

1975年大分県中部地震震央域最大加速度

九州産業大学工学部 表 俊一郎, 有明工専建築学教室 三宅阳春, 九州産業大学大学院 甲斐直樹

1. 震源域最高加速度の問題

大地震の際の震央至近傍における地震動の大きさがいかにほどであるかの問題は、地震工学にとってきわめて重要な課題であるにもかかわらず、強震計設置計画が効力に進められているわが国においてさえ、この目的に適合する強震記録はまだほとんど得られていない。アメリカにおいても有用な記録が得られた地震はまだきわめて少ないといっても過言ではない。比較的震央に近いところで大きな加速度を与えた地震は表-1に見る通りである。

これを見るとわが国では、松代地震のとき保科観測点²⁾で得られた0.52gが記録された加速度の中で最も大きな値となっている。この場合の震央距離はほぼ8kmであったが、地震のMは5.4であって大地震というほどの地震ではなかった。アメリカではParkfield地震の際、ほとんど断層上といえる地点で強震動を観測して490galの加速度を記録するという幸運に恵まれているが、この場合にも地震のマグニチュードは5.4であった。その後1971年M=6.6を与えたSan Fernando地震の際⁴⁾Δ=8kmのところでは1150galの大加速度の記録をとることに成功している。しかし、この場合は地震計が置かれていたPacoima dam Siteに色々問題があって、この値が真に震源域加速度を示すものであると考えてよいのかについては異論も多い。

昨年4月21日の大分県中部地震の場合には、器械観測により地震動要素を知りうるものとしては、大分市内に設置されていた港湾校研管理になるSMACの記録⁵⁾及び大分地方気象台の1倍変位計型強震計記録があったが、大分は震央距離にしてほぼ30kmのところにあたるので、震央近傍の記録というには不都合であった。その他には、Δ=6.5kmの由布院駅構内の簡易加速度計が最大加速度振幅210galを与えていたが、これはサイズスコープ型のものであり数値の信頼度はSMACに劣っている。

このような条件の下において、震央付近における地震動を知ろうとすると手がかりとなるものは転倒墓石など以外に他に適当なものが見出せなかったため、われわれは転倒及び不転倒墓石の調査を行って、これより加速度の推定を行うこととした。

しかしながら墓石転倒から震源域の加速度を推定しようとする試みは、大地震のたびごとにしばしば行われてきているにもかかわらず、その結果の信頼性については昔から多くの議論を呼ぶ問題となっている。問題とされている主要な点は①地震動は複雑な振動であるので、これを単純な水平横カと考えることは無理である⁷⁾。②墓石転倒には水平動のみでなく上下動の影響も大きく作用するので、上下動の影響をいれて加速度を推定しなくては不合理である⁸⁾。③転落した墓石の中には基石が実際に台石の上で転倒したのではなくて台石の上を滑動したり、跳動したりしながら転落したと考えられるものがある⁹⁾。このために加速度の値として過大な数値を与えている。

であると考えられる。

以上の点の中最後にあげた③が不確かな結果を与える最大の原因であると考えてよいであろう。しかし、今

表-1 Earthquake that gave large maximum accelerations

地震名	年月日	M	観測点	最大加速度 (g)	震央距離 (km)	地震名	年月日	M	観測点	最大加速度 (g)	震央距離 (km)
Long Beach	1933 III 10	6.3	Long Beach	0.23	24	S. of Hokkaido	1962 IV 23	7.0	Kushiro	E 0.38	95
Imperial Valley	1940 V 18	7.1	El Centro	N-S 0.35	34	Matsushiro	1966 IV 5	5.4	Hoshina	E 0.52	8
Olympia	1949 IV 13	7.1	Olympia	S80W 0.31	30	Off Ibaragi Pref.	1967 XI 19		Tokai-mura	N 0.48	53
Kern Country	1952 VII 21	7.7	Taft	0.22	47	Tokachi-oki	1968 V 16	7.9	Hachinohe	N 0.23	177 (72)
Parkfield	1966 VI 27	5.6	Station No.2	N65E 0.5	26 (270-78)	Ehime Pref.	1968 VII 16	6.6	Uwajima	0.44	10
San Fernando	1971 II 9	6.6	Pacoima Dam	S16E 1.25	8	Hidaka-sankei	1970 I 21	6.8	Hiroo	E 0.44	20

回の大分県中部地震の場合には後で述べるように幾つかの墓地について柵のある墓石があることが見出された。このような墓石は台石の上を滑ることは全く不可能であり、また台石の上で踊動することもできない構造となっている。しかも柵の凸部と受孔とのみ合せはさわめてゆるく作られていて柵のある竈石が台石の上で転倒するに際しては、柵はその運動を少しも妨げるものではないことが認められた。更に一つの墓地の中にこのような柵有り墓石が幾つもある場合転倒した柵有り墓石の最大値は、転倒しなかった柵有り墓石の最小値より僅かに小さい値を与えている場合が殆んどであって、さわめて高い信頼度でその場所の最大加速度を示していると考えることができた。

このようにして十数箇所の墓地で信頼性の高い最大加速度を求めることができたので、次には柵無し墓石のみしか存在しなかった墓地についても、柵有り墓石をもつ墓地より得られた最大加速度値を足掛りとして、柵無し墓石による最大加速度値に補正を加えることを試みることによって調査全域にわたって従来の墓石調査より得られていた値に比べて格段に高い信頼性をもつ震源域最大加速度値を推定することができた。このような一定の最大加速度を示した地域は今回の地震の場合、余震分布、被害分布、アンケートによる精密震度調査から震度5らと推定した地域と全くよい一致を示した。この地域を震源域とよぶこととすれば大分県中部地震の場合はその広がりには各々20km×7km位を長短軸とする楕円になるようである。

2. 大分県中部地震における最大加速度分布

1) 転倒墓石の調査 図-1はアンケート調査による震央付近の震度分布を示し、図-2は被害地域及び推定断層線を示す。これら2つの図からもわかるように、今回の地震による被害分布は比較的狭い地域に限定されており、推定断層線は震央を通るほぼ北西-南東の軸を中心とする長軸約20km、短軸約7kmの楕円で限られる地域であり、本震直後から15時間以内に発生した余震の分布域、あるいは地割れ多発地域、崖崩れ、道路および鉄道の被害の生じた地域内にある墓地では非常に多くのものが転倒しているのが見られたので、調査にあたっては主力をこの地域に置くと共に転倒率0%の地区迄調査するようつとめた。

現地調査に於ては13ヶ所の墓地について全ての転倒・不転倒の墓石につき底辺と高さとの比(B/H)を測定することはできなかったが、転倒墓石B/Hの最大のもの、不転倒墓石B/Hの最小のものを見過ごさないように注意しながら、時間の許す限り多くの墓石について測定を行い、同時に転倒方向、滑動したひっかき傷跡、全墓石数及び地形、地盤状況等についても調査した。尚測定にあたっては、できるだけ単純な形状の竈石で、かつ台石の水平なものについてのみ測定した。しかし、転倒墓石個数の少なかった場所など必ずしも制限通りにいかず、例えば、台石の傾斜したものについても測定を行った。

水平な台石の場合、地震動の水平加速度は近似的に $\frac{\alpha}{g} = B/H$ で与えられる。しかし台石に θ なる傾斜角を有する場合は下式のような補正を行っている。¹²⁾

$$\frac{\alpha}{g} = \frac{(B/H) \cos \theta - \sin \theta}{\sqrt{1 + (B/H)^2}}$$

このようにして夫々の墓地につき転倒及び不転倒の墓石の幅(B)と高さ(H)との比の測定が行われた結果の一部が図-3に示されている。図中●印は転倒墓石、○印は不転倒墓石、四角印は後述する柵有り墓石の転倒及び不転倒を示すものである。図において地震動最大加速度 α は

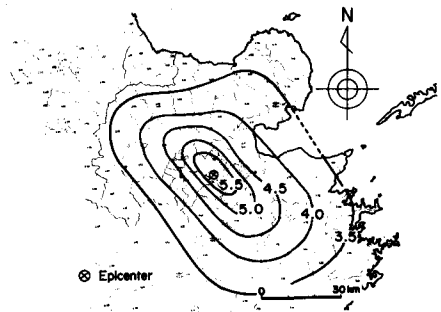


図-1 アンケート調査による震央付近の震度分布

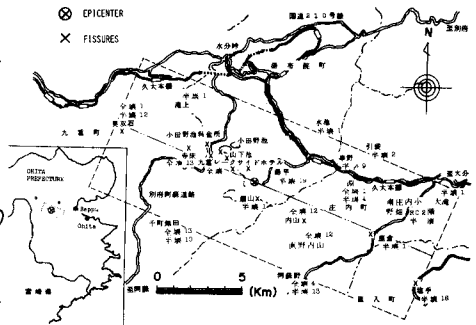


図-2 大分県中部地震による建物被害、地割れなどの分布地域

転倒墓石の最大値とく不転倒墓石の最小値

を満足しなければならないはずである。しかし、図-3においてこの関係は必ずしも満足されていない。従って転倒墓石の最大値をただちにその場所の地動加速度最大値と考えることはできないことを示している。すでに緒言のところで述べたように、この点が従来墓石調査において最大の問題とされてきた点である。

ii) 納有り墓石に基づく転倒加速度値の補正

今回の調査においては、10箇所の墓地について図-4に示すような形状をもつ納のある墓石があることを見出された。これら納有り墓石が存在する各々の墓地について、転倒及び不転倒墓石の分布を示したものが図-5に示されている。図において線の上側は転倒墓石、下側は不転倒墓石、この中黒く塗りつぶしたものが納有りのものを示している。これを見ると、納有り墓石については転倒最大のものと、不転倒最小のものとはきわめて良好な調和を示しており、これらより求められる最大加速度値は十分高い信頼度をもつものであると考えてよい。

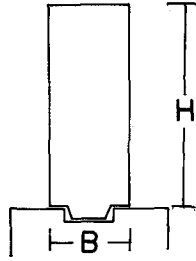


図-4 ほぞ有り墓石の一例

次いで、ここに得られた納有り墓石から推定される最大加速度を足掛りとして、納のない転倒墓石から推定されている最大加速度を検討することとした。図-6は納のある墓石が存在する各々の墓地について、納のある転倒墓石より求められた最大加速度を横軸に、同一墓地の納のない転倒墓石より求められた最大加速度を縦軸にプロットしたものである。図によれば、各墓地とも納のない墓石より求められた最大加速度の方が大きな値となっている。すなわち、 $\frac{(B/H)_{\text{納有り}}}{(B/H)_{\text{納無し}}}$ の値は平均0.81となる。

一方、1974年南伊豆半島沖の地震の場合には望月・国井¹⁵⁾等が転倒墓石につき詳細な研究を行っているが、同氏等の御好意により未公表データの提供を受けたので、われわれはそれを用いて上記の問題を考えることとした。望月等のデータに基づく各墓地での転倒状態を図-7に示す。この場合にも各墓地についてその場所の加速度値を推定する際に、様々な因子を十分考慮し、ある中をもった加速度の値が推定されている。われわれは仮りにこの範囲の中点にあたる加速度を推定値とした場合、その推定値と同じ墓地での最大値から推定される加速度との比を求めると0.79となった。大分地震の場合について、納のある墓石より求めた最大加速度との比0.81とをきわめてよく一致していることから、納のある墓石が存在しない他の墓地の大部分については、最大値より推定される加速度にほぼ相当すると考えられる。

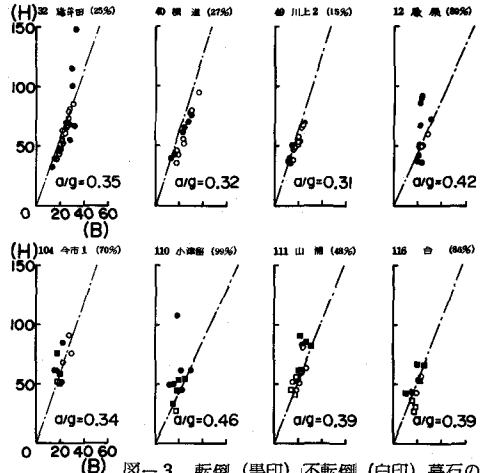


図-3 転倒(黒印)不転倒(白印)墓石の底辺(B)と高さ(H)との関係

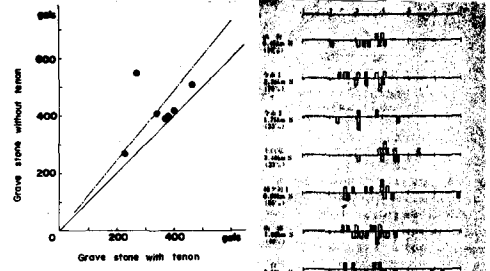


図-6

ほぞ有り墓石転倒による最大加速度とほぞなし墓石による最大加速度との対比

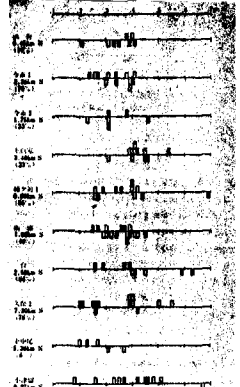


図-5 ほぞ有り墓石のある墓地における転倒(線より上)および不転倒(線より下)墓石

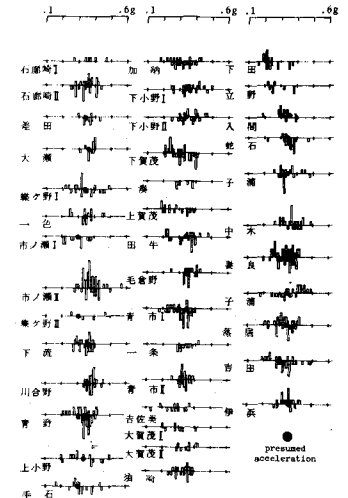


図-7 南伊豆半島沖地震の転倒および不転倒墓石の分布より推定された加速度(望月利男、国井隆弘らの調査結果による)

iii) 推定最大加速度の分布

地震加速度は震央付近において大きく、遠ざかるにしたがい減少するが、その減少の有様を表現するのに従来多くは震央からの距離に対応して減少すると考えて議論が行われてきた。しかし、今回の地震の場合には、図-2に示される推定断層線を仮定し、これから距離を横軸に、墓石より求められた最大加速度値を縦軸にとって図-8をつくった。図中■印は納のある墓石より求められた加速度であり、●印は納のない墓地につき上記修正を行って求めた最大加速度である。図中○印は転倒墓石数が1~2箇しかない墓地において推定された加速度であり信頼度が非常に低いものを表わしている。この図から次の2つの点が注目される。

(1) 推定された最大加速度値の大きさは、推定断層線をはさむ巾数kmの地域内ではほぼ一定値420galを示している。

(2) 一定の最大加速度値を示す広がり、推定断層線をはさむ巾7km、長さ約20kmの範囲でなる。この地域の広がり、震源域の大きさを示す有意なものであると考える。

一定の最高加速度値を示す地域は推定断層線より北3.1km、南3.9kmとなっている。もし明瞭な地表断層線が出現した場合には、その断層線に対してどちら側に何kmという値は重要な意味をもつことになる。しかし、今回の大分県中部地震の場合には明瞭な断層線が出現していないので、推定断層線から北及び南への距離が相異していることに特に意味をもたせることはできない。

謝辞

今回の調査を行うにあたり、大分県庁を始め現地の方々に御協力をいただいたことを記して感謝の意を表す。また未公表データを用いることをお許しいただいた東京都立大、望月利男・国井隆弘両氏に深く御礼申し上げる。費用の一部は科学研究費自然災害(1)による。

参考文献

- (1) 勝又 護 地震動の最大加速の推定 経震時報 37 (1972) PP. 79-87
- (2) Kanai, K. et al : Observation of strong earthquake motions in Matsushiro area, Part I. Bull. Earth. Res. Inst. 44 (1966) PP. 129-1296
- (3) Cloud, W.K. and V. Perez : Accelerograms - Parkfield Earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 57 (1967) PP. 1179-1192
- (4) Hudson, D.E. : Strong-Motion Instrumental Data on The San Fernando Earthquake of Feb. 9, 1971
- (5) 倉田栄一, 井合進, 土田登 : 港湾地域強震観測年報 (1975) 港湾技研資料 No. 236 (1976)
- (6) Ikegami, R. : A study on the overturning of rectangular columns in the case of the Nankai Earthquake on Dec. 21, 1946. Bull. Earth. Res. Inst. 25 (1947) PP. 49-55
- (7) 武藤 清 : 耐震設計シ-ズ4 構造物動的解析 第3.4章 転倒振動 丸善書店 (1966) PP. 186-205
- (8) 木村 準, 飯田 淑事 : 角柱の踊りについて(1) 地震 I, 6 (1934) PP. 125-149, (2) 同上 PP. 165-212
- (9) 松田 時彦 : 1968年十勝沖地震による 青森県東南部での墓石の被害 震研彙集 46 (1968) PP. 1425-1450
- (10) 表 俊一郎 他 : 大分県中部地震の震下方式による震度調査解析 科学研究費自然災害報告 1975 PP. 25-36
- (11) 建築学会九州支部 大分県中部地震調査委, 1975年大分県中部地震に於ける建築物被害調査報告 同上 PP. 112-158
- (12) 三浪俊夫, 又保守章 : 大分県中部地震の地震活動 同上 PP. 2-14
- (13) 福富孝治, 田中忠司, 藤本忠美, 金谷公直 : 墓石の転倒移動等による十勝沖地震の最大加速度と特異な地割水観察 1952年3月4日十勝沖地震調査報告 (1954) PP. 22-242
- (14) 植石 幸正 : 1968年十勝沖地震に於ける東北, 北海道地方の墓石の移動. 震研彙集 46 (1968) PP. 1415-1424
- (15) 望月利男 他 : 1974年伊豆半島沖地震震害調査報告(主として地震断層, 加速度分布及び地震と家屋被害の関係) 土と基礎 221 (1974) PP. 63-61
- (16) 小野 豊, 田中尚, 近江泰治 : 福井平野回廊における被害分布の調査. 昭和23年福井地震震害調査報告 II 建設部門 北陸震災調査委員会 (1949) PP. 57-60

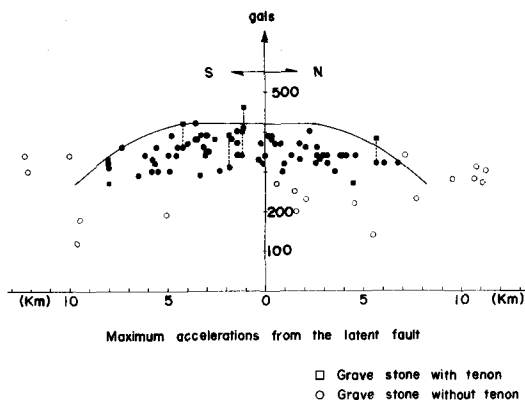


図-8 各墓地について推定された最大加速度を推定断層線からの距離に応じて示したものの。四角印 ほぞ有り墓石 丸印 ほぞなし墓石 白い印のものは転倒墓石 1個または2個で信頼度は小さい墓地