

第四紀 火山岩 分布地域에 頻發하는 地質災害에 關하여[☆]

金 永 琪^{**}

A Geologic Disasters in Quaternary Volcanic Area, Ulreung-Island

Young Ki Kim^{**}

Abstract : A geologic disasters in Ulreung-island is forming along the slope of pyroclastic deposits and this paper discusses soil mechanics and properties and morphologies of pyroclastic soil.

The typers of degradation are determined by cutting the soil and classified genetically.

Finally, the range of stability is deduced from dip of slope (α) and length of slope (l) as the following;

1. Stability	$\alpha < 31.12 - 4.51 \log l$
2. Instability Degradation due to conditon	$31.12 - 4.51 \log l \leq \alpha < 43.27 - 5.83 \log l$
3. Extreme instability Dangerous degradation	$\alpha > 43.27 - 5.83 \log l$

1. 머리 말

우리주변에는 天災地變에 의한 災害가 많이 발생한다. 특히 解氷期나 雨期에 일어나는 基礎地盤의 mass-movement에 의한 災害가 甚多하며 이들 災害는 第四期 火山岩 分布地域에 集約 되는 傾向이 있어 本研究는 울릉島에 分布하고 있는 崩碎된 第四紀 火山岩類들의 破碎物들과 凝灰質 未固結岩層들이 外因의 또는 內因의 作用에 의하여 崩壞活動하고 있는 山斜面에 對하여 檢討하였다. 울릉島의 斜面崩壞는 人爲의든 自然的 이든간에 오래 전부터 일어나고 있었다. 즉 울릉도의 土層山斜面은 現在 계속 活動하고 있거나 休止, 혹은 靜止狀態에 있는 것이 있다.

休止狀態에 있는 것은 다시 活動할 수 있는 여지가 있고 어떤 外的作用 (氣象地震, 切土 등)을 內하면 崩壞可能性이 있는 것도 있다.

一般으로 自然斜面은 地質의으로 岩石斜面과 風化產物의 移動에 의하여 集積된 崩壞堆積物斜面으로 大別된다. 따라서 斜面의 性狀 혹은 安全度를 檢討하는데

는 이를 分離하여 生覺하여야 할 것이다. 本研究는 崩壞堆積物斜面에 對하여 調查研究하였다. 本研究에 對하여 1978年度에 울릉島의 火山碎屑性土層의 工學性에 關하여⁽²⁾를 慶北大學校論文集 25輯에 發表한바 있다. 本論은 前記의 측면에 속하는 것으로서 地質 및 土質 力學資料는 이미 發表된 것을 引用하였다.

今般研究의 主內容은 崩壞堆積物斜面에 대한 性狀, 形態 및 成因의 分類를 實施하고, 또 切土에 따른 崩壞型에 對한 檢討를 하였으며, 特히 崩壞斜面角(α)과 斜面길이(l)와의 關係에서 崩壞堆積物斜面에 對한 安全性에 對하여 檢討되었다. 本研究는 1979年度 문교부 연구 조성비에 의하여 이루어 졌다.

2. 地質概要

울릉도는 第四系에 있었던 火山活動의 產物로서 形成된 火山島이다. 本島의 火山活動은 橄欖石 알칼리 현무암질 마그마에서 由來된 것으로서 玄武岩과 粗面岩이 噴出하여 噴火口인 나리盆地가 火山原地形의 모습을 그대로 保持하고 있으며 火山活動의 最終期에 溢出하였으리라고 믿어지는 熔岩圓頂丘가 火山의 侵蝕段階에 있어서 火山段階의 地形變遷過程의 첫段階를 유지하고 있어 火山活動의 終末은 Pleistocene 末이었으

^{*} 이 論文은 1979年度 문교부 학술 연구 조성비에 의하여 연구된 것임.

^{**} 경북대학교 지질학과

Tab. 1 土質試驗結果表

Sample No.	시료명	비중 S.G.	액상계 W _L (%)	소성계 W _P (%)	소성수 I _P	균등수 u _c	일축압강도 σ (kg/cm ²)	평균함수비 (%)			진조밀도 r _a		점착력 C (kg/coat)	마찰각 φ	단위체중 r _s (g/cm ³)
								현장	다짐	최적	현장	최대			
S-1	Sandy loam	2.57	32.75	28.54	4.21		1.00	28.13	28.47	24.50	1.45	1.52	0.26	20°	1.88
S-2	loam	2.57	82.55	42.41	39.59		1.04	35.12	47.61	34.06	1.11	1.24	0.39	15°	1.68
S-3	Siltm loam	2.50	58.00	30.00	28.00		0.53	25.05	29.29	31.17	1.29	1.34	0.13	40°	1.50
S-4	Sand	2.56	—	—	—		—	8.98	9.21	8.72	1.45	1.46	—	—	—
S-5	Sandy loam	2.55	53.40	22.39	31.01		1.11	23.04	21.41	23.60	1.46	1.59	0.48	10°	1.78
S-6	Silty loam	2.51	48.35	40.83	7.52		1.00	5.438	32.34	33.69	1.20	1.25	0.08	16°	1.56
S-7	Silty loam	2.48	54.40	54.72	0		0.24	60.68	44.82	45.30	1.05	1.08	0.07	30°	1.53
S-8	Silty loam	2.45	58.50	40.20	18.30		0.77	35.58	36.72	37.50	1.12	1.16	0.21	34°	1.56
S-9	Sandy loam	2.50	51.70	47.22	4.48		0.62	26.43	24.41	26.50	1.29	1.35	0.13	44°	1.56

리라 믿어진다.

本島의 基盤을 이루는 玄武岩類는 道洞, 亭洞, 通九味洞, 南陽洞等地에 分布되어 있으며 集塊岩을 隨伴하는 경우가 많다. 粗面岩類는 西部, 北東部 및 竹島, 羅里盆地周邊部 沙洞, 冠위峰 等地에 分布한다. 脉岩類는 海岸斷崖에서 볼수 있다. 火山碎屑物은 後期에 生成된 것과 前期에 生成된것, 즉 火山體의 斜面을 넓게 分布된 것과 區分된다. 前者는 火山砂, 火山礫 및 火山塊 등으로 되고 後者는 前者와 거의 같으나 主로 浮石으로 構成되고 있는 것이 特徵이다. 이 浮石들의 粒徑은 3 cm 以內的 크기로 그들은 層狀을 이루고 있다. 本島의 火山性土層은 上記 火山碎屑物과 火山岩類들의 風化產物들이 mass movement 에 의하여 集積된 土層 들이다.

本 火山性物質들은 生成以後의 經過時間이 짧기 때문에 未固結 또는 固結이 不完全하고 工學的으로 惡性인 地盤을 形成하기 쉽다. 따라서 本 울릉島에 넓게 分布된 軟弱層등은 惡性的의 地盤이라 할 수 있다. 火山碎屑層의 層厚는 얇고 이 層은 孔隙율이 큰 帶水性 岩層으로서 崩壞 및 崩碎와 崩積현상이 현저하게 일어난다.

3. 土質의 物性

本 碎屑性土層에 對한 土質試驗結果는 Tab. (1)과 같고 試驗을 爲한 試料採取地는 Fig. 1 應用地質圖에 表示되었다.

3-1 粒子粗成

本島의 碎屑性土는 Fig. 2와 같이 三角座標에 plot 한 결과 各 土層의 粗度特性은 座標의 下位에 集中되

Tab. 2 粘度係數 計算值

No	Md 50%	$\sqrt{d_{15}/d_{25}}$ So	d_{60}/d_{10} L/C	$\sqrt{d_{15} \cdot d_{25}/d_{50}^2}$ Sk
1	0.64	3.12	178.57	1.75
2	4.96	2.87	31.42	0.81
3	3.84	8.42	23.52	1.69
4	0.32	2.24	3.00	1.11
5	-1.32	5.52	360.00	0.34
6	-1.81	5.74	190.90	0.25
7	-1.48	11.8	325.00	0.11
8	3.05	7.65	44.73	2.23
9	0.74	5.77	46.00	0.69

고 있어 砂質土, 내지 실트土를 임을 알수 있다. 또 이것을 粒徑內積曲線(Fig. 2)에 적용하는 경우 흙의 性狀을 把握하는 手段으로 다음 式을 導入할 수 있다⁽³⁾.

$$Md\phi = -\log_{2d} 50 \text{ (中央粒徑) Median}$$

$$So = \sqrt{d_{75}/d_{25}} \text{ (淘沃係數) Sorting}$$

$$Sk = \sqrt{d_{75} \cdot d_{25}/d_{50}^2} \text{ (歪度) Skewness}$$

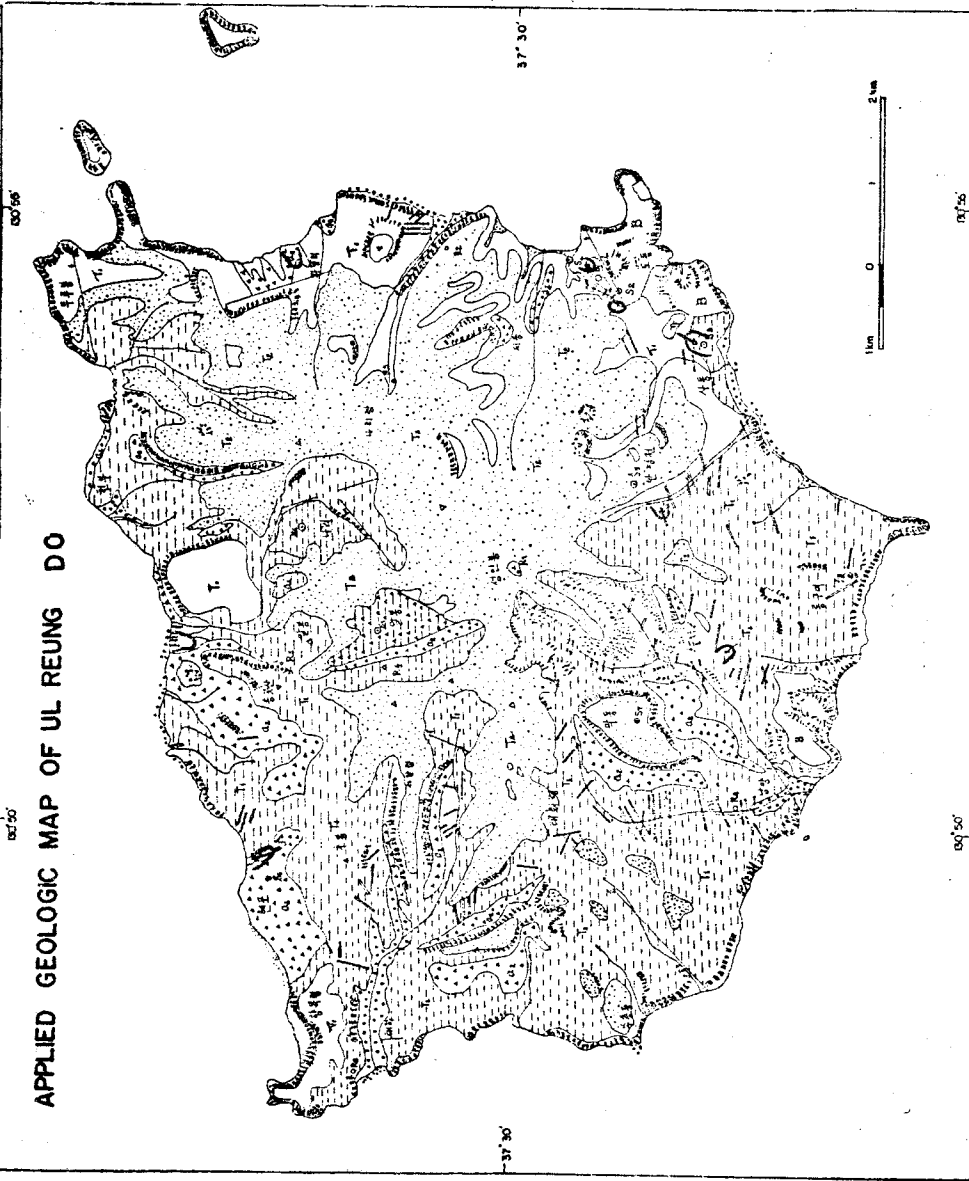
$$Cu = d_{60}/d_{10} \text{ (均等係數) Coefficient of uniformity}$$

d₁₀ d₂₅ d₆₀ d₇₅ 10% 25% 50% 60% 75%의 各 通過率에 있어서의 粒徑值로서 주어진 各 計算值는 Tab. 2와 같다. 上記의 各值를 求하여 相關圖를 表示하면 Fig. 3과 같다.














Mdφ; 값은 各實驗畵의 代表的인 粒徑을 나타내는 값이고 一般的으로 흙은 이값에 따라 0~4가 모래, 4~8이 silt 8以上이 粘土로 區分된다.

그러나 本土層의 sample No. 2가 4로써 silt 質에 屬

APPLIED GEOLOGIC MAP OF UL REUNG DO



LEGEND

-  SAND, GRAVEL
-  SAND LOAM, SAND GRAVEL AND DEBRIS
-  SILT LOAM, ASH, SAND GRAVEL
-  SILT LOAM, TRACHYTIC ASH, PUMICE LAPILLI
-  SILT LOAM, TRACHYTIC WEATHERING ZONE
-  LOAM, BASALTIC WEATHERING ZONE
-  DYKE
-  ROCK WALL
-  FAULT
-  RIVER
-  ROCK SAMPLE
-  SOIL SAMPLE
-  SLOPING (Active & Dormant)

103°50'

103°55'

37°30'

37°35'



103°50'

103°55'

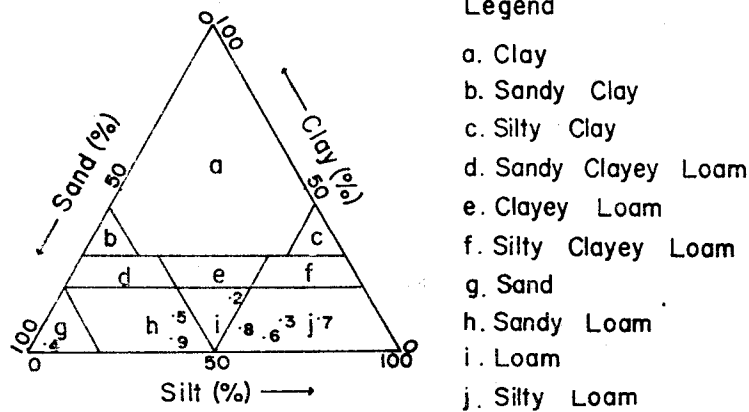


Fig. 2 Classification of silt wetted into the triangle diagram
Md50

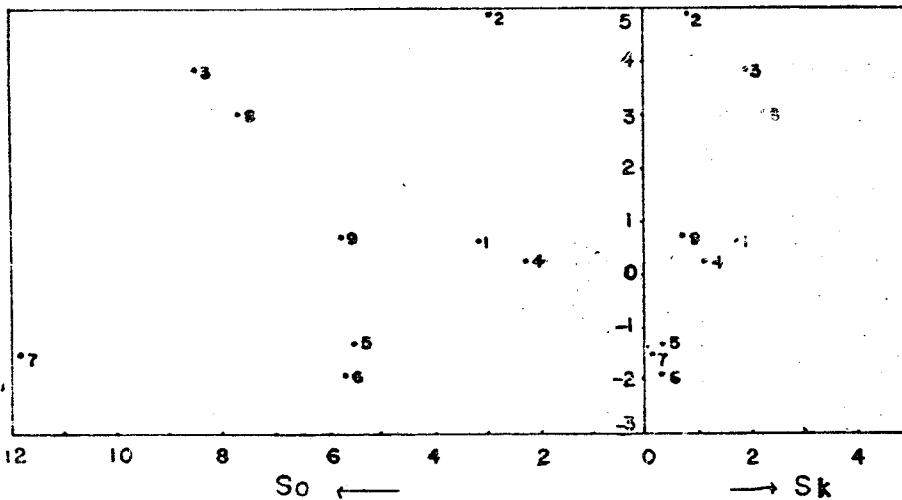


Fig. 3 The Relation of median diameter, sorting and skewness

한다. sample No. 1, 3, 4, 8, 9 등은 모두 砂質에 屬하며 No. 5, 6, 7, 은 細礫에 屬한다.

So; 값은 흙粒子配合比率를 나타내고 보통 이 값에 따라 0~2.5 分級良好 3.5~4.5이면 分級普通 4.5 以上 分級不良으로 區分된다⁽³⁾⁽⁶⁾.

No. 2, No. 4는 分級이 良好하나 이 外 것은 모두 5 以上으로 分級이 下良하여 本層은 粗度配合이 不均一하다는 것을 알수 있다.

Sk; 값은 흙粒子의 分散을 나타내는 값이다. 一般의 으로 이 값이 1보다 크면 Md ϕ 보다 粗立部의 分級이 나쁘고 1보다 적으면 細粒部의 分級이 나쁜 것이다. 그러나 本土層의 分散性은 크다. Sk 값은 매우 커서 粗粒質임을 말하고 粗粒部의 分級이 不良함을 나타내 주고 있다.

以上 記述한 것처럼 本土層은 아주 不安定한 환경에서 堆積되고 있음을 알수 있고 또 粘土含量이 적은 것은 環境變化가 急進展 되었던 것을 暗示하고 있다.

3-2 液·塑性의 特性

Brittle 律에서 Bingham 律의 變移含水量이 塑性限界(PL)이고 Bingham 律에서 Newton 流體의 變移含水量이 液性限界(L.L.)임으로 L.L와 P.L의 差가 塑性指數(IP)가 되고 있어⁽⁷⁾ 이의 相關關係를 보면 Fig. 4, Fig. 5과 같다.

이 相關關係에서 볼때 粘土含量이 小量임이 밝혀졌고, 또 大部分 中央粒徑 값에 따라 液性限界와 塑性指數가 거의 같은 값으로 나타나고 있음을 볼때 粗粒質物質임을 指示하고 있다.

또한 粘土含有量과 塑性指數와의 사이에는 다음 比

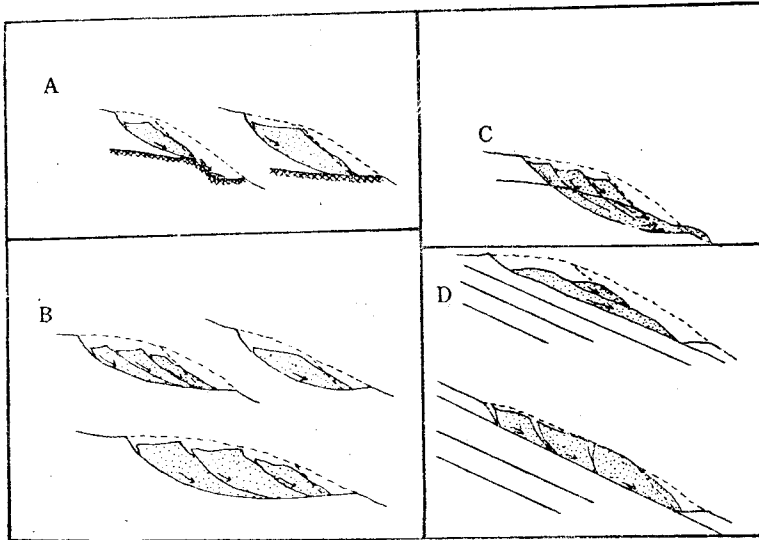


Fig. 8 Sliding plane owing to the cutting soil

E型: 그림에는 表示되어 있지 않다. 安全화된 옛 滑動地에 切土함으로써 滑動을 復活시키는 것으로서 옛 移動의 性質을 踏躓하는 것이 많다.

옛 滑動은 地形이나 樹木때문에 그 性質을 어느 程度 安定할려는 것이 남아 있게 된다.

全調査에서 滑動面의 先端은 斜面內 또는 斜面先에 發達하며, 다시말하여 斜面內 破壞 또는 斜面先 破壞型이라는 것을 나타낸다.

底部破壞는 일어나고 있지 않다. 이 點에서 볼때 軟弱層의 移動에 있어서 底部破壞型과는 다르다는 것을 알수 있다.

울릉島의 砂質 loam 層들은 모두 以上과 같은 型에 屬하고 있다.

沙洞에서의 斜面崩壞는 E型에 屬할 뿐아니라 自然狀態에서도 일어날 것이고, 이와같은 形狀은 到處에서 볼수 있다.

以上の 경우는 滑動의 履歷이 없는 곳에서 發生된 것이다. 이 中에서 D型을 除하면 固結度가 낮은 未固結 土層에서 發生하고 있다.

또 흙의 粘着力(C)과 內部摩擦角(ϕ), 單位體積當重量(γ)을 갖고 斜面을 切土했을 때의 限界高(Hc)를

$$Hc = \frac{4C}{r} \tan(45^\circ + \frac{\phi}{2})$$

式에 의하여 求할수 있고,

安定係數도

$$Ns = \frac{Hc \cdot r}{C}$$

式에 의해서 求할수 있다⁽⁷⁾. 이때 內

部摩擦角(ϕ)이 0(零) 일때와 摩擦角(ϕ)이 주어졌을 때 斜面의 安全에 對한 係數 및 限界高는 Tab. 4 와 같다.

Tab. 4 斜面安全係數 및 限界高

	ϕ 값이 0 일때		ϕ 값이 주어졌을 때		斜面이 直立할 때 Hc
	(Hc)m	Ns	Hc m	Ns	
8-1	5.53	3.85	9.58	6.92	5.32
S-2	9.28	3.99	12.10	5.21	8.93
S-3	3.46		7.45	8.57	3.33
S-5	10.78		12.84	4.76	10.38
S-6	2.05		1.91	3.72	1.97
S-7	1.83		3.16	6.41	1.76
S-8	5.38		10.12	7.51	5.18
S-9	3.33		7.85	9.42	3.21

4-2 崩壞堆積物 斜面의 安全

池田(1971)에 의하면 崩壞堆積物斜面의 滑動은 斜面傾斜角과 이 傾斜角間의 長이에 關係된다고 한다⁽⁴⁾.

(Fig. 9 참조)

本島의 崩壞斜面도 이에 해당되리라 思料되므로 이에 따라 檢討하면 斜面의 傾斜角(α)은 50° 을 넘는 경우는 거의없고 가끔 있어도 滑動을 하고 있는 곳이어서 아주 불안전한 斜面이다. 또 現在 安全性을 유지하고 있는 最大傾斜角 즉 崩壞限界斜面傾斜角은 32° 가 되고 길이(L) 100m를 넘는 것은 극히 적다. 또 切取 또는 氣候의 條件에 따라 崩壞可能限界는 斜面角(α) 18° 길이(L) 110m가 되고 있다. 따라서 울릉도의 斜面傾斜角은 2個내지 3個의 傾斜角을 이루고 있어 2個의 傾斜角으로 測定되었기 때문에 첫번째의 것을

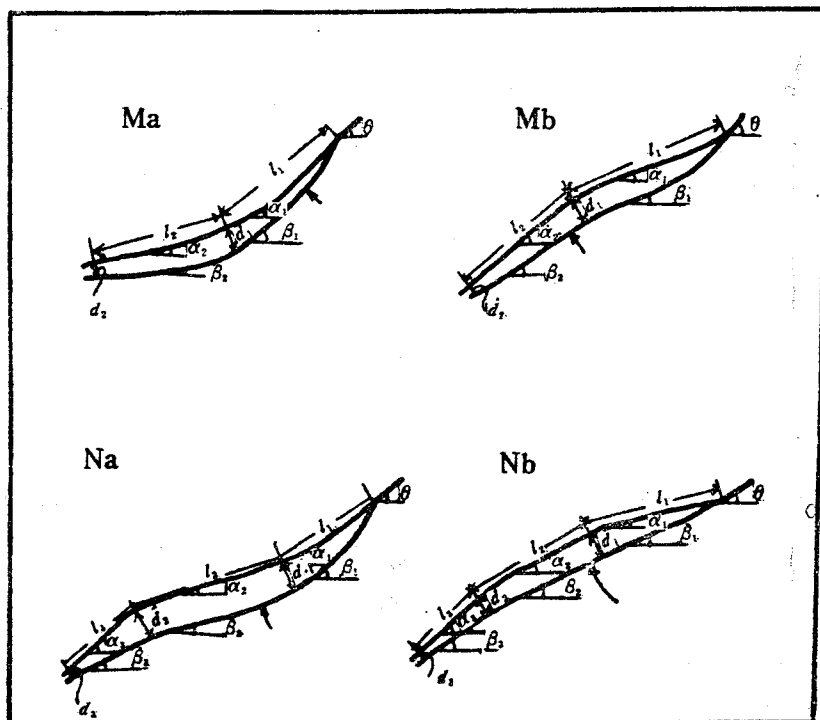


Fig. 9 Topography of slided sediments

α_1 , l_1 , 두번째 것을 α_2 , l_2 로 하여 各各 測定되었다. 이 測定値는 Tab. 5 와 같다.

Tab. 5 斜面的 傾斜角 및 長의 測定値

區分 No	α_1 (度)	l_1 (m)	α_2	l_2	安定度	位置
1	54	9	19	78	崩壞	지 동
2			32	43	不安全	도 동
3	45	7	18	85	不安全	사 동
4	48	9	30	70	崩壞	통구미
5	47	8	22	110	安全	
	194	33	121	436		
	48.5	8.25	24.2	87.6		

① 斜面的 長이 (l)

崩壞堆積物의 斜面은 2個의 다른 斜面角(α_1 , α_2)을 갖는 l_1 , l_2 로서 構成된다. 따라서 全斜面的 長이 (l)은 $l_1 + l_2$ 가 된다. 本地域의 l_1 의 長이는 平均 8.25m 로서 10m 를 넘지 않는다.

l_2 은 平均 87.6m 로서 No 5 을 除外하고는 100m 를 넘는 것은 없다.

또 l_2/l_1 , 崩壞比는 相當히 커서 8.7~13.75 까지 되고 地質條件에 따른 地形의 變化가 크다는 것을 알수

Tab. 6 平均傾斜角 및 斜面長崩壞比

區分 No	α (度)	l (m)	l_2/l_1
1	22.62	87	8.7
2	32	93	
3	20.05	92	12.14
4	32.05	79	11.77
5	23.69	118	13.75
	130.41	469	
	26.08	93.8	

있다(Tab. 6 참조).

② 斜面 傾斜角(α)

崩壞堆積物의 斜面傾斜角 α_1 , α_2 은 各各 α_1 ($54^\circ \sim 45^\circ$), α_2 ($32^\circ \sim 18^\circ$)의 範圍에서 斜面形成을 하고 있다고 하겠다.

α_1 , 와 α_2 를 比較하여 보면 $\alpha_1 > \alpha_2$ 되는 경우이다. 崩壞堆積物의 斜面長 l 와 斜面的 平均傾斜角 α 와의 關係는 그림 9의 Mb 型에 가깝다.

단 平均傾斜 α 은

$$\alpha = \frac{1}{l} (l_1 \cdot \alpha_1 + l_2 \cdot \alpha_2)$$

으로 表示된다(Tab. 6 참조).

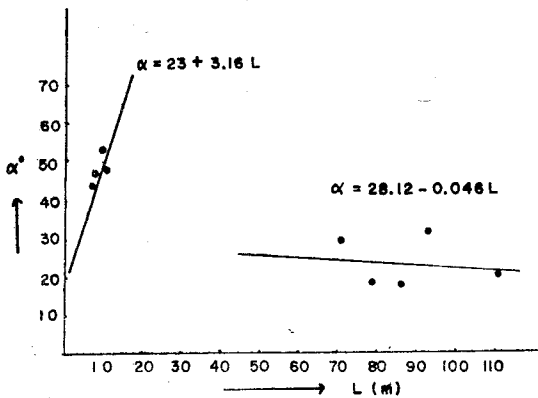


Fig. 10 The Relation between length of slope and angle of slope

以上の傾斜角과 斜面長과의 關係를 plot 하여 보면 Fig. 10과 같다.

여기에서 α_1, l_1 것을 a group라 하고 α_2, l_2 를 b group라 하면

a에서는 $\alpha = 3.1l + 23$

b에서는 $\alpha = -0.064l + 28.12$

로 나타나고 있어 a는 l가 클수록 α 가 增大하고 있다. 이는 危險性이 內包된 것을 뜻하고, b는 l가 길수록 α 가 減少되어 있어 安全함을 의미한다. 그러나 이것은 外因的 어떤 作用을 內하지 않을 때인 것이다. 또 全平均 α 와 l의 關係를 보면 그림 11와 같다.

그림에서 平均崩壞斜面的 範圍는 $\alpha < 53.08 - 13.69 \log l$ 임을 알수 있다.

또 崩壞限界範圍와 安全性에 對하여 다음과 같이 plot 되고 있다.

$\alpha < 31.12 - 4.51 \log l$①

$31.12 - 4.51 \log l \leq \alpha < 43.27 - 5.83 \log l$②

$\alpha \geq 43.27 - 5.83 \log l$③

①式은 安全性을 갖는 斜面傾斜를 갖는 것으로 된다.

②式은 不安全한 狀態로서 集中豪雨, 地震, 切土등에 따라 崩壞를 일으킬 수 있는 危險性의 斜面이다.

③式은 아주 不安全하고 危險性이 큰 斜面이라 할수 있고 또, 滑動하고 있는 斜面이기도 하다.

4-3 亭洞地域의 滑動

上述한 바와 같이 滑動을 일으키는 要素는 土質의 力學性, 斜面傾斜의 길이, 切土등에 依하여 이루어지고 있어, 本地域 역시 이에 해당된다.

本層의 厚는 極히 얇아 2~5m에 不過하고 이 下部에는 1~5m의 浮石層이 첩제하는 경우가 많다. 이 層 下部에는 下部 및 上部 粗面岩類 혹은 玄武岩類가 發

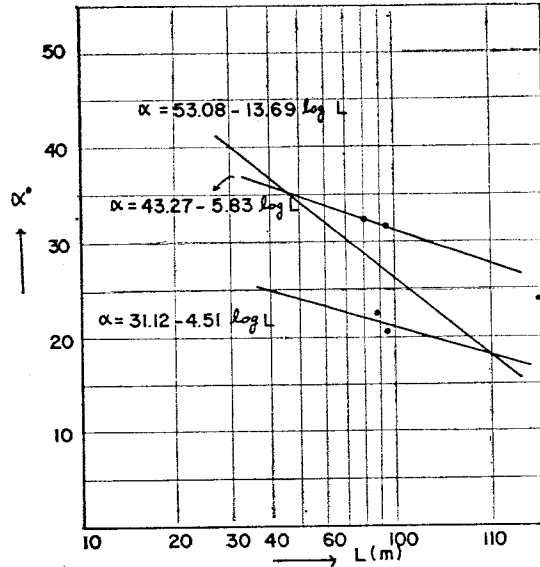


Fig. 11 The Relation between length of slope and angle of slope

達하고 있다, 따라서 滑動은 上部에 놓인 sandy loam 層(浮石層包含)이 移動, 沈下, 崩壞하게 되는 것이다. 本亭洞地域은 上位에 1~2m 程度의 sandy loam 層과 中位에 1~2m의 浮石層이 있고 이 下位에 玄武岩類의 風化帶인 loam 層이 發達하고 있다(Fig. 7 참조). 滑動이는 層厚는 4m 內外이다. 當時의 調査한 滑動範圍는 5.476m²이고 滑動方向은 ① N70W, ② N30W ③ N70E이며(Fig. 12 참조) 移動土量 約 10.952m²으로 測定值는 Tab. 7와 같다.

測定時間이 짧았고, 또 移動速度가 不規則하기 때문에 어느 程度의 힘(movement)으로 移動하고 있는지 推定이 困難하나 大略 5.14t/m²의 土量이 1.07cm/day ~ 0.67cm/day로 移動하고 있었다(Fig. 13 참조).

이 以後의 移動狀況은 많이 달라진 것이다. 이 地域의 崩壞樣狀은 先破壞形狀으로서 이미 前述한 바와 같다.

또 浮石들의 物性에서 記述한 바와 같이 空隙率 50%가 넘고 吸收率이 100%나 되므로 荷重은 增內하고 地下水의 伏流에 따라 崩壞하게 된다.

3-2에서 記述한 바와같이 本亭洞地域에 對하여도 平均傾斜角(α)와 全斜面길이(L)를 利用하여 安全性을 檢討하여 보면(Fig. 14 참조)

平均斜面傾斜角 $\alpha = 22.62^\circ$

全斜面長 $l = 87m$ 를

式①②③에 各各 代入하면



Fig. 12 Degradation at Jeodong

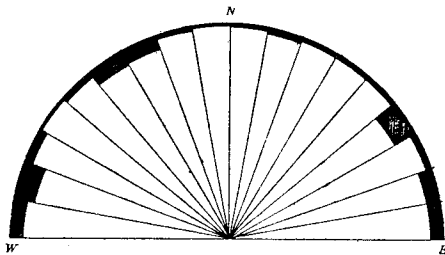


Fig. 13 Rose diagram showing the frequency of shifting direction

- ①의 경우 22.62 < 22.37
- ②의 경우 22.37 < 22.62 < 31.96
- ③의 경우 22.62 > 31.96

以上 3個式을 通하여 成立하는 것은 式2에 適用되고 있다. 따라서 本 亭洞地域의 崩壞現象은 道路工事を 爲한 切土에 의한 斜面崩壞라 할수 있고, 또 切土된 斜面高가 9m에 達하고 있다.

이는 本地域의 限界高(Hc)가 9m가 되고 있어 이 地域의 崩壞는 土質의 物性이나 切取에 의한 斜面高나 혹은 斜面傾斜角, 斜面길이와의 安全性에서도 모두 崩壞性斜面地域임을 알수 있다.

5. 맺는 말

울릉島에서의 mass-movement에 의한 地質災害은 火山碎屑 崩壞堆積物의 斜面狀産에 따라 發生한다고 結論 지을 수 있고 本島의 崩壞堆積物 斜面은 다음과 같이 要約할 수 있다.

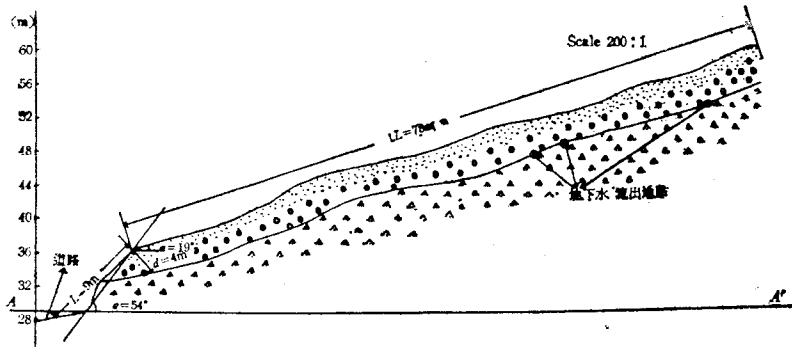


Fig. 14 Geologic section showing feature in the vicinity of Jeodong

Tab. 7 滑動量測量

區間 日字	↑下	類低	←左
6.8	0.00	0.00	0.00
6.10	1.5	1.5	1.0
6.11	1.1	0.7	1.0
6.12	1.2	0.8	0.9
6.13	0.5	0.5	0.5

區間 日字	↑下	右→	高低
6.8	0.00	0.00	
6.10	0.5	0.5	
6.11	1.0	0.7	無
6.12	0.9	0.5	
6.13	0.3	0.0	

1. 本崩壞堆積物は活性値가 크며 自然含水比가 最
適含水比보다 많은 土質인 同時에 空隙率이 50% 以上,
吸水率 100% 以上인 破質 loam 로서 浮石質로 構成된
火山碎屑性 土層이다.

2. 以上과 같은 性質을 갖는 土層은 2個 以上の 傾
斜角(α_1, α_2)을 갖고 있으며 $\alpha_1 > \alpha_2$ 의 形態로 이루어져
있어 切土했을 때는 危險性이 큰 斜面이란 것을 알수
있다. 또 地下水面下의 土砂가 流出하여 流失하고 이
때문에 背地에 滑動을 擴大시키는 崩壞斜面型임을 알
수 있다.

3. 이와같은 崩壞斜面은 平均 傾斜角 $\{\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2)\}$

과 全斜面 길이 ($l = l_1 + l_2$)와의 關係에서 다음
과 같이 安全性을 判別할 수 있다.

安 全 性	條 件
安全하다.	$\alpha < 31.12 - 4.51 \log l$
不安全하다. 外的條件에 따라 崩壞可能性이 있다	$31.12 - 4.51 \log l \leq \alpha < 43.27 - 5.83 \log l$
이후 不安全하다 危險性이 크다. . . .	$\alpha \geq 43.27 - 5.83 \log l$

따라서 울릉島의 崩壞堆積物斜面의 崩壞平均範圍는
 $\alpha < 53.08 - 13.69 \log l$ 이다.

參 考 文 獻

金永琪外 1977, 울릉도의 應用地質(單行本) p. 32~49
慶尙北道.
金永琪 1978, 울릉島의 火口碎屑性의 工學性에 關하여
慶大論文 25輯 p. 203~213.
鈴鹿和夫 1971, 火山灰土의 工學性에 關하여, 日本應
用地質學會誌 vol 12-4p. 1~p. 13.
池田和彦 1971, 崩壞堆積物 斜面의 安全에 關하여, 日
本應用地質學會誌 vol 12 No. 3 p. 14~21.

Shix Iwanaga 1976, Study on the landslides in the
Haizume Formation. Engineering Geology 17-4
p. 24~34
David F. McCarthy 1977, Essentials of soil Mechanics
and Foundations Reston publishing company Inc.
Mitchell J.K. 1960, The Fabric of Natural clay and its
Relation to Engineering properties. proc. H.R.
B. 35, p. 693~713.