

土 木 研 究 所 資 料

墓石の転倒状況からみた1978年1月
伊豆大島近海の地震による地震動強度の推定

昭和53年6月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

Copyright © 53年度 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of 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なってはならない。

まえがき

1978年1月14日の伊豆大島近海地震では、伊豆半島東部地区に多大な公共土木施設の被害を生じたが、同地区には工学式強震計が設置されていなかったため、震源近くの地震動を直接観測することができなかった。そのため、建設省土木研究所地震防災部振動研究室では、地震直後の1月18日～1月20日の間に13箇所、次いで3月1日～15日間に168箇所（前記13箇所のうちの10箇所を含む）の墓地において墓石の転倒状況を調査し、これらの結果に基づき伊豆半島における地震動の強度を推定した。本報告はこの調査結果をとりまとめたものである。

昭和53年6月

建設省土木研究所地震防災部

部	長	大	橋	昭	光
振動研究室長		岩	崎	敏	男
“ 研究員		川	島	一	彦

目 次

まえがき

1. 地震の概要	1
2. 墓石の転倒率と地震動強度に関する既往の研究	5
3. 墓石の転倒状況の調査方法ならびに調査結果	7
4. 墓石の転倒率から地震動最大加速度の推定法	21
5. 伊豆大島近海地震による地震動の最大加速度の推定	32
まとめ	34
参考文献	35
附録1—墓石調査表	37
附録2—伊豆大島近海地震による加速度強震記録	38

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のは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1-2参照)によれば、今回の地震による余震の分布は、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1-3、図1-4、図1-5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1-6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附近まで伸びており、図1-2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。このような測量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。

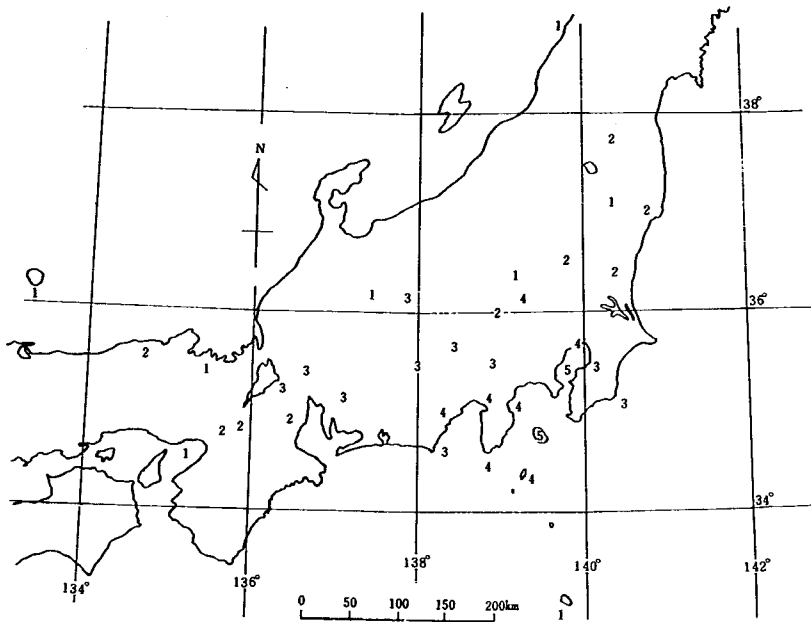


図1-1 各地の震度分布（気象庁による）

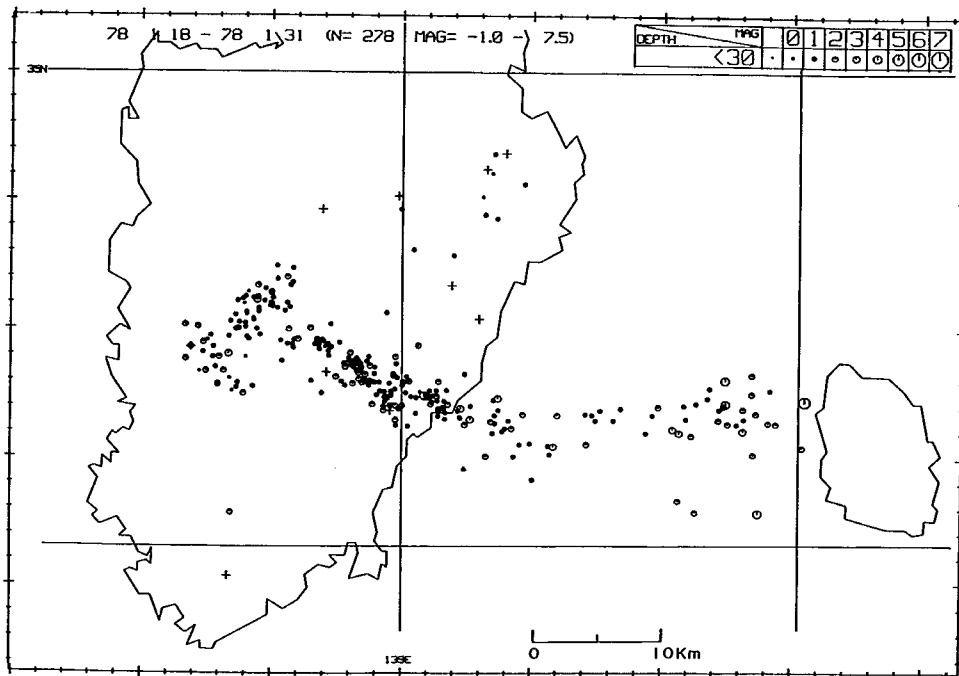


図1-2 1月18日から1月31日までの余震分布（津村らによる）

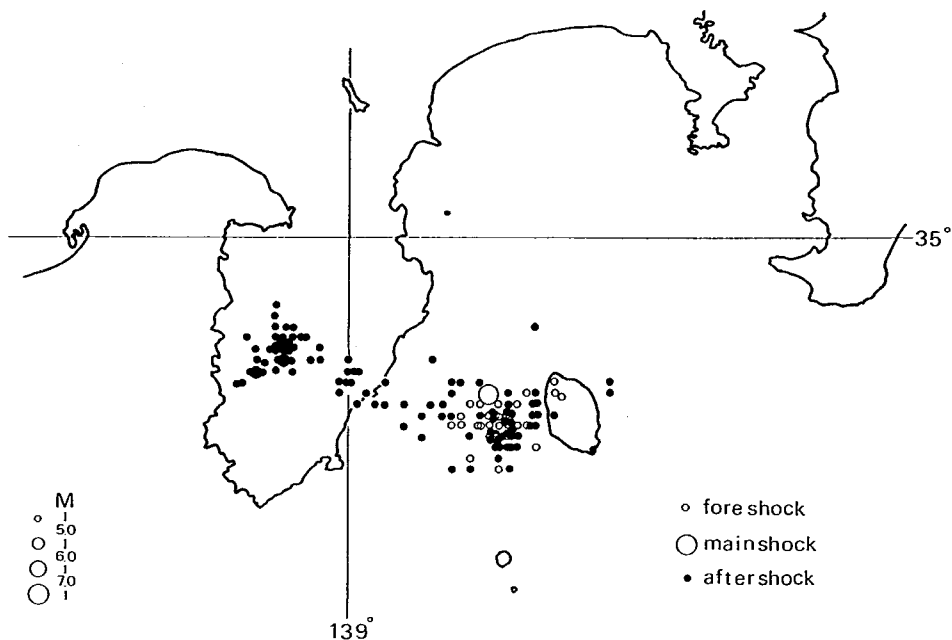


図1-3 1月13日から1月20日までの前震、本震および余震の分布〔気象庁による〕

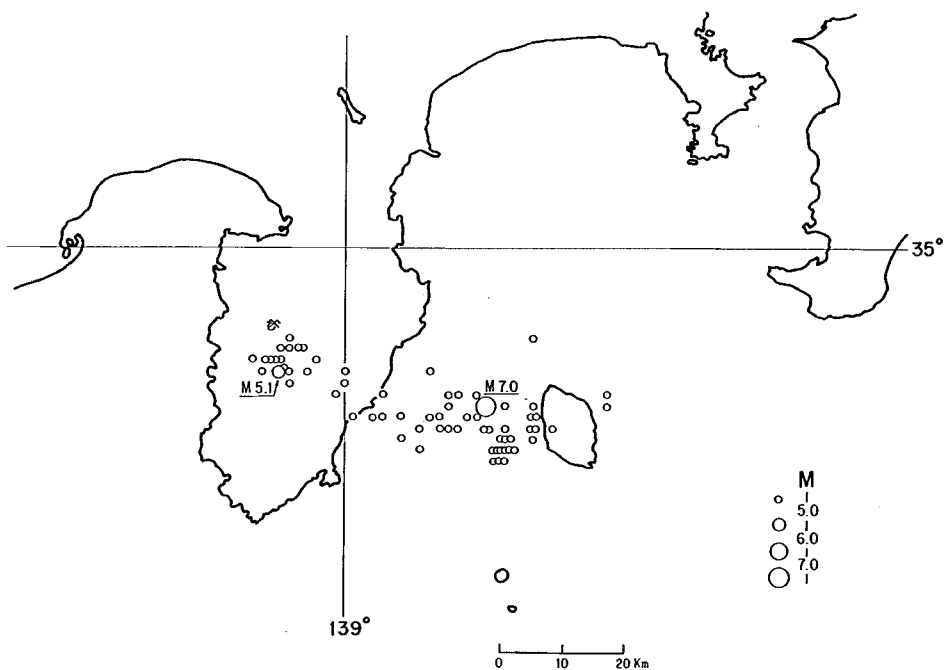


図1-4 本震（1月14日12時24分）から最大余震直前（1月15日7時30分）までの地震活動〔気象庁による〕

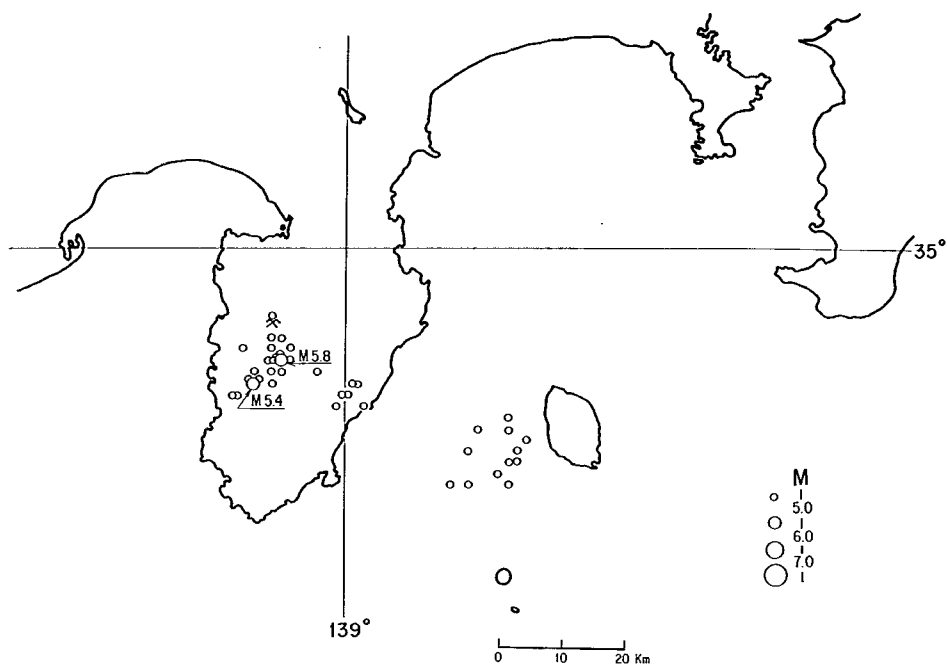


図1-5 最大余震直後(1月14日7時31分)から1月20日14時12分までの地震活動
〔気象庁による〕

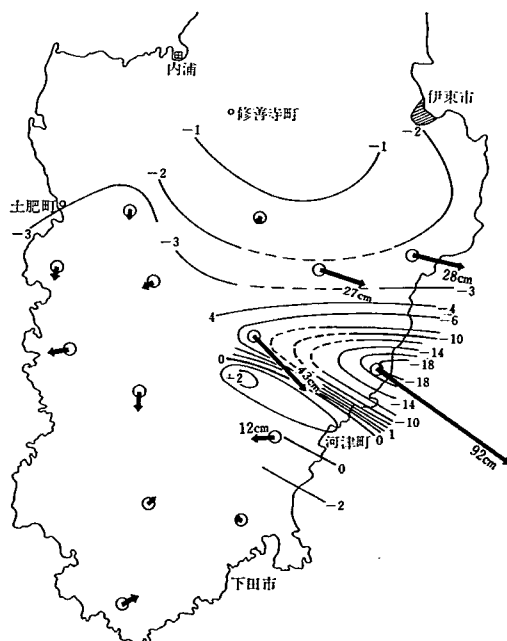


図1-6 伊豆大島近海地震による地震変動
矢印は水平変動、コンターは上下変動
〔佐藤による〕

2. 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、大森を始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取り入れた。すなわち、

$$\text{合震度 } K \equiv \frac{k_H g}{g - k_V g} = \frac{k_H}{1 - k_V} = \frac{B_T}{H_T} \quad (\text{墓石の比幅}) \quad \cdots \cdots (2-1)$$

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面に交わることは、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碇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

$$k_H W \geq (1 - k_V) W f \quad \cdots \cdots (2-2)$$

ここで

W : 墓石の重量

f : 摩擦係数

となり、摩擦係数 f は

$$f \leq \frac{k_H}{1 - k_V} = K \quad \cdots \cdots (2-3)$$

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⁸⁾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⁵⁾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 10 m 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 1000 gal 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 8 倍とする事は墓石のスケールを $1/8^2$ 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お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。

3. 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ヶ月半経過した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3-1に示す13箇所の墓地であり、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日目にかけて行なわれたため、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なわれていたが、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。

表3-1 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号沿い大浜橋附近	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	丘陵地頂上附近	共同墓地	23	60	42	72%
墓地-4	見 高 浜 地 区	平地～丘陵地中復	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(石室トンネル附近)	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)

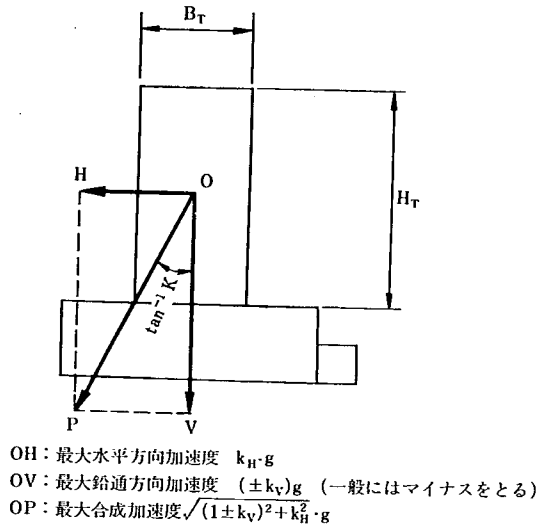
墓石の調査はそれぞれ次式で定義する
合震度 K (図 3-1 参照) および転倒率
 R の算定を中心として行なった。

$$\text{合震度 } K = \frac{K_H}{1 - K_V} = \frac{B_T}{H_T} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$\text{転倒率 } R = \frac{\text{調査墓石中の転倒墓石数}}{\text{調査墓石数}} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (3-2)$$

ここで、

- K_H : 地震動の水平震度
- K_V : 地震動の鉛垂震度
- B_T : 墓石の底面幅 [cm]
- H_T : 墓石の高さ [cm]

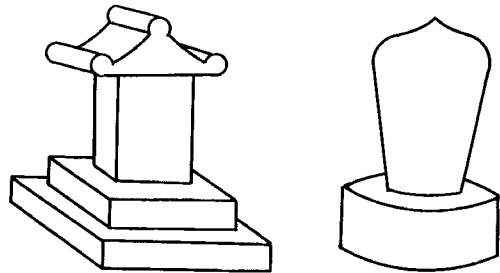


$$\text{合震度 } K = \frac{k_H}{1 - k_V} = \frac{B_T}{H_T}$$

図 3-1 合震度の定義

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限定し、図 3-2 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、(3-1) 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。

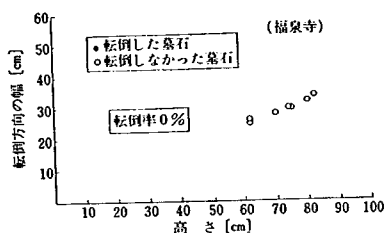
合震度を求めるために高さおよび幅を測定した墓石の数は 10 ~ 30 程度を一応の目安としたが、転倒率を求めるための調査墓石数はこれより多く 50 ~ 100 程度を目安とし、墓地内の墓石の全数、もしくはある一区画の墓石の全数をとった。このようにして実地調査した 10 墓地での合震度の算定結果を図 3-3 に示す。



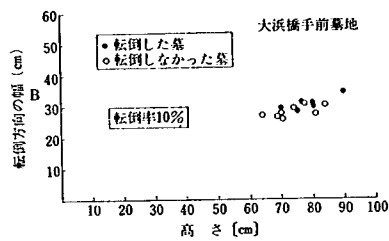
(a) 擬宝珠のついた墓石 (b) 逆円錐形の墓石
図 3-2 調査対象としなかった墓石の形状の代表例

第 2 回目の調査では地震直後の調査で対象とした

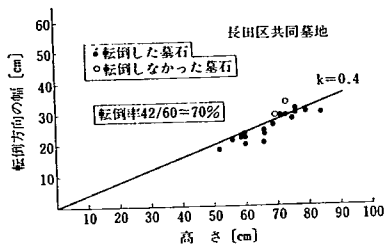
13 箇所の墓地のうちの 10 箇所を含む伊豆半島全域の 168 箇所の墓地を対象とした。これは個人用のごく小規模な墓地を除いた伊豆半島における寺院、公営墓地、共同墓地のおおむね全数に相当する。調査墓地の位置は図 3-4 に示す通りであり、これを行政区分ごとに分類すると表 3-2 のようになる。調査は地震後約 1 ヶ月半後に行なったため、すでに大部分の墓地において墓石の立て直しが行なわれていた。そのため、直接に転倒した墓石の識別はできなかったが、図 3-5 に示すように墓石が倒れた時に衝突してできた墓石自体の損



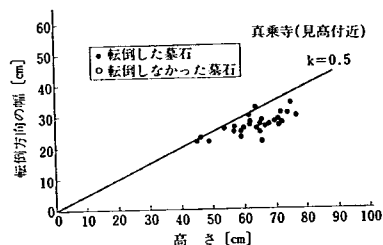
(a) 墓地1 (下田市内)



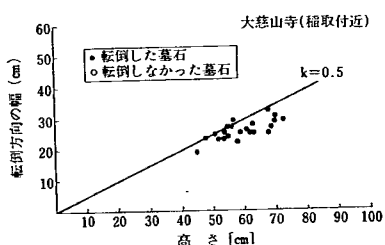
(b) 墓地2 (大浜橋附近)



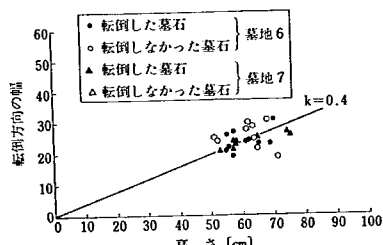
(c) 墓地3 (長田地区)



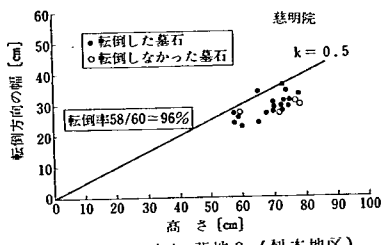
(d) 墓地4 (高見地区)



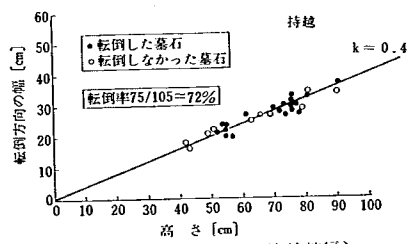
(e) 墓地5 (稲取地区)



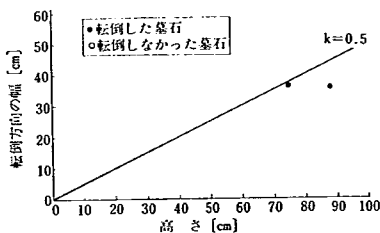
(f) 墓地6及び7 (稲取地区)



(g) 墓地8 (梨本地区)



(h) 墓地9 (持越地区)



(i) 墓地13 (梨本泉奥原地区)

図3-3 墓石の高さおよび底面幅の関係〔第1回目の調査結果〕

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、(3-1)式および(3-2)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3-3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3-6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箇所で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な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

表3-2 調査墓地の所在地(行政区分別)

行政区分	墓地数
伊東市	22
東伊豆町	16
河津町	15
下田市	30
南伊豆町	17
松崎町	18
西伊豆町	14
土肥町	9
湯ヶ島町	9
中伊豆町	10
修善寺町	6
沼津町	1
斐山町	1
合計	168

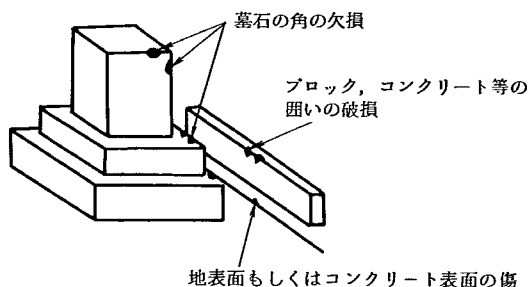


図3-5 転倒した墓石の識別方法

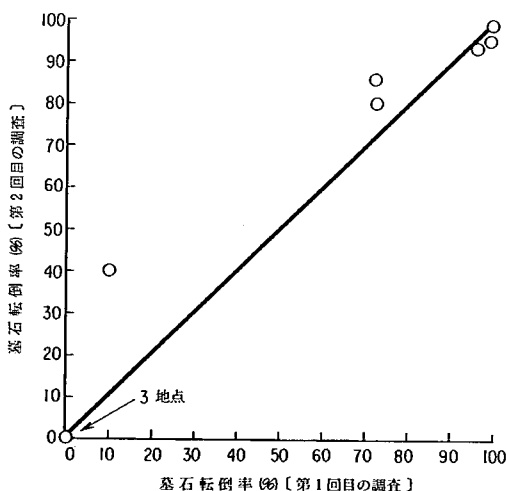


図3-6 第2回目の調査結果の精度

表3-3(a) 調査結果の一覧(その1)

調査 No	調 査 位 置	墓地周辺の状況	寺 名 等	墓 石 法 件 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 法 件 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	東伊豆町桶取大畑	市街地の急斜面	資 広 寺	15	60	30	50
2	" 岡	丘陵地	蘭 光 寺	15	200	0	0	44	" 桶取	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 賢 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	淨 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	" "	山地の沢沿斜面	旭 洞 院	11	180	0	0
6	" 物見丘	"	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 宜 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	" "	市街丘陵のふもとの平地	福 泉 寺	15	80	0	0
12	" 池	山地斜面	" (2)	15	250	10	4	54	東伊豆町桶取	(共同墓地) 進行寺					
13	" 荻	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	27	1300	(1200)	(92)
14	" 十足	山地斜面	照 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 榮 寺	20	200	28	14	57	" "	平地	善 應 院	0	0	(57)	(95)
16	" 川奈	山地の斜面	恵 鏡 院	15	70	0	0	58	" "	岸上部平地	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	栄 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	" "	海岸植平地	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 雲 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	" 梨木	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	" 大端	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	伊東市常戸	山地斜面	永 昌 寺	18	500	10	2	74	" 椎原	丘陵の緩斜面	願 源 院	17	25	9	36
33	" 八幡豊福	"	大 江 院	27	400	108	27	75	" 横川	山地の頂上付近	太 極 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	弁 雲 院	3	3	0	0
36	東伊豆町大川	山地ゆるい斜面	龍 興 院(1)	13	80	65	81	78	" 夜場	山地緩斜面	三 益 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	東伊豆町茶良木	山地斜面	自 性 院	26	300	290	97	80	" 細地	丘陵地	地 福 院	16	60	30	50
39	" 白田	"	普 恵 院	15	20	12	60	81	" 沢田	"	林 蔭 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	" 峠	山地急斜面	東 大 寺	27	80	78	98
42	" 柳瀬	山地急斜面	龍 興 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3-3(b) 調査結果の一覧(その2)

調査 No	調 査 位 置	墓地周辺の状況	寺 名 等	墓 調 査 件 数	墓 石 転 倒 率			調査 No	調 査 位 置	墓地周辺の状況	寺 名 等	墓 調 査 件 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	下田市張台寺	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	枳 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	" " 宇原田	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	栄 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 登 院	15	100	0	0
97	" " 下賀茂	山腹の急斜面	泉 堂 寺	10	30	0	0	139	" 松崎	山際の市街平地	浄 感 寺	10	80	0	0
98	" 手石	山腹の緩斜面	青 尊 寺	10	90	0	0	140	" 宮内	市街の平地	森 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	" 松田	山地沢沿の緩斜面	都 定 寺	10	60	0	0
101	南伊豆町湊	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	燭 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	" 斐良	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	" 加賀野	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 寿 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	津 長 寺	12	80	0	0
111	" 宇一色	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	" 柳切	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	" 熊越	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	善 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	" 本柿木	丘陵の山腹	共同墓地	10	30	0	0
121	" 青野	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	川沢根根の斜面	永 辨 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	西伊豆町柳寛畑	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	

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3-3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3-7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3-8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関わ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3-7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のではないかと考えられる。

4) 寺社の建物被害の分布

1月14日の本震および1月15日の余震を通して寺社の建物に何らかの被害、たとえば、屋根瓦が一枚落ちたとか、ガラス戸が一枚割れた、壁にクラックが入った等の聞き込みのあった地点を、はっきり被害が無かったとの聞き込みを得た地点、および、被害に関し特別な聞き込みの得られなかった地点と比較して図3-9に示す。ここで、被害に関し特別な聞き込みを得られなかった地点とは、一般に、たまたま住職がその場に居合わせなかったとか、あるいは共同墓地等で管理人がわからなかった場合等を表わしている。この結果によれば、寺社の建物に何らかの被害を生じたのは、①伊東市から東伊豆町、河津町、下田市にかけての主として海沿いの地域、②河津町梨本から峰にかけての地域、および、③土肥町から西伊豆町、松崎町にかけての海沿いの地域、の3つに分けられよう。図3-7および図3-8に示した結果と併せ考えると、①伊豆市から下田市にかけての海沿いの地域および、②河津町梨本から峰にかけての地域は恐らく1月14日の本震により被災したのではないかと考えられる。これに対して、西海岸側の③土肥町から西伊豆町にかけての海沿いの地域は主として1月15日の余震により被災したものが多いと考えられる。図3-7に示したように1月15日の余震により墓石の転倒率が高かった天城湯ヶ島町および西伊豆町の一部地域では大部分が共同墓地

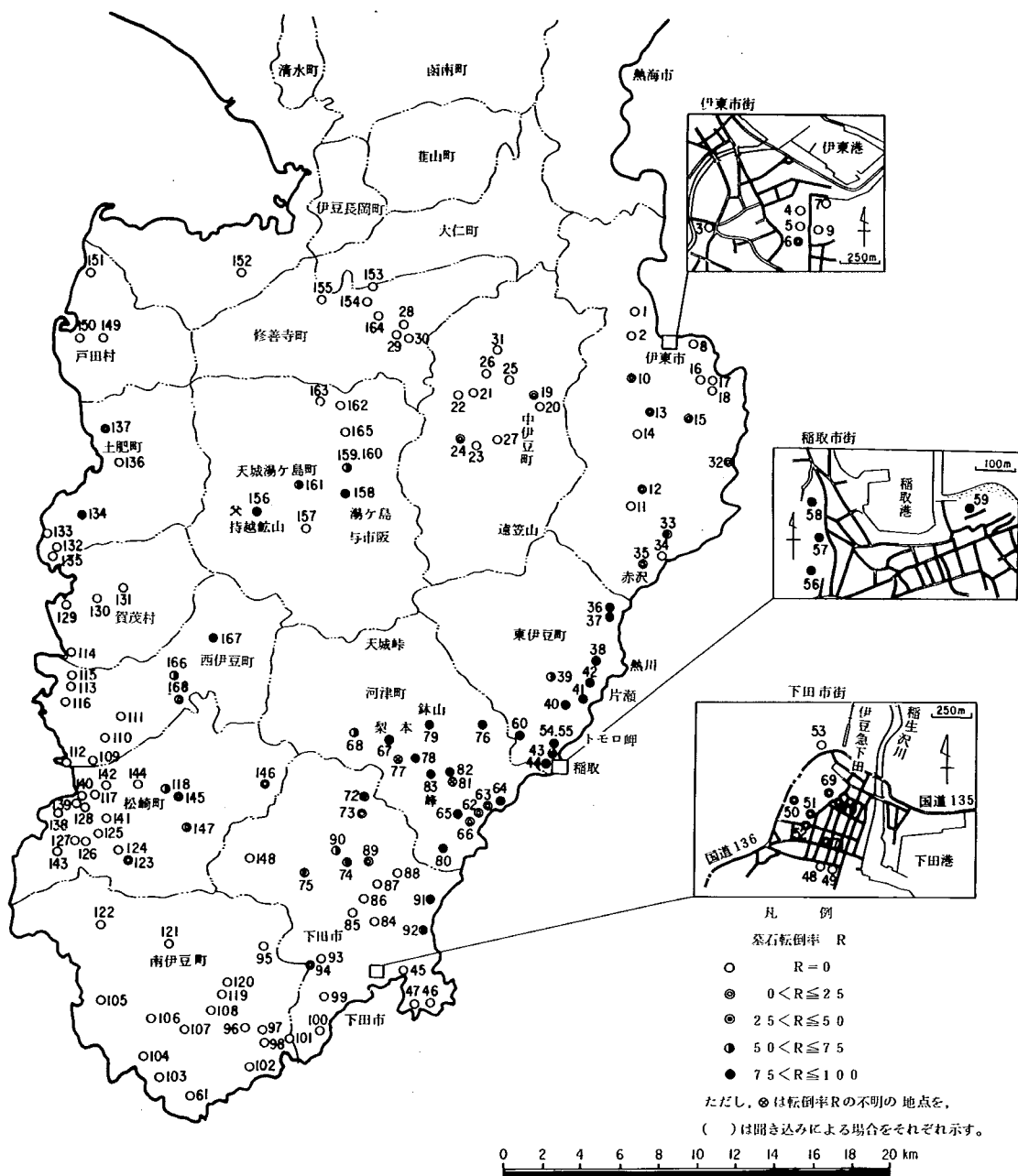


図3-7 墓石転倒率の分布〔2回目の調査結果〕

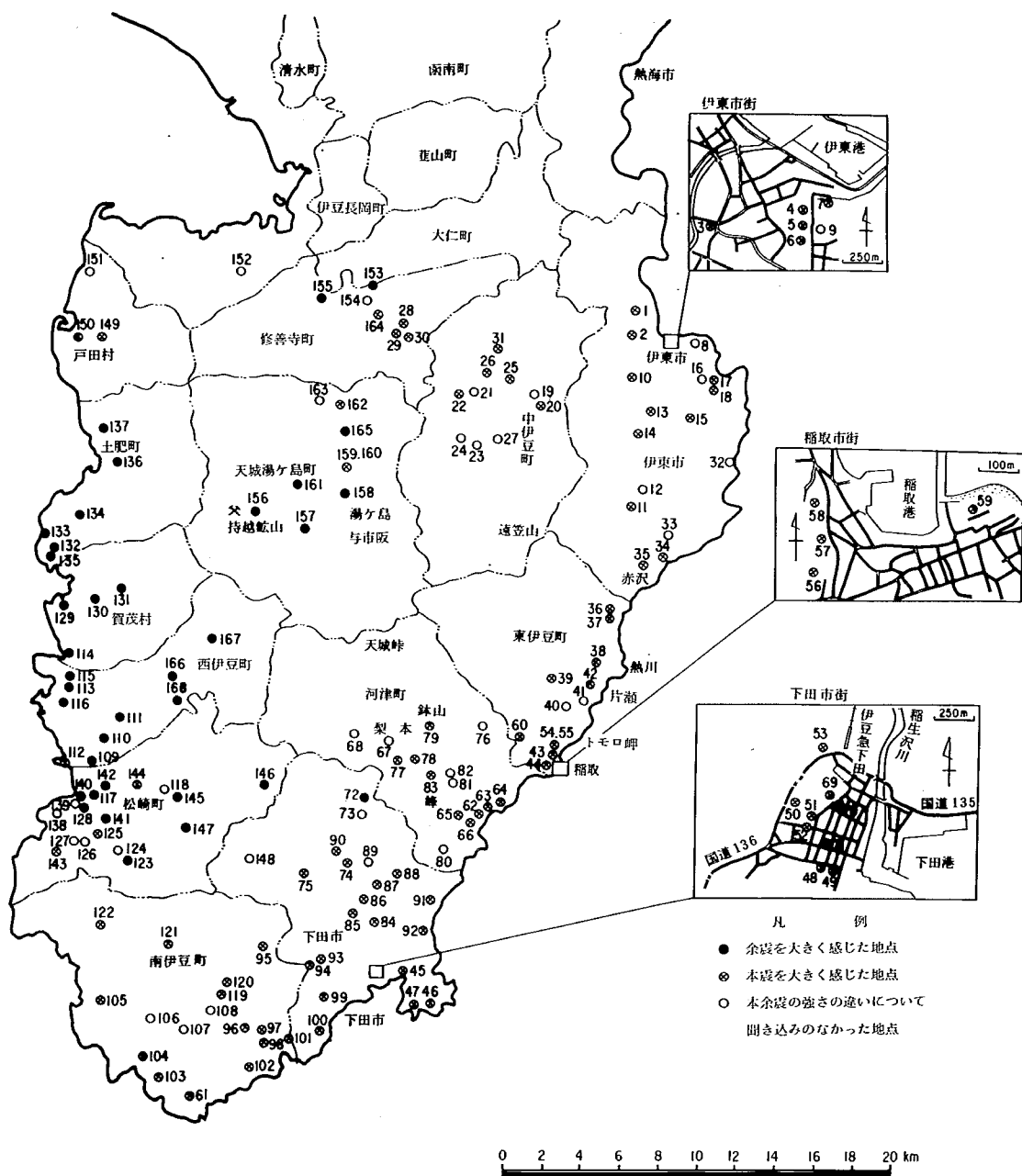


図3-8 聞き込みによる1月14日の本震と1月15日の余震による地震動強度の比較

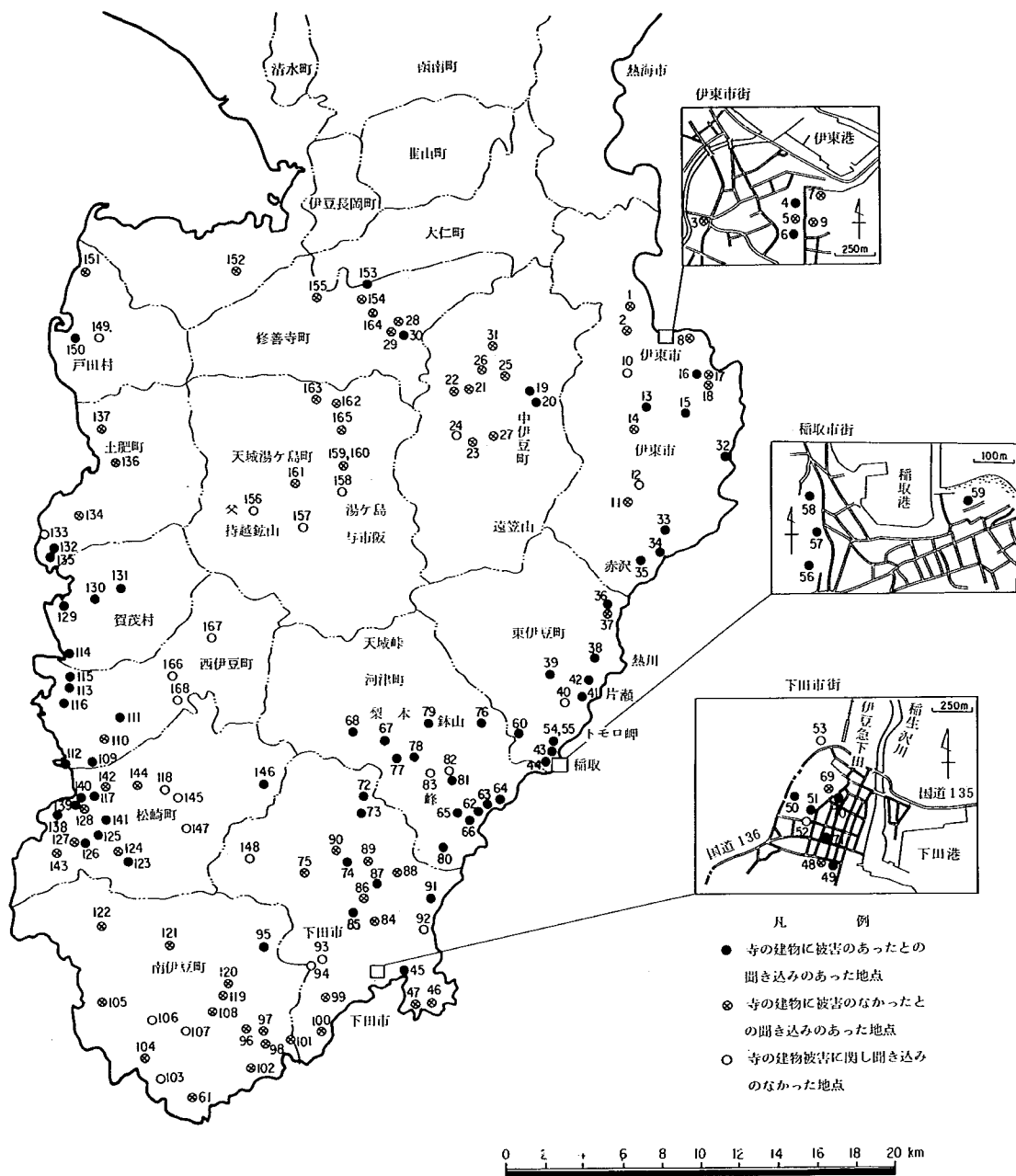


図 3-9 寺の建物に何らかの被害があった地点

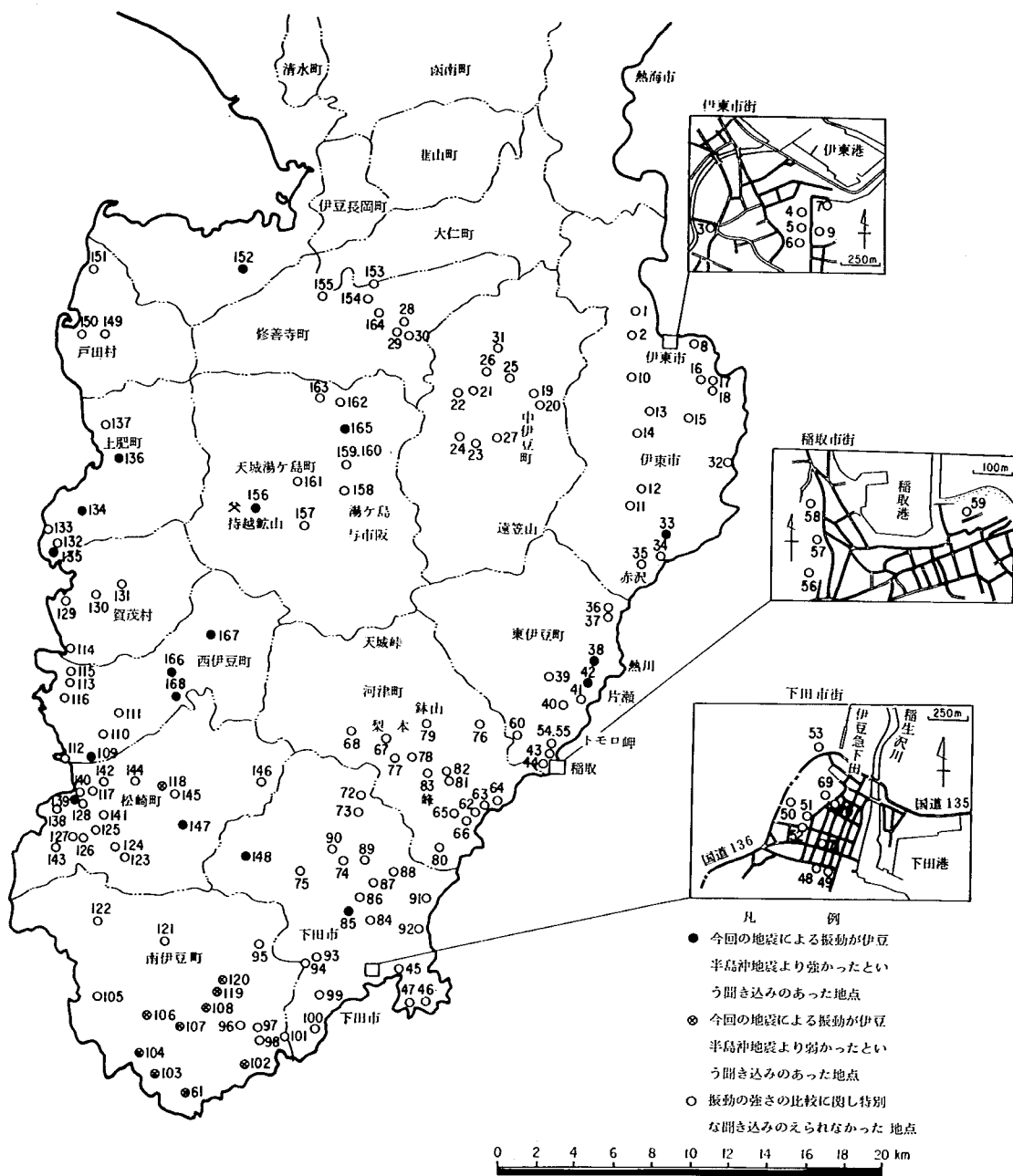


図3-10 1974年伊豆半島沖地震との比較

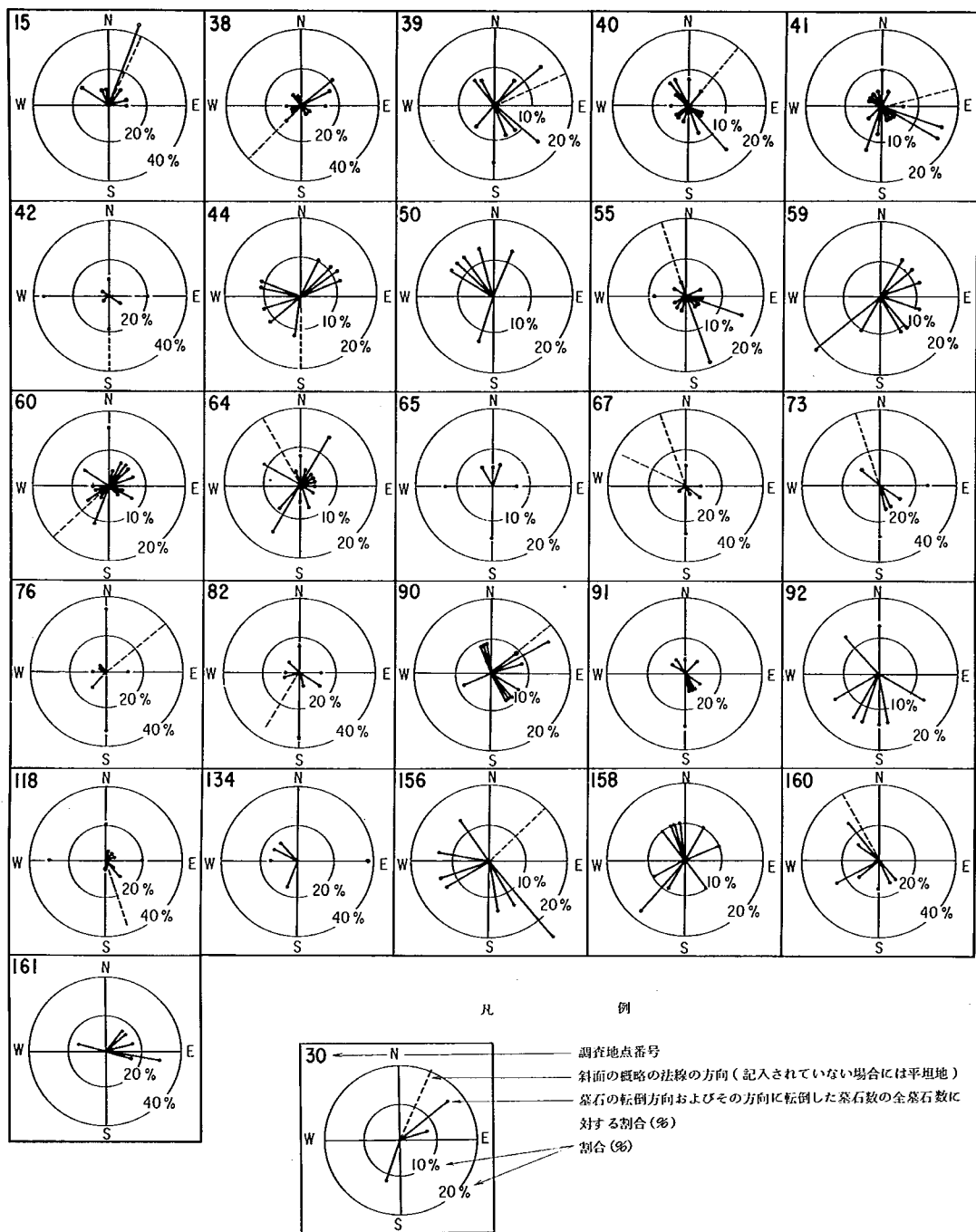


図3-11 墓石の転倒方向

であるため、予想されたような寺社の建物に関する被害は報告されていない。

5) 伊豆半島沖地震（1974年5月9日）による地震動強度との比較

伊豆半島沖地震の発生からまだ日が浅いため、各所で伊豆半島沖地震の場合との比較において今回の地震による揺れ方の強弱に関する聞き込みが得られた。この結果を、今回の地震による揺れ方が明らかに伊豆半島沖地震よりも強かったとする地点、これとは全く反対の地点、および、特別な聞き込みの得られなかった地点に分類して図3-10に示す。ここで特別な聞き込みの得られなかった地点とは、上記4)の場合と同様に、住職が居合わさなかったり、共同墓地で管理人がいなかったりした場合のほか、地震動の強弱の比較に関する質問は系統的にしたわけではないため、答える側が特に切り出さなかった場合も含まれている。したがって、図3-10の結果は地震動の強弱に関心の高い人がいた地点からだけ得られている点に留意しなければならない。この結果によれば、今回の地震の方が伊豆半島沖地震よりも揺れが激しかったとする地域と、反対に伊豆半島沖地震の方が今回の地震の揺れよりも激しかったとする地域は比較的はっきり分離されており、後者は南伊豆町に集中的に分布している。このような点から、おおむね下田市と松崎町を結ぶ線あたりが両者の境界線でないかと考えられる。

6) 墓石の転倒方向

墓石の転倒方向から地震動に方向性があったかどうかかわからないものかという観点から転倒率がおおむね50%以上あった地域の墓地（図3-7参照）に対して6~20個の墓石の転倒方向をクリノコンパスによって測定し、その中で一方向に倒れた墓石の数を全数に対する割合で表示したのが図3-11である。墓地は一般に斜面に面した丘陵地あるいは崖縁にある場合が多く、地震直後の調査結果によれば、このような場合には墓石の転倒方向と斜面の向きとの間に強い相関性があるように思われたため、図3-11には斜面の法線のおおよその方向が示されている（斜面の法線の表示のない墓地は平坦地にあることを示している）。この結果によれば、断層の走った方向から考えて地震動が優勢になると期待される方向に倒れた墓石の多い箇所もあれば、斜面の法線方向に転倒している箇所も多く、これだけの結果から、墓石の転倒方向が地震動の方向性に起因するのか、斜面の向きと相関が強いのかといった点を判断することはできないように考えられる。

4. 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(3-1)式がよく用いられているが、図3-3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3-3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、1974¹⁵⁾)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) すべっ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3-1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(3-1)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60~90cm、幅は18cm~30cm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(3-1)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、(3-1)式で求められる合震度を(3-2)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4-1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400gal、墓石転倒率が0の場合に約100galという結果になっている。

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つい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かと、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ではないかと考えられる。

墓石の転倒率を稲取地区からの距離で整理すると図4-2に示す結果が得られる。ここで対象とした墓地は図3-8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7.5地点の墓地(表3-3参照)である。この結果から、稲取地区から20km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5km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4-2に示した結果をプロットし直すと図4-3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4-4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4-3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。

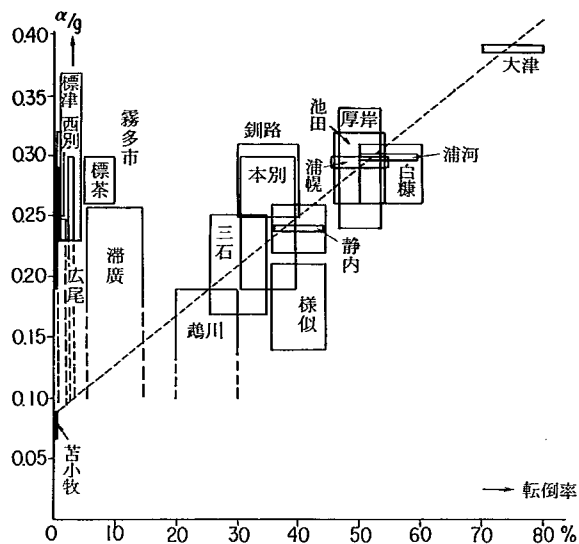


図4-1 北海道各地における十勝沖地震(1952年)の最大加速度の推定値と墓石転倒率の概値との関係〔福富らによる〕

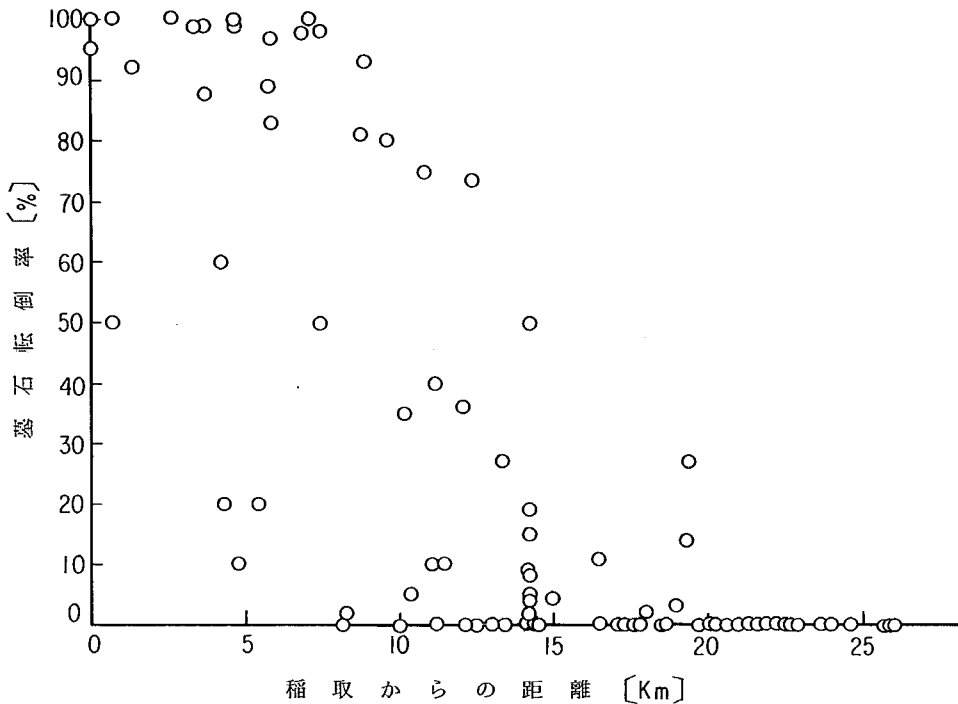


図 4-2 稲取からの距離で整理した墓石転倒率の分布

次に、図 4-2 に示した転倒率を稲取地区から 2 km 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 4-5 である。2 km 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 4-6 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きわめて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 5.0 以上、震源深さが 60 km 以下で最大加速度 50 gal 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

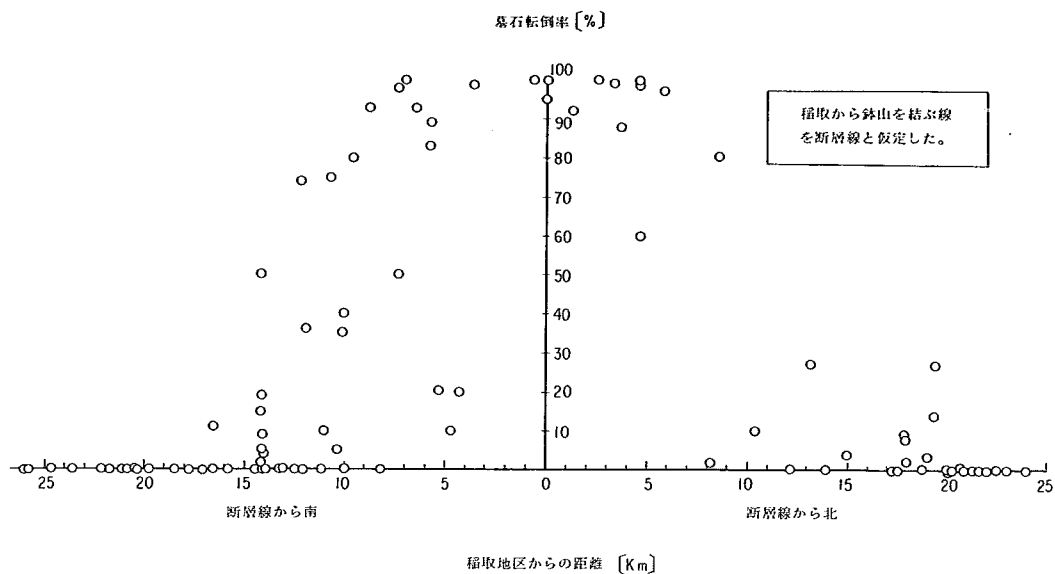


図 4 - 3 断層から南北方向における墓石転倒率の分布
(稲取地区からの距離で整理した場合)

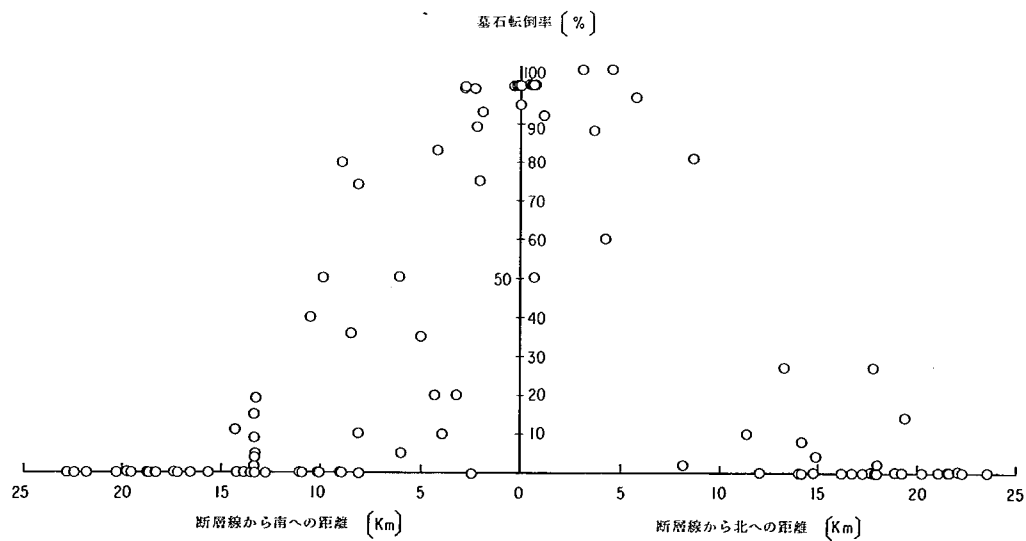
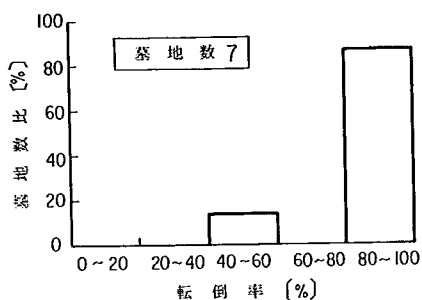
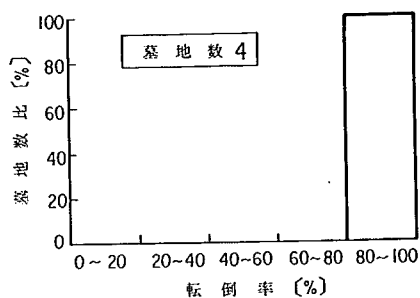


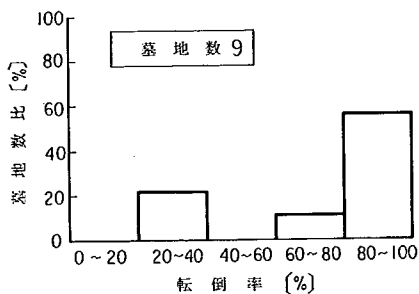
図 4 - 4 断層から南および北の地域における墓石転倒率の分布
(断層からの距離で整理した場合)



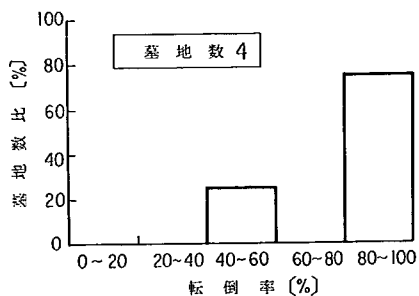
(a) 稲取からの距離 2 Km未満



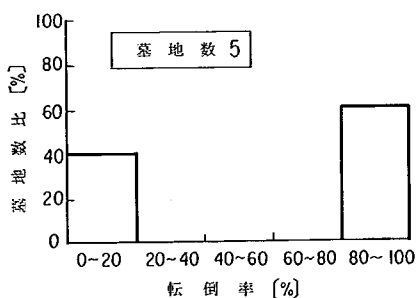
(b) 稲取からの距離 2 Km以上 4 Km未満



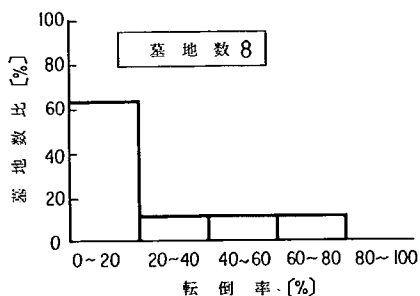
(c) 稲取からの距離 4 Km以上 6 Km未満



(d) 稲取からの距離 6 Km以上 8 Km未満

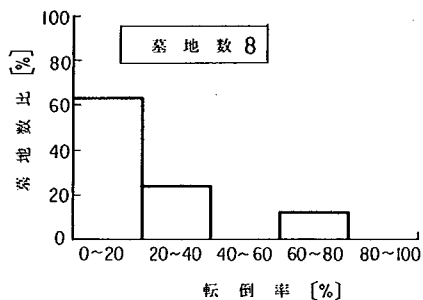


(e) 稲取からの距離 8 Km以上 10 Km未満

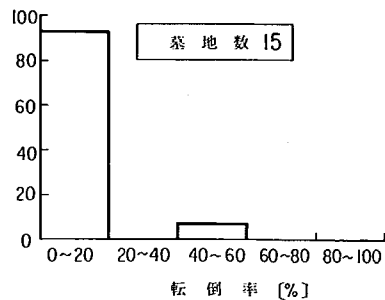


(f) 稲取からの距離 10 Km以上 12 Km未満

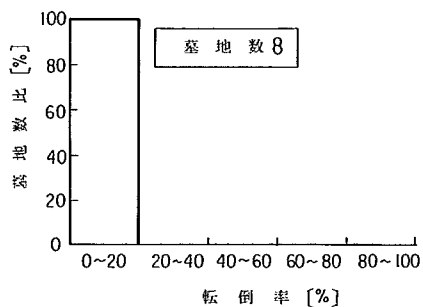
図 4-5 (1) 稲取からの距離による転倒率のばらつきの度合い



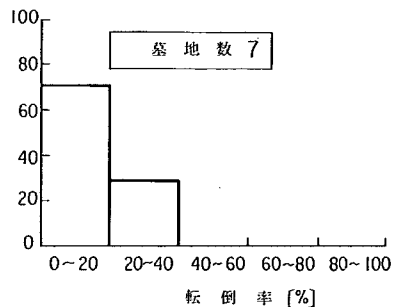
(g) 稲取からの距離 1.2 Km以上 1.4 Km未満



(h) 稲取からの距離 1.4 Km以上 1.6 Km未満



(i) 稲取からの距離 1.6 Km以上 1.8 Km未満



(j) 稲取からの距離 1.8 Km以上

図4-5(2) 稲取からの距離による転倒率のばらつきの度合い

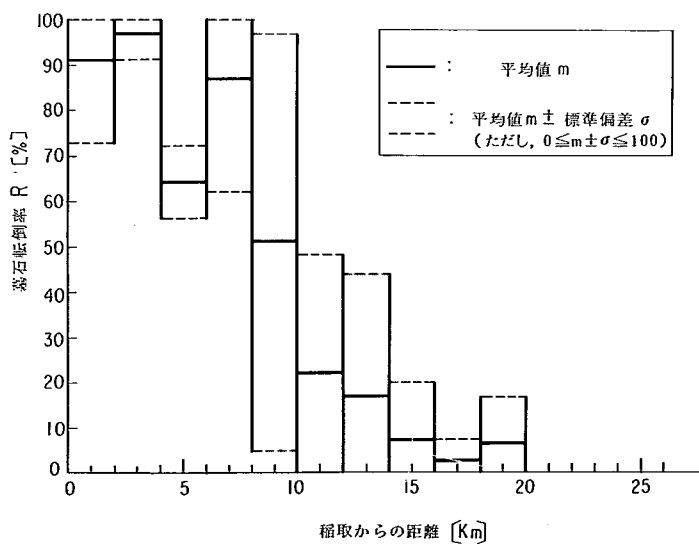


図4-6 稲取からの距離による墓石転倒率の平均値およびそのばらつき

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。

$$A_{\max} = 341 \times 10^{0.308M} \times (D + 10)^{-0.925} \dots\dots\dots (4-1)$$

ここで、

$A_{\max}$: 最大加速度振幅 [gal]
 M : マグニチュード (= 7.0)
 D : 震央距離

3) 墓石転倒率と地震動の最大加速度の関係

図4-6に示した墓石転倒率～稲取からの水平距離の関係を式(4-1)によって与えられる地震動の最大加速度～震央距離(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4-7のようになる。ここで、図の左側は図4-6の結果を、右側は式(4-1)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4-6の関係を式(4-1)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4-8に示すような結果を得る。

すなわち、

$$A_{\max} \simeq 2.67 R + 200 \dots\dots\dots (4-2)$$

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400 gal、300 gal、200 gal(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下ようになる。

- (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年)、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4-8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。

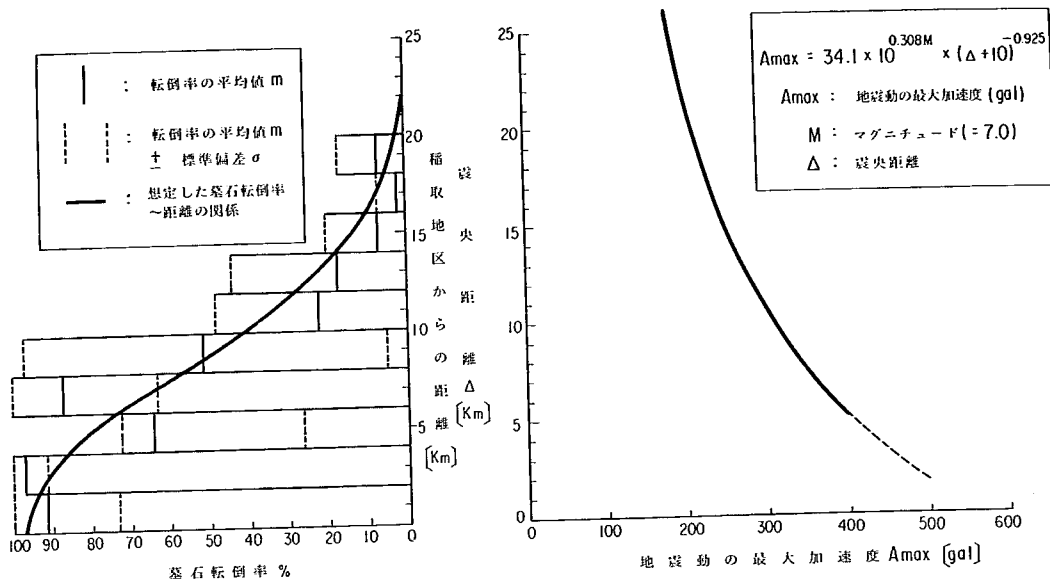


図 4 - 7 墓石転倒率～距離～最大加速度の関係

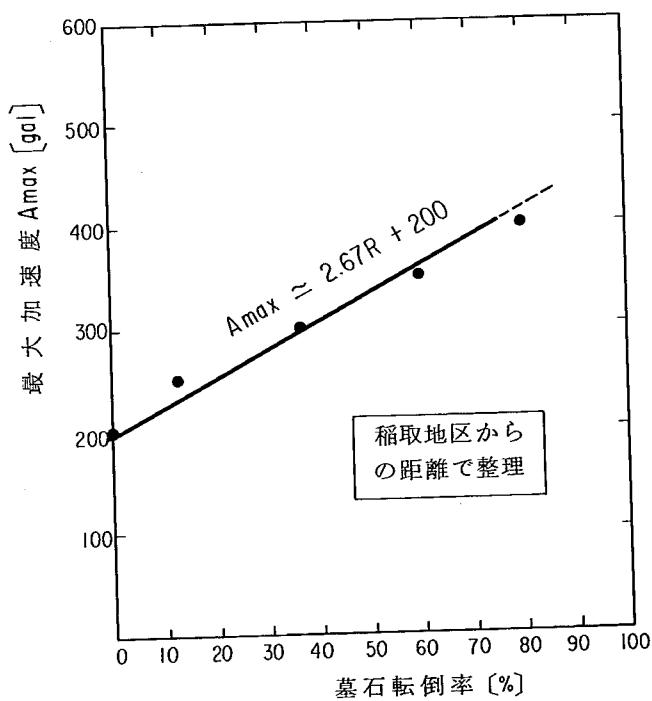


図 4 - 8 墓石転倒率～最大加速度の関係

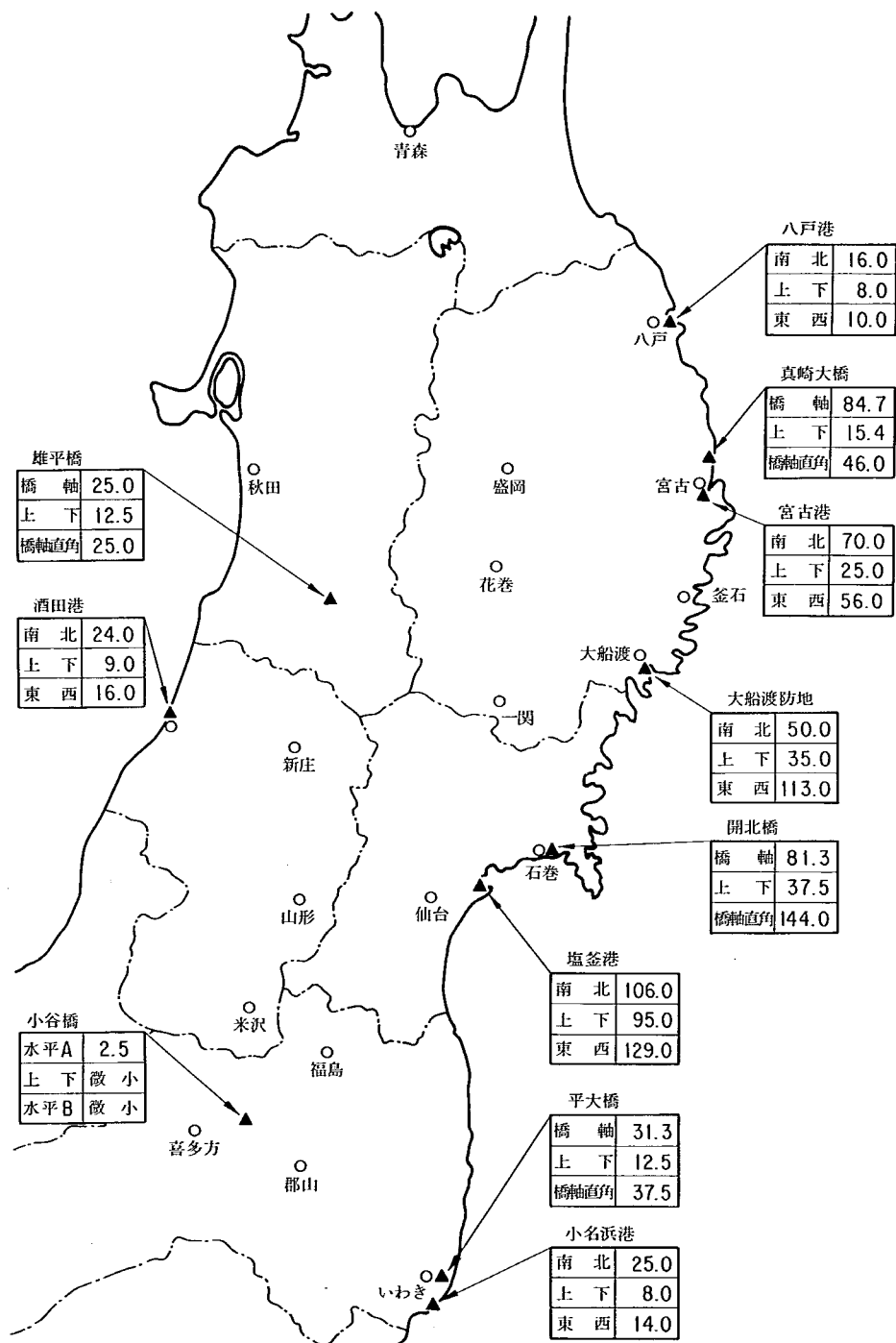


図4-9 最大加速度の分布〔1978年2月20日宮城県沖の地震、単位はガル〕

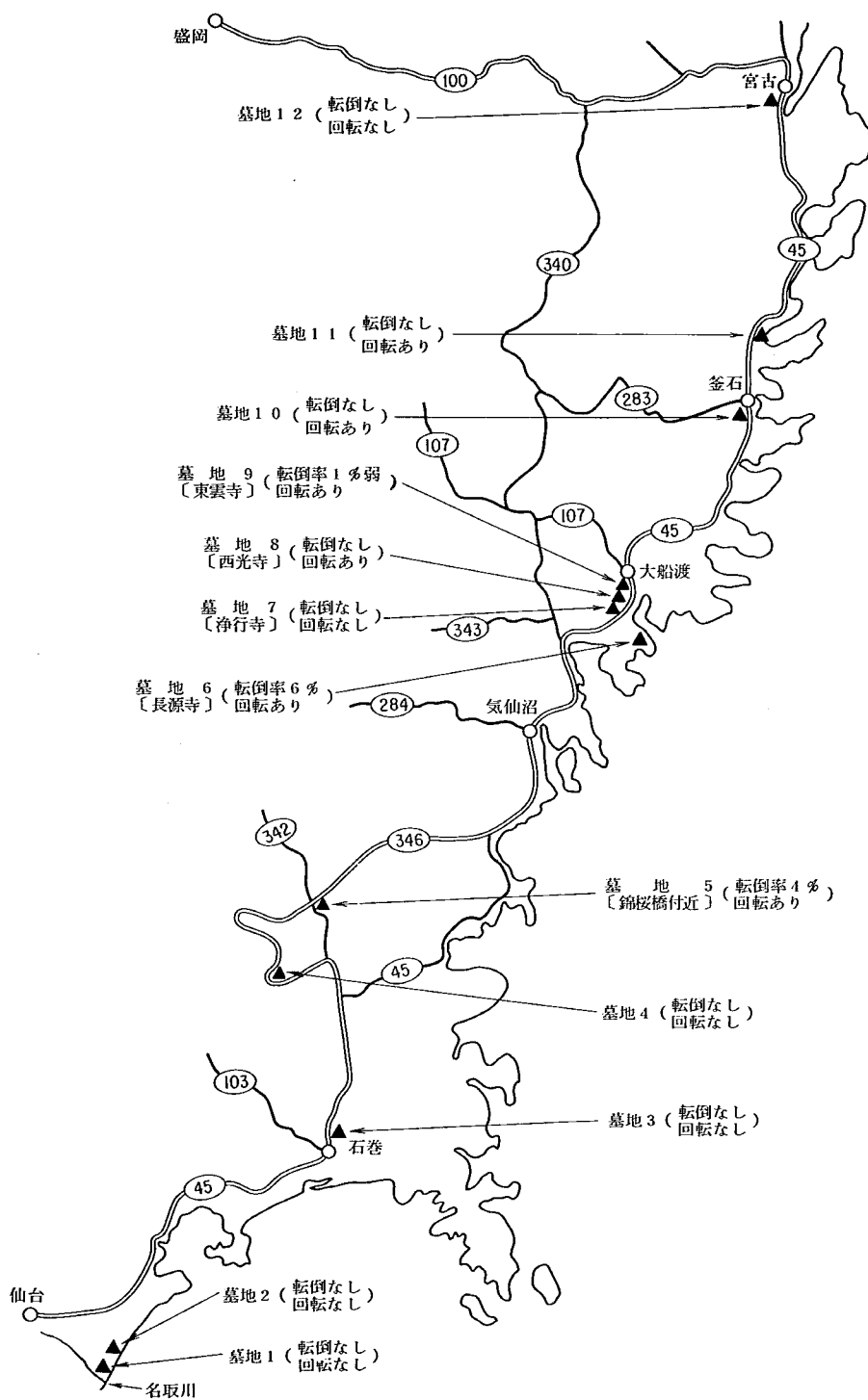


図 4 - 10 1978 年 2 月の宮城県沖の地震 (M = 6.7) による墓石の調査結果

- (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4-9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4-10参照)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。²⁹⁾
- (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 (小浦)と推定されている。¹⁵⁾
- (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、望月らは、¹⁹⁾ 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4-8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思われる。

5. 伊豆大島近海地震による地震動の最大加速度の推定

図4-8に示した墓石の転倒率と最大加速度の関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4-9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を超えたのではないかと推定される。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。

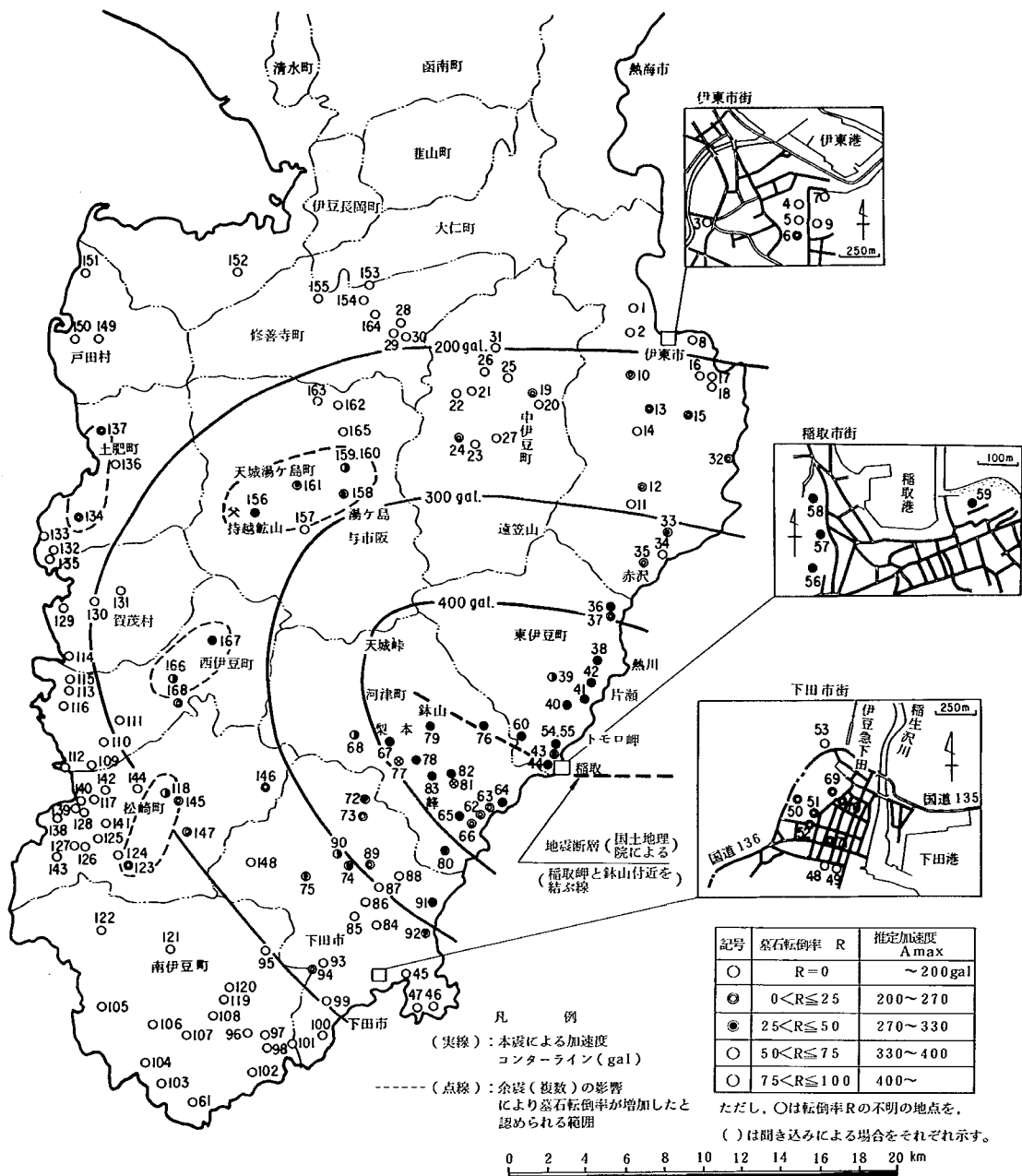


図5-1 墓石の転倒状況から推定した最大加速度分布 [1978年1月伊豆大島近海地震の場合]

まとめ

1978年伊豆大島近海地震では、震源付近で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することが必要であった。

本報告では、墓石の転倒から地震動の最大加速度を求める際に、

- (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。
- (ii) 墓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。

という点に注目し、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 4-8 もしくは式 (4-2) 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 5-1 に示すように推定した。

墓石の転倒から地震動強度を推定することは、強震計が無かった時代には広く一般に用いられたが、強震計の整備が進むにつれて忘れられようとしている。墓石の転倒だけから最大加速度を推定するためには相当の誤差を許容しなければならないことを考えれば、強震計による定量的な記録を得ることに重点が移ってきたことは非常な進歩として評価されよう。

しかしながら、現在、土木研究所が所掌する強震観測点は全国で約 250 箇所であり、今後の一層の観測網の整備拡充を図るとしても、地震が発生した場合に観測網に捉えられない地域、あるいは、観測点と観測点の中間の地震動を求めることが必要とされる場合があろう。こうした際には、強震観測結果との照合を行ない、相補ない合いながら墓石の転倒から地震動強度を推定することは、強震観測網の穴を埋めるうえからきわめて有効な手法ではないかと考えられる。今後、ここで得られた結果を種々の地震に適用し、手法の確認を図っていくことが必要とされよう。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 島崎、P. Somerville：伊豆大島近海地震の静的パラメーター、地震学会講演予稿集、昭和53年度春季大会
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 岩崎敏男他：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、建設省土木研究所、昭和53年2月
- 10) 土木研究所第1次調査団：1978年伊豆大島近海地震被害調査速報、土木技術資料20-4、昭和53年4月
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 復興局：大正12年関東大地震被害調査報告
- 14) 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
- 15) 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
- 16) 岩崎、若林、常田：加速度記録の統計解析、土木技術資料20-4、昭和53年4月
- 17) 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
- 18) 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
- 19) 田治米、望月、松田：地震と被害、楳書店、昭和52年
- 20) 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、建設省土木研究所、昭和24年

- 21) 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、建設省土木研究所、昭和45年
- 22) 日本学術学議：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
- 23) 土木研究所：新潟地震調査報告、土木研究所報告第125号、建設省土木研究所、昭和40年
- 24) 多田、松野、山村、栗林：東北地震震害調査、土木技術資料4-10、4-11、昭和37年
- 25) 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14-5、1972年
- 26) 駒田敬一他：根室半島沖地震調査速報、土木技術資料15-8、15-9、1973年
- 27) 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16-7、1974年
- 28) 駒田敬一他：大分県中部地震調査速報および同続報、土木技術資料17-7、17-8、1975年
- 29) 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20-8、1978年
- 30) 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20-8、1978年
- 31) 物部長穂：土木耐震学、理工図書株式会社、昭和27年
- 32) 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
- 33) 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

附録－1 墓石調査票

調査№	墓石転倒率調査カード			調査年月日 昭和 53 年 月 日			
調査等名	調査等の位置 寺の住所	墓地周辺の状況 墓地周辺の地形的特徴	墓石転倒率			転倒を発見した日時	
			調査墓石数	転倒墓石数	転倒率	月 日 時 頃	
			$\frac{\text{調査墓石数}}{\text{全墓石数}}$	転倒墓石 全数	$\frac{\text{転倒墓石数}}{\text{調査墓石数}} \times 100$	※1 記事 墓石の転倒あるいは地震の強さ についての時間的な聞き込み内容	
墓地周辺の平面図（スケッチ図）		代表断面スケッチ図（推定地質状況記入）	転倒墓石の形状				
			高さ	底面巾	底面厚	転倒の有無	※2 新・旧
			1			合には記入していない。 転倒は確実であるが方向については転倒方向を記入した。 転倒したものについては転倒方向を記入した。	新鮮な感じをもつ石で建立されている墓石を新とし、 黒ずんでやや風化した墓石および苔のついた墓石を旧とし、
			2				
			3				
			4				
			5				
			6				
			7				
			8				
			9				
			10				
			11				
			12				
			13				
			14				
			15				
			16				
			17				
			18				
			19				
			20				
			21				
			22				
			23				
			24				
			25				
			26				
			27				
聞き込み内容 地震および被災の状況についての聞きこみ内容を記入							

※1 転倒発見時の状況を記すこと。

※2 墓石のゆるみ時期を新・旧で区分する。

附録－２ 伊豆大島近海地震による加速度強震記録

伊豆半島における工学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観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、その分布を示すと附図２－１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附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 gal、東西方向に 100 gal であった。東西方向の地震動が南北方向よりも大きかった点は前述の 1 倍強震計による網代の変位記録と符号している。

附図２－１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附図２－２（水平方向加速度）および附図２－３（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。附図２－２には（附 2-1）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。（附 2-1）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。

$$A_{max} = 34.1 \times 10^{0.308M} \times (\Delta + 10)^{-0.925} \dots\dots\dots (附 2-1)$$

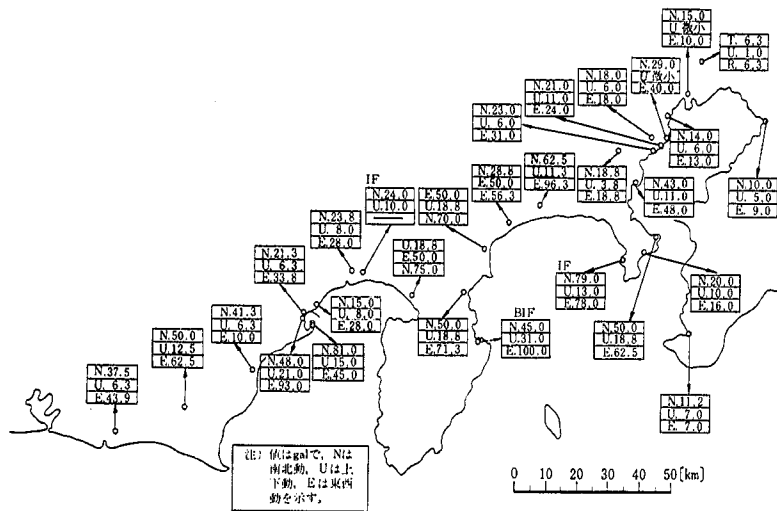
ここで、

A_{max} ：最大加速度振幅〔gal〕

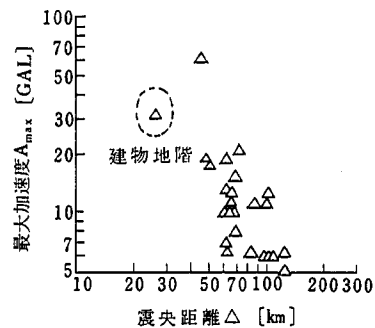
M ：マグニチュード（＝7.0）

Δ ：震央距離

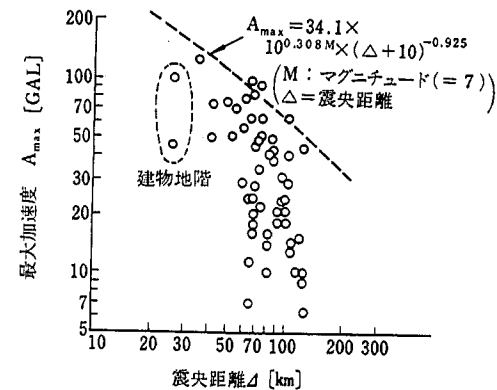
一方、附図２－１に示した地震動の最大加速度分布を、今回の地震で被害の集中した稲取地区から観測点までの距離によって分類整理した結果が附図２－４である。最大加速度の分布の様子からは附図２－２に示した結果よりも適当ではないかと考えられる。



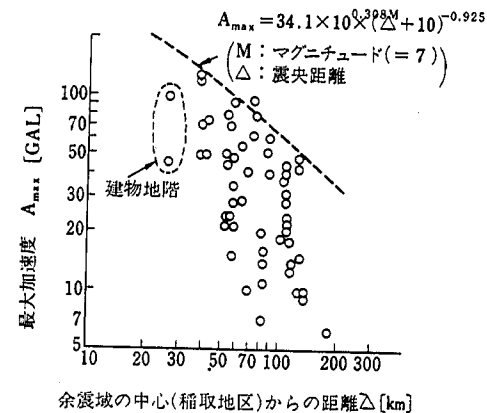
附図 2-1 各地の最大地震動加速度
(工学強震計による)



附図 2-3 震央距離による最大鉛直加速度の減衰



附図 2-2 震央距離による最大水平加速度値の減衰



附図 2-4 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