

「1977年有珠山噴火」に伴う堆積火山 灰層の安定性ならびに泥流の発生・ 流動機構に関する調査研究報告書

昭和 55 年 6 月

北海道開発局土木試験所

は し が き

那須火山帯に属する有珠山は、昭和52年8月7日に大噴火を起こし、同年8月9日までに大小、¹⁾十数回の噴火を繰返した。これら一連の噴火により、有珠山の外輪山内部の噴火口原においては降下した火山灰、火山レキが数mもの厚さで堆積し、山麓の市町村一帯が厚さ10～100cmの火山灰で覆われたのはもとより、後志支庁や札幌市を中心とする道央一円から、遠くは網走、知床半島に至る広い地域に火山灰が降下し、その火山灰の総量は、おおよそ2億 m^3 に達したともいわれる。それ以後も火山活動は続き、同年11月からは、水蒸気爆発がひん繁に発生した。

初期の大噴火によって有珠山麓に堆積した火山灰のほとんどは、比較的粗粒で透水性に富み、降雨水等によりわずかに山間部で表層部の浸食・流動が発生する程度であったが、昭和52年11月から始まった一連の水蒸気爆発および53年9月12・13日の比較的大きな噴火に伴って噴出、降下した細粒の火山灰が透水性または浸透能の小さい火山灰の表層を形成したことが要因の一つとなって、昭和53年9月26日、10月16日、24日の降雨時には、湖水まで達する大規模な泥流が発生し、人命まで失う大きな災害に至った。有珠山の噴火はその後、次第に沈静化に向かい、昭和53年10月27日の小噴火を最後に、現在(昭和55年6月)までの1年数ヶ月間は噴火や水蒸気爆発を生じていない。150m程度隆起した新山においては、一時、1日の隆起が90cmにも及ぶこともあったが、現在は微量の隆起が観測されているだけで地震回数も著しく減少し、火山活動全体が鈍化していると報告されている。

昭和52年8月7日の大噴火以降の被災総額は500億円を上回ると報告されているが、²⁾これらの復旧や防災のための工事にも有珠山周辺において鋭意実施されている。

このような状況の中で、有珠山の噴火および火山活動に関する研究が多方面の分野にわたり、多くの大学、研究機関によって取り組まれてきたが、当土木試験所も昭和52年の大噴火以来、有珠山周辺斜面に堆積した火山灰の安定性または滑動性、泥流の発生・流動機構などについて検討し、泥流等に関する二次災害の防止技術に関する基礎資料を得るべく種々の調査研究を実施してきた。

すなわち、昭和52年度には、科学技術庁特別研究促進調整費(10,415千円)による「火山灰堆積層の滑動性に関する実験的研究」、昭和53年度には建設省一般国道直轄改修費(5,000千円)および直轄砂防事業調査費(5,000千円)による「火山灰堆積斜面の侵食、崩壊に関する現地調査」、科学技術庁特別研究促進調整費(13,283千円)による「有珠山における融雪・降雨期の泥流発生・流下機構に関する特別研究」、昭和54年度には、建設省砂防事業調査費(4,000千円)による「泥流の発生・流下機構に関する現地調査」、昭和55年度には、建設省砂防事業調査費(3,000千円)による「泥流の発生・流下機構に関する現地調査」

を、それぞれ関連させて実施してきた。

本報告書は、その調査研究の成果を総括したものである。

なお、本調査研究は、各種の現地調査や模型実験など多岐にわたる内容からなっているが、これらを整理検討し、以下のようにとりまとめている。すなわち、1章では本調査研究の目的、2章ではその経緯、3章では有珠山噴火の経緯と、今回の被害状況について述べるとともに、4章では、火山灰の工学的特性ならびに火山灰の堆積状況等を明らかにし、5章では、有珠山の気象状況を述べ、6章では、4・5章での調査結果をふまえて、有珠山周辺に堆積した火山灰の侵食・崩壊の進行状況とそれらの特性ならびに火山灰の流動性などを調べるために実施した模型実験の結果を記した、7・8章では、現地調査に基づいて、火山灰堆積斜面の侵食・崩壊状況、谷や沢での火山灰の流動状況などについて考察を加え、9章では、これらの調査結果の総合的な考察を行った。10章では、泥流の発生・流動機構を解析する目的のもとに設置したビデオカメラによる泥流観測システムについて説明し、最後の11章には、今後に残された問題点について述べた。

また、本調査研究を進める上での基礎的な考え方、または関連資料を参考資料として末尾に挙げた。

目 次

1 章 調査研究の目的	1
2 章 調査研究の経緯	1
3 章 有珠山噴火の経緯とその被害状況	4
1 節 有珠山の概要	4
2 節 「1977年有珠山噴火」に伴う被害状況	5
4 章 噴出・堆積火山灰の工学的特性	8
1 節 噴出火山灰の工学的特性と堆積状況の調査	8
2 節 泥流堆積物の工学的特性	13
5 章 有珠山およびその周辺地域における融雪・降雨状況	19
1 節 有珠山およびその周辺地域における融雪状況	19
2 節 有珠山およびその周辺地域における降雨状況	24
6 章 火山灰堆積層の安定性に関する実験	33
1 節 人工降雨による室内模型実験	33
2 節 表面流水による構内模型実験	66
3 節 堆積火山灰の流動実験	75
7 章 火山灰堆積斜面の安定性に関する現地調査	79
1 節 火山灰堆積斜面の浸透能調査	79
2 節 火山灰堆積斜面の侵食に関する調査	85
3 節 火山灰堆積斜面の崩壊に関する調査	95
8 章 火山灰の流動（泥流）に関する現地調査	100
1 節 西山川・小有珠川の地形条件	100
2 節 谷（沢部）における侵食と堆積に関する調査	105
3 節 降雨特性と泥流の流動・堆積土砂量との関係	124
4 節 降雨特性から見た泥流発生限界	137
9 章 結果と総合的考察	141
1 節 結果と整理	141
2 節 泥流の発生・流動機構に関するフローチャート	143
10 章 泥流観測システム	145
11 章 今後の方針と問題点	152
あ と が き	153
参 考 文 献	154
参 考 資 料	155

1 章 調 査 研 究 の 目 的

本調査研究は、昭和52年8月7日以降の有珠山噴火に伴って有珠山周辺斜面に降下、堆積した火山灰の安定性または滑動性、泥流の発生・流動機構などについて検討し、泥流等の二次災害の防止技術の確立に寄与するための基礎資料を得ようとするものである。

2 章 調 査 研 究 の 経 緯

本調査研究は昭和52年8月7日の大噴火の直後にスタートしたものであるが、研究途中に予想を上回る大きな規模の泥流が発生したり、予想と相違した実験結果が得られるなど、困難な問題に直面し、再三にわたって全体計画の変更を余儀なくされた。

土木試験所土質研究室で実施してきた有珠山における火山灰堆積層に関する調査研究の経緯は図・2・1に示すとおりであるが、このような経緯を、有珠山の主な火山活動の経緯に合わせて整理すると以下ようになる。

- | | |
|-------------|---|
| 1977年 8月 7日 | 朝9時12分有珠山大噴火。 |
| 8月10日 | 土木試験所土質研究室（以後「当所」と略す）が現地調査。 |
| 8月11日 | 有珠山噴火非常災害対策本部が国土庁に設置される。 |
| 8月16日 | 虻田町泉地域で土石流発生。 |
| 8月18日 | 当所で現地の資料を採取し予備的な調査を行う。 |
| 8月25日 | 当所において堆積火山灰層の安定性に関する調査・研究の全体計画の作成を行う。 |
| 9月 3日 | 「1977年有珠山噴火」に関する特別研究の実施が決定される。（6省庁9機関）、当所の分担テーマは、「堆積火山灰の滑動性に関する特別研究」と決定される。 |
| 9月 5日 | 有珠山の本格的な予備調査を当所において開始する。（噴出火山灰の工学的性質に関する調査） |
| 10月 中旬 | 西山川・小有珠川など有珠山周辺において砂防ダムなどの防災施設の建設が始まる。 |
| 11月25日 | 当所において人工降雨による火山灰堆積斜面の侵食、崩壊に関する公開模型実験を行う。 |
| 1978年 1月 | ひん繁に水蒸気爆発が発生する。 |

- 1978年 4月10日 当所において火山灰堆積斜面の侵食、崩壊ならびに沢に堆積した火山灰の移動特性を現地精査する。(同年11月30日まで継続、調査場所：主に西山川)
- 7月 1日 火山灰堆積斜面の流水による侵食、崩壊に関する構内模型実験を開始する。(同年9月30日、実験完了) この頃から、西山川・小有珠川の山間部で小規模な泥流が発生する。
- 9月12日 初期の大噴火以来最も大きな噴火が起こる。この噴火によって数センチの
13日 厚さで細粒の火山灰が山間部に堆積する。
- 9月26日 西山川地区で比較的大きな規模の泥流が発生する。
- 10月 3日 流出係数を把握するため、浸透能の測定を現地において実施する。(第1段階：平坦地)
- 10月16日 洞爺湖温泉町の西山川、小有珠川、四十三山の沢、入江など、いたるところで泥流が発生し、木の突地では非難命令も出る。
- 10月24日 この年最大の被害を出す泥流の発生。この泥流で死者2名、行方不明1名の犠牲者を出す。
- 11月10日 流出係数を把握するための浸透能の測定を現地で実施する。(第2段階：斜面)
- 1979年 3月 5日 西山川に2台、小有珠川に1台のテレビカメラを設置し、融雪期に向けての融雪調査と泥流観測を実施する。(同年11月25日まで継続して観測)
- 7月 2日 昨年10月24日以来、初めて山間部で小規模の泥流が発生する。
- 7月 5日 現地流出火山灰の堆積土砂量の調査を開始する。(同年11月25日まで継続)
- 1980年 6月 有珠山噴火に伴う堆積火山灰層の安定性ならびに泥流の発生・流動機構に関する調査研究の成果の総括ならびに報告書作成。

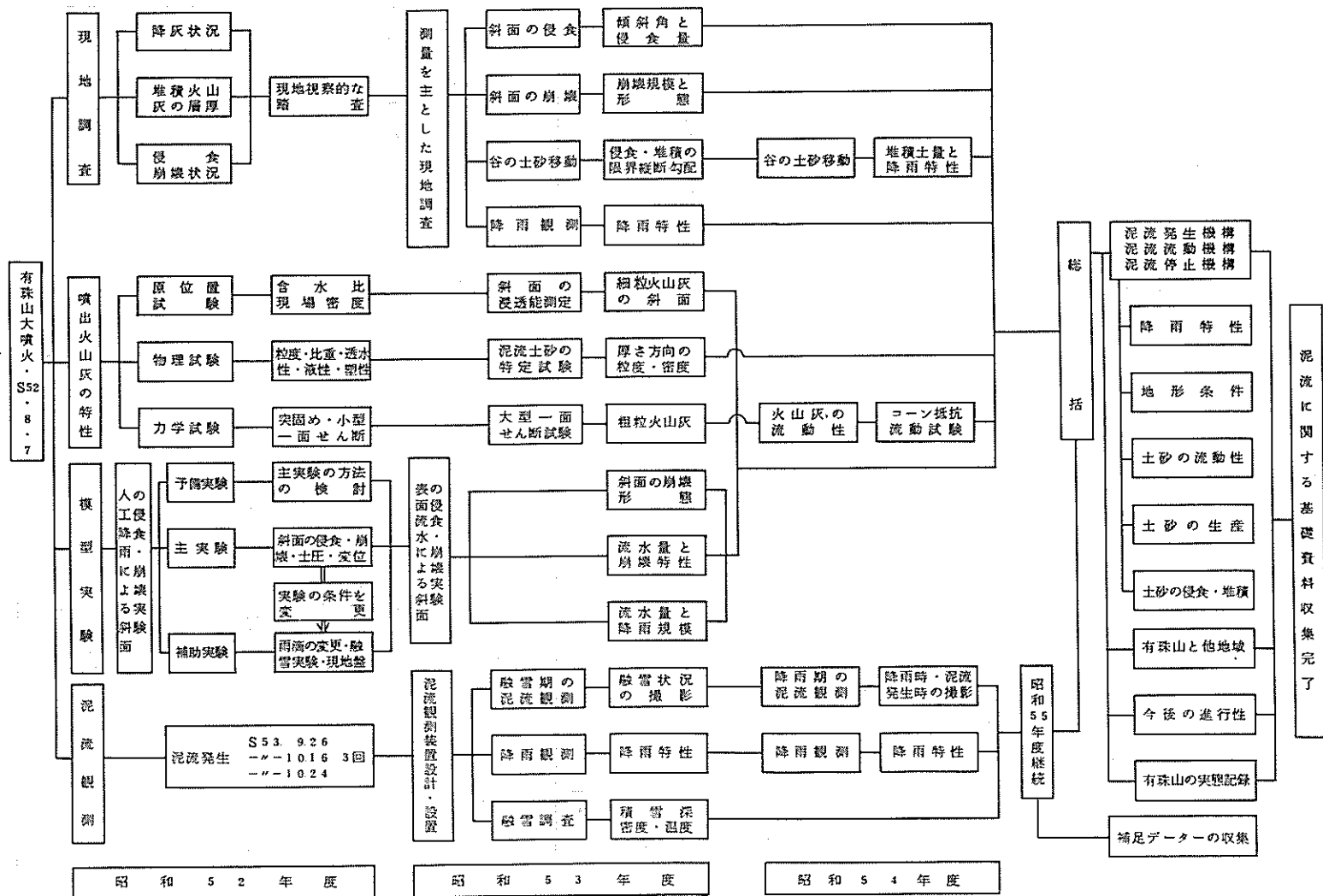


図-2・1 「1977年有珠山噴火」に伴う調査研究の経緯

3 章 有珠山噴火の経緯とその被害状況

1 節 有珠山の概要

有珠山は、洞爺湖の南方に位置する典型的な複式の活火山であって、直径 1.5 ～ 2.0 Km の、ほぼ円形のカルデラを呈し、このカルデラ内には、大有珠、小有珠、オガリ山の火口丘が見られた。有珠山麓には、金比羅山、西円山、四十三山、東円山、昭和新山などの寄生火山が見られる。現在では、新山の誕生で火口丘も大きく変貌し、火山活動に伴う地震や地殻変動なども一時に比べて鈍化してはいるが、完全に終息するまでには至っていない。

有珠山の外輪山の基盤は、新第三紀の火山岩類や第四紀洪積世の火山噴出物などから成り、有珠山本体は、それらの基盤の上に流れ出た溶岩によって構成されている。この溶岩は、岩滓（スコリア）を挟む安山岩や玄武岩で、柱状節理の発達する硬いものであるが、形成後の地殻変動などでブロック状に破壊されていることが多い。

有珠山は、有史時代に入ってから今回を含めて 7 回の大きな噴火を起こしたことが知られているが、四十三山と昭和新山の活動については、それを記録した文献が残ってはいるものの、それ以前の記録については不明な点が多い。

なお、これらの詳細についてはすでに報告されているため、ここでは表-3・1・1 に示した有珠山の噴火史の紹介に止める。

表-3・1・1 有珠山の噴火史

噴火年	休止期	おもな活動
寛文 3 年 (1663 年)	—	旧暦 7 月 11 日から地震が頻発、14 日に噴火が始まる。多量の軽石、火山灰を噴出し、15 日には、大爆発とともに降灰によって家屋が焼け、5 人が死亡。 寛文の噴火は、大量の軽石を噴出したことによって特徴づけられる。噴出物の総量は約 22 km³ と推定され、1977 年の 10 倍以上、山頂火口原の小有珠円頂丘は、この噴火の際に生成したと考えられている。
明和 5 年 (1769 年)	105	旧暦 12 月 26 日に噴火、資料が少ないので、噴火の詳細は不明。噴火前に地震が頻発し、洞爺湖の水位が低下したらしい。
文政 5 年 (1822 年)	52	閏 1 月 19 日から噴火。3 日前から地震頻発、19 日になって激しい鳴動とともに噴火が始まる。22 日の明朝からは大噴火となって猛火を噴き出し、焼け石が降りそいで山腹の草木が焼き払われた。 2 月 1 日に熱雲発生、南西斜面を幅 4 ～ 5 Km にわたって流下し、旧虻田の部落を全滅させ、死者 50 人、負傷者 53 人を出し、馬 1,437 頭も犠牲になった。

噴火年	休止期	おもな活動
嘉永 6 年 (1853 年)	30	旧暦 3 月はじめに地震が頻発しはじめ、10 日ほどを経た 3 月 15 日に山頂の北東部で爆発、住民避難。この時の活動は、7 月末まで 5 か月間も続き、この間に大有珠円頂丘が生成したといわれる。 嘉永の噴火の際にも熱雲が発生し、東斜面に流下したが、災害にはいたらなかった。
明治 43 年 (1910 年)	56	7 月 19 日、有珠山の北麓を中心に地震が群発しはじめた。25 日夜 10 時ごろ、洞爺湖に近い金比羅山で最初の爆発、以後はほぼ 2 週間にわたり、西北西—東南東の裂けめに沿って次々と水蒸気爆発を起こし、45 個の爆裂火口を生じた。うち 5 個の火口からは泥流が発生し、大きな被害をもたらした。 洞爺湖の湖岸では地盤の隆起が始まり、約 170 m 上昇して新山を形成した「明治新山」(四十三山)である。 明治の活動のあと、噴火地点に近い湖岸で泉温 42℃ の温泉の湧出が発見され、現在の洞爺湖温泉の祖となった。
昭和 18 年 ～ 20 年 (1943 年 ～ 45 年)	32	昭和 18 年(1943)12 月 28 日夜から地震群発、震央はしだいに有珠山東麓に集中しはじめる。地盤の隆起は日ごとに激しくなり、昭和 19 年 3～4 月には 1 日 30 cm にも達した。 6 月 23 日朝、畑の中から突然噴火、間欠的に爆発をくり返し、10 月 31 日までに 7 個の火口が生成、地盤はますます上昇して、屋根山を形成した。 11 月、マグマの本体が屋根山を突き破って出現、翌昭和 20 年 9 月まで成長を続け、標高 407 m の溶岩円頂丘となり、「昭和新山」と名づけられた。
昭和 52 年 (1977 年)	32	30 時間前から地震多発、8 月 7 日 9 時 12 分到大噴火を起こし、1 週間に大小 18 回の噴火を間欠的にくり返し、新山、小有珠が隆起する。翌年 10 月 24 日に泥流の二次災害が発生し、死者 2 名行方不明者 1 名が出た。

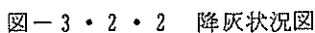
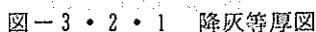
ドキュメント・有珠山大噴火 NHK取材班より

2 節 「1977 年有珠山噴火」に伴う被害状況

噴火が始まった昭和 52 年 8 月 7 日から 8 日にかけて、虻田町温泉街の 5,000 人の住人のうち約 3,000 人が、札幌方面や近くの町内の公民館に非難を始めた。これらの人々は総合観測班の結論を待ちながら非難生活を続けることを余儀なくされた。3,000 人を超える人々が 1 か月余にわたって自宅を離れた例はないといわれる。

これら一連の火山活動による被害総額は、住宅、公共施設、農林水産業、観光など合せて、当初の噴火時には317億円、昭和53年1月から9月までの小噴火等による災害で10億円、地殻変動では36億円、昭和53年10月16日・24日の泥流災害発生時には145億円となり、昭和52年8月7日の噴火以後の総被害額は508億円と報告されている。

なお、参考までに、火山灰の堆積した地域ならびに堆積等厚線図を図-3・2・1、3・2・2、ならびに泥流の分布図を図-3・2・3に示す。



凡例

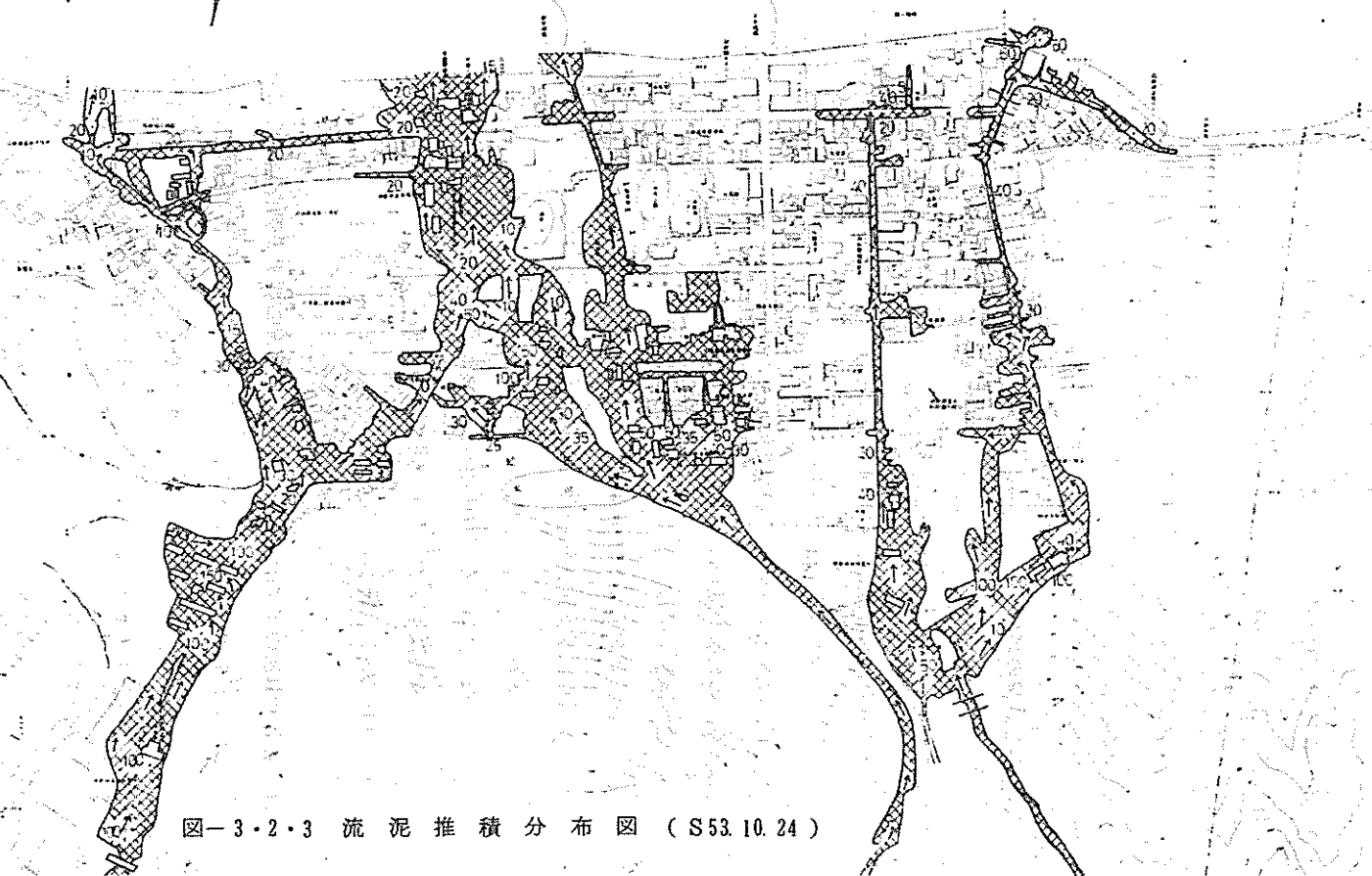
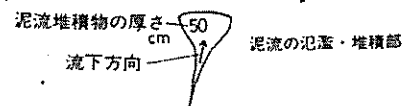


図-3・2・3 流泥推積分布図 (S53.10.24)

4 章 噴出・堆積火山灰の工学的性質

1 節 噴出火山灰の工学的性質と堆積状況の調査

(1) 調査目的

本調査は、現地における噴出火山灰の工学的性質ならびに堆積状況を把握すると同時に、人工降雨下における火山灰堆積層の安定性に関する室内模型実験を実施するための条件を決定するため、有珠山周辺の土質調査を行ったものである。

(2) 調査試験の項目

土質試験を行った項目は次のとおりである。

- ① 比重試験 (Jis. A 1202 による)
- ② 含水量試験 (Jis. A 1203 による)
- ③ 粒度試験 (Jis. A 1204 による)
- ④ 液性限界・塑性限界試験 (Jis. A 1205 による)
- ⑤ 締固め試験 (Jis. A 1210 による)
- ⑥ 透水試験 (Jis. A 1218 による)
細粒試験 (変水位透水試験機による)
粗粒試験 (定水位透水試験機による)
- ⑦ 密度試験 (コアカッター法による)
- ⑧ 一面セン断試験 (三笠式改良試験機による非圧密非排水条件)
- ⑨ 強熱減量試験 (土質工学会規準による)
- ⑩ PH試験 (土質工学会規準による)

(3) 噴出火山灰の工学的性質ならびに堆積状況に関する調査結果と考察

図-4・1・1、4・1・2、に示す場所において、堆積火山灰の工学的性質ならびに堆積状況の変動を噴源地からの距離に対応させて調査した結果を図-4・1・3、4・1・4、4・1・5、4・1・6、および表-4・1・1、4・1・2、に示す。これらの結果をまとめると次のようになる。

- イ)、今回の噴出火山灰の粒度範囲は北海道における一般的な未風化火山灰に比べて広く、74 μ 、2000 μ ふるいの通過率はそれぞれ10～60%、30～100%である。
- ロ)、火山灰層序による粒度分布の差異が顕著で、細粒分の含有量はおおまかに見て上層部は多く、下層部は少ない。例えば、表-4・1・1に示す噴源地から約3 Km離れたB地点の火山

灰粒度をみると、74 μ ふるい通過率は、およそ、上層部で40～60%、下層部で2～8%である。

- ハ) 堆積火山灰層の密度、比重は上層部と下層部とは大きく異なる。表4・1・2に示すように乾燥密度、比重ともに上層部が下層部に比べて大きい。また、透水係数については木の実団地地域と泉地域の場合しかないが、この場合にも、上層部が 10^{-4} のオーダーに対して下層部は $10^0 \sim 10^{-1}$ のオーダーと大きく、両者に顕著な差異が認められる。
- ニ) 噴源地から遠くなるにしたがって、堆積火山灰の細粒分は多くなり、強熱減量が小さくなる傾向が認められる。図-4・1・6に示すように、およそ噴源地から6 Kmの範囲で74 μ ふるい通過率は10～30%、強熱減量は0.6～1.0%、8～17 Kmの範囲では、それぞれ40～60%、0.4～0.5%となっている。
- ホ) 噴出火山灰は、おおむね弱アルカリ性である。

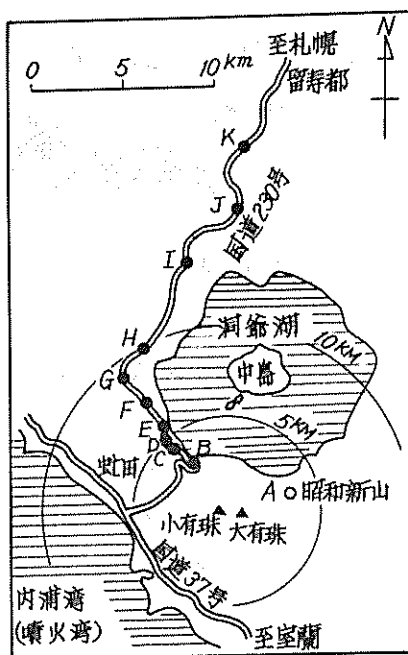


図-4・1・1 噴出火山灰の採取位置

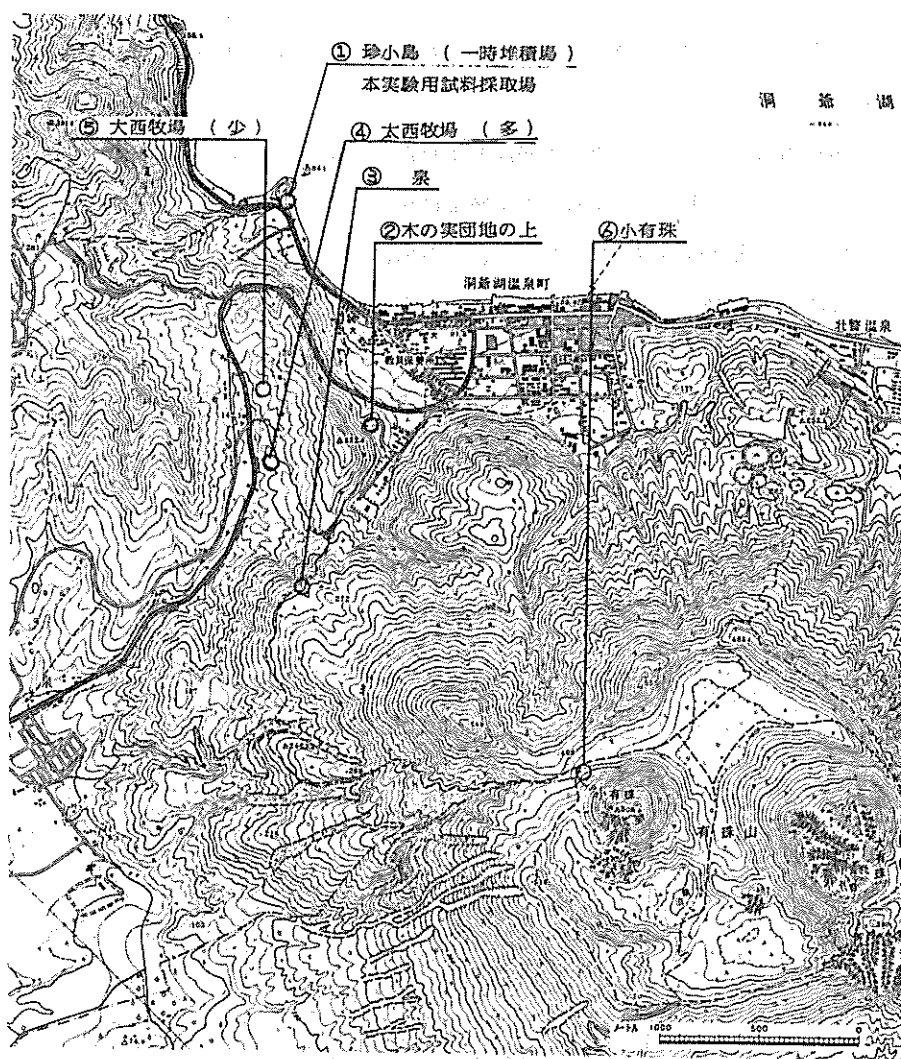


図-4・1・2 現地調査箇所図

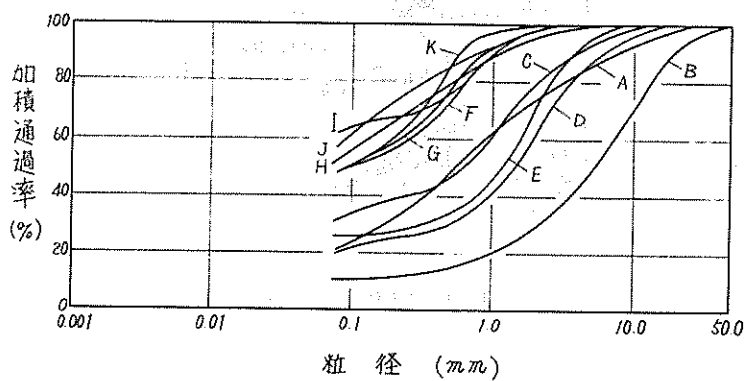


図-4・1・3 噴出火山灰の粒度曲線

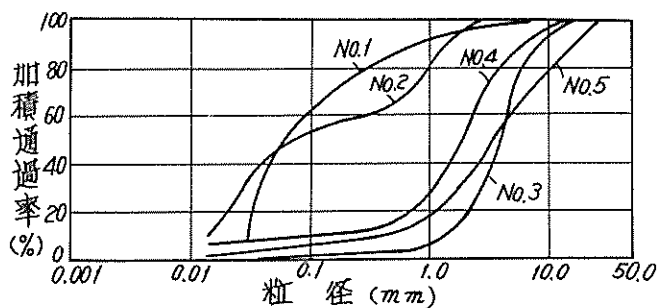
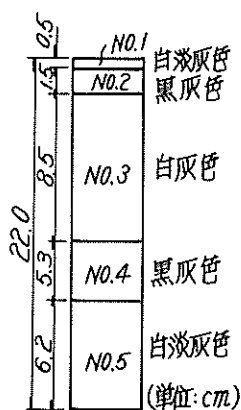


図-4・1・4 B地点の噴出火山灰層序

図-4・1・5 B地点の層別粒度曲線

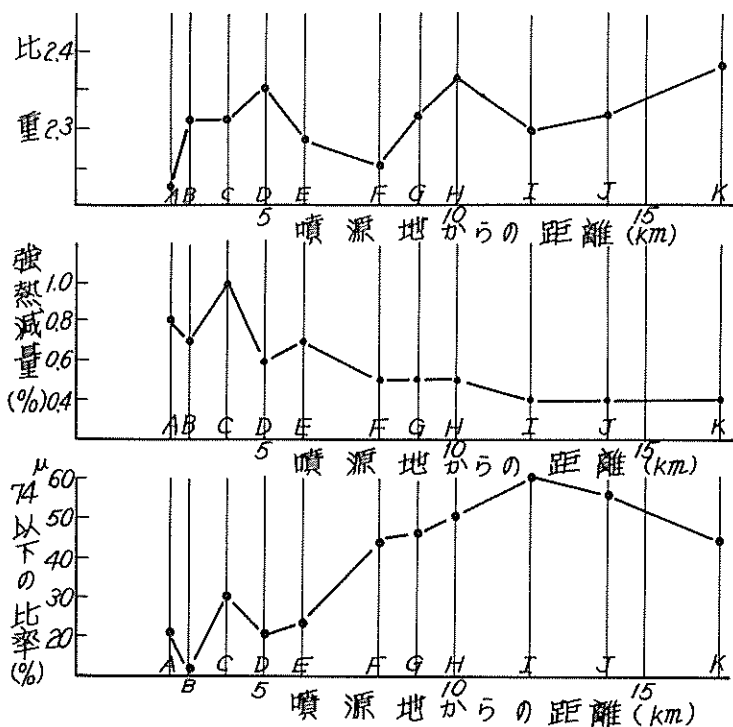


図-4・1・6 噴出火山灰の特性と距離

表-4・1・1 B地点の層別工学的性質

層番号	比重	強熱減量	粒 度			pH
			2000 μ 以上	2000 $\sim$ 74 μ	74 μ 以下	
No.1	2.202	0.4 %	3.2 %	40.5 %	56.3 %	7.8
No.2	2.579	0.8	2.1	54.2	43.7	8.5
No.3	2.405	0.6	8.23	15.8	1.8	8.5
No.4	2.331	0.9	46.5	45.6	7.9	8.4
No.5	2.237	1.2	67.2	28.6	4.2	8.5

表-4・1・2 工学的性質

試験項目 試験箇所		含水量 W(%)	乾燥密度 γ_d (g/cm^3)	粒 度				比重 Gs	液性塑性 限 界	透水特性 K (cm/sec)	せん断特性 C (kg/cm^2) ϕ (度)	締め固め特性 γ_{dmax} (g/cm^3) W_{opt} (%)	備 考
				2000 μ 通過率(%)	74 μ 通過率(%)	均等係数	曲率係数						
木の丸出し 地	上層	17.41	1.436	85.29	32.32	68.46	0.365	2.490	NP	$\gamma_d=136.2$ 198×10^{-4}	$C=0.23$ $\phi=3.650$	—	S52.11.17
	下層	24.65	0.818	16.38	0.43	41.4	1.26	2.160	NP	$\gamma_d=100.7$ 673×10^{-4}	—	1.078 2.200	S52.11.17
大西牧場	上層	—	—	96.10	38.73	28.24	0.125	2.521	NP	$\gamma_d=135.3$ 132×10^{-4}	$C=0.10$ $\phi=2.925$	—	S52.10.12
	下層	—	—	48.55	0.19	4.0	1.36	2.287	NP	—	—	—	S52.10.12
大西牧場	上層	—	—	—	—	—	—	2.449	NP	$\gamma_d=136.6$ 481×10^{-4}	—	1.675 1.506	S52.11.4
泉	上層	18.52	1.322	95.18	41.37	17.50	0.778	2.511	NP	$\gamma_d=144.8$ 284×10^{-4}	—	—	S52.9.14
	下層	30.77	0.751	35.84	3.61	4.20	0.954	1.789	NP	$\gamma_d=88.0$ 233×10^{-4}	—	—	"
小有珠	上層	—	—	77.75	29.56	7.00	0.514	2.487	NP	$\gamma_d=134.2$ 182×10^{-4}	$C=0.15$ $\phi=4.60$	—	S52.10.12
	下層	—	—	6.78	1.64	3.54	0.95	1.749	NP	—	—	—	"

2 節 泥流堆積物の工学的特性

昭和52年8月7日の大噴火によって堆積した火山灰は、降雨によって泥流の発生源となり得るルーズな状況であったが、透水性に富んでいたせいもあって、53年9月中旬までの降雨により、山間部で小規模な崩壊・流動を生じていたものの、大きな泥流の発生には至らなかった。ところが、53年9月26日、10月16日、24日の降雨時には、洞爺湖まで達する大規模な泥流となって大災害をもたらした。この大規模な泥流の発生後に、砂防施設などが方々に配置されたことから、現在までのところ山間部での小規模な泥流発生にとどまっている。

この調査は、これらの泥流堆積物の工学的特性を調べるために行ったものである。

図-4・2・1は、昭和54年9月中旬に実施した堆積火山灰の採取位置および泥流堆積土砂の採取箇所を示す。表-4・2・1は、これら採取した箇所の地形条件を示したものであり、図-4・2・2は、大規模な泥流が発生する直前の火山灰堆積層序と粒度組成を示す。図-4・2・3は、昭和53年9月26日の泥流発生以後における堆積土砂の、それぞれの深さにおける試料についての粒度曲線を示している。また、また、図-4・2・4は、沢における上層から深さ20cmまでの堆積物の粒度曲線、図-4・2・5、4・2・6は㊟、㊿地点のそれぞれの深さにおける泥流堆積物の粒度曲線を示すものである。

昭和53年9月16日に流出した火山灰は、深さ方向ならびに位置的にも、ほぼ同一の粒度組成を有する火山灰から構成されており、シルト分以下が、おおよそ20%程度、砂分が40%程度、レキ分が40%程度占めるのに対して、54年に発生した泥流堆積物の粒度は、表面から約15cm深までの大半がレキ分で占められており、それ以深の部分については比較的前年度と類似した粒度組成を呈している。

㊟地点を除く堆積物は、いずれも集合運搬された堆積物で、比較的ルーズであるのに対して、㊟地点の沢における堆積物は、各個運搬によって堆積されたものであり、締固り程度は比較的大きい。

図-4・2・7は、流出し堆積した火山灰の距離別の粒度組成を示す。

これらの図表に示された結果から、全体的に見て、53年に流動した火山灰よりも54年のそれの方が粗い粒径を有する傾向にあることがわかる。

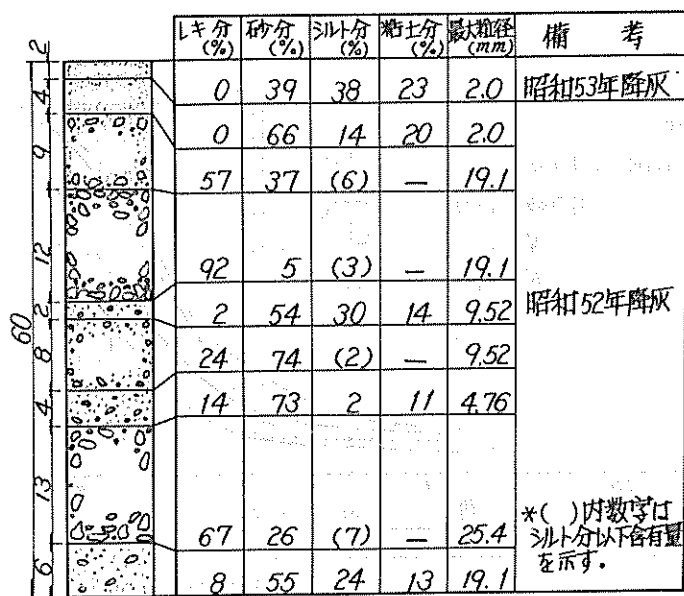


表-4・2・1 堆積土砂採取地点における沢の地形条件

項目 測点	I max (%)	I mean (%)	I (%)	A (m ²)	備 考
①	—	—	—	—	斜 面
②	54	32	8	—	S 53.9.26 流下 本 線
③	49	38	21	68000	S 54.10.1 流下(2号分岐) 上流に砂防ダムあり
④	54	37	31	95000	S 54.10.1 流下(4号分岐) 上流に砂防ダムなし
⑤	54	32	16	72000	S 54.10.1 流下(本 線) 上流に砂防ダムなし
⑥	54	32	16	66900	S 54.10.1 流下(本 線) 上流に砂防ダムなし

I max : 降灰以前の沢の最大勾配 I : 流下堆積物の試料採取ヶ所付近における表面勾配

I mean : 降灰以前の沢の平均勾配 A : 試料採取地点までの流域面積



旧地盤線

調査月日 昭和53年9月

調査場所 西山川地域(木の奥団地の横)

図-4・2・2 A地点における1次堆積火山灰土層のプロフィールと粒度組成

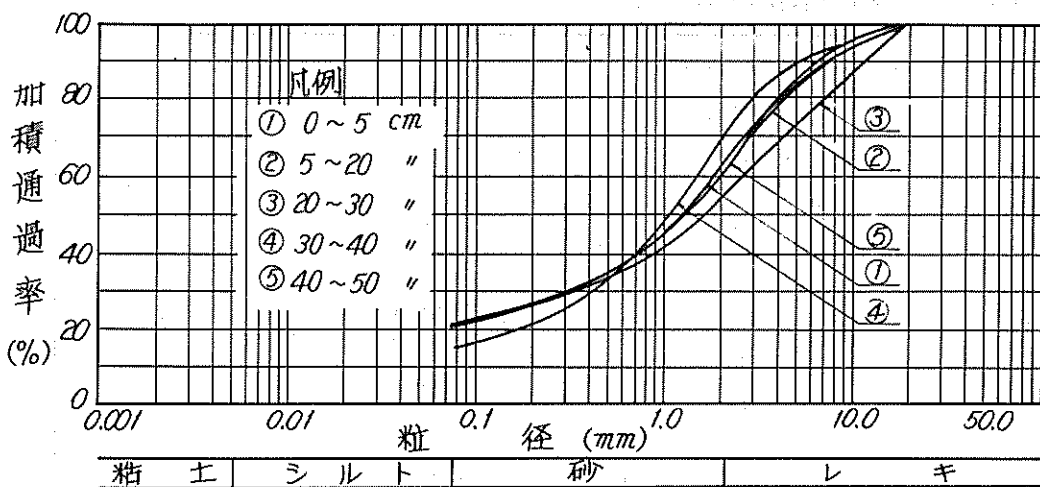


図-4.2.3 深さ別粒径加積曲線

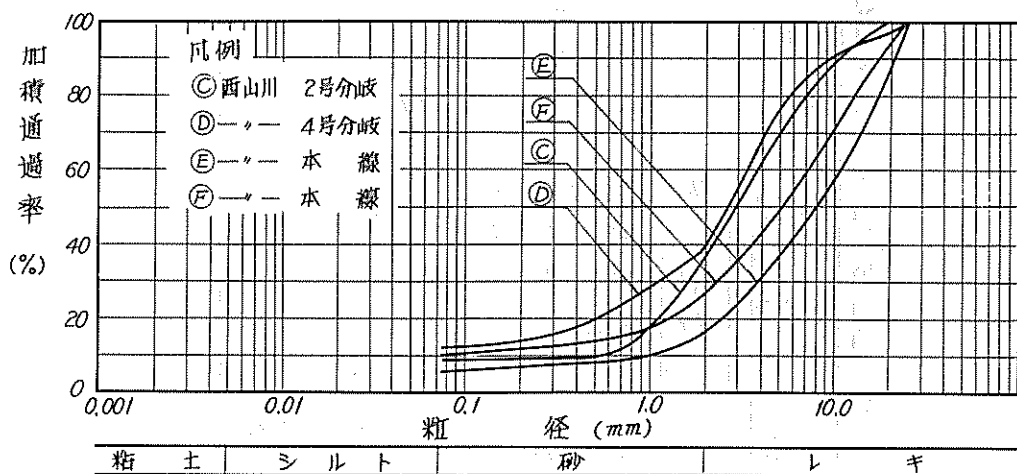


図-4.2.4 沢の地形条件の違いによる流下堆積火山灰の粒度組成の変化

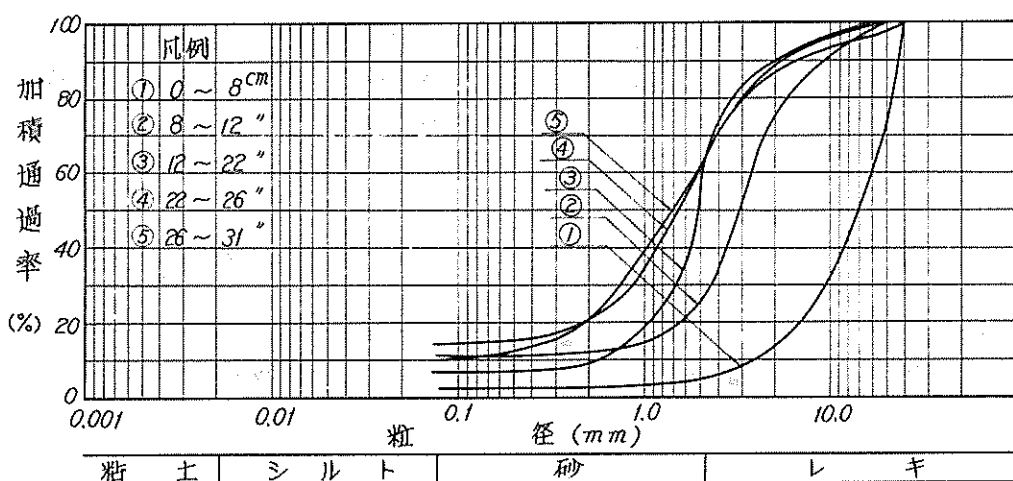


図-4・2・5 流出火山灰の深さ別粒径加積曲線

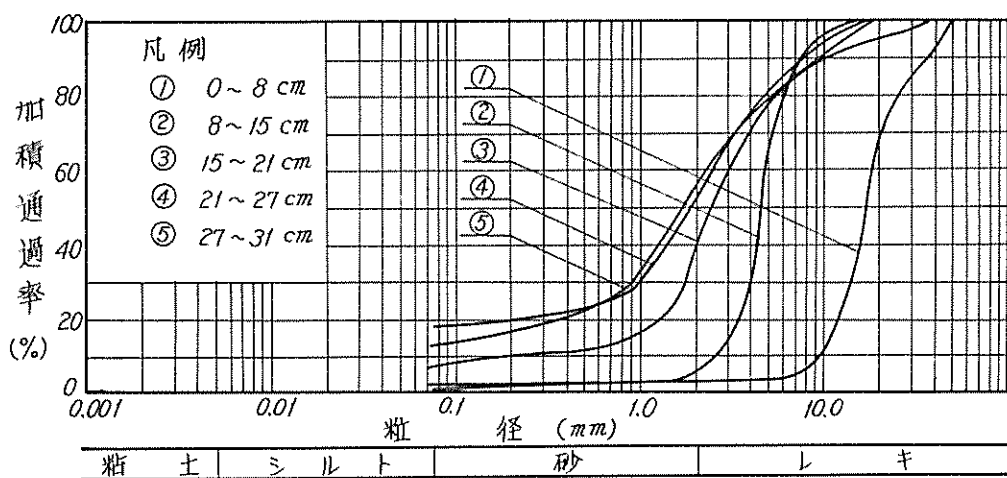


図-4・2・6 流出火山灰の深さ別粒径加積曲線

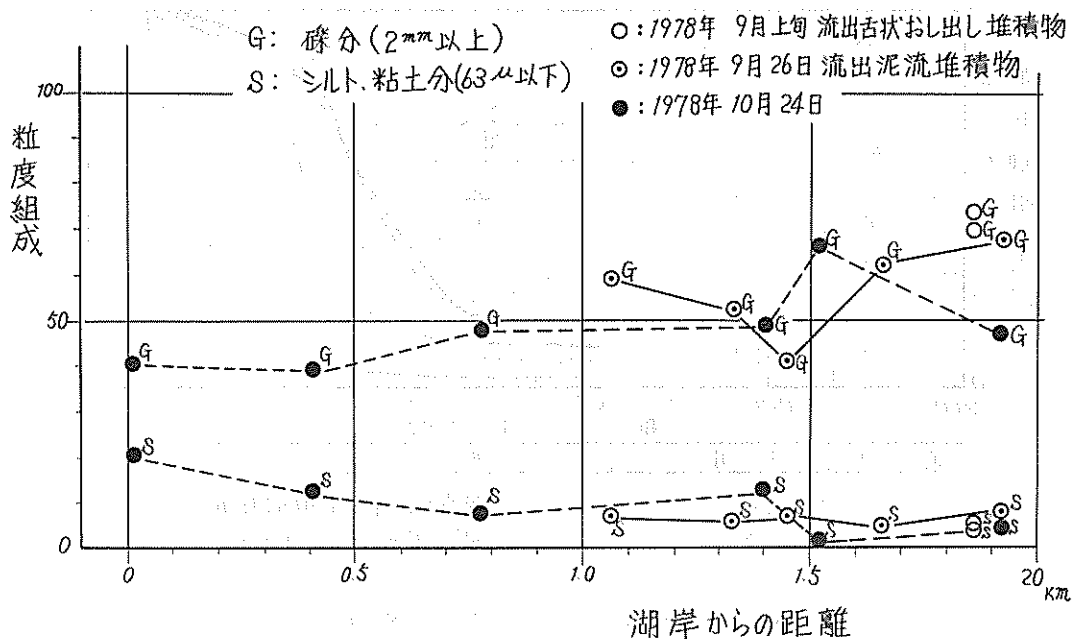


図-4.2.7 泥流堆積物の粒度組成

(北海道大学 環境科学研究科 山本氏提供)

5 章 有珠山およびその周辺における融雪・降雨状況

1 節 有珠山およびその周辺における融雪状況

(1) 調査目的

融雪期における堆積火山灰層の滑動も懸念されたことから、昭和54年3月上旬から4月上旬にかけて、沢部および周辺斜面における融雪状況を把握するため、積雪深、積雪密度などの経時変化と気温、降水量との関連について調査した。

(2) 調査の結果と考察

これらの調査地点の位置図を、図-5・1・1に示す。図-5・1・2には、洞爺湖温泉町におけるこの調査期間の気温および降水量の経時変化、図-5・1・3～5・1・7には、方位別斜面および沢の中央平坦部における積雪深の経時変化、図-5・1・8～5・1・12には、方位別斜面および沢の中央平坦部における積雪の密度の経時変化を示す。

これらの資料からわかるように、まだ本格的な融雪が始まる前の段階の、3月中旬における斜面上の積雪の深さは、おおよそ20～80 cm程度であるが、この積雪深は斜面の方位によって異なり、北向き斜面の場合に最も大きいのに対し、南向き斜面の場合に最も小さく、また、融雪前の段階におけるこのような積雪は、気温の上昇に伴って融け始めるが、とくに降雨が加わることによって融雪が促進される傾向が明らかに認められる。このような降雨による融雪の速さは、20～30 $\frac{\text{cm}}{\text{日}}$ 程度となっており、これを降雨と融雪水量を加えた斜面が受ける1日当り水量に換算すると、降雨のあった当時の積雪密度の平均値がおおよそ0.34 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ 前後であるところから、100～140 $\frac{\text{mm}}{\text{日}}$ 程度となる。54年の融雪期に斜面地山に供給された水量は、この程度の水量であったにもかかわらず、泥流の発生が無かったのは、積雪がない状態での斜面の侵食崩壊に対する降雨の影響と積雪がある状態でのそれとが異なることや、斜面上の火山灰堆積層の表面がまだ凍結していることによるものと推定される。

写真-5・1・1、5・1・2は、融雪速度が最も大きかった昭和54年4月8日現在の融雪状況を、また、写真-5・1・3、5・1・4は、融雪水による火山灰の流出状況を示す。なお、3月22日から4月13日にかけての西山川、小有珠川における融雪状況はV・T・Rに記録した。

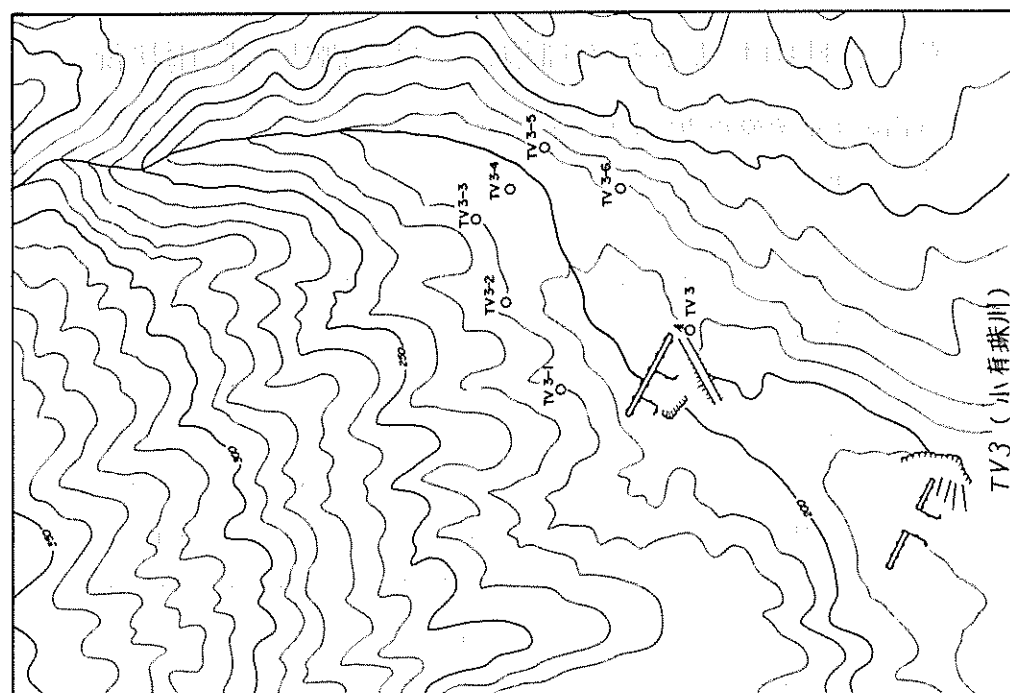
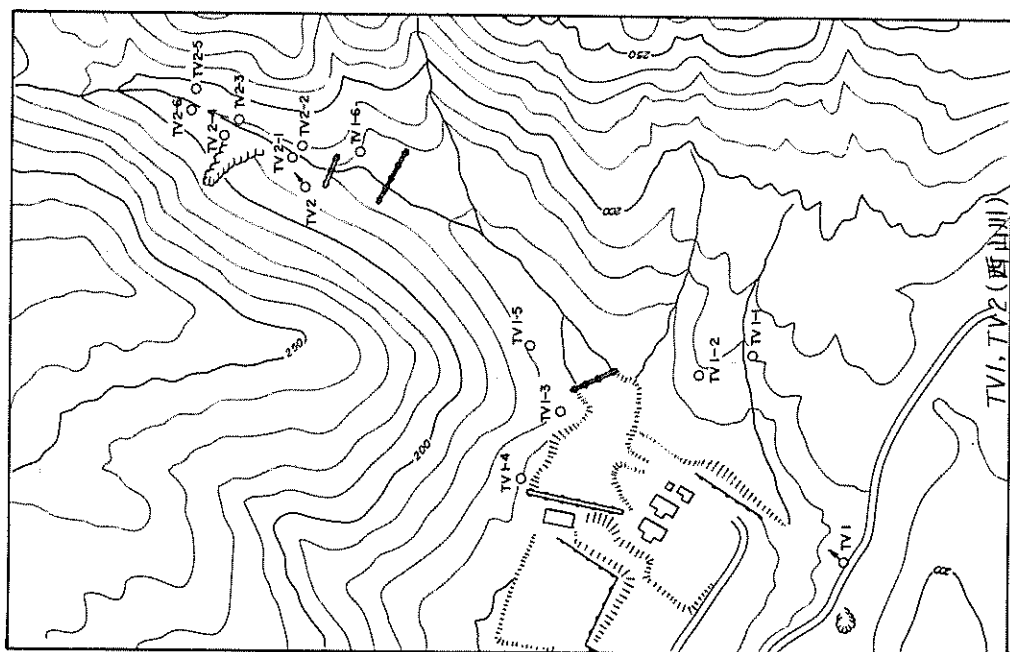


図-5・1・1 積雪調査位置図

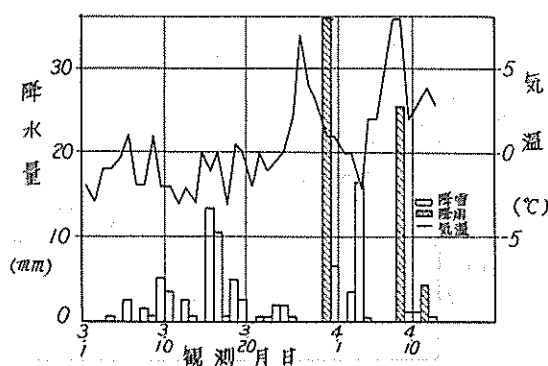


図-5.1.2 降水量と気温
(西肥振消防本部調べ)

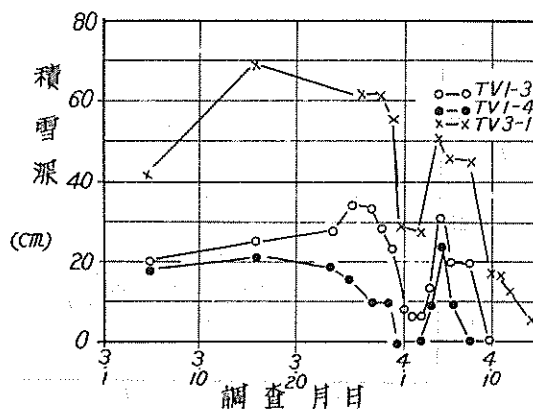


図-5.1.3 積雪状況(西向き斜面)

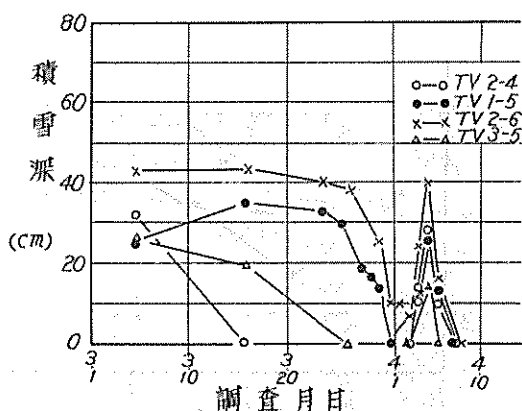


図-5.1.4 積雪状況(南向き斜面)

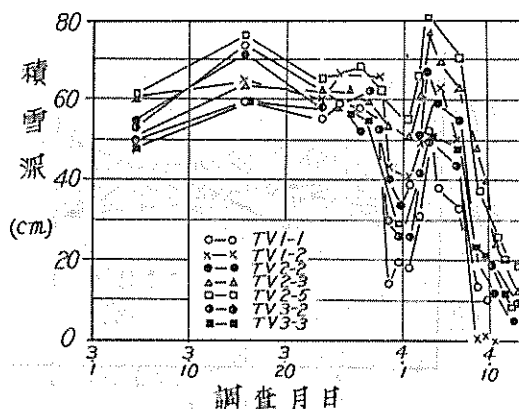


図-5.1.5 積雪状況(北向き斜面)

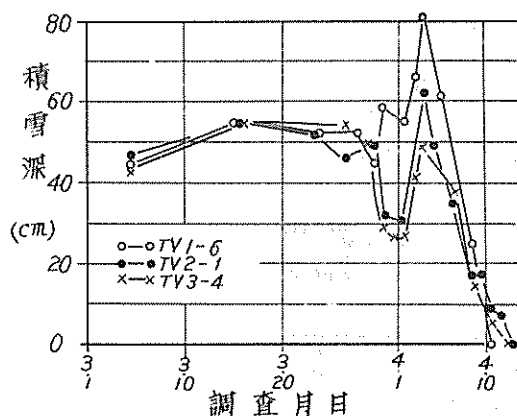


図-5.1.6 積雪状況(沢の中央の平坦部)

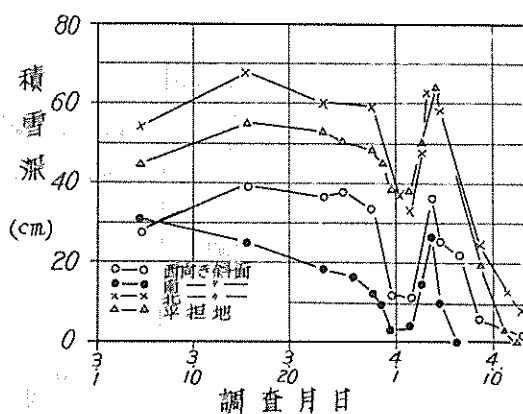


図-5.1.7 積雪の密度変化(斜面別平均)

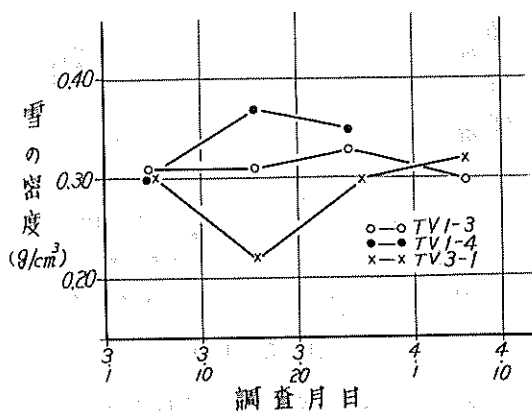


図-5.1.8 積雪の密度変化(沢の中央の平坦部)

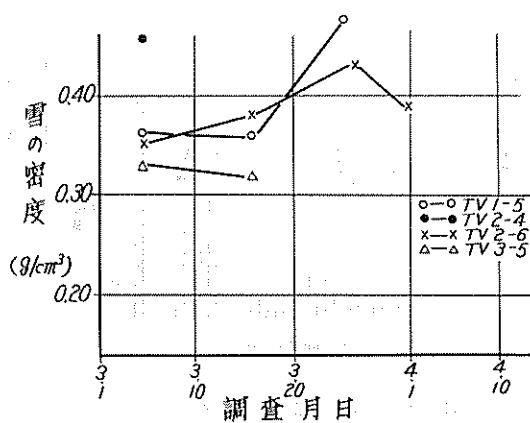


図-5.1.9 積雪の密度変化(南向き斜面)

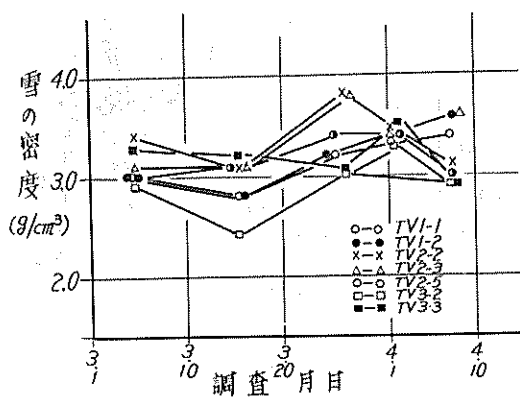


図-5.1.10 積雪の密度変化(北向き斜面)

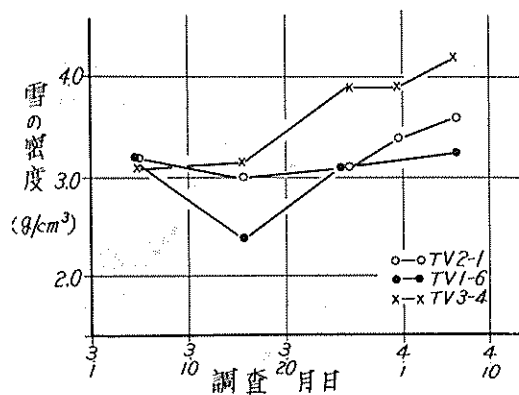


図-5.1.11 積雪の密度変化(沢の中央の平坦部)

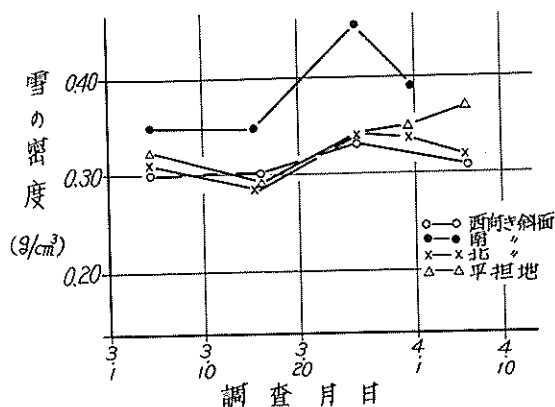
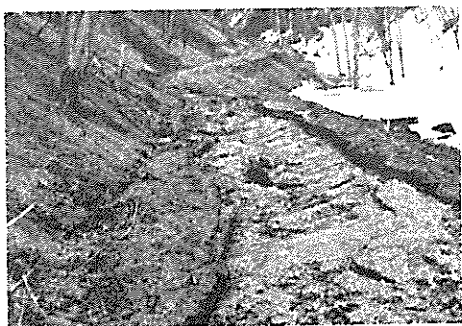


図-5.1.12 積雪の密度変化(斜面別平均)



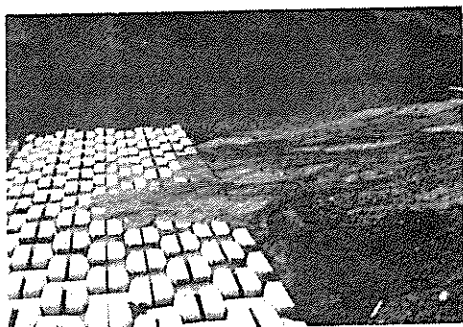
写－５．１．１

斜面の融雪状況（西山川地域）



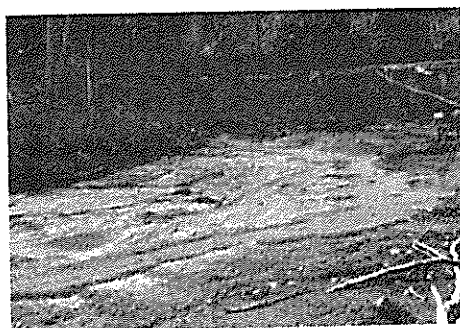
写－５．１．２

沢の中の融雪状況（西山川地域）



写－５．１．３

融雪水による火山灰の流出状況
（西山川地域）



写－５．１．４

融雪水による火山灰の流出状況
（小有珠川地域）

2節 有珠山およびその周辺地域における降雨状況

(1) 調査目的

この調査は、有珠山およびその周辺において、斜面の侵食・崩壊ならびに泥流発生と降雨特性との関係を明確にすることと、この調査期間中の降水量が過去のデータと対比してどうであったかを明らかにするために実施したものである。また、室内実験での降雨強度の決定にも利用された。

(2) 調査の結果と考察

北海道の暖候期（5～10月）の降水量は、図-5・2・1に示すように、1966～1975年の平均値で、おおよそ600～1,200mm程度であり、有珠山周辺は同図によれば800mm程度と比較的少ない方であるが、降水量を示す等降水量線の間隔は小さく不安定な状態にある。

降雨期についてみると、図-5・2・2、5・2・3に示すように年最大日雨量の発生する降雨時期のひん度および日雨量が80mm以上に及ぶ時期のひん度は、8月に集中しており、これらの降雨は、図-5・2・4に有珠山周辺の月降水量を示すが、一年を通して最も平均気温の高い8月が200mm前後で頂点をなし、その月の前後はいずれも月降雨量は少ない傾向にある。

これらの面から見る限り、当該地区での泥流等の発生ひん度は8月が最も高いといえよう。しかし、図-5・2・5に示す位置で実施した、昭和53・54年の月間降雨量は、図-5・2・6、表-5・2・1に示すように、53年では6月の127mm、54年では9月の190mm前後が最大となっており、最大月間降雨量の発生時期は8月に現われていない。ただし、図-5・2・4に示す値に比べてとくに53年の場合は小さく、54年の場合は平均値となっている。

なお、暖候期の降水雨量は、53年が550mm程度、54年が650～700mm程度となっており、観測場所によって差はあるが、図-5・2・1に示す値よりは少々小さめである。

表-5・2・2は、大正13年から昭和43年までの資料に基づいて、年最大日雨量の順位をまとめた値である。また、図-5・2・7は、昭和53、54年の日降雨量とそのひん度を示すが、大半が10mm未満で占められている。調査期間中の最大日雨量については、昭和53年が45～50mm、54年が80～85mmが、それぞれ1回ずつ発生しており、表-5・2・2と対比すると、44位中、53年が30位前後、54年が12・13位程度となっている。

次に時期当りの降雨量についてみると、北海道では、昭和48年に檜山支庁の133mm/h、次いで昭和25年に胆振支庁の苫小牧で126mm/hなどが記録されているのに対し、有珠山周辺では、有珠山で昭和48年に35mm/h、登別で昭和51年に59mm/h、伊達で昭和47年に41mm/h、白老で昭和51年に53mm/hなどが記録されている。なお、表-5・2・3、図-5・2・8

は、昭和46年から52年における日雨量80mm以上の時の毎時雨量とそのひん度を示す。図一5・2・9は現地調査期間の全降雨に対して、時間当りの降雨とそのひん度を表わしたものであり、この昭和53・54年には、時間当り降雨量17mmが各1回となっており、これが最も大きい。これは、図一5・2・8に示す中でも比較的大きい方に入るが、有珠山周辺の記録と比較すると非常に小さい。表一5・2・4は、昭和53年10月24日の大規模な泥流が発生した時の毎時雨量表を示す。これによれば、地域によって日雨量ならびに時間当り降雨量も異なるが、これまでのデータから見て、ともに大きな降雨量を呈していないことがうかがえる。

表一5・2・5は、過去の経験上から設定したとされている大雨注意・警報基準を参考までに示すが、有珠山において、これに類した泥流発生 of 注意ならびに警報等の基準も必要であろう。これに類した考察は後述する。

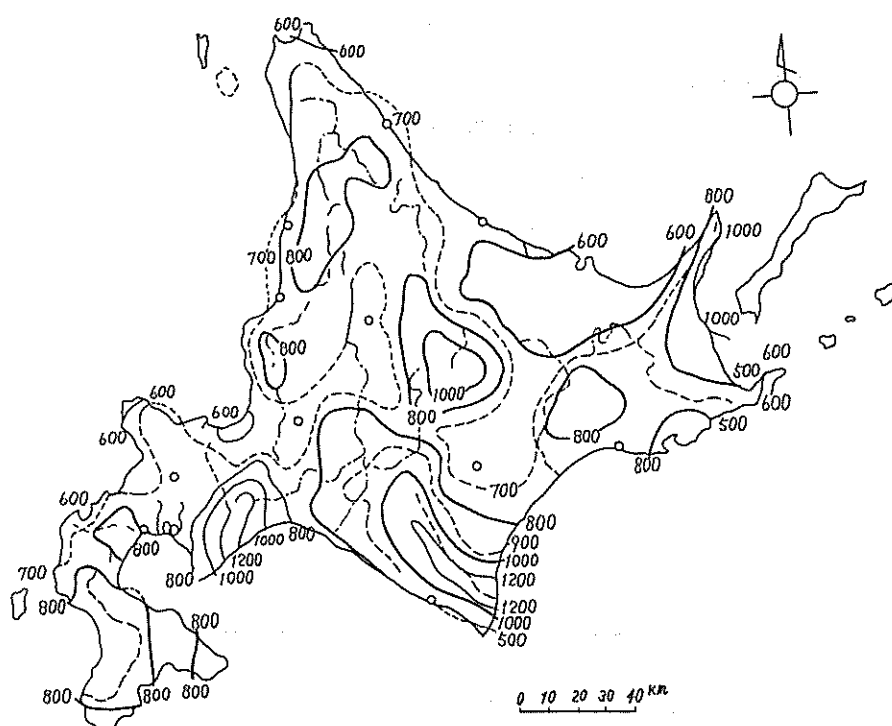
表一5・2・1 月間降雨量総括表

年度	場 所	4	5	6	7	8	9	10	11	合 計
S 53	北 有 珠	13 [※]	94	127	82	89	51	100	—	556 543
	木 の 実 団 地	13 [※]	99	127	76	87	71	111	—	584 571
S 54	西山川(観・ス)	80	24	78	65	131	181	135	57 [※]	751 615
	西山川(雨・セ)	—	—	77	73	127	196	165	56 [※]	694 715
	小有珠川(上流)	32 [※]	33	85	46 [※]	97 [※]	137 [※]	75 [※]	69 [※]	574 473
	西胆振消防本部 ^{※※}	88	24	74	63	124	204	153	117	847 642

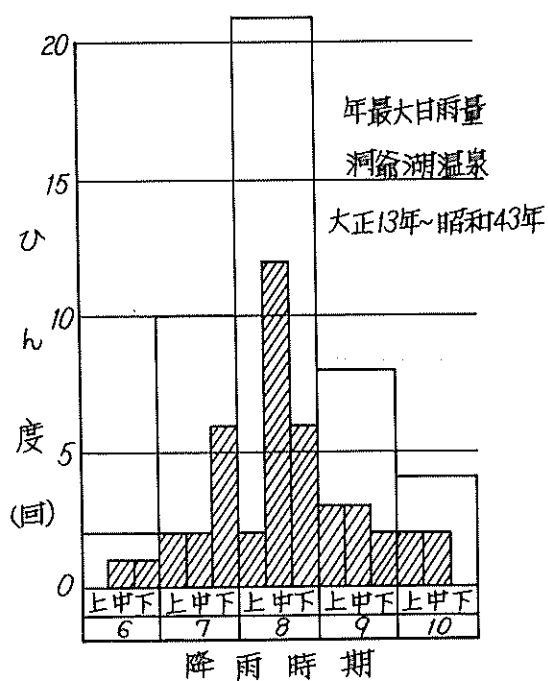
note ※ 途中から観測、または途中から観測中止および中間欠測

※※ 西胆振消防本部の観測資料使用

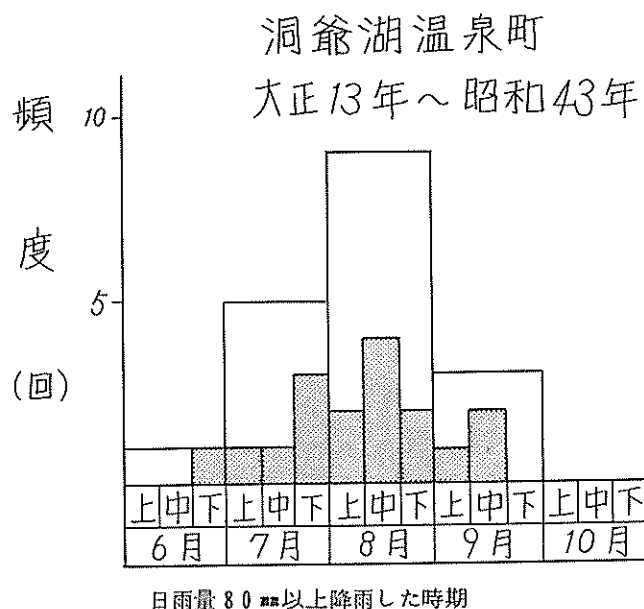
合計の上段は※印も含む合計、下段は5月～10月の合計



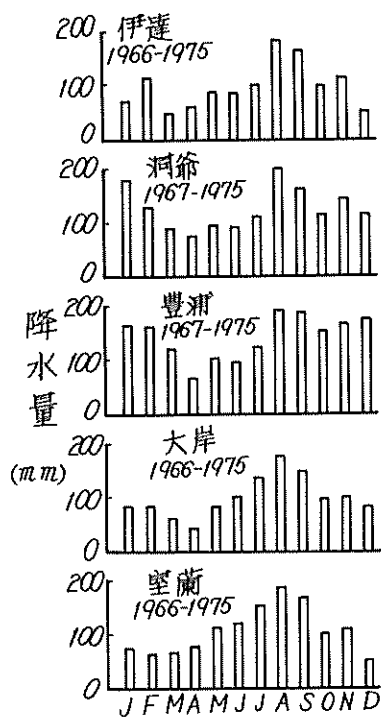
図一 5・2・1 暖候期(5~10月)の降水量分布図(mm) (1966~1975)



図一 5・2・2 年最大日雨量の発生 降雨時期とその頻度(北海道の大雨資料調べ)



図一5・2・3 日雨量80mm以上降雨した時期とその頻度（北海道の大雨資料調べ）



図一5・2・4 有珠山とその周辺地域の月降水量



表-5・2・2 年最大日雨量順位表

順位	降雨時期	日雨量	順位	降雨時期	日雨量	備 考
1	S 35. 6. 29	275	23	S 40. 9. 16	67	・S24は欠測 ・観測期間 大13~昭43 ・年間の観測期間 6月~10月
2	S 32. 8. 18	200	24	S 33. 7. 31	62	
3	S 37. 8. 3	136	25	T 14. 10. 19	58	
4	S 41. 8. 17	122	26	S 18. 7. 29	54	
5	S 16. 9. 5	112	27	S 5. 9. 23	49	
6	S 36. 7. 25	101	28	S 23. 8. 18	48	
7	S 8. 8. 7	95	29	S 9. 10. 10	47	
8	S 30. 8. 18	92	30	S 24. 8. 19	47	
9	T 13. 8. 30	90	31	S 39. 6. 20	47	
10	S 11. 8. 17	88	32	S 17. 10. 10	46	
11	S 43. 9. 20	84	33	S 42. 9. 15	46	
12	S 22. 9. 15	83	34	S 10. 7. 28	45	
13	S 21. 7. 21	82	35	S 12. 9. 11	44	
14	S 3. 8. 31	79	36	S 13. 9. 11	40	
15	S 28. 9. 25	79	37	S 15. 8. 26	42	
16	S 14. 7. 10	77	38	S 20. 10. 18	42	
17	S 6. 8. 20	76	39	S 1. 8. 26	41	
18	S 7. 8. 5	73	40	S 29. 7. 28	41	
19	S 38. 9. 16	73	41	S 34. 7. 6	41	
20	S 25. 7. 15	70	42	S 2. 7. 18	40	
21	S 4. 8. 17	67	43	S 31. 8. 16	40	
22	S 26. 8. 11	67	44	S 19. 8. 18	36	

(北海道の大雨資料調べ)

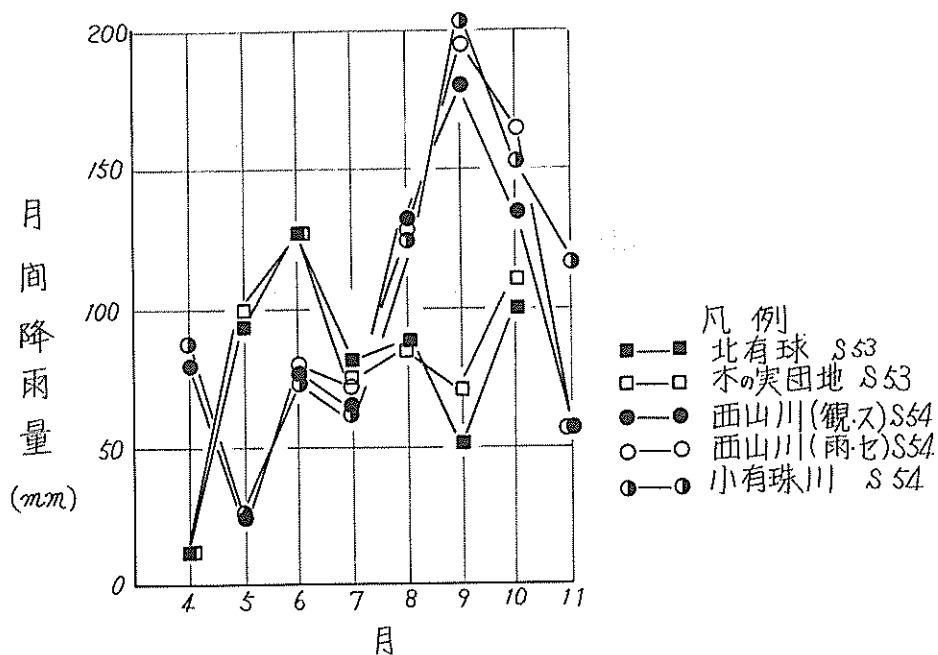


図-5・2・6 月間降雨量

表-5・2・3 日量80 mm以上の毎時雨量表

年月日 \ 時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合計
地名 有 珠 山																									
S 48 8 17															10	27		1	16	35	9	5	1	1	105
18		5	7	5	1	8	4	1		18	2	2	1			3	19	4	6		1	2			89
S 50 8 19		1		1	1	1		1			3	8	5	7	10	12	6	3	14	18	7	4	7	2	111
20	15	14	3	9																					41

(北海道土木協会編：北海道の大雨資料調べ)

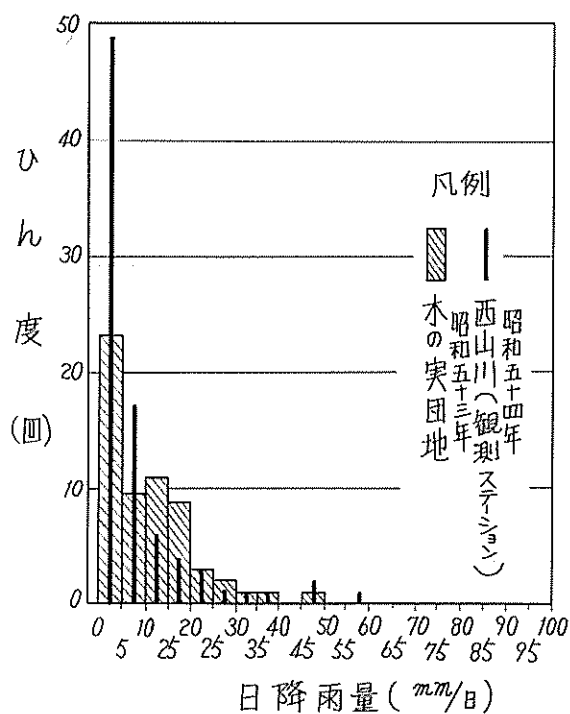
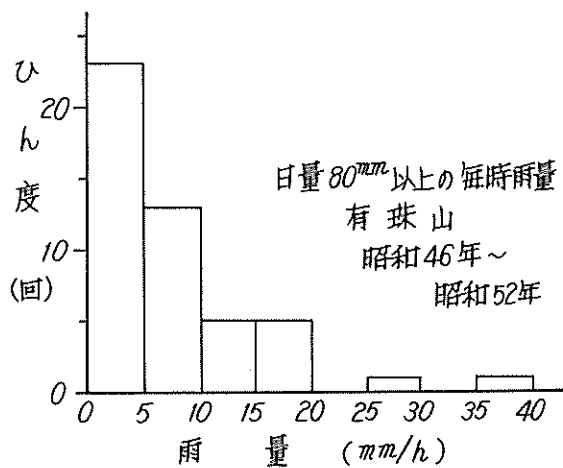
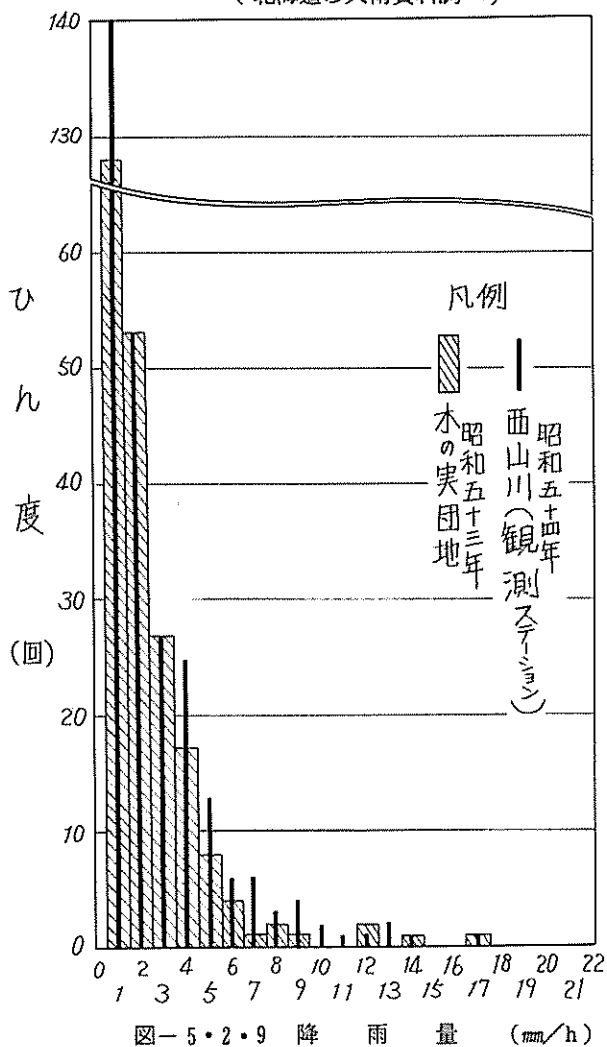


図-5・2・7 日降雨量とその頻度

(AM 9:00~翌日のAM 8:00までの降雨量)



図一 5・2・8 日雨量 80mm 以上のときの時間雨量とその頻度
(北海道の大雨資料調べ)



図一 5・2・9 降 雨 量 (mm/h)

表-5・2・4 有珠山とその周辺地域における1978年10月24日の降雨

(mm)

観測所 \ 時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合計	
伊達		2	1		1	1	2		2	2							1					3			15	
大岸			1		1		1	1				2		1					1				1	2		11
有珠山		2		1	5	4	4		3	3	1											5	1		29	
室蘭		1	5	1	1		4	3	1				1												17	
消防組合温泉支部		1.7	1.3			4.5	3.0	0.8	2.2	0.5								0.2					14.0	0.5	28.7	
〃 虻田 〃					6.0			3.0	3.0	1.0													16.8	1.0	30.8	
〃 壮瞥 〃	1.0	0.8	1.6		2.9	2.5	1.7	0.8	3.2	2.6		0.3						0.5					8.5	0.3	26.7	
西山川上流 ※		1.0	1.0		2.5	2.0	2.0		3.0	0.5								0.5					24.5	0.5	37.5	
西山川下流 ※※		1	1		4		2		3									1					16		28	
北有珠 ※※※		1.5	1.0		2.5	1.5	1.0																		7.5	

※ 北大環境科学研究科観測

※※ 北海道開発局土木試験所 土質研究室観測

表-5・2・5 大雨注意・警報基準

項目 \ 地域 強度	胆 振	石 狩	渡 島	日 高	備 考	
大雨注意報	r 1	20	20	15	20	r 1 : 1 時間当り降雨量
	r 3	30	30	25	30	r 3 : 3 時間当り降雨量
	r 24	50(100)	50(100)	40(80)	50(100)	r 24 : 24 時間当り降雨量
大 雨 警 報	r 1	40(150)	40	30(150)	40(150)	()内は山岳部
	r 3	60	60	50	60	
	r 24	100(200)	100(200)	80(150)	100(150)	

(札幌管区气象台調べ)

6 章 火山灰堆積層の安定性に関する実験

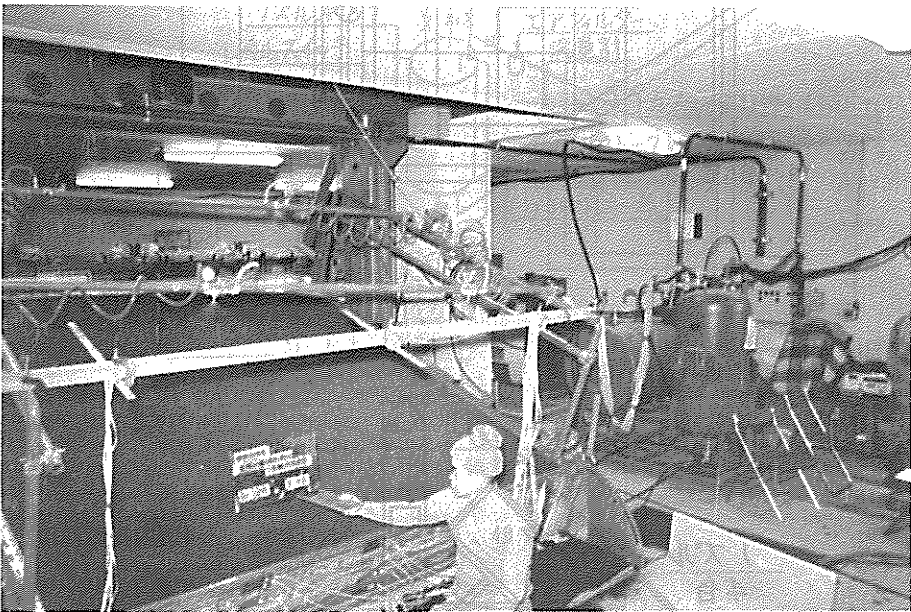
1 節 人工降雨による室内模型実験

(1) 実験目的

降雨による現地の火山灰堆積斜面の侵食・崩壊の過程、および斜面の傾斜角度・降雨強度と斜面の安定性との関係などを検討するために、人工降雨による室内模型実験を実施した。

(2) 実験概要

噴出火山灰の工学的性質ならびに堆積状況に関する調査の成果に基づいて実験条件を定め、図-6・1・1、6・1・2、写真-6・1・1に示すような斜面崩壊実験装置を設計・製作して各種の実験を実施した。



写-6・1・1 斜面崩壊実験装置

主たる実験内容は次のとおりである。

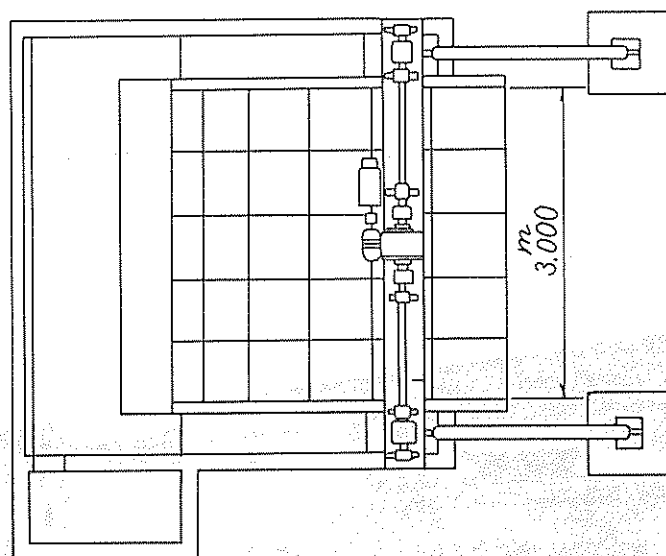
- ① 降雨強度・斜面傾斜角度・火山灰堆積厚さの組合せの変化による土圧・変位・間ゲキ・水圧・侵食・崩壊の観測。
- ② 火山灰堆積斜面の積雪が融雪する際に、さらに降雨があった場合の侵食・崩壊特性の観察。
- ③ とくに条件の悪い場所（集水箇所、透水性が極端に小さい場所に堆積した火山灰層など）の侵食・崩壊などの観測。

④ 人工降雨の雨滴の形状と斜面侵食・崩壊状況の観測。

実験は現地の状況を考慮して、下記の条件を組合せて33ケースの主実験と、これらの主実験を補完するために、旧地盤の斜面条件・雨滴の大きさ等を変えた補助的実験を行った。

a) 散水（人工降雨）強度 r : 30、50、100 mm/hour

平面図



側面図

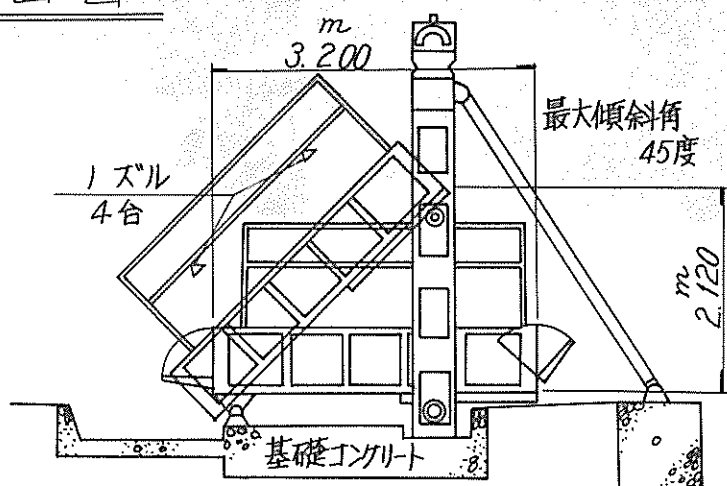


図-6・1・1 斜面崩壊実験装置一般図

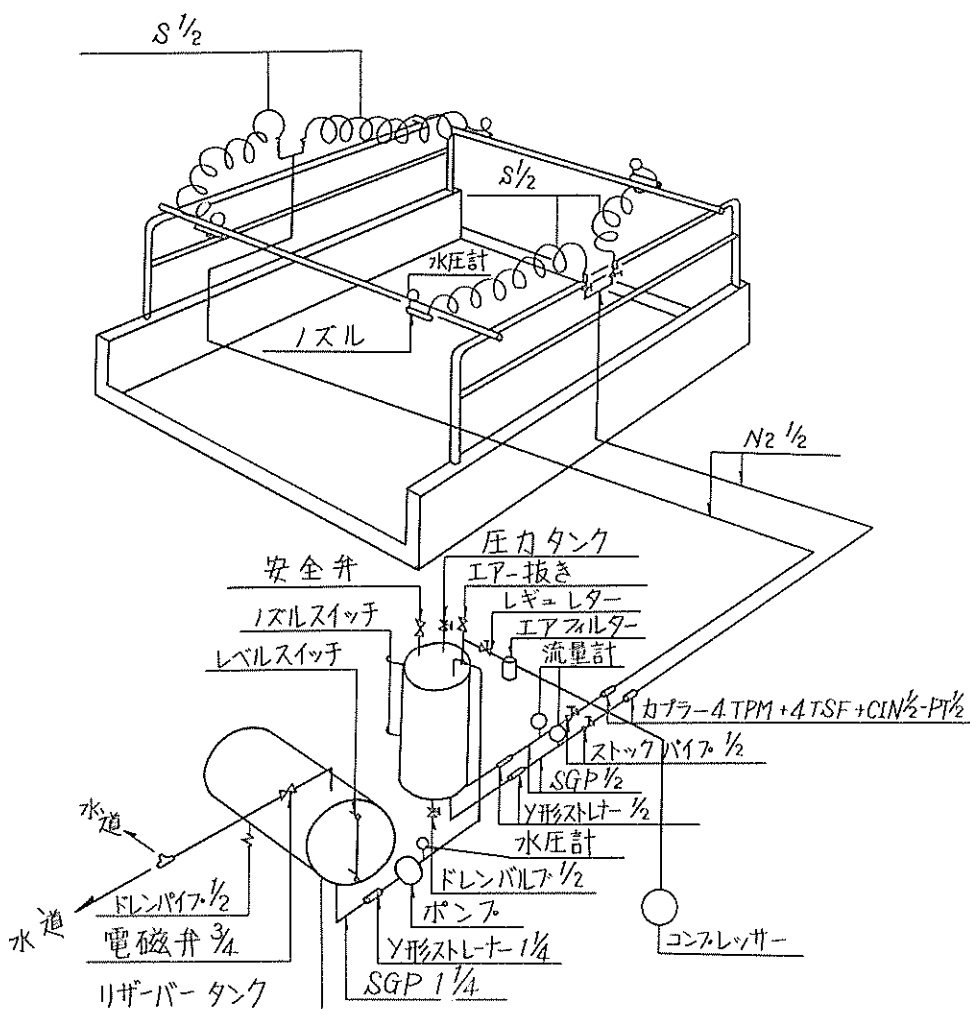


図-6・1・2 散水装置フローチャート

b) 斜面傾斜角度 θ : 10、20、30、40 度

c) 層 厚 d : 20、35、50 cm

これらの実験条件の組合せを表-6・1・1、6・1・2に示す。

また、これらの実験における測定項目は、降雨によって層内に生じる間ゲキ水圧、斜面下方への土砂（火山灰層）の移動量、および斜面下端における土圧分布とその大きさ、堆積層の侵食・崩壊規模等を把握するための流出土砂量の四項目であり、さらに斜面変化の観測も行った。これら四項目の測定は次のようにして行なった。

- ① 間ゲキ水圧 … 最小読みとり $0.1 \frac{g}{cm^2}$ （水頭に変換して 1 mm）、最大 $100 \frac{g}{cm^2}$ の水圧計を傾斜台の底面に取り付けて測定した。（図-6・1・5参照）

② 移動量（変位量）…最小読みとり 0.1 mm、最大変位 200 mm の回転式変位計を傾斜台の上端に取り付け、端子を火山灰斜面中に埋設して層の移動量を測定した。

（図-6・1・4 参照）

③ 土 圧 …角パイプ（口 30 mm × 20 mm × 3000 mm）ワイヤーストレンゲージを張り、パイプにかかるひずみを測定して土圧を求めた。

（図-6・1・3 参照）

④ 流 出 土 量 …土圧測定用の角パイプの壁を越流した火山灰を沈澱させ、10 分間隔で土量を測定した。また、これらの流出状況を微速度撮影を行って 16 mm フィルムに収めた。

設計・製作した斜面崩壊実験装置の概要は、表-6・1・3 に示すとおりである。本装置は、両側面に透明な合成樹脂板を張った、傾斜可動の床版とその版を支持するラーメン構造のフレームならびに散水装置とから成る。

散水装置は、床版とともに可動するように斜面の上面に半固定し、ノズルの容量および位置、ノズルから噴射する動水圧などを変更して、所定の散水強度を設定した。この散水する強度の設定過程の詳細を表-6・1・4 に示す。散水装置の設計に当っては、雨滴の形状、落下高などの点で自然降雨を再現する事は困難であると同時に結果の検討に際して問題点が残ることから、雨滴の大きさ、落下高を変化させた補助的な実験を行い比較検討を行うこととした。

表-6・1・1 主実験一覧表

case 番号	d	θ	r	備 考	case 番号	d	θ	r	備 考
1	20	10	30	×	19	35	30	30	
2	"	"	50		20	"	"	50	
3	"	"	100		21	"	"	100	
4	"	20	30		22	"	40	30	
5	"	"	50		23	"	"	50	
6	"	"	100		24	"	"	100	
7	"	30	30		25	50	10	30	×
8	"	"	50		26	"	"	50	
9	"	"	100		27	"	"	100	
10	"	40	30		28	"	20	30	
11	"	"	50		29	"	"	50	
12	"	"	100		30	"	"	100	
13	35	10	30	×	31	"	30	30	
14	"	"	50		32	"	"	50	
15	"	"	100		33	"	"	100	
16	"	20	30		34	"	40	30	
17	"	"	50		35	"	"	50	
18	"	"	100		36	"	"	100	

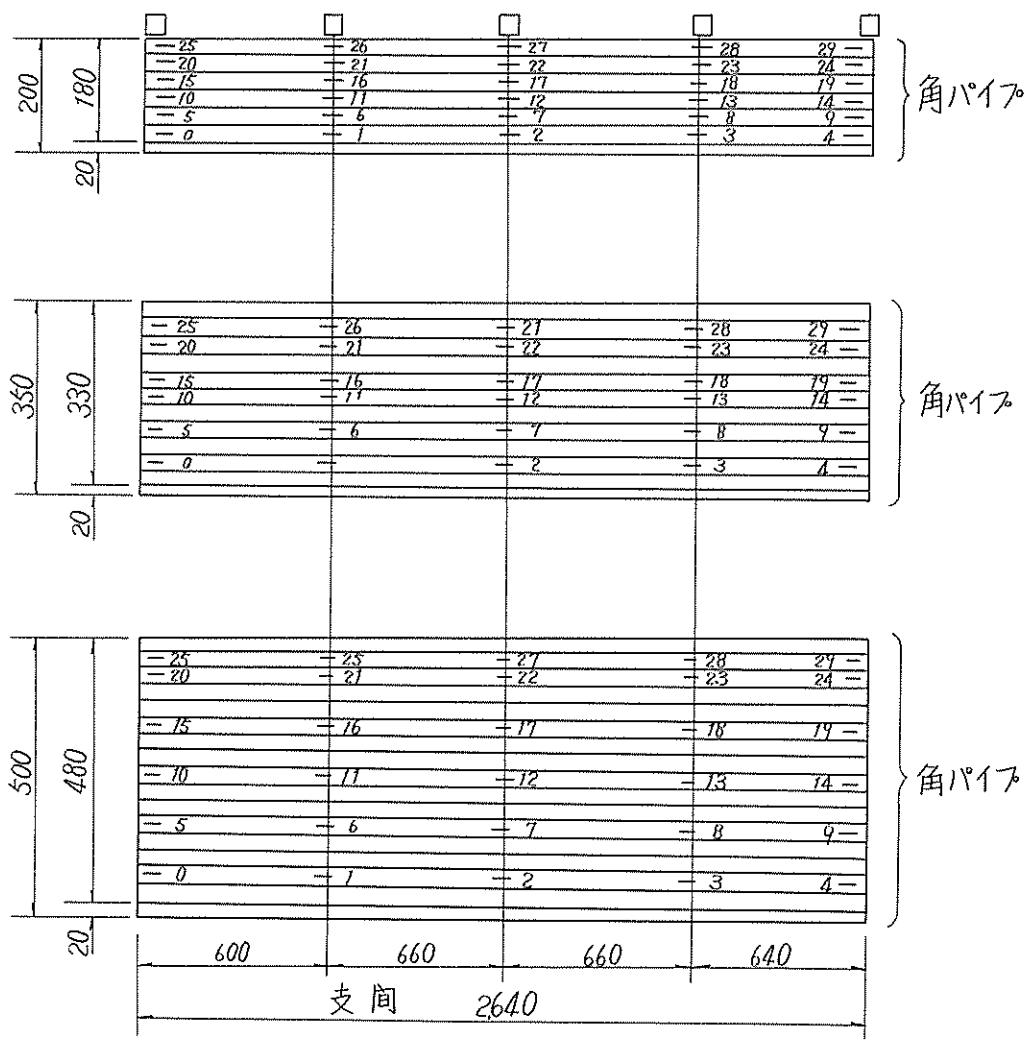
d = 火山灰の厚さ (cm) θ = 斜面傾斜角度 r = 散水強度 (mm/hour) × = 中 止

表-6・1・2 補助実験一覧表

項目 case	r	θ	d	方 法
102	50	30	35	完全不透水層の地山斜面を想定して模型斜面の火山灰層の下にビニールシートを敷設して散水。
105	(50)	30	35	融雪期を想定して、模型斜面の火山灰層上に雪を載せ、ジェットヒーターを使用して強制融雪。残雪20cmのところで散水。
106	50	30	35	火山灰の場合との比較のため豊平川産の砂を使用。
107	50	30	(50)	模型斜面の火山灰に溝を作成。
108	50	20	50	雨滴の大きさを自然降雨の状態と近似させるため金網(5mm)を介して散水。

表-6・1・3 実験装置の性能・諸元

項 目	内 容
駆 動 方 法	減速機によるモーター駆動
散 水 方 法	ノズル
可 動 斜 面 角 度	0～45° (最小読み取り 30′)
散 水 強 度	30～120 mm/hour
ノズル台数	4台
ノズル種類	3種類(2.8W、4.3W、8W)
模 型 斜 面 寸 法	3200(長さ)×3000(巾)×650mm(厚)
供 試 体 最 大 重 量	13400 Kg
供 試 体 容 積	4.80 m ³
散 水 高	1000 mm (最大)



凡例

— ケージ位置
数字は ケージ番号

図-6・1・3 土圧測定用ひずみゲージ位置図

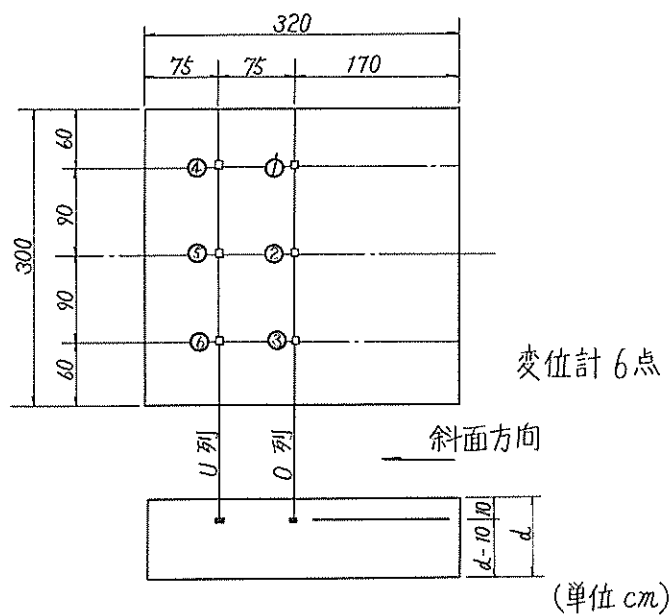


図-6・1・4 変位計位置図

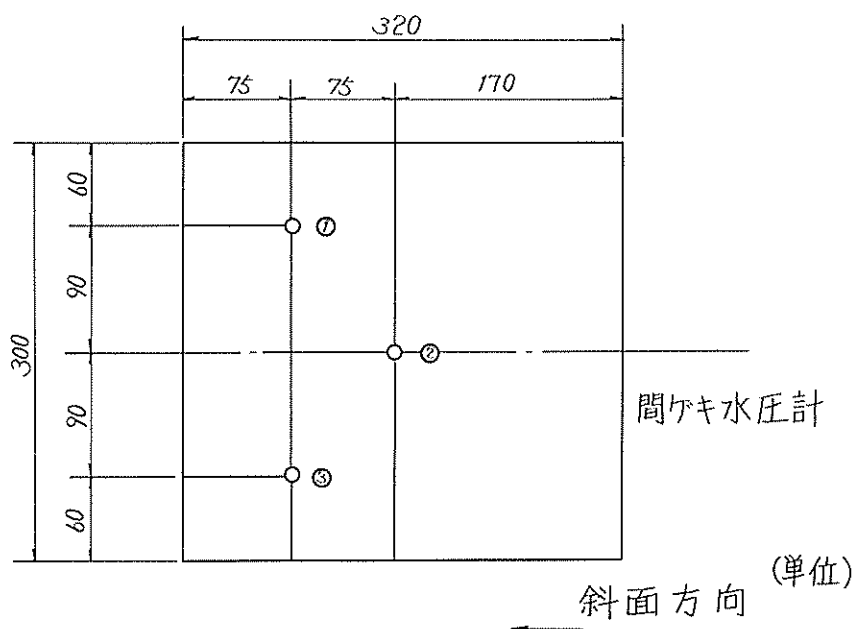


図-6・1・5 間デキ水圧計位置図

表－6・1・4 散水強度設定一覧表

項目 r	水圧 Kg/cm^2	$\varnothing$ m	N	r'	ノズル種類	Q
30	1	0.98	353	29	2.8 W	1.3
50	2	1.04	324	51	4.3 W	2.5
100	3	1.15	283	97	8 W	5.4

$\varnothing$: ノズル広がり半径 (m) N : ノズル有効台数 (台)
 r' : 計算上の散水強度 (mm/hour) r : 散水強度 (mm/hour)
 Q : ノズル1台当りの流量 (ℓ/min)

(3) 実験用火山灰堆積斜面の作成

(3)－1 実験用火山灰の工学的性質

火山灰堆積層の安定性に関する実験に用いた火山灰は、噴源地から約 3 Km離れた図－4・1・2に示す①の周辺地域において排出運搬された火山灰仮置場から採取したものである。仮置場の火山灰は、排出運搬作業により、自然状態の層構成が乱された状態にあったが、火山灰堆積模型斜面を作成するにあたっては、噴出火山灰の工学的特性ならびに堆積状況の調査結果に基づいて、可能な限り現地の条件に近似させるように考慮した。すなわち、模型斜面の層構成を2層に分け、上層部には採取した火山灰を2,000 μ フィルでふるい、これの通過分を「ふるい火山灰」とし、下層部には採取したままの火山灰を「混合火山灰」と称して用い、主実験用の模型斜面を作成した。

実験に用いた各材料の工学的特性を表6－1・5に示す。

(3)－2 模型斜面の作成

装置上に作成した模型斜面の断面と層構成を図－6・1・6に示す。

この作成の手順は次のとおりである。

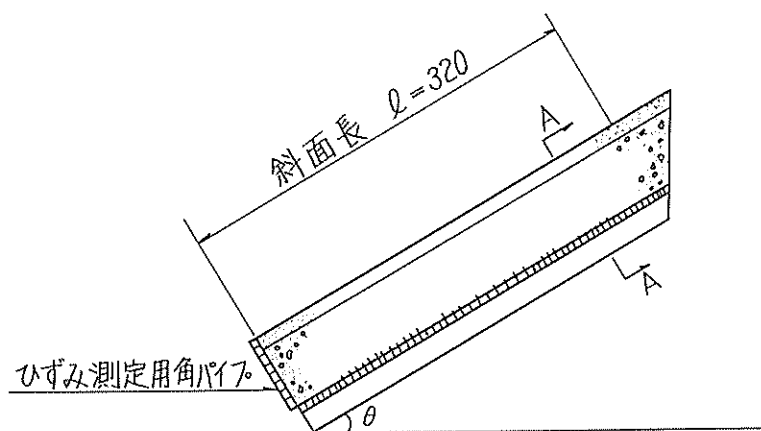
- ① 粘質土を底版のリブ内に填充して締固め、仮想地山斜面を作成する。
- ② 生芝を用いて張芝を行い、芝を粘質土に固定する。
- ③ 所定の厚さまで「混合火山灰」を入れる。(15.5 cm、30.5 cm、45.5 cm)
- ④ 表層として「ふるい火山灰」を入れる。(4.5 cm一定)

⑤ 所定の斜面傾斜角度にセットする。

これらの手順のうち、①、②の作業は全ケースとも共通であるので、初回に作成しただけで次回以降は③以降の堆積層の火山灰だけを交換して行った。また、模型斜面中の含水比、乾燥密度などはあらかじめ予備的な実験を行い現場の条件に近似するように考慮した。表-6・1

・6 に実験前後の含水比および乾燥密度の品質管理試験の結果を示す。

一般側面図



A-A 断面

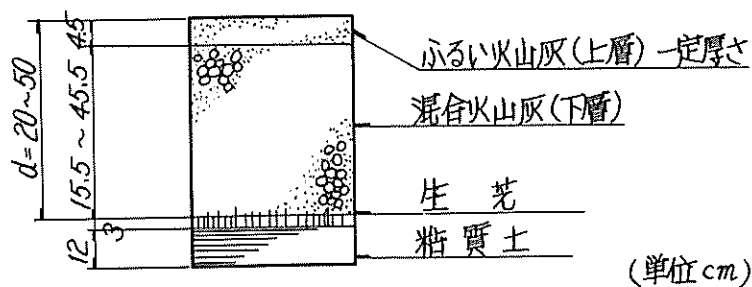


図-6・1・6 実験の斜面構成図

表-6・1・5 模型斜面の使用材料の工学的特性

試験項目 試験箇所	含水量 W (%)	乾燥密度 $\gamma_d (\frac{g}{cm^3})$	粒 度				比 重 Gs	液性塑性 限 界	透 水 特 性 K (cm/sec)	せん断特性 C (kg/cm^2) ϕ (度)	締固め特性 $\gamma_{dmax}(\frac{g}{cm^3})$ $W_{opt}(\%)$	備 考
			2000 μ 通過率 (%)	75 μ 通過率 (%)	均等係数	曲率係数						
ふい火山灰	—	—	1000	2704	7778	129	2461	NP	$\gamma_d=1363$ 481×10^{-3}	C=0 $\phi=3149$	—	表層用
混合火山灰	1832	0959	4734	164	1067	150	2277	NP	$\gamma_d=1045$ 128×10^{-3}	—	1420 2000	下層用
粘 質 土	2584	1449	1000	3562	2100	688	2806	WL=3820 WP=2054 IP=1766	$\gamma_d=1644$ 825×10^{-3}	—	—	地山斜面用
砂	1797	1655	7360	151	750	129	2746	NP	$\gamma_d=1623$ 974×10^{-3}	C=0.33 $\phi=378$	—	case 106用

表-6・1・6 密度・含水比の管理試験

散水密度 項目		試目 前後 層区分	乾燥密度 (t/m³)				含 水 比 (%)				備 考
			実 験 前		実 験 後		実 験 前		実 験 後		
			上 層	下 層	上 層	下 層	上 層	下 層	上 層	下 層	
r=30 mm/hour	平均 値		101	093	133	112	1365	1976	2654	2876	平均 値 = $\frac{1}{n} \sum X_i$ 標準偏差 = $\sqrt{\frac{\sum X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}}$ 変動係数 = $100 \frac{s}{\bar{X}}$ $\bar{X}$: 平均 値 s : 標準偏差 n : 標本総数
	標準偏差		007	005	009	012	140	169	159	151	
	変動係数		693	538	677	1071	1026	855	599	525	
r=50 mm/hour	平均 値		101	094	132	114	1318	1767	2615	2871	
	標準偏差		005	007	010	010	105	149	124	151	
	変動係数		495	658	758	877	797	843	474	526	
r=100 mm/hour	平均 値		106	097	134	115	1344	1904	2636	2763	
	標準偏差		005	004	007	011	091	228	114	127	
	変動係数		470	411	524	958	677	1197	432	460	

(4) 実験結果と考察

(4)－1 主 実 験

(4)－1－1 散水による火山灰斜面の侵食・崩壊

散水に伴う模型斜面の侵食・崩壊ならびに流出状況は散水開始と同時に16mmカメラによる微速度撮映を行ない詳細に記録した。それらの状況を要約すると次のとおりである。

a) 斜面角度が10°、20°、30°の場合

散水開始から2～50分後に火山灰斜面の表面に薄い水膜の発生が見られ、これが表面水として表面を流下し始めると、細かい粒子の火山灰が流下し、火山灰表面は波状を呈する。この状態を図－6・1・7(1)に表わしている。次に火山灰層表面の波形に沿って水みちができ、これが次第にリルになり、やがてガリ状の溝に発達・拡大する(図－6・1・7(2)(3)参照)。これらの現象は散水強度が大きいほど、また、斜面角度が大きいほど早期に生じ、溝の形状は幅が狭く、深い傾向を示す。

ガリ状の溝の段階になると、表層の火山灰の侵食が促進され、泥流状の火山灰が一時的な堆積流下を繰り返しながら溝の中を流下し、やがて模型斜面の下端から流出する。

火山灰が斜面を流下して斜面下端から流出し始める時間を、後に述べる流出土の発生時間としている。

これらの溝は、やがて消えたり、新しく溝が生じ、それが繰り返されて老朽化してしまう(図－6・1・7(4)参照)。

以上を要約すると、

- ① 表面水膜の発生(表面水)
- ② シート状の表面水の流下とともに火山灰微粒子も流下(シートエロージョン)
- ③ 細い水道の発生とともに火山灰微粒子が細い溝の中を流下(リルエロージョン)
- ④ 火山灰斜面の侵食に伴うV字型溝への移行と表層火山灰の流下(ガリエロージョン)
- ⑤ 侵食火山灰の流出(模型斜面外への流出)
- ⑥ 溝の老朽化(散水を継続しても侵食の進行はない)

といった順になるが、散水強度・斜面傾斜角度が小さいと②もしくは③の状態から進展しない場合もあり、逆に散水強度が大きいと、①から②もしくは③の状態をこえて④の状態になることもある。これらの各現象が発生した時間を表－6・1・7に示す。

b) 斜面傾斜角度40°の場合

この場合には表面水の発生後間もなく崩壊に至るケースが多く、散水強度が100mm/hの場合には、短時間に崩壊して粘ちようなビンガム流体として斜面外に流出してゆく。

しかしながら、一度、崩壊・流動を生じた後は、粗い火山灰だけが斜面上に残る状態となり、それ以後散水しても変化を生じない。

一方、散水強度が 30、50 mm/h の場合は、100 mm/h の場合と比べて幾分崩壊に至るまでの時間は長く、ビンガム流体状というよりも塑性的なすべり破壊を生じ、崩壊面も浅くなり、とくに 30 mm/h の場合は、表層の細かい火山灰のみが崩壊するだけで下層を含む崩壊には至らなかった。

(4) 1-2 散水による模型斜面の動態

a) 変位について

散水に伴う模型斜面上の火山灰層の変位は、図-6・1・8 に一例を示すように、散水開始後の時間経過に伴って次第に増加するが、ある時間に達するとその増加率は急激に減少し、それ以後はほとんど一定値を示す傾向にある。

図-6・1・9 は、実験終了時の変位量 δ と火山灰層 d との関係を示す。この実験終了時の変位量は、図-6・1・8 で明らかなように、ほとんど最終変位量に等しいと見なし得ることから、これを単に最終変位量と呼ぶことにする。

図-6・1・10 は、最終変位量 δ と斜面傾斜角度 θ との関係を散水強度 r をパラメータとして表わしたものである。これらの図に示された結果から、層厚が大きい程、また、斜面傾斜角度が大きい程最終変位量が大きくなることがうかがえる。

表-6・1・8 は、散水後変位量がほぼ一定となるときの（これを変曲点と呼ぶ）の時間 t' と、そのときの変位量 δ' ならびに最終変位量 δ を O、U 列（図-6・1・4 参照）別に整理したものである。

表-6・1・9 は、 δ'/δ を求めたものである。

表-6・1・10 は、上述のような変曲点までの散水量を（ $r \times t'$ ）として求めたものである。

これらの表から、 δ'/δ はおおむね 65～98 % であり、総体的には、斜面傾斜角度が急になるにしたがって、この比率が大きくなる傾向があることと、また、変曲点が発生するまでの散水量はおおよそ 25～90 mm であることが読みとれる。

今回測定された模型斜面における火山灰層の変位は、散水後ある時間に達すると、ほとんど変化を示さないことや、表-6・1・6 に示す実験後の火山灰の乾燥密度が、実験前に比べて大きいことなどから、散水によって斜面が滑動するのではなく、ゆる締め状態の火山灰が散水することによって水締め状態となり、間ゲキ比の減少とそれに伴う重力方向の変形が起こったための現象と推定される。

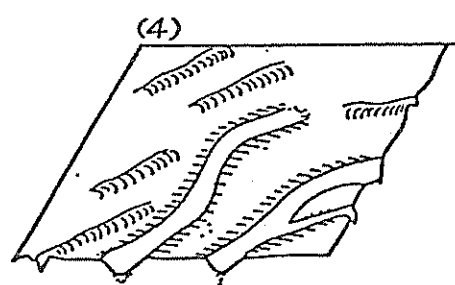
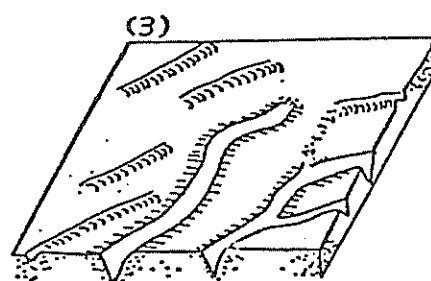
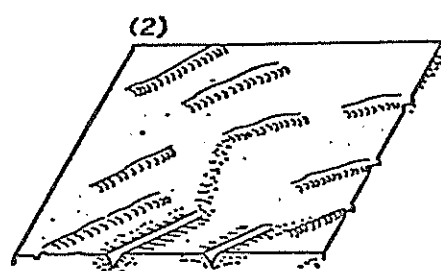
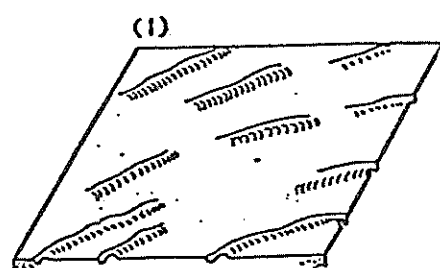


圖-6.1.7 侵食經過模式圖

表-6・1・7 模型斜面の侵食および崩壊状況…発生時間 (分)

r	θ	d	項目	表 面 水	シートエロージョン	ガリエロージョン	土 砂 の 流 出
30	20	20		20	—	—	—
		35		23	60	—	—
		50		17	—	—	—
	30	20		40	70	—	—
		35		50	110	225	—
		50		22	100	—	—
	40	20		—	—	—	22
		35		12	—	—	38
		50		3	16	—	22
50	10	20		5	120	—	—
		35		12	40	—	—
		50		8	21	—	—
	20	20		3	20	120	—
		35		15	30	135	195
		50		5	32	107	—
	30	20		10	20	125	—
		35		10	37	76	76
		50		15	28	87	—
	40	20		—	11	—	9
		35		2	5	—	11
		50		—	—	—	9
100	10	20		3	6	40	40
		35		11	17	242	260
		50		—	—	74	80
	20	20		—	—	24	32
		35		3	5	22	30
		50		2	5	20	20
	30	20		3	5	13	14
		35		2	5	8	15
		50		4	7	10	18
	40	20		2	—	5	5
		35		2	5	—	6
		50		—	2	—	4

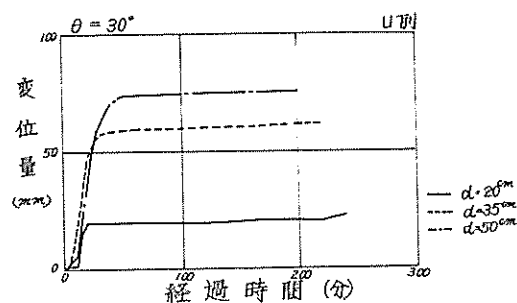
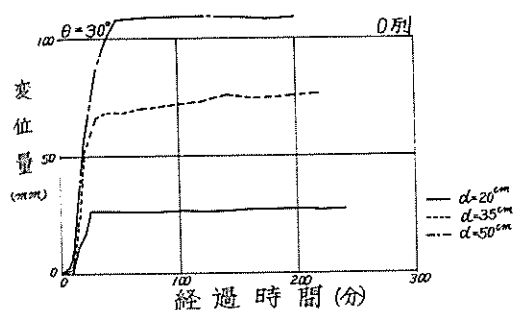


図-6.1.8 変位量と経過時間 ($r = 100\text{ mm/hour}$)

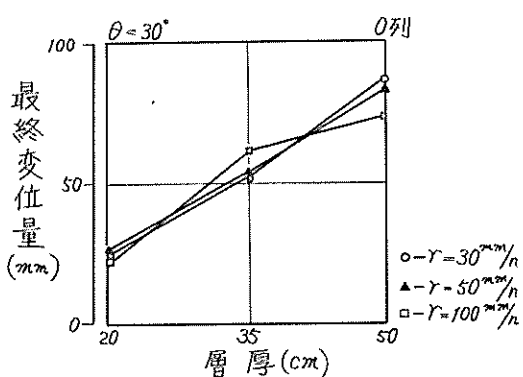
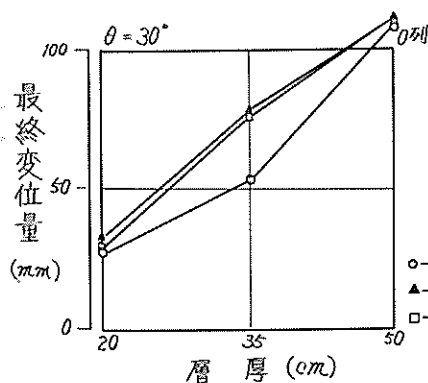
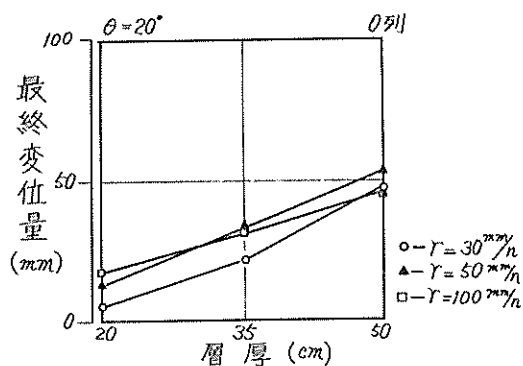
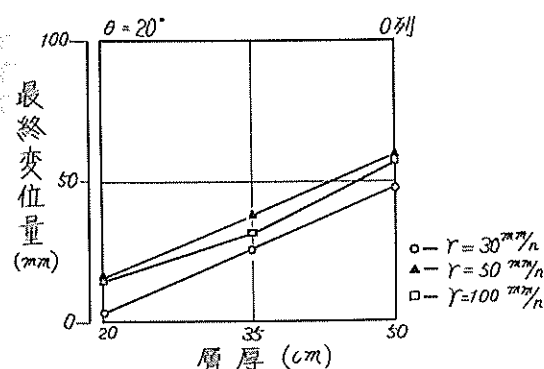
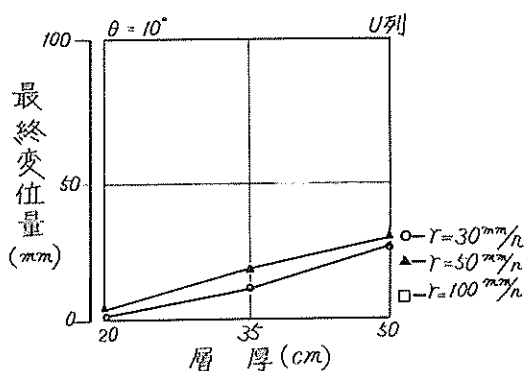
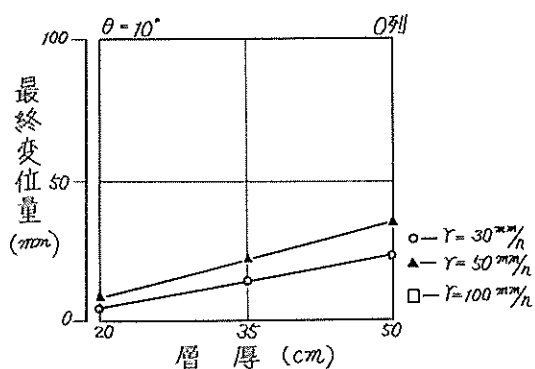


図-6.1.9 最終変位量と層厚 (パラメータ: r)

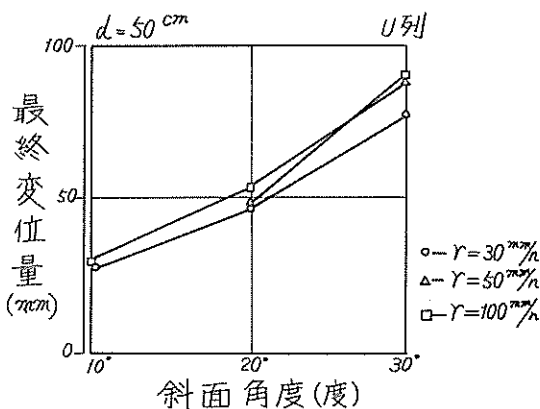
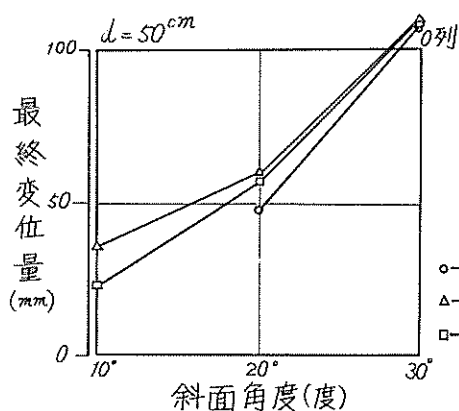
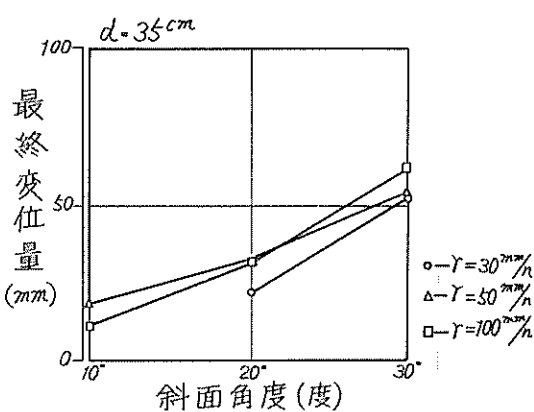
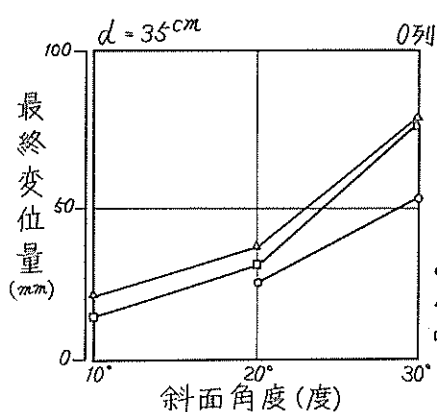
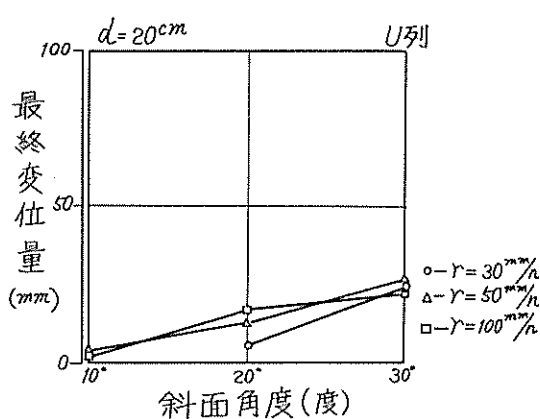
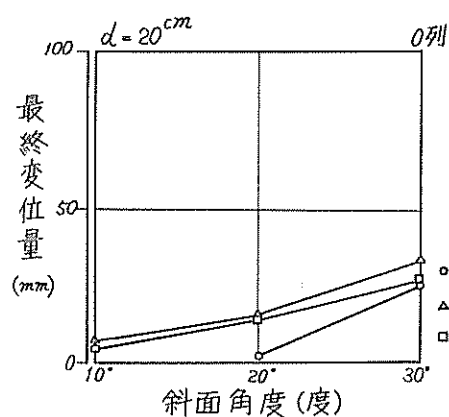


図-6.1.10 最終変位量と斜面角度 (パラメータ: r)

表-6・1・8 変位量の一覧表

r	列項目	θ	10			20			30			備考
			d	20	35	50	20	35	50	20	35	50
30	O	δ	—	—	—	35	255	476	266	532	1089	r : 1時間当り散水量(mm/h)
		δ'	—	—	—	28	241	421	247	490	1074	d : 火山灰層厚(cm)
		t'	—	—	—	60	80	100	40	80	160	δ : 最終変位量(mm)
		$\delta'/\delta \times 100$	—	—	—	80	94	88	93	92	99	δ' : 変曲点の変位量(mm)
	u	δ	—	—	—	55	212	470	241	531	884	t : 変曲点の時間(分)
		δ'	—	—	—	34	199	441	211	501	874	θ : 模型斜面傾斜角度
		t'	—	—	—	50	70	90	50	70	120	
		$\delta'/\delta \times 100$	—	—	—	62	94	94	88	94	99	
50	O	δ	74	219	356	159	377	596	336	788	1109	
		δ'	58	213	336	139	355	585	298	770	1087	
		t'	30	50	80	30	50	80	30	60	80	
		$\delta'/\delta \times 100$	78	97	94	87	94	98	89	98	98	
	u	δ	46	189	296	138	328	530	268	544	873	
		δ'	30	179	285	123	313	511	226	533	861	
		t'	30	40	70	30	50	70	30	60	80	
		$\delta'/\delta \times 100$	65	95	96	89	95	96	84	98	99	
100	O	δ	53	146	235	148	316	571	273	764	1096	
		δ'	22	111	278	145	335	582	264	683	1082	
		t'	50	25	30	30	30	40	25	40	50	
		$\delta'/\delta \times 100$	42	76	(118)	98	(106)	(102)	97	89	99	
	u	δ	30	120	269	172	318	469	229	614	752	
		δ'	21	117	254	170	296	468	193	578	743	
		t'	90	30	40	30	30	40	20	30	60	
		$\delta'/\delta \times 100$	70	98	94	99	93	100	84	94	99	

表一 6・1・9 変曲点の変位量 (δ') と最終変位量 (δ) の比

(%)

項目 \ θ	10°	20°	30°	備 考
d = 20 cm	5 3.8	8 5.8	8 9.2	表一 6・1・8 の平均値であり () 内は 100 % として計算した 値である。
d = 35 cm	9 1.5	9 4.0	9 4.2	
d = 50 cm	9 4.7	9 5.2	9 8.8	
r = 30 mm/h	—	8 5.3	9 4.2	89.8 (20 と 30)
r = 50 mm/h	8 7.5	9 3.2	9 4.3	93.8 (//)
r = 100 mm/h	7 6.0	9 8.3	9 4.7	96.4 (//)

表一 6・1・10 変位量の変曲点までの連続散水量

(mm)

r \ d \ θ		10°	20°	30°
30	20	—	27	23
	35	—	38	38
	50	—	48	70
50	20	25	25	25
	35	38	42	50
	50	63	63	67
100	20	(116)	50	38
	35	45	50	58
	50	58	67	92

b) 土圧について

火山灰斜面の下端に設置した角パイプの壁に働く土圧の測定に当っては、角パイプにかかる土圧をひずみで検出して換算することにした。

図一 6・1・11 は、散水開始後の時間経過に伴う、角パイプに生ずるひずみの前述の変位量と同様に、ある時間が経過すると一定値になるか、むしろ徐々に減少する傾向を示す。これらの現象は、散水後の火山灰の水締め状態の進行に伴い、角パイプに土圧が作用し、水締め終了とともにひずみも定常状態になるものと推定される。また、ひずみが減少する傾向は、角パイプと角パイプの間ゲキから近傍の微粒火山灰が流れ出すことによるものと推定されるが明らかでない。

図一 6・1・12 は、実験終了時のひずみと斜面傾斜角との関係を示したものであるが、これらによれば散水強度が大きいほど、斜面傾斜角度が大きいほど、また、火山灰層厚が厚いほど発生ひずみも大きくなる傾向が見られる。なお、最終ひずみは最大ひずみに比べて幾分小さい傾向を示すが、その差は小さいため最終ひずみで整理した。

表一 6・1・11 は、ひずみから求めた土圧の値を示した。表中で上段は火山灰の投入前を初期値とした場合、下段は火山灰を投入し斜面を所定の角度に設定した、散水前の値を初期値とした場合の、それぞれの実験終了時までの値である。これらの結果から、火山灰投入前の状態を基準としたときの全土圧のうち約 50 % 程度が斜面設定後の散水によって生じていることがうかがえる。

表一 6・1・12 には、土圧の測定値とクーロンの土圧式による計算値とを比較しているが、実測値は、理論式において土と壁面との摩擦角 $\delta = 15^\circ$ 、土の内部摩擦角 $\phi = 25^\circ \sim 30^\circ$ とした場合の値に比較的近似している。

次に、このひずみの深さ方向の分布をみると、図一 6・1・13 に一例を示すように、最終的には層厚の中間付近に最大値をもつような形となり、クーロンの三角形土圧分布とは異なっており、また表一 6・1・13 からわかるように、土圧の合力の実測値は、 $\delta = 15^\circ$ 、 $\phi = 30^\circ$ と近似している。

このような実験結果から、降雨下の斜面上の火山灰堆積層の土圧分布はクーロンの土圧式による土圧分布と異なることを十分考慮して、砂防用構造物の設計と取り組む必要があらうと思われる。

c) 間ゲキ水圧について

間ゲキ水圧については、模型斜面の火山灰層の底部に設置した間ゲキ水圧計を使用して、散水開始とともに観測を行った。

図－6・1・14は、この一例を示すものであるが、実験開始後、若干の時間が経過してから間ゲキ水圧が上昇し始め、それから一定値に落ち着く傾向がみられる。

表－6・1・14は、間ゲキ水圧の上昇し始めるまでの時間と、それまでの散水量について整理したものである。

表－6・1・15は、間ゲキ水圧がほぼ一定になる時間と、その時の間ゲキ水圧を整理したものである。

これらの表から、間ゲキ水圧が上昇し始めるまでの散水量は、散水強度、斜面の角度にほとんど影響されず、火山灰層厚に大きく左右され、層厚 20 cm では 25 mm 程度、層厚 35 cm では 40 mm 程度、層厚 50 cm では 60 mm 程度の散水量となっていることがわかった。

表－6・1・16は、変位、土圧などが、ほぼ一定値になる時間（変曲点時間と称している）までの連続散水量も併記したが、これらは、間ゲキ水圧が上昇し始めるまでの連続散水量と非常に近似した値となっている。これは、散水に伴い火山灰層内に水が浸透していき、全層が浸潤されるまでの間に、いわゆる水締め効果により変位、土圧などが変化するが、完全に浸潤が完了し、層の底部に水が滞水するとき、すなわち、間ゲキ水圧が上昇を始めるときには、火山灰層は落ち着いた状態になっていることを意味するものと思われる。

d) 流出土量

散水によって流出する火山灰を、模型斜面の下端で集めて計算した、土量の時間的な累積結果の一例を図－6・1・15で示す。また、実験終了時の流出土量を、最終流出土量として表－6・1・17に示した。

これらの図表によれば、流出土量は階段状に増加する傾向を有しており、斜面傾斜角度 40° の場合には、侵食による流出ではなく崩壊による流出のため、斜面傾斜角度 30° に比べて非常に大きな流出土量となっている。ここで火山灰の流出土量が階段状に増加するのは、既に述べたとおり、流送途中の侵食土が斜面上で何度も堆積・侵食・流送を繰り返すためである。すなわち、 30° 以下の斜面傾斜角度では連続的に泥流状となって火山灰が流出するという現象は見られないということである。とくに、散水強度が 30 mm/h の場合には火山灰の流出は見られないことから、現地において斜面長の短かい 30° 以下の斜面傾斜角度の場合には、通常の降雨強度では泥流化の危険性は薄いものと判断される。ただし、斜面長の長い場合や沢状地形など雨水が集まるような場合には、表面流出水の流速と流量によっては侵食作用もあると考えられるので、必ずしも泥流発生の危険性がないとは断定できない。

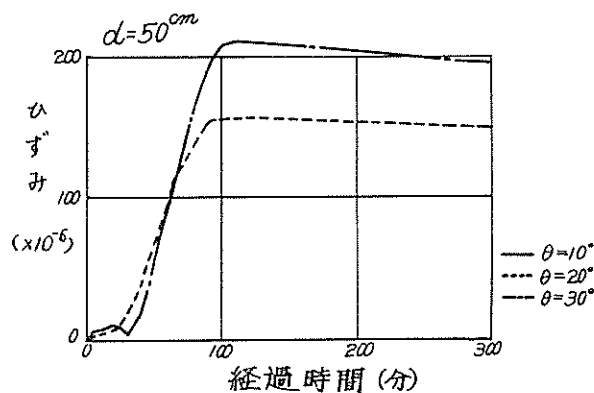


図-6・1・11 最終ひずみと経過時間 ($r = 30 \text{ mm/h}$ $d = 50 \text{ cm}$)

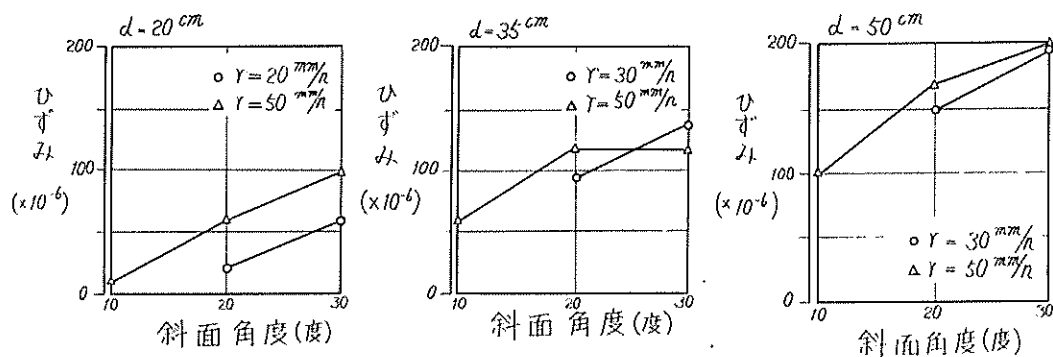


図-6・1・12 斜面角度と最終ひずみ

$$r = 50 \text{ mm/h} \quad d = 50 \text{ cm}$$

(1) 盛土時 (2) 斜面角度30°のセト時 (3) 散水10分後 (4) 変曲・点時 (5) 300分後

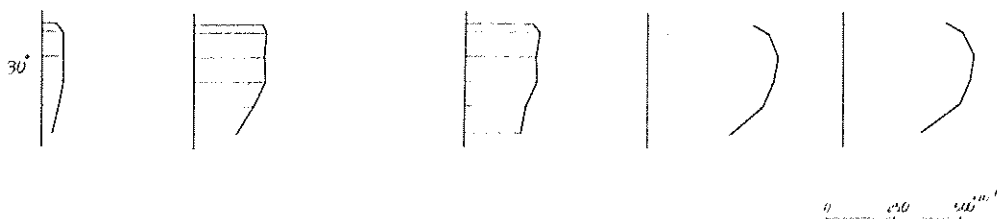


図-6・1・13 土圧によるひずみ分布図

$$r = 50 \text{ mm/h} \quad d = 50 \text{ cm} \quad \theta = 30^\circ$$

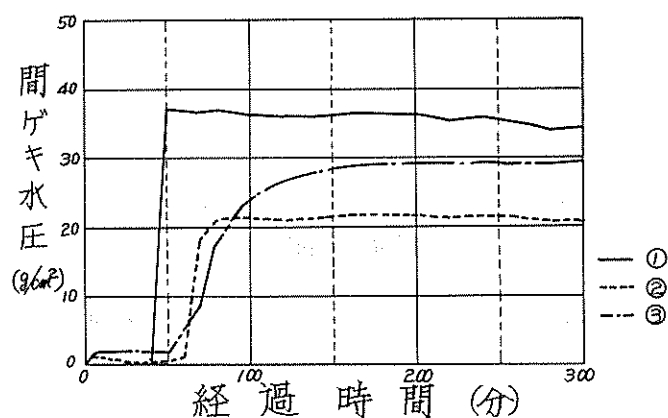
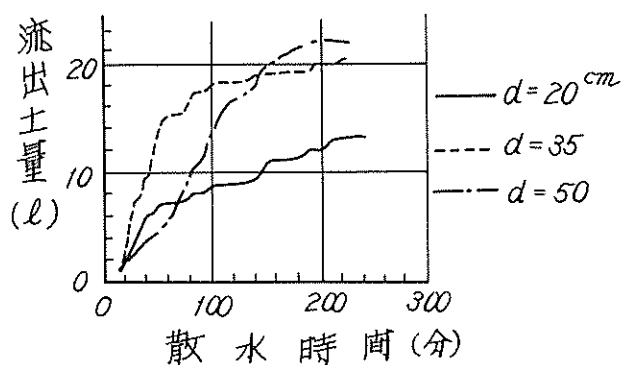


図-6・1・14 間ゲキ水圧と経過時間

$$r = 100 \text{ mm/hr}, \quad \theta = 30^\circ$$



(流出土 1 ℓ = 乾燥土 1426 g)

図-6・1・15 流出土量と経過時間

表-6・1・11 最終ひずみとその土圧

(測点 12)

θ	項目 d	30 $\frac{mm}{h}$				50 $\frac{mm}{h}$				備 考
		($\times 10^{-6}$) ひずみ	(t/m^2) 土 圧	みかけの 拘束度	K 補正値	($\times 10^{-6}$) ひずみ	(t/m^2) 土 圧	みかけの 拘束度	K 補正値	
10°	20 cm	—	—	—	—	(52) 12	(0.076) 0.017	0.48	1,923	$= \frac{80EI}{\ell^2 y B} K$ E=角パイプの弾性 係数 - ^g ($2.1 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$)
	35 "	—	—	—	—	(128) 60	(0.161) 0.078	0.40	1,667	
	50 "	—	—	—	—	(185) 98	(0.191) 0.101	0.27	1,369	
20°	20 "	(79) 22	(0.111) 0.031	0.46	1.852	(111) 61	(0.171) 0.093	0.41	2,040	I=角パイプの断面 二次モーメント (0.94 cm^4) y: 角パイプ中立軸 (1.0 cm)
	35 "	(177) 95	(0.200) 0.107	0.33	1.493	(160) 118	(0.170) 0.125	0.29	1,408	
	50 "	(264) 150	(0.269) 0.153	0.26	1.351	(313) 168	(0.296) 0.159	0.20	1,250	
30°	20 "	(69) 61	(0.093) 0.082	0.44	1.786	(183) 99	(0.282) 0.153	0.41	2,040	B: 角パイプのはば (3 cm) ℓ : 角パイプの長さ (264 cm)
	35 "	(304) 138	(0.396) 0.180	0.42	1.724	(285) 119	(0.215) 0.138	0.35	1,538	
	50 "	(427) 196	(0.447) 0.206	0.28	1.389	(462) 200	(0.415) 0.180	0.16	1,190	

上 段: 初期値～実験終了時

下 段: 実験開始時～実験終了時

表-6・1・12 土圧の計算値と実測値の比較表

(t/m^2)

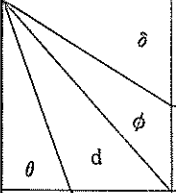
		15°				20°				実 測 値	
		25°	30°	35°	40°	25°	30°	35°	40°	r = 30 mm の場合	r = 50 mm の場合
10°	20 ^{cm}	0.082	0.069	0.058	0.048	0.082	0.068	0.058	0.048	—	0.076
	35 ["]	0.129	0.108	0.090	0.075	0.129	0.108	0.091	0.076	—	0.161
	50 ["]	0.199	0.166	0.140	0.117	0.195	0.167	0.140	0.117	—	0.191
20°	20 ["]	0.136	0.110	0.091	0.278	0.140	0.112	0.093	0.078	0.111	0.171
	35 ["]	0.213	0.172	0.143	0.120	0.219	0.177	0.146	0.122	0.200	0.170
	50 ["]	0.330	0.267	0.231	0.186	0.341	0.273	0.226	0.190	0.269	0.296
30°	20 ["]	0.297	0.297	0.173	0.137	0.327	0.327	0.182	0.144	0.093	0.282
	35 ["]	0.466	0.466	0.270	0.216	0.513	0.513	0.286	0.225	0.396	0.215
	50 ["]	0.721	0.721	0.418	0.334	0.794	0.794	0.457	0.349	0.447	0.415

表-6・1・13 土圧圧力の測定値と計算値(測点 12)

(t/m)

θ	項目 d	計 算 値 P_s	測 定 値 $p'_s (r=30)$	測 定 値 $p'_s (r=50)$	備 考
10°	20 ^{cm}	0.013	—	0.010	クローンの土圧式で計算 $\delta = 15^\circ$ $\phi = 30^\circ$ $\gamma_t = 132 \times 126 = 166$ t/m^3
	35 ["]	0.040	—	0.035	
	50 ["]	0.082	—	0.067	
20°	20 ["]	0.021	0.022	0.018	
	35 ["]	0.094	0.059	0.048	
	50 ["]	0.134	0.103	0.108	
30°	20 ["]	0.062	0.019	0.049	
	35 ["]	0.191	0.114	0.094	
	50 ["]	0.389	0.194	0.139	

表-6・1・14 間ゲキ水圧の動き始めの時間

θ	項目 d	30 mm/h		50 mm/h		100 mm/h		備 考
		T'	Q'	T'	Q'	T'	Q'	
10°	20 ^{cm}	—	—	25	21	10	17	Q' : 間ゲキ水圧の動き始めまで散水量(mm)
	35 ["]	—	—	35	30	15	25	
	50 ["]	—	—	40	33	30	50	
20°	20 ["]	40	20	25	21	15	25	T' : 間ゲキ水圧の動きはじめる時間(分)
	35 ["]	50	25	35	30	(10)	17	
	50 ["]	80	40	65	54	35	58	
30°	20 ["]	40	20	25	21	10	17	
	35 ["]	50	25	40	33	25	42	
	50 ["]	85	42	50	42	※	—	

※ 測定できず

表-6・1・15 間ゲキ水圧と変曲点時間

θ	d	項目 測点	30 mm/h			50 mm/h			100 mm/h		
			変曲点時間 (分)	変曲点の水圧 (g/cm^2)	最大水圧 (g/cm^2)	変曲点時間 (分)	変曲点の水圧 (g/cm^2)	最大水圧 (g/cm^2)	変曲点時間 (分)	変曲点の水圧 (g/cm^2)	最大水圧 (g/cm^2)
10°	203 20	①	—	—	—	30	(608)	(612)	240	157	157
		②	—	—	—	50	(352)	(342)	200	(237)	(244)
		③	—	—	—	140	(394)	(400)	60	156	162
	355 35	①	—	—	—	50	2.6	3.5	25	98	122
		②	—	—	—	50	1.9	2.2	30	241	257
		③	—	—	—	50	2.7	3.8	25	21	5.9
	508 50	①	—	—	—	60	2.4	2.5	—	—	—
		②	—	—	—	60	1.9	2.1	200	332	338
		③	—	—	—	60	2.6	2.9	40	38	5.5
20°	313 20	①	50	(400)	(414)	30	(496)	(580)	90	(410)	(417)
		②	50	(258)	(260)	40	(262)	(275)	—	—	—
		③	100	(212)	(215)	150	(362)	(362)	100	(488)	(502)
	372 35	①	70	287	290	50	(472)	(472)	20	145	164
		②	60	200	212	60	242	251	30	262	268
		③	100	217	227	140	347	355	50	0.3	0.3
	532 50	①	100	377	398	70	51.9	52.2	(240)	160	160
		②	100	256	256	80	295	214	160	177	191
		③	160	298	303	320	479	501	90	106	126
30°	231 20	①	40	24	25	30	(385)	(403)	120	114	124
		②	60	85	95	40	(235)	(240)	150	(248)	(262)
		③	50	20	20	200	(302)	(308)	40	50	60
	404 35	①	70	300	360	40	(428)	(437)	220	141	141
		②	60	155	169	60	253	265	220	318	318
		③	100	210	232	200	(402)	(417)	50	174	194
	577 50	①	100	74	79	50	377	377	200	75	75
		②	300	273	273	80	214	218	200	286	286
		③	120	202	216	180	293	296	50	183	192

表-6・1・16 散水量表

(mm)

θ	r 項目	30 mm/h			50 mm/h			100 mm/h			備 考
		δ	P	u'	δ	P	u'	δ	P	u'	
10°	20 cm	—	—	—	25	33	21	(83)	—	17	δ : 変位の変曲点の散水量 P: 土圧(ひずみ)の変曲点までの散水量
	35 "	—	—	—	38	42	30	63	—	25	
	50 "	—	—	—	63	58	33	58	—	50	
20°	20 "	27	20	20	25	25	21	50	—	25	u': 間ゲキ水圧の動き始めときの散水量
	35 "	38	35	25	42	42	30	50	—	(17)	
	50 "	48	45	40	63	58	54	67	—	58	
30°	20 "	23	25	20	25	42	21	38	—	(17)	
	35 "	38	35	25	50	50	33	58	—	42	
	50 "	70	50	42	67	58	42	92	—	—	

表-6・1・17 最終流出土量

(L)

θ	r d	30 mm/hour			50 mm/hour			100 mm/hour			備 考
		20 cm	35 cm	50 cm	20 cm	35 cm	50 cm	20 cm	35 cm	50 cm	
10°	—	—	—	—	0	0	0	6	1	12	— は中止 () は他と異なる条件
20°	0	0	0	0	0	0	0	(72)	11	6	
30°	0	0	0	0	0	1	6	13	20	22	
40°	210	305	230	565	435	185	840	320	1,805		

また、平野等の研究報告によると、降雨が始まってから土石流が発生するまでの時間を求める式として、水の連続運動方程式から次式が提案されている。

$$T = \frac{\lambda \cdot D}{r \cos \theta}$$

ここに、T: 泥流発生までの時間(h)

λ : 間ゲキ率

D: 層 厚 (mm)

r: 降雨強度 (mm/h)

θ : 斜面傾斜角度

この式と人工降雨下における室内模型実験の結果を対比したものが表-6・1・18であるが、ここでは、土石流が発生するまでの時間を、流出土砂が始まるまでの時間と見なして行った。

実験結果と式の内容からして、これらを単純に比較できるのは斜面傾斜角度 40° の場合のみであるが、降雨強度が大きくなると泥流・土石流の発生する時間が短くなる傾向は一致しているものの、これらを現地の火山灰の堆積状況ならびにこれまでの現地で発生している泥流などを考えると全く一致しない。したがって、この式を有珠山に適用することはできないものと思われる。

表-6・1・18 $T = \frac{\lambda \cdot D}{r \cos \theta}$ と模型実験結果との比較

r (mm/h)	θ	W (%)	e	λ	T (min)	T' (min)	備 考
30	20°	—	—	—	—	—	$\gamma\alpha=1.01 \text{ t/m}^3$ $G_s=2.461$
	30°	—	—	—	—	—	
	40°	1365	1.437	0.452	5310	2733	
50	20°	1318	1.437	0.457	2626	19500	$\gamma\alpha=1.01 \text{ t/m}^3$ $G_s=2.461$
	30°	1318	1.437	0.457	2850	7600	
	40°	1318	1.437	0.457	3221	967	
100	10°	1344	1.322	0.426	1168	6000	$\gamma\alpha=1.06 \text{ t/m}^3$ $G_s=2.461$
	20°	1344	1.322	0.426	1224	2733	
	30°	1344	1.322	0.426	1328	1567	
	40°	1344	1.322	0.426	1501	500	

r : 降雨強度 (mm/h)

θ : 傾 斜 角

W : 含 水 比

e : 間 ゲ キ 比

λ : 空 ゲ キ 比

T : 平野氏等の式による土砂
流出時間

T' : 模型実験による土砂流出
時間

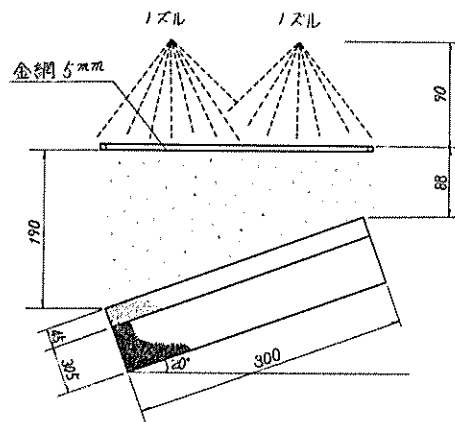
(4)－2 補助実験

33 種類の主実験を補完するため、次に述べる各項目について検討した。

(4)－2－1 水滴の大きさと落下速度の影響（ケース 108）

一般に、侵食に影響する大きな因子としては、雨量強度、水滴の大きさと落下速度、斜面長、土質等が考えられる。今回使用した散水装置は、水滴の直径が約 1 mm 以下の霧状の水滴をノズルから噴射するシステムを採用しているため、自然の降雨とは雨滴やその落下速度が大きく異なっている。したがって、主実験が実際の侵食・崩壊現象とかけ離れたものとなるおそれがあるため、図－6・1・16 に示すようにノズルから噴出した微粒な水滴を、先ず、間隔が 5 cm 程に保たれた 2 枚の 5 mm メッシュの金網に噴射させ、最大約 3 mm 程度の水滴を形成させ自然落下させる方法を採用し、落下速度と水滴の大きさによる侵食への影響を調べた。その他の条件は、ケース 17 と同様とし、斜面傾斜角度 $\theta = 20^\circ$ 火山灰層厚 $d = 35$ cm、散水強度 $r = 50$ mm/h とした。

この実験においては、散水開始と同時に、一般にいわれているように、水滴のインパクトにより表層のふりい火山灰粒子は飛散し、ウロコ状の凹凸模様が生じた。また、主実験における散水と比べて水滴粒子が大きいことによるものか、完全に浸透するまでに若干の時間を



図－6・1・16 Case 108 の実験方法

要し、直ちに浸透できない部分の水が表面水となって流下し始めた。この表面水が、凹凸模様を呈する火山灰層表面の過飽和状態の細粒子群を斜面下方へ移動させることによって侵食が進行した。しかし、細粒子部分から成るふりい火山灰が流出し侵食溝が深くなり、表層に比べて透水性の高い混合火山灰層が露出するまで侵食が進行すると、表面水は混合火山灰層内へ浸透し始め、侵食は停止状態となった。

ケース17およびその他ノズルで直接散水した主実験の結果と比較すると、侵食の始まる時間は極めて早く、また、水滴の打撃エネルギーが大きいためふるい火山灰や混合火山灰中の比較的大きい粒子をも移動させ、侵食作用の発生における時間的な進行形態なども水滴の大きさによって異なったものになったが、侵食が停止状態となった最終の状態には特段の差異は見られなかった。斜面が長大となった時、両者には大きな差異が生じるものと推定されるが、今回のような $3\text{ m} \times 3.2\text{ m}$ 程度の小面積の斜面で比重の小さな土質の侵食を検討する場合、水滴の大きさおよび落下速度は、本装置のような 1 mm 以下の霧状の水滴の噴射でも支障ないものと思われる。

(4) - 2 - 2 地山斜面の粗度および透水性の影響 (ケース102)

有珠山麓の降灰のあった地域の地被条件としては、山林、牧草地、耕作地それに岩盤、土砂などが露出する裸地などが挙げられるが、基本的には斜面の大部分は植生で被覆されているものと見なすことができよう。したがって、主実験では植生または草地斜面を対象とし、模型斜面上に生芝を敷きつめて実験を行ったのであるが、斜面上の火山灰堆積層の安定性がより低いと思われるのは、裸地斜面、とくに摩擦係数が比較的小さい不透水性の岩盤または土砂が露出した斜面上に堆積した場合と考えられることから、このような斜面上の火山灰堆積層について補助実験を行うこととした。

このような補助実験に際して作成した模型斜面は、ケース20 (斜面角度 $\theta = 30^\circ$ 、火山灰層厚 $d = 35\text{ cm}$ 、散水強度 $r = 50\text{ mm/h}$ 、地被条件：芝)の地被条件のみを変えて生芝の上にビニールシートを敷設したもので、侵食および崩壊の観測と変位量、間ゲキ水圧の測定を行った。

変位量測定結果を表-6・1・19に示す。ケース20の測定結果と比較すると、変位の変曲点までの時間(t')には差は見られない。また、その時の変位量(δ')および最終変位量(δ)はケース102の方が大きくなっているが、これは底面に敷設されたビニールの摩擦抵抗が小さいことが影響しているものと思われる。また、ケース20では見られなかったボーリングに類似した現象が観察された。散水時間が長くなり、火山灰層全体が飽和状態に近づくにしたがって斜面下端部において層内の浸透水が吹き出して、若干、端部の表層が侵食されたが、この端部侵食は上方へは発達せず、斜面崩壊も生じなかった。

このようなボーリングの現象は、透水性の高い下層内を流下してきた浸透水が、斜面端部の自由水面の位置で透水性の低いふるい火山灰層を突き破って吹き出すことによって起こったものと推定され、斜面長が長い程水頭差が大きくなり、したがって、火山灰に働く浸透水流の上向きの圧力が大きくなり、このような現象が発生しやすくなるものと考えられる。し

かし、侵食の程度については、ケース 20 と比較して差は見られなかった。

このような実験結果から、極端に不透水性で、しかも摩擦係数の小さい斜面では、斜面上に堆積した火山灰層の斜面下端にボイリングの現象が生ずる可能性が大きく、それが引金となって斜面崩壊が発生するおそれが考えられる。

表-6・1・19 変位量に関する比較

項目 casc	条 件	δ (mm)	δ' (mm)	t' (min)	Q (mm)	$\frac{\delta'}{\delta} \times 100$ (%)	備 考
20	$r = \frac{mm}{h}$ $\theta = 30^\circ$	78.8	77.0	60	50	97.7	ビニールシート
102	$d = 35\text{ cm}$	116.1	110.8	60	50	95.4	

(4)-2-3 斜面上の沢状凹部の撮影 (ケース 107)

斜面に沢状の凹部があり、その凹部に表面水が集中された場合の侵食状態等をみるために、図-6・1・17 に示すような模型斜面を作成して実験を行った。斜面角度・層構成等の実験条件はケース 20 と同一である。

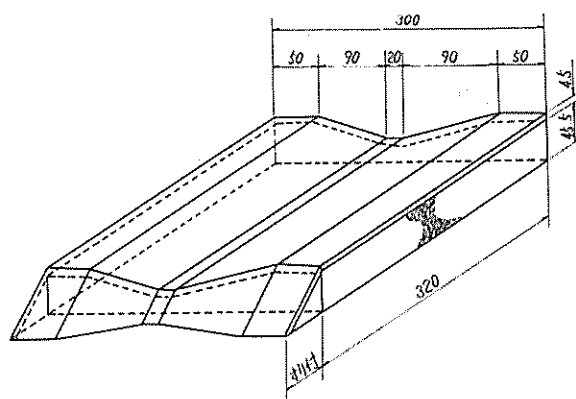


図-6・1・17 模型斜面見取図 (Case 107)

侵食の発生、進行の状態は、ケース 20 に比べて特段の差異はみられなかったが、これは、斜面長さが約 3 m と短かく、表層のふい火山灰の透水性に対して、散水強度ならびに集水面積が小さかったためと考えられる。実際の現地沢状地形をもつ長大斜面では雨水が多量に集水されるため、平面的な斜面とはかなり異なった大規模な侵食が生じることも推定される。

(4)ー2ー4 融雪水による影響(ケース105)

有珠山麓およびその周辺地域には、融雪の始まる春先には、おおよそ、70～90 cmの積雪があるとの現地調査結果に基づき、融雪期における斜面上の火山灰層の侵食・崩壊状況を検討するための基礎的資料を得るため、ケース20と同条件で作成した火山灰堆積層の上に、厚さ70センチの雪を載せてジェットヒーターで強制的に融雪し、積雪が平均20 cmに減少した時、春先の降雨を想定して50 mm/hの散水強度で散水した。

融雪が進行し、消雪して火山灰層がまだらに露出した状態となったが、とくに大きな侵食溝は発生しなかった。これは、極めて大きな融雪速度(20 cm/h)にもかかわらず、融雪水の大部分が火山灰層内部に浸透し、層表面を流下して侵食溝を生じる程の表面水が発生しなかったためと思われる。積雪厚が20 cmに減少した時点で散水を開始したところ、火山灰層は、すでに融雪水で飽和状態となっているため、消雪すると直ちに侵食溝が発生し始め、ケース20と同様な侵食形態をたどり最終的には同じような結果となった。

融雪速度20 cm/hは、現地の融雪速度を仮りに5 cm/日として比較してみても非常に大きい値であるが、このような条件のもとでも、斜面上の火山灰層に融雪そのものによる侵食の兆候は認められず、完全に消雪した時点で、しかも散水によって、はじめて侵食が見られたことから、少なくとも、ケース20の条件である斜面傾斜角度30°、火山灰層厚35 cmの場合の、融雪期における火山灰層の侵食等の変状は、完全に消雪した後に降雨によってはじめて現われ、その変状の程度は、夏期における同一雨量強度の場合に生じる変状の程度にほぼ等しいと考えてよいものと思われる。

また、現地の斜面上の火山灰は、実際には凍結融解作用を受け、その影響による安定性の低下を呈する可能性も考えられるが、今回は、この問題に関する実験を行うことはできなかった。

(4)ー2ー5 土質の差異による影響(ケース106)

斜面上の火山灰堆積層の、降雨時における侵食・崩壊の形態または機構の特性を明確にすることを意図として、火山灰の代りに砂を用い、散水・斜面条件をケース20と同様にして実験を行った。使用した砂の物理特性は表-6・1・5に示してある。これを火山灰と比較すると、比重は2割程度大きく、透水係数はふるい火山灰より大きく混合火山灰より小さい。強度常数はほぼ相等しい値となっている。

この場合、散水を開始してから50分を経過しても、表層面に何らの変化も見られなかったが、60分後、突然、斜面が崩壊した。このような崩壊の直前になってもなお砂層表面には侵食は生じなかったが、それは、砂の透水係数が、ふるい火山灰の透水係数に比べてオーダーが1桁大きいこと、砂粒子の比重が大きいことなどのために、散水によって供給された水

のはほとんど大部分は、砂層内部に浸透し、若干の表面水が砂層表面を流下しても、砂粒子の比重が火山灰のそれに比べて大きいために、砂粒子が移動するまでには至らなかったものと推定される。

火山灰堆積層の場合には起こらなかったが、砂層の場合に発生した急激な斜面崩壊については、次のような原因機構に基づくものと推定される。すなわち、火山灰層の場合には、 10^{-5} オーダーの透水係数をもつ上層を透過した浸透水は、 10^{-2} オーダーの透水係数をもつ下層内を、火山灰層全体に何らの変状も起こさずに流下するが、砂層の場合には、その全層がほぼ 10^{-4} オーダーの透水係数をもつところから、散水によって過飽和状態となり、間ゲキ水圧の発生によってせん断抵抗が減少し、平衡状態がくずれることによって発生したものと推定される。

全層を 10^{-2} オーダーの透水係数をもつ混合火山灰層として作成した斜面についての実験($\theta = 30^\circ$ 、 $r = 100 \text{ mm/h}$ 、 $d = 50 \text{ cm}$)では、侵食・崩壊ともに起こらなかったことを考え合わせると、降雨によって起こる斜面の侵食・崩壊は、土層の透水係数、土粒子の比重および粒径などに大きく左右され、主実験で用いた混合火山灰と同程度以上の比重($G_s = 2.272$)、透水係数($K = 7.28 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$)をもつ堆積層の場合には、斜面傾斜角度 30° 以下では崩壊の危険性は少ないものと推定される。このことは、とくに主実験の散水強度 100 mm/h の場合においてみられたように、透水性の悪い上層(ふるい火山灰)が侵食され、細粒分が流下すると下層の透水性の良い混合火山灰が露出するため、侵食の進行は極度に低下または停止し、安定化の方向へ進むことから推定される。

2 節 表面流水による構内模型実験

(1) 実験目的

本実験は、人工降雨下における火山灰堆積斜面の安定性に関する模型実験で明確にすることのできなかった集水力所の安定性を検討すべく、小さな一次谷を想定し、集水量と火山灰堆積斜面の変状、また7章3節の中で述べる集水量ならびに降雨量とV型崩壊の発生などの項目を明確にするために実施したものである。

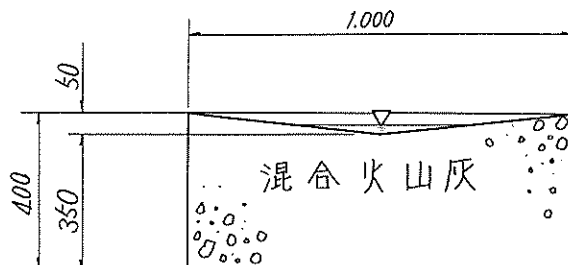
(2) 実験概要

本実験は、写真－6・2・1に示すように、幅10m、高さ0.06m、長さ10mのといに防水処理を施した斜面と、貯水タンクならびに流量調整用の三角ぜき（開角度30°）から成る仮設装置を使用して行なった。また、その斜面の下方に沢を想定して平均深さ20cm、平均幅13m、勾配2%のコンクリート溝を作り、その面は荒仕上げとした。なお、実験に使用した火山灰は、現地に堆積した火山灰の物理特性と対比させて表－6・2・1に示す。

表－6・2・1 実験に使用した火山灰と現地の堆積火山灰の物理特性とその比較

試験項目 試験個所		含水量 W(%)	乾燥密度 $\gamma_d(g/cm^3)$	粒 度				比重 Gs	液性 性 限界	透水特性 K(cm/sec)	せん断特性 C(Kg/cm ²) ϕ (度)	締固め特性 γ_{dmx} (g/cm ³) Wopt(%)
				2000 μ 通過率 (%)	75 μ 通過率 (%)	均等 係数	曲率 係数					
木の実 司 地	上層	17.41	1.436	85.29	32.32	68.46	0.365	2.490	N P	$r\alpha=1.362$ 1.98×10^{-4}	C=0.23 $\phi=36.50$	—
	下層	24.65	0.818	16.38	0.48	4.14	1.26	2.160	N P	$r\alpha=1.007$ 6.73×10^{-1}	—	1.078 22.00
実験用 火山灰		18.32	0.959	47.34	1.64	10.67	1.50	2.277	N P	$r\alpha=1.045$ 7.28×10^{-2}	—	1.420 22.00

斜面の作成方法は、混合火山灰をといの中で厚さ40cmに敷均し、その断面を図－6・2・1に示すように鈍角のV字状とした。



図－6・2・1 模型斜面の断面

実験は、

流水強度 (ℓ/min) Q ; 25、35、50、100、200

斜面傾斜角度 θ ; 10、15、20、25°

の組合せにより合計20ケース行なった。なお、実験にあたっては、16mm撮影機による微速度撮影ならびに8mm撮影機等による観測を中心に、火山灰の流出形状の測量ならびに流出した火山灰の粒度特性、流下途中の火山灰流体物の含水比、密度等を測定した。

ここで行なった実験規模を表わすため、流水強度と降雨量および流域面積との関係を表-6・2・2に示す式で求めた。これは、たとえば流水強度200ℓ/minの場合、流域面積1000m²を有する斜面上の降雨量に換算すると12mm/hとなる。

表-6・2・2 流水強度と流域面積・平均降雨強度

流域面積 A (m ²)	$\sqrt{A}$ (m)	r _{Q'} 25 (mm/h)	r _{Q'} 50 (mm/h)	r _{Q'} 100 (mm/h)	r _{Q'} 200 (mm/h)
12,000	110	—	—	—	1.0
10,000	100	—	—	—	1.2
6,000	77	—	—	1.0	2.0
4,000	63	—	—	1.5	3.0
2,000	45	—	1.5	3.0	6.0
1,000	32	1.5	3.0	6.0	12.0
500	22	3.0	6.0	12.0	24.0
250	16	6.0	12.0	24.0	48.0
125	11	12.0	24.0	48.0	96.0

$$Q' = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot r_{Q'q} \cdot A$$

f = 1.0として

r_{Q'q} : 流水強度 Qℓ/min時の平均降雨強度

f : 流出係数

A : 流域面積

模型火山灰斜面の作成に際しては、密度管理を行ない、つとめて現場の条件と同じになるようにした。その結果は、

乾燥密度 γ_d

平均値 ; 1.25 g/cm³

標準偏差 ; 0.142 g/cm³

変動係数 ; 11.4 %

含水比 W

平均値 ; 26.62 %

標準偏差；2.07%

変動係数；7.8%

となり、これらは現場の下層火山灰（表-4・1・2参照）よりも幾分大きい値となっている。

(3) 実験の結果と考察

(3)-1 崩壊形態

8)

大同氏の研究報告によると、土石流とは、土砂の堆積上に表面流が現われることによって生じるもので、表面流が発生するまでは土砂の移動は起こらないとされており、この土石流とは、水量より土石の量が多く、水が土石を流すのではなく、水を含んだかゆ状の土砂が土砂自身の力で移動する現象をいうとなっている。泥流と土石流の明確な区別はされていないが、ここでは、土石流の流動土砂は岩塊を含み、泥流は、流動土砂に大きな岩塊を含まないものとに区別する。

一般に、土石流・泥流は、運動量の大きい粒子が先に進む性質を持つ集合運搬によって流動するのに対し、水が土砂を侵食しながら運搬する形態は、各個運搬と呼ばれている。しかし、図-6・2・2に示す凡例のうち、「泥流」とは、集合運搬される状態をさし、「侵食的泥流」とは、各個運搬される状態をいい、「侵食的泥流で堆積した後の泥流発生」とは、侵食的泥流によって模型斜面の中間に堆積した後に泥流が発生する状態をさすこととする。この三つの代表例を写真-6・2・2～6・2・4に示す。

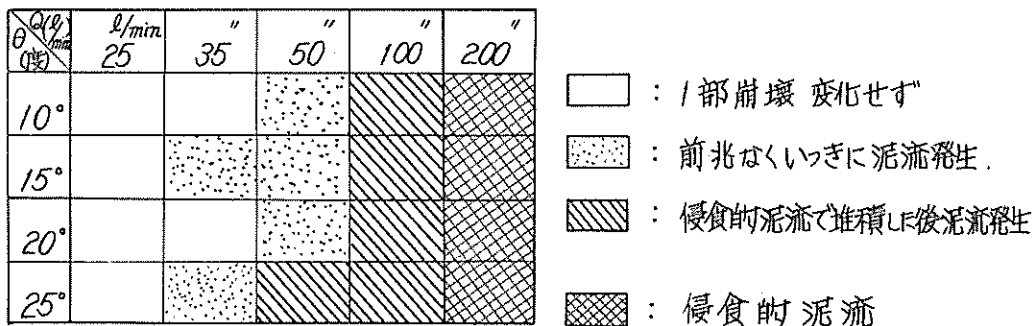


図-6・2・2 崩壊形態比較傾向図

ここでの実験結果は、上に記した三種類に大別されるが、集合運搬される場合と、各個運搬される場合の崩壊形態の特色を、ここで行なった実験結果からまとめると次のようになる。

集合運搬の場合

- ① 流出する火山灰の方向は直進性を持つため、流出した火山灰はあまり左右に広がらない。
- ② 斜面全体が高含水となって崩壊するため、模型斜面中の火山灰の大半が流出してしまう。
- ③ 斜面が崩壊に至る前に、ボイリング現象によって模型斜面中間から流下水が部分的に発生

する例が多い。

- ④ 模型斜面の最下端から中間流出水が発生する。
- ⑤ 流出した火山灰の堆積状態は層構成を成していない。

各個運搬の場合

- ① 流出する火山灰は、斜面途中の凹凸部分の低い方向に流れ、流出した火山灰は左右に広がる。
- ② 斜面上の火山灰は、流水の開始と同時に中央部が侵食され続け、ついには、といの両側に火山灰が残ったまま斜面の底版を水が流下するだけとなる。残留した火山灰の含水状態は、実験前と大差がない。
- ③ 中間流出水の発生はない。
- ④ 火山灰は水によって運搬されるため、運搬過程で火山灰が細粒と粗粒に分離する傾向があり、堆積された火山灰は層構成を成す。集合運搬によって堆積された場合よりも各個運搬によって堆積した火山灰層の密度は大きい。

次に、流水強度と斜面傾斜角度の関係についてみると、流水強度が100、200 ℓ/min と大きいと、流下水の掃流力によって侵食され、50 ℓ/min であると、流下水は火山灰層中に浸透して高含水となり集合運搬される。逆に流水強度が25、35 ℓ/min と小さいと、流下水は50 ℓ/min と同様に浸透してしまうが、斜面上部から注いだ水は、模型斜面中を中間流出水となって出てしまい、一定の含水状態を保ったまままで崩壊には至らない。

このようなことから考えて、斜面および集水カ所の浸透能によって、侵食的泥流が発生するか、集合運搬による泥流が発生するかが左右されるものと思われる。また浸透能は、堆積火山灰の粒度によって左右されるから、この実験結果も堆積火山灰の粒度によって大きく変化するものと思われる。

昭和53年の現地調査で見られたV型崩壊は、この実験結果から見ると、ほとんど集合運搬によるものと思われるが、その上部（上流部）については侵食溝が発生していることから、いったん各個運搬されて一時的に堆積していた火山灰が、集合運搬によって崩壊したものと思われる。

(3)ー2 泥流発生までの時間と流量

図一6・2・3は、斜面傾斜角度と泥流発生までの時間の関係を示す。ここで泥流発生の時間とは、作成した模型斜面の最下端から火山灰が崩壊して流出した時までの時間であり、その前に斜面中間で火山灰が移動することもあるが、判定が困難なため測定していない。また、崩壊形態の異なるものを同一図で比較するには問題もあるが、3種類の崩壊形態を完全に区分することは困難であり、これらの傾向をとらえるにあたってはさしつかえはないであろう。

同図によれば、泥流の発生する時間は、流水強度 $Q=35\text{ ℓ/min}$ で8～21分、 $Q=50\text{ ℓ/min}$ で6～18分、 $Q=100\text{ ℓ/min}$ で5～8分、 $Q=200\text{ ℓ/min}$ で3分程度でそれぞれ発生してい

ることがわかる。

一方、図-6・2・4は、斜面傾斜角度と泥流発生までの流水量の関係を図示したものであるが、 $Q=50\ell/\text{min}$ の場合を除いて斜面の傾斜角度による顕著な差は見られない。

また、泥流発生までの流水量（泥流発生までの時間 $\times$ 流水強度）は、侵食的泥流が発生する場合の流水強度 $Q=200\ell/\text{min}$ で $600\sim 700\ell$ 、 $Q=100\ell/\text{min}$ で $500\sim 750\ell$ 、 $Q=50\ell/\text{min}$ で $320\sim 850\ell$ の流水量で泥流が発生している。これらの結果によれば、流水形態が異なることから、単純に比較はできないが、この程度の実験規模でいずれも 1m^2 未満の流水量で崩壊に至っていることから、現地においても比較的少量の水で泥流発生の可能性のあるものと予想される。

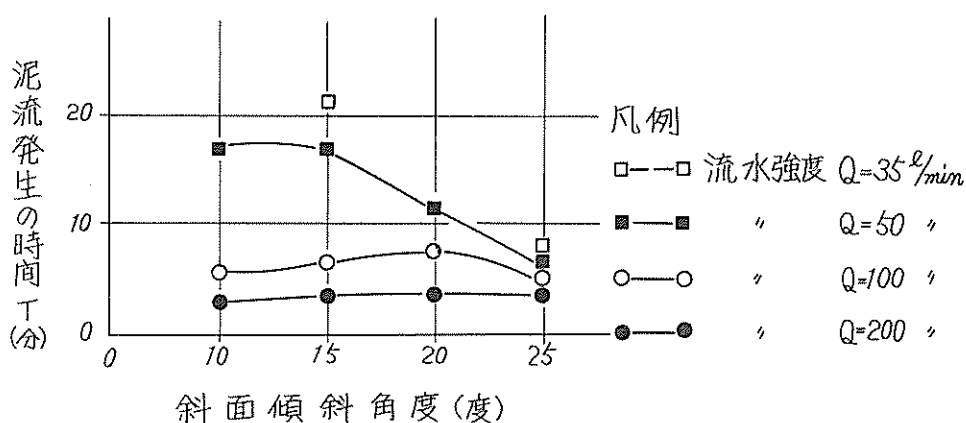


図-6・2・3 泥流発生までの時間と斜面傾斜角度

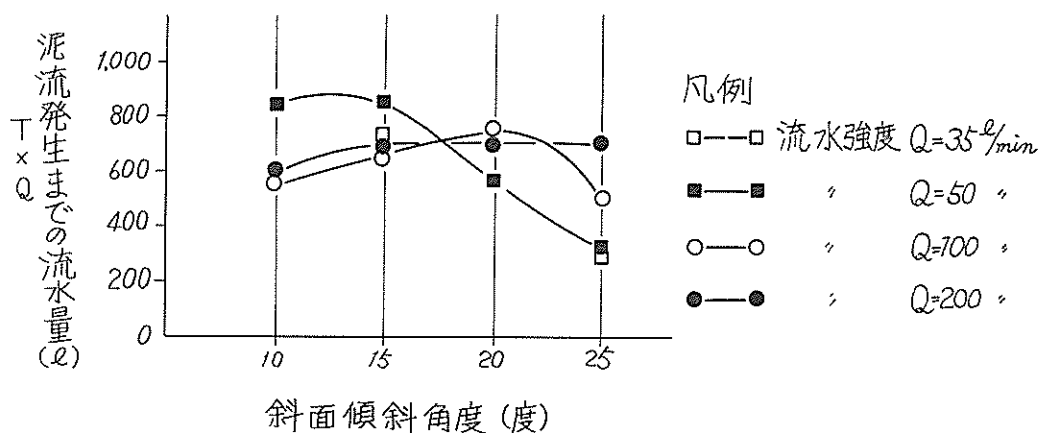


図-6・2・4 泥流発生までの流水量と斜面傾斜角度

(3)ー 3 崩壊の規模と性質

図ー 6・2・5～6・2・8は、斜面傾斜角度と実験終了時の流出火山灰の到達距離、縦断勾配、広がり幅などの関係を図示したものである。この結果を流水強度別にまとめると表ー 6・2・3 のようになり、流水強度の大きい方が泥流としての規模、流出範囲は大きいことがわかる。しかし、泥流の崩壊状況の観察では、流動中の泥流の衝撃力および慣性力は、流水強度50ℓ/min の場合がいずれの斜面傾斜角度でも大きかったように思われる。

表ー 6・2・3 崩壊特性の総括表

流水強度 項目	縦断勾配	到達距離	広がり幅	備考
50ℓ/min	10.0～42.5%	1.70～5.40 ^m	2.25～3.00 ^m	
100	7.5～15.0	4.00～7.80	2.25～3.40	
200	5.0～22.5	4.00～8.00	2.70～4.40	

火山灰堆積斜面を侵食する水の掃流力について調べた結果を図ー 6・2・9と6・2・10に示すが、図ー 6・2・9は、斜面傾斜角25°の場合における流水強度と一時的な堆積位置の関係、図ー 6・2・10は、流水強度200ℓ/minの場合における斜面傾斜角度と一時的な堆積位置の関係を示したものであるが、ここでの一時的な堆積位置とは、火山灰堆積斜面の表面に流水を与えた直後、水によって侵食されながら流送され、模型斜面中に一時堆積した位置を示すものであり、これらの堆積した火山灰は、その後、各個運搬あるいは集合運搬によって崩壊に至る。

(3)ー 4 流出火山灰の粒度組成

表ー 6・2・4は、模型斜面から流出した火山灰の粒度組成を示す。表中の「表面」とは流出した火山灰の表面の粒度、「底面」とは流出した火山灰の最下層の粒度であるが、現地と同様に、表面に近い方が粗粒の火山灰が堆積される傾向がある。ただし、各個運搬によって崩壊し、天井川が発生するような場合は、その天井川になったカ所については表面に細粒分が堆積することもある。

表ー 6・2・4 流出火山灰の粒度特性

ふるい	項目	表面	底面	備考
74μふるいの経過率	$\bar{X}$	3.62	15.84	$\bar{X}$: 平均値 σ : 標準偏差 c : 変動係数
	σ	3.06	7.50	
	c	83	47	
420 " "	$\bar{X}$	4.46	23.86	
	σ	0.06	8.88	
	c	89	37	
2,000 " "	$\bar{X}$	12.36	54.60	
	σ	12.35	16.05	
	c	100	29	
4,750 " "	$\bar{X}$	30.87	79.84	
	σ	22.09	16.71	
	c	71	21	

この実験においては、各実験の使用材料が必ずしも同一でないために数値による単純比較は困難であったが、主観的な判断も加えて細粒分の多い順を示すと表-6・2・5のようになる。細粒分の多い火山灰は流動性に富むものと想像されるが、ここでは明確な結果は得られなかった。

表-6・2・5

項 目 \ 位 置	表 面	底 面	備 考
一 気 に 泥 流 発 生	4	3	厚き方向に比較的均一である
侵食的泥流で堆積した後泥流発生	6	2	
侵 食 的 泥 流	5	1	天井川の発生する場合有り、部分的には、表面にも細粒火山灰は存在する

一方、流動中の火山灰の含水比は、集合運搬の場合には50~75%、各個運搬の場合には90~150%となっていた。一般的に、堆積している火山灰の含水比と粒度は密接な関係があることから、流動中の含水比も粒度によって大きく異なるものと思われる。

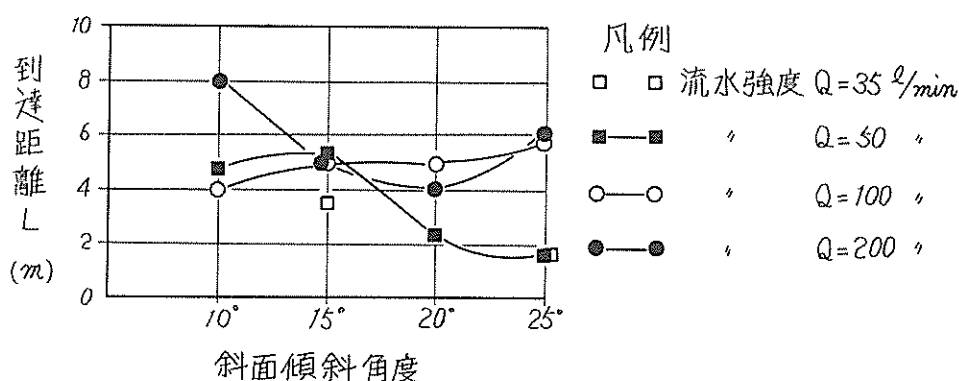


図-6・2・5 泥流の到達距離と斜面傾斜角度

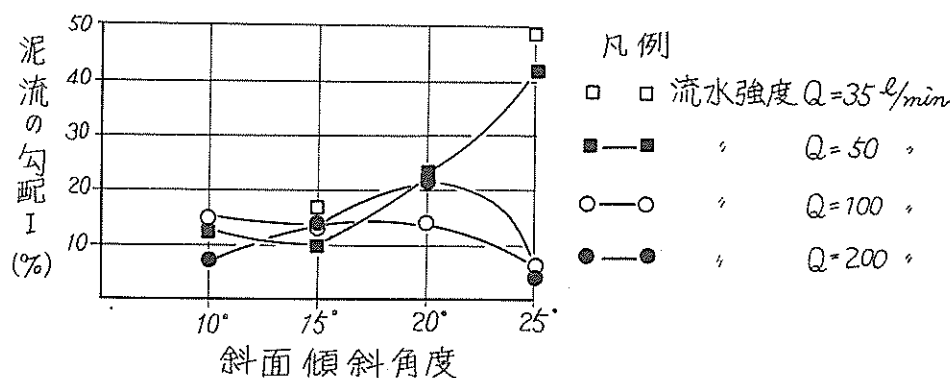


図-6・2・6 泥流の勾配と斜面傾斜角度

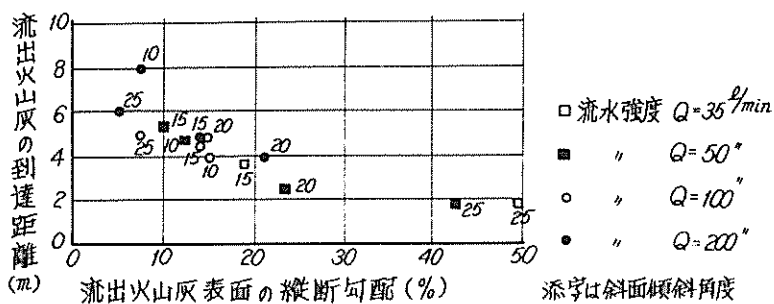


図-6.2.7 流出火山灰の到達距離とその縦断勾配

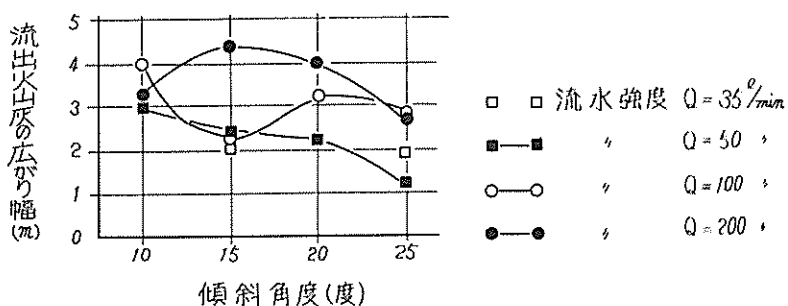


図-6.2.8 流出火山灰の広がり幅と斜面傾斜角度

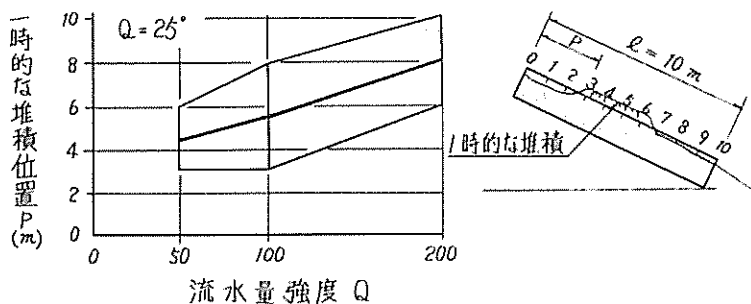


図-6.2.9 一時的な堆積位置と流量強度

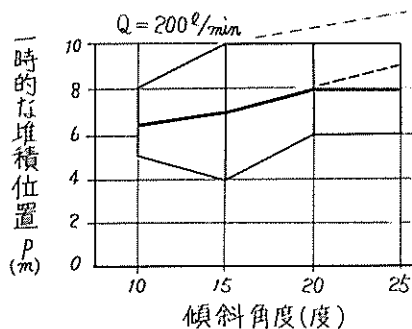
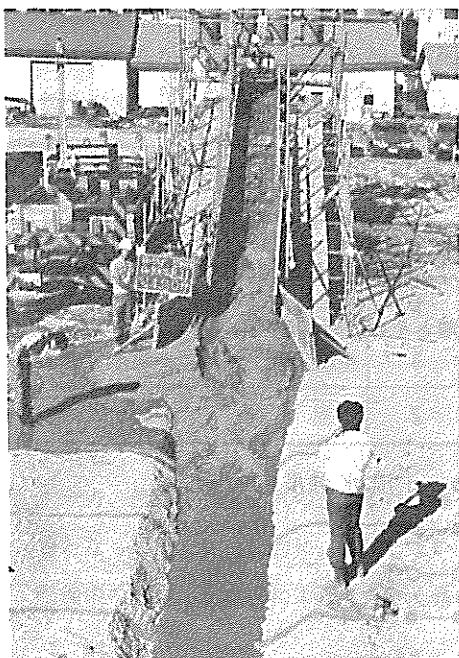
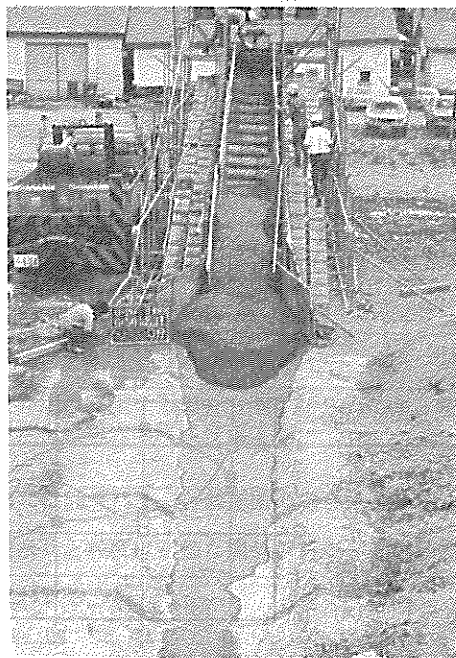


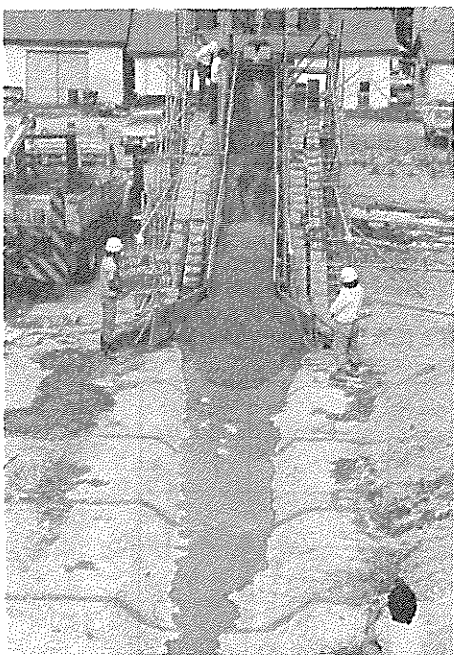
図-6.2.10 一時的な堆積位置と斜面傾斜角度



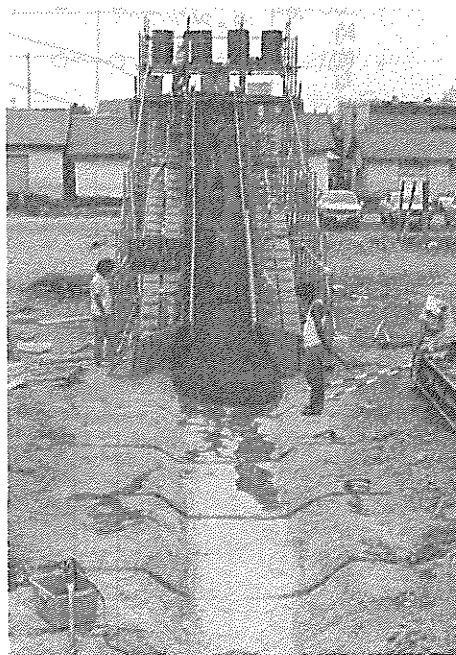
写-6.2.1
仮設実験装置



写-6.2.2
前兆なく一気に泥流発生



写-6.2.3
侵食的泥流で堆積した後
泥流発生



写-6.2.4
侵食的泥流

3 節 堆積火山灰の流動実験

(1) 実験目的

この実験は、泥流土砂の流動中における含水状態とそのコーン抵抗値などが、その粒度とどのような関係にあるかを調べるために行なったものである。

(2) 実験の結果と考察

図-6・3・1は、この実験に用いた試料の粒度曲線を示すが、図中に示す3試料はいずれも有珠山の火山灰であり、a 試料は、昭和53年9月中旬の水蒸気爆発によって噴出された火山灰で、採取地は小珠珠川の下流である。なお、b、c 試料は同図に示すように粒度調整を行なったものであるが、b 試料は昭和52年の大噴火時に堆積した最上層部、c 試料はそのすぐ下の層に近似させたものである。

図-6・3・2は、図-6・3・1に示した3試料の火山灰に対して、特別に試作した、極めてせん断強さの小さい高含水比の土砂を対象とする静的コーン貫入試験機を用いて行なった、含水比とコーン貫入抵抗の関係を示すものである。

この実験にあたって、試料の密度調整は、それぞれ現場の堆積状況を考慮して行なったが、a 試料で乾燥密度 γ_d は 1.6 t/m^3 、b 試料で 1.4 t/m^3 、c 試料で 1.0 t/m^3 をそれぞれ目標としたが、a、b 試料は困難であり、含水調整のみを行なった。

この実験結果によれば、細粒火山灰ほど、含水比の増加（含水比10%以上）によるコーン貫入抵抗の減少する割合が大きく、含水比が35～45%では、コーンが自重貫入するほど抵抗値も小さい。b、c 試料のような粗粒の火山灰では、含水比20%程度から急激にコーン貫入抵抗値の減少が見られる。

また、図-6・3・1に示す各試料に対して、図-6・3・3に示すような方法で、含水比と流下距離、縦断勾配などを調べた。その結果を表-6・3・1・図-6・3・4～6・3・6に示す。これら含水比と諸値の関係は、いずれもa 試料の結果であり、b、c 試料については、試料と水が分離し、水だけが先行して流れ出し、試料はそのまま自立する結果となった。

これらの実験結果をまとめると、細粒のa 試料については、含水比が20%になると強度が著しく減少し、30%付近に液性限界があり、35%程度になると流動し始めるが、b、c 試料のように粗粒になると流動しないこともわかった。このことから、火山灰の流動性は、その粒度に大きく左右されるものと思われる。

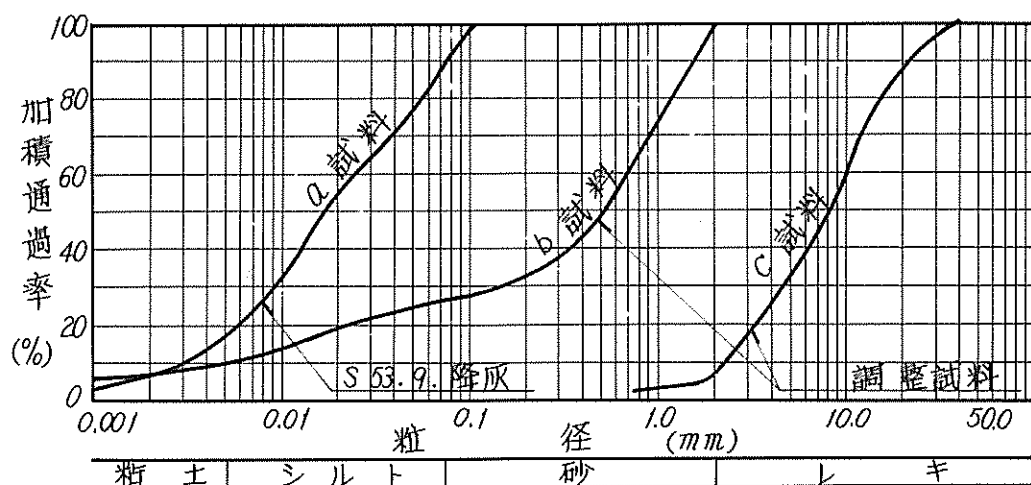
このような結果から、水蒸気爆発による細粒の火山灰の堆積が、泥流発生を助長する一要因となることがうかがわれる。

一方、実際に現場に堆積している泥流土砂の粒度は、b から c 試料の範囲の粒度である（図-

4・2・3～4・2・6参照)こと、および、現場において、流動しようとする火山灰ならびに流動しているその含水比は、今回の実験で得られた細粒火山灰の流動を生ずる含水比である35%をはるかに上回っているものと思われる。

表一 6・3・1 含水比と流動性に関する試験結果

項目 含水比	ℓ (cm)	ℓ_1 (cm)	ℓ_2 (cm)	ℓ_3 (cm)	h (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	$\bar{\theta}$ (度)	θ_1 (度)	θ_2 (度)	θ_3 (度)	備 考
25.8%	8.1	1.0	7.1	-	9.2	0	9.2	-	48.63	52.34	0	-	$\bar{\theta} \cdots \tan^{-1} \frac{h}{\ell}$
28.7	7.2	0.5	6.7	-	9.2	0	9.2	-	51.95	53.94	0	-	
30.6	7.4	0.6	6.8	-	9.1	0	9.1	-	50.88	53.23	0	-	$\theta_1 \cdots \tan^{-1} \frac{h_1}{\ell_1}$
33.1	7.5	0.7	6.8	-	9.1	0	9.1	-	50.51	53.23	0	-	
35.5	8.5	1.3	7.2	-	7.7	0	7.7	-	42.17	46.92	0	-	$\theta_2 \cdots \tan^{-1} \frac{h_2}{\ell_2}$
37.9	10.5	2.1	8.4	-	7.9	1.4	6.5	-	36.96	37.73	14.53	-	
38.2	12.1	3.9	8.2	-	7.3	1.6	5.7	-	31.10	34.80	11.04	-	
39.8	15.3	6.8	8.5	-	6.5	1.5	5.0	-	23.02	30.46	10.01	-	
41.3	21.0	4.5	14.0	2.5	5.8	2.4	4.5	1.3	15.44	28.07	8.53	27.47	$\bar{\theta} \cdots \tan^{-1} \frac{h}{\ell}$
41.7	21.3	1.6	17.0	2.6	4.8	1.8	4.0	0.8	12.70	35.11	7.37	17.01	
41.8	25.0	2.7	20.0	2.3	4.6	1.6	3.0	1.6	10.43	30.65	4.00	34.82	$\theta_1 \cdots \tan^{-1} \frac{h_1}{\ell_1}$
43.0	29.2	2.4	24.2	2.6	4.6	1.5	3.1	1.4	8.95	30.01	3.78	28.30	
43.3	34.8	1.8	30.7	2.3	4.4	1.2	2.6	1.8	7.21	33.69	2.61	38.05	$\theta_2 \cdots \tan^{-1} \frac{h_2}{\ell_2}$
43.9	38.5	1.0	32.7	4.8	3.1	0.9	2.3	0.8	4.60	41.99	2.45	9.46	
47.8	41.4	2.4	34.0	5.0	2.6	0.9	2.2	0.4	3.59	20.56	2.18	4.57	$\theta_3 \cdots \tan^{-1} \frac{h_3}{\ell_3}$
51.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



図一 6・3・1 流動実験試料の粒径加積曲線図

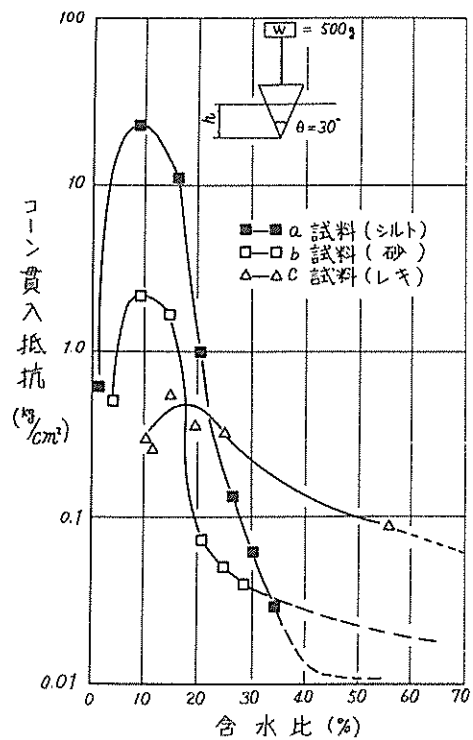


図-6・3・2 含水比とコーン貫入抵抗値

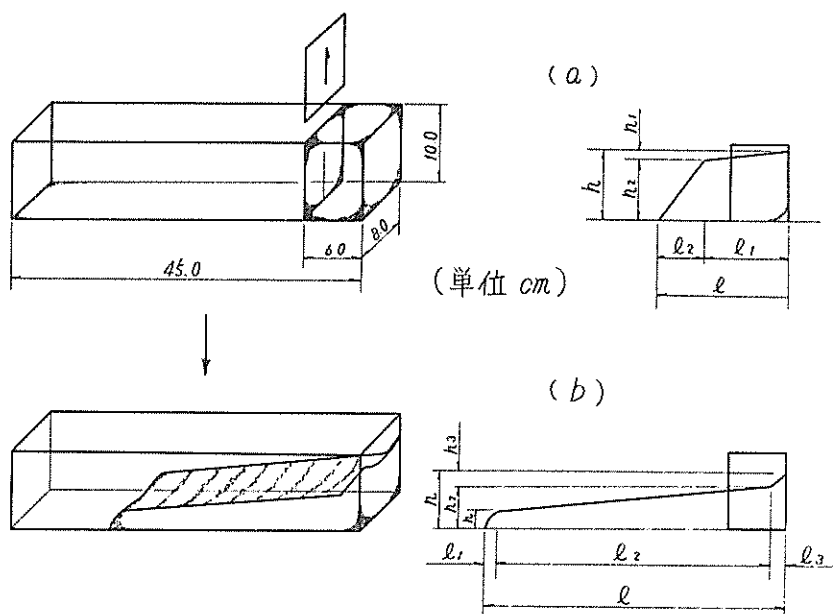


図-6・3・3 流動性に関する試験方法・測定方法

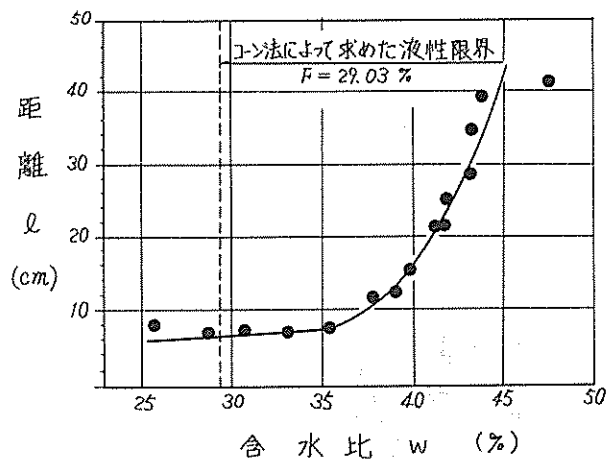


図-6.3.4 距離 l と含水比の関係

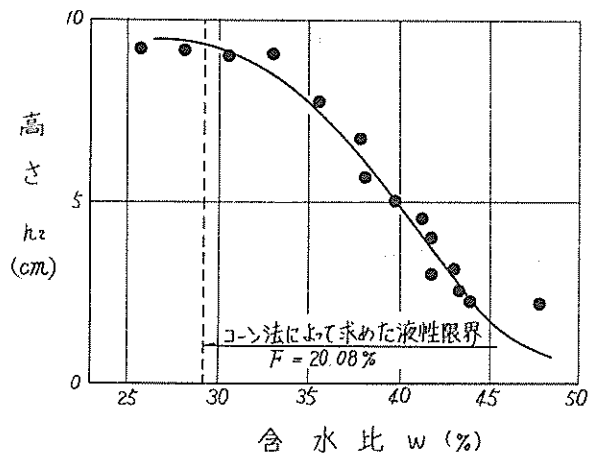


図-6.3.5 高さ (h_2) と含水比の関係

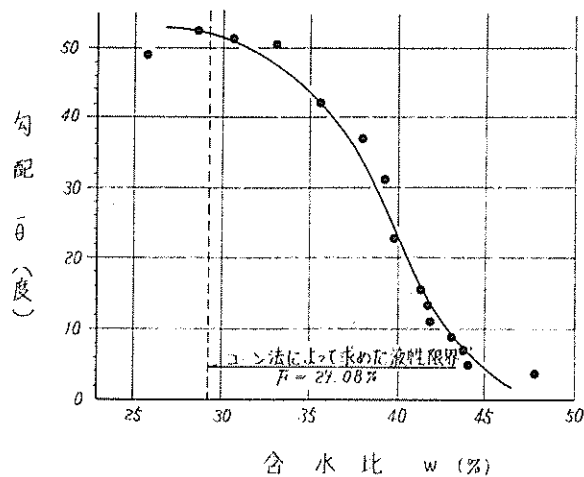


図-6.3.6 勾配と含水比の関係

7 章 火山灰堆積斜面の安定性に関する現地調査

1 節 火山灰堆積斜面の浸透能調査

(1) 調査目的

火山灰堆積斜面の浸透能を測定して、流出状況を把握する目的で実施した。

(2) 調査（試験）の方法

一般的に浸透能は、

$$re = r - fp$$

$$fp = fc + (fo - fc)e^{-kt}$$

ここに、 re ：過剰降雨（mm/hr）

r ：観測降雨（mm/hr）

fp ：浸透能（mm/hr）

fc ：最終浸透能（mm/hr）

fo ：初期浸透能（mm/hr）

k ：土質によって決まる常数（hr⁻¹）

t ：降雨開始からの時間（hr）

$(fp - fc)$ ：実験によって求まる値

t ：最終浸透能に達するまでの時間

fo ： $\ln(fo - fc)$ より求める

で表われ、

$$fp - fc = (fo - fc)e^{-kt}$$

$$\ln(fp - fc) = \ln(fo - fc) - kt \quad \ln(fp - fc)$$

となり、図-7・1・1に示すような関係で

表わされる。

t' 以降は $fp \doteq fc$ となるから

$$re = r' - fp \doteq r - fc$$

図-7・1・1 浸透能説明図

として、最も条件の悪い場合の最終浸透能を求めることにする。

火山灰堆積斜面の浸透能の測定は、図-7・1・2に示すような装置を試作して行なった。本装置を用いて浸透能を測定する際の諸数値の算出方法は次のとおりである。

$$\text{散水量 } C = \pi \cdot r^2 \cdot B \text{ (cc)}$$

実験降雨強度

$$E = \frac{60 \times 10 \times c}{\pi \cdot R^2 \cdot t} \text{ (mm/hr)}$$

$$\text{観測時間内の浸透量 } H = C - F \text{ (cc)}$$

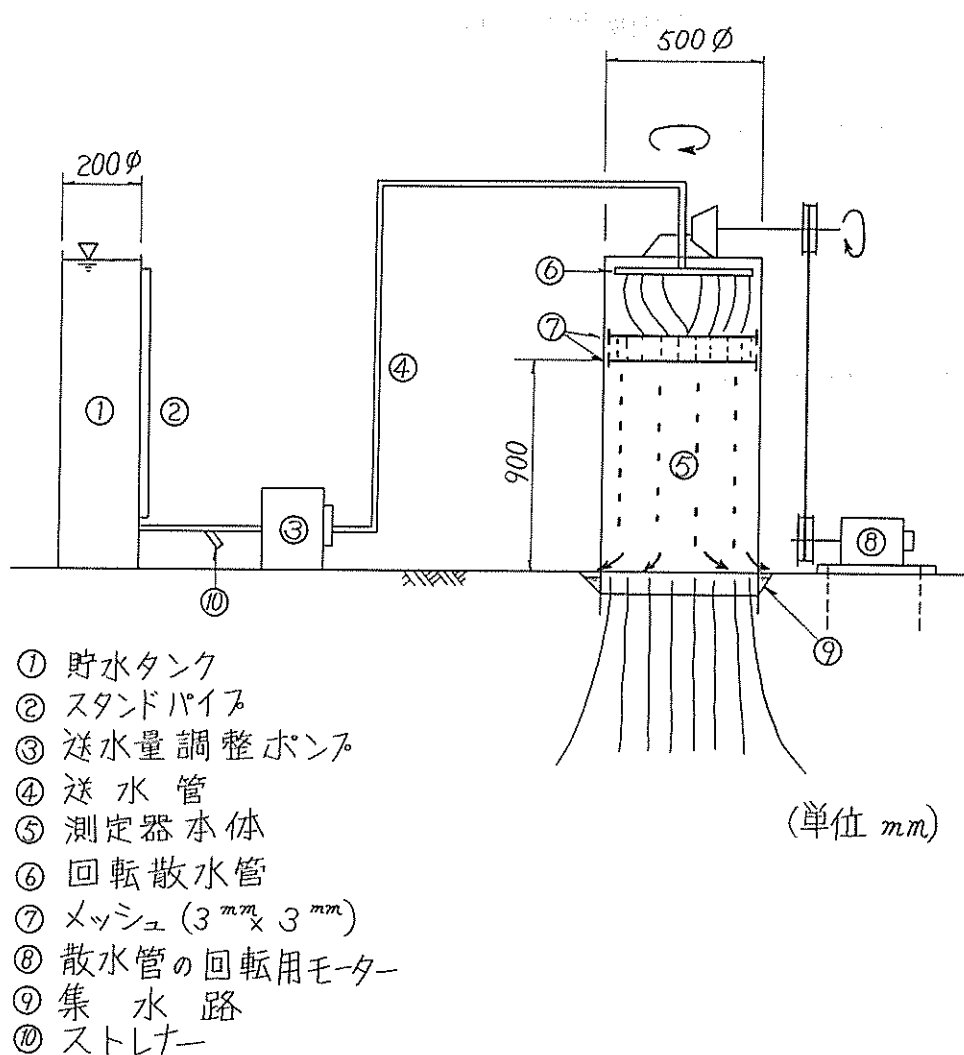


図-7・1・2 浸透能測定器概要図

観測時間内の流出率 $I = \frac{F}{C} \times 100 (\%)$

最終浸透能 $fc = (C - F) / (\pi \cdot R^2 t) (cm/min)$

ここに、 R : 散水面の半径 (cm)

r : 貯水槽の内半径 (cm)

t : 観測時間 (min)

F : 流出量 (cc)

B : スタンドパイプの水頭差 (cm)

なお、観測時間内の流出量の測定は、5分間隔として、120分間を原則として行なった。その測定例を表-7・1・1に示す。

表-7・1・1 測定例

流出係数（浸透量）測定データー

実験日

昭和53年10月4日

実験場所 2

実験者 浅瀬石昇

項目 時間(分)	A 貯水タンク 目盛(cm)	B 水頭差 (cm)	C 散水量 (cc)	D 累計散水 量(cc)	E 換算雨量 強度(mm/h)	F 流出量 (cc)	G 累計流出 (cc)	H 浸透量 (cc)	I 流出率 (%)	備 考
初期値	2030	—	—	—	—	—	—	—	—	C = B × 320.31
0~5	2055	2.5	800.8	800.8	49.0	71	71	729.8	8.9	
5~10	2077	2.2	704.7	1505.5	43.1	46.0	53.1	244.7	65.3	E = B × 97.930 ÷ 測定時間(分)
10~15	210.05	2.35	752.7	2258.2	46.0	58.8	111.9	164.7	78.1	
15~20	212.25	2.2	704.7	2962.9	43.1	61.0	172.9	94.7	86.8	H = C - F
20~25	214.5	2.25	720.7	3683.6	44.1	62.8	235.7	92.7	87.2	
25~30.5	217.0	2.5	800.8	4484.4	49.0	68.5	304.2	115.8	85.5	I = F / C
30.5~35	219.0	2.0	640.6	5125.0	43.5	58.2	362.4	58.6	90.9	
35~40	221.2	2.2	704.7	5829.7	43.1	64.9	427.3	35.7	92.1	測定場所の降灰厚、その他の現場状況等の 記入
40~45	223.3	2.1	672.7	6502.4	41.1	63.3	490.6	39.7	94.1	
45~50	225.55	2.25	720.7	7223.1	44.1	64.5	555.1	75.7	89.5	
50~55	227.75	2.2	704.7	7927.8	43.1	64.8	619.9	56.7	92.0	
55~60	230.0	2.25	720.7	8648.5	44.1	65.0	684.9	70.7	90.2	
60~65	232.2	2.2	704.7	9353.2	43.1	65.2	750.1	52.7	92.5	
65~70	234.45	2.25	720.7	10073.9	44.1	65.0	815.1	70.7	90.2	
70~75	236.55	2.1	672.7	10746.6	41.1	64.1	879.2	31.7	95.3	
75~80	238.8	2.25	720.7	11467.3	44.1	65.1	944.3	69.7	90.3	
80~85	240.95	2.15	688.7	12156.0	42.1	65.2	1009.5	36.7	94.7	
85~90	243.05	2.1	672.7	12828.7	41.1	65.0	1074.5	22.7	96.6	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
120~125	245.3	2.25	720.7	13549.4	44.1	66.0	1140.5	60.7	91.6	
125~130	247.45	2.15	688.7	14238.1	42.1	65.8	1206.3	30.7	95.5	
130~135	249.6	2.15	688.7	14926.8	42.1	67.0	1273.3	18.7	97.3	
135~140	251.8	2.2	704.7	15631.5	43.1	67.0	1340.3	34.7	95.1	
140~145	253.9	2.1	672.7	16304.2	41.1	66.9	1407.2	3.7	99.5	
145~150	256.05	2.15	688.7	16992.9	42.1	67.8	1475.0	10.7	98.5	
150~155	258.2	2.15	688.7	17681.6	42.1	66.9	1541.9	19.7	97.1	
155~160	260.4	2.2	704.7	18386.3	43.1	66.9	1600.8	35.7	94.9	

(3) 調査（試験）の結果と考察

図一 7・1・3 は、浸透能測定を行なった近辺の火山灰層の層序ならびに粒度組成の代表値を示す。

表一 7・1・2 は、浸透能測定の調査結果の一覧表、図一 7・1・4～7・1・6 は、実験降雨強度と最終流出率、最終浸透能、およびそのときの時間をそれぞれ示したものであるが、ここで実験降雨強度とは、浸透能測定を行なうため斜面に供給した時間当り降雨量をさす。なお、浸透能の測定にあたっては、これまで発生した水蒸気爆発前の小規模な泥流、水蒸気爆発後の大規模な泥流などが、図一 7・1・3 に示す最上層面の細粒火山灰上と表面から 6 cm 深の粗粒火山灰に起因しているものとし、これらの面上で実施することとした。また、参考のため、沢の中の泥流堆積物、および在来地盤の浸透能についても実施している。

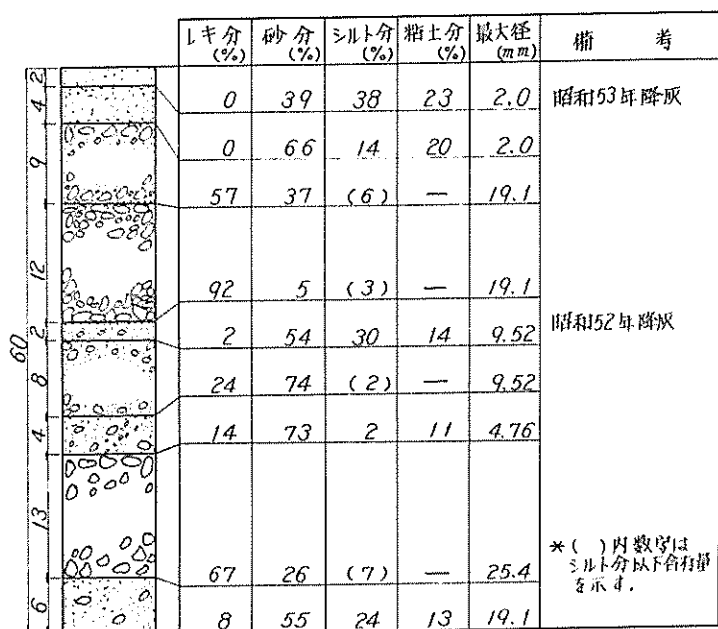
図一 7・1・4 によれば、最終流出率は、細粒火山灰上で 80～95%、粗粒火山灰上で 2～15% となっており、斜面傾斜角 θ のちがいは明確に現われてない。

図一 7・1・5 によれば、最終浸透能、最終流出率を有するまでの時間 t' は、粗粒火山灰上の $\theta = 0^\circ$ で 5 分程、 $\theta = 20^\circ$ で 6～8 分、 $\theta = 30^\circ$ で 20～25 分、細粒火山灰上 $\theta = 0^\circ$ で 12～25 分、 $\theta = 20^\circ$ で 18～30 分となっており、粗粒火山灰上と細粒火山灰上での最終浸透に達するまでの時間は、斜面傾斜角度が大きくなるにしたがい長くなる傾向にある。

図一 7・1・6 によれば、最終浸透能 f_c は、細粒火山灰上では $2 \sim 75 \times 10^{-3} \text{ cm/min}$ 、粗粒火山灰上で $1 \sim 16 \times 10^{-1} \text{ cm/min}$ となっており、これを時間当りに換算すると前者は $12 \sim 45 \text{ mm/hr}$ 、後者は $60 \sim 96 \text{ mm/hr}$ となる。

以上のようなことから、水蒸気爆発によって堆積した細粒分の多い火山灰の浸透能は、図一 7・1・3 に示すような粗粒分の多い火山灰の浸透能に比べて $\frac{1}{20}$ 程度となっており、細粒火山灰で覆われた斜面の降雨時の流出係数は、表一 7・1・2 の最終流出率から明らかなように、大きなものとなることが予想される。ここで求めた最終流出率は、試験面積の小さい原位置試験の結果であるため、この値をそのまま流出係数と考えるのは無理かもしれないが、流出係数のオーダーとしてはこの程度のものであろうと思われる。

一方、粗粒火山灰上の最終浸透能は非常に大きい、火山灰層内に比較的細粒な火山灰層が狭在していたり、透水性の悪い地山がある場合には、一旦浸透した水が、それらの面に滞水し、ボーリングもしくはパイピング現象などを生じて集水流下することも考えられる。したがって、粗粒火山灰に覆われた斜面でも、泥流発生の可能性はないと断定できないであろう。



旧地盤線

調査月日 昭和53年9月

調査場所 西山川地域(木の奥田地の横)

図-7・1・3 1次堆積火山灰のプロフィールと粒度組成

表-7・1・2 浸透能調査結果一覧表

項目 番号	傾斜角	地 表 状 態	換算降雨 強度 (mm/h)	最終浸透量 (cc/cm ² /min)	最終流出率 (%)	最終流出率 を呈する までの時分	備 考
1	0°	細粒火山灰(地表面)	22.5	6.67×10^{-3}	82.2	47.5	
2		" (")	43.0	4.66×10^{-3}	93.5	25.0	
3		粗粒火山灰(GL-6cm)	74.8	1.20×10^{-1}	4.1	5.0	
4		" (")	73.7	1.21×10^{-1}	1.3	5.0	
5		細粒火山灰(地表面)	20.6	3.30×10^{-3}	90.4	12.5	
6	0°	" (")	74.2	5.69×10^{-3}	95.4	2.5	
7		粗粒火山灰(沢)	35.4	1.62×10^{-2}	72.6	30.0	
8		" (沢)	71.0	4.92×10^{-2}	58.4	35.0	
9		旧地山(GL-54cm)	31.8	1.86×10^{-2}	64.9	20.0	
10		" (")	68.7	8.01×10^{-3}	93.0	10.0	
11	20°	細粒火山灰	20.4	3.64×10^{-3}	89.3	30.0	
12		"	46.2	3.15×10^{-3}	95.5	17.5	
13		粗粒火山灰(GL-6cm)	74.8	1.11×10^{-1}	10.4	7.5	
14		" (")	96.1	1.57×10^{-1}	1.9	5.0	
15	30°	" (")	67.5	9.72×10^{-2}	13.6	20.0	
16		" (")	79.7	1.24×10^{-1}	7.0	25.0	

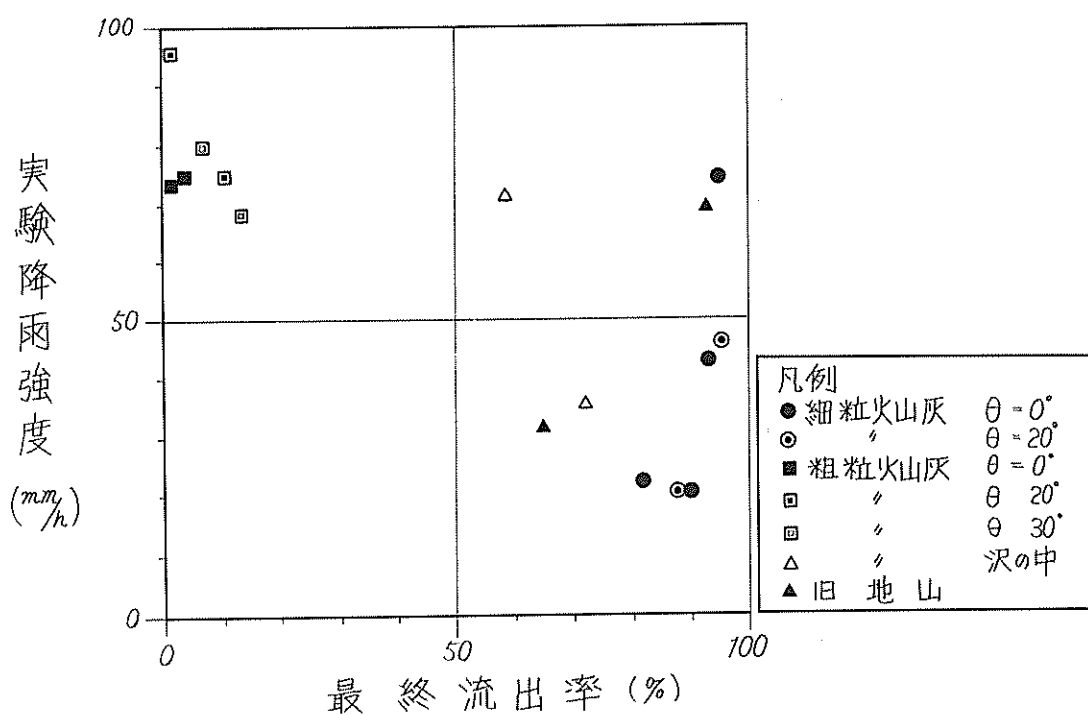


図-7・1・4 実験降雨強度と最終流出率

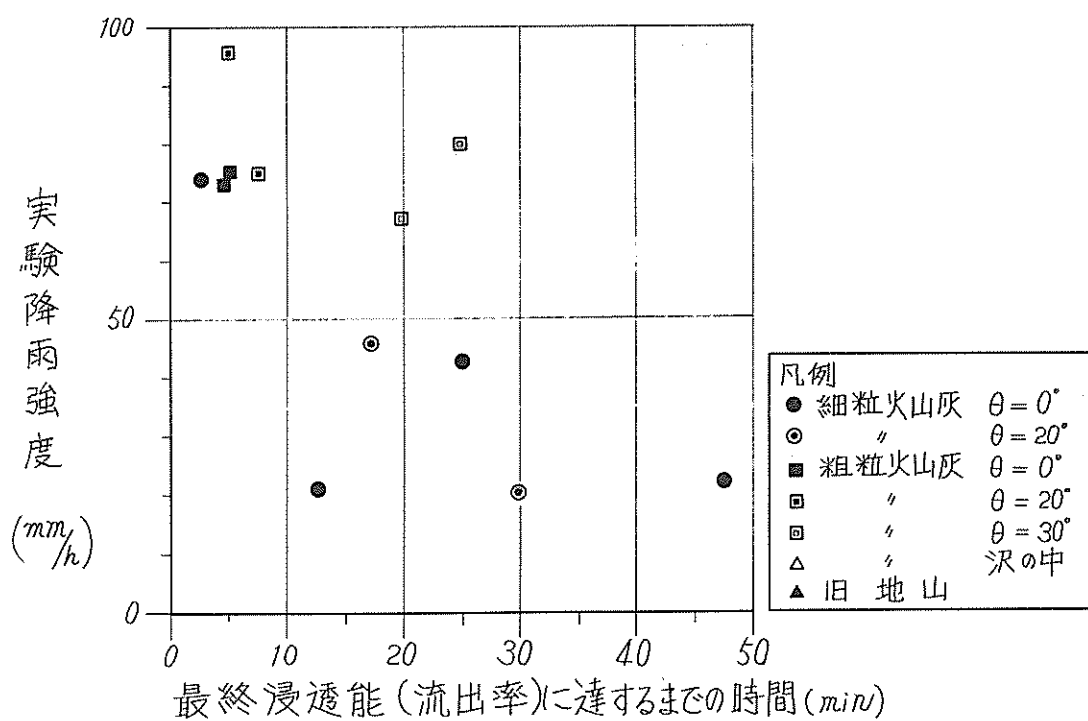
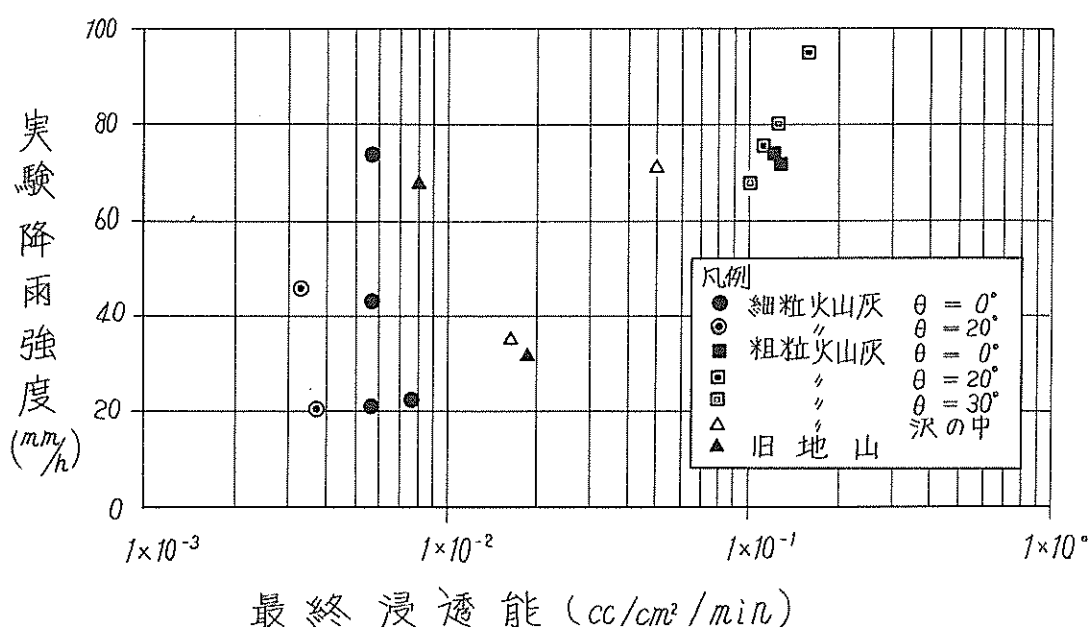


図-7・1・5 実験降雨強度と最終浸透能に達するまでの時間



図一 7・1・6 実験降雨強度と最終浸透能

2 節 火山灰堆積斜面の侵食に関する調査

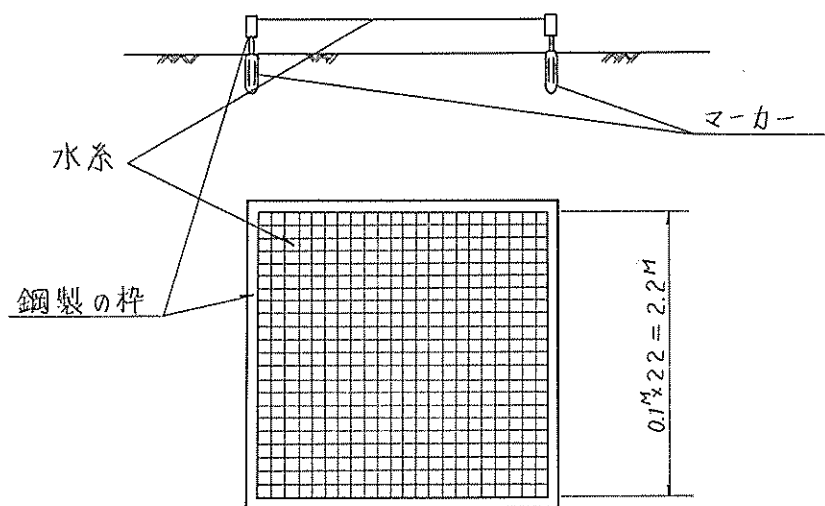
(1) 調査目的

本調査は、現地において、降雨特性や斜面の傾斜角、および斜面長などの変化によって、侵食度合がどの程度異なるかを調べるために行なったものである。

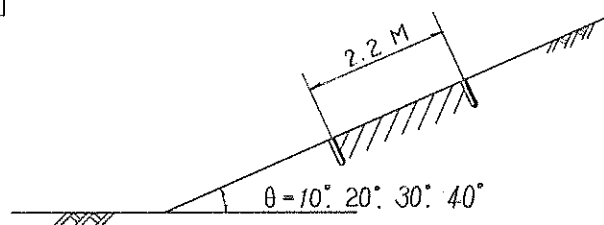
(2) 調査概要

この侵食に関する調査は、図一 7・2・1 に示すような銅製の測定枠を作成し、この枠に水系で10cmメッシュを作り、この測定枠を斜面に設置してメッシュの格点の高さを測定して、斜面の侵食状況を測定した。これらの測定箇所を図一 7・2・2 に示す。

調査に際しては、降雨特性が同じ条件であって比較的斜面長が短かく、つとめて凹凸の少ない斜面で、傾斜角10°、20°、30°、40°を有するもの、計4面（これを単一斜面と称す）、比較的斜面長が長く、傾斜角30°の斜面上で、上下方向に選定した5箇所の測定面（これを同一斜面と称す）について、降雨による侵食の程度を観測することとした。なお、調査の期間は、昭和53年6月から同年9月までである。



● 単一斜面



● 同一斜面

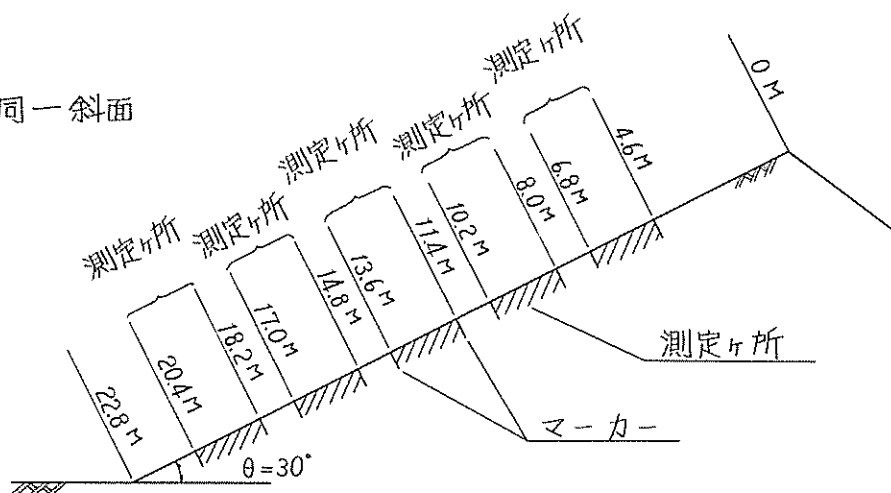


図-7・2・1 斜面侵食形態測定柵設置図

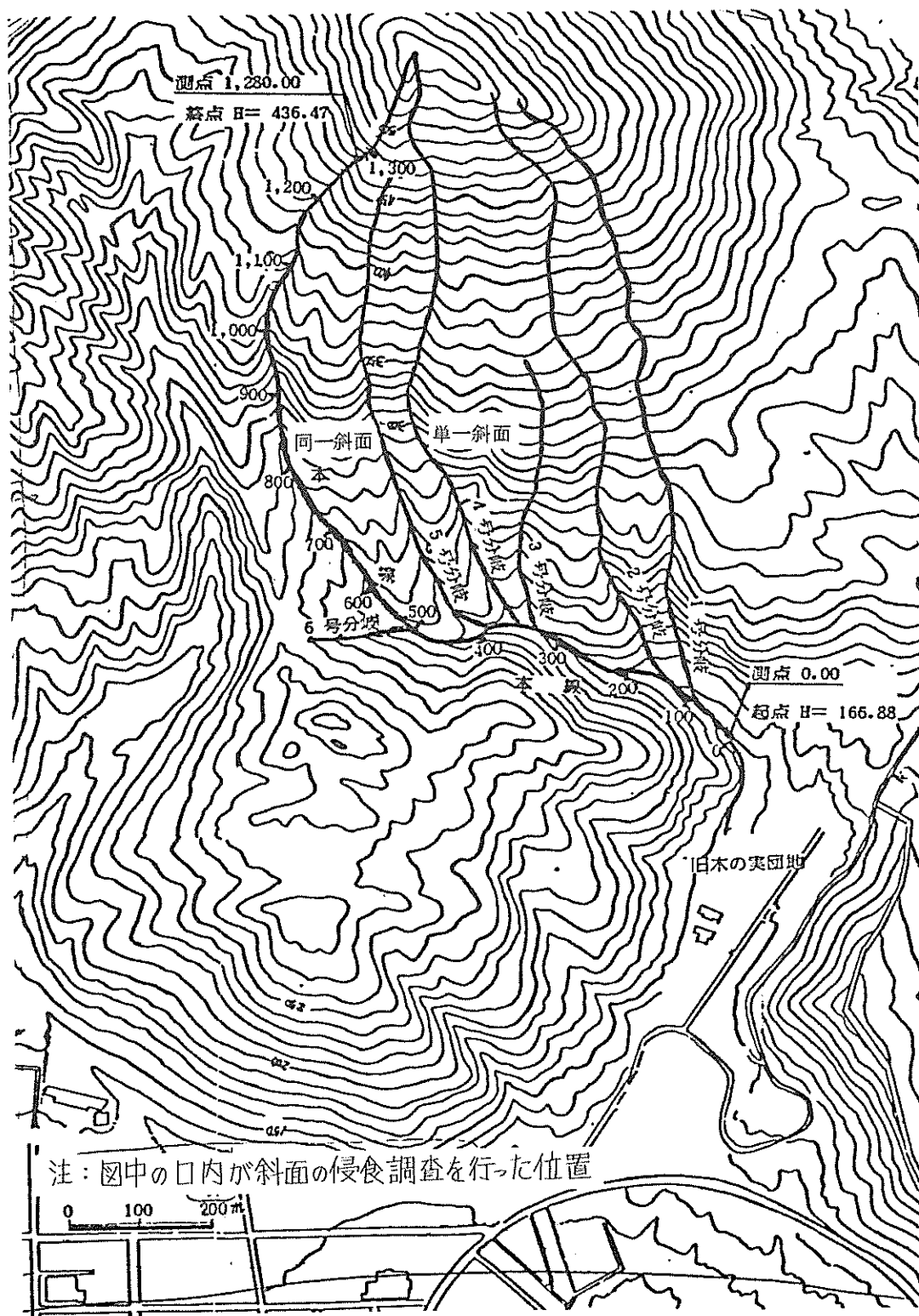


図-7.2.2 侵食調査カ所位調図

(3) 調査の結果と考察

(3)－1 単一斜面

図－7・2・3～7・2・6は、傾斜角10、20、30、40度を有する火山灰堆積斜面において、侵食状況の経時変化を3回測定した結果について土量で図示したものである。この土量の算定は、10cmメッシュごとに横断形状を測定し、これを斜面下方に向かって累計したものである。これらの測定箇所において、最も変化が顕著に現われた試験斜面と、逆に小さかった場合の各測定ごとの状況を写真7・2・1～7・2・6に示した。

図－7・2・7は各測定期間中の時間当り降雨量とそのひん度、ならびにその期間中の総雨量について表わしたものである。これらの調査結果から、斜面傾斜角度が、10、20°の場合は、ほとんど変化していないことがわかった。これは、調査時点の有珠山全体についての踏査の結果と同様の結果であった。また、斜面傾斜角度が30、40°の場合は、2回目（7月6日）の測定時点で、1回目より大きく侵食しているが、この間の総雨量は162mmと大きく、また日雨量も60mm近い大雨があり、時間当り降雨量も10mm以上が3回発生していることから、大雨のために火山灰が堆積できず流下したものであると思われる。これらはさらに3回目（8月2日）の測定時点では、ともに堆積している結果になっているが、2回目と3回目の測定期間中の降雨量ならびに時間当り雨量は小さく測定されている。

(3)－2 同一斜面

図－7・2・8は、傾斜角30°を有する比較的長い火山灰堆積斜面における侵食状況の経時変化について、4回測定した結果を土量で図示したものである。

図－7・2・9は、各測定期間中における時間当りの降雨量とそのひん度を表わしたものである。写真－7・2・7～7・2・12には、同一斜面の測定箇所ならびに代表箇所の経時変化を示す。

これらの調査結果についてまとめると次のようなことがいえよう。

第1回の測定結果は、単一斜面の場合と同様に、前年からの降雨量によって侵食された状態であり、斜面の下方に幾分堆積されているがあまりきわだった変化は現われていない。

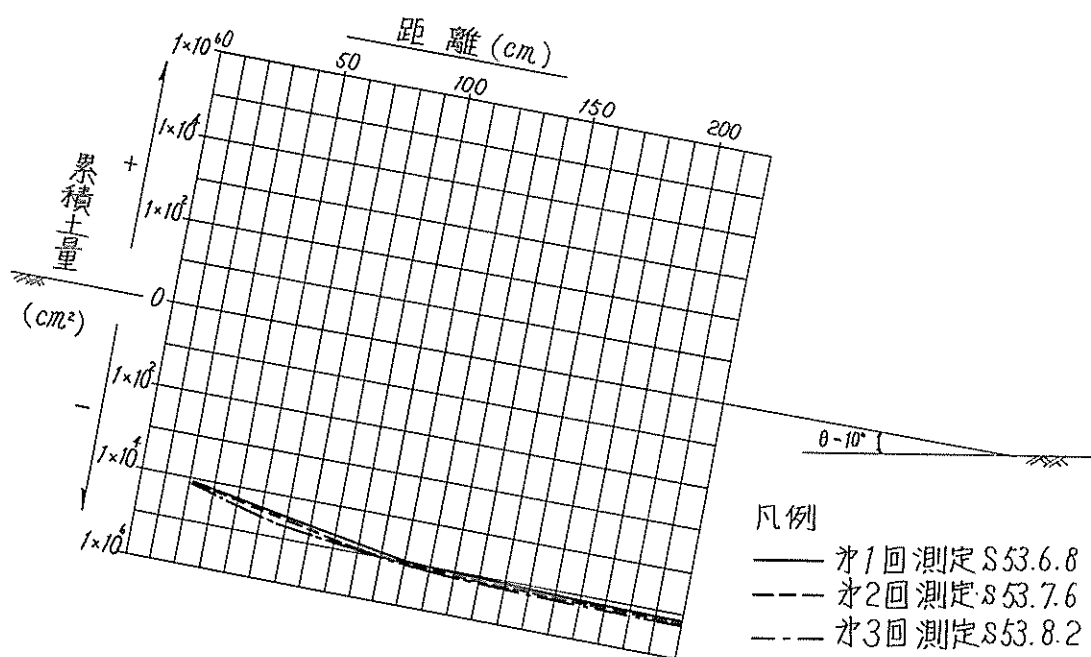
第2回の測定時には、それまでの総降雨量が109mm、時間当り降雨量10mm以上が2回、日降雨量60mm弱が1回と、測定期間中で最も大きな降雨量および時間当り降雨量が発生しており、このため斜面は全体的に侵食され、幾分下方に堆積した状態となっていた。

第3回、第4回の測定時には、いずれも、斜面は全体的に堆積され、下方で幾分侵食されている。これは、測定箇所の上面の斜面で侵食された火山灰が、大きな雨がなかったために斜面の中間に堆積したものと推定される。

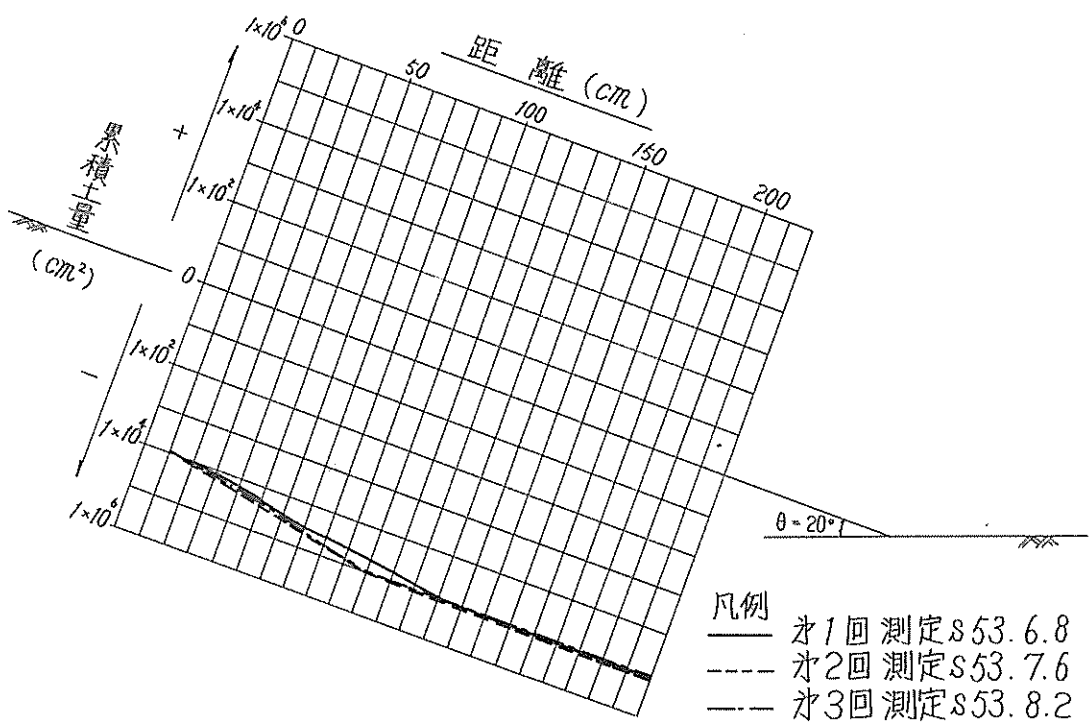
全体的に見て、斜面の下方にいくにしたがって、侵食および堆積量を示す曲線の勾配は大きく

なり、下方が斜面上方よりも侵食および堆積度合が大きい結果が得られている。

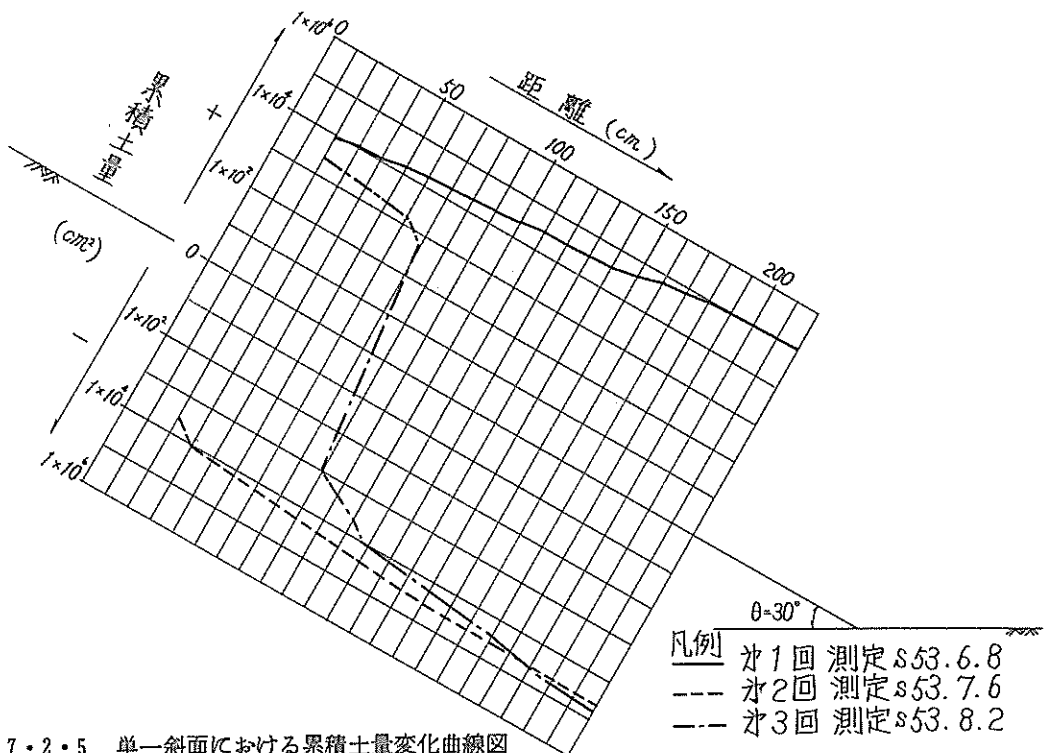
これらの結果は、測定斜面以外の側方等からの影響や測定箇所の上面の影響などが考えられ、この土量から山間部全体の侵食による流出土量を想定することは困難なことかもしれないが、仮りに求めると、西山川の流域面積 A $60,000 \text{ m}^2$ の内約50%程が、傾斜角度 30° を有する斜面であると仮定して、図一7・2・8に示す箇所の火山灰堆積斜面の面積は 4488 m^2 で、B点における侵食と堆積の差は約 45 m^3 であるから、西山川の支線も含めて、この期間中におおよそ $30,000 \text{ m}^3$ の火山灰が堆積したことになるといえよう。ただし、現場において侵食溝が発生しているのは、表層の細かい火山灰だけであることを考えると、幾分大きい値を与えていると思われる。



図一7・2・3 単一斜面における累積土量変化曲線図



図一 7・2・4 単一斜面における累積土量変化曲線図



図一 7・2・5 単一斜面における累積土量変化曲線図

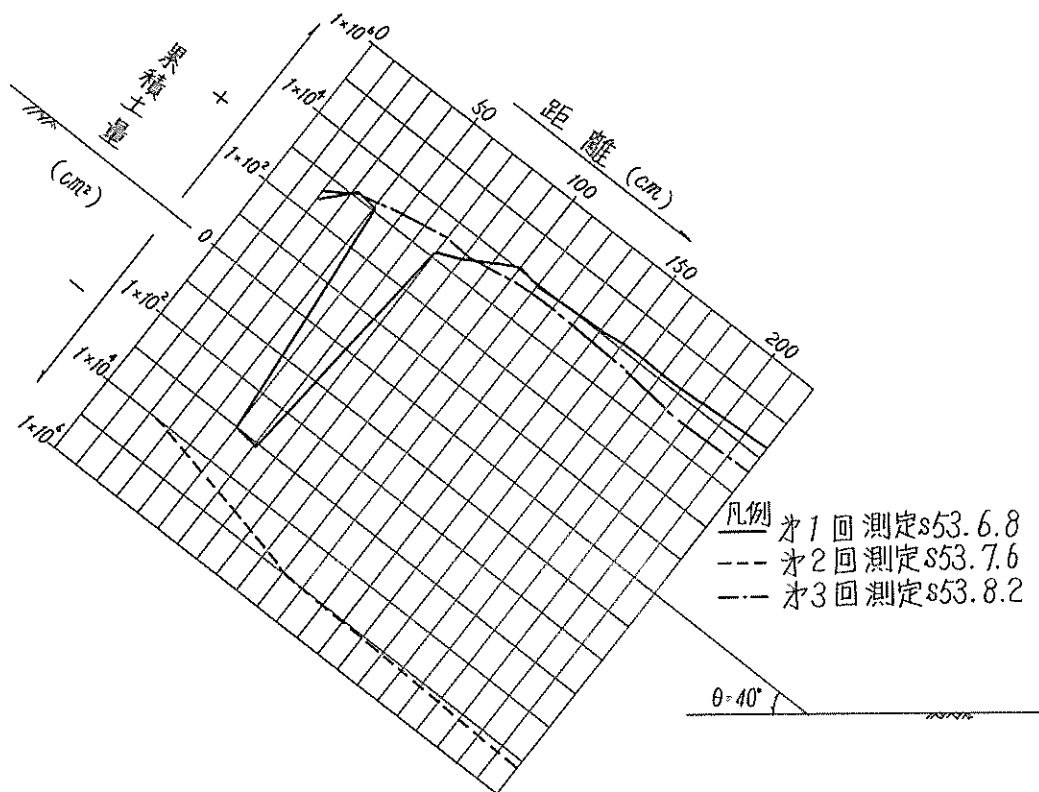


図-7.2.6 単一斜面における累積土量変化曲線図

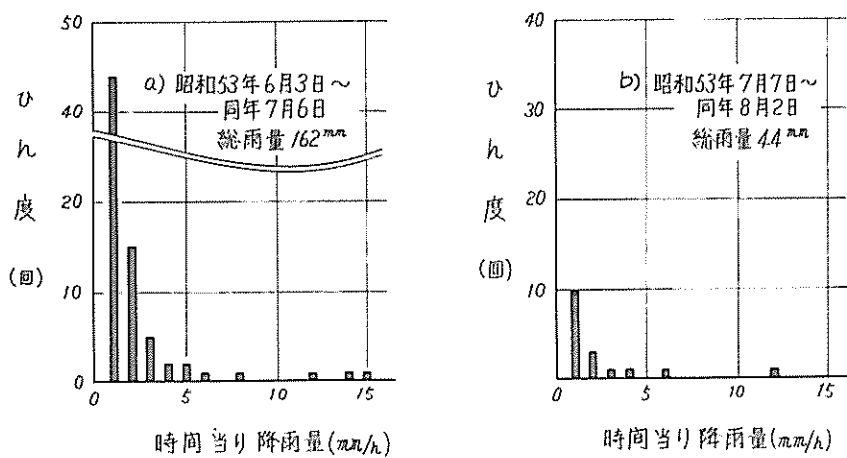


図-7.2.7 時間当り降雨量とそのひん度

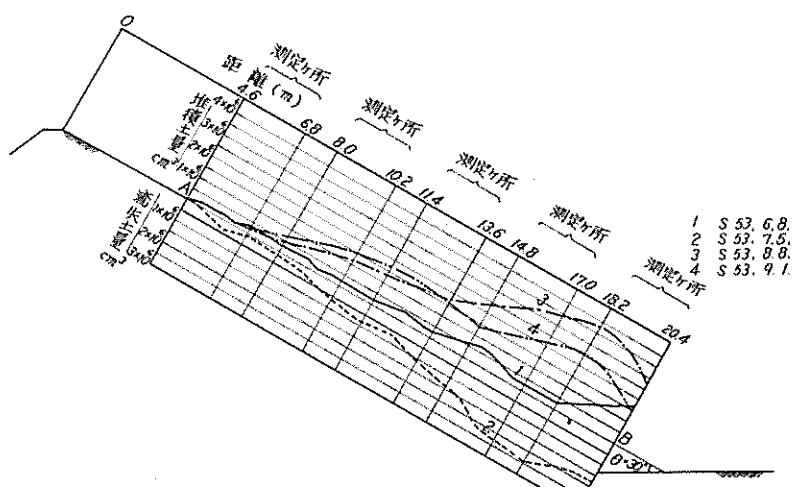


図-7.2.8 同一斜面における侵食の累積土量変化曲線

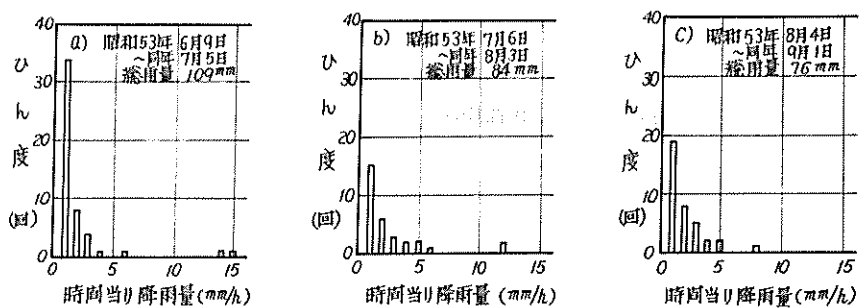
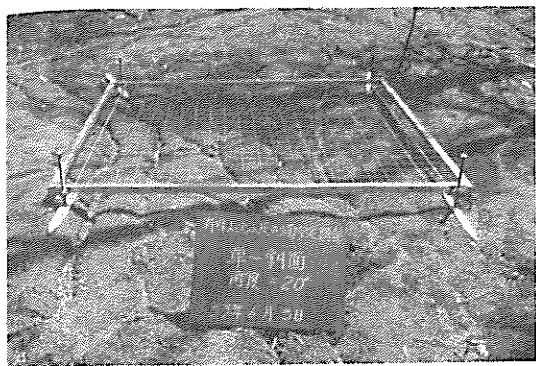


図-7.2.9 時間当りの降雨量とそのひん度



写-7.2.1

单一斜面 $\theta = 20^\circ$ 第1回目測定時



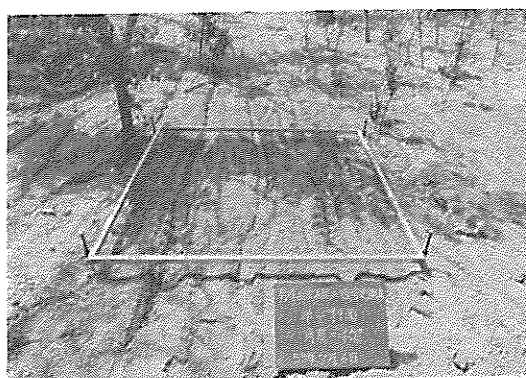
写-7.2.4

单一斜面 $\theta = 40^\circ$ 第1回目測定時



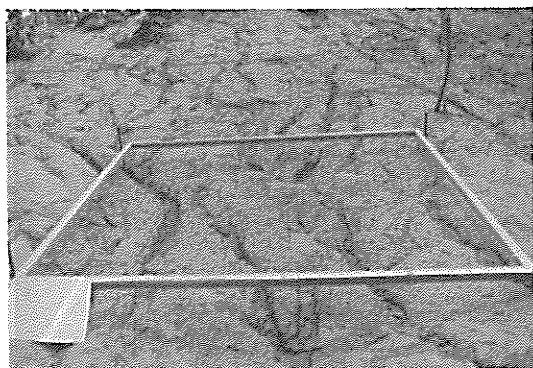
写-7.2.2

单一斜面 $\theta = 20^\circ$ 第2回目測定時



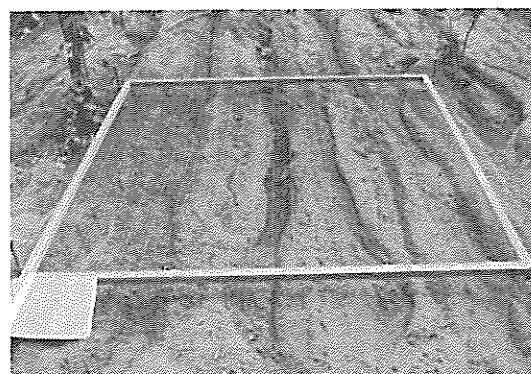
写-7.2.5

单一斜面 $\theta = 40^\circ$ 第2回目測定時



写-7.2.3

单一斜面 $\theta = 20^\circ$ 第3回目測定時



写-7.2.6

单一斜面 $\theta = 40^\circ$ 第3回目測定時



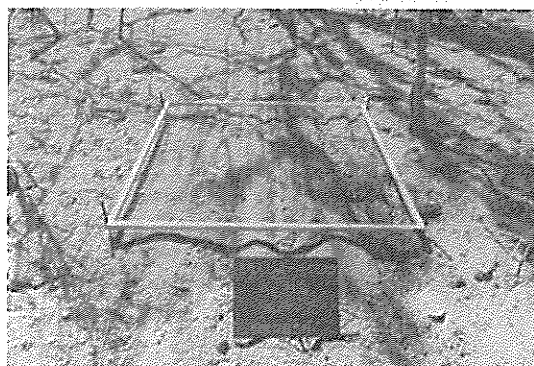
写-7.2.7
同一斜面の全景 第1回測定時



写-7.2.8
同一斜面の全景 第4回測定時



写-7.2.9
同一斜面No.5 第1回測定時



写-7.2.10
同一斜面No.5 第2回測定時



写-7.2.11
同一斜面No.5 第3回測定時



写-7.2.12
同一斜面No.5 第4回測定時

3 節 火山灰堆積斜面の崩壊に関する調査

(1) 調査目的

火山灰堆積斜面の崩壊箇所において、斜面傾斜角と崩壊形状ならびにその規模等を調査し、崩壊の実態を把握するため行なった。

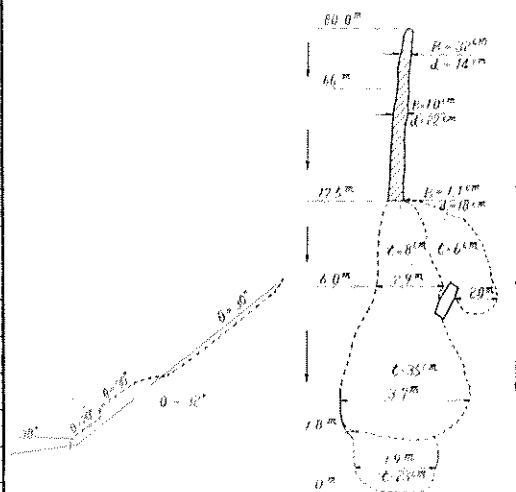
(2) 調査概要

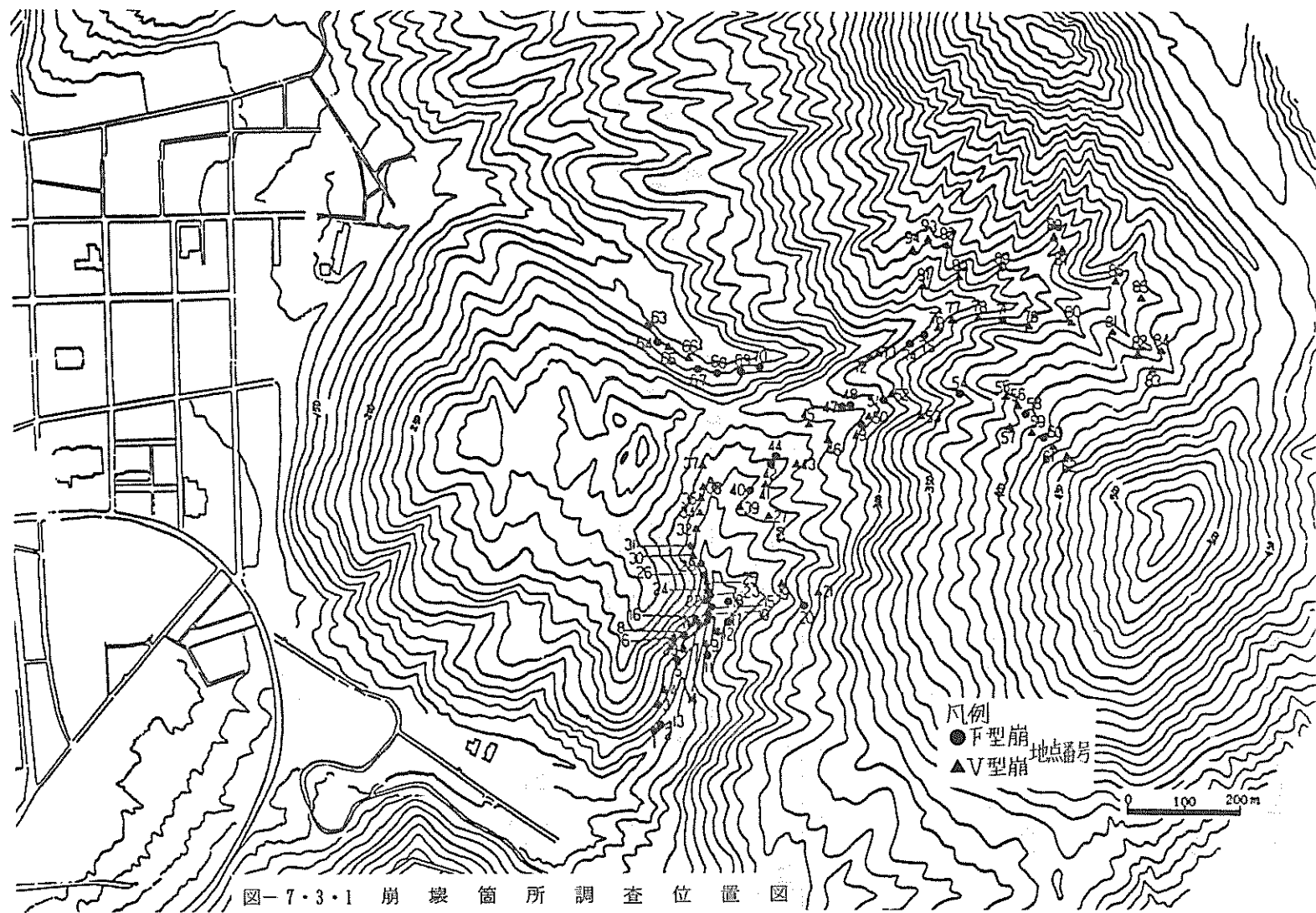
この調査は、昭和52年5月の時点で図-7・3・1に示す西山川と小有珠川流域を中心に表-7・3・1に示すような要領で崩壊箇所調査表を作成することとした。

表-7・3・1 崩壊ヶ所調査表

調査年月日	昭和53年5月22日	
調査場所	西山川沢	105L
降灰厚		
斜面角度	32°	
侵食規模	平均幅	1.0 m
	平均深さ	0.2 m
	長さ	62.5 m
	最大深さ	0.25 m
堆積規模	平均幅	2.5 m
	平均厚	0.2 m
	長さ	17.5 m
	最大厚	0.4 m
流出土砂量		9,922 m³
堆積土砂量		8,228 m³
地被条件	木の本数	12本
	木の平均径	8 cm
	木の種類	広葉樹・針葉樹

現場写真およびスケッチ





(3) 調査結果と考察

図－7・3・1に、昭和53年5月に実施した調査箇所と崩壊形態を示したが、現地調査を行なった結果、崩壊形態は小さなV字状になって斜面の谷の中で侵食および堆積している場合と、比較的平坦で単調な斜面において侵食および堆積している場合とに大別することができる。これらの崩壊形態を図－7・3・2に示すように前者をV型崩壊、後者をF型崩壊として分類した。その代表例を写真－7・3・1、7・3・2に示す。

図－7・3・3は、崩壊箇所と斜面傾斜角度の関係を示したものである。表－7・3・2は、崩壊形態別に侵食（流出）土量、堆積土量等を集計したものである。

溝（gully）の幅は小さいもので30cm、一般的には1m前後のものが多く、深さは30～50cmのものが多く、なかには80cmに達するものもあった。

表－7・3・2 侵食土量・堆積土量の集計表

崩壊形態	項 目	(A) 侵 食 土 量 m ³	(B) 堆 積 土 量 m ³	箇 所	(A)／ 箇所 m ³	(B)／ 箇所 m ³
V 型		771.9	731.9	47	16.4	15.6
F 型		140.4	352.9	45	3.1	7.9

V型崩壊の見られる地域は、西山川・小有珠川ともに上流付近に多く分布しているのに対して、F型崩壊は、下流部に分布していた。

斜面の傾斜角度および形態に関する崩壊特性についてみると、V型・F型崩壊の発生している斜面は、傾斜角度28～34°がともに最も多く、全体の30%強を占めている。なお、28～34°の斜面傾斜角度において斜面崩壊の発生している場所は両者の全体の60%程度を占め、F型崩壊について見ると、斜面傾斜角28～34°における崩壊の発生は75%、同様にV型崩壊では、28～34°で40%程度と小さく、V型崩壊は10°と小さな斜面傾斜角度から斜面崩壊の発生に至っている。これは、明らかに降雨水の集水量のちがいによるもので、V型崩壊は小さな斜面傾斜角度においても崩壊の発生が容易に起こるものと推定される。

表－7・3・2からわかるように、F型崩壊の規模は、V型の崩壊規模に比べると平均値で $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度の規模であり、崩壊による侵食土量は、V型崩壊の場合、堆積土量よりも多く、F型崩壊の場合は逆に少ない。この調査時点では、流出してきた火山灰は斜面の下端に留まり、他の場所に流下した形跡はないが、侵食（流出）土量と堆積土量が逆転する理由は明確でない。

なお、当初の計画として、同一地点での侵食および堆積の進行過程を調査する予定であったが、泥流の発生により堆積物は沢を流下し、斜面の侵食箇所は大きく崩壊したため、当初の調査結果との比較・検討が困難となり中止した。

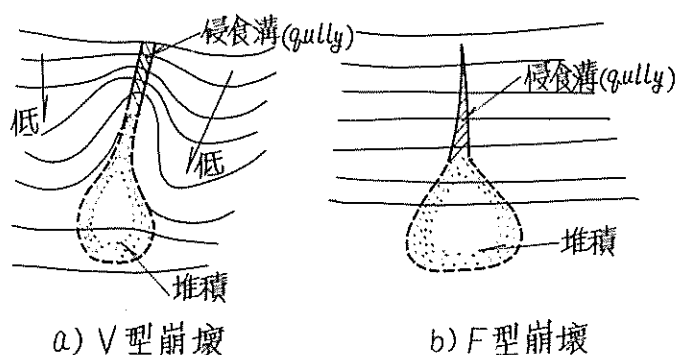


図-7.3.2 斜面崩壊ヶ所と斜面傾斜角

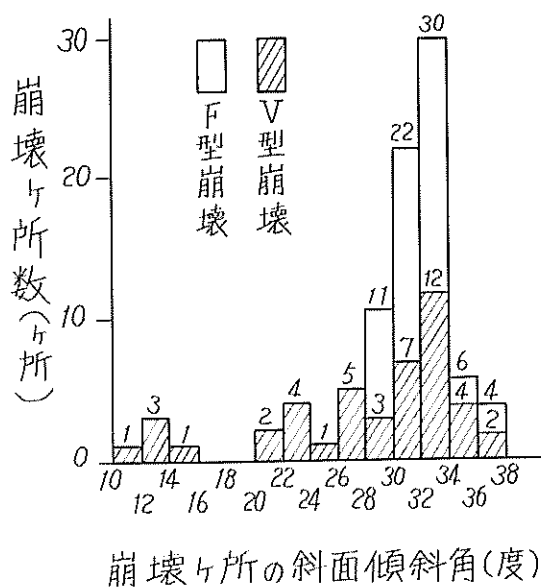
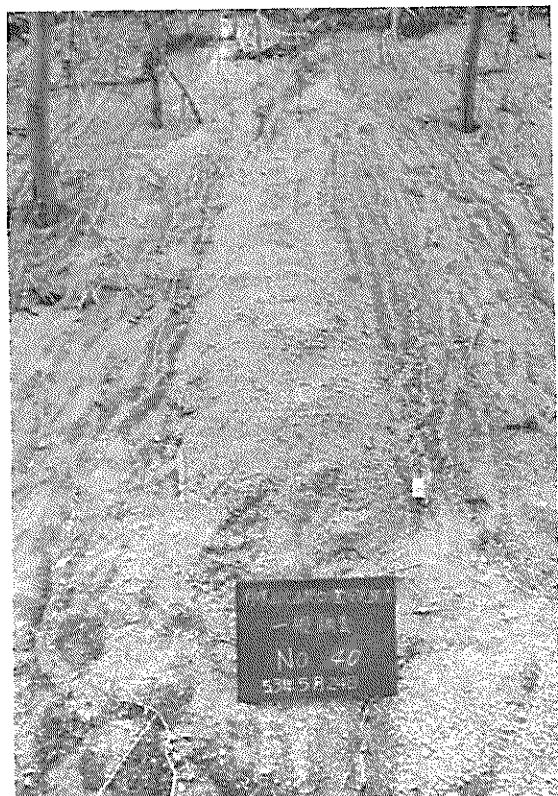


図-7.3.3 斜面の崩壊形態



写-7.3.1

F型崩壊箇所の状況



写-7.3.2

V型崩壊箇所の状況

8 章 火山灰の流動（泥流）に関する現地調査

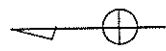
1 節 西山川・小有珠川の地形条件

図－8・1・1 に西山川・小有珠川の沢部の流域区分図を示す。表－8・1・1 には西山川・小有珠川の地形概要と降灰状況を示すが、流域面積・降灰状況ならびに地形条件等は、西山川が細かく分類しているのに対し、小有珠川が大まかに分類しているのは、西山川の調査にウェイトを置いているためである。

これらの図表からわかるように、沢としての規模は小有珠川の方が大きく、この流域内での降灰量も小有珠川の方が約43万 m^2 で、西山川の約42万 m^2 よりもやや多いが、堆積厚さでは、西山川が平均で70 m^2 、小有珠川で41 cm となっており、西山川の方が厚く堆積されている。泥流発生の可能性としては、火山灰の堆積状態から見る限りでは小有珠川よりも西山川の方が大きい。また、流域面積では小有珠川の方が大きく、溪床の縦断勾配では幾分小有珠川の方が大きいと思われる。

しかし、この両者は、通常水無し川で、降雨があった場合と融雪期の融雪水などが出た場合に、わずかに山間部で表面流出水は存在するものの、下流部まで流下してくる段階で、流下水は、扇状地特長特有の伏流水になったり、昔からの断続的な火山活動の地殻変動で生じた断層中に伏流して湖水に達するといった傾向にある。

図－8・1・2 に参考まで、昭和52年8月の大噴火による有珠山周辺の火山灰堆積の等厚線図を示す。また図－8・1・3 に、水蒸気爆発による細粒火山灰が堆積した等厚線図を示す。



図一 8・1・1 調査対象区域の流域区分図

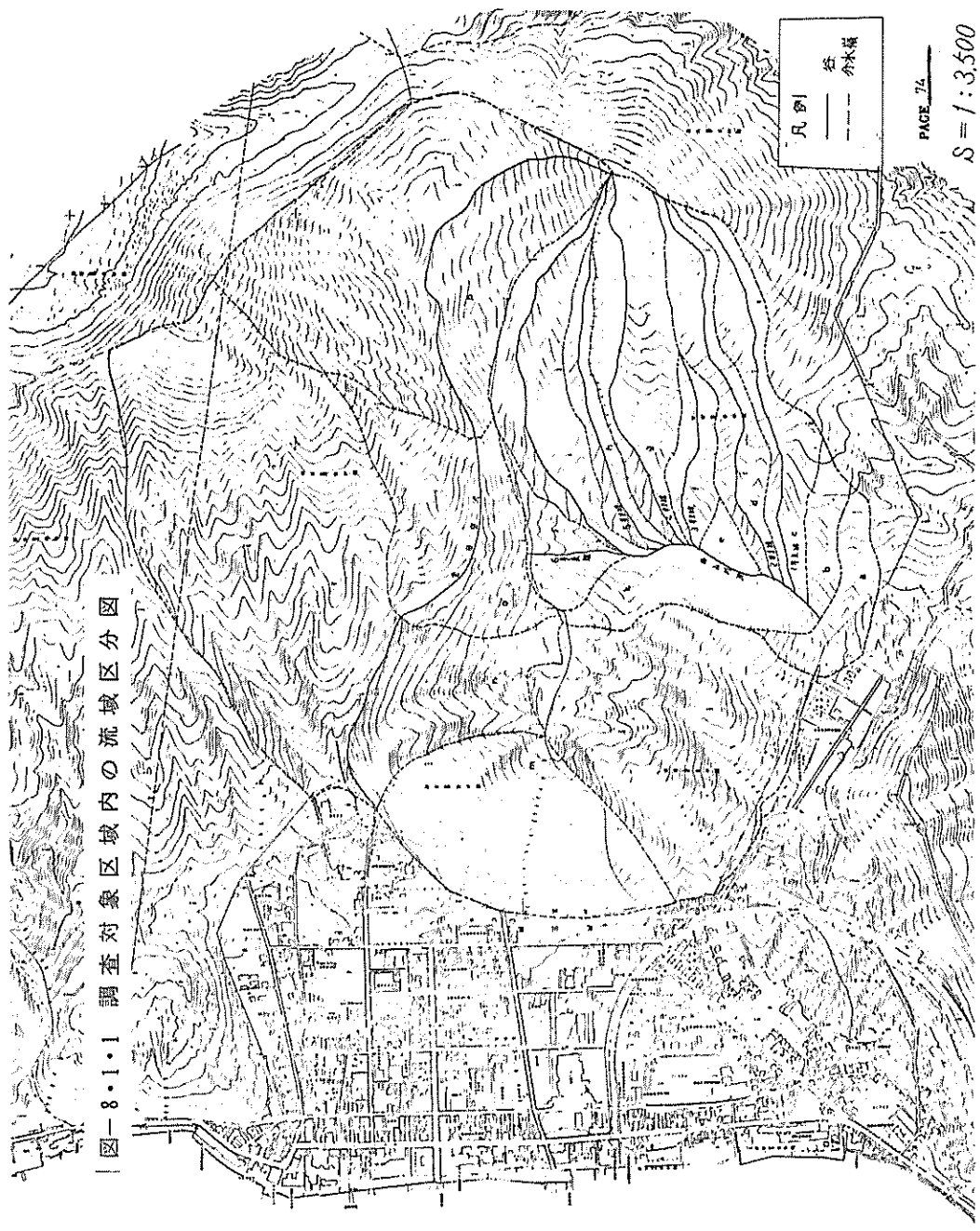


表- 8・1・1 西山川・小有珠川の地形概要と降灰状況等総括表

流域区分	名 称	流域面積(m ²)	沢の長 (m)	高低差 (m)	平均勾配 (%)	最大勾配 (%)	最小勾配 (%)	降灰時期と降灰量とその状況							平均厚 (mm)	備 考
								S _{52.8} -52.10 (m)	S _{52.11} -53.3 (m)	S _{53.4} -53.6 (m)	S _{53.7} (m)	S _{53.8} (m)	S _{53.9} (m)	計 (m)		
a	西山川 本 線	41,250						19,000	0	0	206	0	1,238	20,444	5 0	
b	— " —	23,250						10,825	0	0	116	0	698	11,639	1 0 8	
c	— " —	10,000	1,430	3 8 0	26.57	54.00	5.00	10,000	0	0	63	0	300	10,363	1 0 4	
d	— " —	62,250						35,250	0	0	503	9	1,868	37,621	1 0 7	
e	— " —	100,000						71,650	263	0	2,020	320	4,538	78,791	7 9	
f	— " — 1号支線	73,000	920	3 4 2	37.17	50.00	20.00	32,850	83	0	368	0	3,325	36,626	5 0	
g	— " — 2号支線	71,750	910	3 5 0	38.46	49.00	22.20	41,950	122	0	506	0	3,428	46,006	6 4	
h	— " — 3号支線	32,500	440	1 8 0	40.91	60.00	20.80	28,000	15	0	325	0	1,025	29,365	9 0	
i	— " — 4号支線	110,000	890	3 3 5	37.64	54.00	18.20	86,125	296	0	1,100	15	6,325	93,861	8 5	
j	— " — 5号支線	40,000	770	2 8 4	36.88	55.00	18.90	35,000	75	0	400	25	1,605	37,105	9 3	
k	— " — 6号支線	36,000	210	4 8	22.86	29.40	13.30	13,350	7	0	470	51	1,080	15,458	4 3	
l	小有珠川	543,000						68,513	817	1	13,955	3,766	9,235	96,287	1 8	
m	— " —	145,000	1,750	3 9 0	27.27	55.55	5.00	39,800	121	0	4,095	677	3,160	98,353	3 3	
n	— " —	360,250						248,125	2,805	0	10,432	5,898	23,088	290,348	8 1	
合	西 山 川	600,000												417,279	7 0	
計	小有珠川	1,048,250												434,988	4 1	

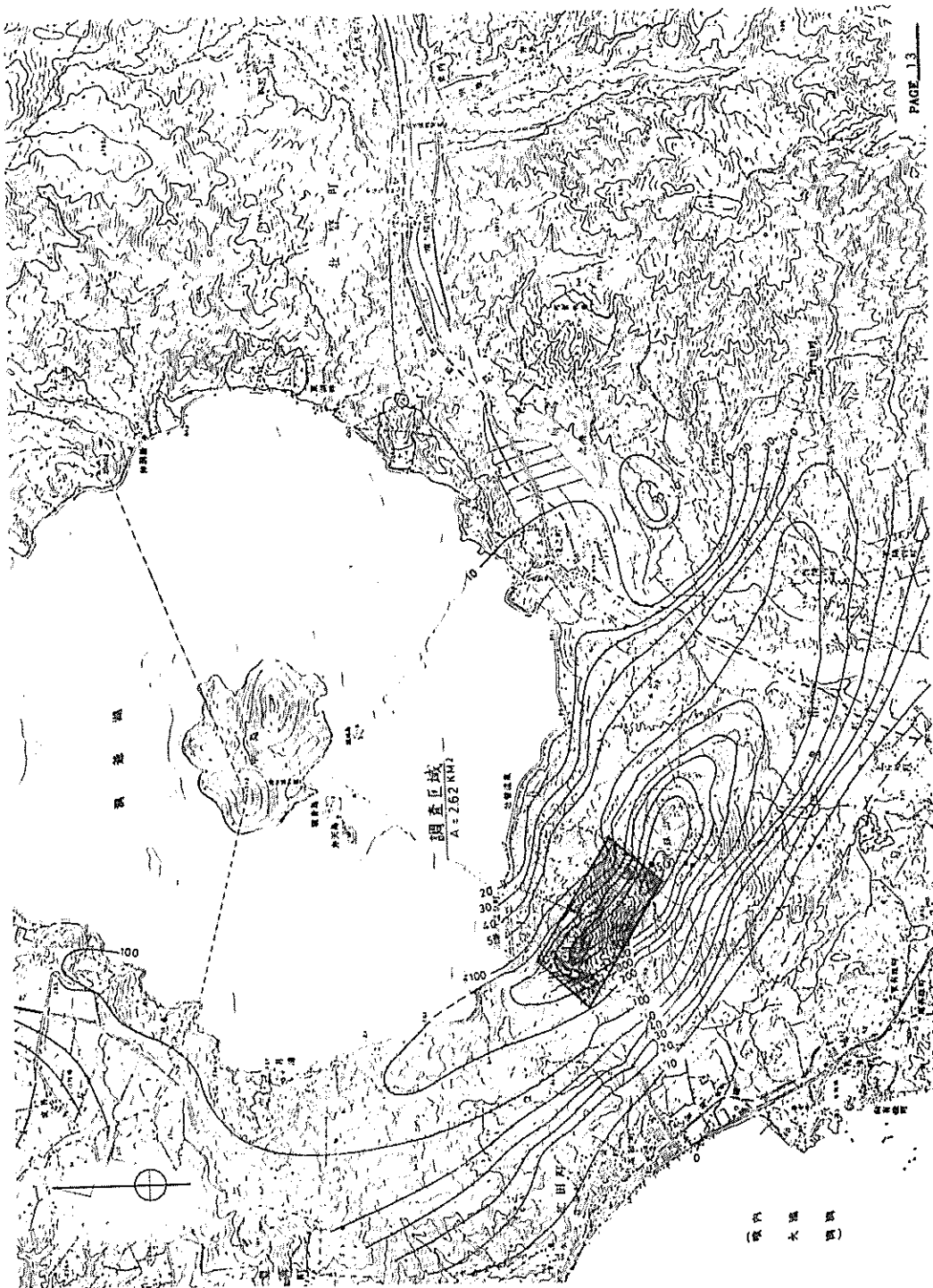
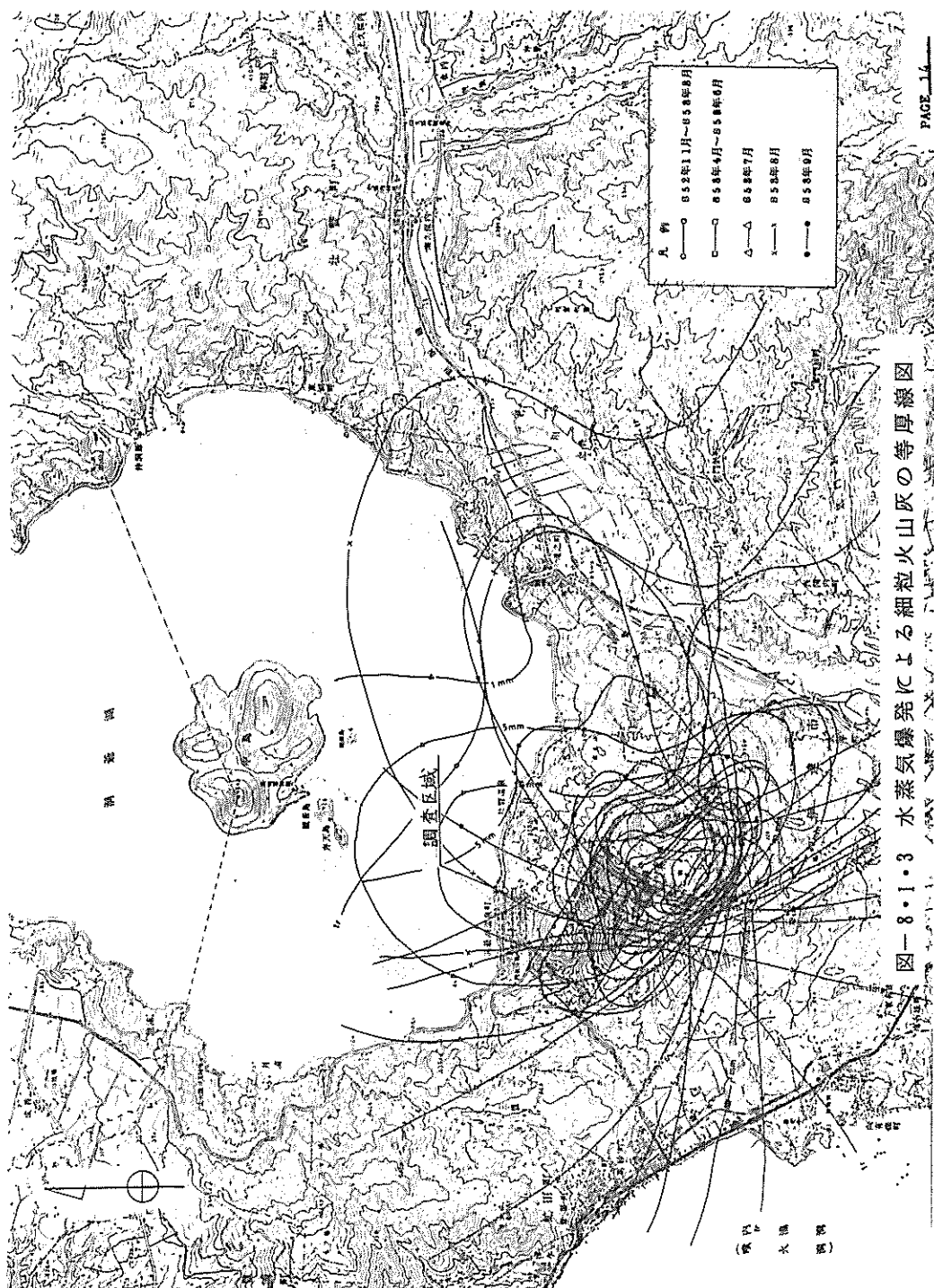


図-8・1・2 等厚線 図(S52.8~S52.10)



2 節 谷（沢部）における侵食・堆積に関する調査

（1）調 査 目 的

本調査試験は、谷の溪床縦断勾配と流動土砂の関係、また、流動した泥流または流下水は溪床を侵食するか、また、流送された土砂がどの程度堆積するか、それらの溪床の縦断勾配との関係、ならびに降雨観測によって得た降雨特性との関係を明確にする目的のもとに実施したものである。

（2）調 査 概 要

この調査は、昭和53年5月から同年11月まで実施した調査であり、調査場所は、図－7・2・2に示す西山川の本線を中心に行なった。本線は0～1,280m間、支線は第1支線から第6支線のそれぞれの沢において、本線の交点から120m間、延長2,000mにわたって20m毎に、また地形変化の著しい箇所では中間測点を備えて、沢なりに縦横断測量を行なった（図－7・2・2参照）。

なお、この侵食深、堆積厚ならびこれらの土量は、昭和53年5月の状態を基準として下記に示す時期に測量して求めている。

昭和53年5月12日……………当 初
7月8日……………第2回
8月9日……………第3回
9月11日……………第4回
11月1日……………第5回

（3）調査の結果と考察

当初の測量を行なった時点における西山川流域の状態は、起点から約180m間に6基の砂防ダムが築造されており、その周辺の斜面も丸太欄などである程度の防災施設が施され、火山灰は、斜面、溪床とともに一次堆積した状況であった。また、測点1,000m以上の地域では溪床に小さなガリーが発生し、斜面では小さな侵食溝が見られるなど、7章の2節・3節で述べたような状態であった。

図－8・2・1は西山川の本線、図－8・2・2は西山川の支線について、それぞれ縦断勾配の経時変化を表わすものであり、図－8・2・3、8・2・4は、図－8・2・1、8・2・2から求めた縦断勾配と侵食、堆積箇所の関係ならびにこれらの発生率（ある縦断勾配における侵食（堆積）箇所数／ある縦断勾配箇所数）を調べたものである。ここで縦断勾配箇所数とは、各測点間の高低差から縦断勾配を求め、勾配5%毎に区分して集計したものである。図－8・2・3は測量時の誤差を消去するため、20cm以上侵食もしくは堆積している測点を抽出し、昭和53年5月を基準にした経時変化を表わし

たものである。図－8・2・4は、その規模のちがいをみるために、80cm以上の侵食深、堆積厚の変化があった場合の測点を抽出して、図－8・2・3と同様に表わしたものである。

図－8・2・5，8・2・6は、昭和53年5月と11月時の西山川における本線および支線の縦断と土積図を示す。土積は、5月時点を基準にとって、同図に示す各測点毎の横断測量に基づく土量変化分を上流から累計して求めている。なお、本調査で求めた土積には、調査区間内から区間外へ流出した泥流土砂は含まない。

図－8・2・7は、各調査期間中の総降雨量および時間当りの降雨量とそのひん度を示す。表－8・2・1には調査期間中の降雨特性を示す。

表－8・2・1 調査期間中の降雨特性

項 目 調査日	調査と調査 期間の日数 (日)	降 雨 特 性				備 考
		その間の総 雨量(㎜)	1時間当り10㎜ 以上のひん度回	期間中の最 大日雨量(㎜)	日雨量10㎜以 上のひん度回	
S 53.5.11	—	—	—	—	—	
7. 8	5 8	2 3 3	3	5 7	7	
8. 9	3 1	5 3	0	1	3	
9. 11	3 4	1 0 2	0	2 7	5	
11. 1	5 0	1 5 3	2	2 4	9	

これらの調査結果によれば、3回の大規模な泥流が発生する9月26日以前は土砂量の動きが小さいのに対して、総雨量が比較的少ない11月期の土砂の動きは、比較できないほど大きくなっている。これは表－8・1・1に示したように、昭和53年9月の水蒸気爆発による細粒火山灰の降灰量が最も多く、6章3節および7章1節の中で述べたように、これらの細粒火山灰は透水性が悪く流動性に富んでいるために、少ない降雨量でも容易に侵食・流動したためである。

泥流発生後の11月期の結果に限って見ると、沢口堆積部の測点0～280m付近までの区間では、砂防ダムによって流出火山灰が堆積しており、5月以降の堆積土量は約8,000m³であり、沢の中央部の堆積厚はおおよそ1～2mとなっている。これに対して、測点は280～520mまでの3～6号の支線が集中している区間は侵食された区間であり、溪床の縦断勾配が12～22%程度で、この区間の前後に比べてやや勾配が急になっており、5月以降の侵食土量は約3,300m³、溪床の侵食深は1～2m程度となっている。これらの流路の形状は三角形に近い。次に、測点520～720m付近までの区間では、火山灰が堆積している区間であり、溪床勾配は7～18%程度となっており、

流路の形状は台形または矩形に近い。5月以降の堆積土量は約1,700m³、堆積厚さは0.5～2.0mとなっている。さらに、測点720mより上流では堆積は認められず、すべて溪床は侵食されており、溪床勾配は28～42%、侵食された沢の形状はほとんどが三角形となっていた。5月以降の侵食土量は約3,100m³、侵食深は1～1.2mとなっていた。

西山川の本線に注ぐ6条の支線については、合流点から120m付近までの測量にとどめたため、定量的な推移の把握はできなかった。しかし、これら支線の溪床における縦断勾配は10～43%程度となっており、大半の支線は侵食されていることから、これらの支線は、土砂の生産地帯となっているものと思われる。

現場の代表的な状況を写真－8・2・1～8・2・24に示す。

泥流によって侵食されるか堆積するかは、河床の勾配が大いに関係しているものと思われる。

大同⁸⁾の研究によると、河床が維持される限界勾配 θ は次式であらわされている。

$$\tan \theta = \frac{C^* \tan \phi}{\{\varphi/(\sigma - \varphi)\} + \bar{C}} \dots\dots\dots (8-2-1) \text{式}$$

ここに C^* : 堆積層の土粒子の容積濃度

$\bar{C}$: 泥流土砂の容積濃度

ϕ : 水中における安息角

σ : 砂レキの比重

φ : 水の比重

C^* は火山灰層が飽和されていると仮定すると次式で求められる。

$$C^* = \frac{V_s}{V} = \frac{V_s}{W_w + V_s} = \frac{W_s}{G_s W_w + W_s} = \frac{1}{G_s \cdot W + 1}$$

上式において、 $G_s = 2.30$ 、 $W = 40\%$ とすると、

$$C^* \doteq 0.5$$

$\bar{C}$ は、構内実験で集合運搬が発生したときの含水比 $W = 75\%$ から、上記同様に、 $\bar{C} = 0.37$ を得る。

ϕ は、6章3節に述べたコーン貫入試験結果から、 $\phi = 24^\circ$ とした。

かくして得られた有珠山における河床が維持される限界勾配を表－8・2・2に示す。

一方、6章3節に述べた流動性に関する実験の中でa試料のような細粒の火山灰は35%程度で流動しており、流動後の縦断勾配(l_2/l_1)を水中の安息角と考えると $\phi = 15^\circ$ 程度となり、この場合には $\theta = 5.4^\circ$ と驚くほど小さくなる。

これまでの調査によって得られた結果で明らかなように、現地で侵食される傾向にある縦断勾配は8～11% (4.5～6.2°) 前後であって、図－6・3・1に示したa試料が流下した場合の最終的な

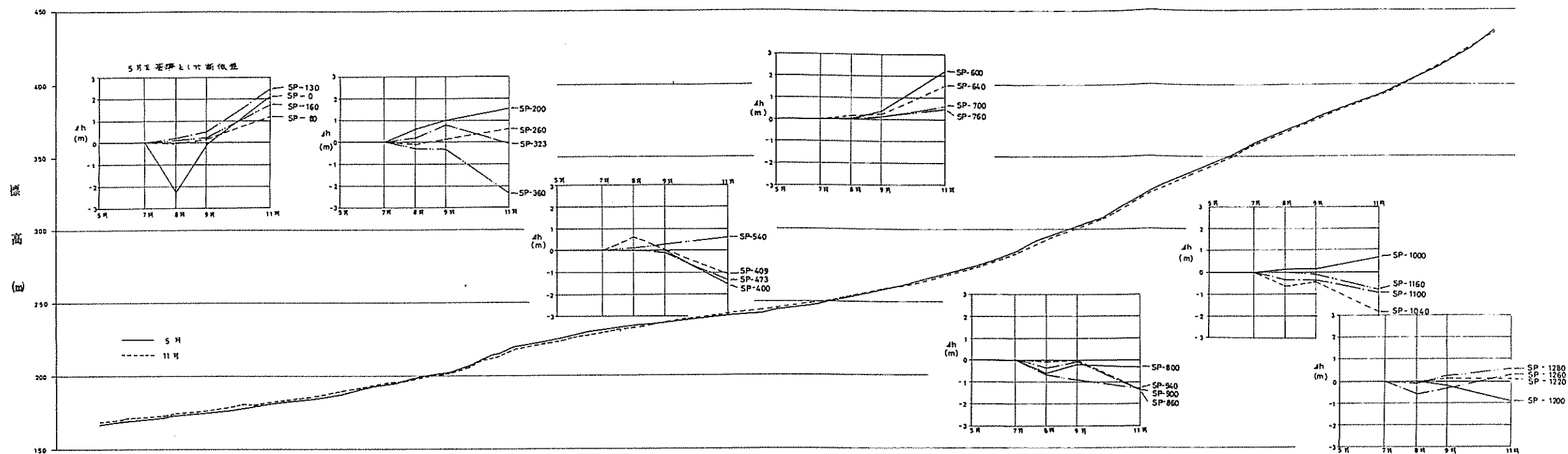
表- 8・2・2 河床が維持される限界勾配

場 所	報告機関	C^*	$\bar{C}$	θ	備 考
有 珠 山	土木試験所	0.5	0.4	11.45°	
"	北 大	0.7	0.5	13.75°	7)
焼 岳		0.4	0.1	11.60°	8)

備考らんに参考文献

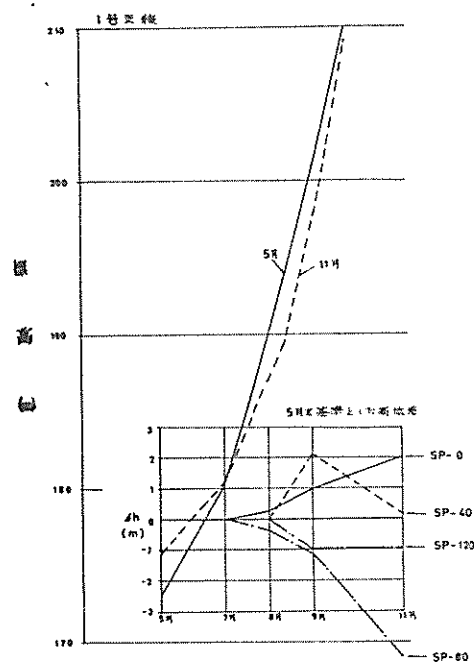
結果に比較的近似しているものの、昭和53年9月26日に流動した土砂の粒度は、b試料と近似しており、大同の理論とは多少異なる結果となっている。

以上のことから、理論と實際を勘案して、有珠山(西山川)の河床が維持される勾配は、5~11°(9~19%)程度にあるものと思われる。

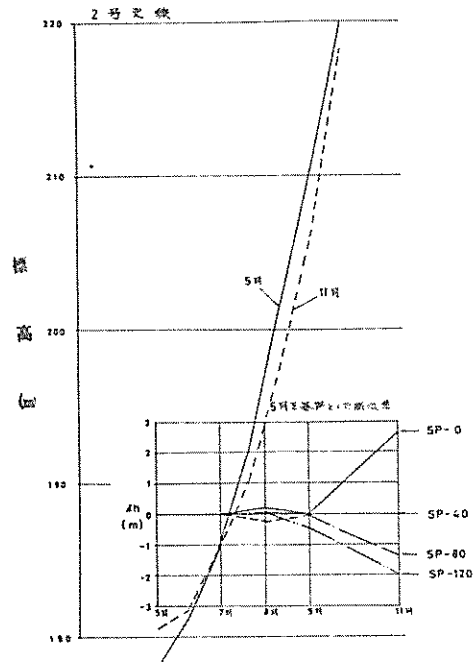


勾配 (%)	11月水位 地盤高 (m)	5月水位 地盤高 (m)	7月水位 地盤高 (m)	8月水位 地盤高 (m)	9月水位 地盤高 (m)	11月水位 地盤高 (m)	距離 (m)
0	166.82	166.82	166.82	166.82	166.82	166.82	0
10	169.12	169.12	169.12	169.12	169.12	169.12	100
20	171.42	171.42	171.42	171.42	171.42	171.42	200
30	173.72	173.72	173.72	173.72	173.72	173.72	300
40	176.02	176.02	176.02	176.02	176.02	176.02	400
50	178.32	178.32	178.32	178.32	178.32	178.32	500
60	180.62	180.62	180.62	180.62	180.62	180.62	600
70	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92	700
80	185.22	185.22	185.22	185.22	185.22	185.22	800
90	187.52	187.52	187.52	187.52	187.52	187.52	900
100	189.82	189.82	189.82	189.82	189.82	189.82	1000
110	192.12	192.12	192.12	192.12	192.12	192.12	1100
120	194.42	194.42	194.42	194.42	194.42	194.42	1200
130	196.72	196.72	196.72	196.72	196.72	196.72	1300
140	199.02	199.02	199.02	199.02	199.02	199.02	1400
150	201.32	201.32	201.32	201.32	201.32	201.32	1500
160	203.62	203.62	203.62	203.62	203.62	203.62	1600
170	205.92	205.92	205.92	205.92	205.92	205.92	1700
180	208.22	208.22	208.22	208.22	208.22	208.22	1800
190	210.52	210.52	210.52	210.52	210.52	210.52	1900
200	212.82	212.82	212.82	212.82	212.82	212.82	2000
210	215.12	215.12	215.12	215.12	215.12	215.12	2100
220	217.42	217.42	217.42	217.42	217.42	217.42	2200
230	219.72	219.72	219.72	219.72	219.72	219.72	2300
240	222.02	222.02	222.02	222.02	222.02	222.02	2400
250	224.32	224.32	224.32	224.32	224.32	224.32	2500
260	226.62	226.62	226.62	226.62	226.62	226.62	2600
270	228.92	228.92	228.92	228.92	228.92	228.92	2700
280	231.22	231.22	231.22	231.22	231.22	231.22	2800
290	233.52	233.52	233.52	233.52	233.52	233.52	2900
300	235.82	235.82	235.82	235.82	235.82	235.82	3000
310	238.12	238.12	238.12	238.12	238.12	238.12	3100
320	240.42	240.42	240.42	240.42	240.42	240.42	3200
330	242.72	242.72	242.72	242.72	242.72	242.72	3300
340	245.02	245.02	245.02	245.02	245.02	245.02	3400
350	247.32	247.32	247.32	247.32	247.32	247.32	3500
360	249.62	249.62	249.62	249.62	249.62	249.62	3600
370	251.92	251.92	251.92	251.92	251.92	251.92	3700
380	254.22	254.22	254.22	254.22	254.22	254.22	3800
390	256.52	256.52	256.52	256.52	256.52	256.52	3900
400	258.82	258.82	258.82	258.82	258.82	258.82	4000
410	261.12	261.12	261.12	261.12	261.12	261.12	4100
420	263.42	263.42	263.42	263.42	263.42	263.42	4200
430	265.72	265.72	265.72	265.72	265.72	265.72	4300
440	268.02	268.02	268.02	268.02	268.02	268.02	4400
450	270.32	270.32	270.32	270.32	270.32	270.32	4500
460	272.62	272.62	272.62	272.62	272.62	272.62	4600
470	274.92	274.92	274.92	274.92	274.92	274.92	4700
480	277.22	277.22	277.22	277.22	277.22	277.22	4800
490	279.52	279.52	279.52	279.52	279.52	279.52	4900
500	281.82	281.82	281.82	281.82	281.82	281.82	5000
510	284.12	284.12	284.12	284.12	284.12	284.12	5100
520	286.42	286.42	286.42	286.42	286.42	286.42	5200
530	288.72	288.72	288.72	288.72	288.72	288.72	5300
540	291.02	291.02	291.02	291.02	291.02	291.02	5400
550	293.32	293.32	293.32	293.32	293.32	293.32	5500
560	295.62	295.62	295.62	295.62	295.62	295.62	5600
570	297.92	297.92	297.92	297.92	297.92	297.92	5700
580	300.22	300.22	300.22	300.22	300.22	300.22	5800
590	302.52	302.52	302.52	302.52	302.52	302.52	5900
600	304.82	304.82	304.82	304.82	304.82	304.82	6000
610	307.12	307.12	307.12	307.12	307.12	307.12	6100
620	309.42	309.42	309.42	309.42	309.42	309.42	6200
630	311.72	311.72	311.72	311.72	311.72	311.72	6300
640	314.02	314.02	314.02	314.02	314.02	314.02	6400
650	316.32	316.32	316.32	316.32	316.32	316.32	6500
660	318.62	318.62	318.62	318.62	318.62	318.62	6600
670	320.92	320.92	320.92	320.92	320.92	320.92	6700
680	323.22	323.22	323.22	323.22	323.22	323.22	6800
690	325.52	325.52	325.52	325.52	325.52	325.52	6900
700	327.82	327.82	327.82	327.82	327.82	327.82	7000
710	330.12	330.12	330.12	330.12	330.12	330.12	7100
720	332.42	332.42	332.42	332.42	332.42	332.42	7200
730	334.72	334.72	334.72	334.72	334.72	334.72	7300
740	337.02	337.02	337.02	337.02	337.02	337.02	7400
750	339.32	339.32	339.32	339.32	339.32	339.32	7500
760	341.62	341.62	341.62	341.62	341.62	341.62	7600
770	343.92	343.92	343.92	343.92	343.92	343.92	7700
780	346.22	346.22	346.22	346.22	346.22	346.22	7800
790	348.52	348.52	348.52	348.52	348.52	348.52	7900
800	350.82	350.82	350.82	350.82	350.82	350.82	8000
810	353.12	353.12	353.12	353.12	353.12	353.12	8100
820	355.42	355.42	355.42	355.42	355.42	355.42	8200
830	357.72	357.72	357.72	357.72	357.72	357.72	8300
840	360.02	360.02	360.02	360.02	360.02	360.02	8400
850	362.32	362.32	362.32	362.32	362.32	362.32	8500
860	364.62	364.62	364.62	364.62	364.62	364.62	8600
870	366.92	366.92	366.92	366.92	366.92	366.92	8700
880	369.22	369.22	369.22	369.22	369.22	369.22	8800
890	371.52	371.52	371.52	371.52	371.52	371.52	8900
900	373.82	373.82	373.82	373.82	373.82	373.82	9000
910	376.12	376.12	376.12	376.12	376.12	376.12	9100
920	378.42	378.42	378.42	378.42	378.42	378.42	9200
930	380.72	380.72	380.72	380.72	380.72	380.72	9300
940	383.02	383.02	383.02	383.02	383.02	383.02	9400
950	385.32	385.32	385.32	385.32	385.32	385.32	9500
960	387.62	387.62	387.62	387.62	387.62	387.62	9600
970	389.92	389.92	389.92	389.92	389.92	389.92	9700
980	392.22	392.22	392.22	392.22	392.22	392.22	9800
990	394.52	394.52	394.52	394.52	394.52	394.52	9900
1000	396.82	396.82	396.82	396.82	396.82	396.82	10000

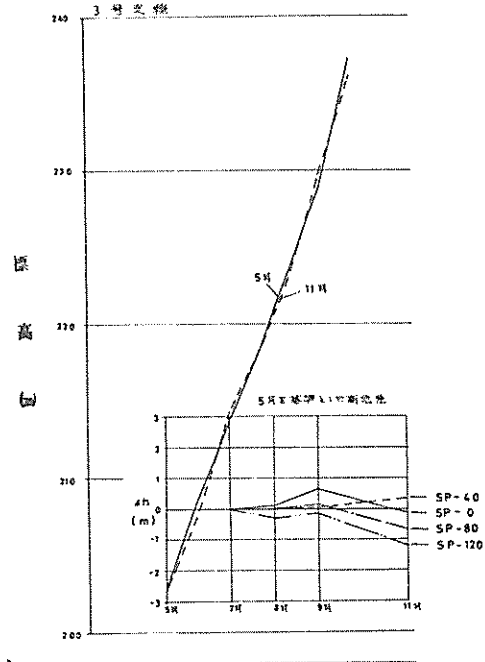
図一8・2・1 西山川縦断面図(本線)



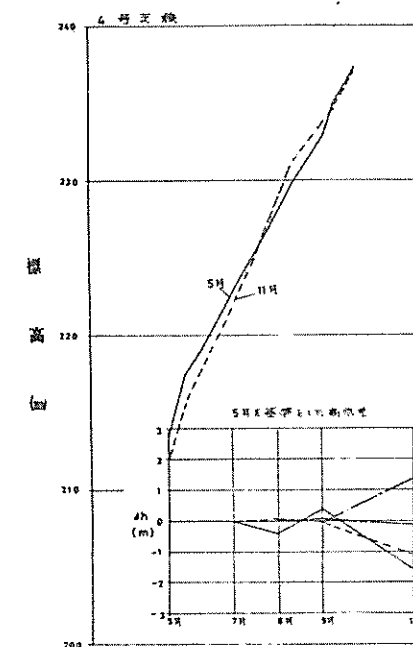
勾配 (%)	
11月1日 現在 位置(m)	115.74
9月11日 現在 位置(m)	112.71
8月9日 現在 位置(m)	112.61
7月8日 現在 位置(m)	112.51
5月12日 現在 位置(m)	112.41
距離(m)	0



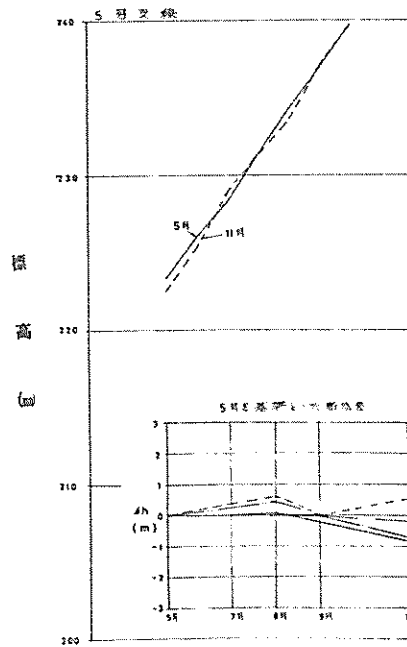
勾配 (%)	
11月1日 現在 位置(m)	180.66
9月11日 現在 位置(m)	178.01
8月9日 現在 位置(m)	177.21
7月8日 現在 位置(m)	176.41
5月12日 現在 位置(m)	175.61
距離(m)	0



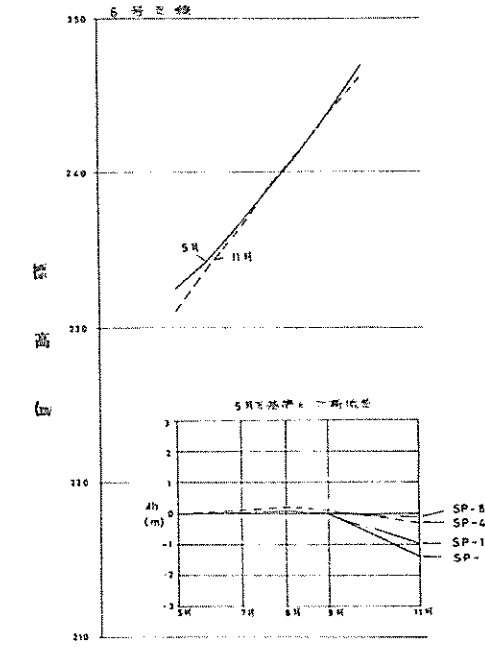
勾配 (%)	
11月1日 現在 位置(m)	202.64
9月11日 現在 位置(m)	202.41
8月9日 現在 位置(m)	202.18
7月8日 現在 位置(m)	201.95
5月12日 現在 位置(m)	201.72
距離(m)	0



勾配 (%)	
11月1日 現在 位置(m)	211.89
9月11日 現在 位置(m)	211.66
8月9日 現在 位置(m)	211.43
7月8日 現在 位置(m)	211.20
5月12日 現在 位置(m)	210.97
距離(m)	0



勾配 (%)	
11月1日 現在 位置(m)	221.46
9月11日 現在 位置(m)	221.23
8月9日 現在 位置(m)	221.00
7月8日 現在 位置(m)	220.77
5月12日 現在 位置(m)	220.54
距離(m)	0



勾配 (%)	
11月1日 現在 位置(m)	221.67
9月11日 現在 位置(m)	221.44
8月9日 現在 位置(m)	221.21
7月8日 現在 位置(m)	220.98
5月12日 現在 位置(m)	220.75
距離(m)	0

図-8・2・2 西山川縦断面図(支線)

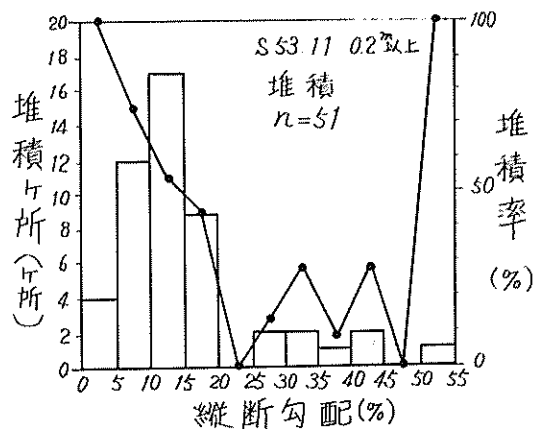
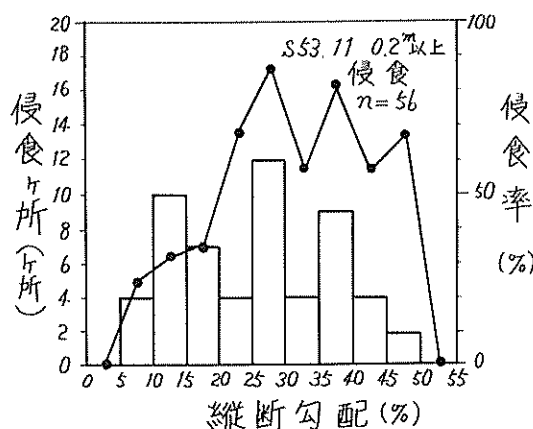
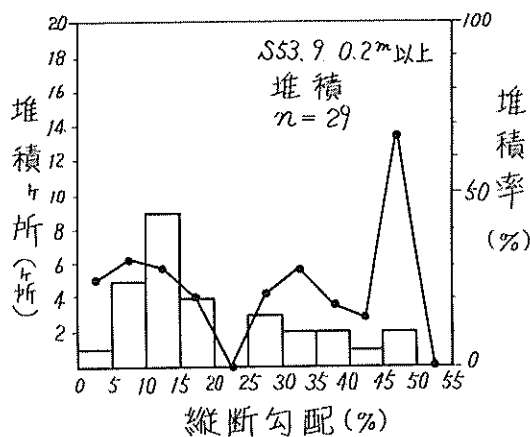
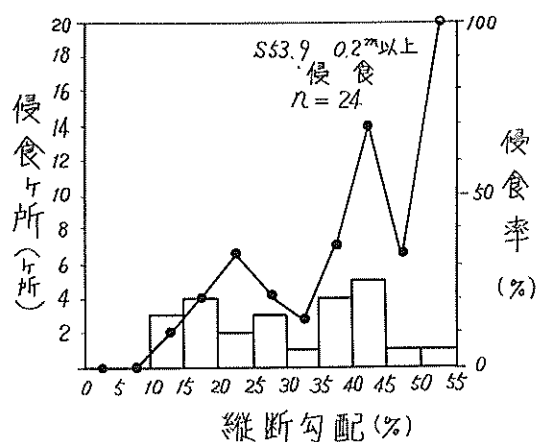
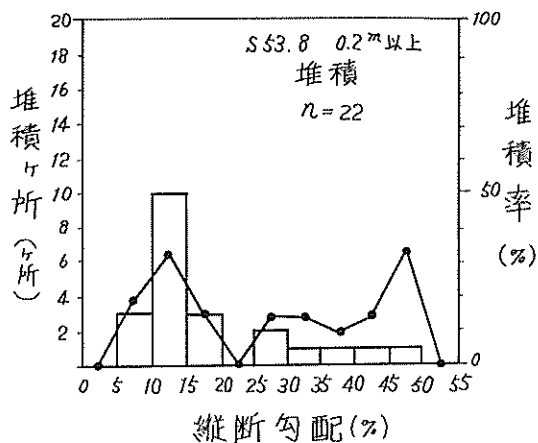
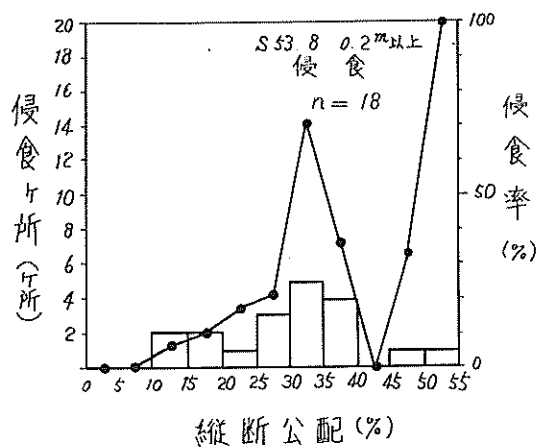


図-8.2.3 侵食および堆積ヶ所数とその発生率

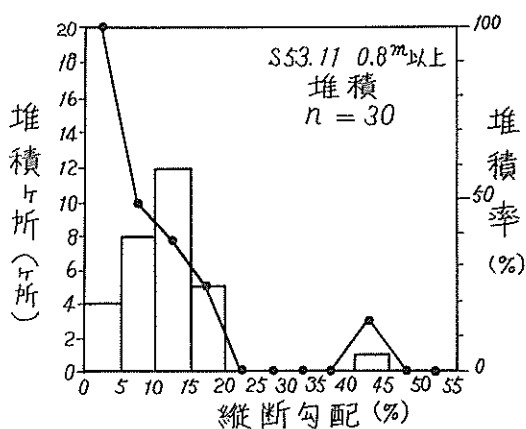
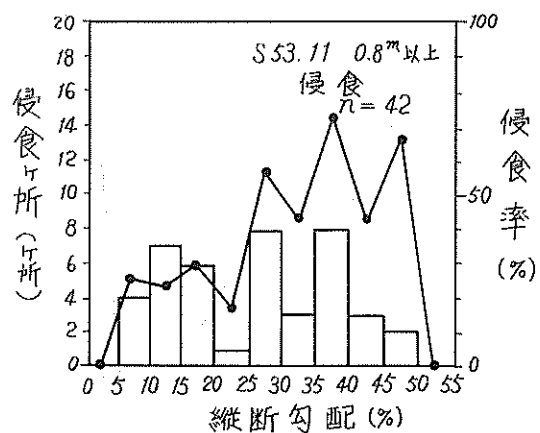
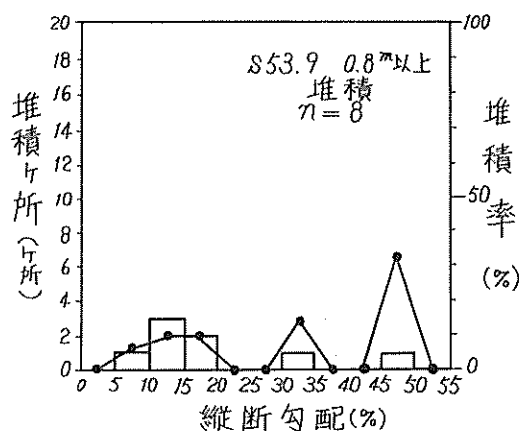
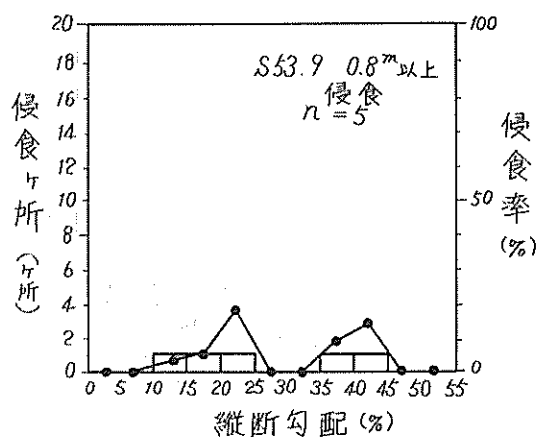
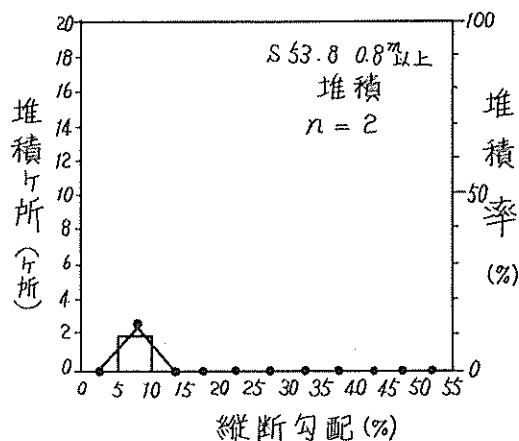
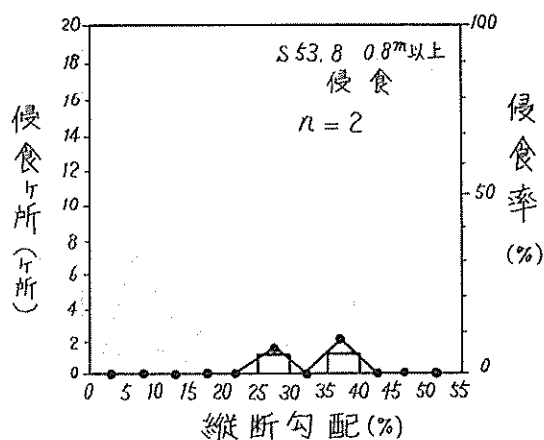


図-8.2.4 侵食および堆積ヶ所と縦断勾配

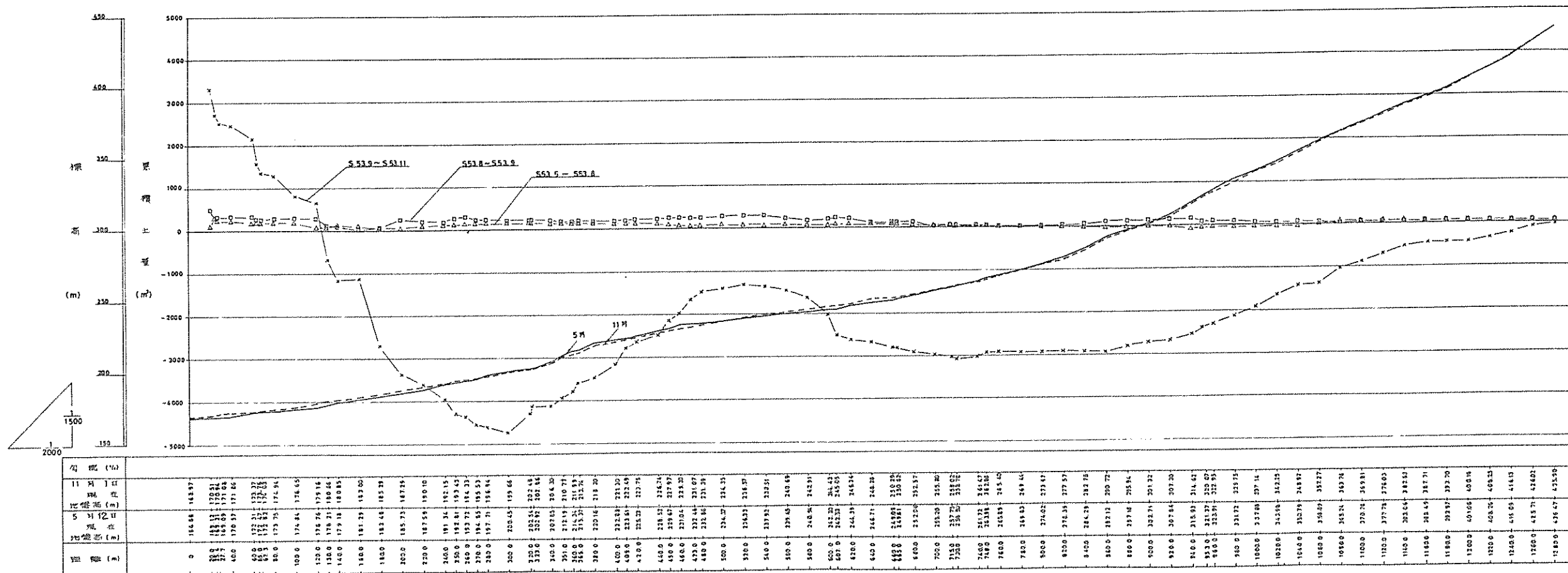
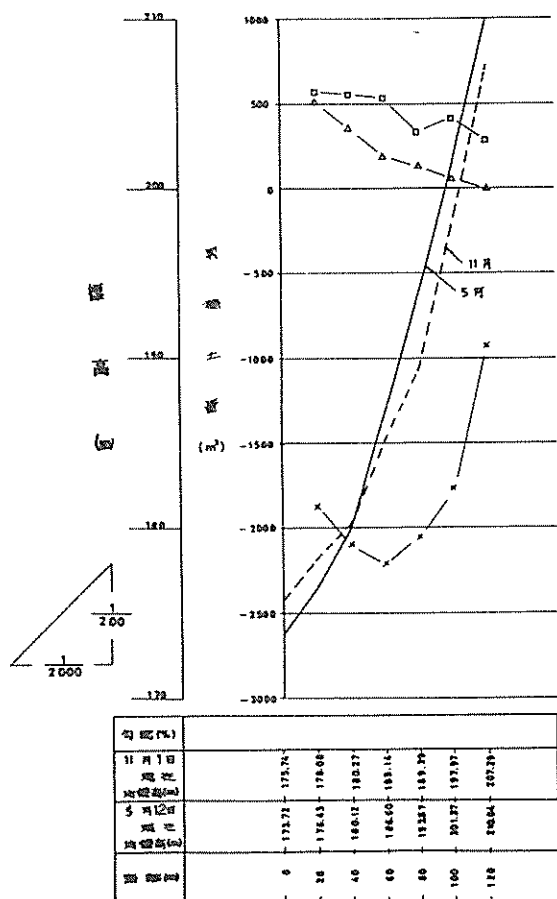
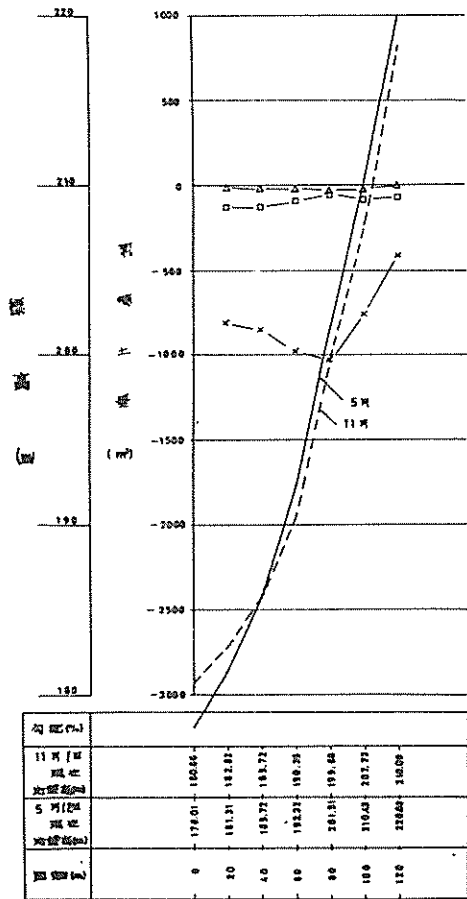


図-8・2・5 西山川土積図(本線)

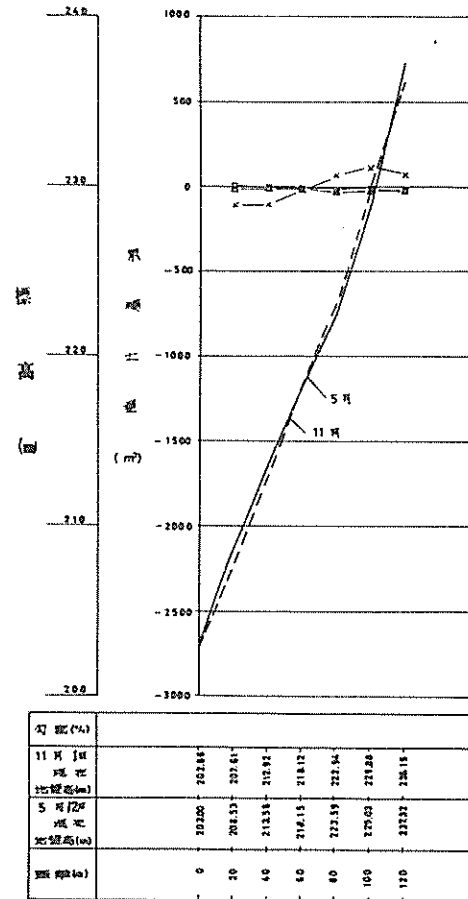
1号支線



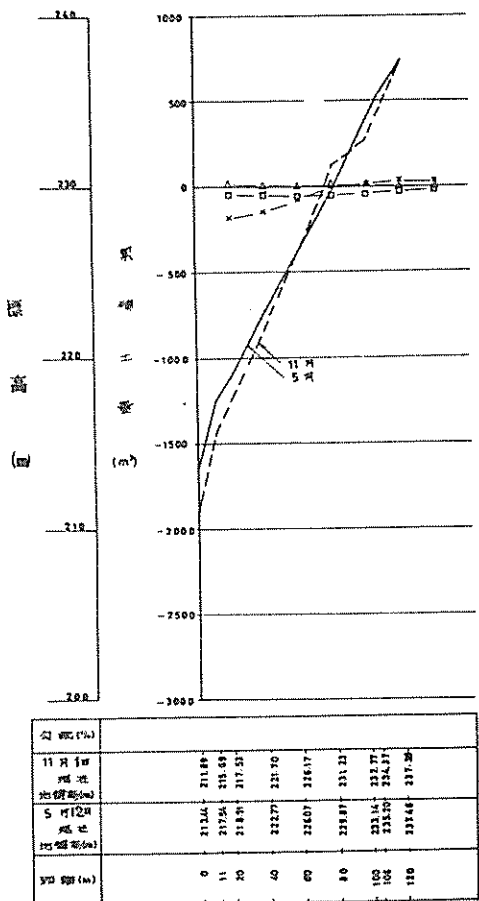
2号支線



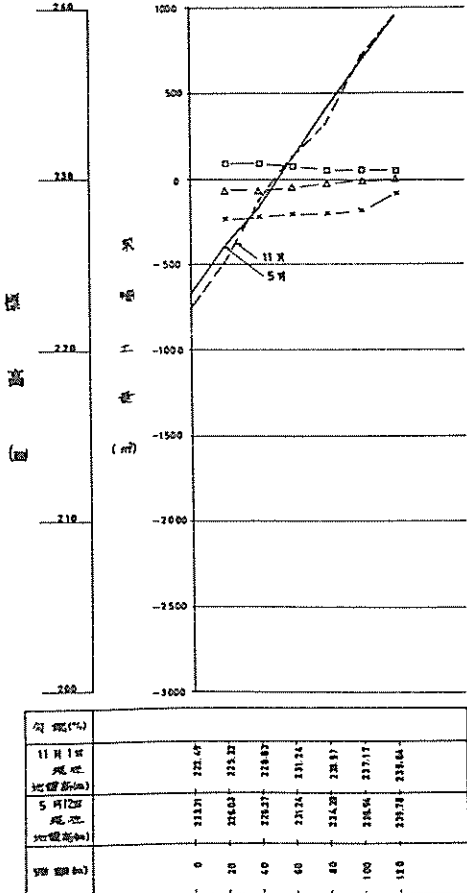
3号支線



4号支線



5号支線



6号支線

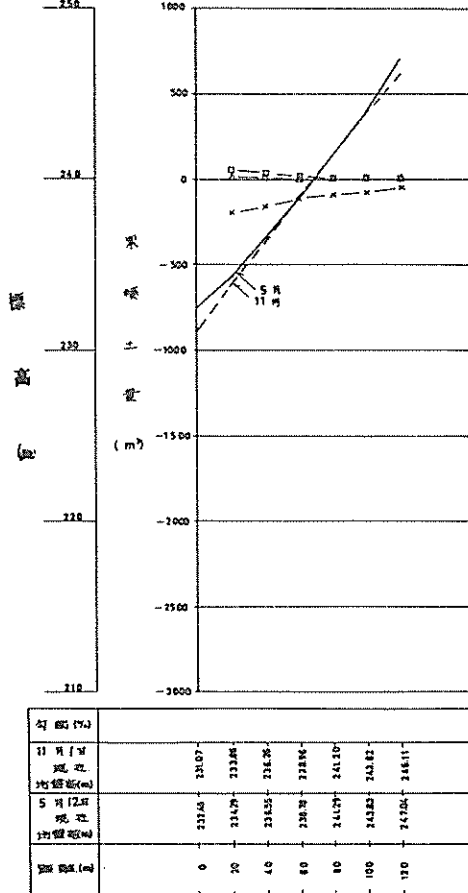


図-8・2・6 西山川土積図(支線)

沢 用

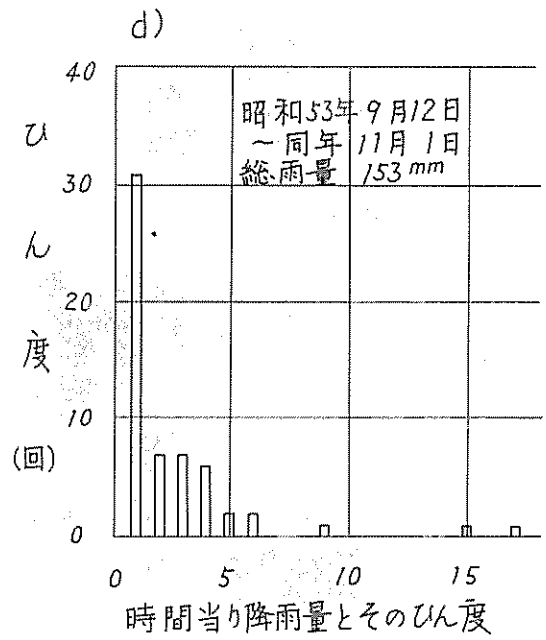
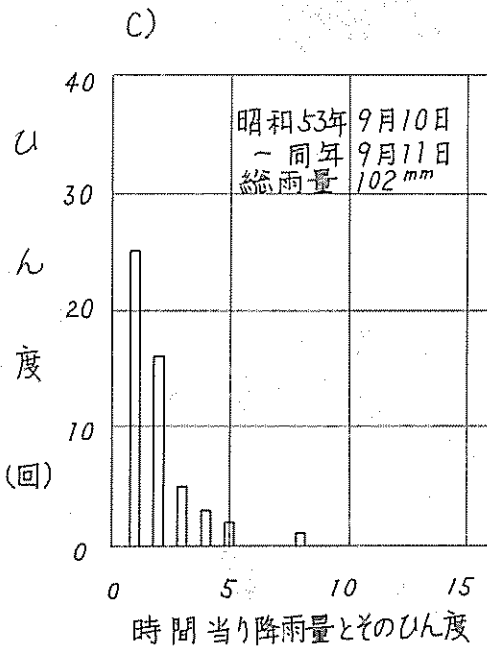
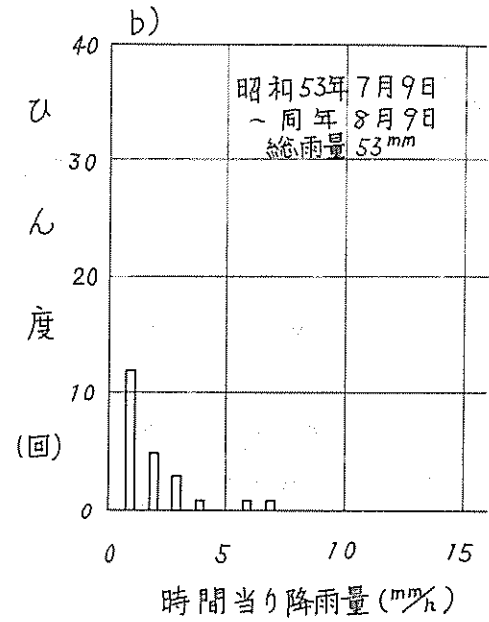
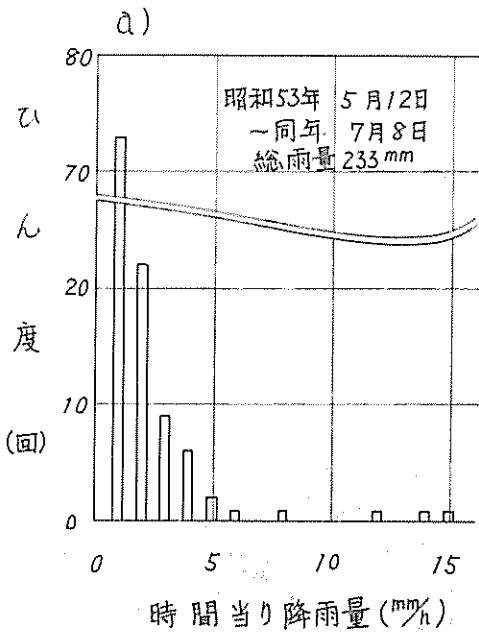


図-8・2・7 時間当り降雨量とそのひん度



写-8.2.1
西山川 SP80m 付近 S53.6.12



写-8.2.2
西山川 SP200m 付近 S53.6.12



写-8.2.3
西山川 SP320m 付近 S53.6.12



写-8.2.4
西山川 SP351m 付近 S53.6.12



写-8.2.5
西山川 SP473m 付近 S53.6.12



写-8.2.6
西山川 SP580m 付近 S53.6.12



写-8.2.7
西山川 SP680m 付近 S53.6.12



写-8.2.8
西山川 SP780m 付近 S53.6.13



写-8.2.9
西山川 SP860m 付近 S53.6.12



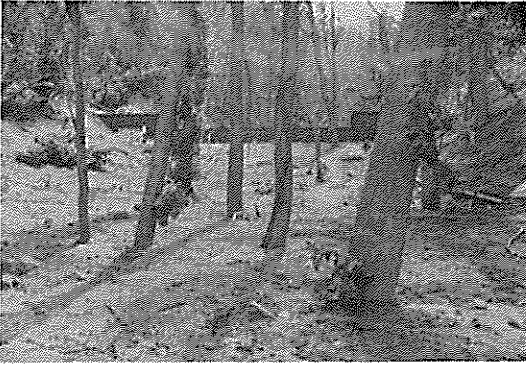
写-8.2.10
西山川 SP940m 付近 S53.6.12



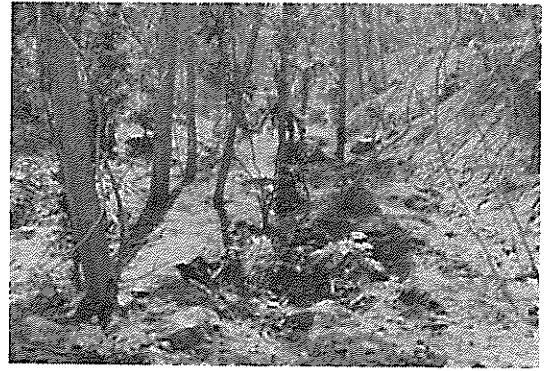
写-8.2.11
西山川 SP1080m 付近 S53.6.12



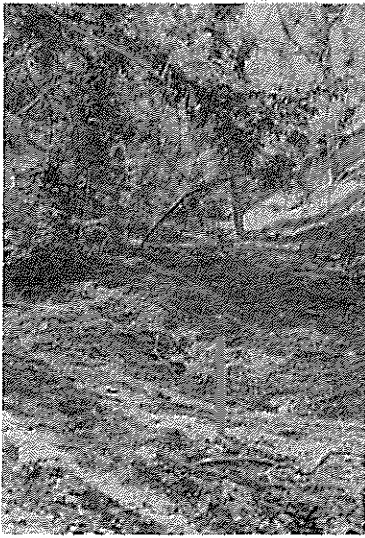
写-8.2.12
西山川 SP1290m 付近 S53.6.12



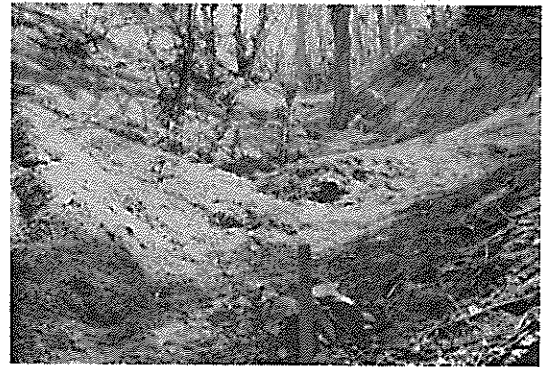
写-8.2.13
西山川 SP80m 付近 S 53. 8. 8



写-8.2.14
西山川 SP200m 付近 S 53. 8. 8



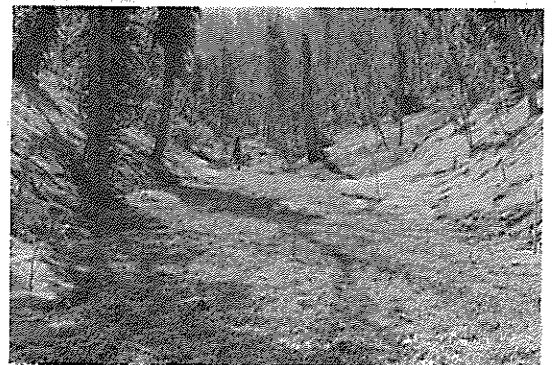
写-8.2.15
西山川 SP320m 付近 S 53. 8. 8



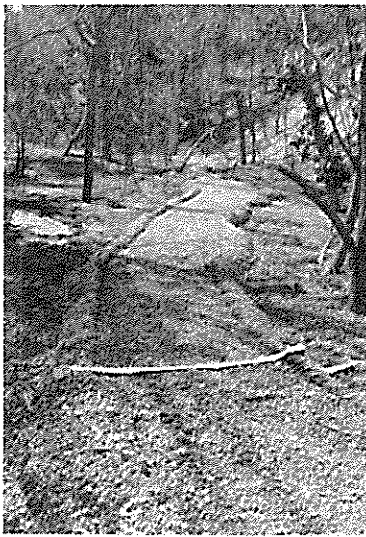
写-8.2.16
西山川 SP351m 付近 S 53. 8. 8



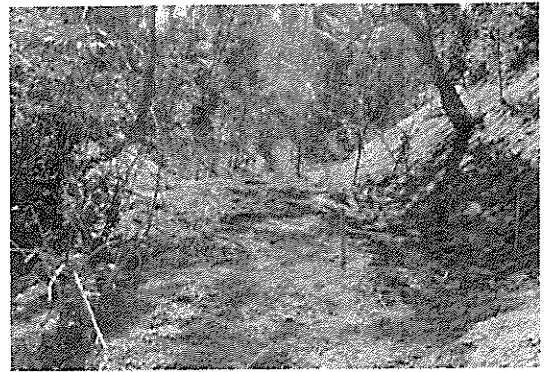
写-8.2.17
西山川 SP473m 付近 S 53. 8. 8



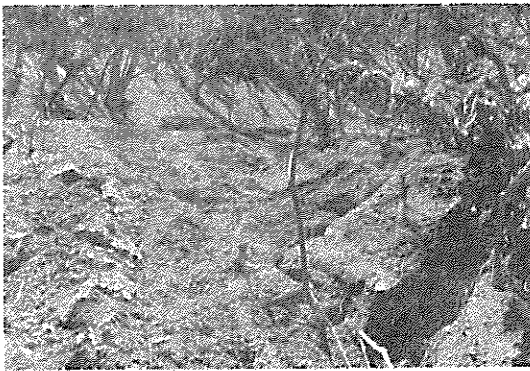
写-8.2.18
西山川 SP580m 付近 S 53. 8. 8



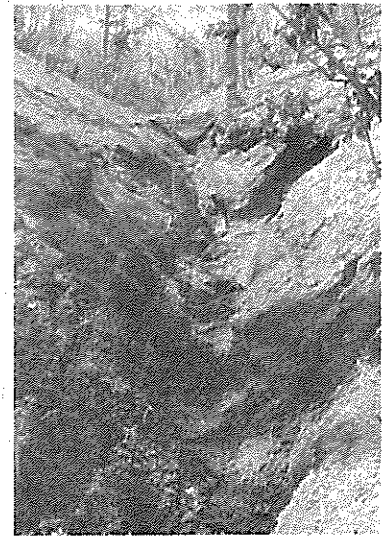
写-8.2.19
西山川 SP630m付近 S55.8.8



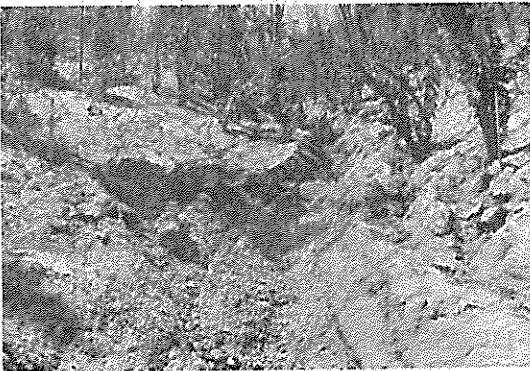
写-8.2.20
西山川 SP780m付近 S55.8.8



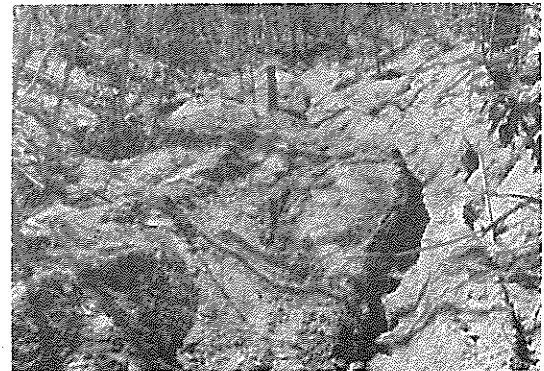
写-8.2.21
西山川 SP860m付近 S55.8.8



写-8.2.22
西山川 SP940m付近 S55.8.8



写-8.2.23
西山川 SP1080m付近 S55.8.8



写-8.2.24
西山川 SP1280m付近 S55.8.8

3 節 降雨特性と泥流の流動・堆積土砂量との関係

(1) 調査目的

本調査は、降雨特性と泥流により流動する土砂量（生産された土砂量）の関係を明確にする目的で行なった。

(2) 調査概要

本調査は、昭和54年3月（融雪時期）から同年11月まで、図－8・3・1に示した箇所の西山川と小有珠川において実施したものであり、昭和53年の大規模な泥流が発生した後の地形を基準として、降雨によって火山灰が流動するたび横断測量を行なって、堆積形状から土砂量を求め、降雨特性と対比した。

(3) 調査の結果と考察

図－8・3・2は、有珠山の泥流解析を行なうための降雨に関する諸元を示す。同図中に示す連続降雨時間とは、一連の降雨に対して、3時間以上間断することなく降雨がある場合の合計降雨時間をいい、瞬間最大降雨強度とは、 $\theta_{\max}$ が生じる箇所を抽出し、そのときの降雨強度を時間当りに換算して求めたものである。

表－8・3・1は、降雨特性と横断測量によって求めた流動、堆積土量、図－8・3・3は降雨特性と流域面積あたりの流動・堆積土量の関係を示す。

ここで求めた西山川の値は、図－7・2・2に示す測点800mから上流で得た結果であり、この上流には一切の防災施設はないのに対し、小有珠川は、図－8・3・4に示すように2号砂防ダムの上流側のポケット内の堆積土量であり、その上流には数基の床固め工が建設されており、西山川と小有珠川を単純に比較することは困難であるが、これらの調査結果によれば、表－8・3・1に示すように、流域面積当りの流動、堆積土量から見て、西山川が小有珠川より、はるかに生産される土量の多いことがうかがえる。

昭和54年度の土量は、図－8・2・5に示す昭和53年10月24日の泥流発生時から見ると小規模の流動土砂量であるが、図－8・3・3によれば、降雨量と降雨強度の積に比例し流動される土量は増大する傾向にある。しかし、データ数が少ないことから降雨解析基本図に基づく流動・堆積土量等の関係を明確にすることはできなかった。

図－8・3・5，8・3・6，および写真－8・3・1～8・3・13に調査期間中の現地の堆積状況を示す。

洞爺湖



図-8・3・1 流出火山灰の堆積調査位置図

伊達市

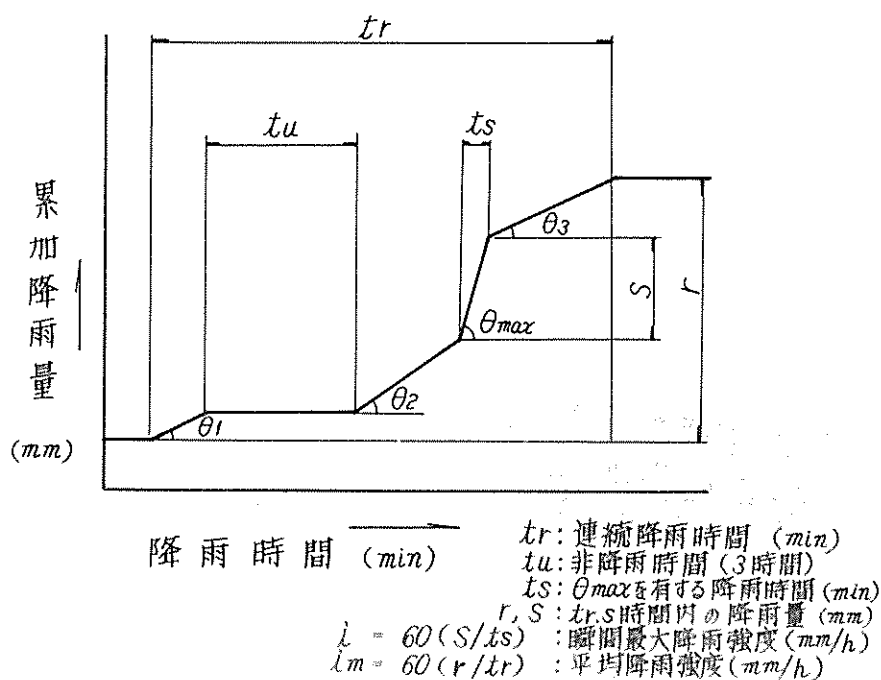


図-8.3.2 降雨解析基本図

表-8.3.1 降雨特性と流動堆積土砂量

(調査年度 昭和54年)

項 目 日	降 雨 特 性						降 水 ・ 堆 積 土 砂 量			
	連 続 降 雨 量 (min)	瞬 間 最 大 降 雨 強 度 (mm/h)	平 均 降 雨 強 度 (mm/h)	瞬 間 最 大 強 度 を 有 する 時 間 (min)	瞬 間 最 大 強 度 を 有 する 雨 量 (mm)		西 山 田 (A ~ 72000 m ²)		小 有 珠 田 (A ~ 621000 m ²)	
							V (m ³)	V/A (m ³ /m ²)	V (m ³)	V/A (m ³ /m ²)
7.2	305	198	72	50	165	—	—	$\times 10^{-3}$	1343	$\times 10^{-3}$
8.1	285	360	56	10	60	—	—	—	774	—
8.27	595	116	58	70	135	28	—	0.39	343	0.55
9.5	960	171	45	35	100	245	—	3.40	600	0.97
9.22	240	180	27	10	30	178	—	—	711	—
10.1	715	89	44	60	80	—	—	2.47	—	1.14
10.19	1045	132	42	180	395	636	—	8.83	3269	5.26
合 計								1510	7040	1134

(注) V: 移動堆積土砂量

A: 測定地点から上流の流域面積

— は実際に流動堆積しているが、未測定である部分

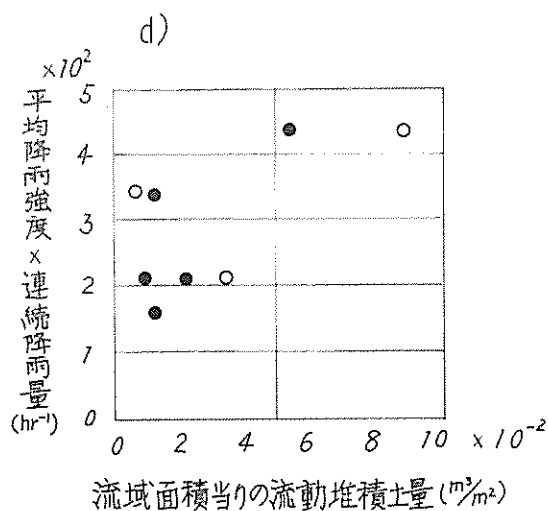
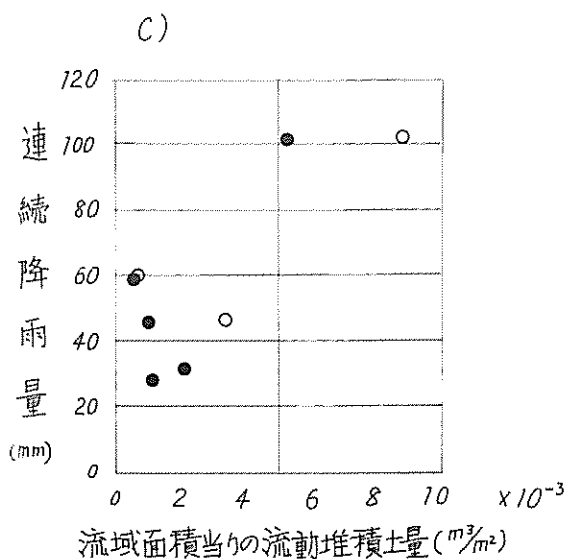
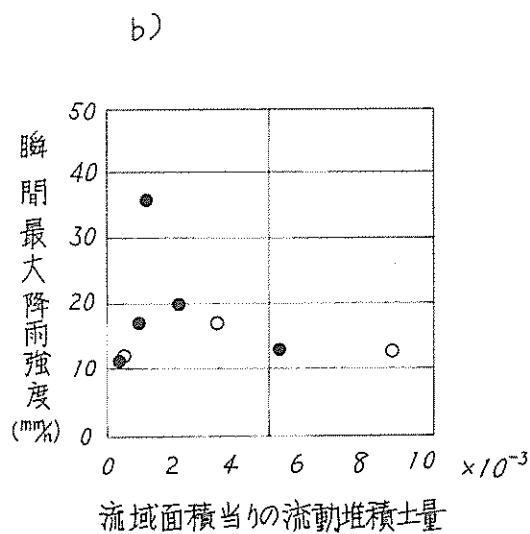
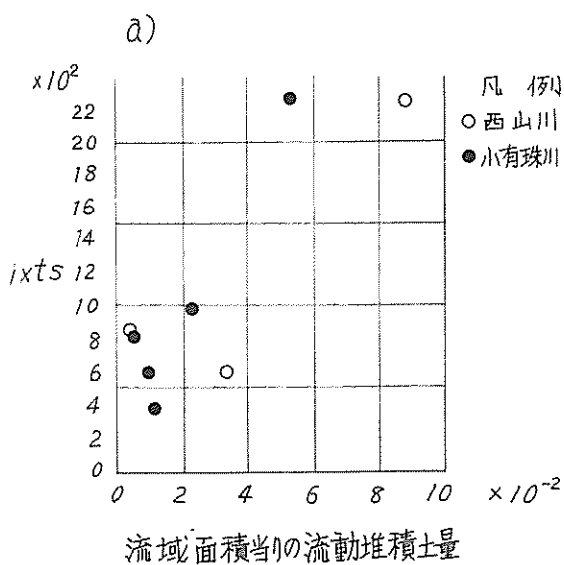


図-8.3.3 降雨特性と流域面積当りの流動・堆積土量

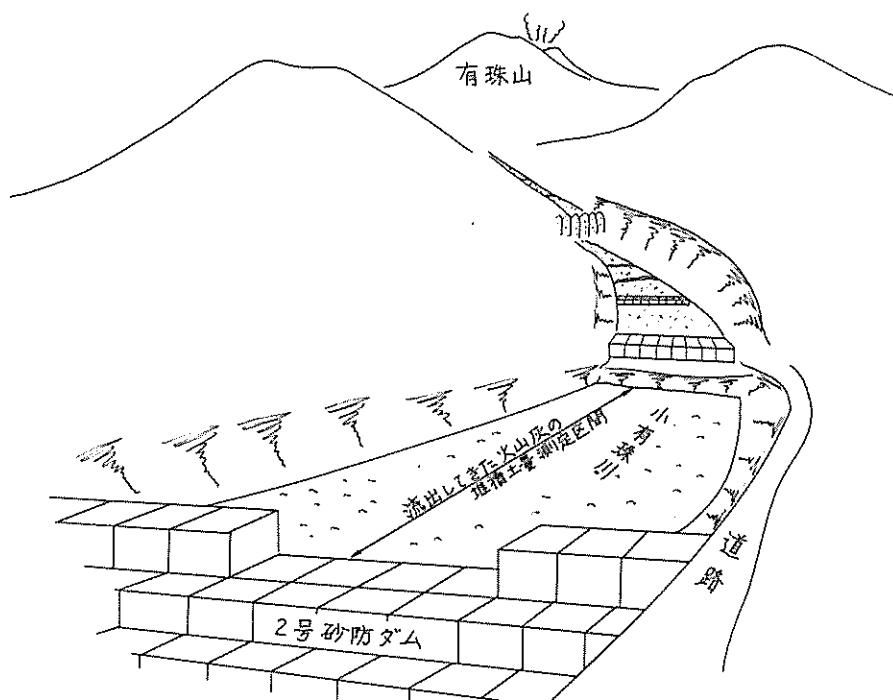
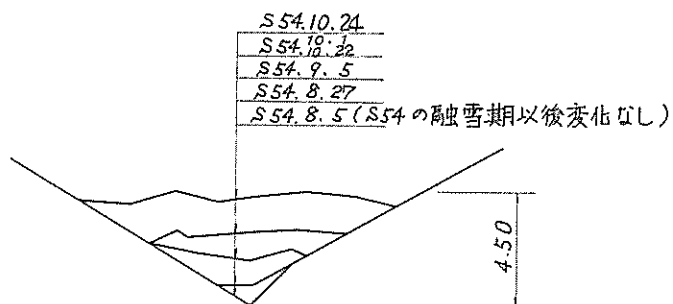
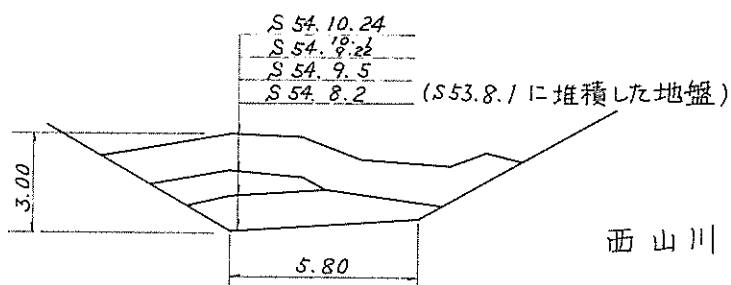


図-8・3・4 小有珠川の鳥かん図

NO. 35



NO. 34



西山川の砂防ダム内

図-8・3・5 火山灰堆積変化図(西山川地域)

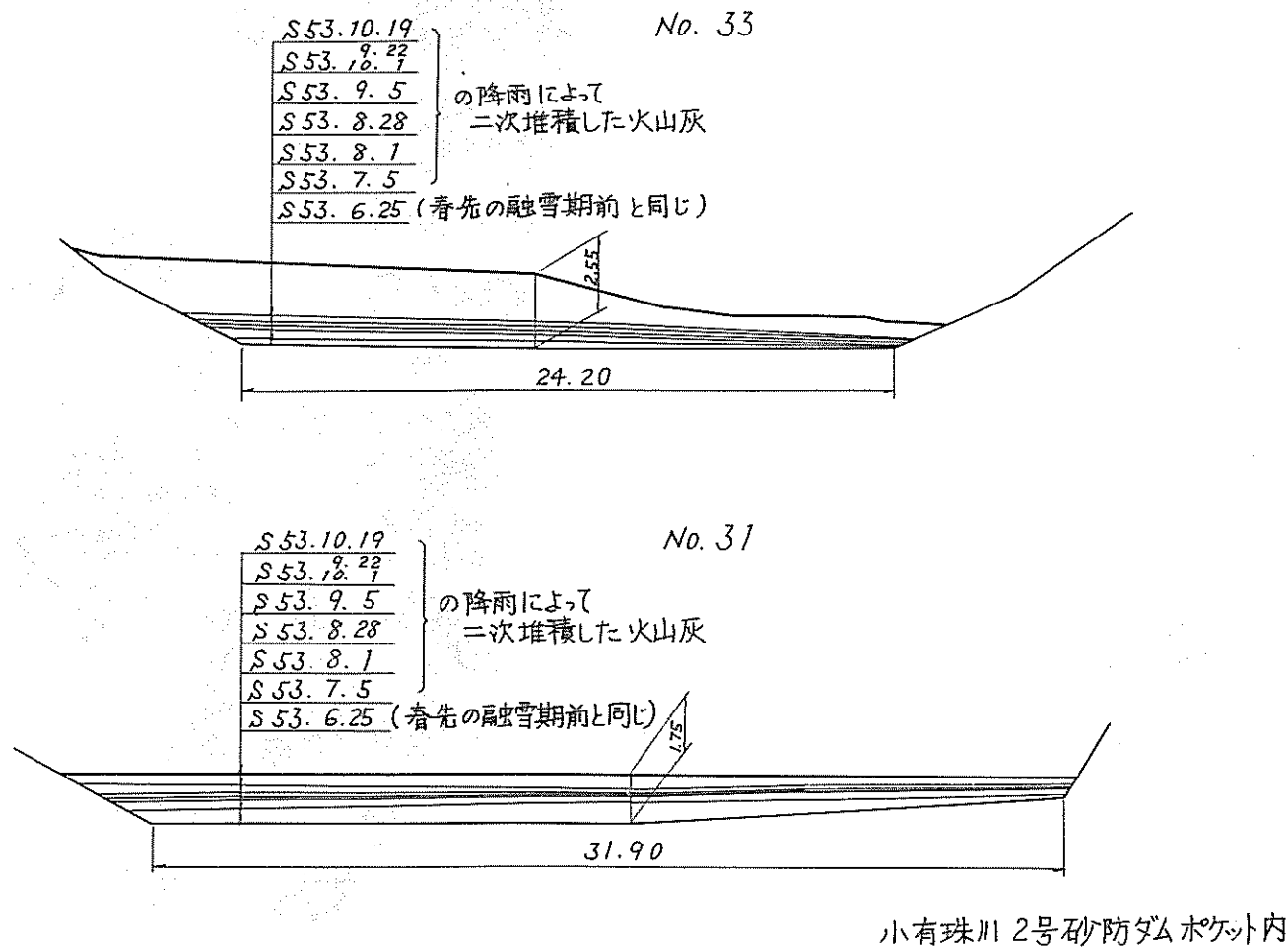
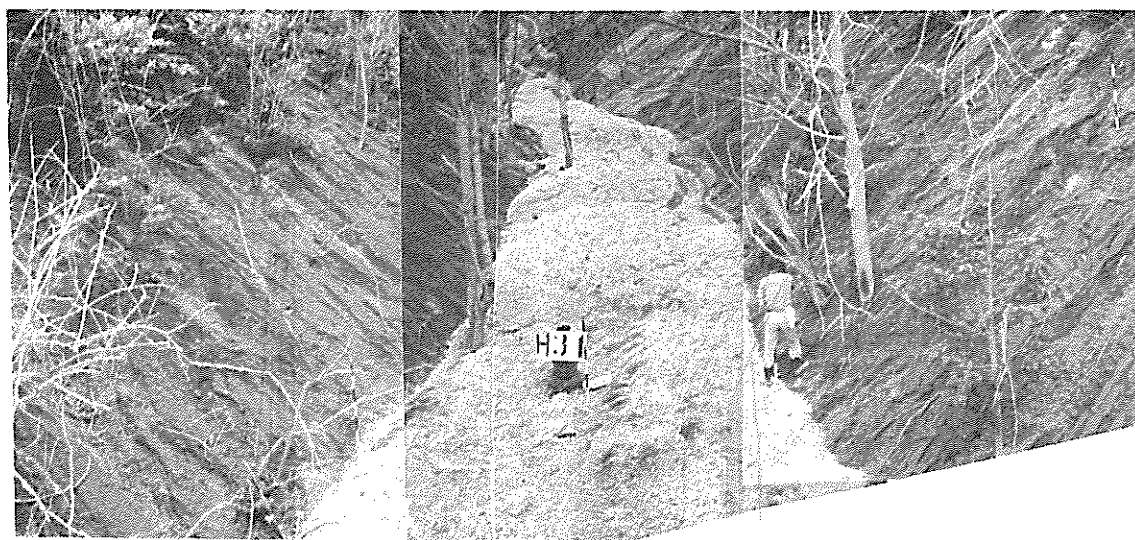


図-8・3・6 小有珠川の降雨による火山灰堆積変化図



写-8.3.1

西山川 S 54. 8. 10 (№ 34)



写-8.3.2

西山川 S 54. 9. 5 (№ 34)

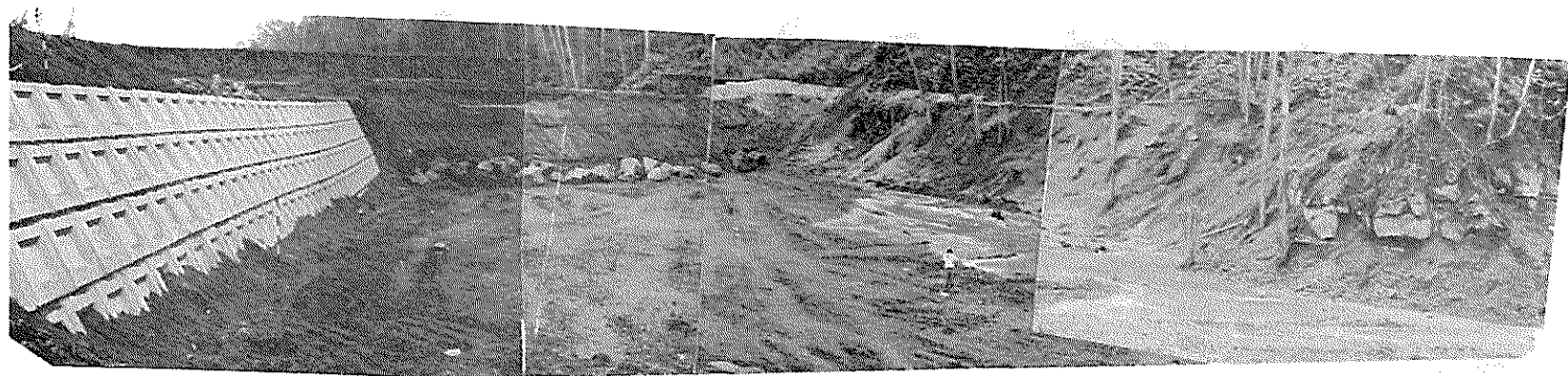


写-8.3.3 西山川 S 54. 10. 1 (634)

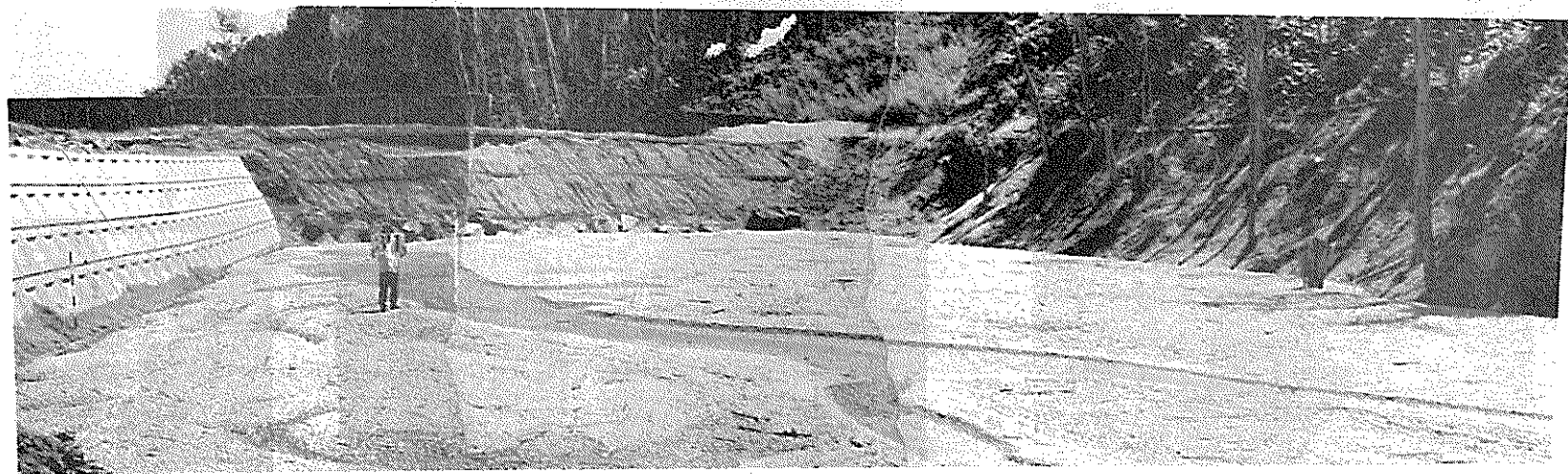


写-8.3.4

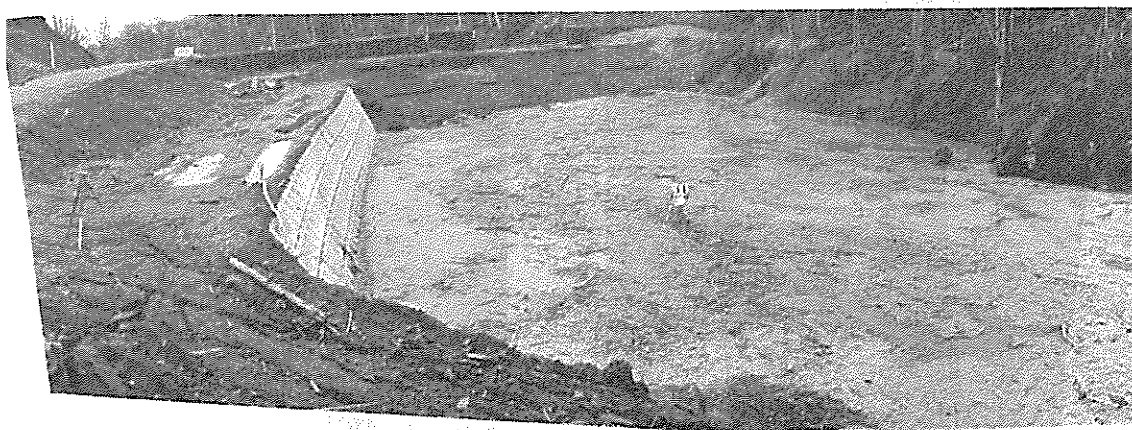
西山川 S 54. 10. 21 (634)



写-8.3.5 小有珠川 S 54.6.30 (№31)



写-8.3.6 小有珠川 S 54.7.5 (№31)



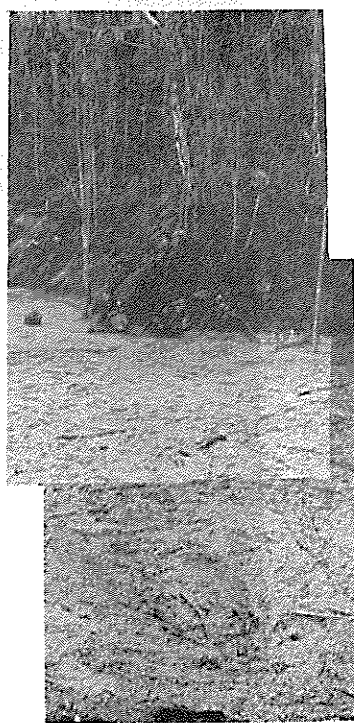
写-8.3.7

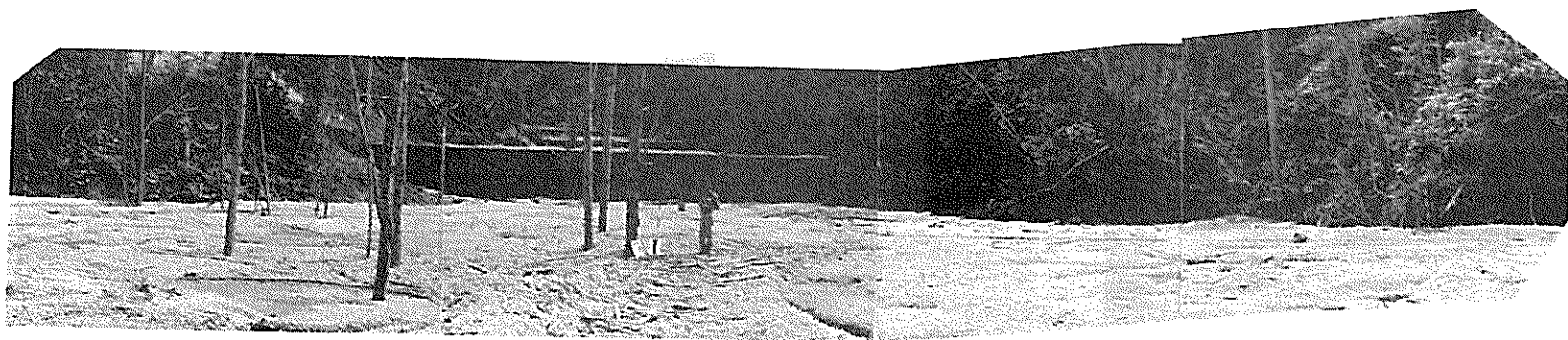
小有珠川 S 54. 10. 5



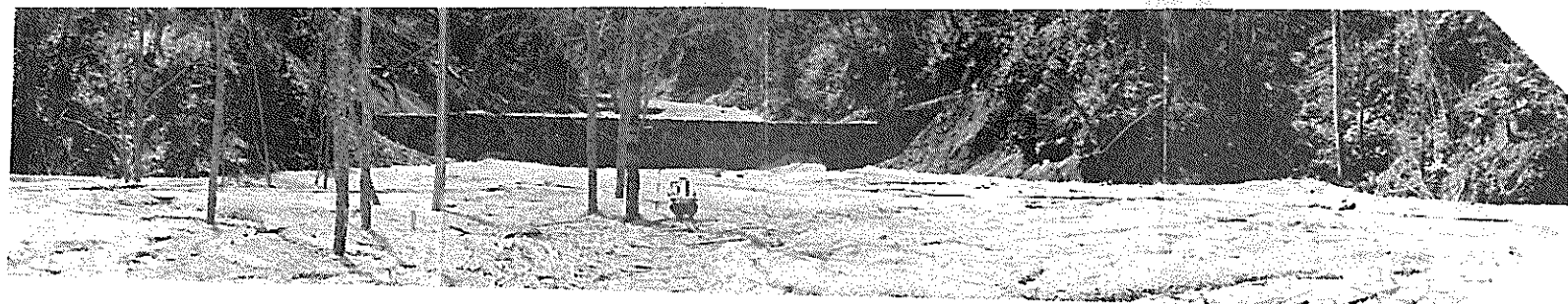
写-8.3.8

小有珠川 S 54. 10. 21 (№ 31)

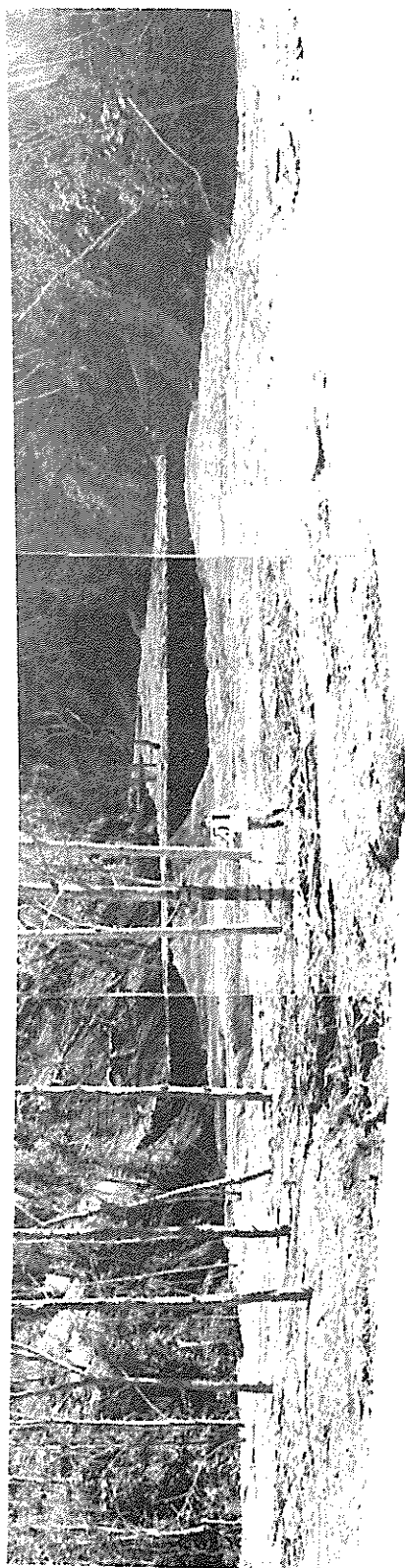




写-8.3.9 小有珠川 S 54.8.10 (651)



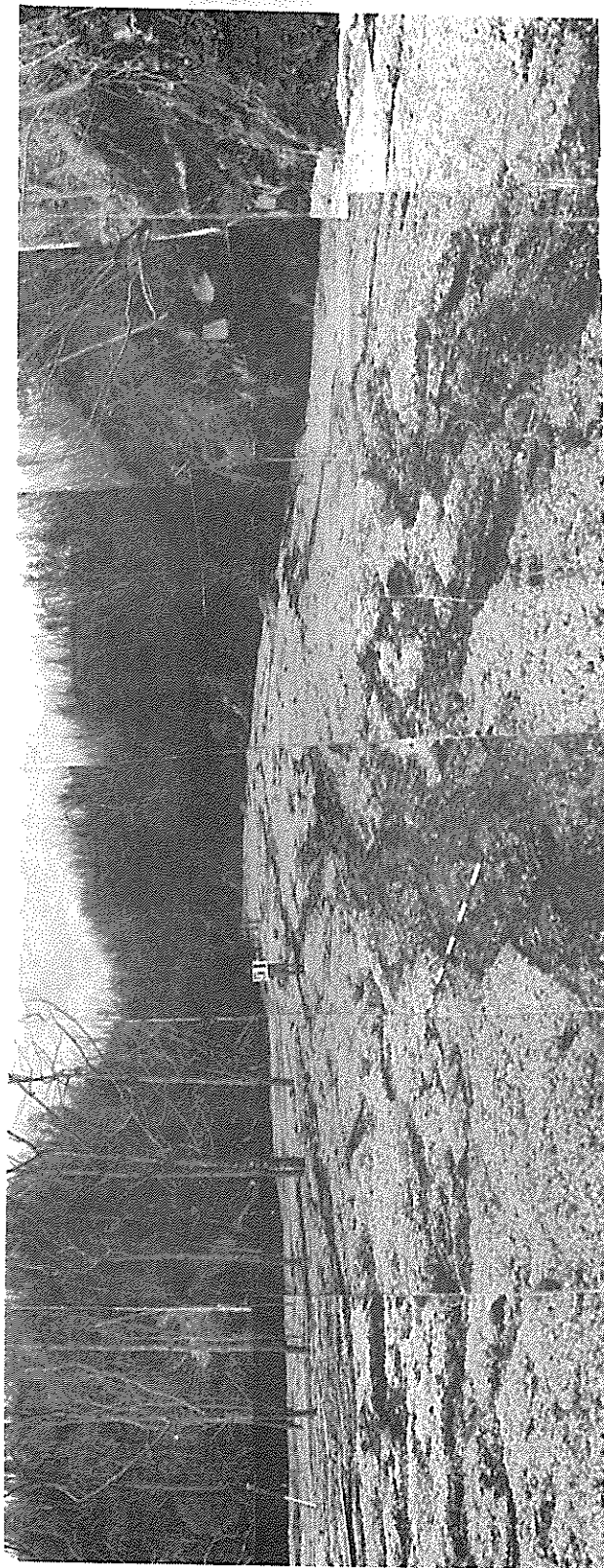
写-8.3.10 小有珠川 S 54.8.28 (651)



写-8.3.11 小有珠川 S 54 9 5 (№ 51)



写-8.3.12 小有珠川 S 54 10 5 (№ 51)



写-8.3.13 小有珠川 S 54.10.21

4 節 降雨特性から見た泥流発生限界

(1) 調査目的

この調査は、泥流発生の最も大きな要因と考えられる降雨について、降雨特性と泥流発生の関係を明確にする目的で実施した。

(2) 調査概要

この調査は、この章の2節および3節の中で述べた、昭和53・54年に実施してきた調査期間中において連続降雨量10mm以上の時、泥流が発生したか、しなかったか、確認できる範囲で調査したものであり、昭和53年は西山川、昭和54年は西山川・小有珠川を中心に実施したものである。

(3) 調査の結果と考察

表-8・4・1は、この調査期間中の降雨状況と泥流発生の関係総括表を示すものである。図-8・4・1～8・4・3は、それぞれの降雨状況と泥流の発生状況を調べた結果である。この調査結果によれば、昭和53年10月24日の最も大規模な泥流発生時の連続降雨量は17mmと比較的小さいが、5分間に14mmの降雨量があり、これを時間当りの瞬間最大降雨強度に換算すると168mm/hとなり、最も大きい結果となっている。一方、瞬間最大降雨強度が2番目に大きい昭和54年9月22日の連続降雨量は、昭和53年9月26日、同年10月16日の大規模な泥流発生時よりも大きくなっているのに対し、泥流は山間部でのみ発生した程度であるが、これは、昭和54年の冬期間に行なわれた砂防工事の効果が表われていることと、4章の2節で述べた、泥流の堆積土砂から見て、すでに、流動しやすい土砂が先に流動してしまったことなどが考えられる。

これらの結果から降雨状況と泥流発生状況の関係を調べたところ、図-8・4・1に示す瞬間最大降雨強度と連続降雨量との関係が、比較的、泥流の発生時と不発生時の境界区分をすることができた。また、30分間の降雨量と連続降雨量の関係でも比較的これらの境界が区分できることから、泥流の発生は、短時間に降る雨量に左右されるものと思われる。

図-8・4・1に示すように、泥流発生、不発生に関する降雨特性から見た泥流発生限界Rは次式で与えられる。

$$R = i + 3.88r - 25$$

ただし、 $10 < r < 104$

R： 降雨特性から見た泥流発生限界

i： 瞬間最大降雨強度 (mm/h)

r： 連続降雨量 (mm)

表-8.4.1 降雨状況と泥流発生の関係総括表

項目 年月日	連続雨量 (mm)	連続降雨 時間 (min)	平均降雨 強度 (mm/h)	瞬間最大降 雨強度 (mm)	瞬間最大降 雨強度 (mm/h)	瞬間最大降 雨強度 (mm/h)	泥流 発生	備 考
S53.5.30	34.0	960	2.1	11.0	180	3.7	△	△: S53泥流発生
" 6.13	51.0	960	3.2	10.0	25	24.0	⊙	▲: S54 "
" 6.21	21.0	620	2.0	6.0	90	4.0	△	⊙: S53泥流発生
" 7.7	32.0	510	3.8	4.0	15	16.0	△	(山間部まで)
" 8.14	27.0	830	2.0	6.0	15	24.0	⊙	○: S54 "
" 8.16	23.0	570	2.4	3.0	30	6.0	△	(")
" 9.26	10.0	120	5.0	7.0	15	28.0	⊙	⊙: S53泥流発生
" 10.16	17.0	70	18.0	9.0	15	36.0	⊙	(湖水まで)
" 10.20	20.0	690	1.7	11.0	120	5.5	⊙	
" 10.24	17.0	30	34.0	14.0	5	168.0	⊙	
S54.6.26	19.5	420	2.8	9.0	60	9.0	▲	
" 7.2	30.5	255	7.2	16.5	50	19.8	○	
" 7.4	20.0	355	3.4	7.5	55	8.2	▲	
" 7.25	16.0	720	1.3	5.5	65	5.1	▲	
" 8.1	28.5	290	5.6	6.0	10	36.0	○	
" 8.2	17.5	370	2.8	7.5	55	8.2	▲	
" 8.27	59.5	620	5.8	13.5	70	11.6	○	
" 9.2	20.0	540	2.2	2.5	20	7.5	▲	
" 9.5	46.0	620	4.5	10.0	35	17.1	○	
" 9.18	10.0	235	2.6	2.0	20	6.0	▲	
" 9.22	24.0	525	2.7	10.5	12	52.5	○	
" 9.27	16.0	235	4.1	3.0	22	8.2	▲	
" 10.1	71.5	970	4.4	3.0	60	8.0	○	
" 10.4	14.5	480	1.8	6.5	20	19.5	▲	
" 10.19	104.5	1510	4.2	39.5	180	13.2	○	
" 11.5	26.5	405	3.9	6.0	10	36.0	▲	

上式において、 $R > 0$ のときは泥流発生、 $R < 0$ では不発生という結論が得られる。ただし、連続降雨量 r は、泥流が発生するまでの降雨量ではなく、泥流が発生したときの単なる連続降雨量であり、泥流がどの時点で発生しているかは不明であることから、実際、泥流が発生するまでの連続降雨量は、図中に示す値よりも小さくなり、泥流発生限界を示す線は急勾配になるものと思われる。

また、これらの結果は、ひん繁に発生していた水蒸気爆発により、火山灰堆積斜面の地被条件が変化したり、砂防施設の建設などにより刻々と現地条件が変わるなど、必ずしも同一条件で調査されたものではなく、加えてデータ数も少ないことなどから、今後、ここで得た泥流発生限界 R の判定どおりの結果とは異なることも考えられるが、一応の目安になるものと思われる。

表－8・4・2 は、昭和54年の泥流発生場所を調査した結果であるが、同表によれば、流域面積がほぼ 40,000 m^2 以上のところで泥流が発生している例が多い。1号支線については、67,000 m^2 の流域面積を有するものの、降灰厚は50cm程度と比較的小さいことと、昭和53年の大規模な泥流発生時に大半の土砂が流出し、昭和54年の調査時点ではルーズな土砂が少なく、残留している土砂も粗粒分に富んでいたことなどから、泥流が発生しなかったものと思われる。

表－8・4・2 泥流発生場所

月 日 場 所	西 山 川							小有 珠川	備 考
	本 線	1号 支線	2号 支線	3号 支線	4号 支線	5号 支線	6号 支線		
S54.7.2	○	×	×	×	○	×	×	○	確認（堆積）場所から上流側の 流域面積 本 線 $A = 72,000 m^2$ 1号支線 $A = 67,000$ 2 " $A = 68,000$ 3 " $A = 25,000$ 4 " $A = 38,000$ 5 " $A = 35,000$ 6 " $A = 25,000$ 小有珠川 $A = 489,000$ ○は流動，×は変化なし，－は 未確認
" 8.1	○	×	×	×	－	×	×	○	
" 8.27	○	×	×	×	×	×	×	○	
" 9.5	○	×	×	×	○	×	×	○	
" 9.22	○	×	－	×	－	×	×	－	
" 10.1	○	×	○	×	○	×	×	○	
" 10.19	○	×	○	×	○	×	×	○	

注 1. S53.9.26/10.16/10.24 の泥流については、大半の沢から出ているが未確認。

注 2. 沢の地形条件および火山灰の堆積状況については、表－8・1・1 参照。

注 3. 西山川の支線において、昭和53年は砂防ダムなし。

なお、昭和54年はすべての支線にあり。

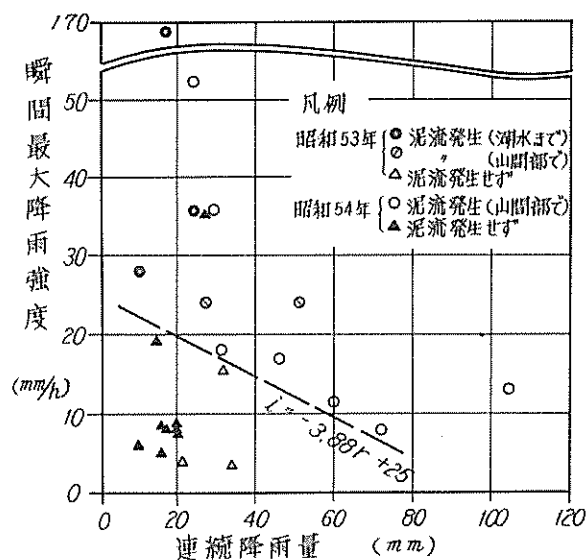


図-8.4.1 瞬間最大降雨強度・連続降雨量と泥流発生の関係

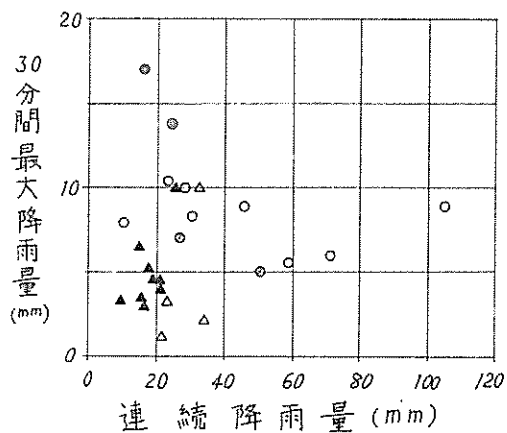


図-8.4.2
30分間最大降雨量・連続降雨量と泥流発生の関係

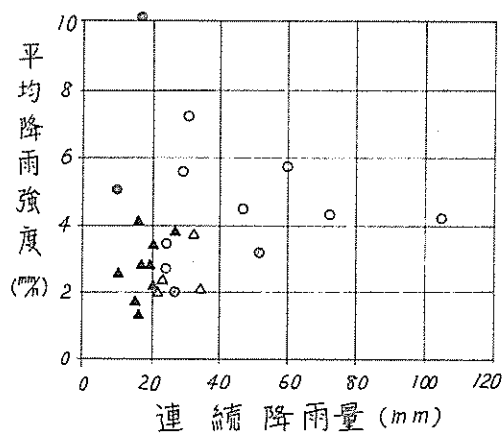


図-8.4.3
平均降雨強度・連続降雨量と泥流発生の関係

9章 結果と総合的考察

1 節 結 果 の 整 理

前章までの各種調査結果ならびに考察についてまとめると以下のとおりである。

(1) 堆積火山灰の工学的性質

- ① 噴出火山灰の粒度分布は、北海道における未風化火山灰よりも広い。
- ② 堆積した火山灰は、粒度、比重、透水特性から見て、上層部と下層部の二層に大別できる。
- ③ 噴源地から離れると堆積層の厚さは薄くなり、細粒分が多くなり、強熱減量も小さくなる。
- ④ 噴出火山灰は、弱アルカリ性である。

(2) 泥流堆積物の工学的性質

- ① 昭和53年に泥流となって流出した火山灰の粒度組成は、シルト分以下が20%，砂分が40%，レキ分が20%となっている。
- ② 昭和54年に流出した火山灰の表面は、大半がレキ分で占められている。下層は、昭和53年のそれと類似している。
- ③ 各個運搬されて堆積した火山灰はよく締固まっており、集合運搬されたそれはルーズな状態である。

(3) 有珠山周辺の融雪状況（昭和54年春）

- ① 春先の最も融雪が著しいときの積雪密度は 0.4 g/cm² 程度である。
- ② 融雪速度は、温度よりも降雨による影響が大きい火山灰斜面における最大供給水量（降雨水＋融雪水）は 100 ～ 140 mm/日 程度である。
- ③ 融雪期における火山灰堆積斜面の侵食および崩壊状況は、雪がない状態と異なる。また、斜面が凍結していたため、侵食は大きく進行していない。

(4) 有珠山周辺の降雨状況

- ① 最大日降雨量の発生する時期は8月が最も多く、全体の50%程度を占めている。
- ② 昭和38年から51年までの最大時間当り降雨量が36 mm/h であるのに対して、現地調査期間中（昭和53、54年）のそれは17 mm/h であって、過去の記録と比べて比較的小さい。
- ③ 暖候期（5～10月）の有珠山周辺の降雨量は平均 800 mm 程度であるのに対し、調査期間中のそれは、昭和53年が 560 mm 前後、54年が 650 mm 前後となっており、比較的少ない。

(5) 人工降雨下における火山灰堆積層の安定性に関する模型実験

- ① 人工降雨に伴い、模型斜面の火山灰層は、全体的に水締め効果によって若干の変状を呈するが、全層が浸潤された後、変位・土圧・間ゲキ水圧などは、ほぼ定常状態となって落ち着く。
- ② 湿潤火山灰層による土圧は、ほぼクーロンの理論式において、土の内部摩擦角 30° 、土と壁面との摩擦角 15° とした場合の理論値に近似するが、その分布は三角形とならず、壁高の中間に最大値を有する中膨れ形となる。
- ③ 斜面傾斜角度が 30° 以下の堆積層では、人工降雨によって若干の侵食が発生するが、火山灰の流出は微量であり、とくに、人工降雨強度 30 mm/h 程度の強さでは土砂の流出は見られない。
- ④ 斜面傾斜角度が 40° の場合には、人工降雨によって短時間で堆積層が崩壊する。その崩壊が発生するまでの時間は、人工降雨強度の大きい方が早く発生し、その崩壊規模も大きい。それらの限界の斜面傾斜角度は、補助的な実験などから $30 \sim 35^\circ$ の間にある。

(6) 表面流水による火山灰堆積斜面の侵食・崩壊に関する模型実験

- ① 流水強度 25 l/min では変化がなく、 $35, 50 \text{ l/min}$ では集合運搬、 100 l/min では各個運搬と集合運搬の混合、 200 l/min では侵食を伴う各個運搬によって崩壊が発生する。
- ② 集合運搬が発生する場合は、中間流出水が見られ、短時間に直進的に流出するのに対し、各個運搬によって崩壊される場合は、水によって侵食されながら流出されるため、広範囲に土砂が流出するものの、崩壊の規模は小さい。
- ③ 放水開始後、泥流発生までの時間は流水強度によって変わるが、斜面傾斜角度のちがいにによる差は見られない。
- ④ 集合運搬によって流出する流動物（火山灰）の含水比が $50 \sim 75\%$ 程度であるのに対し、各個運搬によって流出する流動物のそれは、非常に大きく、土砂の濃度は極めて小さい。

(7) 火山灰の粒度と流動性の関係

火山灰の流動性は粒度に大きく左右され、粗粒火山灰はほとんど流動しないが、細粒火山灰は含水比 20% 程度で著しく強度が減少し、含水比 30% 程度に液性限界があり、含水比が 35% 程度になると急激に流動し始める。

(8) 火山灰堆積斜面の浸透性

- ① 最終流出率は、細粒火山灰（昭和53年9月降灰）上で $80 \sim 95\%$ 、粗粒火山灰（昭和52年8月降灰の下層部）上で $2 \sim 15\%$ である。
- ② 最終浸透能は、細粒火山灰上で $2 \sim 7.5 \times 10^{-3} \text{ cm/min}$ 粗粒火山灰上で $1 \sim 1.6 \times 10^{-1} \text{ cm/min}$

程度である。

(9) 火山灰堆積斜面の侵食に関する現地調査(昭和53年5～9月)

- ① 斜面傾斜角度が 20° 以下の凹凸の少ない斜面においては、大きな侵食が見られない。
- ② 斜面上の侵食・堆積土砂量は、時間当りの降雨量(降雨強度)によって左右され、限界降雨強度は $13\sim 15\text{ mm/h}$ 程度である。
- ③ 同じ傾斜角度でも長大斜面ほど、侵食され易い傾向にある。

(10) 斜面崩壊に関する現地調査(昭和53年5月)

- ① 平坦な斜面の崩壊は、F型崩壊となり、傾斜角度 28° 以上に集中している。
- ② V型崩壊は、F型崩壊に比べ、侵食・堆積土砂量から見て2～5倍の規模を呈している。

(11) 谷(沢部)における侵食・堆積状況

- ① 溪床の縦断勾配が、14%以上では侵食、13%以下では堆積する傾向にある。
- ② 侵食形状は、三角形となっている。
- ③ 堆積厚、侵食深はともに $1\sim 2\text{ m}$ 程度であり、侵食の場合でも、在来地盤を大きく侵食していない。

(12) 降雨特性と泥流発生限界ならびに流動・堆積土砂量の関係

- ① 泥流の規模は、土砂の粒度によって異なる。
- ② 泥流発生限界 R は、 $R = i + 3.88r - 2.5$ で与えられ、 $R < 0$ であると泥流は不発生、 $R \geq 0$ であると泥流発生となる傾向がある。また、流域面積が $40,000\text{ m}^2$ 以上の所で泥流が発生する例が多い。
- ③ 流動(生産)する火山灰土量は、瞬間最大降雨強度とそれを有する時間の積、または、平均降雨強度と連続降雨量の積に比例する傾向が見られる。

2 節 泥流の発生・流動機構に関するフローチャート

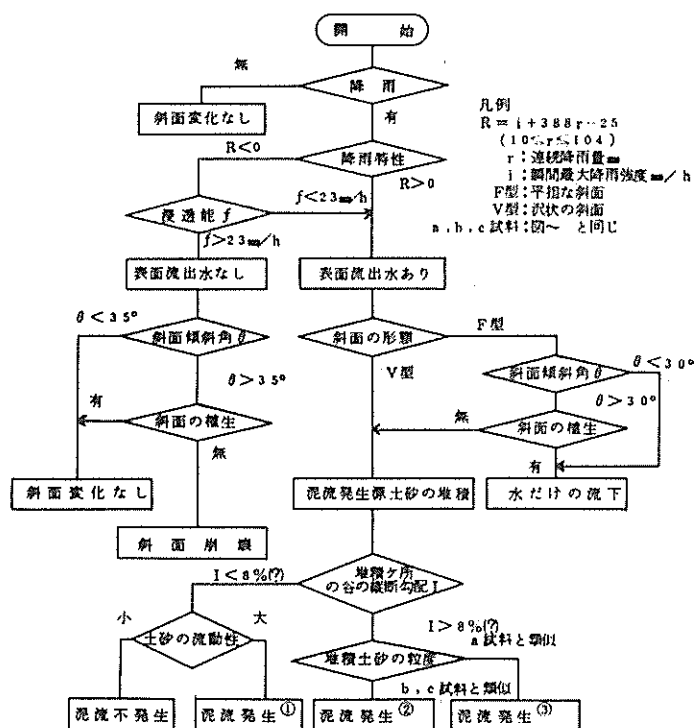
一般的に、泥流の発注・流動条件として、

- ① ルーズで十分な量の土砂があること。
- ② 土砂が流動するための十分な水があること。
- ③ 土砂が流動するための溪床勾配を有すること。

などが考えられるが、ここでは、この基本的な条件に加えて、現在までに行なってきた模型実験、現地調査などの結果を考慮し、また、これらの結果をおおまかに分類しながら、図-9・2・1に示す有珠山における泥流発生・流動機構に関するフローチャートを作成した。

ただし、図中に示す各種の条件に対する判断限界値は、昭和52年8月の最初の大噴火から54年11月現在までの現地条件に対応するものであるが、この他に、一旦、斜面もしくは一次谷に堆積された火山灰、土砂が、次回の降雨において下流部に流出してくる場合や、降雨によって斜面、一次谷などで生産された土砂と前者が同時に泥流となる場合など、泥流発生の形態は無数に存在することが予想され、このフローチャートが、必ずしもすべてのケースを網羅するものではない。

しかしながら、このような特定の条件下における泥流発生・流動機構に関するフローチャートを土台にし、その信頼度を高めながら、調査、検討を進めることによって、一般的な泥流もしくは土石流の発生、流動に関する機構を明らかにすることができるであろう。



発生規模: ②<③, ①<③
 ①と②の関係は状態によって異なる

図-9・2・1 有珠山周辺における泥流発生・流動機構に関するフローチャート

10章 泥流観測システム

(1) 泥流観測システムと観測方法

この観測システムは、泥流の発生・流動・停止などの運動機構の解析と実際の泥流を観測する目的で、昭和54年3月に設置した。

泥流観測システムは、表-10・1・1 に示す主な機器からなり、これらの設置位置を図-10・1・1 システム系統を図-10・1・2に示す。ビデオカメラは、西山川に2台、小有珠川に1台を取り付けた。この他、西山川には、5台の土圧計と1台の間ゲキ水圧計を、図-10・1・1 に示す2号砂防ダムの堤体に設置し、泥流の動圧を同時に記録するようにした。その詳細を図-10・1・3に示し、これらの機器の設置状況を写真-10・1・1～10・1・3 に示す。

これらの図表にも示すように、現場条件から、3台のビデオカメラの内、西山川に設置した2台は交流電源、小有珠川に設置した1台は直流電源によって作動する方式とした。

なお、西山川に設置したビデオカメラは、低照度用であり、また、観測ステーションからのリモートコントロールによって、鉛直、水平方向の旋回、カメラのズーム、フォーカスなどの操作ができる機能をもつものとした。また、写真-10・1・4に示すように、ビデオカメラは間欠ワイパー付のハウジングに格納し、写真-10・1・5、10・1・6に示すような2灯の照明灯具とともにパンザーマスト上に設置した。

これらに接続する西山川に設置したV・T・Rは、テープの送り速度を切り換えることによって、1本のテープの撮影時間を72分、12時間、24時間、48時間、96時間に変更でき、標準速度72分/本の撮影時には、1秒当たり30コマを記録することができる性能を持っている。

これらのシステムは、雨量計センサーおよびワイヤーセンサーによって、自動的に作動し、無人観測ができるようにした。写真-10・1・7は、ワイヤーセンサーを示すが、泥流が発生した場合には、このワイヤーセンサーの中板もしくは外枠と中板がともに流され、微少電流が流れる電線が切断されることによって、一連のシステムが作動する仕組みとなっている。また、雨量計とシステムを連結させた雨量計センサーを設置し、泥流発生以前の段階でも所定の降雨強度に達すると、観測機器は自動的に作動するシステムとし、この観測での作動開始の降雨強度として $2\text{mm}/10$ 分を設定した。

システムが作動する場合は、撮影時間およびビデオテープの撮影スペースが限定されているため、実際にワイヤーセンサーが切断された場合には、泥流が発生してビデオコーダーによる記録を標準速度で撮影した。一方、雨量計センサーが作動した場合のその記録は、撮影速度 $12 \cdot 24$ 48・96時間の撮影速度から選定でき、その撮影時間は、20～240分の範囲で選定が可能である。

これら両センサーからの信号でシステムが作動する場合、雨量計センサーのみが動きワイヤーセンサーが切断されない場合は、設定時間内（20～240分）でシステムの動作は終了し、システムが作動している最中に雨量計センサー（写真-10・1・8）が信号を発すると、再びその信号を発した後、設定した時間内において作動するようにした。また、この雨量計センサーが信号を発し、システムが作動中に泥流が発生してワイヤーセンサーが切断されると、ワイヤーセンサーの信号が優先され、標準速度でV・T・Rが記録を始め、ビデオテープの撮影スペースがなくなるまで記録を続けた後、システムの動作は終了するようになっている。

なお、西山川については、V・T・Rへの記録のほか、ワイヤーセンサーが切断されると動ひずみ測定機を介して、図-10・1・3に示す土圧計が泥流の土圧をデーターレコーダーに記録することと、30 m間隔に設置した2台のワイヤーセンサーを用いて、泥流の初期流速を記録できるような方式をとっている。

これに対して小有珠川に設置したシステムは、ワイヤーセンサーが切断されると、連続1時間、V・T・Rが泥流の記録を行なうだけの簡易なシステムとし、ビデオカメラもあらかじめ現地の撮影箇所の条件を配慮し固定型のものを使用した。

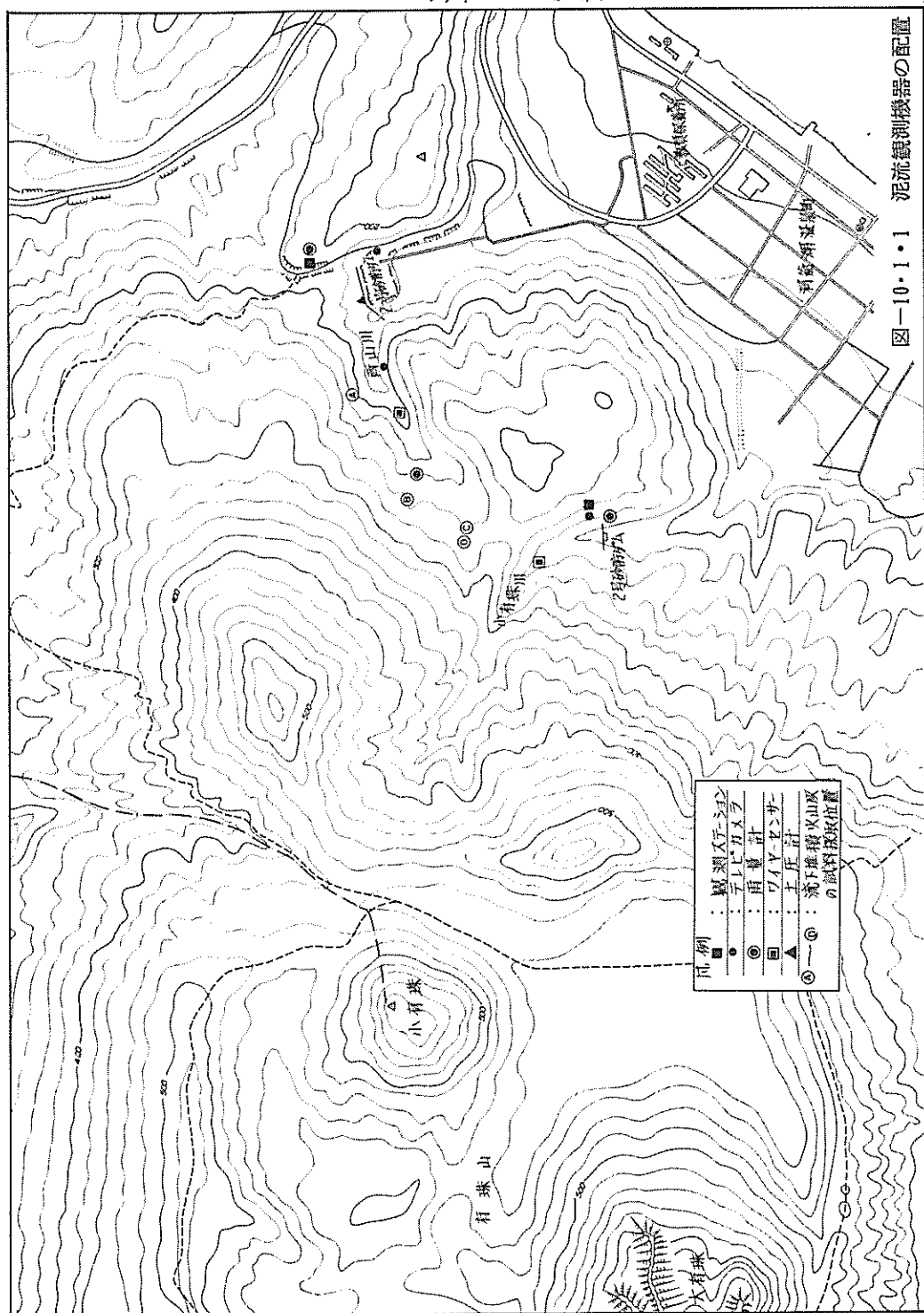
その他、泥流観測と並行して、図-10・1・1に示す4箇所では降雨観測体制をとっている。

（2）泥 流 観 測

昭和54年3月上旬から、この装置による泥流観測体制を敷き、昭和55年3月まで無人観測を行ってきたが、このシステムの設置以来、小規模な泥流が数回V・T・Rに記録されているものの、解析可能な観測結果を得ることはできなかった。

表-10・1・1 泥流観測主要機器の仕様等一覧表

項 目		場所	西 山 川		小 有 珠 川	備 考
		系 統	№1 カメラ系統(下流側)	№2 カメラ系統(上流側)	№3 カメラ系統	
カ メ ラ	機 種	カメラハウジングワイパー付 白黒低照度カメラ	№1と同じ	№1と同じ		西山川地域 ・カメラハウジングは導電ガラス付 ・旋回角度は水平 270°上下 60° ・雨量計センサーの設定は 10分・20分・30分間雨量が1～99 mmの範囲で1mm単位で設定可能 ・流速センサーは 30mの3連で 設置
	解 像 度	550本(水平)	"	450本(水平)		
	レ ン ズ	f=1:2.3	"	f=1:0.81		
	ズ ー ム 比	1:1.0 (11.5～110mm)	"	2.5mm(固定)		
	使 用 温 度	-5～50℃	"	-5～45℃		
	撮影休の必要照度	5ルクス	"	1ルクス		
V T R	解 像 度	カラー 240本(水平) 白 黒 320本(")	"	カラー 240本(水平) 白 黒 300本(")		・雨量計(最少読取時間30分最少読 取降雨量0.5mm)…2台 ・土圧計…5台(動ひずみの測定) ・間ゲキ水圧…1台
	保 存 温 度 範 囲	-20℃から60℃	"	-10℃から40℃		
	使 用 温 度 範 囲	5℃から40℃	"	5℃から40℃		
	撮 影 時 間	五段変速 72min/本12・24・48・96h/本	"	1 h		
そ の 他	VTRからテレビ カメラまでの距離	170m	570m	5 m		小有珠川地域 ・雨量計(最少読み取り時間30分 最少読み取り降雨量0.5mm)…2台
	リモートコントロール装置	旋回, ズーム, ホーカス	旋回, ズームホーカス	固 定		
	制 御 方 法	雨量計センサーワイヤセンサ	№1と併用	ワイヤーセンサー		
	モ ニ タ ー テ レ ビ	14 インチ	"	5 インチ		
	観測ステーション	2.7×3.6m	"	1.2×1.2m		
	電 源	交 流	交 流	直 流(バッテリー)		
	照 明	100V×1000W×2灯	24V×75W×2灯	12V×55W×2灯		
	ビデオタイマー	月・日・時・分・秒1/100秒	№1と同じ	№1と同じ		



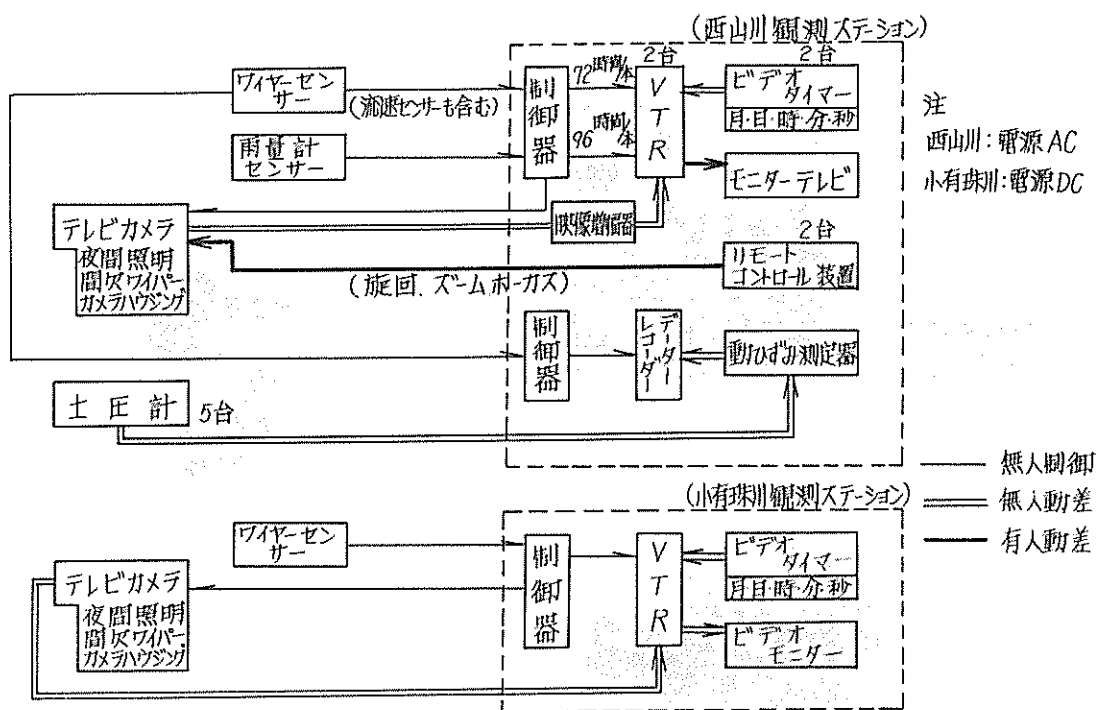


図-10・1・2 システム系統図

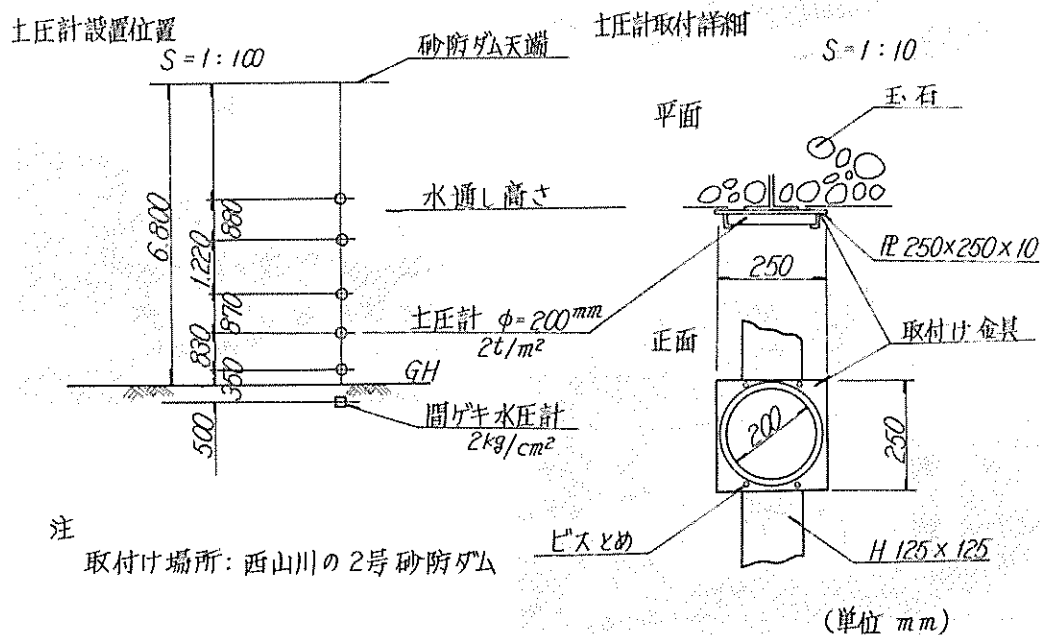
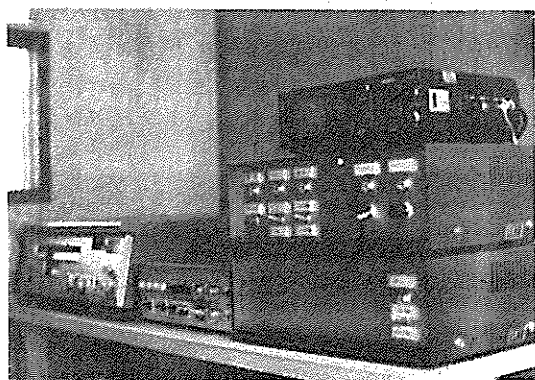


図-10・1・3 土圧計の設置要領



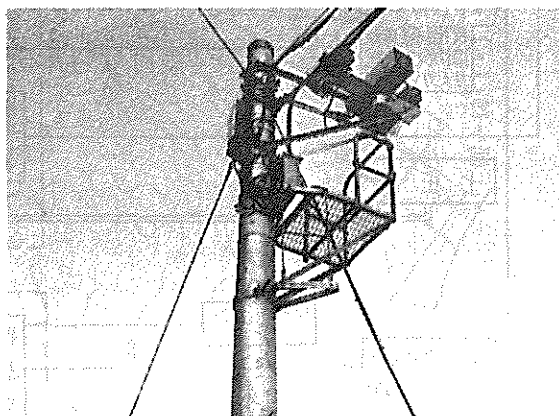
写-10.1.1
泥流観測機器の設置状況
(西山川地域)



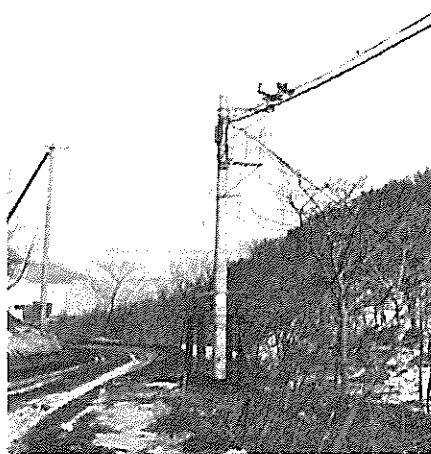
写-10.1.2
泥流観測機器の設置状況
(小有珠川地域)



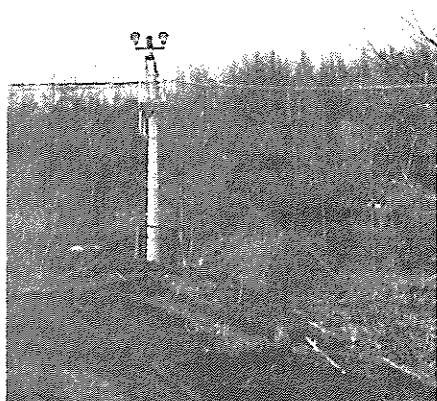
写-10.1.3
観測ステーションの設置状況(西山川地域)



写-10.1.4
カメラハウジングに格納したテレビカメラ
の設置状況(西山川地域)

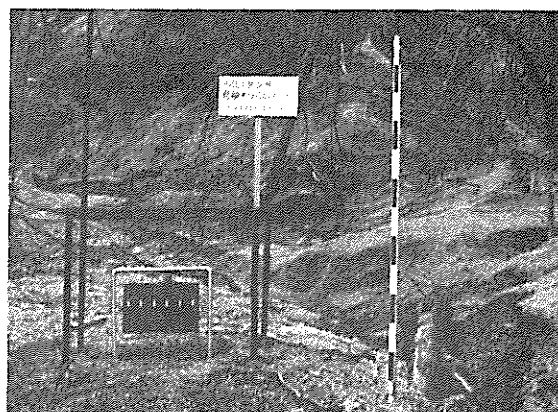


写-10.1.5
テレビカメラの設置状況
(西山川地域)



写-10.1.6

テレビカメラの設置状況
(西山川地域)



写-10.1.7

ワイヤーセンサーの設置状況
(西山川地域)



写-10.1.8

雨量計センサー
(西山川地域)

11章 今後の方針と問題点

昭和55年6月現在、有珠山の火山活動はほとんど鎮静化しており、山間部には、まだ相当量の火山灰が堆積しているものの、現在までの降雨融雪水によって、火山灰斜面は安定状態となり、流動性に富む細粒火山灰層は流出して粗粒火山灰だけが残っている状況であり、新たな火山活動がない限り、大規模な泥流等の発生の可能性は小さいと推定される。

今後は、昭和56年春先まで、泥流観測システムによる降雨期・融雪期の泥流観測を行なって万全を期するとともに、新たな泥流の発生があった場合には、現在までに得られた結果と併せて再度検討したいと考えてはいるが、上述のような現場状況から、その可能性は小さいと思われる。

現在まで行なった調査研究により一応の成果は得られたものと考えてはいるが、泥流の発生要因である地形条件、地被条件、堆積火山灰の工学的特性、降雨量などの要因相互の関係については、データ数が少ないため十分な検討とはならなかったこと、また、流動中の火山灰の特性に関しては、調査が困難なため解明できなかったことなど、今後に残された課題は多い。さらに今回の調査では、泥流の発生、流動、停止機構を連続したものとしてとらえることはできなかったが、実際問題としては、降雨パターンも多種のケースがあること。地被条件も時期によって変化すること、地域が広大であるために調査の範囲も限られたものになることなどから、定量的な解析に基づく普遍的な結果を導くことは極めて難しいことと思われる。

これらの問題点の解決は、今後の息の長い調査研究によらざるを得ないであろう。

あ と が き

「1977年有珠山噴火」に伴う堆積火山灰層の安定性に関して、昭和52年8月の噴火以来現在に至るまで、各種の現地調査、室内模型実験ならびに構内実験などを実施してきたが、すでにこれらに関する成果の一部を、自然災害科学シンポジウム、砂防学会研究発表会、北海道開発局技術研究発表会などいくつかの機会に断片的に報告してきた。本報告は、これら一連の調査研究の成果のすべてを集録し、とりまとめたものであり、これをもって本調査研究の最終報告としたいと考えている。

現在までのわが国における泥流・土石流に関する研究報告には、基本的な現象を抽象化したモデルに基づき、力学的（理論的）な分野から解析したものが数多く見られる。しかし、有珠山における泥流現象の解明に際しては、既往の理論を適用しても、ほとんどこれを的確に表現できるものは少なく、調査作業の遂行ならびに結果の解析にあたっては、試行錯誤の連続であったといわざるを得ない。

ここに、一応の調査研究成果を得ることができたと考えているが、今更のように、泥流、土石流に対する取組みの難しさを痛感している。

最後に、本研究の実施に際して御協力をいただいた、北海道大学、室蘭営林署、室蘭土木現業所洞爺出張所ならびに虻田町役場の関係各位に記して感謝の意を表す次第である。

なお、本調査研究は、多くの関係者参加によって行われてきたが、直接関与した者は下記の通りである。

土質研究室室長 佐々木 晴 美 （昭和52～55）

〃 副室長 能 登 繁 幸 （昭和52～55）

〃 主任研究員 杉 岡 博 史 （昭和52～53）

（現室蘭開発建設部）

〃 実験主任 遠 藤 宣 世 （昭和53～54）

〃 西 部 悦 寿 （昭和52～55）

〃 東海林 邦 夫 （昭和54）

〃 須 郷 亨 （昭和53）

（現留萌開発建設部）

参 考 文 献

- 1) 北海道：昭和52年度 北海道特定開発事業推進調査 有珠山噴火による流出土砂の防止対策に関する調査報告 昭和53年 3 月
- 2) 有珠山噴火北海道災害対策本部：有珠山噴火災害による被害及び対策措置状況（昭和54年 3 月31 日現在）
- 3) たとえば，北海道林務部治山課編長：有珠山噴火と活山「1977年噴火と活山対策の記録」
- 4) 2) と同じ
- 5), 6) 国立林業試験場，森田氏らの原図から
- 7) 北海道土木工業新聞社編集：有珠山土石流と闘う，砂防対策の記録
- 8) 大同淳之：堆積物の集合流動の発生限界について，土木学会 第17回水理講演会講演集

1973・2

参 考 資 料

も く じ

1. 泥流に対する検討	157
2. 泥流発生の予測についての検討	164
3. 泥流の衝撃力の推定	167
4. 室内実験用の斜面崩壊実験装置における雨量設定計算	170
5. 有珠山における泥流の発生・流動機構に関する調査研究	174
(第23回 北海道開発局 技術研究発表論文 昭和55年2月)	

1 泥流に対する検討

(1) 泥流発生の経緯と解析方法

一般に泥流については、まず堆積物が滑落または崩落して水が加わり泥流へと移行する場合と水が堆積物に流れ落ちて泥流になる場合の2つのパターンが考えられている。しかし、当該地域の泥流の場合はこのような単純なパターンではなくつぎのような経緯が考えられる。

現地に堆積した粗粒火山灰の間に細粒火山灰を混入した降雨水が流れ込み、軽石レキ状の粗粒火山灰を浮遊させ、著しくせん断抵抗を低下させたことが泥流発生の主因である。もちろん、細粒火山灰で覆われた地表面の浸透能は極めて低く、流出率が大きいことがこれらの現象を顕著にしたといえる。

一度どこかで流動が生じたあと、水と細粒火山灰と粗粒火山灰の混合材は、下流に向かって次第に規模を増し、沢の両斜面から供給される混濁水を加え、流路の側面を削りながら流下し泥流に発達していくものと推測される。

したがって、当該地域の初期泥流発生に関する要素としては、

- a) 水と細粒火山灰と粗粒火山灰の混合比とせん断常数 (C , ϕ), 単位体積重量の変化
- b) 堆積層の厚さと傾斜度
- c) 堆積物の含水容量 (field capacity)

と自然含水比

- d) 含水の供給量

(降雨, 融雪等)

- e) 2次的要素…流

路の形状, 立木等

などが考えられる。

混合材の ϕ , C , r

は含水比 (W) の関係

として表わすことがで

きる。

$$\phi = K_1 \cdot W + B_1$$

$$C = K_2 \cdot W + B_2$$

$$r = K_3 \cdot W + B_3$$

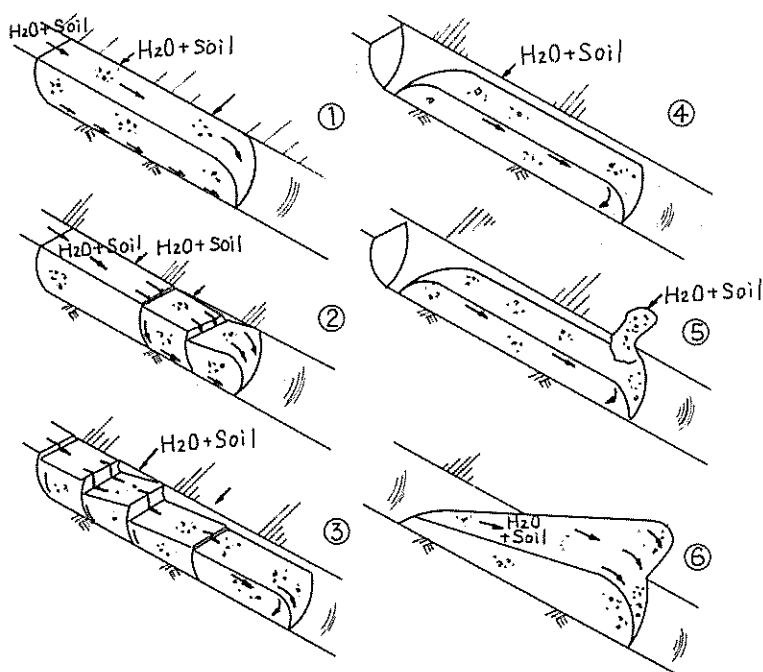


図-1 泥流発生のプロセス

ここに、 K ：比例常数、 B ： ϕ 、 C 、 r 軸の切点の値である。

いま、可動指数 (mobility index) M をつぎのように定義する。

$$M = \frac{W_m}{W_{fc}}$$

ここに、 W_m ：泥流が開始される限界の含水比

W_{fc} ：現地での含水容量 (field capacity)

$$\therefore W_m = M \cdot W_{fc}$$

したがって

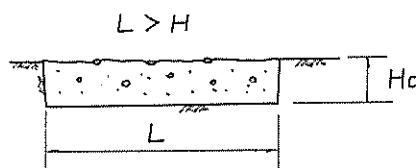
$$\phi = K_1 \cdot M \cdot W_{fc} + B_1$$

$$C = K_2 \cdot M \cdot W_{fc} + B_2$$

$$r = K_3 \cdot M \cdot W_{fc} + B_3$$

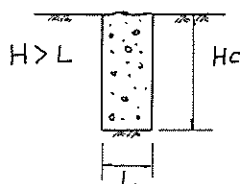
一方、種々の流路形状に対する限界高さ H_c はつぎのように表わされる。[※]

— Case 1 —



$$H_{c1} = \frac{C}{\{ r \cdot \cos \delta (\tan \delta - \tan \phi) \}}$$

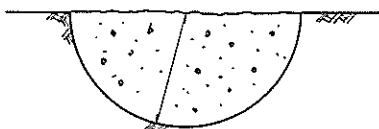
— Case 2 —



$$H_{c2} = \frac{2 \cdot C}{\{ r \cdot \cos \delta (\tan \delta - \tan \phi) \}} = 2 \cdot H_{c1}$$

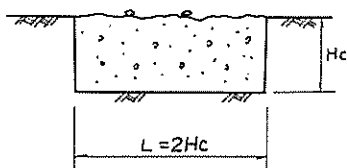
※) J. D. Rodine : ANALYSIS OF THE MOBILIZATION OF DEBRIS FLOWS
(P 178 ~ 180)

— Case 3 —



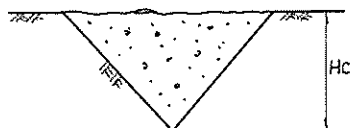
$$Hc_3 = \frac{2 \cdot C}{\left[r \cdot \cos \delta \left\{ \tan \delta - \left(\frac{4}{\pi} \right) \tan \phi \right\} \right]}$$

— Case 4 —



$$Hc_4 = \frac{2 \cdot C}{\left[r \cdot \cos \delta \left\{ \tan \delta - \left(\frac{4}{\pi} \right) \tan \phi \right\} \right]} = Hc_3$$

— Case 5 —



$$Hc_5 = \frac{2.8 \cdot C}{\left[r \cdot \cos \delta \left\{ \tan \delta - \left(\frac{4}{\pi} \right) \tan \phi \right\} \right]} = 1.4 Hc_3$$

Case 1 ~ Case 5 について上述の関数式を代入すると以下のようになる。

$$Hc_1 = \frac{(K_2 \cdot M \cdot Wfc + B_2)}{(K_3 M \cdot Wfc + B_3) \cos \delta \left\{ \tan \delta - \tan (K_i M Wfc + B_1) \right\}}$$

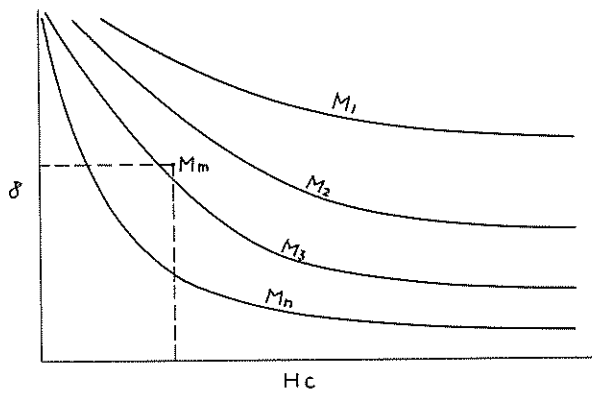
$$Hc_2 = \frac{2 \cdot (K_2 \cdot M \cdot Wfc + B_2)}{(K_3 \cdot M \cdot Wfc + B_3) \cos \delta \left\{ \tan \delta - \tan (K_i M \cdot Wfc + B_1) \right\}}$$

$$Hc_3 = \frac{2 \cdot (K_2 \cdot M \cdot Wfc + B_2)}{\left[(K_3 \cdot M \cdot Wfc + B_3) \cos \delta \left\{ \tan \delta - \left(\frac{4}{\pi} \right) \tan (K_i M \cdot Wfc + B_1) \right\} \right]}$$

$$Hc_4 = Hc_3$$

$$Hc_5 = 1.4 Hc_3$$

以上の Hc は、それぞれ可動指数 M をパラメータとして傾斜度 δ の関数で与えられる。



M_1 : Case 1 に対する M

M_2 : Case 2 に対する M

M_3 : Case 3 に対する M

M_n : Case n に対する M

$$M_1 < M_2 < M_3 < M_n$$

また、現地での H 、 δ 、 Wfc がわかっている場合、 M が求められるから、 Wm は、

$$Wm = M \cdot Wfc$$

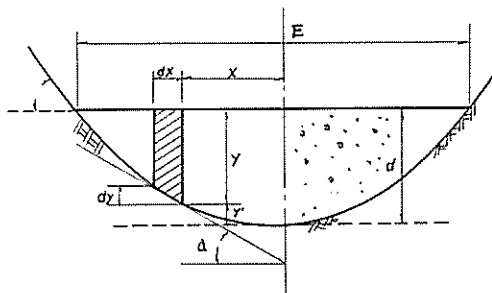
から求められる。堆積物の自然含水比を Wn とすれば、

$$\Delta W = Wm - Wn$$

が流動を開始するに必要な含水比の増加量（変化量）になる。

(2) 泥流による斜面の安定性

泥流が沢を流路として流下する場合、両側の斜面がどのような影響を受けるかについて検討する。



r : 泥流の単位体積重量

i : 動水傾度

Ws : 面積 a に作用する泥流材の重量

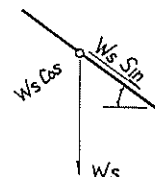
図 - 2

図-2 において、高さ y の水柱によって生じる流掃力 S は、

$$S = r \cdot y \cdot i \cdot dx$$

S の作用面積は、

$$\frac{1}{2} (dx^2 + dy^2)$$



流掃力によるせん断応力 τ_s は、

$$\tau_s = \frac{r \cdot y \cdot i \cdot dx}{(dx^2 + dy^2)^{\frac{1}{2}}} = r \cdot y \cdot i \cos \alpha$$

また、斜面上における限界せん断応力 τ_{sc} は、土粒子を移動させようとする合力 R （掃流力＋重力による土粒子の滑動力）と摩擦による抵抗力 F が等しいとした時の τ_s として得られるから、

$$\tau_{sc} = \frac{Ws}{a} \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi \cdot \left(1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \phi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

さらに流路中心部の限界せん断応力 τ_{bc} は上式で $\alpha = 0$ として、

$$\tau_{bc} = \frac{Ws}{a} \cdot \tan \phi$$

$$\therefore K = \frac{\tau_{sc}}{\tau_{bc}} = \cos \alpha \left(1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \phi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

限界状態では、 $\tau_s = \tau_{sc}$ でなければならない。

$$r \cdot y \cdot i \cdot \cos \alpha \left(1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \phi} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot r \cdot d \cdot i$$

上式を y について整理すると、

$$y = d \left(1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \phi} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{d}{\tan \phi} \left(\tan^2 \phi - \tan^2 \alpha \right)^{\frac{1}{2}}$$

$\tan \alpha = \frac{dy}{dx}$ とおき、 $x = 0$ で $y = d$ なる境界条件で上式を解くと、

$$y = d \cdot \cos \left(\frac{\tan \phi}{d} x \right)$$

上式が流路断面の縦距を与える式である。

ϕ を 30° と 40° の2通りについて $d = 0.2\text{ m}$, 0.5 m , 1.0 m , 1.5 m , 2.0 m の場合について、 x と y の関係を求めると表-1, 2・図-3, 4のとおりとなる。

$\phi = 30^\circ$ の場合には、斜面の平均傾斜角は $\bar{\theta} \doteq 20^\circ$ 、 $\phi = 40^\circ$ の場合には、 $\bar{\theta} \doteq 29^\circ$ と

なる。

表-1 流路断面計算値 ($\phi = 30^\circ$)

$d = 0.2m$	$x (m)$	0	0	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.55
	$y (m)$	0.20	0.19	0.18	0.16	0.13	0.08	0.03	0
0.5	$x (m)$	0.2	0.4	1.0	1.2	1.3	1.4		
	$y (m)$	0.48	0.44	0.20	0.09	0.03	0		
1.0	$x (m)$	0	0.4	1.0	1.5	2.0	2.5	2.8	
	$y (m)$	1.0	0.97	0.83	0.64	0.40	0.12	0	
1.5	$x (m)$	0	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.1
	$y (m)$	1.5	1.39	1.08	0.86	0.61	0.33	0.05	0
2.0	$x (m)$	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.5	
	$y (m)$	2.0	1.92	1.67	1.30	0.80	0.25	0	

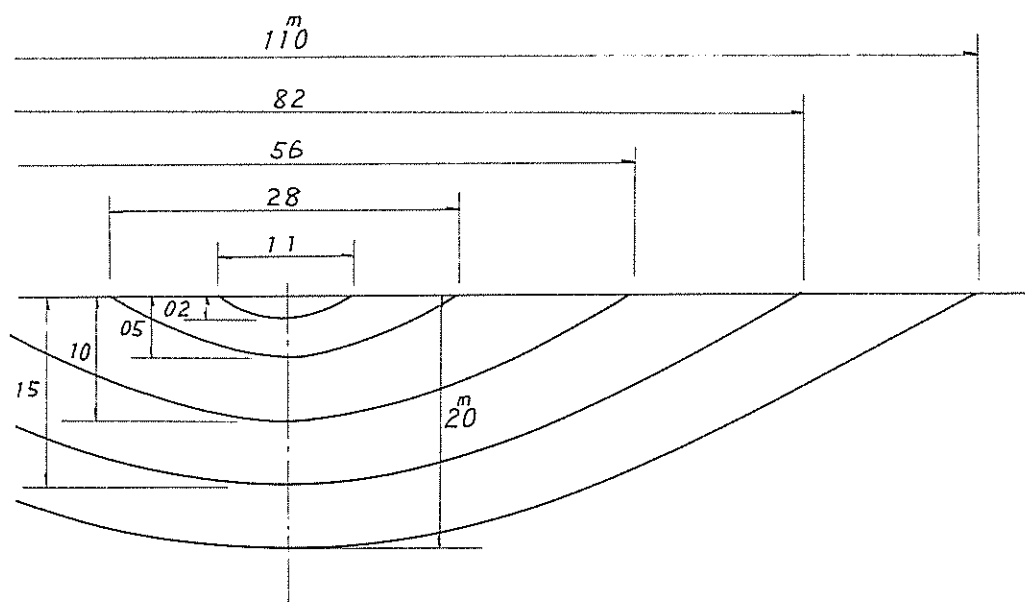


図-3 沢流路の安定断面 ($\phi = 30^\circ$)

表-2 流路断面計算値 ($\phi = 40^\circ$)

d=0.2 m	x (m)	0	0.1	0.15	0.20	0.25	0.30	0.37
	y (m)	0.2	0.18	0.16	0.13	0.10	0.06	0
0.5	x (m)	0	0.20	0.40	0.6	0.8	0.94	
	y (m)	0.5	0.47	0.39	0.28	0.11	0	
1.0	x (m)	0	0.4	0.8	1.2	1.5	1.87	
	y (m)	1.0	0.94	0.78	0.53	0.31	0	
1.5	x (m)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.81
	y (m)	1.5	1.44	1.27	1.00	0.66	0.25	0
2.0	x (m)	0	0.8	1.7	2.5	3.2	3.5	3.74
	y (m)	2.0	1.89	1.51	1.00	0.45	0.20	0

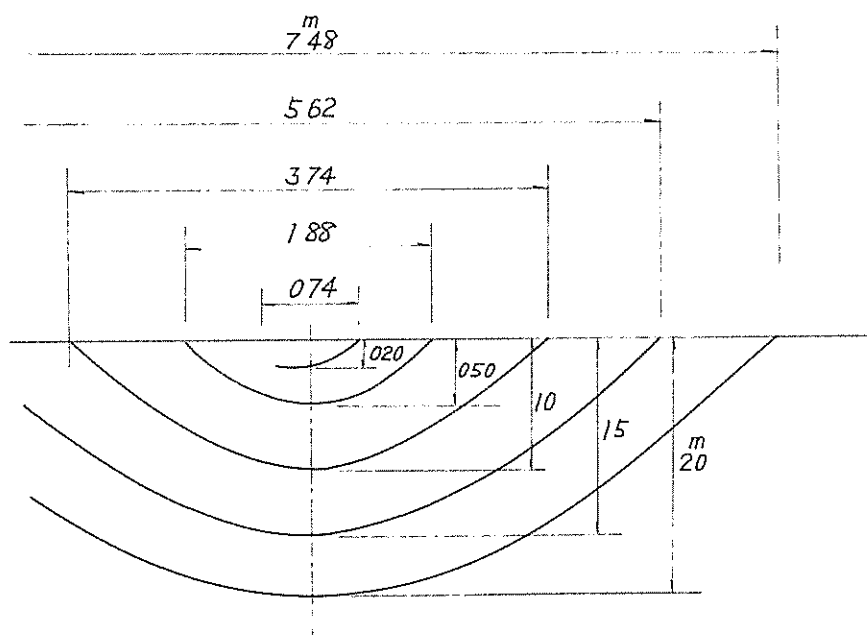


図-4 沢流路の安定断面 ($\phi = 40^\circ$)

2 泥流発生 の 予測 について の 検討

1(1)で提示した解析方法により、泥流発生 の 初期条件 について 定量的な 検討 を 進める。

- (1) 見掛けの摩擦角 (ϕ)、見掛けの粘着力 (C)、湿潤単位体積重量 (rt) と含水比の関係
コーン貫入試験によって次式の関係が導びかれている。

$$\left. \begin{aligned} \phi &= -3.89w + 116.9 \\ C &= -0.0109w + 0.312 \\ rt &= 0.0136w + 1.44 \end{aligned} \right\}$$

したがって、 $K_1 = -3.89$ (deg/%), $B_1 = 116.9$ (deg), $K_2 = -1.09 \times 10^{-2}$ ($t/m^3 \cdot \%$), $B_2 = 3.12$ (t/m^3), $K_3 = 1.36 \times 10^{-2}$ ($t/m^3 \cdot \%$), $B_3 = 1.44$ (t/m^3) である。すなわち K_1 は含水比 1% 当りの ϕ の変化量を B_1 は含水比 0% 時の架空の ϕ を表わしている。同様に K_2 は含水比 1% 当りの C の変化量を表わし、 B_2 は含水比 0% 時の架空の C を示している。 K_3 も含水比 1% 当りの rt の変化量を、 B_3 は含水比 0% 時の架空の rt を示している。これらのなかで比例定数 K から判ることは、 ϕ 、 C ともに含水比の増加にともない低下するが、とくに ϕ はその傾向が顕著で、含水比が 1% 増加する毎におよそ 4° 近い低下が生じることになる。一方、単位体積重量 rt は、含水比が増加するにしたがい緩かではあるが増加する傾向を示している。なお、現地での含水容量 wfc (field capacity) は 24.5% となっている。

- (2) 流路形状が矩形の場合 ($L > H$) の解析 — case 1 —

1(1)から泥流堆積物の限界高さ H_{c1} と斜面勾配 δ 、 ϕ 、 C 、 rt の関係はつぎのように示される。

$$\begin{aligned} H_{c1} &= \frac{(K_2 \cdot M \cdot wfc + B_2)}{(K_3 \cdot M \cdot wfc + B_3) \cos \delta \{ \tan \delta - \tan (K_1 \cdot M \cdot wfc + B_1) \}} \\ &= \frac{-1.09 \times 10^{-2} \times M \times 24.5 + 0.312}{(1.36 \times 10^{-2} \times M \times 24.5 + 1.44) \cos \delta \{ \tan \delta - \tan (-3.89 \times M \times 24.5 + 116.9) \}} \\ &= \frac{0.312 - 0.267 \cdot M}{(0.333 \cdot M + 1.44) \cos \delta \{ \tan \delta - \tan (116.9 - 95.305 \cdot M) \}} \end{aligned}$$

可動指数 M (mobility index) をパラメータとして、 H_{c1} と斜面傾斜角 δ の関係を図-5 a に示した。

- (3) 流路形状が矩形の場合 ($L < H$) の解析 — case 2 —

$$H_{c2} = \frac{2(0.312 - 0.267 \cdot M)}{(0.333 \cdot M + 1.44) \cos \delta \{ \tan \delta - \tan (116.9 - 95.305 \cdot M) \}}$$

$M \sim H_{c2} \sim \delta$ の関係を図-5, b に示した。

(4) 流路形状が三角形の場合の解析 — case 5 —

$$Hc_3 = \frac{2.8(0.312 - 0.267 \cdot M)}{(0.333 \cdot M + 1.44) \cos \delta \left\{ \tan \delta - \left(\frac{4}{\pi} \right) \tan(116.9 - 95.305 \cdot M) \right\}}$$

$M \sim Hc_3 \sim \delta$ の関係を図-5, C に示した。

(5) 含水比の変化と泥流発生条件の考察

このほかの流路形状に対して $M \sim Hc \sim \delta$ の関係を得ることができるが、いずれにしても矩形の場合 (case 1) が最も小さい Hc となる。現地においては、特別に形状を固定するか、あるいは上流部の狭い沢地形でない限り case 2, case 5 の流路形状をとることは少ないと判断される。したがってここでは矩形流路を基本として泥流発生条件を考えることとしたい。

case 1 に対する解析結果からつぎの点が指摘される。(図-5, d 参照)

- ① 現在、下流部を除く地域での堆積厚は 1.5 ～ 2.0 m 以下と判断されるから、傾斜角 30° の斜面では、 $M > 0.92$ とならなければ泥流は発生しない。 $M = 0.92$ に対応する含水比は $w_m \div 22.5\%$ である。
- ② 傾斜角 20° の斜面では、 $M > 1.02$ とならなければ泥流は発生しない。 $M = 1.02$ に対応する含水比は、 $w_m \div 25.0\%$ である。
- ③ 傾斜角 15° の斜面では、 $M > 1.06$ とならなければ泥流は発生しない。 $M = 1.06$ に対応する含水比は、 $w_m \div 26.0\%$ である。
- ④ 傾斜角 10° の斜面では、 $M > 1.12$ とならなければ泥流は発生しない。 $M = 1.12$ に対応する含水比は、 $w_m \div 27.5\%$ である。

以上のように $\delta = 10^\circ \sim 30^\circ$ の範囲で泥流発生の限界含水比の変化幅はおよそ 5% にすぎず、僅かの含水比変化で泥流発生条件が大きく変化する特性が指摘される。いずれにせよ図-5, d から現地の条件に対応した限界含水比 w_m を直ちに求めることができるが、これまでに調査した地形条件に上記①～④の w_m を対応させて示すと表-3 のとおりとなる。

表－3 地区別地形条件と限界含水比 (wm)

沢 区 分		集水面積 (m^2)	沢 長 (m)	平均勾配 (度)	堆 積 量 (m^3)	限界含水比 wm (%)
西 山 川 沢 地 区	本 線	600,000	1,430	12	396,525 (0.66)	27.2 (A)
	1号支線	73,000	915	21	36,626 (0.50)	25.2 (B)
	2号 "	71,750	910	21	46,006 (0.64)	25.1 (C)
	3号 "	32,500	450	22	29,365 (0.90)	24.7 (D)
	4号 "	110,000	870	21	93,861 (0.85)	25.0 (E)
	5号 "	40,000	750	20	37,105 (0.93)	25.1 (F)
	6号 "	36,000	250	11	15,458 (0.43)	27.5 (G)
全 日 空 沢		1,048,250	1,750	12	434,988 (0.41)	27.2 (H)

同表－3によれば、wm＝28%近くで初期の泥流が発生する可能性があることになる。

つぎの問題として、降雨強度あるいは降雨量と斜面堆積材料の含水比の関係について考察する。

泥流発生に至る含水比の増加のパターンとしては、直接降水が浸透して増加する場合と、集水された表面水が流下する過程で堆積材料と混合し含水比が増加する場合、あるいは両者がプラスされた場合などが考えられる。

これまで行ってきた調査のデータでは、浸透能の特性から判断して直接地表面からの浸透によって限界含水比に至るとは考えにくい面があり、これらについては今後の調査で解明される必要がある。

3 泥流の衝撃力の推定

池谷氏は、16mmフィルムによって桜島の火山泥流解析における泥流先端の衝撃力を

$$P = K (W \cdot V^2 / g) \dots\dots (3-1)$$

として表わしている。

今(3-1)式に有珠の現場調査結果を与えて衝撃力Pを求める。まず泥流の流動状態を乱流状態と考えると、乱流の流速分布として表わされているカルマンの対数速度分布式

$$\frac{U}{U_*} = 8.5 + \frac{1}{k} \ln \frac{y}{K_s} \dots\dots (3-2)$$

より、泥流の流速 U を求める。

ここに U : 河床より y の高さにおける流速

y : 現場調査の平均断面における表層部の層厚 ($y = 4.5 \text{ cm}$)

$U_{\#}$: 摩擦速度 ($\sqrt{g \cdot h \cdot I}$)

h : 水深 (表面流が現われたときの状態で表層部の層厚 4.5 cm)

I : 河床こう配 (20° , 30° , 40° と仮定)

K : カルマン定数 ($= 0.4$)

K_s : 相当粗度 (固定床では粒径に等しい。)

これらの値を (3-2) に与えて流速 U と相当粗度 (粒径) K_s との関係を河床こう配 I が、 20° 、 30° 、 40° の場合について示したのが、図-6である。

ここで、流体のみかけの密度 W 1.79 t/m^3 、係数 K を清水の場合 $1 \sim 2$ 、ベントナイトの場合 $2 \sim 4.5$ という研究例から、ここでは $K=2$ と仮定して、河床こう配が 20° の場合について、泥流先端の衝撃力 P と流速 $U (=V)$ との関係を求め、図-7に示した。桜島における計算結果を、同様に示したのが、図-8である。

図-7および図-8より、それぞれの曲線式を求めると、有珠は $P = 0.345 U^{2.03}$ 、桜島では $P = 0.400 U^{2.00}$ である。有珠の場合カルマンの対数流速分布式によって流速を求めた計算値であるのに対し、桜島では、 16 mm フィルムによる観測値であるため、安易に比較することはできないと思われるが、あえて比較するならば、有珠は流体の密度が 1.79 t/m^3 であるのに対し、桜島では、 1.95 t/m^3 と大きく、同じ流速であったとしても物体におよぼす衝撃力は、わずかであるが桜島の方が大きいと考えられる。

有珠、および桜島共に、焼岳のような巨礫を主体とした流動過程ではなく、細粒火山灰を対象に研究がなされていることから、今後、ビデオカメラ等を利用して、両地域の比較が望まれる。

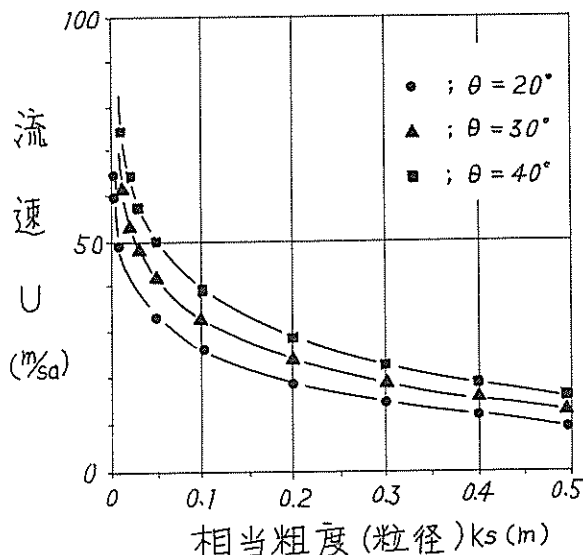


図6 有珠における U と K_s の関係

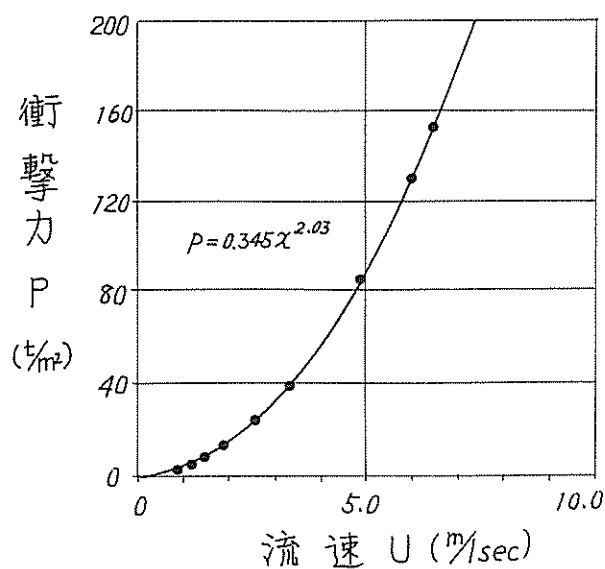


図 7 有珠における P と U の関係

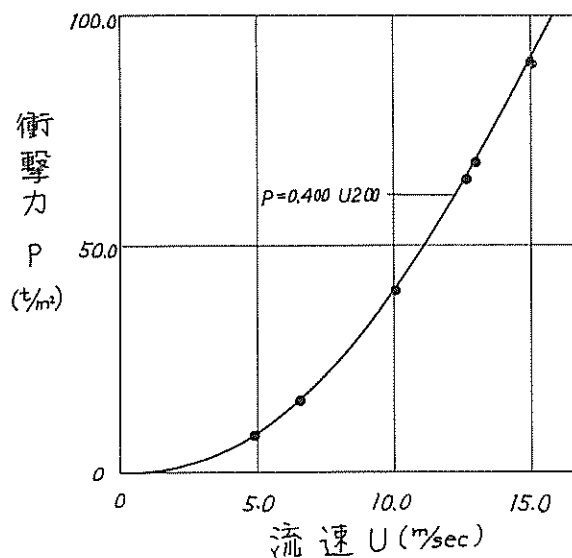
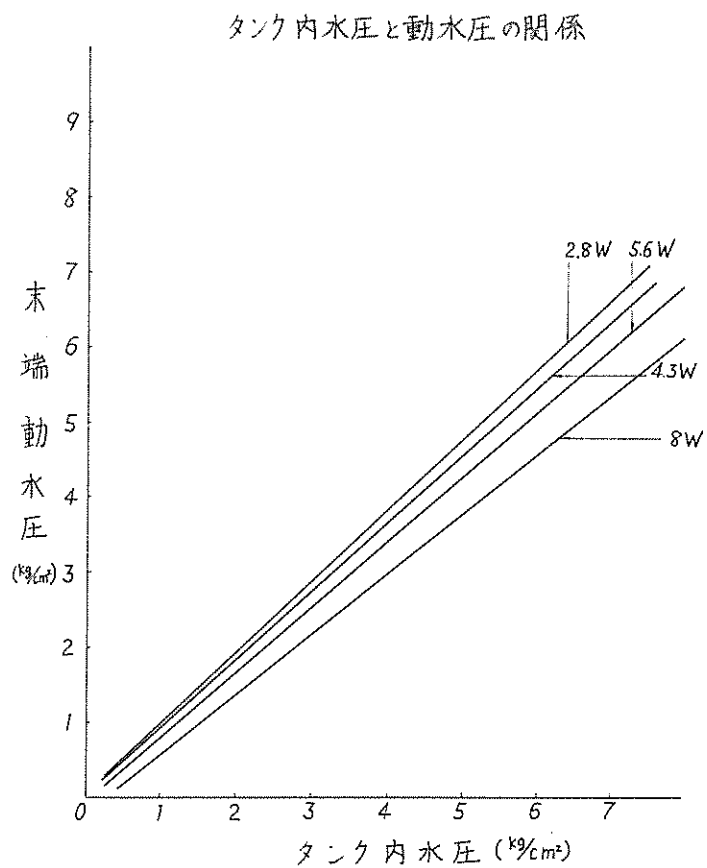
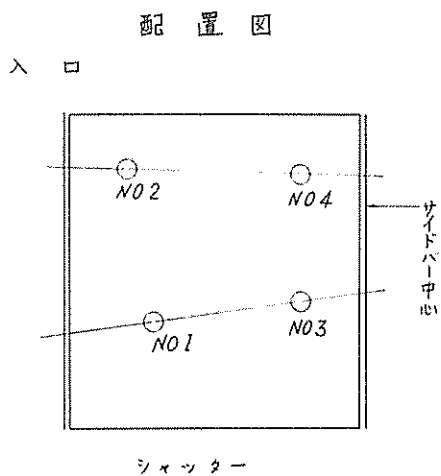
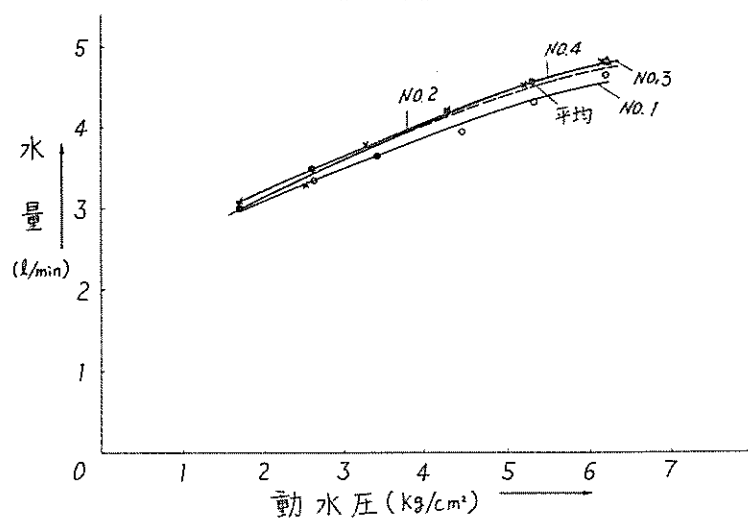


図 8 桜島における P と U の関係

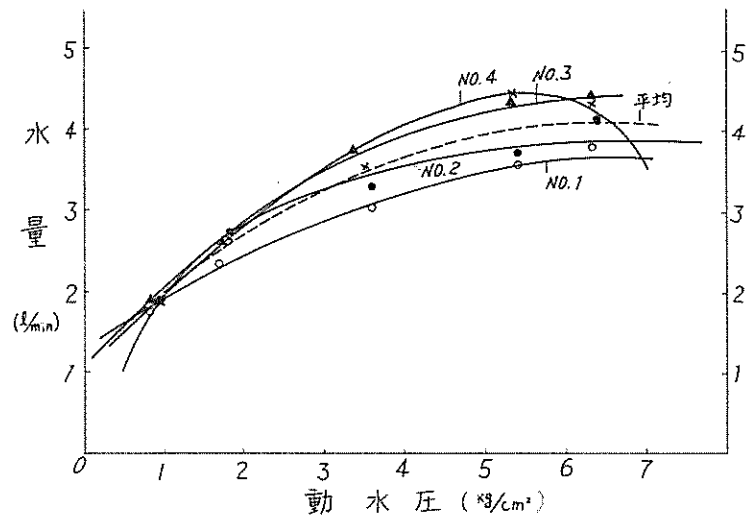
4 室内実験用の斜面崩壊実験装置における雨量設定計算



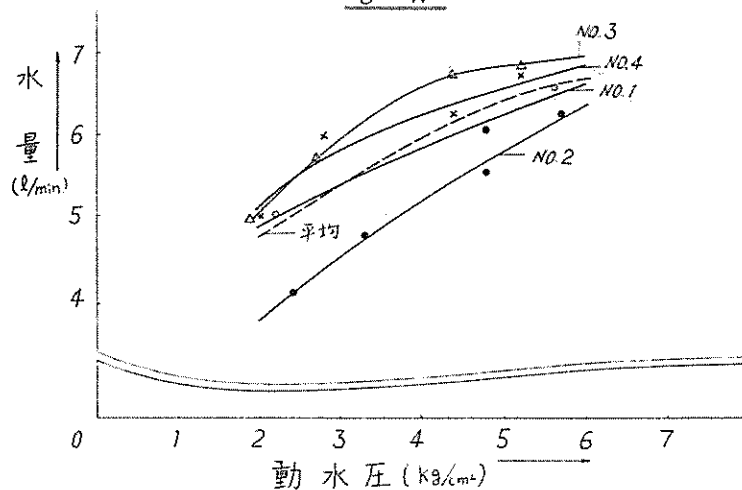
5.6 W



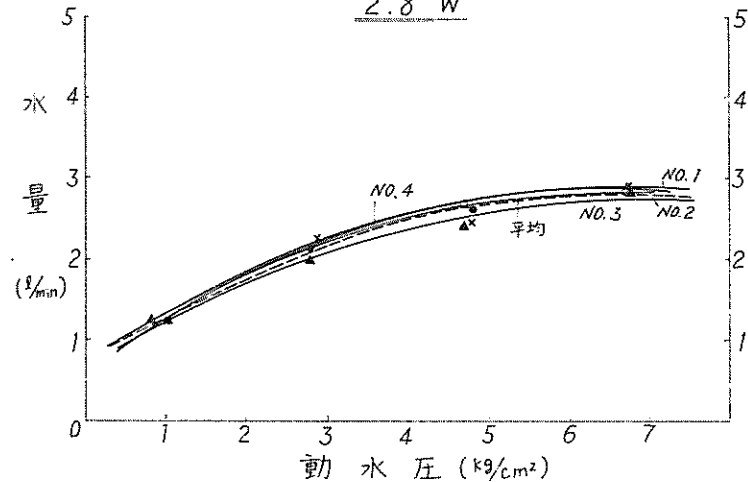
4.3 W



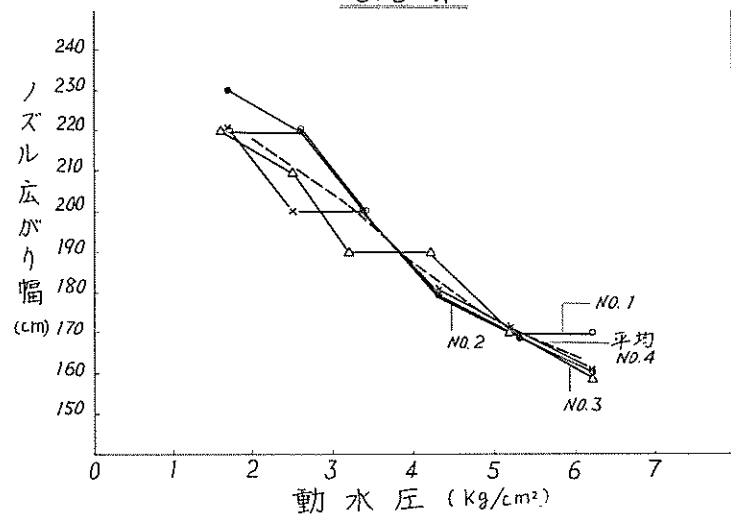
8 W



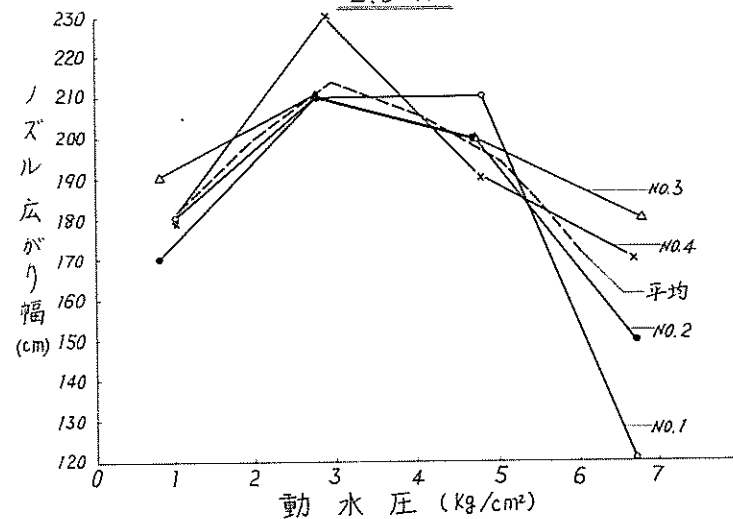
2.8 W



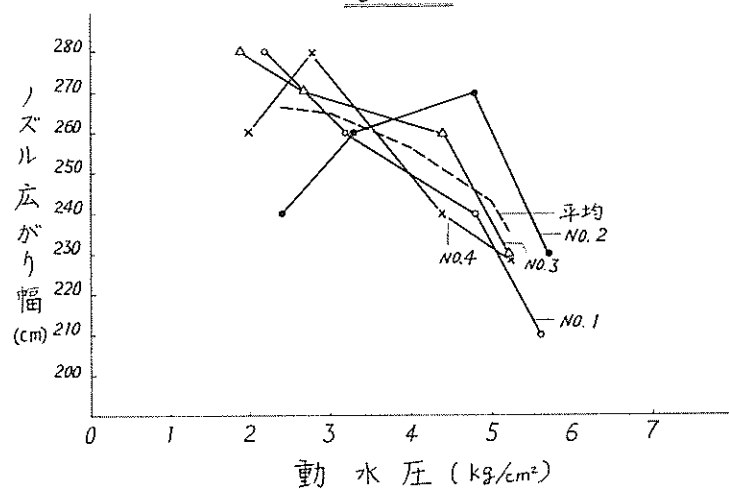
5.6 W



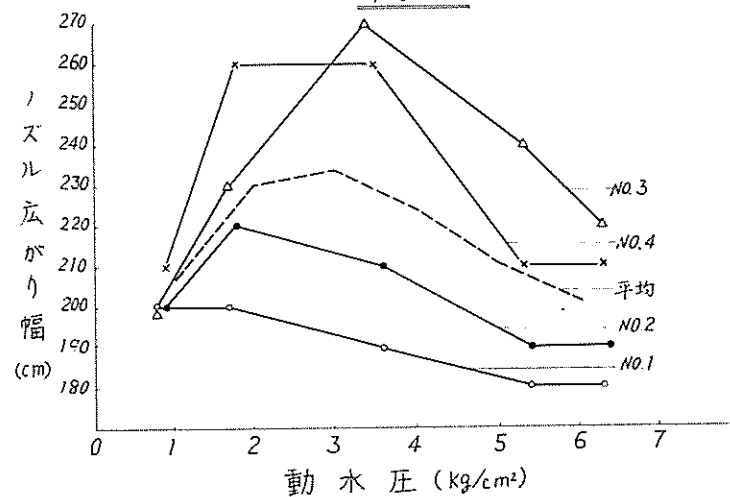
2.8 W



8 W



4.3 W



雨量強度の求め方

(1) ノズル 1 台あたりの有効台数 n を求める。

- ① 動水圧及びその時の広がり直径、水量を表から任意に選ぶ。
- ② ノズルの位置を任意に定める
- ③ 長方形 (3.2×3.0) に含まれる部分の面積 A'
 円の面積 A として 1 台ごとに $n = \frac{A'}{A}$ を計算する。

(2) 有効水量 Q ($\ell/\text{分}$) を求める。

- ① (1) で求めた各々の有効台数 n に各々の水量 q ($\ell/\text{分}$) をかける。
- ② ① で求めた各々の値を加える

$$Q = \sum nq$$

(3) 雨量強度 i を計算する

$$i = \frac{Q \times 60}{3.2 \times 3.0} \text{ mm/h}$$

(4) 必要雨量強度に達するまで(1)～(3)を繰り返し計算する。

計 算 例

$$80 \text{ mm/h}$$

有効水量 Q (ℓ/min)

$$q_1 = 0.932 \times 3.6 = 3.355$$

$$q_2 = 0.820 \times 3.6 = 2.952$$

$$q_3 = 0.821 \times 3.6 = 2.956$$

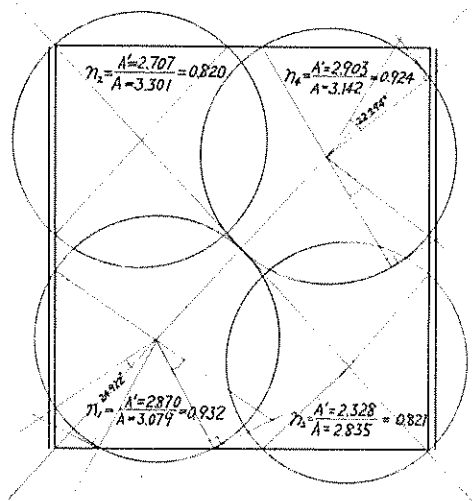
$$q_4 = 0.924 \times 3.7 = 3.419$$

$$Q = 12.682 (\ell/\text{min})$$

使用ノズル 5.6 W

	ノズル 広がり 直径 (cm)	水量 (ℓ/min)
ノズル 1	198	3.6
ノズル 2	205	3.6
ノズル 3	190	3.6
ノズル 4	200	3.7

$$\text{雨量強度 } i = \frac{12.682 \times 60}{3.2 \times 3.0} = 79.26 \text{ mm/h}$$



5 有珠山における泥流の発生・流動機構に関する調査研究

土木試驗所 土質研究室 ○西部 悦壽

佐々木晴美

能登 繁幸

川西 县

ま え が ち

那須火山帯に属する有珠山は、昭和52年8月7日に大噴火を起し、同年8月9日までに十数回の噴火を繰り返した。この噴火によって有珠山麓には多量の噴出火山灰が堆積し、さらに、同年11月から翌年の10月下旬まで、ひん繁に起きた水蒸気爆発によって細粒の噴出火山灰が降下・堆積した。現地では、噴火直後から、泥流・土石流の発生が懸念されていたが、53年9月26日、10月16日、24日には、降雨に伴な

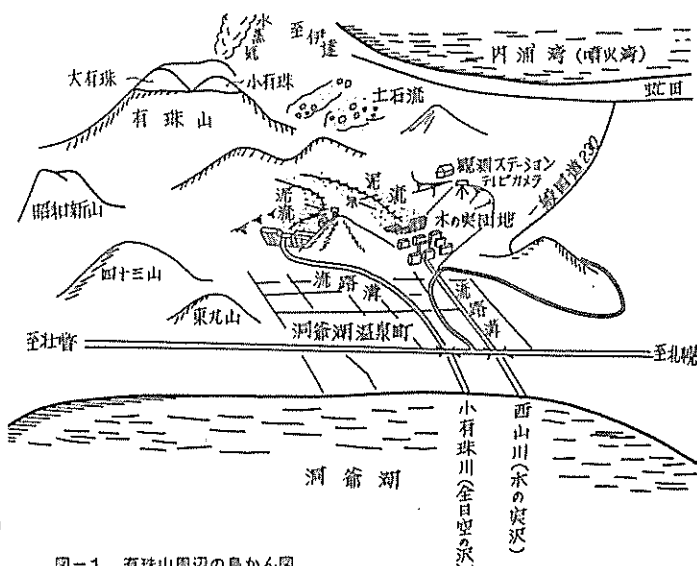


図-1 有珠山周辺の島かん図

い、図-1に示す西山川、小有珠川において予想を上回る大規模な泥流が発生した。

このような状況のもとに、土木試験所では、泥流等に関する二次災害の防災技術に貢献できる基礎資料を収集する目的で、泥流に関する室内模型実験・構内実験ならびに現地調査などを実施してきた。すなわち、昭和52年の噴火直後には、噴出火山灰の堆積状況と、その工学的性質に関する現地調査を行ない、この調査をふまえて、降雨による火山灰斜面の侵食・崩壊状況を把握する目的で室内模型実験¹⁾を行なった。昭和53年度は、火山灰堆積斜面におよぼす表面流出水の影響を調べるため構内模型実験²⁾と現場浸透能試験²⁾を行なうとともに、降雨観測と並行して、斜面の侵食・崩壊特性などに関する現地調査²⁾を行なった。昭和54年度は、火山灰の流動性に関する室内実験³⁾と現地における降雨観測ならびに泥流の発生・流動状況に関する現地調査²⁾³⁾を行なう一方、融雪・降雨期の泥流の運動機構を解析する目的のもとにビデオカメラを用いた泥流観測装置を設計・製作し、現地に設置した本装置で泥流⁴⁾の無人観測を行なってきた。

この報告は、これら一連の調査によって得られた数多くの資料を整理検討して、有珠山における泥流の現象を追求し、その発生・流動機構について考察を加えた結果を述べるものである。

1. 調査研究の経緯⁵⁾

有珠山の噴火直後から実施してきた、「1977年、有珠山噴火」に伴う一連の調査研究の経緯を
図-2に示す。

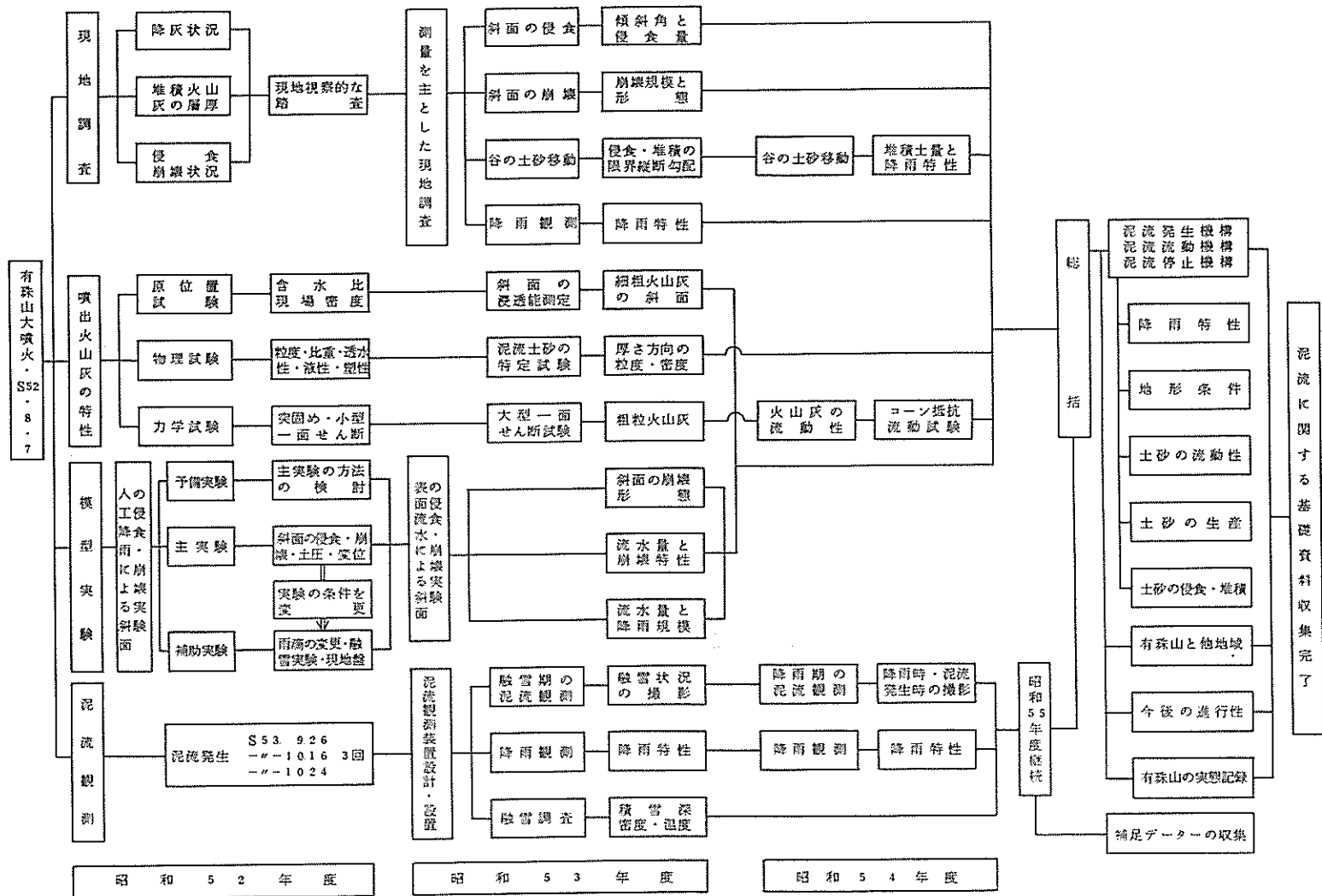


図-2 「1977年有珠山噴火」に伴う調査研究の経緯

2. 噴出・堆積火山灰（斜面）の工学的特性¹⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾

(1) 噴出火山灰の工学的性質¹⁾⁴⁾

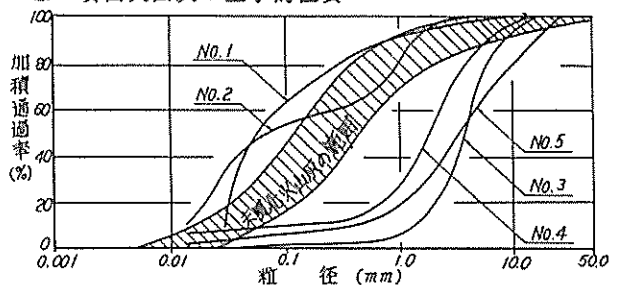


図-4 層別粒度曲線(採取地:洞爺小学校グラウンド)

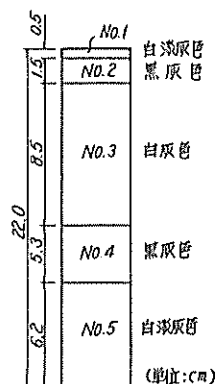


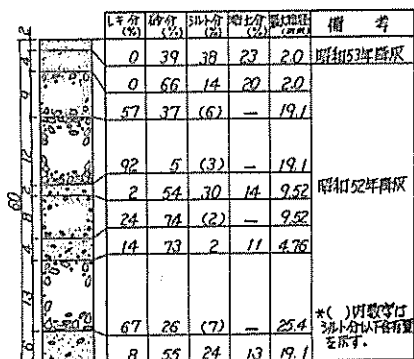
図-3 噴出火山灰層序
(採取地:洞爺小学校グラウンド)

現地における噴出火山灰の堆積状況ならびにその工学的特性を明らかにするとともに堆積火山灰（斜面）の安定性に関する室内横型実験などのための基礎データを得るため、噴火直後の昭和52年8月と約1年後の昭和53年9月に現地の各所で土質調査を行なった。その結果の1例は図-3～5に示すとうりである。これらの図から明らかに、火山灰堆積層は、細粒分の多い上層部と粗粒分の多い下層部に区別され、密度・比重・透水係数も表-1に示すように上層部と下層部で大きく異なっている。

表-1 堆積火山灰の工学的性質

	比重	乾燥密度 g/cm ³	自然含水比 %	透水係数 cm/sec	セメント 断常数 C=0.16 kg/cm ² p=3.7%	締め 特性 r _{d max} =13.8 W _{opt} =19%
堆積火山灰 上層部	2.50	1.38	18	1.6×10 ⁻⁴	—	—
堆積火山灰 下層部	2.00	0.78	28	1.5×10 ⁻⁵	—	—

注: (調査場所:木の突と西山川の平均値)
上層部: No. 1, 2, 下層部: No. 3, 4, 5



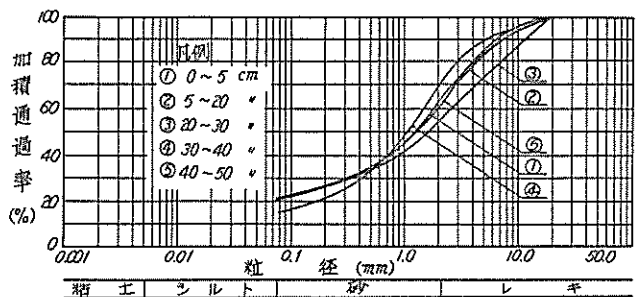
調査日 昭和53年9月
調査場所 西山川地帯(木の突と西山川の間)

図-5 1次堆積火山灰のプロフィールと粒度組成

(2) 泥流堆積物の工学的特性⁴⁾

図-6, 7は、いずれも一次堆積した火山灰が、降雨により泥流となって流下・堆積した土砂の粒度を調べた結果であり、この両者の土砂は、火山灰自身が流動した集合運搬による堆積土砂と推定され、前者は、53年9月26日、後者は54年10月1日の泥流発生時の堆積土砂であり、これらは、その深さ方向で対比したものである。

これによれば、53年に発生した泥流の堆積土砂は、深さ方向に比較的均一で、シルト分以下が、約20%、砂分が約40%、レキ分が約40%といった粒度組成を有するのに対して、54年に発生し



調査時期 昭和53年9月26日
調査場所 西山川

図-6 流下堆積火山灰の深さ別粒度加積曲線

それは、表面から15cmまでが大
半レキ分で占められている。また、
それ以深の部分については比較的、
前年と類似した粒度組成を呈して
いる。泥流堆積物の粒度が、54
年よりも前年の方が細かいのは、
流動性の大きいと思われる細粒分
の多い火山灰が先に流出したため
と推定される。

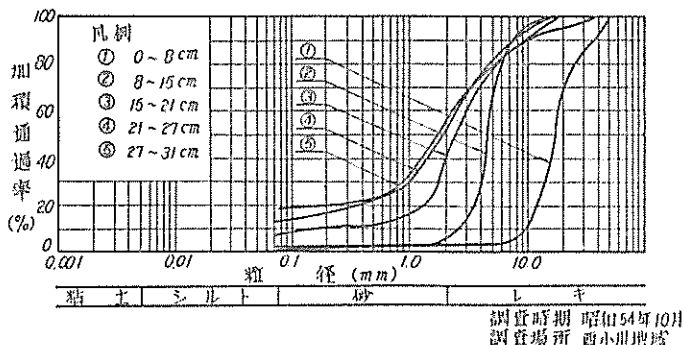


図-7 流下堆積火山灰の深さ別粒度加積曲線

3) 堆積火山灰の流動性

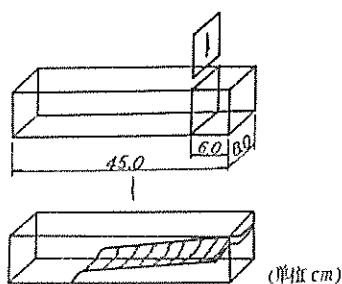


図-10 流動性に関する実験

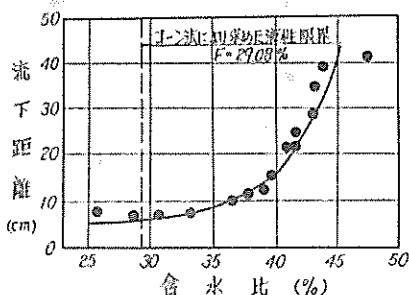


図-11 含水比と流下距離

火山灰の流動性に対する粒度組成の影響を調べるため、
図-8 に示した粒度曲線を有する火山灰に対して、特別に
試作したセン断強さが極めて小さい高含水比の土砂を対象
とする静的コーン貫入試験機を用いて実施した試験結果を
図-9 に示す。

同図から細粒火山灰ほど、含水比の増加によるコーン貫入抵抗の減少する割合が大きく、また最終
的な抵抗値も小さいことのほか試料別の相関関係がわかる。

また、図-8 に示す各試料に対して、図-10 に示すような方法で含水比と流下距離および火山灰

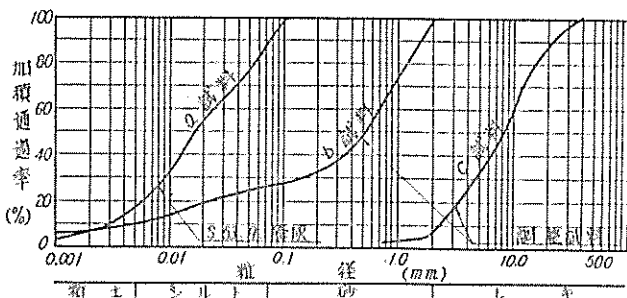


図-8 コンベトロメーター貫入試験試料の粒度加積曲線図

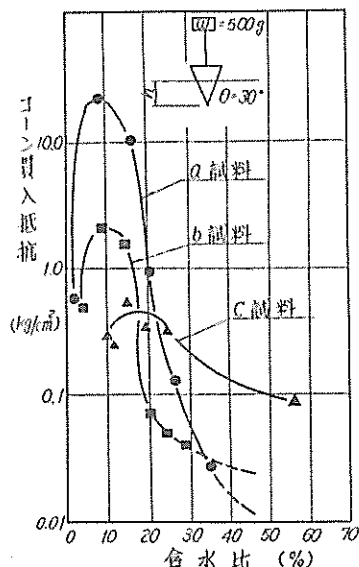


図-9 含水比とコーン貫入抵抗

の表面の縦断勾配を調べたが、a 試料のみ図-11に示す含水比と流下距離の関係が得られた。

この実験結果から含水比が35%を越ると、流下距離は急激に大きくなり流動しはじめることがわかった。b, c 試料については、水と試料が分離し、水だけが流出し、火山灰はそのまま自立する程となった。しかし、(2)の中での実際に発生している泥流の堆積土砂は、b, c 試料に近似していることから、現場での流動を開始しようとする火山灰、および実際の流動中の土砂の含水比は、35%をはるかに越えているものと思われる。

(4) 火山灰堆積斜面の浸透能²⁾³⁾⁶⁾

火山灰堆積斜面の浸透能を測定し火山灰で覆れた斜面の流出状態を把握する目的で図-12に示すような装置を試作し、この装置を用いて行なった試験結果を図-13に示す。同図は、この実験において人工的に供給した時間当りの雨量(実験降雨強度)と最終浸透能の関係を示す。

この場合、現地調査の結果から本実験の実施前に発生した泥流は、図-5に示すプロフィールの最上層部の細粒火山灰上と表面から6cm深の粗粒火山灰上の浸透能に起因しているものと推定し、これら両層の面上を対象として行なった。その結果、

細粒火山灰・粗粒火山灰ともに斜面傾斜角度の変化にともなう最終浸透能の差は明確でないが、細粒火山灰上の最終浸透能は、 $2 \sim 7.5 \times 10^{-3} \text{ cm/min}$ で時間当りに換算すると、 $1.2 \sim 4.5 \text{ mm/hr}$ 、粗粒火山灰上でのそれは、 $1 \sim 2 \times 10^{-1} \text{ cm/min}$ で時間当りに換算すると $60 \sim 120 \text{ mm/h}$ となる。これらの結果は、いずれも直径50cmの局部的な原位置試験によるものであるが、実験によってそれぞれ得られた最終浸透能以上の降雨が続いた場合は、表面流出水が発生すると思われる。ただし、これらの値は、最終浸透能であり、初期浸透能から最終浸透能に達するまでには、ある程度時間を要するところから、この試験結果は、最も条件の悪い場合である。

なお、この実験結果から、粗粒火山灰上の斜面に降雨があっても有珠山周辺での過去の降雨特性から見て、ほとんど表面流出水は、発生しないと思われるが、図-5に示す、上から5層目のような細粒分の多い火山灰層もしくは、火山灰が堆積する前の在来斜面の粗粒火山灰よりも小さな浸透能に影響され、集水するような斜面では、ボーリング現象などによって、いったん、浸透した降雨水が表面流を発生させ、火山灰堆積斜面の崩壊もしくは、泥流を起すことも十分、考えられる。

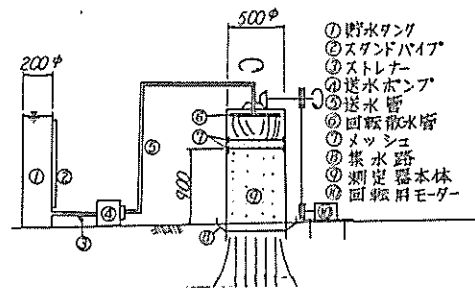


図-12 浸透能測定器概要図

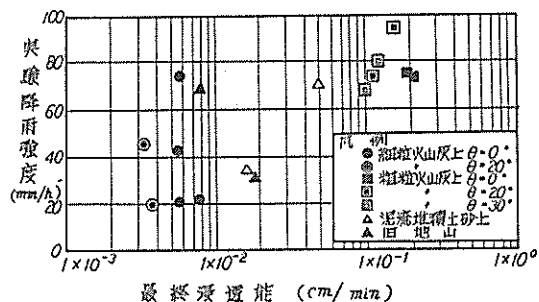


図-13 降雨強度と最終浸透能実験

3. 有珠山およびその周辺地域の降雨状況

有珠山周辺地域の降雨状況については、同地域の月降水量の年変化を示す図-14や、年最大日雨量の発生時期とそのひん度を示す図-15から、月間降水量、年最大日雨量の発生ひん度のいずれもが8月が最大であることがわかる。したがって、これらの面からみる限り、降雨による当該地域の泥流等の災害は、8月に発生する可能性が最も大きいといえよう。

また、表-2に示すような札幌管区気象台による大雨注意・警報基準を考慮しながら有珠山における、昭和46～52年の雨量観測データにもとづいて整理した日雨量80mm以上のときの時間当たり雨量とそのひん度を図-16、土木試験所が、とくに西山川において昭和53年5月～

11月に実施した雨量観測によって得たデータにもとづいて整理した日当たり雨量とそのひん度を図-17に示す。これらの資料から、当該地においては、おおよそ、時間雨量が5mm以下の降雨が全体の70%程度、10mm以下の降雨が全体の90%程度、15mm以下の降雨が全体の95%となっていることがわかる。

また、大規模な泥流が発生した昭和53年10月24日の有珠山およびその周辺地域の日雨量は表-3に示すようなものであり、当該地域における過去の年最大雨量（例えば、有珠山：136mm、1973年8・17/1971～1977、洞爺

10)11)

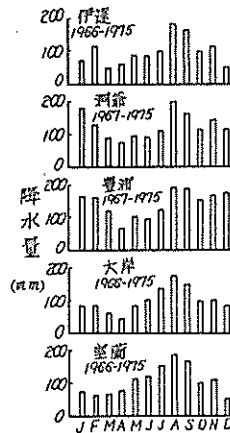


図-14 有珠山とその周辺地域の月降水量

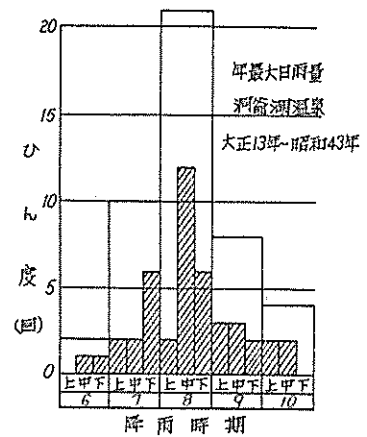


図-15 年最大日雨量の発生降雨時期とそのひん度（北海道の大雨資料調べ）

表-2 大雨注意・警報基準

項目	地域	胆振	石狩	渡島	日高	備考
大雨注意報	r1	20	20	15	20	r1: 1時間当り降雨量
	r3	30	30	25	30	r3: 3 " "
	r24	50(100)	50(100)	40(80)	50(100)	r24: 24 " "
大雨警報	r1	40(150)	40	30(150)	40(150)	
	r3	60	60	50	60	
	r24	100(200)	100(200)	80(150)	100(150)	

()内は山岳部

(札幌管区気象台調べ)

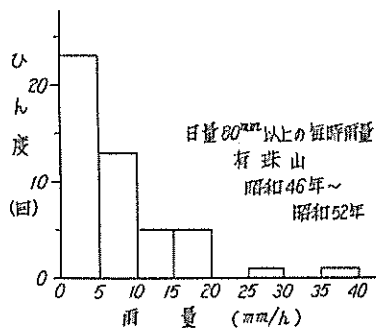


図-16 日雨量80mm以上のときの時間雨量とそのひん度（北海道の大雨資料調べ）

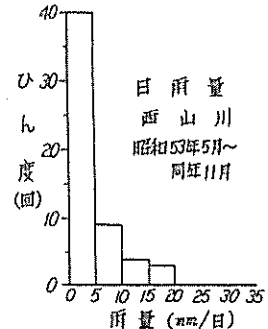


図-17 雨量とそのひん度〇～24時間の降雨量

表-3 有珠山とその周辺地域における1978年10月24日の降雨

観測所	時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合計
伊達	達		2	1		1	1	2		2	2								1				3			15
大岸	岸			1		1		1	1					2		1					1			1	2	11
有珠山	山		2		1	5	4	4		3	3	1												5	1	29
望加	蘭		1	5	1	1		4	3	1				1												17
消防組合温泉支署			1.7	1.3			4.5	3.0	0.8	2.2	0.5								0.2				4.0		0.5	28.7
“ 虹田 ”						5.0			3.0	3.0	1.0												6.8	1.0		30.8
“ 杜警 ”		1.0	0.8	1.6		2.9	2.5	1.7	0.8	3.2	2.6			0.3					0.5				8.5		0.3	26.7
西山川上流・			1.0	1.0		2.5	2.0	2.0		3.0	0.5								0.5				2.4	5	0.5	37.5
西山川下流・			1	1		4		2		3										1				16		28
北有珠山			1.5	1.0		2.5	1.5	1.0																		7.5

・ 北環境科学研究科観測

・ 北海道開発局 土木試験所 土質研究室観測

／1967～1977)に比べてとくに

多かったとはいえない。しかし、雨の降り方は場所により、また、時間によって著しく異っており、とくに毎時雨量の最大値について見ると、表-4に示すような、有珠山における大雨として記録されたときのそれにかかなり近似している。このような降雨特性もこの日の泥流発生の要因の一つとなったものと推定される。

表-4 日量80mm以上の毎時雨量表

時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合計	
年月日																										
地名 有珠山																										
S 4 8 8.17																10	27		1	16	35	9	5	1	1	105
1 8	5	7	5	1	8	4	1			18	2	2	1			3	19	4	6		1	2			89	
S 5 0 8.19	1		1	1	1		1				3	8	5	7	10	12	6	3	14	18	7	4	7	2	111	
2 0	15	4	3	9																					41	

(北海道土木協会編：北海道の大雨資料調べ)

4. 沢部およびその周辺斜面における融雪状況⁴⁾

融雪期における堆積火山灰層の滑動に注目し、昭和54年3月上旬から4月にかけて沢部およびその周辺斜面における融雪状況を把握するため、積雪深・積雪密度などの経時変化を気温・降水量との関連において調査した。

図-18は、洞爺湖温泉町における、この調査期間の気温および降水量の経時変化を示すが、この期間中の方位別斜面および沢の中央平坦部における積雪深・積雪の密度の経時変化などの調査結果によれば、ま

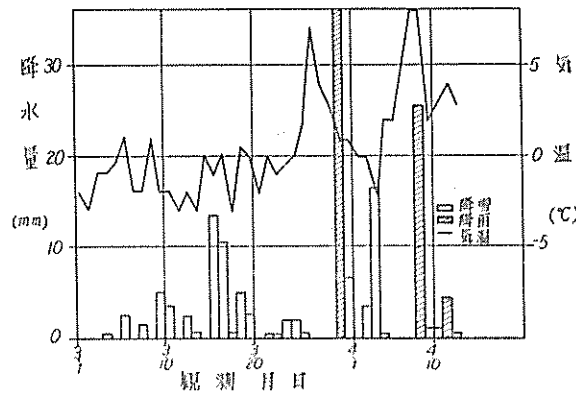


図-18 降水量と気温(西肥後消防本部調べ)

だ本格的な融雪が始まる前の段階の3月中旬における斜面上の積雪の深さは、おおよそ20～80cm程度であるが、この積雪深は、斜面の方位によって異なり、北向き斜面の場合に最も大きいのに対し南向き斜面の場合に最も小さく、また、融雪前の段階におけるこのような積雪は、気温の上昇に伴って融け始めるが、とくに降雨が加わることによって融雪が急激に促進される傾向が明らかに認められた。このような降雨による融雪の速さは、20～30cm/日程度となっており、これを降雨と融雪水量を加えた斜面地山が受ける1日当たり水量に換算すると、降雨のあった当時の積雪密度の平均値はおおよそ0.34g/cm³前後であることから、100～140mm/日程度となる。昭和54年の融雪期に斜面地山に供給された水量は、この程度にもかかわらず、泥流の発生がなかったのは、積雪がない状態での斜面の侵食・崩壊に対する降雨の影響と積雪がある状態でのそれとは異なることや、斜面上の火山灰堆積層の表面がまだ凍結していたことによるものと推定される。

5. 火山灰堆積斜面の侵食および崩壊

(1) 火山灰堆積層の安定性に関する室内模型実験¹⁾²⁾⁶⁾⁷⁾

斜面に堆積した火山灰層の降雨・融雪に対する安定性について検討するため、図-19に示すような人工降雨装置をそなえた、斜面崩壊実験装置(斜面面積9.6m²)を製作して、斜面上の火山灰堆積

層の侵食・崩壊の発生形態の観測と、変位・土圧・間ゲキ水圧ならびに流出土量の測定を行なった。

実験用モデル斜面を作成するにあたっては、2の(1)で述べた火山灰堆積層の工学的性質と層構成を再現させる必要があるため、洞爺湖温泉町より採取運搬した混合火山灰のふるい分けをして、図-20

に示すような2層構造としてモデル化を行なった。

実験にあたっては、現地の降雨特性・斜面傾斜角度等の条件を考慮して

人工降雨強度：30, 50, 100 mm/h

斜面傾斜角度：10, 20, 30, 40°

火山灰堆積層厚：20, 35, 50 cm

を組み合わせた33種類の実験と、ならびにこれを補足するための5種類の補助実験を行なった。

これらの実験結果から、次のことが結論づけられた。

- ① 人工降雨を与えるにともない、火山灰層全体の水締め効果によって若干の変状を呈するが、全層が浸潤された後は、変位・土圧・間ゲキ水圧などは、ほぼ定常状態となって落着く。
- ② 湿潤火山灰層による土圧は、ほぼクーロンの理論式において土の内部摩擦角30°、土の壁面との摩擦角15°とした理論値に近似した値となるが、その分布は三角形とはならず、壁高の中間に最大値を有する中膨れとなる。
- ③ 斜面傾斜角度が30°以下の堆積層では、人工降雨によって若干の侵食が発生するが、火山灰の流出は微量であり、とくに30 mm/h程度の人工降雨下では土砂の流出が認められない。
- ④ 斜面傾斜角度が40°の場合には、人工降雨によって短時間で堆積層が崩壊する。崩壊する限界の斜面傾斜角度は、30~40°の間にある。
- ⑤ 補助実験の結果によれば、種々の実験条件をより現地に近似させても、この実験程度の規模では結果に大差はないものと判断される。

(2) 火山灰堆積斜面の侵食・崩壊に関する構内実験

この実験は、V型崩壊(後述、図-26参照)が発生するような箇所の崩壊過程ならびに崩壊形態などと降雨量との関係を調べる目的で実施した。この模型斜面は、長さ10.0 m、幅1.0 m、火山灰層厚0.4 mであり、模型斜面の火山灰層は、混合火山灰の単層構造とした。この実験で流量(流水強度)は、25, 35, 50, 100, 200 ℓ/min、斜面傾斜角度は、10, 15, 20, 25°

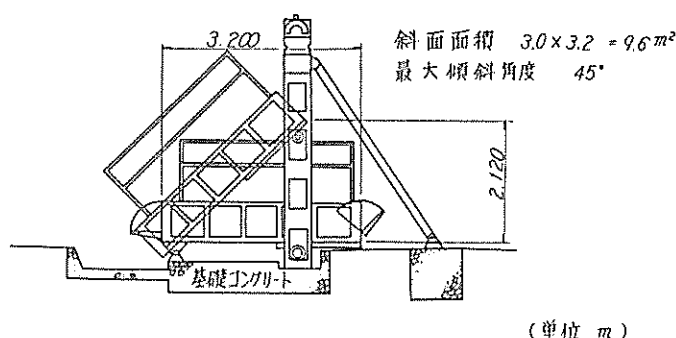


図-19 斜面崩壊実験装置一般図

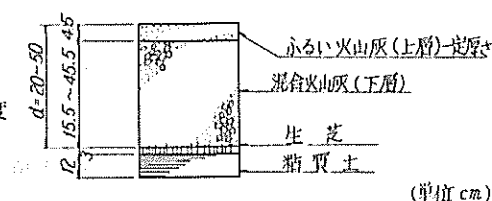


図-20 実験斜面の層構成

水強度)から 50 l/min 程度であると、 $100, 200 \text{ l/min}$ の場合のように表面を流下しきりだけの水量がなく、火山灰堆積層の模型斜面中で滞りし、ついには、火山灰が過剰含水状態となって、ビンガム流体状の集合運搬が発生するものと思われる。

図-22は、泥流発生までの時間と斜面傾斜角との関係を流水強度別に示した結果である。ここでの泥流発生までの時間とは、流水後、模型斜面の最下端から火山灰が流出するまでの時間をいう。

同図からわかるように、泥流発生までの時間は、流水強度の大きい方が短く、流水強度 $Q = 35 \text{ l/min}$ で $8 \sim 22$ 分、 $Q = 50 \text{ l/min}$ で $8 \sim 18$ 分、 $Q = 100 \text{ l/min}$ で $5 \sim 8$ 分、 $Q = 200 \text{ l/min}$ で $3 \sim 5$ 分でそれぞれ泥流の発生に至っている。

図-23は、流出火山灰の到達距離と、その表面の縦断勾配との関係を示すが、両者は、反比例関係にある。また流水強度 50 l/min において、集合運搬された火山灰の到達距離

は、斜面傾斜角度が小さくなると大きくなる傾向にあるが、斜面傾斜角度 10° の場合、到達距離が 15° の場合よりもいくぶん小さい。これらの現象は、斜面傾斜角度が小さいと、斜面と平行に下方へ動く分も小さくなり、火山灰が滑動もしくは、崩壊するためには、斜面傾斜角度の大きい場合よりも小さな内部摩擦角、大きな流動性を有しなければ発生しないことから、流動性と慣性力の積が流出火山灰の到達距離に関係しているためであろう。

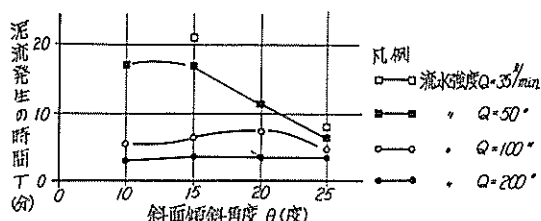


図-22 泥流発生までの時間と斜面傾斜角

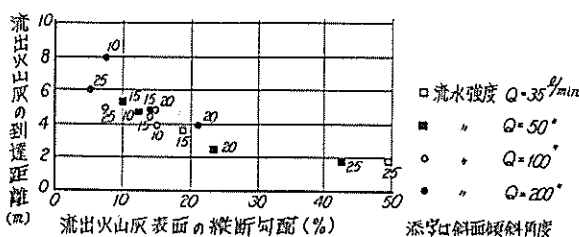


図-23 流出火山灰の到達距離とその表面縦断勾配

(3) 現地の火山灰堆積斜面の侵食と崩壊²⁾

1. 斜面の侵食

降雨による火山灰堆積斜面の侵食・堆積の状況を調査するため、現地において斜面凹凸の少ない斜面を選定し、斜面の経時変化と降雨観測を行なった。

図-24は、その結果の1例として、斜面長 20.4 m 、傾斜角度 30°

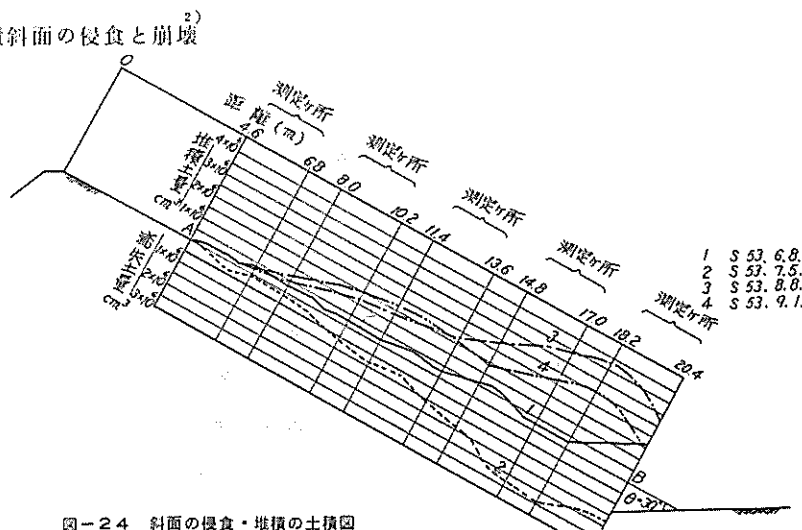


図-24 斜面の侵食・堆積の土積図

を有する斜面において、計測斜面幅 2.2 m 内での侵食・堆積状況の経時変化を土積図で示すものである。

図-25は、当該箇所における調査期間中の時間当り降雨量とそのひん度を表わしたものである。

これらの図によれば、侵食を生じている6月9日～7月5日の期間中

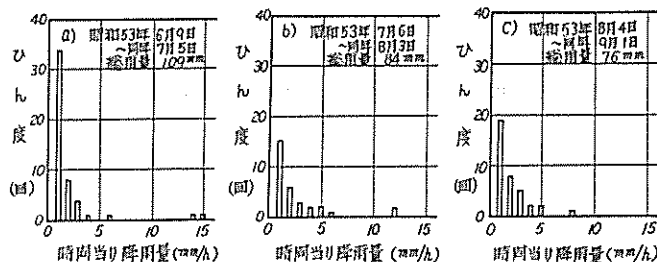


図-25 時間当りの降雨量とそのひん度

の総雨量は109mm、時間当りの降雨量の最大値は14.15mm/hが各1回ずつとなっており、堆積を生じている他の調査期間中のそれらよりも大きい。これらの事実から、侵食および堆積の現象は、表面流出水が火山灰堆積斜面を流下するときの大小に関係し、その掃流力が大きいと、斜面の火山灰は、侵食され、逆にそれが小さいと斜面の中間に堆積するものと思われる表面流出水は、堆積火山灰層の地被条件によって変化する浸透能に大きく左右されるものと思われるが、主として、短時間の降雨量の大小が泥流発生源となる火山灰を生産するか否かを決定するものと思われる。その限界の降雨量は、図-24の現地条件の場合には、時間当り降雨量13～14mm/h程度にあるものと推定される。これよりも斜面長の短い、また、傾斜角度の小さい斜面では、この限界の時間当り降雨量は大きくなるものと思われる。

ロ. 火山灰堆積斜面の崩壊²⁾

降雨による火山灰堆積斜面の崩壊規模とその形態などに関する崩壊特性を把握する目的で、有珠山の西山川、小有珠川の周辺の斜面に対しての現地調査を行った。

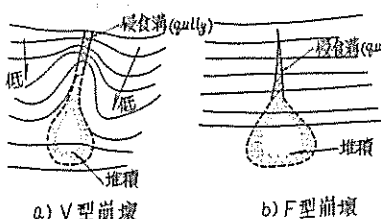


図-26 斜面の崩壊形態

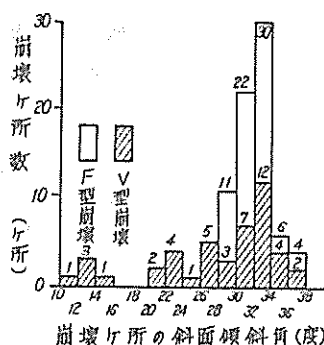


図-27 斜面崩壊ヶ所と斜面傾斜角

現地調査の結果から崩壊形態

は、図-26に示すような比較的平坦で単純な火山灰堆積斜面で崩壊している箇所（F型崩壊と称する）と、斜面が凹形を呈している沢状の火山灰堆積斜面で崩壊している箇所（これをV型崩壊と称する）とに大別された。

図-27は、崩壊ヶ所の斜面傾斜角度を調べたものであるが、これによれば、F型崩壊は、傾斜角度28°から34°の斜面で発生している箇所が、全体の90%を占めるのに対して、V型崩壊は、同じ斜面傾斜角度内での発生が全体の50%弱と少なくV型崩壊が、F型崩壊よりも小さな斜面傾斜角度で発生していく傾向を読み取ることができる。また表-6は、図-26に示す侵食・崩壊箇所の土量を求めた結果であるが、V型崩壊がF型崩壊よりも侵食土量・堆積土量ともに多く、平均値で2～5倍の規模を呈していることがわかった。

表-6 侵食・堆積土量の総括表

崩壊形態	(A) 侵食土量 m³	(B) 堆積土量 m³	箇所	(A) / 箇所 m³	(B) / 箇所 m³
V 型	771.9	731.9	47	16.4	15.6
F 型	140.4	352.9	45	3.1	7.9

これらは、斜面侵食の場合と同様に表面流出水量が崩壊の規模を左右しているものと思われる。また、集水量の少ないと思われる平坦な斜面の場合には、 28° 未満の傾斜角度で崩壊していないことから考えて、この調査時点（53年5月）における降雨下での火山灰安息角は、 28° 付近にあるものと思われる。

6. 現地の降雨特性から見た泥流発生機構³⁾

図-28は、現地における降雨特性と泥流の発生・不発生の関係を調査した結果である。同図において連続降雨量とは、3時間以上間断することなく降雨がある場合の合計降雨量を表わし、瞬間最大降雨強度とは、連続降雨強度が最も大きい部分を時間当りに換算して求めた結果であるが、それらの詳細を図-29に表わす。

この調査期間の現地における降雨特性から見た泥流発生限界を与える次式を得た。

$$R = i + 3.88r - 25$$

$$(10 \leq r \leq 104)$$

r : 連続降雨量 (mm)

i : 瞬間最大降雨強度 (mm/h)

R : 泥流発生限界

通常、泥流・土石流は、表面流があらわれた後に発生するとされているが、有珠山では $R > 0$ の場合に泥流の発生しうる降雨水が生じるのであって、実際には、 $R < 0$ の段階でも、斜面では侵食・崩壊などが起り得る、降雨水による表面流出水なり表面流が発生しているものと思われる。

また、ここに記した泥流発生限界の降雨特性は、砂防ダムの配置状況なら

びに火山灰堆積面上の地被条件が刻々と変化しているなかでの調査であることと、泥流発生規模の違い、データ数が少ないことなどのことから、今後とも、ここで得た結果と異なる可能性は、考えられるが、降雨特性から見た有珠山（西山川・小有珠川）における泥流発生の傾向を読み取ることができよう。

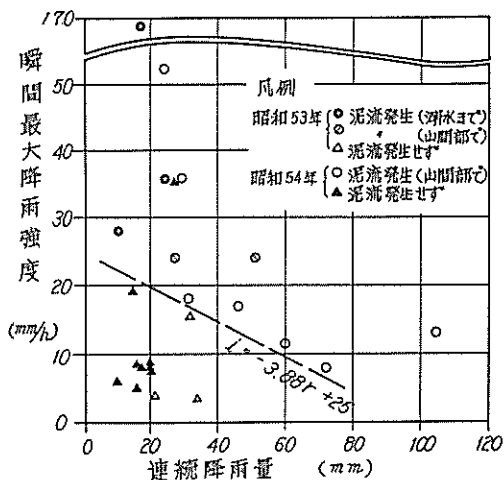


図-28 瞬間最大降雨強度・連続降雨量と泥流発生の関係

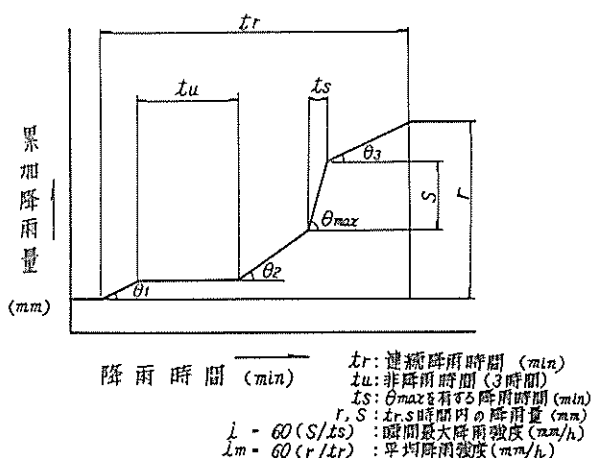


図-29 降雨解析基本図

7. 沢部（谷部）における泥流の流動機構²⁾

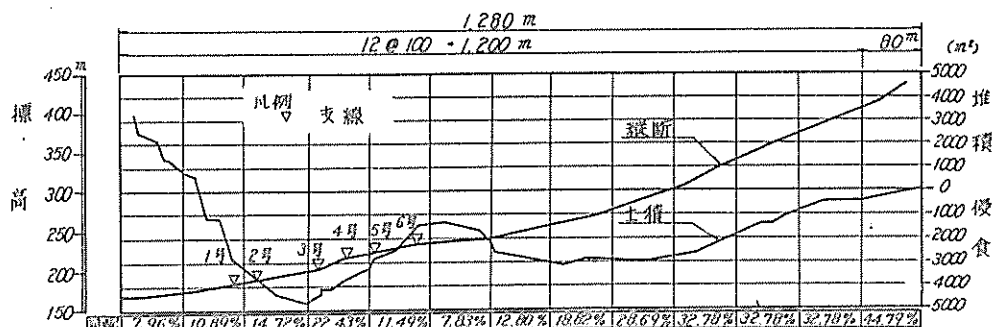


図-30 土積と縦断勾配の関係

図-30は、西山川における、53年5月を基準とした、同年秋の大規模な3回の泥流発生後の土積変化を縦断勾配と対比して、表わしたものである。同図中の土積とは、横断測量によって20m毎の測点で求めた土積を上流から累計して求めたものである。

53年5月の調査時点の西山川における地形条件は、同図に示す最下点から200m間の上流に、小さな砂防ダム（床固め工）6基が築かれているほかは自然の状態であり、西山川内に1次堆積した火山灰の大きな移動は見られなかった。

また、泥流の発生以後に求めた土積は、調査区間内のみの変化であり、この調査区間を流出しいった泥流土砂は含んでいない。

一般的に流動化した火山灰の慣性力・流動性および地形条件などによって谷の侵食・堆積の限界勾配は変動するものと思われるが、西山川においては、図-30から明らかなように、縦断勾配が8～12%程度では泥流土砂は堆積し、それが11～18%になると侵食される傾向にあるといえよう。

次に、表-7は、西山川・小有珠川における山間部で発生した、54年の小規模な泥流による移動

表-7 降雨特性と移動堆積土砂量

項目 月 日	降 雨 特 性					移 動 ・ 堆 積 土 砂 量			
	連 続 降 雨 量 (min)	瞬間最大 降雨強度 (mm/h)	平 均 降 雨 強 度 (mm/h)	瞬間最大強度 を有する 時間 (min)	瞬間最大強度 を有する 雨量 (mm)	西山川 (A=720,000 m ²)	V/A (m ³ /m ²)	小有珠川 (A=621,000 m ²)	V/A (m ³ /m ²)
7. 2	30.5	19.8	7.2	50	16.5	—	×10 ⁻³	1.343	×10 ⁻³ 2.16
8. 1	28.5	36.0	5.6	10	6.0	—	"	7.74	1.25
8. 27	59.5	11.6	5.8	70	13.5	28	0.39	343	0.55
9. 5	96.0	17.1	4.5	35	10.0	245	3.40	600	0.97
9. 22 10. 1	24.0 71.5	18.0 8.0	2.7 4.4	10 60	3.0 8.0	178	2.47	711	1.14
10. 19	104.5	13.2	4.2	180	39.5	636	8.83	3,269	5.26
合 計							15.10	7,040	11.34

(注) V：移動堆積土砂量
A：測定地点から上流の流域面積

した堆積土量と図-29にもとづく降雨特性とを対比したものである。一般的には、降雨量と降雨強度の積が泥流、もしくは、土石流による流出（生産）土量と比例関係にあるといわれているが、今回の調査結果からは明確な関係は得られなかった。

8. 泥流発生・流動機構に関する総合的な考察³⁾

一般的に泥流の発生・流動条件として

- ① ルーズで十分な量の土砂量があること
- ② 土砂が流動するための十分な水があること
- ③ 土砂が流動するための床底勾配を有すること

などが考えられるが、ここでは、この基本的な条件に加えて、ここで報告してきた模型実験、現地調査などの結果を考慮し、またかなり、大胆に割り切りながら図-31に示す有珠山における泥流発生・流動機構に関するフローチャートを作成した。

ただし、図中に示す各種条件に対する判断限界値は、最初の大噴火から54年までの現地条件に対応するものであるが、この他、いったん、斜面もしくは、1次谷内に堆積された火山灰・土砂が次の降雨時に下流部に流出してくる場合や、斜面で生産された火山灰と前者が同時に泥流となる場合など、泥流発生の形態は、無数に近く存在するであろうことが予想され、このフローチャートが、必ずしもすべてのケースを網羅するものではない。

しかしながら、このような特定の条件下における泥流発生・流動機構に関するフローチャートを土台にし、その信頼度を高めながら、調査・検討を進めることによって一般的な泥流もしくは土石流の発生機構を明らかにすることができるであろう。

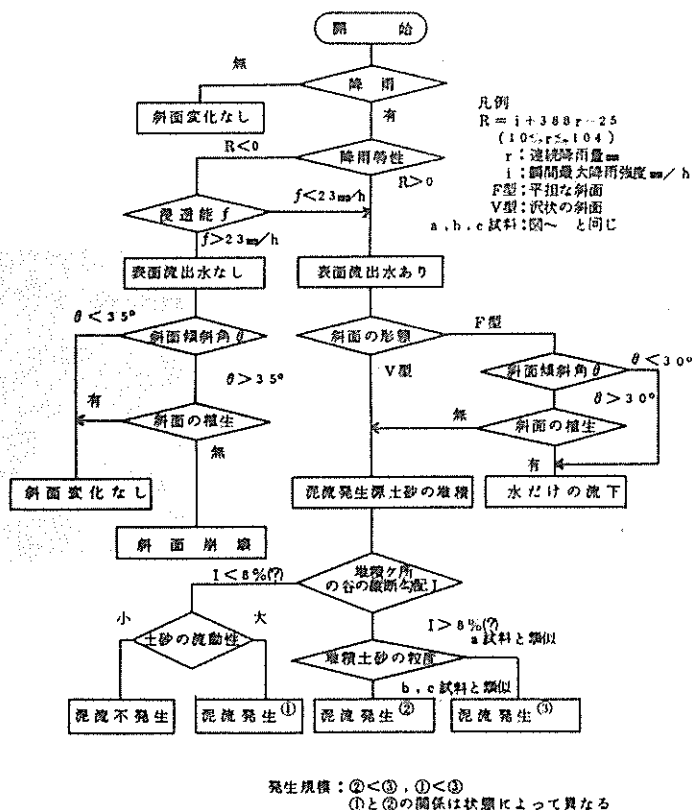


図-31 有珠山周辺における泥流発生・流動機構に関するフローチャート

9. 泥流観測システムの設置およびこれによる観測⁴⁾

(1) 泥流観測システムと泥流観測

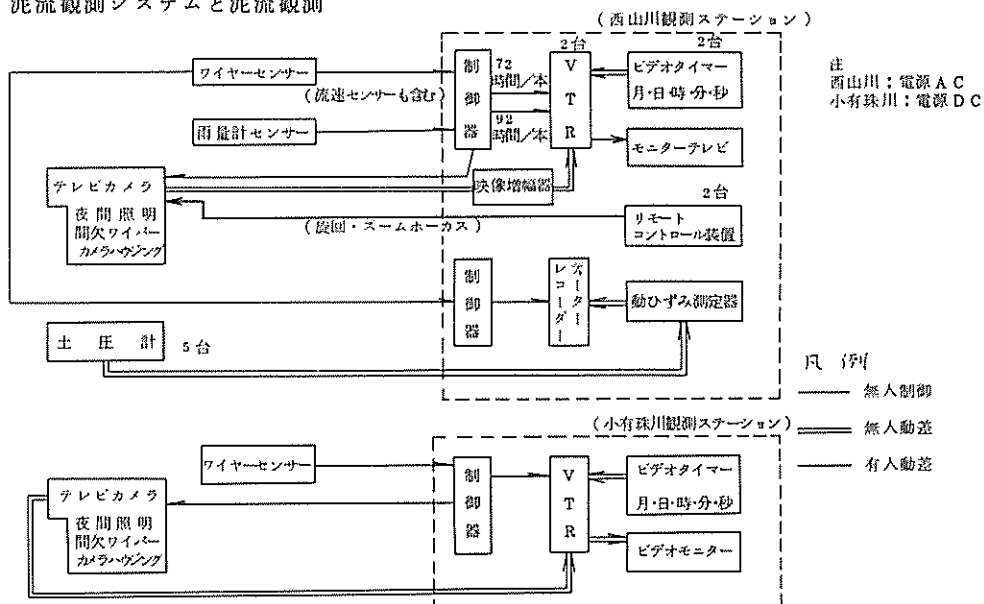


図-32 システム系統図

泥流の発生・流動・停止などの運動機構を解析する目的のもとに、ビデオカメラを中心とした泥流観測システムの設計を行ない、54年3月、西山川・小有珠川にそれを設置した。

ビデオカメラは、西山川に2台、小有珠川に1台を取り付けた。

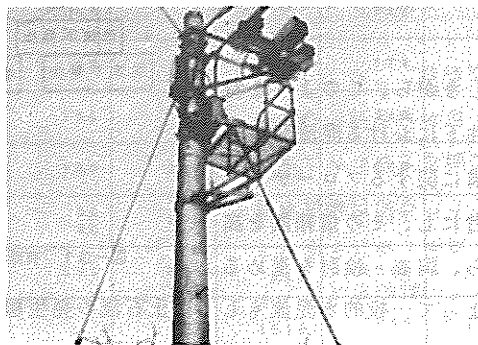
図-32は、西山川・小有珠川における泥流観測装置のシステムを示すが、この装置は主として、表-8に示す機械で構成されている。

写真-4は、ビデオカメラおよび、この観測装置を作動させるためのワイヤーセンサーであり、泥流発生時に中枠もしくは、外枠と中枠全体を流され、弱電流の電線が切断されるとシステムが作動する仕組みとなっている。

写真-5は、間欠ワイパー付のカメラハウジングに格納し、パンザーマスト上に設置したビデオカメラの設置状況である。



写-4 ワイヤーセンサーの設置状況（西山川）



写-5 カメラハウジングに格納したビデオカメラの設置状況（西山川）

表-8 泥流観測主要機器の仕様等一覧表

項 目	場 所	西 山 川		小 有 珠 川	備 考
		№1カメラ系統(下流側)	№2カメラ系統(上流側)	№3カメラ系統	
カ メ ラ	機 種	カメラハウジング(ハイパー付)白黒低照度カメラ	№1と同じ	№1と同じ	・カメラハウジングは導電ガラス付 ・旋回角度は水平270°、上下60° ・雨量計センサーの設定は、10分・20分・30分間雨量が1~99mmの範囲で1mm単位で設定可能 ・流速センサーは、2@30mの3速で設置 ・雨量計(最少読み取り時間30分最少読み取り降雨量0.5mm)…2台 ・土圧計…5台(動ひずみの測定) ・間ゲキ水圧…1台
	解 像 度	350本(水平)	〃	450本(水平)	
	レ ン ズ	f=1:2.3	〃	f=1:0.31	
	ズ ー ム 比	1:1.0(115~110mm)	〃	2.5mm(固定)	
	使 用 温 度	-5~50℃	〃	-5~45℃	
V T R	撮影体の必要照度	5ルクス	〃	1ルクス	・雨量計(最少読み取り時間30分最少読み取り降雨量0.5mm)…2台 ・土圧計…5台(動ひずみの測定) ・間ゲキ水圧…1台
	解 像 度	カラー240本(水平) 白 黒320本(〃)	〃	カラー240本(水平) 白 黒300本(〃)	
	保 存 温 度 範 囲	-20℃から60℃	〃	-10℃から40℃	
	使 用 温 度 範 囲	5℃から40℃	〃	5℃から40℃	
ソ の 他	撮 影 時 間	5段変速7.2mm/本 12.24・48.96h/本	〃	〃	・雨量計(最少読み取り時間30分、最少読み取り降雨量0.5mm)…2台
	VTRからテレビカメラまでの距離	170m	570m	5m	
	リモートコントロール装置	旋回・ズーム・ホーカス	旋回・ズーム・ホーカス	固 定	
	制 御 方 法	雨量計センサー ワイヤーセンサー	№1と併用	ワイヤーセンサー	
	モニターテレビ	14インチ	〃	5インチ	
	観測ステーション	27×3.6m	〃	1.2×1.2m	
	電 源	交 流	交 流	直流(バッテリー)	
	照 明	100V×1000W×2灯	24V×75W×2灯	12V×5.5W×2灯	
他	ビデオタイマー	月・日・時・分・秒/100秒	№1と同じ	№1と同じ	小 有 珠 川 地 域

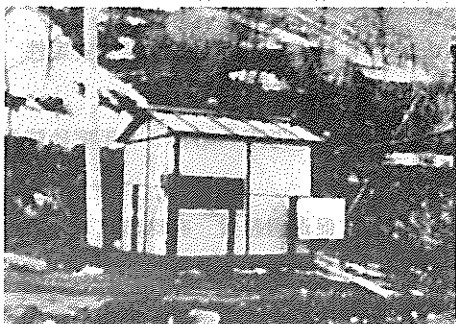


写真-6 観測ステーションの設置状況(西山川)



写真-7 観測ステーション内の観測機器の配置状況(西山川)

写真-6は、西山川の下流に設置した観測ステーションであり、この観測ステーション内に配置した観測機器を写真-7に示す。

このような泥流観測システムを設置して以来、泥流観測に備えてきたが、昭和54年度末現在のところ、小規模な土砂の移動が数回、見られただけで、このシステムを使って解析可能な泥流の発生には至っていない。

(2) 今後の方針

54年3月に泥流観測システムを現地に設置してから現在までのところ、解析の対象となりえる小規模な泥流は発生しているものの、この装置を使って解析可能なほどの大きな規模の泥流発生には至っていない。しかし、今後は、55年の融雪・降雨期に向けて泥流の運動機構ならびに泥流が砂防ダムに

作用する動圧の大きさなどを中心とした泥流の力学的な解析と泥流堆積物の工学的性質との関連において検討し、その結果をこれまでの研究成果に補足したいと考えている。

あ と が き

この報告は、現地調査・室内模型実験ならびに構内実験などから泥流の発生・流動などの機構解析に取り組んだ結果をまとめたものであるが、現在までのわが国における、泥流・土石流に関する研究報告は、基本的な現象を抽象化したモデルにもとずき力学的な分野から考察を加えたものは、多いものの、有珠山に見られる泥流の現象を的確に表現できるものはみあたらず、調査作業の遂行にあたって、試行錯誤の連続であった。ここに、一応、満足できる泥流の発生・流下機構に関する成果を得たものと考えているが、改ためて、泥流・土石流の複雑さを痛感している。

今後とも、現地に設置してある泥流観測システムによる観測を続けながら泥流発生に関する補足的な検討を行う予定である。

最後に、この研究を実施するにあたって、御協力をいただいた、北海道大学、室蘭営林署、室蘭土現業所洞爺出張所の関係各位に記して感謝の意を表す次第である。

参 考 文 献

1. 北海道開発局土木試験所土質研究室；昭和52年度特別研究促進調整費、「1977年有珠山噴火」に関する特別研究報告書 科学技術庁研究調整局 昭和53年2月
2. 佐々木・川西・西部・杉岡；「1977年有珠山噴火」に伴う火山灰堆積斜面の安定性 第33回 建設省技術研究会講演概要 昭和54年10月
3. 佐々木・能登・西部；有珠山における泥流発生機構に関する一考察 昭和55年度砂防学会概要集 昭和55年5月
4. 北海道開発局土木試験所土質研究室；昭和53年度特別研究促進調整費 有珠山における融雪・降雨期の泥流発生、流下機構に関する特別研究報告書 昭和54年10月
5. 北海道開発局土木試験所土質研究室；昭和53年度 有珠山における融雪・降雨期の泥流発生・流下機構に関する特別研究委員会資料 昭和54年2月
6. 佐々木・能登・杉岡・西部；「1977年有珠山噴火」に伴う火山灰堆積層の安定性について 第22回（昭和53年度）北海道開発局技術研究発表会論文集
7. 佐々木・能登・杉岡・西部；「1977年有珠山噴火」に伴う火山灰堆積斜面の安定性について 自然災害科学シンポジウム 講演論文集 昭和53年10月
8. 土木学会；水理公式集、昭和46年度改定版
9. 門村・高橋・鈴木・新井・今川・田辺；1978年10月24日有珠山泥流の流動・堆積と被害の実態 昭和53年度文部省科学研究費、自然災害特別研究(1)302044、1978年
10. 財団法人日本気象協会北海道本部；北海道の大雨資料 第5編 昭和45年3月
11. 社団法人北海道土木協会；北海道の大雨資料、第6編のI（記録編） 昭和53年11月
12. 駒村富士弥著；治山、砂防工学 森北出版 昭和53年5月

13. 全国治水砂防協会；砂防用語集 昭和 51 年 12 月

14. 小橋・中山・今村・池谷・平野・古谷・興西；地すべり・崩壊・土石流 鹿島出版 昭和 55
年 1 月

に変え、それぞれの組み合わせによる20種類の実験を行なった。

表-5は、実験の流水強度と現地での降雨量と流域面流の関係を $f=1.0$ として、表中に示す式により求めた計算結果である。ここでたとえば、流水強度 $200\ell/\min$ の場合、流域面積が $1,000\text{m}^2$ とすると、時間当りの降雨量は、 12mm という実験規模である。

表-5 流水強度と流域面積・平均降雨強度

流域面積 $A(\text{m}^2)$	$\sqrt{A}$ (m)	$rQ' 25$ (mm/h)	$rQ' 50$ (mm/h)	$rQ' 100$ (mm/h)	$rQ' 200$ (mm/h)
12000	110	—	—	—	18
10000	100	—	—	—	12
6000	77	—	—	10	20
4000	63	—	—	15	30
2000	45	—	15	30	60
1000	32	15	30	60	120
500	22	30	60	120	240
250	16	60	120	240	480
125	11	120	240	480	960

θ (度)	Q $\ell/\min$	25	35	50	100	200
10°						
15°						
20°						
25°						

- : 1部崩壊・変化せず
- : 前兆なくいっきに泥流発生
- : 侵食的泥流で堆積した後泥流発生
- : 侵食的泥流

$$Q' = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot rQ' \cdot q \cdot A$$

$$f = 1.0 \text{ として}$$

$rQ' q$: 流水強度 $Q\ell/\min$ 時の平均降雨強度
 f : 流出係数
 A : 流域面積

図-21 崩壊形態傾向図

図-21は、流水強度 $Q(\ell/\min)$ 、斜面傾斜角度 θ (度)と崩壊形態の関係を示す。ここで、「泥流発生」とは、高含水になった火山灰堆積層が、いっきに集合運搬される状態をいい、「侵食的泥流」とは、流下水が模型斜面を侵食しながら水によって火山灰が流下する各個運搬の状態をいう。同図に示す崩壊形態の代表例を写真1～3に示す。

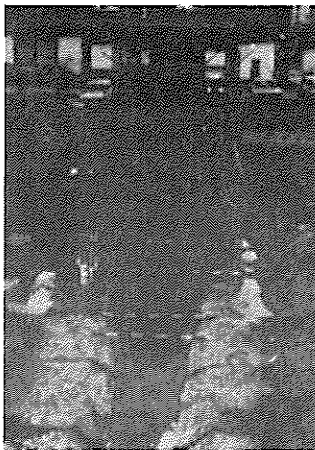


写真-1 いっきに泥流発生



写真-2 侵食的泥流で堆積した後泥流発生

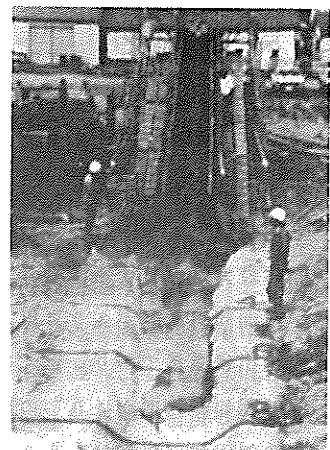


写真-3 侵食的泥流

図-21によれば、流水強度 $25\ell/\min$ では、いずれの斜面傾斜角度でも崩壊にはいたらない。流水強度 $50\ell/\min$ では、比較的、集合運搬による崩壊が発生するが、逆に $100, 200\ell/\min$ と多いと流下水が斜面を侵食しながら火山灰を流下させるという各個運搬による崩壊であるが、 $100\ell/\min$ の場合は、水量が少ないため掃流力が小さく、各個運搬された火山灰が、斜面の下方部に、いったん、堆積した後に集合運搬が発生する。これらは、流水強度が $25, 35\ell/\min$ と小さければ、供給した水量の大半が、斜面の下端から中間流出水となって火山灰堆積層外に出てしまい、この層の流動が発生するまでの含水状態には至らないためと思われる。また、斜面を流下する流水量(流