

土木研究所資料

第25回地質担当者會議資料

平成4年3月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright © 1992 by P. W. R. I.

All rights reserved, No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

第25回地質担当者会議資料

地質研究室 主任研究員 海 野 芳 聖
砂防研究室長 石 川 芳 治
砂防部長 渡 辺 正 幸
地質研究室 主任研究員 稲 崎 富 士
地質官 市 川 慧
地質研究室長 中 村 康 夫

要 旨

平成3年12月13日に開催された第25回地質担当者会議で行われた次の講演が収録されている。

1. 雲仙岳周辺の地質
2. 平成3年雲仙普賢岳で発生した火砕流、土石流災害
3. フィリピン ピナツボ火山災害
4. 浅層反射法マニュアル(案)の作成
—都市域における地盤探査手法の基準化に向けて—
5. 貯水池周辺地山安定対策
6. 岩盤崩壊の調査・対策法

キーワード：地質調査・斜面地質・ダム地質・火山・火砕流・土石流
地盤探査・浅層反射法・貯水池・岩盤斜面

目 次

まえがき	i
議事次第	ii
出席者名簿	iii
開会挨拶	iv
技術管理官挨拶	v
土木研究所長挨拶	vi
閉会挨拶	vii
議 事	1
1. 雲仙岳周辺の地質.....	1
2. 平成3年雲仙普賢岳で発生した火砕流, 土石流災害	15
3. フィリピン ピナツボ火山災害	47
4. 浅層反射法マニュアル(案)の作成	55
5. 貯水池周辺地山安定対策	85
6. 岩盤崩壊の調査・対策法	109

ま え が き

地質担当者会議は、昭和42年度より地質調査上の問題点の解明、技術情報の交換および地質調査方法の統一等を課題として開催されており、今回で第25回を迎えるに至った。この間、河川砂防基準（案）・道路土工土質調査指針・ルジオンテスト技術指針（案）・地質調査共通仕様書・グラウチング技術指針・ボーリング柱状図作成要領（案）等、地質調査に関連する基準や指針類の作成に貢献し、また、ダム・トンネル・のり面・軟弱地盤の地質工学的問題点の検討、海外の事例紹介等を行ってきた。

今回も、本省豊田技術審議官、土研岩崎所長をはじめ、本省、各地方建設局、国土地理院、建設大学校、土木研究所、北海道開発局、日本道路公団、阪神高速道路公団、水資源開発公団、本・四連絡橋公団より約60名の参加を得て盛会となった。

今回の会議では、合計6件の報告が行われた。

『雲仙岳周辺の地質』では、活発な活動を続ける雲仙普賢岳周辺の地質調査結果と、これにより推定される過去の火山活動について紹介があった。

『平成3年雲仙普賢岳で発生した火砕流、土石流災害』では、雲仙普賢岳の噴火に伴い発生した火砕流や土石流の実態と特徴について報告が行われた。

『フィリピン ピナツボ火山災害』では、今世紀最大級といわれるフィリピン ピナツボ火山の噴火について、土石流等の災害の現状と対策について報告が行われた。

『浅層反射法マニュアル（案）の作成』では、都市域における地盤探査手法としての「浅層反射法の探査・解析マニュアル（案）」について概要の説明があった。

『貯水池周辺地山対策』では、取りまとめ中である「貯水池周辺の地すべり等に関する技術資料」をもとに、その取り扱いについての概要報告がなされた。

『岩盤崩壊の調査・対策法』では、道路土工指針や落石対策便覧で対象としていない岩盤崩壊や剝離型の落石について、調査や対策法の検討結果について報告があった。

ここに当日提出された資料と討議内容をまとめて、今後の参考に供しようとするものである。

平成4年3月

地質研究室長 中 村 康 夫

第25回地質担当者会議議事次第

1. 日 時 平成3年12月13日(金) 10:00-16:50

2. 場 所 虎ノ門パストラル(港区虎ノ門4-1-1 ☎03-3432-7261)

3. 会議次第

1) 開会挨拶 10:00-10:05

土 木 研 究 所 地質化学部長 小 林 茂 敏

2) 挨 拶 10:05-10:20

本 省 技 術 審 議 官 豊 田 高 司

3) 挨 拶 10:20-10:30

土 木 研 究 所 所 長 岩 崎 敏 男

4) 議 事

① 雲仙岳周辺の地質 10:30-11:15

地 質 研 究 室 主任研究員 海 野 芳 聖

② 平成3年雲仙普賢岳で発生した火砕流、土石流災害 11:15-12:00

砂 防 研 究 室 室 長 石 川 芳 治

③ フィリピンピナツボ火山災害 13:00-14:00

砂 防 部 部 長 渡 辺 正 幸

④ 浅層反射法マニュアル(案)の作成

—都市域における地盤探査手法の基準化に向けて— 14:00-15:00

地 質 研 究 室 主任研究員 稲 崎 富 士

⑤ 貯水池周辺地山安定対策 15:15-16:00

地 質 官 市 川 慧

⑥ 岩盤崩壊の調査・対策法 16:00-16:45

地 質 研 究 室 室 長 中 村 康 夫

5) 閉会挨拶 16:45-16:50

地 質 官 市 川 慧

第25回地質担当者会議出席者名簿

開催日 平成3年12月13日

機 関 名	所 属	職 名	氏 名
本 省 (3名)	大臣官房 技術調査室 " " " "	技 術 審 議 官 技 術 調 査 官 技術管理第一係長	豊 田 高 司 村 上 真 幸 長 野 幸 司
土 木 研 究 所 (22名)	企 画 部 地 質 化 学 部 砂 防 部 地 質 研 究 部 " " " " " " " " ダム構造研究室 フィルダム研究室 砂防研究室 地すべり研究室 急傾斜地崩壊研究室 土質研究室 動土質研究室 基礎研究室 " " 振動研究室 新 潟 試 験 所	所 長 地 質 官 夕 ム 計 画 官 部 長 部 長 部 長 室 長 主 任 研 究 員 主 任 研 究 員 研 究 員 技 術 官 主 任 研 究 員 主 任 研 究 員 室 長 室 長 主 任 研 究 員 主 任 研 究 員 研 究 員 研 究 員 技 術 官 研 究 員	岩 崎 敏 男 市 川 聰 敏 山 本 茂 幸 小 林 正 夫 渡 辺 村 康 富 中 村 崎 芳 靖 稲 野 木 修 司 海 々 南 井 厚 司 佐 々 井 松 秀 晴 阿 藤 則 安 夫 藤 田 川 芳 治 則 安 川 弘 行 石 川 松 弘 忠 吉 原 藤 浩 一 杉 工 藤 多 賀 島 津 井 健 夫 浅 堀 裕 康 大 見 精 太 吉 白 石 一 郎
建 設 大 学 校 (2名)	建 設 部 測 量 部	国 際 協 力 研 修 官 教 官	金 木 誠 橋 本 圭 三 郎
国 土 地 理 院 (6名)	地 理 調 査 部 地 理 第 一 課 " " " " " 技術開発室 " 企画課 " 地 理 第 二 課	研 究 官 係 長 係 員 室 長 研 究 官 係 員	宇 根 寛 中 島 秀 敏 坂 井 尚 登 津 沢 正 晴 鈴 木 美 和 黒 木 貴 子

機 関 名	所 属	職 名	氏 名
関東地方建設局 (7名)	企画部 技術管理課 " " 河川部 河川計画課 " " " 河川工事課 道路部道路計画第一課 " 道路工事課	課 長 基準第二係 計画第二係 総合土砂災害係 技 官 計画第二係長 構造第一係長	見 城 英 治 矢ノ目 健 市 小 宮 秀 樹 西 山 智 荒 木 茂 藤 田 明 渡 邊 義 臣
中部地方建設局 (2名)	河川部 河川計画課 道路部道路計画第一課	技 官 技 官	岩 田 幸 雄 今 井 清 隆
近畿地方建設局	企 画 部	建 設 専 門 官	藤 田 政 治
中国地方建設局 (3名)	中国技術事務所 温井ダム工事事務所 斐伊川・神戸川 総合開発工事事務所	副 所 長 所 長 所 長	中 岡 俊 之 秋 常 秀 明 平 野 勇
九州地方建設局 (3名)	河 川 部 企画部 技術管理課 " "	建 設 専 門 官 労務資材係長 検 査 係 長	脇 坂 安 彦 神 川 敏 郎 岩 切 清 樹
北海道開発局 (2名)	開発土木研究所地質研究室 " "	副 室 長 研 究 員	鈴 木 哲 也 伊 藤 憲 章
阪神高速道路公団	工務部 設 計 課	課 長 補 佐	中 村 正 司
日本道路公団	技 術 部	調 査 役	寺 本 和 子
水資源開発公団 (2名)	企画部 調 査 課 試験所 第三試験課		神 矢 弘 双 木 英 人
本四連絡橋公団	設 計 部	審 議 役	山 懸 守

計56名

開 会 挨 拶

土木研究所地質化学部長

小 林 茂 敏

皆様、おはようございます。土木研究所地質化学部長の小林でございます。

ただいまより25回目の地質担当者会議を開催させていただきます。

本日は年末の大変お忙しい折りから、また国会の会期中でありますにもかかわらず、本省からは豊田技術審議官初め関係者の皆様、そして地方建設局及び公団あるいは北海道、沖縄の各関係機関の方々、多数御参加くださりましてありがとうございました。

本地質担当者会議は建設省及び関係機関の地質担当者が、地質に関連する各種の決議とか、あるいは規定の認定とか、そういうことをすることができる最高の機関として設立された、非常に伝統のある会議でございますが、最近はそれに加えて、地質あるいは材料に関する最新の技術情報の交換というふうなことの役割も兼ねている会議となっております。

本日もそのような最近の情勢にあわせて、プログラムを組ませていただきました。最近非常に話題になっております普賢岳あるいはピナツポ火山に関します火山情報の話題、あるいは地盤探査の話、あるいは地山やのり面の安定性や調査の話と、こういうようなことをそれぞれの専門の方に御発表を願ひまして、一日技術の交換会をするというプログラムを組ませていただきました。ちょっと時間が長いですが、ゆっくり御堪能いただきたいと思います。

発表の後には質問の時間も設けておりますので、またせっかくの機会でございますので、専門の方々に御質問されて、活発な御討議などもしていただければよろしいかと思います。会議の後には懇親会も用意されているようでございますので、また会議で話されなかったことなども、その時間を利用して、また懇親を深めていただければよろしいかと思います。

甚だ簡単でございますが、これをもちまして開会のあいさつにさせていただきます。

挨拶

大臣官房技術審議官

豊田 高 司

技術審議官の豊田でございます。

本日は年度末のお忙しいところ、第25回地質担当者会議ということでお集まりいただきまして、まことにありがとうございます。

この会議は今司会の方からも申されましたように、地質調査を中心といたしまして技術的課題の検討や、あるいは新しい技術開発などにつきまして情報を交換することを主な目的として、開催されているわけでございます。

きょうお集まりの皆さんは地質関係を専門とされている方や、あるいは地質に関連したさまざまな業務を担当されている方でございますが、せっかくの機会でございますので、現在私たちがやっております技術開発について、若干お話をしたいと思っております。

もう御承知のとおり、21世紀を目指しまして430兆円の公共投資基本計画、来年度第2年目になるわけですが、こういった事業を円滑に実施していくためにはいろんな問題点を抱えております。

一方、社会的には今日本人は2,200時間ぐらい働いておる。これを欧米並みの1,800時間ぐらいまでに早く縮めたい。あるいは建設産業、役所も含めまして「3K」あるいは「6K」と言われておりまして、これのイメージアップ。単にイメージアップするだけではなしに、その3Kを追放しなければなりません。これは我々の、公務員の職場も3K追放しなければならないわけでありまして。

それから、最近重大な事故が起こっております。安全の対策というのは大変重要な問題であるわけでありまして。

そういったことを達成するためには、プレハブ化、プレキャストの全面的な使用であるとか、あるいはロボット化を進めるといった合理化が、必要であるわけでありまして。さらにこのような新しい技術を、現場へ積極的に導入する必要があります。

そこで、どうしたら新しい技術が現場へ導入できるか、ということが大事になるわけでありまして、まず技術開発に関しましては、もう御承知のとおり総合技術開発プロジェクト、通称「総プロ」と呼んでおりますが、そういったもの。あるいは共同研究とか、官民連帯共同研究というような制度がありまして、今やこの技術開発は役所だけではなしに、民間の持っているノウハウと共同し力をあわせて、あるいは情報を交換しながら、お互いに技術力を高めていくという時代に入っているわけでありまして。これは他の産業分野でもしかりでございまして、この地質関係にも同様なことが行われておるわけでありまして。

そのほか、民間が独自で開発いたしました技術を、いわばお墨付きを与えるといいますか、公的な裏づけを与えるために建設技術評価制度、それから民間開発建設技術の技術審査証明事業というのがあります。

そのほか、これらの技術を積極的に建設現場へ使いたい。開発されたものを実際の設計の中に生かしていきたいということで、技術活用パイロット事業というものもやっております。それから昨年度からは特定技

術活用パイロット事業を実施しております。この特定技術活用パイロット事業というのは、ある技術を全国的に一齐にやろうということであります。さらに、民間からこういうのを全国一斉にやってほしいというような技術がありますと、技術提案型特定パイロット事業というようなものも、来年からやりたいと思っております。皆さんの地建あるいは各公団におかれましては、積極的な活用をお願いをしたいと思っております。

いずれにしても、これらの技術開発あるいは普及をやる場合には、技術者の育成だとか活用が不可欠であります。このための施策も建設省の中の建設技術開発会議、これは大臣の私的諮問機関であります。その中の施工合理化部会という中で検討しております。また先ほど申し上げました安全対策につきましても、技術開発会議の中の安全施工専門部会だとか、あるいはもう少し橋梁だとかトンネルだとか個別に各部署において安全対策を検討されていまして、そういうことを総合的に、全省的に取り組んでいくということで、近く事務次官をキャップといたします建設工事の安全対策委員会、そういうものをつくる予定をしております。

このように安全問題というのは非常に、建設省の中でも重要視しておるわけでありまして、全省的に取り組んでまいりたいと思っております。

それから積算につきましても、何と申しましても地質調査に関係しているコンサルタントも当然であります。よい仕事をしていただくためにはきちっとした、適正な利潤が上がる積算でなければならないと思うわけであります。あるいは新しい技術開発をどんどんやっていくためには、それに必要な経費もきちっと積算で見込んでおかなければならない。新しい技術者をどんどん育成していくためにも、必要な経費は見込んでおかなければならないと思うわけでありまして、こういう調査物の積算基準についてもやはり適正に、改善すべきは改善しなければならないと思っております。

地質に関します技術は、今後非常に大規模なプロジェクトや、恐らく大深度地下の問題、これは先年、大深度地下法というのが流れましたが、地下を利用するというニーズは、それ以降も一層ふえておるわけであります。従いまして、こういった大深度の地下を利用・開発するための調査というのは、一層重大になってくると思います。

それから、ちょっと話は変わりますが、せんだってタクシーに乗ったときに、大変朝焼けが鮮やかなときがありました。で、そのタクシーの運転手さんが大分年をとった方で、お客さん、この朝焼けは異常であると。何ですかと。東京大震災のときも1週間ぐらいこのような朝焼けが東の方であった。おかしいなと思ったら大地震が来た。今回もその前兆ではないか。大変心配である。この朝焼けが1週間か10日ぐらい続くと危ないのではないか。お客さん、注意をした方がいいですよというような話があって、気にはしておったのですが、こつしが69年目になるのですか、来年が70年目になるのでしょうか、もうそろそろ来てもよいころであります。そのころに比べますと、この東京、首都圏は格段に人口、中枢機能が集中しております。

それに対して東京の地下というのが、70年間にどの程度把握されたかということになりますと、甚だ心もとないわけであります。特にマクロ的にはある程度わかっておりましても、いわゆるマイクロゾーニングのようなことがまだまだ行われていない、というようなことになると、どのような被害が発生するのか、時間の経過の割にはまだまだ不明なところがあります。こういったことを解明するにも、地質調査技術の開

発というのがまだまだ望まれるわけであります。きょうお集まりの皆さんの今後のなお一層の御検討を心から期待しておるわけであります。

最後に、この会が有意義に終わりますようお祈りいたしまして、私のあいさつといたします。ありがとうございました。

挨拶

土木研究所所長

岩 崎 敏 男

ただいま御紹介賜りました土木研究所の所長の岩崎でございます。

本日は昭和42年に始まりました地質担当者会議、第25回目を迎えるということで、北海道から九州まで全国各地から多数の地質関係者、あるいは土木関係者、お集まりいただきまして大変ありがとうございます。

この会議は毎年1回、今ごろ、年の暮れに行っておりますけれども、この間25年間、いろいろと世の中変わってきております。特に地質的課題について話を申し上げますと、ダム、トンネル、あるいは斜面、あるいは土砂等の災害等々、非常に地質の問題あるいは地質の課題がますます検討を深くしなくちゃいけないということを痛感しております。

例えば最近では、特にダム関係が中心かと思えますけれども、第四紀断層の問題や、あるいは貯水池にかかわります地すべりの問題や、あるいは岩石の材料の調査試験法等の問題があります。また道路に目を向けますと、一時非常に新聞等でも問題になりましたアルカリシリカ反応対策、あるいは地質・土質調査法の共通仕様書等がございます。そのほか防災の点検手法等々、地質に関連の深い問題がいろいろと話題になっております。

これらの問題はいずれも地域的な、非常にローカルな要素もございますし、またあるいはいわゆる経験でしかなかなか判断できないというような面も強いわけでございますけれども、今回のようなこういう地質担当者の方々が一堂に会しまして、いろいろと情報交換あるいは討議を続ける、さらに基準あるいは指針等に反映していくことが、重要であるというように思っております。

本日ここにお集まりの皆様方は、既に充分承知とは思いますが、地質の議論というもの是非常に多岐にわたる業務に深く関係しております。ダムにつきましてはダムサイトをどう決めるかということが、まず地質から始まりますし、ダム軸といいますか構造的にどういうタイプを選べばいいのかとか、あるいは掘削をどのような範囲までやらなければいけないのかとか、あるいは場合によっては基礎の処理の方法とか、あるいはその処理をすべき範囲とか、こういうことは非常に工事全体の工期とかあるいは工費、お金の方にも直接関係する重大な事項でございます。

さらに近年では良好な岩石やら、あるいは土質の材料を必要な量だけ確保するということは、非常に難しくなってきております。このためいろんな建設事業を進めるに当たっては、特にダム等もそうですけれども、その建設地点の地質のみならず、その周辺全体のかかなり広い範囲での地質状況、土木地質的な解釈あるいは判断、重要な要素になっているというふうに考えております。

ダムだけでなく、もちろん道路なども非常に重要でございまして、特に一昨年の7月に福井県の越前海岸で起こりました岩盤斜面崩壊などは私どもも非常に深く調査等にかかわったわけですが、この辺の、先ほど審議官も申し上げましたが安全の問題、これはことしも引き続き山梨県等で発生しておりまして、非常に大きな犠牲者が出るというようなことで、大変な問題になっております。

こういうものの崩壊の予知、あるいは対策等も地質関係者に課せられた、重要な課題の一つになっております。これも地質に非常に密接に関係しておりまして、土木屋だけではなかなか解決できないということで、地質屋さんのお力をどうしても必要とするものであります。

以上のように、非常に多くの分野、あるいは種類の事業にかかわります建設省の業務につきまして、いろんな面で工法あるいは積算、先ほどありましたけれども、そういうものに地質が非常に深くかかわっております。ということで、本日皆さん方から十分御討議いただければありがたいと思っています。

さて、土木研究所でございますけれども、ことしの春から、先ほどちょっとございました積算の問題について、積算技術の研究を行う積算技術研究センターというのを4月から発足しておりますが、この中では新しい工法、新しく開発されたいろいろな工法につきましての積算を初め、各種の工事の積算の見直し等々をやっております。さらに新しい総プロ等も地下の問題等々を含めまして、いろいろと取り組んでおります。

さらに、先ほど69年説で、たしか来年がちょうど69年になりますけれども、私ども土木研究所の話題としましては、関東地震が1923年に発生しております。69年足しますと1992年ですが、実は土木研究所はその1年前、1922年に誕生しておりまして、ちょうど70周年を迎えるという、これは若干いい話でございますけれども、来年そういうお祝いも考えております。これは特に地質と関係ないわけですが、土木研究所もそういう長い歴史を誇っておりまして、地質研究室もその中心の一翼を担っているわけでございます。

地質研究室に話を移しますと、主にダム、道路、砂防を中心に地質をやっておりますけれども、そのほかの部でも地質絡みの研究をやっておりまして、例えば機械施工部、構造橋梁部、地震防災等の部では、若干は地質とは違いますが、関連の深い研究をやっております。

きょうもこちら側、右側の方は大部分といいますか、土木研究所の研究員あるいは室長さん、あるいは部長さん等集まっております。それぞれ日ごろの研究の成果をいろいろ発表等あると思いますけれども、ぜひ皆さん方からもまた活発な御意見、御討議をいただければ私ども幸いと思っております。

さらに現場の方にも非常に重要な情報がたくさんございます。したがって、地建の方あるいは関係機関の方々からいろいろと、現場で経験されたこと、情報をぜひまた私どもの方にも教えていただきまして、私どもともども地質に関連する技術をますます向上していただけたらありがたいというふうに思っております。

いずれにせよ、研究機関と現場とがいろんな意味で交流するということは、非常に重要と思っております。

きょうのプログラムを見ますと、まず今一番話題になっております雲仙普賢岳の火砕流を中心とする噴火問題、それからフィリピンのピナツボ火山の紹介、それ以下、地下総プロでの浅層反射法のマニュアルの御紹介、さらには数年来国土開発技術研究センターの方で検討しておりました、貯水池の湛水に伴う地すべりの調査対策工法等の指針の紹介等々ございます。

それから、先ほど申し上げました越前海岸の岩盤斜面崩壊を契機に検討が加えられておりました、岩盤斜面崩壊の調査法についても紹介することになっております。いずれも非常にタイムリーな時宜を得ました話題、議題でございますので、皆さん方からはぜひ活発な御討議、御意見をいただきまして、本日の会議を有意義なものにしていきたいというふうに思っております。

以上、簡単でございますが、冒頭のごあいさつにかえたいと思います。本日は何とぞよろしくお願いいた

します。

閉 会 挨拶

土木研究所地質官

市 川 慧

暮れも押し迫りましたが、第25回の地質担当者会議を開きましたところ、多数お集まりいただきまして、活発な討議ができたと思っております。

本日のテーマを見ますと、火山災害、それから都市での調査あるいは斜面の災害でございまして、やはり我々の地質という地面から下に関係する仕事というのはどうしても、人間の生活が地面と空気との接点に存在しておりますから、いずれにしても摩擦が起きやすい、物事の境目という非常に難しいところに住んでいるわけでございます。これからもやはり災害の問題というのは、どうしても避けて通れないと思っております。

例えば社会の進歩とか、さまざまな情勢が絡んでまいりまして、快適な生活とか便利な生活ということを考えますと、どうしても自然条件に合わせて、あるいは災害から逃げるという立場よりは、少し自然に食いだんだような形でやっていかなければならないだろうと思っております。

例えば道路ですと、従来非常に悪かった道路が改良されまして、しかもそれに高規格化というような話になってまいりますと、どうしても使う側の論理である、例えば線形とか勾配とかトンネルの長さとかいう話が出てまいります。そうしますと、従来の峠道という崖崩れや洪水で道路が流されないように、逃げ回ってくねくね曲がっていたような道路を、多少表現は悪いですが、どうしても、力で押してこちらの言うとおりにしなければならない。そうしますと、反作用というのがどうしてもあるわけでございまして、それが災害という形になって戻ってくると思いますが、そういうものについての十分な配慮と対策が要るだろうと思います。その対策のためには十分な調査というのが当然不可欠なわけでございまして、新しい手法の開発も含めまして、今後ともいうそう自然とのインターフェースというものを十分に理解してやっていきたいと思っております。

前半にありました火山の災害というのは、これはもう人間がどうこうできることではありませんで、ひたすら逃げるだけに近いと思えますけれども、そういう大きな自然のインパクトによって受けた影響を、いかにして早く復旧させて、もとのペースへ戻すかということも、地盤あるいは地球と我々とのインターフェースの話だろうと思っておりますので、今後十分な検討を踏みたいと思っております。

きょうは少し出ました指針あるいはマニュアルのたぐいにつきましても、さらに検討いたしまして素案としてお出しした後、試用という形で使っていただいた上で成案として早く使うようにしていきたいと思っております。

今回は諸般の事情がありまして、皆様への御案内が十分な時間的余裕がなく行われたということもありまして、現場からの皆さんの御意見、あるいは現場の報告というのが間に合いませんでしたけれども、来年は現場からの報告も交えて、活発な討議をしたいと思っております。

どうもありがとうございました。

雲仙岳周辺の地質

土木研究所 地質研究室

主任研究員 海野 芳聖

雲仙岳周辺の地質

1. 研究史

雲仙火山は、1792（寛政4）年に日本史上最悪の火山災害（山崩れと津波による死者15,433人）をひき起こした火山として古くから有名であり、そのため比較的早い時期から研究された。

寛政4年の眉山の崩壊の原因については、1910年代に、地震に起因する崩壊であるとする見解（大森, 1908・1918）と火山爆発によるものとの考え（佐藤, 1918；駒田, 1916）とが提示され、激しい論争が行なわれた。1922（大正11）年には島原地震（マグニチュード6.5, 6.9, 死者26人）が発生し、この地震の震源地及び火山活動との関連をめぐって、多くの研究者の間で再び議論の的となった（Ogawa, 1924；佐藤, 1925 など）。

雲仙火山の火山地質についての報文としては、古くは奈佐（1891）の短報をはじめとし、駒田（1913）や本間（1936）の詳細な記載を含む報告がある。戦後は、山本（1960）、倉沢・高橋（1965）、種子田（1966）、藤野・山崎（1975）、藤野・種子田（1980）などの岩石学的研究があるほか、Sendo et al.（1967）、種子田（1977）、太田（1984・1987）、田中・中田（1988）により、火山層序学的な検討がなされた。火山岩の絶対年代については、岡口・大塚（1980）、宮地・太田（1985）、Sugiyama et al.（1986）などの報告があり、さらに火山発達史の経年は、高橋・金子（1984）、小林・加藤（1986）、小林・尾関（1991）などにより提示されている。

本地域の地質図としては、先述の Sendo et al.（1967）、太田（1984）、田中・中田（1988、中東部のみ）のほか、NEDO（1988）により編集されたものがある。

寛政の噴火活動と眉山崩壊については、近年になって古記録の収集・整理にもとづく現象の復元作業が片山（1974・1980）によって進められ、その全貌が明らかにされた。眉山崩壊については、近年まで火山爆発を原因とする考えもあり（古谷, 1974・1978）、メカニズムの詳細については現在も不明な点が多い。しかし、新史料の発掘や再検討も進められ（たとえば、宮地ほか, 1987）、火山活動に伴う浅発地震を引き金とした山体崩壊であったとする見解で、最近では大方の一致をみている。

島原半島には、東西に延びる縦ずれ断層群が分布し、全体として中央部が沈下するような変位を示すために、雲仙地溝と呼ばれている。これらの活断層については多くの研究があり、金子（1973）、千田（1979）、堤（1987）、九州活構造研究会（1989）、活断層研究会（1991）などをあげることができる。

なお、雲仙火山地域について地質をはじめ噴火史・地震活動・温泉などを含む総括的な解説を行なった文献としては、太田（1984）のモノグラフがある。

2. 地質の概要と問題点

雲仙火山のある島原半島は、南北約33km、東西約23km、「勾玉」型をしており、この中に1市16町がある。半島の南部約1/4ほどには、第三紀層（坂瀬川層・早崎玄武岩類）と前～中期更新世の堆積物（口之津層群・南島原火山岩類）が分布している。半島の中～北部一帯は雲仙火山の噴出物でおおわれているが、ボーリン

グの資料によれば、この噴出物の下には、上述の中期更新世までの堆積物が基盤として広く伏在していることが知られている（太田，1984）。

雲仙火山の地質については、1で述べたように既に多くの研究があるが、地質区分や層序については、相互に一致しない点が多々認められる。岩石の絶対年代については、ごく最近得られたもの（渡辺ほか，1991a；高島・渡辺，1991）を含め約40点以上の測定結果があるが、得られた測定値とこれまでに提示されている火山層序との間には、調和的でない場合が少なくない。このような問題点をふまえて、渡辺ほか（1991b）は、絶対年代、テフクロロジー（火山灰編年法）、および地形的に推測される噴出物の新旧関係などにもとずいて、雲仙火山の噴出物を4つの時期に再区分した。それらは古い方から、先妙見岳期、妙見岳期、普賢岳期、有史期とされている。今回は、この考え方にたち、既存の諸資料をもとに雲仙火山の地質図を再編集・作成した（図1）。

図1の範囲のうち、半島南部に露出する中期更新世までの堆積物の分布については、大塚（1966）や地質調査所（1975）を基本的には踏襲した（沖積層の分布域や断層位置を若干改変したところがある）。このうち、古第三紀の坂瀬川層と新第三紀とされている早崎玄武岩については、特に区分して表示した。雲仙火山岩類については、太田（1987）の地質図を基本に、中東部については田中・中田（1988）によって修正を加えた。特に、普賢岳～眉山周辺にかけての地域については、宮地ほか（1987）・渡辺ほか（1991b）・国土地理院地理調査部（1991）をはじめ、筆者の空中写真判読の結果を加味して、部分的な加筆・改変を行なった。

先妙見岳期とした時期は、太田（1987）の基底火山期・高岳期・九千部期を一括したものにほぼ相当する。この時期の活動は、絶対年代資料によれば約30万年前から約8万年前にわたっている。この時期に、火山体の最下部をなす基底火砕岩類（竜石層）をはじめ、猿葉山・矢岳・高岩山・絹笠山・鳥甲山・高岳・吾妻岳・九千部岳・野岳などの諸峰をつくる溶岩・火砕岩が噴出した。渡辺ほか（1991b）によれば、眉山の南東～東側下部山腹に分布する安山岩も $0.17 \pm 0.02\text{Ma}$ （1Maは100万年）のK-Ar年代が得られ、この時期の噴出物に分類される。噴出物の総量の見積りは、基盤の形状が充分知られていないため概略的であるが、 80万km^3 を上回るものと考えられている（田中・中田，1988）。

次の妙見岳期の活動は、絶対年代資料によれば約6万年前から2万年前ごろにかけて起こり、妙見岳・国見岳の一带を占める成層火山体が形成された。およそ2万年前ごろにこの山体の頂部にカルデラが生じ、その後はこの妙見カルデラ内とその周辺で噴火活動が断続して、普賢岳・稲生山などが出現した。妙見カルデラ形成後有史以前までの時期を、普賢岳期とする。眉山の本体を構成するデイサイトの絶対年代については、測定者（宮地・太田，1985；Sugiyama et al., 1986；渡辺ほか，1990a）によるひらきが大きく $0.10 \sim 0.02\text{Ma}$ にわたっていて、妙見岳期に属するのか普賢岳期のものか、はっきりしていない。妙見岳期・普賢岳期の噴出物の合計は、約 10万km^3 と見積もられている（田中・中田，1988）。

有史に残る確実な火山活動は、1663（寛文3）年の古焼溶岩の流出と、1792（寛政4）年の新焼溶岩の流出・地震に伴う眉山の崩壊とである。今回（1990年～）の活動を含め、古記録と岩石学的検討により明らかにされた、有史期の溶岩流出活動の概要を表1にまとめておく。

以上述べた雲仙火山の活動史は、図2のように要約される。

3. 火砕流の位置づけについて

今回の噴火活動の特徴は、噴出した溶岩の粘性がきわめて高く、1663年および1792年の噴火のように溶岩流にはならず、溶岩ドームが形成されつつある点である。溶岩ドームが山腹へ崩落することによって、中・小規模の火砕流が頻発している。このような火砕流はメラピ型火砕流と呼ばれ、火道を上昇中のマグマが急激に発泡して生じる典型的なタイプの火砕流（従来の区分でスフリエール型と呼ばれるもの）とは、明確に区別されるものである（図3）。

最近の詳しい地質調査により、普賢岳～眉山一帯には、さまざまな時期の山体崩壊や火砕流による堆積物が分布していることが明らかになってきた（田中・中田，1988；宇井，1991；小林・中田，1991など）。これらの堆積物の年代や給源については、今後の調査に待つところが大きい。火砕流についても、普賢岳をはじめよく似た形状の溶岩ドームが多数分布することから、これまでも、今回のような中・小規模の火砕流の発生は、繰返し起こっていたものと考えるのが至当であろう。

山麓にまで到達するような火砕流は、決してしばしば発生する現象ではないが、有史以後についてみても、有珠山（1663年・1822年）、北海道駒ヶ岳（1640年・1856年・1929年）、十和田カルデラ（915年）、榛名山二ツ岳（6世紀）、浅間山（1108年・1783年）、新島向山（886年）、神津島天上山（838年）など、国内だけでも多くの例がある。粘性の高いマグマを噴出する火山については、発生記録の有無にかかわらず、火砕流に対する防災策を考えておく必要がある。

追記：本報脱稿後も雲仙岳の噴火活動は活発に継続しつつある（1992年3月末現在）。1992年2月19日撮影の空中写真にもとづく国土地理院の計測結果によれば、上記時点までの溶岩総噴出量は約8,200万 m^3 、このうち溶岩ドームをつくる溶岩の量は約4,300万 m^3 に達している。

文 献

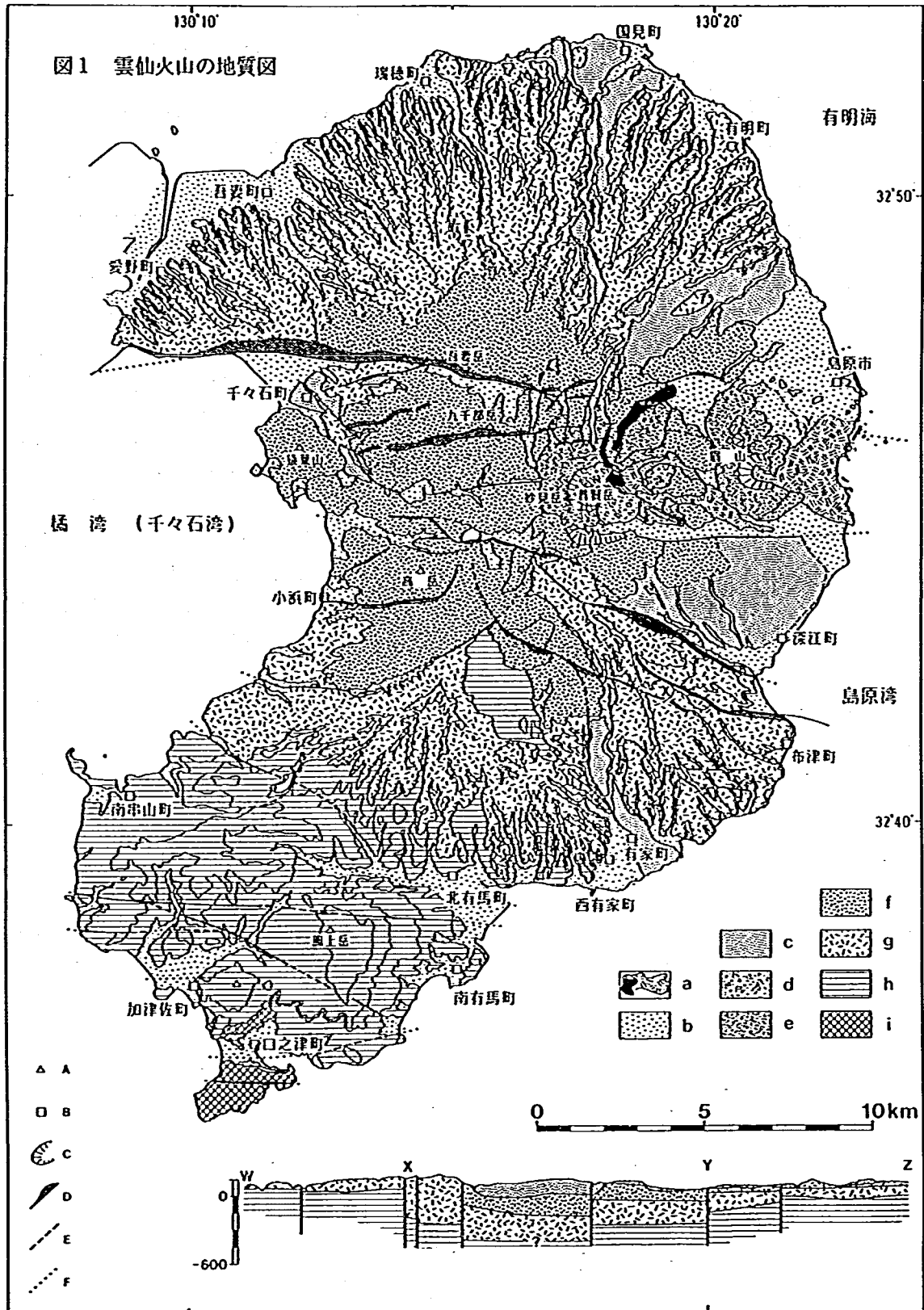
(本文での引用順に列挙した)

- 大森房吉(1908): 寛政四年温泉嶽の破裂. 地質学雑誌, 15, 447-450.
- 大森房吉(1918): 寛政四年肥前島原温泉嶽前山の崩潰に就きて. 地質学雑誌, 25, 256-258.
- 佐藤伝蔵(1925): 温泉岳火山の流れ山. 地学雑誌, 30, 56-57.
- 佐藤伝蔵(1918): 温泉岳前山の山崩説を駁す. 地球, 4, 437-446.
- 駒田亥久雄(1913): 温泉岳火山地質調査報文. 震災予防調査会報告, 84, 107.
- 駒田亥久雄(1916): 寛政四年肥前島原眉山爆裂前後の状況に就て. 地質学雑誌, 20, 150-162.
- Ogawa, T. (1924): Notes on the volcanic and seismic phenomena in the volcanic district of Shimabara, with a report on the earthquake of Dec. 8th, 1922. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. B, 1, 201-254.
- 奈佐忠行(1891): 島原温泉岳の記. 地学雑誌, 3, 307.
- 本間不二男(1936): 日本火山誌(二) 雲仙岳. 火山, 3, 75-124.
- 山本 敬(1960): 雲仙火山地域熔岩の化学的研究. 火山第2集, 5, 69-74.
- 倉沢 一・高橋 清(1965): 九州雲仙火山の岩石学および化学的性質について. 地調月報, 16, 258-274.
- 種子田定勝(1966): 雲仙火山Ⅰ, 熔岩類の岩石化学的一考察. 九大理学部島原火山観測所研報, 2, 5-10.
- 種子田定勝(1977): 雲仙火山Ⅱ, 火山の構成. 九大理学部島原火山観測所研報, 11, 1-12.
- 藤野敏雄・山崎達雄(1975): 雲仙火山岩類および捕獲岩の岩石学的研究. 九州大学生産研究所報告, 62, 63-80.
- 藤野敏雄・種子田定勝(1980): 雲仙火山岩類の岩石学的特徴. 九大理学部研究報告, 13, 111-119.
- Sendo, T., Matsumoto, H. and Imamura, R. (1967): Geology and petrology of Unzen volcano. Kumamoto Jour. Sci., Ser. B, sec. 1, 7, 1, 31-89.
- 太田一也(1984): 雲仙火山, 地形・地質と火山現象. 長崎県, 98p.
- 太田一也(1987): 雲仙火山の地質構造と火山現象. 地団研専報, 33, 71-85.
- 田中雅人・中田節也(1988): 雲仙火山東域の地質. 九大理学部島原地震火山観測所研究報告, 14, 1-11.
- 岡口雅子・大塚裕之(1980): 口ノ津層群における凝灰岩層および竜石層中の安山岩のジルコンのフィッシュン・トラック年代. 第四紀研究, 19, 75-85.
- 宮地六美・太田一也(1985): 雲仙火山岩類のフィッシュン・トラック年代. 九大理学部島原地震火山観測所研究報告, 13, 45-50.
- Sugiyama, H., Hayashi, M. and Fujino, T. (1986): Fission track age of Unzen volcanic rocks. Bull. volc. Soc. Japan, 2nd Ser., 31, 85-94.
- 高橋正樹・金子浩樹(1984): 雲仙火山東部地域新期火山群の活動史(演旨). 火山第2集, 29, 327.
- 小林哲夫・加藤和夫(1986): 雲仙岳火山の形成史(演旨). 火山第2集, 31, 299-300.

- 小林哲夫・尾関信幸(1991)：雲仙岳火山の地質に関する最近の研究成果，日本火山学会1991年度春季大会講演予稿集，3.
- 片山信夫(1974)：島原大変に関する自然現象の古記録，九大理学部島原火山観測所研究報告，9，1-45.
- 片山信夫(1974)：島原大変，地球，2-6，436-441.
- 古谷尊彦(1974)：1792年（寛政四年）の眉山大崩壊の地形学的一考察，京大防災研究所年報，17B，259-264.
- 古谷尊彦(1978)：再び1792年（寛政四年）の眉山（前山）大崩壊について，自然と分化・神尾明正先生退官記念論文集，6-12.
- 宮地六美・小林 茂・関原祐一・小野菊雄・赤木祥彦(1987)：“島原大変”に関する古絵地図の地質学的解釈，九大教養部地学研究報告，25，39-52.
- 金子史朗(1973)：火山と広域応力場，地理，18(9)，95-103.
- 千田 昇(1979)：中部九州の新时期地殻変動—とくに第四紀火山岩分布地域における活断層について—，岩手大教育学部研究年報，39，37-75.
- 堤 浩之(1987)：雲仙火山地域の活断層，活断層研究，4，55-64.
- 九州活構造研究会(1989)：九州の活構造，東大出版会，553p.
- 活断層研究会(1991)：新編日本の活断層—分布図と資料，東大出版会，437p.
- 渡辺一徳・星住英夫・板谷徹丸(1991a)：雲仙火山の地質とK-Ar年代，日本火山学会1991年度秋季大会講演予稿集，31.
- 渡辺一徳・星住英夫・板谷徹丸(1991b)：雲仙火山眉山の地質，総合研究A「雲仙火山眉山の地質学的・土質工学的環境の基礎的調査研究」研究報告，6-16.
- 高島 勲・渡辺公一郎(1991)：1万年より若い火山岩の年代測定例としての雲仙火山眉山岩体のTL年代，日本火山学会1991年度秋期大会講演予稿集，32.
- 大塚裕之(1966)：口ノ津層群の層序および堆積物—口ノ津層群の地史学的研究その1—，地質学雑誌，72，371-384.
- 地質調査所(1975)：1:50000島原半島水理地質図.
- 国土地理院地理調査部雲仙岳調査グループ(1991)：空中写真判読による雲仙火山の地形分類図(1:45000). 地理調査部研究報告（号外）.
- 宇井忠英(1991)：雲仙火山の山体崩壊—過去の事例と研究の問題点，日本火山学会1991年度春季大会講演予稿集，4.
- 小林哲夫・中田節也(1991)：雲仙火山，火砕流・岩屑なだれ堆積物の ^{14}C 年代と発達史，日本火山学会1991年度秋期大会講演予稿集，140.
- 川辺慎久・須藤 茂・阪口圭一・高田 亮・風早康平・宝田晋治・山元孝広・曾屋龍典(1991)：雲仙岳火山1991年噴火噴出物の岩石学的記載，日本火山学会1991年度秋期大会講演予稿集，145.
- 宇平幸一・福井敬一・山里 平・橋本徹夫・小泉岳司・後藤和彦・宝来帰一・神定健二・森 博一・清野政明(1991)：雲仙岳の火山活動，気象研究所1991年度研究発表会誌，115-124.
- 荒牧重雄(1979)：火山活動，横山 泉・荒牧重雄・中村一明 編「地球科学7 火山」，岩波書店，東京，35-81.

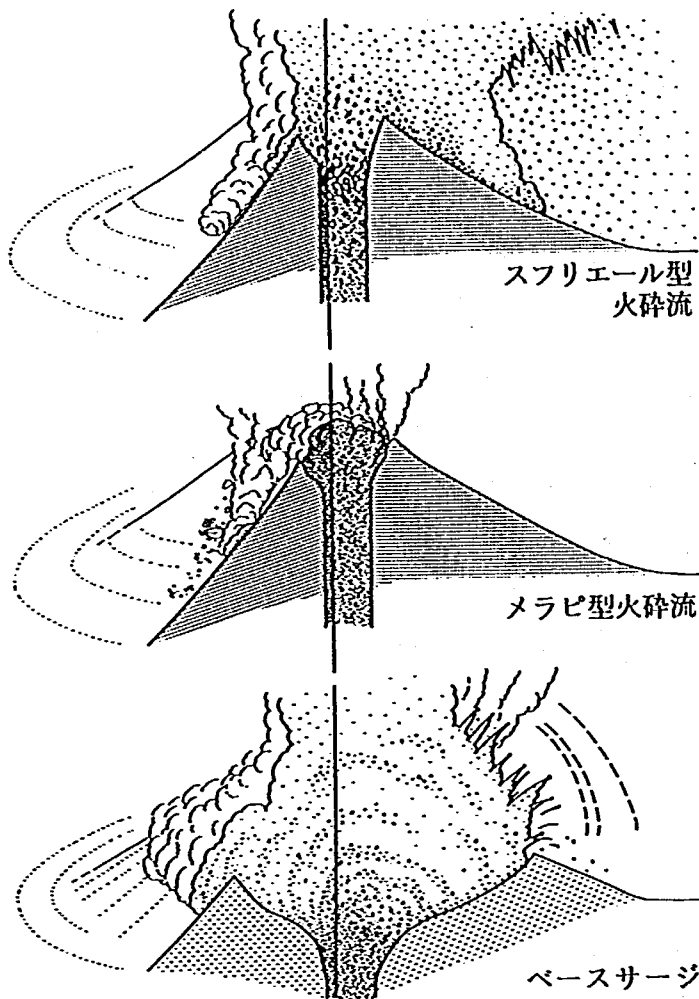
早川由紀夫(1991) : 火山で発生する流れとその堆積物—火砕流・サージ・ラハール・岩なだれ, 火山第2集, 36, 357-370.

山元孝広(1989) : マグマ水蒸気爆発の特性とメカニズム : Vapor Explosion Model による噴火事例の検討, 火山第2集, 34, 41-56.



凡例; A: 主な山頂, B: 市役所・町役場, C: カルデラ・大崩壊跡, D: 断層と断層崖,
E: 推定断層, F: 伏在断層
a: 有史期の噴出物 (黒色部は溶岩, ハッチ部分は岩屑流または火砕流), b: 完新統
c: 低位段丘堆積物, d: 普賢岳期噴出物, e: 妙見岳期噴出物, f: 先妙見岳期噴出物
g: 同前・基底火砕岩, h: 南島原火山岩類・口之津層群, i: 早崎玄武岩類・坂瀬川層

図3 火砕流の分類



火砕流をはじめ火山活動に関連して発生する流体现象のメカニズムについては、観察できる機会が少ないために充分解明されていない点が多く、分類の仕方についても統一されているとは言い難い。泥流や岩屑流を除く狭義の火砕流の分類については、含まれる火山ガスの量（または流速）の大小によって3つに区分すること（たとえば、荒牧，1979；早川，1991など）が一般的である。しかし、このような分類を行なうには、堆積物などの事後の調査によらなければならない、進行しつつある現象への適用は難しい。このため、ここでは火砕流の発生型式に着目した旧来の区分を再録しておいた。比較的発生頻度の大きい火砕流として、スフリエール(Soufrière)型火砕流とメラピ(Merapi)型火砕流があげられる。これらは、カルデラ形成を伴うような大規模な火砕流（到達距離数10km以上）に比べてはるかに小規模（到達距離数km程度）なものである。ベースサージはマグマ水蒸気爆発に伴ってしばしば発生する現象で、火砕流に比べて流体中に占めるガスの割合ははるかに大きい点異なる。マグマ水蒸気爆発は、マグマが多量の水（海・湖水、地下水）と急激に反応することによって発生し（たとえば、山元，1989）、玄武岩質マグマの噴火活動においても発生することがある。ベースサージの到達距離は、火砕流よりも小さく最大で10km程度（一般に2～3km以下）とされている。

表1：有史期の雲仙火山の溶岩流の比較

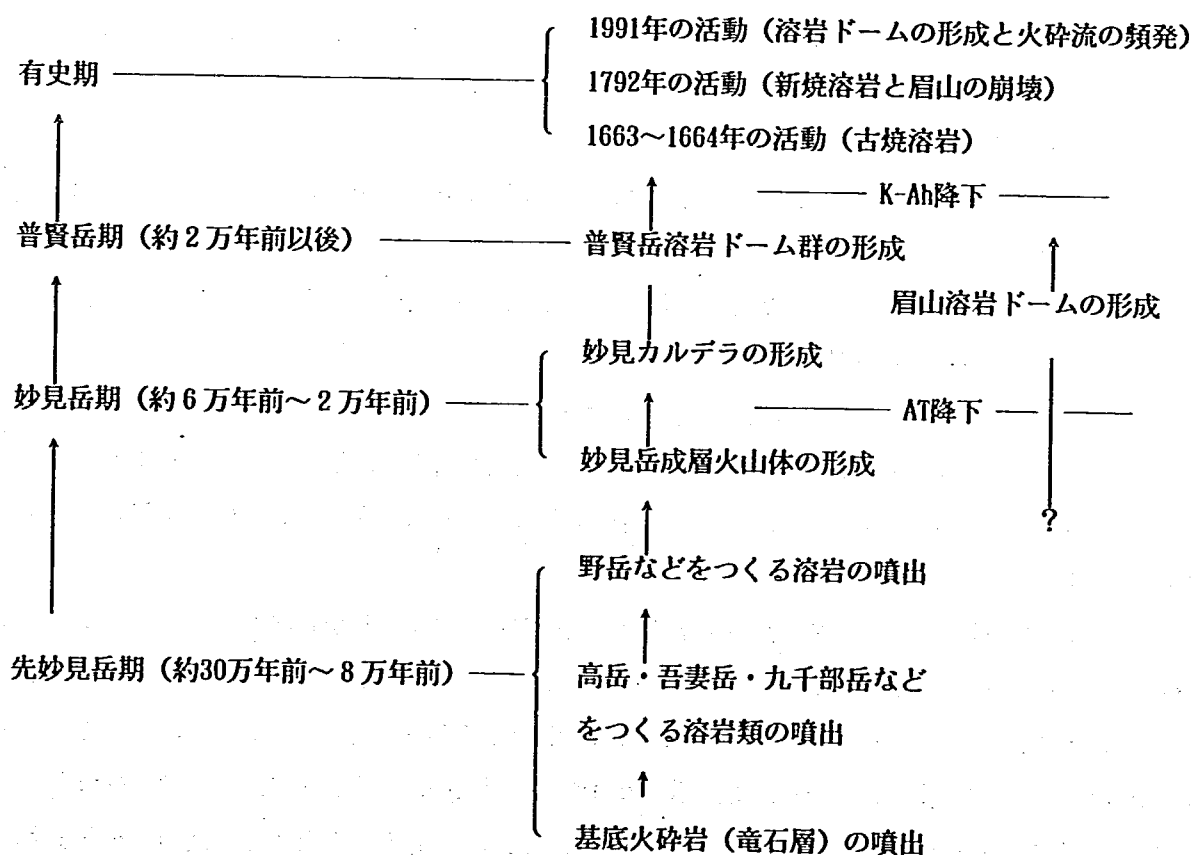
太田(1984), Sendo et al. (1967), 川辺ほか(1991), 宇平ほか(1991)により作成した。

噴出年	溶岩噴出地点	岩石の種類と SiO ₂ 組成比(%)	溶岩の流出形態 長さ×幅×厚さ (m)	噴出量 (万m ³)	噴出率 (m ³ /日)	粘性係数 (ポアズ)
1663年12月～ (寛文3年11月～	妙見カルデラ内 北縁部	カンラン石含有黒 雲母角閃石安山岩 (56～58%)	溶 岩 流 1000×130× 10～20	200	10 ⁶	9×10 ⁹
1792年2月～ (寛政4年2月～	妙見カルデラ 北側山腹	シソ輝石含有黒雲母 角閃石デイサイト (64～66%)	溶 岩 流 2700×380× 30～70	2300	4×10 ⁵	2×10 ¹⁰
1991年5月～ (平成3年5月～	妙見カルデラ内 東より	黒雲母角閃石デイ サイト (64～65%)	溶岩ドーム 600×450× 50～150	3400±	2～3×10 ⁵	1～2×10 ¹¹

*火砕流となって失われた量を含む。1991年9月下旬までの計測による。

図2：雲仙火山の形成史

主に渡辺ほか(1990b)により作成した。



雲仙岳周辺の地質 質疑

○山縣（本四連絡橋公団） これからの火山活動の展開なんですけれども、どういうふうになるというような予想をされておりますでしょうか。

○海野 その点については、現地で実際に観測に携わって生データを持っているわけではないので、何とも申し上げられません。言えることは、古記録や地質調査で明らかにされている他の火山の過去の溶岩ドーム形成の経過から見てどうかということになります。今回の活動が今後どのくらい続くかということも、よくわからないのですが、過去の事例を御紹介いたしますと、たとえば先ほど例に出しました神津島天上山の溶岩ドームの形成ですけれども、この活動は838年7月から始まっておりまして、2年後の840年の古記録によりますと噴煙活動が引き続きあるというふうに書いてありまして、まだ完全には噴火活動が終わっていない可能性があると思います。

この事例は古いものですが、今回も最悪の場合数年間は何らかの形で余じんが残るという可能性があるのではないか、というふうに考えなければいけないと思います。

○平野（中国地建） 私は、現在ダムの用地問題などさまざまなことをやっていますが、雲仙岳の噴火の問題については、大変関心を持っているところです。

ただいま、長年火山の研究をされている地質屋さんから色々お話を伺い、雲仙岳や火山一般の地質構造と形成史、岩石の性質などを詳しく紹介していただいたわけでございます。

さらに、私が知りたいのは、現在起こっている噴火現象すなわち生きた地質現象がどんなもので、それとどう研究者、防災技術者が取り組んでいるかということです。現地の大学の観測所の太田所長や中田助手、あるいは多くの研究機関の専門家が観測され、色々な形で報道あるいは学会等で発表もされているようですが、この生きた地質現象の話は、やはり地質屋さんの領分だと思います。

ご専門の地質屋さんとして、このあたりのお話をお伺いできたら、あるいは改めて何らかの形で紹介いただけたら、地建の現場で地質的な問題に取り組んでいる技術者にとって大いに役に立つのではと思います。

○海野 私に与えられたテーマは、雲仙火山の地史・地質について概説せよということでした。最初にも申しましたように最近の岩石の絶対年代データの増加に伴って、この火山でも地史についての考え方が大きく改訂されつつあります。しかもこのことは一般にはまだほとんど知られていないと思われます。今回の火山活動については、現地観測の態勢・これまでのデータ取得状況と明らかになったことがらなど、私も御紹介したいところでしたが、これらを含め40分内外で話をまとめることはとうてい不可能と考えましたので、ふれなかった次第です。

火山学は言わば経験科学で、データの蓄積が学問の進展を左右します。しかしながら、個々の火山について今日得られている情報は、その火山の一生からみればごくごく一部にしかすぎません。1つの火山においても、噴火活動の様相は時によって変化しますし、次に何が起こるかは完全には予知することができません。今後いっそう観測態勢が強化されていっても、不測の事態への対策を、さまざまな過去の教訓を踏まえ、立案しておく必要があると思います。神津島の838年の噴火の例は、今申しましたような問題点を踏まえ、今

回の活動と類似の、しかしはるかに大規模な事例として御紹介したわけです。

今回の噴火では、不幸にも小規模（地質学的区分で）な火砕流のために多くの犠牲者が出てしまったが、溶岩ドーム出現前の段階で大規模なプリニー式噴火（きわめて大量の火山灰や軽石が短時間に放出され、降下火砕物や時に火砕流として周辺に堆積するような噴火型式）が発生しなくて不幸中の幸であったと言わねばならないと思います。もし万一、北海道駒ヶ岳1929年クラスの火砕流が生じていたら、人的・物的被害は現時点までの量とは比較にならないほど大きくなっていたにちがいない。

平成 3 年雲仙普賢岳で発生した
火砕流、土石流災害

土木研究所 砂防研究室
室 長 石川 芳治

1. はじめに

長崎県島原半島のほぼ中央に位置する雲仙普賢岳（1,359m）（図－1）は198年間の眠りから醒めて噴火を開始した。噴火に伴い東麓を流れる水無川では1991年5月から現在（12月）まで土石流、火砕流が相次いで発生し、人命や家屋に多大な被害を与えた。本報告は雲仙普賢岳の噴火に伴い発生した火砕流と土石流についてその実態と特徴をとりまとめたものである^{1)・2)}。

2. 噴火の開始と土石流の発生

1990年7月頃から島原半島及びその西方では地震および微動が増加し、1990年11月17日には雲仙普賢岳山頂東側の地獄跡火口と九十九島火口で噴火が始まった。その後、噴火は静まったが、1991年2月12日普賢岳山頂付近の屏風岩火口で噴火が始まり多量の火山灰を噴出した。この火山灰は山頂付近では厚い所で約1.5mも堆積し、浸透能の低下等により土石流の発生する危険性が高まった（図－2）。5月15日1時48分、水無川本川に設置されたワイヤーセンサーが噴火以来初めての土石流を検知した。この日、土石流は断続的に発生し、約7万 m^3 の土砂が水無川本川の上流部から流下し、そのうちの約2万 m^3 が砂防ダムにより捕捉され、約5万 m^3 が下流の河道に堆積した。その後も19日、20日、21日、26日と土石流が発生したが、土石流監視装置、除石ならびに下流の流路工や河川工事による河道断面の確保が効果を発揮し、さらに住民の避難や土石流に対する対応も比較的スムーズに行われたこともあって、人的被害や人家への被害は発生せず、わずかに橋梁2基、小屋1棟、電柱3本の被害が生じたのみであった。

3. 溶岩ドームの出現と火砕流の発生

5月13日頃からは雲仙普賢岳山頂直下で地震や微動が頻発し始め、5月20日には地獄跡火口に溶岩ドーム（第1ドーム）が現れた。この溶岩ドームは日毎に成長して、24日には火口東側の水無川本川源頭部に溶岩の一部がこぼれ落ち始めた。これが今回の火砕流の開始であり、その後連日、ごく小規模の火砕流が頻発している。（図－3）

火砕流とは、高温の溶岩片、軽石、火山灰がそれらから発生する高温の火山ガスにより浮いた形で山腹斜面を流下する現象で、流下に伴って空気の乱れやガスの噴出に伴う熱雲を伴って高速で流動する。一般にその温度は摂氏数百～1,000度、速度は数10～100m/秒以上にも達する。火砕流も、重力で流下する他の流体と同様、地形的に低い所に沿って流動するが、高速のため低い尾根は容易に乗り越える。火砕流の流れの構造は図－4に示すように本体である底層部（debris avalanche）と上部（dust storm）からなる。

4. 6月3日及び6月8日の火砕流とその被害

5月26日、29日には水無川でやや大きな火砕流が発生し、水無川流域の人家まで約200mのところまでダストストームが到達した。このため水無川本川の谷の出口に近い島原市北上木場町等では火砕流と土石流を警戒して避難勧告が出された。

6月3日午後3時50分頃それまでで最大規模の火砕流が発生し、谷の出口にあった北上木場町及び南上木場町の一部を襲い死者・行方不明者43名、負傷者10名、焼失・全壊家屋49棟という大惨事が発生した（図－

5, 表-1)。火砕流の本体及びダストストームは、それぞれ火口から約3.6km及び約4.5kmまで落下し、火砕流の土砂及び熱風による影響範囲は約3.3kmに達した。

その後第1ドームの崩落した跡に第2ドームが出現して成長を続けた。この第2ドームの大部分が崩落して、6月8日19時50分頃それまでで最大規模の火砕流が発生し、火砕流の本体は水無川沿いに流下して河道を土砂で埋め、火口より約5.5km下流の国道57号付近まで到達した(図-6)。この時の火砕流の土砂及び熱風による影響範囲は約6.0kmに達し、火砕流による焼失・全壊家屋は更に72棟増加した。その後第2ドームは普賢岳東側斜面で生長を続け、溶岩ドームの一部が崩落することにより極小規模な火砕流が水無川本川上で連日発生した。

5. 5月, 6月に発生した火砕流による土砂の流下・堆積特性

5月16日, 5月28日, 6月4日, 6月16日に撮影した空中写真を用いて水無川流域の火砕流堆積地区を川沿いに100m間隔で空中横断測量を行い各測線毎に横断図を作成する(図-7)とともに、各撮影期間毎の火砕流による土砂の堆積量を求めた。6月16日迄の水無川上流域における土砂堆積厚は最大で約60mにも達し、隣の赤松谷との境をなす尾根との高低差がほとんど無くなり、このため火砕流の一部は赤松谷川の支川内に流入している。

3時期(5月16日～5月28日, 5月28～6月4日, 6月4日～6月16日)の火砕流による水無川流域への堆積土砂量及び縦断分布は図-8に示すとおりである。この3時期間に発生したごく小規模な火砕流による堆積土砂量を考慮すると5月26日, 6月3日及び6月8日に発生した火砕流による堆積土砂量(流下土砂量)はそれぞれ約30万 m^3 , 約250万 m^3 , 約350万 m^3 と推定される。

6. 火砕流のダストストームによる災害

6月3日及び6月8日に雲仙岳水無川流域で発生した火砕流ではダストストームによる被災範囲はそれぞれ約2.3km及び約4.1kmで火砕流本体の土砂の堆積範囲約1.0km及び約1.9kmの2倍以上にも達している。

ダストストームが流下した範囲では木造家屋が炎上し、自動車のタイヤが焼失した。木材が着火する温度及びタイヤの着火温度から谷の出口付近でのダストストームの温度は約450℃以上はあったものと考えられる。また、ダストストームの流下範囲にある樹木やコンクリート電柱の倒れ方、裏返しになった自動車等を考慮すると、6月3日の火砕流では谷の出口付近で瞬間最大風速40～50m/秒に匹敵する風圧が働いたものと推定される。水無川沿いには針葉樹及び広葉樹の森が広がっていたため、ダストストームの流下に伴う風圧のために多くの樹木が倒された(図-9)。図-5, 6より、火砕流の本体の土砂はある程度谷地形に沿って流下するがダストストームは小さな谷地形に影響されずに直進する傾向があると言える。このような性質は導流堤等により火砕流の本体の土砂の流下方向を変化させてもダストストームの流下方向は必ずしも同様に変化しないことを示し、火砕流対策施設の計画、設計を行う上で重要である。

7. 6月30日発生土石流による災害

6月30日、島原半島東北部は梅雨前線の活発化に伴う雷雨性の豪雨に見舞われた。最大時間雨量及び6月

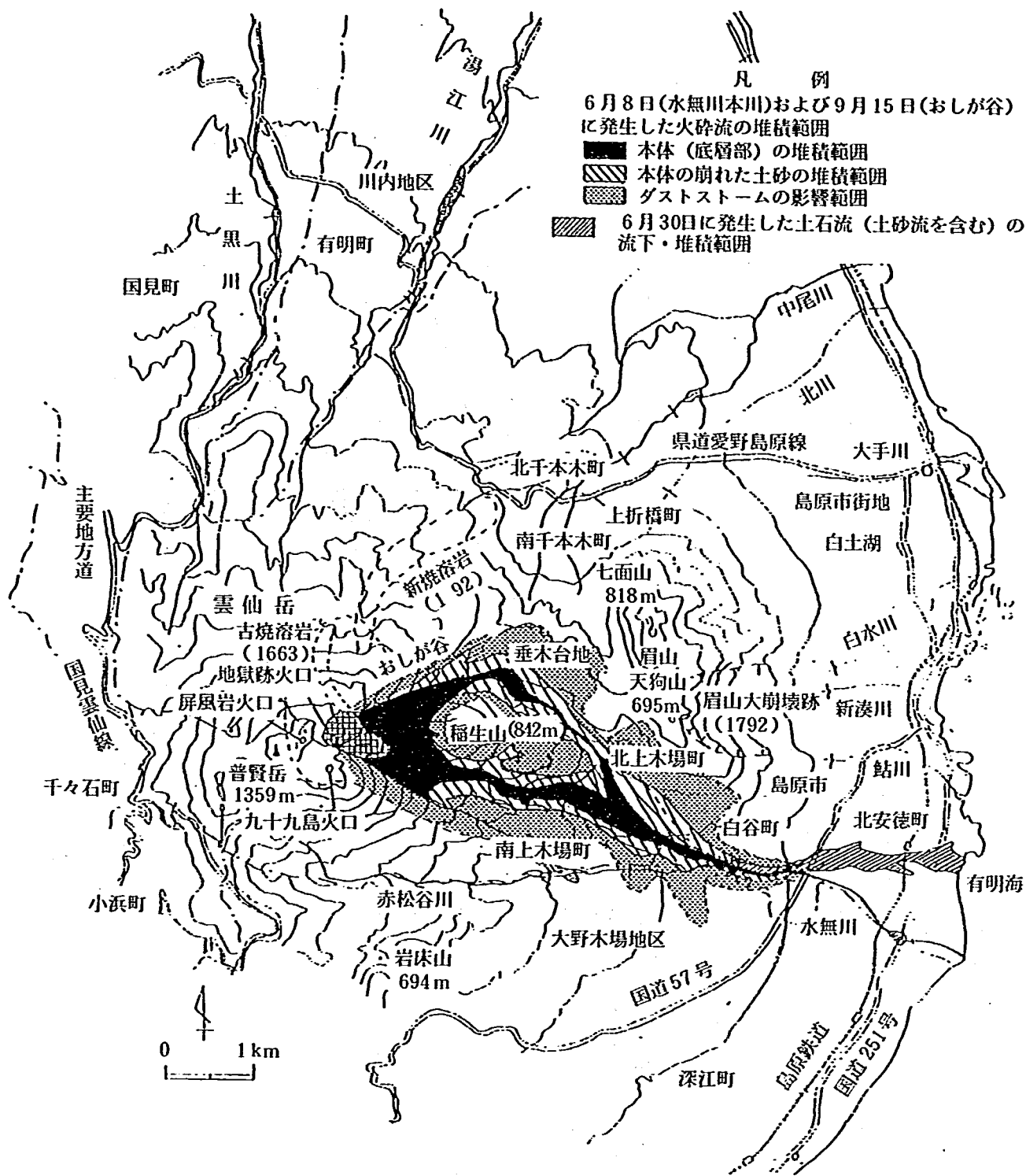


図-1 雲仙普賢岳周辺位置図

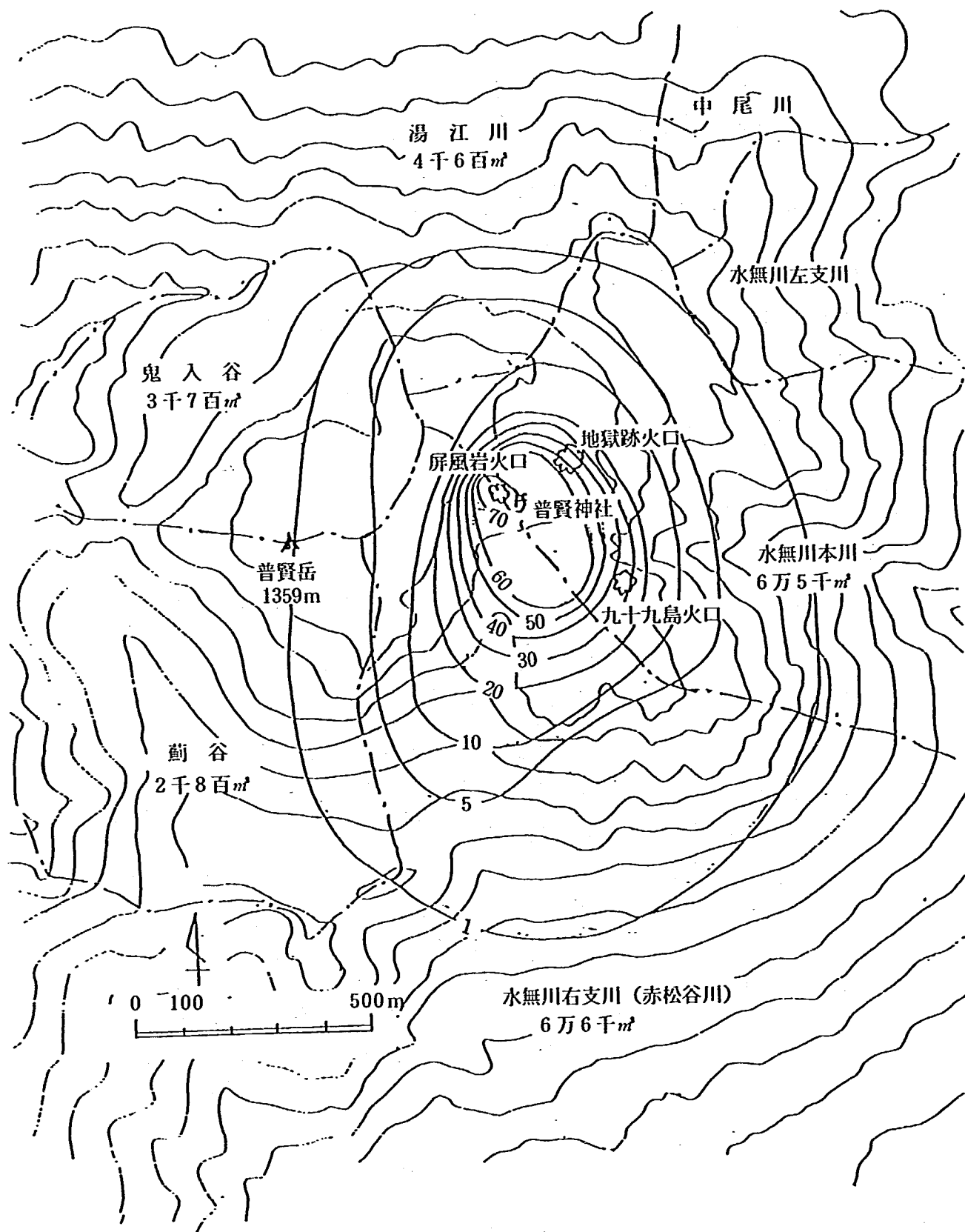


図-2 降灰堆積厚分布図

(1991年3月10日調査, 単位; cm)

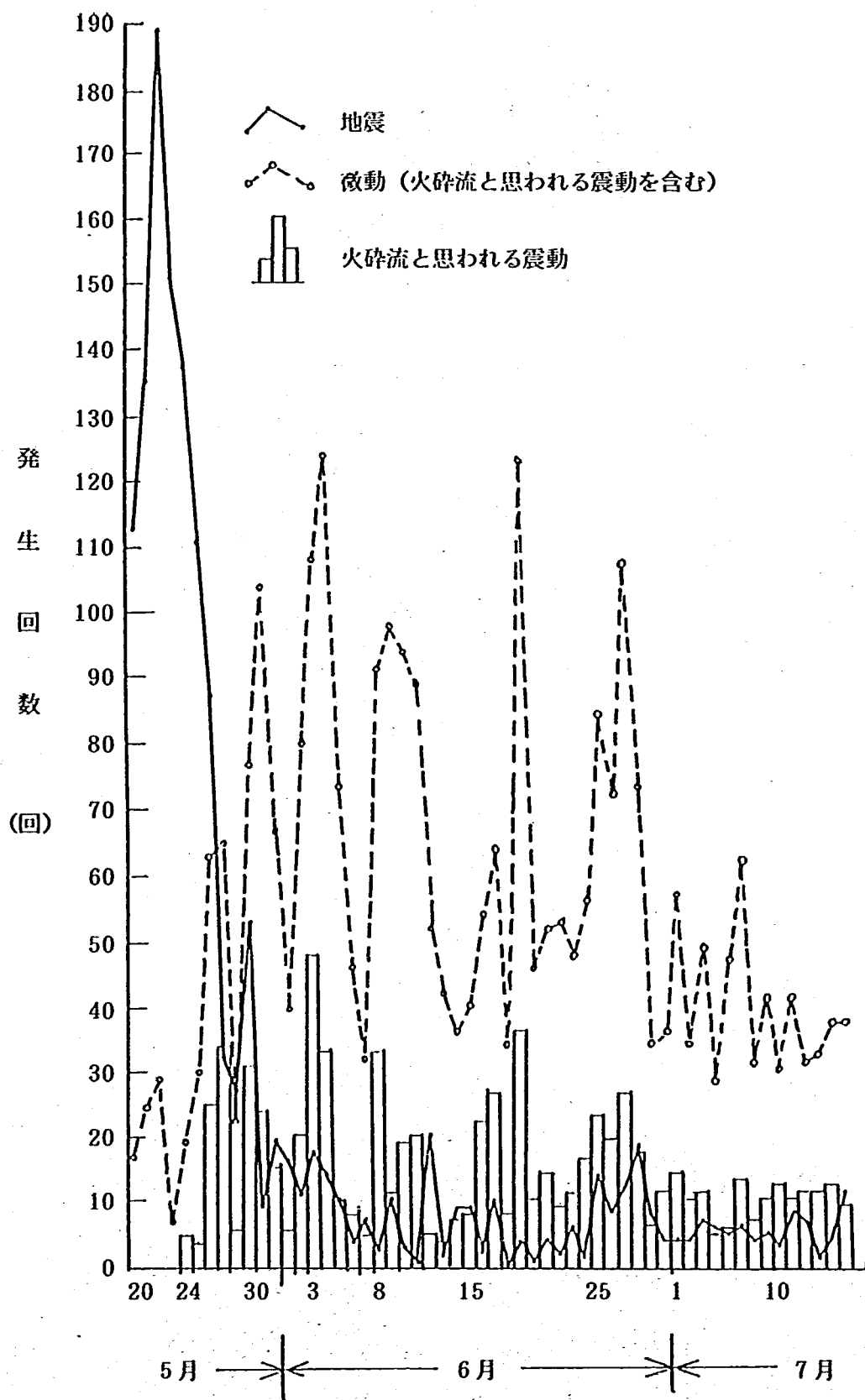


図-3 火砕流・地震等の発生回数

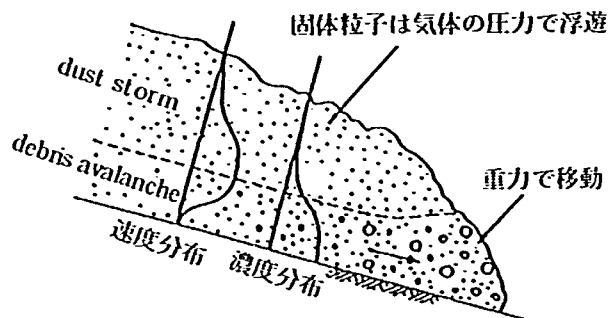


図-4 火砕流の流動模式図

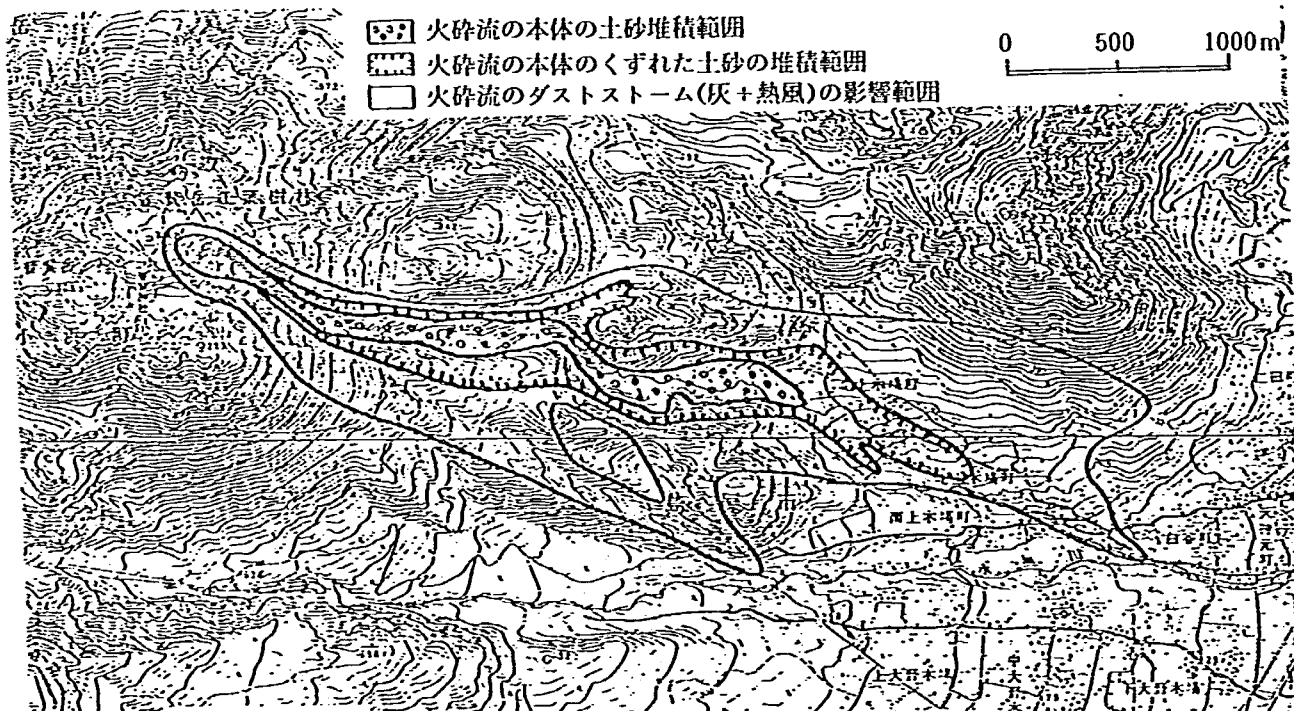


図-5 6月3日に発生した火砕流の堆積範囲

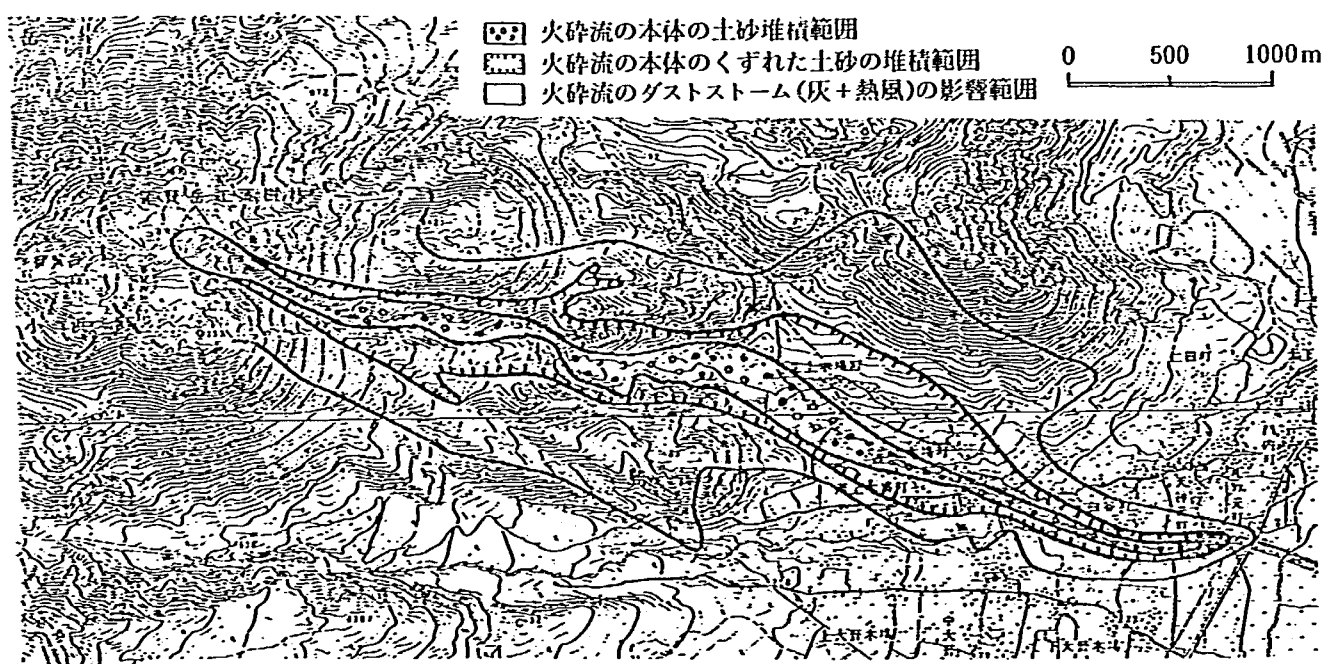


図-6 6月8日に発生した火砕流の堆積範囲

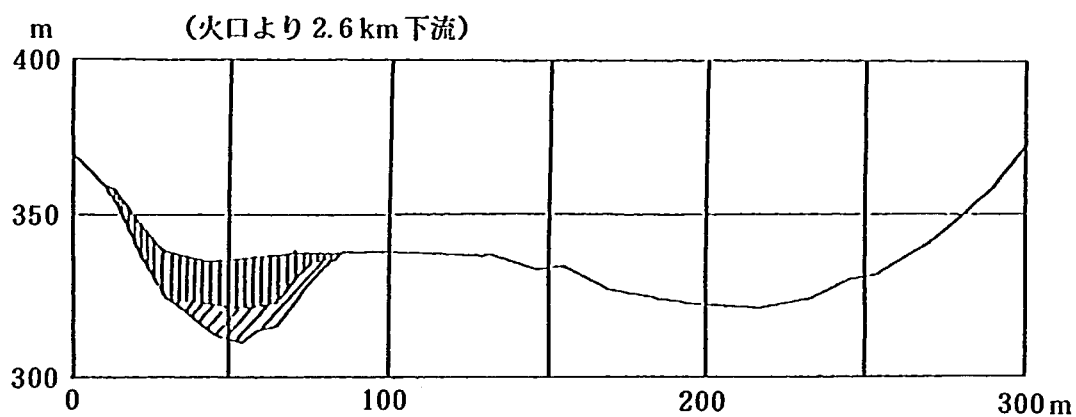
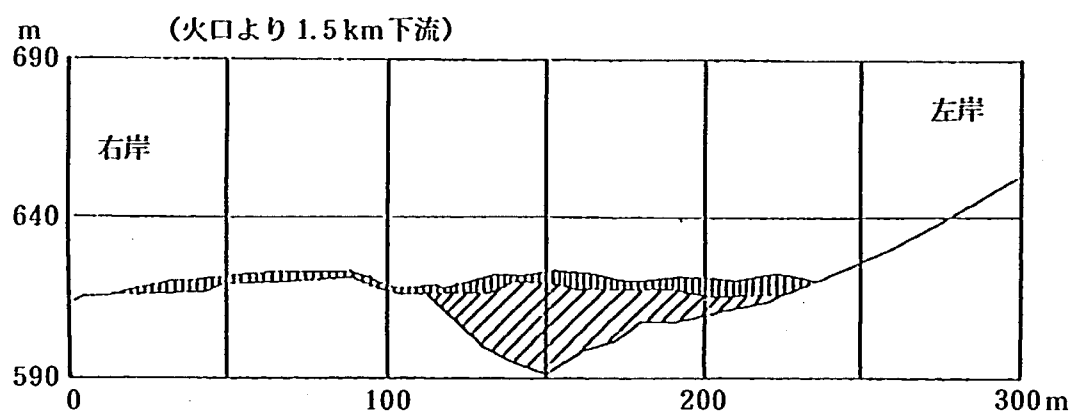
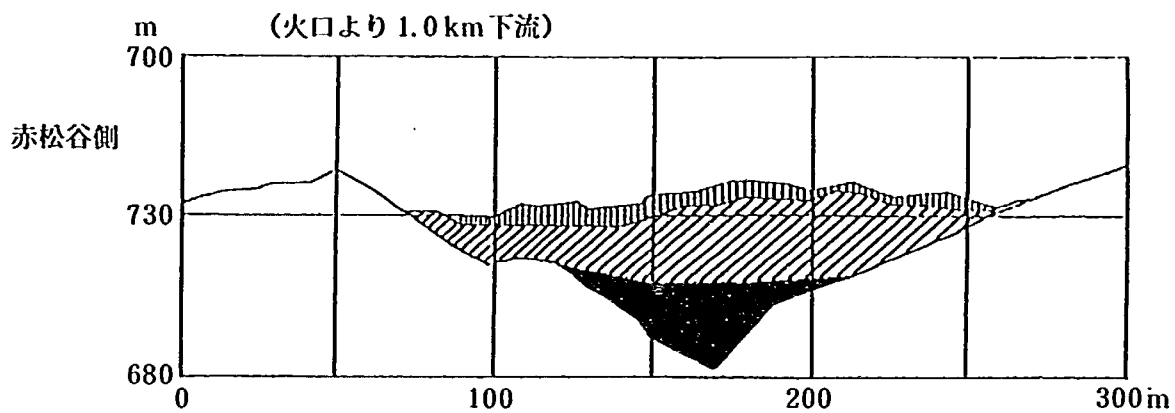
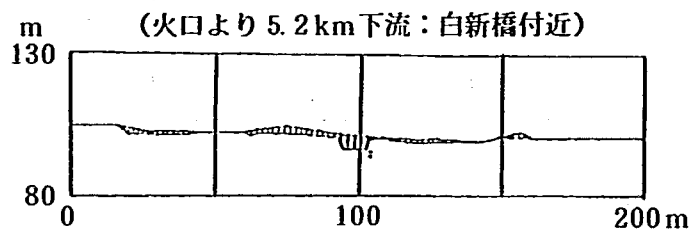
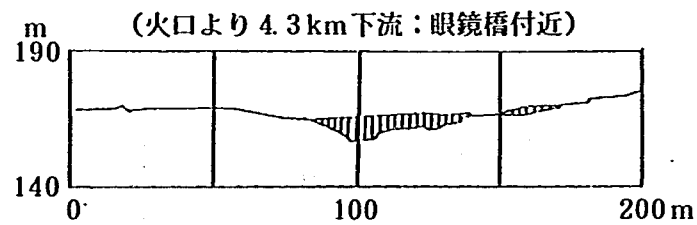
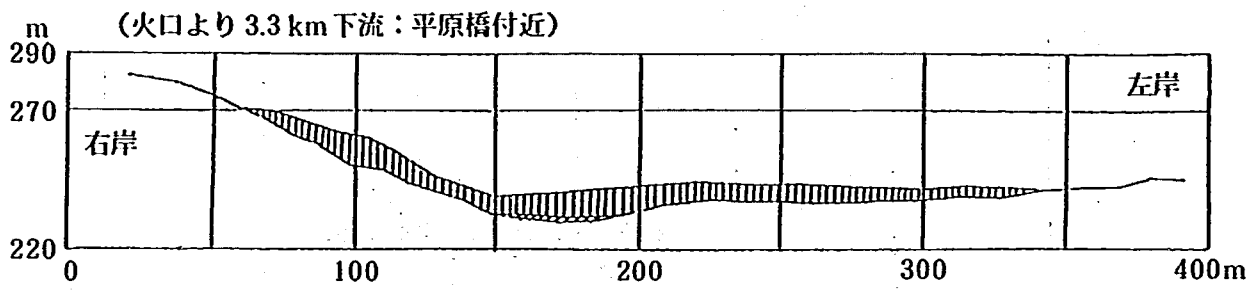


図-7-1 水無川本川にけ火砕流土砂堆積変化図
(横断面図)



凡 例



6月4日～6月16日の火砕流堆積物
(主として6月8日火砕流による)



5月28日～6月4日の火砕流堆積物
(主として6月3日火砕流による)



5月16日～5月28日の火砕流堆積物
(主として5月26日の火砕流による)

図-7-2 水無川本川における火砕流土砂堆積変化図
(横断面図)

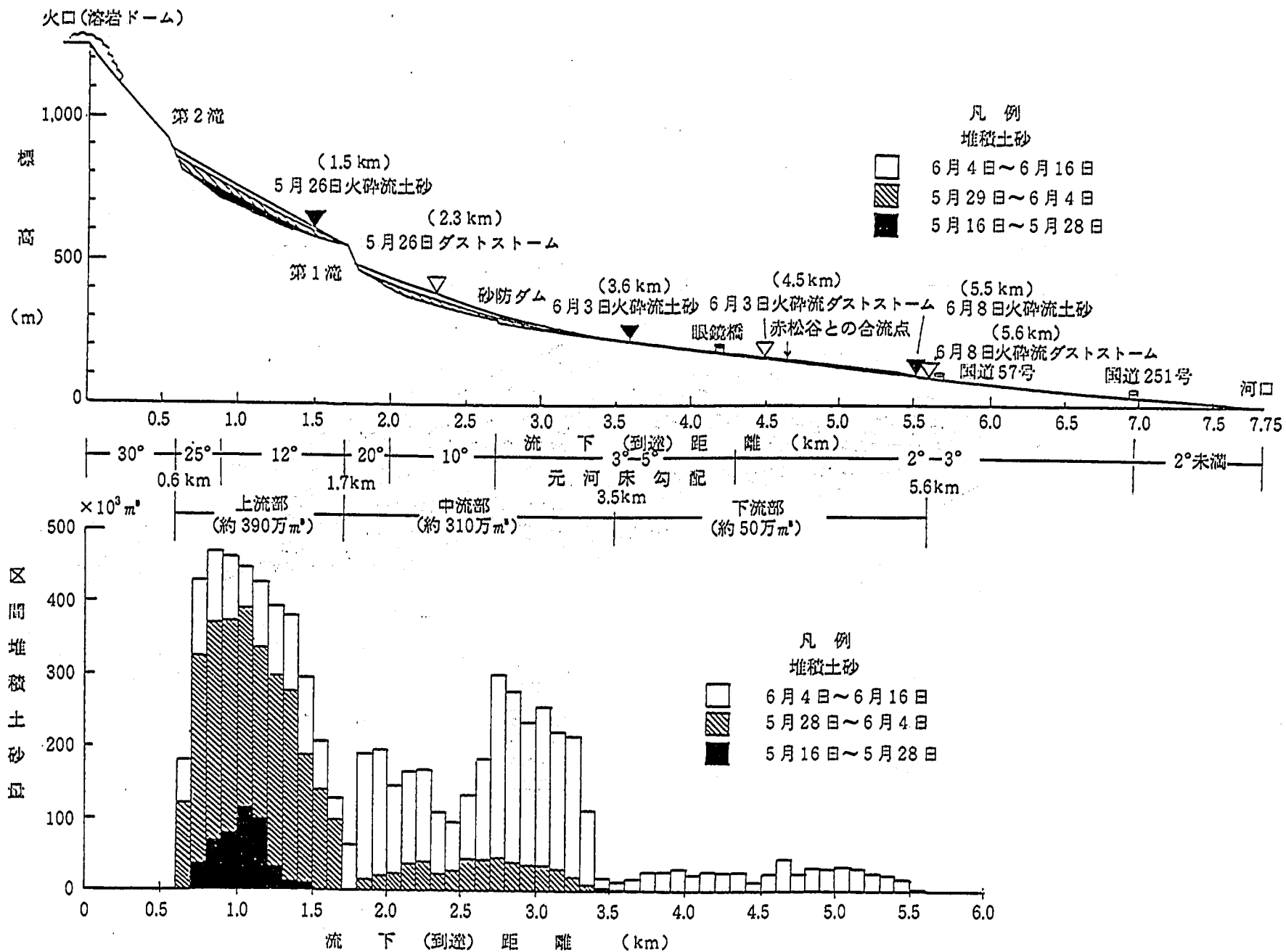


図-8 水無川本川における火砕流の土砂流下・堆積

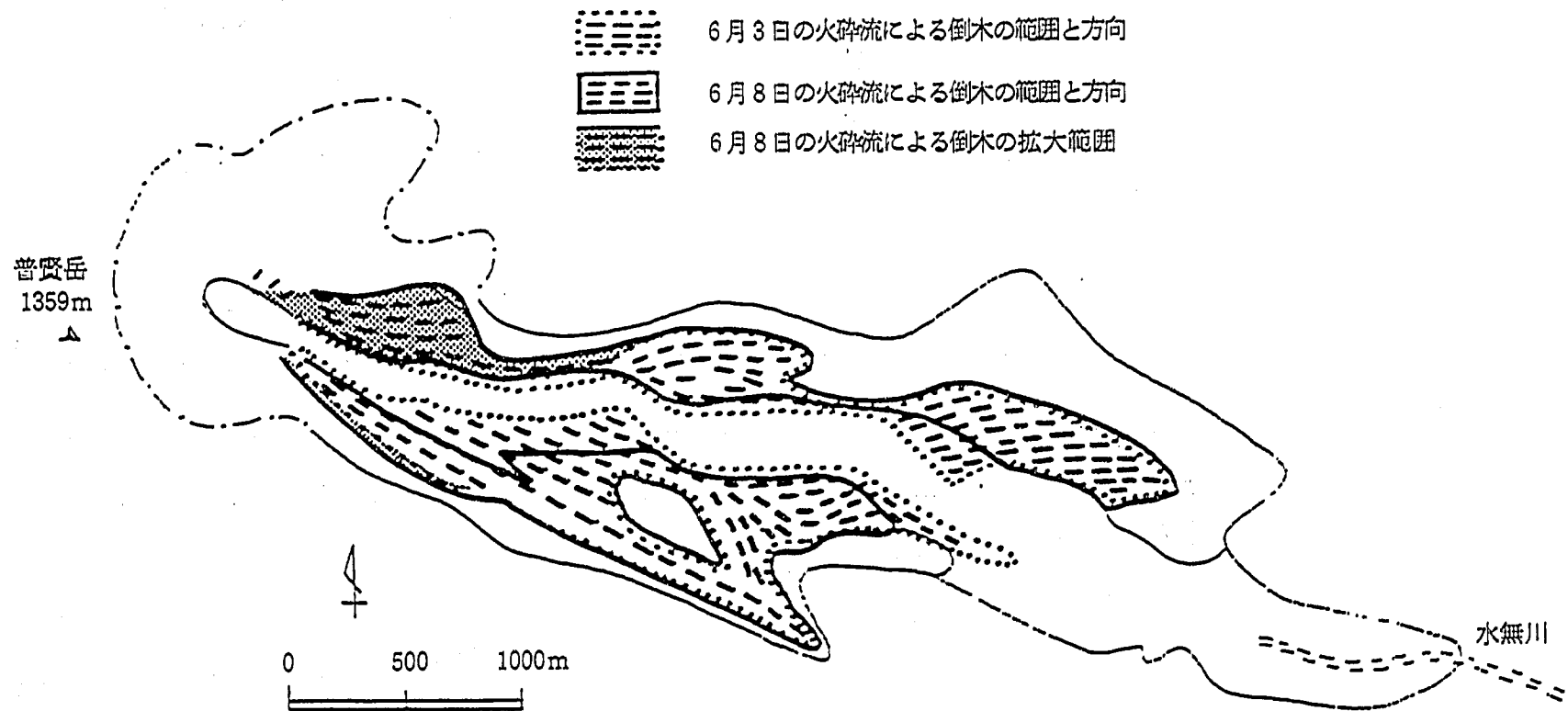


図-9 6月3日と6月8日の火砕流による倒木の範囲と方向

30日の日雨量は雲仙岳測候所でそれぞれ 64mm, 188mmに達した。水無川と湯江川では土石流が発生したが発生時刻はワイヤーセンサーの切断時刻から18時30分頃と推定される。

水無川での土石流発生は火砕流堆積物が堆積している本川（流域面積約 2.3km²）ではなくて、水無川左支川のおしが谷（流域面積約 3.2km²）及び水無川右支川の赤松谷川（流域面積約 5.9km²）からである（図-10）。水無川本川の上・中流部に堆積していた火砕流の堆積物が土石流の発生源とならなかったのは、火砕流堆積物の温度がまだ高く、降雨が蒸発して表面流の発生が困難であったためと考えられる。今後この火砕流堆積物が冷却すると土石流の発生源となる可能性が高い。

6月30日時点では水無川の河道は6月8日の火砕流堆積物により国道57号付近まで埋まっていたため、赤松谷川と水無川左支川から流下してきた土石流は合流後水無川の河道の左岸側（相対的に低い）に集中して扇状地上を流下した。空中写真判読によれば土石流による新たな土砂氾濫範囲は約35万m²で堆積した土砂量は約38万m²である。一方、土石流の一部は土砂流となって国道57号より下流の水無川本川河道を流下したと推定され、国道 251号付近の河道に約 8 万m²の土砂が堆積した。このため河床は護岸の天端まで上昇して土砂流は周辺に氾濫し家屋に被害を与えた。

赤松谷川では、土石流とともに多量の流木が流下し、これが赤松谷第2砂防ダム下流の橋梁に詰まったため土石流の一部は周辺に氾濫し家屋に被害を与えた。6月30日時点では水無川流域は警戒区域に指定されており住民は全員避難していたため人命への被害はなかったが、土石流の氾濫、堆積により全壊家屋40棟、半壊家屋17棟の大きな被害が発生した。

一方、普賢岳の北側斜面を流れる湯江川（流域面積約13km²）でも6月30日の豪雨により山頂付近の溪床堆積物が流動化することにより土石流が発生した。土石流は流下途中で溪岸及び溪床浸食により土砂及び樹木（杉、檜が多い）を巻き込んで土砂量及び流木量を増大させながら流下した。土石流とともに流下した流木は山頂より約 6 km下流の川内地区で町道に架かる高野橋（通水幅約 7 m, 高さ約 3 m）、水分橋（通水幅約 5 m, 高さ約 3 m）を閉塞したために土石流は2ヶ所で氾濫し、負傷者1名、半壊家屋8棟、橋梁の流出1基等の被害を与えた。このように湯江川における土石流の氾濫は主として土石流に含まれていた流木による橋梁箇所での河道閉塞が大きな原因と考えられる。

8. 土石流発生と降雨及び降灰の影響

火山噴火に伴う降灰により山腹斜面に火山灰が堆積するとこれが降雨による水を含んで透水性が低下し表面流出率が増大する。さらに堆積した火山灰自体が水を含んで流動化し、これが泥流となって流下することから小さな降雨でも土石流や泥流が発生し易くなることは、有珠山³⁾や桜島^{4)・5)}の例からも知られている。雲仙普賢岳においても2月12日の噴火の際に多量の火山灰が噴出して山頂付近に堆積した。この火山灰は60%粒径が約0.2~0.5mmで20~30%の粘土及びシルト分を含んでいる細粒のものである。2月12日以降も多少の降灰があったが5月15日に噴火後最初の土石流が発生するまでに山頂付近の降灰分布には大きな変化は見られなかった。

2月12日の多量の降灰以後の雲仙岳測候所における日雨量及び最大時間雨量の推移と土石流の発生の関係を図-11に示す。5月15日の日雨量と最大時間雨量は2月12日の降灰以降ではそれまでで最大であり、この

豪雨が水無川における土石流発生の直接の引き金になったと判断される。また、降灰後、土石流が一度発生すると小さな降雨でも土石流（土砂流）が発生し易くなる傾向が認められる。5月26日、29日には、それまでと比較してやや大きな火砕流が発生して上流の河道に多量の火砕流堆積物を堆積させたため小さな降雨では土石流が発生しなくなり、さらに6月3日及び8日の比較的大きな火砕流の発生後には土石流の発生が見られなくなった。6月30日の最大時間雨量64mmはこの地区のほぼ4年確率雨量にあたる雨量であることから、噴火による降灰が土石流を発生させ易くする大きな要因となっていると判断される。また、図-12に示すように5月15日～26日の土石流（土砂流に近いものも含む）の発生時の時間雨量は約10mm前後、連続雨量も約20mm～100mmと通常の溪流での土石流発生時の雨量に比較して小さく、水無川上流域への多量の降灰による影響が認められる。

有珠山においては1977年8月7日～13日の噴火に伴う多量の降灰直後から時間雨量10mm前後、日雨量20mm前後で周辺の溪流において泥流が発生したが、最大の被害が出たのは1978年10月24日の周辺の溪流で発生した大規模な泥流によるものであった³⁾。このように降灰による泥流（土石流）の発生に対する影響は長期間に渡るものと考えられる。加えて水無川本川に堆積した火砕流の温度が低下した後の状況を考慮すると、雲仙岳周辺の溪流においても長期的な土石流発生に対する警戒と対策が必要と考えられる。

9. おしが谷に発生した火砕流

8月12日からは火山性地震が急増し、8月14日にはそれまで水無川本川に火砕流をもたらしていた溶岩ドーム（第2ドーム）の西端に新たな溶岩の湧きだし口ができ、新しい溶岩ドーム（第3ドーム）が成長していることが確認された。この第3ドームの成長に伴う溶岩塊の崩落により北東斜面（水無川左支川であるおしが谷）に極く小規模な火砕流が発生し始めた。8月26日午前7時47分にはおしが谷でそれまでで最大規模の火砕流が発生した。火砕流の本体は山腹途中にある稲生山（標高842m、比高約40m）に衝突して左に進路を変えおしが谷に流下したと推測される（図-13）。おしが谷を流下した本体は火口より約2.0m下流にある垂木台地（標高560～580m、比高約40～80m）に衝突して右方向に進路を変えおしが谷の流路に沿って流下し、火口より約2.4kmの地点まで到達した。ダストストームの一部は幅約500mに渡って垂木台地の上に広がり樹木を焦がした。その後も第3ドームの成長は続き、極く小規模の火砕流が頻発した。

9月6日午後9時21分にはおしが谷でそれまでで最大規模の火砕流が発生した。火砕流の本体は稲生山方向と直接おしが谷方向の2方向に分かれて発生したが、火口から約1.5km下流付近で合流し、本体は垂木台地に衝突して右に曲がり、おしが谷に沿って流下し火口から約2.6kmの地点まで到達した。ダストストームは垂木台地の上に広がり、一部は台地を乗り越えて中尾川の上流域に侵入し、南千本木町の人家まで約600mの地点に達した（図-13）。なお、この時のダストストームの先端はおしが谷に沿って流下し火口から約3.1kmの地点に到達した。

第3ドームの崩落は9月15日午後4時頃から活発化し、おしが谷で火砕流が頻発したが、午後6時54分には継続時間が1分10秒のおしが谷ではそれまでで最大規模の火砕流が発生した。この火砕流は垂木台地にぶつかり、方向を右に変えて流下し、水無川本川に合流した後、本体（底層部）は左に進路を変え水無川本川に沿って流下し火口から約5.8km下流の白谷橋付近に到達した（図-14）。一方、ダストストーム（熱風＋火

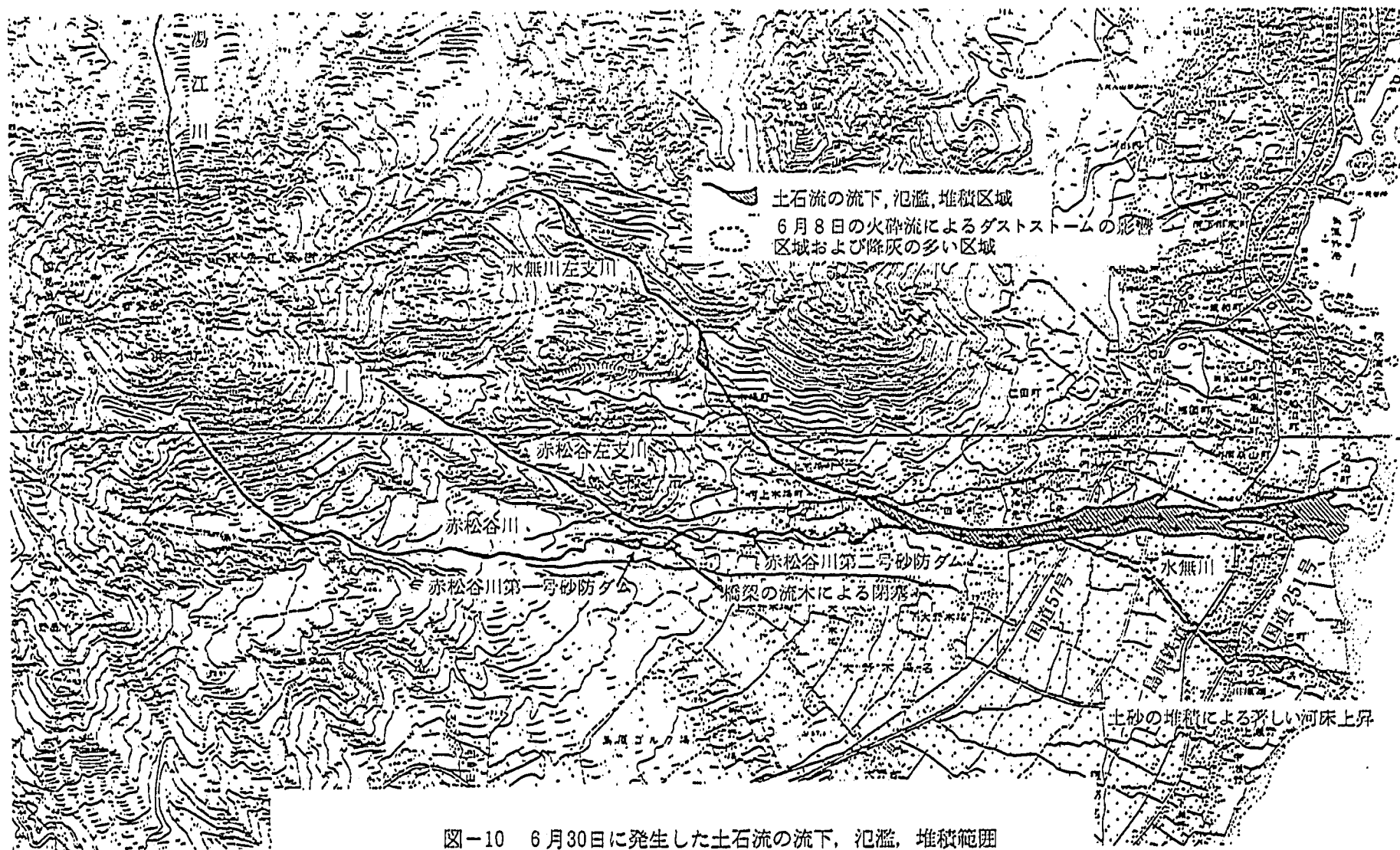


図-10 6月30日に発生した土石流の流下, 氾濫, 堆積範囲

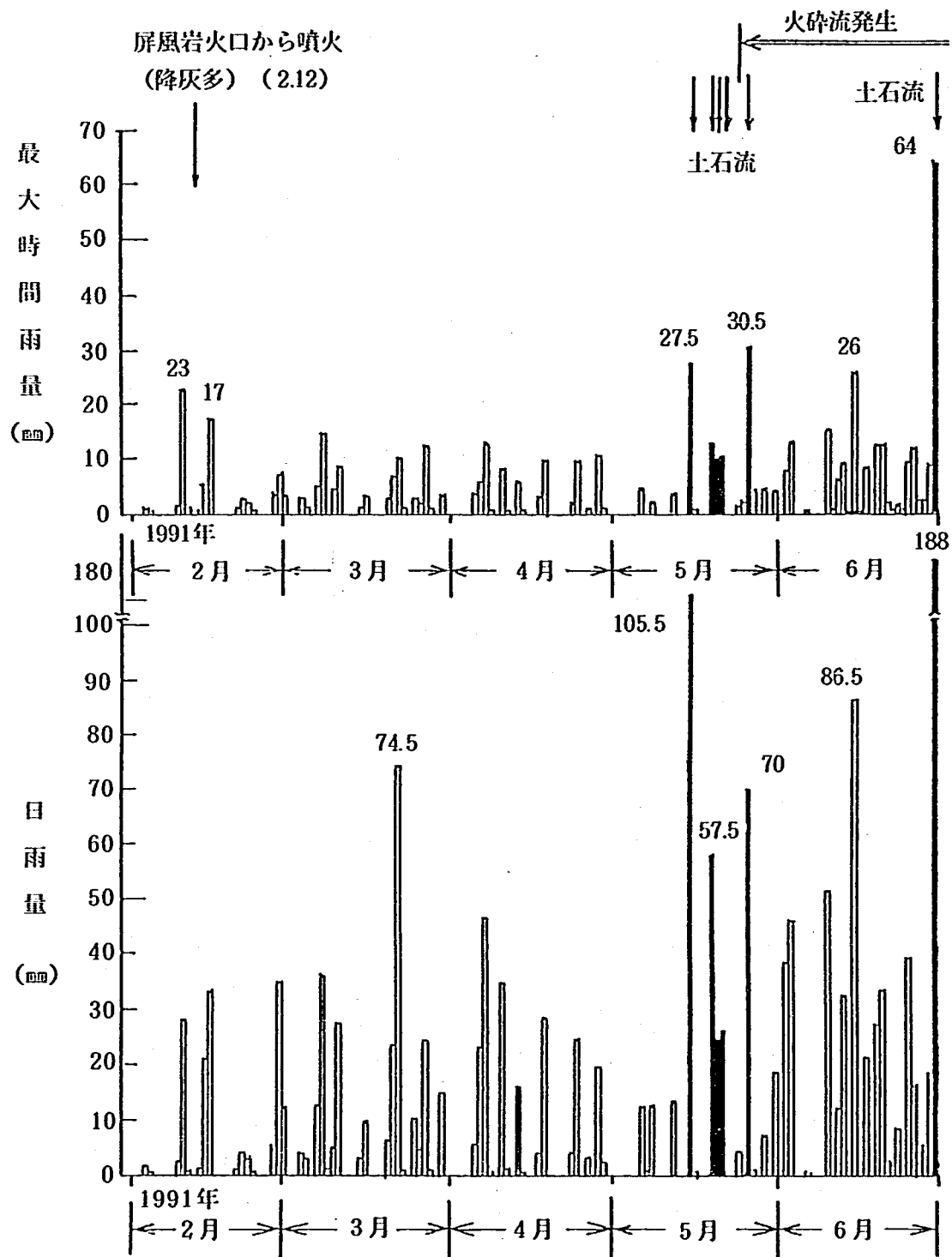


図-11 日雨量、最大時間雨量の推移と土石流の発生
 (雨量観測所：雲仙岳測候所)

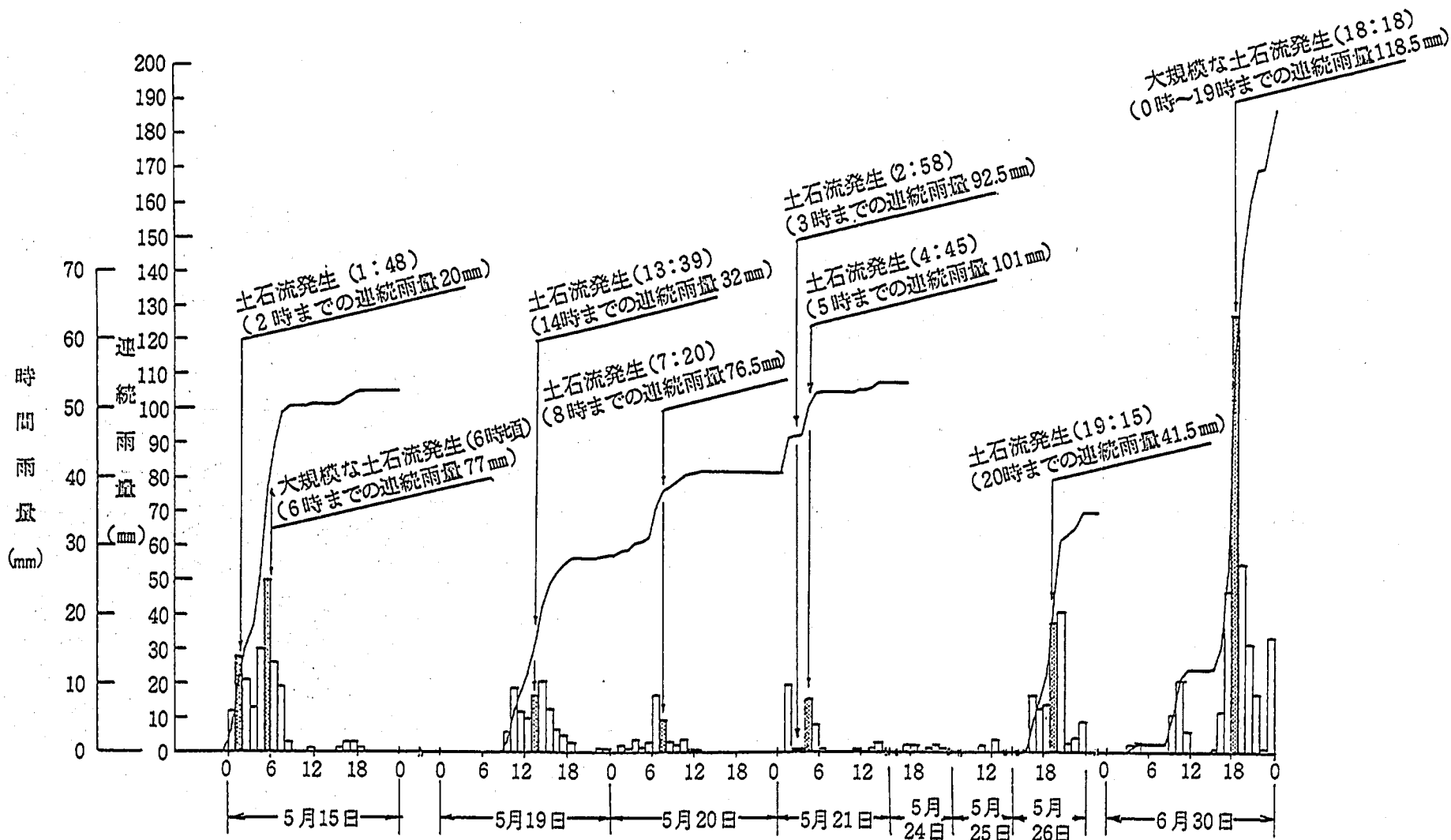


図-12 雨量の推移と土石流の発生 (雨量観測所：雲仙岳測候所)

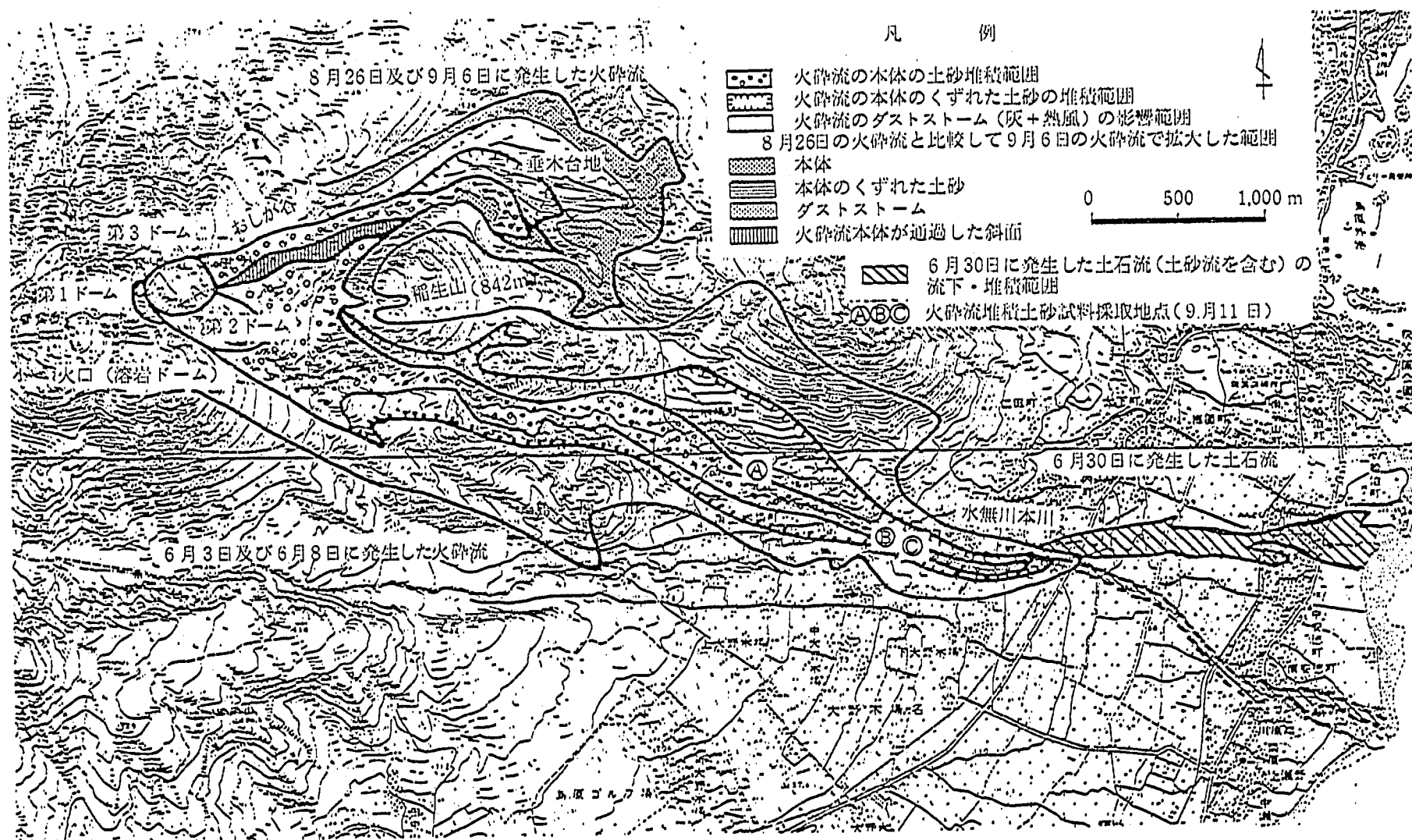


図-13 8月26日及び9月6日に発生した火砕流の堆積範囲

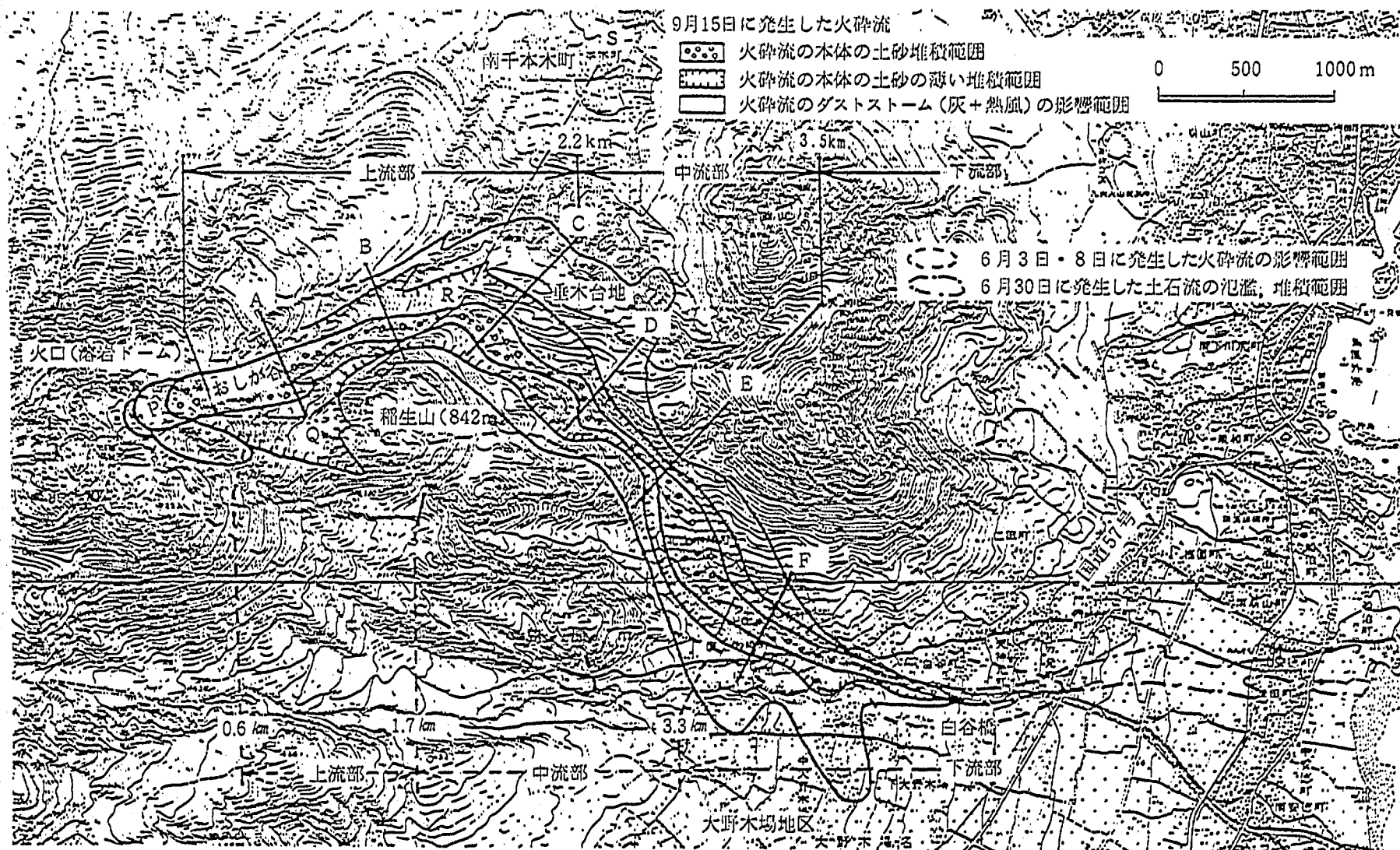


図-14 9月15日に発生した火砕流の堆積範囲

山灰)は一部を除いて垂木台地を乗り越えないで本体と同様に進路を変えて流下し、水無川本川に合流した後、本体とは違ってほぼそのまま直進し、幅約900m、最大長さ約600mで拡散し、島原市上木場地区および深江町の大野木場地区を襲った(図-14)。被害のあった区域は警戒区域となっていたため人的な被害はなかったが、本体のくずれた土砂およびダストストームにより住家48棟、非住家128棟が焼失した。なお、平成3年の噴火に伴う雲仙岳周辺での火砕流・土石流による人命・家屋への被害を表-1に示す。

10. 9月に発生した火砕流による土砂の流下・堆積特性

おしが谷で火砕流が発生する前の7月28日とおしが谷で火砕流が発生してからの9月8日(9月15日の大火砕流の発生する前)、9月22日(9月15日の大火砕流の発生した後)の3時期に撮影された航空写真を用いて、おしが谷流域の火砕流堆積地を川沿いに100m間隔で空中横断測量を行い各側線毎に横断図を作成する(図-15)とともに、各撮影時間毎の火砕流による土砂の堆積量を求めた(図-16)。9月22日までのおしが谷における土砂堆積厚は横断図より最大で約50mにも達し、垂木台地付近ではおしが谷と垂木台地の比高は減少していた。このため、今後おしが谷への火砕流による土砂の堆積がすすめば、大規模な火砕流の発生により火砕流が垂木台地を乗り越えて島原市の千本木地区に達する危険性もあり、千本木地区と上折橋地区では住民が避難を行っている。

2時期(7月28日～9月8日、9月8日～9月22日)の火砕流による水無川左支川おしが谷流域への堆積土砂量は表-2に示すとおりである。なお、表-2には5月下旬以来水無川流域で発生した火砕流による堆積土砂量も合わせて示す。8月29日(8月26日の小規模火砕流の発生後)、9月5日～7日(9月6日の小規模火砕流の発生前と後)、9月11日および18日(9月15日のそれまでで最大の火砕流の発生前と後)に実施したヘリコプターおよび地上からの現地調査結果およびそれぞれの期間に発生した極く小規模な火砕流による堆積土砂量を考慮すると、8月26日、9月6日および9月15日に発生した火砕流による堆積土砂量はそれぞれ約80万 m^3 、約100万 m^3 及び約400万 m^3 と推定される。

5月下旬以来水無川流域で発生した火砕流の堆積(流下)土砂量及び溶岩ドームの崩落量と火砕流の到達(流下)距離の関係を図-17, 18に示す。図-17, 18より火砕流の流下土砂量(溶岩ドームの崩落量)が多い程火砕流の先端は下流に到達する傾向が認められる。この関係を利用すれば火砕流の流下量(溶岩ドームの崩落量)から火砕流の先端の到達範囲をある程度推測できる。

11. 火砕流堆積地の現地踏査と火砕流堆積物の土質

平成3年9月11日、筆者らは火砕流により甚大な被害を受けた水無川中流域に当たる島原市北上木場町、白谷町を現地踏査した(図-13)。火砕流堆積地の観察結果は以下のとおりである。

① 火砕流のダストストームにより焼失した地域および本体の崩れた土砂が薄く(約10cm以下)堆積した地域では植生(草本類、竹類)が回復しつつあった。一方、火砕流本体の土砂が厚く(約1m以上)堆積している地区では植生はほとんど生じていなかった。

② 火砕流の熱風を受けた地域では家屋は完全に焼失していた。また道路のアスファルト舗装が一部溶け出していた。さらに自動車のタイヤが焼失していたこと等から火砕流本体およびダストストームの温度は約

400℃以上あったものと推定される。

③ 火砕流の堆積物（本体及びダストストーム）は未固結であり手でも掘ることができる状態であった。このため火砕流堆積物は表面流水により浸食されやすい状態にあった。

④ 6月30日に発生した土石流の流下跡のうち水無川本川と赤松谷川との合流点付近から国道57号の上流付近では、河道への火砕流堆積土砂の再浸食が起こっており、河床が若干低下して流水は元の河道付近を流れていた。

⑤ 火砕流および土石流により巨礫（長径7 m，短径5 m）が本川と赤松谷川の合流点付近まで運搬されていた。

さらに10月16日の現地踏査においては次の点が観察された。

⑥ 水無河本川の上流部には幅、深さとも数mに及ぶ浸食溝が出来始めていた。これは、8月末以降の火砕流の流下がおしが谷を中心としているため、水無川本川上の火砕流堆積物の温度が低下し、降雨により表面流が発生して浸食傾向が始まったためと考えられる。今後この傾向が続くと降雨による大規模な土石流の発生する可能性がある。

9月11日の現地踏査時に火砕流の堆積地から土砂の試料を採取して（図-13）各種の土質試験を行った。それらの結果を表-3に示す。これらより火砕流堆積物は土質区分では礫あるいは砂であり未固結であるが比較的締まっていることが判明した。

12. おわりに

雲仙普賢岳噴火に伴う土砂移動現象は平成3年2月から12月迄の間に噴火に伴う多量の降灰、水無川における土石流の頻発、火砕流の頻発、土石流の発生さらにおしが谷における火砕流の発生と多岐に渡って同一流域で発生している。そして、その結果として現地の地形を一日毎に変化させている。溶岩ドームは現在も一日当たり約30万㎡供給されており、比較的大きな火砕流の発生の危険性は依然として残っている（12月2日現在）。このため、島原市および深江町は水無川流域のほぼ全域および中尾川流域の一部を警戒区域、避難勧告区域に指定しており、自主避難の周辺住民を含めて約8千人の人々が避難している。

今回の雲仙普賢岳噴火においても言えることであるが、火山噴火に伴う土砂災害の対応に当たっては正確な情報を迅速に得るための監視、観測装置の整備が不可欠である。さらに噴火活動中は火口及び周辺への立入りが危険となる場合が多いため、火山噴火に伴う火砕流、土石流災害を防止、軽減するためには平常時から対策施設を建設しておくことが重要である。さらに、早急に住民の生命の安全を確保するためには、土石流や火砕流の災害予想図を作成することが望まれ、これを用いた警戒避難体制を整備することが重要である。

最後になりましたが、噴火とそれに続く火砕流及び土石流による災害への対応でお忙しい中、調査等に御協力を頂いた建設省河川局砂防部砂防課、長崎県土木部砂防室及び島原振興局建設部の方々に心より感謝の意を表します。

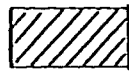
参考文献

- 1) 池谷 浩，石川芳治：平成3年雲仙岳で発生した火砕流，土石流災害，砂防学会誌，Vol. 44，No. 2，

pp. 46-56, 1991

- 2) 池谷 浩, 石川芳治: 平成3年雲仙普賢岳で発生した火砕流, 土石流災害(第2報), 砂防学会誌へ投稿中
- 3) 北海道土木部砂防災課: 有珠山土石流と闘うー砂防対策事業の記録ー, 北海道土木工業新聞社, P. 222, 1979
- 4) 下川悦郎, 地頭蘭隆, 原口勝則: 大正三年桜島大噴火が火山周辺域の浸食に及ぼした影響, 平成元年度砂防学会研究発表会概要集, PP. 47-50, 1989
- 5) 地頭蘭隆, 下川悦郎: 桜島における火山活動が土石流・泥流の発生や流出に及ぼす影響, 砂防学会誌, Vol. 43, No. 6, PP. 9-15, 1991

凡 例



7月28日～9月8日の火砕流堆積物
(主として8月26日と9月6日の火砕流による)



9月8日～9月22日の火砕流堆積物
(主として9月15日の火砕流による)

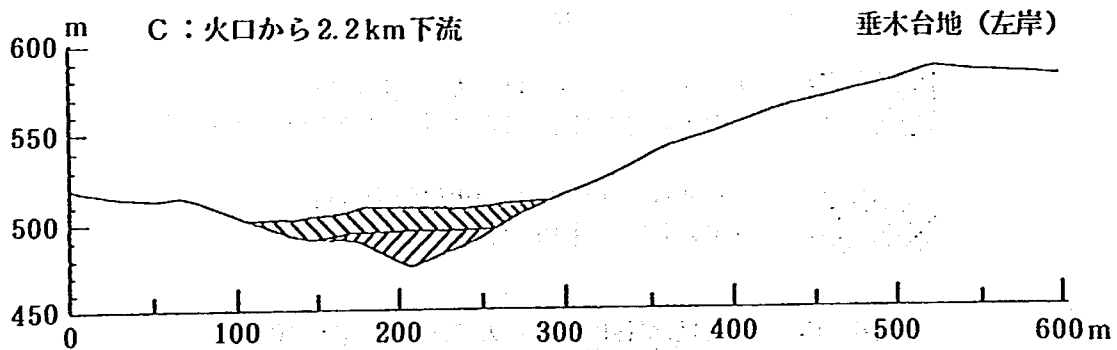
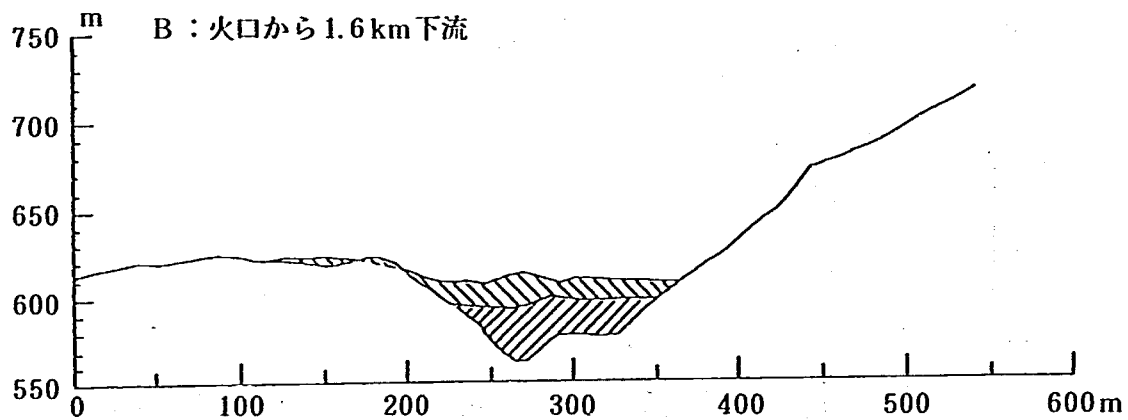
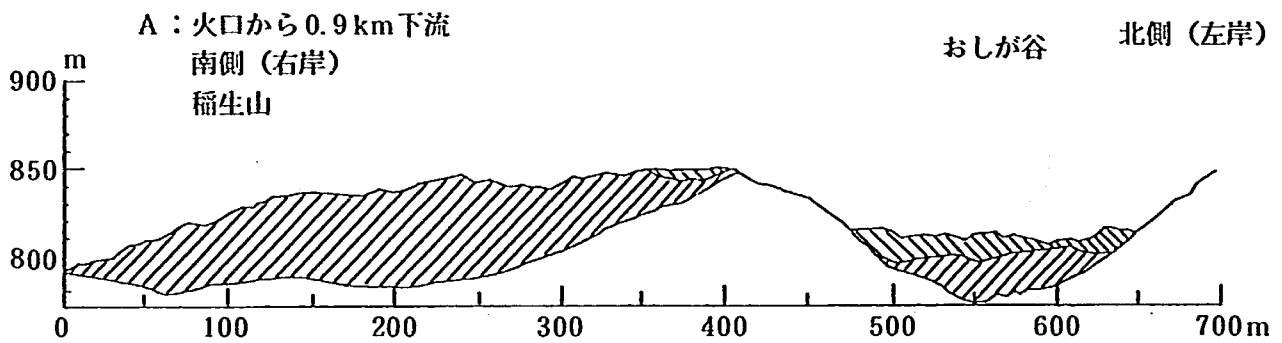
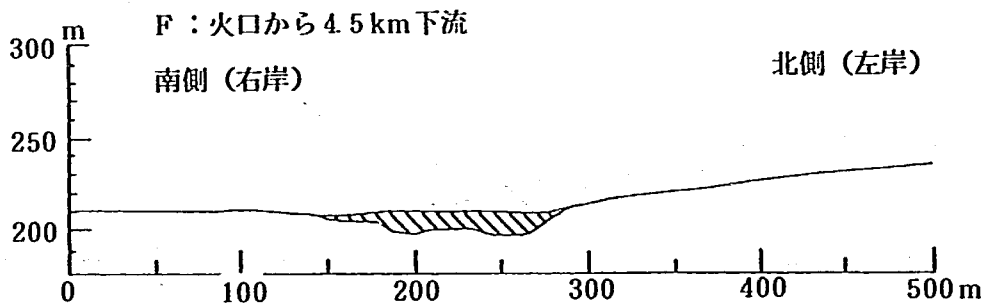
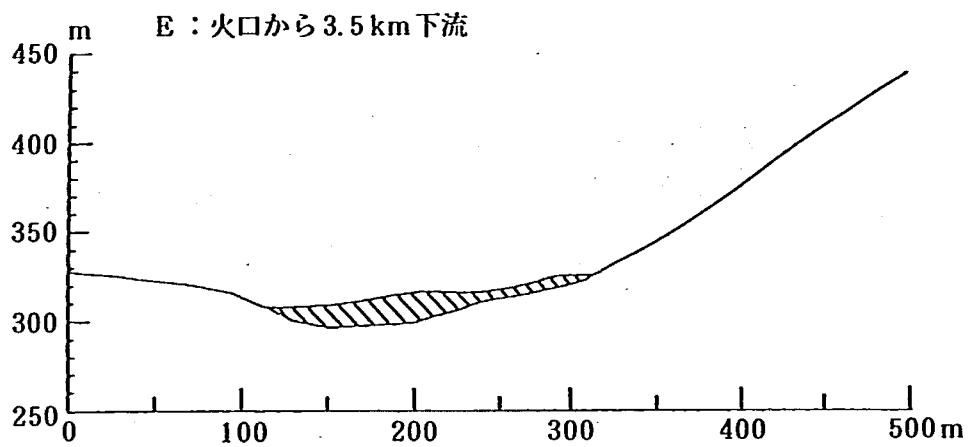
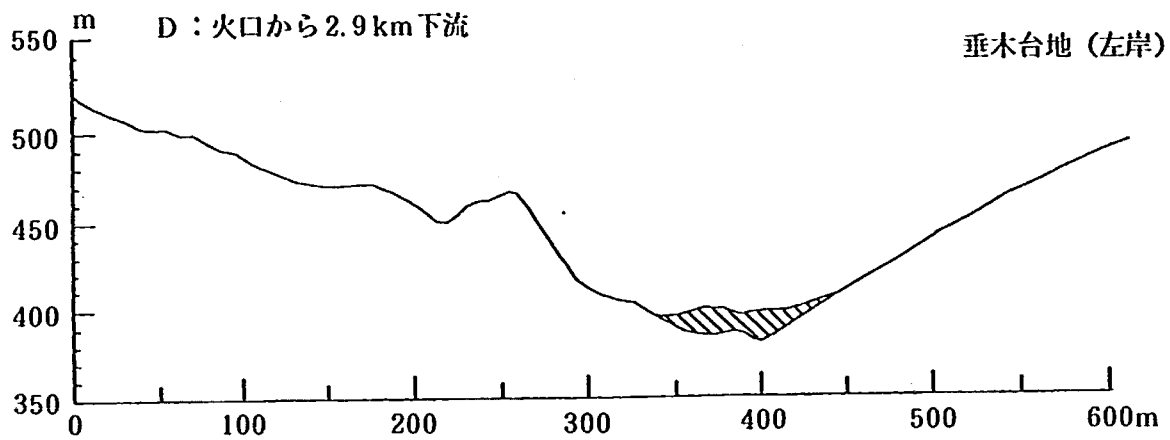


図-15-1 おしが谷における火砕流土砂堆積変化図
(横断面図)



凡 例



7 月 28 日～9 月 8 日の火砕流堆積物
(主として 8 月 26 日と 9 月 6 日の火砕流による)



9 月 8 日～9 月 22 日の火砕流堆積物
(主として 9 月 15 日の火砕流による)

図-15-2 おしが谷における火砕流土砂堆積変化図
(横断面図)

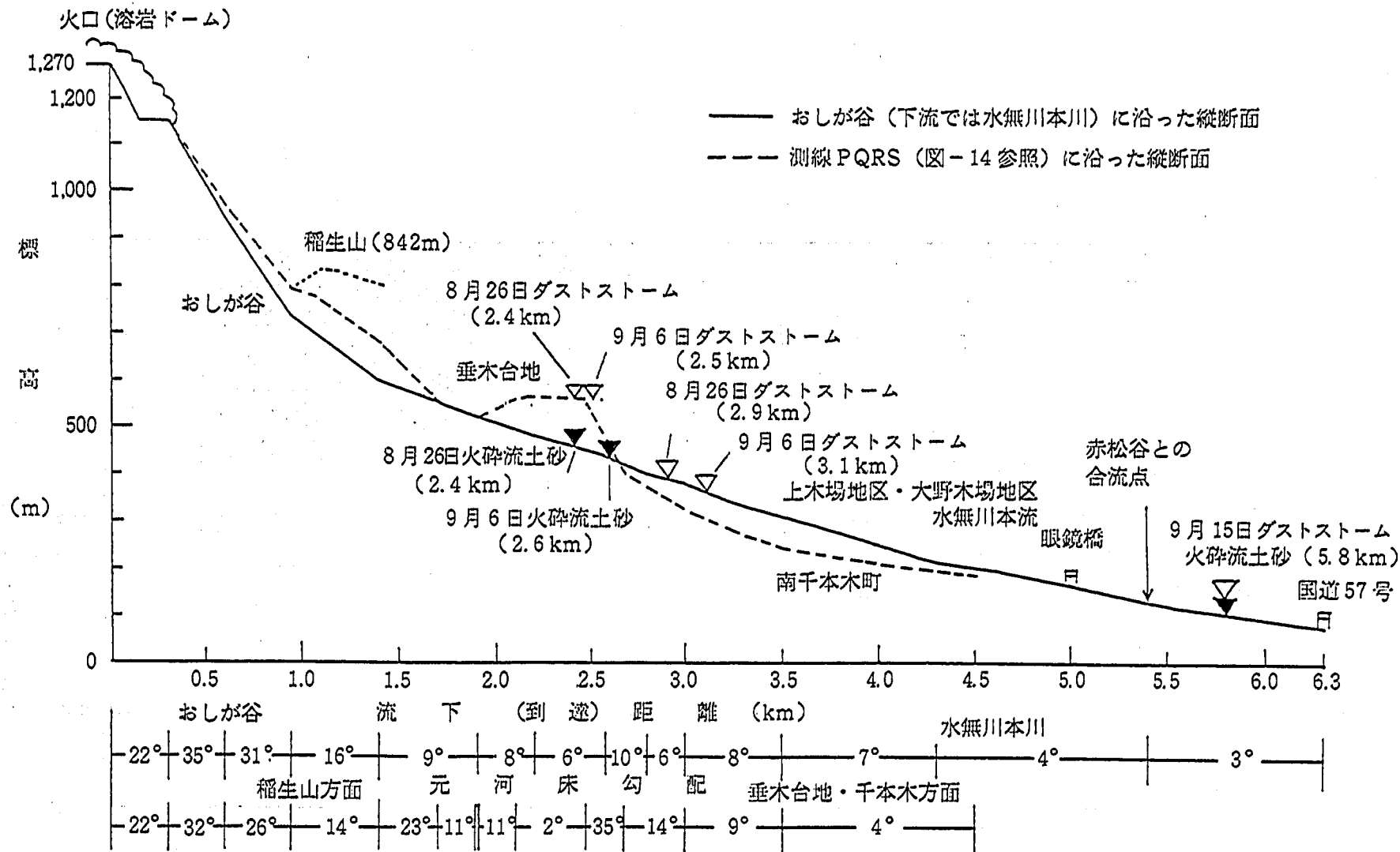


図-16-1 おしが谷における火砕流の土砂流下・堆積

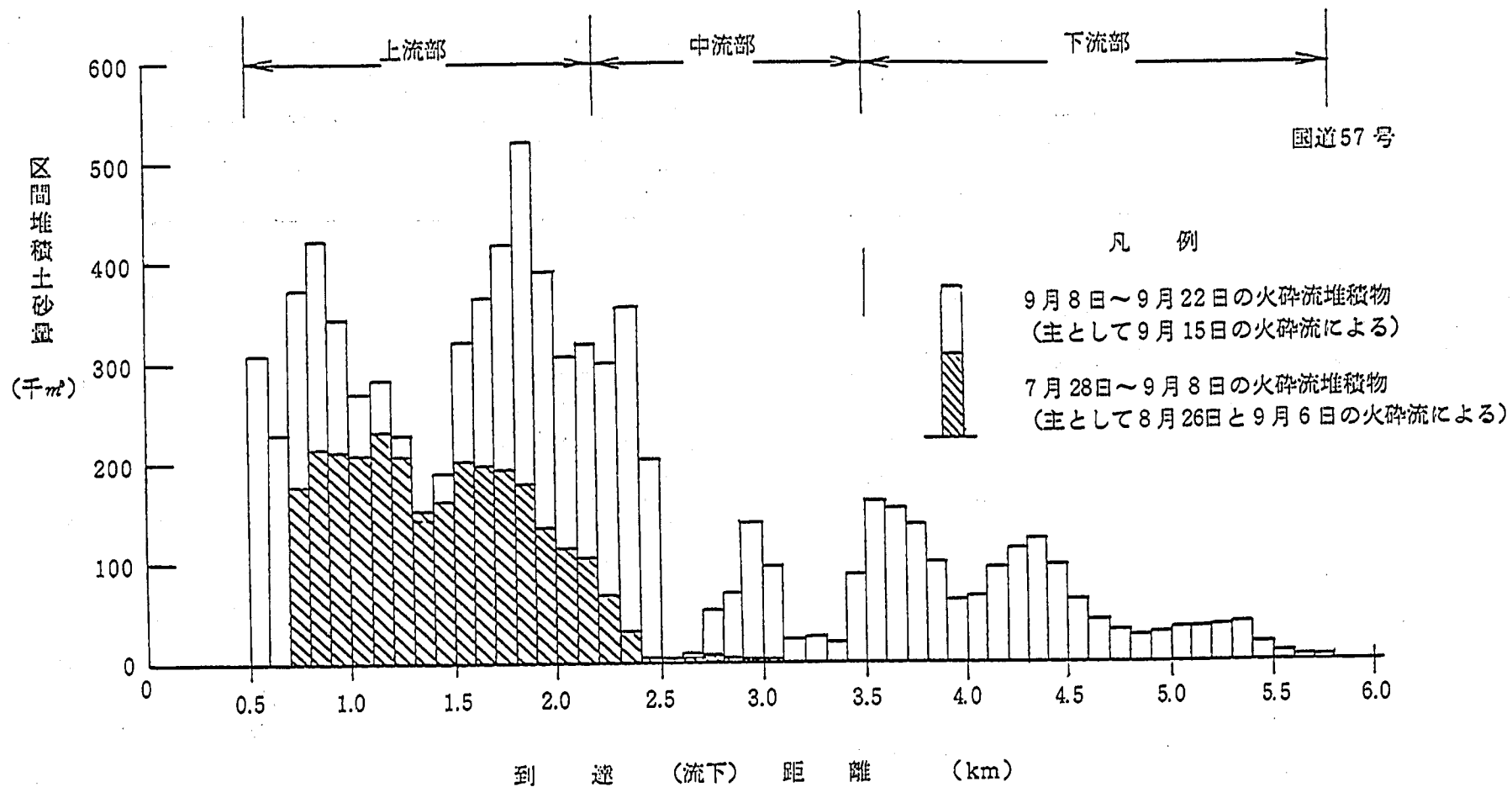


図-16-2 おしが谷における火砕流の土砂流下・堆積

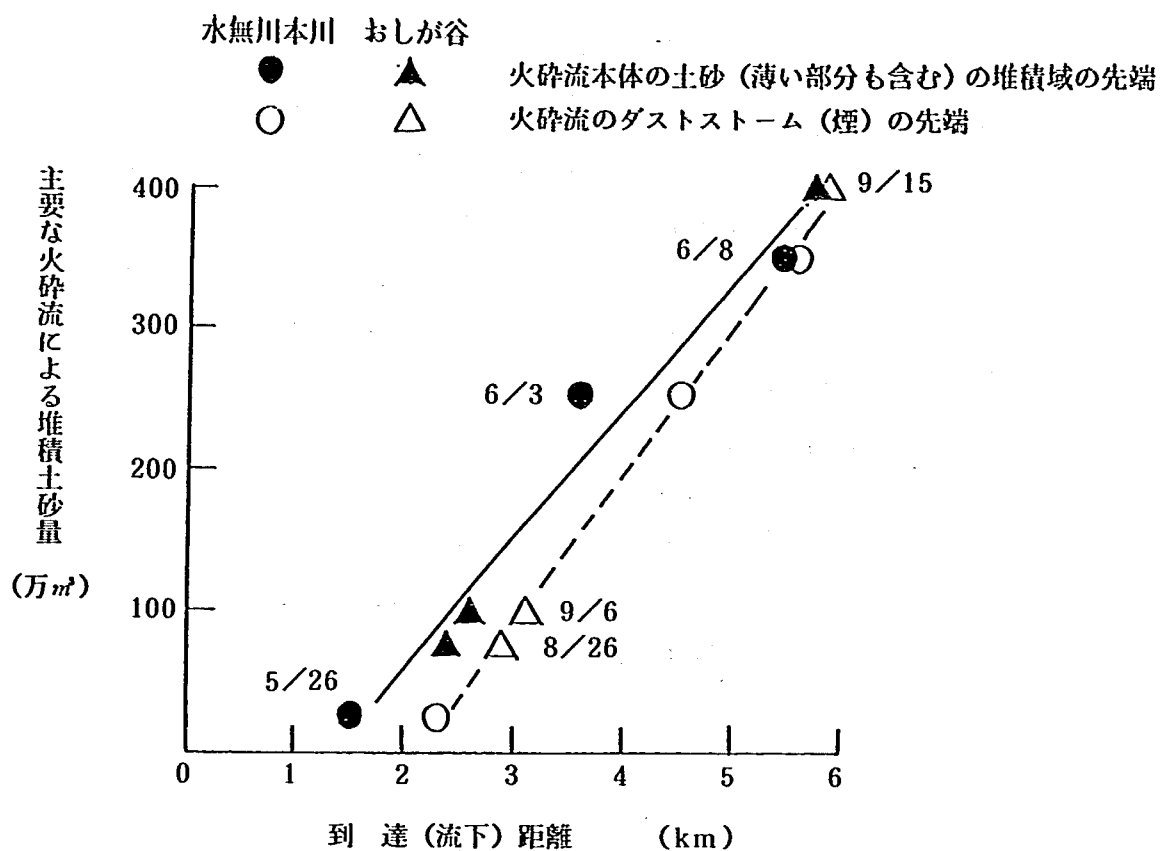


図-17 主要な火砕流の堆積土砂量とその到達距離

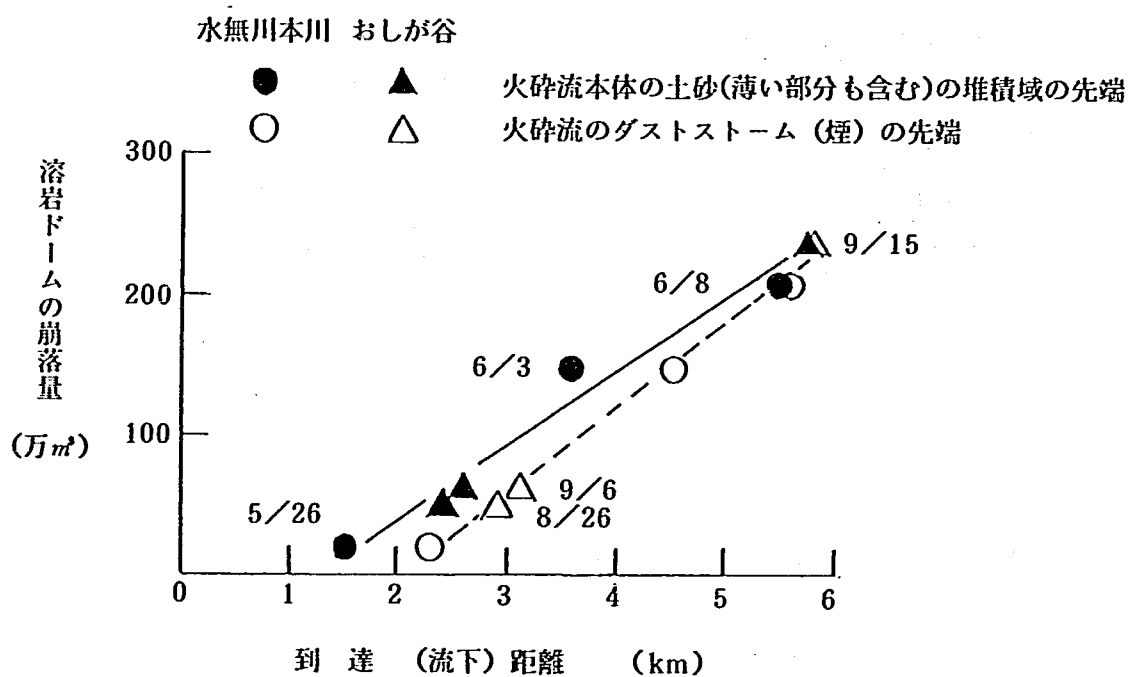


図-18 溶岩ドームの崩落量と火砕流の到達距離

表－１ 火砕流・土石流による人命・家屋への被害

種 別	発生日月	河川名	人的被害（人）		家屋の被害（棟）			
					住 家（棟）		非住家（棟）	
			死 者	負傷者	全壊	半壊	全壊	半壊
火砕流	5月29日	水無川	0	1	0	0	0	0
	6月3日	水無川	43	10	49	0	130	0
	6月8日	水無川	0	0	72	0	135	0
	9月15日	水無川	0	0	49	0	144	0
土石流	5月15日	水無川	0	0	0	0	0	1
	6月30日	水無川	0	0	40	17	61	16
		湯江川	0	1	0	8	0	17
合 計			43	12	210	25	470	34

注）死者には行方不明者も含む（11月10日現在）

表－３ 火砕流堆積土砂の土質試験結果

項 目		試料名	㊸	㊹	㊺	備 考
単位体積重量 (gf/cm ³)			1.41	—	—	
粒 度 (%)	礫分 (2 mm－75mm)		23	69	21	75mm未満の 粒径の土砂 のみ使用
	砂分 (75μm－2 mm)		69	27	67	
	シルト分 (5 μm－75mm)		6	3	10	
	粘土分 (5 μm未満)		2	1	2	
土粒子の密度 (gf/cm ³)			2.577	2.596	2.592	
pH			7.4	7.3	7.2	
火砕流堆積区域の分類			本体のくずれ	本 体	本 体	

表-2 火砕流による堆積土砂量

期 間		5月16日～ 5月28日	5月28日～ 6月4日	6月4日～ 6月16日	6月16日～ 7月8日	7月8日～ 7月28日	7月28日～ 9月8日	9月8日～ 9月22日	計
計測期間(日間)		4	7	12	22	20	42	14	121
水無川 本川 (万㎡)	上流部 0.6-1.7km	50	250	90	520	350	620	50	1,930
	中流部 1.7-3.3km	0	50	260	0	0	0	0	310
	下流部 3.3-5.6km	0	0	50	-20	0	0	0	30
	小 計	50	300	400	500	350	620	50	2,270
おしが谷 (水無川 左支川) (万㎡)	上流部 0.5-2.2km	0	0	0	0	0	270	260	530
	中流部 2.2-3.5km	0	0	0	0	0	10	130	140
	下流部 3.5-5.8km	0	0	0	0	0	0	150	150
	小 計	0	0	0	0	0	280	540	820
水無川 計 (万㎡)		50	300	400	500	350	900	590	3,090
水無川 累計 (万㎡)		50	350	750	1,250	1,600	2,500	3,090	3,090
主要な火砕流による 堆積土砂量(万㎡)		5月26日:30	6月3日:250	6月8日:350	-	-	8月26日:80 9月6日:100	9月15日:400	
備 考		6月24日発表			8月7日発表		今回、航空写真測量、現地調査結果から算定		1日当り 約26万㎡

* 5月24日(火砕流の発生開始)からの期間

平成3年雲仙普賢岳で発生した、土石流災害 質疑

○酒井（国土地理院） 用語の問題についてちょっと御質問したいのですけれど、「ダストストーム」「デブリアバランシ」というふうに書かれているのですが、火砕流のこういう部分を表現するのにこれは適当な言葉かどうか、また出典はどちらからなんですか、お伺いしたいのですけれど。

○石川 火砕流という定義自体もかなり非常に新しいものでして、その中で、そこでは「デブリアバランシ」と「ダストストーム」という定義をしていますけれども、この呼び名についても火山学者の人によってかなりばらつきがありまして、必ずしも今定説というのはございません。

今それを使っておりますのは、USGSの方でアメリカの地質調査所の研究者が使っている言葉を、ちょっと借用して使っておりますけれども、例えば、日本で一番火砕流を詳しいと言われている荒巻先生なんかの意見ですと、「デブリアバランシ」と言うよりも「火砕流本体」と呼んだ方がいいんじゃないかという意見をいただいております。

あと、「ダストストーム」については一般的には「熱雲」というふうに呼んだ方がわかりやすいとも言われておるのですけれども、これも「火山灰プラス熱風」と呼ばれる場合がありますし、「サージ」といいますか、「火砕サージ」と言われている場合がありますし、幾つか用語がありまして、多分地質の方だとわかりになると思うのですけれども、これは研究者によってかなりばらばらになっております。

実際にベースサージなんかの定義にしましても、熱いものは「ベースサージ」と呼ばないという人もありますし、「火砕サージ」の定義、それから一部「ブラスト」とかいう表現もありまして、この辺も厳密な定義をしておきますと、多分もう火山学者の方一人一人違うのじゃないかというふうに考えております。

以上でございます。

○酒井 「デブリアバランシ」という表現をしますと、あの御岳の伝上川崩れのような単純な崩壊による岩石雪崩ですね、ああいったものとの誤解を与えるような感じがしますので、おやめになった方がいいような気がするのですが。

あと、こちらで「ダストストーム」とおっしゃってるものなんですけど、木が倒れてははっきりと強力な風が吹いた部分と、そういうものがなくて単に熱風だけが吹いた部分と、これははっきり分けられると思うのですが、その点に関してはいかがでしょうか。

○石川 分けられるかどうかというのは、例えば本体とダストストームの境も、実際のところはわからないけれども、まあ、便宜上線であらわしていますけれども、実際には自然現象というのはそういうふうに、必ずしも線であらわせない。要するにAとBというのがきっちりと分かれなないというのが実際の現象だと思っておりますので、どの特徴をつかまえて定義するかということだと思います。

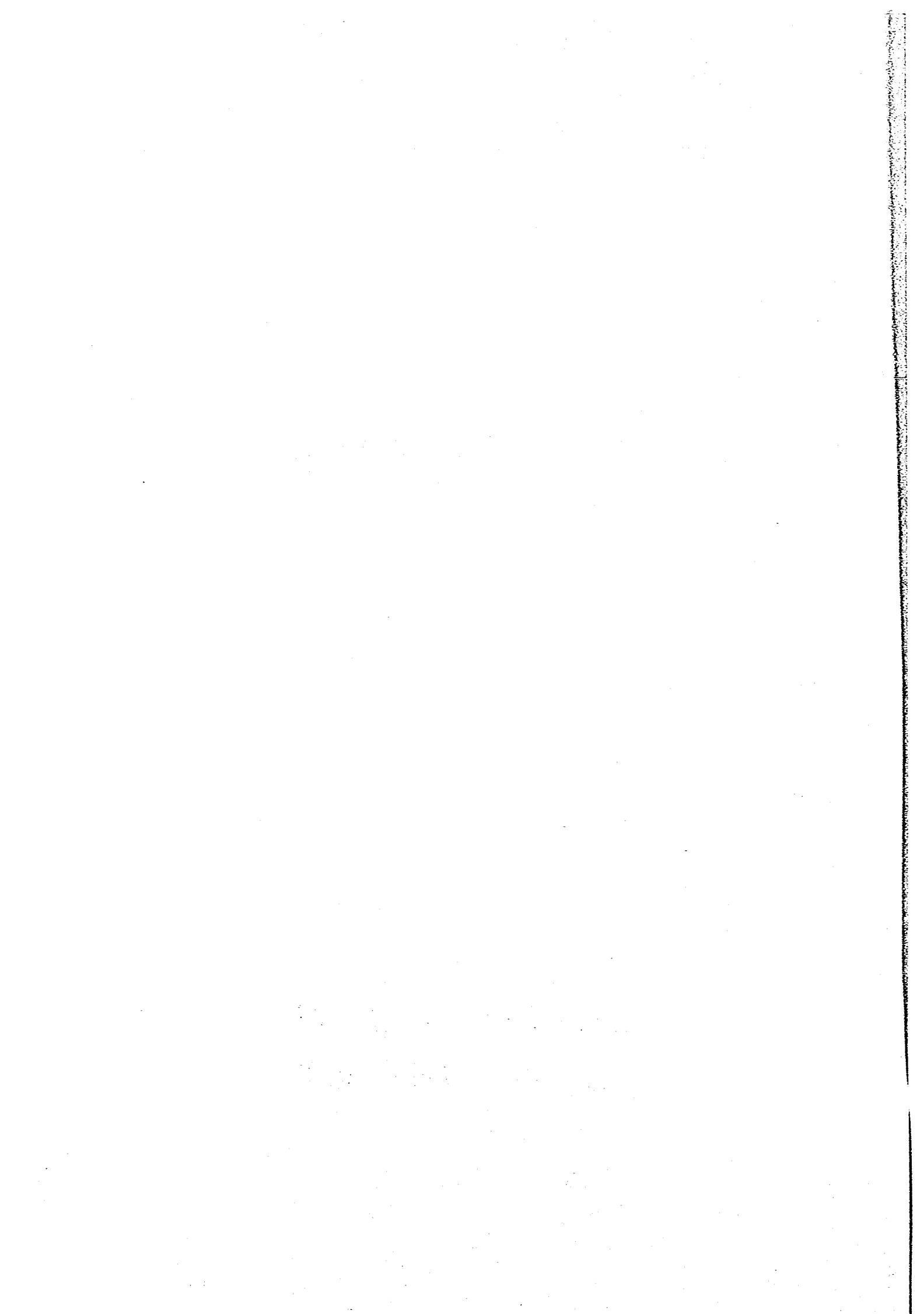
もちろん細かく定義すればいろんな名前があるのでしょうけれども、逆にわかりにくくなるということで、使い道によってだと思っております。私たちは砂防をやっているのですからどちらかというと、現象論も大事なんですけれども、土砂の移動としてどうかという方を重点としてますので。

火砕流についても、今までは余り研究が進んでいないということから、必ずしも細かなところまでわかっ

ていない。実際問題としてダストストームの中の土砂濃度というのはどのくらいのものかというのはわかりませんし、本当に熱風だけが働いているのかという、動いていたにしても、じゃあ、どの範囲が熱風として動いているのかというのも、現実を観測データというのはほとんどないということから、実際問題としてはわかっていない方が多いんじゃないか、というのが現実じゃないかと思っております。

フィリピン ピナツボ火山災害

土木研究所 砂防部
部長 渡辺 正幸



はじめに

ピナツボ火山の噴火がフィリピンの社会に与えた影響は極めて大きい。昨年のルソン島北部の地震災害の復旧が手についたばかりの時に最も肥沃な地域を災害が襲ったわけである。地震や洪水による災害は復旧することが可能であり、復旧のための事業は資源さえあれば経済の活性化に役立つことがある。しかし、土砂の堆積にともなう災害の場合は復旧はほとんど不可能である。資源のない途上国の場合は不可能である。

ピナツボ火山の噴火による災害では山頂に蓄えられている巨大な量の堆積物が今後数十年にわたって流出することは確実である。

流出した土砂は平坦な地形の所で堆積し、これまでになかった新たな地形を作る。新たに作られた地形は従前の社会の構造を土地と水の利用形態の変更をとうして激しく変えていくであろう。モンスーンと台風による雨量が多いからである。したがって、不変の地形を前提にして成立してきた社会がもはや維持できなくなる可能性がある。湾岸戦争の結果である外国労働者の帰国に加えて、米軍のクラーク空軍基地の撤収の影響も重なって社会の不安定要因を追加した結果になっている。

流出している土砂は目下のところ斜面や堆積面を覆っている細かい灰と軽い軽石が主である。時間の経過とともに下部に堆積している大粒径の物質が土石流となって流下するようになる。そうすると大きな破壊力に加えて、河道の塞止め・ランダムな氾濫等の現象があらわれるので危険箇所は多くなり被害の程度も範囲も拡大することになる。

このような観点から、ピナツボ災害対策は時間との競争である。

立山（1858年）、磐梯山（1888年）、セント・ヘレンズ（1980年）、御岳山（1984年）、ピナツボ（1991年）の崩壊量はそれぞれ 1.3億、22億、25億、0.24億、90億（最大値）である。崩壊のメカニズムはそれぞれ異なるが、その後の地形形成過程と土砂災害にはたくさんの共通項がある。日本はこの分野で 100年の蓄積がある。地形形成過程を逆転させることはできないが土砂の流出にともなう災害を最小限度におさめる技術は世界中で最も発達している。途上国のケースに適用する技術の開発も進んでいるので技術的には心配はない。

1. 要請の内容

a) 公共事業・道路省

ピナツボ火山災害に関する調査を行って被害の程度を明らかにするとともに、将来打つべき手について勧告する

b) 火山・地震研究所

土石流の発生を感知して予・警報を出す装置の供与とそれを用いて予・警報のための制度を確立するために必要な協力

2. 調査内容

a) ワイヤセンサーと雨量計を組み合わせた土石流発生監視装置を 8 基設置するための適地を確定すること

b) 災害の実態を把握して将来の対応方針を考えること

3. 災害の実態

- a) ピナツボ火山の活動は規模においても、もたらした変化の大きさにおいても今世紀最大と呼ばれるにふさわしいものであった。

噴煙は25,000mまで上がり、10億m³オーダーの火砕流堆積物が山頂から半径約15kmの範囲にある谷間を埋め、山頂に半径2kmのカルデラを形成した。また、半径約30kmの範囲に10cmの厚みで降灰があった。

- b) 半径約15kmの範囲にあったアエタ族の生活圏とその集落は全滅し、約6,000人のアエタ族は生計の基礎を失った。

- c) 降灰は家屋・道路・斜面・河川・灌漑水路・田畑・果樹園・養魚池を使用不能にした。土壌学的には灰は無価値であり、その硫黄成分は植物にとって有害である。集落と道路を覆った灰は公共事業省の努力で除去されたが空き地やスワンプに堆積しているので問題の根本的な解決にはなっていない。

- d) 雨季と台風による雨が斜面と火砕流堆積物の表層を覆う灰と軽石の層を浸蝕し、高濃度土砂流となって河川へ流入した。

その結果勾配が大きいところでは激しい河床低下が起こり、緩勾配区間では河床は上昇した。みお筋は乱れて氾濫を起こし、橋梁の橋台を攻撃して橋を落とした。

パッシング川のアースダムが消失していた。

国道7号線が2か所で大規模に冠水している。これは道路が締切り堤防のようにになっているため、農地の氾濫を拡大している。

- e) パッシング川の15km地点で砂防ダムが発見された。砂防ダムの上流では火砕流堆積物は浸蝕されず、下流では浸蝕が進んでいてダムの効果を証明することとなった。

- f) 河川が氾濫した所では3期作の第一期を収穫したのみであり、次の収穫は不可能になっている。火山の山地はバナナとキャッサバ(アエタ族)を、山麓の段丘ではキャッサバ、低地では西側に米を、東側は米・砂糖きびが栽培されていた。

- g) 火砕流が堆積している地域は水系区分が確定されていないような原初の状態である。一方、低地では洪水のたびに氾濫面積が拡大している。この現象は扇状地形成過程のクライマックスというべきものであり、例えて言えば創世紀の第三日目のステージである。

4. 政府の災害対策

a) 火山・地震研究所

- 1) フィリピン火山・地震研究所(Dr. Reymundo Penunbayan)の取組は誠に適切であり、判断は正確である。観測の成果と判断の結果は毎日公表されている。

観測の結果、alert level を決定すると同時に危険区域を指定する。6月9日に半径20kmの区域にalert level を最高の5として避難を勧告した。そのために6月15日の大爆発による死者は発生しなかった。

- 2) 火山・地震研究所は5月23日付けで危険区域図を降灰、火砕流、泥流のそれぞれについて作成し、公表している。

b) 公共事業・道路省

- 1) 公共事業・道路省は6月17日から道路の降灰を除去して交通を確保することに全力を尽くした。
- 2) 6月22日からは住民を督励してサンド・バッグを大量に製造して橋梁の橋台の強化を試みた。サンド・バッグは1ペソで買い上げられた。
- 3) 6月28日から重機を用いて河床掘削を行い、河積の増大をはかるとともに堤防の強化を試みた。
- 4) 河床低下による落橋は防げなかったが、河床上昇区間では鋼矢板を用いて橋台を守った例があった。

c) 厚生福祉省

6月16日よりマニラへ流入する被災者のための避難所を設立した。
赤十字は厚生福祉省と協力して被災者のための避難所を設立した。
火山活動の沈静化とともに避難者は帰郷しはじめており避難所の数は減少している。しかし、残された収容者の栄養・衛生状態は悪いため病気による死者が増加しつつある。

d) 国家防災調整会議

6月16日国防相の指揮のもとに緊急の警報・救援計画を策定し、地方防災調整会議を指揮して警報と避難の実務を遂行した。調整と実務は真剣かつ効率よく行われている。

e) 大統領府

6月19日50億ペソの復旧経費の支出を決定、その事業実施のために対策本部を設置した。
6月27日援助供与国会議を開き、70億ペソ（2.6億ドル）の援助を要請した。

5. 外国の対応

a) 金品の寄付

国連機関 184万 \$, 政府5,100万 \$, NGO 130万 \$
合計 5,400万 \$

b) 日本

フィリピン政府の要請に基づいて土石流予・警報設備を供与しそれらを設置するための調査を実施した。防災対策のための方針を勧告した。金品108万 \$

c) 米国

4月23日USGSのチームがクラーク基地に入り、観測を開始した。フィリピン政府が協力を要請した証拠はない。金品4,800万 \$

d) 国連他

UNDPとUNDROが視察団を派遣した。ADBが被害調査のための技術協力を提案した。

6. 損 害（データには幅と変動がある）

死 者： 391人

被災者：138,184－217,000世帯

274,000－651,726人（親戚等を頼って避難）

避難者の救援：23,609-29,710世帯

116,980-154,425人

173-367ヶ所の収容施設（変動がある）

農 産 物：13.6億ペソ，6,300ha，農家7,000戸が被害

公 共 施 設：90億ペソ

倒 壊 家 屋：全壊27,920戸，半壊44,972戸

7. 対 策

ピナツボ火山の災害に対する対策は時間との競争であるとの認識が重要である。また、フィリッピン政府は真剣に取り組んではいるが、その対応は技術的にみるかぎりにおいては気休めにすぎない。掘削した河床は次の洪水で確実に埋められ、サンドバックは容易にすり切れる。

災害のメカニズムに関する基礎的な認識を欠くため、防災施設の建設のための調査・計画・プライオリティーの決定と維持管理の技術と制度が心もとない。

a) 土石流の予・警報

土石流の発生を感知し予・警報をだすことは今後ますます必要になる。より犠牲が少なく精度と信頼性が高い制度を作らなければならない。防災の対象となる資産と人口，河川地形，気象条件，土砂流出の可能性等を考慮した。

1) 土石流の感知センサーと雨量計をセットにしたユニットを一基ずつ東側の次の河川の流域に設置することにした。

- (1) サコビア川
- (2) バンバン川
- (3) バシグ川
- (4) ポーラック川
- (5) グマイン川

2) 西側の次の河川には雨量計のみを設置することにした。

- (1) サント・トマス川
- (2) マロマ川
- (3) ブカオ川

ただし、現在は危険で侵入できない火砕流堆積物の区域の調査ができるようになれば、変更あるいは増設が必要となる。

西側の3河川について雨量計のみとしたのは、集落が5 m程度の高さをもつ段丘にあって直接土石流の脅威にさらされないこと、火砕流堆積物の量が圧倒的に（60％）西側に多いと判断したことによる。

b) 緊急対策：現存施設の機能確保，河道の氾濫防止，堆積区域の氾濫範囲の拡大を防止することを目的とする。工学的な調査が充分にできないあいだはパイロット・プロジェクトとする。

- (1) 重機による河床掘削

- (2) サンドバックによる護岸法面の強化
 - (3) 杭・竹籠・蛇籠による護岸基礎の強化
 - (4) サンド・ポケットの建設
 - (5) 砂防ダムを建設するための道路の整備（降灰の除去と補修・建設）
- c) 中期対策：現存施設の機能強化，土砂流出の減少，河床低下，氾濫範囲の限定，雇用確保を目的とする
- (1) フトン籠を用いた砂防ダムの建設
 - (2) サンド・ポケットの建設
 - (3) 砂防ダムの建設・山腹工事のための道路の建設
 - (4) 山腹工事
 - (5) 防災市民教育
 - (6) 防災技術教育（河川・砂防工学の寄付講座）
 - (7) 災害査定制度と統計の確立
- d) 長期対策：総合防災対策，土砂流出の減少，低下した河床の固定，氾濫範囲の限定，防災施設の機能維持，防災教育，山腹工事，雇用確保を目的にする。
- (1) 山腹工事
 - (2) フトン籠を用いた砂防ダムの建設
 - (3) 流路工
 - (4) 砂防ダムの建設
 - (5) サンド・ポケットの建設
 - (6) 郷鎮企業の創設と育成
 - (7) 防災市民教育
 - (8) 防災技術教育

8. まとめと勧告

土砂災害の場合発生してしまったあとで原形に復旧することは不可能にちかい。被害の拡大防止と類似災害の再発を防止することが重要である。

途上国では被害の拡大防止と類似災害の再発の防止のための事業は低価格の材料を用いて労働集約的な工法で実施しなければならない。

また，構造物が置かれた環境条件は一定ではないので，その固有のあるいは構造物の集団としての機能を発揮しつづけるためには絶え間ない維持管理が必要である。

このような事情にかんがみて次のとうり勧告する。

- 1) 大学に河川・砂防工学の講座を寄付すること
- 2) フトン籠，蛇籠の製造機を供与して大量生産を可能にすること
- 3) 流域の生産と安全にかかわる河川が原始状態であることから独自の技術者が育つまでのあいだ河川・砂防の専門家を2名づつに増強する。
- 4) 火山観測システムを強化する。

浅層反射法マニュアル（案）の作成

— 都市域における地盤探査手法の基準化に向けて —

土木研究所 地質研究室

主任研究員 稲崎 富士

はじめに

地質研究室では、地質工学が対象とする浅部地盤の内部構造を調査する手法の一つとして、浅層反射法探査技術の開発を手がけてきた。同法は地盤内部の構造を擬似映像断面として2次元表示するもので、離散的なボーリング調査ではわからない地盤の不均質性を評価する手法として着目されてきたが、残念ながら、現状として土木地質調査の一般的手法として適用されるには至っていない。しかし、一部においては後に示すように浅部の特殊な地盤調査に適用されてきている。このようにケーススタディ的調査としては成果を上げつつも一般化に至っていない原因の一つとして、同探査技術自体が各地質コンサルタント会社毎に独自に扱われ、いわば「ノウハウ」として業界内にサーキュレートしていないという現状があげられる。その結果、同一地点において複数の地質コンサルタントが浅層反射法探査を実施しても、異なった解析結果が提供される、という成果の非客観性という問題が生ずることになる。

このような技術的不均等性が、浅層反射法探査の一般化を妨げている主要な障害の一つと考え、それを解決する方策として、同探査技術の標準化を求めて、浅層反射法探査・解析マニュアル(案)を作成するに至った。今後、各界、各立場からの御意見を踏まえて authorize していく方針であり、本担当者会議においても紹介する次第である。

1. 都市域における地盤探査の現状

「都市域」としての特徴を地盤探査の観点から整理してみよう。

まず「探査環境」の面では、都市域が、人口・構造物の稠密地帯である、ということから、電気、電磁気、振動、光などの探査媒体に対する雑音レベルが高い。すなわちS/N比が低いという実行上の障害が上げられる。また探査に関わる規制が厳しく、火薬類の使用禁止、通行規制の制約が通常の探査を困難なものにしている。更に、建造物や道路等の構造物により探査測線の制約があるという点もあげなければならないだろう。

次に探査対象としての「地盤条件」の面では、国内の都市域の大部分はいわゆる沖積平野上に立地しているという点を指摘しなければならないだろう。沖積平野下には物性上問題のある、“軟弱な”沖積層が最大層厚で80mにわたり堆積しているとともに、ヒブシサーマル期以降の海水準変動に対応した埋没地形—埋没谷、埋没段丘など—が存在し、地盤構造が不均質で局所的に大きく変化することが知られている。

このように都市域での地盤探査は、実行上の制約・悪条件とともに複雑な探査対象という二重の困難性を抱えている。

ところでこれまでの都市域での地質調査の主体をなしてきた手法は、ボーリング調査であったことは疑う余地がないであろう。ボーリング調査は、地盤試料を直接採取・観察でき、また地盤物性を評価できる優れた調査法であると言えるが、重大な問題は1次元（鉛直方向）の情報しか得られない、という点にある。したがって地盤が複雑に変化する地域に適した調査法であるとは言えないのである。2次元以上の地盤の空間的異方性を把握する手法—ここでは地盤調査と称して他と区別することにしよう—の適用が都市域では必要とされていることを指摘しておきたい。2次元的な“地盤調査”の重要性は構造物の性格からも強調される。すなわち、建築構造物は原則として拠点開発型であるので地盤調査も局所的＝1次元とみなしても良いのに

対し、土木構造物の大部分は線型構造物であり、その基礎調査には2次元空間での地盤の異方性の評価が必要不可欠であるからである。

さらに都市域での直下型地震対策・防災ゾーニング技術の向上のためには、地盤の空間的異方性の評価そのものが鍵となる。以上、都市域での面的地盤探査のニーズは極めて大きいと結論づけることができる。

都市域で適用されてきた地盤探査法についてここで検討を加えてみよう。

まず山岳域で多用されている屈折法探査については、基盤構造調査を除いて都市域での調査例は殆どみあたらない。これは、都市域では探査深度／測線長の値が小さいため、雑音レベルの大きな都市域では適していないからである。

次に、いわゆる「表面波探査」法については、探査・解析法についての理論的裏付けがなく、適用例を見ても、他の調査結果にあわせてデータを都合よく解釈していることが多く見受けられ、技術的適用には注意を要する。都市域での雑音レベルの大きさは同法においても大きな障害となる。

電気探査法は地盤の比抵抗の違いを映像化する方法であるが、同法も雑音レベルの高い都市域には適していない。電磁探査法も同様である。

電磁波反射法、いわゆる地下探査レーダーは、都市域においても道路路面下の空洞探査等に盛んに適用されるようになってきている。深度2～3m程度までの表層部の地盤探査手法として、今後の技術的開発・現地適用実験の蓄積が待たれる。

各種媒体を利用したトモグラフィー技術は、技術的には開発段階から概成段階へと移行しつつあり、都市域においても特別な条件下—例えば地下埋設物の検出等の局所異常の把握—では適用が期待されるが、都市域での実施例は現状ではピックアップされていない。

一方浅層反射法探査は、近年都市域での適用実績が多く見られるようになってきている。それらは、シールド工事に先立つ施工深度部の地盤構造評価やあるいは沖洪積境界の把握、覆在断層の検出等であり、深度100m程度から10m以浅を対象としたものまで広がってきている。

以上の検討結果をとりまとめると、今後の展望として、都市域の地盤探査としては深度2～3mの表層域には地下探査レーダーが、それ以深については浅層反射法探査が最も有力な探査法であると結論することができよう。

2. 浅層反射法の開発の経緯、今後の課題

2.1 浅層反射法の技術開発の経緯

浅層反射法は反射法探査技術の一バリエーションであり、対象を浅層部に限ったものである。反射法は元来、石油資源等地下深所に胚胎し、ボーリング等による調査では経費がかかる深部資源開発のために1930年代より開発されてきた技術である。

国内においても資源探査関係の公団・国策会社・大学等において技術的検討が進められてきたが、資源小国たる我が国においては現地データ取得がままならぬこと、また地質調査活動の主体が土木地質調査である、という特殊性をふまえて、土木地質調査への適用を目的とした浅層反射法探査への技術的検討の機運が1970

年代後半より高まってきた。これらの経緯を物理探査関係の専門学会である物理探査学会での講演会での関連発表をアクティビティの示標として用いて見てみよう。図-1は1979年～91年の12年間分の浅層反射法探査技術およびトモグラフィー技術に関する演題数の推移を示したものである。この図のうち、斜線部は土研地質研究室のアクティビティを示すものである。同図からは、浅層反射法の開発が1980年代にピークを迎えた後は、技術開発の対象がトモグラフィーへとシフトしていていることがはっきりと表われている。これらの中で浅層反射法についてはほぼコンスタントに、またトモグラフィー開発については我が地質研究室が端緒を開いたことは特筆すべきことであろう。

浅層反射法についてはしかし、現時点では一段落を迎え、地震予知や基礎研究重視の風に流されて深部地下構造調査へと逆戻りしつつあるのは残念でもある。しかし、前述のように都市域の個別な条件の下での適用例が増えてきており、新たな開発の動向も生まれてきている。

2.2 浅層反射法の現状

浅層反射法探査技術は、都市域での浅部（50～100m）までを対象とした面的地盤探査法としては最も実用化に近い段階に位置しているといえることができる。しかし実用化に向けては、いくつかの解決しなければならない課題を抱えており、それをここで明らかにすることは意義あることであると考えられる。

問題の第一は、適用性の明確化にある。すなわち、同法で何がわかるのか、何に使えるのかという適用性、ニーズに対する整理が不十分であることである。これは浅層反射法探査技術の開発が資源探査関連の諸機関の主導で行なわれてきたことと関連が深いのだが、地質研究室においてもその動きに影響を受けたこと、また現場へのPR不足があったことは否めない。

次に、同技術は高度技術の部類に属し、また初期投資が大きいために地質コンサルタント業界に浸透していない点があげられる。初期投資については、円高傾向が持続している現在、外国産品の関連機器はかなり安価になってきており、また国産品も出回り始めているのでかなり改善されてきてはいる。

最後に浅層反射法探査技術固有の課題についての検討が未だに不十分であることがあげられる。前述のように本探査技術は、資源探査を目的とした反射法探査技術を浅部に適用したものであるが、適用領域目的に関わる固有の問題として、S波探査法、効率的地表振源、表層の影響の除去、高分解能の解析結果の保障について十分に整理されていないことが指摘される。

2.3 浅層反射法探査技術開発の課題

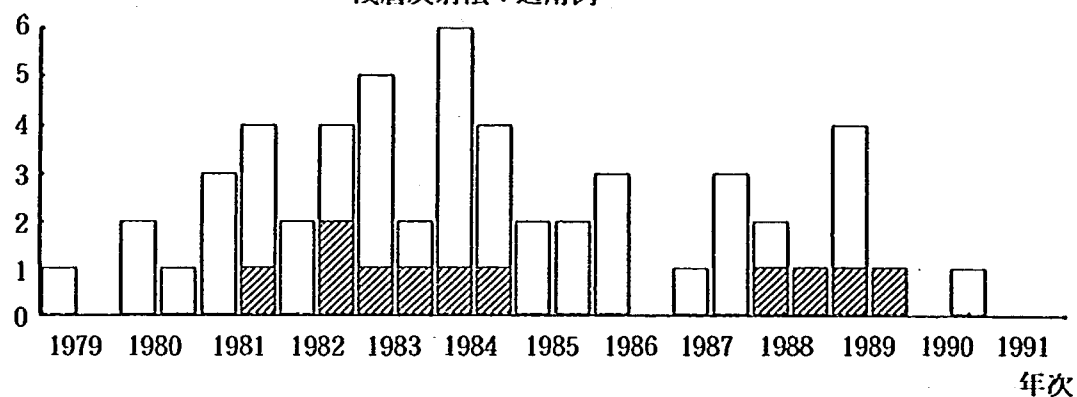
浅層反射法探査技術の現状として、SH波を利用することで、深度数m～数10mの地盤を対象として一定品質の成果を得ることができ、またP波探査では100m以深までの構造評価が可能である。しかしそれらを都市域の地盤調査へ適用する場合、以下の点での整理・検討を継続することが望まれる。すなわち

- ①：SH波探査の適用範囲の拡大
- ②：高周波P波振源の開発
- ③：技術的標準化、経済的（積算体系）整理
- ④：都市域での効率的探査法の開発

である。

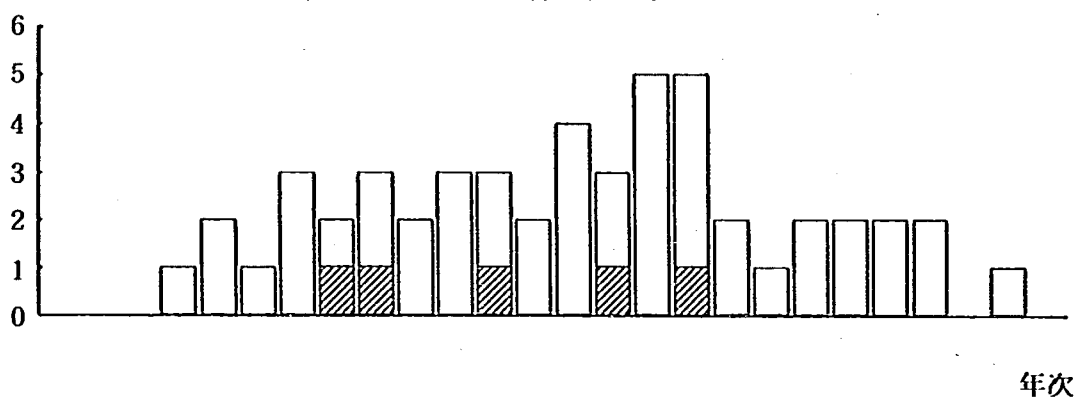
件数

浅層反射法：適用例



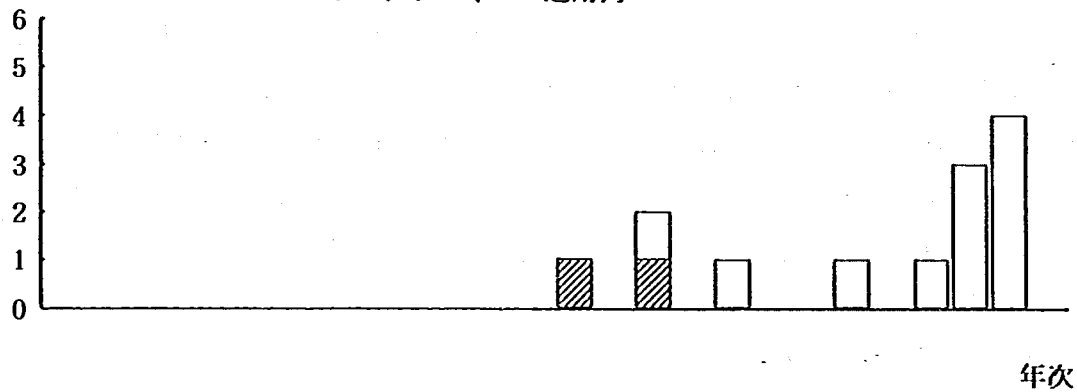
件数

浅層反射法：解析・探査装置等



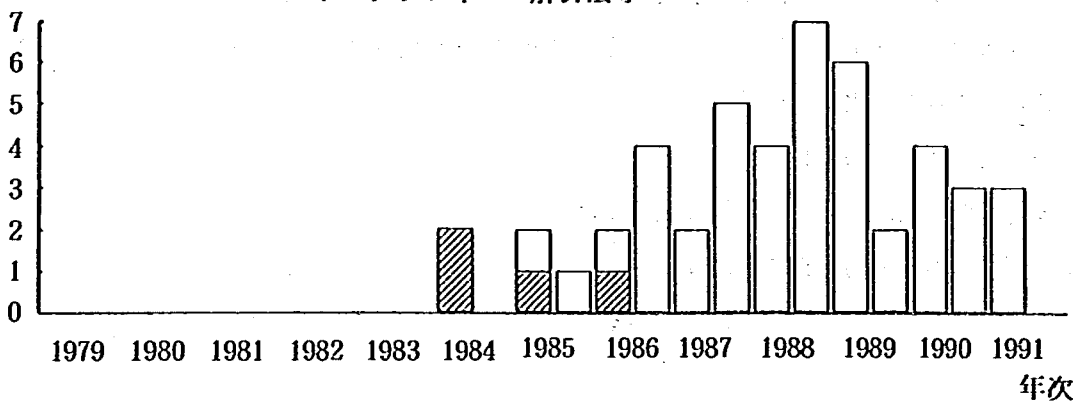
件数

トモグラフィー：適用例



件数

トモグラフィー：解析法等



3. 浅層反射法探査・解析マニュアル(案)の作成

3.1 作成の目的

前述の③への対処として同探査・解析マニュアル(案)を作成した。マニュアルはしかし技術的体系化のみではなく、上記①、④の課題にも関連するものである。

3.2 作成の手順

マニュアル(案)が実効的価値を有しまた保持しつづけるためには、より客観的なものであること、最新の技術的成果を基礎としていること、さらに現実的、すなわち、マニュアルに即した探査・解析が効果的であること等の保障が必要であり、それを得るために、以下の手続きを踏むことが必要である。

- ①：文案の構成検討
- ②：文案の作成
- ③：関係機関との調整（発注者側・受注者側）
- ④：マニュアルの実証テスト
- ⑤：マニュアル(案)の公示
- ⑥： " の適時修正

現時点では②および③の段階であり、別添資料に一部示した文案をもとに関係機関との調整をはかるとともに、独自の実証テストを実施する予定であり、関係者よりの御意見、質問等を受けたまわりたいと希望している。

以下、別添資料にマニュアル（案）の一部を示す。

別添資料

浅層反射法探査・解析技術

マニュアル（案）

1991. 12. 13

建設省土木研究所

地質研究室

目 次

第1章 総論

1 節 総論

- 1. 1 本マニュアルの目的
- 1. 2 浅層反射法の定義

第2章 測定

2 節 測定計画

- 2. 1 波動の種類
- 2. 2 測線
- 2. 3 測線の方向
- 2. 4 測線の屈曲および起伏
- 2. 5 展開長と探査深度
- 2. 6 チャンネル数
- 2. 7 受振点間隔
- 2. 8 発振点間隔
- 2. 9 展開方法と最小オフセット距離
- 2. 10 補助的な測定

3 節 起振装置

- 3. 1 起振装置
- 3. 2 P波起振装置
- 3. 3 SH波起振装置
- 3. 4 トリガー

4 節 受振器

- 4. 1 受振器
- 4. 2 受振成分
- 4. 3 固有周波数
- 4. 4 1受振点当りの受振器数
- 4. 5 受振器の固定
- 4. 6 舗装路等における受振器の固定

5 節 記録器系

- 5. 1 探鉱器
- 5. 2 探査ケーブル
- 5. 3 ロータリングスイッチ

5. 4 記録媒体

5. 5 記録様式

6 節 測定パラメータのテスト

6. 1 測定計画の決定・変更

6. 2 最小オフセット

6. 3 スタッキング回数

6. 4 フィルタ等の設定

7 節 測定準備

7. 1 測線設定

7. 2 下草の伐開および整地

7. 3 測量

8 節 測定

8. 1 測定器材のセット

8. 2 測定

8. 3 モニタリング

8. 4 測定野帳

第3章 データ処理

9 節 データ処理装置

9. 1 ハードウェア

9. 2 出力装置

9. 3 ソフトウェア

10 節 データ処理の進め方

10. 1 基本的なデータ処理

10. 2 資料の整理

10. 3 モデリング

10. 4 データの評価と処理計画

10. 5 パラメータテスト

10. 6 処理計画の変更と途中データの管理

10. 7 データ処理の成果物

11 節 データ処理の内容

11. 1 データ入力

11. 2 編集作業

11. 3 ゲイン回復

11. 4 周波数フィルタ

11. 5 2次元フィルタ

- 11. 6 デコンボリューション
- 11. 7 CDPソート
- 11. 8 静補正
- 11. 9 速度解析
- 11. 10 動補正
- 11. 11 ディップムーブアウト補正
- 11. 12 ミュート
- 11. 13 CDP 重合
- 11. 14 マイグレーション
- 11. 15 時間－深度変換

第4章 成果および解釈

12節 成果

- 12. 1 成果物の種類
- 12. 2 反射時間断面図
- 12. 3 反射深度断面図
- 12. 4 その他の断面図等

13節 解釈

- 13. 1 イベントの評価
- 13. 2 構造解釈
- 13. 3 物性解釈
- 13. 4 解釈の成果物

第5章 とりまとめ

14節 とりまとめ

- 14. 1 とりまとめの項目

第6章 参考資料

第1章 総論

1節 総論

1.1 本マニュアルの目的

本マニュアルは、浅層反射法弾性波探査（以後、浅層反射法と略称する。）の実施に関する標準的な手法を定めることを目的とするものである。

[解 説]

浅層反射法探査・解析の結果は、最終的に反射断面図（第12節参照）として提出されるが、その品質は測定方法やデータ処理の方法によって大きく異なってくる。そこで成果物としての反射断面図の質をある程度以上確保し、設計・施工に有用な資料とするために、その計画・測定・データ処理の方法について標準化する必要があり、本マニュアルを定める。

1.2 浅層反射法の定義

浅層反射法は、地表付近で人工的に弾性波を発生させ、その結果得られる地層境界からの反射信号をCDP重合法（第11節参照）で画像化する反射法地震（弾性波）探査の一手法で、主として建設工事で必要となる地下浅部を対象とし、その構造および物性を調べる方法である。

[解 説]

反射法地震探査は元来、石油・天然ガス探鉱などの分野で深度数千m程度の深部を対象に行なわれてきた方法である。この技術を地下浅部を対象とする土木関連の調査に適用できるように工夫、改良した手法が浅層反射法である。

地盤を伝播する弾性波は地層境界面に対応する音響インピーダンスの不連続面に到達すると、屈折、透過あるいは反射してその一部は再び地面に戻ってくる。反射法地震探査はこのうちの反射波に注目する。

音響インピーダンスとは（弾性波伝播速度×地盤密度）で表される物理量であり、この変化が大きい境界面ほど明瞭な反射信号が帰ってくる。地盤密度の変化は弾性波速度のそれと比べるとかなり小さいので、音響インピーダンスの変化はほとんど弾性波速度の変化を反映していると思なしてさしつかえない。

多くの場合、反射信号は非常に微弱である上に、種々のノイズにマスクされていることが多い。したがって、浅層反射法の成果はこれらのノイズをいかに除去し、効率的に反射信号を抽出するかにかかっている。

第2章 測定

2節 測定計画

2.1 波動の種類

使用する波動はS波（SH波）あるいはP波を標準とし、探査深度や現場の状況によって便宜使い分ける。

[解説]

S波（SH波）の速度は岩盤部では概ねP波速度の $1/2$ 、未固結層では $1/10$ 近くになることもあり、P波速度に比べてかなり小さい。周波数が同じ程度ならば波長はS波の方が短くなるので空間的な分解能はP波よりも優れていると言える。また地下水面下の軟弱層にあっては、S波はP波ほど含水の影響は受けず層相の変化に対応した速度を示し、N値との相関もよい。さらにS波速度は地質工学的にも重要な物性値であり、結果の工学的解釈の点でも有利である。しかし、探査の簡便性の点ではP波を利用するほうが優れている。

したがってこれらのことから、浅部を細かく調査したい場合にはS波を、深部までの大きな構造を調査したい場合にはP波を選ぶ。

浅部と深部の境界は50mを目安とする。

2.2 測線

測定は、地下構造を知るに十分な長さの測線上で行なう。また地層の傾斜や測線の端部における重合数変化も考慮する。

[解説]

発振点／受振点を配列する線を測線という。反射断面図の投影位置と測線は、通常の開方法（2.9参照）を採用した場合一致するが、測線端部では水平重合数（2.8参照）が計画重合数よりも少なくなり、反射断面の質が低下する。したがって測線の長さは、探査対象範囲よりも長くとることが必要である。

沖積平野部では、地表は平坦でも覆在する埋没段丘や埋没谷の近傍で地下構造が大きく変化することがあるが、測線が短すぎるとそのような地下構造を正しく把握できなくなる。そのため特殊な事例を除き、沖積平野部では測線長を最低200m以上とすることが望ましい。

2.3 測線の方向

測線は、なるべく地層の走向方向に直角に設定する。

[解説]

反射断面の地質的解釈を容易にするために、地表地質踏査や既往の地質資料などから地層の走向や構造（断層、埋没地形など）の方向が判っている場合には、測線をそれらと直角に設定する。

地層の走向や構造の方向が未知の場合には、主測線に対して補助測線を十字、三角、井桁状などに配置することか望ましい。

2. 4 測線の屈曲及び起伏

測線は直線を標準とするが、緩やかな屈曲はあってもよい。またできるだけ起伏の少ない設定をするのがよい。

[解 説]

測線が緩やかに屈曲する場合、共通反射点（CDP）が直線上ではなく面的に分散する。分散の度合いが大きい場合は反射点の分布を考慮した測線（重合測線という）に投影して解析を行なう（10. 2 参照）。

測線の起伏が大きくなると発振点、受振点の標高の違いや風化層の厚さ・速度の変化に影響を受けて反射波の走時がばらつき解析精度が低下するので、測線をできるだけ起伏が小さくなるように設定する。

2. 5 展開長と探査深度

展開長は探査対象深度と最大オフセット（発振点－受振点距離のうち最大のもの）が同程度となるよう設定する。

[解 説]

1 回の測定における発振点と受振点の配列を展開、1 展開が覆う長さを展開長という。

展開長を探査対象深度よりかなり長くとると、データ処理の段階でオフセットの大きな領域のデータは原則として除去されるので重合数が少なくなり、 S/N 比が低下する。また軟弱層では層相の変化が激しく、特に横方向のS波の速度変化が大きいこともあるので、一様な解析精度を保持するためには展開長を長くすべきではない。

一方展開長を探査対象深度よりも短くした場合は、深度方向の解析精度が低下する。したがって展開長は探査対象深度を目安とする。

2. 6 チャンネル数

チャンネル数は24を標準とする。

[解 説]

チャンネル数とは1 展開当たりの受振点数のことで、24未満では探査効率が低下し、また速度解析およびCDP重合が精度よく適用できなくなるため、24を標準とする。探査効率の向上が見込まれる場合は48チャンネルを捕用する。

2. 7 受振点間隔

受振点間隔は展開長とチャンネル数から決定する。

[解 説]

2. 5 で述べたように展開長は探査対象深度を目安とするので、チャンネル数が決まれば、受振点間隔は〔(展開長－最小オフセット距離)／チャンネル数〕で決まり、探査対象深度が深くなるほど受振点間隔は大きくなる。ただし、中途半端な間隔は測定作業が煩雑になるので避ける。

一般には作業効率も考慮して、浅部を対象とする場合の受振点間隔は 0.5～2 m、比較的深部を対象にする場合は 2～5 m を選定することが多い。

2. 8 発振点間隔

発振点間隔は受振点間隔と同じ長さを標準とする。

[解 説]

C D P 最大重合数を 12 あるいはそれ以上とするため、発振点間隔は受振点間隔と同じ長さを標準とする。

発振点間隔、受振点間隔およびチャンネル数と C D P 最大重合数との関係は以下のとおりである。

$$\text{C D P 最大重合数 } N = \frac{\text{チャンネル数} \times \text{受振点間隔}}{2 \times \text{発振点間隔}}$$

C D P 最大重合数		
発振点間隔 受振点間隔	1 展開当たりのチャンネル数	
	2 4	4 8
1	1 2	2 4
2	6	1 2

チャンネル数を 48 とした場合、発振点間隔は受振点間隔の 2 倍としてよい。

2. 9 展開方法と最小オフセット距離

展開方法と最小オフセット距離は、探査対象深度、受振点間隔および起振装置の規模を考慮して設定する。

[解 説]

展開方法は大きく分けてオフセット展開と振り分け展開とがある(下図参照)。オフセット展開は、展開の端の受振器からある距離の地点で発振する。この距離を最小オフセットという。最小オフセットは受振点間隔と同じか 2 倍を標準とする。表面波の発生が顕著な場合はこの影響を避けるためにもっと大きくすることもあるが、横方向の速度変化等を考えると受振点間隔の 5～6 倍を限度とする。

振り分け展開は最大オフセットを小さくすることができるため、起振装置の出力が小さい場合や極浅部を対象とした探査に有効である。

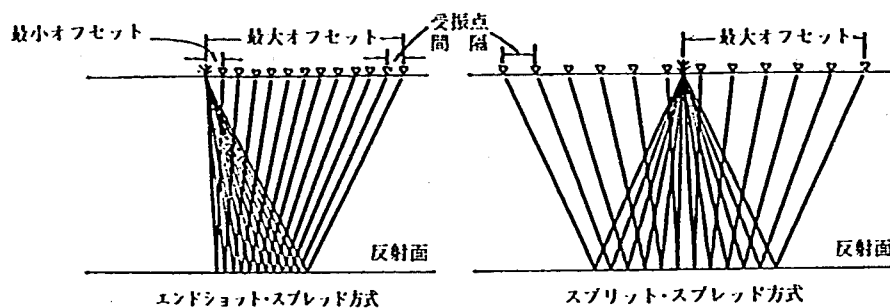


図 CDP重合の観測の2方式

2. 10 補助的な測定

地質構造や地形によっては、状況に応じてVSPやPS検層、および屈折法の測定も併で行なう。

[解 説]

反射法探査の測線内あるいは近傍にボーリング孔がある場合は、VSPあるいはPS検層を実施することが望ましい。

VSPとは Vertical Seismic Profiling の略称で、ボーリング孔を利用して反射断面を取得する探査方法である。PS検層と同じような測定方法で得られた各深度毎の波形記録にはP波あるいはS波の初動の他に1次反射波や多重反射波などが含まれている。これらのデータから反射波だけを抽出する処理を行ない、次に地表から反射面までの往復時間分だけ記録をシフトさせ、その波形を重合することによって地表の反射データに相当する反射波形記録が得られる。

VSPではボーリング地点における反射断面が得られるので、地質柱状図と反射断面の対応関係からその地質的解釈が可能となり、さらに反射面の深度変換が容易になる。

またPS検層からも、P波またはS波の走時曲線から地表と各地層境界面までの往復時間が判るので、これも有効なデータとなる。

屈折法探査から得られる表層付近の速度構造は静補正(11. 8参照)のデータとして利用できる。既往のデータがあればそれを利用するが、あるいは反射法の測定中にある間隔で往復走時の観測を実施し、屈折法の解析を行ない、その結果を用いてもよい。

3 節 起振装置

3. 1 起振装置

起振装置は、現場の状況や探査目的・深度を考慮して適切なものを選択する。

[解 説]

起振装置は、高分解能探査という浅層反射法の目的から高周波成分が卓越することが必要とされる。加えて、操作上の安全性に優れていること、短時間での反復起振が可能であること、搬入および現場での移動が容易であることが求められる。また、浅部探査にはS波起振装置が、深部までの探査にはP波起振装置が適しており、それらの中から現場の状況（雑音レベル、機械式装置の使用の可否等）を考慮して選択する。

3. 2 P波起振装置

P波起振装置は、現場の状況や探査深度に応じて、ハンマリング、各種重錘落下型振源などの中から選択する。

[解 説]

ハンマリングは人がハンマーやカケヤで地表を鉛直に打撃し、P波を発生させるもので、打撃点に鉄板を敷くことで高周波成分が強調される場合もある。人力なので発生するP波のエネルギーは後述の重錘落下型より小さいものの、作業能率に優れ、浅部探査に向いている。また、機械式装置の搬入が困難な現場でも起振が可能である。

重錘落下型振源は数10kg以上の鉄製のおもりを1 m程度の高さから落下させる装置であり、自由落下式とバネ、ゴム、真空などを利用した加速落下式がある。出力が大きいので雑音レベルの高い市街地での探査に適している。

3. 3 SH波起振装置

SH波の起振は、板たたき式振源によって行ない、現場の状況や探査深度に応じて人力式や各種機械装置の中から選択する。

[解 説]

SH波の起振装置には現在のところ入力による板たたき法が広く利用されている。

この方法は細長い板材をその長手方向が測線に直交するように地面に敷き、板と地面との密着をよくするために上から荷重をかける。板の底面にスパイクや突起を付けることもある。板材の木口を人力でハンマーやカケヤで打撃し、板底面と地面の間に急激なせん断力を与える。その際、打撃方向が測線に対して直交方向に、かつ地表面に水平になるよう注意しなければならない。板材の大きさは反復打撃の安定性、可搬移動性の点から、小口の断面が15×30cm程度、長さは1 m～2 m程度であることが望ましい。

測定開始時に一方からだけではなく反対側からの打撃も行なって、両者のモニター記録を比較し、位相の反転からS H波を確認する。これを右たたき、左たたきと称し区別する。振源が測線上にない場合や地表条件によっては両者の位相がずれる場合があるので、測定の始めに位相の反転が確認できれば、以後の測定では一方からの打撃だけでもよい。

板たたき法は労力がかさみ、起振エネルギーもあまり大きくはないが、最も簡便であり、発生する波形も比較的シャープで単純な形をしているのでよく利用される。

測線が路上に設定されている場合や現場の雑音レベルが大きい場合には打撃をバネ・油圧装置・電磁ハンマーなどを利用して機械的に行なう車載型起振装置を使用することが望ましい。

3. 4 トリガー

起振装置には精度の良いトリガーセンサーをつけておき、振動発生時刻に生ずるトリガー信号によって記録器を正確に作動させるようにする。

[解 説]

トリガーセンサーとしては高い時間精度が要求されるので、圧電センサーのように高周波成分が卓越して出力するタイプが望ましい。測定前にトリガーテストを行ない、トリガーに時間的なずれがないこと、正常に作動することを確認する。トリガーセンサーは打撃する側に付ける場合と打撃される側につける場合がある。いずれの場合も繰返し打撃によってセンサーの取り付けが緩まないようにしっかりと固定する。

4 節 受振器

4. 1 受振器

受振器は速度型のものを標準として用いる。

[解 説]

速度型受振器は動コイルタイプであり、地盤の振動速度に比例した電圧が出力される。加速度型の受振器は高周波成分に富む波動の測定に適しているが、出力電圧が小さいので前置増幅器（プリアンプ）が必要となる。

4. 2 受振成分

P波においては鉛直成分を、S H波においてはせん断力を与えた方向に平行な水平成分を受振する。

[解 説]

地下から反射してくるP波は上下成分が卓越しているので、用いる受振器の振動方向は上下方向である。また、S H波はその発振方法から測線と直角方向に振動するので、用いる受振器の振動方向は測線に直角で

水平方向である。いずれの場合にも、受振器に対して押しの方向の振動が記録上では引きの位相として収録されるように結線する。

4. 3 固有周波数

速度型受振器の固有周波数は、信号波および妨害波の種類および周波数帯域に応じて適当に選択する。

[解 説]

振源からかなり高周波成分に富む波動が発生しても、地盤がハイカットフィルターとしての性格を有するので、観測波形では数10Hz～100Hz程度の波動が卓越することが多い。したがって受振器は動コイル・速度型で、固有振動が28～100Hz程度のものを用いる。固有振動数が高くなると、表面波のような低周波の妨害波を入力の際で除去できる。

4. 4 1受振点あたりの受振器数

1受振点あたりの受振器数は1個を標準とするが、複数個の受振器を1個所にまとめて配置するバンチングアレーでもよい。

[解 説]

深部を対象にする反射法探査ではグルーピングと称して1受振点当たり複数個の受振器を等間隔に設置し、それぞれの出力を結合してひとつのチャンネルへの入力とする方法を基本的に採用している。受振器群の覆う長さ（アレイ長）を妨害波の波長に対して適切に選べば、妨害波を除去するフィルターとなるが、アレイ長を受振点間隔以上に大きくするとかえって反射波を歪ませてS/N比が低下することにもなる。また、設置に時間がかかり探査効率の低下につながる。

したがって、受振器のカップリングの影響を抑え、振幅を増幅させるために複数個の受振器を用いる場合でも、受振点近傍の狭い範囲にまとめるバンチングアレーを採用し、妨害波の除去はデータ処理の段階で行なうことが望ましい。

4. 5 受振器の固定

受振器はスパイク状のカップラーを土中に埋め込んで固定する。

[解 説]

受振器は土が地表に現れているところではスパイク状のカップラーを土中に埋め込んで固定するが、落葉が堆積していたり草が繁茂している所では、そのまま設置すると低周波が卓越したり、正常な受振ができない恐れがあるのでできるだけそれらを排除してから設置する。

4. 6 舗装路等における受振器の固定

舗装路等においては、地盤～カップラー系の固有周波数を考慮した何らかのカップラーを介して、受振器を固定する。

[解 説]

舗装道路や地表がかなり堅い場合、受振器付属のスパイク状のカップラーを差し込むことはできない。そこで粘土・鉄製アダプターのようなカップラーを介して受振器を設置する。ただし、それを介することによって信号波の周波数帯域を損なわないようなものでなければならない。

5 節 記録器系

5. 1 探鉱器

データは、24チャンネル以上の同時測定機能を有し、かつ増幅機能、ディジタル化機能、フィルター機能、スタッキング機能、ディジタル収録機能およびモニター機能を有する、ディジタル探査装置に収録する。

[解 説]

探鉱器のチャンネル数は1展開当りのチャンネル数と同じ、すなわち24チャンネルを標準とし、探査効率の向上が必要であれば48チャンネルとする。

浅層反射法探査では振源近傍での大振幅の直達波から微弱な反射波まで正確に記録するために、ダイナミックレンジの広く、かつ振幅の急激な変化にスムーズに対応できるBGC(Binary Gain Control)やIFP(Instantaneous Floating Point)方式の増幅器を装備したディジタル探鉱器を使用することが望ましい。ただし、測定条件を適当に設定することによって従来のアナログ方式の増幅器を用いることも可能である。その場合においても電子計算機によるデータ処理を完ぺきに行なうためにはディジタル記録が必要である。

探鉱器のダイナミックレンジに直接関係するディジタル化機能は、ディジタル探鉱器の場合12ビット以上、アナログ増幅器を使用する場合には15ビット以上の分解能を有することが必要である。

フィルター機能としては、ローカットおよびハイカットフィルター、ノッチフィルターを有していることが望ましい。

ローカットフィルターは低周波の妨害波、ハイカットフィルターは高周波を除去するために用い、いずれも5種類程度の設定が可能であることとするが、カットオフ周波数を反射波の卓越周波数に近いところに設定すると、反射信号自体もカットされるので、その適用には注意を要する。

ノッチフィルターは特定の単一周波数を除去し、他の周波数を減衰させることなく通過させるフィルターである。通常、50Hzあるいは60Hzなどの電源に起因する誘導雑音を除去させるために用いる。

エイリアスフィルターは正式にはアンチエイリアスフィルターと言う。測定データにナイキスト周波数よりも高い周波数を持つ成分が含まれていると、A/D変換によってこの高い周波数はナイキスト周波数以下の成分として誤って変換され、ノイズとなる。したがってこのナイキスト周波数以上の周波数成分を読み取りの前にカットするためのフィルターがエイリアスフィルターである。ディジタル探鉱器に含まれているハイカッ

フィルターはエリアスフィルターである。

スタッキングとは垂直重合とも呼ばれ、振源と受振器群を固定して繰返し受振を行ない、その都度A/D変換後のデジタル値を全ての観測データが均等に加算・平均化されるよう重合する処理である。そうするとS/N比は繰返しの回数の平方根に比例して改善される。浅層反射法探査の起振装置は、一般にエネルギーが小さいので、探査装置にはスタッキング機能をもつものが必要である。ただし、現場でスタッキングに必要なデータを記録媒体上に収録しておき、データの処理の段階でスタッキングを行なうこともある。

観測データの品質を管理し、記録媒体への収録の可否を迅速に決定できるよう、記録紙上あるいはディスプレイ上で波形のモニターが可能な機能を備える。

ナイキスト周波数：サンプリング間隔を Δt とすると、

$$f_N = 1 / (2 \Delta t) \text{ を言う。}$$

5. 2 探査ケーブル

受振器で観測した波形データを探鉱器に搬送するために、弾性波探査専用の多芯被覆ケーブルを使用する。

【解 説】

探査ケーブルは1本当りに少なくとも24以上の入力端子を有し、耐水性、耐張力性に優れ、チャンネル間クロストークの小さいことが要求される。屈折法探査に使用されている探査ケーブルを流用してもよいが、同探査に比べ、浅層反射法探査は受振点間隔が短いので専用の探査ケーブルを用意することが望ましい。また、接続することで48チャンネル以上の信号を1本で搬送できるケーブルもあり、探査効率の向上の観点から使用が勧められる。

5. 3 ロータリングスイッチ

ロータリングスイッチなど、事前に準備した充分多い数の受振点からその都度必要な展開分を能率的に選択する機能を備えることが望ましい。

【解 説】

反射法探査では、1発振点での発振および測定作業が終了すると、起源と1展開分の受振点全体を、発信点間隔分だけ測線上で移動させる。通常、1展開分よりも多い受振器を前もって設置しておくので、受振点の移動は探査装置側に用意しておいた専用のチャンネル送り装置で行なうのが能率的である。この装置をロータリングスイッチという。チャンネル送りには、自動と手動とがある。自動の場合は進ませるチャンネル数をいくつか選択できるようになっている。

5. 4 記録媒体

データは、磁気テープ、フロッピーディスク、光磁気ディスクなどコンピュータへの入力しやすい媒体に記録する。

[解 説]

探鉱器でA/D変換された波動データは、データ処理システムに整合する磁気テープなどの記録媒体に記録する。媒体の保管、運搬には万全の注意を払う。

5. 3 記録様式

データは、SEG-YあるいはSEG-2フォーマットに編集できるようにSEGフォーマットに準拠した様式で記録することが望ましい。

[解 説]

SEGフォーマットは、国際組織の物理探査学会であるSEG(Society of Exploration Geophysicists)によって提案された反射法探査デジタルデータの標準的な記録様式である。データの記録様式は、SEGフォーマットに準拠しているものの探鉱器毎に異なっているので、データ処理の標準化をはかるために、標準的な様式であるSEG-YあるいはSEG-2フォーマットでの記録あるいは変換が可能であることが望ましい。

6 節 測定パラメータのテスト

6. 1 測定計画の決定・変更

本観測に先立ちテスト観測を実施し、最小オフセット距離、スタッキング回数およびフィルターパラメータ等を決定するとともに、必要があれば測線位置、発／受振点間隔、展開方法および起振方法を変更する。

[解 説]

測定計画は、事前に探査目的、探査対象構造およびその想定深度に応じて設定されるが、その詳細については現地でのテスト観測によって雑音レベル、妨害波の強度および速度、反射信号の走時を検討し、測定パラメータについての最適な値を決定する。

6. 2 最小オフセット

最小オフセットは、所定の展開長の範囲内で最大限妨害波である表面波を避けることができるよう設定する。

〔解 説〕

テスト測定で表面波が現われた場合、できる限り表面波を避けるように最小オフセットを大きくする。また受振点間隔や展開方法の変更を行なう場合もある。

6. 3 スタッキング回数

S/N比を調べ、経済性を考慮してスタッキング回数を決定する。

〔解 説〕

S/N比はスタッキング回数の平方根に比例して改善されるが、回数が多くなると作業能率が低下する。そこでスタッキング後のモニター記録のS/N比と作業能率の両方を考慮して、スタッキング回数を決める。スタッキングの際、トリガー信号が少しでも不安定だとかえってS/N比を低下させるので注意を要する。

6. 4 フィルター等の設定

信号波、妨害波の周波数帯域を調べて、各種フィルターの周波数やサンプリング間隔、記録長を設定する。

〔解 説〕

信号波、妨害波の卓越周波数は、現場の地盤状況によって大きく変化する。そこで、テスト観測で得られるモニター記録の目視解析、あるいは周波数分析によって各々の周波数帯域を調べ、適切なフィルター条件を設定する。

サンプリング間隔は、S波探査で0.5～1 m s e c、P波探査では0.25～0.5 m s e cを標準とし、高周波信号が卓越する場合は小さい値とする。

記録長は1 k w o r d sを標準とし、探査深度範囲内の反射信号が余裕をもって記録されるよう 0.5～2 k w o r d sの範囲で設定する。

7 節 測定準備

7. 1 測線設定

現場の状況を考慮し、測定計画及び測定パラメータのテストに基づいて測線を設定する。

〔解 説〕

計画測線上に測量テープ等を張り、発／受振点位置がわかるようにビニールテープなどでマークを付ける。測線が屈曲する場合は、屈曲点に木杭を打設し、その位置を記録する。

7. 2 下草の伐開および整地

必要に応じて下草の伐開及び整地を行なう。

[解 説]

下草が繁茂していると受振器の設置や振源の移動の支障になるので、伐開、整地を行なう。また地表が腐葉土、枯れ草などで被われかなり軟弱な場合はこれをはぎ取ることもある。

7. 3 測 量

測線に沿ってハンドレベル程度の水準測量及び平面測量を行なう。

[解 説]

平地ではハンドレベル程度の水準測量でもよいが、起伏の大きな所では水準器による測量が必要である。また屈曲測線の場合は受振点の平面測量も行なう。測量の精度は比高で10cmオーダー、角度で5度程度あれば良い。

8 節 測 定

8. 1 測定器材のセット

受振点に受振器を設置し、記録器系と結線する。

[解 説]

展開方法にしたがって測定機器を設置する。受振器の数が十分にあるならば、作業能率向上のため測定に先だって数展開長分の受振器を設置しておく。測線が道路を横切る箇所では、ケーブルガードで探査ケーブル類を保護する。すべての結線が終了したらテスト測定を行ない、トリガー、受振器、探鉱器など全システムが正常に作動するかをチェックする。

8. 2 測 定

振源の発振、移動を繰り返すことによって、展開を進めていく。

[解 説]

発振点で振源を稼働させて、所定のスタッキング回数分発振し、測定を行なう。測定データのS/N比をチェックし、収録する。次に発振点間隔にしたがって振源及び1展開分の受振器を移動させる。受振器はまえて多数設置しておけば、探査装置側のロータリングスイッチで切り替えるだけですむ。測定作業が進むにつれて不用になった後方の受振器及びケーブル類を回収し前方に再設置していく。

8. 3 モニタリング

測定データは、常にモニターし、不良データが得られた場合は再測定する。

[解 説]

自動車などの通行による突発的ノイズが重なった場合や、トリガー信号がずれている場合などはS/N比が低下するので、モニター記録をチェックし、必要ならば再測定を行なう。

8. 4 測定野帳

作業状況や測定位置などを正確に記載した測定野帳を作成する。

[解 説]

測定野帳には以下のような項目について記載する。

・測定作業関連一般記載項目

測定日、天候、測線名、地表条件

1 展開当たりのチャンネル数

受振点間隔、受振器固有周波数、受振器振動方向

受振器グルーピング個数、グルーピングアレーの形状、グルーピング間隔

最小オフセット、振源種類、探鉱器名

・探鉱器関連記載項目

記録媒体

記録媒体No.

記録様式

記録長、サンプリング間隔

フィルター（ノッチフィルター、ハイカット、ローカットフィルター）

・個々の記録関連記載項目

ファイルNo.

発振点No.，発振点位置

受振器展開範囲

振源記事（スタック数など）

ゲイン（IFPゲイン、固定ゲイン）

採用、不採用区分

第4章 解 釈

12節 成 果

12. 1 成果物の種類

浅層反射法探査・解析の成果物は、データ処理結果としての反射時間断面図、反射深度断面図およびその他の断面図等と、それに地質学的・工学的解釈を加えたものからなる。

12. 2 反射時間断面図

反射時間断面図は、測線方向の距離を横軸に、縦軸に往復走時をとって反射信号を表示した断面図であり、反射面の連続性や形状を解釈するために使用する。

12. 3 反射深度断面図

反射深度断面図は、測線方向の距離を横軸に、縦軸に深度をとって反射信号を表示した断面図であり、反射面の連続性や形状から地質構造を解釈するために使用する。

12. 4 その他の断面図等

対象地域の地質構造および地盤物性の解釈を支援するために利用する、VSP結果やボーリング柱状図を反射深度断面図上に投影した断面図や、速度構造分布図、地質構造モデルとそのシミュレーション結果(10.3)、静補正量分布図も成果物として整理する。

13節 解 釈

13. 1 イベントの評価

データ処理の成果物が完成したら、各イベントについて極性、連続性、周期性などの性質やショットギャザー、CDPギャザー上での対応する重合軌跡に沿ってのコヒーレンス及び既存の資料、補助的な測定の結果との整合性などを調べて反射面であるかどうかの評価を行なう。

13. 2 構造解釈

反射面であると判断されたイベントの中から、その連続性や振幅の強さによって主要なものを選びだし、地下構造を解釈する。また連続性の乏しいイベントについてもできるだけ解釈を行なう。

13. 3 物性解釈

既存の資料及び補助的な測定によって、測線上の1箇所以上で、弾性波速度、土質定数及び地質区分などが知られており、必要がある場合には、地下構造の解釈やデータ処理の過程で得られた弾性波速度の推定値に基づいて、これを外挿、補間することによって地盤物性を解釈する。

13. 4 解釈の成果物

解釈の結果は適当な大きさに図化し、成果物とする。

第5章 とりまとめ

14節 とりまとめ

14. 1 とりまとめの項目

探査の結果は以下の内容について整理及びとりまとめを行なうものとする。

- 1) 探査位置, 測定方法, 処理方法, 解釈方法
- 2) データ処理の成果物
- 3) 解釈の成果物
- 4) 既存の資料
- 5) 補助的な測定の結果

浅層反射法マニュアル（案）の作成 —都市域における地盤探査手法の基準化に向けて—質疑

○平野（中国地建） 非常に立派なマニュアルで、今後は担当者会議の議論をふまえ審議官通達等で、広めていただきたいと思いますけれど、先ほどちょっと話もありましたけれど、だれを対象にしたマニュアルかという点をおたずねしたいと思います。といいますのは地建側というか発注者のためですと、かなり難し過ぎるのじゃなかろうかと思うわけでございます。

もう一つは、コンサルのためという話でしたら、建設省主導というより、コンサルタント業界の主導で出していただいたら、そっちの方がむしろいいんじゃないかというような気もいたします。

中間的な性格だと、発注者側も受注者側も役に立ちそうな気がいたしますけれど、両方ともに役に立たないんじゃないかというような気もしますが、いかがでしょうか？

この浅層反射法というのが本当に有効だという話でしたら、地建の現場で利用できるように、発注者側のためのマニュアル、やさしいマニュアルですね、発注者、事務所の調査課あたりでもよく理解できるようなマニュアルをつくっていただいたらいいんじゃないかろうか、という印象でございます。

○稲崎 マニュアルの作り方、あるいはその性格についての大変厳しいご意見をいただきました。たしかに使いやすいマニュアル、理解されやすいマニュアル作り、というのは必要なことと思いますが、話の中でも強調しました様に、今必要とされているのは技術の体系化・標準化ということでマニュアル化を進めたものです。わかりやすい、理解されやすいマニュアルを作ろうとして、技術の体系化レベルを低水準にすることは、結局無駄足になると思いますがいかがでしょうか？

それから業者に任せたら、という点について言いますと、余りいいものが出てこないのじゃないかというような気がしてならないのです。といいますのは、最大手のところでも余りいい記録を出していないのが実際なんですね。ですから業界主導というのも、まともなマニュアルができないのではないかと、思います。

そういう意味での技術の体系化を、縛りを発注者側からかけていった方がいいのじゃないかと考えている次第です。

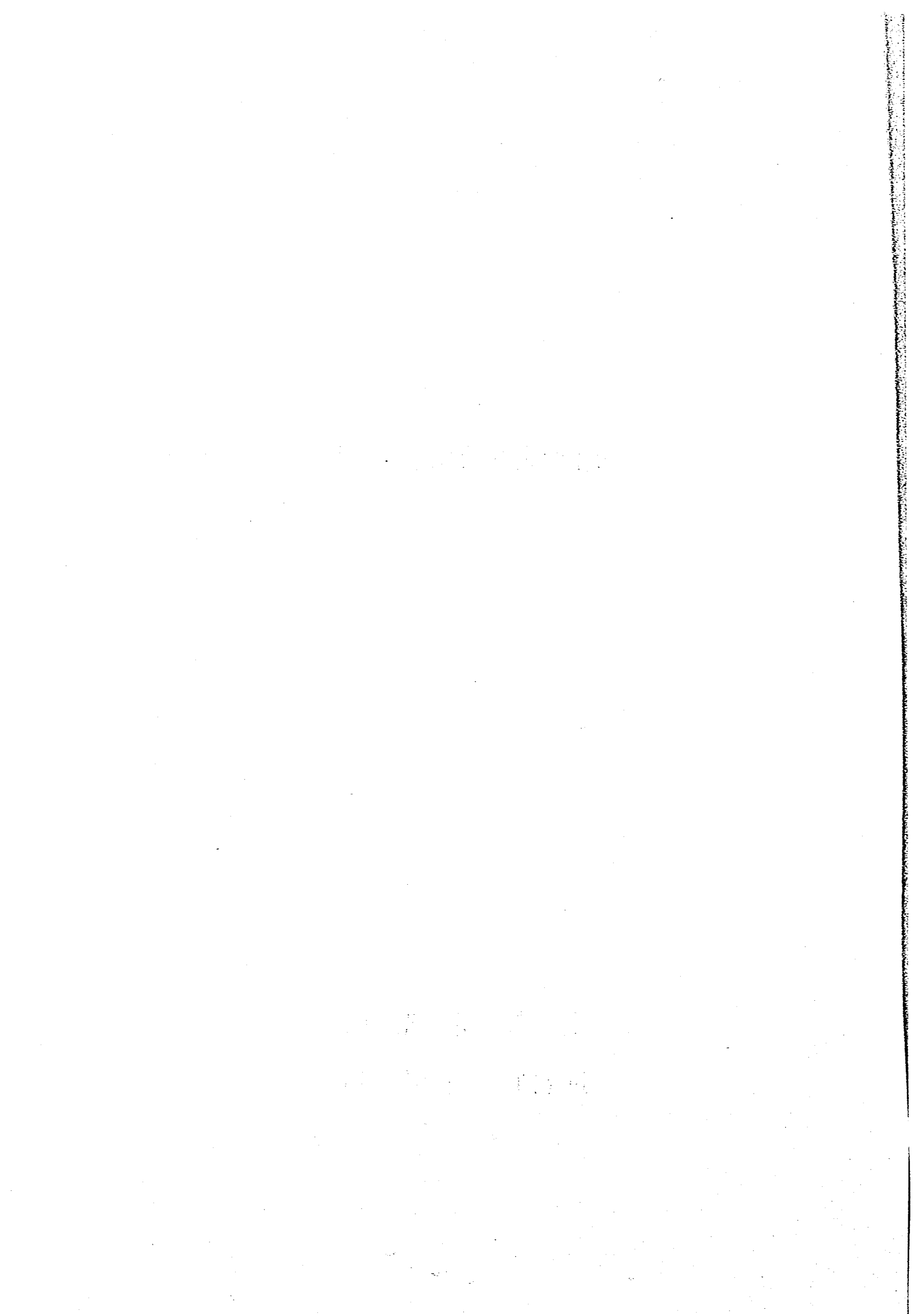
○平野 要するに、事務所あたりに通達なんか出して縛る気があるのかないのか。縛らなかつたら、まあまあ、やっていただいたらいいんですけど、これが全地建あるいは事務所に広まって、こうせいという話になりますと、完全に空回りになってしまうのじゃなかろうかということでございます。

○稲崎 今のままだとたしかにその様な危惧はあると思います。この会議でも審議しましたボーリング柱状図の要領についても御指摘のようなことがありましたので、同じことはくり返さないようにしたいと思えます。マニュアルだけをつくるということじゃなくて、こういう技術的なものの標準化というものの一環としてやっているということで、ほかの方法等もいろいろ絡めながら進めていきたいと考えています。

○司会 この取り扱いについてはまだ、研究室としても完全に明確な方針を打ち出しているわけでございませんので、今後とも検討していきたいと考えております。

貯水池周辺地山安定対策

土 木 研 究 所
地質官 市川 慧



貯水池周辺の地すべり等に関する技術資料 目次

1. 概 説

- 1. 1 本技術資料の内容
- 1. 2 用語の説明

2. 地すべり等の特性

- 2. 1 マスムーブメントの分類
- 2. 2 地すべりの進化と型分類
- 2. 3 地すべり地形の特徴
- 2. 4 地すべりと地質・地質構造との関連
- 2. 5 岩盤地すべり，風化岩地すべりの事例
- 2. 6 湛水に伴う地すべりの原因と特性

3. 調査一般

- 3. 1 調査の目的
- 3. 2 調査の流れ

4. 概 査

- 4. 1 概査の目的と手法
- 4. 2 資料収集
- 4. 3 空中写真・地形図の判読
- 4. 4 現地調査
- 4. 5 地すべり分布図の作成
- 4. 6 重要度の評価

5. 精 査

- 5. 1 目的と手法
- 5. 2 精査の計画
- 5. 3 地質調査
- 5. 4 すべり面分布調査
- 5. 5 地下水調査
- 5. 6 移動量調査
- 5. 7 土質試験

6. 解 析

- 6. 1 機構解析
- 6. 2 安定解析
- 6. 3 解析上の問題点

7. 対策工の計画・設計・施工

- 7. 1 対策工の流れ
- 7. 2 計画安全率
- 7. 3 対策工の選定
- 7. 4 工法の概要と留意点

8. 湛水時の斜面管理

- 8. 1 初期湛水時の管理
- 8. 2 湛水時に地すべり等が発生した場合の対応
- 8. 3 実運用段階の管理

付

地すべり地形図

工法採用一覧

写 真 集

〈内容の要約〉

本技術資料に示された内容は次のとおりである。

(1) 総 論

総論では、ここで取り扱う地すべりを定義し、以後の調査・対策等の手法の違いを考慮して地すべり等のうち、地すべりの型分類を示した。また、地すべり型分類のうち、貯水池斜面で最も予測し難い岩盤地すべりについて主としてその地形的特徴について示した。

(2) 湛水に伴う地すべりの精査

湛水に伴う地すべりの精査では、目的、内容に応じた調査項目の区分とそれぞれの手法およびその適用についての留意点を示した。また、現段階での解析上の問題点を挙げ、現状での取り扱い、今後の対応について示した。

主たる解析上の留意点については次のとおりである。

- ◎ 安定計算式はフィルダム堤体における安定計算法を用いるのが望ましいが、有意なデータがない場合は“基準水面法”を用いる。
- ◎ 現状安全率は $F_s = 1.00$ とする。ただし、計測観測等によって活動中であることが明らかであれば $0.95 \leq F_s < 1.00$ とする。
- ◎ 土質強度は原則として逆算法で求める。
- ◎ 浸水によるすべり面の強度低下は考慮しない。
- ◎ 地震力はマイナス要素とはしない。

(3) 湛水に伴う地すべり対策工の計画・設計・施工

湛水に伴う地すべり対策工の計画・設計・施工では、対策工必要ブロックの抽出から施工に至る流れについて概述し、その流れに沿って、計画安全率設定の考え方、対策工選定・計画・設計・施工上の留意点について示した。

この中で対策工の計画と計画安全率については次のように示している。

- ◎ 対策工施工の目安を限界安全率 $= 0.95$ とする。
- ◎ 計画安全率は $1.00 < p F_s \leq 1.20$ の範囲とする。
- ◎ 変動のしやすさは地すべりの型分類、断面形状、現状の活動性によって判別する。

(4) 湛水時の斜面管理

湛水時の斜面管理では、管理段階を試験湛水段階と実運転段階に分け、それぞれの段階での管理対象斜面の設定、管理の方法、観測方法、管理基準値および挙動判別の着目点、監視体制のあり方について示した。また、実例を検討し、地すべり変動の発生時の対応についても示した。

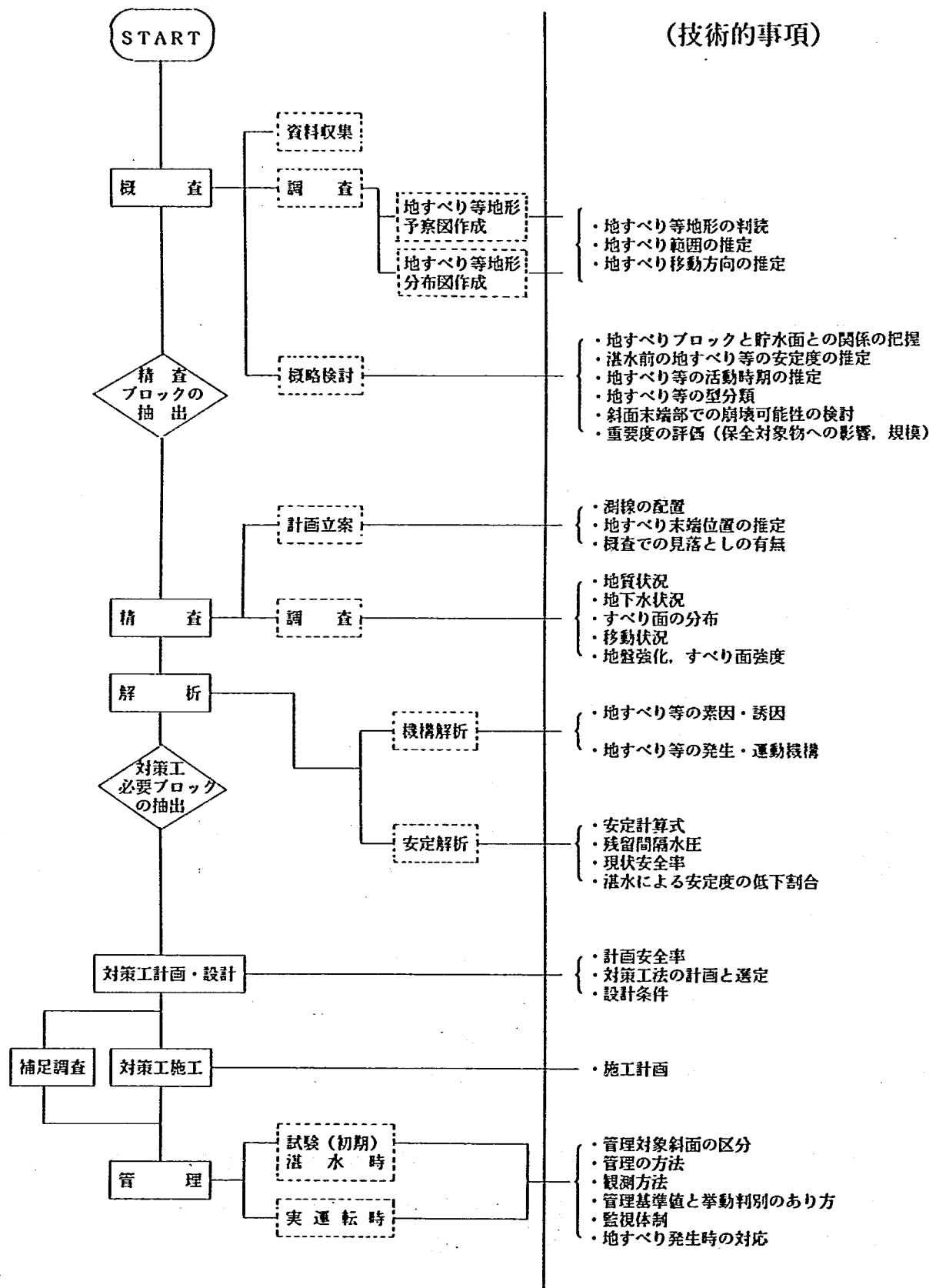


図-1.1 湛水こともう地すべりの対応の流れ

表-2.2 地すべりの型分類

分類 特徴	岩盤地すべり	風化岩地すべり	崩積土地すべり	粘質土地すべり
出現頻度の多い平面形 ¹⁾	馬蹄形, 角形	馬蹄形, 角形	馬蹄形, 角形, 沢形, ボトルネック形	沢形, ボトルネック形
出現頻度の多い微地形 ²⁾	凸状尾根地形	凸状台地形, 単丘状凹状台地形	多丘状凹状台地形	凹状緩地形
すべり面形 ³⁾	椅子型, 舟型	椅子型, 舟型	階段状, 層状	階段状, 層状
主な土塊の性質 (頭部)	未風化岩, または弱風化岩透水性は良好	風化岩, 亀裂が多く透水性は良好	礫混じり土砂, 透水性はやや不良	礫混じり土砂, 透水性は不良
主な土塊の性質 (末端部)	風化岩 (移動量が小さい場合)	巨礫混じり土砂	礫混じり土砂, 一部粘土化	粘土または礫混じり粘土
運動速度	2 cm/day以上	1.0~2.0cm/day程度	0.5~1.0cm/day	0.5cm/day以下
運動の継続性	短時間突発的	ある程度継続的 (数十~数百年に一度)	継続的 (5~20年に1回程度)	継続的 (1~5年に一回程度)
すべり面の形状	直線すべり	直線すべり (頭部と末端がやや円弧状)	円弧と直線状, 末端が流動化	頭部が円弧状
ブロック化	概ね1ブロック	末端, 側面に2次的な地すべり発生する。	頭部がいくつか分割され2~3ブロックになる。	全体が多くのブロックに分かれ相互に関連しあって運動する。
一般的な斜面形	一般に台地部があるが不明瞭である。凸型斜面に多く, 鞍部から発生する。	明瞭な段落ち, 帯状の陥没地と台地を有する。大きくみれば凹型だが, 主要部は凸型である。	滑落崖を形成しその下に池, 湿地等の凹地があり, 頭部には幾つかの残丘がある。凹形斜面に多い。	頭部に不明瞭な台地を残し大部分は一様な緩斜面で, 沢状を呈することが多い。

(2) 型分類における各タイプの地形的特徴

各タイプの地すべりの地形的特徴等は表-2.3に示すとおりである。

型分類における4タイプは地形からの予知という観点、すなわち地形的に見つけにくいかな否かという点からは崩積土地すべり・粘質土地すべりと岩盤地すべり・風化岩地すべりに区分され、その各々の地形的明瞭さ、いいかえれば予知の難易、特異な地形的特徴等は次のようである。

○ 崩積土地すべり・粘質土地すべり

地すべり地形は過去のすべり変位量が大きく、なおかつ地形の分化が進行しているものほど判読の容易であることが知られている。

すなわち、粘質土地すべりや崩積土地すべりは過去の地すべり履歴が長く、かつ断続的であることが多いため地すべり地外との地形的差異が大きく、また地形の分化が進行しているのでいわゆる明瞭な地すべり地形を示す(図-2.14参照)。このような明瞭な地すべり地形を示す箇所は地すべり地内外の縦断比や平均斜面勾配の違いが大きい。

○ 岩盤地すべり・風化岩地すべり

岩盤地すべり・風化岩地すべりで過去の地すべり発生時の移動量が極く小さいものや、緩んだ岩盤および深部までクリープ変形を受けた岩盤斜面で初生的に発生するものは、凸状尾根地形ないし凸状台地形斜面での発生例が多いが明瞭な地すべり地形を示さない。

さらにこれは直線すべりの形態をとることが多いことから円弧すべりとは異なり、滑落崖の発達不良であるため周囲の不動地との判別が困難な場合が多い。しかしこれらの地形についても不動地域と比較したとき、尾根(稜線)や沢(水系)の連続性や分布状況の違い、あるいは山腹部や山頂部の特異な小起伏面の存在等の特徴があらわれることが多い。

この他、岩盤地すべり・風化岩地すべりには次のような特徴を備える斜面での発生例が多い。このうち、前四者では特に岩盤地すべりの発生例が多い。

- ・凸状尾根地形
- ・二重山稜(線状凹地、地割れ地形)
- ・キャップロック(構造)地形
- ・山頂部付近の陥没地形
- ・特異な尾根先端の地形
- ・凸状台地形

表-2.3 型分類毎の地すべりの特徴等

	主な土塊の性質	一般的な特徴	地形の特徴	平面形	断面形
粘質土すべり	崩積土すべりを構成する移動土塊がさらに細粒化して、頭部では礫混じり土砂、末端部では粘土あるいは礫混じり粘土となっていることが多い。	平均勾配5°～10°の緩斜面をなす。	凹状緩斜面地形を示す場合が多い(図-2.6)。頭部の台地状部がその後の運動と侵食によってほとんど失われ、各分丘もさらに分丘作用が進んで地形的に認め難いほどになり、全体としてはほとんど緩勾配のなだらかな斜面になる。よくみると斜面内に多少の凹凸が残り、頭部にあたる付近ではわずかに傾斜が緩くなり全体としては一般に細長い沢状となる。	馬蹄形、角形、沢形、ボトルネック形。特に粘質土すべりでは沢形、ボトルネック形が多い。(図-2.11～2.14)	階段状、層状(図-2.9, 2.10)。椅子形、舟底形のすべりが発生し、頭部が冠頂部から分離することによって冠頂部上部斜面の安定性が悪くなってすべり出した場合には、すべり面の位置が異なった場合には階段状の断面形となる。ただし、曲線、弧状部の多いいわゆる弧状形すべり面形を示す。後述性の地すべりで同一位置にすべり面を生じた場合には層状となる。
崩積土すべり	風化岩地すべりがさらに変形し、風化岩ないし巨礫混じり土砂が攪乱され、風化がさらに進み、土塊は礫混じり土砂状となっている。いわゆる崩積土、崖堆積物と呼ばれるものである。末端では細粒化が進み粘土、粘質土となっている場合もある。	平均勾配10°～20°の斜面に多い。地すべり地全体は階段状地形を示し、地表の乱れが甚だしい。	凹状台地状地形斜面に多い(図-2.4～2.5)。周辺の地形に比べて、上部の滑落崖付近では凹状を呈し、頭部から末端にかけては逆に凸状を呈する。次のような微地形をともなうことが多い。 ・滑落崖、地形勾配変化点および分離小丘。 ・山腹斜面での階没および池、沼、湿地。 ・地形勾配変形点をともなうなだらかな斜面(台地)、および階段状地形、等高線の不規則な配列。 ・緩斜面末端部における急斜面、この部分での崩壊や泥流状押し出し。 また、次のような特徴を示す場合もある。 ・河川、小沢、沢などの異常なカーブ。 ・千枚田(棚田)、周辺部より低谷密度		
風化岩地すべり	再活動によって亀裂が多くなり、また緩みも進行して、さらにその後の降雨浸透等によって、頭部は強度の風化岩状となっている。第三紀層地帯では硬質粘土、軟質粘土となっていることもある。末端部では岩が破碎されて岩屑状(巨礫混じり土砂)を呈することが多い。	比較的に急傾斜地(平均勾配20°～30°)で大きくみれば凹部で、主要部は凸型の斜面形である。岩盤地すべりの再活動したものは頭部(台地状部)と滑落崖が明瞭に残り、帯状の階没地を有する場合がある。比較的、地すべり地形は明瞭。	凸状台地地形斜面に多い(図-2.3)。凸状尾根地形に比べて緩傾斜面の台地状部が広いのが特徴である。冠頂部の滑落崖や頭部の台地、主亀裂、側面での小規模地すべりや崩壊が比較的に顕著に認められる。岩盤地すべりの再活動したものは前回の地すべりによって卑丘の凹状台地地形に変わっているものもある(図-2.4)。初生的なものは風化侵食をこうむったため、元来緩斜面または凸状の台地地形をしている。	馬蹄形、角形(図-2.11～2.12)	椅子形、舟底形(図-2.7, 2.8)。岩盤地すべりでは直線性に富む(図-2.7, 2.8のイ)。風化岩地すべりではすべり面の曲折部(頭部)では曲線状を呈する。舟底形は地すべりの末端部付近に貫入岩や堅硬な岩体等の抵抗体が存在している場合に多い。
岩盤地すべり	頭部は比較的新鮮な岩盤、ないし弱風化岩よりなる。末端部付近では移動した丘に比例して岩盤に亀裂が発生し、移動量が小さい場合には風化岩、大きい場合には礫状化の進んだ強風化岩となっている場合が多い。	過去の地すべり発生時の移動量が極く小さいものや、緩んだ岩盤および深部までクリープ変形を受けた初生的な地すべりの発生につながる地形等は明瞭な地すべり地形を示さない。すなわち、滑落崖の発達が不良であるため不動地との判別が困難なことが多い。	凸状尾根地形斜面で多く発生している(図-2.2)。すなわち、地形全体からみて凸状の山腹や尾根先、主尾根から分岐した小尾根部に発生したり、小さな尾根状部で起こることが多い。その他、次のような斜面で多く発生している(図-2.17)。 ・尾根状地形の中でも分離帯や分離小丘によって尾根や山腹の連続性が断たれ、地すべりの頭部に相当する鞍部や凹部が存在し、この川側が緩傾斜となっている斜面。 ・尾根状地形で斜面の途中に地すべり頭部に相当する緩傾斜面があり、これより下部の急斜面で崩壊跡が認められる斜面。 ・分離小丘までには至らない極く小規模な段差・不自然な凸凹、あるいはガリー状の微地形等、周辺の地形とは何らかの点で異質なものが存在している斜面。 また、二重山稜を形成する岩盤クリープの生じている斜面等で岩盤地すべりに発展することが多い。		

*ここでいう岩盤とは亀裂、緩みの進行した風化岩に比して相対的にそれらの程度の少ない岩をいう。末風化岩を意味するものではない。

2. 4 地すべりと地質・地質構造との関連

(1) 地質との関連

我が国の場合、地すべりは花崗岩地域に比較的少ない以外どういう地質のところにも分布する。しかし全国の地すべり分布を概観すると下記のような地域に密集していることがわかり、それは地質分布に密接な関連がある。

(我が国の代表的な地すべりの密集地域)

- 新第三紀層グリーンクフ地域
 - ・特に東北地方、中国地方の日本海側および北陸地方
 - ・糸魚川から静岡に至るフォッサマグナ構造線沿い
- 東西に走る中央構造線沿いの中・古生層の砕砕帯地域および三波川結晶片岩分布地域、秩父地方の準片岩分布地域
- 九州北西部の第三紀の挟炭層分布地域
- 千葉県南部の新第三紀層分布地域および嶺岡破碎帯沿いの古第三紀層分布地域
- 中国地方の三郡変成岩分布地域

これらの地域の地質を整理すると次のようになる。

① 第三紀層

時代が新しい地層のため固結度の小さい岩質がその特徴である。新第三紀層では含油泥岩型、緑色凝灰岩型、挟炭層型、互層型にタイプ分類される。

含油泥岩型の地すべりは黒色泥岩の風化に起因するものが多く、凝灰岩型は凝灰岩や凝灰角レキ岩あるいは泥岩との互層で発生するもので断層や破碎帯に支配されている場合が多い。また挟炭層型は地層中に挟在する炭層や凝灰岩層等に粘土化したすべり面をもつことが多い。互層型は細互層構造における地層の硬軟や層理面が地すべりと密接に結びついている。

この他、火山岩との組み合わせによって生ずる特異な地すべりの例がみられる。

② 中・古生層の破碎帯

固結度の大きい岩質で風化や生成後の地殻運動によって細片化し、また節理などの割れ目が発生したところで地すべりが多発する。

断層等の地質構造に関連する場合が多い。

③ 変成岩

古第三紀以前の岩石が変成作用を受けたもので、固結度の高い岩質が変成・破碎および変質しているのが特徴である。生成後の地殻変動によって褶曲や断層の発達したところで地すべりが多く発生している。

これらの変成岩は黒色千枚岩（片岩）型、緑色片岩型、片岩互層型、御荷鉾緑色片岩型等にタイプ分類される。

黒色千枚岩型は節理や微褶曲構造・片理・ヘキ開等によって微少な割れ目が発達し、剝離・細片化しやすいことが地すべりを多発させている。

緑色片岩型は黒色千枚岩型に比し、岩片の強度も大きく、風化も進んでいないが片理の発達した千枚岩様の岩では地すべりが生じている。

この他、秩父帯の準片岩帯でも地すべりがわりあい多発している。

表-2.5, 2.6はこれら地すべりの発生しやすい地質層準について示したものである。

湛水に伴う地すべりの原因

(解 説)

湛水に伴う地すべり等の原因には次のようなものがある。

(1) 地すべり構成土塊のうち斜面下部受働部分の水没に伴う浮力の発生 (図-4)

湛水によって地すべり構成土塊のうち、斜面下部の受働部分がまず水没し、ここに浮力が作用する。地すべり土塊全体では押さえ荷重に相当する区域が浮力を受け軽くなるため、全体的には地すべり斜面の安全率が低下し、地すべりが発生する。特に、すべり面の勾配が、末端部で低角度の場合には湛水深が浅くとも影響を受けやすい。

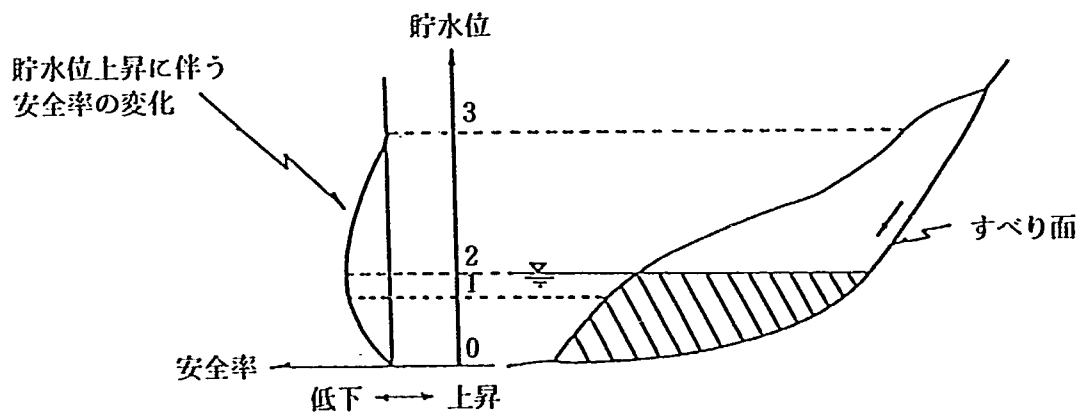


図-4 貯水位の上昇による地すべりの安全率の変化

(2) 貯水位の急速低下による残留間隙水圧の発生 (図-5)

貯水位が長期間一定に保たれた後、急速に低下すると斜面土塊の地下水の排水が追従できず土塊内には一時的に残留間隙水圧が発生する。特に地山の透水性が小さく、貯水位の低下に地下水位が追従できない場合には大きな影響を受ける。図-5に示すように貯水位を急速に低下したときには、地すべりの安全率は最も低下する。

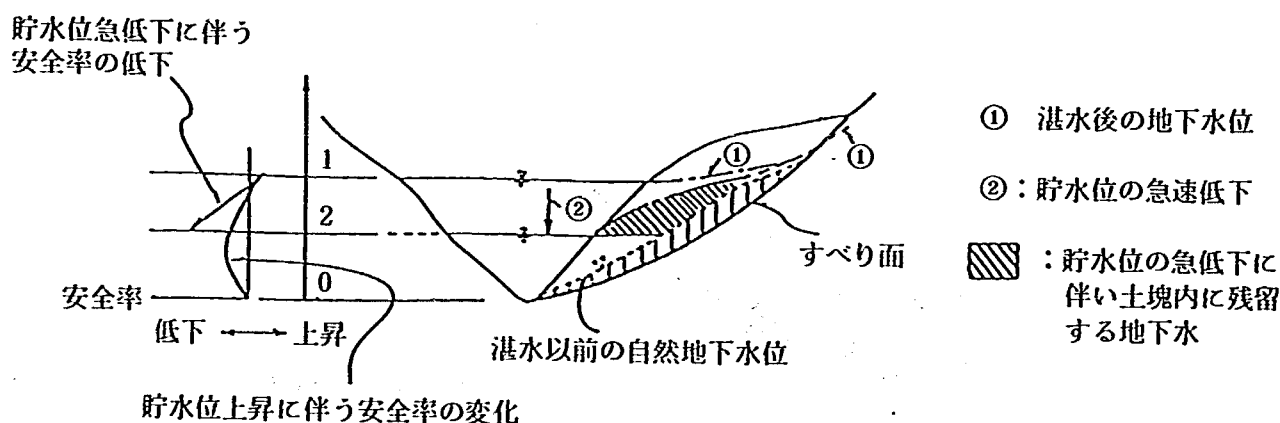


図-5 貯水位の急速低下に伴う安全率の低下

(3) 水没による地すべり斜面内の地下水位の上昇 (図-6)

斜面末端部が水没することにより、それまでの地下水の排水条件が悪化し、斜面上方部の地下水位が著しく上昇する。湛水時に大降雨が重複した場合には、湛水前に比較し極めて地下水位が上昇し、このため斜面内の間隙水圧が増大し斜面の安定度が低下する。

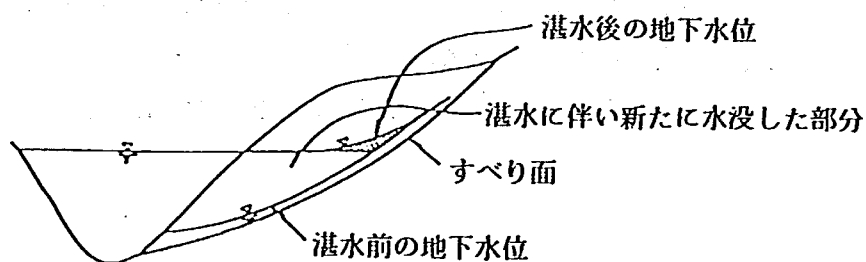


図-6 水没による地すべり斜面内の地下水位の上昇

(4) 水際斜面の侵食・崩壊

水没によって斜面表層部の土塊は飽和して著しく強度が低下する。また、風によって貯水池内に波浪等が生じる。これらと、貯水位上昇時の浮力作用あるいは貯水位急低下時の地下水の浸出（浸透崩壊）等が複合した原因となって、水際斜面で侵食や崩壊が発生する。

単なる肌落ち程度の小崩壊であれば特に問題とはならないが、背後斜面に大規模な地すべりが存在する場合には、斜面末端部水際での侵食や崩壊が背後斜面の地すべりの発生原因となることがある。特に地すべり末端部の土塊は、過去の地すべり運動によって破砕されているため崩壊が発生しやすい。

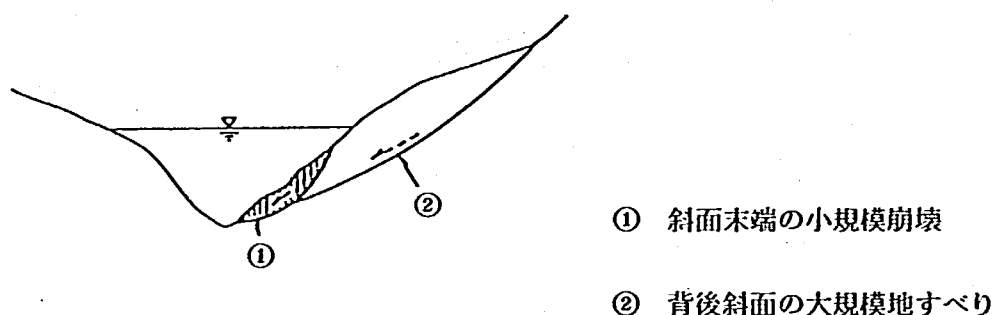


図-7 水没斜面下部の小崩壊が誘因となる地すべりモデル

湛水に伴う地すべりは、これらの原因が単独に作用することによって発生するばかりではなく、複合して作用することも多い。

湛水に伴う地すべりは主に初期湛水時、貯水位の急速低下時、貯水位の再上昇時および一定貯水位での降雨時等に発生するが、特に初期湛水時や貯水位急低下時に多い。

初期湛水時に発生する地すべりは主に(1)、(3)、(4)の原因と、貯水位の急速低下時に発生する地すべりは主に(2)、(4)の原因と、貯水位の再上昇時に発生する地すべりは主に(1)、(3)の原因と、貯水位が比較的一定な状況下で降雨等に伴い発生する地すべりは主に(3)の原因とそれぞれ密接な関係を有する。

2. 3 地すべり末端部の推定

湛水に伴い発生した地すべりの末端部は、実態調査では中生層の事例が多かったため必ずしも河床部に存在せず、むしろ、斜面中腹に位置するものが多い。したがって、ダムの湛水の影響を評価する場合には、概査の段階で、すべり面末端部を正確に推定することが必要である。

地すべり末端部は主として地表踏査から判断されるものであり、充分な観察が必要となる。なお、すべり面末端位置については、地すべり変動発生時期の新旧に応じて次のように推定することもできる。

(1) 地すべり変動が新しい場合

図-2.1-cまたは図-2.4に相当する場合のように地すべり土塊の末端部が垂れ下がる場合には、地形の遷急線(A)付近に岩盤の遷急線(B)も存在する可能性が高い。このように遷急線が基盤岩上面の形状に支配されて形成された場合、遷急線下方にすべり面末端が位置することが多く必ずしも河床部に至る深いすべり面とはならないことに留意する必要がある(図-2.4)。

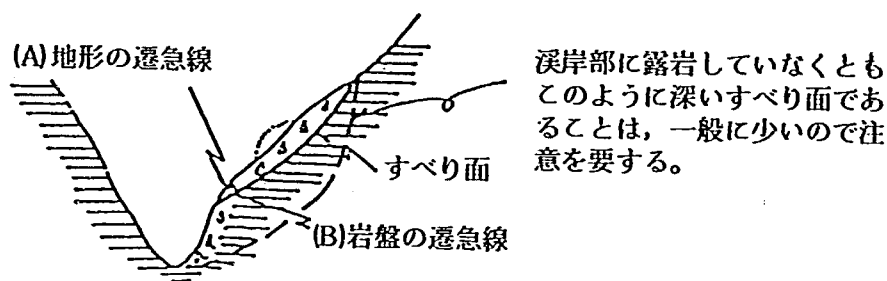


図-2.4 地すべり地形をなす斜面の断面

新しい変動を示す地すべり末端部の指標としては、末端崩壊、湧水点の存在等もある（図-2.5）。

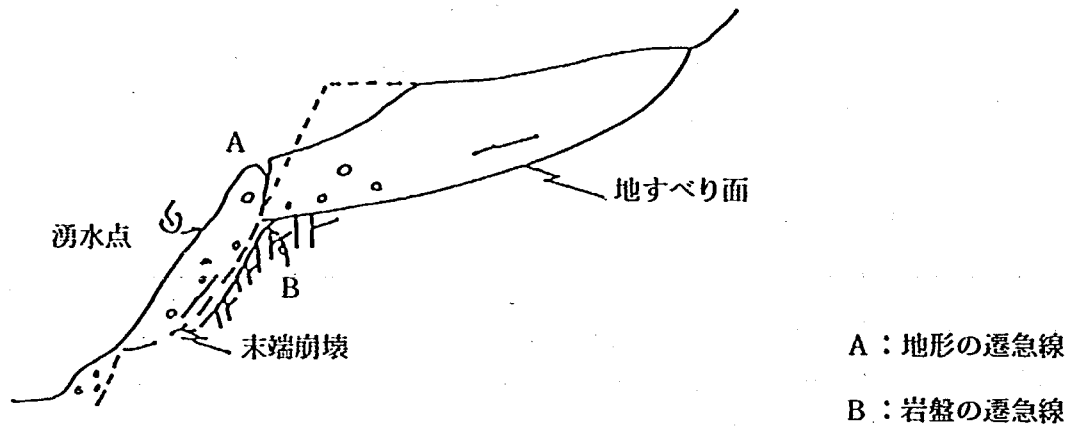


図-2.5 地すべり末端部の指標

(2) 地すべり変動が古く、現在安定している場合（休止中の地すべり）

図-2.1-bに相当する場合のように、すべり面土塊の末端部が垂れ下がらないものについては、岩盤の遷急線は現地踏査等からほぼ推定できる。

すなわち、左右両岸の同一標高付近の遷急線の保存が良好の場合には、この遷急線は河川の侵食に伴い形成されたものと推定され、河谷全体の横断面図から判断して旧流路を推定し、これに応じた風化層の厚さの変化や斜面の不安定を推定し、また地すべりが存在する場合は地すべり末端部を推定することもできる。なお、岩盤の遷急線については河川侵食の過程で形成されたものであることが多く、この場合には同一河川であればどの溪岸斜面でも河床からほぼ同一の比高に存在する（図-2.6）。

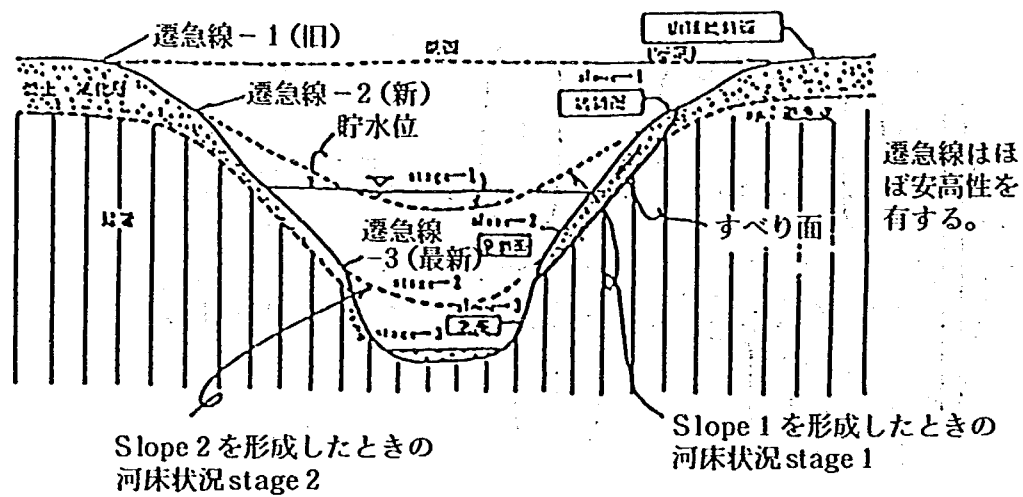
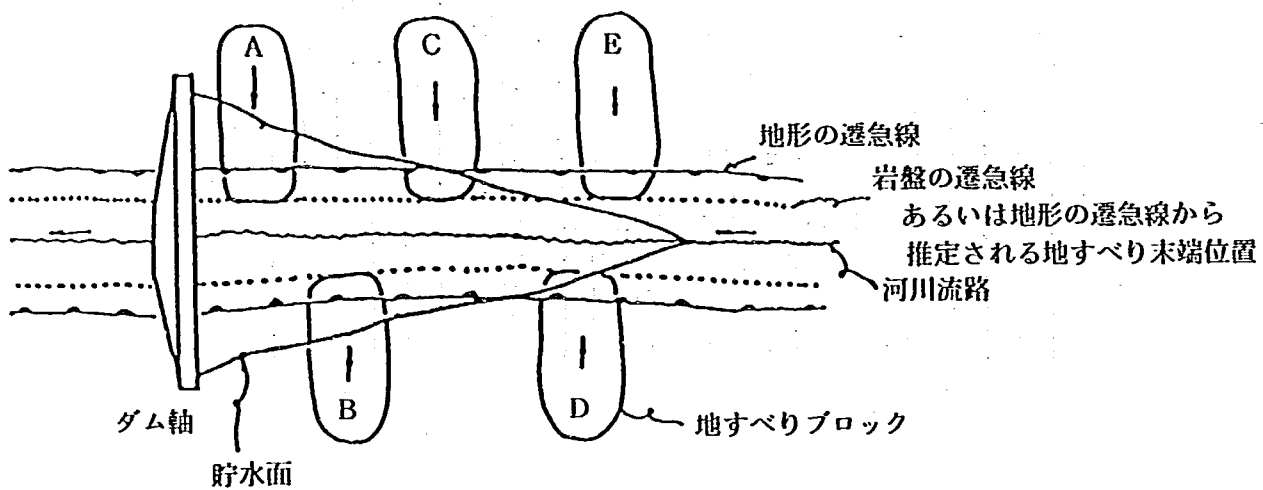


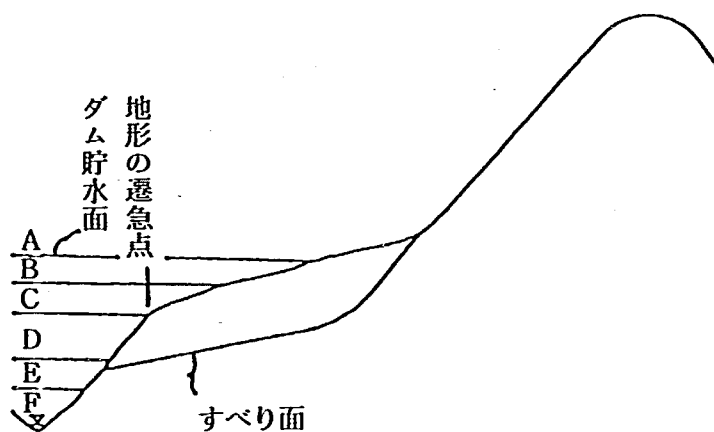
図-2.6 遷急線と侵食に対する斜面の安定性
(遷急線は河床からほぼ同一比高に位置する。)

このように岩盤の遷急線すなわち、地すべり末端部の位置が河床からほぼ同一の比高にあり、地形の遷急線と良い相関が認められる場合には、図-2.7のごとく湛水深に応じて、地すべりの受ける影響が異なる。

本図で、A～Cの各地すべりブロックは湛水の影響が大きく、D、Eはほとんど湛水の影響を受けない。



a. 平面図



b. 断面図

図-2.7 湛水深に応じた地すべりへの影響度合

7. 湛水に伴う安定計算

7. 1 湛水に伴う安定計算

地すべりのすべり面の形状は斜面の地質構造に支配される場合が多く、直線、円弧又はその複合形である。地すべりの安定解析には一般にはスウェーデン式分割法（簡便法）を用いる（(1)式）。しかし明らかにすべり面の形状が異形である場合にはヤンプー等の他の式を用いることが望ましい。安定計算の精度はすべり面の形状把握の精度が支配的な因子であり、その決定に当っては慎重にすべきである。

$$F_s = \frac{\sum (N - U) \tan \phi' + c' \sum l}{\sum T} \quad (1)$$

N : 分割片の重力による法線力 (t/m²)

T : 分割片の重力による切線力 (t/m²)

U : 分割片に働く間隙水圧 (t/m²)

l : 分割片のすべり面長 (m)

ϕ' : すべり面の内部摩擦角

c' : すべり面の粘着力 (t/m²)

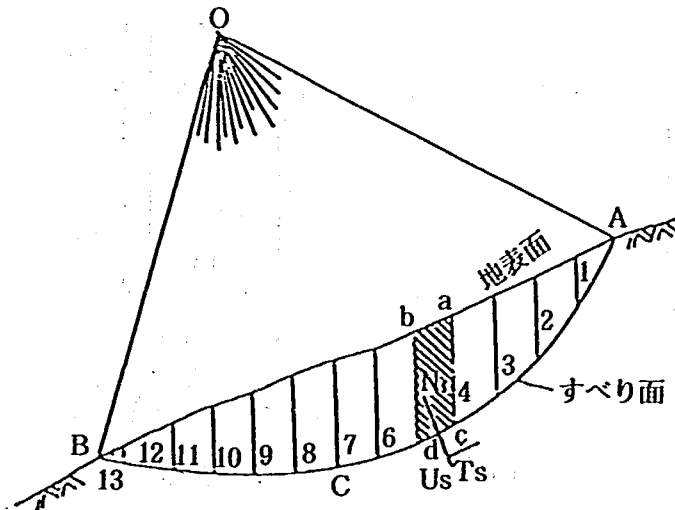
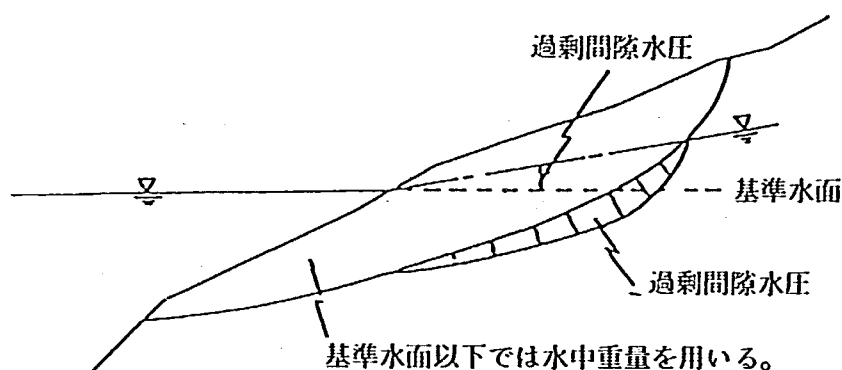


図-7.1 安定計算の模式図

基準水面法は基準水面（貯水位）を設定し、これより下の部分では、水中重量を用いるものである。また、基準水面より上の地下水位については、過剰間隙水圧として処理する。これは、基準水面以下では、浸透流の無い状態であると仮定したことになり、結果的に、過剰間隙水圧を除きスライス側方の水圧を考慮することになる。



a) 基本的な概念図

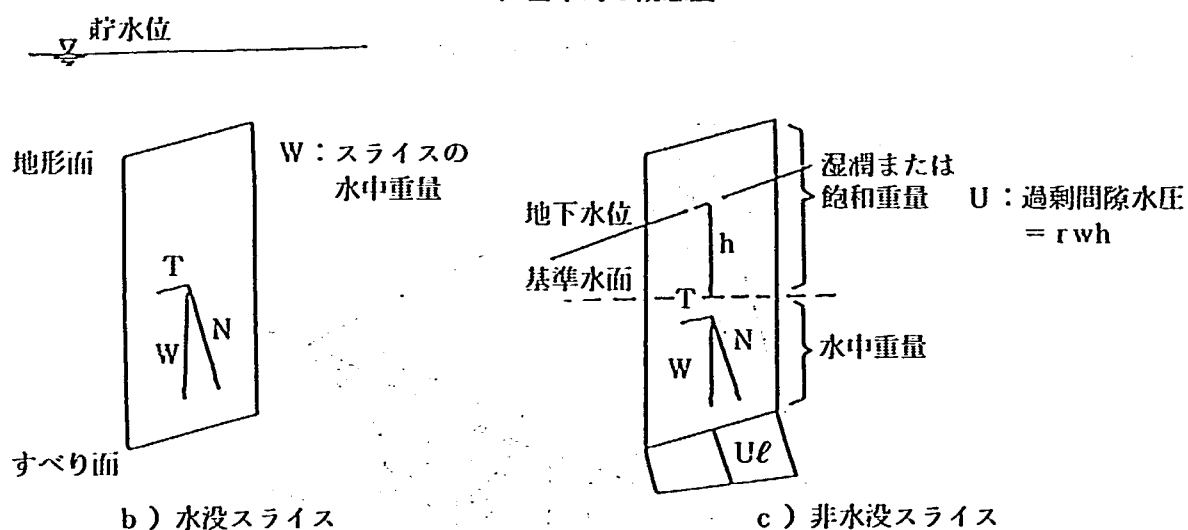


図-7.2 基準水面法の模式図

* 自然地下水位が高く、なおかつ、貯水後の水没深が大きい場合には約 20 % に及ぶ大きな差が生じることがあるが、他は概ね近似した値が得られる。

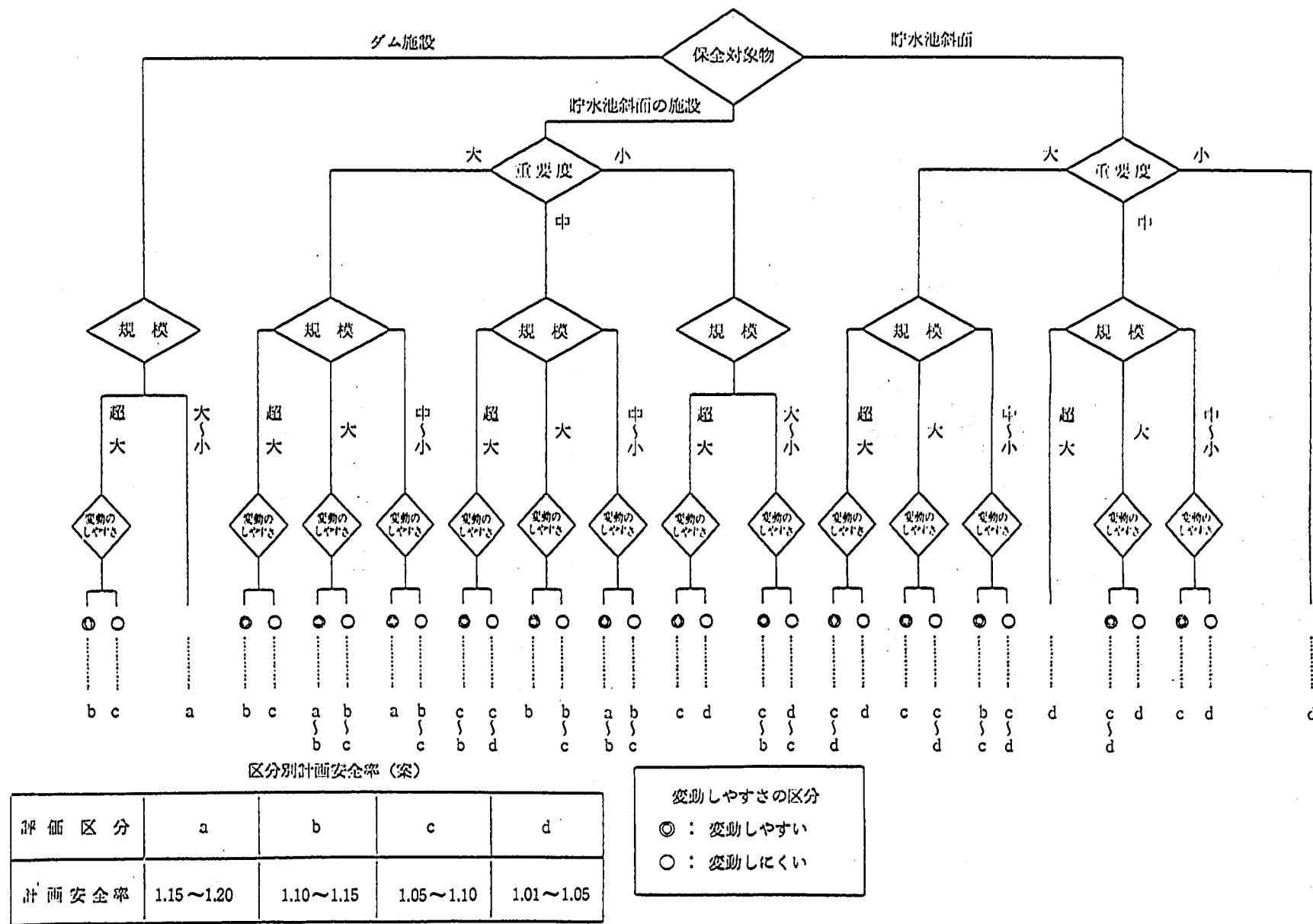


図-3.3 計画安全率設定 (案)

(3) 地すべり対策工の分類とこれまでの採用の傾向

地すべり対策工法としては一般に図-3.4に示す工法が採用されている。しかしながら、地すべりの特性や規模、保全対象の位置等から採用できる工種はかなり限定される。

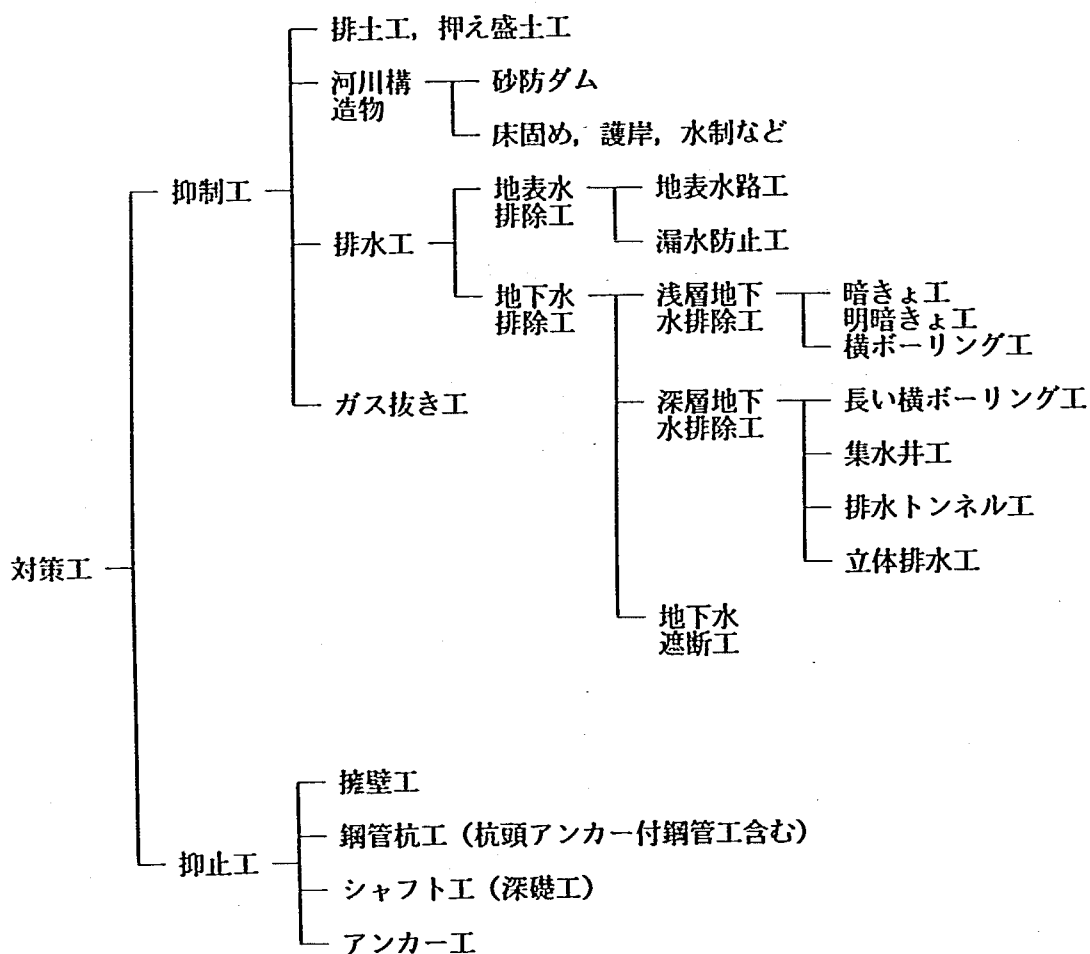


図-3.4 対策工法の分類

貯水池地山安定対策 質疑

○平野 花崗岩地帯には地すべりが少ないということで、ちょうど私のダムも花崗岩地帯で、地すべりがないかなと思ってちょっと安心はしておるんですが。とはいえ、大規模崩壊というのは、大規模か中規模かよくわかりませんが、そういうのはあるかもしれないということで、いろいろ調査をしております。」

「ここで論議されておるのは、いわゆる岩盤の中あるいは大規模崩壊というのが含まれておるかどうか。特にダムサイトのすべりがあるかどうか知りませんが、そういった問題とか、あるいは原石山がある程度切ったらすべりそうになったとか、いろんな問題があると思いますけれど。特にこのマニュアルのタイトルが「地山安定対策」ということで、全般的な名前がついておるわけですが、そういったいわゆる岩盤のかなり中規模あるいは大規模な崩壊を、これは含むのかということをお伺いしたいと思います。」

それともう一つは、8ページの渡さんの分類があるわけですが、これは4分類あるわけですが、この一番最後の岩盤地すべりですか、これに私が言う大規模あるいは中規模の岩盤崩壊みたいなのが入っておるかどうか。その中に入っておるという話ならそれでいいかもしれませんが、それが1つです。

それともう一つは、9ページに、どういった地質のところで地すべりが起きやすいかということで、いろいろ挙げてあるわけですが、これを見ますと、どうも渡さんの言う粘性土、崩積土、そして風化岩ということまでであって、岩盤地すべり、よく予測がつかないから難しいのしょうけれど、そのタイプはどうも入っておらないような印象を受けるわけです。特に第四紀火山でも結構大きな、地すべりか崩壊か知りませんが、そういったのがありますし、あるいは花崗岩や古い流紋岩でも大きな崩壊等ありますけれど、いわゆる中規模あるいは大規模の岩盤崩壊的なものが、このマニュアルの中に含まれておるかどうか、教えていただきたいと思います。

○市川 ちょっとタイトルがおかしいかもしれませんが、一応ここでは地すべりのことを主体に行うということにしております。で、岩盤の崩壊というのは、これまた全く別の現象でございまして、非常にメカニズム等が全く別になりますので、むしろこれと一緒にしない方がわかりやすいのではないかとということで、とりあえずここでは地すべりという、いわゆるすべり面というものを持った、あるいは比較的すべり地形というものを持った、そういうムーブメントということについて見ております。

崩壊というのはまた別の話で、非常に難しいものですからとりあえず、我々の予定としましてはこの問題が一応これで片づきましたので、次に今度は岩石斜面の崩壊の話の勉強を始めようと思っております。

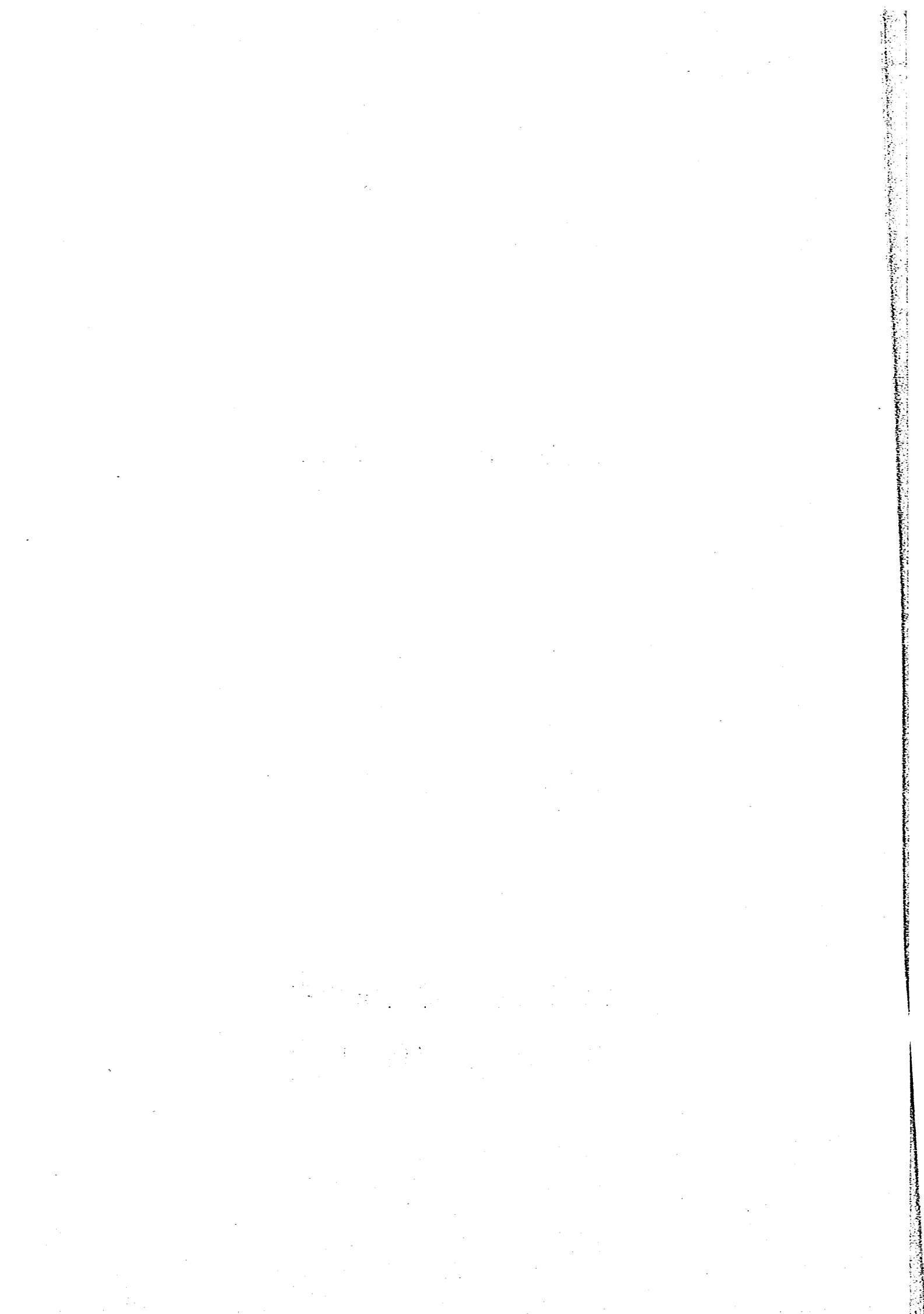
だから、岩盤地すべりといいましても、これは岩盤の中に、例えば特に変質した部分とか深層風化によって、やはりすべり面というものが形成されていたとか、いわゆるすべりやすい一つのホライゾンによって動くという、やはり「すべる」という現象、面の摩擦係数と垂直応力との合成でもって現象が起きるといふ、そういうものに限ってやろうと思っております。

崩壊は非常に難しい現象でして、まず地すべりは先ほど私が言いましたように、現状安全率を1.0として計算して、5%の安全率低下が云々という話が、特に岩盤すべりでも何とか言えるのですが、崩壊というのはちょっとそういう話が全くわからない部分でございまして、これは今後もっと勉強すべき要素で、今回残

念ながらこれに入っておりません。したがって、今回の担当者会議の地山安定対策といった話は、ちょっと誇大広告というか、少し、そこまでは入れてなかったということです。

岩盤崩壊の調査・対策法

土木研究所 地質研究室
室 長 中村 康夫



1. はじめに

わが国は複数のプレートが会合する変動帯に属しているので、地質構造が複雑で、断層や褶曲が発達し地盤状況が劣悪な個所が多い。しかも、梅雨前線や台風による豪雨、地震、積雪等自然条件が極めて厳しい。このため、道路のり面や道路に隣接する自然斜面の崩壊によって、交通に障害を与える事故が毎年発生している。このような背景から、斜面崩壊に関する研究は数多く実施され、一般的な斜面崩壊や落石に対しては道路土工（のり面工・斜面安定工）指針（昭和61年）、落石対策便覧（昭和58年）等の調査・設計・対策工上の指針が示されている。

道路土工（のり面工・斜面安定工）指針は、のり面・斜面の崩壊、落石、地すべり、土石流についての調査、のり面工や斜面安定工の設計・施工、のり面・斜面の維持管理に関する技術的な指針を示すものである。このうち、落石に関する具体的な調査内容については、落石対策便覧も参照するようコメントされている。落石対策便覧は、落石の調査、落石対策工の計画・設計等に関して体系的に取りまとめたもので、落石被害の実態や調査・設計事例も収録されている。

しかしながら、これらが対象としているのは、土砂災害としての崩壊・地すべり・土石流等で、落石については大きくても径1m程度までであり、急峻な岩盤斜面における不連続面を素因とする岩盤崩壊や、剝離型の大規模な落石については、現象が未解明であるため対象とされていない。本文は、以上の経緯を踏まえて、岩盤斜面における効果的な対応を図るため、これらの指針や便覧では対象としていない岩盤崩壊や、大規模な剝離型の落石による災害の防止を目的として、検討された内容を取りまとめたものである。

2. 総 論

2.1 岩盤崩壊の形態区分

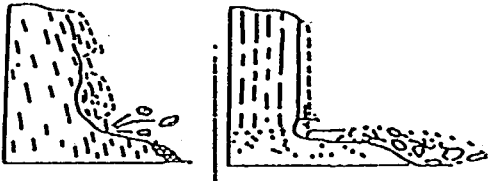
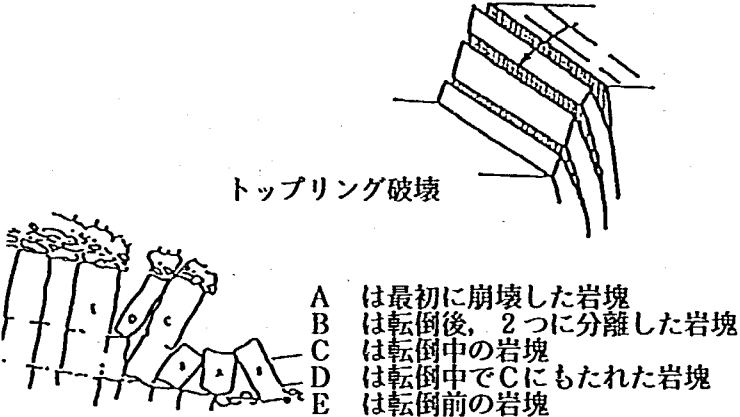
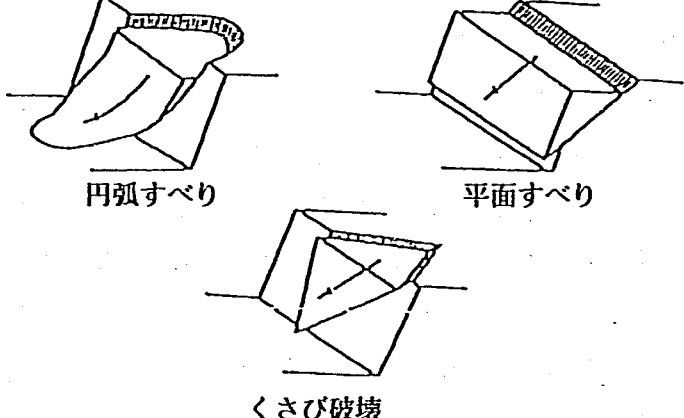
岩盤崩壊は、一般に岩盤内部の不連続面上の岩塊の動きによるもので、一時に岩盤が斜面より崩壊する現象をいい、その形態は表-1に示すように、崩落、転倒、岩すべりの3つに大別される。このうち、崩落や岩すべりが一般的であるが、稀には崩壊岩塊の下端部を軸として転倒することもある。これらは個数ではなく体積で表現される程度の多量なものである。岩盤崩壊の規模としては、 $10^2 \sim 10^3 \text{ m}^3$ のものが多いため、本文では、主としてこの程度の規模のものを対象とする。なお、形態がこれらの3種類に区分されたとしても、発生箇所が斜面の上方であった場合には、斜面途中の運動状態や最終の堆積状態が類似している場合がある。たとえば、崩落や転倒の最終的な堆積状態は崖錐状となる。

岩盤崩壊の形態区分は、対象斜面近傍における過去の崩壊事例、斜面の傾斜、地表部での浮石の多少、節理・亀裂等の不連続面の発達状況（細かく発達しているか否か）、不連続面と斜面との傾斜の関係（流れ盤・受け盤等）、緩方向の開口亀裂、斜面下部の脆弱部、地形的なオーバーハングの有無等を総合的に判断して行う。崩壊形態の違いに応じて岩盤斜面の破壊機構は異なり、調査や対策も異なるので、岩盤崩壊の形態は正確に予想することが望まれる。また、崩壊形態の予想が不確実な場合には、いくつかの形態を予想して対応する必要がある。

2.2 調査、対策等の流れ

岩盤斜面における概査、詳細調査、事前感知、対策工、維持・点検等の位置づけや一連の流れは、図-1

表-1 岩盤崩壊の形態区分

岩 盤 崩 壊 の 形 態	模 式 図
崩落 岩盤からなる急斜面または急崖より、節理等の不連続面を境として、岩塊が剝離する現象で、崩落岩塊が自由落下、跳躍、バウンド、回転によって空中を下降する運動形態をいう。	
転倒（トップリング破壊） 移動岩塊に働く重力、近接ブロックの押す力または亀裂間の水圧に伴う転倒モーメントによって、移動岩塊の下端部を支点として前方へ回転する運動形態をいう。	 トップリング破壊 A は最初に崩壊した岩塊 B は転倒後、2つに分離した岩塊 C は転倒中の岩塊 D は転倒中でCにもたれた岩塊 E は転倒前の岩塊
岩すべり 一つあるいは数箇所の面に沿い、せん断変位する運動形態をいい、円弧すべり面に沿う回転すべりや平面すべり面に沿う平面すべりとなる。また、くさび破壊は岩すべりの一形態で、交差するいくつかの不連続面に沿って、これより上部のくさび状岩塊がすべる運動形態をいい、岩盤斜面に特有なものである。	 円弧すべり 平面すべり くさび破壊

に示すとおりである。岩盤斜面を対象とした通常の維持・点検によって、斜面の新たな変化情報としてオーバーハングや開口亀裂、小崩壊や落石が確認され、岩盤崩壊発生の可能性が疑われた岩盤斜面については、その後の概査が必要である。特に、概査が必要ないと判断された岩盤斜面については、通常の維持・点検を継続する。

概査にもとづき、当該斜面での早急な対策あるいは詳細調査の必要性に関して、その後の対応が決定される。大規模な開口亀裂、小崩壊・落石等の岩盤崩壊の前兆現象となる可能性を示す徴候が確認された岩盤斜面については、早急な対策あるいは詳細調査が必要である。早急な対策が必要とされた斜面については、場合によっては事前感知を併用した上で対策を検討する。詳細調査が必要とされた斜面については、詳細調査を実施し、詳細調査が必要ないとされた斜面については、場合によっては簡便な観測を併用しながら、通常の維持・点検を継続する。

詳細調査にもとづき、当該斜面での対策の必要性に関してその後の対応が決定される。対策が必要とされた斜面については、場合によっては事前感知を併用したうえで対策を検討する。当面、対策が必要ないとされた斜面については、事前感知なしで通常の維持・点検を継続するか、場合によっては事前感知を併用した維持・点検を行い、斜面状況の変化、安定度の低下に応じて対策を検討する。なお、ここで対策とは、急峻なために対策工や事前感知等が実施できない斜面もあるので、崩壊対策工や落石対策工等のハードな対応のみでなく、通行規制・迂回等のソフトな対応も含まれる。

3. 調査手法

3.1 概 査

対象とする岩盤斜面において、岩盤崩壊の発生が予想される位置、範囲、規模、岩盤崩壊の形態等について推定するために、目視、写真、簡便な観測等による比較的簡単な調査（概査）を行う。概査にもとづき早急な対策、あるいは詳細調査の必要性の有無を判断する。

3.1.1 調査項目

概査における調査項目は、表－2に示す既往資料の収集解析、空中写真判読、地表踏査を主体とした斜面状況の調査（地形調査・地質調査・植生調査）である。調査項目は、現状では現地調査が主体となっており、概査と詳細調査とで明確に区分されるものではない。概査と詳細調査では、ほぼ同項目の調査を実施しながらも、その精度が異なると考えられる。このため、概査の表－2および詳細調査の表－5に示す各調査項目については、必ずしも概査と詳細調査とに明確に区分される性格のものではなく、両調査で共に実施される項目もある。

3.1.2 調査範囲

調査範囲は図－2に示すとおりとし、地形平面図は1/2,500～1/500、断面図は1/500～1/100の縮尺のものをを用いる。調査範囲は、道路の山側の岩盤斜面だけでなく、道路と平行する河川の対岸にも岩盤斜面がある場合には、対岸で発生した崩壊によって、崩落岩塊が河川を越えて道路まで及ぶ可能性も検討しなければならない。したがって、崩壊後の岩塊の到達距離を考慮して、道路からの崖面の高さHに対して、崖面の直下から2H以内の距離に道路が位置しているような岩盤斜面を、すべて調査の対象とする。

表-2 概査における調査項目と調査手法

調査方法		既往資料収集	空中写真判読	現地調査	備考
調査項目					
現象・前兆	過去の災害の履歴	◎	○	△	岩盤崩壊の運動形態、発生頻度
	開口亀裂の有無、程度		△	◎	亀裂内の充填物の有無も含む
	新規の小崩壊・落石		△	◎	新鮮な崩壊跡地、落石の存在
	浮石の分布状況		△	○	岩盤の剝離の程度、地山の緩み
	緩みが著しい地層・岩盤の有無			△	岩盤の緩みが極度に進んだ範囲
地形	斜面傾斜	○	△	◎	直立、急勾配、緩勾配の区分
	斜面の高さ、道路の位置	○	○	○	河床から尾根の間での道路の位置
	斜面型	○	◎	○	9種分類 ^{*)} に準ずる
	斜面の形成過程	△	○	△	攻撃斜面、滑走斜面の区分。侵食、堆積域の区分。崖錐斜面の有無。
	オーバーハングの有無	△	△	◎	
	遷急線の有無		◎	○	
	斜面の微地形		△	◎	小沢、斜面のヒダ、ガリー等
地質・地質構造	岩種・岩質	○	△	◎	構成岩種、硬さ等
	風化の程度・岩盤の緩み			△	岩盤の固結の状態
	断層・破碎帯の分布等	△	○	◎	分布、形状、走向、傾斜、充填物
	不連続面の状況	△	△	○	走向・傾斜、充填物・開口の程度、剝離性
	斜面内部での脆弱層の存在			△	破碎部やすべり面となりそうな軟質層
	透水層・難透水層の有無			○	
	変質箇所の有無・状況			○	
地下水・湧水の状況				△	
植生・立木の分布状況			△	◎	
気象・地象（地震の記録）		△			
既設の対策工の状況		（別途、構造物調査を行う）			

◎：特に有効な調査項目
○：有効な調査項目
△：場合によって有効な調査項目

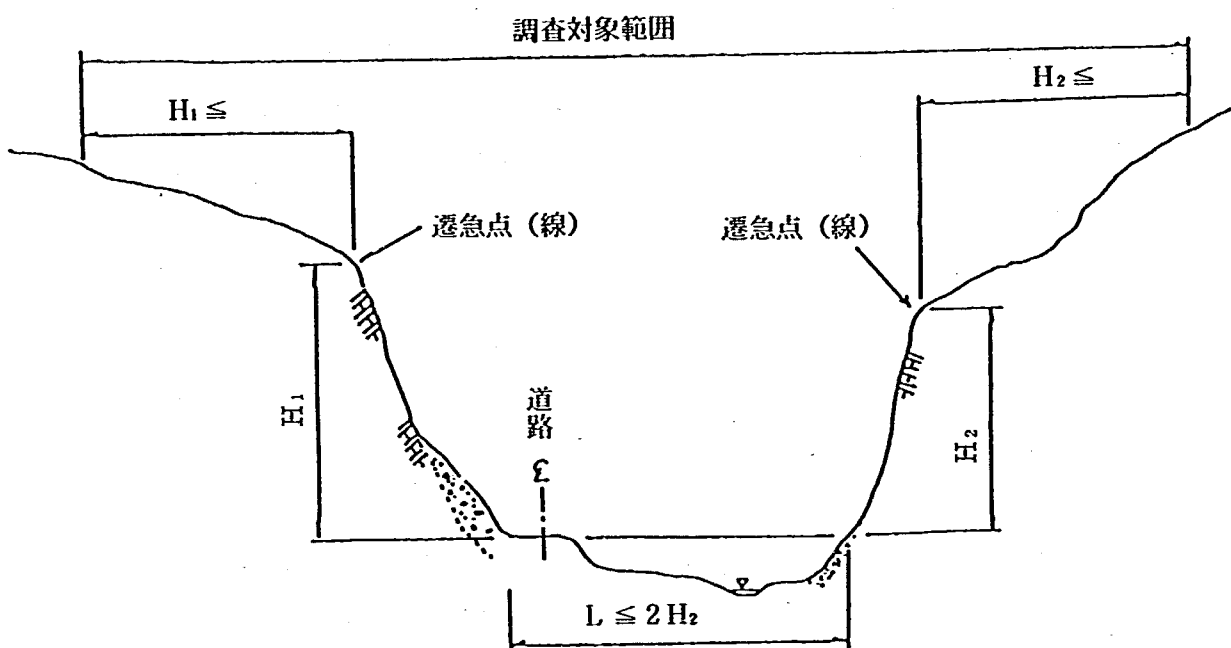


図-2 調査範囲

平面図の範囲には、岩盤斜面および斜面上部の遷急線（侵食前線）より適宜上方（崖の高さと同程度以上の範囲）まで含む必要がある。断面図は、自然斜面における道路の位置が認識できるように、道路の上方の斜面に関しては、道路の山際だけでなく、これより斜面上部にある遷急線（侵食前線）を含んで、適宜上方の範囲（崖の高さと同程度以上の範囲）までを含まなければならない。なお断面図については概査の段階では簡易なスケッチ図でもよい。

3.1.3 調査結果の整理

調査の結果は、斜面カルテ（道路のり面台帳〈表-3〉）にまとめて記載する。この他に対象斜面の平面図（地形区分図）、代表的な断面図、写真記録等を整理する必要がある。なお、斜面カルテは、概査から詳細調査、通常における維持点検のそれぞれの段階での調査レベルに応じて内容を充実し、対象斜面の防災上の基礎資料とすることが必要である。

3.1.4 調査結果の評価

概査の結果に基づき、対象斜面において岩盤崩壊の発生位置・範囲・規模・形態等を推定し、岩盤崩壊の発生要因と発生しやすさの程度を評価する。これらのうち特に、岩盤崩壊の発生要因と発生しやすさの程度は、各調査項目を総合的にまとめたのち、表-4を参考として検討する。表-4は、過去の岩盤崩壊の事例をもとに、専門家のブレインストーミングによる検討を通じて作成されたものであり、概査段階で岩盤崩壊の発生しやすさの程度を検討する上で、参考となるものである。項目ごとの要因は、左側に記載されたランクのものほど、岩盤崩壊に関連が高く、発生しやすさの程度が高い。ただし、岩盤崩壊の発生要因については、対象斜面の状況に応じて、表-4の要因以外についても適宜考慮する必要がある。

3.1.5 概査後の対応

岩盤崩壊の発生機構（位置、範囲、規模、形態）、岩盤崩壊の発生要因と発生しやすさの程度および岩盤崩壊が発生した場合の道路に与える影響を考慮して、概査後以下のように対応する。

① 早急に対策が必要

規模の大きい明瞭な開口亀裂、あるいは新規の小崩壊・落石の発生等岩盤崩壊の前兆となる可能性が高い現象が認められた斜面に関しては、早急な対策を検討する。

② 詳細調査が必要

崩壊の前兆となる可能性は低いものの、規模の小さい開口亀裂が存在し、地形・地質等の項目から岩盤崩壊の可能性が考えられる斜面のうち、岩盤崩壊が発生したとき道路に対して大きな影響が予想される斜面については、詳細調査を実施する。これには、発生規模が比較的大きいことが予想される場合だけでなく岩盤崩壊の範囲、規模、形態等の発生機構の特定が困難な場合も含む。なお、早急な対策の必要性についての判断が困難な場合にも、開口亀裂の連続性等に関する詳細調査を実施すべきである。

③ 詳細調査の必要はない

崩壊の前兆となる可能性は低いものの、規模の小さい開口亀裂が存在し、地形・地質等の項目から岩盤崩壊の可能性が考えられる斜面のうち、岩盤崩壊が発生したとき道路に対して影響が小さいことが予想される斜面については、詳細調査の必要性は低い。また、地形・地質等の項目から岩盤崩壊の可能性が考えられ、道路に対する影響が大きいことが予想される斜面であっても、岩盤崩壊の前兆が認められない斜面

表-3 道路のり面台帳

のり面台帳										管轄		地方建設局		整理番号(1)()		
1 名称		様式C-1 切土のり面・斜面調査表		2 路線名		3 距離		4 白		5 km		6 工事事務所		7 整理番号(2)()		
8 のり面・斜面番号		9 のり面・斜面分類		10 距離		11 至		12 km		13 出張所		14 作成年月日		15 年 月 日		
16 位置		17 上下線別		18 総幅員		19 m		20 通行規制区間		21 追記年月		22 年 月		23 年 月		
のり面構成	24 のり面の向き		25 のり面平面形		26 のり面最大直高		27 m		28 のり面平均勾配		29 1:		30 切土部の地形・地質		31	
	32 のり面状況		33 のり面延長		34 m		35 1:		36 切土部の地形・地質		37		38		39	
	40 のり形状		41 段下のり		42 小段幅		43 2番のり		44 小段幅		45 3番のり		46 小段幅		47 4番のり	
	48 直高		49 m		50 1:		51 m		52 1:		53 m		54 1:		55 m	
	56 勾配		57 1:		58 m		59 1:		60 m		61 1:		62 m		63 1:	
	64 5番のり		65 小段幅		66 6番のり		67 小段幅		68 7番のり		69 小段幅		70 8番のり		71 小段幅	
	72 直高		73 m		74 1:		75 m		76 1:		77 m		78 1:		79 m	
	80 勾配		81 1:		82 m		83 1:		84 m		85 1:		86 m		87 1:	
	88 工 法		89 寸		90 法		91 完成年月日		92 年 月		93		94		95	
	96 1		97		98		99		100		101		102		103	
104 2		105		106		107		108		109		110		111		
112 3		113		114		115		116		117		118		119		
120 4		121		122		123		124		125		126		127		
128 5		129		130		131		132		133		134		135		
136 6		137		138		139		140		141		142		143		
144 7		145		146		147		148		149		150		151		
152 8		153		154		155		156		157		158		159		
160 9		161		162		163		164		165		166		167		
168 10		169		170		171		172		173		174		175		
176 1		177		178		179		180		181		182		183		
184 2		185		186		187		188		189		190		191		
192 3		193		194		195		196		197		198		199		
200 4		201		202		203		204		205		206		207		
208 5		209		210		211		212		213		214		215		
216 1		217		218		219		220		221		222		223		
224 2		225		226		227		228		229		230		231		
232 3		233		234		235		236		237		238		239		
240 4		241		242		243		244		245		246		247		
248 5		249		250		251		252		253		254		255		
256 1		257		258		259		260		261		262		263		
264 2		265		266		267		268		269		270		271		
272 3		273		274		275		276		277		278		279		
280 4		281		282		283		284		285		286		287		
288 5		289		290		291		292		293		294		295		
296 1		297		298		299		300		301		302		303		
304 2		305		306		307		308		309		310		311		
312 3		313		314		315		316		317		318		319		
320 4		321		322		323		324		325		326		327		
328 5		329		330		331		332		333		334		335		
336 1		337		338		339		340		341		342		343		
344 2		345		346		347		348		349		350		351		
352 3		353		354		355		356		357		358		359		
360 4		361		362		363		364		365		366		367		
368 5		369		370		371		372		373		374		375		
376 1		377		378		379		380		381		382		383		
384 2		385		386		387		388		389		390		391		
392 3		393		394		395		396		397		398		399		
400 4		401		402		403		404		405		406		407		
408 5		409		410		411		412		413		414		415		
416 1		417		418		419		420		421		422		423		
424 2		425		426		427		428		429		430		431		
432 3		433		434		435		436		437		438		439		
440 4		441		442		443		444		445		446		447		
448 5		449		450		451		452		453		454		455		
456 1		457		458		459		460		461		462		463		
464 2		465		466		467		468		469		470		471		
472 3		473		474		475		476		477		478		479		
480 4		481		482		483		484		485		486		487		
488 5		489		490		491		492		493		494		495		
496 1		497		498		499		500		501		502		503		
504 2		505		506		507		508		509		510		511		
512 3		513		514		515		516		517		518		519		
520 4		521		522		523		524		525		526		527		
528 5		529		530		531		532		533		534		535		
536 1		537		538		539		540		541		542		543		
544 2		545		546		547		548		549		550		551		
552 3		553		554		555		556		557		558		559		
560 4		561		562		563		564		565		566		567		
568 5		569		570		571		572		573		574		575		
576 1		577		578		579		580		581		582		583		
584 2		585		586		587		588		589		590		591		
592 3		593		594		595		596		597		598		599		
600 4		601		602		603		604		605		606		607		
608 5		609		610		611		612		613		614		615		
616 1		617		618		619		620		621		622		623		
624 2		625		626		627		628		629		630		631		
632 3		633		634		635		636		637		638		639		
640 4		641		642		643		644		645		646		647		
648 5		649		650		651		652		653		654		655		
656 1		657		658		659		660		661		662		663		
664 2		665		666		667		668		669		670		671		
672 3		673		674		675		676		677		678		679		
680 4		681		682		683		684		685		686		687		
688 5		689		690		691		692		693		694		695		
696 1		697		698		699		700		701		702		703		
704 2		705		706		707		708		709		710		711		
712 3		713		714		715		716		717		718		719		
720 4		721		722		723		724		725		726		727		
728 5		729		730		731		732		733		734		735		
736 1		737		738		739		740		741		742		743		
744 2		745		746		747		748		749		750		751		
752 3		753		754		755		756		757		758		759		
760 4		761		762		763		764		765		766		767		
768 5		769		770		771		772		773		774		775		
776 1		777		778		779		780		781		782		783		
784 2		785		786		787		788		789		790		791		
792 3		793		794		795		796		797		798		799		
800 4		801		802		803		804		805		806		807		
808 5		809		810		811		812		813		814		815		
816 1		817		818		819		820		821		822		823		
824 2		825		826		827		828		829		830		831		
832 3		833		834		835		836		837		838		839		
840 4		841		842		843		844		845		846		847		
848 5		849		850		851		852		853		854		855		
856 1		857		858		859		860		861		862		863		
864 2		865		866		867		868		869		870		871		
872 3		873		874		875		876		877		878		879		
880 4		881		882		883		884		885		886		887		
888 5		889		890		891		892		893		894		895		
896 1		897		898		899		900		901		902		903		
904 2		905		906		907		908		909		910		911		
912 3		913		914		915		916		917		918		919		

表-4 岩盤崩壊の発生要因とそのランク

項目	発生ランク		1	2	3	4
	要 因					
A 現象・前兆	A1 開口亀裂の規模		大	小	な し	
	A2 隣接・周辺の崩壊		有	な し		
	A3 小崩壊・落石		有	な し		
	A4 過去1年間の変化		有	な し		
B 地質・地質構造	B1 断層		崖面に平行に近い走向の断層	崖面と直交に近い走向の断層	な し	
	B2 貫入面等		有	な し		
	B3 岩質と亀裂頻度	硬い岩	規則的で間隔1 m以上	規則的で間隔1 m未満	不規則	な し
		軟い岩	規則的で間隔1 m以上	規則的で間隔1 m未満	不規則	な し
	B4 風化		強風化	弱風化	未風化	
C 地の形・地質	C1 岩相の組み合わせ		上部：硬質 下部：脆弱	上部：脆弱 下部：硬質	全体が脆弱	全体が軟質
	C2 崖面と不連続面の傾斜関係		流れ盤で崖面と不連続面の傾斜45° 以上	流れ盤で崖面の傾斜45° 以上不連続面の傾斜45° 未満	流れ盤で崖面と不連続面の傾斜45° 未満	流れ盤で不連続面の傾斜が崖面の傾斜より大または受盤
D 地形	D1 斜面傾斜		オーバーハング	70° 以上	70° 未満	
	D2 崖面の高さ		50m以上	50～30m	30～15m	15m未満
	D3 斜面型		崖錐堆積斜面	尾根型斜面	尾根型と谷型の中間斜面	谷型斜面
	D4 斜面の形成過程		侵食斜面(海岸も含む)	堆積斜面	どちらでもない	
	D5 遷急線		明 瞭	どちらともいえない	不明瞭	
E 地・降雨	E1 凍結・融解		水溜まり長期凍る	水溜まり凍結後すぐとける	水溜まり凍らない	
	E2 湧水		常時あり	降雨後あり	常時なし	
F 植生	F1 植生		緩んだ露岩	草のみ	樹齢20年以下の木	樹齢20年以上の木

については、詳細調査の必要性は低い。なお、詳細調査の必要性が低い斜面であっても、道路の交通量が多い場合等には必要に応じて、開口亀裂の進展や斜面の変状の有無について簡便な方法で観測し、将来の岩盤崩壊の前兆の発生を事前に確認することが効果的である。

3.2 詳細調査

詳細調査は、岩盤崩壊の範囲の特定、崩壊深さの推定、崩壊岩塊の支持部の地形・地質条件の把握、地盤内部の開口亀裂の連続性の確認等を目的として行い、その後の対策の必要性の検討、および、対策が必要とされた斜面についての対策工の設計条件の把握のための基礎資料を得る。また、詳細調査によって判明した岩盤崩壊の発生機構に基づき、事前感知の適用性および必要性についても検討する。

3.2.1 調査項目

詳細調査の項目、手法および適用性は表-5に示すとおりである。概査で推定された岩盤崩壊の形態に応じて、これらの調査手法の中から必要なものを選定し、調査計画を立案する。詳細調査の項目には概査と同様の項目があるが、これらについては概査より精度を高めて調査を実施する。なお詳細調査の項目のうち空中写真の判読については、基本的に概査に準ずるが、詳細調査においては他の詳細調査結果も参考として再度判読を実施するもので、いわゆる2次判読に相当する。

3.2.2 調査範囲

調査範囲は、概査と同じく図-2に示す範囲とし、同縮尺の平面図および断面図を用いる他、必要に応じて1/500~1/2,500の立面図（正面図）を作成する。

3.2.3 調査結果の整理

調査の結果は、概査と同じく斜面カルテ（表-3）としてまとめる。岩盤崩壊に特有の調査事項であってカルテに記載の欄のない事項（小崩壊・落石の有無、不連続面と崖面との傾斜の関係、凍結・融解、遷急線の状態等）については、図面欄（平面図、断面図）に記載する。

3.2.4 調査結果の評価と対応

道路の効果的な維持・管理を行うために、対象斜面における岩盤崩壊の発生機構（位置、範囲、規模、形態）、岩盤崩壊の発生しやすさの程度、岩盤崩壊が発生した場合の落下経路および道路に与える影響を評価したのち、総合的に検討したうえ詳細調査後以下のように対応する。

① 崩壊対策工等の対策を行う必要がある

詳細調査によって、予想される岩盤崩壊が大規模で、岩盤内部に崩壊に関わる不連続面が明瞭に分布し、比較的安定性が低いと推定され、崩壊の形態から道路に対して大きな影響を与えると評価された斜面については、対策を検討する。対策の計画や設計にあたっては、対策工の工期・施工性・安全性等に関し十分な検討を行う必要がある。

② 対策は必要ない

詳細調査によって、予想される岩盤崩壊が小規模で、岩盤内部に崩壊に関わる不連続面が不明瞭で比較的安定性が高いと推定され、崩壊の形態から道路に対して影響が小さいと評価された斜面については、対策の必要は低い。

表-5 詳細調査における調査項目と調査手法

◎：特に有効な調査項目
○：有効な調査項目
△：場合によって有効な調査項目

調査項目		調査手法	空中写真の判読	地形測量	地形調査	地表地質調査	ボーリング調査	弾性波探査	岩石試験	地下水の調査	植生の調査	備考
地形	斜面の形状		○	◎	○							基本的に概査により対応するが、より詳細に調査を行う
	斜面傾斜			◎	○							
	斜面の高さ、道路の位置			○	○							
	斜面型		○	◎	○							
	斜面の形成過程		○		△							
	オーバーハングの有無		△	◎	◎							
	遷急線の有無		◎	○	○							
	斜面の微地形		△		◎							
地質・地質構造	岩種・岩質		△			◎	◎	○	△	△		構成岩種・硬さ等
	風化の程度・岩盤の緩み					△	○	◎		△		
	構成岩の密度						△		◎			
	断層・破碎帯の分布		○			◎	◎	○				
	不連続面の分布・位置		△			○	◎	○				規模・連続性
	不連続面の走向・傾斜		△			○	◎					
	不連続面の状況（開口・シーム）					○	◎			○		充填物
	不連続面の力学係数								◎			
	斜面内部での脆弱層の存在				△	△	○	△	△			破碎部等
地下水・湧水の状況						△	○			○		
間隙水圧の推定							△			△		
植生・立木の分布状況			△								◎	
発生後の落下経路の推定			△		○							
既設の対策工の状況			(別途構造物調査を行う)									
現象・前兆	過去の災害の履歴		(以下の項目は基本的には概査により対応するが、詳細調査ではより細部にわたって調査を行うものとする。)									
	開口亀裂の有無、程度											
	新規の小崩壊・落石											
	浮石の分布状況											
	緩みが著しい地層・岩盤の有無											

4. 事前感知

4.1 適用性

岩盤斜面が最終的に崩壊するまでには、風化やクリープの進行によって、時間の経過とともに、進行性破壊を生じることが知られている。進行性破壊に要する時間は、岩質や破壊位置の深さによって異なり、一概に見積ることはできないが、硬岩や深層部の破壊ほど長期間を要し、軟岩や表層部の破壊ほど短時間のうちに崩壊に至る傾向にある。

斜面の動きの監視追跡すなわち事前感知の目的は、進行性破壊のなかで、数年から数十年の比較的短期間にわたって起こるもののうち、既に引張り亀裂等の現象が認められた斜面について、その運動の程度をより早期の段階で把握することである。しかしながら、一般に、崩壊に至る前兆が明らかに認知できるのは、進行性破壊の最終段階である崩壊の直前になってからに過ぎず、事前の崩壊予測は現状では非常に困難である。また、現状では事前感知の実施例が少ないので、事前感知から得られた観測結果の解釈についても、今後一層の検討が必要である。

事前感知のうち、岩すべりを対象としたものは実施事例があり、発生時期の予測が行なわれている例もある。一方、崩落（大規模な剝離型の落石を含む）や転倒を対象にしたものについては、その監視事例はほとんどなく、最近、ようやく開始された段階であり、今後、データを集積し、その適用性についての検討が必要である。

4.2 事前感知項目

現在実施されている事前感知項目は以下のとおりである。

(1) 降雨、温度等の気象観測

〔降雨、温度〕 自記式雨量計、温度計

(2) 崩壊が予想される部分の変位の継続的な測定

〔地表変位〕 光波測距儀、自動レベル、テープによる測距、地盤伸縮計、（ワイヤー式、ロッド式）

〔地中変位〕 孔内傾斜計、孔内伸縮計、多層移動量計、岩盤変位計、ふりこ型変位感知装置

〔アンカー工の効果〕 ダイナモメータロードセル

〔地盤振動〕 地震計、加速度計

〔間隙水圧〕 ピエゾメータ

(3) 前兆現象としての小崩壊等の感知

〔崩壊の検知〕 落石検知装置（スライドフェンス）、AEセンサー

活発な変動が予想される斜面については、安全な道路交通確保のために、事前感知結果が交通止め等の規制にむすびつくものであり、監視方法と管理基準値まで検討する必要がある。しかしながら、これまでの観測事例が少ないため、現状では管理基準値を設定せず試験的に行うこともやむを得ない。

5. 対策工法

5.1 基本的な考え方

岩盤崩壊の対策を計画するにあたっては、岩盤崩壊の発生予測が困難であることに加え、万一の岩盤崩壊の発生に備えてすべての道路を対策工法等で防御することは、社会的、経済的にも得策であるとは言い難く、また、用地条件等により、道路管理者の側で対応できない場合もあることを考慮しなければならない。さらに、斜面の対策工法等によって岩盤崩壊による災害を完全に防止できない場合もある。したがって、岩盤崩壊の対策の基本的な考え方は、以下の①～④のとおりであるが、路線の性格や予想される岩盤崩壊の規模、発生確率、被災の頻度やその状況を考慮して、斜面の対策工法や落石防護工を設置して被害を最小限に抑えるよう努めるとともに、事前感知や通行規制等のソフトな手段も活用し、道路交通の安全確保に努めることが重要である。

① 道路への影響と対策工の計画

対策工の計画においては、対象斜面の調査結果から推定された、予想される岩盤崩壊の発生位置、発生地点と道路との位置関係、発生形態、発生規模、範囲、発生後の崩落岩塊の落下経路、運動形態、波及範囲、斜面途中での停止機能の有無等を考慮して、道路に与える影響を推定し、必要箇所に有効な工法を選定する必要がある。

② 発生源の対策

岩盤崩壊の対策は、一般に、発生源における斜面の対策工法が効果的であるが、現地の地形、地質の状況を考慮して、施工性を十分に検討する必要がある。

③ 対策工の限界

各対策工にはそれぞれ機能的な限界があるので、これを考慮する必要がある。

④ 各種工法の組み合わせ

各対策工を単独で用いるよりも、組み合わせて用いるほうが効果的な場合もある。

5.2 対策工の種類と適応性

岩盤崩壊の対策工選定の基本的な考え方は、以下のとおりである。

- ① 岩盤崩壊の発生の原因となる風化侵食を防止する。
- ② 岩盤崩壊の発生を発生源で止める。
- ③ 衝撃に抵抗して斜面途中あるいは末端で崩落の運動を止める。
- ④ 落下エネルギーを吸収する。
- ⑤ 落下方向を変えて無害な場所に導く。

一般に、岩盤崩壊は規模の大きいものが多いことから、対策としては、岩盤崩壊の予防を目的（上記①、②）として、崩壊の発生源となる不安定な岩塊を除去したり、斜面に固定するような発生源での対策が効果的で、現状では、斜面の安定性を増すために、以下の基本的な工法が採用されている。

- ① 斜面の高さを低下させる工法
- ② 斜面の傾斜角を低下させる工法
- ③ 斜面を補強する工法

表-6 岩盤崩壊の対策工とその適用性

○：有効.

△：場合によって有効.

-：一般に採用されない

対 策 工		工 法 の 選 定									工法の特徴		備 考
		道路から発生 源までの位置		運 動 形 態			規 模		対策工事 の作業性		耐久性	維持管理	
発 生 源 で の 対 策	排 除 工	△	○	○	○	△	△	○	○	-	良	不要	背後斜面の安定性の検討が必要
	根 固 め 工	○	○	○	○	○	-	○	○	△	良	不要	コンクリート根固・石詰め・擁壁工・枠工等
	ロ ッ ク ボ ル ト 工	○	○	○	○	△	-	○	○	△	良	要	
	ロ ッ ク ア ン カ ー 工	-	○	△	○	○	○	△	○	△	良	要	
	ワイヤーロープ掛工	△	△	△	△	-	×	○	○	○	不良	要	
	現場打ちコンクリート枠工	△	○	○	△	△	-	○	○	△	良	不要	アンカー、ロックボルトと併用することがある
	コ ン ク リ ー ト 張 工	-	○	△	△	△	-	○	○	-	良	不要	
	杭 工	△	○	-	-	○	○	△	○	-	良	不要	
	シ ャ フ ト 工	△	○	-	-	△	○	-	○	△	良	不要	
	亀 裂 充 填 工	△	△	△	-	-	-	○	△	△	不良	要	
	排 水 工	○	○	-	-	○	○	○	○	○	不良	要	
	モルタル・コンクリート吹き付け工	○	○	○	-	△	-	○	○	○	不良	要	主として落石対策

④ 斜面の排水工法

これらの対策工の工種と適応性は表－6に示すとおりである。このほか、小規模な崩壊に限っては、斜面から崩落してくる岩塊を、道路際あるいは、道路上に設置した施設で防護する落石防護工を採用することができる。また、地形や道路状況によっては、トンネルや部分的に迂回する対策の検討が必要な場合がある。

6. おわりに

従来、岩盤崩壊に関する対策および事前感知技術の必要性が認識されているが、これには現在、未解明の分野を多く残している。どのような斜面、どの程度の亀裂が岩盤崩壊に対して危険であるかの判断は一般的には困難で、また、岩盤崩壊に関する事前感知事例も少なく、その観測結果に対して的確な管理基準値を設定する段階には至っていない。今後は、岩盤崩壊の基本的な挙動を知るうえで、複雑な岩盤斜面の特性に関する研究の基本として、調査・試験方法の改良、解析手法の確立、新技術の開発等が必要で、岩盤崩壊の予知・予測法の確立をできるだけ早期に実現することが望まれる。また、岩盤斜面に存在する亀裂や過去の崩壊記録の蓄積とその活用（斜面データベース）が必要である。一方現存する道路近傍の急傾斜の岩盤斜面については、点検の実施等により岩盤崩壊発生の恐れのある箇所をよりの確に抽出し、岩盤崩壊災害を防止するための対策を早期に確立していくことが必要である。

岩盤崩壊の調査・対策法 質疑

○平野（中国地建） このマニュアルでございますけれど、このマニュアルのとおりに一生懸命やれば十分な成果が出てくるのか、それとも崩壊予測とか、あるいはどこが崩壊しやすいかどうかというのを調べるのは非常に難しいと、難しいのは前提だけれど、最善の努力としてこういうものがあるという、どちらの方でしょうか。

もしも前者の方で、このマニュアルのとおりやれば十分にいろんなことがわかるという話になりますと、例えば道路とかいろんな問題がありますけれど、管理瑕疵とかあるいは調査が不十分であるとか、即管理者を縛るような話にならないかということでございます。

もちろん、このマニュアルのとおりやれば、そして本当の答がだれでも、普通のコンサルだったら出せる、あるいは事務所の職員だったらきちんと出せるという話でしたら、もちろんそれで結構なことでございますけれど、そもそも難しいと、難しいけれど最善の努力としてこういうものがあるというスタンスでございましたら、そこら辺の非常に難しいものであるというのを、どこかに書いていただくと非常にありがたいんじゃないかと思います。

特にのり面工指針とか落石対策便覧とかありますけれど、それにつきましてはちょっといろいろ読んできると、基本的には後者の、そもそもこういった予測というのは難しいと、見つけ出すのは非常に難しいというのが大前提で、それが基盤にあってああいっぱい便覧とか指針とかが書かれておるようでございますので、これはどちらのスタンスで書かれておるのか、そこら辺をちょっと質問申し上げます。

○中村 それは平野所長が言われた後者の方で、難しいのは承知の上で、それを何とかしようではないかということで、これはまだどういう形で公表されるかはわからないのですが、既に昨年度から行われている防災点検で、岩盤斜面崩壊の項を新たに設けまして、とりあえず試行しております。その結果も含めまして、もう一度検討することも考えています。

それと、現在、落石対策便覧を、平成4年になるか5年になるかわかりませんが、改訂しております。その改訂作業の中に取り入れることができれば、今除かれております岩盤崩壊の項目について、非常に難しいけれども何とか努力しようというふうなニュアンスで、入れられたらと思っております。

○中島（国土地理院） これは正確には質問ではないのですが、地理院では現在、このマニュアルでいいますと「概査」の段階に当たります、基礎調査というのを直轄国道について行っておるのは御存じとは思いますが、現在そちらの方でも調査実施のマニュアルを作成しておりまして、岩盤崩壊についても若干記載を入れております。

それで、できればですが、そのまま個別につくっておりますと問題が出てくるかと思しますので、今後少し、詳細調査への移行という点のところでのかみ合わせについて、少しお話しできないかなと思っておりますので、その辺ちょっと、こちらの方との対応をお願いしたいなという、要望ですけれども、ひとつお願いいたします。

○中村 最終的には私ども、道路協会の方から落石対策便覧の改訂というふうなことを考えておりますので、

その作業を通じてそういうことは十分できると思います。

海野 芳聖, 石川 芳治, 渡辺 正幸
稲崎 富士, 市川 慧, 中村 康夫

要 旨 平成3年12月13日に開催された第25回地質担当者会議で行われた次の講演が収録されている。

1. 雲仙岳周辺の地質
2. 平成3年雲仙普賢岳で発生した火砕流, 土石流災害
3. フィリピン ビナツボ火山災害
4. 浅層反射法マニュアル(案)の作成
—都市域における地盤探査手法の基準化に向けて—
5. 貯水池周辺地山安定対策
6. 岩盤崩壊の調査・対策法

キーワード: 地質調査・斜面地質・ダム地質・火山・火砕流・土石流・地盤探査
浅層反射法・貯水池・岩盤斜面



郵便はがき

41円切手
をはって
下さい。

305□□

建設省土木研究所

地質化学部地質研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 001

No. 001

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料 第3064号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

土木研究所資料 第3064号