

土 木 研 究 所 資 料

ヘリコプターによる土砂災害状況に 関する研究報告書

平成3年7月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright © (1991) 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。

ヘリコプターによる土砂災害状況に 関する研究報告書

砂防研究室 室 長 石 川 芳 治
主任研究員 井良沢 道 也
小 泉 豊

要 旨

大規模な土砂災害が発生した場合に、災害の拡大防止、二次災害防止及び被災した施設の復旧等を迅速かつ適切に実施することはきわめて重要である。このためには土砂災害発生後において土砂災害の発生状況に関する情報を的確かつ迅速に収集伝達することが必要であり、効果的な情報収集に当たって、ヘリコプターの利活用の果たす役割は大きいと考えられる。

そこで、ヘリコプターを用いた土砂災害時の迅速かつ効果的な情報収集を図り、土砂災害復旧計画作成支援システムの開発の検討を目的として、更に復旧工法を検討する上での資料とするため、各種センサと土砂災害情報との関連性の検討及び既存災害ビデオテープの解説を実施した。またヘリコプターを用いて模擬被害調査を行った。

キーワード：砂防，ヘリコプター，土砂災害状況の把握，情報収集

Study of Sediment Disaster Information System Using Helicopter

Sabo Division, Sabo Department
Head of Division : Yoshiharu ISHIKAWA
Senior Researcher : Michiya IRASAWA
Yutaka KOIZUMI

If a large-scale sediment disaster should occur, it is very important to prevent its spread and the occurrence of a secondary disaster, restore damaged facilities and take other rapid and appropriate measures. For this purpose, information about the disaster must be collected and transmitted properly and rapidly after its occurrence, therefore helicopters may be a useful tool for efficient information gathering.

Thus, in order that the information gathered rapidly and efficiently on the occasion of sediment disaster may be used for developing a support system to create sediment disaster restoration works, the correlation between various sensors were put in practice. Further existing videotaped records of disasters and actual flight records using helicopter were analyzed.

KEYWORDS :sabo, helicopter, understanding the situations of sediment disaster, information gathering

ま え が き

大規模な土砂災害が発生した場合、周辺住民の避難や被災現場の応急復旧等、被害の拡大防止対策を取り急ぎ実施することが要請されるが、具体的な対策案を検討するためには現地の詳細な災害状況を把握する必要がある¹⁾。特に、天然ダムの場合には、過去の決壊事例からみて、満水位到達時期をできるだけ正確に予測することが大切であるし、長大斜面崩壊・地すべり災害では二次崩落の範囲や土塊の移動速度を具体的に知る必要がある。

従来は、現地踏査や地上からの監視・観測などの方法で情報収集がなされてきたが、大災害発生時では広範な調査を短期間で実施することは困難であり災害直後は現場への立ち入りが制限されることなどのため災害直後の地上からの情報収集には限度がある。

ヘリコプターからの調査は、広い災害地を短期間に視察できること、地上からの接近が不可能な場所の情報も収集できるなど迅速に被害の全体像をつかむことができる利点がある反面、センサーの種類や機能に由来する精度の限界から、二次災害につながる微少な前兆現象は把握しにくいことが予測される²⁾³⁾。

そこで、ヘリコプターを用いた土砂災害時の迅速かつ効率的な情報収集を図ることを目的として、センサーと土砂災害情報との関連性及び土砂災害情報の収集にあたってのヘリコプターの飛行方法について検討を行った。さらに既存災害のビデオテープの解説とヘリコプターによる模擬被害調査を手掛かりに、ヘリコプターからの土砂災害情報収集にあたっての利点および問題点を整理し、ヘリコプターを用いた土砂災害把握手法について検討した。

目 次

まえがき

1. ヘリコプターの各種センサと土砂災害情報内容との関連性の検討	1
1.1 防災情報ヘリコプター“あおぞら号”の概要	1
1.2 空中情報センサの概要	2
1.3 土砂災害情報の内容とセンサの対応性	6
1.4 情報収集のための飛行方法の検討	12
2. 既存災害VTRテープによる判読とその加工	17
2.1 概 要	17
2.2 御岳崩壊の判読	18
2.3 滝越崩壊の判読	20
2.4 濁川合流点に形成された天然ダムの判読	24
2.5 氷ヶ瀬地区の家屋の損壊状況の判読	27
2.6 松越崩壊の判読	29
2.7 伊豆スカイライン崩壊の判読	31
2.8 伊東市周辺の被害の判読	33
2.9 ビデオ素材の解読による土砂災害情報の内容と対応性のまとめ	34
3. ヘリコプターによる模擬被害調査	36
3.1 模擬被害の内容	36
3.2 被害状況の判読	36
3.3 被害状況の判読のまとめ	44
3.4 浮子による表面流速の測定	45
3.5 浮子による表面流速の測定のまとめ	52
3.6 模擬被害調査のまとめ	52
4. まとめと今後の課題	54
参考文献	55

1. ヘリコプターの各種センサと土砂災害情報内容との関連性の検討

既往の地震等における被害の調査状況の結果によると、土砂災害情報の収集伝達に関して改善すべき点として以下の点が挙げられている。

a) 情報の収集に時間がかかる

放置車両等の路上障害物、施設の被害、帰宅目的の車両の増加などによる道路の交通渋滞によって施設の調査が思うようにはかどらない。また、電話回線のふくそうにより調査結果の伝達が十分できない場合が多い。

b) 情報伝達の内容が不十分

震後の混乱が主な原因であり、伝達される情報の内容が断片的で情報の受け手側で被災状況の把握が十分できない。

c) 情報が不正確

未確認情報が多量に入ってくると同時に、調査担当者の主観的な判断に依存するため、各々の情報の精度を判断できない。

このように、過去の経験によれば現地調査による被害調査では、土砂災害発生後に迅速に情報を収集し、必要部署に正確に伝達するということが難しかった場合が多い。このため、大規模かつ広域的土砂災害が発生した場合には、機動的に富むヘリコプターを用いた上空からの被害調査が有効となる。正確な情報を伝達するためには、客観的な情報伝達手段であり、かつ、記録に残すことが可能な写真及びビデオ映像等の映像情報を使うことが有効となる。

1.1 防災情報ヘリコプター“あおぞら号”の概要⁵⁾

本調査では、建設省が昭和63年4月に導入した防災情報ヘリコプター“あおぞら号”を用いた。あおぞら号は、河川、海岸、道路等の施設の大規模災害に際して、災害の軽減、早急な災害復旧を図るため、即時・広域情報の収集・伝達を行うとともに、施設管理、施設計画・調査等を効率的に行うことを資することを目的として導入されたものであり、機種は米国製双発中大型ヘリコプター「ベル214ST」である。本機の主要な性能を表1.1に示す。本機には、情報収集・伝達を行うための機器として、画像伝送システム、位置出し装

表1.1 あおぞら号の主要性能

最大搭乗者数 (パイロット含む)	20名
最大巡航速度	240km/h
最大運用高度	6,060m
最大航続距離 (増加燃料タンク装備時)	1,080km
最大航続時間 (増加燃料タンク装備時)	4.5時間
有効積重量	3,619kg

置、熱線画像システム、垂直ステレオ写真撮影装置などを装備している。

1.2 空中情報センサの概要

防災情報収集ヘリコプターあおぞら号に装備されている空中情報センサは表—1.2 に示した4種である。このうち、モニタビデオカメラは、垂直スチールカメラの視野確認の目的で取り付けられている。これらの内ビデオ映像データは空中電送も可能であり、災害発生時の迅速な災害情報収集という点で中心的な情報源となると考えられる。以下に4種のセンサの機能の概要について述べる。

1.2.1 カラービデオカメラ

本ビデオカメラは、振動防止懸架装置(WESCAM)に装着されており、三軸ジャイロによる振動量の検出機構と、補正機構により、安定した光軸が得られるようになっている。カメラの光軸方向(撮影方向)及び焦点距離の選定、焦点の選定、焦点合わせなどの操作は機内のリモートコントロール装置で行なうことができる。

2/3インチ規格のダイクロイックプリズム3管プランピコン方式の撮影管を備え、水平解像度(中心部)が650本以上の性能を持つ。画像の有効画素数は、横×縦=450×350個より約15万個、また、1個の画素の大きさは、20 μ m平方程度である。画像上における被写体の大きさは縮尺(焦点距離/撮影距離)に応じて変化する。従って1画素で表現される被写体の限界長さは下のように試算される。しかし、実際の最小識別長さは、走査線数で6本程度とされており、具体的には表—1.3の値を6倍した値が識別限界となるが、被写体の反射能やコントラスト及び照度等の撮影環境によっても識別の難易は影響される。また、識別の難易性は被写体とカメラの相対速度と縮尺によっても生じる。

表—1.2 空中情報センサ

センサの種類	感知領域	光 軸	焦点距離	収 録
カラービデオカメラ (HL-95)	可視光線	水平 360° 垂直 30°~90°	f=12.5~275mm 2倍エクステンダ付	3/4", 1/2" VTR
熱赤外ビデオカメラ (2500A/B)	熱赤外線 (8~12 μ m)	水平 +120°~-120° 垂直 +30°~-180°	普通角(40°×21.5°) 望遠 (7°×3.25°)	1/2" VTR
垂直スチールカメラ (MK-70) 2台	可視光線	垂直固定 -90° 基線長 11m	f=60mm (53mm×53mm)	各種 フィルム
モニタビデオカメラ (C1-10)	可視光線	垂直固定 -90°	f=8mm	1/2" VTR

表—1.3 撮影距離Hと焦点fの関係からみた画像の識別長さ

H \ f	12.5~275mm	25~550mm
150m	24.0~1.1cm	12.0~0.55mm
300m	48.0~2.2cm	24.0~1.1 cm

$a : f = A : H$ より

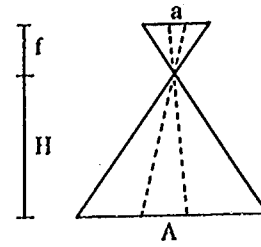
$$a = (f/H) A$$

H ; 撮影距離

A ; 被写体の長さ

f ; 焦点距離

a ; 画像の長さ



1.2.2 熱赤外ビデオカメラ

Hg Cd Teを素子とする単管シリアルスキャン方式のイメージセンサで、 $8\sim 12\mu\text{m}$ の熱赤外線を感じることにより、 $-30^{\circ}\text{C}\sim +55^{\circ}\text{C}$ の範囲の被写体を識別する。また、その温度分解能は 0.1°C 、最小識別温度差は 0.25°C となっている。有効画素数は概ね横 $\times$ 縦 $=350\times 180$ (160) (()は狭視野)となっており、画像分解能はカラービデオカメラを1.0として、 $0.8\sim 0.7$ 程度となる。

1.2.3 垂直スチールカメラ

有効画角 $53\text{mm}\times 53\text{mm}$ で内部定位要素の明かな写真測量用のカメラが、機種と尾部に基線長11mの間隔で取り付けられている。緊急時には、精密図化というより迅速なデータ作成が目的であり、精度的な要求が少ないものとすれば、オーバーラップ率60%前後でも利用可能と考えられる。オーバーラップ率を90%にあけても、 $H=125\text{m}$ とかなりの低高度での撮影となる。したがって、現実的には、シャッタ間隔を縮尺(f/H)に応じ適当にとることにより目的の画像を得ることになる。

シャッタ間隔(t)と飛行速度(V)から、基線長は Vt で求められる。オーバーラップ率60%とすると、

$$Vt = (1-0.6) A$$

$$\therefore a = (f/H) (Vt/0.4)$$

したがって、飛行速度(V)と対地高度(H)を与えると表-1.4のようにシャッタ間隔を求めることができる。

ただし、低高度で飛行速度が大きい組み合わせでは画像が流れる恐れがある。ここで、スチール写真における最小識別長さを $20\sim 30\mu\text{m}$ とし、シャッタ開口中にこの長さだけ画像が移動すると画像の流れが目立つとした場合の対地高度と飛行速度の組み合わせによるシャッタスピードの選択は表-1.5のようになる。

ただし、低速度シャッタでは機体振動によって画像が流れる場合がある。 $1/125$ 秒以下でこうした現象が起きやすくなる。

このほか、垂直スチールカメラの使用に当たっては空中では露光量の調整ができないので、現場の照度とフィルム感度よりあらかじめ絞りとシャッタスピードの組み合わせを決定しなければならない。また、赤外フ

表-1.4 対地高度Hと飛行速度Vとの関係からみたシャッタ間隔

H \ V	30km/h	60km/h	90km/h	120km/h
150m	6.4sec	3.2sec	2.1sec	1.6sec
300m	12.7sec	6.4sec	4.2sec	3.2sec
450m	19.1sec	12.7sec	6.4sec	4.8sec

表-1.5 対地高度Hと飛行速度Vとの関係からみたシャッタースピード

H \ V	30km/h	60km/h	90km/h	120km/h
150m	1/125~1/500	1/250~1/500	1/500	1/500
300m	1/60~1/500	1/125~1/500	1/250~1/500	1/250~1/500
450m	1/60~1/500	1/125~1/500	1/125~1/500	1/250~1/500

ルム等の特殊フィルムを使用する場合には、IR フィルターの装着及び焦点距離調整を行っておく必要がある。

1.2.4 モニタビデオカメラ

CCD を撮影素子とするビデオカメラで、水平解像度は 300 本である。このカメラの光軸は垂直下方に固定されていることから、スチールカメラの視野確認の他ヘリコプターの概略の所在地の判定、災害の平面的規模の把握及びステレオビデオ画像による高さ・深さの判定などに活用できる。ステレオビデオ画像による高さ・深さの判定は、カラービデオカメラのビデオ映像や垂直スチール写真の方が解像度の点で優れているが、モニタビデオ映像は連続的に常時記録しておけば任意の場所で高さの判定ができるので有利である。

ステレオモデルでは比高 (ΔH) は次式で表される。

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{P + \Delta P} H$$

H ; 撮影高度
 ΔH ; 高さの差 (比高)
P ; 視差
 ΔP ; 視差差

視差 (P) は、被写体 (点) の 2 枚の画像における位置の差で、基線長 (B) と縮尺 (f/H) の積 $P = (f/H) \cdot B$ で表され、視差差は、画像上の 2 点の視差量の差である。したがって、高さの精度は、画像上における視差の測定精度に大きく依存することになり、画像の分解能が高いほど精度は良くなる結果となる。この点で、モニタビデオの映像は、他のイメージデータの比較して不利といえる。

視差差を利用した測定技術は、流速の測定にも利用されている。

1.2.5 高度化のための新技術

情報収集能力の向上、あるいは情報加工技術の高度化のための今後の新規技術の主なものをあげると次のようである。

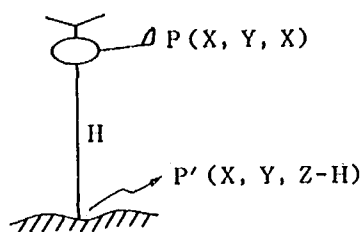
(1) イメージセンサ

分解能の向上という点ではハイビジョンシステムがあげられる。

水平走査数が 1,125 本で現状の 2 倍、画素数にすると 5 倍性能が向上するため、比高高度を下げなくても解像度の高い映像が得られる。また撮影環境の拡張という点ではナイトビジョンシステムがあげられる。最低照度 0.021 Lux のもとで、カラー映像が得られるので、夜間や低照度環境で情報が収集能力が向上する。その他、イメージレーダシステム、衛星画像データベースシステム等が考えられている。

(2) 地形センサ

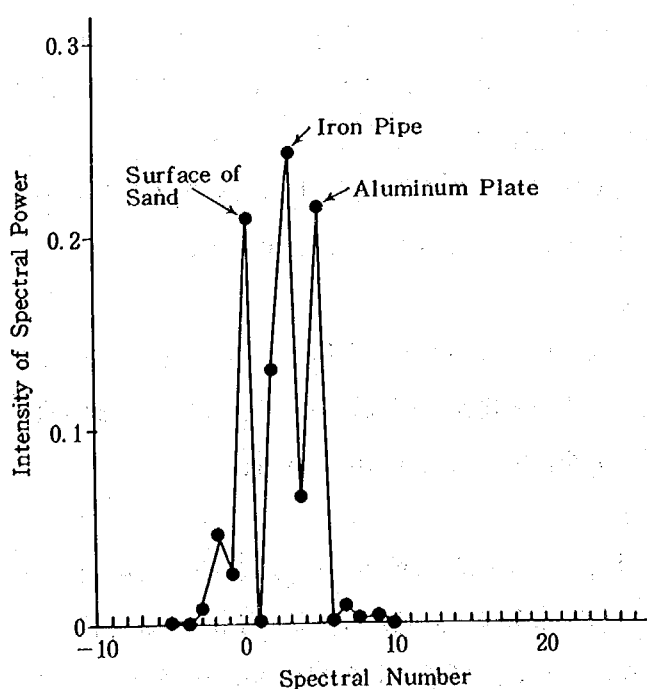
ヘリコプターの所在地がGPSデータで把握でき、ヘリコプターと地表との離隔量がわかれば、地形断面



(縦・横断, 比高・深さ) が得られる。特に, 天然ダム及び長大斜面崩壊・地すべりなどの大規模な土砂災害の形態的特徴を定量的に迅速に入手することが可能となる。イメージデータは面的な情報収集に優れているが, 高さ, 深さ方向の情報精度はあまり期待できない。プロファイラデータを付加することにより, 情報精度の向上と情報収集力のアップが図れると考えられる。特に, レーザを用いたプロファイラはビーム角が狭く, 林地でも有効である。10~500 m 間隔で 0.2 m 精度のものが開発されている。

(3) 土質センサ

災害の拡大予測や復旧計画にとって, 災害地の土質情報は極めて重要であるが, 現状のイメージデータからは, 表面状態から推測する以外に方法はない。移動土塊の厚さや内部構造, 浸潤面の深さ等がリアルタイムで得られれば, 危険度判定に有効な情報となる。現在, 接地タイプのレーダ探査機が実用化されているが, 今後, 空中情報センサとしてレーダ波の利用が検討されて良い。



図一1.1 砂中に埋められたターゲットを検知する実験結果(高速フーリエ変換後), この場合, 鉄パイプが表面より 40 cm の位置に埋められている。また, アルミ板が砂箱の下の (砂の表面より 70 cm の距離) に敷かれている。

地下探査レーダで粒度組成までは無理しても、天然ダムの高さ、崩壊残土の厚さ、表層土層の厚さなど、深度方向における土質構造が具体的に把握できる可能性がある。

図一.1.1は、砂中のターゲットの検出例であるが、地層の比誘電率の差が大きければ、層面を検出することも可能であり、土質センサとして利用できよう。また、地形センサとしての機能も持っている。

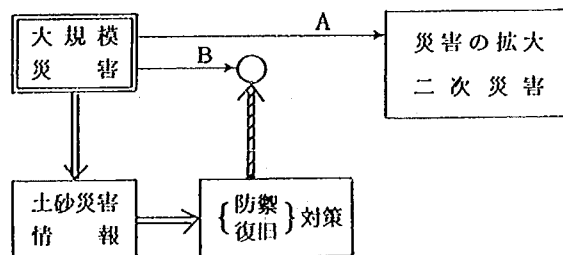
(4) 位置センサ

従局が不要であること及び位置精度の点から GPS システムが有利であり、災害情報システムの開発プロジェクトにおいても、その利用が研究されている。

実用上、定点で受信した場合は数 cm 以下で位置を定めることが可能であるが、ヘリコプターのような移動体での観測では、今のところ数 m オーダー以上の誤差があり、開発研究中の段階となっている。

1.3 土砂災害情報の内容とセンサの対応性

本調査は、大規模な災害が発生した場合の、災害の拡大防止、二次災害防止及び被災施設の復旧等を迅速にかつ適切に実施するための基本情報の提供を目的としてしている。



すなわち、大規模災害発生直後から始まるさまざまな土砂移動プロセスの進展に伴って予想される災害の拡大とこれによってもたらされる二次災害の発生（進路 A）を、土砂災害情報を基礎とした応急対策等によって、防止あるいは軽減させる（進路 B）ことを目指している。

土砂災害情報は、災害の実状を把握するための実態に関する情報と、災害の拡大予測・二次災害防止のための変動に関する情報とに分けて考えることができる。これらは、更に、次のように分類できよう。

a. 実態を把握するための情報

- a-1. 長大斜面崩壊・地すべり及び天然ダムの位置、形状・規模・範囲などに関する情報
- a-2. 被災地における人命・建物・道路・施設等の被害状況に関する情報
- a-3. 被災地周辺の地形・土地利用・交通等に関する情報

b. 変動を予測するための情報

- b-1. 地質・土質・構成材料・湧水・流入流量など変動の素因にかかわる情報
- b-2. 亀裂・樹木の傾き・小規模崩壊・構成物の変状（変位・割れ目）等の前兆現象にかかわる情報

ここで、本調査で対象とされる土砂災害情報の資質をこの分類にあてはめると次のようである。こうした大規模災害の対象として天然ダム及び長大斜面崩壊・地すべりが取り上げられ、土砂災害に対する空からの調査項目として表一.1.7 に示す内容があげられる。¹⁾ 表には今後付加すべきと考えられる情報センサについても対応性を示した。

表-1.6 土砂災害情報の資質の分類

土砂災害の資質		実態情報			変動情報		天然 ダム	長大斜 面崩壊
		a-1	a-2	a-3	b-1	a-2		
①	長大斜面崩壊・地すべり	○	○					①②③④
②	河床変動（天然ダム）	○	○				①②③④	
③	山腹の亀裂					○		⑤
	ダムの亀裂					○		⑤
④	周辺の土地利用状況			○			⑦	⑦
⑤	周辺の道路復旧状況		○				⑩	⑧
⑥	土砂災害前兆現象					○	⑤⑥⑦⑧	⑥
⑦	その他				○			

表-1.7 土砂災害情報の内容

区分	土砂災害情報の内容	情報の質	
		実態	変動
長大斜面崩壊・地すべり	① 位置	○	
	② 範囲（長さ・幅・面積）	○	
	③ 形状（縦断形・横断形）	○	
	④ 崩土の到達範囲・土量	○	
	⑤ 斜面・のり面の変状等		○
	〃 亀裂		○
	〃 小規模な崩壊		○
	〃 樹木等の傾き		○
	〃 構造物の亀裂		○
	〃 湧水・沢水の流量変化，濁り		○
天然ダム	⑤ 地表移動量（速度）の測定		○
	〃 既存画像との比較（移動量）		○
	⑦ 周辺の地形・人家等の配置	○	
	⑧ 人命・建物・施設等の被害状況	○	
	① 位置	○	
	② 高さ	○	
	③ 長さ	○	
	④ 幅	○	
	⑤ 流水流入量	○	
	⑥ ダム水位（変化）		○
	⑦ 構成材料の透水係数	○	
	⑧ 構成材料の粒度	○	
	⑨ 周辺の地形・人家の配置	○	
	⑩ 人命・建物・施設等の被害状況	○	

土砂災害が発生した場合、現状で入手しうる主な情報源は次のようである。

空中からの情報源 ・カラービデオ映像

・熱赤外線ビデオ映像

・垂直ステレオ写真（及モニタビデオ映像）

補完情報源

・2万5千分の1地形図

・災害前のイメージデータ（衛星画像、空中ビデオ）

・防災情報マップ等（地質図、氾濫危険区域等）

データ加工支援 ・ヘリコプターの位置・高度・焦点距離等

補完する情報源としては、全国的にカバーされている1/25000地形図が有効である。災害の発生箇所がどのような場所であれ、ヘリコプターからのイメージデータと合わせて、映像の基本的な情報（a. 実態情報）が図れると考えられる。

また、データ加工支援に関しては、GPSによる位置決定、カメラ光軸方位の検出などが検討されており、さらに、情報内容の高度化・効率化を旨とするものとして地形センサ、土質センサ等の装備や災害形状要相互の相関データの整備などが考えられてよい。

表—1.8 に、土砂災害情報の内容と、各種情報源との対応性について検討した結果を示した。

情報とセンサの対応性及び問題点は次のとおりである。

a. 長大斜面崩壊・地すべり

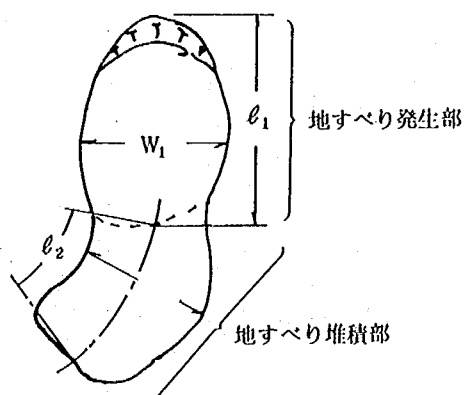
① 位置

災害発生地点・到達地点などは、カラービデオ映像と地形図で容易に知ることができる。また航法装置（GPS など）を利用しても良い。

② 範囲（長さ・幅・面積）

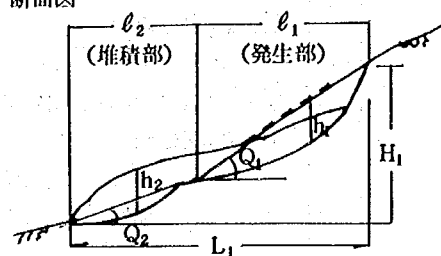
下の図に示す地すべり形状諸元の定義に従って、ヘリコプターを飛行させ、非災害地との境界を画像からチェックし、地形図に移写する。その結果をもとに、範囲を知る。

平面図



- W_1 地すべりの発生したブロックの最大幅
- W_2 移動した土塊の堆積域の最大幅
- l_1 地すべりの発生したブロックの最大水平距離
- l_2 移動した土塊の堆積域の最大水平距離

断面図



事例調査における l_1 , l_2 , w_1 , w_2 の定義

表一.1.8 土砂災害情報の内容とセンサの対応性

土砂災害情報の内容		イメージセンサ				地形 図	航法*		既存 画像	相関 データ	地形 センサ	土質 センサ
		カラー VTR	熱赤外	垂直写真	モニタ VTR		位	高				
長大斜面崩壊・地すべり	①位置	○	△		○	○	○					
	②範囲（長さ・幅・面積）	○	△		○	△	○	○		○	○	
	③形状（横断形・縦断形）	△		○～△		△					○	
	④崩土の到達範囲・土量	○			○	○	○			○	○	○
	⑤斜面・のり面の変状											
	〃 山腹の亀裂・段差・ふくらみ	△	△	○							△	
	〃 小規模な崩壊	○	○									
	〃 樹木の傾き	○～△	△									
	〃 構造物の亀裂・横ずれ・ふくらみ	△		○								
	〃 湧水・沢水の流量変化、濁り	○～△	○～△									
	⑥地表移動量（速度）の測定											
	〃 移動量（2時期画像比較）	○～△		○					○			
	〃 土沼の厚さ・含水量		△									○
	〃 土塊構成材料の土質	△	△									△
天然ダム	⑦周辺の地形・人家の配置・土地利用	○		○	○	○			○			
	⑧人命・建物・施設の被害状況											
	〃 建物・施設の被害状況	○				○			○～△			
	〃 道路の復旧状況	○				○						
	①位置	○	○		○	○	○					
	②高さ（厚さ） ③長さ ④幅	○	○		○	○		○		○	○	△
	⑤流入流量											
	〃 河床横断形、縦断形	△		○		△					○	
	〃 流速	○		○								
	⑥ダム水位（変化）											
	〃 水位（変化）	○									○	
	〃 越流・侵食・濁水	○	○									△
	⑦構成材料の透水係数	△	△									△
	⑧構成材料の粒度	△										△
	⑨周辺の地形・人家の配置・土地利用	○		○	○	○			○			
	⑩人命・建物・施設の被害状況											
	〃 建物・施設の被害状況	○				○			○～△			
	〃 道路の復旧状況	○				○						

凡例：○：対応する △：対応性に難がある 無：対応性がない 高：高度 位：位置

この時、地形センサを併用し、飛行速度を記録しておけば、高い精度で範囲を把握することができる。

また、形状要素相互の相関関係から素早く推定値を得ることも有効であろう。

③ 形状（縦断形・横断形）

範囲情報の収集と同じであるが、高さ方向の情報をとらえることがイメージデータでは困難をともなうことが多い。垂直ステレオ写真の利用も時間がかかること、部分部分を計測して総合しなければならないなどの問題があるので、地形センサがより重要視される。

災害実態の基本形状を効率的に知る上で地形センサはぜひ必要と考えられる。

④ 崩土の到達範囲・土量

範囲・形状の結果を総合することによって、この災害情報を整理することができる。

⑤ 斜面・のり面の変状

斜面・のり面の変状は災害の拡大に対する前兆として重要な情報である。

この種の変状は、微細なものが分かる必要があり、イメージデータの分解能に大きく影響される。

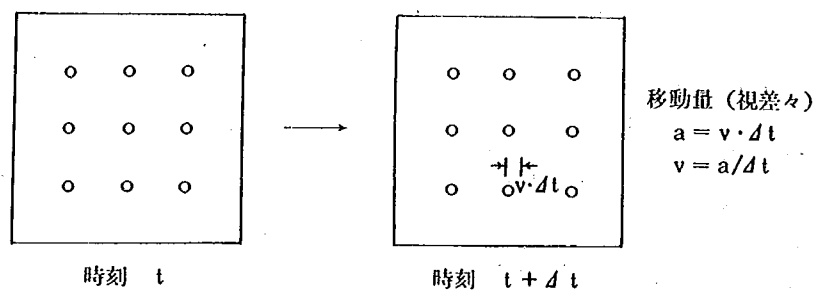
対地高度 150 m の時、焦点距離 150 mm で撮影した場合、20 cm 前後の大きさが、最小単位の大きさと考えられ、44 倍ズームで最長焦点距離 550 mm では、5 cm 前後となる。

しかし、物として識別可能な大きさはこれより大きく、したがって情報内容によっては、超低速・低高度・長焦点による撮影が前提となる場合が予想される。

⑥ 地表の移動量（速度）の測定

災害が発生中の土砂移動のように速度が大きい時は、カラービデオ映像は、貴重な情報源となる。しかし、前兆現象のような微速度な現象はビデオではとらえにくい。垂直写真による視差々による変動箇所の抽出と速度計測が中心となろう。物体の移動速度測定はカメロン効果を利用する。

次の図で、中央の点のみが速度 v をもっていたとすると、 Δt 時間後には右の図のような映像が表われることになる。このずれを、視差というが、一般に、地表は凹凸があり、任意の点は視差を有しているので、移動による視差の増（減）分を視差々という。この量が分かれば、 Δt は得られているので速度を求めることができる。



地表の移動に関わる情報としては、構成材料の厚さ・含水量・土質などの情報が、災害を予測する上で重要である。土層の含水状態は、地表からの熱赤外線放射に影響を与えるので熱赤外線ビデオ映像が有効であり、とくに、スベリ面の位置の推定には、電磁波を用いた土質センサからの情報が有効となろう。

⑦ 周辺の地形・人家の配置・土地利用

カラービデオ VTR と地形図を組合わせることで現況が把握できる。

既存の空中写真やビデオ VTR などがあれば利用可能である。ただし新しい時期であることが必要である。

⑧ 人命・建物・施設の被害

道路の復旧状況もあわせ、⑦とほぼ同じであるが、建物・施設の被害状況に関しては、微細な亀裂・変形などもとらえる必要があり、⑥に示したように撮影方法の工夫が必要である。

人命については、直接情報をとらえることはできない。全壊・埋没・流先家屋を大縮尺地図などから読みとり、調査する。

b. 天然ダム

① 位 置

長大斜面崩壊・地すべりの項に同じ

②～④ 高さ・長さ・幅

長大斜面崩壊・地すべりの項に同じ

ただし、天然ダムの高さ（堆積土砂の厚さ）については、土質センサが使える場合もある。

また、天然ダム堆積勾配（下流側）について、地形センサで計測しておけば、越流時の流水の掃流力を推定する手がかりとなる。

⑤ 流入流量

河床横断形、水深及び平均流速が与えられれば推算することが可能である。河床横断形は、映像や地形図から推定するより、地形センサを利用した方が良い。流速は、カメロン効果により算定するか、浮子法によって平均流速をもとめるかのいずれかである。

カメロン効果の場合は、水面が比較的平滑で、浮遊物が多いことが必要であり、浮子法の場合は、航空機からの投下規制の問題がある。

航空機から物を投下する場合は、あらかじめ航空局に届出の必要がある。

⑥ ダムの水位（変化）

越流・浸食・漏水などの変化と合わせ、時系列的な連続観察（撮影）により変化を把握することは可能と考えられる。

ただし、微小な水位変化はイメージデータからだけではとらえにくい。地形センサの断面比較などの方法を併用すると良いと考えられる。

⑦、⑧ 構成材料の透水係数、粒度

天然ダムの構成材料の土質定数をリモートセンシングデータから求めることは困難が伴う。

イメージデータは、表面状態を示しており、内部状態まではとらえていない。熱赤外線ビデオ画像からの温度分布及びその時間的変化から、構成材料と含水状態の異なる分布を知ることは可能であるが物性値そのものは判らない。土質センサの場合も、異なる物性の境界を検知するが、構成材料そのものの性質までは分りがたい。

したがって、構成材料の透水係数については、表面物質の状態から砂がちで水が浸透しやすいと見られるか、細粒で保水性が良いようであるかなどと経験的に判断せざるを得ない。含水状態の相対的な比較であれば、熱赤外ビデオ映像が有効である。

ビデオ映像は、画素サイズが大きく、自から識別できる最小の礫径も大きくなる。高度 150 m、焦点距離 150 mm の撮影では 1 m 以上の岩塊があれば画像上で識別できるがそれ以下は難しいことが予想される。この場合、垂直ステレオ写真イメージを活用することになるが上記撮影条件では数 cm が限度となる。

適当な長さの標尺と合わせて表面礫を撮影し、表面礫の粒度分布を計る方法がある。

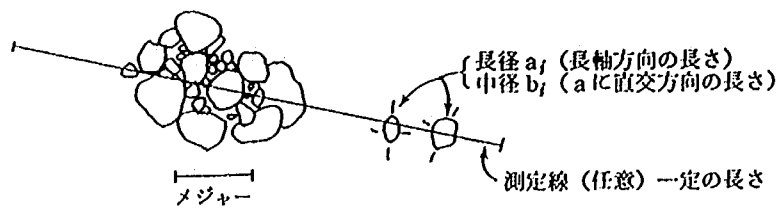
画像中に任意の直線を引き、これにかかる礫の長径^(a)、中径^(b)、(短径^(c)は、上下方向と仮定)を計り、 $3\sqrt{abc} \propto 2\sqrt{ab}$ より、粒径を決定し、粒度組成を求めることができる。

しかし、この方法を、表面の粗粒礫の組成を表わすだけで、構成材料全体の粒度を示すものではない。

⑨ 周辺の地形・人家の配置・土地利用

長大斜面崩壊・地すべりに同じ

参考 (写真による粒度組成調査)



代表粒径は一般に中軸 (b) となる。また、

$$b \approx \sqrt[3]{abc}$$

なる関係も知られている。ここで、

$$a \cdot \sqrt{ab} = \sqrt[3]{abc}$$

と仮定すれば、 $\sqrt{ab}$ より代表粒径を決めることができる。測定線にかかる代表粒径を、粒径階毎に集計すれば粒度組成が得られる。

⑩ 人命・建物・施設の被害状況

上述した内容と同様である。

1.4 情報収集のための飛行方法の検討

土砂災害情報の内容について、長大斜面崩壊・地すべり及び天然ダムを対象として検討した結果、災害の実態を把握するための情報と、二次災害などの拡大予測につながる変動を把握するための情報とに分けて整理することが有効と考えられた。

さらに、土砂災害の発展段階を加味した場合、情報の活用という点から、次のような飛行方法の種別が検討されている。

- a) 緊急飛行
- b) 一定飛行
- c) 調査飛行

これらの飛行方法の流れ、及び解説は次ページ以降に示したようになっている。

発災害直後の緊急飛行では、対策本部に対してリアルタイムで現場状況を伝えることが第一の目的といえ、したがって、映像伝送システムなどの情報伝達が重要視される。

逆に、災害実態の詳細な把握、変動予測など、加工情報が重要視される場合には、品質の良いオリジナルデータの利用が基本となり、既時情報伝達に関する要求は少ないと考えられる。

すなわち、災害復旧の各段階において、必要とされる土砂災害情報の性質や情報の伝達方法も異なってくると考えており、本格的な復旧対策を対象とした第三段階では、ヘリコプターからの情報はそれほど期待されておらず、応急復旧が対象の第2段階においてもヘリコプターからの情報は、次のような場合に限定されることが予想されている。

- (1) 地上からの調査が行なわれた状況にもかかわらず、早急に応急復旧に取り組まなければならない場合。
- (2) ヘリコプターからの調査により定量的な資料が得られ、その結果を応急復旧に反映できる場合。

したがって、土砂災害情報の収集でヘリコプターが活用される段階としては、災害復旧の第1段階が中心

表-1.9 ヘリコプターの段階的な飛行方法

飛行方法	緊急飛行	一定飛行	調査飛行
災害復旧 第一段階 (方針策定)	広域情報収集視察 者の指示による飛 行・撮影	定められたコー ス、撮影条件によ る調査	細部拡大調査視察 者の指示を受ける
災害復旧 第2段階 (応急復旧)	——	——	地上調査不可、定 量的資料
災害復旧 第3段階 (本格復旧)	——	——	有効な場合

となる。地上パトロールに比較してはるかに高速で迅速に隅なく調査が行なえることを利用して、災害の位置・範囲・被災の分布、重要施設の被害概要及び二次災害の発生微候など、すみやかに全体像を把握し、以後の災害復旧の方針策定に資することができるからである。

とくに、今回の調査で対象とした、長野県西部地震に際して発生した土砂災害のように大規模な災害、放置すると重大な二次災害を引きおこす可能性のある災害では、ヘリコプターの機能がいかんなく発揮されるものと期待されている。

次に、今回の調査を通じて検討を行なった土砂災害被災度把握、復旧工法選定に必要な情報を得るためのヘリコプターの飛行方法について整理する。

1.4.1 ヘリコプターの機能からみた場合

a) 飛行高度

ヘリコプターの機能からは、任意の高度での飛行が可能である。しかし、最低飛行高度が定められており、それ以下で飛行する場合は事前に航空局の許可を得ておく必要がある。緊急時には間に合わない事態も予測されるため、最低飛行高度以上の飛行が原則となる。また、地形起伏に対してある程度追従できるが、対地高度を一定に保つのは難しく、等圧面（海拔高度一定）飛行に近い飛行となる。このため、調査地の高所に対して、最低飛行高度以上を保つようにし、凹凸に伴う縮尺（ f/H ）の変化は、ズーミングで対応することになる。

b) 旋 回

パイロット・オペレータ及びカラービデオカメラは機体の右側に位置している。したがって、旋回方法は右旋回（時計まわり）となりやすい。このため、機上の視察者も右側に位置するとコミュニケーションがとりやすくなる。

c) 機内コミュニケーション

視察者の位置を右側にするほか、撮影対象物の用語を統一し、パイロット、オペレータ及び視察者の間で共通の言語が用いられるようにすると良い。通常時の飛行に際しては、事前の打ち合わせなどで専門用語について解説し浸透を図ることが大切である。

d) 飛行方法

強風下の飛行では、飛行方法に制約を受ける場合がある。このため、カメラ光軸の方向を自由に選べなくなるため、望ましいデータが得られない事態も有り得る。

e) 法 規 則

ヘリコプターにかかわる主な法規則には次のようなものがある。

- ・フライトプランによる飛行
- ・管制圏・管制区内の飛行制限
- ・有視界飛行条件（視程 5 km, 雲底 300 m 以上）
- ・場外離発着の事前許可
- ・制限高度以下の飛行の事前許可
- ・物体の投下（例えば浮子）の事前許可

1.4.2 各種センサの機能からみた場合

a) 縮 尺

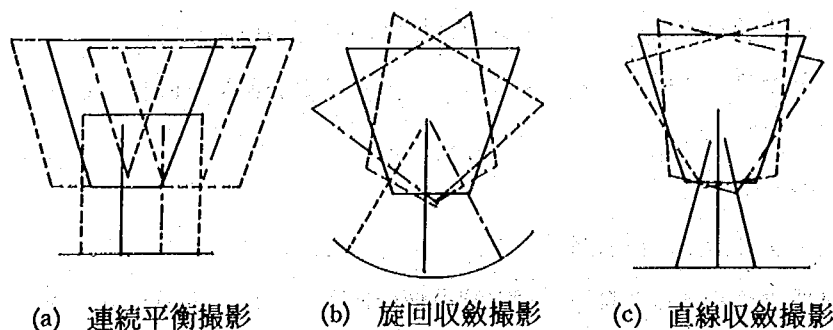
縮尺はイメージデータの情報精度に強く影響するパラメータである。このパラメータ (f/H) のうち、 H に相当する対地高度はヘリコプターの機能からみて任意に選びにくい。したがって、カメラ側の焦点距離を調整することによって縮尺を決定することになる。空中でズーム機能を使用する場合は、視察者が判断できるように、それぞれの焦点距離による映像を一定期間（例えば数秒）以上撮りうづけるようにし、またその時の焦点距離を音声で記録していくと良い。

b) 光 軸

重要な災害場面に遭遇すると、その場所を中心として旋回撮影（図—1.2 (b)）を行ったり、追跡撮影（図—1.2 (c)）を行ったりする場合が多い。災害情報を加工技術で高度化する場合は、図—1.2 (a) のような状態の方が、ステレオペアも作れ、飛行方法としては良好と考えられる。したがって、(a) のような撮影方法も必ず加えておくようにすることが望ましい。この場合、機体軸でなく飛行方向に直角に光軸をとることがポイントである。

c) 露 出

カラービデオカメラには自動露光調節機能があり、日中の野外であれば曇天でも撮影は可能である（最低感度 200 Lux）。しかし、垂直スチールカメラの場合、空中でのコントロールができないため、現地の照度条



図—1.2 斜め写真の分類

件を考慮し、露光量をセットしておかねばならない。この場合、機体振動の面から、シャッター速度 $1/250$ 以上が条件となり使用フィルムの感度条件に合わせ絞りを決定することになる。開放で $F5.6$ のレンズを使用しているので、一般的には、晴天の日中撮影が基本と見て良い。

フィルム感度のバリエーションが解像力は白黒フィルムの方が秀れているので、カラー写真にこだわらず白黒写真も活用したい。また、赤外フィルムを使用する場合は、フィルムタイプに合わせ IR フィルターを装着すること、及び焦点位置を修正しておく必要があるので注意が必要である。

1.4.3 災害形態からみた場合

a) 長大斜面崩壊・地すべり

御岳崩壊のような巨大な災害の全体像を一挙にとらえることは難しい。災害の各部分を総合して全体像をとらえることになる。

また、全貌を把握するためには遠景が多用されるし、二次災害や災害の拡大、施設の損傷程度の把握という目的に対しては要所要所で細部の拡大撮影が必要となる。こうした相反する情報を同時に収集することは、撮影カメラのズーム機能だけでカバーできない場合があるし、航続時間の制約もある。したがって、御岳崩壊のような巨大災害に対しては、あらかじめ、撮影目的により時間をかけて飛行することが必要と考えられる。災害の情報内容としては次の 2 つに分けられる。

① 災害の規模・範囲など実態をとらえる撮影

② 災害の拡大予測など変動要因をとらえる撮影

実態をとらえる場合、緊急を要する場面を除き、周辺からの撮影を中心とし、また、垂直光軸をもつモニタビデオカメラを活用して、参考図の定義に従う縦横断飛行を行うと規模・形態の把握が容易となる。特に、今後地形センサが導入されれば、リアルタイムで縦横断形、深さ、勾配などの重要な情報が得られることになる。

変動要因をとらえる撮影では、周辺部も含めた災害地全域が対象となる。変動要因の発生箇所がわかっていない段階では、横断ないしは縦断方向など、一定の飛行方向を保ち、走査する飛行方法をとるべきであろう。また、拡大撮影やステレオ撮影などで解読目的の映像を収集することが前提となるので、現場に合わせ、規準となる縮尺 (f/H) を定め、これに応じた、飛行速度、撮影高度等の飛行方法を採用することになる。このような、撮影・飛行方法を災害規模に応じて規準化しておくことも考えられる (図-1.3)。

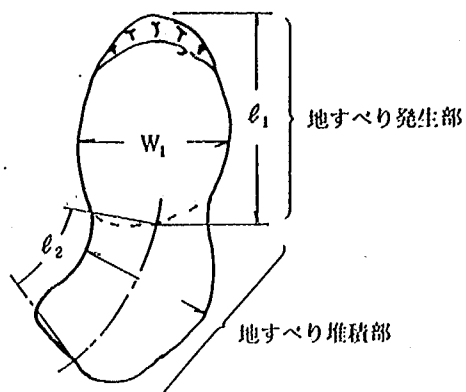
b) 天然ダム

天然ダムは、二次災害を伴う危険性が高い災害であり、応急対策や住民の避難など、緊急な処置が必要とされる。このため、ダム湖の水位上昇による氾濫や、越流・パイピングなどの決壊要因をすばやくとらえ、情報化し、対策本部に提供しなければならない。

したがって、天然ダムの撮影では、変動要因をとらえる飛行方法が中心となる。また、災害の拡大に関する時期的な予測も含まれており、時系列的な撮影・飛行が必要となる。

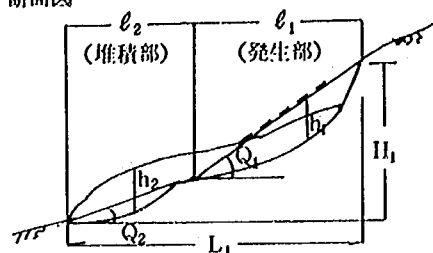
天然ダムに限らないが、緊急性を要する場合、計測技術による情報加工にかかわる時間的余裕は少ないと考えられるため、人工工作物の大きさとの比較対象や、道路や土地利用界の水没・埋没箇所及び決壊箇所の位置判定などによって、すばやく映像を情報化することが必要となる。この場合、経験・知識の豊富な視察

平面図



- W_1 地すべりの発生したブロックの最大幅
- W_2 移動した土塊の堆積域の最大幅
- l_1 地すべりの発生したブロックの最大水平距離
- l_2 移動した土塊の堆積域の最大水平距離

断面図



事例調査における l_1 , l_2 , W_1 , W_2 の定義

図一1.3 長大斜面崩壊・地すべり調査における規模の把握

者が解説を行い、できるだけ大縮尺のマップデータを補助材料として用いられることも必要と考えられる。

2. 既存災害VTRテープによる判断とその加工

2.1 概 要

最大斜面崩壊・地すべり及び天然ダムに関する空からの土砂災害情報は災害地の概要把握や応急対策工の検討の他、二次災害の予測や危険区域の想定あるいは住民の避難対策のために利用される。しかし、危険度判定や対策工法の検討に関する情報を空中からの調査で得られるわけではない。ここでは既往災害のビデオ映像からの土砂災害情報の適応性について検討した。

既往災害VTRテープは、下記のものを使用した。

表-2.1 既存災害VTRテープの概要

地 震	災害VTR
昭和59年長野県西部地震	「復旧に向けて」長野県西部地震の記録長野県西部地震・三滝村の被災状況
平成元年伊豆半島近海群発地震	「89.07.25災害」(伊東地区)

VTRテープは、いずれも1/2インチ規格のもので、1回以上のダビングを経ており、ヘリコプターからのオリジナル画像に比べて画質は悪化している。また、「89.07.25 災害」(伊東地区)のテープ以外は、「あおぞら号」による撮影機材は不明である。

素材とした映像は、概して土砂災害の根本を把握することを目的として撮影されており、特に土砂災害復旧に必要な情報を調査するための撮影・飛行方法はとられていない。したがって、土砂災害復旧に必要な情報の全てを得ることはできなかったが、この作業を通じて、調査を目的とした場合の飛行方法及び撮影方法を検討することができた。

地震による被害は次のとおりである。

表-2.2 地震による被害の概要

	長野県西部地震	伊豆半島近海群発地震
発 生 日 時	1984.9.14.8時48分	1989.6.30~7.21
発 生 場 所	御岳山南麓	伊東市宇佐見沖
規 模	M6.8 (9月14日)	M5.5 (7月9日)
断 層	NEE-SWW, 長さ15km	E-W右横ずれ
最 大 速 度	300gal (水平)	—
災 害 の 概 要	御岳崩壊(3,360万m ³)とこれによる天然ダム形成震源域を中心に崩壊多数、死者行方不明者29名。	伊東市宇佐見区を中心に、崖崩れ、道路の損壊、石積の崩壊、瓦の落下等の被害多数、軽傷者21名

2.1.1 判 読

判読にあたっては、情報の適切な収集と加工をするため、連続的にモニタするばかりでなく、適宜スロー再生・スチル再生ならびにハードコピーなどを素材として利用した。

既往災害VTRの映像を判読し、土砂災害の状況と、映像から読みとれる災害情報について、1/25,000 地形図にとりまとめた。判読は、経験年数の異なる2名で行なったが、経験年数による情報収集力の相違を明らかにするため、経験年数15年以上の者と、経験年数1年余のものが行なった。地形図には、崩壊地の地、移動土塊の堆積地・河道堆積物・道路等の欠壊箇所、被害家屋等を図示し、被災状況をコメントしてある。

今回の判読作業にあたっては、経験・学識など判読者の資質に負うところが大きかった。この点、音声による状況説明の入っていた長野県西部地震のVTRは、この音声が判読の助けになることが分った。また、ヘリコプターの所在地については、経験年数の違いが大きかった。したがって災害地の確認が手間どること、及び所在地を誤まる恐れがある点に注意が必要である。

- (1) 判読者の経験・学識で情報内容が異なる。現場を熟知している担当者が判読した場合、情報の精度が上がると思われる。とくに、深さ、高さなどの情報は、災害前の状況が分かっていると、埋没・欠除などの変化のため、とらえにくい。
- (2) 撮影時には、現場の状況・位置などをできるかぎり音声で入力しておくことが望ましい。

2.1.2 加 工

既存災害VTRの映像を判読した結果のうち、主要な災害箇所について以下示す判読表に取りまとめた。

2.2 御岳崩壊の判読 (判読表—2.4・写真1~4)

① 位置及び規模

崩壊の頭部は、御岳火山体の斜面と、伝上川に面した侵食斜面の交叉部(斜面変換点)に位置し、1/25,000 地形図より、標高2,550 m付近であることは比較的容易に分かる。

崩壊基部を伝上川河床(標高1,900 m前後)とみれば、水平長さは地形図から約1,250 mと求められる。

崩壊全景では、一見して一個の崩壊とみられるが、左側部の灰白色の崖を旧崩壊とみれば複合地形であることがわかる。このため、灰白部下付近を左側境界とし、地形図より幅をもとめると、約450 mとなる。

写真—1で、崩壊の斜面長は9 cmである。水平距離から、平均傾斜面を与え、斜距離を求めると、

$$\tan^{-1} \alpha = (2550 - 1900) / 1250$$

$$\alpha = 207.5^\circ$$

$$\cos \alpha = \frac{1250}{\text{斜距離}}$$

$$\text{斜距離} = \frac{1250}{\cos \alpha} \doteq 1,410 \text{ m}$$

写真上で幅が2.5 cmであるから、見かけの幅は390 m前後となる。

$$1410 : 9 = x : 2.5$$

$$x \doteq 390$$

斜め画像なので、狭く写っているが、迅速に規模を把握するにどの方法も考えられる。

崩壊の深さについては、カメラの焦点距離、撮影対地高度等の撮影条件が記録されていないため周辺の樹木を目安に推定した。写真-2で頭部の崖は、右側縁の樹木のおよそ5~6倍と判定され、樹木高を10mとすれば、崖高は50~60mとなる。

また、最深部は、崖下の崖錐斜面収れん部とみられ、崖高の2~3倍とすると、120~130m位と推定される。

崩壊土砂量は、崩壊面積に平均崩壊深を乗じて求められるが、平均崩壊深を崖高程度とみると、

$$1250 \times 450 \times (50 \sim 60) = 28.1 \sim 33.8 \times 10^6 (\text{m}^3)$$

という結果を得る。

② 土質・変状その他

写真-3は、崩壊頭部の崖の様子を示している。崖錐頭部との境より、赤茶のバンド（スコリア）、黒色のバンド（スコリア）、褐色のバンド（火山灰、スコリアなど）が識別され、黒色のバンド内には、4本の灰白色の地層（熔）がみられる。この層は左方で塊状になっており、薄層が派生しているのがみられる。

崖錐堆積物は数m以上の熔岩塊をふくむと推定されるが、堆積物がくずれた跡をみると、黄白色の地形（軽石層）があり、厚さは、10m前後で比較的うすいとみられる。また崩壊内部に多量の残土の存在は認められない。

周辺の山腹内部には、このVTRでみられるかぎり、亀裂、湧水、断差地形などは認められない。

湧水は、崩壊部には認められないが、伝上川谷壁から、写真-4に示すように多量の湧水があるのが認めら



写真-1 御岳崩壊全景

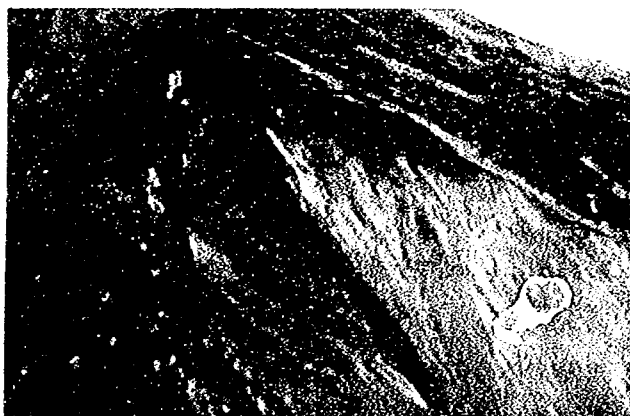


写真-2 崩壊頭部

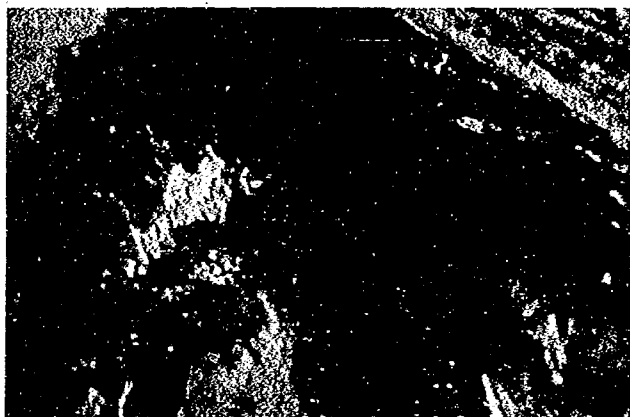


写真-3 崩壊壁部

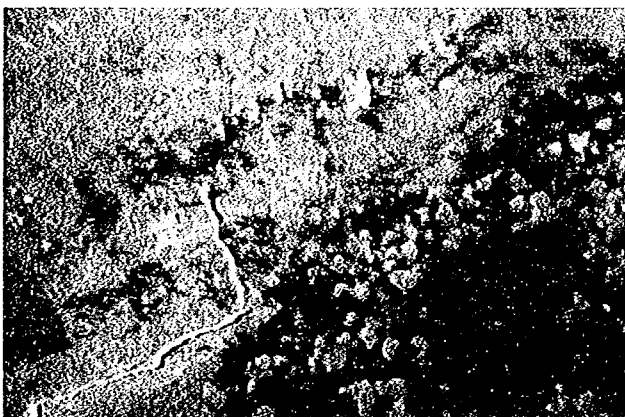


写真-4 伝上川谷壁からの湧水

表-2.3 御岳崩壊の規模

規模	技術者A	技術者B	地上調査*
崩壊の長さ	1,250m	1,250m	1,320m
崩壊の幅	450m	625m	420m
崩壊の面積	562,500m ²	781,250m ²	410,000m ²
崩壊の深さ	120~130(50~60)m	—	160(82)m
崩土の到達距離	9,800m	8,500m	13,500m
崩壊土砂量	34~28×10 ⁴ m ³	—	34×10 ⁶ m ³

*長岡(1985)⁴⁾()内は平均

れる。溶岩層と火砕物層との境界から流出しているようである。

これらの地層は発泡性の物質からなり、多孔性であるため透水係数は $10^0 \sim 10^{-2} \text{cm/sec}$ に達するものと思われる。また、伝上川の谷壁斜面から多量の湧水が認められたが地層位も異なるようであり、崩壊発生とのかかわりは不明である。

この崩壊に伴う土砂は、氷ヶ瀬付近にまで達しており、氷ヶ瀬集落の家屋を流失・損壊させているほか、濁川温泉や柳ヶ瀬区家屋の流失や、濁川及び越流した土砂が鈴ヶ沢で道路を寸断させている。

以上の判読結果をまとめると表-2.3 のようになる。技術者Aの結果は概ね 30% 程度浅く判定されている。崩壊が尾根部に発生したことを考えると、尾根稜部の高さを加えるべきであり、地形図からこれを推定することは可能である。

経験の浅い技術者Bでは、幅について、旧崩壊地もふくめた全体を捕らえていることが分かる。また、深さの推定は難しく、到達距離についても、一次堆積物の地形図が明らかな地点までとしている。

2.3 滝越崩壊の判読 (判読表-2.5・写真5~8)

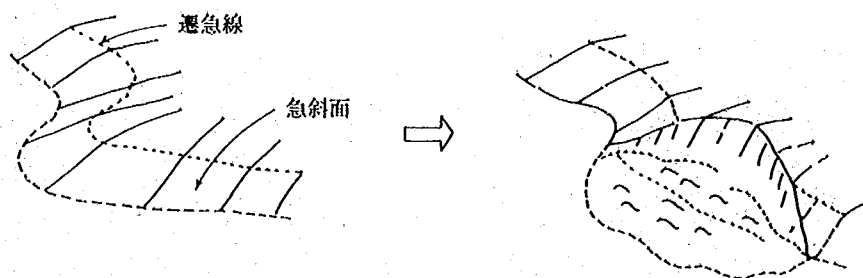
① 位置・規模

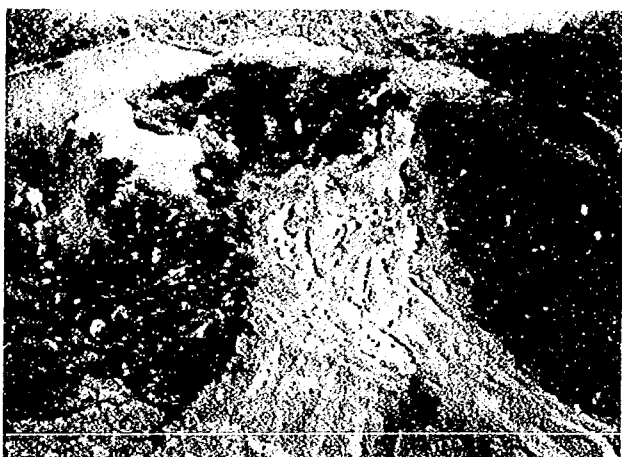
滝越地区に流出する尾根状谷壁が崩壊し、崩壊頭部の急崖はほぼ東西に走る垂直の断面をもち、断層などの構造に従った崩れのようにみえる(写真-5)。崖部の比高は、樹木の4~5倍で、50m前後と判断される。

また全体の長さは崖部の2倍程度で100m、幅は低部で100m位と考えられる。

崩壊砂量は、側壁(写真-6)でみると深さ20m前後で、 $100 \times 100 \times 20$ より200,000m³と予想される。

王滝川ダム貯水域に堆積した土砂は、 $300 \text{m} \times 200 \text{m} \times (2 \sim 3) \text{m}$ より $80 \sim 12.0 \times 10^3$ と計算されるので、120~80m³位が残留堆積物として残存していることになる。





写真一 5 滝城崩壊全景



写真一 6 崩壊崖部



写真一 7 流出土砂



写真一 8 被害家屋

② 土質・変状その他

写真一6によれば、黄白の軽石層とその下位の熔岩～集塊岩層が良く識別できる。崩土中にみられる灰白色の縞状模様は熔岩―集塊岩のブロックが流動とともに崩れたことを思わせている。

急崖下にも多数の熔岩塊が点在するが、王滝川貯水池に流入した土砂は、これらの岩塊が多数混入し、三日月状の堆在地形を形成し、移動土塊の流動の様子を表わしている（写真一7）。

軽石層ならびに熔岩・集塊岩石は透水性は良いとみられる。急崖からの湧水はなく、その跡もみられない。

山腹斜面の亀裂、割れ目は識別できない。

写真一8は、被災家屋の状況を示している中央の赤尾根の庭先まで土砂が及び小屋が破損している模様である。上流側の白色の部材が散乱しているあたりは全壊家屋とみられる。また、流心付近にもなお、2～3戸の家屋が存在するだけの広さがあり、家屋流失被害があったものと推定される。

また、写真にあるように、王滝川沿いの道路は2本とも完全に流失している。

③ 天然ダム

王滝川ダム貯水池に流出した土砂は、小規模ながら天然ダムを形成させた。水位は標高1,040m位の所にある。

- 22 -

概判

表-2.5 滝越崩壊の判読表

災害名	(長野県西部) 地震		場所	滝越	種別	① 長大斜面崩壊・地すべり 2. 天然ダム		調査年月日	S59.10.4	整理番号	on-5
撮影条件	時刻	災害現況(対象:)									
	緯経	のりしろ (スケッチ, 写真)									
	高度	急崖がつらなる谷壁 溶岩台地 切立った崖 灰白色腐植模 (溶岩ブロック 崩れ流れた様子) 斜面崩れ残り 高さ 50 m 長さ 100 m 幅 100 m 深さ 10~15 m									
	範囲	岩盤ブロック									
	焦点	50 m 70~80 m									
	カメラ	① ビデオ ② ビデオ(モニター) ③ 垂直ステレオ ④ 赤外ビデオ									
種別	① 垂直 ② 斜め										
伏角	度										
コメント	○ 崩壊崖部は垂直に近い急崖で東西方向に伸びる。円弧すべりを呈していない。 ○ 崩土は崩れた山体が押しつぶされたようになり、流大土砂にほぼ匹敵すると思われる量の砂が崖脚部にたまる。 ○ 図④のように尾根が崩壊したことが想像される。										
	災害の位置、平面形・形状 (スケッチ, 地形図) 土質(地質)の性状 ○ 灰白溶岩ブロック状粒状パターン ○ 側壁からみて、溶岩部はもともと急崖 ○ 透水性良好										
規模	長大斜面崩壊・地すべり ○ 長さ $L_{max} = \bar{L}$ m ○ 幅 $w_{max} 100 \bar{w}$ m ○ 面積 $\bar{L}, \bar{w}$ 10000 m² ○ 到達距離 L_s 600 m ○ 土量(堆積) $v = s \times \bar{d}_1 = 60000 \times 2 \sim 3$ $120 \sim 80 \times 10^3 m^3$ $s = \bar{w}_2 \times \bar{L}_s$ 60000 m² $\bar{w}$ 300 m² $\bar{L}$ 200 m² ○ 移動速度 $v = (/) / (/) m/s$ ○ 高さ $H = 10$ m ○ 長さ $L = 300$ m ○ 幅 $B = 300$ m ○ 堰止め長 LL 350 m ○ 水位 $h = \frac{1045m}{\Delta h = /m}$ ○ 湛水面積 $SS = B.L50 \times 300$ 15000 m² ○ 越流流量 $Q = SS \times v = \frac{10 \sim 15}{v = (/) / (/)} m^3/s$										
	土質・変状 ○ 崖部拡大写真では、厚さ10~15の灰白~黒色の溶岩層、上位の軽石層がみられる ○ 山腹のきれつや非破壊部の変状(樹木のきれつ)などは、識別できない ○ 湧水は認められず、湧水が流出した跡もない。透水性は良いとみられる ○ 移動工塊によって、道路及び人家が流失、人家は2~3戸流失した可のう性有 ○ 移動土塊により、王滝川ダム貯水池はほぼ100%埋まる ○ 小尾根(15~20cmの比高)をのり越えた土砂の一部が谷あいの人人家まで及んでいる 人命、建物、施設等具体的に記述する。										
被害状況	○ (規模) 崩壊規模は中~大の部類に入る ○ (変状) 崖部に割れ目などは識別できないが、軽石部は不安定でなお後退する可のう性あり ○ (変動) 脈大の土砂は不安定で、今後も流出する恐れある。 ○ (被害) 人家2~3戸流出、損壊家屋3~4戸 ○ (避難) 伝上川沿いの道路は寸断され、三浦ダムを経て岐阜県側から進入するのみ。										
	概略判定 二次災害の可能性 (① 有 2. 無) 地上調査の必要性 (① 有 2. 無)										

地形図より湛水域を調べると合流点よりやや下流までで、湛水長 300 m 位、幅 50 m 位とみて、湛水面積は 15,000 m² となる。

流入流量は、溢水流路の状況からみて 20~20 m³/s 程度と思われる。

(幅 10 m×水深 1~0.5 m×流速 2 m)

粗大な岩塊をふくむので、一気に流出することはないようである。

2.4 濁川合流点に形成された天然ダムの判読 (判読表—2.7・写真 9~14)

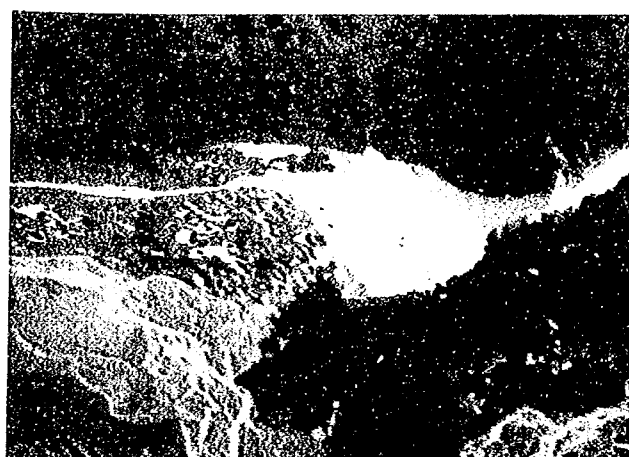
① 位置・規模

御岳崩壊の崩土は伝土川及び濁川の溪岸を 50~100 m の高さまで削削しながら流下し、王滝川と濁川の合流点における狭窄部を乗り越え、王滝川を堰止めている。天然ダムによる湖水の水位は、ほぼ満水位に近く、緊急対策によると思われる水路が開削されている。天然ダムの天端標高は、ダムの平面形と、地形図の等高線の形状との照合や上流左岸の軌道 (道路) 及びトンネルが埋没していることから約 1,030 m と推定される。したがって、旧河床標高 995 m~1,005 m であることから、天然ダムの高さは 25~30 m と推定される。また、天然ダムの幅は 350 m、長さは 450 m と判定された。実際には、一次堆積土砂は氷ヶ瀬周辺 (あるいは牧尾ダ

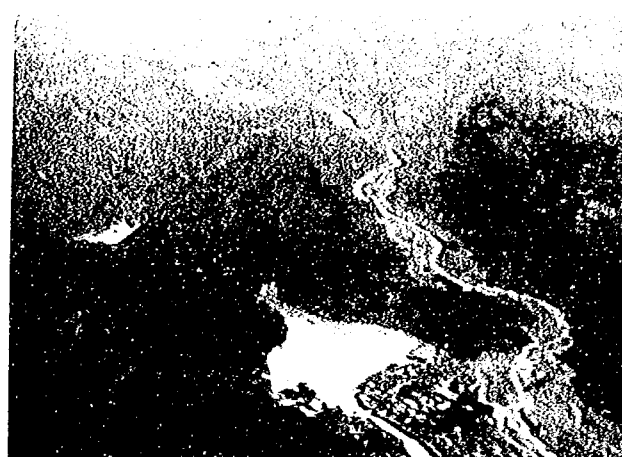
表—2.6 天然ダムの規模

調査項目	技術者A	技術者B	地上調査
天然ダムの高さ	25~35m	30~50m	27~46m
天然ダムの長さ	450m	450m	5,000m
天然ダムの幅	350m	350m	280m
溢水長 (面積)	1,000m (25.5万m ²)	1,700m (17.0万m ²)	2,500m (15万m ²)
流入流量 *	10~15m ³ /sec	—	—
水位 (変化) *	10~15cm/h	—	—
平均粒径	64~128mm	—	0.9~2.9mm
透水係数	10 ⁻² ~10 ⁻⁴ cm/sec	—	—

*開削水路 **マトリックス



写真—9 天然ダムの位置
(開削水路による排水工が見える)



写真—10 天然ダムを下流から上流に
むかって望む

— 25 —

張

ム貯水池付近)まで達しているはずであり、下流側の境界は決めがたい。湖水は王滝川ダム付近にまで達している模様でせき止め長さは1,700 mと推定された。

濁川合流点から上流側の天然ダムの堆積土砂量は、単純な計算では、 $450\text{ m} \times 350\text{ m} \times 85\text{ m} \sim 35\text{ m}$ より3.9百万 $\text{m}^3 \sim 5.5$ 百万 m^3 と見積もることができる。

② 土質・変状その他

天然ダムを構成している一次堆積物は、黒褐色を呈し、乱雑な凹凸の表面をともない、凹所に水溜を形成している。

黒褐色の色は黒色～褐色スコリアに由来すると思われ、表面にはこれらの火砕物が多いものと判断される。一次堆積物の本体は、数m～10数mにも及ぶ巨大な岩盤（溶岩、集塊岩起源）ブロックを多数ふくんでいる。乱雑な堆積相が予想され、マトリックスとしては火山灰及び粉碎された軽石・スコリアに由来する物質となっており、透水係数はオリジナルの堆積状態より悪化していると考えられる。

二次流出（円弧すべり）等の徴候は認められない（距離が遠く識別できないことも考えられる）。

天然ダムの天端付近まで水位が及んでおり、開削水路によって排水を行なっている。越流流量は10～20 m^3/s 位とみられる。

写真－11、12に示したように、一次堆積物は、河道の統幅部に氾濫原状に残存し、氷ヶ瀬付近までつづく。また、一次堆積物により河道閉塞をうけ支川出口に小規模の天然ダムを作っている場所がある。

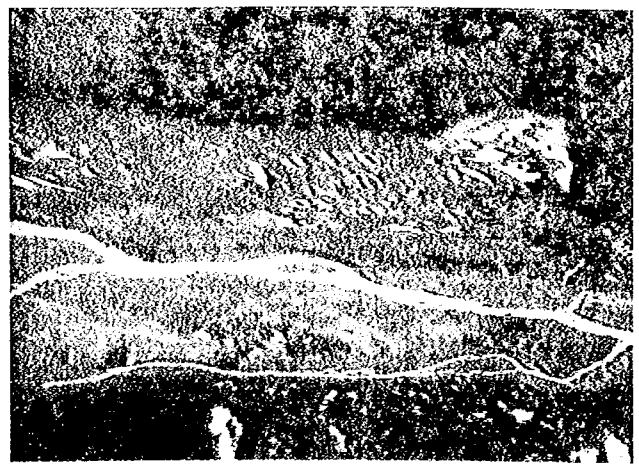
写真－13は、濁川温泉付近の河岸にみられる熔岩岩塊からなる流れ山で大きな家屋以上の大きさである。こうした岩塊が移動土塊の中に多数ふくまれていることは容易に想像できる。逆に下流、瀬戸付近まで下ると、乱雑な一次堆積物からなる地形は認められなくなり、写真－14に示すように縦列砂礫堆～交互砂礫堆領域に入り、完全に掃流による砂礫堆地形が展開するようになる。

この付近の堆積物は最大級の礫で1 m前後と思われる。

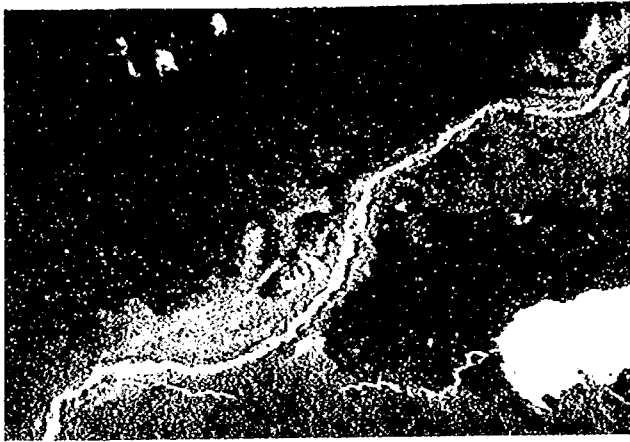
また、一次堆積物の表面が黒褐色を呈していることから、スコリアが選択的に表面に集積していることが予想される。また、表面の凹凸の凹部に水溜まりができていることを考え合わせると、堆積物の透水性はあまり良くないと考えられる。



写真－11 一次流出土砂の堆積状況



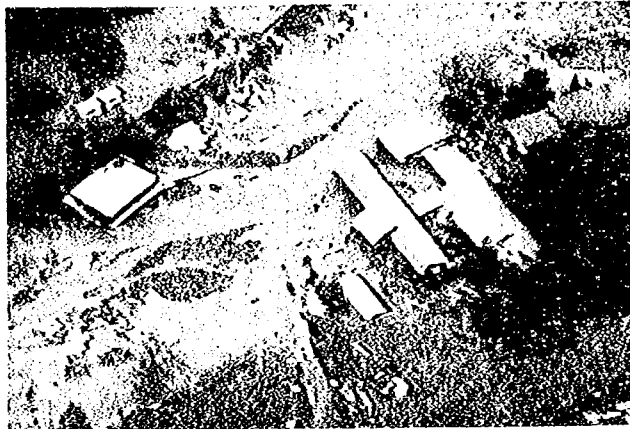
写真－12 流出土砂で閉塞した支谷の溜水



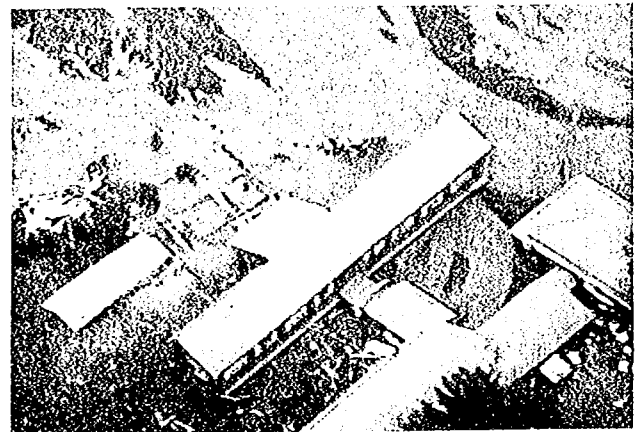
写真一13 濁川温泉付近の流れ山



写真一14 細野牧場付近の河床



写真一15 氷ヶ瀬地区家屋の損壊



写真一16 同上拡大

以上の検討から、天然ダム堆積物の本体の構成物質は、数m以上の岩塊をふくむ溶岩角礫と、スコリアや軽石の粉碎物質が混成したものと考えられ、平均粒径は 64~128 mm程度、また、その透水係数はマトリックスを細砂~シルトとみて、 10^{-3} ~ 10^{-4} cm/sec程度の値と推定される。

2.5 氷ヶ瀬地区の家屋の損壊状況の判読（判読表一2.8、写真 15~16）

① 被害状況

VTR音声によれば家屋 1 階部分は埋没とされている。写真一16 によれば、窓は 1 階分しかみられず、音声どおりの状況といえる。

青屋根の上流の小建物が軒まで埋没しているので、1 戸部分まで埋没していることは、確かであろう。状況からみて、2 m程度の堆積厚とみられ、河道付近では 3 mは堆積しているとみられる。

青屋根から道路までは、河川が氾濫しており、現在も洗掘がつづいている。

この付近は、掃流による堆積地形があり、1 m未満の砂礫を中心とした堆積物から構成されている。

砂礫堆表面が黒いのはスコリアが逆sortingで表面にたまっているためとみられる。一次堆積層と異なる所は、表面にしわ紋様や凹凸がない点である。

被害物への害路は切断され孤立しているので、救助はヘリコプターによる以外にない。

表-2.8 水ヶ瀬地区家屋の損壊の判読表

災害名 (長野県西部) 地震		場所 水ヶ瀬		種別 1. 長大斜面崩壊 ② 河在変動	調査年月日 S59.10.4	調査者 藤田 幸	on-15
撮影条件	時刻	災害現況 (対象:)					
	緯経	のりしろ (スケッチ、写真)					
	高度	トンネルから河川水が流出している					
	範囲	道路土砂で埋移 0~15m					
	焦点	堆積厚 2~3m 最大深 1m 以下					
	カメラ	一次堆積物					
種類	① ビデオ ② ビデオ (モニター) ③ 垂直ステレオ ④ 赤外ビデオ						
伏角	① 垂直 ② 斜め						
コメント	○家屋の損壊・埋没が認められる ○暗茶色の堆積物は砂堆状 (自然堤防状) を示し、土砂が拡散していたことを示す。この堆積相は、したがって掃流による二次堆積物とみられる。 ○道路も土砂がたまり、通行は不可となっている。						
規模・被害状況	長さ	l_{max}	$\bar{l}$	m	高さ	H=	m
	幅	w_{max}	$\bar{w}$	m	長さ	l=	m
	面積	$\bar{l}$	$\bar{w}$	m	幅	B=	m
	到達距離	l_2		m	堰止長	LL	m
	土量 (堆積)	$v = s \times \bar{d}_1 =$		m ³	水位	$h = \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \end{matrix} \text{ m}$	$\Delta h = \text{ m}$
		$s = \bar{w}_2 \times \bar{l}_2$		m ²	湛水面積	SS=B.L	m ²
移動速度	$v = (\quad) / (\quad) \text{ m/s}$			越流流量	$Q = SS \times v = \begin{matrix} (\quad) / (\quad) \end{matrix} \text{ m}^3/\text{s}$		
土質・変状	この地区で明確な一次堆積物は認められない。南寄りのものは一次堆積物の可能性有 ○掃流領域では、最大級隣 1m 以内とみられる ○堆積厚では、埋没状況がみて 2~3m とみられる 斜面のり面のきれつ、くさ構造物の変状、沢水・湧水のにごり変化、樹木の変位傾きなど具体的に記述する。						
被害状況	○青層根の建物 1F 軒下まで土砂がたまっている模様。白層根もほぼ同様 ○白層根下流の家はほぼ全壊、青層根の上流側に一棟有流失している ○現在もお河川の洗根をうけており、被害が拡大する恐れがある。 人命、建物、施設等具体的に記述する。						
概略判定	二次災害の可能性 (① 有 ② 無)						地上調査の必要性 (① 有 ② 無)

設計形・横断形

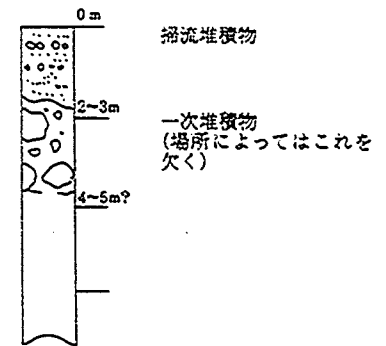
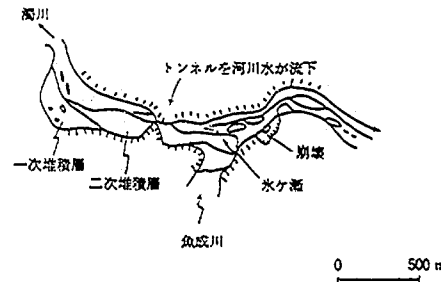
災害の位置、平面形・形状

土質 (地質) の性状

(スケッチ、地形図)

○掃流による土砂、一次堆積物よりは、分級進むとみられる。

○南側には一次堆積物存在する



コメント

○ (規模) 上流のトンネル付近の狭さく部が減勢効果を及ぼし、全戸流出の被害はまぬかれた。

○ (変状) 河川による洗掘により、流失の危険性有

○ (変動) 河川水流の変動などは不明である。

○ (被害) いづれの建物を損壊・埋没をうけている。

○ (避難) 道路は途絶し孤立している。

2.6 松越崩壊の判読 (表-2.9・写真 17~20)

① 位置・規模

崩壊は、道路のやや上から、大又川の河谷底にまで及び、比高約 50 m にわたっている。

長さは約 150 m、幅は、副崩壊もふくめ約 100 m である。最大の深さは電柱を目やすにすると 3 本分位で、30~40 m と推定される。平均的深さを 20 m とすれば崩壊土砂は $225 \sim 300 \times 10^3 \text{ m}^3$ と見積られる。

三滝川の牧尾ダム貯水域に達した土砂はそのうち約 $1/2$ の $150 \times 10^3 \text{ m}^3$ と推定される。

崩土は、対岸の斜面を比高 25 m 位まで削剝し、三沢の段丘にのり上げた後、大又川を流下した。

② 土質・変状その他

崩壊底部は、なめらかなスベリ面となっていない。したがって、地層の不連続が考えられ、その境界に沿って滑落したことが考えられる。

③ 被災家屋

流失した害屋は、スペースからみて 3~4 軒有ることが考えられる。また、半壊し落下しかかっている家屋 (写真-19) や、地震による損壊害屋 (写真-20) (青シートをかぶせた屋根) もあり、被害規模は大きい。

崖下の生コンプラントも流失したといわれている。三沢の台地上に残骸が存在する。

道路は、上・下共流失し、現状では通行不可能となっている。



写真-17 松越崩壊全景

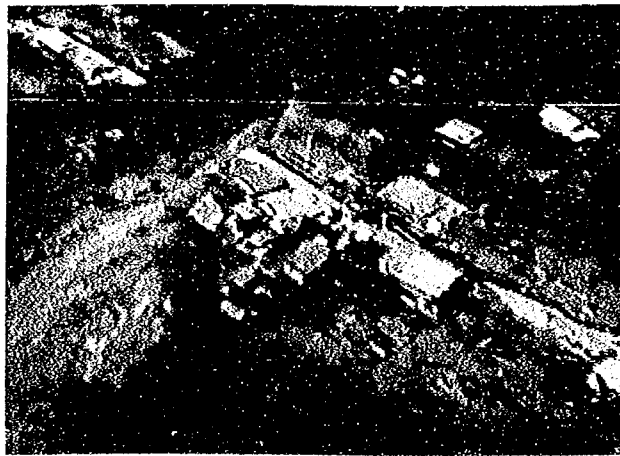


写真-18 松越崩壊頭部

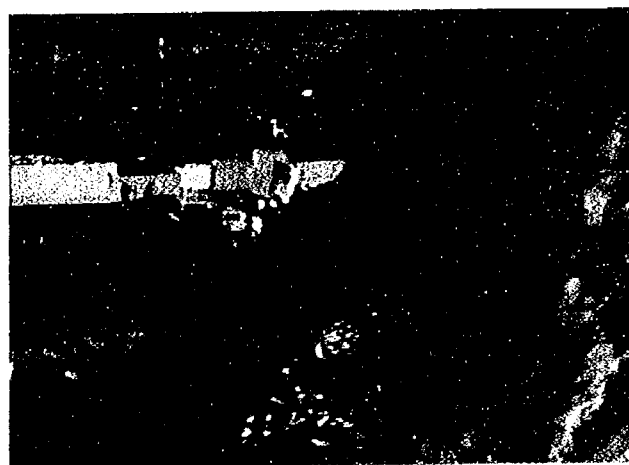


写真-19 被害家屋

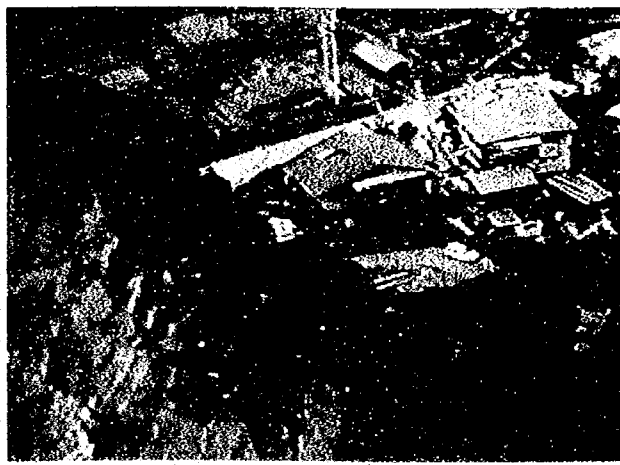
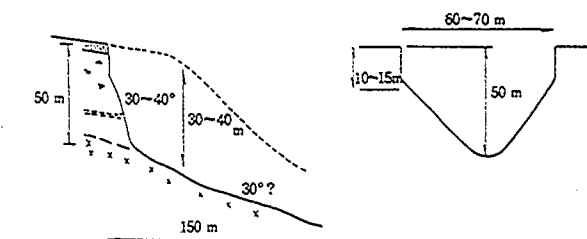


写真-20 道路の亀裂、家屋の損壊

表-2.9 御岳崩壊の判読表

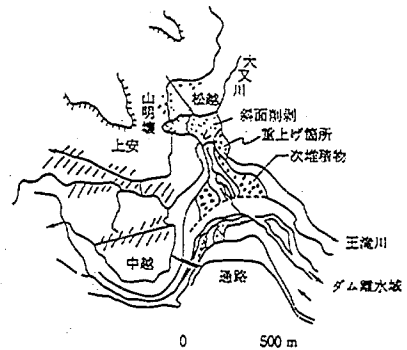
災害名 (長野県西部) 地震		場所 松越		種別 ① 長大斜面崩壊 2.		調査年月日 S59.10.4		整理番号 on-17	
撮影条件	時刻	災害現況 (対象:)							
	緯経	のりしろ (スケッチ, 写真)							
	高度								
	範囲								
	焦点								
	カメラ	① ビデオ ② ビデオ (モノクロ) ③ 垂直ステレオ ④ 赤外ビデオ							
種別	1. 垂直 ② 斜め								
伏角	度								
コメント	○段立状の山腹, 滑動面は垂直に近く, 引張によって引きさかれたように見える ○半壊家屋及び対岸の家屋共に二次災害の恐れ有, 道路のクラーク (青シート) 有。 ○流出家屋, 3~4軒は有りそう。死者も予想される。(生コンプラント(左岸)流失との音声)								
規模・変動	長さ	l_{max}	150	$\bar{l}$	m	高さ	H	m	
	幅	w_{max}	100	$\bar{w}$	m	長さ	l	m	
	面積	$\bar{l}, \bar{w}$	15000		m	幅	B	m	
	到達距離	l_2	500		m	せきとめ長	LL	m	
	土量(堆積)	$v = s \times d_1$	$750000m^3$			水位	$h = \left(\frac{\Delta h}{m} \right)$	m	
		$s = \bar{w} \times \bar{l}_2$	$75000m^2$			湛水面積	$SS = B \cdot L$	m^2	
土質・変状		$\bar{w}$	350		m^2	越流流量	$Q = SS \times v$	$\frac{m^3}{s}$	
		$\bar{l}$	500		m^2		$v = \left(\frac{\Delta h}{m} \right) / \left(\frac{\Delta h}{m} \right)$	$\frac{m}{s}$	
	移動速度	$v = (\quad) / (\quad)$	m/s						
	土質	○軽石層が30m~35m位の厚さで堆積, 基盤との境界で破壊							
	変状	○湧水は識別できない, 透水性は良, 基盤との境界で不良となっていることが予想							
	変状	○石上部に道路などがあり, 二次崩壊の危険有							
被害状況	○半壊家屋崩壊の現れ有								
	○流出家屋3~4軒はある模様								
○崩壊による半壊家屋の他, 屋根に青シートがかけられており, 損壊をうけている家					人命, 建物, 施設等具体的に記述する。				
○道路は, 参地上のもの, 下のもの共に流失, 出島地区孤立									
概略					二次災害の可能性 (① 有 2. 無)				
略定					地上調査の必要性 (① 有 2. 無)				

段断面・横断面

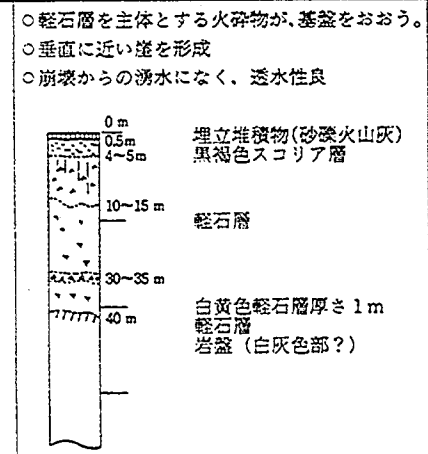


災害の位置, 平面形・形状

(スケッチ, 地形図)



土質(地質)の性状



コメント

- (規模) 御岳・流越と共通のパターン (軽石層の破カイー引張による崩壊)
- (変状) フラックが発生しているようで, 二次災害が予想される。
- (変動) 滑動面が粘着力に依存しているにしても, 安息角位まで緩傾斜化する必要がある。今後崖の後退で崩壊は拡大する。
- (被害) 流出家屋があるようで, 死者も予想される。
- (避難) この付近一帯の人たちは, 上島地区などに一時避難する必要がある。

2.7 伊豆スカイライン崩壊の判読（判読表—2.10・写真19～22）

① 位置・規模

伊豆スカイラインゴルフ場と沢口集落の間に位置する。標高は約500mである。

幅28m、長さ15m、崩土の到達距離約250mで崩壊土砂は420m³程度と予想された。

道路幅は通行中の自動車及び分離帯ペイント長などの標尺にかわるものを利用して規模を推定できる（写真—20, 21, 22）。

② 土質・変状その他

ごく浅い谷頭状の凹所を通過するため、盛土を行ないコンクリートよう壁で固めてあった部分が、よう壁ごとずり落ちたもようである。

崩土は乱雑な土砂で、下流部では谷地形が明確になるため次第に先細りして堆積している（写真—20）。

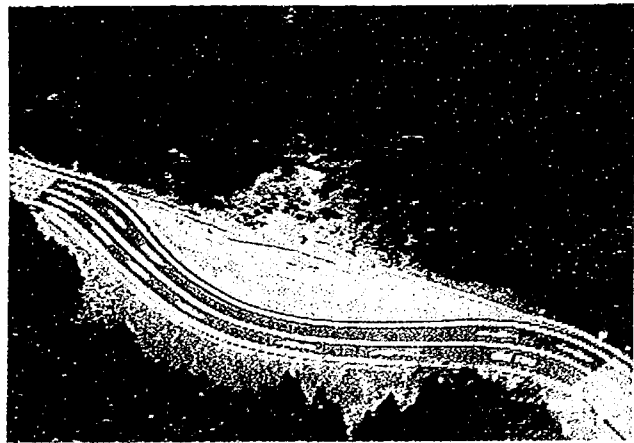
周囲の状況から、崩土によって立木がかなり倒されていることが予想される（写真—20）。

クラックや段差が残存しているため崩壊の拡大が予想されるが、これに伴う被害はほとんど考えられない位に小さい（写真—21）。

この場所は標高が高く、ヘリコプターとの相対距離が小さくなっており、 (f/H) が大きくなる結果、数cm大のものが識別できる画像が得られている（写真—22）。



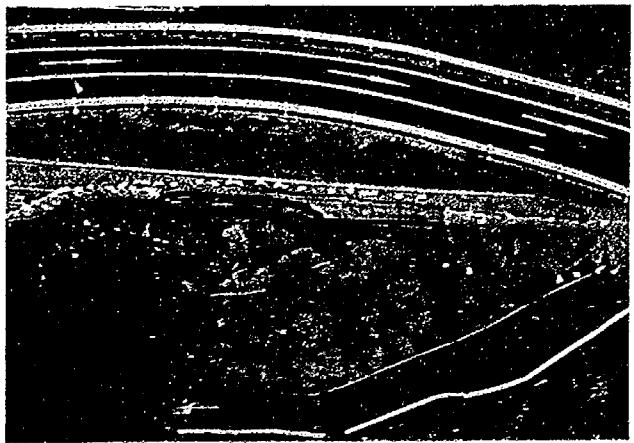
写真—19 伊豆スカイライン崩壊全景
(モニタービデオ垂直)



写真—20 同上ふかん撮影



写真—21 伊豆スカイライン崩壊 頭部横



写真—22 伊豆スカイライン崩壊 頭部正面

表-2.10 御岳崩壊の判読表

災害名 (伊豆半島近海群発)地震		場所 伊豆スカイライン	種別 ① 長大斜面崩壊 2.	調査年月日 89.07.25	調査者	on-1
撮影条件	時刻	災害現況 (対象:)				
	緯経	のりしろ (スケッチ, 写真)				
	高度					
	範囲					
	焦点					
	カメラ	① ビデオ ② ビデオ (モニター) ③ 垂直ステレオ ④ 赤外ビデオ				
種別	① 垂直 ② 斜め					
伏角	度					
コメント	○直路路肩部の崩落。谷頭状の凹所のため盛土区間と思われる。 ○道路幅の1/2が崩れ、さらに拡大の様子 (クラックの発達) ○崩土は、下方林内に残存、川まで達していない様子。立木の被害有。					
	災害の位置、平面形・形状 (スケッチ, 地形図) 伊豆スカイラインゴルフ場 伊豆スカイライン 0 500 m					
規模・被害・変動	長さ	l_{max} 15. $\bar{l}$	m	高さ	H=	m
	幅	w_{max} 28 $\bar{w}$	m	長さ	$l=$	m
	面積	$\bar{l}, \bar{w}$ 420	m	幅	B=	m
	到達距離	l_z 50	m	せきとめ長	LL	m
	土量 (堆積)	$v = s \times d_1 = 600 \times 0.7 = 420$	m ³	水位	$h = \frac{\Delta h}{m}$	m
		$s = \bar{w}_2 \times \bar{l}_2$ 600	m ²	湛水面積	SS=B.L	m ²
	$\bar{w}$ 12m ² $\bar{l}$ 50m ²		越流流量	$Q = SS \times v = \frac{m^3}{m \cdot s}$	m ³ /s	
	移動速度	$v = (\quad) / (\quad)$ m/s				
土質・変状	○崩壊中心部は、砂質土で、20~30cmの岩塊がふくまれる。口庄側部は集塊岩のようである。 ○湧水は認められず、土層は比較的乾いている ○旧道路路肩はえぐられており、路面にクラックや段差があり、再崩壊の可能性有					
	斜面のり面のきれつ、人工構造の広状、沢水、湧水のにごり変化樹木の岩傾きなど具体的に記述する。					
被害状況	○盛土部分がコンクリートよう壁と共に崩落。 ○崩土による立木の被害、20~30本位。 ○崩壊が拡大しても、直接被害は少ない。					
	人命、建物、施設等具体的に記述する。					
概略判定	二次災害の可能性 (1.有 ② 無)					地上調査の必要性 (① 有 2.無)
コメント	○ (規模) 規模は小さく、崩壊・崩土による人的被害はない。 ○ (変状) クラック、段差有、放置すれば拡大する。 ○ (変動) 斜面上の崩土の流出を抑制する必要がある。 ○ (被害) この道路は、伊豆スカイラインの一部で、伊東と修善寺を結ぶアクセスとなっている。 ○ (避難) 道路のう迴ばかりでなく、路肩部の安定化、崩壊部の安定化が必要。					

2.8 伊東市周辺の被害の判読 (写真 23～26)

① 宇佐美城宿地区の崖崩れ (写真一23)

工場もしくは作業所の切土斜面が崖崩れを起こしている。

崩土が、一部屋根のヒサシまでかかっている。建物の大きさは $10\text{ m} \times 6\text{ m}$ で高さは 3 m 位とみられる。この大きさから、崩壊の規模を推定すると高さ 10 m 、幅 20 m 、また深さは $2 \sim 3\text{ m}$ と推定される。

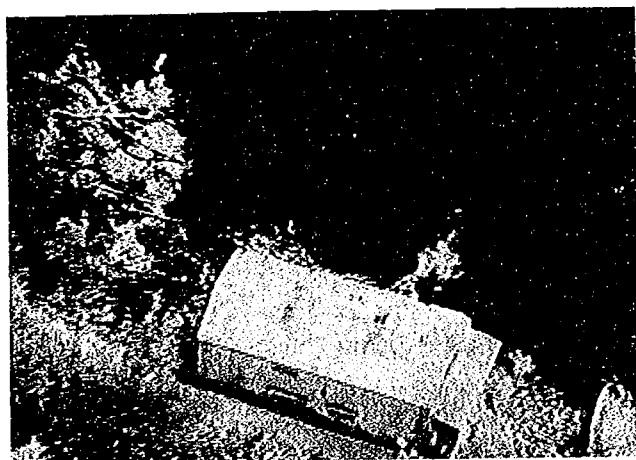
崩壊は全て崖下にあり、今後次第に建物に影響を与えることが考えられる。人的被害はなかった模様である。

土質は凝灰岩の固化土層とみられる。

② 伊東市新井二丁目の崖崩れ (写真一24)

旧海蝕崖の崖部の崩壊、建物の大きさなどからみて、高さ $15 \sim 20\text{ m}$ 、幅 10 m で、深さは判定が難しいが 1 m 以内とみられる。凝灰岩の風化層か泥質的な印象を示す。崩土は崖下の植生に抑えられ、空地やさらに国道までは流出していない。

裏山の崖崩れとしては、大きな部類に入る。これより小さい、家屋裏の小段が崩れたなどの被害は数多く存在するにしても、低空からゆっくりていねいに撮影しない限り発見はむずかしい。



写真一23 崩壊による一部埋没の状況
(宇佐美城宿地区)



写真一24 伊東市新井二丁目崩壊屋根瓦の損壊



写真一25 伊東市芝町の寺屋根瓦の損壊及び
墓の倒壊



写真一26 伊東市大川河岸ホテル屋根の損壊
(松川町対岸)

③ 伊東市芝町の寺の屋根瓦の損壊・墓の倒壊 (写真一25)

市街地の地震被害で、空中から判定しやすいのは屋根部の損傷であろう。特に、防水シートでおおわれていると損傷家屋を発見しやすい。

この寺の場合、屋根稜部に損傷をうけている。また、墓地では倒れた墓石まで判読できなかったが空から墓壇部が認められた。

④ 伊東市松川町河岸のホテル・屋根の損壊 (写真一26)

寄せ棟の屋根の損傷を示唆する防水シートが見られる。

屋根以外の壁面の亀裂、傾きなどは、この既存VTRではほとんど識別することはできなかった。地上からの調査報告では、多数の損傷家屋の存在が報告されているが、空中からのモニタリングでこれら細かな被害を全て発見することは難かしく、また防災情報ヘリコプターの活用目的からも離れると考えられる。

2.9 ビデオ素材の解読による土砂災害情報の内容と対応性のまとめ

長野県西部地震災害及び伊豆半島近海群発地震を撮影したビデオ素材の解読を通じて、土砂災害情報の内容との対応性の検討を述べてきた。この検討結果を最大斜面崩壊・地すべり及び天然ダムそれぞれの判読に際しての留意点としてまとめると以下の通りである。

a) 長大斜面崩壊・地すべり

災害の発生位置及び範囲については、地形図と画像を照合することにより、境界線は比較的容易に描くことができる。また、侵食・堆積の区別も可能である。したがって平面的な情報、長さ、幅、面積などは比較的容易に求められ、概略の土砂量を過去の災害事例などで把握すれば、概略の規模をつかむことができ、対策検討のための基本的情報を与えることになる。

次に、対応対策工を検討するためには、縦横断形状や崩壊深、堆積厚等の鉛直方向の規定判定が必要となる。斜め撮影による映像には鉛直方向の成分も含まれ、判読作業では視察者が独自に判断しているが、建物の階高や電柱(13~17 mぐらいで15 m前後が多い)あるいは樹高などが基準長さとして利用することができる。経験豊富な技術者であれば、マクロ的には地上調査に近い規模を推定することができる。しかし、より精度を高めるためには、大縮尺地形図を用意したり、新たな地形センターのデータを用いるなどの工夫が必要である。

危険区域の住民の避難は、二次災害で直接住民に被害が及ぶ地区ばかりでなく、アクセス道路等のライフラインの被家も含め、孤立地域を出さないようにしなければならない。適切な避難対策のためには、いつ、どこで、どのくらいの規模の二次的な土砂の移動・流出が起こるかを知ることがあるが、これらの予測のためには斜面の変状に関する情報が必要である。空中からの概査でこれらが発見することは容易でないが、位置が明らかになれば、時系的な調査で、変化量がつかめる場合もある。

崩壊の発生予測には斜面勾配(縦断形状)ばかりでなく地山のc、 ϕ 条件及び含水量(透水性)などの土質条件の推定が重要である。今回の判読においては経験年数の長い判読者は土質定数を推定することができたが個人差が大きい。地質図による資料から推定することになる。粒度組成についても岩塊規模のものが存在することは判っても、全体の程度分布を映像資料から得ることは困難であった。間近に類似の災害があればその

調査結果を参照とすると良い。

b) 天然ダム

天然ダムが形成されると次の二次災害が発生する恐れがある。

1) 上流の湛水による水没被害

2) 天然ダム決壊に伴う下流域の洪水

2) の天然ダムの決壊原因では、越流によるものが最も多い。したがって、満水位標高（天然ダム標高）及び満水位に達する時刻（湛水量÷流入流量）が重要な情報となる。また天然ダムとしては、最低箇所が満水後の越流開始箇所となりやすいことから堤体の最低箇所を調べることが必要である。天然ダムの高さは地形図から読み取ることができ、ダム軸方向の断面形も得られる。この際、精度よく把握するためには、縮尺の大きい地形図が必要となる。

天然ダム湖を三角錐に近似すれば、次式で概略の湛水量を算定することができる。

$$v = \frac{1}{3} S \cdot H$$

v：湛水量，H：ダムの高さ，S：湛水面積

また、3.4で記述する流速測定を行い流量Qを推定すれば、満水位時刻を予想することが可能である。

ビデオ映像から流速を測定する際、一般には洪水初期以外は浮遊物が少なく、流速測定のための映像を撮ることが予想される。そのためには3.4で述べるように浮子の投下により流速を把握することになる。また、洪水が濁水となっている場合は河床状況が判らないので、縮尺の大きな地形図から流水断面を推定する必要がある。

次に越流やパイピングに対する堤体の抵抗性が問題となる。また、決壊に伴う洪水の規模はダムの大きさや決壊の程度によって異なる。堤体材料の粒度組成や透水係数はこれらの決壊予測のために貴重な情報となるが、ビデオ映像からだけでは、これらを予測することは困難である。今回判読した結果、土質性状は、透水係数、中央粒径とも実測に近い推定値を示すが、ビデオ映像から直接判定したものでなく、視察者が経験や資料に照らして総合判断したものであって根拠はうすい。ビデオ映像から判別できるのは、堆積境界、流れ山、粗大岩塊の所在、一次堆積地及び二次掃流河道の区別などに限られる。

3. ヘリコプターによる模擬被害の調査

3.1 模擬被害の内容

関東地方建設局日光砂防工事事務所管内稲荷川流域および大谷川下流流路工において被災箇所を想定し、砂防施設の被災状況の点検を行った。模擬被害は、図-3.1 に示す箇所で、No.8 地点では流入流量の測定実験を行なった。なお撮影は平成2年10月9日午前10時30分より午前11時30分にかけて建設省ヘリコプター「あおぞら号」⁹⁾によって実施した。天候はくもりであった。なおこの時の模擬被害の撮影はヘリコプターの対地高度約400m、カメラの焦点距離約55mmでとらえ画像縮尺は約1/580であった。

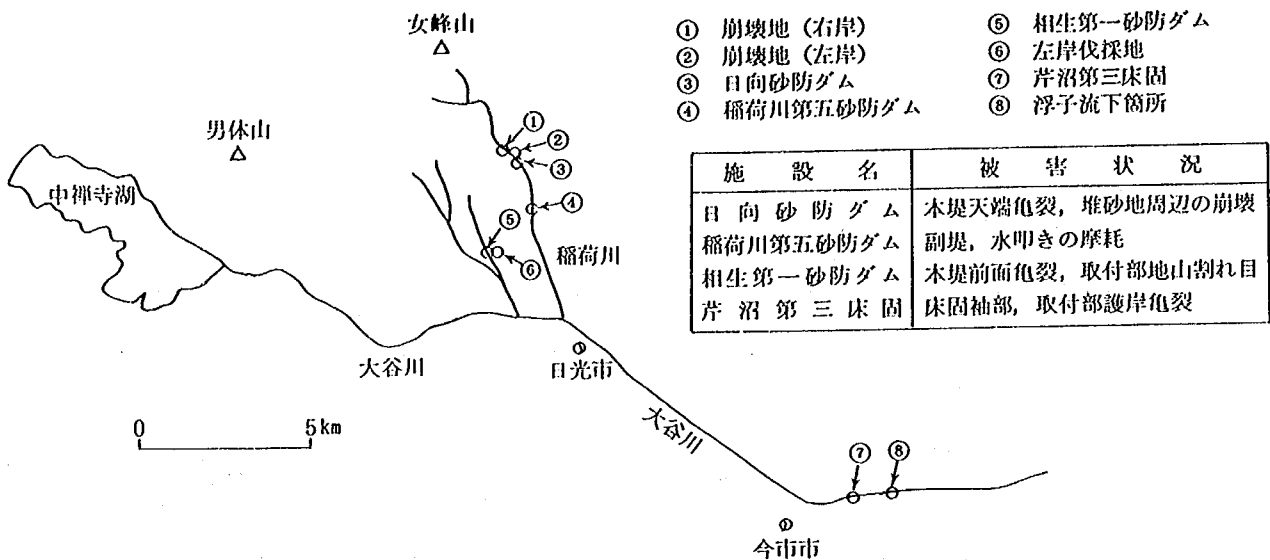


図-3.1 模擬被害等撮影地位置図

3.2 被害状況の判読

1) 砂防施設の損傷状況

a. 日向砂防ダム (写真27a, 27b)

ビデオ映像写真に示したように、本ダム右袖部天端に2本の亀裂が堤軸に直角方向に走る。この亀裂群は、前面ないしは後面にまで及んでおらず、天端部分に限られている。したがって、堤体が割れている状況は考えられない。

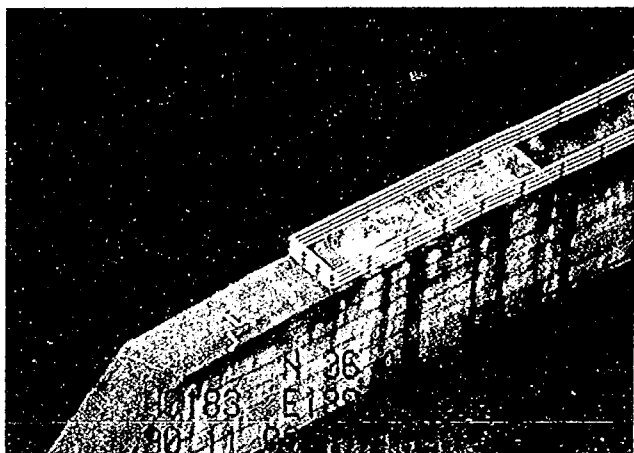
また、水通しに近い袖部天端に2つの形の亀裂がある。これらも、堤体内部に亀裂が進行しているとは考えにくい。ごく表面部分のコンクリートの亀裂と考えられる。

各々の亀裂の規模は次のようなものと推定される。

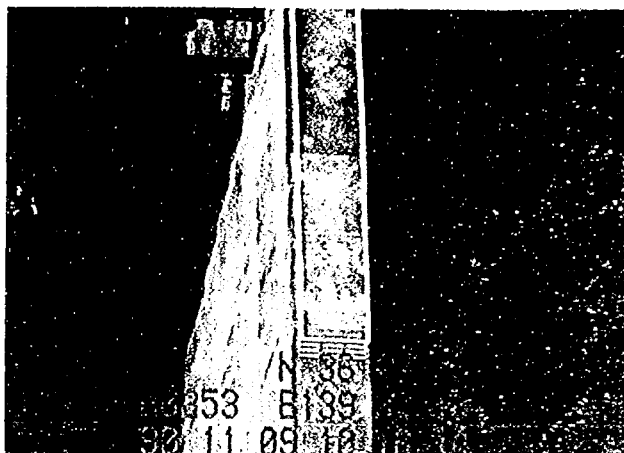
天端幅は、設計図書によると3.00mとなっている。画像bでは、約12mmであり、縮尺(t/H)は250分の1となる。

b. 稲荷川第五砂防ダム (写真28a, 28b)

ビデオ映像によれば、練石積砂防ダムの副ダム部に、摩耗とみられる損傷が観察される。



a



b

写真-27 日向ダム本堤右袖天端亀裂 (③地点)



a



b

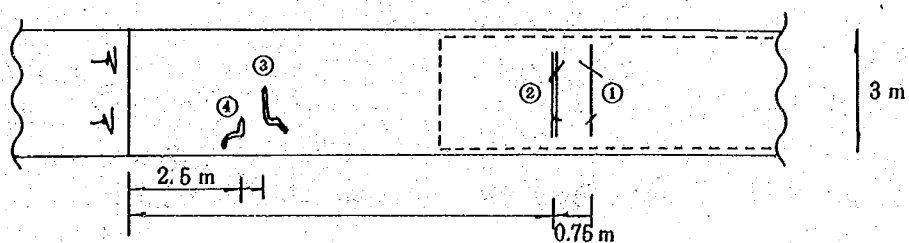
写真-28 稻荷川第5砂防ダム副堤損傷 (④地点)

表-3.1 日向砂防ダム①の長さの計算例

例. ①の長さ $9 \times 250 = 2,250\text{mm}$ (2.25m)

	①	②	③	④
長さm	2.3(9.0)	2.1(8.5)	1.0(4.0)	1.3(5.0)
幅cm	7.5(0.3)	15.0(0.6)	7.5(0.3)	15.0(0.6)
深さ	各亀裂共表面部分のみ。			

()内は画像上の長さ, mm。



副ダム水通しは一度コンクリートによる補修を行なったもようで、その部分が再度摩耗している状況が読みとれる。工法からみて、砂防事業の初期の施工と考えられ、本ダム水通し部の損傷もふくめ、摩耗が激しい。

損傷の規模は次のように推定される。

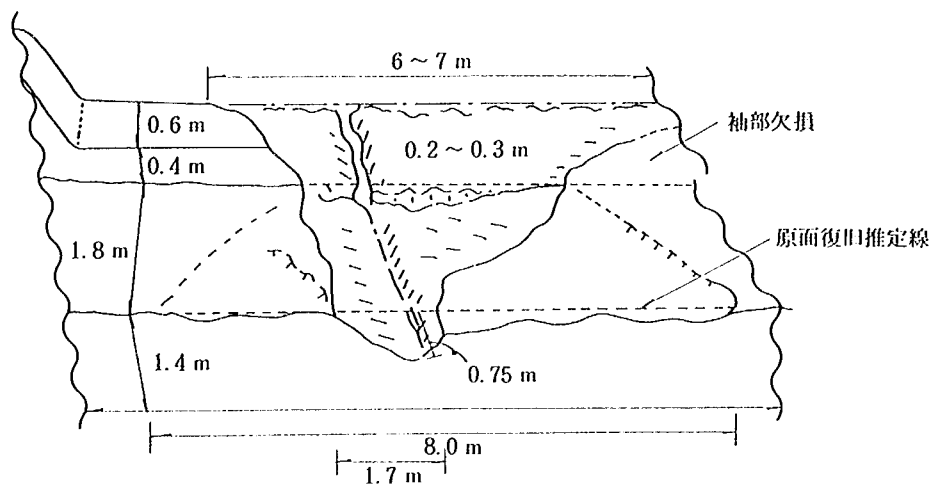
副ダム天端幅は、設計図によれば、1.8mとなっている。これを、画像上での各部分の長さにあてはめると、下の図一3.2のような形状が読みとれる。

c. 相生第一ダム砂防ダム（写真 29 a, 29 b）

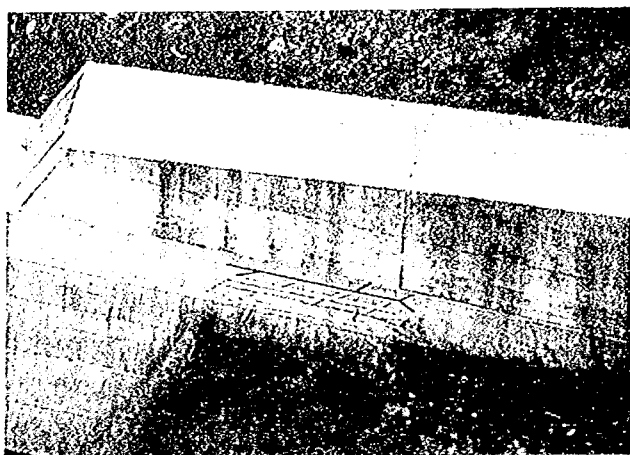
ビデオ映像に示したように、本ダム前面両袖部に各々3本、合計6本の亀裂が読みとれる。

亀裂はほぼ水平に走り、間隔は比較的狭く、枝分れしたものや二次的に派生した短い亀裂が発達する。

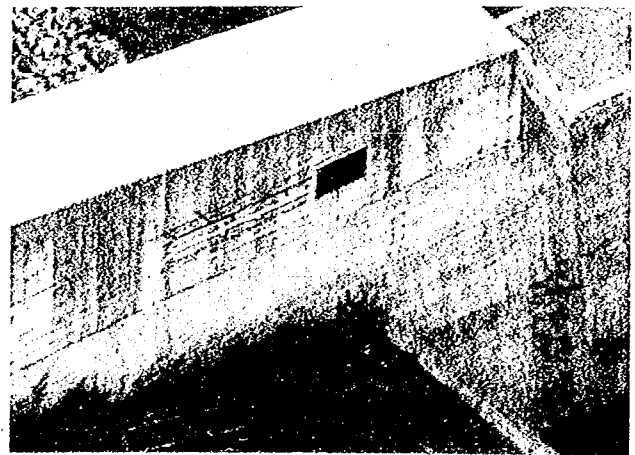
亀裂の位置は、左岸が水通しのやや下、右岸がやや上となっており、放置すれば、袖部そのものの損壊につながる恐れがある。亀裂が進行しないように、補強する必要がある。



図一3.2 稲荷川第5砂防ダムの損傷状況の判読



左岸 a



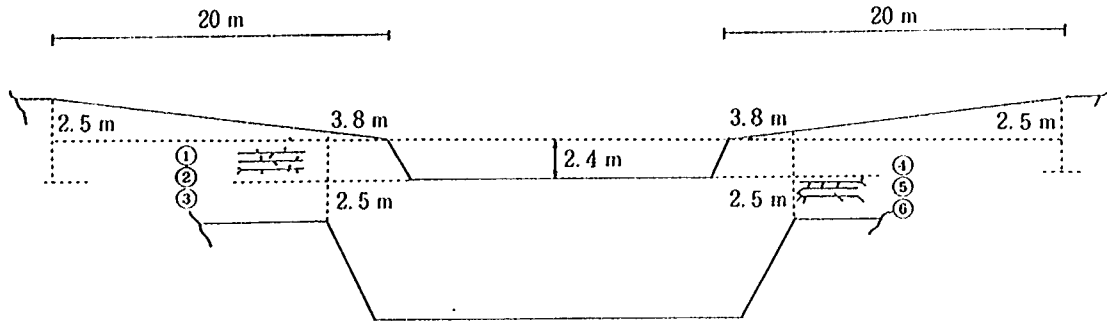
右岸 b

写真一29 相生第一砂防ダム本ダム前面亀裂（⑤地点）

表一3.2 相生第1砂防ダムの亀裂の判定

	左 側 a			右 側 b		
	①	②	③	④	⑤	⑥
長さm	5.7(27.0)	5.7(27.0)	5.7(27.0)	4.0(22.0)	4.0(22.0)	4.0(22.0)
幅cm	10(0.5)	10(0.5)	6.0(0.3)	7.0(0.4)	7.0(0.4)	5.4(0.3)
深さ	亀裂は前面のみだが、コンクリート打設境界などに及び、深いことも予想される。					

*縮尺：a=210分の1, b=180分の1, ()内画像の長さmm



各々の亀裂の規模は次のように推定される。

側壁護岸天端と直上の袖部天端との比高は、下図より、 $(2.5 + 2.4 + \frac{2.5}{20} \times 3.8) = 5.375$ 、約 5.4m である。左右同形であるのでこれを基準に画像を計測する。

また、枝分れした短かい亀裂もふくめたゾーンを想定すると、次のようになる。

表一4.3 相生第1砂防ダムの亀裂ふくめたゾーンの判読

	左 岸 a	右 岸 b
縦 m	2.1 (10.0)	1.8 (10.0)
横 m	6.9 (33.0)	4.7 (26.0)
面積m ²	14.49	8.46

*() 内画像の長さmm

d. 芹沼第三床固 (写真 30 a, 30 b)

ビデオ映像に示すように、右岸袖部及び護岸に各々3本及び2本の亀裂が認められる。

袖部の亀裂は、天端から前面にかけて発生しており、堤体深くに破損が及んでいることが予想される。ビデオでは確認できないが、細い亀裂が後面(床固上流)まで及んでいる可能性が高い。

また、護岸部の亀裂が、袖部の変位に伴うものとするれば、亀裂から護岸までの袖部が全体としてブロック化していることも考えられる。

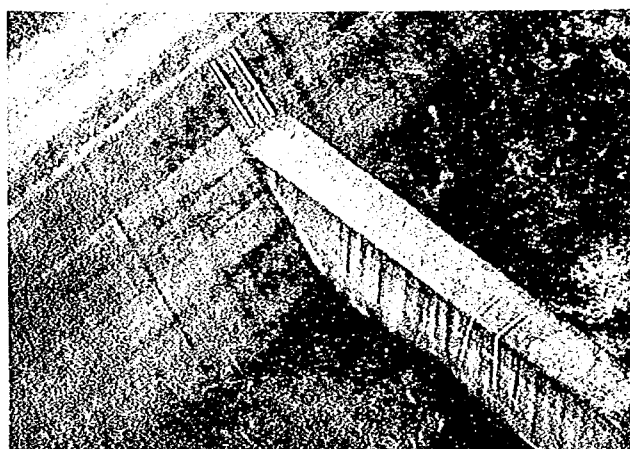
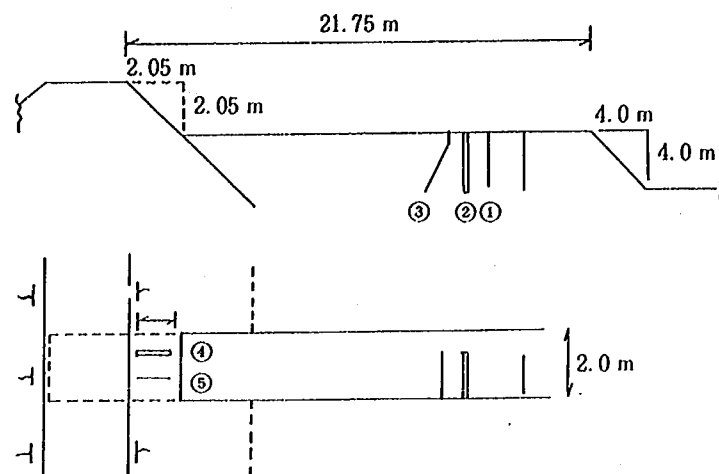
したがって、強度は著しく低下していると考えられ、早急な補強が必要と考えられる。工法としては、護岸もふくめ、根入れの深いコンクリート工が必要と考えられる。基礎地盤の改良が前提となる。

各々の亀裂の規模は次のように推定される。

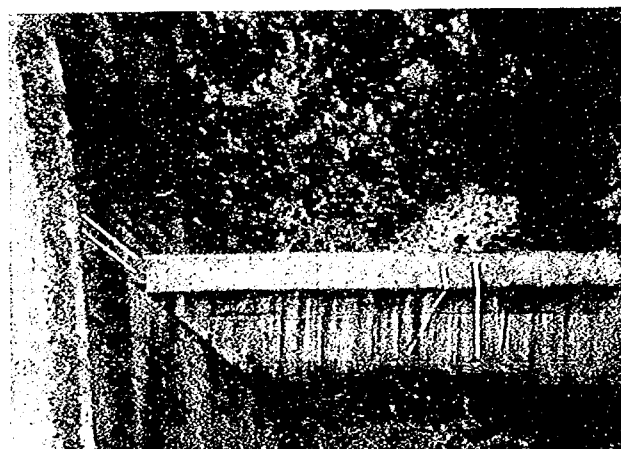
表一3.3 芹沼第三床固

		床 固 b			護 岸 a	
		①	②	③	④	⑤
長さm	天端	—	1.3(5.1)	1.3(5.0)	—	—
	前面	3.0(12.1)	2.8(11.0)	3.1(12.2)	2.3(11.7)	2.3(11.4)
幅 cm		12.5(0.5)	20.0(0.8)	12.5(0.5)	14.0(5.7)	8.0(0.4)
深さ m		200cm~130cm (天端幅全体の恐れ)			50cm (護岸に全体)	

* () 内画像の長さmm



a



b

写真一30 芹沼第三床固左岸袖部・護岸亀裂 (⑦地点)

護岸の袖天端から上の部分は、実長で約 2.8 m である。画像 a では 14 mm であり、縮尺は 200 分の 1 である。

また、袖部の高さは約 4.0 m であり、画像 b では 16 mm であるため、縮尺は約 250 分の 1 と考えられる。

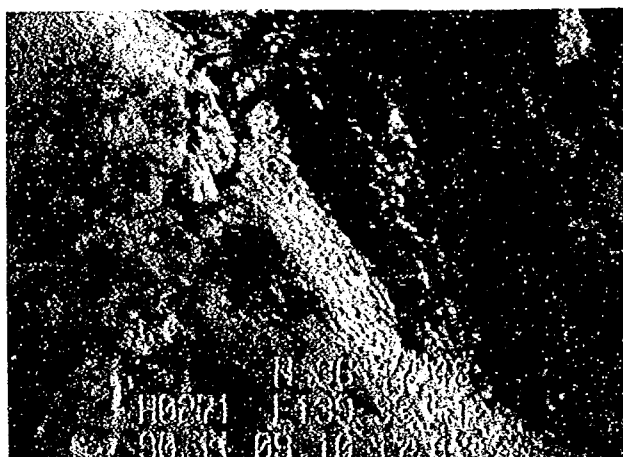
2) 崩壊地の状況

a. 日向砂防ダム上流右岸崩壊地 (写真 31 a, 31 b)

日向砂防ダム堆砂地右岸部攻撃斜面に発生している崩壊地である。



a



b

写真-31 日向ダム上流右岸崩壊地 (①地点)

ビデオ映像写真 a に示したように、溪谷形成後に流下堆積した溶岩段丘の段丘崖の性格をもつ。

これらの溶岩及び火砕物は、第四紀の女峰・赤薙溶岩及火山砕屑岩で両輝石安山岩質のものが主体となっている。各溶岩及び火砕岩の層厚はわからない。

崩壊は、標高約 1200 m の段丘面から発していることが、1/25000 地形図との対比から読みとれる。また、その基部は小米平下流砂防ダムの堆砂地にあり、標高 1135 m として、約 65 m の比高をもつ。

ダム堆砂地の河幅は崩壊中央付近で約 50 m である。画像上の河幅は、12 mm 前後であり、画像の縮尺は約 4200 分の 1 とみられる。

崩壊の縦×横は 30 mm×50 mm となっているので崩壊の実際の規模は、126 m×210 m と計算される。その平均傾斜角は $\sin^{-1}(65 \div 126)$ より、 31° と推算される。

崩壊は、上半部でガリーが発達し、溶岩の岩塊を下方斜面に供給している。このため、ガリー谷の出口、崩壊の中央付近より崖錐が発達し下半部一帯は、崖錐斜面が広がる。土砂生産の盛んなガリーは白っぽく見え、崩壊中央部とその左右に 1ヶ所づつ発達している。

崖錐の下部は暗色を呈し、拡大画像では草・かん木などの植生が発達しつつあることがわかる。また、下端部は、砂防ダム堆砂地の氾濫原より 1 m 程度段丘化し高くなっている。今後、河川の側方浸食で崖下が浸食されると、崖錐自体が崩壊し、流出する恐れがある。

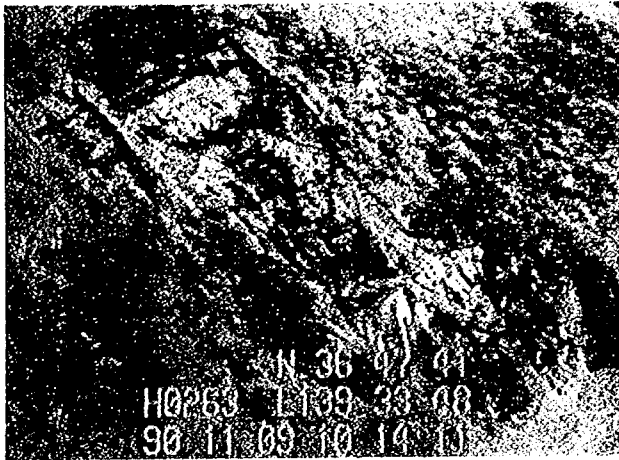
b. 日向砂防ダム上流左岸壊地 (写真 32 a, 32 b)

稲荷川の谷壁のほぼ全体に及ぶ崩壊地である。滑動を伴う崩壊ではなく、右岸崩壊地と同様に岩層の自由落下による急崖の後退というプロセスが主体と考えられる。

崩壊下部は日向砂防ダムの堆砂地に接し、崖錐斜面はほとんど発達していない。本来の崖錐斜面は日向砂防ダムの建設に伴って、堆砂地内部に固定されているものとみられる。

崩壊地の地質は、女峰・赤薙溶岩及び火山砕屑岩層からなる。これらは、ほぼ水平に近い層理を示すが、各層の厚さ及び枚数ははっきりしない。

崩壊地は、これらのルーズな火山岩層が自由落下によって削剝を受けており、ビデオ映像写真 a に示すように、落下岩層の通路は樋状にガリー地形を呈し、その境界はナイフリッジになっている状況が認められる。



a



b

写真-32 日向ダム上流左岸崩壊地 (②地点)

ビデオ映像写真bは崩壊地を頂部からふ観した映像である。この映像からも明らかなように、崩壊内部には岩屑の堆積地は認められず、安息角を超えた急斜面であることがわかる。また、溶岩と思われる黒色の岩峰状凸起が顕著であり、ナイフリッジも明らかに認められる。

崩壊は、左岸側稜線部の緩傾斜面と稻荷川の谷壁斜面を分ける傾斜変換線付近に頂部があり、その標高は1/25000地形図によれば1330m付近にある。また基部は、日向砂防ダム堆砂地レベルにあり、およそ、1150mと考えられる。したがって、崩壊地の高さは、180mに達するものと推定される。

崩壊の幅は、写真bにおいて崩壊谷出口中央から砂防ダム袖部までの距離を基準に選ぶと、実際は約135mのものが画像上では、3.5cmとなっており、縮尺は約3860分の1であるから、崩壊の幅60~50mmより、210~190mと推算される。

しかし、砂防ダム堆砂地と崩壊幅測定箇所とは、130m程度の比高差があるもようで、上の縮尺はそのままあてはまらない。

ヘリコプターの堆砂地からの高度は写真bより165mであり、崩壊の高さ180mを加え、345m以上と考えられる。ここで、ヘリコプターの高度を約400mとすると、上記の幅は、次のように補正される。

$$210 \sim 190 \times \frac{270}{400} = 140 \sim 128\text{m}$$

実際の平均的な崩壊幅は約130mとなっているので上記の推定はほぼ妥当であることがわかる。

また崩壊深は写真a・bより、水平離隔量13mmより、上の手順に従って33mと計算される。すなわち、水平方向には30m前後の奥行きがあるものと推定される。

写真aにおいて、崩壊の高さは60mm前後、水平距離は70mm前後となっている。高さ180mより、水平距離は、210mと計算され、平均傾斜角は約40°に達することがわかる。

崩壊の出口には、幅約30m、長さ約50mの小規模な崖錐が発達する。

これらは砂防ダム堆砂域の氾濫原を堆積基準としているため、洪水時には常に浸食を受けていると考えられ、直ちに土砂の供給量(崩壊の活発さ)を判定することはできない。昭和57年の嵩上げ工事後から満砂に至る期間は5~6年であるので、現在まで3~4年で上記の崖錐ができ上がったことになる。

崖錐の平均堆積厚を 3 m と仮定すると、堆積土砂量は、 $30 \times 50 \times 3 = 4500 \text{ m}^3$ であり、 $1500 \sim 1000 \text{ m}^3 / \text{年}$ の年平均流出量が推定される(ただし主崩壊のみ)。この値が 2 倍になったとしても、崩壊地の規模からみると土砂生産量は少ないといえるが、その原因はこの期における生産プロセスが岩屑の自由落下を主体としていたためと考えられる。こうした崩壊地では、むしろガリーではさまれた岩峰や硬岩層の不安定化に伴ない岩盤崩壊を起こすことが多く、土砂生産の主要なプロセスはこのタイプと考えられる。

3) 地割れの判断 (写真 33 a, 33 b)

相生第一砂防ダム左岸取付部の伐採跡地(現状は低木が密生)を人工的に伐開した。

砂防ダムの堤体天端幅は 3 m であり、また、水叩きの長さは 20 m、水通しから水叩きまでの長さは 8.5 m、水通し天端高さ 18 m 等がわかる。伐採地の規模は相生第 1 砂防ダムの天端巾をキーに諸定した。画像から推定される大きさと実寸法を比較すると表-3.4 のようになる。なお、今回の模擬被害の撮影はヘリコプターの対地高度約 400 m、カメラの焦点距離約 55 mm で行い、画像縮尺は約 $1/580$ であった。

しかし、あらかじめ所在が知られていない場合、見過ごしてしまう恐れがある。とくに色調が周辺の植生地と類似している場合にはその可能性が高い。地割れの規模も亀裂と同様に計測誤差は大きい。しかし、時系列的な観察によって、数 10 cm 程度の変位(例えば幅 50 cm $\rightarrow$ 100 cm の変化)であればとらえられる可能性がある。

表-3.4 地割れの大きさの比較

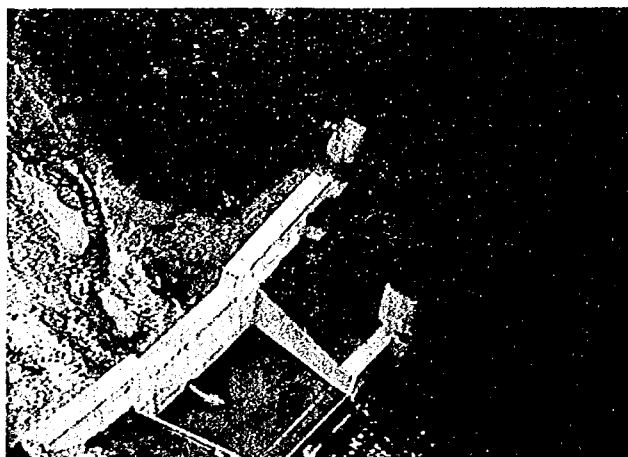
単位: cm

	計測値	実寸法
左	120 $\times$ 190	75 $\times$ 100
中	60 $\times$ 60	50 $\times$ 50
右	(-) $\times$ (-)	100 $\times$ 30

各欄共、幅 $\times$ 長さ、(-)印: 視認不可



a



b

写真-33 ⑥相生第一砂防ダム左岸伐採地
○印内が伐採地

3.3 被害状況の判読のまとめ

3.2で述べてきたヘリコプターによる被害状況の判読をとりまとめる。

a) 砂防構造物の亀裂

各砂防構造物に想定した亀裂の親模を VTR から推定した結果と実際の大きさを表-3.5 にまとめ比較した。計測は、ビデオ映像写真（ハードコピー）上の砂防構造物の天端幅や目地間隔等を求め、単純に画像上の亀裂像の長さおよび幅に乗じて計算した。結果を要約すると次のようになる。

1) 縮尺が 1/200 前後を境に小さくなると、黒色の 1.9 cm 幅の狭いテープは幅の識別ができない。ただし相生第一ダムのように、かすかに存在が分かる場合もある。テープの幅は実寸法に比較して 2 倍から数倍広く認識されている。

2) テープの長さの計測誤差はテープの幅に比べて誤差は少なく -10% ~ +40% となっている。

以上の結果から、コンクリート構造物の亀裂で破断面が新鮮な場合、縮尺 1/200 程度の撮影条件で幅 2 cm 前後のものは十分視認できることが明らかになった。ただし、幅そのものを危険度評価の基準に使うことは避けるべきで、亀裂の長さ、密集度、および構造物における位置などを総合して判断すべきと考えられる。

また表-3.6 に、日向砂防ダム上流に発生している崩壊地の計測結果を示した。計測の基準は砂防ダムの堆砂地の幅などで、縮尺の大きな地形図や設計図などの補助材料が必要である。ここでは判読は 1/2.5 万地形図を補助に使ったが、1/500 地形図からのデータに対して概ね整合しているようである。ただし、崩壊深に

表-3.5 亀裂の大きさ比較

単位：cm

施設名	位置	亀裂の種類 (粘着テープ)								縮尺
		白 広		黒 広		白 狭		黒 狭		
日向砂防ダム	右袖 (内)	230	15.0	(一)	(一)	210	7.5	(一)	(一)	1/250
		215	5	220	5	230	1.9	230	1.9	
	右袖 (外)	(×)	15.0	(一)	(一)	(×)	7.5	(一)	(一)	1/250
		265	5	255	5	270	1.9	265	1.9	
相生第一砂防 ダム	右袖	570	10.0	570	10.0	570	6.0	570	(一)	1/210
		400	5	400	5	400	1.9	400	1.9	
	左袖	400	7.0	400	7.0	400	5.4	400	(一)	1/180
		400	5	400	5	400	1.9	400	1.9	
芹沼第三床固	床固	280	20.0	300	12.5	310	12.5	(一)	(一)	1/200
		265	5	265	5	260	1.9	260	1.9	
	護岸	230	14.0	(一)	(一)	230	8.0	(一)	(一)	1/250
		260	5	265	5	255	1.9	245	1.9	

各欄の上段計測値，下段実寸法，(一)印：視認不可，(×)印：紛失等

注：白広は白いテープで幅 5 cm のテープ

注：黒広は黒いテープで幅 5 cm のテープ

注：白狭は白いテープで幅 1.9 cm のテープ

注：黒狭は黒いテープで幅 1.9 cm のテープ

表-3.6 崩壊地計測結果

崩壊地諸元	日向砂防ダム左岸崩壊地		日向砂防ダム右岸崩壊地	
	判 読	1/500地形図	判 読	1/500地形図
高さ m	180	210	65	70
幅 m	140~128	120	210	184
斜面長 m	220	319	126	110
崩壊面積 m^2	29,500	38,280	26,460	20,240
平均崩壊深 m	11	15	2~31	3
傾斜角 °	40	41.2	31	33.8
崩壊土砂量 $\times 10^4 m^3$	32.5	57.5	2.5~4.0	3.0

については地形図でも相当の誤差が含まれるので崩壊土砂量の精度は低いと考えられる。

(崩壊土砂量は、上半部面積 $\times$ 平均崩壊厚、平均崩壊深は道路幅約 5 m として推定)

3.4 浮子による表面流速の測定

測定に先だって、大谷川下流流路工区 No. 157 付近 (図-3.1 ⑧地点) の橋梁から投下された浮子の移動状況をビデオ映像に収録した。

浮子の形状は球で直径 0.5 m、色は白色のもの 2 個、赤色のもの 1 個の合計 3 個である。

投下場所付近の河道は、中央に水没した砂礫堆があり、これにより、主な流れが 2 分されている。また、橋より 70~80 m より下流では河道幅はせまくなり、水流は早瀬状となっていた。早瀬地帯の流れは速く水面状態は白く波立っており、浮子の識別が困難であった。

このため、流速測定は橋より 70~80 m 区間の映像を利用して行なった。

ビデオカメラの光軸は概ね鉛直下方であり、対地高度、焦点距離はほぼ一定とし、ホバリング状態であるが多少下流側へ水流に流される傾向があった。

イ) 縮 尺

縮尺は、焦点距離と対地高度の比で表わされる。実際の災害調査飛行で、これから f 及び H を記録しておくことは現状では難があり、縮尺をそれらのデータから得ることは難しい。

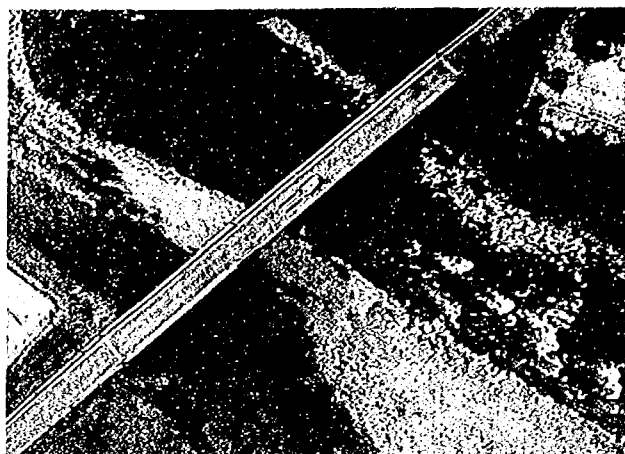
したがって、今回の計測では、既知の物体の長さ (A)、映像上の長さ (a) の比から縮尺を求めるものとした。緊急時には、構造物の設計資料か、大縮尺地形などの基準データが入手しにくい状況が予想される。できるだけ、映像中から基準データが得られることが望ましい。

ここでは、次のようなステップで縮尺を求めた。

- (1) 橋梁を通行中の車輛の幅から橋桁の幅を求める。(写真 34 a)
- (2) 橋桁幅から、任意の不動点間の実際の距離を求める。
- (3) 各画像中の不動点の離隔量と実際の距離の比から縮尺を決める。(写真 34 b)

ｂ) 撮影時間間隔

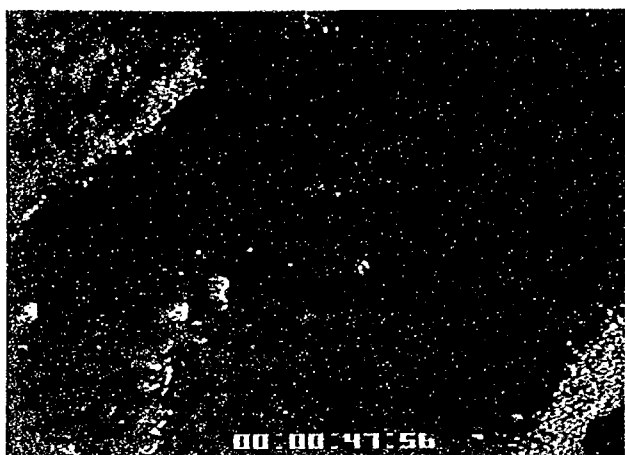
あおぞら号のシステムでは、撮影時刻が VTR 映像にスーパーインポーズされる。しかし、1 秒毎の記録な



a 橋幅の計測



b 基準点間距離の計測



c 時間間隔の計測 (1/100 単位)

写真-34 浮子の計測 (⑧地点)

ので、目的の画像の切り出しに制約が生ずるとともに、測定誤差にも大きな影響を与えることになる。

ここでは、写真 34 c に示したように、1/100 秒毎の時間をスパーインポーズし、切り出し画像の時刻を読みとり、時間間隔を計算した。

ハ) 視差差の計測

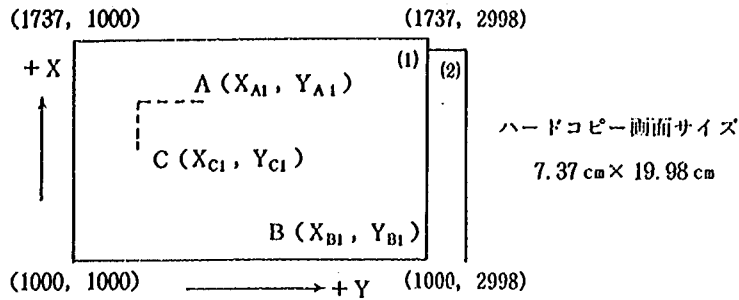
浮子の移動状況を撮影したビデオ映像から、適当な時間間隔をおいた 2 枚の画像をハードコピーとして取りだし、デジタイザを用いて浮子の移動距離を計測した。

浮子が、その時間間隔内では、ほぼ等速・直線運動していることを条件とした。また、2 枚 1 組の画像で立体視ができることも切りだしの条件とした。浮子を立体視することで、概略の相対速度を判定するためである。

ハードコピーにおける座標系は次ページの図に示したとおりである。

左下隅を (1000, 1000) とおき、縦上方に fX 横右方に fY となるようにした。

これらの四隅の座標値は仮に置いたものであり、左下隅からの離隔が X, Y について分かれば良い。



時刻(1)の時の点 A 及び点 B の座標がそれぞれ、上の図のように表わされれば、AB 間の距離は、次の式で求められる。

$$\overline{AB} = \sqrt{(X_{A1} - X_{B1})^2 + (Y_{A1} - Y_{B1})^2}$$

左下隅のコーナは、画像によって同一地物にあたるとは限らない。

このため、任意の計測基準として各画像共通の不動点を選定しておく都合が良い。

上の図で、A 及び B を不動点とし、浮子を C とした場合、A(X_{A1} , Y_{A1}) を計測基準点とする座標系を考えると、A と C の X 及び Y 方向の差は次のように表わされる。

$$X_{CA1} = (X_{C1} - X_{A1})$$

$$Y_{CA1} = (Y_{C1} - Y_{A1})$$

同じようにして、時刻(2)の時の C 点の座標が求められ、時刻(1)-(2)における C 点の移動量が求められることになる。

$$\Delta C = \sqrt{(X_{CA1} - X_{CA2})^2 + (Y_{CA1} - Y_{CA2})^2}$$

ただし、時刻(1)と(2)の画像の縮尺は厳密に同一ではない。そこで、不動点 AB 間の離隔量を用いてそれぞれ縮尺を求め、実際の長さに換算して ΔC を計算する方法をとることにした。

縮尺は次のようにして求めた。

イ) 橋梁上の軽自動車の幅 1.4 m, 画像上の幅 1.4 mm, したがって橋桁幅 5.1 mm は、5.1 m と換算される。

以上写真 34 a 参照。

ロ) 次に橋桁幅と基準不動点 A, B 間の距離を求めると写真 34 b に示す関係から、

橋桁幅 10.5 mm (5.1 m)

AB 間 61.0 mm

より、AB 間距離約 31 m が得られる。

縮尺の決定は、離隔量の多い方が誤差が少なくて良い。例えば、橋梁の長さが資料で分かっているならば、写真 34 a で対比が容易に出来るので自動車幅からの換算よりは正確であると考えられる。

直 径	幅 長さ
普通乗用車(2,000cc)	1.6m×4.6m
〃 (1,500cc)	1.6m×4.3m
軽自動車(550cc)	1.4m×3.1m

なお、走行中の自動車を利用する時は、長さ方向の離隔量は“画像の流れ”を伴うので避ける方が良い。
したがって、それぞれの画像上における実際のC点のA点に対する座標は、

$$X_{CA1}' = \frac{31}{(AB)_1} (X_{C1} - X_{A1})$$

$$Y_{CA1}' = \frac{31}{(AB)_2} (Y_{C1} - Y_{A1})$$

で表わされ、正しい移動量 $\Delta C'$ は次式で表わされることになる。

$$\Delta C' = \sqrt{(X_{CA1}' - X_{CA2}')^2 + (Y_{CA1}' - Y_{CA2}')^2}$$

3) 結 果

移動量 $\Delta C'$ が得られれば、画像の時間間隔で除することによって、流速を求めた。

計測に用いた写真を 35 a~35 h に掲げた。また、計測結果一覧表を表-3.7 に、浮子の速度分布図を図-3.3 に示した。

測定区間内の河道は、交互砂礫堆領域とみられ、投下直後の浮子は、No. 2 測定区間で一旦減速し、砂礫堆（水没）の前縁を越えた後、速度を速めながら瀬に流下した。なお、No. 4 測定区間では浮子 2（赤）はすでに流先しつつ画像内にはみられない。

3つの浮子は、同じ測定区間内でも、微妙に速度が異なっており、水流が複雑な流れをもつことを示している。流速分布の特色は次のようである。

砂礫堆後面(No. 1) 0.89~1.14 m/s 平均 1.03 m/s

砂礫堆前縁(No. 2) 0.86~2.12 m/s 平均 1.07 m/s

水流収束部(No. 3) 1.52~1.92 m/s 平均 1.69 m/s

水流収束部(No. 4) 2.21~2.40 m/s 平均 2.31 m/s

すなわち、砂礫堆後面では、約 1 m/s、砂礫堆を通過後の水流収束部では約 2 m/s 強という結果となった。両名の水流幅を比較すると、前者が後者の約 2 倍程度の広さをもつことが画像から判断される。なお水深が浅くなる砂礫堆前縁部では、浮子の流速の相違が大きい。

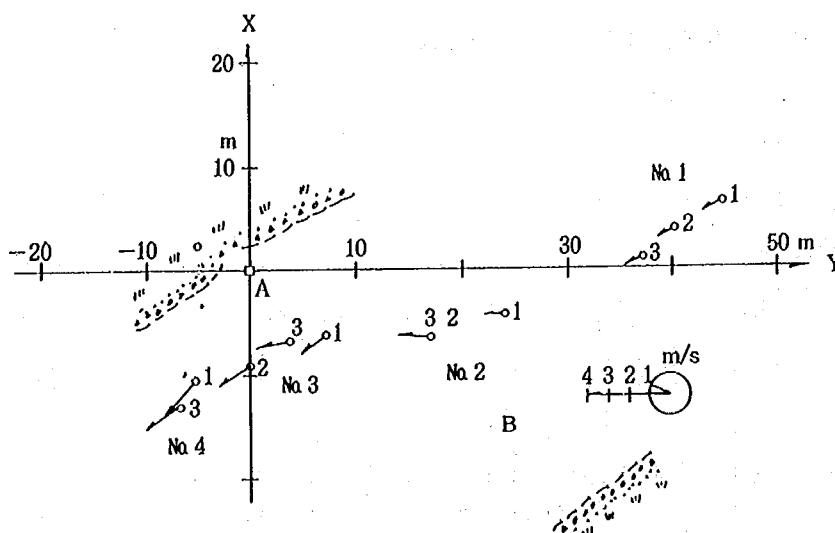
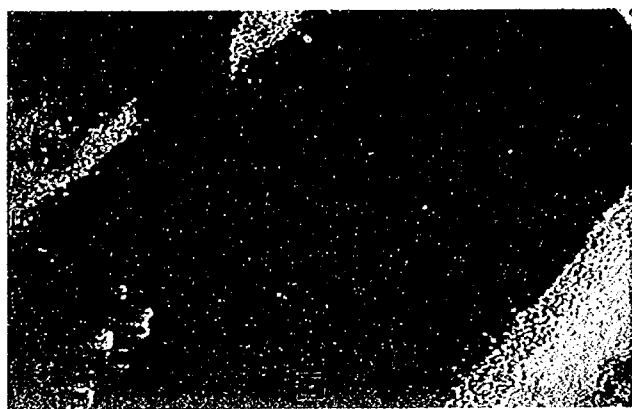
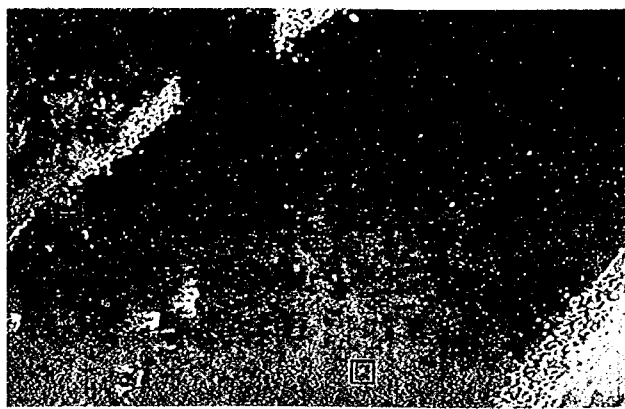


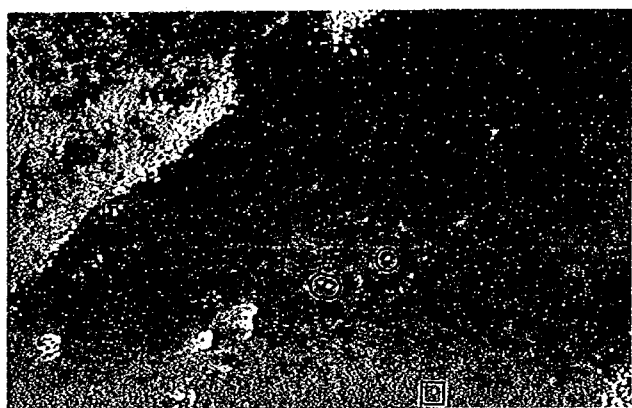
図-3.3 流速分布図



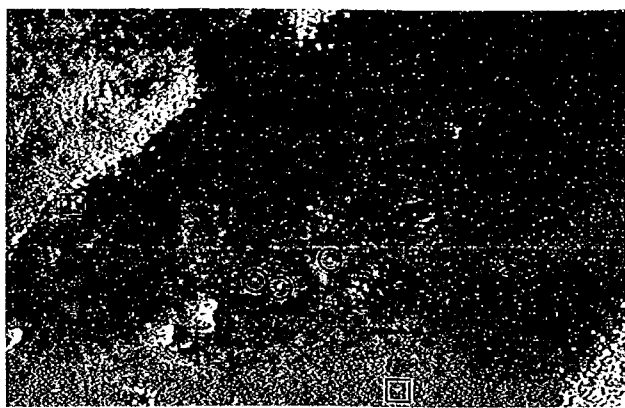
a



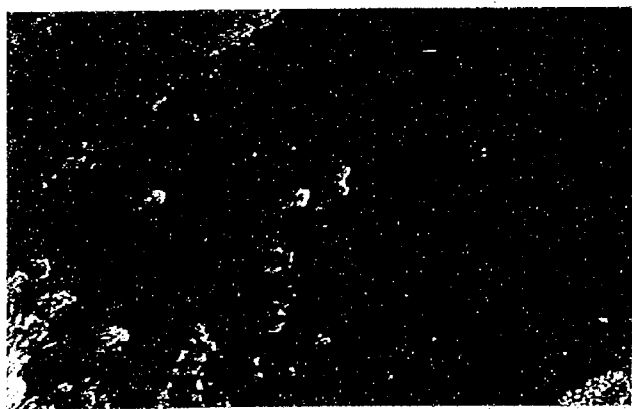
b



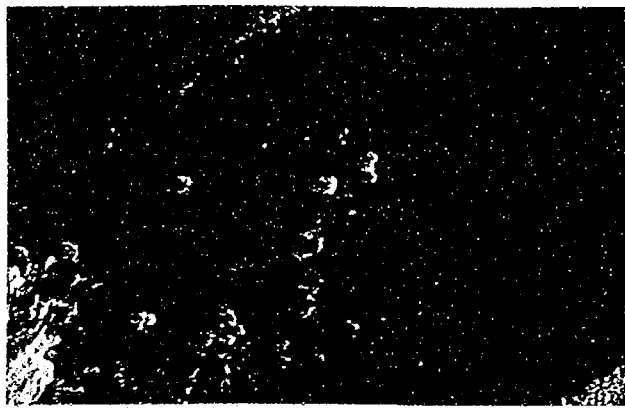
c



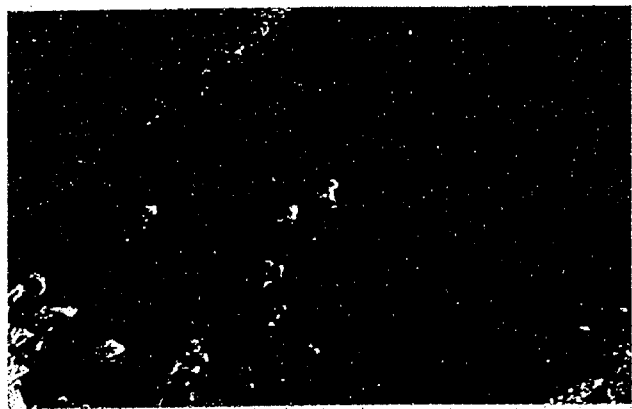
d



e



f



g



h

写真-35 浮子の計測 ○が浮子, □は不動点

表-3.7 浮子の移動量, 速度の計測一覧表

単位: mm

時点・時間			No. 1 $\Delta t=3.07\text{sec}$		No. 2 $\Delta t=1.27\text{sec}$		No. 3 $\Delta t=0.89\text{sec}$		No. 4 $\Delta t=1.13\text{sec}$	
			(05)前	(06)後	(02)前	(01)後	(03)前	(04)後	(07)前	(03)後
座標値 (写真座標) A,B：不動点 1, 2, 3：浮子	X	A	1303.14	1333.88	1320.26	1317.64	1555.26	1570.12	1574.38	1554.69
		B	1042.86	1086.34	1033.45	1028.12	1278.43	1291.76	1308.31	1283.41
		1	1415.27	1414.93	1242.20	1237.66	1441.01	1450.04	1364.97	1320.78
		2	1370.00	1373.13	1200.71	1202.26	1384.92	1386.69	1230.06	1100.47
		3	1327.30	1335.20	1204.50	1193.61	1431.34	1439.88	1346.41	1299.65
	Y	A	1028.87	1107.27	1170.23	1129.77	1321.34	1359.41	1304.42	1222.29
		B	1481.41	1566.73	1673.72	1633.06	1823.99	1860.40	1796.81	1708.58
		1	1784.12	1825.28	1598.63	1538.57	1453.98	1646.37	1210.98	1087.91
		2	1706.81	1748.77	1505.07	1423.11	1321.42	1333.14	1046.20	1007.93
		3	1656.27	1704.38	1493.12	1455.09	1391.32	1405.14	1183.64	1067.17
AB			522.05	530.67	579.45	580.62	573.84	573.13	559.68	556.84

単位: m, m/s

浮子 1 (白)	移動量	X_{CA}	6.6584	4.7346	-4.1761	-4.2702	-6.1720	-6.4959	-11.5990	-13.0221
		ΔX_{CA}	-1.9238		-0.0941		-0.3239		-1.4231	
		Y_{CA}	44.8756	41.9435	22.1989	21.8262	7.1655	5.9476	-5.1755	-7.4811
		ΔY_{CA}	-2.9821		-1.0927		-1.2179		-2.3056	
		$(\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{0.5}$	3.5069		1.0967		1.2602		2.7094	
	速度	v	1.14m/s		0.84m/s		1.52m/s		2.40m/s	
浮子 2 (黄)	移動量	X_{CA}	3.9702	2.2928	-6.3958	-6.1602	-9.2021	-9.9216		
		ΔX_{CA}	-1.6774		0.2356		-0.7195			
		Y_{CA}	40.2568	67.4740	17.9136	15.6617	0.0043	-1.4209	欠	
		ΔY_{CA}	-2.7828		-2.2519		-1.4252			
		$(\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{0.5}$	3.2493		2.2642		1.5965			
	速度	v	1.06m/s		1.78m/s		1.92m/s			
浮子 3 (白)	移動量	X_{CA}	1.4346	0.0771	-6.1930	-6.6220	-6.6944	-7.0496	-12.6270	-14.1984
		ΔX_{CA}	-1.3575		-0.4290		-0.3502		-1.5714	
		Y_{CA}	37.3557	34.8809	17.2743	17.3691	3.7804	2.4735	-6.6899	-8.6357
		ΔY_{CA}	-2.3748		-0.0948		-1.3069		-1.9458	
		$(\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{0.5}$	2.7354		2.4393		1.3530		2.5010	
	速度	v	0.89m/s		0.41m/s		1.63m/s		2.21m/s	

変動は(後)-(前)で計算

また、浮子の画像上における大きさは、0.8～0.9 mm となっており、0.43～0.48 m と計算され、おおむね実サイズに一致し、自動車から導びいた縮尺でも実用上大きな問題とならないことがわかる。

次に、上記で得た流速を用いて、流量を推定してみる。

測定区間における水流は、下の図のような流向パターンを示していた。

丸数字は、流速測定位置を示す。

浮子は、図に示す主流向に沿って移動したが、水流は河幅一杯に流れており、浮子が移動した所以外の場所の流速はわかっていない。

② 地点を通る断面を推定すると下の図のようである。

河幅は、画像から約 40 m と推算される。砂礫堆前縁部は、浮子が流下を阻害されたこと、及び長径約 1.0 m の岩塊が水没していることなどを考えると、水深は 20～50 cm 程度と考えられる。砂礫堆後面や水流収束部の水深は、目標物がなく画像から読みとることができない、恐らく 1 m～2 m の範囲と考えられる。ここでは、図-3.4 に示すように、No. 1 の a 付近では、1 m 前後、No. 3 の c 付近では 1.5 m 前後を与えるものとした。

この図で、断面積を求めると 36.3 m^2 となる。したがって、平均水深は、 $36.3 \div 40 = 0.908$ より約 0.9 となる。

No. 1, No. 2, No. 3 の流速を平均すると $(1.03 + 1.07 + 1.69) \div 3$ より 1.26 m/s が得られ、さらに平均流速に換算すると、流量は次のように求められる。

$$\begin{aligned} \text{流量} &= 36.3 \times 1.26 \times 0.8 \\ &= 36.6 \text{ m}^3 / \text{s} \end{aligned}$$

ただし、計測した流速は流心に相当する流れのものであり、平均流速としては大きい。実際の平均流速や流量はこれらより小さいと考えられるが、天然ダムにおける満水位時刻の予測などでは、警戒指示が多少早まったとしても問題は少ないと考えられる。ちなみに、御岳崩壊に伴う天然ダムの湛水量 $1,300 \times 10^3 \text{ m}^3$ に対しては約 8 時間で満水位を形成させる量となっている。

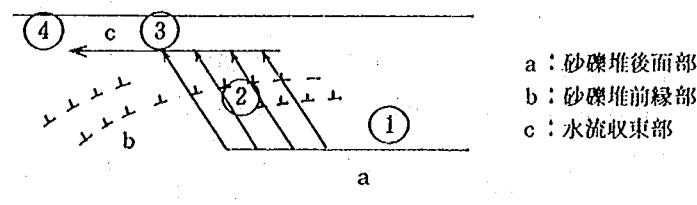


図-3.3 流速測定位置

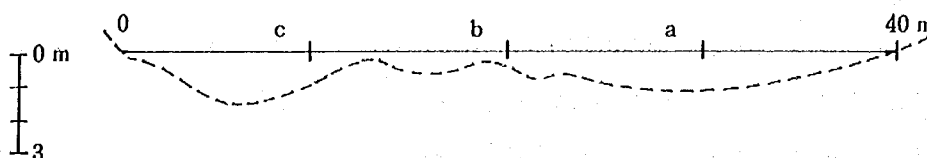


図-3.4 推定水深分布図

3.5 浮子による表面流速の測定のまとめ

3.4で述べた⑧地点における浮子の表面流速の測定をまとめると以下の通りである。

表-3.8は流速の計算結果である。

基準点、浮子及び橋梁は水平面にあり、カメラ光軸はこれに垂直と仮定して移動量を計測している。当然得られた流速には誤差が含まれているが、これらの要因は、縮尺の算定時の基準として何を用いるかの方が大きいと考えられる。ここでは、橋の道路幅を基準としたが、道路構造令等を参照すると、第3種第5種で幅員4.0mとなっており、側帯各0.5mを考慮する全幅5.0mとなり、上記の推定値が妥当な範囲であることが分かる。

なお、撮影方法については、

- ホバリングで撮影する（移動撮影でもよい）。
- 縮尺が判定できる地物や不動点を写しこむ（兩岸を入れる）。
- 全断面流速が分かるように標流物を選定する（浮子を投入する）。
- 断面形が単純と思われる場所を選ぶと良い。

この他、次の器材を準備すると良い。

- ・ハードコピー装置
- ・デジタイザ
- ・ビデオタイマー（1/100 sec）
- ・パーソナルコンピュータ

尚モニター管面で計測する方法も考えられるが、実用上ではハードコピーの方が良いと思われる。

表-3.8 流速計算表

位 置		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
画像時間差sec		3.07	1.27	0.83	1.13
浮子 1	移動量m	3.5069	1.0967	1.2602	2.7094
	流速m/sec	1.14	0.84	1.52	2.40
浮子 2	移動量m	3.2493	2.2642	1.5965	流出
	流速m/sec	1.06	1.78	1.92	流出
浮子 3	移動量m	2.7354	0.4393	1.3530	2.5010
	流速m/sec	0.89	0.41	1.63	2.21

3.6 模擬被害調査のとりまとめ

模擬被害調査による構造物亀裂の判読計測では、幅の判定に大きな誤差が生じたこと及び周囲に比べて相対的に暗いものは映像にとらえにくいという結果となった。これは、明るい部分は膨張し、暗い部分はその影響を受けて記録される映像データの特徴に帰因し、画素の大きなビデオ映像ではとくに顕著に現れた結果とみることができる。すなわち、微細なものの大きさを基準とする情報加工は避ける必要がある。例えば、

粒子がようやく確認できる程度の河床材料の粒度組成を計測によって推定したとしても、その情報の有効性は乏しいものと考えられる。このことは、画像の縮尺を決定する際に画像上にある程度大きく写されている物標を選ぶ必要があることと関連している。

一方、流速の調査ではボールを浮子とみだてて追跡したが、ボールの映像が上記の理由で膨張しにじんでいてもその中心点をつかむことは比較的容易であった。

以上のようにビデオ映像による調査は、地上からの踏査や監視の目が届かない場所での変動をとらえることが可能であり、貴重な情報提供手段となる。

また、4の既往災害ビデオ映像の判読の作業とあわせて、ヘリコプターによる土砂災害情報の収集、解析にあたって気のついた点をあげる。

- 1) 経験及び知識の視察者が解読した場合、災害の規模や範囲については地上調査の結果に近い内容が得られた。視察者に現地に詳しいものが加わるとか縮尺の大きなマップデータが参照されれば、情報精度はさらに高まるものと予想される。
- 2) 変動要因に関する映像の情報化には、拡大撮影やステレオ撮影などの撮影・飛行方法が必要であるが、飛行高度制限や運動特性及び振動などヘリコプター側の制約条件があり、このため、センサ側での調節機能を十分に生かす必要がある。災害の種類や規模等に応じ、縮尺 (f/H) をベースとした撮影方法及びマニュアル化しておく必要が感じられた。とくに垂直スチール撮影では、天候や振動及び使用フィルム等による制約があり、撮影マニュアルを整備しておく必要がある。
- 3) 緊急時における映像の情報加工では人工工作物などとの比較対象が中心となるが、深さ・高さ方向の判定は難しい場合が多く、地形センサなどの新規技術の必要性が感じられた。

4. ま と め

ヘリコプターによる土砂災害情報の収集、解析を通じ明らかとなった事項および今後取り組むべき課題をとりまとめると次のようである。①対象とする被害や災害の規模については、土木構造物やその他の地物の大きさを基準として用いることである程度の精度で把握することは可能であり、復旧活動に利用できる数値が得られる。ただし災害規模の判読において、深さの判定は難しく、災害前の地形図等の補助資料が必要である。②構造物の損傷の判読では、数 cm 程度の幅を持つ亀裂はとらえることができる。ただし小さい対象ほど誤差が大きくなるので、危険度判定にあたっては、亀裂幅よりも位置や密集度等を利用するべきである。③天然ダムの決壊予測などにおいては流入流量を求めることは重要であるが、浮子による流速及び水深測定では、画像の縮尺をできるだけ正確に求めることが重要である。大きさのわかっているなるべく大きな構造物等を写し込むように撮影することが大切であり、このような対象物がない場合は、周辺部から映像をつなげるか、広い範囲を撮影するなどして、縮尺が決められるような撮影方法をとる必要がある。④土砂災害情報のうちで、構造物や斜面の変位や変動をとらえるには、拡大撮影が必要である。経験豊かな視察者による撮影箇所の予測と指示が必要である。さらに映像の解読の精度の向上のためには、経験豊富な視察者が必要である。また経験の有無で土砂災害情報内容の質並びに量的評価が異なるので災害の拡大予測・二次災害防止等の高度な判断を行うためには、複数の経験者による作業が望ましいと言える。

また、ヘリコプターによる土砂災害情報の収集、解析にあたっての留意点を次に述べる。

- 1) 経験及び知識の豊富な視察者が解読した場合、災害の規模、範囲については地上調査の結果に近い内容が得られた。視察者に現地に詳しいものが加わるとか縮尺の大きな地形図が利用できれば、情報の精度はさらに高まる。
- 2) 変動要因に関する情報の精度を向上させるためには、拡大撮影やステレオ撮影などの撮影・飛行方法が必要である。飛行高度制限やヘリコプターの運動特性及び振動などヘリコプター側の制約条件もあるので、センサの調節機能を十分生かす必要がある。災害の種類や規模等に応じ、縮尺 (f/H) をベースとした撮影方法をマニュアル化しておく必要がある。とくに垂直スチール撮影では、天候や振動及び使用フィルム等により得られる精度が異なるので、撮影マニュアルを整備しておく必要がある。
- 3) 緊急時における映像の情報加工では人工工作物などとの比較対象が中心となるが、深さ・高さ方向の判定は難しい場合が多く、今後地形センサなどの新規技術の開発・利用が必要である。

なお、本検討においては、(財)国土開発技術研究センターに設けられた「災害情報システムの開発委員会」(梅村魁委員会)、「復旧計画作成支援システムの開発委員会」(久保慶三郎委員会)、及び「土砂災害復旧計画作成支援システムの開発分科会」(小橋澄治委員長)において種々有益なる御指摘を賜った。また砂防設備への模擬被害の想定においては関東地方建設局日光砂防工事事務所の方々に大変お世話になりました。ここに感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 国土開発技術研究センター：災害情報システムの開発報告書，平成2年3月
- 2) 川島一彦，運上茂樹，杉田秀樹，加納尚史，飯田寛之：ヘリコプターによる上空からの震災情報収集能力の検討，土木技術資料，Vol. 32-1，pp 59-64，平成元年1月
- 3) 川島一彦，杉田秀樹，加納尚史：ヘリコプターから撮影したビデオ映像による地震災害状況の把握，土木技術資料，Vol. 33-1，pp 37-42，平成2年1月
- 4) 長岡正利：長野県西部地震による地形変化と土地条件，国土地理院時報第62集，1985年
- 5) 関東地方建設局企画部：建設省ヘリコプター「あおぞら号」運行マニュアル（案），平成元年11月

ヘリコプターによる土砂災害状況に
関する研究報告書

I S S N 0386-5878
土 研 資 料 第3009号
平成3年7月 (1991)

要 旨

石川 芳治, 井良沢 道也
小泉 豊

大規模な土砂災害が発生した場合に、災害の拡大防止、二次災害防止及び被災した施設の復旧等を迅速かつ適切に実施することはきわめて重要である。このためには土砂災害発生後において土砂災害の発生状況に関する情報を的確かつ迅速に収集伝達することが必要であり、効果的な情報収集に当たって、ヘリコプターの利活用の果たす役割は大きいと考えられる。

そこで、ヘリコプターを用いた土砂災害時の迅速かつ効果的な情報収集を図り、土砂災害復旧計画作成支援システムの開発の検討を目的として、更に復旧工法を検討する上での資料とするため、各種センサと土砂災害情報との関連性の検討及び既存災害ビデオテープの解読を実施した。またヘリコプターを用いて模擬被害調査を行った。

キーワード：砂防、ヘリコプター、土砂災害状況の把握、情報収集

郵便はがき

郵便切手
はって下さ
い

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
砂防研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3009号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印