

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

河防構造物功能風險分析架構之研究

Study on Risk Analysis Framework of
Flood Control Structures in Fluvial System



研究生：賴鏡如

指導教授：楊錦釗 博士

吳祥禎 博士

中華民國九十七年七月

河防構造物功能風險分析架構之研究

Study on Risk Analysis Framework of
Flood Control Structures in Fluvial System

研究生：賴鏡如
指導教授：楊錦釗
吳祥禎

Student : Jing-Ru Lai
Advisor : Jinn-Chuang Yang
Shiang-Jen Wu

國立交通大學
土木工程研究所

碩士論文



A Thesis Submitted to Civil Engineering
College of Engineering
Nation Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in
Civil Engineering
July 2008
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

誌 謝

在交大土木所兩年的學習過程，隨著論文的付梓，即將劃上句點，這段時間以來的點滴，將成為畢生寶貴的回憶。本拙作得以順利完成，承蒙恩師楊錦釗教授的悉心指導與諄諄教誨，吳祥禎博士對於觀念的啟迪、架構的匡正與求學的態度逐一斧正，在此獻上最誠摯的感謝與敬意。於研究期間，湯有光教授的啟發與教導，給予諸多寶貴之意見，也使學生獲益匪淺。於論文審定期間，感謝口試委員虞國興教授、黃文政教授、張胤隆博士的悉心指正與寶貴意見，使本論文更臻完善，在此深致謝忱。

在學期間，感謝東霖學長、德勇學長、夢祺學長、胤隆學長、世偉學長、昇學學長、曉萍學姊、秀容學姊、浩榮學長、弘恩學長、欣瑜學姐、仲達學長、建華學長、歆婷學姐、柏宏學長、宗明學長、偉國學長、雅婷學姐…等學長姐對於專業學術上不吝指點迷津與生活上的照顧，亦感謝同窗好友仙瑩、冠顯、俊哲、思廷、誠達、仁凱、佑民兩年來在課業上與精神上的勉勵與支持，以及學弟妹歆淳、俊宏、全謚、振家的諸多幫忙協助。此外特別感謝摯友名儀、慎禎、明哲，因為有你們一直在我身邊給我鼓勵，才賦予我無盡的動力與勇氣去克服壓力與挫折。

此刻心中的感激之情無法道盡，期能藉此謝誌稍表內心之意，並與所有關心我的人共享這份喜悅。最後僅以此論文獻給我最親愛的家人，感謝你們在多年求學過程中，始終給予我最大的支持與愛護，讓我心無旁騖完成至今的一切，在此致上由衷之感謝。

河防構造物功能風險分析架構之研究

研究生：賴鏡如

指導教授：楊錦釗
吳祥禎

國立交通大學土木工程研究所碩士班

摘 要

本研究目的主要為建置一個評估河防構造物防洪功能失效之風險分析架構。因河防構造物包括堤防、護岸、丁壩等，其中堤防廣泛用於城市或流域之防災減洪工作，故本研究主要著重於評估評估流域在水文、水理及地文條件皆改變之情況下，依據保護標準之降雨量或洪水位所設計之堤防可能承受防洪功能失效之風險，也就是最高洪水位超越堤防高程之發生機率(失敗機率)。此一風險分析架構主要可區分為四部份：(1)風險因子之辨識與衍生：採用故障樹分析方法，界定出河川治理規劃之水文水理分析過程中，會造成河防構造物無法達到預期防洪功能之風險因子，可區分為水文、水理及地文因子，並採用拉丁高次取樣法衍生各風險因子；(2) 推估最高洪水位：將風險因子衍生值輸入降雨-逕流與水理模式中推估其最高洪水位；(3) 最高洪水位與風險因子關係式之建立：使用多變量迴歸分析法建立最高洪水位與風險因子之關係式；(4)風險計算：採用不確定性分析方法計算溢堤之失敗機率。

本研究以基隆河為應用案例，分別探討風險分析方法之適用性、各風險因子對堤防防洪能力之影響程度；堤防不同出水高及員山子分洪道設置對堤防溢堤風險之比較。依據分析結果可知，高等一階二矩法(AFOSM)較其他兩種方法適用於評估河防構造物之風險分析，其所需最高洪水位與風

險因子關係式以非線性型態較能夠適當反應最高洪水位與風險因子之變化趨勢。各風險因子以最大無因次降雨比率(N_{R_p})與 200 年之降雨量(D)為影響風險分析結果之重要因子，且堤防出水高及員山子分洪道皆可有效達成降低防洪功能失效風險之功能。綜合上述結果可知，本研究所建置之河防構造物風險分析架構可適用於河川堤防防洪功能之評估，期使未來其分析結果可作為制定河川治理規劃之參考。

關鍵詞：不確定性及風險分析，河防構造物，基隆河，溢堤



Study on Risk Analysis Framework of Flood Control Structures in Fluvial System

Student : Jing-Ru Lai

Advisor : Jinn-Chuang Yang
Shiang-Jen Wu

Department of Civil Engineering
National Chiao-Tung University

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop the flood risk assessment framework for flood control structures in fluvial system, including the embankment, dike, groyne and so on. Since the embankments are widely used to prevent the urban and watershed from flooding, this study focuses on the risk analysis for the flood-control ability of the embankments, which mainly calculates the failure probability of the water level greater than the embankment. The failure probability probably results from the uncertainties of the rainfall depth or flood of specific protection criteria for the design of hydraulic structures, caused by the variation of hydrological, hydraulic and geometrical conditions in the catchments. The proposed risk analysis framework is grouped into four parts, (1) identification and generation of risk factors: using the fault-tree-analysis, the risk factors in the hydrologic and hydraulic routing can be identified, that is hydrological, hydraulic, and geometric factors. The risk factors are generated by Latin hypercubic sampling (LHS) method; (2) estimation of the maximum water levels: the maximum water levels are estimated by the hydrologic and hydraulic analysis with the generated risk factors; (3) establishment of the relationship between the maximum water levels and risk factors: the maximum water levels relationship with risk factors is established

by the multi-variables regression analysis; and (4) calculation of the failure probability: the failure probability of the maximum water level greater than embankment is calculated by the risk and uncertainty methods.

In this study, the proposed risk analysis framework is applied in the study area, Keelung river watershed, to evaluate the adequacy of uncertainty methods, the sensitivity of risk factors to the flood control capacity of embankment, and the effect of different freeboards and Yuan-Shan-Zi flood-diversion channel. In view of the results of numerical experiments, the advanced first-order-second-moment (AFOSM) method is more adequate to the risk analysis for the flood control capacity of hydraulic structures in fluvial system, of which the nonlinear relationship between the maximum water levels and risk factors can describe the behavior of the maximum water levels varied with the risk factors. The 200-yr rainfall depth and the maximum dimensionless rainfall ratio are more sensible than remaining risk factors on the flood control ability. Additionally, the freeboards of embankments and Yuan-Shan-Zi flood-diversion channel are able to effectively reduce the failure probability. In summary, the proposed risk analysis framework is demonstrated to be able to be used in the risk analysis for the prevention flood ability of flood-control structures in the river systems. Hence, it is expected the results from the proposed risk analysis framework would be referred in the river treatment and planning.

Key words: Uncertainty and risk analysis ;flood control structures ;Keelung river ;overbank

目 錄

誌謝	I
中文摘要	II
Abstract	IV
目錄	VI
表目錄	VIII
圖目錄	X
符號表	XII
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 文獻回顧	2
1.3 論文架構	5
第二章 理論基礎簡介	6
2.1 風險分析	6
2.1.1 風險之定義	6
2.1.1 風險分析方法之簡介	7
2.2 不確定性分析	10
2.3 多變量蒙地卡羅模擬法	17
2.4 多變量迴歸分析方法	22
第三章 風險分析架構之建置	29
3.1 風險辨識	29
3.2 風險分析架構	35
3.2.1 風險因子之衍生	35
3.2.2 推估最高洪水位	38
3.2.3 最高洪水位與風險因子關係式之建立	38



3.2.4 風險計算.....	39
第四章 應用案例探討分析.....	44
4.1 基隆河流域概況.....	44
4.2 風險分析架構之應用.....	48
4.2.1 風險因子之衍生.....	48
4.2.2 推估最高洪水位.....	53
4.2.3 風險因子逐步迴歸分析.....	55
4.2.4 最高洪水位與風險因子關係式之建立.....	57
4.3 風險計算結果分析探討.....	58
4.3.1 不確定性分析方法之比較.....	58
4.3.2 堤防溢堤之風險分析.....	59
4.3.2.1 各風險因子對堤防防洪能力之影響程度.....	60
4.3.2.2 堤防不同出水高之比較.....	61
4.3.2.3 員山子分洪道設置對堤防溢堤風險之比較.....	62
第五章 結論與建議.....	107
5.1 結論.....	107
5.2 建議.....	108
參考文獻.....	109

表 目 錄

表 2-1 風險之定義.....	25
表 2-2 風險分析方法之優缺點	26
表 2-3 不確定性分析方法之優缺點	27
表 3-1 風險因子彙整表	41
表 4-1 基隆河流域橋樑相關資訊一覽表	63
表 4-2 基隆河流域各控制點歷年最大三日降雨量	65
表 4-3 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(1/3)	66
表 4-3 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(2/3)	67
表 4-3 基隆河流域各場颱風暴雨時雨量位序百分比(3/3)	68
表 4-4 基隆河流域各控制點地文特性與稽延時間值	69
表 4-5 稽延時間統計特性比較表	69
表 4-6 稽延時間誤差項衍生值統計特性	70
表 4-7 衍生起算水位之樣本資料	70
表 4-8 起算水位之統計特性	70
表 4-9 橋墩束縮係衍生值統計特性	70
表 4-10 分洪堰流量統計特性比較表	70
表 4-11 分洪道堰流公式誤差項衍生值統計特性	73
表 4-12 基隆河流域各斷面河道糙度係數表	73
表 4-13 河道糙度係數之統計特性	73
表 4-14 逕流曲線係數 CN 值表	74
表 4-15 基隆河流域各支流 CN 值	74
表 4-16 CN 衍生值統計特性	75
表 4-17 基隆河流域各支流地文特性表	75
表 4-18 風險因子代號表	76
表 4-19 逐步迴歸分析選取斷面	76

表 4-20 風險因子逐步迴歸分析結果	77
表 4-21 風險因子逐步迴歸分析排序表	79
表 4-22 各斷面最高洪水位與風險因子關係式係數值及 R^2 (線性型態)	80
表 4-23 各斷面最高洪水位與風險因子關係式係數值及 R^2 (非線性型態) ..	83
表 4-24 風險因子之統計特性	86
表 4-25 不同變異程度之風險因子統計特性	87
表 4-26 風險因子變異程度對溢堤風險變化	88
表 4-27 風險因子排序表	90
表 4-28 基隆河流域各斷面左右岸堤防高程	90
表 4-29 不同出水高之溢堤風險	91



圖 目 錄

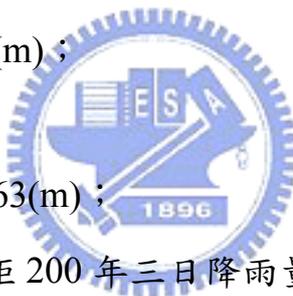
圖 2-1 多變量蒙地卡羅 MMCS 方法之模擬程序	28
圖 3-1 河川治理規劃之水文水理分析流程圖	41
圖 3-2 溢堤之風險來源	42
圖 3-3 風險分析架構之流程圖	42
圖 3-4 三日暴雨設計雨型	43
圖 3-5 降雨組體圖模擬過程	43
圖 4-1 基隆河流域概況	92
圖 4-2 基隆河流域土地利用狀況	92
圖 4-3 風險分析架構之應用流程圖	93
圖 4-4 基隆河流域各控制點 200 年三日降雨量統計分析結果	93
圖 4-5 基隆河流域三日雨型比較圖	94
圖 4-6 稽延時間統計特性(標準偏差為 0.05).....	94
圖 4-7 稽延時間統計特性(標準偏差為 0.15).....	95
圖 4-8 稽延時間統計特性(標準偏差為 1).....	95
圖 4-9 淡水河口與關渡水位關係圖	96
圖 4-10 改變橋墩束縮係數之最高洪水位圖	96
圖 4-11 員山子分洪堰水位流量率定曲線圖	97
圖 4-12 分洪堰流量統計特性(標準偏差為 0.05).....	97
圖 4-13 分洪堰流量統計特性(標準偏差為 0.15).....	98
圖 4-14 分洪堰流量統計特性(標準偏差為 1).....	98
圖 4-15 基隆河流域無因次單位歷線	99
圖 4-16 基隆河流域各控制點 200 年洪峰流量統計分析結果	99
圖 4-17 逐步迴歸分析選取斷面	100
圖 4-18 不同型態之各斷面最高洪水位與風險因子關係式 R^2 值.....	100
圖 4-19 不同不確定性分析方法對左岸堤防之 P_f	101

圖 4-20 不同不確定性分析方法對右岸堤防之 P_f	101
圖 4-21 風險因子變異程度對溢堤風險變化	102
圖 4-22 不同出水高對左岸堤防溢堤機率之比較	103
圖 4-23 不同出水高對右岸堤防溢堤機率之比較	103
圖 4-24 四個控制點不同出水高對左岸堤防溢堤機率之比較	104
圖 4-25 四個控制點不同出水高對右岸堤防溢堤機率之比較	104
圖 4-26 四個控制點之洪水位累積分佈函數圖	105
圖 4-27 有無考量員山子分洪道對左岸堤防之 P_f	106
圖 4-28 有無考量員山子分洪道對右岸堤防之 P_f	106



符 號 表

- T_{lag} = 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；
- $\varepsilon_{T_{lag}}$ = 為稽延時間誤差項；
- $\varepsilon_{T_{lag}}^*$ = 為稽延公式係數值；
- ε_Q = 為堰流公式誤差項；
- ε_Q^* = 為堰流公式係數值；
- Q = 為分洪堰流量(cms)；
- L = 為攔河堰堰體總長，80(m)；
- H = 為水位高程(m)；
- H_0 = 為分洪堰啟動之高程，63(m)；
- D_{KD} = 關渡控制點重現期距 200 年三日降雨量(mm)；
- D_{CS} = 中山橋控制點重現期距 200 年三日降雨量(mm)；
- D_{WD} = 五堵控制點重現期距 200 年三日降雨量(mm)；
- D_{YS} = 員山子控制點重現期距 200 年三日降雨量(mm)；
- N_{Rp} = 最大無因次降雨比率；
- TD = 關渡潮位(m)；
- K = 橋墩束縮係數；
- n_c = 主深槽之河道糙度係數；
- n_f = 洪水平原之河道糙度係數



第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

近年來隨經濟發展快速，都市化現象更趨明顯，在土地空間加速開發利用下，居民對河川沿岸地區土地利用之需求激增，一旦發生水患將會造成重大之損失，因此就水患風險管理而言，工程上之風險處置為興建防洪設備，來維護河川附近居民免於受到洪水的威脅。

在河防構造物的規劃與設計過程中，常常會面臨到資料不足的情形，再加上變數之隨機性及經濟與工程技術上的限制，決策往往必須在不確定的條件下完成。此外近年來水文氣象與流域地文環境已與過去有很大的變異，連帶水文、水理及地文特性亦產生變化而具有相當程度的不確定性，進而在規劃設計過程中亦存在不確定性。而傳統防洪設施的規劃乃以特定重現期距下推算計劃洪水位，再加上出水高來作為設計堤防高程，然而此出水高則涵蓋各種不確定性，可能已承受相當大的防洪功能失效之風險。

風險與不確定性分析在於應用數學與統計方法以評估系統可能發生之失敗風險機率，讓工程師能依此分析結果做出更佳之決策與設計。近年來常被使用評估風險之不確定性分析方法，不外乎為高等一階二矩法(AFOSM)、均值一階二矩法(MFOSM)、以及拉丁高次取樣法(LHS)等，但並未有研究評估在考量河防構造物各種不確定性因子下，較適合之不確定分析方法。此外，在使用一階二矩法時需要一模式輸出值與輸入值因子之關係式，而影響河防構造物之風險因子眾多且其與水文水理模式輸出結果並無明確之關係式，故本研究採用多變量迴歸分析方法推估其關係式，而關係式之型態主要可分為線性與非線性型態，選擇適合的關係式型態將能夠適當反應合乎輸出值與輸入值之變化趨勢。

綜上所述，本研究之目的為建立一套評估在水文、水理、地文因子不確定下，河防構造物的防洪功能之風險分析方法。首先將經由河川治理規

劃之水文水理分析過程中，考慮其可能造成河防構造物防洪功能失效之風險因子，並決定適合應用於河防構造物之不確定性分析方法，以及風險因子關係式型態，最後以基隆河流域為應用案例，探討其河防構造物在各風險因子影響程度不同下所承受之風險。

1.2 文獻回顧

(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）及拉丁超立方

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)以及拉丁超立方取樣法 (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)，點估計法及拉丁超立方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。

1.3 論文架構

本研究共分五章，其各章節內容如下：

第一章為緒論，說明本研究之動機與目的，並回顧國內外河防構造物風險分析之相關研究。

第二章為理論基礎簡介，首先介紹風險分析架構之理論概念和方法，以及不確定性之分析方法，爾後介紹衍生風險因子所需採用之多變量蒙地卡羅模擬法以及建立風險因子關係式之多變量迴歸分析方法。

第三章為風險分析架構之建置，藉由探討河川治理規劃分析過程中，可能具有不確定性之風險因子，並說明其衍生之方法，及詳述風險分析架構建立之步驟。

第四章為應用案例探討分析，實際以基隆河流域為應用案例，並探討其分析結果。

第五章為結論及建議，針對本研究之成果提出綜合性之結論，並對未來可持續研究的項目提出建議，期使本研究所建立之河防構造物之風險分析架構更趨完整。



第二章 理論基礎簡介

本章將針對風險分析及不確定性分析理論與方法做介紹，並簡介衍生風險因子所需採用之多變量蒙地卡羅模擬法，以及建立風險因子關係式所使用之多變量迴歸分析方法。

2.1 風險分析

2.1.1 風險之定義

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。

由以上可知風險不僅涉及不確定性之機率觀念，亦涉及因此而引發之損益利弊的產出(鄧家駒，1998)。另外有相當多的學者專家針對「風險」一辭定義，如表 2-1 所列。

一般而言，工程系統的失敗(failure)可定義為對系統的載重(loading) L 超過系統抗阻(resistance) R 。在工程上風險(risk)可定義為當載重(L)大於抗阻(R)發生之機率，如下式所示：

$$Risk = P_f = P_r[L > R] \quad (2.1)$$

上式中機率 $P_r[L > R]$ ，通常寫成 $P_r[Z < 0]$ ，其中 P_f 為失敗機率； Z 為作業函數(performance function)， Z 可定義為安全邊際 SM(Safety Margin) 或是安全係數 SF(Safety Factor)，可表示為，

$$SM = R - L \quad (2.2)$$

$$\text{或 } SF = \frac{R}{L} \quad (2.3)$$

如果 Z 為常態分佈(normal distribution) 則失敗機率(P_f)可由下式求得：

$$P_f = P_r[Z < 0] = \Phi\left[\frac{-E(Z)}{\sigma_z}\right] = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (2.4)$$

其中 $E(Z)$ 為 Z 之平均值(mean)， σ_z 為 Z 之標準偏差(standard deviation)， $\beta = \frac{E(Z)}{\sigma_z}$ 為可靠度指標(reliability index)，也是 Z 之變異係數之倒數； $\Phi(\beta)$ 代表相對應於 β 值之累積標準常態分佈值。

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，最後風險值以失敗機率(Failure probability)來呈現。

2.1.1 風險分析方法之簡介

風險分析方法依據風險因子屬性 (Attribute) 的性質可區分成定量 (Quantitative) 與定性 (Qualitative) 兩種風險分析方法。國內外常用之定性及定量風險方法有以下八種：(一) 查核表法 (Checklist)；(二) 層級分析法 (AHP)；(三) 模糊理論法 (Fuzzy Sets)；(四) 統計法 (Statistics)；(五) 敏感度分析法 (Sensitivity Analysis)；(六) 蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation)；(七) 影響圖 (Influence Diagram)；(八) 決策樹分析法 (Decision Trees)。

各方法之其理論說明如下：

(一) 查核表法 (Checklist)

查核表法是工程中最常用的分析方法，其優點在於方法簡單、易於應用、節約時間。它的應用由兩步驟組成：

1. 辨識出計畫週期可能遇到的所有風險，列出風險調查表。
2. 利用專家經驗，對可能風險因素之重要性進行評估，綜合成整個計畫風險。

(二) 層級分析法 (AHP)

AHP 方法首先係將所欲評估之複雜問題，分解成各個決策要素，予以層級化及結構化，並規劃成簡明之層級架構圖；然後再透過專家的評比，

訂出各層級因素之相對權重，以協助決策者在複雜之變數中，歸納出各因子整體性之相對重要度。層級分析法之假設如下：

1. 一分析系統可構成許多要素，並形成層級結構。
2. 每一層級內的各要素，均假設彼此具獨立性，是互斥的集合關係。
3. 每一層級內的各要素，可以用上一層級內某些或所有要素作為評準，進行評估。
4. 兩兩成對比較後，不僅優劣關係滿足遞移性，(A 優於 B，且 B 優於 C，則 A 優於 C) 同時強度關係也滿足遞移性。(若 A 優於 B 二倍，且 B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍)。
5. 容許要素不具遞移性的存在。
6. 要素的優勢程度，經由加權方法計算求得。
7. 任何要素只要出現在階層結構中，不論其優勢程度如何，均視為與整個評估結構有關。

(三) 模糊理論法 (Fuzzy Sets)

在計畫風險評估程序中，有很多影響因素的性質和活動無法用數字來定量化描述，它們的結果也是含糊不定的，無法用單一的準則來評判。工程中也潛含各種風險因素，大部分均難以用數字來準確地加以定量描述，大多以利用歷史經驗或專家知識，用語言描述其性質及變化，而且有些風險因素的結構也是模糊的、沒有統一的準則來評判。在此，模糊數學法即針對此一問題判斷工程的風險度。

(四) 統計法 (Statistics)

統計和機率方法分析工程風險是比較傳統的做法，是利用統計的方法估計變數之平均值與標準差，經計算以求得風險事件損失與程度的平均值與標準差。

(五) 敏感度分析法 (Sensitivity Analysis)

敏感度分析是一種最簡單的量化分析方法。其分析方式乃針對工程方案所面臨眾多的影響因素(或風險因子)，每次只變化一個或數個影響參數的數值，其他參數皆維持其固定值，來檢測此參數對整個目標價值的影響(敏感)程度。藉由敏感度分析，可以找出較敏感變數而加以處理。其優點為：

1. 敏感度分析在於其方法簡單且可快速的比較各風險相對的影響程度 (或謂測試出各風險的敏感程度)。
2. 可依據分析結果將眾多的風險先作篩選，以集中精力處理較敏感者。
3. 同時也可瞭解工程的成本或利潤可能分佈的範圍，而採取必要的對策。

其缺點為由於敏感度分析中每次只變化其中的一個或幾個風險因子，無法測試眾多風險同時變化時可能產生之綜合影響狀況。

(六) 蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation)

蒙地卡羅方法是估計經濟風險和工程風險常用的一種方法。在一般研究不確定因素問題的決策中，通常只考慮最好、最壞和最可能三種估計。而蒙地卡羅方法的應用是一種多元變化方法，能直接處理所有的不確定因素，並用機率分佈來表示每個不確定性，同時可透過電腦使時間縮短，以便在工程性質複雜的情況下能快速又準確的下達決策。

(七) 影響圖 (Influence Diagram)

影響圖是由多方向圖構成的網路。它用直觀圖形表示出問題中主要變量間的相互關係，並可以清楚地表示出變數間存在的相互獨立性及進行決策所需的資訊。它既可以作為一般直觀的定性分析工具，又可以成為由電腦數量化分析。

(八) 決策樹分析法 (Decision Trees)

決策樹名稱係來自其分析問題的樹狀圖形；對某一決策而言，其各個可行方案皆如樹枝般表現於圖上，而各方案所產生之可能結果則如樹枝般

接於可行方案之後。基本上，決策樹分析為一種利用圖形分析的工具，可將其中因果關係抽象思考予以形體化。製作決策樹重點不在最後分析成果，而是建立系統的組織，若將各方案有關機率、成本等資料亦顯示在樹狀圖上，則可使決策樹製定過程簡單明瞭，有利於個案的溝通討論。

茲將各風險分析方法之優缺點列如表 2-2 所示。

2.2 不確定性分析

工程系統之不確定性來源很多，從自然到人為因素，從技術性因素到非技術性因素，其可概分為：

- (一) 模式之不確定性：由於模式無法有效模擬實際之物理現象，因而將其理想化和簡單化，使得模式產生不確定性。
- (二) 參數之不確定性：由於模式參數無法精確估算所致。
- (三) 自然環境之不確定性：自然現象或過程中所潛藏之隨機變化。
- (四) 資料之不確定性：資料之量測誤差、資料之不一致與不均勻性以及資料處理及紀錄誤差等人為因子。

以上各不確定性之來源，可大略歸納為天然因素與人為因素，前者為無法控制之因素，故其風險無法避免，而後者可藉由科技進步及操作改良而降低其風險。而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)以作為風險分析架構之基礎。

河防構造物系統之防洪功能失效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：

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.5)$$

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

$$Z = g(\bar{x}) + \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x}_i) \left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_{\bar{x}} + H.O.T. \quad (2.6)$$

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：

$$\text{平均值：} \quad E(Z) \approx \bar{Z} = g(\bar{x}) \quad (2.7)$$

$$\text{變異數：} \quad \text{Var}(Z) \approx \sum_{i=1}^m C_i^2 \text{Var}(x_i) \quad (2.8)$$

$$\text{其中 } C_i = \left(\left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_{\bar{x}} \right) \quad (2.9)$$

註:(2.8)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 σ_z 亦可由各影響因子之標準偏差 σ_i 依下式求得：

$$\sigma_z = \left[\sum_{i=1}^n (C_i \sigma_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

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(2.11)式表示：

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.11)$$

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)：

$$Z = \sum_{i=1}^m (X_i - x_{i_p}) \frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{x_p} + H.O.T. \quad (2.12)$$

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}

$$C_{ip} = \left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_{x_p} \quad (2.13)$$

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

$$\alpha_i = \frac{C_{ip} \sigma_i}{\left[\sum_{j=1}^n (C_{jp} \sigma_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (2.14)$$

(3) 由下式計算可靠度指標

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ip} (\bar{x}_i - x_{ip})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i C_{ip} \sigma_i} \quad (2.15)$$

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

$$g(x_{ip}) = 0 \quad (2.16)$$

否則，調整失敗點

$$x_{ip} = \bar{x}_i - \alpha_i \beta \sigma_i, \quad i=1,2,\dots,n \quad (2.17)$$

(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：

$$E(Z) = \sum_{i=1}^n C_{ip} (\mu_i - x_{ip}) \quad (2.18)$$

變異數：

$$Var(Z) \approx \sum_{i=1}^n (C_{ip}^2)_{x_p} Var(X_i) \quad (2.19)$$

標準偏差：

$$\sigma_z = \left[\sum_{i=1}^n (C_{ip} \sigma_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

(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：

$$E[(Z^N)] \approx \left[(P_{+++Kp})(Z_{+++Kp})^N + (P_{-+++Kp})(Z_{-+++Kp})^N + \dots + (P_{---Kp})(Z_{---Kp})^N \right] \quad (2.21)$$

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；

σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、...、 σ_p ：代表隨機參數之標準偏差；

函數 P 之定義如下：

$$P_{i,j,K,p} = \left[1 + \sum_{g=1}^p \sum_{h=1}^p g'h' \delta_{g,h} \rho_{g,h} \right] / 2^p \quad (2.22)$$

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

$g'h' = -1$ 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：

$$p_{+++} = (1 - \rho_{12} + \rho_{13} - \rho_{23}) / 8 \quad (2.23)$$

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

$$s_z^2 = E[Z^2] - (E[Z])^2 \quad (2.24)$$

(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 個特徵相量與特徵值。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 ρ 為特徵向量矩陣 V 和特徵值矩陣 L 所組成之關係式。

$$\rho = VLV^T \quad (2.25)$$

其中：

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

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

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。

$$X_{i\pm} = \bar{X} \pm p^{1/2} \begin{bmatrix} \sigma_1 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \sigma_2 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & - & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & - & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \sigma_p \end{bmatrix} v_i \quad i=1,2,3,p \quad (2.26)$$

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：

$$\bar{Z} = (Z_{i+} + Z_{i-})/2 \quad (2.27)$$

$$\text{和 } \bar{Z}^2 = (Z_{i+}^2 + Z_{i-}^2)/2 \quad (2.28)$$

5. 計算模式輸出之平均值和變異數

$$E[Z] = \left[\sum_{i=1}^p \bar{Z} \lambda_i \right] / p \quad (2.29)$$

$$E[Z^2] = \left[\sum_{i=1}^p \bar{Z}^2 \lambda_i \right] / p \quad (2.30)$$

$$\text{Var}(Z) = E[Z^2] - E^2[Z] \quad (2.31)$$

(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) 拉丁超立方取樣法 (LHS)

拉丁超立方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 2-3 所示。

2.3 多變量蒙地卡羅模擬法

一般而言，影響河防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 2-1 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。

$$\rho_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \right) \left(\frac{x_j - \mu_j}{\sigma_j} \right) \phi(z_i, z_j | \rho_{ij}^*) dz_i dz_j \quad (2.32)$$

式中 X_i 及 X_j 為具有相關係數 ρ_{ij} 之隨機變數； μ_i 及 μ_j 分別為隨機變數 X_i 及 X_j 之平均值； σ_i 及 σ_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 ρ_{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 ρ_{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 ρ_{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，

$$\rho_{ij}^* = T_{ij} \times \rho_{ij} \quad (2.33)$$

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。

$$x_i = F_i^{-1}[\Phi(z_i)] \quad (2.34)$$

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_τ 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 τ 的 P_τ 彼此間存在著相關性，也就是 P_τ 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，

$$(1) \text{ 總合為 } 1: \sum_{\tau=1/M}^{M/M} P_\tau = 1 \quad (2.35a)$$

$$(2) \text{ 非負變量: } P_\tau \geq 0, \tau = 1/M, 2/M, \dots, M/M \quad (2.35b)$$

式中 M 為無因次降雨時間點之數目。

由於無因次降雨量 P_τ 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(2.35)式限制式存在，使得 MMCS 在模擬無因次降雨量 P_τ 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_τ 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_τ ，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，

$$R_\tau = \log(P_\tau/P_{\tau^*}), \tau = 1/M, 2/M, \dots, M/M; \tau \neq \tau^* \quad (2.36)$$

式中為 τ^* 為無因次時間指標。無因次降雨量 P_τ 介於 0 跟 1 之間，所以其對數比率 R_τ 則介於 $-\infty$ 及 ∞ 。在模擬過程中，須注意的是 P_τ 及 P_{τ^*} 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_τ 經由 log-ratio 法轉換成 R_τ ，則原本屬於具有約制條件之非常態多變量模擬轉變成如同模擬降雨延時、雨量及間隔時間一樣的非常態多變量，可直接用 MMCS 蒙地卡羅法模擬對數比率 R_τ ，當求得對數比率模擬值 R_τ 後，可由 (2.36) 式求得 $P_\tau = P_{\tau^*} \exp(R_\tau)$ ，將其代回 (2.35) 式求得 P_{τ^*} (如下式)，

$$P_{\tau^*} = \frac{1}{1 + \sum_{\substack{\tau=1/M \\ \tau \neq \tau^*}}^{M/M} \exp(R_{\tau})} \quad (2.37)$$

再將(2.37)式代回(2.35)式，則可求得 P_{τ}

$$P_{\tau} = \frac{\exp(R_{\tau})}{1 + \sum_{\substack{\tau=1/M \\ \tau \neq \tau^*}}^{M/M} \exp(R_{\tau})}, \quad 0 < \tau \leq 1; \tau \neq \tau^* \quad (2.38)$$

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_{τ} 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_{τ} 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_{τ} 之統計性質。

Johnson(1949)提出一個四參數之機率分佈函數

$$Z = g(X|\gamma, \delta, \xi, \lambda) = \gamma + \delta \times f\left(\frac{X - \xi}{\lambda}\right) \quad (2.39)$$

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 ξ 為位置因子(Location Parameter)及 λ 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)

$$S_L: Z = \gamma + \delta \ln(X - \xi), \quad X < \xi \quad (2.40)$$

(2) 無界限系(Unbounded System, SU)

$$S_U: Z = \gamma + \delta \sinh^{-1}[(X - \xi)/\lambda] \quad (2.41)$$

(3) 有界限系(Bounded System, SB)

$$S_B: Z = \gamma + \delta \ln\left(\frac{X - \xi}{\xi + \lambda - X}\right), \quad \xi < X < \xi + \lambda \quad (2.42)$$

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。

2.4 多變量迴歸分析方法

由於在使用一階二矩法時需要一模式輸出值與輸入值因子之關係式，而影響河防構造物之風險因子眾多且其與水文水理模式輸出結果並無明確之關係式，故本研究採用多變量迴歸分析方法推估其關係式，茲將多變量迴歸分析方法介紹如下。

迴歸分析可以幫助我們建立依變數(Dependent Variable)或稱反應變數(Response Variable)與自變數(Independent Variable)或稱控制變數(Control Variable)間關係的統計模型，俾能藉由所選取的適當自變數以預測依變數，在所有統計分析工具中是經常被使用的方式。而當一個依變數對一個或多個自變數進行迴歸分析時，稱為單變數(Univariate)迴歸；而當多個依變數對一個或多個自變數進行迴歸分析時，則稱為多變數(Multivariate)迴歸。而迴歸的模型一般又可概分成三種型態：

(一) 線性迴歸(Linear Regression)

線性迴歸分成簡單(Simple)線性迴歸與多元(Multiple)線性迴歸兩種。簡單線性迴歸的自變數僅有一個，而多元線性迴歸的自變數則為兩個以上。兩者的迴歸模型均為線性關係，最簡單的模型乃依變數 Y 與自變數 X 間為直線方程式。

線性迴歸是在自變數 X 已知下，求解依變數 Y 的條件期望值模型。我們可將條件期望值 $E(Y|X = x)$ 稱為 Y 對 X 的線性母體迴歸方程式，並表示為

$$E(Y|X = x) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.43)$$

如果自變數有 P 個，則可表示為

$$E(Y|X_1 = x_1, \dots, X_p = x_p) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p \quad (2.44)$$

若有 N 筆母體觀測值 $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$ ，則簡單線性母體迴歸模型可定義如下

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, i = 1, \dots, N \quad (2.45)$$

或是
$$y_i = E(Y|X = x_i) + \varepsilon_i, i = 1, \dots, N \quad (2.46)$$

其中 $E(Y|X = x) = \beta_0 + \beta_1 x$ 稱為 Y 對 X 的線性母體迴歸方程式；

$$\text{Cov}(y_i, y_j) = 0, \text{對所有 } i \neq j; i, j = 1, \dots, N;$$

$$\sigma^2(Y|X = x_i) = \dots = \sigma^2(Y|X = x_N) = \sigma^2 (\text{未知常數值});$$

誤差項 ε_i 為 $y_i - E(Y|X = x_i), i = 1, \dots, N$ ，亦即實際觀測值 y_i 對 Y 對 $X = x_i$

時的 $\varepsilon_i \sim \text{Normal}(0, \sigma^2), i = 1, \dots, N$ 。

(二) 非線性迴歸(Nonlinear Regression)

迴歸模型無法呈現線性關係，亦即依變數 Y 與自變數 X 間無法表示為線性方程式，需以另一種函數關係呈現。

其模型型態如：

$$y_i = f(x_i, \theta) + \varepsilon_i, i = 1, \dots, N \quad (2.47)$$

或表示為
$$Y = f(X, \theta) + \varepsilon \quad (2.48)$$

其中 Y 、 X 與 ε 的定義如同線性迴歸模型，而 f 乃 X 與未知母數 θ 的非線性函數。

一般來說，非線性迴歸模型(2.47)中的迴歸母數 θ ，無法像線性迴歸利用最小平方法求得估計量 $\hat{\theta}$ ，所以常需藉由數值最優化(Numerical Optimization)的計算來配適所需母數 θ ，而相關計算的母數起始值 θ_0 的選取，更攸關估計量 $\hat{\theta}$ 是否為區域(Local)最大點或全域(Global)最大點。有些非線性迴歸的問題可使用線性化，例如

$$y_i = \beta_0 e^{\beta_1 x_i} + \varepsilon_i, i = 1, \dots, N \quad (2.49)$$

可兩邊取對數得

$$\text{Ln}(y_i) = \text{Ln}(\beta_0) + \beta_1 x_i + \varepsilon_i', i = 1, \dots, N \quad (2.50)$$

其中 ε_i' 為 $\text{Ln}(\varepsilon_i)$ ，仍為一誤差項。經過線性化的非線性迴歸模型(2.50)，其實已與線性迴歸模型(2.45)雷同，所以可逕行使用線性迴歸的方法分析。

(三) 其他類型迴歸

線性迴歸模型與非線性迴歸模型雖為最常用的迴歸模型，但有些情況下則需另採其他迴歸模型。例如依變數 Y 若為二擇一的屬質變數時，則需以羅吉斯迴歸(LogisticRegression)模型來處理。

羅吉斯迴歸模型在社會科學及生物醫學領域上，羅吉斯迴歸是經常被採用的迴歸分析工具。羅吉斯迴歸模型的依變數 Y 為二擇一的屬質變數，或稱為貝努利(Bernoulli)變數，其出現的變數值只有成功與失敗(包括生存與死亡、男與女、勝與敗等)的二擇一可能事件。

若令出現成功的事件為 $Y_i = 1$ ，而出現失敗的事件為 $Y_i = 0$ ，則羅吉斯迴歸模型為

$$\text{Ln}\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \cdots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i, i = 1, \dots, N \quad (2.51)$$

其中 $p_i = P(Y_i = 1), i = 1, \dots, N$ ，另有將 $\text{Ln}\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right)$ 定義為 $\text{Logit}(p_i)$ 。

其實成功事件 $Y_i = 1$ 的機率 $p_i, i = 1, \dots, N$ ，還可利用羅吉斯迴歸模型(2.51)式，表示成下列條件機率

$$p_i = P(Y_i = 1 | X_1 = x_1, \dots, X_p = x_p) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \cdots + \beta_p x_{ip}}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \cdots + \beta_p x_{ip}}} \quad (2.52)$$

模式中的母數 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ ，一般是使用最大概似法估計求得。

另外，可將羅吉斯迴歸模型擴展到順序(Ordinal)羅吉斯迴歸模型或多項 Logit 模型，俾進行順序依變數或多類別(Multi-category)依變數的迴歸分析，以解決不同層面的問題。

表 2-1 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 2-2 風險分析方法之優缺點

風險分析方法	說明	優缺點
查核表法 (Checklist)	列風險調查表，給予權重與等級，兩者相乘之評分，分數越高風險越大。	優點：簡單、易用，對於缺乏計劃具體資料時，尤以適用於決策前期。 缺點：只是一大概程度值，較不精確且取決專家或決策者之個人意向。
層級分析法 (AHP)	構造因素因子與危害程度判斷矩陣，利用專家評判求出重要性權重值與危害程度值。	優點：以科學化方式，定量又定性分析。處理問題的程式與管理者的思維程序、分析解決問題相一致，並利用系統分析方法逐解各層次的風險程度。 缺點：變數增多，會造成填入矩陣複雜度。
模糊理論法 (Fuzzy Sets)	處理因風險無法用數字來定量地描述，提供合理數學規則去解決變數問題，相應得出數學結果又能通過一定的方法轉為語言描述。	優點：對於模擬、不清晰問題提供一種充份的概念化結構，並以數學的語言去分析和解決。 缺點：理論性高，較不易在實務上應用。
統計法 (Statistics)	將工程中每一不確定因素或風險因素的分佈曲線先估計之，再檢討所有風險對整體目標價值之組合效應。	優點：因將工程中每一風險因素的分佈曲線先行求出，故可檢討風險對整個工程目標價值之組合效應。 缺點：因每個專案工程的客觀條件差異頗大，因此決定每一因素之機率分佈曲線爭議性較大。
敏感度分析法 (Sensitivity Analysis)	每次變化工程影響因素或風險中之一個因素，檢視對整個工程之影響程度。	優點：該方法簡單且可快速比較各風險相對之重要性。 缺點：由於每次僅變化其中的一個或兩個因素，對於眾多風險因素同時變化時可能產生之綜合影響狀況無法顯示。
蒙地卡羅 模擬法 (Monte Carlo Simulation)	依據選擇之隨機程序和統計的方法，並利用三種估計模擬估計風險值。	優點：改善原單一值估計，若利用電腦軟體來對模擬程序進行處理，可節省許多時間。 缺點：若選擇不適當的模式來描述，會造成模式風險(model risk)之錯誤。
決策樹分析法 (Decision Tree)	延續機率分析法之精神，再利用圖行之分析工具，應用邏輯順序建立決策樹圖。	優點：於樹狀圖中可清晰看出每一決策點可能影響之風險因素與機率。 缺點：此法應用機率進行分析，故有機率分析法之問題存在，且工程風險因素多時，決策樹可能會變得複雜不易瞭解。

參考資料：黃承傑(2002)，「專案進度風險分析模式－考慮不確性作業之影響」

表 2-3 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	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。	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。	1. 當影響因子呈現極值分佈時，利用一階二矩法所估計的風險可能產生可觀的誤差。 2. 不考慮各影響因子間的相關性。
高等一階二矩法	1. 假設各項影響因子呈現極端值分佈或系統表現函數呈現非線性。	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。	1. 計算較均值一階二矩法複雜。 2. 較適合極端事件之計算。
羅森布魯斯點估計法	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。 2. 影響因子可為統計上相關或不相關的變數。	1. 影響因子可為統計上相關或不相關的變數。	1. 當不確定性變數增多時，計算量會大增。
哈爾點估計法	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。 2. 影響因子可為統計上相關或不相關的隨機變數。	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。	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。 2. 程式撰寫較羅森布魯斯點估計法複雜。
蒙地卡羅模擬法	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。	1. 最基本、最簡單的不確定性分析方法。	1. 取樣效率較差。 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。
拉丁高次取樣法	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。	1. 取樣效率佳，採樣均勻，因此可將模擬組數減少，節省時間。	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。

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(1/2)」

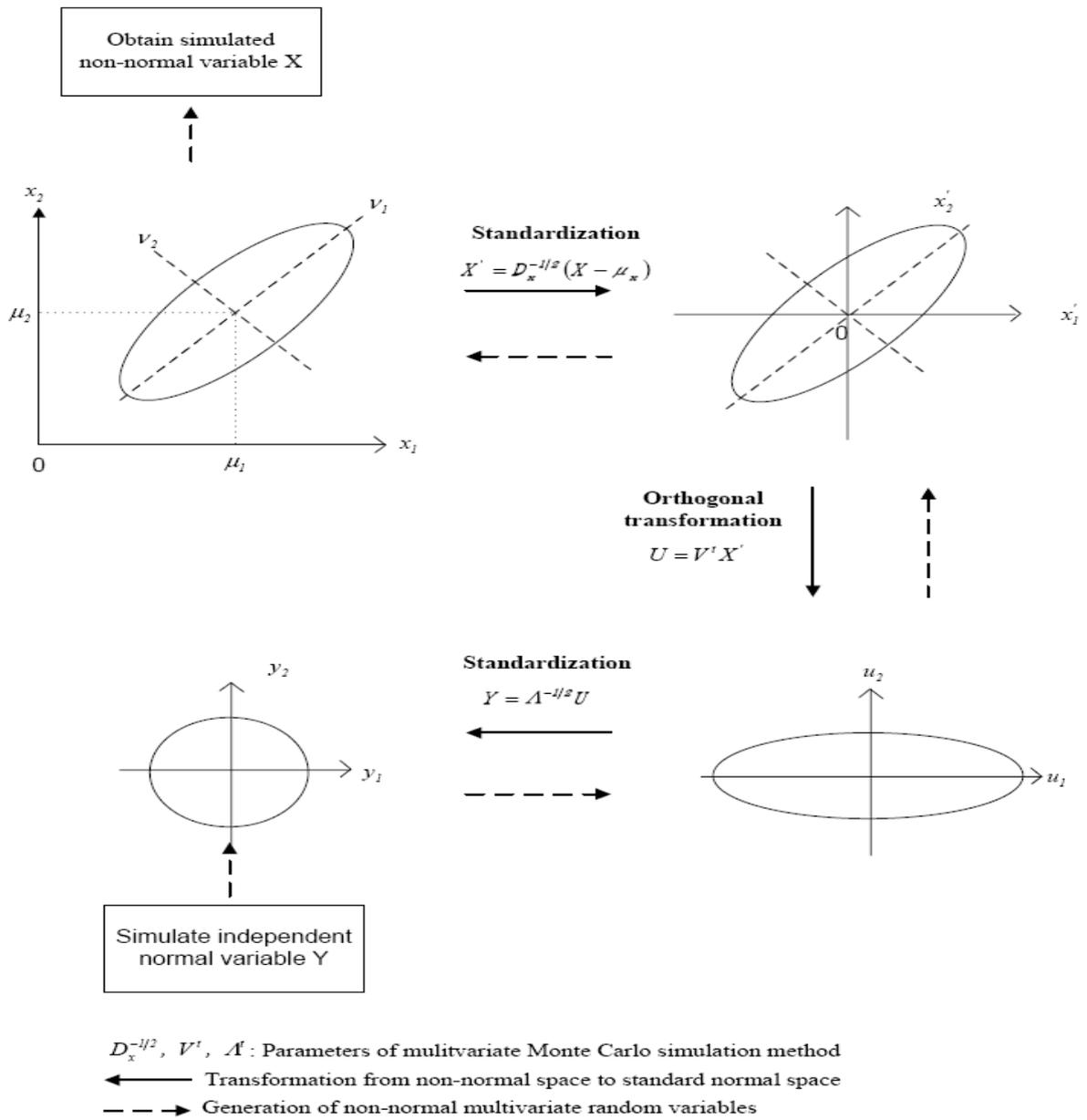


圖 2-1 多變量蒙地卡羅 MMCS 方法之模擬程序

第三章 風險分析架構之建置

本研究之目的為發展一套可考量水文、水理及地文不確定性下之風險分析架構，藉以評估河防構造物防洪功能失效之風險。河防構造物包括堤防、護岸、丁壩等，其中堤防為保護河川沿岸居民生命安全的主要構造物，故本研究主要著重於探討堤防溢堤之風險。本章首先藉由在河川治理規劃之水文水理分析過程中可能具有不確定性之因子進行探討，辨識風險分析架構中具不確定性之風險因子，並根據風險因子性質，決定其衍生方法，以應用於風險分析架構之建置。

3.1 風險辨識

在建立風險分析架構前，本研究定義堤防溢堤風險為洪水位超越堤防高程之失敗機率，進而辨識會造成此風險之因素，作為風險分析中所要考量的風險因子。本研究首先針對經濟部水利署水利規劃試驗所河川治理及環境營造規劃參考手冊(2006)、經濟部水利署水利工程技術規範-河川治理篇(2007)等各種規劃治理手冊中，彙整出在河川治理規劃過程中水文與水理分析主要可區分為以下步驟，其分析流程圖如圖 3-1 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、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。

而此小節為採用故障樹分析方法(Fault-Tree-Analysis method, FTA)辨識影響溢堤之風險來源，藉以界定風險因子，評估在上述河川治理規劃過程中，水文與水理分析步驟可能會造成堤防溢堤之風險因子，圖 3-2 為故障樹分析結果。由圖 3-2 可知，洪水位超越堤防高程之風險來自於水文分析中主要為降雨量、降雨型態或逕流量具有不確定性，以及土地利用及植被改變；而水理分析中主要為起算水位、水工設施水理參數、河道糙度係數以及河道斷面資料具有不確定性。茲將水文與水理分析中造成溢堤之風險來源說明如下：

(一) 水文分析

在水文分析部份，其風險來源主要可概分為：

1. 降雨量具有不確定性：

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。但雨量資料常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)具有不確定性：

所謂雨型為降雨在時間分配情形，通常採用降雨量百分比(%)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，造成一定程度的影響，顯示雨型亦為一必要考慮之風險因子。

3. 逕流量具有不確定性：

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足夠之實測流量資料可供水文分析。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，其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，使其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。

$$\begin{aligned}P_e &= \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \\S &= \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25.4 \\ \Phi &= \frac{P - P_e}{t}\end{aligned}\quad (3.1)$$

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 Φ 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)具有不確定性

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，此時若與天文潮之暴潮相結合，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，影響堤防功能之安全性。因此，為確保治理河段計畫洪水位計算之正確性，有賴起算斷面之起算水位的適當設定。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具有不確定性(如:堰流公式參數、橋墩束縮係數等)

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以不符合流域現況，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。茲將河防構造物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達到減災的效果。其中分洪量主要由堰流公式推得如下式，

$$Q_w = \alpha H^\beta \quad (3.2)$$

其中 α 及 β 為堰流公式之係數。而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) 橋墩束縮係數

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. 於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係數視為風險因子之一。

3. 河道糙度係數具有不確定性

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)，造成檢定糙度係數時產生了不確定性因素。

而河道底床之糙度係數一般用 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水利建造物之採用值為大時，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定義為影響水理分析之風險因子。

4. 河道斷面資料具有不確定性

在河川的治理過程中，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，可能無法準確的判斷和估算水流路線及排洪容量，進而影響防洪功能。且河道斷面因受洪水沖淤影響具不確定性，唯為節省本架構模擬時間與簡化分析程序，故本研究並不考慮河床之不確定性，設定河道為定床。

因此本研究依上述各風險因子之屬性，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，作為發展風險分析架構之基礎。

3.2 風險分析架構

如前述，本研究所發展以探討堤防溢堤現象為主之河防構造物風險分析架構，主要是採用拉丁高次取樣法配合不確定性分析方法，來計算最高洪水位超越堤防高程之發生機率(及風險值)，其分析步驟主要可分成四大步驟：(一)風險因子之衍生；(二)推估最高洪水位；(三)最高洪水位與風險因子關係式之建立；(四)風險計算，圖 3-3 為風險分析架構之流程圖，以下將說明各步驟所採用之方法。

3.2.1 風險因子之衍生

根據 3.1 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架構之基礎，茲將各因子之模擬方法說明如下：

(一) 水文風險因子

1. 設計降雨量之模擬

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. 雨型之模擬

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 3-4)，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 2.3 節所介紹之 Wu 等(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，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. 水文模式參數之模擬

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 3.3 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。

$$T_{lag} = \alpha \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{s}} \right)^{\beta} + \varepsilon \quad (3.3)$$

(二) 水理風險因子

1. 起算水位(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. 橋墩束縮係數之模擬

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. 堰流公式參數之模擬

將參考河川治理規劃之堰流公式(如 3.4 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。

$$Q = a \times L \times (H - H_0)^b + \varepsilon \quad (3.4)$$

4. 河道糙度係數之模擬

由於河道各斷面之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之參數。

(三) 地文風險因子

1. CN 值之模擬

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。

3.2.2 推估最高洪水位

將風險因子衍生值代入降雨-逕流及水理演算，推估河道各斷面之最高洪水位。

1. 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 3-5 所示。

(2) 有效降雨量之推估

將步驟(一)所衍生之 CN 值代入式(3.1)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。

2. 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，再將上述步驟所得水深套疊河道斷面資料，求得河道各斷面之最高洪水位。

3.2.3 最高洪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位，採用應用於分析大量資料並建立不同變數關係的多變量迴歸分析方法，建

立最高洪水位與風險因子之關係式(如 3.5 式)，作為下一步驟風險計算之基礎。

$$H_{\max} = f(\theta_{hydro}, \theta_{hydraulic}, \theta_{geo}) \quad (3.5)$$

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

3.2.4 風險計算

本研究將堤防發生溢堤之風險定義為考量水文、水理及地文風險因子之不確定性下，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機率，如下式所示：

$$Risk = P_f = P_r[L > R] = P_r(H_{\max} > h_*) = P_r[Z < 0] \quad (3.6)$$

其中 H_{\max} 為最高洪水位； h_* 為堤防高程。

採用不確定性分析方法，例如拉丁高次取樣法(LHS)、均值一階二矩法(MFOSM)及高等一階二矩法(AFOSM)，計算最高洪水位超越堤防高程之失敗機率。

1. 拉丁高次取樣法(LHS)

將作業函數 Z 定義如(3.7)式，再代入(2.4)式計算其失敗機率。

$$Z = h_* - H_{\max} \quad (3.7)$$

2. 均值一階二矩法(MFOSM)

藉由最高洪水位與風險因子關係式(如式 3.5)為作業函數則可計算求得最高洪水位之統計特性(包括平均值 $\mu_{H_{\max}}$ 及變異數 $\sigma_{H_{\max}}^2$)如(3.8)式，再代入(2.4)式求其失敗機率。

$$\begin{aligned}
E(H_{\max}) &= [H_{\max}]_{\theta_o} + \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial H_{\max}}{\partial \theta_i} \right)_{\theta_{i_o}} (\mu_{\theta_i} - \theta_{i_o}) \\
Var(H_{\max}) &= \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial H_{\max}}{\partial \theta_i} \right)_{\theta_{i_o}}^2 \sigma_{\theta_i}^2 \\
[H_{\max}]_{\theta_o} &= f(\theta_{hydro}, \theta_{hydraulic}, \theta_{geo})_{\theta_o}
\end{aligned} \tag{3.8}$$

式中 θ_{i_o} 為各風險因子之設計值(平均值)、 μ_{θ_i} 為各風險因子之平均值； σ_{θ_i} 為各風險因子之標準偏差；及 $[H_{\max}]_{\theta_o}$ 為作業函數對設計值(平均值)展開之值。

3. 高等一階二矩法(AFOSM)

由於在水利工程系統中，失敗事件通常發生在極端事件而非發生在均值，因此由 MFOSM 所推得的風險值會產生誤差，結果有時不盡理想。故此法與均值一階二矩法最大的不同點，在於採用疊代的方式計算破壞點，並將破壞點取代原本風險因子之平均值，則可計算求得最高洪水位之統計特性(包括平均值 $\mu_{H_{\max}}$ 及變異數 $\sigma_{H_{\max}}^2$) 如(3.9)式，再代入(2.4)式求其失敗機率。

$$\begin{aligned}
E(H_{\max}) &= [H_{\max}]_* + \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial H_{\max}}{\partial \theta_i} \right)_{\theta_{i*}} (\mu_{\theta_i} - \theta_{i*}) \\
Var(H_{\max}) &= \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial H_{\max}}{\partial \theta_i} \right)_{\theta_{i*}}^2 \sigma_{\theta_i}^2 \\
[H_{\max}]_* &= f(\theta_{hydro}, \theta_{hydraulic}, \theta_{geo})_*
\end{aligned} \tag{3.9}$$

式中 θ_{i*} 為各風險因子之破壞值； μ_{θ_i} 為各風險因子之平均值； σ_{θ_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。

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 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	土地利用及植被

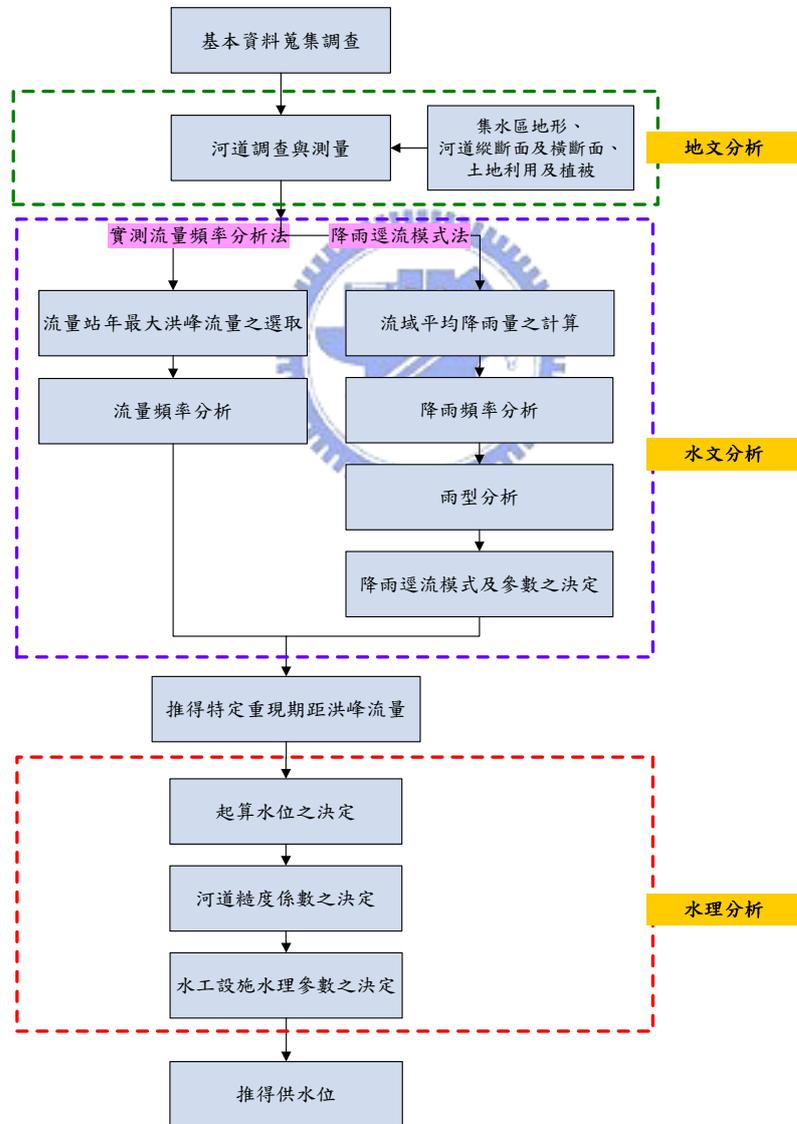


圖 3-1 河川治理規劃之水文水理分析流程圖

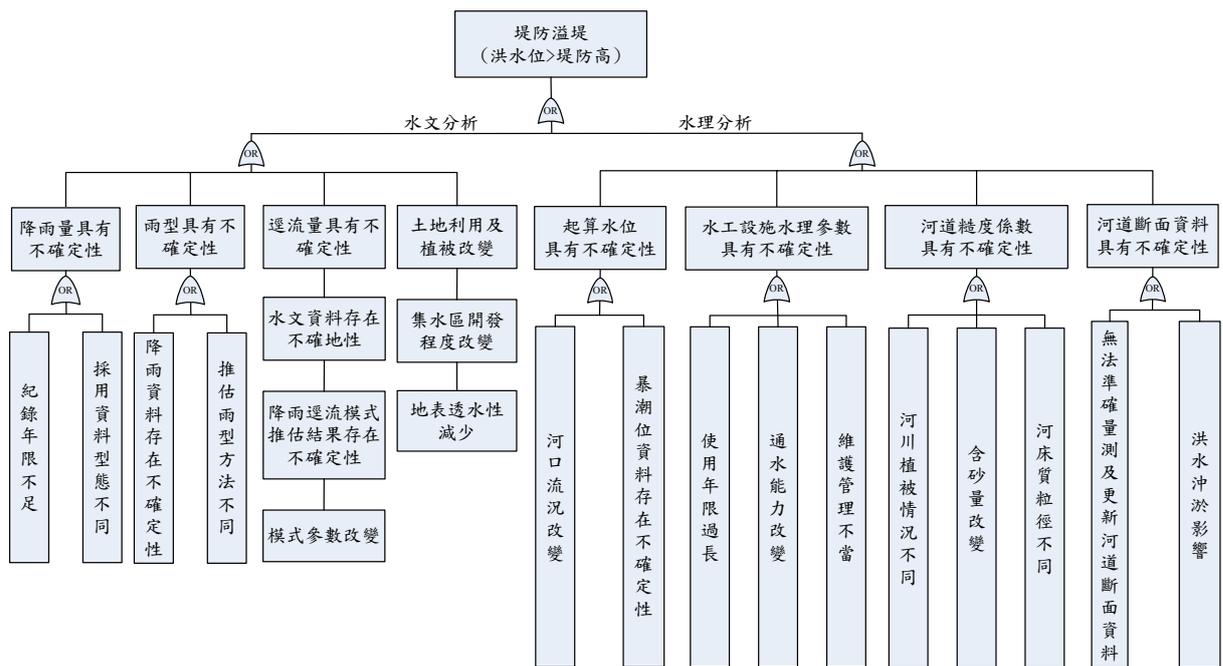


圖 3-2 溢堤之風險來源

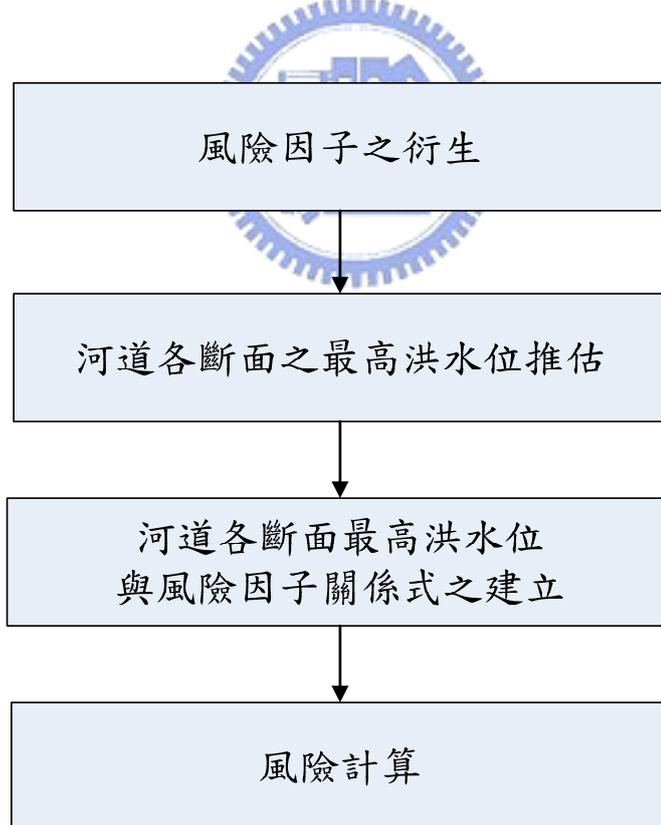


圖 3-3 風險分析架構之流程圖

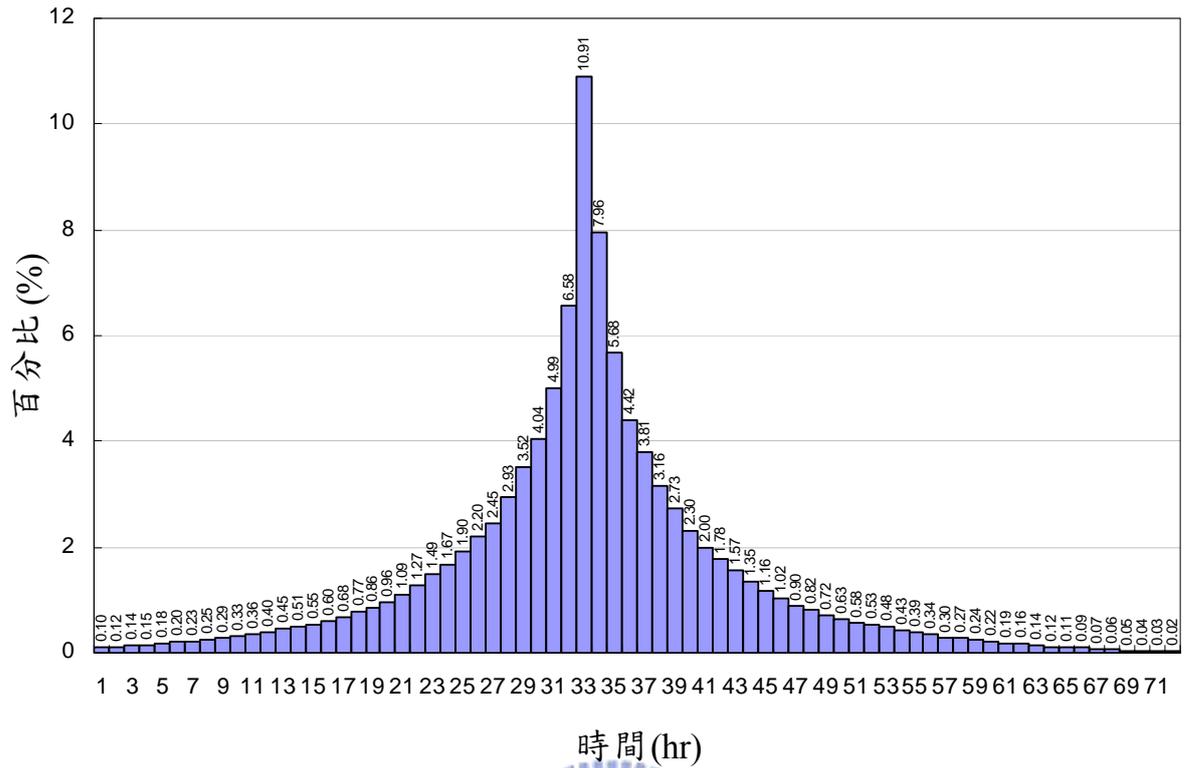
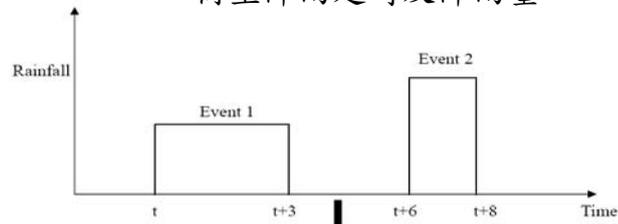
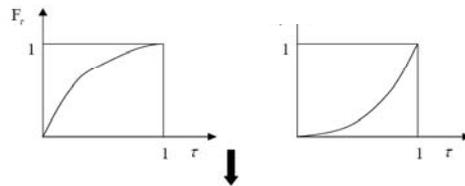


圖 3-4 三日暴雨設計雨型

衍生降雨延時及降雨量



衍生雨型



合成降雨組體圖

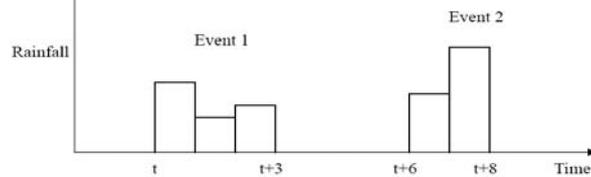


圖 3-5 降雨組體圖模擬過程

第四章 應用案例探討分析

本章將藉由第三章所建立的風險分析架構，以基隆河流域為應用案例，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。此外本研究將應用逐步迴歸分析，推得對最高洪水位具有影響力之風險因子組合，用以建立風險因子與最高洪水位關係式，並評估不同不確定性分析方法所得之風險分析結果，決定合適之分析方法。在堤防溢堤之風險分析方面，本研究主要探討(1)各風險因子對堤防防洪能力之影響程度；(2)堤防不同出水高之比較；(3)考量有無員山子分洪道對堤防溢堤風險之比較。

4.1 基隆河流域概況

(一) 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^2 ，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之河床平均坡降約 $1/6,700$ ，自南湖大橋起至七堵大華橋為中游段之河床平均坡降約 $1/4,900$ ，自大華橋以上至侯硐介壽橋為上游段之河床平均坡降約 $1/250$ 。河道平緩蜿蜒，為一平緩河川，流域概況如圖 4-1 所示。

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、礮港溪、水磨坑溪及貴子坑溪，左岸有魚桀魚坑溪、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。

(二) 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。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。此流域丘陵地多，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。

(三) 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 4-2 所示，由圖 4-2 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。

(四) 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。
- (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。
- (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。

(五) 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。



(六) 水工設施

1. 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，孔口流量為 110cms，即為不分洪時之流量。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。

2. 橋樑

基隆河自上游到下游共有 61 座橋樑，其相關資訊如表 4-1 所示。

4.2 風險分析架構之應用

由第三章可知風險分析架構主要可以分成四大步驟：1.風險因子之衍生；2.推估最高洪水位；3.最高洪水位與風險因子關係式之建立；4.風險計算，圖 4-3 為針對基隆河堤防防洪功能所建置之風險分析架構應用流程圖，其詳細步驟及結果詳述如下：

4.2.1 風險因子之衍生

依據 3.1 節所界定的風險因子與 3.2.1 節中各因子之衍生方法，衍生 200 組水文、水理及地文風險因子，此小節將本架構中衍生之各風險因子結果資料說明如下：



(一) 水文風險因子

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 4-2 所示。利用 Bootstrap 再取樣法選取表 4-2 中華民國元年至 92 年的資料，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 200 年重現期距之降雨量。

理論上若以拉丁高次取樣法來計算其失敗機率，則取樣組數應大於其機率倒數的十倍，因此若要求取重現期距為 200 年之溢堤風險，則取樣組數則必須為 2000 組以上。圖 4-4 為取樣 2000 組與 200 組分析結果之統計特性，可發現兩者之平均值差距很小，因此以 92 年之歷史樣本資

料取樣 200 組應可足夠呈現重現期距為 200 年之三日降雨量的統計特性。

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 4-3 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 2.3 節所述之多變量蒙地卡羅模擬法，衍生 200 場雨型。圖 4-5 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. 水文模式參數

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 4.1 式所示)：

$$T_{lag} = 0.15 \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}} \right)^{0.366} \quad (4.1)$$

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 4-4 為基隆河流域各控制點地文特性與稽延時間值。

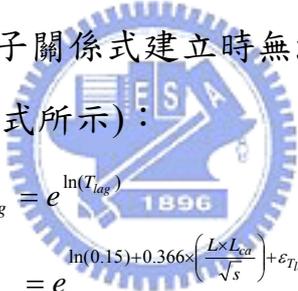
為考量到降雨-逕流模式參數之不確定性，故將(4.1)式轉換成線性型態後增加誤差項，修正後之關係式如(4.2)式所示：

$$\ln(T_{lag}) = \ln(0.15) + 0.366 \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}} \right) + \varepsilon_{T_{lag}} \quad (4.2)$$

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(4.2)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 4-5 與圖 4-6 至圖 4-8 所示。觀察圖 4-6 至 4-8 中可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 4-6 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 4.3 式所示)：



$$\begin{aligned}
 T_{lag} &= e^{\ln(T_{lag})} \\
 &= e^{\ln(0.15) + 0.366 \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}} \right) + \varepsilon_{T_{lag}}} \\
 &= e^{\ln(0.15) + \varepsilon_{T_{lag}}} \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}} \right)^{0.366} \\
 &= \varepsilon_{T_{lag}}^* \times \left(\frac{L \times L_{ca}}{\sqrt{S}} \right)^{0.366}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

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架構中之風險因子，並以稽延公式係數值來代表。

(二) 水理風險因子

1. 起算水位(河口潮位)

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風險值，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 4-9 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 4-7 所示，並計算其統計特性(如表 4-8 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 4-8 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橋墩束縮係數，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，探討分別衍生各橋墩束縮係數之必要性。

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。假設其為均勻分佈，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 4-10 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 4-9 所示。

3. 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 4-11 所示)及其堰流公式(如 4.4 式所示)：

$$Q = 1.4098 \times L \times (H - H_0)^{1.9649} \quad (4.4)$$

其中， Q 為分洪堰流量(cms)； L 為攔河堰堰體總長 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，故採用與水文模式參數相同之分析方法，將(4.4)式轉換成線性型態後增加誤差項，修正後之關係式如(4.5)式所示：

$$\ln(Q) = \ln(1.4098 \times L) + 1.9649 \times (H - H_0) + \varepsilon_Q \quad (4.5)$$

其中 ε_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(4.5)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 4-10 與圖 4-12 至圖 4-14 所示。而基於與前述水文模式參數相同之理由，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 4-11 所示。

另外，由於所衍生之堰流公式誤差項會產生負值，故亦如同前述水文模式參數之方式，做一修正(如 4.6 式所示)：

$$\begin{aligned} Q &= e^{\ln(Q)} \\ &= e^{\ln(1.4098 \times L) + 1.9649 \times (H - H_0) + \varepsilon_Q} \\ &= e^{\ln(1.4098 \times L) + \varepsilon_Q} \times (H - H_0)^{1.9649} \\ &= \varepsilon_Q^* \times (H - H_0)^{1.9649} \end{aligned} \quad (4.6)$$

其中 ε_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架構中之風險因子，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 4-12 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 4-13 所示，考量兩者之相關性，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。

(三) 地文風險因子

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 4-2 所示)，對照表 4-14 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 4-14 之 B 類土壤條件下，因此基隆河各支流之 CN 值如表 4-15 所示。而由表 4-15 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均勻分佈，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 4-16 所示。

4.2.2 推估最高洪水位

(一) 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 4.2.1 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 4.2.1 節所衍生各控制點之 200 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 4-15 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 4-16 所示。

4. 採用表 4-17 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。

(二) 水理演算

本研究為考量員山子分洪道完工後對堤防安全之重要性，分別利用 SOBEK 定量流模式推估有無考量員山子分洪道條件下，各 200 組基隆河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，將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流量資料。
 - (2) 河道下游水位邊界：採用 4.2.1 節所衍生之 200 個河口潮位值。
 - (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 年三日降雨量及設計雨型所形成之洪峰流量。
 - (4) 河道橋樑資料：將表 4-1 中基隆河 61 座橋樑之 200 個橋墩束縮係數衍生值，代入水理分析。
 - (5) 員山子分洪：採用 4.2.1 節所衍生之分洪道堰流公式係數值代入(4.6)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 4.2.1 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：採用民國 96 年之斷面量測資料。

4.2.3 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 4-18 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

$$F_{(1,n-j-1)} = \frac{SSE_{j-X_r} - SSE_j}{MSE_j} \quad (4.7)$$

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 (α)，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

$$F_{(1,n-j)} = \frac{SSE_j - SSE_{j+X_a}}{MSE_{j+X_a}} \quad (4.8)$$

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 (α)，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 4-19 與圖 4-17 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(4.9)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。

$$Z_{ik} = \frac{X_{ik} - \mu_i}{\sigma_i} ; Z_{H_{\max k}} = \frac{H_{\max k} - \mu_{H_{\max}}}{\sigma_{H_{\max}}} , i = 1, 2, \dots, 11 \quad k = 1, 2, \dots, 200 \quad (4.9)$$

其中 X_{ik} 為第 i 項風險因子在第 k 組之數值；

μ_i 與 σ_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 4-20 為 30 個選取斷面的逐步迴歸分析結果，表 4-21 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 年之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_{R_p} ：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) ε_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



4.2.4 最高洪水位與風險因子關係式之建立

本研究採用多變量迴歸分析方法，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，並比較非線性與線性兩種關係式型態，對風險值計算之影響。

(1) 線性型態：

$$H_{\max} = \alpha + \beta_1 \times D_KD + \beta_2 \times D_CS + \beta_3 \times D_WD + \beta_4 \times D_YS + \beta_5 \times NR_p + \beta_6 \times TD + \beta_7 \times K + \beta_8 \times \varepsilon_Q^* + \beta_9 \times n_c + \beta_{10} \times n_f \quad (4.10)$$

(2) 非線性型態：

$$H_{\max} = \alpha(D_{-KD})^{\beta_1}(D_{-CS})^{\beta_2}(D_{-WD})^{\beta_3}(D_{-YS})^{\beta_4}(NR_p)^{\beta_5}(TD)^{\beta_6}(K)^{\beta_7}(\varepsilon_Q^*)^{\beta_8} (n_c)^{\beta_9}(n_f)^{\beta_{10}} \quad (4.11)$$

表 4-22 與表 4-23 為線性與非線性型態各斷面最高洪水水位與風險因子關係式係數值及 R^2 ，圖 4-18 為不同型態之各斷面最高洪水水位與風險因子關係式 R^2 值。圖中顯示關係式不論使用線性或非線性型態各斷面之 R^2 均達 0.7 以上，且非線性型態之 R^2 較線性型態之 R^2 高，此結果顯示兩種形態之關係式均可適當反應出風險因子對最高洪水水位的變化趨勢，且非線性型態的關係式具有較佳之推估結果。故本研究將以非線性型態建立最高洪水水位與風險因子關係式。

4.3 風險計算結果分析探討

藉由 4.2 節最後所得到之最高洪水水位與風險因子關係式(4.11 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水位的平均值與變異數，進而求得各斷面之失敗機率(Failure probability)，以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。首先比較不同不確定性分析方法所得之風險分析結果，決定合適之分析方法，再依此法探討堤防溢堤之風險分析。

而採用一階二矩法(FOSM)計算失敗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 4-24 所示，其中各控制點之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 200 年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。

4.3.1 不確定性分析方法之比較

由於使用不同之不確定性分析方法所計算得之風險值也不相同，故本小節將比較均值一階二矩法(MFOSM)、高等一階二矩法(AFOSM)以及拉丁

高次取樣法(LHS)，此三種不確定性分析方法所計算之失敗機率，進而決定較適宜應用在本架構之不確定性分析方法。其中 MFOSM 則是採用各影響因子的平均值代入(4.11)式中進而求其作業函數的平均值和變異數以推得失敗機率；AFOSM 是採用疊代方式去計算各風險因子造成溢堤時的破壞值，進而求得破壞點之失敗機率；而 LHS 是針對水理模式所推求之各斷面 200 組最高洪水位與(4.12)式推得失敗機率，其分析結果如圖 4-19 與圖 4-20 所示。

$$P_f = P_r(h_* - H_{\max} < 0) \quad (4.12)$$

其中 P_f 為失敗機率； h_* 為堤防高程； H_{\max} 為最高洪水位。

由分析結果圖中可發現，失敗機率會隨分析方法不同而呈現不同趨勢。由 AFOSM 求得之失敗機率與 MFOSM 有差異，可說明實際會造成溢堤之各風險因子破壞值並非絕對與其平均值相等。而 LHS 所求得之失敗機率在某些斷面較為偏低可能是因為所推求之最高洪水位，還不足以呈現出完整的洪水位變化趨勢，所以依據其分佈所得之失敗機率可能會有低估的情形，且 LHS 方法無法進一步評估各風險因子之不確定性對堤防溢堤之風險，只能夠求得一個定量的風險值，而 AFOSM 則可進一步考量各風險因子之不確定性對溢堤風險的影響。因此，本研究決定以高等一階二矩法 (AFOSM) 作為後續求得溢堤風險之不確定性分析方法。

4.3.2 堤防溢堤之風險分析

採用非線性之最高洪水位與風險因子關係式，配合高等一階二矩法 (AFOSM) 求得基隆河各斷面之失敗機率，以評估基隆河堤防無法達到預期防洪功能之風險。以下將針對三部份探討堤防溢堤之風險分析，分別為(1)各風險因子對堤防防洪能力之影響程度；(2)堤防不同出水高之比較；(3)員山子分洪道設置對堤防溢堤風險之比較，並將其分析結果詳述如下。

4.3.2.1 各風險因子對堤防防洪能力之影響程度

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之影響程度。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 4.2.1 節所衍生各風險因子為基礎，計算其統計特性，分析不同變異程度對失敗機率之敏感度分析，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，而變異係數(coefficient of variation)為 10%、20%、30%、40%、50%，逐一改變各因子之變異係數，分別探討各因子在不同的變異程度下對模式結果之影響，將 AFOSM 需輸入之各風險因子的平均值與變異數彙整如表 4-25 所示。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 4-26、圖 4-21 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，則風險值亦會減少。但由圖4-21可發現，中山橋站、五堵站、員山子站左右岸之堰流公式係數值之風險因子，卻隨變異係數增加而風險值增加，造成此現象係因堰流公式係數在中山橋站、五堵站、員山子站之洪水位公式(式4.11)中其指數為負值，由此顯示當風險因子之指數為負值者，其風險值會隨變異係數增加而風險值增大，同樣地當員山子分洪量越小時，則風險會增加。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，卻造成在關渡站風險值增加0.0001，而員山子站風險值呈水平線，因此可得知改變橋墩束縮係數之變異程度對其風險值影響很小。

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風險值變化，並將其風險變化斜率由大至小排序(如表 4-27 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風險值。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風險值會呈現相同的趨勢。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 年之降雨量，對風險值影響較大，為敏感度較高之風險因子，而橋墩束縮係數之變異程度對風險值影響很小，故橋墩束縮係數為敏感度最低之風險因子。

4.3.2.2 堤防不同出水高之比較

堤防高程之決定一般以計劃洪水位再加上出水高(Freeboard)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。在此小節利用本架構探討增加不同出水高對溢堤風險所造成之影響，以現有堤防高為基礎(如表 4-28)，探討出水高 0m、0.5m、1m、1.5m 在各斷面之失敗機率(如圖 4-22、圖 4-23)。而表 4-29、圖 4-24、圖 4-25 為基隆河四個控制點所屬斷面在不同出水高下之失敗機率，圖 4-26 為各控制點之洪水位累積分佈函數圖。

由結果顯示增加出水高可有效提高防洪功能之可靠度，但隨其所在位置不同，其成效也有差異。以關渡站而言，左岸增加 1.5m 出水高，其失敗機率減少 0.7631，換言之，即為增加 76.31% 的堤防可靠度，相對於右岸只減少 0.0013 之失敗機率，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 0.0217 之失敗機率，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 0.2189 與 0.2433 之失敗機率，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 0.1083 與 0.4230 之失敗機率，故其與

五堵站相同，右岸增加 1.5m 出水高之成效較顯著。

4.3.2.3 員山子分洪道設置對堤防溢堤風險之比較

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，均有啟動分洪系統降低基隆河水位。由圖 4-27 與圖 4-28 中可發現若無員山子分洪道，則斷面編號 48 至 100 間，亦即汐止五堵地區在保護標準(重現期距 200 年)下其平均風險值左右岸分別為 0.840 與 0.909，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風險較高。而賀伯、象神、納莉等颱風事件發生時，皆在基隆河造成淹水，也驗證了此現象。而設置員山子分洪道與否之平均風險值，左岸分別為 0.314、0.641；右岸分別為 0.395、0.720，因此設置員山子分洪道平均可降低約 33%之溢堤風險。



表 4-1 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

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
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	侯硐介壽橋	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 4-2 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	年(民國)	關渡	中山橋	五堵	員山子
1	337	318	258	225	51	321	321	358	375
2	269	286	307	330	52	457	398	359	300
3	288	274	244	210	53	159	145	132	120
4	267	269	288	310	54	239	248	250	260
5	136	136	142	145	55	388	385	406	415
6	276	286	292	305	56	593	583	676	750
7	341	381	396	428	57	588	569	560	545
8	311	310	237	210	58	872	791	691	692
9	426	436	386	380	59	328	280	577	325
10	203	199	193	186	60	354	302	338	384
11	208	217	219	230	61	359	285	277	302
12	252	255	311	331	62	487	409	525	569
13	376	396	389	410	63	392	324	416	422
14	321	335	397	450	64	301	238	287	329
15	479	547	646	760	65	239	237	198	183
16	93	109	131	160	66	480	474	572	675
17	194	218	243	280	67	676	504	570	600
18	309	305	265	260	68	370	332	335	341
19	456	450	434	420	69	260	257	273	294
20	250	264	326	370	70	351	318	282	269
21	473	461	440	430	71	328	233	237	278
22	211	218	258	275	72	159	178	207	218
23	298	318	377	410	73	286	258	301	340
24	222	213	213	210	74	255	249	274	323
25	118	115	118	117	75	499	413	413	456
26	277	276	266	265	76	847	809	966	970
27	167	163	175	178	77	387	397	575	627
28	238	240	227	220	78	375	372	429	512
29	302	307	288	280	79	289	250	337	400
30	131	131	125	122	80	258	269	518	424
31	159	179	194	210	81	239	177	268	380
32	369	356	349	340	82	118	124	216	190
33	193	207	199	190	83	314	261	288	383
34	121	127	128	130	84	140	127	193	219
35	-	-	-	-	85	353	307	380	407
36	185	201	234	255	86	258	286	294	367
37	348	328	297	270	87	631	614	610	641
38	-	-	-	-	88	248	228	225	246
39	193	207	265	300	89	580	554	674	758
40	153	130	127	118	90	972	944	900	972
41	139	135	187	190	91	234	229	283	305
42	406	385	339	320	92	202	191	230	251
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					

(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 4-3 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 4-3 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	羅績	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 4-3 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 4-4 基隆河流域各控制點地文特性與稽延時間值

控制點	關渡	中山橋	五堵	員山子
集水面積(km ²)	490.91	394.62	180.66	90.68
稽延時間 T _{lag} (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

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 4-5 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 4-6 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 4-7 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

註：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 4-8 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 4-9 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 4-10 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 4-11 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 4-12 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 4-13 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 4-14 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 4-15 基隆河流域各支流 CN 值

控制點	支流名稱	CN 值						
		71	85	58	85	66	61	81
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			
	魚桀魚坑溪	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	侯硐介壽橋	58	58	85				

表 4-16 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 4-17 基隆河流域各支流地文特性表

編號	支流	集水區 面積 A(km ²)	主流長 L(m)	重心至出口 主流長度 L _{ca} (m)	平均坡度 S	座標	
						TM_X	TM_Y
Branch 1	侯硐介壽橋	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	茄苳溪	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 4-18 風險因子代號表

風險因子	風險因子英文代號
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	ε_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 4-19 逐步迴歸分析選取斷面

斷面編號	超越提防高水位高程(m)	斷面編號	底床與提防高之高程差(m)	斷面編號	虛擬高程(m)
50	6.937	1	9.29	3	15
51	7.334	2	8.38	6	15
52	8.132	3	7.63	14	15
53	7.896	6	10.9	17	15
54	8.069	7	11.87	21	15
55	8.108	8	12.91	25	15
57	7.803	37	12.92	29	15
58	7.716	39	12.79	35	15
63	7.768	51	11.78	39	15
64	7.759	53	12.56	45	15
66	7.955	97	11.72	51	15
67	7.474	99	12.81	53	15
68	8.103	101	11.84	57	15
69	8.073	102	10.95	63	15
70	6.887	103	10.76	68	15
72	7.254	110	11.64	72	15
73	6.952	111	12.02	75	15
75	6.845	113	8.96	81	15
80	6.962	114	11.21	83	15
81	7.287	115	10.69	86	15
83	6.964	117	11.78	88	15
84	6.895	118	10.67	91	15
86	9.255	119	7.7	97	15

87	7.07	120	11.2	103	15
88	7.162	121	8.12	110	15
89	7.186	122	7.87	113	15
91	8.05	123	12.07	119	15
92	7.999	124	10.37	122	15
94	7.322	125	9.53	125	15
97	7.175	127	11.8	127	15

表 4-20 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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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 4-21 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	$\varepsilon_{T_{lag}}^*$	ε_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 4-22 各斷面最高洪水水位與風險因子關係式係數值及 R²(線性型態)

變數代號	常數項	D_KD	D_CS	D_WD	D_YS	N _{R_p}	TD	K	ε _Q [*]	n _c	n _f	
斷面編號	β ₀	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄	β ₅	β ₆	β ₇	β ₈	β ₉	β ₁₀	R ²
1	-0.53481	0.00026	-0.00015	0.00018	-0.00014	0.62705	0.94516	0.00199	0.00004	6.06772	9.61768	0.99136
2	-1.07739	0.00081	-0.00037	0.00039	-0.0003	1.89697	0.84775	0.00497	-0.00025	20.09908	16.33805	0.94732
3	-1.61625	0.00162	-0.00063	0.00061	-0.00048	3.87646	0.76998	0.01783	-0.00089	34.58766	18.52515	0.86799
4	-2.24922	0.00254	-0.00098	0.00087	-0.00068	5.81602	0.70652	0.03061	-0.00165	32.23553	32.70975	0.81734
5	-2.71277	0.00337	-0.00117	0.00108	-0.00085	7.86619	0.65835	0.0458	-0.00254	33.75716	40.08905	0.79169
6	-2.78838	0.00372	-0.00111	0.00116	-0.00091	9.07687	0.61077	0.05554	-0.00315	37.02289	42.64837	0.78386
7	-2.91622	0.00411	-0.00109	0.00128	-0.00101	10.36926	0.5953	0.06558	-0.00374	40.86335	41.13433	0.77816
8	-2.95991	0.00444	-0.00131	0.00125	-0.001	10.66766	0.57414	0.06988	-0.00386	47.21252	40.59281	0.7783
9	-2.99313	0.00429	-0.00102	0.00128	-0.00102	11.06882	0.56566	0.07251	-0.00409	50.91827	39.45988	0.7781
10	-2.9917	0.00424	-0.00092	0.00129	-0.00103	11.20017	0.56371	0.09299	-0.00418	51.47546	38.85981	0.77801
11	-3.02802	0.00415	-0.0008	0.00128	-0.00103	11.2829	0.55568	0.09338	-0.00424	54.93287	38.67773	0.77891
12	-3.01656	0.00402	-0.0006	0.00129	-0.00104	11.48255	0.54488	0.09417	-0.00439	56.01673	39.30566	0.77875
13	-3.01848	0.00389	-0.00036	0.00131	-0.00106	11.76813	0.5354	0.09551	-0.00458	56.76829	40.08177	0.77828
14	-3.06175	0.00378	-0.00016	0.00132	-0.00108	12.0146	0.52865	0.11921	-0.00474	58.6657	40.25801	0.77847
15	-1.51757	0.00382	-0.00013	0.00092	-0.00098	11.63846	0.51945	0.12237	-0.00459	56.59467	8.0746	0.75934
16	-1.56804	0.00378	-0.00005	0.00093	-0.00099	11.75369	0.51795	0.123	-0.00468	57.53112	8.49237	0.76008
17	-1.69328	0.0037	0.00014	0.00098	-0.00103	12.07141	0.51571	0.15298	-0.00489	56.82042	10.80856	0.7614
18	-1.71506	0.00365	0.00015	0.00096	-0.00101	11.91198	0.50802	0.16406	-0.00486	56.84597	12.86416	0.76225
19	-1.53355	0	0.00402	0.00137	-0.00154	12.41173	0.50938	0.17666	-0.00488	58.44654	11.01152	0.75312
20	-1.86215	0	0.00433	0.00146	-0.00161	13.33279	0.50398	0.32648	-0.00554	62.56911	12.24037	0.76034
21	-2.0139	0	0.00453	0.00151	-0.00164	13.92661	0.48906	0.34996	-0.00595	59.55362	18.77625	0.76287
22	-1.44908	0	0.00485	0.00139	-0.0014	14.73802	0.4965	0.33428	-0.0067	69.73616	-5.3277	0.75717
23	-1.59868	0	0.00503	0.00148	-0.00145	15.32812	0.47729	0.31901	-0.00708	67.24553	3.18357	0.75993
24	-1.92252	0	0.00537	0.00163	-0.00157	16.45782	0.47708	0.32371	-0.0077	67.05912	8.21224	0.76186
25	-1.87027	0	0.00542	0.00164	-0.00157	16.60262	0.46405	0.31431	-0.00784	71.30654	7.63206	0.76323
26	-1.76272	0	0.00544	0.00165	-0.00158	16.66112	0.45463	0.30766	-0.00791	72.8631	7.11661	0.76383
27	-1.73588	0	0.00546	0.00165	-0.00158	16.70485	0.45083	0.30481	-0.00795	73.91691	6.93895	0.76414
28	-1.73642	0	0.00547	0.00166	-0.00158	16.74903	0.44844	0.30302	-0.00798	75.03874	6.8226	0.76441
29	-1.71386	0	0.00543	0.00164	-0.00157	16.61163	0.44222	0.29973	-0.00793	76.46518	7.26934	0.7648
30	-1.60358	0	0.00549	0.00166	-0.00158	16.77072	0.42577	0.29171	-0.00809	81.40078	6.72377	0.76628
31	-1.60957	0	0.00549	0.00166	-0.00157	16.77641	0.42036	0.29499	-0.00812	83.83604	6.6999	0.76691
32	-1.45393	0	0.00556	0.00168	-0.00159	16.97291	0.40971	0.28607	-0.00827	86.54346	5.43981	0.76763
33	-1.43214	0	0.00557	0.00168	-0.00159	17.01787	0.40671	0.28958	-0.00831	87.80779	5.11395	0.76796
34	0.10115	0	0.0051	0.00246	-0.00209	16.56524	0.39719	0.27974	-0.00648	47.48124	2.16758	0.75427
35	-0.15702	0	0.00532	0.00242	-0.00208	17.1061	0.39204	0.27007	-0.0069	52.74426	5.74918	0.75803
36	-0.27134	0	0.00546	0.00239	-0.00207	17.44581	0.38808	0.2636	-0.00718	55.47643	8.14329	0.76015
37	-0.2915	0	0.00551	0.00238	-0.00207	17.58785	0.38661	0.27936	-0.0073	56.94342	8.36663	0.76102
38	-0.29708	0	0.00561	0.00232	-0.00204	17.76629	0.37685	0.2876	-0.00753	59.96301	10.92269	0.76332
39	-0.2437	0	0.00572	0.00226	-0.00201	17.99843	0.36731	0.27365	-0.00779	65.86826	11.49166	0.76547
40	-0.40423	0	0.0059	0.00222	-0.00199	18.42703	0.36339	0.29933	-0.00814	72.97914	12.66729	0.76783
41	-0.18277	0	0.00574	0.00209	-0.0019	17.80605	0.34592	0.28604	-0.00791	76.03107	13.30315	0.76943
42	-0.23381	0	0.00598	0.0021	-0.00192	18.45833	0.34627	0.27339	-0.00833	80.55336	13.37432	0.77056

變數代號	常數項	D_KD	D_CS	D_WD	D_YS	N_{Rp}	TD	K	ε_Q^*	n_c	n_f	
斷面編號	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}	R^2
43	-0.49673	0	0.00675	0.00237	-0.00215	20.95984	0.37853	0.27146	-0.00964	79.48878	13.16191	0.76922
44	-0.4778	0	0.00679	0.00236	-0.00215	21.05103	0.37661	0.2675	-0.00972	79.20153	15.28808	0.76961
45	-0.54295	0	0.00681	0.00229	-0.00211	20.95285	0.37212	0.27523	-0.0097	80.52341	18.24441	0.7703
46	-0.52779	0	0.007	0.00239	-0.00217	21.69819	0.37714	0.26884	-0.01015	78.00777	22.21127	0.77073
47	-0.53397	0	0.00705	0.0024	-0.00218	21.904	0.3776	0.26572	-0.01029	79.05299	23.11296	0.77107
48	0.49304	0	0.00663	0.00344	-0.00278	22.17309	0.37236	0.25852	-0.00993	53.28619	20.95299	0.76729
49	0.48156	0	0.00665	0.00354	-0.00281	22.56752	0.3778	0.25718	-0.01021	53.32544	21.73045	0.76824
50	0.47088	0	0.00665	0.00355	-0.00281	22.59036	0.37807	0.25709	-0.01022	53.51564	21.8694	0.76835
51	0.54015	0	0.00664	0.00368	-0.00278	23.20628	0.38296	0.25361	-0.0108	51.07276	28.9423	0.77186
52	0.40499	0	0.00667	0.00377	-0.00281	23.60339	0.38787	0.25277	-0.01109	54.41857	30.2632	0.77311
53	0.22334	0	0.00671	0.00387	-0.00285	23.99769	0.39697	0.32845	-0.01135	56.1261	30.75935	0.77397
54	0.20265	0	0.00672	0.00399	-0.00288	24.38645	0.40191	0.32292	-0.01163	58.61465	31.0502	0.77488
55	0.178	0	0.00672	0.00405	-0.00289	24.61896	0.40594	0.35553	-0.01181	59.45232	31.49584	0.77556
56	0.18721	0	0.00672	0.00406	-0.00289	24.66663	0.4074	0.38104	-0.01184	58.73536	31.51469	0.77571
57	0.16598	0	0.00672	0.00409	-0.0029	24.77003	0.40827	0.37774	-0.01193	60.73872	31.47868	0.77605
58	1.17367	0	0.00646	0.00369	-0.00246	24.97828	0.37533	0.3684	-0.01015	94.53061	-11.43671	0.76712
59	1.15994	0	0.00647	0.0037	-0.00246	25.03132	0.37611	0.3677	-0.01019	94.91184	-11.39607	0.76725
60	1.14295	0	0.00647	0.00373	-0.00247	25.12396	0.37818	0.38883	-0.01027	94.90607	-11.35073	0.76759
61	1.1423	0	0.00647	0.00376	-0.00248	25.20026	0.37976	0.41303	-0.01035	94.54156	-11.30507	0.76798
62	0.94709	0	0.00644	0.00423	-0.00263	26.42015	0.40248	0.52659	-0.01119	93.30767	-10.71522	0.77076
63	1.00681	0	0.00638	0.00421	-0.00261	26.23724	0.39916	0.52037	-0.01117	94.33045	-10.38875	0.77104
64	0.93703	0	0.00632	0.00429	-0.00263	26.35242	0.40038	0.51064	-0.01134	96.95763	-9.36968	0.77189
65	0.8387	0	0.00628	0.00442	-0.00266	26.62347	0.40527	0.52129	-0.01154	99.02986	-9.13537	0.77259
66	0.83429	0	0.00628	0.00443	-0.00267	26.65021	0.40564	0.5204	-0.01157	99.20227	-9.09478	0.77267
67	1.91082	0	0.00622	0.00511	-0.00299	28.07427	0.44118	0.49299	-0.01305	73.71616	-10.68299	0.7707
68	1.91261	0	0.00619	0.00511	-0.00298	28.01429	0.44028	0.49	-0.01305	74.58858	-10.42076	0.7709
69	1.8229	0	0.00609	0.00534	-0.00302	28.51509	0.44999	0.47532	-0.01346	77.86777	-9.08735	0.77259
70	1.94345	0	0.00591	0.00559	-0.00306	28.89005	0.4555	0.46609	-0.01382	75.85532	-8.49156	0.77368
71	1.93806	0	0.00589	0.00562	-0.00306	28.92601	0.45614	0.46504	-0.01385	76.08131	-8.4206	0.77382
72	1.92288	0	0.00549	0.00607	-0.00312	29.44618	0.46657	0.45726	-0.01439	76.78836	-6.73791	0.77616
73	1.87753	0	0.005	0.00668	-0.00321	30.21087	0.48143	0.48063	-0.01509	77.73296	-5.57698	0.77923
74	2.47388	0	0.00459	0.00706	-0.00323	31.02341	0.49466	0.48903	-0.017	56.47727	3.71645	0.77913
75	2.32564	0	0.00425	0.00759	-0.00334	31.77113	0.50969	0.48477	-0.01746	58.11677	4.47879	0.78096
76	2.20151	0	0.00416	0.00762	-0.00332	31.68687	0.50925	0.47964	-0.01747	61.71992	5.03925	0.78105
77	2.40227	0	0.00356	0.00845	-0.00347	32.6605	0.52733	0.45316	-0.01817	59.54551	5.8169	0.78353
78	2.25894	0	0.00375	0.00807	-0.00338	32.02438	0.51707	0.47622	-0.0178	63.23097	6.00602	0.78261
79	1.65987	0	0	0.013	-0.00466	32.69799	0.59473	0.44335	-0.01681	64.73277	6.5769	0.77989
80	1.77483	0	0	0.01305	-0.00466	33.0499	0.59746	0.43695	-0.01712	62.77717	6.80398	0.78116
81	1.96673	0	0	0.0131	-0.00465	33.56395	0.60283	0.42599	-0.01753	60.12384	7.12625	0.78325
82	1.98462	0	0	0.01309	-0.00464	33.65065	0.60299	0.4224	-0.01764	60.75511	7.30998	0.7837
83	2.17065	0	0	0.01295	-0.00455	33.6169	0.59833	0.42869	-0.01788	61.01099	8.66517	0.78528
84	2.33866	0	0	0.01298	-0.00453	34.04458	0.60163	0.41761	-0.01827	59.40518	9.23074	0.78683
85	2.34992	0	0	0.01298	-0.00452	34.08372	0.60175	0.41556	-0.01833	59.14346	9.74771	0.78704

變數代號	常數項	D_KD	D_CS	D_WD	D_YS	N_{R_p}	TD	K	ε_Q^*	n_c	n_f	
斷面編號	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}	R^2
86	2.58483	0	0	0.013	-0.00449	34.68588	0.60467	0.40217	-0.01895	59.62132	11.27764	0.78908
87	2.62927	0	0	0.01296	-0.00444	34.82629	0.60553	0.39688	-0.01915	59.83545	11.76561	0.78978
88	3.56797	0	0	0.01328	-0.00459	35.29861	0.6108	0.43758	-0.02122	78.11203	-17.96311	0.78825
89	3.67708	0	0	0.0132	-0.00446	35.88926	0.61322	0.42273	-0.02196	79.00955	-17.30787	0.79079
90	3.78739	0	0	0.01308	-0.00439	35.83187	0.61107	0.41486	-0.02203	79.37943	-16.76521	0.79151
91	4.10043	0	0	0.01263	-0.00411	35.71659	0.60141	0.389	-0.02247	83.54955	-14.50311	0.7944
92	4.23142	0	0	0.01242	-0.00396	35.71876	0.59776	0.37327	-0.02271	85.91951	-13.4676	0.79598
93	4.39726	0	0	0.01228	-0.00385	35.90363	0.59666	0.35942	-0.02306	88.40534	-13.61738	0.79742
94	4.75753	0	0	0.01211	-0.00371	36.3326	0.59748	0.4273	-0.02369	84.9725	-11.64979	0.80033
95	4.77377	0	0	0.01196	-0.00362	36.20188	0.59367	0.42483	-0.02373	86.95059	-10.05174	0.80095
96	5.95159	0	0	0.01142	-0.00339	35.49657	0.57882	0.38878	-0.02344	83.58344	-8.85622	0.80267
97	7.79893	0	0	0.01058	-0.00285	34.99439	0.5978	0.34297	-0.02232	38.25543	1.11652	0.79925
98	7.68814	0	0	0.01062	-0.00289	35.08704	0.60282	0.42496	-0.02187	37.96304	1.81123	0.80053
99	10.52903	0	0	0.008	-0.0012	33.69538	0.55357	0.28384	-0.02298	36.38267	4.51949	0.81006
100	12.53871	0	0	0.00668	-0.0005	32.20958	0.52768	0.22938	-0.02238	32.34413	4.51054	0.81352
101	13.62178	0	0	0.0061	-0.00033	30.7489	0.51373	0.2261	-0.02085	26.38217	5.02264	0.81219
102	14.71918	0	0	0.00531	-0.00011	28.52577	0.47702	0.18267	-0.01934	51.00124	-10.86874	0.81417
103	15.68179	0	0	0.00476	0.00029	28.05631	0.4531	0.13022	-0.02013	57.702	-9.2286	0.82027
104	17.8452	0	0	0.00431	0.00074	28.43696	0.43451	0.08264	-0.02175	60.19429	-5.92435	0.8242
105	18.43228	0	0	0.00448	0.00097	30.82955	0.46169	0.11733	-0.02393	53.93555	-2.68308	0.82651
106	19.77786	0	0	0.00421	0.00091	29.27604	0.44642	0.07936	-0.02226	53.74367	-3.16218	0.82558
107	21.15125	0	0	0.00389	0.00084	27.13409	0.42021	0.10576	-0.02046	46.80107	-0.79163	0.82435
108	22.69599	0	0	0.00394	0.00097	28.06702	0.42431	0.06984	-0.02173	29.87414	13.05749	0.82524
109	23.17653	0	0	0.0041	0.00104	29.48634	0.44115	0.05614	-0.02287	39.53522	7.04991	0.82603
110	23.89041	0	0	0.00388	0.00099	28.03245	0.42428	0.0374	-0.02139	43.80768	5.34695	0.82453
111	25.93985	0	0	0.00346	0.00089	25.13235	0.38858	0.06971	-0.01871	43.64256	1.32121	0.82285
112	28.73682	0	0	0.00311	0.00122	25.0762	0.37573	0.0254	-0.01983	52.89196	-1.06351	0.82528
113	30.90968	0	0	0.00266	0.00125	22.52312	0.32847	0.04091	-0.01846	54.44885	-3.00795	0.82432
114	32.4887	0	0	0.00287	0.00131	24.44407	0.35547	0.03027	-0.01996	57.45729	-5.69982	0.82644
115	33.80055	0	0	0.0032	0.00147	27.49799	0.40448	0.01826	-0.02208	55.43524	-3.35406	0.82861
116	35.07444	0	0	0.0032	0.00146	27.05343	0.38594	0.02896	-0.02236	58.08029	-5.20993	0.82631
117	36.47233	0	0	0.00256	0.00177	26.12938	0.38	0.0141	-0.02179	57.62393	-4.22814	0.82636
118	38.60466	0	0	0.00234	0.00203	27.28834	0.39851	0.04147	-0.02239	44.78843	-5.83589	0.83007
119	40.30755	0	0	0.00241	0.00154	25.32303	0.40952	0.01019	-0.02102	37.73331	-1.14531	0.83155
120	40.37262	0	0	0.00247	0.00162	26.16485	0.41391	0.02177	-0.02174	42.78181	-1.4183	0.83239
121	42.46291	0	0	0.00255	0.00158	26.36229	0.40773	0.033	-0.02152	47.93181	-0.9821	0.83249
122	45.6963	0	0	0.00228	0.00134	23.13452	0.35285	0.01734	-0.01874	43.20655	-0.85962	0.8306
123	47.48683	0	0	0	0.00344	23.26308	0.33038	0.03971	-0.01901	44.28492	-0.43955	0.82866
124	53.37011	0	0	0	0.00255	17.24016	0.24517	0.0067	-0.01377	33.10084	-0.35026	0.82822
125	60.36876	0	0	0	0.00421	27.44063	0.39419	-0.01019	-0.01323	45.53894	-3.35004	0.8534
126	69.40544	0	0	0	0.00319	19.21592	0.24331	0.00538	-0.00361	55.47234	-2.75848	0.85651
127	74.59023	0	0	0	0.00288	16.76276	0.19847	0.01526	-0.002	56.58994	-2.4661	0.85028
128	77.36801	0	0	0	0.0036	20.65081	0.23728	0.02636	-0.00219	70.73156	-3.1497	0.84709

表 4-23 各斷面最高洪水水位與風險因子關係式係數值及 R²(非線性型態)

變數代號	常數項	D_KD	D_CS	D_WD	D_YS	N _{R_p}	TD	K	ε _Q [*]	n _c	n _f	
斷面編號	β ₀	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄	β ₅	β ₆	β ₇	β ₈	β ₉	β ₁₀	R ²
1	1.45386	0.04653	-0.02405	0.04805	-0.0406	0.01794	0.92342	-0.00015	0.00547	0.03755	0.09749	0.98886
2	1.95511	0.13473	-0.05129	0.10947	-0.09425	0.05193	0.7862	-0.0003	0.00524	0.11883	0.1448	0.94467
3	1.78236	0.2461	-0.07318	0.1719	-0.14808	0.09799	0.65755	0.0004	-0.00071	0.19142	0.11744	0.88442
4	1.56292	0.35686	-0.10263	0.22126	-0.19007	0.13551	0.55222	0.00113	-0.00928	0.16903	0.17895	0.85204
5	1.24935	0.43474	-0.10363	0.24811	-0.21493	0.16816	0.46602	0.00198	-0.01857	0.16631	0.1756	0.83914
6	1.17255	0.44893	-0.07733	0.24889	-0.21793	0.18305	0.40081	0.00246	-0.02489	0.17289	0.15897	0.83703
7	0.97178	0.47061	-0.06047	0.25828	-0.22763	0.19881	0.36655	0.00294	-0.03007	0.18246	0.11857	0.83501
8	1.02361	0.50131	-0.0819	0.25129	-0.22275	0.20035	0.34336	0.00317	-0.03059	0.20391	0.10622	0.8362
9	1.0175	0.47154	-0.04248	0.25188	-0.22433	0.20446	0.33031	0.00325	-0.03288	0.21565	0.09081	0.83664
10	0.99161	0.46099	-0.02951	0.25142	-0.22395	0.20576	0.32699	0.00477	-0.03397	0.21684	0.07971	0.83645
11	1.04121	0.44729	-0.01383	0.24869	-0.22238	0.20611	0.31926	0.00476	-0.03465	0.22897	0.07598	0.83744
12	1.06725	0.42433	0.01359	0.2465	-0.22161	0.20745	0.30749	0.00472	-0.03617	0.23089	0.07499	0.83778
13	1.07771	0.40015	0.04409	0.24523	-0.22178	0.20967	0.29562	0.00469	-0.03794	0.23095	0.07339	0.8379
14	1.07779	0.38005	0.06885	0.24352	-0.22088	0.2116	0.28704	0.0063	-0.03968	0.23571	0.06356	0.83808
15	1.08099	0.39816	0.0603	0.20693	-0.21788	0.20564	0.28986	0.00795	-0.03691	0.23901	0.03107	0.81745
16	1.0976	0.39111	0.07008	0.20732	-0.21837	0.20673	0.28695	0.00792	-0.03763	0.24177	0.03385	0.81841
17	1.1129	0.37321	0.09393	0.20932	-0.21946	0.20978	0.28118	0.0099	-0.03985	0.23444	0.04901	0.82002
18	1.20126	0.36742	0.0953	0.20487	-0.21546	0.20729	0.27699	0.01066	-0.03985	0.23343	0.06403	0.82084
19	1.33692	0	0.46509	0.22952	-0.25345	0.2139	0.27544	0.01088	-0.04107	0.23826	0.04969	0.81471
20	1.34483	0	0.4796	0.22671	-0.24586	0.22066	0.25892	0.02037	-0.04739	0.24062	0.05536	0.82034
21	1.4277	0	0.48838	0.22419	-0.2417	0.22375	0.23987	0.02139	-0.05048	0.22023	0.09499	0.82358
22	0.89855	0	0.50617	0.20828	-0.21128	0.22845	0.22889	0.01913	-0.05508	0.24342	-0.0343	0.8185
23	1.0325	0	0.5119	0.20767	-0.21141	0.22949	0.20674	0.01734	-0.05721	0.22586	0.01618	0.82213
24	1.04513	0	0.53028	0.21455	-0.21785	0.23725	0.19389	0.01686	-0.06094	0.21638	0.04335	0.82466
25	1.13318	0	0.52803	0.21208	-0.2158	0.23547	0.183	0.01593	-0.06127	0.22933	0.03952	0.82623
26	1.183	0	0.52486	0.21038	-0.21422	0.23375	0.17569	0.0153	-0.0612	0.233	0.0362	0.827
27	1.20967	0	0.52383	0.20977	-0.21365	0.23317	0.17257	0.01503	-0.06124	0.23588	0.03503	0.82736
28	1.23201	0	0.5236	0.20938	-0.21335	0.23292	0.17048	0.01485	-0.06137	0.23928	0.0343	0.82765
29	1.30352	0	0.51875	0.20744	-0.21143	0.2307	0.16753	0.01462	-0.06089	0.24457	0.03661	0.8279
30	1.45002	0	0.51319	0.20394	-0.20813	0.22764	0.15464	0.01373	-0.06095	0.25704	0.03293	0.82941
31	1.52215	0	0.51059	0.20237	-0.2065	0.2264	0.15105	0.01382	-0.06093	0.26404	0.03274	0.82984
32	1.59406	0	0.50744	0.2007	-0.2049	0.22467	0.14205	0.01299	-0.06096	0.26878	0.02555	0.83074
33	1.62588	0	0.50617	0.19983	-0.20395	0.22408	0.13971	0.0131	-0.06099	0.27146	0.02383	0.83097
34	1.02449	0	0.46871	0.26781	-0.24797	0.22055	0.13608	0.01292	-0.04423	0.14817	0.00726	0.81835
35	1.16668	0	0.47586	0.25895	-0.24311	0.22162	0.12806	0.01206	-0.04651	0.1629	0.02455	0.82195
36	1.26821	0	0.47877	0.25297	-0.23946	0.22167	0.12256	0.01148	-0.04778	0.16927	0.03567	0.824
37	1.30762	0	0.47876	0.24954	-0.23666	0.22138	0.12044	0.0122	-0.04841	0.17187	0.03654	0.82462
38	1.48425	0	0.47484	0.23924	-0.22854	0.21846	0.11295	0.01234	-0.04926	0.17748	0.04815	0.82656
39	1.70008	0	0.47069	0.22914	-0.22115	0.21514	0.10496	0.01127	-0.04986	0.1932	0.04867	0.82861
40	1.90777	0	0.47133	0.21981	-0.21404	0.21427	0.09952	0.01225	-0.05126	0.20935	0.05229	0.83026
41	2.20023	0	0.45619	0.20823	-0.20454	0.20642	0.09403	0.01153	-0.04945	0.21918	0.05457	0.83146
42	2.29215	0	0.46197	0.20492	-0.20308	0.20791	0.08943	0.01058	-0.05096	0.22745	0.05278	0.83279

變數代號	常數項	D_KD	D_CS	D_WD	D_YS	N_{R_p}	TD	K	ε_Q^*	n_c	n_f	
斷面編號	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}	R^2
43	1.93192	0	0.49369	0.21718	-0.21492	0.22227	0.08868	0.00983	-0.05617	0.21035	0.04884	0.83261
44	2.01972	0	0.49112	0.21479	-0.21295	0.2209	0.0868	0.00954	-0.05608	0.20718	0.05718	0.83293
45	2.18505	0	0.48828	0.20816	-0.20889	0.21829	0.08503	0.00983	-0.05558	0.20869	0.06896	0.83317
46	2.23934	0	0.48748	0.2107	-0.20877	0.2194	0.08216	0.00923	-0.05667	0.19469	0.08313	0.83381
47	2.30536	0	0.48594	0.21044	-0.20784	0.21909	0.08088	0.00899	-0.05688	0.19545	0.08572	0.83413
48	1.88999	0	0.45703	0.27725	-0.24762	0.22096	0.07427	0.00912	-0.05358	0.17039	0.04249	0.82974
49	1.91293	0	0.45395	0.28086	-0.24692	0.22207	0.07412	0.00889	-0.05463	0.16881	0.04463	0.83081
50	1.92057	0	0.45369	0.28101	-0.24681	0.22211	0.07409	0.00887	-0.0547	0.16923	0.0451	0.83091
51	2.17698	0	0.43782	0.27755	-0.23488	0.21996	0.07144	0.00824	-0.0565	0.15599	0.07063	0.83443
52	2.29112	0	0.43449	0.28004	-0.23377	0.22053	0.07104	0.00803	-0.05747	0.16328	0.07388	0.83561
53	2.32162	0	0.43185	0.28239	-0.23179	0.22194	0.07289	0.01084	-0.0588	0.16633	0.0734	0.83572
54	2.40791	0	0.42682	0.28603	-0.231	0.22221	0.07241	0.01041	-0.05956	0.17088	0.073	0.83675
55	2.45887	0	0.42287	0.2868	-0.22878	0.22217	0.07273	0.01152	-0.06021	0.17137	0.07328	0.83713
56	2.44565	0	0.42197	0.28637	-0.2276	0.22221	0.07317	0.01248	-0.06042	0.16899	0.07294	0.83704
57	2.50809	0	0.41979	0.28696	-0.227	0.22194	0.07282	0.01227	-0.06062	0.17344	0.0723	0.83741
58	2.2431	0	0.40418	0.26604	-0.20301	0.22176	0.06706	0.0124	-0.05052	0.21155	-0.0216	0.83076
59	2.25157	0	0.404	0.26663	-0.20318	0.22189	0.06706	0.01234	-0.05068	0.21225	-0.02137	0.83091
60	2.25141	0	0.40314	0.26735	-0.20269	0.22211	0.06747	0.01308	-0.05115	0.21127	-0.02115	0.83108
61	2.24668	0	0.40193	0.26788	-0.20186	0.22225	0.06782	0.01396	-0.05164	0.20936	-0.02098	0.83127
62	2.17748	0	0.39175	0.28934	-0.20481	0.22773	0.07102	0.01771	-0.05599	0.19917	-0.01774	0.833
63	2.26014	0	0.38734	0.28797	-0.20313	0.22585	0.07035	0.01741	-0.05582	0.20181	-0.01661	0.83339
64	2.38023	0	0.38109	0.29207	-0.20296	0.22533	0.06993	0.01689	-0.05645	0.20742	-0.01243	0.83436
65	2.43487	0	0.37659	0.29815	-0.20405	0.22612	0.07036	0.01713	-0.0573	0.21112	-0.01125	0.83489
66	2.44162	0	0.37597	0.29887	-0.20415	0.22618	0.07035	0.01708	-0.0574	0.21142	-0.01106	0.83498
67	2.15241	0	0.35815	0.34078	-0.22269	0.23186	0.07205	0.01576	-0.06175	0.18073	-0.02537	0.83496
68	2.19935	0	0.35579	0.34056	-0.22194	0.2311	0.07185	0.01562	-0.06172	0.18286	-0.02439	0.83521
69	2.35768	0	0.34423	0.35075	-0.22282	0.23123	0.07219	0.01477	-0.06286	0.18906	-0.01923	0.8369
70	2.37495	0	0.33218	0.36312	-0.2236	0.23227	0.07214	0.01428	-0.06438	0.18292	-0.01687	0.83822
71	2.3865	0	0.33084	0.36437	-0.22366	0.23233	0.07216	0.01422	-0.06451	0.18338	-0.01659	0.83837
72	2.54004	0	0.30496	0.3884	-0.22492	0.23367	0.07288	0.01374	-0.06684	0.18376	-0.0102	0.84075
73	2.68858	0	0.27406	0.4191	-0.22688	0.23603	0.0742	0.01428	-0.06985	0.18369	-0.00547	0.84343
74	2.79012	0	0.24679	0.44066	-0.22901	0.23865	0.07592	0.0144	-0.08128	0.14734	0.00639	0.84302
75	2.8615	0	0.22674	0.46672	-0.23343	0.24146	0.07699	0.01404	-0.08269	0.15046	0.00868	0.84479
76	3.0016	0	0.22144	0.46871	-0.2325	0.24056	0.07674	0.01384	-0.08264	0.15915	0.01068	0.8451
77	3.09201	0	0.18637	0.50632	-0.2374	0.24267	0.07723	0.0126	-0.08437	0.15285	0.01212	0.84784
78	3.1994	0	0.19665	0.48892	-0.23317	0.23995	0.07671	0.01349	-0.08332	0.16124	0.0138	0.84689
79	2.93327	0	0	0.76548	-0.30725	0.24198	0.09062	0.01218	-0.07427	0.16658	0.01429	0.84417
80	2.92935	0	0	0.76394	-0.30552	0.24312	0.09014	0.01188	-0.07546	0.16163	0.01465	0.84547
81	2.94853	0	0	0.76003	-0.3028	0.24419	0.08963	0.01136	-0.07678	0.15454	0.01508	0.84744
82	3.00196	0	0	0.75726	-0.30114	0.24407	0.0892	0.0112	-0.07718	0.15576	0.01554	0.84799
83	3.21434	0	0	0.7422	-0.29313	0.24158	0.0873	0.01124	-0.07795	0.15438	0.02031	0.84993
84	3.27816	0	0	0.73704	-0.28973	0.24206	0.08641	0.01074	-0.07917	0.14983	0.02156	0.85155
85	3.30746	0	0	0.73565	-0.28898	0.24195	0.08619	0.01065	-0.07932	0.14898	0.02327	0.8518

變數代號	常數項	D_KD	D_CS	D_WD	D_YS	N_{R_p}	TD	K	ε_Q^*	n_c	n_f	
斷面編號	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}	R^2
86	3.58386	0	0	0.72245	-0.2821	0.24097	0.08392	0.00994	-0.08084	0.14771	0.02728	0.85423
87	3.66874	0	0	0.71719	-0.27853	0.24089	0.08346	0.00973	-0.08155	0.14774	0.02865	0.85491
88	3.21884	0	0	0.71486	-0.27411	0.24269	0.08737	0.01022	-0.08439	0.14491	-0.01329	0.85199
89	3.40296	0	0	0.70285	-0.26461	0.24366	0.08587	0.00968	-0.08714	0.14541	-0.01025	0.85415
90	3.53858	0	0	0.69365	-0.25981	0.24215	0.08513	0.00943	-0.08728	0.14593	-0.00851	0.85464
91	4.19117	0	0	0.65825	-0.24028	0.23673	0.08162	0.00858	-0.08831	0.15379	-0.00122	0.85684
92	4.53903	0	0	0.64194	-0.23111	0.23439	0.08001	0.00807	-0.08881	0.15807	0.00208	0.85793
93	4.83387	0	0	0.62846	-0.22322	0.233	0.07861	0.00761	-0.08962	0.16226	0.00162	0.85891
94	5.13847	0	0	0.60737	-0.21004	0.23127	0.07731	0.00938	-0.09141	0.15057	0.00828	0.86005
95	5.4695	0	0	0.59696	-0.20478	0.2292	0.07634	0.00928	-0.09135	0.1544	0.01326	0.86037
96	6.31856	0	0	0.55345	-0.18764	0.21771	0.07236	0.00807	-0.08752	0.14303	0.01531	0.85972
97	5.52825	0	0	0.5207	-0.16971	0.2113	0.07302	0.00689	-0.08724	0.07444	0.00878	0.8532
98	5.5316	0	0	0.51756	-0.16901	0.2103	0.07406	0.0091	-0.08464	0.07046	0.01156	0.85204
99	8.52429	0	0	0.37113	-0.08012	0.1895	0.06139	0.00529	-0.08538	0.06373	0.01948	0.85815
100	10.35789	0	0	0.30053	-0.04507	0.17371	0.05614	0.00398	-0.07992	0.05279	0.01878	0.85547
101	11.04871	0	0	0.27057	-0.03642	0.16279	0.05495	0.00394	-0.07261	0.03893	0.01991	0.84698
102	13.34629	0	0	0.23879	-0.03145	0.14844	0.05069	0.0033	-0.06622	0.09702	-0.0282	0.84515
103	15.68095	0	0	0.20925	-0.01381	0.1413	0.04514	0.00196	-0.06738	0.10599	-0.0214	0.854
104	18.8598	0	0	0.17795	0.00444	0.13282	0.03805	0.00081	-0.06816	0.10119	-0.00959	0.86287
105	18.82571	0	0	0.17766	0.01213	0.13834	0.03814	0.00136	-0.07263	0.08553	-0.00022	0.86451
106	20.26563	0	0	0.16363	0.00952	0.12756	0.03661	0.00062	-0.06504	0.08288	-0.00179	0.85927
107	21.40821	0	0	0.14813	0.00867	0.11597	0.03455	0.00111	-0.05844	0.06946	0.00394	0.85567
108	22.95136	0	0	0.14178	0.01299	0.11389	0.03127	0.00041	-0.0592	0.03782	0.03796	0.86054
109	23.38374	0	0	0.14466	0.01328	0.11644	0.03167	0.00014	-0.06057	0.05206	0.02284	0.86114
110	24.67178	0	0	0.13578	0.01166	0.1093	0.03059	-0.00015	-0.05559	0.05834	0.01829	0.85725
111	26.26259	0	0	0.11822	0.00983	0.09507	0.02847	0.00042	-0.04677	0.05716	0.00779	0.85053
112	30.28374	0	0	0.10063	0.01826	0.08857	0.02487	-0.00026	-0.04668	0.06558	0.00294	0.86011
113	32.99822	0	0	0.0841	0.02034	0.07754	0.02091	0.00004	-0.04245	0.06628	-0.00137	0.86494
114	34.13121	0	0	0.08655	0.01983	0.07996	0.02145	-0.00014	-0.04361	0.0665	-0.00619	0.86425
115	34.8474	0	0	0.09162	0.02089	0.08493	0.02312	-0.00038	-0.04555	0.05985	-0.00116	0.86162
116	36.16619	0	0	0.08903	0.02077	0.08212	0.02113	-0.0002	-0.04544	0.06189	-0.00443	0.86679
117	38.68614	0	0	0.07192	0.02833	0.0773	0.02058	-0.00034	-0.0434	0.05968	-0.0025	0.8616
118	38.59513	0	0	0.06491	0.03353	0.07779	0.02118	-0.00004	-0.04314	0.04339	-0.00552	0.85461
119	41.28518	0	0	0.06059	0.02569	0.06991	0.02255	-0.00044	-0.03925	0.03674	0.00494	0.85081
120	42.06285	0	0	0.06085	0.02767	0.07147	0.02216	-0.00034	-0.04026	0.04214	0.00457	0.85309
121	45.11378	0	0	0.05879	0.02621	0.06849	0.02051	-0.00028	-0.03787	0.04604	0.005	0.85148
122	48.1132	0	0	0.05064	0.02118	0.05789	0.017	-0.00042	-0.03158	0.04031	0.00411	0.8487
123	50.60151	0	0	0	0.06849	0.05612	0.0143	-0.00009	-0.03104	0.03951	0.00495	0.84816
124	55.47072	0	0	0	0.0477	0.03906	0.01009	-0.00035	-0.02085	0.02791	0.00335	0.84188
125	57.30569	0	0	0	0.06668	0.05234	0.01368	-0.00058	-0.01356	0.03057	0.00131	0.87587
126	68.42022	0	0	0	0.04595	0.03391	0.00686	-0.00027	-0.00034	0.03847	0.00016	0.91027
127	74.44641	0	0	0	0.03934	0.02834	0.0049	-0.00012	0.00127	0.03804	0.00005	0.9211
128	77.14479	0	0	0	0.04643	0.03311	0.00528	-0.00006	0.00178	0.04497	-0.00003	0.92591

表 4-24 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	17989.359	0.156
D_{CS}	795	16019.901	0.159
D_{WD}	868	14160.624	0.137
D_{YS}	928	16120.964	0.137
N_{Rp}	0.116	0.005	0.635
TD	4.787	0.209	0.096
K	1.053	0.341	0.555
ε_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 4-25 不同變異程度之風險因子統計特性

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}	17989.359	1341.244	670.622	447.081	335.311	268.249
D_{CS}	16019.901	1265.697	632.849	421.899	316.424	253.139
D_{WD}	14160.624	1189.984	594.992	396.661	297.496	237.997
D_{YS}	16120.964	1269.684	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
ε_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 4-26 風險因子變異程度對溢堤風險變化

左岸							
關渡							
變異係數	D	N_{R_p}	TD	K	ε_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_{R_p}	TD	K	ε_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_{R_p}	TD	K	ε_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_{R_p}	TD	K	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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	ε_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 4-27 風險因子排序表

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
ε_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
ε_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 4-28 基隆河流域各斷面左右岸堤防高程

斷面編號	左岸堤防高	右岸堤防高	斷面編號	左岸堤防高	右岸堤防高	斷面編號	左岸堤防高	右岸堤防高
1	6.04	3.54	44	12.89	13.92	87	20.73	24.72
2	5.9	3.49	45	13.14	13.15	88	20.77	22.28
3	5.89	3.64	46	13.16	13.71	89	22.17	21.09
4	5.68	5.04	47	13.2	13.58	90	23.27	23.92
5	5.88	5.34	48	13.43	13.68	91	21.48	20.66
6	6	9.62	49	13.58	13.88	92	20.92	20.99
7	6.12	9.6	50	13.38	13	93	24.53	24.81
8	10.05	5.98	51	13.31	13.29	94	22.33	23.26
9	10.49	10.42	52	13.36	12.79	95	23.57	23.14
10	10.2	9.99	53	13.25	13.26	96	26.17	25.58
11	10.06	10.03	54	13.67	13.38	97	24.19	23.34
12	10.03	10.27	55	13.53	16.93	98	29.55	27.41
13	10.17	9.78	56	15.39	15.24	99	28.78	27.33
14	10.17	9.78	57	13.97	28.52	100	39.88	30.58
15	10.1	10.23	58	14.01	24.63	101	31.26	32

16	10.18	10.18	59	16.38	20.49	102	29.68	37.82
17	10.29	10.29	60	19.92	19.42	103	30.12	36.95
18	10.67	10.43	61	17.76	20.39	104	39.38	37.99
19	10.89	10.5	62	17.12	18.86	105	45.36	35.69
20	12.93	10.93	63	14.9	14.65	106	42.14	38.43
21	11	11.04	64	14.79	14.98	107	38.4	38.52
22	11.6	10.89	65	17.52	16.99	108	39.29	39.31
23	11.07	10.94	66	15.12	14.77	109	39.84	39.45
24	11.08	10.24	67	18.68	15.99	110	39.88	42.57
25	10.93	11.08	68	15.37	17.53	111	41.97	42.06
26	11.14	11	69	16.83	15.81	112	44.43	45.11
27	11.32	11.07	70	17.2	17.95	113	42.5	44.12
28	11.4	11.08	71	17.91	17.91	114	46.55	45.5
29	10.25	11.14	72	17.77	17.14	115	47.21	51.31
30	11.4	11.15	73	17.82	17.98	116	53	52.31
31	11.56	11.43	74	19.95	22.28	117	53.19	51.13
32	11.61	12.24	75	18.59	18.77	118	52.78	52.37
33	11.62	11.5	76	23.39	19.01	119	51.92	55.37
34	11.73	11.75	77	19.9	19.65	120	54.79	55.45
35	11.75	12	78	19.9	19.08	121	54.37	63.24
36	14.03	12.95	79	19.4	19.44	122	57.65	56.76
37	12.08	11.99	80	19.98	19.29	123	61.8	62.95
38	12.05	12.18	81	19.51	19.26	124	67.62	65.38
39	13.94	12.2	82	23.3	20.69	125	77.77	73.16
40	12.58	12.22	83	20.17	19.84	126	91.77	87.52
41	12.85	12.85	84	20.42	20.19	127	89.46	88.1
42	12.85	11.94	85	20.37	21.39	128	98.5	96.88
43	12.96	13.96	86	20.86	18.43			

表 4-29 不同出水高之溢堤風險

左岸				
出水高型式	關渡	中山橋	五堵	員山子
出水高 0m	0.7665	0.1143	0.7102	0.0218
出水高 0.5m	0.3383	0.0464	0.6359	0.0040
出水高 1m	0.0590	0.0172	0.5625	0.0005
出水高 1.5m	0.0034	0.0060	0.4912	0.0000
右岸				
出水高型式	關渡	中山橋	五堵	員山子
出水高 0m	1.0000	0.4559	0.8739	0.0003
出水高 0.5m	1.0000	0.2424	0.8053	0.0000
出水高 1m	1.0000	0.0999	0.7220	0.0000
出水高 1.5m	0.9987	0.0329	0.6306	0.0000



圖 4-1 基隆河流域概況

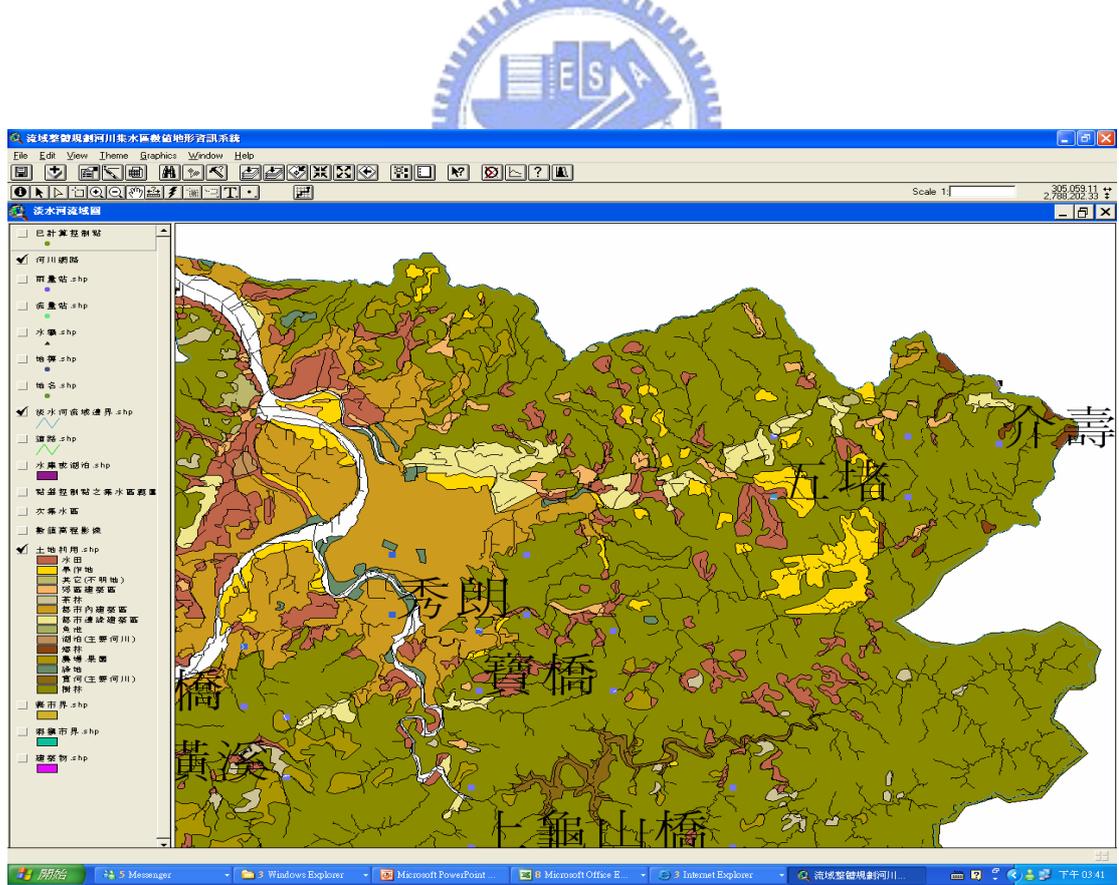


圖 4-2 基隆河流域土地利用狀況

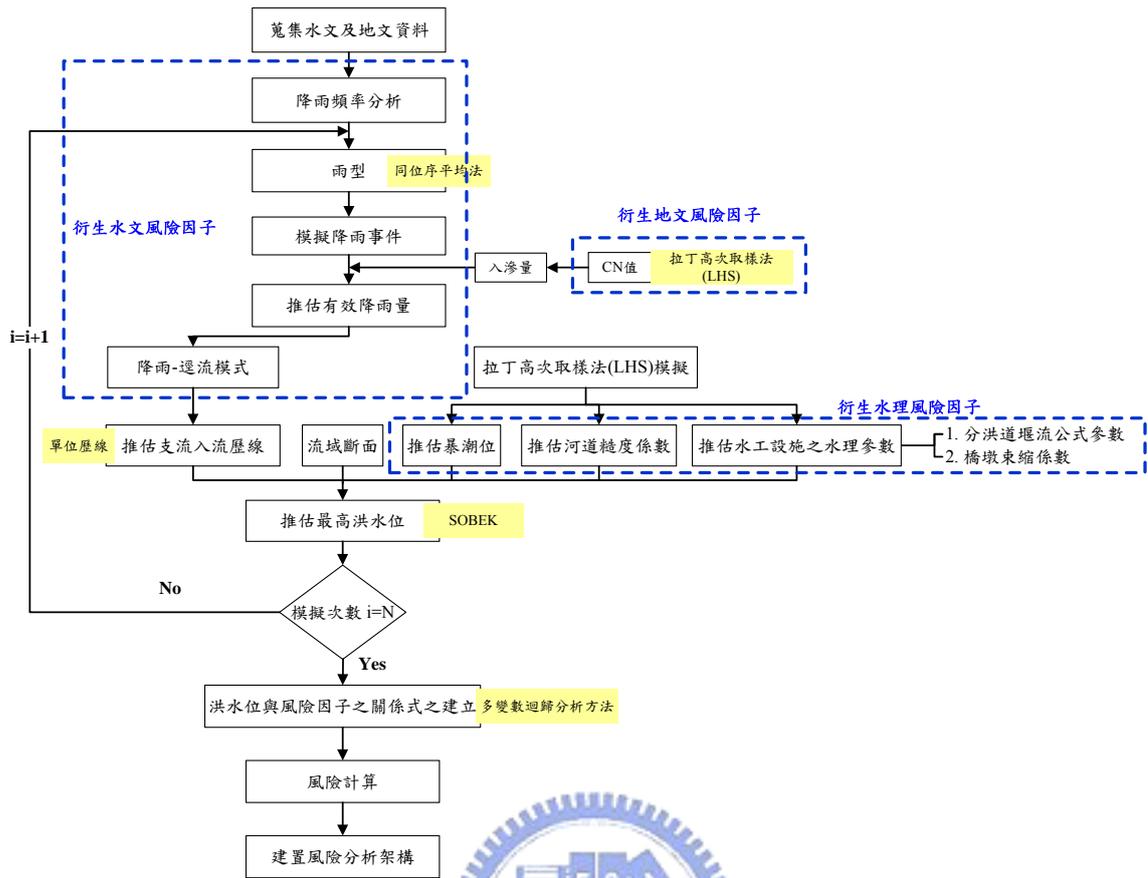


圖 4-3 风险分析架構之應用流程圖

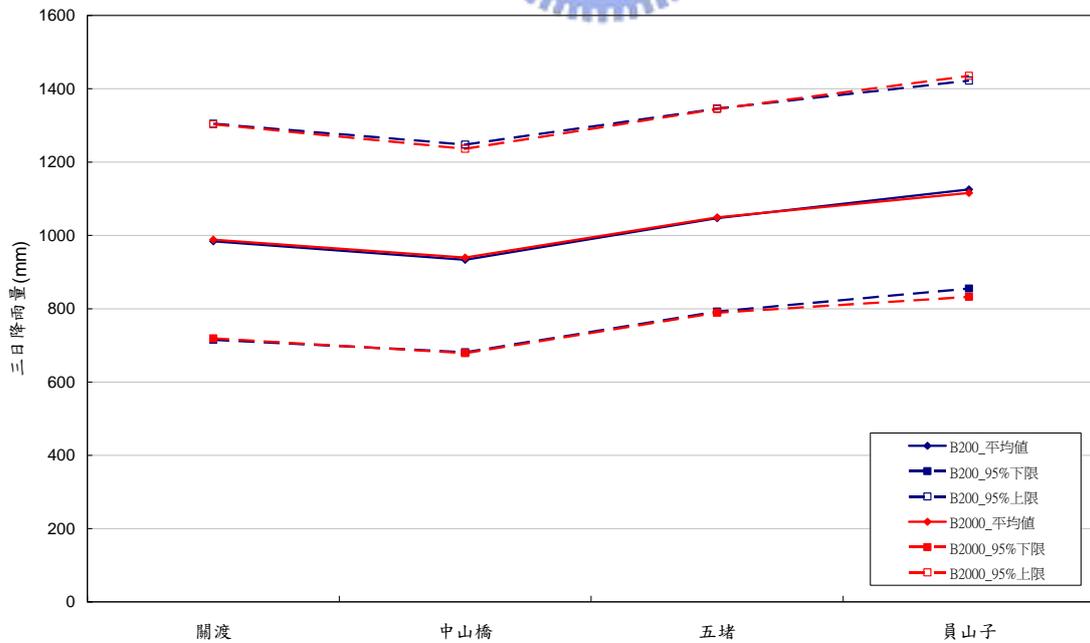


圖 4-4 基隆河流域各控制點 200 年三日降雨量統計分析結果

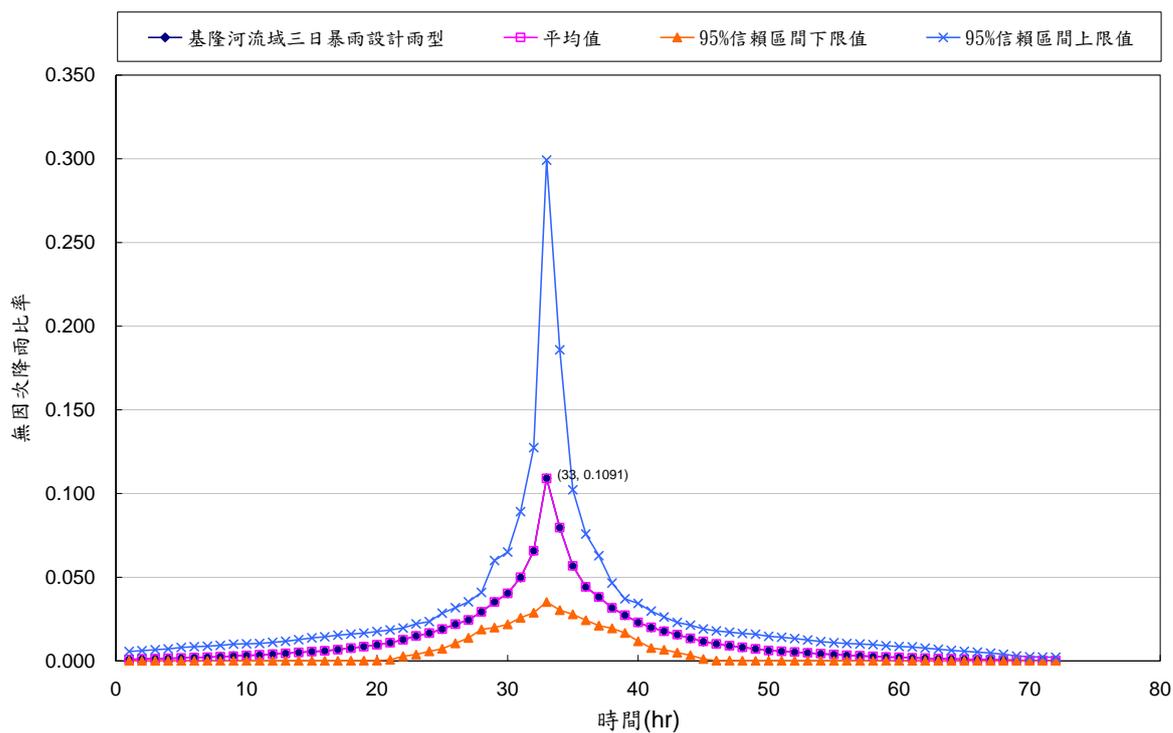


圖 4-5 基隆河流域三日雨型比較圖

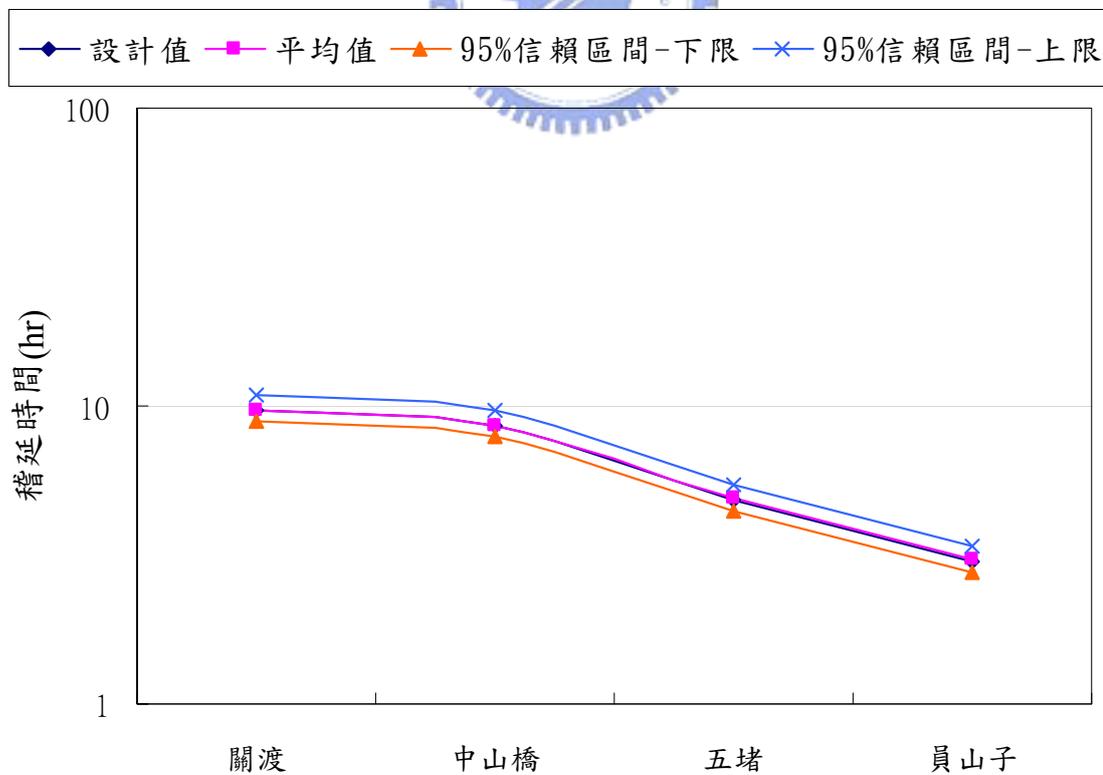


圖 4-6 稽延時間統計特性(標準偏差為 0.05)

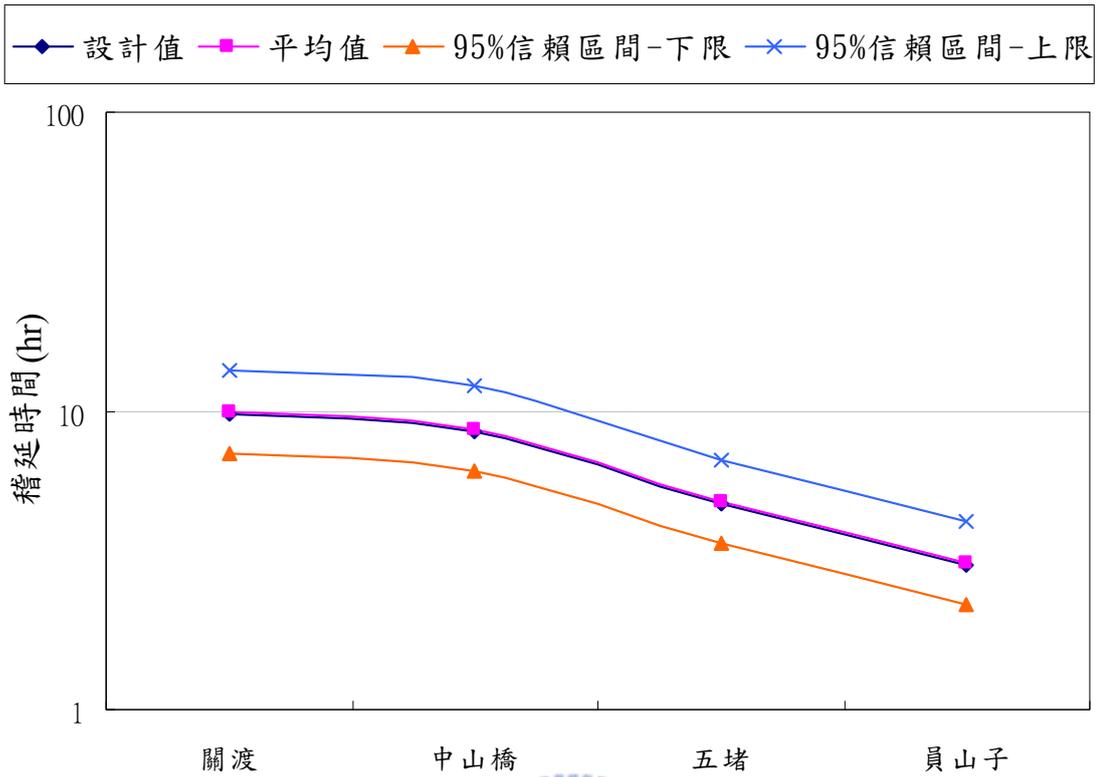


圖 4-7 稽延時間統計特性(標準偏差為 0.15)

註:本研究最後採用標準偏差為 0.15 者。

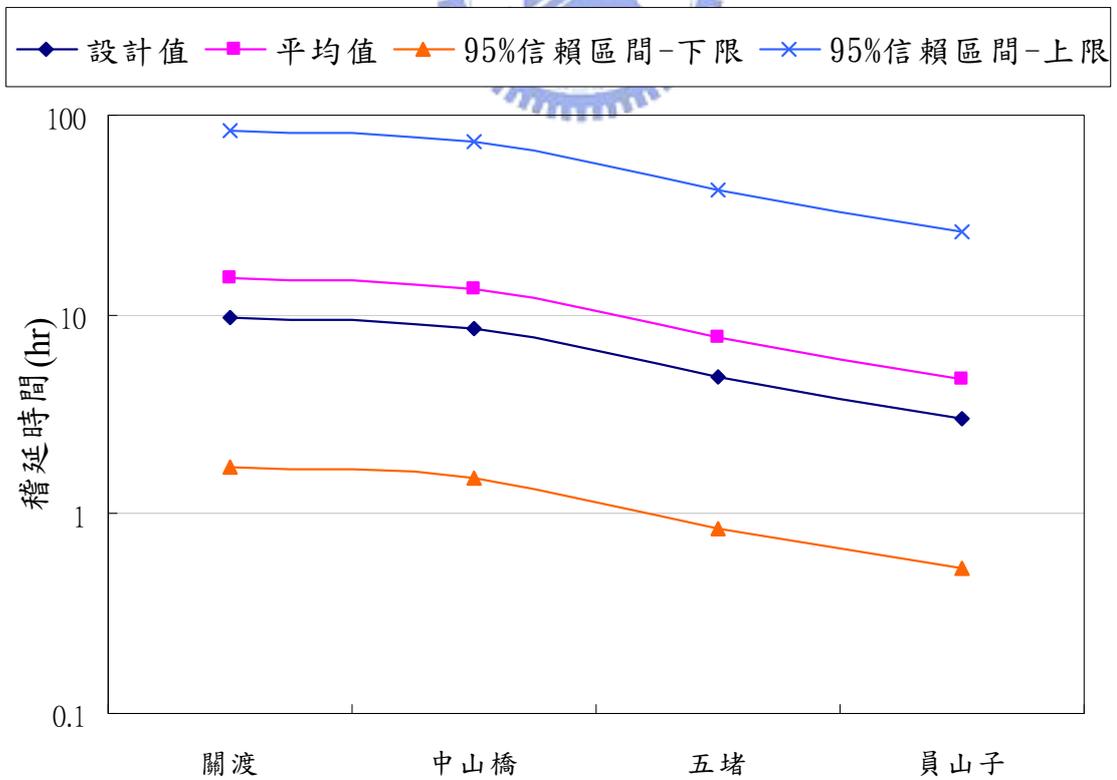


圖 4-8 稽延時間統計特性(標準偏差為 1)

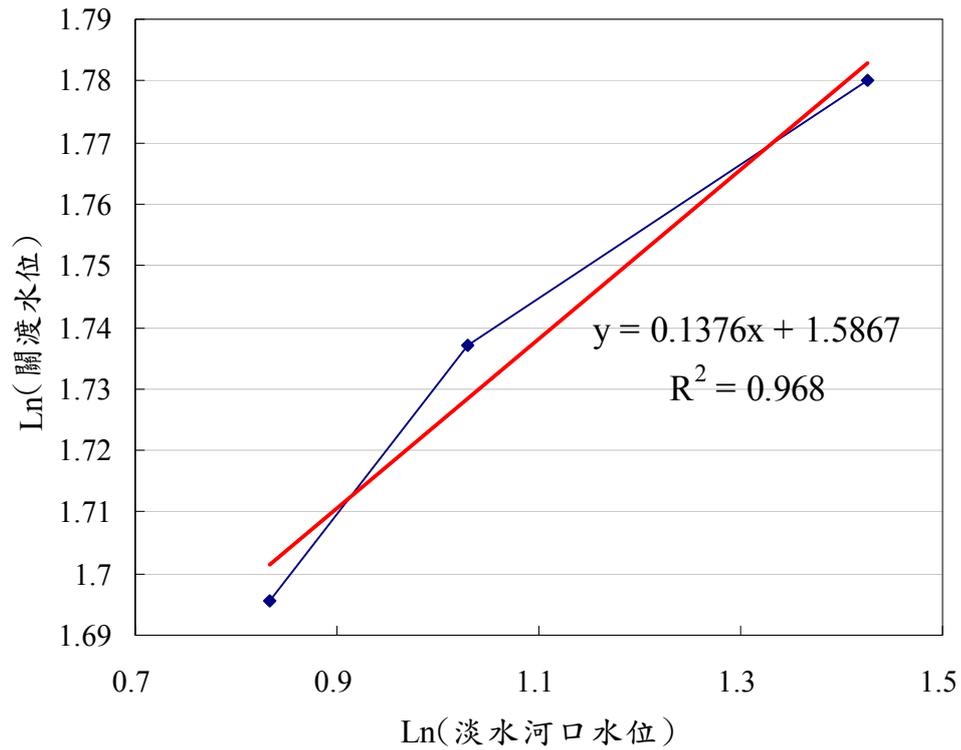


圖 4-9 淡水河口與關渡水位關係圖

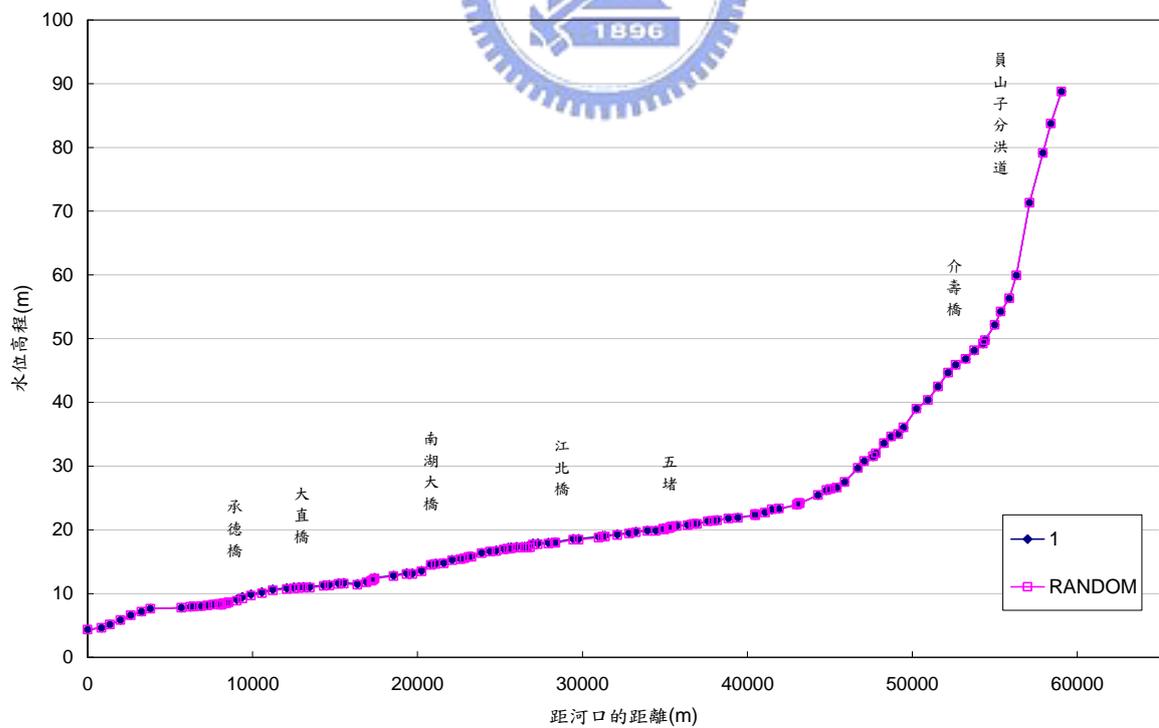


圖 4-10 改變橋墩束縮係數之最高洪水水位圖

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。

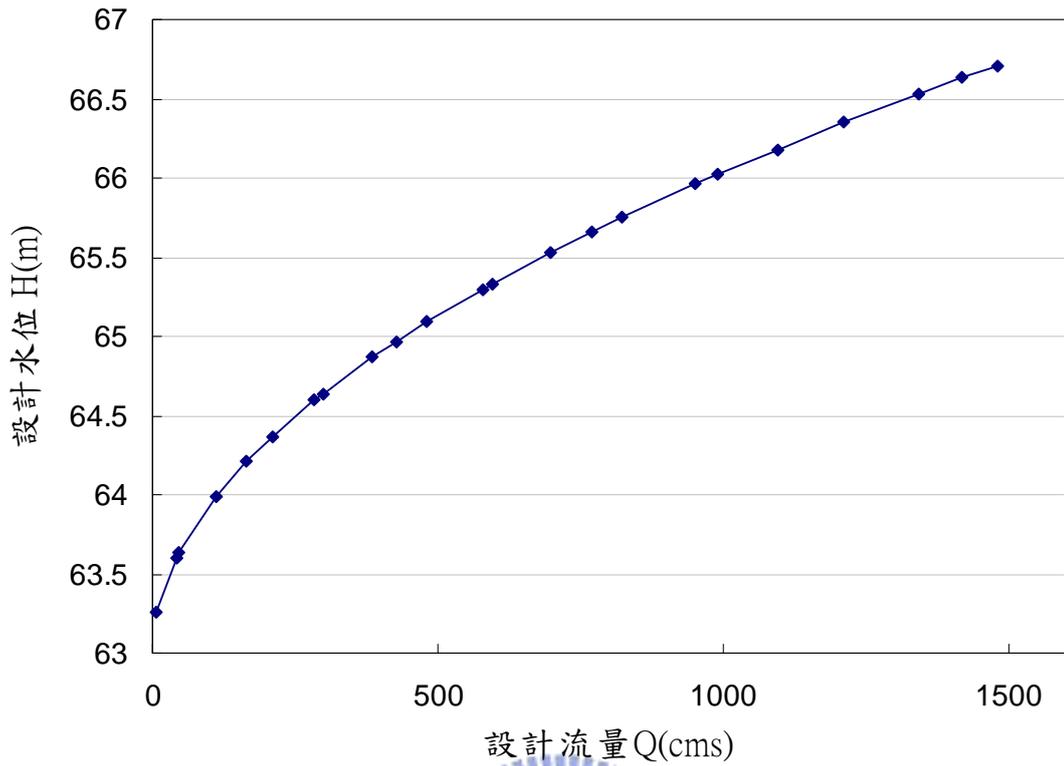


圖 4-11 員山子分洪堰水位流量率定曲線圖

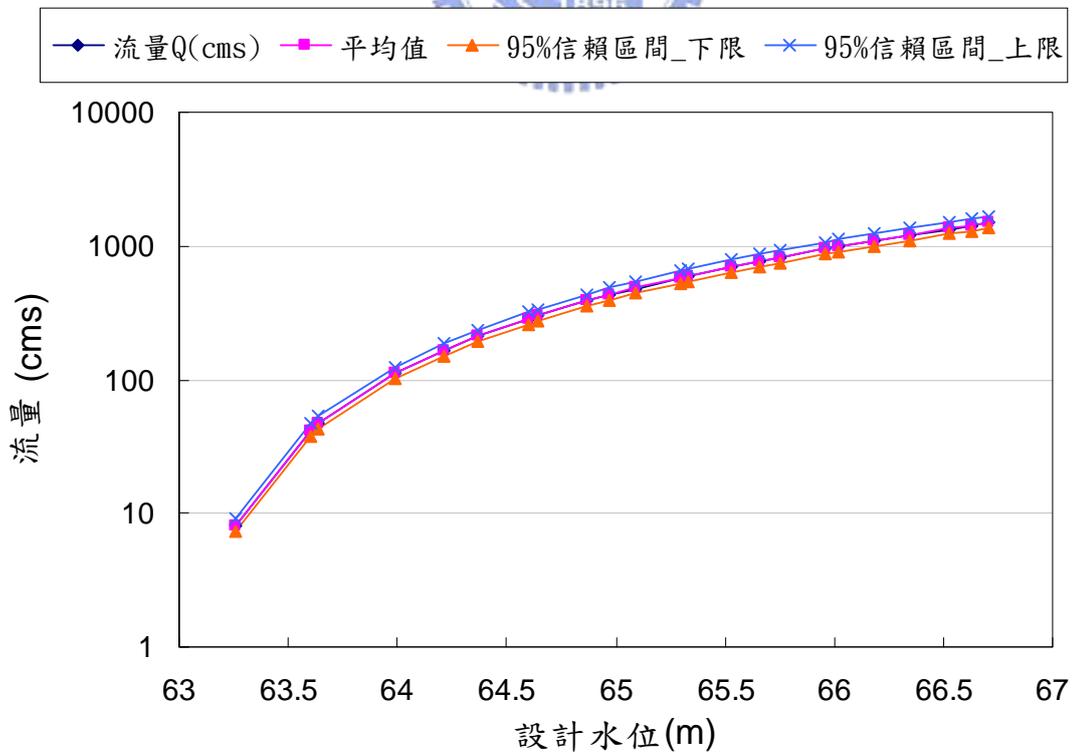


圖 4-12 分洪堰流量統計特性(標準偏差為 0.05)

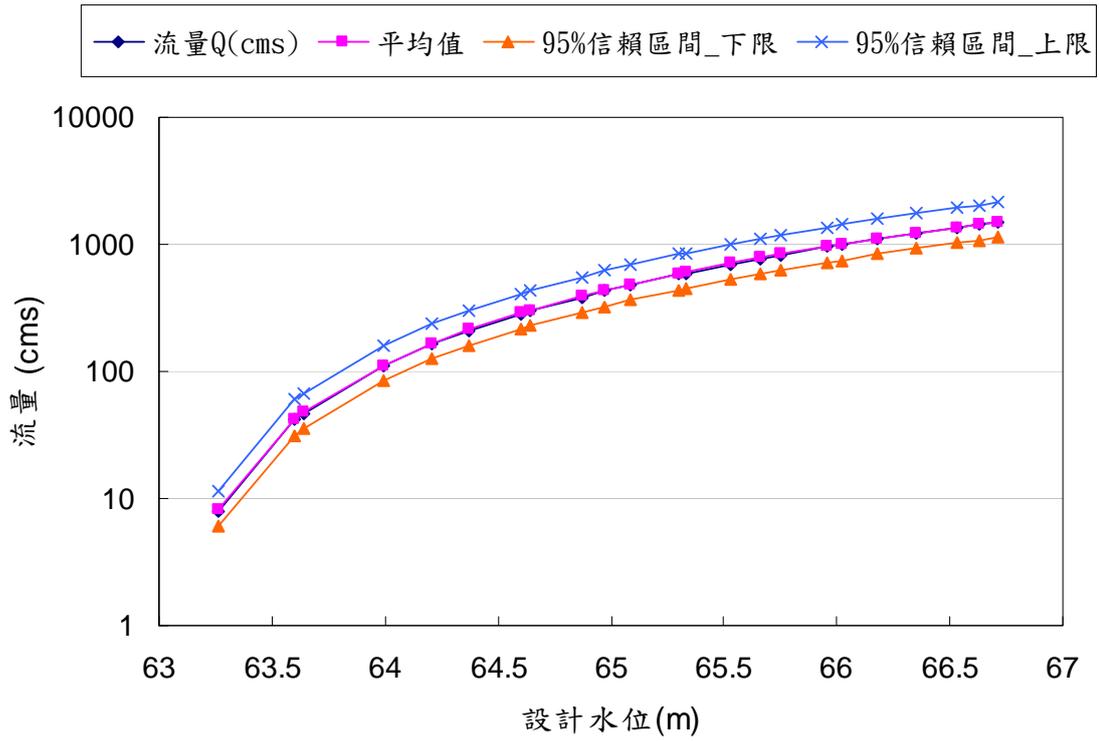


圖 4-13 分洪堰流量統計特性(標準偏差為 0.15)

註:本研究最後採用標準偏差為 0.15 者。

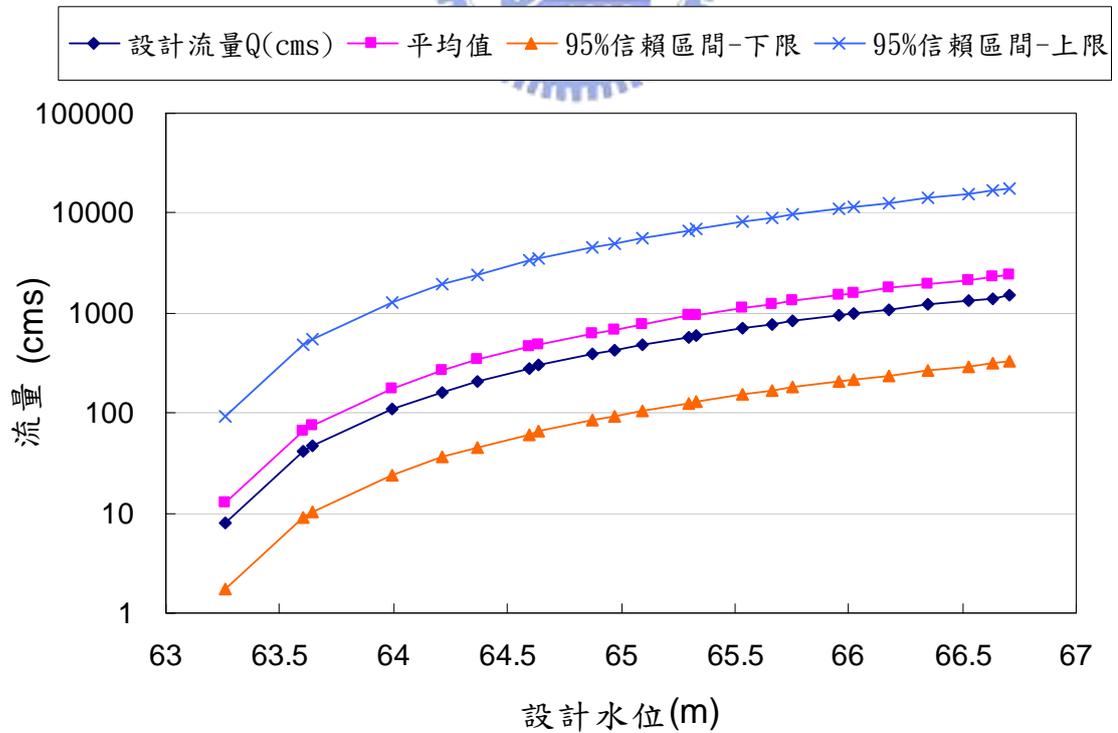


圖 4-14 分洪堰流量統計特性(標準偏差為 1)

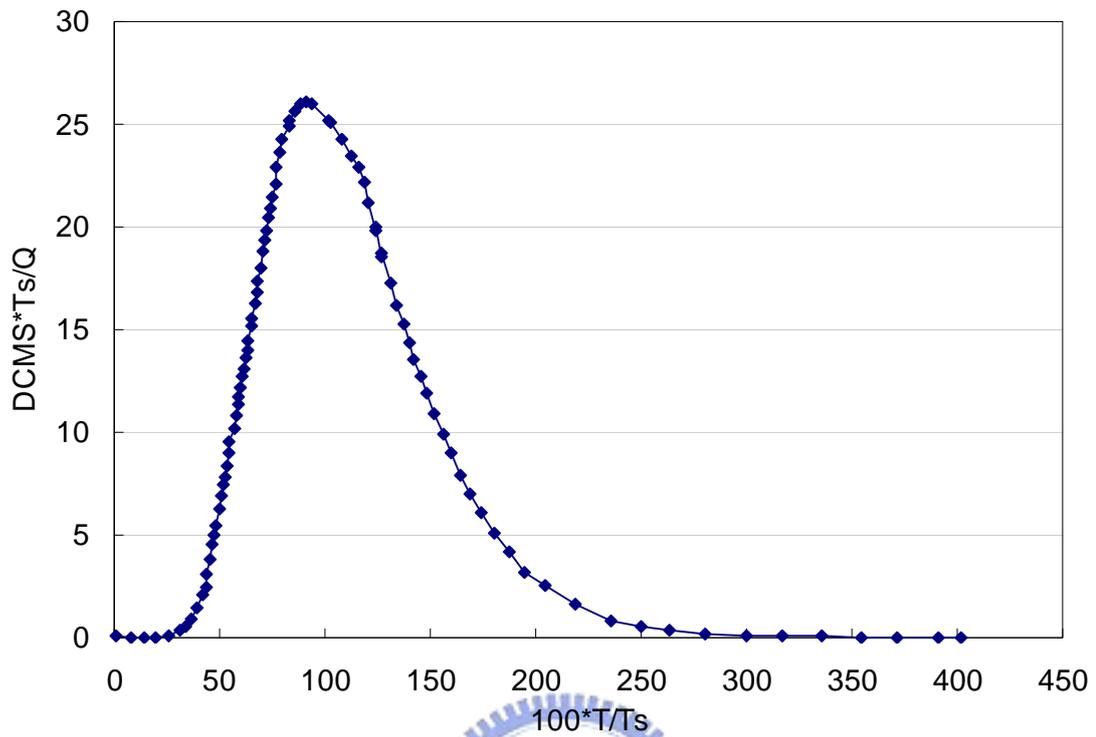


圖 4-15 基隆河流域無因次單位歷線

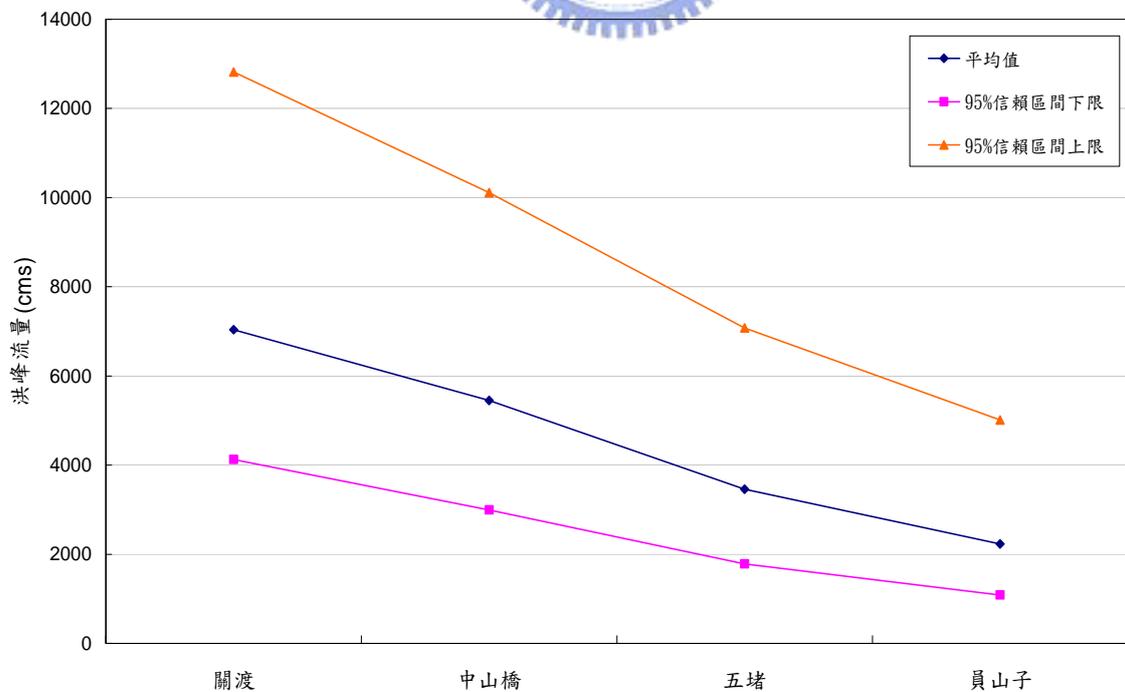


圖 4-16 基隆河流域各控制點 200 年洪峰流量統計分析結果

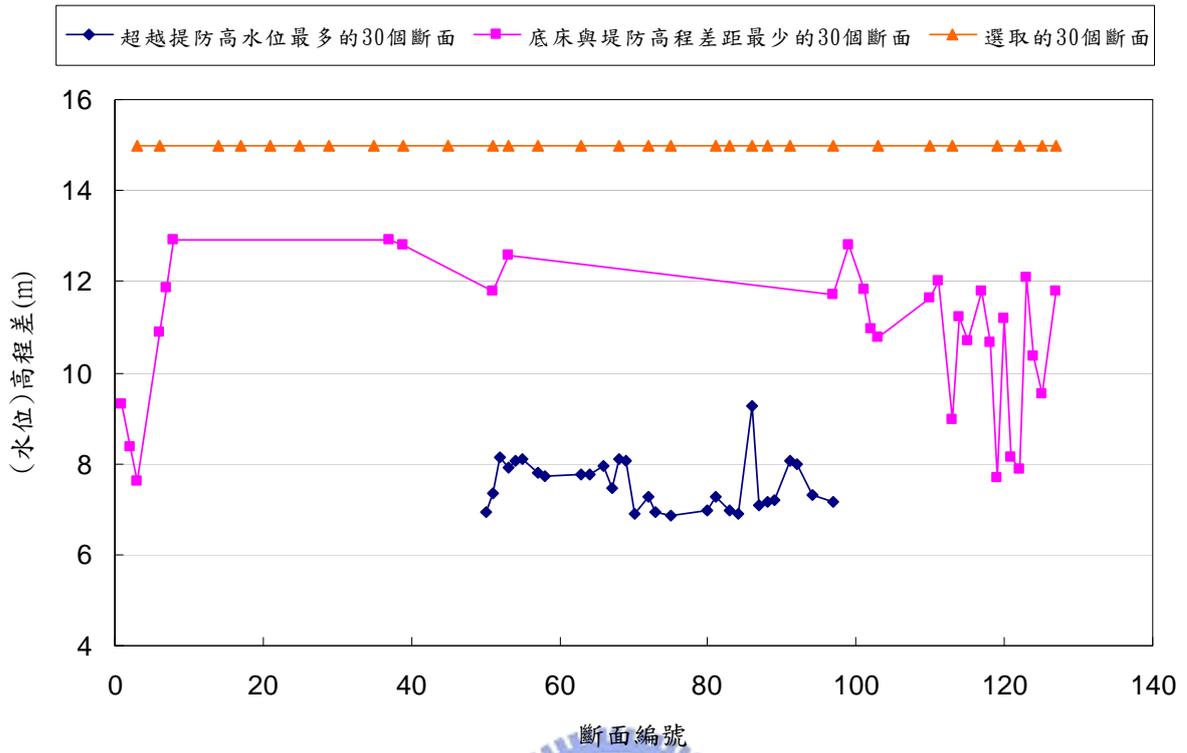


圖 4-17 逐步迴歸分析選取断面

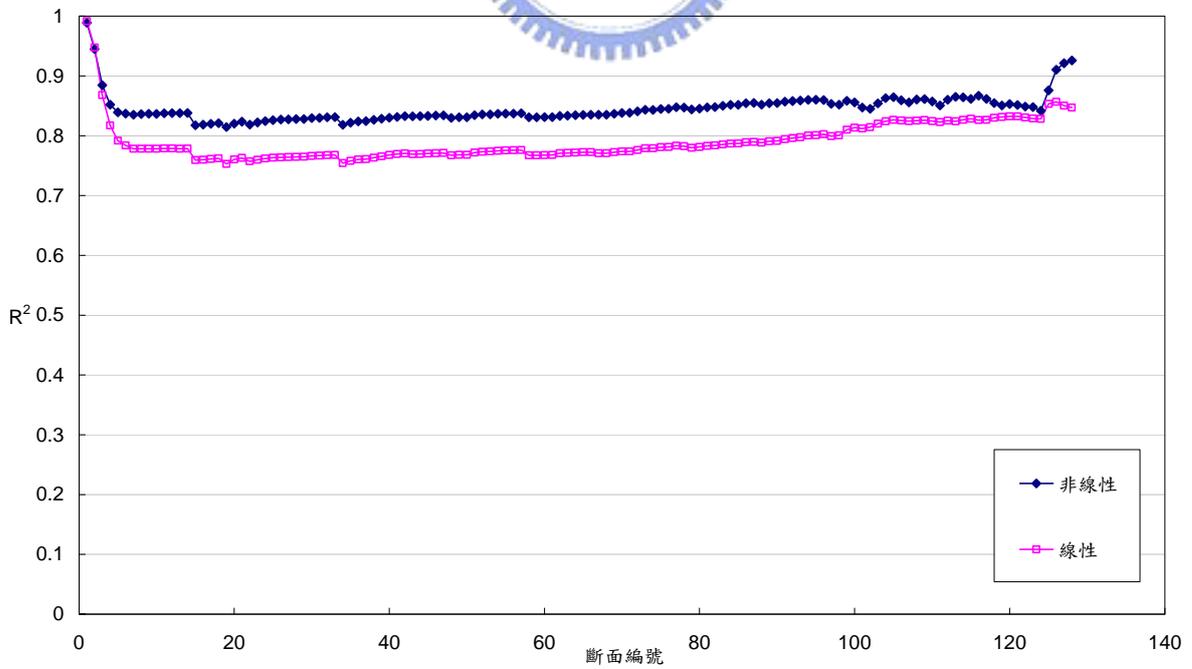


圖 4-18 不同型態之各断面最高洪水水位與風險因子關係式 R² 值

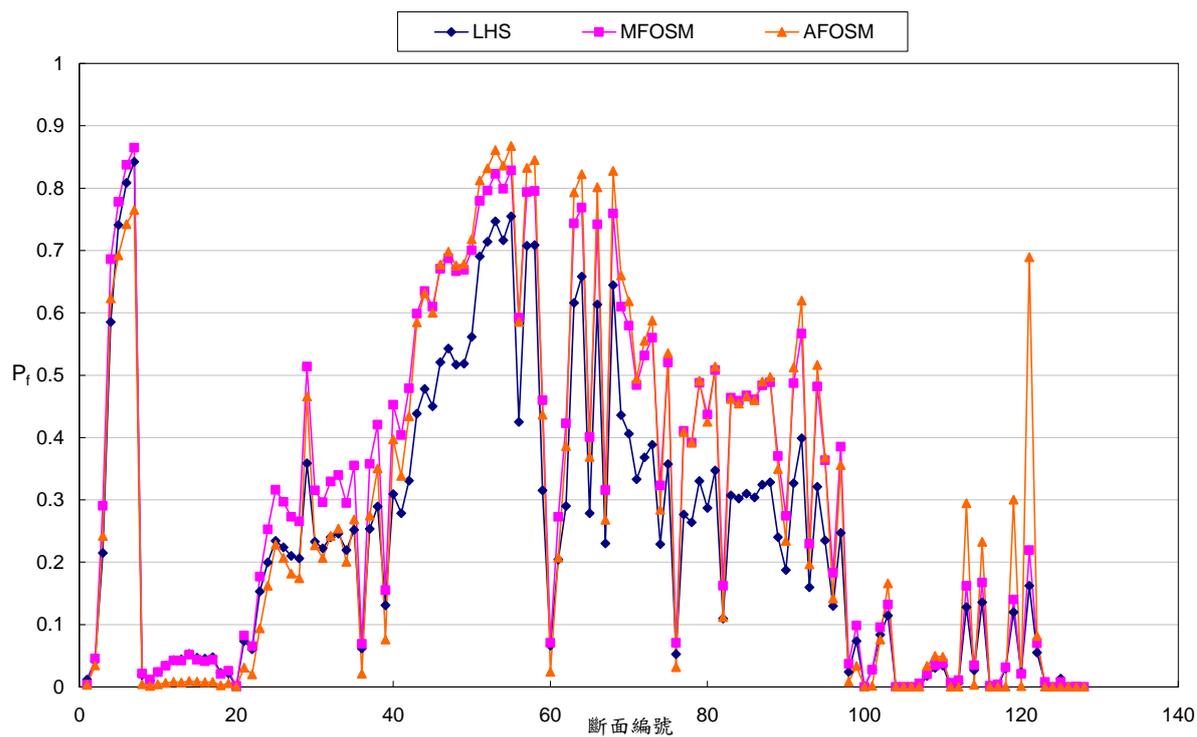


圖 4-19 不同不確定性分析方法對左岸堤防之 P_f

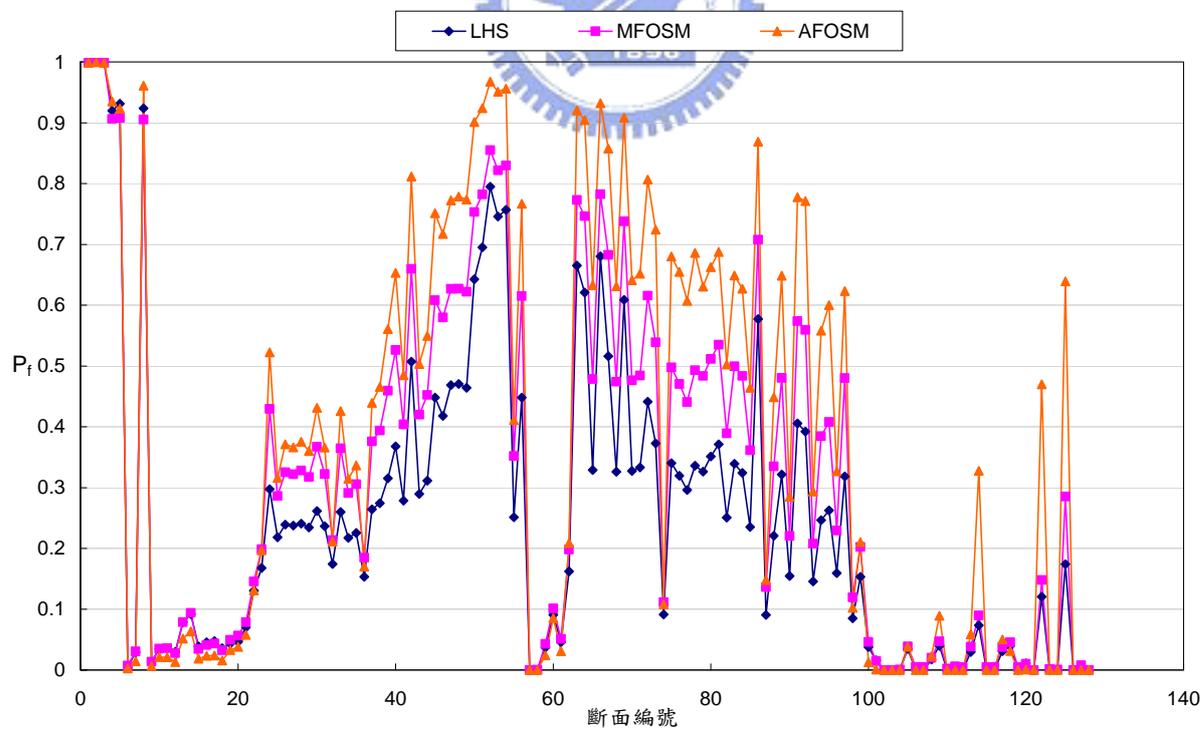


圖 4-20 不同不確定性分析方法對右岸堤防之 P_f

(1) 左岸

(2) 右岸

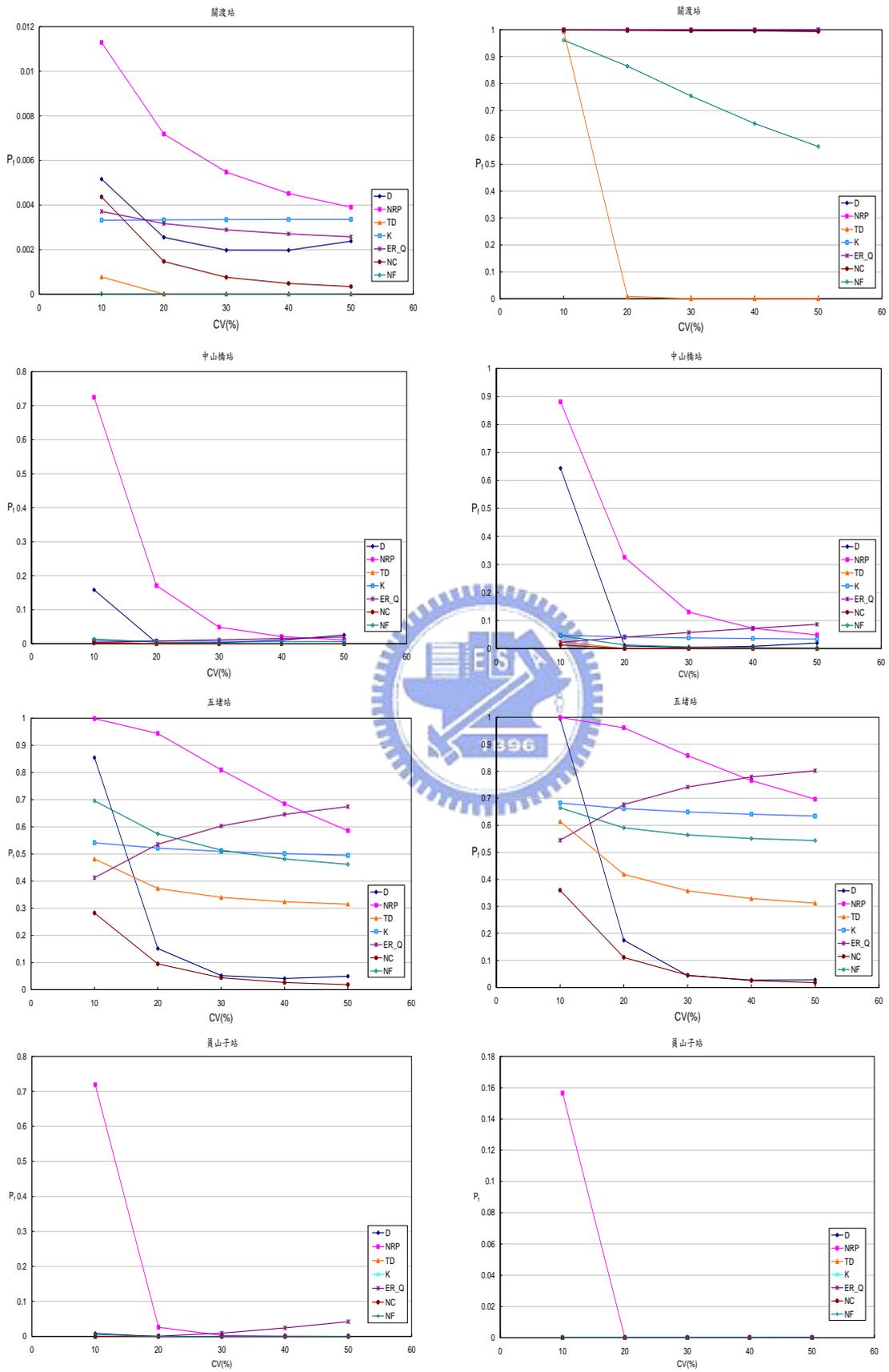


圖 4-21 風險因子變異程度對溢堤風險變化

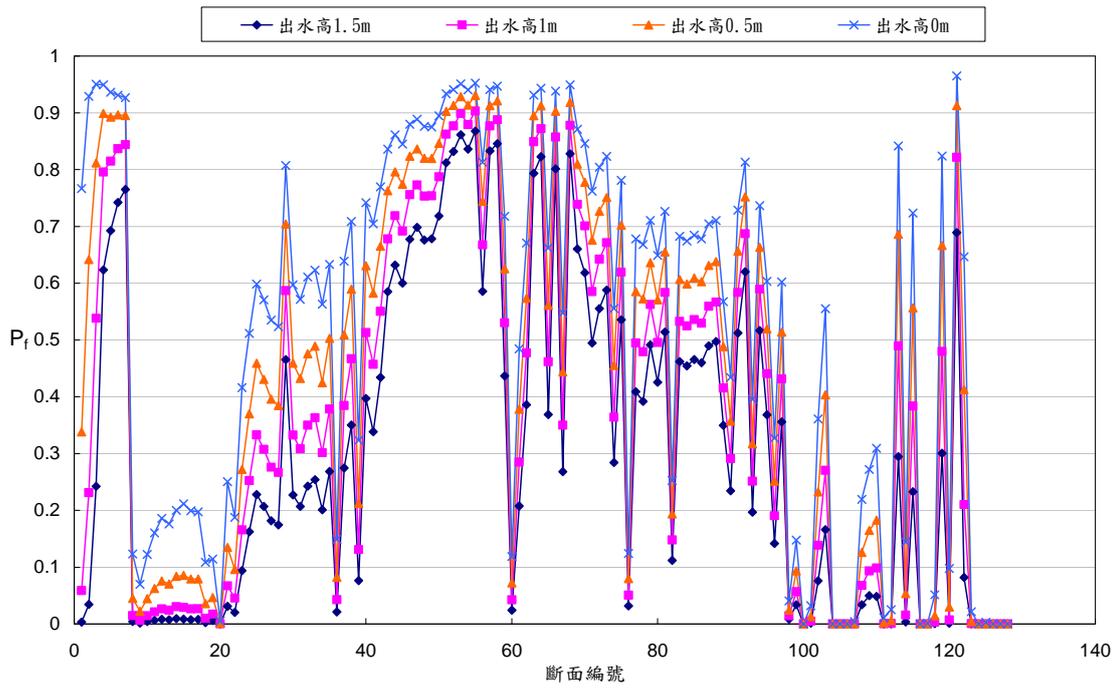


圖 4-22 不同出水高對左岸堤防溢堤機率之比較

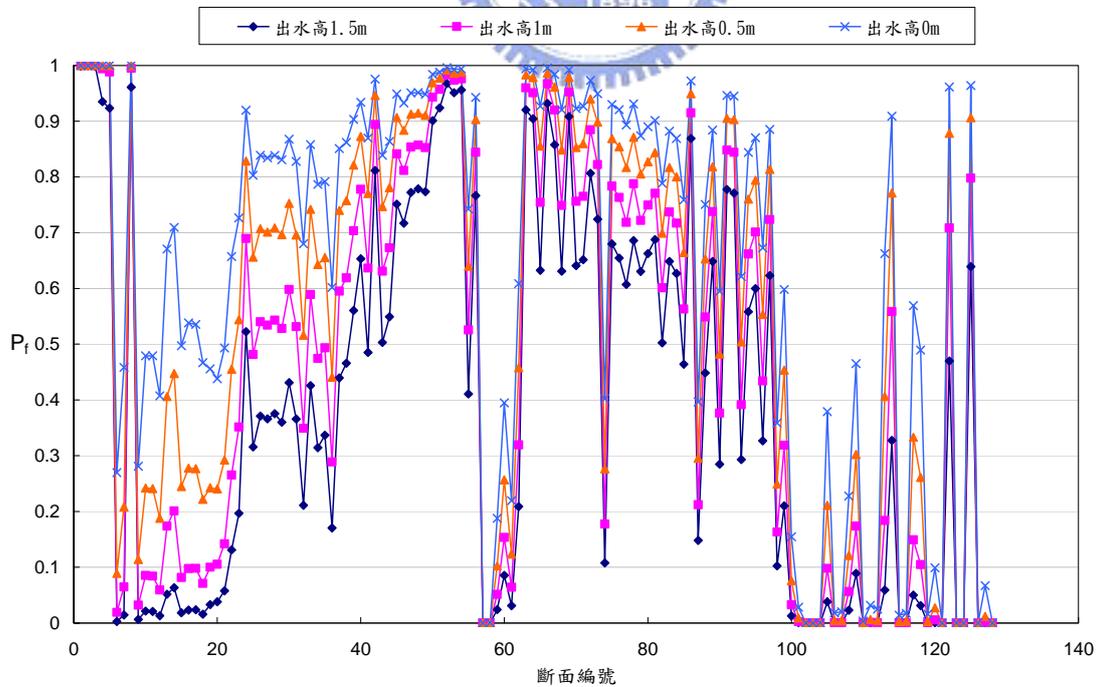


圖 4-23 不同出水高對右岸堤防溢堤機率之比較

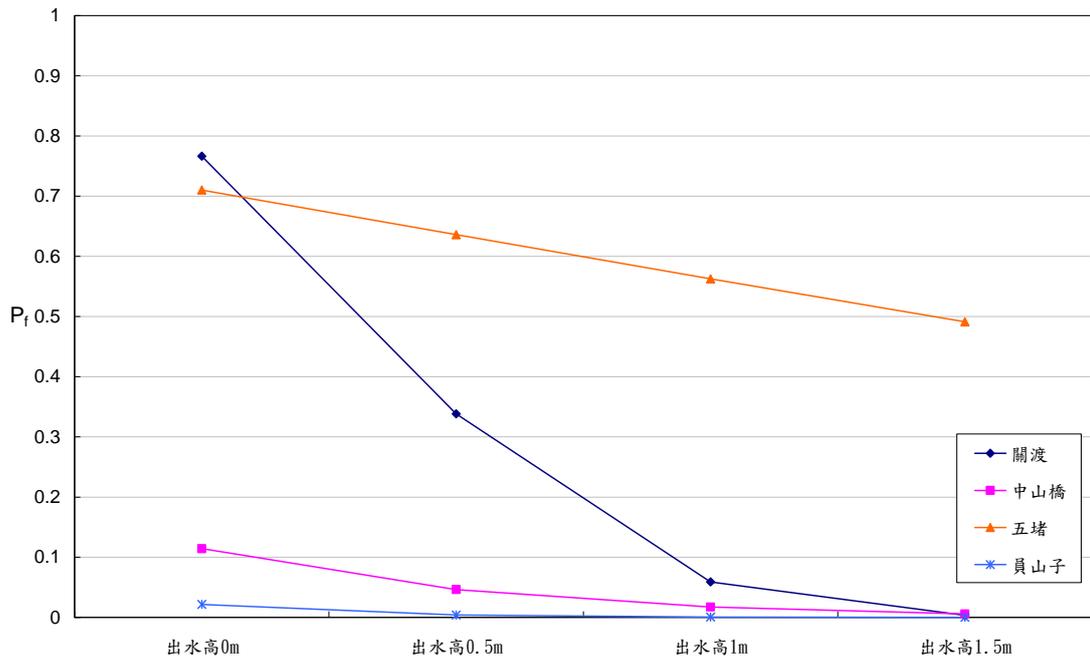


圖 4-24 四個控制點不同出水高對左岸堤防溢堤機率之比較

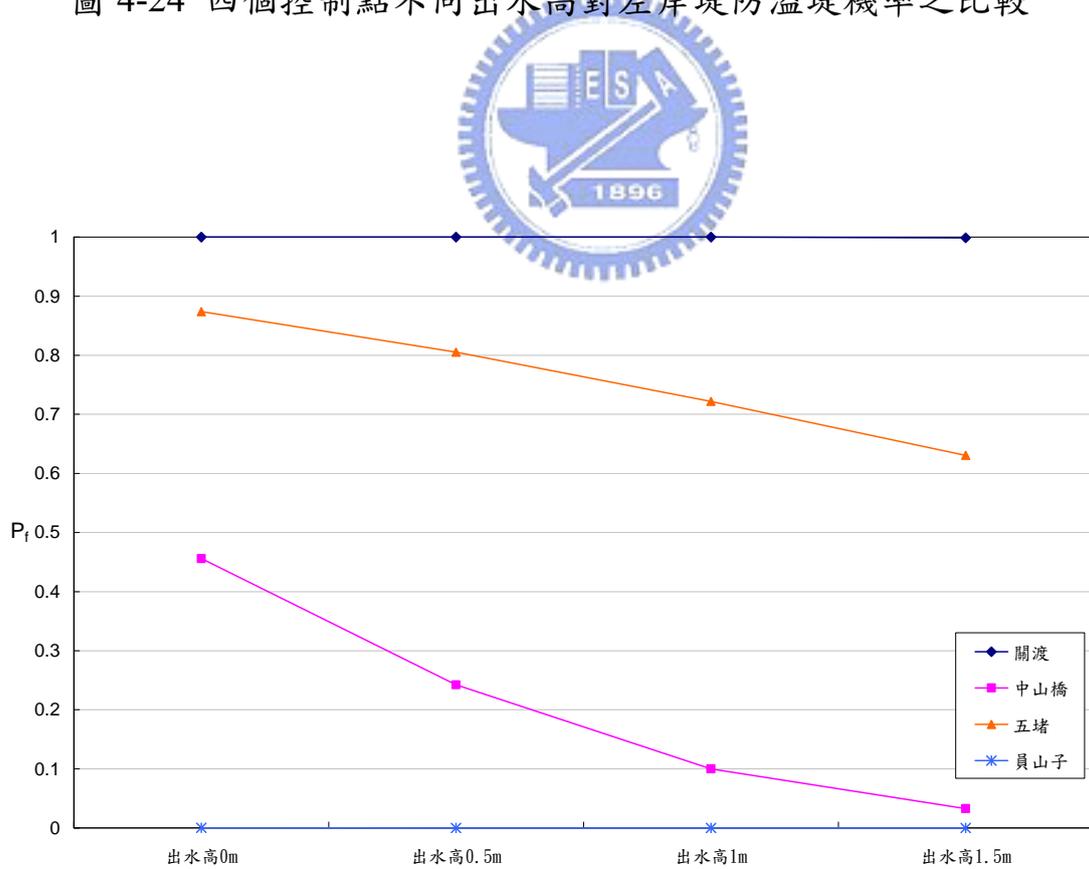
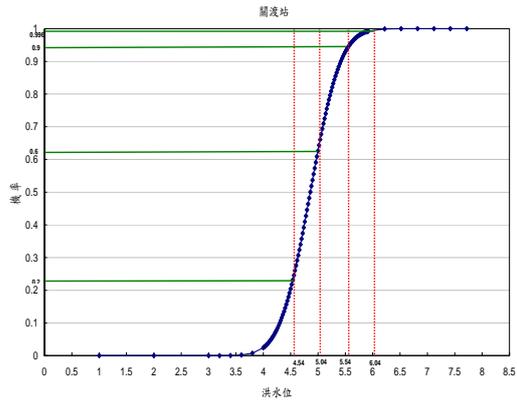


圖 4-25 四個控制點不同出水高對右岸堤防溢堤機率之比較

(1) 左岸



(2) 右岸

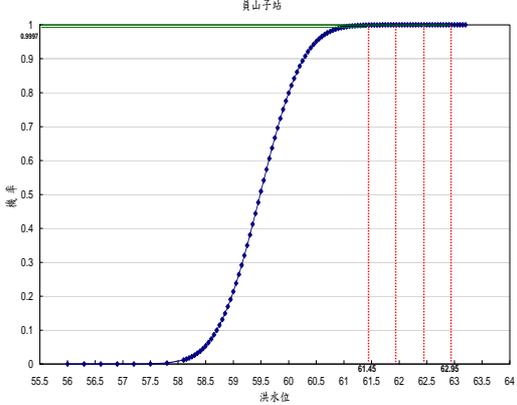
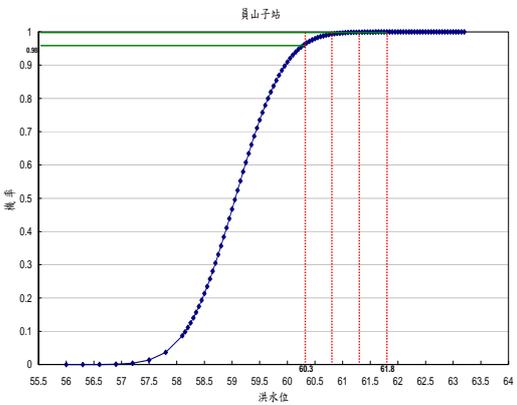
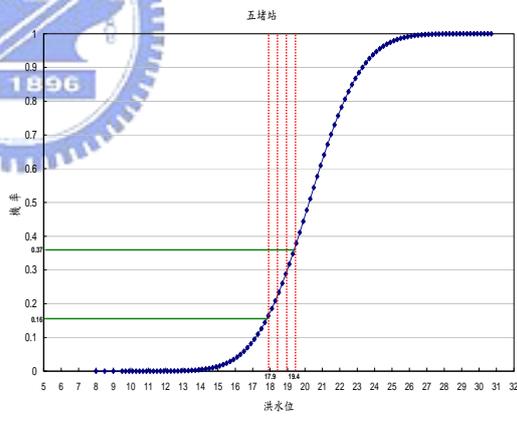
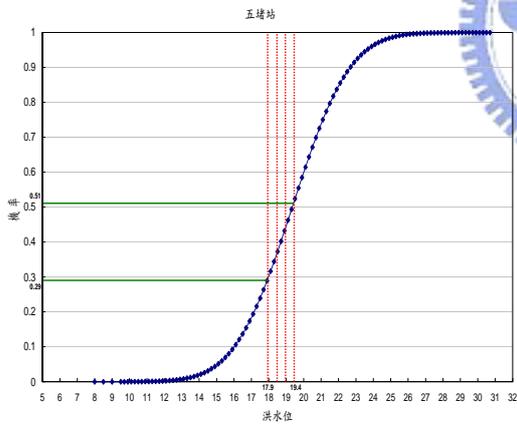
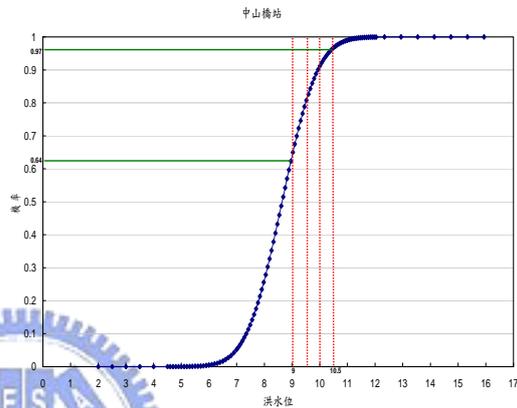
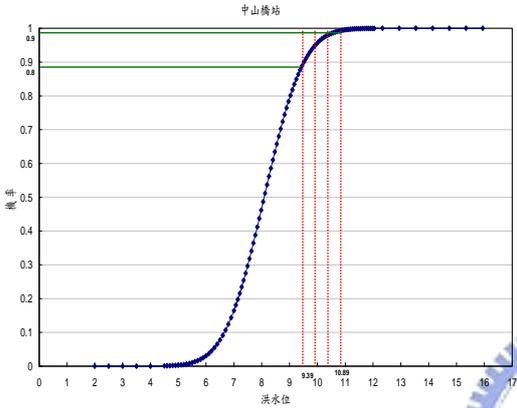
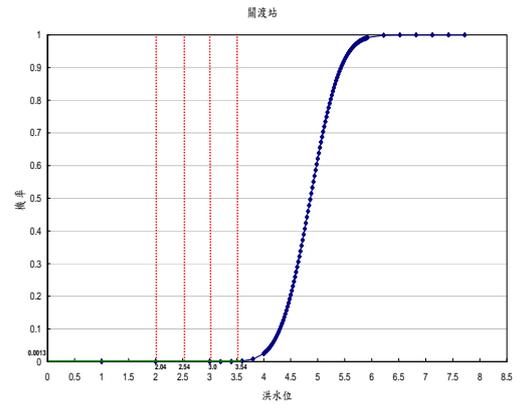


圖 4-26 四個控制點之洪水位累積分佈函數圖

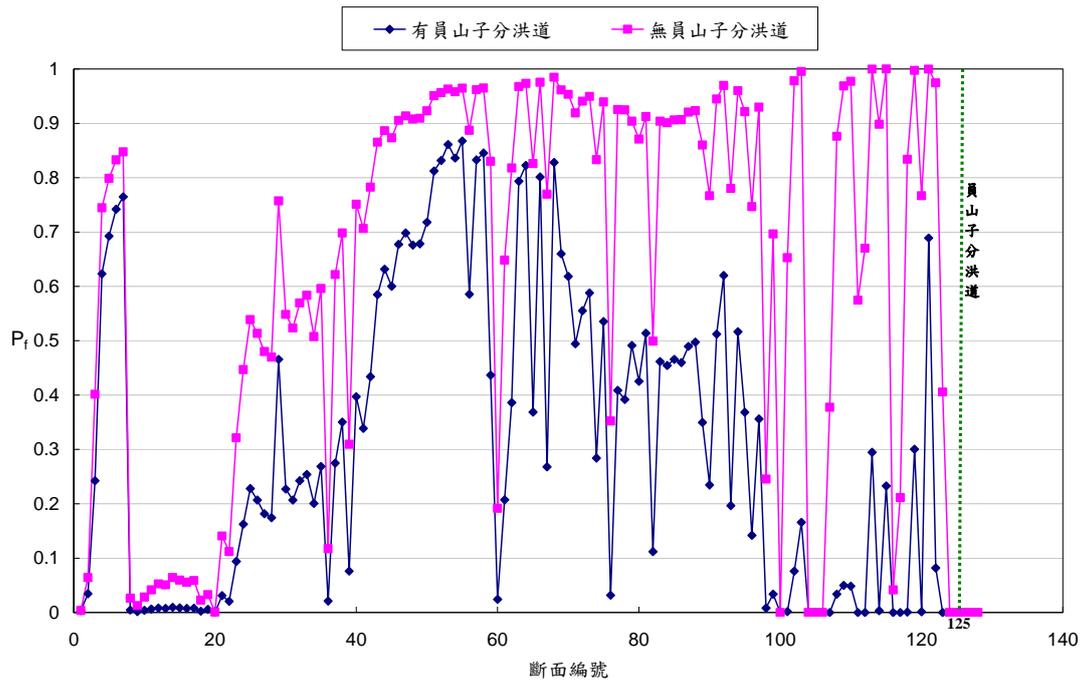


圖 4-27 有無考量員山子分洪道對左岸堤防之 P_f

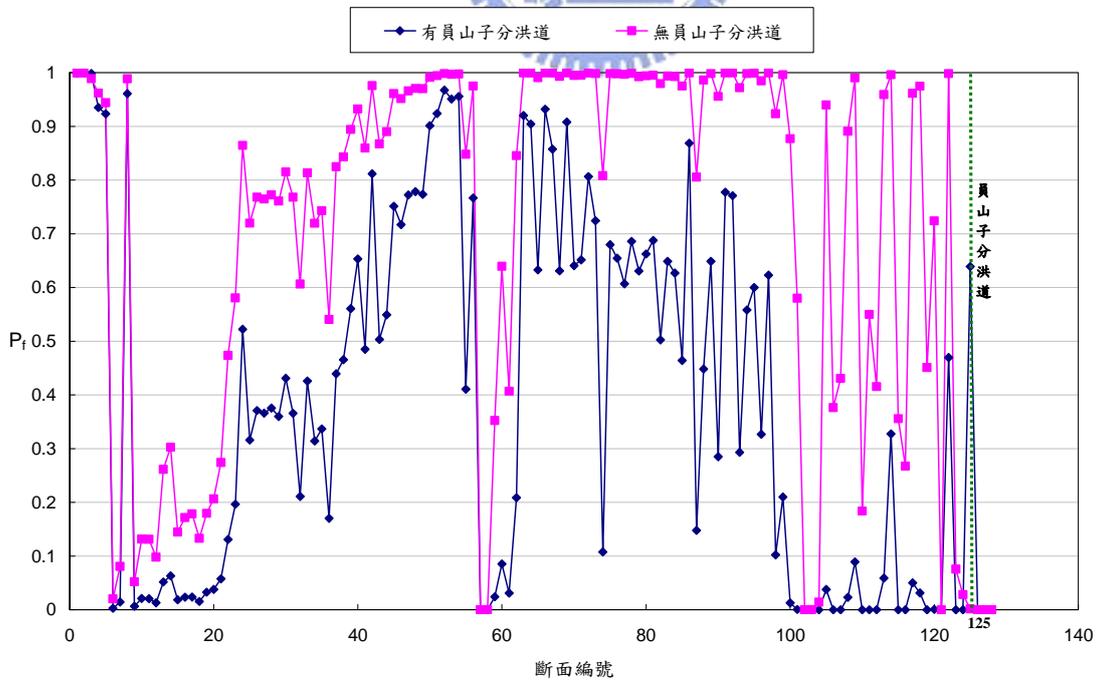


圖 4-28 有無考量員山子分洪道對右岸堤防之 P_f

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究分別針對前人在風險分析之相關研究、風險分析架構之建置，風險因子之分析與衍生，以及基隆河為案例之實際應用等作詳細之敘述，本章將針對本研究之成果作一總結，並提出建議以作為後續研究之參考。

1. 本研究根據經濟部水利署各種河川治理規劃手冊所列之水文水理分析過程中，界定在特定重現期距(保護標準)之最高洪水位可能超越堤防高程(即溢堤)之風險因子，藉以決定風險分析架構所需考量之風險因子，其可區分為：

- (1) 水文因子：包含設計降雨量、雨型，與水文模式參數。
- (2) 水理因子：包含起算水位、水工設施水理參數，與河道糙度係數。
- (3) 地文因子：包含土地利用及植被。

並依此建立河防構造物防洪功能之風險分析架構主要包括四大步驟：(一)風險因子之衍生；(二)推估最高洪水位；(三)最高洪水位與風險因子關係式之建立；(四)風險計算。

2. 由 4.2.3 節之各風險因子逐步迴歸分析結果可知水文模式參數($\varepsilon_{T_{log}}^*$)對最高洪水位之影響程度最小，而最大無因次降雨比率(N_{R_p})與 200 年之降雨量(D)影響程度較大。故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河防構造物。

3. 由 4.2.4 節建立最高洪水位與風險因子關係式與 4.3.1 節不確定性分析方法之比較結果顯示，採用非線性關係式可得到較高的 R^2 ，故可得到較符合實際情況之最高洪水位變化趨勢。另高等一階二矩法(AFOSM)，由於可求得造成溢堤情況發生之破壞點，故可得到實際會發生溢堤之風險，因此為較適宜應用於堤防溢堤之風險分析。

4. 評估各風險因子對堤防防洪能力之影響程度，由風險分析結果顯示，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風險值會呈現相同的趨勢。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大之風險因子，而橋墩束縮係數為影響程度最小之風險因子。
5. 由堤防不同出水高之比較結果顯示增加出水高可有效提高防洪功能之可靠度，但隨其所在位置不同，其成效也有差異。其中在關渡站及員山子站，左岸增加 1.5m 出水高之成效較右岸顯著，但對五堵站與中山橋站而言，右岸之成效反而高於左岸。
6. 評估員山子分洪道設置對堤防溢堤風險之比較結果顯示，在員山子分洪道未完工前，汐止、五堵地區在保護標準(重現期距 200 年)下可能承受之溢堤風險較高。而設置員山子分洪道平均可降低約 33% 之溢堤風險。

5.2 建議

1. 基隆河下游屬感潮河段，但本研究目前僅考量定量流之情況，故後續可針對起算水位受迴水及潮汐影響進行探討。
2. 由於降雨機率分佈型態之不同，可能會對洪水水位之推估造成影響，故未來可將降雨機率分佈之不確定性納入考量。
3. 本研究目前未考量河道斷面受河川沖淤效應，但因河道斷面之變化對洪水水位具有一定程度之影響，未來可將河道斷面列為風險因子進行分析，使得分析結果可更趨近河道實際狀況。
4. 本研究主要針對基隆河 200 年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進行分析，以求得堤防在不同重現期距下之溢堤風險，進而求得堤防年可靠度。

參考文獻

1. 鄧家駒，「風險管理」，華泰書局，民國 87 年 8 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. 經濟部水利署，「基隆河整體治理計畫」，民國 91 年 4 月。
4. 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。
5. 經濟部水利署，「基隆河流域治理規劃檢討」，民國 94 年 3 月。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「河川治理及環境營造規劃參考手冊」，民國 95 年 6 月。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 田振宏，「風險分析在水利工程之應用— 以明德水庫潰壩為例」，中華工學院，民國 82 年 6 月。

- 15.杜俊明，「河堤溢流風險之解析」，國立成功大學水利及海洋工程學研究所碩士論文，民國 87 年 6 月。
- 16.林景義，「石門水庫潰壩風險分析之研究」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 81 年 6 月。
- 17.吳國儒，「堤防溢流風險分析」，國立成功大學水利及海洋工程學研究所碩士論文，民國 80 年 6 月。
- 18.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。
- 19.吳建德，「水庫最佳安全檢查週期之建立-以石門水庫溢頂風險為例」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 92 年 6 月
- 20.陳榮松，「削減水文參數不確定性之堤防風險分析」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，民國 76 年 5 月。
- 21.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。
- 22.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。
- 23.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。
- 24.黃志元，「壩堤洪水溢流之風險及不確定性分析」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，民國 79 年 6 月
- 25.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。
- 26.黃承傑，「專案進度風險分析模式—考慮不確性作業之影響」，國立高雄第一科技大學營建工程系碩士論文，民國 91 年 12 月。
- 27.黃哲宗，「應用系統動態學建立水患風險評估模式之研究」，台灣科技

大學營建工程系碩士論文，民國 94 年 7 月。

28. Apel, H. et al., Flood risk assessment and associated uncertainty. *Nazards and Earth System Science*, 4(2), 295-308, 2004.
29. Borgman, L.E. , “Risk Criteria” , *Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE*, Vol. 89, No. WW3, pp.1-35, Aug. 1963 .
30. 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.
31. Duckstein, L. and I. Borgardi, “Application of Reliability Theory to Hydraulic Engineering Design”, *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 107, No. HT7, pp.799-815, July. 1981.
32. 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.
33. Pappenderger, F., Harvey, H., Romanowicz, R. and Smith, P., “Risk & Uncertainty Tools and Implementation.” *Technological Report*, Lancaster University, 2005.
34. Rackwitz, R., and B. Fiessler, “Structural reliability and combined random load sequences”, *Comput. Struc.*, 9, 489-494, 1978.
35. Soil Conservation Service, *National Engineering Handbook, Hydrology*, U. S. Dept. of Agriculture, available from U. S. Government Printing Office, Washington, D, 1972.
36. 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.
37. Tung, Y.K. and Yen, B.C., *Hydrosystems engineering uncertainty analysis*. McGraw Hill, New York, 2005.
38. 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.
39. Wood, E.F., *Analysis of Flood Levee Reliability*”, *Water Resources*

- Research, Vol.13, No.3, pp.665-671, June.1977.
40. 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.
41. 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.
42. Yen, B. C., "Risks in hydrologic design of engineering projects", *Jour. Hydraul. Div. , ASCE , 96 (HY4) : 959-966, 1970.*
43. 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.*
44. Yen, B.C., and Tang, W.H., "Risk-Safety Factor Relation for Storm Sewer Design", *J. of Environmental Engineering Division, ASCE, Vol.102, No.EE2, pp.509-516, April 1976.*
45. 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.*
46. 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.*
47. 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.*