

山地斜面的 崩壞危險度 豫測모델의 開發 및 實用化 方案^{1*} 麻 鎬 燮²

Studies on Development of Prediction Model of Landslide Hazard and Its Utilization^{1*}

Ho-seop Ma²

要 約

山地斜面崩壞에 의한 被害를 豫防 또는 極少化하기 爲하여 山沙汰가 자주 發生하는 地域을 中心으로 各 調査 單位斜面에 對하여 山地斜面崩壞에 影響하리라고 豫想되는 12個 環境要因을 現地調査하고 崩壞와 環境因子와의 關係를 數量化 理論에 依한 方法으로 分析하여 山沙汰發生의 危險度を 評價할 수 있는 豫測모델을 導出하였으며, 또한 이를 基礎로 하여 危險度を 各 級別로 區分하고 豫知모델을 檢討하였던 바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

山地崩壞發生面積에 影響을 주는 因子는 降雨, 齡級, 標高, 土性, 傾斜, 斜面位置, 林相, 谷次數, 縱斷斜面形, 母岩, 土深, 方位의 順이었으며, 偏相關係數에 依한 因子는 令級, 降雨, 土性, 母岩, 傾斜, 斜面位置, 標高, 縱斷斜面形, 谷次數, 林相, 土深, 方位의 順으로 나타났다. 또한 山地崩壞發生 頻도에 依한 因子의 順位는 令級, 標高, 土性, 傾斜度, 植生, 降雨, 縱斷斜面, 谷次數, 母岩, 土深이었으며 斜面位置 및 方位는 寄與도가 낮게 나타났다.

山地斜面崩壞危險 豫知를 爲하여 崩壞發生面積에 依한 豫測모델에서 危險度 豫測點數表를 作成할 수 있었으며, 點數合計가 9.1636이면 崩壞發生危險이 높은 것으로 評價되었으며 山地 斜面崩壞가 發生한 斜面과 發生하지 않은 斜面에 依한 豫測모델에서 兩斜面에 對한 斜面判別 區分値는 -0.02였고, 그 適中率은 73%로 높았다. 또한 判別區分値를 基準으로 한 山地斜面崩壞發生 危險度別 點數는 A級은 0.3132 以上이었고, B級은 0.3132~-0.1051, C級은 -0.1050~-0.4195, D級은 -0.4195 以下였다. 그리고 山地斜面崩壞發生의 豫知는 判別區分値를 基準으로 危險度を A, B, C, D의 4等級으로 區分할 수 있었으며, 總 300個 斜面 中 A級斜面 68個, B級斜面 115個, C級斜面 65개, D級斜面 52個였다. 危險度 A, B級에서의 山沙汰發生은 150個 崩壞地 中 125個로서 約 83.3%의 높은 適中率을 보여 豫測모델로서 應用 可能性이 높게 나타났다.

따라서 이러한 豫知方法에 依하여 選定한 危險한 地域에 對하여 山地災害危險度 地圖를 作成하여 土地利用 計劃 및 災害危險地 選定基準의 行政指標로서 活用할 수 있을 것이다. 또한 山地災害에 對한 綜合 對策에 有用하게 活用함으로써 莫大한 財産 被害와 人命 損失을 事前에 防止할 수 있을 것이다.

¹ 接受 1994年 1月 4日 Received on Jan. 4, 1994.

² 慶尙大 農大 林學科 Dept. of Forestry, Coll. of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju, 660-701, Gyeongnam, Korea.

* 本 研究는 1991年度 韓國學術振興財團의 地方大育成 學術研究助成費에 의하여 修行되었음.

ABSTRACT

In order to get fundamental information for prediction of landslide hazard, both forest and site factors affecting slope stability were investigated in many areas of active landslides. Twelve descriptors were identified and quantified to develop the prediction model by multivariate statistical analysis.

The main results obtained could be summarized as follows : The main factors influencing a large scale of landslide were shown in order of precipitation, age group of forest trees, altitude, soil texture, slope gradient, position of slope, vegetation, stream order, vertical slope, bed rock, soil depth and aspect. According to partial correlation coefficient, it was shown in order of age group of forest trees, precipitation, soil texture, bed rock, slope gradient, position of slope, altitude, vertical slope, stream order, vegetation, soil depth and aspect. The main factors influencing a landslide occurrence were shown in order of age group of forest trees, altitude, soil texture, slope gradient, precipitation, vertical slope, stream order, bed rock and soil depth. Two prediction models were developed by magnitude and frequency of landslide. Particularly, a prediction method by magnitude of landslide was changed the score for the convenience of use. If the total score of the various factors mark over 9.1636, it is evaluated as a very dangerous area.

The mean score of landslide and non-landslide group was 0.1977 and -0.1977, and variance was 0.1100 and 0.1250, respectively. The boundary value between the two groups related to slope stability was -0.02, and its predicted rate of discrimination was 73%.

In the score range of the degree of landslide hazard based on the boundary value of discrimination, class A was 0.3132 over, class B was 0.3132 to -0.1050, class C was -0.1050 to -0.4196, class D was -0.4196 below.

The rank of landslide hazard could be divided into classes A, B, C and D by the boundary value. In the number of slope, class A was 68, class B was 115, class C was 65, and class D was 52. The rate of landslide occurrence in class A and class B was shown at the high prediction of 83%.

Therefore, dangerous areas selected by the prediction method of landslide could be mapped for land-use planning and criterion of disaster district. And also, it could be applied to an administration index for disaster prevention.

Key words : landslide hazard, prediction models, boundary value

緒 論

山地斜面崩壞는 주로 過度한 降雨에 의하여 물과 重力이 複合的으로 作用하여 發生하는 重力浸蝕現象으로서 森林生態系의 秩序를 破壞할 뿐만 아니라 國土를 毀損하는 큰 原因中의 하나가 되고 있으므로 國土保全의 側面에서 重要하게 다루어져야 할 것이다.

우리나라는 年平均 降水量이 약 1,100~1,400 mm로서 이 中 大部分이 6月에서 9月 사이에 集中的으로 내리기 때문에 每年 平均 275ha의 山沙汰가 發生하여 約 24億원의 財産被害와 90餘名의 人命被害를 입고 있다. 이와 같이 山地崩壞로 인하여 이처럼 人命과 財産上의 被害가 많은 主要

한 原因은 人口의 增加 및 産業社會의 急速한 發展과 더불어 急傾斜地의 過度한 利用 등으로 인하여 山地斜面的 崩壞 危險도가 增大되었기 때문이며, 또한 이런 危險性에 대한 適切한 豫防對策의 未備함에 있다고 볼 수 있다.

山地崩壞 發生要因으로는 內的要因(素因)과 外的要因(誘因)으로 크게 區分할 수 있다. 內的要因(素因)으로는 地質構造, 地形, 土質, 林相等의 自然的인 要素를 들 수 있으며 外的要因(誘因)으로는 降雨, 荒廢溪流 및 海岸의 浸蝕, 地震 등과 같은 自然的인 要因과 切盛土, 伐木, 團地造成, 採石開發 등의 人爲的인 要因을 들 수 있다. 內的인 惡條件을 지니고 있는 斜面에 外的인 要因이 作用할 때 山地崩壞現象은 일어나기 쉽다.

降雨發生時에는 地中浸透水에 의한 間隙水壓의

上昇, 表面流水에 의한 浸蝕, 흙의 飽和로 인한 滑動土層의 單位重量의 增加 等에 의해 斜面을 崩壞시키려는 滑動力은 增加되고 斜面崩壞에 抵抗하려는 抵抗力은 減少되어 斜面의 安全性이 極度로 低下되고 있는데 일정한 量의 豪雨가 내리는 地域에서도 地況 및 局所地域에 따라 部分的으로 崩壞가 많다던지, 적다던지 또는 전혀 崩壞가 없다던지 하는 것이 一般的인 事例이다. 만약 山腹斜面의 崩壞에 대한 危險性의 大小를 어떤 새로운 尺度로서 표현할 수 있다면 이 尺度를 利用하여 崩壞한 斜面의 그룹과 崩壞하지 않은 斜面 그룹과의 相異點을 아는 것이 可能하게 되고, 또한 이 尺度의 內容을 檢討 比較하면 새로이 調査하려는 어떤 對象 山地斜面에서 어느 部分이 危險性이 크고 어느 部分이 危險性이 적은가를 評價할 수 있게 됨으로써 崩壞發生에 대한 危險性을 事前에 豫測할 수 있게 될 것이다.

山地崩壞 豫知에 관한 研究는 많은 學者들에 의하여 시도되어 왔으나 山地崩壞는 氣象, 地形, 地質, 土壤 및 地球物理的인 많은 因子들이 複合的으로 作用하여 발생하기 때문에 山地崩壞 危險地를 찾아내는 方法은 그렇게 容易하지는 않았다.

이러한 複合的인 影響을 精確히 把握하기 위하여 志水²²⁾는 數量化 理論을 應用하여 花崗岩 地帶의 安定性에 관한 研究를 하였으며, 小橋 等¹⁵⁾은 航空寫眞을 利用하여 切取斜面의 安全度에 관한 研究를 수행하여 이들 方法이 斜面崩壞 危險性을 豫測하는데 유용한 方法임을 報告한 바 있다. 또한 Hansen⁶⁾은 粘土斜面에서 發生되는 5가지 要因을 基礎로 하여 山地崩壞危險의 豫知方法을 提案한 바 있고, Hicks⁷⁾는 土砂生産量과 表土流失量을 추정하여 質的인 危險表를 만들어 崩壞危險을 評價하도록 제시하였으며, Ward²⁷⁾는 Computer를 利用하여 斜面 安全度에 따라 危險度を 區分한 바 있다.

沖村¹⁹⁾은 表層崩壞의 豫知는 傾斜, 表土層의 두께, 集水面積 3要因이 중요하다고 하였으며, 加藤¹³⁾은 Remote sensing을 利用하여 山地災害 豫知를 報告한 바 있다.

이와 같이 우리나라에서도 山地斜面崩壞로부터 오는 災害를 豫防 또는 極小化하기 위해서는 各局所地域에서 發生되고 있는 崩壞危險性의 정도를 精確하게 調査하여 山沙汰 發生에 관계되는

各種要因과 安定度を 判別할 수 있는 方法이 定立되어야 할 것이다. 또한 이러한 判定技術에 의하여 山沙汰危險地域을 選定하여 豫想된 危險한 場所에 대해서는 적절한 豫防工法의 開發도 필요할 것이다.

따라서 本 研究는 豫防治山의인 次元에서 既存 山沙汰 發生地域을 對象으로 山地崩壞에 미치는 環境要因의 影響度を 究明하며, 또한 山地崩壞發生 危險度を 評價할 수 있는 豫知方法을 定立하여 豫測모델을 開發함과 동시에 豫防治山對策에 有用하게 活用할 수 있는 學術的, 産業的인 資料를 提供하고자 한다.

材料 및 方法

本 研究를 위해 分析된 資料는 1980年 以後 現在까지 每年 崩壞가 發生되고 있는 서울, 京畿, 釜山, 慶南北, 忠南北地域을 對象으로 하여 調査地域의 地形圖(1/25,000)에 正四方向의 直角座標軸을 中心으로 調査區를 0.4×0.4cm(實面積 100×100m=1ha)의 mesh를 만들어 各 區域에 대하여 崩壞面積 및 崩壞地 有無와 山地斜面 崩壞에 影響하는 主要 森林環境因子 즉, 降雨, 傾斜度, 谷次數, 方位, 縱斷斜面, 標高, 斜面位置, 林相, 齡級, 土性, 母岩, 土深 등을 調査하고, 또 地形圖(1/5,000, 1/25,000), 林相圖(1/25,000), 地質圖(1/50,000), 航空寫眞(1/15,000), 簡易山林土壤圖(1/25,000) 등을 補助 解析資料로 活用하였다.

1. 資料의 統計的 分析

現地調査와 航空寫眞 및 地形解析을 통하여 얻어진 資料를 檢定한 후 因子를 Category로 다시 區分하고 從屬變數의 量的인 資料와 質的인 資料에 따라 統計的 分析方法을 실시한다. 量的인 外的基準을 質的인 各 要因에 의하여 豫測하는 方法과 質的인 形으로 주어진 外的基準을 質的인 要因에 의하여 豫測 및 判別하는 方法의 두 program을 開發하여 分析에 利用하였다.

(1) 量的인 外的基準에 의한 方法

山地斜面 崩壞發生危險地의 判別을 위해서 山地崩壞面積을 目的變量으로 하고, 崩壞發生에 가장 關係가 깊다고 豫想되는 降雨, 傾斜度, 谷次數, 方位, 縱斷斜面, 植生, 林齡, 標高, 母岩,

斜面位置, 土性, 土深, 土地利用能力級 등을 說明變量으로 하였다.

各各의 個體가 어떤 Item 및 Category에 反應한 것을 나타내기 위하여 다음과 같이 Dummy 變數를 定義하였다.

$\delta_i(jk)$ 1: 個體 i 가 j Item의 k Category에 反應할 때

0: 그렇지 않을 때

즉, j Item의 k Category에 부여하는 數量을 a_{jk} 라 할때, 個體 i 에 주어지는 數量 y_i 는 위에서 定義한 Dummy變數를 利用하여 다음 式을 援用하여 計算한다.

$$Y_i = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{C_j} a_{jk} \delta_i(jk) \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

($i=1, 2, 3, \dots\dots\dots N$)

단) N : 調査區의 數(標本數)

R : 要因數

C_j : 第 j 번째 要因의 Category數

(2) 質的인 外的基準에 의한 方法

崩壞地 有無를 目的變量으로 하고, 12個 森林環境因子를 說明變量으로 하였다. 外的基準의 第 i 군의 a 번째의 個體가 內的要因의 어느 Category에 反應하는가를 나타내기 위하여 Dummy 變數를 導入하였다.

$\delta_{ia}(jk)$ 1: i 群의 a 번째의 個體가 j Item의 k Category에 反應할 때

0: 그렇지 않을 때

各 要因의 Item Category의 反應으로 부터 外的基準을 豫測 및 判別을 하고자 할 때 각 Item Category에 對應하는 Dummy變數의 線形式은 다음 式을 援用하여 斜面的 判別係數를 計算한다.

$$Y_{ia} = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{C_j} a_{jk} \delta_{ia}(jk) \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

($i=1, 2, 3, \dots\dots\dots N$)

단) N : 調査區의 數(標本數) R : 要因數

C_j : 第 j 번째 要因의 Category數

a_{jk} : j 번째 要因의 k 번째 Category에 分類되는 i 標本の 斜面判別係數

$\delta_i(jk)$: 第 i 標本이 j 번째 要因의 k 번째 Category에 分類될 때

Y_{ia} 는 그 個體의 數量(評點)이며 a_{jk} 는 Dummy變數의 係數이며 각 Item Category에 주

어지는 變量(評點)을 나타낸다.

②式에 의하여 外的基準을 가장 잘 分類하기 위하여는 群間變動을 全變動에 대하여 相對적으로 最大가 되는 즉 相關比가 最大가 되도록 a_{jk} 를 구하면 된다. 또한 分類된 要因別 Category에 의하여 反應表를 作成하고 이 反應表에서 Category와 Category間的 Cross表를 作成한다.

Cross表에서 Category 總數에서 該當하는 正 方形行列을 作成하여, 이에 따른 聯立方程式을 誘導하여 行列式에 의한 Score를 計算한 후, 얻어진 Score와 Cross表를 利用하여 內部相關을 計算한다. 다음에 이 內部相關을 元素로 하는 行列式에서 行列別로 그 解(Determinent)를 얻는다. 구하여진 行列式的 解에 의하여 다음 公式를 利用하여 重相關係數와 偏相關係數를 算出한다.

以上の 計算過程에 의하여 要因別 Category의 Score를 각 斜면에 反應시켜 調査斜면에 대하여 判別區分値를 基準으로 하여 安定性を 判別하고, 또한 危險度를 각 級別로 區分하여 山地斜면에 대한 崩壞危險性を 豫測하였다.

結果 및 考察

1. 山地斜面 崩壞發生地域과 環境因子와의 關係

本 調査地域은 1980年 以後 每年 崩壞가 發生되고 있는 서울, 京畿道, 忠南北, 慶南北으로서 全體 300個所에 이르며 그들 中 崩壞發生區域 150個所, 非發生區域 150個所를 各各 有意 選定하였다. 現地調査와 地形解析을 通하여 山地斜면에 대한 崩壞危險을 豫知하기 위하여 독립성 檢정 후 比較的 동질성이 없는 各 要因을 Category化하여 反應狀態를 調査한 反應表와 Cross表의 結果를 集計한 것은 Table 1과 같다.

Table 1에서 本 調査地域의 山地特性 中 山地에 내리는 連續降雨量을 보면 200~300mm가 73.3%로서 가장 많고, 300~400mm도 12%나 되고 있어 一般的으로 200mm 以上이면 比較的 崩壞 危險성이 높다고 하는데 이것과 比較하면 山地崩壞 可能性이 높은 地域임을 보여주고 있다.

山地斜面的 傾斜度는 25° 以下 64%, 26~30°가 25.3%, 31~35°가 9.3%로서 全體 斜面中 35° 以下가 98.3%로 比較的 緩慢한 傾斜를 보이고 있

Table 1. Classification and reactionary number of each factors and category

Factors	No.	Category	Landslide	Non-landslide	Total
X 1 RAINFALL	1	200>	11	7	18
	2	200-300	102	118	220
	3	300-400	26	10	36
	4	400<	11	15	26
X 2 SLOPE	1	25>	112	79	191
	2	26-30	28	48	76
	3	31-35	7	21	28
	4	36<	3	2	5
X 3 ASPECT	1	NE	46	40	86
	2	SE	36	41	77
	3	SW	43	35	78
	4	NW	25	34	59
X 4 V. SLOPE	1	Straight	35	22	57
	2	Concave	45	46	91
	3	Convex	22	12	34
	4	Complex	48	70	118
X 5 ALTITUDE	1	100-200 m	73	45	118
	2	200-300 m	36	24	60
	3	300-400 m	22	30	52
	4	>400m	19	51	70
X 6 POSITION	1	Summit	12	15	27
	2	Hillside	88	79	167
	3	Piedmont	50	56	106
X 7 STREAM	1	0	57	44	101
	2	1	57	34	91
	3	2	22	33	55
	4	3<	14	39	53
X 8 VEGETATION	1	Coniferous	95	67	162
	2	Deciduous	2	8	10
	3	Mixed	53	75	128
X 9 AGE GROUP	1	10>	94	64	158
	2	10-20	32	46	78
	3	20-30	24	40	64
X10 SOILTEXT	1	Clay loam	24	62	86
	2	Sandy loam	84	70	154
	3	Sand	42	18	60
X11 BED ROCK	1	Igneous	72	44	116
	2	Metarmorphic	28	48	76
	3	Sedimentary	50	58	108
X12 SOIL DEPTH	1	30>	12	26	38
	2	30-60cm	48	52	100
	3	60-90cm	90	72	162
Total			150	150	300

으며, 方位에서는 北東28.7%, 南東25.7%, 南西 26.0% 및 北西19.6%로서 比較的 均一한 分布를

보이고 있다.

縱斷斜面形에서는 複合斜面이 39.4%, 下降斜

Table 2. Correlation coefficient between factors and total group

Factors	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
X 1	1.0000											
X 2	0.1424	1.0000										
X 3	-0.0224	-0.0843	1.0000									
X 4	0.1129	0.1225	-0.0938	1.0000								
X 5	0.4012	0.3812	-0.1352	0.2671	1.0000							
X 6	-0.0031	-0.2262	0.1107	-0.1075	-0.2237	1.0000						
X 7	0.0507	-0.1551	0.0384	-0.1093	-0.1086	0.2701	1.0000					
X 8	-0.0159	0.0787	0.0787	-0.1044	0.0223	-0.1302	-0.0338	1.0000				
X 9	0.2388	0.0633	0.0405	-0.2234	0.1055	0.0009	0.0471	0.1300	1.0000			
X10	0.0597	0.0188	0.0262	-0.0526	0.0083	0.1024	0.0972	0.1678	0.1515	1.0000		
X11	-0.1057	-0.2404	0.1834	-0.1842	-0.3558	0.1073	0.1628	-0.0702	0.1971	0.0790	1.0000	
X12	0.1261	0.1458	0.0632	-0.2561	0.1341	-0.2961	-0.1023	0.1420	0.2370	0.0095	-0.0116	1.0000

Note : X1 Rainfall, X2 Slope, X3 Aspect, X4 V. slope, X5 Altitude, X6 Position, X7 Stream, X8 Vegetation, X9 Age group, X11 Bed rock, X12 Soil depth.

面 30.3%, 平衡斜面 19%를 나타내고 있었고, 標高는 100~200m가 39.4%, 400m 以上이 23.3%, 200~300m는 20.0%, 300~400m는 17.3%로 나타나 비교적 높지 않는 地形임을 알 수 있다. 斜面位置는 山腹이 대체로 많아 55.7%를, 山麓은 35.3%를 보여주고 있고, 谷次數에서는 0次谷이 33.7%, 1次谷은 30.3%, 2次谷 및 3次谷이 各各 18.3%, 17.7%로 나타나고 있다. 또한 林相은 針葉樹 54%, 混淆林이 42.7%이며, 齡級에서는 52.7%가 10年內의 幼齡林이고, 26%가 10~20年生의 林木으로, 21.3%가 20~30年生의 林木으로 構成되어 있는 것으로 나타났으며, 土性은 浸飾 및 風化되어 온 砂壤土가 51.3%, 埴壤土가 28.7%, 砂土가 20%로 나타났다.

母岩은 花崗岩類가 38.7%, 變成岩類가 25.3%, 堆積岩類가 36%나 되었으며, 土深은 比較的 깊어 60~90cm가 54.0%, 30~60cm가 33.3%, 30 cm 以下가 12.7%를 보였다.

崩壞群과 非崩壞群을 합친 全體群에서 各要因間의 相關은 Table 2와 같다. 降雨와 標高 및 傾斜와 標高에서 各各 0.4012, 0.3812로 나타나 標高에 따라 比較的 降雨量이 많아지고 또한 傾斜도 急하여지고 있음을 알 수 있으나 相關係數는 아주 낮아 各要因은 서로 獨立的 임을 보여주고 있다.

(1) 山地崩壞發生 面積과 環境因子

山沙汰發生 面積과 가장 關係가 큰 인자를 抽出하고 이들 因子에 依하여 效果的으로 山沙汰發生 面積을 推定할 수 있는 方法을 導出하기 위하여 Table 1과 같이 各 因子의 Category를 區分

하고 이 區分에 依하여 反應表(Cross표)를 作成하였다. 또한 Cross表에 依하여 山地斜面 崩壞發生에 關與하는 程度와 方向을 把握하기 위하여 各 要因의 Category別 相對點數와 Range 및 偏相關係數를 計算한 結果는 Table 3과 같다.

相對點數는 各 要因別 Category의 判別係數에 該當하며 이 값의 (+)側은 山沙汰發生에 寄與하고, (-)側은 安定에 寄與하게 되며 그 크기는 數値의 大小로 나타난다. 또한 Range는 要因의 相對的 寄與度를 나타내는 尺度로서, 要因內 水準의 最大值와 最小値의 相對點數差로 나타내며 다음 式 ③과 같이 쓸 수 있다.

$$R(j) = \max(x_j) - \min(x_j) \dots\dots\dots ③$$

단) $\max(x_j)$: j번째 要因의 各 水準에 寄與한 判別係數의 最大值

$\min(x_j)$: j번째 要因의 各 水準에 寄與한 判別係數의 最小値

Table 3에서 平均點數範圍에 依하여 山地崩壞發生 面積에 影響을 주는 因子는 降雨, 齡級, 標高, 土性, 傾斜, 斜面位置, 林相, 谷次數, 縱斷斜面形, 母岩, 土深, 方位의 順이었으며, 偏相關係數에 依한 因子는 齡級, 降雨, 土城, 母岩, 傾斜, 斜面位置, 標高, 縱斷斜面, 谷次數, 林相, 土深, 方位의 順으로 나타나고 있는 것으로 보아 直接的原因인 降雨의 程度에 따라 斜面上에 存在하는 林相과 더불어 傾斜, 斜面位置 등 傾斜要因들과 土性, 母岩 등의 因子들이 서로 複合的으로 作用하여 崩壞面積에 影響을 주는 것으로 볼 수 있다.

(2) 山地崩壞 發生頻度와 環境因子

Table 3. Score table of each factors

Factors	Category	Score	Range	Partial correlation coefficient
X 1 RAINFALL	1	-1.0640	3.3258	0.3425
	2	-0.9853		
	3	2.3405		
	4	1.8754		
X 2 SLOPE	1	-0.8638	1.7387	0.2748
	2	0.0000		
	3	0.8749		
	4	0.6583		
X 3 ASPECT	1	0.0000	0.7762	0.1134
	2	-0.2337		
	3	0.5425		
	4	0.3564		
X 4 V. SLOPE	1	-0.9326	0.9326	0.2484
	2	0.0000		
	3	-0.3872		
	4	-0.5463		
X 5 ALTITUDE	1	1.5506	2.0933	0.3146
	2	1.0829		
	3	0.0000		
	4	-0.5427		
X 6 POSITION	1	0.7854	1.5421	0.2536
	2	1.5421		
	3	0.0000		
X 7 STREAM	1	0.9458	1.2367	0.2438
	2	1.2367		
	3	0.3578		
	4	0.0000		
X 8 VEGETATION	1	1.4532	1.4532	0.2834
	2	0.8573		
	3	0.0000		
X 9 AGE GROUP	1	0.8641	2.8536	0.4536
	2	0.0000		
	3	-2.8536		
X10 SOILTEXT	1	-1.9454	1.9454	0.3047
	2	0.0000		
	3	0.5768		
X11 BED ROCK	1	0.6548	0.9094	0.1845
	2	0.0000		
	3	-0.2546		
X12 SOIL DEPTH	1	0.0000	0.8152	0.1436
	2	0.3420		
	3	-0.4732		

崩壞 原因이 되는 要因 및 影響力이 크게 미치는 因子를 求하기 위하여 각 要因의 Category別 相對點數와 Range를 計算한 結果는 Table 4와 같다.

Table 4에 보면 本 調查地域에 있어서 山地崩壞 發生頻度에 의하여 崩壞發生에 寄與하는 要因別 順序는 齡級(0.4895), 標高(0.4000), 土性

(0.3466), 植生(0.3334), 傾斜度(0.3050), 降雨(0.2433), 母岩(0.2400), 縱斷斜面(0.2334), 谷次數(0.2266), 土深(0.1467)이었으며 斜面位置(0.1000), 方位(0.0866)는 寄與도가 낮게 나타났다.

姜 等¹²⁾은 鎭海地區의 山沙汰斜面의 危險度判別에서 寄與도는 植生, 縱斷斜面, 斜面位置, 傾斜, 方位, 谷數의 順이라 하였으며, 志水^{22,23)}는

Table 4. Normalized score of each factors and range

Factors	Category	Score	Mean score	Normal score	Range
X 1 RAINFALL	1	0.0000	-0.0677	0.0677	0.2433
	2	-0.1367		-0.0689	
	3	0.1067		0.1744	
	4	-0.2667		-0.1990	
X 2 SLOPE	1	-0.1290	0.0047	-0.1337	0.3050
	2	-0.0399		-0.0352	
	3	0.0000		-0.0047	
	4	0.1760		0.1711	
X 3 ASPECT	1	0.0400	0.0168	0.0232	0.0866
	2	-0.0333		-0.0501	
	3	0.0533		0.0365	
	4	0.0000		-0.0168	
X 4 V. SLOPE	1	0.0867	-0.0432	0.1299	0.2334
	2	-0.0067		0.0365	
	3	0.0000		0.0432	
	4	-0.1467		-0.1035	
X 5 ALTITUDE	1	0.1866	0.0396	0.1470	0.4000
	2	0.0800		0.0404	
	3	0.0000		-0.0396	
	4	-0.2133		-0.2529	
X 6 POSITION	1	0.0000	0.0192	-0.0192	0.1000
	2	0.0600		0.0408	
	3	-0.0400		-0.0592	
X 7 STREAM	1	0.0867	0.0622	0.0245	0.2266
	2	0.1533		0.0911	
	3	-0.0733		-0.1355	
	4	0.0000		-0.0622	
X 8 VEGETATION	1	0.1867	0.0382	0.1485	0.3334
	2	0.0000		-0.0382	
	3	-0.1467		-0.1849	
X 9 AGE GROUP	1	0.3040	0.0250	0.2790	0.4895
	2	-0.1855		-0.2105	
	3	0.0000		-0.0250	
X10 SOILTEXT	1	-0.2533	-0.0247	-0.2286	0.3466
	2	0.0933		0.1180	
	3	0.00000		0.0247	
X11 BED ROCK	1	0.1867	0.0530	0.1337	0.2400
	2	0.0000		-0.0530	
	3	-0.0533		-0.1063	
X12 SOIL DEPTH	1	0.0090	0.0559	-0.0559	0.1467
	2	-0.0267		-0.0826	
	3	0.1200		0.0641	

花崗岩地帶의 斜面的 安定性 判別에서 寄與度는 植生, 方位, 谷數, 傾斜度, 橫斷斜面, 縱斷斜面 등의 順으로 報告한 바 있고, 沖村 等¹⁹⁾은 自然 斜面에서 崩壞에 미치는 要因은 傾斜度, 植生, 地表面形狀, 風化度, 最小買入量, 流域形狀係數 等이라 하였다.

특히 各 地域에 따라 寄與度の 順位는 一定하

지 않지만 비교적 植生, 傾斜度, 縱斷斜面 等이 높게 나타나고 있다.

Table 3 및 4에서 各 要因內 Category別로 崩壞發生 面積과 頻度에 의하여 點數度化에 따른 斜面的 安定性에 대한 것을 檢討하면 다음과 같다.

㉠ 降雨

連續降雨量 200~300mm는 安全側에,

300~400mm, 200mm, 400mm 順으로 崩壞危險性은 더 큰 것으로 나타나고 있다. 이러한 現象은 200mm까지 崩壞現象이 일어나지 않으면 200~300mm때까지는 多少 安定性を 維持하지만 그 보다는 많은 降雨가 내리게 되면 山沙汰發生 危險性도 더 높은 것으로 나타나고 있다.

一般的으로 連續降雨量 200mm 以上이고 最大降雨量 32mm이면 崩壞可能性이 높은 것으로 볼 수 있는데 일정한 場所 內에서도 어떤 곳은 山沙汰가 發生하므로 이들의 發生要因은 서로 複雜하게 發生하고 있음을 알 수 있다.

㉑ 傾斜度

傾斜度에 있어서는 36° 以上, 31~35° Category에서 不安全側에, 26~30°, 25° 以下の Category에서 安全側에 寄與하고 있다. 傾斜가 급할수록 崩壞發生率이 높은 것은 志水 等²²⁾의 結果와 類似하였다. 同一 環境條件에서는 力學的 均衡에 의하여 斜面의 勻配가 급할수록 危險하다고 하는 것은 自然斜面의 特色을 잘 보여준 結果라고 보여지나, 한편 傾斜度가 급하다고 반드시 崩壞發生 斜面 및 發生率이 높아지는 않는다. 崔²⁾는 山沙汰發生은 30~35° 사이에서 가장 많이 발생되나, 大面積의 山沙汰는 30° 以下地域에서 많이 發生하였다고 하였다. 또한 日本 山口縣의 境遇에 있어서는 35~40°(38%), 41~45°(6%)이었고, 宮崎縣의 “시라스” 地域에서는 36~40°(44.2%), 41~45°(18.9%), 31~35°(18.9%)였으며, 우리나라 安養川 流域에서는 36~40°(55%), 41~45°(8%)였다³¹⁾.

㉒ 方位

山地崩壞 發生面積 및 頻度面에서 南西, 北東 및 北西斜面이 不完全側에, 南東斜面은 安全側에 寄與하고 있는 것으로 나타났다. Dyrness³⁾는 北西, 西方向이 崩壞危險이 높다고 한 報告와 一致하는 傾向을 보이고 있다. 一般的으로 降雨의 進行方向, 風向 等에 따라 崩壞方向은 많이 달라지며, 西 및 南向斜面이 崩壞하기 쉽다고 한다¹⁹⁾.

㉓ 縱斷斜面

平衡斜面形은 上昇斜面, 下降斜面보다 山沙汰發生에 크게 作用하고 있다. 平衡斜面에서 發生頻度가 많은 것은 志水²²⁾, 建設省土木研究所¹⁴⁾, 長崎縣斜面對策危險度判定委員會¹⁸⁾ 等の 研究結果와 一致하고 있다.

比較的 急傾斜地로 되어 있는 平衡斜面上에서

土深이 얇기 때문에 崩壞發生頻度가 높은 반면 土深이 깊은 下降斜面에서는 大面積의 崩壞가 發生하는 것으로 나타났다.

㉔ 標高

標高는 100~200m와 200~300m에서 不安全側에 있으며, 300~400m, 400m의 順으로 安全側에 作用하는 것으로 나타났다. Dyrness³⁾는 2300~2600feet에서 發生率이 높았으며 細田⁹⁾은 50~150m에서 發生頻度가 높았다고 하였는데, 本 研究 地域에서는 比較的 200~300m, 300~400m의 山腹 및 山頂部位에서 崩壞發生 面積 및 發生率이 높은 것을 볼 수 있다.

㉕ 斜面位置

斜面位置에 있어서는 山腹과 山頂이 不安全側에, 山麓은 安全側에 作用하고 있는 것으로 나타났다. 細田⁹⁾은 山腹, 山頂, 山麓의 順으로 崩壞發生面積 및 頻도가 높다고 하였는데 一般的으로 斜面位置別 山沙汰發生頻度는 大部分 5分 稜線以上에서 發生하고 있으며 또한 大面積 崩壞는 傾斜長이 긴 斜面에서 發生하고 있는 것으로 思料된다.

㉖ 谷次數

斜面崩壞發生의 危險性이 높은것은 1次谷과 0次谷이며 2次 및 3次谷은 安全側에 寄與하고 있다. 특히 0次谷에서의 崩壞率이 많은 것은 주로 傾斜가 낮은 山頂部位의 谷頭上에서 용이하게 물이 集水하기 때문이며, 谷次數가 높아짐에 따라 崩壞率이 낮아지는데 이것은 傾斜가 낮은 山麓이나 河川邊의 低地帶에 해당되기 때문인 것으로 思料된다. 그러나 發生面積에서 1次谷에서 大面積의 崩壞가 많은 것으로 볼 수 있다.

㉗ 植生(林相)

林相要因에 있어서는 針葉樹林, 闊葉樹林이 混淆林보다 山沙汰發生 面積 및 發生率이 크게 作用하는 것으로 나타났다. 山林과 山沙汰發生과의 關係에서 Bailey¹⁾, Trustrum 等²⁴⁾, Waldron 等^{25,26)}, 遠藤 等⁴⁾, 姜¹¹⁾, 禹³⁰⁾는 植生은 斜面安定에 效果의이며, 山沙汰發生에 깊이 關與한다고 하였다.

針葉樹林, 闊葉樹林이 不安全側, 混淆林이 安全側에 寄與하고 있는 것은 建設省土木研究所¹⁴⁾, 志水 等²²⁾의 研究結果와 一致하고 있다. 植生이 山沙汰發生에 寄與度가 높다는 것은 森林의 土砂停止作用이 山沙汰發生에 影響力이 크다는 것을 보

여주는 것이다.

① 林齡

林齡이 높을수록 崩壞發生率 및 面積도 적은 것으로 나타났다. 山林環境의 緊縛力에 대하여 Gray와 Megahan⁵⁾, Rice²¹⁾, Wu 등^{32,33)}, O'loughlin과 Ziemer²⁰⁾는 實驗을 比하여 幼齡林木에 比하여 老齡林이 緊縛力이 크다고 報告한 바 있으며, 姜 等¹²⁾, 小橋 等¹⁵⁾, 志水²²⁾는 山沙汰發生頻度에 따라 山沙汰 危險地를 判定하였을 때 植生이 가장 크게 作用을 하고, 林相 中에도 林齡이 낮은 林分이 높은 林分에 比하여 山沙汰發生面積 및 發生率이 높다고 하였다.

① 土性

土性에 있어서는 砂壤土 및 砂土가 不安全側에, 埴壤土는 安全側에 作用하고 있다. 姜¹⁰⁾은 荒廢地 土壤의 理化學的性質에 關한 研究에서 酸性土壤(pH 5.0~5.4)으로서 粘土의 含有率이 12~13% 内外이며 모래의 含有量이 높고 透水性이 큰 地域에서는 表面浸蝕 및 崩壞現象이 쉽게 일어난다고 하였고, 또한 Wilson²⁹⁾이 砂壤土에서 崩壞發生頻도가 높다고 한 것은 本 研究과 같은 傾向을 보여주고 있다. 특히 土性이 山沙汰와 關係되는 것은 흙의 剪斷強度에 依하여 決定되며 透水性이 높아 水分으로 飽和되는 速度가 빠른 土壤은 粘着力과 內部摩擦力이 弱해져 崩壞 및 林地의 荒廢現象이 많이 나타나고 있는 것으로 볼 수 있다.

② 母岩

花崗岩類는 不安全側에, 沖積層인 堆積岩과 變成岩은 安全側에 寄與하고 있다. 日浦 等⁸⁾은 風化花崗岩類는 節理의 發生이 顯著하고, 이 節理面에서 Montmorillonite의 薄層이 생겨 風化가 進行되면 완전히 磨砂土化하여 節理形崩壞가 되며, 또한 表層은 上層上部에서 移動되기 때문에 30~60cm이며 두꺼워도 1m정도이므로 表層滑落形崩壞나 節理形崩壞를 階伴한 複合形崩壞가 많다고 하였는데, 本 地域도 主로 節理形, 表層滑落形, 複合形의 崩壞가 發生하고 있는 것으로 생각된다.

① 土深

土深은 30~60cm, 30cm 以下の Category에서 不安全側에, 60~90cm에서는 安全側에 作用하고 있다. 小橋 等¹⁵⁾, 建設省土木研究所¹⁴⁾, 沖村 等¹⁹⁾은 土深이 깊을수록 崩壞發生率이 적은 것

으로 報告하고 있는데, 特히 長崎縣斜面對策判定委員會¹⁸⁾는 土深은 地質에 따라 差異가 나며 一般的으로 堆積岩 및 變成岩은 薄하고 深成岩은 두꺼우며 火山岩은 中間 程度라고 하였는데 崩壞의 發生率이 높은 土深은 0.5~1.0m이고, 다음으로 0.5m 以下, 1.5m 以上 順이며, 土深이 얇거나 두꺼워도 發生率은 낮다고 하였다.

以上の 結果를 볼 때 모두 12個 要因 中에서 標高, 方位, 母岩, 斜面位置 等 그 形質을 變更시키기 어려운 要因도 있지만, 植生, 傾斜度 等과 같이 人爲的으로도 斜面의 安定性을 높일 수 있는 要因도 있다. 이와 같이 危險性이 있는 斜面에 대해서는 豫防治山の 次元에서 豫防 對策이 講究되어야 할 것이다.

2. 山地斜面 崩壞危險의 豫知

(1) 量的인 外的基準에 依한 方法

山地斜面 崩壞發生危險地의 判別을 위해서 山地斜面 崩壞面積을 目的變量으로 하여 얻어진 各 因子의 Category別 點數(Table 3)에 依하여 崩壞危險豫知를 위한 點數表를 Table 5와 같이 作成하였다.

各 因子 中에서 Category의 相互 連續的인 關係가 없는 因子인 方位, 縱斷斜面形, 林相, 土性, 母岩은 點數 그대로 利用하였으며, 降雨, 傾斜度, 標高, 斜面位置, 谷次數, 齡級, 土深은 相互連續的인 關係가 되도록 free hand 曲線으로 點數를 變更하여 利用하였다.

또한 各 因子들의 點數는 正 및 負의 값으로 되어 있기 때문에 利用上 불편한 점이 있다. 따라서 이들 點數中 最小값을 0점으로 표시하고, 각 Category點數에는 最小값의 絕對值를 加算하여 正의 값으로 變化시켜 崩壞危險度 點數表를 作成하였다.

Table 5는 點數의 變換過程에서 9.1636點이 加算되었기 때문에 Score 合計가 9.1636點 以上이 되어야 山地斜面에서 崩壞危險이 發生할 수 있는 地況을 갖게 됨을 意味한다. 만약 어떤 地域에서 山地斜面的 崩壞危險度를 判定하려고 하면 本 點數表에서 12個 因子를 調査하여 各 因子의 該當 Category 點數를 合計하여 그 點數가 9.1636을 초과하면 崩壞發生危險性이 있는 地域이 될 것이고, 그렇지 않으면 그 地域은 崩壞發生危險이 없는 地域으로 判定하게 된다.

Table 5. Score table of prediction for landslide susceptible area

Factors	1	2	3	4
Rainfall	200> 0	200-300 2.0493	300-400 2.7640	400< 2.9394
Slope	25> 0	26-30 0.8638	30-35 1.3638	36< 1.5221
Aspect	SE 0	NE 0.2337	NW 0.5901	SW 0.7762
V. slope	Straight 0	Concave 0.9326	Convex 1.3198	Complex 1.4789
Altitude	100-200 2.0933	200-300 1.6256	300-400 0.5427	400< 0
Position	Millside 1.5421	Summit 0.7854	Piedmont 0	
Stream	0 0.9458	1 0.6000	2 0.3578	3< 0
Vegetation	Coniferous 1.4532	Deciduous 0.8573	Mixed 0	
Age group	10> 3.7177	10-20 2.8536	20-30 0	
Soiltext	Clay loam 0	Sandy loam 1.9454	Sand 2.5222	
Bed rock	Igneous 0.9094	Metamorphic 0.2546	Sedimentary 0	
Soil depth	30> 0.9732	30-60 0.8156	60-90 0	

※ If total score is more than 9.1636, it is evaluated as a very dangerous area.

(2) 質的인 外的基準에 依한 方法

山地斜面 崩壞發生危險地의 判別을 위해서 崩壞地 有無를 目的變量으로 하고 崩壞發生에 가장 관계가 깊다고 豫想하는 12個 森林環境因子를 說明變量으로 하였다. 이와같이 하여 얻어진 各要因의 Category別 水準의 判別係數(Table 4)를 總 300個 調査區 斜面에 反應시켜 山地斜面에 대한 斜面判別值를 계산한 結果는 Table 6과 같다.

또한 斜面判別值를 產地崩壞群과 非崩壞群으로 나누어 分析한 統計量을 보면 產地崩壞群은 平均 0.1977, 分散 0.1100, 標準偏差 0.3163인 正規分布를, 非崩壞群은 平均 -0.1977, 分散 0.1250, 標準偏差 0.3535인 正規分布를 보이고 있다. 全體群에서 최대치와 최소치는 各各 0.943과 -0.944였으며, 產地崩壞群과 非崩壞群間의 判別境界區分値는 -0.0202로 나타났다.

이 判別區分値를 基準으로 하여 이것보다 작은 斜面判別值를 갖는 斜面을 安全值(非崩壞地), 이

것보다 큰 斜面判別值를 갖는 斜面은 不安全值(山地崩壞地)로 判別하게 된다. 이와같이 判別區分値와 各 斜面의 斜面判別值를 比較하여 調査時 分類되었던 安定性을 崩壞와 非崩壞로 再分類한 것은 Table 7과 같다.

또한 判別函數에 依하여 計算된 判別區分値로 各 斜面에 대하여 再分類하였을 때 그 判別能力을 適中率로 表示하면 Table 8에서 보는 바와 같다.

實際 測定値가 不安定일 때 判別函數에 依한 豫測值도 不安定으로 判別될 때와 그리고 實際値가 安定일 때 豫測值도 安定으로 判別될 수 있는 能力이 73%로 나타났다.

麻¹⁷⁾는 黃江流域의 山地斜面 崩壞危險의 豫知에서 74%의 適中率을 報告한 바 있으며, 姜等¹²⁾은 鎭海地區의 山沙汰斜面 危險度判別에서 72%의 適中率을, 志水^{22,23)}는 花崗岩地帶의 斜面의 安定性에 關한 研究에서 判別適中率은 79.2%, 沖村 등¹⁹⁾은 84.6%, 小橋 等¹⁵⁾은 斜面은 69%,

Table 6. The sample score estimated by discriminant analysis

No.	Group No.	Sample Score	No.	Group No.	Sample Score	No.	Group No.	Sample Score	No.	Group No.	Sample Score	No.	Group No.	Sample Score	No.	Group No.	Sample Score
1	2	-0.01022	2	2	-0.61022	3	2	0.24311	4	1	0.14311	5	1	0.47644	6	2	0.34978
7	1	0.75978	8	1	0.62311	9	1	0.10311	10	1	0.10978	11	2	-0.09689	12	2	0.18311
13	1	0.25644	14	2	0.00978	15	2	-0.23689	16	2	0.05644	17	1	-0.17022	18	2	0.43644
19	1	0.15644	20	1	0.11644	21	1	-0.10356	22	1	0.47644	23	1	0.50978	24	1	0.30311
25	1	-0.02356	26	1	0.41644	27	1	-0.01689	28	1	-0.26356	29	1	-0.02356	30	2	0.04311
31	1	0.32978	32	1	0.30311	33	1	-0.00356	34	2	-0.41689	35	1	-0.54356	36	2	-0.27689
37	1	0.24311	38	1	0.90311	39	1	0.79644	40	1	0.51644	41	1	0.62311	42	1	0.94311
43	1	0.90311	44	1	0.82311	45	1	0.63844	46	1	0.58311	47	1	0.51644	48	1	0.29644
49	1	0.55644	50	1	0.26978	51	2	0.55644	52	1	0.12311	53	2	0.30311	54	1	0.45644
55	1	0.51644	56	1	0.21644	57	1	0.30311	58	1	0.64978	59	2	0.70978	60	1	0.56311
61	2	0.47644	62	1	0.43644	63	2	0.18311	64	1	0.52311	65	1	0.18311	66	1	0.50978
67	1	0.18311	68	2	0.24311	69	1	0.14311	70	1	0.07644	71	2	-0.25689	72	2	0.03644
73	2	-0.02356	74	2	0.48978	75	2	0.46978	76	2	0.34973	77	2	0.51644	78	2	0.42311
79	1	0.40978	80	2	0.20978	81	1	0.64311	82	1	0.26311	83	1	0.63644	84	2	0.42978
85	2	-0.37689	86	2	-0.13022	87	2	-0.29689	88	1	0.42311	89	2	0.38978	90	1	0.03644
91	1	0.54978	92	1	0.48311	93	1	0.24311	94	1	0.24311	95	2	0.08311	96	1	0.10978
97	1	0.07644	98	1	0.40311	99	2	0.16311	100	1	0.05311	101	2	-0.22356	102	2	-0.57022
103	2	-0.55689	104	1	0.52978	105	2	0.52978	106	1	0.10978	107	2	0.14978	108	1	0.58978
109	2	-0.13689	110	2	-0.57022	111	2	-0.57022	112	2	-0.51022	113	2	-0.70356	114	1	-0.19022
115	2	-0.62356	116	2	-0.44356	117	2	-0.58356	118	2	-0.58356	119	2	-0.40356	120	2	-0.04356
121	2	-0.35689	122	2	-0.27022	123	1	-0.01022	124	2	-0.17689	125	1	-0.12356	126	2	-0.24356
127	2	-0.61689	128	2	-0.49633	129	1	-0.34356	130	2	-0.37683	131	1	-0.01689	132	2	-0.14356
133	2	-0.19022	134	1	0.25644	135	1	0.04311	136	2	-0.26356	137	2	-0.32356	138	1	0.24978
139	1	-0.11022	140	2	-0.45022	141	2	-0.45022	142	2	-0.05022	143	2	-0.36356	144	2	-0.13689
145	2	-0.69022	146	2	-0.74356	147	2	-0.58356	148	2	-0.65689	149	1	-0.01689	150	1	0.04978
151	1	0.45644	152	2	0.04978	153	1	0.34311	154	1	0.08311	155	2	-0.07689	156	1	-0.23689
157	1	-0.17022	158	1	0.20311	159	1	0.44978	160	1	0.29978	161	1	0.45644	162	2	-0.45022
163	1	-0.48356	164	1	0.50311	165	1	0.49644	166	2	0.13644	167	1	0.09644	168	1	-0.05689
169	1	0.01644	170	1	0.20311	171	1	0.22978	172	2	-0.01022	173	1	0.08978	174	1	0.23644
175	2	0.15644	176	2	0.05644	177	2	0.07644	178	2	0.20311	179	1	-0.02356	180	1	-0.02356
181	2	-0.26356	182	2	-0.61022	183	2	-0.64356	184	2	-0.50356	185	2	-0.19022	186	2	-0.05689
187	1	0.19644	188	1	0.08311	189	2	0.02978	190	1	0.03644	191	1	-0.07022	192	2	-0.24356
193	2	-0.45689	194	2	-0.23689	195	2	0.40978	196	1	0.07644	197	1	0.01644	198	1	0.16311
199	2	0.14978	200	1	-0.38356	201	2	-0.01689	202	2	0.07644	203	2	-0.39689	204	2	-0.32356
205	1	0.27644	206	2	-0.21245	207	1	0.35644	208	1	0.14311	209	1	-0.27689	210	2	-0.42356
211	2	0.20978	212	2	0.38978	213	2	-0.56356	214	2	-0.70356	215	2	-0.39022	216	2	-0.03689
217	1	0.19644	218	1	0.08311	219	2	-0.16356	220	2	-0.94356	221	1	-0.77022	222	2	-0.69689
223	1	-0.15689	224	1	0.24311	225	2	-0.52356	226	2	-0.21689	227	2	-0.71022	228	2	-0.51022
229	2	-0.30356	230	2	0.17644	231	2	-0.54356	232	2	-0.67689	233	2	-0.49689	234	2	-0.40356
235	2	-0.09022	236	2	-0.85022	237	1	-0.23022	238	2	-0.33689	239	1	0.36978	240	2	-0.29689
241	1	-0.63689	242	2	-0.77689	243	1	0.26311	244	2	-0.53689	245	2	-0.61022	246	1	-0.56356
247	2	-0.43689	248	1	-0.16356	249	2	-0.60356	250	1	-0.11022	251	1	-0.34356	252	2	-0.10356
253	1	-0.14356	254	1	0.33644	255	2	-0.22356	256	2	-0.11022	257	1	-0.07689	258	2	-0.23022
259	2	-0.55022	260	2	-0.01022	261	2	-0.43022	262	2	0.20311	263	1	0.16978	264	2	-0.22356
265	1	-0.22356	266	1	0.08311	267	2	-0.10356	268	1	0.22978	269	2	-0.25689	270	2	-0.22356
271	2	-0.55022	272	2	-0.57022	273	2	-0.74356	274	2	0.17644	275	2	-0.14356	276	2	0.18978
277	2	0.12311	278	2	-0.32356	279	2	-0.61022	280	1	0.66978	281	1	0.04978	282	1	-0.15022
283	1	0.04978	284	1	-0.26356	285	1	-0.22356	286	1	0.34978	287	1	0.48978	288	1	0.04311
289	2	-0.24356	290	2	-0.25689	291	1	0.10978	292	1	0.34311	293	1	0.33644	294	1	0.14978
295	1	0.38978	296	1	0.56311	297	1	0.42311	298	1	0.50978	299	1	0.04311	300	2	-0.36356

Table 7. The classification of sample by boundary value of discriminant

Sample No.	Orig -inal	Classi -fied	Sample No.	Orig -inal	Classi -fied	Sample No.	Orig -inal	Classi -fied	Sample No.	Orig -inal	Classi -fied	Sample No.	Orig -inal	Classi -fied
1	2	→ 1	2	2	→ 2	3	2	→ 1	4	1	→ 1	5	1	→ 1
6	2	→ 1	7	1	→ 1	8	1	→ 1	9	1	→ 1	10	1	→ 1
11	2	→ 2	12	2	→ 1	13	1	→ 1	14	2	→ 1	15	2	→ 2
16	2	→ 1	17	1	→ 2	18	2	→ 1	19	1	→ 1	20	1	→ 1
21	1	→ 2	22	1	→ 1	23	1	→ 1	24	1	→ 1	25	1	→ 2
26	1	→ 1	27	1	→ 1	28	1	→ 2	29	1	→ 2	30	2	→ 1
31	1	→ 1	32	1	→ 1	33	1	→ 1	34	2	→ 2	35	1	→ 2
36	2	→ 2	37	1	→ 1	38	1	→ 1	39	1	→ 1	40	1	→ 1
41	1	→ 1	42	1	→ 1	43	1	→ 1	44	1	→ 1	45	1	→ 1
46	1	→ 1	47	1	→ 1	48	1	→ 1	49	1	→ 1	50	1	→ 1
51	2	→ 1	52	1	→ 1	53	2	→ 1	54	1	→ 1	55	1	→ 1
56	1	→ 1	57	1	→ 1	58	1	→ 1	59	2	→ 1	60	1	→ 1
61	2	→ 1	62	1	→ 1	63	2	→ 1	64	1	→ 1	65	1	→ 1
66	1	→ 1	67	1	→ 1	68	2	→ 1	69	1	→ 1	70	1	→ 1
71	2	→ 2	72	2	→ 1	73	2	→ 2	74	2	→ 1	75	2	→ 1
76	2	→ 1	77	2	→ 1	78	2	→ 1	79	1	→ 1	80	2	→ 1
81	1	→ 1	82	1	→ 1	83	1	→ 1	84	2	→ 1	85	2	→ 2
86	2	→ 2	87	2	→ 2	88	1	→ 1	89	1	→ 1	90	1	→ 1
91	1	→ 1	92	1	→ 1	93	1	→ 1	94	1	→ 1	95	2	→ 1
96	1	→ 1	97	1	→ 1	98	1	→ 1	99	2	→ 1	100	1	→ 1
101	2	→ 2	102	2	→ 2	103	2	→ 2	104	1	→ 1	105	2	→ 1
106	1	→ 1	107	2	→ 1	108	1	→ 1	109	2	→ 2	110	2	→ 2
111	2	→ 2	112	2	→ 2	113	2	→ 2	114	1	→ 2	115	2	→ 2
116	2	→ 2	117	2	→ 2	118	2	→ 2	119	2	→ 2	120	2	→ 2
121	2	→ 2	122	2	→ 2	123	1	→ 1	124	2	→ 2	125	1	→ 2
126	2	→ 2	127	2	→ 2	128	2	→ 2	129	1	→ 2	130	2	→ 2
131	1	→ 1	132	2	→ 2	133	2	→ 2	134	1	→ 1	135	1	→ 1
136	2	→ 2	137	2	→ 2	138	1	→ 1	139	1	→ 2	140	2	→ 2
141	2	→ 2	142	2	→ 2	143	2	→ 2	144	2	→ 2	145	2	→ 2
146	2	→ 2	147	2	→ 2	148	2	→ 2	149	1	→ 1	150	1	→ 1
151	1	→ 1	152	2	→ 1	153	1	→ 1	154	1	→ 1	155	2	→ 2
156	1	→ 2	157	1	→ 2	158	1	→ 1	159	1	→ 1	160	1	→ 1
161	1	→ 1	162	2	→ 2	163	1	→ 2	164	1	→ 1	165	1	→ 1
166	2	→ 1	167	1	→ 1	168	1	→ 2	169	1	→ 1	170	1	→ 1
171	1	→ 1	172	2	→ 1	173	1	→ 1	174	1	→ 1	175	2	→ 1
176	2	→ 1	177	2	→ 1	178	2	→ 1	179	1	→ 2	180	1	→ 2
181	2	→ 2	182	2	→ 2	183	2	→ 2	184	2	→ 2	185	2	→ 2
186	2	→ 2	187	1	→ 1	188	1	→ 1	189	2	→ 1	190	1	→ 1
191	1	→ 2	192	2	→ 2	193	2	→ 2	194	2	→ 2	195	2	→ 1
196	1	→ 1	197	1	→ 1	198	1	→ 1	199	2	→ 1	200	1	→ 2
201	2	→ 1	202	2	→ 1	203	2	→ 2	204	2	→ 2	205	1	→ 1
206	2	→ 2	207	1	→ 1	208	1	→ 1	209	1	→ 2	210	2	→ 2
211	2	→ 1	212	2	→ 1	213	2	→ 2	214	2	→ 2	215	2	→ 2
216	2	→ 2	217	1	→ 1	218	1	→ 1	219	2	→ 2	220	2	→ 2
221	1	→ 2	222	2	→ 2	223	1	→ 2	224	1	→ 1	225	2	→ 2
226	2	→ 2	227	2	→ 2	228	2	→ 2	229	2	→ 2	230	2	→ 1
231	2	→ 2	232	2	→ 2	233	2	→ 2	234	2	→ 2	235	2	→ 2
236	2	→ 2	237	1	→ 2	238	2	→ 2	239	1	→ 1	240	2	→ 2
241	1	→ 2	242	2	→ 2	243	1	→ 1	244	2	→ 2	245	2	→ 2
246	1	→ 2	247	2	→ 2	248	1	→ 2	249	2	→ 2	250	1	→ 2
251	1	→ 2	252	2	→ 2	253	1	→ 2	254	1	→ 1	255	2	→ 2
256	2	→ 2	257	1	→ 2	258	2	→ 2	259	2	→ 2	260	2	→ 1
261	2	→ 2	262	2	→ 1	263	1	→ 1	264	2	→ 2	265	1	→ 2
266	1	→ 1	267	2	→ 2	268	1	→ 1	269	2	→ 2	270	2	→ 2
271	2	→ 2	272	2	→ 2	273	2	→ 2	274	2	→ 1	275	2	→ 2
276	2	→ 1	277	2	→ 1	278	2	→ 2	279	2	→ 2	280	1	→ 1
281	1	→ 1	282	1	→ 2	283	1	→ 1	284	1	→ 2	285	1	→ 2
286	1	→ 1	287	1	→ 1	288	1	→ 1	289	2	→ 2	290	2	→ 2
291	1	→ 1	292	1	→ 1	293	1	→ 1	294	1	→ 1	295	1	→ 1
296	1	→ 1	297	1	→ 1	298	1	→ 1	299	1	→ 1	300	2	→ 2

Table 8. Classification of slope by boundary value of discriminant

Actual condition	Number of sample	Predicted condition		Classification probability(%)
		Landslide	Non-landslide	
Landslide	150	116	34	73
Non-landslide	150	47	103	
Total	300	163	137	

Table 9. Score table and hazard designations for landslide prediction

Landslide susceptibility class	Sample score by soil and forest environmental factors	Descriptions of landslide activity level	Remark
Class A (Very unstable)	above 0.3132	Slope which active landslide Materials are continually moving. May have fresh scarp or cracks. Hummocky terrain, terrace-like slopes not deeply weathered may indicate recent movement	steep slope, hillside, piedmont
Class B (Unstable)	0.3132~-0.1050	Slope with evidence of previous landslide Movement is not a regular, seasonal phenomenon. This zone is deeply weathered.	steep slope, hillside, piedmont
Class C (Moderate stable)	-0.0150~-0.4195	Slopes which show no evidence of previous landslide activity but which are considered likely to develop landslide in the future. Erosional forms still evident.	piedmont, summit
Class D (stable)	below -0.4195	Slopes which show no evidence of previous landslide activity Creep rate is very slow.	plain, piedmont

Table 10. Relation between landslide occurrence and slope made by degree of hazard

Landslide susceptibility class	Slope made by degree of hazard	Number of landslide	Rate of landslide occurrence(%)	Ratio of relative occurrence
Class A	68	53	77.9	8.11
Class B	115	72	62.6	6.46
Class C	65	20	30.8	3.21
Class D	52	5	9.6	1.00
Total	300	150		

溪流에서는 81%의 適中率을 보였다고 하였으며, 建設省土木研究所¹⁴⁾는 74.6%의 適中率을 보여 본 研究結果와 類似하였다. 判別解析上 어느 정도의 適中率로서 만족하여야 할 것인가는 分明하지는 않지만 본 研究結果는 資料數와 要因數를 考慮할 때 比較的 높은 適中率이라고 判斷된다.

이와 같은 結果를 利用하여 山地斜面 崩壞危險의 豫知를 위한 各 危險度級의 評價는 判別區分値를 基準으로 하여 4個級으로 區分하였으며 그 結果는 Table 9와 같다.

여기서 危險性を 分類하면 A級은 最大 不安定

地(Very unstable), B級은 不安定地(Unstable), C級은 普通地(Moderate stable), D級은 安定地(Stable)를 意味하고 있다.

危險度 A級의 斜面判別値는 0.3132 以上이며, B級은 0.3132~-0.105, C級은 -0.1050~-0.4195, D級은 -0.4195 以下로 나타났고, 이들 中 危險度 A, B級은 急傾斜와 山復, 山麓 等인 活動性 山沙汰地였으며, 危險度 C級은 浸蝕이 甚한 山麓과 山頂 等인 山沙汰發生率이 높은 荒廢地域이었고, 危險度 D級은 低地帶의 河川邊이나 沖積地 等이었다.

이렇게 하여 崩壞危險度 豫測을 위한 모델이

設定되면 豫測모델의 實用性を 檢討하여 보아야 할 것이다. 豫測모델에 의하여 判別區分値를 基準으로 제시한 4個의 危險度級에 따라 判定된 斜面과 山沙汰發生과의 關係를 나타낸 것은 Table 10과 같다.

調査斜面 300個中 危險度 A級斜面은 68個였고, B級斜面은 115個, C級斜面은 65개, D級斜面은 52個로 나타났으며, 이 中 A級斜面에서의 山地崩壞發生率은 77.9%, B級斜面에서는 62.6%, C級斜面에서는 30.8%의 發生率을 보였다. 危險度 D급에 對한 A級の 相對發生率은 8倍를 超過한 높은 危險性을 보였으며, 또한 危險度 A, B級에서의 山事態發生은 150個 崩壞地 中 125個로서 83.5%의 發生率을 보여 높은 適中率을 나타내었다.

이와 같이 豫測모델이 높은 適中率을 나타내어 山地斜面 崩壞危險 豫測모델로서 매우 優秀함을 보이고 있다.

특히 質的인 外的基準에 依한 豫測方法은 判別區分値로서 精確한 豫測値를 정할 수 있기 때문에 崩壞發生面積에 依한 推定方法보다 더욱 應用價値가 큰 것으로 생각된다.

山沙汰地 調査 方法으로는 山沙汰의 發生狀態 및 潜在力인 發生 危險度 뿐만 아니라 山沙汰 原因과 形態를 把握하는 豫防 對策 또는 正確한 行動을 취하기 위하여 실시하는 豫備調査와 現存하는 山沙汰에서 環境因子의 特徵究明 및 將來 建築物을 設計하였을 때 山沙汰를 받기 쉬운 地域의 面積 算出과 豫防工法 등 細部的인 豫防對策을 樹立하기 위하여 實施하는 精密調査로 區分할 수 있다. 渡 等²⁸⁾은 對象地域을 決定하고 調査準備 및 計劃을 끝낸 후 豫備調査(概査)와 本調査(精査)로 區分하여 說明하였다.

Hansen⁶⁾은 粘土斜面에서 發生되는 5가지 要因을 基準으로 하여 山地崩壞危險 豫知方法을, Hicks⁷⁾는 토사生産量과 表土流失量을 推定하여 質的인 危險表를 만들어 崩壞危險을 評價하도록 提案한 바 있고, Ward²⁷⁾는 Computer를 利用하여 安全도에 따라 危險地帶를 區分한 바 있다.

一般的으로 山沙汰의 豫知는 場所, 時間, 規模의 3條件이 갖추어져야 하나 現在로서는 이러한 것을 滿足시키는 豫知方法은 없다. 어떤 特定個所에 對한 精査는 boring에 依한 地盤調査나 物理深査 後 工學的 判斷에 依해서 決定되고 있지

만, 이러한 것은 林業的인 側面에서 經費 및 時間의 浪費가 크므로 不合理한 境遇가 많다. 따라서 數量化에 依한 山沙汰發生 危險度判別은 一定한 넓이를 갖는 場所에 對하여 崩壞危險性의 程度를 效果的으로 判定할 수 있는 有用한 方法이 될 수 있는 것으로 思料된다.

引用文獻

1. Bailey, R.G. and R.M. Rice. 1969. Soil Slippage an indicator of slope instability on Chaparral of Southern California. Reprinted from the Professional Geographer. 21(3) : 172-177.
2. 崔 敬. 1986. 韓國의 山沙汰 發生要因과 豫知에 關한 研究. 江原大 大學院 博士學位 論文. p.45.
3. Dyrness, C.T. 1967. Mass soil movements in the H.J. Andrews experimental forest. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station U.S. Department of Agriculture U.S. Forest Service. Research Paper. PNW-42 : 1-14.
4. 遠藤泰造·鶴田武雄. 1968. 土の抗張力にあえる根の補強作用について. 農林省林業 試驗場北海道支場年報. 183-189.
5. Gary, D.H. and W.F. Megahan. 1981. Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho batholith. U.S.D.A. Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station. Reserach paper. INT-271 : 1-23.
6. Hansen, A. 1984. Landslide Hazard Analysis. In slope Instability. John Wiley and Son Ltd. 523-602.
7. Hicks, B.G. 1984. Landslide Terrain Management using Hazard Zonation and Risk evaluation. Proceedings of a Symposium on Watershed Rehabilitaion in Redwood National Park and other Pacific Coastal Areas. 143-152.
8. 日浦啓全·佐久恭二·大手桂二·武居有恒. 1978. 風化花崗岩類至大における斜面崩壞に關する研究(1) - 風化度と21センチ斷特性について - . 京都府立大學 學術報告 農學. 30 : 47-57.
9. 細田 フ. 1980. 斜面長と斜面崩壞との關係.

- 91回 日林論. 437-438.
10. 姜渭平. 1971. 花崗岩地帶 荒廢地 土壤의 性質에 關한 研究. 文教部 研究報告書 農學係. 3 : 1-10.
 11. 姜渭平. 1981. 1979年 8月 集中降雨에 依한 鎮海地區의 山沙汰에 關한 研究. 韓林誌. 52 : 72-78.
 12. 姜渭平·村井 宏·大村 寬·麻鎬燮. 1986. 數量化(II)에 依한 山事態斜面의 危險度 判別. 韓林誌. 75 : 32-37.
 13. 加藤正人·柳井清治·遠藤祐司. 1986. 리모트센싱을 활용한 山地災害豫知システムの開發. 森林航測 149. 日本林業技術. 3-8.
 14. 建設省土木研究所 急傾斜地崩壞研究所. 1979. 自然斜面の崩壞とその對策に關する調査研究報告(その1). 建設省土木研究所. p.136.
 15. 小橋藤治·今井篤雄·久保村圭助·中山政一·眞砂祥之助. 1972. 航空寫眞判讀による斜面の安全度解析高山線の實施例. 新砂防. 84 : 14-23.
 16. 駒村富士彌·渡邊務夫. 1977. 樹木の斜面安定效果. 日林誌. 59 : 338-340.
 17. 麻鎬燮. 1987. 山地斜面 崩壞危險의 豫知에 關한 研究 - 黃江流域을 事例地域으로 -. 慶尙大 博士學位論文. p. 50.
 18. 長崎懸斜面對策危險度判定委員會. 1985. 長崎懸斜面對策危險度判定調査資料. p. 75.
 19. 沖村 孝·杉本 博. 1979. 統計的手法による自然斜面崩壞の研究. 土木學會論文報告集. 290 : 89-97.
 20. O'Loughlin, C. and R.R. Ziemer. 1983. The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in steepland forests. NZFS Reprint. 1570 : 70-78.
 21. Rice, R. M., N. H. Pillsbury, and K. W. Schmidt. 1985. A risk analysis approach for using discriminant function to manage Logging-related landslides on granitic terrain. Forest Sci. 31(3) : 722-784.
 22. 志水俊夫. 1977. 花崗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.
 23. 志水俊夫. 1978. 崩壞の危險がある斜面の判定 - その理論と手法 -. 林業技術. 439 : 23-26.
 24. Trutrum, N.A., V.J. Thomas, and G.B. Douglas. 1984. The impact of forest removal and subsequent mass-wasting on hill land pasture productivity. Symposium effects of forest land use on erosion and Policy Institute East-West Center University of Hawaii Honolulu, Hawaii. 308.
 25. Waldron, L.J. and S. Dakessian. 1981. Soil reinforcement by roots : Calculation of increased soil shear resistance from root properties. Soil Science. 132(6) : 427-435.
 26. Waldron, L.J. and S. Dakessian. 1982. Effect of grass, Legume and tree roots on Soil shearing resistance. Sci. Am. J. 46 : 894-899.
 27. Ward, L.J. 1985. Computer-based Landslide delineation and risk assesment Procedures for Management Planning U.S.D.A. Forest Service Pacific Northwest and Range Experiment Station General Technical Report PNW-180 ; Proceedings of a Workshop on Slope Stability : Problems and Solution in Forest Management. 68-77.
 28. 渡 正亮·安江期光·大久保 駿. 1972. 急傾斜地崩壞の調査. 新砂防. 84 : 24-30.
 29. Wilson, D. 1985. Subjective techniques for identification and hazard assessment of unstable terrain. U.S.D.A. Forest Service Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station General Technical Report PNW-180 ; Proceedings of a Workshop on Slope Stability : Problems and Solutions in Forest Management. 36-42.
 30. 禹保命. 1977. 植生이 비탈면의 安定에 미치는 影響. 韓林誌. 35 : 47-55.
 31. 禹保命·任慶彬·李壽煜. 1978. 安養地域에 있어서 豪雨에 依한 山沙汰發生에 關한 實態調査와 豫防對策에 關한 研究. 韓林誌. 39 : 1-34.
 32. Wu, T.H. and D.N. Swanston. 1980. Risk of landslides in shallow soils and its relation to clearcutting in southeastern Alaska. Forest Sci. 26(3) : 495-510.
 33. Wu, T.H., W.P. Mckinnell, and D.N. Swanston. 1987. Strength of tree roots and landslides on prince of Wales Island, Alaska. Can. Geotech. J. 16 : 19-33.