

## 61. 1978年伊豆大島近海地震被害調査報告

地震研究所 伯 野 元 彦  
筑波大学構造工学系 藤 野 陽 三  
地震研究所 片 田 敏 行

(昭和53年8月11日受理)

伊豆半島は1972年5月の伊豆半島沖地震で、かなりの被害を受けた。それから3年半たち、またもや地震が発生し、被害に見舞われるという不幸な事態が生じた。

今回の地震は1978年1月14日12時24分に発生した。その規模はマグニチュード $M=7.0$ 、震源位置は伊豆大島西方沖で北緯 $34.8^\circ$ 、東経 $193.3^\circ$ 、深さ0kmと気象庁から発表された。前震として13日20時38分から14日の本震の前までに連続51回の群発地震が本震の震源とはほぼ同じ地域で起きた。また、15日7時31分に起きた地震は余震の中では最大の地震( $M=5.7$ )であり、この余震の震源は伊豆半島中部である。本震(以後特に断わらない限り“本震”を今回の“地震”という)ならびに、この余震により土木・建築構造物にかなりの被害が生じた。筆者らは早速現地へ赴き、土木・建築構造物の被害、墓石の転倒状況ほかを調査した。

### 1. 被害の概況

今回の地震(本震ならびに余震)による死者の分布を図-1に示す。1974年の伊豆半島沖地震による被害分布(伯野、浅野、松井、1974)と重複する箇所はほとんどない。伊豆半島は急傾斜地が多く、風化の進んだもろい地質である。このため、地震によって地盤が破壊し、道路、家屋等に被害が生じるというケースが非常に多く、被害の大部分を占めている。この傾向は前回の地震(1974年伊豆半島沖地震)による被害状況と共通している。

今回の地震による死者は総数25名で、その内訳は見高入谷における地送りによるもの(7名)、走行中の自動車に対する落石、土砂崩れによるもの(11名)、土砂崩れによる家屋の圧壊によるもの(4名)、落石によるもの(2名)、鉾津堆積場のかん止堤の崩壊によるもの(1名)である(図-1参照)。また重傷者は34名、軽傷者は171名である。

前回の伊豆半島沖地震の場合と同じように地震断層が地表面にはっきりと現われた。この断層は右横ずれ断層であることが確認された。図-2は稲取付近における断層の位置を示す。図-3は国道135号線の稲取における地震断層による舗装面のずれである。伊豆急行の稲取トンネルはこの断層を横切っており、断層のずれにより甚大な被害を受けた。

建築物の被害もかなり出たが、地震動そのものにより全壊、半壊となったものは少ない。基礎の地盤の破壊、あるいは土砂崩れ、地送りに巻きこまれるなど、間接的な要因で破壊、破損したものが多い。

道路の被害としては、盛土部分における路面の亀裂と沈下が、切土部分においては落石

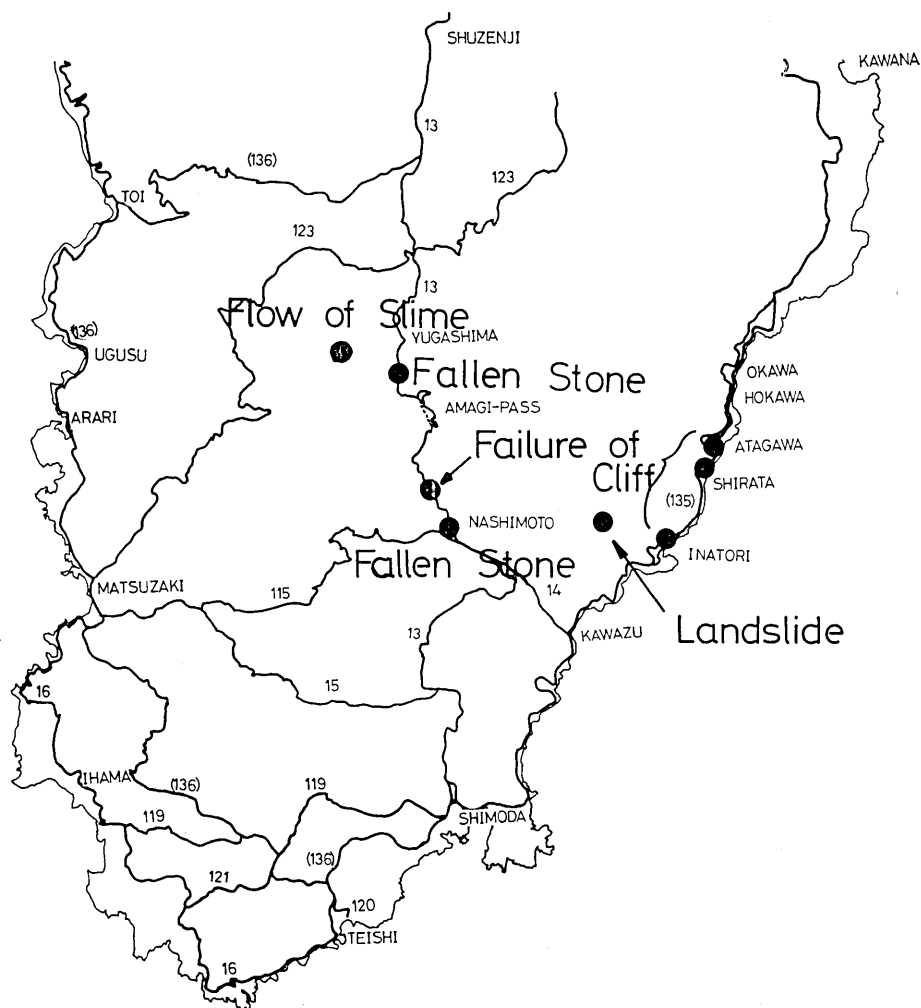


Fig. 1. Locations of the lost lives due to the earthquake.

と法面の崩落が数多く見られた。特に、国道 135 号線と県道 13 号線（修善寺—下田）で法面の大規模な崩落が見られた。道路橋はもともと伊豆東海岸、中部地区には数が少ないこともあって、大きな被害はなかった。道路トンネルには甚大な被害を受けたものがあった。

伊豆半島の東海岸の伊東—下田間を結ぶ伊豆急行は前記の稲取トンネルをはじめとしてかなりの被害を受けた。被害は富戸駅—蓮台寺駅間に集中し、主なものだけで 29ヶ所にのぼっている。路盤亀裂や架線のたるみなどの被害は全線にわたって生じた。

港湾施設では防波堤や岸壁に亀裂あるいは沈下、ひびきが見られたが、いずれも軽微である。

電力施設では地ひびきや崖崩れによって、電柱の倒伏、傾斜あるいは電線の断線が生じ

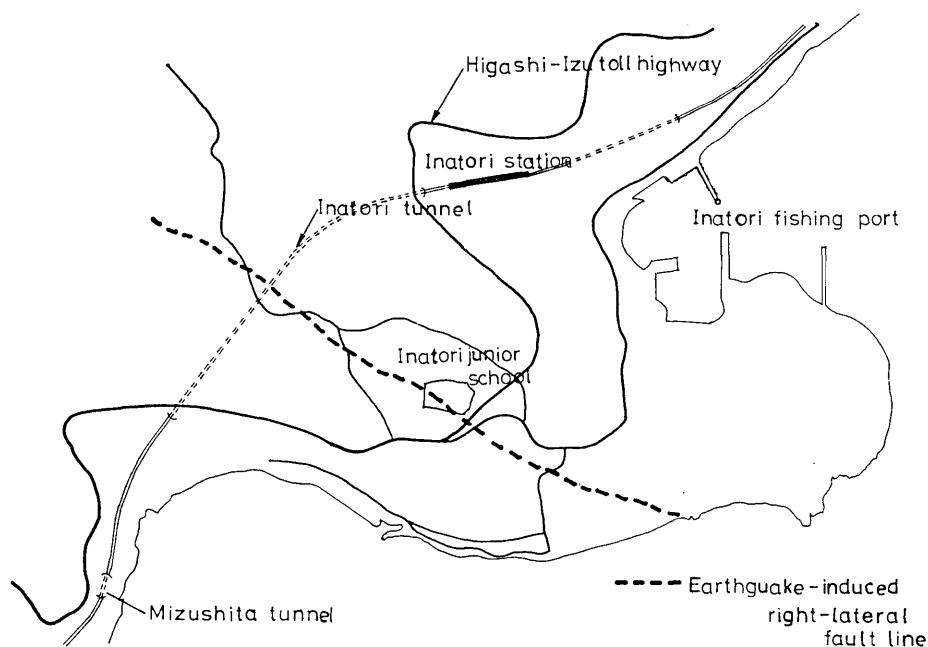


Fig. 2. Earthquake-induced fault in the town of Inatori.

た。変電所では変圧器の傾斜やずれが生じた。この結果、地震後東伊豆町と河津町のかなりの範囲で一時、停電となった。

水道施設は道路の沈下や地送りによって、水源地からの送水管が破損して、東伊豆町と河津町では断水し、復旧に約10日間を要した。

河津町の見高入谷地区では大規模な地送りが生じ、家屋が土砂に押しつぶされて死者が出た。

天城湯ヶ島町では持越鉱山の鉱滓堆積場のかん止堤が決壊して、鉱滓が持越川をへて、狩野川に流入した。このため、シアン化ナトリウムを含む鉱滓によって狩野川が汚濁された。

また、静岡県庁の災害対策本部が地震後3日たって「余震情報」を出したが、この「余震情報」が住民に誤解されて避難騒ぎが起き、一時パニック状態となった。

公共土木施設及び建築物等の損壊による直接的な被害額は、約387億円と静岡県より発表されている。

## 2. 建築物の被害

今回の地震による建築物の被害状況は静岡県の調べ（2月22日現在）によると、表-1のようになる。東伊豆町と河津町で建築物の被害棟数が多いが、これは本震によるものである。また、松崎町と西伊豆町などの西海岸における被害は翌日（1月15日）の最大余震によるものがほとんどと思われる。

Table 1. Damage table of houses and buildings.

Category		Higashi-Izu Town	Amagi-Yugashima Town	Kawazu Town	Shimoda City	Nishi-Izu Town	Matsuzaki Town	Toi Town	Ito City	Minami-Izu Town	Kamo Village	Atami City	Naka-Izu Town	Total
		Houses		16	12	7	4		1					
Dwelling Houses	Collapse	Families		16	16	7	4		1					100
		Person	251	77	44	23	14		1					410
	Partial Collapse	Houses	460	56	24	24	34	11		4		27		
Dwelling Houses	Partial Collapse	Families	478	56	25	34	11		2		27			633
		Person	1998	236	87	87	105	41		12		108		
	Dwelling Houses	Local Failure	Houses	2097	879	77	229	195	100	304	29	114	1	21
Families			2125	879	81	283	194	100	306	29	114	1	20	4256
Local Failure		Person	8053	521	3581	291	1023	701	400	1166	119	392	4	84
Public Houses			2		12	2	1				1			24
Non-dwelling Houses		145		78	57	124	9	60	45		20			538

伊豆半島は山が多いため、傾斜地に立地している家屋が多い。したがって宅地の多くは切土、盛土によって構成されている。その結果、建築物の被害も土砂崩れあるいは擁壁の崩壊などに起因するものが大部分を占めている。

建築物の被害の原因を大別すれば次のようになる。

- ① 土砂崩れによる家屋の埋没（見高入谷，図—35）
- ② 盛土部分の沈下または崩落による家屋の傾斜や倒壊（例えば，河津町梨本，図—4）
- ③ 崖崩れによる家屋の倒壊（例えば，稲取の病院下の被害，図—5）
- ④ 地震断層による強制変位の結果生じた建築物の損壊（図—50）

また、地震の震動による上記以外の直接的な被害として、稲取近くの小林ドライブ・イン（図—6）が挙げられよう。このドライブ・インは半地下式の2階建て構造となっている。この建物は崖に接するように建てられており、2階部分が道路に面し、あたかも1階のように見える。2階は鉄骨プレハブ構造となっており、1階は鉄筋コンクリート建ての住宅となっている。地震によって、2階部分が倒壊した。図—7は1階に置かれていたピアノの移動状況である。かなりの強さの地震動であったことが想像される。

崖の近傍という地形的な影響で地震動が大きかったことも考えられる。

なお、最大余震による松崎町や西伊豆町における家屋の被害は瓦が飛ぶ程度の比較的軽微なものが多かった。

### 3. 道 路 施 設

静岡県及び道路公団の調べによると、道路関係の被害状況は表—2に示す通りである。被害は東伊豆町、河津町及び松崎町に集中している。路線別では国道135号線と県道13号、115号線、123号の各道路において、被害箇所数が多かった。しかし、被害金額では国道135号線（東伊豆有料道路）と県道13号線（修善寺—下田）の2路線で道路被害総額（約

Table 2. Damage table of road and highway structures.

	Road	Number of damage or damage	Number of lost lives
National highways	No. 135 No. 136	31	4
Major regional roads	No. 13 (Shuzenji-Shimoda) No. 14 (Yugano-Kawazu) No. 15 (Shimoda-Nakagawa -Matsuzaki)	97 6 8	3
Prefectural roads	No. 113 (Atagawa-Katase) No. 115 (Yugano-Matsuzaki) No. 123 (Itoh-Matsuzaki)	5 35 73	
Bridges	Minato Bridge (Shimoda) Shimoda Bridge (Shimoda) Shirata Bridge (Shirata)	Whole structure (Degradation) Handrail Pier	
Tunnel	Tomoro Tunnel	Lining	

140 億円) の約85%を占めている。

伊豆半島は山が多く、また海岸近くまで山が迫っているので、道路は盛土部分と切土部分より成っているといっても過言ではない。盛土の被害が目立った伊豆半島沖地震に比べて、今回の地震では、切土部分における落石や法面の崩落による道路の被害が目立った。地震時には伊豆半島東海岸に約2000台の自動車が走行中であったが、そのうち被災した自動車は5台で、それによる死者は11名で死者の44%を占めている。道路の法面を設計する際、現在はほとんど耐震設計がなされていない。耐震設計をどの程度取り入れるべきかについて今後十分な検討が必要と思われる。

また、盛土部分でも路面の亀裂と沈下を生じているところが数多く見られた。図—8は東伊豆有料道路における盛土部分の沈下の実例である。図—9は県道13号線における東海バスの埋没現場である。この地点は大規模な切土となっており、法面にはモルタル吹付けが行なわれていた。県道13号線には、このような切土部分の崩落が数多く見られた。図—10は県道13号線の与市坂の落石によるバスの被災現場である。この地点以外でも、各所でかなり大きな岩の落下があったが、幸いにも人的被害は生じなかった。落石防止策に関しても今後検討を要しよう。

図—11はトモロトンネル（東伊豆有料道路）における被害の状況である。天端が少し剝離し、照明器具が破損した。この付近では平行して走っている旧道が大規模な崩落（全部で9ヶ所）によって、全く通行不能となってしまった。

伊豆東海岸中部は川も少なく、したがって道路橋自体が少ないこともあって被害を受けたのはわずか3橋で、老朽化していた下田橋を除いて、いずれも軽微であった。

復旧には、東伊豆有料道路で1ヶ月、県道13号線で3ヶ月を要した。

#### 4. 鉄 道 施 設

今回の地震により東海岸の伊東一下田間を結ぶ伊豆急行の鉄道施設がかなりの被害を受けた。地震時には数台の電車が運行中であったが幸い無事で、死傷者はでなかった。

伊豆急行の調べによると、主な被害状況を表—3に、主な被害箇所の分布を図—12に示す。今回の鉄道被害の中で最も目立ったのが地震断層による稲取トンネル（全長960m）の被害であろう。伊豆急行鉄道の地震被害による資産損失は約15億円である。このトンネ

Table 3. Damage table of Izu-Kyuko railway structures.

Damage	Number
Cliff Failure (Total 12000 m <sup>3</sup> )	5
Fallen Stone	3
Tunnels	6
Railway Foundations	6
Bridges	2
Others (Electric Power System etc.)	many

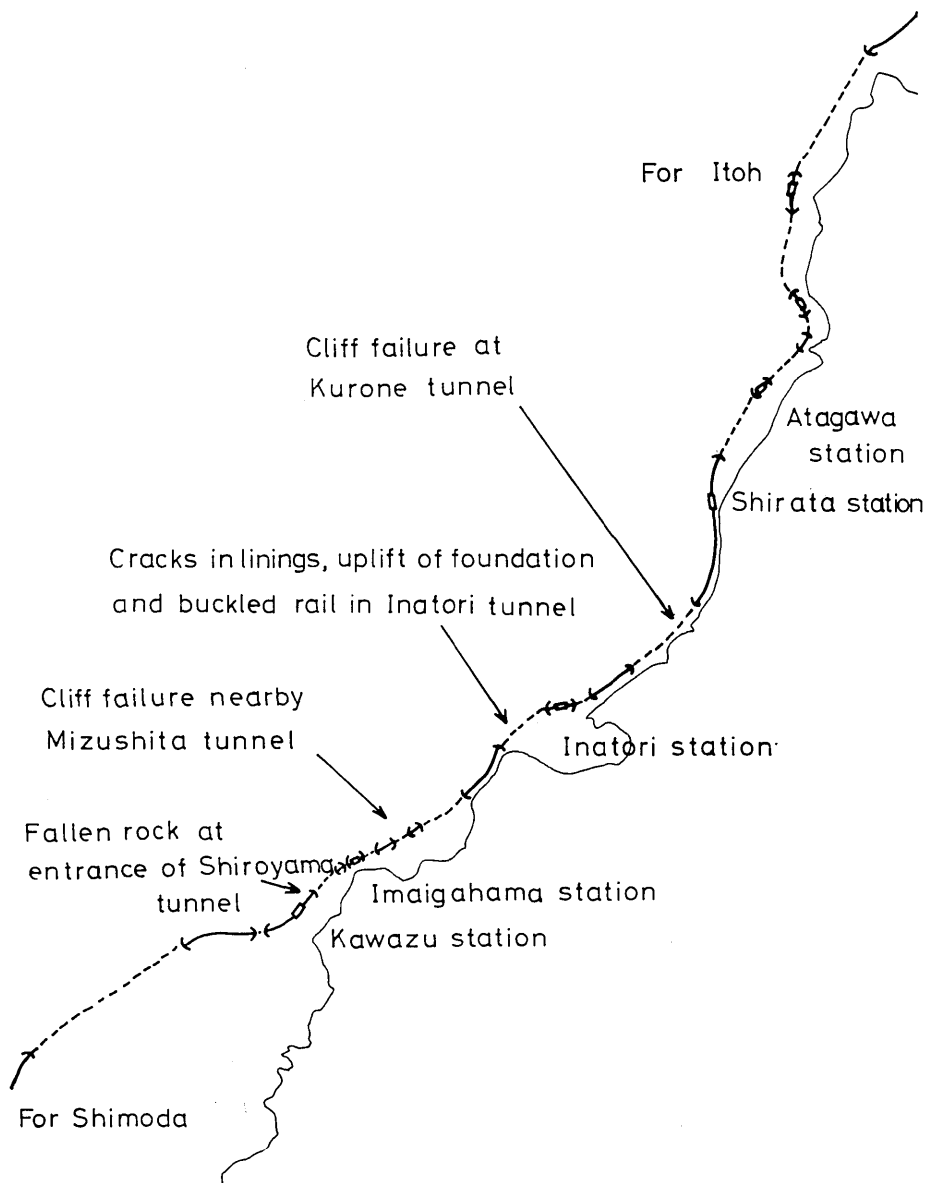


Fig. 12. Damage distribution of Izu-Kyuko railway structures.

ルの被害が被害額の大半を占めているとのことである。稲取トンネルの被害状況を示したのが図-13である。トンネルの中央付近を今回の地震の原因となった断層が横切っている。そのため、コンクリート覆工が破壊し、天端に穴があいて土砂がトンネル内に流入した。(図14, 15) また、レールが50cmも浮き上がる惨状を呈した所もある。また、トンネル下田側坑口付近のレールが約50mにわたって蛇行した。

日本におけるトンネルの断層による被害の例としては、北伊豆地震(1930. 11. 26)に

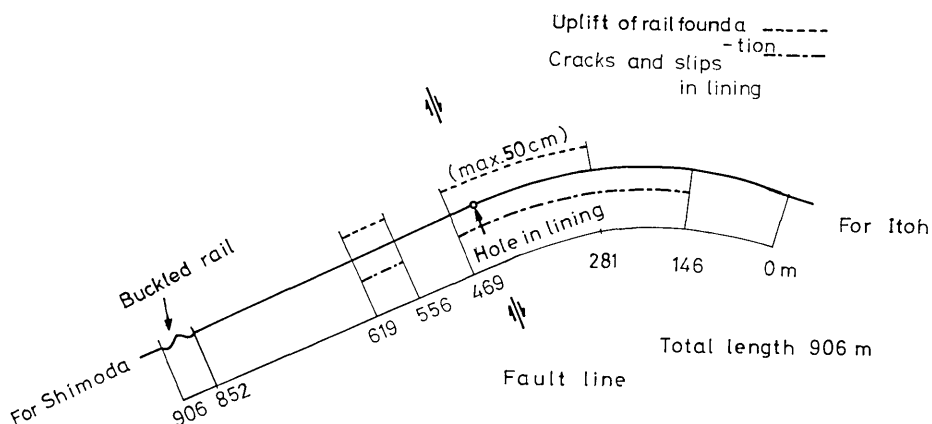


Fig. 13. Damage in Inatori railway tunnel.

よる丹那トンネルの導坑、新潟地震（1964. 6. 16）による葡萄トンネルの被害などが知られている。今回の稲取トンネルの被害はそれらを大巾に上回るもので、地震によるトンネルの被害として最大級のものと思われるので、少し詳しい調査を行なった。

まず、トンネル内のレールと枕木を結ぶ犬釘がレールに対して相対的な動きをしているものが数多く見られた。（図—16）また、レールの遊間量は通常約 7 mm であるが、トンネル内のレールの遊間量が大きくなったもの、小さくなったものといろいろあった。（図—17）犬釘の動きとレールの遊間量を測定した結果を図—18に示す。図—18より犬釘の動きに関しては、断層の横切ったあたりで動きが反転していることがわかる。遊間量は断層付近で拡がり、断層から離れた所では小さくなっている。これらがどうして生じたのかにつ

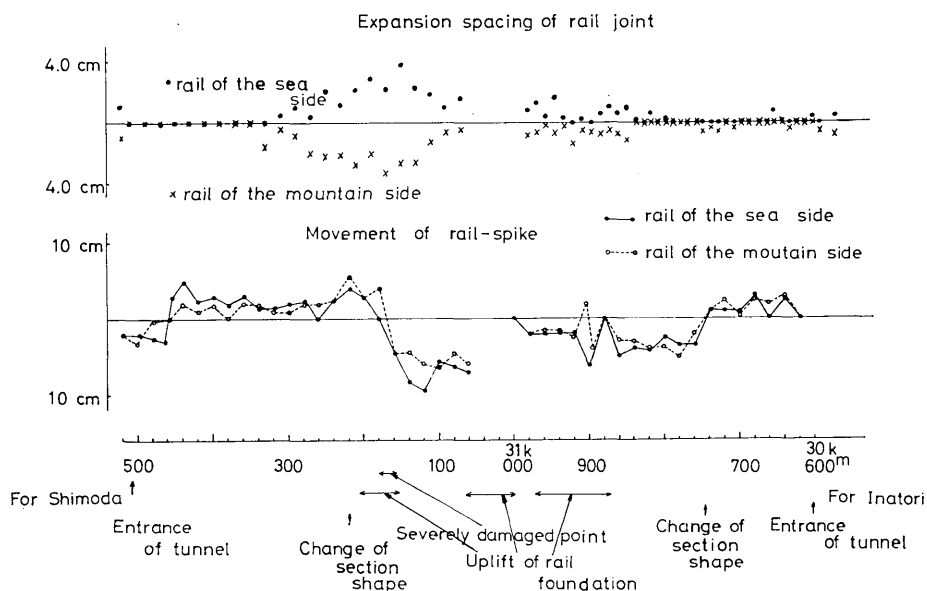


Fig. 18. Expansion spacing of rail joint and movement of rail spike.



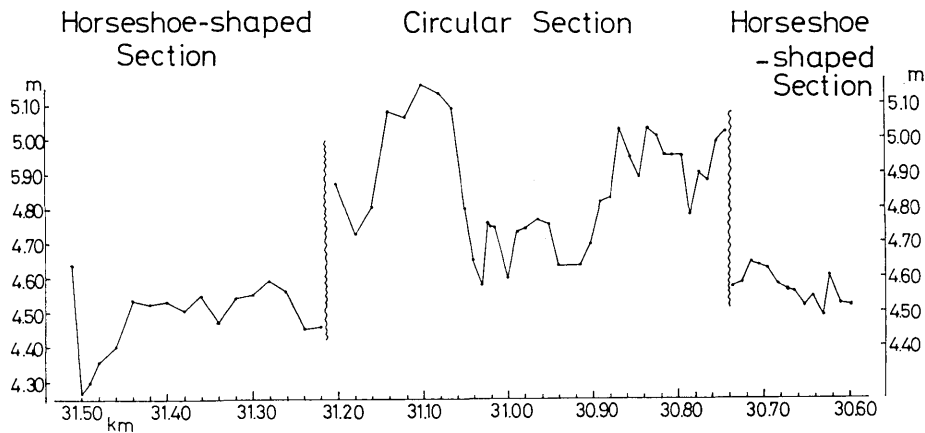


Fig. 19. Diameters of Inatori tunnel.

いては後で筆者らの考えを述べる。

図一19はトンネル内の路盤より高さ1.2mにおける差渡し量の測定結果である。下田側坑口付近で差渡し量が小さくなっており、断面変化が生じたと思われる。ここではレールが蛇行しており、何らかの形でトンネル覆工に力が加わり変形したと考えるのが自然であろう。図一19においてトンネル中央部付近で約20mにわたって断面差渡し量が小さくなっているが、これは断層が横切っている地帯であり、断層がずれることによって断面が変形したと考えられる。このあたりは温泉余土などの悪い土質であったため、トンネルを円形断面とし、1.2m間隔にV形鋼を入れ、コンクリート覆工厚も70cmとするなど補強されていた。しかし断層が動けばいくら丈夫に造っておいても変形はまぬがれ得ず、激しい被害を受けるということである。トンネル中央部では覆工に破孔が生じ、トンネル内に土砂が流入していた。(図一14, 15)

図一20はトンネルの下田側坑口付近で生じたレールの蛇行である。レールの蛇行状況の測定結果を図一21に示す。50mにわたる蛇行によりレールは長手方向に約20cm縮んでいことがわかる。平均歪にすれば0.4%である。レール蛇行部の側溝の蓋のいくつかを図一22で示すように座屈しており、このあたりの路盤がトンネル軸方向に縮んだためレールが座屈したと考えてよいだろう。

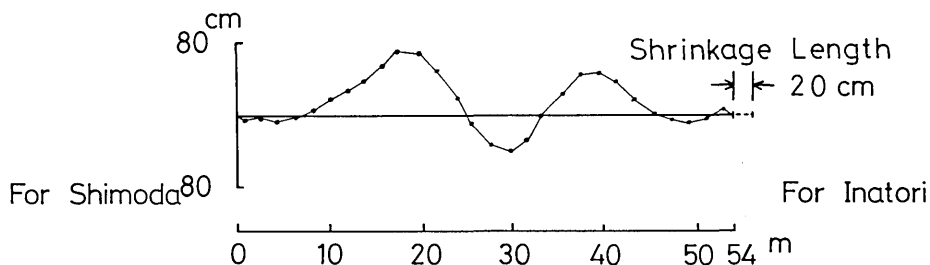


Fig. 21. Buckled rail.

では何故下田側坑口付近で路盤が縮んだのであろうか。著者らは、ダイレイタンスーの考え方を用いて説明できるのではないかと考える。ダイレイタンスーというのは図-23に示すように、砂のような粒状体の絡み合いで構成されている材料にせん断変形を与えると体積に増減が生じる現象のことであり、土質力学ではよく知られた現象である。図-15に見られるように断層の横切ったあたりの地盤は土砂で構成されており、地震前はかなり密に詰っていたと考えてよいだろう。地震時に断層が動けば、これはせん断変形だから、ダイレイタンスーによりこのあたりの密につまっている地盤は膨張しようとする。路盤と枕木の間に図-24に示すような動きがあることが確認され、また図-18のレールの遊間量の変化より、事実断層付近では地盤が膨張したと考えられる。基本的にはその膨張しようとする力が、途中の比較的地盤の良い所を経て、下田側坑口付近の地盤の悪い所を圧縮させてレールを座屈させたと考えることができる。しかし、下田側坑口より約200mの所の比較的良好地盤上にある路盤をまたいでいるケーブルがほとんどトンネル軸方向に移動していない(図-25)。下田側坑口付近では、50mで20cmのトンネル軸方向の縮み量があるのだからこの付近でも20cm近く移動していてもよさそうなものである。

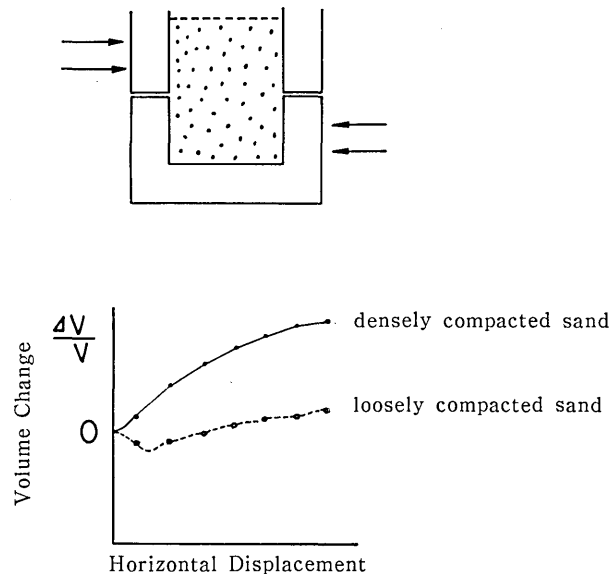


Fig. 23. Dilatancy phenomena.

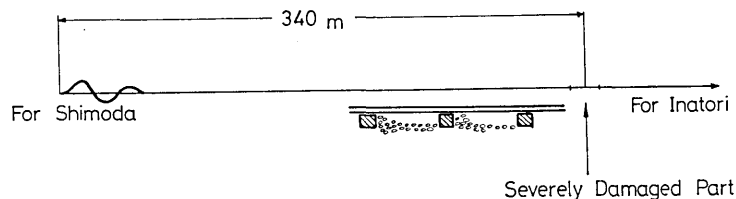


Fig. 24. Relative movements between foundation and ties.

断層がずれるのは静的な動きではなく、比較的短い時間で起こる動的な現象であり、そのずれによってトンネル軸方向にS波とともにP波も生じるであろう。そのP波は途中の比較的地盤の良い地点から下田側坑口付近の悪い地盤に入り増幅される。下田側坑口の外側には川が流れており境界条件が著しく変化する所だから、伝わってくるP波は反射し、この悪い地盤の所にP波がたまり地盤が圧縮され、塑性変形を残したと考えてもよさそうである。もしそうならば図-25に示すケーブル付近で大した変位がなくとも、レール蛇行部で20cm地盤が縮むことはあり得ると考えられる。断層をはさんで稲取側ではトンネル自体が曲っており、また地盤も比較的良いので局部的に大きな歪が地盤に生じるようなことがなく、レールの座屈が生じなかったと思われる。

以上述べたように、地震断層が稲取トンネルを横切り、大きな被害をもたらしたが、全面崩壊ということではなく、一面でトンネルの強さを示したとも言えるかもしれない。なお、伊豆急行鉄道は地震後まもなくトンネルの復旧作業に着手した。被害の出た覆工部の復旧には内側から鉄筋コンクリートをはりつけた。コンクリートには鋼繊維をまぜ、せん断力、引張力に対して安全性を高めている。また浮き上がった路盤は取り去って新しい路盤を作った。そして地震後5ヶ月を経過した6月15日に稲取トンネルは使用を再開した。

稲取トンネル以外の鉄道被害のいくつかの例を示す。図-26は土砂の崩落による水下トンネルの落石防止工の破壊状況である。予想した場所で崩落が生じたが、崩落規模に対して防止工が弱かったわけである。図-27は城山トンネルの河津駅側坑口の落石である。この石は5m×6m×10m、重さ1000トンという巨大なもので、高さ120mの山腹から落ちて来た。この巨大な石はダイナマイトによって爆破してから撤去された。図-28は見高トンネル付近の路盤沈下である。このような路盤の沈下は他にも何ヶ所かで生じた。

## 5. 電力施設

電力施設の被害状況（東電調べ）は表-4に示す通りである。被害額は約8億円でその大部分が送電関係の被害である。地震発生後、東伊豆町と河津町で約20000軒が停電した。地震の発生当日（1月14日）の夕刻までに76%が、また翌日（1月15日）にはほぼ100%復旧した。

東伊豆町では白田川発電所の導水路の覆工にクラックが多数発生した。松崎町の仁科川発電所では落石によって導水路が損傷した。また、東京電力の高圧送電線下田ラインの高圧送電塔の中にはその脚が変形したものもあった。しかし、送電には支障がなかった。

Table 4. Damage table of electric power facilities and supply systems.

Damaged Structures	Number
Inclined or Fallen Electric-light-poles	174
Disconnection of Electric-lines	105
Inclined or Slipped Transformers	94
Disconnection of Incoming-lines	213
Headrace Channels in Power-station	2

## 6. 水 道 施 設

今回の地震では、道路の崩壊や地入りによって、埋設されていた送水管や配水管が最高約1000mにわたって押し流されるという被害が生じた。東伊豆町では国道135号線（旧道）のトモロ岬付近で道路に埋設されていた送水管（ $\phi$  400mmの铸铁管）が約1000mにわたって道路の崩壊により押し流された。同様に、東伊豆有料道路の熱川付近でも送水管（ $\phi$  300mmの铸铁管）が約50mにわたって押し流された（図-29）。河津町では簡易水道の配水管（ $\phi$  80mmの鋼管）が約200mにわたって押し流された。

さらに、送、配水管には以下のような被害も見られた。

- ・ 铸铁管：管の切断，継手の離脱（図-30）
- ・ 鋼 管：継手のネジ切り部分の切断切損，図-31は $\phi$ 150mmの鋼管がフランジ部分で抜けたところである。管の片側は配水池で固定されている。片方を固定して配管した場合の典型的な被害といえよう。
- ・ 塩化ビニール管：継手部分の切損，図-32は丁字形の継手部分の被害である。このT字部分の被害がかなり出たといわれている。
- ・ 石綿セメント管：管の切断，管軸方向のひび割れ。

日本水道協会の調べによると東伊豆町と河津町における送、配水管の被害状況を表-5に示す。

取水場や浄水場ではガラスが破損した以外には被害はなかった。東伊豆町の熱川系ポンプ室の計装盤が転倒したが、送水には支障がなかった。

Table 5. Damage table of water supply systems.

	Diameter (mm)	Number				Total
		Cast iron pipe	Steel pipe	Vinylchloride pipe	Asbestos pipe	
Higashi-Izu Town	$\phi$ 40		1	2		
	$\phi$ 50		7	13		
	$\phi$ 65			1		
	$\phi$ 75	2	10	19	3	
	$\phi$ 100	3	1	12	4	
	$\phi$ 125		3	2		
	$\phi$ 150	3				
	$\phi$ 200	1				
	$\phi$ 250	1				
Sum		10	22	49	7	88
Kawazu Town	$\phi$ 50		1	11		
	$\phi$ 75		2	24	2	
	$\phi$ 100		3		4	
	$\phi$ 125				1	
	$\phi$ 150	5				
Sum		5	6	35	7	53

以上のような送、配水管の被害によって東伊豆町では1月14日から24日（一部地域では26日）まで、河津町では1月14日から20日（一部地域では26日）まで断水した。この間、給水車による応急給水が行なわれた。給水車については静岡県 of 各市町村からも応援を求めた。また、自衛艦による飲料水の海上輸送も実施された。

被害の状況からわかるように崖崩れの起こりそうな所に送水管を埋設するのはできるだけ避けるべきであろう。また、複数の水源が確保できれば、それだけ水道全体の機能低下を防ぐことができよう。

今回の地震ではシアン化ナトリウムを含む鉍滓による狩野川の汚濁によって、修善寺町と伊豆長岡町では上水道用水に支障をきたすという、間接的な被害も生じた。

静岡県衛生部の調べによる水道施設の被害額は東伊豆町で2億4,700万円、河津町で1,900万円であった。鉍滓流出による水道関係被害額は修善寺町で500万円、伊豆長岡町で5,600万円であった。総計で3億2,700万円となる。

## 7. 港湾施設

表—6に港湾施設の被害状況を示す。表—6よりわかるように港湾施設は主に岸壁と船着場の亀裂と沈下である。被害は大したこともなく、港としての機能を損うものでないと思われる。

図—33と図—34に稲取漁港の被害状況を示す。図—33は船着場の亀裂と沈下を示す。図—34は岸壁の亀裂とせり出しの状況である。岸壁にはオイル・タンクが設置されていたが、地震によって油が漏れることはなかった。

西海岸の漁港にも若干の被害が生じたが、これは15日（午前7時31分）の最大余震によるものといわれている。

Table 6. Damage table of ports and harbours.

	Damaged Structures	Type of Damage	Remarks
Inatori Fishing-port	Landing place in front of Fishmarket	Settlement (20~30 cm)	
	Quaywalls	Cracks and Slides	
	Dock for Tokai-line	Inequal Settlement	
Shimokawazu Fishing-port		Slight Damage (negligible)	
Shimoda Harbour	Quaywalls	Settlement (7 cm) and Slides	
Tago Fishing-port	Quaywalls	Settlement and Cracks	Due to max- imum aftershock
Arari Fishing-port	Quaywalls	Failure of Stone Revetment	

## 8. 山崩れ・地這り

河津町見高入谷地区では地震によって大規模な地這りが発生した。図—35はその全景である。図—36に示す縦断面図から明らかなように、標高約700mの通称「土口山」が頂上

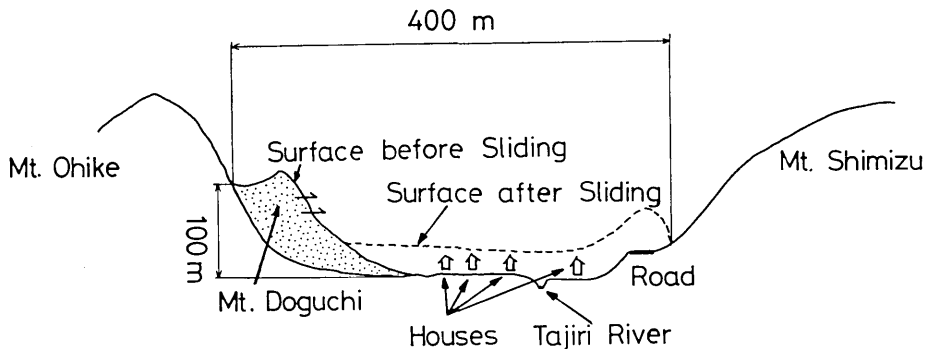


Fig. 36. Landslide at Mitaka-Iriya.

付近から崩れ、約400mほどすべって、相対する通称「清水山」の中腹まで土砂がのり上げ、土砂の一部は谷の方へバウンドするように戻った。すべった土砂は約10万 $\text{m}^3$ といわれている。図-37は地送り起点の頂上付近である。図-38は地送りの先端が「清水山」に衝突した所を示す。この地送りによって家屋4戸が埋没して、7名が死亡した。

地送りが生じた土口山は5～6mの高さの杉でおおわれた、約30度の急斜面の山であった。崩れた土は黄白色の粗い粒子であった。この土を手で握ると2～3mmの大きさにぼろぼろとくずれてしまう。地表から1～2mは腐食土からなる地層で、その下に厚さ2～3mにわたって、この崩れやすい土層があった。現場は1976年の河津地震 ( $M=5.4$ ) の震源近くであったが、そのときには地送りを起こさなかった。

図-39は河津町の内陸部にある鉢山付近の地送りの全景である。かなり大規模な地送りではあるが、ここには民家がなく犠牲者が出なかった。このような比較的大規模ではあるが人的被害を伴わない地送りはこのほかにもいくつかあったようであるがその数は未確認である。

## 9. 鉾津堆積場かん止堤の決壊

今回の地震では天城湯ヶ島町の中外鉾業持越鉾業所のはおずき沢鉾さい堆積場においてかん止堤が決壊した。このため、シアン化ナトリウムを含む鉾津が流出して持越川を経て狩野川、相模湾に流入し、汚濁した。このとき、鉾津の泥流に巻き込まれて従業員が1名死亡した。この堆積場の見取図を図-40に示す。

まず14日12時24分の本震によって、第1かん止堤の上部14mが崩壊し、約10万トンの鉾津が流出した。第1かん止堤の断面図を図-41に示す。15日朝第2かん止堤の上部4mに徐々に亀裂がはいり、12時50分頃崩壊した。このため約5千トンの鉾津が流れ出した。

図-41を見てもわかる通り、堤体はまず基礎となるかん止堤を大きく土盛りして作り、内側に鉾津を入れる。鉾津がふえるに従って堤を積み上げてゆく。それゆえ、鉾津が水抜きされて固まったままであれば耐震上問題はないといえよう。しかし何らかの理由で地震動により鉾津が液化すれば堤体は構造上不安定なものとなる。

図-42は約10万トンの鉾津が流出した第1かん止堤の全景である。図-43は決壊した第2かん止堤の状況である。図-44は無傷な第3かん止堤の遠景である。図-45は鉾津堆積

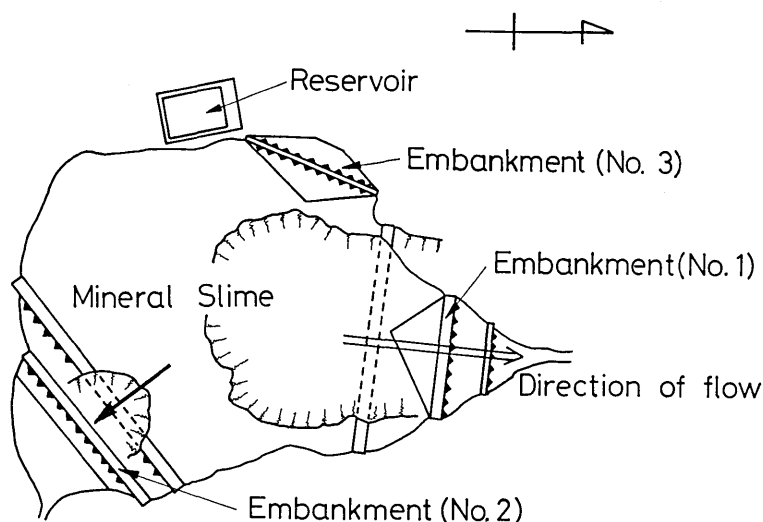


Fig. 40. Plan of mineral slime.

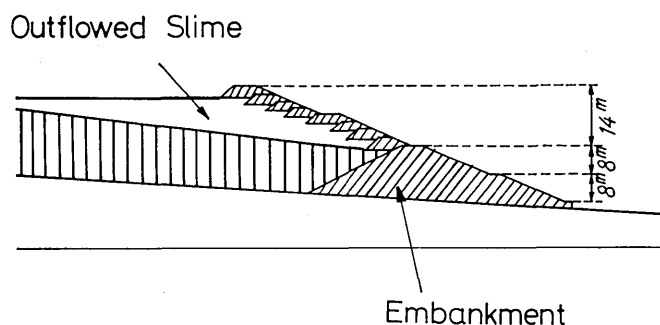


Fig. 41. Section of No. 1 embankment.

場の表面に点在する鉱滓の噴出した跡である。この噴出跡は地震時に鉱滓が液化したことの証拠のひとつとなりうる。また図-46は以前鉱滓の堆積場であったのろ沢堆積場において見られた鉱滓の噴出現象である。

鉱滓の動力学的性質がどのようなものであるかを調べる目的で、ほおずき沢堆積場の鉱滓を3杯のバケツに採取し、地震研究所に持ち帰った。堆積場から車へ運ぶ間の5分程度の運搬に伴う振動により、バケツの中の鉱滓は液化化し、表面に水がたまり下に鉱滓が沈む状態を呈した。地震研究所の振動台の上に箱をすえ、鉱さいを入れて加振実験を行なってみた。図-47に加振前の状態を、図-48に加振後の状態を示す。鉱滓を振動させると鉱滓がいわゆる“液化化現象”を呈することが認められる。

鉱滓堆積場のかん止堤の破壊原因として以下のものが考えられよう。①かん止堤が弱すぎた、②地震が強すぎた、③鉱滓が液化化した。①の原因に関して一応耐震設計がされており、その設計を信頼して、この原因は除外しよう。②の原因に関しては、余震域に近いこ

とと山の上なので地形的な影響などが考えられるためにある程度可能性は残るといえよう。しかし、すでに述べたように加振実験によって鉋滓が液化することと堤体の構造は鉋滓が液化すれば不安定であることから③の原因が主なものと考えられよう。

さて、鉋さいが液化した場合、どのような不利がかん止堤に働らくであろうか。以下に、箇条書きにしてそれらを述べてみよう。

a) 静圧の増加

通常の土は、非常に弱いものでも、水平に対して或る傾斜角で安定することができる。これは水で飽和していても同様である。一方、この土が、完全に液化した場合には、少しの傾斜角でも傾斜して安定することはできない。水面のように水平になってはじめて安定する。

したがって、この土が自然のままで安定するような傾斜角（安息角という）で斜面を作り、そこにこのかん止堤のようなかさ上げ堤を積み上げても、この土からかさ上げ堤には何の力も及ぼさない。ところが、土が液化した場合は、傾斜角をゼロにしようとして、液化土はかさ上げ堤を圧す。つまり鉋さいからの圧力が増加する。勿論、鉋さいのかん止堤は、鉋さいの安息角より通常傾斜が急であるから、常時かん止堤には鉋さいが崩れようとする静圧が働らいていたであろう。しかし、鉋さいが液体になると、その静圧が増加するのである。

b) 地震時衝撃圧（動水圧）

鉋さい堆積場は、凹地に建設されている。いま鉋さいが液体となった後の現象をよりわかり易く考えるために、バケツの中に水を入れて、バケツを地震動と等しく振動させたときの状況を考えてみるとよい。バケツの中の水は、大きく動揺し、さらに水の慣性力がバケツを揺らそうとする我々の手に伝わって来る。今回の場合、かん止堤はバケツに相当するから、中の液体鉋さいは慣性を持って居り余り動かず、地震動と等しく動く堤体にぶつかり衝撃圧を加える。この衝撃圧は、鉋さいが液化しない場合に同様の原理でかん止堤に加える地震時土圧よりかなり大きな値となる。

また、バケツの場合には、中の水が揺れてあふれそうになるが、今回の実際のかん止堤の場合は、直径が100m以上もあり、水面動揺（スロッシング現象）の固有周期が55秒にもなり、水面動揺の現象はほとんど起らず、衝撃圧のみが問題となった。

c) かん止堤積み上げ方式が不適当

ほうずき沢かん止堤のような斜めにつみ上げて行く方式は、内部鉋さい土など固体の場合用いられるものである。土留方式とも呼ばれ、石垣などに用いられている。

この自立できない形式のものを内部が液体の場合に用いれば、液体は自由に変位するため、力の釣合が不安定となり、地震などがなくても倒れてしまうことは目に見えている。

地震による鉋滓堆積場の被害は国内において、かつて経験したことのないものである。ただ世界的に見れば、1960年のチリー地震 ( $M=8.3$ ) において El Core 鉋滓堆積場のかん止堤の被害を始めとして2~3の例があるようである。このような積み上げ方式のかん止堤を有する鉋滓堆積場が全国に数10ヶ所存在するといわれている。これらの堆積場の地震時安全性が懸念される所である。



さて、以上が鉾津かん止堤の地震による破堤と、筆者等の推定した破堤原因であるが、監督官庁である通産省も事故原因の究明に乗り出し、多くの調査、解析を行った。

本稿の執筆時点において通産省の事故調査委員会の「持越鉾山たい積場事故調査報告書」が出来上っているのので、その中から調査データ、原因の推定結果の概要を彙報に掲載することは是非必要であると考えて以下にまとめさせて貰う。

## 1) たい積場の調査結果

### a) 土質調査結果

#### ① 基礎地盤

猫越石英安山岩類の凝灰岩

透水係数:  $2 \sim 8 \times 10^{-4}$  cm/s, 地山の排水性良好

地下水位: 地表面下 95 m (第1かん止堤右岸寄り地山)

#### ② かん止堤築堤土の土質工学的性質

材料: 付近の凝灰岩風化物, れき混りシルト質ローム

自然含水比: 30~60%, 単位体積重量  $1.4 \sim 1.8$  t/m<sup>3</sup>, 間げき比 1.1~2.6, 剪断強度定数  $c' = 2.5$  t/m<sup>2</sup>,  $\phi' = 35^\circ$  つまり, 比較的よく締まっている。

#### ③ スライム (鉾津) の土質工学的性質

組成: シルト分 60~80%, 粘土分 10~30%, 残り砂分. シルト質ローム.

鉛直方向たい積状態: 細粒部分が粗粒部分の間に薄層状にはさまれている。

物理的性質: 真比重約 2.7, 自然含水比 25~35%, 間げき比 0.6~1.2

単位体積重量  $1.8 \sim 1.95$  t/m<sup>3</sup>

均等係数 5~15

力学的性質: 剪断強度定数  $c' = 0$ ,  $\phi' = 30 \sim 39^\circ$

透水係数: 鉛直方向  $7 \times 10^{-5} \sim 10^{-7}$  cm/s

水平方向  $7 \times 10^{-4}$  cm/s

地下水位: 地震直後, 表面下約 50 cm, 地震前, ほぼ地表面。

間げき水圧分布: 地表面 ほぼ 0, 深さ中央点 最大値, 基底 ほぼ 0

PS 検層による速度層:

	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)
ス ラ イ ム	650~1800	140~170
基 礎 堤	550~2000	200~380
基 礎 風 化 層	860~2000	250~380
基 盤	880~3400	300~1200

## 2) 安定性に関する解析

### a) 液状化現象の解析

スライムたい積表面に噴砂, 噴泥現象の痕跡が認められたことから, 液状化現象が生じたものと考えられる。この現象を実験と解析の両面から検討した。

#### ① 解析手法

現地における推定された基礎地震動波形から, 多重反射理論によって, スライム各部の応答を求め, これから各部の最大せん断応力を求め, これらより次式の地震荷重  $L$  を得る。

$$L = \frac{\text{最大剪断応力}}{\text{有効土かぶり圧}}$$

つぎに、現地のスライムの供試体の振動三軸試験から求めた動的強度  $R$  とから次式で定義される安全率  $F_L$  を求める。

$$F_L = \frac{R}{L}$$

スライムの動的強度  $R$  は振動三軸の加圧が正弦波であるなど実際の荷重条件とは違うので次のように求める。

$$R = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot R_{t20}$$

ここに、

$C_1$ : 原位置応力条件の補正項

$$C_1 = \frac{1+2K_0}{3}, K_0=0.5 \text{ ととる.}$$

$C_2$ : 定常正弦波と地震波形との補正項. 伊豆大島近海地震の場合 1.53

$C_3$ : 振動三軸のせん断応力と地震動のせん断応力の相異に対する補正項. この場合 0.9

$R_{t20}$ : 非排水振動三軸試験による正弦波荷重を繰り返し回数 20 回で、軸ひずみが両振幅で 5% となるとききの動的強度。

## ② 解析結果

以上の方法により得られた  $F_L$  の値を各深度に対しプロットし  $F_L < 1$  では液状化の危険があるとした結果、ほうずき沢たい積場では、中央付近で深さ約 10 m までが、また第 1 かん止堤の堤頂直下付近では深さ 8 m 程度までが、液化を生じたかもしれないという結論が得られた。

## b) かん止堤の安定解析

### ① 液化スライムの動揺振動

1 次固有周期が約 55 秒と非常に長いので地震動とは共振の恐れなしとした。

### ② 衝撃圧 (動水圧)

静圧の 20~30% 増加

### ③ すべり安定解析

i) 液状化が起らなかった場合。

水平震度 0.25 に対してもすべりは生ぜず安全。その場合の安全率 1.1。この場合、円弧すべり法により物理常数は先に述べたものを用いた。

ii) 液状化が生じた場合。

水平震度 0.2~0.25 で最小安全率 0.5~0.4、つまり破壊が生じる。この時の破壊形状は図 49 に示すようである。

結論として、このかん止堤の破壊は鉋さいの液状化が主因であること、従来液化しやすいといわれている砂と液化しないと言われている粘土との中間にあるこの種の粘土質シルトなどの液状化に関する研究を推進すべきであるとしている。

## 10. 断層による被害

図一 2 を見てもわかるように、断層は稲取中学の校庭を横切り稲取トンネルを横断している。この断層が横切った構造物は家屋、道路あるいはトンネルなどで大なり小なり被害を受けた。断層による被害の特徴は地盤に亀裂が生じて食い違ったことにより被害が生じ

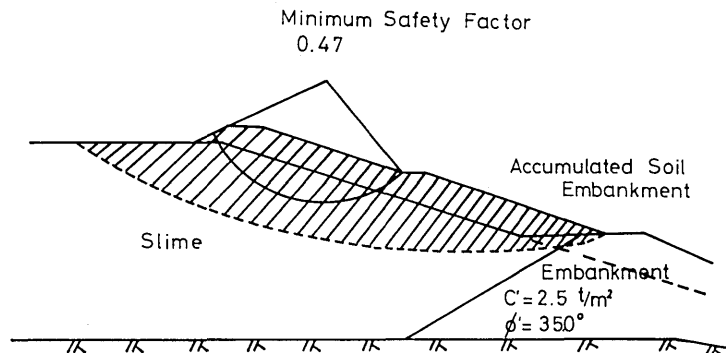


Fig. 49. Region in which the safety factor is less than unity in Hozukisawa No. 1 embankment when liquefaction of slime occurs.

たというところにある。例えば断層によって家屋の基礎が食い違って使用に耐えなくなったり、道路舗装に亀裂が生じたりしている。また稲取トンネルはすでに述べたように断層が横切ったために甚大な被害を受けた。しかし、確かに断層上にある構造物は被害を受けるが、1974年の伊豆半島沖地震での断層による被害でもそうであったように、断層が横切った付近では、断層による直接的な被害ではない、地盤震動そのものによる被害が特に大きいということはないようである。

図—50は稲取中学近くの家屋の下を横切った地盤の亀裂を示す。このため家屋の基礎は食い違い上部が大きく歪んでいる。図—51は断層のすぐ脇にあった家屋の被害状況を示す。家屋の本体にはそれほど被害がないが屋根瓦がすべて落ちている。

図—52は道路を断層が横切り、コンクリート舗装が破壊された状態である。この地点は稲取トンネル内において天端に破孔を生じた所のほぼ真上に当る。断層は地表面にはっきりとは現われてはいないが、側溝の蓋が座屈し、舗装の一部が少し回転しており右横ずれ断層による被害であることがわかる。

図—53は図—52に示す地点よりさらに約100mほど山側にある家屋を横切った断層の露頭である。この地点では断層は右横ずれ量が約60cmであった。ここでは非常になめらかな断層面が観察された。

## 11. 墓石の転倒状況と推定最大加速度の分布

地震動の強さを推定するために、今回の地震でも墓石の転倒状況を調べた。調査した墓地は3ヶ所である。

図—54は河津駅より200～300mほど海岸寄りにある長福寺の状況である。この付近は平地で砂地盤である。転倒率は約5%であった。転倒した墓石は古く、すわりの悪いものがほとんどで、新しい墓石は全くと言ってよいほど転倒していなかった。このことは河津町でも海岸近くでは地震動はそれほど強くなかったことを示している。

図—55は海岸から内陸へ約5.5kmはいった河津町梨本の慈眼院の墓地の状況である。この墓地は山の中腹にあり墓石は階段状に点在している。転倒率は60～70%であった。転倒していない墓石も回転していた。このことから同じ河津町内でも海岸付近の平地と異な

って、内陸の山地ではかなり強い地震動が生じたことが推定されよう。

図-56はなだらかな斜面上にある稲取町々々墓地の写真である。この墓地は今回の地震の原因となった地震断層から約1 km ほど離れたところに位置している。調査時には転倒した墓石を盛んに立て直していた。目撃者の話では、地震時にはほぼ全部の墓石が転倒していたとのことである。転倒の状況から推定するに、この付近はかなり強い地震動であったと思われる。

転倒の調査結果より推定される最大加速度の分布を図-57に示す。図-57は建設省土木研究所の調査結果をもとにし、更に筆者らの調査結果を加えて作成したものである。



Fig. 57. Distribution of maximum accelerations estimated from the ratios of overturned gravestones.

## 12. 地震情報と余震情報

今回の地震では前震として13日20時38分から連続51回の群発地震が本震の震源とほぼ同じ地域で起きた。この群発地震に対して、気象庁は次のような「地震情報」を発表してい

る。すなわち「今回の群発地震は規模がやや大きく、多少の被害を伴う恐れがありますので一応ご注意ください」。この「地震情報」は県を通じて14日正午ごろ（本震の約36分前）、地元の市町村にも伝達されたが、ちょうど土曜日のひるごろで各市町村役場でこれを聴いた所が少なく、結局この「地震情報」はほぼ無視された形となり各市町村から住民へは伝達されなかった。

政府の地震予知連絡会の「最大M6程度の余震があり得る」という見解を受けて「余震情報」が1月19日午後1時18分に静岡県知事の災害対策本部より発表された。「余震情報」の内容は①M6の余震があり得ること、②当面必要な対応措置についてである。

この「余震情報」は防災無線によって、伊豆半島南部の10市町村に伝達された。また、午後1時45分からは静岡県知事の記者会見でも発表された。これを受けて、静岡放送（SBS）は午後2時30分にテレビで「余震情報」の発表を報道した。また、各市町村は広報車や有線放送で住民に警戒を呼びかけた。

この「余震情報」によって住民の地震に対する不安な気持ちが増幅されて住民が一斉に避難するというパニック状態となった。というのは、「余震情報」の「余震は最悪の場合M6程度の発生もあり得る」という表現の中で「マグニチュード6」を「震度6」や「午後6時」と、そして「あり得る」を「すぐに起こる」と誤解された結果、「震度6の地震が午後6時に起こる」というような誤った情報が広がったためである。筆者らは偶然この日の夕方河津町梨本近くを地震研究所公用車で走行していた。かなりの人が家外に出て道路上に立っており、また一部の人は子供をつれて小学校等に避難する途中であった。幾人かの人からこの誤って伝わった余震情報について筆者らは質問された。この避難騒ぎは地震に関する情報の表現、出し方あるいは伝達方法などに多くの教訓を与えたといえるであろう。

### 13. 地震時の火災について

地震時に火災が発生すると家屋の倒壊等による1次災害よりも火災による2次災害によってははるかに甚大な災害がもたらされる。今回の地震では、地震の発生が昼食時にもかかわらず火災の発生が見られなかった。その理由のひとつとしてこの地方がこの数年、伊豆半島沖地震（1974.5.9.,  $M=6.9$ ）と河津地震（1976.8.18.,  $M=5.4$ ）とを続けて経験しており、比較的防災訓練が行きとどいていたことが考えられよう。地震時には多くの住民が火を消したり、元せんを締めたりして防火に努めたと言われている。この努力の結果、地震時に火災が発生しなかったと思われる。

火災が発生するか、しないかによって被害の規模が大きく異なることを考えれば、地震時に火災が発生しなかった理由をさらにくわしく調査する必要がある。

### 14. 伊豆大島における被害

今回の地震による被害は伊豆半島に集中しているが、伊豆大島においても若干の被害が生じている。伊豆大島における被害はすべて14日の本震によるものである。地震による死者はゼロで、被害総額は約2億円強で伊豆半島の400億円弱に比べると格段に少ないものとなっている。

### — 建築物の被害 —

大島の建築物の被害は伊豆半島に比較して軽微であり、東京都大島支庁の発表によれば全壊または半壊の建物はない。

木造建物の被害の多くは屋根がわらの落下で、次に内・外壁の亀裂が多い。被害のほとんどは元町、野増地区で大島西側海岸沿いに集中している。木造建物でひどい被害を受けたものはなかった。

鉄筋コンクリート造り、コンクリートブロック造り及び鉄骨造りの建物の被害としては内・外壁の亀裂、モルタルの落下がほとんどである。中には大島支庁舎のように窓ガラスの割れた所もある。木造家屋の被害に比べると、これらの建物の被害が多い。被害区域が大島全域にわたっていることが木造家屋の場合と比べて特徴的である。

地震による火災発生はなかった。

### — 土木構造物の被害 —

道路は地震被害を最も受けやすいものである。今回も、大小あわせて十数ヶ所の土砂崩壊が生じ、島内の一部の道路で交通が遮断された。しかし、土砂崩壊の規模は高々 100m<sup>3</sup> 程度のもので、交通障害になる崩落土砂は地震後まもなく除去された。盛土部沈下による路肩あるいは舗装の亀裂は数ヶ所で生じたがいずれも大したことはなかった。

水道も道路のような線状構造物であり、地震被害を受けやすい。今回も元町地区で数十ヶ所の配水管の被害が生じ、町内の一部でしばらく断水が続いた。大島東岸のフノウ水源近くで土砂崩壊のため導水管の接合部がはずれた。元町の浄水場では脱塩プラントが振動で機能喪失を生じた。

その他、大島空港滑走路に巾 1.2mm の亀裂が 20m にわたって発生したが機能上問題はない。地震直後元町では一時停電となったがすぐ直った。電力施設には被害が認められなかった。港関係も被害がなかった。

以上、土木建築関係の伊豆大島における被害の概略を述べた。被害の規模は伊豆大島のそれに比して圧倒的に小さい。元町の墓地の墓石の転倒状況からおおよそ最大合加速度は 250ガル程度であったと推定される。したがって伊豆半島での最大加速度と比してそれほど小さいわけではない。被害の少なかった原因の 1 つとしては、大島は地盤が比較的良好で急傾斜地が少ないなどらかな地形であるため大規模な土砂崩壊、がけ崩れがなかったことが挙げられよう。また、大島は風が強いので家屋が比較的丈夫に作られていたのも幸している。

地震による火災は全くなく、パニック状態にもならなかったのは大島が三原山という爆発の危険のある火山をかかえ、また過去幾度も群発地震が発生しており、住民の防災意識が高かったためといえるだろう。

## 15. お わ り に

今回の地震による各種構造物の被害状況は 1974 年の伊豆半島沖地震によるものとかかなり似た面があったように思われる。それはマグニチュードも 7.0 (伊豆半島沖は 6.9) とほぼ

等しく、陸上において地震断層が現われた点など地震そのものも類似していたこともその理由の一つに挙げられるであろう。

被害地が山地であること、風化が進んでいたことなどもあって被害の特徴としては以下に述べるような項目が挙げられる。

- 1) 木造家屋では振動で崩壊したという例が見当らなかった。しかし、屋根瓦がずれたり落ちたりしており振動加速度がそれ程小さいとは思えない場合もあった。
- 2) 墓石の転倒状況からも地動加速度は200ガル以上あったのではないと思われる所が多かった。
- 3) 伊豆半島中部の持越鉱業所の変圧器が移動したことからその移動が水平加速度によって生じたと仮定して加速度を推定すると200~250ガルであった。
- 4) 以上の事柄と以下に述べる被害の特徴から被害地を襲った地震動は高振動数成分の多い地震動ではないかと想像される。
- 5) 木造家屋の振動による被害は少なかったのに対して、石垣の崩壊、落石、地送り等その系としての固有振動数が高く、地震加速度すなわち地震力が大きければ被害が生じるという種類の被害が多かった。
- 6) 被害は大別して土砂崩れ、地送りによるものと断層によるものの二つに分けられる。各種構造物の被害は地送りによる家屋の埋没とかいうように二次災害として引き起こされた。また人命の損失もほとんど土砂崩れ、落石、地送りが原因となっている。
- 7) 断層による被害は家屋、トンネルを始め多くの構造物において発生したが、それらはほぼ静的に断層がくい違うことによる被害のようにも見える。断層の通った真上の家でガラスも割れていない例が多かった。断層の上だからといって周囲に比べて特に振動加速度が大きいということはないようである。
- 8) しかし、断層による被害から断層の動的作用を想像させるデータもある。断層が横切った稲取トンネル内のレールは犬釘のすべった跡から長手方向に10cm以上も往復運動をしていると推定されるケースもありこれは振動的作用の結果ではないかと思う。
- 9) 過去の地震のたびに新しい種類の被害が生じ我々に大きな教訓を残してくれるものであるが、個々の構造物被害としては今回の地震においては、断層が横切った稲取トンネルの被害と持越における鉱滓堆積場の土かん止堤の破壊がその例であろう。
- 10) トンネルの被害としては北伊豆地震(1930.11.26,  $M=7.0$ )による丹那トンネル工事用導坑の8フィートに及ぶくい違いが報告されているが、これは供用が開始されておらず、しかも主トンネルではない。稲取トンネルは鉄骨補強をしたコンクリート厚さ70cmという円形断面トンネルであったが、これ程強固な補強も断層の力には抗し難いということを如実に示した例と言えよう。
- 11) 今後この種の構造物の設計に当って断層を考慮していかなければなるまい。しかし、その場合困ることがある。将来動く活断層の位置をどのように推定するかということである。ボーリングなどをしてはなかなかわからない。ボーリングの結果からはそれこそ無数の断層らしいものが現われる。結局これでは設計できないと運を天に任せて断層を無視するのがこれまでのやり方であった。ただ最近では活断層についての地図も作られつつあるようなので、心強い。しかし、今回の地震に関して言えば予想された断層

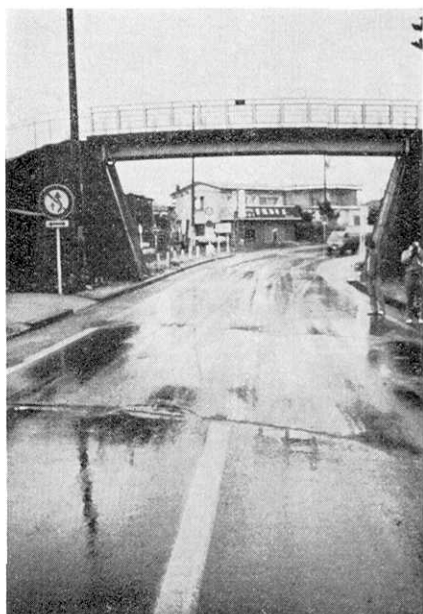


Fig. 3. Earthquake-induced fault (Inatori).



Fig. 4. Inclined dwelling house.



Fig. 5. Collapsed dwelling house.

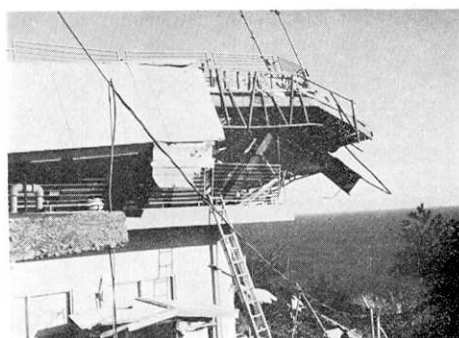


Fig. 6. Collapsed prefabricated steel frame drive-in restaurant.



Fig. 7. Inside of collapsed drive-in restaurant.





Fig. 8. Settlement of foundation  
(Higashi-Izu toll highway)



Fig. 9. Collapse of cut-off slope  
near Nashimoto.



Fig. 10. Fallen stones near Yoichizaka.

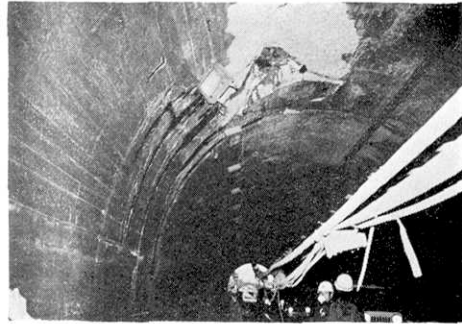


Fig. 11. Stripped lining in Kurone  
tunnel (Higashi-Izu Toll Road).

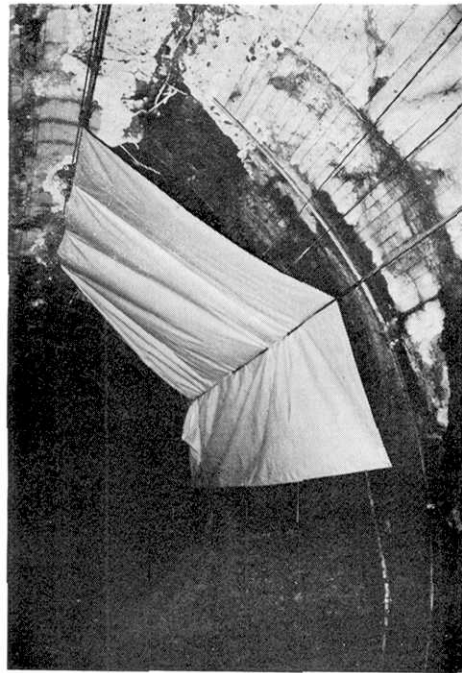


Fig. 14. Hole in lining of Inatori  
tunnel, induced by earthquake-fault.

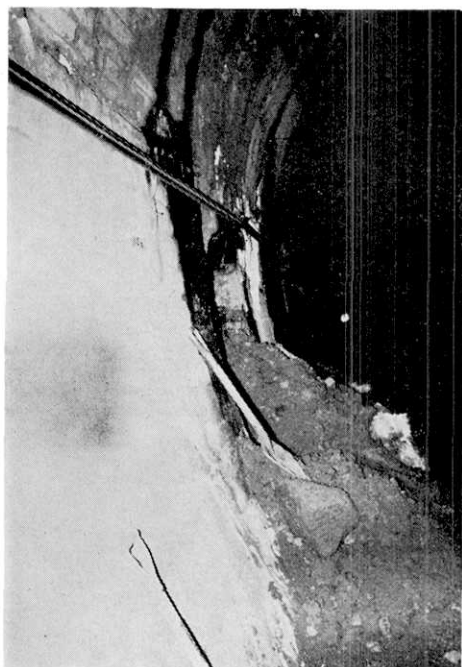


Fig. 15. Sandy soil spilled through the hole.



Fig. 16. Rail-spike movement.



Fig. 17. Expansion spacing of railway joint.

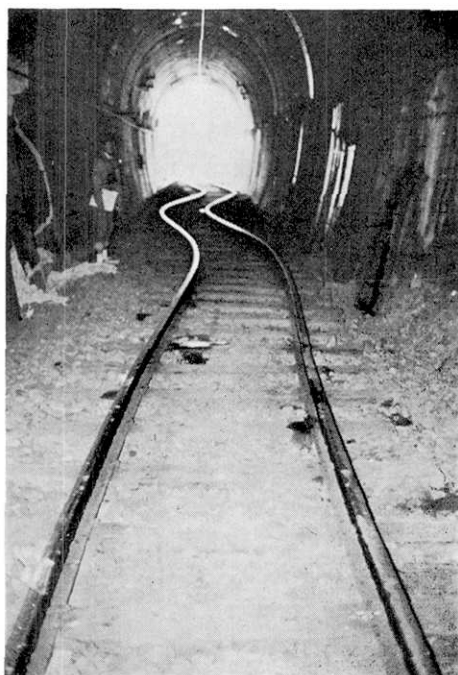


Fig. 20. Buckled rail close to the Shimoda entrance of Inatori tunnel.



Fig. 22. Buckled cover-plates of street drain in Inatori tunnel.



Fig. 25. Cable crossing rails in Inatori tunnel, where movement of the cable is not observed.



Fig. 26. Collapse of structure protecting railway from falling rocks (near Mizushita tunnel).



Fig. 28. Settlement of railway foundation nearby Mitaka tunnel.



Fig. 27. Fallen rocks of 1,000 ton weight at the entrance of Shiroyama tunnel.



Fig. 29. Failure of water supply pipe due to road failure.



Fig. 30. Broken-off joint of cast iron pipe.



Fig. 33. Cracks in landing place (Inatori fishing-port).



Fig. 31. Broken-off joint of steel pipe.

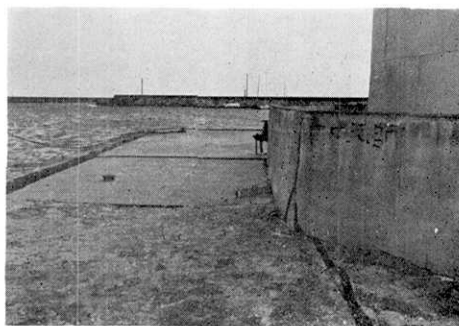


Fig. 34. Cracks in quaywall (Inatori fishing-port).



Fig. 32. Cracked vinylchloride pipe.

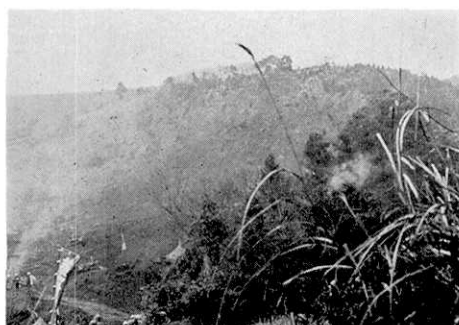


Fig. 35. Landslide at Mitaka-iriya.

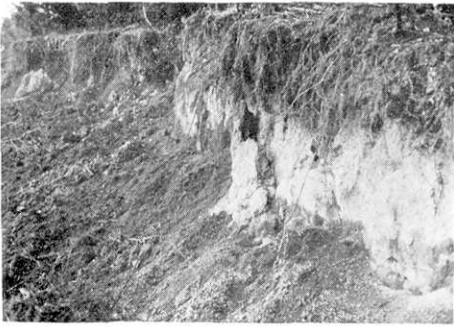


Fig. 37. Top of landslide (Mitaka-iriya).

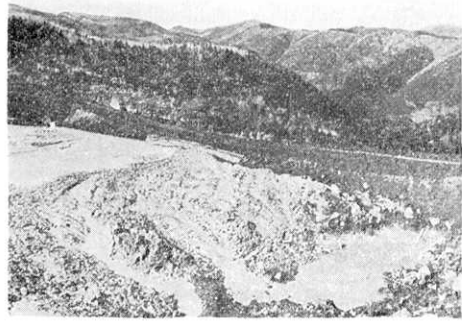


Fig. 42. No. 1 embankment (Hozukisawa mineral slime deposit).



Fig. 38. End of landslide (Mitaka-iriya).



Fig. 43. No. 2 embankment (Hozukisawa mineral slime deposit).



Fig. 39. Landslide at Mt. Hachi.



Fig. 44. No. 3 embankment (Hozukisawa mineral slime deposit).





Fig. 45. Spouted Sand Volcanos of mineral slime due to liquefaction (Hozukisawa mineral slime deposit).

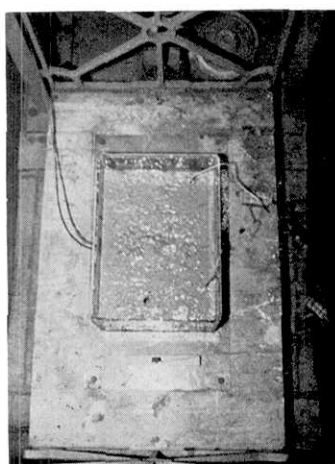


Fig. 48. Mineral slime on shaking table (after excitation).



Fig. 46. Sand Volcanos of mineral slime at the slime deposit which is presently covered with soil.

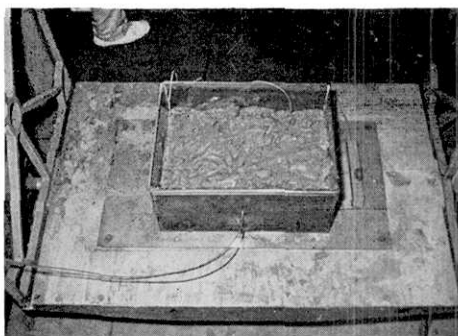


Fig. 47. Mineral slime on shaking table (before excitation).

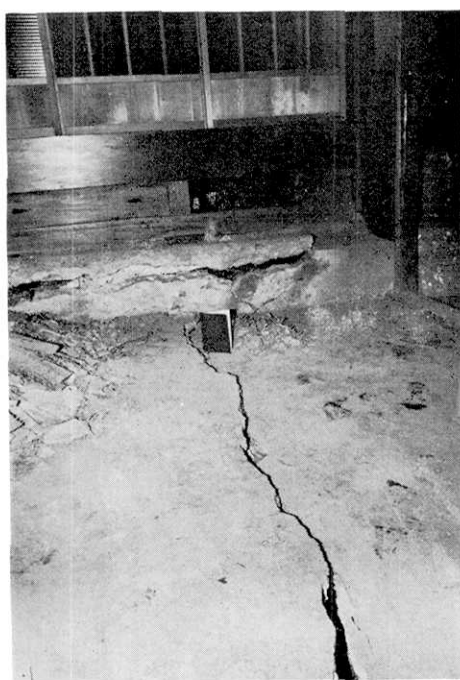


Fig. 50. Earthquake-induced fault crossing under a dwelling house.



Fig. 51. Damaged dwelling house near the fault.



Fig. 52. Right-lateral fault on concrete pavement.



Fig. 53. Earthquake-induced fault crossing the garden of a dwelling house.



Fig. 54. Graveyard at Chofuku Temple in Kawazu.



Fig. 55. Graveyard at Jigen Temple in Nashimoto.



Fig. 56. Graveyard at Inatori.

位置と稲取トンネルを横切った地点では1 km近くずれている。この点は今後一層精密になることを望むものである。というのは、地震時の断層変位を考慮して設計するのはその費用がトンネルを2本作る位かかる。活断層の通ると予想されるたかだか100m位の間にその工事を施すのでなければ、費用がかかりすぎるので断層のことは経済的な面から無視することになってしまう。

- 12) 鉾津堆積場のかん止堤が崩れた原因は鉾津の液化が主なものではないかと思われる。これまで我々の通念として鉾津が地震時に液化するとは思っていなかった。また鉾さいの粒度分布などを見ても従来定説となっている液化しやすいという分類には入っていない。しかし現実には液化しているわけであるからその方面の研究も進める必要がある。
- 13) 今回の震害は家屋がそれ程倒壊しなかったので直接市民に損害を与えることは少なかったと言えよう。しかし、土砂崩れその他により道路、鉄道はかなりの広い区域にわたって寸断され、物資輸送の手段を失った。また、軽い損害が電力施設に発生したため電力の供給が、地中の送配水管の破損のため水道が停止した。これらライフライン施設の被害のため市民生活がおびやかされたが、これらの都市機能停止は個々の構造物の耐震設計のみを行っていれば改善されるというものではない。各種構造物の集合体であるライフラインのシステムとしての耐震性というものを考えて始めてその向上が望めるものである。今後はこの種の研究を精力的に行なわなければならない。

## 謝 辞

本調査に当って、下記の諸機関の便宜と資料の提供を受けた。ここに記して謝意を表したい。

静岡県環境衛生部環境衛生課、静岡県沼津土木事務所、静岡県下田土木事務所、東伊豆町役場、河津町役場、伊豆急行株式会社、中外鉾業株式会社、建設省土木研究所、電力中央研究所土木技術研究所（順不同）

## 文 献

- 伯野元彦・浅野照雄・松井芳彦，1974，1974年伊豆半島沖地震被害調査報告—土木関係を主として—，地震研究所研究速報，14，221-240。  
建設省土木研究所，1978.5.，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。



61. *A Report on the Damage to Civil Engineering Structures  
Caused by the Izu-Oshima-Kinkai Earthquake of 1978.*

By Motohiko HAKUNO,

Earthquake Research Institute;

Yozo FUJINO,

Institute of Structural Engineering, University of Tsukuba

and Toshiyuki KATADA,

Earthquake Research Institute.

Characteristics of damage caused by the Izu-Oshima-Kinkai Earthquake of 1978 are summarized as follows:

1) The maximum ground acceleration was estimated to exceed 200 gal in the wide region of the Izu peninsula. In some area, the maximum acceleration might have reached 400 gal. However, no wooden houses collapsed directly from the strong earthquake induced vibrations. On the other hand, cliff collapses, fallen stones, slope failures, and landslides occurred at many locations. These indicate that the ground motion of this earthquake was mainly composed of short period waves. Most of the damage to civil engineering structures including dwelling houses and consequent human losses were directly or indirectly due to landslides, slope failures and foundation failures, and not due to strong structural vibration itself.

2) The right-lateral fault which induced this earthquake was observed in the town of Inatori. A railway tunnel crossed by this fault was severely damaged: many cracks in the lining, uplift of railway foundations, buckled rails and so on were found. Also, the dwelling houses upon this fault were subjected to damage due to the relative displacement of their foundations. However, it is interesting that window glass in these houses mostly survived. Therefore, it seems that the fault movement did not create specially strong dynamic excitation. Rather the houses appeared to be damaged by static forces.

3) Soil embankments of mineral slime deposits located in the central part of the Izu peninsula collapsed in this earthquake. This is the first case of this type of earthquake damage in Japan. The collapse is attributed to the liquefaction of damp slime. This liquefaction of damp slime is considered to occur only under extraordinarily strong seismic excitation. Research on liquefaction of soil and slime as well as sand is to be carried out.

4) Most of the life-line systems such as roads, railways, electric and water supply systems failed as has been common in past destructive earthquakes. This brought tremendous loss and inconvenience to the people living in the damaged area. Since the life-line systems are so vital in any modern society, increased aseismicity of these systems is urgently need.