

ISSN 0386—5878

185

土研資料第1512号

土木研究所資料

1978年宮城県沖地震による地域別地震動強度
の分布に関する調査報告

昭和54年6月

建設省土木研究所
地震防災部・振動研究室

Copyright © 54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

昭和53年6月12日、宮城県金華山の東方沖約60kmに震源をもつマグニチュード7.4の地震（1978年宮城県沖地震）が発生し、宮城県を中心として死者28名を出す他、各種の公共土木施設に多大な被害をもたらした。今回の地震は、1968年十勝沖地震（ $M=7.9$ ）以来の大規模な地震であり、近代都市が地震を受けた場合の被害の特性に関して数々の教訓を残したことに一つの特徴があげられる。

さらにもう一つの特徴として、東北地方に配置されていた強震計による強震記録が数多く得られたことがあげられる。公共土木施設に対する強震観測は、昭和39年の新潟地震を契機として土木研究所を中心に鋭意推進されてきたが、今回の地震ではこのような努力がある程度実を結び、各地で構造物あるいはその周辺地盤上の強震動の波形を見事にとらえることができた。規模のある程度大きい地震で比較的震源に近い位置の地震動が多数採取されたのは上記1968年十勝沖地震以来のことであり、強震記録の詳細な解析は今後の耐震設計法の高度化ならびに地震防災計画策定上きわめて有効な資料を提供すると考えられる。

本報告は、土木研究所が収集した強震記録ならびに墓石の転倒状況調査結果をもとに今回の地震による地震動の特性について検討した結果をとりまとめたものである。

昭和54年6月

地震防災部振動研究室

室長 岩崎 敏 男

研究員 川島 一 彦

高木 義 和

目 次

まえがき	
1. 地震の概要	1
2. 加速度強震記録の特性	10
2-1. 最大加速度の分布	10
2-2. 最大加速度の距離減衰特性	10
2-3. 3方向成分間の最大加速度値の関係	12
2-4. 53年2月20日の地震記録との比較	13
3. 代表的な加速度強震記録の特性	20
3-1. 開北橋の強震記録	20
3-2. 樽水ダムの強震記録	21
3-3. 伊達橋の強震記録	21
4. 墓石転倒状況の調査	38
4-1. 墓石の転倒と地震動強度に関する既往の研究	38
4-2. 調査方法および調査対象	40
4-3. 調査結果	41
(1) 墓石転倒率の分布	41
(2) 墓石の転倒方向	42
(3) 寺社の建物の被害と墓石転倒率の関係	42
(4) 宮城県北部の被害および宮城県沖の地震との地震動強度の比較	43
(5) 墓石転倒率と地盤条件の関係	44
4-4. 調査結果の考察	44
(1) 墓石転倒率～距離の関係	44
(2) 墓石転倒率～最大加速度の関係	45
(3) 墓石の転倒から推定した最大加速度の分布	46
(4) 仙台地区の東西断面における転倒率の分布	47
5. まとめ	79
謝辞	81
参考文献	82

1. 地震の概要

昭和53年6月12日午後5時14分頃宮城県金華山東方沖約60 kmに震源を持つマグニチュード7.4の地震が発生し、気象庁により「1978年宮城県沖地震」と命名された。各地の震度は図1-1に示す通りであり、仙台、福島、大船渡、新庄で震度5の強震、東京、千葉、前橋、秋田、盛岡、八戸等で震度4の中震であった。

本震後、余震と思われる地震が同海域に生じた。有感地震は表1-1に示す通りであり、時間別および日別の有感地震の発生回数は図1-2に示すように減少した。一連の余震の中で最も震度の大きかったのは、6月14日午後8時34分の地震で、福島で震度4、大船渡、宮古、盛岡等で震度3であった。

気象庁による本震および余震の発生位置は図1-3に示す通りである。この図には1968年2月20日の宮城県沖の地震($M=6.7$)による本余震位置も示されている。2月の地震の本震は東経142度12分、北緯38度45分、今回の地震は東経142度13分、北緯38度9分とされているので、今回の地震は2月の地震のほぼ60 km程真南に下がった地点で生じたことになる。

東北地方を中心とする過去の地震($M \geq 6.5$)発生状況は図1-4に示す通りであり、今回の地震の発生した金華山沖は非常に地震発生頻度の高い地域であることがわかる。

余震観測に関しては東北大学を中心として詳細な調査が実施されている〔1~5〕が、図1-5は増田ら〔1〕による6月13日から6月30日までの余震分布を示したものである。また、図1-6は瀬野ら〔3〕によって提案された今回の地震の断層モデルである。このモデルでは、断層面の大きさは長手方向に80 km、短辺方向に30 km、ディップ・アングルは20度とされている。また、図1-7は相田〔6〕により津波の数値計算に基づいて提案された長手方向に65 km、短辺方向に25 km、ディップ・アングル20度の断層モデルである。いずれの断層面も西端が牡鹿半島先端近くまで伸びているのが注目される。

図1-8は東北地方の断面を東西方向からみた図(大塚らによる)であり、上方の黒く塗られた部分が日本列島、その左側が日本海、右側が太平洋である。今回の地震は図に示されるように日本列島とその下にもぐり込む太平洋プレートとの境界面上に発生した典型的な地震と言われている。これに対して昭和53年2月20日の地震は日本列島にもぐり込む太平洋プレート内で生じたとされている。図1-9はこのような今回の地震の断層面の動きを模式的に表わした図である。

また、大塚ら〔4,5〕は東北大学により精密に定められた余震分布(図1-10)に基づいて図1-11に示すように大きく2つの断層面を考えている。これによれば、まず東側の断層面の南端に破壊が始まり、北へ約36 km伝播する。次に、東側断層面の破壊開始後約12秒後に西側の断層面の東側にもう1つの破壊が生じ西方へ向かって約45 km伝播する。このような断層モデルを仮定し

て世界各地で観測された表面波の波形を計算すると、実測結果と比較的よく一致するとしている。

また、今回の地震では本震の約5分前に、マグニチュード $M=5.8$ の前震が発生しているが、この影響を考慮して図1-11に示した断層モデルを更に詳細に検討した結果が図1-12（瀬野、須藤らによる）であり、図1-11の東側の断層面を2つに分割し、合計3つの断層が想定されている。表1-2は以上のような断層モデルの諸元をまとめたものである。

今回の地震により比較的震源近くで採取された開北橋や樽水ダムにおける加速度強震記録には、後述するように加速度振幅が大きくなる箇所が2箇所現われており、上述のように本震に際して2つの断層が破壊したとする地震学の分野からの情報とよく符号しているように思われる。

表 1 - 1 宮城県沖地震の有感余震 (気象庁による)

No	日	時 間	震度	気 象 台	震源 (漸定値)		深 さ [km]
					北 緯	東 経	
1	12	17時49分	I	大船渡			
2	12	18時08分	I	大船渡、福島			
3	12	18時13分	II I	大船渡、宮古、八戸、福島 石巻、盛岡、仙台、白河、小名浜 宇都宮、東京	38.5°	142.4°	40
4	12	18時19分	I	大船渡			
5	12	18時40分	III II I	大船渡 石巻、宮古、盛岡 仙台、福島、東京	38.4°	142.2°	40
6	12	18時52分	I	大船渡			
7	12	20時09分	I	大船渡			
8		20時14分	II I	大船渡 仙台、盛岡、宮古、福島、白河	38.3°	142.2°	50
9	12	22時05分	I	福島			
10	12	22時30分	I	大船渡			
11	12	23時43分	I	大船渡			
12	13	16時15分	I	大船渡、石巻	38.4°	141.6°	60
13	13	18時37分	I	大船渡			
14	13	23時11分	I	石巻			
15	14	00時00分	I	大船渡			
16	14	04時43分	I	大船渡			
17	14	05時45分	II I	福島 白河、石巻、大船渡	38.1°	141.9°	40
18	14	06時23分	I	大船渡、石巻	38.5°	141.8°	40
19	14	12時36分	I	大船渡	38.3°	142.1°	60
20	14	12時47分	I	大船渡	38.3°	142.2°	60
21	14	20時34分	IV III II I	福島 大船渡、宮古、盛岡、一ノ関、石巻 東京、酒田、仙台、宇都宮、新庄 山形、熊谷、小名浜、青森、千葉 八戸、水戸 秋田、館山、横浜、浦河、甲府 釧路、名古屋、小樽、帯広、森 前橋、相川、新潟、銚子、室蘭	38.3°	142.3°	40
22	15	05時46分	I	大船渡、石巻	38.5°	142.1°	40
23	15	09時45分	I	石巻	38.3°	142.1°	30
24	16	00時03分	III II I	福島 仙台、宮古、大船渡、水戸、白河 石巻 盛岡、小名浜	38.0°	141.8°	40
25	16	08時54分	I	石巻、大船渡	38.0°	142.0°	40
26	16	22時40分	I	大船渡、石巻、福島	38.0°	141.8°	40

表 1-2 1978 年 宮城県沖地震に対する断層モデルのパラメーター
(瀬野, 須藤, Somerville, 島崎, 江口, 1979)

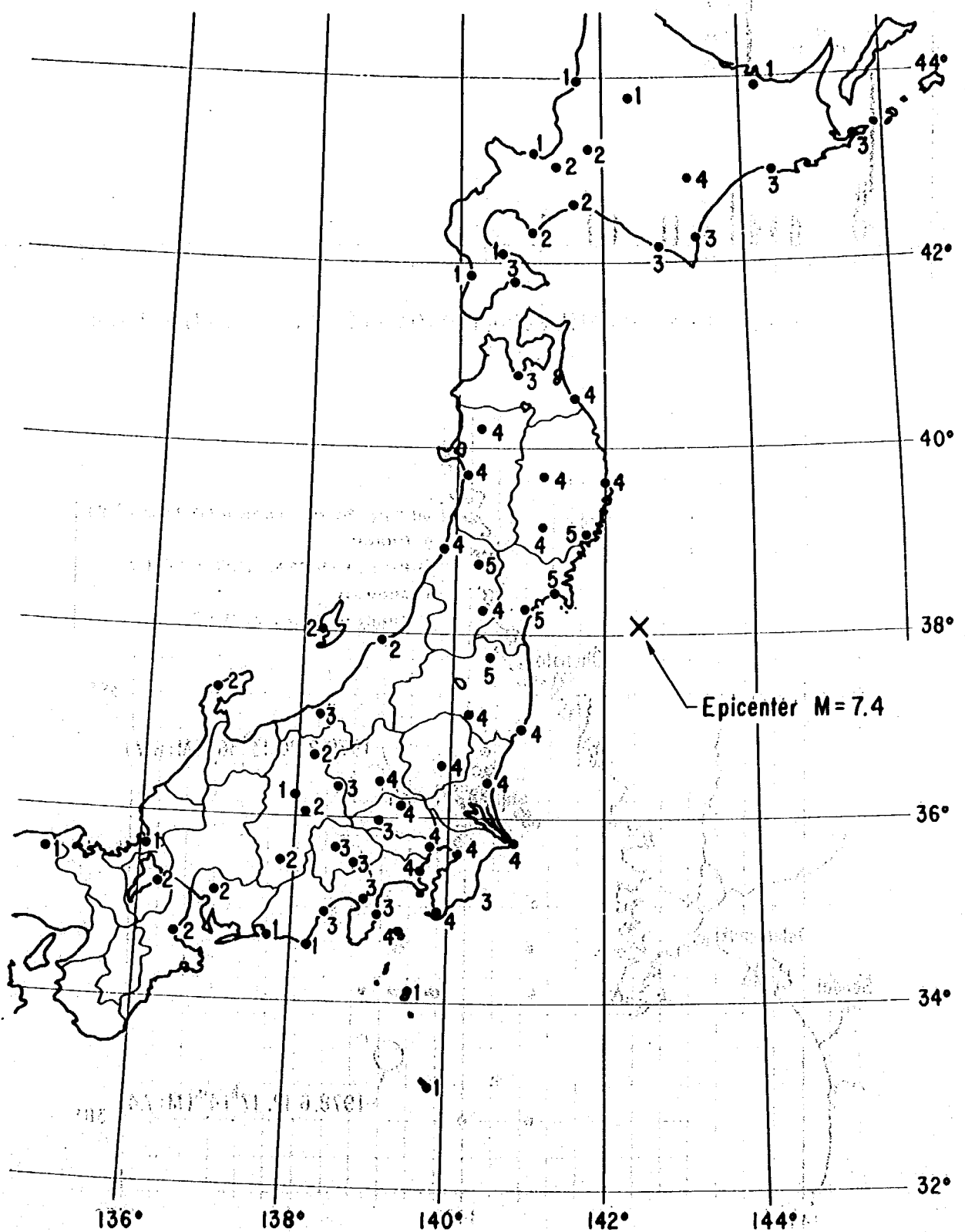
Fault strike	N 10° E		
Dip angle	20° W		
Slip angle	76°		
Slip vector	N 65° W		
Seismic moment	3.1×10^{27} dyne cm		
	1st segment	2nd segment	
Fault length	37 km	(A) 24 km	(B) 24 km
Fault width	34 km	46 km	34 km
Depth range	23-34 km	34-50 km	28-50 km
Moment ratio	1.0 *	0.65 - 1.0	
direction of rupture	N 20° W	N 80° W	
Dislocation	(C)	1.9 m *	
	(D)	1.8-2.1 m	1.6-2.0 m 2.1-2.7 m
Stress drop	(C)	70 bars *	
	(D)	90-105 bars	80-105 bars 125-160 bars
Rupture velocity	3.2 (± 3) km/sec		
Rise time	2 (± 1) sec		

(A) Only small or no portion is left unslipped between the two fault segments.

(B) A portion of 12 km width is left unslipped between the two faults segments.

(C) Dislocation is continuous across the two faults.

(D) Dislocation is discontinuous across the two faults.



Distribution of Seismic Intensities (Off Miyagi Prefecture Earthquake 1978.6.12)

図1-1 1978年6月宮城県沖地震による各地の震度（気象庁による）

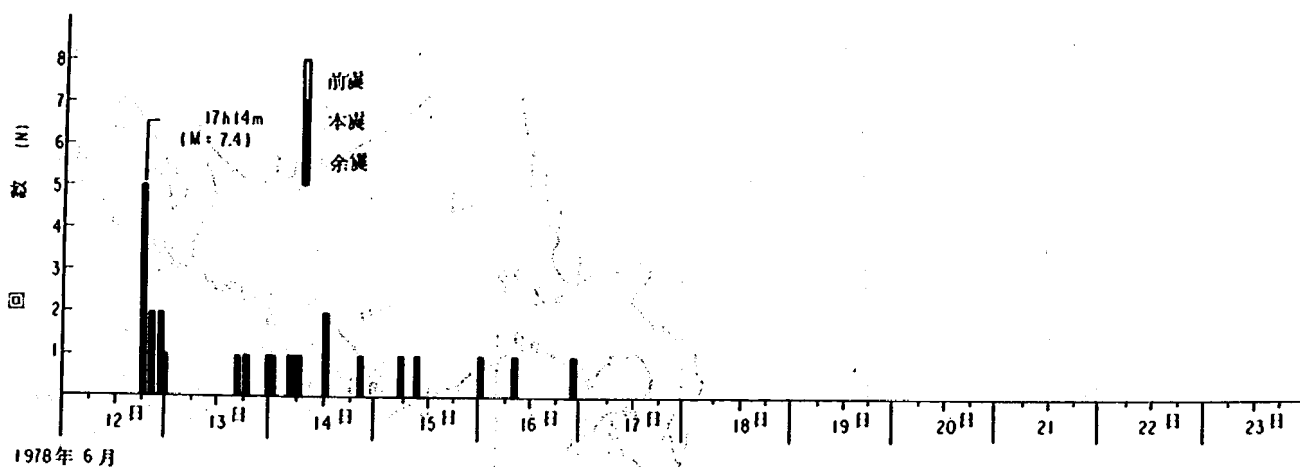
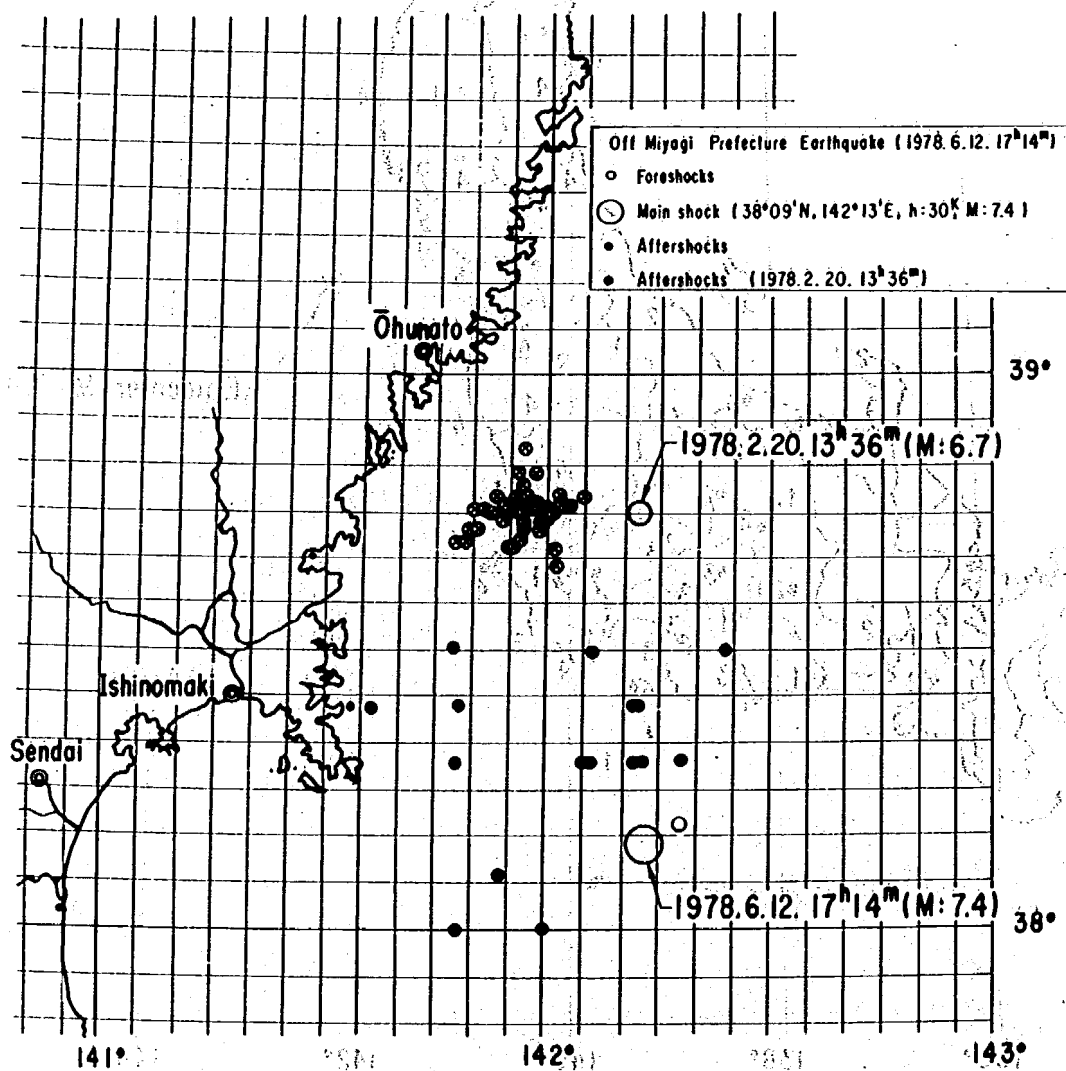


図1-2 1978年宮城県沖地震の時間別有感前余震回数(気象庁による)



2011 Distribution of Epicenters

(2011.3.11) 図1-3 余震の分布(気象庁による)

SENDAI CITY

LONGITUDE= 140 52 46

LATITUDE= 38 16 0

FROM 416 TO 1977

*****R= 300 (KM)

*** 6.5.CE.MAGNITUDE.LT.7.0 = ○ *****

*** 7.0.CE.MAGNITUDE.LT.7.5 = ○ *****

*** 7.5.CE.MAGNITUDE.LT.8.0 = ○ *****

*** 8.0.CE.MAGNITUDE.LT.9.0 = ○ *****

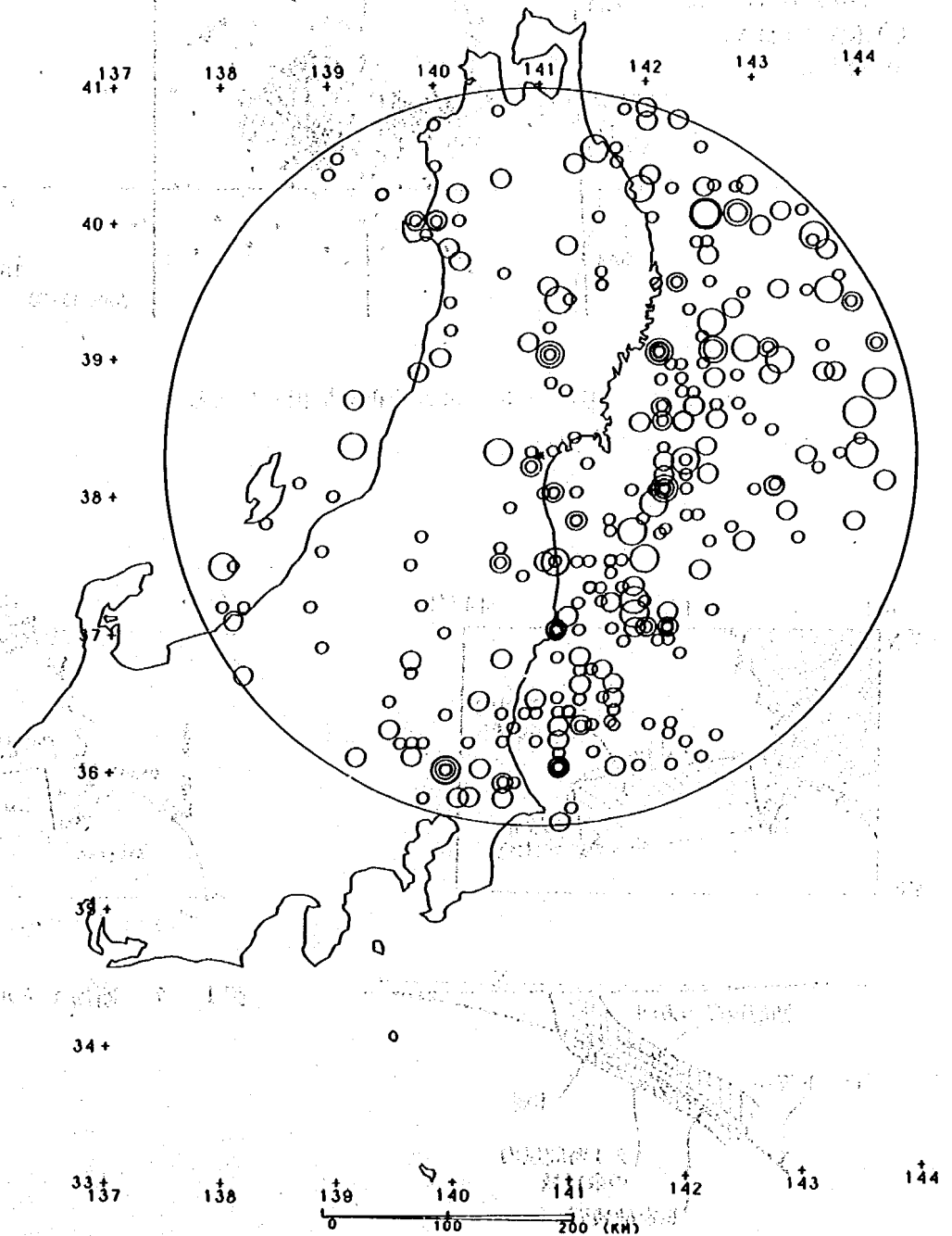


図1-4 仙台を中心とする過去の地震発生状況〔416～1977年〕
(気象庁のデータによる)

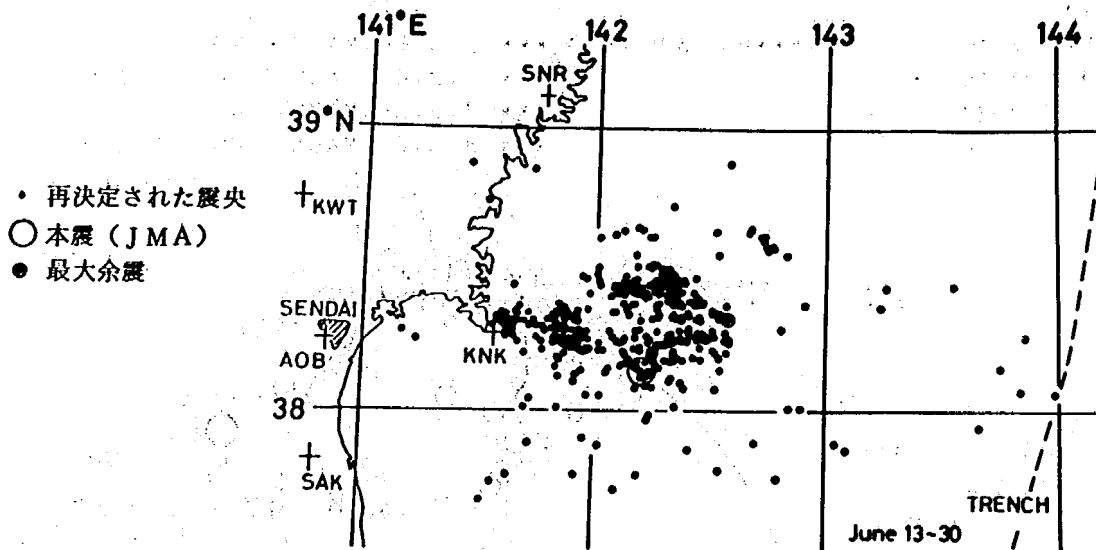


図1-5 余震分布(増田らによる)

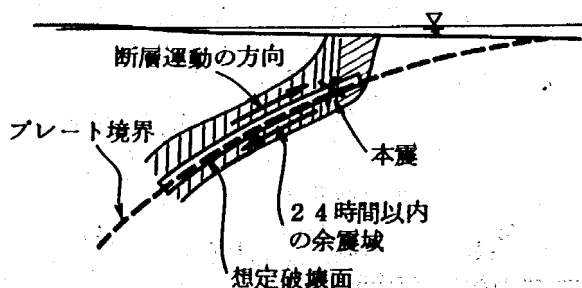
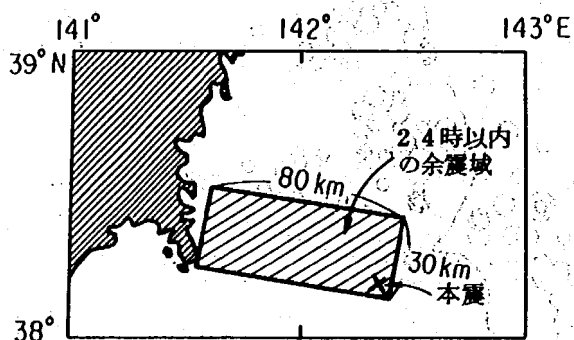


図1-6 1978年宮城県沖地震の断層モデルの一例(瀬野らによる)

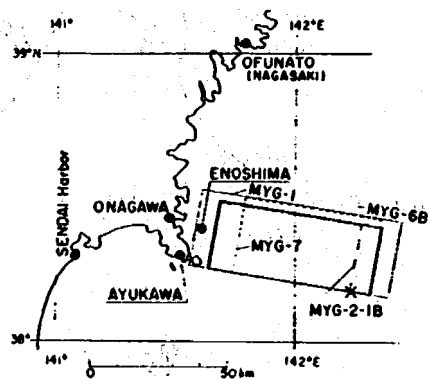


図1-7 断層モデル(相田による)

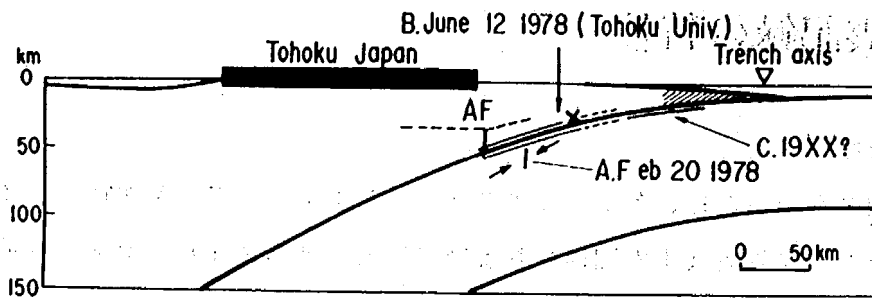


図 1-8 東北地方の東西断面 (瀬野, 須藤, 江口 1978)

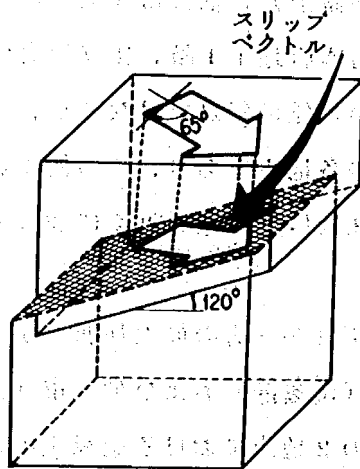


図 1-9 本震の断面の模式図
(大塚, 須藤, 石橋)

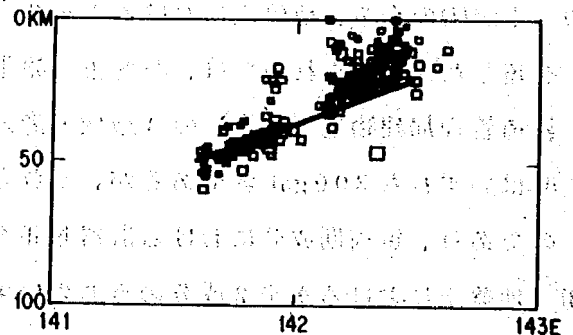
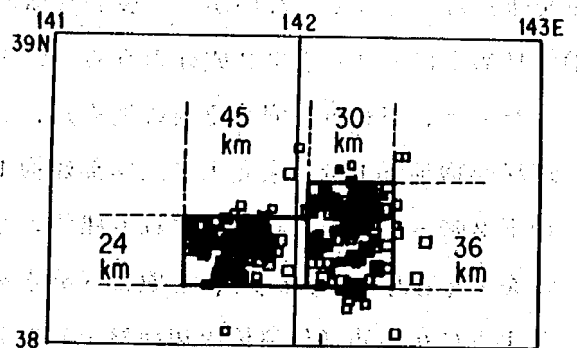


図 1-10 余震分布とその断面
モデルの区分 (大塚, 須藤, 石橋)

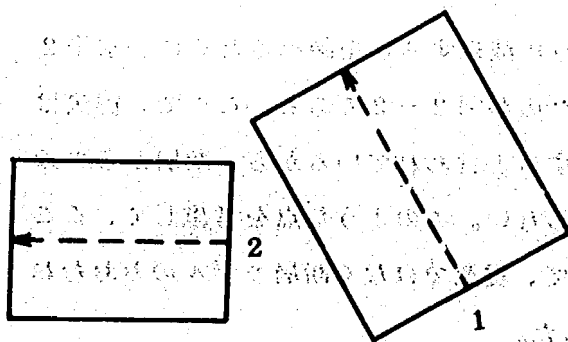


図 1-11
1978年宮城県沖地震の断面モデル (瀬野,
須藤, Somerville, 島崎, 江口, 1979)

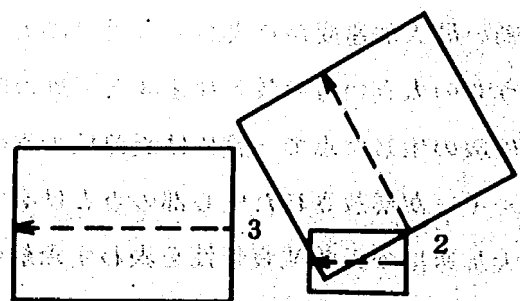


図 1-12 1978年宮城県沖地震の断面
モデル (前震を考慮した場合) (瀬野,
須藤, Somerville, 島崎, 江口 1979)

2. 加速度強震記録の特性

2.1 最大加速度の分布

今回の地震では宮城県を中心とし、各所に設置されていた工学用強震計が作動し、多くの強震記録を得ることができた。建設省（土木関連）および運輸省（港湾関連）が所掌する道路橋、ダム、港湾施設等の公共土木施設を中心として今回の地震により観測された最大加速度の分布は図2-1に示す通りである。強震計の設置箇所が限られているため、これより直接に地震動強度の分布を求めることはできないが、一般的な傾向としては次のような点を指摘することができる。

- (1) 地盤上における水平2成分のうちのいずれか一方の成分の最大加速度が200 gal以上あったのは、石巻市（開北橋周辺地盤）、塩釜市（塩釜港地盤上）、仙台市（国鉄仙台鉄道管理局建物地下1階、東北大学工学部建物1階、七十七銀行本店地下1階、住友生命仙台ビル地下2階——これらはいずれも建物の記録であり直接の地盤の記録ではないが、一応の目安を与えると考えられる）、名取市（樽水ダム監査廊内）の各地点であり、この他に、後述するように福島市（伊達橋周辺地盤上）においても最大加速度は300 gal近くに達していたのではないかと考えられる。
- (2) 上記(1)のうち、地盤上における水平2成分のうちのいずれか一方の最大加速度が300 galを超したと考えられるのは、石巻市（開北橋）、塩釜市（塩釜港）および仙台市（国鉄仙台鉄道管理局建物地下1階）の3地域と考えられる。最初の2地点における記録上の最大加速度はいずれも300 gal弱であるが、これらはともにSMAC-B2型強震計で観測されたものであり、短周期成分における計器補正を施すと300 gal以上になるものである。
- (3) 地盤上における水平2成分のうちのいずれか一方の最大加速度が100 gal以上あったのは、上記(1)、(2)以外に宮古市（真崎大橋周辺地盤、宮古港地盤上）、大船渡市（大船渡防地地盤）、いわき市（平大橋周辺地盤上）の各地域と考えられる。

2.2 最大加速度の距離減衰特性

地震動の最大加速度が震央からの距離によってどのように減衰するかを調べるために、水平2成分のうちの大きい方の最大加速度と距離の関係を示したのが図2-2である。ここで、震央は最初に破壊の生じた点で一般には震源域の端の方に位置すると言われているから、断層からの地震エネルギーが解放された中心部の点とは必ずしも一致しない。このような点を考慮して、ここでは最大加速度の距離減衰特性を表わす距離の起点として、震源ではなく断層モデルのおおむね中心位置（東経142度、北緯38度20分とした）をとった。

図2-2の結果によれば、全体的な傾向としては、距離の増加とともに最大加速度は急激に低減するが、同一の距離であっても加速度値には2～3倍程度の大きな差異が現われていることが

わかる。この差は、発震機構、断層から観測点までの伝播経路の特性、観測地点近傍地盤の局所的な特性等によるものと考えられる。

現在までに我が国で得られた多数の加速度強震記録を統計解析した結果によれば、道路橋耐震設計指針（日本道路協会、1971）で規定する第1種（岩盤）および第4種（沖積地盤）上での最大加速度 $A_{\max}$ 〔Gal〕は、マグニチュード M および震央距離 d 〔km〕の関数として次式で与えられる。²⁵⁾²⁶⁾

$$A_{\max} = \begin{cases} 46.0 \times 10^{0.208M} \times (d+10)^{-0.086} \\ 12.8 \times 10^{0.432M} \times (d+10)^{-1.122} \end{cases} \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、上式は震央距離に基づいて誘導された関係式であるが、観測点と個々の震央との距離を多数回の地震について平均して求めているため、(2-1)式上での震央は震源域のおおむね中央に位置していると考えてもよいであろう。このようにして、(2-1)式を用いて計算した今回の地震（ $M=7.4$ ）に対する最大加速度 $A_{\max}$ の距離減衰特性と実測値との比較を図2-3に示す。これによれば、今回の地震による強震記録は(2-1)式で推定される現在までの平均的な最大加速度分布に比較して、断層中心からの距離が約200km以内の範囲においてかなり高めの結果となっていることがわかる。

次に、図2-2に示した最大加速度の距離減衰特性に対する観測点近傍のマクロな地層構成や断層から観測点までの伝播経路の特性の影響を検討するため、図2-2に示した結果を次のように整理してみた。

図2-2の結果では、同一の距離であっても最大加速値には2～3倍程度、大きな差異が現われているが、最大加速度～断層中心からの距離の関係の全体としての傾向をみると、図2-4に示すように、大きくA、B、Cの3つのグループに分類できるように思われる。すなわち、Aグループは最大加速度～断層中心からの距離の関係においてそのおおむね上限となるグループであり、反対にCグループは、その下限となるグループ、また、Bグループは、AグループとCグループの中間に位置するグループである。いま、最大加速度の距離減衰特性をこのように分類できるとの想定のもとに、図2-2に示した観測記録を、i) 太平洋沿岸で観測された記録、ii) 日本海沿岸で観測された記録、iii) 内陸の主として山地部で観測された記録、の3種類に分類すると（図2-4中では、それぞれ、○、●、◐印で示されている）、図2-4に示すように、i)、ii)、iii)の地域的な分類は上記A、B、Cの3グループときわめてよい対応関係にあることがわかる。すなわち、Aグループはi)の太平洋沿岸地域で観測された強震記録と、Bグループはii)の日本海沿岸地域で観測された強震記録、Cグループはiii)の内陸山地部での強震記録とそれぞれ多少の例外を除き全体に非常によく対応していることがわかる。したがって、以上のような結果から地震動が太平洋沿岸を伝播する間と、内陸の山地を通過し、日本海沿岸に達するまで

の間とでは、最大加速度の減衰性にきわめて大きな違いがあることがわかる。このような点から、今後最大加速度の距離減衰特性を検討する際には、マクロな地盤構成の特徴を考慮に入れることが必要とされよう。

なお、今回の地震により被害の著しかった宮城県東部の主として沖積地盤上での地震動の分布を求めるためには、上記の3グループのうちAグループの関係を適用するのが適当と考えられる。Aグループに属する記録をもとに最大加速度 $A_{\max}$ [Gal] と断層中心からの距離 Δ [km] の関係を最小2乗法で求めると式(2-2)および式(2-3)のようになる。ここで、式(2-2)はAグループ全体の記録から求めた関係式であり、式(2-3)はAグループのうち断層中心からの距離が170km以内の記録から求めた関係式である。

$$A_{\max} = 4.00 \times 10^{-0.00340\Delta} \quad (60 \text{ km} < \Delta < 400 \text{ km}) \dots\dots (2-2)$$

$$A_{\max} = 5.62 \times 10^{-0.00453\Delta} \quad (60 \text{ km} < \Delta < 170 \text{ km}) \dots\dots (2-3)$$

2.3 3方向成分間の最大加速度値の関係

次に、同一地点における3方向成分(水平2成分および鉛直成分)間の地震動最大加速度の関係を調べるために、次式により最大加速度比 β_1 、 β_2 を定義した。

$$\beta_1 \equiv A_{H2} / A_{H1} \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\beta_2 \equiv A_V / A_{H1} \dots\dots\dots (2-5)$$

ここで、 A_{H1} 、 A_{H2} は水平2成分の最大加速のうち、それぞれ、大きい成分および小さい成分、 A_V は鉛直成分の最大加速度である。

このようにして、最大加速度比 β_1 および β_2 を断層中心からの距離によって整理すると図2-5のようになる。まず、水平成分間の比 β_1 に着目すると、データのばらつきが大きい、断層中心距離が200kmより小さい領域では β_1 は距離が減少するに従って全体として低下する。すなわち、水平2成分のうちの1成分が他成分より識別できるほどに大きくなる傾向が認められる。これは断層に近くなる程、一般に地震動に強く方向性が現われるとされていることに関係があると思われる。図2-2から明らかなように、断層中心距離が小さければ最大加速度 A_{H1} は一般に大きく、このような領域において A_{H2} が A_{H1} よりもかなり小さくなる可能性のあることが注目される。

次に、鉛直成分と水平成分間の比 β_2 に着目すると、 β_2 は β_1 ほど断層中心距離によって値が変化していないのがわかる。このような性質は他の多くの地震記録を用いた解析の結果からも指摘されているところである。

図2-5の結果では、 β_2 の最大値は約0.6であり、平均値は0.35程度である。

2.4 53年2月20日の地震記録との比較

今回の地震の約6カ月前(昭和53年2月20日)に岩手県大船渡の沖合約50kmにマグニチュード6.7の地震(宮城県沖の地震)が発生している。震央は東経142度12分、北緯38度45分、震源の深さは約50kmとされており、今回の地震の震央の約60kmほど真北の位置に相当している。各地の震度は、図2-6に示す通りであり、大船渡で震度5、仙台、盛岡、福島等で震度4であった。

この地震により、6月の宮城県沖で加速度強震記録が採取されたとはほぼ同程度の範囲で記録が得られており、建設省土木研究所および運輸省港湾技術研究所が所掌する公共土木施設の強震計により採取された加速度の最大値の分布は図2-7に示す通りである。

これらの記録をもとに、最大加速度の距離減衰特性を示すと図2-8のようになる。ここで、距離の起点は震央にとっているが、これは断層面の大きさがそれ程大きいものではないため、断層面の中央にとっても震央にとっても大きな違いはないと考えたためである。

次に、図2-8の結果を図2-2に示した今回の地震による最大加速度と比較するために、同一観測地点の同一方向どうしの記録を示したのが図2-9である。この結果によれば、最大加速度値が50gal程度より小さい観測点においては2月の地震と6月の地震による最大加速度の比がややばらつく傾向にあるが、その他の観測点においては2月の地震に対する6月の地震の最大加速度の比は約2となっている。このうち、開北橋地盤上および平大橋地盤上の記録につき、2月の地震記録に対する6月の地震記録の加速度応答スペクトル S_A の比を示したのが図2-10である。これによれば、固有周期が0.1~1秒程度の範囲では、この比は2~3程度であるのに対して、固有周期が1.5秒から2秒の範囲では2~10程度となっており、この範囲の周期成分に対しては6月の地震記録の加速度応答スペクトルレベルが顕著に大きくなっているのがわかる。

次に、2月の地震による水平2方向の最大加速度のうち大きい方の成分を図2-4に示した方法で太平洋沿岸、日本海沿岸、内陸部の3つに分類して示したのが図2-11である。この場合には、地震の規模が小さいため、内陸部および日本海沿岸部における記録が少ないため、この結果からだけでは図2-4に示したようにはっきりした地域による加速度の距離減衰特性を指摘することはできないが、傾向としては、図2-4の結果を支持しているものと考えられる。

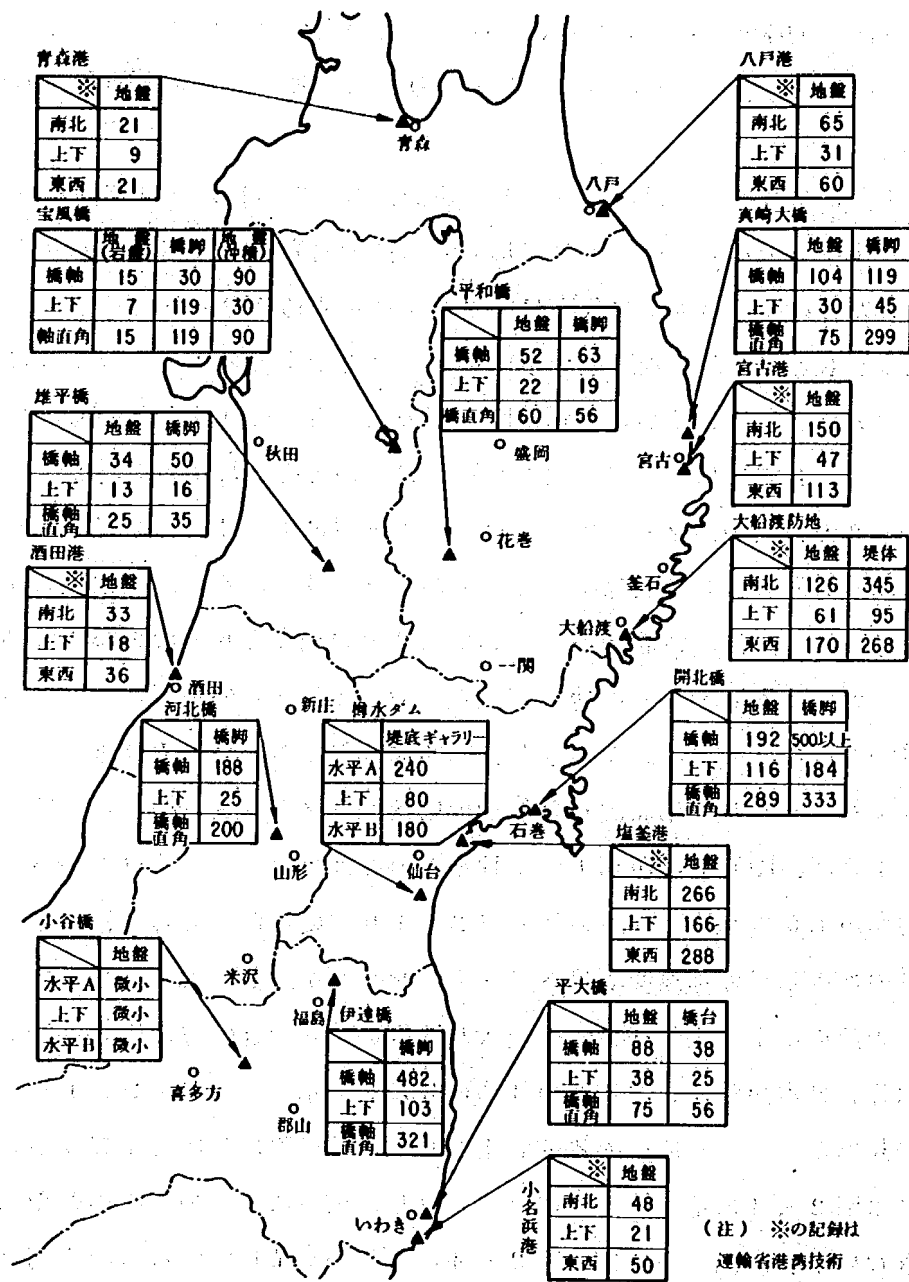
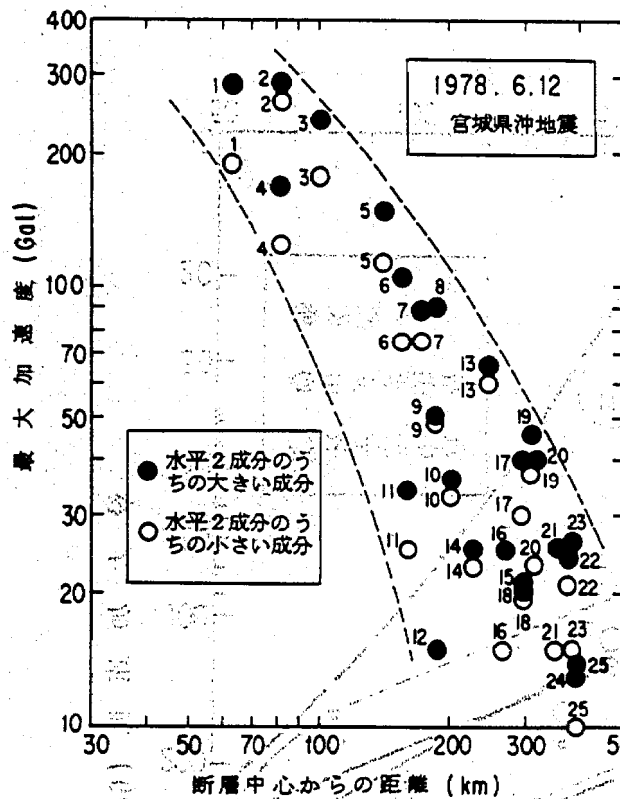


図 2 - 1 最大加速度の分布 (1978年6月12日宮城県沖地震、単位はガル)



- 1 石巻市開北橋
- 2 塩釜港
- 3 樽水ダム
- 4 大船渡防地
- 5 宮古港
- 6 岩手県真崎大橋
- 7 いわき市平大橋
- 8 秋田県宝風櫓(A)
- 9 小名浜港
- 10 酒田港
- 11 秋田県雄平橋
- 12 秋田県宝風櫓(B)
- 13 八戸港
- 14 秋田港
- 15 青森港
- 16 新潟港
- 17 鹿島港
- 18 土研旧鹿島試験所
- 19 利根川河口堰
- 20 新利根川橋
- 21 土研旧千葉支所
- 22 川崎市浮島公園
- 23 横浜市山下埠頭
- 24 富津岬
- 25 観音崎
- 26 福島県小谷橋
- 27 千葉県小見川橋
- 28 千葉県新葛飾橋(A)
- 29 千葉県新葛飾橋(B)

図 2-2 水平成分最大加速度～断層中心からの距離

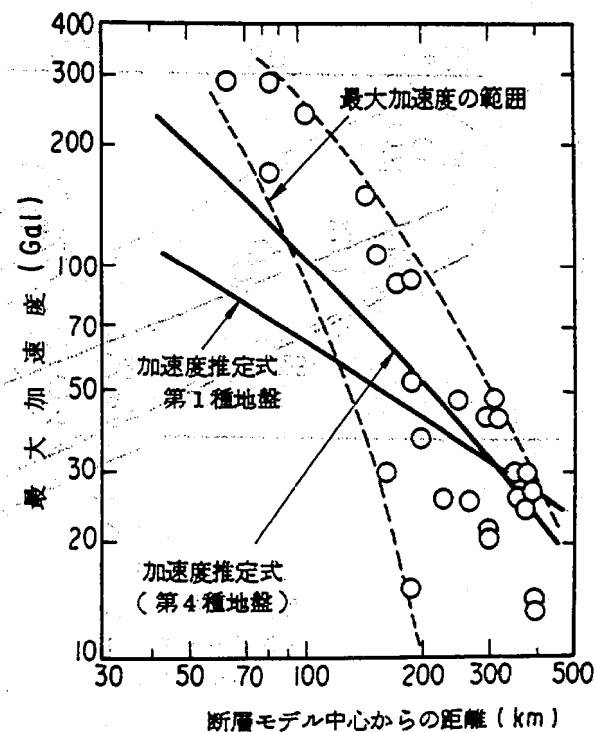


図 2-3 最大水平加速度の距離減衰特性

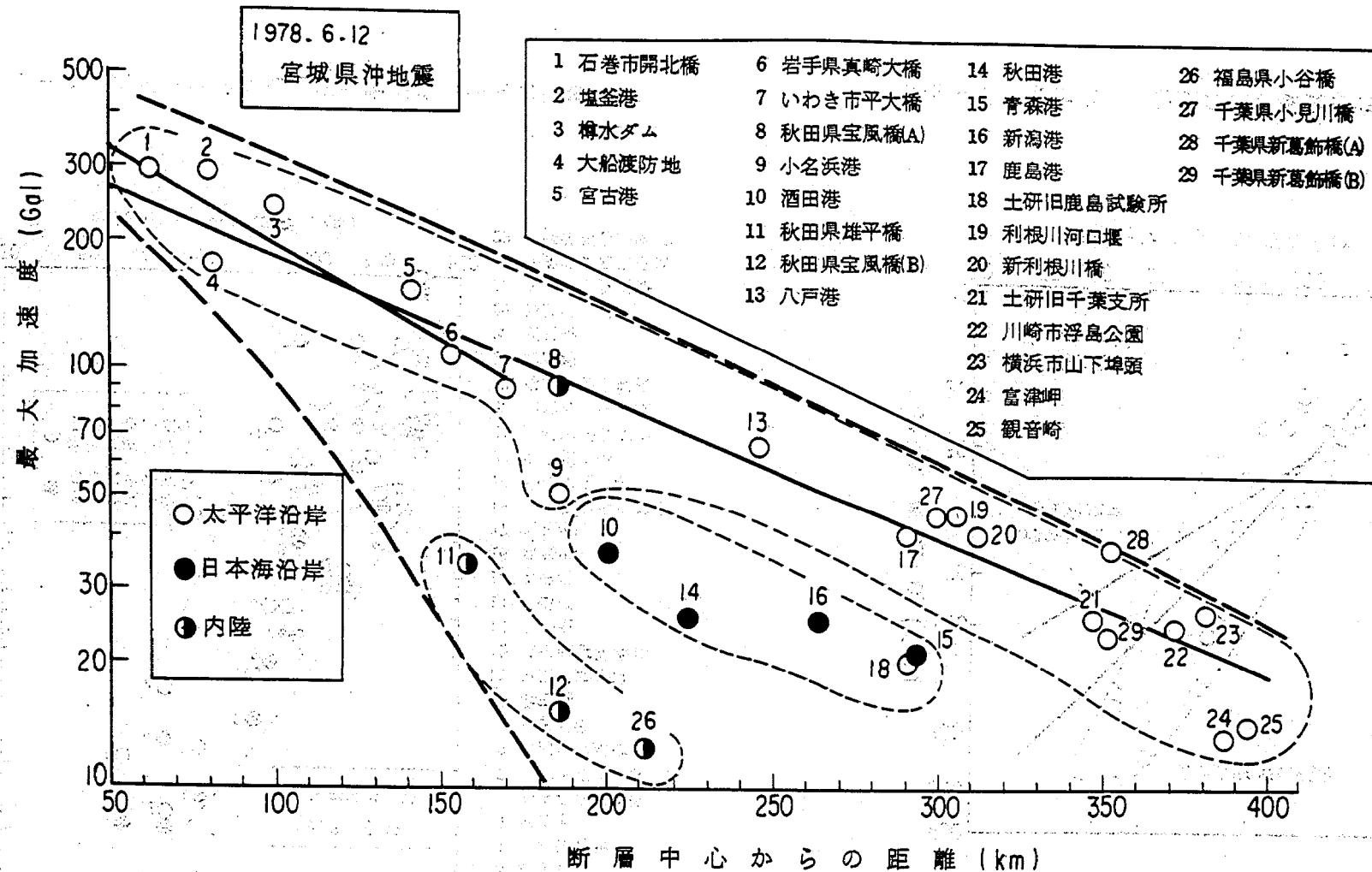


図 2-4 地域別に分類した最大加速度 $A_{\max}$ ~ 断層中心からの距離 L の関係
(1978年6月宮城県沖地震)

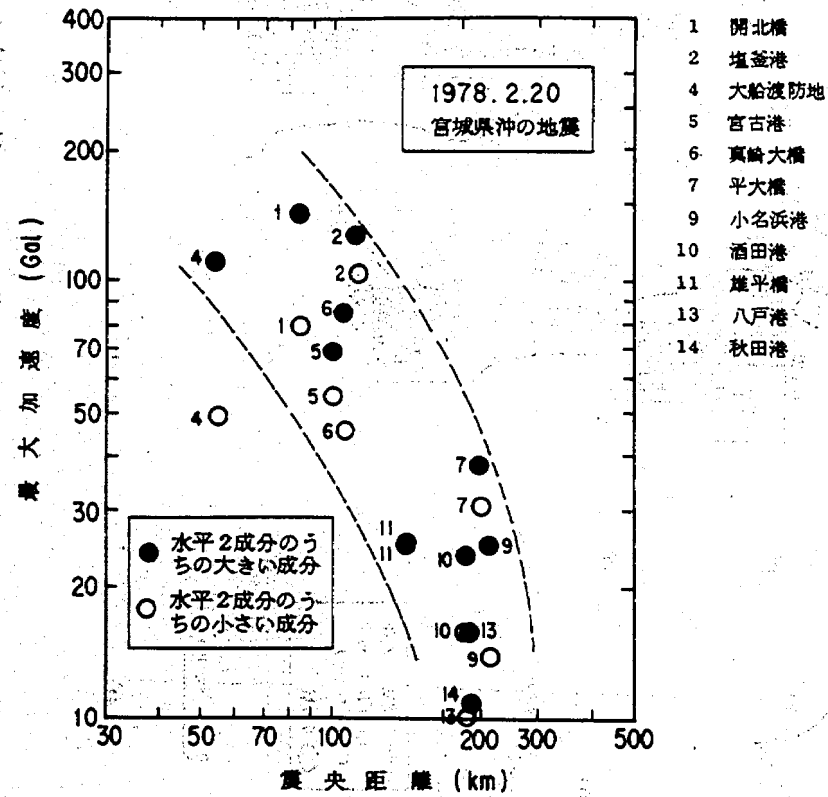


図2-8 最大加速度の距離減衰特性
(1978年2月宮城県沖の地震)

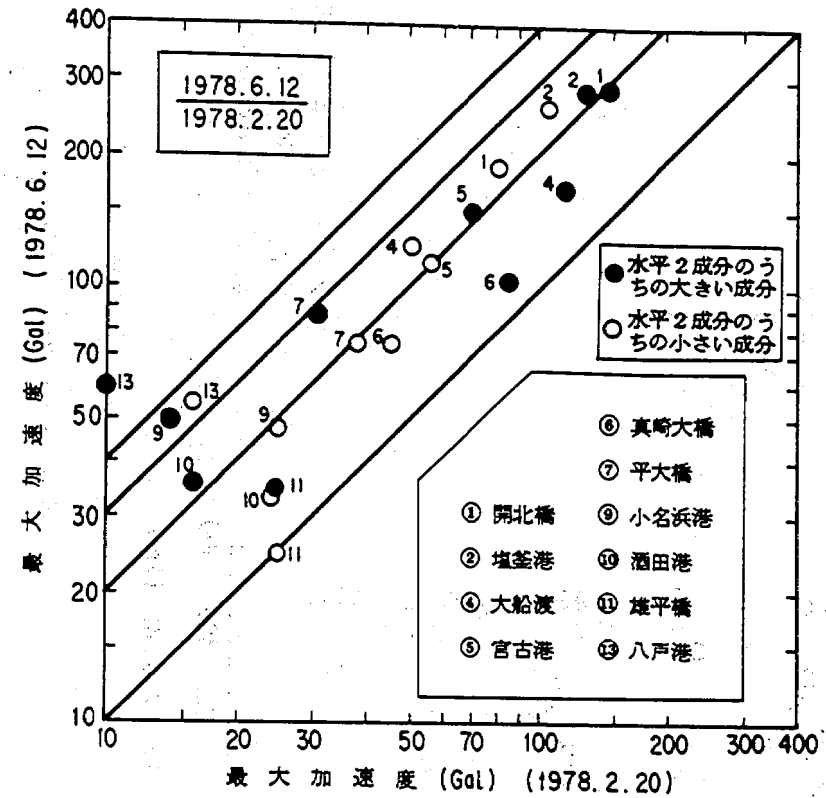


図2-9 昭和53年6月12日の宮城県沖地震と
昭和53年2月20日の宮城県沖の地震
による最大加速度の比較

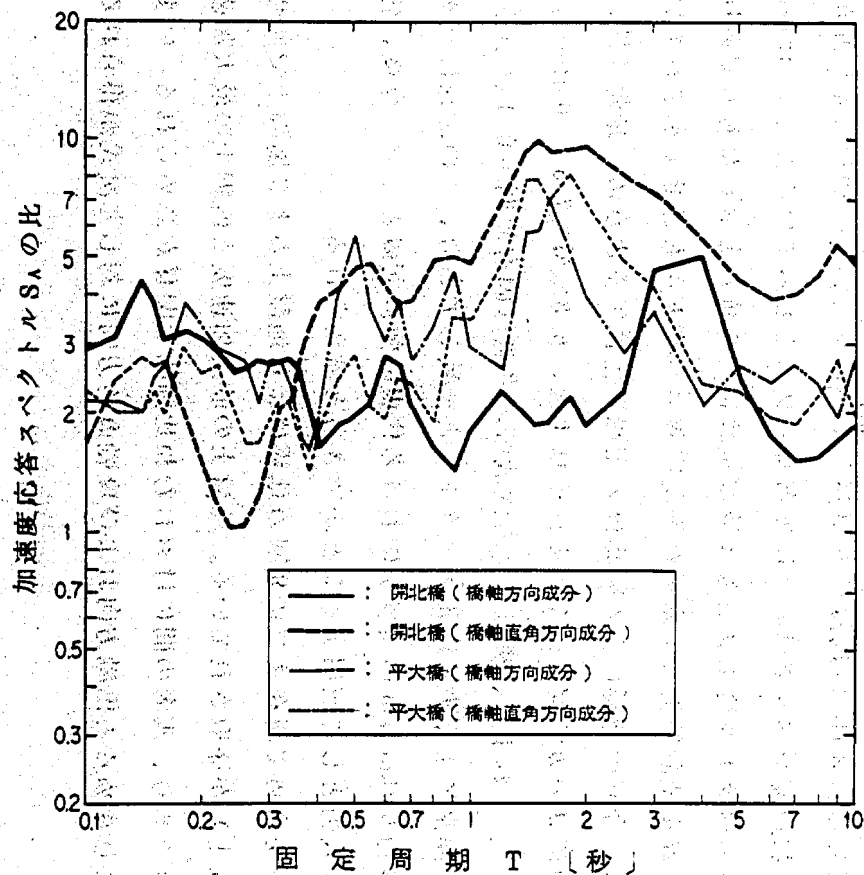


図 2-10 2月の地震記録に対する6月の地震記録の加速度
応答スペクトル S_A の比 ($S_A(6月)/S_A(2月)$)、
開北橋周辺地盤記録、平大橋周辺地盤記録

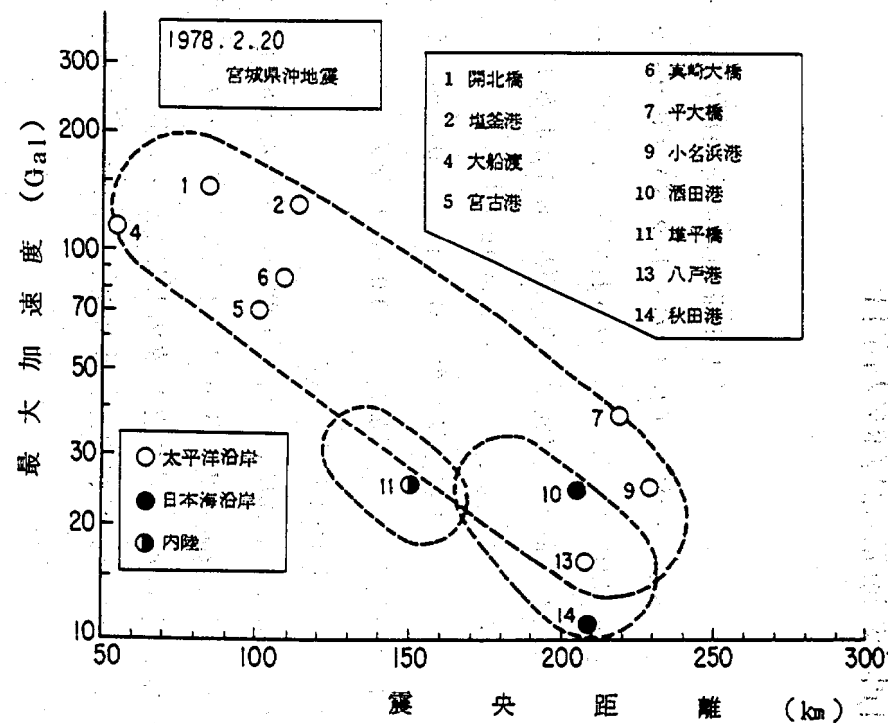


図 2-11 地域別に分類した最大加速度～震央距離の関係
(1978年2月宮城県沖の地震)

3. 代表的な加速度強震記録の特性

3.1 開北橋の強震記録

開北橋は宮城県石巻市の一般県道河北～北上線と旧北上川の交差部に架かる橋長285 mの5径間連続鋼箱桁橋（図3-1）である。強震計（SMAC-B2型）はP2橋脚の天端およびP2から約30 m離れた左岸上流側の河川敷に1台ずつ設置されており、このうち地盤上の観測点で図3-2に示す強震記録が得られた。最大加速度は橋軸方向（E42度S）には193 gal、橋軸直角方向（N42度E）には287 galであり、このうち、50 gal以上の地震動の継続時間は両成分とも約13秒である。なお、橋脚天端でも記録が得られており、最大加速度は、橋軸方向には、500 gal以上（SMAC-B2型強震計の限界加速度500 galを超えたため、完全な波形は記録できなかった）、橋軸直角方向には329 galであった。

地震後に実施した地盤調査結果によれば、地盤上の強震計はせん断波速度 $V_s \approx 650 \text{ m/sec}$ の中生代三畳系の砂岩～シルト岩（表面の2～3 mは若干風化しているため、 V_s はこれよりやや低いと考えられる）に直接設置されていることが確められている。図3-2の強震記録には全体として約3 Hzの振動数が卓越しており、また、8.5秒と11.5秒付近の2回にわたり大きな加速度値を示しているのが特徴的である。

図3-3は地盤上の加速度記録を4秒ごとに区分し、それぞれの時間間隔内で振動数成分がどのように変化しているかをパワースペクトルで示したものである。これより、橋軸方向、橋軸直角方向とも初動の4秒間では約3 Hzの地震動が卓越していること、この初動の4秒間がその後続く地震動に比較して加速度レベルでは非常に優勢なパワーをもっていることがわかる。

図3-4は加速度応答スペクトル倍率 β 曲線（減衰定数 $h=5\%$ ）を示したものであり、比較のため現在までの強震記録を統計解析して求めた平均応答スペクトルも併せて示されている。この平均応答スペクトルは、今回の地震による開北橋の記録を包含するように、地盤条件、マグニチュード M および震央距離 L のカテゴリーを、それぞれ1種、 $6.8 \leq M < 7.5$ 、 $60 \text{ km} \leq L < 200 \text{ km}$ とした場合の値である。これより、橋軸直角方向成分の β 値は固有周期が0.1秒から4秒に至るほぼ全領域に対して非常によく平均応答スペクトルと一致しており、この記録はマグニチュード7.4、断層中心距離約60 km程度の基盤上における代表的強震記録として、今後、各種の動的解析に標準的な地震動入力として使用することができると考えられる。

開北橋では今回の地震を含めて現在までに9回の地震により地盤上および橋脚上で同時地震記録（最大加速度25 gal以上）が採取されている。地盤上の最大加速度と橋脚上の最大加速度の関係は図3-5に示す通りであり、両者の間にはおおむね比例的な関係が認められる。いま、両者の関係を最小二乗法により求めると橋軸方向および橋軸直角方向に対して次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} a_p &= 2.41 \times a_0^{1.10} && \text{(橋軸方向)} \\ a_p &= 2.03 \times a_0^{0.91} && \text{(橋軸直角方向)} \end{aligned} \right\} (3-1)$$

今回の地震では橋脚上の橋軸方向成分が振り切れて加速度記録を採取することができなかったが、今回の地震に対しても(3-1)式を適用できるとの仮定のもとに、地盤上の最大加速度191galに対応する橋脚上の橋軸方向の最大加速度を推定すると約780gal程度となる。

3-2 樽水ダムの強震記録

樽水ダムは名取川水系増田川に設けられた堤高43m、堤長256.5mの中心コア型フィルタイプダムであり、強震計(SMAC-E2型)は監査廊(ギャラリー)内に1台、堤頂上に1台設置されていた(図3-6)。今回の地震では堤頂上の強震計が不調であったため、ギャラリー内の強震計だけが作動し、図3-7に示す記録が得られた。最大加速度は、ダム軸方向(W35度N)には237gal、ダム軸直交方向(N35度E)には177galである。

ダム軸方向の記録では10.5~11秒にかけての大きなパルス状の加速度波形が特徴的であり、仮にこの記録を4秒間ごとに区分し、それぞれの時間間隔内でパワースペクトルを計算すると図3-8のようになり、最初の4秒間(8~12秒)がその後に比較して加速度レベルで非常に優勢なパワー(卓越振動数は約2Hz)を持っており、その後の12秒間では約1Hzと2~3Hzの2つの振動数が卓越する傾向が認められる。これに対して、ダム軸直交方向の記録では8秒から12秒に至る12秒間(3@4秒間)では特定の時間間隔に対する著しい加速度パワーの集中は認められない。また、卓越振動数成分は約2Hz→1Hz→3Hzと変動している。

図3-9は加速度応答スペクトル倍率 β 曲線(減衰定数 $h=5\%$)を示したものであり、樽水ダム記録に対応するカテゴリーの平均応答スペクトル(1種地盤、 $6.8 \leq M < 7.4$ 、 $60 \text{ km} \leq 0 < 120 \text{ km}$)も比較のために示されている。この β スペクトルを前述の開北橋近傍地盤の β スペクトルと比較すると、類似点も多く見られるが、 β 値は樽水ダム記録の方がおおむね0.4秒より短周期成分では低く、0.4秒から1.5秒の範囲では逆に高くなっている。

樽水ダムの記録は、仙台市内の住友ビル(18階建)の地下2階で採取された強震記録と比較的波形特性が似ており、仙台市周辺地域における岩盤上の標準的な加速度記録として、今後の解析に利用できるものと思われる。

3-3 伊達橋の強震記録

伊達橋は昭和40年に竣工した福島県伊達郡伊達町の一般県道伊達~霊山線と阿武隈川の交差部に架かる橋長288m、幅員7mの4径間連続鋼ワーレントラス橋である。一般図は図3-10に示す通りであり、中央のP2橋脚が固定支承、その他が可動支承となっている。伊達橋は地震

により支承部および下弦材を中心としてかなりの被害を受けた。被害を蒙った橋で強震記録が採取されたのは今回が最初であり、今後の詳細な解析が必要とされる。

強震計（S M A C - B 2 型）は P 2 橋脚天端に 1 台、橋から約 400 m 離れた中学校校庭に 1 台設置されていたが、地盤上の強震計は前震と思われる記録をキャッチしているうちに記録紙を消耗してしまい、残念ながら本震の記録を採取することができなかった。図 3 - 11 は P 1 橋脚および P 2 橋脚の一般図を示したものである。

図 3 - 12 は橋脚上の加速度記録であり、最大値は橋軸方向に 478 gal、橋軸直交方向には、320 gal に達している。このうち、橋軸方向の最大加速度は 478 gal という値は主要動の開始後約 8.5 秒あたりの単一のスパイク状のパルスによるものである。図 3 - 13 はこの記録の加速度応答スペクトル曲線 β を示したものであり、0.5 ~ 1.0 秒あたりで増幅率の大きいことがわかる。

伊達橋橋脚上の記録で特徴的なことは、橋軸方向成分については 14 秒あたり、また、橋軸直角方向成分については 9 秒あたりをそれぞれ境として、その前と後では卓越振動数成分が全く違う点である（図 3 - 14 参照）。いずれの成分も前半に比較して後半の方が一見して振動数が高くなっており、これは、上記の時間を境として高い振動数成分が混入しているためと考えられる。この程度の橋の卓越振動数成分としては、後半よりもむしろ前半の方が自然のように思われること、および伊達橋では全支承が何らかの被害を受け、とくに、強震計の設置してあった P 2 橋脚（固定支承）では沓のピンが破断し、上沓が下沓から完全に移動している状態にあったこと等から考えると、上述の時間あたりで支承が破壊され、それ以後は固定支承部において上沓と下沓が不連続な接触状態となったため、上述のように高い振動数成分が入り混てきたのではないかと推察される。

伊達橋においては、現在までに 13 回の地震により地盤上および橋脚上の両方において強震記録（最大加速度おおむね 3 gal 以上）が採取されている。これらをもとに地盤上の最大加速度と橋脚上の最大加速度の関係を求めると図 3 - 15 のようになり、両者は比較的一定の傾向をもっている。これより、橋脚上の最大加速度 A_P [gal] と地盤上の最大加速度 A_G [gal] の関係を最小 2 乗法により求めると橋軸方向、橋軸直角方向および上下方向に対してそれぞれ次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} A_P &= 1.01 \times A_G^{0.952} && \text{(橋軸方向)} \\ A_P &= 3.71 \times A_G^{0.755} && \text{(橋軸直角方向)} \\ A_P &= 1.45 \times A_G^{0.836} && \text{(上下方向)} \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

今回の地震では、橋脚上の記録だけが採取され、地盤上の記録がとれていないが、いま図 3 - 14 の関係を外挿することにより橋脚上の記録から地盤上の最大加速度記録を推定すると次のようになる。まず、図 3 - 12 に示した橋脚上の記録では、最大加速度は橋軸方向には 319 gal、橋軸直角方向には 475 gal である。このうち橋軸方向の最大加速度は上述したように、単一のパルス状の波形によって生じたものであり、支承の破壊に関係があると思われる。この単一パルス状加速度を除くと、これにより前では加速度はおおむね 200 gal 程度であり、いま、これを最

大加速度と考えることにすると、橋軸直角方向には地盤上最大加速度は300gal程度となる。一方、橋軸方向には橋脚上の最大加速度319galに対して地盤上の最大加速度は300gal程度となり、橋軸方向の場合と同程度の加速度となる。このような点から、本橋周辺の地盤上では300gal程度の最大加速度を生じたのではないかと推察される。

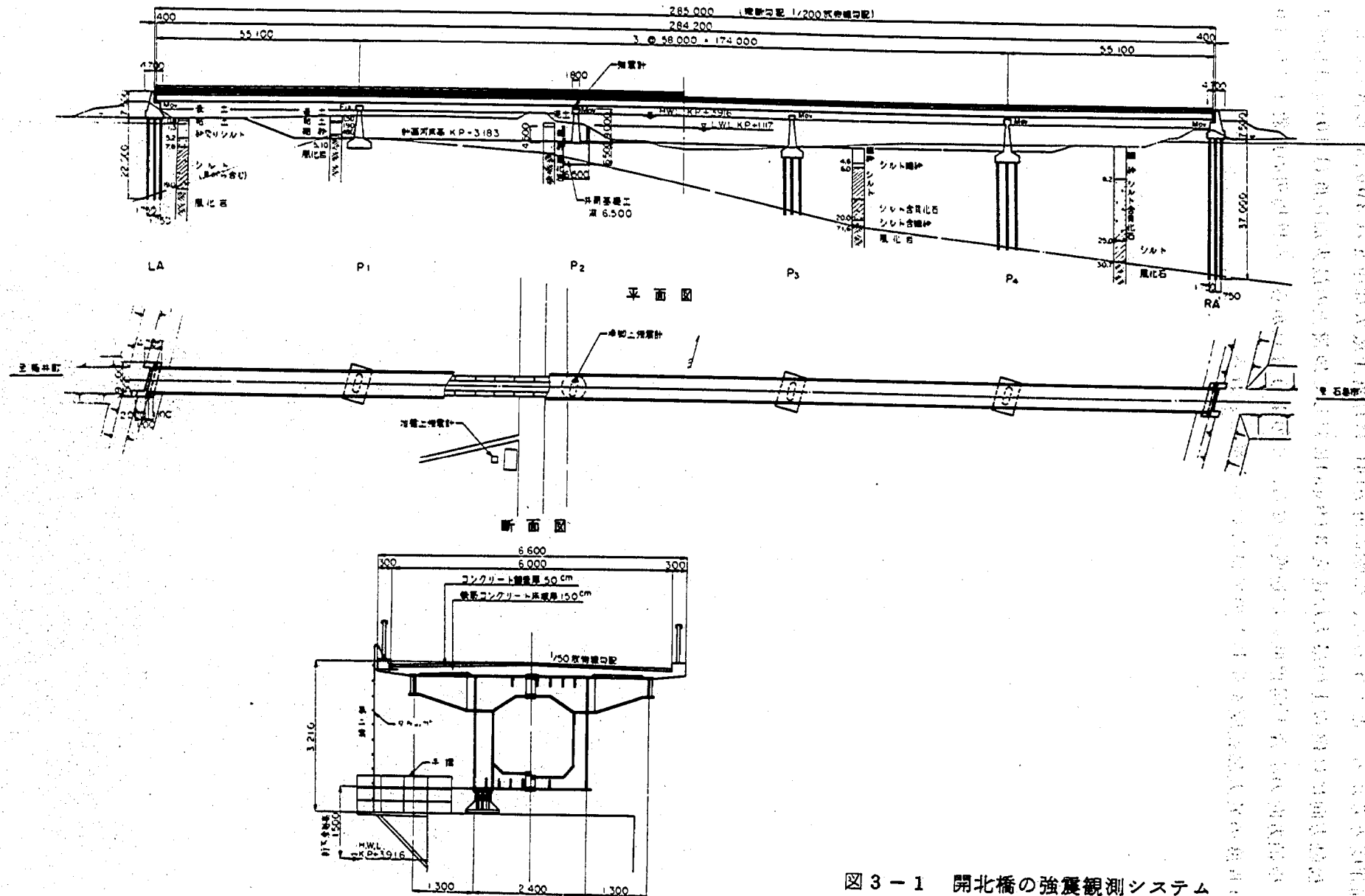


図 3-1 開北橋の強震観測システム

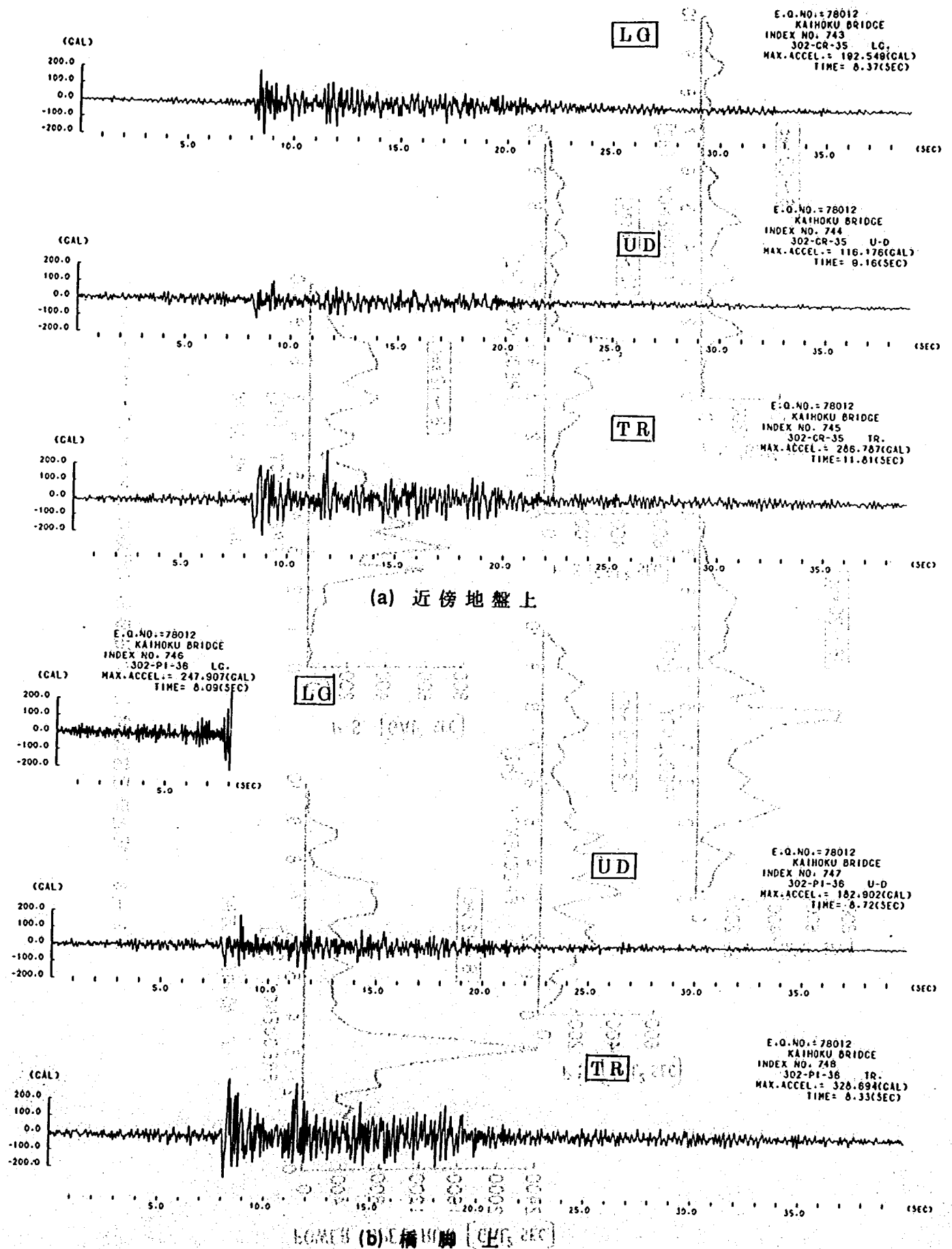


図 3 - 2 開北橋の加速度強震記録 (1978.6.12)

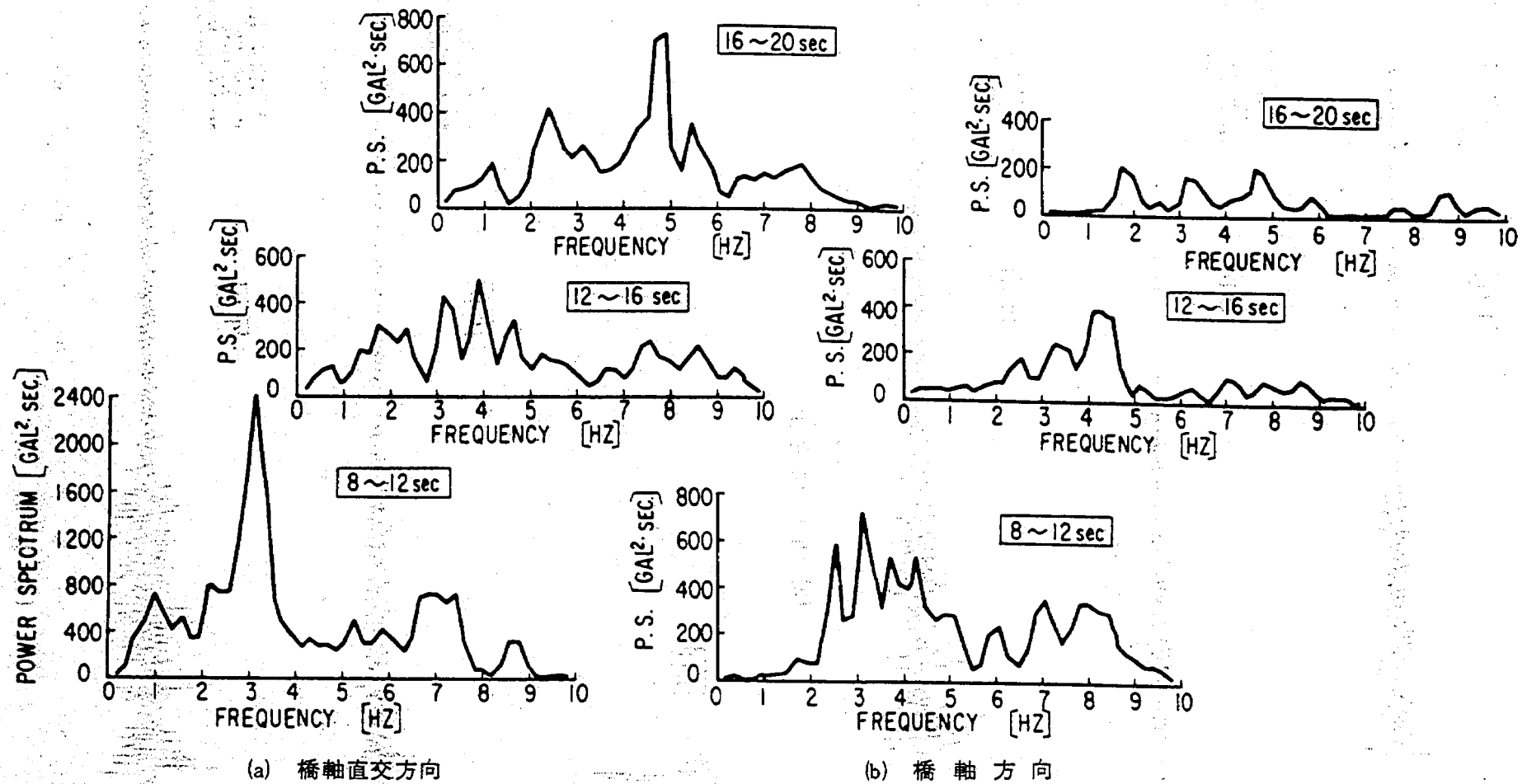


図 3 - 3 開北橋近傍地盤上の加速度強震記録のランニング・パワースペクトル

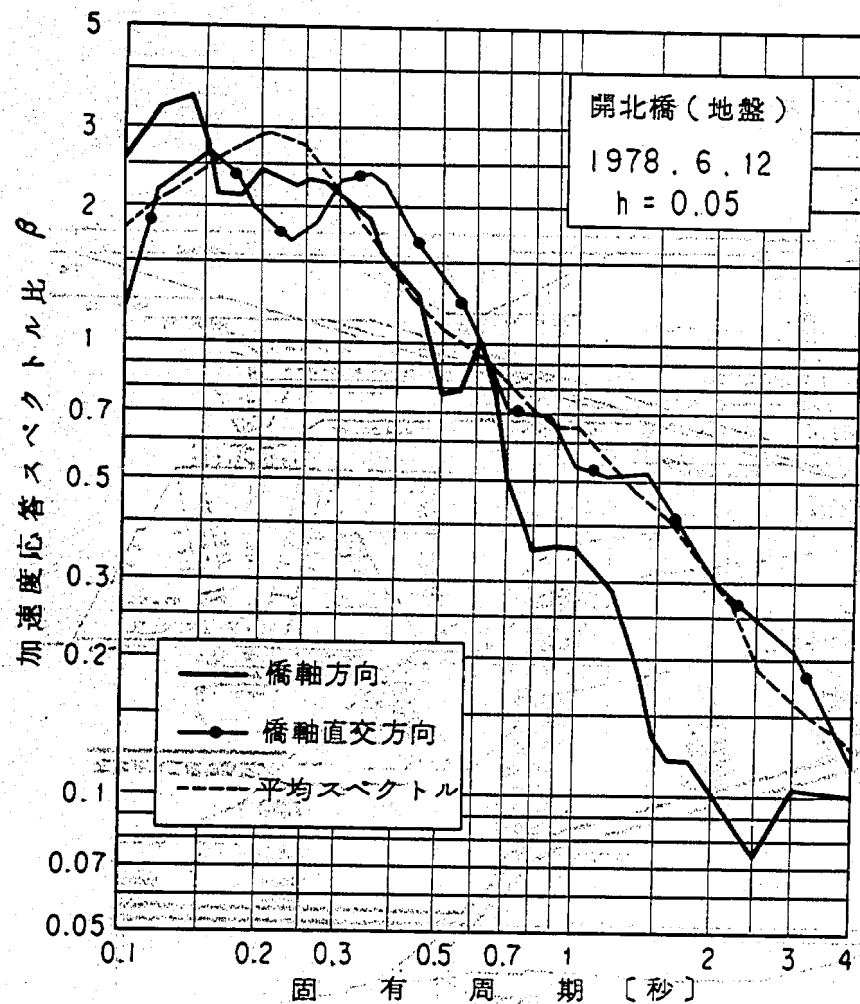


図 3-4 加速度応答スペクトル β (地盤上)

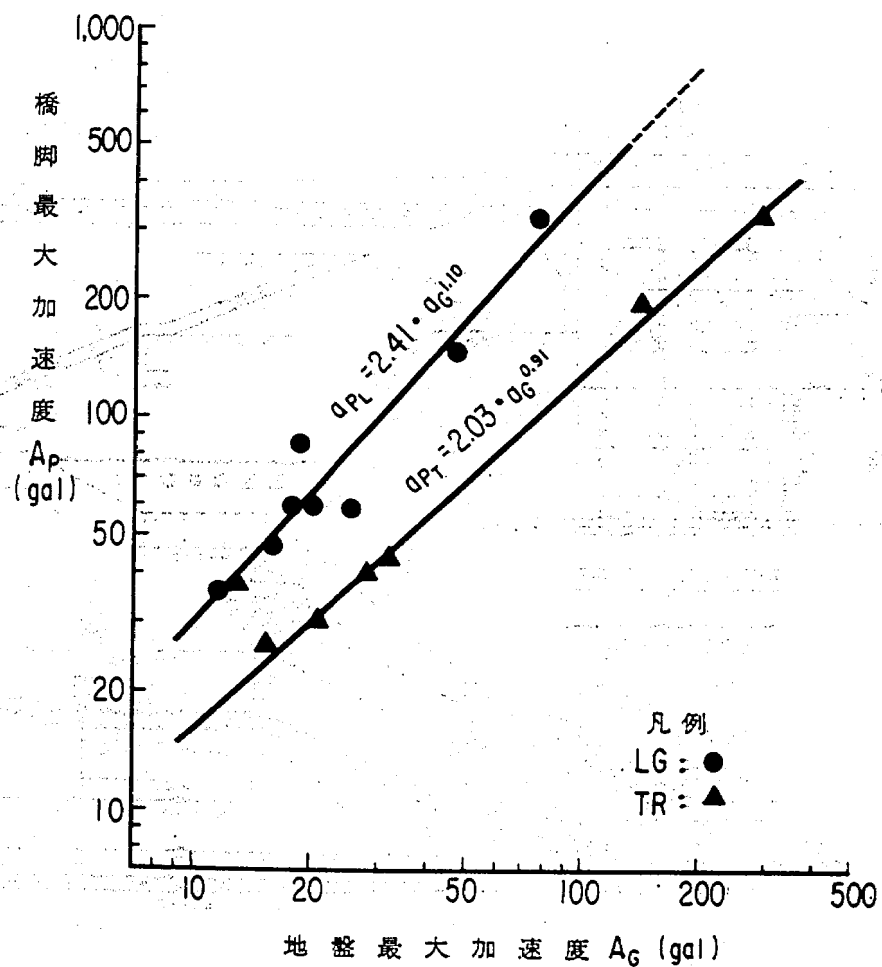


図 3-5 橋脚上の最大加速度と地盤上の最大加速度の関係(開北橋)

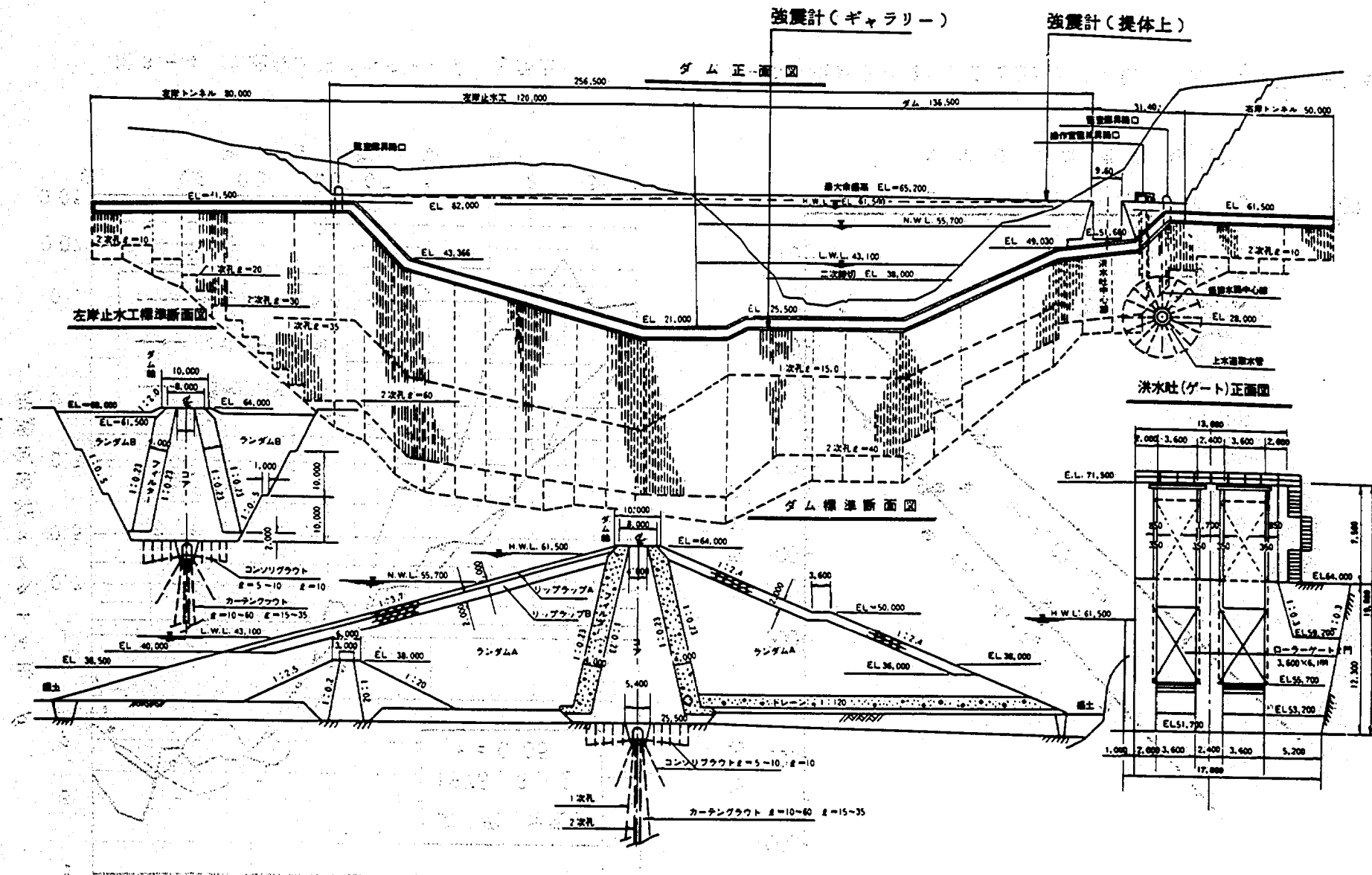
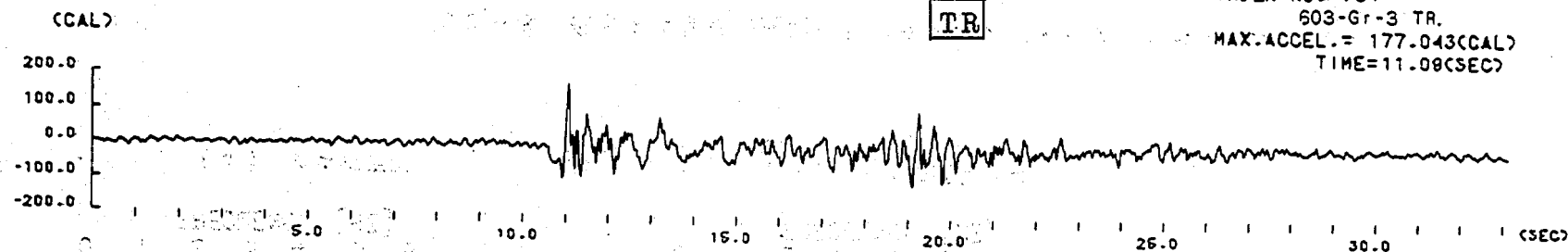
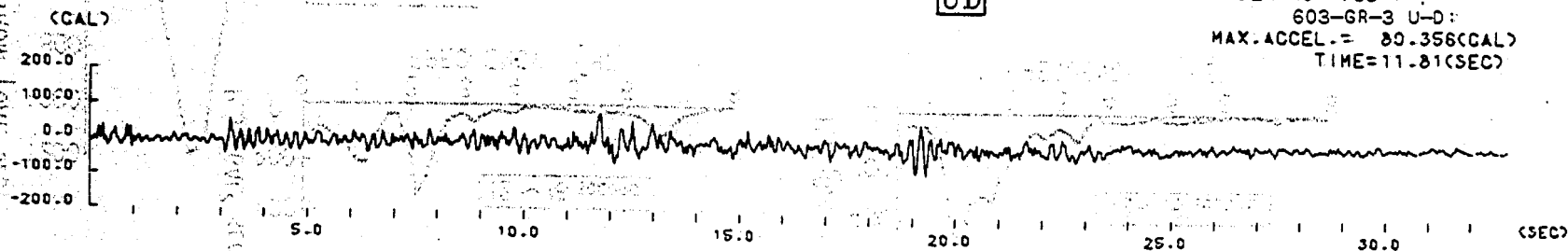


図 3-6 樽水ダムの強震観測システム

E.Q.NO.= 78012
 TARUMIZU DAM 1978
 INDEX NO. 754
 603-Gr-3 TR.
 MAX.ACCEL.= 177.043(CAL)
 TIME=11.08(SEC)



E.Q.NO.= 78012
 TARUMIZU DAM 1978
 INDEX NO. 753
 603-GR-3 U-D:
 MAX.ACCEL.= 89.356(CAL)
 TIME=11.81(SEC)



E.Q.NO.= 78012
 TARUMIZU DAM 1978
 INDEX NO. 752
 607-GR-3 LG
 MAX.ACCEL.= -237.324(CAL)
 TIME=11.14(SEC)

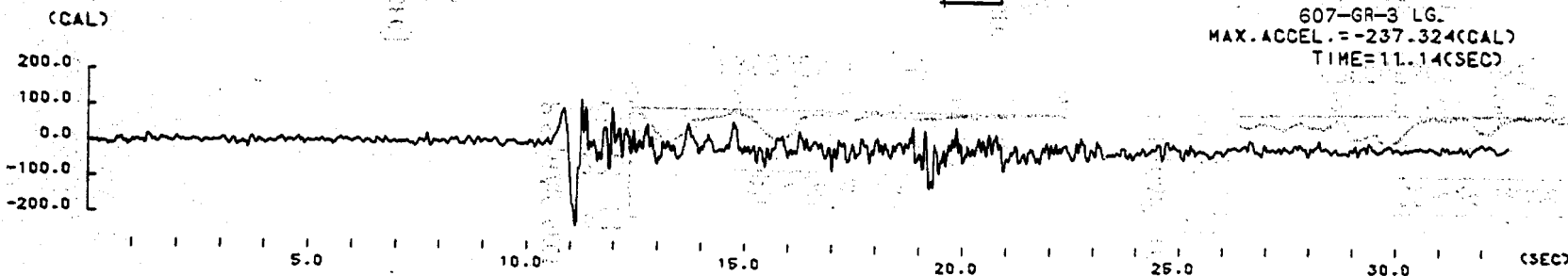


図 3-7 樽水ダムギャラリーにおける加速度強震記録 (1978.6.12)

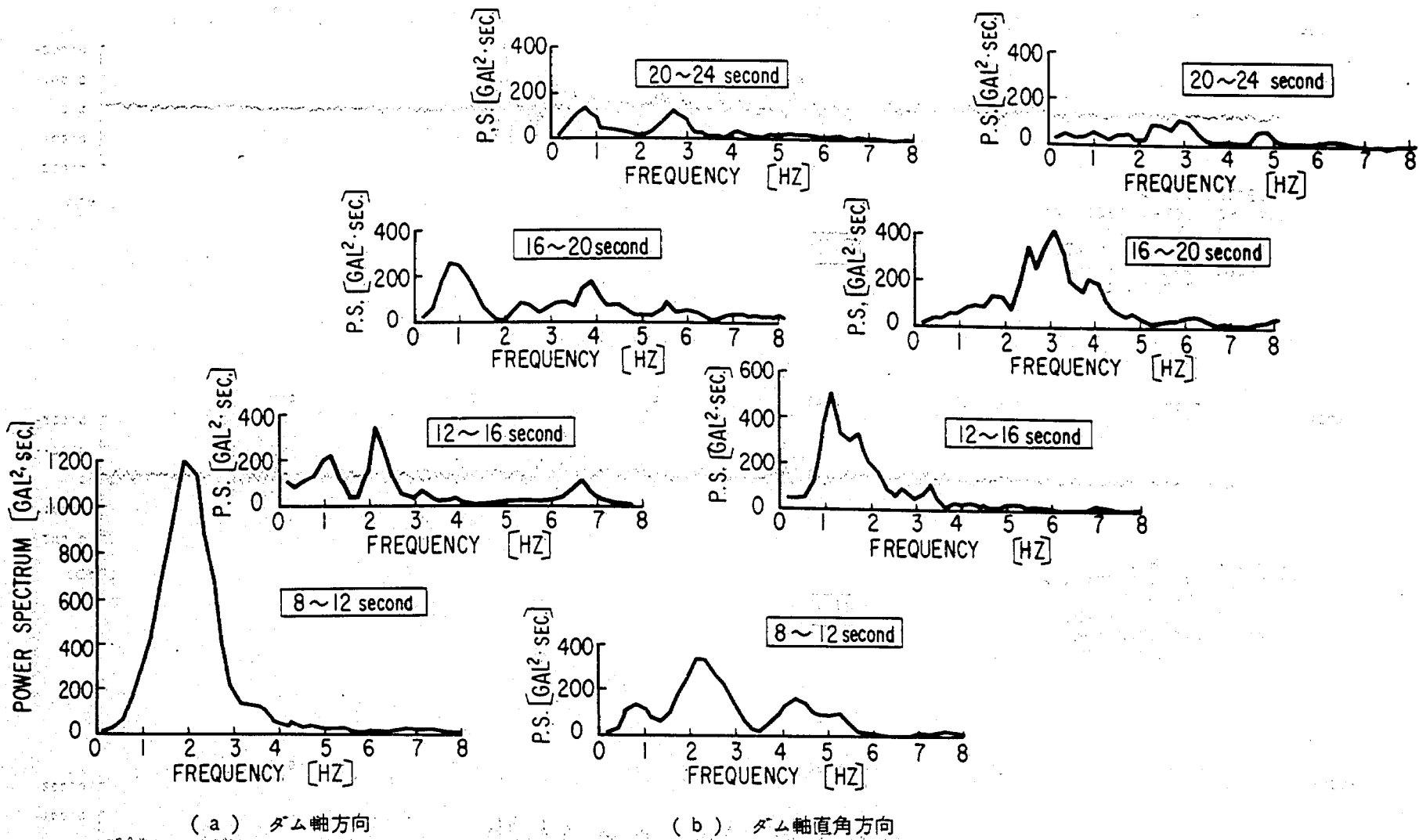


図 3-8 樽水ダム強震加速度記録のランニング・パワースペクトル

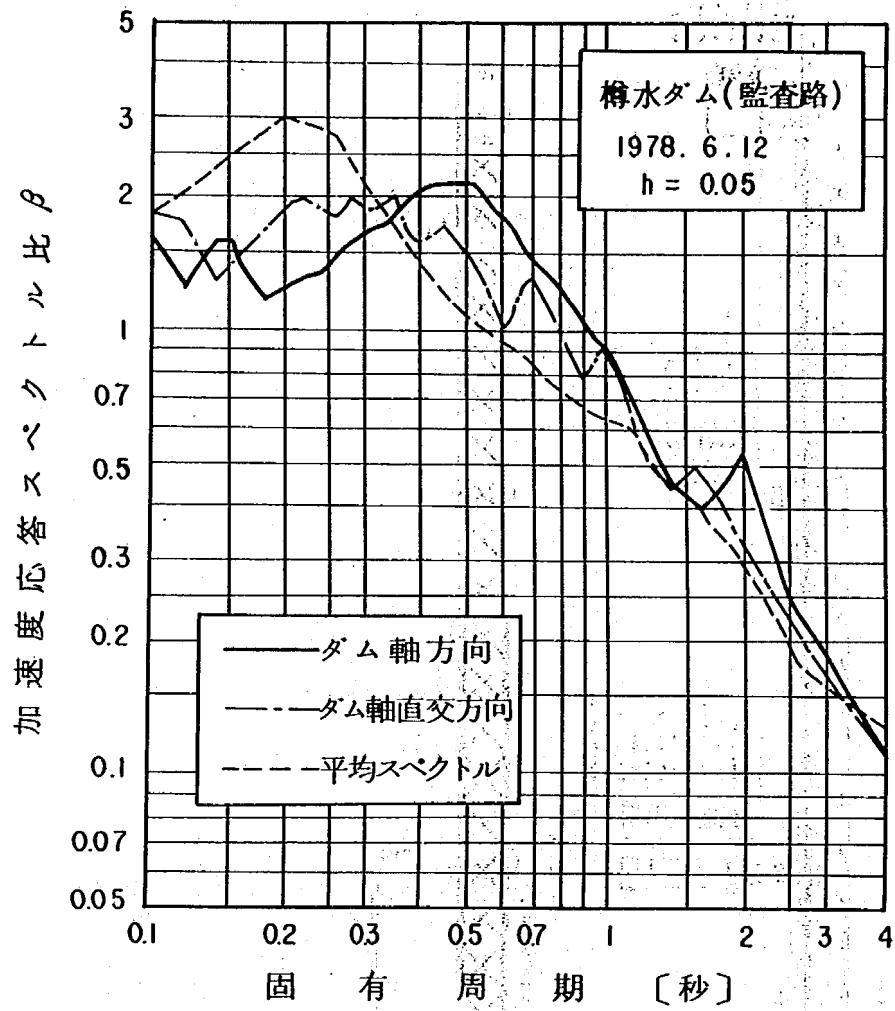
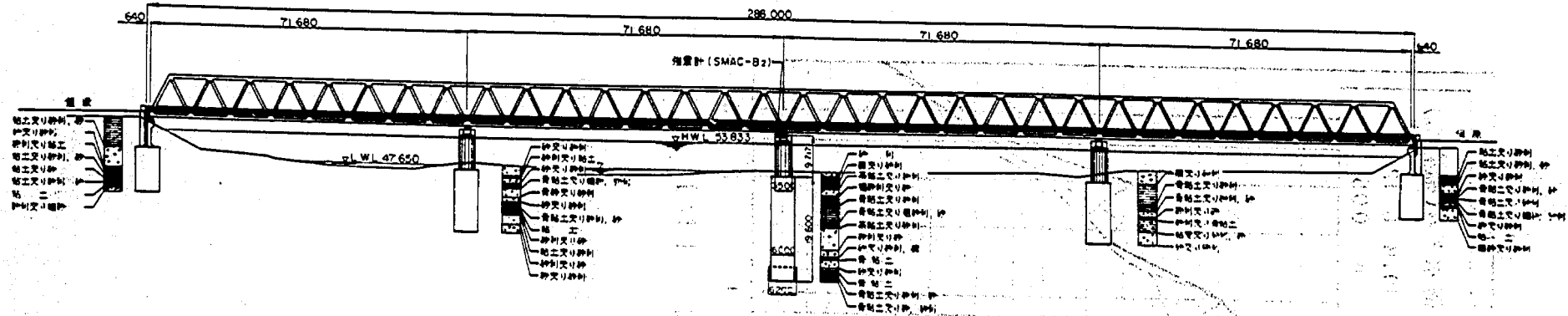
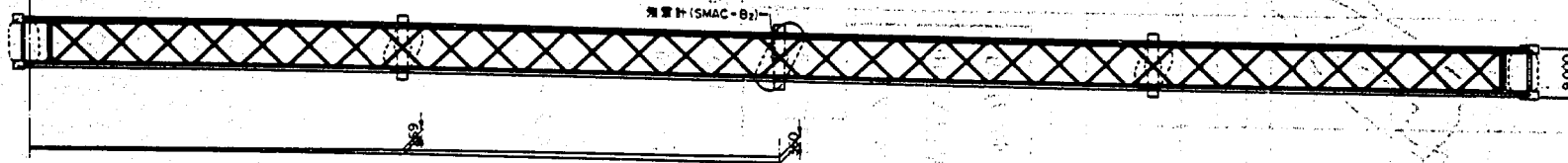


図 3 - 9 加速度応答スペクトル β (梅水ダム、ギャラリー)

側面図



平面図



断面図

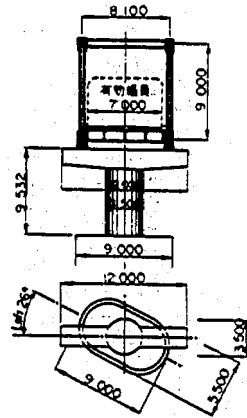
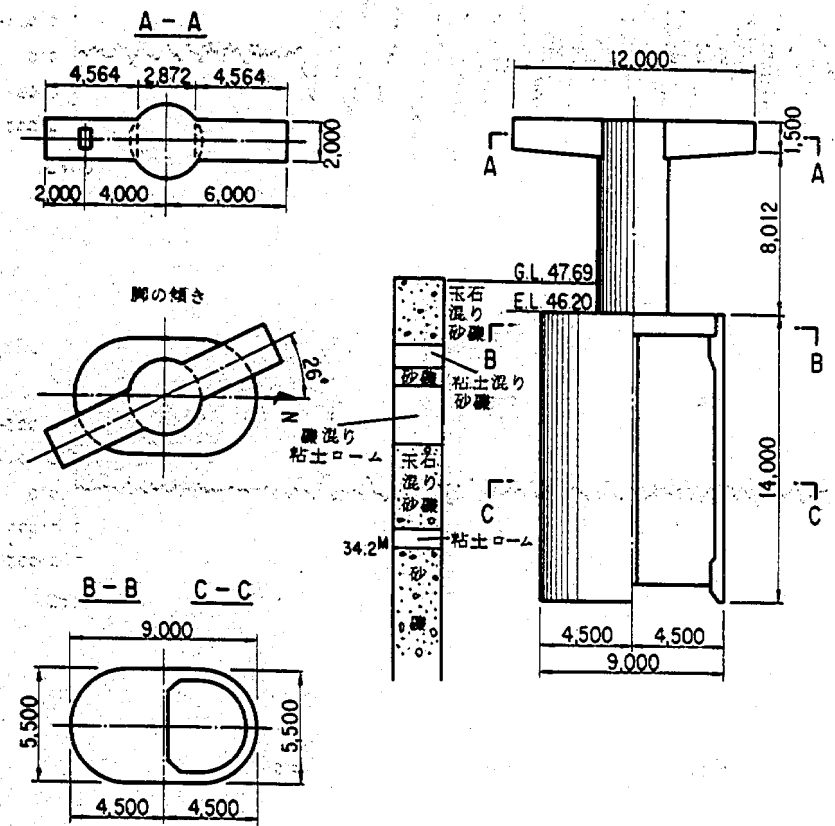
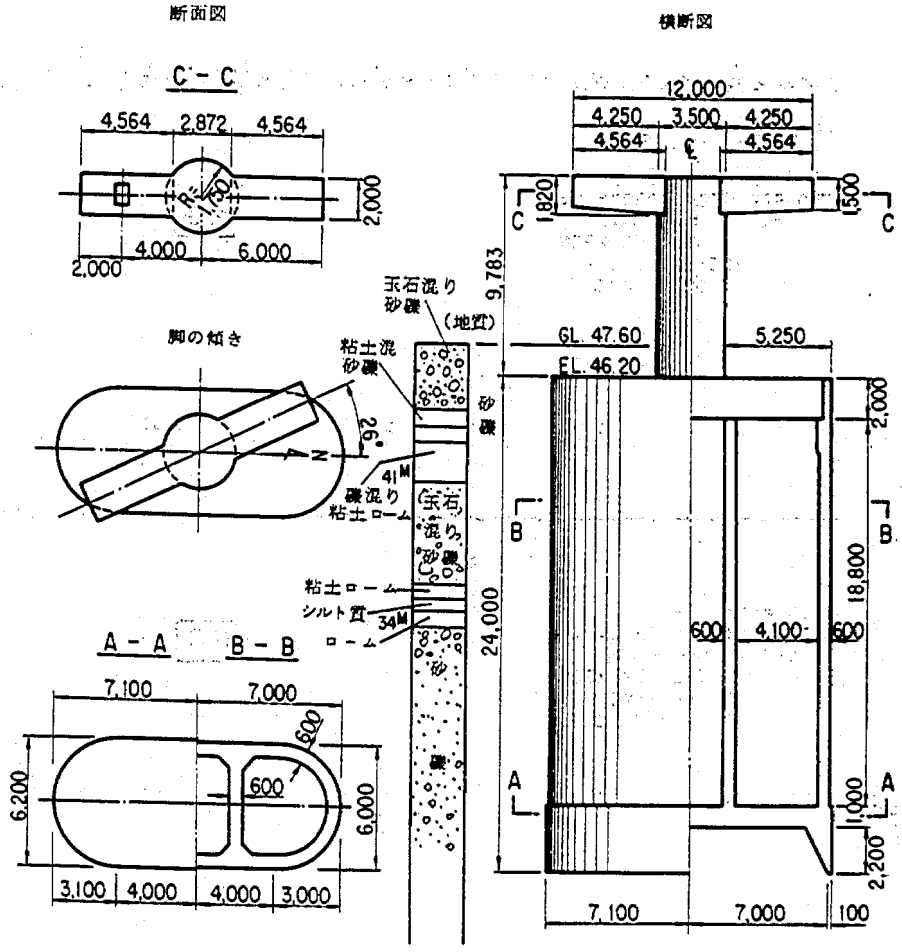


図 3-10 伊達橋の強震観測システム



(a) P₁ 橋脚



(b) P₂ 橋脚

図 3 - 11 伊達橋 橋脚

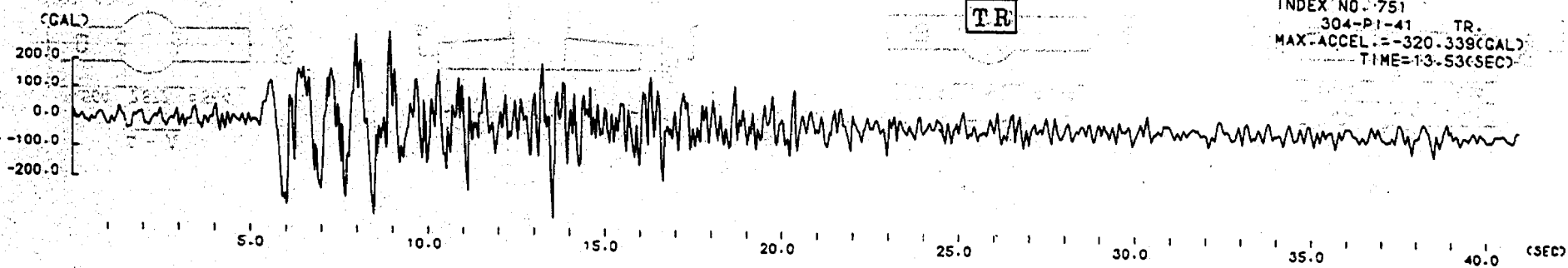
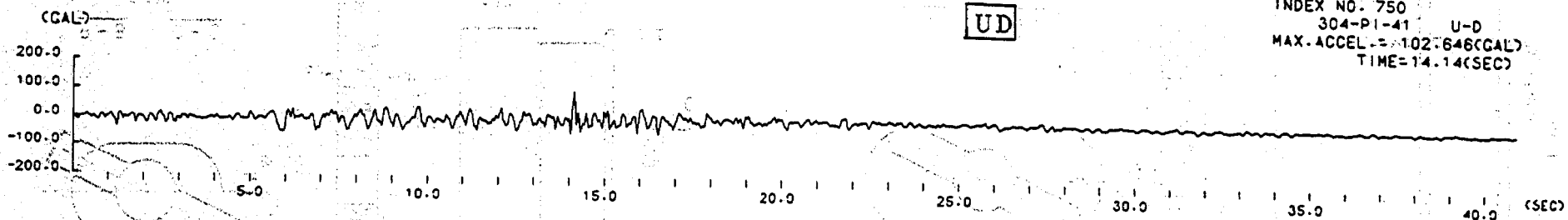
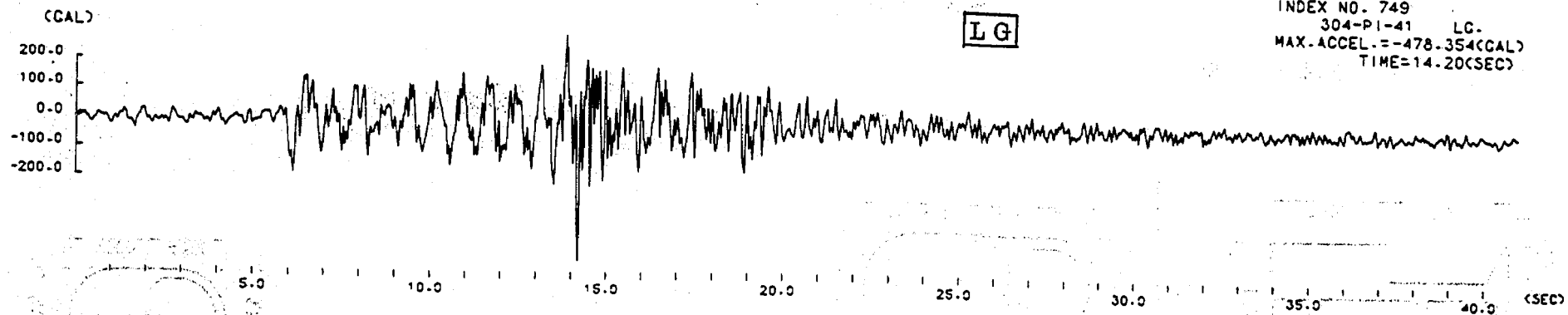
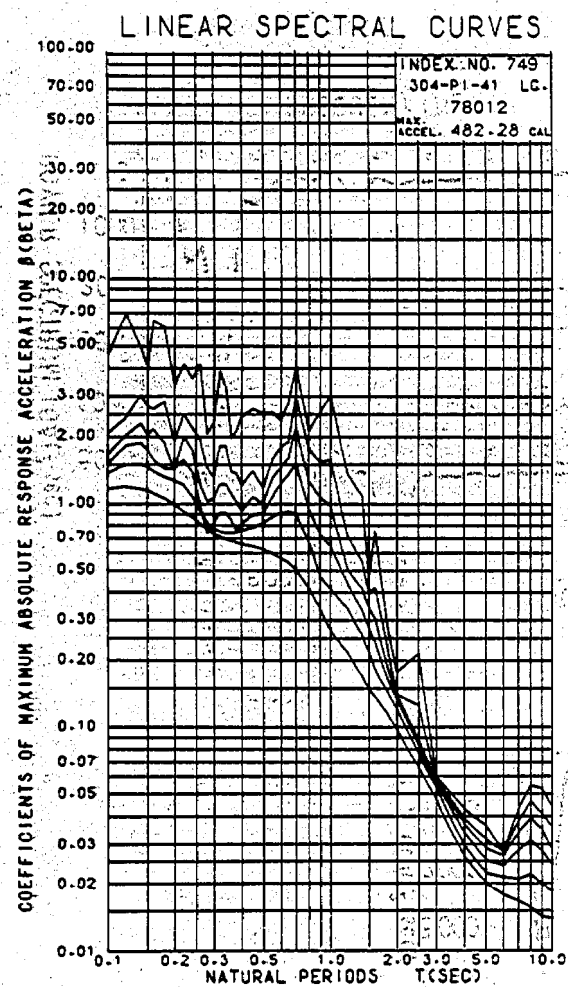
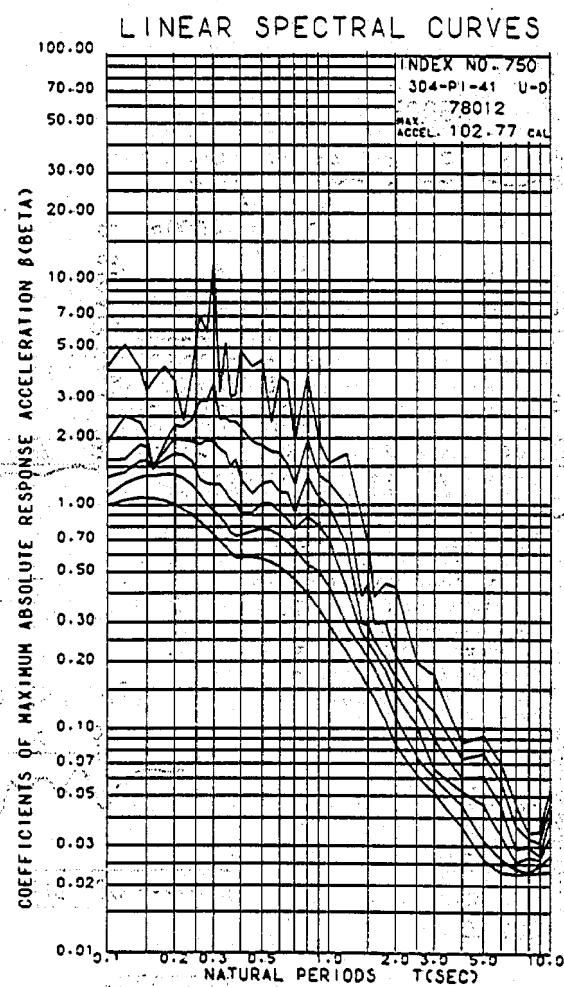


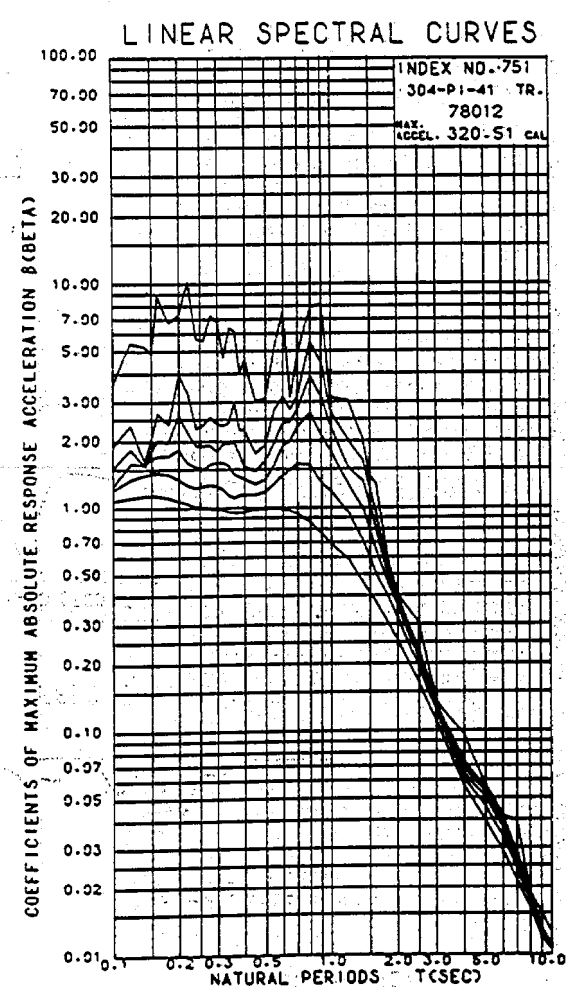
図 3 - 12 伊達橋橋脚上の加速度強震記録 (1978.6.12)



(a) 橋軸方向



(b) 上下方向



(c) 橋軸直角方向

図 3-13 加速度応答スペクトル β (伊達橋、橋脚上、 $h = 0, 2, 5, 10, 20, 40\%$)

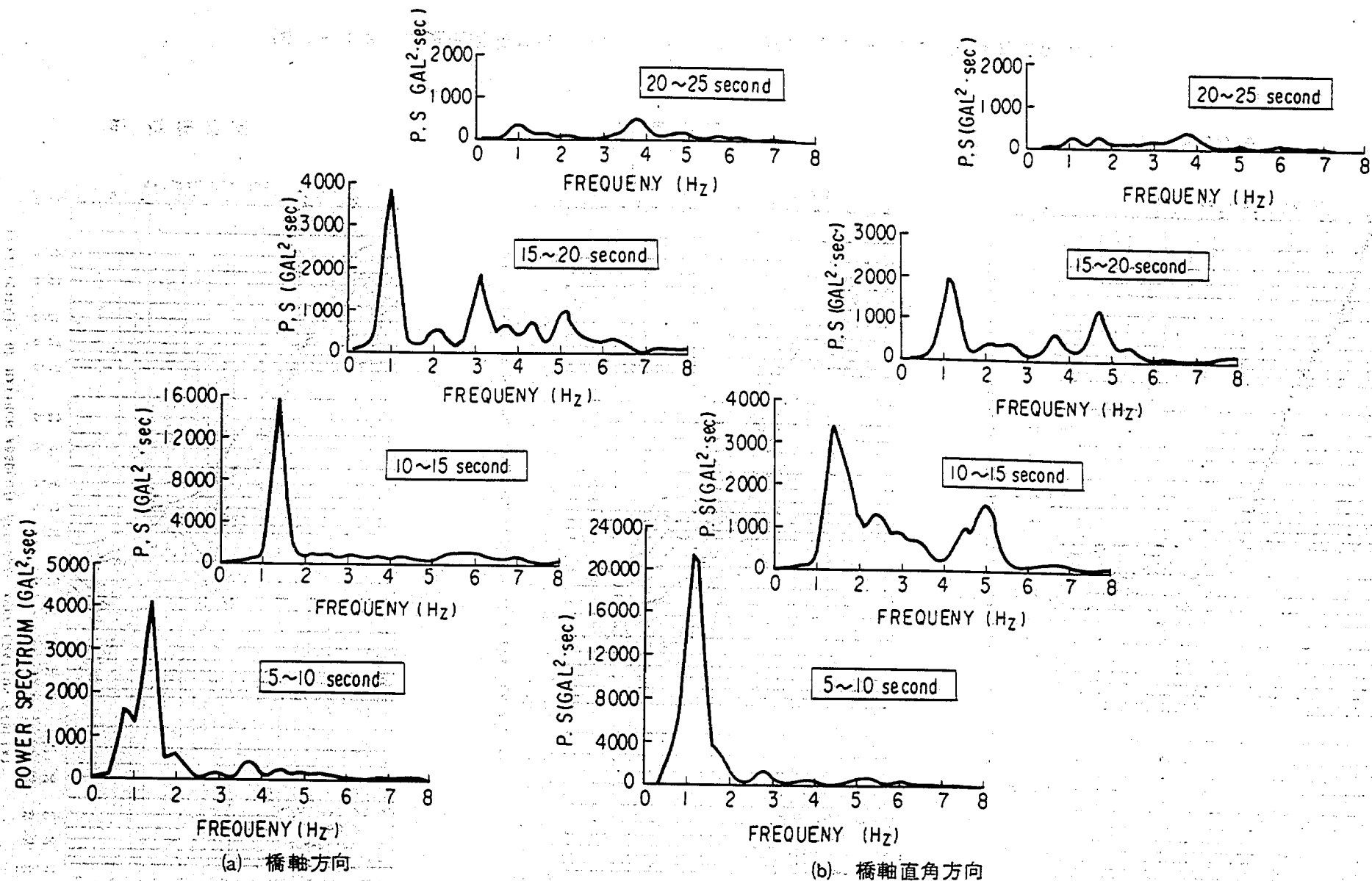


図 3 - 1 4 伊達橋強震加速度記録のランニングパワースペクトル

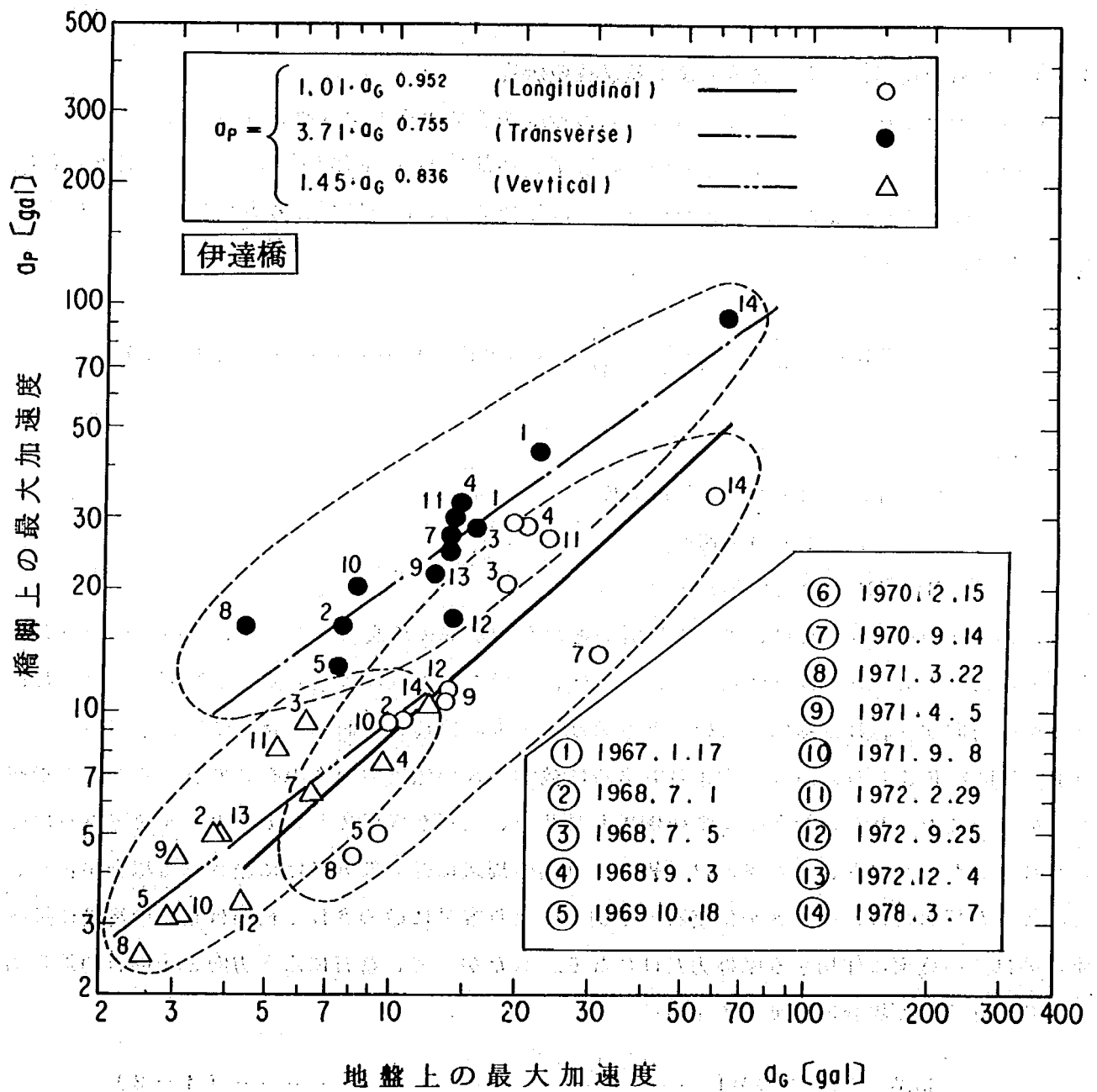


図 3-15 橋脚上の最大加速度と地盤上の最大加速度の関係 (伊達橋)

4. 墓石転倒状況の調査

4-1. 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¹⁴⁾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、

$$\text{合震度 } K \equiv \frac{k_H g}{g - k_V g} = \frac{k_H}{1 - k_V} = \frac{B_T}{H_T} \text{ (墓石の比幅)} \cdots \cdots (4-1)$$

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辺に交わることは、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礎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

$$k_H W \geq (1 - k_V) W f \cdots \cdots (4-2)$$

ここで、

W : 墓石の重量

f : 摩擦係数

となり、摩擦係数 f は

$$f \leq \frac{k_H}{1 - k_V} = K \cdots \cdots (4-3)$$

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¹¹⁾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¹²⁾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S倍とする事は墓石のスケールを $1/S^2$ 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¹³⁾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よ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。

4-2 調査方法および調査対象

墓石の調査は、昭和53年8月23日～11月3日に宮城県東部地区および岩手県、福島県の一部地区の303箇所の墓地を対象として行なった。これは、個人用のごく小規模な墓地を除く当該地区の寺院、公共墓地のおおむね全数に相当する。

調査は、地震発生後約2カ月後から行なわれたため、大部分の墓地において墓石の立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ため、墓地内の全墓石のうち、はっきり転倒したとの聞き込みの得られた墓石数をもとに、次式で墓石転倒率を求めた。

$$\text{転倒率 } R \equiv \frac{\text{転倒墓石数}}{\text{全墓石数}} \times 100 [\%] \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

しかしながら、墓石数の多い墓地、あるいは転倒した墓石の全数をはっきり設定しがたい墓地においては、墓地内のできるだけ代表と思われる一区間（10～15個以上の墓石から構成されるものを選んだ）を任意に抽出し、この中から転倒した墓石の数を聞き込みにより把握し次式により転倒率を推定した。

$$\text{転倒率 } R \equiv \frac{\text{調査墓石中の転倒墓石数}}{\text{調査墓石数}} \times 100 [\%] \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

ここで、調査の対象としたのは、次の条件を満たす墓石である。

- i) 高さ H_T は 70 cm 程度のものを標準とし、50 cm 以下もしくは 1 m 以上の墓石は除く。
- ii) 高さ H_T と幅 B_T の比は 0.4 ～ 0.5 の範囲にあるのが一般的であり、これらの定形から外れ、著しく細長い墓石、あるいはずんぐりした墓石は除く。
- iii) 角柱以外の形状の墓石は除く。
- iv) 基礎の状態が著しく悪い墓石は除く。

(4-4) 式および (4-5) 式による転倒率の算定と併せて、転倒率の聞き込みも行ない、上式による算定結果の検討資料とした。ここで、聞き込みによる転倒率 R は $R = 0 \%$ 、 $0 < R \leq 25 \%$ 、 $25 < R \leq 50 \%$ 、 $50 < R \leq 75 \%$ 、 $75 < R \leq 100 \%$ の5段階に分類して整理した。

また、墓石転倒率の調査と同時に、今回の地震動特性を解明するのに役立つと思われる以下の項目に対する調査も行なっている。

- i) 地形、地質、地盤条件……墓地周囲の地形、地質および地盤条件の特徴がわかるように平面図、断面図から成るスケッチを示す。

Ⅱ) 墓石の転倒方向 …… 地震動の方向を調べるために、墓石の転倒に方向性があったかどうか、あったとすればどの方向かを聞き込みによって調査した。

Ⅲ) 建築、その他の被害 …… 寺社の建物の被害、仏壇の位牌、燭台、供物等の転倒があった場合には、これらの情報を記録した。

Ⅳ) 既往の地震との地震動強度の被害 …… 宮城県地方に被害をもたらした比較的最近の地震としては、昭和37年4月の宮城県北部地震 ($M=6.4$)、昭和53年2月の宮城県沖の地震 ($M=6.7$) がある。これらに今回の地震 ($M=7.4$) を加え、合計3回の地震の中で、いずれの地震動を最も強く感じたかを聞き込みにより調査した。

Ⅴ) その他、今回の地震に関連する地変等、聞き込みの得られた項目を記録した。

なお、調査対象地域は、墓石転倒率がゼロとなる境界線を把握しつつ、その範囲内にある宮城県東部、岩手県および福島県の一部地域の転倒率を網羅するとともに、被害の著しかった仙台市周辺については、さらに詳細な分布を求めることができるように配慮しつつ定めた。

4-3 調査結果

(1) 墓石転倒率の分析

合計303箇所の墓地に対する墓石転倒率の調査結果を表4-1に示す。この結果によれば、(4-4)式もしくは(4-5)式で推定した墓石転倒率は、別途聞き込みにより得た墓石転倒率と大部分の墓地において一致しており、調査結果は地震直後の墓石の転倒状況をおおむねよく表わしているものと考えられる。

(4-4)式もしくは(4-5)式により推定した墓石転倒率 R を0%、0~25%、25~50%、50~75%、75~100%の5段階に分けて示すと図4-1のようになる。図中には、沖積地盤、洪積地盤および第3紀以前の地盤の3つに区分した地盤条件も同時に示されている。仙台市周辺地域では墓地の数が多いため、この地区だけを取り出すと図4-2のようになる。この結果より、墓石の転倒が生じているのは、宮城県の東半分および福島県福島市周辺地域であり、これより西側の地域では、墓石は転倒していない。また、①登米郡中田町付近、②古川市周辺の江合川、鳴瀬川の流域、③黒川郡富谷町周辺、④仙台市および名取市、⑤白石市周辺の阿武隈川およびその支川、の各地域において墓石転倒率はいずれも75%以上となっている。これらのうち③を除く地域はいずれも北上川、旧北上川、江合川、鳴瀬川、名取川、阿武隈川、七北田川などの各河川のはんらん原に相当すると考えられる地域である。③の黒川郡富谷町周辺は第3紀中新世に属する青麻層(砂岩系統)が分布しているが、一般に固結度が低いとされている。例えば、 No.147 の寺では「井戸用ボリングを掘削した所100mまで掘り下げてもなお砂地盤であった」との聞き込み等から判断すると締まっていない砂質地盤が厚く堆積した地域ではないかと考えられる。これに対して、一般に山地に位置する墓地においては転倒率は0もし

くはそれに近いものが多く、とくに震源に最も近い牡鹿半島周辺の地域においても墓石転倒率がそれ程高くないことが注目される。これらは、いずれも墓石の転倒率が周辺の地盤条件によって大きく変わること示しているものと考えられる。

(2) 墓石の転倒方向

墓石の転倒方向に関し、方向性がないとの解答も含めて、はっきりした聞き込みの得られた墓地は全体の約58%に相当する177墓地である(表4-1参照)。これらについて転倒方向を示すと図4-3のようになる。このうち、15箇所の墓地については、東西方向と南北方向の両方におおむね同程度に倒れた、もしくは、北東あるいは北西のように中間の方向に転倒したとの聞き込みが得られたので、これらの墓地はそれぞれ東西方向および南北方向の両方に分配するものとして整理すると、調査地域に全体にわたって、東西方向に転倒した墓石が多かったとの聞き込みが得られたのは74件(39%)、南北方向に転倒した墓石が多かったとの聞き込みが得られたのは85件(44%)、特に方向性はなかったとの聞き込みが得られたのは33件(17%)となる。

次に、この結果を、吉田川に沿う鳴瀬町～大郷町～大和町を結ぶ線より北の地域と南の地域に分けて集計すると、図4-4に示すようになる。すなわち、北部地域では、東西方向が卓越、南北方向が卓越、方向性特になし、の件数および割合はそれぞれ、46(52%)、24(27%)、19(21%)となるのに対して、南部地域では、それぞれ28(27%)、61(59%)、14(14%)となり、上記吉田川あたりを境として、これより北の地域では東西方向に、南の地域では南北方向に転倒した墓石の多いことがわかる。このように墓石の転倒方向に規則的な方向性があることから、地震動そのものにはっきりした方向性があったのではないかと考えられる。

(3) 寺社の建物の被害と墓石転倒率の関係

寺社の建物の被害として比較的聞き込みの頻度の高かった瓦の被害および壁の被害と墓石転倒率の関係をまとめた結果が表4-2である。ここで、瓦の被害とは、瓦の落下、移動等を含めて瓦に何らかの異状を生じたとの聞き込みのあったもの、壁の被害とは、壁の剝離、亀裂等何らかの異状を生じたとの聞き込みのあったもの、をそれぞれ表わしている。表4-2より、瓦の被害および壁の被害を生じなかったというはっきりした聞き込みを得たのは、それぞれ、152墓地、および79墓地であり、全体の約50%および26%に相当する。なお、無人墓地等で、寺社の建物の被害について聞き込みの得られなかった墓地もあるため、上記以外は全て被害があったという訳ではない。これらの結果によれば、一般に墓石転倒率が50%を超えたような場合においても瓦もしくは壁のいずれかに被害を生じなかったという場合はきわめてまれであり、とくに、この場合に瓦および壁の西方に被害を生じなかった場合は1件もないことがわかる。このような点から表3-1の墓石転倒率を見直した結果、№8、10、11、175、

273の5地点については、データの信頼性が乏しいとの理由から、墓石転倒率の調査結果から除外することとした。これらの墓地は、いずれも瓦、壁等の被害がきわめて少ないにもかかわらず、墓石転倒率が異状に大きいという点から信頼性が乏しいと判断したものである。

(4) 宮城県北部の地震（昭和37年4月）および宮城県沖の地震（昭和53年2月）との地震動強度の比較

宮城県地方に被害をもたらした比較的最近の地震としては、昭和37年4月30日の宮城県北部地震、および昭和53年2月20日の宮城県沖の地震がある。前者は、マグニチュード $M=6.4$ で、震央は宮城県道古川～佐沼線に近い長沼付近（東経 141.1° 、北緯 38.7° ）であり、内陸に発生したいわゆる直下型地震であったため、長沼周辺の施設（錦桜橋、江合橋等）にかなりの被害を与えた。一方、後者はマグニチュード 6.4 で、震源は今回の地震よりも約 60 km 程北の東経 $142^{\circ}12'$ 、北緯 $38^{\circ}45'$ に位置しており、錦桜橋、柵の瀬橋を始め宮城県から岩手県の一部地区に被害を生じさせた。

これら既往の2回の地震と今回の6月の宮城県沖地震（ $M=7.4$ ）との地震動強度の比較を聞き込みによって調査した結果を図4-5（今回の地震と昭和53年2月の地震の比較）、図4-6（今回の地震と昭和37年4月の地震の比較）および図4-7（昭和53年2月の地震と昭和37年4月の地震の比較）に示す。ここで、強度の比較の聞き込みは、A、B両地震のうち、①A地震による振動の方を強く感じた、②B地震による振動の方を強く感じた、③A、B両地震とも同程度の振動であった、④はっきりしない、覚えていない、の4つに区分して行なった。この結果をまとめると以下ようになる。

(i) 今回の地震と昭和53年2月の地震の比較（図4-5）

調査範囲のほぼ全域にわたって今回の地震の方が大きな振動を与えたことがわかる。昭和53年2月の地震による振動の方が激しかったとの聞き込みがあったのは、桃生郡桃生町で1箇所あるにすぎない。

(ii) 今回の地震と昭和37年4月の地震の比較（図4-6）

この場合にも、調査範囲のほぼ全域にわたって今回の地震の方が大きな振動を与えたことがわかる。しかしながら、この場合には、昭和37年4月の地震の震源地に近い登米郡、遠田郡の2、3の地点においては、昭和37年4月の地震による振動の方が、今回の地震よりも激しかったとする聞き込みがある。

(iii) 昭和53年2月の地震と昭和37年4月の地震の比較（図4-7）

上述したように2つの地震の間で、地震動強度にはっきりした違いがなかったせいか、両地震による振動の比較に対して、不明と答えた地点が多く、明白な結果は得られない。しかしながら宮城県、石巻市、桃生郡、遠田郡、登米郡、古川市、加美郡等の分布から、昭和37年4月の地震の震源域にあたる桃生郡等の一部地区においては、この地震による

振動の方が昭和53年2月の地震よりも激しかったものの、その他の地域では、全体として、昭和53年2月の地震による振動の方が、昭和37年4月の地震よりも大きかったのではないかと推定される。

(5) 墓石転倒率と地盤条件の関係

図4-1に示した墓石転倒率を地盤条件との関連で検討すると以下のような事項が指摘される。

- (i) 岩盤地域においては、転倒率は0%、0~25%に分類される箇所が多いが、中には50~75%、75~100%と高い転倒率を示す箇所もある。なかでも75~100%と高い転倒率が多くみられたのは吉田川流域にあたる黒川郡富谷町周辺地区(墓地No.147~150)である。この地域は第3紀中新世の青麻層が分布しているが、固結度が低い砂岩系統の岩であり、実際には砂地盤に近い性状を示すと言われている。

また、岩盤地域と分類された墓地の大部分は、傾斜地に造成されており、このような場合には、地形条件が地震動に与える影響があるのではないかと考えられる。さらに、このような斜面上に造成された墓地では、ちょうど宅造地盤上の木造家屋が地盤のゆるみや滑動により被害を受けたと同じように、いかに地山がしっかりした地盤であっても造成した表面の20~30cmの土がゆるみ、その結果大多数の墓石が転倒したという場合も見受けられた。このような理由により、表4-1に示した結果のうち、第1種地盤にもかかわらず転倒率が非常に高い地点では、その他の被害状況とも考え合わせ、上記のような状態で転倒した墓石が多いと判断された場合には、資料として取り扱わないことにした。

- (ii) 洪積地盤地域においても墓石転倒率は一般に25%以下が多く、また、上記の岩盤地域の場合と比較しても転倒率が50%以上となる事例が少ない。これは、洪積地盤地域は一般に段丘堆積層等の平坦面が多く、岩盤地域の場合のように傾斜造成地からくる異常転倒が少ないためと考えられる。

- (iii) 沖積地盤地域においては一般に0~25%および75~100%の転倒率を示す箇所が多く、沖積地盤といってもいわゆる軟弱層の厚さや地盤構成、微地形の影響を強く受けているものと考えられる。沖積地における転倒率の中で一つ興味深いのは、仙台平野において、名取川を境とし、北部地区と南部地区とでは転倒率の分布に大きな違いのある点である。名取川以北では転倒率50%以上の墓地がかなり多いのに対して、名取川以南の仙台平野では、大部分の墓地において転倒率は25%以下となっている。

4-4 調査結果の考察

(1) 墓石転倒率~距離の関係

墓石転倒率を断層中心(東経142度、北緯38度20分とした)からの距離により整理すると

図4-8のようになる。図中では、地盤条件による分類をせず調査結果を全てプロットした場合と、地盤条件を道路橋耐震設計指針（日本道路協会、1971）に従って、1種地盤、2種地盤、3種もしくは4種地盤の3種類に分類して整理した場合の結果が示されている。これらの結果から、次のような点が指摘される。

i) 墓石の転倒が生じ始めた断層中心から最遠点の距離は、第1種地盤および2種地盤の場合にはそれぞれ約120km程度であるのに対して、第4種地盤の場合には、約150km程度となっており、地盤が軟質であるなど、広い範囲にわたって墓石の転倒が生じている。

ii) 転倒率の値そのものについても地盤条件による差異がはっきり現われており、第1種地盤上では、一般に転倒率が低いのに対して、第4種地盤上では、高い転倒率から低い転倒率まで大きくばらついている。

iii) 図4-8に示した転倒率を5km刻みに分け、それぞれの範囲内の墓地における転倒率の平均値 m とこれに標準偏差 σ の1倍を加減した結果を図4-9に示す。ただし、それぞれの距離の範囲内におけるサンプル数（墓地数）が5以下のものについては、平均値および分散値を計算する意味あいが薄いと考え、ここでは図示していない。

この結果では、距離の増加による平均転倒率の減少がかなり明瞭に現われており、一般に3種もしくは4種地盤上の墓石の方が、1種もしくは2種地盤上の墓石よりも転倒率の距離減衰性が高いこと、しかしながら平均転倒率そのものは、前者の方がはるかに大きいことがわかる。

(2) 墓石転倒率～最大加速度の関係の推定

図2-4に示した最大加速度～断層中心からの距離の関係と図4-8に示した墓石の平均転倒率～断層中心からの距離の関係を結びつけると図4-10のようになる。ここで、最大加速度～断層中心からの距離の関係としては、太平洋沿岸に沿う地域で観測されたAグループの関係をを用いている。これは、今回の地震により最も被害の著しかった宮城県東部地区の地震動強度分布を求めるためにはAグループの最大加速度～断層中心間距離の関係が最も適当と考えたためである。また、転倒率～断層中心からの距離の関係としては、断層からの距離を5km刻みにした場合の平均転倒率を用いることとし、図4-8に示した平均値を示している。

平均墓石転倒率は断層中心からの距離によって必ずしも単調に減少はしないが、全体的な傾向を表わすために図4-10の左側の図で破線で示したように、両者の関係を表わした。

一方、断層から15.0km以内で観測された $\mathcal{M}$ 1～ $\mathcal{M}$ 6の合計6地点のうち、開北橋（ $\mathcal{M}$ 1）、樽水ダム（ $\mathcal{M}$ 3）、宮古港（ $\mathcal{M}$ 5）、真崎大橋（ $\mathcal{M}$ 6）の4箇所は比較的地盤条件の良好な（第1種もしくは第2種地盤相当）地点であり、塩釜港（ $\mathcal{M}$ 2）、大船渡防地（ $\mathcal{M}$ 4）の2箇所は比較的軟質な地盤条件（第3種もしくは4種地盤相当）の地点である。これら6箇所の強震記録は、大船渡防地（ $\mathcal{M}$ 4）を除き、比較的まとまった減衰特性を持っているように思われ

る。最大加速度値に及ぼす地盤条件の影響は、それぞれの地点の地盤調査結果に基づき、今後の詳細な調査が必要とされるが、ここでは、簡単のため1種から4種の地盤条件に対して図4-10の右側の図中に示すようにⅧ1～Ⅷ6の強震記録の平均的な最大加速度～断層中心距離の関係を用いることとした。

このようにして、図4-10から断層中心からの距離を介して、地震動の最大加速度と墓石転倒率の関係を求めると図4-11のようになり、最大加速度 A_{max} [gal]と墓石転倒率 R [%]の関係は次のように推定される。

$$A_{max} = \begin{cases} 5.5 R + 200 & \dots\dots\dots 1 \text{種地盤} \\ 3.5 R + 100 & \dots\dots\dots 2 \text{種、3種、4種地盤} \end{cases} \quad (4-1)$$

これによれば、最大加速度が400gal、300gal、200galに対する墓石転倒率は、1種地盤の場合にはそれぞれ約36%、18%、0%、2種、3種、4種地盤の場合にはそれぞれ約80%、50%、30%となる。

現在までに墓石の転倒率と地震動強度の関係を求めた研究は、それほど多くはないが、たとえば、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¹⁵⁾によれば、最大加速度400gal、300gal、200galに対する墓石転倒率はそれぞれ約80%、50%、30%であり、上記の2～4種地盤の場合とほとんど同じ結果を与えている。また、大橋らは、伊豆大島近海地震(1978年)に際して地震動強度 A_{max} と墓石転倒率 R を次式と¹⁰⁾より推定し、最大加速度の分布を検討している。

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

これによれば、最大加速度400gal、300gal、200galに対する墓石転倒率はそれぞれ約75%、40%、0%となり、加速度の小さい領域においては、(4-1)式による結果よりも大きめの値を与えているが、それ以外では、(4-1)式による1種もしくは2種の場合と、3種もしくは4種の場合、おおむね中間的な結果を与えている。

(3) 墓石の転倒から推定した最大加速度の分布

式(4-1)をもとに、墓石の転倒率から最大加速度の分布を推定した。最大加速度を0～100gal、100～200gal、200～300gal、300～400gal、400gal以上の5段階に分類して示すと図4-12のようになる。もとより、この結果は図4-11に示した平均転倒率と最大加速度の関係から求めたものであり、1個1個の墓地における最大加速度値を示すというよりも全体的な分布の傾向を示しているという点に注意しなければならない。この理由は、図4-11を求めるに際して行なうた断層モデルの中心から半径5kmの区間内の墓石転倒率を平均して平均転倒率を求めるという平均化の過程では、平均転倒率に対する転倒率の変動を切

り捨てているため、このようにして推定した平均転倒率～最大加速度の関係を再びもとの個々の墓地における墓石転倒率にあてはめて最大加速度を求めた場合には、最大加速度の推定値に本来の墓石転倒率のばらつきがそのまま現われてくるためである。

また、以上の他にも最大加速度は周辺のわずかな地形、地質によっても変化していると考えられるため、その一般的な分布を描くことは上述の資料の範囲からは困難であるが、全般的には新迫川流域の米山町、迫町から中田町に至る地域、江合川および鳴瀬川流域の古川市周辺、名取川、広瀬川流域の仙台平野地区、白石川流域の白石市周辺地区、の各地区では地震動の最大加速度が400 gal を超したのではないかと推定される。これらの地区は一般に河川のはんらん堆積物等沖積世に形成された地盤上が多い。

(4) 仙台地区の東西断面における墓石転倒率の分布

局地的な地盤条件が墓石転倒率に及ぼす影響を示す一例として、地盤条件の比較的良好とされている仙台市周辺地区をほぼ東西にみた地盤縦断図と墓石転倒率の関係を求めると図4-13のようになる。ここで墓石転倒率は図4-1に示した名取川以北および七北田川以南の地域に存在する墓地での値を示している。この結果によれば、東北大学のある青葉山を中心とする丘陵地、広瀬川から利府～長町断層に至る旧仙台市街地、太平洋沿岸の砂丘地帯においてはいずれも転倒率はきわめて低いのにに対して、仙台市の新市街地から太平洋沿岸の砂丘の後背地に至る地域では転倒率が高く、このように狭い範囲の地域でも地震動強度およびその特性が大きく変化することを示している。

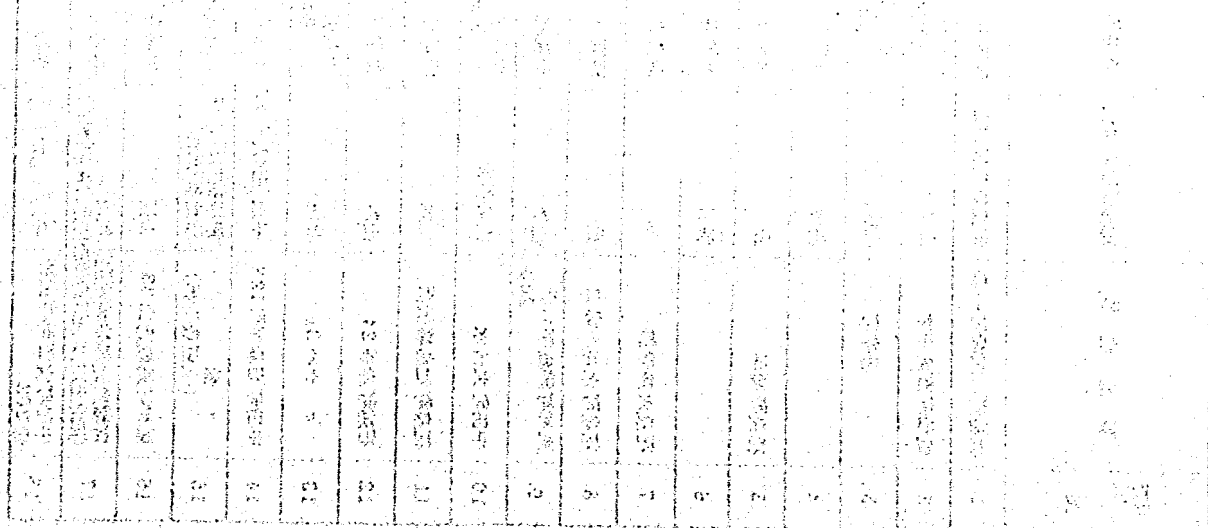


表4-1 墓石調査結果一覧

調査 No	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6と53.2の比較			53.6と37.4の比較			53.2と37.4の比較			
											53.6 >53.2	53.6 =53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 =37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 =37.4	53.2 <37.4	
1	大船渡市末崎町中森	津波防波堤付近	麟祥寺	300	20	1	5	0~25		1	○									土葬
2	気仙沼市東中才	山すそ	興福寺 秋葉堂	200	21	3	14	0~25	東	1	○									山上の墓石はほとんど 転倒
3	" 唐桑町	山腹、山すそ	馬場教祖 墓地	300	34	3	10	0~75	東北	1	○			○						土葬が多い
4		斜面	寛祥寺	200				25~50		1										地山上に設けられてい る
5	花泉町涌津	丘	長禅寺	250				25~50		1	○			○						山の切り取り造成地上
6		斜面	導教寺	80				0~25		1										
7	花泉永井寺前	"	瑞昌寺	120 ~130				50~75	特になし	1		○		○						
8	花泉町永井川の口	丘	祥雲寺	150	3	2	66	75~100		1	○			○						小さい墓多い
9	東和町錦織字岩沢 203	山腹	普慶院	2000		200	10	0~25	西	1	○									古生層粘板岩の露頭有
10	中田町大清水	山の斜面	大清水 墓地					75~100		1										
11	花泉町油島樋伝沢	山地	清昌寺	200			80~ ~90	75~100	北	1	○							○		小さい簡単な墓が多い
12	石越町赤谷24	山腹	昌学寺	400		40	10	0~25		1			○							
13	" ナヘ31	丘陵	十八引 墓地	500				50~75		1										丘を造成した新しい墓 地
14	中田町石森字町128	平地(田畑、平地)	安永寺	600		480	80	75~100		3 or4	○			○						
15	" 館 (上沼農工墓)	錦桜橋付近、沖 積地盤平地	保昌禅寺	160	160	120	75	"	西南 北	"	○									盛土上の墓は転倒率90 %、造成地上では50%
16	東和町錦織芝山33	山腹	宝林寺	500		400	80	75~100	南	"	○			○						
17	宮城県北部横銀治屋 (田北上川、北上川合流部付近、錦桜橋付近)	地山	みろく寺	500	20	1	5	0~25	なし	1			○	○						
18	中田町宝江新井田神 畑202	平地(宅地)	専福寺	100		20	20	0~25	東	3 or4	○			○						

調査 No.	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較			
											53.6 >53.2	53.6 =53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 =37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 =37.4	53.2 <37.4	
19	中田町新井田	水田及び家屋	本源寺	100	100	10	10	0~25	なし	3 or 4	○			○						地盤は堅固だが地下水位 高く雨がふると水が湧出
20	" 本町 88	平地 (田畑、宅地)	海蔵寺	350		0	0	0	なし	"	○									昔からこの付近の地盤 は固いといわれてきた
21	若柳町字川南町浦 96	平地(宅地)	柳徳寺	2000		200	10	0~25	東	3	○									
22	" 柳林	迫川堤防付近	柳林寺	200	20	5	25	0~25		3 or 4	○			○						
23	栗駒町岩ヶ崎	市街地	田鏡寺	500	40	4	10	0~25	東西	"	○									
24	"	"	洞松院	200	20	0	0	0~25		"	○			○					○	
25	石越町北郷字館 1番地	平地(水田)	法泉寺	1000		800	80	75~100	東	3	○									
26	迫町佐沼字南之町	平地(宅地)	林昌寺	250		125	50	25~50		3	○			○						
27	南方町森	傾斜地	上行寺	250	250	3	1.2	0~25	東	1	○			○				○		
28	中田町鉄砲町	山地、傾斜地	浄土宗 本覚寺	100	20	2	10	0~25	東又は西	1	○									
29	南方町大畑	水田	興福寺 旧本堂	130	20	20	100	50~75	なし	3	○			○					○	山を削って墓地を造成
30	迫町新田字山退48	斜面	慈眼寺	250 ~300				75~100		1			○						○	
31	志波姫町八幡原 50	平地(田畑)	興福寺	1500		1050	70	50~75	北	3	○									
32	集館町萩沢木戸	斜面	光明寺	130		50	38	25~50	なし	2	○					○			○	
33	" 玉沢 55	"	金蔵寺	21				0~25		1										
34	集館町字八沢	"	養沢寺	150		0	0	0		1			○							
35	栗駒町袋	堤防沿水田地帯	清蔵寺	500	30	3	10	0~75	北西 南東	3 or 4	○			○						昔から「地震の通り道」と 呼ばれている。幅約5mに わたって帯状に墓石が転倒
36	迫町上要害	水田	起雲寺	50	50	0	0	0		1	○			○						小山上に造成 周囲是水田
37	迫町高橋	山すそ	広最寺 支部	300	20	0	0	0		1	○									
38	" 平館	山腹	山通園 普門寺	300	14	3	22	50~75	西	1	○					○				土葬が多い

調査 No	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考	
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較				
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4		
39	迫町尼池	傾斜地	曹恵寺	50	20	13	65	50~75	東	1	○										
40	南方町新高石	山腹	八の森共同 墓地(東山)	465	465	200	43	25~50	東西	3 or 4					○				○		
41	米山町江渡	山地	長眼寺	350	20	5	25	25~50	東又は南	1	○				○						
42	" 西野	住宅地	専興寺	230	39	8	21	50~75	東又は西	3 or 4	○				○					○	
43	宮城県米山町中津山 銀屋敷	丘の中腹で高台	松壽院	800				50~75		1	○										
44	湧谷町宿	水田	長水寺	50	21	0	0	0	なし	2	○				○					○	
45	" 鈴懸	山すそ、傾斜地	清福院	50	23	14	61	0~25		3 or 4	○										
46	" 小里	山腹、傾斜地	西光地 兼 門	200	200	0	0			1		○				○				○	
47	" 陀々羅丘	山間部、斜面	陀々羅丘 墓地	100	20	0	0	0		1											
48	" 吉住	山腹切土、斜面	瀧沢寺	60	16	9	56	50~75	なし	3- or 4	○				○				○		墳家が影地した墓地で、 基礎が軟弱なものが多い。山頂程転倒大
49	豊里町御岳堂	山地、傾斜地	月輪山 香林寺	700	70	0	0			1	○				○			○			
50	宮城県桃生町永井	山の斜面	浄音寺	200		0	0			1	○										
51	" " 城内	山の斜面上	香積寺	200				0~25	北西	1				○							
52	" " 櫻崎	山のふもと	妙円寺	600				0~25	北	1	○										
53	" " 太田	山の斜面	長谷寺	400				50~75	南	1		○									山頂では80%、山腹 では30~40%の転倒率
54	" " 門答山	"	光厳寺	300		0	0	-		1				○							
55	" " 中島	山腹	天星寺	200	20	0	0	0~25	なし	1	○										
56	北上町大長尾	山すそ	長泉寺	50	50	0	0	0		1	○										
57	河北町長面	山すそ	竜谷院	200	20	0	0	0		1	○										
58	" 針岡	山腹	羽黒山 松山寺	200	21	4	20	50~75	なし	1	○				○					○	調査地点は盛土上では ないと考えられる。

調査 No.	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較			
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4	
59	河北町大福地	山腹	千照寺	100	18	5	28	25~50		1	○									板状の岩が露出
60	" 持領	山の斜面	高德寺	300				0~25		1	○									
61	宮城県桃生郡河北町	山腹	延命寺	200		5~6	3	0~25	なし	1	○									
62	桃生町和潤	"	神取寺	300	20	0	0	0		1	○			○						
63	涌谷町前谷地	"	耕徳院	400	40	23	58	50~75	なし	1	○			○			○			この周辺では地下に亜炭層が分布(戦前に探掘)
64	河南町本町	旧北上川追彼川合流部天主橋付近	光明寺	200	59	36	61	50~75	東西	³ or 4	○			○				○		本堂も大被害
65	宮城県河北町東福田	山腹	長泉院	100		5~6		0~25	東	1	○									
66	" " 大森	"	建立寺	300		20	7	0~25	西	1	○									
67	" 高木寺前	なだらかな斜面	吉祥寺	100		3	3	0~25	西	1	○									
68	" 石巻市真野	山腹	長谷寺	200		20	10	0~25	東	1	○									
69	河北町釜谷	山すそ	観音寺	100	100	0	0	0		1	○									
70	石巻市門脇	石巻港付近平野部	稱平寺	200	20	0	0	0		³ or 4	○			○						
71	"	山すそ	西光寺	800	100	1	1	0~25		1	○									この付近はもともと水田ではなく砂浜であった
72	石巻市門脇 小学校付近	山全体が墓地	石巻共同 墓地文殊院	1000	20	0	0	0		1	○			○						
73	石巻市蛇田	住宅地	愛宕山 東雲寺	300	40	11	28	50~75	なし	³ or 4	○									
74	河南町須江 (蛇田の北西)	山すそ	西雲寺	100	100	5	5	0~25		1	○									墓地は緩傾斜の地山(礫)上にある
75	矢本町寺沼	水田	寿昌院	200	35	9	26	75~100	東	³ or 4	○			○			○			寺のまわりは昔の沼 寺のある場所だけは堅固
76	" 大曲	"	上台共同 墓地	500	40	5	13	0~25	北又は南	"	○			○						
77	" 中区	"	東岡院	300	20	4	20	0~25	西	"	○			○				○		
78	河南町広洲		広洲寺	100	53	9	17	50~75		"	○									

調査 区	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較			
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4	
79	河南町新田	丘陵地	耕徳寺	2000	40	14	35	0~25	南	3 or 4	○		○						○	
80	矢本町中小松	傾斜地	長光庵	100	30	4	13	0~25	南又は東	1	○		○						○	
81	“ 大塩	“	清泰寺	50	40	4	10	0~25		1	○		○			○				
82	“ 引沢	山地	潤洞院	50	16	2	13	0~25	南	1	○		○			○				砂岩（風化している）
83	仙石線陸前小野駅付近、鳴瀬町小野	山すそ	山岳平	200	20	2	10	0~25	南北	1	○		○							
84	鳴瀬町新町	“	長音寺	300	34	17	50	75~100	なし	3 or 4	○									
85	南郷町二郷後袋	平地（宅地、田畑）	東光寺	500~1000		半 分 位	50	25~50	南東北東	3	○		○							
86	南郷町大柳字天神原39	平地（道路、宅地）	玉蓮寺	180		140	80	75~100	東西南	3	○		○							
87	宮城県南郷町福ヶ袋	平地で近くを鳴瀬川が流れる	福蔵寺	300				75~100	西	3	○		○							
88	“ 小牛田町塔ノ越	高台であり、周辺は水田	咬善寺	500				75~100	南	2	○		○							
89	涌谷町涌谷	住宅地	光明院	250	58	14	24	0~25	東、西 西が多	3 or 4	○			○					○	
90	宮城県長柄町	住宅地で平地	“	500				25~50	ばらばら	3	○		○							
91	涌谷町下町	山地（高台）	見龍寺	100	34	3	9	0~25	東、西 東が多	1	○				○				○	
92	宮城県田尻町通木字寺下	水田に囲まれる高台（少し）	西林寺	70				25~50		2	○		○							
93	“ “ 田尻	平地で周囲は宅地	東溪寺	600				50~75	東西	3	○		○							
94	“ 小牛田町中坪	水田に囲まれた平地	玄松院	300			100	75~100	東西	3	○		○							
95	“ “	平地	松景院	150				0~25	北	3	○		○							
96	“ 小牛田町萩坪の場	水田に囲まれる	谷陽院	1500				75~100		3	○		○							
97	“ “ 北浦	川の近くの平地	真禪寺	2000			100		東	4	○		○							
98	“ 古川市馬放字西田	平地で周辺は畑	長照院	80			100	75~100	西	3	○			○						

調査 No	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較			
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4	
99	宮城県古川市上坪	川に近い平地	長昌寺	150				50~75	西	4	○									
100	" " 鶴ヶ坪	"	江湖寺	100		100	100		南	4	○				○					
101	" " 季坪	"	富光寺	200				25~50	東西	4	○									
102	" " 江合	江合橋付近	龍洞院	240	20	13	65	75~100	東又は西	3 or 4	○									
103	" " 沢田		遍照院	85	22	9	41	25~100	西又は東	"	○			○					○	
104	" " 宮沢	水田	長久寺	7	7	7	100	75~100	西	"	○									
105	" " 飯塚	住宅地	千生寺(古川市西館)分院	70	20	7	35	25~100		"	○									
106	" " 諏訪	市街地	成願寺	50	20	5	25	0~25	西	"	○			○						旧河床で砂が堆積している
107	" " 西館	"	瑞川寺	1500	20	16	80	75~100	西又は東	"	○									
108	" " 境ノ宮	田んぼの中にある(平地)	不明	100				0~25		4	○									
109	" " 明神	平地	雲正寺	150			90	75~100	東西	4	○			○						
110	" " " 中目六軒町	田んぼの中にある高台	万年寺	300				50~75	南東	4	○			○						
111	" 小牛町青生松ヶ崎	すぐ近くを鳴瀬川が流れる	法円寺	150				25~50	南	3	○			○						
112	松山町次橋	山の斜面	柱雲寺	100				25~50	ばらばら	3	○					○				
113	三本木町伊場野	"	滝谷寺	300			90	25~100	まちまち	1	○									
114	宮城県古川市師山	少し高台	広禪寺	180		30	17	—	南	3	○									小さい墓が多い
115	三本木町三本木	山の斜面	大光寺	300			0	0		1	○									
116	" 新沼	水田	長寿院	100	100	0	0	0		3 or 4	○						○			
117	古川市中新井田町下新田	"	通龍山田通院	200	200	0	0	0		"		○		○					○	
118	" 下新田	"	大祥寺	150	150	0	0	0		"	○			○						

調査 No.	基 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考	
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較				
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4		
119	色麻町要害	水田	西昌寺	50	50	3	6	0~25	なし	2	○			○							
120	〃 寺	〃	西福寺	130	18	6		25~50	東	3 or 4	○			○			○				
121	中新田町岡町	住宅地	瑞雲寺	200	200	0	0	0		〃	○										
122	岩出山町八幡田	水田	東陽禅寺	30	30	0	0	0		〃	○										コンクリート状の「石」 からなる地盤、墓地周辺 の田んぼで硬砂
123	岩出山	住宅地	来迎寺	100	100	0	0	0		〃	○			○			○				
124	岩出山町上野月	道路沿いの山腹	天王寺	200	20	0	0	0		2			○	○							
125	宮崎町宮崎東町	家屋	洞雲寺	500	500	5	1	0~25	なし	2	○										
126	小野田町板橋	水田	法昌寺	50	50	0	0	0		2											
127	小野田町西小野田 東上月	家屋、畑	皆伝寺	300	300	0	0	0		2	○										
128	〃 小泉	水田	龍泉院	100	100	0	0	0		2	○			○			○				
129	〃 下町	家屋、畑	龍川寺	400	20	0	0	0		2								○			
130	色麻町平沢	山腹、斜面	西福寺	50	50	1	2	0~25		1	○										
131	大衛村大瓜字東沼田 34	山すそ、平地 (田畑)	宝積寺	100		0	0	0	なし	1	○										
132	大郷町大松沢字論山	山すそ、東は堤、 西は地山	真観寺	200		80	40	25~50	南	1	○										
133	大郷町大松沢森2	山すそ、周辺は 田畑	観音寺	1000		500	50	25~50	東南東	1	○										
134	松島町幡谷字観音 50	寺は山すそ、田 畑(平地)	西光院	100		10	10	0~25	北東	1	○			○							段丘堆積地形上
135	大郷町山崎畑中110	丘陵地、平地 (田畑)	珠光寺	600		500	83	75~100	東	2	○			○							
136	〃 中村字原町 30	平地(水田)	東光寺	300		150	50	25~50		3	○										
137	松島町高城町明神 2-29	寺は山すそ、田 畑(平地)	龍澤寺	250		10 未満	4	0~25	東南東	1	○										凝灰質砂岩露出
138	〃 〃 字掃命院下1の37	宅地	掃命院	260		大3 小20	3	0~25	東北東	1	○			○							

調査 No.	基 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6と53.2の比較			53.6と37.4の比較			53.2と37.4の比較			
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4	
139	松島町磯崎	宅地	願立寺	400		0	0	0	なし	1	○			○						凝灰岩及び凝灰質 砂岩露出
140	" " 29	"	宝船寺	150		0	0	0	"	1	○									"
141	" 松島字町内51	斜面地形 墓地周辺は畑	天麟院	15		0	0	0	"	1	○			○						"
142	七ヶ浜町東宮浜	丘陵地	鳳寿寺	50	50	7	14	0~25	南西	1	○			○			○			
143	" 花刈浜	山地頂上	花刈山 同性寺	150	150	0	0	0		1	○			○						風化砂岩上
144	" 松ヶ浜	家屋(山地切土)	長養寺	250	250	1	0.4	0		1	○			○				○		
145	塩釜市東ヶ岡	山腹	慈雲寺 雲上寺	1000	1000	0	0	0		1	○			○						
146	利府町利府	住宅地	円城寺	70	70	0	0	0		3 or 4	○			○			○			
147	大和町鶴巻太田 字屋敷下105	山すそ、水田	慈雲寺	200		170	85	75~100	南東 東南東	"	○			○						井戸用ボーリングを 100 m掘削しても砂地 盤であった
148	大和町鶴巻字幕柳	山すそ	井隠寺	200		160	80	75~100		"	○			○						
149	富谷町今泉寺前38	山すそ、水田	善盛寺	400		400	100	75~100		1	○			○						斜面を造成したゆるい 砂地盤上
150	" 西成田長柴	" "	法円寺	250		240	96	75~100	東南東	1	○			○						盛土上
151	大和町小野字堂前 75	緩い丘陵地 (田畑)	当寿院	200 ~300		0	0	0	なし	2	○									段丘堆積地形上
152	" 宮床字戸崎57	山すそ(田畑)	松岩寺	200		0	0	0	"	1	○									
153	" " 字長倉48	山腹	龍岩寺	不明		不明		0~25		1	○									自然斜面上
154	" 吉田字長福寺1番地	山すそ	禪興寺	80		4	5	0~25	西	1	○									自然斜面を切土した砂 質土、山すその中下段 が転倒
155	" " 一ノ坂28番地	平地(田畑)	保福寺	200		10	5	0~25	南東	2	○									
156	" 吉岡石神沢51	丘陵地、宅地	中興寺	200		50	40	25~50	なし	2	○			○						
157	" " 字町裏21	平地(宅地)	教養寺	80		0	0	0	"	2	○									
158	" " 字志町78	"	九品寺	500		3	0.6	0~25	北 北北東	2	○									

調査 No.	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考	
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6と53.2の比較			53.6と37.4の比較			53.2と37.4の比較				
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4		
179	仙台市八幡5-1-8	平地	来迎寺	40				0		1	○										
180	宮城県叶沢	山地	長泉寺	60				0		1	○				○						
181	〃 辛沢字谷地沢 36-1		徳源寺	80				0~25		1	○										
182	大倉字高島	山中(杉林)	青松寺	40		0	0	0		1	○										
183	熊ヶ根字町	水田及び住宅地	興禪寺	200		0	0	0		2	○				○						
184	熊ヶ根	雑草及び杉林	光西寺	60		0	0	0		2	○										
185	作並字北原	畑と林	興源寺	150		0	0	0		1	○										
186	作並字宿	雑草	〃	7		0	0	0		1	○										
187	清水尻	畑、林、雑草に 囲まれている	引導場	40		0	0	0		2	○				○						
188	馬場	雑木林	西光寺	30		0	0	0		2	○				○						
189	秋保	山すそ	大雲寺	150		0	0	0		2	○				○						
190	秋保町長袋	〃	向泉寺	200		0	0	0		1	○				○						
191	上愛子字大針	水田	龍角寺	100		60	60	50~75	なし	2	○										
192	宮城町下愛子字館 37	山地(切土)	安養寺	210				0		2	○										
193	向山	住宅地	長徳寺	1500		10	1	0~25		2	○										
194	〃	〃	大満寺	1000		1.2	0.2	0~25		1	○										斜面の上部ほど被害大
195	仙台市弓ノ町	やや高台で住宅 地に囲まれている	大安寺	600		10	2	0~25	南	2	○										
196	〃 南鍛冶町	住宅地に囲まれる	東漸寺	700		200	29	25~50	南	2	○										
197	〃 東九番町	宅地	考勝寺	700		35	5.0	0~25	南	2											
198	〃 新寺小路	平地、市街地	阿通陀寺			20	2.5		南	2											

調査 No	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				開き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考	
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6と53.2の比較			53.6と37.4の比較			53.2と37.4の比較				
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4		
199	仙台市新寺小路	平地、市街地	東秀院		600	18	3.0	0~25	南	2											
200	" 荒町	市街地	皎林寺		500	30	6.0	0~25	南	2											
201	原ノ町2丁目 1の66		陽雲寺	150		20		0~25	南北	2	○										
202	仙台市沖野	平地、水田 住宅地	清涼寺		50	44	88	75~100	南北	3 or 4											
203	" 荒浜	平地、畑、水田			300	2	0.7	0~25		"											
204	" 飯田字尾敷17	平地	薬王寺	80 ~90			66.7	50~75	南北	"	○			○							
205	" 二木三本塚	"	昌林寺	70				75~100	特になし	"	○			○							
206	" 井上	" 水田			65	10	15	0~25	南北	"											
207	藤塚	" 畑			60	16	26.7	25~50	南北	"											
208	寺西	" 水田	来禪寺		120	111	92.5	75~100	南北	"											
209	仙台市二木2番地	"	長壽寺	100				75~100	南	"	○			○							
210	日辺	" 住宅地			128	124	97		南	"											
211	天王前	" "	天王前寺		220	25	11.4	0~25	南	"											
212	前沖北	" 水田	妙音山 寶林寺		180	6	3.3		南	"											
213	成田	" 住宅地	大 寺		100	70	70	50~75	南	"											
214	大曲	" 水田	法徳禪寺		30	5	16.7	0~25	南	"											
215	名取市下増田字屋敷 67	"	観音寺	100		0	0	0		"	○			○							
216	岩沼市下野郷字浜 154	"	法円寺	100		5	5	0~25	西東南	"	○										
217	名取市杉ヶ袋67	"	法雲寺	150		40	27	25~50	西	"	○										
218	" 増田字後島 103番地	"	東岩寺	80		32	39	25~50	南	"	○			○							

調査 No.	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				開き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考	
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較				
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4		
219	名取市下余田	平地、住宅地	耕竜寺		300	4	1.3	0~25	南	3 or 4											
220	" 上余田	" 水田	普門寺		138	14	10.1		南	"											
221	仙台市柳生	"	柳生寺	250		100	40	25~50	南	3	○			○							
222	富沢	畑と雑木林	西光寺	6		5	83	75~100		3	○										
223	富田	"	金昌寺	300		0	0	0		3	○										
224	八幡	畑	成就院	400		2 or 3	1	0~25		3	○										
225	鉤取	住宅地	鉤取寺	1000		30	3	0~25	なし	1	○										
226	芝庭	山腹から山すそ	金剛寺	400		120	30	25~50	"	1	○										
227	赤石	雑木林	赤石山	40		数個	1	0~25		1	○										
228	秋保温泉	住宅、水田、樹林	泉明寺	40		0	0	0		1	○										
229	小野字根岸	山腹から山すその傾斜地	西風寺	70		60	85	75~100	東	1	○			○							
230	川崎	水田	竜雲寺	1000		数個	1	0~25		2	○										
231	名取市高館	山の斜面	新宮寺 墓地	350		0	0	0	なし	1	○										
232	" " 吉田	"	秀麓寺	300		0	0	0		1	○										
233	" " "	山地	紹楽寺	70		0	0	0		1	○			○							
234	手倉田	平地、道路に隣接	吉禅寺		70	62	88.6	75~100	東	3 or 4	○										
235	名取市植松町	山地、斜面	引誓寺	350		123	35	25~50	南東	1	○										
236	" 仮宿	水田に囲まれる小高い丘の上	永禅寺	100		2	2	0~25	南北	1	○										
237	" 愛島北月	山の斜面	福寿院	100		1	1	0~25	南北	1	○			○							
238	志賀八幡	山腹の傾斜地	洞林寺	200		0	0	0		1	○										

調査 №	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考	
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較				
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4		
239	名取市堀内字亀 159の1	平地	高照寺	80		0	0	0		3 or 4	○			○							
240	岩沼市下野郷江口 68	"	岩誓寺	100		15	15	0~25	南北	"	○			○							
241	押分字南谷地 238	"	恵洪禪寺	230		0	0	0		"	○			○							
242	"早又字寺北 182	" 田畑の中	高林寺	250		10	4	0~25	東西	"	○										
243	" 寺島字浜里 8	" 田畑	専光寺	200		0	0	0		"	○										
244	" 朝日	山の斜面にある	法常寺	800		20 ~30	0.3	0~25	南	1	○										250年前の本堂全壊
245	" 小川	小高い丘の上で ある	蓮華寺	70		0	0			1	○										
246	北長谷字畑向山	山すそ、山腹	長谷寺	100		2	2	0~25	なし	1	○										
247	三色吉字竹倉部	山腹から山すそ の傾斜地	東安寺	50		0	0	0		1	○										
248	稲荷	山腹	堂光寺	60		3	5	0~25	なし	1	○										
249	上川名字梅沢	山すそ	能化寺	100		0	0			1	○										
250	" 字滝ノ前	"	石川寺	200		0	0			1	○										
251	入間田	山腹の傾斜地 杉林	円竜寺	10		0	0			1	○										
252	亘理町逢隅牛袋 字谷地 161	平地、住宅地	光明寺	100		1	1	0~25		1	○										
253	南長谷字柳	山腹の傾斜地	鷹視寺	300		1	0.3	0~25		3	○										
254	亘理町逢隅十文字 字宮前 68	平地、田畑に囲 まれる	満昌寺	103		4	4	0~25	西	3	○			○							
255	" " 190	平地、周辺は畑、 水田	高音寺	150		20	13	0~25	北	3	○										
256	" 荒浜字西木倉 99	平地	富光寺	700		150	21	0~25	南北	3 or 4	○			○							
257	" 上町 11	" 住宅地	専念寺	500		50	10	0~25	南北	"	○			○							
258	" 祝田 100	山地	常因寺	100		0	0	0		1	○			○							

調査 No.	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較			
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4	
279	山本町小平字館53	山腹の斜面	竜頭寺	100	15	2	13	0~25	東	1	○			○						
280	角田市藤田北根206	山地、自然斜面	藤田寺	100		2	2	0~25	東	1	○			○						
281	〃尾山字山根6番地	〃 斜面	称名寺	100		0	0	0		1	○			○						仏壇の供物が倒れる程度
282	亘理郡山本町高瀬 竹ノ内原27	平地、周辺は畑	金泉寺	300		60	20	0~25	北	1	○			○						
283	角田市枝野字沼尻 52	平地	東善寺	200		20	10	0~25	南	3 or 4	○									
284	白石市柳町16	周囲は宅地	妙見寺	20		18 ~19	90	75~100	東西	3	○			○						比較的軟弱地盤、山手にも墓があるがその転倒率は0~25%
285	〃 寺田	山のふもとにあり、 一部斜面上にある	清林寺	300		20	7	0~25	東	3 or 4	○			○						
286	〃 大平中目	斜面で高台	威徳寺	300		0	0	0		2	○									こげしが倒れた程度
287	斉川字町西浦	山の斜面	大義寺	500		5~6	1	0~25		1	○			○						
288	福島県国見町貝田	斜面の小段があり、 近くを高速道路が 通る	最禅寺	50		0	0	0		1	○			○						被害ほとんどなし
289	〃 〃 藤田	低い丘の斜面上で 周辺は宅地	大千寺	300		1	0	0~25		2	○			○						〃
290	〃 〃 東大枝	水田に囲まれる平地 であるが、やや 高台になっている	徳本寺	150		1	1	0~25	南	3 or 4	○			○						
291	〃 〃 川内	畑に囲まれる	興福寺	26				0~25	南北	3	○			○						
292	〃 〃 徳江	水田が多く、墓は 林である	観音寺	20				0~25	南北	3 or 4	○			○						
293	〃 保原町二野袋	畑に囲まれるや や高台	長崇寺	90		10	11	0~25	南北	3	○			○						
294	〃 梁川町沼尻	平地で沼に隣接して おり水田に囲まれる	昌福寺	33		10	30	25~50	東	3	○			○						
295	〃 〃 富野	住宅地と山	安養寺	300		6	2	0~25	東	2	○			○						
296	〃 保原町柏町	畑に囲まれる	山林寺	400		5	1	0~25	南北	3 or 4	○			○						
297	〃 〃 泉町	住宅地の中にある	長谷寺	300				0~25	南	〃	○			○						
298	〃 伊達町伏黒	近くを阿武隈川が 流れ平地で水田に 囲まれる	鳳凰山寺	400				25~50	南	3	○			○						

調査 No	墓 地 位 置	墓地周辺の状況	寺名等	墓 石 転 倒 率				聞き込み による 転 倒 率 (%)	転倒 方向	地盤 種別	地 震 動 強 度 の 比 較									備 考	
				総墓 石数	調査 墓石 数	転倒 墓石 数	転倒 率 (%)				53.6 と 53.2 の比較			53.6 と 37.4 の比較			53.2 と 37.4 の比較				
											53.6 >53.2	53.6 ≈53.2	53.6 <53.2	53.6 >37.4	53.6 ≈37.4	53.6 <37.4	53.2 >37.4	53.2 ≈37.4	53.2 <37.4		
299	福島県桑折町桑折	高台にあり住宅地	伝来寺	200				0~25	北	3 or 4	○				○						
230	" " 田町	宅地	寛寿寺	100		6	6	0~25	南	"	○				○						
301	"	信夫山山麓斜面	観音寺	700		0	0	0		1	○				○						
302	鳴子ダム付近	山すそ	末沢山 洞川院	400	20	0	0	0	東西	1	○				○						
303	玉造郡鬼首	山腹	鬼頭寺	50	50	0	0	0		2	○						○				

表 4 - 2 寺社の建物の被害と募石転倒率の関係

転倒率 R〔%〕	瓦の被害なし		壁の被害なし		瓦も壁も被害なし	
	件 数	頻 度〔%〕	件 数	頻 度〔%〕	件 数	頻 度〔%〕
$0 \leq R < 10$	94	31.0	53	17.5	43	14.2
$10 \leq R < 20$	14	4.6	11	3.6	6	2.0
$20 \leq R < 30$	13	4.3	3	1.0	4	1.3
$30 \leq R < 40$	4	1.3	4	1.3	3	1.0
$40 \leq R < 50$	3	1.0	1	0.3	2	0.7
$50 \leq R < 60$	4	1.3	2	0.7	0	0
$60 \leq R < 70$	4	1.3	5	1.7	0	0
$70 \leq R < 80$	2	0.7	0	0	0	0
$80 \leq R < 90$	6	2.0	0	0	0	0
$90 \leq R \leq 100$	8	2.6	0	0	0	0
小 計	152	50.2	79	26.1	58	19.1
全調査件数	303	100.0	303	100.0	303	100.0

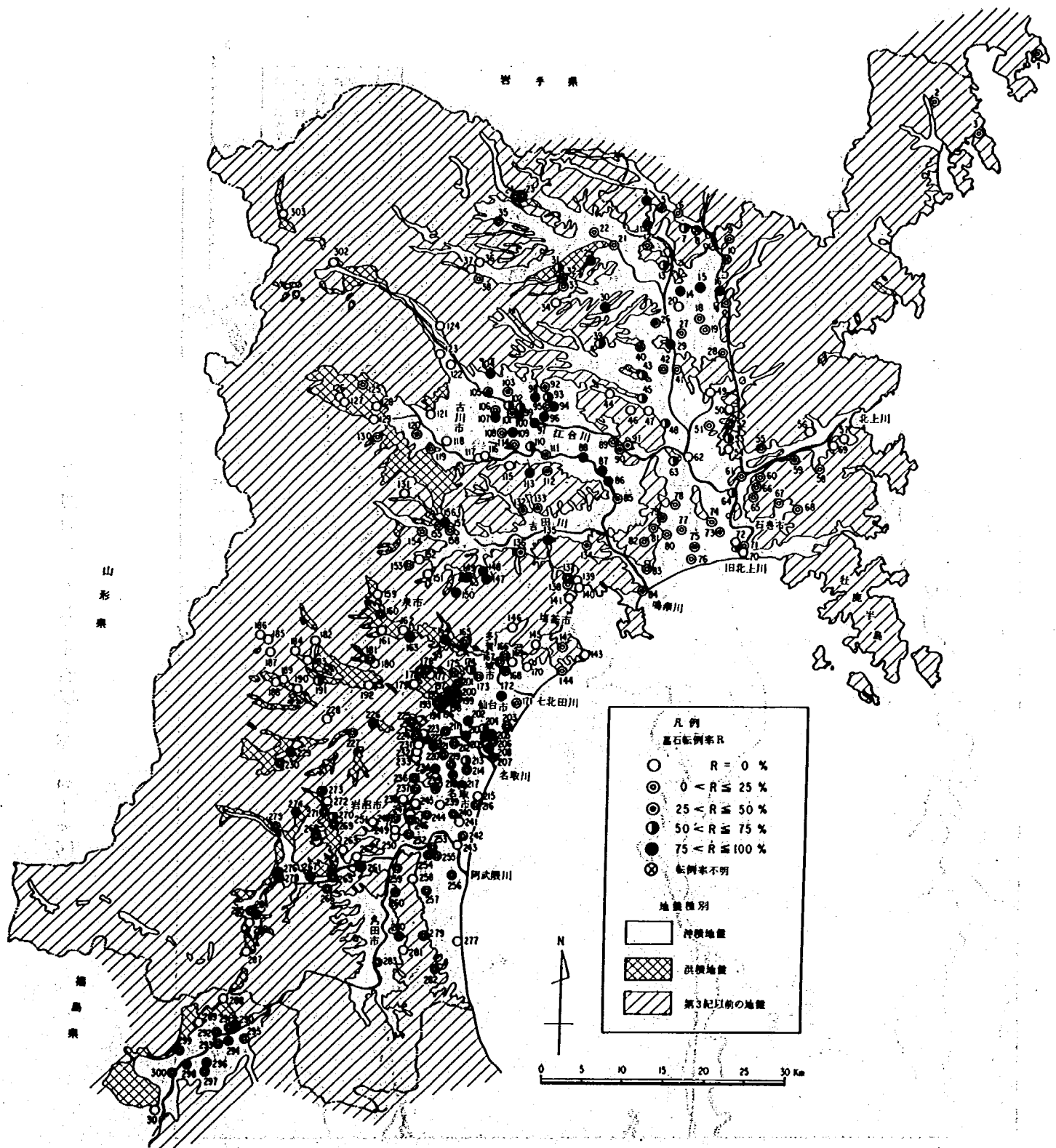


図4-1 墓石転倒率の分布

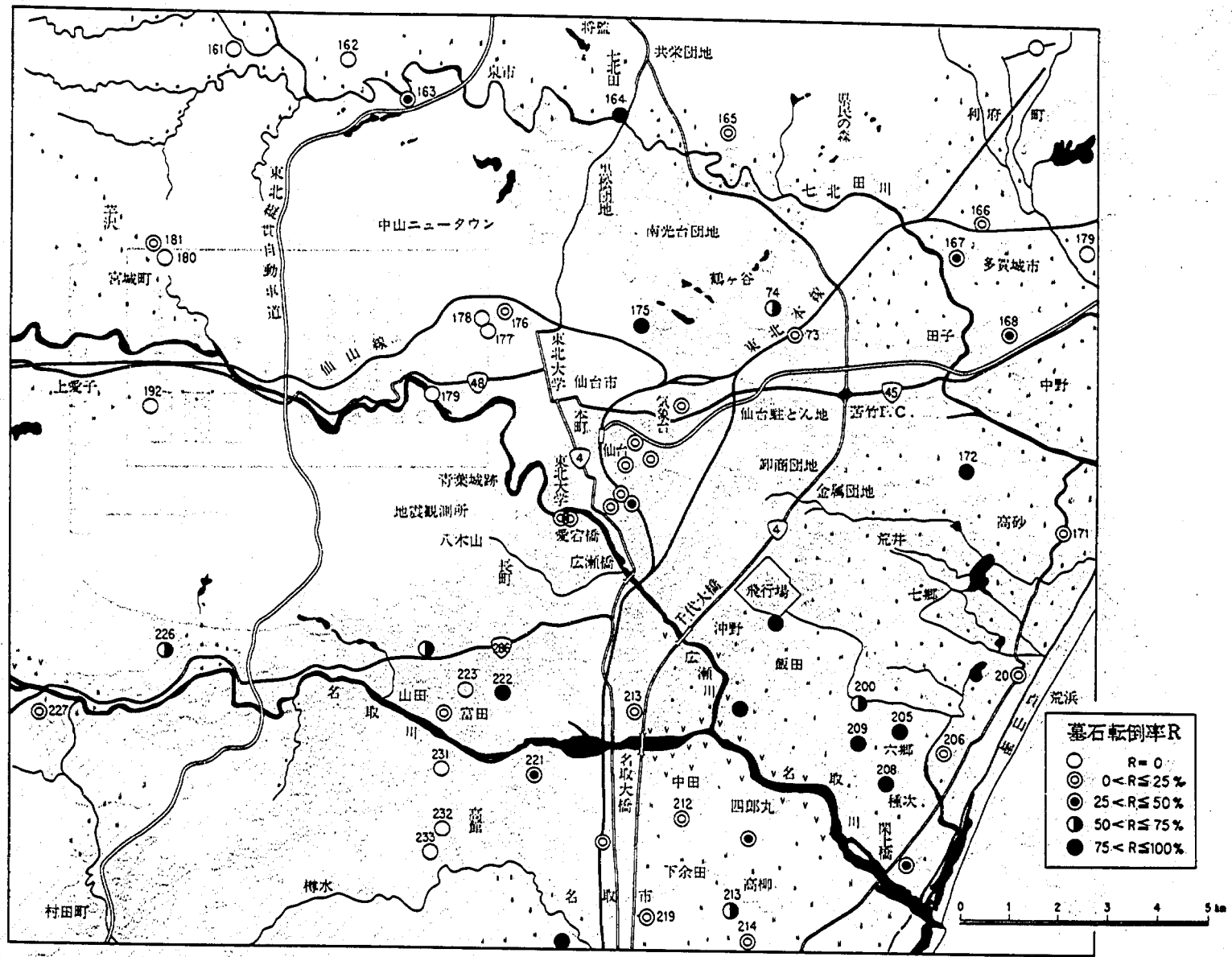
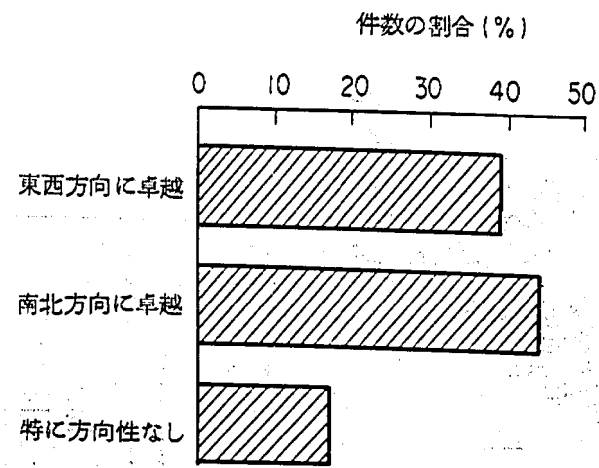
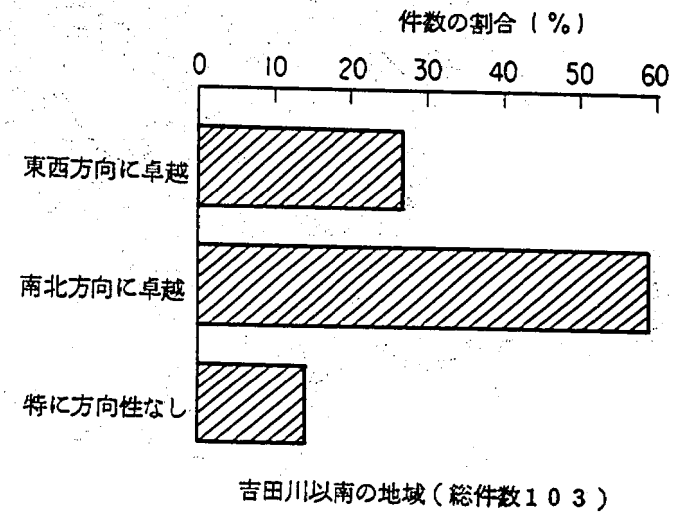
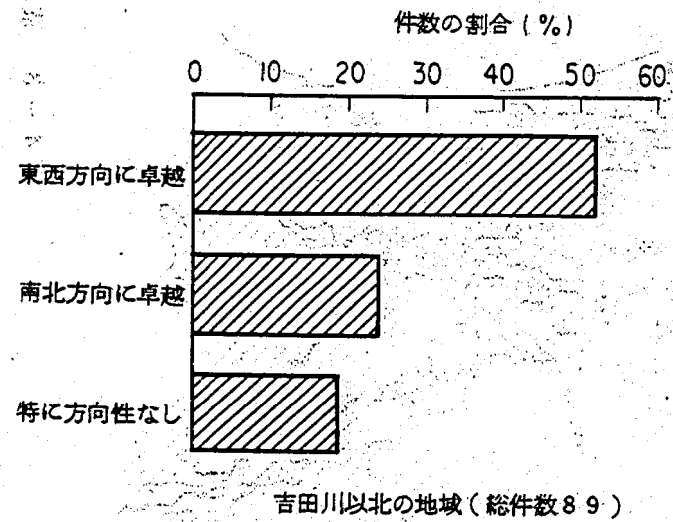


図 4 - 2 墓石転倒率の分布 (仙台地区)



(a) 対象地域＝調査地域全域 (総件数192)



(b) 対象地域を吉田川 (鳴瀬町～大郷町～大和町) 以北と以南に分けて整理した場合

図4-4 墓石転倒の方向性

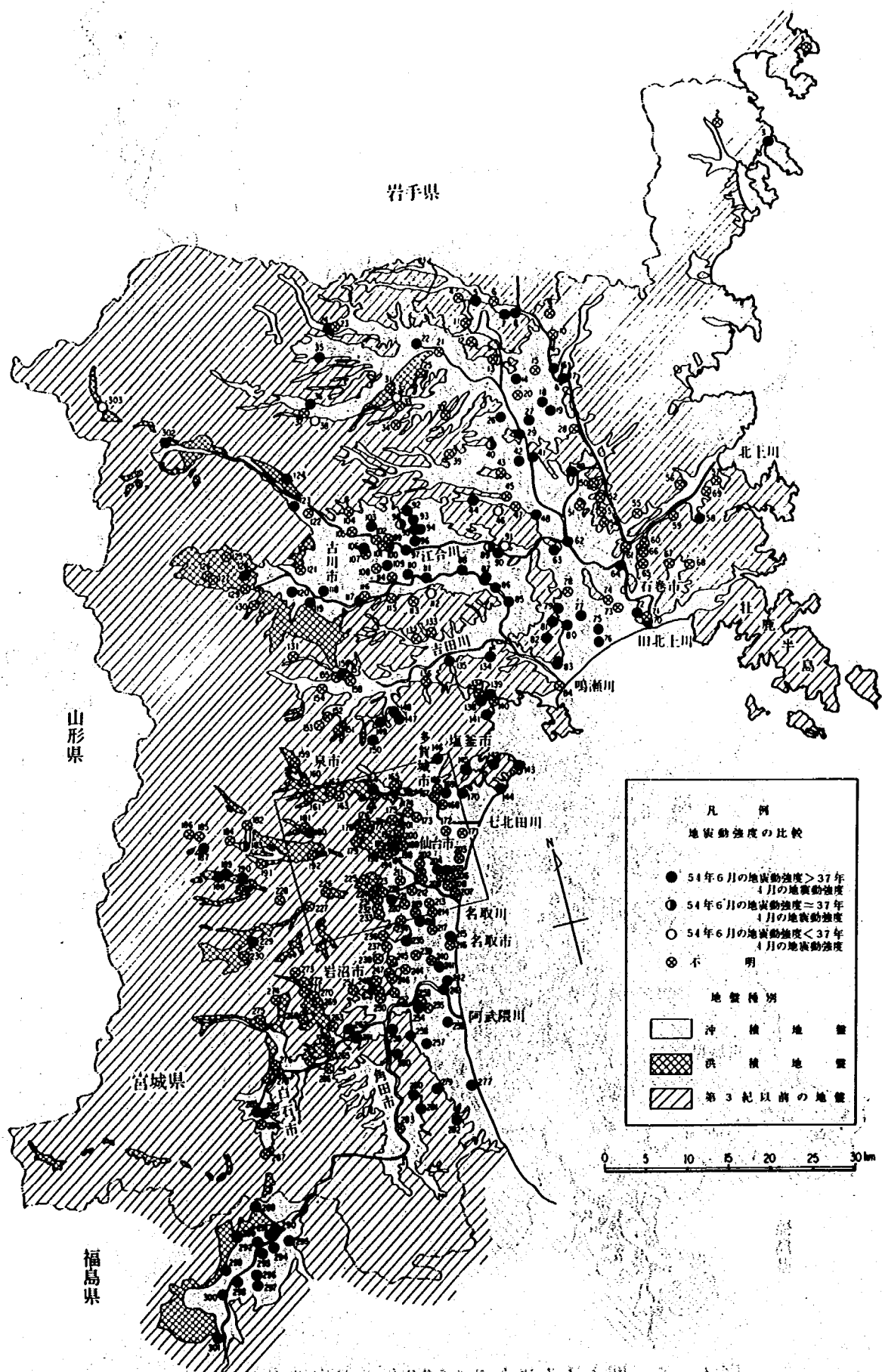


図4-6 聞き込みによる1978年6月宮城県沖地震と1962年4月の地震との地震動強度の比較

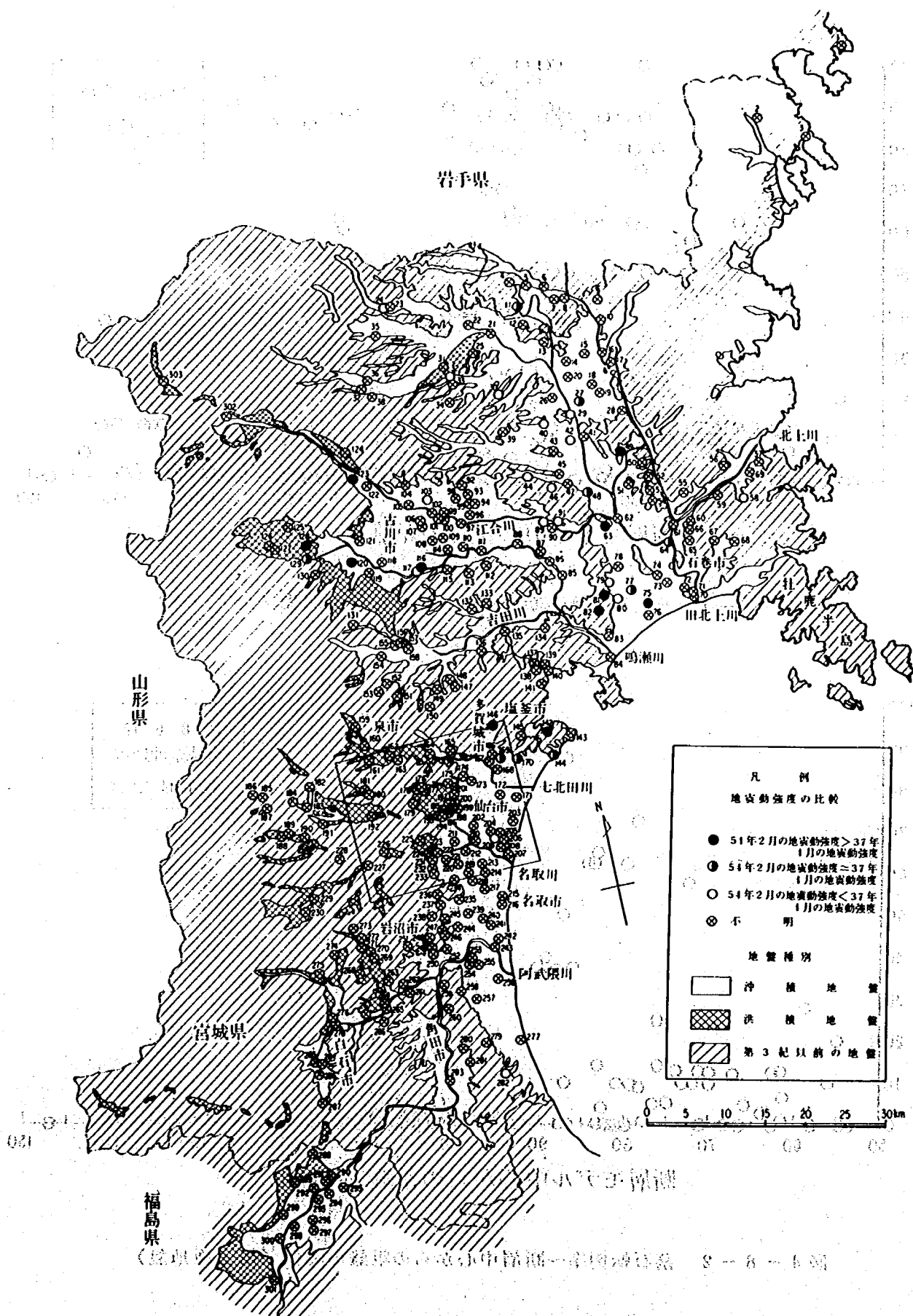


図4-7 1978年2月の宮城県沖地震と1962年4月の地震との地震動強度の比較

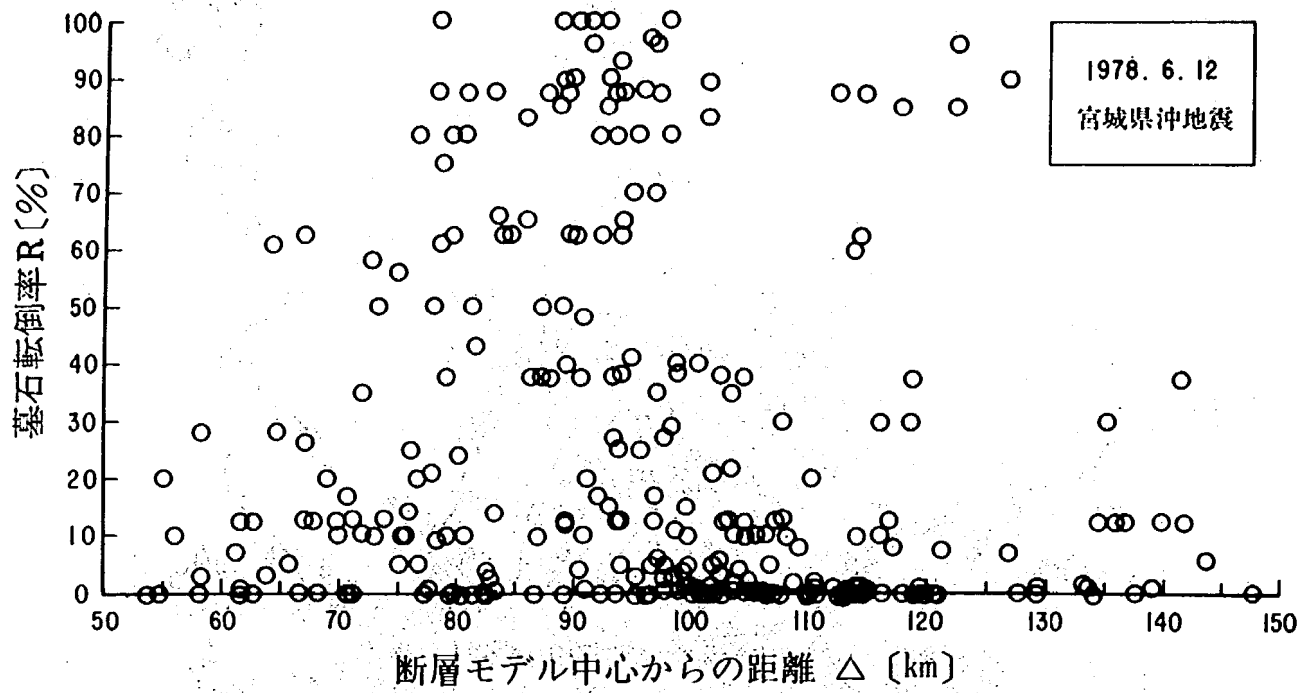


図 4 - 8 - 1 墓石転倒率～断層中心からの距離の関係（全データ）

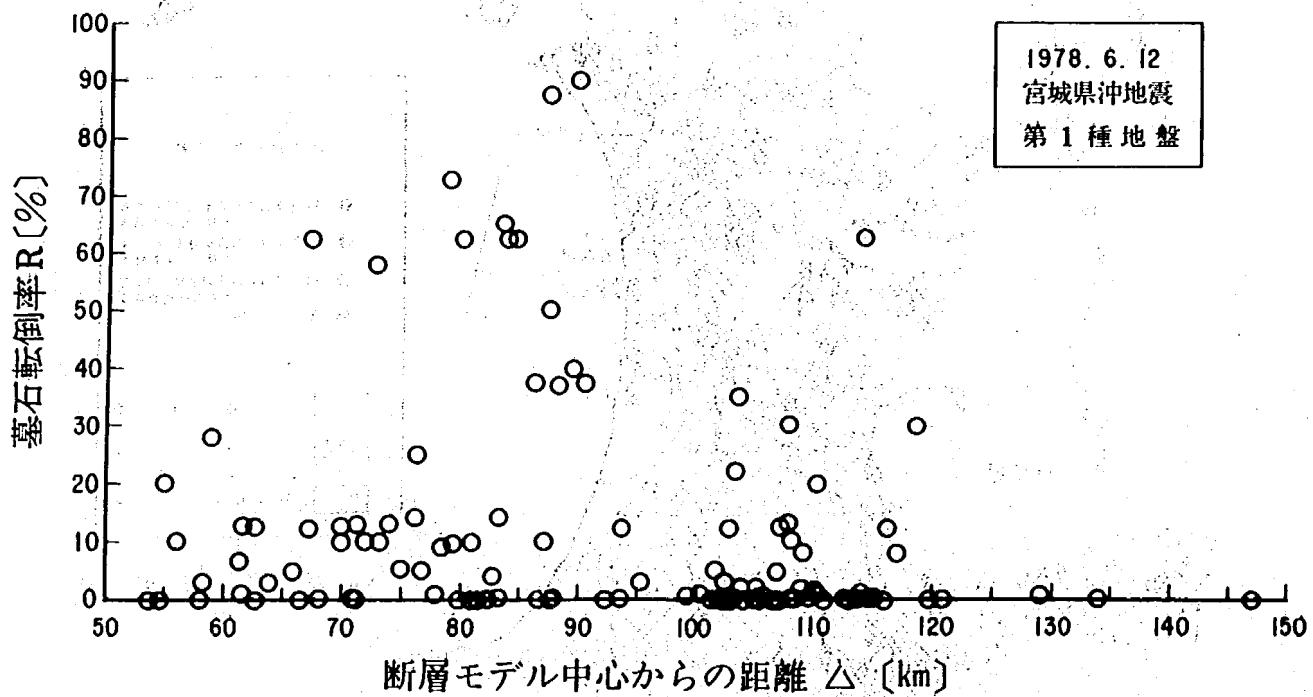


図 4 - 8 - 2 墓石転倒率～断層中心からの距離の関係（第 1 種地盤）

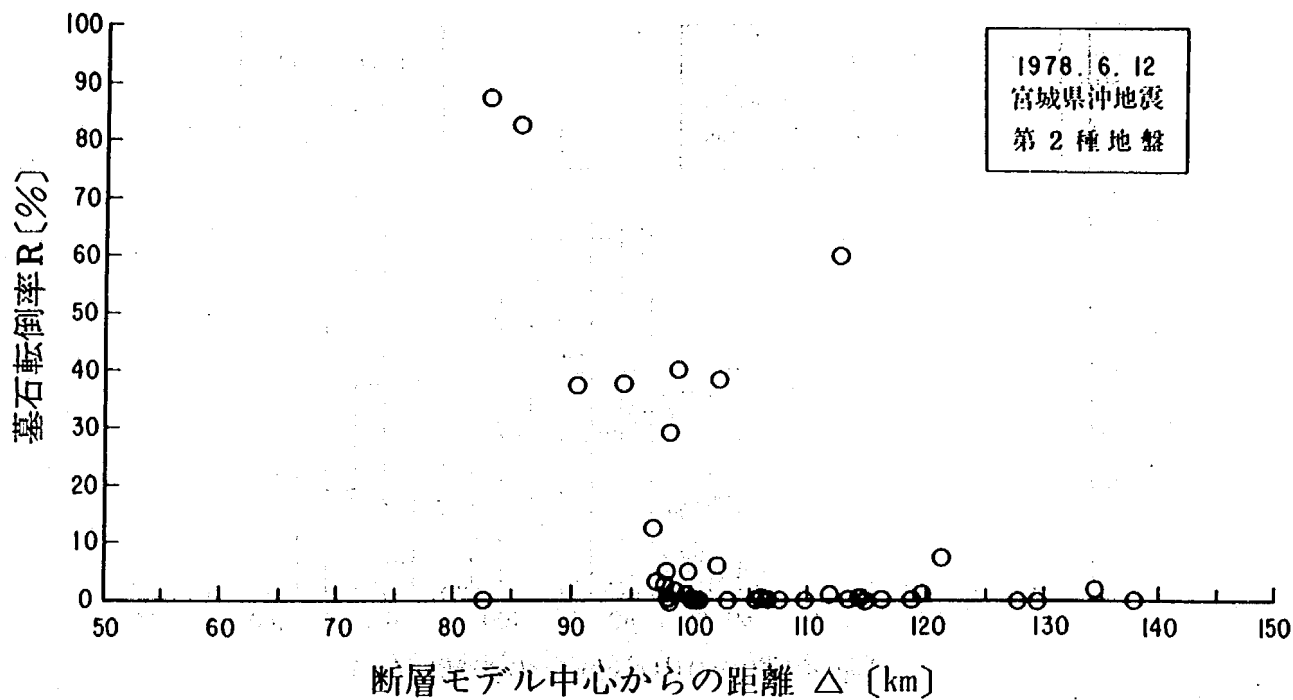


図4-8-3 墓石転倒率～断層中心からの距離の関係（第2種地盤）

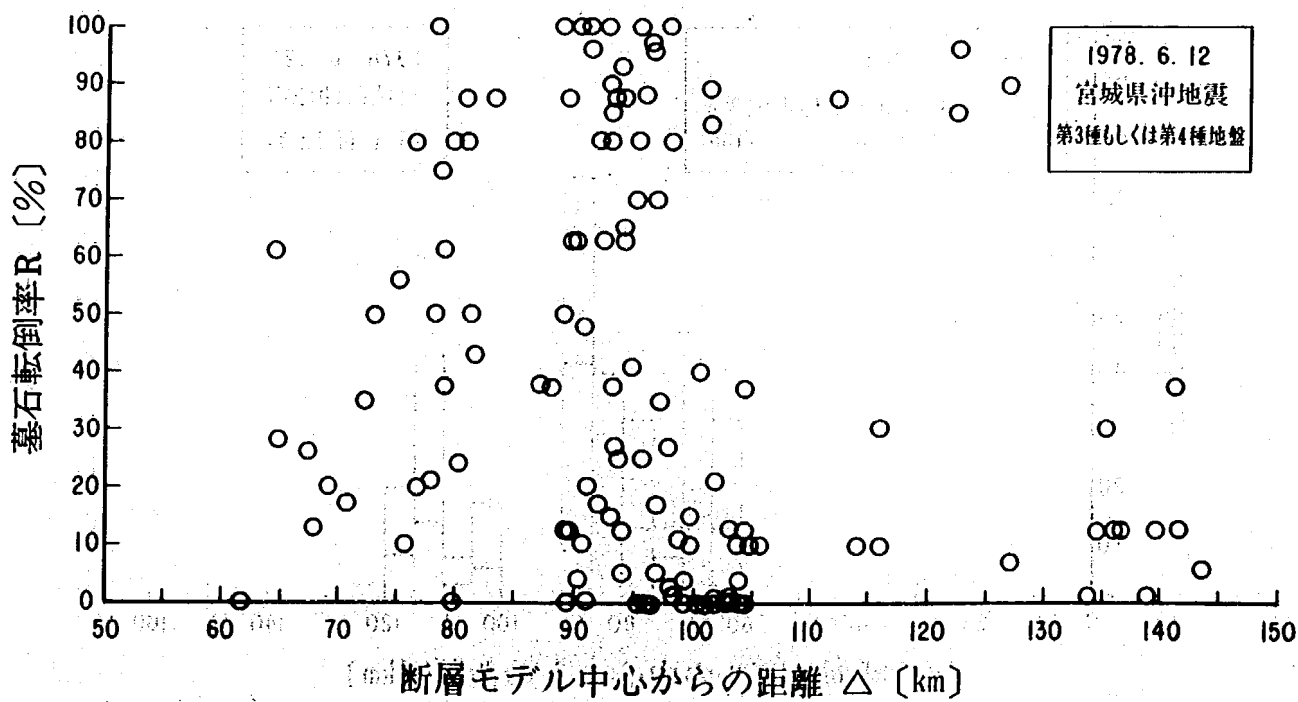


図4-8-4 墓石転倒率～断層中心からの距離の関係（第3種及び第4種地盤）

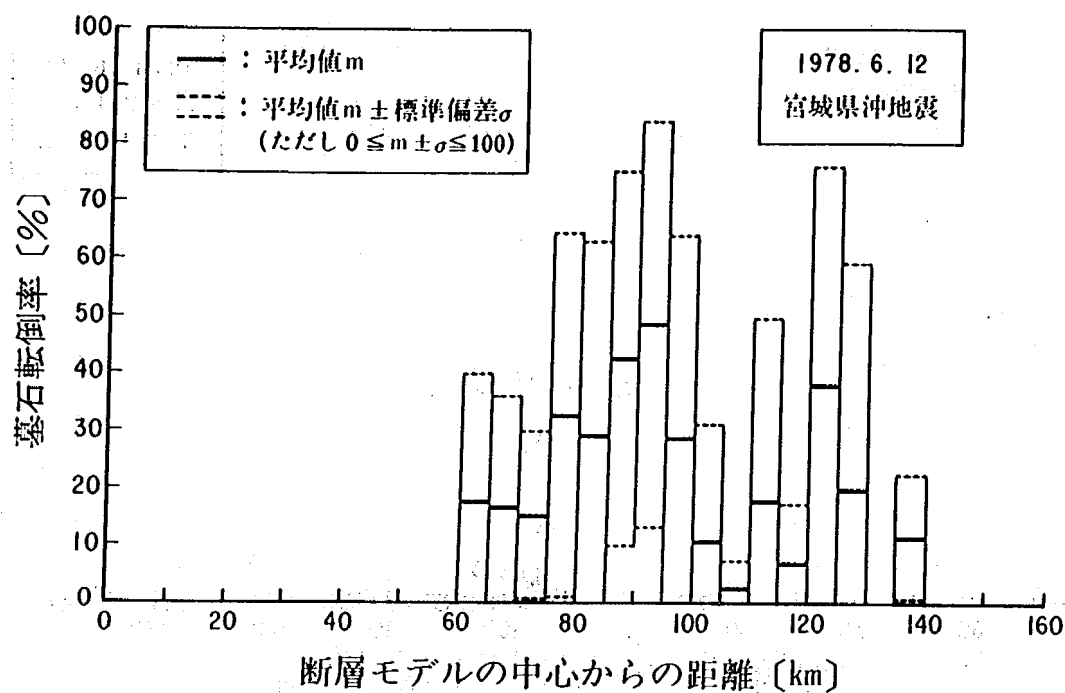


図 4 - 9 - 1 墓石転倒率～断層中心からの距離の関係

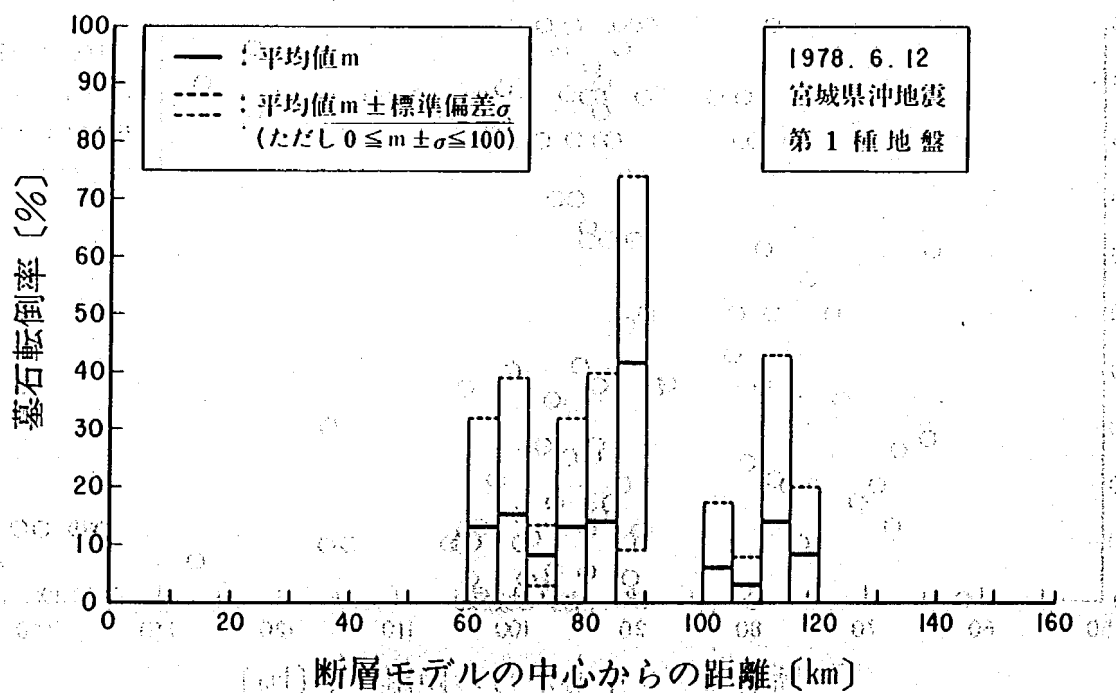


図 4 - 9 - 2 墓石転倒率～断層中心からの距離の関係
(平均値、分類値) (第 1 種地盤)

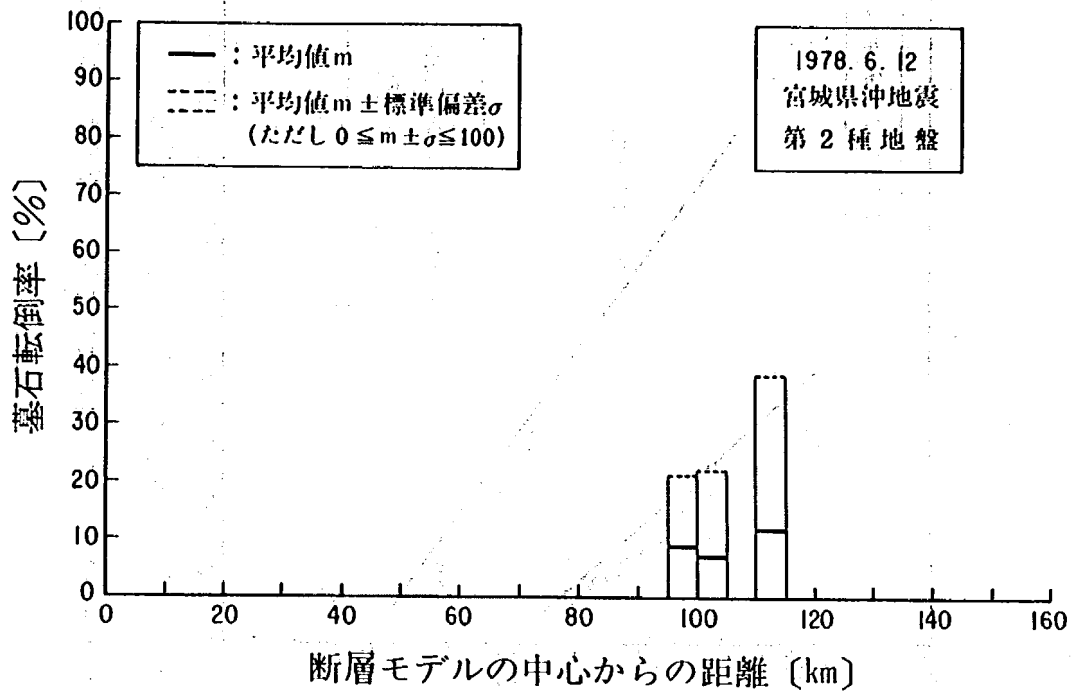


図 4 - 9 - 3 墓石転倒率～断層中心からの距離の関係
(平均値、分類値) (第2種地盤)

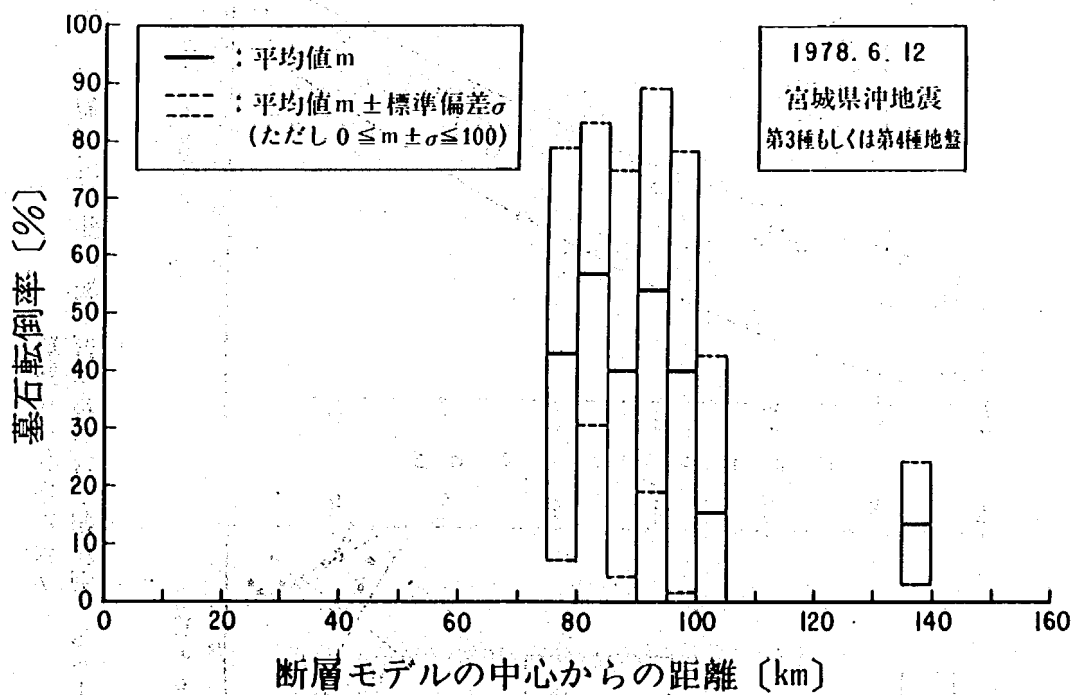


図 4 - 9 - 4 墓石転倒率～断層中心からの距離の関係 (平均
値、分類値) (第3種及び第4種地盤)

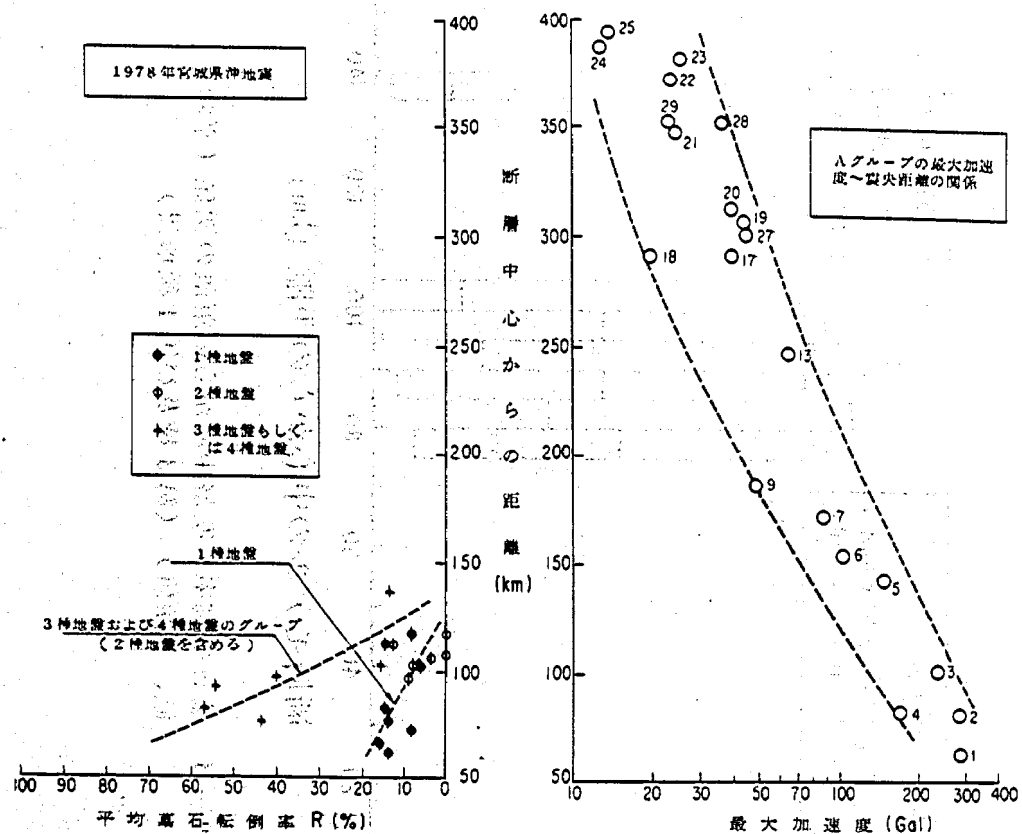


図 4 - 10 地震動の最大加速度～断層中心間距離
～墓石転倒率の関係

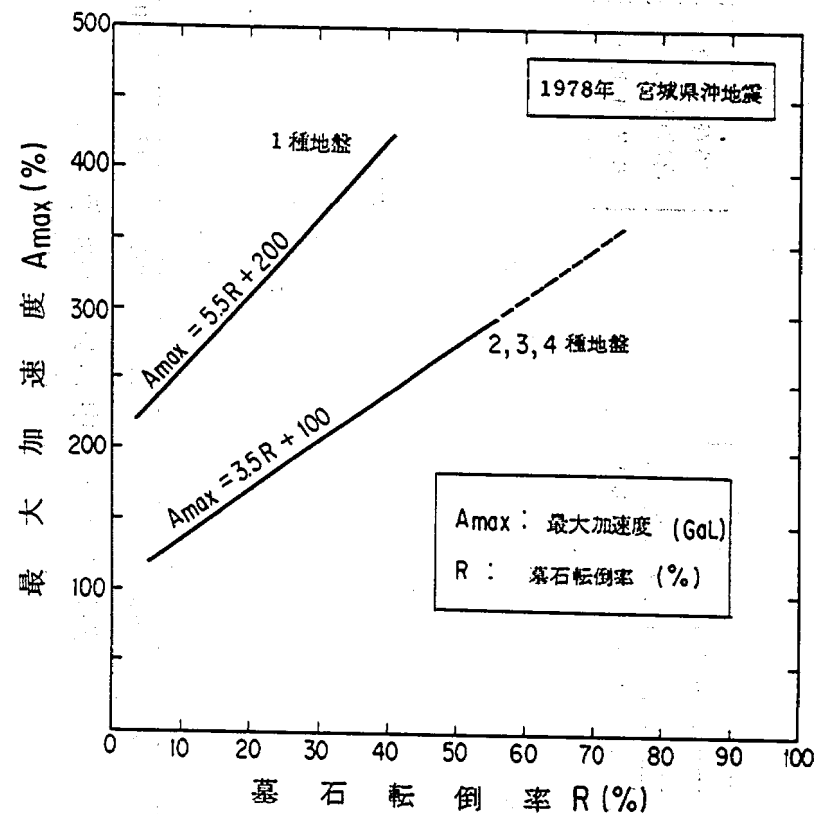


図 4 - 11 地震動の最大加速度～墓石転倒率の関係

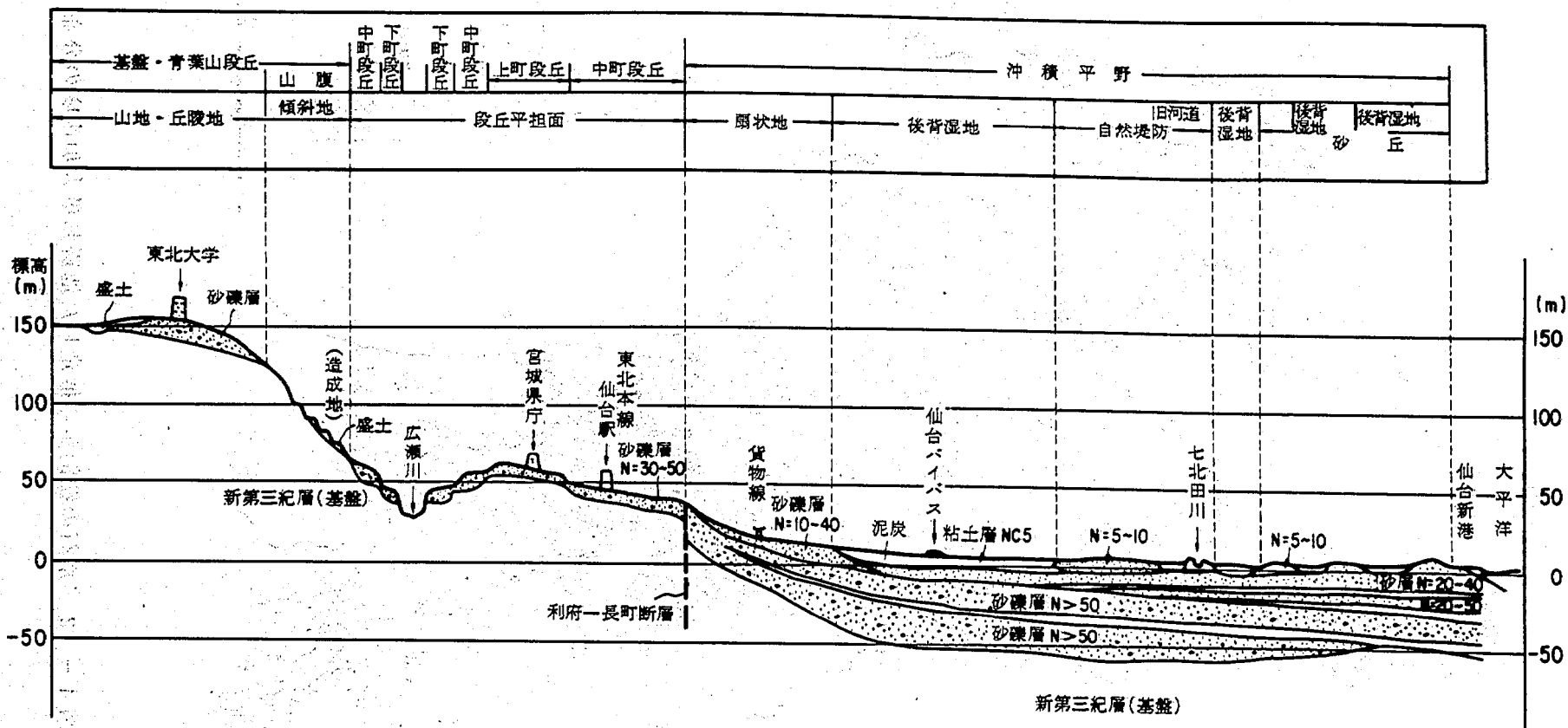
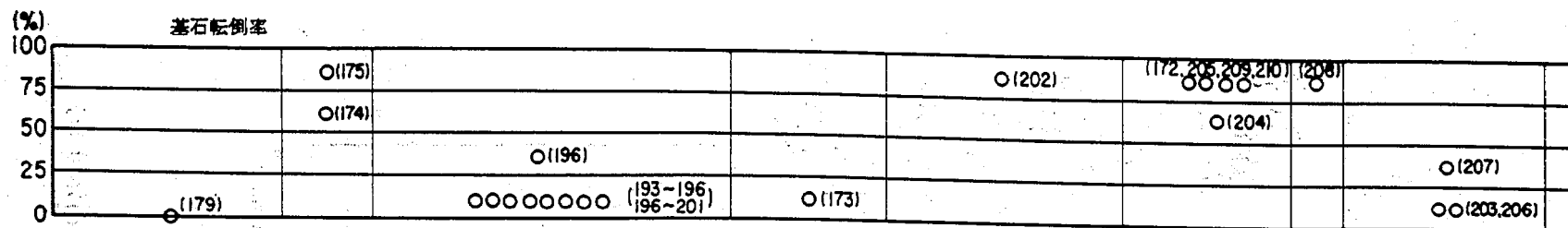


図4-13 仙台市東西方向の地盤構造と墓石転倒率の関係

5. まとめ

1978年宮城県沖地震により公共土木施設周辺の地盤上で観測された加速度強震記録を整理解析するとともに、被害の著しかった宮城県東部地区を中心に303箇所における墓石の転倒状況を調査した結果、今回の地震による地震動の特性に関し、以下の結論が得られた。

- (1) 地震動の最大加速度を断層中心からの距離によって整理すると、これらの関係は、(i)太平洋沿岸の地域で観測された記録、(ii)日本海沿岸の地域で観測された記録、(iii)内陸の山地で観測された記録、の3グループごとにそれぞれまとまった一定の傾向を示す。断層の中心から同一の距離における最大加速度は、上記の(i)に属するグループが最も大きく、以下、(ii)、(iii)の順となる。これは、マクロな地盤構成と地震動の伝播経路の影響によるものではないかと考えられる。
- (2) 水平2成分間の最大加速度のうち、大きい方の成分 A_{H1} に対する小さい方の成分 A_{H2} の比 $\beta_1 \equiv A_{H2}/A_{H1}$ は、断層中心からの距離が200kmより小さい領域では距離が減少するに従って全体として低下する傾向にある。一方、水平2成分の最大加速度のうちの大きい方の成分 A_{H1} に対する鉛直方向成分の最大加速度 A_V の比 $\beta_2 \equiv A_V/A_{H1}$ は、断層中心からの距離によりはっきりした傾向では変化せず、全体としては0.35程度の値をとる。
- (3) 今回の地震断層から最も近く（断層中心間距離約60km）に位置する石巻市開北橋近傍の岩盤上（中生代三畳系の砂岩～シルト岩、せん断波速度 $V_s \cong 650\text{m/sec}$ ）で採取された記録の加速度応答スペクトル特性は、現在までの強震記録を統計解析して求めた当該条件に該当する範ちゅうの平均応答スペクトルと比較的よく一致する。
- (4) 墓石の転倒方向にはかなり明瞭な方向性が認められる。すなわち、吉田川付近を境としてそれより北の古川市、石巻市等では東西方向に転倒した墓石が多いのに対して、吉田川より南の仙台市、名取市等では、南北方向に転倒した墓石が多い。このように墓石の転倒に規則的な方向性を生じた理由は地震動そのものにはっきりした方向性があったためではないかと考えられる。
- (5) 墓石の転倒は、沖積地盤上において、洪積地盤あるいは第3紀以前の地盤上におけるよりもきわめて大きい。墓石の転倒率が75%を超したのは、(i)登米郡中田町付近、(ii)古川市周辺の江合川、鳴瀬川流域、(iii)黒川郡富谷町周辺、(iv)仙台市および名取市、(v)白石市周辺の阿武隈川およびその支川、の各地域であり、いずれも今回の地震による被害の著しい地域である。
- (6) 宮城県地方に被害をもたらした比較的最近の3回の地震（昭和37年4月の宮城県北部地震（ $M=6.4$ ）、昭和53年2月の宮城県沖の地震（ $M=6.7$ ）、および今回の地震）によ

る地震動強度の比較を聞き込みにより調査した結果、(i)今回の地震と53年2月の地震を比較すると、宮城県下の全域にわたって今回の地震による地震動の方が53年2月の地震よりも激しかった、(ii)今回の地震と37年4月の地震を比較すると、37年4月の地震の震源地に近い登米郡、および速田郡の2、3の地点を除けば、今回の地震による地震動の方が37年4月の地震よりも激しかった、(iii)53年2月の地震と37年4月の地震を比較すると、37年4月の地震の震源地付近を除いた大部分の地域において53年2月の地震による地震動の方が37年4月の地震よりも激しかった、とそれぞれ推定される。

- (7) 墓石転倒率から求めた地震動の最大加速度がある程度以上の範囲にわたりおおむね400 gal を超したと推定されるのは、(i)新迫川流域の米山町、迫町から中田町に至る地区、(ii)江合川および鳴瀬川流域の古川市周辺地区、(iii)名取川、広瀬川流域の仙台平野地区、(iv)白石川流域の白石市周辺の一部地区、の4地域である。

謝 辞

宮城県沖地震に際して、有用な強震記録が得られたのは、東北地方建設局、宮城県、福島県をはじめとする強震計の管理点検に当っておられる方々の常日頃の地道な努力に負う所が大きい。これらの管理点検等の努力に対して心からお礼申し上げる次第である。

また、本解析に際しては巻末に示す多数の資料を参照にさせていただくとともに、運輸省港湾技術研究所が所掌する貴重な強震観測結果を多数使用させていただいた。さらに、本解析における強震記録の数値化、一次解析、ならびに基石転倒率の調査は昭和53年度科学技術庁特調費によって行なった。ともに末尾ながらここに記し、御関係の皆様は厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 増田徹也：1978年宮城県沖地震の余震観測、地震学会秋期大会講演予稿集、1978.10.
- 2) 海野徳仁：1978年6月12日宮城県沖地震（速報）、地震学会秋期大会講演予稿集、1978.10.
- 3) 瀬野、須藤、江口：1978年6月12日宮城県沖地震の発生機構、地震学会秋季大会講演予稿集、1978.10.
- 4) 大塚、須藤、石橋：地震源での破壊過程の研究——宮城県沖地震、伊豆大島近海地震の場合——、第7回建築学会地震振動シンポジウム、1979.3.
- 5) 須藤：私信、1979.6.
- 6) 相田勇：1978年宮城県沖地震に伴った津波の数値実験、地震学会秋季大会講演概要集、1978年.
- 7) 柴田、高橋：1978年2月20日及び6月12日の宮城県沖地震による仙台市内の強震記録、第7回建築学会地盤振動シンポジウム、1979.3.
- 8) 渡辺丹：強震地動と地盤、第7回建築学会地盤振動シンポジウム、1979.3.
- 9) 渋谷純一：1978年6月の宮城県沖地震による建物の被害分布とその地盤の性質、第7回建築学会地盤振動シンポジウム、1979.3.
- 10) 大橋、岩崎、川島：墓石の転倒から推定した1978年伊豆大島近海地震による地震動強度の推定、土木技術資料、Vol.20、No.11、1978.11.
- 11) 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.
- 12) 梅村、滝沢：非定常入刀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.
- 13) 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.
- 14) 物部長穂：地震動上大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.
- 15) 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.
- 16) 土木研究所第1次調査団：1978年6月宮城県沖地震被害調査速報、土木技術資料、Vol.20、No.8、1978.8.
- 17) 岩崎、川島、常田：1978年6月宮城県沖地震被害調査概報、土木研究所資料第1422号、建設省土木研究所、1978.10.

- 18) 岩崎、岩林、川島、高木：土木構造物における加速度強震記録(Ⅱ)、土木研究所集報、第33号、1978.10.
- 19) 岩崎、川島、高木：1978年宮城県沖地震による地震動記録とその特性、土木技術資料、Vol.21、Ⅱ4、1979.4.
- 20) 岩崎、川島、高木：1978年宮城県沖地震による強震記録と特性、第6回土木学会関東支部年次研究発表会、1979.1.
- 21) 岩崎、川島、高木：1978年宮城県沖地震による強震記録とその特性、第7回建築学会地震振動シンポジウム、1979.3.
- 22) 岩崎、川島：墓石の転倒からみた1978年宮城県沖地震による地震動の卓越振動方向、地震学会春季大会概要集、1979.4.
- 23) 岩崎、川島：墓石の転倒状況からみた1978年宮城県沖地震の地震動強度分布、地震学会春季大会概要集、1979.4.
- 24) 川島、坂山：墓石の転倒から推定した1978年宮城県沖地震による地震動強度の分布、土木学会年次学術講演会、1979.10.
- 25) 建設省：昭和51年度総合技術開発プロジェクト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、建設省土木研究所、1977年.
- 26) 岩崎、若林、常田：加速度記録の統計解析、土木技術資料、Vol.20、Ⅱ4、1978.4.

1978年宮城県沖地震による地域
別地震動強度の分布に関する調査
報告

ISSN 0386-5878
土研資料第1512号
昭和54年 6月

岩崎敏男、川島一彦
高木義和

キーワード 1978年宮城県沖地震、
地震動分布

要 旨

本資料は1978年6月の宮城県沖地震による地震動強度の分布ならびに特性を調べるために実施した強震記録の解析ならびに墓石の転倒状況調査結果をとりまとめたものである。

郵便はがき

3 0 0 - 2 6

20円切手
をはいて
下さい

建設省土木研究所

地震防災部振動研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 185

No. 185

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1512号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印