

1975年大分県中部の地震による土木構造物の被害

Damage to Civil Engineering Structures by the 1975 Central Oita Prefecture Earthquake

片山恒雄*・佐藤暢彦*・国井隆弘**

Tsuneeo KATAYAMA, Nobuhiko SATO and Takahiro KUNII

1. 地震の概要

「慶長二酉閏七月九日申ノ上刻、椿山華崩。馬場・八川ノ二村地下ニ埋滅、絶村ス。」と豊後国誌に記された地震により別府湾内の久光島が、また、慶長一年(1596年)の地震によりやはり別府湾内の瓜生島が、いずれも海没したと伝えられている。豊後国誌にある馬場村は後に湯温とよばれ、今日の湯布院町の中心街にその地名を残している。

1975年4月21日2時36分頃、この湯布院町の近くにマグニチュード6.4の地震が発生した。震央は北緯33°08′、東経131°20′の庄内町南部にある花牟礼山付近で、震源深さは0 kmである(気象庁地震課勝又護による)。この地震による震度は大分市・阿蘇山でⅣ(中震)、福岡市・日田市・延岡市・宇和島市においてⅢ(弱震)であった¹⁾(図1)。気象庁の観測点が被害地域になかったため、震度Ⅳが最大となっているが、被害状況からみて、被害地区の震度はⅤから局部的にはⅥ程度であったと思われる。図1には国鉄管理の簡易地震計による

推定震度もイタリック体で示されている(表2参照)。これらの簡易地震計は、地震に対する列車運行保安のために、国鉄主要駅に設置されているもので、表1に示す2つの型式があるが、いずれも震度に対応する加速度に達すると、震度相当の警報を発するようになっている。HGA-2型はススを塗ったガラス板上にスクラッチが残せるようになっているが、時間軸の送りがなく、最大加速度を読み取ることができない。国鉄の地震計による最大の震度は由布院駅のⅤで最大加速度210galと記録された²⁾(表2)。由布院駅近くでは棚の上の物が落ちたり、一部の窓ガラスが割れた程度であり、墓石の落下・転倒もほとんど見当らなかったことから判断して、震度Ⅴの下の方であったと思われる。

大分地方気象台の1倍強震計による変位記録は、全振幅でE-W方向6.5cm、N-S方向6.1cm、UD方向2.6cm程度であった³⁾。残念ながら被害地域での強震記録

表1 国鉄の簡易地震計

名称	制御用地震計	地震指示警報器
型式	AJA-2	HGA-2
感震方向	水平全方向	水平2方向
固有振動数	10Hz	10Hz
減衰	エヤー・ダンパー	エヤー・ダンパー
測定範囲	40~150gal	2.5~150gal
製作	明石製作所	原田製作所

表2 国鉄による震度と最大加速度

場所	型式	最大加速度	震度
中津	AJA-2		Ⅳ
立石	HGA-2	33gal	Ⅳ
大分	AJA-2		Ⅳ
白杵	〃		Ⅳ
重岡	HGA-2	59	Ⅳ
南延岡	〃	50	Ⅲ
都豊	AJA-2		Ⅱ
天ヶ瀬	HGA-2	158	Ⅳ
由布院	〃	210	Ⅴ
竹田	〃	40	Ⅳ
日ノ影	〃	60	Ⅳ

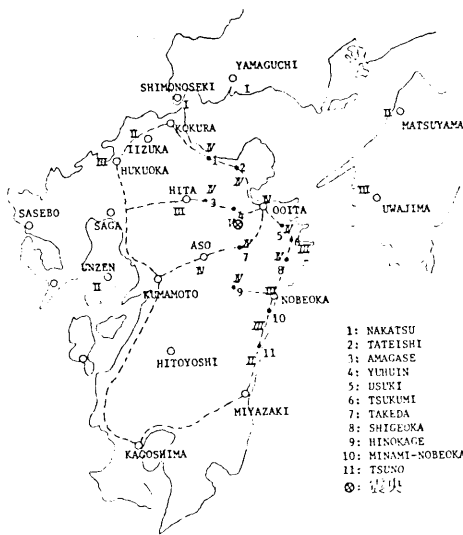


図1 震央と震度

* 東京大学生産技術研究所 第5部

** 東京都立大学工学部

は得られていないが、運輸省港湾技術研究所が管理している大分港の強震計SMAC-B2の示した最大加速度(半振幅)はE W方向65gal, N S方向49gal, U D方向28galとなっている。図2は大分港の強震記録であるが、E W方向がN S方向よりもやや大きく、U D方向は水平方向のおよそ半分であり、特に主要動が5秒程度しか継続していないことが注目される。強震記録波形の最初の6秒間のみ、直交座標においてデジタル化し、スペクトル解析した(図3)。記録線の圆弧補正もしていないので、概略的な解析であるが、数Hz以上においては、記録の特性を近似的に表わしていると考えられる。この結果によると、水平・上下両方向とも約6 Hzの振動が明瞭に卓越していることが判る。

大分地方気象台の観測によると、4月21日は25回の余震(このうち有感地震は5回)があったが、22日以降余震回数は急速に減少している¹¹(図4)。有感地震の大分市における震度は全てIであったが、本震の震央付近ではこれより強い震度を伴う相当回数の余震があったものと推定される。

四国北部から西へのびる中央構造線は大分県に入ると複雑な地体構造線を形成している⁴⁾(図5)。これらの構造線の間には多数の活断層があり、別府付近では気象台に感じないような極めて局所的な地震が多く発生するといわれている。今回の地震は松山-伊万里構造線と大分-熊本構造線の間で発生しているが、1965年から1974年の10年間に大分県とその付近に発生した震央が明らかにされている地震の分布⁵⁾と地体構造線と

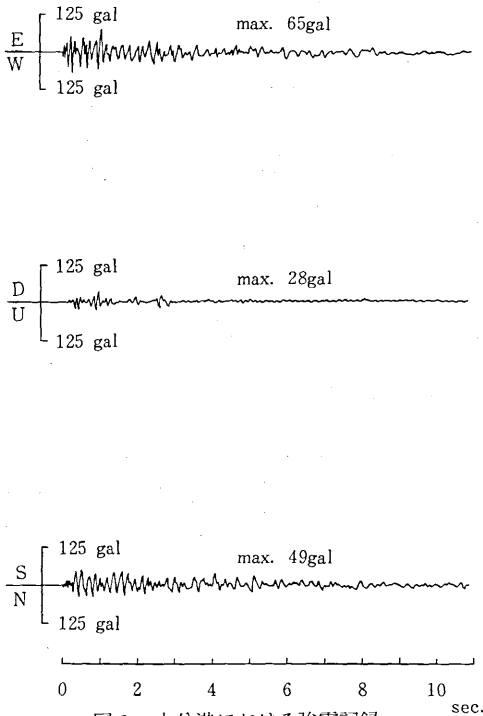


図2 大分港における強震記録

の関係は明らかではない。416年から1973年の間に発生した被害地震の震央は、豊予海峡から日向灘と有明海に多く分布しており(図6)、大分県の内陸部に震央をもつ被害地震は見当たらない⁶⁾。表3には大正10年以降に大分市で震度Ⅱ以上を記録した地震のうち、大分県の内陸部に震源をもつものを示したが、高々震度はⅢである。本地震は大分県の内陸部に震源をもち、大分市で震度Ⅳを記録した被害地震であるが、上に述べた過去の資料から判断するかぎり、非常にまれなことといえよう。

今回の地震による被害の詳細は後述するが、被害域は別府阿蘇道路の大崩壊地点・九重レークサイドホテ

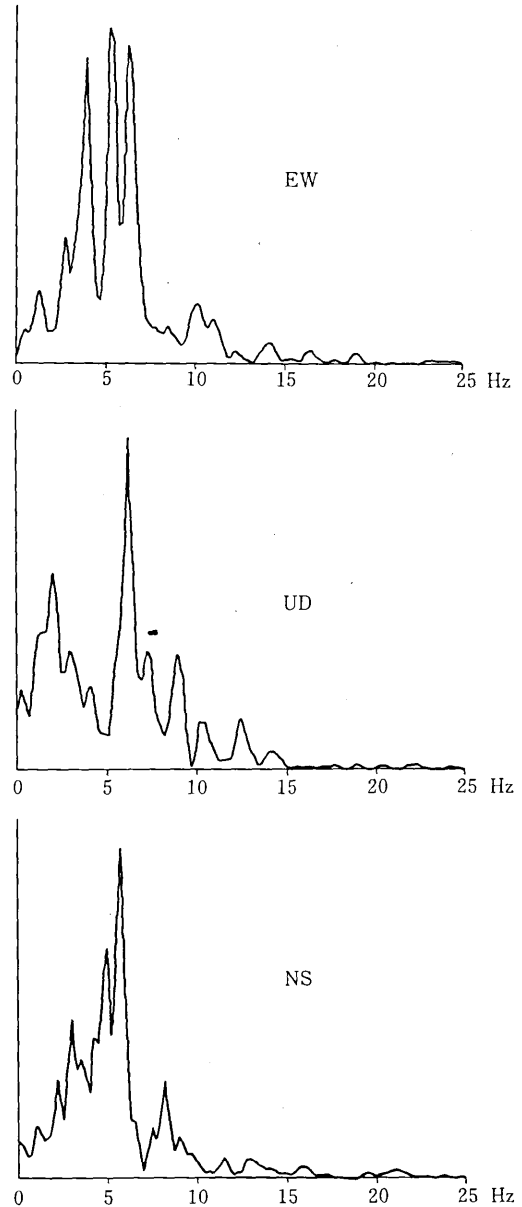


図3 大分港の強震記録のパワー・スペクトル

ル・庄内町内山地区を結ぶ西北西から東南東の線を中心とし、この線の方に約25km, 直角方向に約10kmの地域である。特に被害の激甚な地域が細長く伸びていることから、活断層の動きが地震被害に直接関連しているのではないかと想像される。これまでの種々の

調査によれば、未だ統一的な結論は出されていないようである。一方には、この被害域に左横ずれ型の断層の動きがあったとみなす意見（第498回地震研究所談話会における村井勇の講演）もあるが、他方、多くの明瞭な活断層が存在するにもかかわらず、今回の地震でそれらが動いたとみなすべき痕跡はなかったとする意見（第498回地震研究所談話会における松田時彦の講演）もある。いずれにせよ、この地域の地下深部での断層運動が、今回の地震の発生および被害域の分布と形状に深く関与していたことはほぼ確実であろう。

最後に、別府阿蘇道路管理事務所（九重町大字田野字上野255）における地震前後の降雨量の資料を図7に示す。4月20日には、幸野発電所（九州電力）においても36mmの降雨が記録されている。被害と降雨との関係を簡単に論ずることはできないが、本震前の降雨が山崩れ・崖崩れ・転石などの被害に関係している可能性が考えられよう。

2. 地形・地質の概要

大分県地質図⁴⁾によると、被害が生じた地域の地質は概略的には主として花牟礼・鹿伏岳火山岩（角閃安

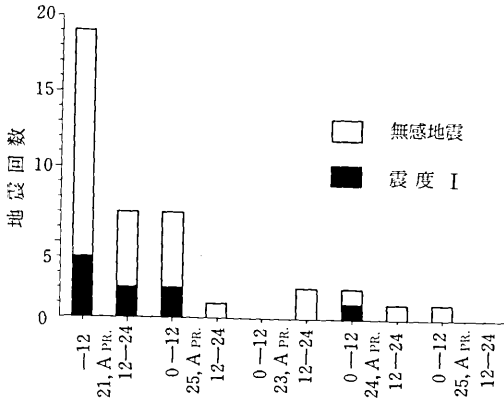


図4 大分市における余震回数

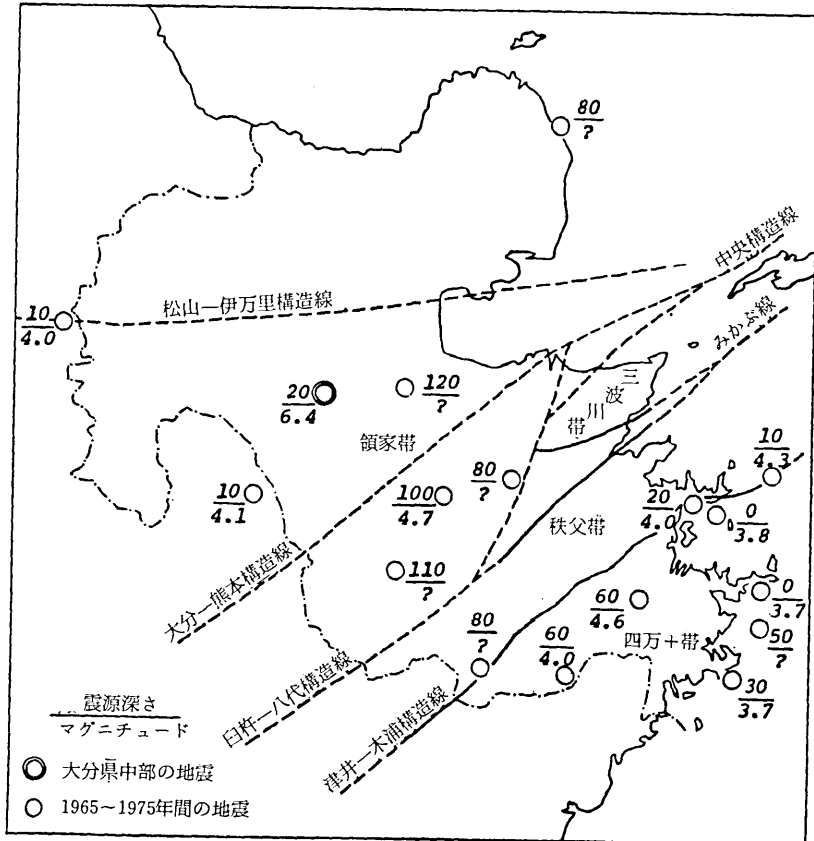


図5 大分県の地体構造線

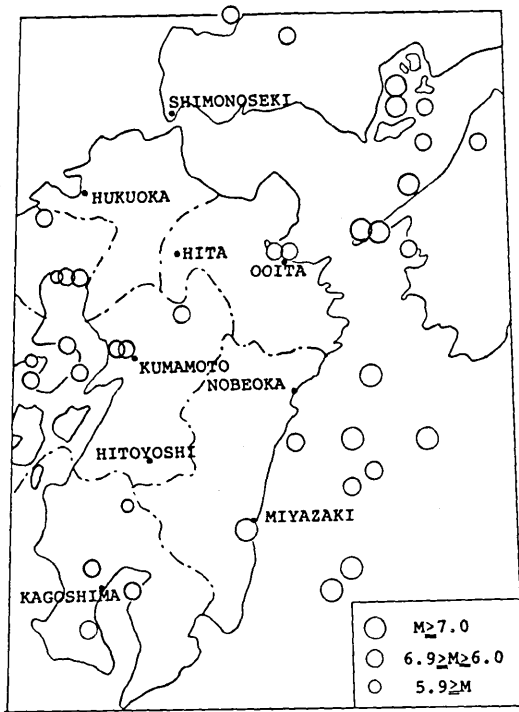


図6 九州の被害地震の分布

表3 大分県内陸部に震源地をもつ地震 (大正10年以降、震度Ⅱ以上)

発 生 年 月	大分市の震度	震 源 地
大正 13年 6月	Ⅱ	国東半島
昭和 4年 1	Ⅱ	大分県西部
5 4	Ⅱ	不 詳
17 2	Ⅲ	湯布院付近
17 9	Ⅱ	湯布院付近
18 12	Ⅱ	大分市付近
22 10	Ⅱ	大分県東部
30 11	Ⅱ	大分県南部
36 3	Ⅱ	大分県南東部

(大分合同新聞昭50.4.22・朝刊)

山岩) および玄武岩, 玄武岩質安山岩, 斜方輝石安山岩からなり, これに筑紫溶岩(輝石安山岩)の分布が一部加わる。また火山性扇状地には山麓堆積物(岩屑, 火山灰)が広まり, 大分川に沿って段丘堆積物および由布川軽石流(流紋岩質)が分布している。以下に各地域の特徴を記す(図8参照)。

2.1 花合野川上流(湯平～扇山間)

湯平は花合野川の谷壁斜面に立地し, 谷底は狭く谷底低地と呼べる程の広さではない。温泉街は花合野川と山地との間のわずかな緩斜面にある。花合野も谷壁

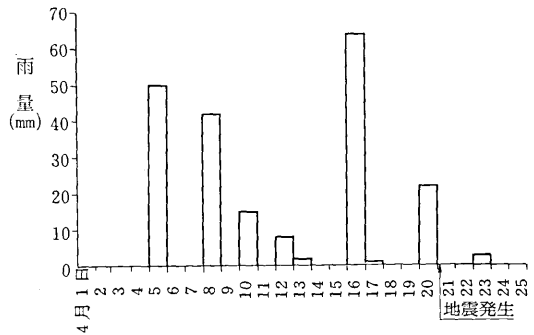


図7 地震前後の降雨量

斜面に立地しているが湯平ほどの急傾斜地ではなく, 階段状に水田ができる程度である。田伏は全体的に傾斜した成因不明の小規模な凹地にある。扇山は花合野川の支谷が形成した小規模な沖積錐に立地している。この沖積錐は先端を花合野川により削られ, 段丘状の残地となっている。これらの地域の主な地質は玄武岩あるいは玄武岩質安山岩から成り, 花合野川最上流部で日向神溶岩(安山岩質)および岩屑火山灰から成っている。

2.2 大分川沿岸地域(天神山～下湯平間)

この地域の大分川兩岸は, 阿蘇山から流出してきた火山砕屑流からなる幅200～400mの丘陵を有し, 非常にやせた尾根と広く浅い谷が特徴的である。左岸のこの丘陵地の谷の斜面や谷頭の斜面には佐平治, 高岡, 雲取, 西などの地区がある。この丘陵地の下には2～4段の河岸段丘が広く分布し, 丘陵地直下の段丘上に左岸では天神山・折立・橋爪・宇南が, 右岸では内川野・柿原・野畑・八久保・中淵などの地区がある。下湯平に近くなると河岸段丘の幅は狭くなり, 小友谷が作った沖積錐や崖錐とつながり川に向った緩かな斜面が形成されている。

2.3 芹川流域(小津留, 塩手, 藤目, 双石, 練が迫, 今市)

西南西～東北東に長い台地で, 台地は阿蘇山から流出してきた今市火山砕屑流と芹川火山砕屑流とからなる。これらの火山砕屑流からなる台地は開析が進み浅く広い谷が形成されている。このため火山砕屑流の堆積面はやせた尾根状を呈し, また最上部(表部)は風化し粘土化している箇所もある。この地域は谷壁の緩斜面を整地した所あるいは谷壁から谷底への微高地に立地している。

2.4 阿蘇野盆地(内山, 直野内山, 下直野, 原中)

北東側は時山から熊群山に続く山地と直線的な急崖で境され, 南東側も山地との境が直線的な崖となって

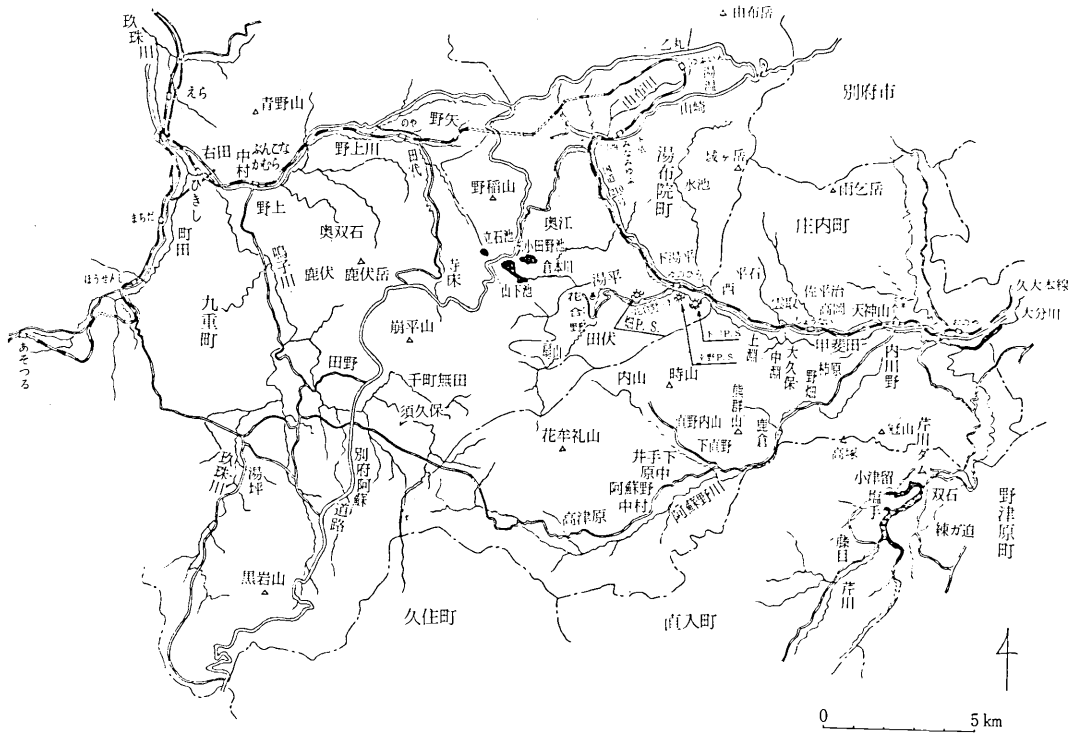


図8 被災地区略図

いる。この直線的な急崖はこの地域に支配的な構造と平行している断層崖である。盆地の西縁は花牟礼山の噴出による三角形状を呈している。

時山から熊群山に続く山地の山麓には崖錐斜面が形成され、その先端は阿蘇野川の支川により深く削られ段丘状を呈している。内山、直野内山、下直野はこの崖錐斜面上に立地する。この斜面には背後の急崖から供給された角礫や小谷から押し出された角礫を多量に含む土砂があり、その上に約1mの厚さで表土やローム層がある。

原中、井手下、中村などの地区は花牟礼山の山麓に位置し、谷により運ばれた砂礫からなる火山性扇状地に立地している。阿蘇野盆地を抜けた阿蘇野川は庄内山地を深く刻み込み、狭谷状を成している。この付近は風化の著しい鹿倉安山岩からなり、縦横に多数の割れ目が入り、ところにより数cm～数10cm大のサイコロ状の岩となっている。

2.5 湯布院

湯布院の盆地は、東西に連なるほぼ平行な2本の断層崖の線にはさまれた地溝の一部である。南側の断層崖は城ヶ岳断層崖と呼ばれ西南西—東北東の方向を持つ直線状の急斜面で示される。北側は立石山をはさんだ2つの断層崖からなる。西側は秋山断層崖、東側は

塚原断層崖である。この両者は立石山噴出前は一連の断層崖を形成していたものと思われる。湯布院の盆地は、このような断層崖にはさまれた幅数kmの地溝が形成された後に立石山、由布岳、鶴見岳などの噴出で埋積されずに残されたものであり、これらの火山を侵食している小河川によって運ばれた砂礫で埋積されている。このため盆地は比較的傾斜のゆるい扇状地状である。

2.6 千町無田、須久保

約2km四方のこの盆地状の地形は構造的な凹地であるかあるいは一部が溶岩などで埋積されずに残されたためにできたものと思われる。千町無田は盆地の北端の崖錐斜面にあり、須久保は南端の旧中洲的な微高地にある。盆地の中央部には火山から供給された砂礫による緩傾斜の扇状地がひろがっている。

2.7 寺床

約1km四方のこの盆地状の地形は北側にある東西方向の断層崖による断層角盆地より成る。盆地には侵食された火山から供給された砂礫が埋積されているが、南部はより粗粒な砂礫が薄く埋積され急傾斜であるのに対し、北部は堆積もより細粒で緩傾斜で比較的厚い層となる。

2.8 奥双石

奥双石付近は庄内火山岩やそれ以降に噴出した火山

岩類の基盤に相当する中新世～鮮新性に形成された堆積岩からなる。しかしながら標高600～700m以上では上部に火山岩が分布する。このため奥双石付近では開析が著しく進み尾根は非常にやせている。集落は幅の広い緩傾斜な支谷の周辺、傾斜の小さい谷壁あるいは断片的に見られる侵食段丘とみられる平地に立地している。

3. 推定加速度

墓石の転倒状況から地動の最大加速度を推定しようとする試みは、墓地あるいは寺院が地震被害の生じた地域的拡がりの中に数多く点在する機会が多いことから、加速度分布の概要を知る上で有用とされしばしば行われる。本章では筆者らの調査結果に望月らの結果⁹⁾を加えて推定加速度の分布を述べる。

被害が生じた調査地域は、地区ごとに寺院を有する場合はまれで多くの場合1～数世帯の墓地が存在するという特徴がある。このため、墓地は一般に小規模なものが多く1地区に数箇所の墓地が存在する機会が多い。調査結果は原則として墓地ごとに対して得た。加速度の推定方法は転倒および不転倒の墓石の両者に注目する以下に述べる方法⁹⁾に依った。転倒した墓石の寸法に相当する加速度の最大値を推定加速度の下限とし、不転倒の墓石の寸法に相当する加速度の最小値を推定加速度の上限とする。この場合、高い台座上の墓石および転倒、不転倒の理由の不明瞭な墓石は調査対

象から外された。

図9はこの様にして求めた推定最大加速度分布およびその最大加速度の方向である。図から観察できる比較的大きな加速度を示す地域は、九重町野上から野津原町今市近辺までに及ぶ約25km、幅数kmのほぼ帯状の範囲である。この中で特に大きな加速度を示すのは、野上、奥双石地区から寺床～扇山～内山～原中とはほぼ線上に結べる地域、そして西、葦草地区の狭い地域、さらに塩手、小津留、双石地区の芦川流域の3地域であろう。この3地域ではともに最大500gal前後以上の加速度が推定されている。特に興味深いのは、この3地域には含まれた地区がこれらの3地域に比べてかなり小さな加速度を示している事である。畑、鹿倉、南園などの地区では特別に細長い形の墓石を除けば転倒した墓石が見い出せなかった。この様に大きな加速度が分布する中に、あたかも谷の様に小さな加速度分布地区が入り込んだ形が何に起因するかは明らかでないが、少なくとも地形的な要因と結びつくとは考えられない。なぜなら、奥双石、塩手の両地区を除けば、扇山、内山などの地区と畑、鹿倉、南園の各地区とは共に類似した地形——谷に向う緩斜面丘陵地——にあると言えるからである。

なお、図中に記されていないが、山下池東端にあるゴルフ場クラブハウス1階では南北方向で、280gal以上に相当するロッカー数十個がことごとく転倒し、

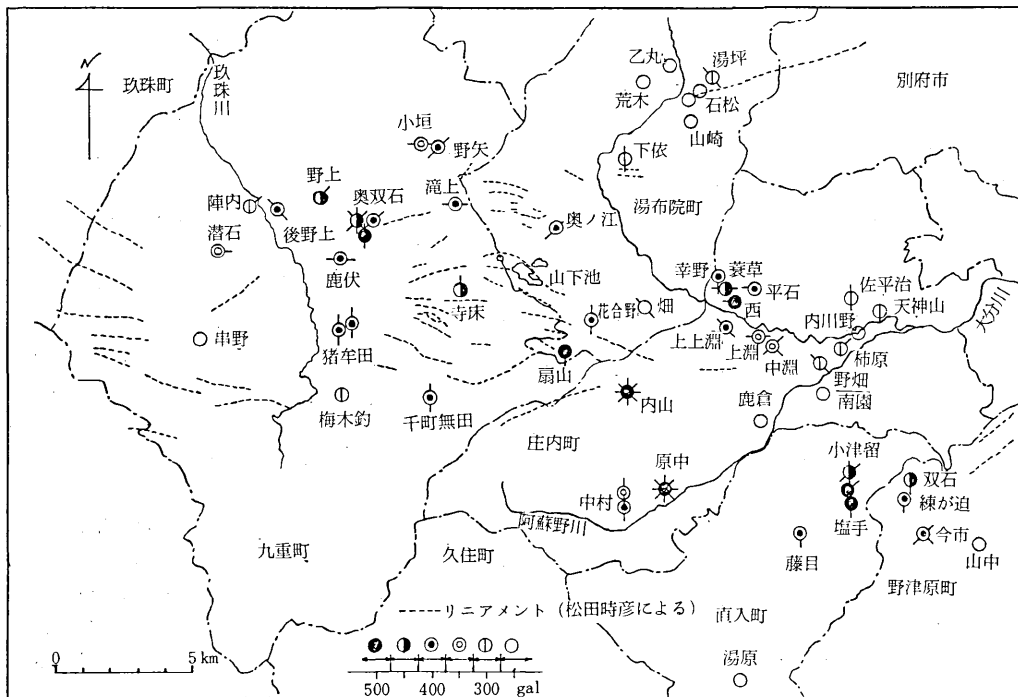


図9 墓石から推定された最大加速度とその方向

450gal以上に相当するショーケースが2個転倒した(支配人の話)。このことから考えるとこの地区には500gal前後以上の加速度が生じたと思われるが、この加速度は建設省建築研究所が山下池中部北側にある九重レークサイドホテル玄関前駐車場東側擁壁下の道路際の石の転倒から推定した加速度500gal程度とほぼ一致する²⁾。

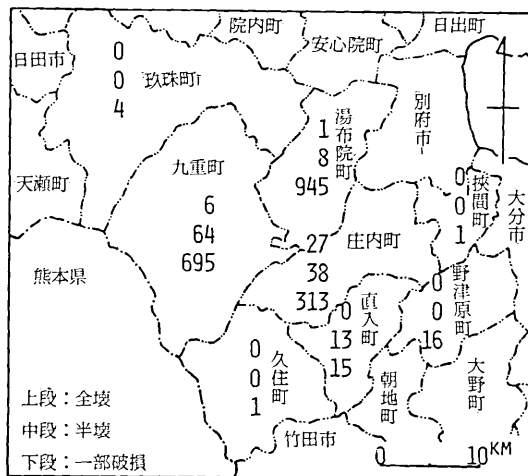
最大加速度の方向に明確な傾向は見られないが、全般的には南北方向の震動が卓越したと観察される。

4. 被害の概要

大分県土木局建築課の集計によれば、4月22日正午現在の町別の住家被害は図10のようである。住家全壊は湯布院町・庄内町・九重町で発生しており、半壊は上記3町のほかに直入町で発生しているが、他の地域では一部破損が報告されているにすぎず、本地震による被害はこれら4つの町に集中しているといえる。

上記4町の被害の概略を表4に示したが、4町の合計で負傷者21人、住家全壊76棟、半壊111棟であり、被害総額は約110億円に達している。湯布院町の被害額の中には、後述のレークサイドホテルと小田野池料金所の被害(約33億円)が計上されており、これらが全被害額の約60%を占めている。面積1km²当りの被害額は、庄内町1,700万円、湯布院町1,500万円(上記2件の被害額を除く)、九重町1,000万円、直入町400万円となる。なお、各町によって表4のもとになった被害災害速報の作成要領が異なっていることに注意が必要であり、例えば、庄内町の道路被害には国道の4箇所が含まれているが、湯布院町では国道の被害は管轄外として除外されている。

図11は表4の住家の被害を地区別に分けて



(大分県庁集計昭50.4.22正午現在)

図10 大分県内町別住家被害

表4 町別の被害集計

町名	直入	庄内	湯布院	九重
人口(人)	5,000	12,000	12,000	17,000
面積(km ²)	84	139	128	272
調査日(月/日)	5/23	5/31	5/29	5/23
負傷者(人)	0	5	5	11
住家	全壊(棟)	5	31	0
	半壊(棟)	18	39	24
	一部破損(棟)	68	239	522
非住家	全壊(棟)	2	32	2
	半壊(棟)	81	59	0
公立学校	全壊(校)	0	0	0
	半壊(校)	0	0	0
	大破以下(校)	2	7	4
簡易水道(施設)	1	3	1	18
林地の崩壊・地すべり(箇所)	15	40	36	98
土河川(箇所)	13	0	0	0
木砂防(箇所)	0	0	2	4
関道路(箇所)	22	60	39	74
係橋梁(箇所)	1	0	0	1
被害総額(上記項目以外も含む)(千円)	370,925	2,364,318	5,273,291	2,763,777

$$\text{全壊率} = 100 \times \left[\frac{(\text{全壊棟数}) + 0.5 \times (\text{半壊棟数})}{\text{全棟数}} \right]$$

として、全壊率を示したものである。これによると、庄内町内山地区と九重町寺床地区が100%、次いで、直入町塩手地区、庄内町直野地区、九重町奥双石地区が30~40%台となり、その他の地区では九重町千町無田地区の17%を除いて全て10%以下となっている。図11によれば、家屋の被害が甚しかった地域は奥双石・寺床・内山・直野・塩手を結ぶ西北西-東南東の約25kmの線上にいらんでいるようであり、被害域の幅は約10kmである。また、幅方向の被害は距離により急激に減少していることが注目される。

筆者らが実際に視察した被災地区は、奥双石・寺床・千町無田の九重町の3地区、湯布院町湯平地区、庄内町阿蘇野地区である。奥双石地区では両側を川に挟まれた半島状の地形に被害が多く、半島の先端部にある田畑に地割れ・陥没がみられたが、これは斜面変状に伴う地表面の沈下によるものと思われる。家屋の被害は基礎地盤の崩壊にもとづくものが多く、地震力の直接的作用による被害は少ないものと思われた。写真1(写真はすべてグラビア頁を参照)はこの地区の山頂にある通称天神さんの被害であり、およそ5m程離れたところに転倒・破損している。屋根が重いた

め転倒し、斜面を一回転して破損したものであろう。寺床地区は終戦後入植した開拓地であって、建物自体が比較的粗末な構造であったことが、100%と全壊率を大きくした一因と考えられる(写真2)。庄内、湯布院、九重の各町内の国道210号線沿線、湯布院町の中心部、湯平温泉街、県道天神山—阿蘇野間の家屋の被害は、少なくとも外見上は極めて軽微であり、道路被害をのぞけば震災地という印象さえ希薄であった。また、直入町塩手地区は32%の全壊率を示しているが、これは山の斜面の崩壊によるものと報じられている。一般的に他の地震災害と較べて屋根瓦の落下が少ないことも1つの特徴と思われ、地震による振動的な被害というよりは、激震域では衝撃的な力による被害が多かったようである。これは大分港の強震記録の主要動がせいぜい5秒程度であったことに符合する。

簡易水道の被害は九重町が18施設で町内全域に分布しているのに対し、湯布院町は湯平地区の1施設、庄内町は中心街へ給水する施設と内山と直野の両地区の合わせて3施設、直入町は小津留地区の1施設と非常

に少ない(図11の○印)。九重町の被害内容と施設内容が不明であるが、湯平と内山の両地区および庄内町中心街に給水している施設の被害は、水源池から配水池までの送水管が落石によって破損したものである。いずれも埋設深さは0~60cmと浅く、落石によって簡単に被害を受けた。小津留地区は塩手地区の北方約1kmのところであるが、被害はヒューム管を3段に重ねた簡易な貯水槽が転倒したものである。また、一般的に簡易水道の水源は山腹の湧水を使用しているため、地震によって汚濁したといわれている。写真3は湯平地区の送水管の被害と復旧した管である。

5. 道路被害および斜面崩壊

図12は道路および鉄道の被害箇所と主として山地斜面の崖崩れ箇所の分布を示したものである。道路の被害箇所は各町役場の被害調査資料をもとにして筆者らの現地での調査確認から得ている。鉄道の被害箇所は大分構造物検査センターの資料²⁾による。崖崩れ箇所は松田磐余(東京都立大学理学部)らが地震後の空

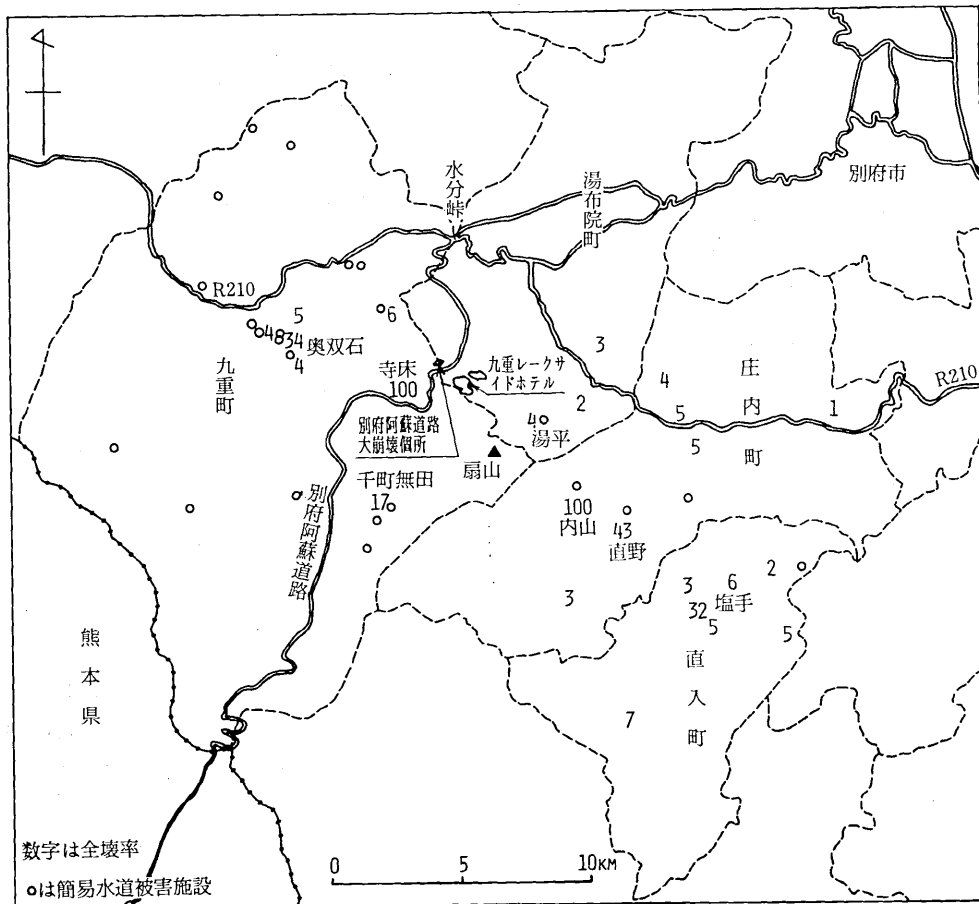


図11 住家の全壊率と簡易水道の被害施設

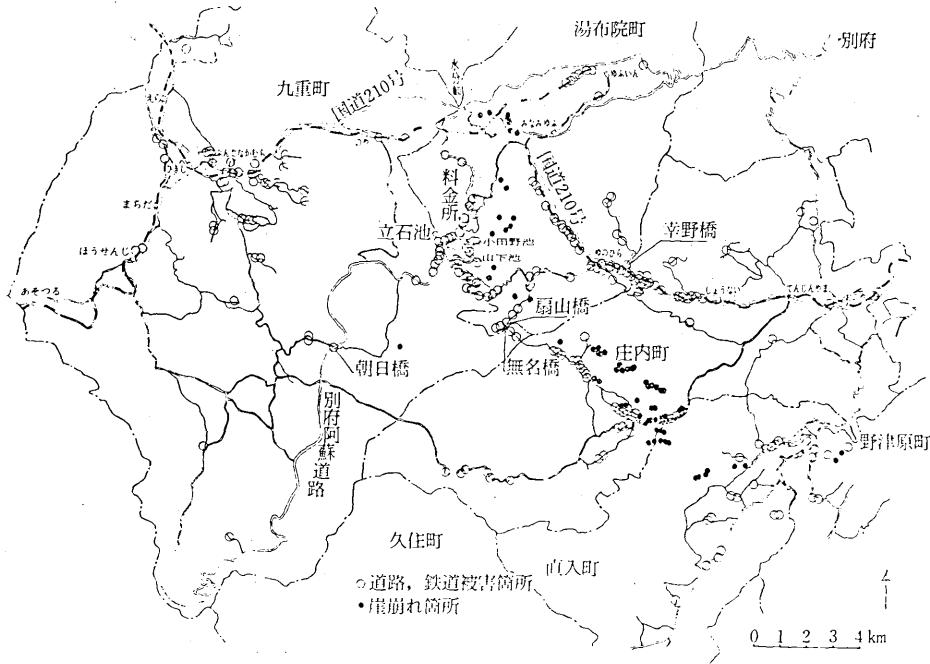


図12 道路・鉄道の被害箇所および崖崩れ箇所

中写真で見出したものおよび現地調査で確認したものである。これらの被害箇所は大きな加速度が推定された地域(図9)とかなり一致する傾向を見せている。この事は1974年伊豆半島沖地震でも同様に得られており、自然あるいは人工の斜面の崩壊が墓石の転倒による推定加速度と高い相関性を示すものとして興味深い。

道路の被害は別府阿蘇道路の山下池付近での大規模な被害を除けば一般に微小なものがほとんどで被害の内容も、山側から路面への落石落土砂かあるいは谷側の盛土や擁壁などのきれつや沈下にとまう路肩の変状が大多数を占める。

図13は山下池周辺の道路および別府阿蘇道路の被害を示したものである。山下池を一周する道路などは舗装された通常の2車線道路であるが約10個のきれつが道路面に生じた。このきれつは盛土の沈下などによるものではなく、盛土でない所に主として道路を直角に横切る方向に生じている。原因が地すべりにあるかそれとも地震断層によるものなのか全く不明である。同様のきれつが別府阿蘇道路にも数箇所見られたが、この場合そのほとんどは盛土の沈下などによるものと思われた。

別府阿蘇道路には法面の大崩壊による道路しや断箇所が3箇所生じた。これらは図13に示したABCである。この3箇所の平面図と断面図を図14に示して

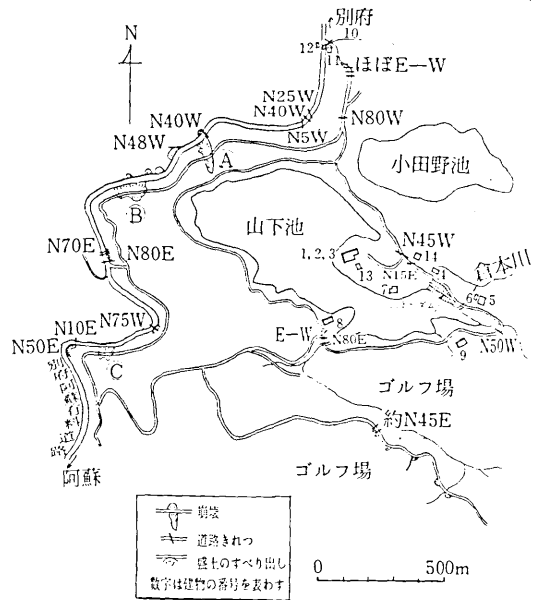


図13 山下池周辺略図

ある。断面図の位置は平面図で2点鎖線の直線に沿った所である。B地点での別府側から見た写真を写真4に、阿蘇側からは写真5に示した。写真6は別府

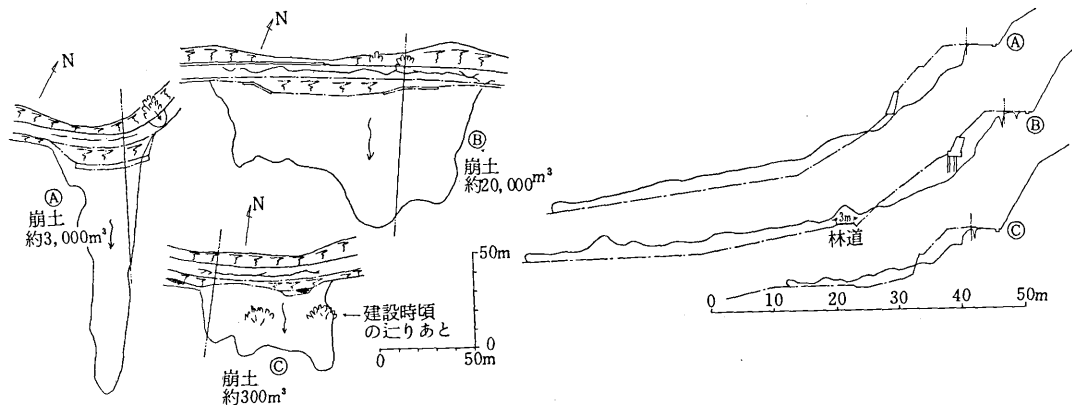


図14 別府阿蘇道路崩壊の平面図と断面図

側から見た③地点である。別府阿蘇道路は水分峠から熊本県一の宮町城山（県道）までの延長約52kmからなる有料道路で、1961年2月に着工1964年6月に一部供用開始、同年10月に全線供用を開始した。1974年度における1日平均交通量は約4,000台である。地震発生と同時に全線交通止め規制を実施したが6月現在朝日台～小田野池区間が交通止めになっており、8月中旬に林道を拡幅して仮開通の予定である。

道路橋の被害はごく軽微なものを除けば、幸野橋、朝日橋、扇山橋、扇山地区南方の無名橋の4橋にみられた（図12参照）。幸野橋は国道210号の幸野地区に大正14年に建設された大分川の支流にかかる橋長19.1mの石積アーチ橋である。アーチ部上の右岸側の両側面の空石積がくずれて中込め土砂とともに路面が落下した。現在ベイリー橋にて仮復旧して交通可能である（写真7）。朝日橋は別府阿蘇道路にかかる橋で千町無田～田野間の町道上の跨道橋である。スパン約8mのコンクリート橋で、別府側橋台の胸壁の端に路面からけた座上まで上下方向にひび割れが入った。扇山橋は扇山地区の北東数100mに位置し、湯平～扇山間の林道が花合野川の支川をわたるところにかかるスパン約8m幅員約4mのコンクリート斜橋である。右岸の橋台胸壁の路面から1m程下方の位置に水平方向の亀裂が入り、亀裂の上部の胸壁は後方に数cmずれ、同時に上流側にも数cmずれた。これはコンクリート橋げたに押されたためと思われる。扇山地区南方数100mには1972年に建設された無名橋が花合野川にかかっている。この橋はコンクリート床版を有す2本主桁のプレートガーダー橋（フランジ幅30cm、けた高80cm）でスパン20m幅員4mである。右岸側可動端ではけたが橋台胸壁のコンクリートにはげしく衝突した形跡がある。左岸側の橋台も同様に後方にけたにより押されたと考えられ、固定支承と思われる簡易な支承のアンカーボ

ルト（φ20mm位）が変形している。また両側橋台から続く道路の擁壁（高さ4～5m）はいずれも数箇所切断され数十cmはらみ出している（写真8）。

道路橋ではないが山下湖ゴルフ場（山下池南数100mにわたる）内のコース移動のための歩道橋3橋が橋軸方向に圧縮され変形している。この歩道橋はスパン数十mからなるパイプアーチ橋で、3橋とも橋面が上方に肉眼でわかるほどふくらみ出し、測量によればその量は10数cmにもおよぶ。これらの歩道橋の詳細な調査報告は後の機会を得たい。

6. 電力施設の被害

今回の地震による九州電力株式会社の電力施設の被害は、大別すれば

- (1) 山下池ダムの亀裂
- (2) 転石による水路の被害
- (3) 発電機基礎の亀裂
- (4) 送電関係の被害

となる。

山下池ダムは大被害を受けた九重レークサイドホテルのすぐ近くにあり、高さ18.18m、堤長141.81mのアースダムである（図13）。竣工は大正4年9月で、総貯水量・有効貯水量はともに約228万 m^3 、利用水深10.66mを有している。山下池ダムの標準断面を図15に示す。もともと灌漑用水の確保を主目的に築造されたものであったが、ダム東方約4kmの地点にある畑発電所（950KW）の渇水補給用の発電用水として使われていた時期があった。しかし現在では山下池が観光資源として活用されているため、倉本川への自然流下分を除いては発電用水として利用されていない。ダムの上流側は石張りになっていて、水面近くでは張石の上にさらにモルタル化粧が施されている。今回の地震によりダムの頂部にかなりの亀裂が発生した。九

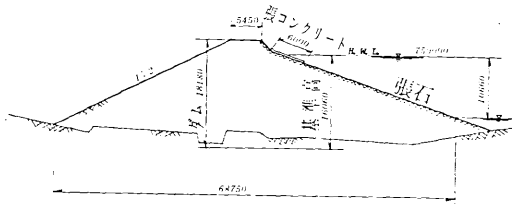


図15 山下池ダム標準断面図

州電力の調査による亀裂の分布を図16に、また右岸寄りの亀裂発生の様子を写真9に示す。図16から判るように、亀裂の大部分は右岸から25m位までの部分に発生したが、左岸側20m位の位置にも堤軸に平行な幅の狭い亀裂が見られる。上流側の張石および張コンクリートにも多くの亀裂が発生したが、これらも大部分は左右両岸寄りの部分で目立っており、ダムの中央付近にはほとんど亀裂が発生していない。写真10は、ほぼ堤軸に直交する亀裂の1つを示したものであるが、亀裂の幅は広いもので5~10cm程度であり、視察による深さはせいぜい30cm程度である。上流側斜面の張石は全体的に浮き出し、上流側へすべり落ちた形跡が見られ(写真11)、堤頂の上流側肩口には堤軸にそった亀裂が発生している(写真9)。この亀裂は、上流側法面の勾配が堤頂近くで急になっていることに起因するものと思われ、堤頂を横断する亀裂とは性質が異なる。図16に示されているように、ダム下流側の道路上にも亀裂の発生が認められたため、右岸寄りの部分では堤体のかなり深部まで変状が達している可能性が考えられ、地震後すぐに九州電力は下流側の道路わきでボーリングによる浸透水の測定を実施し

た。ボーリング孔による浸透水量は4月24日(水面標高748.89;満水位は750.00)において50cc/5分であり、その後3mほど水位を低下させたところ、ほぼ20cc/5分に減少した。浸透水に濁りは見られず、水温も湖水の温度より低いなど、特に亀裂にそった漏水が発生していることを示唆する材料は見当らず、九州電力では地震による亀裂がダムの深部にまで達している可能性はほとんど無いと判断している。

転石・落石による水路の被害は、前述の畑発電所および幸野発電所(1700KW)へ至る部分で最も多く発生した。畑発電所は山下池を源とする倉本川および倉本川が合流する花合野川の水を、合流点近くの2つの取水ダムから取り入れ、約1.2kmの水路を経て発電所へ導いている。この水路は大部分が隧道であるが、蓋渠部および開渠部が転石による被害を受けた。図17は開渠および蓋渠の標準的な横断面を示したものである。基本的には石積の裏側をコンクリートで充填した構造であるが、内側をコンクリートやラスモルタルで補強していたところも一部ある。幸野発電所(久大本線湯平駅の東側)は大分川の水を発電用水としているが、水路被害は水路の終端に近い1km程度の区間の開渠および蓋渠部で最も甚だしかった。水路は斜面の中腹をまくように通過しており、もともと凝灰岩の崖錐地帯であって、転石事故の多発する区間である。蓋渠部では、転石により鉄筋コンクリートの蓋が破損し、はりが破断した。水路の谷側側壁とインバート部(底板部)の継目に亀裂が発生する被害は特に開渠部で著しく、このために盛土の一部が水路底部から流出した箇所もある。また、振動によって水路の谷側の盛土がゆるみ、水路の側壁にそって盛土が開口した部分も多い(写真12)。隧道部での被害は一般に軽微であ

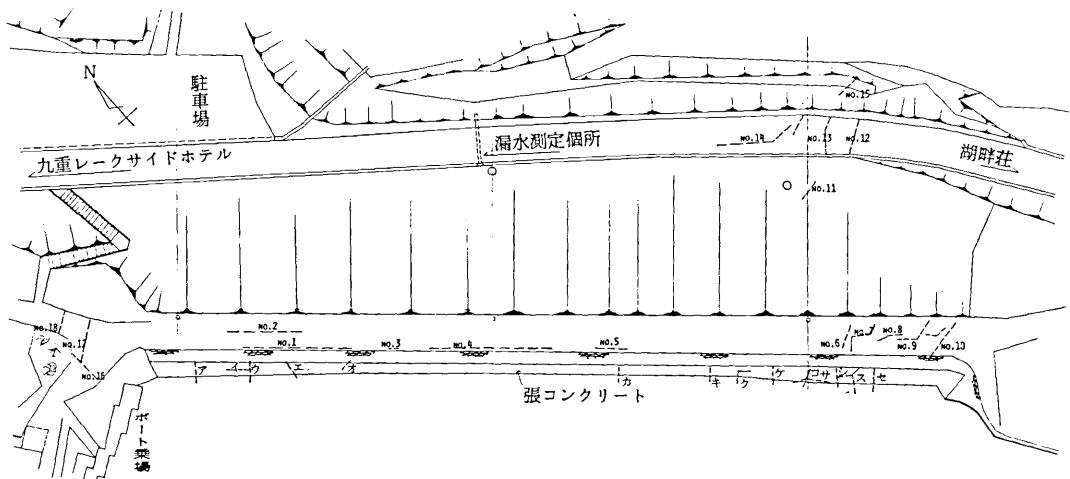


図16 山下池ダムの亀裂の分布

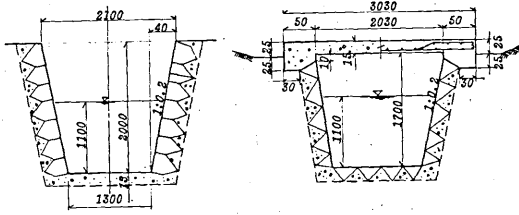


図17 水路の標準的な断面図

だが、一部では巻立コンクリートに亀裂が発生したり、はらみ出したりしたところもある。

畑発電所では、軟弱な地盤上にあった発電機のコンクリートブロック基礎に亀裂が発生した。このため、発電機を分解し、基礎周辺を堀削して亀裂の状態を確認中であったが、基礎の改良工事を含めてかなり大幅な修復作業が必要であると思われた。この基礎ブロック内には水車があり、水圧鉄管の終端と排水路鉄管への出口が連結されているわけで、亀裂はこれらの部分の地震時の異なった動きによって生じたものであろう。

幸野および畑発電所では地震発生後ただちに発電が停止されたが、幸野発電所の東1km弱のところにある下川発電所(1200KW)では余震によって発電機基礎に若干の亀裂が発生したため、4月26日に至って発電を停止した。九州電力の調べによれば、変電・送電

関係の碍子類には被害がなかった。送電線関係の被害は、木柱地際の地盤亀裂、木柱付近の土砂崩壊、送電鉄塔の基部を取りまく石垣の亀裂・崩壊などとどまり、これらの修繕・改良工事計26件(約1,059万円)が必要とされるとのことである。また、畑・幸野発電所とも、水圧鉄管に異常は認められず、ただ畑発電所の水圧鉄管に平行して設けられている余水路に亀裂などの被害が発生しただけである。

7. 鉄道の被害²⁾

鉄道の被害は国鉄久大本線に集中し、なかでも豊後中村駅から庄内駅に至る約25kmの区間では亀裂・落石による被害や構造物の変状が多発したが、どれも比較的軽微であった。久大本線はこのため4月21日の始発から運転不能となったが翌22日18時には全線開通した。しかし、4月24日10時30分頃の余震により、恵良一引治間で軌道狂いが生じたため、同日16時20分までふたたび運転を停止した。

被害の概要を図18に示すが、ほとんどすべての被害は久大本線に発生したものである。多少なりとも被害のあった区間は久大本線の杉河内から鬼ヶ瀬に至る60km程度にわたり、総計50箇所の被害が報告されている。これらの被害はかなり軽重に差があり、単なる落石による極めて短い区間の被害から、延長約600mの区間での亀裂・軌道狂いまでを含むものであることに注意されたい。久大本線沿いの50箇所の被害の内訳は、

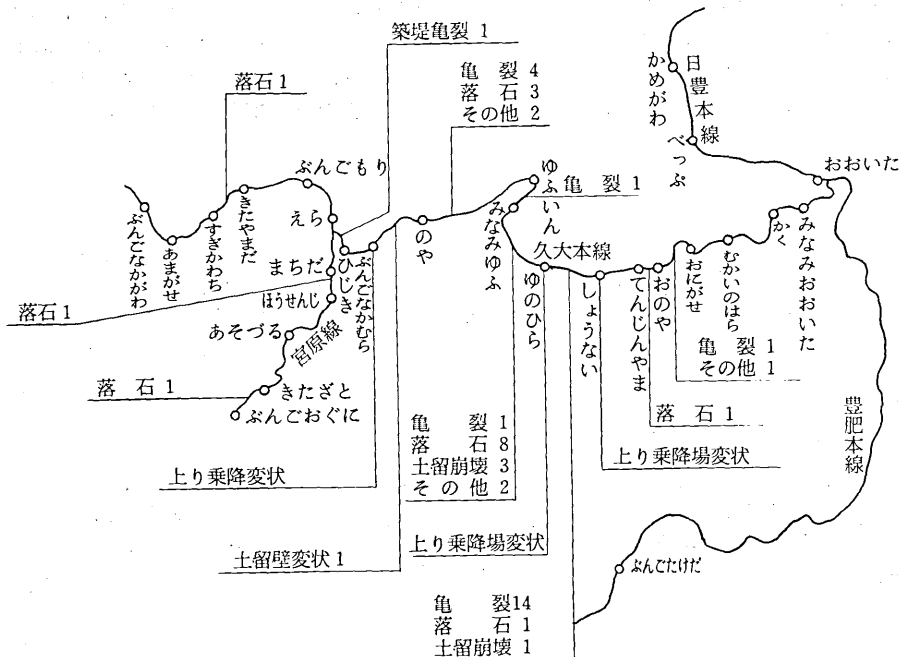


図18 鉄道の被害状況一覽

亀裂23箇所、落石14箇所、土留石垣・切取の変状・崩壊6箇所、乗降場の変状3箇所(庄内、湯平、豊後中村の各駅におけるプラットフォーム側壁のはらみ出し)、その他4箇所である。前述のように、被害は豊後中村一庄内の間の鉄道に沿って約25km(地図上では東西・南北約10kmの地域内にあたる)に集中して発生し、この区間だけで41箇所を数える。被害の分布をさらに詳しく検討してみると、上記区間の中でも湯平を中心とする8~9kmの被害が特に著しく、この10km以下の部分の被害は31箇所にのぼる。

亀裂は盛土の法肩に近い部分にそって発生したものが大部分で、開口部の幅は広いところで10~20cmに達していたものがあつたが、盛土の完全な崩壊に至った例はない。修復には、亀裂の程度によって直径80~150mm、長さ2~5m程度の松丸太を法面に打込み斜面の安定をはかっていた。

軌道の変状が最も長い区間にわたつたのは、湯平一南由布間の第7由布川橋梁付近であり、総延長は約600mで最大50mmの軌道狂いが生じた。この区間の断面略図を図19に示すが、幸野発電所に至る水路の被害が大きかったところの下にあたり、崖錐地帯と考えてよい。第7由布川橋梁(大正14年竣工)はスパン22.3mの単純支持プレートガーダー橋2連よりなり、橋台・橋脚ともに表面に張石を施したコンクリート構造で地表面からの高さは8~10m程度である(写真13)。橋脚断面は円形で、この橋脚が地表面に接する位置では全周にわたって20mm程度のすき間があいていた。また、袖石垣と橋台の間が口を開き、その幅は上部で最大30mm程度であり、橋桁そのものには全く損傷が認められなかった。橋全体としてはほとんど被害なしと言える。

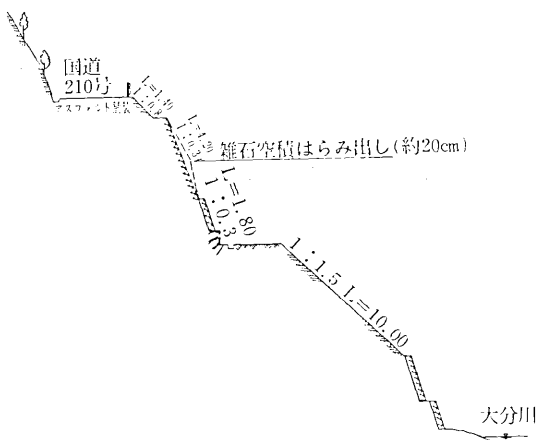


図19 久大本線108K540M付近の断面略図

湯平と南由布の間にある第7由布川橋梁以外の鉄道橋7橋についても実地調査を行なったが、全く変状は認められなかった。これらの橋梁はスパン長が8~20m程度のプレートガーダーからなる1~3連の単純支持橋である。

久大本線以外では、宮原線で落石2箇所(町田一宝泉寺および北里一肥後小国)および日豊本線の新田原一行橋の間で小規模な軌間内路盤陥没が報告されているのみである。

今回の地震で最も地震動が激しかったと推定される地域の近くを久大本線が通過しているのは庄内一湯平一南由布の区間であり、この部分での震度はVの中程度以上で最大加速度は200~250gal前後と想像される。久大本線の震害状況から判断して、地盤条件が極めて不良な場合をのぞけば、この程度の地震動による鉄道構造物の被害は総じて軽微であり、盛土区間でも大被害には至らないものと考えてよいであろう。

8. 山下池周辺の建築物被害

山下池の周辺には九重レークサイドホテルを含むいくつかの建築物があつたが(図13)、これらの建物の被害度と耐震性能のまとめを文献(3)により表-5に示す。このうちレークサイドホテルの一部と道路公団別府阿蘇道路の料金所が完全に倒壊した。

九重レークサイドホテルは昭和40年10月に竣工した鉄筋コンクリート建物で、図20、21に示すように地下1階と地上1階の低層部および地上4階の高層部をもち、2つのエキスパンション・ジョイント(クリアランスはない)によって3つのブロックA、B、Cに分かれている。湖畔の斜面に作られているので、山下池の側から5階建に見える。Cブロックの地下1階は機械室とラウンジなど、地上1階はロビーと事務室など、Bブロックはエレベーターおよび階段、Aブロック地下1階は従業員室、娯楽室、大浴場など、地上1階は大食堂などよりなっており、残りの部分はほぼ客室である。転石混りの火山灰土より成る地盤のため杭の打設が不可能であつたので、基礎構造は全面ソイルセメントを施した3ブロック一体のベタ基礎である。

被害状況は、Cブロックにおいて高層部の地上1階の柱や壁が全体にわたり崩壊し、2階以上はほぼ1階分づつ下り、池側に5°程傾斜した(写真14)。低層部の地上1階の柱には、たれ壁や腰壁によって短柱になっているものが多く、これらの短柱がせん断破壊したのに対し、独立した長柱には比較的破壊が少なかった。また、高層部の崩壊による地下室天井および2階の柱の破損がみられた。A・Bブロックにおいては壁面に北下りの斜めのクラックが多く発生し、Aブロックの地上1階の柱にも一部破損がみられたが、崩壊するには至っていない。大浴場のタイルのはく離も僅少であ

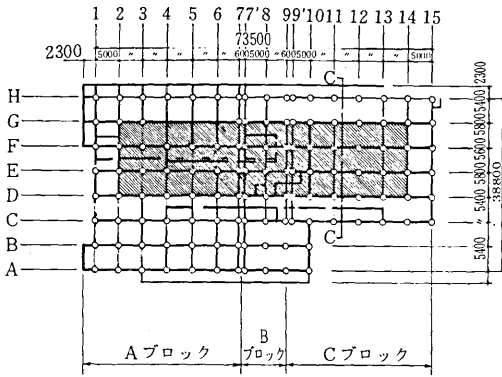


図20 九重レークサイドホテルの1階梁、地階柱伏図

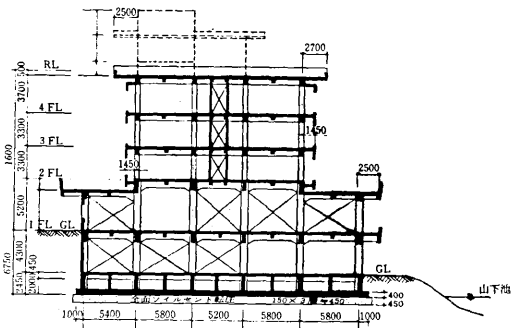


図21 九重レークサイドホテルのCブロックの断面図

り、崩壊部分以外の窓ガラスの破損も少なかった。ほぼ南北方向に倒れやすいように置かれた家具類は、ほとんどすべて転倒した(写真15)。崩壊したCブロックの地下室にあるトランスは北方にせりだし、物品棚は転倒し、足の踏場もないくらいだった。また、機械室においてプロパンガスがもれたが、幸いにも着火しなかった。そのほか、Aブロック4階において、約15cm深さのフラワーボックスの中から3個のうち1個の植木鉢が北方に飛び出し、天井から下っているサーキュライトが鎖を切断し、約60cmの振り子となり、天井にぶつかった痕跡が南北方向に残っていた。

ホテル周辺の地盤には、亀裂は少なく、石垣にも小規模なクラックが発生した程度であった。周辺の石碑などの転倒・落下方向はほとんど北方向であり、建物の被害状況からも強い加速度パルスが少なくとも1波は南方向に作用したものと考えられ、最大加速度の大きさは400gal程度と推定される。

建設省建築研究所の調査報告によれば、当ホテルの崩壊について次のようにまとめられている。(i)耐震強度は建設当時の法令の規定を満たしているが、耐震強度のみで今回の地震動の激しさに耐えられるほどの大きさではない。(ii)粘りのないせん断破壊先行型の部材のため、変形能力が良好でない。(iii)各ブロックの被害の差は主として壁量の差によっており、Cブロックの長短両方向およびAブロックの短手方向においては壁が偏在している。(iv)上下方向振動が被害に大きな影響を及ぼしたとは考えられない。

一方、別府阿蘇道路小田野池料金所は7m×10mのスラブ(屋根)を4本の柱で支えている建物であり、4本の柱は屋根の中央部に集まっていて、柱の下方1/3位の高さに小スラブをもっている(写真16)。小スラブより下の柱の部分が完全に崩壊し、全体が西側に転倒した(写真17)。柱のコンクリートは脱落し、鉄筋は露出しているが、主筋の破断や定着部からの抜け

は生じなかった。この被害については、重心が高く、構造的に不安定であったこと、帯鉄筋の間隔が広すぎたこと、小スラブによる応力分布、強度、変形性能に及ぼす影響についての考慮が不十分であったことが指摘されている。

全般的に被害の原因は、(表5, 図13参照),(i)料金所と狩場亭の耐震力の不足,(ii)男子寮付属木造家屋の著しい地変,(iii)レークサイドホテルのように耐震強度はあっても、変形能力が不足、に分けられる。また、壁量の多いRC建物は耐震強度が大きく構造体と内外装にほとんど無被害であったのに対し、RCと鉄骨のラーメン建物のように、ねばりはあるが、耐震強度があまり大きくない建物においては、構造体の被害は軽微であったが、内外装にかなりの損傷が生じたと報告されている。

9. ま と め

1975年4月21日午前2時36分頃、大分市の西南西約30kmの地点の深さ約0kmを震源とするマグニチュード6.4の地震が発生し、大分県下に総額100億円を超える被害が生じた。大部分の被害は、庄内・湯布院・九重の3町に集中し、直入町の被害を加えると負傷者21人、住家全壊76戸、同半壊111戸と報告されている。

大分市および阿蘇山における震度はIVであったが、被害の状況から、震央に近い地域では震度Vから一部ではVIであったと思われる。住家の被害の最も甚だしかった九重町寺床地区、庄内町内山地区では全壊率100%に達し、山下池のそばにある九重レークサイドホテル(鉄筋コンクリート造、地上4階・地下1階)が大破した。また、日本道路公団の別府阿蘇道路にも大規模な路盤崩壊が発生し、RC造の小田野池料金所が倒壊した。以上の被害を含む被害激甚地域は西北西から東南東へ伸びる幅約10km長さ約25kmの带状地帯であり、その外側では住家全壊率は数%以下となり、被害は急

表5 九重レークサイドホテル周辺建物の被害度と耐震性能(文献(3)による)

名 称	構 造	被害度	耐震性能及び地震性能など
(1) レークサイドホテル Aブロック	R C 5層	中破*	耐震強度は大きいが変形能力はあまりよくない。
(2) " B "	" "	" "	" "
(3) レークサイドホテル Cブロック	R C 4層+地下 1層	崩壊	耐震強度はやや大きい、壁の偏在、短柱、長柱の混在等により変形能力はよくない。
(4) 女子寮	RCラーメン3層	無被害	耐震強度が非常に大きい。
(5) 男子寮	RC壁式 2層	" "	" "
(6) " 付属木造家屋	木造 1層	中破	上部構造自体の壁量は多いが、支持地盤(多分盛り土)が崩壊した。
(7) 白鳥レストハウス	2階 S造 1階 RC造	小被害 無被害	耐震強度はあまり大きくないが、変形能力は非常に良い。 耐震強度は大きい。
(8) 湖畔荘	RC 3層、一部 4層	小被害	耐震強度はかなり大きい、変形能力はあまり良くない。
(9) 山下カントリークラブハウス	一部S造による 木造2層	小破 (中破)	東側(裏側)で地盤変動(造成地盤)が著しく、それによる構造躯体及び仕上げ材に被害が目立つ。
(10) 別府阿蘇道路、小野田池料金所	R C 1層	崩壊	耐震強度はかなり小さく、崩壊に結びつきやすい構造形式となっている。
(11) 小野田池県営レストハウス	1階(1部2層) S造、地下部R C造	小破 小破	(7)に同じ仕上げ材等の被害大。 耐震強度はあまり大きくないが、変形能力は十分。 十分再使用可能。
(12) 料金所管理棟	R C 1層	軽微?	十分な耐震強度をもつ。
(13) 狩場亭	木造 1層	大破	壁量がかなり少なく、かつ壁が偏在している。
(14) レークサイドボウル	S造1層 短辺ラーメン 長辺ラーメン	大破	耐震強度は大きく、変形能力も十分である } 仕上げ材の被害が大きい } 害が著しい。

* 局部的に大破している部分もあり、再使用には空間機能の制約をとまう、大補修を要する。

激に減少している。被害と活断層の関係については統一された結論は未だ出されておらず、左横ずれ断層が地表に現われているという意見と、活断層は多数存在するが今度の地震では少なくとも地表での動きは見られなかったという意見とがある。墓石の倒壊および被害状況の調査から推定された最大加速度の大きさは、上記帯状地帯の中心部で少なくとも400~500gal程度であり、その外側では一般に最大でも200~250gal程度であった。震央の近くでの強震記録は得られていないが、大分港のSMAC-B2の記録は水平方向で49~65gal、上下方向で28gal程度の最大加速度を示している。また、この強震記録によれば、主要動の継続時間はせいぜい5~6秒であり、住家の被害状況も地震動の継続による振動的な被害よりも、衝撃的な地震力の作用による被害と思われるものが多かった。

土木構造物の被害としては、前述の別府阿蘇道路の崩壊の他に、国鉄久大本線および九州電力(株)の電力施設被害があげられる。別府阿蘇道路の路盤崩壊はきわめて大規模であったが、山腹急斜面を切り盛りし

て築造した道路の盛土部分の崩壊が大部分であり当該地域における地震動の激しさから考えれば、発生しても不思議ではない被害といえよう。古いアースダムである山下池ダムの堤頂には亀裂が発生したが、堤体の深部に達してはいないものと思われる。電力施設では転石による水路の損傷が多発したが、送配電関係には特筆すべき被害はない。久大本線の被害は、落石および路盤亀裂程度にとどまり、盛土区間でも全体的な崩壊に至ったものはなかった。山下池ダムをのぞく電力施設および鉄道の被害は最大加速度200~250gal程度の地域で発生しており、総体的には軽微な被害といえよう。

土を主体とする構造物を別にすれば、今回の地震による構造物らしい構造物の被害は九重レークサイドホテルだけであると言っても過言ではあるまい。しかし、地震動の最も激しかったと思われる地域には、大規模土木構造物や各種の都市構造物はなく、住家以外の近代建築物の数も少なかったことに注意すべきで、今回の被害から、中規模以上の都市が直下型地震に襲われ

た場合の被害を過少に評価することは厳に戒むべきである。

本報告は、筆者らの震災現場における調査および関係諸機関での聞き込みによって得た情報を主体としてまとめられたものであるが、「2. 地形・地質の概要」および「3. 推定加速度」に関しては、東京都立大学理学部松田馨余、同工学部望月利男らの調査および意見に負うところが多く、「8. 山下池周辺の建築物の被害」の項は建設省建築研究所の報告書³⁾によるところ大であり、記して謝意にかえたい。また、被害調査は佐藤が4月24日から26日まで、片山・佐藤・国井が5月9日から11日まで、さらに国井が6月13日から14日までの延3回にわたって実施した。実地調査および本報告の整理の段階で多くの方々の御協力を得た。以下は記して、深甚なる謝意を表する。

気象庁地震課

大分県庁

直入町役場

庄内町役場

湯布院町役場

九重町役場

九州電力株式会社大分支店

日本国有鉄道大分鉄道管理局

日本道路公団別府阿蘇道路管理事務所

日本国有鉄道構造物設計事務所

建設省建築研究所

運輸省港湾技術研究所

日本ビジネスオートメンション株式会社

東京都総務局災害対策部

九州高原開発株式会社

(1975年6月25日 受理)

参考文献および資料

- 1) 「昭和50年4月21日大分県中部地震に関する地震速報」, 大分気象台昭和50年防災業務実施状況報告第1号, 昭和50年4月25日.
- 2) 「大分県中部地震資料」, 国鉄大分構造物検査センター, 昭和50年4月.
- 3) 「1975年大分県中部に発生した地震震害調査報告」, 建設省建築研究所, 昭和50年5月.
- 4) 「20万分の1大分県(1971年)地質図」, 大分県, 宮久三千年(愛媛大学)編集, 昭和46年3月.
- 5) 「地震月報」, 気象庁, 1965年~1974年.
- 6) 「理科年表・昭和50年」, 東京天文台編集, 昭和49年12月, 丸善.
- 7) 「別府阿蘇道路地震災害概要書」, 日本道路公団福岡管理局別府阿蘇道路管理事務所, 昭和50年4月.
- 8) 望月利男, 宮野道雄: 「1975年大分県中部の地震調査報告(その1)一墓石調査による加速度分布の推定一」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 昭和50年10月.
- 9) 国井隆弘, 塩野計司, 荏本孝久: 「1974年伊豆半島沖地震における墓石による加速度分布の推定」, 土木学会第2回関東支部年次研究発表会, 昭和50年1月.