



小形 彈性波探查機(PS-1)을 이용한 山沙汰豫知 技術開發

Prediction and development on technics of landslide prospecting
by seismic refraction(PS-1)

金 在 憲*
Kim, Jae Heun

ABSTRACT

This study was carried to find out the soil characteristics of landslide site and to develop landslide prediction method by seismic refraction prospecting. For these aims, landslide condition and travel time were investigated at 68 Landslide sites over the country during 1990 to 1991. The results were as follows.

1. The surface of rupture was included mainly in C layer. Its Hardness was less than $3\text{kg}/\text{cm}^2$ at the upper part of landslide.
2. When the profile line length was 20m, the range of travel time was 40 to 90 msec. The travel time did not differ between bedrocks.
3. Refraction distance ranged from 1 to 7m and mean of that was 2.5m. Travel time was increased according to receiving distance without large variance in the refraction distance but that was appeared large variance out of the refraction distance on slope that has shallow soil depth and discontinuous ground surface. Therefore, the spread distance must be shorten to 10-15m.
4. The seismic velocity at the first layer(layer of rupture) was less than 500m/sec by degree of weathering and the velocity at the second layer decreased in order of Granite > Granitic gneiss > Sedimentary rock.
5. The first layer observed by seismic refraction was contained C layer that has parent material and weathered rocks of hardness 10-20 kg/cm^2 .
6. Among the range of seismic velocity was less than 200m/sec in 63% of the total plots, 200-300m/sec in 34% and 300-500m/sec in 3%.
7. There was a proportional relationship between seismic prospecting soil depth and executive soil depth, and seismic projection soil depth was about 10 to 20cm deeper than the order.

* 農林(營林技術士)

序 論

山沙汰發生原因은 集中豪雨, 颶風 等과 같은 氣象的인 要因과 地質, 地形, 林相等 여러 環境因子가 複合的으로 作用 發生되기 때문에 몇 개의 因子에 의해서 山沙汰危險性을 判定하기란 相當히 어려운 問題이다. 또한 山沙汰는 一時에 發生되어 많은 人名과 財產被害를 가져오기 때문에 이를 防止하기 위하여 山沙汰發生豫知에 관한 많은 研究가 隨行되어왔고 또 隨行中에 있다. 山沙汰危險地域의 地質構造를 把握하기 위하여, 萩原(1975)은 運動方程式($1/2 \cos \theta \times d^2$)을 利用하여 土壤媒質에 따른 彈性波 速度의 變化를 考察한 바 있고, 金(1987)은 delay time과 初動波들의 走行時間을 利用하여, 誤差補正 값을 計算하고, 이때 風化帶의 形態와 速度 變化가 誤差의 크기에 미치는 影響을 分析 報告하였다. 池園(1991)은 未固結의 地層과 風化地層에서는 彈性波 速度가 느리고, 固結된 地層에서는 探查速度가 빠르다고 報告하였다. 大八木等(1991)은 烏根懸 地方 花崗岩 地帶의 崩壞와 風化構造를 考察하고 風化層位의 特性을 研究하였다.

山田 等(1989)은 空間 彈性波速度와 地表 彈性波速度를 比較分析하여 큰 差異가 없으나, 標高差가 50m 以上되는 곳에서는 空間 彈性波速度가 地表 彈性波速度보다 약간 느린 傾向이 있었다고 報告하였으며, 玉城等(1990)은 山沙汰나 崩壞時의 斜面破壞의 直接原因이 水收支 均衡逸脫에 있다고 보고, 地下水의 舉動把握에 彈性波探查方法을 利用한 바 有效하였다고 報告하였다. 申(1991)은 山沙汰 工學에서 斷層面(slickenside)과 不透水層帶의 食鹽水 含水比의 關係를 調査하고 이를 揚壓力으로 山沙汰를 豫測하는 方法을 研究하였다. 中川 等(1981)은 花崗岩 山沙汰地이 崩壞面(非崩壞層)의 彈性波速度(p波)를 測定한 바 非崩壞面의 風化程度는 風化로 軟弱화된 土層으로 쉽게 삼질 할 수 있는 곳(AW-1)과 母岩이 상당히 風化는 進展되었지만 삼질할 수 없는 것(AW-2)으로 區

分할 수 있고, 이들의 彈性波速度는 各各 250-380m/sec와 320-800m/sec임을 報告한 바 있다.

揚等(1990)은 林道設計에 彈性波速度의 活用을 위하여 調査한바 彈性波速度는 林道設置 工事 效率과는 相關性이 있으나 岩石形態區分과는 相關性이 없다고 報告하였다. 建設技術 研究院(1989)은 山沙汰地에서 지오편의 間融을 3m로 하여 彈性波探查를 實施한 바 第1層의 彈性波速度는 平均 361m/sec이었으며 第2層의 速度는 1,715m/sec라고 報告하였다.

本研究에서는 地況, 林況因子에 의한 山沙汰豫知方法에 追加하여 보다 精確하게 山沙汰危險度를 判定하기 위하여 地層 探查方法인 小形 彈性波探查機 PS-1을 導入하여, 全國 山沙汰發生地 68個所에서 彈性波探查를 實施하고, 分析한 結果를 基礎로 山沙汰 豫知方法을 提示코 지한다.

材料 및 方法

1. 調査地

本 調査는 '89~90年 사이에 發生한 山沙汰發生地 중에서 被害가 尤甚한 地域으로 彈性波速度와 關聯이 있는 것으로 假定되는 母岩別로 區分 調査하였으며, 母岩은 分布面積이 큰 火成岩의 花崗岩과 變成岩의 花崗片麻岩 및 砂岩, 泥岩, 石灰岩이 包含되는 堆積岩으로 3區分하였으며, 母岩別 調査個所數는 表 1과 같다.

Table 1. Numbers of plots classified by bedrock.

Bedrock	Survey numbers
Igneous rocks	24
Metamorphic rocks	23
Sedimentary rocks(Sandstone, Limestone, Mudstone)	21
Total	68

2. 調査內容 및 方法

가. 土質 및 母岩

山沙汰地의 土質 및 母岩은 1/50,000地質圖

를 利用하여 現地確認調査하고 母岩의 風化段階別 特徵은 分析狀態, 節理, 斷層有無 等を 地質調査要領에 의해 調査하였다.

나. 土壤特性

○ 山沙汰發生地의 土壤斷面調査는 土壤斷面調査要領에 依據 調査하였으며, 崩壞層과 非崩壞層의 土壤三相은 100cc 試料罐을 利用한 重量法을 利用하여 分析하였다.

○ 山沙汰 崩壞地土壤(c層)을 400cc試料罐에 採取하고, 土壤分析室에서 土壤層을 移動하는 水分移動時間을 測定하여 調査하였다.

○ c層의 粒徑比는 2mm, 4.8mm의 Mesh를 利用하였다.

다. 彈性波速度 및 崩壞깊이

彈性波探査機(handay seis PS-1)을 山沙汰地의 hollow를 基準으로 하여 兩端의 上下方向

으로 20m 側線을 設定한 후 上側에서 下側으로, 下側에서 上側으로 交代하여 처음 10m까지는 受振距離를 1m間融으로 그 以後부터는 2m間融으로 調査하였다. 이때 source를 줄 수 있는 槌의 크기는 5kg으로 하였고, 2回 反復 實施하므로써 人爲的誤差가 最小化될 수 있도록 하였다.

結果 및 考察

1. 母岩別 山沙汰地 土壤層特徵

가. 母岩別 山沙汰地土壤

山沙汰地土壤斷面上的 特徵을 把握하기 위하여, 關聯 調査된 山沙汰地土壤斷面 調査資料(300余個所)를 綜合的으로 分析한 結果는 Table 2와 같다.

Table 2. Soil characteristics of landslide sites by bedrock

Bedrock	Weathering process	Soil Characteristics	Landslide occurrence rate	Landslide arearate
○ Igneous rock · Granite · Andesite	· Bedrock→stone debris→Sand · Bedrock→Sand · Bedrock→Stone debris · Bedrock→Clay	· Generally, thick C horizon, deeply weathered. low cohesion, high permeability gravel layer under B or c horizon. · Presence of sliding surfaces of clay layer between A and B-C layer. · Wethering debris of cubic sharp. · Consistent weathering C layer and high permeability.	Very high High	Large Large
○ Metamorphic rock · Gneiss · Schist · Phyllite · Slate	· Bedrock→Gravel→Sand · Bedrock→Clay · Bedrock→Clay	· Deep soil depth. · Hard clay layer on C layer · Gravel layer under B layer. · Gravel layer under B horizon. · sliding surface of clay layer.	High Middle	Very Large Moderate
○ Sedimentary rock · Sandstone · Shale · Mudstone · Limestone	· Bedrock→Gravel · Bedrock→Sand · Bedrock→Clay	· Low cohesion and high permeability. · Gravelly, gravel layer under B horizon. · Gravel layer or sliding surface of clay layer under B horizon. · Gravelly	Low Low	Small Small

山沙汰地の滑動面은 岩盤層 또는 얇은 粘土層인데 滑動面이 나타나는 母岩은 그 風化過程이 基岩에서 粘土로 直接 風化되는 過程을 밟고 있으며, 이러한 母岩들은 火成岩의 安山岩, 變成岩에서는 花崗片磨岩, 片岩, 千枚岩, 粘板岩 等이며 堆積岩으로는 頁岩, 泥岩 等으로 透水性이 낮은 不浸透水層이 形成되기 容易하다. 凝集力이 낮고 透水性이 높은 母岩의 風化過程은 基岩→岩塊→모래, 基岩→자갈 또는 基岩→모래의 不連續 風化過程을 밟는데 火成岩의 花崗岩, 堆積岩의 砂岩 等이 이에 속하고, 이러한 母岩들은 風化岩과 C層 사이에 浸透水の 通路인 micro-tunnel이 形成되어 쉽게 山沙汰가 發生하는 傾向이 있었다. 泥岩地帶는 土深이 얇고 空氣에 露出된 岩盤은 쉽게 破碎되므로 山沙汰地의 大部分이 岩盤이 露出된 切開斜面 또는 縱構浸蝕에 의하여 岩盤이 露出된 地域이 大部分이었다. 崩壞面은 주로 C層으로 崩壞地 上部에서는 堅密度 3kg/cm² 以下이나 崩壞地 下部는 崩壞 土石流의 重力에 의하여 風化岩까지 包含되기도 하였다. 山沙汰 發生面積率은 風化帶 깊이와 關係가 있어서 變成岩>火成岩>堆積岩 順으로 變成岩에서 가장 크게 나타났

나. 土壤粒徑 및 水分變動

山沙汰地 崩壞土의 固相比는 32~49%이었으며 非崩壞土는 39~60%로 나타나 一般적으로 固相比 50% 以上이면 山沙汰에 安全한 것으로 判斷되었다. 崩壞層(C層)의 透水係數는 花崗岩이 0.10~0.94mm/sec, 花崗片磨岩이 0.03~0.53mm/sec, 泥岩이 0.08~0.47mm/sec 로 나타나 모래의 透水係數(0.001~10mm/sec)에 範圍內의 값을 보였다. 基岩→모래로의 風化過程을 거치는 花崗岩에서는 C層의 粒徑比를 調査한 結果는 表 2와 같으며 이 중 C₂層은 大部分이 fine gravel로 이루어진 未風化土層으로 삼질이 可能한 土層으로 構成되어 있었고, 그 내용은 Table 3과 같다.

Table 3. The ratio of soil particle size by soil layer(%)

Soil layer Soil particle size(mm)	C ₁ layer	C ₂ layer
<2.0	54	35
2.0-4.8	33	27
>4.9	13	38

2. 彈性波 探查

가. 走時曲線

山沙汰地 崩壞層의 彈性波 探查速度와 崩壞 깊이를 調査하기 위하여 山沙汰地 한쪽 面의 上下로 1個의 側線(spread)을 設置하고 彈性波 探查를 實施하였다. 側線距離는 20m, 受振間融은 1m로 하여 往復走時를 測定하여 走時曲線을 作成하여, 單側走時만을 表示한 結果 40~90msec로 나타내고 있으며 母岩別 走時範圍에는 差異가 없었다. 折點距離는 大部分 1~7m(平均 2.5m)에서 나타났으며 地域에 따라서 折點 距離 以後의 走時變動幅은 受振點에 따라 큰 差異를 보였다.

나. 彈性波探查速度

Table 4는 山沙汰地와 道路切開斜面(土壤層 包含)에서 調査된 彈性波探查速度로 第1層에서는 대체적으로 500m/sec 以下이었으며 母岩보다는 土層의 風化程度에 따라 다르게 나타났다. 第2層의 彈性波速度는 花崗岩>花崗片磨岩≥堆積岩 順으로 花崗岩에서 가장 빠르게 나타났다.

山沙汰地에서 調査된 彈性波速度別 發生頻道 分布는 Table 5와 같고 第1層(土壤層+風化岩)의 速度를 보면 最低 66m/sec에서 最高 305m/sec으로 나타나며, 第2層(未風化岩)速度는 285m/sec에서 750m/sec으로 나타났다.

Table 4. The range of seismic velocity by bedrock

Bedrock	Layer	Seismic velocity(m/sec)
Granite	First layer	66-300
	Second layer	307-1360
Granitic gneiss	First layer	67-475
	Second layer	285-889

Sedimentary rocks	First layer	125-347
	Second layer	301-857

第1層의 探查速度는 折點距離를 얼마로 하느냐에 따라 크게 좌우되므로 土深이 얇은 地域에서는 折點距離를 짧게(1m)하여야 解析上 有利하다. 第2層의(C層)內에 存在하는 境遇도 있으나, 그 外는 大部分 300m/sec 以上으로 나타났다.

또한, 調査資料를 彈性波速度別로 相對發生頻度와 個所當 山沙汰 平均面積을 표 5와 같이 비교한 바, 發生頻도에 있어서는 200m/sec 以下에서 63%, 201~300m/sec에서는 34%, 300~500m/sec에서는 3%로 探查速度가 느린 地域에서 많이 發生되었고, 個所當 平均面積은 差異가 없었다.

다. 探查깊이

探查 깊이 產出式은 第2層의 깊이가 均一하지 않을 때 使用하는 公式으로 $[h = v_1 / \cos \theta (T - T')]$ 을 使用하였으며 調査地의 探查깊이

Table 5. Landslide frequency and mean area per site by seismic velocity

Seismic velocity (m/sec)	Landslide frequency (%)	Mean area per site (m ²)
200	63	896
200~300	34	890
300~500	3	830

는 0.3~3.5m로 나타났다. 또한, 探查機에 의한 第1層의 깊이는 滑動面이 있는 地域에서는 실제 깊이와 탐사깊이가 거의 일치되나 활동面이 없는 地域에서는 C층의 미풍화토와 풍화암이 포함되며 모암에 따라서 견밀도 10~20kg/cm² 部位로 나타났다. 探查깊이와 實際깊이와의 關係는 그림 3과 같이 比例的인 相關關係가 있었으며 探查깊이가 實際깊이가 實際깊이(斷面土深)보다 多少(10~20cm) 깊게 나타났다.

3. 彈性波 探查에 의한 山沙汰 危險地 判定

彈性波速度의 의한, 山沙汰 危險度를 判定하

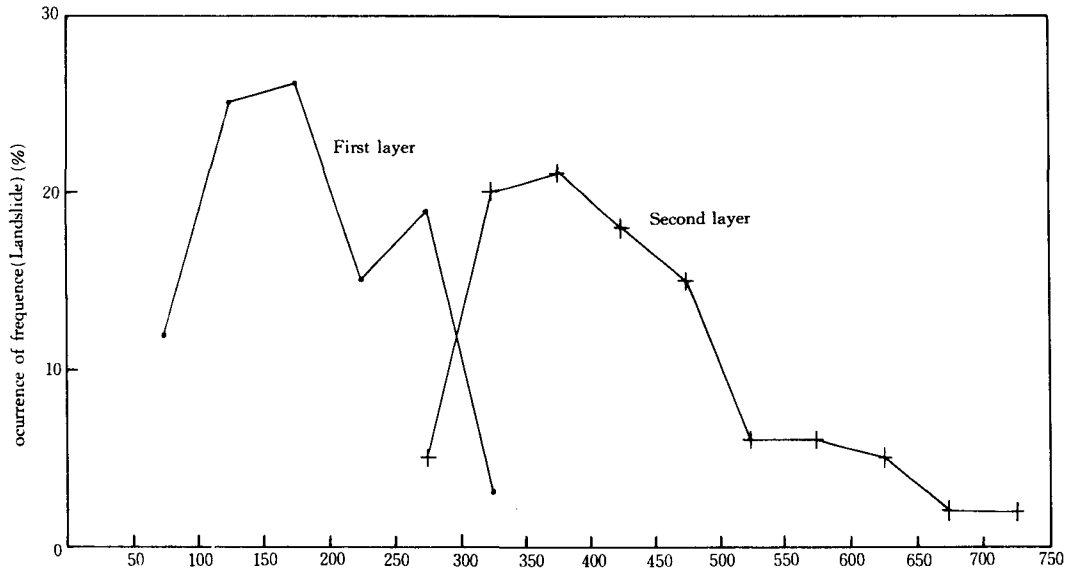


Fig 1. Distribution of occurrence frequency for first and second layer by seismic velocity on landslide site

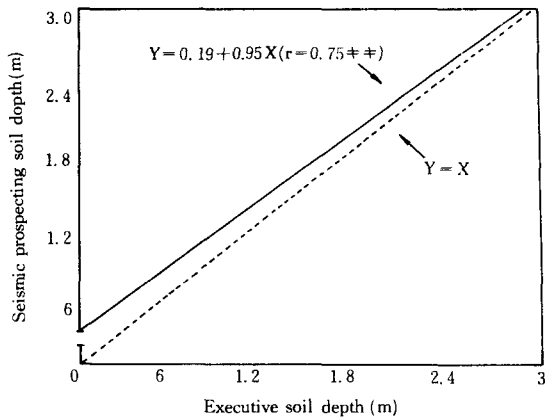


Fig 2. Comparison of seismic prospecting soil depth and execute soil depth

기 위하여 調査資料의 山沙汰 發生頻度を 考慮하여 Table 6와 같이 危險度 基準을 作成하였으며, 200m/sec 以下는 大단히 危險한 地域, 200~300m/sec는 위험한 地域, 300~500m/sec는 약간 위험한 지역, 500m/sec는 안전한 지역으로 나눌 수 있다. 彈性波速度는 直接波로 現地에서 觀測이 容易하고 活用이 可能하나, 崩壞面 깊이 測定은 彈性波 探查로 얻어지는 結果를 活用하므로 期待效果를 얻을 수 있을 것으로 思料된다.

Table 6. Suseptibility to landsliding by of seismic velocity

Seismic velocity(m/sec)	Suseptibility
>200m/sec	severe suseptibility
200-300m/sec	moderate
300-500m/sec	little
<500m/sec	stability

4. 摘 要

彈性波 探查機를 利用한 山沙汰危險地 判定方法을 究明하기 爲하여 1990年부터 1991年까지 2年間 母岩別 68個所의 山沙汰地에서 山沙汰地의 土壤特性 및 Handay seis PS-1을 利

用하여 彈性波 探查速度와 崩壞깊이를 調査한 結果는 다음과 같다.

1. 崩壞面은 주로 C層으로 崩壞地 上部에서는 堅密度 3kg/cm² 以下이나 崩壞地 下部는 10kg/m²으로 崩壞土石流의 重力에 의하여 風化岩까지 包含되기도 한다.
2. 固相比 50% 以上이면 山沙汰에 安全한다.
3. 受振距離 20m일 때 走時는 40~90msec이 있으며 母岩別 走時範圍는 差異가 없었다.
4. 折點距離는 1~7m(平均 2.5m)이 였으며 地域에 따라서 折點距離 以後의 走時는 受振點에 따라 큰 差異를 보였다. 따라서 土深이 얕고(2m 以下), 地形이 複雜하며 土壤內 岩石 및 基盤岩의 配置狀態가 均一하지 못한 地域에서는 受振距離를 10~15m로 短縮 測定하는 것이 效果的이라고 觀察되었다.
5. 第1層(崩壞層)의 彈性波速度는 500m/sec 以下이 였으며 母岩보다는 土層의 風化程度에 따라 다르게 나타났으며 第2層의 速度는 花崗岩 > 花崗片磨岩 ≥ 堆積岩 順으로 花崗岩이 가장 빠르게 나타났다.
6. 第2層은 滑動面이 없는 地域에서는 C層의 未風化土와 風化岩이 包含되며 母岩에 따라서 堅密度 10~20kg/cm² 部位로 나타났다.
7. 彈性波速度에 따른 산사태 發生頻度는 200m/sec 以下가 63.5%, 200~300m/sec 가 34%, 300~500m/sec 3%로 彈性波速度가 느린 地域에서 山沙汰가 많이 發生하였다.
8. 探查깊이와 實際깊이는 比例的인 相關性이 있었으며, 探查 깊이와 實際 깊이보다 10~20cm 깊었다.
9. 彈性波速度에 의한 山沙汰 危險度 判定表 (Table 6)를 提示하였다.

引用文獻

- 1) Bishop, D.M. and M.E.Stevens. 1964. Landslides on Logged at south east Alaska

- US. For.ser.res.pap. Nor-1.17pp
- 2) 趙天煥 外 2 人. 1989. 斜面の安全診断 및 保護工法. 韓國建設技術研報. 132.
 - 3) Griffiths, D.H. 1981. Applied geophysics for geologists and engineers pergmon press co. LTD., 133~158.
 - 4) 崔敬, 1983. 山沙汰 發生豫知에 관한 研究, 林試研報. 第30號: 109~129.
 - 5) Fredlund, D.G., 1984. Analytical methods for slope stability analysis. proc. 4th international symposium on landslides toronto, vol.1, 229~250.
 - 6) 池田和彦, 1978. 土木彈性波探査法. 物理探鑛技術協會: 374~379.
 - 7) 萩原貞夫, 1975. 水害と 治山, 中央公論事業出版: 151~158.
 - 8) 金光殷, 1988. 反射法彈性波探査에서의 淨補正法에 관한 研究. 서울대 碩士論文集: pp.54
 - 9) 川口武雄, 難波宣士. 1954, 山崩の治山對策. 日林試報告. 74: 57~88.
 - 10) 中川鮮 等 4 人. 1984. 花崗岩山地斜面と表層地盤構造-愛知縣小原村における 風化狀況による地盤區分 試み- 京大年報. 第24號 b-1: 391~400.
 - 11) 佐佐恭二. 1986, 地すべり斜面崩壊と運動豫測, 京大防災研究所 年報, 第29號: 431~450.
 - 12) 四手井剛英, 木堅山德治. 1954. 森林の影響. 日林試演報. 74: 27~40.
 - 13) Soda, O. and S.Obata. 1954. A study of june flood(1953) in kyushu. part 1, Aso district bulletin of the government forest experiment station. 69(3): 5~7.
 - 14) Swanston, D.N.. 1971. Principal massmovement process influenced by logging, road building and fire. USDA.for.ser.29~39.
 - 15) 申潤植. 1989, 地すべり工學 -理論と實際-, 山海堂: 352~378.
 - 16) 玉城逸夫, 1986, 地すべり地の 水みち 探査法の比較研究, 大板工業大學 論文集: 180~183.
 - 17) Varnes, D.J.. 1978. Movement type, and processes, landslides analysis and control, transfortation research board, National academy of science, special report: 76~83.
 - 18) 渡正亮. 1987, 地すべり 斜面崩壊の 豫知と 對策, 山海堂. 206~210.
 - 19) Watanabe ryuju, kiyoshi takiguchi. 1956 landslides in the basin of river Fuji.
 - 20) 山田道南, 阿部螺夫, 滔田倍愁. 1989. 斜面調査に孔間彈性波調査を實施した 適用例 日本土質工學發表會 第23回 55~56.
 - 21) 揚修琴, 酒井徹明. 1986, 林道開設における 彈性波探査の 適用に ついて, 日本林道協會誌 229~237.