析不同變異程度對溢堤機率之敏感度分析，

由結果顯示各風險因子對堤防防洪能力之影響程度會隨斷面不同而變化，但在相同斷面上左右岸之溢堤機率會呈現相同上升或下降之趨勢。且在基隆河流域四個控制點中最大無因次降雨比率與 200 年之降雨量為影響程度較高之風險因子。(2) 堤防不同出水高之影響評估：為利用本程序探討增加不同的出水高對溢堤機率所造成的影響，以現有堤防高(出水高 1.5m)為基礎，探討出水高 0m、0.5m、1m、1.5m 在各斷面之溢堤機率，由結果顯示出水高對防洪功能可靠度之影響，隨其所在位置不同，其防洪成效也有所差異。(3) 員山子分洪道完成前後對溢堤機率之影響評估：為了解員山子分洪設置對溢堤機率的影響程度，故以定量流模式搭配本研究所建立之風險分析程序，探討有、無員山子分洪對基隆河溢堤機率之影響，由結果顯示設置員山子分洪道確實對降低基隆河之溢堤機率具有相當之貢獻。(4) 定量流與變量流對溢堤機率之影響評估：藉由定量流與變量流演算模式不同，評估對溢堤機率的影響，由結果顯示變量流所得之溢堤機率較低於定量流，因此在河川治理規劃時，為確保水利建造物之安全起見，均採用定量流之結果進行水利建造物之相關規劃。(5) 斷面沖淤對溢堤機率之影響評估：以第五章所衍生之各風險因子為基礎，逐年改變基隆河 90 年至 96 年之斷面量測資料進行水理演算，推估此七年間各 200 組最高洪水位，進而搭配本風險分析程序，評估其改變不同斷面資料之情況下，斷面沖淤變化情形對溢堤機率之影響，由結果顯示大部分斷面其溢堤機率隨底床高程變化率呈正向關係，即溢堤機率隨底床高程變化率上升而增加，亦隨底床高程變化率下降而減小，但部分斷面底床高程變化率與溢堤機率並非完全隨著底床高程變化率增加(淤積)而上升，其呈現正向趨勢並不明顯之原因可能是由於 90 至 96 年間之斷面沖淤變化程度並不明顯，故造成水位之變動幅度有限，導致底床高

程變化率與溢堤機率之趨勢無法完整的呈現在數據上。表 6-3 為所建立之防洪功能風險分析程序可評估之風險因子彙整。綜合上述成果可說明本研究所建立之風險分析程序應可適用於評估水利建造物之防洪功能。

最後依據本研究所建立之風險分析程序，擬定水文與水理風險分析程序簡易手冊，供防洪治理規劃參考。水文與水理風險分析程序簡易手冊共分為九大部分，分別簡述如下，其詳細內容請參閱附冊所述。

#### 一、分析目的：

水文水理風險分析目的為評估水文水理分析所得設計水文學量受到不確定性因子之影響而發生可能低於實際水文學量之機率。

#### 二、水文與水理風險分析流程：

水文水理風險分析步驟流程為

1. 水文與水理分析過程之瞭解；
2. 風險因子之辨識；
3. 風險分析方法之選定；
4. 風險因子之不確定性分析；
5. 設計水文學量之統計特性分析；
6. 設計水文學量之不確定性評估；
7. 風險之計算。

#### 三、水文與水理分析過程之瞭解：

詳列水文與水理分析過程所需資料及其可採用之水文水理模式，以利於辨識可能影響設計水文學量之風險因子。

#### 四、風險因子之辨識：

辨識影響水文水理分析所得設計水文學量之各種可能風險因子。

五、風險分析方法之選定：

選取適合評估水文水理分析所得設計水文量風險性之分析方法。

六、風險因子之不確定性分析：

計算風險因子之不確定性以應用於風險計算。其中風險因子之不確定性分析方法之選擇取決於所蒐集的資料，模式之複雜性及分析結果之要求。

七、設計水文量之統計特性分析：

依所選定之不確定性方法計算設計水文量之統計特性。

八、設計水文量之不確定性評估：

設計水文量之不確定性大小視設計水文量( $\phi_{design}$ )對輸入風險因子( $\theta_{risk}$ )之敏感度 $\left(\frac{\partial\phi_{design}}{\partial\theta_{risk}}\right)$ 及其變異數 $s_{\theta_{risk}}^2$ 。

九、風險之計算：

依據風險因子之不確定性計算設計水文量小於某一特定值之發生機率。

表 6-1 實際颱風事件應用之風險因子統計特性

風險因子	平均值	變異數	變異係數
$D_{KD}$	1027.229	28478.011	0.164
$D_{CS}$	999.269	27095.925	0.165
$D_{WD}$	982.612	21422.025	0.149
$D_{YS}$	801.255	16826.600	0.162
$N_{Rp}$	0.082	0.003	0.635
$TD$	4.787	0.209	0.096
$K$	1.053	0.341	0.555
$\varepsilon_Q^*$	114.510	316.598	0.155
$n_c\_1$	0.030	1.27E-05	0.119
$n_c\_2$	0.034	8.41E-06	0.085
$n_c\_3$	0.037	7.00E-06	0.072
$n_c\_4$	0.038	8.19E-06	0.075
$n_c\_5$	0.040	9.42E-06	0.076
$n_c\_6$	0.042	1.01E-05	0.075
$n_c\_7$	0.044	1.12E-05	0.077
$n_c\_8$	0.045	1.09E-05	0.073
$n_c\_9$	0.048	1.54E-05	0.082
$n_c\_10$	0.050	1.78E-05	0.084
$n_c\_11$	0.054	2.41E-05	0.091
$n_c\_12$	0.060	4.21E-05	0.109
$n_f\_1$	0.048	1.22E-06	0.023
$n_f\_2$	0.051	1.07E-05	0.065
$n_f\_3$	0.052	1.30E-05	0.070
$n_f\_4$	0.053	1.94E-05	0.083
$n_f\_5$	0.055	3.91E-05	0.113
$n_f\_6$	0.058	5.44E-05	0.127
$n_f\_7$	0.059	5.42E-05	0.124
$n_f\_8$	0.063	8.27E-05	0.145
$n_f\_9$	0.066	1.29E-04	0.171
$n_f\_10$	0.071	1.36E-04	0.165
$n_f\_11$	0.078	2.25E-04	0.193
$n_f\_12$	0.089	3.88E-04	0.222

表 6-2 溢堤機率超越 0.5 之斷面

斷面 編號	河心距(m)	左岸溢 堤機率	斷面 編號	河心距(m)	右岸溢 堤機率	斷面 編號	河心距(m)	右岸溢 堤機率
4	1991	0.620	1	0	0.999	71	31377	0.564
5	2611	0.689	2	847	1.000	72	32125	0.721
6	3271	0.738	3	1350	0.997	73	32835	0.639
7	3809	0.760	4	1991	0.942	75	33938	0.581
43	20810	0.547	5	2611	0.925	76	34450	0.556
44	21100	0.587	8	5684	0.971	77	34889	0.510
45	21603	0.559	24	11230	0.509	78	34948	0.589
46	22110	0.627	39	18550	0.543	80	35320	0.539
47	22610	0.646	40	19350	0.620	81	35415	0.570
48	22835	0.626	42	20250	0.760	83	36375	0.525
49	23112.5	0.629	44	21100	0.535	86	37599	0.809
50	23275	0.665	45	21603	0.703	89	38845	0.574
51	23885	0.758	46	22110	0.673	91	40480	0.728
52	24410	0.779	47	22610	0.722	92	40475	0.718
53	24785	0.811	48	22835	0.726	95	41915	0.515
54	25235	0.785	49	23112.5	0.722	97	43115	0.566
55	25500	0.819	50	23275	0.847	109	48715	0.502
56	25668	0.546	51	23885	0.874	122	55362	0.511
57	26009	0.779	52	24410	0.931			
58	26325	0.784	53	24785	0.908			
63	27305	0.725	54	25235	0.915			
64	27943	0.756	56	25668	0.720			
66	28368	0.728	63	27305	0.845			
68	29765	0.758	64	27943	0.824			
69	30989	0.588	65	28326	0.543			
70	31227	0.551	66	28368	0.859			
73	32835	0.530	67	29450	0.777			
92	40475	0.583	68	29765	0.547			
119	54289	0.639	69	30989	0.837			
121	55000	0.741	70	31227	0.555			

表 6-3 風險分析程序可評估之風險因子彙整表

水文因子		水理因子				地文因子	
設計降 雨量	雨 型	起算水位 (關渡潮位)	橋墩束 縮係數	堰流公 式參數	河道糙 度係數	斷面 沖淤	CN 值

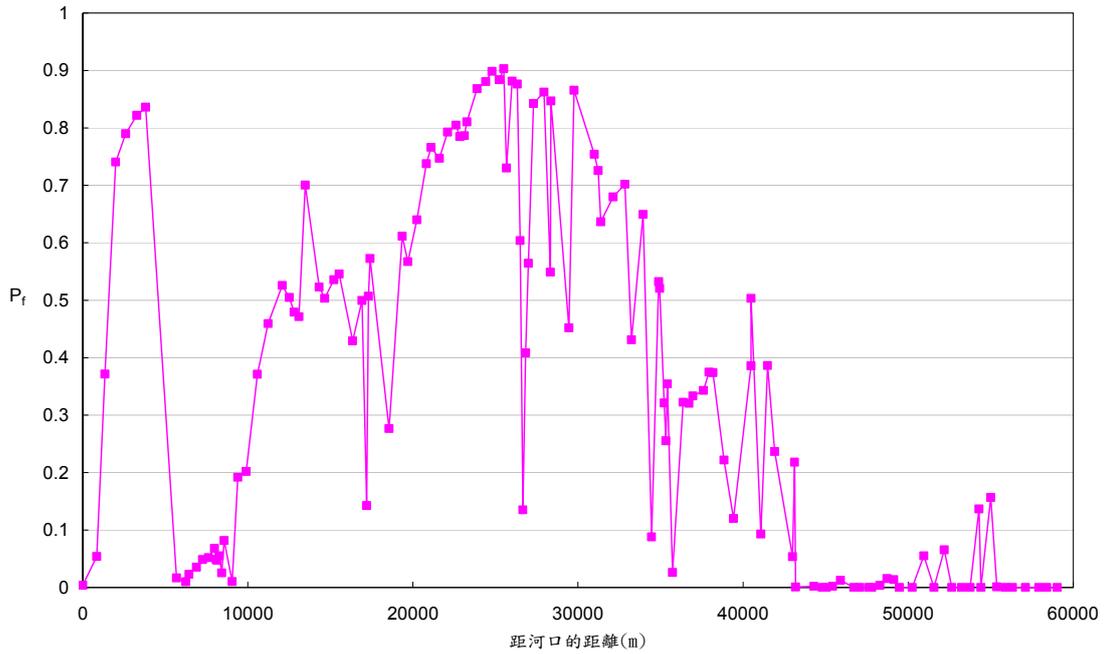


圖 6-1 實際颱風事件應用對左岸堤防之溢堤機率

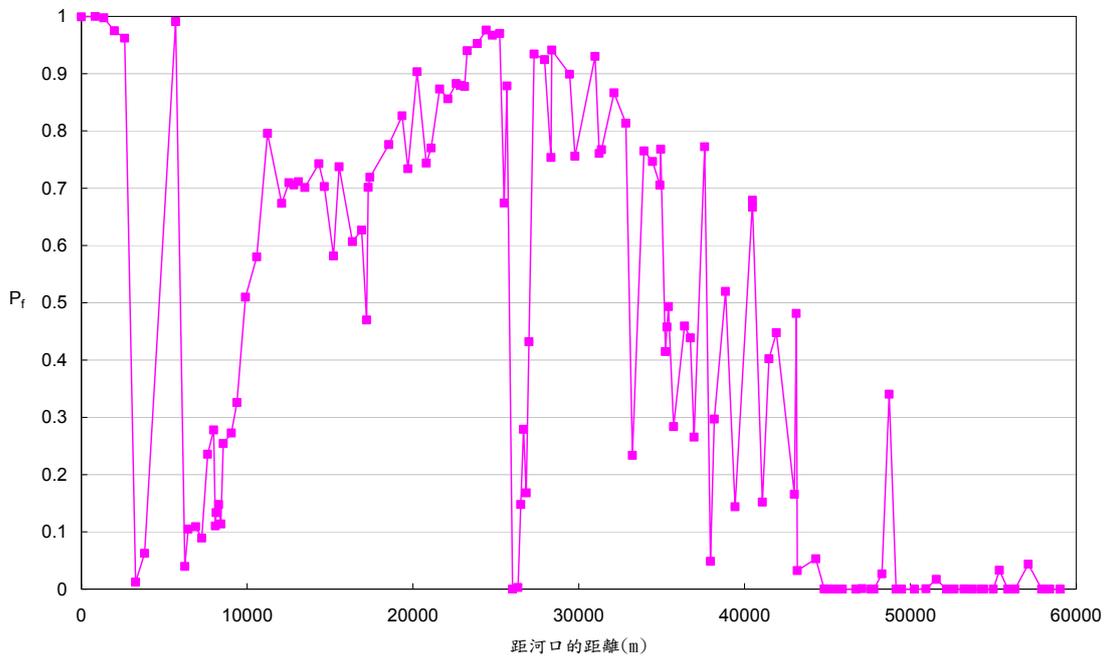


圖 6-2 實際颱風事件應用對右岸堤防之溢堤機率

## 第七章 教育訓練

本計畫已於 97 年 11 月 27 日，對水利署及所屬單位與其他相關單位工作人員，於國立交通大學結構大樓辦理教育訓練。課程方面，邀請香港科技大學土木系湯有光教授講解水利建造物防洪功能風險及不確定性分析理論，並簡介本計畫於基隆河之應用案例之分析結果，使各單位之工程人員對風險分析理論能夠有更進一步之了解，並從中學習藉由風險分析程序來探討水利建造物防洪能力之可靠度，期使未來能將水文水理風險分析概念與成果列入進行防洪治理規劃時之參考依據。有關當日上課情況可參考圖 7-1：



圖 7-1 教育訓練上課情形

## 第八章 結論與建議

### 8.1 結論

#### 1. 國內外防洪系統風險分析相關文獻蒐集

蒐集並彙整應用於防洪系統風險分析之不確定性方法、風險分析理論與相關文獻，以及水文及水理分析設計規劃相關資料與防洪工程構造物相關規劃設計資料，作為發展風險分析程序之基礎。

#### 2. 影響防洪功能之風險因子界定與評估

完成界定並評估防洪系統於規劃設計時，可能造成其防洪功能不足之潛在不確定性來源之風險因子，主要可分為：

##### (1) 水文風險因子：

包含設計降雨量、雨型、降雨-逕流模式參數。

##### (2) 水理風險因子：

包含起算水位、水工設施水理參數、河道糙度係數。

##### (3) 地文風險因子：

包含土地利用及植被、河道斷面沖淤。

#### 3. 風險分析程序及模式之建置

風險分析程序主要可分為風險計算與風險評估模式，風險計算主要應用本研究所建置之風險分析模式，計算風險指標大於原先設定安全值之機率；而風險評估主要從風險計算結果來評估防洪系統是否可達到原先設計之功能。

而風險分析模式之建置其主要可分為以下四部份：

##### (1) 風險因子之衍生；

##### (2) 河道各斷面之最高洪水位之衍生；

##### (3) 最高洪水位與風險因子關係式之建立；

(4) 失敗機率(及溢堤機率)之計算。

#### 4. 基隆河防洪系統風險分析實例應用

應用所發展風險分析程序與模式之建置，並採用 SOBEK 定量流模式推估河道各斷面之最高洪水位，評估基隆河依保護標準(重現期距 200 年)考量水文、水理及地文風險因子影響下，其所設計之防洪系統可能發生之溢堤機率。本研究所探討之重點為各風險因子之不確定性對防洪功能之影響評估；堤防不同出水高之影響評估；員山子分洪道完成前後對溢堤機率之影響評估；定量流與變量流對溢堤機率之影響評估；斷面沖淤對溢堤機率之影響評估，茲將研究成果總結如下：

- (1) 從風險因子逐步迴歸分析結果可瞭解，降雨-逕流模式參數對最高洪水位之影響程度最小，而 200 年三日降雨量與雨型(用最大無因次降雨比率代表)之影響程度較大。此外在河川治理設計規劃時應針對影響程度較高之變數，蒐集完整之資料分析，以期能夠得到較可靠之水文水理分析結果，進而設計可達到防洪成效之防洪系統。
- (2) 評估各風險因子對堤防防洪能力之影響程度時，由風險分析顯示風險因子對防洪能力之影響程度隨斷面不同而有所差異，但在相同斷面上左右岸之溢堤機率則呈現相同上升或下降之趨勢。此外在基隆河流域四個控制點中雨型與 200 年三日降雨量為影響程度較大之風險因子。
- (3) 由堤防出水高之風險評估比較結果顯示，出水高對防洪功能可靠度之影響，隨其所在位置不同，其防洪成效也有所差異。
- (4) 評估員山子分洪道設置對堤防溢堤機率之結果顯示，設置員山子分洪道可有效降低基隆河之溢堤機率。

- (5) 定量流與變量流對溢堤機率之影響評估結果顯示變量流所得之溢堤機率較低於定量流，主要原因可能為定量流不考量洪水洪峰稽延及洪峰消減之效應，故其洪水位會高於變量流推估之值，因此在河川治理規劃時，為確保水利建造物防洪功能起見，較適宜採用較保守定量流之結果進行防洪水利建造物之相關規劃。
- (6) 斷面沖淤對溢堤機率之影響分析結果顯示，大部分斷面之溢堤機率隨底床高程變化率呈正向關係，即溢堤機率隨底床高程變化率上升而增加，亦隨底床高程變化率下降而減小，但部分斷面底床高程變化率與溢堤機率並非完全隨著底床高程變化率增加(淤積)而上升，其呈現正向之趨勢並不明顯，造成此結果之原因可能是基隆河由於 90 至 96 年間持續進行疏濬之關係，故斷面沖淤變化程度並不明顯，造成水位之變動幅度有限，導致底床高程變化率與溢堤機率之趨勢無法完整的呈現在數據上。

#### 5. 風險分析程序之可行性探討

藉由基隆河現有防洪功能之風險評估結果及納莉颱風實例應用結果，顯示本研究所建立之風險分析程序可適用於評估防洪水利建造物之功能。另依據風險分析程序之理論架構與應用成果，可擬定水文水理風險分析程序簡易手冊(請參閱附冊)，提供防洪治理規劃之參考。

## 8.2 建議

1. 本研究在考量橋墩束縮之不確定性中，並未將橋樑壅塞之效應納入，但由基隆河近年之洪災事件發現，橋樑壅塞實際上可能為影響河道流況進而造成淹水災害之重要因素之一，故建議後續可將

橋樑壅塞之效應納入風險分析程序。

2. 水理模式類型與洪水位與風險因子關係式型式及其參數可能皆具有不確定性,但本計畫中不列入考量，建議未來可列為風險因子並加入風險分析程序及模式之建置過程。
3. 基隆河下游屬感潮河段，但本研究目前只針對暴潮位來進行水理之演算，故後續可針對起算水位受迴水及潮汐影響進行探討。
4. 本研究主要針對基隆河 200 年三日保護年限所設計之堤防進行風險分析，未來可針對不同重現期距與暴雨延時(Rainstorm duration)進行分析，以求得堤防在不同重現期距下之溢堤機率，進而求得堤防年可靠度。
5. 本研究目前並未針對複合性之洪水災害進行風險分析，建議未來可針對此部份做更進一步之探討與評估。
6. 本計畫所發生之風險分析程序及模式除可應用於其他水利建造物外，亦可擴充應用於整合效益及災損之風險為基礎之最佳化分析。

## 參考文獻

1. 楊錦釗，湯有光，「水文模式不定性分析及其在水工結構物之可靠度研究」，農業水利科技研究八十一年度計畫成果發表討論會論文集，民國 82 年 2 月。
2. 陳文福，「基隆河逕流特性空間分佈之研究」，國科會計畫報告，民國 91 年 7 月。
3. 林隆寬、郭世榮，「防洪牆現場檢查評估之研究」，國立台灣海洋大學河海工程學系九十三學年度碩士專班研究成果發表會。
4. 劉駿明、張吉佐、李民政、唐孟瑜，「員山子分洪隧道重點課題探討」，岩石力學與工程學報第 22 期，民國 93 年。
5. 吳祥禎、陳柏宏、楊錦釗，「權重克利金模式之發展與應用」，第十七屆水利工程研討會，民國 97 年 8 月。
6. 經濟部水利署，「台北防洪淡水河警戒水位檢討」，民國 90 年 12 月。
7. 經濟部水利署，「基隆河整體治理計畫」，民國 91 年 4 月。
8. 經濟部水利署，「水壩安全檢查最佳次序及週期之建立(1/2)」，民國 91 年 5 月。
9. 經濟部水利署，「洪災後基隆河沖淤調查與對策」，民國 91 年 12 月
10. 經濟部水利署，「基隆河流域治理規劃檢討」，民國 94 年 3 月。
11. 經濟部水利署第十河川局，「基隆河洪氾管理指標之不確定性對洪氾區劃設之影響研究」，民國 94 年 8 月。
12. 經濟部水利署，「河川治理及環境營造規劃參考手冊」，民國 95 年 6 月。
13. 經濟部水利署，「水利建造物工程設計基準之檢討」，民國 96 年

- 7月。
- 14.經濟部水利署，「水利防洪設施受新類型災害之脆弱度與調適度分析(1/2)」，民國96年12月。
  - 15.經濟部水利署，「水利工程技術規範-河川治理篇」，民國96年12月。
  - 16.經濟部水利署第十河川局，「基隆河洪氾區劃設水理模擬分析研究」，民國92年6月。
  - 17.經濟部水利署水利規劃試驗所，「洪氾區劃設準則之模式研究」，民國92年6月。
  - 18.經濟部水利署水利規劃試驗所，「砂質河川深槽變遷對河防建造物安全影響之分析(1/2)」，民國97年10月。
  - 19.經濟部水利署水利規劃試驗所，「基隆河整體治理計畫(前期計畫)暨後期治理方案之效益與風險分析」，民國94年12月。
  - 20.台灣電力公司，「台灣水庫集水區極端暴雨及其不定性之研究」，民國86年6月。
  - 21.台灣電力公司，「水文不確定性對水庫溢洪道之影響」，民國88年6月。
  - 22.經濟部水利處南區水資源局，「阿公店水庫更新工程計畫施工期間之風險分析」，民國88年5月。
  - 23.王治原，「防洪疏散門最佳啟閉時間之研究-以基隆河台北市河段為例」，中央大學土木工程研究所碩士論文，民國91年6月。
  - 24.吳祥禎，「整合時間尺度之隨機降雨序列模擬機制之發展與應用」，國立交通大學土木工程研究所博士論文，民國95年5月。
  - 25.邱浚信，「防洪抽水站整體檢討及未來改善方式之研究—以台南地區為例」，成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，民國92

- 年 6 月。
- 26.康富智，「防洪系統溢堤風險分析模式之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，民國 96 年 6 月。
  - 27.許永佳，「水壩溢流之風險分析—以翡翠水庫為例」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 90 年 6 月。
  - 28.張哲豪，「考量非常態分佈資訊於水利系統不確定性分析之研究」，國立交通大學土木工程研究所博士論文，民國 83 年 6 月。
  - 29.黃翰林，「河堤溢流之風險可靠度分析」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，民國 85 年 6 月。
  - 30.黃哲宗，「應用系統動態學建立水患風險評估模式之研究」，逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文，民國 93 年 6 月
  - 31.蔡憶文，「淡水河口暴潮位及河川水位機率預報研究」，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 91 年 7 月。
  - 32.簡鎮彪，「台北市防洪抽水站現況與聯合運轉可行性之探討」，海洋大學河海工程研究所碩士論文，民國 91 年 7 月。
  - 33.Ang, A. H.-S. and Tang, W. H. “Probability Concepts in Engineering Planning and Design,” Vol. II. Decision Risk and Reliability, John Wiley & Sons, Inc. New York. 1984.
  - 34.Apel, H. et al., Flood risk assessment and associated uncertainty. *Nazards and Earth System Science*, 4(2), 295-308, 2004.
  - 35.Borgman, L.E. , “Risk Criteria” , *Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE*,Vol. 89,No.WW3, pp.1-35,Aug.1963 .
  - 36.Cornell, C. A., “Bounds on the Reliability of Structural Systems”, *Journal of the Structural Division,ASCE*,Vol.93,No.ST1, pp.171-200, Feb.1967.
  - 37.Cheng, S. T., B. C. Yen and W. H. Tang, “Overtopping Risk for an Exting Dam”, *Civil Engineering Studies hydraulic Engineering Series*

No.37 December 1982.

38. Christopher Smemoe, Jim Nelson, Alan Zundel, "Risk Analysis Using Spatial Data in Flood Damage Reduction Studies.", ASCE, 2004.
39. Duckstein, L. Borgardi, "Application of Reliability Theory to Hydraulic Engineering Design", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 107, No. HT7, pp. 799-815, July. 1981.
40. Dunne, Thomas and Leopold, Luna Bergere. Water in Environmental Planning, 1978.
41. Hooke, J.M. Kain, R.J.P., (1982), Historical Changes in the physical Environment: A Guide to Sources and Techniques. Butterworths, Sevenoaks.
42. Heiko Apel, Annegret H. Thielen, Bruno Merz, Gunter Bloschl, "A Probabilistic Modelling System for Assessing Flood Risks.", Natrral Hazards, 2006.
43. Melching, C. S. , and Sharath Anmangandla, "Improved First-Order Uncertainty Method for Water-Quality Modeling," Journal of Environmental Engineering, Vol. 118, No.5, pp.791-805, 1992.
44. Melching, C.S. Reliability Estimation. In: Singh, V.P. (Ed.) Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, 1995.
45. Pappenderger, F., Harvey, H., Romanowicz, R. and Smith, P., "Risk & Uncertainty Tools and Implementation." Technological Report, Lancaster University, 2005.
46. Rackwitz, R., and B. Fiessler, "Structural reliability and combined random load sequences", Comput. Struc., 9, 489-494, 1978.
47. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Hydrology, U. S. Dept. of Agriculture, available from U. S. Government Printing Office, Washington, D, 1972.
48. Tung, Y. K., and Mays, L. W., "Risk Models for Flood Levee Design", Water Resources Research, Vol. 17, No. 4, pp. 833-841,

- Aug.,1981.
49. Tung, Y.K. and Yen, B.C., *Hydrosystems engineering uncertainty analysis*. McGraw Hill, New York, 2005.
  50. Warner, R. F. and Kabaila, A. P. “Monte Carlo Study of Structural Safety”, *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol.94, No.ST12, pp.2847-2859, 1968.
  51. Wood, E.F., *Analysis of Flood Levee Reliability*”, *Water Resources Research*, Vol.13, No.3, pp.665-671, June.1977.
  52. Wu, S.J., Yang, J.C., and Tung, Y.K., *Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory*. *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*, 20(3), 171-183. (SCI), 2005.
  53. Wu, S.J., Tung, Y.K, and. Yang, J.C., *Stochastic generation of hourly rainstorm events*. *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*. (Accepted) (SCI), 2006.
  54. Wu, S.J, Ho, L.F. and Yang, J.C. (2008) *A New Storage Function Model*. *Hydrological Processes*. (under review)
  55. Yen, B. C., “Risks in hydrologic design of engineering projects”, *Jour. Hydraul. Div.*, ASCE, 96 (HY4) : 959-966, 1970.
  56. Yen, B.C.; Ang, A.H-S.; *Risk analysis in design of hydraulic projects*. *Stochastic Hydraulics*, 1st International Symposium on Stochastic Hydraulics, 694–709, 1971.
  57. Yen, B. C., “Safety factor in hydrology and hydraulic engineering”, *Reliability in water Resources Management*, ed. By E.A. McBean, K. W. Hipel, and T. E. Unny, 389-407, 1979.
  58. Yen, B. C., Cheng. S. T. and , C. S., “First-Order Reliability Analysis”, *Statistic and Risk Analysis in Hydraulic Engineering*, ed. By B. C. Yen, pp 1-36, Water Resources Publications, Colorado, 1986.

59. Yen, B. C., and Tung, Y. K., "Some Recent Progress in Reliability Analysis for Hydraulic Design," Reliability and Uncertainty Analyses in Hydraulic Design, ed. By Yen, B. C. and Y. K. Tung, pp.17-34, ASCE, New York, 1993.

# 附錄一

## 委託服務建議書審查意見回覆

## 附錄一 委託服務建議書審查意見回覆

發言人	審查意見	回覆情形
水利署顧問 林顧問襟江	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究名稱已定，建議已「基隆河河防功能風險分析」更簡要。</li> <li>2. 前言部分應細明本研究主要著重之分析對象、資料及方法。</li> <li>3. 河口潮位需審慎考量。</li> <li>4. 員山子分洪功能涉及降雨分佈，請考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指教。</li> <li>2. 將在報告定稿時，依照委員之意見修改前言。</li> <li>3. 本計畫所採用之基隆河口潮位資料係參考過去歷史颱風事件於淡水河所量測之潮位</li> <li>4. 因「基隆河規劃報告」於水文與水理分析時，將基隆河分成四個控制點，藉以考量降雨在空間之不確定性，故本計畫將沿此一作法進行相關分析。</li> </ol>
巨廷工程顧問 股份有限公司 許董事長勝田	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 簡報資料 p.6，「評估基隆河可能遭受防洪功能失效之風險」，功能失效可能會被誤認為結構物遭破壞建議釐清。</li> <li>2. 風險之物理意義建議予以考慮，若風險為 10% 或 20%，代表之意義為何？</li> <li>3. 目前河川計畫水位之估算已考慮風險，且是以 Freeboard 來 cover. 若計算成果之水位雖高於設計值</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將在報告中明確說明本計畫主要考量水利建造物規劃過程所用到水文與水理分析中，可能潛在之風險因子，並不考量結構物本身遭破壞之風險。</li> <li>2. 本計畫所謂風險主要代表防洪功能失效之失敗機率，因此風險 10% 之代表發生某一風險情形可能發生之機率為 10%。一般風險亦會與災損整合成一災損期望值，也就是一場災害可能帶來之損失，故未來可與效益分析結合，使得風險分析結果之展示更具有意義。</li> <li>3. 本計畫期中報告已針對出水高對防洪成效進行分析，由分析結果可證明，堤防增加確實可達成原先設計之目</li> </ol>

	<p>但可涵蓋在 Freeboard 範圍內，是否代表可被接受，故成果之釐清應慎重。</p> <p>4. 水文是動態，故風險亦是動態的。</p>	<p>的，提高防洪效益。</p> <p>4. 感謝委員之指教，因水文是動態的，建議水利建造物在興建完成前後，皆需定期進行風險分析，以掌握不同風險因子之不確定性對防洪系統防洪功能之影響。</p>
<p>巨廷工程顧問 股份有限公司 宋副研究員長虹</p>	<p>1. 現行規劃設計之標準作業程序及分析模式選用差異性與本計劃分析程序之關連性為何？請說明。</p> <p>2. 雨型分佈不確定性引致降雨總量差異性，如何修正，其對功能失效評估之影響為何？請說明。</p>	<p>1. 本計畫主要著重於防洪系統中於規劃過程所用到水文與水理分析中，可能造成其防洪功能失效之風險因子，故可由現行規劃設計之標準作業程序中，界定出可能影響防洪系統之風險因子並依此進行分析。</p> <p>2. 本計畫期中報告中針對委員意見進行說明(請參閱附錄五)。</p>
<p>陳副總工程師清茂</p>	<p>1. 本計畫不考量河道斷面資料之不確定性，此對風險因子評估之影響性為何？請說明。</p> <p>2. 河川中許多的取水構造物，攔河構造物影響水理、地文因子；其適用於全省河川之通用性如何？</p>	<p>1. 本計畫將以斷面增減一比例之方式，概略分析河道斷面之不確定性對防洪系統之影響。</p> <p>2. 本計畫所建立之防洪系統風險分析程序及模式主要係以通用之水文與水理分析中可能遭遇之風險因子為基礎所建置之，非針對某一特定流域之水文條件所建立，故應可適用其他河川。</p>
<p>水利署綜合企劃組 張組長國強</p>	<p>1. 本計劃僅以基隆河為風險分析研究對象，其風險分析模式對於其他河川之分析方式是否適用？</p>	<p>1. 基隆河流域僅為本計畫之應用案例，故未來其他河川可依循本計畫所擬定之風險分析程序，建立其適用之風險分析模式。</p>

	<p>2. 研究中以 3 日設計雨型作為風險分析因子，模式是否能以 1 日、6hr 或 5hr 作風險分析，以因應未來風險評估及應變時之需求。</p>	<p>2. 本計畫所採用之降雨延時，主要沿用「基隆河規劃報告」中所採用之三日雨型。一般而言，短延時之雨型主要應用於都市降雨分析，而台灣河川流域大都採用 1 日以上之雨型，故現階段本計畫仍沿用河川治理規劃報告中所採用之延時。</p>
<p>水文技術組 曾副組長崇本</p>	<p>1. 第一年成果「最高洪水位與風險因子之關係式之建置」，請說明其關係式為何？</p> <p>2. 本計畫一再提到三日降雨，所謂三日是指最大三日還是連續 72 小時？</p> <p>3. 防洪失效的因子包含水文因子、水理因子、地文因子，請問如何計算防洪功能失效機率？</p> <p>4. 本計畫完成後，其成果是否只適用基隆河或可以推廣到其他河川？</p> <p>5. 表 4-10(p.36)五堵站洪峰流量為何使用 3325 而不用 4300？</p>	<p>1. 已在報告中針對此一部份加強說明。</p> <p>2. 主要根據「基隆河規劃報告」中所採用之年最大三日降雨量。</p> <p>3. 已在報告中針對此一部份加強說明。</p> <p>4. 本計畫所建立之防洪系統風險分析程序及模式主要係以河川治理規劃通用之水文與水理分析中可能遭遇之風險因子為基礎所建置之，基隆河流域僅為本計畫之應用案例，故未來其他河川可依循本計畫所擬定之風險分析程序，建立其適用之風險分析模式。</p> <p>5. 表 4-10 所列為過去分析結果，主要作為本研究所衍生之洪峰流量進行水理分析之參考。</p>
<p>水利防災中心 王主任藝峰</p>	<p>1. 本計畫為延續性、前瞻性研究，研究成果可作為水利工程建設評估工程計畫是否會造成流域防洪功能風險的評估依據本人同意</p>	<p>1. 感謝委員之意見。</p>

	<p>辦理。</p> <p>2. 教育訓練應以操作應用本研究成果為主，而非空泛介紹。時間依本中心其他委辦計畫一併辦理。</p> <p>3. 「地文」河道斷面因子本研究雖不納入模擬，但對程序、方法的論述及建議仍應於期末報告中呈現。</p>	<p>2. 遵照辦理。</p> <p>3. 本計畫將以斷面增減一比例之方式，概略分析河道斷面之不確定性對防洪系統之影響。</p>
<p>審查結果及 主席結論</p>	<p>1. 各審查委員依據評分標準評定本計畫，經委員審查同意由交通大學繼續辦理執行本計畫。爰此，本案「影響水利建造物(蓄水建造物除外)功能之風險因子探討與分析程序之建立(2/2)」計畫，由交通大學取得議價資格。</p> <p>2. 請執行單位參酌審查委員及工作小組意見，於本案簽約前提送修正服務建議書以供納入合約書內，並配合本署賡續辦理後續議價及簽約等程序作業。</p>	

## 附錄二

### 期中報告書審查意見回覆

## 附錄二 期中報告書審查意見回覆

發言人	審查意見	回覆情形
水利署顧問 林顧問襟江	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本工作為二階段工程，第一階段之第二年工作其第一年工作係針對水文，本年度併入考慮水理及地文有關工作內容建予肯定。</li> <li>2. 水理分析中起算水位及洪水量如進一步探討水理敏感度分析可加強其確定性。</li> <li>3. 構造物之資料中出水高為考慮不確定因素以超流量而言，堤防安全性應加堤腳(或防洪牆)沖刷，丁壩應加壩長、間距及壩頸沖刷，抽水站應加攔汙柵、備用電源、冷卻系統、配電盤高度，另防洪牆亦應考慮接縫水封等補充或僅提原出處以求周全。</li> <li>4. 本年基隆河之實例探討如增加納莉颱風之雨量分布分析，可供員山子分洪績效參考。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 本計算所採用之起算水位模擬值主要根據歷年颱風事件之潮位實測資料所衍生之。</li> <li>3. 遵照辦理，於期末報告附錄四中補充說明。</li> <li>4. 遵照辦理，將於期末報告中增加此部份分析結果。</li> </ol>
巨廷工程顧問 股份有限公司 許董事長勝田	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 現有報告有關國內外資料蒐集是指分析方法，可否亦蒐集國外防洪風險分析的案例供本計畫參考。</li> <li>2. 由水利建造物規劃角度來看，各風險因子與規劃參數相較有高有低，各因子之加成或抵銷效應如何處理？是以最壞情況考慮之？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理。相關內容請參閱第二章所述。</li> <li>2. 風險分析架構之目的在於評估最高洪水位在不同斷面的不確定性及其統計特性，所以本計畫採用 LHS 以隨機方式來衍生各風險因子的組合，再代入水文及水理演算推得洪水位及風險因子之關係式，故理論上</li> </ol>

	<p>3. 本計畫以“水利建造規劃角度”來檢討風險，但災害事件的發生往往是因為“事件”與規劃假設有落差，如何處理之。</p> <p>4. 現有政府推動的“易淹水防洪計畫”有很多外水問題，本計畫之成果如何應用於與本計畫不同類型的計畫?建議報告中增列防洪類別供水利署處理後續計畫之參考。</p>	<p>可將各因子之加成與抵銷效應納入分析。另在採用高等一階二矩法推算風險值的過程中，則可依各風險因子與規劃參數之相關性作最壞情況組合來進行風險評估。</p> <p>3. 本計畫所發展之風險分析程序主要針對規劃過程可能因水文、水理或其他因子之不確定性所引起之風險性進行評估。但對於事件之風險分析，所需考量之風險因子可能遠多於規劃過程之因子，例如結構破壞因子、人為操作因子、河性變化因子等，故其分析程序較現有之風險分析程序複雜，但建議未來可依本計畫所建立之風險分析程序建立風險計算模式，以進行相關之風險評估。</p> <p>4. 遵照辦理。已蒐集相關資料增列於第二章。</p>
<p>水利署 陳副總工程師清茂</p>	<p>1. 依風險值概念所分析左右岸之風險值不同，其差異之相對意義請清楚界定。</p> <p>2. 防洪工程構造物設計資料彙整過於簡略，請思考其敘</p>	<p>1. 由於左右岸之堤防高程相異，進而造成風險值不同。故左右岸風險值意指針對基隆河在重現期距200年三日降雨情況下，最高洪水位超越該岸堤防高程之溢堤機率。</p> <p>2. 感謝委員之意見，本計畫所列防洪工程構造物設計資</p>

	<p>述之意義。</p> <p>3. P.5-19所述左右岸保護年限655年及1119年之意義不大，請修正。</p>	<p>料之目的，僅表示設計過程中可能需推得之水文量，與其設計過程之理論及步驟內容無關，故以簡略方式陳敘。</p> <p>3. 感謝委員指正，本計畫目前只求得基隆河流域在保護年限200年之風險值，若要評估實際保護年限則需要更完善之資料與分析程序，故於期末報告中將此部分予以刪除。</p>
<p>水利署水文技術組 曾副組長崇本</p>	<p>1. 風險分析程序及模式之建置是否在今年要全部完成？還是爾後的「未來工作」？</p> <p>2. 以基隆河防洪系統分析成果探討而言，對各種不同的風險因子單獨提出探討，但本研究是否考慮將所有風險因子全部整合在一起作比較？</p> <p>3. 現存防洪系統保護年限之探討，比較有無員山子分洪保護年限有所不同，但出水高又不考慮橋樑壅塞風險是否合理？</p>	<p>1. 風險分析程序及模式之建置為本年度之工作項目之一。</p> <p>2. 本計畫只在探討各風險因子對防洪功能風險之影響程度的部份，將各風險因子單獨提出探討，而後續探討不同出水高之比較與員山子分洪道之風險分析等則是將所有因子整合在一起而求得溢堤機率，再進行溢堤機率之比較。</p> <p>3. 感謝委員指正，本計畫目前只求得基隆河流域在保護年限200年之溢堤機率，若要評估實際保護年限則需要更完善之資料與分析程序，故於期末報告中將此部分予以刪除。至於橋樑壅塞風險，本計畫主要針對水利建造物防洪功能於設計過程中可能遭遇之風險性，而橋樑壅塞屬於災害事件之風險分析，建議未來可將風險分析過程擴展至防洪預警之風險分析。</p>

<p>水利署水利防災中心 馮簡任工程德榮代</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 藉由故障樹分析法以界定風險因子，並分析防洪功能失效之計算，其中若有列出之風險因子未納入實例之分析計算，則應加以說明清楚未列入考量計算之原因。即與風險因子組合所選 10 項風險因子之相互對應關係要敘明。</li> <li>2. 用以推衍員山子分洪量 200 組資料時，在 P-5-31，標準偏差為 1，流量最大值是否應考量到實際排洪隧道疏洪量之限制條件，以反應演算之實際狀況，請說明。</li> <li>3. 風險值計算出來後，相對於有設置即時水位站之一級、二級、三級警戒水位之間的關係為何，請試製做相互關係勾聯表；另各斷面皆有計算出其風險值，請試作風險評量等級，以提供河川管理及防災業務人員瞭解其真正實務應用上應採取之因應措施，以利做好風險管理。</li> <li>4. 員山子分洪之設置經初步分析確實可降低基隆河溢堤之風險，請進一步針對有呈現明顯防護作用之斷</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理，將於期末報告中補充說明。</li> <li>2. 本計畫最後所採用之員山子分洪量為假設標準偏差為 0.15 所推衍之。由於標準偏差為 1 與原規劃設計之疏洪量相差甚鉅，已超越排洪隧道之限制條件，故並未採用此作為分洪量之推衍結果。</li> <li>3. 目前所做的成果是依據在 200 年三日設計降雨所產生的洪峰流量為基礎下所作的風險分析，為一規劃面之溢堤機率，而警戒水位為一即時面的預警水位，故兩者之基礎不一致，無法製作其相互關係勾聯表。另本計畫所求得之風險值乃在保護標準(重現期距 200 年)受到水文、水理及地文風險因子影響下之溢堤機率。若要使風險值在風險管理上更具體化，則需配合進行效益評估，才可製作風險評量等級，進而應用於河川管理與防災業務。</li> <li>4. 遵照辦理，將於期末報告中補充說明。</li> </ol>
-------------------------------	---	--

	<p>面，分析比較有、無設置時之風險值與最高洪水位之變動情況，以利瞭解與原規劃預期降低洪水位之趨勢變化。</p>	
<p>會議結論</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 經審查期中報告內容原則通過。</li> <li>2. 請交通大學依據委員所提意見，繼續辦理後續委託研究工作</li> </ol>	

## 附錄三

### 期末報告書審查意見回覆

### 附錄三 期末報告書審查意見回覆

發言人	審查意見	辦理情形
巨廷工程顧問 股份有限公司 許董事長勝田	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 每個水工結構物都有風險，但過去都是定性，風險分析採定量是一個突破，如何有產出物使其成果對水利署有用，應是將來研究的方向。</li> <li>2. 最大風險因子是降雨量與雨型，橋墩束縮的因子不重要，但請不要給交通單位一個印象，即橋墩對河川的影響輕微，因橋墩的附帶效用並未考慮。</li> <li>3. 基隆河過去幾年河道的變化對風險機率影響小，是否因為疏浚的關係，並非表示自然現象如此，宜釐清。</li> <li>4. 水文水理風險分析手冊是本計畫的產出物，建議列入附錄並於結論中註明。</li> <li>5. 建議考慮執行其它河川的風險分析，並將其成果與基隆河比較，讓水利署可以相互比較與瞭解。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員之指教</li> <li>2. 感謝委員之指教，將於結論中補充說明。</li> <li>3. 感謝委員之指教，將於結論中補充說明。</li> <li>4. 遵照辦理，詳細內容請參閱附冊。</li> <li>5. 感謝委員之意見,建議可於未來相關計畫中予以探討。</li> </ol>
財團法人台灣水利環境科技研究發展教育基金會 何委員興亞	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究所採用之方法，以及分析結果，均相當合理，可供河川防洪系統風險分析應用。</li> <li>2. 本計畫對基隆河防洪系統風險分析進行實例分析，對於基隆河以往整治效果之評估，或是否</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 感謝委員之建議。於第六章中補充說明中，採用列出溢堤機率大於50%有較高風險之斷面</li> </ol>

	<p>還存在較脆弱環節？可否由分析結果中予以闡釋，或提出對實務工作有所助益之建議。</p> <p>3. 風險分析結果中，堤防溢堤機率值之高低，所代表之意義，如高風險、有風險、風險低等，是否可能予以分級？供防洪系統規劃與強化參考應用。</p> <p>4. 對於不同河川及防洪系統進行風險分析之必要性與優先順序考量，研究團隊是否可提出檢視原則或建議。</p>	<p>之方式陳述。由於本計畫所得之溢堤機率為一潛在之可能溢堤風險，可作為水利相關單位在進行相關防洪治理措施(例如河道疏浚)之成效評估。</p> <p>3. 本計畫所求得之風險值乃在保護標準(重現期距200年)受到水文、水理及地文風險因子影響下之溢堤機率。若要進行風險分級以使風險值在風險管理上更具體化，則需配合進行效益評估，進而應用於河川管理與防災業務。</p> <p>4. 將在報告結論中說明，未來可參考藉由本計畫之風險分析程序及模式，於不同水文、水理及地文風險條件下，所求得溢堤機率之變化情形，作為針對特定條件下防洪系統進行風險分析之必要性。例如，由不同斷面資料所求得之溢堤機率可作為河川是否進行疏浚之參考。</p>
<p>水利署水文技術組 曾副組長崇本</p>	<p>1. 水利建造物風險分析模式中，所謂的防洪功能失敗機率是指什麼？</p> <p>2. 影響防洪功能之風險因子主要為水文、水理及地文之風險因子，但近年來所發生的災害大都為複合性災害，且一次</p>	<p>1. 本研究所定義之失敗機率为當洪水位超越堤防高之發生機率，亦為溢堤機率。</p> <p>2. 對於複合性災害之風險評估，所需考量之不確定性因子遠多於規劃過程之不確定性因素，例如水利結構物之破壞、</p>

	比一次嚴重，對於水利建造物無法預知之威脅也越來越大，請問這類風險如何評估？	橋墩阻塞、河道淤積等因子，但仍可沿用本風險分析程序來進行風險評估。
水利署水利防災中心 王主任藝峰代	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究二年研究已提出完整的防洪計畫風險評估方法，符合契約要求，本人同意通過。</li> <li>2. 手冊太過概念化，建議應對應所提供的模式，詳述操作步驟，並以基隆河案例所用資料為範例，供應用時參考。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 遵照辦理。</li> </ol>
國家災害防救科技中心 張助理研究員駿暉	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 風險因子與最高洪水位之迴歸式亦存在不確定性，此部份是否應納入風險分析程序中？</li> <li>2. 溢堤機率沿河道變化相當劇烈，將來應用於規劃上，是否會造成設計之困擾？關於如何應用此模式，建議可於下年度計畫中探討。</li> <li>3. 本研究事實上是以前SOBEK 模式為驗證對象，SOBEK 模式之不確定性是否也應納入風險分析程序？</li> <li>4. 流域各控制點及斷面的配置，建議可附一張圖示意，使大家有更清楚的概念。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究並未考量迴歸式之不確定性，未來可將此部份納入風險分析程序中。</li> <li>2. 感謝委員之指教。在實務工程上，若要讓堤防保有相同的溢堤機率，確實有其困難度。而如何將此風險分析模式與成果實際運用至規劃上，建議未來可於相關計劃中加以探討。</li> <li>3. 原則上模式之不確定性可能為風險因子之一，但若要將其納入風險分析程序中實有其困難度，故本研究並未考量模式本身之不確定性，關於此點將於報告定稿之分析條件中補充說明。</li> <li>4. 感謝委員之建議，將補充於第五章中。</li> </ol>

會議結論	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 經審查期末報告內容原則通過。</li><li>2. 請本計畫執行單位參照各委員及承辦單位所提意見，繼續辦理後續工作事項，並於期末報告列表說明其應對處理情形。</li></ol>
------	---

## 附錄四

### 防洪工程構造物相關規劃設計資料

## 附錄四 防洪工程構造物相關規劃設計資料

防洪工程構造物主要包括堤防、護岸、丁壩、防洪牆、閘門以及抽水設備，其興建目的為天然河川穩定河槽或排水之設施，更是影響河川治理規劃中水文、水理分析之因素之一，故以下將參考經濟部水利署(2007)「水利工程技術規範-河川治理篇(草案)」，針對各構造物說明其規劃設計方式。

### 一、堤防規劃設計

#### 1.一般原則

- (1) 堤防工程的設計應依流域綜合治水規劃及河川治理基本計畫辦理。
- (2) 堤防工程的設計，應具有可靠的氣象水文、地形地貌、流域水系、生態環境、地質及社會經濟等基本資料。
- (3) 堤防工程設計應滿足安全、穩定、滲流、變形等方面要求，並貫徹因地制宜、就地取材的原則，謹慎採用合適的工法、技術及材料。

#### 2.基本資料

##### (1) 水文氣象

堤防工程設計應瞭解氣溫、風況、蒸發、降雨、水位、流量、流速、泥沙、地下水等氣象水文資料，並具備該地區的水系、水域分布、河道演變和沖淤變化等資料。

##### (2) 社會經濟

堤防工程設計應具備堤防保護區及堤防工程區的社會經濟資料，包括面積、人口、土地利用情形、城鎮分布情形、交通、工業及歷史洪災情況。

##### (3) 生態及環境

堤防工程設計應瞭解河道附近的動植物生態及棲息環境，針對計畫區的動植物生態、生物多樣性、自然景觀等，研擬自然環境保護要素、採行生態工程以資因應配合，儘量減少人為干擾。

有關動植物分布及環境資料除由調查規劃報告獲取、現地勘查及蒐集既有文獻參考瞭解外，可查閱水利署各單位、農委會特有生物研究保育中心及學術單位所建立的資料庫擷取相關資料。

為瞭解自然景觀及環境保護需求，透過當地保育單位、地方政府及熱心人士的溝通查訪，往往可得到確切的寶貴資訊。

##### (4) 工程地形圖及縱橫斷面圖

堤防設計應具備地形圖及縱橫斷面圖如下：

地形圖 比例尺 1:1000~1:5000

縱橫斷面圖 比例尺

縱斷 垂直1：100~1：200 水平1：1000~1：2000

橫斷 垂直1：100~1：200 水平1：100~1:200

#### 3.堤防布置

堤防布置原則上應根據河川治理基本計畫及規劃報告水道治理線位

置布設，實際布置時尚需考量現地地形、地質條件、河流變遷，結合現有建築物的位置、施工條件、已有工程狀況、用地取得情形、文物保護等因素，進行微調，必要時辦理方案比較決定之。

- (1)水道治理計畫線的位置，在規劃階段都已充分考量各項因素，但實際布設時，仍應就現地實際情形再行確認，進行布置設計。
- (2)計畫堤防與既有防洪設施、道路及跨河構造物如何銜接配合，也是設計考量的重點之一，必要時尚需查訪及協調相關單位及附近居民的意見。
- (3)堤防布置，因實際情形需要微調線型時，需在已公告的堤防用地範圍線內為之。

#### 4.堤型選擇

- (1)堤防工程的形式應按照因地制宜、就地取材的原則，根據堤段所在的地理位置、保護標準、重要程度、堤址地質、築堤材料、水流及風浪特性、施工條件、運用與管理要求、環境景觀、工程造價等因素，經過經濟分析比較，綜合評估確定。
- (2)依築堤材料可選擇土堤、石堤、混凝土或鋼筋混凝土防洪牆、分區填築的混合材料堤等；根據堤身斷面形式可分為斜坡式堤、直牆式堤或直斜複合式堤等。
- (3)各堤段可根據其具備條件採用不同的堤型。在堤型變換段應做好銜接處理，必要時應設計過渡段。

#### 5.堤身設計

堤身結構應經濟實用、就地取材，便於施工，並應滿足防汛和管理的要求。堤身設計應根據堤基條件、築堤材料及要求分段進行。堤身各部結構與尺寸，應考量結構安定、工程技術及經濟比較後確定。土堤堤身設計應包括確定堤身斷面布置填築標準、堤頂高程、堤頂結構、堤坡與戩台、護坡與坡面排水、防滲與排水設施等。防洪牆設計應包括確定牆身結構形式、牆頂高程和基礎尺寸及防滲、排水設施等。

##### (1)築堤材料與填築標準

築堤材料主要可分為土料、石料及砂礫料，應符合下列規定：

土料：築堤材料一般以就地取用河床料為原則，不得含植物根莖、磚瓦垃圾等雜質；土料填築夯實厚度，一般細粒土料每層以20至25公分，粗粒土料每層以35至40公分為原則。

砂礫料：耐風化、水穩定性好，就地取用河床料為原則。

混凝土骨材應符合國家現行標準的相關規定。

##### (2)堤頂高度

堤頂高度應按計畫洪水位加出水高確定。計畫洪水位依河川治理基本計畫及規劃報告數據為原則。附表D-1所列之出水高之標準可供參考，設計時仍宜考慮實際情況決定。土堤應預留本身沈陷量。沈陷量可根據堤基地質、堤身土質及填築密實度等因素分析確定，一般取提高的3%~8%。現階段地層下陷區築堤，至少須預留未來五年的地層下陷量，以策安全。

##### (3)堤防之穩定

堤基之寬度至少應為洪水高出堤基高度之4 倍，考量堤防邊坡沿一圓弧形之破裂面發生滑動時，則滑動破壞之安全係數可簡化為下式

$$FS = \frac{CL + \sum N \times \tan\phi}{\sum T} \quad (D-1)$$

上式中，C 為土壤黏著力

L 為破壞圓弧之總長度

N 為作用於法線方向之分力

T 為作用於切線方向之分力

改變圓弧之中心，經反覆試算可求出安全係數FS 之最小值，進而決定危險斷面。其試算結果之判斷如下所示：

FS < 1.0 不穩定

FS = 1.0~1.2 穩定，但不可靠

FS = 1.3~1.4 挖土或填土可穩定，但對土堤即不可靠

FS ≥ 1.5 土堤穩定可靠

#### (4) 堤坡坡度與戽台

堤坡坡度應根據堤防保護標準、堤身結構、堤基、築堤土質、風浪情形、護坡型式、堤高、施工條件等，藉由安定分析確定，堤坡坡度一般採用值如附表D-2所示，而堤高超過6m 者，宜設置戽台，戽台的寬度不宜小於1.5m。

#### (5) 基礎承载力

堤防設計應根據堤防型式進行穩定分析，滿足土壤的允許承载力，土壤的承载力不足時，則需要進行加固處理。為獲得地基土壤之容許承载力，應蒐集相關資料及作地基調查後決定，通常可由試驗求得之極限承载力，除以安全因數2 作為容許承载力，附表D-3為各類土壤之容許承载力參考值：

#### (6) 護坡與坡面排水

- A. 護坡應堅固耐久、就地取材、利於施工與維護。對不同堤段或同一坡面的不同位置可選用不同的護坡型式。
- B. 臨水側護坡的型式應根據風浪大小、近堤水流，結合堤高、堤身與堤基土質等因素確定；背水側護坡的型式除本身因素外尚需考慮當地民眾意見及維護管理需要。
- C. 水流沖刷或風浪作用強烈的堤段，臨水側坡面宜採用砌石、混凝土或土工織物模袋護坡。背水坡和其他保護標準不高的堤防可採用土坡、植草或各類的混凝土預鑄塊等護坡。
- D. 水泥土、砌石、混凝土護坡與土體之間必須設置墊層。墊層可採用砂、礫石或碎石、石渣和土工織物，砂石墊層厚度不應小於0.1m。必要時可適當加厚。
- E. 水泥土、漿砌石、混凝土等護坡應設置排水孔，孔徑可為5cm~10cm。孔距可為1m~3m。漿砌石、混凝土護坡應設置伸縮縫。
- F. 砌石與混凝土護坡在堤腳、戽台或改變坡度處，均應設置基座，堤

腳處基座埋深不宜小於0.5m，其有沖刷之虞者依實際需要加深，護坡與堤頂相交處應牢固封頂，封頂寬度可為0.5~1.0m。

- G. 臨水側的防護可採用斜坡式、陡牆式或複合式結構，並根據堤身、堤基、堤前水深、風浪大小以及材料、施工等因素經經濟分析比較後確定。
- H. 陡牆式宜採用重力式擋土牆結構，其斷面尺寸應經穩定及強度分析確定。砌置深度不宜小於1.0m，牆與土體之間應設置過渡層，過渡層可由砂礫、碎石或石渣填築，其厚度可為0.5~1.0m。
- I. 複合式護坡宜結合變坡段設置平台。
- J. 高於6m 的土堤受到雨水沖刷嚴重時，宜在堤頂，堤坡、堤腳以及堤坡與山坡或其他建築物接合處設置排水設施。
- K. 平行堤軸線的排水溝可設在戽台內側或近堤腳處。坡面豎向排水溝可每隔50~100m 設置一條，並應與平行堤軸向的排水溝連通。排水溝可採用預鑄混凝土或塊石砌築，其尺寸與底坡坡度應由計算或結合已有工程的經驗確定。

#### 6. 堤腳防沖刷保護

凡深槽迫近堤腳，易遭受沖刷，應視地形、水流可能沖刷之深度、護坡設計情形等條件，加強防沖刷保護設計。有關抗沖刷之基腳工、護腳工及護坦工設計。

##### (1) 河道邊坡所受最大曳引力

由實驗數據結果可知，最大曳引力之位置在距底部約0.2D 至0.3D 之處，附表D-4中底寬與深度之比為8 之情形者，亦是用於寬度甚大之河道。

##### (2) 各類護坡材料與臨界曳引力之關係

堤防護坡或護岸必須具有某種程度的強度，以抵抗水流的侵蝕力，附表D-5為各類型堤防護坡或護岸材料之相對強度。

#### 7. 防滲與排水設施

台灣地區降雨強度大，堤防坡面易受雨水沖刷，並滲流進入堤身影響結構安全。另中下游地區河川水流不暢，常見長時間維持高水位易因滲流對堤防產生安全顧慮，應視實際需要設計防滲與排水設施

- (1) 邊坡的防滲體應滿足滲透穩定以及施工與構造的要求。
- (2) 堤身防滲可採用心牆、斜牆等型式。防滲材料可採用黏土、混凝土、瀝青混凝土、不透水膜等材料。堤身排水可採用伸入背水坡腳或沿坡面設置濾層。濾層材料可採用砂、礫料或土工織物等材料。
- (3) 堤防設計時應考量滲流線不能露出於堤後坡的坡面，以避免坡面破壞。若欲使滲流線不露出於外坡面，應考量符合下式： $mH < (b+nH)$  上式中各參數定義如附圖D-1所示。
- (4) 滲流線係由堤前坡與水面接觸點開始，循堤防或護岸（回填土堤或既有土坡）內部或混凝土之側面或底邊，行至堤後坡之地面或水面為止。滲流比（Creep Ratio）即為滲流線之長度除以有效水頭所得之比；權重滲流比為權重滲流距除以有效水頭，其中權重滲流距為直滲流距（陡

於45度)加平滲流距(小於45度)三分之一。

建築在不同土質之堤防、護岸或防洪牆應依其特性，限定其滲流比或權重滲流比在規定數值以上，以免因過度之滲水造成管湧現象(piping)，引起基礎陷落而發生傾倒。各種土壤滲流比限值及權重滲流比列如附表D-6與附表D-7所示：

- (5) 邊坡的防滲與排水層的布設應與堤基防滲與排水設施統籌布置，並使兩者緊密結合。
- (6) 防滲體的頂不應高出設計水位0.5m。
- (7) 土質防滲體的斷面，應由上而下逐漸加厚。其頂部最小水平寬度不宜小於0.3m，底部厚度不宜小於堤前設計水深的1/4。砂、礫石排水層的厚度或頂寬不宜小於0.5m。
- (8) 土工織物材料主要功能為排除水份、防止土料流失及穩固構造物擋土之目的，常用於基礎、斜面鋪底或加勁土邊坡護岸等，具有高強度、抗拉、抗磨、耐酸鹼等性能，其材料規格、施工及檢驗等相關規定應符合CNS或其他同級標準。工程用土工織物材料分為織布及不織布，孔徑應滿足防止滲漏、土壤流失的要求，並視工程特性選用適合之材料。前述織布為聚乙烯纖維、聚丙烯纖維或聚酯纖維等編織而成之織布，其物理性質應符合附表D-8規定之標準：  
前述非織物為聚乙烯纖維、聚丙烯纖維或聚酯纖維等製成之非織物，其物理性質應符合附表D-9規定之標準：
- (9) 水泥土、漿砌石、混凝土等護坡應設置排水孔，孔徑可為50~100mm，孔距可為2~3m<sup>2</sup>一孔，宜採交錯式排列布置。漿砌石、混凝土護坡應設置伸縮縫。
- (10) 高於6m的土堤受雨水沖刷嚴重時，宜在堤頂、堤坡、堤腳以及堤坡與山坡或其他建築物結合部設置排水設施。
- (11) 平行堤軸線的排水溝可設在戽台內側或近堤腳處。坡面縱向排水溝可每隔50~100m設置一處，並應與平行堤軸向的排水溝聯通，排水溝可採用預鑄、場鑄或卵塊石砌築，其尺寸與渠底坡度應由計算或結合既有工程的經驗確定。

## 8.水防道路

堤防設計應附設水防道路，作為搶修或緊急搶險時車輛運輸材料之用，水防道路含邊溝總寬度以6-10公尺為原則。最小不宜小於6公尺，並設排水邊溝於道路外側。既有堤防因用地問題無法達到此要求時，得依實際情況布置水防道路。水防道路高程應高於原地面，避免內水漫淹影響搶險作業進行，並對堤防有培厚效果，可強化抵抗洪水侵蝕。

- (1) 水防道路邊溝是否需結合附近地區排水一併設計，應視現地調查情形依需要辦理。
- (2) 水防道路須考量附近社區交通需求及跨河構造物情形適當銜接。

## 9.堤防植生綠化

堤防的植生綠化應著重對堤防的保護功能與植生與環境條件的搭配，考量堤外坡與堤內坡在防洪機能的差別，並以生態綠廊的思維進行植

生林帶，在植生種類的選擇上考量其基本條件，以提高植生的存活率。堤防植生綠化考量要點如下：

(1) 地域環境基本考量

- A. 計畫所處位置為山區、平地或濱海地區，植生綠化需配合其地域環境採用適宜的植生種類。
- B. 配合鄰近環境，以實質開發程度做為考量，決定植生採自然或人工種植方式做整體設置考量。

(2) 堤外坡與堤內坡的考量

- A. 堤外坡：為臨水側，應考量水流影響，盡可能以深根性的地被類植物進行堤坡綠化。一般植生無法抵抗流速大於2 公尺/秒的水流沖刷，故宜以此條件定位植生的強度及功能。
- B. 堤內坡：多緊鄰水防道路，為堤坡需加強綠化側，可配合各類工法發展多樣化的綠化方式，並配合周邊開發狀況及民眾需求決定綠化強度。
- C. 堤頂：如提供做為散步道，可考量種植不超過50 公分之草木。
- D. 高灘地：於高灘地植栽，應著重強化高灘地防沖刷能力，以有效保護堤腳，視實際條件可植栽形成綠丁霸。

(3) 植生林帶

保護堤防安全和維護生態環境的植生工程可分為防浪林帶、護堤林帶、草皮護坡等項目，其防護效果，應滿足以下要求：

- A. 消浪防沖，降低暴雨洪水、風沙、海潮、波浪等對堤防之侵蝕破壞。
- B. 擋沙固灘，保護堤防和護岸工程的基腳安全。
- C. 涵養水土資源，綠化堤岸，形成生態廊道。

(4) 植生選擇

植生主要功能除保護坡面不受水流與雨水沖刷破壞外，兼具環境景觀美化之效，植生選擇應考量：

- A. 植栽種類，依設置目的選擇喬木、灌木、地被及爬藤不同機能之植栽。
- B. 對土質適應性強者，具耐旱、耐寒對環境適應性強者。
- C. 綠化期長、根系長、具水土保持功能。

10. 景觀生態及環境維護考量

堤防設計應使堤防與環境融為一體，包括材料選用及整體景觀之視覺效果，堤防對親水遊憩的配合，以及堤防對生態環境的影響及需配合，均應重視。為景觀生態及環境維護需要，堤防設計時下列事項應予考量：

(1) 生態機能考量

- A. 堤身填築儘量就地取材，視當地水流情形採用表面多孔隙材料設計，以增加生物棲息空間。
- B. 堤防提供帶狀生態綠廊之空間，堤防為藍帶空間之一環，可提供帶狀空間，提供生物活動廊道，順水流方向隔若干間距可考量設置一處越堤綠帶，供生物橫向出入河川水域。。

(2) 景觀美質

- A. 河川中下游地帶常有水泥堤岸，其顏色與周圍環境不大調和，種植適合其立地條件之植物，可改善環境景觀美質。
- B. 過高的堤防常有視覺阻絕作用，如以路堤方式設計當可改善。此外，堤岸空間應儘量保持其開闊度，避免過多的人工設施阻礙視覺，使沿岸民眾得以欣賞河岸景觀為主要設計考量。

### (3) 遊憩設施

- A. 堤防配合遊憩景點時應考量其遊憩設施以符合環境需求為主，應避免影響水流之設施物，儘量以平面式設施且不易遭洪水沖刷流失之設計提供遊憩之用。
- B. 配合區域自然人文景觀，規劃設計相關之遊憩設施，以符合當地生態文化特色。

## 二、護岸規劃設計

### 1. 基本資料蒐集

護岸設計所需的基本資料，包括水文氣象、社會經濟、生態環境、過去洪災情形、地形圖及工程地質等均應蒐集之。

### 2. 護岸布置

- (1) 設置護岸時，其水衝段會向下游移動，故需設計足夠的長度。
- (2) 新設護岸施工段之上下游起訖點，應以蛇籠或箱型石籠等柔性工法銜接原堤岸。
- (3) 護岸之治理線儘量採用平順線型，低水護岸得依現地高灘曲折布置。
- (4) 堰或固床工等之接頭護岸，應儘量採用平順堤線，以減少渦流或靜水區域。
- (5) 橋樑或閘門等構造物上下游因水流紊亂，其上下游需布置相當長度之護岸。
- (6) 護岸高度一般採用計畫洪水位，但仍宜配合河岸地形因地制宜調整。
- (7) 低水護岸之堤頂高以不超過高灘地高度為原則，為防止沖刷可設置混凝土外緣。

### 3. 護岸型式選擇

根據風浪、水位、流速、潮汐、地形、地質、施工條件、保護標的、使用需求等因素，護岸工程得選用下列型式：

- (1) 坡式護岸
- (2) 牆式護岸
- (3) 其他防護型式

根據工程地點、地形、地質、風浪、水流特性、潮汐作用、施工條件、使用需求等因素，護岸包含但不限於以下型式：土坡、砌石護岸、蛇籠護坡、箱型石籠(土籠)護坡、混凝土護岸、植生護岸、加勁材護岸等。

#### (1) 坡式護岸：

- A. 坡式護岸的上部護坡的結構型式，應符合穩定分析及邊坡保護相關要求，下部護腳工部份的結構型式應根據岸坡情況、水流條件和材料來源，採用拋石、蛇籠、箱型石籠、排樁、土工織物袋、預鑄

混凝土塊、混凝土、鋼筋混凝土塊、混合型式等，經技術經濟比較選定。

- B. 砌石與混凝土護坡在堤腳、戽台或改變坡度處，均應設置基座，堤腳外基座埋深不宜小於 0.5m，護坡與堤頂相交處應牢固封頂，封頂寬度可為 0.5~1.0m。

(2) 牆式護岸：

- A. 對河道狹窄、河岸易受水流沖刷、保護對象重要、受地形條件或既有建築物限制的河岸得採用牆式護岸。
- B. 牆式護岸的結構型式，可採用直立式或陡坡式。
- C. 牆體結構材料可採用鋼筋混凝土、混凝土、漿砌石等，斷面尺寸及牆基嵌入堤岸坡腳的深度應根據具體情況及堤身和堤岸整體穩定計算分析確定。水流沖刷嚴重的堤段，應加強護基措施。
- D. 牆式護岸在牆後與岸坡之間可回填砂礫石。牆體應設置排水孔，排水孔與回填土銜接處應設置濾層。
- E. 牆式護岸延堤線方向應設置伸縮縫，間距：鋼筋混凝土結構可為 20m，混凝土結構可為 15m，漿砌石結構可為 10m。在堤基條件改變處應增設伸縮縫，並作防漏處理。
- F. 牆式護岸牆基可採用地下連續壁、排樁、沉箱或樁基礎，其結構與斷面尺寸應根據結構應力分析計算確定。

(3) 其他防護型式：

- A. 可採用樁式護岸維護陡岸的穩定、保護堤腳不受強烈水流的淘刷、促淤保護堤岸。
- B. 樁式護岸的材料可採用木樁、鋼軌樁、預鑄鋼筋混凝土樁、全套管基樁等。
- C. 樁的長度、直徑、入土深度、樁距、材料、結構等應根據水深、流速、河床質、地質等情況通過計算或既有工程使用經驗分析確定。
- D. 樁的布置可採用 1~3 排樁，按需要選擇丁壩、順壩及混合使用，排距可採用 2~4m。同一排樁的樁與樁間可採用透水式、不透水式。樁間及樁與堤腳之間可拋塊石、混凝土等以護樁、護底防沖刷。
- E. 高灘地得依河川種植規定採取植樹、植草等生態防護措施，促進自然淤積、固土保護堤岸。
- F. 用於堤岸防護的樹、草種類應根據當地的氣候、水文、地勢、土壤等條件及環保要求選擇，以原生種為原則，並應滿足扎根深及抗沖、抗淹、抗鹽性等要求。

4. 護岸邊坡坡降與戽台

- (1) 護岸邊坡應根據使用材料、水流情況、護坡型式、高度、施工及使用條件，經安定計算後確定。

(2) 戽台應根據邊坡穩定、管理、排水、施工的需要分析確定

- A. 護岸邊坡之坡降，一般採用值如下表。
- B. 護岸高度超過 6m 者，宜設置戽台，戽台寬度不宜小於 1.5m。
- C. 護岸邊坡一般採用值如附表 D-10 所示

## 5. 護岸邊坡設計要求

護岸邊坡結構安全須經安定計算，使用型式及材料需能抗水流沖刷；為防基礎淘刷，應考量消能保護方式，邊坡基腳應設置足夠深度的基座做為基礎。

### (1) 砌石護岸

- A. 砌石護坡的結構尺寸應進行必要之穩定分析、沖刷深度、護坡護腳計算。
  - B. 砌石、混凝土護坡與土體之間必須設置墊層，墊層可採用砂、礫石或碎石級配、石渣和土工織物等，砂石墊層厚度不應小於 0.2m，如需特別加強可適當加厚。
  - C. 拋石粒徑應根據水深、流速，等因素決定之。
  - D. 拋石厚度不宜小於拋石粒徑的 2 倍，水深流急處宜增大。
  - E. 拋石護岸坡度宜緩於 1:1.5。
- (2) 砌石與混凝土護坡在堤腳、戽台或改變坡度處，均應設置基座，堤腳外基座埋深不宜小於 0.5m，護坡與堤頂相交處應牢固封頂，封頂寬度可為 0.5~1.0m。
  - (3) 陡牆式護岸宜採用重力擋土牆結構，其斷面尺寸應由穩定和強度計算確定。埋設深度不宜小於 1.0m，牆與土體之間應設置過渡層，過渡層可由砂礫、碎石填築，其厚度可為 0.5~1.0m。
  - (4) 一般常用護坡工法型式如下表，實用時不限於本表所示，仍可研發創新。護坡工法型式與容許流速之限制條件如附表 D-11 所示：

## 6. 護岸基腳防沖刷保護

護岸破壞多為基礎之淘空，故對基腳沖刷應加以防範。其設施單元包括基腳工、護腳工及護坦工，根據堤高、堤身結構、堤基、築堤材料、近堤水流、施工及使用條件，經安定分析及沖刷深度計算後採用。護岸基腳結構型式應根據工程地點、地形、地質、護坡型式、風浪、水流特性、材料來源、施工條件、使用需求等因素，經技術可行及經濟分析比較後選定。

- (1) 護岸破壞多為基礎之淘空，基腳深度中小河川應採用低於河床面 50~100cm，大河川應採用低於河床面 100~150cm，水衝河段或急流河川應配合可能沖刷深度予以調整，並加設護坦工保護。
- (2) 基腳工係設置於護岸之坡趾處，主要功能為可直接承受各種載重，避免水流掏空基礎與防止堤坡土壤被淘出，保護堤防及護坡安全。其型式包含但不限於以下型式：鋼筋混凝土基腳、混凝土土台、板樁工等。
- (3) 護坦工係設置於基腳工之前，主要功能為防止河床沖刷擴大破壞基礎工與坡面工，護坦工與基腳工必須分離。其型式包含但不限於以下型式：拋石工、沉箱工、十字形混凝土塊、鼎型混凝土塊、蛇籠護坦、石籠護坦及護坦丁壩等。
  - A. 拋石護坦
    - 石料尺寸、品質應符合設計要求。
    - 拋投時機宜在枯水期間。
    - 拋石前應測投區之水深、流速斷面形狀等基本情況。

- 拋石應從能控制險情部位拋起依次展開。
- B. 拋石籠護坦
  - 石籠大小視需要和拋投手段而定，石籠體積以 1.0~2.5 立方為宜。
- C. 混凝土沉箱護坦
- D. 土工織物沉排護坦
- E. 土袋護坦
  - 裝土沙編織袋部的孔徑大小應與土砂礫徑相匹配。
  - 編織袋裝土沙的充填密度以 70~80% 為宜，每袋重不應少於 50KG。
- F. 拋柴枕護坦
  - 枕長 10~15m，枕木徑 10cm，柴、石體積比約 7:3。

(4) 異型混凝土塊護坦之應用及布置原則

A. 護坦工選用異型混凝土塊，以上下平整可以互相連結具有屈撓性為必要，再依河川之流速坡度及河床質等選用適當之型式與重量來設計佈置。

B. 每塊重量之選擇原則如下：(公噸/塊)

a. 依河川流速選用重量

流速 (m/sec)	1	2	3	4	5	6
異型塊(公噸/塊)	1	2	2-5	5-7	7-10	10 以上

b. 依河川坡度(S)選用重量(T/塊)

坡度 (S)	1/1500 以下	1/1500~ 1/1000	1/1000~ 1/500	1/500~ 1/100	1/100 以上
異型塊(公噸/塊)	1	2	2-5	5-7	10 以上

c. 依河川河床質選用重量(T/塊)

河床質	小石	卵石 ( $\phi$ 20cm 以下)	卵石 ( $\phi$ 30cm 以下)	卵石 ( $\phi$ 50cm 以下)	卵石 ( $\phi$ 50cm 以上)
異型塊 (公噸/塊)	1	2	2-5	5-7	10 以上

C. 佈設原則

- 一般護坦工之寬度以護坡基腳前 4~10 公尺左右單層佈置為宜，護坡基腳與異型混凝土塊之空間，通常以塊石或混凝土細塊填充，護基範圍以現場之土石回填至異型混凝土塊腰部為佳。
- 另視河川之流速，坡度等現況，在頂部或腰部以  $\phi$  16~19 公厘之鋼筋或鋼索互相連接牢固並使之具有屈撓性。
- 護坦工上端高程應比計畫河床低，現況河床底比計畫河床底低時則採用現況河床底。如水深在計畫河床以下或為經濟考量時，至少採比平均低水位低是必要。
- 急流河川之因河床變動劇烈，計畫河床不明確時，得視地形狀況決定高度。

(5) 護腳保護工

#### A. 柴枕坡腳保護工

- 柴枕保護工其上端應在年平均最低水位處，其上應加拋卵塊石，柴枕外側應加拋 40~100cm 壓腳大塊石或石籠等。
- 柴枕規格應根據防護要求和施工條件，枕長可為 10~15m，枕徑可為 0.5~1.0m，柴枕、石塊體積比宜為 7:3，柴枕可為單層拋護，或視需要拋二層或三層保護。
- 柴排坡腳保護工應滿足下列要求：
- 採用柴排護腳，其邊坡不應陡於 1:2.5，排體上端應在年平均最低水位處。
- 柴排垂直流向的排體長度應滿足在河床發生最大沖刷時，在排體沉陷後仍能保持緩於 1:2.5 的坡度。
- 相鄰排體之間應相互搭接，其搭接長度宜為 1.5~2.0m。

#### B. 土工織物枕(不織布)及土石袋坡腳保護工

- 土工織物枕及土石袋可根據水深、流速、土壤地質狀況採用單個土工織物枕拋護，3~5 個土工織物枕拋護及土工織物枕及土工織物墊層構成柔性排放型式防護。
- 土工織物材料應符合 CNS 或其他同級標準，具有高強度、抗拉、抗磨、耐酸鹼等性能，孔徑應滿足防止滲漏、土壤流失的要求。
- 當護岸土體自然坡度陡於 1:2，坡面不平順有大的坑窪起伏及塊石等尖銳物時，不宜採用地工織物枕及土石袋柔性排放護岸。
- 採用地工織物枕及土石袋其最上端應在年平均最低水位以下。
- 土工織物枕及土石袋垂直流向的排放長度應滿足在河床發生最大沖刷時，土石袋隨河床變形後坡度緩於 1:2.5。
- 土工織物枕及土石袋地工織物墊層順水流方向搭接長度不宜小於 1.0m，並採順水流方向上游地工織物壓下游地工織物方式施作

#### 7. 防滲與排水設施

護岸邊坡防滲的結構型式，應根據滲流計算及技術經濟比較合理後確定。

#### 8. 水防道路

為護岸維修搶險需要，護岸得依水利主管機關規定設置水防道路。

#### 9. 護岸植生及景觀生態維護考量

為生態環境維護及配合河川環境營造需要，護岸設計時應重視有關植生綠化、景觀美質及其他生態工程的配合事項。

### 三、 丁壩規劃設計

#### 1. 丁壩布置

丁壩具有減緩流速保護堤岸及挑流改變流路的功能，丁壩工程宜依規劃目的考慮河川特性、設施位置、河床變化、河床質、主流方向、流速及對周邊水理狀況影響情形等因素，審慎布置之。

(1) 丁壩一般甚少單獨設置，而係視實際需要以數座丁壩形成丁壩群發揮預

期功能。

- (2) 為減緩流速落淤保護堤岸，一般以短丁壩為主，為挑流改變流路導水歸模則以長丁壩為主；長丁壩挑流須考量對岸的影響。上述置丁壩目的，在規劃時應已考量，設計者宜充分瞭解並遵循之。
- (3) 中小型河川若兩岸同時布置丁壩，河中流速增大，往往產生異常沖刷，反而危害河防安全，此時宜採用交錯布置形式減緩水勢。
- (4) 用丁壩群束水歸槽時，第一座丁壩應布置於水流擴散點或頂衝點上方。上游端丁壩高度較下游低，以漸漸減緩水勢，打樁丁壩時，可考慮上游樁間格大，低而細小，下游則有密打必要。
- (5) 丁壩布置設計除應考慮河川特性、設施、位置、河床變化、河床質、主流方向及流速等因素之外，由於河川環境條件複雜多變，設計者宜該可段既有堤防、護岸、丁壩之現況及過去損害情形做經驗性的判斷，以供布置參考。

## 2. 丁壩種類的選用

丁壩依其作用可分為護岸丁壩及挑流丁壩，依其透水性可分為透水丁壩及不透水丁壩，依其工法或構築材料可分為混凝土丁壩、蛇籠丁壩、槓槎丁壩、排樁丁壩、拋石丁壩、格框填砂礫丁壩及格框植生丁壩等，得視設置丁壩目的、河川特性，局部水流與河床質情形，並考慮丁壩安全等因素，因地制宜選用。

- (1) 透水丁壩以排樁丁壩為代表，不透水丁壩以固定式、混凝土丁壩為代表。透水丁壩主要不在挑離水流而在減緩流速，以期促進泥砂淤積建立堤外灘地，尤以懸移質較多的河川落淤效果最為顯著，透水丁壩對水流的阻抗較不透水者為小，丁壩本身的安全度較高，維持較易。
- (2) 不透水丁壩功在挑流，並期在壩田間能發生反沖蝕旋渦促成淤積，以達護岸兼挑水等目的。不透水丁壩的構造既因固體阻擋水流，所受衝擊力亦大，由於水流激烈擾動，以致丁壩上下游及前端壩頭大量沖刷，設計上需妥為因應。拋石或蛇籠丁壩及格框式丁壩等，雖非完全不透水，但因透水性甚小，可視為不透水丁壩。
- (3) 不透水丁壩依其壩體高度與洪流情況，可分為溢流與不溢流。一般不透水丁壩均為越流式，並以採較低為宜以策安全。
- (4) 透水與不透水丁壩的選擇，端視當地情況而定。下游平緩河段，尤以水流挾帶懸移質較多的河床，多採用透水丁壩。在坡降較陡，流速較強的河段，或有漂流木及推移質多的河床，基於構造物安全及強度與工法上的限制，則多採用較堅固的不透水性或半透水性丁壩。
- (5) 各種丁壩種類，依河道坡降及河床質不同，其大致適用情形如下附表 D-12 可供參考。

## 3. 丁壩方向

丁壩的方向依丁壩壩軸與水流垂直線的交角分為傾向上游、直角與傾向下游三種，得依其目的、用途予以適當布置。

- (1) 若僅從丁壩效能觀點，可採用略為傾向上游的丁壩，其壩軸與垂直水

流方向傾向上游的角度，通常採用如下：

直岸： $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$

凹岸： $10^{\circ}\sim 12.5^{\circ}$

凸岸： $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$

- (2) 傾向上游的丁壩，由於水流越過壩體後將以垂直壩軸方向流往下游，可使水流趨向河心並使下游堤岸附近有較顯著的掛淤，但在壩頭附近，由於水流集中，抵抗水流激烈，較易淘刷受損，工程安全性須考量。
- (3) 傾向下游的丁壩，在壩頭附近頂衝較為緩和，安全性較高，但越壩水流趨向下游河岸，增加堤腳沖刷可能需要以提高丁壩高度或縮小丁壩群布置間距因應。故是否採用傾向下游的丁壩，須視設置丁壩的主要的目的何在審慎衡量。
- (4) 台灣河川的流路及河床多變，流量變化懸殊，不同洪水量的流路往往不同，為適應此種無常的變遷狀況，丁壩方向一般多採用與堤岸成直角布置。

#### 4. 丁壩間距

丁壩的間距與河性、設置位置、丁壩種類、長度及高度等因素有關，設計時除考量這些因素以獲得較佳效能外，尚需考量堤岸需保護情形經濟因素。

- (1) 適當的丁壩間距可使丁壩發揮較佳丁壩群效能，並促使上下游相鄰丁壩互相照應，提升整體安全性，故宜妥善設計。
- (2) 丁壩間距的決定，以丁壩長度為主要考量因素，丁壩種類及高度也有重要影響。間距  $D$  與長度  $L$  的比值，一般介於  $D/L=1\sim 4$  之間，但以  $2\sim 3$  最普遍；凹岸段間距宜較小，凸岸段間距可較大。丁壩間距與丁壩高度的比值，一般介於  $10$  至  $30$  之間。
- (3) 台灣河川常見主深槽斜流直衝河岸，此時布置丁壩，除在丁壩種類、長度、高度等方面妥為因應外，適當縮小間距也是重要考量因素；該河段過去施作丁壩的經驗最具參考價值，宜廣泛蒐集應用。

#### 5. 丁壩壩體設計

丁壩壩體結構包括壩根、壩身及壩頭三部分；其長度、高度、寬度之決定，整體安全考量，以及各部分應特別注意事項，宜就丁壩設置目的、丁壩種類、構築材料、水流狀況、河床地形、河床質及其他河川相關特性等因素，綜合考量設計之。

- (1) 丁壩係以自重抵禦水流，其設計應具有穩定條件，避免傾倒及滑動，並需能抵抗水流沖刷及流失。
- (2) 壩根應與堤岸妥善堅固銜接，由壩根向河心壩頭方向成一緩坡降低，以期壩根附近對水流有較大的抵抗能力，並使水流趨向河心而免漫頂後沖擊壩根。此項縱坡與洪水位坡降具有密切關係，河川中上游一般採用  $1/30$ 、 $1/50$  至  $1/100$ ，惟在下游或緩流河川，坡度可較緩或採用水平設計。

- (3) 丁壩的損毀主要係因壩頭附近刷深後流失或下沉，並逐漸擴及壩身所致。故壩頭的設計甚為重要，設計時應估計壩頭可能沖刷深度，以加深壩頭基礎，或加強加寬壩頭護坦保護。為減低壩頭對水流的阻力，壩頭一般採用較低的高度埋入河床中。
- (4) 影響丁壩頭沖刷深度的因素有行近流速、壩身長度、邊坡係數水流與壩線交角、來砂量多寡、河床質物理及水力特性等，沖刷深度與行近流速成正比，和河床質粒徑大小成反比。丁壩周圍沖刷深度，一般依經驗衡量，尚無適切公式可資估計。當河床質較細時，對於非淹沒丁壩的沖刷深度，下式可供參考：

$$h = h_0 + \frac{2.8V^2}{\sqrt{1+m^2}} \sin^2 \theta \quad (D-2)$$

上式中，h 為壩頭沖刷坑水深 (m)

$h_0$  為行近水流水深 (m)

V 為行近流速 (m/sec)

m 為壩頭邊坡係數

$\theta$  為丁壩軸線與水流方向的夾角

- (5) 丁壩長度依設施目的，河寬情形。主深水槽位置，考慮上下游及對岸影響以及本身的安全而定之。一般為維持低水流路的挑流丁壩可採用較長者，為保護河岸或堤防為目的則較短；通常採用 20 至 30 公尺居多。太長的丁壩容易沖毀流失，維護復建均較困難，花費也大，設計時宜考量此因素。
- (6) 丁壩的坡度依丁壩種類型式而異，得參考計畫洪水位、河床的地形高度及丁壩自身安全性而決定。其高度以能達到丁壩設施目的為度。一般先決定河心部的壩頭高度，然後決定壩根高度，再以適當坡度相接。為決定丁壩高度，河川橫面長期變化趨勢應予瞭解，另在土石流激烈河段，滾石越流的破壞力很大，應特別考慮及此。
- (7) 丁壩的寬度應足以抵抗水流衝擊及沖刷，依採用的丁壩種類及河況而定。為彌補寬度可能不足，必要時得於丁壩周圍及上面加設護坦工保護。

#### 四、 防洪牆規劃設計

##### 1. 基本資料蒐集

防洪牆設計所需的基本資料，包括水文氣象、社會經濟、生態環境、過去洪災情形、地形圖及工程地質等均應蒐集之。

##### 2. 防洪牆布置

防洪牆之功能與堤防相同，主要目的在約束洪水於計畫河道之內。防洪牆工程之布置原則上應依照河川治理基本計畫及規劃報告水道治理線位置布設，實際布置設計時尚需考量現地地形、地質條件、河川變遷，結合現有建築物位置、施工條件、既有工程狀況、用地取得情形，在已公告

的堤防用地範圍線內進行布置與微調。

(1)興建堤防經過都市、住宅及其他用地受限制的地段，得採用防洪牆。防洪牆宜採用鋼筋混凝土結構。當高度不大時，可採用混凝土或漿砌塊石結構。

### 3. 防洪牆型式選擇

根據風浪、水位、流速、潮汐、地形、地質、施工條件、保護標的、使用需求等因素，經考量結構安定及工程經濟性等，防洪牆工程得選用下列型式：

- (1) 重力式
- (2) 半重力式
- (3) 懸臂式
- (4) 垛式及支撐式（扶壁式）
- (5) 其他防洪牆型式

### 4. 防洪牆設計要求

防洪牆結構安全須經安定計算，使用型式及材料需能抗水流沖刷；為防基礎淘刷，應考量消能保護方式，並視沖刷深度決定基礎深度。

(1) 防洪牆應進行抗傾倒、抗滑和承载力穩定分析，基礎應力應滿足土壤允許承载力的要求；土壤允許承载力不足時，應對基礎進行加固。

(2) 防洪牆基礎埋設深度應滿足抗沖刷的要求。

### 5. 防洪牆基腳防沖刷保護

防洪牆破壞多為基礎之淘空，故對基腳沖刷應重視防範。其設施單元包括基腳工、護腳工及護坦工，根據堤高、堤身結構、堤基、築堤材料、近堤水流、施工及使用條件，經安定分析及沖刷深度計算後採用。

### 6. 防滲與排水設施

護岸邊坡防滲的結構型式，應根據滲流計算及技術經濟比較合理後確定。

(1) 防洪牆應滿足強度和抗滲要求。結構強度計算按規定執行。

(2) 防洪牆應設置伸縮縫，鋼筋混凝土牆縫距宜為15~20m，混凝土牆及漿砌石牆宜為10~15m。地質土質、牆高、外部荷載、牆體斷面結構變化處，應增設伸縮縫。伸縮縫應設止水帶。視實際情形並得增設防水及防沖刷設施。

### 7. 水防道路

為維修搶險需要，防洪牆應依水利主管機關規定設置水防道路。

### 8. 防洪牆植生及景觀生態維護考量

為生態環境維護及配合河川環境營造需要，防洪牆設計時應重視有關植生綠化、景觀美質及其他生態工程的配合事項。

## 五、 閘門規劃設計

### 1. 工程定義

閘門工程係指在水渠中或水渠之進出口處設置之可活動機械設施、並藉由該設施活動部份(一般稱為門扉)之啟閉動作，控制水流之通過或阻

斷，以達到有效管理水資源或作防止外水倒灌之防災使用。

- (1) 有效管理資源係指制水、調節及排洩。
- (2) 藉由閘門門扉之啟閉動作，控制水流之通過或阻斷。
- (3) 藉由閘門門扉之啟閉大小，控制或調節水之流量。

## 2. 整體工程設施

整體閘門工程至少應包括有閘門門扉設施、閘門門框設施以及操作設施：

- (1) 閘門門扉設施之功用在於阻擋水流之通過；另外該部份亦承受水壓負載，並將此負載傳遞至支承部。
- (2) 閘門門框設施之功用在於提供門扉水封支壓止水之鋼架並將門扉所承受之荷重負載傳遞至混凝土。
- (3) 操作設施之功用在於提供閘門門扉啟閉之動力。
- (4) 閘門工程相關附屬之土木結構物須符合機電工程之需求。

## 3. 工程設計原則

閘門工程設計應依據下列原則辦理：

- (1) 能夠達到設定之功能目的。
- (2) 具有足夠之結構強度。
- (3) 製造及安裝容易且不會發生困難。
- (4) 操作容易及平順。
- (5) 維護保養容易。
- (6) 工程經費最節省。

以下為所需注意之事項：

- A. 閘門工程完成後須能達到原計畫設置之預定功能目標。
- B. 閘門工程各項設施在操作、維護及保養之執行上須能達到簡單性、容易性及平順性。
- C. 閘門工程之設置除須考慮功能性、安全性、操作性及維護保養性外，應力求工程經費最為節省。

## 4. 工程設計程序

閘門工程設計應依據有下列程序辦理：

- (1) 設定閘門工程之功能目的。
- (2) 確定工程之設計條件。
- (3) 工程布置方案之擬定。
- (4) 設施結構強度及容量計算及分析。
- (5) 編列工程預算
- (6) 制定施工規範

## 5. 工程設計條件

閘門工程設計至少應具有下列設計條件：

- (1) 閘門型式及材質。
- (2) 淨通水斷面尺寸及數量。
- (3) 最高設計水位。
- (4) 地震係數。
- (5) 止密條件。

- (6) 閘門啟開之摩擦係數及阻力。
- (7) 操作設備型式
- (8) 操作模式

以下為所需注意之事項：

- A. 淨通水斷面尺寸是閘門門體尺寸決定之基礎。
- B. 最高設計水位決定閘門工程各設施之結構強度尺寸及容量。通常宜以閘門一邊為最高洪水位而另一邊無水之最惡劣情況作為設計之依據。
- C. 地震係數決定閘門工程所受之動水壓力。地震係數通常採用 0.15g~0.18g，有必要時可做適度之提高。
- D. 止密條件是依據閘門下游面之水文環境狀況而定，並決定閘門工程是否加裝水封設施。
- E. 操作模式分為現場控制及遠方控制二種。若閘門控制模式具有遠方控制之功能，則必須設置監視設備，避免閘門設備操作時產生誤動作現象。
- F. 淨通水斷面尺寸及數量、最高設計水位、地震係數、止密條件及操作模式等設計條件須依據水利工程相關資料提供。

## 6. 閘門型式之選擇

適用河道工程之閘門種類有下列五種，應依工程之功能不同選擇適當之型式。

- (1) 滑動式
- (2) 固定輪式
- (3) 傾倒式
- (4) 吊摺型
- (5) 橡皮壩

以下為所需注意之事項：

- A. 具有制水功能之水利工程常採用滑動式、固定輪式等型式之閘門。
- B. 具有調節水位功能之水利工程常採用傾倒式、橡皮壩等型式之閘門。
- C. 必須具有自動啟閉閘門功能之水利工程常採用吊摺型型式之閘門。採用此種型式之閘門需考慮污雜物清除問題，以避免污雜物夾在門扉造成閘門止密功能完全喪失。
- D. 吊摺型閘門安裝傾斜角需依據閘門重量大小做適當調整，閘門重量愈大，則安裝傾斜角必須愈小，以降低閘門開啟所需之水壓負荷力。安裝傾斜角度一般採用 2~5°，有必要時可做適度之提高。
- E. 吊摺型閘門之重量較大時，可在閘門轉動支承點另一端加裝配重，以減少閘門開啟時所需之水壓負荷力。
- F. 吊摺型閘門止密性的要求是在外水位較高時必須要有良好之止水密效果，以防外水倒灌進入。

## 7. 閘門材料之選擇

適用閘門材料之種類有下列七種，應依設置位置周圍之環境因素選適當之材料。

- (1)木質材料
- (2)碳鋼板
- (3)不銹鋼板
- (4)鑄鐵
- (5)鑄鋼
- (6)鋁合金
- (7) 橡皮質材料

以下為所需注意之事項：

- A. 具有水位漲退現象之地方不適合採用木質材料之閘門。
- B. 具有鹽分或海風侵襲之地方應採用 SUS316L 以上抗腐蝕性較佳之不銹鋼材質。
- C. 碳鋼材質之閘門需加以油漆，以避免閘門迅速腐蝕。
- D. 具有砂石之水道不適合採用橡皮質材質之閘門。
- E. 鑄鋼、鑄鐵材質閘門需依 CNS-2906 G3052、CNS-2472 G3038 或其他鑄造相關規範辦理。

#### 8. 閘門門扉構造

閘門門扉構成元件計有下列六項，設計者可依閘門型式不同而擇選之：

- (1) 面板。
- (2) 樑架組。
- (3) 輓輪組。
- (4) 水封組。
- (5) 導輪（履）組。
- (6) 吊耳組。

以下為所需注意之事項：

- A. 樑架組包括橫樑、豎樑、端（邊）樑及加強樑等。
- B. 輓輪組包括輓輪、輓輪軸、軸承及固定零件等。若輓輪為單邊接觸輓輪軌座者，其輓輪軸宜採用偏心型式，俾便具有調整輓輪位置之功能。
- C. 水封組包括橡膠水封（適合河道工程使用）、水封背板、水封壓板及固定螺栓。二支固定螺栓之間距以 100 mm 為宜（除二端之螺栓距水封壓板邊緣外）。
- D. 導輪（履）組包括導輪（履）、導輪（履）座及固定零件。導輪（履）與門框邊緣之裕度以不小於 3 mm 為宜。
- E. 整體閘門門扉之邊緣距門框邊緣之裕度以不小於 5mm 為宜。

#### 9. 工程設計負荷因素

閘門工程設計應考慮之負荷因素計有下列項目，設計者可依實際需求擇選之：

- (1) 靜水壓力。

- (2) 動水壓力。
- (3) 淤砂壓力。
- (4) 風壓。
- (5) 雪壓。
- (6) 冰壓。
- (7) 流水曳壓力

以下為所需注意之事項：

- A. 正常載重是指平常且長期所承受之負荷，在台灣地區通常是指靜水壓力及淤砂壓力，正常載重又稱為長期載重；異常載重通常是指正常載重加上地震所產生之動水壓力，異常載重又稱為短期載重。
- B. 動水壓力是由地震所產生之動水壓力，其大小取決地震係數而定。動水壓力公式用 Westergard 氏公式計算之。
- C. 在有風雪及結冰地區，應考慮雪壓及冰壓。

#### 10. 門扉結構強度分析

閘門門扉結構強度分析計有下列五種，設計者可依閘門型式及配件設計需求擇選之：

- (1) 負荷分析。
- (2) 應力分析。
- (3) 剪應力分析。
- (4) 撓度分析。
- (5) 壓應力分析。

以下為所需注意之事項：

- A. 閘門門扉結構強度分析之分析方法可參照靜定樑分析模式。
- B. 異常載重 $\div$ 正常載重 $\leq$  ，閘門門體結構強度計算以正常載重為設計之依據；異常載重 $\div$ 正常載重 $\geq$  ，閘門門體結構強度計算以異常載重為設計之依據。
- C. 除另有規定者外，結構鋼在正常載重下的容許應力不得超過 AISC "Manual Of Steel Construction-Allowable Stress Design" 最新版規定。但在任何情形下對於材料極限安全係數不得小於 2.5。異常載重即風力或地震力併合其他載重時，容許應力可按正常載重規定者提高 33%。兩向主軸應力之等效合應力，不得超過上述容許應力之 125%。
- D. 閘門撓度一般限制在 以下，但對於門徑較大之長跨徑閘門則允許較大之撓度。

#### 11. 閘門門框埋設件之選擇

閘門門框埋設件之種類可分為一次埋設及二次埋設二種，設計者應依其需要選擇適當之型式。

- (1) 一次埋設是指所有門框構件一次埋入混凝土內；二次埋設是指所有門框構件分二次埋入混凝土內。
- (2) 一次埋設之閘門門框不具有調整功能，故門框垂直度及水平度差；二次埋設之閘門門框具有調整功能，故門框垂直度及水平較佳。

(3) 閘門門框埋設件之大小取決於能將閘門門扉所承受之負載均勻分布至土木結構物混凝土內。

#### 12. 閘門門框埋設件構造

閘門門框埋設件構成元件計有下列三項，設計者可依閘門型式不同而擇選之：

- (1) 水封座組。
- (2) 輓輪座組。
- (3) 導輪（履）座組。

以下為所需注意之事項：

- A. 水封座組包括水封座壓板、水封座支承配件、調整螺樁（僅二次埋設之方式具有）及固定錨釘等。
- B. 輓輪座組包括輓輪座軌、輓輪座支承配件、調整螺樁（僅二次埋設之方式具有）及固定錨釘等。
- C. 導輪（履）座組包括導輪座板、導軌（僅導履之方式具有）、水封座支承配件、調整螺樁（僅二次埋設之方式具有）及固定錨釘等。

#### 13. 操作設備構造

- (1) 動力元件之功用在於產生動力負載，使閘門有動作之力量。
- (2) 傳動元件之功用在於利用動力負載，執行啟閉閘門之動作。
- (3) 支撐元件之功用在於支撐動力元件及傳動元件。

#### 14. 操作設備型式之選擇

(1) 操作設備依動力方式可分為：

- A. 人工手動
- B. 電力動力
- C. 燃機動力
- D. 水流動力

(2) 操作設備依傳動方式可分為：

- A. 吊桿式：又可分為螺桿式、油壓活塞式、梯桿式及齒桿式等。
- B. 鋼索式。
- C. 鏈條式。
- D. 充氣（水）式。
- E. 混合式。

(3) 操作設備之設計須能使閘門在最惡劣之水文情況下且在全開及全關間之任何開度皆能啟動及平順之操作。

(4) 操作設備額定容量應不小於最大吊重之 125%，此項最大吊重包括吊桿重量，門扇重量，各項磨擦力、越頂溢流水作用力及閘門開啟時可能發生之下拉力。

(5) 凡使用台電電源之電動操作設備，必須設置有緊急備用電源或其他替用操作設施。

(6) 滑動式閘門門扉寬度如在 1 m 以內，可採用單桿式之操作設備；如寬度在 1 m 以上，則採用雙桿式之操作設備較為適宜，以避免吊放時門扉傾移而使啟閉困難。

(7) 以人工手動方式操作閘門時，其操作出力以不超過 10 公斤為宜。凡是閘門面積超過 2.5 m<sup>2</sup> 以上，其操作方式不宜採用人工手動式。

#### 15. 低漥地區防災備用閘門之設置

低漥地區欠缺完整排水系統，或抽水站能力不足，暴雨時輒漫淹形成天然滯洪池。若條件許可，得於堤防適當地點增設防災備用閘門，以利排除內水，減輕水患。

(1) 低漥地區由於欠缺完整排水系統，或既有抽水站能力不足，暴雨時內水排除不及，往往漫淹形成天然滯洪池。此時，若內水位高於河川外水位，則有重力排出條件，得於堤防適當地點增設防災備用閘門，以利必要時緊急排除內水，減輕水患。

(2) 此備用閘門依實際情形及管理條件，可設計為自動式閘門或人工操作式閘門。

(3) 備用閘門之設置充分考量堤防安全，其位於堤內之入流工及堤外之出流工，宜妥為設計以策安全。

### 六、抽水站規劃設計

#### 1. 工程定義

抽水站工程係指在地勢低漥或礙於高漲之外水而無法重力排出處設置動力抽排機械設施、並藉由該設施抽排部份(一般稱為抽水機)之吸排動作，使保護區內之淹積水流排放至集水區外，以達到有效管理水資源。

(1) 有效管理資源係指防洪、禦潮及排洩。

(2) 藉由使用機械動力之抽水機的吸排動作，將保護區內淹積水流抽排至保護區外。

(3) 藉由抽水機吸排容量之大小，控制排洩水之流量。

(4) 抽水站具有「大流量、低揚程」之屬性，其流量通常在 0.6 CMS 以上；揚程通常在 9 m 以下。

#### 2. 整體工程設施

整體抽水站工程至少應包括有下列設施：

(1) 引水設施。

(2) 抽水池設施。

(3) 抽水設施。

(4) 出水設施。

(5) 附屬設施。

(6) 管理機房設施。

以下為所需注意之事項：

A. 引水設施之功用在於使保護區內之淹積水流匯集至抽水站內；另外並將其所含之污雜物予以排除，避免損壞抽水機組設備。

B. 抽水池設施之功用在於將淹積水流集中以便抽水機組予以抽排，另外並具有靜緩水流及引導水流之功用，避免損壞抽水機組設備。

C. 抽水設施之功用在於執行淹積水流之抽排工作，以達到抽水站之排水終極目的。

- D. 排水設施之功用在於提供抽水機組所抽取之淹積水流排放之保護區之通道，另外並具有防止淹積水流或外水倒灌回流之功用。
- E. 附屬設施之功用在於協助確保抽水站抽水之功能目的。
- F. 管理機房之功用在於提供安裝抽水機組、電氣設備及供管理人員操作營運抽水站各項設備。並保護設備，避免受風雨侵襲或其他因素破壞。

### 3. 整體抽水站工程設計原則

整體抽水站工程設計應依據下列原則辦理：

- (1) 足夠排洩設定之排水容量。
- (2) 各項設施必須具有足夠之結構強度或容量。
- (3) 製造及安裝容易且不會發生困難。
- (4) 操作容易及平順。
- (5) 維護保養容易。
- (6) 工程經費最節省。

以下為所需注意之事項：

- A. 抽水站工程完成後須能達到原計畫設定流量之排洩功能目標。
- B. 抽水站工程各項設施在操作、維護及保養之執行上須能達到簡單性、容易性、平順性及安全性。
- C. 抽水站工程之設置除須考慮上述1.2 點原則外，應力求工程經費最為節省。

### 4. 整體抽水站工程設計程序

整體抽水站工程設計工作應依據下列程序辦理：

- (1) 確定抽排總水量。
- (2) 訂定抽排總揚程。
- (3) 整體工程布置方案之擬定。
- (4) 選擇抽水機型式。
- (5) 決定抽水機台數及口徑。
- (6) 選擇抽水機之動力設備。
- (7) 選擇各項必要之附屬設備。
- (8) 各項設備結構強度、容量之計算分析
- (9) 制定施工規範
- (10) 編列工程預算

### 5. 整體抽水站工程設計條件

整體抽水站工程設計至少應具有下列設計條件：

- (1) 抽排總水量。
- (2) 抽排揚程。

以下為所需注意之事項：

- A. 抽排總水量是決定抽水站規模及所有設備大小及數量之依據。
- B. 抽排揚程是決定抽水機型式及大小之依據。抽水揚程應包括（最高外水位－啟抽水位）+ 各項零件及管路之摩擦損耗。

### 6 引水設施

抽水站引水設施構成元件計有下列四大要項，設計者可依實際需求而擇選之：

- (1) 引水通道。
- (2) 制水閘門機電設備。
- (3) 漂浮雜物攔截設施。
- (4) 除污設施。

以下為所需注意之事項：

- A. 引水通道是水流的通路。通常採用明、暗渠道或管路等模式。
- B. 制水閘門機電設備之功用在於控制水流進入抽水站。閘門型式宜優先採用滑動式、固定輪式等型式之閘門並需依照閘門相關規定辦理。
- C. 漂浮廢雜物攔截設施之功用在於攔截流水中挾帶之廢雜物，避免影響抽水機之抽排功能。常採用之方法有攔污索方式及攔污柵方式二種。
- D. 除污設施之功用在於清除漂浮雜物攔截設施所攔截之廢雜物。

#### 7. 除污設施之選擇

除污設施可依設備之動力方式、安裝方式及傳動方式組合成多種組合型式，設計者應依實際需求選擇適當之組合方式。

(1) 除污設施依清除方法可分為：

- A. 人工清除法
- B. 耙污機械設備清除法

(2) 除污設施依動力方式可選擇但不限於下列：

除污設施可依設備之動力方式、安裝方式及傳動方式組合成多種組合型式，設計者應依實際需求選擇適當之組合方式。

- A. 手動操作方式。
- B. 電動操作方式。
- C. 水力操作方式。

(3) 耙污機依安裝方式可選擇但不限於下列：

- A. 固定式。
- B. 行走式。

(4) 耙污機依傳動方式可選擇但不限於下列：

- A. 鏈條式耙污機。
- B. 鋼索式耙污機。
- C. 油壓活塞式耙污機。

(5) 耙污機組合元件應包括（但不限於）驅動系統、傳動系統、清除耙齒、支承系統、行走系統（僅行走鋼索式具有）及廢雜物輸送系統。

(6) 除污設施應具有足夠耙取巨形物體之能力。

(7) 耙齒傳動機構應考量均衡性及無障礙性。

(8) 水力操作方式之除污設施可連續運轉，但由於耙污提吊力較小，故適合作為第一段之前置耙污處理。

(9) 採用行走式耙污設備時，應考慮污雜物之多寡及清除的時效性，以決定耙污設備之數量。

#### 8. 耙污機設備設計條件

耙污機設備設計至少應具有下列設計條件：

- (1) 耙污機型式。
- (2) 淨寬。
- (3) 刮耙揚程。
- (4) 最大水深。
- (5) 耙齒能力。
- (6) 刮耙速度。
- (7) 行走速度（僅行走式具有）。
- (8) 有效柵條淨間距。
- (9) 直線彎曲度。
- (10) 各項摩擦係數及安全係數。

以下為所需注意之事項：

- A. 耙污機之設計荷重應採取預期可能發生之最嚴重狀態時之綜合荷重，包括水壓荷重、污雜物荷重、耙污機本身重量、颱風及地震之意外荷重等。
- B. 耙齒之結構強度須足以刮耙300 kg 以上之漂浮污雜物。
- C. 耙齒每齒之間的間距須配合有效柵條淨間距，而每齒之尺寸需小於有效柵條淨間距。
- D. 除另有規定，耙污機之刮耙速度採用5 m/min。

#### 9. 抽水池及附屬設施

抽水站抽水池設施構成元件計有下列四大要項，設計者可依實際需求而擇選之：

- (1) 前池。
- (2) 集水池。
- (3) 排砂閘門機電設施。
- (4) 導流牆。

以下為所需注意之事項：

- A. 前池之功用在於儲存引進抽水站之淹積水流，以便連續流入集水池內供抽水機抽排。前池為抽水站之重要設施，可穩定抽水機之抽排操作，避免抽水機因水量急遽變化，而產生操作時間不連續或產生空蝕等不良現象，影響抽水機之安全性及使用壽命。
- B. 集水池須具有靜緩水流之功能，池內流速應限制在0.5 m/sec 以下，避免抽水機抽排時因水流流速過快而造成不良之影響。
- C. 排砂閘門機電設備之功用在於排除淹積水流挾帶進入集水池之泥砂。閘門型式宜優先採用滑動式、固定輪式等型式之閘門並需依照閘門相關規定辦理。
- D. 集水池底部至抽水機組吸入口之距離應考慮在抽水機組執行抽排動作時，不可產生渦流真空現象。

E. 若抽水機組抽排容量較大或水流流況不佳時，集水池內應設有導流牆，用以引導水流至抽水機組抽排，避免產生渦流真空現象。

#### 10. 抽水設施

抽水站抽水設施構成元件計有下列三大要項，設計者可依實際需求而擇選之：

- (1) 抽水機組。
- (2) 動力設備。
- (3) 操作控制設備。

以下為所需注意之事項：

A. 抽水機組之功用在於執行淹積水流之抽排動作。

B. 動力設備之功用在於提供抽水機組執行抽排動作之動力。

#### 11. 抽水機組之選擇

抽水機組可依設備之構造及型式組合成多種組合型式，設計者應依設置功能及環境條件選擇適當之組合型式。

以下為所需注意之事項：

(1) 抽水機組依構造可分為：

- A. 離心式：又可分為輻流式、軸流式及斜流式等。
- B. 往復式
- C. 旋轉式

(2) 抽水機組依型式可選擇但不限於下列：

- A. 豎軸式抽水機。
- B. 橫軸式抽水機。
- C. 沉水式抽水機。
- D. 螺旋式抽水機。

(3) 抽水機組主要組合元件應包括（但不限於）吸入鐘口、葉輪組件、揚水組件、支承系統、水中馬達（僅沉水式具有）。

(4) 豎軸式抽水機之出水口的平均速度應保持在1.5~3.0 m/sec 範圍內較為合適。

(5) 豎軸式抽水機可適用於各種抽水型態及抽水規模之區域排水工程。

(6) 無法設置抽水站管理機房等地上建築物之抽排水工程宜採用沉水式抽水機。

(7) 無法設置前池及集水池之抽排水工程可考慮採用螺旋式抽水機，但其總排水揚程應在6 m 以下較為適宜。

(8) 抽水機之吸水管應避免急彎或有凸處，以防止空氣積集。

#### 12. 動力設備之選擇

(1) 電動馬達主要構造包括外殼、定子、轉子及軸承四大部分。

(2) 柴油引擎主要構造包括機體及曲柄連桿機構、傳動機構、供油系統、進排氣系統、潤滑系統、冷卻系統、起動系統及電氣系統。

(3) 動力設備應安裝在最高洪淹水位以上。

(4) 運轉次數頻繁且具有外電電源及緊急發電機設備之抽排水工程

可採用電動馬達動力設備。

(5) 運轉次數較少或沒有外電電源及緊急發電機設備之抽排水工程

可採用柴油引擎動力設備。

(6) 沉水式抽水機之馬達包覆在機體內部，故其運轉只能靠台電電源或緊急發電機供給馬達電力。

### 13. 出水設施

抽水站抽水設施構成元件計有下列三大要項，設計者可依實際需求而擇選之：

(1) 出水通路。

(2) 出水池。

(3) 回流防止設備。

以下為所需注意之事項：

A. 出水通道是水流的通路。通常採用明、暗渠道或管路等模式。

B. 出水池之功用在於防止出水量過大所產生之沖刷力破壞結構物或河道等。

C. 回流防止設備之功用在於防止排出之淹積水流或外水倒灌進入保護區內，通常採用的方法是在抽水機組出口處加裝逆止閥裝置。

### 14. 其他附屬設備

抽水站之附屬設備計有下列（但不限於）四大要項，設計者可依實際需求而擇選之：

(1) 緊急發電機設備。

(2) 吊機設備。

(3) 儲油設備。

(4) 監控設備。

以下為所需注意之事項：

A. 緊急發電機設備之功用在於台電電源停電時提供管理機房內設備所需之電力。為使緊急發電機在台電電源停電時能立即自動起動替代，需安裝有ATS 自動切換開關。

B. 吊機設備之功用在於抽水機組或動力系統等設備損壞時，予以提吊拆裝。

C. 為使柴油引擎能夠有足夠運轉之燃油，抽水站需設有儲油設施，其儲存容量須滿足抽水站內所有抽水機組運轉72 個小時。儲油設施通常採用儲油槽或儲油井。

D. 監控設備之功用在於使操作人員能及時掌握抽水站之現況及抽排水運轉情形，避免發生錯誤之研判或不當之操作事宜。

附表D-1 出水高之標準

計畫洪水量(cms)	出水高度(m)	計畫洪水量(cms)	出水高度(m)
200以下	0.6以上	2,000~5,000	1.2以上
200~500	0.8以上	5,000~10,000	1.5以上
500~2,000	1.0以上	10,000以上	2.0以上

附表D-2 堤坡坡度一般採用值

堤坡型式	設計坡度
土堤坡度	1:2. ~1:8
拋石坡度	1:2~1:4
混砌塊石	1:0.5 ~1:2
乾砌塊石	1:2 ~1:3
混凝土坡	1:1.5~1:2

附表D-3 不同土壤安全承載力概估值

土壤	噸/平方公尺
黏土、軟	10
黏土、中	20
黏土、硬	40
砂、細而鬆散	10
砂、細而緊密	30
砂、粗而鬆散	30
礫、鬆散之砂礫混料	40
礫、緊密之砂礫混料	50
硬盤	100
堅硬頁岩	100

附表D-4 梯形河道邊坡上之最大曳引力（以  $\gamma DS$  表示）

邊坡	底寬W 與深度D 之比		
	2	4	8
1 : 2	0.760	0.770	0.770
1 : 1.5	0.735	0.750	0.760

註:  $\gamma$  為水單位重, D 為水深, S 為坡度。

附表D-5 各種護岸材料之抗刷力

種類	臨界曳引力 (公斤/平方公尺)
柳柵間粒砂	1.0
柳柵間卵石	1.5
鋪草	2.0~3.0
柳柵、平行或偏斜於流向	5.0
掃工	7.0
鋪磚	10.0
鋪石	16.0
大碎石之亂砌	24.0
木格床乾石工	60.0
混凝土鋪砌	60.0
鋼筋混凝土鋪砌	80~100
石籠	至 150

附表D-6 各種土壤滲流比限值

基礎土壤種類	滲流比之容許最小值
粒狀土 (砂或礫)	4.0
顆粒均勻之細砂及壤土	3.0
級配良好之砂質壤土	2.0
黏質壤土及壤質黏土	1.8

附表D-7 各種土壤權重滲流比限值

土質	滲流比之容許最小值
極細砂或泥	8.5
細砂	7.0
中級砂	6.0
粗砂	5.0
細礫	4.0
中級礫	3.5
粗礫包括卵石	3.0
軟黏土	3.0
中級黏土	2.0
硬黏土	1.8
極硬黏土或硬泥盤	1.6

附表D-8 織布物理性質標準參考值

項目	單位	結果	試驗方法
拉力強度	kg/5cm	> 140	ASTM D 1682-85
破損前延伸率	%	< 30	ASTM D 1682-85
起始模數	kg/5cm	>1,000	ASTM D 1682-85
透水係數	cm/sec	>1×10-2	定水頭高10 公分ASTM D 4491-85

附表D-9 不織布物理性質標準參考值

項目	單位	說明	類別			
			I	II	III	IV
抗拉強度	Kgf(N)	抓式法 (縱向與橫向)	60(588) 以上	80(784) 以上	120(1176) 以上	160(1568) 以上
伸長率			40~100			
撕裂強度	Kgf(N)	梯形式 (縱向與橫向)	25(245) 以上	35(343) 以上	45(441) 以上	55(539) 以上
瑕疵	點	每公尺容許扣點數	6 以下	5 以下	3 以下	2 以下
透水係數	cm/sec	定水位高為10cm	1×10-2 以上			
奈紫外線性		紫外線破弧燈連續照射200 小時	外觀無變化，拉抗強度不得低於原規定之90%			

附表 D-10 護岸邊坡（垂直 1：水平 H）一般採用值

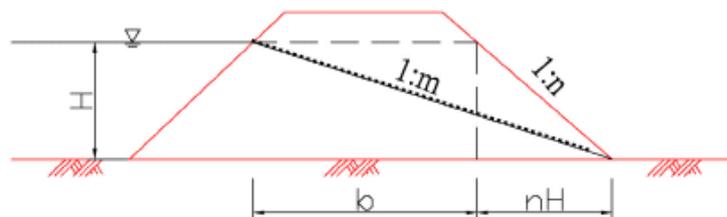
護岸工程之種類		護岸高度(m)	邊坡 H 值
砌石、砌混凝土塊	混砌	3~5	0.5
	混砌	3 以下	0.3
	乾砌	3 以下	1
鋪石、鋪設混凝土塊	混砌		1.5
	乾砌	3 以下	2
混凝土格框			1.5
鋪蛇籠		3 以下	2.0
		3 以下	1.5

附表 D-11 一般常用護坡工法型式及容許流速

護坡工法	使用材料	說明及適用條件	容許流速(m/s)
土坡	黏性土壤、植栽	配合植生可塑造自然生態的河川環境，適用流速小、坡度緩及流量溪流	1.0~1.5
砌石護坡	卵石、塊石、混凝土	適用就地取材及流速不高的中小型河川	1.5~3.0
混凝土護坡	回填土壤、混凝土	適用流速大河川	3.0~6.0
蛇(石)籠護坡	蛇(石)籠鍍鋅鐵絲網籠、卵塊石	具有屈撓特性亦可做護坦工，適用護坡高度不大之河川	3.0~5.0
串連混凝土塊或串磚工護坡	混凝土塊、不織布、鋼筋或鋼絲	可視魚類生態設計環境混凝土塊，依其強度設計可適用中小型河川	2.0~4.0
混凝土格框護坡	混凝土、植生袋	配合植生可塑造自然生態的河川環境，適用流速小、坡度緩及小流量溪流	2.0~3.0
編柵工法(Hurdle work)	採用竹材、木樁、柳枝、黏性土壤及砂礫土工織物等材料	流速小之緩流流況溪流	2.0~4.0

附表 D-12 各種丁壩種類依河道坡降及河床質不同大致適用情形

丁壩種類	河道坡降	河床質	備註
排樁丁壩	1/500~1/3000	砂、粘土、沉泥、砂礫	視河床情形，可設單床沉床及蛇籠護底
樁槎丁壩	1/200~1/1500	砂、砂礫	可適用於無法打樁處
拋石丁壩	1/1000 以下	砂、泥土	不易排水之深水河段
石(蛇)籠丁壩	1/250~1/1500	砂、砂礫、小卵石	
混凝土丁壩	1/200~1/1000	砂、砂礫、卵石	視坡降，可調整混凝土塊大小



附圖D-1 堤防設計參數定意圖

## 附錄五

### 多變量蒙地卡羅模擬法

## 附錄五 多變量蒙地卡羅模擬法

一般而言，影響防洪構造物之風險因子眾多，且各因子彼此之間有著相當程度的相關性，例如降雨量通常隨著延時增加而增加，且在雨季時降雨事件多且密集，相對地各事件間隔時間縮短。相反地，在旱季時，降雨事件少連帶著間隔時間增長。因此各風險因子彼此之間存在著某種程度上的相關性，且具有不同的統計特性(包括機率分佈函數種類)，更詳細來說各風險因子為非常態(Non-normal)且具有相關性之變數。由於此類隨機變數不易建立聯合機率分佈函數，使得模擬其值相當困難，因此 Chang 等(1994)發表了多變量蒙地卡羅模擬法(Multivariate Monte Carlo Simulation, MMCS, Method)。此外若風險因子間有一限制式，例如雨型為降雨在時間上之分佈情形主要由每小時之降雨比率所組成，故有無因次降雨比率其總和需為 1 之限制。因此本研究另採用 Wu 等(2006)所發展之具有限制式之多變量蒙地卡羅模擬法(Constrained Multivariate Monte Carlo Simulation, CMMCS, Method)針對具有限制條件之風險因子，進行其衍生工作。茲將具有限制式與否之兩種多變量蒙地卡羅模擬方法說明如下：

### (一) 多變量蒙地卡羅模擬法(Non-normal Multivariate Monte Carlo Simulation, MMCS, Method)

MMCS 法除了傳統蒙地卡羅法模擬變量外，包含以下三個步驟(如圖 E-1 所示)：

#### 1. 標準常態轉換(Normal Transformation)

第一步驟先利用 Nataf 二變量分佈(如 2.32 式)將相關性變量由原先空間轉換至標準常態空間，也就是將非常態相關變量轉換成常態相關變量。

$$\rho_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \right) \left( \frac{x_j - \mu_j}{\sigma_j} \right) \phi(z_i, z_j | \rho_{ij}^*) dz_i dz_j \quad (\text{E-1})$$

式中  $X_i$  及  $X_j$  為具有相關係數  $\rho_{ij}$  之隨機變數； $\mu_i$  及  $\mu_j$  分別為隨機變數  $X_i$  及  $X_j$  之平均值； $\sigma_i$  及  $\sigma_j$  分別為隨機變數  $X_i$  及  $X_j$  之標準偏差； $Z_i$  及  $Z_j$  為具有相關係數  $\rho_{ij}^*$  標準常態變數； $\phi(z)$  為標準常態分佈。其中將已知變量  $X_i$  及  $X_j$  之邊際機率分佈函數及相關係數  $\rho_{ij}$  代入解(2.32)式，可求得所對應在常態變量空間之相關係數  $\rho_{ij}^*$ ，若(2.32)式無解析解則以數值方法求其解。Liu 及 Der Kiureghian (1986)將(2.32)式簡化為下式，

$$\rho_{ij}^* = T_{ij} \times \rho_{ij} \quad (\text{E-2})$$

式中  $T_{ij}$  為轉換因子(Transformation Factor)，其型式隨著不同邊際機率分佈函數種類與隨機變數特性而異。

## 2. 正交轉換(Orthogonal transform)

常態多變量分析(Multivariate normal analysis)中處理具有相關性的隨機變量時，正交轉換為一相當重要的步驟。此步驟主要係將由步驟(1)所得相關性多變量經過常態轉換成具有相關性的標準常態變量後，再利用正交轉換成獨立的常態變量。最後再藉由蒙地卡羅法模擬獨立常態變量，並將獨立常態變量模擬值再經由正交轉換成具有相關性的標準常態變量。

## 3. 逆轉換(Inverse Transform)

由步驟(2)模擬標準常態變量後，可藉由下式將具有相關性之常態變量模擬值各別轉換成原空間變量。

$$x_i = F_i^{-1}[\Phi(z_i)] \quad (\text{E-3})$$

式中  $F_i(\bullet)$  為變量  $x_i$  之邊際機率分佈函數。

## (二) 具有約制條件之多變量蒙地卡羅模擬(Constrained Multivariate

## Monte Carlo Simulation, CMMCS, Method)

在模擬風險因子，若風險因子具有限制式則上述多變量蒙地卡羅模擬法(MMCS)則無法適用，例如雨型具有無因次降雨比率其總和需為 1 之限制，因此本研究以衍生雨型為例，說明具有約制條件之多變量蒙地卡羅模擬(CMMCS)法之理論。

雨型具有二種重要性質：(1)無因次降雨量 $P_\tau$ 為非負變量且局限於 0 跟 1 之間( $0 \leq P_\tau \leq 1$ )；及(2)不同的無因次時間 $\tau$ 的 $P_\tau$ 彼此間存在著相關性，也就是 $P_\tau$ 屬於具有相關性之非常態多變量。根據上述雨型的性質可知在模擬雨型需考量以下限制式，

$$(1) \text{ 總合為 } 1: \sum_{\tau=1/M}^{M/M} P_\tau = 1 \quad (\text{E-4a})$$

$$(2) \text{ 非負變量: } P_\tau \geq 0, \tau = 1/M, 2/M, \dots, M/M \quad (\text{E-4b})$$

式中 M 為無因次降雨時間點之數目。

由於無因次降雨量 $P_\tau$ 屬於多變量非常態隨機變數，理論上可使用 MMCS 蒙地卡羅法模擬雨型，但因具有(E-4)式限制式存在，使得 MMCS 在模擬無因次降雨量 $P_\tau$ 時，除了非常態多變量模擬步驟外，仍需以下二種程序將具有約制條件之多變量轉變無限制式之多變量。

### 1. 對數比率轉換(Log-ratio Transformation method)

目前已有相當多方法被提出以解決具有約制條件之多數量相關問題。例如 Aitchison(1986)曾針對具有約制條件的模擬技術詳細的探討，其研究成果建議可採用 Log-ratio 處理方法。Borgman 及 Faucette(1993)發展一實用的方法可將具有線性限制之多變量高斯模擬轉換成一條件多變量高斯模擬(Conditional multivariate Gaussian simulation)。Zhao(1992)提出一方法來模擬同樣具有總和需為 1 限制的單位歷線，且用在評估水工結構物因單位歷線不確定性所承受設計失敗的風險。其中亦有文獻針對雨型提出解決方

法，例如 Lambert 及 Kuczera(1996)認為可將無因次降雨量 $P_\tau$ 轉換成一對數常態隨機變數(Log-normal Random Variables)，藉以消除(2.35)式之限制。Fang 及 Tung(1996)採用接受-拒絕方法(Acceptance-rejection Method)、累積機率曲線法(Cumulated Probability Curve Method)及 log-ratio 法去模擬無因次降雨量 $P_\tau$ ，發現 log-ratio 法具有較佳的適用性及較穩定的計算結果(Computational Robust)。

Log-ratio 轉換法應用於雨型之模擬主要採用下式，

$$R_\tau = \log(P_\tau/P_{\tau^*}), \tau = 1/M, 2/M, \dots, M/M; \tau \neq \tau^* \quad (\text{E-5})$$

式中為 $\tau^*$ 為無因次時間指標。無因次降雨量 $P_\tau$ 介於0跟1之間，所以其對數比率 $R_\tau$ 則介於 $-\infty$ 及 $\infty$ 。在模擬過程中，須注意的是 $P_\tau$ 及 $P_{\tau^*}$ 皆不可為0以避免在取對數之計算上的錯誤。

當無因次降雨量 $P_\tau$ 經由 log-ratio 法轉換成 $R_\tau$ ，則原本屬於具有約制條件之非常態多變量模擬轉變成為如同模擬降雨延時、雨量及間隔時間一樣的正常態多變量，可直接用 MMCS 蒙地卡羅法模擬對數比率 $R_\tau$ ，當求得對數比率模擬值 $R_\tau$ 後，可由(E-5)式求得 $P_\tau = P_{\tau^*} \exp(R_\tau)$ ，將其代入(2.35)式求得 $P_{\tau^*}$ (如下式)，

$$P_{\tau^*} = \frac{1}{1 + \sum_{\substack{\tau=1/M \\ \tau \neq \tau^*}}^{M/M} \exp(R_\tau)} \quad (\text{E-6})$$

再將(2.37)式代入(2.35)式，則可求得 $P_\tau$

$$P_\tau = \frac{\exp(R_\tau)}{1 + \sum_{\substack{\tau=1/M \\ \tau \neq \tau^*}}^{M/M} \exp(R_\tau)}, 0 < \tau \leq 1; \tau \neq \tau^* \quad (\text{E-7})$$

## 2. 多變量 Johnson 分佈函數之模擬

經由 log-ratio 轉換分法，可將具有約制條件之非常態多變量模擬問題轉變為無約制條件非常態多變量模擬，也就是說可應用 MMCS 法模擬對數比率  $R_r$  值。然而，若需使用 MMCS 法，則先要檢定變量之合適機率分佈，由於兩型具有  $M$  個  $R_r$  變量需檢定其合適分佈，無形中增加了檢定上的困難及模擬之繁雜度，為此具有較廣泛適用性的 Johnson 分佈函數組群可適用於描述  $R_r$  之統計性質。

Johnson(1949)提出一個四參數之機率分佈函數

$$Z = g(X|\gamma, \delta, \xi, \lambda) = \gamma + \delta \times f\left(\frac{X - \xi}{\lambda}\right) \quad (\text{E-8})$$

式中  $Z$  為標準常態變量； $X$  為原隨機空間之非常態變量； $\gamma, \delta, \xi, \lambda$  為機率函數參數其中  $\xi$  為位置因子(Location Parameter)及  $\lambda$  為尺度因子(Scale parameter)。

Johnson 分佈主要有以下三種型式

(1) 對數常態系(Lognormal System, SL)

$$S_L: Z = \gamma + \delta \ln(X - \xi), \quad X < \xi \quad (\text{E-9})$$

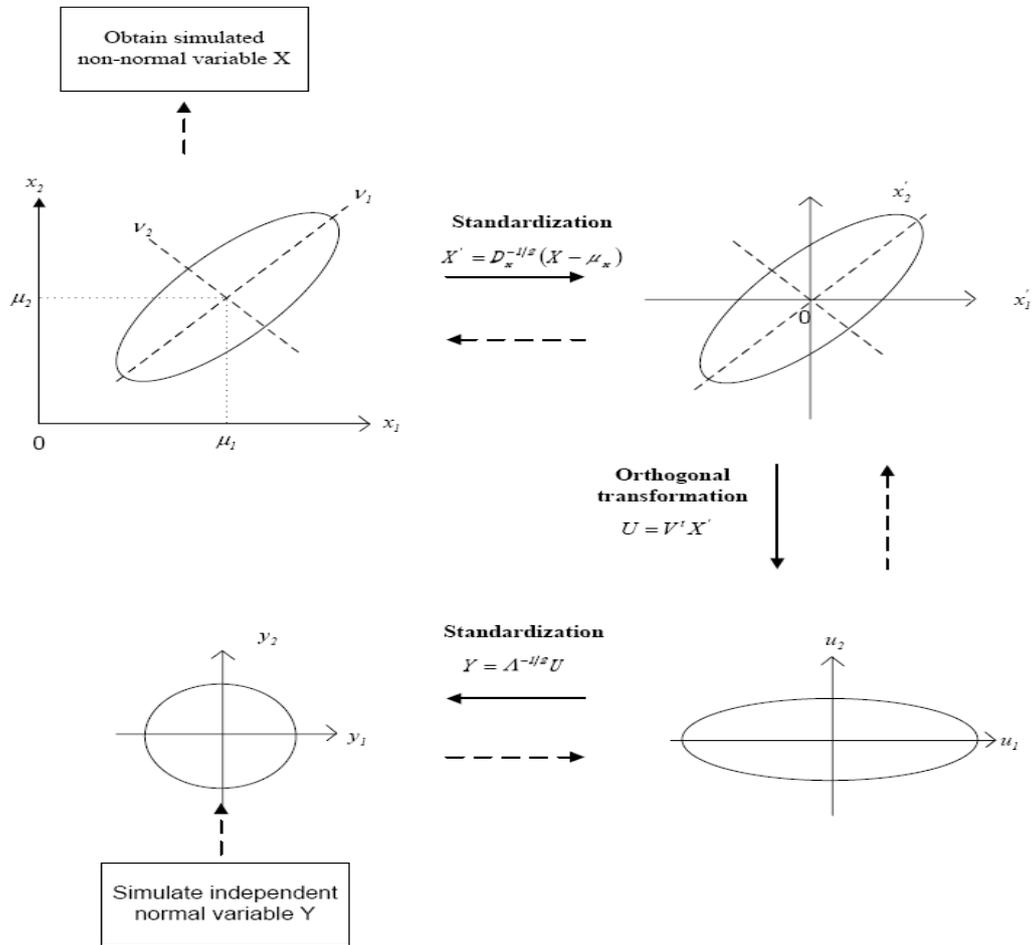
(2) 無界限系(Unbounded System, SU)

$$S_U: Z = \gamma + \delta \sinh^{-1}[(X - \xi)/\lambda] \quad (\text{E-10})$$

(3) 有界限系(Bounded System, SB)

$$S_B: Z = \gamma + \delta \ln\left(\frac{X - \xi}{\xi + \lambda - X}\right), \quad \xi < X < \xi + \lambda \quad (\text{E-11})$$

Hill 等(1976)發展了一套演算法，利用變量  $X$  的前四階動差來率定數  $\gamma, \delta, \xi, \lambda$  值並決定 Johnson 分佈之型式。



$D_x^{-1/2}$ ,  $V^t$ ,  $A$ : Parameters of multivariate Monte Carlo simulation method  
 ← Transformation from non-normal space to standard normal space  
 - - - → Generation of non-normal multivariate random variables

附圖 E-1 多變量蒙地卡羅 MMCS 方法之模擬程序

## 附錄六

### **SOBEK 水文水理模式概述**

## 附錄六 SOBEK 水文水理模式概述

### F1 水文模式

SOBEK 水文分析一般多採用 Sacramento 降雨-逕流模式，該模式係以史丹福集水區模式(Stanford Watershed Model)為基礎，模擬降雨至地面形成逕流之每一過程，包括蒸發、入滲、地表下逕流、地下水等，為一以物理機制為基礎之模式(Physically Based Model)，整體架構如附圖 F-1 所示。茲將 Sacramento 降雨逕流模式的物理意義說明如下：

#### (一) 地面上區域

當降雨落於地面時，若地面狀況為不透水(Impervious)情況，則此降雨量就會轉換成直接逕流(Direct Runoff)。此部分的直接逕流量  $q_{directrunoff1}$  可表示為

$$q_{dirrunoff1} = I \times PCTIM \quad (F-1)$$

式中， $I$ =降雨量； $PCTIM$ =不透水區域佔集水面積的比例。

若地面為透水(Pervious)情況，降雨量就能入滲至地面下的貯水空間，此部分的降雨逕流轉換則需借助土壤含水量的相關計算模式。

當地面下土壤含水量達到飽和的情況時，有部分的降雨量就會直接轉換成直接逕流，此部分的直接逕流  $q_{directrunoff2}$  可表示為

$$q_{directrunoff2} = I \times ADIMP \quad (F-2)$$

式中， $ADIMP$ =土壤飽和情況下，透水區域的降雨量會轉換成直接逕流的比例。

因此，直接逕流總量  $q_{directrunoff} = q_{directrunoff1} + q_{directrunoff2}$ 。

#### (二) 地面下區域

Sacramento 模式係以以水筒概念描述入滲過程，其主要的概念係

將地面下區域劃分成上層區域(Upper zone)及下層區域(Lower zone)二個區域，上層區域可分成張力水貯蓄筒(Tension Water Storage)及自由水貯蓄筒(Free Water Storage)，下區同樣也分成張力水、自由水貯蓄二層，但自由水再分成初期自由水貯蓄筒(Primary Free Water)及補助自由水貯蓄筒(Supplementary Free Water)二層。茲將每個區域的意義與使用的理論基礎說明如下：

## 1. 上層區域

### (1)上層張力水貯蓄筒

降雨入滲地面後將會先進入上層張力水貯蓄筒，貯存於該筒內。上層張力水貯蓄筒的物理機制包括：

#### (a)蒸發散

張力水貯蓄筒之蒸發散量 $E_1$ ，其計算方式為

$$E_1 = ED \times (UZTWC / UZTWM) \quad (F-3)$$

式中， $ED$ =最大可能蒸發散量； $UZTWC$ =上層張力水貯蓄筒含水量； $UZTWM$ =上層張力水貯蓄筒最大含水量。

#### (b)溢流

當上層張力水貯蓄筒的貯水量大於最大貯水量(Maximum Storage Capacity)時，水即開始溢流至上層自由水貯蓄筒。

### (2)上層自由水貯蓄筒

上層自由水貯蓄筒的物理機制包括：

#### (a)蒸發

當 $E_1 < ED$ 時，上層自由水貯蓄筒的蒸發散量 $E_2$ 可表示成

$$E_2 = \min(ED - E_1, UZFWC) \quad (F-4)$$

式中， $UZFWC$ =上層自由水貯蓄筒含水量。

## (b) 滲透

上層自由水貯蓄筒的水量會藉由滲透的方式流入下層區域，其滲透量  $PERC$  的計算方式為

$$PERC = PERC_{act,dem} \times UZFWC / UZFWM \quad (F-5)$$

式中， $PERC_{act,dem}$  = 下層區域之滲透需求量； $UZFWC$  = 上層自由水貯蓄筒最大含水量。

當下層區域所有筒子都充滿水的情況下，此時的滲透需求量即可視為下層區域的最小滲透需求量  $PERC_{min,dem}$ 。

$$PERC_{min,dem} = PBASE = LZFPF \times LZPK \times LZSK \quad (F-6)$$

式中， $LZFPF$  = 下層初期水貯蓄筒之最大含水量； $LZPK$  = 下層初期水貯蓄筒之排水係數，定義為下層初期水貯蓄筒的貯水量中，每天能排出筒外而成為河川基流量(Baseflow)的比例； $LZSK$  = 下層補助自由水貯蓄筒之排水係數，定義為下層補助自由水貯蓄筒的貯水量中，每天能排出筒外而成為河川基流量(base flow)的比例。

當下層區域所有筒子都沒有水的情況下，此時的滲透需求量即可視為下層區域的最大滲透需求量  $PERC_{max,dem}$ 。

$$PERC_{max,dem} = PBASE(1 + ZPERC) \quad (F-7)$$

式中， $ZPERC$  = 定義下層區域最大滲透需求量的係數，通常  $ZPERC \geq 1$ 。

理論上， $PERC_{act,dem}$  會介於  $PERC_{min,dem}$  與  $PERC_{max,dem}$  之間，因此定義  $PERC_{act,dem}$  的計算方式為

$$PERC_{max,dem} = PBASE(1 + ZPERC \times G) \quad (F-8)$$

$$G = \left( 1 - \frac{LZTWC + LZFSC + LZFPC}{LZTWM + LZFSM + LZFPM} \right)^{REXP} \quad (F-9)$$

式中， $LZTWC$  = 下層張力水貯蓄筒含水量； $LZFSC$  = 下層補助自由水貯蓄筒含水量； $LZFPC$  = 下層初期水貯蓄筒含水量； $LZTWM$  = 下層張力水貯蓄筒之最大含水量； $LZFSM$  = 下層補助自由水貯蓄筒之最大含水量； $REXP$  = 係數。

當下層區域所有筒子都沒有水的情況下， $G=1$ ， $PERC_{act,dem} = PERC_{max,dem}$ ；當下層區域所有筒子都充滿水的情況下， $G=0$ ， $PERC_{act,dem} = PERC_{min,dem}$ 。

### (c)排水

當上層自由水貯蓄筒水量大於下層區域之滲透需求量 ( $PERC_{act,dem}$ ) 時，該筒就開始會有排水量流出，稱為中間流 (Interflow)  $q_{interflow}$ ，其計算方式為

$$q_{interflow} = UZFWC \times UZK \quad (F-10)$$

式中， $UZK$  = 上層自由水貯蓄筒之排水係數，定義為上層自由水貯蓄筒的貯水量中，每天能排出筒外而成為河川中間流的比例。

### (d)溢流

當上層自由水貯蓄筒的貯水量大於下層區域之滲透需求量以及最大中間流排水量的總合時，水即開始溢流而成為地表逕流 (Surface Runoff)  $q_{surfacerunoff}$ 。

## 2. 下層區域

### (1)下層張力水貯蓄筒

#### (a)滲透

理論上，滲透水量會先進入下層張力水貯蓄筒中，直至該筒滿了以後，水才會溢流至下層補助自由水貯蓄筒及下層初期水貯

蓄筒。但在實際的情況中，會有部分的滲透水量直接進入下層補助自由水貯蓄筒及下層初期水貯蓄筒，因此，以下式計算進入下層張力水貯蓄筒的滲透水量  $PERC_{act,dem,LZTW}$

$$PERC_{act,dem,LZTW} = PERC_{act,dem} \times (1 - PFREE) \quad (F-11)$$

式中， $PFREE$  = 滲透水量會直接進入下層補助自由水貯蓄筒及下層初期水貯蓄筒的比例。

### (b) 蒸發散

當  $E_1 + E_2 < ED$  時，下層張力水貯蓄筒之蒸發散量  $E_3$  可表示成

$$E_3 = (ED - E_1 - E_2) \times LZTWC / (UZTWM + LZTWM) \quad (F-12)$$

### (c) 溢流

當下層張力水貯蓄筒的貯水量大於最大貯水量時，水即開始溢流至下層補助自由水貯蓄筒。

## (2) 下層補助自由水貯蓄筒

### (a) 滲透

進入下層補助自由水貯蓄筒的滲透水量  $PERC_{act,dem,LZFS}$  可表示成

$$PERC_{act,dem,LZFS} = 1 - \left[ PERC_{act,dem} \times PFREE \times \frac{LZFPM}{LZFPM + LZFSM} \times \frac{2R_p}{R_p + R_s} \right] \quad (F-13)$$

$$R_s = 1 - LZFSC / LZFSM \quad (F-14)$$

$$R_p = 1 - LZFPC / LZFPM \quad (F-15)$$

### (b) 排水

當下層補助自由水貯蓄筒開始貯水後，該筒就開始會有排水量  $Q_{baseflow1}$  流出，其與下層初始水貯蓄筒的排水量  $Q_{baseflow2}$  之總合稱為基流量 (Baseflow)  $Q_{baseflow}$  (即

$Q_{baseflow} = Q_{baseflow1} + Q_{baseflow2}$ )，其計算方式為

$$Q_{baseflow1} = LZFC \times LZSK \quad (F-16)$$

### (c) 溢流

當下層補助自由水貯蓄筒的貯水量大於最大貯水量時，水即開始溢流至下層初期水貯蓄筒。

## (3) 下層初期水貯蓄筒

### (a) 滲透

進入下層初期水貯蓄筒的滲透水量  $PERC_{act,dem,LZFP}$  可表示成

$$PERC_{act,dem,LZFP} = \left[ PERC_{act,dem} \times P_{FREE} \times \frac{LZFC}{LZFC + LZFS} \times \frac{2R_p}{R_p + R_s} \right] \quad (F-17)$$

### (b) 排水

當下層初期水貯蓄筒開始貯水後，該筒就開始會有排水量  $Q_{baseflow2}$  流出，其計算方式為

$$Q_{baseflow2} = LZFD \times LZPK \quad (F-18)$$

## (三) 河川區域

綜合地面上與地面下的水文歷程後，會流入河川而形成逕流的部分包括  $q_{directrunoff}$ 、 $q_{interflow}$ 、 $q_{surfacrunoff}$ 、 $q_{baseflow}$  四個部分，但在整個轉換過程中還是會有其他損失發生，必須另外計算。

### 1. 蒸發散

河川區域的蒸發散量  $E_4$  計算方式為

$$E_4 = ED \times SARVA \quad (F-19)$$

式中， $SARVA$  = 積水區面積受到河川、湖泊、作物覆蓋的比例。

### 2. 基流量傳送損失

基流量損失的計算方式為

$$q_{baseloss} = q_{baseflow} / (1 + SIDE) \quad (F-20)$$

式中， $SIDE$  = 基流量傳送損失係數。

### 3. 河川損失量

另外，當水流入河川後，亦會有部分水入滲底床土層，形成河川損失(Channel Loss)，Sacramento 模式以  $SSOUT$  參數表示河川損失量。

綜合河川入流量與損失量，實際流入河川的水文量  $Q$  可表示為

$$Q = q_{directrunoff} + q_{interflow} + q_{surfacerrunoff} + q_{baseflow} - E_4 - q_{baseloss} - SSOUT \quad (F-21)$$

最後，再經由單位歷線模式進行降雨逕流轉換，將流入河川的水文量轉換成河道之逕流量，完成水文分析的工作。

## F2 水理模式

### (一) 河川水理模式

SOBEK 中之河川水理模擬採用一維水理模式，所採用之控制方程為

$$\text{質量方程式} \quad \frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = q_{lat} \quad (F-22)$$

$$\text{動量方程式} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{Q^2}{A_f} \right) + g A_f \frac{\partial h}{\partial s} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - B \frac{\tau_w}{\rho} = 0 \quad (F-23)$$

式中， $Q$  = 流量； $g$  = 重力加速度； $t$  = 時間； $s$  = 沿流動方向之空間座標； $h$  = 水位； $R$  = 水力半徑； $q_{lat}$  = 側入流量； $A_f$  = 濕周面積； $C$  = Chezy 係數； $B$  = 河流寬度； $\tau_w$  = 風剪力； $\rho$  = 水密度。

### (二) 淹水模式

SOBEK 模式中之淹水模擬採用二維水理模式，其所採用之控制方程為

$$\text{質量方程式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = 0 \quad (\text{F-24})$$

$$\text{動量方程式} \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{u|V|}{C^2 d} + au|u| = 0 \quad (\text{F-25})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \frac{v|V|}{C^2 d} + av|v| = 0 \quad (\text{F-26})$$

式中， $x, y$ =模擬區域之迪卡兒空間座標； $u, v$ = $x, y$ 方向之平均流速； $d$ =模擬區地表水深； $a$ =邊牆摩擦係數； $V = \sqrt{u^2 + v^2}$ 。

### (三) 水工結構物之處理

#### 1. 橋樑：

SOBEK 以下式估算水流通過橋樑之流量：

$$Q = \mu A_f \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{F-27})$$

式中， $\mu$ =損失係數，依橋樑型式而定； $A_f$ =橋樑上游面之通水面積； $h_1$ =上游水位； $h_2$ =下游水位。

#### (1) 柱狀基礎之橋樑(Pillar Bridge)(示意如附圖 F-2 所示)

$$\mu = 1 / \sqrt{\xi_p} \quad (\text{F-28})$$

$$\xi_p = \beta_p \alpha_p / A_f \quad (\text{F-29})$$

式中， $\xi_p$ =橋柱損失係數； $\beta_p$ =係數，依橋柱形狀而定，一般介於 0.22 至 1.56； $\alpha_p$ =橋柱阻礙之通水面積。

#### (2) 橋臺基礎之橋樑(Abutment Bridge)(示意如附圖 F-3 所示)

$$\mu = 1 / \sqrt{\xi_i + \xi_f + \xi_0} \quad (\text{F-30})$$

$$\xi_f = \frac{2gL}{C^2 R} \quad (\text{F-31})$$

$$\xi_0 = k(1 - A_f / A_{f2}) \quad (\text{F-32})$$

式中， $\xi_i$ =入口損失係數，一般可設定為常數； $\xi_f$ =摩擦損失係數； $L$ =橋樑長度； $\xi_0$ =出口損失係數； $k$ =損失常數； $A_{f2}$ =橋樑下游面之通水面積。

## 2.孔口：

孔口結構物之示意圖如附圖 F-4 所示，依其流動型態可分為五種型態，流量估算方式分別為：

(1)自由孔口出流( $h_1 - z_s \geq \frac{3}{2}d_g$  且  $h_2 \leq z_s + d_g$ )

$$Q = c_s B_s \mu_s d_g \sqrt{2g[h_1 - (z_s + \mu_s d_g)]} \quad (\text{F-33})$$

(2)潛沒孔口出流( $h_1 - z_s \geq \frac{3}{2}d_g$  且  $h_2 > z_s + d_g$ )

$$Q = c_s B_s \mu_s d_g \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{F-34})$$

(3)自由堰流( $h_1 - z_s < \frac{3}{2}d_g$  且  $h_1 - z_s > \frac{3}{2}(h_2 - z_s)$ )

$$Q = c_s B_s \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}g} (h_1 - z_s)^{3/2} \quad (\text{F-35})$$

(4)潛沒堰流( $h_1 - z_s < \frac{3}{2}d_g$  且  $h_1 - z_s \leq \frac{3}{2}(h_2 - z_s)$ )

$$Q = c_e c_s B_s \left[ h_1 - z_s - \frac{u_s^2}{2g} \right] \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{F-36})$$

式中， $\mu_s$ =收縮係數，通常採用 0.63； $c_s$ =寬度收縮係數； $B_s$ =頂部(crest)寬度； $d_g$ =開口高度； $z_s$ =頂部高程； $c_e$ =流量係數； $u_s$ =頂部流速。

## 3.堰：

堰之示意圖如附圖 F-5 所示，堰亦可分自由堰及潛沒堰兩種流況，流量估算方式為：

(1)自由堰( $h_1 - z_s > \frac{3}{2}(h_2 - z_s)$ )

$$Q = c_e c_w B_w \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}g} (h_1 - z_s)^{3/2} \quad (\text{F-37})$$

(2)潛沒堰( $h_1 - z_s \leq \frac{3}{2}(h_2 - z_s)$ )

$$Q = c_e c_w B_w \left( h_1 - z_s - \frac{u_s^2}{2g} \right) \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{F-38})$$

#### 4. 涵洞：

涵洞通常為地底下之水工建造物，以連結兩條明渠水路，其示意圖如附圖 F-6 所示。由涵洞上下游水位關係可決定通過涵洞的流量為：

$$Q = \mu_a A_b \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{F-39})$$

$$\mu_a = 1 / \sqrt{\xi_i + \xi_f + \xi_0} \quad (\text{F-40})$$

for flow is submerged ( $h_2 \geq z_{c2} + d_{c2}$ )

$$\xi_0 = k(1 - A_b / A_{f2}) \quad (\text{F-41})$$

for flow is free ( $h_2 < z_{c2} + d_{c2}$ )

$$\xi_0 = 0 \quad (\text{F-42})$$

式中， $\mu_a$  = 涵洞損失係數； $A_b$  = 平均通水面積，利用  $h_1$  及  $h_2$  決定； $z_{c2}$  = 涵洞下游端之底部高程； $d_{c2}$  = 涵洞下游端之臨界水深。

#### 5. 虹吸工：

虹吸工主要是將湖泊或蓄水池的水傳送至下游渠道，其示意圖如附圖 F-7 所示。虹吸工亦可分為自由虹吸及潛沒虹吸兩種流況，分別為

(1) 自由虹吸工 ( $h_2 \geq z_{c2}$ )

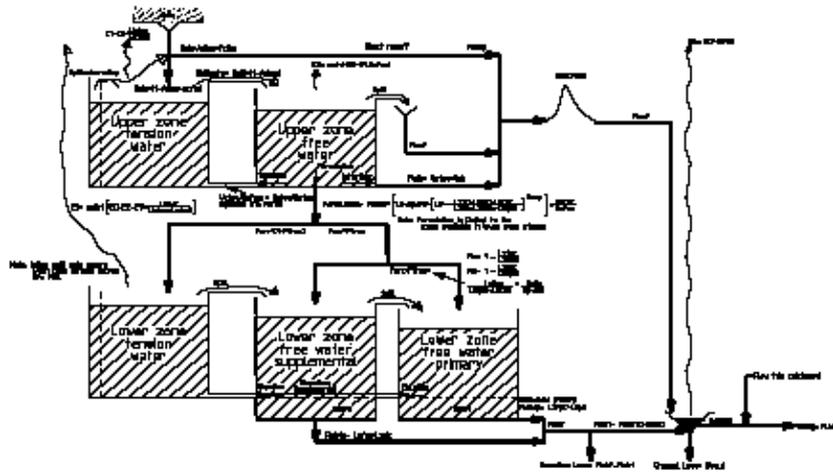
$$Q = \mu_b A_c \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{F-43})$$

(2) 潛沒虹吸工 ( $h_2 < z_{c2}$ )

$$Q = \mu_b A_c \sqrt{2g(h_1 - z_{c2})} \quad (\text{F-44})$$

$$\mu_b = 1 / \sqrt{\xi_i + \xi_f + \xi_b + \xi_0} \quad (\text{F-45})$$

式中， $\mu_b$  = 虹吸工損失係數； $A_c$  = 虹吸工之通水面積； $\xi_b$  = 彎道損失係數，通常可設定為常數值。



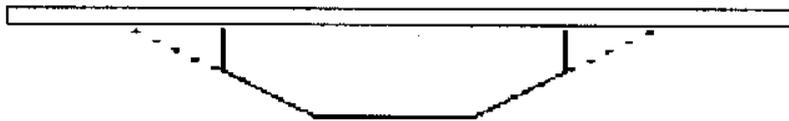
附圖 F-1 Sacramento 降雨逕流模式架構

(摘自 User guide of Rainfall runoff library. (Catchment Modelling Toolkit))



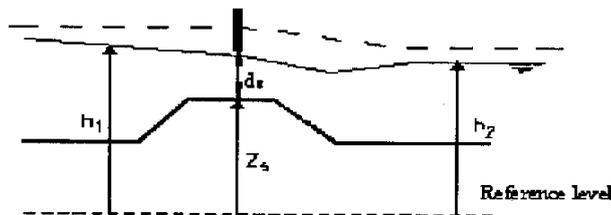
附圖 F-2 柱狀基礎之橋樑示意圖

(摘自 SOBEK Manual)



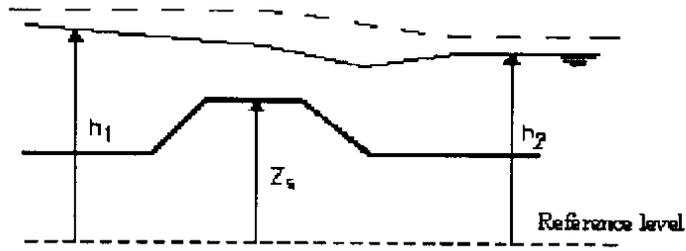
附圖 F-3 橋臺基礎之橋樑示意圖

(摘自 SOBEK Manual)



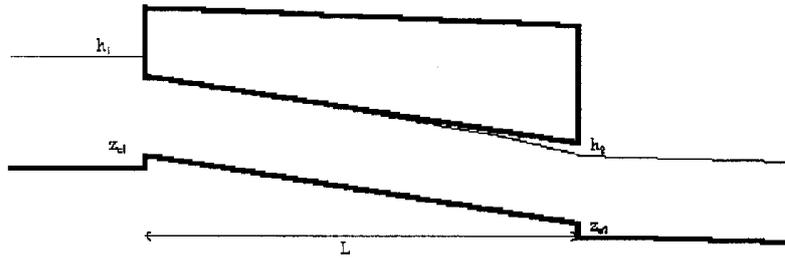
附圖 F-4 孔口結構物之示意圖

(摘自 SOBEK Manual)



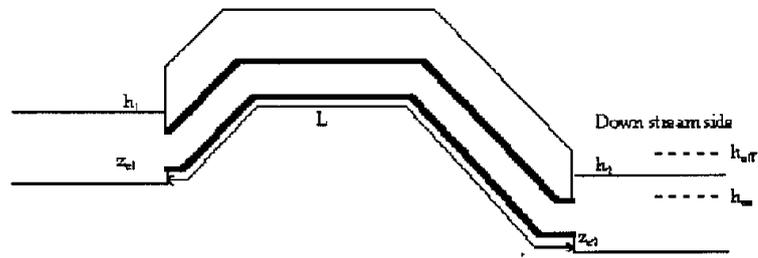
附圖 F-5 堰之示意圖

(摘自 SOBEK Manual)



附圖 F-6 涵洞示意圖

(摘自 SOBEK Manual)



附圖 F-7 虹吸工示意圖

(摘自 SOBEK Manual)