

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 90-2211-E-032-022

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：蕭政宗 淡江大學水資源及環境工程學系

共同主持人：

計畫參與人員：李皓志 淡江大學水資源及環境工程學系

羅啟文 淡江大學水資源及環境工程學系

一、中文摘要

自然環境中之水文極端事件，例如洪水，其發生無可避免且經常造成巨大的災害及生命財產損失。台灣地區河流短促、坡陡流急，颱風暴雨經常帶來巨大的洪峰，為保護都會區免受洪水氾濫之苦，防洪工程的規劃設計多需要洪水頻率分析。然而，觀測資料的不足，使得長時距迴歸期洪水的推估往往不夠精確且備受爭議。本計畫的目的為探討洪水頻率分析中推估不同迴歸期洪水時可能產生的誤差，所進行的研究課題主要包括洪水極端事件機率分佈的選擇、紀錄期間長短對洪水推估的影響等。本計畫以台灣南部之八掌溪流域為例說明之。

關鍵詞：頻率分析、迴歸期

Abstract

The occurrences of natural hazards such as floods are inevitable and always cause severe damages and life losses. In Taiwan, short and steep rivers associated with typhoons and storms always bring great flood peak. Flood frequency analysis is used as the design criterion of flood control measures. However, short recorded data cause the error of estimation of long recurrence interval floods. In this study, error analysis of extreme flood estimation of differing recurrence interval is presented. The influences of probability distribution and

differing recorded period are included in this study. Finally, the proposed methodology is applied to the Pachang River as an example for illustration.

Keywords: Frequency Analysis, Return Period.

二、緣由與目的

自然環境中所發生的水文極端事件 (extreme events)，例如洪水或乾旱，經常造成巨大的災害及生命財產損失，因此水利工程師在面對此類天然災害的威脅時，在水工結構物的規劃設計階段就必須對水文極端事件的影響詳加考量，以謀求減少災害損失的對策。所以不論是溢洪道排洪量的設計、堤防堤寬提高的決定、供水系統的穩定度等，水文極端事件的發生頻率是重要的決定因素之一，因此，頻率分析 (frequency analysis) 已成為現今水資源工程不可或缺的規劃設計實務之一。然而觀測資料的不足，使得不同迴歸期水文量的推估隱含著不確定性，而此不確定性可能使得水工結構物面臨失敗的風險或是經濟上的損失，例如溢洪道排洪量的低估可能造成潰壩、高估河川流量可能造成供水的不穩定等。因此水資源工程規劃設計時不僅需要頻率分析，更需要瞭解頻率分析的風險。

頻率分析的主要目的是經由機率分佈 (probability distribution) 的應用將水文資料中極端事件的強度與其相對應之發生頻率結合。亦即由紀錄的水文資料中建立迴歸

期(recurrence interval)與極端事件發生強度之機率分佈，進而推估不同迴歸期之水文極端事件強度以作為水工結構物規劃設計時之參考。一般而言，由於水文資料之紀錄期限往往不長，在推估短時距迴歸期之洪水尚可得到較準確的結果，但若用於推估長時距迴歸期之洪水，特別是超過水文資料之紀錄期限，則必須考慮到推估所隱含之風險。造成推估不同迴歸期洪水量誤差的原因有許多，包括資料長度的不足、洪水理論機率分佈的選擇、機率分佈參數推估方法的不同、離異點(outlier)的判定及處理等，都可能造成不同迴歸期洪水推估的誤差。因此如何評估洪水頻率分析中各步驟可能產生的誤差是不可或缺的重要項目。

本計畫將著重於水文極端事件之極大值，即洪水，的頻率分析，亦即本計畫之目的為探討洪水頻率分析中推估不同迴歸期洪水時可能產生的誤差，本計畫所進行的研究課題主要包括洪水極端事件機率分佈的選擇、紀錄期間長短對洪水推估的影響等，並將之應用於台灣南部地區之八掌溪流域。

三、結果與討論

(一) 資料蒐集

本計畫蒐集八掌溪流域觸口、軍輝橋、常盤橋、義竹等四流量站自 1950 年至 2001 年間之年最大瞬時洪水量及發生時間，此四流量站之年最大瞬時洪水量比較如圖 1 所示。

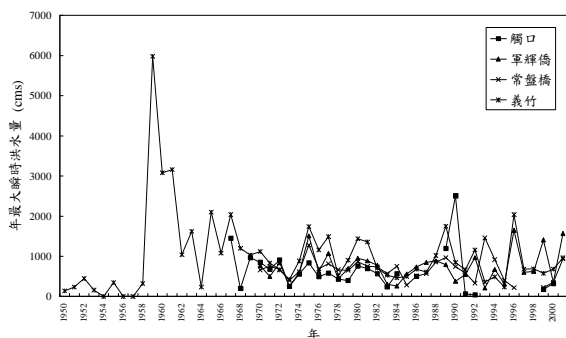


圖 1 八掌溪流域觸口、軍輝橋、常盤橋、義竹等四流量站 1950 年至 2001 年間年最大瞬時洪水量

(二) 洪水事件機率分佈及參數推估

洪水事件屬於極端事件，對於應以何種機率分佈來代表並不存在有一致性的看法[1]。較常用來代表洪水事件的機率分佈有 lognormal、Pearson Type III、log Pearson Type III 及 Gumbel 等分佈，各機率分佈之機率密度函數(probability density function)及其平均值與變異數(variance)如下[2]：

1. lognormal 分佈：

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\sigma^2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{\ln(x) - \bar{y}}{t_y}\right)^2\right] \quad (1)$$

其中 $K = \ln(X)$ ；

\bar{y} 、 t_y 為 y 之平均值與標準偏差；

lognormal 分佈之平均值與變異數如下：

$$\bar{x} = e^{-\bar{y} + t_y^2/2} \quad (2)$$

$$t_x^2 = e^{2\bar{y} + t_y^2} (e^{t_y^2} - 1) \quad (3)$$

2. Pearson Type III 分佈：

$$f(x) = \frac{1}{r\Gamma(s)} \left(\frac{x - \chi}{r}\right)^{s-1} e^{-\frac{x-\chi}{r}} \quad (4)$$

其中 Γ 為 gamma 函數；

r 、 s 、 χ 為參數；

Pearson Type III 分佈之平均值與變異數如下：

$$\bar{x} = \chi + rs \quad (5)$$

$$t_x^2 = r^2 s \quad (6)$$

3. log-Pearson Type III 分佈：

$$f(x) = \frac{1}{r\chi\Gamma(s)} \left(\frac{\ln(x) - \chi}{r}\right)^{s-1} e^{-\frac{\ln(x) - \chi}{r}} \quad (7)$$

其中 Γ 為 gamma 函數；

r 、 s 、 χ 為參數；

log-Pearson Type III 分佈之平均值與變異數如下：

$$\bar{x} = \frac{e^\chi}{(1-r)^s} \quad (8)$$

$$t_x^2 = e^{2\chi} \left[\left(\frac{1}{1-2r}\right)^s - \left(\frac{1}{1-r}\right)^{2s} \right] \quad (9)$$

4. Gumbel 分佈：

$$f(x) = r e^{-r(x-s)} - e^{-r(x-s)} \quad (10)$$

其中 r 、 s 為參數；

Gumbel 分佈之平均值與變異數如下：

$$\bar{x} = s + \frac{0.5772}{r} \quad (11)$$

$$f_x^2 = \frac{f^2}{6r^2} \quad (12)$$

Gumbel 分佈之偏態係數(coefficient of skew)為常數，約為 1.14。

上述機率分佈均需推估其參數，常用之參數推估方法有動差法(method of moments)、最概法(method of maximum likelihood)[3]、L 動差法(L-moments)及機率權重動差法(probability-weighted moments)[4]等，但每一種方法均有其優缺點。上述 lognormal、Pearson Type III、log Pearson Type III 及 Gumbel 等分佈之動差法參數推估敘述如下[2]：

1. lognormal 分佈：

$$\bar{y} = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{2} f_y^2 \quad (13)$$

$$f_y = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{s^2}{\bar{x}^2}\right)} \quad (14)$$

其中 \bar{x} 、 s 為資料之平均值與標準偏差；

2. Pearson Type III 分佈：

$$r = \frac{s}{\sqrt{s}} \quad (15)$$

$$s = \frac{4}{\chi_1^2} \quad (16)$$

$$\chi = \bar{x} - s\sqrt{s} \quad (17)$$

其中 \bar{x} 、 s 、 χ_1 為資料之平均值、標準偏差、及偏態係數(coefficient of skew)；

3. log-Pearson Type III 分佈：

$$B = \frac{\ln \bar{x}_3 - 3 \ln \bar{x}_1}{\ln \bar{x}_2 - 2 \ln \bar{x}_1} \quad (18)$$

$$C = \frac{1}{B - 3} \quad (19)$$

$$3.5 < B \leq 6.0$$

$$A = -0.23019 + 1.65262C + 0.20911C^2 - 0.04557C^3 \quad (20)$$

$$3.0 < B \leq 3.5$$

$$A = -0.47157 + 1.99955C \quad (21)$$

$$A = \frac{1}{r} - 3 \quad (22)$$

$$s = \frac{\ln \bar{x}_2 - 2 \ln \bar{x}_1}{\ln(1-r)^2 - \ln(1-2r)} \quad (23)$$

$$\chi = \ln \bar{x}_1 + s \ln(1-r) \quad (24)$$

其中 \bar{x}_1 、 \bar{x}_2 、 \bar{x}_3 為資料之一階、二階、三階動差；

4. Gumbel 分佈：

$$r = \frac{1.2825}{s} \quad (25)$$

$$s = \bar{x} - 0.45s \quad (26)$$

其中 \bar{x} 、 s 為資料之平均值及標準偏差；

八掌溪流域觸口及義竹等四流量站 lognormal、Pearson Type III、log-Pearson Type III 及 Gumbel 分佈以動差法推估參數，各站四種理論分佈與歷史記錄之比較分別如圖 2 至圖 3 所示。整體而言，四種分佈與歷史資料之差別並不太大，惟在觸口站 log-Pearson Type III 分佈在長期距迴歸期洪水推估偏低，與其他分佈比較，log-Pearson Type III 分佈在長期距洪水推估量較其他分佈為小。lognormal 分佈是八掌溪流域各流量站最為接近歷史資料之理論分佈。

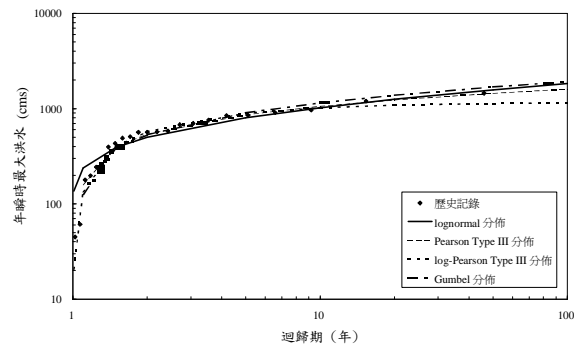


圖 2 觸口站年最大瞬時洪水之理論分佈與歷史記錄之比較

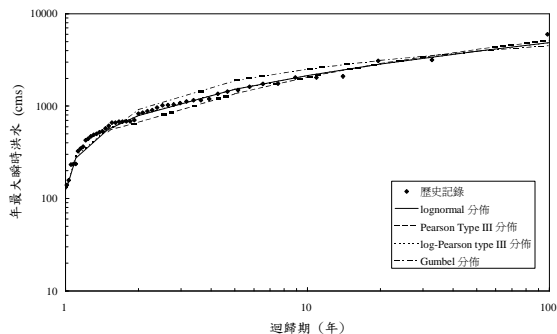


圖 3 義竹站年最大瞬時洪水之理論分佈與歷史記錄之比較

(三) 迴歸期

八掌溪流域觸口及義竹等四流量站 lognormal、Pearson Type III、log-Pearson Type III 及 Gumbel 分佈推估不同迴歸期洪

水量與歷史記錄之比較詳圖 2 至圖 3。雖然四種分佈彼此間的差別不大，惟 log-Pearson Type III 分佈在長期距的洪水推估量較其他分佈為小。

(四) 紀錄期限長短對推估洪水量之影響

以義竹站及 Gumbel 分佈為例說明洪水紀錄期限的長短對不同迴歸期洪水量的推估的影響。以連續 20 年(1950-1972, ..., 1982-2001 等)、連續 30 年(1950-1982, ..., 1972-2001 等)及連續 40 年(1950-1992, ..., 1962-2001 等)的紀錄期限推估參數，並利用 Gumbel 分佈推估不同年迴歸期之洪水量，圖 4 至圖 6 為此三種不同紀錄期限推估不同迴歸期洪水量的關係。由圖可知不同紀錄期限對不同迴歸期洪水量的推估具有不同的特性，短期限資料受限於資料個數，不同時段所推估之不同迴歸期洪水量差異甚大，包含 1959 年事件對參數推估有極大的差異導致推估長期距迴歸期洪水的差異，短期距迴歸期洪水，如 2 年迴歸期，則差別甚小。但當紀錄期限愈長則不同時段所推估之不同迴歸期洪水量幾無差別。

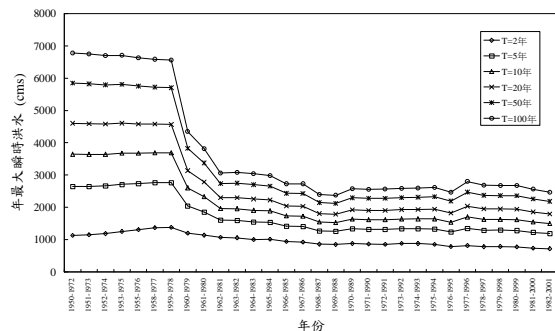


圖 4 義竹站以 Gumbel 分佈及連續 20 年資料推估不同迴歸期最大瞬時洪水

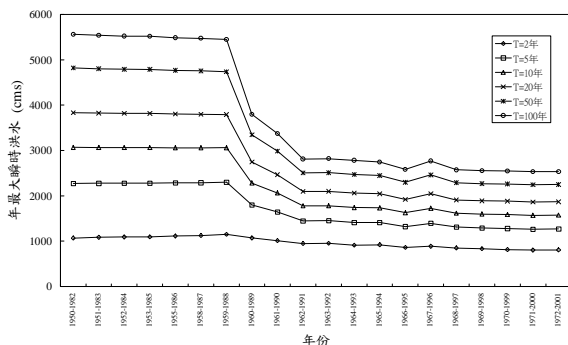


圖 5 義竹站以 Gumbel 分佈及連續 30 年資料推估不同迴歸期最大瞬時洪水

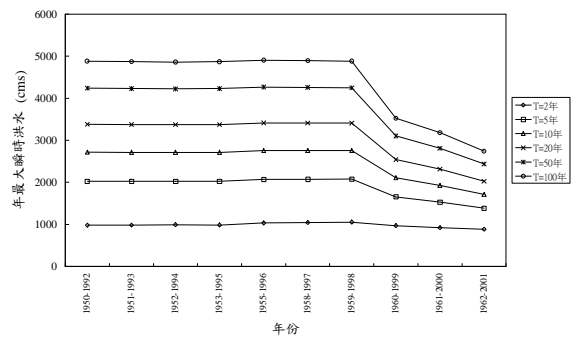


圖 6 義竹站以 Gumbel 分佈及連續 40 年資料推估不同迴歸期最大瞬時洪水

四、計畫成果自評

本計畫以台灣南部地區八掌河流域為例探討不同迴歸期極端洪水推估誤差分析。本計畫首先蒐集八掌河流域觸口、軍輝橋、常盤橋、義竹等流量站自 1950 年至 2001 年間之年最大瞬時洪水量；之後以 lognormal、Pearson Type III、log Pearson Type III 及 Gumbel 等理論分佈套配紀錄洪水量，結果顯示四種分佈與歷史資料之差別並不太大，但以 lognormal 分佈與歷史資料最為接近；其次研究紀錄期限長短對推估洪水量之影響，當不同紀錄期限包不包含一極端值時對短期距迴歸期洪水推估之差別不大，但對長期距迴歸期洪水推估則可能有甚大之差別。

五、參考文獻

- [1] Kite, G. W., 1975, Confidence Limits for Design Events, *Water Resources Research*, 11(1), 48-53.
- [2] Kite, G. W., 1988, *Frequency and Risk Analysis in Hydrology*, Water Resources Publication, Colorado.
- [3] Haan, C. T., 1972, *Statistical Methods in Hydrology*, Iowa state University Press, Iowa.
- [4] Stedinger, J. R., Vogel, R. M., and Foufoula-Georgiou, E., 1993, Frequency of Extreme Events, in *Handbook of Hydrology*, Edited by D. R. Maidment, McGraw-Hill Inc., New York.

