

18. 1975 年大分県中部地震被害調査報告

建築・土木構造物の被害について

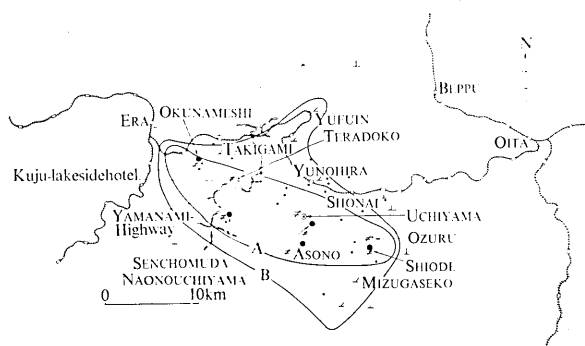
地震研究所 { 伯 野 元 彦
南 忠 夫
石 田 勝 彦
松 井 芳 彦
井 上 凉 介

(昭和 50 年 8 月 20 日受理)

I. はじめに

地震は 1975 年 4 月 21 日午前 2 時 35 分 51 秒に起こり、 $M=6.4$ 、震源位置は北緯 $33^{\circ}08'$ 、東経 $131^{\circ}20'$ 、深さ 0 km と気象庁から発表された。筆者らは早速現地へ赴き、建築物および各種構造物の被害並びに墓石の転倒状況を調査して来たのでその概要を以下に紹介する。

まず、各構造物の被害分布の状況を図で示すと、Fig. 1 は各地域の家屋の被害率* の分布及び墓石の転倒率の分布を示し、Fig. 2 は道路、鉄道、水道施設、橋梁等土木構造物の被害分布を示す。Fig. 1 において、図中 A 線内は、墓石の転倒率がほぼ 100% の区域であり、B 線内は、墓石がほぼ半数以上転倒した区域である。両図より、各種構造物の



The percentage of damaged houses

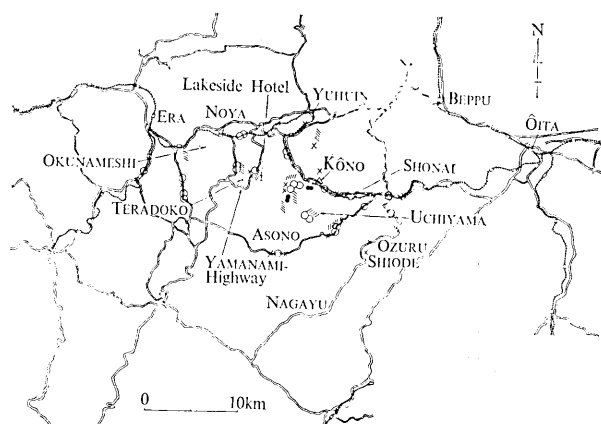
⊙ 50%, ● 10~50%, ○ ~10%

The percentage of fallen gravestones

≠ 100%, ∠ about 50%, ⊥ 0~several %

Fig. 1. Distribution of the percentages of damaged houses and fallen gravestones.

* 被害率 = (全壊戸数 + 1/2 半壊戸数) / 全戸数



- Damage to road or railway by fallen stones
- × Damage to road or railway by cracks
- Damage to waterpipe or conduit by fallen stones
- △ Damage to bridge
- /// Landslip

Fig. 2. Damage distribution of civil engineering structures.

Table 1.

Type of Damage		Town	Kujū	Yufuin	Shōnai	Naoiri
Damage of residents	Killed		0	0	0	0
	Injured		11	6	5	0
Houses	Complete destruction		33	1	28	0
	Half destruction		23	21	39	18
Public buildings			1	0	0	4
Road			58	22	39	20
Bridge			1	2	0	1
River						5
Water supply			12	1	6	

被害分布は、奥双石一内山一塩手を結ぶほぼ西北西一東南東のラインを中心として、そのまわりに帯状に分布していることがわかる。転倒した墓石の方向は、どの地域ともほぼ南北方向という場合が多く、倒壊又は傾いた家屋の方向は、九重地区では北～北西、内山地区では北～西という場合が多かった。又路面、地面等に入ったキレツの方向は、被害地域全般を通じ、ほぼ東西方向であった。これらのことから地震時に、地動加速度の水平成分のうち、南～南東方向が卓越していたことが推測されるが、このことは、発震機構と何らかの関係があるものと思われる。尚断層については、活断層が動いたという報告は見うけられず、断層の通過によるとみられる構造物の被害も認められなかった。

次に大分県各町役場の調べによる 5 月 6 日現在の各構造物の被害状況を Table 1 に示す。家屋の被害は九重町の寺床、奥双石、庄内町の内山、直野、直入町の塩手等の部落

に集中しているが、家屋の密集地帯で大規模な地スベリ、火災等が起こらなかったこともあって、幸い死者はでなかった。又、公共土木施設関係の被害では、道路の被害が大きかった。以下に、各構造物の被害についてよりくわしく述べる。

II. 建築物の被害について

II-1. 被害の概要

Fig. 1 に示すように今回の地震で建築物に比較的大きな被害が出たのは玖珠郡九重町、直入郡直入町、大分郡湯布院町、庄内町にまたがる帯状の地域で、その範囲は東西に約 25 km、南北に 7~8 km と比較的狭い。特に庄内町内山地区、九重町寺床地区では倒壊率 100% という壊滅的な被害が報告されており、これに次いで九重町奥双石、千町無田地区、庄内町阿蘇野地区、直入町塩手地区にもかなりの被害が発生した。この地域は阿蘇山系の山岳地帯で、谷沿いに数十戸程度の部落が散在しており、湯布院町小田野池、山下池地区を除いてほとんどすべての家屋は木造平屋建てである。(小規模な鉄骨、ブロック造を含む) これらの部落はその大半が谷沿いの傾斜地に立地しているため、多くの宅地は石積みの擁壁により造成されており、特に大きな被害は石垣崖の崩壊に起因するものが圧倒的に多い。一方、建物自体が大きく変形したために生じた被害は、壁、筋交等の水平力に抵抗する要素が極端に少ない場合、構造体が著しく腐朽している場合を除けば比較的少ない。特に基礎が不同沈下した建物以外では残留変形が一般に小さく、建物の傾斜、梁の抜け出し、筋交のバックリング、建具類の破損等のように大振幅の振動を示す形跡はあまり見られなかった。また、土台が基礎から数十センチずれているものもあり、墓石の転倒状況その他と考えると、局地的には相当大きな衝撃が作用したものと推察される。被災者の話を総合すると、大きな被害を出した地区では激しい地動の継続時間は数秒間程度で、振りまわされるような動きが 1, 2 回あった模様である。なお、今回の被災地域は過去に大きな被害地震をまったく経験しておらず、建物の耐震対策があまり進んでいなかったことも今回の地震による被害を大きくした一因であろう。

木造家屋以外で特に注目されるのは湯布院町山下池地区の九重レイクサイドホテルの被害である。この建物は地上 4 階地下 1 階の鉄筋コンクリート造建物で、2 個所のエクスパンションジョイントにより 3 個のブロックに分れている。このうち東側ブロックの 1 階部分が完全に倒壊し、他のブロックにも大きな被害が見られる。この建物は山下池西岸の湖畔荘と共に今回の被災地域では数少ない大規模な鉄筋コンクリート造建物で、この周辺の建物にはそれほど大きな被害が出ていないことから、現在、被害原因の究明が積極的に進められている。

II-2. 各地区の被害状況

a) 庄内町内山地区

内山地区は総戸数 12 がすべて全壊したと報告されており、九重町寺床地区と共に今回の地震で最も大きな被害を出した地区の一つである。民家はゆるやかな南斜面に石垣で土留めをして宅地としたところに建てられているため、石垣がくずれて家屋に大きな被害を出した例が多い。(Fig. 11) この地方の民家は母屋(おもや)の外に畜舎、物置小屋、土蔵等を持つものが多く、これ等の建物は母屋に比べて一般に老朽化している。特に畜舎、

物置小屋は掘立て柱構造で側面を板張り土壁またはブロックで仕上げているが、壁面上部は吹き抜けにしてあるものもあり、水平力に抵抗する部材が少ないために柱が傾斜し、倒壊に至る例も見られた。(Fig. 12) 建物自体が大きく変形した形跡は障子の破れ柱の傾斜等の一部見られたが、(Fig. 13) 残留変形も一般に小さく、大振幅の振動が何回もくり返したものとは思われない。特に煉瓦を除き屋根瓦の落下が少なく、土壁に顕著な斜めひび割れはほとんど見られなかった。(尚、Ⅲ-28) 参照)。

b) 九重町寺床地区

寺床は野上川上流の盆地状の平坦地に立地する十数戸の部落である。ここは 10 年程前に入植した開拓部落で、住家および物置小屋の多くは掘立て柱に板張りし、屋根に波形鉄板をしいた比較的粗末な構造をしており、この種の家屋では倒壊ないしは大きく傾斜しているものがほとんどであった。(Fig. 14) 一方、基礎に束を建てた標準的な構造の家屋では、若干の不同沈下、土壁の落下等を除き、骨組そのものに大きな損傷は見られなかった。(Fig. 15) 特に土壁については落下したものとほとんど無被害のものの対比が鮮明で、一部分がはく離したり、大きな斜めひび割れが入ったものは少ない。Fig. 16 は Fig. 15 の建物で玄関の土壁が壁板ごと面外にはずれた例である。

野矢小学校寺床分校はかなり老朽化した木造平屋で、一部不同沈下を起しているが、木製窓枠の残留変形等から見て、相当大きな振幅で振動したものと思われる。(Fig. 17) この建物に隣接した便所および物置小屋は倒壊しており、特に便所は基礎から北側に 20~70 cm 移動している。(Fig. 18, 18) 土台は極度に腐朽し、水平力に対して全然抵抗しなかったものと思われる。この被害例から、地動が衝撃的であったこと、上下および回転成分もかなり大きかったこと等が推察される。なお、ここでも屋根瓦の落下は見られなかった。

c) 九重レークサイドホテル

この建物は山下池対岸の湖畔荘と共にこの地域では数少ない本格的な鉄筋コンクリート造建物で、高層部分は地上 4 階、地下 1 階、長辺方向 12 スパン、短辺方向 3 スパンより

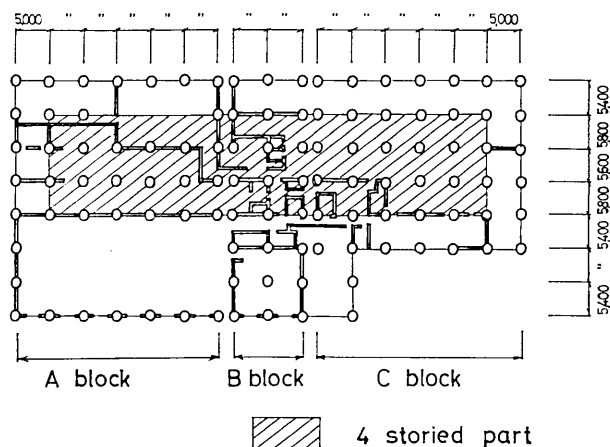


Fig. 3. Plan of Kujū Lake-Side Hotel.

成る。(Fig. 3 参照) 基礎はベタ基礎で、構造的に一体として建設された地階部分の上に、長辺方向に5スパン、2スパン、5スパンよりなる三つのブロックが各々エキスパンションジョイントにより分離されている。このうち東側のCブロックの被害が著しく、一階の高層部分が完全に倒壊した。(Fig. 20) また低層部分では、腰壁、たれ壁による短柱がすべてせん断破壊したのに対し、長柱の被害は比較的軽微である。(Fig. 21) 他のブロックについても柱、壁に大きな斜めひび割れが見られ、エキスパンションジョイントにも衝突した明確な痕跡が認められる

ことから、この建物には相当大きな地震外力が働いたものと思われる。(Fig. 22, 23) なお、地階部分の被害は比較的少なく、基礎の不同沈下も見られない。

この地区における他の被害としては、当ホテル所有の狩場亭(木造平屋)が土台ごと北側にずれると共に、柱が柱脚部で折れ、上部構造も約15度傾斜した。(Fig. 24) この建物は休憩所として使用されているため、内部の間仕切壁が無く、水平力に抵抗する部材が極端に少ない例である。また、ホテルから北方約1kmのところ九州横断道路の料金所があり、これが西側に転倒した。(Fig. 25) この建物は大きな屋根スラブを4本の鉄筋コンクリート造柱で支えており、(Fig. 4)これが脚部で完全に崩壊している。特に帯筋間隔が約35cmと粗く、重心の高い片持梁形式の構造がこのような被害に至った一因と思われる。これ等の被害を除き、周辺の鉄筋コンクリート造建物(従業員宿舎2棟、山下湖畔荘、料金所管理建物)および鉄骨造建物(小田野池レストハウス、レイクサイドボール、レストハウス白鳥)には目立った被害はなく、従業員宿舎(男子寮)に付属する木造建物、ブロック造ボイラー室が盛土地盤のくずれに伴って30~40cm移動した程度であることから(これらの建物の位置についてはFig. 10参照)、レイクサイドホテルの被害はむしろ特殊な例と考えられる。(尚 III-3 参照のこと)被害の原因については目下各方面で検討中であるが、この建物が山下池に突き出した半島の先端部分に建設されていること、東側ブロック1階の大部分が玄関ロビーとして利用されており、他のブロック、他の建物に比べて壁量が少ないこと等が主な要因と考えられる。また各ブロック間の衝突による特殊な振動性状も問題となろう。

d) 庄内町阿蘇野地区

阿蘇野地区は阿蘇野川に沿ったかなり広範な地域の総称であるが、若干の地盤災害を除き、目立った被害は見られなかった。特に内山地区に近い直野地区でも、古い土蔵の壁の一部はく落し、小学校木造校舎のモルタル壁に小さなひび割れが認められる程度である。

e) 九重町奥双石地区

ここは奥双石川上流の傾斜地に立地する山村で、石垣および崖の崩壊以外には、屋根瓦

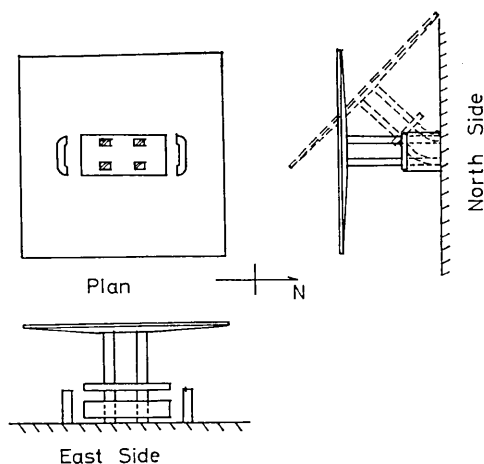


Fig. 4. Sketch of over-turned toll gate.

の落下、壁のはく離もあり見られず、家屋の被害は一般に少ない。斜め材が一切無く、水平耐力が著しく小さいと思われる建物の一例として、Fig. 26 は小高い丘の上に建つ神社の集会所 (1.5×1.5 間程度) で、これが北側に大きく傾いている。このすぐ脇にあった社も北側に転倒し、丘の中腹まで転落していた。(Fig. 58) なお、この地域の墓石は跳躍した痕跡を残して 100 パーセント転倒している。(尚、Ⅲ-2 8), 10) 参照)。

f) 直入町塩手、小津留地区

ここでも擁壁の崩壊に伴う物置小屋の被害等が見られた外には家屋の被害は少ない。全壊と報告されている家屋も裏山の切取り斜面が一部崩壊したもので、建物の振動による被害はほとんど認められなかった。しかしながら、神社の石段が躍っていること、社の柱が土台から北側に 10 cm 近くずれていること (Fig. 27) 等から、瞬間的にはかなり大きな地動を受けたものと思われる。

g) 九重町千町無田地区

この地域は他の被害地区に比べて沖積層が厚く、平坦な地形をしている。したがって地動の性質も他の地区とかなり異なっていたものと思われるが、ここでも土壁にひび割れが入り、屋根瓦が多少落ちた程度で、建物骨組の被害は認められない。

h) その他

以上の被害地区以外に、ここでは庄内町上淵地区の被害について述べる。この地区の家屋は一般にかなり急な斜面に立地しているため、土留めのための石積みが高く、主な被害はすべて石垣の崩壊、沈下によるものである。(Fig. 28) 特に擁壁の間近に建つ家屋にはこの種の被害が多く、埋めもどし部分の土砂がゆるんでいるため降雨による崩壊の危険性もある。一方、建物自体の振動による被害は比較的古い神社、土蔵、畜舎等に限られており、ふき土の粘着力を失った棟瓦、老朽した庇類が落下した例がかなり見られた。(Fig. 29) また墓石の転倒、損傷が著しく、跳躍した痕跡がはっきり残っているものも少なくない。Fig. 30 は三段に積まれた墓石の上部が転倒し、墓穴をふさいでいた最下段の石板 3 枚のうち 2 枚が墓穴に転落したものである。

Ⅲ. 土木構造物、その他の構造物の被害について

Ⅲ-1. 被害の概要

今回の地震は、昨年 5 月の伊豆半島沖地震と同様、山間部に起った直下型地震であり、各種構造物の被害状況も山間部の地震特有の性質をいくつか示した。すなわち、山間部においては一般に道路は盛土部、切取り部よりなる区間が多く、家屋は傾斜地に切取り、盛土して造成した宅地上に建てることが多いが、それらの構造上の特性から道路では被害が盛土部と切取り部に集中し、家屋では振動による被害よりも、盛土部の石垣、切取り斜面等の崩壊による架構の被害が多数を占めるのが通例であり、昨年の伊豆半島沖地震同様今回の地震もその例に漏れなかった。ただ同じ山間部とは云っても、この地方は起伏が全体になだらかな為、(道路、鉄道、家屋等の盛土部、切取り部の様に、地山を切り盛りして作った人工的な急勾配の斜面は別として) 自然斜面はおおむね安定しており、したがって崩壊の規模も小さく、昨年の伊豆半島沖地震のように裏山の自然斜面が大規模にすべって、家屋が潰されたり、道路が広範囲にわたって埋没したり、といった例は今回は見られな

った。尚、はしがきでも述べたように、公共土木施設の中では道路関係の被害が件数、金額ともに大きく、被害金額についてみると 5 月 18 日現在、公共土木施設の総被害約 6 億 5 千万円の内、道路関係が約 5 億 8 千万円と被害額の大半を占めている。また、今回の地震では、落石、転石による土木構造物の被害が特に目立った。以下に各種構造物の被害についてより詳しく述べる。

III-2. 各種構造物の被害

1) 道 路

III-1 で述べたように、道路の被害箇所は、山腹部の切り取り部および盛土部に集中している。すなわち、切り取り部の落石、斜面崩壊、盛土部のすべり、キレツ、盛土部と切り取り部の境界のキレツ等が道路被害の大半を占めている。又、はしがきでも述べたように、被害箇所の分布を見ると、特に地動の激しかった帯状の地域内に集中している。切り取り斜面、盛土斜面の崩壊の規模は、昨年伊豆沖地震に比べ一般に小さかったが、中には、別府一の宮線の立石池付近の盛土部の崩壊のように、規模の大きなものも見られた。

a) 切り取り部の被害

まず切り取り部からの落石、斜面崩壊等による道路被害の状況を示す。なお、今回の地震ではそれに付随して、道路の路肩下に埋設されていた水道管の圧潰、道路わきの電柱の傾斜、倒壊等、他の構造物の被害も見られた。

Fig. 31 は県道田野庄内線の庄内町熊群山付近の、風化凝灰岩よりなる切り取り斜面の崩壊の状況を示す。ここでは同時に道路わきの電柱も数本倒された。この地域では、数カ所にわたり道路が崩壊土砂によって完全に埋没したが、崩壊の原因としては、風化凝灰岩が元来もろいこと、地震直前の一週間にこの地方に降った 120~130 mm の雨のため³⁾ 斜面がさらにゆるんでいたこと、この地域が地動の激しかった帯状の地域内に位置していたこと等の悪条件が重なったと解釈される。風化凝灰岩よりなる斜面の崩壊はこの他多くの個所で見られたが、この地域のそれはその中でも規模の大きいものの一つである。

Fig. 32 は庄内町の直野内山から下直野へ向う途中の切り取り斜面の崩壊の状況である。この箇所は（斜面の岩質は定かではないが）風化はしておらず、含水量も小さそうであったが、高くそそり立った急勾配の切り取り面で、見た目にも不安定な斜面であった。

Fig. 33 は湯布院町南部の林道の田伏付近の切り取り斜面からの落石の一例である。この地域では落石、転石のため、埋設水道管も被害をうけたが、それについては 7) で述べる。

なお、以上述べた現場を含めてほとんどの林道、県道の切り取り斜面には保護工が施されていないかった。

b) 盛土部の被害

次に、盛土部のキレツ、すべり等による道路被害の状況を示す。Fig. 34 は田野庄内線の前述の Fig. 33 の付近の盛土の沈下による路面のキレツ、また Fig. 35 は九重町奥双石の林道の盛土部のすべりである。盛土の沈下による路面のキレツはこの他にいたるところで見られた。

c) 長大法面の崩壊

長大法面の崩壊としては、主要地方道の別府一の宮線（通称やまなみハイウェイ）の盛土部で Fig. 5 の A, B, C に示す地点に認められたが、崩壊土量はそれぞれ約 3,000 m³、

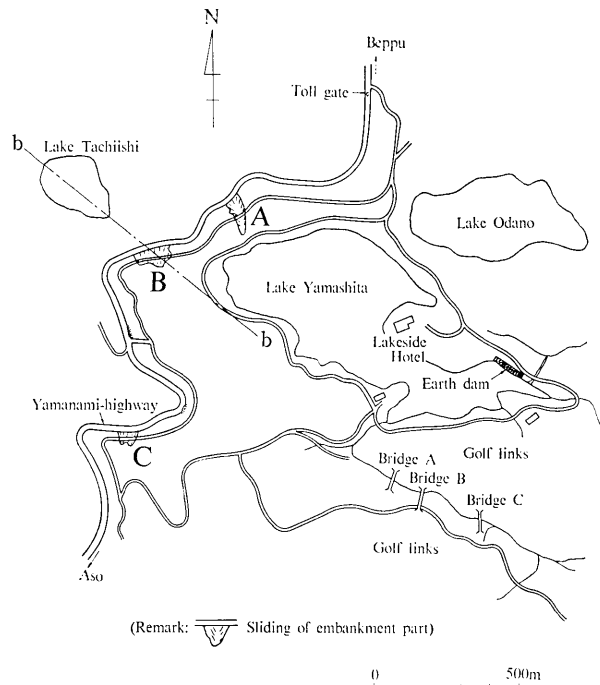


Fig. 5. Sketch around Lake Yamashita.

約 20,000 m³, 約 300 m³ ⁴⁾, と B 地点が抜きん出て大きかったので, ここでは B 地点の崩壊についてのみ述べる. この別府一の宮線は, 1961 年 2 月に着工, 1964 年 10 月に全線供用を開始した比較的新しい道路で, B 地点は, Fig. 5 からわかるように立石池の南南東約 200 m のところに位置し, この個所では道路が約 350 m にわたり N80°E—N110°W の方向へ一直線に走っている. また, この地点の東南東約 1,000 m のところには, 大きな被害をうけた九重レークサイドホテルがある. 文献 2) によれば, この地点の地山部の表層は粘性化したロームよりなると考えられ, また盛土部の材料は隣接地点から切土してきたシラスを含む火山灰土である. Fig. 36 にこの地点の被災後の航空写真を示す. 写真の左手上方に立石池が, また, 右手下方に山下池が写っている. Fig. 6 は Fig. 5 の B 地点の b—b 断面であるが, これらの図よりわかるように, この地点では, 長さ約 100 m, 高さ約 30 m にわたり, 約 50 m 流下した. 崩壊個所のスナップを Fig. 37～Fig. 40 に示すが, これらの写真よりわかるように, 道路幅員 (6.6 m) の約半分が (Fig. 37), 場合によっては 5 m 近くまでが (Fig. 38) 崩落しており, それに伴い路面のアスファルト版が破断し (Fig. 37, 38) 保護工の石張りと共にすべり落ちてしまっている. (Fig. 39) 次にこの大崩壊の原因を考察してみよう. Fig. 7 は九重町田野の別府阿蘇道路管理事務所の地震前後の降雨量のグラフであるが, これより, この崩壊地点を含む地域で地震直前の一週間に 100 mm 前後の降雨があったことが推測される. この降雨の影響と, 立石池からの透水の影響で, この地点の地山表層部および盛土部の含水比はかなり高くなっていたと推測されるが, それに加えて, 盛土材料が水に弱いシラスを含んでいたこ

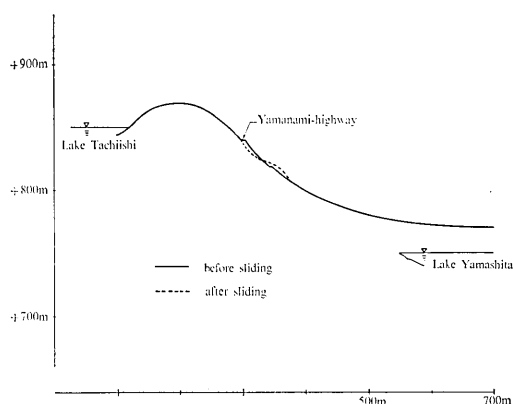


Fig. 6. The b-b section of Point B in Fig. 5.

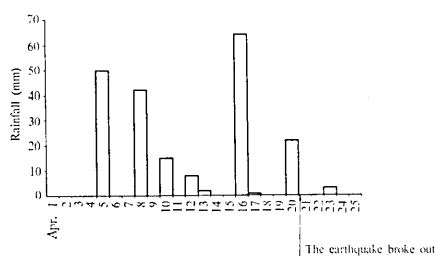


Fig. 7. Rainfall before and after earthquake.

と、盛土勾配がかなりきつかったこと (Fig. 6 参照, なお筆者らが自参したクリノメーターで測定した結果では、崩壊前の盛土斜面の法勾配は 1 割弱と推測される), この地点が地動の激しかった帯状の地域内に位置していること (Fig. 1, 2, 5 参照), III-3 で述べるように、この地点の地動加速度の卓越方向はほぼ $N10^{\circ}W-S10^{\circ}E$ と考えられるが、それがこの地点を含む約 350 m の区間と丁度直交すること (つまり、この地点が盛土法面にはほぼ直角方向の地動加速度をうけたと考えられること), 等々の影響が重なって、このような大規模な崩壊に至ったものと思われる。なお Fig. 40 の右手の崩壊個所の西隣の切取り斜面 (金網で保護されていた) は無被害であった。

2) 鉄 道

鉄道の被害は、地動の特に激しかった帯状の地域内に鉄道が通っていなかったこともあり総じて軽微だった。被害をうけた個所は、Fig. 2 よりわかるように、その帯状の地域に近い国鉄久大線の庄内～湯平～南由布間、由布院～野矢間に集中している。被害の種類は盛土部のキレツ、軌道の変状、土留石垣の変状、落石等であるが、これらの内あとの二者は大したことはないのではじめの二者についてのみ述べる。

a) 盛土の被害

文献 4) によれば、盛土のキレツ件数の多かったのは、庄内～湯平間 (14 件), 由布院～野矢間 (4 件) の 2 区間で、これらの区間では同時に落石件数も多かった (前者で 8 件, 後者で 3 件)。キレツは法肩に発生したものがほとんどで、開口部の幅は広いところで 10～20 cm に達したが、盛土の完全な崩壊に至った例は見られなかった。

b) 軌道の変状

文献 4) によれば、湯平～南由布間の第 7 由布川橋梁付近では、総延長 600 m, 最大 50 mm の軌道狂いが生じた。この個所は後に 7) で述べる幸野発電所に至る導水路の被害が大きかった個所の谷側にあたり、崖錐地帯と考えられる。

3) 橋 梁

もともと中規模の地震に対して橋梁は比較的強いが、今回の地震では特に激しい地動をうけた地域に橋梁が少なかったこともあって、被害は非常に少なくかつ軽かった。震害の

ために通行不能となったのは、古い形式の幸野橋（後述）ただ一橋のみであった。以下被害をうけた橋を用途別に分類してそれぞれについて述べる。

a) 道路橋

道路橋でもっともひどい被害をうけたのは国道 210 号線の庄内町幸野にかかる幸野橋である。この橋は橋長 19.4 m、幅員 4 m の大正 14 年に架設された古い形式の石造アーチ橋で、Fig. 41, 42 に示すようにスパンデル部分の裏込土砂の一部がおさえの空石積と共に崩れ、ために通行不能となったが、主構のアーチリング部の石積みは無事であった。古来ヨーロッパの地震国イタリアで、古代ローマの約 2000 年前に建造された道路橋、水路橋等の石造アーチ橋が幾多の地震に耐えて来たのを見てもわかるようにアーチは一般に地震に強いが、今回もアーチ本体に限ればそのことが実証された。

Fig. 43 は湯平と内山を結ぶ林道の途中に位置し、花合野川にかかる無名橋のアプローチ部の擁壁のはらみ出し、および橋台裏込め土の沈下の状況である。この擁壁は間知石を練積みして作ったもので、頂部が一番大きいところで 60 cm 程外側に傾斜しており、また裏込土は数 10 cm 沈下している。なお、文献 4) によればこの橋はスパン 20 m、幅員 4 m の単純支持プレートガーダー橋で、橋桁が橋軸方向（南北方向）に相対的に振動し、そのため固定支承のボルト（ $\phi 20$ mm）が変形し、橋桁に衝突された橋台に数 cm 幅の水平方向の亀裂が発生したが、桁本体には全く変状が認められなかった。以上この無名橋にみられたこれらの被害は、山間部での直下型地震による橋桁のうける被害の典型的なものである。

道路橋の被害としては、この他には、上述の無名橋から数 100 m 湯平よりに位置する扇山橋の橋台に幅 4~5 cm のキレツ（文献 4) 参照）が認められた程度に止まる。

b) 鉄道橋

文献 2), 4) によれば、国鉄久大本線の第 7 由布川橋梁（湯平～南由布間）と、第 2 野上川橋梁で被害が伝えられたが、前者は、橋脚と地表面の間に若干のすき間が生じ、左岸橋台と袖石垣の間に最大 30 mm 程の幅のキレツが見られたというものであり、後者は、兩岸の道床砂利が振動によってゆるんだというものであって、いずれも、橋桁、沓、下部構造等の橋梁本体そのものには別状がなかった。

c) 歩道橋

文献 4) によれば、湯布院町山下池南方数 100 m に位置するゴルフ場のコース間の谷を結ぶ歩道橋のうち、橋長の長い橋が主構部に変状をきたしたので、そのあらましを簡単に紹介する。これら橋は、共にパイプを主材料としたスパン 70 m 前後のアーチ橋で、主構は $\phi 20$ cm 前後の鋼管アーチよりなり、アーチ部の両側には $\phi 14$ cm 程度の鉛直材を支柱にした 2~4 径間からなる単純桁構造が続く。3 橋の位置を Fig. 5 に示すが、便宜上、下流側から A 橋、B 橋、C 橋と名付ける。Fig. 44 はその内 C 橋の写真であるが、ゴルフ場内の歩道橋という性格上、スパンに比べ部材断面の小さい“きゃしゃ”な橋である。これらの橋にみられた変状をまとめると以下のようなになる。

- ① アーチ部橋面（路面）の上方向へのふくらみ（3 橋）
- ② アーチの変状（3 橋、特に B 橋）
- ③ 鉛直材、斜め杖材の変形（A 橋）

④ 橋軸の水平方向変形 (B橋左岸端)

⑤ 橋台の移動, キレット, 支承の破損 (3橋で異なる)

これらのうち, ④~③は, 橋桁が相対的に橋軸方向に圧縮されたためうけた変状と解釈されるが, そのうち①の橋面上昇量についてみると, A, B, C橋について, それぞれ 18, 8, 16 cm であり, また②, ③の変形量については数 cm~10 cm 程度のオーダーである. また, ⑤は, 支承部のアンカーボルトの変形 (A, B橋), 切断 (C橋), 橋桁が橋台に相対的に衝突したことによる橋台のキレット, 移動等この種の地震による橋梁被害としてはポピュラーなものである. なお, 3橋とも橋桁と橋台とは左岸 (南岸) 側で衝突しており, 右岸 (北岸) 側ではその間にすき間が出来ていた.

4) トンネル

トンネルは, 直入町北東部において, 県道庄内久住線栗灰付近, 同線飛竜野付近, 同線向園から塩手部落に行く途中, 以上 3カ所のトンネルを調査したが最初のものには全く被害が認められず, あとの 2カ所では, 場所が地動の激しかった地域に近かったせいかモルタル吹付部から若干の壁面崩落が見られたが車の通行に支障をきたす程のものではなく, また, 端部入口付近のコンクリート覆工には全く変状が認められなかった. 他の個所のトンネルについても, 被害が報告されていないところから, 今回の地震ではトンネルの被害は総じてほとんど無かったといっておくであろう.

5) ダム

コンクリートダムは従来地震には大変強いが, 今回の地震でも被害は認められなかった. 一方アースダムは九重町山下池のアースダムの堤頂部に約 10カ所, 上流側斜面に約 10カ所程度のキレットが入ったのが主な被害である. 以下にそれぞれについてより詳しく述べる.

a) コンクリートダム

地動の激しかった帯状の地域内にあったコンクリートダムは, 直入町北東部の重力式芹川ダム唯一つである. このダムは, 塩手部落の北東約 2km に位置し, 高さ 52.2 m, 長さ 193.0 m の Fig. 45 に示すような県営ダムであるが, 堤体には何ら変状は認められなかった. なお Fig. 46 はこのダムの堤体から約 200 m 離れたところにある RC 建築の同ダム管理事務所であるが, 壁や柱の一部に大きいところで幅 1 cm 程のキレットが入り, 窓ガラスはほとんど割れ, 1階の管理室内のダム制御管理機器がロッキングしてかなり躍った. Fig. 47 は復旧後の室内の様子であるが, この建物の被害から見て, 芹川ダム付近一帯は最大 200 gal 程度の地動をうけたものと思われる.

この他のコンクリートダムとしては, 直入町南方に高さ約 7 m の重力式長湯ダムがあるが, このダムにも全く被害は認められなかった.

b) アースダム

ここでは, 被害をうけた山下池アースダムについてのみ述べる. このダムは, 高さ 18.18 m, 堤長 141.8 m で堤体が北東~南西方向に延びた Fig. 8 に示すような断面をもつアースダムで大被害をうけた九重レークサイドホテルの南東約 400 m に位置し (Fig. 5 参照) 大正 4 年 9 月に竣工した. 今回の地震により堤頂部に約 10カ所, 上流側斜面に約 10カ所のキレットが生じたが (Fig. 48) キレット幅は広いものでも 10 cm 程度で, 地震後九

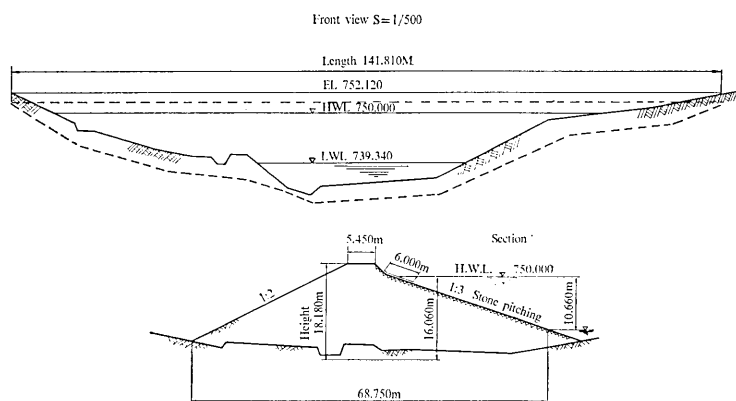
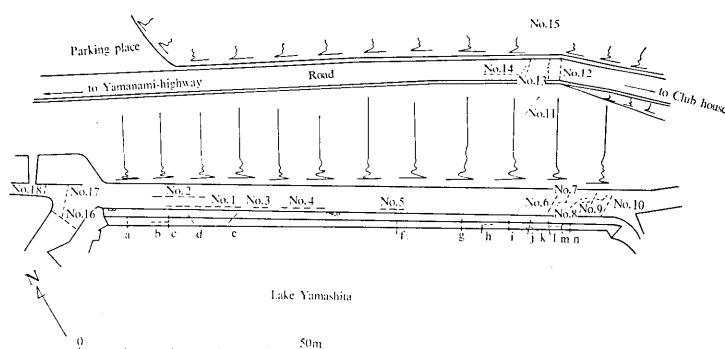


Fig. 8. The Yamashita-Lake earth dam.



Width of the cracks (mm)

No. 1	40	No. 7	20	No. 13	17	a	2	g	25	m	10
No. 2	2	No. 8	10	No. 14	70	b	3	h	10	n	15
No. 3	30	No. 9	40	No. 15	50	c	10	i	100		
No. 4	100	No. 10	130	No. 16	45	d	10	j	6		
No. 5	80	No. 11	60	No. 17	15	e	12	k	20		
No. 6	5	No. 12	50	No. 18	19	f	2	l	10		

Fig. 9. Cracks in Yamashita-Lake earth dam.

州電力がボーリングによる浸透水の測定を行なった結果、キレツが堤体深部まで達している可能性はほとんどないと判断された。Fig. 49 は堤頂部の北西端に近い部分のキレツの状態を示す。写真で白く写っているのはキレツ上にキレツに沿って張られたビニールの紐である。この部分では、キレツが数本、ほぼ $N80^{\circ}E-N110^{\circ}W$ の方向に平行して走っているが、堤体の北東側に堤体と平行して走っている道路上にも、これらにほぼ同じ方向のキレツが数本見られた。これらのキレツの位置、方向等については、Fig. 9 に詳しく

示す。(以上の山下池ダム関係の資料は九州電力による)

6) 電力・通信施設

発電所の被害としては、湯布院町南部の畑発電所(水力、950 kW)の発電機のコンクリートブロック基礎にキレツが発生したのが主な被害である。この発電所および同発電所近くの幸野発電所(水力、1,700 kW)では、地震発生後ただちに発電が停止され、施設に変状がないか調査された。

電力・通信施設関係の他の被害としては、前述 Fig. 31 の現場等で切り取り面の崩壊土砂により電柱が数本倒壊したのが主なもので、全体として被害は軽微であった。

7) 水路構造物

今回の地震では、湯布院町南部において、落石、転石等による水路構造物の被害が目立った。

a) 導水路

文献 4) によれば、湯布院町南部の畑発電所および幸野発電所(前述)に至る導水路は、転石、落石、および盛土の沈下により多くの個所で被害をうけた。すなわち、前者では、取水ダムから発電所に至る約 1.2 km の導水路の蓋渠部および開渠部が、転石、落石により被害をうけ、後者では、凝灰岩の崖錐地帯である水路終端の約 1 km 程の区間において、蓋渠部では転石のため RC の蓋がへこみ、はりが切断し、開渠部では盛土の沈下等により水路の側壁と底板の継目にキレツが発生する等の被害が生じた。

b) 簡易水道

湯布院町南部の扇山付近の水源から湯平温泉に至る簡易水道の埋設石綿管、铸铁管等が、30 数カ所で転石、落石等による被害をうけた。この埋設管は林道の路肩沿いに、地下約 50 cm のところに埋められていたが、林道の切り取り斜面からの 1 個最大 70 m³ もの石の落下により多くの個所で圧潰した。Fig. 33 は、写真左手の斜面からの転石の一例、Fig. 50 は、圧潰した铸铁管を新品と付け替えたところである。この地域の斜面は砂礫、泥等がまじった崖錐ないしは沖積錐堆積物より成り(文献 4))、地動によって崖錐中の岩が抜け出した。

8) 民家の石垣

I, II, III-1 で述べたように、民家が大きな被害をうけた奥双石、内山、塩手等の部落では、その被害の多くは切り取り盛土した造成地の石垣の崩壊およびそれに伴う裏込め土の沈下に起因するものであり、これは道路、鉄道等の土留擁壁の被害と同じ範疇に属するものである。以下、それらの被害の具体例を写真をまじえて示す。

Fig. 51, 52 はいずれも九重町奥双石部落の民家の石垣の被害状況である。前者は玉石を練積みした石垣としては最も簡単なもので、強度も弱い、写真に示すように振動によってモルタルにクラックが入り、石垣が裏込め土と共に崩壊した。しかし家屋の方は、基礎の下に打ってあった鋼管グイが効いて、被害はほとんどなかった。後者は写真左手から中央にかけて巡らしたコンクリートブロック造の擁壁がはらみ出し、裏込め土が沈下し、擁壁の出隅み部分が裏込め土と共に崩壊したもので、裏込め土の沈下に伴い家屋の布基礎に多くのクラックが入ったが、家屋自体には被害はほとんど認められなかった。

Fig. 53~56 はいずれも庄内町内山部落の石垣および家屋の被害状況である。この部落

の石垣は割石積みまたは雑石積み（いずれも空積み）の規模の小さいもので、全ての石垣が石の抜け出し、石垣全体の崩壊等の被害をうけた。Fig. 54 の現場では、裏込め土の沈下、崩壊に伴い家屋の基礎が不等沈下し、家屋にキレツの発生、架構の傾斜等の被害が生じた。また Fig. 56 の現場では、道の両側の石垣がくずれて道を埋めてしまった。

なお、直入町塩手部落においても、内山部落と同様な石垣の被害が数件見られた。

10) 墓 石

墓石の転倒状況から地動加速度の大きさを推定するにはいろいろ問題があるが、どこにでもあるということから各地域の地動加速度の大小を比較する際の目安として便利なので、今回も被害のひどかった部落を中心にして 10 数カ所調べた。Fig. 1 はその調査結果をもとに作成したものである。（なお調査にあたっては、地震後人の手で立て直されていない墓地のみを選んだ）調査の結果得られた知見をまとめると以下のようになる。

- ① I で述べたように、他の構造物の被害が大きかった奥双石、内山、塩手等の部落では墓石の転倒率も 98~100% とほぼ全滅であった。
- ② 墓石の転倒方向、または水平移動の方向は被害地全般を通じほぼ南北方向であった。
- ③ 墓石の回転は、転倒率の小さい墓場でも随所に見られたが、その方向は（調査した範囲では）全て右廻りであった。

以下に墓石被害の具体例を写真をまじえて示す。

Fig. 57 は九重町奥双石部落の墓地で、1 基を残し全部倒れた。転倒方向はほぼ北向きで、この墓地の近くの社が北向きに転倒していること（Fig. 58 参照。なおこの現場は Fig. 26 の傾斜した建物の右隣）等を考え合わせると、奥双石一带は南向きに卓越した地動加速度をうけたものと思われる。Fig. 59 は同墓地の墓石の 1 つで、台座に墓石が何度ロッキングした跡が残っている。

Fig. 60 は庄内町内山部落付近の墓地で、総数約 20 基の全てがほぼ北向きに倒れている。しかし、内山部落内での家屋の傾斜、倒壊方向は一定しておらず、墓石の転倒方向との対応は必ずしもつかない。

Fig. 61 は直入町塩手部落のはずれの小高い丘の上にある墓地で、全滅している。倒壊方向はほぼ南北方向であるが、墓石の倒壊状況と同部落の社の柱が土台から 7 cm 程 N30°W の方向にずれていること（前述の Fig. 27 の現場）等を考え合わせると、同部落はほぼ南北方向に卓越したかなりショック的な地動加速度をうけたものと思われる。

Fig. 62 は、直入町西部の水ヶ迫部落の墓地であるが、これは半数程度倒壊した墓地の一例で墓石総数中倒壊は 27 基である。倒れた方向はほぼ南北方向であるが、倒れていない墓石も全て回転（右廻り）、水平移動（南北方向）しており、中には Fig. 63 のように隣り合った墓石がそれぞれ台座と反対方向に相対変位しているといった例も見られた。

11) 各種危険物

a) プロパンガス

激しい地動をうけた庄内町内山部落では、炊事用に使用していた各家庭のプロパンガスのボンベが地震時に全て転倒したが、幸い火災には至らなかった。なお、住民の話では、一応ボンベは家屋に結びつけてあったということであるが、どの程度しっかりとつけてあったかは不明である。

b) 都市ガス

湯布院町南部では、前述のように、落石のため道路、水道管等が被害をうけたが、ガス管も数カ所で落石により溶接継手部の口があき、ガスが漏れる等の被害をうけた。

III-3. 地動加速度の卓越方向

今回の地震では、一部前述のように九重町奥双石、同寺床、湯布院町九重レークサイドホテル付近、直入町塩手等の地域で、構造物、墓石等の傾斜、移動、倒壊方向にかなりの方向性が認められた。このことは発震機構と何らかの関連があるものと思われるが、ここではその内、九重レークサイドホテル付近を例にとって少しくわしく述べてみたい。

Fig. 10 は同ホテル付近の構造物の水平動の方向を示す。(なおこの項に関しては、II-2 c) も併せて読みたい)

図について若干補足すると、図中、番号⑨の狩場亭とは Photo 14 に示した同ホテル所有のあずま屋で、写真で見られるように、柱が上部構造と共にほぼ $N20^{\circ}W$ の方向に傾斜した。また、番号⑩の石碑とは、レークサイドホテルの前庭にあった高さ 140 cm、幅 240 cm、厚さ 25.5 cm ほどのコンクリート製の板で、これが Fig. 64 に示すように、ほぼ $N20^{\circ}W$ の方向に台座から転倒した。また図に示してあるように、同ホテル屋上の RC 煙突がほぼ $N10^{\circ}W$ の方向に根元から倒れた。これらのことから、同ホテルはエキスパンションジョイントに

ほぼ平行な方向（はりま方向）に強い地動加速度をうけたものと思われるが、この他の構造物に関しても、図中、②～⑤に示す建物では、架構の一部にほぼ $S10^{\circ}E-N10^{\circ}W$ の方向に、何らかの（移動、傾斜等の）変状をうけており、以上のことを考え合わせると、レークサイドホテル付近一帯は、ほぼ $N10^{\circ}W-S10^{\circ}E$ の方向に卓越した地動加速度をうけたものと思われる。III-2 1) c) で述べたように、この地動の卓越方向が、近くを走っている山なみハイウェイの大崩壊した個所の道路の走向とほぼ直交していることは興味深い。(Fig. 5 参照)

なお、各地域で見られたこれら地動加速度の卓越方向と、今回動いたと推定される断層面との関連については、目下検討中である。

IV. む す び

今回の地震震害調査から得られた知見をまとめると次のようである。

- (i) 各種被害は、長さ 20 km 強、幅約 10 km の細長い带状の地域に生じていた。
- (ii) 全般的な被害状況は、1969 年岐阜中部地震、1974 年伊豆半島沖地震などと同様、

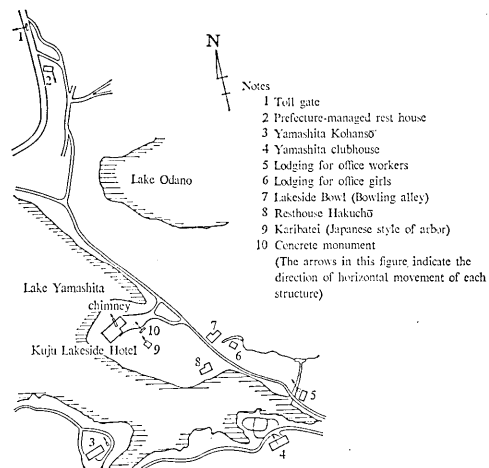


Fig. 10. The direction of horizontal movement (fall, shift, inclination etc.) of each structure around Kujū Lake-Side Hotel.

山間部の地震被害の特長をそなえていて、地すべり、盛土崩壊、石垣崩れ等に代表される、斜面の崩壊と土砂、岩の破壊に起因するものが多かった。ただ、レークサイド・ホテル、有料道路料金所に見られるように激しい振動による建物の倒壊も見られた。

(iii) 被害のひどかったほとんどの地域（内山を除く）で、各種構造物の倒壊、移動、傾斜方向にかなりの方向性が認められた。

文 献

- 1) 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—, 地震研究所速報, 14, 221-240.
- 2) 建設省土木研究所 (昭和 50 年 5 月): 大分県中部地震調査概報, 土木研究所資料.
- 3) 建設省建築研究所 (昭和 50 年 5 月): 大分県中部に発生した地震震害調査報告.
- 4) 望月利男・国井隆弘他 (1975 年 7 月): 1975.4.21 大分県中部の地震調査報告, 東京都立大学.

18. *On the Damage to Structures Caused by the Ōita-Chūbu Earthquake of 1975.*

By Motohiko HAKUNO, Tadao MINAMI, Katsuhiko ISHIDA,
Yoshihiko MATSUI and Ryosuke INOUE,
Earthquake Research Institute.

A summary of an investigation on the damage to structures by this earthquake is as follows:

i) Damage to various types of structures (buildings, roads, bridges, water pipes etc.) was distributed in the oblong zone which is about 20 km long and 10 km wide. (cf. Fig. 1 and Fig. 2)

ii) The whole state of structural damage was similar to that of other earthquakes (Izu-Hanto-Oki Earthquake of 1974, Gifu-Chūbu Earthquake of 1969 etc.) that occurred in hilly regions, namely, the main causes of the structural damage were landslides, collapse of embankments and cuttings, collapse of masonry retaining walls etc. However, a few RC structures (Kujū Lake-Side Hotel, toll gate etc.) were destroyed by the violent vibration.



Fig. 11. Total destruction of shed due to failure of stone retaining wall.

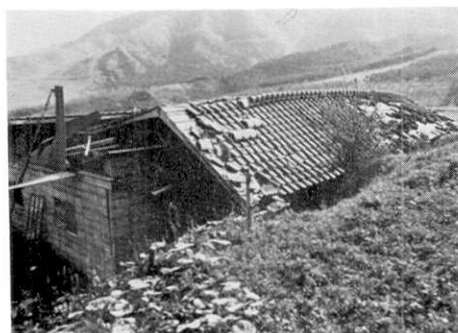


Fig. 12. House tilted, due to inadequate horizontal resisting elements.



Fig. 13. Damage due to deformation.



Fig. 14. House tilted, due to poor construction.



Fig. 15. Slightly damaged house.



Fig. 16. Separation of mud wall by the entrance.



Fig. 17. Deformation of window.



Fig. 18. Separation of shed from wall foundation.



Fig. 19. Total failure of storage shed.



Fig. 20. Partial collapse of ground floor of Lake Side Hotel.



Fig. 21. Slightly damaged long columns.



Fig. 22. Pounding of expansion joint.

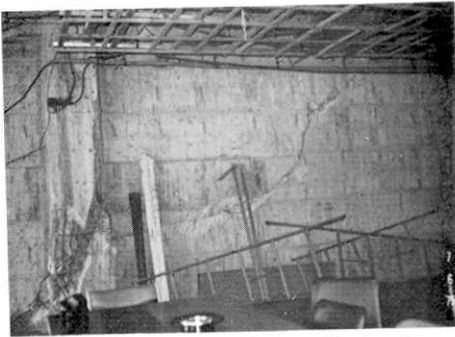


Fig. 23. Heavy cracks in seismic shear walls.



Fig. 24. Failure of open frame viewing hut.



Fig. 25. Over-turned toll gate.



Fig. 26. Tilted unbraced hut.



Fig. 27. Column dislodged from footing.



Fig. 28. House damaged due to failure of masonry retaining wall.



Fig. 29. Damage to roof ridge tiles of a shrine.



Fig. 30. Violent motion of stone blocks at a grave.



Fig. 31. Slidden deposit on a road from cutting slope.



Fig. 32. Slidden deposit on a road from cutting slope.



Fig. 33. Fallen stones on a road which destroyed a water pipe buried 50 centimeters below the surface of the ground.



Fig. 34. Cracks on road surface.



Fig. 35. Slope failure of embankment.



Fig. 36. Large-scale slide on embankment and damage to slope protection at Point B in the Fig. 5.



Fig. 37. Close-up of Fig. 36.



Fig. 38. Close-up of Fig. 37.



Fig. 39. Close-up of Fig. 37.



Fig. 40. Close-up of Fig. 36.



Fig. 41. Damage to spandrel stone masonry of Kōno stone arch bridge.



Fig. 42. Damage to spandrel stone masonry of Kōno stone arch bridge.



Fig. 43. Swelling of masonry retaining wall and settlement of soil behind bridge abutment.



Fig. 44. Rising of floor deck by 16.5 cm of pipe-arch bridge.



Fig. 45. Serikawa gravity-type concrete dam. (No damage was discovered.)



Fig. 46. Control office for Serikawa dam.



Fig. 47. The interior of the room of the control office.

Control instruments rocked violently, windowpanes were broken badly, and walls and columns had some cracks.



Fig. 48. Yamashita-Lake earth dam. There were many cracks in the stone pitching.



Fig. 49. Cracks on the surface of the crest of Yamashita-Lake dam.



Fig. 50. A new water pipe which is replaced with the old one crushed by fallen stones.

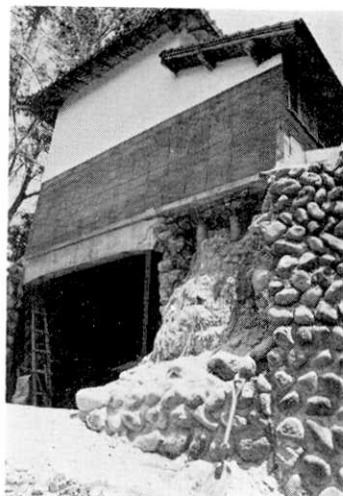


Fig. 51. Damage to masonry retaining wall at Okunameshi village.



Fig. 52. Damage to masonry retaining wall at Okunameshi village.



Fig. 53. Damage to stone retaining wall and house at Uchiyama village.



Fig. 54. Damage to stone retaining wall and house at Uchiyama village.



Fig. 55. Damage to stone retaining wall at Uchiyama.



Fig. 56. Damage to stone retaining wall at Uchiyama.



Fig. 57. Graveyard at Okunameshi. Almost all gravestones fell.



Fig. 58. Wooden shrine on the hill at Okunameshi which overturned onto the hillside.

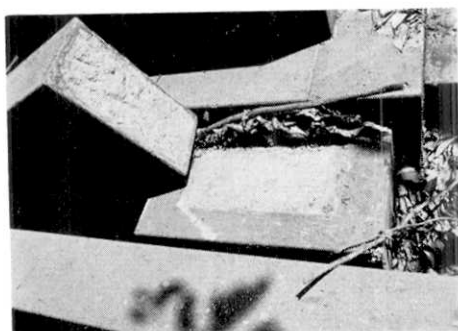


Fig. 59. A sample of overturned gravestone at the graveyard. (Okunameshi) Several marks which were made by the rocking of the gravestone are recognizable on the footstone.



Fig. 60. Graveyard at Uchiyama. All gravestones (about 20) fell to the north.



Fig. 61. Graveyard at Shiode. All gravestones fell to the north or south.



Fig. 62. Graveyard at Mizugaseko. About half of the gravestones fell to the north or south. The rest did not fall but turned clockwise or shifted.



Fig. 63. A sample of shifted gravestones. (Mizugaseko)



Fig. 64. Fallen concrete monument at the garden of Kujū Lake-Side Hotel.