



都會區颶風災害危險度分析

Hazard Risk Analysis of Typhoon Damages in Urban Areas

國立台灣大學
生物環境系統工程學系教授
兼水工試驗所特約研究員

王如意

Ru-yih Wang

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
博士班研究生

鄭思蘋

Szu-ping Cheng

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
碩士班研究生

黃欣怡

Hsin-yi Huang

摘要

汐止市為台北盆地內近三十年來快速發展之市鎮，由於都會區內人口密集、地勢低窪、基隆河橫貫其中，且兩岸支流錯綜複雜，每逢夏秋之際暴雨颶風來襲時，常造成巨大災害。民國 89 年 10 月 31 日所發生之象神颶風事件，亦造成該都會區內十分慘重之淹水損失。

本研究之目的為建立「分組四分位曲線分析法」與「洪災潛勢指數法」以評估汐止地區颶風災害危險度。「分組四分位曲線分析法」係利用統計方法解析汐止市各里住宅區在颶風來襲所蒙受淹水深度與損失之資料，推求一般家庭淹水深度—損失曲線，並結合各類建物面積比例關係與建物特性資料、機電設備淹水損失評估標準及汽機車損失評估標準，套配二維淹水模式所模擬不同重現期距之淹水圖，即可估算汐止市各里住宅區之淹水危險度；「洪災潛勢指數法」首先應用地理資訊系統取得汐止市各村里之基本資料，利用灰關聯度分析法判斷單位面積加權產值比、平均淹水深度、人文因素、各里中心與河川主流之距離、土石流潛勢及防救災體系等因子對汐止地區遭受象神颶風淹水損失之相對重要性，以作為層次分析法分析權重之依據，再求出研究區域內各因子與最危險情況相較之灰關聯係數，套配相對應之權重加總求得各區域之灰關聯度，即為此區域之洪災潛勢指數。

綜合考量「分組四分位曲線分析法」與「洪災潛勢指數法」之模擬結果有助於瞭解該地區淹水損失之嚴重性，並可作為合理分級各淹水區洪災潛勢之依據，俾可提供水利主管機關擬定防災政策之參考。

關鍵詞：危險度，洪災潛勢，灰關聯度分析法，層次分析法。

ABSTRACT

Over the last three decades, Hsichih City has become a rapidly developed urban area in the Taipei Basin. Enormous flood damage is frequently caused by typhoons, between June and October every year, due to the high population density, low-lying terrain and meandering course of the Keelung River that runs from east to west. An atypical typhoon event, Typhoon Xangsane on October 31, 2000, attacked northern Taiwan and led to extremely severe inundation damage and serious loss of property in that booming city area.

The purpose of the paper was to build two models- (a) method of classified quartile curves, and (b) index method of typhoon damages potential. The former one could estimate the monetary value of the typhoon damages, and the latter one could get the degree of typhoon damages potential. By combining the simulating results of the two models, we could classify the zones of the project area appropriately.

Keywords: Hazard risk, Typhoon damages potential, Grey relational analysis, Analytic hierarchy process.

一、前言

台灣地處歐亞大陸與太平洋交接處，總面積約 36000 平方公里，其中中山地面積佔三分之二。氣候上屬溫、熱帶交會型，季節性變化十分明顯；且年平均降雨量約 2500 公厘，70~90%發生於每年五~十一月間，又西部平地年平均降雨量只在 1500 公厘左右，而山區卻高達 5000 公厘，時間與空間分布上極不均勻。由於河川上游坡陡流促，不易聚居，而中下游地區形成人口密集，隨著工商急劇發展，為經濟發展之富庶區域；惟每逢夏秋之際暴雨颱風來襲，在缺乏淹水潛勢資料，亦無淹水預警訊息之情況下，居民常無法及時防範或撤離，致使生命財產之損失甚鉅，且此災害損失有隨台灣之經濟發展而呈顯著增加之趨勢。

一般於災害損失之計算上可分為可計損失 (tangible damage) 及不可計損失 (intangible damage) 等兩類。其中不可計之損失方面，乃指損失之價值無法以金錢予以表示，如恐懼、無法上班及人員傷亡等損失；可計損失一般又可分為

直接損失及間接損失等二類。所謂直接損失乃指由於洪災所引致之財產直接損壞或消失，如農作物淹沒、房屋、設備、物資及工程設施遭洪水破壞之損失等；間接損失則定義為財產本身之價值因其它項目之災害損失而間接受到影響，如房舍淹水使得承租意願降低及附近地價、租金減少等間接性衍生之損失。

二、颱風災害危險度評估理論之研討

國內外有關災害損失估算之方法有(1)歷史災害損失曲線 (Historical Damage Curve)、(2) 統合公式 (Aggregate Formula) 與(3)淹水深度損失經驗曲線 (Empirical Depth-Damage Curve) 等三種方法[9,10]，茲概述如下：

1. 歷史災害損失曲線法

由於一洪泛區域在歷史上不同期間可能陸續發生過不同洪水水位之淹水事件，而每一場水災之發生皆有其對應之淹水損失。為了掌握該區域洪水水位與淹水損失之關係，可於考慮通貨膨脹等因子後將歷年之損失換算為現值，並將換算成現值之淹水損失與其洪水水位點繪成洪

水水位與淹水損失之關係曲線，稱為歷史災害損失曲線法。

2. 統合公式估算法

所謂統合公式乃將所有淹水損失相關因子統合於一公式中，可寫成：

$$C_D = K_D U M_S h A \dots\dots\dots(1)$$

- 式中， C_D ：某一洪水事件之淹水損失(元)；
 K_D ：為一係數，單位淹水深度建築物洪水損失之百分比 (元/m·元)；
 U ：該淹水面積內都市發展區域百分比；
 M_S ：建築物淹水部分之市場價值(元/km²)；
 h ：淹水區域平均淹水深度(m)；
 A ：淹水面積(km²)。

3. 淹水損失經驗曲線法

這種方法是目前最常見之水災損失評估方式。此法乃利用區域內之建物與相關之經濟資料，推求各種類型建築物之淹水深度損失經驗曲線。

但由於上述之三種方法目前應用於台灣地區時皆有其困難性，故本研究提出分組四分位曲線分析法與洪災潛勢指數法，以評估颶風災害危險度。

2-1 分組四分位曲線分析法

以民國 89 年象神颶風造成汐止各里住家及住僑併用戶之淹水深度申報資料為例，將資料以住戶地址整合後，可點繪如圖 1。

由圖 1 可知，水深與損失之間存在下述之規律：

- (1)較為接近之水深，其損失雖然散布之範圍頗為廣泛，仍存在有一集中之趨勢。
 - (2)此一集中趨勢隨水深之不同而呈現連續性之變化。
 - (3)淹水深度增加時，淹水損失之差異性亦增大。
- 故可利用「分組四分位曲線分析法」來解析

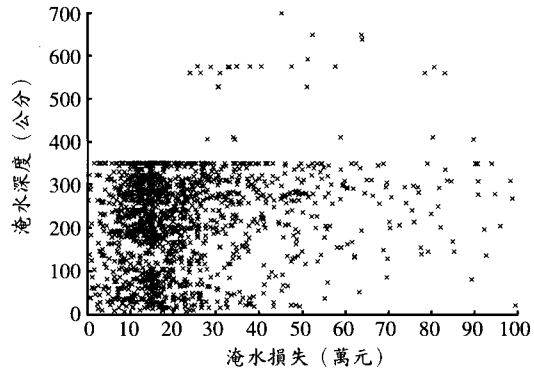


圖 1 汐止地區象神颶風淹水深度與損失原始資料點繪圖

水深與損失之資料。該方法敘述如下：

- (1)為觀察相近水深之損失量差異，將所有申報資料依水深作等間距之分組，並標示各組內損失之三個四分位數(quartiles) Q_1 、 Q_2 及 Q_3 。
- (2)連接各水深之 Q_1 、 Q_2 及 Q_3 ，即為分組四分位曲線，分別可稱之為低四分位曲線、中四分位曲線及高四分位曲線，可分別表示申報資料中之低程度損失、中程度損失及高程度損失隨淹水深度之變化情形。
- (3)將分組四分位曲線以雙對數尺度表示，可得到幾乎平行之三條直線，示如圖 2，故又可知淹水深度與損失間應呈幕次之關係。
- (4)根據上述之觀察，可假設淹水損失之分布在各水深下均呈對數常態分布，且各水深下之淹水損失具有一致之標準偏差以及隨水深呈幕次遞增之平均數，如下式所示：

$$f(D) = LND(\mu_{\log D}, \sigma_{\log D}) \dots\dots\dots(2)$$

$$\mu_{\log D} = a + b \cdot \log(h) \dots\dots\dots(3)$$

- 其中， D ：淹水損失；
 $LND(\cdot, \cdot)$ ：對數常態分布函數；
 $\mu_{\log D}$ ：淹水損失在對數尺度下之平均數；

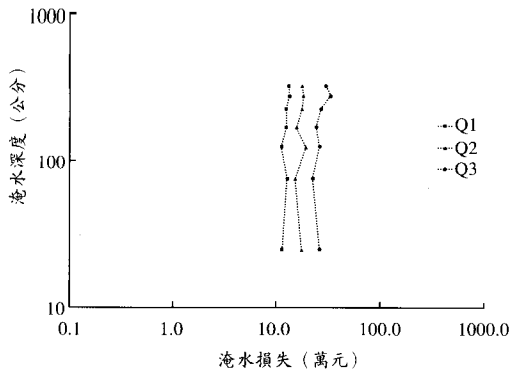


圖 2 依據汐止地區象神颱風淹水申報損失所建立之分組四分位曲線(損失量及淹水深度均以對數尺度表示)

$\sigma_{\log D}$: 淹水損失在對數尺度下之標準偏差;
 h : 淹水深度;
 a, b : 待定常數。

若在雙對數尺度下將淹水損失對淹水深度作 Theil 法[7]直線迴歸分析:

(1)假設有 n 對觀測值為:

$$(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$$

由此 n 點座標可配合迴歸直線:

$$\hat{Y} = a + bX \quad \dots\dots\dots(4)$$

a 為縱軸之截距, b 為迴歸直線之斜率。

(2)將 n 對觀測值依據 $X_1 < X_2 < \dots < X_n$ 排列為:

$$(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$$

(3)求算 $N = \binom{n}{2}$ 個 S_{ij} 值, 斜率 S_{ij} 之公式為:

$$S_{ij} = \frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i} \quad i < j \quad \dots\dots\dots(5)$$

(4)決定迴歸係數 b 為: $b = \text{中位數} \{S_{ij}\}$ 。

(5)調整縱軸之截距 a , 使觀測值在迴歸直線上方與下方之對數相等, 則 a 即為所求之截距。

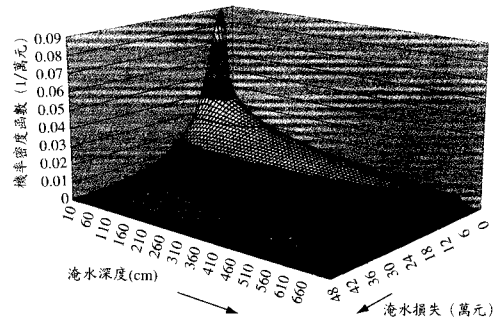


圖 3 淹水深度—損失—發生機率密度示意圖

(6)該迴歸直線之截距及斜率即為式(3)之常數 a 與 b , 而淹水損失殘差之標準偏差, 即為式(2)中之固定值 $\sigma_{\log D}$ 。

為展示任一水深之淹水損失分布情況, 可繪製該模式中淹水深度—損失—發生機率密度三者之關係圖, 如圖 3 所示。

分組四分位曲線分析法具有下列特性:

- (1)可同時觀察損失量間之差異及損失量對水深之變化情況。
- (2)四分位數不受少數之高離群值或低離群值之影響, 且除可表示資料之集中趨勢外, 亦可藉由各四分位數之間距解析資料之分散程度。
- (3)由於相關係數之大小僅足以表示自變數與應變數間之關係是否接近定律性之關係, 故在同一自變數下(如水深), 若應變數(如損失)之變異過大, 則相關係數必然較小。然而同一狀況下, 若已知應變數必然受自變數之影響時(如損失必然受水深之影響), 同時分析應變數在同一自變數下之差異並建立自變數與應變數之關係, 便成為分析該資料之必然方式。

2-2 洪災潛勢指數法

颱風災害之不確定性可分為淹水潛勢與淹水危險度兩個部分。淹水潛勢乃指於自然環境中潛藏易引致水災之可能性, 而所謂自然環境包括降雨、地形、地勢、地質、土壤、河川及植被等因素, 在這些因素之作用下, 有些地區遭受水災之可能性較高, 有些則較低。因此較易受水災之

表 1 判斷矩陣標度及其含義

標 度	涵 義	對數法修正標度	涵 義
1	u_i 與 u_j 比較，具有同等重要性	2^0	u_i 與 u_j 比較，具有同等重要性
3	u_i 與 u_j 比較， u_i 比 u_j 稍微重要	2^1	u_i 與 u_j 比較， u_i 比 u_j 稍微或明顯重要
5	u_i 與 u_j 比較， u_i 比 u_j 明顯重要		
7	u_i 與 u_j 比較， u_i 比 u_j 強烈重要	2^2	u_i 與 u_j 比較， u_i 比 u_j 強烈或極端重要
9	u_i 與 u_j 比較， u_i 比 u_j 極端重要		
2,4 6,8	2、4、6、8 分別表示相鄰判斷 1-3、3-5、5-7、7-9 的中值		
倒數	u_i 與 u_j 比較得到 u_{ij} ， 則 u_j 與 u_i 比較得判斷 $u_{ji} = 1/u_{ij}$	倒數	u_i 與 u_j 比較得到 u_{ij} ， 則 u_j 與 u_i 比較得判斷 $u_{ji} = 1/u_{ij}$

地區就應該盡量避免開發利用。淹水危險度乃指由人文環境因素可能造成之災情，而所謂人文環境是包括人口密度、經濟活動、社會型態、公共設施等因素，在這些因素與前述各種自然因素之相互作用下，一旦有洪水發生，有些地區所遭遇之損失會較為嚴重，有些則較輕微，故以洪災潛勢指數法來評估研究區域內之洪災潛勢。

洪災潛勢指數法首先係利用層次分析法建立各因子間之層級關係，並引入灰色系統理論之灰關聯度分析以決定各因子間之相對重要性，繼而建構判斷矩陣並求解其特徵向量以作為各因子之權重，再求出研究區域內各因子與最危險情況相較之灰關聯係數，套配相對應之權重加總求得各區域之灰關聯度，亦即為此區域之洪災潛勢指數。藉由洪災潛勢指數可了解該地區淹水損失之嚴重性，並可作為合理分級各淹水區危險度潛勢之依據，以提供水利主管機關評估排水改善工程設施之經濟效益、擬定防災政策及提供淹水程度之參考。

1. 層次分析法

層次分析法又稱分析層級程序法 (Analytic Hierarchy Process, 簡稱 AHP)，為美國匹茲堡大學沙堤教授 (T.L. Saaty) 於 1970 年代所提出 [11]。AHP 將複雜問題中各種因素通過劃分為相互關聯有順序及層次之架構，使之條理化，再直接且有效地結合數據、專家意見及分析者之主客觀判斷，並就每一層次之相對重要性給予定量表示。利用數學方法確定表達每一層次全部要素之

相對重要性權值。在 AHP 中，階層化及整合化是不可或缺的。故 AHP 之特徵，係由階層構造之累積，來培育分析之能力，而對於超乎常人所能感覺之事項，設定近似假說來適用採行之計量方法。其步驟為先建立層次分析模型，爾後建構其判斷矩陣，最後進行一致性檢驗 (Test of Consistency)，利用一致性指標 (Consistency Index, CI) 檢查是否為一致性矩陣。

茲以 A 表示目標， u_i 表示評價因素 $u_i \in U (i = 1, 2, \dots, n)$ ， u_{ij} 表示 u_i 對於 u_j 之相對重要性數值 ($j = 1, 2, \dots, n$)， u_{ij} 取值如表 1 [2]。

根據上述各符號之意義得到如下之判斷矩陣 P ：

$$P = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nn} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

稱之為 $A-U$ 判斷矩陣。接下來計算重要性排序，根據 $A-U$ 判斷矩陣，求出最大特徵根所對應之特徵向量。所求特徵向量即為評價因素之重要性排序，亦即權數分配。

以最大特徵根所對應之特徵向量作為評價因素之權重之意義說明如下：

假設同一階層有 n 個因素，令 w_i 、 w_j 表示要素 u_i 、 u_j 之權重，而要素 u_i 、 u_j 之相對重要性以 u_{ij} 表示，則

$$u_{ij}(w_j/w_i)=1, i, j=1,2,\dots,n$$

所以

$$\sum_{j=1}^n u_{ij}(w_j/w_i)=n, i=1,2,\dots,n$$

或

$$\sum_{j=1}^n u_{ij}w_j = nw_i, i=1,2,\dots,n$$

因此成對比較矩陣也就是判斷矩陣 P 乘上權重向量 W ，等於 $n \cdot W$ 之值。即

$$P \cdot W = n \cdot W$$

上式為特徵值問題，或可表示為：

$$(P - nI) \cdot W = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

上式只有在 W 為非零向量時才能成立，同時具有 n 個特徵值。此時 W 即為判斷矩陣 P 之特徵向量，也就是權重向量。

由於判斷矩陣 P 之元素均為正值，且對稱元素間具有倒數關係，加上矩陣之行向量為權重向量 (w_1, w_2, \dots, w_n) 之常數倍，所以 n 個特徵值中，只有 λ_{\max} 不等於零，其餘皆為零，且此不為零之最大特徵值所對應之特徵向量之元素也都是正值；又從特徵值之特性得到，最大特徵值 λ_{\max} 等於矩陣 P 主對角線所有項之和，所以 $\lambda_{\max} = n$ 。

權數之分配是否合理，需對判斷矩陣進行一致性檢驗。假設就同一階層 n 個要素中 u_i 、 u_j 、 u_k 而言，其中 u_{ij} 為要素 u_i 、 u_j 之相對重要性， u_{jk} 為要素 u_j 、 u_k 之相對重要性，若 $u_{ij} \times u_{jk} = u_{ik}$ 成立，則表示判斷前後具有遞移性，也就是滿足一致性。要完全滿足遞移性並不容易，因此部分容許不具遞移性存在，但需測試其滿足一致性之程度。檢驗使用公式如下：

$$CR = CI / RI \quad \dots\dots\dots(8)$$

其中， CR 稱為判斷矩陣之隨機一致性比率； CI 稱為判斷矩陣之一般一致性指標，其可以表示如下：

$$CI = \frac{1}{n-1}(\lambda_{\max} - n) \quad \dots\dots\dots(9)$$

表 2 判斷矩陣之平均隨機一致性指標值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

表 3 轉換建議表

n	3	4	5	6	7	8	9	10
x	2	3	4	5	7	9	12	16

RI 稱為判斷矩陣之平均隨機一致性指標，對於 1-9 階判斷矩陣， RI 值列表於表 2 [2]。當 $CR < 0.10$ 時，即為判斷矩陣具有滿意之一致性，說明權數分配為合理；否則，就需要調整判斷矩陣，直到取得滿意之一致性為止。

Saaty 提出之 1-9 比較標度於因子較多時，判斷矩陣容易出現檢驗不合格或評價錯誤之現象，因此採用折衷標度法-對數法之五標度法($2^2, 2^1, 2^0, 2^{-1}, 2^{-2}$)數值，來判斷兩因子間之重要性關係，修正之 u_{ij} 之取值如表 1。根據折衷標度給予本標度之判斷矩陣 $A-U$ ，將 $A-U$ 變換為矩陣 B ，以矩陣 B 取代原有之 $A-U$ 判斷矩陣求解特徵向量。變換矩陣 B 中元素 b_{ij} 之定義為：

$$b_{ij} = \begin{cases} \log_x \left(\frac{r_i}{r_j} \right) + 1 & r_i \geq r_j \\ \left[\log_x \left(\frac{r_j}{r_i} \right) + 1 \right]^{-1} & r_i \leq r_j \end{cases} \quad \dots\dots(10)$$

其中 r_i 為各因子重要性指數，可表示如下：

$$r_i = \prod_{j=1}^n u_{ij} \quad i=1,2,\dots,n \quad \dots\dots\dots(11)$$

對數函數 \log 之底 x 與因子數有關，建議表如表 3[2]。此建議表可確保判斷矩陣內任一元素不超過 9，如此可改善判斷上之邏輯錯誤。

2. 灰關聯度分析

灰色分析全名為灰色系統理論 (Grey System Theory) 分析，係由中國鄧聚龍教授於 1982 年間提出[8]，該理論主要針對系統模型之不明確性及資訊之不完整性之情況下，進行有關系統之關聯分析、模型建構並藉預測及決策之方

法來探討及了解系統之內涵。灰色理論之應用範圍極廣，主要能對事物之不確定性、多變量輸入、離散之數據及數據之不完整性，做有效之處理。

灰系統關聯度分析為系統因素間作用與關聯程度之序化、量化分析。關聯度分析之基本思想，乃根據離散數列之間幾何相似程度來判斷關聯性大小，從數學理論上看，關聯度分析反映了離散數列空間之收斂性及接近度，可進行多因素間相對不同參考點之關聯分析，較之迴歸相關分析更具有整體性。

設 X 為一灰關聯因子集，其原始序列為：

$$x_i^{(0)}(k) = (x_i^{(0)}(1), \dots, x_i^{(0)}(k)) \in X \dots\dots\dots(12)$$

其中， $k = 1, 2, \dots, n \in N$ ，滿足下列三個條件：

(1)無因次性(Dimensionless)

不論因子測度為何，必須經過處理成無因次。

(2)同等級性(Scaling)

各序列中之值均屬於同等級(Order)或等級相差不可大於 2。

(3)同極性(Polarization)

序列中之因子描述應為同方向。

此稱為序列之可比性。在序列之可比性原則下，由於系統中各因素之物理意義不同，如產值為萬元，產量為噸等，而且有時數值之數量級相差懸殊，例如收入為幾萬元，產量產值可能幾千萬元。為了便於分析，保證各因素具有等效性與同序性，並達到灰關聯分析之目的，必須做數據處理，稱為灰關聯生成。其基本方法為利用數據中之數值做正規化(Normalization)處理，針對非時間序列建議採用指標區間值化[6]：

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)}{\max x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)} \dots\dots\dots(13)$$

其中， $x_i^{(0)}(k) = (x_i^{(0)}(1), x_i^{(0)}(2), \dots, x_i^{(0)}(k))$ ；

$$\max x_i^{(0)}(k) = \text{Max}(x_i^{(0)}(1), x_i^{(0)}(2), \dots, x_i^{(0)}(k)) ;$$

$$\min x_i^{(0)}(k) = \text{Min}(x_i^{(0)}(1), x_i^{(0)}(2), \dots, x_i^{(0)}(k)) .$$

接下來計算其灰關聯度，灰關聯度之定義為兩序列間之關聯程度，若在比較時，只有一個序列為參考序列時，則稱為局部性(Localized)灰關聯測度。若 Γ 為灰關聯映射之全體， X 為灰關聯因子集，則稱 (X, Γ) 為灰關聯空間；如在灰關聯空間 (X, Γ) 中有一序列 $x_i(k) = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)) \in X$ ，其中 $i = 0, \dots, m$ ， $k = 1, \dots, n \in N$ ，即：

$$x_0(k) = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k))$$

$$x_1(k) = (x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(k))$$

⋮

$$x_m(k) = (x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(k))$$

以序列 $x_0(k)$ 為參考序列，其他序列為比較序列，其局部性灰關聯係數為：

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \dots\dots\dots(14)$$

其中， $i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, n$ ； $x_0(k)$ 為參考序列， $x_i(k)$ 為一特定比較序列； $\Delta_{oi} = \|x_0(k) - x_i(k)\|$ ，為 $x_0(k)$ 及 $x_i(k)$ 間差之絕對值； $\Delta_{\min} = \min_{\forall i} \min_{\forall k} \|x_0(k) - x_i(k)\|$ ； $\Delta_{\max} = \max_{\forall i} \max_{\forall k} \|x_0(k) - x_i(k)\|$ ； ζ 為辨識係數， $\zeta \in [0, 1]$ 。辨識係數之功能主要是作背景值及待測物間之對比，其大小可根據實際需要做調整。由實際之數學證明得知辨識係數只會改變相對數值之大小，不會影響灰關聯之排序。

求得灰關聯係數後，一般取灰關聯係數之平均值作為灰關聯度：

$$\gamma(x_i, x_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_i(k), x_j(k)) \dots\dots\dots(15)$$

灰關聯度可表示兩個序列間之關聯程度[3,4,6,8]。

由於 $\Delta_{oi} = \|x_0(k) - x_i(k)\|$ ，不能區別因素關聯之性質，是正相關或負相關，亦就是關聯級性問題，因此採用下述方法判斷其關聯級性[6]。令：

表 4 住宅建物特性

建築類型	平均每層戶數	平均樓層數	平均每棟戶數	基地面積 (m ²)
傳統農村式		1	1	330.25
獨棟式		4	1	66.05
連棟式		4	1	66.05
1-5 樓公寓	2	4	8	224.57
6-11 樓公寓	3	7.4	22.2	336.855
12 樓公寓	4	12	48	449.14
13 樓以上公寓	5	15	75	561.425

表 5 汐止市各里民國 90 年建物面積比例

汐止市	總面積 (m ²)	住宅 (%)	傳統農村式 (%)	獨院或雙拼式 (%)	連棟式 (%)	5F 以下公寓 (%)	6-12F 公寓 (%)	12F 公寓 (%)	13F 以上公寓 (%)
義民里	80572	53.70	23.41	3.45	52.24	20.84	0.00	0.00	0.06
禮門里	78339	33.44	23.39	10.18	42.93	21.40	2.09	0.00	0.00
智慧里	640417	20.27	15.69	13.02	38.59	32.07	0.25	0.00	0.37
信望里	45243	31.15	0.00	8.14	89.55	2.31	0.00	0.00	0.00
橋東里	444844	63.74	51.66	3.40	19.61	21.56	3.78	0.00	0.00
秀峰里	979112	8.05	4.30	5.81	13.34	69.24	7.31	0.00	0.00
新昌里	391153	34.22	22.44	2.29	26.84	48.42	0.00	0.00	0.01
復興里	172610	50.76	13.05	1.74	15.95	69.26	0.00	0.00	0.00
茄苳里	4438211	2.34	15.32	6.80	22.69	54.88	0.31	0.00	0.01
長安里	468414	8.74	19.38	13.84	51.48	15.18	0.06	0.00	0.06
保安里	1283373	3.32	36.42	6.04	52.03	4.16	1.34	0.00	0.02
保長里	1759045	6.07	34.74	8.11	30.83	26.33	0.00	0.00	0.00
鄉長里	1815929	5.36	67.70	6.25	20.42	5.58	0.00	0.03	0.02
江北里	1512437	9.45	15.96	9.57	18.08	55.84	0.55	0.00	0.00
拱北里	1853334	5.14	20.87	6.93	38.18	34.00	0.00	0.00	0.03
拱內里	9663751	0.66	47.00	34.53	18.03	0.41	0.02	0.00	0.00
八連里	9376626	0.88	40.16	26.14	26.22	7.46	0.00	0.00	0.01
樟樹里	998530	3.71	25.09	1.39	29.41	43.95	0.03	0.00	0.13
北峰里	1514921	8.17	3.86	0.09	37.07	58.86	0.04	0.00	0.09
北山里	2203301	6.91	25.56	45.11	13.87	15.45	0.01	0.00	0.01
白雲里	10255700	1.31	45.68	19.88	22.97	11.65	0.00	0.00	0.01
橫科里	2747303	3.89	32.52	3.67	24.08	39.73	0.00	0.00	0.00
東山里	12344810	0.46	92.58	1.09	5.08	1.08	0.00	0.00	0.16
福山里	210954	33.85	4.41	56.85	4.41	34.24	0.06	0.00	0.03
宜興里	650272	20.22	22.74	24.75	19.42	33.01	0.06	0.00	0.03
中興里	628404	34.71	8.08	2.12	26.97	58.81	3.94	0.01	0.07
湖光里	1080764	19.92	5.64	69.36	17.21	2.98	2.55	2.26	0.01
仁德里	42926	62.80	5.34	1.42	38.83	54.20	0.08	0.00	0.12
厚德里	790954	18.59	33.03	0.37	14.13	52.48	0.00	0.00	0.00
忠孝里	769344	11.33	12.80	1.81	4.52	80.70	0.14	0.00	0.03
自強里	214072	30.57	26.07	2.42	16.39	55.08	0.04	0.00	0.00
文化里	839924	5.02	16.41	0.44	6.78	76.36	0.00	0.00	0.00

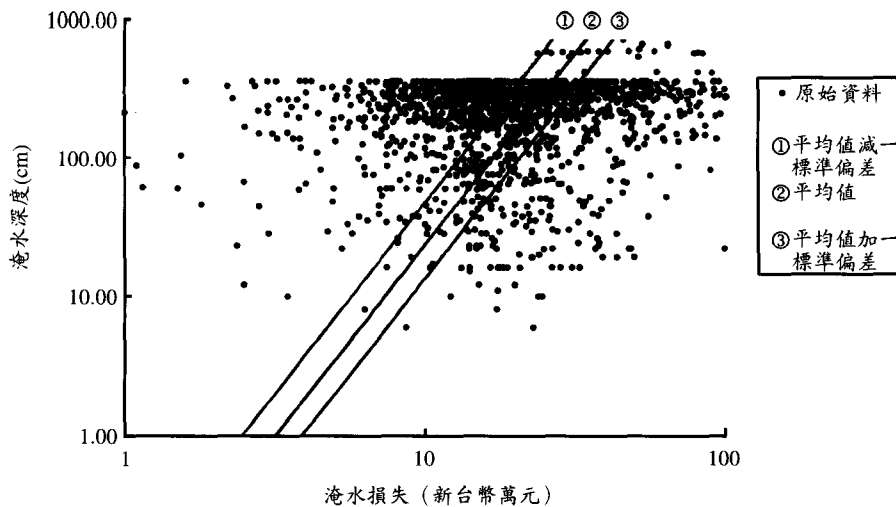


圖 6 一般家庭淹水深度－損失模式所求得之平均值及其加減一標準差之量值

2. 機電設備之淹水損失

由於建築技術不斷之進步與居住品質持續之提升，現今都會區大樓林立，新式大型電梯社區更如雨後春筍般到處興建，與舊式公寓相較之下，新式大樓之建築設計，通常將機電設備置放於地下樓層。若遭遇洪水入侵，縱使淹水深度不高，此類型大樓之機電設備幾乎無法倖免於難，所造成之損失亦相當可觀。

由於機電設備之損失與建物類型有相當大之關聯，故分析由國稅局所蒐集之資料與整理調查結果後，初步歸納可知，一般獨棟淹水時機電設備損失約為 60 萬元上下，雙併大樓機電損失約 100 萬元左右，四棟方正排列社區之機電損失約 500 萬元上下。同類型大樓，住戶越多，損失則越多，至於超大型大樓損失約 2000 萬元至 3000 萬元左右，損失確實相當龐大。因此，參考戶口普查資料，初步將住宅類型區分為傳統農村、獨棟式、連棟式、一到五樓、六到十一樓、十二樓及十三樓以上等類型，以分析住宅機電設備淹水損失評估標準，其結果如表 6 所示。

3. 汽機車淹水損失

根據汐止地區象神颱風淹水模擬圖與住宅分布狀況與類型之資料，可估算出象神颱風淹水區之總戶數約為 19818 戶，而汐止地區之汽車與

表 6 機電設備淹水損失評估標準

建築類型	每棟機電損失 (萬元)	每戶機電損失 (萬元)
傳統農村式	—	—
獨棟式	—	—
連棟式	—	—
1-5 公寓	0.8	—
6-12 公寓	60	1.2
12 公寓	75	2.1
13 樓以上公寓	150	2.65

表 7 汽機車淹水損失評估標準

淹水深度	汽車損失 (萬元/輛)	機車損失 (萬元/輛)
50 公分以下	5.0	0.5
50 公分以上	10.0	1.0

機車普及率[1]分別為 0.537 輛/戶與 1.177 輛/戶，故淹水區內汽、機車之總數約為 10642 輛與 23334 輛；經由整理自國稅局所蒐集之災損資料可統計出，象神颱風汽、機車損失申報數分別為 949 輛與 534 輛，損失申報值分別為 9709 萬元與 422 萬元，故本研究所採用之汽機車淹水損失評估標準如表 7 所示。

表 8 象神颶洪汐止市各里住宅區淹水損失值

項 目	義民里	禮門里	智慧里	信望里	橋東里	秀峰里	新昌里	復興里
象神颶洪住宅區申報損失(萬元)	2646	1951	4304	2093	4670	3072	6414	1018
象神颶洪住宅區模擬損失(萬元)	9272	6051	7849	4792	39127	4879	17563	10677
項 目	茄苳里	長安里	保安里	保長里	鄉長里	江北里	拱北里	烘內里
象神颶洪住宅區申報損失(萬元)	774	3031	0	4346	348	4856	1218	0
象神颶洪住宅區模擬損失(萬元)	257	4579	0	2307	2925	6809	0	0
項 目	八連里	樟樹里	北峰里	北山里	白雲里	橫科里	東山里	福山里
象神颶洪住宅區申報損失(萬元)	116	1426	843	670	0	689	0	278
象神颶洪住宅區模擬損失(萬元)	0	3930	2085	5935	0	0	0	0
項 目	宜興里	中興里	湖光里	仁德里	厚德里	忠孝里	自強里	文化里
象神颶洪住宅區申報損失(萬元)	0	302	3445	1970	4646	3914	1307	0
象神颶洪住宅區模擬損失(萬元)	0	16527	5676	6114	10529	5184	6108	97

表 9 汐止市各里住宅區淹水危險度評估結果

項 目	義民里	禮門里	智慧里	信望里	橋東里	秀峰里	新昌里	復興里
住宅區淹水危險度之下限(萬元)	1889	1582	5865	566	8399	581	2464	2503
住宅區淹水危險度之平均值(萬元)	2417	2009	7472	726	10551	718	3129	3167
住宅區淹水危險度之上限(萬元)	2944	2436	9080	884	12703	855	3794	3831
項 目	茄苳里	長安里	保安里	保長里	鄉長里	江北里	拱北里	烘內里
住宅區淹水危險度之下限(萬元)	218	1380	117	1309	838	2988	0	0
住宅區淹水危險度之平均值(萬元)	277	1764	149	1671	1074	3791	0	0
住宅區淹水危險度之上限(萬元)	335	2148	180	2033	1310	4594	0	0
項 目	八連里	樟樹里	北峰里	北山里	白雲里	橫科里	東山里	福山里
住宅區淹水危險度之下限(萬元)	2	554	668	2196	31	43	0	0
住宅區淹水危險度之平均值(萬元)	2	703	846	2807	40	54	0	0
住宅區淹水危險度之上限(萬元)	3	852	1024	3417	49	66	0	0
項 目	宜興里	中興里	湖光里	仁德里	厚德里	忠孝里	自強里	文化里
住宅區淹水危險度之下限(萬元)	0	3149	3381	511	2534	1282	621	66
住宅區淹水危險度之平均值(萬元)	0	3934	4289	650	3213	1617	785	83
住宅區淹水危險度之上限(萬元)	0	4719	5197	788	3891	1952	948	100

4. 損失量及危險度之評估

將象神颶洪之淹水面積與深度圖套配住宅區各類建物面積比例關係與建物特性資料，可先行求得淹水區之住宅戶數與棟數，再結合前述之一般家庭淹水深度－損失關係、機電設備淹水損失評估標準與汽機車淹水損失評估標準，可推估象神颶洪汐止市各里住宅區淹水損失平均值，如表 8 所示。針對不同重現期淹水損失之估算，乃依據各二維淹水模式所模擬之

淹水面積與深度，應用前述之方法步驟，估算各里住宅區在不同重現期距時之淹水損失金額，將此金額配合所對應之發生機率可獲致汐止市各里住宅區淹水危險度之上限、平均值與下限，結果如表 9 所示。

3-2 洪災潛勢指數法

淹水損失受人為及天然因素之影響。天然因素不外乎平均淹水深度、距河川主流之距離及土

表 10 汐止市各里颱風災害危險度評估因子分數表

項 目	義民里	禮門里	智慧里	信望里	橋東里	秀峰里	新昌里	復興里
單位面積象神颱風住宅區申報損失(萬元)	328	249	67	463	105	31	164	59
平均淹水深度(分)	51	47	47	24	43	19	29	36
住宅區單位面積加權產值比(分)	92	55	32	77	76	6	39	42
人文因素(分)	30	25	24	24	38	25	39	40
防救災體系(分)	16	16	26	35	32	36	35	32
各里中心與河川主流之距離(分)	94	93	86	88	88	51	67	80
土石流潛勢(分)	0	0	30	0	5	50	40	10
項 目	茄苳里	長安里	保安里	保長里	鄉長里	江北里	拱北里	烘內里
單位面積象神颱風住宅區申報損失(萬元)	2	65	0	25	2	32	7	0
平均淹水深度(分)	14	38	12	30	33	38	0	0
住宅區單位面積加權產值比(分)	3	17	6	9	7	10	8	1
人文因素(分)	14	18	9	17	15	23	10	1
防救災體系(分)	36	32	36	35	34	32	36	36
各里中心與河川主流之距離(分)	4	89	34	52	71	84	44	0
土石流潛勢(分)	45	30	15	40	75	40	75	50
項 目	八連里	樟樹里	北峰里	北山里	白雲里	橫科里	東山里	福山里
單位面積象神颱風住宅區申報損失(萬元)	0	14	6	3	0	3	0	13
平均淹水深度(分)	2	27	14	28	7	7	0	0
住宅區單位面積加權產值比(分)	2	4	10	12	2	5	1	58
人文因素(分)	2	18	22	16	9	19	0	23
防救災體系(分)	36	36	36	36	36	36	36	36
各里中心與河川主流之距離(分)	0	85	18	56	0	0	0	18
土石流潛勢(分)	40	5	80	20	95	70	95	50
項 目	宜興里	中興里	湖光里	仁德里	厚德里	忠孝里	自強里	文化里
單位面積象神颱風住宅區申報損失(萬元)	0	5	32	459	59	51	61	0
平均淹水深度(分)	0	24	28	26	34	31	20	12
住宅區單位面積加權產值比(分)	30	36	45	80	17	7	29	3
人文因素(分)	16	43	18	37	26	22	32	18
防救災體系(分)	36	36	36	35	32	35	36	36
各里中心與河川主流之距離(分)	0	84	90	89	84	78	67	46
土石流潛勢(分)	60	0	10	0	15	20	15	60

石流潛感；人為因素則包括單位面積加權產值比、人文因素及防救災體系等，各因子間之層級架構如圖 7 所示。以汐止地區象神颱風各里申報損失資料與實地調查所給予各因子之分數如表 10。

以單位面積象神颱風汐止市各里住宅區申報損失金額作為參考序列，將參考序列與各影響

淹水損失因子之分數以區間值化進行數據處理，並計算各因子之灰關聯度，以瞭解各因子與淹水損失之關聯程度及重要性。其灰關聯度及關聯級性計算結果如表 11，參考序列淹水損失之關聯級性符號為負，各因子若同號則為正相關，反之為負相關。

依據灰關聯度之結果判斷各因子對於淹水

表 11 汐止市各因子之灰關聯度及其權重關聯級性及其 A-U 判斷矩陣

關聯級性	灰關聯度	項 目	單位面積加權產值比	平均淹水深度	人文因素	各里中心與河川主流之距離	土石流潛勢	防救災體系
-	0.82	單位面積加權產值比	2^0	2^1	2^1	2^1	2^2	2^2
-	0.63	平均淹水深度	2^{-1}	2^0	2^0	2^0	2^1	2^1
-	0.62	人文因素	2^{-1}	2^0	2^0	2^0	2^1	2^1
-	0.62	各里中心與河川主流之距離	2^{-1}	2^0	2^0	2^0	2^1	2^1
+	0.61	土石流潛勢	2^{-2}	2^{-1}	2^{-1}	2^{-1}	2^0	2^0
+	0.41	防救災體系	2^{-2}	2^{-1}	2^{-1}	2^{-1}	2^0	2^0

表 12 汐止市各因子之轉換矩陣 B

項 目	單位面積加權產值比	平均淹水深度	人文因素	各里中心與河川主流之距離	土石流潛勢	防救災體系	採用權重
單位面積加權產值比	1.00	3.58	3.58	3.58	6.17	6.17	0.436
平均淹水深度	0.28	1.00	1.00	1.00	3.58	3.58	0.155
人文因素	0.28	1.00	1.00	1.00	3.58	3.58	0.155
各里中心與河川主流之距離	0.28	1.00	1.00	1.00	3.58	3.58	0.155
土石流潛勢	0.16	0.28	0.28	0.28	1.00	1.00	0.049
防救災體系	0.16	0.28	0.28	0.28	1.00	1.00	0.049

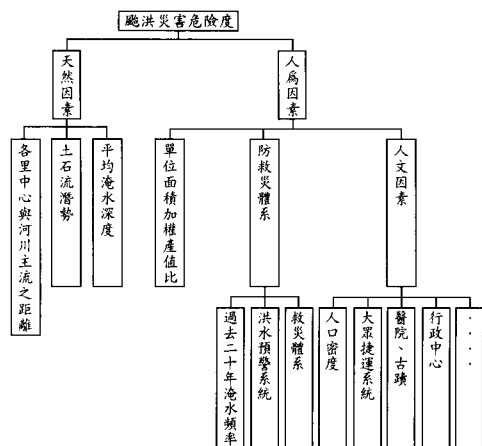


圖 7 影響颱風災害危險度之各因子間之層級架構圖

損失之相對重要性，以構造層次分析法之 A-U 判斷矩陣，結果列於表 11。六個因子取對數函數底為 5，以式(10)建構其轉換矩陣 B，並求解其特徵向量作為各因子之權重分配，結果列於表 12。對此轉換矩陣進行其一致性檢驗，判斷矩陣之一般一致性指標 $CI=0.018$ ，判斷矩陣之平均隨

機一致性指標 RI 於因子 $n=6$ 時為 1.24，因此判斷矩陣之隨機一致性比率 $CR=0.015$ ，小於 0.1，符合一致性檢驗。

再取出各因子分數之最大值作為參考序列，各里之淹水損失因子分數為比較序列，將參考序列與比較序列以區間值化進行數據處理，並計算出各里各因子之灰關聯係數；將此灰關聯係數按求解之各因子權重分配加權結合之，即可得到汐止市各分里之灰關聯度。此灰關聯度亦即為洪災潛勢指數，結果列於表 13。最後再給定各分里之各項目一代表等級，其分級依據為：當此里之數值位於前五名時，評定為 A 級；當此里之數值位於第六名至第十五名時，評定為 B 級；餘者皆為 C 級，結果如表 14 所示。

四、結果與討論

表 8 顯示汐止地區各里之象神颱風住宅區模擬損失值絕大部分均大於申報損失值。此因國稅局訂定申報淹水損失之門檻值較高，且每項損失申報均需有里長證明及相關之圖資舉證，而在

表 13 汐止市各里住宅區颶風災害危險度評估結果表

項 目	義民里	禮門里	智慧里	信望里	橋東里	秀峰里	新昌里	復興里
單位面積象神颶風住宅區申報損失(萬元)	328	249	67	463	105	31	164	59
單位面積住宅區危險度(萬元)	300	256	117	160	237	7	80	183
住宅區洪災潛勢指數	0.88	0.65	0.58	0.68	0.75	0.46	0.59	0.62
項 目	茄苳里	長安里	保安里	保長里	鄉長里	江北里	拱北里	烘內里
單位面積象神颶風住宅區申報損失(萬元)	2	65	0	25	2	32	7	0
單位面積住宅區危險度(萬元)	1	38	1	9	6	25	0	0
住宅區洪災潛勢指數	0.40	0.54	0.41	0.46	0.49	0.52	0.42	0.38
項 目	八連里	樟樹里	北峰里	北山里	白雲里	橫科里	東山里	福山里
單位面積象神颶風住宅區申報損失(萬元)	0	14	6	3	0	3	0	13
單位面積住宅區危險度(萬元)	0	7	6	13	0	0	0	0
住宅區洪災潛勢指數	0.38	0.49	0.44	0.46	0.41	0.41	0.40	0.52
項 目	宜興里	中興里	湖光里	仁德里	厚德里	忠孝里	自強里	文化里
單位面積象神颶風住宅區申報損失(萬元)	0	5	32	459	59	51	61	0
單位面積住宅區危險度(萬元)	0	63	40	151	41	21	37	1
住宅區洪災潛勢指數	0.43	0.62	0.58	0.75	0.53	0.50	0.52	0.44

表 14 汐止市各里住宅區颶風災害危險度分級表

項 目	義民里	禮門里	智慧里	信望里	橋東里	秀峰里	新昌里	復興里
單位面積象神颶風住宅區申報損失	A	A	B	A	B	B	A	B
單位面積住宅區危險度	A	A	B	A	A	C	B	A
住宅區洪災潛勢指數	A	A	B	A	A	C	B	B
項 目	茄苳里	長安里	保安里	保長里	鄉長里	江北里	拱北里	烘內里
單位面積象神颶風住宅區申報損失	C	B	C	C	C	B	C	C
單位面積住宅區危險度	C	B	C	C	C	B	C	C
住宅區洪災潛勢指數	C	B	C	C	C	B	C	C
項 目	八連里	樟樹里	北峰里	北山里	白雲里	橫科里	東山里	福山里
單位面積象神颶風住宅區申報損失	C	C	C	C	C	C	C	C
單位面積住宅區危險度	C	C	C	C	C	C	C	C
住宅區洪災潛勢指數	C	C	C	C	C	C	C	B
項 目	宜興里	中興里	湖光里	仁德里	厚德里	忠孝里	自強里	文化里
單位面積象神颶風住宅區申報損失	C	C	B	A	B	B	B	C
單位面積住宅區危險度	C	B	B	B	B	B	B	C
住宅區洪災潛勢指數	C	B	B	A	B	C	B	C

核定淹水損失時亦考量各項物品之折舊狀況，其核可之損失標準亦較為嚴苛，故造成模擬損失值大於實際申報損失值，此等結果應屬合理。表 9 為分組四分位曲線分析法評估淹水危險度之結

果，代表汐止市各里之住宅區淹水危險度上限、平均值及下限。

由表 11 灰關聯度之計算結果可知汐止地區影響淹水損失最明顯者為單位面積加權產值

比、平均淹水深度、各里中心與河川主流之距離及人文因素等四項，此四項之關聯級性顯示與淹水損失呈現正相關；土石流潛勢與防救災體系與淹水損失之關聯度較低，其關聯級性與淹水損失呈負相關。土石流潛勢為造成土石流災害之潛在因子之一，土石流一旦發生，將造成更嚴重之淹水損失，但由於本實例之汐止市象神颱風所造成之損失災情並無土石流之危害，因此土石流潛勢與淹水損失呈現負相關；惟此二因子仍需納入淹水損失之考量，以作為其他存有土石流潛勢地區判斷之依據。

以單位面積加權產值比為例，單位面積加權產值比與平均淹水深度、人文因素及各里中心與河川主流之距離相比較時，具稍微或明顯重要，給予 2^1 標度，與土石流潛勢及防救災體系相比較時具強烈或極端重要性，給予 2^2 標度；以平均淹水深度為例，單位面積加權產值比與其比較時稍微或明顯重要，給予 2^1 標度，人文因素及各里中心與河川主流之距離則與其具同等重要性，給予 2^0 標度，平均淹水深度較土石流潛勢及防救災體系稍微或明顯重要，給予 2^1 標度。依此類推得到折衷標度之判斷矩陣 $A-U$ 。由於此判斷係根據關聯度之計算結果，較能排除人為主觀評價錯誤之現象，提供層次分析法構造判斷矩陣之依據。

由層次分析法可求得各洪災潛勢因子之權重。其中，單位面積加權產值比佔 43.6%，平均淹水深度、人文因素及各里中心與河川主流之距離各佔 15.5%，土石流潛勢與防救災體系各佔 4.9%，表示造成汐止市各里淹水損失之最主要因子為單位面積加權產值比，其次為平均淹水深度、人文因素及各里中心與河川主流之距離，最後為土石流潛勢與防救災體系。

將表 13 之評估結果分別求其兩數列間之相關係數，可求得單位面積象神颱風住宅區申報損失與單位面積住宅區危險度之相關係數為 0.73；單位面積象神颱風住宅區申報損失與住宅區洪災潛勢指數之相關係數為 0.77；單位面積住宅區危險度與住宅區洪災潛勢指數之相關係數為 0.90。在表 14 之分級結果中，有 24 個里在三

種項目之評定等級皆相同；有 4 個里之單位面積象神颱風住宅區申報損失與單位面積住宅區危險度或住宅區洪災潛勢指數之評定等級相同；只有橋東里、秀峰里、新昌里與中興里之單位面積象神颱風住宅區申報損失與另兩項目之評定等級皆不相同，但也只相差了一個等級。上述之結果顯示本研究所採用之兩種颱風災害危險度評估方法其模擬結果與實際申報數值之趨勢相近。

五、結論

「分組四分位曲線分析法」可合理地估算各里之住宅區淹水危險度上限、平均值及下限，且此一危險度為貨幣化之價值，在實際參考應用上有其具體性與便捷性。而洪災潛勢指數為一灰關聯度值，其代表意義為一里各項因子之評分與各因子最大分數之灰關聯係數加權值，亦即此里與整個研究區域中極度危險之淹水損失條件間之灰關聯度，其結果與實際申報損失有相近之趨勢。

本研究所採用之「分組四分位曲線分析法」與「洪災潛勢指數法」皆能有效地評估一地區之颱風災害危險度。此兩種方法相輔成成，單獨採用一種方法時已具有一定水準之可靠度，但如將此二種方法之結果皆納入擬定防災政策時之考量，則對研究區域之颱風災害危險度評估更具助益。

六、參考文獻

1. 台北縣政府：台北縣統計要覽，2001。
2. 林國勝，「AHP 標度評價與新標度法之研究」，國防管理學院國防決策科學研究所碩士論文，2000。
3. 易德生、郭萍：灰色理論與方法，大陸石油工業出版社，1988。
4. 夏軍：灰色系統水文學—理論、方法及應用，大陸華中理工大學出版社，1998。
5. 張齡方，「住宅區淹水損失之推估」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文，2000。
6. 傅立，灰色系統理論及其應用，科學技術文

- 獻出版社，1992。
7. 顏月珠：無母數統計方法，三民書局，1993。
8. Deng J. L., "Introduction to Grey System Theory," The Journal of Grey System, Vol. 1, No. 1, 1989.
9. Smith, D. I., "Flood Damage Estimation- A Review of Urban Stage-damage Curves and Loss Function," Water SA, Vol.20, No.3, 1994.
10. Grigg, Neil S. and Otto J. Helweg, "State-of-
The Art of Estimating Flood Damage in Urban Areas," Water Resources Bulletin, Vol. 11, No. 2, 1975.
11. Saaty, Thomas L., The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, 1990.

收稿日期：民國 91 年 5 月 16 日

接受日期：民國 91 年 5 月 30 日