

崩塌地區代表性雨量訂定方法初步研究

游文輝¹ 游繁結² 陳天健³ 陳建元³ 洪鳳儀¹ 林聖琪¹ 蘇玉峰¹

1. 國家災害防救科技中心 研究助理
2. 國立中興大學教授兼國家災害防救科技中心坡地災害防治組召集人
3. 國家災害防救科技中心 博士後研究員

摘要

坡地災害之防救，諸如崩塌與土石流的預警基準值劃定、災害的境況模擬、亦或土石規模、潛勢區域的預估，都有賴於正確的降雨資料。但是礙於現實環境不可能無限制地裝設雨量計，因此發展應用現有雨量站網求取崩塌地點代表性雨量之評估模式，乃為減輕雨量站設置壓力之替代方法之一。本文利用交叉相關係數及區集克利金內插法的觀念，預估崩塌地點的降雨量，可獲得不錯的成果。

一、前言

各種坡地災害中，除非在當地已經設有監測站或是雨量計直接測得雨量紀錄外，一般而言，崩塌地點實際之降雨量不易估算。但是礙於實際現有的環境(包括預算問題，雨量計裝設、傳訊、維護的困難)，不可能於每一個崩塌地點或是可能發生災害的地區，都裝設監測站或是雨量計。

現有大部份的研究，都是運用既有的雨量測站降雨資料，再輔以各種的內插方法，間接估計崩塌地點的雨量值，以求得坡地災害發生時，當地之雨量資料。

而獲得較正確的雨量資料後，再針對坡地災害整理出崩塌及土石流預警基準值；歷史災害的等時雨量線、等日雨量線；亦或災害之境況模擬、或是災害土石規模、面積的預估等資訊。正確的雨量資料，對於上述資訊扮演著直接影響分析結果的重要因素。

二、文獻回顧

於降雨量推估方面，范正成(2000)採用土石流溪流附近雨量測站之時雨量資料，進行土石流預警系統之降雨分析，對於各個土石流發生溪流樣本處之雨量資料推估，採用距離平方反比法求得。

此一距離平方反比法之特性，為假設某一現象在空間上的變遷，大部分是為漸變的趨勢，而非是突然變動。距離平方反比法的未知點，就是以鄰近點距離遠近之平方值來決定權重，越近權重越大。

國立成功大學防災研究中心(2001)的研究中則提出，每條土石流危險溪流的雨量資料，以距離該溪流最近的三個雨量站之距離反比計算，此一方法跟前述范正成(2000)的內插方法類似，所不同的在於

雨量站的選取方式。

林美聆等(2002)對崩塌地雨量站的選擇，則以能涵蓋所有的崩塌地，並確保雨量資料以內差方式取得為原則。選定雨量站後，配合軟體以克利金內插法分析，估計崩塌地雨量。

詹錢登(2003)則以相關性最高的雨量站來代表，其雨量站的選取方法說明如下：

- (一).該鄉鎮內集水區有雨量站，則採用最接近土石流潛勢溪流之雨量站。
- (二).該鄉鎮內集水區無雨量站，則採用鄉鎮外但同一集水區而且最接近土石流潛勢溪流之雨量站；若仍無雨量站，則採用最接近土石流潛勢溪流的集水區之雨量站。
- (三).鄉鎮中若有多個子集水區時，在每一子集水區內，各採最接近土石流潛勢溪流之雨量站。
- (四).若同一個集水區內之土石流潛勢溪流眾多或過於分散時，則可視情況採用二個或二個以上的雨量站。

三、降雨特性與空間相關性分析法

以上前人的研究方式，多以雨量站與崩塌地區或土石流溪流空間關係為考量因子，但對於降雨特性並無明確之考慮。因此，本文引進交叉相關(Cross Correlation)的觀念，運用於推估模式中，以下簡要說明相關之理論定義及工具程式背景。

本文求取崩塌地區雨量前，會先針對崩塌地區附近雨量站紀錄進行降雨特性分析，運用統計學上的交叉共變數(Cross Covariance)及交叉相關(Cross Correlation)的觀念(Lewis, 1995; Webster and Oliver, 2001)，說明如下如下：

交叉共變數在統計學中經常使用的到，定義為：

$$C_{jk}(\tau) = \sum_{i=1}^N r_j(t_i) * r_k(t_i + \tau) \quad \dots\dots (1)$$

其中， C_{jk} 為二個雨量站雨量數值的累加乘積； τ 為時間增加量，也就是延時(單位為小時)； r_j 為最接近崩塌地點雨量站的 j 雨量數值(在本研究為時雨量)； r_k 為掃描半徑範圍內另一雨量站 k 的雨量數值； t_i 為降雨時間。

交叉相關係數則是將交叉共變數做更進一步無因次化，將相關係數拘限(正規化)在 0-1 之間，藉由交叉相關數值的大小，判斷兩測站間雨型的相關性，若數值越大代表兩站雨型越接近，兩站雨量相關性越大，交叉相關係數定義如下：

$$S_{jk} = \frac{C_{jk}}{\sqrt{C_{jj}C_{kk}}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

其中， S_{jk} 即為兩測站雨型的交叉相關係數； C_{jk} 為由(1)式計算出來的交叉共變數； C_{jj} 、 C_{kk} 為 j 與 k 兩站雨量測站本身的雨量數值的累加乘積，也就是各自雨量站的交叉共變數。

檢驗交叉相關係數的數值大小，即可求出兩雨量站間彼此的相關程度。在預估崩塌地點的雨量值時，就可以先將相關性較小的雨量站剔除，這樣的做法直接考慮兩雨量站間雨型之相關性，以實際之降雨特性來做分析，不再間接考慮測站間的距離、高程、迎風面背風面等影響因素，將問題單純化。

另外，於空間相關性分析方面，本文所用方法為區集克利金內插法(Block Kriging Method, Cinzia and Ezio, 2002)，為以基本克利金內插法衍生之改良方法。首先在內插動作之前需求出半變異元圖，其求法簡要說明如下：

半變異元圖是由半變異函數 $\gamma(h)$ (Semi-variogram)及距離 h 所組成，如圖 1 所示，其中半變異元函數定義如下：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \{Z(X_i) - Z(X_i + h)\}^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

其中， $\gamma(h)$ 為半變異函數； n 為每一對(a pairs)不同樣本組合的數量； $Z(X_i)$ 為分析區集的表面函數(Surface function)； h (Distance) 為樣本彼此間的距離。

將半變異函數 $\gamma(h)$ 當作 Y 軸，距離 h 當作 X 軸，帶入分析區集中樣本的所有數值，得出來的圖形即為半變異元圖。

通常在 h 趨近 0 的附近，而 $\gamma(0)$ 即相當於半變

異函數的截距，在此定義做初始值(Nugget)。

隨距離 h 增大 $\gamma(h)$ 亦隨之增加，而逐漸趨近一定值，該定值即為門檻值(Sill)。而 $\gamma(h)$ 變化之範圍稱作區間值(Range)。相距大於區間值之觀測值間不具有空間相依性。

FGAM 計算程式為 James and Kenneth (1998) 所發表的，此一程式的功用在於求取特定區域空間中的半變異元圖，而本文則利用本程式內建之球形(Spherical)迴歸模式可用，代入雨量站座標及降雨資料後，求取半變異元函數中的參數，即是上述所提的初始(Nugget)值、門檻(Sill)值、區間(Range)值等三參數。

本文所使用的區域克利金內插法是眾多克利金內插方法的一種，在此不作詳細的推導，它的主要方程式如下：

$$\sum \lambda_j \gamma(X_i, X_j) - \gamma(X_o, X_j) + \mu = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\sum \lambda_i = 1$$

其中， λ_i 、 λ_j 為加權函數； $\gamma(X_i, X_j)$ 、 $\gamma(X_o, X_j)$ 皆為半變異元函數； μ 為拉格朗茲運算子(Lagrange's multipliers)。

當觀測值 X 定義為一個區塊面積時，則此法稱為區域克利金法。

本文中為採用 JCBLOK 程式估算崩塌地點之降雨量。JCBLOK 程式同樣為 James and Kenneth (1998) 所發表，程式的功用是利用區域克利金的理論進行空間插值分析。

四、代表性雨量之預估方法

本文引進交叉相關係數分析法與區集克利金理論的空間插值分析，以求得崩塌點之代表性雨量。因此，以下針對分析步驟做一說明，分析模式步驟的流程示意圖，如圖 2 所示：

步驟一：首先定出崩塌地點的座標，找出最接近崩塌地點的雨量測站，以此站為中心作輻射狀掃描，將 10 km-20 km 半徑範圍之內的雨量測站選出。

步驟二：在步驟一中，用交叉相關係數的觀念，把與最接近崩塌地點的雨量站，相關性最大的幾個雨量測站求出。

步驟三：把相關性最大的數個雨量站(包含最接近崩塌地點的站)的降雨資料及雨量站座標，代入 FGAM 程式，求出半變異元圖的三個參數。

步驟四：用 FGAM 程式求出之參數，以及各分

析雨量站的座標及雨量資料，代入 JCBLOK 程式中，最後即可計算出崩塌地點的雨量數值。

五、案例分析

本文以民國 90 年 9 月納莉颱風事件，針對台北市地區進行實際案例雨量值估算，以瞭解預估方法之適用性。

本案例選定納莉風災中，北市 73 坡地崩塌點的其中一處，位置位於內湖區環山路二段的麗山新村內，二度分帶的 X.Y 座標為 (307261.28, 2775805.63)，離該處最近的雨量站為距離 914 公尺的內湖雨量測站，如圖 3 所示。圖中包含 73 處北市崩塌處以及台北雨量站的位置，表 1 為本研究分析所用的雨量站資料。

步驟一：以內湖站為基準，半徑 10-20 km 做掃描，幾乎包括台北市區內的所有測站，所以本案例將就台北縣市 29 個雨量站代入分析。

若邊坡崩塌型態為落石坍方、路基崩塌等小區域的坡地災害，則災害地點很容易定位。若破壞型態為土石流災害，則因地區狹長，災害定位不易。由於引發土石流之主因之一為大量的降雨，其中多數的降雨集中在上游的發生區，於此應將災害地點定位在溪流的最上游處較為適宜。本案例為土石流災害，因此位置決定於上游區域。

接下來就針對標定之崩塌地點位置，找出與它最近的雨量測站，將該雨量測站當作圓心，以 10-20 km 為半徑，把在此圓範圍以內的所有雨量站求出。依世界氣象組織建議，雨量站的設置標準為 100-250 km²/站。以目前氣象局、經濟部水利署所設置的觀測雨量站計有 400 個，而台灣本島面積為 36,000 km²，所以大約每 90 km² 就有一個雨量站，站與站的間距大約為 6 km。因此用 10-20 km 作為搜尋半徑，比起平均值 6 km 大 2-3 倍，故所得的雨量測站數量，對分析研究工作來說應該足夠。

步驟二：將上一步驟的 29 個雨量站資料(包括納莉颱風過境的降雨資料)，用交差相關係數的觀念計算，如表 2 所示。

雨量站選取的要點有兩個，第一是選取相關性較高的雨量站，第二是在相關性較高的雨量站中，挑出崩塌地周圍的雨量站，以確保不會有外插情形產生。

由上述的兩個要點作為篩選原則，表中可看出，與內湖站計算出的交叉相關係數，數值較高的測站計有社子、外雙溪、大直、石碑、天母、士林、內湖、南港、三重、大尖山、五堵共 11 個測站，這

些雨量站分布在崩場地點周圍，使資料確定為內插的方式出現，不會出現外插的情形，所以就用這幾個站作為模式分析時的資料。

步驟三：本案例是求在崩塌當時該地點的時雨量，將 11 個測站的座標資料及雨量資料(如時雨量、日雨量、有效累積雨量等)彙整成檔案的形式，代入 FGAM 程式中，如圖 4 所示，可以計算出半變異元圖中三個參數，三個參數的數值分別為，起始值(Nugget)為 0，門檻值(Sill)為 902，區間值(Range)為 13200，而它的迴歸線型採為球形(Spherical)。

步驟四：將步驟三所得出之半變異元圖的三個參數，連同 11 個測站的座標資料及雨量資料，代入 JCBLOK 程式中，如圖 5 所示。其中，採以區域克利金內插法進行分析，然後輸入分析區集之尺寸、數量，分析區集邊界之兩座標位置，即進行內插計算，計算出來的結果，如圖 5 右上角深淺圖案所示。

圖中將雨量數值用不同顏色漸層方式表示，程式會將各區塊內插出來的雨量值，輸出成 GRD 的檔案格式，可以找出崩塌地點最接近的雨量值，即為崩塌地的雨量值。本案例所得時雨量為 44 mm/hr。

由於上述為針對說明崩塌地點代表性雨量預估之分析方法與步驟。為驗證雨量之適用性，本文取納莉颱風在台北市大直雨量站之降雨作為驗證案例。假設大直雨量站降雨量是未知數(實際累積降雨量為 827mm，即視大直站為崩場地點)，運用范正成(2000)與林美聆等(2002)分析方法與本文分析法計算，做一個比較，計算結果與誤差【此處誤差的定義為—誤差(%)=|估計量-實際值|/實際值】，如表 3 所示，由表中顯示本文建議之分析方法誤差僅為 3.6%，預估結果頗為接近實際值。

六、結論與建議

本文重點為代表性雨量分析，綜合以上各小節，可以得到以下結論與建議：

(一)在做雨量內插動作之前，已經用交叉相關係數的方法，將相關性較小的雨量站剔除，僅留下與崩場地相關性最大的雨量站。而且此法可免去間接考慮颱風路徑、迎風面、高程差等問題。

(三)區域克利金內插法，適用在小面積小區域的內插狀況下，用來估計單一位置的雨量值較為適合。

(四)本文引進交叉相關係數分析法與區域克利金理論的空間插值分析方法，推估代表性雨量，分析步驟較複雜，花費時間長，但是相對的在雨量預估精度上則可得到較準確之結果。

七、參考文獻

149-192。

- 1.國立成功大學防災研究中心, 2001: 土石流警戒分區與發生基準值之研究評估, 行政院農業委員會水土保持局。
- 2.林美玲、陳天健、劉東京、林聖琪、李正利、魏水木、葉斯元, 2001: 臺北市崩坍預警基準研究報告, NAPHM 90-18, 防災國家型科技計畫辦公室。
- 3.林美玲、陳天健、李正利、魏水木、葉斯元、林鴻州、游文輝, 2002: “台北市崩坍預警基準初期研究”, 中央氣象局天氣分析與預報研討會論文。
- 4.范正成、張國良、彭光宗, 1998: 土石流防災與監測之研究-雨量分析、降雨預報應用於土石流預警(三), 計畫編號: NSC87-2621-P-002-039, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 5.范正成、張國良、劉哲欣, 2000: 土石流發生危險度及時分析及評估系統(二), 計畫編號: NSC89-2625-Z-002-022, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 6.詹錢登, 2002: 土石流發生降雨警戒值模式之研究, SWCB-91-63-08, 行政院農委會委託研究報告。
- 7.詹錢登, 2003: 以降雨因子進行土石流警戒基準值訂定, 報告編號: 20103301, 行政院農委會水土保持局委託研究報告。
- 8.周文賢, 1997: 統計學, 初版, 智勝文化事業有限公司, 台北市, pp 378-431。
- 9.詹世煌與方世榮, 1988: 統計學導論, 初版, 曉園出版社, 台北市, pp 339-375。
- 10.Cinzia M. and Ezio T., 2002: “Development and application of the block Kriging technique to rain-gauge data”, University of Bologna. MUSIC.Deliverable 7.1, pp 1-18。
- 11.James R. C. and Kenneth M., 1998: “Visual Basic Programs For One, Two Or Three-Dimensional Geostatistical Analysis”, Vol. 24, No. 6, Computers & Geosciences., pp. 531-536。
- 12.Lewis J. P., 1995: “Fast Template Matching”, Vision Interface, pp 120-123。
- 13.United States Environmental Protection Agency-Environmental Monitoring Systems Laboratory, 1991: Geo-eas 1.2.1 Geostatistical environmental Assessment Software-User’s Guide, EPA/600/8-91/008, EPA, United states。
- 14.Webster R. and Oliver M., 2001: “Geostatistics for environmental scientists”, Chichester, England, pp

表 1 分析所用台北縣市雨量站資料表

預警系統分析所用雨量站					
編號	雨量站名	雨量站編號	X	Y	所在縣市 行政區
1	社子島	C0A98	296618.95	2777066.26	台北市 士林區
2	外雙溪	C0A99	307093.85	2777906.14	台北市 士林區
3	天母	C0A9C	303390.66	2779214.18	台北市 士林區
4	士林	C0A9E	299844.80	2776000.77	台北市 士林區
5	公館	C1A73	303660.12	2767676.91	台北市 大安區
6	大直	C0A9A	304109.30	2774601.66	台北市 中山區
7	台北	46692	301043.23	2770220.53	台北市 中正區
8	內湖	C0A9F	307134.51	2774890.93	台北市 內湖區
9	木柵	C1A69	308357.91	2764003.89	台北市 文山區
10	竹子湖(十河局)	01A42	303452.55	2784845.19	台北市 北投區
11	石牌	C0A9B	300982.52	2778958.80	台北市 北投區
12	竹子湖(氣象局)	46693	303769.82	2782507.82	台北市 北投區
13	鞍部	46691	302075.32	2786193.53	台北市 北投區
14	信義	C0A9H	306429.10	2769288.03	台北市 信義區
15	南港	C0A9G	310062.42	2772396.34	台北市 南港區
16	三重	C0A9I	298314.12	2773072.24	台北縣 三重鎮
17	南勢角	C1A70	298626.64	2763996.65	台北縣 中和市
18	永和	C0A9D	314771.26	2759940.43	台北縣 永和市
19	石碇	C1A64	316091.21	2765454.41	台北縣 石碇鄉
20	大尖山	C0A59	316368.58	2771855.79	台北縣 汐止鎮
21	坪林	C0A53	321255.55	2759172.58	台北縣 坪林鄉
22	三和	C0A93	309021.11	2792129.91	台北縣 金山鄉
23	關渡	C1A97	296298.10	2780788.19	台北縣 淡水鎮
24	淡水	46690	294354.34	2784196.89	台北縣 淡水鎮
25	四十份	C1A9N0	309165.70	2758776.67	台北縣 新店市
26	屈尺	C0A58	304345.33	2757495.24	台北縣 新店市
27	大坪	C0A86	314652.36	2785016.98	台北縣 萬里鄉
28	五指山	C0A87	311112.99	2781277.46	台北縣 萬里鄉
29	五堵	01B03	319268.03	2774916.40	基隆市 七堵區

表 2 納莉颱風 29 個雨量站之交叉相關係數表

	公館	木柵	竹子湖(小灣)	社子	外雙溪	大直	石牌	天母	士林	內湖	南港	信義
公館	1	0.794	0.365	0.444	0.315	0.465	0.416	0.398	0.431	0.419	0.640	0.930
木柵	0.794	1	0.394	0.398	0.264	0.429	0.431	0.465	0.373	0.411	0.601	0.761
竹子湖(小灣)	0.365	0.394	1	0.713	0.777	0.789	0.778	0.829	0.729	0.781	0.691	0.432
社子	0.444	0.398	0.713	1	0.831	0.881	0.959	0.897	0.917	0.805	0.559	0.559
外雙溪	0.315	0.264	0.777	0.831	1	0.920	0.864	0.846	0.924	0.778	0.439	0.439
大直	0.465	0.429	0.789	0.881	0.920	1	0.880	0.855	0.970	0.877	0.580	0.580
石牌	0.416	0.431	0.778	0.959	0.864	0.880	1	0.969	0.905	0.794	0.521	0.521
天母	0.398	0.465	0.829	0.897	0.846	0.855	0.969	1	0.855	0.757	0.479	0.479
士林	0.431	0.373	0.729	0.917	0.924	0.970	0.905	0.855	1	0.836	0.547	0.547
內湖	0.419	0.411	0.781	0.832	0.927	0.971	0.849	0.835	0.934	1	0.875	0.875
南港	0.640	0.601	0.691	0.805	0.778	0.877	0.794	0.757	0.836	0.875	1	0.793
信義	0.930	0.761	0.432	0.559	0.439	0.580	0.521	0.479	0.547	0.541	0.793	1
關渡	0.338	0.289	0.540	0.911	0.712	0.740	0.899	0.799	0.816	0.686	0.651	0.423
南勢角	0.753	0.755	0.160	0.162	0.142	0.219	0.189	0.196	0.202	0.207	0.351	0.608
石碇	0.645	0.773	0.492	0.546	0.409	0.528	0.573	0.619	0.478	0.514	0.669	0.644
大坪	0.391	0.483	0.802	0.778	0.743	0.751	0.841	0.883	0.726	0.769	0.725	0.469
五指山	0.436	0.550	0.754	0.760	0.764	0.764	0.845	0.893	0.745	0.783	0.735	0.498
三和	0.310	0.414	0.538	0.622	0.454	0.446	0.703	0.722	0.483	0.433	0.436	0.313
三重	0.651	0.533	0.622	0.878	0.794	0.902	0.820	0.750	0.926	0.888	0.771	0.771
大空山	0.689	0.635	0.602	0.767	0.705	0.797	0.762	0.739	0.771	0.919	0.790	0.790
四十分	0.524	0.725	0.375	0.353	0.149	0.290	0.414	0.444	0.241	0.256	0.372	0.514
五堵	0.490	0.463	0.683	0.732	0.732	0.777	0.759	0.775	0.732	0.823	0.539	0.368
竹子湖(氣象局)	0.354	0.419	0.793	0.645	0.629	0.621	0.768	0.822	0.582	0.653	0.624	0.394
數部	0.356	0.432	0.719	0.649	0.585	0.603	0.762	0.802	0.586	0.621	0.577	0.368
淡水	0.386	0.370	0.566	0.863	0.581	0.661	0.862	0.778	0.712	0.607	0.631	0.446
台北	0.900	0.746	0.479	0.622	0.469	0.625	0.571	0.518	0.613	0.561	0.789	0.953
永和	0.951	0.737	0.234	0.309	0.212	0.321	0.285	0.260	0.312	0.285	0.480	0.862
屈尺	0.459	0.581	0.243	0.254	0.130	0.228	0.296	0.305	0.208	0.208	0.300	0.430
坪林	0.585	0.648	0.699	0.440	0.398	0.469	0.525	0.584	0.391	0.465	0.584	0.577

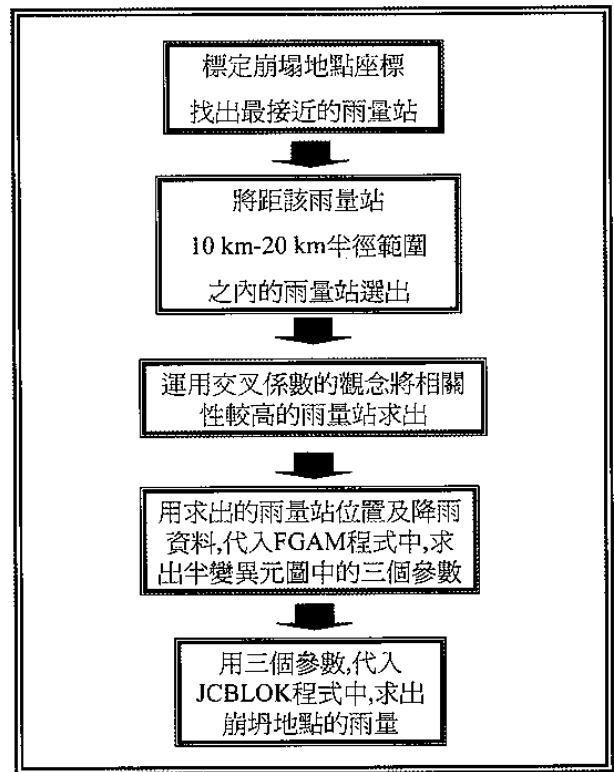


圖 2 本文分析流程示意圖

表 3 各種分析模式比較

各類	范正成	成大防災中心	林美玲	詹錢登	本文
分析方法	(2000)	(2001)	(2002)	(2003)	分析模式
估計雨量 (mm)	886mm	901mm	883mm	951mm	857mm
誤差(%)	7.1%	8.9%	6.8%	15.0%	3.6%

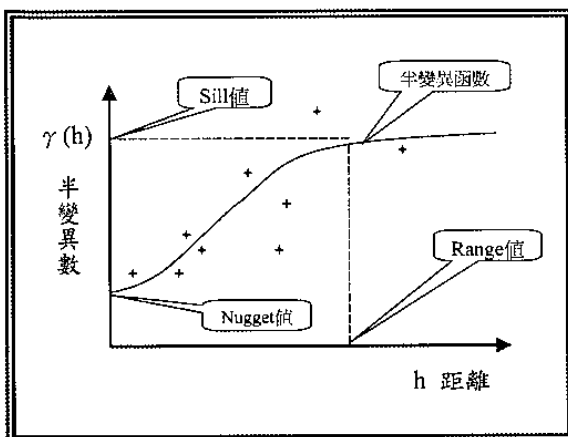


圖 1 半變異元圖示意圖

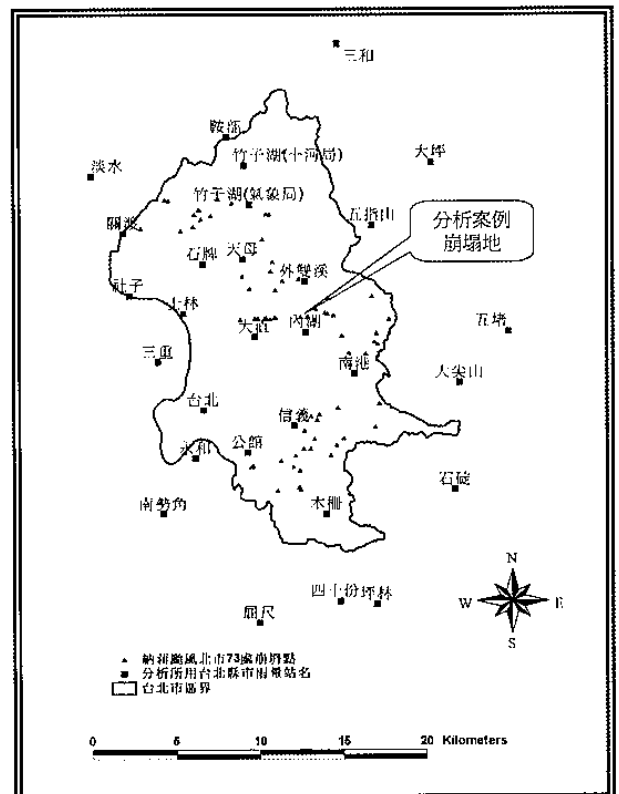


圖 3 納莉颱風北市 73 處崩塌及雨量分布圖

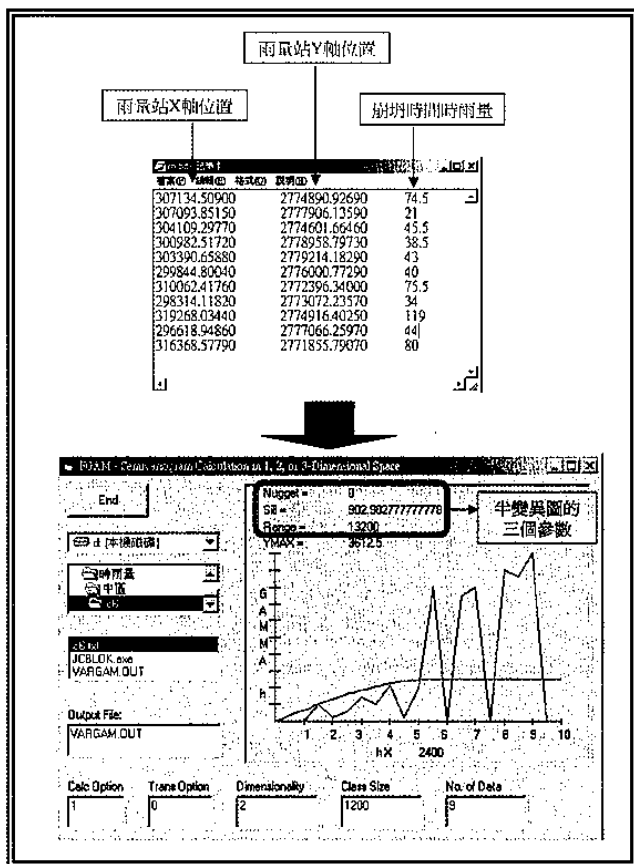


圖 4 將雨量資料代入 FGAM 程式示意圖

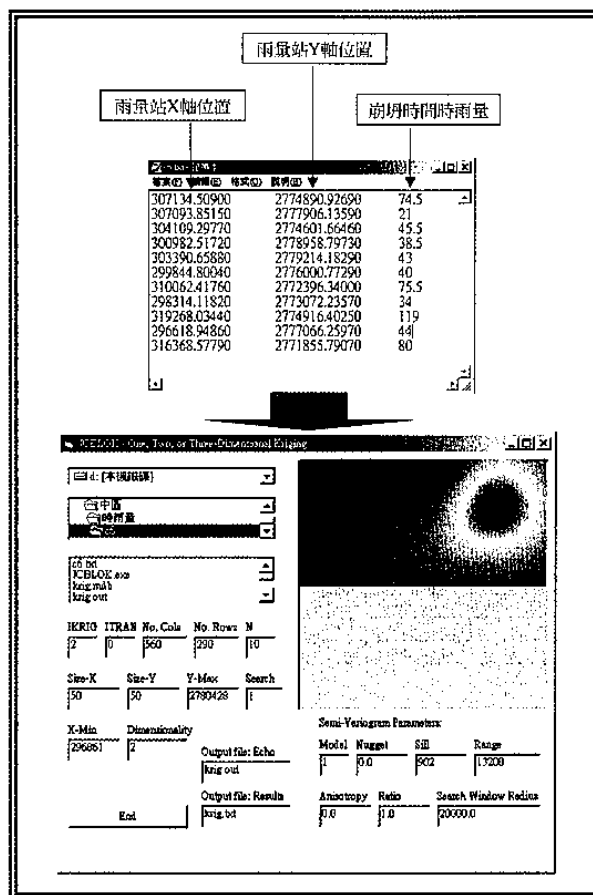


圖 5 將雨量資料代入 JCBLOK 程式示意圖