

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫：坡地災害之邊坡穩定機制研究(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2625-Z-002-019-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：林銘郎

計畫參與人員：鄭傑銘

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 16 日

坡地災害之邊坡穩定機制研究(II)

A STUDY ON THE MECHANISM OF SLOPE STABILITY (II)

計畫編號：NSC 91-2625-Z-002-019

執行期限：91/8/1-92/7/31

主持人：林銘郎 台灣大學土木工程學系副教授

一、摘要

中文摘要(關鍵詞：山崩潛感圖、豪雨、地理資訊系統、溪頭)

本研究主要的目的便是想進一步探討，瞭解各參數之敏感性及其自然界之變動性，並嘗試提出反算分析模式，合理地推求工程性質參數，以做為日後研究之參考。

選擇之研究區位於台大實驗林區內，鳳凰山東西兩側。其中鳳凰山西側-溪頭地區做為模式建立之區域，而鳳凰山東側則是反算模式驗證之地區。

經由鳳凰山東西兩側工程性質參數之比較結果顯示，本研究所提出之豪雨及地震反算模式為一套可行之方法。且將區位因子之影響放入工程性質參數之考量當中，為一可行之方式。另外，由研究成果顯示，分析所得之安全係數及永久位移量，雖不能與現地邊坡在豪雨及地震後之真實破壞行為吻合，但卻可提供一有用之指標。

英文摘要(landslide susceptibility zonation、rainfall、groundwater depth factor、GIS、Shitou)

The main object of this study is to assess the landslides caused by torrential rainfall through physical based single-variable analysis based on GIS technology. The parameter used to assess rain-induced landslides is the safety factor of infinite slope. The influence of rainfall is taken into account by using the groundwater depth factor (m) which is relative to precipitation、porosity and plant cover.

The technology of remote sensing (RS) is used to get temporal information of landslide events. The landslide susceptibility of the shitou area after the Herb typhoon (1996) and the Toraji typhoon (2001) were verified using the landslide location data. Particularly, the Toraji typhoon encroach upon the shitou area after the Chi-Chi earthquake (1999), so we must decrease the parameter used to assess rain-induced landslides. The results reveal that satisfactory consistence between the susceptibility map and the existing data on landslide location can be efficiently obtained through GIS and physical based single-variable analysis.

二、計劃緣由與目的

早期利用 GIS 分析多未將誘因放入考量，近年來國內外相關研究開始將誘因放入考慮，分析方法可分為以統計方式，給予誘發因子權重(Keefer，1984;呂政諭，2001;許煜煌，2002)，以及利用安全係數(豪雨)與永久位移量(地震)之概念(Luzi and Pergalani，1996;Jibson et al.，1998，2000;朱聖心，2001;Refice and Capolongo，2002;陳?璇，2002)來進行分析。目前以 GIS 為工具，利用統計方法考慮內在及外在之崩塌因子，製作山崩潛感圖的方式已有相當的成果;而以安全係數和永久位移量的觀念，進行山崩潛感評估之方式，則尚在發展當中。如何以安全係數和永久位移量之力學分析觀點，來預測山坡地潛在災害，提供山崩潛感分析另一個選擇，以便於日後防災救災使用，係本研究之主要目的。

三、研究區域概述

研究區位於南投縣南方，台大實驗林區內-鳳凰山稜線東西兩側，行政區隸屬南投縣鹿谷鄉及信義鄉;鳳凰山西側主要溪流為濁水溪流域支流-北勢溪；東側則為陳有蘭溪流域支流-內茅埔溪及坪瀨溪，所在位置如圖 3.1 所示。鳳凰山西側為反算模式建立之研究區-溪頭森林遊樂區，東側則為模式驗證之區域。

圖 3.2、3.3 分別為此區域之坡度圖及坡度統計圖。由圖可得知，六級坡佔此區域 40%以上;而山嶺線附近主要以七級坡為主。鳳凰山東側之研究區，地勢由南向東北傾斜，最高高度約 1900 公尺，最低約 700 公尺。圖 3.4、3.5 為此區之坡度圖及坡度統計圖，而坡度主要以六級坡為主，佔 50%以上。

四、研究方法及流程

4.1 豪雨引致山崩之分析

若不考慮表土侵蝕冲刷作用對邊坡穩定性之影響，則降雨造成邊坡安全係數下降，主要因素為地下水位之上升。且因地下水位參數決定不易，本研究中將假設為包含累積雨量、植生覆蓋、地層孔隙比及滑動深度之函數。

然邊坡幾何參數(滑動深度、坡度)，雖具有較高之敏感性;但邊坡本身之坡度變化，若無重大之改變(大規模崩塌、人工開挖.....)，則不致有明顯得變化。而滑動深度決定不易，且敏感性高;實際上分析時，應以現地調查為主。工程性質參數區分，以岩層為單位進行區分。由於單位重在自然界，可能變動範圍內，對安全係數並不敏感;因而反算時，並不加以調整。反算之調整以有效凝聚力及有效摩擦角為對象，且有效凝聚力在自然界變異性較大，因而以調整有效凝聚力為主，有效摩擦角為輔。豪雨反算之流程圖，如圖 4.1 所示。

4.3 地震引致山崩之分析

一般地震或豪雨所造成之山崩大多以淺層邊坡滑動為主，而淺層滑動主要發

生於崩積層及風化岩層。且台灣地區之崩積層，顆粒間膠結不良，內部透水性大，邊坡本身穩定性較低；安全係數約在 1.0~1.2 之間，最高不超過 1.3。基此原則，地震反算的方式，是與地震實際發生之崩塌做比對，調整靜態安全係數，使得 FS=1.0~1.3 之區間範圍內，可以大致上吻合崩塌地分布之情況。且因地下水位求取不易，對安全係數敏感性低；因而在分析時，若無下雨之情形，則直接加以忽略(m=0)。地震分析採用之反算流程如圖 4.2 所示。

4.4 豪雨山崩潛感圖製作

圖 4.3 及圖 4.4 為豪雨分析前後，研究區域之安全係數分佈圖；為瞭解分析之正確性，將航照判釋所得之崩塌地，套疊於安全係數圖上。由圖 4.5 可看出，大部分崩塌地皆位於安全係數小於 1 之範圍內。若將圈繪之崩塌地，轉換成真實崩塌之網格，則共有 27274 個，面積約 68.19 公頃，約佔全區面積 5.05%；而判釋結果中，安全係數小於 1 之網格數有 28471 個，面積約 71.18 公頃，約佔全區面積 5.27%。由於本研究山崩潛感性分析之結果，是以網格型態呈現；而真實崩塌地在人工圈繪時，是以向量(Vector)型態儲存。為了方便進行比對，在此定義真實崩塌網格為，當分析之網格被人工圈選之崩塌地，只要有部分或全部被含蓋到，便視為真實崩塌之網格。依此方式，則共有 25900 個 5mX5m 大小之真實崩塌網格，面積共 64.75 公頃，約佔溪頭研究區域面積之 4.80%。而分析結果中，安全係數小於 1 之網格，共有 40625 個，面積為 101.56 公頃，約佔溪頭研究區域面積之 7.52%，顯然分析結果有高估危險區域之現象。若假設每處實際崩塌網格之崩坍來源網格，有一網格為預測出來(FS<1)，則視為判釋成功。而崩坍來源網格定義為每處實際崩塌網格中，高程值大於每處實際崩塌網格內，高程中間值之網格。依此定義，則在 1813 真實崩塌地中，有 1262 處被判釋出，正確率約 70%。

事實上，豪雨所引致山崩破壞之類型，不單只有淺層破壞；而本研究為了簡單化，採用無限邊坡理論來進行評估，雖不能完全符合現地邊坡破壞之真實行為，但卻可提供一個預測性的指標。如安全係數小於 1 時，邊坡有較高之機率發生破壞。

在此定義危險係數(Dangerous factor; D_f)

$$P(f) = 0.8047D_f^4 - 1.2301D_f^3 + 0.6961D_f^2 - 0.1431D_f + 0.0122$$
 其中：當 $0 < D_f < 1$ 時； $P(f) = 7.1$ 式
 $D_f > 1$ 時； $P(f) = 0.184$
 為安全係數之倒數，崩壞比為在真實發生崩塌之網格數，佔某危險係數區間範圍內總網格數之百分比。藉由分析結果與真實崩塌地之比較，建立危險係數與崩壞比之關係式。藉此關係式瞭解在不同危險係數時，豪雨過後邊坡可能發生破壞之機率。表 4.1 為危險係數與崩壞比計算之關係表，圖 4.6 為危險係數與崩壞比之關係圖，並以多項式進行迴歸，得到關係式(6.1 式)。

$$R^2 = 0.9999 \quad ; \quad \text{其中 } P(f): \text{崩壞比}; D_f: \text{危險係數}$$

.....(6.1 式)

由此關係式便可求得在不同危險係數(安全係數)時,邊坡可能破壞之機率(崩壞比)(圖 4.7)。

4.4 地震山崩潛感圖之製作

圖 4.8 及圖 4.9 分別為地震前邊坡之靜態安全係數及臨界加速度分佈圖,而圖 4.10 則為地震後之永久位移量圖。為瞭解分析結果之準確性,將 921 地震後,航照判釋所得之崩塌地,套疊上永久位移量圖進行比對(圖 4.11)。由圖可看出,大部分崩塌皆位於位移量大之區域。若以位移量 10cm 做為比較之界線,則大於 10cm 之網格,共有 57124 格,面積約 142.81 公頃,佔總面積 10.58%;而圈選之崩塌地,轉成真實崩塌之網格後,共有 26814 格,面積約 67.04 公頃,佔總面積 4.97%。且在 736 處真實崩塌地中,共有 578 處被判釋出來($D_n > 10\text{cm}$),正確率約為 79%。

本研究以此模式分析,而得到之永久位移量,未必與現地邊坡在地震時之位移量相符;不過,卻可以提供一個可預測性的指標(Jibson, 2000)。簡言之,當模式預測之永久位移量愈大,邊坡發生破壞之機率就愈高。

為呈現此一趨勢,本研究以真實崩塌網格套疊上永久位移圖的方法,計算崩塌比,建立永久位移量(D_n)與崩壞比之關係式(6.2 式);藉此瞭解不同位移量時,邊坡可能發生破壞之機率。其中崩壞比之定義跟豪雨分析時相同。

$$P(f) = 0.134[1 - \exp(-0.2521D_n^{0.6259})] \quad \text{.....(6.2 式)}$$

$$R^2 = 0.8671$$

表 4.2 及圖 4.12 分別為位移量範圍區間與崩壞比之計算表及關係圖。由圖可看出,當位移量變大時,崩壞比有變大趨勢。獲得位移量與崩壞比之關係式後,便可計算崩壞比之分佈圖(圖 4.13);瞭解在不同位移量時,邊坡可能破壞之機率。

五、結論與討論

1. 由豪雨及地震之參數敏感性分析成果顯示,坡度、滑動深度及有效凝聚力等參數對安全係數及永久位移量之影響性高;另外,其他因子如單位重、地下水位等參數則較低。本研究分析結果亦顯示在工程性質參數(單位重、有效凝聚力、有效摩擦角)、誘發因子等參數(地下水位參數、地震強度指數)及滑動深度為定值時,安全係數及永久位移量隨坡度變化存有一臨界值。
2. 本研究提出一有效且快速之有效凝聚力及有效摩擦角等參數之反算分析法。以鳳凰山脈稜線兩側研究區為例,進行案例演算,結果顯示,一方面可以快速得

到欲得之有效凝聚力及有效摩擦角等參數;另一方面，亦可驗證本研究之方法在相同岩層區域但不同集水區的參數值，反算結果一致性佳。

3. 本研究亦考量區位因子(道路、水系、斷層等因子)並以岩性替代岩層進行分析。以溪頭研究區域之南部為例，探討其對崩壞比之影響。分析結果顯示，考量豪雨之條件下崩壞比由 0.187 提高到 0.256;考量地震時，崩壞比則由 0.135 提高為 0.143，均比以岩層做為工程性質參數區分之溪頭研究區為高。

六、參考文獻

- 1.朱聖心 (2001),「應用地理資訊系統製作地震及豪雨所引致之山崩危險圖」,國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
- 2.呂政諭 (2001),「地震與颱風作用下阿里山地區公路邊坡崩壞特性之研究」,國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
- 3.林書毅 (1999),「區域性山坡穩定評估方法探討-以林口台地為例」,國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
- 4.許煜煌 (2002),「以不安定指數進行地震引致坡地破壞模式」,國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
- 5.游中榮 (1996),「應用地理資訊系統於北橫地區山崩潛感之研究」,國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
- 6.陳?璇 (2002),「溪頭地區山崩潛感圖製作研究」,國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
- 7.Jibson, R. W., Harp, E. L. and Michael, J. A. (1998), "A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps : An Example from The Los Angeles, California Area", USGS Open-File Rep, pp. 98-113。
- 8.Jibson, R.W., Harp, E. L. and Michael, J.A. (2000), "A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps", Engineering Geology, Vol.58, pp.271-289。
- 9.Keefer, D.K. (1984), "Landslides Caused by Earthquakes", Geol. Soc. Am. Bull.95, pp.406-421。
- 10.Lucia Luzi and Floriana Pergalani (1996), "Applications of Statistical and GIS Techniques to Slope Instability Zonation (1:50000 Fabriano Geological Map Sheet)", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 15, pp.83-94。
- 11.Refica, A. and Capolongo, D. (2002), "Probabilistic Modeling of Uncertainties in Earthquake-Induced Landslide Hazard Assessment", Computers and Geosciences 28, pp.734-749。

附表

表 4.1 豪雨危險係數與崩壞比計算表

1/FS(危險係數)	數目	實際崩壞格數	崩壞比
0~0.1	1265	8	0.0063
0.1~0.2	5832	16	0.0027
0.2~0.3	11537	62	0.0054
0.3~0.4	19307	116	0.0060
0.4~0.5	33454	307	0.0092
0.5~0.6	53835	549	0.0102
0.6~0.7	83702	1843	0.0220
0.7~0.8	103837	3568	0.0344
0.8~0.9	107206	5968	0.0557
0.9~1.0	91554	9597	0.1048
大於 1	28471	5240	0.1840
總和	540000	27274	-----

表 4.2 地震位移量與崩壞比之計算表

DN(cm)	數目	實際崩塌格數	崩壞比
0-1	119685	3764	0.0314
1-2	145443	4517	0.0311
2-3	78842	3161	0.0401
3-4	44646	2129	0.0477
4-5	28954	1552	0.0536
5-6	20845	1244	0.0597
6-7	15624	1035	0.0662
7-8	12214	922	0.0755
8-9	9208	805	0.0874
9-10	7415	672	0.0906
10-11	6113	602	0.0985
11-12	4948	482	0.0974
12-13	4259	427	0.1003
13-14	3910	426	0.1090
大於 14	37894	5076	0.1340
總和	540000	26814	-----

附圖



圖 3.1 研究區域位置圖

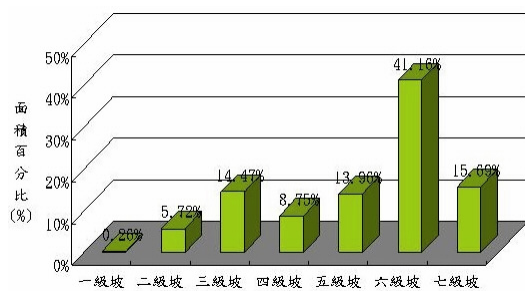


圖 3.3 鳳凰山西側坡度統計圖

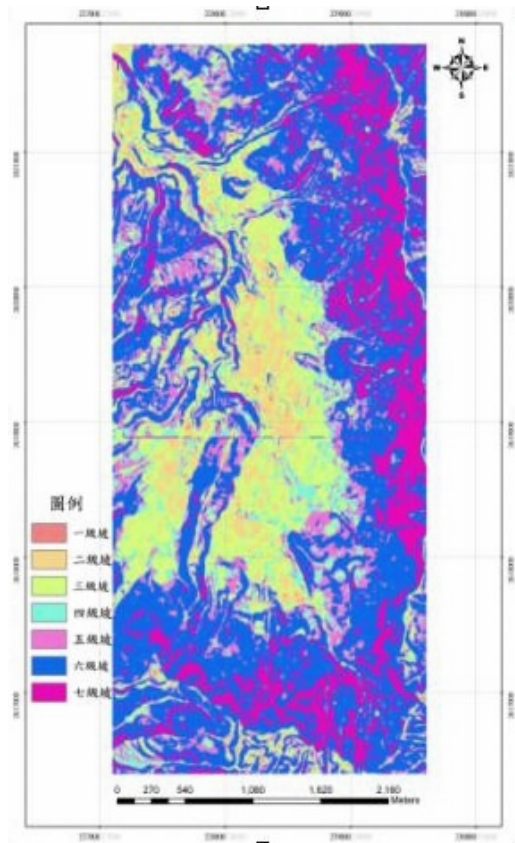


圖 3.2 鳳凰山西側坡度圖

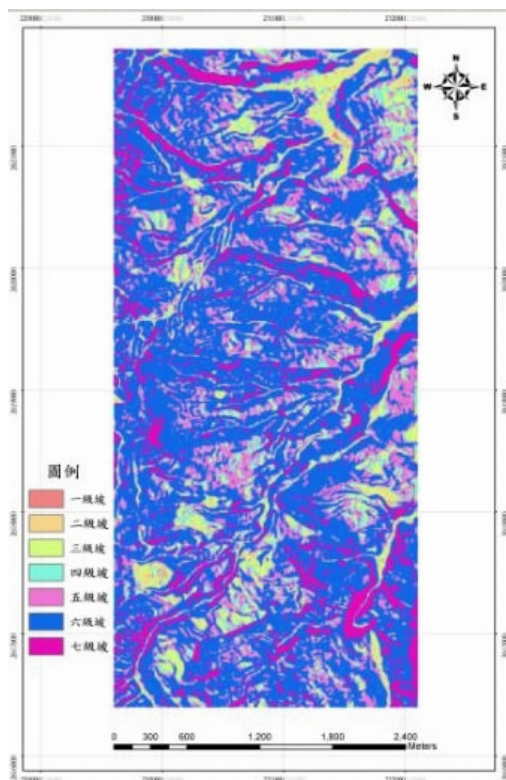


圖 3.4 鳳凰山東側坡度圖

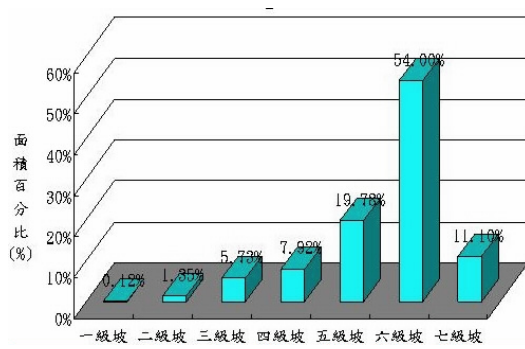


圖 3.5 鳳凰山東側坡度統計圖

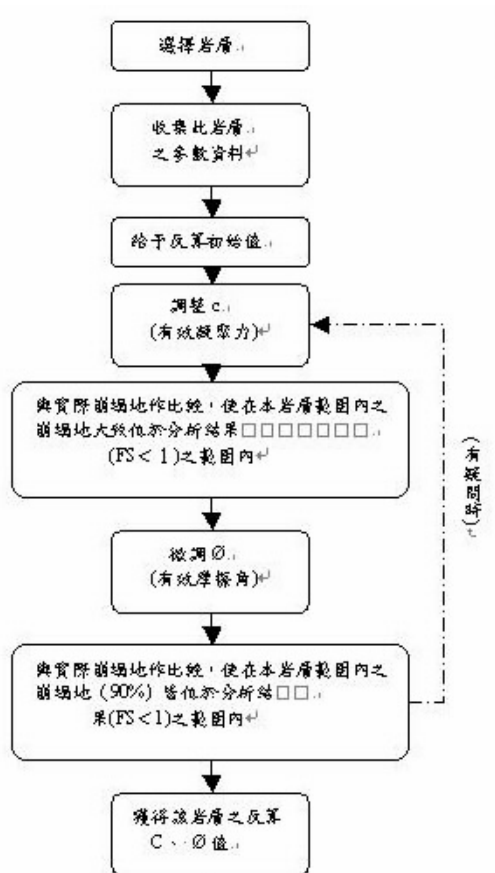


圖 4.1 豪雨反算分析之流程圖

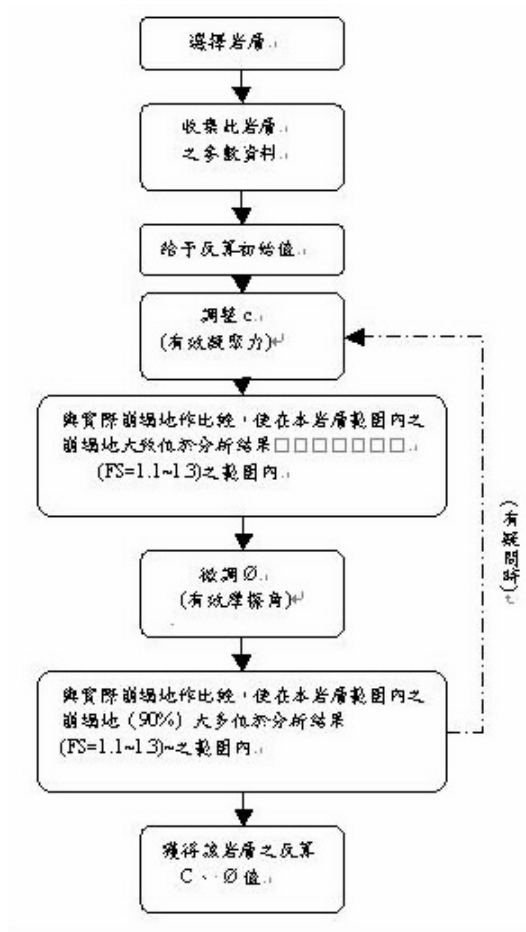


圖 4.2 地震反算分析之流程圖

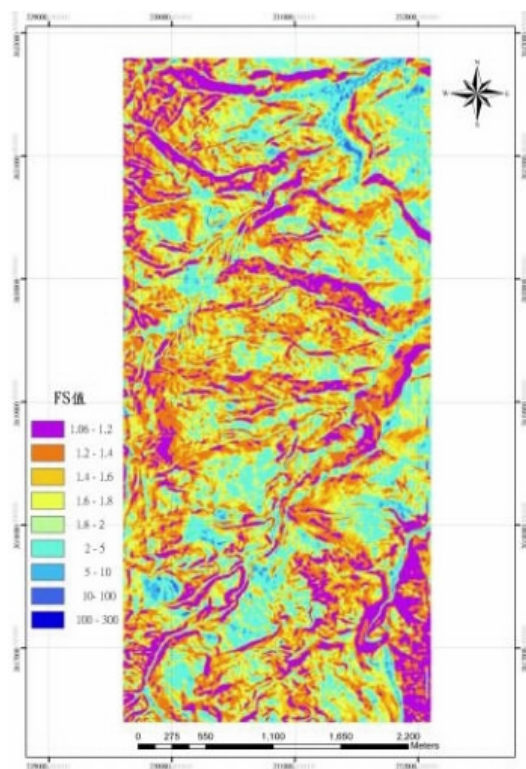


圖 4.3 桃芝颱風前安全係數之分佈圖

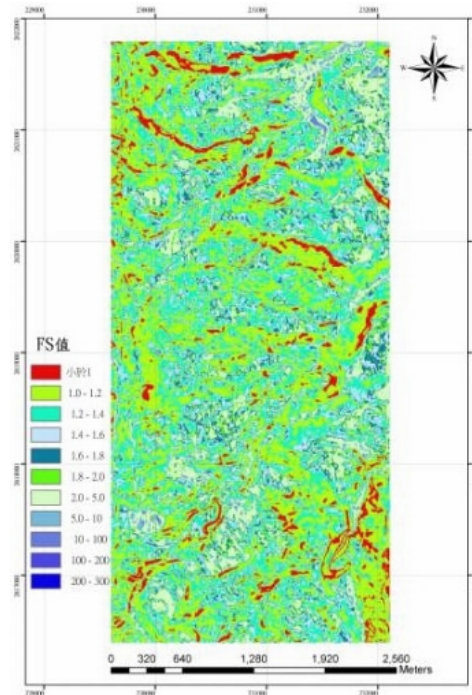


圖 4.4 桃芝颱風後安全係數之分佈圖

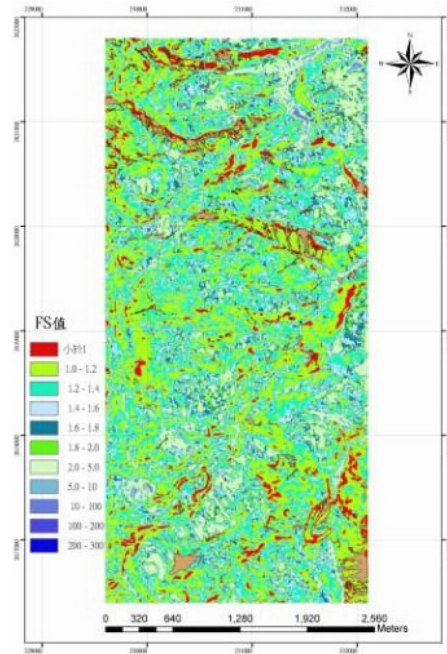


圖 4.5 崩塌地套疊於潛感評估之結果

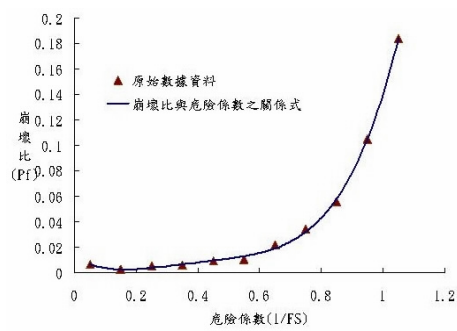


圖 4.6 危險係數與崩塌比之關係圖

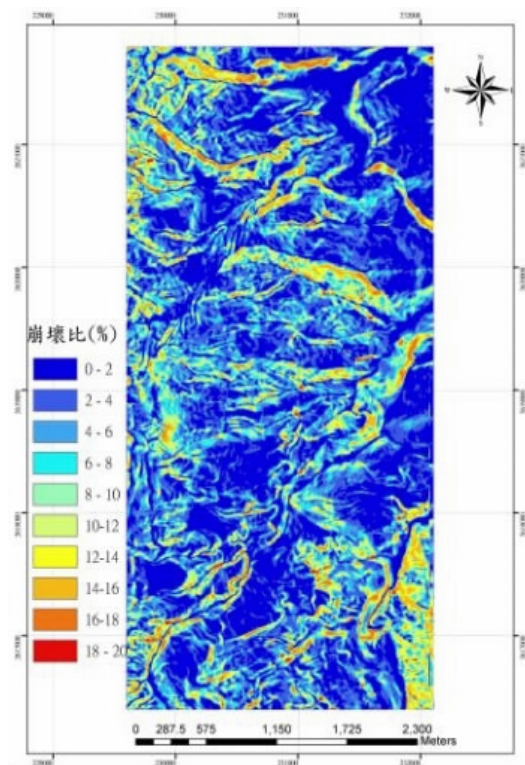


圖 4.7 不同安全係數時邊坡之崩壞比

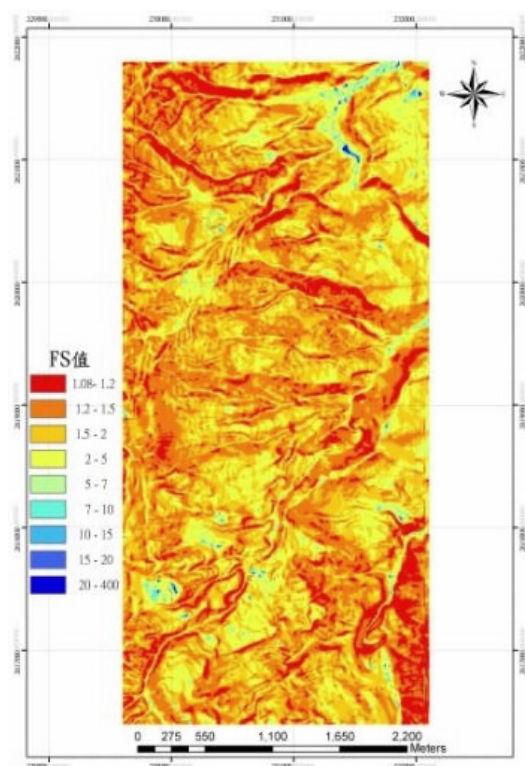


圖 4.8 地震前靜態安全係數分佈圖

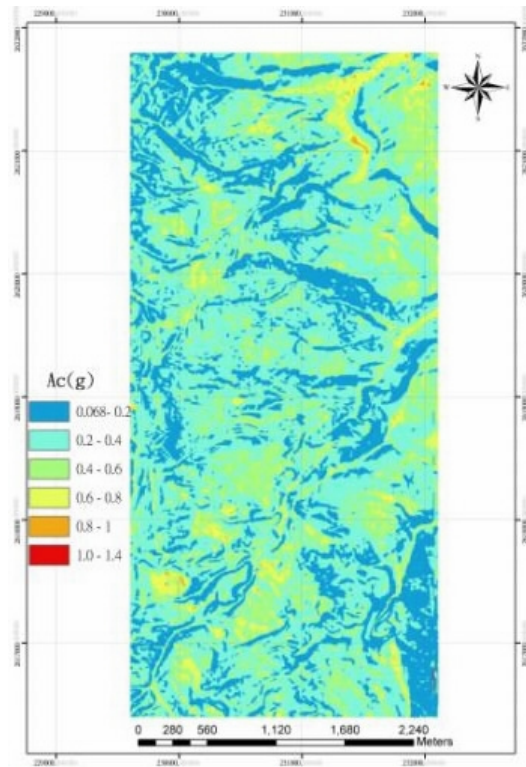


圖 4.9 地震前臨界加速度分佈圖

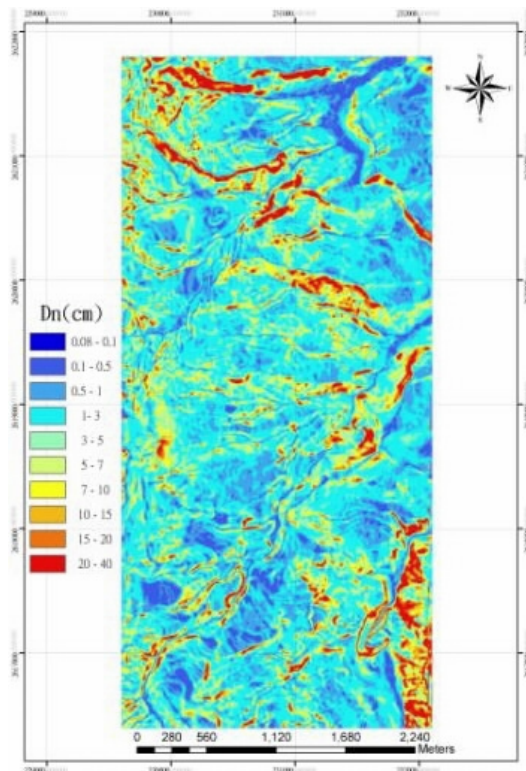


圖 4.10 地震後之永久位移量圖

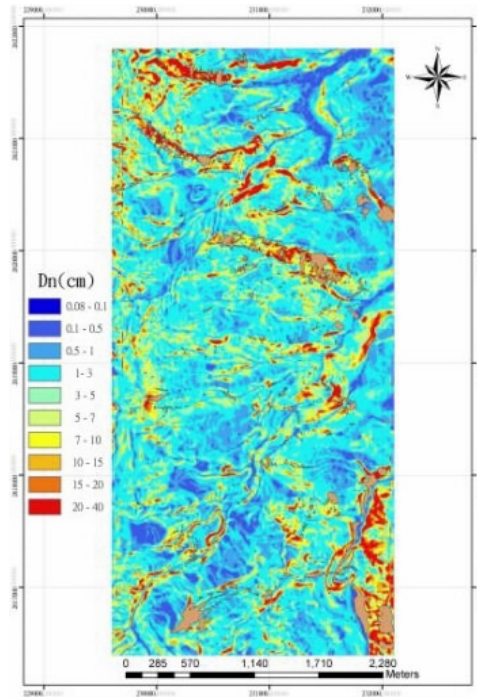


圖 4.11 崩塌地套疊永久位移量圖

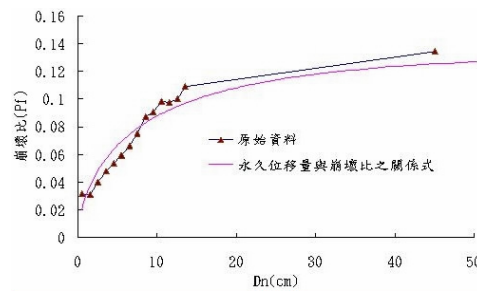


圖 4.12 位移量與崩壞比之關係圖

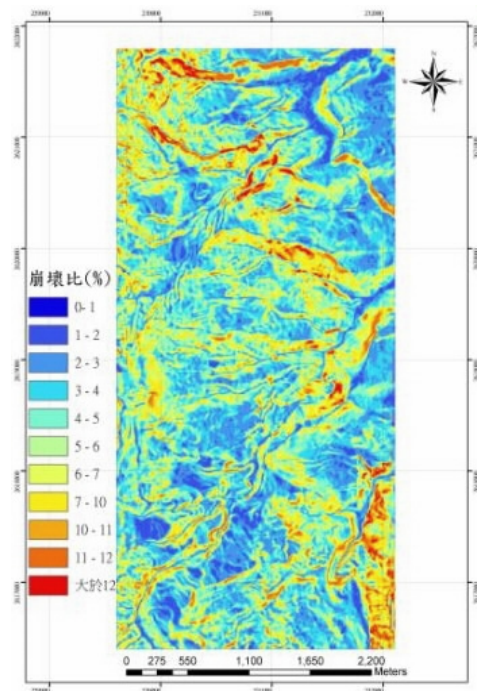


圖 4.13 不同安全係數時邊坡之崩壞比

