

土木研究所報告

第 158 号

1978年伊豆大島近海地震災害調査報告

まえがき	栗林 栄一	(2)
第1編 地震および地震動	岩崎 敏男	(2)
	川島 一彦	
第2編 地震災害の概要	栗林 栄一	(25)
	田崎 忠行	
第3編 地形および地質	菅原 捷	(31)
	桑原 啓三	
第4編 河川・砂防の被害	村上 健	(52)
	安江 朝光	
	仲野 公章	
第5編 道路斜面およびのり面の被害	安江 朝光	(62)
	田崎 忠行	
	仲野 公章	
	羽立 隆幸	
第6編 道路盛土および擁壁の被害	佐々木 康	(96)
	谷口 栄一	
第7編 道路トンネルおよび道路橋の被害	今田 徹	(106)
	川島 一彦	
第8編 応急対策と復興対策	田崎 忠行	(120)
	羽立 隆幸	
付 表		(121)

昭和 57 年 3 月

建設省土木研究所

Copyright © 1982 Fiscalyear by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor traslated into a machine language without the written permission of the Director 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所報告
第158号 1982年3月

1978年伊豆大島近海地震災害調査報告

栗 林 栄 一^{1*}

Report on the Disaster Caused by the Izu-ohshima-kinkai Earthquake of 1978.

by Dr. Eiichi Kuribayashi

Synopsis:

This report summarizes the study on the disaster of the Izuohshima-kinkai (Near Izu-ohshima island) earthquake of January 14, 1978 with the magnitude of 7.0 on the Richter scale. It destroyed the dike at Mochikoshi mine which brought slime flow into the Kano and Mochikoshi rivers and caused many slope failures along roads which paralyzed regional transportation. This report describes the damage features and analyses of civil engineering structures in rivers and roads, and the lessons from the experiences.

Key words: Izu-ohshima-kinkai Earthquake, Earthquake Disaster.

要 旨:

1978年1月14日に発生したマグニチュード7.0の伊豆大島近海地震は各種施設に多大な被害をもたらした。とくに持越鉱山における鉱さい貯留用の堰が破壊して、シアン等を含んだヘドロが流出し、狩野川、持越川を汚染したこと、国道135号、主要地方道修善寺〜下田線等の道路網が、道路沿いの斜面、のり面の崩壊によって最大2ヵ月間通行止になったことは大きな社会的影響を与えた。本報告は河川、道路における土木構造物の被害の実態、被害の解析、得られた教訓についてとりまとめたものである。

キーワード: 1978年伊豆大島近海地震、地震災害。

^{1*} 地震防災部長 工博

目 次

まえがき	(2)	第5編 道路斜面およびのり面の被害	(62)
第1編 地震および地震動	(2)	第6編 道路盛土および擁壁の被害	(96)
第2編 地震災害の概要	(25)	第7編 道路トンネルおよび道路橋の被害	(106)
第3編 地形および地質	(31)	第8編 応急対策と復興対策	(120)
第4編 河川・砂防の被害	(52)	付表	(121)

まえがき

1978年1月14日(土曜日)の正午すぎ伊豆半島東方沖の海底に震源をもつマグニチュード $M=7.0$ の地震が発生した。この1978年伊豆大島近海地震は、死者25名をだし、伊豆半島東岸の河津町を中心に半島全体に影響を及ぼした。しかしながら静岡県をはじめとする関係各機関の迅速な対応措置と関係住民の協力によって二次災害の拡大を防ぐことができたと言われている。

本報告は、地震動の強さの分布、道路および河川施設

の被害を調査すると共に震後の応急対策と復興の状況について調査し、吟味考察したものである。

現地調査は、別掲付表に示すとおり、22回、延べ47人によって震災直後の1978年1月18日から、1980年1月10日の約2年間にわたって行なわれた。

震後3年目に当たる今日、ここに調査研究の結果を報告できることになった。著者一同に代って、研究所内外の関係の各位に厚く御礼申し上げる次第である。

1981年1月14日 地震防災部長 栗林栄一

第1編 地震および地震動

岩崎 敏男^{2*} Dr. Toshio Iwasaki
川島 一彦^{3*} Dr. Kazuhiko Kawashima

目 次

1. 地震の概要	(2)	[3] 墓石の転倒率から地震動最大加速度の推定法	(15)
2. 強震動の記録	(5)	[4] 伊豆大島近海地震による地震動の最大加速度の推定	(22)
3. 墓石転倒から推定した地震動の強度の分布	(6)	4. まとめ	(23)
[1] 墓石の転倒率と地震動強度に関する既往の研究	(6)	参考文献	(23)
[2] 墓石の転倒状況の調査方法ならびに調査結果	(7)		

1. 地震の概要

昭和53年1月14日午後12時24分伊豆大島近海でマグニチュード7.0の地震が発生し、気象庁により「伊豆大島近海の地震」と命名された。この地震による各地の震度は図一1・1に示す通りであり、大島、横浜で震度5、東京、静岡、石廊崎、館山、網代、三島で震度4と発表されている。

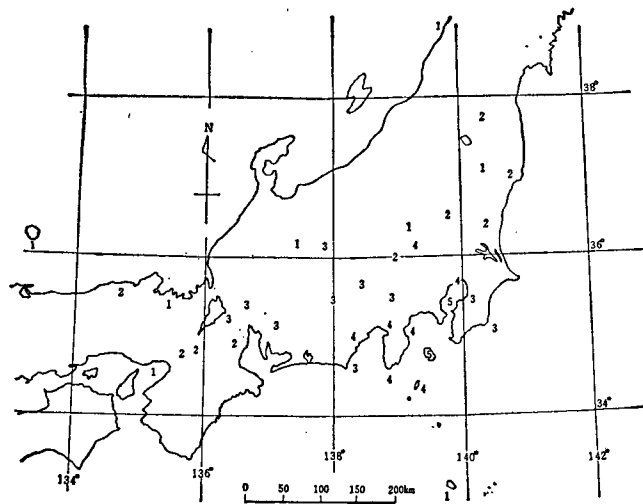
この地震に先立ち、伊豆大島付近には13日夜8時頃か

ら群発地震が発生し、14日午前中を中心に、最大で震度4クラスの地震が発生した。14日12時24分の主震のあとには伊豆半島中部を中心に余震が発生し、そのうちの最大のもは15日午前7時32分に伊豆半島中部に発生したマグニチュード5.8の地震である。この最大余震による各地の震度は、横浜、三島で震度4、東京、網代、静岡等で震度3であった。

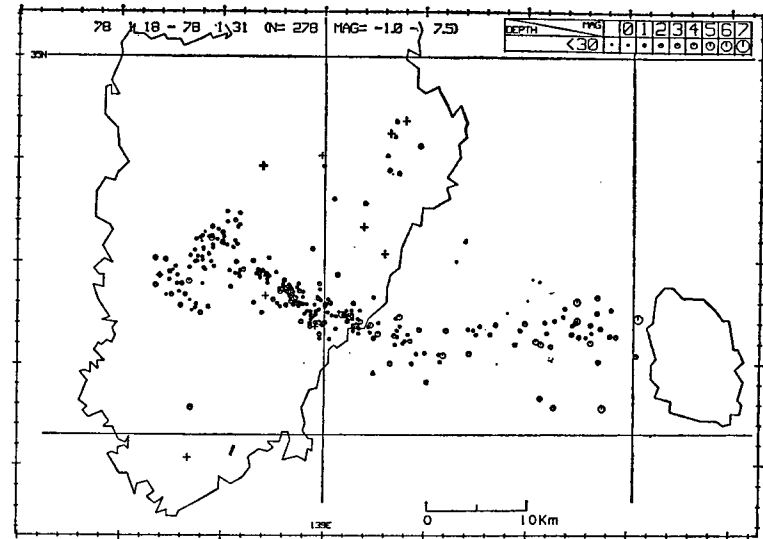
東京大学地震研究所で行なわれた調査の結果¹⁾(図一1・2参照)によれば、今回の地震による余震の分布は、

^{2*} 地震防災部振動研究室長(現耐震研究室長)工博

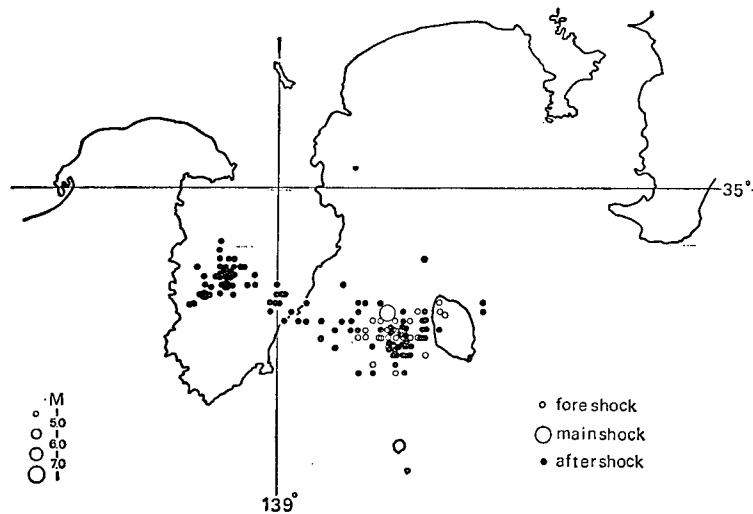
^{3*} 主任研究員 工博



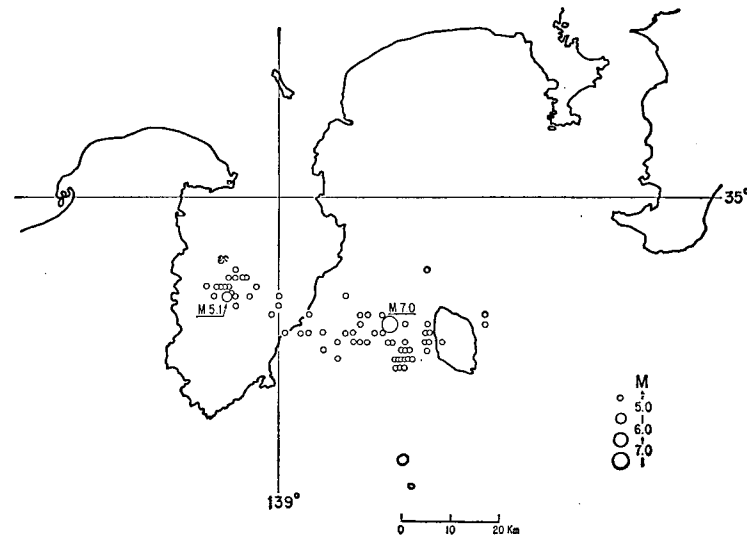
図一・1 各地の震度分布 (気象庁による)



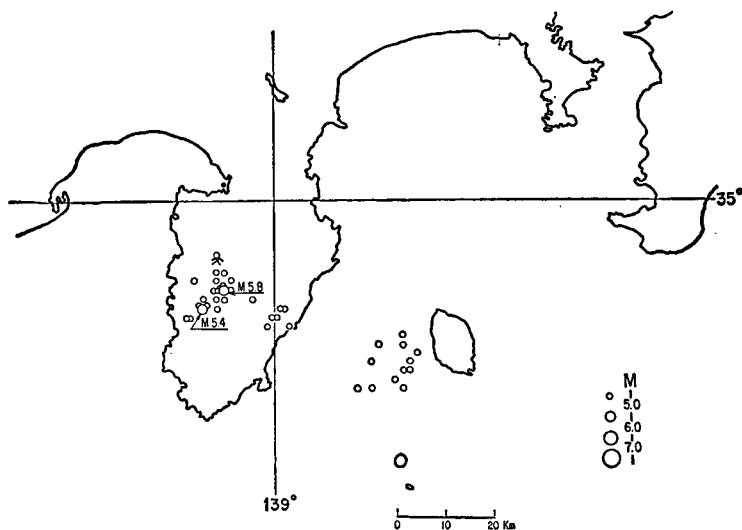
図一・2 1月18日から1月31日までの余震分布 (津村らによる)



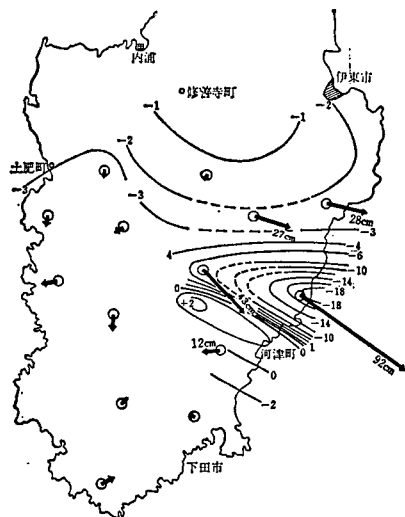
図一・3 1月13日から1月20日までの前震、本震および余震の分布 (気象庁による)



図一・4 本震 (1月14日12時24分) から最大余震直前 (1月15日7時30分) までの地震活動 (気象庁による)



図一・5 最大余震直後（1月14日7時31分）から1月20日14時12分までの地震活動（気象庁による）



図一・6 伊豆大島近海地震による地震変動，矢印は水平変動，コンターは上下変動（佐藤による）

伊豆大島の西から稲取の沖合にほぼ東西に伸びる余震の線，稲取沖から伊豆半島中部にかけて北西に伸びる余震の線，および，湯ヶ島付近から西海岸の方向に伸びる余震の線の3つの部分に大別されており，このうち，大島から稲取沖合にいたる余震の線状分布は本震に対応するもので，また，湯ヶ島から南西に伸びる余震は，1月15日朝の最大余震に対応するとされている⁴⁾。気象庁により求められた1月13日から1月20日までの前震，本震ならびに余震の分布，1月14日12時24分の本震から1月15日7時31分の最大余震直前までの本，余震の分布，およ

び1月15日7時31分の最大余震から1月20日14時12分までの余震の分布をそれぞれ図一・3，図一・4，図一・5に示す。

地震後，建設省国土地理院では，伊豆半島一帯の水準点と三角点再測量を実施している。この結果は図一・6に示す通りとなり，これによると，被害の大きかった稲取から北の地域では地盤が15～20cm沈下し，その南では数cmの隆起となっている⁴⁾。また，この沈下と隆起の境目は直線状に稲取から天城峠の頂上付近まで伸びており，図一・2に示した余震分布の線と良く一致してい

ることから、陸上の断層線を示すと考えられている。このような測定の結果および地震波の解析から、今回の地震の主断層は大島の西から東西に伸びる線で、断層の変位は約1.3m程度とされている。

2. 強震動の記録

伊豆半島における工式強震計の配置は比較的稀薄であり、半島中部から南部にかけては設置されていなかったため、震源域の地震動を直接低測することはできなかった。しかしながら、建設省、運輸省、日本国有鉄道、日本電信電話公社、日本道路公団、科学技術庁により静岡県、神奈川県、東京都、千葉県下に設置されていた強

震計はよく作動し、多数の貴重な地震動加速度記録を採取することができた。このようにして求められた加速度記録のうち、最大加速度値に着目して、その分布を示すと図1・7の通りとなる。この分布には記録の採取された地点の地盤条件あるいは建物の影響が取り除かれていないため、比較的加速度値の分布に幅があるが、静岡県南東部の焼津市付近から海岸線に沿って三浦半島西部にかけて、最大加速度80 gal以上の地域が分布している。また、震源域の最も近くで採取されたのは、伊東の電信電話局建物の地階の記録で、最大加速度は南北方向に45 g、東西方向に100 galであった。

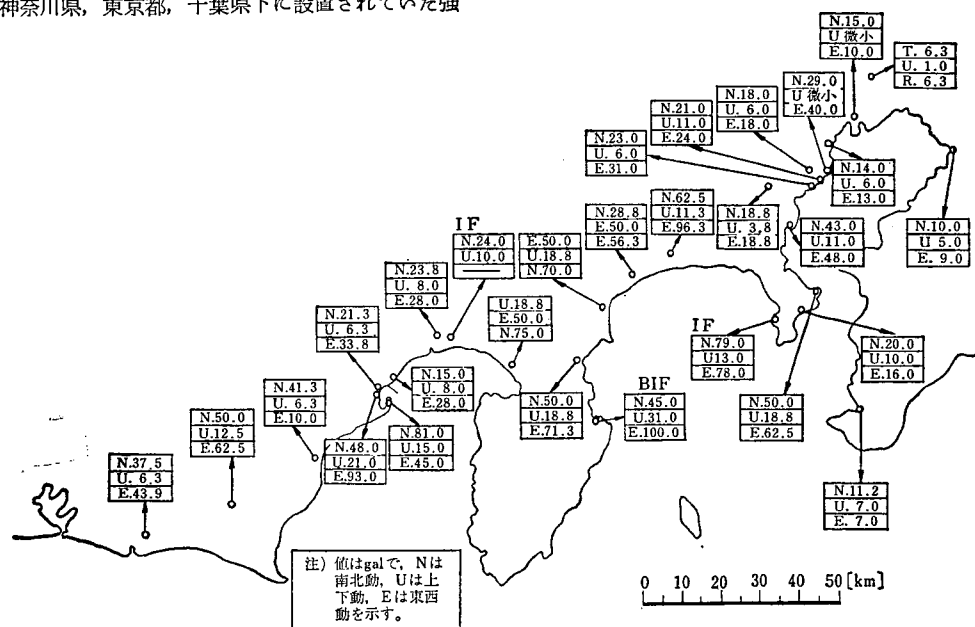


図1・7 各地の最大地震動加速度（工式強震計による）

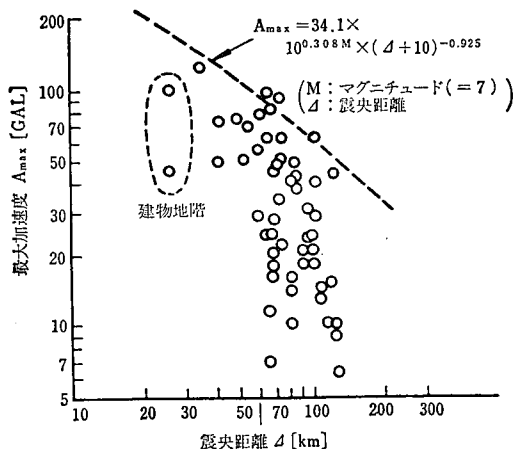


図1・8 震央距離による水平加速度値の減衰

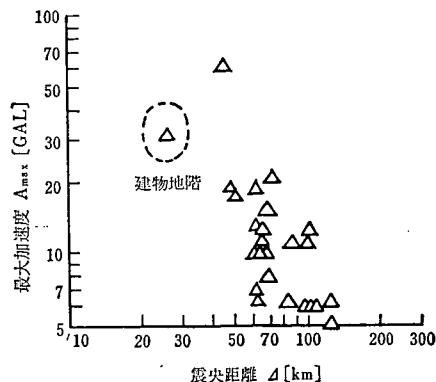


図1・9 震央距離による最大鉛直加速度の減衰

図一・7に示した地震動の最大加速度分布を震央距離によって分類整理した結果が図一・8（水平方向加速度）および図一・9（鉛直方向加速度）である。震央距離が60 kmから130 kmの範囲に大部分のデータが分布している。これらのデータと比較すると、伊東電信電話局地階で採取された加速度値はやや小さ目の値であるように思われる。これは恐らく建物の影響が入っているためであろう。図一・8には（1-1）式により推定した最大加速度分布も同時に示されている。（1-1）式は301記録の地震動加速度を用いて統計的に求めた平均地盤上での最大加速度推定式である。

$$A_{\max} = 34.1 \times 10^{0.308M} \times (\Delta + 10)^{-0.925} \dots\dots (1-1)$$

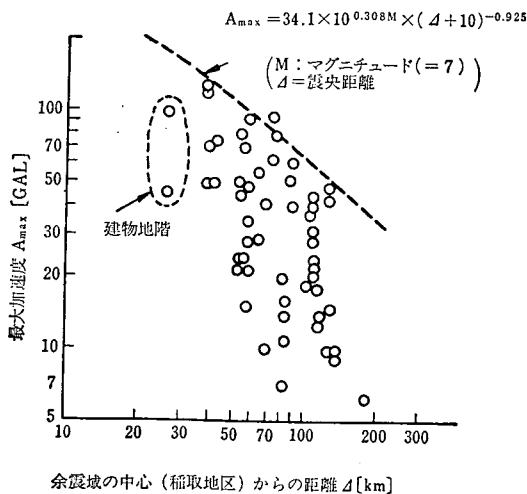
ここで、

$A_{\max}$: 最大加速度振幅 [gal]

M : マグニチュード (=7.0)

Δ : 震央距離

一方、図一・7に示した地震動の最大加速度分布を、今回の地震で被害の集中した稲取地区から観測点までの距離によって分類整理した結果が図一・10である。最大加速度の分布の様子からは図一・8に示した結果よりも適当ではないかと考えられる。



図一・10 稲取地区からの距離で整理した最大水平加速度値の減衰

3. 墓石転倒から推定した地震動強度の分布

〔1〕墓石の転倒と地震動強度に関する既往の研究
地震時における墓石の転倒状況から地震動の強度を求めようとする研究は、大森を初めとして多くの研究者によって進められてきている。まず、物部^{31) 32)}は、単体の

転倒には水平動とともに上下動の影響がきわめて大きいことを指摘し、はじめて上下動の影響を考慮した合震度という概念を採り入れた。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{合震度 } K &= \frac{k_H g}{g - k_V g} \\ &= \frac{k_H}{1 - k_V} = \frac{B_T}{H_T} \quad (\text{墓石の比幅}) \dots\dots (1-2) \end{aligned}$$

ここで、

k_H, k_V : 水平および鉛直震度

g : 重力の加速度

B_T, H_T : 墓石の幅および高さ

また、動力学的な観点からは、重力と地震力との合力が底辺に交わることは、墓石の転倒の必要条件ではあっても十分条件ではなく、たとえば、一度このような状態で墓石が転倒しかけても、地震動の方向が変われば転倒しないことを挙げ、一般には墓石を転倒させるには、墓石の比幅 (B_T/H_T) により与えられる力よりもさらに数割大きい地震力の作用を必要とすることを指摘している。また、墓石の滑動による転倒にも言及し、墓石が底面においてモルタル等で礎石に定着されていたとしても、モルタルは一般には目筋の周辺に近い部分だけに施される場合が多く、このような場合には、モルタルは墓石の転倒力により容易に破壊されて結局は墓石の滑動に抵抗するのはその底面に作用する摩擦力だけになる。したがって、墓石に水平方向と上向きの地震力が同時に作用した場合に滑動する条件は

$$k_H W \geq (1 - k_V) W f \dots\dots (1-3)$$

ここで

W : 墓石の重量

f : 摩擦係数

となり、摩擦係数 f は

$$f \leq \frac{k_H}{1 - k_V} = K \dots\dots (1-4)$$

となるから、合震度 K が摩擦係数 f より大きい場合に墓石は滑動する、とはじめて滑動の重要性を指摘している。さらに、墓石の強制揺動についても触れ、試算例により転倒条件を吟味している。

池上、岸上³³⁾は、墓石の幅と高さの比が同じでも墓石が大きいと転倒しにくく、反対に、墓石が小さいと転倒しやすいという点を指摘し、昭和24年12月の今市地震における地震動の最大加速度を約900 galと推定するとともに、地震動加速度の推定を墓石の幅と高さの比だけから行なうことは過小に見積る可能性があり、墓石の大きさを考えに入れる必要のあることを指摘している。また、小林³⁴⁾はモルタル製の単体模型を振動台に水平に取付けたモルタル板の上に置いて地動を加えることにより、単体の転倒とその大きさ、地動の振幅、周期等の関

係について詳細な実験を行なった。この結果によれば、(1)周期を一定にして加振した場合には単体が転倒する加速度の大きさは、おおむね幅/高さに比例する、(2)単体は加振の周期が大きな場合の方が倒れやすく、また、或る範囲を超えて小さな加振周期の下では非常に倒れにくい、(3)加振の振幅がある一定以上大きくなれば容易に倒れず、その振動が定常的である場合には躍動し続ける、(4)形の相似なものでも単体の大きさが大きいもの程倒れにくい、等の点が結論として指摘されている。梅村、滝沢⁶⁾は、剛床上に置かれた剛な単体の振動を解析的に研究し、種々の地震動加速度記録を作用させた場合の入力最大加速度と最大回転角の関係、大きさの影響、上下動の影響等を検討している。この結果によれば、単体の大きさが大きい程躍動(従って転倒)しにくく、例えば、高さを10mとした場合には幅/高さを0.2とすると転倒に要する最大加速度(El Centro NSを入力した場合)は1000galにも及び、この程度の大きさになると実質上地震では転倒しないこと、入力地震動の卓越周期をS倍とする事は墓石のスケールを $1/S^2$ 倍する事に相当し、きわめて大きな効果を持つこと、水平動の $1/2$ 倍程度の上下動は、転倒条件に大きな影響を与えないことなどを明らかにした。また、望月、小林⁷⁾は単体の運動の形態をスリップ、ロッキング、ロッキング+スリップ、ジャンプに分類し、それぞれ理論的な考察に基づき転倒に至る過程を吟味している。この結果、(1)単体がロッキングするためには、静摩擦係数が単体の幅/高さの値より大きくなければならず、この条件を満足しないものは、転倒せずに滑動して台石から落下する可能性が高い、(2)正弦波加振の場合、単体はある加振周期を境にして、そ

れより長周期側の入力に対しては、いずれの加振周期に対してもおよそ一定の加速度によって転倒するが、それより短周期側の入力に対しては、転倒に要する水平加速度が急激に大きくなる、などの点を明らかにし、単体の寸法によって定まるある周期より長周期側の成分の転倒加速度は静的な方法によっても若干の修正を加えて推定できると考えられるが、これより短周期については転倒に関与する諸条件の差異が大きく影響するため困難であると結論している。

これらの研究成果に共通しているのは、墓石が転倒に至る条件には、従来一般に考えられているようなロッキング以外に様々な形態があり、また、ロッキングで転倒する場合に限っても転倒に要する加速度は墓石の寸法、形状、等によって異なるという事実である。本報告では、これらの成果に基づき、個々の墓石が転倒するに至った過程および転倒条件を吟味して地震動強度を推定するという方法ではなく、種々の転倒の形態を一まとめにして、墓地全体の墓石転倒率と地震動強度の関係をある一つの経験的事実として求め、この関係を用いて任意地点の地震動強度を推定しようとするものである。

〔2〕 墓石の転倒状況の調査方法ならびに調査結果

(1) 調査の概要

墓石の転倒状況の調査はまず地震直後の1月18日～1月20日に最初の調査を、次いで、地震後約1カ月半経過した3月1日～3月15日に2回目の調査を行なった。それぞれの調査における対象地域および調査結果は以下の通りである。

地震直後の調査で対象としたのは表1・1に示す13箇

表1・1 墓地調査位置および結果の概要

調査番号	位 置	墓地周囲の状況	寺名等	墓石寸法の調査件数	墓 石 転 倒 率		
					調査墓石数	転倒墓石数	転 倒 率
墓地-1	下 田 市 内	市内の平地	福 泉 寺	9	100以上	1	0%
墓地-2	国道135号沿い大浜橋付近	海岸に面した砂地	共同墓地	15			10% (目視による)
墓地-3	長 田 地 区	丘陵地頂上付近	共同墓地	23	60	42	72%
墓地-4	見 高 浜 地 区	平地～丘陵地中腹	真 乗 寺	30			80%以上 (目視による)
墓地-5	稲 取 地 区	ゆったりした斜面	大慈山寺	25			80%以上 (目視による)
墓地-6	"	崖のふち		8			80%以上 (目視による)
墓地-7	"	崖のふち	善 応 院	20			80%以上 (目視による)
墓地-8	梨 本 地 区	丘陵中腹	慈 明 院	31	60	58	96%
墓地-9	持 越 地 区	丘陵中腹	共同墓地	33	105	75	72%
墓地-10	石廊崎(石室トンネル付近)	ゆったりした山腹					0% (目視による)
墓地-11	松 崎 町	ゆったりした山腹					0% (目視による)
墓地-12	赤 沢 地 区						0% (目視による)
墓地-13	梨本泉奥原地区	おおむね平地		2			80% (目視による)

所の墓地であり、この中には目視により間接的に転倒状況を調査した4箇所が含まれている。調査は地震後4日目から6日目にかけて行われたため、被害が軽微であった一部地域ではすでに墓石の立直しが行われていたが、被害の著しかった地域では、地震後の状態がそのまま保存されていた。

墓石の調査はそれぞれ次式で定義する合震度 K （図一・11参照）および転倒率 R の算定を中心として行った。

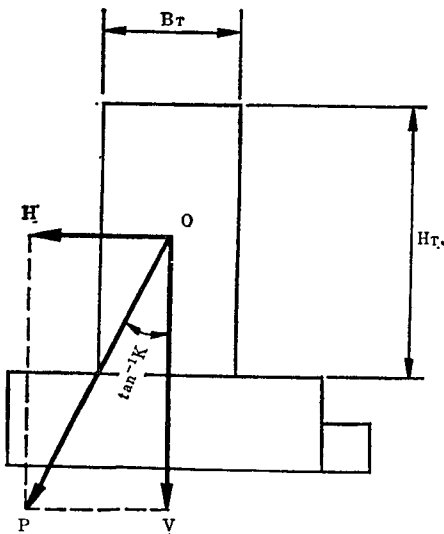
$$\text{合震度 } K \equiv \frac{k_H}{1 - k_V} = \frac{B_T}{H_T} \dots\dots\dots (1-5)$$

$$\text{転倒率 } R = \frac{\text{調査墓石中の転倒墓石数}}{\text{調査墓石数}} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1-6)$$

ここで、

- k_H : 地震動の水平震度
- k_V : 地震動の鉛直震度
- B_T : 墓石の底面幅 [cm]
- H_T : 墓石の高さ [cm]

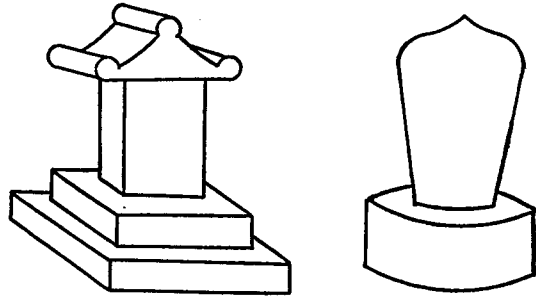
調査に際しては、なるべく墓石の基礎がしっかりしていて、初めから傾いていたと思われる墓石は避け、墓石が礎石とモルタル等で固定されていないものを選んだ。また、調査墓石は、原則として単純な四角柱状の墓石に



- OH: 最大水平方向加速度 $k_H \cdot g$
- OV: 最大鉛直方向加速度 $(\pm k_V)g$ (一般にはマイナスをとる)
- OP: 最大合成加速度 $\sqrt{(1 \pm k_V)^2 + k_H^2} \cdot g$

$$\text{合震度 } K = \frac{k_H}{1 - k_V} = \frac{B_T}{H_T}$$

図一・11 合震度の定義



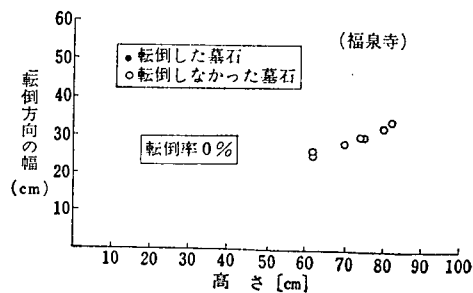
(a) 擬宝珠のついた墓石 (b) 逆円錐形の墓石

図一・12 調査対象としなかった墓石の形状の代表例

限定し、図一・12に示すように逆円錐状の墓石もしくは擬宝珠のついたものなど、転倒に対して不安定な形状の墓石、特に大きい墓石もしくは小さい墓石は調査の対象としなかった。転倒した墓石と転倒しなかった墓石がある場合には、それぞれに対して高さ H_T と底面幅 B_T を測定し、(1-5)式により合震度を算定した。この際、転倒方向がはっきりわかる墓石に対しては転倒方向の底面幅を B_T ととった。

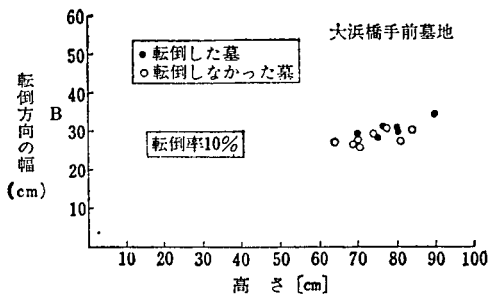
合震度を求めるために高さおよび幅を測定した墓石の数は10~30程度を一応の目安としたが、転倒率を求めるための調査墓石数はこれより多く50~100程度を目安とし、基地内の墓石の全数、もしくはある一区画の墓石の全数をとった。このようにして実地調査した10墓地での合震度の算定結果を図一・13に示す。

第2回目の調査では地震直後の調査で対象とした13箇所の墓地のうちの10箇所を含む伊豆半島全域の168箇所の墓地を対象とした。これは個人用のごく小規模な墓地を除いた伊豆半島における寺院、公営墓地、共同墓地のおおむね全数に相当する。調査墓地を行政区分ごとに分類すると表一・2のようになる。調査は地震後約1カ月

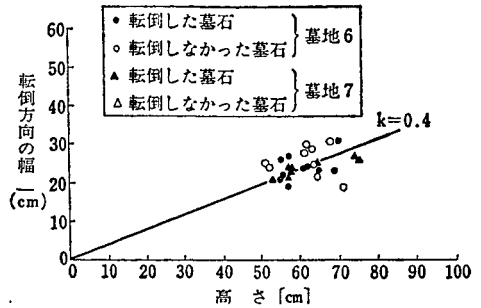


(a) 墓地1 (下田市内)

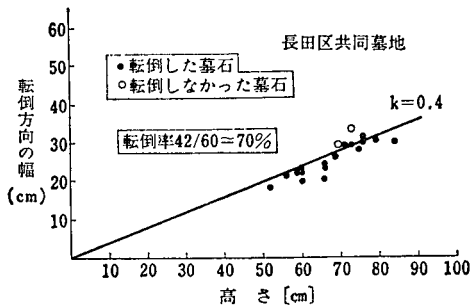
図一・13 墓石の高さおよび底面幅の関係
(第1回目の調査結果)



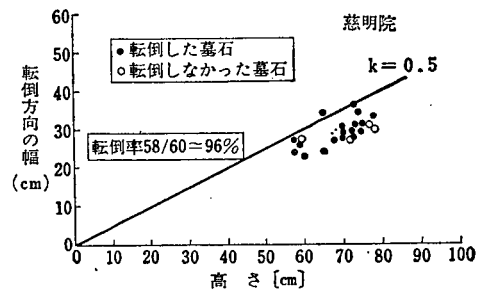
(b) 墓地2 (大浜橋付近)



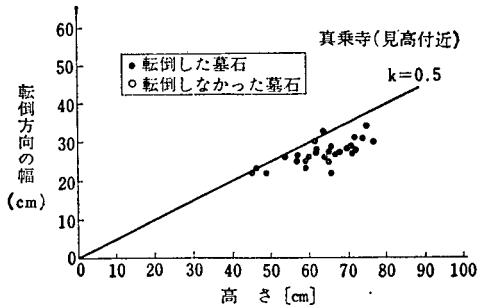
(f) 墓地6および7 (稲取地区)



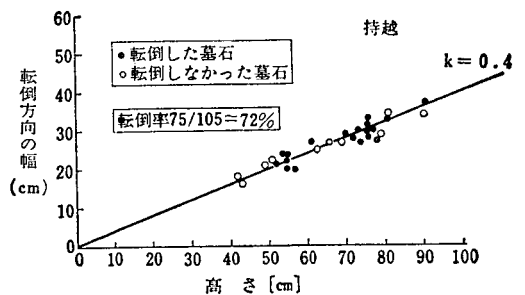
(c) 墓地3 (長田地区)



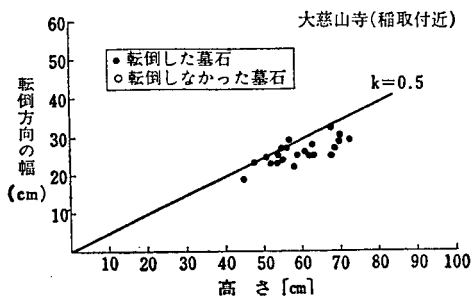
(g) 墓地8 (梨本地区)



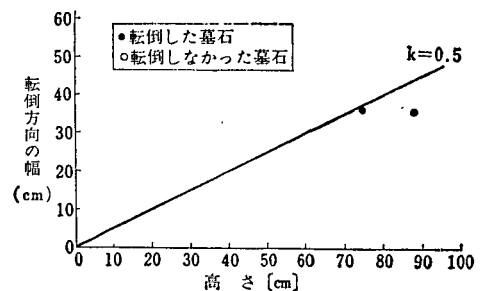
(d) 墓地4 (高見地区)



(h) 墓地9 (持越地区)



(e) 墓地5 (稲取地区)



(i) 墓地13 (梨本泉奥原地区)

図一・13 墓石の高さおよび底面幅の関係 (第1回目の調査結果)

半後に行ったため、すでに大部分の墓地において墓石の立て直しが行われていた。そのため、直接に転倒した墓石の識別はできなかったが、図—1・14に示すように墓石が倒れた時に衝突してできた墓石自体の損傷や墓石が落下した際に周辺の地表面もしくはコンクリート舗装面、囲い等に生じた傷跡等から間接的に転倒した墓石を定め、(1—5)式および(1—6)式で合震度および転倒率を求めた。また、このような観察によって転倒した墓石を識別できなかった場合には付近の住民、寺の住

職等からの聞き込みによって推定した。対象とした墓石の抽出方法(形状、周囲の状況)は第1回目の調査と同じである。調査結果の概要は表—1・3に示す通りである。ここで、聞き込みにより推定した値は観察結果から定めた値と区別して()付で表示されている。

このような調査方法では果たして転倒した墓石が正しく識別できているかどうかに関して疑問があったため、地震直後に調査した13地点のなかで2回目の調査でも対象とされている9地点を選び出し、1回目の調査による墓石の転倒率と2回目の調査による墓石転倒率を照合してみた。

この結果は図—1・15に示すような関係にあり、9箇所中の1箇所を除き、2回目の調査結果は1回目の調査結果と約10%以内の誤差で一致することがわかった。1箇所両者の調査結果に大きな違いの出た理由ははっきりしないが、考えられる原因としては、対象として選んだ区画の違い、第1回目の調査が車中からの目視によるものであり、転倒率が0%かあるいは100%といった場合以外のいわゆる中程度の転倒状態の場合には目視による調査結果はしばしば誤差を伴いやすいといった点が挙げられよう。いずれにしても9箇所中の8箇所において2回目の調査結果が地震直後の調査結果とよく一致したという点からは、ここに用いたような間接的な墓石の調査方法によっても、ある程度墓石の転倒を正しく識別できることを示しているものと考えられる。

また、墓石転倒率の調査と合わせて、転倒方向の調査および寺社の家屋の被害、本震と余震による地震動強度、1974年伊豆半島沖地震の際の地震動強度と今回の比較等に関しても一部聞き込みを行なった。以下に表—1・3の結果およびこれらの聞き込みの結果をもとに墓石の転倒状況を示す。

(2) 墓石転倒率の分布

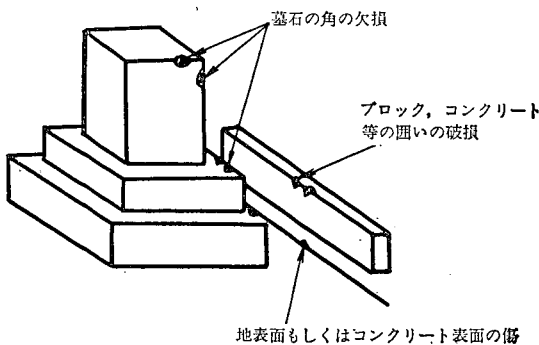
168箇所の墓地における墓石転倒率を0、0~25%、25~50%、50~75%、75~100%の5段階に分けて図—1・16に示す。この結果より伊東市から土肥町を結ぶ線より北側の地域、および、下田市から松崎町を結ぶ線より南側の地域ではほとんど墓石は転倒していないこと、転倒率が50%以上と推定されるのは、①東伊豆町から河津町にかけての地域、②天城湯ヶ島町の一部、および、③西伊豆町の3地域であることがわかる。さらに、今回の地震において道路等に被害の集中した東伊豆町および河津町では一部に転倒率が75%以上ある地域が存在している。

(3) 本震と余震による地震動強度の比較

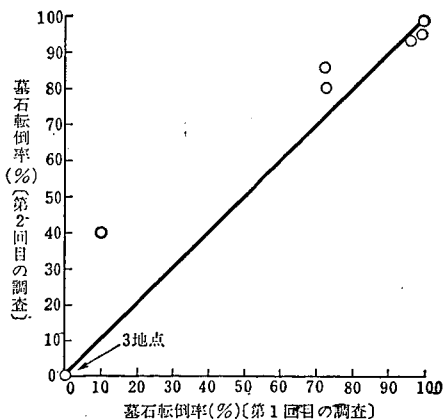
1月14日の本震と翌1月15日の余震による地震動のうちどちらをより大きく感じたかについて、i) 余震を大きく感じた地点、ii) 本震を大きく感じた地点、iii) こ

表—1・2 調査墓地の所在地(行政区別)

行政区分	墓地数	行政区分	墓地数
伊 東 市	22	土 肥 町	9
東 伊 豆 町	16	湯 ヶ 島 町	9
河 津 町	15	中 伊 豆 町	10
下 田 市	30	修 善 寺 町	6
南 伊 豆 町	17	沼 津 町	1
松 崎 町	18	韭 山 町	1
西 伊 豆 町	14	合 計	168



図—1・14 転倒した墓石の識別方法



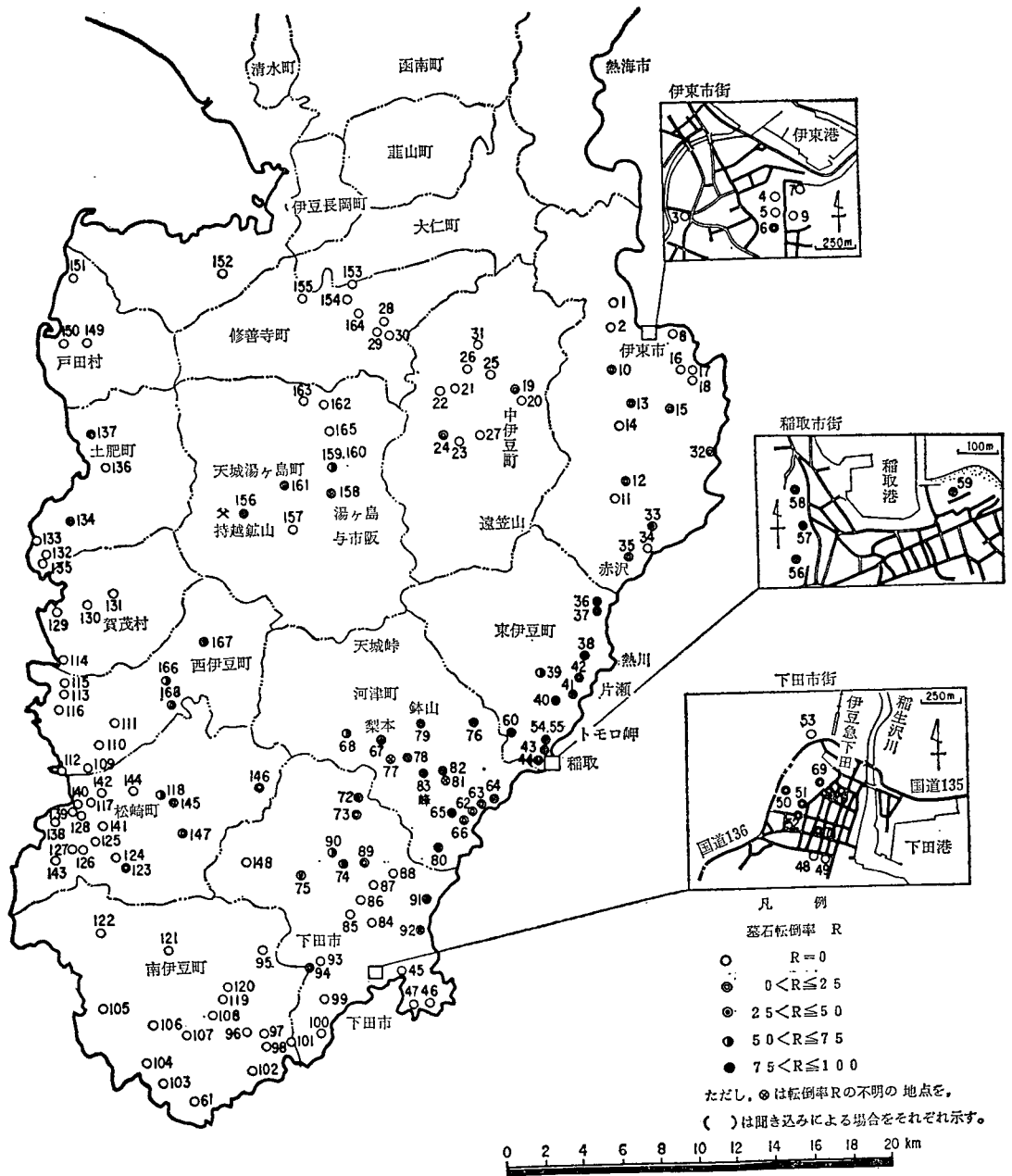
図—1・15 第2回目の調査結果の精度

表-1・3(a) 調査結果の一覧

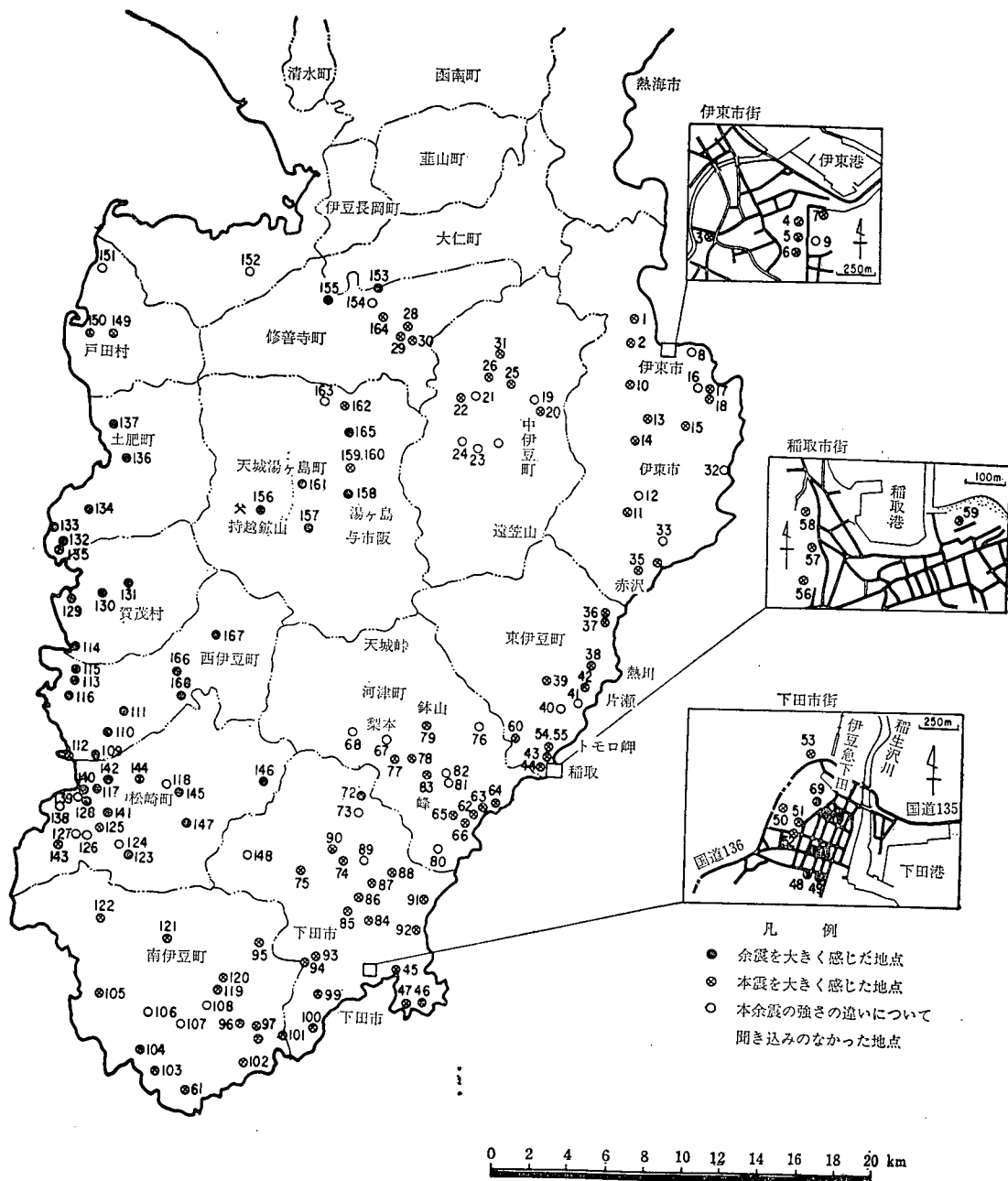
調査 No	調 査 位 置	墓地周辺の状況	寺 名 等	墓 石 寸 法 の 数	墓 石 転 倒 率			調査 No	調 査 位 置	墓地周辺の状況	寺 名 等	墓 石 寸 法 の 数	墓 石 転 倒 率		
					調 査 墓 石 数	転 倒 墓 石 数	転倒率 (%)						調 査 墓 石 数	転 倒 墓 石 数	転倒率 (%)
1	伊東市湯川	丘陵の平坦部	松月院	15	450	0	0	43	東伊豆町稲取大畑	市街地の急斜面	済広寺	15	60	30	50
2	" 岡	丘陵地	朝光寺	15	200	0	0	44	" 稲取	市街地丘陵のふもと	成就寺	13	20	20	100
3	" 音無町	市街地平坦地	最誓寺	15	200	0	0	45	下田市柿崎	丘陵の山腹斜面	玉泉寺	13	150	0	0
4	" 和田	市内の平坦地	浄円寺	15	100	0	0	46	" 須崎	山地の急斜面	観音寺	14	80	0	0
5	" 和田	丘陵地	妙隆寺	15	100	0	0	47	" "	山地の沢谷斜面	旭洞院	11	180	0	0
6	" 物見が丘	"	佛現寺	15	200	1	0.5	48	下田市市街	市街地丘陵のふもと	長楽寺	11	100	0	0
7	" 芝	市街の平坦地	廣宣寺	15	40	0	0	49	"	丘陵の緩斜面	了仙寺	11	50	0	0
8	" 新井	丘陵地	弘誓寺	15	200	0	0	50	"	市街地の平地	泰平寺	15	300	12	4
9	" 新井	"	本然寺	15	200	0	0	51	"	"	本覚寺	13	160	(30)	(19)
10	" 鎌田	"	源光寺	19	500	1	0.2	52	"	"	稲田寺	15	180	4	2
11	" 池	山地谷あい平坦地	龍溪院(1)	15	100	0	0	53	"	市街丘陵のふもとと平地	福泉寺	15	80	0	0
12	" 池	山地斜面	" (2)	15	250	10	4	54	東伊豆町稲取	(共同墓地)	蓮行寺	27	1300	(1200)	(92)
13	" 萩	山地のふもと	林泉寺	15	30	1	3.3	55	"	山すその造成平地	共同墓地	20	20	20	100
14	" 十足	山地斜面	龍雲寺	15	70	0	0	56	"	山地急斜面	吉祥寺	20	20	20	100
15	" 吉田	なだらかな斜面	光栄寺	20	200	28	14	57	"	平地	善応院	0	0	(57)	(95)
16	" 川奈	山地の斜面	恵鏡院	15	70	0	0	58	"	崖上部平地	清光院	0	0	(100)	(100)
17	" 川奈	急な斜面	慈眼院	15	80	0	0	59	"	海岸平地	正定寺	11	11	11	100
18	" 川奈小浦	山地急斜面	蓮慶寺	15	100	0	0	60	"	山地の斜面	榮昌院	27	100	100	100
19	田方郡中伊豆町冷川	山地斜面	東向寺	20	90	24	27	61	南伊豆町石廊崎	山地斜面	正眼寺	15	30	0	0
20	" 徳永	"	永徳寺	15	70	0	0	62	河津町浜	市街平地	長福寺	18	40	4	10
21	" 柳瀬	川沿の平地	実成寺	18	130	0	0	63	"	海岸横平地	称念寺	14	30	6	20
22	" 宮上	山地の斜面	最勝院	15	100	0	0	64	河津町見高	海岸丘陵斜面	真乗寺	27	200	198	99
23	" 地蔵堂	川沿の平地	上行院	15	80	0	0	65	" 谷津	山地の平地、急斜面	栖足寺	19	60	50	83
24	"	山頂の平坦部	共同墓地	19	150	12	8	66	"	山地緩斜面	専光寺	18	50	10	20
25	" 冷川持越	山地の斜面	保福院	15	25	0	0	67	" 梨本	山地谷あい急斜面	慈眼院	26	40	37	93
26	" 八幡法華堂	"	"	11	20	0	0	68	" 大鍋	山地の斜面	長慶院	15	20	15	75
27	" 菅引	山腹の緩斜面	本成寺	16	70	0	0	69	下田市市街	市街地丘陵のふもと	海善寺	10	200	(30)	(15)
28	修善寺町柏久保	山地斜面	天桂寺	15	40	0	0	70	"	市街の平地	宝福寺	15	240	(21)	(9)
29	" 加殿	市街地川沿い平地	妙国寺	15	200	0	0	71	"	市街地丘陵のふもと	大安寺	15	200	(10)	(5)
30	"	"	正福寺	15	30	0	0	72	" 地の沢須原	山地の急斜面	法雲寺	11	20	7	35
31	田方郡中伊豆町城	山腹の緩斜面	城富院	15	80	0	0	73	下田市茅原野	山地の緩斜面	三玄寺	17	70	(3~4)	(4~6)
32	伊東市戸宮	山地斜面	永昌寺	18	500	10	2	74	" 椎原	丘陵の緩斜面	陸源院	17	25	9	36
33	" 八幡豊岡	"	大江院	27	400	108	27	75	" 横川	山地の頂上付近	太梅寺	17	120	60	50
34	" 八幡野	海岸崖上平地	称名院	15	300	0	0	76	河津町見高入谷	山地緩斜面	隠了寺	27	100	100	100
35	" 赤沢	山地谷あい	清月院	15	30	3	10	77	" 湯ヶ野	山地斜面	寿雲院	3	3	0	0
36	東伊豆町大川	山地ゆるい斜面	龍豊院(1)	13	80	65	81	78	" 筏場	山地緩斜面	三養院	27	50	49	98
37	"	"	" (2)	14	120	2	2	79	"	丘陵緩斜面	延命院	(0)	(50)	(50)	(100)
38	東伊豆町奈良本	山地斜面	自性院	26	300	290	97	80	" 堀地	丘陵地	地福院	16	60	30	50
39	" 白田	"	普応院	15	20	12	60	81	" 沢田	"	林蔵寺				
40	"	山地急斜面	共同墓地	27	230	228	99	82	"	山地斜面6段カット	涅槃堂	20	38	34	89
41	"	山地斜面	東泉院	25	40	35	88	83	" 峰	山地急斜面	東大寺	27	80	78	98
42	" 柳瀬	山地急斜面	龍淵院	27	150	148	99	84	下田市玄野	山腹の急斜面	佛源寺	15	150	0	0

表-1・3(b) 調査結果の一覧

調査 No	調 査 位 置	墓地周辺の状況	寺 名 等	墓 石 査 件 法 の 数	墓 石 転 倒 率			調査 No	調 査 位 置	墓地周辺の状況	寺 名 等	墓 石 査 件 法 の 数	墓 石 転 倒 率		
					調 査 墓 石 数	転 倒 墓 石 数	転倒率 (%)						調 査 墓 石 数	転 倒 墓 石 数	転倒率 (%)
85	下田市蓮台寺	谷あいの斜面	広台寺	18	100	0	0	127	松崎町岩科	山腹の急斜面	普音寺	10	40	0	0
86	" 河内	山地谷あいの急斜面	向陽院	15	60	0	0	128	" 松崎	山腹の急斜面平坦地	浄泉寺	10	500	0	0
87	" "	山地の緩斜面	万昌寺	15	30	0	0	129	賀茂郡村宇久須	丘陵斜面	成福寺	15	250	0	0
88	" 落合	山地の斜面	宝珠寺	15	100	0	0	130	" " 月原	山地斜面	法雲寺	16	120	0	0
89	" 箕作	山地の山腹斜面	龍泉院	15	100	10	10	131	" 宇久須神田	山地斜面	明泉寺	15	152	0	0
90	" 須原	山腹斜面	枋沢寺	15	23	17	74	132	土肥町小下田	丘陵の緩斜面	最福寺	15	25	0	0
91	" 白浜	丘陵の頂上付近	長田寺	15	105	84	80	133	" 大久保	海岸近くの平地	共同墓地	15	35	0	0
92	" " 字原田	海浜の丘陵地	共同墓地	16	150	60	40	134	" 八木沢	山地急斜面	妙蔵寺	18	100	(20)	(20)
93	" 大賀茂	山地緩斜面	曹洞院	15	25	0	0	135	" 小下田	平地	龍泉寺	15	35	0	0
94	" "	丘陵の山腹	共同墓地	15	90	(10)	(11)	136	" 土肥	市街丘陵地	清雲寺、安楽寺	15	600	0	0
95	賀茂郡南伊豆町	谷あいの急斜面	玄通寺	15	80	0	0	137	" 小土肥	丘陵緩斜面	榮源寺	15	40	2	5
96	" " 下賀茂	山腹の緩斜面	慈雲寺	15	80	0	0	138	松崎町松崎	川沿ガケ下の平地	梅光院	15	100	0	0
97	" "	山腹の急斜面	泉童寺	10	30	0	0	139	" "	山際の市街平地	浄感寺	10	80	0	0
98	" " 手石	山腹の緩斜面	背竜寺	10	90	0	0	140	" 宮内	市街の平地	春城院	15	150	0	0
99	下田市吉佐美	谷あいの平地	宝徳院	10	40	0	0	141	" 松崎	山地急斜面	円通寺	10	40	0	0
100	" 田牛	"	長谷寺	15	40	0	0	142	" 桜田	山地沢沿の緩斜面	郡定寺	10	60	0	0
101	南伊豆町沢	山地の沢沿斜面	修福寺	10	180	0	0	143	" 石廊	山地の斜面	禪宗寺	10	60	0	0
102	" 下流	丘陵斜面	大慈寺	16	40	0	0	144	" 船田	山地急斜面	婦一寺	10	30	0	0
103	" 中木	谷あいの斜面	共同墓地	15	40	0	0	145	" 明伏	山腹の急斜面	共同墓地	15	100	10	10
104	" 入間	丘陵	入間海蔵寺	15	30	0	0	146	" 池代	山地の緩斜面	知泉寺	15	70	(5~6)	(7~9)
105	" 妻良	谷あいの斜面	善福寺	15	70	0	0	147	" 小杉原	"	大地庵	11	50	3	6
106	" 一色	山地緩斜面	法泉寺	15	38	0	0	148	" 加曽野	川沿、斜面	方本寺	10	70	0	0
107	" 二条	山地斜面	法伝寺	15	19	0	0	149	戸田村戸田	丘陵緩斜面	蓮華寺	10	60	0	0
108	" 加納	山地急斜面	保春寺	15	50	0	0	150	"	丘陵斜面	宝泉寺	10	30	0	0
109	松崎町築地	丘陵急斜面	長松寺	15	30	0	0	151	" 井田	山あいの平地	妙田寺	10	40	0	0
110	西伊豆町中	川沿ゆるい斜面	東福寺	15	30	0	0	152	沼津市西浦河内	山あいの緩斜面	禪長寺	12	80	0	0
111	" 字一色	山地斜面	慈眼寺	15	70	0	0	153	" 大仁吉田	丘陵斜面	西光寺	15	400	0	0
112	" 仁科浜	海辺岩山斜面	法眼寺	15	250	0	0	154	修善寺町熊坂	丘陵緩斜面	自徳院	15	20	0	0
113	" 田子大田子	海辺山の斜面	珠泉寺	15	30	0	0	155	" 堀切	山地急斜面	泉龍寺	15	70	0	0
114	賀茂村安良里	山地斜面	龍泉寺	16	300	0	0	156	湯ヶ島町持越	山地緩斜面	共同墓地	21	94	81	86
115	西伊豆町大田子	なだらかな斜面	円城寺	15	150	0	0	157	" 猫越	山地斜面	"	10	35	0	0
116	" 田子	山地急斜面	正法院	15	700	0	0	158	" 熊ノ山	丘陵の頂上	"	15	300	(150)	(50)
117	松崎町江奈	山地斜面と平地	禪海寺	20	200	0	0	159	" 市山	山地のふもとの平地	明徳寺(1)	0	27	0	0
118	" 峰輪	山地斜面	共同墓地	27	50	30	60	160	" 市山	丘陵頂上平坦地	" (2)	15	80	50	63
119	南伊豆町上小野	山腹の斜面	安楽寺	10	35	0	0	161	" 吉奈	山地の頂上平坦地	華明寺	15	60	20	33
120	" 下小野	山地急斜面、頂上の平坦部	東林寺	10	80	0	0	162	" 木柿木	丘陵の山腹	共同墓地	10	30	0	0
121	" 背野	山腹の斜面	金剛院	10	50	0	0	163	" "	丘陵の頂上	法泉寺	10	70	0	0
122	" 蛇石	山地沢沿斜面	常石寺	12	30	0	0	164	修善寺町本立野	山腹の斜面	法林寺	10	240	0	0
123	松崎町	川沢尾根の斜面	永禪寺	15	100	5	5	165	湯ヶ島町下船原	山地の急斜面	宝蔵院	0	60	0	0
124	"	山地頂上付近の緩斜面	天正寺	15	80	0	0	166	西伊豆町柳宜畑	山地の斜面	共同墓地	"	44	26	59
125	" 野田	山腹の急斜面	天然寺	12	150	0	0	167	西伊豆町宮ヶ原	山地の緩斜面	"	59	(53~54)	(90)	
126	"	"	常在寺	10	100	0	0	168	西伊豆町白川	山地の斜面	"	95	6	6	



図一・16 墓石転倒率の分布 (2回目の調査結果)



図一・17 聞き込みによる1月14日の本震と1月15日の余震による地震動強度の比較

れに関して特別な聞き込みのなかった地点の3つに分類して図一・17に示す。ここで、余震による地震動とは1月15日に発生した多数回の余震のうち、いずれか一つにともなう地震動という意味であり、ある特定の一つの余震による地震動を意味するものではない。この結果をみると、本震および余震による地震動の強度は互いにかなり明瞭に分離されており、伊豆半島の東半分では、本震による地震動が、伊豆半島の西半分では余震による地震動がそれぞれより強く感じられている。このような本余震による地震動強度の分布を念頭に置いて図一・16に示した墓石転倒率の分布を見直すと、転倒率が50%以上と推定された3地域のうちの、②天城湯ヶ島町の一部、および③西伊豆町の一部の2つの地域では主として1月15日の余震により転倒した墓石が多いと考えられる。

〔3〕 墓石の転倒率から地震動最大加速度の推定法

墓石は昔から形状、寸法が地域によらずほぼ一様であり、また、質量の分布の一様さや形状の簡単なこと等の理由で地震動強度を推定する際に広く用いられてきている。墓石の転倒から地震動の強度を推定するためには一般に(1-5)式がよく用いられているが、図-1-13に示したように転倒した墓石および転倒を免れた墓石の幅と高さの比から合震度を推定する場合には次のような点に留意しなければならない。

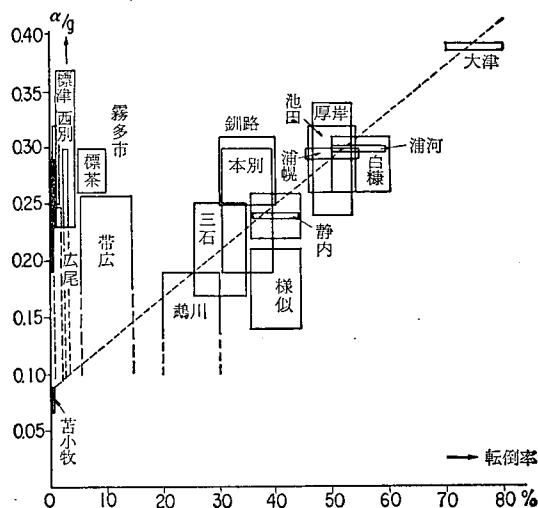
(i) 合震度を求めるためには、墓石の高さと底面幅以外の全ての条件が同一で、ある底面幅 B_T と高さ H_T の比 (B_T/H_T) の墓石が転倒し、これよりわずかに B_T/H_T の比が大きい墓石が転倒しないという場合が理想であるが、実際には図—1・13に見られるように、このような理想的な場合はきわめて恵まれた条件下でしか起こらない。これは個々の墓石の基礎地盤条件の違い、初期の傾き具合、周囲の地形、転倒するに至った過程等種々の原因が考えられるうえに、転倒という現象そのものが確率的な要素を持っているためであろう。たとえば、田村ら(田村, 国井他, 1974)¹⁵⁾は、1974年5月の伊豆半島沖地震による墓石の転倒状況を調査し、転倒の原因をa) すべて礎石からはみだし転倒したもの、b) ジャンプして転倒したもの、c) 図—1・11に示した状態から転倒したもの、に分類している。明らかに(1—5)式で計算される合震度はc)の条件下でしかあてはまらないものである。

(ii) 墓石にはおおよその定まった寸法があり、一部の特殊な墓石を除くと大部分の墓石の底面幅 B_T と高さ H_T の比は 0.4 程度 (高さは 60~90 cm, 幅は 18~30 cm の範囲にそれぞれ納まっている場合が多い) が多い。したがって、転倒した墓石の底面幅と高さから (1-5) 式で合震度を求めると計算上は常に 0.4 程度の値が得られる。

しかし全部の墓石が転倒したわけではなく一部の墓石だけが転倒したような場合には、転倒した墓石だけの寸法から算定した合震度は一般に大き目の見積りであろう。

このような点を考慮すると、基礎の条件、転倒の過程を吟味して少数の墓石を抽出し、これをもとにして合震度を求めるよりも、同一の条件下にある、できる限り多くの墓石の高さおよび底面幅を測定し、(1-5)式で求められる合震度を(1-6)式で求められる転倒率と併せ考え総合的に合震度を定める方法がより合理的と考えられる。地震動の強度を墓石の転倒率との関係でまとめた成果としては福富ら¹⁸⁾による1952年十勝沖地震の際の地震動最大加速度の推定結果がある。

福富らは転倒および転倒を免れた墓石の高さと幅の比から北海道南部の各地の地震動最大加速度を推定した後に、これを墓石の転倒率と結びつけ、図一・18に示す結果を得ている。これによれば、墓石転倒率が約80%の場合に地震動の最大加速度は約 400 gal、墓石転倒率が0の場合に約 100 gal という結果になっている。



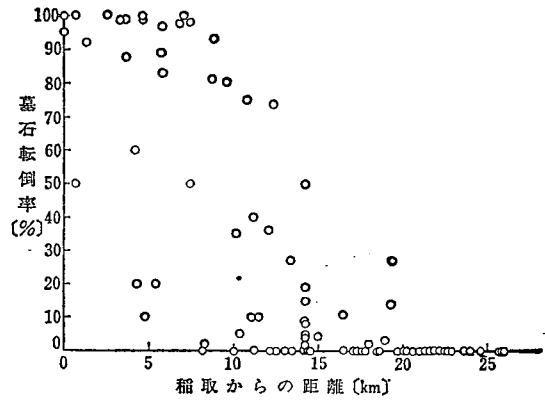
図一1・18 北海道各地における十勝沖地震（1952年）の最大加速度の推定値と墓石転倒率の関係（福富らによる）

ここでは以下に墓石転倒率が主として被害を生じた断層からの距離によってどのように分布しているかを述べ、これを平均的な地盤上における地震動の最大加速度と震央距離に関する統計解析の結果と結びつけて、墓石の転倒率と地震動の最大加速度の関係を求めることとする。

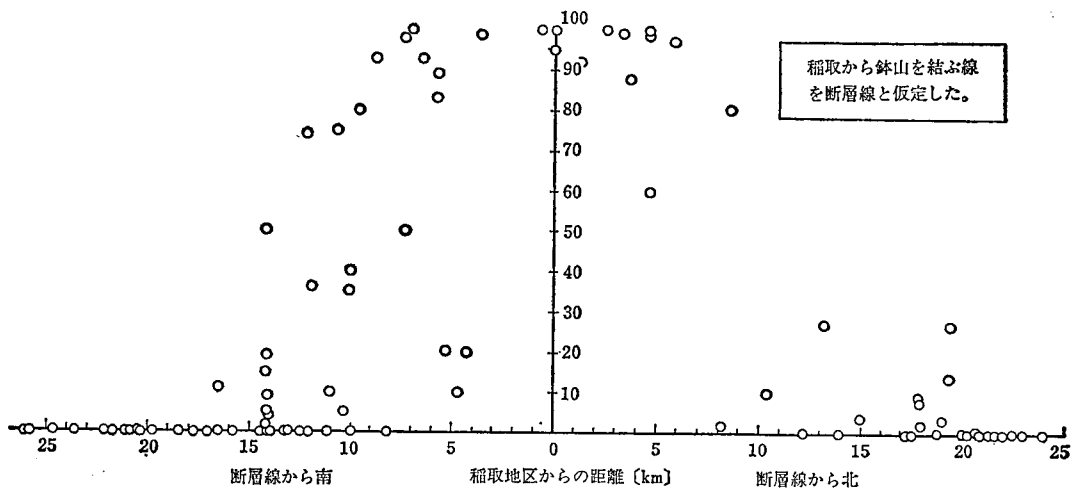
(1) 本震による墓石転倒率と断層からの距離の 関係

今回の地震の発震機構に関しては各所で地震の専門家により検討されており、細部においては今後更に検討

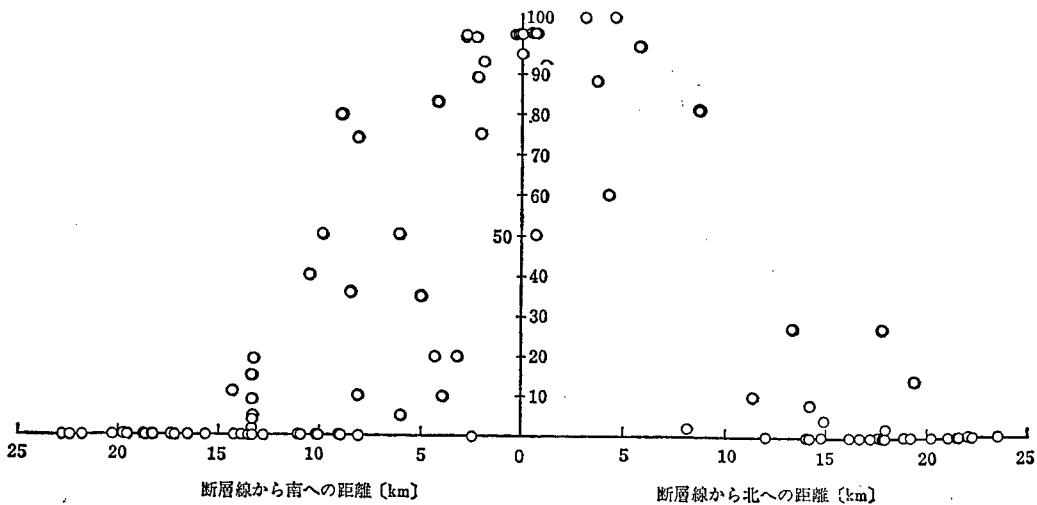
する余地を残すとしながらも一応、大島西方の震源に近い海域からほぼ真西に断層が走り、伊豆半島東岸の稲取に達した後、さらに稲取から伊豆半島内陸の西北西に断層が動いたとされている。今回の地震により被害の集中した東伊豆町および河津町の地域に対しては、稲取から伊豆半島内陸にかけて抜けた断層に起因する地震動が優勢であったのか、それとも、大島西方の海底から稲取にかけて動いた断層に起因する地震動が優勢であったのかに関しては議論の分かれる所であるが、もし前者であったとすれば、断層線上に位置する伊豆半島の中～西部の地域にもっとも高い地震による被害および墓石の転倒の著しい地域があってもよいのではないかという点、マグニチュード7.0の地震が真下に生じたとするには、東伊



図一1-19 稲取からの距離で整理した墓石転倒率の分布
墓石転倒率〔%〕



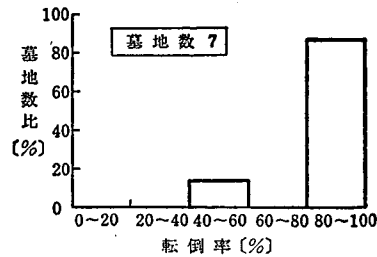
図一1-20 断層から南北方における墓石転倒率の分布 (稲取地区からの距離で整理した場合)
墓石転倒率〔%〕



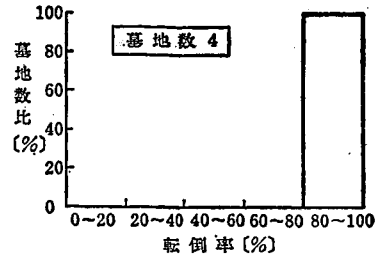
図一1-21 断層から南および北の地域における墓石転倒率の分布 (断層からの距離で整理した場合)

豆町から河津町にかけての地域の被害は小さいのではない、等の見方からここでは一応大島西方の海底から稲取にかけて動いたとされる断層に起因する振動が伊豆半島の東半分の地域では優勢であったと考えることにする。このような場合には、地震動の強度は一般に断層の走る方向が遠ざかっていく方向よりも大きいと言われているので、伊豆半島の東半分の地域における地震動を考える際には断層のもっとも西側に位置する稲取地区からの距離によって整理するのが適当と考えられる。

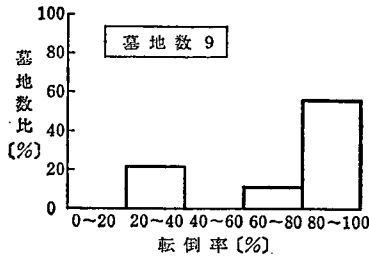
墓石の転倒率を稲取地区からの距離で整理すると図一・19に示す結果が得られる。ここで対象とした墓地は図一・17で示した本震の方が余震よりも揺れが激しかったという報告の多い伊豆半島の東半分の地域に分布する75地点の墓地(表一・3参照)である。この結果から、稲取地区から20 km 以上離れた地域ではもはや墓石の転倒は生じていないこと、稲取地区から5 km 以内の地域では墓石転倒率はおおむね100%に近くきわめて高い値となっていることがわかる。次に、稲取から西北西に内陸に伸びる断層線(ここでは、稲取から鉢山を結ぶ線をとった)から北側の地域および南側の地域に分けて図一・19に示した結果をプロットし直すと図一・20の結果が得られる。稲取からの距離による転倒率の減少の度合いには断層線の両側におい



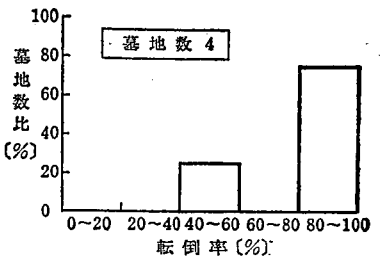
(a) 稲取からの距離2km未満



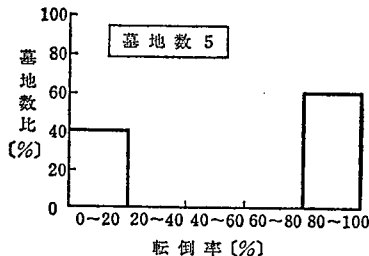
(b) 稲取からの距離2km以上4km未満



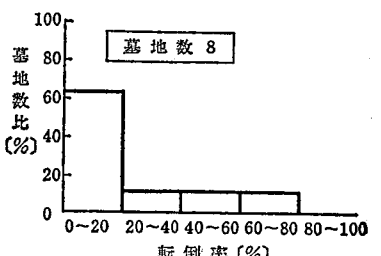
(c) 稲取からの距離4km以上6km未満



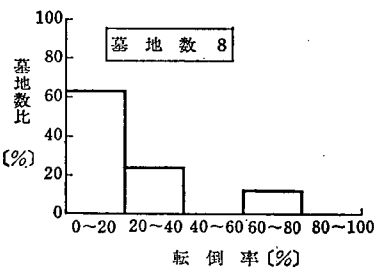
(d) 稲取からの距離6km以上8km未満



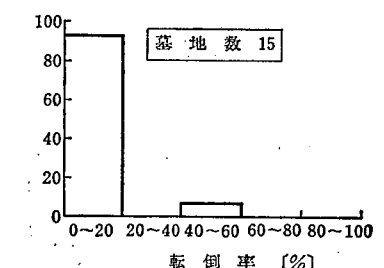
(e) 稲取からの距離8km以上10km未満



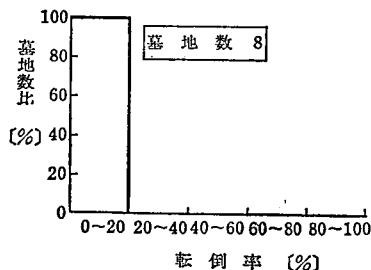
(f) 稲取からの距離10km以上12km未満



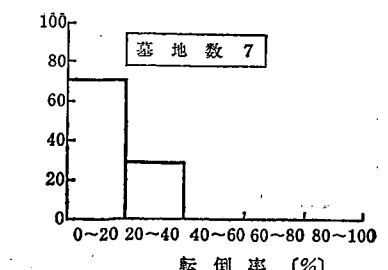
(g) 稲取からの距離12km以上14km未満



(h) 稲取からの距離14km以上16km未満



(i) 稲取からの距離16km以上18km未満



(j) 稲取からの距離18km以上

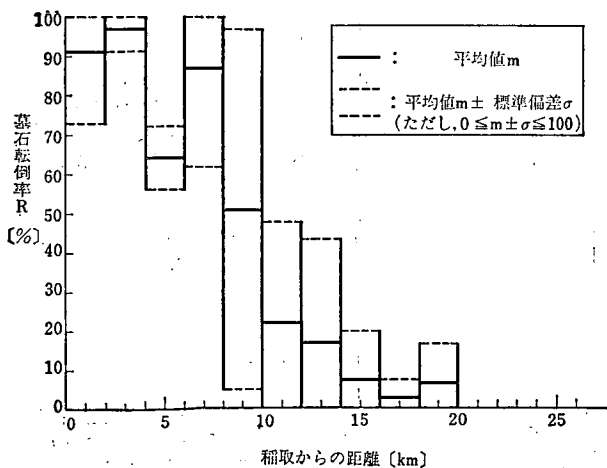
図一・22 稲取からの距離による転倒率のばらつき具合

て著しい違いは認められず、断層の上盤および下盤側で地震動強度が著しく異なるという現象は今回の地震では認められない。これは、断層面の dip angle が大きい（ほぼ垂直に近いと推定されている）ことに起因するのであろう。図一1・21は念のために稲取から鉢山を結ぶ線上に仮定した断層線からたてた法線の距離で墓石の転倒率を整理した結果を示したものである。図一1・20に比較し、転倒率がおおむね100%となる地域の範囲がやや狭くなっている他は同じような結果となっている。

次に、図一1・19に示した転倒率を稲取地区から2km刻みの範囲に分割し、それぞれの範囲ごとに転倒率がどのようにばらついているかを頻度（全数に対するパーセントで表示）によって示したのが図一1・22である。2km刻みの範囲に分けるとそれぞれの中での墓地数は統計量として取扱うには少なすぎる数になってしまうが、一応これからそれぞれの範囲ごとに転倒率の平均値と標準偏差を求めると図一1・23に示す結果が得られる。この結果をみると、転倒率の平均値が90%程度と非常に高い地域および10%以下と非常に低い地域では、転倒率の標準偏差は小さいが、これらの中間的な場合、特に転倒率の平均値が30～60%のいわゆる中程度の転倒の場合には標準偏差は大きな値となっている。これは地震動を受けた場合に墓石は本質的には転倒するかしらないかのいずれかの状態でしかあり得ず、同時に、墓石の高さと底面幅の比が墓石ごとに大差のないことに起因しているものと考えられる。

(2) 平均地盤上での地震動の最大加速度と震央距離との関係

建設省の総合開発プロジェクトの一環として実施された耐震技術に関する研究開発では、マグニチュードMが



図一1・23 稲取からの距離による墓石転倒率の平均値およびそのばらつき

5.0以上、震源深さが60km以下で最大加速度50gal以上の記録が少なくとも1成分採取されている51個の地震により工学式強震計で観測された301記録（1記録は水平2成分および鉛直1成分の計3成分から成る）をもとにして、加速度記録の最大値、周期特性、継続時間等を多変量解析により解析している。その中の1つとして、地震動の最大加速度と震央距離およびマグニチュードの関係を日本の平均的な地盤に対して次式で表わしている。

$$A_{max} = 34.1 \times 10^{0.308M} \times (4 + 10)^{-0.925} \dots \dots (1-7)$$

ここで、

A_{max} : 最大加速度振幅 [gal]

M : マグニチュード [=7.0]

4 : 震央距離

(3) 墓石転倒率と地震動の最大加速度の関係

図一1・23に示した墓石転倒率～稲取からの水平距離の関係を（1-7）式によって与えられる地震動の最大加速度～震央距離（マグニチュードMは気象庁による本震のマグニチュード7.0をとる）の関係と結びつけると図一1・24のようになる。ここで、図の左側は図一1・23の結果を、右側は（1-7）式の計算結果を示している。両者を比較する時に注意しなければならないのは、距離の表わし方が両方の関係で異なるという点である。しかしながら、前述したように主たる断層の走った方向から考えて、地震エネルギーの主要な部分が大島西方の海底から稲取に至る断層中の稲取付近で放出されたと考えることができるならば、稲取からの距離をもって震央距離と読みかえ、図一1・23の関係と（1-7）式の関係を結びつけてもよいであろう。このようにして、震央距離を介して墓石転倒率と地震動の最大加速度の関係を求めるとおおよそ図一1・25に示すような結果を得る。

すなわち、

$$A_{max} \approx 2.67R + 200 \dots \dots (1-8)$$

ここで、

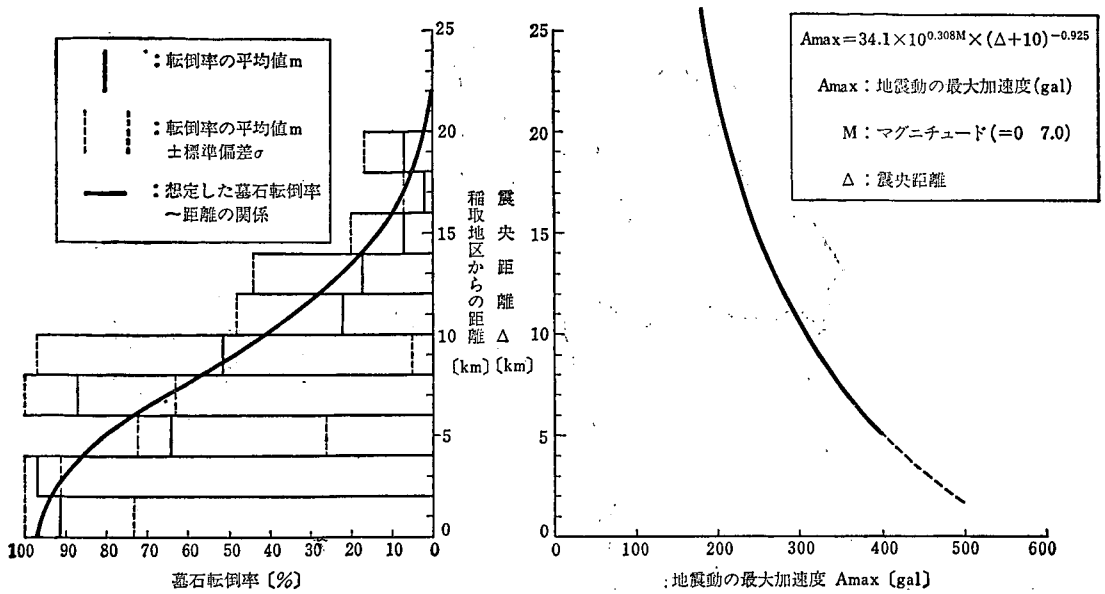
A_{max} : 最大加速度 [gal]

R : 墓石転倒率 [%]

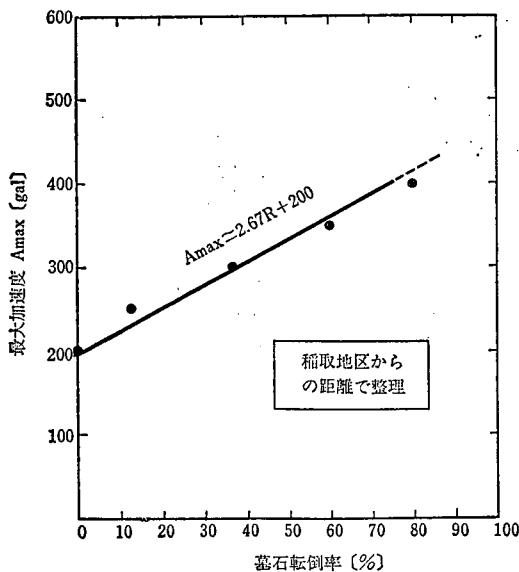
これによれば、墓石転倒率75%、40%、0%に対して最大加速度はそれぞれ400gal、300gal、200gal（以下）となる。

以上のようにして伊豆大島近海地震による墓石の転倒率の調査から求められた関係を現在までに定量的もしくは定性的にわかっている墓石の転倒状況と照合すると以上のようなになる。

1) 内陸近くで発生した現在までの地震、たとえば、関東地震（1923年）、福井地震（1946）、三河地震（1944年）等では被害の著しかった地区で墓石の転倒率は100%に近かったとされている。また、家屋の倒壊等から推



図一・24 墓石転倒率～距離～最大加速度の関係



図一・25 墓石転倒率～最大加速度の関係

定されている地震動の最大加速度は 0.4～0.5 G 以上と見積られている。

2) 十勝沖地震 (1952) に対して福富らが求めた墓石転倒率と地震動の最大加速度の関係によれば、最大加速度 400 gal, 300 gal, 200 gal に対する墓石転倒率はそれぞれ約 80%, 50%, 30% であり、加速度の小さい領域で

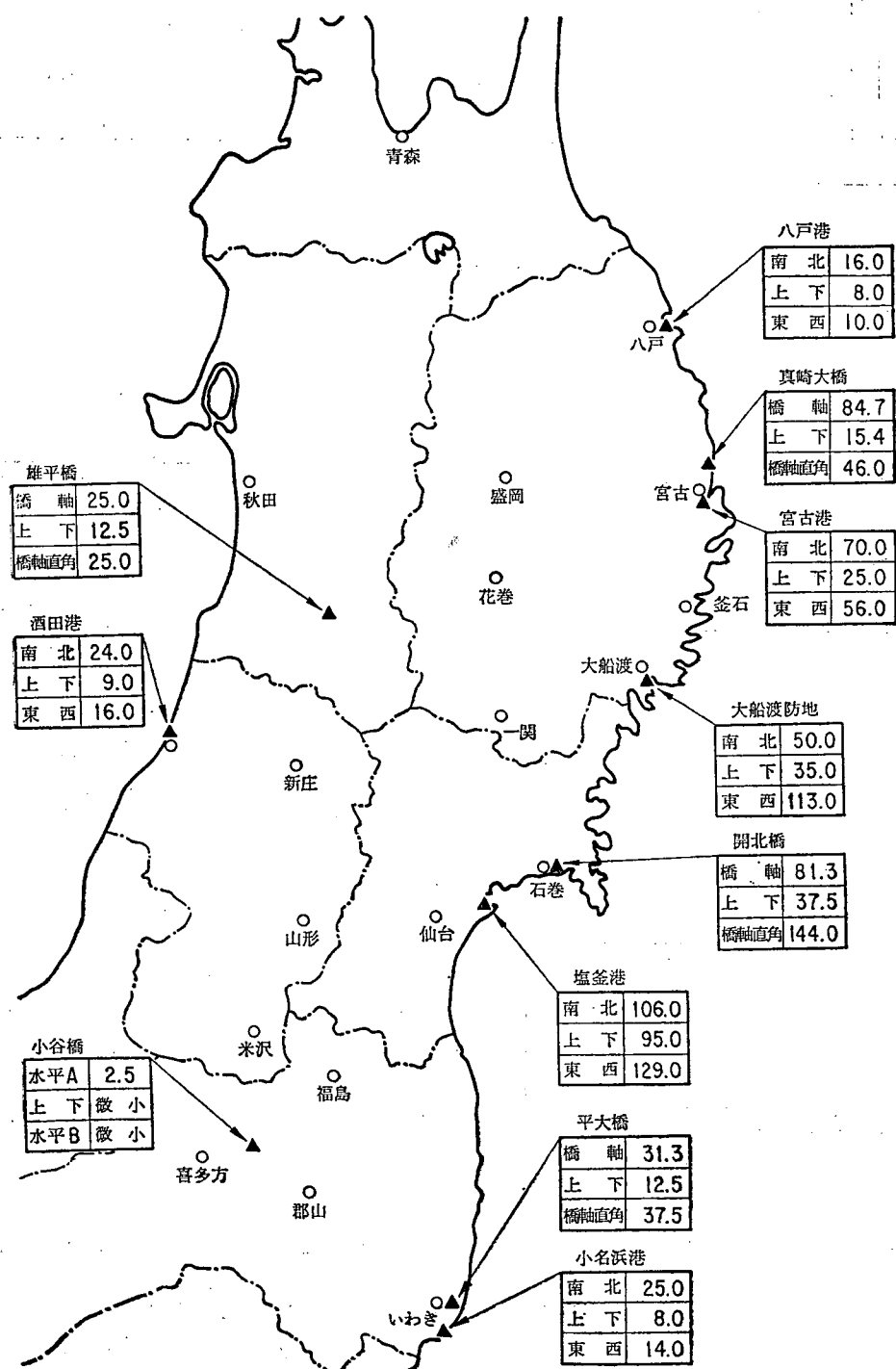
図一・25の結果の方が同一の墓石転倒率に対してはやや大きめの加速度を与える点を除けば、両者はおおむね同じ結果を与える。

3) 1978年2月の宮城県沖の地震では、仙台～三陸沿岸にかけて設置されていた強震計により、図一・26に示すような加速度記録が得られている。一方、地震直後に行なった12箇所における墓石調査の結果によれば (図一・27参照) ほとんどの地点で墓石は転倒しておらず、回転した程度であった。すなわち、宮城県沖の地震に対しては地震動の最大加速度が約 140 gal 程度では墓石の転倒は生じなかった²⁰⁾。

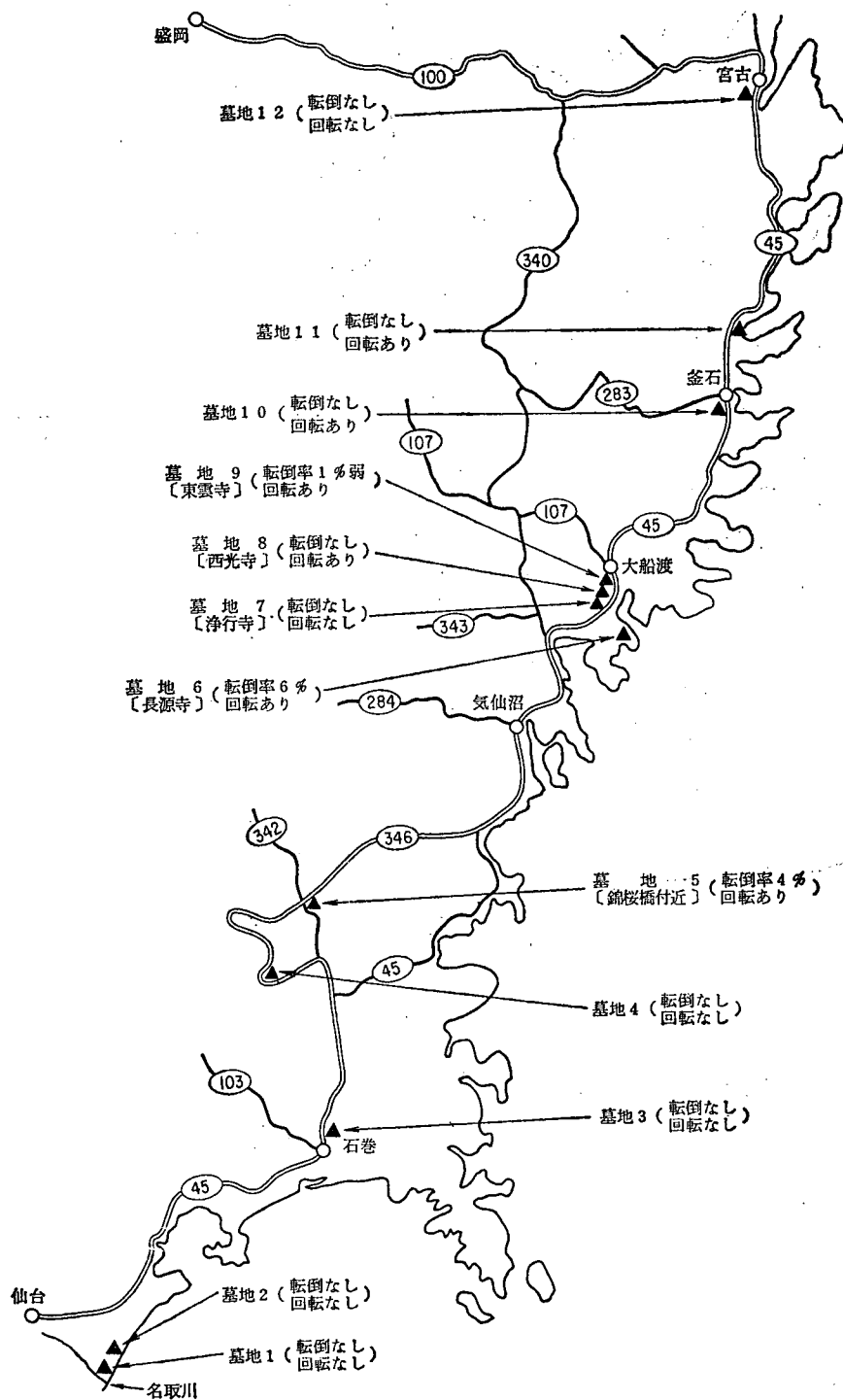
4) 伊豆半島沖地震 (1974) では南伊豆町入間、中木付近において墓石はほとんど転倒し、小浦においても60～70%転倒したとされている (田村, 1975)¹⁴⁾。一方、国井ら¹⁵⁾によれば、これらの地点での最大加速度はそれぞれ 400 gal 以上 (中木, 入間), 325～350 gal (子浦) と推定されている。

5) 大分県中部地震 (1975) では奥双石、塩手、小都留において墓石は 100% 転倒しており、望月ら¹⁶⁾は、最大加速度をそれぞれ約 400 gal, 500 gal, 450 gal と推定している。

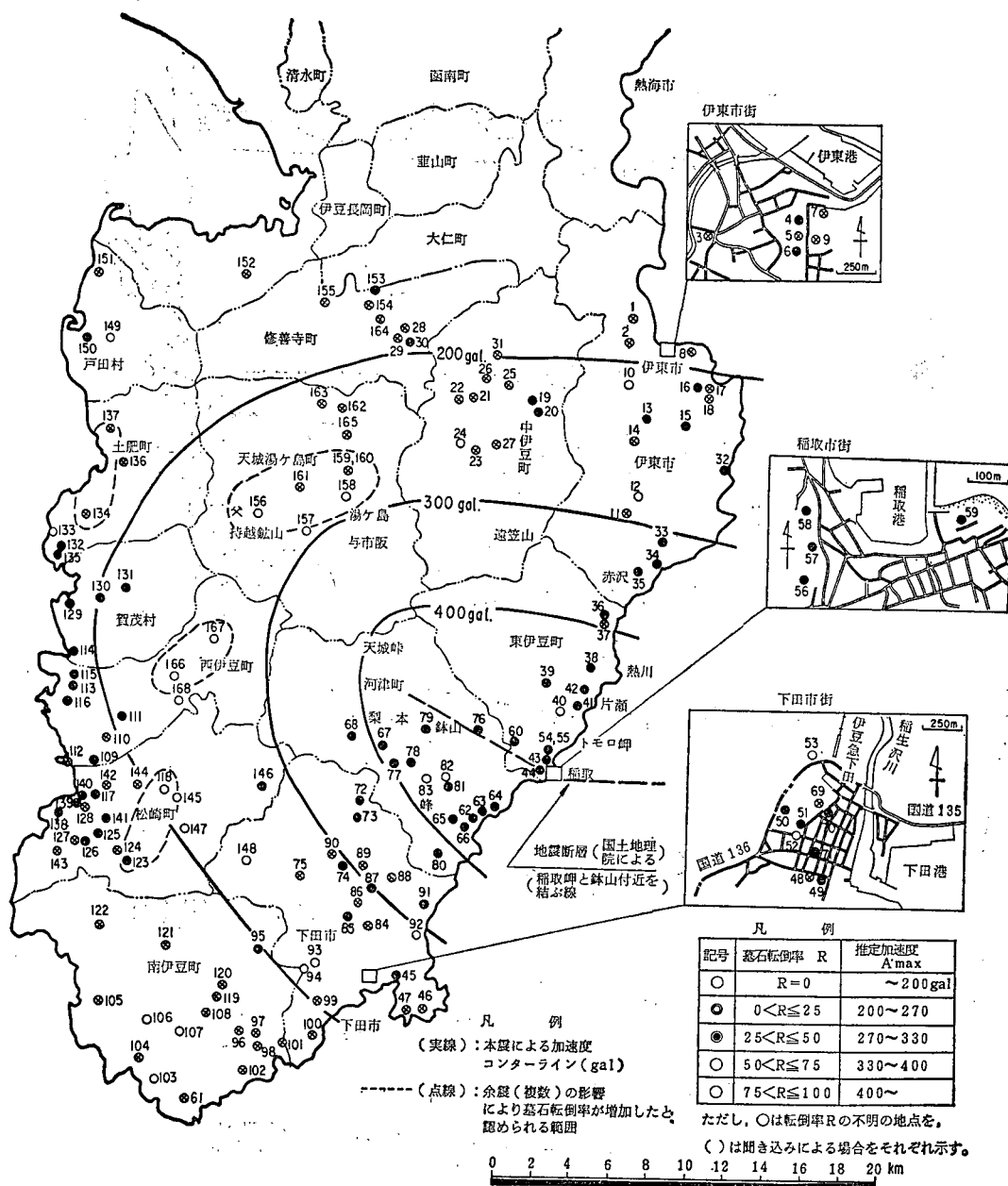
以上のような点からみて、図一・25に示した結果は、既往の地震による墓石の転倒状況と大きな矛盾はないと考えられ、地震動の最大加速度を墓石の転倒率から推定するための一応の目安として用いることができると考えられる。



図一・26 最大加速度の分布 (1978年2月20日宮城県沖の地震, 単位はガル)



図一・27 1978年2月の宮城県沖の地震 (M=6.7) による墓石の調査結果



図一・28 墓石の転倒状況から推定した最大加速度分布 (1978年1月伊豆大島近海地震の場合)

〔4〕 伊豆大島近海地震による地震動の最大加速度の推定

図一・25に示した墓石の転倒率と最大加速度の係を用いて今回の伊豆大島近海地震の本震による地震動最大加速度を推定すると図一・28に示すようになる。この結果によれば、今回の地震により被害の著しかった東伊豆町から河津町にかけての地域での最大加速度は瞬間的に

は 400 gal を超えたと推定される。なお、図中には余震の影響により墓石転倒率が増加したと考えられる範囲も示してある。余震については、転倒率が本震の影響を受けていると考えられ、今回の調査では本震と余震の影響をそれぞれ分離して評価することができなかったため、余震に対する最大加速度を正しく推定するには至っていない。

4. まとめ

1978年伊豆大島近海地震では、静岡県を中心として、多数の強震記録が得られたが、震源付近においては強震計により直接地震動強度を観測できなかったため、墓石の転倒等から間接的に地震動強度を推定した。墓石の転倒から地震動の最大加速度を求める際には、(i)墓石の幅 B_T と高さ H_T の比 B_T/H_T はどの墓石についてもおおむね 0.4 程度であり、したがって、転倒した墓石から合震度を求めると、計算上は常に 0.4 程度の値が得られること、また (ii) 基地の中の一部の墓石が転倒した場合と大多数の墓石が転倒した場合とでは、当然合震度は違うはずであることに注目し、墓石の転倒率から地震動最大加速度を求める手法を提示し、図-1・25もしくは(1-8)式の関係を得た後に、これを用いて伊豆大島近海地震の本震による最大加速度の分布を図-1・31に示すように推定した。

参考文献

- 津村, 他: 1978年伊豆大島近海地震の前震, 余震活動, 地震学会講演予稿集, 昭和53年度春季大会
- 安藤, 三雲, 石川: 1978年1月14日伊豆大島近海地震の発震機構, 地震学会講演予稿集, 昭和53年度春季大会
- 島崎, P. Somerville: 伊豆大島近海地震の静的パラメータ, 地震学会講演予稿集, 昭和53年度春季大会
- 佐藤 裕: 地震予知連絡会情報 (38), 建設月報, No. 348, 昭和53年6月
- 小林啓美: 単体の転倒と震度, 日本建築学会研究報告, 日本建築学会, 昭和25年10月
- 梅村, 滝沢: 非定常入力による転倒振動の解析—剛床上の剛体の場合—, 日本建築学会大会学術講演概要集, 昭和45年
- 望月, 小林: 単体の運動から地震加速度を推定するための研究—単体の動的振動の解析—, 日本建築学会論文報告集, 第248号, 昭和51年10月
- 池上, 岸上: 昭和24年12月26日今市地震における墓石転倒により推定した地震動の加速度, 震研彙報第38巻, 昭和25年
- 建設省土木研究所: 1978年1月伊豆大島近海地震調査概要, 土木研究所資料第1346号, 昭和53年2月
- 土木研究所第1次調査団: 1978年伊豆大島近海の地震被害調査速報, 土木技術資料20巻4号, 昭和53年4月
- 岩崎, 川島: 墓石の転倒状況からみた伊豆大島近海地震 (1978) の地震動分布について, 地震学会講演予稿集, 昭和53年度春季大会
- 石崎, 平田, 須藤: 1978年伊豆大島近海地震と主な前震・余震の震源位置とメカニズム, 地震学会講演予稿集, 昭和53年度春季大会
- 復興局: 大正12年関東大地震震害調査報告
- 田村重四郎: 1974年伊豆半島沖地震の被害調査報告, 生産研究, 27巻2号, 昭和50年2月
- 田村, 松田, 国井, 望月: 1974年伊豆半島沖地震調査報告書, 東京都立大学伊豆沖地震調査団, 昭和49年7月
- 岩崎, 若林, 常田: 加速度記録の統計解析, 土木技術資料20巻4号, 昭和53年4月
- 建設省土木研究所: 耐震技術に関する研究開発総合報告書, 土木研究所資料第1250号, 昭和52年
- 福富, 田畑, 藤木, 金安: 墓石の転倒, 移動等による十勝沖大地震の最大加速度と特異な地割れの観察, 十勝沖地震調査委員会 (大坪喜久太郎委員長) 十勝沖地震調査報告, 昭和29年
- 田治米, 望月, 松田: 地震と震害, 楳書店, 昭和52年
- 建設省土木研究所: 昭和23年6月28日北陸震災調査報告, 土木研究所報告第78号, 昭和24年
- 建設省土木研究所: 1968年十勝沖地震災害調査報告, 土木研究所報告第141号, 昭和45年
- 日本学術会議: 昭和23年福井地震調査研究速報, 福井地震調査研究特別委員会, 昭和24年
- 建設省土木研究所: 新潟地震調査報告, 土木研究所報告第125号, 昭和40年
- 多田, 松野, 山村, 栗林: 東北地震震害調査, 土木技術資料4巻10号, 11号, 昭和37年
- 岩崎敏男他: 八丈島近海地震による土木施設の被害調査速報, 土木技術資料14巻5号, 1972年
- 駒田敬一他: 根室半島沖地震調査速報, 土木技術資料15巻8号, 9号, 1973年
- 土木研究所災害調査団: 伊豆半島沖地震における土木関係被害調査速報, 土木技術資料16巻7号, 1974年
- 駒田敬一他: 大分県中部地震調査速報および同統報, 土木技術資料17巻7号, 8号, 1975年
- 川島, 高木: 1978年2月20日宮城県沖の地震被害速報, 土木技術資料20巻8号, 1978年
- 土木研究所災害調査団: 1978年6月12日宮城県沖地震被害速報, 土木技術資料20巻8号, 1978年
- 物部長穂: 土木耐震学, 理工図書株式会社, 昭和27年
- 物部長穂: 地震上下動に関する考察ならびに振動雑論, 土木学会誌, 第10巻第5号, 大正13年
- 岩崎, 川島, 麓: 墓石の転倒状況から推定した伊豆大島近海地震 (1978) の地震動分布, 第33回土木学

会年次学術講演会，昭和53年

34. 岩崎，川島：墓石転倒率と地震動最大加速度の関係について，地震学会講演予稿集，昭和53年秋季大会
35. 岩崎，川島：伊豆大島近海地震における墓石転倒率と地震動最大加速度の分布について，地震学会講演予稿集，昭和53年秋季大会
36. 建設省土木研究所：墓石の転倒状況からみた1978年11月伊豆大島近海の地震による地震動強度の推定，土木研究所資料第1399号，昭和53年
37. 大橋，岩崎，川島：墓石の転倒状況から推定した1978年伊豆大島近海地震の地震動強度，土木技術資料，20巻11号，昭和53年

第2編 地震災害の概要

栗林 栄一^{1*} Dr. Eiichi Kuribayashi
田崎 忠行^{4*} Tadayuki Tazaki

目 次

1. 被害の概要……………(1)	〔4〕 電力施設……………(5)
2. 公共土木施設の被害……………(3)	〔5〕 通信施設……………(5)
〔1〕 道 路……………(3)	3. 地震の地域社会に及ぼした影響……………(5)
〔2〕 鉄 道……………(5)	参考文献……………(6)
〔3〕 水道施設……………(5)	

1. 被害の概要

伊豆大島近海地震による死者数は表—2・1に示すように25名であった。このなかには河津町見高入谷における山崩れによる7名、道路災害に関連したもの12名が含まれている。

表—2・1 死傷者数一覧表

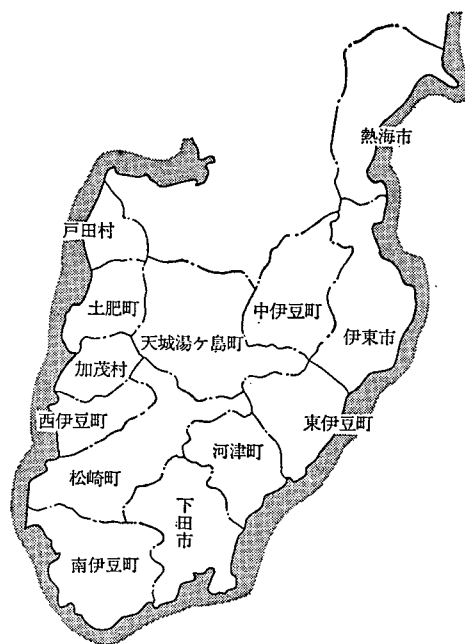
	死者(人)	負 傷 者 (人)		
		重 傷 者	軽 傷 者	計
伊 東 市	0	1	3	4
下 田 市	0	4	47	51
天城湯ヶ島町	5	3	5	8
東 伊 豆 町	9	23	86	109
西 伊 豆 町	0	1	1	2
河 津 町	11	2	26	28
松 崎 町	0	0	2	2
南 伊 豆 町	0	0	1	1
計	25	34	171	205

表—2・2 伊豆大島近海地震による被害額

被 害 区 分	損害額(千円)	備 考
建 築 物	5,865,400	河津町・東伊豆町・下田市 関係と県関係の厚生年金住 宅(47,000)を加えた損害額
農 林 水 産 関 係	6,953,518	
文 教 施 設 関 係	494,838	
厚生・衛生施設関係	972,783	
産 業 施 設 関 係	8,407,582	
土 木 関 係	13,713,161	
電 力 施 設 関 係	904,000	日本道路公団関係を含む損 害額
鉄 道 施 設 関 係	2,017,184	
計	39,328,466	

表—2・2に被害額の総括表を示す。この値は道路の被害額は参考文献3)により、それ以外は静岡県が発した額をまとめたものである。

これを見ると土木関係の被害が最も多い。土木関係のうちでは道路施設関係の被害が表—2・3のとおり大部分を占め、全体被害額の34%となっている。



図—2・1 被災地域の行政区分図

^{1*} 地震防災部耐震研究室主任研究員 (現大臣官房技術調査官)

2. 公共土木施設の被害

〔1〕 道 路

前節で述べられているように、道路施設の被害は今回の地震による物的被害のなかで最も大きい割合を占めている。被害箇所数は671箇所にとり、内訳では一般国

道135号、主要地方道修善寺～下田線の被害の規模が大きかった(表-2・5)。この影響によって、伊豆半島の10路線において14区間27箇所で行き止となった。通行止区間および箇所の一覧を表-2・6に示す。このうち国道135号の旧道部の東伊豆町黒根、稲取では海食崖の傾斜面に建設された道路が地山ごと滑落したため、復旧の目

表-2・6 被災による道路の通行止

道路 種別	路 線 名	箇 所 名	原 因	交 通 開 放		摘 要	
				内 容	月 日		
国道	135号	伊東市赤沢～東伊豆町熱川	崩 土・落 石	一 般 車 輛 緊急車輛・一般車輛	2月21日		
		伊東市赤沢	" "		" "		1月14日(19時)
		東伊豆町大川	" "		" "		2月28日
		熱川	" "				
		東伊豆町黒根	欠 トンネル崩壊				
		稲取	欠 崩				
	136号	天城湯ヶ島町上船原～賀茂村深田	崩 土・落 石	緊急車輛・一般車輛	1月15日(9時40分)		
		天城湯ヶ島町上船原	" "		" (17時)		" (9時40分)
		土肥町八木沢	" "		緊急車輛・一般車輛		1月16日(12時)
		小 峰	" "	緊急車輛・一般車輛	1月15日(9時40分)		
		賀茂村深田	崩 土・落 石	緊急車輛・一般車輛	1月16日(12時)		
主要	修善寺下田線	天城湯ヶ島町西平～河津町川合野	崩 土・落 石	緊急車輛・一般車輛 総重量2t以下の車輛 大型車通行止、但し 定期路線バスを除く	3月14日		
		天城湯ヶ島町与市坂	" "		3月14日		
		河津町料金所200m先～川合野	" "		7月18日		
		下田松崎線	下田市横川～松崎町明伏	落 石 除 去	緊急車輛・一般車輛	1月14日(13時)	
			下田市横川	" "	緊急車輛・一般車輛	1月18日(12時)	
		松崎町明伏	落 石	緊急車輛・一般車輛	1月14日(13時)		
	湯ヶ野谷津線	河津町湯ヶ野～谷 津	崩 土	一 般 車 輛	1月24日		
	伊東西伊豆線	天城湯ヶ島町西平～西伊豆町八重名野	" "	緊急車輛・一般車輛	1月14日(13時)		
		天城湯ヶ島町持越	" "		2月16日		
		西伊豆町宮ヶ原～郡界	" "				
		八重名野	" "	一 般 車 輛	2月17日(7時)		
		中伊豆町国土峠	崩 土・落 石	" "	1月15日(14時25分)		
一般	伊東川奈八幡野線	伊東市富戸	崩 土・落 石	" "	1月16日		
	熱川片瀬線	東伊豆町片瀬	崩 土	" "	2月28日		
	湯ヶ野松崎線	河津町大鍋～松崎町池代	崩 土	一 般 車 輛	1月24日		
		河津町大鍋	" "		" "		1月19日
		松崎町池代	" "		" "		1月17日(8時)
	下田港線	下田市弁天橋	橋梁クラック	" "			
国道	135号 東伊豆有料道路	下田市武ヶ浜～東伊豆町大川	崩 土	緊急車輛・一般車輛	1月17日(7時)	下田市武ヶ浜～東伊豆町稲取 同月日 東伊豆町稲取～奈良本 同月日 東伊豆町奈良本～伊東市八幡野 同月日	
		下田市小湊	" "		1月30日(7時)		
		河津町見高	" "		1月17日(7時)		
		東伊豆町白田	" "		1月30日(7時)		
		" 大川	" "		1月17日(7時)		
			" "		2月10日(7時)		

途が立たず、別ルートにつけ換えられることになった。主要地方道修善寺～下田線においては、震度6程度と推定される地域において1kmあたり4.2箇所と被災箇所が連続するような被害を受けた。さらに復旧期間中の降雨が交通への開放を遅延させ、河津町料金所200m先～川

合野の区間は3月14日まで通行止、7月18日に開通となった。

道路施設の被害の要因分析の結果は第5編に述べられている。

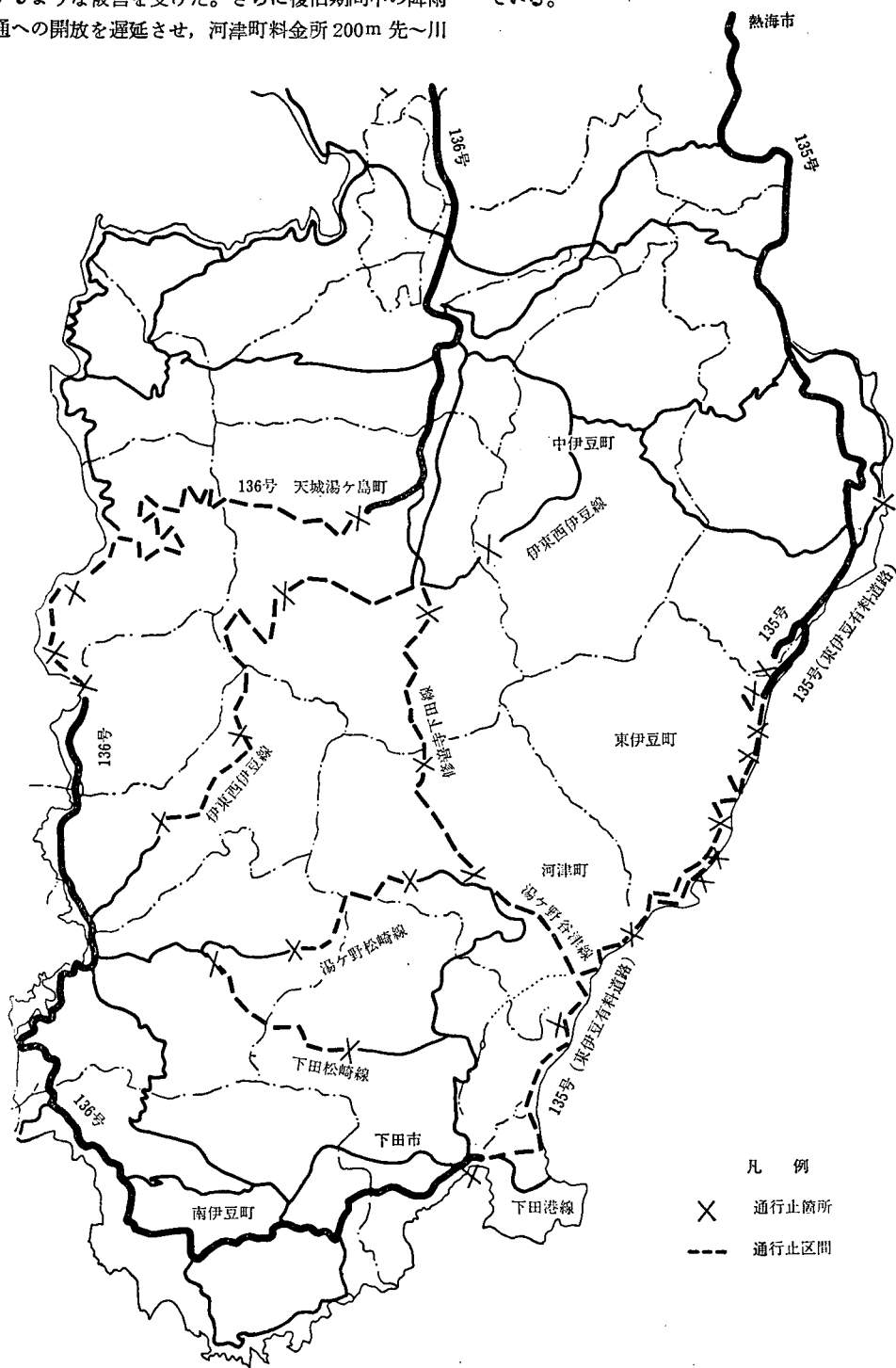


図-2・2 地震による道路の通行止箇所図 (昭和53年1月15日現在)

〔2〕 鉄 道

鉄道の被害としては、伊東～伊豆急下田間を運行している伊豆急行の路線においてトンネル8箇所、のり面10箇所、軌道13箇所などの被害があった。伊豆稲取～今井浜海岸間の稲取トンネルにおいて、コンクリート覆工が破壊して地山から土砂が噴出し、レールの浮上り、蛇行が発生した。また今井浜海岸～河津間の城山トンネルの河津駅側坑口に、上方斜面より約1,000 tの岩石が落下して坑口をふさいだ。

これらの被害のため、伊豆急行線は部分的な運休を余儀なくされ、全線開通は6月14日の稲取トンネルの本復旧完了を待たねばならなかった。

〔3〕 水道施設

水道施設は、東伊豆町、河津町の上水道と、河津町内の3箇所の簡易水道において被害が発生した。このうち東伊豆町上水道では、白田～黒瀬間の400mmの送水管約1,300mが被害を受けるなど最も大きい被害を受けた。復旧が終了し通水が完了したのは上水では東伊豆町で1月26日、簡易水道では河津町梨本の1月26日が最後である。

〔4〕 電力施設

発電施設は2箇所の水力発電所において、水路の損傷などの軽微な被害があった。変電施設では2箇所の変電所で変電機器に軽微な被害があった。送電施設では送電鉄塔の基礎周辺の地割れなどの被害があった。通信施設ではケーブルの断線、たるみ、電柱の折損などの被害があった。

〔5〕 通信施設

家屋の倒壊、斜面崩壊、道路の被災等によって、電柱、ケーブル等の施設に被害があった。

3. 地震の地域社会に及ぼした影響

地震は以上述べてきたような物的な損害だけではなく、派生的に地域社会に種々の影響をもたらした。とくに下田市を中心とする南伊豆地方は全就業人口に占める第3次産業就業人口の割合が昭和35年の46.3%から昭和50年の71.4%、とりわけサービス業は同時期に16.0%から33.1%へと増加していることからみても、観光に対する依存度を強めてきた地域である。しかも観光客の大部分は東京など他地域から訪れるものであり、今回の地震によって道路、鉄道といった交通手段が奪われたことにより、観光産業は大きな打撃を受けた。

図-2・3は地震の前後における旅館宿泊者数の推移を示したものである。また表-2・7は昭和53年の観光客の入込者数の昭和52年との比を示したものである。これらを見ると、地震直後の2月には表-2・7の6市町の合計で対前年比80%減という大幅な入込者数の減少を示し、

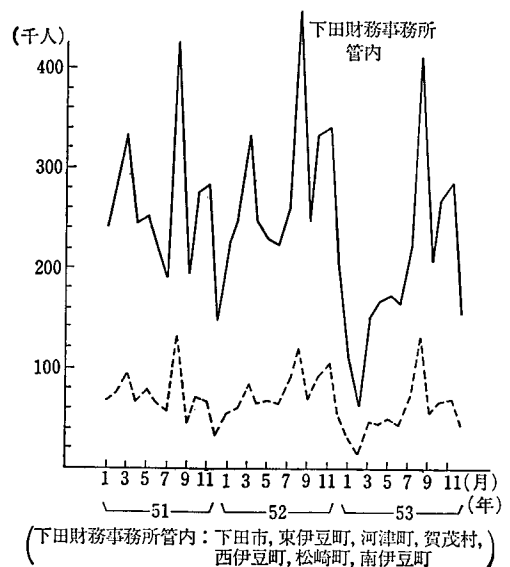


表-2・7 観光客の入込者数の比較 (53年/52年)

(%)

地区	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
東伊豆町	49.3	19.9	40.4	68.0	90.9	79.8	80.3	92.2	81.1	85.8	82.1	191.1	70.4
河津町	50.7	7.3	23.0	42.6	42.9	45.6	72.6	68.4	76.5	49.1	37.0	55.8	49.8
下田市	67.0	24.0	56.4	47.4	07.5	86.7	68.9	69.3	67.5	73.1	66.3	74.2	72.0
南伊豆町	60.0	22.6	45.6	68.3	67.6	69.4	291.5	88.4	72.3	88.9	95.0	89.8	76.0
松崎町	57.4	31.0	47.7	60.9	64.0	70.2	81.0	95.2	60.0	119.3	50.3	77.7	72.0
西伊豆町	56.7	32.5	51.0	70.6	73.1	62.0	88.4	86.3	83.6	88.4	104.7	78.7	75.1
合 計	55.0	21.3	44.6	68.2	75.2	72.6	84.1	89.4	78.6	80.7	75.5	82.9	70.0

図-2・3 旅館宿泊者の推移

その後徐々に回復はしているものの、年末に到っても前年の水準までは回復していない。

これらの観光客の減少によって、関連産業も影響を受けた。料理店、飲食店などの売上を反映する料理飲食等消費税額でみると、53年は52年に対して21.8%の減少となっている。またゴル

表-2・8 下田市の災害後の売上額の比較 (53年/52年) (%)

業種	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	平均
衣料品店	53.3	95.8	87.5	101.5	94.9	103.8	96.2	105.3	93.9
食料品店	73.4	66.5	68.8	74.9	79.4	85.0	101.6	98.6	82.1
家具・什器店	97.1	86.4	95.5	122.4	114.1	88.4	94.5	125.6	101.5
日用品店	91.7	90.5	90.1	89.5	123.2	78.8	76.6	85.7	90.1
飲食店	79.6	76.0	75.9	116.7	97.4	99.7	134.0	102.3	97.3
合計	79.0	83.9	83.6	101.0	101.8	91.1	100.6	103.5	92.9

フ場、ボウリング場などの利用状況を反映する娯楽施設利用税額では前年比9.2%の減少である。表-2・8は静岡県商工会連合会の調査による下田市内の小売商店等の売上を対前年比で示したものである。これによると衣料品店、食料品店などでは観光産業の低迷、地域の所得の減少の影響で売上げが減少している。一方家具、什器の被害により新たな需要の発生した家具・什器店ではわずめではあるが売上が増加している。

下田市商工会議所では宿泊客の減少、商工業の産出額の減少等による間接的な被害額を約167億円と推計している。ただしこの推計は粗売上額の減少等を単純に合計したものであり、ある部門の生産物が他の部門の原材料となるというような中間需要は差し引かれていないので、経済学的な意味での間接損害額とは異なるものである。

参 考 文 献

1. 静岡県：1978年伊豆大島近海の地震災害誌，昭和53年10月
2. 栗林他：1978年伊豆大島近海地震における救援・復旧体制に関する調査報告，土木研究所資料第1343号，昭和53年2月
3. 日本道路協会，道路震災対策委員会：道路の震災対策に関する調査報告（I），1978年伊豆大島近海地震災害，昭和54年3月
4. 1978年伊豆大島近海の地震による災害の総合的調査研究報告，昭和52年度文部省科学研究費自然災害科学特別研究(1) 202039，昭和53年3月

第3編 地形および地質

菅原 捷^{5*} Hayashi Sugahara
桑原 啓三^{6*} Keizo Kuwahara

目 次

1. 伊豆半島の地形および地質の概要……………(1)	〔2〕 伊豆半島中央部の地質構造……………(8)
〔1〕 伊豆半島の地形……………(1)	3. 活断層……………(9)
〔2〕 伊豆半島の地質……………(2)	4. 地形・地質と地震災害……………(14)
2. 伊豆半島中央部の地質および地質構造……………(4)	〔1〕 地形と地震災害……………(14)
〔1〕 伊豆半島中央部の地質……………(4)	〔2〕 地質と地震災害……………(16)
(1) 湯ヶ島層群……………(4)	(1) 崩壊の規模……………(16)
(2) 白川玄武岩類……………(5)	(2) 崩壊斜面の地質……………(19)
(3) 白浜層群……………(5)	〔3〕 地震断層と地震災害……………(19)
(4) 猫越石英安山岩類……………(8)	5. あとがき……………(20)
(5) 天城火山岩類……………(8)	参考文献……………(20)
(6) 沖積層……………(8)	

1. 伊豆半島の地形および地質の概要

伊豆半島は本州弧から南につき出た主として新第三紀以後の火山および火山性堆積物からなる半島で、西に駿河トラフ（駿河線）、東に相模トラフ（相模線）があり、北のフォッサマグナ（糸魚川～静岡線）から続く富士火山帯中に存在する地形学および地質学上特異な半島である（図一3・1）。

〔1〕 伊豆半島の地形

伊豆半島はだいたい北緯 34°40′ から 35°10′、東経 138°45′ から 139°10′ 間にあり、南北約60km、東西約35km、総面積約 1,330km² を占める中規模半島である。半島の近傍には小島しか存在しないが、東方には今回の震源に近かった伊豆大島をはじめ、さらに南方にかけて大小の火山島が点々と存在する。

本半島の地形は地質に左右されるところが非常に大きい。半島の西側には駿河トラフが北東～南西に、東側には相模トラフが北西～南東に走っている。これらの2つのトラフの関係についてはまだ定説がないが、半島の付け根かその北方で連続していた一体のもので、フィリピンプレートが日本本島につき当って折れ曲ったものではないかと考えられている。そのため構造的には活発な地域になっている。

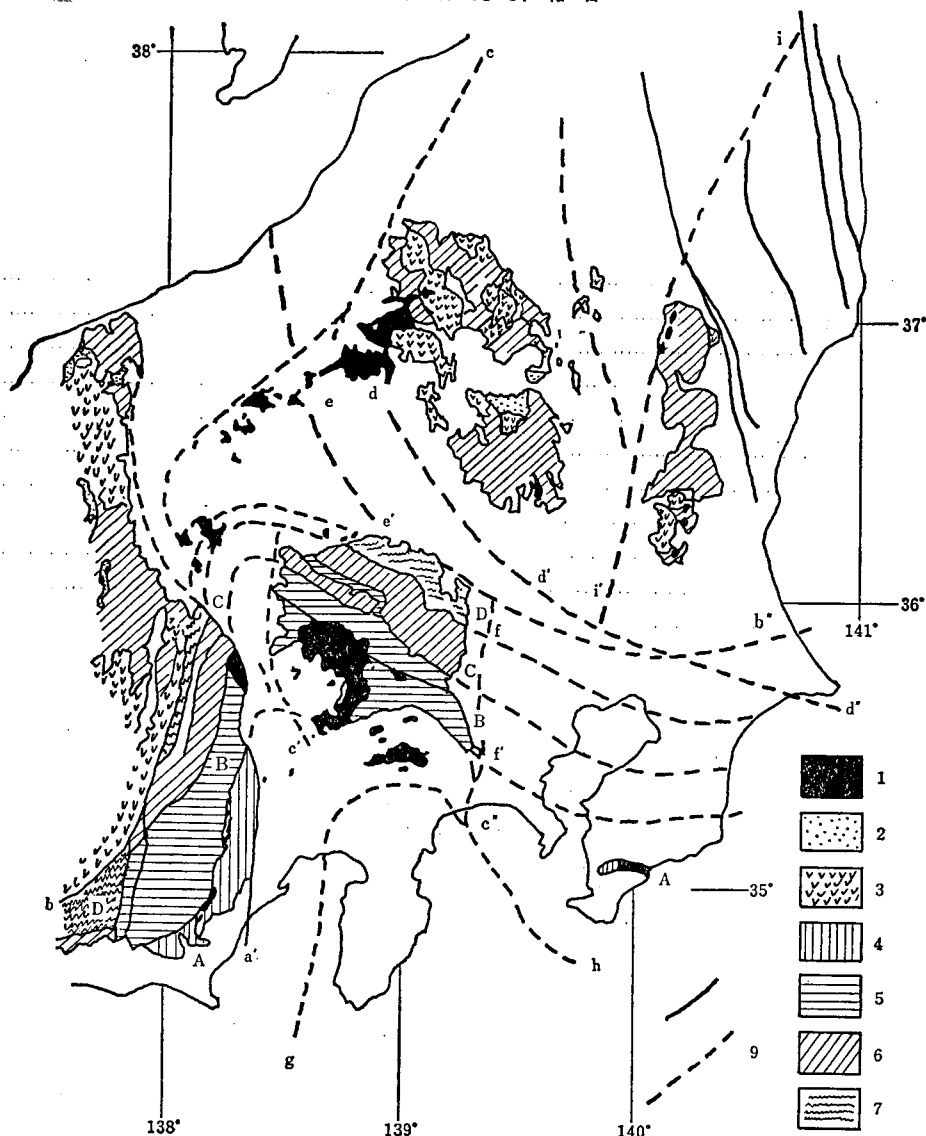
地質構造的に日本本島を東西に分断する大地溝帯フォッサマグナは富山と新潟の県境から長野県中部、山梨県を通り静岡県東部から伊豆半島にぬける。このフォッサマグナも新第三紀以後火山を中心とした非常に活発な活動をした地域であり、前述のトラフと密接な関係があると思われるが、いずれにしても地質学的には非常に活動的な地域でこれがそのまま火山と断層というかたちで地形上に反影されている。

伊豆半島は北に富士や愛鷹、箱根火山を、本半島には天城や達磨火山を、東や南には三原山をはじめ数々の火山を持つ富士火山帯に属する第四紀の火山群からなる半島である。そのため丘陵地性の山地が多く、河谷は山地を深く刻み、これらの河川や海岸の山腹斜面は急傾斜をなしているところが多い。

伊豆半島の中～北部は新第三紀から第四紀にかけて活発な火山活動のあったところである。本半島の最高峰をなす天城山(1,406m)、猿山(1,000m)、達磨山(982m)をはじめ井田山、棚場山、多賀山、天子山等すべてこの時期に形成された山々(標高1,400～700m程度)であるが、全体に解析がすすみ、山体は崩壊して急崖をなしているところが多い。わずかに天城火山の一部に大室山(581m)のような寄生火山があり、なだらかな円錐状の山体とゆるやかな山麓地形が認められるにすぎない。

南部には現在活火山は存在しないが第四紀にも活発な

^{5*} 地質化学部地質研究室長^{6*} 主任研究員（現国土開発技術研究センター参事）



- 1: 第三紀貫入岩類, 2: 白亜紀末酸性噴出岩類, 3: 白亜紀末～古第三紀貫入岩類,
 4: 四万十帯 (古第三系), 5: 四万十帯 (中生界), 6: 古生層, 7: 三波川変成岩類,
 8: 構造線, 9: 推定構造線, a-a': 糸魚川—静岡線, b-b'-b'': 中央構造線,
 c-c'-c'': フォッサ・マグナ東縁, d-d'-d'': 柏崎—銚子線, e-e'-b'': 関東構造線,
 f-f': 八王子線, g: 駿河湾線, h: 相模湾線, i-i': 八戸—白河—真壁線, A: 四万
 十帯南部, B: 四万十帯北部, C: 秩父帯, D: 三波川帯, ⊗震央

図-3・1 伊豆半島の地形・地質上の位置

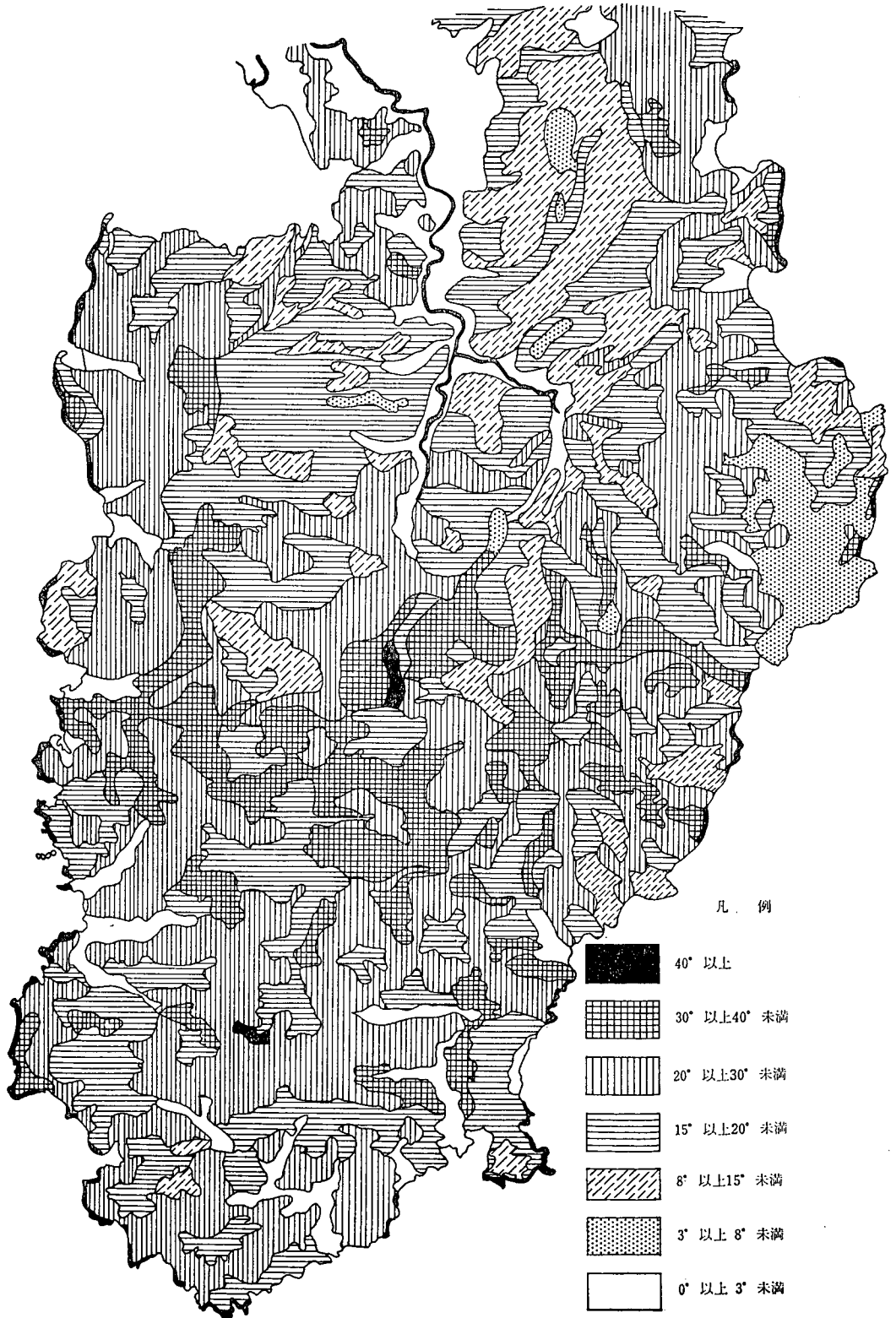
火山地帯であったことは確実であり、北～中部程顕著でないが定高性の丘陵性の地形を呈している。

伊豆半島全域が沈降性地形をなしている。そのため、内陸においては河岸段丘を欠く埋積谷が発達し、海岸部においては海岸段丘を欠くリアス式海岸となっている。

河川も本半島で最も大きい狩野川をのぞくと大きなものではなく、急峻で、沖積地や海岸平野も非常に小さい。

〔2〕 伊豆半島の地質

すでに述べたように伊豆半島はフォッサマグナの南方延長上にあり、第三紀中新世から現世に至るまで火山活動の激しいところである。火山活動の初期の頃は、他のグリーンタフ地域と同じように主に海底で起ったと考えられるが、鮮新世末から第四紀初頭にかけて逐次浅海あるいは陸上で行われた。したがって下位には成層した凝



図一3・2 伊豆半島の傾斜区分図(経済企画庁)

灰岩質堆積岩が多いが、中位から上位にかけては火山碎屑岩～熔岩が主体となり、水成岩はほとんどなくなる。

表—3・1は地質調査所発行の下田図幅中のべられてある伊豆半島地域の第三系の層序区分とその対比表である²⁾。これによると、伊豆半島地域は第三紀中新世の湯ヶ島層群および白浜層群を基盤とし、その上位に鮮新世の火山岩類が分布し、更に第四紀の火山岩および火山噴出物が覆っている。

伊豆半島の基底を構成する湯ヶ島層群は第三紀中新世の初期から大規模な海底火山活動による多量の噴出物が谷地に熔岩流をなしたり、火山碎屑物として堆積し、ところどころに凝灰岩や頁岩、砂岩、石灰岩なども挟む。またあとから岩脈や岩床が貫き、また激しい変質を受けている。構造も複雑多様で天城峠からその南に広く分布している。

火山活動は鮮新世から洪積世に至るまで活発で、後火山活動は現在も続いている。鮮新世には安山岩を主体とするが、石英安山岩や玄武岩もみられ、海成層としては凝灰岩や砂岩、泥岩を含む白浜層群が存在する。これらのものはいずれも局部的に分布し、地質や層厚ははげしく変化する。

洪積世に入っても火山活動は活発で各地に小型の独立峰が形成されている。井田火山、達磨火山、蛇石火山、天城火山、宇佐美火山、多賀火山は皆この時期のもので、最後に大室火山や巢雲山の形成があった。これらの火山活動に伴って火山碎屑物が放出され、スコリアヤロ

ーム等として地表を広くおっている。

2. 伊豆半島中央部の地質および地質構造

〔1〕 伊豆半島中央部の地質²⁾

伊豆大島近海地震の被災地の地質は図—3・3および表—3・2の通りである。全体に他の地域と同じような地質構成となっているが安山岩や石英安山岩の分布がかなりの範囲を占めている。

基盤は第三紀中新世の湯ヶ島層群でその上に同時期の白浜層群がのってくる。さらに同第三紀鮮新世の石英安山岩類が、また第四紀の火山岩類も各地に分布している。

(1) 湯ヶ島層群

第三紀中新世の湯ヶ島層群は下位から輝石安山岩類、凝灰質砂岩類、軽石凝灰岩類、輝石安山岩類に大別できる。当該地域北半から東部に広く分布している。

最下位の輝石安山岩類は輝石安山岩熔岩と安山岩質の凝灰角礫岩からなる。西部と東部に分布し中央部では南北に軸をもつ向斜構造状を呈して地下深部に存在する。

凝灰質砂岩類は、凝灰質砂岩、泥岩、火山礫凝灰岩および火山円礫岩よりなる。本層は西部の松崎東方から北部天城山地域およびその東方にかけて広く分布している。

軽石凝灰岩類は軽石凝灰岩および凝灰岩からなり天城山中に連続して分布している。

表—3・1 伊豆半島の第三紀層序区分および対比表²⁾⁵⁾

・田山・新野, 1931 (伊豆南部)	沢 村, 1955 (修善寺図幅)	角, 1958 (神子元島図幅)	盛谷・沢村, 1965 (松崎周辺)	鮫島ほか, 1968 (伊豆半島)	北村ほか, 1968 (伊豆半島)
下田統	鮮新世	賀茂安山岩類 大仁安山岩類 小下田安山岩類 狩野安山岩類 内浦安山岩類 猫越石英安山岩類	長九郎安山岩類 ~~~~~ 猿山安山岩類	鮮新世火山噴出物	
湯ヶ島統	中新世	白浜層群 ~~~~~ 大見白色凝灰岩類 ~~~~~ 猫越緑色安山岩類 ~~~~~ 湯ヶ島層群 修善寺白色凝灰岩類 湯ヶ島変朽安山岩類	須崎安山岩 石室崎安山岩 大賀茂流紋岩 青市玄武岩 一色凝灰岩 一条安山岩 二条石英安山岩 ~~~~~ 白浜層群 ~~~~~ 湯ヶ島層群 ~~~~~ 仁科層群 白川累層 仁科累層	白浜層群 石廊岬層 原田層 板見層 下白岩層 梅木凝灰岩ほか ~~~~~ 湯ヶ島層群 ~~~~~ 瀬戸川層群	白浜層 ~~~~~ 大賀茂凝灰岩 ~~~~~ 下白岩層 加殿層 大川端変朽安山岩類

最上部には石英含有角閃石輝石安山岩、輝石安山岩および凝灰角礫岩が発達しており、天城山塊北部、河津川上流、沢田等に分布する。

湯ヶ島層群は全般的に変質しており、濃緑色ないし淡緑色を呈している。また局所的に珪化作用を受け白色岩化しているところもある。安山岩類の多くも変質しており、いわゆる変朽安山岩となっている。

(2) 白川玄武岩類

第三紀中新世に属する白川玄武岩類は下位に無斑晶玄武岩および火山角礫岩が、上位には凝灰質砂岩およびシルト岩が発達している。主として天城山西方のねぎ畑付近に分布する。

変質は下部で著しく、濃緑色を呈し、一部には緑簾石

も生じ硬く固結して付近の湯ヶ島層群との区別が困難となることがあるが、上部ではだんだん緑色化や固結の程度が弱くなる。

本岩類と湯ヶ島層群との関係は確認されていないが、両者の分布関係から不整合と考えられる。

(3) 白浜層群

白浜層群は湯ヶ島層群および白川玄武岩類を不整合で覆い、凝灰質砂岩、同シルト岩および多種多様な火山岩類からなる。堆積時期は第三紀中新世とされている。

当該地域の西部および南部に広く分布する。東海岸ではしばしばやや広範囲に珪化や粘土化をこうむり、湯ヶ島層群と判別が困難なところもあるが、大部分新鮮でとくに最上位を占める輝石安山岩類は新鮮でほとんど変質

表-3・2 伊豆半島中央部標準地層区分表

時 代		地 層 名 等			構 成 岩 石		
第四紀	現 世	沖 積 層			砂		
		砂 丘			砂		
		崖 錐			礫		
	更新世	天城火山	玄武岩類	岩 滓 熔 岩	玄 武 岩 岩 滓 かんらん石玄武岩、普通輝石かんらん石玄武岩		
			稲 取	泥 流	安 山 岩、角 礫、砂、粘 土		
			本 体	新期熔岩	かんらん石輝石安山岩、輝石安山岩、角閃石輝石安山岩		
				古期熔岩	かんらん石輝石安山岩、紫蘇輝石安山岩、角閃石輝石安山岩		
		蛇 石 火 山			かんらん石含有輝石安山岩		
	第三紀	鮮新世	長九郎安山岩類		石 英 含 有 普 通 輝 石 安 山 岩		
			猫越石英 安山岩類	岩 脈	安 山 岩		
輝 石 安 山 岩							
砂 岩、礫 岩							
輝 石 石 英 安 山 岩							
中新世		岩 脈			角 閃 石 流 紋 岩、黒雲母流紋岩		
					石 英 安 山 岩		
					輝 石 安 山 岩		
					玄 武 岩		
					閃緑玲岩、石英閃緑玲岩、細粒石英閃緑岩		
			白浜層群	輝石安山岩類		火山角礫岩、火山円礫岩、輝石安山岩 玄武岩質安山岩、かんらん石輝石安山岩、火山角礫岩	
				凝灰質シルト岩類		凝灰質シルト岩類、泥岩、凝灰質砂岩	
				凝灰質砂岩類		凝灰質砂岩、火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩	
				石 灰 岩		石 灰 岩	
				流 紋 岩 類		斜長石流紋岩、黒雲母流紋岩、凝灰角礫岩、凝灰質砂岩	
		白色凝灰岩類		軽石凝灰岩、凝灰岩、凝灰質砂岩			
		石英安山岩		石英安山岩、火山角礫岩、火山円礫岩			
		無斑晶安山岩類		無 斑 晶 安 山 岩、凝 灰 角 礫 岩			
		玄武岩類		紫蘇輝石含有普通輝石かんらん石玄武岩、無斑晶玄武岩、火山角礫岩			
		白川玄武岩類				凝 灰 質 砂 岩、シ ル ト 岩	
						無 斑 晶 玄 武 岩、火 山 角 礫 岩	
				湯ヶ島層群	石英含有安山岩類		石英含有角閃石輝石安山岩、輝石安山岩、凝灰角礫岩
			軽石凝灰岩類		軽 石 凝 灰 岩、凝 灰 岩		
			凝灰質砂岩類		凝灰質砂岩、泥岩、火山礫凝灰岩、火山円礫岩		
			輝石安山岩類		輝 石 安 山 岩、凝 灰 角 礫 岩		

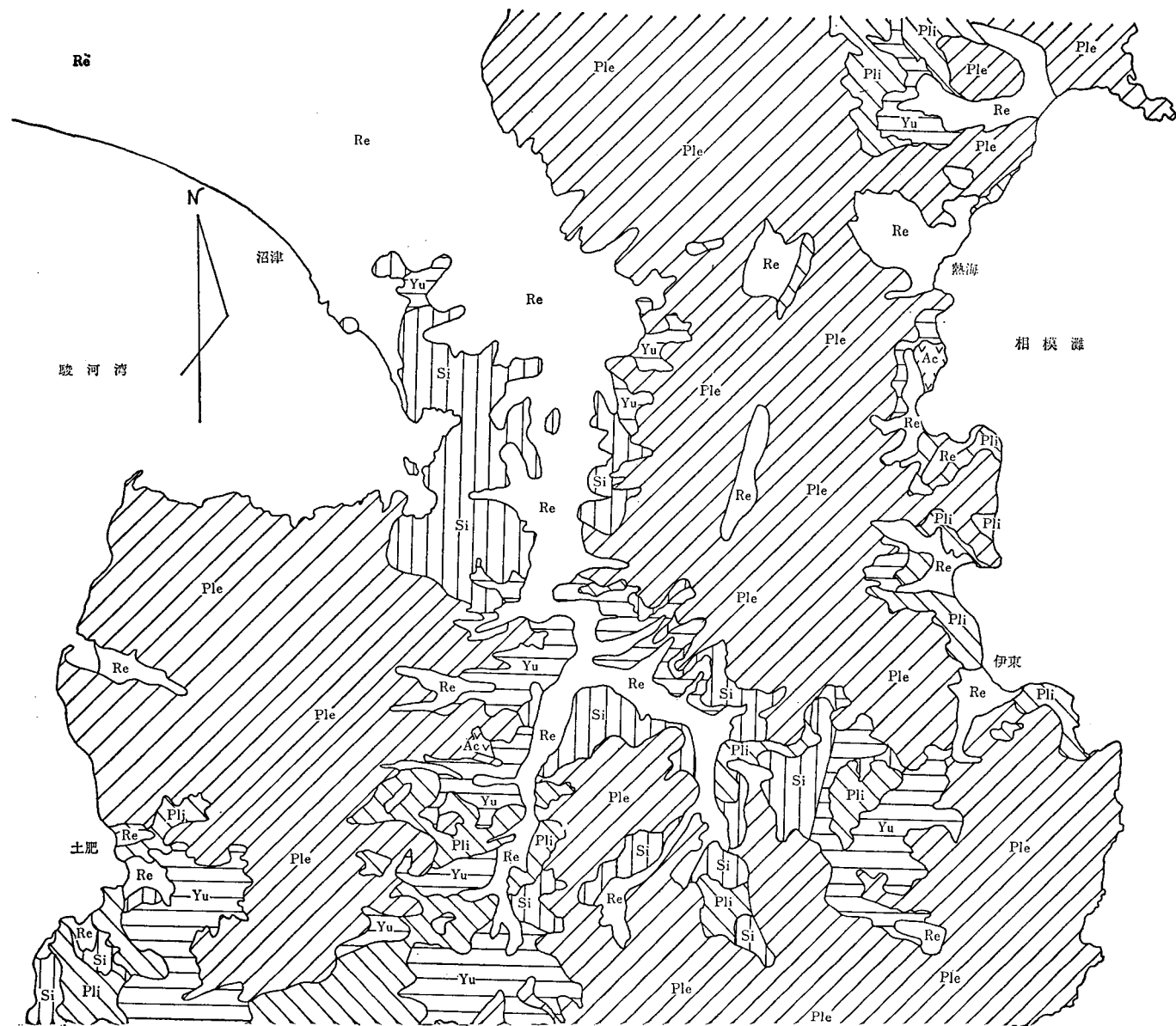


図-3・3 伊豆半島の地質概要

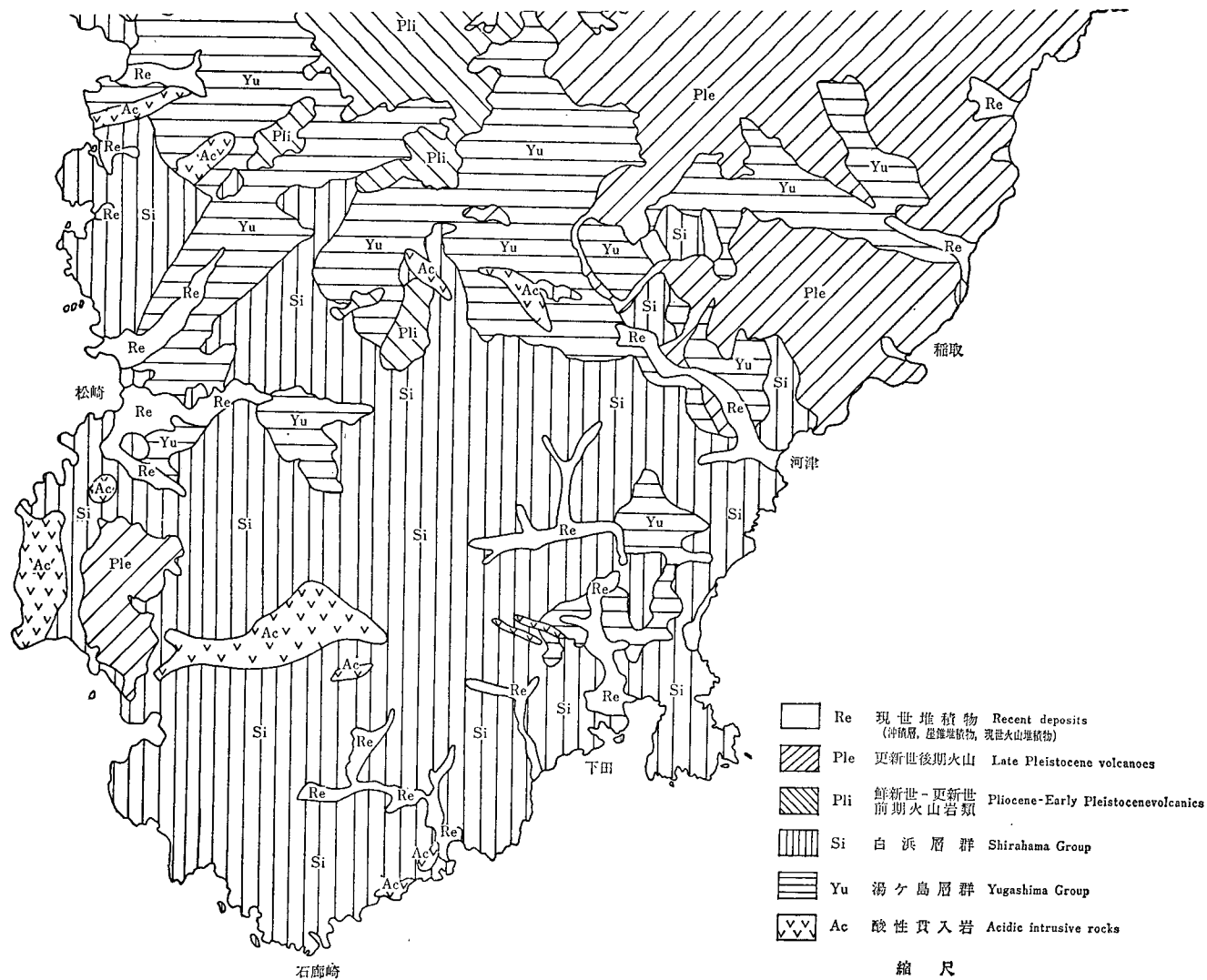


図-3.3 伊豆半島の地質概要

を受けていない場合が多い。

岩相はきわめて変化に富み、諸岩相が複雑にいまじり、全体としてゆるやかな盆状構造を呈し標高600m前後の山地を形成している。

白浜層の構造は斜層理が多く、よくわからないが10度前後のゆるい傾斜で盆状構造を繰り返すものと考えられる。なお断層も多くその付近では50~80度の急傾斜をすることがある。

下位から石英安山岩類 (Sa)、凝灰岩類 (Sf) および安山岩類 (Sp) に大別される。

石英安山岩類は紫蘇輝石含有普通輝石橄欖石玄武岩、無斑晶玄武岩および火山角礫岩を主体とした玄武岩と、無斑晶安山岩および凝灰角礫岩、石英安山石、火山角礫岩および火山円礫岩からなる。

中位層の凝灰岩は軽石凝灰岩、凝灰岩および凝灰質砂岩、斜長石流紋岩、黒雲母流紋岩、石灰岩、凝灰角礫岩、凝灰質シルト岩、泥岩等と非常に岩相変化に富む。

梨本やその西方には石灰岩の小岩体が石灰質礫岩や同質砂岩を伴って点々と分布している。梨本の石灰岩にはみごとな柱状節理が発達しているがこれは第三紀層にはめずらしいものである。

中位層を代表する凝灰質岩類は層厚もあり、広く各地にみられるが、また上位の安山岩類にはさまり、また下位の石英安山岩類に伴うこともある。主として凝灰質砂岩、凝灰質礫岩、火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩からなる。層相変化ははげしく、粒度を異にする薄層の細互層をなしている。層理は明瞭で、堆積環境の激動を思わせる斜交層理がよく発達している。

白浜層の上位層を構成する安山岩類は広く凝灰岩類を覆っている。主要な岩石は玄武岩質安山岩、橄欖石輝石安山岩、火山角礫岩、火山円礫岩および輝石安山岩からなる。玄武岩質安山岩は梨本の南東の湯ヶ野付近に凝灰質砂岩を覆って厚く発達するほか、河津川口付近では石英安山岩と白色凝灰岩との間にはさまって存在する。

湯ヶ島層群や白浜層群は、ひんぱんに安山岩の岩脈 (Dy) につらぬかれている。それらの多くは白浜層群の生成に伴うものと考えられ、生成時期は中新世で白浜層群の最末期のものと考えられる。岩脈には輝石石英安山岩、輝石安山岩および安山岩等があり、おのおの貫入場所や時期を異にしている。

(4) 猫越石英安山岩類

第三紀鮮新世には各地に石英安山石や安山岩、流紋岩等が噴出した。

下部および上部を占める石英安山岩はそれぞれ約100mずつの厚さを持ち、基底部には自破砕部が存在する。主要部は石英安山岩と安山岩が互層状をなし、ほぼ水平

構造をしている。

中央部は数枚の安山岩熔岩からなり150~200mの厚さがある。下端には淘汰不良の礫層があることがある。

(5) 天城火山

天城火山は伊豆半島地域最大の火山で半島の中央部を占めている。天城火山の活動時期は第四紀更新世で、古期熔岩と新期熔岩に2分されるがともに緻密な輝石安山岩の熔岩流の累重からなり、主要部では火山碎屑物はほとんどはさんでいない。この本体の活動末期に生じた稻取泥流は本地域東部から河津川右岸の台地まで広く発達している。さらに本体の侵食がやや進み、ほぼ現在の地形が完成してから各処に散在的に玄武岩熔岩が岩滓丘を伴って生じている。

下部の安山岩類は天城火山の本体をなし、中性ないしやや酸性の輝石安山岩である。

中央部の稻取泥流は稻取町を中心とした本地域東部と河津川右岸標高140m以下の台地を構成している。天城火山の輝石安山岩の最大直径数mに達するさまざまな大きさの礫とその間を埋める泥土とがきわめて不規則に混合している。起源は白田川上流地域にあるものと想定される。

上部の玄武岩類は大室山火山群の活動と前後して天城火山の周辺に散点的に形成されたものの一部である。最大のものでは比高250m、直径1.5kmの岩滓丘である鉢山を構成し、その西麓と南麓から2kmまで熔岩が流れ出している。玄武岩の種類は橄欖石玄武岩、普通輝石玄武岩、普通輝石橄欖石玄武岩等である。

(6) 沖積層

段丘砂礫層、崖錐、砂丘等を含めて沖積層とする。段丘の発達はきわめて悪く、ごく小數例しかみられない。

河津川沿いでは湯ヶ野から梨本にかけ海拔120mの段丘面がみられるが、これは鉢山の玄武岩熔岩によるせき止めの結果生じた湖成のものと考えられる。同様なものは萩ノ入部落入口でもみられる。

本地域は地形の概要で述べたようにきわめて急峻な地形をしているので山腹には崖錐が数多く発達している。いずれにも後背地を構成する岩石からなるもので淘汰はきわめて悪い。

本地域では砂丘の発達も悪く、また海岸沿いの沖積層も少ない。わずかに比較的大きな河川の河口近くに平坦な沖積層が発達しているにすぎない。

[2] 伊豆半島中央部の地質構造

伊豆半島は第三紀中新世の湯ヶ島層群を基盤として、主として火山碎屑岩および火山岩からなる。また堆積環境がグリーンタフ地域と同じような条件になっており、そのため地質構造が非常に複雑である。

基盤の湯ヶ島層群は海底火山活動に伴って堆積したもので、全層厚は3,500mを超えている。本層群は、東～西あるいは北西～南東方向の軸をもつゆるやかな褶曲構造をしているが、その後の断層運動によって分離され地塊化している。しかし地層の傾斜は通常30度前後の緩いものである²⁾。

湯ヶ島層群を不整合に覆って白川玄武岩類が存在する。その分布はせまいが、全層厚は約700mに達する。

これらの地層を不整合に覆って白浜層群が広大な面積を占めて分布する。この不整合がいわゆるグリーンタフ変動と類似のものか単なる全般的な不整合なのか意見の分れるところであるが、下位の湯ヶ島層群の標高的な位置がかなりバラツキしており、起伏の激しい基盤形状をなしている。白浜層群の全層厚は700m前後と想定される。また本層群は断層に切られ地塊化し、断層に接近して地層が急傾斜することもあるが、全般的には10度前後の緩い傾斜で盆状構造を繰り返すと考えられる²⁾。

白浜層群の生成時に湯ヶ島層群や白川玄武岩類および白浜層群そのものを貫いて数多くの多種多様な岩脈がみられる。さらに猫越石英安山岩類、長九郎安山岩類、第四紀の火山岩類が噴出または堆積する前におのおの不整合が存在するが、各岩層が散在的であるのでその間の関係は詳らかではない。

天城山周辺には天城火山本体と、これが侵食され現地形が形成された後に、寄生火山として散点的に存在する。

本地域の模式的な地質断面は図-3・4の通りである。

3. 活断層

日本列島の骨格は第三紀中新世末(約1,200万年前)にほぼ確立し、その後大きな地殻構造上の変動はなかったと考えられている。したがってその後の日本列島および日本列島周辺の地中の応力状態には大きな変動がなかったものと考えられ、もしその間に断層活動があれば、現在でもその断層活動を引き起こした力が働いており今後再び活動する可能性があるという意味で、多くの地質学者は活断層と呼んでいる。

断層活動を引き起こす力は一定の大きさに絶えずじわじわと働いているとすれば、活動は一定の周期で起こるはずである。また一度活動した断層面は時間の経過とともに強度が回復しますます動き難くなるはずであるが、それでも断層面以外のところに比べて強度が小さいので前回動いた断層面に沿って活動するはずであるが、この場合活動周期は一定とならない。

活断層の活動周期に関する研究によると、日本では千年あるいは数千年オーダーの周期で論ずることは可能だが、それより短い周期で検討することは不可能である

という。また断層活動が全くランダムに発生するとして統計的な解析を行ったところ、期間100年間に1%の確率で活動する可能性がある断層の周期は8千年程度となる⁸⁾。したがって特定の断層について100年とか千年のオーダーで活動性を検討することは大変困難である。

地震と断層活動の間には密接な関係があることはほぼ定説となっている。また地震被害が地震断層に沿って大きいこともほぼ確からしい⁹⁾。一般に地震は断層活動の結果といわれ、地震断層は当該地震に伴って活動した断層を指しているの、これらの間には原因結果の明白な関係があり、地震断層を現に活動した活断層と考えれば活断層の位置付けが十分理解されるであろう。

伊豆半島には図-3・5および表-3・3に示すように非常に多くの活断層が存在している¹⁰⁾。これらの活断層はほとんど横ずれ断層であるが、駿河トラフと相模トラフおよびフィリピンプレートとの関係で伊豆半島の南部および東部はWNW-ESE方向の右ずれ断層となっており、また西部および北部ではN-S方向で左ずれ断層となっている伊豆半島の中央部から南部にかけては断層の存在密度が高く延長は10kmオーダーと比較的大きい。北部は断層の密度が小さくかつ中央部の丹那断層以外は延長が10km未満で短いものが多い。

星野・橋本・松田は活断層の識別方法として地形的識別法と地質的識別法の二重識別法を用いている¹⁰⁾。もしある断層が間接的にせよ活動中のものであればその変位地形は明瞭であるはずである。したがって空中写真から、地形上の断層変位(水平又は垂直変位)を示唆するような異常地形が認められる線状構造(リニアメント)として読みとることができるはずである。しかしこのリニアメントの中には活断層のほか、古い断層によるものや節理とか段丘崖、熔岩末端、貫入岩等活断層とは関係のないものまで含まれている。したがって空中写真解析だけでなく他の地質調査によって活断層であることを確認する必要がある。

星野等は活断層を次の4段階に分けてのべている。

I : 確実活断層 : 確定的に第四紀における活動が認められる断層。

Ie : 地震断層 : 有史以来の地震で活動したことがはっきりしているもの

Ia : 地質学的確認 : 第四紀層(火山堆積物、段丘崖錐等を含む)を切っていることが確認されるもの

Ib : 地形学的確認 : 地形上非常に新しく、明瞭で、ある程度の規模で連続してみられる変位地形を示しており、周辺の地質状況からも第四紀における断層であることが十分認めうるもの

II : 準確実活断層 : 空中写真上で変位の性格、方向

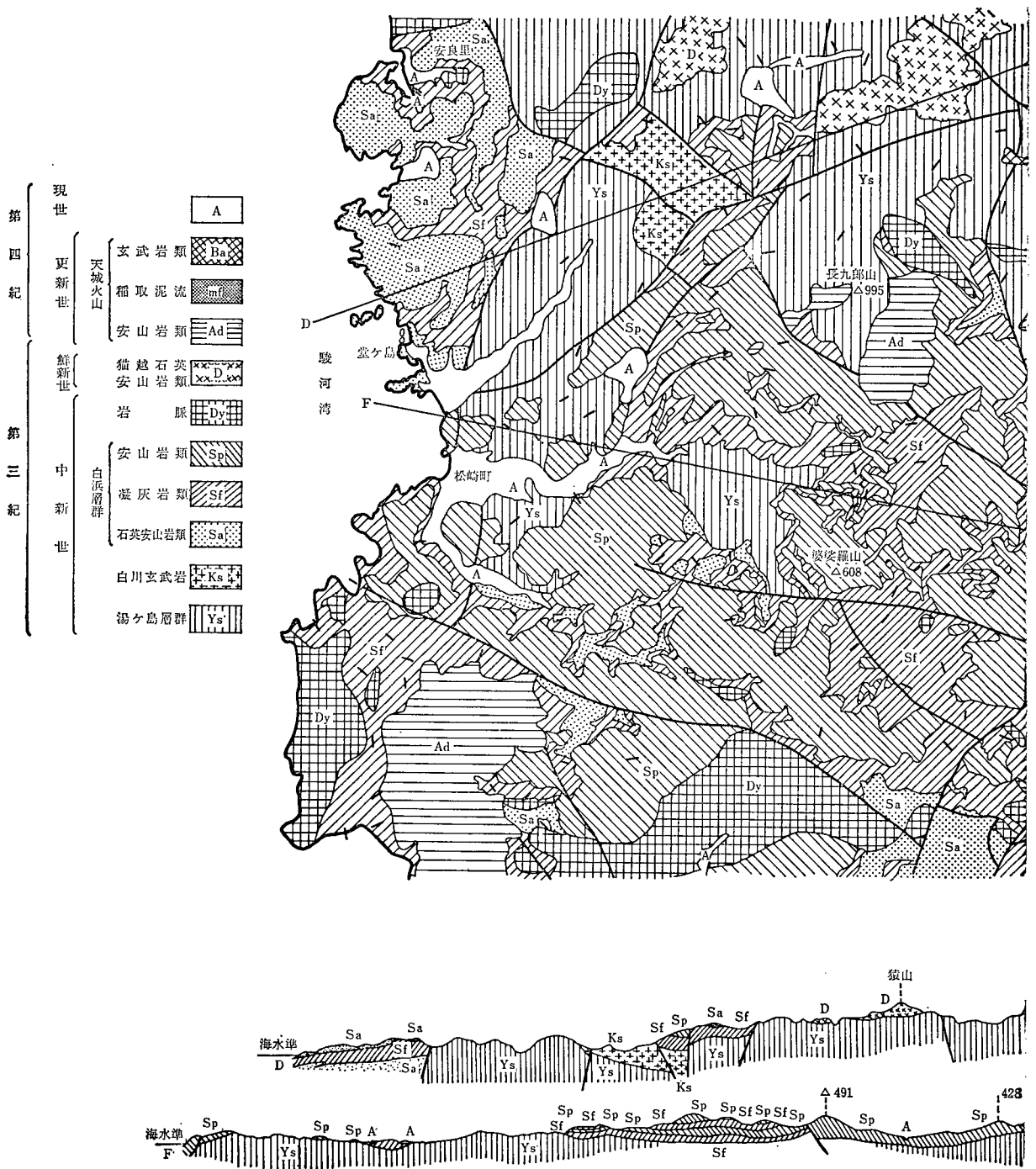
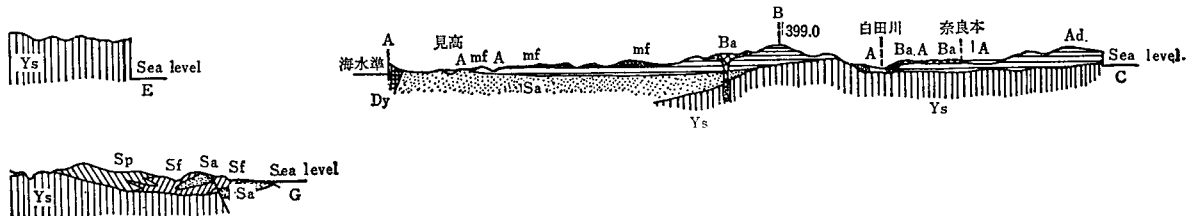
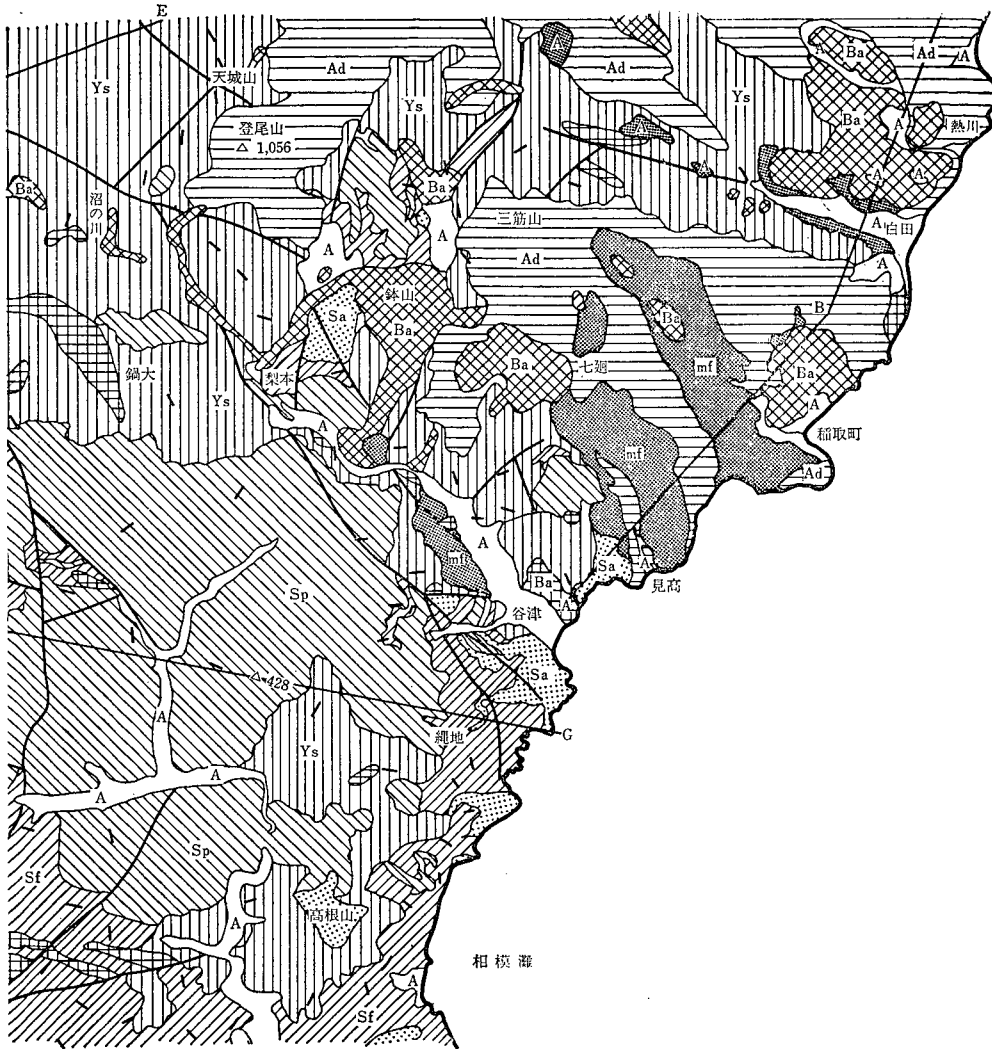


図-3・4 伊豆半島中央部の地質



が明確に認められるなど活断層である確率が非常に高いと判断される断層。

II a : 地質学的認定 : 地表調査で断層面が確認されたもの

II b : 地質学的未観察 : 地表調査で断層面を観察す

ることができなかったもの

III : 推定活断層 : 空中写真において、変位の性格、方向は確定し難いが、なおある程度可能な線状構造として明瞭な連続性がみられるなど活断層である確率がかなり高いと判断される断層。

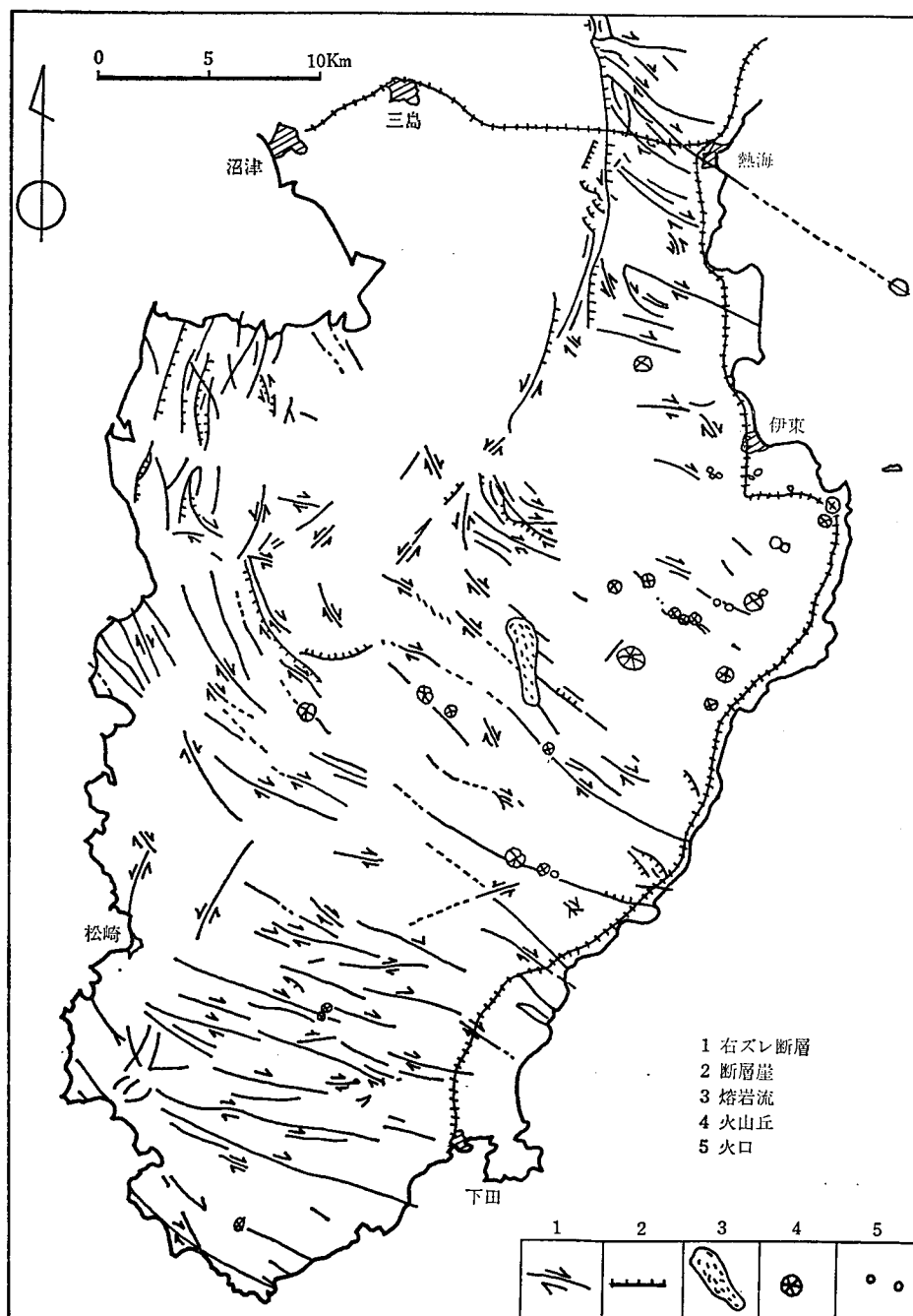


図-3・5 伊豆半島における活断層

- Ⅲa : 地質学的認定 : 地表調査で断層面を認めたもの
 の
 Ⅲb : 地質学的未観察 : 地表調査で断層面を観察することができなかったもの
 IV : リニアメント : 直接的根拠が少なく野外調査では認められないが、連続性があり、なお活断層の可能性が残る線状構造。
- なお丹那断層群は1930年北伊豆地震 (M7.0) で、石廊崎断層は1974年伊豆半島沖地震 (M6.9) で、稲取断層および浅間山断層は1978年伊豆大島近海地震 (M7.0) にそれぞれ活動した断層群または断層である。

表-3・3 伊豆半島活断層一覧¹⁰⁾

I. 確実活断層

活断層名	分類	位置	備考
朝日山	Ia	熱海 IV	断層面N53°W, 65°S
熱海峠	Ib, IIb	熱海 III	
梅園	Ib	熱海 III	
達磨山西	Ib, IIb	修善寺 III	
舟上山	Ia	修善寺 III	断層面N10°E, 74°E
伽藍山	Ib	修善寺 III	
八丁池	Ib	修善寺 II	
		下田 I	
姫之湯	Ie, Ia	修善寺 I	松田
稲取	Ie	稲取 III	1978年伊豆大島近海地震
石廊崎	Ie, Ib	神子元島	村井・金子・松田・山科、 垣見・星野・橋本・松田
板橋北	Ib	熱海 IV	
蛇石	Ib	下田 IV	星野・橋本・松田
十国峠	Ib	熱海 III	
軽井沢	Ib, IIb	熱海 III	
門野	Ib	下田 III	星野・橋本・松田
亀石峠	Ib	熱海 IV	
函南	Ib	熱海 III	
氷ヶ池・玄岳	Ib, IIb	熱海 IV	
小倉平	Ia, IIb	伊東 III	断層面N55°N, 90°
加殿	Ie	修善寺 I	松田
丸山	Ib	修善寺 II	
水抜〜与市坂	Ia, IIb	修善寺 II	断層面N61°W, 55°S
大野	Ie	修善寺 I	松田
鍋越南	Ia	下田 I	星野・橋本・松田
鹿路庭	Ib	伊東 IV	星野・橋本・松田
浅間山	Ie, IIb	稲取 III	1978年伊豆大島近海地震
佐野	Ib	修善寺 I	星野・橋本・松田
真城山	Ia, IIb	沼津 IV	断層面N32°E, 67°E
		修善寺 III	
		修善寺 IV	
棚場山	Ib	伊東 IV	星野・橋本・松田
遠笠山	Ib	伊東 IV	松田
田野	Ie	熱海 IV	
徳永	Ib	伊東 III	星野・橋本・松田
丹那	Ie, Ib	熱海 III, IV	松田
浮橋	Ie, Ib	熱海 IV	松田
		沼津 II	
山伏峠	Ib, IIIb	熱海 I	

4. 地形・地質と地震被害

地震被害は地震の規模、震央からの距離、地形、地質、構造物の種類や形状……等々いろいろな要素に関係する。ここでは特に地形および地質に関連した事項についてのべる¹⁵⁾。

〔1〕 地形と地震被害

前述のように伊豆半島は新旧の火山および火山碎屑岩からなり平地が少なくかなり傾斜も大きい。特に震央に近い稲取付近では山が海岸まで張り出しており道路は多くの曲折や高い切り取りのり面を有する。同様に鉄道は

大小のトンネルと高い切り取りのり面によって通過しており、いずれも自然の状況下でもその維持管理が困難なところである。

地形に関連した地震被害はほとんど自然および人工斜面の崩壊である。さらに崩壊箇所で見れば東伊豆道路、修善寺下田線、伊東西伊豆線に集中している。

崩壊斜面の平面形状は図—3・6に示すように凸型が多く次いで平行型、凹型の順になっている。ここで凸型、平行型、凹型とはそれぞれ調査斜面の等高線の配列が凸、直線的または凹のことである。また縦断形状は図—3・7に示すように、直線型が最も多く、次いで上昇型、下降型となっている（もちろん、上昇型と直線型の組合

表—3・3 伊豆半島活断層一覧¹⁰⁾

II. 準確実断層

活断層名	分類	位置	備考
旭 滝	II b	修 善 寺 I	断層面N65°W, 75°N, 星野・橋本・松田
網 代	II b	熱 海 IV	
熱 川	II b	稲 取 III	
長者原	II b	熱 海 IV	
冷 川 峠	II a	伊 東 III	
戸 田 峠 東	II b	修 善 寺 III	星野・橋本・松田
井 田	II b	沼 津 IV	
池 代	II b	下 田 III	
門 野 西	II b	下 田 III	
金冠山東	II b, III b	修 善 寺 III	
上 賀 茂	II a	神 子 元 島	断層面N50°W, 70°N~ N72°W, 73°N Loc. 10, 11, 12 星野・橋本・松田
相 峠	II b	伊 東 III	星野・橋本・松田
持 越	II b	修 善 寺 IV	
万 三 郎	II b	伊 東 IV	
		修 善 寺 II	
万 三 郎 南	II b	稲 取 III	
野 畑	II b	下 田 III	
猫 越 川	II b, III b	修 善 寺 IV	
仁 科 峠	II b, III b	修 善 寺 IV	
大 幡 野	II b	伊 東 III	
下 多 賀 西	II b	熱 海 IV	
土 肥 南	II b, III b	修 善 寺 IV	
湯 河 原 峠	II b	熱 海 III	
湯 川	II b	伊 東 III	

せのような複合型もあるが、ここでは主として崩壊頭部附近の縦断形状に着目して分類した)。このように、崩壊地の地形は斜面形状として尾根型地形を呈するものが多く、降雨時の崩壊が一般的には谷型に多いことに比較して特徴的なことである。

崩壊斜面の勾配は $73^{\circ}\sim 34^{\circ}$ ($1:0.3\sim 1:1.5$) のものが大半で全体の90%弱であり、そのうち $45^{\circ}\sim 63^{\circ}$ ($1:1\sim 1:0.5$) が最も多く、勾配が緩くなるに従って崩壊発生頻度は小さくなる (図-3・8)。降雨時のがけ崩れは $40^{\circ}\sim 49^{\circ}$ が最も多く発生しているのに対して、地震時に

はより急傾斜地で崩壊するといえる。

崩壊の発生した箇所の地形は図-3・9に示すように11種に区分したが、崩壊地は山岳地形と海食崖に集中している。これは調査した崩壊斜面の分布が東海岸沿いと河津～天城峠に偏っているためと思われる。また断層崖は5万分の1地質図による断層沿いのみとし、空中写真上のリニアメント (村井・金子等による活断層を含む (図-3・5)) は断層として扱っていない。このことも山岳地形に集中した原因と考えられる。

崩壊斜面の向きは南東を中心に東から南西に至る南向

Ⅲ. 推定活断層

活断層名	分類	位置	備考
藍の沢	Ⅲb	沼津 I	断層面 $N70^{\circ}W, 90^{\circ}$
青野	Ⅲb	下田 IV	
婆娑羅	Ⅲa, b	下田 IV	
婆娑羅	Ⅲb	下田 IV	
鉢山	Ⅲb	下田 I	
鉢山	Ⅲb	下田 I	
伊代	Ⅲb	下田 IV	
岩部	Ⅲb	下田 IV	
石部	Ⅲb	伊東 IV	
岩戸山	Ⅲb	下田 IV	
十郎左エ門	Ⅲb	熱海 III	
地藏堂	Ⅲb	下田 I	
国士越	Ⅲb	伊東 IV	
上小	Ⅲb	修善寺 II	
木負	Ⅲb	下田 IV	
子浦	Ⅲb	沼津 II	
河内	Ⅲb	下田 IV	
紙谷	Ⅲb	下田 II	
河津	Ⅲb	修善寺 I	
真鶴	Ⅲb	下田 I, II	
丸山	Ⅲb	熱海 III	断層面 $N60^{\circ}W, 75^{\circ}N\sim N42^{\circ}W, 84^{\circ}N$
梨山	Ⅲb	伊東 IV	
中本	Ⅲb	下田 I	
新里	Ⅲb	修善寺 I	
韭山	Ⅲb	熱海 III	
奥東	Ⅲb	沼津 II	
見川	Ⅲb	下田 II	
大鍋越	Ⅲb	修善寺 II	
大越	Ⅲb	下田 I	
六本	Ⅲb	沼津 II	
城山	Ⅲb	熱海 III	
諸峠	Ⅲa, b	下田 I, II	
沢口	Ⅲb	伊東 III	
沢口	Ⅲb	伊東 III	
十八足	Ⅲb	伊東 III	
矢山	Ⅲb	下田 IV	
横山	Ⅲb	伊東 IV	
湯川	Ⅲb	下田 II	
谷津	Ⅲb	下田 I	
	Ⅲb	下田 II	

きが多い(図-3・10)。これは伊豆半島の海岸線の方向、河津川およびその支川の方向が南西～北東、西北西～東南東、北～南、東西方向を示しているものも因と考えられるが、降雨による崖くずれも南向き斜面が多く、風化等による南向き斜面の不安定土層の形成にもその原因があると考えられる。

崩壊頭部から傾斜変換線までの距離を見てみると、図-3・11に示すように、10m以下が半数以上を占めている。一般に降雨時にはある程度の集水面積を有する箇所が崩壊するので、傾斜変換線のごく近傍より崩壊することは少ないといわれている。このことは地震時の1斜面内での加速度分布が斜面上方と下方では違うことなどの影響が考えられる。

地質毎の傾斜変換線までの距離は第三紀層が最も近く、10m以下が60%強を示すのに対し、熔岩では約50%

程度であり、傾斜変換線までの距離が長いのは落石型の崩壊と考えられる。

〔2〕地質と地震被害

斜面の崩壊と地質の間にも密接な関係がある。地震発生後各所においてそれぞれの目的から地質調査がなされているが全体をカバーするものがないので調査のできなかったところについては地質調査所発行の1/50,000地質図によった。したがって統一的な地質区分は①湯ヶ島層群や白浜層群は凝灰岩質岩石や安山岩質岩石等よりなるが一括して第三紀層とし、また②何層かに分けられる天城火山系の熔岩流は同様に一括して熔岩流とした。さらに③今回の地震被害に特に関係深い岩滓(スコリア・玄武岩質岩滓)、および④泥流の4区分とした。

概括的にみて崩壊の規模が大きく、円弧状のすべりをおこなっているのは第三紀層に多く、落石型の崩壊は熔岩に、また地すべり型の崩壊はスコリア層に多い。

(1) 崩壊の規模

斜面崩壊の崩壊高さ(直高)は数mから最大182mまで幅広く分布しているが、20～40mを示すものが累計で約50%と多く、同様に60m以下で約85%を占めている

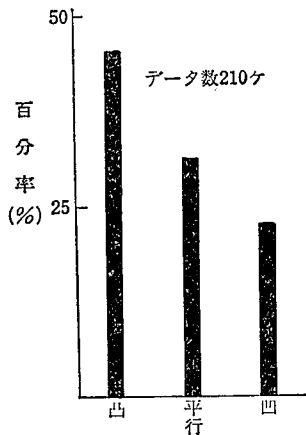


図-3・6 崩壊斜面の平面形状

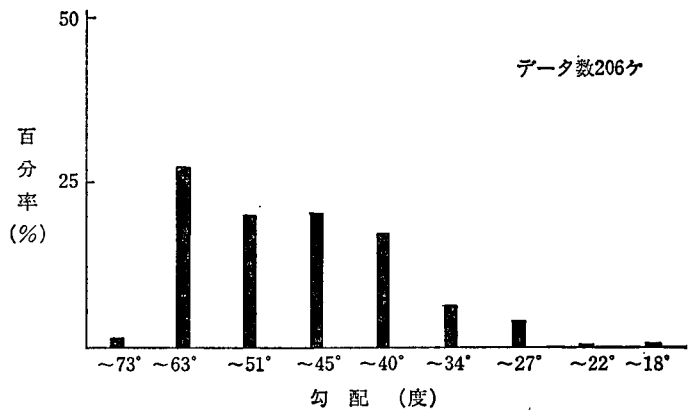


図-3・8 崩壊斜面の勾配

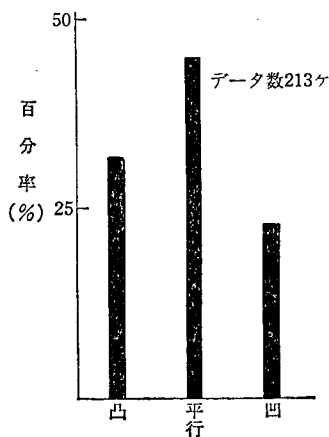


図-3・7 崩壊斜面の縦断形状

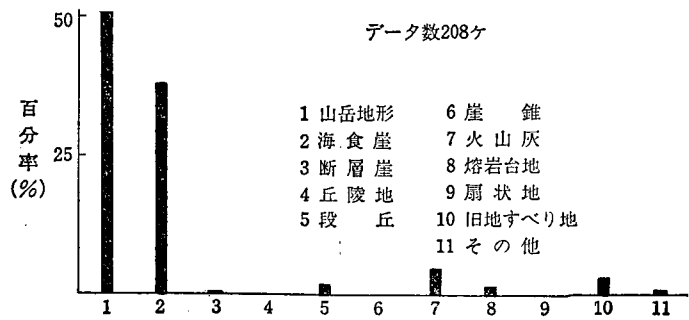


図-3・9 崩壊斜面の地形

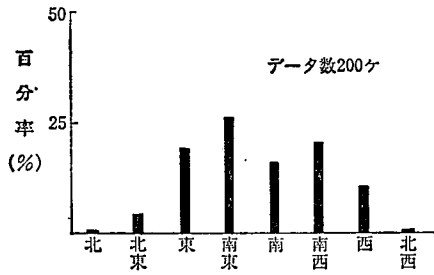


図-3-10 崩壊斜面の向き

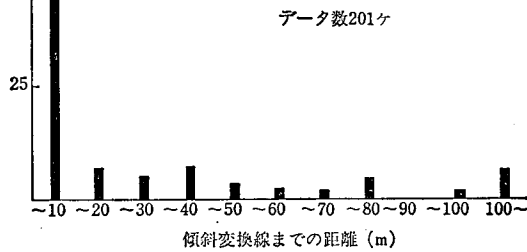


図-3-11 滑落崖から傾斜変換線までの距離

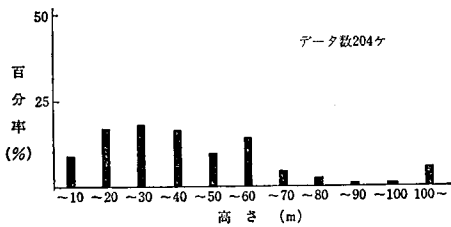


図-3-12 斜面の崩壊高さ

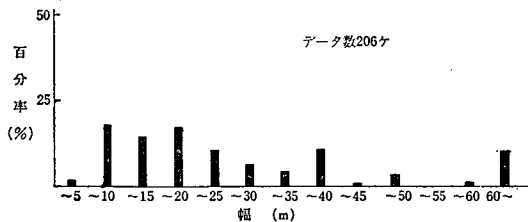


図-3-13 斜面の崩壊幅

(図-3-12)。一般に切土のり面は20m以下が約80%を占めているので、自然斜面の崩壊が切土のり面の崩壊より比率が高い。

崩壊幅は数mより最大180mまで幅広く分布するが、10~20m程度のものが多く、全体の約半数を占めている(図-3-13)。また崩壊幅60m以上は殆んどが第三紀層ま

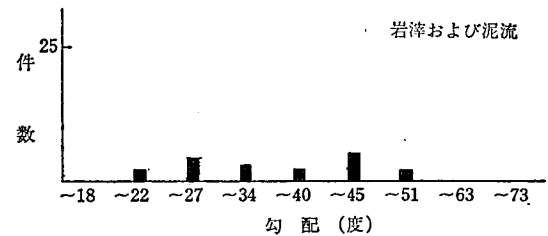
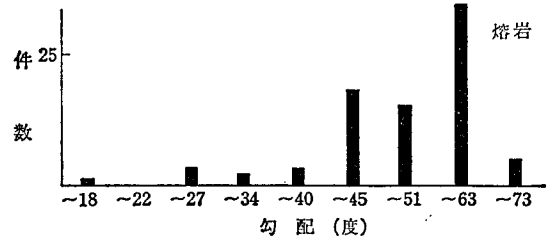
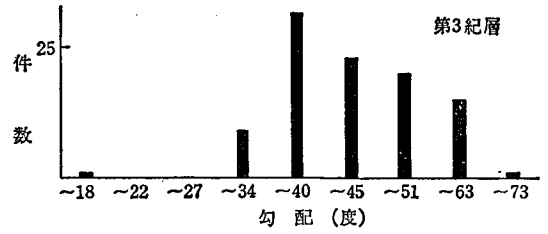


図-3-14 崩壊斜面の地質と勾配

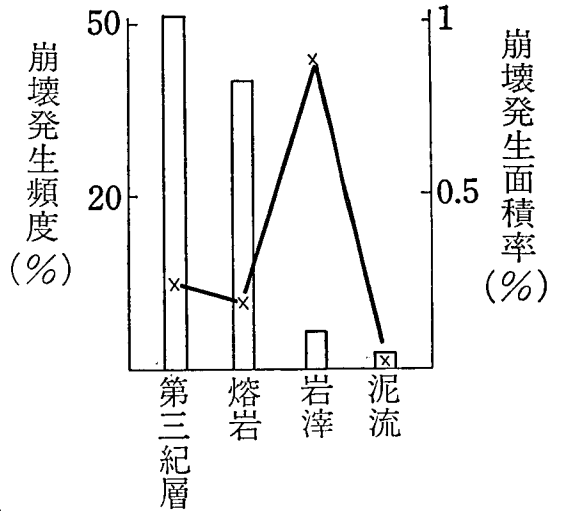


図-3-15 崩壊斜面の地質

たはスコリア層の崩壊であり、特にスコリア層の崩壊幅が広い。

崩壊高と崩壊幅の関係は崩壊高が高くなるにつれて崩壊幅も広がる傾向にある。特に崩壊高40mまでは崩壊高：崩壊幅は1：1に近いものが半数以上を占める。

地質別に崩壊斜面の勾配を見てみると(図-3-14), 熔

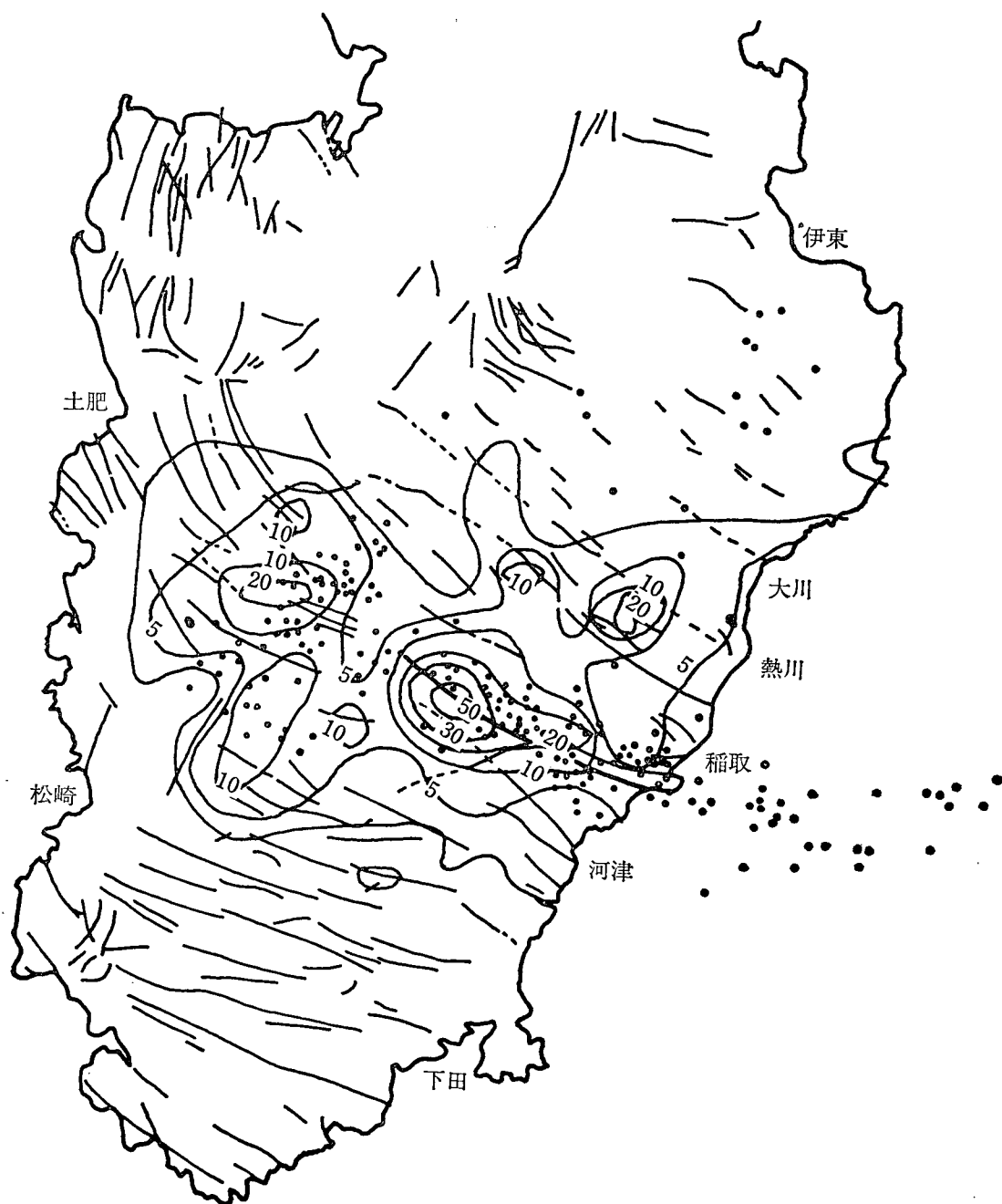


図-3・16 崩壊頻度図 (断層, リニアメントは村井, 金子 (1974) による)

岩では、 $51^{\circ}\sim 63^{\circ}$ が最も多いが、第三紀層では $34^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ($1:1.5\sim 1:1.2$) が最も多く、またスコリア層では $18^{\circ}\sim 51^{\circ}$ まで平均に分布しており、地質別の特徴が著しい。さらに崩壊斜面高と勾配の関係は崩壊高が高くなるにつれて勾配は急になる傾向がある。

(2) 崩壊斜面の地質

崩壊箇所の地質は図—3・15崩壊発生頻度(個数比, 図中棒グラフ)に示すように、第三紀層が最も多く、約半数を占め、次いで安山岩熔岩が40%強であり、岩滓(スコリア)、泥流は少ない。第三紀層の湯ヶ島層群や白浜層群は凝灰質岩や安山岩等よりなるが、風化が極めて進み、また崩壊予備物質である崩壊土層も厚く堆積している所が多い。したがって第三紀層の崩壊は崩壊土層と風化層と一体になって崩壊する基盤に及ぶ深い崩壊と、崩壊土のみの表層崩壊とがある。前者は凝灰質岩の分布箇所に多く、後者は安山岩の所に多い。

安山岩熔岩(地質図では天城火山系の新期熔岩)は節理の発達している箇所や変質を受けている箇所では大きな崩壊を示し、節理間隔が広く、かつ未変質の熔岩では落石に近い小さな崩壊が多い。

図—3・15には同時に同一地質における崩壊発生面積率(図中折線)を示しているが、岩滓(スコリア)で最も多く、次いで第三紀層、熔岩の順となっている。しかしながら別途空中写真から読み取った第三紀層の絶対崩壊面積は全体の約54%を占めている。また熔岩の崩壊個数は多いが面積比は19%と小さく、崩壊が小さいことを示し、逆にスコリアは個数が少ないのに面積比は26%と多いのは1個の崩壊面積が広いことを示している。

第三紀層と安山岩熔岩の崩壊について、崩壊規模の大きいものと小さいもの(各20位まで)を比較すると第三紀層では、崩壊規模大は尾根型地形または谷形地形に多く、勾配も 40° 前後が多いが、規模小は平行型地形に多く、勾配も規模大に比べ急である。安山岩熔岩でも同様に規模大は尾根型地形に多く、規模小は平行型地形に多い。斜面勾配は規模の大小には関係ない。

これをもう少し類型別にみると、Aグループは第三紀層の崩壊で、崩壊規模は表層崩壊程度の小さいもので、尾根型の斜面に多く発生し、勾配は $35^{\circ}\sim 50^{\circ}$ が多く、最頻値は $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ である。一部崩壊規模の大きいものもある。Bグループは同じ第三紀層でも崩壊規模は大きく、円弧すべりに近いもので、面積的には $1,000\text{m}^2$ 以上である。やや谷型の斜面に多く、勾配は $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ が多く、最頻値は $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ で、Aグループより勾配はゆるい。Cグループは第三紀層と熔岩の崩壊で尾根型地形の斜面に多く、勾配は急で $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 、最頻値 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ である。崩壊規模はBグループと同じく $1,000\text{m}^2$ 以上が多い。Dグループは熔岩の大きい崩壊で、崩壊高は40m以上である。

勾配は急で、 $55^{\circ}\sim 60^{\circ}$ のものが最も多い。Eグループは熔岩の崩壊であり、崩壊巾の狭いのが特徴である。平行型の斜面に多く、斜面勾配は $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ を示すが、 45° 附近が最も多い。中には勾配の急なものもある。このグループは落石に近い崩壊と思われる。Fグループはスコリア層の崩壊が多く、崩壊規模は大小様々であるが、崩壊幅が崩高より広いものが多い。地形的には大規模崩壊を除いて谷型地形を示し、勾配は 45° 未満で、最頻値は $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ である。

[3] 地震断層と地震被害

前述のように国土地理院撮影の空中写真判読による全崩壊数は620余箇所である。これを崩壊箇所分布図に示したものが図—3・16である。図—3・16には 4km^2 中に含まれ崩壊箇所数を等崩壊数線で示しており、また同時に伊豆大島近海地震の余震分布(図中黒丸、地震研究資料による)と村井・金子による活断層分布を併記している¹²⁾。

図—3・16によると本地震による斜面崩壊は限られた狭い範囲に集中して発生していることが判る。特に河津町梨本周辺では 4km^2 中に50箇所以上を示す所があり、崩壊はこの箇所を中心として西北西～東南東方向、すなわち稲取～天城峠を結ぶ線上に多発地域が並んでいる。この多発地域を離れて西伊豆町宮ヶ原附近にも多発地域がありこれは南々西方向へ広がっている。また東伊豆町三筋山北方にも多発地域がある。

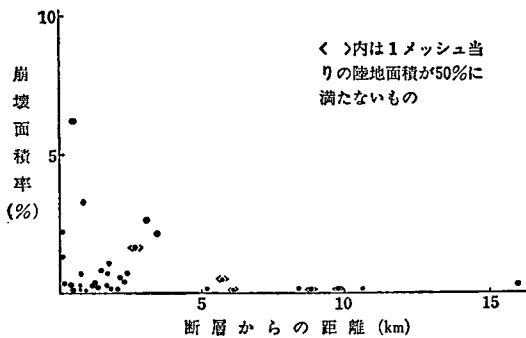
崩壊多発地域は余震分布とかなり良く一致し、西伊豆町宮ヶ原の崩壊多発地も最大余震震央附近に位置している。また崩壊多発地は墓石の転倒状況から推定した最大加速度分布¹³⁾で400gal以上の所(ただし西伊豆町宮ヶ原周辺を除く)であり、特に本地震によって発生した地震断層——稲取～根木の田を結ぶ線上およびその延長線上(図中太線…筆者推定)——の近傍に多い。この地震断層にそっては家屋等の被害も大きい。またこの地震断層は図—3・16に示した村井・金子によるリニアメントに良く一致していることは興味深い。

このように崩壊多発地域は本地震で発生した地震断層、就中余震分布に一致し、このことは地殻にたまったエネルギーが地震という形で放出されるとき、地震断層あるいは地質的弱線にそって放出されやすく、その結果として地表ではそれらの線上に崩壊等の変状を生ずるものと思われる。

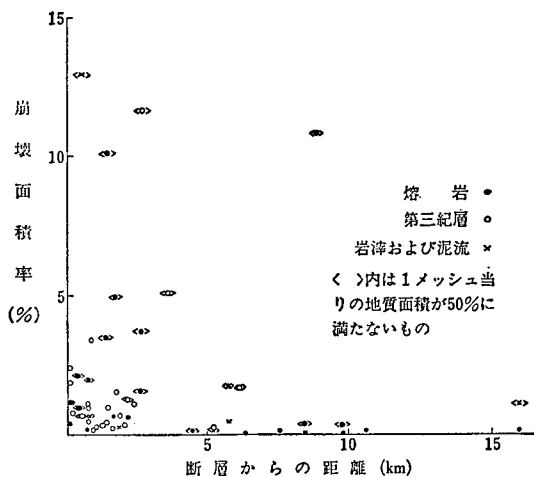
1km^2 当りの崩壊面積率(あるメッシュ内の全崩壊面積とメッシュの面積との比)と上述の地震断層からの距離との関係を図示したのが図—3・17である。このデータは全崩壊箇所ではなく一部の空中写真のため、計測数は211箇所と少ないので明確ではないが、断層近傍では6%

強の崩壊面積率を示す所（見高七廻り地区）がある。

データのバラツキは大きい、断層からの距離が5 km 以上になると崩壊面積率はほぼ0.1%前後となる。



図—3・17 1 km² 毎の崩壊面積率



図—3・18 地質別の1 km² 毎の崩壊面積率

同様に地質別の崩壊面積と地震断層からの距離を図示すると図—3・18のようになる。図—3・17同様バラツキが大きい、断層近傍では2%前後の崩壊面積率を示すと考えられ、また断層から離れるに従って急速に崩壊面積率は小さくなる。本図で5%以上の崩壊面積率を示す所はあるメッシュ内の地質区分の占める割合が少ない所（50%以下）であるが、見高七廻り地区のスコリア層では平均的に見ても7%強の崩壊面積率を示すのは注目に値する（図中A、Bの平均）。

反町は同様に1 km² 当りの崩壊個数、崩壊面積率と最大加速度分布、震源からの距離との関係を探っているが、それによると崩壊個数は20個強、面積率は2%強を示し、加速度の高い所ほど崩壊面積率が高いことを示している¹⁴⁾。

5. あとがき

1978年伊豆大島近海地震に伴う地震被害の地形的・地質的背景を略述するとともに、空中写真による斜面崩壊の調査結果をまとめた。当該地域の地形的・地質的条件および社会的条件から地震災害の主要なものは斜面崩壊であるので研究の主眼を斜面崩壊においたものである。

地震による斜面崩壊は尾根型地形に多く発生するとか斜面の頂部から崩壊が発生する等、通常の降雨による斜面崩壊とはかなり様相を異にしているようである。したがって防災上の対策もこれらの特徴を考慮する必要があると思われる。

なお本稿は岡本隆一（地質官（前地質化学部長））の指導の下にまとめられたものであり、調査や解析、資料の作成には佐々木審技官によるところが大きい。記して謝意を表します。

参 考 文 献

1. 建設省国土地理院：1974年伊豆半島沖地震災害状況・土地条件図，1975年
2. 沢村孝之助，角 清愛，小野晃司，盛谷智之：5万分の1地質図「下田」，地質調査所，1970年
3. 沢村孝之助：5万分の1地質図「修善寺」，地質調査所，1955年
4. 角 清愛：5万分の1地質図「神子元島」，地質調査所，1958年
5. 久野 久：5万分の1地質図「伊東」，地質調査所，1970年
6. 小野晃司，角 清愛：5万分の1地質図「稲取」，地質調査所，1959年
7. 槇山次郎：日本地方地質誌「中部地方」，朝倉書店，1966年
8. 中村康夫：活断層の評価に関する諸問題，土木技術資料22巻3号，1980年
9. 菅原 捷：活断層の活動性とその調査法，土木技術資料18巻2号，1976年
10. 星野一男，橋本知昌，松田時彦：伊豆半島活断層図説明書，地質調査所，1978年
11. 金子史朗：伊豆半島は活断層の巣，科学朝日，1974年10月
12. 村井 勇，金子史朗：1974年伊豆半島沖地震の地震断層，とくに活断層および小構造との関係，地震研究所速報，第14号1974年
13. 建設省土木研究所振動研究室：墓石の転倒状況から

- みた1978年1月伊豆大島近海地震による地震動強度
の推定, 土木研究所資料1399号, 1978年
14. 反町雄二: 地震による斜面崩壊の実態, 土木技術資
料20巻12号, 1978年
15. 桑原啓三: 1978年伊豆大島近海地震による斜面崩壊
の実態, 応用地質20巻1号, 1979年

第4編 河川・砂防の被害

村上 健^{7*} Dr. Ken Murakami
 安江 朝光^{8*} Tomomitsu Yasue
 仲野 公章^{9*} Masaaki Nakano

目 次

1. シアンを含む鉱さいの流出事故……………(1)	(1) 上水道の被害……………(6)
〔1〕 はじめに……………(1)	(2) 魚類および底生生物への影響……………(6)
〔2〕 鉱さい流出事故の経緯……………(1)	(3) 農業用水への影響……………(6)
〔3〕 鉱さい流出後の河川水質……………(4)	〔6〕 おわりに……………(6)
〔4〕 流出した鉱さいの河道での堆積状況 およびその除去作業……………(5)	2. 砂防施設の被害……………(6)
〔5〕 被った影響……………(6)	参考文献……………(10)

1. シアンを含む鉱さいの流出事故

〔1〕 はじめに

今回の地震によって、河川施設はほとんど被害を受けなかった。ここでは持越鉱山の鉱さい堆積場のえん堤が破壊したことによる狩野川と持越川の汚染について記述する。この鉱さい堆積場には、貴金属の精錬工程から生じたシアン化合物を含む鉱さいが投棄されていた。

静岡県、建設省（沼津工事事務所）その他の行政機関や地元関係者の迅速な対応と復旧への努力により、幸いにして人の健康への悪影響といった被害は起らず、また、河川の生態系に対する影響も比較的早く回復したとみられるが、同様な鉱さい堆積場が全国に百ヶ所以上存在していることを考慮すると、今後貴重な教訓を残したと言える。

このシアンを含む鉱さいの流出事故による被害に関しては、土木研究所は主体的な調査は実施しなかったが、建設省中部地方建設局沼津工事事務所が詳細かつ広範な調査を実施した¹⁾ので、その概要を記述するという形で紹介したい。

〔2〕 鉱さい流出事故の経緯

昭和53年1月14日に発生した伊豆大島近海の地震発生

直後に、静岡県田方郡天城湯ヶ島町に所在する、中外鉱業株式会社持越鉱業所ほろずき沢鉱さい堆積場（3万㎡周囲約640m）の第1えん堤（高さ30m、堤長110m）の上部約14mが堤長73mにわたって崩壊し、堆積していた鉱さい（全量47万6千m³）のうち、約6万m³、崩土約2万㎡が流出し、狩野川支流持越川へ流入した。

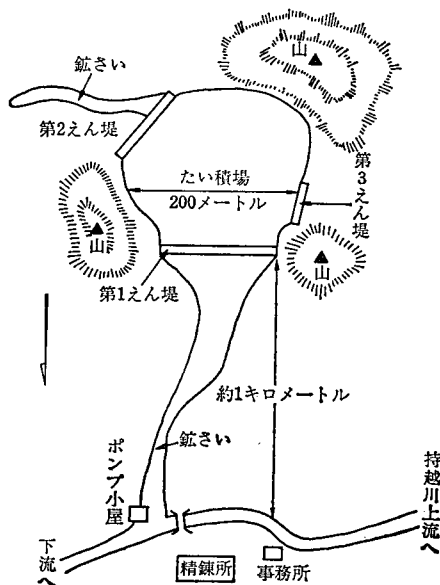


図-4・1 持越鉱山ほろずき沢堆積場平面図

^{7*} 下水道部水質研究室長 工博

^{8*} 砂防部急傾斜地崩壊研究室長

^{9*} 研究員

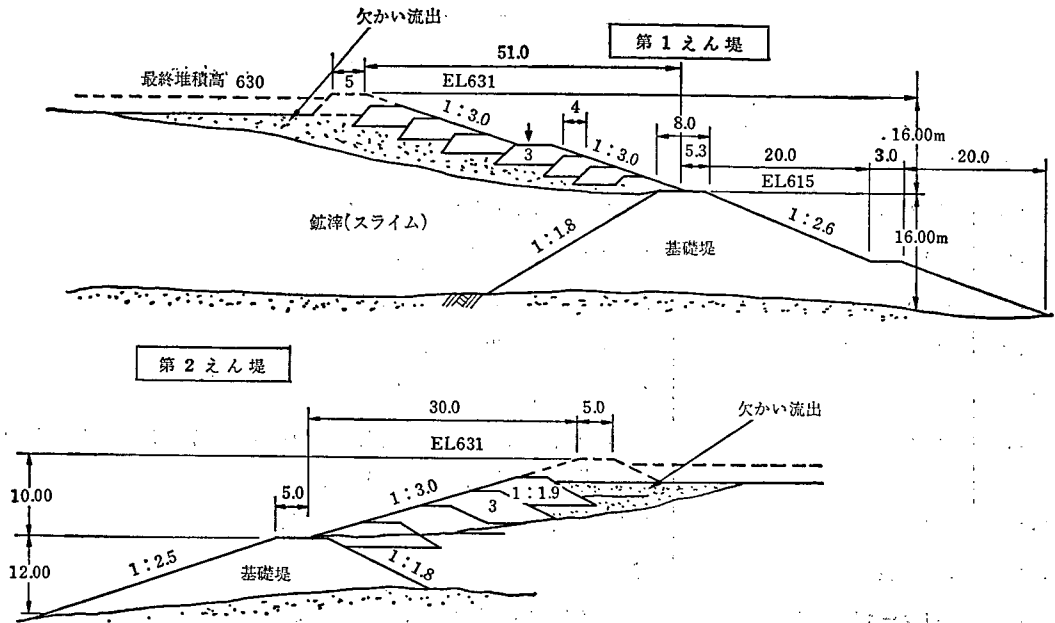
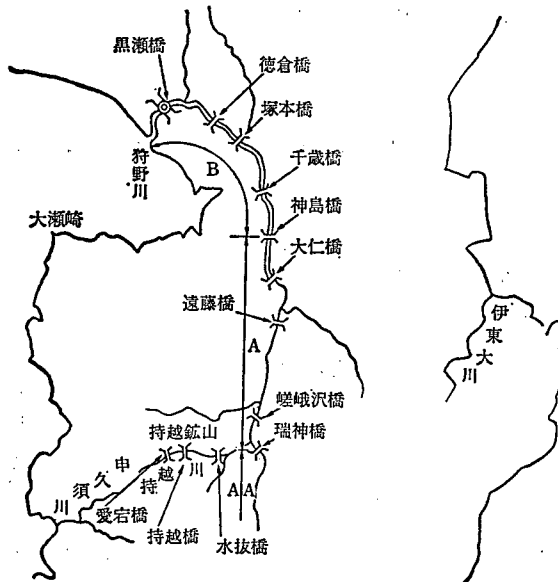


図-4・2 第1, 第2えん堤横断面概略図

図-4・3 持越川および狩野川の橋位置図
(AA, A, Bは環境基準の類型を示す)

また、一方、15日の強い余震により第2えん堤（堤長133m）が堤長55mにわたって崩壊し、同日13時ごろから、鉱さい1,000m³、および崩土2,000m³が流出したが、えん堤から約100m下流で流出は止まった。

堆積場の概略の平面図-4・1を図に、欠潰した第1えん堤、第2えん堤の横断面図を図-4・2に、持越鉱山の流域内での位置および事故の後に実施した水質調査の調査

地点となった主な橋の位置を図-4・3にそれぞれ示す。欠潰した部分は、図-4・2でみられる様に第1, 第2えん堤とも基礎堤より上の部分である。

第1えん堤から流出した鉱さいは、精錬のために微細に粉碎されており、更にシアン化合物が含まれている。これが水を含んだドロドロの状態で作越川に流入し、河床一面を覆いつくし、一部は狩野川にも流入した。この結果、作越川に58,000m³（鉱さい流入地点から愛宕橋までの1,500mの距離に52,500m³、愛宕橋から作越橋までの900mの距離に3,000m³、作越橋から水抜橋までの2,200mに2,500m³）という大量の鉱さいが堆積すると共に、河川水中に流入した鉱さいによって狩野川が一時的に甚しく混濁し、シアン化合物及び高濃度の浮遊物質による汚濁を受けた。

シアン鉱さい流出事故に対し、静岡県を始め、建設省沼津工事事務所等関係機関が直ちに水質汚濁、流出鉱さい中の有害成分および堆積状況の調査を開始し、河川水中のシアンの濃度が環境基準（0.1ppm）を上まわる汚濁を受けたことを確認した。

1月14日から修善寺町と伊豆長岡町では、上水道取水を停止した。また狩野川が流入する海域における養殖漁業に対する警戒体制に入った。

一方、地震直後の1月18日から政府派遣の第一次調査団が現地で調査を行なった。

地震発生から直後の緊急措置および経過を建設省中部地方建設局沼津工事事務所の資料を中心にまとめて表一

表-4・1 地震発生から直後の緊急措置および経過

日 時	件 名	内 容
1月14日		
11:00	地震情報	静岡気象台発表、群発地震に関する情報
12:24	地震発生	1978年伊豆大島近海地震 M 7.0
12:45	地震情報	静岡地方気象台発表 津波に関する情報
13:00	対策会議（沼津工事事務所）	沼津工事事務所の体制決定、パトロール開始
13:55	地震情報	静岡地方気象台発表 地震・津波情報
14:20	ラジオ報道	田方郡天城湯ケ島町持越地先、中外鉾業持越鉾業所、持越精練所の鉾さい沈でん池の土堰堤が決壊シアンを含む鉾さい流出
14:20	パトロール	沼津工事事務所が上記の件、パトロール開始
14:25	地震情報	静岡地方気象台発表津波注意報解除
16:20	パトロール結果報告 （パトロール隊より）	中外鉾業のヘドロ流出により、ポンプ場が押し流され管理人1名行方不明、現在捜査中。流出地点の持越川は、主要地方道伊東、西伊豆線が埋没し土砂を排除中、持越川は川幅約40mに対し、延長約2km区間にわたり約1.5～2mの厚さで堆積している。
16:30	上水道取注意	沼津工事事務所が関係町に取水について注意
17:00	静岡県から情報 （沼津工事事務所へ）	中外鉾業ポンプ場から下流3kmはヘドロが、それより下流2kmは白濁水が流下している。
17:00	静岡県災害対策本部へ要請	沼津工事事務所が静岡県へ、ヘドロ流出防止措置を要請
17:00	水質調査開始	沼津工事事務所が大仁橋地点で採水開始
19:40	上水道取水停止	伊豆長岡町は水源を井戸に切替、時間給水
23:00	上水道取水停止	修善寺町上水道（熊坂地区河川区域外取水井）取水停止
1月15日		
7:31	地震発生	三島震度4 M 5.8
9:00	パトロール実施	沼津工事事務所が河川、海岸、砂防各現場を検点
9:30	水質調査	沼津工事事務所が大仁橋、千歳橋、徳倉橋、黒瀬橋の4ヶ所で1日2回（9時30分13時30分）採水
11:30	県災害対策本部へ連絡及び要請 （沼津工事事務所より）	沼津工事事務所のこれまでの体制、パトロール結果を連絡 鉾さい流出を早急に防止し、2次災害を拡げないための対策を立てるよう要請
13:30	水質情報	黒瀬橋地点（流入点より約45km下流）に白濁水到着（事故発生後約25時間後）
16:00	水質調査結果	第1回水質分析結果判明

4・1に示す。

その後、河川に流出して河床などに堆積した鉍さいの除去が関係行政機関および地元漁業関係者などによって精力的に行われると共に、河川の水質、底生物や堆積鉍さい量の調査が継続的に行われ、6月初旬になってようやく静岡県から安全宣言が出されるに至った。

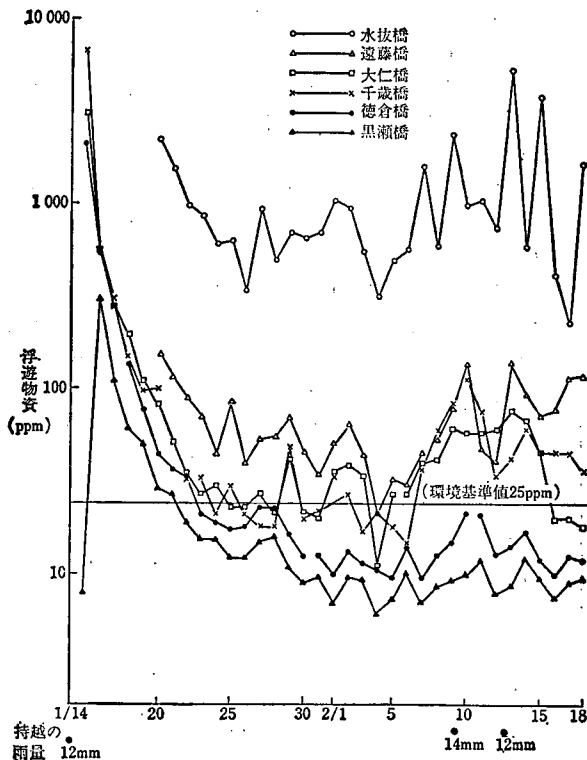
〔3〕 鉍さい流出後の河川水質

流出事故後約2週間の持越川および狩野川本川における全シアン濃度 (CN) および浮遊物質 (SS) の変化を図—4・4、4・5に、また、約1ヶ月経過した2月後半から3月後半までの変化を図—4・6、4・7にそれぞれ示す。

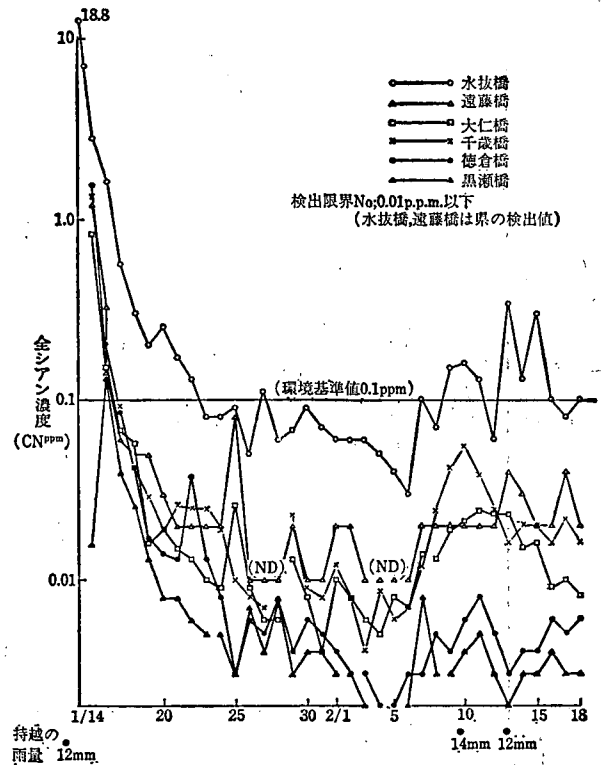
鉍さい流出直後より3日間、流出鉍さいによる混濁が著しく、全シアン濃度は、持越川水抜橋において、1月14日18.8ppm、15日12.2ppm、16日3.5ppmであった。

狩野川本川については、事故後2日目にピークがあらわれ、全シアン濃度は、遠藤橋において、1月15日1.4ppm、千歳橋において、1.3ppmに達したが、1月16日には、それぞれ0.3ppm、0.1ppmにさがった。

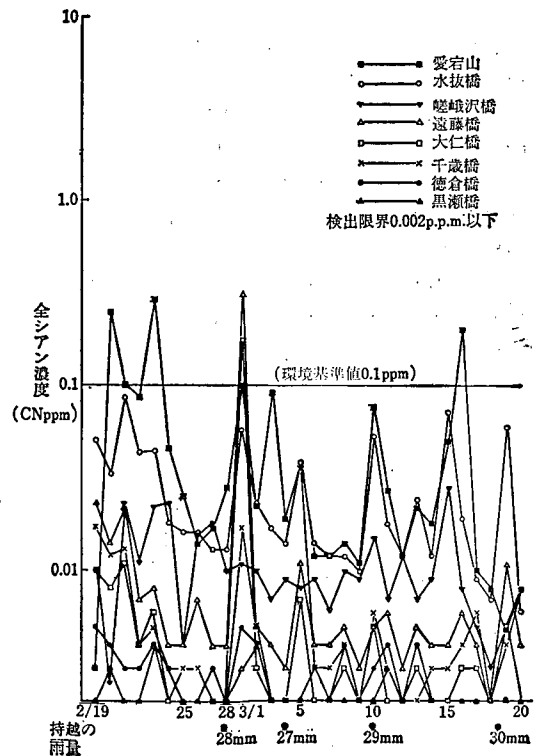
鉍さいの流出が急速に減衰したために、以後シアンの濃度は急速に低下し、事故後4日目の1月17日以降狩野川本川では、環境基準の試験方法の検出限界値である0.1ppm以上のシアンはほとんど検出されていない。



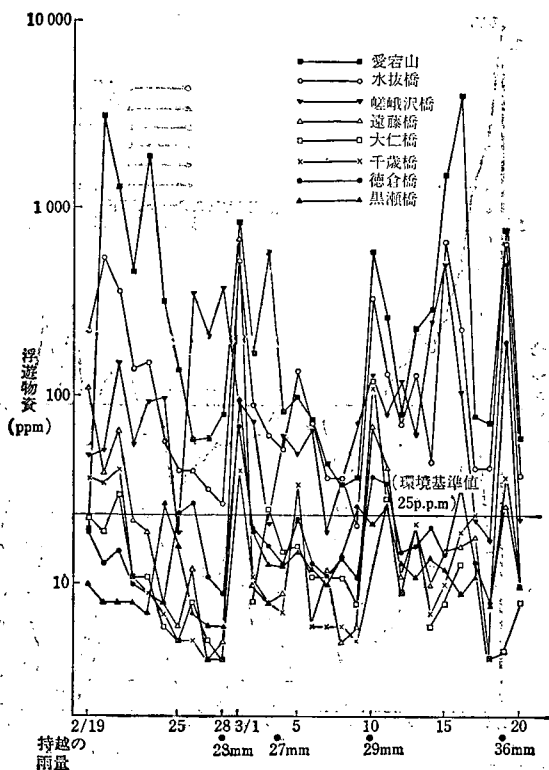
図—4・5 事故直後の浮遊物質の経日変化



図—4・4 事故直後の全シアン濃度の経日変化



図—4・6 事故後1～2ヶ月の全シアン濃度の経日変化



図—4・7 事故後1～2ヶ月の浮遊物質の経日変化

3月1日に遠藤橋で0.3ppm、大仁橋で0.1ppmの値が得られたが、持越川で行なわれている鉱さい除去作業の影響および、2月28日夜の降雨に伴う出水により一時的に河床が洗われた影響によるものと考えられる。

持越川では鉱さい除去に全力を挙げたため、河川水の混濁をさけ得ず、1月17日以降も、濁りの著しい時には0.8～0.9ppm、濁りの少ない時には0.5～0.1ppm程度のシアンが検出されつづけたが、重機類による集中的な作業を終了した2月21日以後は、ほとんど検出されなくなった。2月21日以降も各所で除去作業は継続されてお

り、雨の影響もあって、愛宕橋において、2月21日0.1ppm、2月23日0.2ppm、3月1日0.1ppmのシアンが検出された。

なお、遊離シアンは全くといっていい程検出されず、殆んどが金属と結合した錯シアンであると考えられた。図—4・4～4・7からわかる様にシアンの変化と浮遊物質の変化とが非常によく一致しており、錯シアン化合物も大部分が固型物（非溶解性）であったといえる。シアンと浮遊物質との比は、流出事故の直後では1：2千～5千、以降では1：5千～1万であった。

〔4〕 流出した鉱さいの河道での堆積状況およびその除去作業

堆積場から流出した鉱さいの量は前述のように約8万 m^3 と推定されているが、事故直後に行われた調査によれば、持越川における堆積量は図—4・8のようであり、約5万8千 m^3 であった。残りの2万2千 m^3 の流出状況については明らかではないが、さらに下流部に流出したものと推察された。

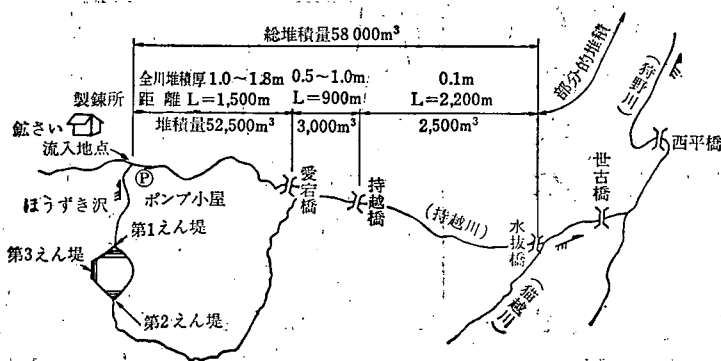
このような鉱さいが河床に堆積している限り上水道や河川の生態系への悪影響は避けがたいので、河床に堆積した鉱さいの除去を緊急に行うことが必要と考えられた。この場合、狩野川は全国有数のアユ漁場でもあるので、稚アユ遡上期以前に除去を一応終了することを目標として作業が進められた。

2月4日以降、大規模な機械力の投入により除去作業が進められたが、2月20日には愛宕橋より下流の除去を完了し、3月16日にも最も堆積量の多かった愛宕橋上流部分の鉱さい除去を完了した。このようにして持越川および狩野川の河床から排除された鉱さいの総量は、45,104 m^3 である。これに要した人員は延べ7,209名である。

このうち狩野川本流に堆積した鉱さいについては、部分的に重機を投入すると共に、狩野川漁業協同組合等地元の諸団体が延べ7日、延べ1,411名にわたって手作業

による鉱さい除去を実施し、これによる除去量は、30kg入り袋67,484袋、約1,349 m^3 におよんだ。

上記のように、重機類を用いて除去できるような堆積鉱さいは3月中旬に一応排除されたが、3月23日に再度行われた堆積量の調査によれば、表—4・2に示す様に未だ5,800 m^3 の鉱さいが河床に残存していた。これは事故当初に流入点から水抜橋



図—4・8 流出鉱さい堆積状況

表4・2 鉾さい堆積量 (3月23日現在)

河 川 名	堆 積 量	区 間
持 越 川	3,800 m^3	水抜橋から上流部
持越川・狩野川	1,700 m^3	修善寺橋～水抜橋
狩 野 川	300 m^3	河口～修善寺橋
合 計	5,800 m^3	

に堆積していた量の $\frac{1}{10}$ にあたり、その分布状況は水抜橋から上流に約65%、水抜橋から修善寺橋の間に約30%となっている。これらをも除去するため、除去作業はその後も継続して行われたが、残存している鉾さいは河床の石に附着しているものや、附着していないまでも非常に薄い厚さで堆積しているものであったため、作業は地元漁業関係者等が石を1つ1つ洗い出すような形で行われた。このため、完了するまでに非常に時間を要し、6月初旬になってようやく作業が終了した。

〔5〕 被った影響

(1) 上水道の被害

シアン流出点より下流の狩野川流域内の2市6町のうち、上水の水源を狩野川表流水または伏流水によっているのは修善寺町と伊豆長岡町のみであり、これらの町においても狩野川依存分は水源のうち約半分であった。このため、これらの水源については事故直後から6月初旬まで取水停止となったが、両町とも代替水源の確保などにより断水が起ることはなかった。

代替水源確保のための費用として、修善寺町では4,696千円(直接経費のみ)、伊豆長岡町では55,440千円を要した。

(2) 魚類および底生生物への影響

持越川においては、魚類に被害があったことは明らかであり、本川においてもある程度の被害があったものとみられるが、建設省沼津工事事務所では被害数量を把握していない。しかし、6月以降のアユ漁は例年の通り行われ、堆積した鉾さいの除去などの復旧作業により比較的早く回復したものと推察される。

底生生物については、3月末までの調査結果と鉾さい流入以前の調査を比較した結果、影響がみられたのは月ヶ瀬(流入点から約10km)までである。影響の程度は当然のことながら鉾さい流入点に近いほど大きかった。しかし、ひどいところでも全く無生物状態ではなく、3月の時点で何種かずつの生物の生息がみられた。生息していた生物は蛹など鉾さいの影響を受けにくかったものと、川の水の濁りが少なくなるにつれて上流から補給さ

れてきたと考えられるもの(エルモンヒラタカゲロウ、マダラカゲロウ、トビケラのある種——いずれも泳ぐことができる)であった。

大仁橋から下流については、昭和51、52年度の調査結果と比べて、生物相に大きな差がない。大仁橋における影響の小さかった理由は、大仁橋では生物学的水質階級で貧腐水性の水域であるにもかかわらず、すでに汚濁が進んでいて上流のような清水域でなかったために、生物相もやや汚濁の強いもので構成されていたこと、そのため上流の生物に比べ、濁りの影響を受ける度合いが比較的に少なくてすんだためとも考えられる。

(3) 農業用水への影響

幸いに、事故から暫くの間は用水の不需要期にあっていたため、ほとんど取水しておらず、特に直接的被害は報告されていない。また、用水の水質検査では、シアンはほとんど検出されておらず、重金属類も問題となるようなものは特に見られなかった。

〔6〕 おわりに

シアンを多量に含む8万 m^3 もの鉾さいが河川に流出するという大きな事故であったにもかかわらず、被害は最小限にとどまったと考えられる。狩野川を直接の水源とする上水道があまり多くなかったことなど恵まれた条件があったことも一因ではあるが、事故直後の取水停止や河床に堆積した鉾さいの迅速な除去作業など適切な事後処理が行われたことが被害を小さくした最大の原因である。このような有害物質を含む鉾さいの管理の強化という問題もさることながら、改めて事後処置の重要性が認識される。

2. 砂防施設の被害

砂防施設の被害は目立ったものではなく、伊豆半島中～南部にあった急傾斜地崩壊防止施設にごくわずかな被害が見られた程度であった。図4・9に施設のあった急傾斜地の分布を、表4・3に地震後の箇所別防止施設の状況の一覧を示す。被害が見られた箇所は、向井、湯ヶ野、梨本、野本であったが、いずれも局部的な被害であり、今回の地震については安全であったといえよう。特に向井の急傾斜地は、付近に活断層の存在が、地震後議論され、今回最も震度が大きかった地区にあるにもかかわらず、軽微の被害ですんだことは、入念に施行された急傾斜施設への信頼を高めるものであろう。以下箇所ごとに被害の状況につき補足する。

向井：擁壁工については、継手部で5cm滑動した箇所があった。また小段天端コンクリートに約5cmのずれが見られたが、これは、現場打ちのり枠の基礎とその下部

表-4・3 個所別防止施設の現況一覧表

番号	区域名	地質など	平均 斜面 勾配 度	斜面の 方位	地震震度方位	推定*震度	工事施 工斜面 長	工作物ののり勾配	被害 状況	備 考
1	向井	砂および 粘土	45	S	直下および SW~S	5.5~5.9	50m	{擁壁工 1:0.3 のり枠工 1:1.0 種子吹付け工 1:1.0}	有	地震時の 被害は地 元の既設 工作物
2	見高入 谷中村	砂および 粘土	30	SW	NW~NE SW~SE (ローリング)	5.5~5.9	30	{井げた工 1:0.4 ブロック積み工 1:0.4 種子吹付け工 1:1.0}	有	
3	湯ヶ野	砂および 粘土	40	S	直下および SE	5.5~5.9	19	{のり枠工 1:1.0 種子吹付け工 1:1.0}	有	
4	梨本	砂および 粘土	35	SE	直下および SE	5.5~5.9	20	{擁壁工 1:0.2 練り石積み工 1:0.4 種子吹付け工 1:1.1}	有	
5	須崎	凝灰質 砂岩	45	E~SE	SW	4.5~5.0	30	{擁壁工 1:0.4 のり枠工 1:0.8 コンクリート吹付け工 1:0.8}	無	
6	論田	凝灰質 砂岩	40	SW	SW	4.5~5.0	30	{のり枠工 1:1.0 種子吹付け工 1:1.2 植生ネット工 1:1.0}	無	
7	森山	凝灰質 砂岩	35	SE	SW	4.5~5.0	22	{擁壁工 1:0.36 種子吹付け工 1:1.0}	無	
8	前原	凝灰質 砂岩	65	SW	SW	4.5~5.0	30	{のり枠工 1:1.0 格子枠工 1:1.2 植生ネット工 1:1.0}	無	
9	古山	凝灰質 砂岩	30	SW	SW	4.5~5.0	28	{のり枠工 1:1.0 モルタル吹付け工 1:0.6 土壌吹付け工 1:0.8~1.0}	無	
10	小稲	輝安山 石岩	45	S	SW	4.0~4.5	30	{擁壁工 1:0.5~0.6 格子枠工 1:1.2 種子吹付け工 1:1.2}	無	
11	前浜	輝安山 石岩	70	SW	SW	4.0~4.5	30	{擁壁工 1:0.4 ブロック積み工 1:0.5 モルタル吹付け工 1:1.0}	無	
12	大瀬	輝安山 石岩	35	SE~S NE~E NW	SW	4.0~4.5	16	{擁壁工 1:0.4 コンクリート吹付け工 1:0.8}	無	
13	石郎	輝安山 石岩	60	SE	SW	4.0~4.5	10	コンクリート張り工 1:0.4	無	
14	仲木	凝灰質 砂岩	50	N~NE	W~SE	4.0~4.5	36	{擁壁工 1:0.4 のり枠工 1:0.8}	無	
15	妻良	凝灰質 砂岩	45	NE	W~SW	4.0~4.5	32	{練り石積み工 1:0.3 コンクリート吹付け工 1:0.8}	無	
16	上河原	凝灰質角 礫安山岩	45	SE~S	W~SW	4.0~4.5	40	{擁壁工 1:0.3 モルタル吹付け工 1:0.5~1.1}	無	
17	西子浦	凝灰質角 礫安山岩	40	NE	SW	4.0~4.5	40	{擁壁工 1:0.35 コンクリート吹付け工 1:0.8}	無	
18	平戸	砂および 粘土	50	S~SE	SE	4.5~5.0	20	{擁壁工 1:0.3 ブロック積み工 1:0.3 種子吹付け工 1:1.0}	無	
19	石部田	凝灰質輝 石安山岩	50	NW~W	SW~W	4.5~5.0	61.8	{擁壁工 1:0.4 コンクリート吹付け工 1:0.7~0.9}	無	
20	上道部	凝灰質輝 石安山岩	50	S~SE	W~SW	4.5~5.0	50	{擁壁工 1:0.3 コンクリート吹付け工 1:0.8}	無	
21	明伏	礫混じり 土砂	45	W	SW~S	4.5~5.0	18	{擁壁工 1:0.2 コンクリート格子枠工 1:1.0}	無	
22	野本	礫混じり 土砂	50	W~SW	SW~W	4.5~5.0	25	{擁壁工 1:0.3 種子吹付け工 1:1.2}	有	

(*) 震度については調査機関により異なる

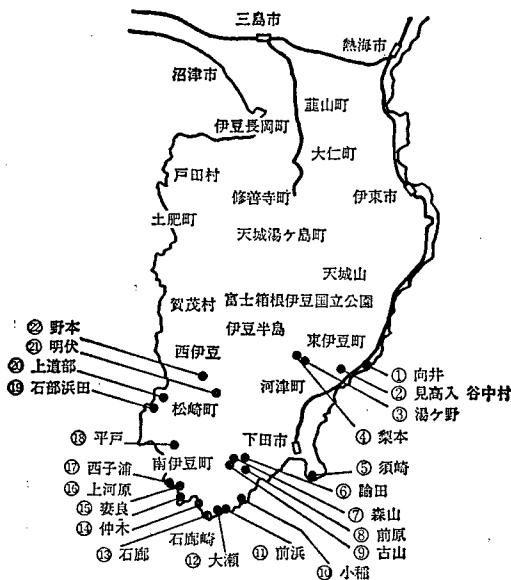


図-4・9 伊豆半島における急傾斜地

の現場打ちのり枠の天端の間のずれである。枠工については、現場打ちコンクリート枠工の中に設置したプラスチック枠工が飛び出したり、沈下したりしたが、最大数mmのオーダーであった。また枠内の切土面から、礫の飛び出しが見られた。水路工については、縦水路の飛び出し、横ずれが若干見られた(写真-4・1)。

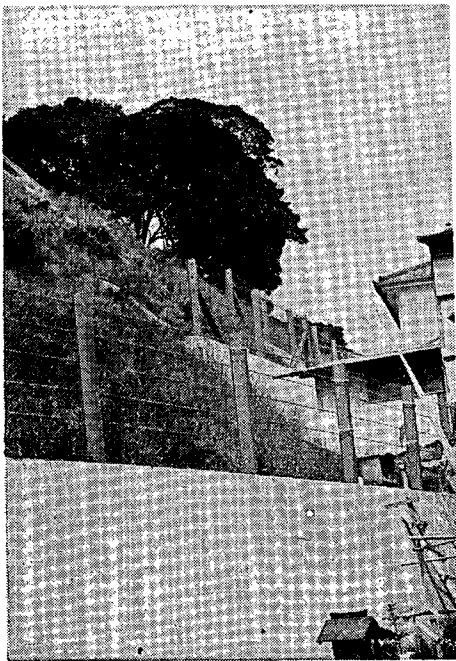


写真-4・1(a) 向井急傾斜地(全景)

湯ヶ野；現場打ちのり枠工は被害はなく、わずかにクラックが入った程度であった。水路工については、現場打ちのり枠工の両サイドの縦水路が横ずれした。地山と接する面に十分な押えがなかった右側の縦水路の横ずれは最大30cmであったが、押えがあった左側の縦水路はほとんどなかった(写真-4・2)。

梨本；擁壁工が3cmぐらい前に傾いた箇所があった(写真-4・3)

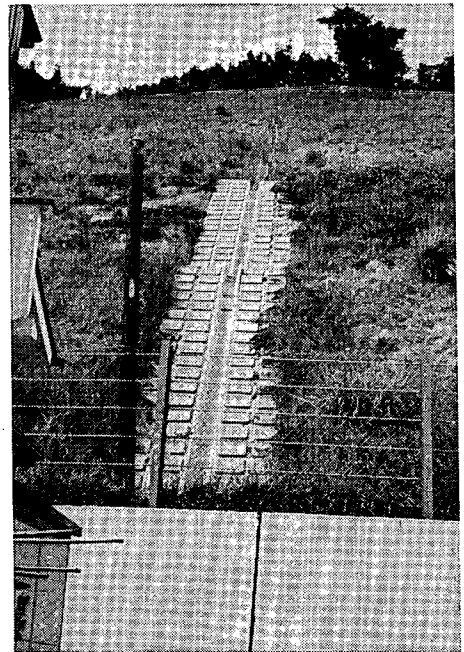


写真-4・1(b) 向井急傾斜地(縦水路のずれ)



写真-4・1(c) 向井急傾斜地(擁壁工の滑動)



写真-4・1(d) 向井急傾斜地 (小段天端コンクリートの前ずれ)

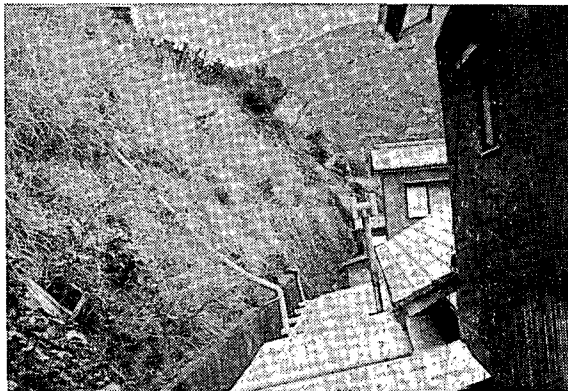


写真-4・3(a) 梨本急傾斜地 (全景)

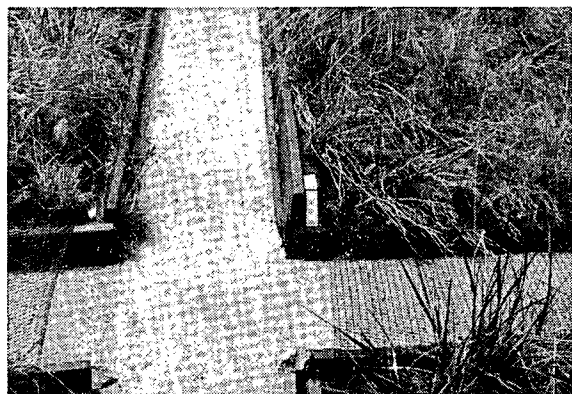


写真-4・1(e) 向井急傾斜地 (プラスチック枠工の飛び出し)

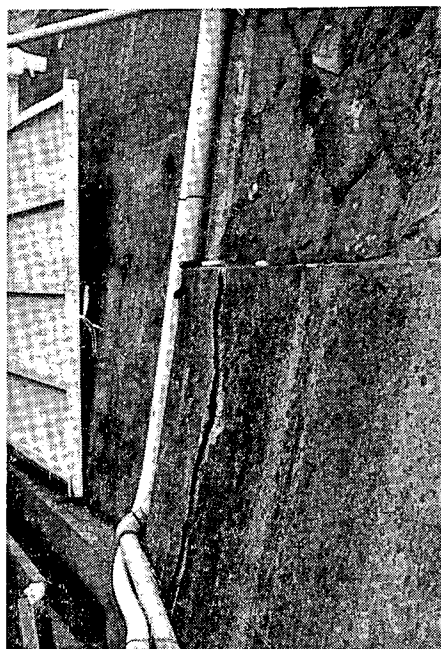


写真-4・3(b) 梨本急傾斜地 (擁壁がわずかに前面に傾き、これによって発生した1クラック)



写真-4・2 湯ヶ野急傾斜地 (縦水路のずれ)

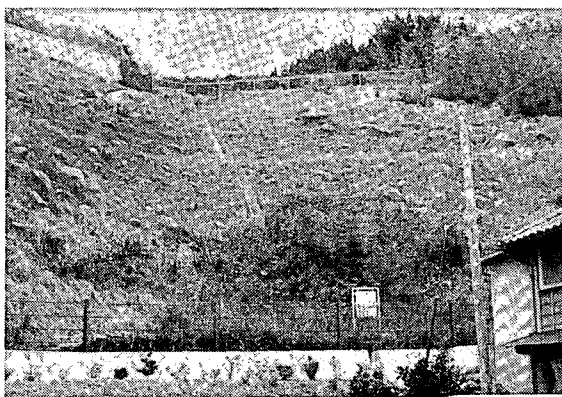


写真-4・4(a) 野本急傾斜地 (全景)

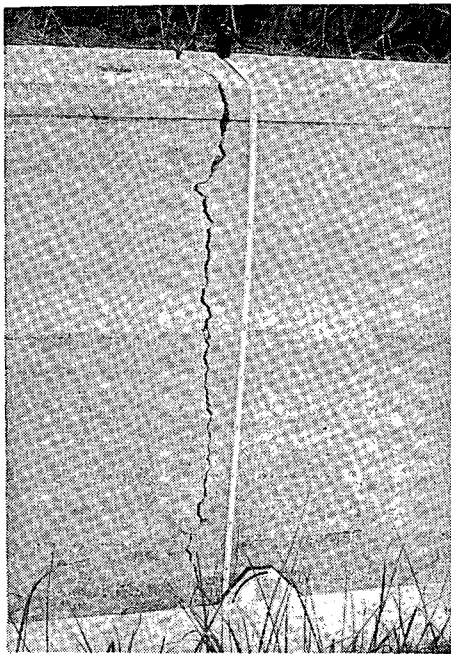


写真-4・4(b) 野本急傾斜地（擁壁のされつ）

野本；末端の小擁壁に縦クラックが入った。また流末水路が約3cm横にずれた箇所があった(写真-4・4)

参考文献

1. 建設省中部地方建設局沼津工事事務所：昭和52年度シアン流出河川等実態調査（狩野川，駿河湾）報告書，昭和53年3月

第5編 道路斜面およびのり面の被害

安江朝光^{8*} Tomomitsu Yasue

田崎忠行^{4*} Tadayuki Tazaki

仲野公章^{9*} Masaaki Nakano

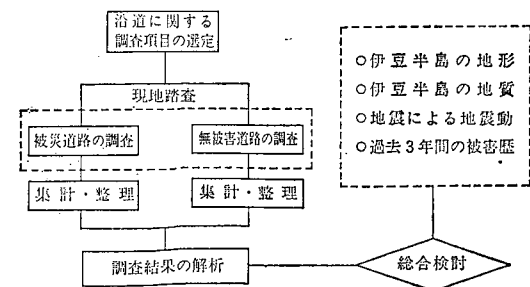
羽立隆幸^{10*} Takayuki Hadate

目次

1. 概説……………(1)	[3] 数量化Ⅱ類による解析結果……………(13)
2. 調査方法……………(2)	[4] 被災率の解析……………(13)
[1] 被災道路の調査……………(2)	[5] 解析結果のまとめ……………(18)
[2] 無被害道路の調査……………(2)	4. 代表的な被災斜面の地盤調査結果……………(18)
[3] 調査項目……………(2)	[1] 概説……………(18)
3. 道路被害の調査結果……………(8)	[2] 地盤調査の方法……………(18)
[1] 解析方法……………(8)	[3] 地盤調査の結果……………(21)
[2] 要因の選択と検定……………(8)	参考文献……………(28)

1. 概説

今回の地震によって道路は第2編で述べたように被害箇所数671という大きな被害を受けた。地震後に被害箇所の現地調査を行うことが提案され、その手法について種々の議論がなされた。この過程で、従来の被害調査は被害を明らかにすることのみ重点が置かれ、被害を受けなかった箇所との対比において、被害の発生の可能性を調査するという観点が欠けていたという反省が出され、被害を受けた箇所と受けなかった箇所での同一の調査方法で調査をおこなうことが提案された。基本的なフローを図—5・1に示す。



図—5・1 調査の流れ

すなわち被災箇所の調査と並行して、これとほぼ同一の範囲内の道路から代表的な区間を選定して、被害を受けなかった箇所について、被災箇所と同様な調査を行い、これらを集計整理して、道路が地震により被災する要因を統計的に見出そうとしたものである。

斜面崩壊および落石による道路の被害の概要は以下のとおりである。

踏査による一般的特徴

近年の地震による斜面崩壊の資料および現地調査時の経験を整理すると以下のことが言える。(i)雨に弱い斜面は一般的に地震にも弱い。(ii)傾斜が急な斜面が弱い。雨に対しては安定しているオーバーハングした岩盤が、地震では崩落する例が見られる。(iii)雨と同様に、基盤上の表土層や強風化層などが、基盤との境界で崩壊しやすい。(iv)斜面途中の盛土は崩壊しやすい。(v)山腹斜面などでは、降雨時に浸透水が斜面途中の表面に湧出する地点が頭部になることが多いが、地震ではこの地点より上方の稜線付近から崩壊する例が多い。

道路でも、国道135号と主要地方道修善寺一下田線で被害が著しく、このうちでも特に斜面崩壊、のり面崩壊が目立った。

急傾斜施設および道路の斜面安定工の被害をまとめると次のような傾向が見られた。

1) 一部の例外を除き、程度のよいのり面保護工を施工

した箇所は、ほとんど被害を受けていない。コンクリート擁壁土、のり枠工、練り石積み工、練りブロック積み工などがこれにあたる。石積み工、ブロック積み工で被害を受けているものは、空積み、もしくは胴込めコンクリートの薄い構造の擁壁である。

- 2) コンクリート吹付け工、モルタル吹付け工、落石防止網工、落石防止網工なども有効に働いていると見られる箇所が多数あるが、効果には限度があると判断される。
- 3) 擁壁によって盛り上げられた路体部に大きな沈下が生じ、舗装が破壊している箇所が多い。
- 4) 水路工については、振動によるずれを防ぐため、両側面を十分に支える構造にすることが耐震上望ましい。
- 5) ロックフェンスについては、土中に支柱用の基礎コンクリートを設けて設置されたものには、支柱基礎コンクリートの若干の沈下が見られた。
- 6) 地震で損傷しなかったもの、あるいは損傷の程度が軽微だった斜面安定工は以下のものであった。
 - (i) 土圧を考慮した（設計に入っている）構造物（擁壁等）
 - (ii) 安定している地山に密着していたもの、すなわち地震時に地山と一体となっていたもの（現場打ちコンクリートのり枠等、ただし、構造物自体も何が生かの抑止効果を有している。）
 - (iii) フレキシブルな構造物、すなわち地震のエネルギーを变形により吸収したもの（井げた擁壁等）

2. 調査方法

〔1〕 被災道路の調査

被災道路の調査地点は日本道路公団管理の有料道路は除外し、一般国道、県道については静岡県下田土木事務所、沼津土木事務所及び熱海土木事務所管内の第1次及び第2次の災害査定箇所の全部、および町道については災害査定申請金額が1千万円以上の箇所とした。

被災調査地点の分布を図—5・2に示す。この図には第1編に述べられている本震の強度分布と地震断層線も合わせて表示した。図では調査地点を選択した関係上、道路被害の分布状態がそのまま表現されていないが、本震による被害が修善寺～下田線の河津町地内に集中していることがわかる。

現地調査は昭和53年度の第一次及び第二次の査定申請が完了した昭和53年3月下旬より始め4月中旬までの期間に行った。被災断面の記載は概ね一つの査定箇所につき1断面としたが、被災区間の長い箇所ではその区間のなかで被災の著しい地点を選び2～3断面について記載

表—5・1 調査地点一覧

路 線	調査地点	被災道路(箇所)		無被害道路(箇所)
		本 震	余 震	
国 道 135 号		23 (23)	0	105
国 道 136 号		7	4	—
主要地方道修善寺下田線		88 (77)	0	※ 86
主要地方道湯ヶ野松崎線		34	0	—
主要地方道伊東西伊豆線		0	80	5
そ の 他 の 主 要 地 方 道		15	0	—
町道 (河津町, 東伊豆町など)		39	8	—
計		206(100)	92	196
		298		

()内は無被害道路の調査区間内の被災調査地点数である。
※ このうち200m間隔に調査した地点は74地点である。

した。

現地踏査を行う前に査定申請書類に添付された平面図断面図、写真等をあらかじめ整理し、現地での被害状況の観察及び斜面勾配等の計測の参考資料とした。現地では調査時期が地震発生後2カ月余り経過し道路の復旧が進められていたこと、また、地震以降の雨により斜面崩壊の拡大した箇所もあり、地震による変状そのものを直接観察できない箇所も相当数あったが、査定申請の図面類と現状とを照合しながら震災状況を記載するようにした。

〔2〕 無被害道路の調査

無被害道路の調査は、作業量の関係から地震の影響の大きかった国道135号の河津町浜の河津川に架る橋から北方向に約24kmの区間と主要地方道修善寺～下田線の河津町峠山の逆川トンネル北側坑口より北方向に約18kmの区間とを調査の対象区間とした(図—5・2参照)。

調査地点は、道路に沿ってほぼ200m間隔とし、その際トンネル部分と〔1〕ですでに調査済の被災箇所は調査の対象から除いた。

〔3〕 調査項目

調査に用いた調査カードを表—5・2に示す。調査項目は大別して次の1)～9)項よりなり、各項目ごとに細分した観察事項を選定した。作成例は表—5・3に示す。

- 1) 地震；震央からの距離、地震断層からの距離、地震断層に対するのり面の向き
- 2) 調査のり面の方向(道路の横断形状)
- 3) のり面の方向(のり面の向いている方位)
- 4) 災害の実態；被災位置、災害の種類、崩壊形状
- 5) 周辺地形；地形区分、地山傾斜、流水方向、谷密度、周辺部標高、のり面の位置(山腹斜面の形状)、植生、後背地の利用
- 6) のり面の地質状況；地質、地質構造、地下水・湧

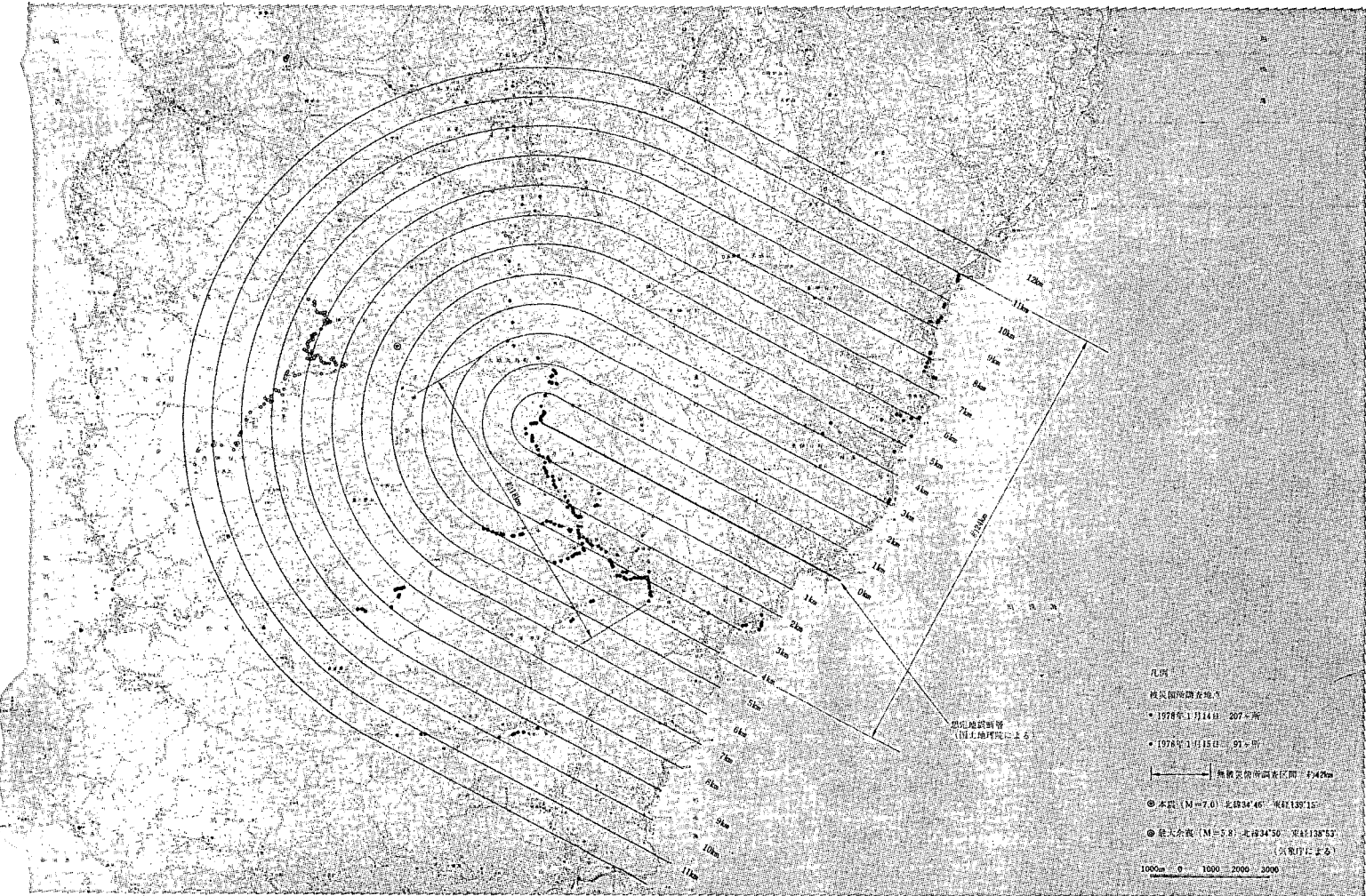
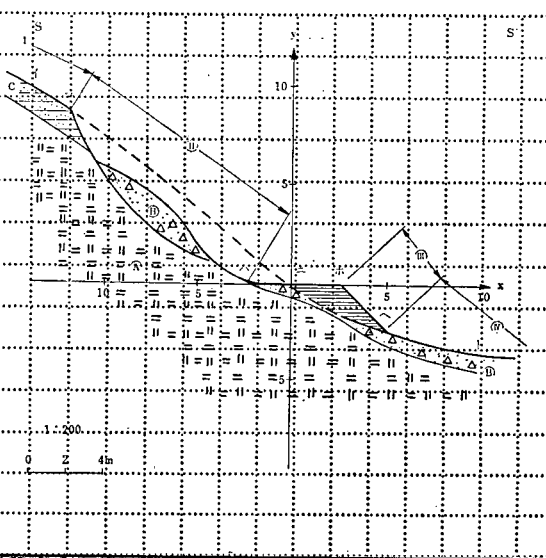
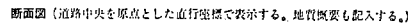


図-5・2 道路およびのり面の被害の調査箇所の分布図

[illegible]

(5)

平面図（地質概要も記入する）

[illegible]

水、災害の程度

- 7) のり面の過去の被害歴
- 8) のり面の保護状況；のり面の幾何構造、保護工、排水処理工、災害の程度
- 9) 災害断面の形状；断面図及び断面の座標表示（地質概要も合わせて表示）

これらのうち 1)地震に関する項目は、地震断層線の位置などが明らかにされた時点で後から記入した。2)調査のり面の種類は、道路の横断形状別の切盛の種類を記載する項目である。3)のり面の方向は、一般に南向きの斜面と北向きの斜面とは植生や地山表層部分の風化劣化の程度が異なること、また、震源や地震断層との方位関係に有意差があるかどうかを調査するという理由で項目として挙げたものである。4)災害の実態では、本震による被災か余震による被害かを区分するために災害日時も記入するようにした。5)周辺地形に関する項目のうち、地形区分、地山傾斜、流水方向、谷密度、周辺部標高は被災箇所の地形的な位置を表示するために設けたものであり、判読には縮尺2.5万分の1の地形図を用いることにした。また、調査地点の特性の観察事項はのり面の位置（山腹斜面の形状）、植生、後背地の利用の3項目とした。6)のり面の地質状況に関する項目は、現地踏査により比較的容易に観察できる事項をできるだけ多く挙げたが、風化劣化の程度、地肌の状態などの地質の強度的な特性の観察は個人差が大きくなるため、ポケット・ペネトロメーターを用いて概略のコーン指数を計測することにした。記載する地質区分ごとに災害の程度を判定するようにし、また、平面図と断面図にも地質概要を記入するようにして、地質の分布状況が調査カードだけで判るようにした。8)のり面の保護の状況に関する項目のうちのり面の幾何構造として、のり勾配、直高、延長幅及び小段幅を計測項目に選び、保護工と排水処理工については種類、形状及び施工位置を記載することにした。また保護工の被害程度を判断して同じ欄に記入するようにした。

記載要領を以下に示す。

1) 地震に関する項目（図—5・3）

のり面の向きは、地震断層線に対するのり面の方位を0～7の数字で表示した。

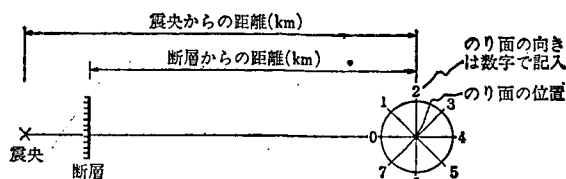
2) 調査のり面の種類

調査地点の断面図により道路の横断形状を次の分類のなかから該当する番号で表示した。

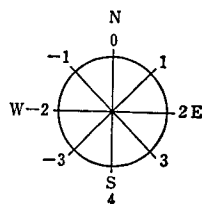
- ①盛土のり面 ②片切片盛のり面 ③片切の切土のり面 ④両切の切土のり面 ⑤自然斜面

3) のり面の方向（図—5・4）

のり面の向いている方位を8方位に区分し数字で表



図—5・3 地震に関する項目



図—5・4 のり面の方位区分

示した。

4) 災害の実態

路面を境にして斜面を路面より上と路面より下とに分け、それぞれについて被害状況を記入した。

(i) 被災位置

崩壊した部分の斜面上の位置あるいは落石の始源部、クラックの生じた位置を次のように区分した。

- ①自然斜面 ②のり全体 ③のり上部
- ④のり中部 ⑤のり下部

これらの区分のうち例えば、自然斜面とのり面上部とが共に崩壊している場合には1と3の数字を併記し、該当するものをすべて記入した。また路面より下では路面に生じたクラック、陥没などの変状はのり上部とした。

(ii) 災害の種類

次の4区分として該当するものをすべて併記した。

- ①災害なし ②落石 ③クラック ④崩壊

(iii) 崩壊形状（図—5・5）

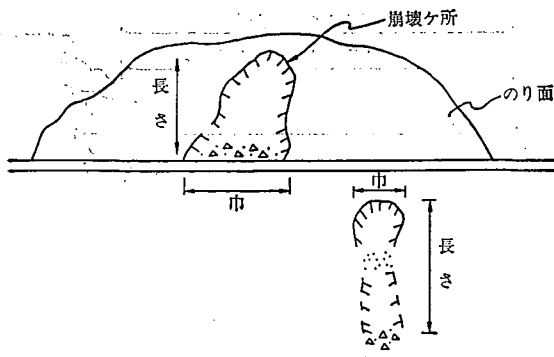
崩壊の幅と長さを図—5・5のようにとり、深さは最大深さとした。

(iv) 崩壊土量

土量は崩壊形状より（長さ）×（幅）×（深さ）× a で推算した。aの値は崩壊タイプと形状に応じて浅い場合で1.0～0.5、深い場合で0.2～0.5とした。いずれにせよ想定域を出ないので、除去土量が不明の場合に限り算定した。

(v) 除去土量

道路の啓開にあたり路上から除去された崩土量であり、災害査定申請書類によった。



図—5・5 崩壊形状

5) 周辺地形

調査地点を中心に 400m 四方の範囲で主として地形図より判読して記入する。

(i) 地形区分

- ①旧地すべり地 ②崖錐地 ③崖 ④段丘地形
⑤丘陵地 ⑥山地 ⑦その他

(ii) 地山傾斜

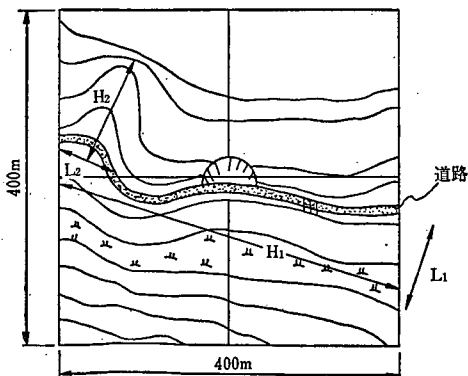
縮尺 2.5 万分の 1 の地形図を用いて 400m 四方内の等高線間隔より最急と最緩傾斜を計測し記入した。

(iii) 流水方向

縮尺 2.5 万分の 1 の地形図を用いて 400m 四方内の主要流路の流下方向を八方位で表示した。

(iv) 谷密度 (図—5・6)

縮尺 2.5 万分の 1 の地形図を用いて 400m 四方内



$$\text{谷密度} = \frac{L_1 \times H_2 + L_2 \times H_2}{400\text{m} \times 400\text{m}} \times 100(\%)$$

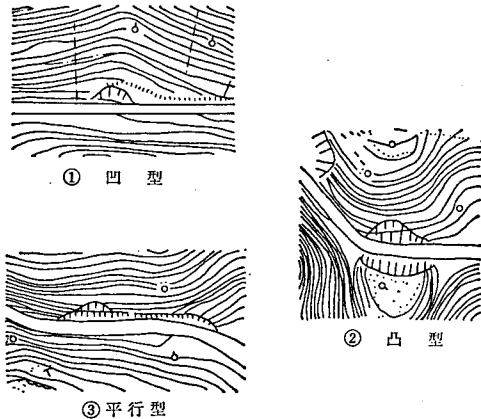
図—5・6 谷密度の算出方法

の川、沢などの谷部の占める面積比率を谷密度として求めた。

(v) のり面の位置 (図—5・7)

調査地点における山腹斜面の横断形状を次の①～⑤に分類した。①～③は急傾斜地について区分であり⑤はこれらの複合型とした。

- ①凹型山腹 ④山裾などの緩傾斜地
②凸型山腹 ⑤複合型山腹
③平行型山腹



図—5・7 山腹斜面の横断形状

(vi) 植生

調査地点周辺の主な植種と繁茂の度合を記入した。繁茂度は密・中・疎の大きな区分とした。

(vii) 後背地の利用

のり面上方の土地利用を次のように区分し、その場合には名称を記入した。

- ①水田 ②宅地 ③果樹園 ④畑 ⑤草地
⑥その他

6) のり面の地質状況

のり面及び調査地点付近に分布する地質について区分ごとに観察、測定した事項を記入する。地層名の区分は静岡県の「地震災害の地学的基礎条件図」によった。

(i) 地質

土質、岩質名、地層名、地質年代、産状を次のように分類した。

a) 土質、岩質名

- ①粘質土 ②砂質土 ③礫質土 ④軟岩 (キレツ多い) ⑤軟岩 (キレツ少ない) ⑥硬岩 (キレツ多い) ⑦硬岩 (キレツ少ない)

b) 地層名 (岩相も記入する)

- ①沖積層 (未固結堅積物) ②洪積層 (未固結堆

積物) ③新期火山岩類(洪積世末～沖積世火山岩類) ④古期火山岩類(洪積世火山岩類) ⑤鮮新世火山岩類 ⑥白浜層群 ⑦湯ヶ島層群

c) 地質年代

①沖積世 ②洪積世 ③新第三紀

d) 産状

①断層破碎帯 ②表土、崩積土 ③火山起源の未固結堆積物 ④その他の未固結堆積物 ⑤堆積岩 ⑥噴出岩 ⑦貫入岩 ⑧その他

土質・岩質名で用いたキレツの多い、少ないの判断は、キレツ間隔50cm程度を区分の目安とした。コーン指数の測定には下記のポケット・ペネトrometerを用いた。

- (1) 先端コーン；円錐角60度，貫入量10mm，周面積約1cm²
- (2) 表示目盛；0～10kg，0.5kg目盛
- (3) 器体寸法・重量；全長約16cm，最大径1.9cm，総重量230g

(iii) 地質構造

層理，節理・割目，断層について走行・傾斜，間隔・開口幅，破碎幅を測定し該当欄に記入した。成層状況および傾斜とのり面との関係は次のように分類した。

a) 成層状況

①風化によって成層状況不明瞭 ②薄層(10cm未満)の互層 ③厚層(10cm以上)の互層 ④薄層と厚層の互層 ⑤塊状の単一層 ⑥攪乱帯 ⑦褶曲 ⑧その他

表土及び崩積土については層厚をイ，ロ，ハで記入する。

①2.0m以上 ②0.5～2.0m ③0.5m未満

b) 傾斜とのり面との関係

①流れ盤 ②受け盤 ③交差盤

(iii) 地下水・湧水

次のように分類し，記載した地質ごとに記入した。

①湧水がある ②表面水がある ③湿っている ④乾燥している

(iv) 災害の程度

次のように区分し，記載した地質ごとに記入した。

①被害なし ②落石 ③クラシックおよび剝離程度 ④表層の肌落ちおよび一部崩壊 ⑤表層および浅い崩壊 ⑥深い位置での崩壊

7) のり面の過去の被害歴

過去の地震ないし降雨による被害の形態を記入する。

8) のり面の保護状況

斜面の傾斜変換点でのり面を区分し各区分ごとに幾何構造，保護工，排水処理工及び保護工の被害程度を記入する。

(i) のり面の幾何構造

自然斜面も含めたのり面の勾配(傾斜)，直高，延長幅及び小段幅を計測し，斜面の区分ごとに記入した。また断面図に(I)，(II)，(III)……のように斜面の区分を表示した。

(ii) 保護工

傾斜により区分したのり面の保護工の種類を次のように分類し，該当するものをすべて同一欄に併記した。

①無保護 ②全面植生 ③部分植生 ④編柵 ⑤落石防護ネット ⑥落石防護柵 ⑦フトンカゴ・蛇カゴ ⑧モルタル吹付 ⑨コンクリート吹付 ⑩カラ石積(ブロック積) ⑪ネリ石積(ブロック積) ⑫コンクリート枠 ⑬場所打コンクリート枠 ⑭コンクリート張り ⑮枠組擁壁 ⑯コンクリート擁壁

自然斜面の場合も同様とし，裸地または植林のない場合は無保護とした。

(iii) 排水処理工

a) 表面排水工の種類

①無処理 ②のり肩排水 ③小段排水 ④のり尻排水

b) 表面排水工の形状

①U字溝 ②ソイルセメント ③素掘溝

c) 地下排水工の種類

①盲排水工 ②暗渠(パイプ) ③蛇カゴ ④水平水抜ボーリング

(iv) 災害の程度

①被害なし ②クラックが入る ③一部崩壊 ④崩壊著しい ⑤完全崩壊，倒壊

9) 災害断面の形状

災害断面図は，査定申請書類の付属図面を参考にし，現地で作成した。盛切以前の元地層，現在地形および被災地形をそれぞれ道路中央を原点とした直交座標で表示し，災害様式も記入した。

なお平面図は査定申請書類付属の被災平面図を用い，地質概要を記入した。

3. 道路被害の調査結果

〔1〕解析方法

2. で述べた調査方法によって得られたデータをもとに，単純集計および統計解析をおこなった。このうち単

純集計は調査地点の分布、選定方法等を考慮せず、単純に集計しているため、データの分布を表現しているものの被害の発生確率を表現しているものではない。よってここでは統計解析の結果について述べることにする。なお単純集計結果については参考文献1.を参照されたい。

道路被害の発生の有無を予測するためのデータを作成するために、被災斜面と無被害斜面について同一の範囲のデータを解析の対象とした。データの範囲は無被害斜面の調査範囲である国道135号約24kmと主要地方道修善寺～下田線の約18kmの区間である。調査された斜面を、道路を中心に左右おのおの独立の斜面とし、被災斜面または無被害斜面のサンプルとした。したがって調査地点数は表-5・4に示すとおり291箇所であるのに対して、道路の左右とも平坦地あるいは片側だけが平坦地である箇所を除いて、サンプル斜面の総数は505箇所である。

表-5・4 サンプル斜面数一覧

項目 区分	① 調査地点数 箇所	② サンプル斜面数 ②=③+④箇所	③ 被災斜面数 箇所	④ 無被害斜面 箇所
被災道路	100	191	143(90)	48
無被害道路	191	314	—	314
合 計	291	505	143(90)	362

解析は、調査項目のなかから被害の発生に関連する要因を選択し、数量化Ⅱ類を用いて、各要因の被害に対する寄与の程度を求めた。

まず同一の道路区間について調査カードを整理し、道路斜面を被災グループと無被害グループとの二つのサンプルグループに分類した。次に両グループについてそれぞれ調査項目の単純集計を行って、分布度数に偏りがないように調査項目の区分をまとめた。またクロス集計を行って項目間の大まかな相関を調べ、互に関連する調査項目はまとめるか棄却した他、調査項目以外のデータもカードから読み込んで解析に用いる項目に加えた。

次に被災の有無に対する各要因の有意性の検定及び要因相互の独立性の検定を行って、数量化分析に用いるアイテムおよびカテゴリーを選択した。

〔2〕 要因の選択と検定

(1) 要因の選択

調査カードに記入された項目を表-5・5のアイテム別カテゴリー表のように整理した。この表のうち、被害に直接関与しない路線名、斜面の区分及び斜面の位置は数量化分析の説明変数から除外した。残りのアイテムについてカテゴリー区分の基準は以下のとおりである。

① 斜面の種類；調査項目にある斜面の種類の区分に準じ、分類した。

② 後背斜面の形態；調査項目にはないが、のり面の後背地の形態をとり上げるために調査カードより読み込んだ。分類は、のり面が上方または下方で自然斜面に続く斜面が連続している場合、比較的広い平坦地がある場合及びそれらの中間的なものの3つのカテゴリーとした。

③ 斜面の位置する山腹の形状；調査項目ののり面の位置の区分にしたがい、左右の斜面ごとに調査カードより読み込んだ。

④ 斜面の向き；調査項目の記載要領に準じ、八方位に区分した。

⑤ 人工斜面の直高；直高が高くなるにしたがい箇所数が少なくなるため、直高の高い方の区分をあらかじめ5つのカテゴリーとした。

⑥ 斜面の最急勾配；40°以下と70°を越える箇所が少ないためこの範囲でカテゴリーを5つに区分した。

⑦ 斜面の保護状況；保護工の種類及び保護程度の度合により5つのカテゴリーに区分した。

⑧ 土砂の種類と厚さ；斜面上に分布する表土、崖錐、泥石流などの土砂のうち粘質のもの箇所数が少ないため、粘質とも合わせ土砂の厚さにより7つのカテゴリーに区分した。

⑨ 表層の岩質；土砂斜面、盛土斜面及岩斜面のすべての場合に適合するようにカテゴリー区分した。

⑩ 地震断層線からの距離；サンプル斜面の分布範囲は0～11kmであり、これを2kmごとに区分し6カテゴリーとした。

⑪ 地震の強度；サンプル斜面は強震及び烈震地域に位置しており、強震地域と烈震地域の2つのカテゴリーに区分した。

被害グループと無被害グループおのこのカテゴリー別度数を図-5・8に示す。

アイテム・カテゴリー別頻度分布で、被災グループと無被害グループとの差がみられるのは、路線名、後背斜面の形態、人工斜面の直高、土砂の種類と厚さであり、残りのアイテムでは大差がない。

表-5・5 アイテム別カテゴリー表

アイテム \ カテゴリー	1	2	3	4	5	6	7	8
1. 路 線 名	135 号 線	修善寺下田線						
2. 斜 面 の 区 分	道路の左側 (山地側)	道路の右側 (低地側)						
3. 斜 面 の 位 置	路面より上	路面より下						
4. 斜 面 の 種 類	両盛, 片盛などの 盛土斜面	片切片盛の 盛土斜面	片切片盛の 切土斜面	片切の初土斜面	片切道路下 の切土斜面	両切の切土斜面	自然斜面	
5. 後背斜面の形態	自然斜面	宅地などの 平地	道路, 尾根その 他の帯状の平坦 地					
6. 斜面の位置する山腹の形状	急傾斜地型 凹(凹地, 谷筋)	急傾斜地型 凸(尾根筋)		急傾斜地型 平行(等高線が平行)	緩傾斜地 (周辺部の地山の 平均傾斜が20° 未満)			
7. 斜 面 の 向 き	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
8. 人 工 斜 面 の 直 高	0 m(自然斜面)	5 m以下	5 mを越え 10 m以下	10 mを越え 20 m以下	20 mを越え 60 m以下			
9. 斜 面 の 最 急 勾 配	40°以下	40°を越え 50°以下	50°を越え 60°以下	60°を越え 70°以下	70°を越え90°以下 (オーバーハ ングを含む)			
10. 斜 面 の 保 護 状 況	無 保 護 植 ネット, 柵 (自然斜面を含む)	人工斜面の一部 に保護工がある	モルタル・コン クリートの吹付 工(人工斜面の 全面にある)	積工, 枠工など (人工斜面の全面 にある)	擁壁, 2種類以 上の保護工が人 工斜面の全面に ある			
11. 土砂の種別と厚さ (表土, 崖錐, 泥流など)	土 砂 な し	粘質または砂質 で厚さが 0.5 m未満	粘質または砂質 で厚さが 0.5~2 m	粘質または砂質 で厚さが 2 m以上	礫質で厚さが 0.5 m未満	礫質で厚さが 0.5~2 m	礫質で厚さが 2 m以上	
12. 表 層 の 岩 質	土 砂	盛土ないしは 土砂と盛土	軟 (キレツ多い) 岩	軟 (キレツ少ない) 岩	硬 (キレツ多い) 岩	硬 (キレツ少ない) 岩	軟岩と硬岩 の複合	
13. 地震断層線からの距離	2 km 以下	2 kmを越える 4 km以下	4 kmを越え 6 km以下	6 kmを越え 8 km以下	8 kmを越え 10 km以下	10 kmを越え 11 km以下		
14. 地 震 の 強 度	強 震 (V)	烈 震 (VI)						

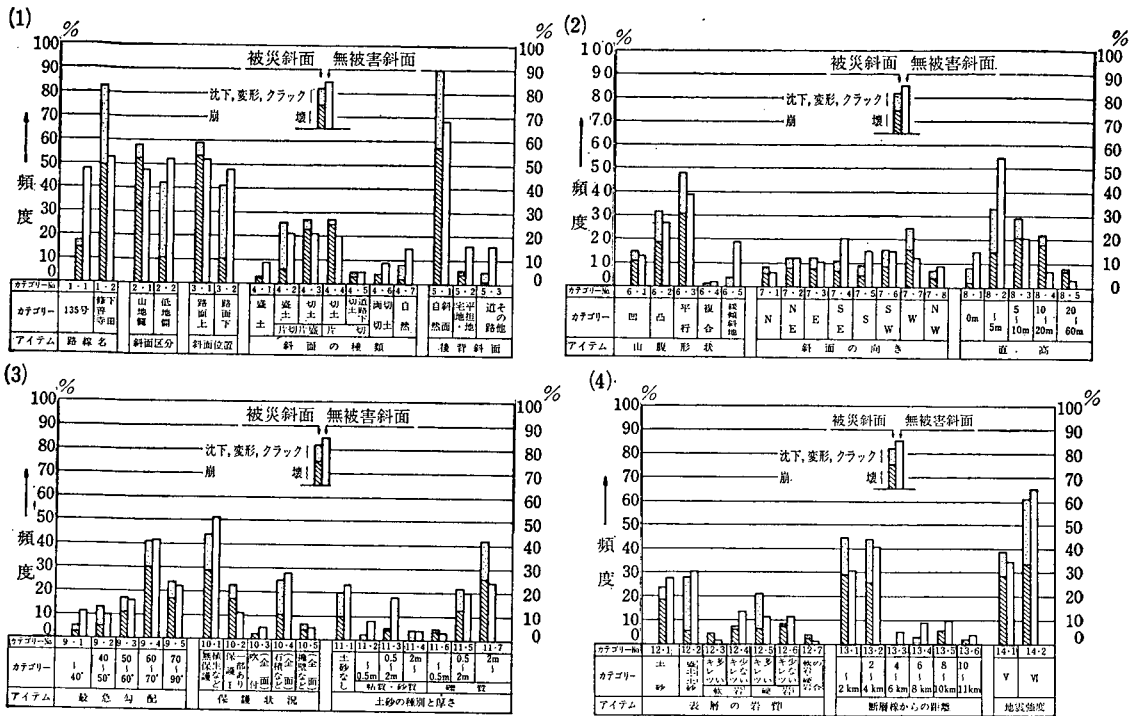


図-5・8 (1), (2), (3), (4), アイテム・カテゴリー別頻度分布

(2) 要因の検定

まず、表-5・5のNo 4～No14のアイテムについて、被災の有無の説明変数となりうるかを判定するため、分割表の独立性の検定に準じて各アイテムと被災の有無の独立性をカイニ乗値を求めることによって判定した。すなわち各アイテムと被災の有無が独立なものは、説明変数として有意でないと判定した。その結果を表-5・6に示す。検定の結果、最急勾配と地震の強度のアイテムは5%の有意水準を下回り、説明変数として採用するのは不適当と考えられる。そこで地震動の強弱を表わすアイテムとしては、地震断層線からの距離だけを採用することにした。

次にアイテムカテゴリーのクロス集計に基づき、No 4～No13の各アイテムについて上記の分割表の独立性の検定の方法によってアイテム相互の独立性の検定を行った。その結果を表-5・7に示す。検定の結果、他のアイテムのいずれに対しても独立のアイテムはなかった。したがって説明変数としては、若干独立性の十分でないアイテムも採用せざるをえなかった。これらのアイテムの

表-5・6 被災要因の説明変数としての有意性の検定

アイテム	χ^2 値	自由度	$\chi^2(0.05)$	$\chi^2 \chi^2(0.05)$	※判定	順位
4. 斜面の種類	16.98	6	12.59	1.3	○	8
5. 後背斜面の形態	24.83	2	5.99	4.1	○	2
6. 山腹形状	18.58	4	9.49	2.0	○	4
7. 斜面の向き	20.86	7	14.07	1.5	○	7
8. 人工斜面の直高	43.96	4	9.49	4.6	○	1
9. 最急勾配	5.61	4	9.49	0.6	×	—
10. 保護状況	12.26	4	9.49	1.3	○	8
11. 土砂の種類と厚さ	29.92	6	12.59	2.4	○	6
12. 表層の層質	20.26	6	12.59	1.6	○	6
13. 地震断層線からの距離	20.65	5	11.07	1.9	○	5
14. 地震の強度	0.86	1	3.84	0.2	×	—

※判定：○は有意性ありを示し、×は有意性なし（ただし有意水準5%による）

うち、斜面の種類は他のほとんどのアイテムとの間で1%の有意水準で独立でないと判断されたため、解析要因から除いて、サンプルを切土斜面と盛土斜面とに分けて別々に解析を行うことにした。また、最急勾配は被災の有無に対する説明変数としての有意性は低いが、他のアイテムとの独立性が比較的良好いので解析要因として残すことにした。

表-5・7 アイテム相互の独立性の検定

※相互に独立と判定されるアイテム

アイテム アイテム番号	4 斜面の種類 X^2 (自由度) A	5 後背斜面の形態 X^2 (自由度) A	6 山腹形状 X^2 (自由度) A	7 斜面の向き X^2 (自由度) A	8 人工斜面の直高 X^2 (自由度) A	9 最急勾配 X^2 (自由度) A	10 保護状況 X^2 (自由度) A	11 土砂の厚別 X^2 (自由度) A	12 表層の岩質 X^2 (自由度) A	13 地震断層線 からの距離 X^2 (自由度) A
4		188 (12) 7.2	174 (24) 4.0	52.0(42) 0.8*	622 (24) 14	247 (24) 5.7	235 (24) 5.5	137 (36) 2.3	677 (36) 12	80.3(30) 1.6
5			204 (8) 10	35.9(14) 1.2	44.6(8) 2.2	10.4(8) 0.5*	20.5(8) 1.0	60.7(12) 2.3	44.1(12) 1.7	23.6(10) 1.0
6				49.4(28) 1.0	69.0(16) 2.2	18.3(16) 0.6*	47.2(16) 1.5	82.4(24) 1.9	88.1(24) 2.0	69.6(20) 1.9
7					39.4(28) 0.8*	19.8(28) 0.4*	50.8(28) 1.1	91.8(42) 1.4	54.2(42) 0.8*	151 (35) 2.6
8						221 (16) 6.9	237 (16) 7.4	38.3(24) 0.9*	246 (24) 5.7	53.3(20) 1.4
9							147 (16) 4.6	19.5(24) 0.6*	89.6(24) 2.1	30.8(20) 0.8*
10								58.5(24) 1.4	191 (24) 4.4	49.0(20) 1.3
11									211 (36) 3.6	115 (30) 2.3
12										80.4(30) 1.6
13										

$A = X^2 / X^2(0.01)$; 1.0>Aならば有意水準1%で相互のアイテムは独立。
自由度=(アイテムiのカテゴリ数-1)×(アイテムjのカテゴリ数-1)

〔3〕 数量化Ⅱ類による解析結果

切土斜面及び盛土斜面の解析結果を表一・5・8及び表一・5・9にそれぞれ示す。ただし盛土斜面については、表層の岩質のアイテムは除いて解析した。偏相関係数の大きさの順位は、切土斜面では、高い順に土砂の種別と厚さ、直高、表層の岩質、保護状況である。盛土斜面では、高い順に後背斜面の形態、土砂の種別と厚さ、山腹斜面の形状、斜面の向きである。

斜面別の判別得点頻度分布及び累積頻度分布を図一・5・9に示す。切土斜面及び盛土斜面の被災の適中率はそれぞれ78%及び85%であり、盛土斜面の方がやや高くなっている。

なお、ここで用いた適中率について少し説明を加える。図一・5・9に示した境界値とは、被災および無被害グループの累積頻度曲線の交点の得点値である。この境界値によって適中率が算定される。盛土斜面の被災グループを例にとって説明を進める。適中率85%とは、被災グループの中で危険側（得点が境界値以下）と判定された斜面が85%を占めていることを示している。つまり、適中率は、以下の式で定義される。

$$\text{適中率} = \frac{\text{被災(無被害)グループの中で境界値以下(以上)に判定されたサンプル数}}{\text{被災(無被害)グループのサンプル全数}} \times 100\%$$

〔4〕 被災率の解析

これまで述べてきた解析では、個々ののり面、斜面

をとり出して、これが被害を受けたか否かを、地形、地質、道路の形状等の要因で説明しようとしている。一方実際の被災箇所をみると、ほぼ同じような要因の条件でありながら、被害を受けている場合と受けていない場合がある。これは解析でとりあげた以外の要因の差に起因しているものと思われるが、現在得られる資料からはこれを明らかにすることはできない。そこで被害を表わす指標として道路の延長当りの被災率を定義し、これと数量化解析で用いた各要因との関係を求めることによって、各要因ごとの被災率を推定することにした。

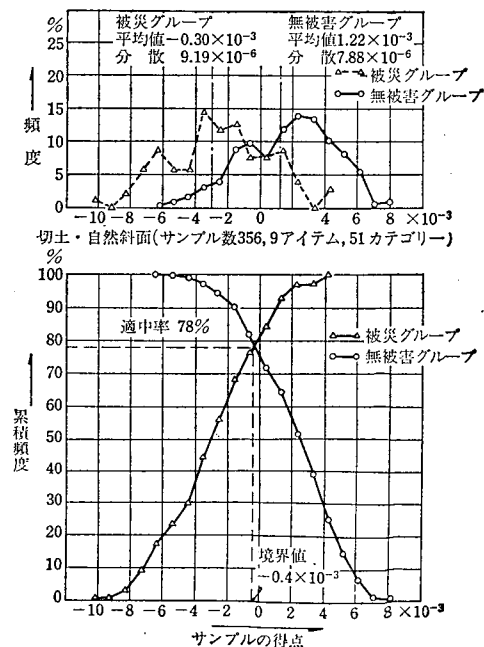
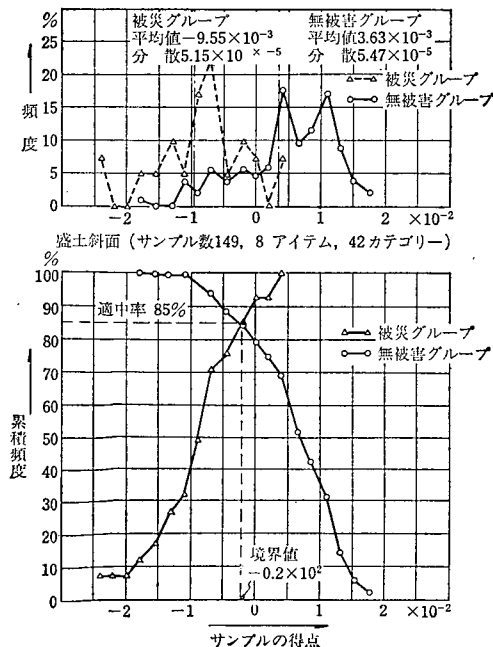
被災率の解析の対象とした道路は、無被害斜面の調査範囲である一般国道135号24kmと主要地方道修善寺～下田線18kmの区間である。この区間を無被害斜面の調査の要領と同様に200mごとに区切り、200mごとの地点に対応する斜面をサンプル斜面とし、これが被災斜面か無被害斜面であるかによって分類した。

$$\text{被災率} = \frac{\text{被災斜面のサンプル数}}{\text{サンプル斜面の総数}} \times 100(\%)$$

この調査では、被災斜面のサンプル数は30箇所であり無被害斜面は296箇所であるから

$$\text{被災率} = \frac{30}{30+296} \times 100 = 9.2(\%)$$

この被災率の値より、被災斜面の調査斜面数とサンプル数とを対比させ、比例計算により無被害斜面の仮のサンプル数を求め補正したサンプル斜面数とする。即ち、調査斜面のうち被災斜面数143より



図一・5・9 判別得点分布と累積頻度

表-5・8 アイテム・カテゴリー別得点 (切土及び自然斜面)

(サンプル数356, 9アイテム, 51カテゴリー)

アイテム	カテゴリー No	カテゴリー	得点 ×10 ⁻³	偏相関係数 (レンジ)	効果 順位	カテゴリー得点のグラフ										
後背斜面	5-1	自然斜面	-0.24	0.109 (1.78×10 ⁻³)	7											
	5-2	宅地・平地	0.01													
	5-3	道路その他	1.55													
山腹形状	6-1	凹	-0.76	0.161 (3.37×10 ⁻³)	5											
	6-2	凸	-0.16													
	6-3	平行	-0.29													
	6-4	複合	0.22													
	6-5	緩傾斜地	2.61													
斜面の向き	7-1	N	-1.20	0.153 (2.98×10 ⁻³)	6											
	7-2	NE	0.38													
	7-3	E	-0.47													
	7-4	SE	0.09													
	7-5	S	1.78													
	7-6	SW	-0.37													
	7-7	W	-0.74													
人工斜面 の直高	8-1	0m(自然斜面)	1.97	0.299 (5.33×10 ⁻³)	2											
	8-2	～5m	1.23													
	8-3	5～10m	-0.42													
	8-4	10～20m	-3.30													
	8-5	20～60m	-3.35													
斜面の 最急勾配	9-1	～40°	-0.56	0.108 (2.01×10 ⁻³)	8											
	9-2	40～50°	-1.60													
	9-3	50～60°	0.18													
	9-4	60～70°	0.41													
	9-5	70～90°	0.15													
保護状況	10-1	無保護・植生など	0.11	0.200 (5.16×10 ⁻³)	4											
	10-2	構造物一部あり	-1.32													
	10-3	吹付(全面)	3.84													
	10-4	石積など(全面)	-0.53													
	10-5	擁壁など(全面)	0.49													
土砂の種別 と厚さ	11-1	土砂なし	0.73	0.319 (4.89×10 ⁻³)	1											
	11-2	粘質	～0.5m													2.55
	11-3	砂質	0.5～2m													2.50
	11-4	砂質	2m～													0.35
	11-5	礫質	～0.5m													-0.56
	11-6	礫質	0.5～2m													-0.16
	11-7	礫質	2m～													-2.34
表層の岩質	12-1	土砂	0.49	0.229 (7.99×10 ⁻³)	3											
	12-2	盛土・土砂	3.37													
	12-3	軟岩	キレツ多い													-1.91
	12-4	軟岩	キレツ少ない													-0.28
	12-5	硬岩	キレツ多い													-1.07
	12-6	硬岩	キレツ少ない													1.63
	12-7	軟岩・硬岩・複合	-4.62													
地震断層線 からの距離	13-1	0～2km	-0.42	0.096 (2.37×10 ⁻³)	9											
	13-2	2～4km	0.08													
	13-3	4～6km	1.95													
	13-4	6～8km	0.88													
	13-5	8～10km	-0.17													
	13-6	10～11km	-0.19													
						-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	×10 ⁻³	

表-5・9 アイテム・カテゴリー別得点 (盛土斜面)

(サンプル数149, 8アイテム, 42カテゴリー)

アイテム	カテゴリー No.	カテゴリー	得点 $\times 10^{-3}$	偏相関係数 (レンジ)	効果 順位	カテゴリー得点のグラフ										
後背斜面	5-1	自然斜面	-3.97	0.383 (1.37×10^{-2})	1											
	5-2	宅地・平地	4.55													
	5-3	道路その他	9.77													
山腹形状	6-1	凹	2.30	0.301 (1.12×10^{-2})	3											
	6-2	凸	-8.95													
	6-3	平行	1.99													
	6-4	複合	-3.28													
	6-5	緩傾斜地	0.33													
斜面の向き	7-1	N	-0.01	0.252 (0.96×10^{-2})	4											
	7-2	NE	-5.20													
	7-3	E	-0.19													
	7-4	SE	4.43													
	7-5	S	1.54													
	7-6	SW	1.29													
	7-7	W	-3.40													
	7-8	NW	-3.09													
人工斜面 の直高	8-2	～5m	1.20	0.232 (1.68×10^{-2})	7											
	8-3	5～10m	-4.45													
	8-4	10～20m	-13.02													
	8-5	20～60m	3.80													
斜面の 最急勾配	9-1	～40°	1.44	0.248 (1.24×10^{-2})	5											
	9-2	40～50°	-8.35													
	9-3	50～60°	-3.09													
	9-4	60～70°	0.31													
	9-5	70～90°	4.10													
保護状況	10-1	無保護・植生など	4.78	0.231 (1.13×10^{-2})	8											
	10-2	構造物一部あり	-6.52													
	10-4	石積など(全面)	-1.13													
	10-5	擁壁など(全面)	-0.85													
土砂の種類 と厚さ	11-1	土砂なし	-2.59	0.304 (1.48×10^{-2})	2											
	11-2	粘質 砂質	～0.5m													
	11-3		0.5～2m													
	11-4		2m～													
	11-5	礫質	～0.5m													
	11-6		0.5～2m													
	11-7		2m～													
地震断層線 からの距離	13-1	0～2km	0.51	0.247 (1.10×10^{-2})	6											
	13-2	2～4km	-1.90													
	13-3	4～6km	6.24													
	13-4	6～8km	-2.66													
	13-5	8～10km	8.34													
	13-6	10～11km	2.01													
						-12 -8 -4 0 4 8 12×10^{-3}										

表—5・10 道路延長に対する被災率

() 内に崩壊斜面についての値

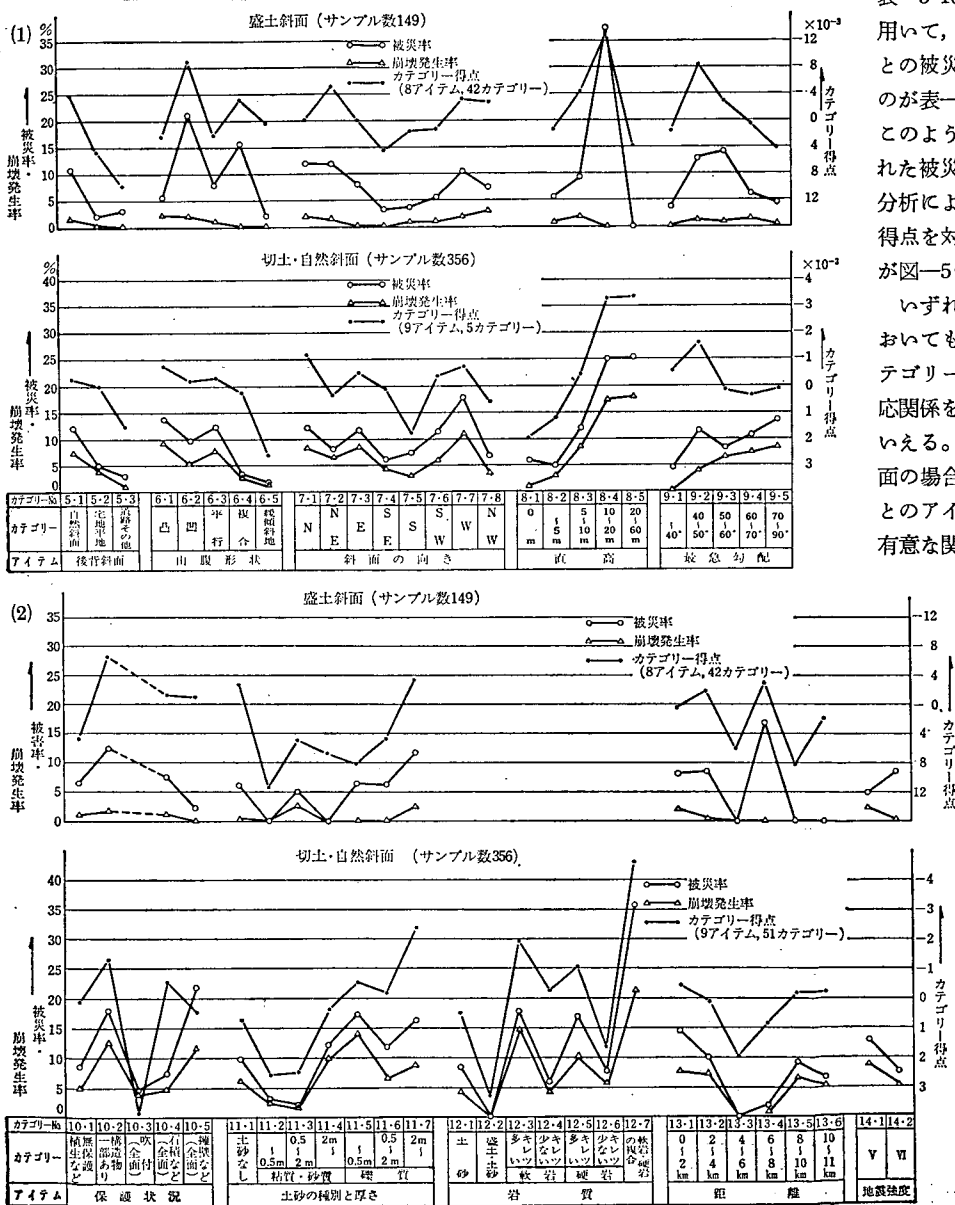
	種 類	200mごとの斜面		調 査 斜面数	補正した 斜面数	補正係数
		斜面数	被災率			
サンプル全体	被災斜面	30 (15)	9.2%	143 (90)	143 (90)	—
	無被害斜面	296		362	1,411 (1,866)	3.9 (4.5)
盛土斜面 のサンプル	被災斜面	7 (1)	7.1%	41 (8)	41 (8)	—
	無被害斜面	91		108	536 (776)	5.0 (5.5)
切土・自然斜面 のサンプル	被災斜面	23 (14)	10.1%	102 (82)	102 (82)	—
	無被害斜面	205		254	908 (1,253)	3.6 (4.6)

$$\frac{143}{143 + \text{補正した斜面数}} \times 100 = 9.21$$

補正した斜面数と無被害斜面のサンプル数との比をとり補正係数とした。崩壊発生率についても同様の計算方法により求め、それらの結果を表—5・10に示す。被災率は調査対象区の路線区間全体での道路延長に対する被災延長の割合を示すものであり、崩壊発生率は、区間沿いの斜面の総数に対する崩壊発生斜面数の割合を示すものである。

表—5・10の補正係数を用いて、各アイテムごとの被災率を推定したのが表—5・11である。このようにして求められた被災率と、数量化分析によるカルゴリー得点を対比させたものが図—5・10である。

いずれのアイテムにおいても、被災率とカテゴリ得点はよい対応関係を示しているといえる。切土、自然斜面の場合カテゴリごとのアイテムと被災に有意な関係があるもの



図—5・10 被災率と数量化分析によるカテゴリ得点(1)(2)

表-5・11 斜面の種類別の被災率

ア イ テ ム	カ テ ゴ リ ー No.	盛 土 斜 面					切 土 ・ 自 然 斜 面				
		被 災 (崩壊)	無被害	計	被災率 %	崩壊発 生率%	被 災 (崩壊)	無被害	計	被災率 %	崩壊発 生率%
1. 路 線 名	1-1	2(0)	49	51	0.8	0	23(20)	123	146	4.9	3.3
	1-2	39(8)	59	98	11.7	1.6	79(62)	131	210	14.3	8.3
2. 斜面の区分	2-1	0	10	10	0	0	83(75)	162	245	12.5	8.8
	2-2	41(8)	98	139	7.7	1.1	19(7)	92	111	5.4	1.4
3. 斜面の位置	3-1	0	8	8	0	0	84(76)	181	265	11.4	8.0
	3-2	41(8)	100	141	7.6	1.1	18(6)	73	91	6.4	1.5
5. 後背斜面	5-1	35(7)	58	93	10.8	1.5	93(75)	188	281	12.1	7.3
	5-2	3(1)	31	34	1.9	0.5	5(5)	27	32	4.9	3.9
	5-3	3(0)	19	22	3.1	0	4(2)	39	43	2.8	1.0
6. 山腹の形状	6-1	6(3)	21	27	5.4	2.2	15(13)	26	41	13.8	9.2
	6-2	12(2)	9	21	21.1	1.9	34(25)	88	122	9.7	5.3
	6-3	18(3)	42	60	7.9	0.9	50(41)	99	149	12.3	7.6
	6-4	1(0)	1	2	16.7	0	1(1)	8	9	3.4	2.6
	6-5	4(0)	35	39	2.2	0	2(2)	33	35	1.7	1.3
7. 斜面の向き	7-1	4(1)	6	10	11.8	2.0	8(7)	16	24	12.2	8.2
	7-2	6(1)	9	15	11.8	1.3	11(11)	35	46	8.0	6.4
	7-3	4(0)	9	13	8.2	0	14(12)	29	43	11.8	8.4
	7-4	4(0)	25	29	3.1	0	11(10)	49	60	5.9	4.2
	7-5	4(1)	21	25	3.7	0.8	9(5)	32	41	7.2	2.9
	7-6	5(1)	17	22	5.6	0.9	17(12)	37	54	11.3	5.8
	7-7	10(2)	11	21	15.4	1.9	26(21)	33	59	18.0	10.7
	7-8	4(2)	10	14	7.4	2.9	6(4)	23	29	6.8	3.4
8. 人工斜面の直高	8-1	—	—	—	—	—	12(3)	54	66	5.8	1.0
	8-2	28(6)	94	122	5.6	0.9	19(15)	104	123	4.8	2.9
	8-3	10(2)	12	22	14.3	1.8	31(28)	63	94	12.0	8.4
	8-4	3(0)	1	4	37.5	0	29(26)	24	53	25.1	17.3
	8-5	0	1	1	0	0	11(10)	9	20	25.3	17.9
9. 最急勾配	9-1	2(0)	10	12	3.8	0	5(0)	30	35	4.4	0
	9-2	6(1)	8	14	13.0	1.4	12(6)	26	38	11.4	3.9
	9-3	10(1)	12	22	14.3	0.9	15(15)	47	62	8.1	6.5
	9-4	16(5)	49	65	6.1	1.5	42(38)	101	143	10.4	7.3
	9-5	7(1)	29	36	4.6	0.5	28(23)	50	78	13.5	8.3
10. 保護状況	10-1	10(2)	29	39	6.5	1.0	53(40)	156	209	8.6	4.9
	10-2	5(1)	7	12	12.5	1.6	27(24)	34	61	18.1	12.4
	10-3	—	—	—	—	—	3(3)	17	20	4.7	3.7
	10-4	25(5)	63	88	7.4	1.1	11(9)	39	50	7.3	4.6
	10-5	1(0)	9	10	2.2	0	8(6)	8	16	21.7	11.5
11. 土砂の種類と厚さ	11-1	13(1)	41	54	6.0	0.3	16(13)	42	58	9.6	5.9
	11-2	0	2	2	0	0	3(3)	25	28	3.2	2.5
	11-3	3(2)	12	15	4.8	2.7	4(4)	54	58	2.0	1.6
	11-4	0	2	2	0	0	6(6)	12	18	12.2	9.8
	11-5	1(0)	3	4	6.3	0	6(6)	8	14	17.2	14.0
	11-6	7(0)	22	29	6.0	0	24(18)	51	75	11.6	6.4
	11-7	17(5)	26	43	11.6	2.3	43(32)	62	105	16.2	8.7
12. 表層の岩質	12-1	—	—	—	—	—	34(23)	103	137	8.4	4.2
	12-2	—	—	—	—	—	0	3	3	0	0
	12-3	—	—	—	—	—	7(7)	9	16	17.8	14.5
	12-4	—	—	—	—	—	11(10)	50	61	5.8	4.1
	12-5	—	—	—	—	—	31(25)	43	74	16.7	10.0
	12-6	—	—	—	—	—	13(12)	43	56	7.7	5.6
	12-7	—	—	—	—	—	6(5)	3	9	35.7	21.4
13. 地震断層線からの距離	13-1	14(5)	32	46	8.0	2.2	50(36)	81	131	14.6	7.6
	13-2	25(3)	54	79	8.5	0.7	38(34)	94	132	10.1	7.0
	13-3	0	5	5	0	0	0	12	12	0	0
	13-4	2(0)	2	4	16.7	0	2(1)	31	33	1.8	0.7
	13-5	0	12	12	0	0	9(8)	24	33	9.4	6.5
	13-6	0	3	3	0	0	3(3)	12	15	6.5	5.2
14. 地震強度	14-1	10(6)	40	50	4.8	2.4	46(36)	86	132	12.9	7.5
	14-2	31(2)	68	99	8.4	0.4	56(46)	168	224	8.5	5.3

については、カテゴリー得点の正負の境界は被災率がほぼ10%に対応している。

〔5〕 解析結果のまとめ

これまでに述べた解析結果から、今回の地震による道路のり面および沿道の自然斜面の被害と、震災要因の関係をとりまとめるとつぎようになる。

〔地形・地質および道路施設〕

i) 斜面およびり面の規模および形状

傾度が 40° 以下もしくは高さ10m以下の斜面およびり面の崩壊は少ない。また地形が凹か凸かによって崩壊箇所数に明らかな差はなかった。

ii) 斜面およびり面の岩質および土質

悪い土質の厚さが2m以上のところに崩壊が多くみられた。

iii) のり面の保護工

保護工としてコンクリートまたはモルタル吹き付けがなされているところではほとんど崩壊が生じなかった。

iv) 斜面およびり面の向き

斜面およびり面の向きによる崩壊箇所数の差はみられなかった。

〔地震動〕

v) 震度

震度4以下ではほとんど崩壊は起こらなかった。

vi) 断層からの距離

断層からの距離が20km以上ではほとんど崩壊は起こらなかった。

〔被災状況〕

vii) 被災の規模

一地点における最大の崩壊土量は河津町梨本において $28,000\text{m}^3$ であった。道路より上方からの崩壊箇所の91%の崩壊土量は 500m^3 以下であった。崩壊土量の頻度分布はつぎのとおりである。 5m^3 以下: 12%, $5\sim 10\text{m}^3$: 12%, $10\sim 50\text{m}^3$: 16%, $100\sim 500$: 25%, 100m^3 以上: 9%, 計100%

viii) 崩壊地点の斜面上の位置

自然斜面、切土斜面、両者の複合斜面の崩壊箇所の順で崩壊箇所数が多い。盛土斜面の崩壊箇所数は少ない。

ix) すべり等の形態

表面付近の浅いすべりが多くみられた。

以上の各要因は相互に関係しあっているものもあるので、各々独立に論じることができないが、わかりやすくするために簡単に記述した。したがって、今回の地震による伊豆半島における災害から得られた要因分析の結果を他に転用するときには地形・地質・道路の構造等の類

似点あるいは相違点を吟味し、適用することが必要である。

4. 代表的な被災斜面の地盤調査結果

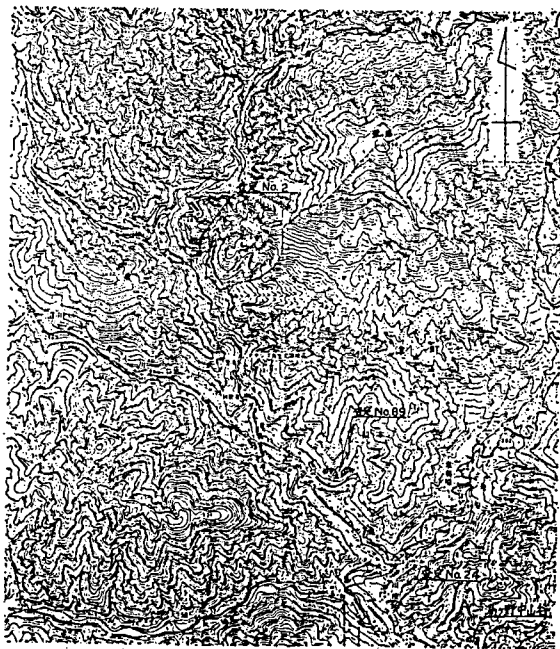
〔1〕 概説

現地調査では主に外面から崩壊斜面の特徴を調べたが、これと並行して、斜面の地盤調査も実施した。今後地震時の斜面安定を室内実験あるいは理論的解析を行う際、斜面の的確なモデル化が必要となるが、これらの地盤調査の資料は、その時の基礎資料となろう。崩壊斜面の近傍に断層があり、そのうちあるものは活断層とも言われているがこれについては、今後の調査、検討を待ちたい。

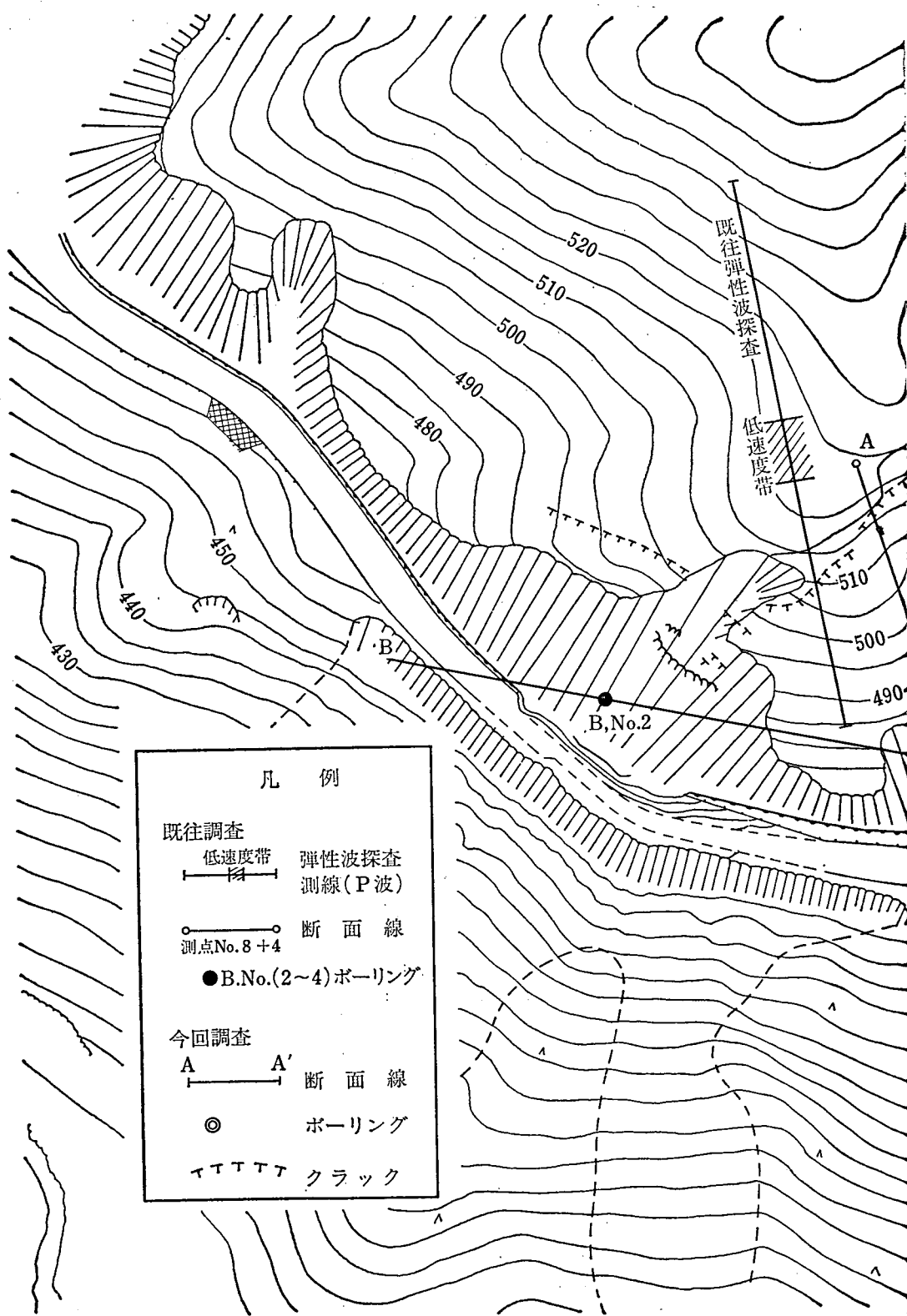
〔2〕 地盤調査の方法

地盤調査は、調査結果を現地復旧工事にも役立てるため、主要地方道修善寺～下田線で崩壊箇所を選定し、このルート内で、崩壊の頻度の高かったタイプの斜面と工事の重要度の高いタイプを対象とすることにした。この方針に沿って、主要地方道修善寺～下田線に沿って、図—5・11に示す4地点を調査地点に選び、表—5・12に示す内容の調査を行った。

対象地域の地質は新第三紀中新世の湯ヶ島層群と呼ばれる火山岩類、第四紀洪積世の火山岩類からなっている。4地点の地質概要を表—5・13にまとめた。



図—5・11 調査地案内図



図—5・12 査定第2号地区調査位置図

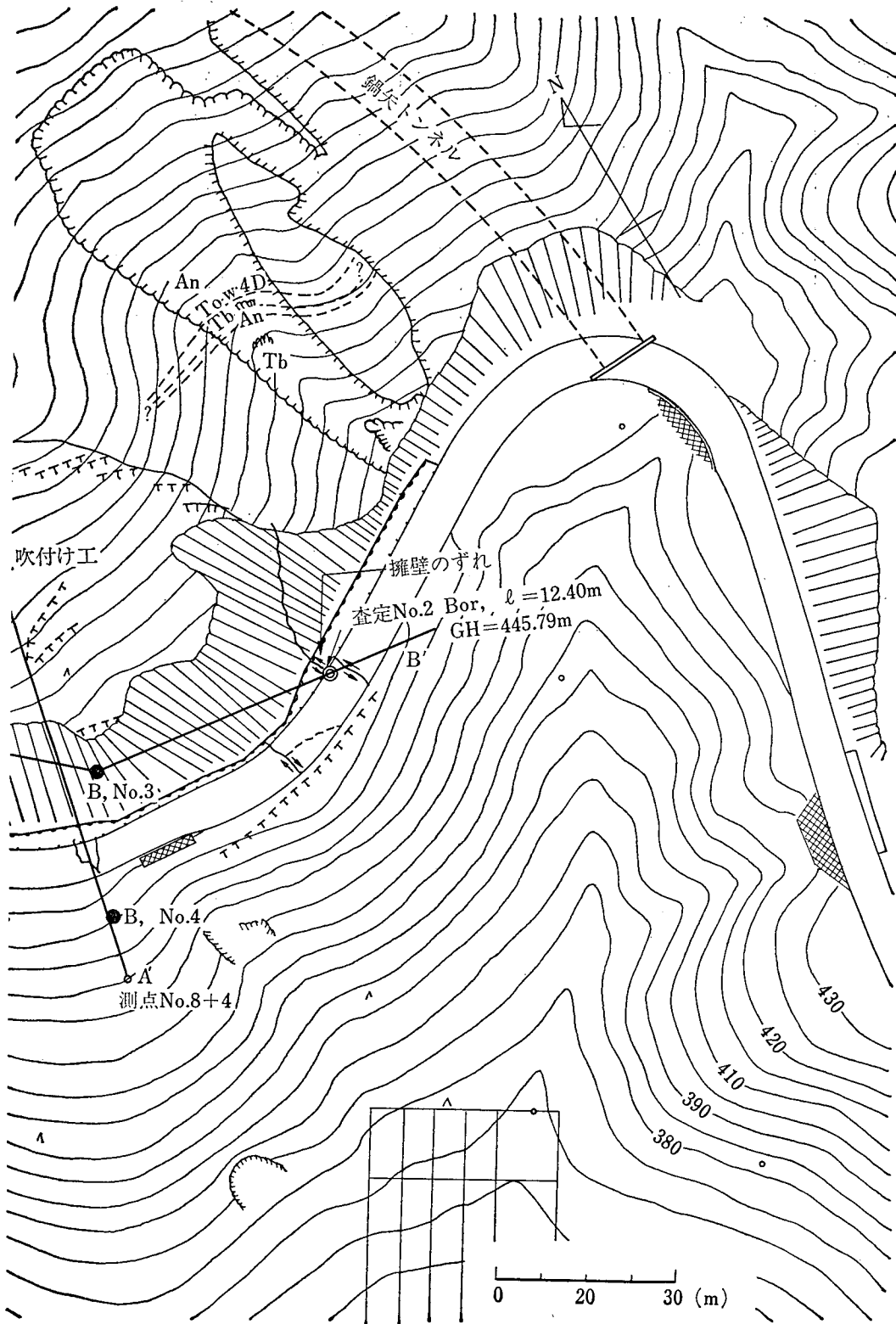


図-5.12

表—5・12 調査内容

調査位置 調査内容	査定No2	査定No89	査定No24	湯ヶ野 中山谷	計
ボーリング (標準貫入試験)	1孔 12.40m (3回)	1孔 17.19m (17回)	—	—	2孔 29.59m (20回)
P S 検 層 弾 性 波 探 査 (P波)	10m	15m	—	—	25m
R.S 波弾性波探査	—	—	150m× 2測線	—	300m
表層部 速度測定	—	22m× 1測線	20m× 2測線	20m× 1測線 10m× 1測線	92m
スウェーデン式サ ウンディング	—	98点 (観測点数)	—	—	98点
静的コーン貫入試 験	—	—	94.89m	—	94.89m
現場単位体積重量 試験	—	47.59m	20.80m	21.30m	89.60m
土質試験	—	—	6	6	12
粒度,比重,含水比 液性,塑性限界	—	—	6	8	14
透 水 試 験	—	—	—	6	6
三 軸 試 験	—	—	6	2	8
既往調査	ボーリング (標準貫入試験)	3孔 47.30m (25回)	2孔 38.70m (26回)	9孔 233.00m (129回)	15孔 519.00m (180回)
弾 性 波 探 査 (P波)	120m× 1測線	200m× 3測線	200m× 2測線	—	1120m

表—5・13 地盤調査地点の地質概要

地点	地質	基盤地質	分 布, 風 化 状 況
I 査 定 第2号	安 山 岩 凝灰角礫岩	斜面下方には凝灰角礫岩上方には安山岩が分布する。安山岩は凝灰角礫岩と比較して風化程度は強い。	
II 査 定 第89号	安 山 岩 凝灰角礫岩 凝 灰 岩	斜面東側より、凝灰岩、凝灰角礫岩、安山岩が分布する。風化程度は安山岩が最も進行し、凝灰岩は硬質である。	
III 査 定 第24号	安 山 岩 凝灰角礫岩	斜面南側下方に凝灰角礫岩、北側上方に安山岩が分布する。両地層ともに風化程度は著しく、風化層は深い。	
IV 湯ヶ野 中山谷	安 山 岩	斜面全域に安山岩が分布する。風化層は比較的浅い。	

〔3〕 地盤調査の結果

4 地点の地盤調査の結果をそれぞれ述べる。

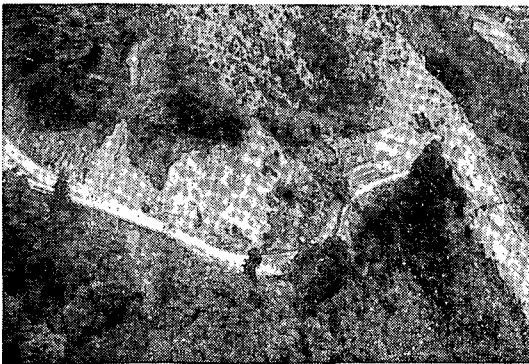
(1) 地点 I (災害査定第2号地点)

南向き凸状斜面に沿って県道が大きく北西～北東にカーブする所の延長線300m区間である。斜面上部には安山岩、下部には凝灰角礫岩が分布する。安山岩の方が凝灰角礫岩に比して風化程度が強い。図—5・12に示すように、斜面崩壊、自然斜面のクラック、モルタル吹付けのクラック、擁壁のずれ、路面のクラック、落石がみられ、この内最も顕著な被害は延長約100mの区間で、道路上方50mの自然斜面(勾配30°～40°)を頂点とする7,500～8,000m²の崩壊土量に及ぶ斜面崩壊であった(写真—5・1, 5・2参照)

卓越した不連続面(節理)は、走向×170°W、傾斜は水平に対して40度の角度で北側に傾斜している。したがって、この斜面ではさし目の関係にある。露頭でみられる岩盤状況は、下部の凝灰角礫岩は比較的良く固結し、岩盤の形態を示しているのに対し、安山岩はハンマーのビックで崩すことができる程に風化している。

今回の地震により滑落した崩土、滑落土塊と崩壊せずに残った地山の性質は表—5・13にまとめられる。強風化帯はボーリングコアでは礫混り土砂状として採取されており、地山内においても未固結で軟質なものであると考えられる。弱風化帯は、調査地付近の露頭あるいは今回のボーリング調査によって確認されるもので、割れ目がよく発達し、割れ目沿いに褐色風化をおびた岩盤と考えられる。図—5・13, 図—5・14に断面図を、表—5・14に土質区分を示す。

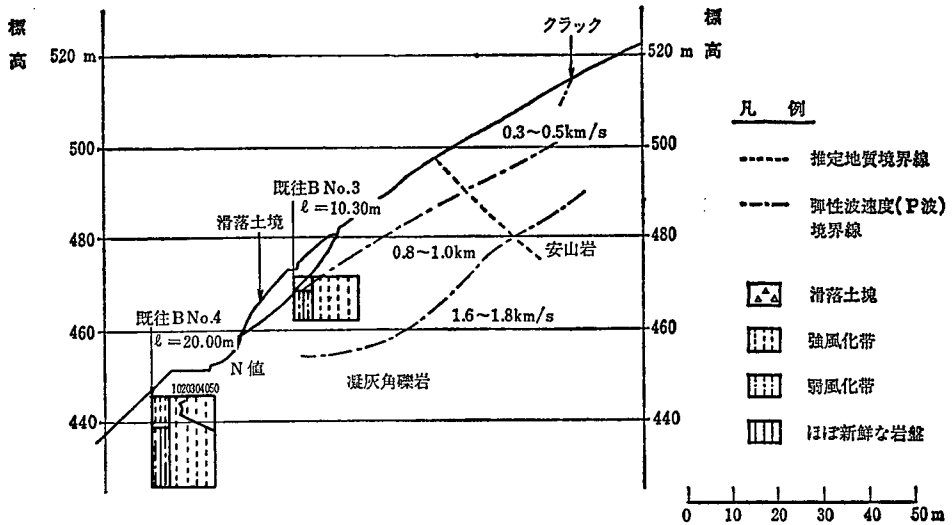
なお、本表には以下に述べる地点II～IVの土質地質区分も示した。



写真—5・1 地点 I の全景 (災害査定第2号地点)



写真—5・2 擁壁のずれ (災害査定第2号地点)



(注) 本断面は“県調査資料”(縮尺1:200)から転載したものである。

図-5-13 災害査定第2号A-A'断面図

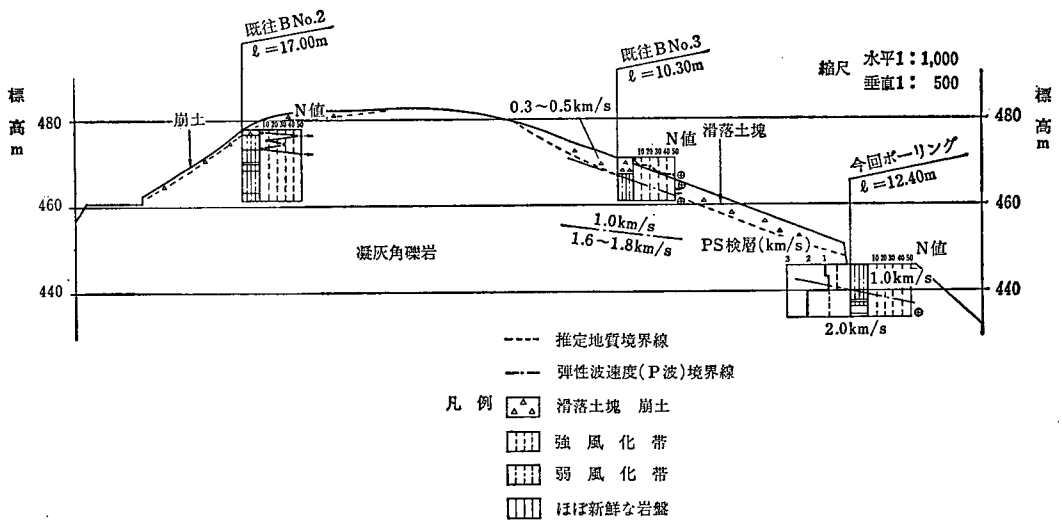


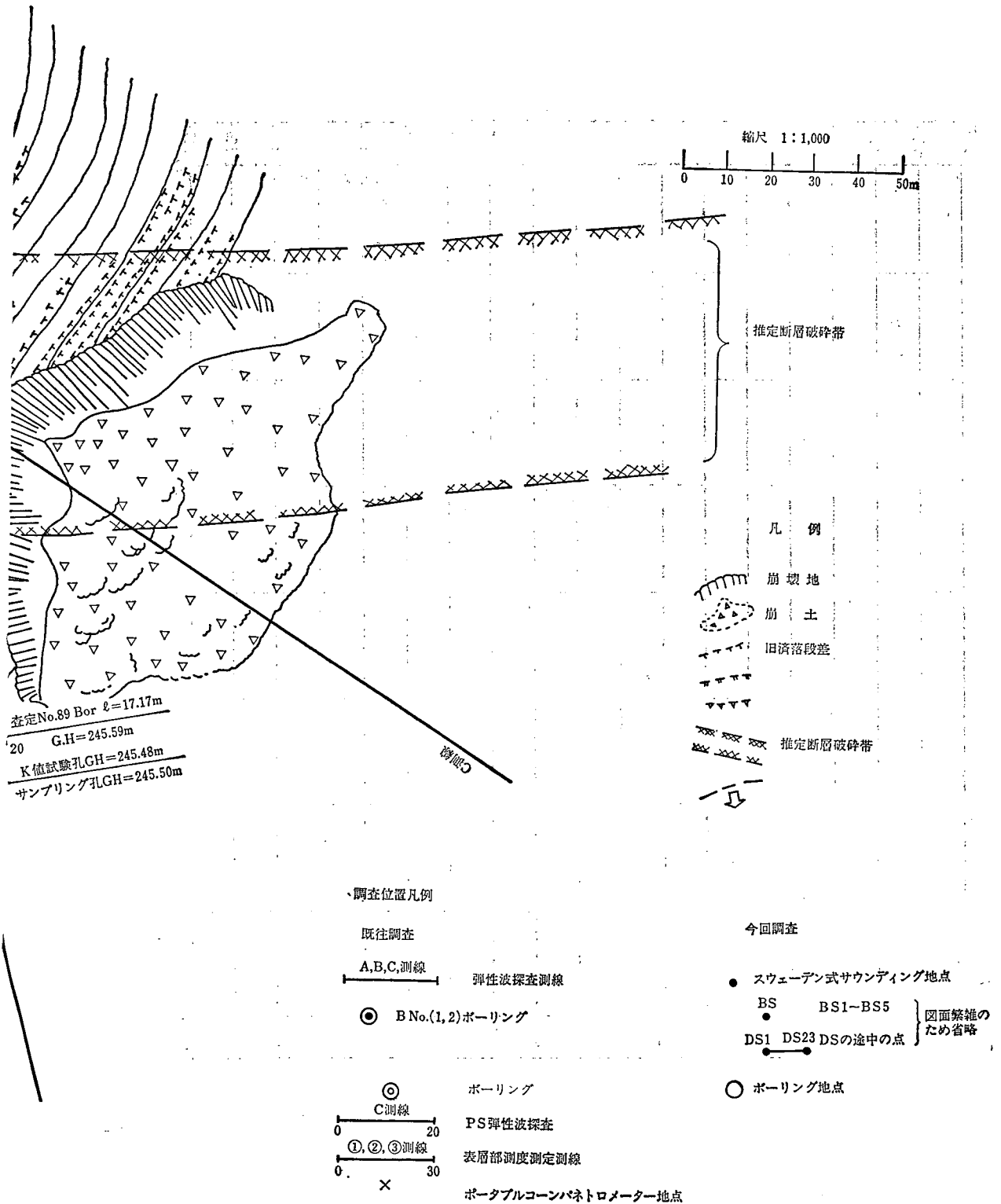
図-5-14 災害査定第2号B-B'横断面図

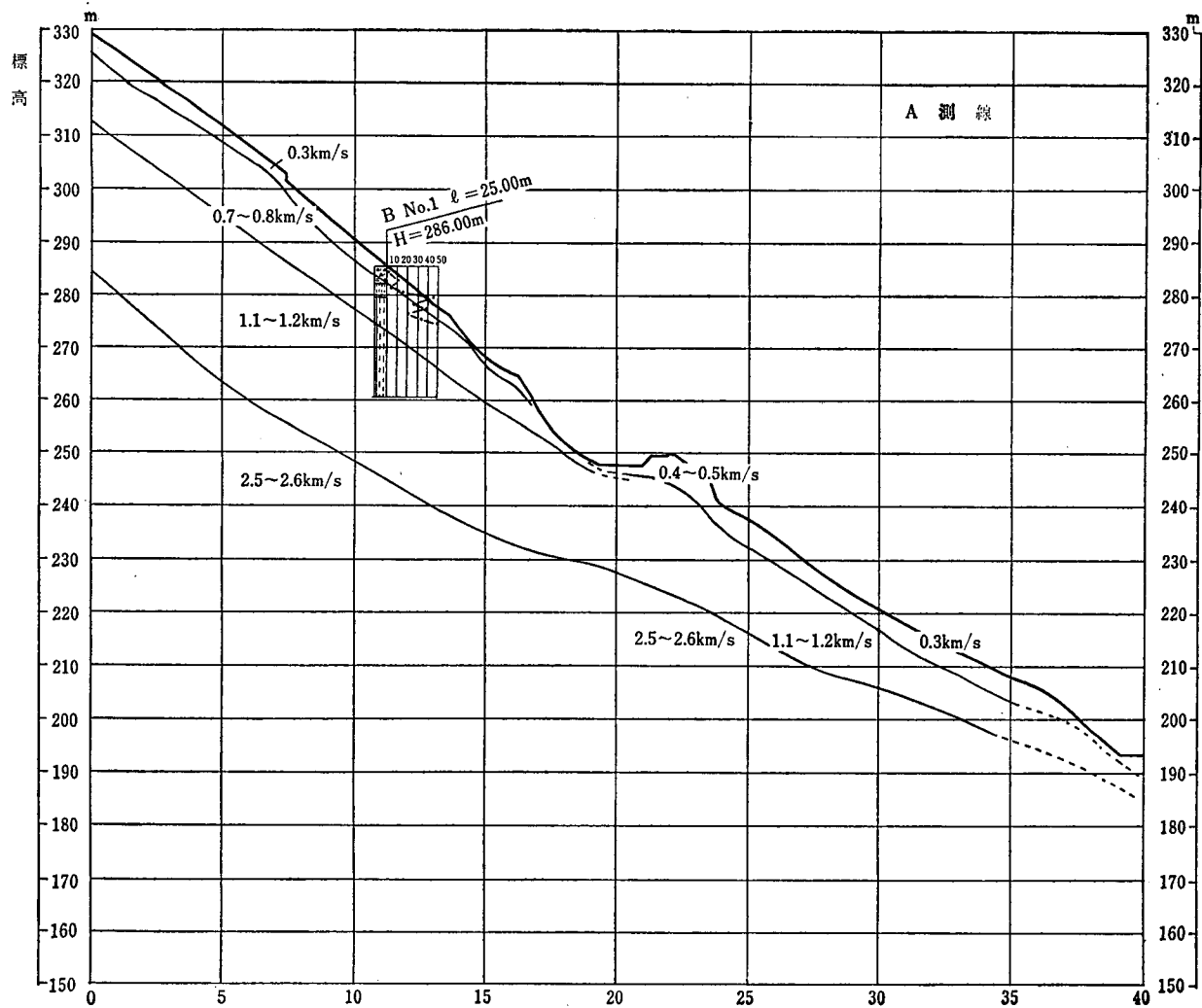
表-5-14

地質	地山区分	N 値	P 波速度 (m/s)	S 波速度 (m/s)
崩壊のした	崩 土	5以内	300 500	—
	滑 落 土 塊	30以内		
崩壊せずに残った	強 風 化 帯	50以上 貫入不能	800 1000	650
	弱 風 化 帯	50以上 貫入不能	1600 2000	1000
	ほぼ新鮮な 凝灰角礫岩	貫入不能	1600 2000	1000

(2) 地点Ⅱ (災害査定第89号)

本地点は、南方に張り出す尾根の裾部に沿って県道がほぼ直角にカーブする箇所である。被害は道路沿い切土法面肩上方の自然斜面からの大規模な2つの崩壊と県道下方の町道の崩壊である。大規模な斜面崩壊の内1件は東海バスを埋没させたもので、道路延長125mにわたる南西向き斜面(勾配約40°)が路面より30~50mの高さに及び崩壊したものである。崩壊の深さは斜面に垂直な深さで最大5m程度と考えられる。他の1件の大崩壊は道路延長110mにわたる南東向き斜面(勾配約40°)が





圖—5.16 查定第89号地区断面图

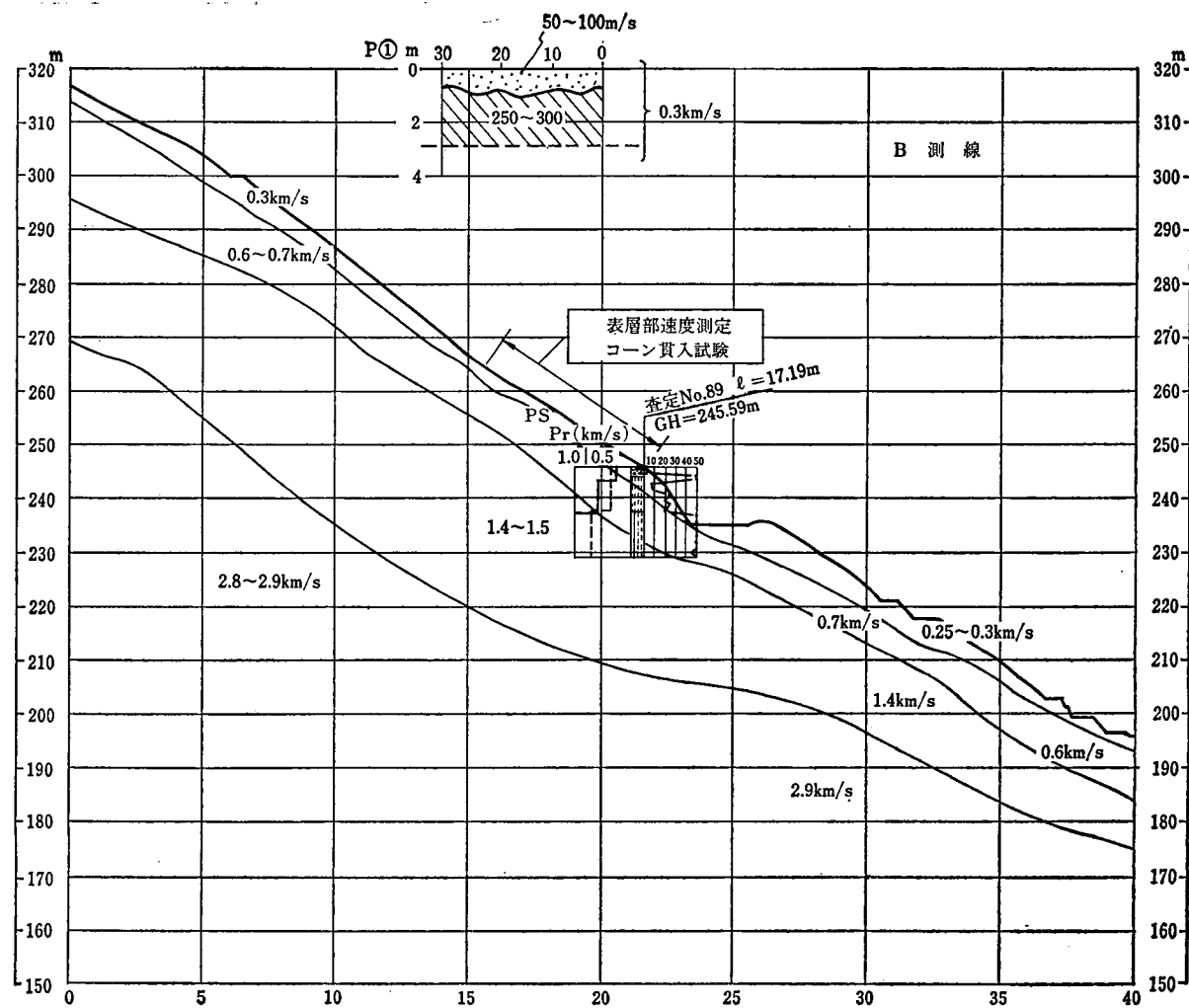


図-5・16

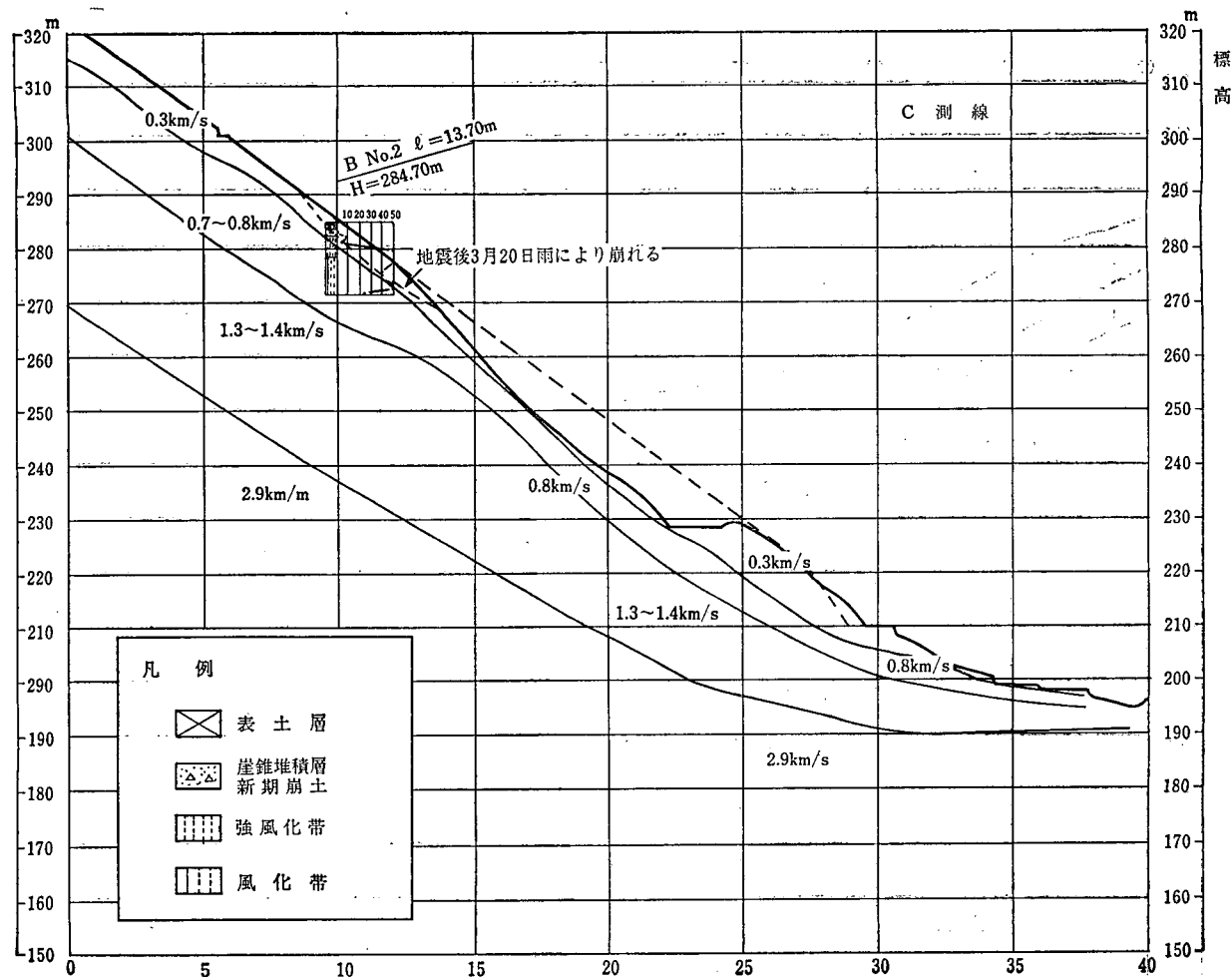


図-5・16 査定第89号地区断面図

路面より約50mの高さを頂点として崩壊したもので最大深さは7m程度である。この2つの崩壊にはさまれたやせ尾根部は崩壊せずに残った。図—5・15に平面図を、図—5・16、図—5・17に横断面を、図—5・18に縦断面を示す。

表—5・15 地点Ⅱの地盤構成

地山区分	N値	P波速度 m/s	S波速度 m/s	qc kg/cm ²	スウェーデン式 サウンディング		E kg/cm ²
					Wsw	Hsw	
表土層	—	50~100	—	<10	≤100	—	—
崖錐堆積層	—	≤300	—	10~20	—	≤25	—
強風化帯1	≤10	—	—	20<	—	≤100	10~15
強風化帯2	10~15	300~600	300	—	—	≤200	40<
風化帯	50+	600~1500	650	—	—	500<	—
ほぼ新鮮な 安山岩	—	2800~3000	—	—	—	—	—

現地調査および県で実施した調査などにより、この地点の土質地区分は表—5・15にまとめられる。弾性波速度測定結果では、崩壊地と未崩壊地では、表土層の厚さに明瞭な差がついている。

(3) 地点Ⅲ (災害査定第24号)

本地点は、南西に張り出す尾根部の先端にあたり、道路沿いに延長130mにわたり大規模に斜面が滑落している。斜面上方と中段に滑落崖があり、この間の土塊はほとんどかく乱されずに残っており、中段の滑落崖の下方にはかく乱された崩土が分布しているが、降雨に見られるものに比較して、崩土の移動距離はかなり少ない。周辺の地盤は図—5・19、図—5・20に示されるが、崩壊斜面の大部分は安山岩が分布している。安山岩の風化の程度は著しく、滑落崖上方の未崩壊ではN値<30の深度は23mに達している。滑落土塊は、ほとんど土砂状になった強風化安山岩およびそれが表土化したものである。また凝灰角礫岩の風化状況も安山岩ほどではないにしても著しく、下方斜面のボーリング地点で4~10m附近までN値<50の値を示している。このように本地区では非常に深くまで風化が進んでいる (図—5・19の平面図、図—5・20の中央断面図参照)。

この地点の地山を構成する表土層、二次堆積層 (滑落土塊、崩土) 及び安山岩、凝灰角礫岩の各風化層の性質は表—5・16にまとめられる。

(4) 地点Ⅳ (湯ヶ野中山沢)

本地点は先の三地点と異なり沢地形の左岸谷壁斜面の崩壊である。崩壊した斜面は単調な勾配約35°~40°の平衡斜面で、河床上方約50~60m附近にある町道路肩に沿って幅約100mの崩壊頭部を有し、斜面長は約80mでほぼ四角形の崩壊形状を呈している。

表—5・16 地点Ⅲの地盤構成

地山区分	N 値	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	Ns	qc kg/cm ²	Cuu kg/cm ²	φuu
表土層	—	200	140	—	—	0.18	19°30'
滑落土塊	10以下	350	200	60以下	20以内	0.30	18°
強風化帯	30以下	400 600	300 400	60	—	—	—
弱風化帯	50以上 貫入不能	1000 1500	—	—	—	—	—
ほぼ新鮮な 凝灰角礫岩	50以上	2000	—	—	—	—	—
ほぼ新鮮な 安山岩	—	5000	—	—	—	—	—

表—5・17 地点Ⅳの地盤構成

地山区分	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	qc値 kg/cm ²	土質試験		
				単体重量	粒 度	三軸試験
表土層	200	90	10以下 (?)	—	—	—
強風化帯	300	200	10以上 (?)	1.24 1.40	粘土 粘土質ローム	C=0.2~0.3 (kg/cm ²) φ=0~24°
風化帯	730(?)	250 300	—	—	—	—

図—5・21に平面図を示す。

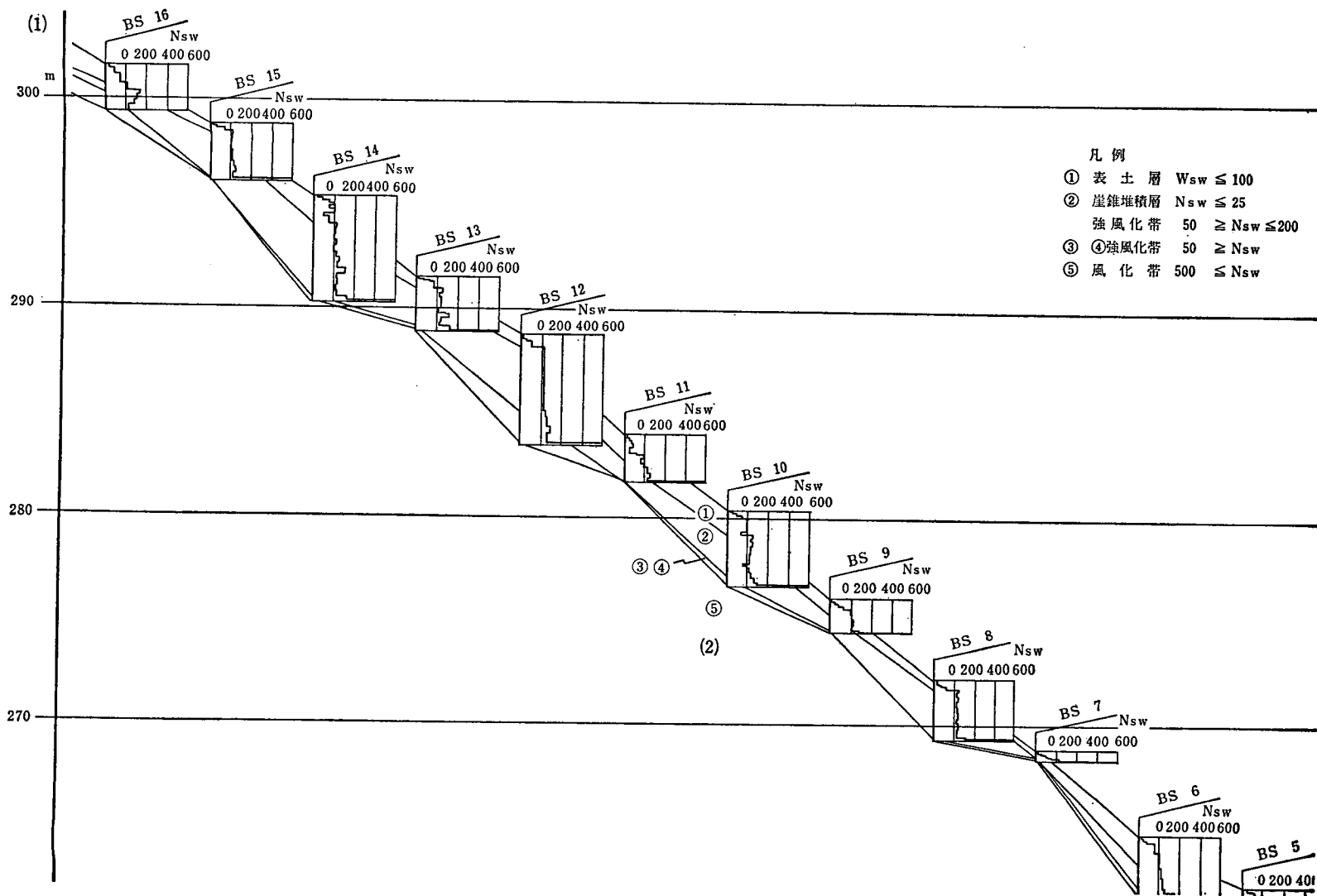
この地点の地山を構成する表土層、強風化帯、風化帯の性質は表—5・17にまとめられる。

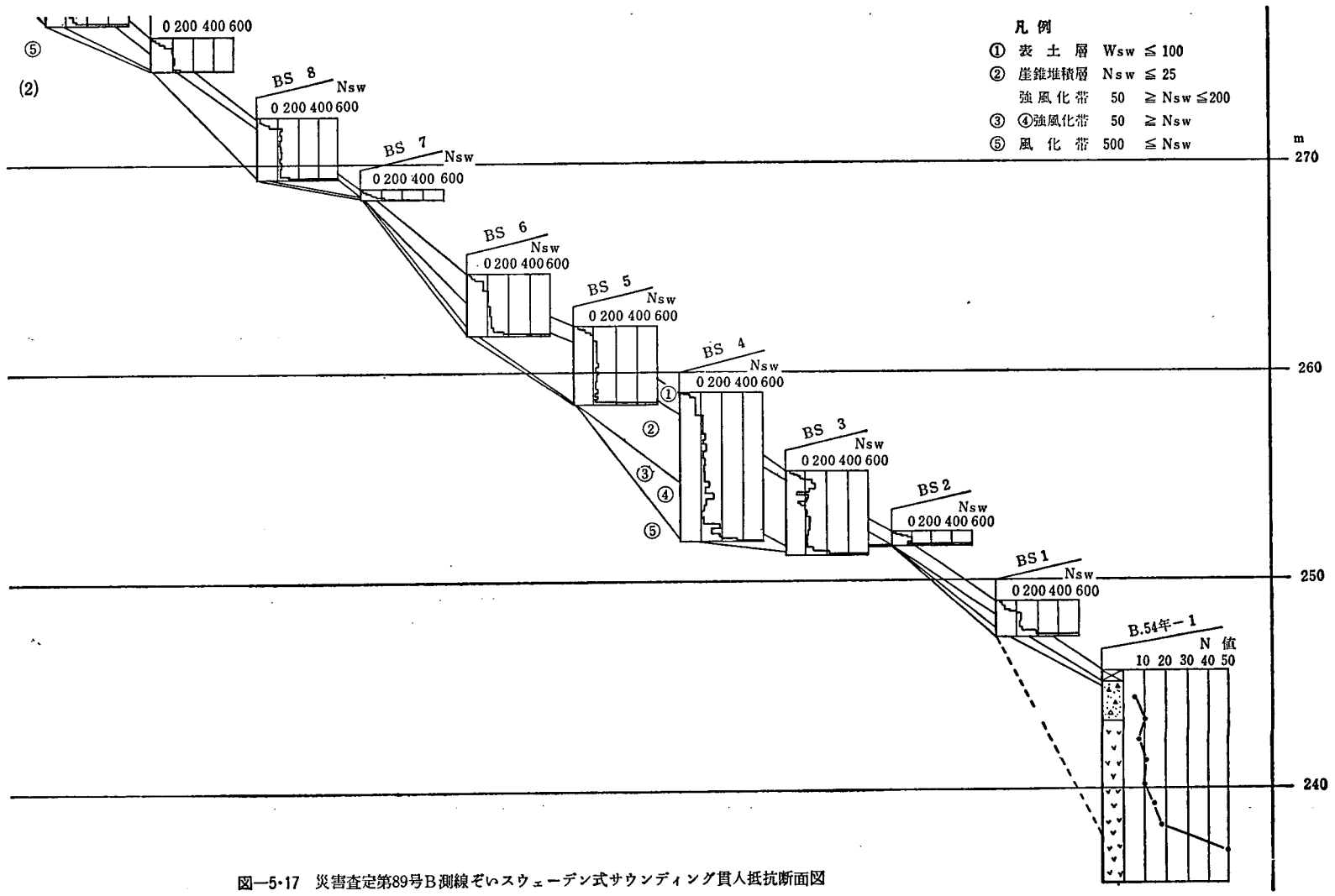
表土層及び強風化帯はP波速度、S波速度ともに分離はされなかった。またコーン貫入試験のqc値についても明瞭ではなかった。

崩壊した地層は、表土層、強風化帯及び風化帯の一部と思われる、P波速度で200~300m/sのゾーンと堆定される。崩壊深度はおおよそ2m程度と思われる。

参 考 文 献

1. 日本道路協会道路震災対策委員会：道路の震災対策に関する調査報告 (I)，1978年伊豆大島近海地震災害，昭和54年3月

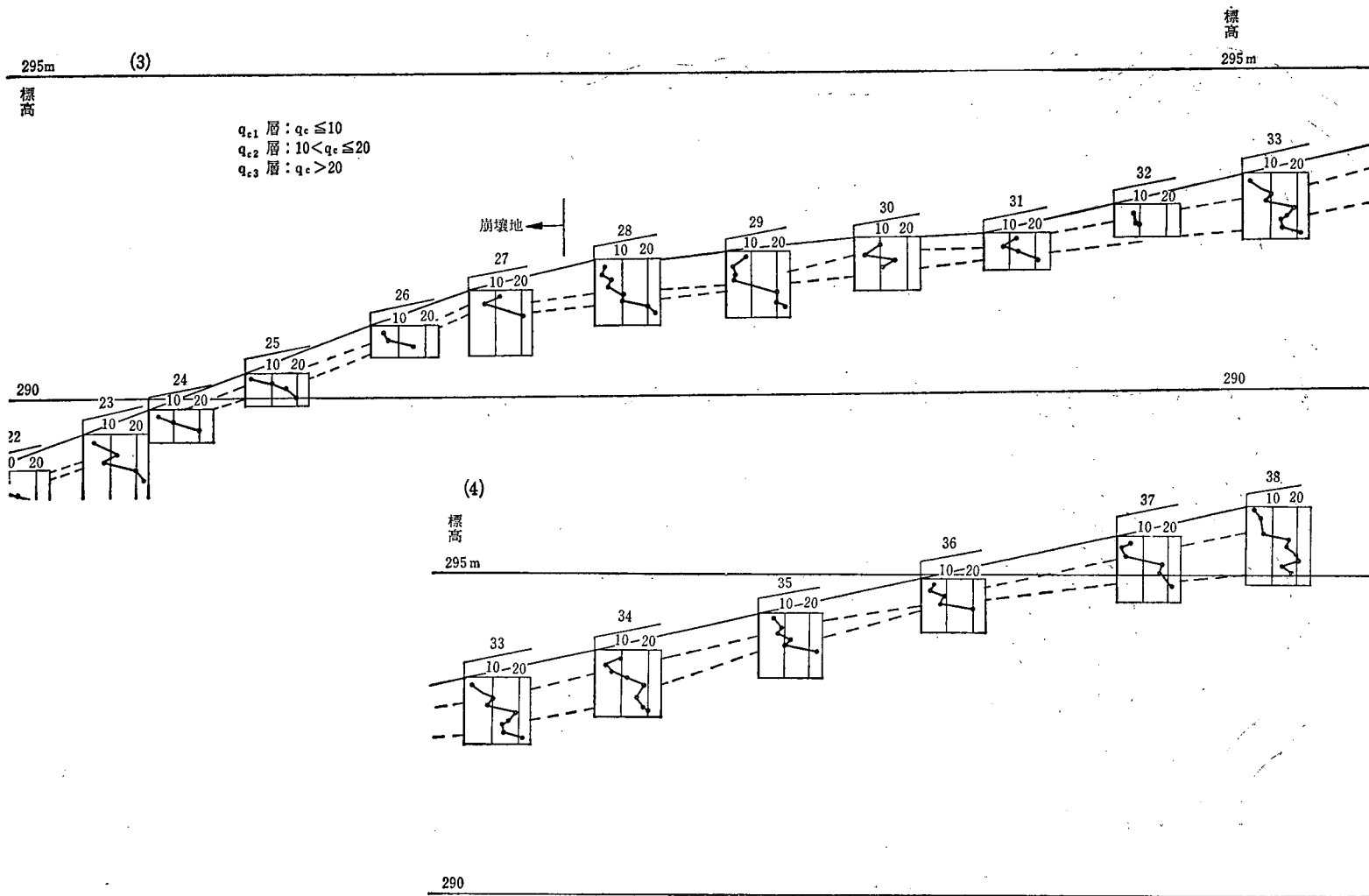




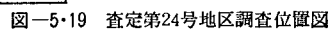
図一5・17 災害査定第89号B測線ぞいスウェーデン式サウンディング貫入抵抗断面図

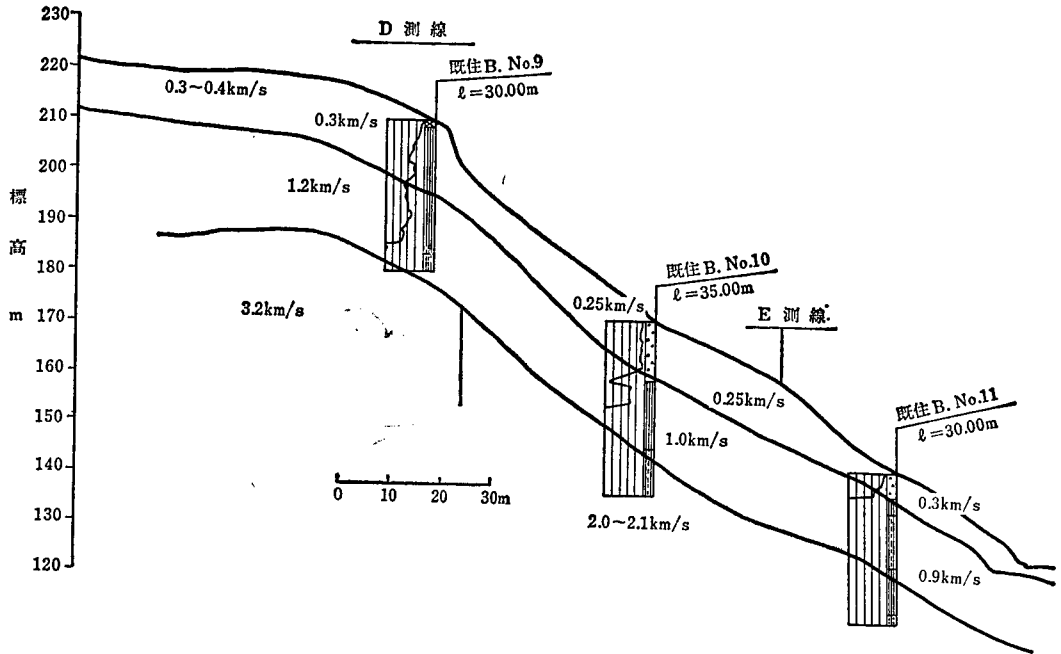
(30)

(32)

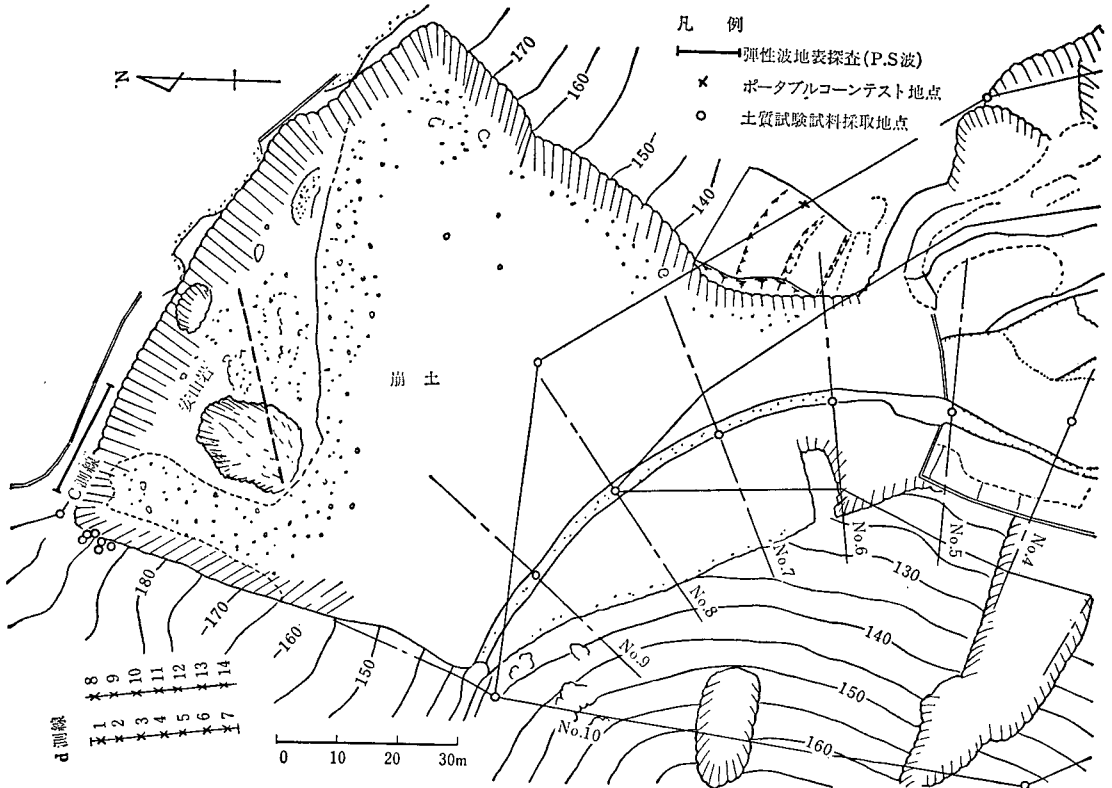


図一5-18 査定第89号南向向き斜面ボーターコーン断面図





図—5・20 査定第24号地区中央断面図



図—5・21 湯ヶ野中山地区調査位置図

は国道135号の東伊豆町浜田から河津町今井浜までの区間および主要地方道修善寺～下田線の河津町峠から天城峠までの区間、主要地方道湯ヶ野～松崎線の湯ヶ野から池代までの区間、主要地方道伊東～西伊豆線である(図-6・2)。

〔2〕 被害の特徴

今回の地震による道路盛土および擁壁の被害の特徴を以下に記す。

i) 大規模な道路盛土の崩壊は国道135号の東伊豆町と河津町の境界付近、主要地方道修善寺～下田線の河津町梨本付近で見られたが(写真-6・1～6・3)、いずれの場合にも路面より下の長大斜面の崩壊に伴って片切片盛の盛土部分が崩壊したものと考えられる。

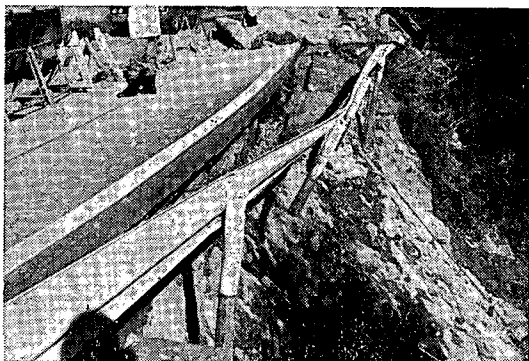


写真-6・1 盛土崩壊例(135号線, 東伊豆町と河津町の境界付近)



写真-6・2 盛土の崩壊(修善寺下田線, 梨本)

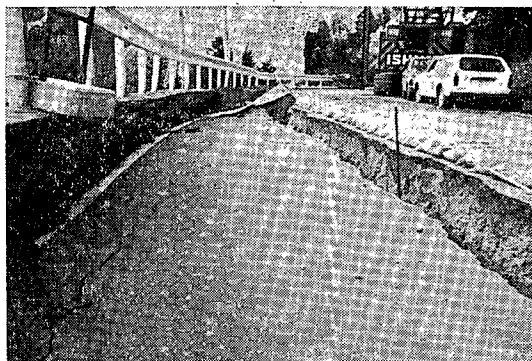


写真-6・4 盛土の沈下(修善寺下田線, 湯ヶ野)

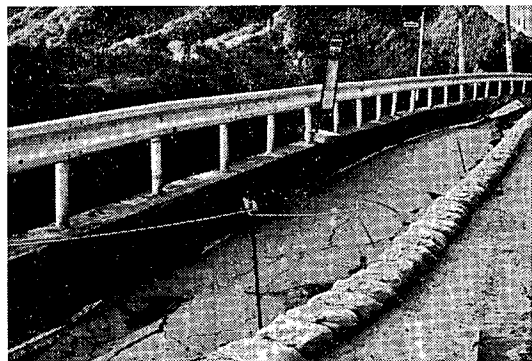


写真-6・5 盛土の沈下(修善寺下田線, 湯ヶ野, 沈下量約50cm)

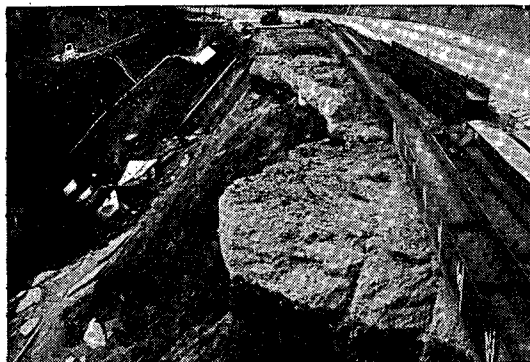


写真-6・3 盛土の崩壊(修善寺下田線, 梨本)

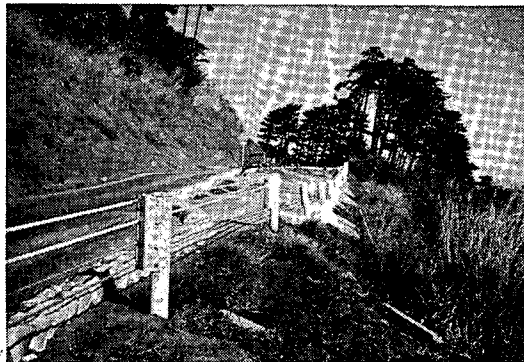


写真-6・6 盛土の沈下(135号線, 東伊豆町)

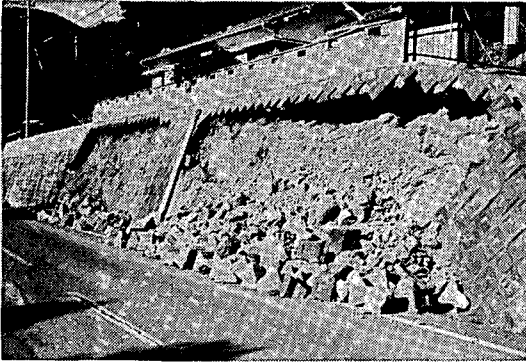


写真-6・7 ブロック積みの倒壊(修善寺下田線, 下佐ヶ野地区)

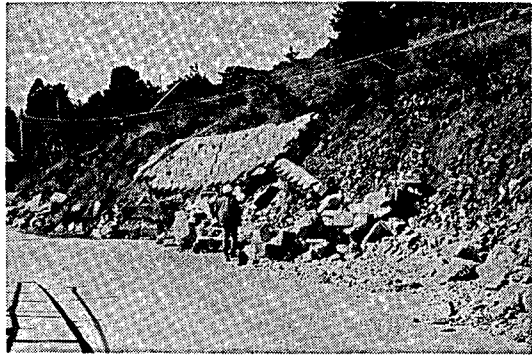
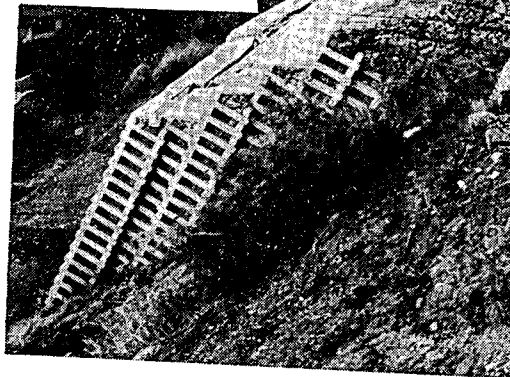


写真-6・8 ブロック積擁壁の崩壊(135号線, 稲取)



写真-6・9 ブロック積擁壁のずれ(修善寺下田線, 湯ヶ野)

i) 写真-6・4~6・6に見られるように片切片盛道路の片盛部の盛土の沈下に伴う路面の沈下とクラックが多数発生している。国道135号では道路中央から路肩に向って傾斜して沈下しているものが多い。例えば写真-6・6の現場では幅3.5m, 長さ60mにわたって最大沈下量60cmの沈



(b) 断面

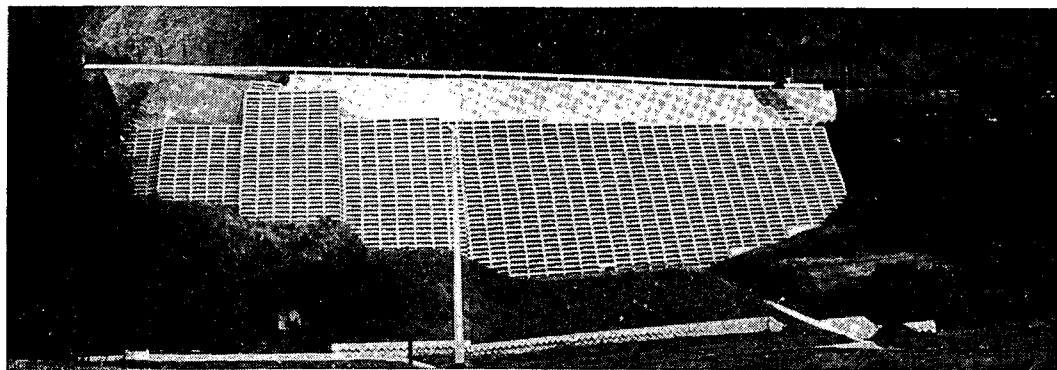
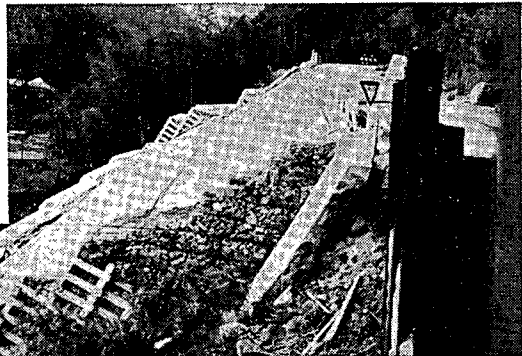


写真-6・10 井桁組擁壁(主要地方道修善寺下田線, 梨本地区)

(a) 正面からの全景

場合にもクラック、はらみ、ずれ、沈下等の被害が多数発生しており、崩壊した例も見られた(写真—6・7～6・9)。ただし擁壁の崩壊は擁壁を含む斜面の崩壊によって引き起される場合が多い。コンクリート擁壁の被害はあまり見られなかった。

表—6・1 調査地点数

路 線 名		調 査 地 点 数
国・県道	一般国道135号線	27
	一般国道136号線	11
	主要地方道修善寺下田線	62
	主要地方道湯ヶ野松崎線	34
	主要地方道伊東西伊豆線	80
	県道下田松崎線	10
	県道下多賀大仁線	1
小 計		251
市町村道	河津町	30
	東伊豆町	8
	その他	9
小 計		47
総 計		298

v) ブロック積擁壁の被害は道路線型の凸部に多く見られた。

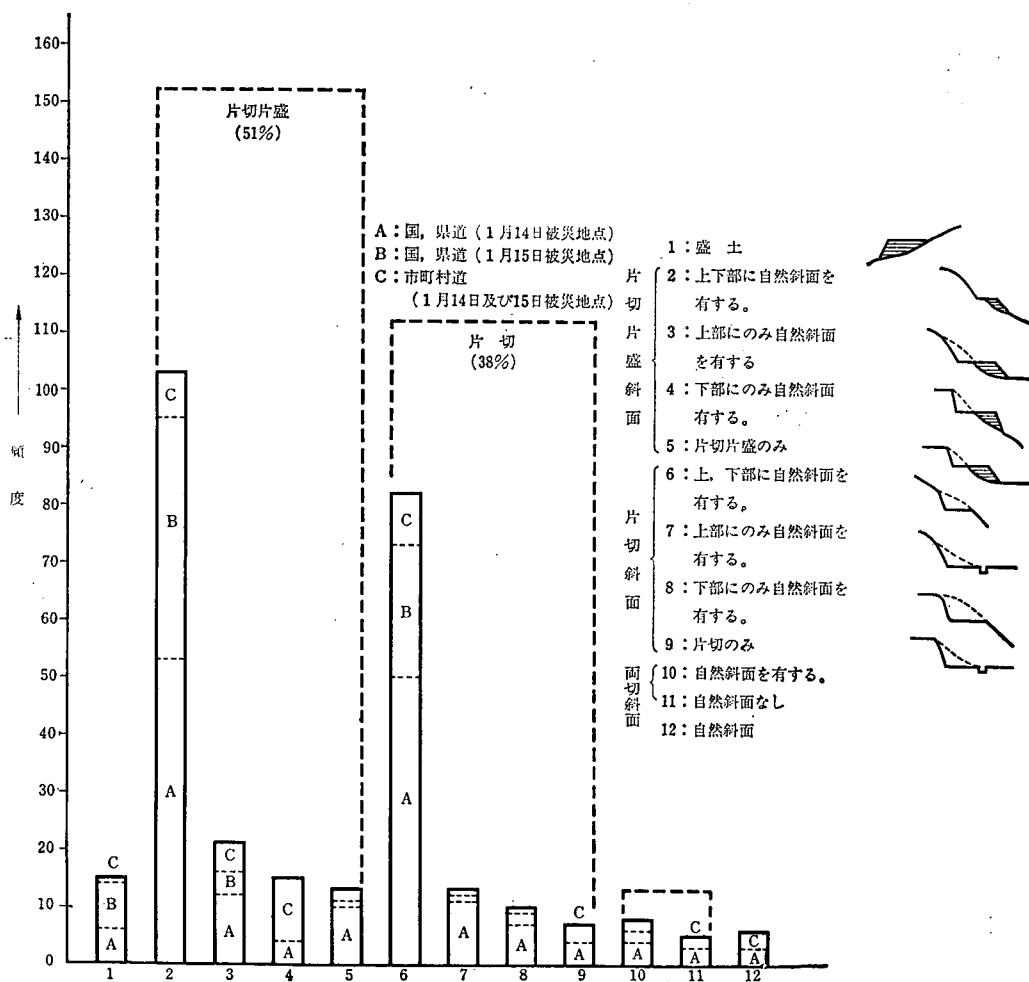
vi) 井桁組擁壁は盛土高が10～30mの地点でも部材に若干クラックが入っているものはあったが、崩壊したものは見られなかった(写真—6・10)。

今回の地震発生直後に土木研究所により実施された道路関係施設の被災調査結果²⁾をもとに道路盛土および擁壁の被害の特徴について述べる。

調査対象地点は道路公団管理の有料道路を除いた国道、県道、市道、町道であり、国・県道関係では静岡県内の災害査定箇所(第1次・第2次)の全部、市町村道関係では災害査定申請金額1,000万円以上の地点である。調査対象となった主要な路線および調査地点数を表—6・1に示す。

なおこの調査は自然斜面、切土斜面も含んでいるが、ここでは盛土および擁壁の被害について述べる。

図—6・3に調査地点の斜面の種類を示している。全調



図—6・3 調査斜面の種類(a), (b), (c), (d)

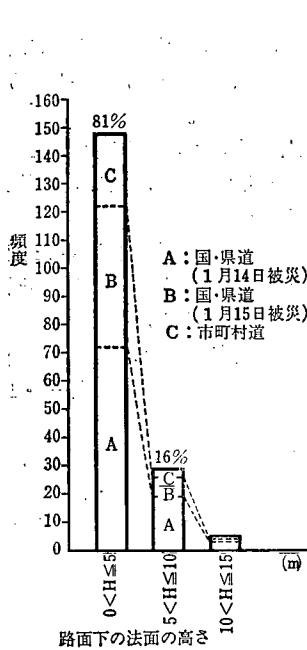


図-6・4 被害のあった盛土の路面下のり面の高さの分布

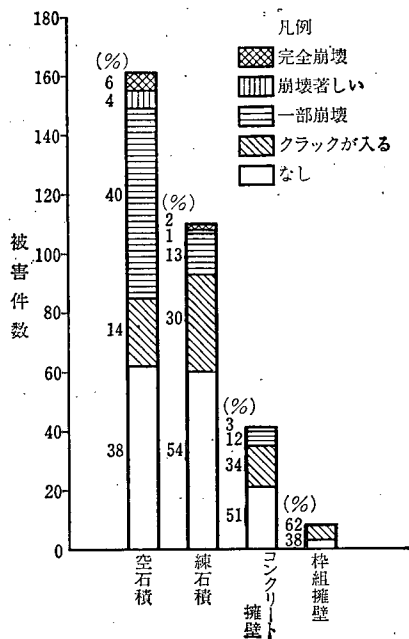


図-6・5 擁壁の種類別の被害件数

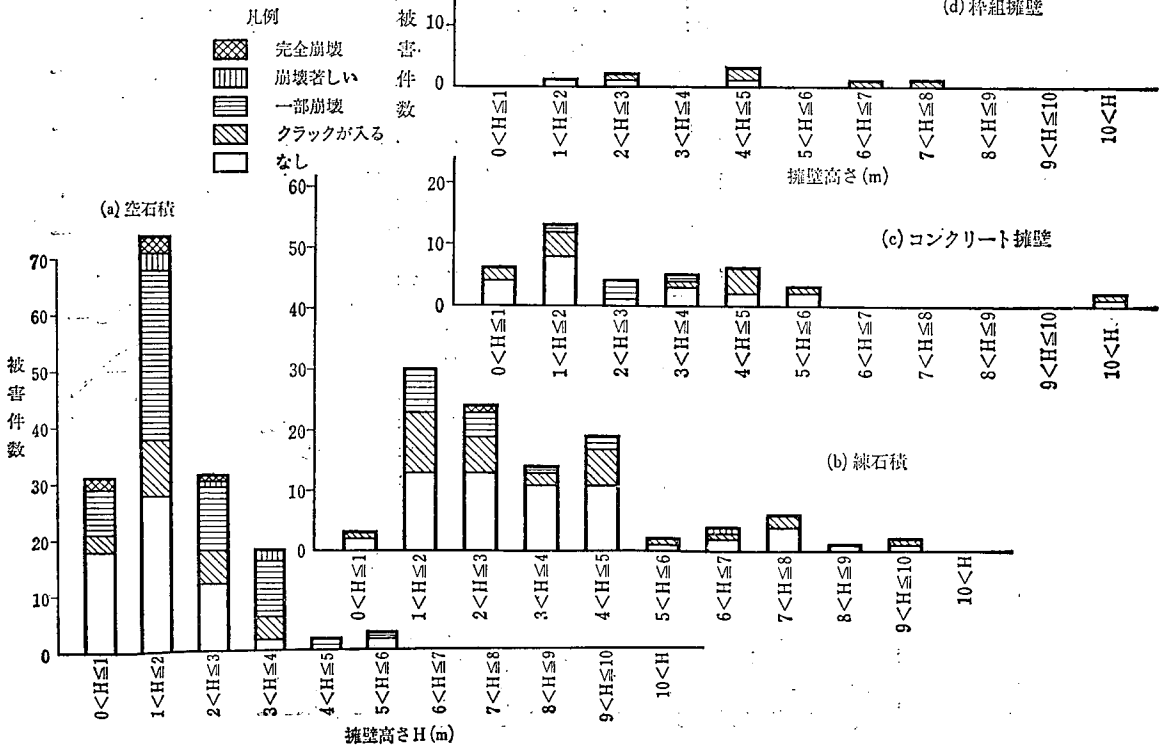
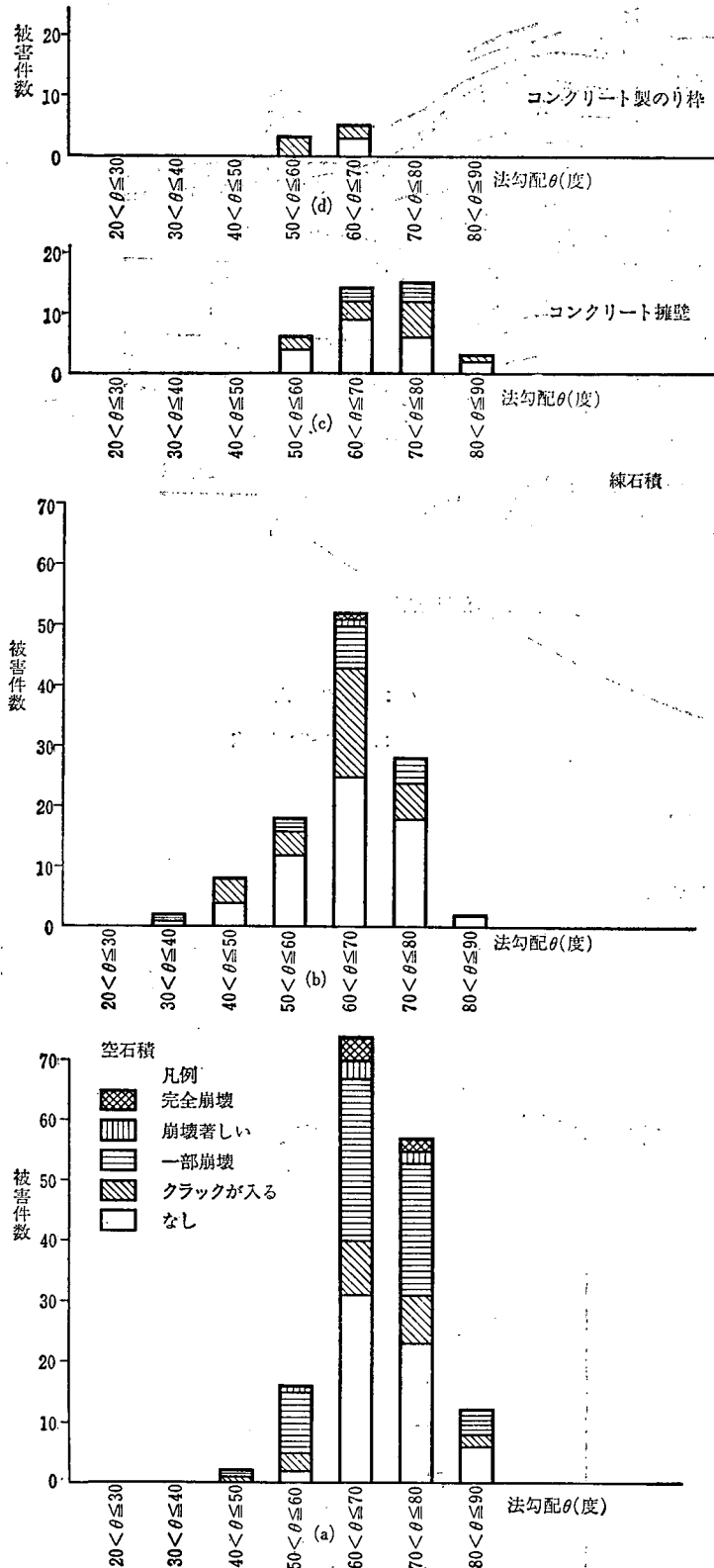


図-6・6 擁壁の被害件数と擁壁高さの関係

査地点のうち片切片盛部が51%を占めており、中でも片切片盛の上下部に自然斜面を有するものが68%となっている。

図-6・4は被害のあった盛土の路面より下のり面の直高の分布を示しており、5 m以下のものが多くなっている。

図-6・5に擁壁の種類別の被害件数を示す。図-6・5で被害なしというのは斜面の崩壊はあったが擁壁自体には被害がなかったことを示す。またこの統計には山側・谷側の両方の擁壁が含まれている。図-6・5によると空石積擁壁の被害件数が最も多くなっており、被害の程度も著しい。練石積擁壁についてもかなりの被害がでている。空石積と練石積を合わせた石積擁壁全体で「一部崩壊」以上の被害件数は93件となっており、石積擁壁が地震に対してかなり弱いものであることを示している。コンクリート擁壁についても若干の被害が出ているが、コンクリート擁



図—6・7 斜面の勾配と被害件数の関係(a), (b), (c), (d)

壁の崩壊は擁壁を含む長大斜面の崩壊と共に生じているものが多かった。枠組擁壁については部材が若干破壊されたものがあつたが、大きな被害は見られなかった。

図—6・6は各工種における擁壁の高さと被害件数の関係を示している。空石積の高さは1～2mのものが多く、練石積についてはかなり高いものが作られている。コンクリート擁壁については8m以下のものが大部分であるが、クラックが入ったり、一部崩壊の被害が出ている。道路土工—擁壁・カルバート・仮設構造物工指針(昭和52年1月)によると8m以下の擁壁については特に耐震設計を考えなくても静的な耐力が十分にあれば地震時にも問題はないとされているが、実際には高さの低い擁壁についてもクラックが入ったり一部崩壊等の被害が出ている。

図—6・7は斜面の勾配と被害件数の関係を示している。

3. 盛土および擁壁の安定解析

〔1〕 概説

今回の地震による盛土および擁壁の被害箇所のうち比較的大規模な崩壊が見られた地点については土質調査等の現地調査、盛土および擁壁の安定解析を実施したのでその結果について述べる。

〔2〕 稲取高校グラウンド(3)5(8)

(1) 調査地点および被害の概要

本地点は稲取市街北方約1kmの国道135号沿いに位置し、丘陵状山地を切盛造成してグラウンドが作られていた。図—6・8に平面図を、図—6・9に崩壊前後の断面図を示す。盛土の高さは約20m、のり勾配1:1.5であり、のり尻に高さ7～3mのブロック積擁壁が作られていた。盛土材は浮石およびスコリア礫を多量に含む礫混り粘性土である。

今回の地震により道路沿いに約80mに渡って盛土が崩壊し道路の1車線を通行不能とした。崩落崖の位置は崩落部中央において盛土のり肩から5～6m奥まった所にあり、約3mの落差が発生した。またり肩より約13mの位置にキレツが出きていた。盛土のすべり線は図—6・9に示すようにのり肩より約13mの位置よりブロック積擁壁底面を通るものと推定される。

(2) 土質調査

図—6・8に示す5地点において地震による崩壊の8ヶ月後に土質調査を実施した。調査内容を表

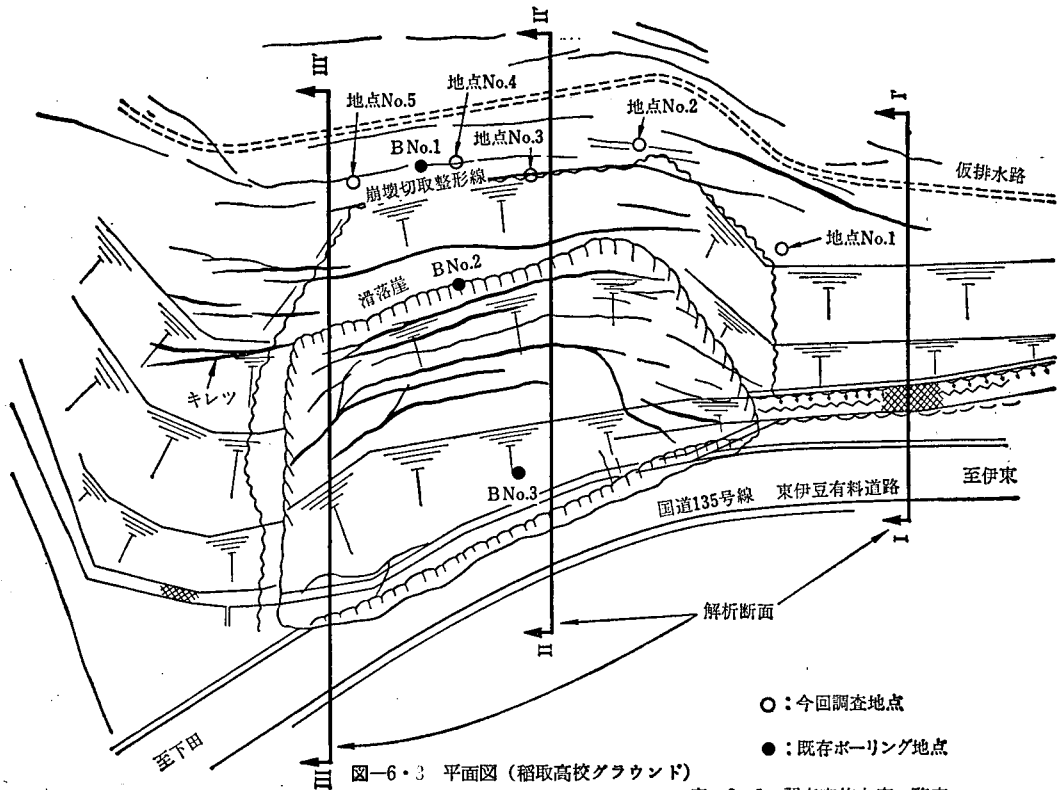


図-6・3 平面図 (稲取高校グラウンド)

表-6・2 調査実施内容一覧表

調査内容	スウェーデン式サウンディング	ハンドオーガーボーリング	不攪乱試料採取	砂置換法による土の単位体積重量試験
調査地点				
稲取高校グラウンド				
1	○		○	○
2				○
3	○	○	○	○
4				○
5				○

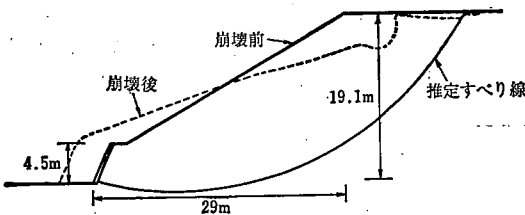


図-6・9 断面図 (稲取高校グラウンド)

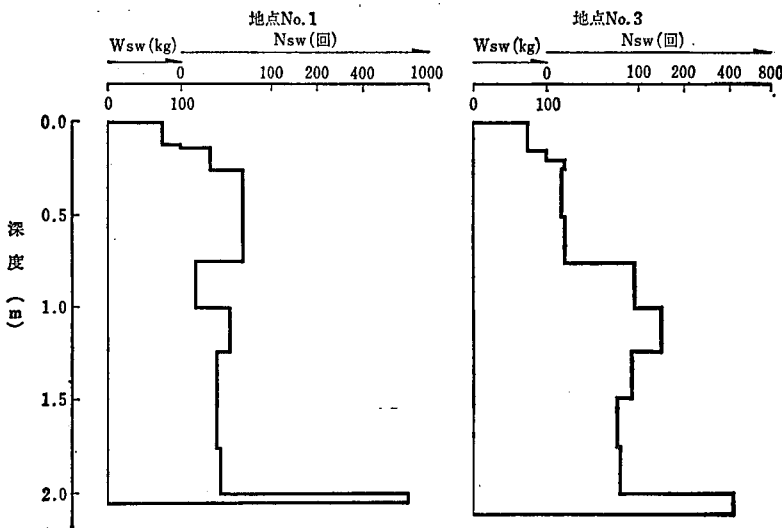


図-6・10 スウェーデン式サウンディング試験結果 (稲取高校グラウンド)

—6・2に示す。スウェーデン式サウンディングは地盤の深さ方向の強度の変化を知るために行った。ブロックサンプリングにより採取した不攪乱試料を用いて直接せん断試験を実施した。

砂置換法により求めた現場の表層土の単位体積重量の平均値は 1.56t/m^3 であり、含水比の平均は51.3%であった。図—6・10はサウンディングの結果であり、深さ2mまで軟らかい層が存在している。また不攪乱試料を用いて行った非排水直接せん断試験の結果より得られた粘着力は $c=5\text{t/m}^2$ 、せん断抵抗角は $\phi=19^\circ$ であった。

(3) 斜面安定解析

i) 解析方法

斜面および擁壁の安定計算を次の通り2通りの方法で行った。

①円弧すべりによる安定計算

②物部・岡部の式による擁壁の安定計算

円弧すべりによる安定計算においては Bishop 法および簡便法を用いた。計算に用いた電算プログラムは土木研究所所有の「SLOPE」である。物部・岡部の式⁷⁾はクロンの土圧式に地震力を静的な力に置き換えて考慮したものである。

ii) 解析条件

○解析対象断面

崩壊地を囲む地域で簡易測量を行い平面図を作成し、それに基づいて断面図を推定した。解析の対象としたのは図—6・8の平面図に示すように崩壊断面2箇所、非崩壊断面1箇所の計3断面である。擁壁の形状は崩壊地両端の残存部分より推定した。

○すべり面

崩壊直後に行われた測量および今回の現場調査よりすべり面を推定した。非崩壊断面については可能性のある

表—6・3(a) 安定計算結果一覧表

(稲取高校グラウンド I—I'断面)

土質 定数	震度	円弧すべりによる安定計算 斜面の安定		物部・岡部の式による擁壁の安定計算		
		すべり円1	すべり円2	滑動	転倒	支持力
$c=5\text{t/m}^2$	0.2	1.399	1.421	安定*		
	0.3	1.222	1.214			
	0.4	1.081	1.055			
	0.5	0.967	0.930			
	0.6	0.871	0.829			

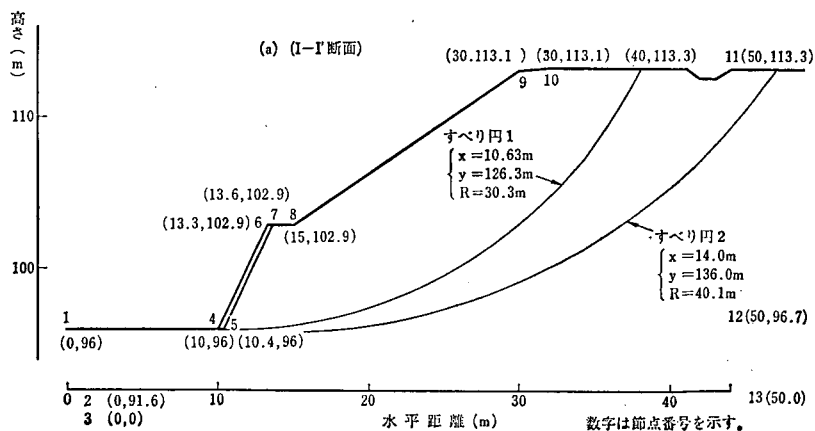
* 計算用壁高が $H=0$ となる前合。安定計算用壁高とは実際の壁高より粘着高 $\frac{2c}{\gamma} \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$ の分だけ減じた高さを示す。

(b) (稲取高校グラウンド II-II'断面)

土質 定数	震度	円弧すべりによる安定計算 斜面の安定		物部・岡部の式による擁壁の安定計算		
		すべり円1	すべり円2	滑動	転倒	支持力
$c=5\text{t/m}^2$	0.2	1.439	1.461	安定		
	0.3	1.230	1.250			
	0.4	1.070	1.090			
	0.5	0.945	0.963			
	0.6	0.843	0.861			

(c) (稲取高校グラウンド III-III'断面)

土質 定数	震度	円弧すべりによる安定計算 斜面の安定		物部・岡部の式による擁壁の安定計算		
		すべり円1	すべり円2	滑動	転倒	支持力
$c=5\text{t/m}^2$	0.2	1.317	1.341	安定		
	0.3	1.128	1.150			
	0.4	0.984	1.003			
	0.5	0.868	0.888			
	0.6	0.775	0.794			

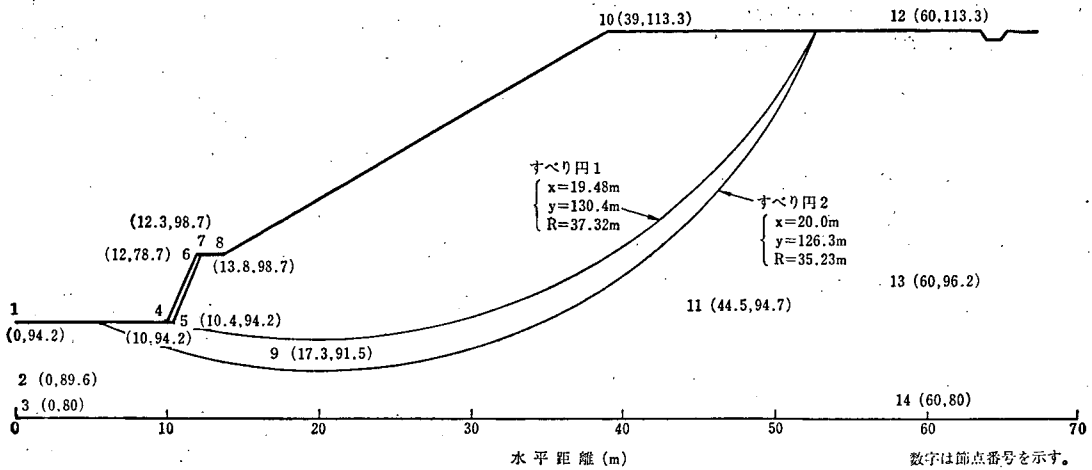


図—6・11 すべり面の形状

(a) (I-I' 断面)

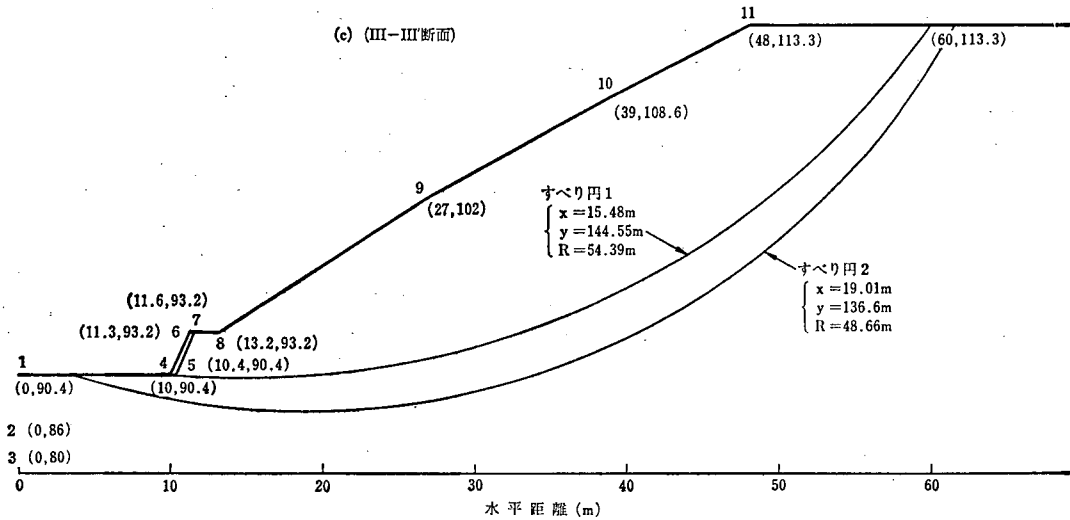
(8)

(b) (II-II'断面)



(b) II-II' (断面)

(c) (III-III'断面)



水平距離 (m)

(c) III-III' (断面)

図-6・11 すべり面の形状

複数の断面について解析を行い、最小安全率を求めた。

図-6・11にすべり面の形状を示す。

○震度

震度については不明であるのでパラメーターとした。付近の墓石の転倒状況から推定すると¹⁾、稲取地区の水平最大加速度は300~450galに達している。

○土質定数

盛土材料の土質定数は現場および室内の土質試験より得られた値を用いた。擁壁の単位体積重量は 2.35t/m^3 とし、擁壁底版と基礎地盤の摩擦係数は $\mu=0.5$ とした。

iii) 解析結果

表-6・3、図-6・12に計算結果を示す。これらの結果

によるとI、II、IIIの各断面ともに円弧すべりによる安定計算の結果は震度が0.4程度で安全率が1より小さくなっており、ほぼ妥当な値であると考えられる。(墓石の転倒状況より瞬間的にはこの程度の大きさの地震力が作用することは十分考えられる。)

この計算結果では崩壊断面と非崩壊断面の安全率の値に顕著な差は見られない。崩壊断面と非崩壊断面の差としてここでは形状の差のみを取り上げているが、実際には盛土材料の強度、水の浸透状況等の微妙な差が崩壊と非崩壊を分けていると思われる。

表-6・3において物部・岡部の式を用いて計算した場合には水平震度が0.5以下の範囲において擁壁は安定であ

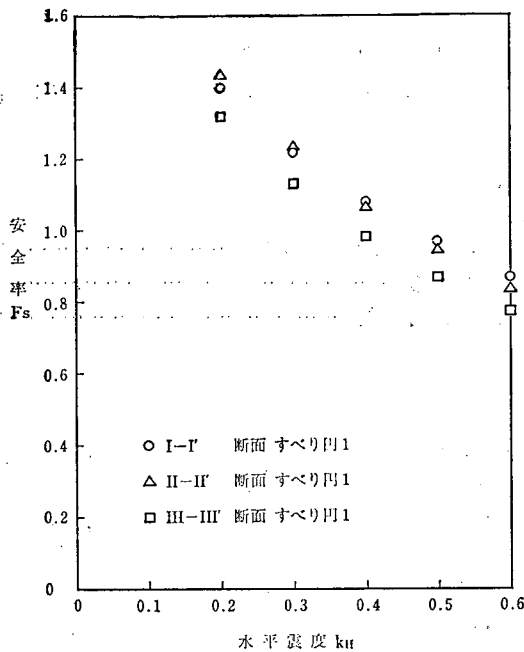


図-6・12 円弧すべりによる斜面の安全率
(稲取高校グラウンド)

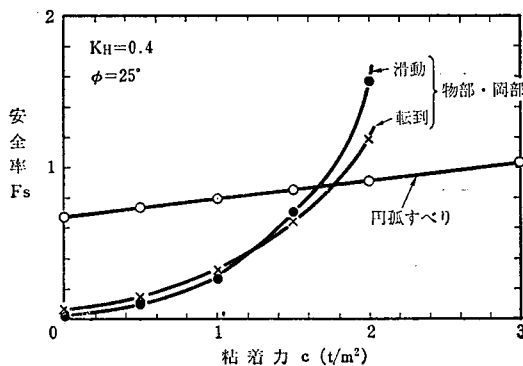


図-6・13 計算方法の違いによる安全率の相異
(稲取高校グラウンド)

るという結果になっているが、裏込め土の円弧すべり計算では安全率が1を下回っている。また図-6・13は水平震度を0.4とし、土のせん断抵抗角 $\phi=25^\circ$ ($\phi=\sqrt{15N}+15$, $N:N$ 値より推定した) として土の粘着力 c を変化した場合の両方法による本地点の盛土の安全率の変化を示している。図-6・13によると粘着力が $1.6t/m^2$ より小さい場合には物部・岡部の方法の方が安全率が小さいが、粘着力が $1.6t/m^2$ 以上では逆に円弧すべりの方が安全率が小さくなっている。従って粘着力が $1.6t/m^2$ 以上の領域では物部・岡部の方法を用いて安定性を検討するだけでは不十分であり、円弧すべりによる斜面全体のすべりについても検討する必要がある。

参考文献

- 建設省土木研究所：1978年1月伊豆大島近海地震調査概要，土木研究所資料第1346号，1978年
- 道路の震災対策に関する調査報告(I)——1978年伊豆大島近海地震災害——，日本道路協会，1979年
- 谷口栄一，沢田健吉：地震時の擁壁の安定性に関する調査，第32回建設省技術研究会，共通部門（自由課題）pp.77～84，1978年
- 沢田健吉，谷口栄一：擁壁の耐震設計調査，土木技術資料20巻11号，1978年
- 谷口栄一，座親勝喜，小野 諭：地震時の擁壁の安定性に関する一解析，第14回土質工学研究発表会，1979年
- 小野 諭，谷口栄一，沢田健吉：1978年伊豆大島近海の地震による擁壁の被害例の解析，第6回土木学会関東支部年次研究発表会，1979年
- 道路土工 擁壁・カルバート・仮設構造物工指針，日本道路協会，1977年
- 谷口栄一，小笠原久他：1978年1月伊豆大島近海の地震による見高入谷地区斜面崩壊に関する調査，土木研究所資料第1432号，1978年

第7編 道路トンネル および道路橋の被害

今田 徹^{13*} Dr. Toru Konda
川島一彦^{3*} Dr. Kazuhiko Kawashima

目 次

1. 道路トンネルの被害.....(1)	〔4〕 黒根トンネルの被害.....(9)
〔1〕 トモロトンネルの被害.....(1)	〔5〕 考察.....(10)
〔2〕 白田トンネルの被害.....(3)	2. 道路橋の被害.....(11)
〔3〕 城東トンネルの被害.....(6)	

1. 道路トンネルの被害

被害地域(東伊豆町, 河津町, 湯ヶ島町)には表一・1および図一・7・1に示す15本のトンネルがあるが, 著しい被害を受けたのは東伊豆有料道路トモロトンネル, 国道135号白田, 城東, 黒根の3トンネルで, トモロ

トンネルと国道135号のトンネルとは平行した位置にある, 特に国道135号の3トンネルは取り付け部の道路の崩落あるいは斜面崩壊を含めて著しい被害を受け, 現ルートでの復旧は困難とみられている。

表中被害なしの表現がされているものは, 覆工コンクリートへの明瞭なクラックの発生などが見い出せなかったものである。

表一・7・1 伊豆大島近海地震によるトンネル被害の概況

No	トンネル名	長さ(m)	路 線	記 事
1	北 川	197.5	東伊豆有料道路	被害なし
2	熱 川	320	"	"
3	友 路	425.5	"	伊東側坑口付近でアーチコンクリート・側壁の目違い, アーチコンクリートの一部脱落などが生じた
4	見 高	197	"	被害なし
5	河 津	130	"	伊東側坑口付近山側の側壁コンクリートとアーチコンクリートの継目が多少動いた形跡がある
6	小湊第2	70.6	"	吹付けコンクリート覆工であるが, 被害なし
7	小湊第1	18	"	"
8	縄 地	175	"	被害なし(竣工昭和27年)
9	小 安	21.3	"	"(竣工昭和28年)
10	白 田	88.7	国道135号	斜面崩落により下田側坑口部欠損, トンネル中央部(無巻き区間)岩塊崩落(竣工昭和3年)
11	城 東	127.3	"	伊東側坑口より30~40m付近で落盤, 下田側坑口部崩壊(竣工昭和4年)
12	黒 根	400	"	下田側坑口崩壊(竣工昭和3年)
13	新天城	800	天城有料道路	被害なし
14	天 城	446	主要地方道修善寺下田線	被害は報告されていない
15	峰 山	110	"	"

たとえば写真一・7・1は新天城トンネル下田側坑口にみられた施工継目部の補修モルタルの剝離の状況を示すものであるが, この程度のものは被害なしの表現にした。

被害を受けたトンネルはトモロ岬付近に集中していることが特徴で, 同程度の地震動を受けたと思われる他のトンネルでは被害がほとんど発生していない。これはこの付近の地質, 地形, トンネルの地形に対する位置関係が大きな影響を与えているものと考えられる。以下に特に大きな被害を受けたトモロトンネル, 白田トンネル, 城東トンネル, 黒根トンネルについて被害の概況を述べる。

〔1〕 トモロトンネルの被害

トモロトンネルでは, 伊東側坑口から60m程度の区間において, 図一・7・2に示すような特に著しい被害を受けた。この区間の被災の形態は, 多数のクラックの発生, 施工継目部の開きのほかに, 側壁の押し出し, アーチコンクリート覆工の一部の脱落がみられた。クラックの発生状況は写真一・7・2に一例を示すが, 旧クラ

13* 道路部トンネル研究室長(現東京都立大学助教授)工博

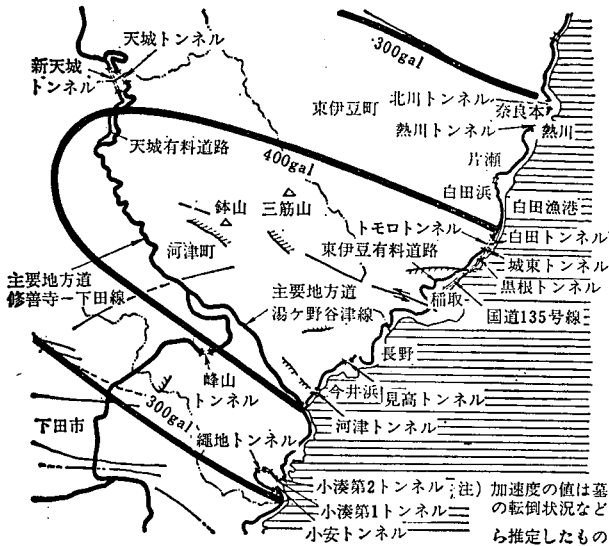


図-7・1 被災地域におけるトンネル位置図

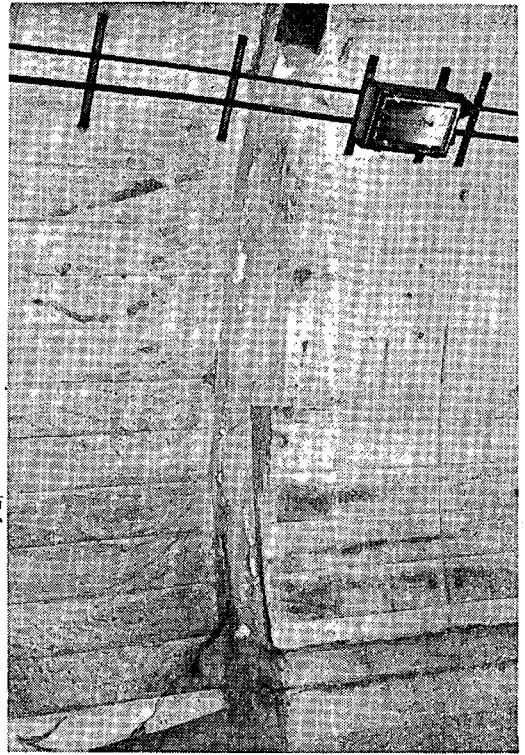


写真-7・1 新天城トンネル下田側坑口部の補修モルタルの剝離

ックと合わせて種々の方向に入っており、この区間においては地震によるクラック発生の特徴は明確でない。施工継目の目開きがみられ、大きいものでは1cm程度開いたものもある。また、施工継目は構造上の一つの弱点となっており、地震に伴って生ずる覆工の運動が施工継目を境として異なった運動をするため、施工継目において互にぶつかり合い応力が集中して圧挫を生じ、写真-7・3に示すような剝離が生じているのが特徴的に見られる。側壁の押し出しは坑口から15m付近から6m間の山側でみられ、押し出し量は数cmから10cm程度に達している。この間では写真-7・2に示すようにコンクリートが剝離している。また、側壁の沈下もみられ、最大沈下量は山側で15~20cm程度、海側はその1/3程度である。側壁の変状は伊東側坑口から180m

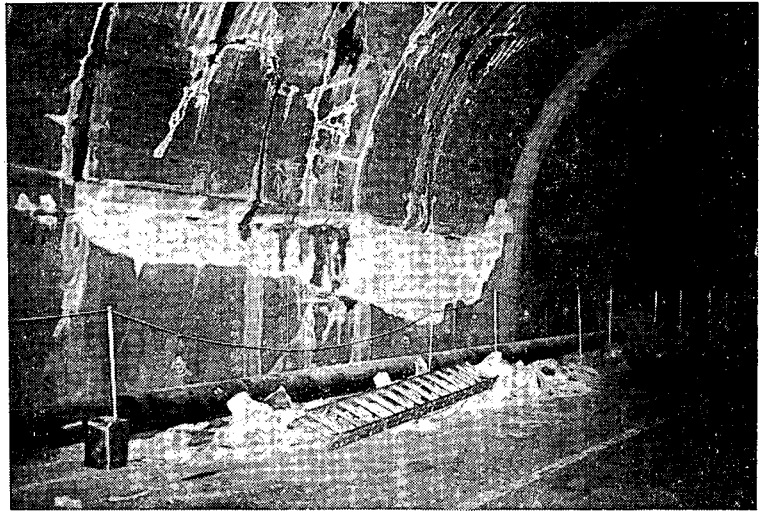


写真-7・2 側壁コンクリート上部の剝離およびクラックの発生状況

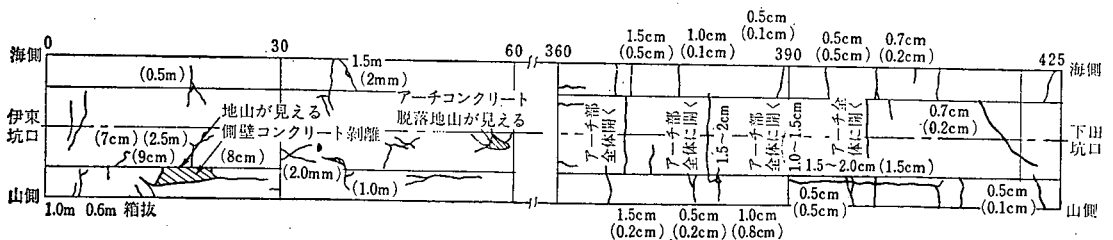


図-7・2 トモロトンネル両坑口付近の覆工の変状



写真-7・3 覆工の継目に生じた剝離

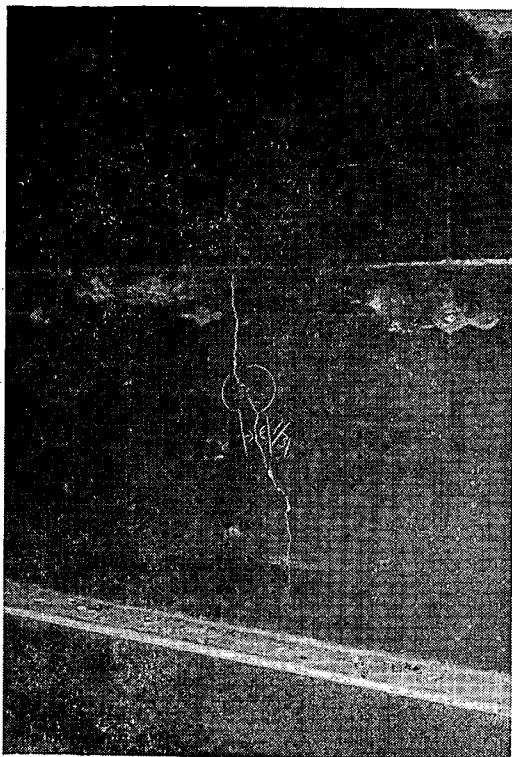


写真-7・4 側壁コンクリートに生じた鉛直方向のクラック

海側にもみられる。

下田側坑口付近では特に著しい被害は受けなかったが図-7・2および写真-7・4に示すようなトンネルを輪切りにしたようなクラックが、多数発達しているのが特徴的である。

伊東側坑門工の被害は写真-7・5に示すように坑門上

部の吹付けに剝離が見られるほか袖擁壁の新旧ブロックの目違い、坑門壁面の微細なクラックが発生している程度で安定は良く保たれている。しかし、坑門上部地表には図-7・3に示すように多数のクラックが生じており、坑口付近の地塊が地震により相当移動したことが想像される。伊東側坑口付近で著しい被害を受けたことと密接な関係があるものと考えられる。

下田側坑門では写真-7・6に示すクラックが発生した程度で被害はほとんどない。

〔2〕 白田トンネルの被害

白田トンネルは標高差約20m、水平距離約60～100mでトモロトンネルと平行する海蝕崖の中段に土かぶりが浅く設けられたトンネルである。このトンネルの地質は安山岩で10～30cmの節理が多く発達している。このトンネルでは、下田側坑門付近に生じた大規模な斜面崩壊のために写真-7・7に示すように数mにわたって崩落し、トンネル内には崩土が堆積している。伊東側の坑門は

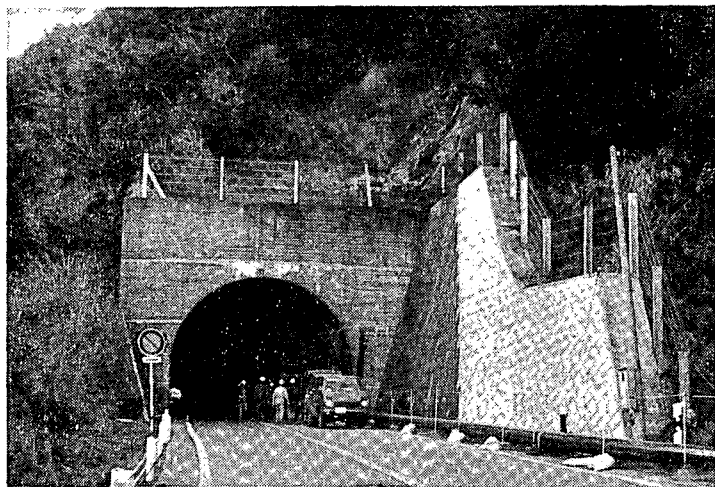


写真-7・5 トモロトンネル伊東側坑口

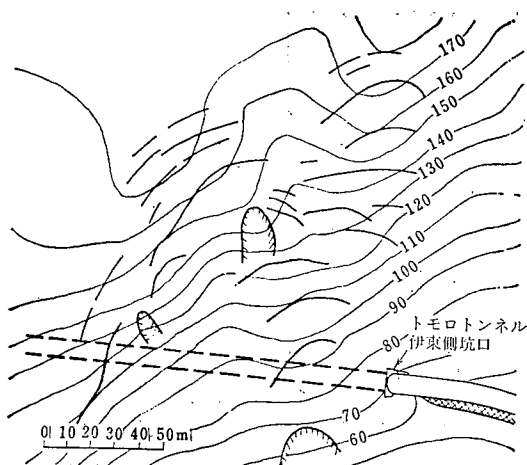


図-7・3 トモロトンネル伊東側坑口地表面にできたクラック

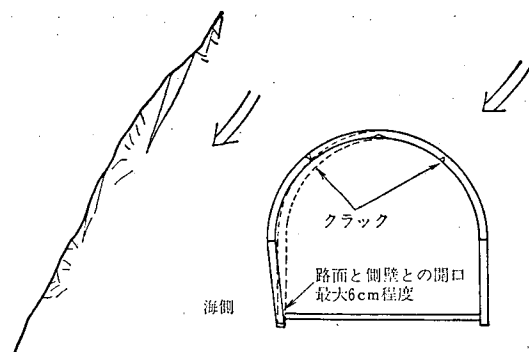


図-7.4 白田トンネルの一般的変状の傾向

写真-7・8に示すように残っているが、海側の斜面では坑門との間に50cm程度の段差ができており、崩壊の一手前の状態となっている。トンネル内部の覆工には多数のクラックが入るとともに施工継目が開口している所が多く見られる。クラックはアーチ天端部およびスプリングラインから高さ1.8mぐらいの位置に縦方向に入っているものが目立つ。

また、輪切状のクラックあるいは施工継目の開口が多く見られる。路面と海側の側壁との間には開口が連続してみられ、開口幅は崩落した下田側坑口に向かって大きくなり最大6cm程度開いている。また海側の側壁は沈下しており、その落差は大きい所で2cm程度である。図-7・4にスケッチとして示すように全体として海側に傾斜した傾向が認められる。図-7・5は白田トンネル上方斜面に生じたクラックの様子を示したもので、地山自身が相当に変位したことが考えられ、トンネルの変状の傾向と一致する。このトンネルには、伊東側坑口から30mの地点から約12mの区間にわたって無巻きの区間があるが、この区間では写真-7・9に示す程度の落石があったのみで、大きな落盤は生ぜずに残っていることが注目される。

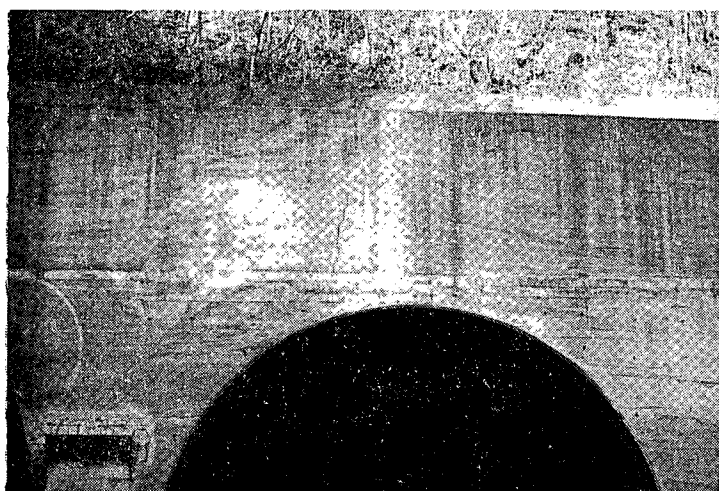


写真-7・6 トモロトンネル下田側坑口

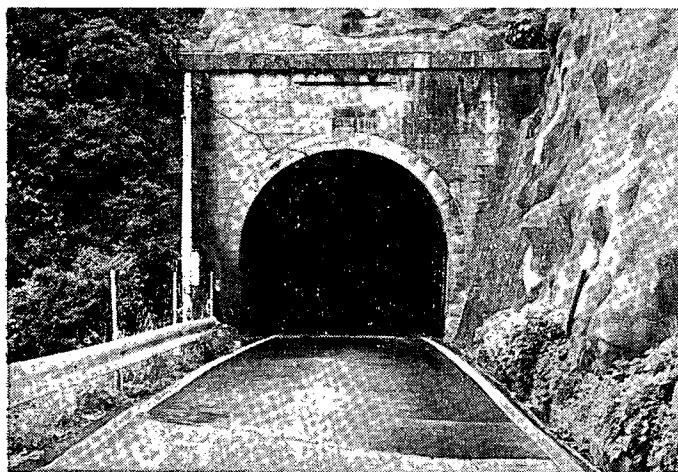


写真-7・8 白田トンネル伊東側坑口

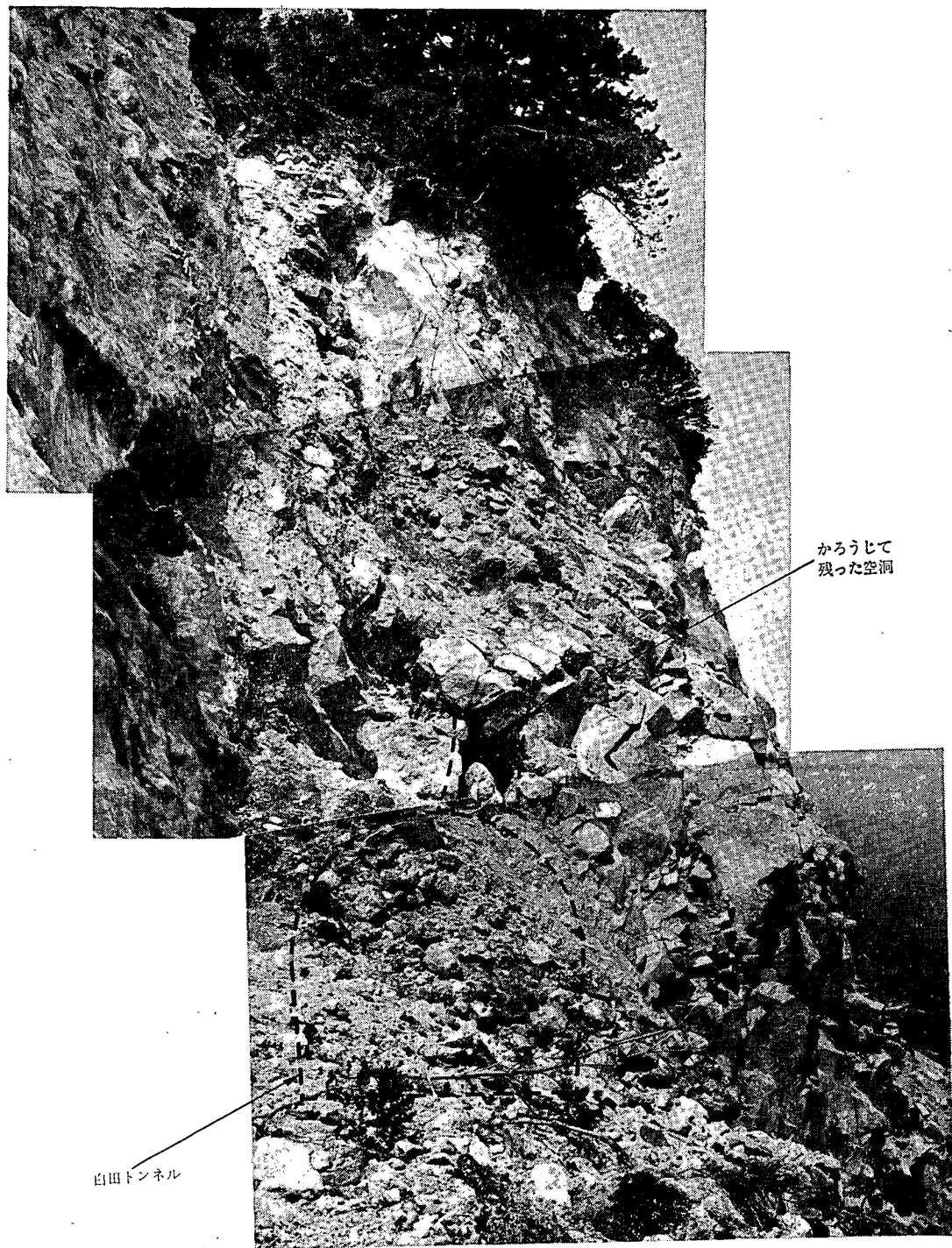
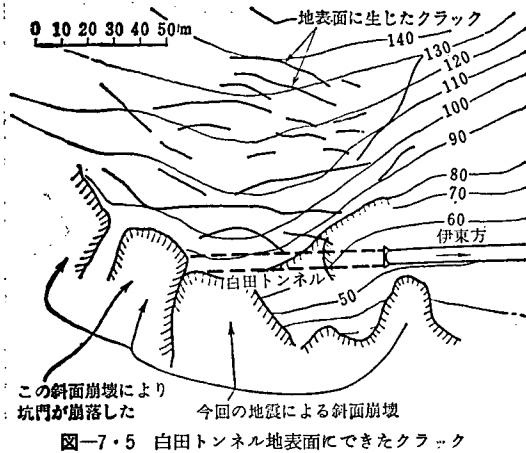


写真-7・7 白田トンネル下田側坑口の崩落



〔3〕 城東トンネルの被害

城東トンネルは白田トンネルから約100m 下田側にあるトンネルで、白田トンネルと同様な海蝕崖の中段からトモロ岬にのびる尾根を貫いて設けられている。地質は安山岩で開口した節理が発達し緩んだ状態となっている。

このトンネルの下田方坑口は付近に生じた斜面崩壊のため落盤し、坑門は残っているものの写真-7・10に示すように閉塞されている。このトンネルは昭和4年の竣工であるが、 $\phi 19\text{mm}$ 、ピッチ20cm程度の鉄筋コンクリートが使われているのが注目される。伊東側坑口は写真-7・11に示すように残っているが、坑門上部の吹付けには多数のクラックが発生し、地山は非常に不安定になってい



写真-7・9 白田トンネル無巻区間の落石



写真-7・10 城東トンネル下田側坑口の崩壊

るものと考えられる。また、坑門の壁面には多数のクラックや目違いが生じている。

このトンネルはトンネル内部においても著しい変状を受け、伊東側坑口から30m地点より約13m間では落盤が生じている。落盤の高さは最大で3m程度で崩落土砂は写真一7・12に示すように路面に堆積している。この部分の覆工は写真一7・13に示すように2重のブロックライニングで、その内部に厚さ約20cmのコンクリートで内巻きが行われている。内巻きには高さ5cmのビールが支保工として埋め込まれている。これらことから考えると、この部分は以前から荷



写真一7・11 城東トンネル伊東側坑内



写真一7・12 城東トンネル内の落盤



写真一7・14 側壁コンクリートの押出し

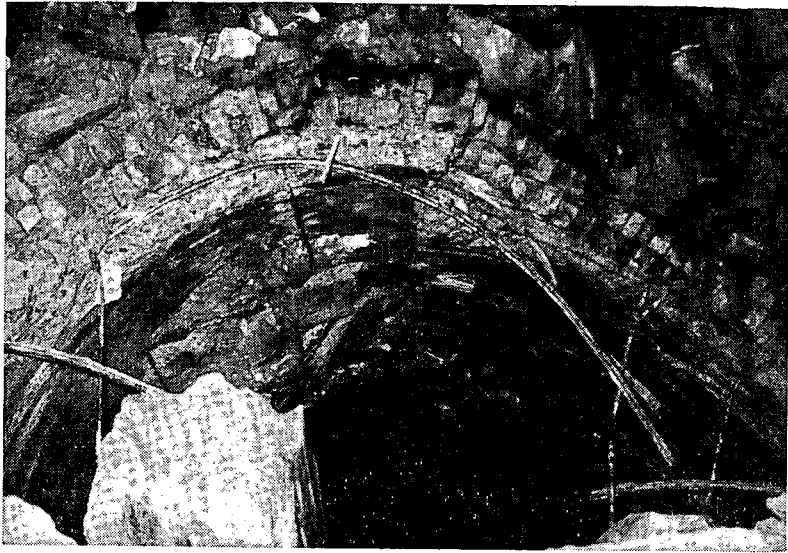


写真-7・13 城東トンネル落盤地点の両工

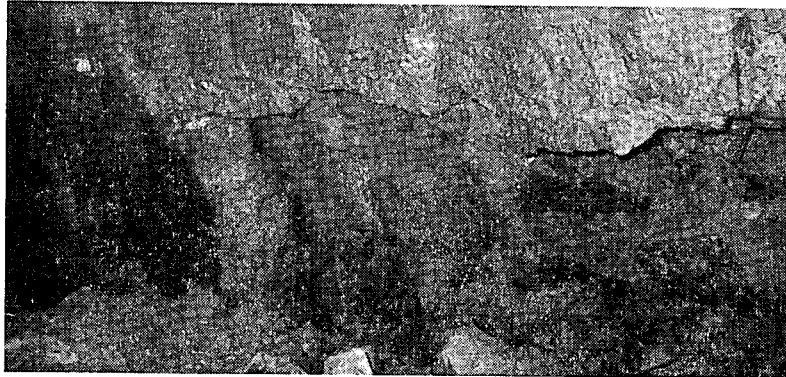


写真-7・15 側壁コンクリートの脱落

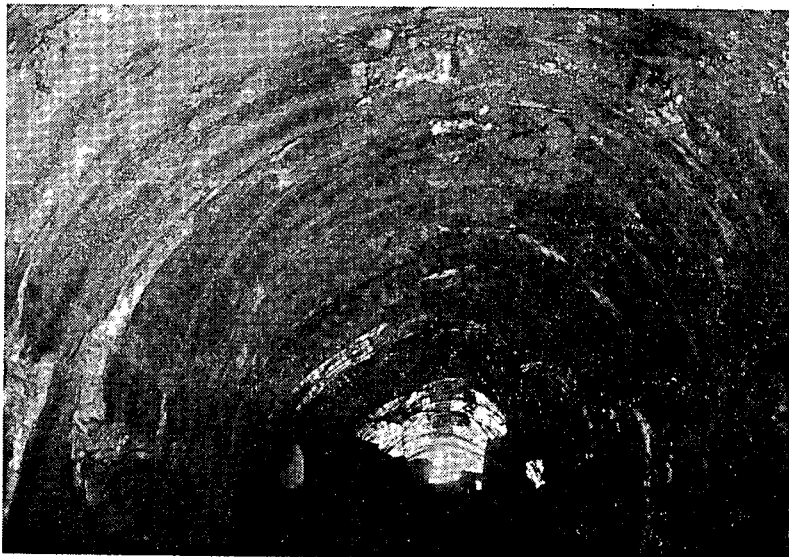


写真-7・16 アーチコンクリートの目違い

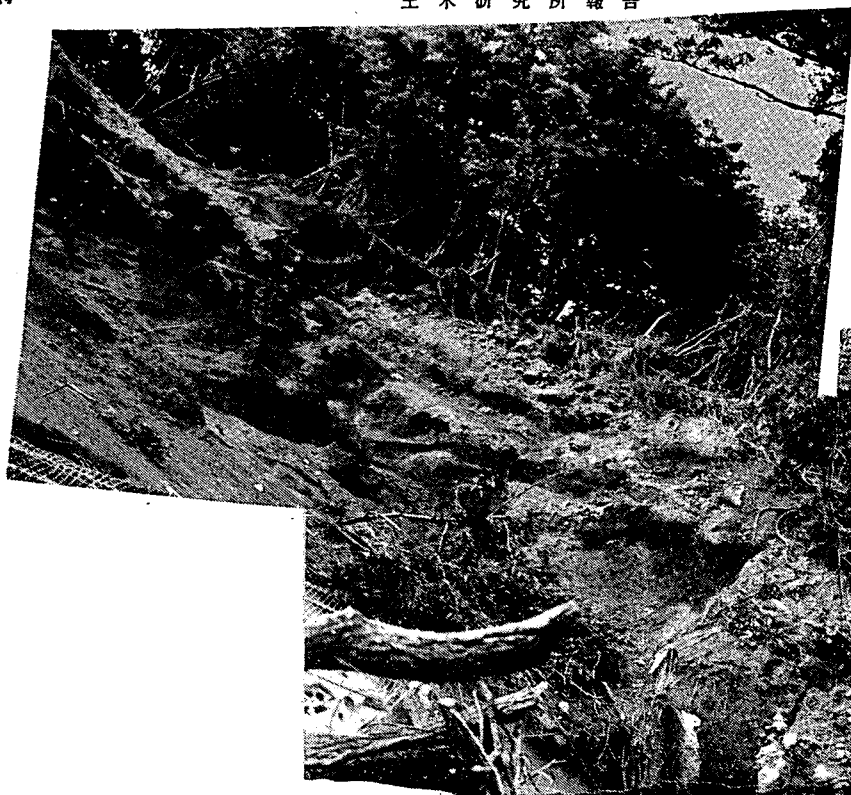


写真-7・17 黒根トンネル下田側坑口の崩壊

重が作用して覆工が変状し、地山が緩んだ問題の箇所であったことが想像される。落盤の前後の覆工も相当の変状を受け、アーチ天端の圧挫(写真-7・12)、側壁コンクリートの押し出し(写真-7・14)、側壁コンクリートの脱落(写真-7・15)、アーチコンクリートの目違い移動(写真-7・16)など各種の変状を受けている。全体的変状の傾向としては、白田トンネルと同様に海側に向かってゆがむ傾向を示している。これはこのトンネルを含む斜面が崩落に対してぎりぎりの安定状態にあり、地山が相当変形したことによるものと思われる。トンネルを含む斜面上部の地表には多数のクラックが入っている。

〔4〕 黒根トンネルの被害

黒根トンネルは城東トンネルから約300m 下田側にあるトンネルで、地質は安山岩である。このトンネルの下田側坑口付近には厚いスコリヤの堆積がみられ、この部分が崩壊して下田側坑門を写真-7・17に示すように崩落させている。伊東側坑門は残っている。トンネルの内部はクラックの発生や施工継目の開口がみられるが、その

状況は白田トンネルと同様である。また、舗装と海側の側壁には幅2～5cmの開口ができ、全体として海側にトンネルが傾いている。

〔5〕 考察

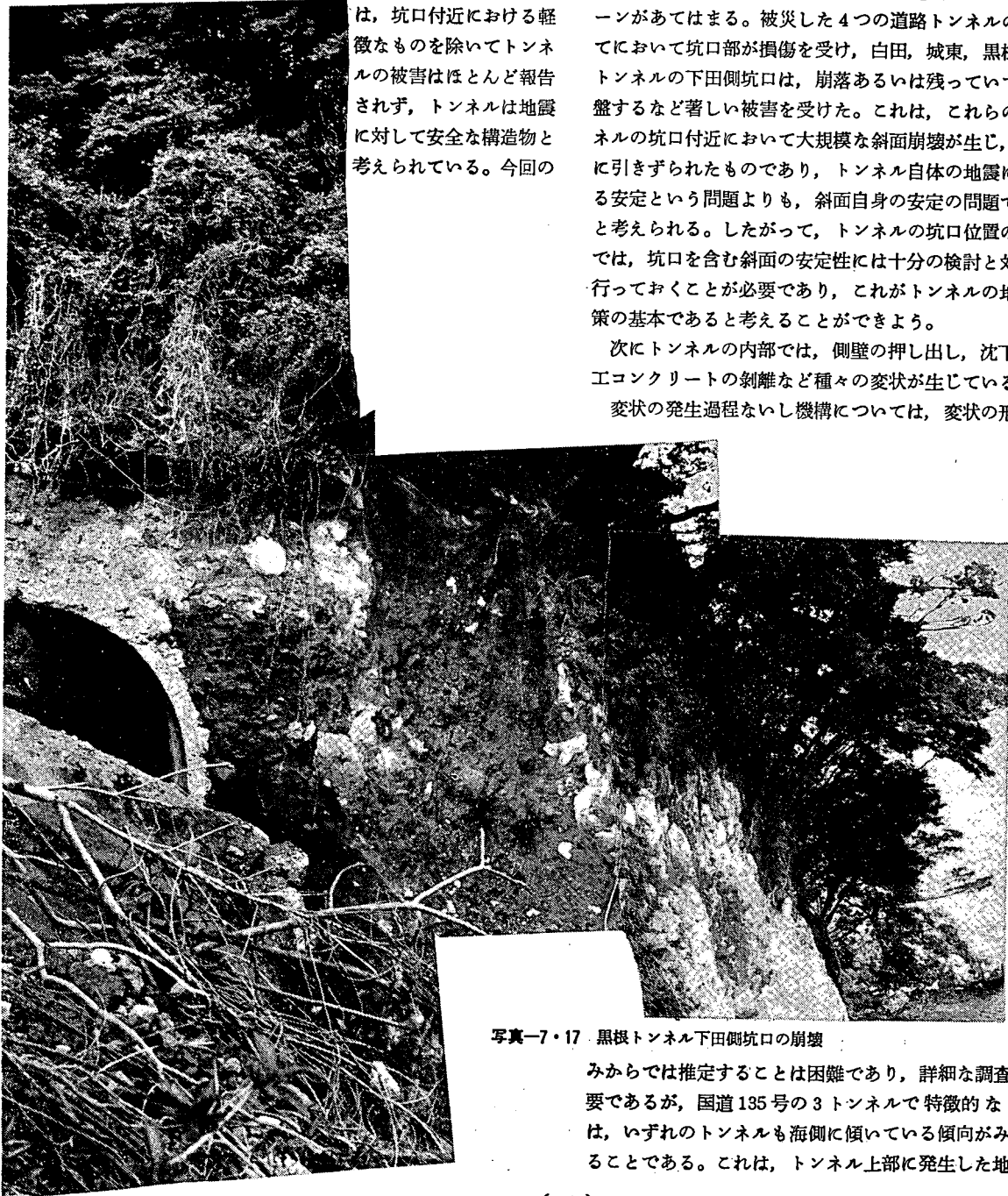
今回の地震はトンネルに稀にみる大きな被害を与えた。これは今回の地震の大きな特色の一つである。過去における大地震においては、坑口付近における軽微なものを除いてトンネルの被害はほとんど報告されず、トンネルは地震に対して安全な構造物と考えられている。今回の

地震ではこれと異なる現象が生じたことになる訳であるが、今回の被害の形態を詳細に検討すると過去の経験とそれほど異なるものではなく、被災地域の地質が比較的新しい時代の火山性のもので構成され、かつ地形が急峻であるという要因が作用し、被災の程度が顕著であったと考えることができよう。

すなわち、在来から地震で問題となるのはトンネルの坑口部であるとされていたが、今回の地震でもこのパターンがあてはまる。被災した4つの道路トンネルのすべてにおいて坑口部が損傷を受け、白田、城東、黒根の3トンネルの下田側坑口は、崩落あるいは残っていても落盤するなど著しい被害を受けた。これは、これらのトンネルの坑口付近において大規模な斜面崩壊が生じ、それに引きずられたものであり、トンネル自体の地震に対する安定という問題よりも、斜面自身の安定の問題であると考えられる。したがって、トンネルの坑口位置の選定では、坑口を含む斜面の安定性には十分の検討と対策を行っておくことが必要であり、これがトンネルの地震対策の基本であると考えられよう。

次にトンネルの内部では、側壁の押し出し、沈下、覆工コンクリートの剝離など種々の変状が生じている。

変状の発生過程ないし機構については、変状の形態の



写真一・17 黒根トンネル下田側坑口の崩壊

みからでは推定することは困難であり、詳細な調査が必要であるが、国道135号の3トンネルで特徴的なことは、いずれのトンネルも海側に傾いている傾向がみられることである。これは、トンネル上部に発生した地表の

亀裂の様子から推定すると、これらのトンネルは不安定な斜面に直接入っており、地震によって斜面全体が移動したことが考えられ、トンネルの変状はこれを反映したものとみられる。

図-7・6は城東トンネル付近における横断面を示すものであるが、城東トンネルは斜面の不安定の影響を直接受けていることが考えられる。トモロトンネルは斜面不安定の影響はより少なく、伊豆急行の黒根トンネルは安定した地山中に入っているとみなすことができよう。伊豆急行黒根トンネルはほとんど被害がなかったことが報

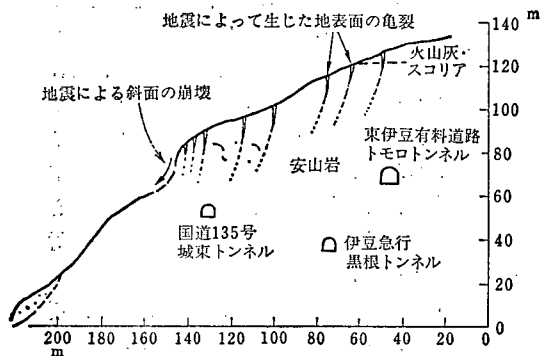


図-7.6 城東トンネル付近の横断面図

告されており、このことを裏付けている。すなわち、国道135号の3つのトンネルが著しい被害を受けたのは、トンネルを含む斜面全体の不安定にもとづくものであり、地山全体が変形したためであると考えて良いであろう。地山全体が変形した場合にトンネルの覆工が変状するのは避けられないことであり、むしろよくトンネル空間を保持していたという感じがさえる。白田トンネルにおいて一部無巻きの区間があったが、この区間の被害は若干の肌落ちがあったのみでよく空間が保たれていた。一方、城東トンネルでは覆工があるにもかかわらずトンネル中間部で落盤を起こしていた。しかしこの区間は内巻きがあり、当初から土圧が作用し地山は緩んでいたと想定される場所である。これらのことは、地震時におけるトンネルの安定は本質的に地山自身の安定が基本であり、覆工の影響は2次的要素であることを示唆するものと思われる。

覆工の変状の様子をみると、覆工が施工継目を境として積み木をゆすったような印象で変状しているものが多い。トンネル覆工の施工継目には連続性を保つための鉄筋などは用いられておらず、このため施工継目を境とした目違いや互いにぶつかり合うためと想像される圧挫による圧縮破壊が継目部で生じている。覆工の耐震性を考慮する必要がある場合には覆工の連続性を保持するための方法の検討が必要であろう。また、大きな変状を受け

た部分は写真-7・2などに示されるように、常時から覆工に多数のクラックが発生している場所であることが多く地震時における抵抗力を付けるためには、常時からの対策が重要であることを示唆するものと思われる。

斜面の不安定という直接的な影響が少ないと考えられるトモロトンネル中間部は被害が軽微である。これは、トンネルが地山の直接的な変動を受けない場合は地震に対して安全な構造物であるという一般的考え方と符合するものである。

以上のように、今回の地震ではトンネルが著しい被害を受けたものの、その直接的原因は斜面の不安定に起因していると考えられるものであり、在来のトンネルの地震に対する被災のパターンと変わらないものであったといえる。したがって、ルート選定にあたっては不安定な恐れのある地塊にはトンネルを入れないということが最も基本であるといえる。また、覆工の変状は常時において問題のあるところに集中的にあらわれる傾向がみられるので、常時における対策を十分に行うことが地震対策上からも重要であることが示唆されよう。なお、今回の道路トンネルの被害では断層運動によると直接的に考えられる伊豆稲取トンネルのような被災形態を見つけることはできなかった。

おわりにあたり、今回の地震被害の調査に際し、各種の資料を提供された静岡県ならびに日本道路公団の関係者の方々に深い謝意を表する。

2. 道路橋の被害

今回の地震による橋の被害は総じて軽微であり、橋台裏込土の沈下、コンクリート高欄の破損、バラベツト部の破損が多かった。調査した橋および被害の特徴は表-7・2に示す通りであるが、これらの中から2、3の橋について以下被害概要を紹介する。なお断層が発見されるとともに、家屋などの被害が最も激しかった東伊豆町稲取地区に横断歩道橋2橋があったが、いずれも橋本体には被害は認められなかった。

(i) 白田川橋 (賀茂郡東伊豆町白田)

昭和25年3月に完成した7径間のコンクリートT桁橋である。橋脚の一部にクラックが入るとともに、橋台と橋脚の支承部が一部破損した(写真-7・18)。

(ii) 新下田橋 (賀茂郡下田市須崎町)

昭和32年2月完成のコンクリートT桁橋であり、人魚像が高欄に乗っていることから下田名物の一つに数えられていたが、左岸側の桁が川下方向に7mm程度移動(写真-7・19)するとともに、(写真-7・20)に示すように右岸および左岸の橋台の親柱とコンクリート製高欄の取付部が破損した。これは親柱がバラベツトに、高欄は桁に

表-7・2 調査した橋および被害の概要

調査番号	橋 名	路 線	型 式	被 害 概 要	写 真 等
1	新 下 田 橋	国道135号	PCコンクリート 3径間単純桁 (L=60.16m)	桁移動(左岸側, 7cm程度) 高欄クラック	写真-7・19, 7・20
2	港 橋	市 道	7径間T型 RC橋	橋脚沈下 橋台裏込土沈下(10cm)	写真-7・21
3	白 田 川 橋	国道135号	7径間RCT桁橋 (L=69.98m)	橋脚クラック 橋台と橋脚の支承部破損	写真-7・18
4	浜 橋	国道135号	3径間連続 RC橋	橋台裏込土沈下(5cm)	
5	館 橋		ボスファンT型 単純桁橋	橋台裏込土沈下(15cm)	
6	見 高 橋	国道135号	RCT桁橋 (L=11.2m)	橋台バラベツトクラック コンクリート製高欄破損	写真-7・22
7	宮 橋	県 道	RC単純桁橋	橋台クラック	写真-7・23
8	熱 川 大 橋	東伊豆道路	鋼πラーメン	杓座コンクリート剝離	
9	白 田 橋	東伊豆道路	RCT桁橋	T型主桁折損(落石による)	
10	小奈良オーバーブリッジ	東伊豆道路	歩道橋(L=13m)	橋台に水平クラック	

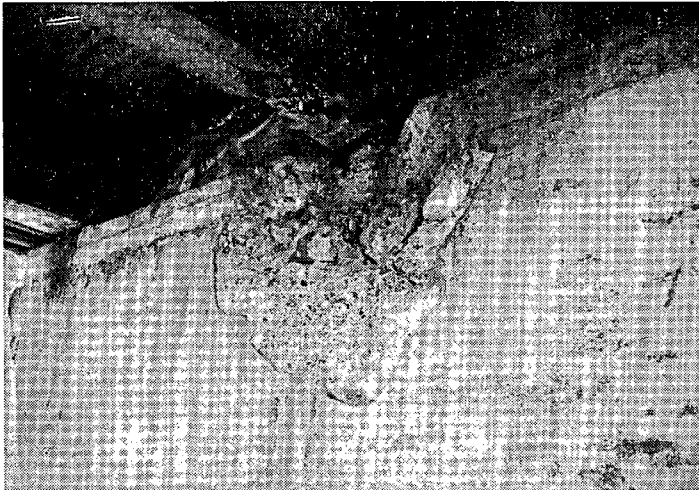


写真-7・18 白田川橋(国道135号)橋脚のクラック



写真-7・19 新下田橋橋桁の横ずれ

それぞれ固定されており、両者を高欄で結合していたため、いずれかが他方に対して相対的に移動した場合に高欄が変形に追従できなかったため破損したものであろう。

これら2橋の他に、下田市須崎町の港橋(橋脚の沈下, 写真-7・21参照)、河津町見高の浜橋(裏込土5cm沈下)、館橋(裏込土15cm沈下)および見高橋(コンクリート製高欄にクラック, バラベツトにクラック, 写真-7・22参照)、河津町梨本の宮橋(橋台にクラック, 写真-7・23参照)などに軽微な被害が認められた。また、日本道路公団東伊豆自動車道の熱川大橋では橋台の杓座附近のコンクリートが一部剝離し、白田橋ではコンクリート製T桁橋の主桁1本が落石のため被災した。

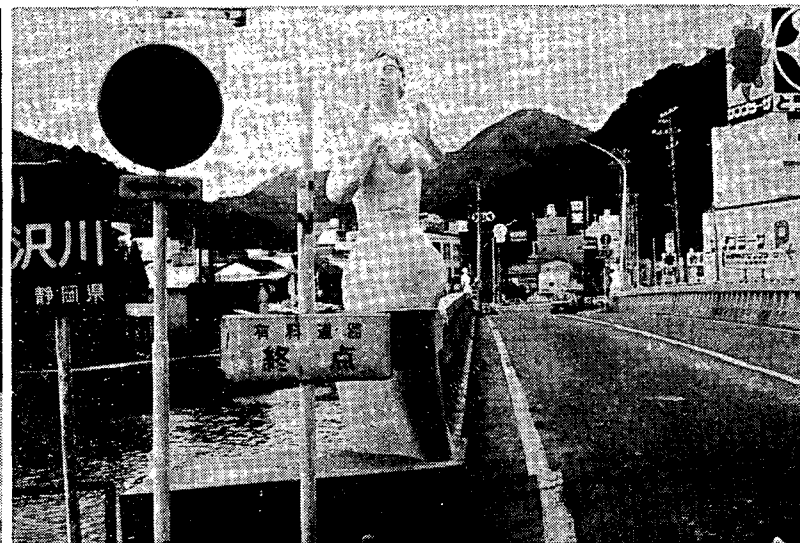


写真-7・20 新下田橋高欄の破損

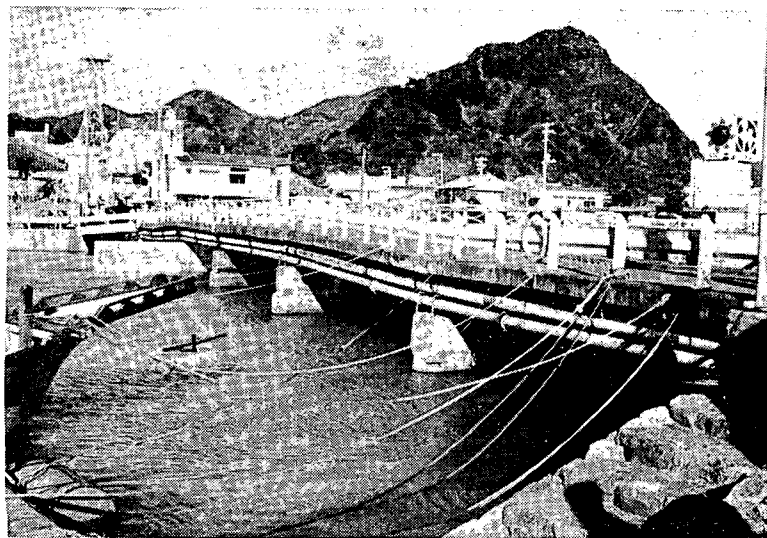


写真-7・21 港橋（下田市道）左岸側橋脚が沈下

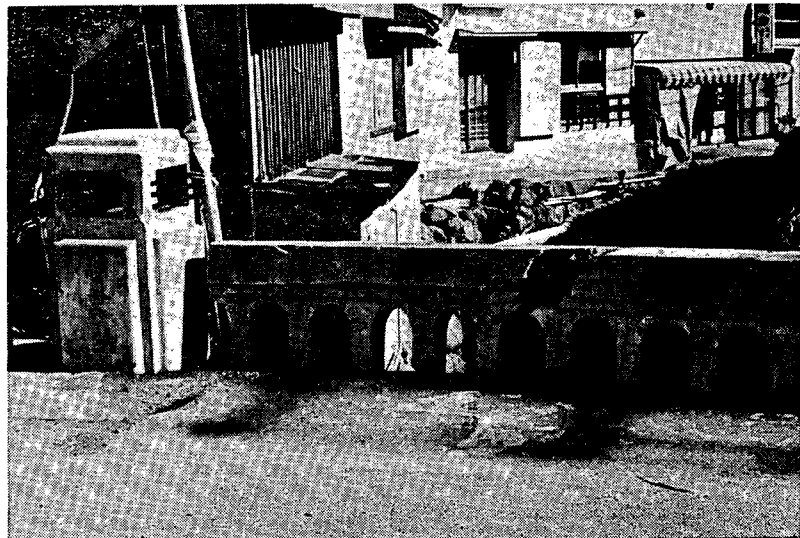
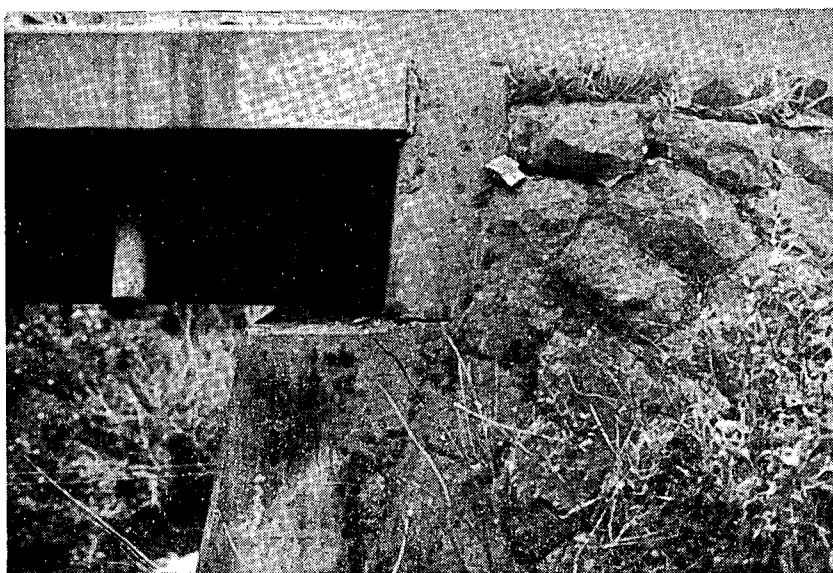


写真-7・22 見高橋（国道135号）



写真一7・23 宮橋のアバットのクラック 両側のアバットが互いに接近する方向に移動したのに対して桁はその相対的な運動に抵抗したためアバットにクラックが入ったと推定される。

第8編 応急対策と復興対策

田崎 忠行^{4*} Tadayuki Tazaki
羽立 隆幸^{10**} Takayuki Hadate

目 次

1. 応急対策	(1)
2. 復興対策	(1)
参考文献	(1)

1. 応急対策

震前震後の応急対策は、前震が顕著な場合には本震以前の注意期間から、地震の規模にもよるが地震後数日後程度までの期間における応急的な対策である。応急対策は以後漸次、恒久的な復興対策へと移行していく。今回の地震では、斜面崩壊等により25名の死者、205名の負傷者が出たことから、人命救出がまず応急対策の重点となった。第2に国道135号、主要地方道修善寺～下田線等の主要道路が交通止となり、地域住民の生活、観光客の流入に支障があったため、この復旧が大きな問題であった。水道施設の被害、持越鉱山の鉱さいダムの欠壊によるシアン流出等の影響から、飲料水対策も問題となった。

人命救出は災害規模の大きかった河津町見高入谷(死者7名)および主要地方道修善寺～下田線で車両が斜面からの崩壊土砂により埋没した河津町梨本などで難行した。とくに見高入谷においては、約10万 m^3 という大量の上砂がすべり破壊し、住居がそのなかに埋没してしまったため、行方不明者の捜索は2週間を要した。

地震による道路の被害は、第5編で述べられているように、切土のり面ないしその上方の自然斜面の崩壊および片切り片盛り部分の崩壊が大部分である。さらに第1編で述べられている推定された震度が裂震の地域では主要地方道修善寺～下田線で1km当たり4.2箇所、一般国道135号で1.5箇所という高密度な被害が発生しており、山岳地域で迂回路もなかったことから、啓開作業は路線の終端から順次行わざるをえなかった。また同年3月10日と28日の降雨により新たな崩壊が発生したことも交通の再開を遅らせる原因となった。

被害箇所が集中していることは、道路管理者の地震被害の状況の把握を困難にさせた。主要地方道修善寺～下田線では被害箇所が連続していて自動車の乗り入れが不可能であったため、道路を管理している静岡県下田土木事務所の職員は徒歩で被害調査をおこなった。このため

被害の概要を把握するだけで本震後3日を要し、さらに箇所ごとの災害規模の把握は19日までかかった。

水道施設の機能は、上水道については東伊豆町の1月26日、簡易水道については河津町の1月26日を最後に通水が再開されたことにより回復した。断水の期間中は隣接市町村、自衛隊、民間団体等の給水車による給水が行われた。また東伊豆町では応急的に仮設配管が国道135号沿いに地上に布設された。

持越鉱山の鉱さいダムが欠壊したことによりシアンを含んだヘドロの一部が持越川から本川の狩野川へ流入した。狩野川を水源としている伊豆長岡町では取水地点においてシアンを検出したため、狩野川からの取水を一時中止した。

2. 復興対策

関係行政機関のとった復興対策を列記すれば、つぎのとおりである。

- (1) 公共土木施設の復旧
- (2) 農林水産施設の復旧
- (3) 教育施設の復旧
- (4) 激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律による東伊豆町、河津町の局地激甚災害の指定
- (5) 政府系および民間金融機関による融資
- (6) 税の減免等

参考文献

1. 静岡県：1978年伊豆大島近海地震災害誌，昭和53年10月
2. 栗林他：1978年伊豆大島近海地震における救援・復旧体制に関する調査報告，土木研究所資料第1343号，昭和53年2月

付 表 伊豆大島近海地震現地調査リスト

年 月 日	研 究 室	氏 名	目 的
53. 1. 18 ～20	地 質 動 土 質 振 土 質 地 急 傾 斜 地 崩 壊 急 傾 斜 地 崩 壊	桑原 啓三 谷口 栄一 岩崎 敏男 川島 一彦 中村 浩之 反町 雄二 中垣 光弘	土木研究所第1次調査団として初動調査を実施した。
1. 17 ～18	動 土 質	沢田 健吉 古賀 泰之	持越鉱山たい積場被害調査
1. 18 ～20	急 傾 斜 地 崩 壊	反町 雄二	全被災地域の斜面崩壊地の崩壊状況調査
1. 21 ～24	"	安江 朝光	熱川、稲取付近の急傾斜地の被害状況調査
1. 30 ～2. 1	"	"	国道135号および県道修善寺～下田線の沿道斜面の崩壊状況調査
1. 31	ト ン ネ ル 振 動	今田 徹 岩崎 敏男	災害復旧技術指導 道路施設、持越ダム被害状況調査
2. 8 ～9	地 震 防 災 部 動 土 質	大橋 昭光 古賀 泰之 舟見 清己 小笠原 久 館山 悟	持越ダム被害状況調査 道路被害調査
2. 10 ～11	振 動	岩崎 敏男 川島 一彦 常田 賢一	道路施設、持越ダム被害状況調査
3. 1 ～15	"	川島 一彦	墓石転倒状況調査
3. 13 ～15	耐 震	田崎 忠行	災害査定申請書類調査
3. 14 ～16	動 土 質	沢田 健吉 谷口 栄一 小笠原 久	擁壁被害調査
4. 12 ～14	地 質	桑原 啓三 神尾 重雄 佐々木 審	地震被害調査
5. 1 ～2	動 土 質	谷口 栄一	擁壁被害調査
5. 17 ～19	ト ン ネ ル	今田 徹 水谷 敏則 花岡 信一	道路トンネル震災調査 (友路、白田、城東、黒根トンネル)
6. 15	耐 震	萩原 良二 柴田 松雄	災害査定申請書類調査
6. 16 ～17	河 川	須賀 竜三	河川被害調査
6. 17 ～18	動 土 質	谷口 栄一	見高入谷斜面崩壊調査
9. 1～ 11. 29	急 傾 斜 地 崩 壊	反町 雄二	県道修善寺～下田線災害査定 No. 2, 89, 24および湯ヶ野中山谷の崩壊地地盤調査
10. 5 ～7	地 質	岡本 隆一 菅原 捷 桑原 啓三	岩石斜面崩壊調査 (空中写真解析の結果と照合)
10. 6 ～7	耐 震	栗林 栄一 田崎 忠行	斜面崩壊現地調査
54. 6. 11 ～13	地 質	平野 勇 佐々木 審	岩石のり面崩壊調査 (地質、地形とのり面崩壊との関連)
54. 10. 13	急 傾 斜 地 崩 壊	仲野 公章	見高入谷七廻りおよび大池崩壊地の地盤調査
55. 1. 10 計22回		計47名	

(昭和 55 年 10 月 1 日原稿受理)

1978年伊豆大島近海地震災害調査報告

土木研究所報告 158

昭. 57. 3 (1982)

栗林栄一 他

要旨

1978年1月14日に発生したマグニチュード7.0の伊豆大島近海地震は各種施設に多大な被害をもたらした。とくに持越鉱山における鉱さい貯留用の堰が破壊して、シアン等を含んだヘドロが流出し、狩野川、持越川を汚染したこと、国道135号、主要地方道修善寺～下田線等の道路網が、道路沿いの斜面、のり面の崩壊によって最大2ヵ月間通行止になったことは大きな社会的影響を与えた。本報告は河川、道路における土木構造物の被害の実態、被害の解析、得られた教訓についてとりまとめたものである。

キーワード：1978年伊豆大島近海地震，地震災害。

Report of The Public Works Research Institute, Ministry of Construction
Vol. 158, March 1982

**Report on the Disaster Caused by the Izu-ohshima-kinkai
Earthquake of 1978.**

Dr. Eiichi Kuribayashi
and others

Synopsis :

This report summarizes the study on the disaster of the Izu-ohshima-kinkai (Near Izu-ohshima island) earthquake of January 14, 1978 with the magnitude of 7.0 on the Richter scale. It destroyed the dike at Mochikoshi mine which brought slime flow into the Kano and Mochikoshi rivers and caused many slope failures along roads which paralyzed regional transportation. This report describes the damage features and analyses of civil engineering structures in rivers and roads, and the lessons from the experiences.

Key words : Izu-ohshima-KinKai Earthquake, Earthquake Disaster.

Report
of
The Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Vol. 158 March 1982

Report on the Disaster Caused
by the Izo.-ohshima-kinkai Earthquake
of 1978.

Eiichi Kuribayashe
Toshio Iwasaki
Kazuhiko Kawashima
Tadayuki Tazaki
Hayashi Sugahara
Keizo Kuwahara
Ken Murakami
Tomomitsu Yasue
Masaaki Nakano
Takayuki Hadate
Yasushi Sasaki
Eiichi Taniguchi
Toru Konda
