韓國林學會誌 75 : 32-37. 1986
Jour. Korean For. Soc. 75 : 32-37. 1986

數量化(II)에 의한 山沙汰斜面의 危險度 判別[1]

姜渭平[2] · 村井宏[3] · 大村寬[3] · 麻鎬燮[2]

On the Determination of Slope Stability to Landslide by Quantification(II)[1]

Wee Pyeong Kang[2] · Hiroshi Murai[3] · Hiroshi Omura[3] · Ho Seop Ma[2]

要 約

山沙汰安全度判別에 대한 기초자료를 얻기 위하여 1979年 8月 集中豪雨(日降雨量 465㎜)에 의하여 山沙汰가 발생한 鎭海地區를 모델로 하여 이 地區의 地形圖上($S=\frac{1}{5,000}$)에 2㎝×2㎝(實面積 100m×100m=1ha) 단위의 格子를 얹어 山沙汰地 74개, 非山沙汰地 119개 計 193개의 mesh에 대하여 山沙汰發生의 各 要因 및 水準을 計測하여 數量化(II)의 手法에 의하여 解析한 결과 山沙汰發生에 寄與度가 높은 要因의 順位는 다음과 같다. 1) 植生, 2) 縱斷斜面形, 3) 斜面位置, 4) 傾斜, 5) 方位, 6) 谷數. 또 針葉樹 10年生 내외, 複合斜面, 下降斜面, 山麓, 傾斜 10°-15°, 方位 NW, 谷數 1개의 各 水準이 不安全側에, 針葉數 20~30年生, 濶葉樹, 上昇斜面, 平衡斜面, 山頂 등의 水準이 安全側에 寄與하고 있다. 그리고 判別區分値는 -0.123이고 適中率은 72%로서 비교적 양호한 兩 group區分을 할 수 있었다.

ABSTRACT

In order to get the fundamental information that could be useful to judge the potentiality of occurrence of rapid shallow landslide in the objective slope, factors selected on Jinhae regions in Korea, where many landslides were caused by heavy rainfall of daily 465 mm and hourly 52mm in August 1979, was carried out through the multiple statistics of quantification method (II) by the electronic computer. The net system with 2 x 2 cm unit mesh was overlayed with the contour map of scale 1:5000. 74 meshes of landslides and 119 meshes of non-landslide were sampled out to survey the state of vegetative cover and geomorphological conditions, those were divided into 6 items and 27 categories.

As a result, main factors that would lead to landslide were shown in order of vegetation, slope type, slope position, slope, aspect and numbers of stream. Particularly, coniferous forest of 10 years old, concave slope and foot of mountain were main factors making slope instability.

On the contrary, coniferous forest of 20-30 years old, deciduous forest, convex slope and summit contributed to the stable against landslide. The boundary value between two groups of existence and none of landslides was -0.123, and its prediction was 72%. It was well predicted to divide into two groups of them.

Key words; landslide; slope instability; quantification

---

[1] 接受 10月 2日 Received on October 2, 1986.

[2] 慶尙大學校 農科大學 College of Agri., Gyeongsang National Univ., Jinju, Korea.

[3] 靜岡大學 農學部 College of Agri., Shizuoka Univ., Shizuoka, Japan.

緒 論

山沙汰는 集中豪雨 등 여러 要因의 複合 作用에 의하여 山腹비탈면의 一部가 一時에 무너져내리는 現象을 말한다.

韓國은 近來 産業化 過程에 있어서 人口의 都市集中으로 인한 宅地造成, 道路의 開設, 林地의 他目的 利用 등으로 山沙汰의 발생이 빈번하여 人命과 財産의 被害가 해를 거듭할수록 증가하는 추세에 있으므로 山沙汰發生에 관련되는 要因과 安全度判別의 究明이 요청되고 있다.

山沙汰發生 究明에 관한 종래의 研究는 各 山沙汰地 單位別로 그 發生原因을 究明하는 方法과 여러 곳의 山沙汰地의 發生調査 結果를 모아서 이들 중에서 하나의 要因을 빼어내어 가령 地質과 山沙汰, 植生과 山沙汰의 관계를 구명하는 方法이었다.

그러나 山沙汰는 地質, 植生 등 많은 要因이 동시에 作用하여 일어나는 것이므로 各 要因의 相互關係 및 山沙汰發生에 대한 영향도를 알기 위해서는 많은 要因을 동시에 처리하여 解析하는 것이 合理的이라 할 수 있다. 이 解法에는 多變量解析이 있고 종래부터 多變量解析에는 重回歸分析이 이용되었으나 이 경우 外的 基準과 要因이 모두 數値로서 표시되어야 한다는 조건이 있었다. 그러나 山沙汰 發生에는 要因으로서 植生, 斜面形 등과 같이 數値로서 표시할 수 없는 定性的 要因이 많다. 이런 경우에는 重回歸分析에 의한 手法은 이용할 수 없고, 數量化 手法이 이용된다. 이 手法은 外的 基準의 종류에 따라 Ⅰ～Ⅳ類까지 있고 本稿에서는 Ⅱ類(外的 基準이 分類로서 주어진 경우 즉 山沙汰地와 非山沙汰地로 分類하는 경우)를 이용하기로 한다. 數量化Ⅱ類는 원래 人文·社會科學分野의 연구에 이용되었으며 林學分野 특히 山沙汰研究分野에서의 이용은 최근 10년간의 일이다. 이들 연구 중 小橋 등[5,11]은 山沙汰에 관계되는 各 要因과 山沙汰의 영향도를 알기 위한 것이었다. 久保村 등[6,7,8,9,10]은 山沙汰의 豫知, 豫測을 목적으로 한 것이었고, 崔 등[1]은 數量化Ⅰ類의 手法으로 山沙汰發生과 各 要因의 相互關係를 연구하였다.

一般的으로 山沙汰發生의 豫知는 場所, 時間, 規模의 三條件이 갖추어져야 하나 현재로서는 이 三條件을 만족시키는 豫知方法은 없고 數量化에 의한 山沙汰發生 安全度判別은 一定한 넓이를 갖은 場所에 대해서 一次的 概査의 단계에 이용되고 特定個所에 대한 精査는 boring에 의한 地盤調査 뒤의 工學的判斷에 의해서 決定된다. 그리고 山沙汰 發生時刻은 降雨條件에서, 規模는 地表面이 바뀌어진 狀況에서 概査하는 手法이 있다.

本 研究를 수행함에 있어서 訪日研究의 機會와 支援을 해주신 韓國科學財團, 日本學術振興會에 심심한 감사를 드린다.

本稿의 統計處理는 日本靜岡大學 農學部 森林防災研究室의 N.E.C., PC-9801, VM 型 電算機에 의해 계산하였다.

材料 및 方法

1. 數量化 Ⅱ의 概要

數量化Ⅱ의 理論的인 설명은 專門書籍[2], 研究報告書[4]에 미루고 지금 그 概要를 설명하면 두 개의 相反되는 group(山沙汰地와 非山沙汰地)에 대해서 이들에 관련 要因을 選定하여 兩 group의 相關化(group間의 分散과 全分散의 比)가 최대가 되도록 하는 相關比 最大化法으로서 즉 山沙汰 group와 非山沙汰 group의 差가 가급적 명료하게 되도록 要因(item) 및 水準(要因을 區分한 것)(category)에 點數를 주어 이것을 各 斜面에 대해서 合計하여 判別區分値(兩 group의 判別이 最大精度로서 얻어질 수 있도록 配點한 경우의 兩 group의 境界値)와 比較함으로서 各 斜面의 安全度를 判斷하고 또 兩 group의 判別은 어느 정도의 適中率로서 신뢰할 수 있는가를 구하는 方法이다.

2. 모델地域의 選定 및 概要

모델地域의 選定條件은 山沙汰發生 前後에 있어서 촬영된 航空寫眞을 入手할 수 있고 또 一定地域에 相當數의 山沙汰發生個數(100個 內外)가 있는 곳이 적당하나 兩者의 條件을 만족시키는 地域의 選定은 어려우므로 後者의 條件만으로 選定된 것이 鎭海地域이며 그 概要는 다음과 같다.[3]

本 地域은 1979年 8月(當日 日雨量 465㎜, 時雨量 52㎜) 颱風에 의하여 74개소 외 山沙汰가 발생하였다. 地質은 花崗岩이며, 林相은 50～60年生의 해송이 솔잎혹파리의 被害를 입어 1965年에 被害木이 伐採되었고 그 跡地에 5－6年生 편백나무가 植栽 혹은 樹下植栽된 곳이다.

3. 要因 및 水準의 選定 및 調査方法

要因數 및 水準區分數가 많으면 많을수록 兩 group

Table 1. A part of reaction table with item and category

Item / Category / Mesh no.	Slope				No. of Stream	...	Slope position			Mesh with landslide	Mesh without landslide
	10°-15°	16-25	26-35	36-40	0 1 2 3	...	Summit	Side of Mt.	Foot of Mt.		
No.	1	2	3	4	1 2 3 4	...	1	2	3		
1		V			V		V			V	
2			V		V		V			V	
3			V		V		V				V
.											
.											
.											
192				V	V			V			V
193				V	V			V			V

Note: V shows reaction pattern

Table 2. Classification and reactionary number of each item and category

Item	No.	Category	Mesh with landslide	Mesh without landslide	Total
Slope	1	10°–15°	7	14	21
	2	16°–25°	27	45	72
	3	26°–35°	32	49	81
	4	36°–40°	8	11	19
No. of stream	1	0	43	85	128
	2	1	21	25	46
	3	2	5	5	10
	4	3	5	4	9
Aspect	1	N	1	2	3
	2	E	2	5	7
	3	SE	17	19	36
	4	S	15	17	32
	5	SW	29	56	85
	6	W	6	7	13
	7	NW	4	13	17
Slope type	1	Concave	29	27	56
	2	Convex	9	29	38
	3	Straight	12	45	57
	4	Complex	24	18	42
Vegetation (year)	1	< 10	44	27	71
	2	Co* 11-20	7	9	16
	3	20-30	1	5	6
	4	Deciduous	19	73	92
	5	Mixed	3	5	8
Slope position	1	Summit	6	12	18
	2	Side of Mt.	46	70	116
	3	Foot of Mt.	22	37	59
Total			74	119	193

*Remark: Co; Coniferous

判別의 適中率이 높아진다고 하였으나[10] 現地에서 判別의 結果를 적용할 경우 調査의 難易度, 調査에 要하는 時間 등을 생각하여 判別의 精度가 어느 정도 허용한다면 적은 數의 要因 또는 간단한 方法으로서 조사할 수 있는 要因의 選定이 바람직하다. 以上의 취지에서 6개 要因, 27개 水準이 選定되었으며 표 1은 各 mesh에 대한 要因 및 水準의 反應을 나타낸 表의 一部이며, 表 2는 이를 集計한 것이다.

要因의 調査方法은 1979年 8月 鎭海地域에서 발생한 山沙汰의 形態와 位置를 記入한 山沙汰發生 平面圖(경남, 남부치산사업소제작 $S=\frac{1}{6,000}$)를 使用하

여 山沙汰의 형태와 위치를 地形圖($S=\frac{1}{5,000}$)에 移圖하고 1개의 mesh의 크기가 2cm×2cm(實面積=100m×100m=1ha)인 Celluloide製의 格子를 地形圖上에 얹어 各 mesh에 대하여 傾斜, 谷數, 方位, 縱斷斜面形, 斜面位置를 計測하였으며 植生은 山林廳 山林資源調査所에서 作成한 林相圖($S=\frac{1}{25,000}$)와 現地踏査로 林種과 林齡을 調査하였다.

山沙汰發生에 直接的 要因인 降雨는 各 mesh 마다 同一條件이라는 假定下에 要因으로서 不選定하였고 方位要因中 NE水準은 該當 mesh가 없었기 때문에 제외하였다.

結果 및 考察

1. 各 要因의 相關檢討

표 3은 이번에 선정한 6개 要因에 대한 同質要因의 有無를 알기 위해서 要因間의 相關係數를 나타낸 것이다. 본 표에서 各 要因間의 相關係數가 0.5以下이므로 서로 獨立的이라고 할 수 있다. 따라서 어느 要因도 삭제할 필요는 없다.

Table 3. Correlation coefficient between the items

Item	Slope	No. of stream	Aspect	Slope type	Vegetation	Slope position
Slope	1.000					
No. of stream	-0.121	1.000				
Aspect	0.037	0.037	1.000			
Slope type	0.045	0.381	0.027	1.000		
Vegetation	0.016	-0.024	0.109	0.089	1.000	
Slope position	-0.382	0.107	-0.114	-0.045	-0.298	1.000

2. 要因効果의 檢討

표 4는 各 要因에 대한 水準得點(score)과 렌지(range)를 나타낸 것이다. 렌지는 要因內 水準의 最大値와 最小値의 水準得點差로서 이 값이 클수록 그 要因이 山沙汰發生에 相對的으로 寄與度가 높다는 것을 의미한다. 표 4에서 植生, 縱斷斜面形, 斜面位置, 傾斜, 方位, 谷數의 順位로 寄與度가 크다.

또 要因內의 어떤 水準이 山沙汰에 관계가 큰가를 알려면 표 4에서 ⊕의 값은 安全側에, ⊖의 값은 不安全側에 作用하고 그 크기는 數値의 大小로서 나타낸다. 가령 植生을 예로 든다면 水準 No.1(針葉樹 10年生)은 不安全側에, No.2(針葉樹 11-20年生), No.3(針葉樹 20-30年生), No.4(廣葉樹), No.5(混淆林)은 安全側에 작용하고 있다.

6個 要因中 斜面形 등 要因은 人爲的으로 그 形質을 變更시킬 수 없으나 植生은 變更시킬 수 있다. 따라서 표 4에서 植生이 山沙汰發生에 寄與度가 가장 크다는 것은 森林의 土砂扞止作用이 山沙汰發生에 영향력이 크다는 것을 나타낸 것이다.

그리고 針葉樹 10年生 內外에서 不安全側에 있다는 것은 편백나무(針葉樹)는 淺根性이고 또 皆伐跡地의 針葉樹 人工造林地에 있어서는 10年 內外에서 根

Table 4. Normalized score of each category and range

Item	No. of category	Normalized score	Range
Slope	1	0.45712	0.57532
	2	-0.00433	
	3	-0.11820	
	4	0.01550	
No. of stream	1	0.04995	0.21675
	2	-0.09695	
	3	-0.04331	
	4	-0.16680	
Aspect	1	-0.18908	0.54603
	2	0.08400	
	3	-0.02874	
	4	-0.06325	
	5	0.07348	
	6	-0.41407	
	7	0.13396	
Slope type	1	-0.36696	1.22423
	2	0.42265	
	3	0.58778	
	4	-0.63645	
Vegetation	1	-0.03220	1.76232
	2	0.06986	
	3	0.53900	
	4	0.73012	
	5	0.22039	
Slope position	1	0.78869	1.20977
	2	0.09775	
	3	-0.42108	

系의 土壤緊縛力이 最小가 되는 시기이기 때문이라고 생각된다.

두번째로 寄與度가 큰 要因은 斜面縱斷面形이며 水準 No.4(複合斜面), No.1(下降斜面)이 不安全側에 作用하고 있다. 一般的으로 複合斜面은 地形變換線(點)을 가지고 있으며 地形變換線 附近에서는 山沙汰가 일어나기 쉽다. 地形變換線은 緩斜面에서 急斜面으로 變化하는 遷急線과 急斜面에서 緩斜面으로 變化하는 遷緩線이 있다. 遷急線보다 上部의 表土層은 두텁고 下部는 地下水가 나오기 쉬운 조건을 가지고 있다. 따라서 地形變換線 附近에서는 山沙汰가 일어나기 쉽다는 것이 통설이다.

세번째로 寄與度가 큰 것은 斜面位置이며 水準 No.3(山麓)이 不安全側에, No.1(山頂), No.2(中復)이 安全側에 작용하고 있다. 山麓은 他位置에 비하여 土深이 깊기 때문(1m내외)이라고 생각된다. 一般的으로 土深 1m내외에서 山沙汰發生이 쉽고 이보다 깊어도 혹은 얕아도 山沙汰가 일어나기 어렵다는 것이 통설이다.

네번째로 寄與度가 큰 것은 傾斜이며 水準 No.3 (26°－35°) 등은 不安全側에, No.1(10°－15°) 등은 安全側에 있다. 同一地質條件에서는 力學的 均衡에서 斜面의 勾配가 急할수록 斜面은 不安定하다. 이번 解析에서 傾斜 10°-15°가 安全側에 있다는 것은 自然斜面의 특색을 나타내고 있다.

다섯번째는 方位이며 水準 No.6(W) 등이 不安全側에, No.7(NW) 등이 安全側에 있다. 一般的으로 西斜面은 무너지기 쉽고 北斜面은 安定되어 있다고 한다. 이것은 西斜面은 우리나라에서 颱風의 進行方向이 되며 風雨를 맞기 쉽고, 溫度의 變化가 크기 때문에 風化進行이 용이하기 때문이다.

여섯번째의 各數要因은 가장 렌지(Range)가 작기 때문에 고찰을 생략한다.

3. 安全度 判別

표 5는 표 4에서 구한 各 水準의 得點値를 표 1의 各 mesh에 反應시켜 193個 mesh에 대한 得點値를 계산한 표의 1部이다.

(計算例)

mesh No.1의 得點値

$=-0.00473+0.04995-0.02874+0.58778$
$-1.03220+0.78869=0.3608$

그림 1은 표 5의 各 mesh에 대한 得點頻度分布狀況을 정리한 것이다. 그림 1에서 兩 group의 피크는 명확히 나누어져 있으나 부분적으로 중복된 것도 있다.

Table 5. A part of estimated sample score and classification by a sample score

Mesh no.	Sample scores	Classified group		Remarks
		Original	Classified	
1	0.3608	1*	2*	
2	0.0822	1	2	
3	-0.8544	2	1	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
191	1.2426	1	2	
192	0.2439	2	2	
193	-0.2658	2	1	

1*: Mesh with landslide

2*: Mesh without landslide

Table 7. Statistics on sample score

	Group (1)	Group (2)
Mean (m)	-0.6453	0.4013
Variance (σ^2)	0.7360	0.7442
σ	0.8579	0.8627

이는 山沙汰發生에 직접적 要因인 降雨는 各 mesh에 대한 測定이 不可能하였으므로 要因으로 제외한 것에서 오는 것이라 생각된다. 표 7은 표 5의 各 mesh에 대한 得點値의 解析値로서 이 값에서 求한 判別區分値는 −0.123이고, 適中率은 72%였다.

$$\text{判別區分値}^{2)}=\frac{m_1\sigma_2+m_2\sigma_1}{\sigma_1+\sigma_2}$$
$$=\frac{-0.6453\times0.8627+0.4013\times0.8579}{0.8579+0.8627}$$
$$=-0.123$$
$$\text{適 中 率}^{2)}=\int_0^{\alpha}f(x)dx+0.5=\int_0^{0.6083}f(x)dx+0.5$$
$$=0.22+0.5=72\%$$
$$\text{단 }\alpha=\frac{m_2-m_1}{\sigma_1+\sigma_2}=\frac{0.4013-(-0.6453)}{0.8579+0.8627}$$
$$=0.6083$$

이 判別區分値 −0.123을 경계로 하여 이것보다 작은 得點値를 갖은 mesh는 不安全側(山沙汰地)에 큰 값을 갖은 mesh는 安全側(非山沙汰地)로 判別된다는 것을 72%의 確率로서 신뢰할 수 있다는 것을 의미한다. 判別解析上 어느 정도의 適中率로서 만족하여야 할 것인가는 불명하나 이번 鎭海地區의 경우 data數, 要因數를 考慮할 때 비교적 양호한 값이라고 할 수 있다.

以上의 山沙汰安全度 判別은 어디까지나 鎭海地域이라는 特定地域에 있어서 '79年 8月의 降雨條件에

Class interval	Number		Frequency (%)	
	Group (1)	Group (2)	Group (1)	Group (2)
-2.4–2.1	1	0	1.3	0
-2.1–1.8	3	2	4.1	1.7
-1.8–1.5	12	4	16.2	3.4
-1.5–1.2	9	1	12.2	0.9
-1.2–0.9	4	1	5.4	0.9
-0.9–0.6	9	11	12.2	9.2
-0.6–0.3	10	6	13.5	5.0
-0.3–0.0	6	13	8.1	10.9
0.0–0.3	9	8	12.2	6.7
0.3–0.6	7	16	9.4	13.4
0.6–0.9	0	17	0	14.3
0.9–1.2	1	13	1.2	10.9
1.2–1.5	3	24	4.1	20.2
1.5–1.8	0	3	0	2.5
1.8–2.1	0	0	0	0
Total	74	119	100	100

*Group(1): Mesh with landslide
Group(2): Mesh without landslide

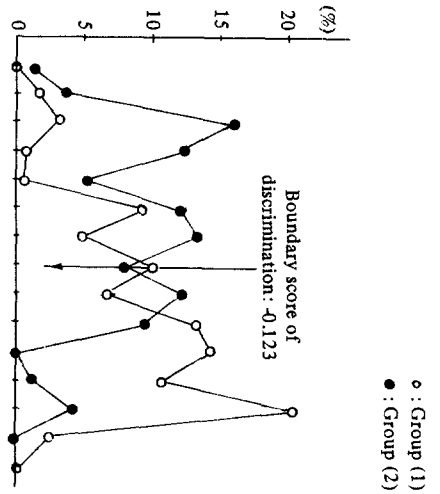

Fig. 1. Frequency distribution of sample scores

있어서의 既存의 data를 사용한 解析으로서 要因의 形質이 틀리는 他地域에 적용할 경우에는 適中率이 낮아진다.

引 用 文 獻

1. 崔敬, 朴勝杰. 1983. 山沙汰豫知에 관한 연구. 林試研報. 30 : 109－129.
2. 林駒澤. 1982. 數量化 理論と データ處理. 朝倉書店. 49－88.
3. 姜淸平. 1981. 1979年 8月 集中豪雨에 의한 鎭海地區 山沙汰에 관한 硏究. 韓林誌 52 : 72-78.
4. 川端幸藏. 林業試驗場電算機プログラミング報告 (11) 數量化(Ⅱ). 日林試研報. 305 : 1－64.
5. 小橋澄治. 1972. 空中寫眞 判讀による 斜面の 安定度 解析. 新砂防. 84 : 14－23.
6. 久保村, 武井. 1971. 數量化法による 切取のり面の 安定度 解析. 土木學會論文報告集. 194 : 141－150.
7. 松尾, 上野. 1979. 破壞確率を 用いた 自然斜面の 崩壞豫知に 關する 硏究. 土木學會論文報告集. 281 : 65－74.
8. 難波宣士. 1973. 判別解析による 崩壞危險斜面の 判定法と 問題點. 治山. 18(3): 7－11.
9. 沖村, 杉本. 1979. 統計的 手法による 自然斜面崩壞の 硏究. 土木學會論文報告集. 290 : 89－97.
10. 大久保, 板垣, 吉川. 1976. がけ崩れ, 地すべり危險地 豫測の ための 數量化 解析の 適用. 土木技術資料. 18(5): 10－15.
11. 志火俊夫. 1973. 花岡岩 地帶の 斜面の 安定性に關する 統計的 解析. 日林誌 59(5): 186－190.