

土木研究所資料

最大地震動および地震応答スペクトルの推定法

——(その3)最大加速度,速度,変位および加速度応答スペクトルの距離減衰式の開発——

昭和57年11月

建設省土木研究所
地震防災部・振動研究室

ま え が き

各種の公共土木施設を合理的に耐震設計するためには、建設地点周辺で期待される地震動の特性を正しく把握することが必要とされる。地震動の特性は、地震の規模、震源からの距離、建設地点周辺の地盤条件等種々の要因により複雑に変化することが現在までの強震観測の結果より明らかになっており、このような点に基づく最大加速度、加速度応答スペクトル等の推定式も提案されている。しかしながら、従来の解析では、SMAC型強震計記録の短・長周期特性の補正を加えたものが少なく、また、水平2成分のうち、いずれか1方向の記録だけを取り挙げたものが多い。本報告は、SMAC型強震計記録の数値化精度を考慮した計器補正法を用い、水平2成分の合成効果を考慮して我国の地盤上で得られた197組(2@197成分)の強震記録をもとに、水平成分の地震動の最大加速度、最大速度、最大変位および地震応答加速度スペクトルの統計解析を行い、これらの実用的な推定式を提案するものである。これにより、地震動特性の把握が従来よりも具体的に、また、精度よく行い得るようになると考えられる。

昭和57年11月

建設省土木研究所地震防災部振動研究室

室 長 荒 川 直 士

主任研究員 川 島 一 彦

相 沢 興

高 橋 和 之

目 次

まえがき

1. 概 説	1
2. 解析に用いた強震記録	3
2-1 解析記録	3
2-2 加速度の計器補正および変位，速度の計算法	3
2-3 遮断振動数 f_{ul} および f_{ul} の決定	4
2-4 水平2成分の合成	9
3. 地盤条件の分類	32
3-1 地盤の分類とその基本的な考え方	32
3-2 地盤分類法	33
4. 加速度応答スペクトルの距離減衰式	44
5. 最大加速度，最大速度，最大変位の距離減衰式	71
6. 既往の研究成果との比較	86
6-1 加速度応答スペクトルの予測式	86
6-2 最大加速度の予測式	89
6-3 最大速度の予測式	91
6-4 最大変位の予測式	91
7. ま と め	113
8. 今後の研究課題	114
謝 辞	115
参考文献	116
付属資料-1 解析に用いた最大加速度 $\tilde{a}_{max}$ [gal]，最大速度 $\tilde{v}_{max}$ [gal]，最大変位 $\tilde{d}_{max}$ および加速度応答スペクトル倍率 $\tilde{\beta}(T) = \tilde{S}_A(T) / \tilde{a}_{max}$	119
付属資料-2 各観測地点ごとの $\tilde{\beta}$ スペクトルおよびこれを平均した $\bar{\beta}$ スペクトル	125
付属資料-3 $\tilde{\beta}(T)$ スペクトルの推定式	145

1. 概 説

公共土木施設を合理的に耐震設計するとともに各種の地震防災上の措置を講じるためには、建設地点等当該着目地点周辺で期待される地震動の強度および特性を正しく予測することが必要とされる。我国では、昭和39年の新潟地震を契機として本格的な強震観測が行われるようになっており、土木研究所において直接・間接に記録の収集にあたる強震計（SMAC型強震計）の台数は、昭和57年3月末現在で約150箇所、300台となっている。これらの強震計により得られた記録のうち、現在までに約800成分の記録が土木研究所において数値化され、地震応答解析における入力地震動として用いられるとともに、地震動の特性そのものに対しても、各種の解析が行われている。この結果、地震動の特性は、地震の規模、震源からの距離、建設地点周辺の地盤条件等種々の要因により複雑に変化することが知られるようになっている。したがって、これらの特性を適正に考慮した地震動の予測式を求めることが必要とされている。地震動の特性を表わすためには、最大加速度、実効加速度、継続時間、応答スペクトル等種々の指標が提案されている。このうち、応答スペクトルは1自由度系（1質点系）の応答ではあっても基本的には地震動が作用した場合の構造物の応答を表わすものであり、地震動の周期特性、継続時間等の情報が取り入れられたものである。また、最大加速度は、これだけを取り出すと、地震動の強度を表わすためには不十分な指標であるが、従来、耐震計算によく用いられてきている。さらに、近年では、走行車輛の安定性や落橋防止装置の地震力を検討するために、地震動の速度や変位に関する研究も必要とされつつある。このような点から、ここでは地震動の加速度応答スペクトル、最大加速度、最大速度および最大変位の実用的な推定式を求めることとした。

本報告では、建設省土木研究所および運輸省港湾技術研究所で数値化されたSMAC型強震計による2@197成分の水平方向加速度強震記録をもととし、最大地震動（最大加速度、最大速度、最大変位）および減衰定数5%の加速度応答スペクトルの統計解析を行い、これらの諸量を、対象地点の地盤条件、地震のマグニチュード、震央距離を任意に与えることにより求め得る実用的な推定式を提案するものである。なお、減衰定数が5%以外の加速度応答スペクトルを減衰定数5%の加速度応答スペクトルから求める手法は、すでに報告した通りであり、これにより任意の減衰定数に対する加速度応答スペクトルを求めることができる。

以下、2章においては本解析に用いた2@197成分の加速度強震記録の特性と、これが得られた地震の属性を示すとともに、速度および変位の計算法を示す。また、遮断振動数の設定とその考え方についても示している。3章では、地盤種別法につき、その考え方と方法を示す。道路橋示方書・耐震設計編に示す分類に従い、本解析では地盤種別を1種（道示の1種地盤）、2種（同じく2種地盤および3種地盤）、3種（同じく4種地盤）の3種類に分けている。4章および5章では、それぞれ最大地震動および加速度応答スペクトルの推定式を求めている。3種類の地盤種別ごとに、これらの諸量が地震のマグニチュードおよび震央距離の関数として求め得る推定式が

示されている。6章では、本報告に提案した推定式と既応の国内外の研究成果との比較を示している。さらに、7章および8章においては、本解析結果のまとめと今後研究を要する事項について示している。

2. 解析に用いた強震記録

2-1 解析記録

解析対象としたのは表2-1に示すように我国の67観測地点(いずれも地盤上)において観測された2@197組の水平加速度強震記録(水平2成分)である。これらは表2-2に示すように、昭和38年3月27日の越前沖地震($M=6.9$)から昭和55年6月29日の伊豆河奈崎沖地震($M=6.7$)に至るまでの合計90回の浅発地震(震源深さ60km未満)に際し、SMAC型強震計(SMAC-B, B2, Q, D, E2)により得られたものであり、建設省土木研究所および運輸省港湾技術研究所により数値化された記録である。2@197組の記録を、これが得られた地震のマグニチュード M および震央距離 Δ 別に分類すると図2-1のようになる。これによれば、いわゆる大規模地震による近距離の記録は含まれていない。また、197記録中57記録はマグニチュード6.0~6.5の地震により得られたものであり、7.0以上のマグニチュードの地震により得られた記録は40である。また、解析に用いた記録のうち最も大規模な地震は、昭和43年5月16日の十勝沖地震($M=7.9$)であり、昭和43年4月1日の日向灘沖地震($M=7.5$)、昭和43年5月16日の十勝沖地震の余震($M=7.5$)、昭和44年12月6日の北海道東部の地震($M=7.8$)、昭和47年12月4日の八丈島東方沖の地震($M=7.2$)、昭和48年6月17日の根室半島沖地震($M=7.4$)、昭和53年6月12日の宮城県沖地震($M=7.4$)等が、これに引続く規模の大きい地震である。

2-2 加速度の計器補正および変位、速度の計算法

解析記録は数値化精度を考慮して、次式によりSMAC型強震計の短周期計器補正を加えるとともに、速度および変位を計算した。すなわち、いま強震計による加速度記録を $a_0(t)$ とすれば、このフーリエ変換 $F_0(f)$ は

$$F_0(f) = \int_{-\infty}^{\infty} a_0(t) e^{-2\pi i f t} dt \quad (2-1)$$

と求められる。これに強震計の特性によるフィルタ $F_c(f)$ を見込み、補正した加速度 $a(t)$ 、速度 $v(t)$ 、変位 $d(t)$ を次式で求める。

$$\begin{aligned} a(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{2\pi i f t} df \\ v(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(f)}{2\pi i f} e^{2\pi i f t} df \\ d(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(f)}{-4\pi^2 f^2} e^{2\pi i f t} df \end{aligned} \quad (2-2)$$

ここで、

$$F(f) = F_0(f) \cdot F_c(f) \quad (2-3)$$

$$F_C(f) = \begin{cases} 0 & 0 \leq f < f_{l1} \\ \frac{f - f_{l1}}{f_{lu} - f_{l1}} \cdot \frac{\exp(i\phi(f))}{R(f)} & f_{l1} \leq f \leq f_{lu} \\ \frac{\exp(i\phi(f))}{R(f)} & f_{lu} \leq f \leq f_{u1} \\ \frac{f_{uu} - f}{f_{uu} - f_{u1}} \cdot \frac{\exp(i\phi(f))}{R(f)} & f_{u1} \leq f \leq f_{uu} \\ 0 & f > f_{uu} \end{cases} \quad (2-4)$$

ここで、 f_{lu} および f_{u1} は、それぞれ低振動数側および高振動数側の遮断振動数であり、 f_{l1} および f_{uu} は、それぞれ f_{lu} および f_{u1} に対応する補正フィルタ倍率が 0 となる振動数である。また、振幅および位相の補正係数 $R(f)$ および $\phi(f)$ は、SMAC 型強震計に用いられている空気減衰器の空気がばねとして作用する効果を考慮して次式とした。¹¹⁾

$$R(f) = \frac{1 + (U/N)^2}{\sqrt{(1-U^2)^2 + \{(1-U^2)U/N + 2hU\}^2}} \quad (2-5)$$

$$\phi(f) = \tan^{-1} \left[\frac{2hU}{(1-U^2) \{1 + (U/N)^2\} + 2hU \cdot U/N} \right]$$

ここで、 $U = f/f_n$ 、 $N = f_a/f_n$ であり、 f_n は振子の固有振動数、 f_a は表 2-3 に示す定数である。

表 2-3 式 (2-5) の定数 f_n 、 f_a (後藤による)

Type	f_n [Hz]	f_a [Hz]	h
SMAC-A, B, C	10.00	5.66	1.0
SMAC-A ₂ , B ₂ , C ₂	7.14	10.80	1.0
SMAC-D, E ₂	20.00	4.00	0.6
SMAC-E, Q			

2-3 遮断振動数 f_{u1} および f_{lu} の決定

補正加速度および変位の計算に際しては、それぞれ式 (2-4) に示す遮断振動数 f_{u1} および f_{lu} が大きな影響を及ぼすため、これらを適当に定めなければならない。別途実施した検討によると、本解析に用いた SMAC 型強震計記録の精度は数値化の精度に大きく左右され、これ

が解析に用い得る f_{u1} および f_{lu} の決定に影響する。したがって記録の利用上は対象としている地震動の振動数範囲を広くするために f_{u1} はできるだけ大きく、反対に f_{lu} はできるだけ小さくとることが望ましいが、実際の計算に際しては計算の安定上これをある有限な値で切らなければならない。すなわち、ある地震記録 $a_0(t)$ をマイラー紙上に書かせ、これを土木研究所の標準数値化システムでくり返し5回数値化し、これにより得られた波形を $a_i(t)$ ($i=1, 2 \dots 5$) とする。いま、 $a_0(t)$ と $a_i(t)$ の比較をするために、両者の加速度応答スペクトル(減衰定数は5%とする) $S_0(T)$ および $S_i(T)$ ($i=1, 2 \dots 5$) を計算し、次式で応答スペクトル比 R_i を定義する。

$$R_i = \frac{S_i(T)}{S_0(T)} \quad (i=1, 2 \dots 5) \quad (2-6)$$

いま、式(2-6)の R_i の平均値を $\bar{R}$ 、標準偏差を σ_R 、変動係数を $\lambda_R = \sigma_R / \bar{R}$ とし、これを開北橋記録(1978年宮城県沖地震)、伊達橋記録(1978年宮城県沖地震)、および新石狩大橋記録(1968年十勝沖地震)に対して計算すると図2-2, 2-3, 2-4のようになる。図中には最大加速度 A_{max} で除したフーリエ係数 $F(f)/A_{max}$ も同時に示している。これによれば、変動係数 λ_R で表わした数値化精度とフーリエ係数の間にははっきりした相関があり、いま、両者をプロットすると図2-5のようになる。さらにこれを回帰式で近似すると図2-6のようになり開北橋、伊達橋、新石狩大橋をまとめた場合には次式となる。¹²⁾

$$\log(F/A_{max}) = -0.61 \log \lambda_R - 1.84 \quad (2-7)$$

したがって、この関係を用いれば、所要の数値化精度(変動係数 λ_R)を決めることにより対応する F/A_{max} の値を知り、この値が満足される振動数範囲より、所期の数値化精度を満足する振動数範囲を定めることができる(図2-7参照)。1例として開北橋記録、伊達橋記録、新石狩大橋記録に対する遮断振動数を、 $\lambda_R=5\%$, 10% , 20% に対して求めると表2-4のようになる。

一方、SMAC-B2型強震計記録の振動実験をもとに、式(2-2)による短周期の補正効果および変位の計算精度の検討結果が行われており、以下のような結果が得られている。¹³⁾ いま、表2-5に示す7種類

表2-4 変動係数とこれに対応する読取り可能な周期範囲[秒]

読取り記録	$\lambda_R = 5\%$	$\lambda_R = 10\%$	$\lambda_R = 20\%$
開北橋記録	0.12~3.5	0.11~4.8	0.09~5
伊達橋記録	0.12~1.8	0.10~2.5	0.09~3
新石狩大橋記録	0.35~2.5	0.30~3.5	0.18~4

λ_R : 変動係数

表 2-5 加速度の再現性検討加振実験の一覧

実験番号	入 力 地 震 動 記 録						加振実験における最大加速度 ¹⁾ (gal)	卓越振動数 ²⁾	実験記号
	発生年月日	地震名	M	震央距離 (km)	記録地点	記録時最大加速度 (gal)			
1	1973. 6. 17	根室半島沖地震	7.4	305	静内橋近傍地盤上 NS成分	45	50	0.6, <u>1.4</u> , 2.9	E-1
2	1974. 5. 9	伊豆半島沖地震	6.9	140	川崎市浮島公園地盤上 NS成分	12	50	<u>0.6</u> , 1.6, 2.6	E-2
3	1978. 1. 14	伊豆大島近海地震	7.0	90	千葉県富津岬地盤上 NS成分	51	200	1.2, <u>1.8</u> , 2.1 2.4, 3.0, 4.5	E-3
4	1978. 1. 14	伊豆大島近海地震	7.0	230	名古屋港金城埠頭地盤上 NS成分	22	100	<u>1.1</u>	E-4
5							150		E-5
6	1970. 9. 30	多摩川下流地震	4.5	8	川崎市浮島公園地盤上 NS成分	22	200	<u>5.2</u>	E-6
7							300		E-7

注：1) 最大加速度は実験時における目標値であり、実際に加振台に生じた加速度値ではない。

2) 加振台に生じた加速度応答のパワースペクトルから求めた卓越振動数であり、下横線のついた振動数は最も卓越した振動数を表わしている。

の入力地震動を用いてSMAC-B 2型強震計の振動実験を行い、強震計の記録を、i)強震計の通常の記録方式に従い、スタイラスペーパー上にアナログ波形で描き、これを土木研究所の標準数値化システムで数値化（以下、数値化記録と呼ぶ）、ii)振子の運動を電氣的に計測し、これをA/D変換器により $1/100$ 秒間隔で数値化（以下、A/D変換記録と呼ぶ）、の2種類の方法で数値化する。検定台の加速度は振動特性の良好なサーボ型加速度計によって正確に測定（以下、基準加速度と呼ぶ）してあるので、これと上記の2つの方法により強震計で記録・数値化した記録をもとに次式で応答スペクトル比を定義する。

$$R_{SA} = S_A^{B2} / S_A^* \quad (2-8)$$

ここで、

S_A^{B2} : 強震記録（A/D変換記録もしくは数値化記録）から求めた加速度応答スペクトル（減衰定数は5%とする）

S_A^* : 基準加速度から求めた加速度応答スペクトル（減衰定数は5%とする）

7回の加振実験に対する式（2-8）の応答スペクトル比 R_{SA} の平均値および標準偏差を示すと図2-8（A/D変換記録）および図2-9（数値化記録）のようになる。これより式（2-2）による短周期領域における加速度の補正効果を検討すると、A/D変換記録の場合には高振動数側の遮断振動数 f_{u1} を30Hzと高くとることにより真の（振動台の）加速度（基準加速度）を0.05～3秒程度の周期範囲でよく再現することができる。これに対して、数値化記録の場合には、 f_{u1} を高くとっても数値化に伴う短周期の誤差が増幅され基準加速度の再現性は必ずしも向上しないこと、したがって、表2-5に示した記録に対しては $f_{u1} \approx 12\text{Hz}$ が実用上の限界と考えられることがわかる。

また、SMAC型強震記録からこれを2回積分し変位を求める精度を検討するために、表2-6に示すように9種類のSMAC型強震計の加振実験が行われている。

表2-6 変位の再現性検討用加振実験の一覧

実験番号	強震記録	バンドパスフィルター ²⁾ (秒)	加振実験時の最大応答値		
			基準加速度 (gal)	基準変位 (cm)	強震計加速度 ³⁾ (gal)
E-1	富津岬記録	0.05~5	363.0	4.2	328.6
E-2		0.05~2	387.5	4.2	352.9
E-3		0.05~1	411.4	2.3	356.3
E-4	南港記録	0.05~5	275.6	6.5	273.7
E-5		0.05~2	304.3	6.1	244.4
E-6		0.05~1	360.5	5.8	348.9
E-7	扇島記録	0.05~5	375.3	4.4	292.8
E-8		0.05~2	406.8	3.4	313.9
E-9		0.05~1	398.5	1.9	337.0

ここで、振動台への入力としては3種類の実測記録（富津岬記録，南港記録，扇島記録）が用いられているが，長周期側の特性を変化させる目的で低振動側の遮断振動数 f_1^{IN} を $\frac{1}{2}$ Hz， $\frac{1}{4}$ Hz，1 Hz と3種類に変化させたフィルターをかけ，合計 $3 \times 3 = 9$ 種類の模擬地震動（実験 E-1 ~ E-9，表2-6 参照）を作成し，これを検

注：1) 以下の実験結果の表示には，この記号を用いる。

2) 表-3の強震記録に，このバンドパスフィルターをかけた記録を検定台への入力として，加振実験を行った。

3) スタイラスペーパー上の記録を数値化し，中心軸補正等を施した後の最大加速度。

定台へのデジタル制御入力としている。加振実験の結果得られたSMAC-B2型強震計の加速度記録をもとに式(2-2)によって計算した変位を $d(t)$ ，直接測定した検定台の変位（以下，基準変位と呼ぶ）を $D(t)$ とし，計算変位の精度を次の3種のパラメータによって定義した。

$$\sigma = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} |d(t)^2 - D(t)^2| dt \quad (2-9)$$

$$\mu = \frac{\int_0^{T_d} d(t)^2 dt}{\int_0^{T_d} D(t)^2 dt} \quad (2-10)$$

$$\xi = \frac{d_{\max}}{D_{\max}} \quad (2-11)$$

ここで， $d_{\max}$ および $D_{\max}$ は，それぞれ $d(t)$ および $D(t)$ の最大値を表わしており，また， T_d は $d(t)$ ， $D(t)$ の継続時間である。以上のようにして式(2-2)における低振動数側の遮断振動数 f_{1u} を種々変化させた試算を行い，式(2-9)~(2-11)による精度を検討した結果が図2-10~2-12である。これによれば低振動数側の遮断振動数 f_{1u} を $\frac{1}{2}$ Hz程度とした場合に計算変位 $d(t)$ は基準変位 $D(t)$ を全体としてよく再現し， f_{1u} をこれ以下にとっても数値化に伴ない長周期成分が数値積分の過程で増幅されるため，基準変位の再現性は必ずしも向上しないことがわかる。

上述した短周期領域における加速度の補正効果とも合わせると，遮断振動数は高振動数側では $f_{1l} \simeq 12$ Hz，低振動数側では $f_{1u} \simeq \frac{1}{2}$ Hz とすることが，最も実用的であると考えられ

るが、これらの遮断振動数は式(2-6)の数値化の変動係数 λ_R が0.15~0.3程度の範囲に相当する。以上に示した数値化の精度および加速度、変位の計算法は上記の検討に用いた一般的な強震記録の場合であり、特に短周期や長周期に富む波形に対しては式(2-7)に示した数値化精度から図2-7に従って遮断振動数 f_{ul} および f_{lu} を決める必要がある。しかし、このようにすると1個1個の強震記録ごとに遮断振動数が異なることとなり、同一の振動数帯域を対象とした記録の統計解析には都合が悪い。このため、ここでは強震記録の特性による遮断振動数の設定は行わず、上記の検討結果を参考に $f_{ul} = 12\text{Hz}$ 、 $f_{lu} = 1/3\text{Hz}$ と同一の値を用いて全記録の補正を行うこととした。また、 f_{uu} および f_{ll} はそれぞれ13Hz、 $1/4\text{Hz}$ とした。このようにして式(2-5)の振幅および位相の補正係数 $R(f)$ および $\phi(f)$ を求めると図2-13のようになる。したがって、本解析で扱うのは、 $1/3\text{Hz} \sim 12\text{Hz}$ の範囲の地震動であり、これ以外の振動数範囲の地震動は対象としていない。また、加速度応答スペクトルを求める場合には、当該振動数の周辺の地震動もスペクトル値に寄与するため、適用可能な振動数範囲は上記よりももう少し狭くなる。いま調和振動入力に対する定常振動解をもとにこれを検討してみよう。固有周期 T [秒]の1自由度系に周期 T_0 [秒]の調和振動が作用した場合の加速度応答倍率を $R(T)$ とすれば、 $R(T)$ は次式で与えられる。

$$R(T) = \sqrt{\frac{1 + 4h^2U^2}{(1 - U^2)^2 + 4h^2U^2}} \quad (2-12)$$

ここで、

$$U = \frac{T}{T_0}$$

系の固有周期 T が T_0 と一致した場合には、式(2-12)で $T = T_0$ とおき、

$$R(T_0) = \sqrt{\frac{1 + 4h^2}{4h^2}} \quad (2-13)$$

となる。いま、 $R(T_0)$ で無次元化して $R(T)$ を示す($R(T)/R(T_0)$)と図2-14のようになる。図中には $T_0 = 1/f_{ul} = 1/12$ 秒とした場合、および $T_0 = 1/f_{ll} = 3$ 秒とした場合の $R(T)/R(T_0)$ が示されている。これによれば $T_0 = 3$ 秒の場合には、固有周期 T が2秒における $R(T)/R(T_0)$ の値は0.1程度であり、周期(T_0)3秒の正弦波が作用した場合の固有周期(T)2秒の1自由度系の応答加速度は共振時の10%程度に下がることがわかる。したがって、いま、長周期側の地震動を3秒から遮断し始めるとすれば、固有周期2秒以下のスペクトル値に対する影響はほとんど無いと考えられる。同様に、 $T_0 = 1/12$ 秒の場合には、固有周期 T が0.1秒以上になると、応答に対する寄与率は0.3以下となる。地震動に含まれる極端に低い周期成分の振幅は小さい

と考えられることから、短周期側の遮断周期を $1/12$ 秒とした場合には、 $1/10$ 秒以上のスペクトル値に対する影響は小さいと考えられる。したがって、遮断振動数を $1/3 \sim 12 \text{ Hz}$ とした場合の加速度応答スペクトルの適用範囲は $1/2 \sim 10 \text{ Hz}$ 程度と考えられる。

2-4 水平2成分の合成

強震計では、図2-15に示すように、互いに直交するXおよびY軸に沿う水平2成分の加速度を測定するが、このようにして得られた水平2成分の加速度記録は、たまたま強震計がセットされた方向（例えば、橋の周辺地盤の場合には、橋軸方向および橋軸直角方向にセットされる場合が多い）の加速度を表わすに過ぎない。特定の地震により地盤上で観測された水平2成分の加速度記録を相互に比較すると、両者は同一地点で観測されたにもかかわらず非常に異なる場合が少なくない。我国では一般に、水平2方向の地震力を独立に構造物に作用させて耐震計算を行うため、動的解析等で加速度記録を構造物に作用させる際に、強震計の記録方向とは異った方向の水平成分が構造物に大きな応答を与える可能性があるとするれば、その程度を把握しておくことが必要とされる。これについては、すでに報告した通りであり、最大加速度、最大速度および最大変位については、水平2成分を合成した場合には、水平2成分のいずれか一方の大きい値より平均して8%程度大きくなり、また、加速度応答スペクトルの場合には、¹⁶⁾ 25~30%程度大きくなることわがわっている。したがって、ここでは、水平2成分を時間領域で合成し、これにより得られる最大地震動および加速度応答スペクトルを解析することとした。

すなわち、いまXおよびY軸に沿う加速度をそれぞれ $a^X(t)$ 、 $a^Y(t)$ とし、これを図2-15に示すように左まわりに θ だけ回転させた座標軸 x 、 y に沿う加速度を $a^x(\theta, t)$ 、 $a^y(\theta, t)$ とする。

ここで、 $a^x(\theta, t)$ と $a^X(t)$ 、 $a^Y(t)$ の間には、

$$a^X(t) = a^x(0, t) \quad (2-14)$$

$$a^Y(t) = a^x(\pi/2, t)$$

の関係があるから、 θ の範囲を $0 \sim 2\pi$ とすれば、 $a^x(\theta, t)$ のみで、座標変換後の加速度を表わすことができる。 $a^x(\theta, t)$ の時間軸における最大加速度を $\tilde{a}_{\max}^{\theta}$ （絶対値をとる）、これを種々の θ に対して計算した場合に最大となる加速度を $\tilde{a}_{\max}$ とする。すなわち

$$\tilde{a}_{\max} = \max \{ \tilde{a}_{\max}^{\theta}(\theta) \} \text{ for } \theta \quad (2-15)$$

ここで、

$$\tilde{a}_{\max}^{\theta}(\theta) = \max \{ |a^x(\theta, t)| \} \text{ for } t \quad (2-16)$$

ここで、 $\max \{ f(z_1, z_2) \}_{\text{for } z_1}$ は z_1 を変化させた場合の関数 $f(z_1, z_2)$ の最大値を示す。同様にして変位、速度についても $\tilde{d}_{\max}, \tilde{v}_{\max}$ を求め、これを以後の解析対象とする。

197 記録に対して $\tilde{a}_{\max}, \tilde{v}_{\max}, \tilde{d}_{\max}$ および $\tilde{S}_A(T)$ を計算すると、この頻度分布はそれぞれ図 2-16, 図 2-17 に示す通りである。これによれば最大加速度は大部分が 250 gal 以下であり、これを超える記録は 5 例しかない。

また、応答スペクトルについては、 $a^*(\theta, t)$ から減衰定数 5% の加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A(\theta, T)$ を求め、これを種々の θ に対して各周期ごとに求めた最大値を $\tilde{S}_A(T)$ とした。すなわち、

$$\tilde{S}_A(T) = \max \{ \tilde{S}_A(\theta, T) \}_{\text{for } \theta} \quad (2-17)$$

ここで、減衰定数を 5% としたのは、この程度の減衰が橋等一般の土木構造物の耐震設計を考える際に基本となると考えたためである。なお、減衰定数 5% の応答スペクトルが求められれば、次式により任意の減衰定数に対する応答スペクトルを推定することができる。¹⁷⁾

$$\tilde{S}_A(T, h) = \xi_{SA}(T, h) \times \tilde{S}_A(T, 0.05) \quad (2-18)$$

ここで、

$$\xi_{SA}(T, h) = 0.983 \times (h/0.05)^{-0.270} \quad (2-19)$$

$\tilde{S}_A(T, h)$: 減衰定数 h の加速度応答スペクトル [gal]

$\tilde{S}_A(T, 0.05) = \tilde{S}_A(T)$: 減衰定数 $h = 0.05$ (5%) の
加速度応答スペクトル [gal]

ただし、式 (2-19) は、固有周期が長い場合 (おおむね $T > 2$ 秒の場合) もしくは、減衰定数が非常に小さい場合 (おおむね $h < 0.01$) には適用できない。なお、図 2-18 は式 (2-19) の $\xi_{SA}(T, h)$ を示したものである。

表 2-1(1) 解析に用いた強震記録

No	観測所名	記録名	地震No	地震名	地震発生 年月日時分	M	深さ	震央 距離
1	土研旧千葉支所 (1)	901-GRA-4	630804	千葉県東方沿岸	1963, 08. 04, 20:43	5.1	40	31.2
		901-GRA-33	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	72.3
		901-GRA-66	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	45.9
2	新天竜川橋	904-GR-1	650420	静岡近海	1965, 04. 20, 08:42	6.1	20	47.5
		904-GR-4	71002	愛知県沿岸	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	67.7
3	落合橋 (1)	905-GRA-266	70011	松代近傍	1970, 04. 09, 01:44	5.0	0	24.3
4	開北橋	302-GR-1	66025	宮城県東方沖	1966, 06. 24, 06:52	5.1	60	61.9
		302-GR-3	67004	金華山沖	1967, 01. 17, 20:59	6.3	30	70.6
		302-GR-9	68050	岩手県沖	1968, 06. 12, 22:42	7.2	0	190.9
		302-GR-11	68062	宮城県東方沖	1968, 07. 05, 20:28	6.4	50	78.7
		302-GR-22	70026	宮城県沖	1970, 09. 14, 18:45	6.2	40	92.6
		302-GR-34	78002	"	1978, 02. 20, 13:37	6.7	50	84.2
		302-GR-35	78012	"	1978, 06. 12, 17:14	7.4	40	81.4
5	有明海堤防	801-GR-1	66051	有明海	1966, 11. 12, 21:01	5.5	20	12.9
		801-GR-2	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	233.7
6	伊達橋	304-GR-6	67004	金華山沖	1967, 01. 17, 20:59	6.3	30	144.5
		304-GR-13	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	227.0
		304-GR-14	68062	宮城県東方沖	1968, 07. 05, 20:28	6.4	50	162.6
		304-GR-21	70008	福島県沖	1970, 02. 15, 13:01	5.1	50	99.1
		304-GR-23	70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0	153.3
		304-GR-26	71018	福島県沖	1971, 03. 22, 19:40	5.4	10	147.9
		304-GR-28	71021	宮城県沖	1971, 04. 05, 03:39	6.0	50	157.8
		304-GR-30	71038	福島県沖	1971, 09. 08, 16:25	5.5	40	122.9
		304-GR-32	72019	宮城県沖	1972, 09. 25, 18:27	5.5	50	147.0
7	新葛飾橋	101-GR-5	67057	茨城県沖	1967, 11. 19, 21:07	6.0	50	140.6
		101-GR-7	68018	千葉県中部	1968, 03. 07, 11:54	5.1	50	33.8
		101-GR-9	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	47.7
		101-GR-24	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	28.3
8	鹿島試験所	906-GR-12	71040	千葉県北部	1971, 10. 11, 19:16	5.2	40	9.5
		906-GR-13	72001	千葉県北部	1972, 01. 04, 09:20	5.0	40	11.3
		906-GR-17	73024	銚子近海	1973, 09. 30, 15:18	5.9	50	26.9
		906-GR-18	73025	"	1973, 10. 01, 23:16	5.8	60	33.3
		906-GR-19	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	41.6
		906-GR-22	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	55.9
9	石瀬戸橋	205-GR-2	68012	宮崎県南西部	1968, 02. 21, 10:45	6.1	0	40.6
		205-GR-6	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	136.0
		205-GR-8	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	84.9
10	平大橋	907-GR-2	68015	福島県沖	1968, 02. 26, 05:00	5.4	50	84.5
		907-GR-31	69023	"	1969, 06. 23, 14:57	5.2	50	72.3
		907-GR-32	69024	"	1969, 07. 23, 22:14	5.5	40	76.9

表2-1(2) 解析に用いた強震記録

橋	観測所名	記録名	地震橋	地震名	地震発生年月日時分	M	深さ	震源距離
10	平大橋	907-GR-39	70008	福島県沖	1970.02.15, 13:01	5.1	50	59.2
		907-GR-60	71038	"	1971.09.08, 16:25	5.5	40	59.9
		907-GR-83	74015	茨城県南西部	1974.08.04, 03:16	5.8	50	145.4
		907-GR-94	75015	福島県沖	1975.08.15, 03:09	5.5	50	19.7
		907-GR-106	78002	宮城県沖	1978.02.20, 13:37	6.7	50	219.9
		907-GR-108	78012	"	1978.06.12, 17:14	7.4	40	164.6
11	紀ノ川大橋	112-GR-8	68022	和歌山近海	1968.03.30, 04:04	5.0	0	5.4
		112-GR-25	73029	和歌山県中部	1973.11.25, 13:25	5.9	60	46.7
		112-GR-26	73030	"	1973.11.25, 18:19	5.8	60	42.0
12	妙見橋	306-GR-1	68026	日向灘	1968.04.01, 09:42	7.5	30	341.3
		306-GR-7	78008	島根県中部	1978.06.04, 05:04	6.1	0	29.8
13	板島橋	308-GR-2	68026	日向灘	1968.04.01, 09:42	7.5	30	103.3
		308-GR-3	68027	"	1968.04.01, 16:13	6.3	0	102.8
		308-GR-4	68066	愛媛県西部沿岸	1968.08.06, 01:17	6.6	40	10.0
14	幌満橋	1305-GR-1	68036	東北東方沖	1968.05.16, 09:49	7.9	0	155.1
		1305-GR-3	68038	青森県東方沖	1968.05.16, 19:39	7.5	40	74.0
15	新利根川橋	104-GR-9	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	29.9
		104-GR-23	72027	茨城県南西部	1972.11.06, 20:39	5.1	40	18.1
		104-GR-27	74015	"	1974.08.04, 03:16	5.8	50	23.6
		104-GR-36	78012	宮城県沖	1978.06.12, 17:14	7.4	40	312.2
16	草加高架橋	106-GR-9	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	38.4
		106-GR-21	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	312.6
		106-GR-27	74015	茨城県南西部	1974.08.04, 03:16	5.8	50	25.6
17	平大橋	310-GR-15	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	48.7
		310-GR-18	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	301.0
		310-GR-26	74015	茨城県南西部	1974.08.04, 03:16	5.8	50	34.0
18	四徳大橋	319-GR-3	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	136.7
		319-GR-4	69032	岐阜県中部	1969.09.09, 14:15	6.6	0	85.5
		319-GR-5	71002	愛知県沿岸	1971.01.05, 06:09	6.1	40	150.5
19	東京湾(富津岬)	501-GR-29	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	82.3
		501-GR-74	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	262.0
		501-GR-81	74012	伊豆半島南部沿岸近海	1974.05.09, 08:33	6.9	10	123.2
20	西新井橋	902-GR-25	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	41.6
		902-GR-38	74015	茨城県南西部	1974.08.04, 03:16	5.8	50	31.4
21	境川橋	1004-GR-1	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	48.8
22	姥久保橋	1005-GR-1	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	34.1
		1005-GR-2	76004	山梨県東部	1976.06.16, 07:36	5.5	20	40.5
23	羽田海底トンネル	1109-GR-3	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	55.7
24	東京湾(観音崎)	503-GR-17	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	258.8
		503-GR-19	74012	伊豆半島南部沿岸近海	1974.05.09, 08:33	6.9	10	115.0
		503-GR-21	78001	大島近海	1978.01.14, 12:24	7.0	0	70.3

表2-1(3) 解析に用いた強震記録

No	観測所名	記録名	地震No	地震名	地震発生年月日時分	M	深さ	震央距離
25	石 鎚 橋	313-GR-2	68070	愛媛県西部沿岸	1968, 08. 06, 13:21	5.3	40	82.4
26	新 八 幡 橋	204-GR-3	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	89.1
		204-GR-28	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	33.8
27	豊 浜 大 橋	311-GR-5	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	145.9
		311-GR-6	71002	愛知県沿岸	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	43.6
28	西横堀高架橋	1201-GR-6	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	188.7
29	雄 平 橋	301-GR-7	70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0	23.2
		301-GR-13	78012	宮城県沖	1978, 06. 12, 17:14	7.4	40	188.1
30	米 山 大 橋	102-GR-16	71012	新潟県南西部	1971, 02. 26, 04:27	5.5	0	26.2
31	魚 沼 橋	202-GR-15	71012	新潟県南西部	1971, 02. 26, 04:27	5.5	0	42.2
32	鶴 川 橋	1006-GR-3	71029	山梨県東部	1971, 07. 23, 07:07	5.3	10	15.0
		1006-GR-5	76004	"	1976, 06. 16, 07:36	5.5	20	16.9
33	利根川河口堰	1401-GR-1	71040	千葉県北部	1971, 10. 11, 19:16	5.2	40	16.0
		1401-GR-4	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	33.3
		1401-GR-5	74014	茨城県沖	1974, 07. 08, 14:45	6.3	40	79.0
		1401-GR-6	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	73.9
		1401-GR-8	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	49.9
34	真 崎 大 橋	105-GR-8	74016	岩手県北部沿岸	1974, 09. 04, 18:20	5.6	40	46.2
35	小見川大橋	206-GR-2	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	41.3
		206-GR-3	74014	茨城県沖	1974, 07. 08, 14:45	6.3	40	81.2
		206-GR-4	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	64.5
		206-GR-6	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	59.2
		206-GR-8	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	44.6
36	土研千葉支所(2)	901-GRB-5	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	20.2
37	東名・富士川橋	1002-GR-5	80008	伊豆半島付近	1980, 06. 29, 16:20	6.7	10	61.3
38	名 古 屋 港	404GR-1-1	630327	越前岬沖	1963, 03. 27, 06:34	6.9	0	127.0
		404GR-1-3	71002	愛知県沿岸	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	77.0
		404GR-1-4	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	24.3
39	釧 路 港	102GR-1-2	68036	東北東方沖	1968, 05. 16, 09:49	7.9	0	257.9
		102GR-1-4	680903	根室半島南東方沖	1968, 09. 03, 14:23	5.2	60	110.5
		102GR-1-6	69028	北海道東部	1969, 08. 12, 06:28	7.8	30	265.1
		102GR-1-7	70004	北海道南部地方	1970, 01. 21, 02:33	6.7	50	121.6
		102GR-1-8	71034	襟裳岬沖	1971, 08. 02, 16:25	7.0	60	201.7
		102GR-1-9	720511	釧路沖	1972, 05. 11, 09:45	5.8	60	61.2
		102GR-1-10	73009	根室半島沖	1973, 06. 17, 12:55	7.4	40	127.3
		102GR-1-11	73013	"	1973, 06. 24, 11:43	7.1	30	192.4
		102GR-1-12	740125	十勝沖	1974, 01. 25, 04:13	6.0	40	127.3
		102GR-1-13	740920	釧路沖	1974, 09. 20, 09:53	5.5	50	66.7
40	小 名 浜 港	208GR-1-1	66009	茨城県東方沖	1966, 04. 03, 13:43	5.8	20	92.5
		208GR-1-2	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	170.4
		208GR-1-3	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	416.5

表2-1(4) 解析に用いた強震記録

No	観測所名	記録名	地震No	地震名	地震発生年月日時分	M	深さ	震央距離
40	小名浜港	208GR-1-5	73014	茨城県沖	1973, 07. 20, 17:13	5.9	40	59.7
41	大船渡港 (1)	206GR-1-1	67004	金華山沖	1967, 01. 17, 20:59	6.3	30	95.7
		206GR-1-3	68062	宮城県東方沖	1968, 07. 05, 20:28	6.4	50	81.9
42	東京港 (品川)	303GR-1-2	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	51.0
		303GR-1-5	72027	茨城県南西部	1972, 11. 06, 20:39	5.1	40	56.0
		303GR-1-6	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	293.2
		303GR-1-8	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	51.7
		303GR-1-9	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	44.9
43	鹿島港	301GR-1-2	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	113.4
		301GR-1-3	69017	鹿島灘	1969, 05. 13, 23:19	5.2	50	60.6
		301GR-1-5	71025	茨城県沖	1971, 06. 13, 13:06	5.3	40	42.5
		301GR-1-6	71040	千葉県北部	1971, 10. 11, 19:16	5.2	40	13.0
44	高知港	602GR-1-1	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	167.4
		602GR-1-2	68066	愛媛県西部沿岸	1968, 08. 06, 01:17	6.6	40	112.5
		602GR-1-3	68107	高知県東部	1968, 12. 11, 20:45	5.6	50	49.2
45	細島港	702GR-1-1	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	82.2
		702GR-1-2	68066	愛媛県西部沿岸	1968, 08. 06, 01:17	6.6	40	118.2
		702GR-1-3	69015	日向灘	1969, 04. 21, 16:19	6.5	10	51.4
		702GR-1-4	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	51.9
		702GR-1-5	70023	"	1970, 07. 26, 16:10	6.1	10	52.4
		702GR-1-6	720622	"	1972, 06. 22, 00:29	5.4	10	72.8
		702GR-1-7	740131	"	1974, 01. 31, 16:04	5.7	20	80.0
		702GR-1-8	740627	"	1974, 06. 27, 13:49	5.3	20	45.8
46	室蘭港	105GR-1-2	68038	青森県東方沖	1968, 05. 16, 19:39	7.5	40	184.0
		105GR-1-4	70004	北海道南部地方	1970, 01. 21, 02:33	6.7	50	177.2
		105GR-1-5	71034	襟裳岬沖	1971, 08. 02, 16:25	7.0	60	255.4
		105GR-1-7	73009	根室半島沖	1973, 06. 17, 12:55	7.4	40	412.8
		105GR-1-9	751030	浦河沖	1975, 10. 30, 10:41	6.0	60	154.1
47	青森港	201GR-1-2	68038	青森県東方沖	1968, 05. 16, 19:39	7.5	40	187.1
		201GR-1-3	68050	岩手県沖	1968, 06. 12, 22:42	7.2	0	254.0
48	八戸港	202GR-1-2	68050	"	"	7.2	0	182.7
		202GR-1-4	690621	青森県東方沖	1969, 06. 21, 00:38	5.6	40	73.1
		202GR-1-5	70004	北海道南部地方	1970, 01. 21, 02:33	6.7	50	246.1
		202GR-1-8	74016	岩手県北部沿岸	1974, 09. 04, 18:20	5.6	40	49.8
49	横浜港 (2)	305GR-2-1	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	62.0
		305GR-2-5	71029	山梨県東部	1971, 07. 23, 07:07	5.3	10	63.7
		305GR-2-7	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	282.7
		305GR-2-9	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	66.3
50	神戸港	504GR-1-2	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	207.5
51	横浜港 (1)	305GR-1-3	71029	山梨県東部	1971, 07. 23, 07:07	5.3	10	61.0
		305GR-1-5	74012	伊豆半島南部沿岸近海	1974, 05. 09, 08:33	6.9	10	124.9

表2-1(5) 解析に用いた強震記録

No	観測所名	記録名	地震No	地震名	地震発生 年月日時分	M	深さ	震央 距離
52	衣 浦 港	403GR-1-1	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	97.3
		403GR-1-2	71002	愛知県沿岸沖	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	55.9
		403GR-1-4	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	45.1
53	鹿 児 島 港	704GR-1-1	690918	屋久島近海	1969, 09. 18, 03:41	5.9	0	129.4
		704GR-1-2	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	149.6
54	大 船 渡 港 (2)	206GR-2-1	70026	宮城県沖	1970, 09. 14, 18:45	6.2	40	64.6
		206GR-2-2	73028	"	1973, 11. 19, 22:02	6.4	50	39.6
		206GR-2-3	78012	"	1978, 06. 12, 17:14	7.4	40	104.5
55	酒 田 港	203GR-2-1	70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0	84.6
		203GR-2-2	72014	山形県中部	1972, 08. 20, 19:09	5.3	20	39.9
56	四 日 市 港	405GR-2-1	71002	愛知県沿岸沖	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	74.3
		405GR-2-2	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	42.9
57	千 葉 港	302GR-1-2	73024	銚子近海	1973, 09. 30, 15:18	5.9	50	51.8
		302GR-1-3	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	23.3
58	田子の浦港	401GR-1-2	74012	伊豆半島 南部沿岸近海	1974, 05. 09, 08:33	6.9	10	63.6
59	久 里 浜 港	306GR-1-2	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	257.6
60	塩 釜 港	207GR-2-1	72019	宮城県沖	1972, 09. 25, 18:27	5.5	50	88.4
		207GR-2-3	73028	"	1973, 11. 19, 22:02	6.4	50	113.7
		207GR-2-4	740505	福島県沖	1974, 05. 05, 23:19	5.5	40	94.6
		207GR-2-5	75005	"	1975, 04. 08, 15:27	5.9	30	102.9
61	苫 小 牧 港	104GR-1-1	73009	根室半島沖	1973, 06. 17, 12:55	7.4	40	357.3
62	鹿 島 港	301GR-2-1	73014	茨城県沖	1973, 07. 20, 17:13	5.9	40	62.4
		301GR-2-2	73024	銚子近海	1973, 09. 30, 15:18	5.9	50	30.8
		301GR-2-3	73025	"	1973, 10. 01, 23:16	5.8	60	35.6
		301GR-2-4	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	43.4
		301GR-2-5	74014	茨城県沖	1974, 07. 08, 14:45	6.3	40	70.9
		301GR-2-6	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	53.6
63	大 分 港	701GR-1-1	75001	熊本県北東	1975, 01. 23, 23:19	6.1	0	60.9
		701GR-1-2	75008	大分県中部	1975, 04. 21, 02:35	6.4	0	37.8
64	沼津変電所	NUMAZU	78001	大島近海	1978, 01. 14, 12:24	7.0	0	53.7
65	熱海変電所	ATAMI	78001	"	"	7.0	0	41.2
66	新岩田変電所	SHINIWATA	78001	"	"	7.0	0	108.5
67	白堀変電所	SHIROBORI	78001	"	"	7.0	0	44.7

表 2-2(1) 解析に考慮した地震

順	地震順	地震名	年月日時分	M	深さ	震 距 央 離	記録名	観測所名
1	630327	越前岬沖	1963, 03. 27, 06:34	6.9	0	127.0	404GR-1-1	名古屋港
2	630804	千葉県東方沿岸	1963, 08. 04, 20:43	5.1	40	31.2	901-GRA-4	土研千葉支所(1)
3	650420	静岡近海	1965, 04. 20, 08:42	6.1	20	47.5	904-GR-1	新天竜川橋
4	66009	茨城県東方沖	1966, 04. 03, 13:43	5.8	20	92.5	208GR-1-1	小名浜港
5	66025	宮城県東方沖	1966, 06. 24, 06:52	5.1	60	61.9	302-GR-1	開北橋
6	66051	有明海	1966, 11. 12, 21:01	5.5	20	12.9	801-GR-1	有明海堤防
7	67004	金華山沖	1967, 01. 17, 20:59	6.3	30	70.6	302-GR-3	開北橋
						144.5	304-GR-6	伊達橋
						95.7	206GR-1-1	大船渡港(1)
	67057	茨城県沖	1967, 11. 19, 21:07	6.0	50	140.6	101-GR-5	新葛飾橋
8	68012	宮崎県南西部	1968, 02. 21, 10:45	6.1	0	40.6	205-GR-2	石瀬戸橋
9	68015	福島県沖	1968, 02. 26, 05:00	5.4	50	84.5	907-GR-2	平大橋
10	68018	千葉県中部	1968, 03. 07, 11:54	5.1	50	33.8	101-GR-7	新葛飾橋
11	68022	和歌山近海	1968, 03. 30, 04:04	5.0	0	5.4	112-GR-8	紀ノ川大橋
12	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	233.7	801-GR-2	有明海堤防
						136.0	205-GR-6	石瀬戸橋
						341.3	306-GR-1	妙見橋
						103.3	308-GR-2	板島橋
						167.4	602GR-1-1	高知港
						82.2	702GR-1-1	細島港
13	68027	"	1968, 04. 01, 16:13	6.3	0	102.8	308-GR-3	板島橋
14	68036	東北東方沖	1968, 05. 16, 09:49	7.9	0	155.1	1305-GR-1	幌満橋
						257.9	102GR-1-2	釧路港
15	68038	青森県東方沖	1968, 05. 16, 19:39	7.5	40	74.0	1305-GR-3	幌満橋
						184.0	105GR-1-2	室蘭港
						187.1	201GR-1-2	青森港
16	68050	岩手県沖	1968, 06. 12, 22:42	7.2	0	190.9	302-GR-9	開北橋
17	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	227.0	304-GR-13	伊達橋
						47.7	101-GR-9	新葛飾橋
						29.9	104-GR-9	新利根川橋
						38.4	106-GR-9	草加高架橋
						48.7	310-GR-15	平大橋
						72.3	901-GRA-33	土研千葉支所(1)
						136.7	319-GR-3	四徳大橋
						82.3	501-GR-29	東京湾(富津岬)
						41.6	902-GR-25	西新井橋
						48.8	1004-GR-1	境川橋
						34.1	1005-GR-1	姥久保橋
						55.7	1109-GR-3	羽田海底トンネル
						170.4	208GR-1-2	小名浜港
						51.0	303GR-1-2	東京湾(品川)

表2-2(2) 解析に考慮した地震

No	地震No	地震名	年月日時分	M	深さ	震央距離	記録名	観測所名
17	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	113.4	301GR-1-2	鹿島港
						62.0	305GR-2-1	横浜港 (2)
18	68050	岩手県沖	1968, 06. 12, 22:42	7.2	0	254.0	201GR-1-3	青森港
						182.7	202GR-1-2	八戸港
19	68062	宮城県東方沖	1968, 07. 05, 20:28	6.4	50	78.7	302-GR-11	開北橋
						162.6	304-GR-14	伊達橋
						81.9	206GR-1-3	大船渡港 (1)
20	68066	愛媛県西部沿岸	1968, 08. 06, 01:17	6.6	40	10.0	308-GR-4	板島港
						118.2	702GR-1-2	細島港
						112.5	602GR-1-2	高知港
21	68070	"	1968, 08. 06, 13:21	5.3	40	82.4	313-GR-2	石鎚橋
22	680903	根室半島南東方沖	1968, 09. 03, 14:23	5.2	60	110.5	102GR-1-4	釧路港
23	68107	高知県東部	1968, 12. 11, 20:45	5.6	50	49.2	602GR-1-3	高知港
24	69015	日向灘	1969, 04. 21, 16:19	6.5	10	51.4	702GR-1-3	細島港
25	69017	鹿島灘	1969, 05. 13, 23:19	5.2	50	60.6	301GR-1-3	鹿島港
26	690621	青森県東方沖	1969, 06. 21, 00:38	5.6	40	73.1	202GR-1-4	八戸港
27	69023	福島県沖	1969, 06. 23, 14:57	5.2	50	72.3	907-GR-31	平大橋
28	69024	"	1969, 07. 23, 22:14	5.5	40	76.9	907-GR-32	"
29	69028	北海道東部	1969, 08. 12, 06:28	7.8	30	265.1	102GR-1-6	釧路港
30	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	85.5	319-GR-4	四徳大橋
						89.1	204-GR-3	新八幡橋
						145.9	311-GR-5	豊浜大橋
						188.7	1201-GR-6	西横堀高架橋
						207.5	504GR-1-2	神戸港
						97.3	403GR-1-1	衣浦港
31	690918	屋久島近海	1969, 09. 18, 03:41	5.9	0	129.4	704GR-1-1	鹿兒島港
32	70004	北海道南部地方	1970, 01. 21, 02:33	6.7	50	121.6	102GR-1-7	釧路港
						177.2	105GR-1-4	室蘭港
						246.1	202GR-1-5	八戸港
33	70008	福島県沖	1970, 02. 15, 13:01	5.1	50	99.1	304-GR-21	伊達橋
						59.2	907-GR-39	平大橋
34	70011	松代近傍	1970, 04. 09, 01:44	5.0	0	24.3	905-GRA-266	落合橋 (1)
35	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	51.9	702GR-1-4	細島港
						84.9	205-GR-8	石瀬戸橋
						149.6	704GR-1-2	鹿兒島港
36	70023	"	1970, 07. 26, 16:10	6.1	10	52.4	702GR-1-5	細島港
37	70026	宮城県沖	1970, 09. 14, 18:45	6.2	40	92.6	302-GR-22	開北橋
						64.6	206GR-2-1	大船渡港 (2)
38	70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0	153.3	304-GR-23	伊達橋
						23.7	301-GR-7	雄平橋
						84.6	203GR-1-1	酒田港

表2-2(3) 解析に考慮した地震

№	地震 №	地震名	年月日時分	M	深さ	震央距離	記録名	観測所名
39	71002	愛知県沿岸	1971.01.05, 06:09	6.1	40	67.7	904-GR-4	新天竜川橋
						150.5	319-GR-5	四徳大橋
						43.6	311-GR-6	豊浜大橋
						77.0	404GR-1-3	名古屋港
						55.9	403GR-1-2	衣浦港
						74.3	405GR-2-1	四日市港
40	71012	新潟県南西部	1971.02.26, 04:27	5.5	0	26.2	102-GR-16	米山大橋
						42.2	202-GR-15	魚沼橋
41	71018	福島県沖	1971.03.22, 19:40	5.4	10	147.9	304-GR-26	伊達橋
42	71021	宮城県沖	1971.04.05, 03:39	6.0	50	157.8	304-GR-28	〃
43	71025	茨城県沖	1971.06.13, 13:06	5.3	40	42.5	301GR-1-5	鹿島港
44	71029	山梨県東部	1971.07.23, 07:07	5.3	10	15.0	1006-GR-3	鶴川橋
						63.7	305GR-2-5	横浜港(2)
						61.0	305GR-1-3	横浜港(1)
45	71034	襟裳岬沖	1971.08.02, 16:25	7.0	60	201.7	102GR-1-8	釧路港
						255.4	105GR-1-5	室蘭港
46	71038	福島県沖	1971.09.08, 16:25	5.5	40	122.8	304-GR-30	伊達橋
						59.9	907-GR-60	平大橋
47	71040	千葉県北方	1971.10.11, 19:16	5.2	40	9.5	906-GR-12	鹿島試験所
						16.0	1401-GR-1	利根川河口堰
						13.0	301GR-1-6	鹿島港
48	72001	〃	1972.01.04, 09:20	5.0	40	11.3	906-GR-13	鹿島試験所
49	720511	釧路沖	1972.05.11, 09:45	5.8	60	61.2	102GR-1-9	釧路港
50	720622	宮崎県沖	1972.06.22, 00:59	5.4	10	72.8	702GR-1-6	細島港
51	72014	山形県中部	1972.08.20, 19:09	5.3	20	39.9	203GR-1-2	酒田港
52	72019	宮城県沖	1972.09.25, 18:27	5.5	50	147.0	304-GR-32	伊達橋
						88.4	207GR-2-1	塩釜港
53	72027	茨城県南西部	1972.11.06, 20:39	5.1	40	18.1	104-GR-23	新利根川橋
						56.0	303GR-1-5	東京湾(品川)
54	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	517.2	304-GR-33	伊達橋
						312.6	106-GR-21	草加高架橋
						301.0	310-GR-18	平大橋
						262.0	501-GR-74	東京湾(富津岬)
						258.8	503-GR-17	東京湾(観音崎)
						416.5	208GR-1-3	小名浜港
						293.2	303GR-1-6	東京湾(品川)
						282.7	305GR-2-7	横浜港(京浜)
						257.6	306GR-1-2	久里浜港
55	740505	福島県沖	1974.05.05, 23:19	5.5	40	94.6	207GR-2-4	塩釜港
56	73009	根室半島沖	1973.06.17, 12:55	7.4	40	412.8	105GR-1-7	室蘭港
						357.3	104GR-1-1	苫小牧港

表2-2(4) 解析に考慮した地震

№	地震 №	地震名	年月日時分	M	深さ	震央距離	記録名	観測所名
56	73009	根室半島沖	1973, 06. 17, 12:55	7.4	40	127.3	102GR-1-10	釧路港
57	73013	"	1973, 06. 24, 11:43	7.1	30	192.4	102GR-1-11	"
58	73014	茨城県沖	1973, 07. 20, 17:13	5.9	40	59.7	208GR-1-5	小名浜港
62	73014	茨城県沖	1973, 07. 20, 17:13	5.9	40	62.4	301GR-2-1	鹿島港
63	73024	釧子近海	1973, 09. 30, 15:18	5.9	50	26.9	906-GR-17	鹿島試験所
						51.8	302GR-1-2	千葉港
						30.8	301GR-2-2	鹿島港
64	73025	"	1973, 10. 01, 23:16	5.8	60	33.3	906-GR-18	鹿島試験所
						35.6	301GR-2-3	鹿島港
65	73028	宮崎県沖	1973, 11. 19, 22:02	6.4	50	39.6	206GR-2-2	大船渡港 (2)
						113.7	207GR-2-3	塩釜港
66	73029	和歌山県中部	1973, 11. 25, 13:25	5.9	60	46.7	112-GR-25	紀ノ川大橋
67	73030	"	1973, 11. 25, 18:19	5.8	60	42.0	112-GR-26	"
68	740125	十勝沖	1974, 01. 25, 04:13	6.0	40	127.3	102GR-1-12	釧路港
69	740131	宮崎県沖	1974, 01. 31, 16:04	5.7	20	80.0	702GR-1-7	細島港
70	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	41.6	906-GR-19	鹿島試験所
						33.3	1401-GR-4	利根川河口堰
						41.3	206-GR-2	小見川大橋
						43.4	301GR-2-4	鹿島港
71	74012	伊豆半島 南部沿岸近海	1974, 05. 09, 08:33	6.9	10	23.2	501-GR-81	東京湾 (富津岬)
						115.0	503-GR-19	東京湾 (観音崎)
						124.9	305GR-1-5	横浜港 (1)
						63.6	401GR-1-2	田子の浦港
72	740627	宮崎県沖	1974, 06. 27, 13:49	5.3	20	45.8	702GR-1-8	細島港
73	74014	茨城県沖	1974, 07. 08, 14:45	6.3	40	79.0	1401-GR-5	利根川河口堰
						81.2	206-GR-3	小見川大橋
						70.9	301GR-2-5	鹿島港
74	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	45.9	901-GRA-66	土研千葉支所(1)
						28.3	101-GR-24	新葛飾橋
						145.4	907-GR-83	平大橋
						23.6	104-GR-27	新利根川橋
						25.6	106-GR-27	草加高架橋
						34.0	310-GR-26	平大橋
						73.9	1401-GR-6	利根川河口堰
						64.5	206-GR-4	小見川大橋
						51.7	303GR-1-8	東京湾 (品川)
						31.4	902-GR-38	西新井橋
						66.3	305GR-2-9	横浜港 (2)
75	74016	岩手県北部沿岸	1974, 09. 04, 18:20	5.6	40	46.2	105-GR-8	真崎大橋
						49.8	202GR-1-8	八戸港
76	740920	釧路沖	1974, 09. 20, 09:53	5.5	50	66.7	102GR-1-13	釧路港

表 2-2(5) 解析に考慮した地震

№	地震 №	地震 名	年 月 日 時 分	M	深さ	震 央 距 離	記 録 名	観 測 所 名
77	74022	銚 子 沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	55.9	906-GR-22	鹿 島 試 験 所
						49.9	1401-GR-8	利根川河口堰
						59.2	206-GR-6	小 見 川 大 橋
						53.6	301GR-2-6	鹿 島 港
78	75001	熊本県北東	1975, 01. 23, 23:19	6.1	0	60.9	701GR-1-1	大 分 港
79	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	44.6	206-GR-8	小 見 川 大 橋
						20.2	901-GRB-5	土研千葉支所(2)
						44.9	303GR-1-9	東京港 (品川)
						23.3	302GR-1-3	千 葉 港
80	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	33.8	204-GR-28	新 八 幡 橋
						45.1	403GR-1-4	衣 浦 港
						42.9	405GR-2-2	四 日 市 港
						24.3	404GR-1-4	名 古 屋 港
81	75005	福島県沖	1975, 04. 08, 15:17	5.9	30	102.9	207GR-2-5	塩 釜 港
82	75008	大分県中部	1975, 04. 21, 02:35	6.4	0	37.8	701GR-1-2	大 分 港
83	75015	福島県沖	1975, 08. 15, 03:09	5.5	50	19.7	907-GR-94	平 大 橋
84	751030	浦 河 沖	1975, 10. 30, 10:41	6.0	60	154.1	105GR-1-9	室 蘭 港
85	76004	山梨県東部	1976, 06. 16, 07:36	5.5	20	40.5	1005-GR-2	姥 久 保 橋
						16.9	1006-GR-5	鶴 川 橋
86	78001	大 島 近 海	1978, 01. 14, 12:24	7.0	0	70.3	503-GR-21	東京湾 (観音崎)
						53.7	NUMAZU	沼 津 変 電 所
						41.2	ATAMI	熱 海 変 電 所
						108.5	SHINIWATA	新 岩 田 変 電 所
87	78002	宮 城 県 沖	1978, 02. 20, 13:37	6.7	50	44.7	SHIROBORI	白 堀 変 電 所
						84.2	302-GR-34	開 北 橋
88	78008	島根県中部	1978, 06. 04, 05:04	6.1	0	219.9	907-GR-106	平 大 橋
						29.8	306-GR-7	妙 見 橋
89	78012	宮 城 県 沖	1978, 06. 12, 17:14	7.4	40	81.4	302-GR-35	開 北 橋
						164.6	907-GR-108	平 大 橋
						312.2	104-GR-36	新 利 根 川 橋
						188.1	301-GR-13	雄 平 橋
90	80008	伊豆半島付近	1980, 06. 29, 16:20	6.7	10	104.5	206GR-2-3	大 船 渡 港 (2)
						61.3	1002-GR-5	東 名 ・ 富 士 川 橋

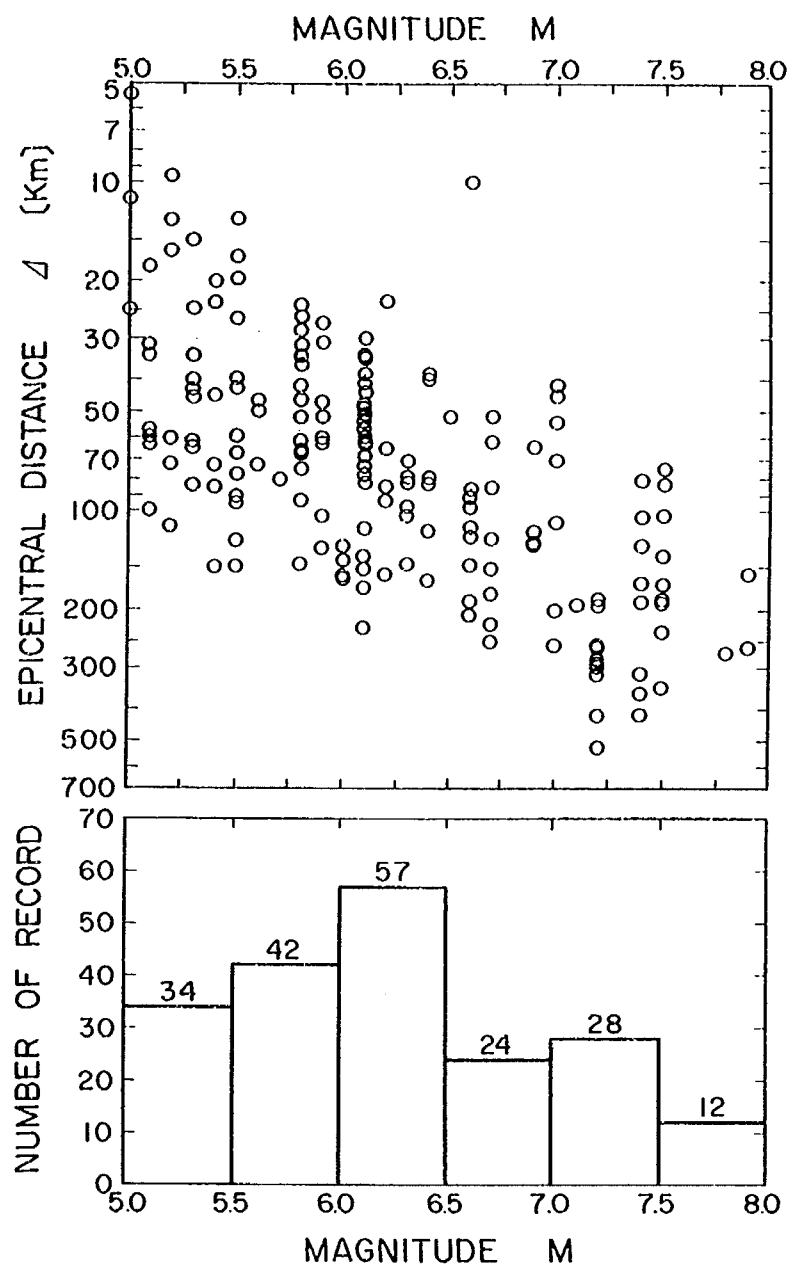
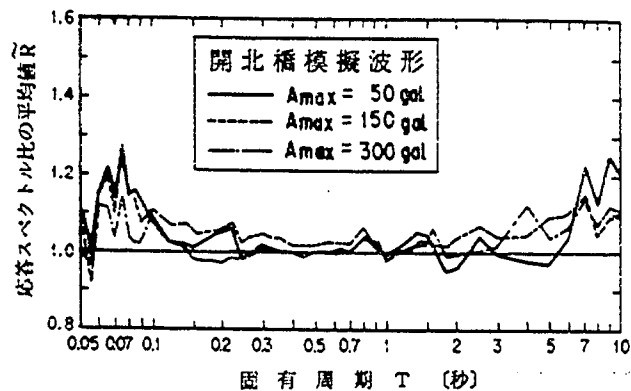
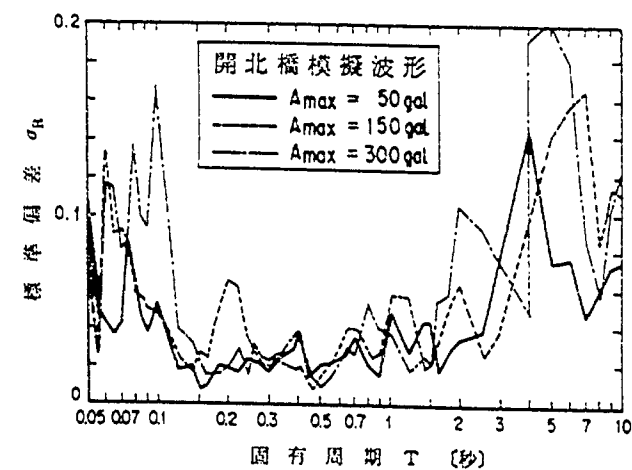


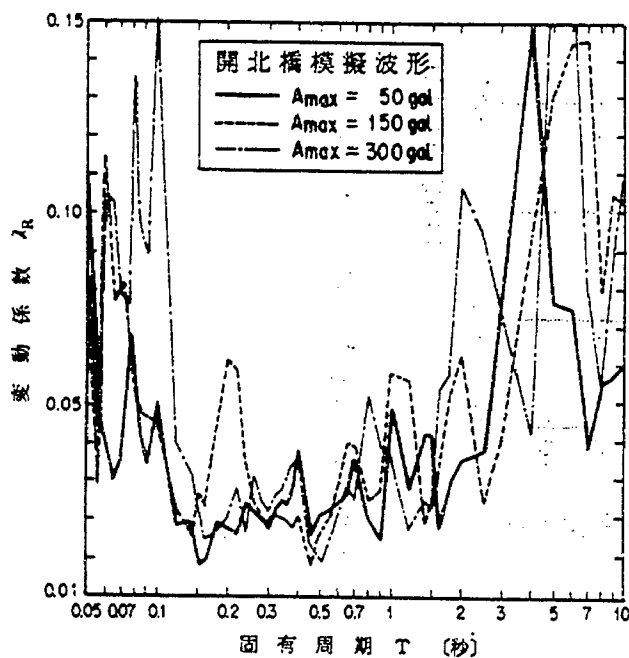
図 2-1 解析対象記録のマグニチュードおよび震央距離別分類



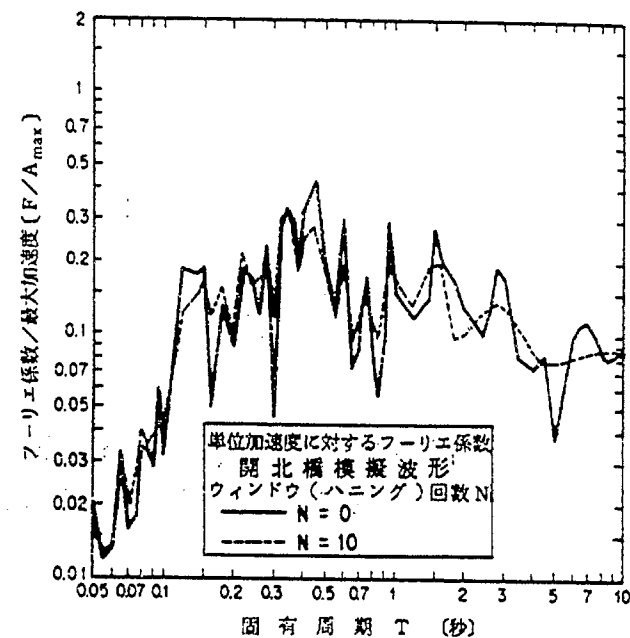
(a) 平均値 $\bar{R}$



(b) 標準偏差 σ_R

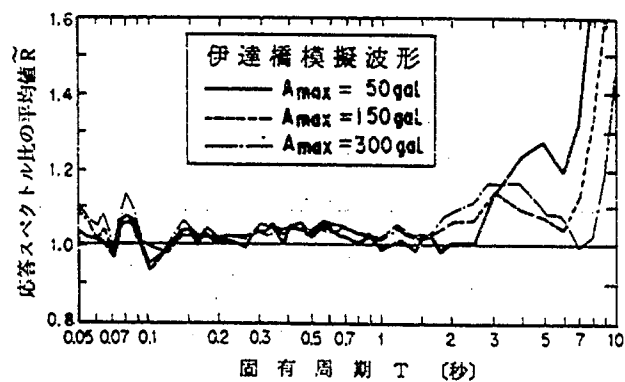


(c) 変動係数 λ_R

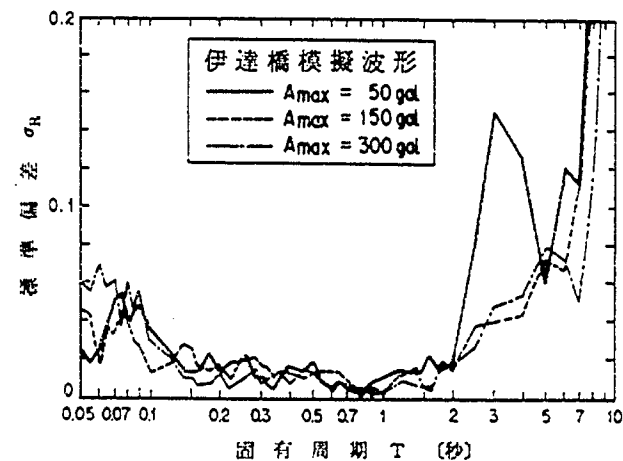


(d) フーリエスペクトル

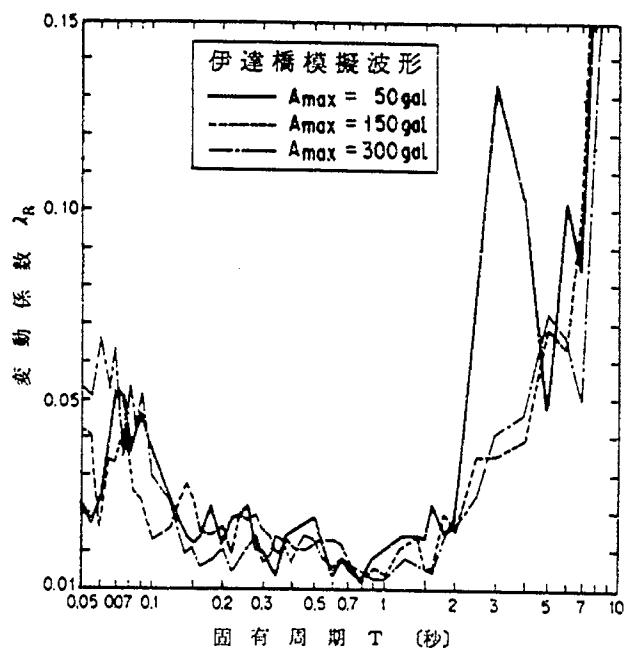
図 2-2 応答スペクトル比による読取り
記録の精度 (開北橋記録)



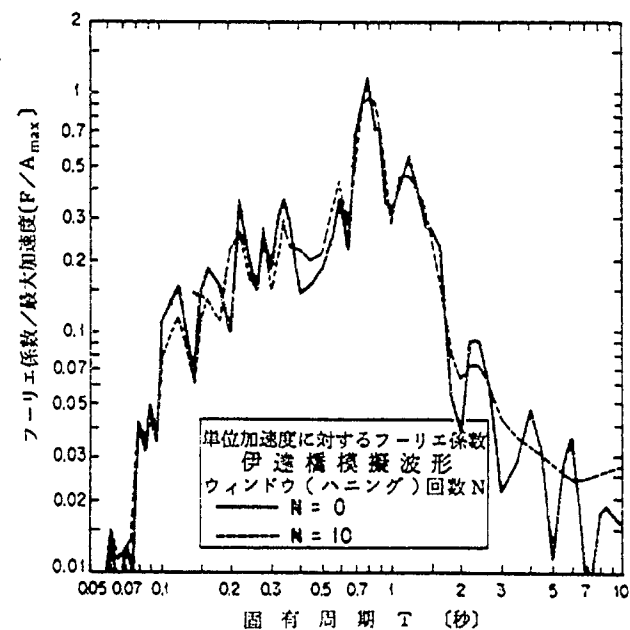
(a) 平均値 $\bar{R}$



(b) 標準偏差 σ_R

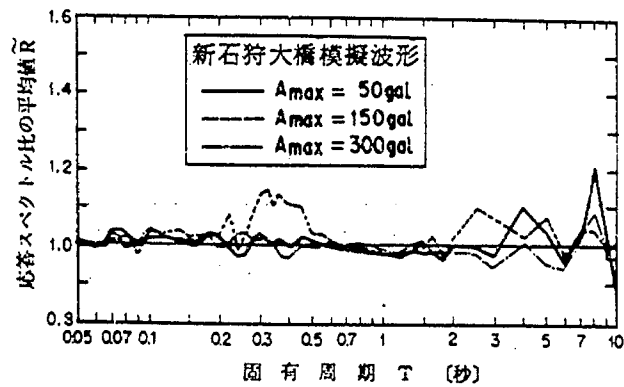


(c) 変動係数 λ_R

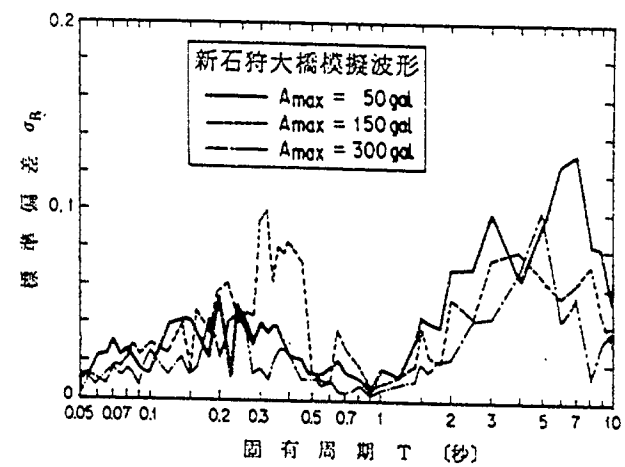


(d) フーリエスペクトル

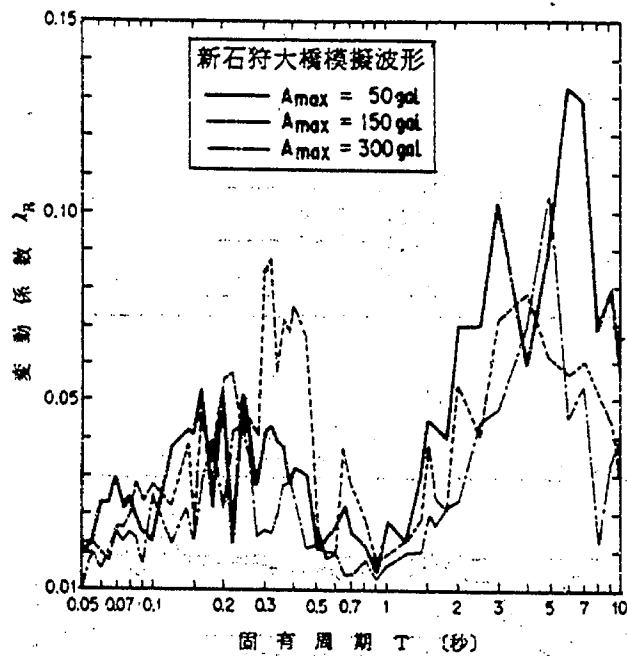
図 2-3 応答スペクトル比による読取り
記録の精度(伊達橋記録)



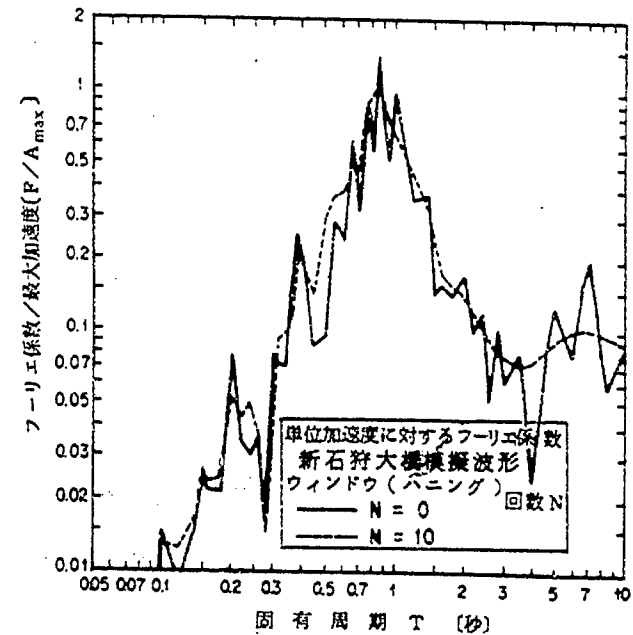
(a) 平均値 $\bar{R}$



(b) 標準偏差 σ_R

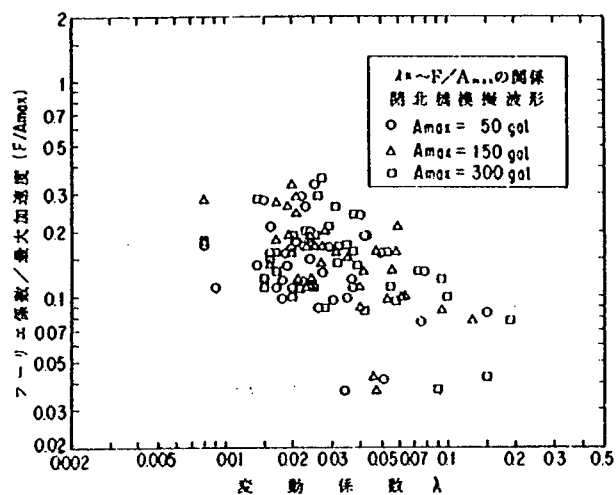


(c) 変動係数 λ_R

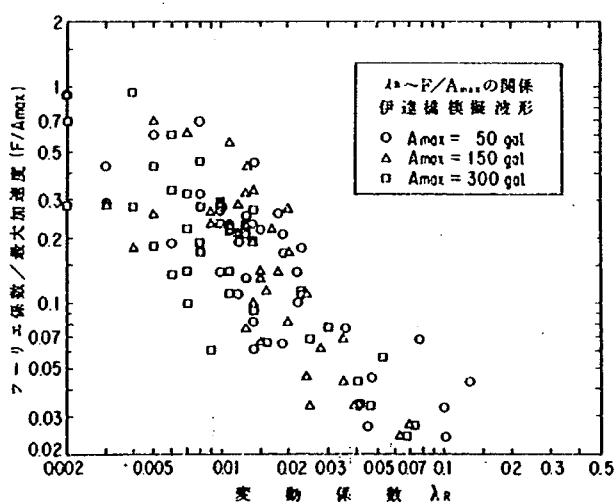


(d) フーリエスペクトル

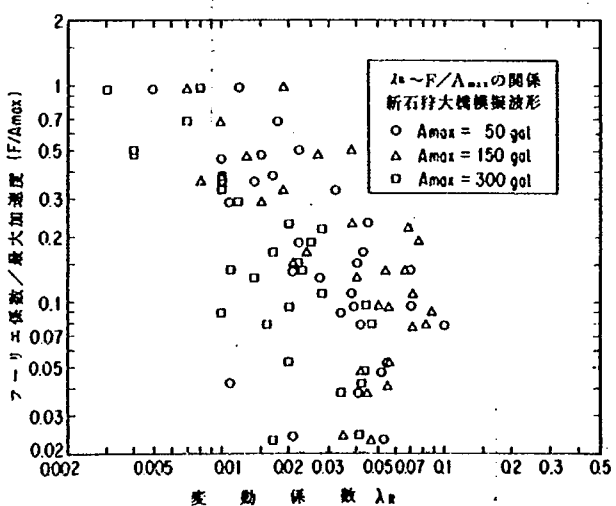
図 2-4 応答スペクトル比による読取り
記録の精度 (新石狩大橋記録)



(a) 開北橋記録の場合



(b) 伊達橋記録の場合



(c) 新石狩大橋記録の場合

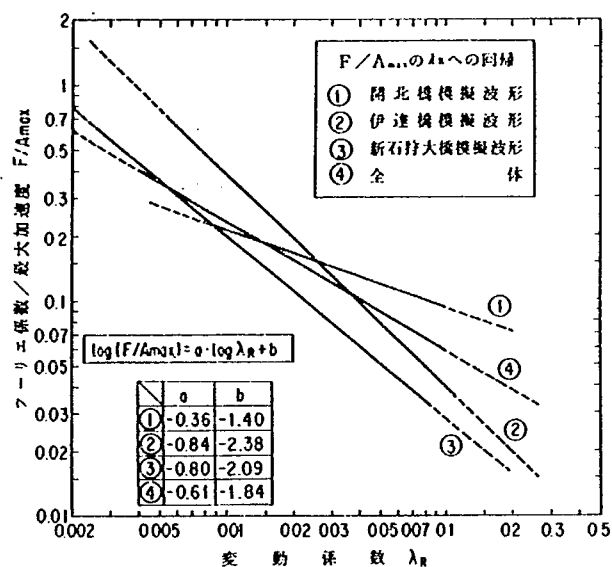
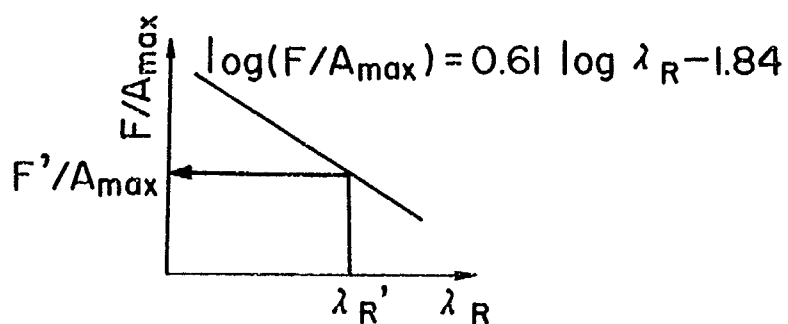


図 2 - 6 $\lambda_R \sim F/A_{\max}$ の関係

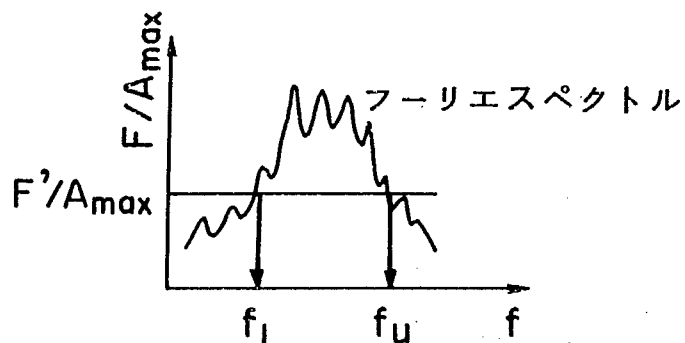
図 2 - 5 応答スペクトル比の変動係数 λ_R とフーリエ係数 $F/A_{\max}$ の関係

要求される数値化精度（変動係数 λ_R' ）の決定

λ_R' に対応する $F/A_{\max}$ の決定



F' が確保される振動数範囲 f_u, f_l の決定

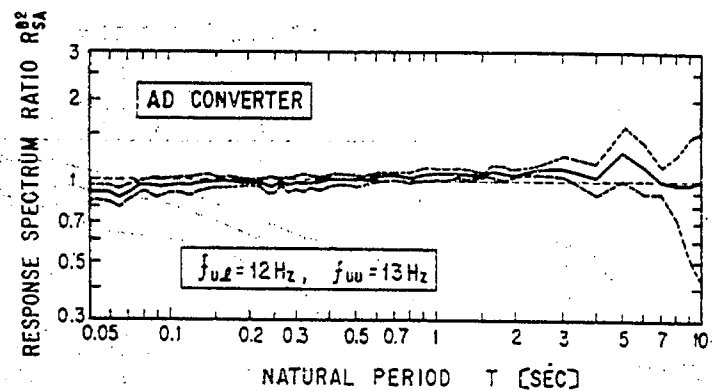


遮断振動数の決定

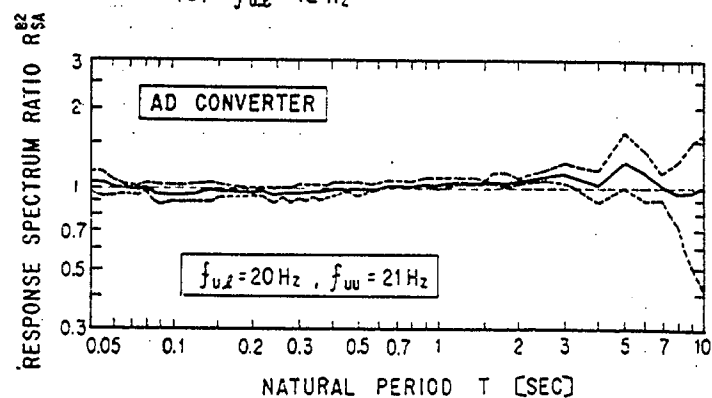
$$f_{ul} = f_u$$

$$f_{lu} = f_u$$

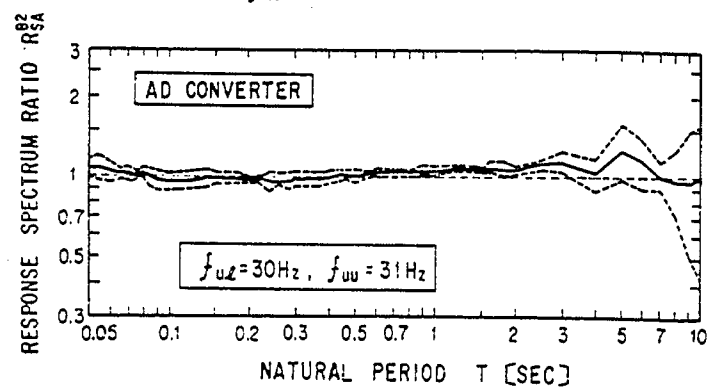
図 2-7 要求される数値化の精度に応じた遮断振動数の決定法



(a) $f_{uL}=12\text{ Hz}$

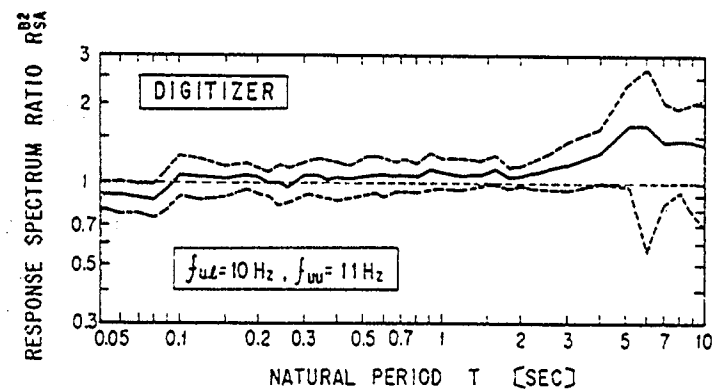


(b) $f_{uL}=20\text{ Hz}$

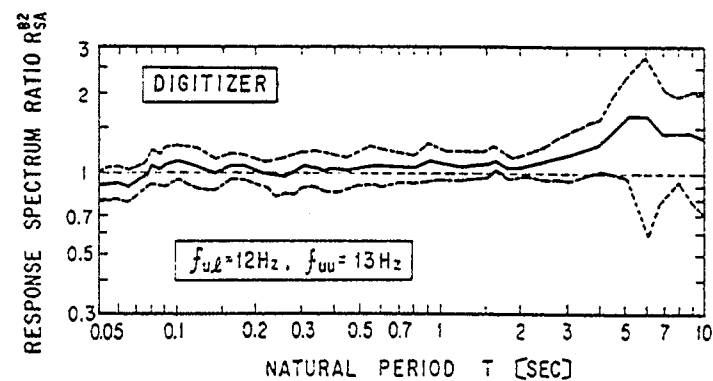


(c) $f_{uL}=30\text{ Hz}$

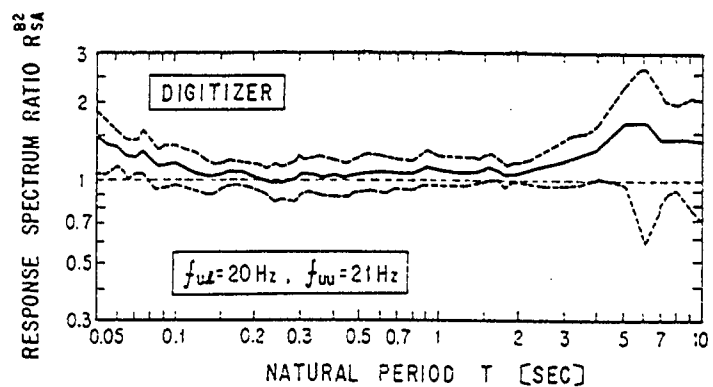
図 2-8 $R_{SA}^{B_2}$ の平均および標準偏差 (A D変換記録)



(a) $f_{uL}=10\text{ Hz}$

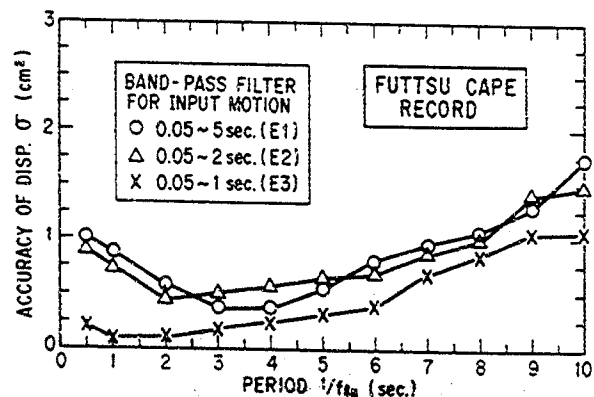


(b) $f_{uL}=12\text{ Hz}$

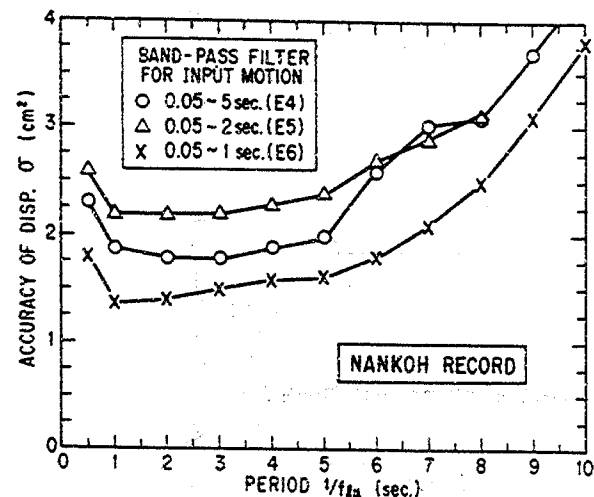


(c) $f_{uL}=20\text{ Hz}$

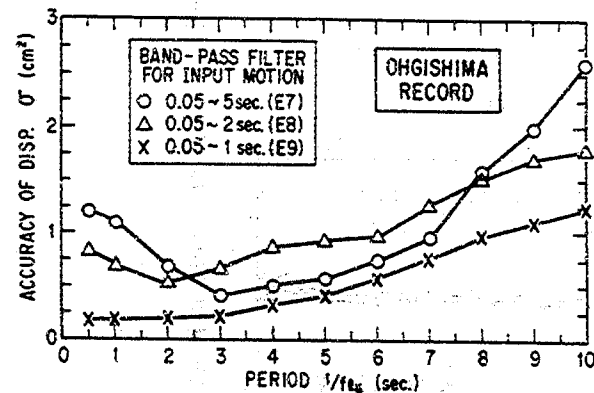
図 2-9 $R_{SA}^{B_2}$ の平均および標準偏差 (数値化記録)



(a) 富津岬記録の場合

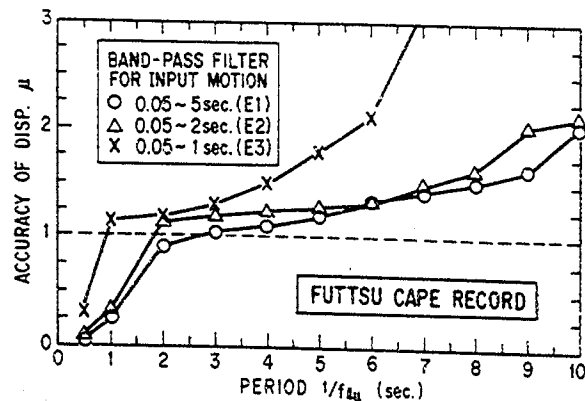


(b) 南港記録の場合

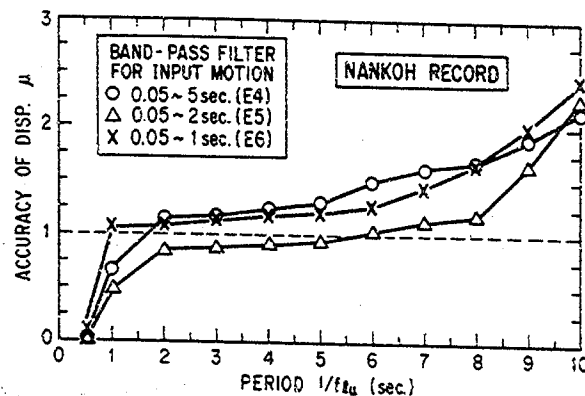


(c) 扇島記録の場合

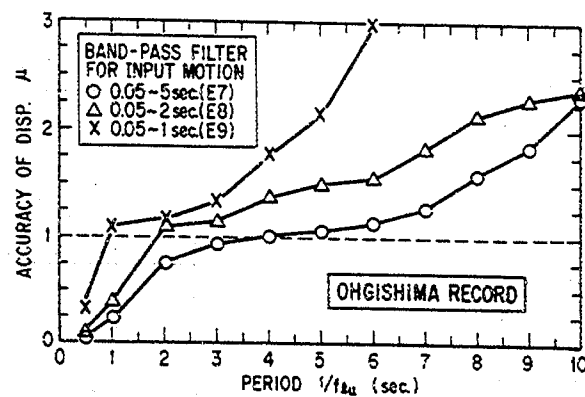
図 2-10 σ による変位精度の検討



(a) 富津岬記録の場合

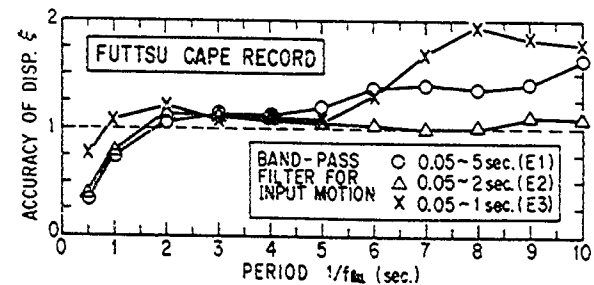


(b) 南港記録の場合

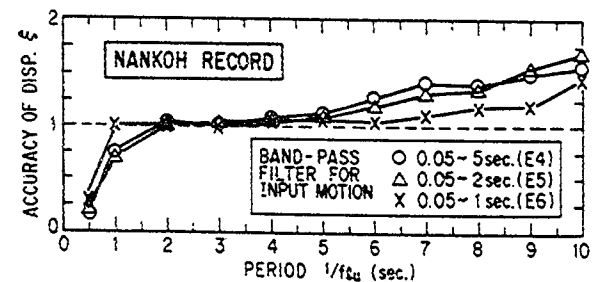


(c) 扇島記録の場合

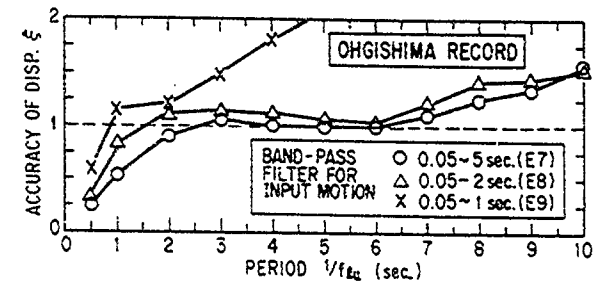
図 2-11 μ による変位精度の検討



(a) 富津岬記録の場合



(b) 南港記録の場合



(c) 扇島記録の場合

図 2-12 ϵ による変位精度の検討

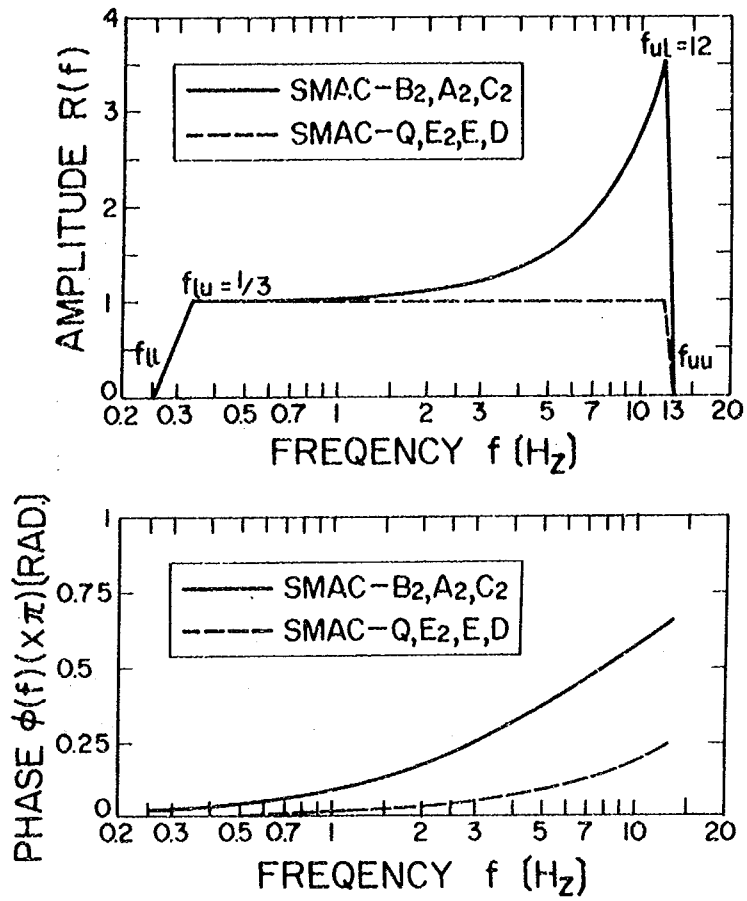
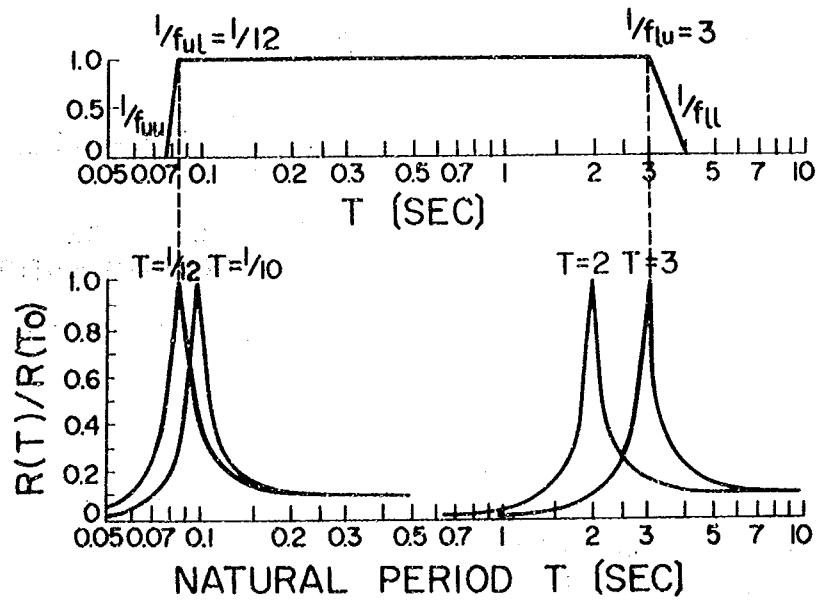


図 2 - 1 3 振幅および位相の補正関数 ($f_{ul} = 12\text{Hz}$, $f_{lu} = 1/3\text{Hz}$)



$$\frac{R(T)}{R(T_0)} = \sqrt{\frac{1+4h^2 U^2}{(1-U^2)^2+4h^2 U^2}} / \sqrt{\frac{1+4h^2}{4h^2}}$$

図 2 - 1 4 遮断振動数が応答スペクトルの適用範囲に及ぼす影響

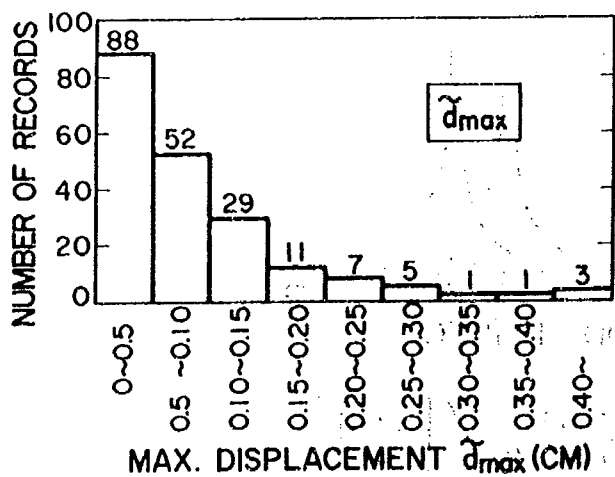
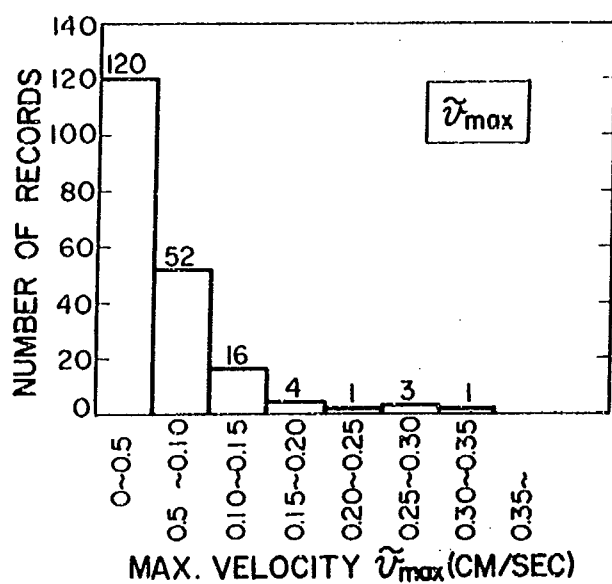
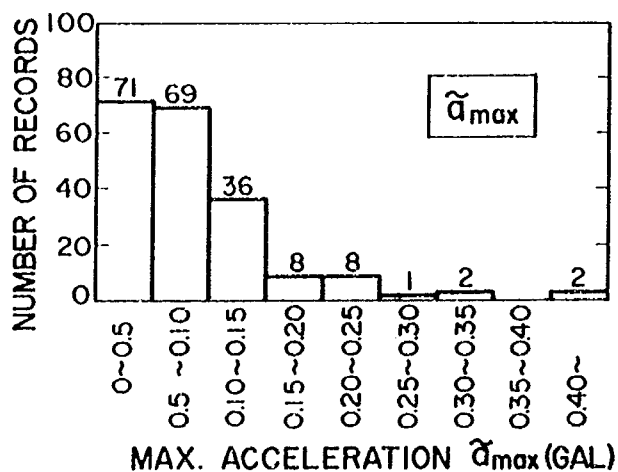
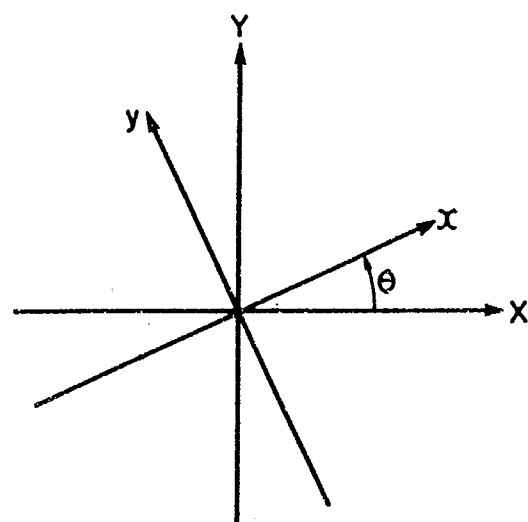


図 2-16 $\tilde{a}_{max}$, $\tilde{v}_{max}$, $\tilde{d}_{max}$ の頻度分布



X, Y ---- AXES OF OBSERVATION
 x, y ---- TRANSFORMED AXES
 θ ---- ANGLE OF ROTATION

図 2-15 水平面内における座標軸の回転

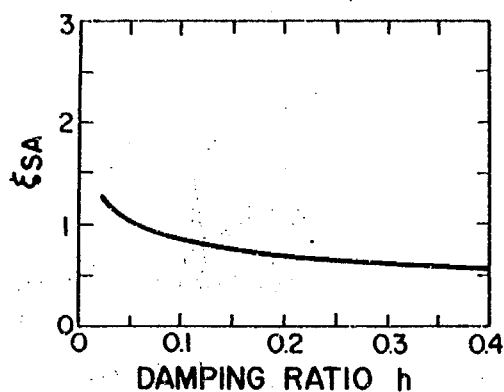


図 2-18 $\xi_{SA} \sim h$ の関係

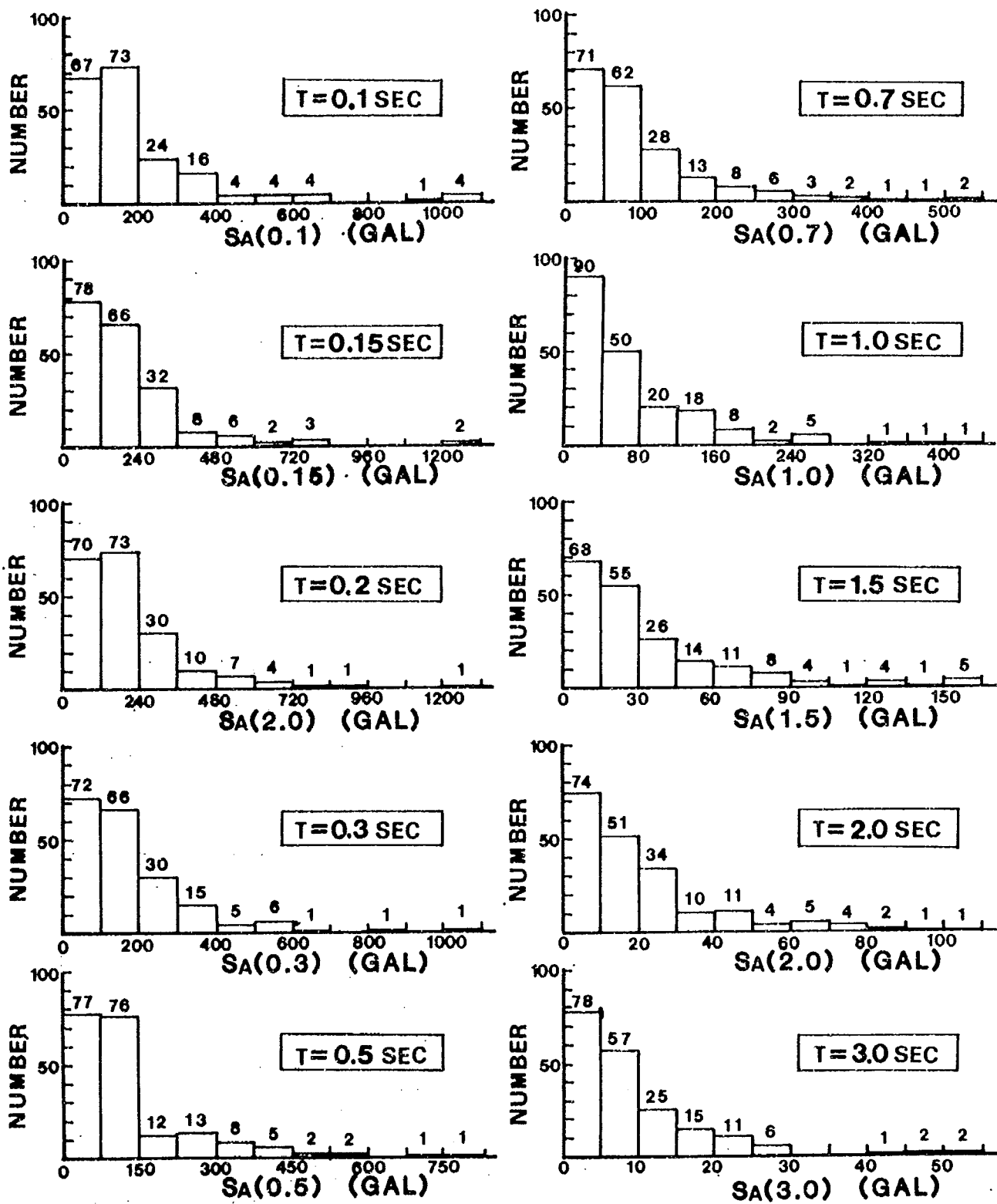


図 2-17 $\tilde{S}_A$ の頻度分布

3. 地盤条件の分類

3-1 地盤の分類とその基本的な考え方

強震記録の特性は地盤条件の影響を受けて変化するため、記録の解析に際しては地盤条件を正しく考慮することが必要とされる。地盤条件を解析に取り入れる方法としては、ⅰ)地盤条件を適当な指標で定量化し、これにより連続的に表示する方法と、ⅱ)ⅰ)の指標に応じて数個のグループに分類する方法がある。地盤条件を表わすためには、岩盤、新第三紀層、洪積層、沖積層等地層の地質年代による分類、平均N値等地盤の強度に着目した分類、平均せん断波速度等地盤の剛性に着目した分類、表層地盤の固有周期特性に着目した分類等種々の方法が考えられるが、問題はこれらの推定精度である。一般に強震計(地盤上)の設置点の地盤調査は行われている例が少なく、また、仮に実施されていたとした場合でも、土質柱状図やN値程度の簡単なものが多い。さらに構造物の設計に必要な資料を得ることを目的としているため、ボーリング深度も浅いものが多い。地震記録は地表から数10m程度の表層地盤の影響のみならず、さらに深層の堆積条件や地形条件の影響も受けると考えられているが、このような資料になると現状ではほとんど入手不可能である。したがって、地盤条件を表わす指標としてはある程度大雑把ではあっても、どこでも凡その結果を得られるものでなければならない。

また、耐震設計上の観点からは、表3-1に示す道路橋耐震設計指針(日本道路協会、昭和41年)による地質年代に基づく4種類の地盤分類が土木の分野では、広く利用されており、また、これを地盤の固有周期により読み変えた現行の道路橋示方書・耐震設計編(表3-2参照)においても、道路橋耐震設計指針の分類が引続き用いられている。したがって、実務設計

表3-1 道路橋耐震設計指針による地盤種別

区 分	説 明
1 種	(1) 第三紀以前の地盤(以下岩盤と称する) (2) 岩盤までの洪積層 ¹⁾ の厚さが10m未満
2 種	(1) 岩盤までの洪積層の厚さが10m以上 (2) 岩盤までの沖積層 ²⁾ の厚さが10m未満
3 種	沖積層の厚さが25m未満でかつ軟弱層 ³⁾ の厚さが5m未満
4 種	上記以外の地盤

- (注) 1) 沖積層の締まった砂層、砂れき層、玉石層を含む。
 2) がけ崩れなどによる新しい堆積層を含む。
 3) 地盤面から深さ10mより浅いところにある飽和砂質土層で、標準貫入試験のN値が10以下、均等係数が6以下でかつ粒径加積曲線の D_{20} が0.04~0.5mmの区間にある土層、および現地盤面から深さ3m以内にある粘性土層およびシルト質土層で、一軸圧縮試験または原位置試験より推定される一軸圧縮強度が 0.2 kg/cm^2 以下のごく軟弱な土層とした。

に用いるためには、現行の道路橋の耐震設計に用いられている地盤種別に沿ったものである必要がある。

一方、上記の4種類の地盤種別に従った既往の強震記録の解析結果によれば、1種地盤のスペクトル特性が他の2,3,4種地盤のスペクトル特性に比較して大きく異なっているのに対し、2,3,4種地盤のスペクトル特性は相互にあまり変化がないことが指摘されている。⁵⁾⁶⁾これは、地震時の地盤振動を分類するという観点からは、現行の2,3,4種地盤の分類はやや細か過ぎ、もっと大きく分類してもよいことを示している。

以上の点から本解析では、地盤条件は基本的には道路橋耐震設計指針によることとし、2種地盤および3種地盤はまとめて1つの地盤種別として取扱うこととした。したがって、本解析における地盤種別は1,2,3種の3区分とした。

3-2 地盤分類法

観測地点の地盤条件を分類するためには前節に示したように種々の方法が考えられるが、実用的なものとしてはⅰ)地質年代による分類、ⅱ)表層地盤の剛性もしくは固有周期による分類、ⅲ)当該観測地点の記録から求めた応答スペクトル等の周期特性に基づく分類がある。このうちⅰ)もしくはⅱ)の方法が地盤条件の分類としては本質的な方法と考えられるが、前述したように観測地点の地盤条件が詳細にわかっている例が非常に少ないため、実際にこれにより分類をしようとする判断に苦しむ観測点が少なくない。そこで、ここでは以下のようにⅲ)の方法により地盤分類を行った。

強震記録とは観測地点の地盤振動に他ならない。したがって、地盤条件の違いを表層地盤内における地震動の増幅特性の違いと考えると、表層地盤の振動応答は次のように表わされる。

$$M(T) = E^*(T) \cdot G_0(T) \quad (3-1)$$

ここで、

$M(T)$: 地表面での地震動の性質

$E^*(T)$: 基盤での地震動の性質

$G_0(T)$: 表層地盤の増幅特性

T : 周期

同一箇所でも複数回(N回とする)の地震による記録が得られている場合には、 i 番目の地震による $E^*(T)$ を $E^*(T)_i$ 、 $M(T)$ を $M(T)_i$ とすると、 $G_0(T)$ は共通であるから、式(3-1)は次のようになる。

$$M(T)_i = E^*(T)_i \cdot G_0(T) \quad (3-2)$$

したがって、式(3-2)をN回の地震に対して平均すると

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M(T)_i = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E^*(T)_i \right\} \cdot G_0(T) \quad (3-3)$$

となる。いま、Nが十分大きく、かつ、N回の地震の特性が適当にばらついているとすれば、短周期が卓越した地震記録や長周期が卓越した地震記録が相互に適当にキャンセル合って、 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E^*(T)_i$ は周期Tに対して比較的变化の少ない関数となることが期待される。したがって、この場合には式(3-3)は

$$\sum_{i=1}^N M(T)_i \propto G_0(T) \quad (3-4)$$

となり、この条件が満足される場合には同一箇所における多数回の地震による地表面における地震動記録特性の平均値 $\sum M(T)_i$ は、表層地盤の増幅特性 $G_0(T)$ を近似することとなる。

応答スペクトルは地震時の表層地盤の振動特性を1自由度減衰系の最大応答で表わしたものであるから、式(3-1)に定義したM(T)を加速度応答スペクトル倍率 $\beta(T)$ によって表わしても、式(3-2)～式(3-4)の過程は変わらない。なお、ここで、加速度応答スペクトル $S_A(T)$ を用いずに、加速度応答スペクトル倍率 $\beta(T)$ を用いたのはスペクトルの周期特性(形状)に着目するためには、後者の方が式(3-3)の平均を行うために適当であると考えたためである。

以上の考え方にに基づき、各観測点ごとに観測記録の β スペクトル (β_i) およびこれを平均した値 $\bar{\beta} = 1/N \cdot \sum_{i=1}^N \beta_i$ を求めた。ここでNはなるべく大きな数である必要があるが、記録数の関係で1～2回の記録しかなかったり、あるいはごく少数の観測点も多い。結果は付属資料-2に示す。

これより平均応答スペクトル倍率 $\bar{\beta}$ の形状を検討すると、 $\bar{\beta}$ スペクトルは表3-3に示すようにタイプ-1からタイプ-3の3つに分類されることがわかった。各タイプの $\bar{\beta}$ スペクトルの特徴は表中に示す通りであり、周期領域でスペクトル倍率のはっきりしたピークを有するものから、はっきりせず全体として周期領域でなだらかに変化するものまで、細かく分類すると7種類となる。

これらの分類をもとに、 $\bar{\beta}$ スペクトルが最も卓越する周期(1次ピーク周期 T_1)、2番目に卓越する周期(2次ピーク周期 T_2)、 $\bar{\beta}$ スペクトルの肩に相当する周期(肩部周期 T_s) を各観測点ごとに求めた(表3-4参照)。ここで、肩部周期 T_s とは、当初、タイプ3-2のようにはっきりしたピークを持たないスペクトルの周期特性を定義するために導入した周期であり、図3-1に示すように、 $\bar{\beta}$ スペクトルが周期領域において平坦部から急に右下がりに小さくなり始める周期である。ただし、タイプ-1のように T_1 以後単調に $\bar{\beta}$ が減少するものには肩部周期は定義できない。 T_1 、 T_2 、 T_s を各観測点ごとにプロットすると図3-2のようになる(図

中には後述する方法により定めた地盤種別も示されている。これを地盤調査等に基づき地盤種別がはっきりわかっている10地点^{*脚注}に対して検討すると、 T_1 、 T_2 、 T_s と地盤条件との間には明瞭な相関は存在しないことがわかった。この理由は表3-3に示したタイプ1のようなスペクトルでは T_1 が一義的に決まるが、タイプ2-2、タイプ3-2、タイプ3-3、タイプ3-4等では、ピークが複数個あり、これらの値が互いに接近しているため、わずかな違いで T_1 、 T_2 が入れかわり、安定性に欠けるためと考えられた。また、 T_s も図3-1に示したように、タイプ3-2に対しては比較的定めやすいが、その他の場合には定めにくいという点によっている。なお、念のため、 T_1 、 T_2 、 T_s に相当するスペクトルレベル $\bar{\beta}(T_1)$ 、 $\bar{\beta}(T_2)$ 、 $\bar{\beta}(T_s)$ を図3-3に示すように各観測点ごとにプロットしてみたが、上述したように T_1 、 T_2 、 T_s 自身が地盤条件と明瞭な相関を持たないため、有意な結果は得られなかった。

そこで、周期領域における $\bar{\beta}$ スペクトルの卓越度の度合いではなく、特定の周期に対するスペクトル値を検討した一例が図3-4である。図中には、周期 $T=0.2$ 秒、 0.7 秒、 2 秒の場合が示されている。これを上記と同様、地盤調査等から地盤種別がはっきりわかっている10地点に対して検討すると、 $T=0.2$ 秒に対するスペクトル値 $\bar{\beta}(0.2)$ は各種の地盤種別の場合が入りみだれて、地盤種別の判定には適当ではないことがわかった。これは $T=0.2$ 秒付近では、短周期成分が卓越するタイプのスペクトルの場合でも、長周期成分が卓越するタイプのスペクトルの場合でも、ともに2~3程度の値を有しており、これによる地盤種別はできないことを示している。一方 $T=2$ 秒の場合には、1種地盤のスペクトル $\bar{\beta}(2.0)$ は0.2程度以下の値をとるのに対して、2種および3種地盤のスペクトル $\bar{\beta}(2.0)$ は0.2程度以上の値となりある程度地盤種別に応じてスペクトル値に違いがあることがわかる。しかし、この場合にも、2種地盤と3種地盤の区別はそれ程はっきりしない。これに対して $T=0.7$ 秒の場合には、1種地盤のスペクトル $\bar{\beta}(0.7)$ は約0.7以下、2種地盤のスペクトルは約0.7~1.8、3種地盤のスペクトルは約1.8以上と非常に地盤条件との対応がよいことがわかる。これは付属資料-1および表3-3に示した結果からわかるように、0.7秒付近が3種地盤のスペクトルが卓越する周期であり、一方ここでは1種地盤および2種地盤のスペクトルは右下がりに減少しつつあるため、結果として1, 2, 3種地盤のスペクトル値には明瞭な差異が生じるためと考えられる。

したがって、ここでは地盤資料、周辺の地形地盤条件の概要調査とならんで $\bar{\beta}(0.7)$ の値も地盤種別を分類する資料に用いることとし、種々検討した結果、原則として $\bar{\beta}(0.7)$ の値が0.7以下となるものは1種地盤、0.7~1.8の範囲にあるものは2種地盤、1.8以上となるものは3種地盤とすることとした。なお、このようにして定めた地盤種別は表3-4に示した通りと

* 地盤条件が完全に確認されているのは以下の通り

- ④開北橋、⑥伊達橋、⑦新葛飾橋、⑬板島橋、⑭幌満橋、⑯草加高架橋、⑰富津岬、
⑳西新井橋、㉑観音崎、㉒真崎大橋

なる。これによれば地盤条件が1種，2種，3種となる観測点の数は，それぞれ19，31，17
（合計67地点）となる。また，1種，2種，3種地盤ごとの強震記録数はそれぞれ46，107，
44（合計197記録）となる。

表 3 - 2 道路橋示方書・耐震設計橋による地盤種別

耐震設計上の地盤種別は、原則として地盤の特性値 T_G により区別し、表 3. 6. 1 によるものとする。

表 - 3. 6. 1 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 T_G (秒)
1 種	$T_G < 0.2$
2 種	$0.2 \leq T_G < 0.4$
3 種	$0.4 \leq T_G < 0.6$
4 種	$0.6 \leq T_G$

地盤の特性値 T_G は、式 (3. 6. 1) によって算出するものとする。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots\dots\dots (3.6.1)$$

ここに、

T_G : 地盤の特性値 (s)

H_i : i 番目の地層の厚さ (m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s), 値は式 (3. 6. 2) によるものとする。

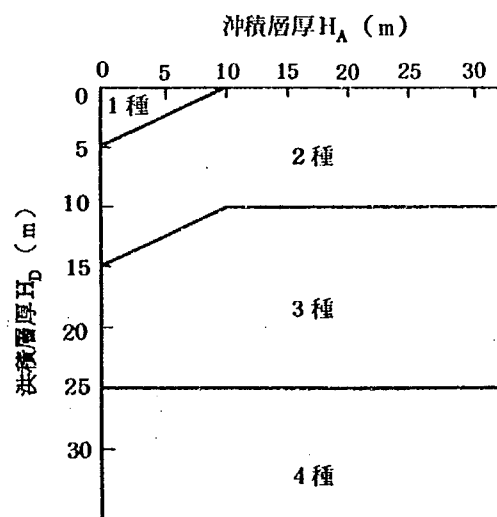
粘性土層の場合 $V_{si} = 100 N_i^{\frac{1}{3}} (1 \leq N_i \leq 25)$ (3.6.2)

砂質土層の場合 $V_{si} = 80 N_i^{\frac{1}{3}} (1 \leq N_i \leq 50)$

N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

i : 当該地盤が地表面から基盤面まで n 層に区分されるとき、地表面から i 番目の地層の番号

ここでの基盤面とは、粘性土層の場合は N 値が 25 以上、砂質土層の場合は N 値が 50 以上の地層の上面、もしくはせん断弾性波速度が 300m/s 程度以上の地層の上面をいう。なお、地表面が基盤面と一致する場合は 1 種地盤とする。また、 T_G を式 (3. 6. 1) で求めがたい場合 (相当深く標準貫入試験を行っても基盤面が現われない場合など) には、図解 3. 6. 1 により地盤種別分類を行ってもよい。



図解 3. 6. 1 沖積層厚 H_A と洪積層厚 H_D による地盤種別

表 3-3 平均加速度応答スペクトル倍率 $\bar{\beta}(T)$ の形状とその特徴

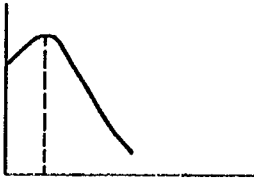
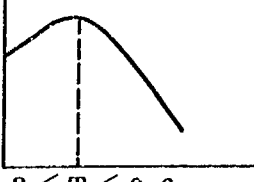
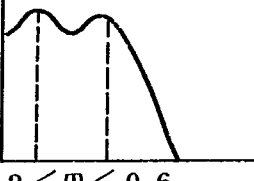
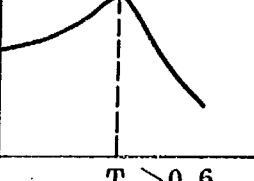
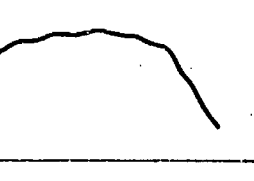
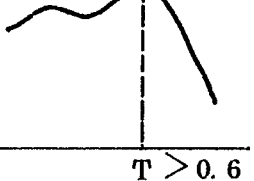
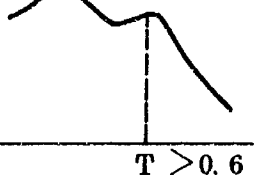
タイプ	$\bar{\beta}$ スペクトルの形状	特 徴
タイプ 1	 $T \leq 0.2$	- 単一の鋭いピークを有し、ピークの周期は 0.2 秒以下 0.2 秒以下の $\bar{\beta}$ 値は周期 T の増加とともに急激に単調減少する。ただし、両対数グラフ上で、$\bar{\beta}(T) \sim T$ の関係が上向きにややふくらんだものもある。
タイプ 2-1	 $0.2 < T < 0.6$	単一のゆっくりしたピークを有し、ピークの周期は 0.2 ~ 0.6 秒。
タイプ 2-2	 $0.2 < T < 0.6$	2 つの明瞭なピークを有しており、短周期側のピークの特徴はタイプ 1 とよく似ている。長周期側のピークの周期は 0.2 ~ 0.6 秒。 - 短周期側のピークが卓越するものと、長周期側のピークが卓越するものがある。
タイプ 3-1	 $T > 0.6$	単一のゆっくりしたピークを有し、ピークの周期は 0.6 秒以上。
タイプ 3-2		明瞭なピークが存在せず、周期 0.6 秒程度もしくはそれ以上までスペクトル値は比較的大きい値を保っている。
タイプ 3-3	 $T > 0.6$	2 つのピークを持っており、長周期側のピークは 0.6 秒以上。 - この場合には、タイプ 2-2 と違って短周期側のピークはタイプ 1 のように鋭くない場合が多い。
タイプ 3-4	 $T > 0.6$	2 つのピークを持っており、長周期側のピークは 0.6 秒以上。 - タイプ 2-1 と判断に迷う場合もあるが、タイプ 2-1 とするには長周期側のピーク（ふくらみ）が大きいもの。

表 3-4(1) 観測地点ごとの $\bar{\beta}$ スペクトルの特徴と地盤種別

No	観測所No	観測所名	固有周期 [秒]			$\bar{\beta}$ スペクトル値			$\bar{\beta}$ スペクトル値			地盤種別
			1次ピーク	2次ピーク	肩部	1次ピーク	2次ピーク	肩部	T=0.2	T=0.7	T=2.0	
1	901-A	土研千葉支所	0.15			3.3			3.0	0.59	0.17	1
2	904	新天竜川橋	0.7			2.2			1.2	2.2	0.36	3
3	905-A	落合橋	0.15			2.6			2.0	0.34	0.09	1
4	302	開北橋	0.15			3.2			2.4	0.52	0.15	1
5	801	有明海	0.7			2.8			1.5	2.82	0.95	3
6	304	伊達橋	0.1			3.6			2.2	0.67	0.08	1
7	101	新葛飾橋	0.1		0.5	2.7		1.8	2.1	1.1	0.27	2
8	906	土研鹿島支所	0.3			2.6			2.4	1.2	0.16	2
9	205	石瀬戸橋	0.1	0.3	0.7	2.5	2.4	1.9	2.1	1.9	0.33	2
10	907	平大橋	0.3	1.0		2.8	1.3		2.3	1.1	0.20	2
11	112	紀ノ川大橋	0.1			2.7			2.0	0.71	0.09	2
12	306	妙見橋	1.0	0.5	1.5	2.7	2.7	2.3	1.6	2.5	0.85	3
13	308	板島橋	0.2			3.0			3.0	1.2	0.13	2
14	1305	幌満橋	0.15			3.1			2.8	0.59	0.20	1
15	104	新利根川橋	0.2	1.0		2.7	1.5		2.7	1.4	0.37	2
16	106	草加高架橋	0.5	0.15	0.7	2.6	2.2	2.5	2.2	2.5	0.33	3
17	310	平井大橋	0.3	0.7	1.0	3.0	1.7	1.5	2.4	1.7	0.42	2
18	319	四徳大橋	0.1		0.5	3.6		1.6	1.9	0.91	0.11	2
19	501	東京湾(富津岬)	0.15		0.7	2.9		1.4	2.7	1.4	0.45	2
20	902	西新井橋	0.2	0.5	1.0	2.4	2.1	1.4	2.4	2.0	0.30	3
21	1004	境川橋	0.2	1.5		3.0	0.18		3.0	0.43	0.12	1
22	1005	姥久保橋	0.15			2.8			2.4	0.82	0.18	1
23	1109	羽田海底トンネル	0.30	1.5		3.4	0.70		2.5	1.1	0.53	2
24	503	東京湾(観音崎)	0.15			3.3			3.2	0.67	0.17	1
25	313	石鎚橋	0.3	0.15		2.3	2.3		1.9	1.4	0.18	2
26	204	新八幡橋	0.1			3.0			2.0	0.51	0.11	1
27	311	豊浜大橋	0.15		0.5	2.7		2.3	2.5	1.2	0.22	2
28	1201	西横堀高架橋	1.0	0.15		2.5	2.3		2.3	1.5	0.92	2
29	301	雄平橋	0.15	0.5		3.0	2.3		3.0	1.6	0.41	2
30	102	米山大橋	0.15	0.5		3.2	1.4		2.5	0.70	0.09	1
31	202	魚沼橋	0.1	0.3		2.5	1.9		1.9	0.52	0.10	1
32	1006	鶴川橋	0.1	0.3		2.9	2.0		1.9	0.28	0.08	1
33	1401	利根川河口堤	0.3		0.7	2.4		2.0	1.8	2.0	0.39	3
34	105	真崎大橋	0.1	0.3		3.3	2.3		2.1	0.47	0.19	1
35	206	小見川大橋	0.5			3.3			1.8	1.7	0.32	3
36	901-B	土研旧千葉支所	0.2	0.7		3.9	0.56		3.9	0.56	0.11	1
37	1002	東名・富士川橋	0.3	0.1		3.0	2.6	0.89	2.4	1.3	0.70	2
38	404-1	名古屋港	0.1			3.0			2.1	0.71	0.24	2

表 3-4(2) 観測地点ごとの $\bar{\beta}$ スペクトルの特徴と地盤種別

No	観測所No	観測所名	固有周期 [秒]			$\bar{\beta}$ スペクトル値			$\bar{\beta}$ スペクトル値			地盤種別
			1 次ピーク	2 次ピーク	肩 部	1 次ピーク	2 次ピーク	肩 部	T=0.2	T=0.7	T=2.0	
39	102-1	釧路港	0.3	1.0		2.9	1.4		2.9	1.2	0.33	2
40	208-1	小名浜港	0.2	1.0		3.1	0.69		3.1	0.74	0.14	2
41	206-1	大船渡港	1.0	0.2		3.3	2.3		2.3	1.7	0.27	3
42	303-1	東京港	0.1		0.5	2.6		2.3	2.4	1.2	0.18	2
43	301-1	鹿島港	0.15			2.6			2.3	0.39	0.07	1
44	602-1	高知港	0.3		1.5	2.5		1.3	2.0	2.2	0.38	3
45	702-1	細島港	0.2	1.0		3.6	1.1		3.6	1.1	0.15	2
46	105-1	室蘭港	0.2		0.5	3.2		1.8	3.2	0.81	1.26	2
47	201-1	青森港	0.2		1.5	2.9		1.5	2.9	1.8	0.2	3
48	202-1	八戸港	0.2		1.0	2.9		0.97	2.9	1.1	0.36	2
49	305-2	横浜港	0.3			3.0			3.0	0.72	0.16	2
50	504-1	神戸港	0.3			2.5			1.9	0.71	0.18	2
51	305-1	横浜港	0.2		0.7	2.7		2.1	2.7	2.1	0.32	3
52	403-1	衣浦港	0.15	0.5		2.8	1.9		2.2	1.4	0.12	3
53	704-1	鹿兒島港	0.5		2.0	2.7		1.9	1.8	2.2	1.9	3
54	206-2	大船渡港	0.1			3.5			2.1	0.59	0.15	2
55	203-1	酒田港	0.3		0.7	2.4		1.7	2.3	1.7	0.43	2
56	405-2	四日市港	0.15	0.3		2.8	2.4		2.2	1.3	0.10	2
57	302-1	千葉港	0.1	0.5		2.6	2.1		1.8	1.8	0.42	2
58	401-1	田子の浦港	0.5		1.0	2.2		1.8	2.1	1.9	0.53	3
59	306-1	久理浜港	0.15		0.7	2.4		1.9	2.0	1.9	0.48	3
60	207-2	塩釜港	0.1	0.5		2.8	2.0		1.9	1.5	0.18	2
61	104-1	苫小牧	0.1		1.0	3.1		1.1	2.0	1.4	0.59	2
62	301-2	鹿島港	0.15		0.7	2.1		1.9	2.0	1.9	0.29	3
63	701-1	大分港	0.15			3.9			2.7	0.45	0.12	1
64	375	沼津変電	0.3	0.1		3.0	2.5		2.4	0.54	0.28	1
65	376	熱海変電	0.1			3.0			2.8	0.54	0.18	1
66	379	新岩田変電	0.7			2.9			1.2	2.9	0.90	3
67	380	城堀変電	0.1		0.3	3.5		2.1	2.1	0.62	0.11	1

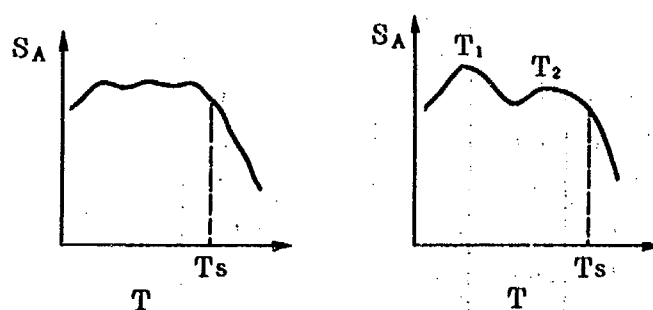
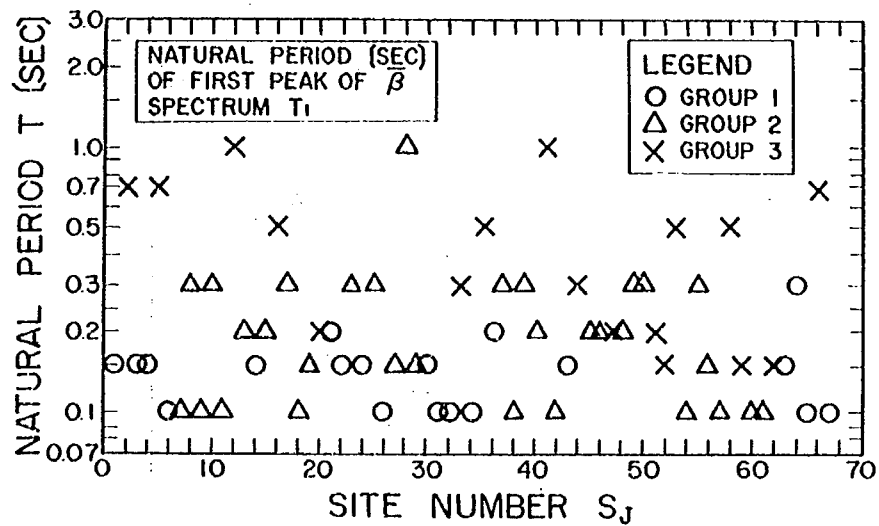
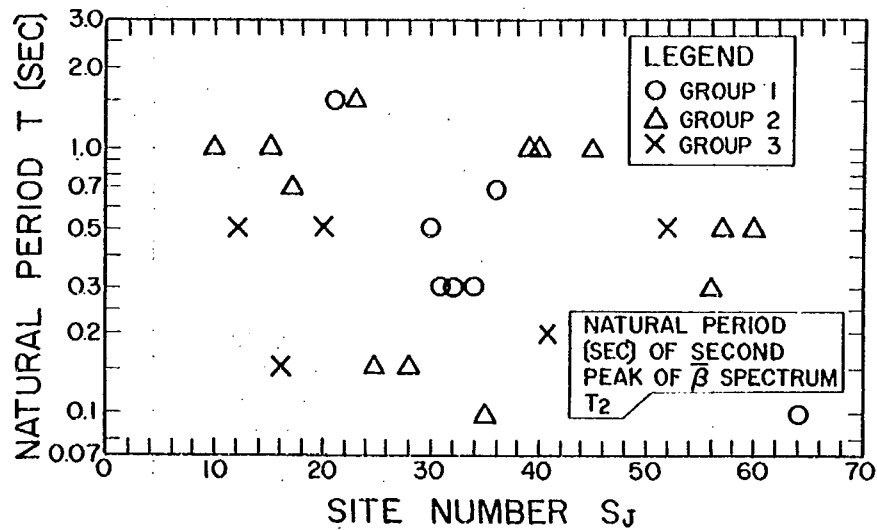


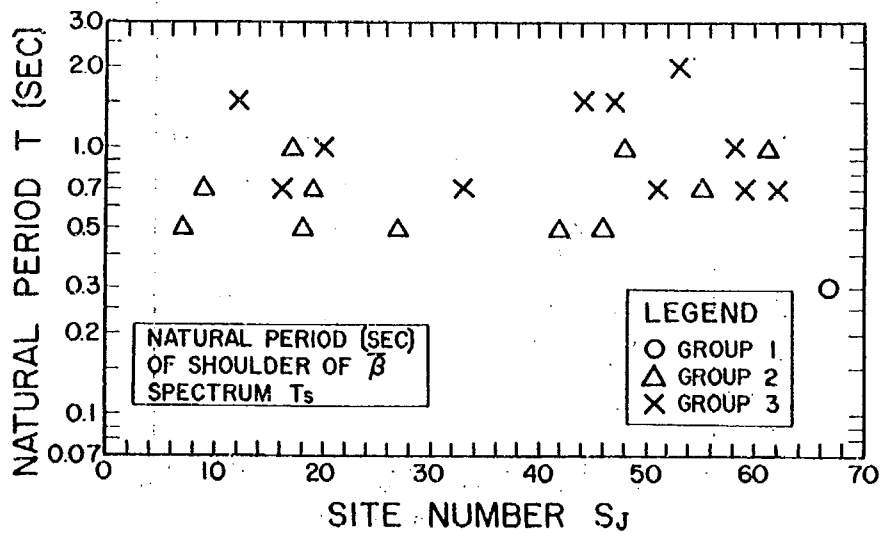
図 3-1 肩部周期 T_s の定義



(a) 1次ピーク周期 T_1

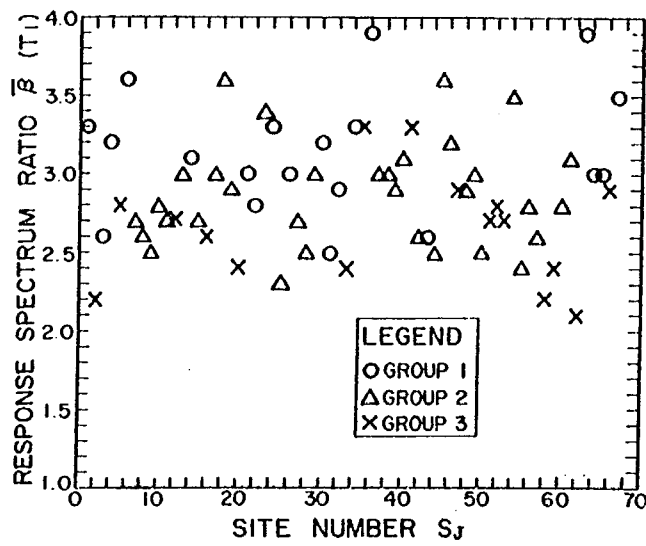


(b) 2次ピーク周期 T_2

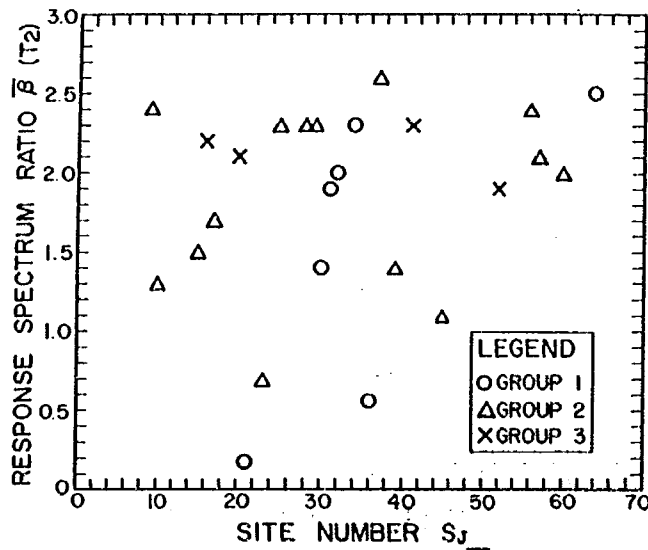


(c) 肩部周期 T_s

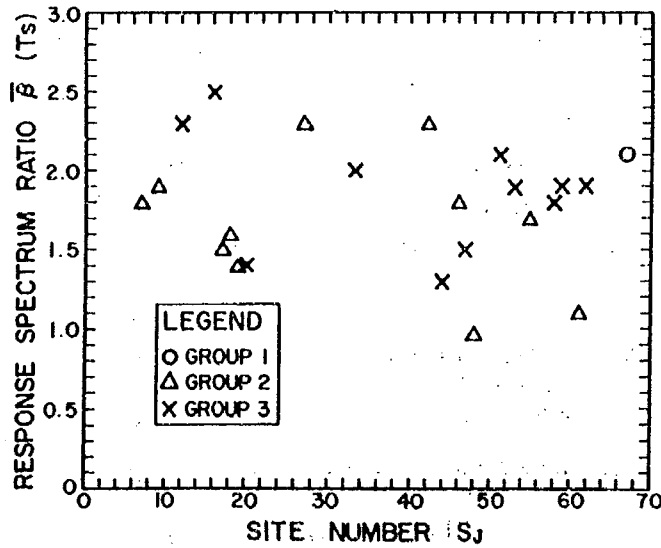
図3-2 観測地点ごとの1次ピーク周期，2次ピーク周期，肩部周期
(Site No.は表3-4のNo.を表わす)



(a) 1次ピーク周期に対応する $\bar{\beta}$ スペクトル



(b) 2次ピーク周期に対応する $\bar{\beta}$ スペクトル



(c) 肩部周期に対応する $\bar{\beta}$ スペクトル

図 3 - 3 1次ピーク周期, 2次ピーク周期および肩部周期に対応する $\bar{\beta}$ スペクトル ($\bar{\beta}(T_1)$, $\bar{\beta}(T_2)$, $\bar{\beta}(T_s)$)

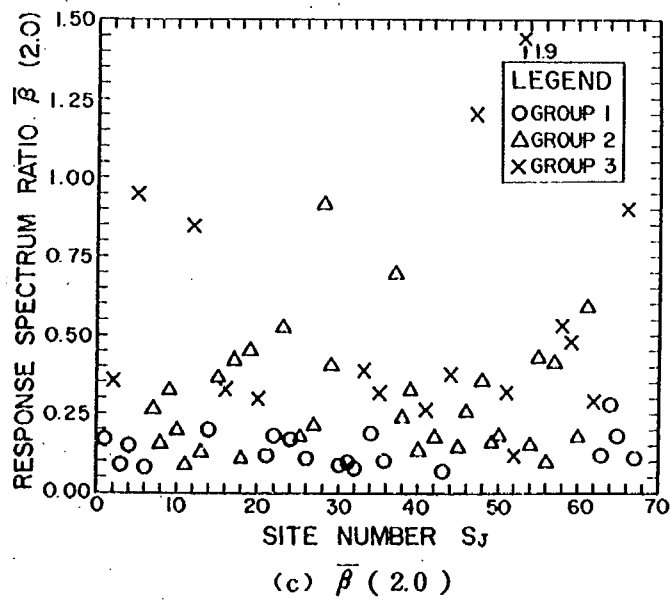
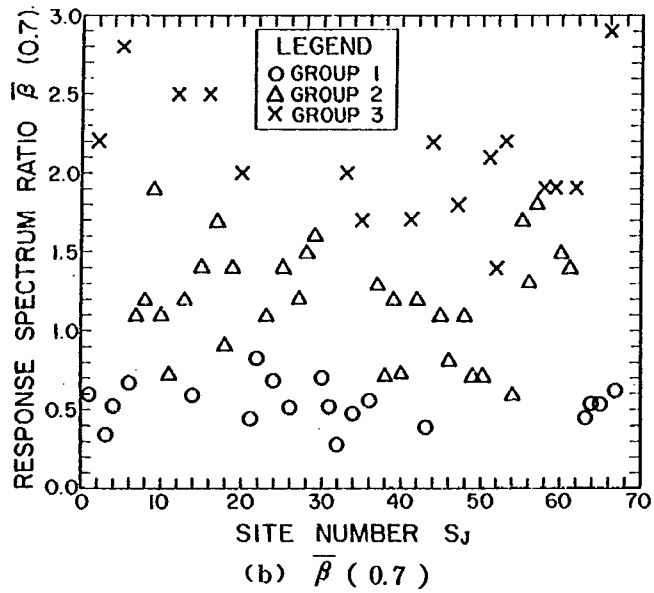
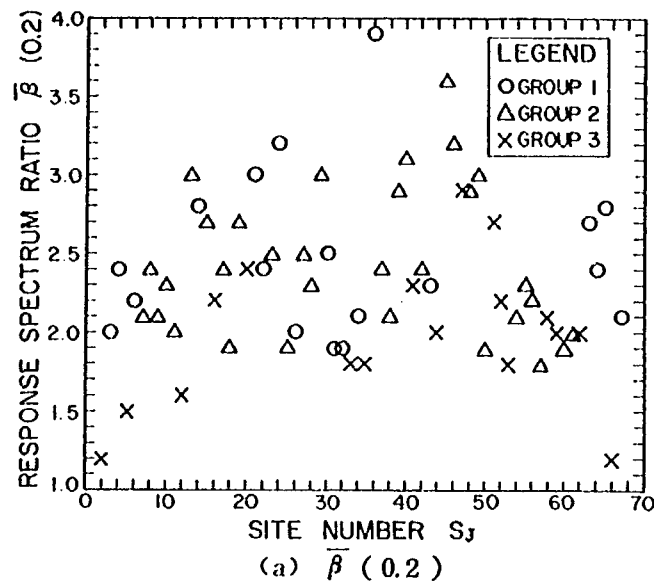


図 3 - 4 周期 $T = 0.2$ 秒, 0.7 秒, 2 秒に対する $\bar{\beta}$ スペクトル

4. 加速度応答スペクトルの距離減衰式

式(2-17)による減衰定数5%の加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A(T)$ を、前章に示した方法により地盤種別に応じて3種類に分類し、重回帰分析により距離減衰式を求めた。距離減衰を求める際には、距離減衰式の形を適切に選ぶことが重要であるが、ここでは建設省新耐震設計法(案)等既往の研究例を参考にして次式を仮定した。

$$\tilde{S}_A(T) = a(T) \times 10^{\frac{b(T)M}{(d+d_0)^c(T)}} \quad (4-1)$$

ここで、

$\tilde{S}_A(T)$: 減衰定数5%の加速度応答スペクトル [gal]

M : 気象庁によるマグニチュード

d : 震央距離 [Km]

d_0 : d が小さい範囲の $\tilde{S}_A(T)$ を調整する定数[Km]で、3.0 Kmとした。

$a(T), b(T), c(T)$: 重回帰分析により定める未知定数

T : 固有周期[秒]

式(4-1)の未定定数の $a(T), b(T), c(T)$ を固有周期ごとに197組の $\tilde{S}_A(T)$ より求めると表4-1のようになる。表中には、重相関係数 $R(T)$ も同時に示している。表4-1の $a(T), b(T), c(T), R(T)$ を周期 T に対して示すと、図4-1のようになる。これより以下の事項が指摘される。

- (1) 定数項 $a(T)$ は、短周期領域では大きく、周期が長くなるにつれて減少する。図4-1(a)は、 $a(T)$ ($\log a(T)$ で表示)を示したものであるが、これからわかるように、 $a(T)$ は応答スペクトル $\tilde{S}_A(T)$ の概略の形状を表わしている。
- (2) $b(T)$ は周期 T が0.3秒程度以下では0.2~0.3程度であるのに対し、周期が約0.7秒以上では0.45~0.65程度と大きくなる。これは長周期領域の $\tilde{S}_A$ スペクトルほど、マグニチュード M の影響を強く受けることを示している。また、短周期領域から長周期領域になるにつれて $b(T)$ が大きくなる度合いは、3種地盤が一番大きく、以下、2種地盤、1種地盤の順になっている。
- (3) $c(T)$ は、2種地盤の場合には固有周期にあまりよらず1.0~1.3程度の値をとる。しかし、1種地盤および3種地盤の場合には、固有周期によって $c(T)$ は変化する。3種地盤で周期0.7秒の場合に $c(T)$ は最も大きく1.65となる。
- (4) 重相関係数 $R(T)$ は0.56~0.82程度であり、従来のこの種の解析と同程度の値となっている。重相関係数が比較的低い値にとどまっている理由は、現在の解析には地震の属性、伝播経路の特性がそれぞれマグニチュードおよび震央距離によってしか取り入れられていないが、これらに係わる特性をさらに多くのパラメータにより詳細に考慮しないと地震動の特性を精度よく表示できないことによると考えられる。しかしながら、現状では上記以外に利用できる情報

がないため、推定式の精度を予測値のばらつき等で考慮して、解析に用いることが求められる。

式(4-1)による $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルの距離減衰の一例として固有周期 $T=0.2$ 秒, 0.5 秒, 2 秒の場合に対して, もととなった実測の $\tilde{S}_A$ 値とともに予測式を示すと図4-2のようになる。また, 式(4-1)による $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルの期待値を主要な震央距離($d=50$ Km, 100 Km, 200 Km)およびマグニチュード($M=5, 6, 7, 8$)の組合せに対して示すと図4-3のようになる。これらの $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルと既往の研究成果の比較については6章に示すこととする。

次に, 式(4-1)による $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルの期待値のばらつきを示すために, 実測のスペクトル $\tilde{S}_A^{OB}(T)$ と, これが得られた地震の M, d から式(4-1)により求めた期待値 $\tilde{S}_A^P(T)$ の比 $U_{SA}(T)$ を次式により定義した。

$$U_{SA}(T) = \frac{\tilde{S}_A^{OB}(T)}{\tilde{S}_A^P(T)} \quad (4-2)$$

ここで,

$U_{SA}(T)$: $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルのばらつきの度合いを表わす指標

$\tilde{S}_A^{OB}(T)$: 重回帰分析のもととなった $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルの実測値

$\tilde{S}_A^P(T)$: 式(4-1)から求められる $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルの期待値

したがって, 実際のスペクトル値 $\tilde{S}_A^{OB}(T)$ は, 式(4-2)から, 次式で与えられることになる。

$$\begin{aligned} \tilde{S}_A^{OB}(T) &= U_{SA}(T) \cdot \tilde{S}_A^P(T) \\ &= U_{SA}(T) \{ a(T) \times 10^{b(T)M} \times (d+30)^c(T) \} \end{aligned} \quad (4-3)$$

式(4-2)による $U_{SA}(T)$ を主要な固有周期($T=0.2$ 秒, 0.5 秒, 2 秒)に対して求め, これと M および d の関係を示すと図4-4のようになる。これによれば, U_{SA} は M および d により顕著に変化しないことがわかる。次に各地盤種別ごとに $\log U_{SA}$ の頻度分布を求めると表4-2のようになる。また, これを各周期に対して示すと図4-5のようになる。これによればデータ数の少ない1種地盤および3種地盤の1部ではややばらつきがあるが, $\log U_{SA}$ の頻度分布は全体として正規分布により近似できる。いま, $\log U_{SA}$ が正規分布に従うと仮定すると, $x \equiv \log U_{SA}$ が $a \sim b$ の範囲にある確率 $P(a < x < b)$ に次式で与えられる。

$$P(a < x < b) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dx \quad (4-4)$$

ここで,

$x = \log U_{SA}$

$\mu = x$ の平均値

$\sigma = x$ の標準偏差

$x = \log U_{SA}$ の平均値 μ および標準偏差 σ を各固有周期ごとに計算すると、 μ は常に 0 であり、また σ は表 4-2 に示した通りとなる。ここで、 $s = x / \sigma$ とおけば x は標準正規分布に従うこととなり、次式で与えられる。

$$P(a < x < b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a}{\sigma}}^{\frac{b}{\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2}s^2\right] ds$$

$$= \Phi\left(\frac{b}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right) \quad (4-5)$$

ここで、 Φ は標準正規分布関数である。いま、 $x = \log U_{SA}$ が b を超えない確率（非超過確率）を改めて p とおけば、

$$p = 1 - P[-\infty < x < b]$$

$$= 1 - \Phi\left(\frac{b}{\sigma}\right) \quad (4-6)$$

となる。これにより、各周期ごとに非超過確率 p に応じた $U_{SA}(T)$ を求めると表 4-3 のようになる。したがって、ここで示した解析式による期待値のばらつきを考慮する場合には、非超過確率 p の値に応じて式 (4-6) の係数 $U_{SA}(T)$ を乗じて式 (4-3) により応答スペクトル値を推定することができる。なお、表 4-3 によれば、 $U_{SA}(T)$ の値は固有周期および地盤種別によってそれ程変化しない。したがって、 $U_{SA}(T)$ を各固有周期および地盤種別ごとに平均すると表 4-4、図 4-6 のようになる。また、これにより $p = 0.1 \sim 0.9$ と変化させた場合の $\tilde{S}_A$ スペクトルの 1 例 ($M=6$ および 8 、 $d=100\text{km}$ の場合) を図 4-7 に示す。

次に、式 (4-1) による $\tilde{S}_A$ スペクトルの予測値と実際の強震記録から求めた S_A スペクトルの比較を図 4-8 に示す。ここで対象としたのは、1968 年日向灘沖地震による板島橋周辺地盤の記録、1968 年豊後水道沖地震による板島橋周辺地盤の記録、1978 年宮城県沖地震による開北橋周辺地盤の記録および 1968 年日向灘沖地震による妙見橋周辺地盤の記録であり、これらはいずれも我国の地盤上で観測された代表的な加速度強震記録である。これによれば、上記 3 記録のいずれの場合にも、卓越周期付近におけるスペクトル値は式 (4-1) による予測値をかなり上廻り、非超過確率 $p = 0.99$ 程度に達する場合があることがわかる。こうした点からも、スペクトルレベルの推定を行う際には、 p を適当に考慮する必要があることがわかる。

表 4 - 1 $\tilde{S}_A(T)$ の定数 $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$ および重相関係数 $R(T)$

固有周期 T [秒]	1 種 地 盤				2 種 地 盤				3 種 地 盤			
	a(T)	b(T)	c(T)	R(T)	a(T)	b(T)	c(T)	R(T)	a(T)	b(T)	c(T)	R(T)
0.1	2 5 4 3	0.2 1 8 9	-1.1 9 9	0.7 4	9 8 2 0	0.2 8 9 2	-1.2 8 9	0.6 6	1 3 0 6	0.2 0 7 4	-1.1 7 6	0.6 2
0.1 5	2 0 9 0	0.2 0 2 4	-1.1 2 0	0.6 6	6 9 6.1	0.3 0 6 7	-1.2 5 5	0.6 7	9 3 0.3	0.2 0 2 4	-1.0 6 4	0.5 8
0.2	1 5 5 8	0.2 5 9 5	-1.2 5 8	0.7 6	5 0 4.5	0.3 2 9 4	-1.2 3 8	0.6 2	1 1 2 1	0.2 1 6 4	-1.1 4 0	0.6 2
0.3	1 1 4 0	0.3 1 3 4	-1.4 4 7	0.7 9	2 4 2 7	0.3 2 8 2	-1.1 0 6	0.5 9	1 2 5 4	0.2 0 9 8	-1.1 3 3	0.6 1
0.5	1 1 1.0	0.2 6 1 1	-0.9 2 3 9	0.6 1	8 6.5 0	0.3 5 8 1	-1.0 5 2	0.6 3	5 9 8.7	0.3 3 8 0	-1.3 6 0	0.5 9
0.7	6 0.2 4	0.2 8 5 7	-0.9 6 8 7	0.6 9	3 4.4 2	0.4 4 0 7	-1.1 8 0	0.7 0	7 1.3 3	0.5 7 3 7	-1.6 6 9	0.6 6
1	5 7.6 9	0.3 6 5 7	-1.3 2 1	0.7 4	4.4 4 8	0.5 2 5 6	-1.0 8 4	0.6 7	7.6 8 4	0.6 2 0 2	-1.4 3 3	0.5 6
1.5	1 3.4 7	0.4 6 9 1	-1.4 2 8	0.8 2	0.6 8 4 7	0.6 2 0 9	-1.1 4 0	0.7 5	0.8 0 3 0	0.6 4 7 7	-1.1 8 0	0.6 0
2	1 0.7 7	0.4 5 3 7	-1.4 2 2	0.8 0	0.2 8 5 1	0.6 0 7 8	-1.0 2 8	0.7 8	0.3 2 8 4	0.5 4 1 4	-0.7 7 5 1	0.6 2
3	2.4 6 6	0.4 8 4 9	-1.3 3 1	0.8 2	0.2 8 9 0	0.5 4 6 2	-1.0 1 0	0.7 6	0.2 5 1 5	0.5 6 1 8	-0.9 4 3 3	0.6 2

表4-2(1) $\log U_{SA}$ の頻度分布 (1種地盤)

$\log U_{SA}$	固有周期 T [秒]									
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3
$-1 \leq \log U < -0.9$	0 (0.01)	0 (0.002)	0 (0.001)	0 (0.002)	0 (0.02)	0 (0.002)	0 (0.01)	0 (0.005)	0 (0.01)	0 (0.004)
$-0.9 \leq \log U < -0.8$	0 (0.04)	0 (0.01)	0 (0.01)	0 (0.01)	0 (0.05)	0 (0.01)	0 (0.06)	0 (0.02)	0 (0.04)	0 (0.02)
$-0.8 \leq \log U < -0.7$	0 (0.12)	0 (0.04)	0 (0.03)	0 (0.05)	0 (0.15)	0 (0.05)	0 (0.15)	0 (0.08)	0 (0.12)	0 (0.07)
$-0.7 \leq \log U < -0.6$	0 (0.33)	0 (0.15)	0 (0.13)	0 (0.17)	0 (0.39)	0 (0.17)	1 (0.38)	0 (0.24)	0 (0.32)	0 (0.23)
$-0.6 \leq \log U < -0.5$	0 (0.78)	0 (0.45)	0 (0.41)	0 (0.50)	1 (0.88)	0 (0.51)	0 (0.86)	0 (0.64)	0 (0.77)	1 (0.62)
$-0.5 \leq \log U < -0.4$	4 (1.61)	0 (1.17)	1 (1.11)	1 (1.25)	4 (1.73)	3 (1.25)	2 (1.71)	2 (1.43)	3 (1.60)	1 (1.41)
$-0.4 \leq \log U < -0.3$	3 (2.88)	4 (2.50)	4 (2.43)	3 (2.57)	1 (2.95)	2 (2.58)	3 (2.94)	1 (2.74)	3 (2.87)	3 (2.72)
$-0.3 \leq \log U < -0.2$	5 (4.44)	6 (4.42)	5 (4.40)	6 (4.43)	4 (4.42)	2 (4.43)	5 (4.42)	8 (4.45)	4 (4.44)	3 (4.45)
$-0.2 \leq \log U < -0.1$	10 (5.93)	2 (6.46)	6 (6.53)	8 (6.37)	6 (5.78)	9 (6.37)	6 (5.81)	5 (6.15)	7 (5.95)	9 (6.19)
$-0.1 \leq \log U < 0$	1 (6.86)	11 (7.81)	6 (7.96)	4 (7.64)	6 (6.61)	9 (7.63)	6 (6.66)	7 (7.23)	5 (6.88)	7 (7.29)
$0 \leq \log U < 0.1$	9 (6.86)	9 (7.81)	10 (7.96)	8 (7.64)	6 (6.61)	7 (7.63)	6 (6.66)	9 (7.23)	11 (6.88)	4 (7.29)
$0.1 \leq \log U < 0.2$	5 (5.93)	5 (6.46)	3 (6.53)	5 (6.37)	6 (5.78)	4 (6.37)	8 (5.81)	7 (6.15)	4 (5.95)	11 (6.19)
$0.2 \leq \log U < 0.3$	4 (4.44)	4 (4.42)	8 (4.40)	8 (4.43)	7 (4.42)	5 (4.43)	4 (4.42)	2 (4.45)	3 (4.44)	2 (4.45)
$0.3 \leq \log U < 0.4$	2 (2.88)	2 (2.50)	1 (2.43)	1 (2.57)	3 (2.95)	2 (2.58)	1 (2.94)	1 (2.74)	2 (2.87)	1 (2.72)
$0.4 \leq \log U < 0.5$	2 (1.61)	1 (1.17)	2 (1.11)	1 (1.25)	0 (1.73)	3 (1.25)	2 (1.71)	3 (1.43)	1 (1.60)	2 (1.41)
$0.5 \leq \log U < 0.6$	0 (0.78)	1 (0.45)	0 (0.41)	1 (0.50)	2 (0.88)	0 (0.51)	1 (0.86)	0 (0.64)	2 (0.77)	1 (0.62)
$0.6 \leq \log U < 0.7$	0 (0.33)	1 (0.15)	0 (0.13)	0 (0.17)	0 (0.39)	0 (0.17)	0 (0.38)	1 (0.24)	1 (0.32)	1 (0.23)
$0.7 \leq \log U < 0.8$	1 (0.12)	0 (0.04)	0 (0.03)	0 (0.05)	0 (0.15)	0 (0.05)	1 (0.15)	0 (0.08)	0 (0.12)	0 (0.07)
$0.8 \leq \log U < 0.9$	0 (0.04)	0 (0.01)	0 (0.01)	0 (0.01)	0 (0.05)	0 (0.01)	0 (0.06)	0 (0.02)	0 (0.04)	0 (0.02)
$0.9 \leq \log U < 1.0$	0 (0.01)	0 (0.002)	0 (0.001)	0 (0.002)	0 (0.02)	0 (0.002)	0 (0.01)	0 (0.005)	0 (0.01)	0 (0.004)
標準偏差 σ	0.2627	0.2296	0.2251	0.2349	0.2729	0.2352	0.2711	0.2486	0.2620	0.2465

注) $\bar{\sigma} = 0.249$

表 4 - 2 (2) $\log U_{SA}$ の頻度分布 (2 種地盤)

$\log U_{SA}$	固 有 周 期 T [秒]									
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3
$-1 \leq \log U < -0.9$	0 (0.02)	0 (0.009)	0 (0.009)	0 (0.032)	0 (0.01)	0 (0.009)	0 (0.11)	0 (0.06)	0 (0.02)	0 (0.01)
$-0.9 \leq \log U < -0.8$	0 (0.07)	0 (0.04)	0 (0.12)	0 (0.11)	0 (0.05)	0 (0.04)	1 (0.28)	0 (0.19)	0 (0.09)	0 (0.04)
$-0.8 \leq \log U < -0.7$	0 (0.22)	0 (0.16)	0 (0.36)	0 (0.33)	0 (0.18)	0 (0.16)	0 (0.67)	1 (0.50)	0 (0.28)	0 (0.17)
$-0.7 \leq \log U < -0.6$	1 (0.65)	0 (0.50)	1 (0.92)	0 (0.87)	1 (0.56)	1 (0.51)	2 (1.43)	1 (1.16)	1 (0.76)	0 (0.53)
$-0.6 \leq \log U < -0.5$	1 (1.64)	5 (1.38)	4 (2.06)	2 (1.98)	2 (1.48)	1 (1.40)	3 (2.74)	3 (2.40)	3 (1.82)	5 (1.43)
$-0.5 \leq \log U < -0.4$	6 (3.53)	0 (3.19)	5 (4.02)	7 (3.93)	3 (3.33)	6 (3.22)	5 (4.70)	3 (4.38)	3 (3.75)	1 (3.26)
$-0.4 \leq \log U < -0.3$	6 (6.53)	6 (6.25)	6 (6.88)	8 (6.82)	8 (6.37)	5 (6.27)	4 (7.24)	6 (7.08)	9 (6.69)	6 (6.31)
$-0.3 \leq \log U < -0.2$	10 (10.35)	14 (10.35)	10 (10.28)	10 (10.30)	9 (10.36)	6 (10.35)	9 (10.01)	17 (10.17)	9 (10.33)	10 (10.35)
$-0.2 \leq \log U < -0.1$	15 (14.07)	14 (14.13)	10 (13.44)	10 (13.56)	13 (14.32)	10 (14.45)	16 (12.42)	8 (12.94)	10 (13.80)	14 (14.40)
$-0.1 \leq \log U < 0$	9 (16.41)	9 (17.13)	15 (15.37)	16 (15.56)	18 (16.85)	19 (17.08)	15 (13.84)	13 (14.59)	15 (15.95)	17 (16.99)
$0 \leq \log U < 0.1$	20 (16.41)	17 (17.13)	15 (15.37)	18 (15.56)	20 (16.85)	22 (17.08)	15 (13.84)	14 (14.59)	17 (15.95)	17 (16.99)
$0.1 \leq \log U < 0.2$	15 (14.07)	19 (14.48)	13 (13.44)	8 (13.56)	10 (14.32)	18 (14.45)	9 (12.42)	13 (12.94)	15 (13.80)	13 (14.40)
$0.2 \leq \log U < 0.3$	13 (10.35)	11 (10.35)	16 (10.28)	12 (10.30)	10 (10.36)	13 (10.35)	7 (10.01)	13 (10.17)	13 (10.33)	13 (10.35)
$0.3 \leq \log U < 0.4$	5 (6.53)	9 (6.25)	7 (6.88)	7 (6.82)	7 (6.37)	1 (6.27)	11 (7.24)	9 (7.08)	5 (6.69)	7 (6.31)
$0.4 \leq \log U < 0.5$	5 (3.53)	1 (3.19)	3 (4.02)	7 (3.93)	4 (3.33)	1 (3.22)	7 (4.70)	3 (4.38)	6 (3.75)	3 (3.26)
$0.5 \leq \log U < 0.6$	1 (1.64)	2 (1.38)	1 (2.06)	2 (1.98)	1 (1.48)	3 (1.40)	1 (2.74)	0 (2.40)	0 (1.82)	0 (1.43)
$0.6 \leq \log U < 0.7$	0 (0.65)	0 (0.50)	1 (0.92)	0 (0.87)	1 (0.56)	0 (0.51)	0 (1.43)	2 (1.16)	0 (0.76)	1 (0.53)
$0.7 \leq \log U < 0.8$	0 (0.22)	0 (0.16)	0 (0.36)	0 (0.33)	0 (0.18)	0 (0.16)	2 (0.67)	1 (0.50)	0 (0.28)	0 (0.17)
$0.8 \leq \log U < 0.9$	0 (0.07)	0 (0.04)	0 (0.12)	0 (0.11)	0 (0.05)	1 (0.04)	0 (0.28)	0 (0.19)	1 (0.09)	0 (0.04)
$0.9 \leq \log U < 1.0$	0 (0.02)	0 (0.009)	0 (0.009)	0 (0.032)	0 (0.01)	0 (0.009)	0 (0.11)	0 (0.06)	0 (0.02)	0 (0.01)
標 準 偏 差 σ	0.2552	0.2440	0.2732	0.2697	0.2483	0.2448	0.3044	0.2882	0.2628	0.2461

注) $\bar{\sigma} = 0.264$

表4 - 2(3) $\log U_{SA}$ の頻度分布 (3 種地盤)

$\log U_{SA}$	固 有 周 期 T [秒]									
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3
$-1 \leq \log U < -0.9$	0 (0.0007)	0 (0.0006)	0 (0.0003)	0 (0.0005)	0 (0.003)	0 (0.002)	0 (0.05)	0 (0.05)	0 (0.01)	0 (0.009)
$-0.9 \leq \log U < -0.8$	0 (0.004)	0 (0.004)	0 (0.002)	0 (0.004)	0 (0.01)	0 (0.01)	0 (0.12)	0 (0.12)	0 (0.05)	0 (0.03)
$-0.8 \leq \log U < -0.7$	0 (0.02)	0 (0.02)	0 (0.015)	0 (0.02)	0 (0.05)	0 (0.05)	0 (0.28)	0 (0.28)	0 (0.14)	0 (0.11)
$-0.7 \leq \log U < -0.6$	0 (0.01)	0 (0.09)	0 (0.07)	0 (0.09)	0 (0.18)	1 (0.17)	1 (0.60)	0 (0.59)	0 (0.37)	0 (0.30)
$-0.6 \leq \log U < -0.5$	0 (0.34)	1 (0.33)	1 (0.28)	1 (0.32)	0 (0.49)	0 (0.49)	3 (1.14)	1 (1.13)	0 (0.83)	0 (0.73)
$-0.5 \leq \log U < -0.4$	2 (0.97)	1 (0.95)	1 (0.86)	0 (0.93)	1 (1.25)	0 (1.20)	1 (1.94)	5 (1.94)	1 (1.63)	1 (1.52)
$-0.4 \leq \log U < -0.3$	2 (2.24)	3 (2.22)	2 (2.10)	1 (2.19)	3 (2.51)	3 (2.47)	4 (2.98)	3 (2.98)	4 (2.82)	5 (2.74)
$-0.3 \leq \log U < -0.2$	3 (4.18)	2 (4.17)	4 (4.12)	4 (4.16)	7 (4.25)	7 (4.24)	2 (4.11)	5 (4.11)	10 (4.23)	6 (4.25)
$-0.2 \leq \log U < -0.1$	8 (6.38)	5 (6.36)	5 (6.46)	9 (6.38)	2 (6.03)	6 (6.08)	5 (5.09)	2 (5.10)	3 (5.55)	7 (5.70)
$-0.1 \leq \log U < 0$	6 (7.80)	9 (7.85)	7 (8.09)	9 (7.89)	12 (7.19)	3 (7.28)	3 (5.67)	5 (5.68)	4 (6.36)	5 (6.61)
$0 \leq \log U < 0.1$	10 (7.80)	9 (7.85)	8 (8.09)	11 (7.89)	3 (7.19)	6 (7.28)	5 (5.67)	6 (5.68)	5 (6.36)	4 (6.61)
$0.1 \leq \log U < 0.2$	6 (6.38)	6 (6.36)	10 (6.46)	3 (6.38)	8 (6.03)	9 (6.08)	10 (5.09)	8 (5.10)	6 (5.55)	7 (5.70)
$0.2 \leq \log U < 0.3$	4 (4.18)	5 (4.17)	3 (4.12)	0 (4.16)	4 (4.25)	7 (4.24)	2 (4.11)	2 (4.11)	7 (4.23)	4 (4.25)
$0.3 \leq \log U < 0.4$	1 (2.24)	2 (2.22)	2 (2.10)	4 (2.19)	1 (2.51)	0 (2.47)	4 (2.98)	3 (2.98)	1 (2.82)	2 (2.74)
$0.4 \leq \log U < 0.5$	1 (0.97)	1 (0.95)	1 (0.86)	1 (0.93)	1 (1.25)	2 (1.20)	3 (1.94)	2 (1.94)	1 (1.63)	1 (1.52)
$0.5 \leq \log U < 0.6$	1 (0.34)	0 (0.33)	0 (0.28)	1 (0.32)	2 (0.49)	0 (0.49)	1 (1.14)	0 (1.13)	1 (0.83)	1 (0.73)
$0.6 \leq \log U < 0.7$	0 (0.01)	0 (0.09)	0 (0.07)	0 (0.09)	0 (0.18)	0 (0.17)	0 (0.60)	1 (0.59)	0 (0.37)	1 (0.30)
$0.7 \leq \log U < 0.8$	0 (0.02)	0 (0.02)	0 (0.015)	0 (0.02)	0 (0.05)	0 (0.05)	0 (0.28)	1 (0.28)	1 (0.14)	0 (0.11)
$0.8 \leq \log U < 0.9$	0 (0.004)	0 (0.004)	0 (0.002)	0 (0.004)	0 (0.01)	0 (0.01)	0 (0.12)	0 (0.12)	0 (0.05)	0 (0.03)
$0.9 \leq \log U < 1.0$	0 (0.0007)	0 (0.0006)	0 (0.0003)	0 (0.0005)	0 (0.003)	0 (0.002)	0 (0.05)	0 (0.05)	0 (0.01)	0 (0.009)
標準偏差 σ	0.2193	0.2178	0.2110	0.2165	0.2390	0.2357	0.3054	0.3051	0.2713	0.2609

注) $\bar{\sigma} = 0.248$

表 4 - 3(1) 非超過確率 p に対する係数 $U_{SA}(T)$ (1種地盤の場合)

非超過確率 P	固 有 周 期 T [秒]										平均値
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3	
0.9	2.17	1.97	1.94	2.00	2.24	2.00	2.22	2.08	2.16	2.07	2.09
0.8	1.66	1.56	1.55	1.58	1.70	1.58	1.69	1.62	1.66	1.61	1.62
0.7	1.37	1.32	1.31	1.32	1.39	1.33	1.38	1.35	1.37	1.34	1.35
0.6	1.16	1.14	1.14	1.14	1.17	1.14	1.17	1.15	1.16	1.15	1.15
0.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.4	0.86	0.88	0.88	0.87	0.85	0.87	0.86	0.87	0.86	0.87	0.87
0.3	0.73	0.76	0.76	0.75	0.72	0.75	0.72	0.74	0.73	0.74	0.74
0.2	0.60	0.64	0.65	0.63	0.59	0.63	0.59	0.62	0.60	0.62	0.62
0.1	0.46	0.51	0.52	0.50	0.45	0.50	0.45	0.48	0.46	0.48	0.48

表 4 - 3(2) 非超過確率 p に対する係数 $U_{SA}(T)$ (2種地盤の場合)

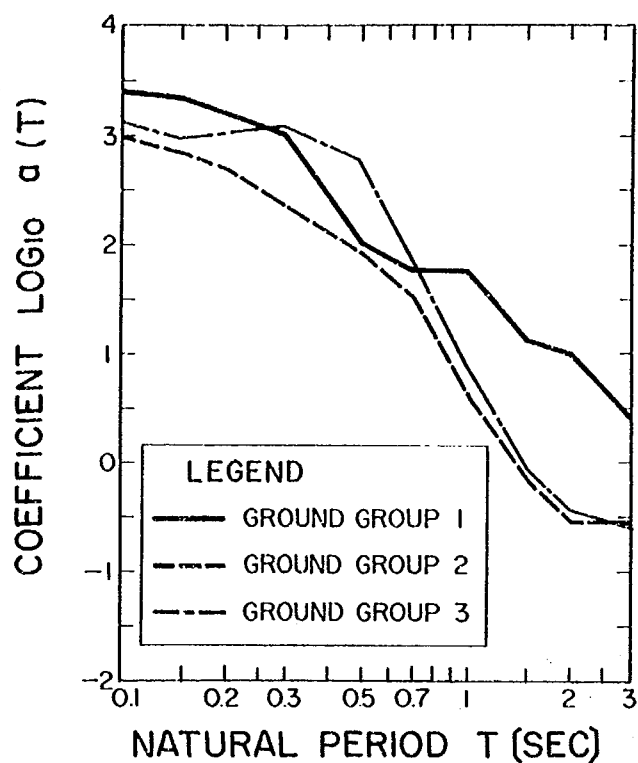
非超過確率 P	固 有 周 期 T [秒]										平均値
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3	
0.9	2.12	2.05	2.24	2.21	2.07	2.06	2.45	2.34	2.17	2.07	2.18
0.8	1.64	1.60	1.70	1.68	1.62	1.61	1.80	1.75	1.66	1.61	1.67
0.7	1.36	1.34	1.39	1.38	1.35	1.34	1.44	1.41	1.37	1.34	1.37
0.6	1.16	1.15	1.17	1.17	1.15	1.15	1.19	1.18	1.16	1.15	1.16
0.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.4	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.87	0.84	0.85	0.86	0.87	0.86
0.3	0.74	0.75	0.72	0.72	0.74	0.75	0.69	0.71	0.73	0.74	0.73
0.2	0.61	0.62	0.59	0.59	0.62	0.62	0.56	0.57	0.60	0.62	0.60
0.1	0.47	0.49	0.45	0.45	0.48	0.49	0.41	0.43	0.46	0.48	0.46

表 4 - 3 (3) 非超過確率 p に対する係数 $U_{SA}(T)$ (3 種地盤の場合)

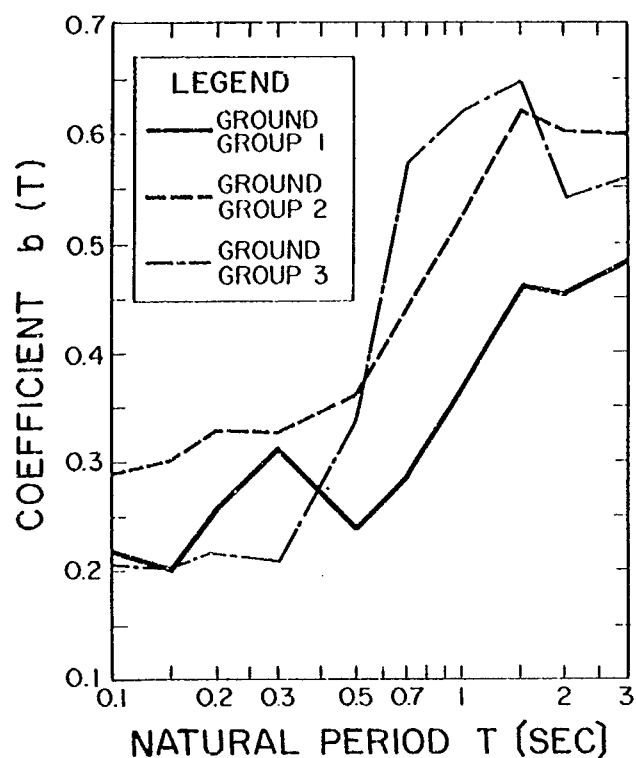
非超過確率 P	固 有 周 期 T [秒]										平均値
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3	
0.9	1.9 1	1.9 0	1.8 6	1.8 9	2.0 2	2.0 0	2.4 6	2.4 6	2.2 2	2.1 6	2.0 9
0.8	1.5 3	1.5 2	1.5 0	1.5 2	1.5 9	1.5 8	1.8 1	1.8 0	1.6 9	1.6 6	1.6 2
0.7	1.3 0	1.3 0	1.2 9	1.3 0	1.3 3	1.3 3	1.4 4	1.4 4	1.3 8	1.3 7	1.3 5
0.6	1.1 3	1.1 3	1.1 3	1.1 3	1.1 5	1.1 5	1.1 9	1.1 9	1.1 7	1.1 6	1.1 5
0.5	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0
0.4	0.8 8	0.8 8	0.8 9	0.8 8	0.8 7	0.8 7	0.8 4	0.8 4	0.8 6	0.8 6	0.8 7
0.3	0.7 7	0.7 7	0.7 8	0.7 7	0.7 5	0.7 5	0.6 9	0.6 9	0.7 2	0.7 3	0.7 4
0.2	0.6 5	0.6 6	0.6 6	0.6 6	0.6 3	0.6 3	0.5 5	0.5 5	0.5 9	0.6 0	0.6 2
0.1	0.5 2	0.5 3	0.5 4	0.5 3	0.4 9	0.5 0	0.4 1	0.4 1	0.4 5	0.4 6	0.4 8

表 4 - 4 $U_{SA}(T)$ の 平 均 値
(表 4 - 3 の $U_{SA}(T)$ を固有周期ごと, 地盤種別ごとに平均した値)

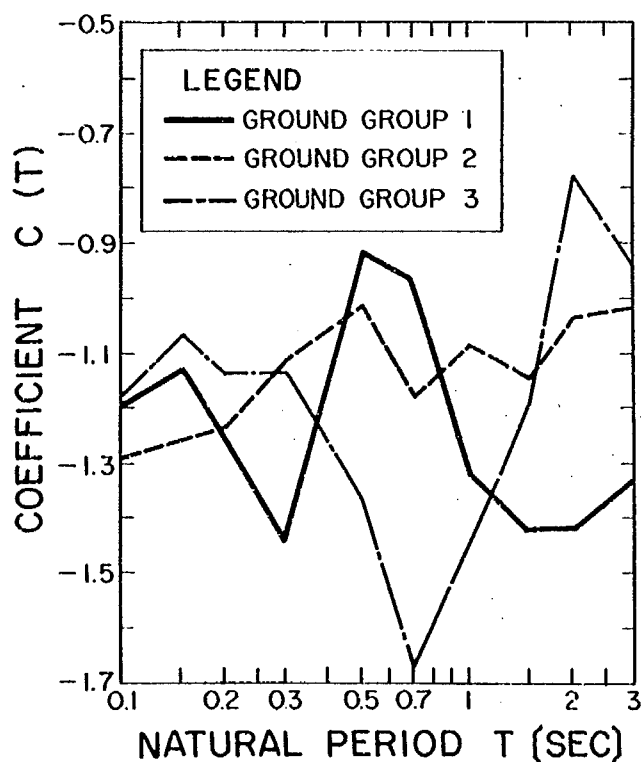
非超過確率 p	$U_{SA}(T)$ の平均値
0.9	2.1 2
0.8	1.6 4
0.7	1.3 6
0.6	1.1 6
0.5	1.0 0
0.4	0.8 6
0.3	0.7 4
0.2	0.6 1
0.1	0.4 8



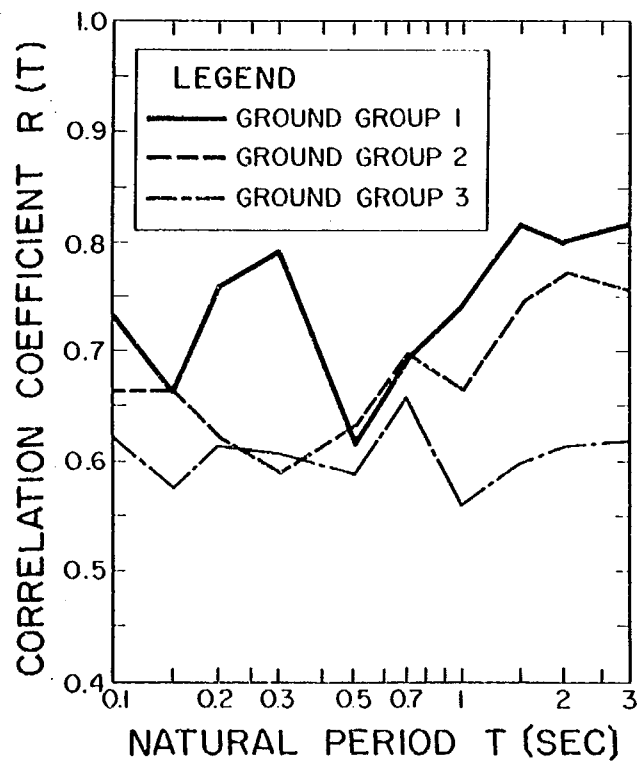
(a) 係数 $a(T)$



(b) 係数 $b(T)$



(c) 係数 $c(T)$



(d) 重相関係数 $R(T)$

図 4 - 1 式 (4-1) の係数 $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$ および重相関係数 $R(T)$

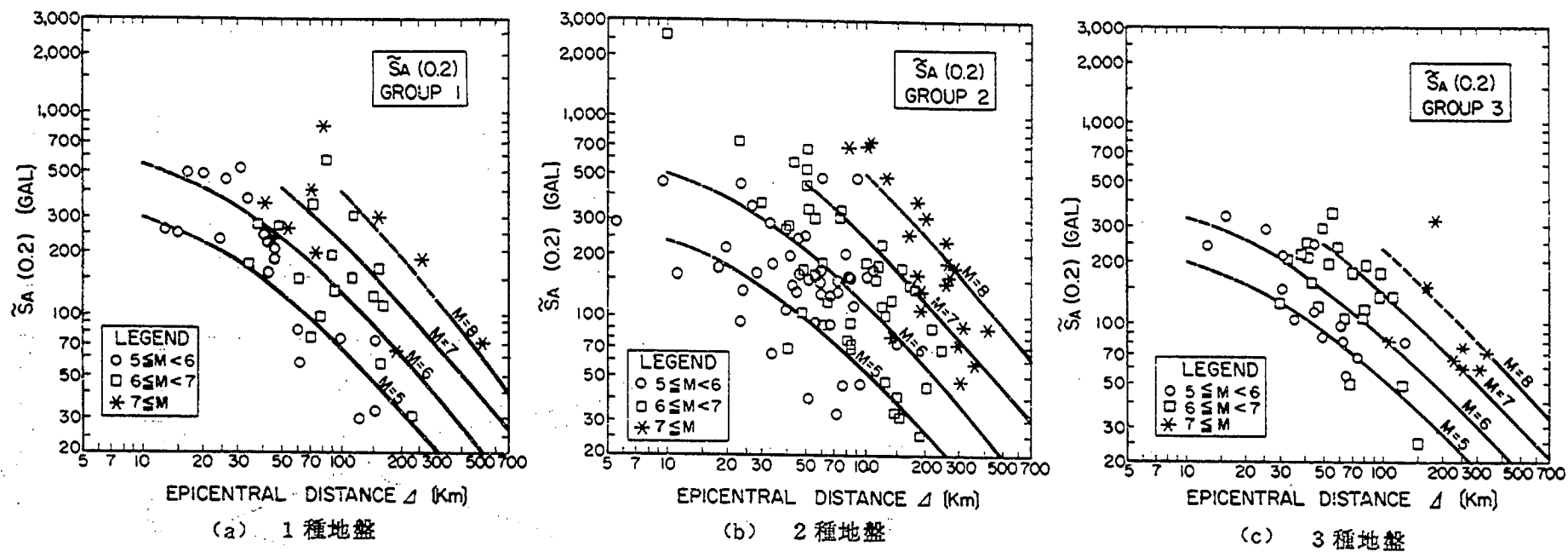
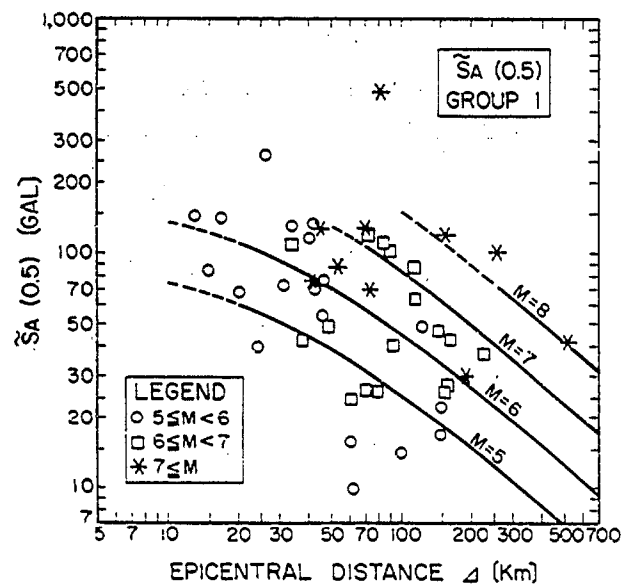
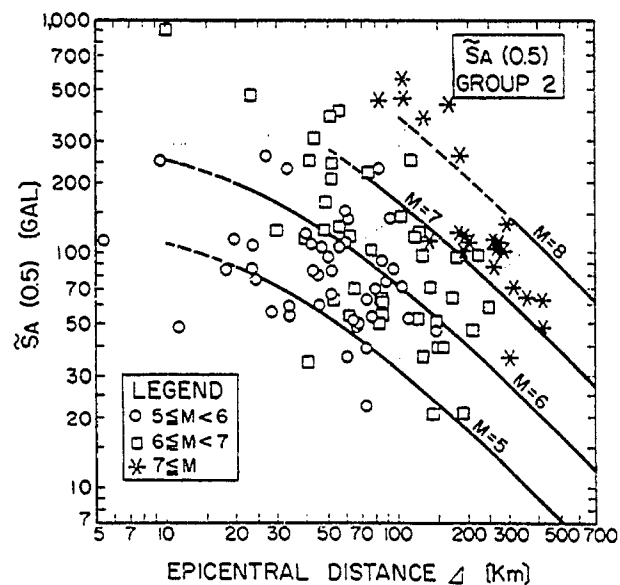


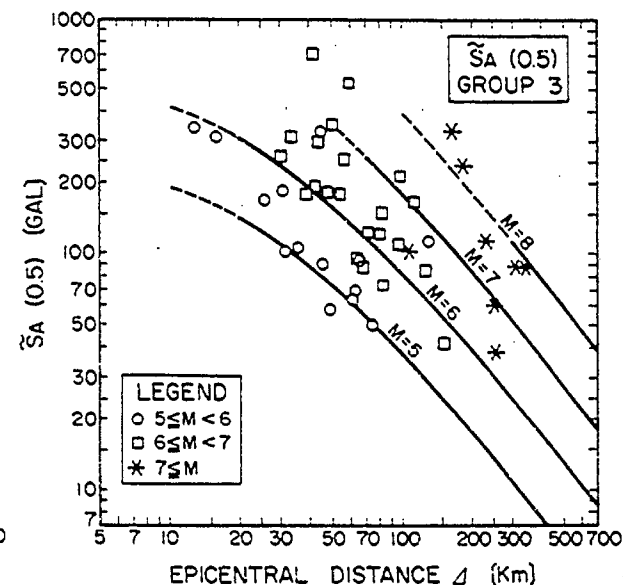
図 4-2(1) $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルの距離減衰特性 ($T=0.2$ 秒の場合)



(a) 1 種地盤

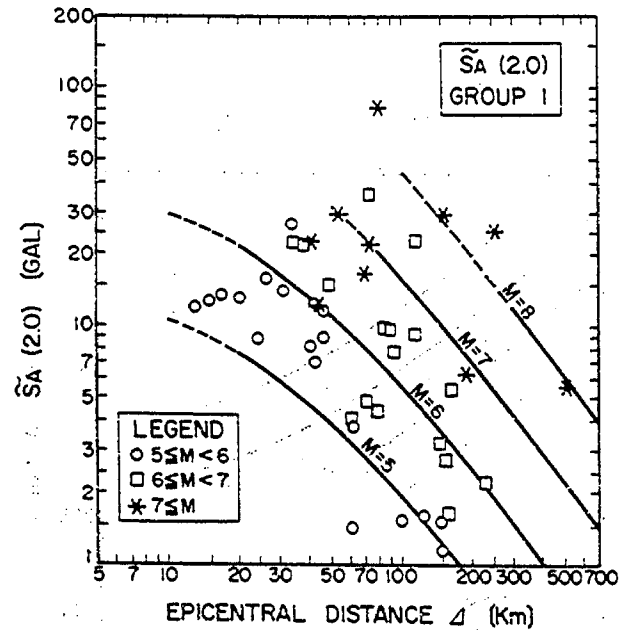


(b) 2 種地盤

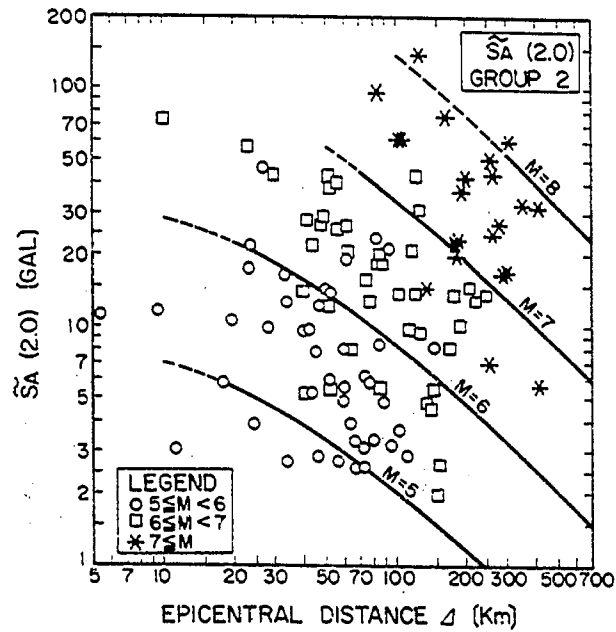


(c) 3 種地盤

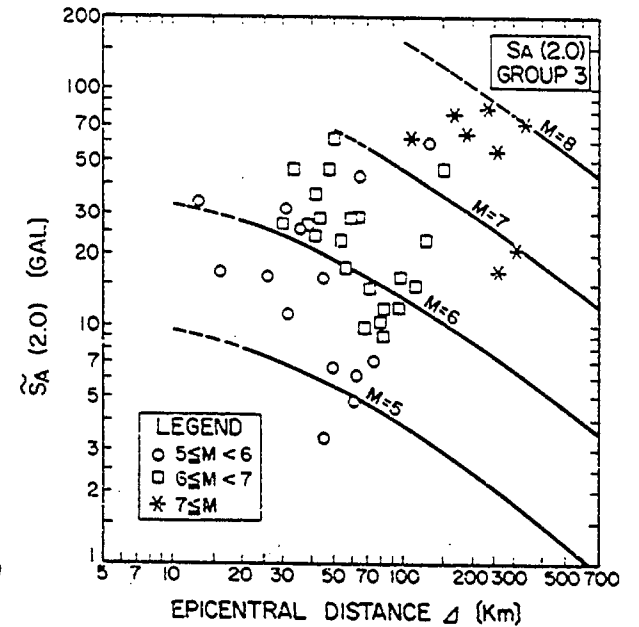
図 4 - 2 (2) $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルの距離減衰特性 ($T=0.5$ 秒の場合)



(a) 1 種地盤

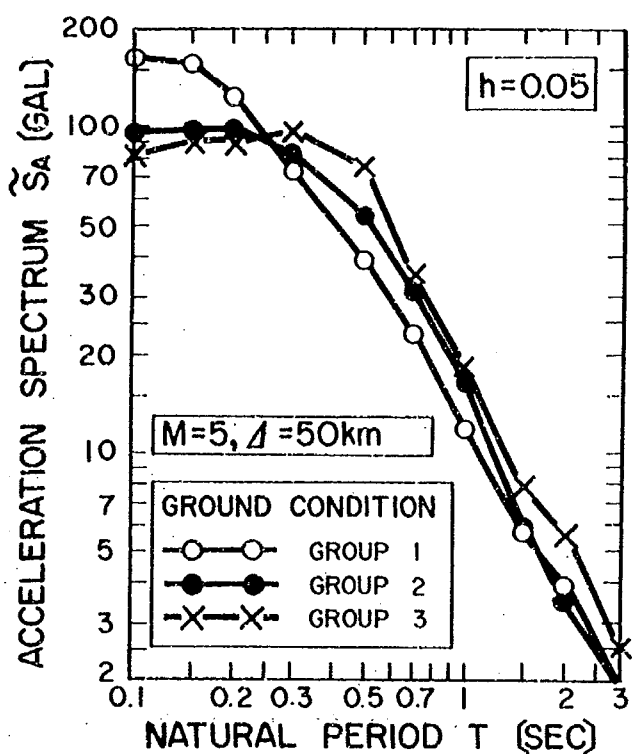


(b) 2 種地盤

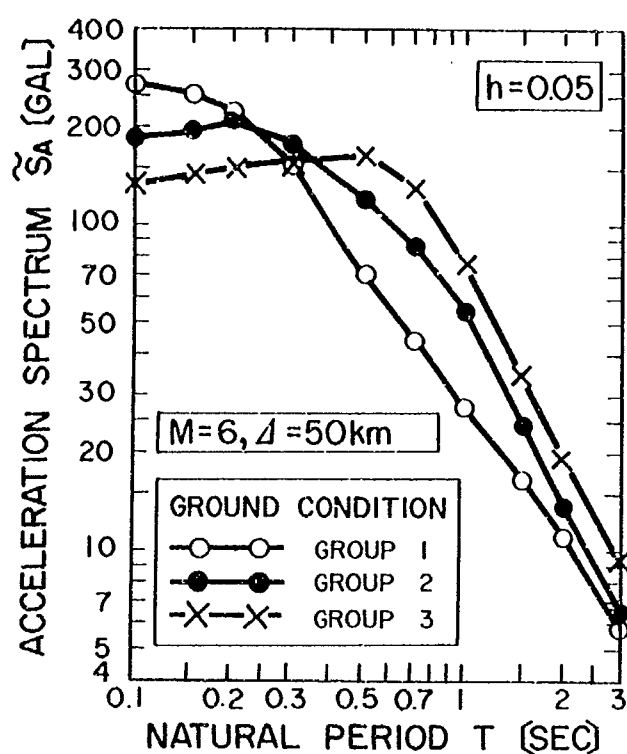


(c) 3 種地盤

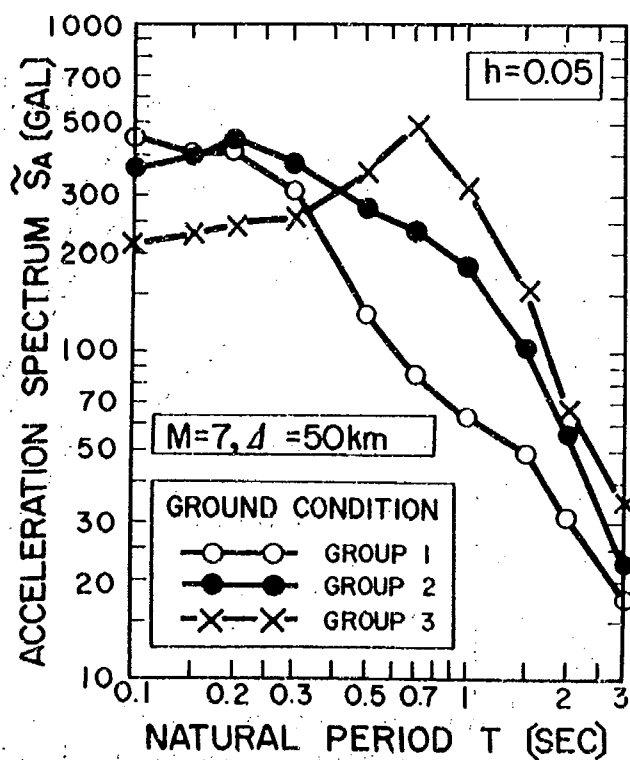
図 4 - 2 (3) $\tilde{S}_A(T)$ スペクトルの距離減衰特性 (T=2 秒の場合)



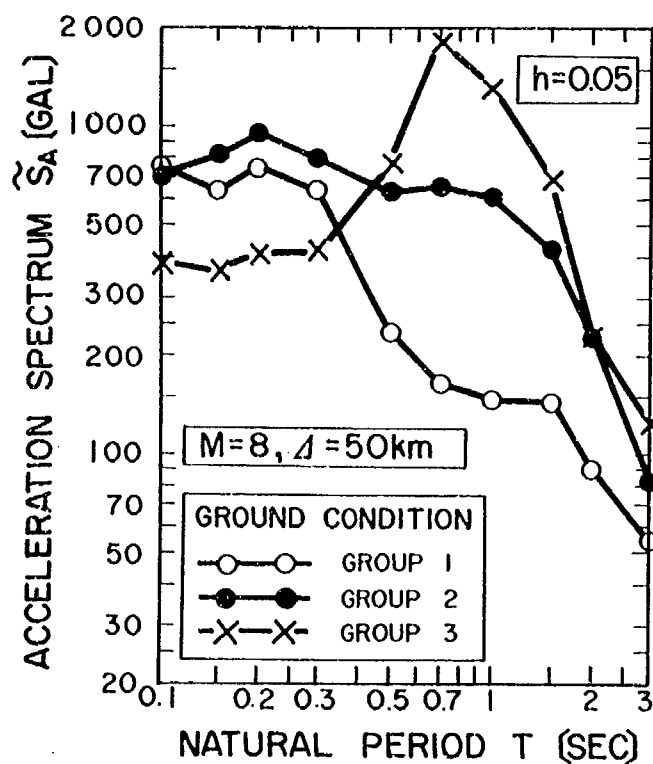
(a) $M=5$



(b) $M=6$

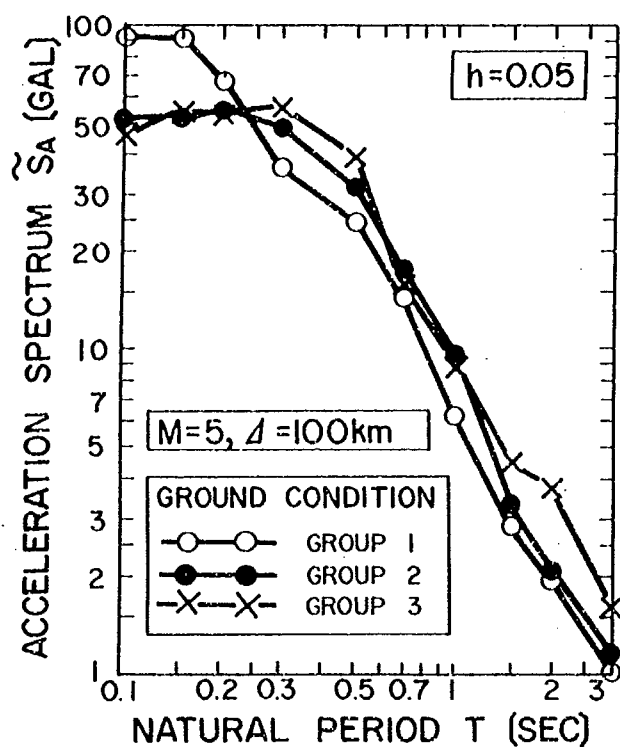


(c) $M=7$

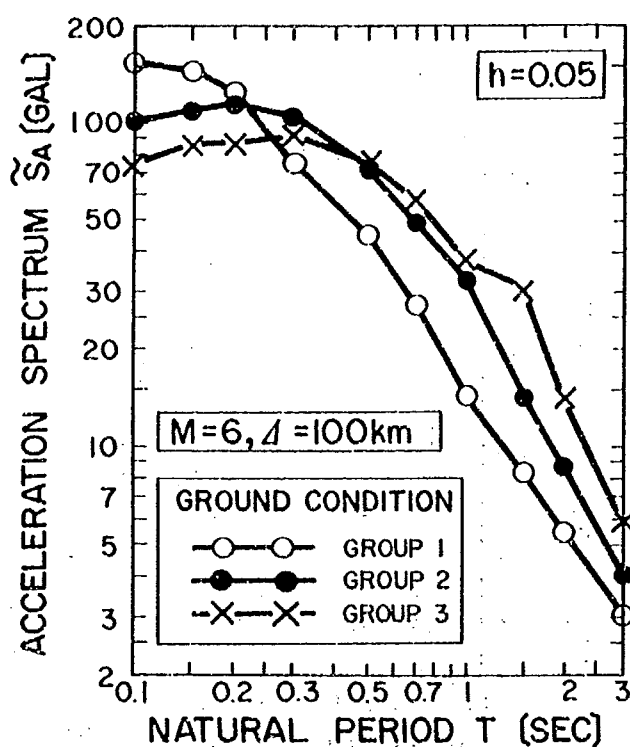


(d) $M=8$

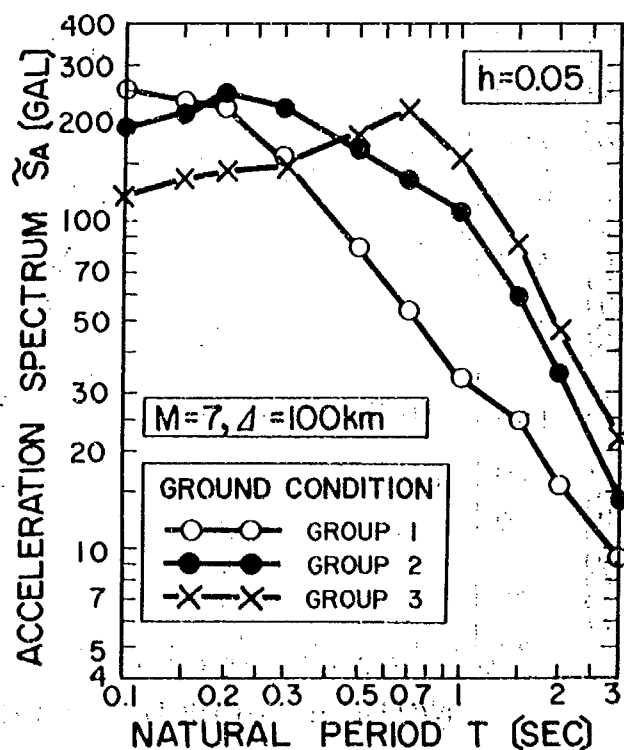
図4-3(1) $\tilde{S}_a(T)$ スペクトル ($d=50$ Km の場合)



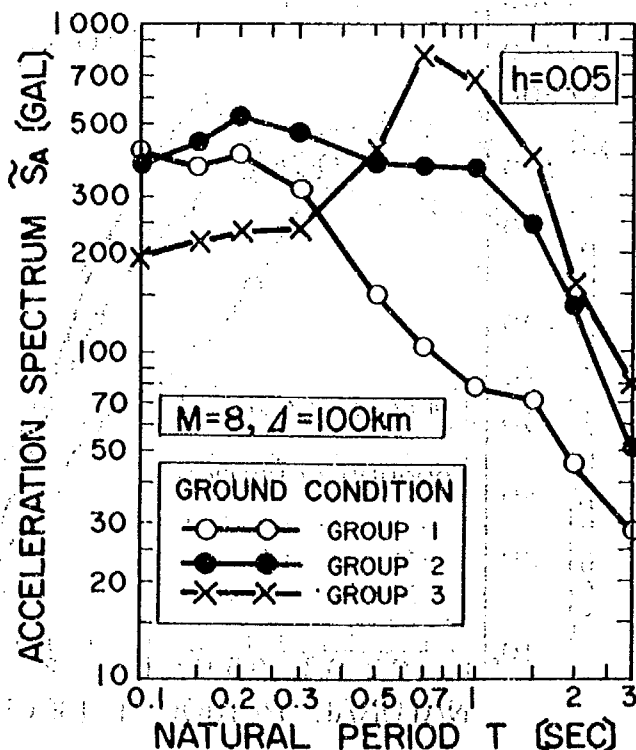
(a) $M=5$



(b) $M=6$

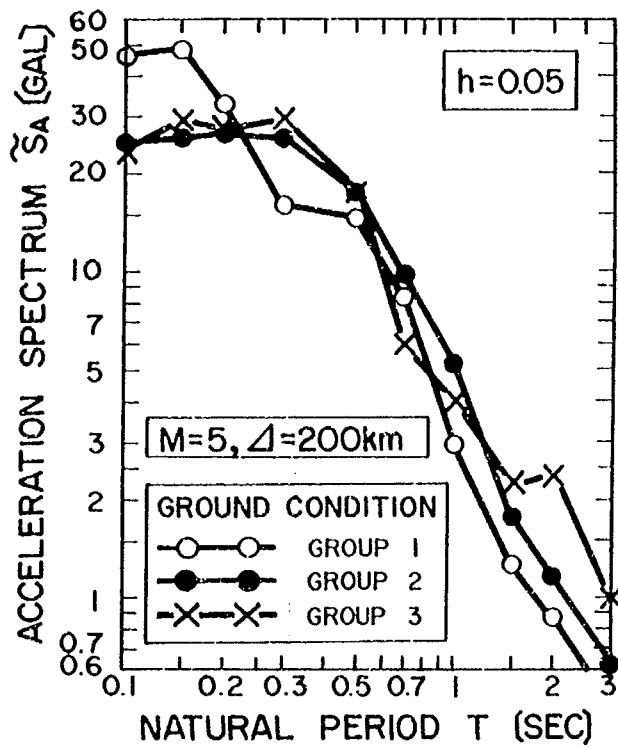


(c) $M=7$

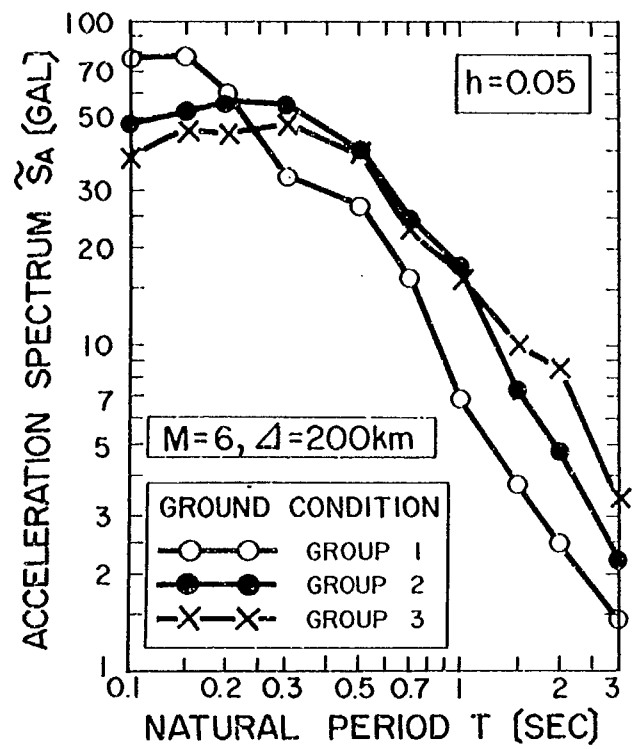


(b) $M=8$

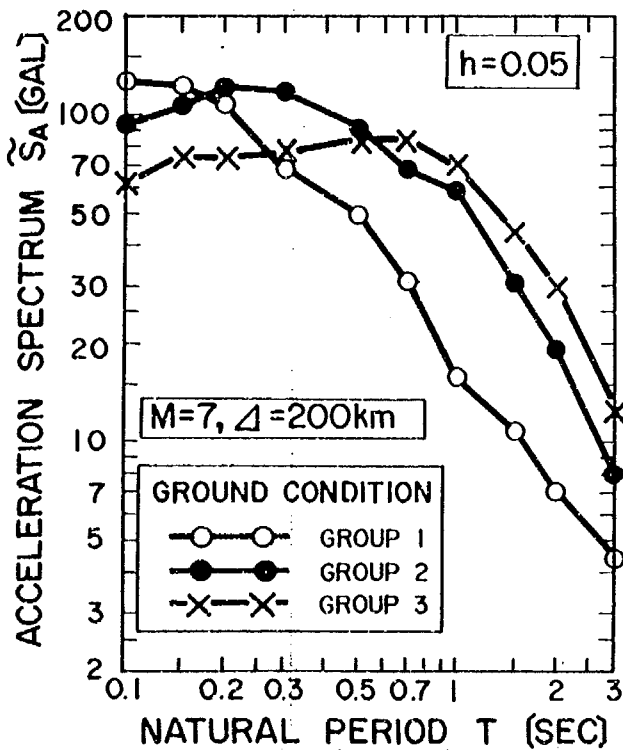
図 4-3(2) $\tilde{S}_a(T)$ スペクトル ($\Delta=100\text{km}$ の場合)



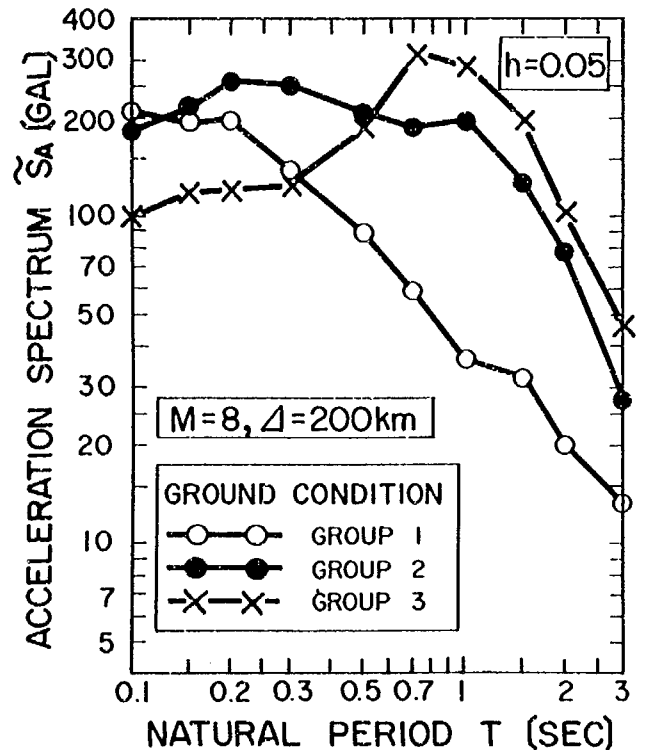
(a) M=5



(b) M=6



(c) M=7



(d) M=8

図4-3(3) $\tilde{S}_A(T)$ スペクトル ($\Delta=200\text{Km}$ の場合)

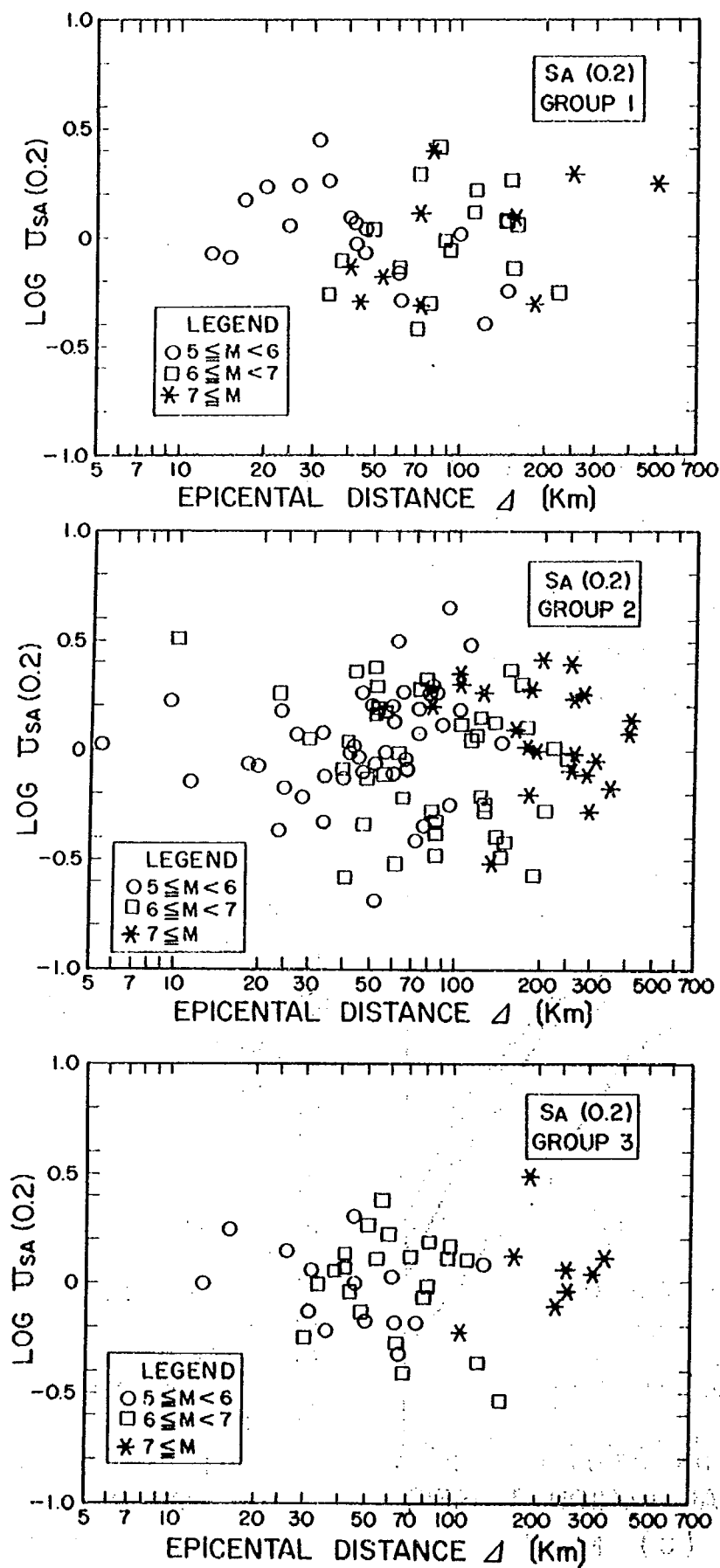


図4-4(1) $\text{Log}(U_{SA}) \sim \Delta \sim M$ の関係 ($T=0.2$ 秒の場合)

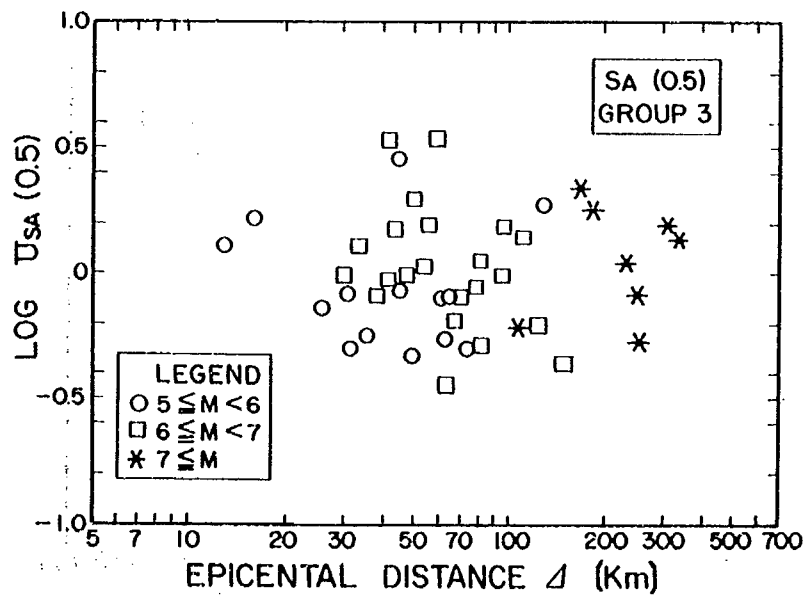
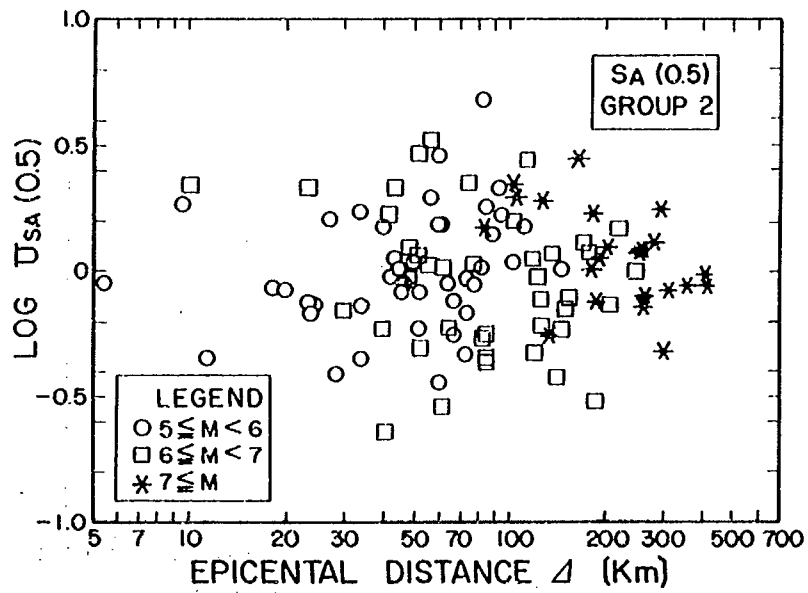
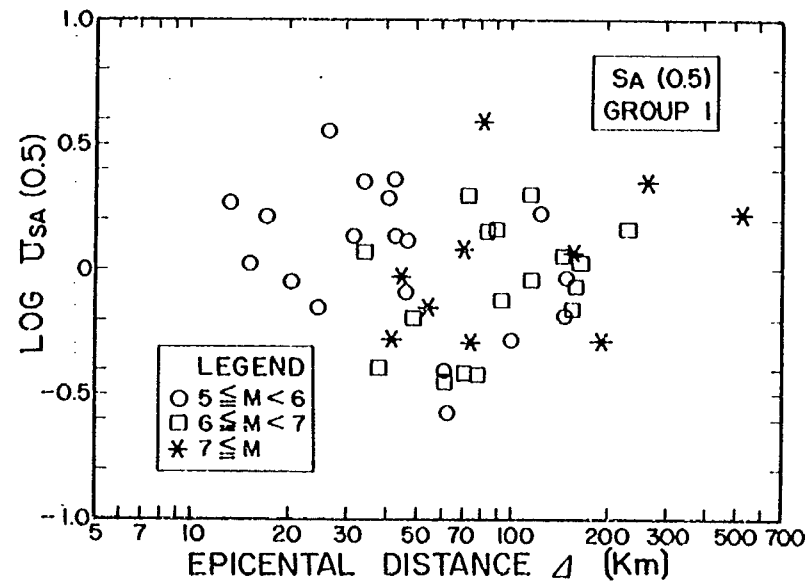


図 4-4(2) $\text{Log}(U_{SA}) \sim \Delta \sim M$ の関係 ($T=0.5$ 秒の場合)

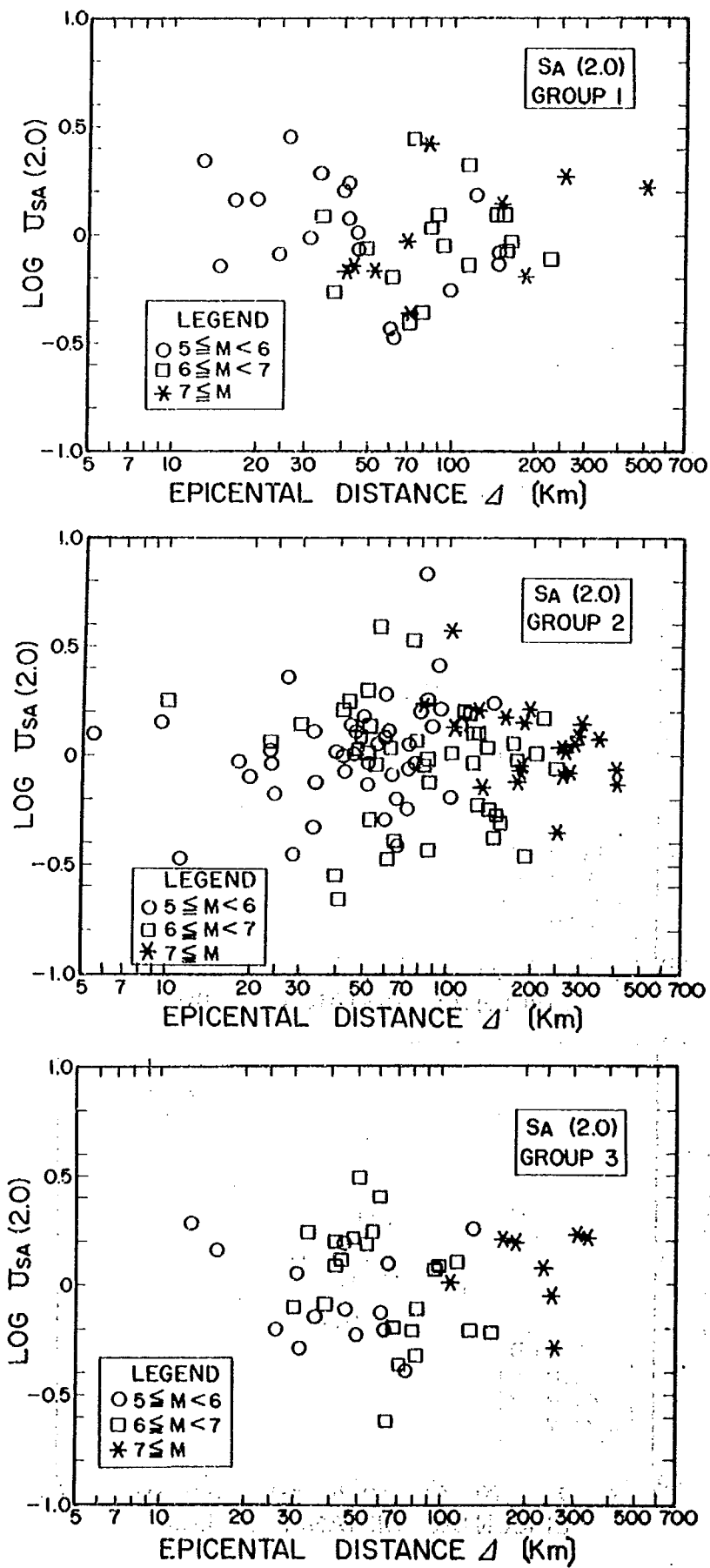


図4-4(3) $\text{Log}(U_{SA}) \sim \Delta \sim M$ の関係 ($T=2$ 秒の場合)

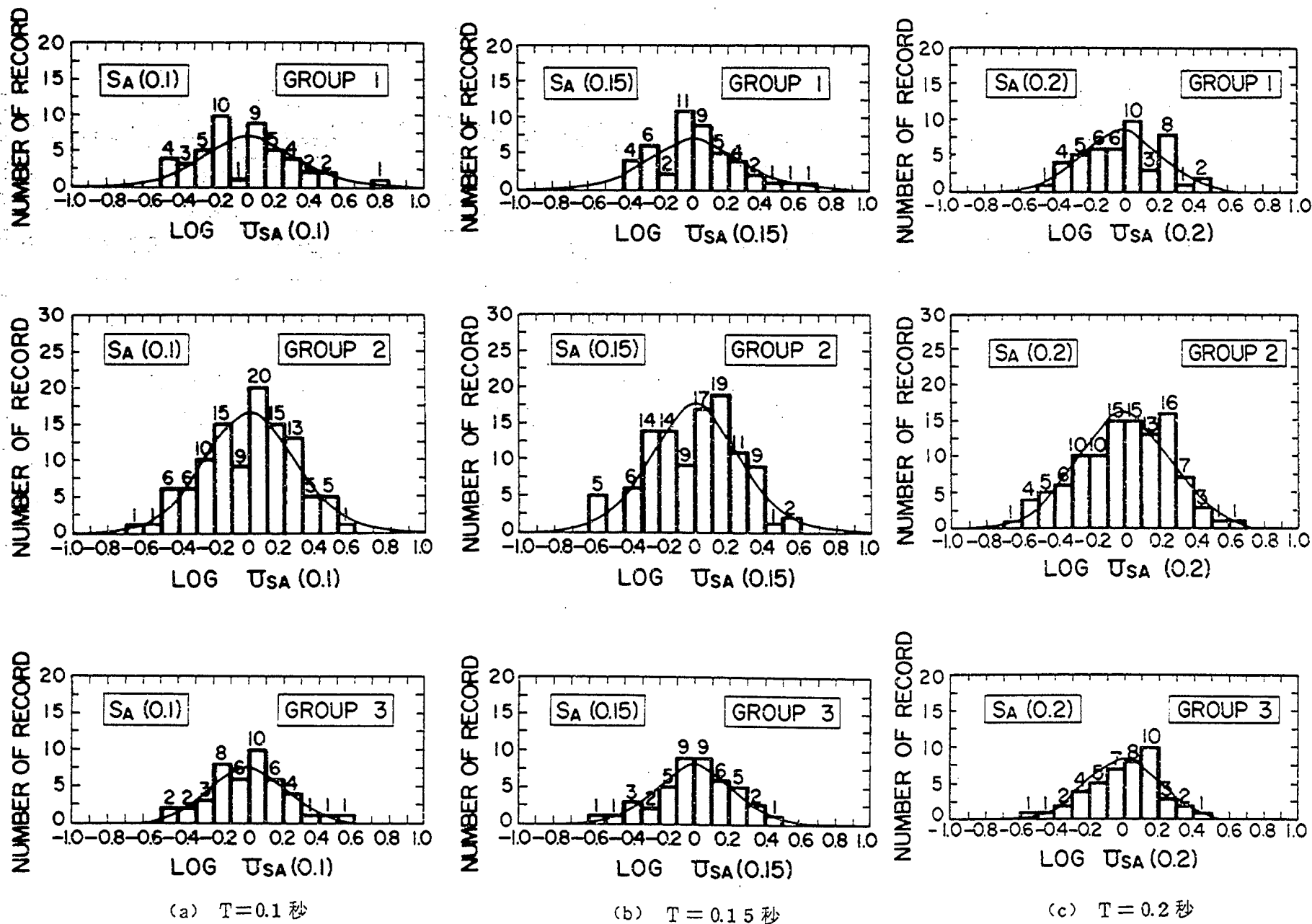


図 4-5(1) $\text{Log } U_{SA}(T)$ の分布

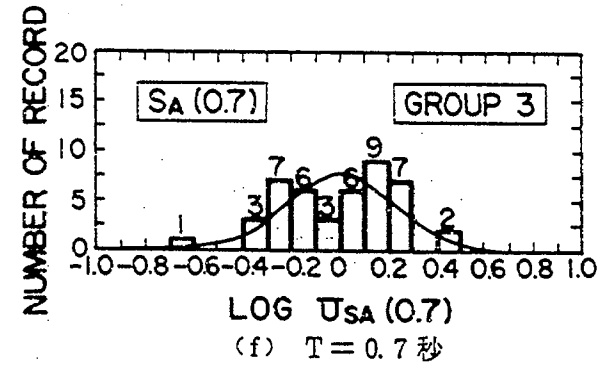
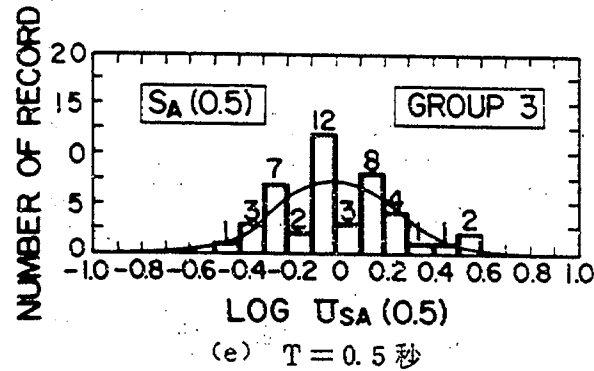
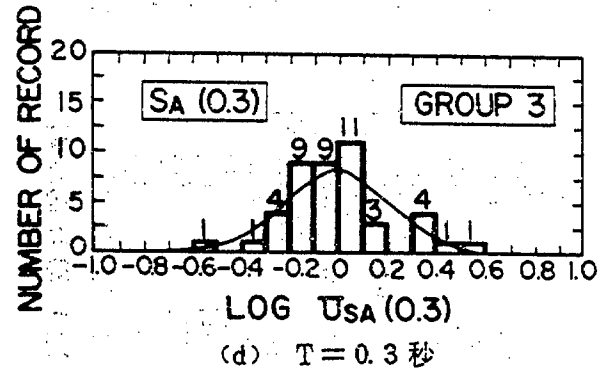
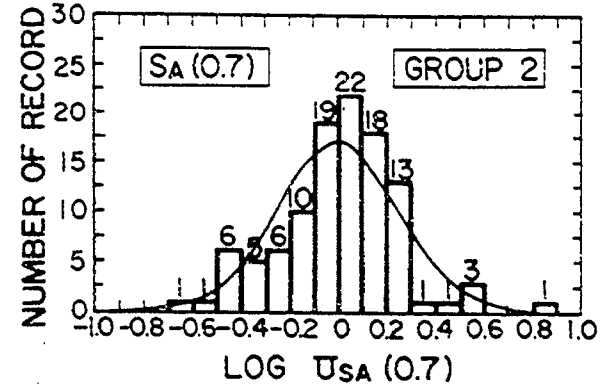
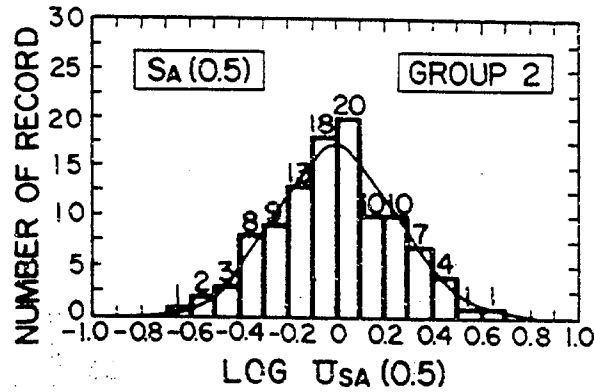
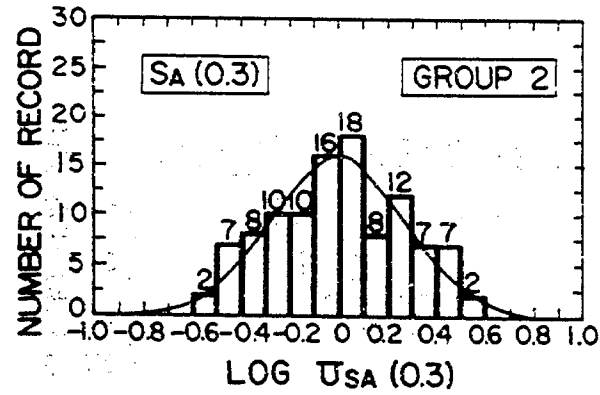
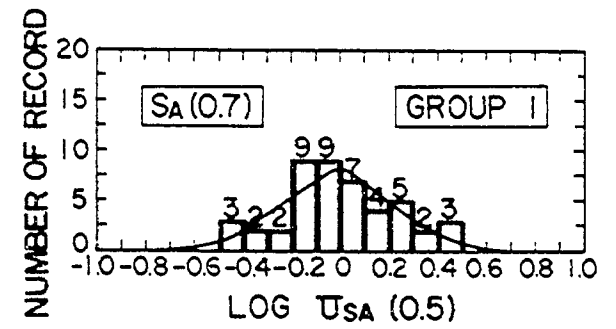
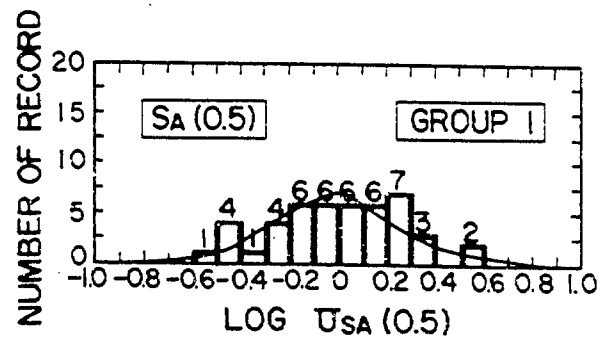
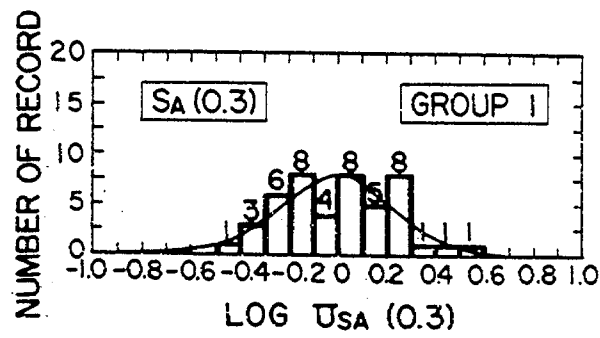


図 4 - 5 (2) $\text{Log } U_{SA}(T)$ の分布

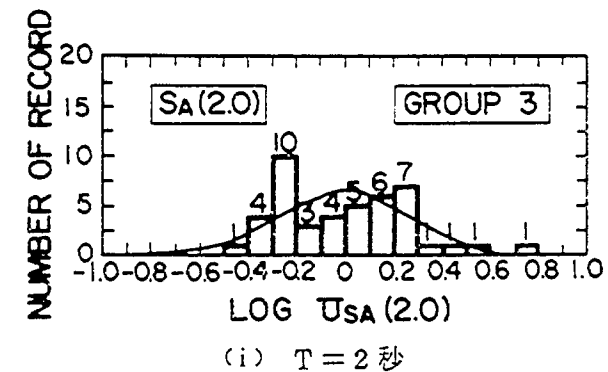
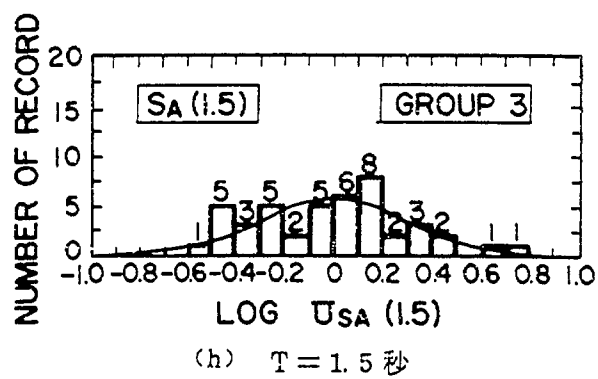
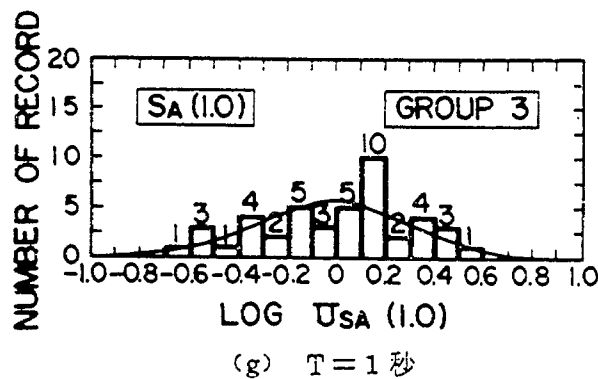
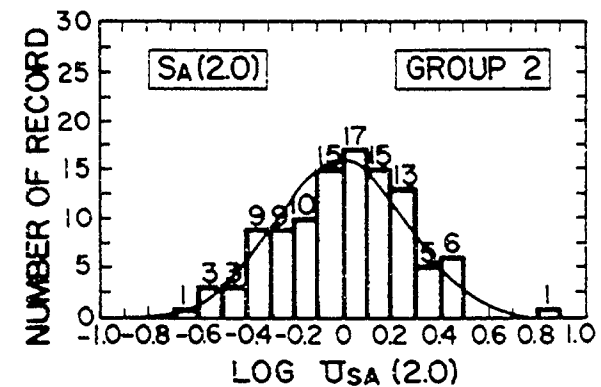
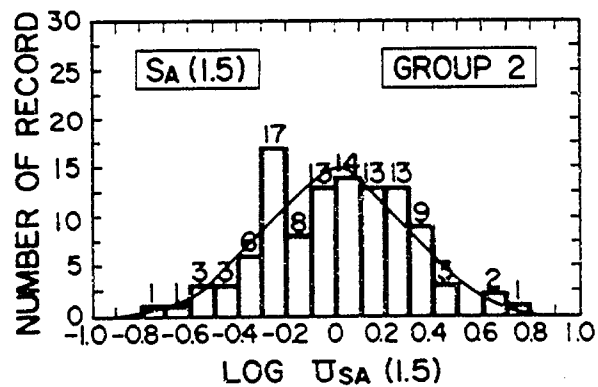
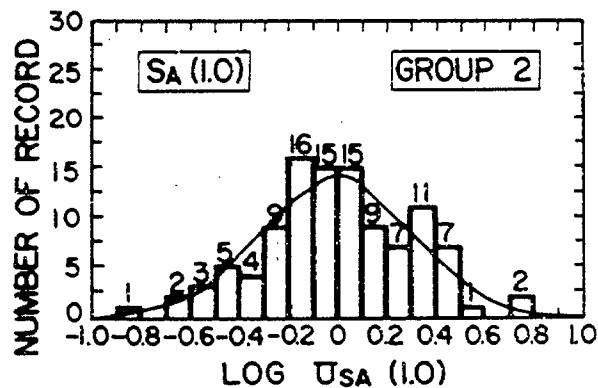
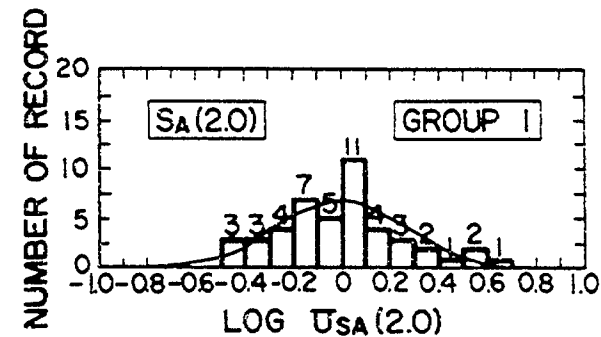
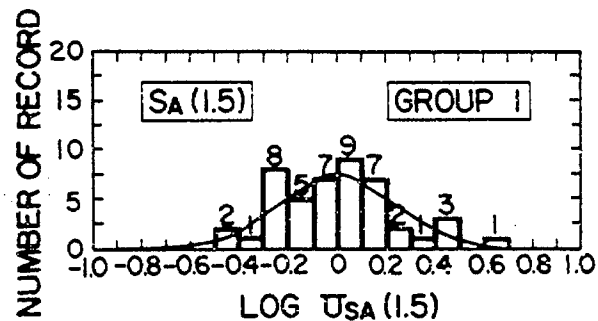
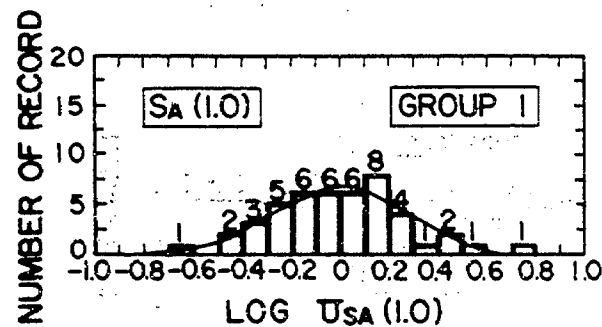
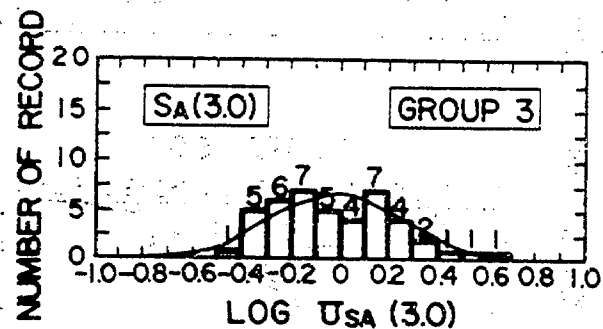
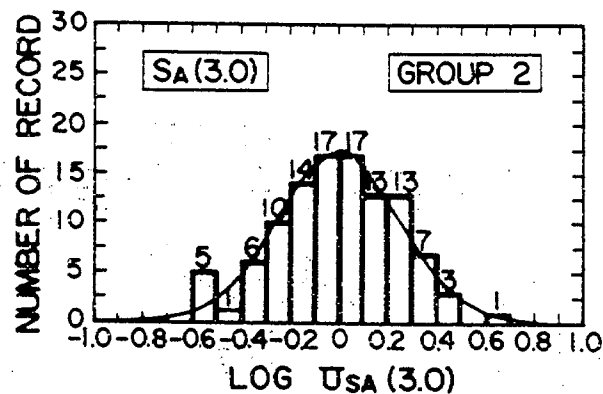
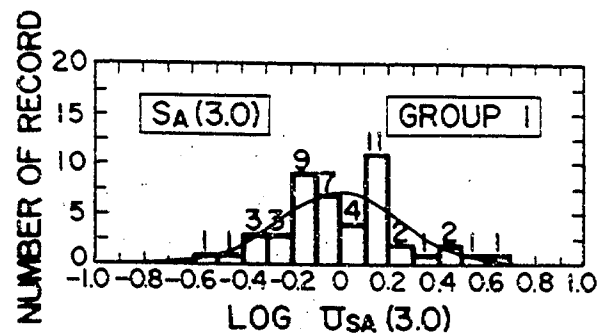


図 4 - 5 (3) $\text{Log } U_{SA}(T)$ の分布



(j) $T=3$ 秒

図 4-5(4) $\text{Log } U_{SA}(T)$ の分布

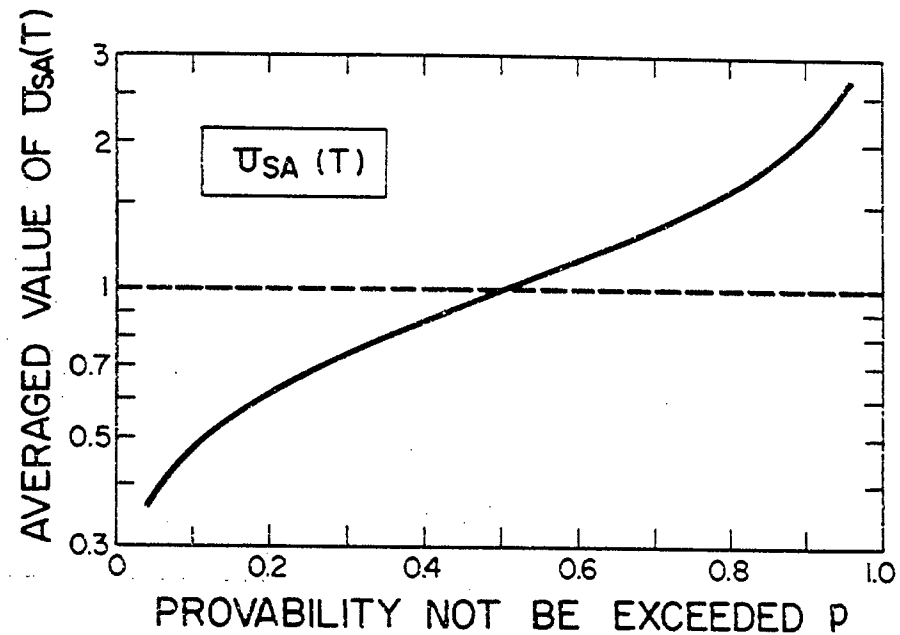
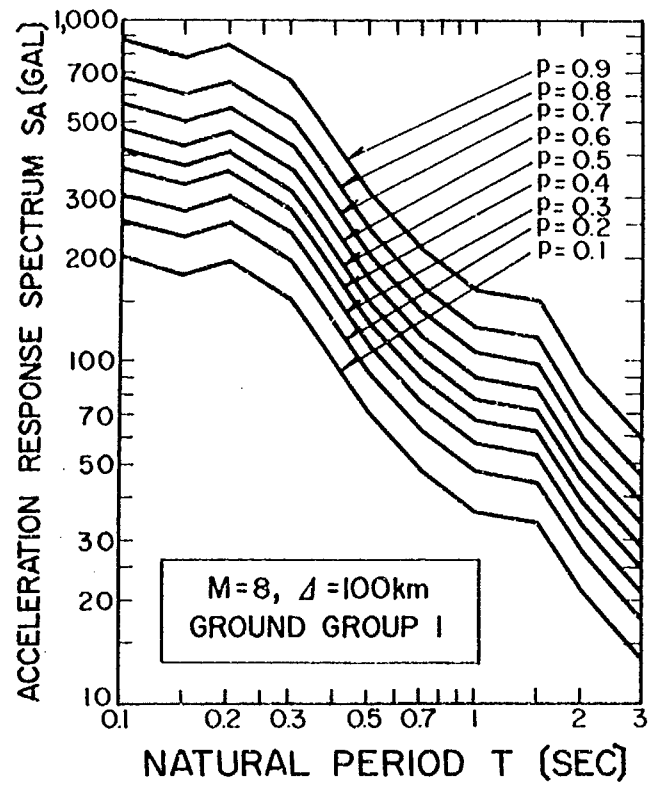
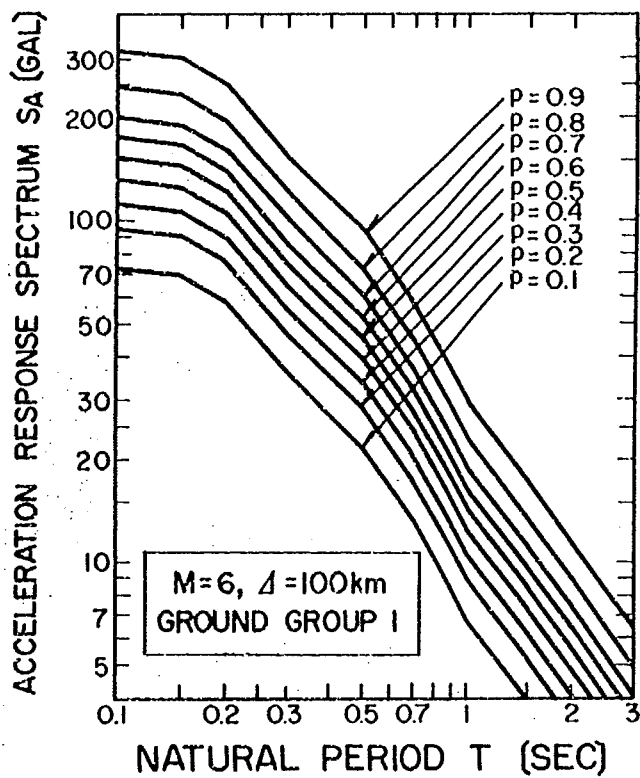
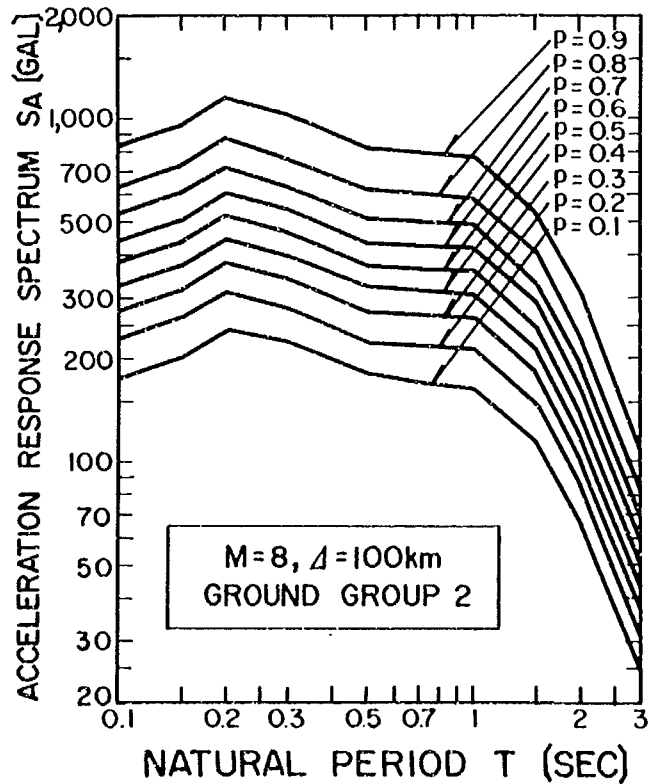
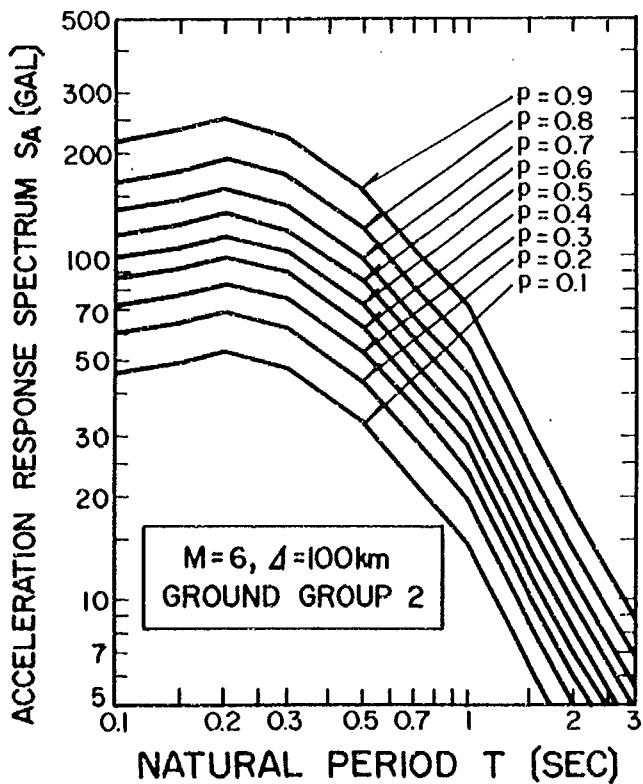


図 4-6 固有周期，地盤種別ごとに平均化した $U_{SA}(T) \sim p$ の関係

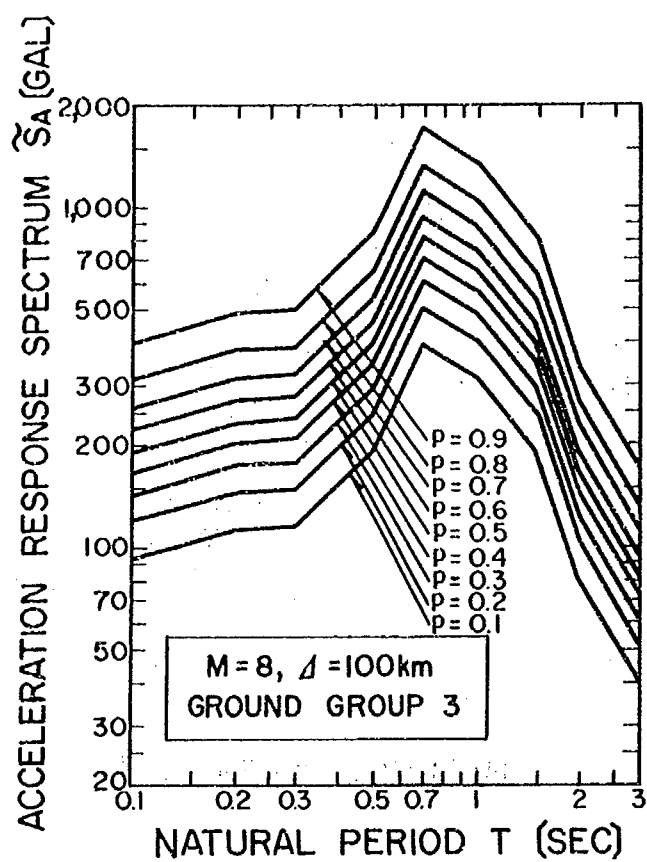
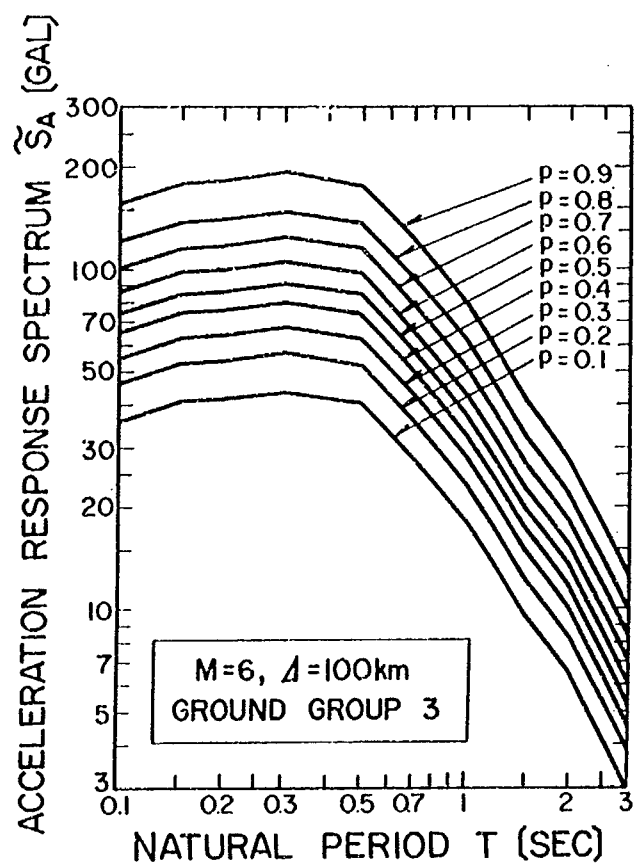


(a) 1種地盤



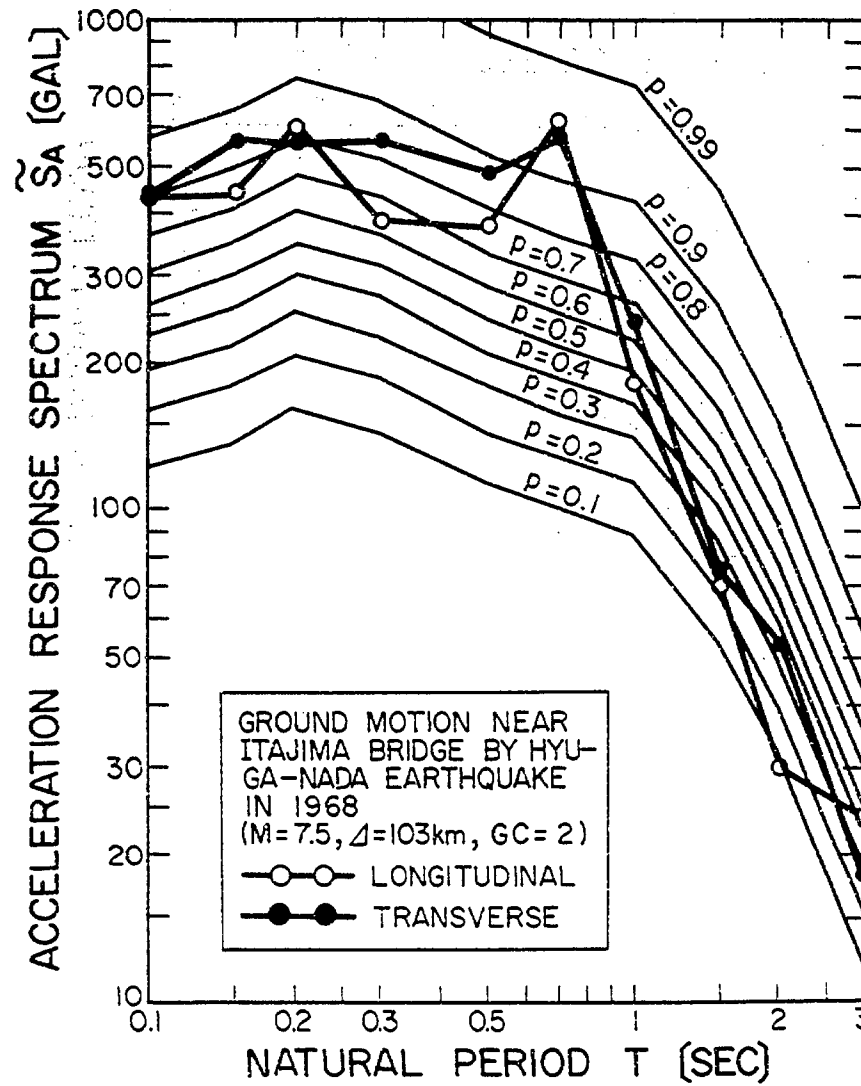
(b) 2種地盤

図4-7(1) 非超過確率 p に対する加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A$
($M=6$ および 8 , $\Delta=100\text{km}$ の場合)

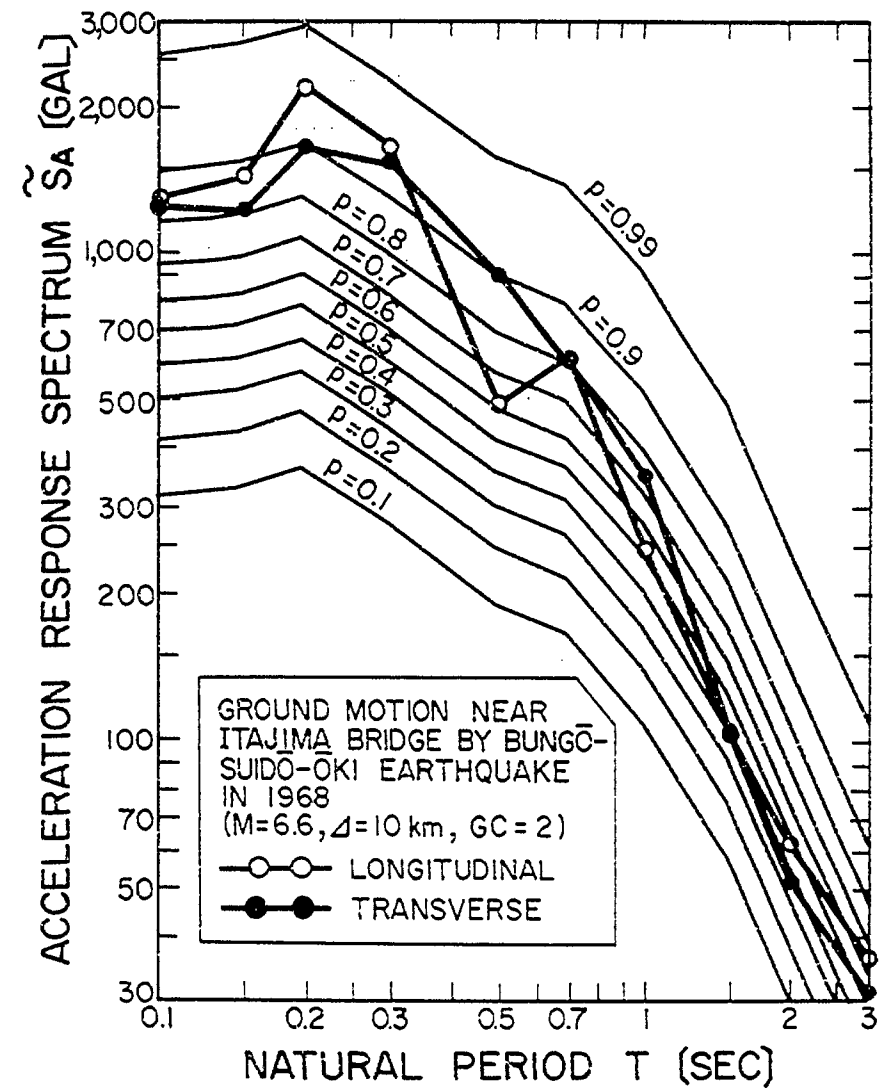


(c) 3種地盤

図4-7(2) 非超過確率 p に対する加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A$
($M=6$ および 8 , $\Delta=100\text{ km}$ の場合)

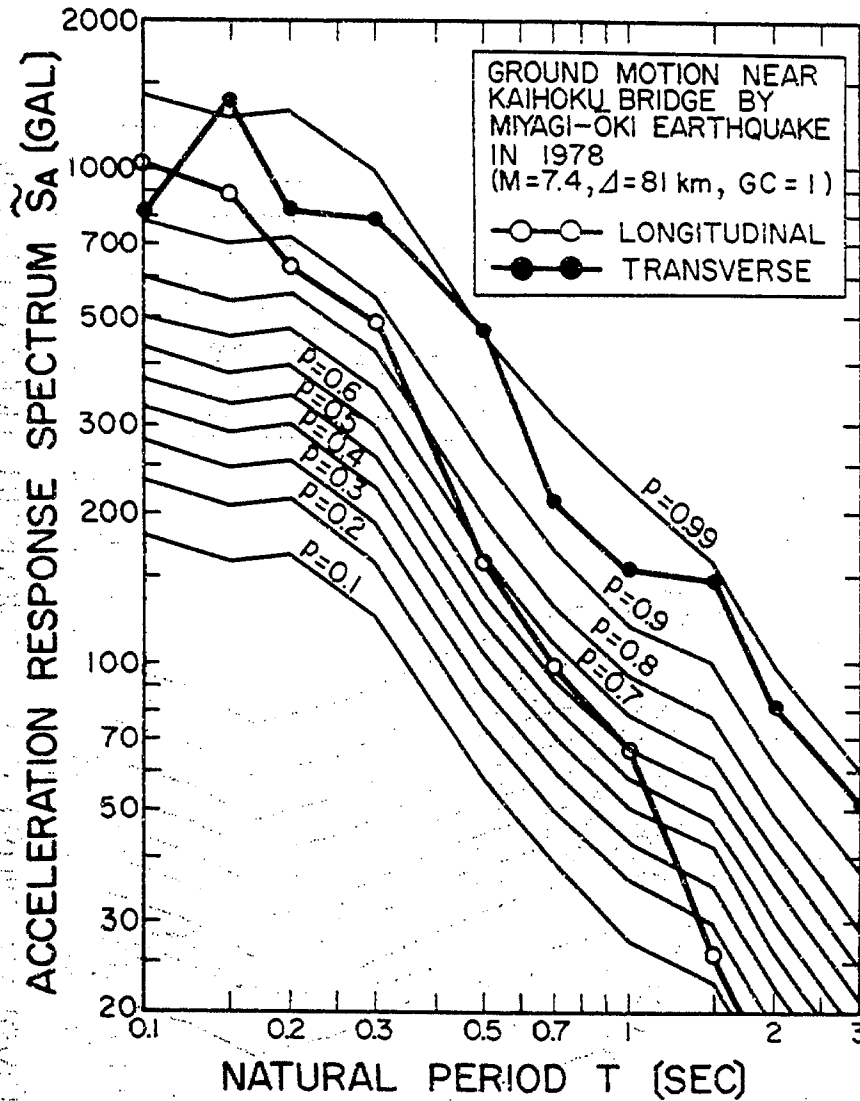


(a) 板島橋周辺地盤上の強震記録（1968年日向灘沖地震）

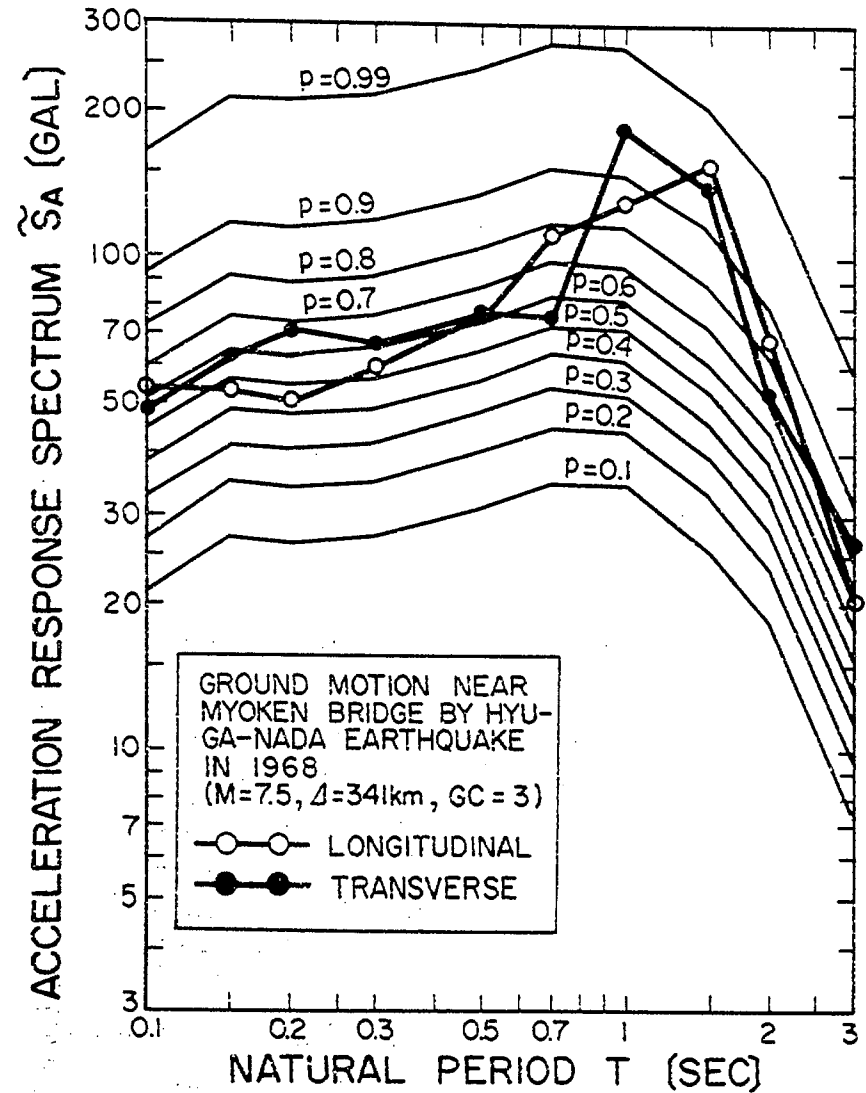


(b) 板島橋周辺地盤上の強震記録（1968年豊後水道沖地震）

図4-8(1) 既往の代表的な強震記録と今回の解析結果の比較



(c) 開北橋周辺地盤上の強震記録 (1978年宮城県沖地震)



(d) 妙見橋周辺地盤上の強震記録 (1968年日向灘沖地震)

図 4 - 8 (2) 既往の代表的な強震記録と今回の解析結果の比較

5. 最大加速度，最大速度，最大変位の距離減衰式

最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$ ，最大速度 $\tilde{v}_{\max}$ ，最大変位 $\tilde{d}_{\max}$ を前章と同様に地盤種別により3種類に分類し，重回帰分析により距離減衰式を求めた。距離減衰式は式(4-1)と同じとし，次式を仮定した。

$$\left. \begin{array}{l} \tilde{a}_{\max} \\ \tilde{v}_{\max} \\ \tilde{d}_{\max} \end{array} \right\} = a \times 10^{bM} \times (D + d_0)^c \quad (5-1)$$

ここで，

$\tilde{a}_{\max}$ ， $\tilde{v}_{\max}$ ， $\tilde{d}_{\max}$ ：地震動の最大加速度〔gal〕，最大速度〔cm/sec〕，最大変位〔cm〕

M：気象庁マグニチュード

D：震央距離〔Km〕

d_0 ：Dが小さい範囲の $\tilde{a}_{\max}$ ， $\tilde{v}_{\max}$ ， $\tilde{d}_{\max}$ を調整する定数〔Km〕で， $d_0 = 30$ Kmとした。

a，b，c：重回帰分析により定める未知定数

式(5-1)の未定定数a，b，cを197組の $\tilde{a}_{\max}$ ， $\tilde{v}_{\max}$ ， $\tilde{d}_{\max}$ から求めると表5-1のようになる。表中には重相関係数Rも示している。図5-1は， $\tilde{a}_{\max}$ ， $\tilde{v}_{\max}$ ， $\tilde{d}_{\max}$ に対するa，b，c，Rを比較したものである。これから以下の事項が指摘される。

表5-1 $\tilde{a}_{\max}$ ， $\tilde{v}_{\max}$ ， $\tilde{d}_{\max}$ の定数a，b，cおよび重相関係数R

地震動	地盤種別	a	b	c	R
$\tilde{a}_{\max}$	1種	1,073	0.2206	-1.251	0.77
	2種	227.3	0.3085	-1.201	0.69
	3種	403.1	0.2621	-1.208	0.64
$\tilde{v}_{\max}$	1種	23.86	0.2712	-1.275	0.75
	2種	2.666	0.4212	-1.183	0.69
	3種	5.136	0.4145	-1.257	0.54
$\tilde{d}_{\max}$	1種	0.8863	0.3926	-1.390	0.78
	2種	0.0559	0.5491	-1.179	0.74
	3種	0.0700	0.5749	-1.224	0.60

- (1) 定数 a は、加速度、速度、変位の順で小さくなる。
- (2) 定数 b は、地盤種別に関係なく加速度、速度、変位の順で大きくなり、これらの順でマグニチュード依存性が高くなることを示している。また、これを地盤種別ごとに比較すると、加速度、速度、変位いずれの場合にも 1 種地盤の b 値は 2 種地盤および 3 種地盤の b 値よりも全体に小さい。
- (3) 定数 c は、加速度、速度、変位いずれの場合にもおおむね 1.2 ～ 1.4 程度の範囲にある。また、 c は地盤種別によって大きく変化しない。
- (4) 重相関係数 R は 1 種および 2 種地盤の場合には、加速度、速度、変位に対していずれも 0.7 ～ 0.78 程度である。ただし、3 種地盤の場合には、これよりやや小さく 0.54 ～ 0.64 となっている。これらの値は既往の国内外の解析結果と同程度ではあるが、重相関係数が比較的低いことから、前章に示したように推定式からのばらつきの度合いを考慮して解析に用いることが必要とされる。

式 (5-1) による $\tilde{a}_{\max}$, $\tilde{v}_{\max}$, $\tilde{d}_{\max}$ の予測式をもととなった実測値 (速度、変位は加速度からの計算値) とともに示すそれぞれ図 5-2, 5-3, 5-4 となる。また、 $\tilde{a}_{\max}$, $\tilde{v}_{\max}$, $\tilde{d}_{\max}$ の予測式を $M=6$ および 8 に対して示すと図 5-5 のようになる。図 5-5 によれば、 $\tilde{v}_{\max}$, $\tilde{d}_{\max}$ はともに地盤種別が 1 種, 2 種, 3 種となるにつれて同一のマグニチュードおよび震央距離に対する予測値は大きくなるが、 $\tilde{a}_{\max}$ は地盤種別によりほとんど差異がないことがわかる。なお、これらの結果と既往の研究成果の比較については、6 章に示す。

次に、式 (5-1) による最大地震動の期待値のばらつきを示すために、式 (4-2) と同様に実測値と、これが得られた地震の M , d から式 (5-1) により求めた期待値の比を次式により定義した。

$$U_a = \tilde{a}_{\max}^{OB} / \tilde{a}_{\max}^P$$

$$U_v = \tilde{v}_{\max}^{OB} / \tilde{v}_{\max}^P \quad (5-2)$$

$$U_d = \tilde{d}_{\max}^{OB} / \tilde{d}_{\max}^P$$

ここで、

U_a, U_v, U_d : それぞれ最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$, 最大速度 $\tilde{v}_{\max}$, 最大変位 $\tilde{d}_{\max}$ のばらつきの度合いを表わす指標

$\tilde{a}_{\max}^{OB}$, $\tilde{v}_{\max}^{OB}$, $\tilde{d}_{\max}^{OB}$: 重回帰分析のもととなった実測の最大加速度 [gal] および実測加速度から求めた最大速度 [cm/sec], 最大変位 [cm]

$\tilde{a}_{\max}^P$, $\tilde{v}_{\max}^P$, $\tilde{d}_{\max}^P$: 式 (5-1) から求められる最大加速度 [gal], 最大速度 [cm/sec], 最大変位 [cm] の期待値

したがって、実際の最大地震動 $\tilde{a}_{\max}^{\text{OB}}$, $\tilde{v}_{\max}^{\text{OB}}$, $\tilde{d}_{\max}^{\text{OB}}$ は式 (5-2) から次式で与えられることになる。

$$\left. \begin{aligned} \tilde{a}_{\max}^{\text{OB}} &= U_a \times \tilde{a}_{\max}^{\text{P}} = U_a \\ \tilde{v}_{\max}^{\text{OB}} &= U_v \times \tilde{v}_{\max}^{\text{P}} = U_v \\ \tilde{d}_{\max}^{\text{OB}} &= U_d \times \tilde{d}_{\max}^{\text{P}} = U_d \end{aligned} \right\} \times [a \times 10^{bM} \times (d+30)^c] \quad (5-3)$$

式 (5-2) より, U_a, U_v, U_d を求め, これと M および d の関係を示すと, それぞれ図 5-6, 5-7, 5-8 のようになる。これによれば, U_a, U_v, U_d は前章に示した $U_{SA}(T)$ と同様 M および d により顕著に変化しない。次に各地盤種別ごとに $\log U_a, \log U_v, \log U_d$ の頻度分布を求めると表 5-2 および図 5-9 のようになる。データ数の少ない 1 種地盤および 2 種地盤の 1 部では, ややばらつきがあるが, $\log S_A(T)$ と同様に, $\log U_a, \log U_v, \log U_d$ もこれらの頻度分布は正規分布により近似できることがわかる。したがって式 (4-4) ~ 式 (4-6) により, 非超過確率 p に対応する係数 U_a, U_v, U_d を求めると表 5-3 のようになる。これによれば, U_a, U_v, U_d は地盤種別にほとんどよらないため, 1 ~ 3 種地盤の平均的な U_a, U_v, U_d を求めると表 5-4 のようになる。図 5-10 は表 5-4 の U_a, U_v, U_d をさらに平均したものである。式 (5-1) による期待値のばらつきを考慮する場合には, 非超過確率 p に応じて表 5-4 もしくは図 5-10 の係数 U_a, U_v, U_d を乗じて式 (5-3) により予測値を求めることができる。

表 5 - 2 $\log U_a$, $\log U_v$ および $\log U_d$ の頻度分布

	1 種 地 盤			2 種 地 盤			3 種 地 盤		
	$\tilde{a}_{\max}$	$\tilde{v}_{\max}$	$\tilde{d}_{\max}$	$\tilde{a}_{\max}$	$\tilde{v}_{\max}$	$\tilde{d}_{\max}$	$\tilde{a}_{\max}$	$\tilde{v}_{\max}$	$\tilde{d}_{\max}$
$-1.0 \leq \log U < -0.9$	0 (0.001)	0 (0.003)	0 (0.007)	0 (0.001)	0 (0.02)	0 (0.01)	0 (0)	0 (0.003)	0 (0.009)
$-0.9 \leq \log U < -0.8$	0 (0.004)	0 (0.01)	0 (0.03)	0 (0.01)	0 (0.04)	0 (0.06)	0 (0.001)	0 (0.016)	0 (0.04)
$-0.8 \leq \log U < -0.7$	0 (0.02)	0 (0.06)	0 (0.09)	0 (0.06)	0 (0.15)	0 (0.21)	0 (0.004)	0 (0.06)	0 (0.11)
$-0.7 \leq \log U < -0.6$	0 (0.10)	0 (0.19)	0 (0.28)	0 (0.26)	1 (0.49)	2 (0.62)	0 (0.03)	0 (0.34)	0 (0.31)
$-0.6 \leq \log U < -0.5$	0 (0.34)	0 (0.55)	0 (0.70)	1 (0.87)	2 (1.36)	2 (1.59)	0 (0.15)	0 (0.55)	0 (0.74)
$-0.5 \leq \log U < -0.4$	0 (0.99)	1 (1.31)	2 (1.51)	5 (2.43)	4 (3.17)	3 (3.47)	0 (0.58)	2 (1.66)	2 (1.54)
$-0.4 \leq \log U < -0.3$	4 (2.31)	1 (2.63)	3 (2.80)	5 (5.51)	5 (6.23)	6 (6.48)	2 (1.72)	4 (2.56)	4 (2.75)
$-0.3 \leq \log U < -0.2$	5 (4.36)	8 (4.44)	5 (4.45)	7 (10.19)	9 (10.35)	10 (10.35)	7 (3.91)	6 (4.25)	5 (4.25)
$-0.2 \leq \log U < -0.1$	6 (6.65)	7 (6.30)	10 (6.06)	13 (15.34)	12 (14.51)	12 (14.15)	4 (6.75)	4 (5.98)	7 (5.68)
$-0.1 \leq \log U < 0$	7 (8.22)	10 (7.51)	5 (7.08)	24 (18.83)	19 (17.19)	15 (16.55)	8 (8.87)	4 (7.08)	3 (6.55)
$0 \leq \log U < 0.1$	10 (8.22)	4 (7.51)	6 (7.08)	15 (18.83)	16 (17.19)	20 (16.55)	12 (8.87)	7 (7.08)	5 (6.55)
$0.1 \leq \log U < 0.2$	7 (6.65)	3 (6.30)	5 (6.06)	15 (15.34)	18 (14.51)	15 (14.15)	4 (6.75)	8 (5.98)	7 (5.68)
$0.2 \leq \log U < 0.3$	3 (4.36)	8 (4.44)	5 (4.45)	12 (10.19)	11 (10.35)	13 (10.35)	4 (3.91)	4 (4.25)	4 (4.25)
$0.3 \leq \log U < 0.4$	2 (2.31)	1 (2.63)	0 (2.80)	8 (5.51)	6 (6.23)	4 (6.48)	2 (1.72)	3 (2.56)	5 (2.75)
$0.4 \leq \log U < 0.5$	0 (0.99)	1 (1.31)	3 (1.51)	2 (2.43)	2 (3.17)	2 (3.47)	1 (0.58)	2 (1.66)	1 (1.54)
$0.5 \leq \log U < 0.6$	2 (0.34)	1 (0.55)	2 (0.70)	0 (0.87)	1 (1.36)	2 (1.59)	0 (0.15)	0 (0.55)	0 (0.74)
$0.6 \leq \log U < 0.7$	0 (0.10)	1 (0.19)	0 (0.28)	0 (0.26)	1 (0.49)	1 (0.62)	0 (0.03)	0 (0.34)	1 (0.31)
$0.7 \leq \log U < 0.8$	0 (0.02)	0 (0.06)	0 (0.09)	0 (0.06)	0 (0.15)	0 (0.21)	0 (0.004)	0 (0.06)	0 (0.11)
$0.8 \leq \log U < 0.9$	0 (0.004)	0 (0.01)	0 (0.03)	0 (0.01)	0 (0.04)	0 (0.06)	0 (0.001)	0 (0.016)	0 (0.04)
$0.9 \leq \log U < 1.0$	0 (0.001)	0 (0.003)	0 (0.007)	0 (0.001)	0 (0.02)	0 (0.01)	0 (0)	0 (0.003)	0 (0.009)
標準偏差 σ	0.2174	0.2392	0.2543	0.2210	0.2432	0.2530	0.1913	0.2426	0.2623

表 5 - 3 非超過確率 p に対する係数 $U_k(p)$ ($k=a, v, d$)

p	1 種 地 盤			2 種 地 盤			3 種 地 盤		
	$\hat{a}_{\max}$	$\hat{v}_{\max}$	$\hat{d}_{\max}$	$\hat{a}_{\max}$	$\hat{v}_{\max}$	$\hat{d}_{\max}$	$\hat{a}_{\max}$	$\hat{v}_{\max}$	$\hat{d}_{\max}$
0.9	1.898	2.024	2.116	1.918	2.048	2.108	1.757	2.044	2.166
0.8	1.523	1.588	1.635	1.533	1.601	1.631	1.448	1.599	1.661
0.7	1.297	1.332	1.356	1.303	1.338	1.354	1.257	1.337	1.369
0.6	1.133	1.148	1.158	1.136	1.150	1.157	1.116	1.150	1.163
0.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.4	0.882	0.871	0.864	0.881	0.869	0.864	0.896	0.870	0.860
0.3	0.771	0.751	0.738	0.768	0.747	0.739	0.795	0.748	0.730
0.2	0.657	0.630	0.611	0.652	0.625	0.613	0.691	0.625	0.602
0.1	0.527	0.494	0.473	0.521	0.488	0.474	0.569	0.489	0.462

表 5 - 4 $U_k(p)$ ($k=a, v, d$) の 平 均 値
(表 5 - 3 の $U_k(p)$, ($k=a, v, d$) を地盤種別ごとに平均した値)

非超過確率 p	U_a	U_v	U_d	平 均 値
0.9	1.858	2.039	2.130	2.01
0.8	1.501	1.596	1.642	1.58
0.7	1.286	1.336	1.360	1.33
0.6	1.128	1.149	1.159	1.15
0.5	1.000	1.000	1.000	1.00
0.4	0.886	0.870	0.863	0.87
0.3	0.778	0.749	0.736	0.75
0.2	0.667	0.627	0.609	0.63
0.1	0.539	0.490	0.470	0.50

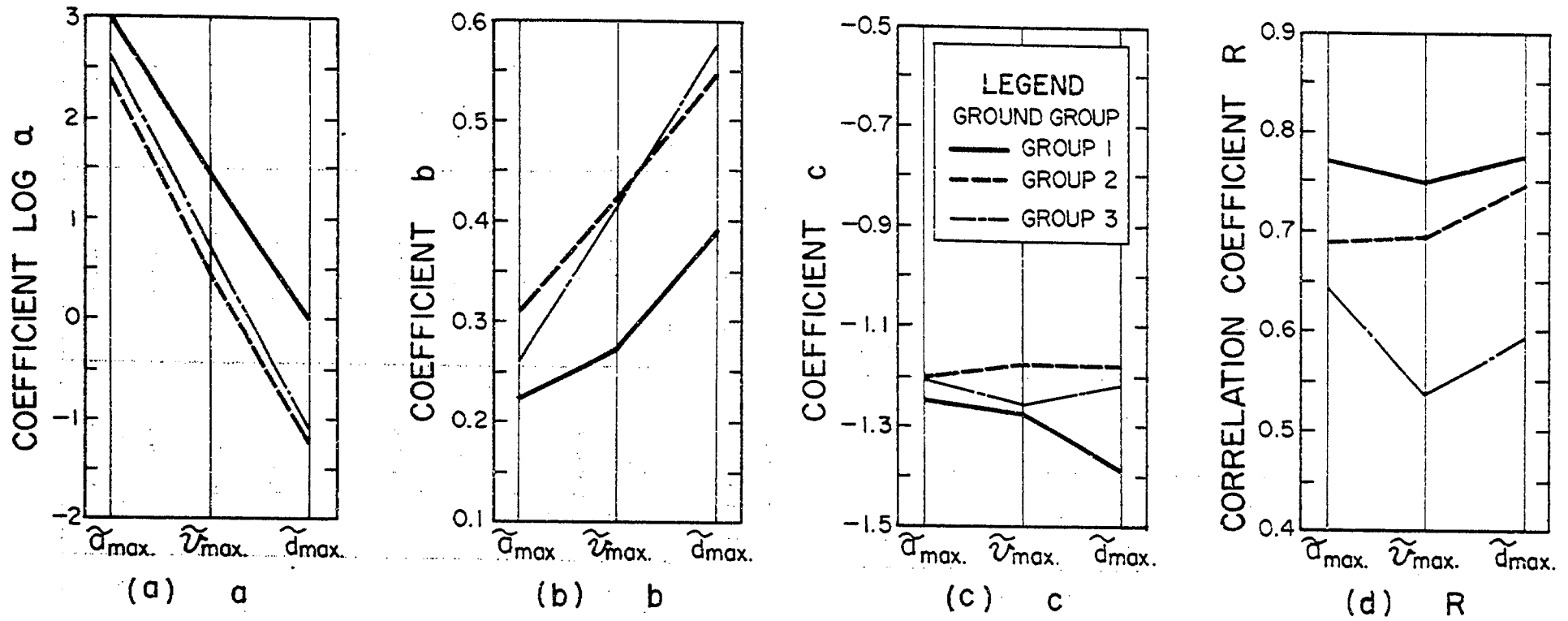
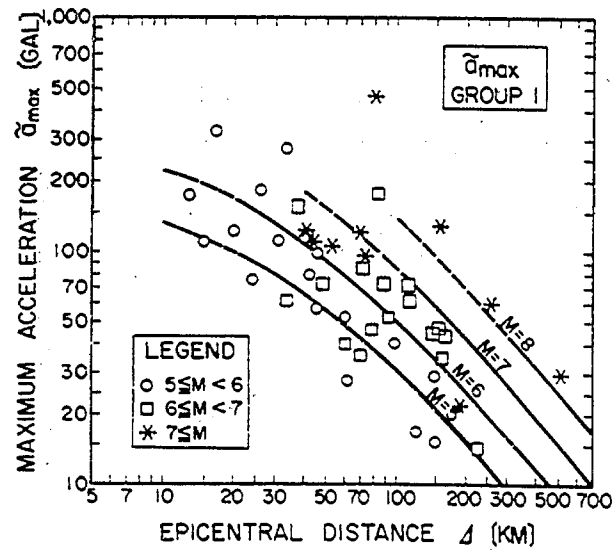
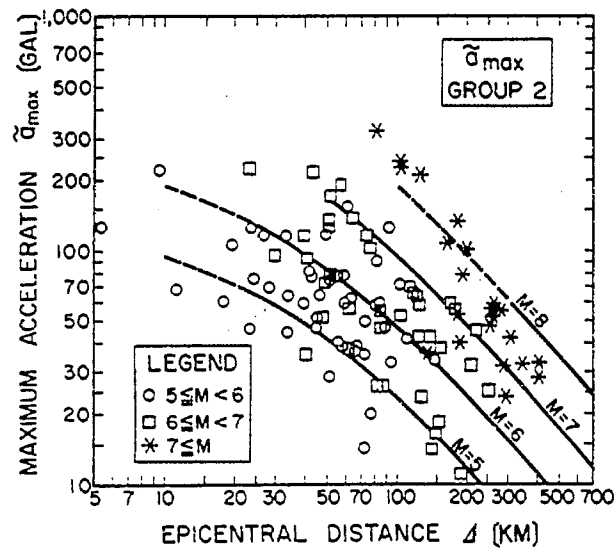


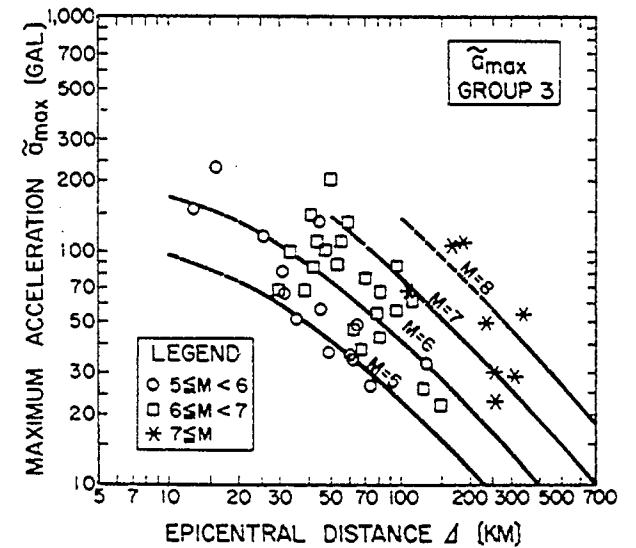
図 5-1 最大加速度，速度，変位の距離減衰式 (5-1) の係数
a, b, c および重相関係数 R



(a) 1種地盤

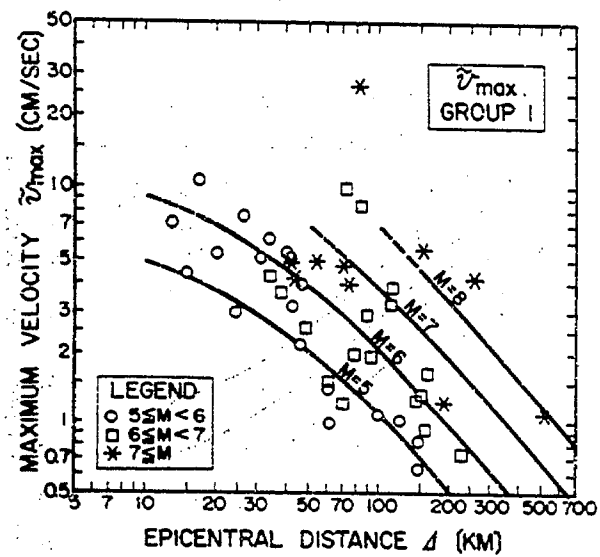


(b) 2種地盤

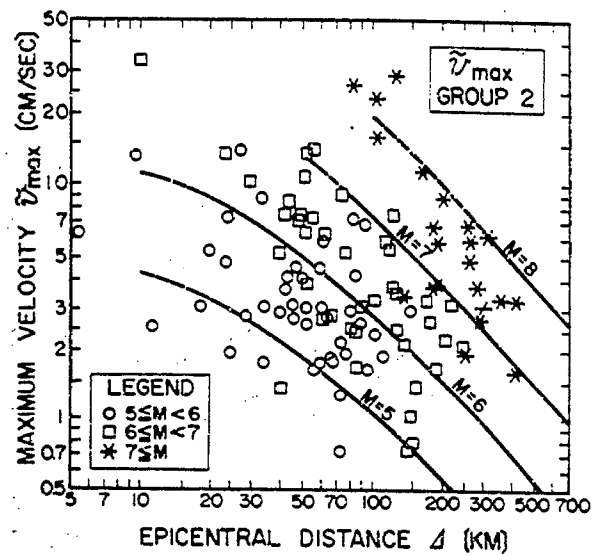


(c) 3種地盤

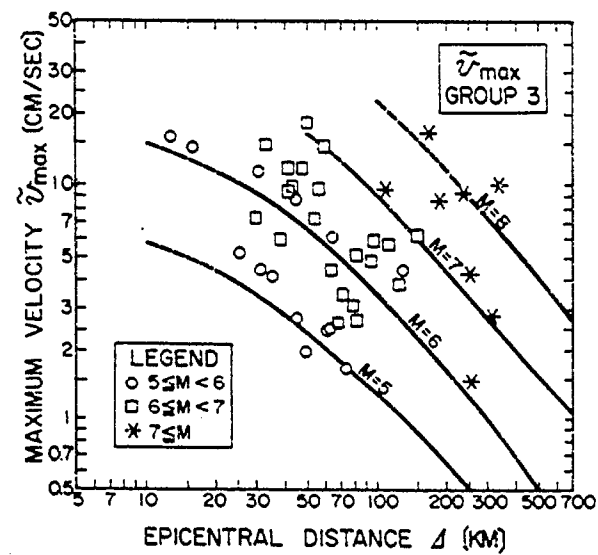
図 5 - 2 $\tilde{a}_{\max}$ の距離減衰特性



(a) 1種地盤

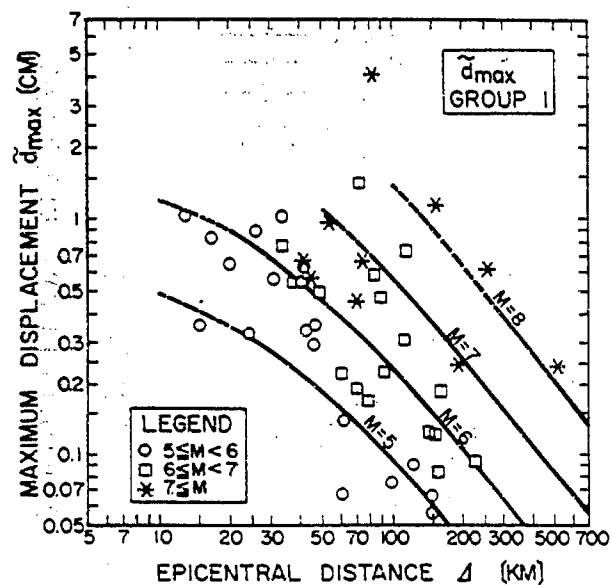


(b) 2種地盤

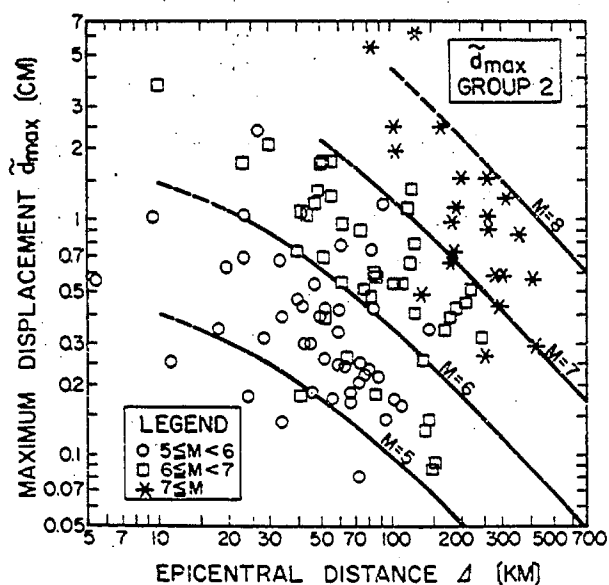


(c) 3種地盤

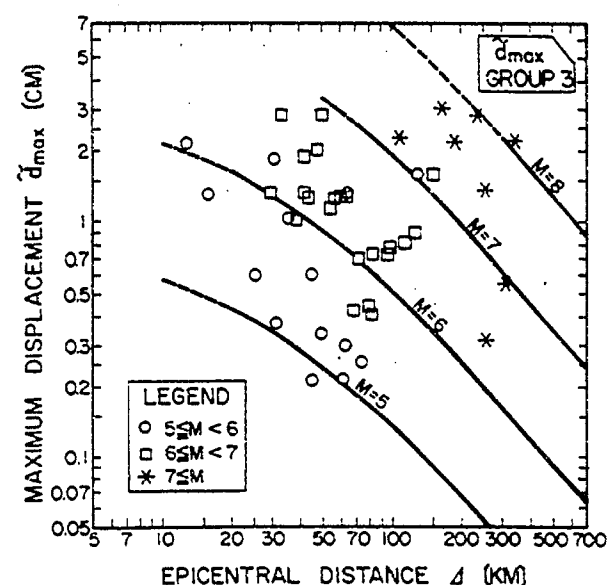
図 5-3 $\tilde{v}_{max}$ の距離減衰式



(a) 1種地盤

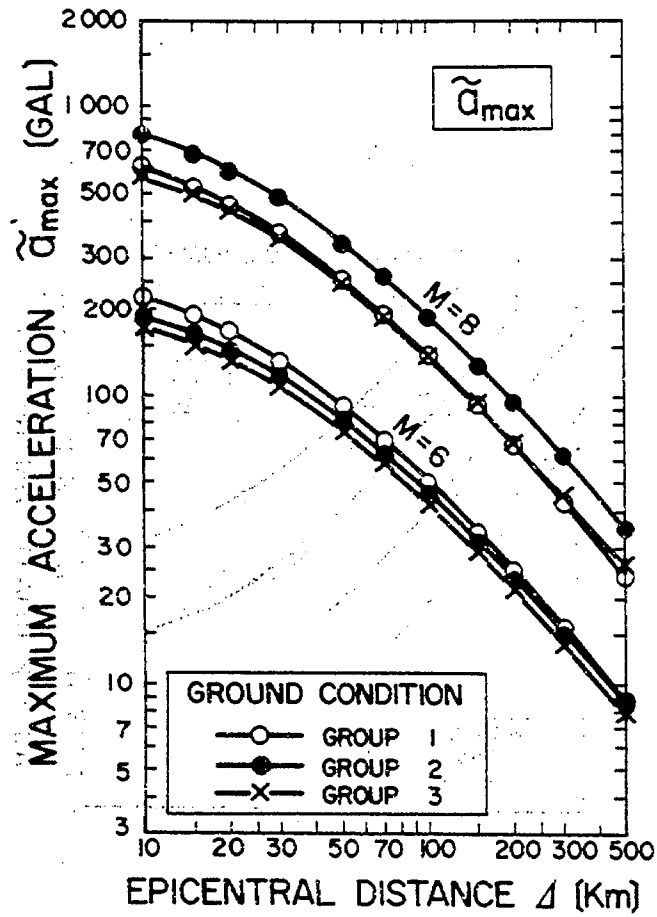


(b) 2種地盤

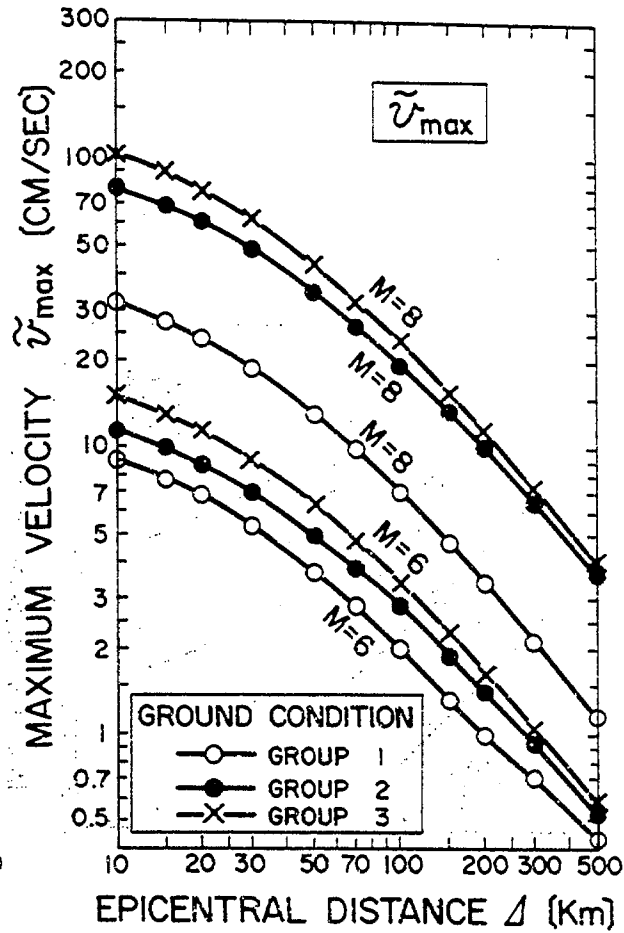


(c) 3種地盤

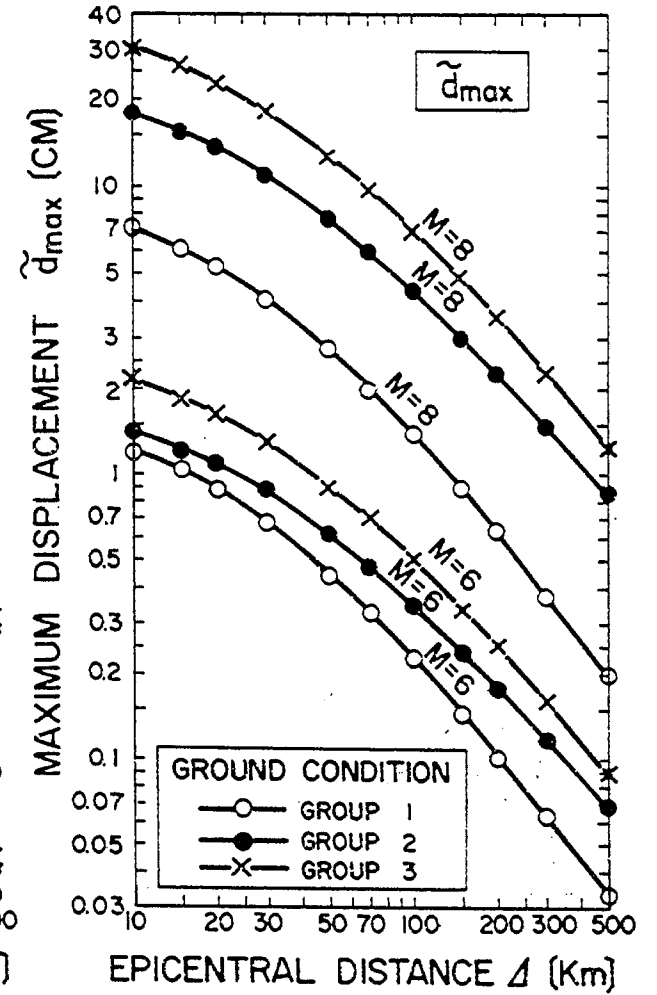
図 5-4 $\tilde{d}_{\max}$ の距離減衰特性



(a) 最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$



(b) 最大速度 $\tilde{v}_{\max}$



(c) 最大変位 $\tilde{d}_{\max}$

図 5 - 5 最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$, 最大速度 $\tilde{v}_{\max}$, 最大変位 $\tilde{d}_{\max}$ の距離減衰 (M=6, 8 の場合)

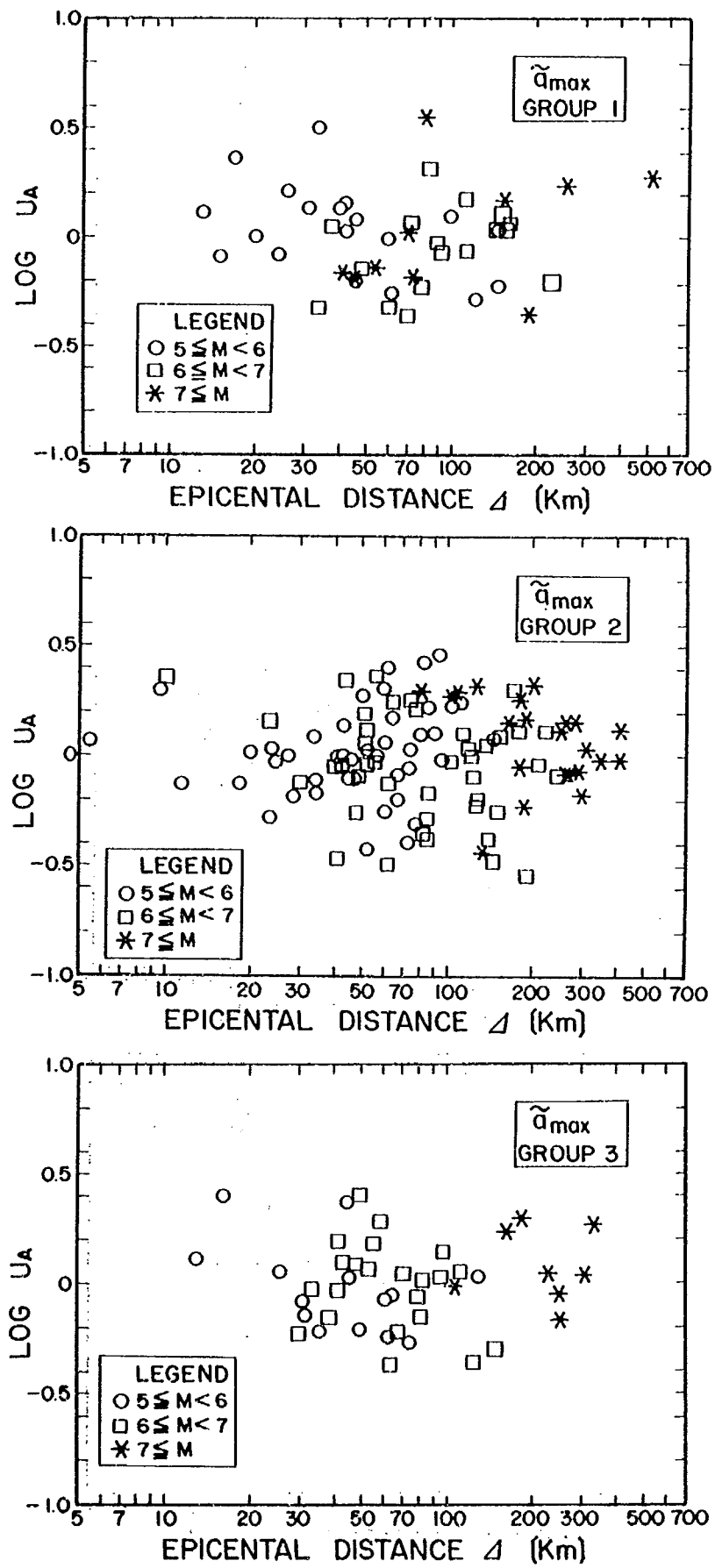


図 5 - 6 $\text{Log } U_a \sim \Delta \sim M$ の関係

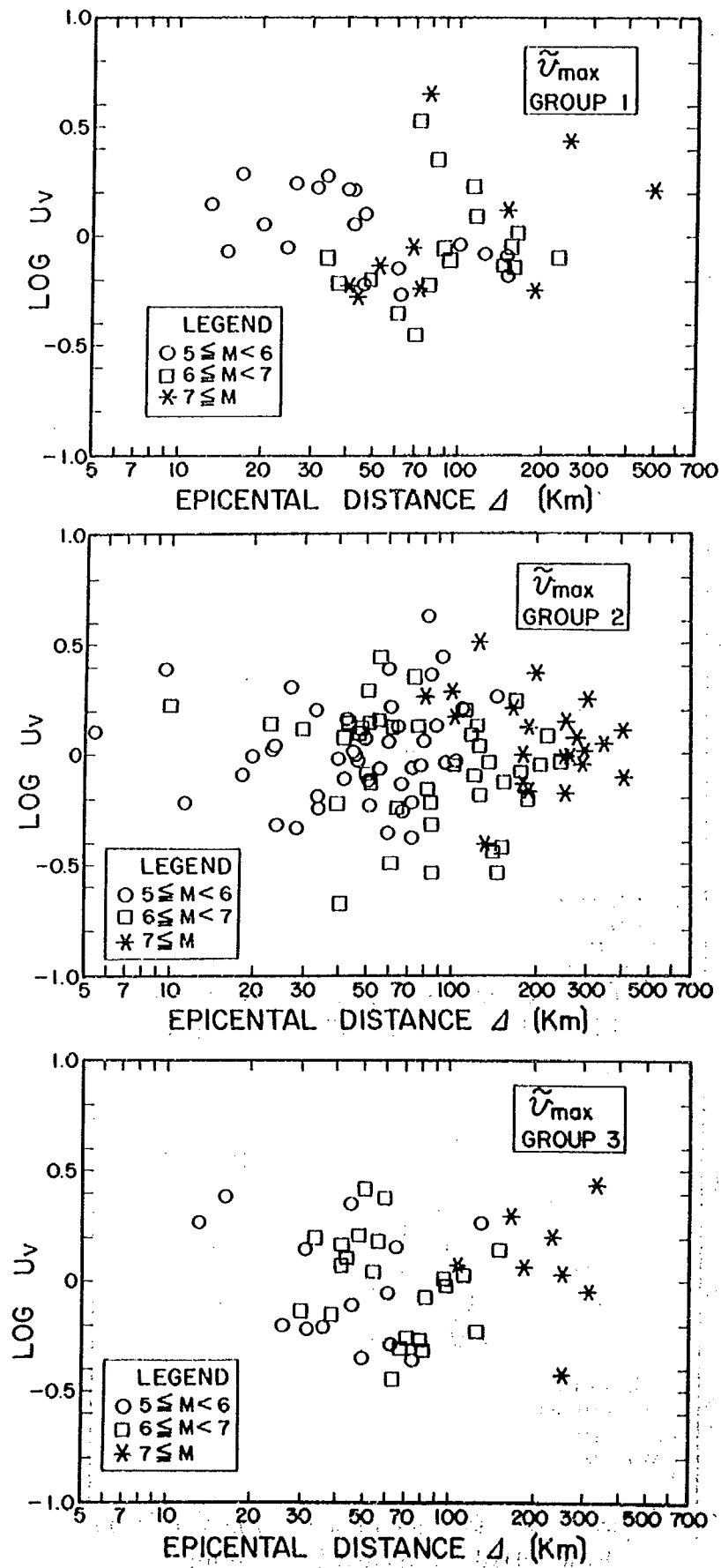


図5-7 $\text{Log } U_v \sim M \sim \Delta$ の関係

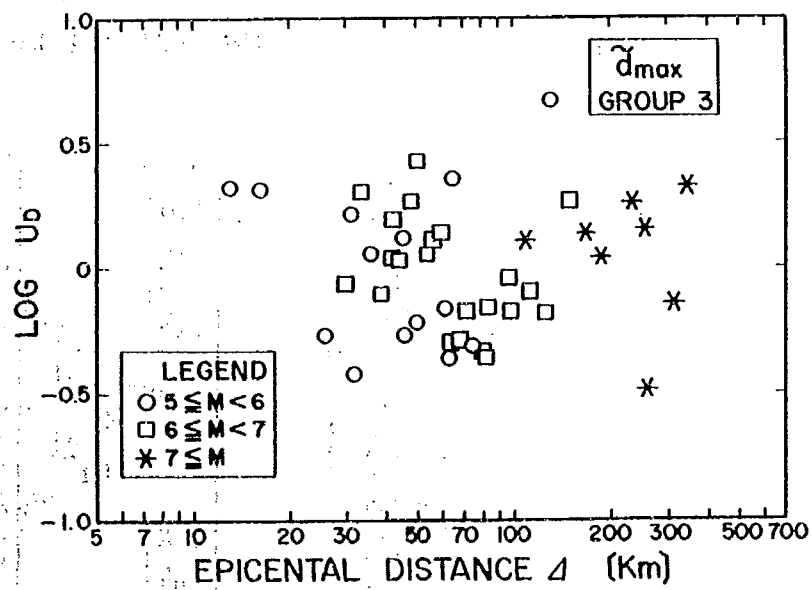
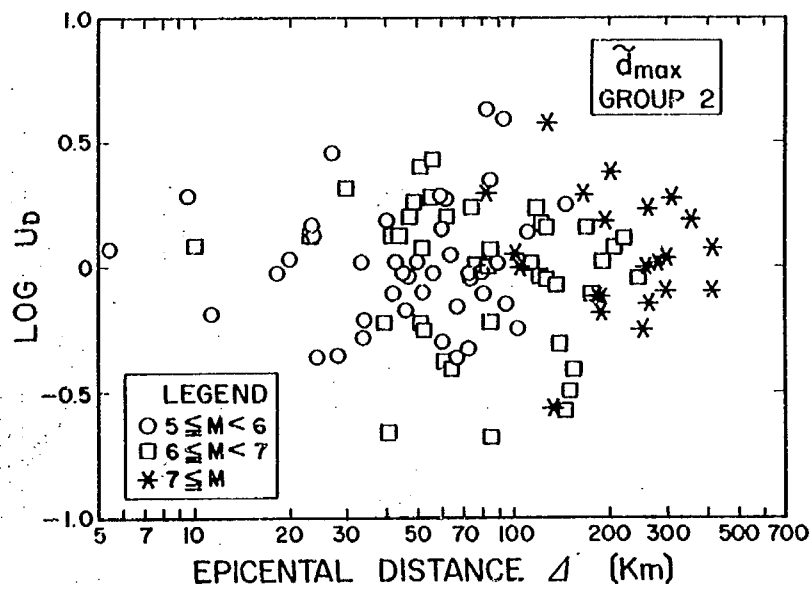
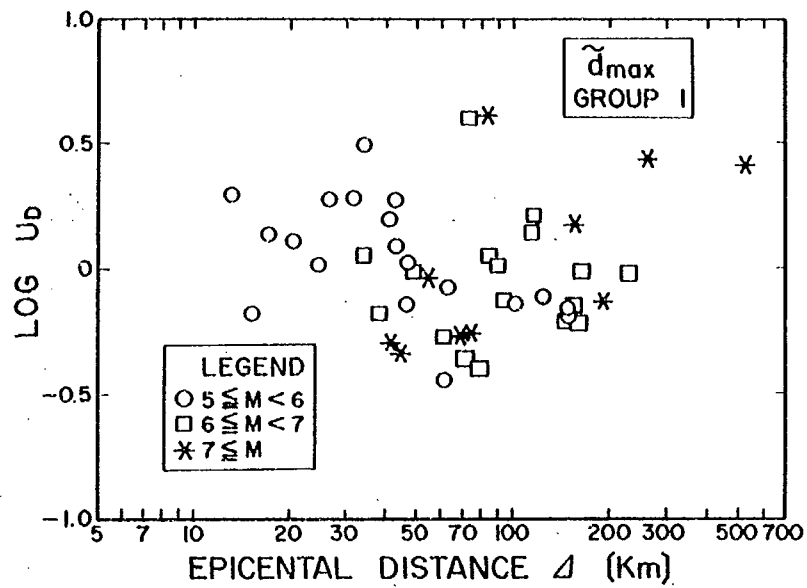


図5 - 8 $\log U_d \sim M \sim \Delta$ の関係

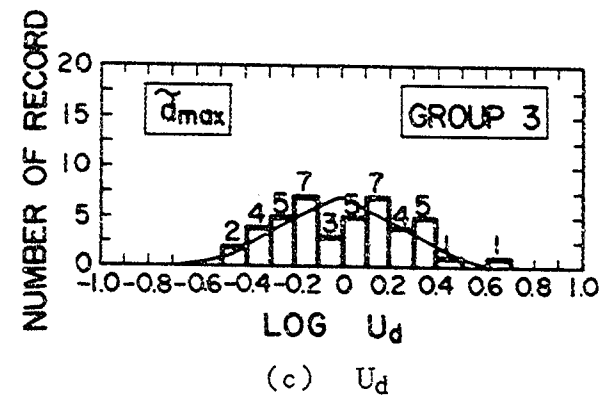
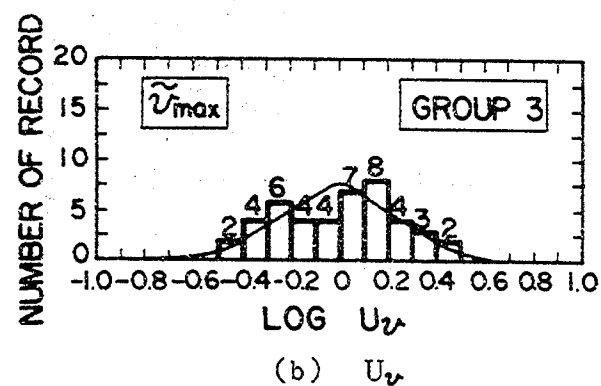
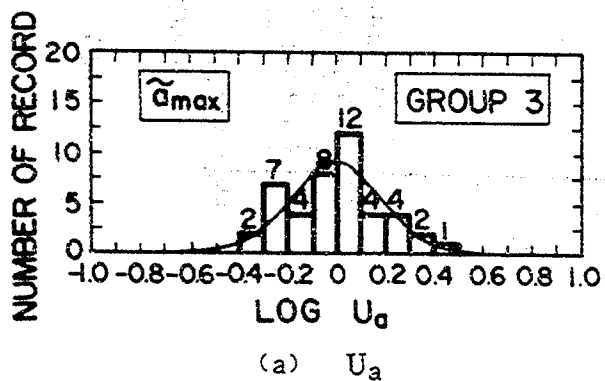
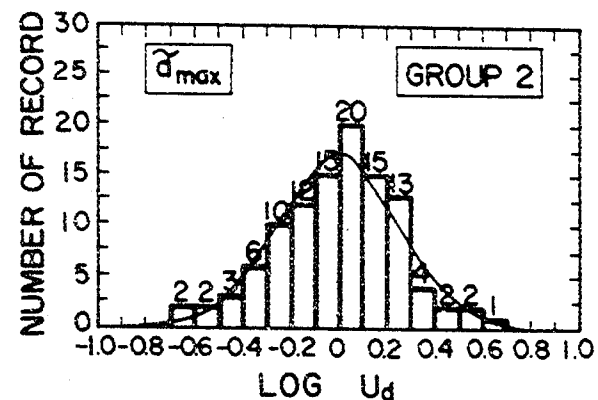
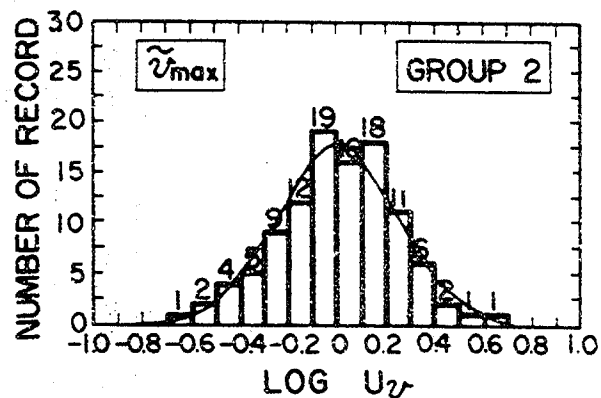
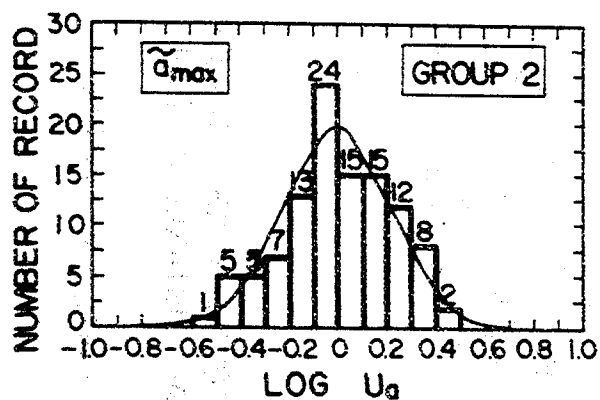
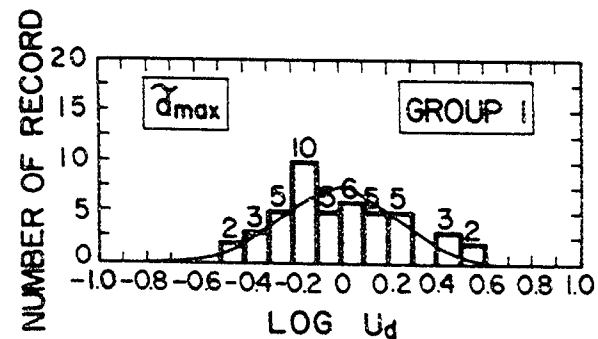
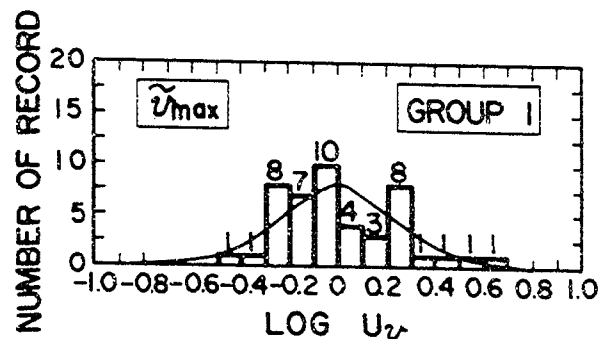
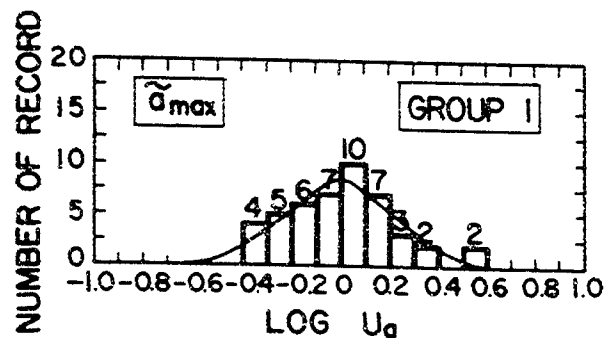


図 5 - 9 $\text{Log } U_a$, $\text{Log } U_v$, $\text{Log } U_d$ の頻度分布

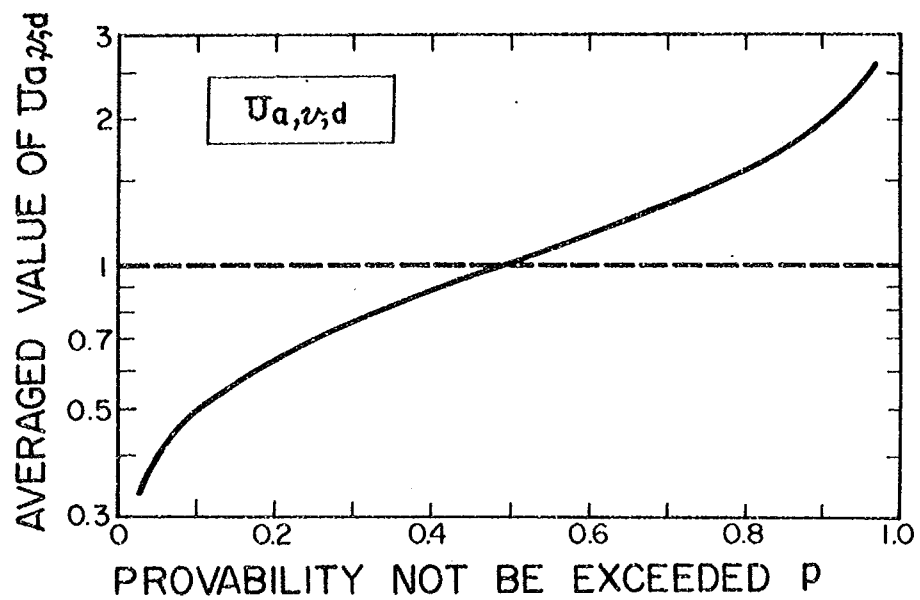


図 5 - 1 0 地盤種別ごとに平均化した U_a, U_v, U_d の平均値 $U \sim p$ の関係

6. 既往の研究成果との比較

6-1 加速度応答スペクトルの予測式

現在までに我国で提案されている主要な応答スペクトルの距離減衰式は表6-1(a)に示す通りである。代表的なものとしては、建設省総合プロジェクト新耐震設計法の開発の一環として開発された予測式があり、これは我国の地盤上で得られた277成分の強震記録から減衰定数5%の加速度応答スペクトル $S_A(T)$ を求め、これを数量化理論により解析したもので、次の推定式が求められている。⁵⁾

$$S_A(T) = f_M(T) \times f_d(T) \times f_{GC}(T) \quad (6-1)$$

ここで、

$S_A(T)$: 固有周期 T [秒], 減衰定数5%の加速度応答スペクトル

$f_M(T)$: マグニチュードの範ちゅうごとの重み係数

$f_d(T)$: 震央距離の範ちゅうごとの重み係数

$f_{GC}(T)$: 地盤条件の範ちゅうごとの重み係数

また、道路橋示方書耐震設計編では、上記と同じ記録および解析手法を用いて加速度応答スペクトル倍率 $\beta(T)$ を解析した結果を付属資料に示している。この場合には、次のような推定式となっている。⁶⁾

$$\beta(T) = f'_M(T) \times f'_d(T) \times f'_{GC}(T) \quad (6-2)$$

ここで、

$\beta(T)$: 固有周期 T [秒], 減衰定数5%の加速度応答スペクトル倍率

$f'_M(T)$: マグニチュードの範ちゅうごとの重み係数

$f'_d(T)$: 震央距離の範ちゅうごとの重み係数

$f'_{GC}(T)$: 地盤条件の範ちゅうごとの重み係数

これらの解析結果は、我国で得られた記録をもとに加速度応答スペクトルを地盤条件別にマグニチュードおよび震央距離の関数として推定し得る道を開いた点で高く評価されている。しかしながら、これらの解析に用いられた記録はSMAC型強震計により得られたものであり、計器特性による短周期の感度が低下している。従って、式(6-1)、(6-2)による解析結果は短周期の感度低下の影響を受けたものと考えることができる。今回の解析では、これらの点が改善されているが、これ以外の点でも違いがあるので、今回の解析結果と式(6-1)による解析結果を比較する前に、両解析手法の相違点をもう一度まとめると以下になる。

a) 新耐震設計法によるスペクトルは、SMAO型強震計の感度補正が加えられていないが、今回の解析ではディジタイザーによる数値化精度を考慮した補正法によりもとの加速度記録の短

周期を補正し、これから計算したスペクトルを用いている。

- b) 新耐震設計法によるスペクトルでは、強震計により観測された水平2成分のうち、いずれか一方もしくは両方の記録を集めて277成分とし、この記録のスペクトルを解析している。これに対して今回の解析では、強震計により観測された水平2成分を時間領域で合成し、スペクトル値が最大となる方向のスペクトルを解析している。
- c) 新耐震設計法では、277成分の記録を用いているが、今回の解析では、これに昭和53年1月の伊豆大島近海地震、昭和53年6月の宮城県沖地震等の最近の地震記録を加え2@197=394成分の記録を解析に用いた。なお、2-4に示したように、このように水平2成分を合成してスペクトルを求めると水平2成分のスペクトルのうち、いずれか大きい方のスペクトルに比較し、各周期で平均して25~30%程度大きめの結果を与えることがわ¹⁶⁾っている。
- d) 新耐震設計法では、道路橋耐震設計の地盤種別に基づき、4種類の地盤種別を考慮している。今回の解析では2種、3種、4種地盤のスペクトル値に違いが少ないことから、道路橋示方書に基づく1種、2種+3種、4種の3分類としている。
- e) 新耐震設計法では、数理化理論を用いているため、マグニチュード、震央距離が範ちゅうごとに与えられる（例えば、マグニチュードのカテゴリーは5.4~6.1, 6.1~6.8, 6.8~7.5, 7.5~7.9と4区分、震央距離のカテゴリーは20Km以下, 20~60Km, 60~120Km, 120~200Kmと4区分に分けられている）が、今回の解析では、重回帰分析を用いているため、マグニチュードおよび震央距離に対して連続的に応答スペクトルを求めることができる。

以上のような相違点を考慮した上で新耐震設計法のスペクトルと今回の解析結果を比較した一例が図6-1である。ここで上記e)に示したように、新耐震設計法のスペクトルは、マグニチュードおよび震央距離のそれぞれのカテゴリーに対して与えられているため、これをカテゴリー内に属する記録のマグニチュードおよび震央距離の平均値で代表されるそれぞれマグニチュードおよび震央距離に相当スペクトルと考えた。このようにすると震央距離*l*の場合には、 $20 \leq l < 60 \text{ Km}$, $60 \leq l < 120 \text{ Km}$, $120 \leq l < 200 \text{ Km}$ のカテゴリーに対して、それぞれ震央距離の平均値 $\bar{l}$ は38.2 Km, 82.9 Km, 158.7 Kmとなり、また、マグニチュード*M*の場合には $6.8 \leq M < 7.5$, $7.5 \leq M \leq 7.9$ のカテゴリーに対して、マグニチュードの平均値 $\bar{M}$ はそれぞれ7.06, 7.65となる。したがって図6-1はこれらの代表値の $\bar{M}$, $\bar{l}$ に対して、今回開発したスペクトルを計算し、これらに対応するカテゴリーの新耐震設計法のスペクトルと比較したものである。これより両者の比較に関し、以下の事項が指摘される。

- i) 固有周期0.3秒程度以下の短周期領域では、今回のスペクトルの方が新耐震設計法のスペクトルよりもかなり大きくなっている。これは今回のスペクトルにはSMAC型強震計の計器特性が加えられているためと考えられる。

ii) 固有周期 0.3 秒以上の領域でも、今回の解析結果の方が全体として新耐震設計法のスペクトルよりも大きくなっている。ただし、震央距離が 150 Km 程度以上になると、この関係が逆転する傾向が一部に認められる。

ただし、以上のような違いはあるが、短周期の計器補正の有無、水平 2 成分の合成効果の有無を考慮すれば、両者の結果は全体としてよく一致しているといえることができる。

次に、海外において現在までに提案された主要な応答スペクトルの距離減衰式を表 6-1(b) に示す。このうち、McGuire により提案された速度応答スペクトルは、地表層による増幅の著しい記録は除いており、地盤種別は特に考慮されていない。また、Faccioli は我国の強震記録を含む環太平洋地震地帯の記録を用いて速度応答スペクトルを次式のように求めている。ただし地盤条件については "soft soil site" とあるだけで、定量的な地盤条件の評価とこれによるスペクトルの区分は行われていない。

$$S_v(T) = a(T) \times 10^{b(T)M} \times (R+25)^{-c(T)} \quad (6-3)$$

ここで、

$S_v(T)$: 固有周期 T [秒], 減衰定数 h の速度応答スペクトル

M : マグニチュード

R : 震源距離 [Km]

$a(T), b(T), c(T)$: 重回帰分析により固有周期 T ごとに定められる係数

Faccioli は減衰定数 5 % に対して式 (6-3) の係数 $a(T), b(T), c(T)$ を与えている。速度応答スペクトル S_v を次式で加速度応答スペクトル S_A に変換し、

$$S_A(T) \simeq \frac{2\pi}{T} S_v(T) \quad (6-4)$$

これを図 4-3 と比較できるように $M=6, 7, 8$, 震源距離 $R=50, 100, 200$ Km に対して計算すると図 6-2 のようになる。ただし、今回の解析では震央距離 Δ を用いているのに対し、式 (6-3) では震源距離 R を用いていることに注意しなければならない。図 6-2 によれば、Faccioli のスペクトルは全体として今回の解析結果の第 3 種地盤のスペクトルに近い結果を与えていることがわかる。ただし、距離減衰は今回の解析よりやや小さく、震源距離が大きくなっても、スペクトル値がなかなか減少しないという特徴がある。

これに対して、Trifunac らは最近米国で得られた 182 成分の記録をもとに、加速度応答スペクトルを次式のように与えている。

$$\begin{aligned} \text{Log } S_A(T), p = & M + \text{Log } A_0(R) - a(T)p - b(T)M - c(T) \quad (6-5) \\ & - d(T)s - e(T)v - f(T)M^2 - g(T)R \end{aligned}$$

ここで、

$S_A(T), p$: 固有周期 T [秒], 減衰定数 h , 信頼性のレベル p の加速度応答スペクトル

M : マグニチュード (ローカルマグニチュード M_L)

s : 地盤条件 ($s = 0$: 沖積層, $s = 1$: 軟かい岩, $s = 2$: 基盤)

v : 水平, 上下の指標 ($v = 0$: 水平成分, $v = 1$: 上下成分)

$\log A_0(T)$: 震央からの距離に伴う振幅の減少率に関する経験的な補正関数
(Richterによる)

p : 信頼性のレベルで, 確率とは異なるが $0.1 \sim 0.9$ の範囲では非超過確率を近似する

$a(T), b(T), c(T), d(T), e(T), f(T), g(T)$: 重回帰分析により定める未定定数

Trifunacのスペクトルをマグニチュード $M = 6, 7, 8$, 震央距離 $\Delta = 50 \text{ Km}, 100 \text{ Km}, 200 \text{ Km}$ に対して式 (6-5) から計算した結果が図 6-3 である。これを図 4-3 に示した本解析によるスペクトルと比較すると, Trifunac らのスペクトルは震央距離が 50 Km 程度以上となると, 極めて小さなスペクトル値を与えることがわかる。例えば, マグニチュード $M = 8$ で震央距離 $\Delta = 100 \text{ Km}$ の場合には, スペクトル値が最も大きい3種地盤の固有周期 0.55 秒付近のスペクトル値でさえ 150 gal 以下となっており, 我国の同種の解析結果からは信じられない程度の小さい値となっている。ただし, 震央距離が 50 Km 程度未満になると傾向は反対になり, 震央距離が短いほどスペクトル値は非常に大きな値を与える。Trifunac らが用いた記録はその半分以上が 1971 年の San Fernando 地震 ($M = 6.9$) により得られたものであり, 我国のように規模の大きい地震による記録は少ないことから, 解析に用いた地震データの特性を踏えて我国のスペクトルと Trifunac らによる米国のスペクトルの相違について検討していくことが必要とされる。

6-2 最大加速度の予測式

現在までに我国で提案されている主要な最大加速度の距離減衰式は表 6-2 (a) に示す通りである。代表的なものとしては, 建設省総合プロジェクト新耐震設計法の開発の一環として開発された予測式がある。これは我国の地盤上で得られた 301 成分の強震記録から, 強震計で得られた水平 2 成分のうち最大加速度の大きいいずれか一方の成分を重回帰分析したもので, 次式が得られている。

$$a_{\max} = \begin{cases} 46.0 \times 10^{0.208M} \times (d+10)^{-0.686} & (1 \text{ 種地盤}) \quad (R=0.48) \\ 24.5 \times 10^{0.333M} \times (d+10)^{-0.924} & (2 \text{ 種地盤}) \quad (R=0.59) \\ 59.0 \times 10^{0.261M} \times (d+10)^{0.886} & (3 \text{ 種地盤}) \quad (R=0.62) \quad (6-6) \\ 12.8 \times 10^{0.432M} \times (d+10)^{-1.112} & (4 \text{ 種地盤}) \quad (R=0.72) \\ 34.1 \times 10^{0.308M} \times (d+10)^{-0.925} & (\text{全記録から求めた場合}) \quad (R=0.62) \end{cases}$$

ここで、 R は重相関係数を表わしている。上式は道路橋示方書耐震設計編の付属資料にも取り入れられている。この推定式と今回の推定式の違いは、前節で示した新耐震設計法の応答スペクトルの場合と同様であり、a)計器補正の有無（新耐震設計法の推定式は未補正記録をもとにしている）、b)水平2成分の合成の有無（今回の解析では、2成分の合成をしている）、c)記録数の違い（今回の解析では新耐震設計法以後に発生した伊豆大島近海地震、宮城県沖地震等による記録を補充している）の3点である。

図6-4は新耐震設計法による推定式と今回の推定式を $M=6, 7, 8$ に対して比較したものである。これによれば上記計器補正の効果と水平2成分合成の効果により、今回の予測式（特に1種地盤）は、新耐震設計法の予測式よりも、かなり大きな結果を与えるのがわかる。ただし、新耐震設計法の予測式では、1種地盤の場合には $M=8$ 、震央距離 $d=50$ Kmの条件でも最大加速度は130 galにしかならず、もともと非常に小さい値しか与えないことに注意しなければならない。

一方、図6-5は、表6-2に示した既往の我国の主要な最大加速度の予測式を $M=6, 8$ に対して示したものであり、図6-6は篠、大角、片山により最近提案された最大加速度の予測式である。²⁴⁾ 図6-6は723成分の記録を用いて道路橋示方書の地盤種別法に従い、1～4種に分類した最大加速度の距離減衰であるが、最大加速度は地盤種別によらず、ほぼ同程度となっていることが注目される。これは、今回の解析結果（図5-5(a)参照）でも同様の結果となっている。また、図6-7は既往の海外における主要な最大加速度の予測式を $M=6, 8$ に対して示したものである。米国における解析は、大部分がカリフォルニア州の強震記録（この中でも1971年 San Fernando 地震による記録の比率が非常に高い）を用いており、地盤条件は一般に良好なものが多いと考えられる。ここで、上述したように、最大加速度は地盤条件にはあまりよらないことを考慮し、今回の解析結果を既往の我国および海外における主要研究結果と比較すると次のようになる。すなわち、いま今回の解析結果から $M=6$ の場合の $d=30$ Kmおよび $d=100$ Kmの最大加速度を求めると、おおよそ130 gal, 45 gal 程度となる。また、 $M=8$ の場合の $d=30$ Kmおよび $d=100$ Kmの最大加速度はそれぞれ400～500 gal, 140～200 gal 程度となる。一方、これらを既往の研究成果について調べて

みると、研究者により相当のばらつきがあるものの、大勢としては今回の解析結果に近いものが多い。したがって、このような点から、今回求めた最大加速度の推定式は従来の研究成果とも、おおむね矛盾はないものといえることができる。

6-3 最大速度の予測式

既往の主要な最大速度の距離減衰式をまとめると表 6-3 に示す通りである。このうち、後藤²³⁾、亀田、杉戸の推定式は道路橋耐震設計という 2 種および 3 種相当の地盤上の強震記録から求めたものであり、大崎³⁶⁾、渡部らおよび林³⁷⁾らの推定式は、いずれも岩盤上の強震記録から求めたものである。McGuire³⁶⁾ ら米国系の研究成果は、いずれも米国西海岸での比較的良好な地盤上で得られた強震加速度記録をもとに求められたものである。また、Faccioli の解析には、我国を含む環太平洋地震地帯の記録が使われている。図 6-8 および 6-9 はそれぞれ我国および海外において提案された距離減衰式を $M=6$ および 8 に対して示したものである。これに対する本解析結果は図 5-5(b) に示した通りである。

震央距離 $d=100\text{ Km}$ での最大速度を基準として、今回の解析結果と図 6-8 および 6-9 の結果を比較すると以下のようなになる。すなわち、今回の解析結果によれば、地盤種別によって異なるが、 $M=6$ の場合は 2 cm/sec (1 種地盤) $\sim 3.5\text{ cm/sec}$ (3 種地盤)、 $M=8$ の場合には 7 cm/sec (1 種地盤) $\sim 25\text{ cm/sec}$ (3 種地盤) となる。これに対して、後藤らの結果では $M=6$ に対して 6.5 cm/sec 、 $M=8$ に対して 18 cm/sec 、また、大崎、渡部らおよび金井による結果では、 $M=6$ に対して $0.15 \sim 0.7\text{ cm/sec}$ 、 $M=8$ に対して $3 \sim 10\text{ cm/sec}$ となる。後藤らの結果では距離のべき条項が -0.3 と小さいことから距離減衰が小さい。一方、海外の研究成果によれば、Faccioli の結果が小さな距離減衰を与えている他は、比較的相互によく似た結果を与えており、上記 $d=100\text{ Km}$ の最大速度を求めると $M=6$ に対して $2 \sim 5\text{ cm/sec}$ 、 $M=8$ に対して $13 \sim 28\text{ cm/sec}$ となる。今回の解析結果はこれらの結果に比較的近い値を与えている。なお、加速度から速度に変換するに際して用いているフィルター(振動数帯域)が、個々の研究者ごとに同一ではないので、これらを調整しないと厳密な意味では相互比較はできない。

6-4 最大変位の予測式

既往の主要な最大変位の距離減衰式は表 6-4 に示す通りである。このうち、後藤²³⁾、亀田、杉戸の推定式は前節と同様に道路橋耐震設計指針という 2 種および 3 種相当の地盤に対するものである。また、坪井の式は強震加速度の 2 回積分から求めた変位ではなく、長周期地震計(変位計)により観測された変位をもとにしたものであり、本解析で対象としている振動数範囲よりも相当低い振動数の波を含んだものと考えられる。図 6-10 および図 6-11 はそれぞれ我国および海外において提案された距離減衰式を $M=6$ および 8 に対して示したものである。

坪井の式を除く国内外の推定式を総合して、震央距離 $d=100\text{ Km}$ における最大変位を求め

ると $M=6$ に対して $0.5 \sim 3 \text{ cm}$, $M=8$ に対して $7 \sim 25 \text{ cm}$ となる。これに対して, 今回の解析結果では $M=6$ に対して 0.25 cm (1種地盤) $\sim 0.5 \text{ cm}$ (3種地盤), $M=8$ に対して 1.5 cm (1種地盤) $\sim 7 \text{ cm}$ (3種地盤) となり, 上記よりもやや小さい結果となっている。ただし, 前節に示したように変位を算出する際に用いられたフィルターが個々の研究者ごとに同じではないので, 厳密な比較はできない。

表 6 - 1 既往の地震応答スペクトルの予測式

(a) 我国の研究成果

出 典	解 析 デ ー タ	地 盤 条 件	推 定 式
建設省新耐震設計法 (案) (片 山 恒 雄) (岩 崎 敏 男) (佐 伯 光 昭)	我国の地盤上で得られた277成分	道路橋耐震設計指針 の地盤種別による1, 2,3,4種	$S_A(T) = f_M(T) \times f_d(T) \times f_{GC}(T)$ ここで、 $f_M(T)$, $f_d(T)$, $f_{GC}(T)$ はそれぞれ 数量化解析から求められるマグニチュード、震央距離 および地盤条件の範ちゅうに対する重み係数
道路橋示方書耐震設計編 付属資料 (岩 崎 敏 男) (川 島 一 彦) (高 木 義 和)	同 上	同 上	$\beta(T) = f'_M(T) \times f'_d(T) \times f'_{GC}(T)$ ここで、 $f'_M(T)$, $f'_d(T)$, $f'_{GC}(T)$ はそれぞれ 数量化解析から求められるマグニチュード、震央距離 および地盤条件の範ちゅうに対する重み係数

(b) 海外における研究成果

出 典	解 析 デ ー タ	地 盤 条 件	推 定 式
McGuire [1974]	米国で得られた68 成分の記録	地表層による増幅の 著しいものは除いて ある	$S_V(T) = a(T) \times 10^{b(T)M} \times (R+25)^{-c(T)}$ $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$ は各周期ごとに与えられている
Faccioli	環太平洋地震地帯の 記録 (日本の記録含む)	Soft Soil Sites	$S_V(T) = a(T) \times 10^{b(T)M} \times (R+25)^{-c(T)}$ ($T=0.1 \sim 4.0$) 係数 $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$ は固有周期ごとに与えられる
Tri funac	米国西海岸で得られた182成分	1) 沖積地盤 2) 軟かい岩 3) 基盤 } 3種	$\log S_A(T)_p = M + \log A_0(R) - a(T)p - b(T)M - c(T) - d(T)s - e(T)v - f(T)M^2 - g(T)R$ ここで、 $S_A(T)_p$: 信頼性のレベル p の加速度応答スペクトル $s=0$ 沖積層, $=1$ 軟かい岩, $=2$ 基盤 $v=0$ 水平成分, $=1$ 上下成分 $\log A_0(R)$: 振幅の減少に関する経験的補正関数 p : 信頼性のレベル (≠非超過確率) $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$, $d(T)$, $f(T)$, $g(T)$: 固有周期ごとに与えられる係数

注) Δ = 震央距離 [km]

R = 震源距離 [km]

表 6 - 2 既往の最大加速度の予測式

(a) 我国の研究成果

出典	解析データ	地盤条件	推定式	備考
建設省新耐震設計法(案)	我国の地盤上の301成分	道路橋耐震設計指針の地盤種別による(4種類)	$a_{\max} = \begin{cases} 46.0 \times 10^{0.208M} \times (d+10)^{-0.686} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 24.5 \times 10^{0.333M} \times (d+10)^{-0.824} & (2 \text{ 種地盤}) \\ 59.0 \times 10^{0.261M} \times (d+10)^{-0.836} & (3 \text{ 種地盤}) \\ 12.8 \times 10^{0.432} \times (d+10)^{-0.112} & (4 \text{ 種地盤}) \end{cases}$	計器補正はしていない
片山恒雄 [1974]	1963~1970年間にわが国で得られた46地震による330記録		$a_{\max} = 9.59 \times 10^{0.466M} \times d^{-1.290}$ $a_{\max} = 203 \times 10^{0.411M} \times (d+30)^{-1.637}$	$\sigma(U) = 0.877$ $\sigma(U) = 0.942$
後藤尚男 亀田弘行 今西直人 橋本修身 [1978]	我国の地盤上の45成分(最大加速度50 gal以上)	道路橋耐震設計指針による3種地盤	$a_{\max} = 407.4 \times 10^{0.160M} \times (d+30)^{-0.752}$	計器補正済 $\sigma(\ln U) = 0.495$
後藤尚男 亀田弘行 杉戸真太 [1982]	我国の地盤上の28地震による84成分	一般の沖積および洪積地盤(道路橋耐震設計指針の第2, 3種に相当)	$a_{\max} = 202 \times 10^{0.178M} \times (d+30)^{-0.666}$	$\sigma(U) = 0.578$
岡本舜三	鬼怒川発電所壱坑(地下672m)の記録	粗粒凝灰岩	$\log \frac{a_{\max}}{640} = \frac{d+40}{100} (-7.604 + 1.7244M - 0.1036M^2)$	
篠角恒雄 片山恒雄 [1982]	我国の地盤上で得られた723成分	道路橋示方書による1, 2, 3, 4種地盤	地盤別の場合 $a_{\max} = 6.85 \times 10^{0.372M} \times d^{-0.866} \quad (1 \text{ 種})$ $a_{\max} = 6.75 \times 10^{0.351M} \times d^{-0.793} \quad (2 \text{ 種})$ $a_{\max} = 14.8 \times 10^{0.318M} \times d^{-0.829} \quad (3 \text{ 種})$ $a_{\max} = 4.45 \times 10^{0.420M} \times d^{-0.922} \quad (4 \text{ 種})$ 層別因子の場合 $a_{\max} = \begin{Bmatrix} 8.04 \\ 8.09 \\ 9.18 \\ 8.04 \end{Bmatrix} \times 10^{0.353M} \times d^{-0.837} \quad \begin{matrix} (1 \text{ 種}) \\ (2 \text{ 種}) \\ (3 \text{ 種}) \\ (4 \text{ 種}) \end{matrix}$	
大崎順彦 渡部丹喜 藤堂正喜	岩盤上で得られた75組の強震記録	岩盤上	$a_{\max} = 10^{0.440M - 1.38 \log R + 1.04}$	

(b) 海外における研究成果

出典	解析データ	地盤条件	推定式	ばらつき
Donovan 〔1973〕	世界各地の記録		$a_{\max} = 1320 \times e^{0.58M} \times (d+25)^{-1.52}$	$\sigma(\ln U) = 0.84$
Esteve 〔1970〕			$a_{\max} = 1230 \times e^{0.8M} \times (d+25)^{-2}$	$\sigma(\ln U) = 1.2$
Esteve and Villaverde 〔1974〕	Western U.S.		$a_{\max} = 5600 \times e^{0.8M} \times (d+40)^{-2}$	$\sigma(\ln U) = 0.64$
McGuire 〔1974〕	West Coast of U.S.		$a_{\max} = 472 \times 10^{0.278M} \times (d+25)^{-1.301}$	$\sigma(\log U) = 0.222$
Orphal and Lahoud 〔1974〕	California	考慮されてい ない	$a_{\max} = 6.6 \times 10^{-2} \times 10^{0.40M} \times d^{-1.39}$	$\sigma(U) = 1.99$
Eguchi 〔1981〕	Western United States の 669 成分	〃	$a_{\max} = 67.6 \times 10^{0.37M} \times d^{-1.44}$	$\sigma(\log U) = 0.28$
Seed, Idriss			図示されている	報告されてい ない
Donovan and Bornstein 〔1978〕	Western U.S. の 59 記録, このうちの 37 記録は San Fernando 地震に よる。また, 最大 地震は $M = 7.7$	Rock and Hard Soil Site	$a_{\max} = b_1 \times e^{b_2 M} \times (d+25)^{b_3}$ ここで, $b_1 = 2154000 \times d^{-2.10}$ $b_2 = 0.046 \times 0.445 \log d$ $b_3 = 2.515 - 0.486 \log d$	〃
Faccioli	環太平洋地震地帯 の記録 (日本の記 録も含む)	Soft Soil Sites	$a_{\max} = 108 \times 10^{0.265M} \times (R+25)^{-0.808}$ (47 成分から定めた場合) $a_{\max} = 65.6 \times 10^{0.263M} \times (R+25)^{-0.678}$ (28 成分から定めた場合)	$\sigma(\log U) = 0.236$ $\sigma(\log U) = 0.275$

注) $a_{\max}$: 最大加速度 [gal]

M : マグニチュード

d : 震央距離 [Km]

R : 震源距離 [Km]

表 6 - 3 既往の最大速度の予測式

(a) 我国の研究成果

出 典	解析データ	地盤条件	推 定 式	備 考
金 井 清			$v_{\max} = 10^A$ $A = 0.61M - (1.66 + 3.60/d) \log d$ $- 0.631 + 1.83/d$	
後 藤 尚 男 亀 田 弘 行 杉 戸 真 太	我国の地盤上で得られた28地震による84成分	一般の沖積および洪積地盤（道路橋耐震設計指針の第2, 3種相当）	$v_{\max} = 1.17 \times 10^{0.232M} \times (d+30)^{-0.300}$	$\sigma(U) = 0.655$
大 崎 順 彦 渡 部 丹 喜 藤 堂 正 喜	75組の強震記録	岩 盤	$v_{\max} = 10^{0.607M - 1.19 \log R - 1.40}$	
林 大 村 熊 谷	硬質岩盤上の60成分の加速度記録および軟岩上の35成分の加速度記録	硬岩および軟岩	<u>硬 岩</u> $v_{\max} = 10^{0.65M - 1.36 \log R - 2.00}$ <u>軟 岩</u> $v_{\max} = 10^{0.54M - 1.31 \log R - 0.95}$	

(b) 海外における研究成果

出 典	解析データ	地盤条件	推 定 式	備 考
Orphal and Lahoud [1974]	California	考慮されていない	$v_{\max} = 0.726 \times 10^{0.52M} \times d^{-1.34}$	$\sigma(U) = 1.89$
Eguchi [1981]	Western United States の669成分	"	$v_{\max} = 1.132 \times 10^{0.45M} \times d^{-1.19}$	$\sigma(\log U) = 0.24$
Esteva [1970]		"	$v_{\max} = 15 \times e^M \times (d + 0.17e^{0.59M})^{-1.7}$	$\sigma(\ln U) = 0.84$
Esteva and Villaverde [1974]	Western U.S.	"	$v_{\max} = 32 \times e^M \times (d + 25)^{-1.7}$	$\sigma(\ln U) = 0.74$
McGuire [1974]	West Coast of U.S.	"	$v_{\max} = 5.64 \times 10^{0.461M} \times (d + 25)^{-1.202}$	$\sigma(\log U) = 0.273$
Faccioli	環太平洋地震地帯の記録（日本の記録も含む）	Soft Soil Sites	$v_{\max} = 1.48 \times 10^{0.282M} \times (R + 25)^{-0.425}$ （37成分から定めた場合） $v_{\max} = 0.93 \times 10^{0.369M} \times (R + 25)^{-0.600}$ （26成分から定めた場合）	$\sigma(\log U) = 0.253$ $\sigma(\log U) = 0.243$

注) $v_{\max}$: 最大速度 [cm/sec]

M : マグニチュード

d : 震央距離 [Km]

R : 震源距離 [Km]

表 6 - 4 既往の最大変位の予測式

(a) 我国の研究成果

出 典	解析データ	地 盤 条 件	推 定 式	備 考
後 藤 尚 男 亀 田 弘 行 杉 戸 真 太	我国の地盤上の28 地震による84成分	一般の沖積および 洪積地盤（道路橋 耐震設計指針の第 2，3種相当）	$d_{\max} = 0.0288 \times 10^{0.356M} \times (d+30)^{-0.219}$	$\sigma(U) = 0.685$
坪 井 忠 二	震源深さ60Km 以内の地震		$d_{\max} = 0.676 \times 10^M \times d^{-1.73}$ ($d < 500 \text{ Km}$)	

(b) 海外における研究成果

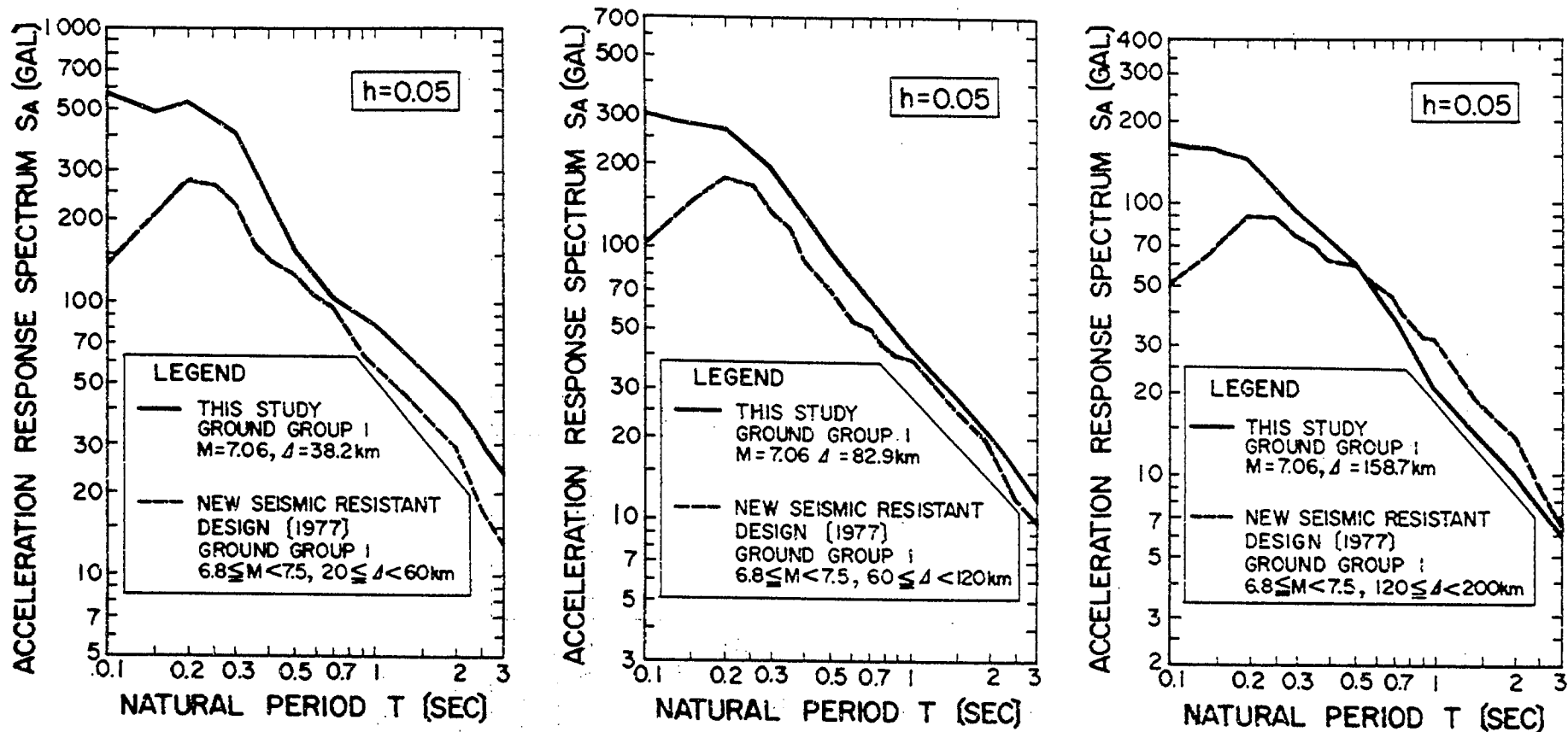
出 典	解析データ	地 盤 条 件	推 定 式	備 考
Orphal and Lahoud [1974]	California	考慮されていない	$d_{\max} = 4.71 \times 10^{-2} \times 10^{0.57M} \times d^{-1.18}$	$\sigma(U) = 2.19$
Eguchi [1981]	Western United States の669成分	"	$d_{\max} = 7.08 \times 10^{-2} \times 10^{0.51M} \times d^{-0.97}$	$\sigma(\log U) =$ 0.33
McGuire [1974]	West Coast of U.S.	"	$d_{\max} = 0.393 \times 10^{0.434M} \times (d+25)^{-0.885}$	$\sigma(\log U) =$ 0.330
Faccioli	環太平洋地震地帯 の記録（日本の記 録も含む）	Soft Soil Sites	$d_{\max} = 0.10 \times 10^{0.479M} \times (R+25)^{-0.691}$	$\sigma(\log U) =$ 0.254

注) $d_{\max}$: 最大変位 [cm]

M : マグニチュード

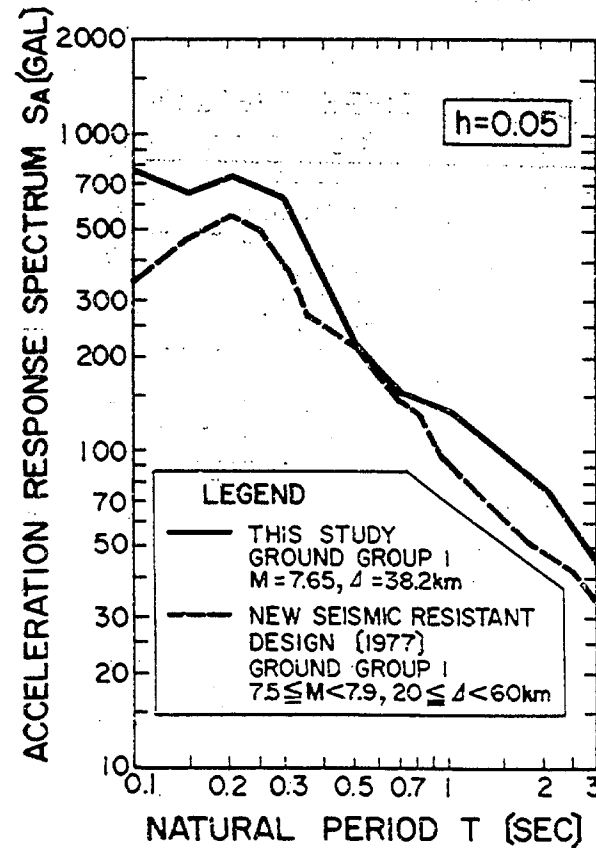
d : 震央距離 [Km]

R : 震源距離 [Km]

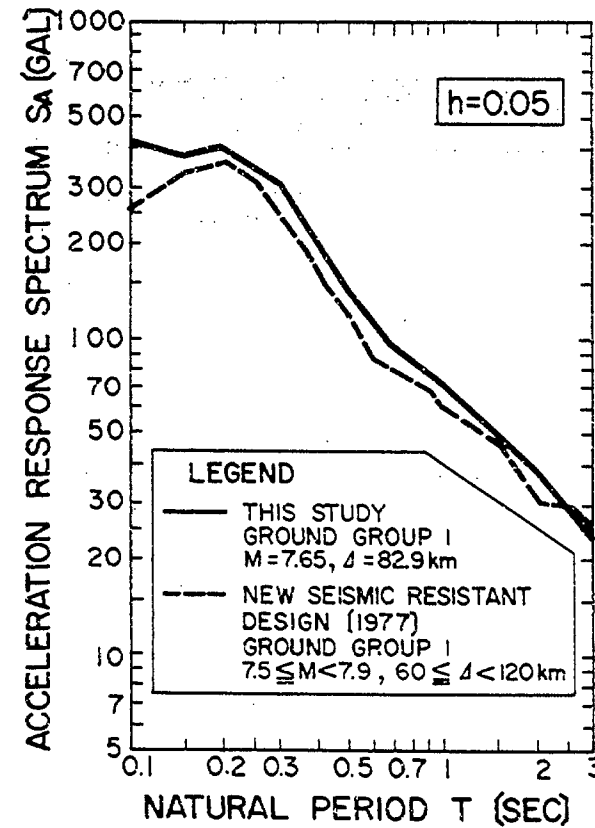


(a) $20 \leq \Delta < 60$ Km の場合 ($\Delta = 38.2$ Km) (b) $60 \leq \Delta < 120$ Km の場合 ($\Delta = 82.9$ Km) (c) $120 \leq \Delta < 200$ Km の場合 ($\Delta = 158.7$ Km)

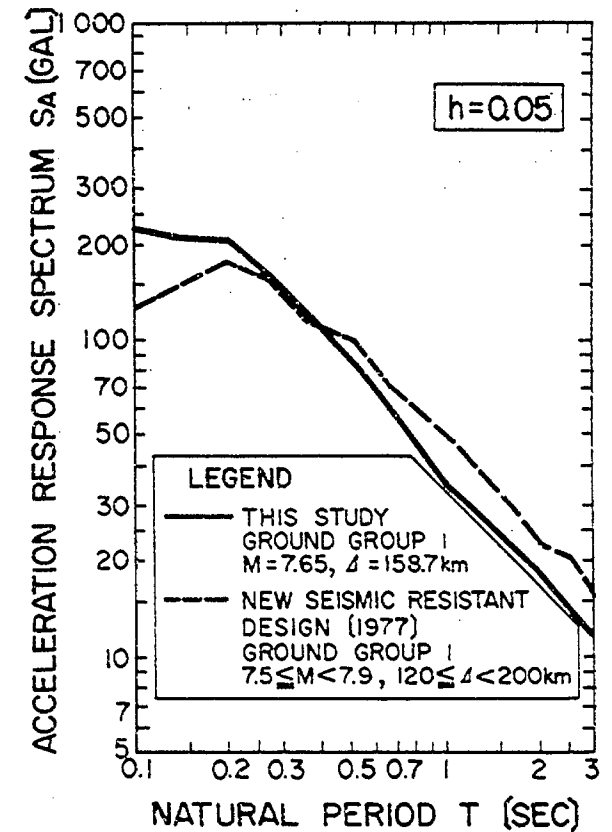
図 6-1(1) 新耐震設計法 (案) のスペクトルとの比較 (第 1 種地盤, $6.8 \leq M < 7.5$ の場合)



(a) $20 \leq \Delta < 60 \text{ km}$ の場合 ($\Delta = 38.2 \text{ km}$)

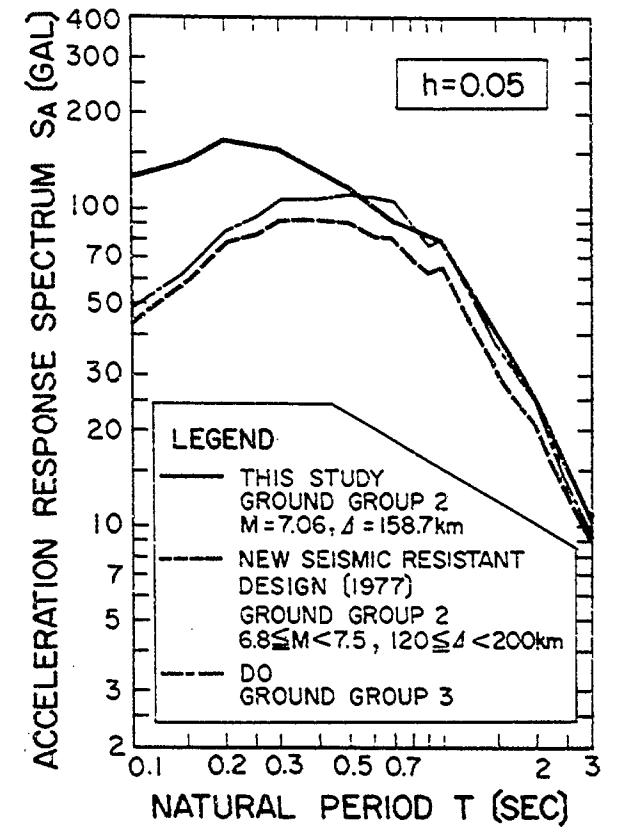
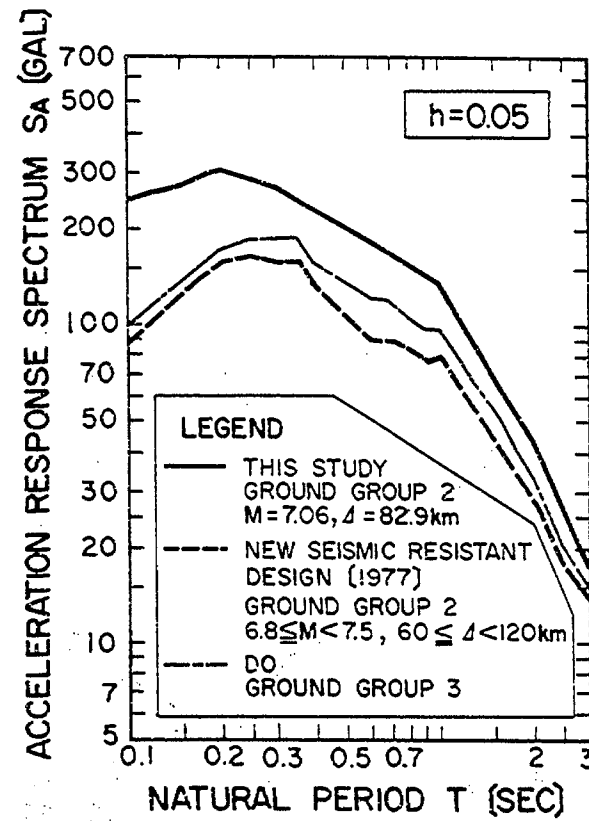
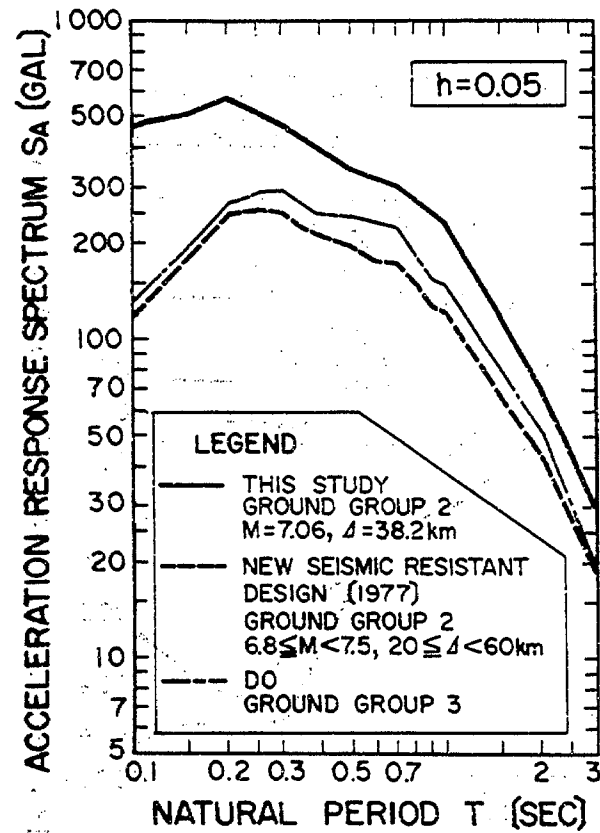


(b) $60 \leq \Delta \leq 120 \text{ km}$ の場合 ($\Delta = 82.9 \text{ km}$)



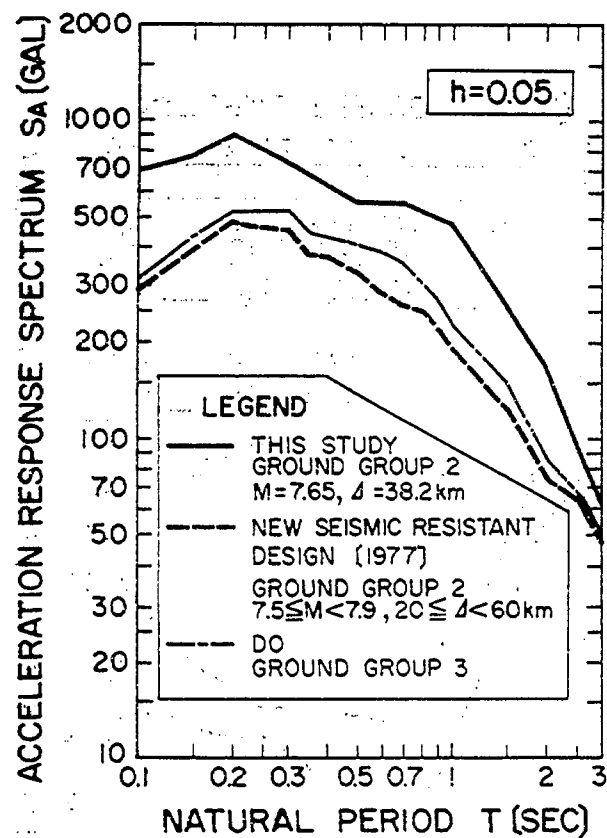
(c) $120 \leq \Delta < 200 \text{ km}$ の場合 ($\Delta = 158.7 \text{ km}$)

図 6-1(2) 新耐震設計法 (案) のスペクトルとの比較 (第 1 種地盤, $7.5 \leq M \leq 7.9$ の場合)

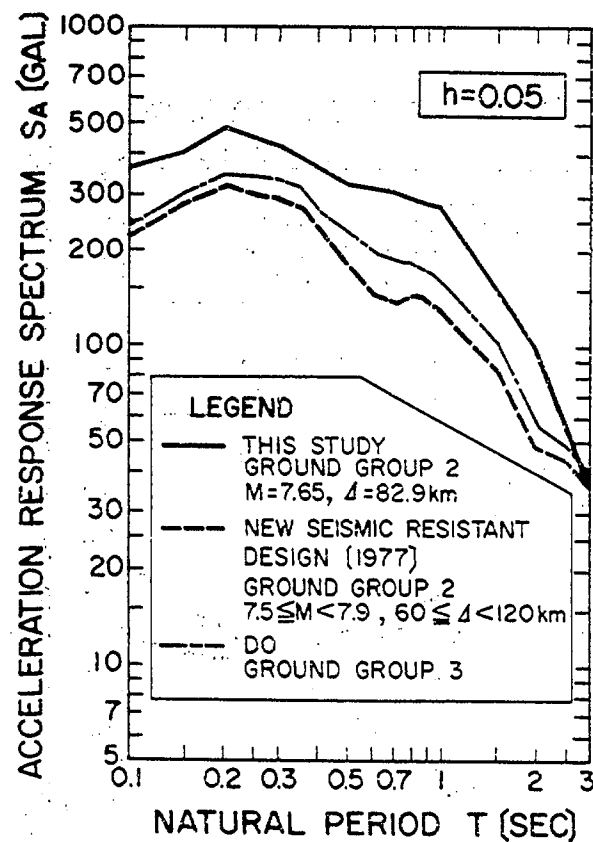


(a) $20 \leq \Delta < 60 \text{ Km}$ の場合 ($\Delta = 38.2 \text{ Km}$) (b) $60 < \Delta \leq 120 \text{ Km}$ の場合 ($\Delta = 82.9 \text{ Km}$) (c) $120 \leq \Delta < 200 \text{ Km}$ の場合 ($\Delta = 158.7 \text{ Km}$)

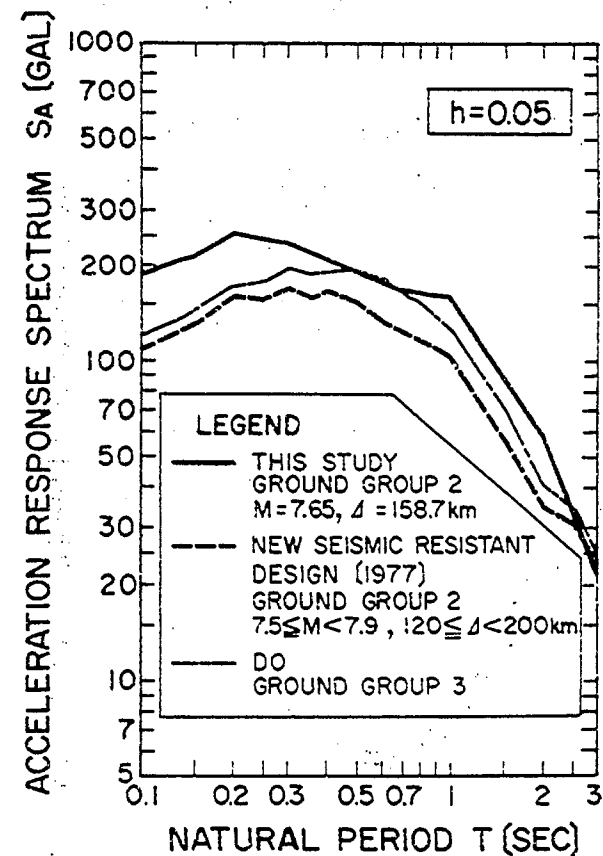
図 6-1(3) 新耐震設計法 (案) のスペクトルとの比較 (第 2 種地盤, $6.8 \leq M < 7.5$ の場合)



(a) $20 \leq \Delta < 60$ km の場合 ($\Delta=38.2$ km)

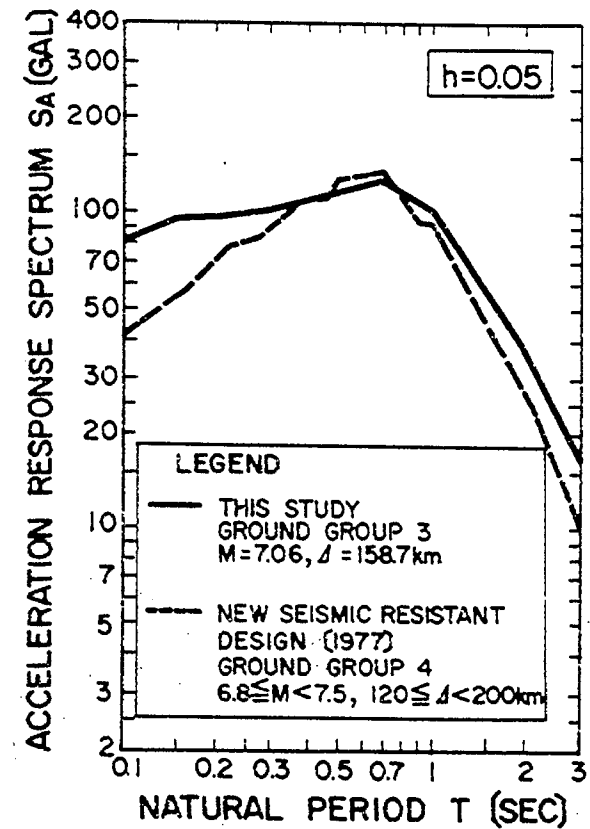
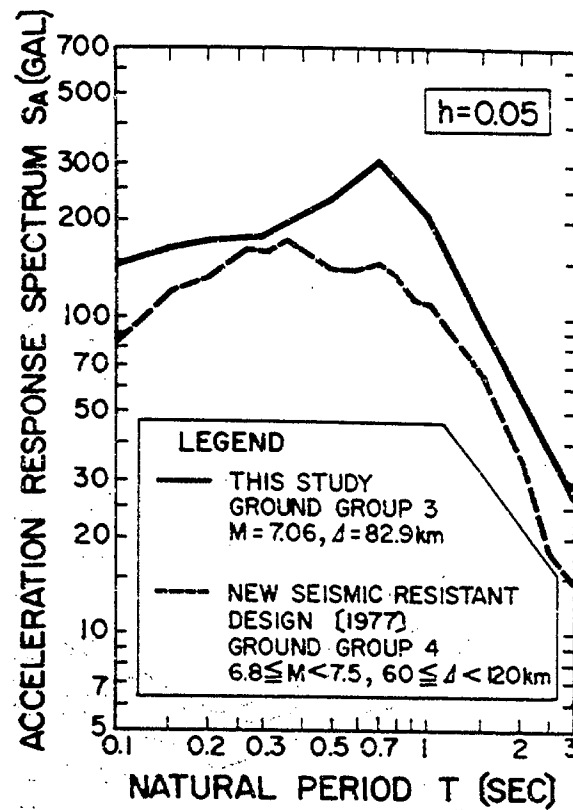
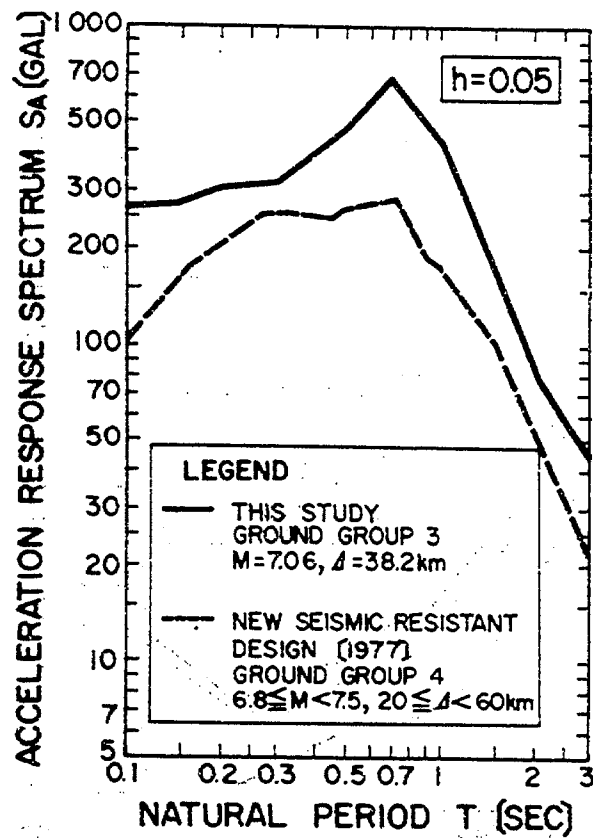


(b) $60 < \Delta \leq 120$ の場合 ($\Delta=82.9$ km)



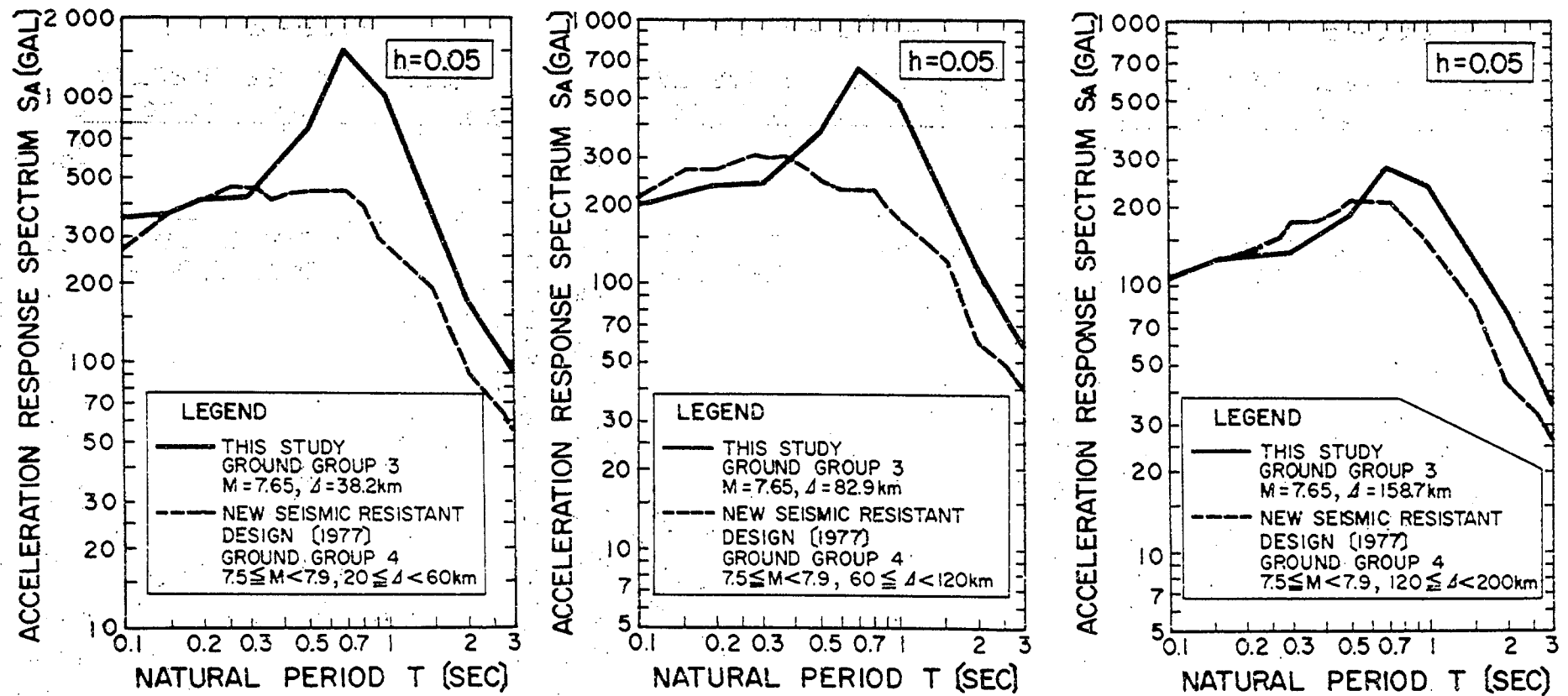
(c) $120 \leq \Delta < 200$ km の場合 ($\Delta=158.7$ km)

図 6-1(4) 新耐震設計法(案)のスペクトルとの比較(第2種地盤, $7.5 \leq M < 7.9$ の場合)



(a) $20 \leq \Delta < 60 \text{ Km}$ の場合 ($\Delta = 38.2 \text{ Km}$) (b) $60 < \Delta \leq 120 \text{ Km}$ の場合 ($\Delta = 82.9 \text{ Km}$) (c) $120 \leq \Delta < 200 \text{ Km}$ の場合 ($\Delta = 158.7 \text{ Km}$)

図 6-1(5) 新耐震設計法(案)のスペクトルとの比較(第3種地盤, $6.8 \leq M < 7.5$ の場合)



(a) $20 \leq \Delta < 60 \text{ km}$ の場合 ($\Delta = 38.2 \text{ km}$) (b) $60 < \Delta \leq 120 \text{ km}$ の場合 ($\Delta = 82.9 \text{ km}$) (c) $120 \leq \Delta < 200 \text{ km}$ の場合 ($\Delta = 158.7 \text{ km}$)

図 6-1(6) 新耐震設計法 (案) のスペクトルとの比較 (第 3 種地盤, $7.5 \leq M \leq 7.9$ の場合)

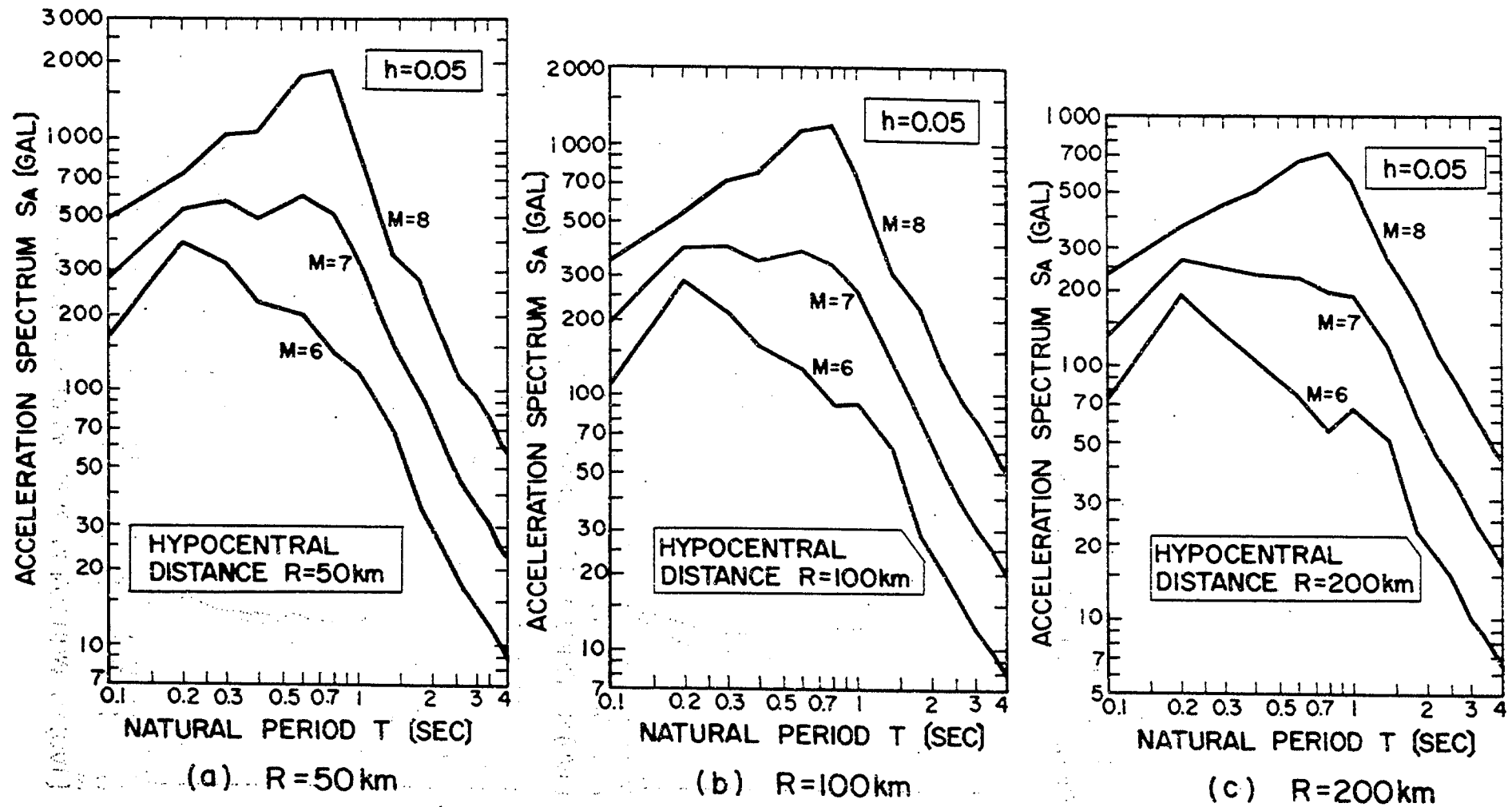


図 6-2 Faccioli による加速度応答スペクトル (速度応答スペクトルから加速度応答スペクトルに変換)

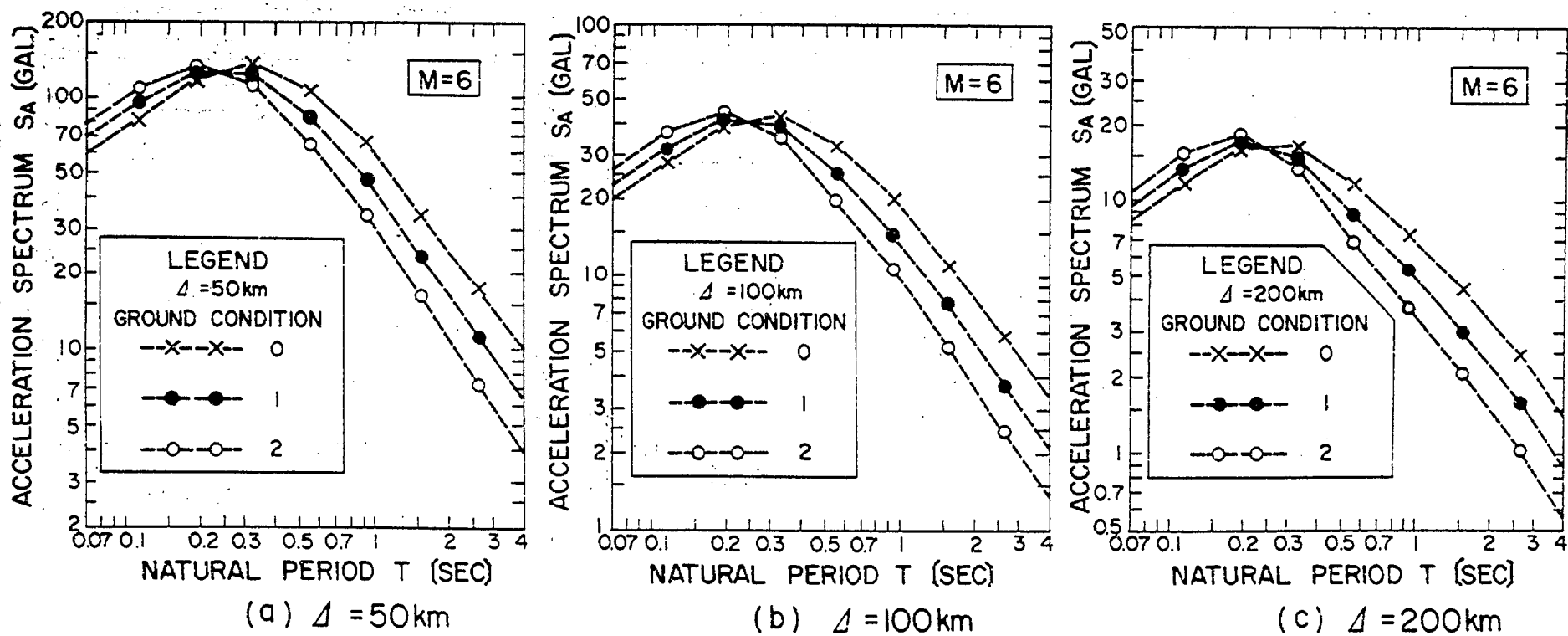
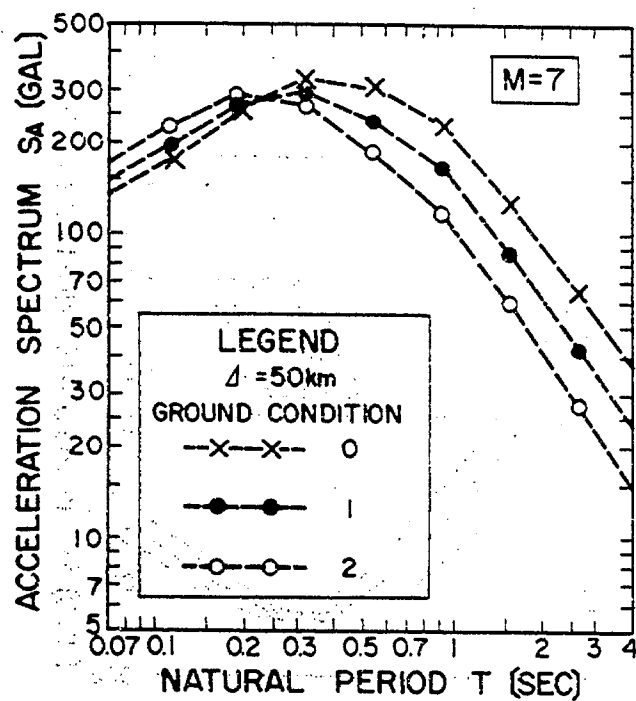
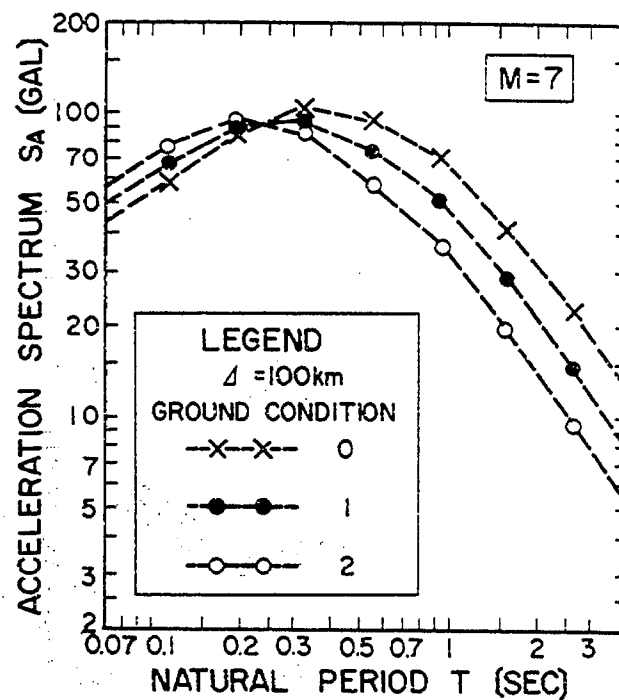


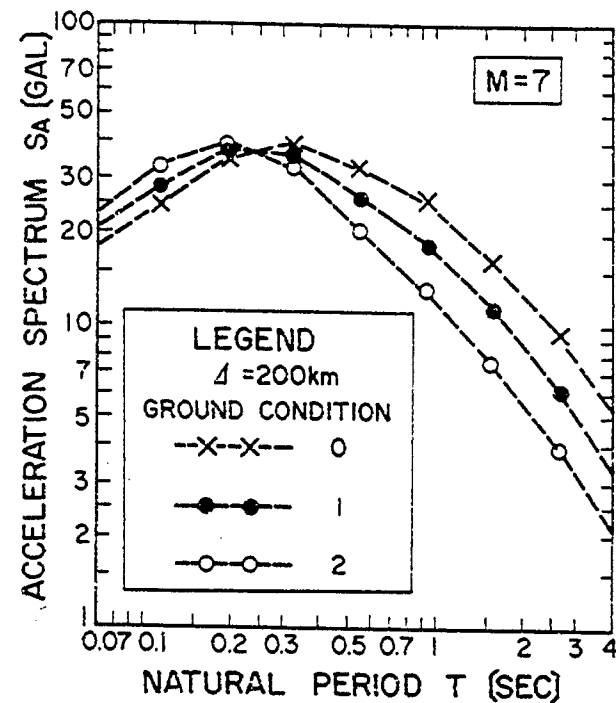
図 6-3(1) Trifunac らの応答スペクトル ($M=6$ の場合)



(a) $\Delta = 50\text{km}$



(b) $\Delta = 100\text{km}$



(c) $\Delta = 200\text{km}$

図 6-3(2) Trifunac らの応答スペクトル ($M=7$ の場合)

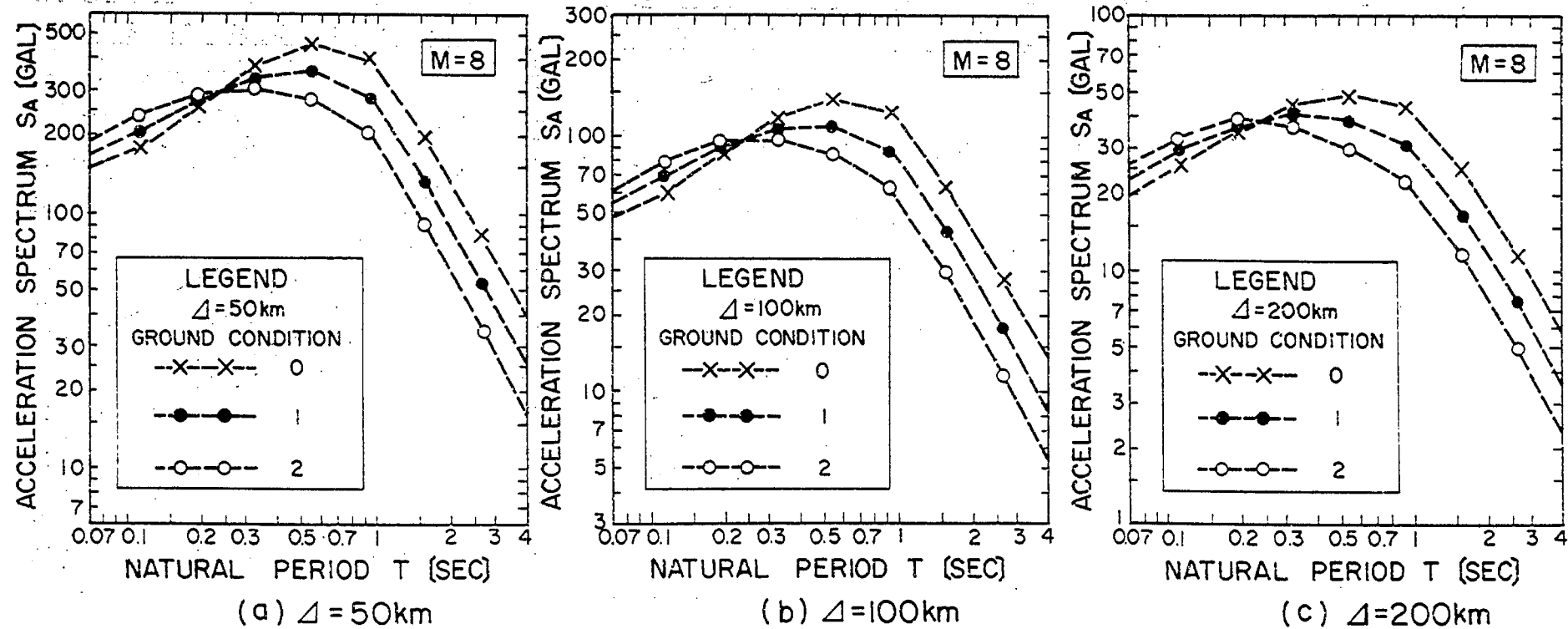
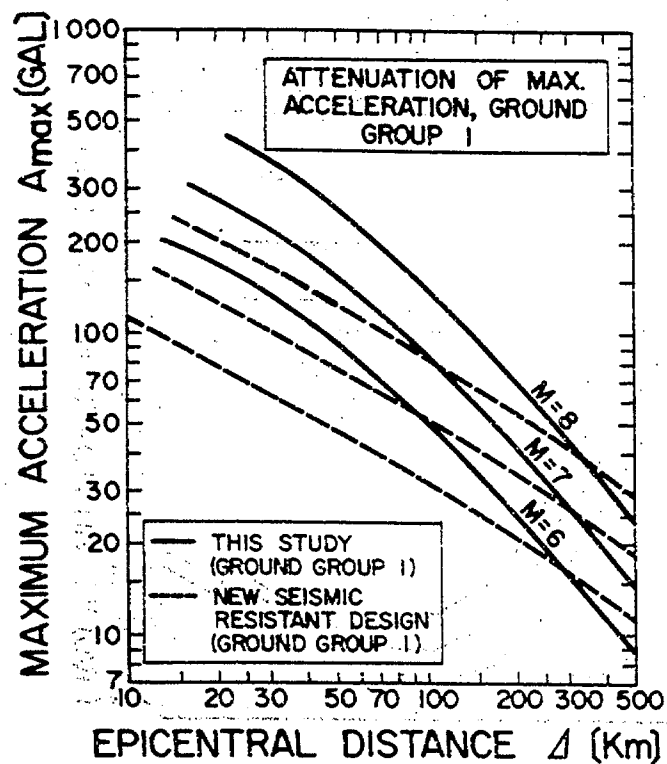
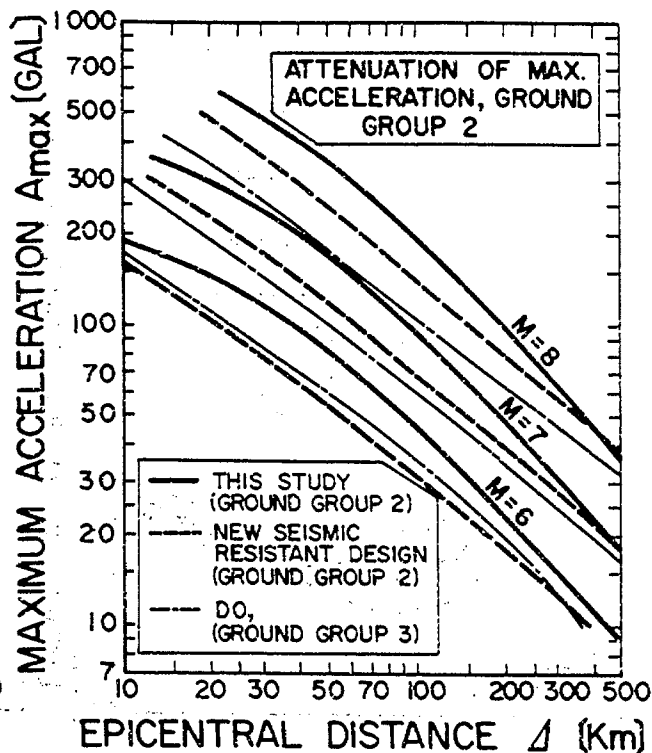


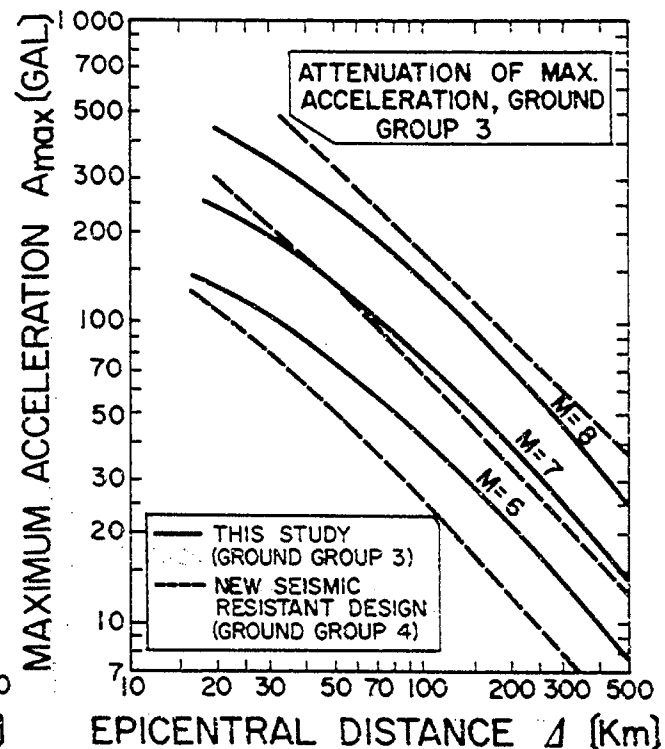
図 6-3(3) Trifunac らの応答スペクトル ($M=8$ の場合)



(a) 1種地盤

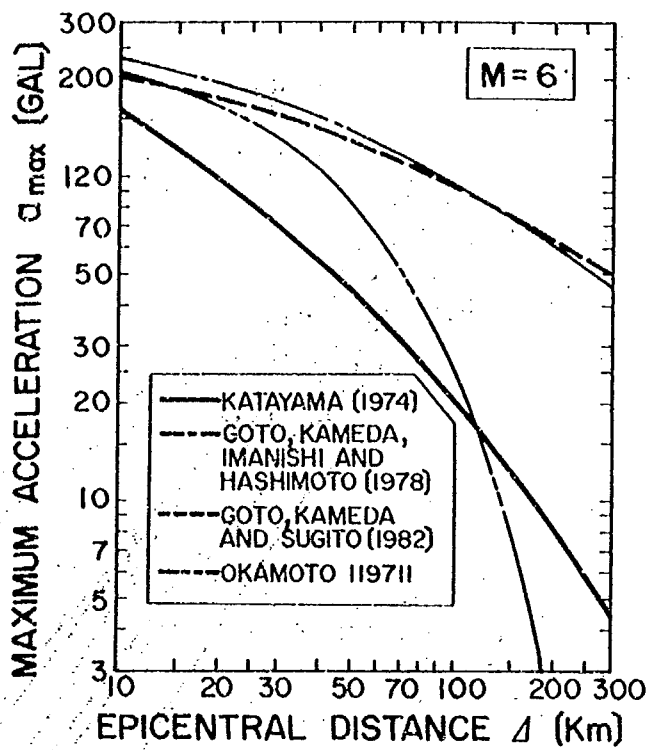


(b) 2種地盤

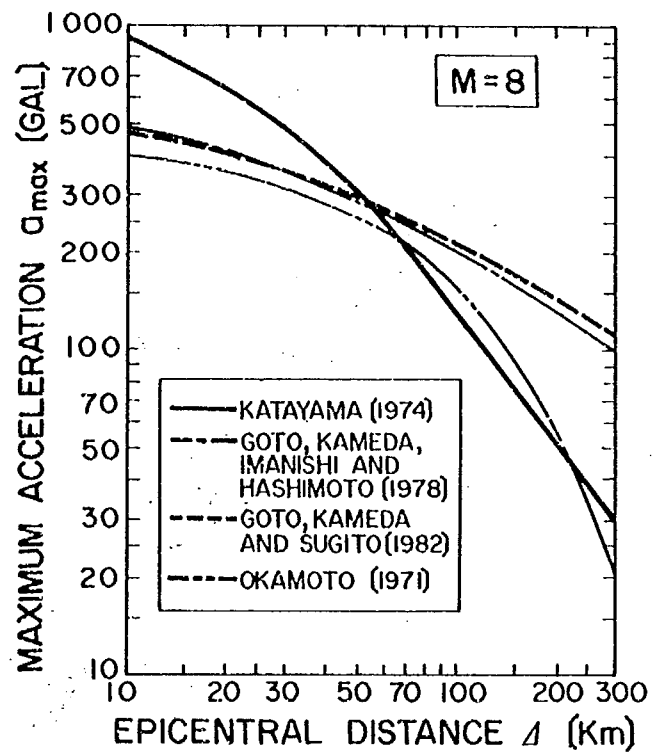


(c) 3種地盤

図6-4 新耐震設計法(案)の最大加速度推定式との比較

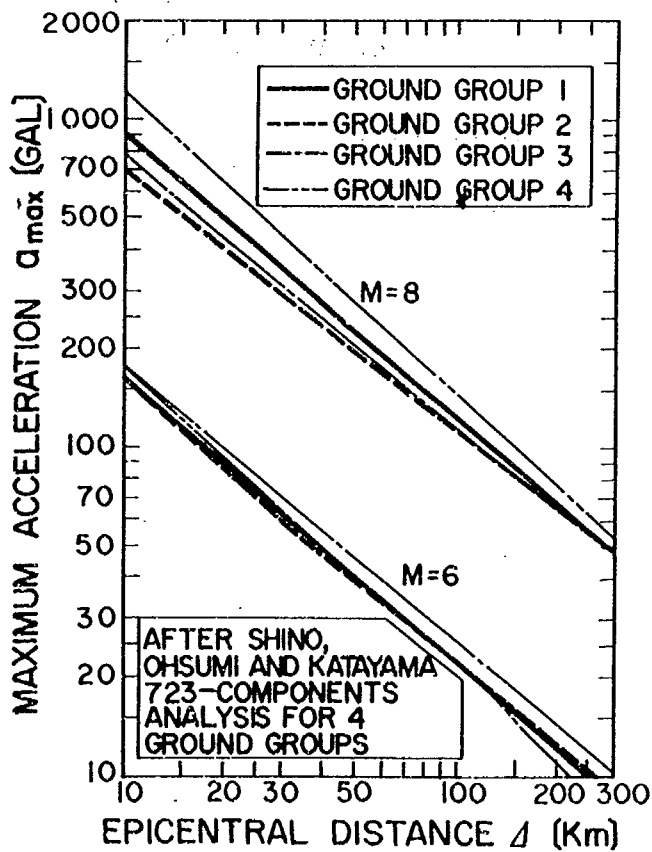


(a) M=6 の場合

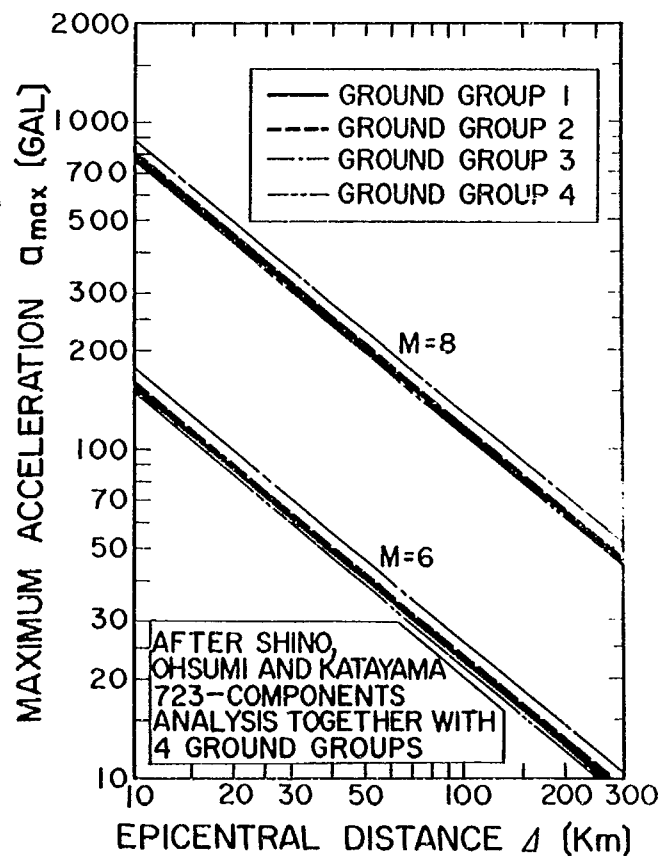


(b) M=8 の場合

図 6-5 既往の我国における最大加速度の予測式

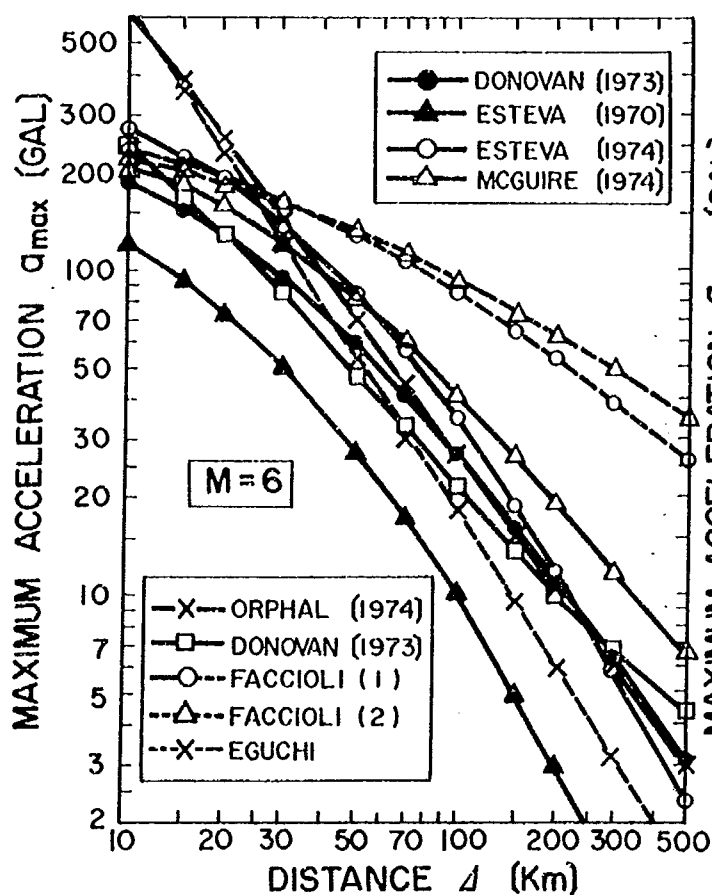


(a) 地盤別に解析した場合

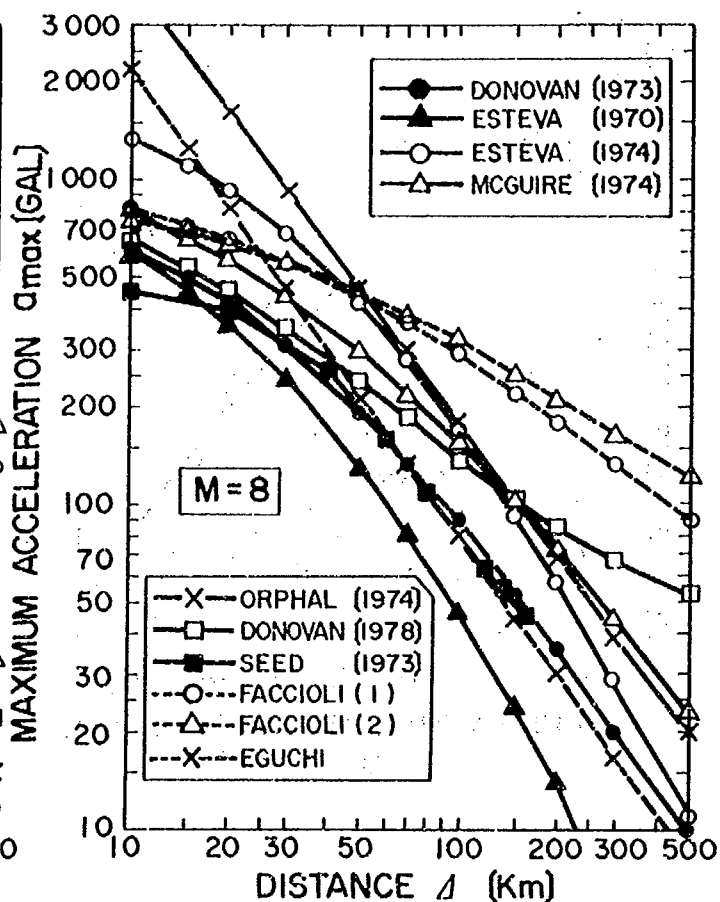


(b) 地盤条件を層別因子とした場合

図 6-6 篠, 大角, 片山による最大加速度の距離減衰



(a) $M=6$ の場合



(b) $M=8$ の場合

図 6-7 既往の海外における最大加速度の予測式

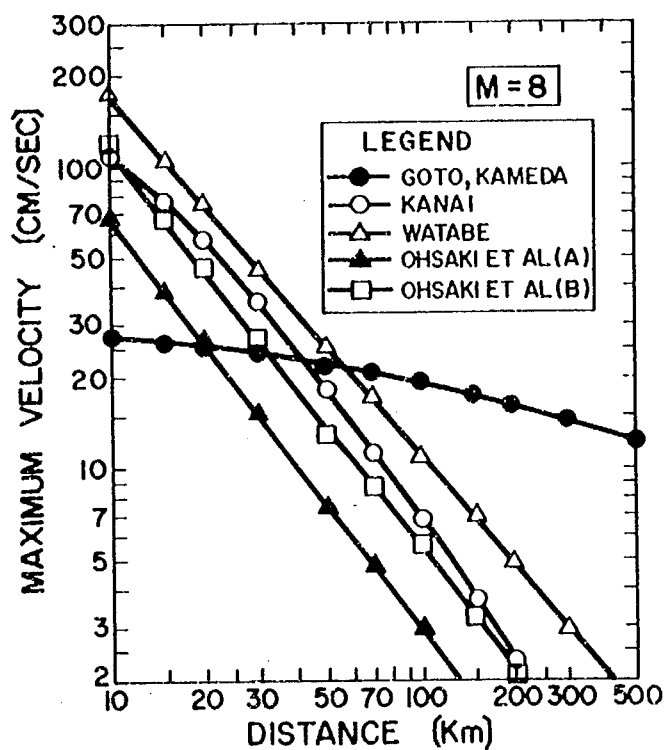
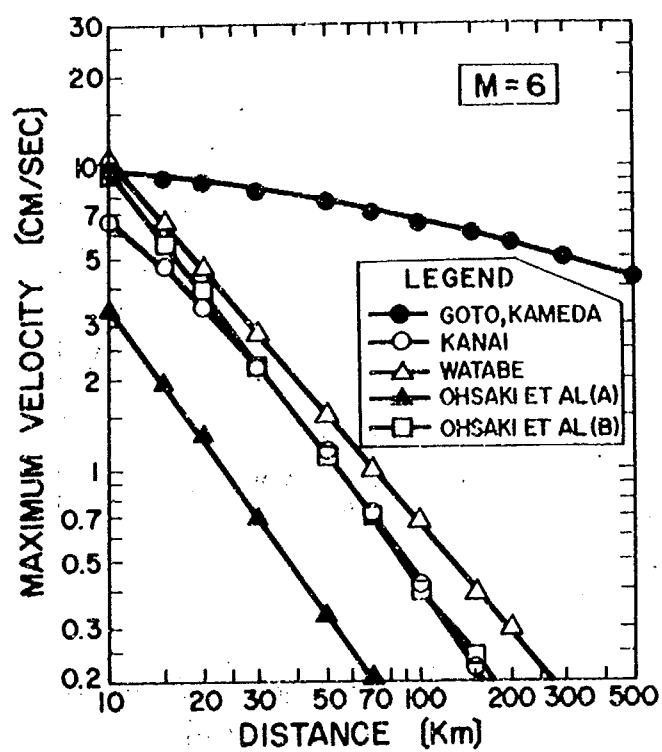


図 6-8 既往の我国における最大速度の推定式

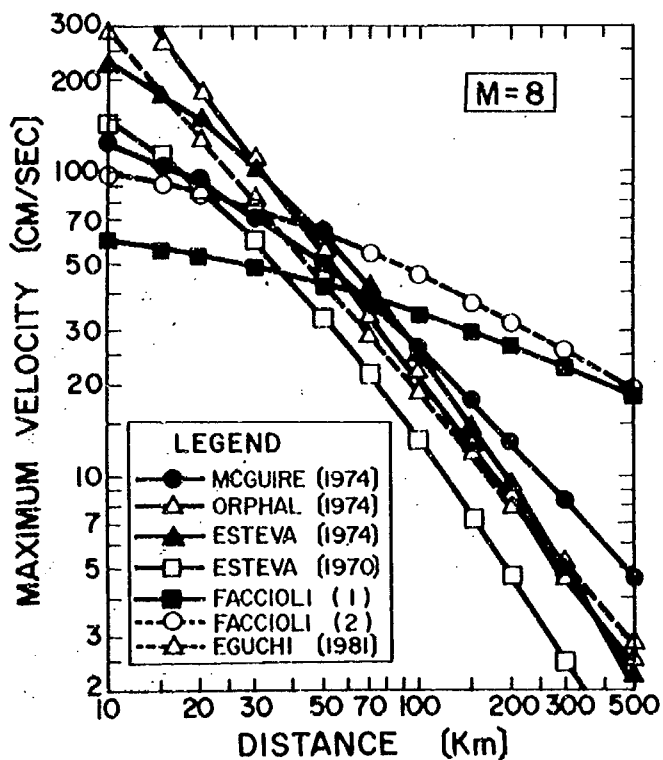
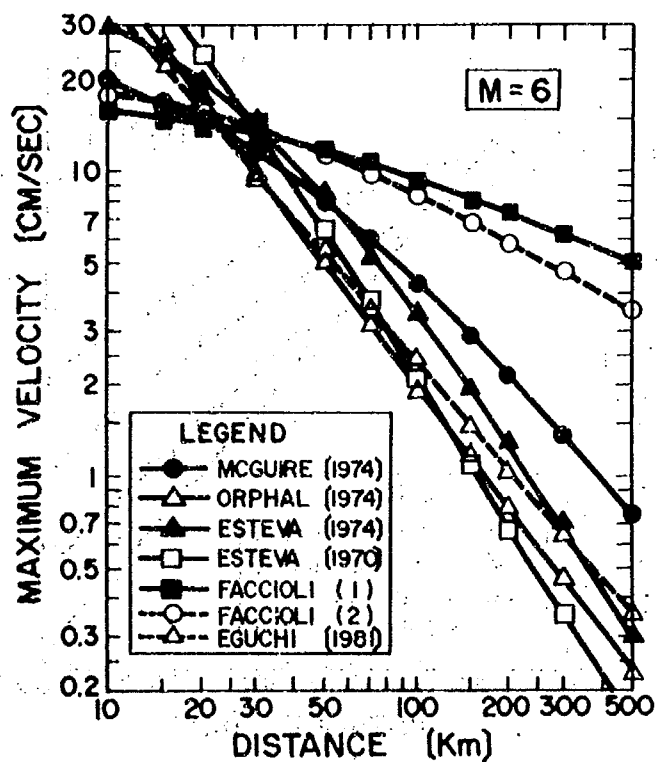


図 6-9 既往の海外における最大速度の推定式

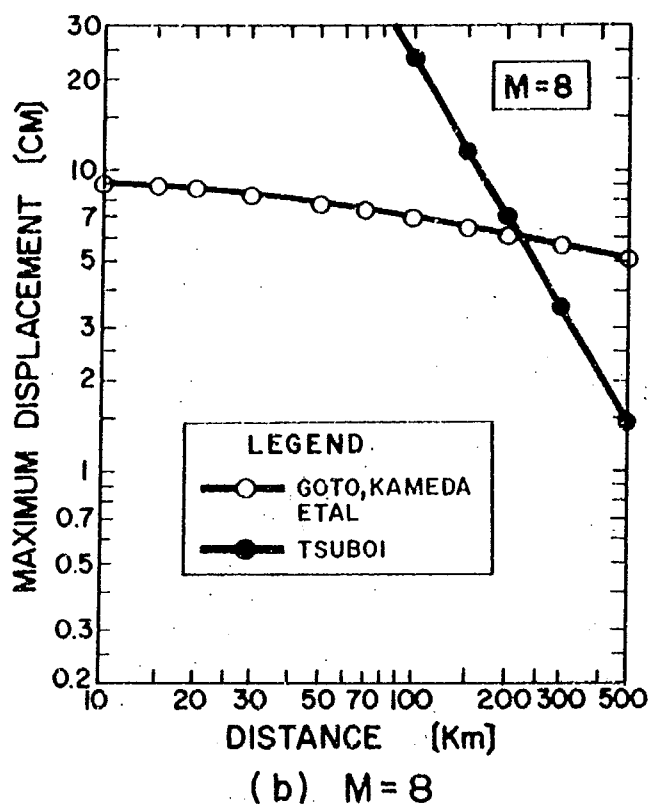
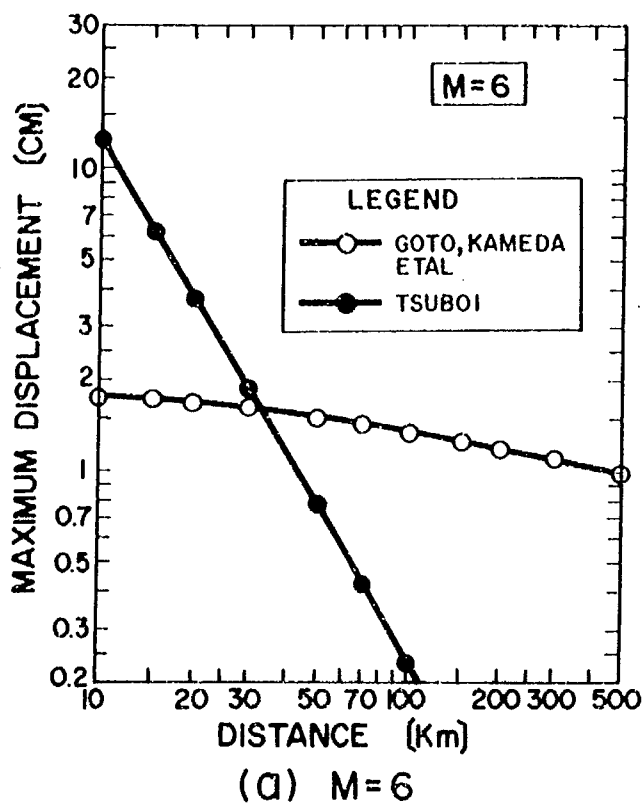


図 6 - 1 0 既往の我国における最大変位の推定式

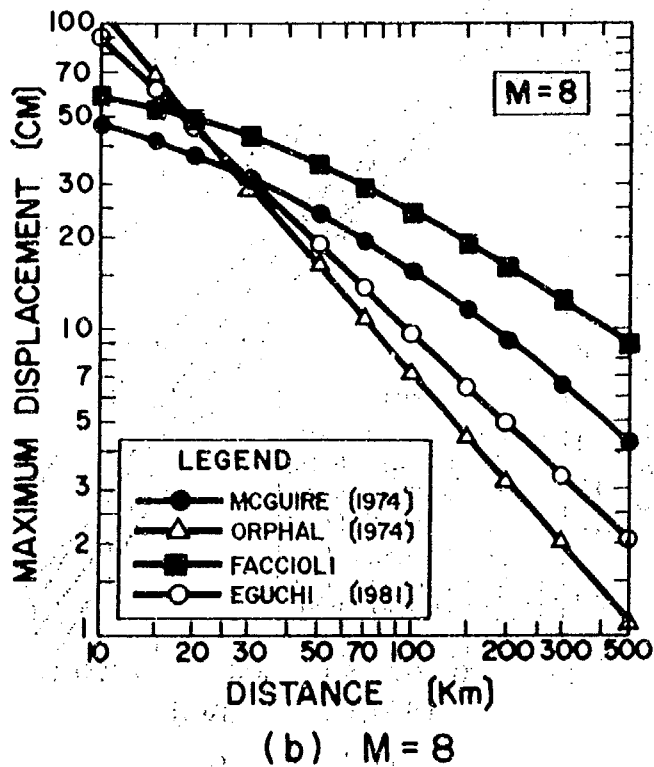
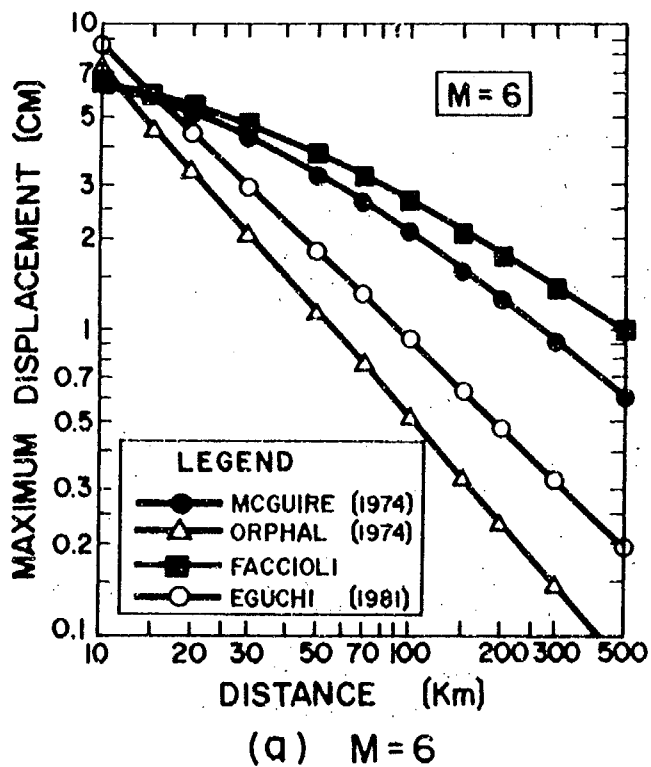


図 6 - 1 1 既往の海外における最大変位の推定式

7. ま と め

我国の地盤上67地点において90回の浅発地震(震源深さ60Km未満)によりSMAC型強震計により観測された2@197組の水平成分加速度強震記録をもとに、最大地震動(最大加速度, 最大速度, 最大変位)および減衰定数5%の加速度応答スペクトルを道路橋示方書耐震設計編に基づく3種類の地盤種別ごとに求めた。本推定式の特徴と適用上の限界は以下に示す通りである。

- 1) 強震記録の数値化精度を考慮して、 $\frac{1}{2}$ Hz および 1.2 Hz をそれぞれ低振動数側および高振動数側の遮断振動数とするSMAC型強震計の計器補正を加えた。したがって、本解析に用いた地震動は $\frac{1}{2}$ Hz ~ 1.2 Hz の振動数帯域に限定された地震動であり、最大地震動を推定する際に、これよりも高振動数側もしくは低振動数側の地震動を考慮する必要がある場合には、本解析結果を適用することはできない。また、加速度応答スペクトルを求める際には、当該周期の周辺の地震動もスペクトル値に寄与するため、適用可能な振動数範囲は上記よりももう少し狭くなり、 $\frac{1}{2}$ Hz ~ 1.0 Hz が適用範囲と考えられる。
- 2) 本解析では水平2成分を時間領域で合成し、水平面内で絶対最大となる最大地震動および加速度応答スペクトルを求めている。耐震設計に際して我国では従来、水平2成分を独立に構造物に作用させ、耐震性を検討する事例が多いが、本解析により求められた最大地震動および加速度応答スペクトルを用いることにより、どの方向から地震動が構造物に作用したとしても、これを超えることのないレベルの地震力を考慮することができる。
- 3) 本解析により求めた推定式を上廻る地震動の生じない確率(非超過確率) p を導入して、予測の信頼性に基づく最大地震動および加速度応答スペクトルの推定ができる。
- 4) 本解析のもととなった強震記録には規模の大きい地震による記録は少なく、さらに規模の大きい地震による断層直近の記録は含まれていない。したがって、本解析結果を外挿して規模の大きい地震による震央直近の地震動を推定しようとする際には、推定式の精度が保証されていないことに注意しなければならない。

8. 今後の研究課題

以上、既往の実測強震記録をもとに、耐震設計の基本となる地震動の最大値（最大加速度、最大速度、最大変位）および地震動が構造物に作用した場合の構造物の最大応答を表わす応答加速度スペクトルの実用的な推定式を求めた。今後、地震動特性に関し、研究が必要な事項をまとめると以下ようになる。

- i) 地震動の特性を定量的に表わすためには、何が構造物の動的応答および終極的な破壊に最も寄与するかを知らなければならない。このうち、構造物の動的応答に関しては、近年、実測や地震応答解析の事例がある程度蓄積されるようになった結果、地震動の周期特性、継続時間等の要因と構造物の基本固有振動数、減衰定数等の動的特性の両者により決まることが明らかになりつつある。また、これらの特性を簡単に表示するために、本解析に示したように構造物を1自由度の振動系で置きかえた応答スペクトルが提案されており、これに対する一応の実用的な推定も可能になりつつある。これに対して構造物の終極的な破壊に対して、地震動特性の何が最も寄与するかは、構造部材の動的耐力に関する研究がまだ十分進んでいないため、現状では、はっきりしていない。今後、こうした点を見極め、適当な地震動特性を定義するとともに、これに対する研究が必要とされる。
- ii) 従来、マグニチュード6クラスの小規模な地震により、公共土木施設が被害を受けた例はきわめて稀であり、したがって本来耐震設計に考慮する必要があるのはマグニチュード8クラスの大規模地震である。また、中程度の規模（ $M=7$ ）の地震であっても、その断層直近では被害を生じる可能性がある。しかしながら、強震観測を開始してからまだ日が浅いため、我国のみならず、諸外国においても、このような地震動を直接観測した事例はほとんどないことから、本来の意味の“強震”地震動の特性はわかっていない。したがって今後、観測網の一層の充実を図り、本報告に示した地震動の推定手法の高精度化を図る必要がある。
- iii) 本報告に示したのは、地盤上のある1地点における地震動の最大値を推定する手法であるが、公共土木施設は一般に平面的に細長いものが多く、構造物の軸線に沿って地形・地盤条件も一様ではない。従来、構造物周辺の1点（地盤上）において、観測された記録を、その付近全体の地震動を代表する値と考えて構造物に作用させているが、上記の点から、このような解析手法は公共土木施設の耐震設計には不適當である。土木研究所では、このような点を考慮して、特定地域に多数の強震計を配置し、当該地区内の地震動を体系的に観測する高密度強震観測に着手しているが、今後こうした観測の一層の拡充を図り、地震動に及ぼす地形・地盤条件の影響を統一的に表わし得る地震動の予測手法の開発が必要とされる。

謝

辞

本解析には、運輸省港湾技術研究所により観測、数値化された強震記録を多数使用させていただきました。御関係の皆様に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Housner, G.W.: Behavior of Structures During Earthquakes, Proc., ASCE, Vol. 85, No.EM4, 1959.
- 2) 高田孝信, 大久保忠良, 栗林栄一: 橋梁の耐震設計に関する研究(I), 土木研究所報告128号, 1965.
- 3) 土田 肇, 倉田栄一, 石坂徳三, 林 聡: 各種地盤における平均応答スペクトル, 港湾技術研究所報告, 12-4, 1973.
- 4) 栗林栄一, 岩崎敏男, 辻 勝成: 地震応答スペクトルに及ぼす諸因子, 土木学会第11回地震工学研究発表会, 1971.
- 5) 片山恒雄, 岩崎敏男, 佐伯光昭: 地震動加速度応答スペクトルの統計解析, 土木学会論文報告集, 第275号, 1978.
- 6) 岩崎敏男, 川島一彦, 高木義和: 地震応答スペクトルの統計解析, 土木技術資料, Vol. 21-8, 1979.
- 7) 建設省土木研究所: 土木構造物における加速度強震記録, 土木研究所彙報 κ 1~ κ 7, Vol 32~38.
- 8) 土田 肇, 倉田栄一ほか: 港湾地域強震観測年報, 1963年以後~.
- 9) 後藤尚男, 亀田弘行, 杉戸真太, 今西直人: デジタルフィルタによるSMAC-B₂型加速度記録の補正について, 土木学会論文報告集, 第277号, 1982.
- 10) 萩原尊礼: 振動測定, 宝文館, 昭和20年12月.
- 11) 後藤健一: SMAC型強震計の短周期特性, 地震学会講演集, 1979.
- 12) 川島一彦, 高木義和, 相沢 興: デジタイザーによるSMAC型強震計記録の数値化精度, 土木学会論文報告集, κ 324, 1982.
- 13) 川島一彦, 高木義和, 相沢 興: 数値化精度を考慮したSMAC-B₂型強震計記録の計器補正法および変位計算法, 土木学会論文報告書, κ 325, 1982.
- 14) 岩崎敏男, 川島一彦, 若林 進, 高木義和: 地震応答スペクトルに及ぼすSMAC型強震計特性に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第309号, 1981.
- 15) 建設省土木研究所: 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報告書, 土木研究所資料, 第1250号, 1977.
- 16) 川島一彦, 相沢興, 高橋和之: 最大地震動および応答スペクトルの推定式に及ぼす強震記録の水平2成分合成の影響, 土木学会論文報告集, 第329号, 1983.
- 17) 川島一彦, 相沢興, 高橋和之: 地震応答スペクトルに及ぼす減衰定数の影響, 土木学会論文報告集(投稿中).
- 18) 建設省土木研究所: 最大地震動および地震応答スペクトルの推定法——(その1) 水平2成分合成の影響——, 土木研究所資料, 第1765号, 昭和57年3月.

- 19) 建設省土木研究所：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 ——（その2） 地震応答加速度スペクトルに及ぼす減衰定数の影響——，土木研究所資料，第1841号，昭和57年7月。
- 20) 川島一彦，相沢興，高橋和之：最大地震動および地震応答スペクトルの統計解析，第6回日本地震工学シンポジウム，昭和57年12月。
- 21) 岡本舜三：耐震工学，オーム社，昭和46年9月。
- 22) 後藤尚男，亀田弘行，今西直人，橋本修身：強震記録の補正効果を考慮した地震動パラメータの統計的性質，第5回日本地震工学シンポジウム，昭和53年。
- 23) 後藤尚男，亀田弘行，杉戸直太：地震動の最大地動予測におけるN値を用いた地盤条件の評価法について，土木学会論文報告集，第317号，昭和57年1月。
- 24) 篠 泉，大角恒雄，片山恒雄：強震データの統計解析における問題点，第37回土木学会年次学術講演会概要集，第1部会，昭和57年10月。
- 25) Idriss, I.M.: Characteristics of Earthquake Ground Motions, State of the Arts Report, Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Proc. of the ASCE Geotechnical Engineering Division Speciality Conference, 1978.
- 26) McGuire, R.K.: Seismic Design Spectra and Mapping Procedures Using Hazard Analysis Based Directly on Oscillator Response, International Journal for Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 5, pp. 211-234, 1977.
- 27) McGuire, R.K.: FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Analysis, Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey, 1976.
- 28) Trifunac, M.D. and Anderson, J.G.: Preliminary Empirical Models for Scaling Absolute Acceleration Spectra, Report No. 77-03, University of Southern California, 1977.
- 29) Trifunac, M.D.: Effects of Site Geology on Amplitude of Strong Motion, 7th WCEE, Istanbul, Turkey, 1980.
- 30) Eguchi, R.T.: An Alternative Approach to Modelling Earthquake Ground Motion Attenuation in the Western United States, 7th WCEE, Istanbul, Turkey, 1980.
- 31) Seed, H.B. and Idriss, I.M.: Rock Motion Accelerations for High Magnitude Earthquakes, Report No. EERC 69-7, University of California, Berkeley, 1969.
- 32) Lysmer, J. Seed, H.B. and Schnabel, P.B.: Influence of Base Rock Characteristics on Ground Response, Report No. EERC 70-7, University of California, Berkeley, 1970.
- 33) Joyner, W.B., Boore, D.M. and Porcella, R.L.: Peak Horizontal Accelerations and Velocity from Strong-Motion Records Including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake, Open-File Report 81-365, U.S. Geological Survey, 1981.

- 34) 片田敏行, 伯野元彦: 1968 年十勝沖地震による青森地震記録の土質動力学考察, 土木学会論文報告集, 第 318 号, 昭和 57 年 2 月.
- 35) 渡部丹, 藤堂正喜: 設計用模擬地震動に関する研究 — その 2, 模擬地震動の作成に必要な地震動特性についての解析 —, 日本建築学会論文報告集, 第 312 号, 昭和 57 年 2 月.
- 36) Ohsaki, Y., Watabe, M. and Tohdo, M.: Analyses on Seismic Ground Motion Parameters Including Vertical Components, Proc. 7th WCEE, Istanbul, Turkey, 1980.
- 37) Hayashi, K., Ohmura, B. and Kumagai, C.: Spectral Characteristics of Hard Rock Motions, Proc. 7th WCEE, Istanbul, Turkey, 1980.
- 38) Boore, D.M.: On the Attenuation of Peak Velocity, Proc. 7th WCEE, Istanbul, Turkey, 1980.
- 39) Crouse, C.B. and Turner, B.E.: Processing and Analysis of Japanese Accelerograms and Comparisons with U.S. Strong Motion Data, Proc. 7th WCEE, Istanbul, Turkey, 1980.
- 40) Donovan, N.C.: A Statistical Evaluation of Strong Motion Data including the February 9, 1971 San Fernando Earthquake, Proc. 5th WCEE, Rome, Vol. I., pp. 1252–1261, 1973.
- 41) Esteva, L. and Villaverde, R.: Seismic Risk, Design Spectra, and Structural Reliability, Proc. 5th WCEE, Rome, Vol. 2, pp. 2586–2597, 1973.
- 42) Orphal, D.L. and Lahoud, J.A.: Prediction of Peak Ground Motion from Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 64, pp. 1563–1574, No. 5, October, 1974.
- 43) Donovan, N.C., and Bornstein, A.E.: Uncertainties in Seismic Risk Procedure, Proc. ASCE, No. GT7, 1978.
- 44) Hudson, D.E.: A Comparison of Strong Motion Earthquake Data Banks for Japan and the Western United States, Proc. 7th WCEE, Istanbul, Turkey, 1980.
- 45) Boore, D.M. Joyner, W.B., Oliver, A.A. and Page, R.A.: Estimation of Ground Motion Parameters, Geological Survey Circular, 795.
- 46) Katayama, T.: An Engineering Prediction Model of Acceleration Response Spectra and Its Application to Seismic Hazard Mapping, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 10, 1982.
- 47) Faccioli, E.: Response Spectra for Soft Soil Sites, Proc. Specialty Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics, ASCE, Vol. 1, pp. 441–456, 1978.

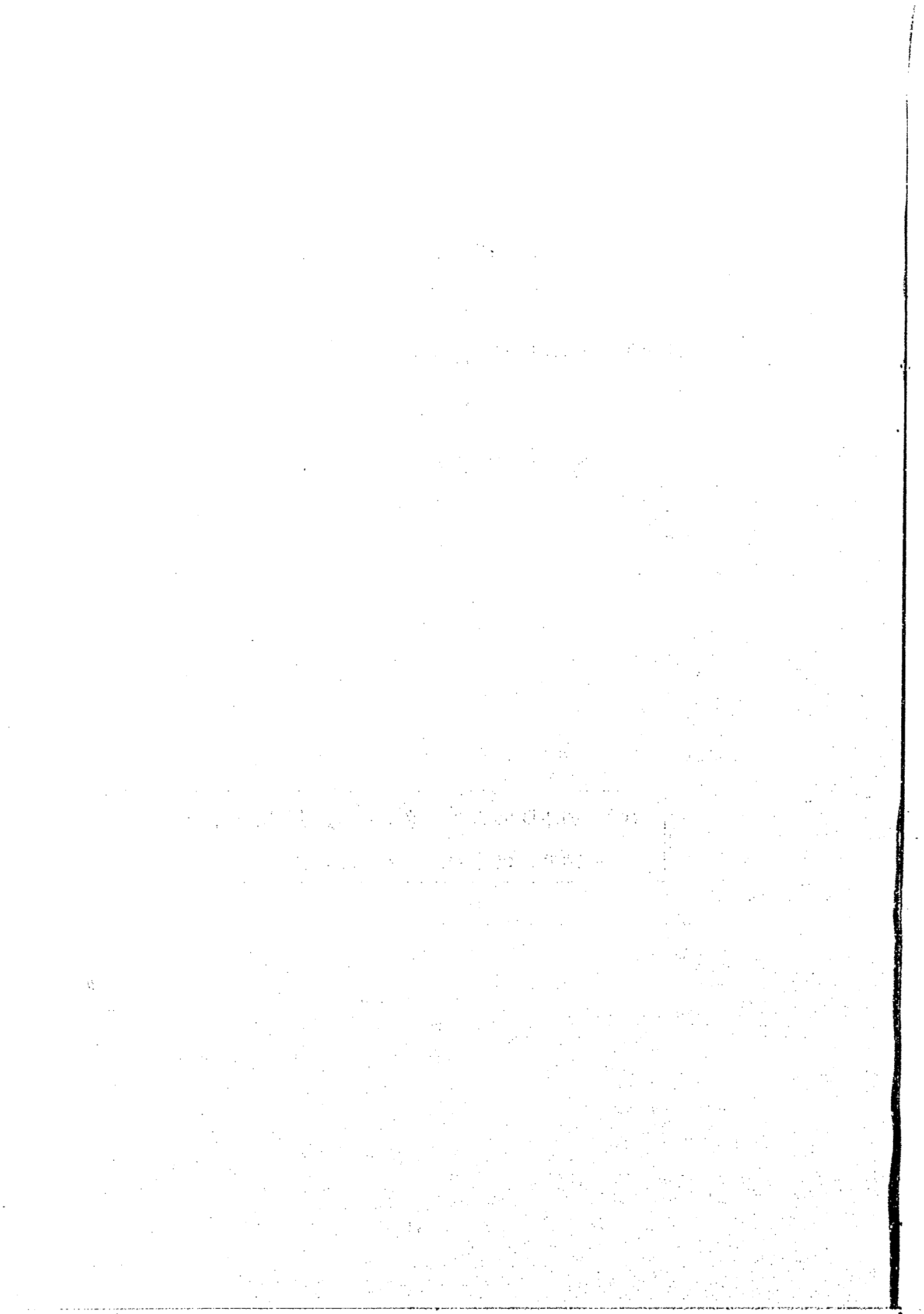
付 属 資 料 - 1

解析に用いた最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$ ，最大速度 $\tilde{v}_{\max}$ ，最大変位 $\tilde{d}_{\max}$

お よ び

加 速 度 応 答 ス ペ ク ト ル $\tilde{S}_A(T)$

(注) 加速度応答スペクトル $S_A(T)$ は $\tilde{a}_{\max}$ で
割り、倍率の形で示している。



No.	記 録 名	$\ddot{a}_{max}$	$\dot{v}_{max}$	$\ddot{u}_{max}$	ACCELERATION RESPONSE SPECTRUM RATIO $\bar{P}=\bar{S}_a(t)/\ddot{a}_{max}$											
					T=0.07	T=0.1	T=0.15	T=0.2	T=0.3	T=0.5	T=0.7	T=1.0	T=1.5	T=2.0	T=3.0	T=4.0
1	901-GR-4	112.617	5.111	0.557	1.4581	2.1445	3.9842	4.6229	1.2723	0.6434	0.2759	0.2370	0.1905	0.1257	0.0509	0.0293
2	901-GR-33	84.633	9.896	1.405	1.3572	2.4690	2.9697	4.0724	2.6410	1.4043	1.2435	1.3635	0.7681	0.4250	0.1505	0.0700
3	901-GR-66	57.413	2.186	0.293	1.3886	1.9026	4.4861	3.1921	1.5090	0.9382	0.7322	0.4263	0.2143	0.1556	0.0725	0.0253
4	904-GR-1	101.429	11.715	2.017	1.0582	1.0643	1.3544	1.1905	1.7646	1.8136	2.5610	2.2269	0.8522	0.4565	0.1609	0.0762
5	904-GR-4	37.899	2.672	0.423	1.0633	1.0360	1.2828	1.2989	1.7953	2.3033	1.8223	1.4592	0.7236	0.2605	0.1075	0.0446
6	905-GR-266	76.420	2.974	0.326	1.7997	2.6637	2.9603	3.0234	2.0435	0.5157	0.3598	0.2814	0.1304	0.1150	0.0548	0.0247
7	302-GR-1	27.823	0.994	0.139	1.7998	4.0375	4.1965	2.0450	1.0734	0.3505	0.2616	0.2839	0.2215	0.1368	0.0830	0.0534
8	302-GR-3	35.767	1.212	0.189	1.7158	2.5433	2.9848	2.1377	1.6163	0.7316	0.4794	0.3575	0.2486	0.1357	0.1076	0.0518
9	302-GR-9	21.791	1.226	0.239	1.6669	2.5021	3.5405	2.9582	2.0845	1.3679	1.1078	0.3594	0.3994	0.2915	0.1736	0.0758
10	302-GR-11	46.166	1.976	0.168	1.4694	3.6431	2.6891	2.0937	1.4761	0.5604	0.4093	0.2869	0.1174	0.0950	0.0416	0.0213
11	302-GR-22	52.487	1.934	0.223	1.6103	2.5544	2.8184	2.4889	1.2468	0.7693	0.5763	0.3230	0.2520	0.1486	0.0386	0.0205
12	302-GR-34	176.119	8.376	0.575	1.4909	2.9616	2.5974	3.2080	3.0278	0.6241	0.3093	0.2327	0.1052	0.0553	0.0396	0.0161
13	302-GR-35	455.655	26.176	4.038	1.4136	2.3051	3.2549	1.8764	1.7732	1.0486	0.4652	0.3414	0.3250	0.1819	0.1176	0.0481
14	801-GR-1	152.722	15.924	2.147	1.1021	1.0735	1.2571	1.5685	1.5793	2.2228	2.4231	1.2725	0.5266	0.2192	0.0839	0.0533
15	801-GR-2	49.135	9.314	2.813	1.7505	1.4824	1.2954	1.3332	1.2843	2.3070	3.1122	3.5053	2.4585	1.6709	1.0076	0.4073
16	304-GR-6	44.752	1.255	0.123	1.6292	4.0208	3.0485	2.7116	1.5374	1.0467	0.7111	0.2549	0.0959	0.0720	0.0482	0.0196
17	304-GR-13	14.379	0.732	0.093	1.1218	1.5706	2.3582	2.1399	1.5642	2.5789	0.8381	0.3182	0.2062	0.1540	0.1058	0.0625
18	304-GR-14	43.504	1.648	0.186	1.9250	4.0897	4.0298	2.5018	1.1865	0.9811	0.5377	0.3209	0.2681	0.1249	0.0834	0.0331
19	304-GR-21	40.599	1.077	0.075	1.8794	4.8628	2.9130	1.8524	1.1763	0.3434	0.2135	0.1438	0.0630	0.0379	0.0189	0.0116
20	304-GR-23	46.798	1.325	0.121	1.4113	2.7296	1.9585	3.5103	1.0535	0.5495	0.6085	0.2524	0.1679	0.0590	0.0302	0.0157
21	304-GR-26	15.222	0.632	0.056	1.7561	2.8601	3.0154	2.1607	1.4242	1.4407	0.6705	0.2483	0.1123	0.0755	0.0450	0.0282
22	304-GR-28	34.865	0.925	0.083	1.7716	3.3774	1.7090	1.5994	1.3813	0.7875	0.4731	0.1861	0.0821	0.0472	0.0210	0.0108
23	304-GR-30	16.841	1.017	0.090	1.5905	3.0000	2.7257	1.7669	1.6740	2.8799	1.5642	0.4059	0.1347	0.0948	0.0545	0.0273
24	304-GR-32	29.086	0.827	0.066	2.1560	4.6289	3.2986	2.5241	1.0330	0.5720	0.4269	0.1085	0.0745	0.0521	0.0304	0.0151
25	304-GR-33	29.414	1.094	0.240	1.9624	3.1503	3.0617	2.4091	1.3676	1.4044	0.9156	0.2747	0.1850	0.1673	0.2221	0.0602
26	101-GR-5	14.052	0.734	0.128	1.6159	3.4789	3.4168	2.3337	2.4358	1.4712	1.4244	0.8302	0.4875	0.3202	0.1723	0.0482
27	101-GR-7	44.544	1.772	0.137	1.9767	4.1236	2.5575	1.4673	1.4386	1.2069	0.4811	0.2575	0.1180	0.0608	0.0565	0.0179
28	101-GR-9	51.352	7.111	1.167	1.3708	3.0653	2.7042	2.0634	1.7937	2.4411	2.0314	2.5249	0.9482	0.5174	0.1534	0.0746
29	101-GR-24	69.235	2.818	0.315	1.4574	3.7528	2.9888	2.3440	1.9551	0.8066	0.5162	0.3117	0.1600	0.1419	0.0543	0.0194
30	906-GR-12	220.822	13.109	1.020	1.4236	2.2327	1.6778	2.0573	2.3158	1.1166	0.5611	0.2886	0.0978	0.0527	0.0269	0.0162
31	906-GR-13	67.832	2.527	0.252	1.3055	1.7395	2.0601	2.3483	1.6697	0.7103	0.3402	0.1371	0.0729	0.0452	0.0260	0.0171
32	906-GR-17	116.532	13.805	2.356	1.1703	1.6810	2.5508	2.9808	3.7698	2.2185	2.2787	1.4877	0.5919	0.3990	0.1508	0.0770
33	906-GR-18	116.634	8.667	0.678	1.2328	1.9121	1.7201	2.4531	3.1006	1.9642	1.0194	0.3005	0.2012	0.1416	0.0588	0.0268
34	906-GR-19	92.814	7.495	1.083	1.2552	1.4509	2.2499	3.0029	2.7049	2.6789	1.8912	1.0372	0.4354	0.2998	0.1619	0.0584
35	906-GR-22	188.170	13.882	1.760	1.1083	1.4780	1.3729	1.6127	2.2231	2.1459	1.8014	0.8103	0.2525	0.1350	0.0613	0.0324
36	205-GR-2	35.471	1.364	0.181	1.9738	4.2631	2.1895	1.9340	2.0865	0.9681	0.6810	0.4137	0.2713	0.1472	0.0927	0.0474
37	205-GR-6	36.113	3.422	0.496	1.2207	1.5628	1.8644	2.2158	2.5751	3.0466	3.2997	1.5445	0.5694	0.4015	0.1686	0.0796
38	205-GR-8	46.334	3.114	0.604	1.2262	1.5312	2.4098	2.0437	2.4308	1.3822	1.8604	0.9040	0.3979	0.4271	0.1693	0.0604
39	907-GR-2	59.272	4.222	0.426	1.6681	2.6302	4.5625	2.6215	2.1148	1.5501	0.9285	0.7353	0.2586	0.1415	0.0596	0.0334
40	907-GR-31	14.166	0.727	0.081	1.8550	2.0990	2.3874	2.2928	2.2782	1.5875	1.1631	0.7038	0.2535	0.1821	0.0615	0.0389
41	907-GR-32	20.015	1.951	0.224	1.5686	2.0126	2.0351	2.2615	2.7182	2.6462	1.6721	1.8681	0.5680	0.2886	0.1835	0.0628
42	907-GR-39	78.216	4.498	0.337	1.2175	1.6555	2.4647	1.8850	2.7208	1.9284	0.7422	0.4056	0.1150	0.0617	0.0292	0.0182
43	907-GR-60	58.965	3.072	0.416	1.2172	2.1153	2.6408	2.8442	2.5913	1.8746	0.9226	0.9042	0.3398	0.1359	0.1570	0.0366
44	907-GR-83	33.728	2.978	0.342	1.1934	2.0997	2.3067	2.1867	2.2825	1.3644	1.4302	3.1692	0.5530	0.2419	0.0796	0.0486
45	907-GR-94	107.319	5.326	0.631	1.2483	2.2125	2.7365	2.0314	2.2772	1.0528	0.6846	0.9427	0.2365	0.0982	0.0453	0.0268
46	907-GR-106	45.510	3.142	0.513	1.2405	1.6668	2.1118	1.9331	3.9532	2.1341	1.4918	2.1733	0.4388	0.2822	0.1054	0.0597
47	907-GR-108	106.686	11.159	2.521	1.1734	1.9117	2.1952	2.3632	3.1689	3.9712	1.7222	2.5252	1.5549	0.7082	0.1956	0.0827
48	112-GR-8	127.359	6.378	0.551	1.4340	2.4653	2.6794	2.2599	1.6311	0.8901	0.8052	0.4991	0.1490	0.0874	0.0596	0.0343
49	112-GR-25	64.102	4.532	0.537	1.2226	1.4377	2.0107	2.5076	3.0321	1.6451	1.6387	0.6570	0.4492	0.1910	0.0473	0.0254
50	112-GR-26	81.280	3.647	0.435	1.3846	1.8747	1.5450	2.4268	1.6133	1.3361	0.9761	0.4614	0.2746	0.1193	0.0312	0.0209

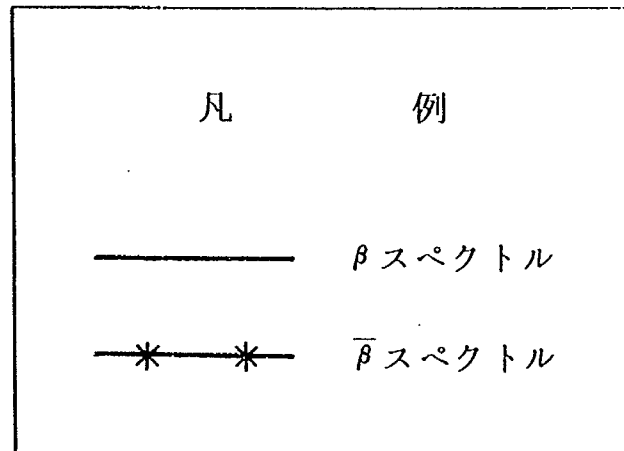
No.	記錄名	$\ddot{a}_{max}$	$\dot{v}_{max}$	$\ddot{d}_{max}$	ACCELERATION RESPONSE SPECTRUM RATIO $\bar{r}=\bar{S}_A(t)/\ddot{a}_{max}$											
					T=0.07	T=0.1	T=0.15	T=0.2	T=0.3	T=0.5	T=0.7	T=1.0	T=1.5	T=2.0	T=3.0	T=4.0
51	306-GR-1	54.180	10.132	2.172	1.0490	1.0813	1.1810	1.3178	1.2857	1.6249	2.1982	4.0109	2.9834	1.3120	0.5151	0.1934
52	306-GR-7	68.144	7.430	1.316	1.1484	1.3217	1.6939	1.8532	3.7178	3.8017	2.8655	1.4243	1.5232	0.3961	0.2220	0.0831
53	308-GR-2	236.151	22.731	2.510	1.4780	1.9738	2.5368	2.9502	2.4515	2.3098	3.3520	1.1226	0.4294	0.2594	0.1103	0.0380
54	308-GR-3	52.797	3.294	0.545	1.7675	3.0289	2.9931	3.4466	1.9188	2.7119	1.2484	0.4375	0.4027	0.2602	0.1696	0.0826
55	308-GR-4	663.590	33.604	3.727	1.4808	1.9680	2.1963	3.7650	2.5806	1.3658	0.9642	0.5497	0.1966	0.1105	0.0673	0.0242
56	1305-GR-1	126.643	5.479	1.145	1.6297	2.9583	2.8790	2.3262	1.7582	0.9378	0.7390	0.4997	0.4402	0.2350	0.1650	0.0435
57	1305-GR-3	94.948	3.942	0.663	1.7319	3.4990	3.5879	2.0553	2.0815	0.7406	0.4219	0.3926	0.4301	0.2333	0.1182	0.0350
58	104-GR-9	95.274	10.202	2.063	1.2144	1.4625	2.3807	3.7865	1.4880	1.3079	1.9564	1.9791	0.7737	0.4504	0.1704	0.0870
59	104-GR-23	60.765	3.109	0.347	1.1125	1.5628	1.3798	2.8131	1.5712	1.4072	0.9714	0.5517	0.1703	0.0946	0.0463	0.0232
60	104-GR-27	125.625	7.319	1.043	1.3271	2.5520	2.3909	3.5427	4.4713	0.8543	0.8235	0.6805	0.3558	0.1725	0.0948	0.0420
61	104-GR-36	41.822	6.167	1.252	1.0969	1.2514	1.4852	2.1679	2.3133	1.6786	2.1189	3.2906	1.5993	1.4222	0.3748	0.1234
62	106-GR-9	68.062	6.009	1.011	1.4064	2.0868	2.5186	3.1645	2.1936	2.6295	2.3435	1.3879	0.4033	0.3922	0.1415	0.0799
63	106-GR-21	29.302	2.818	0.552	1.1522	1.4546	2.1842	2.0045	1.9239	3.0201	3.2223	1.7709	0.7903	0.7194	0.2108	0.1033
64	106-GR-27	117.438	5.275	0.597	1.6157	2.6289	2.2756	2.4644	2.0524	1.4455	1.0006	0.3971	0.2137	0.1385	0.0471	0.0303
65	310-GR-15	73.296	7.392	1.321	1.2599	1.9562	2.8041	2.2956	2.8831	2.2542	1.6049	1.4185	1.2146	0.3912	0.1909	0.0707
66	310-GR-18	23.408	3.072	0.593	1.2364	1.8678	1.8975	2.0295	3.1565	1.5182	2.7893	2.7981	1.7899	0.7262	0.3342	0.1062
67	310-GR-26	64.091	3.098	0.392	1.4347	2.4872	2.8839	2.7959	2.7211	0.9162	1.0913	0.6991	0.2076	0.1970	0.0766	0.0314
68	319-GR-3	42.179	2.129	0.255	1.4291	3.5062	2.8463	2.8641	2.2425	1.6903	1.0338	0.4908	0.1827	0.1121	0.0490	0.0291
69	319-GR-4	55.783	1.693	0.184	1.9353	3.7726	1.7090	1.2326	1.0650	1.0979	0.6779	0.2156	0.1113	0.0988	0.0433	0.0162
70	319-GR-5	18.677	0.792	0.087	1.8086	3.4805	2.1957	1.6738	1.5738	2.1229	1.0323	0.3526	0.2033	0.1052	0.0465	0.0276
71	501-GR-29	26.178	2.551	0.481	1.4826	2.7286	3.3609	2.9380	2.0740	1.9153	2.2015	1.8049	1.2128	0.7071	0.4053	0.1010
72	501-GR-74	57.993	4.854	1.051	1.4725	1.9946	2.5418	3.1196	1.7444	1.7633	1.1704	1.2063	0.7567	0.7512	0.1833	0.0677
73	501-GR-81	58.063	7.430	1.354	1.0995	1.1717	1.3622	1.9448	1.3686	2.1109	2.1857	1.5682	1.3263	0.7406	0.1761	0.0814
74	902-GR-25	85.377	9.520	1.870	1.1247	1.6283	2.1348	2.4527	1.6115	2.2768	2.6059	1.5300	0.7849	0.4250	0.1330	0.0848
75	902-GR-38	65.774	4.482	0.370	1.5184	3.1406	2.3007	3.2199	1.8693	1.5374	1.2371	0.7185	0.1961	0.1701	0.0696	0.0273
76	1004-GR-1	72.190	2.598	0.487	1.1328	1.3700	2.2905	3.7220	1.3033	0.6756	0.5800	0.2292	0.2810	0.2092	0.0882	0.0457
77	1005-GR-1	61.583	4.275	0.759	1.5674	2.7962	2.7443	2.8233	2.1229	1.7660	1.1713	0.9463	0.3492	0.3592	0.1944	0.0946
78	1005-GR-2	115.735	5.364	0.540	1.7670	2.3340	3.8747	2.1061	1.8145	0.9895	0.5044	0.2912	0.1178	0.0707	0.0334	0.0178
79	1109-GR-3	77.408	7.330	1.256	1.2245	2.2326	1.7509	2.0597	3.7901	1.6734	1.0269	0.6666	0.7461	0.5125	0.1950	0.1022
80	503-GR-17	59.429	4.121	0.612	1.4038	2.5409	4.6309	3.0205	1.8964	1.6816	0.9440	0.8008	0.4279	0.4180	0.1485	0.0453
81	503-GR-19	61.182	3.832	0.726	1.6267	2.1675	3.2161	4.9291	1.8941	1.0396	0.5420	0.5778	0.4675	0.3738	0.1217	0.0513
82	503-GR-21	119.344	4.682	0.448	1.4449	2.1390	2.5304	3.3598	1.2800	1.0661	0.5555	0.2991	0.2375	0.1411	0.0762	0.0173
83	313-GR-2	90.317	7.234	0.741	1.2913	1.8844	2.6122	1.7419	2.8464	2.5404	2.1350	1.0444	0.3328	0.2589	0.1047	0.0417
84	204-GR-3	72.886	2.915	0.462	1.7113	3.3711	3.6278	2.6125	1.9239	1.3924	0.7715	0.5365	0.2612	0.1323	0.1215	0.0324
85	204-GR-28	278.097	6.153	1.018	3.0267	4.6440	2.9779	1.3050	0.7866	0.4642	0.2429	0.1320	0.1121	0.0961	0.0528	0.0378
86	311-GR-5	16.427	1.029	0.143	1.2327	2.1849	2.7956	2.4257	2.5729	3.0930	1.5910	1.0394	0.4306	0.3316	0.1070	0.0391
87	311-GR-6	217.490	8.462	1.041	1.4668	3.1644	2.6907	2.6266	1.7162	1.4146	0.8514	0.3659	0.1540	0.1003	0.0528	0.0199
88	1201-GR-6	10.987	1.680	0.430	1.2392	1.4435	2.3224	2.3056	2.2799	1.9027	1.5348	2.4504	1.4638	0.9200	0.8269	0.3493
89	301-GR-7	225.811	13.407	1.737	1.3621	2.4984	3.2352	3.2197	1.3934	2.0908	0.8687	0.6426	0.3444	0.2500	0.0872	0.0327
90	301-GR-13	39.917	3.837	0.747	1.2141	1.8064	2.7567	2.7192	2.1081	2.5367	2.4274	1.7537	0.7664	0.5701	0.2658	0.0868
91	102-GR-16	184.897	7.613	0.886	1.5687	2.8438	3.2310	2.4578	1.2354	1.4094	0.6958	0.3002	0.1042	0.0861	0.0456	0.0223
92	202-GR-15	118.813	5.161	0.623	1.1357	2.5305	2.4884	1.8847	1.9172	1.1161	0.5155	0.3671	0.1583	0.1044	0.0521	0.0251
93	1006-GR-3	110.811	4.377	0.357	1.9874	2.5834	2.6321	2.2491	3.0308	0.7557	0.3188	0.1503	0.1027	0.1155	0.0456	0.0184
94	1006-GR-5	325.788	10.607	0.829	1.8042	3.1781	2.1816	1.5115	0.9221	0.4300	0.2393	0.1182	0.0593	0.0416	0.0222	0.0141
95	1401-GR-1	227.918	14.386	1.302	1.5165	2.7439	1.5607	1.4673	2.1007	1.3616	0.7312	0.3771	0.1419	0.0742	0.0478	0.0220
96	1401-GR-4	100.109	14.738	2.814	1.0636	1.6729	1.5454	2.0416	2.5631	3.1330	3.8682	2.5389	0.6043	0.4593	0.2713	0.1065
97	1401-GR-5	54.182	3.163	0.439	1.4659	3.0896	2.9040	1.9612	2.6135	2.2189	1.3455	0.8797	0.2699	0.1913	0.1713	0.0827
98	1401-GR-6	26.338	1.667	0.252	1.5789	2.5472	2.3582	2.5433	3.2140	1.8910	1.0521	0.4580	0.3618	0.2676	0.1578	0.0727
99	1401-GR-8	203.383	18.362	2.828	1.0475	1.0376	1.3139	1.4382	2.4494	1.7346	2.3188	1.6665	0.5853	0.3021	0.1049	0.0451
100	105-GR-8	98.297	3.967	0.354	1.9989	3.1275	3.5525	2.1073	2.1400	0.7768	0.3131	0.2517	0.1735	0.1189	0.0579	0.0242

No.	記 録 名	$\tilde{a}_{max}$	$\tilde{v}_{max}$	$\tilde{d}_{max}$	ACCELERATION RESPONSE SPECTRUM RATIO $\tilde{P}=\tilde{S}_A(t)/\tilde{a}_{max}$											
					T=0.07	T=0.1	T=0.15	T=0.2	T=0.3	T=0.5	T=0.7	T=1.0	T=1.5	T=2.0	T=3.0	T=4.0
101	206-GR-2	144.295	11.755	1.321	1.0504	1.1663	1.4697	1.7192	1.6550	4.9057	1.9953	0.9391	0.3606	0.1659	0.1319	0.0636
102	206-GR-3	42.899	2.705	0.407	1.2639	2.6099	2.4831	2.7386	2.5964	3.4892	1.2681	0.5541	0.3241	0.2111	0.1460	0.0843
103	206-GR-4	48.331	6.144	1.318	1.0135	1.1043	1.0961	1.1179	2.0773	1.9016	2.0087	2.5211	2.5423	0.8904	0.4222	0.1295
104	206-GR-6	134.049	14.563	1.274	1.0358	1.2822	1.7801	1.7570	2.7393	3.9415	2.3730	0.9339	0.4279	0.2133	0.1092	0.0674
105	206-GR-8	133.968	8.835	0.599	1.0560	1.2105	1.4086	1.8206	2.2574	2.4340	0.7743	0.3807	0.1555	0.1189	0.0511	0.0214
106	901-GRB-5	123.904	5.354	0.647	1.1889	1.4512	2.4428	3.9242	2.0472	0.5461	0.5626	0.4485	0.2035	0.1060	0.0401	0.0259
107	1002-GR-5	37.623	2.725	0.551	1.2793	2.5648	2.1602	2.4179	3.0347	1.4335	1.3280	0.9421	0.8850	0.6975	0.2538	0.0904
108	404GR-1-1	41.980	3.514	0.793	1.4991	2.5517	2.3194	2.3933	2.7571	2.3100	1.3695	1.0702	0.7982	0.7404	0.2219	0.0749
109	404GR-1-3	103.003	5.228	0.514	2.1616	3.0542	2.4897	3.2150	2.1063	0.9967	0.7645	0.5274	0.2417	0.1235	0.0510	0.0326
110	404GR-1-4	75.855	1.950	0.179	2.2407	4.0081	1.7624	1.7712	1.0984	1.0128	0.5863	0.2622	0.0711	0.0512	0.0234	0.0138
111	102GR-1-2	55.986	6.794	1.532	1.0844	1.3757	2.0347	2.6322	2.9292	1.9926	1.8459	2.4176	2.2003	0.8899	0.3460	0.1202
112	102GR-1-4	41.864	1.893	0.163	1.0268	1.9315	1.6900	4.0957	3.2179	1.2479	0.6513	0.3405	0.1363	0.0689	0.0369	0.0204
113	102GR-1-6	51.819	5.904	0.932	1.0841	1.4769	2.2366	3.0284	3.2181	2.1118	2.3066	2.6207	0.9294	0.4643	0.1895	0.0643
114	102GR-1-7	63.668	3.698	0.657	1.1547	1.7953	2.7001	3.5569	2.4990	0.8229	1.2036	0.9989	0.7399	0.2165	0.1001	0.0373
115	102GR-1-8	101.023	8.722	1.520	1.3743	1.5046	2.0610	3.0550	3.1563	1.0799	1.0774	1.3779	0.8801	0.4162	0.1327	0.0506
116	102GR-1-9	155.296	5.832	0.782	1.4288	1.8049	2.0095	3.0717	3.1028	0.8968	0.4954	0.7134	0.2250	0.1241	0.0643	0.0283
117	102GR-1-10	205.620	28.622	6.382	1.2914	1.5026	1.8486	2.3553	3.0088	1.7804	1.2550	2.1164	2.1210	0.6684	0.2868	0.1093
118	102GR-1-11	78.545	5.795	1.153	1.1550	1.5763	2.0175	1.7082	3.6173	1.4675	1.4068	1.6302	1.1068	0.4689	0.1668	0.0640
119	102GR-1-12	23.611	2.458	0.408	1.4580	1.6937	2.5421	2.0006	1.6630	1.5233	2.0783	2.8408	0.9216	0.3953	0.1235	0.0764
120	102GR-1-13	38.242	1.815	0.186	1.3004	2.5028	3.5271	2.3975	3.1105	1.3135	0.4199	0.5090	0.1487	0.0669	0.0397	0.0181
121	208GR-1-1	125.941	6.875	1.155	1.6141	2.2120	2.8542	3.7601	1.4582	1.1134	0.8755	0.7235	0.3991	0.1683	0.0791	0.0354
122	208GR-1-2	59.338	3.263	0.347	1.2759	1.8255	1.6361	2.4191	3.6838	1.0830	0.6204	0.6963	0.2911	0.1362	0.0543	0.0245
123	208GR-1-3	32.385	1.627	0.301	1.4191	2.4111	2.9239	2.6788	1.6488	1.4664	0.8526	1.0133	0.3453	0.1752	0.0999	0.0362
124	208GR-1-5	37.689	1.777	0.245	1.3327	2.8475	2.6634	3.4579	2.8453	0.9473	0.9207	0.6850	0.2813	0.1474	0.0669	0.0293
125	206GR-1-1	56.219	4.890	0.723	1.1930	1.6881	2.0535	2.4194	2.0188	1.9517	1.9613	3.0255	0.4860	0.2123	0.0744	0.0404
126	206GR-1-3	66.608	5.180	0.725	1.4857	2.6933	2.5585	2.8955	1.8149	1.1008	1.5017	1.8802	0.3914	0.1781	0.0890	0.0380
127	303GR-1-2	136.882	10.612	1.744	1.0571	1.5714	2.8318	3.8494	1.5989	2.7947	1.3526	0.6121	0.5213	0.3074	0.1161	0.0500
128	303GR-1-5	40.530	1.660	0.175	1.4402	2.9375	3.3629	2.3289	1.6362	2.6160	0.8857	0.2513	0.1140	0.0672	0.0478	0.0173
129	303GR-1-6	31.439	2.727	0.443	1.7423	2.5352	2.4312	2.3026	2.1259	4.1652	1.9790	0.8933	0.5747	0.5290	0.2048	0.0694
130	303GR-1-8	74.537	3.056	0.260	1.4505	3.2489	2.3663	2.0383	1.8086	1.1226	0.8351	0.2986	0.1447	0.0791	0.0384	0.0156
131	303GR-1-9	46.670	3.143	0.300	1.1478	1.8583	2.3259	2.8566	2.6182	1.7341	1.4969	0.4961	0.2415	0.1674	0.0789	0.0316
132	301GR-1-2	71.701	3.255	0.307	1.4800	2.1618	2.2262	2.0869	2.0103	1.2167	0.8001	0.5337	0.2262	0.1286	0.0592	0.0201
133	301GR-1-3	52.687	1.407	0.067	1.7389	3.0884	3.1170	1.5742	0.5025	0.2944	0.1641	0.0536	0.0439	0.0272	0.0188	0.0072
134	301GR-1-5	79.361	3.170	0.336	1.7404	2.7306	3.2276	1.9957	1.9526	0.8788	0.4641	0.2473	0.1206	0.0879	0.0474	0.0217
135	301GR-1-6	175.404	7.140	1.029	1.1763	1.4487	1.7800	1.4675	1.8127	0.8180	0.6061	0.3068	0.1343	0.0687	0.0409	0.0222
136	602GR-1-1	106.953	16.615	3.010	1.1011	1.0350	1.0933	1.4303	2.4107	3.1042	3.1090	2.3347	2.2447	0.7261	0.2004	0.0911
137	602GR-1-2	61.269	5.742	0.610	1.3077	1.7206	2.5086	2.1993	2.5591	2.7067	2.3149	1.9332	0.9715	0.2418	0.0934	0.0436
138	602GR-1-3	36.855	1.988	0.334	1.5547	2.4949	2.5711	2.3030	2.6772	1.5673	1.2722	0.8312	0.5913	0.1794	0.0934	0.0456
139	702GR-1-1	318.862	25.961	5.505	2.3231	2.8979	2.4087	2.1437	1.8368	1.3857	1.3976	2.1564	0.9571	0.2964	0.1521	0.0659
140	702GR-1-2	65.815	5.328	1.117	1.2086	2.3795	3.4740	2.6974	2.3684	1.7693	1.8146	2.5406	0.6700	0.3160	0.1884	0.0871
141	702GR-1-3	133.450	6.423	0.694	1.5742	3.7773	3.6791	3.2519	1.8235	1.5594	1.0700	0.7968	0.2158	0.0907	0.0274	0.0188
142	702GR-1-4	174.089	13.403	1.763	1.4506	2.1367	4.0685	3.8507	2.2439	1.3887	1.3353	1.4985	0.3831	0.2182	0.1412	0.0388
143	702GR-1-5	78.930	3.878	0.385	1.3875	2.1143	3.5399	4.2456	2.3424	0.7926	0.5912	0.6053	0.1629	0.0685	0.0486	0.0204
144	702GR-1-6	35.691	1.276	0.205	1.2385	2.2906	2.8021	4.2047	1.6415	1.0927	0.8557	0.4437	0.1157	0.0872	0.0847	0.0301
145	702GR-1-7	57.571	2.976	0.232	1.3120	1.9175	2.5664	3.5361	2.4538	1.2149	1.2090	0.4994	0.1133	0.0583	0.0406	0.0182
146	702GR-1-8	51.331	2.737	0.186	1.8458	2.7957	3.0375	4.6995	2.0648	1.1694	0.8999	0.3354	0.0984	0.0558	0.0379	0.0200
147	105GR-1-2	132.502	6.739	0.995	1.6254	2.5210	2.3697	2.7500	2.7378	1.9280	0.7913	0.5850	0.4225	0.1476	0.1276	0.0370
148	105GR-1-4	56.170	2.657	0.388	1.0903	1.8206	2.2757	2.4415	3.0379	1.6911	0.9722	0.5804	0.3001	0.2408	0.0688	0.0291
149	105GR-1-5	47.643	1.945	0.272	1.7553	2.9651	2.4036	4.8500	2.1880	1.8158	0.4982	0.3032	0.2490	0.1462	0.1005	0.0260
150	105GR-1-7	27.941	3.307	0.580	1.1563	2.0842	2.2262	3.1395	3.2131	2.2175	1.4518	1.7028	0.7316	1.1411	0.2970	0.1083

No.	記 録 名	$\tilde{a}_{max}$	$\tilde{v}_{max}$	$\tilde{d}_{max}$	ACCELERATION RESPONSE SPECTRUM RATIO $\tilde{p}=\tilde{S}_A(t)/\tilde{a}_{max}$											
					T=0.07	T=0.1	T=0.15	T=0.2	T=0.3	T=0.5	T=0.7	T=1.0	T=1.5	T=2.0	T=3.0	T=4.0
151	105GR-1-9	38.158	1.394	0.092	1.6319	2.6693	2.5640	4.5240	2.1548	1.0430	0.4152	0.1919	0.1469	0.0691	0.0437	0.0300
152	201GR-1-2	109.521	8.700	2.159	1.2692	1.7933	2.5330	2.8939	3.2611	2.1788	2.5287	1.5795	0.9330	0.5935	0.2321	0.0713
153	201GR-1-3	30.448	4.294	1.346	1.1808	1.4594	2.2615	2.4582	1.8552	2.0076	2.2249	2.7800	2.2818	1.8108	0.7855	0.2297
154	202GR-1-2	53.398	3.758	0.677	1.3085	1.8086	2.8456	2.9907	3.2709	2.2616	1.2923	1.3901	0.5547	0.4157	0.1585	0.0502
155	202GR-1-4	49.383	2.176	0.249	1.1924	1.2558	2.2004	2.7193	1.2159	1.2719	0.9642	0.4010	0.1663	0.1248	0.0427	0.0218
156	202GR-1-5	25.021	2.099	0.319	1.7203	2.6239	1.6060	2.7546	1.9647	2.3406	1.4198	1.2265	0.8514	0.5471	0.2259	0.0812
157	202GR-1-8	117.718	4.085	0.396	2.6808	3.1711	1.7771	2.1017	1.4697	0.8142	0.7332	0.5672	0.2373	0.1227	0.0371	0.0167
158	305GR-2-1	56.375	6.177	0.960	1.1041	1.5749	1.7554	3.2720	3.0630	2.0959	1.5449	0.9979	0.6946	0.3611	0.1651	0.0765
159	305GR-2-5	62.415	2.808	0.242	1.1171	1.1958	1.5787	2.9907	4.0830	0.8283	0.4642	0.2954	0.1143	0.0625	0.0328	0.0218
160	305GR-2-7	54.752	3.763	0.595	1.2266	1.4281	2.1863	3.1559	2.9749	1.8454	0.8901	0.6598	0.4776	0.4888	0.1130	0.0469
161	305GR-2-9	36.725	1.865	0.168	1.2289	1.3337	2.1338	3.5170	2.9156	1.3074	0.9788	0.6763	0.2023	0.0897	0.0664	0.0250
162	504GR-1-2	31.968	2.225	0.449	1.1043	1.4806	1.3813	1.4043	2.4540	1.4613	1.4031	1.1470	0.4364	0.4595	0.2420	0.0935
163	305GR-1-3	35.801	2.469	0.215	1.2191	1.6545	2.1834	2.7362	3.5586	1.7865	0.8894	0.5069	0.2071	0.1340	0.0559	0.0229
164	305GR-1-5	25.850	3.878	0.892	1.1197	1.5734	1.4308	1.8777	2.9844	3.2650	3.4536	1.8779	1.8564	0.8981	0.6005	0.1904
165	403GR-1-1	85.972	5.961	0.773	1.5730	3.1573	3.0171	2.0402	1.7964	2.4824	1.9021	0.5892	0.2809	0.1875	0.0996	0.0311
166	403GR-1-2	111.622	9.642	1.253	1.2651	2.1807	2.9580	3.1225	1.7051	2.2538	2.1213	1.1027	0.3142	0.1585	0.0633	0.0397
167	403GR-1-4	56.513	2.767	0.213	1.4975	2.8229	3.0899	2.0312	1.5898	1.5871	0.7997	0.2402	0.0917	0.0591	0.0292	0.0183
168	704GR-1-1	32.913	4.463	1.604	1.1068	1.1558	1.8072	2.4287	2.0580	3.4182	2.0122	1.5575	1.7034	1.7961	0.6337	0.2132
169	704GR-1-2	21.987	6.280	1.590	1.0267	1.2708	1.2090	1.1353	1.1844	1.8939	2.3673	3.3630	2.2734	2.1029	1.3628	0.4248
170	206GR-2-1	138.455	2.852	0.262	2.3613	3.4585	1.4095	0.8571	0.9196	0.5103	0.2522	0.0867	0.0502	0.0573	0.0384	0.0131
171	206GR-2-2	116.426	5.226	0.739	1.9088	4.2814	2.9871	2.3219	0.8059	0.9869	0.3668	0.4225	0.2440	0.1206	0.0534	0.0246
172	206GR-2-3	226.630	15.630	1.985	1.5031	2.6661	2.4416	3.1706	2.5714	1.9772	1.1457	0.8042	0.3909	0.2676	0.1054	0.0377
173	203GR-1-1	26.345	2.400	0.626	1.2527	1.8057	2.4197	2.7953	2.9414	2.0783	2.5176	1.1134	0.8938	0.7001	0.5348	0.1699
174	203GR-1-2	58.750	2.909	0.465	1.1713	1.3394	1.7487	1.8375	1.7996	2.0209	0.8649	0.5781	0.2936	0.1624	0.0689	0.0282
175	405GR-2-1	117.178	8.998	0.901	1.1178	1.6886	3.0750	2.6060	2.6898	1.8940	2.0134	0.9322	0.3189	0.1346	0.0715	0.0352
176	405GR-2-2	77.315	4.108	0.302	1.3649	2.5191	2.5069	1.8487	2.1305	1.0913	0.5107	0.2636	0.1067	0.0679	0.0332	0.0143
177	302GR-1-2	28.412	2.582	0.426	1.6668	2.4066	1.9896	1.3621	1.4958	2.2885	1.9583	1.2558	0.9005	0.4905	0.1654	0.0563
178	302GR-1-3	45.982	4.754	0.691	1.6065	2.8518	2.6036	2.0466	1.5141	1.8665	1.7196	1.2294	0.7136	0.3822	0.1121	0.0517
179	401GR-1-2	46.296	4.432	1.270	1.3248	2.1597	2.8476	2.2985	2.0007	2.0858	1.7286	1.4906	1.3953	0.6252	0.5678	0.1868
180	306GR-1-2	22.989	1.485	0.315	1.5685	2.4443	2.9726	2.5651	2.8823	1.6857	1.6885	0.7646	0.5076	0.7442	0.2252	0.0753
181	207GR-2-1	46.488	2.623	0.219	1.4469	3.2264	2.7104	2.4622	1.2877	1.6073	0.9518	0.2774	0.1586	0.1041	0.0554	0.0253
182	207GR-2-3	69.128	5.811	0.540	1.2907	1.8081	1.8522	2.1977	2.4272	3.6122	1.5030	0.6297	0.3223	0.1393	0.0556	0.0301
183	207GR-2-4	32.924	1.666	0.141	2.3842	2.3836	1.8397	1.3999	1.5650	2.5728	1.5299	0.3852	0.1171	0.0969	0.0669	0.0431
184	207GR-2-5	70.947	2.349	0.174	2.1218	4.5865	2.6772	2.2282	2.2616	1.0042	0.3870	0.3277	0.0739	0.0517	0.0324	0.0200
185	104GR-1-1	32.319	3.327	0.883	1.2637	1.3154	1.2498	1.7908	1.6853	1.9768	2.0132	1.5559	1.0624	1.0069	0.5165	0.1252
186	301GR-2-1	34.224	2.502	0.299	1.5901	2.8765	2.8159	2.3606	2.7497	2.0237	1.6571	0.7347	0.3250	0.1793	0.1569	0.0563
187	301GR-2-2	81.714	11.405	1.855	1.1623	1.3836	1.5099	1.7949	1.5415	2.2521	2.5270	1.7850	0.7546	0.3807	0.1977	0.0875
188	301GR-2-3	51.312	4.197	1.028	1.1885	1.5464	1.4051	2.0317	1.9029	2.0501	1.9660	1.0139	0.7713	0.4962	0.2471	0.1028
189	301GR-2-4	111.146	9.958	1.257	1.0032	1.0240	1.5622	1.4304	1.5056	2.6810	2.0313	1.1121	0.3980	0.2554	0.1243	0.0440
190	301GR-2-5	76.275	3.498	0.697	1.5380	2.6076	2.8694	2.3139	1.5714	1.6041	0.7608	0.2409	0.1820	0.1893	0.1057	0.0443
191	301GR-2-6	88.278	7.319	1.131	1.2230	1.8548	2.3220	2.2071	2.5068	2.0316	2.4277	1.1732	0.3808	0.2597	0.1137	0.0505
192	701GR-1-1	40.290	1.516	0.220	1.5344	2.6393	4.6677	3.6836	1.4125	0.5941	0.6729	0.4206	0.1618	0.1008	0.0685	0.0270
193	701GR-1-2	157.096	3.671	0.537	2.3025	4.3349	3.1103	1.7377	0.8683	0.2695	0.2358	0.1548	0.1768	0.1386	0.0615	0.0246
194	NUMAZU	105.829	4.899	0.960	1.4398	2.4982	2.3703	2.4222	3.0191	0.8274	0.5360	0.5583	0.3075	0.2794	0.2199	0.0844
195	ATAMI	123.604	4.803	0.660	1.6006	3.0122	2.8705	2.7794	2.0858	0.6105	0.5385	0.2960	0.2517	0.1832	0.1083	0.0310
196	SHINIWATA	68.731	9.671	2.240	1.1097	1.2176	1.2040	1.1860	1.2531	1.4911	2.8924	2.2103	1.4317	0.9008	0.3077	0.1347
197	SHIROBORI	109.910	4.024	0.559	1.3080	3.4749	2.1553	2.0703	2.0649	1.1475	0.6160	0.2517	0.2808	0.1118	0.1071	0.0268

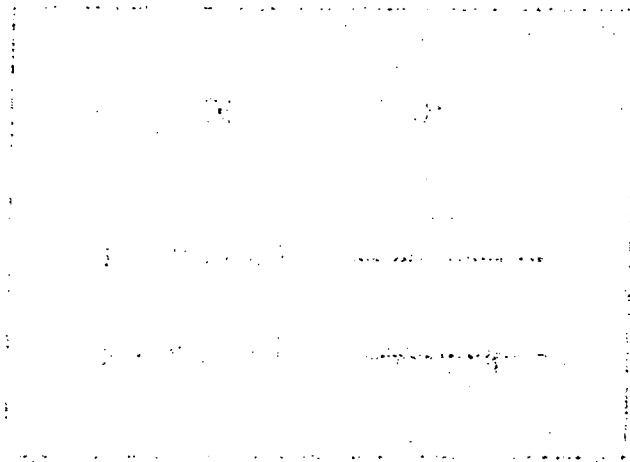
付 属 資 料 - 2

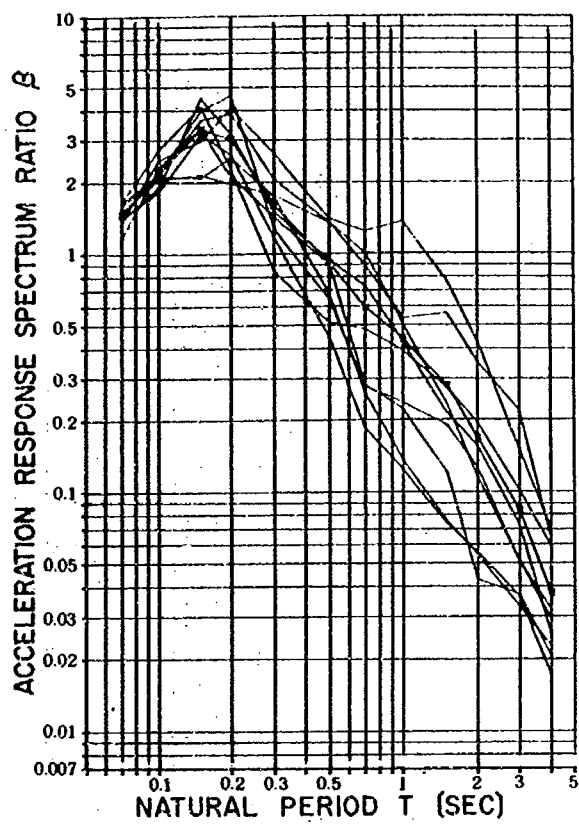
各観測地点ごとの β スペクトルおよびこれを平均した $\bar{\beta}$ スペクトル



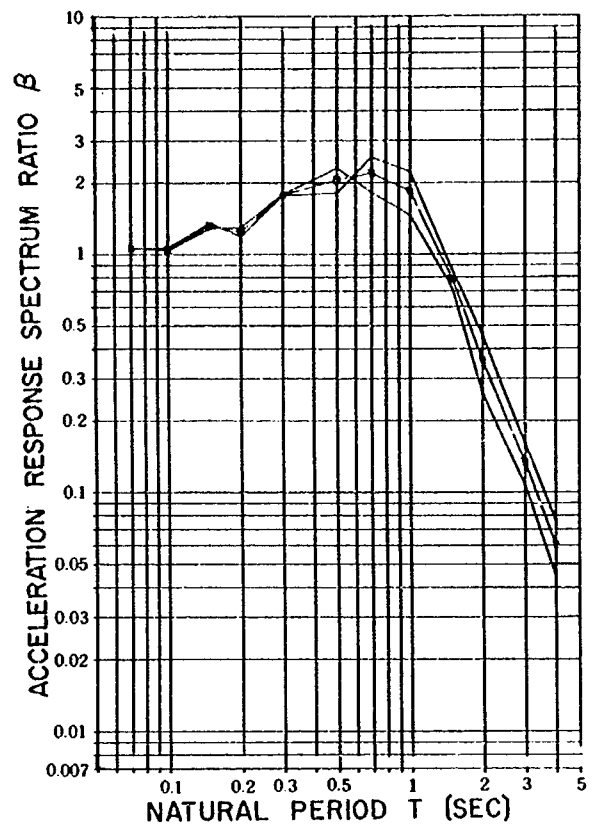
1. 2. 3. 4. 5.

6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20.

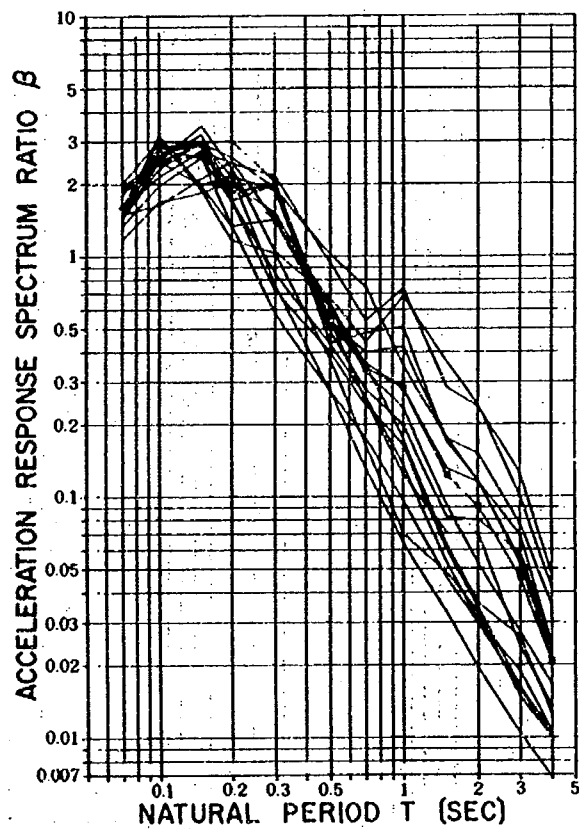




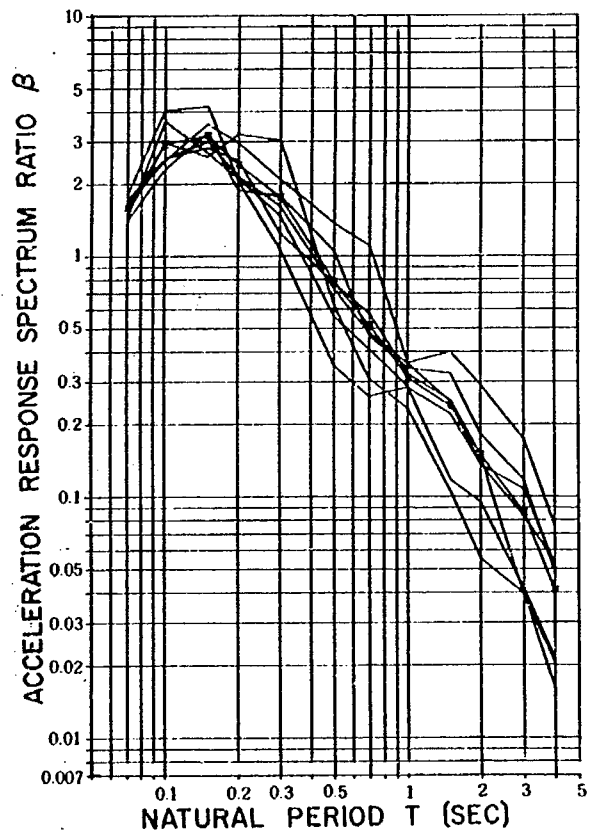
Site No 1 土研旧千葉支所



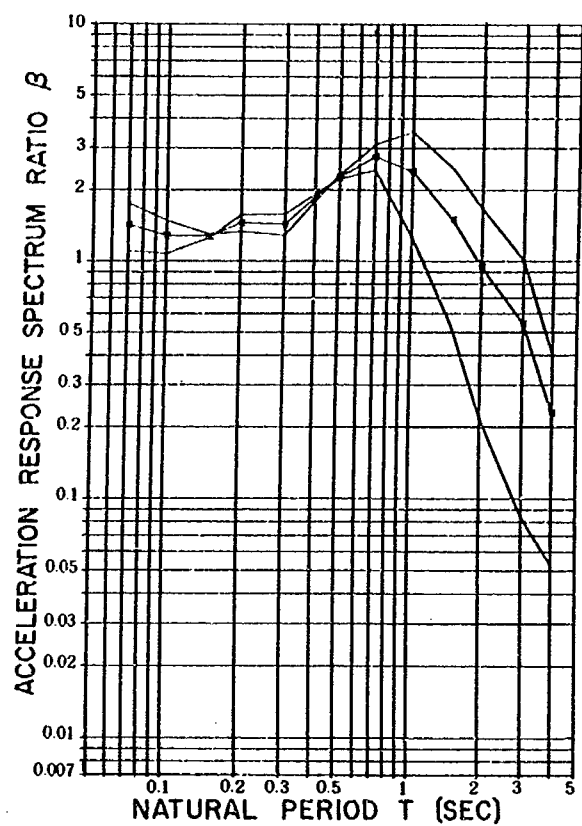
Site No 2 新天竜川橋



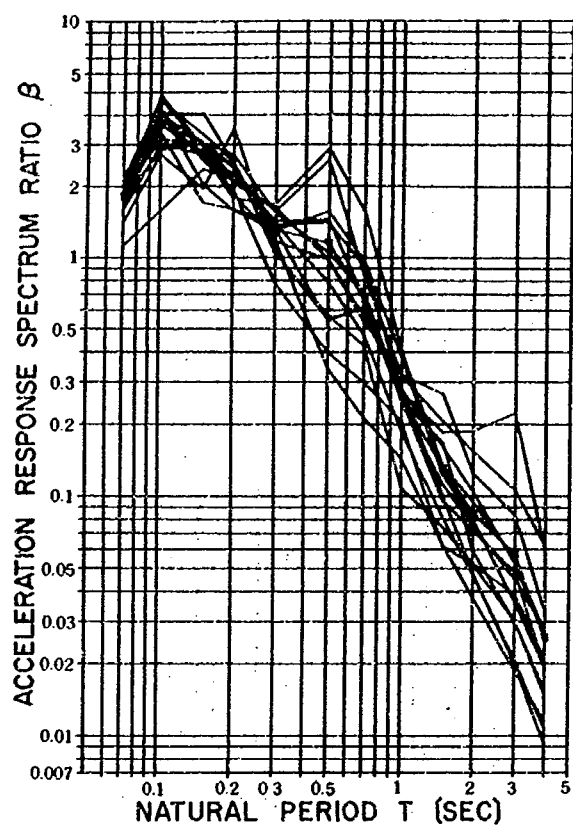
Site No 3 落合橋(1)



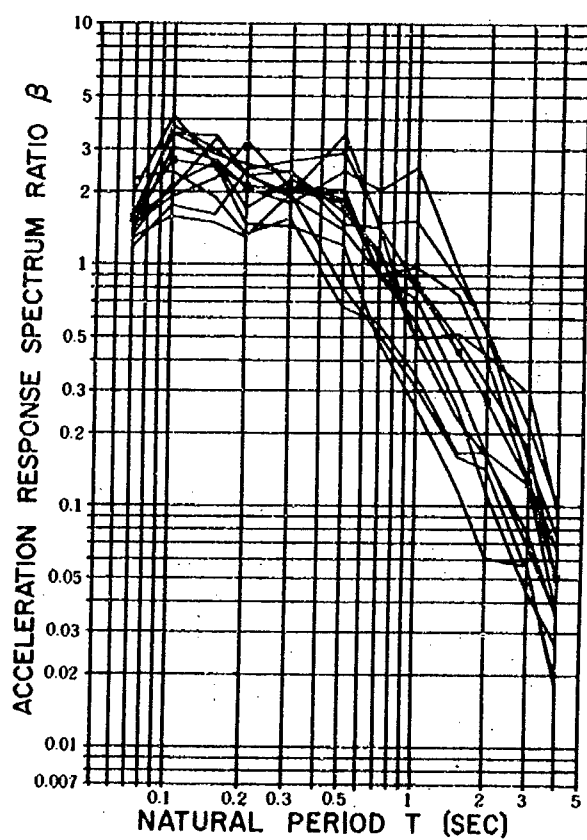
Site No 4 開北橋



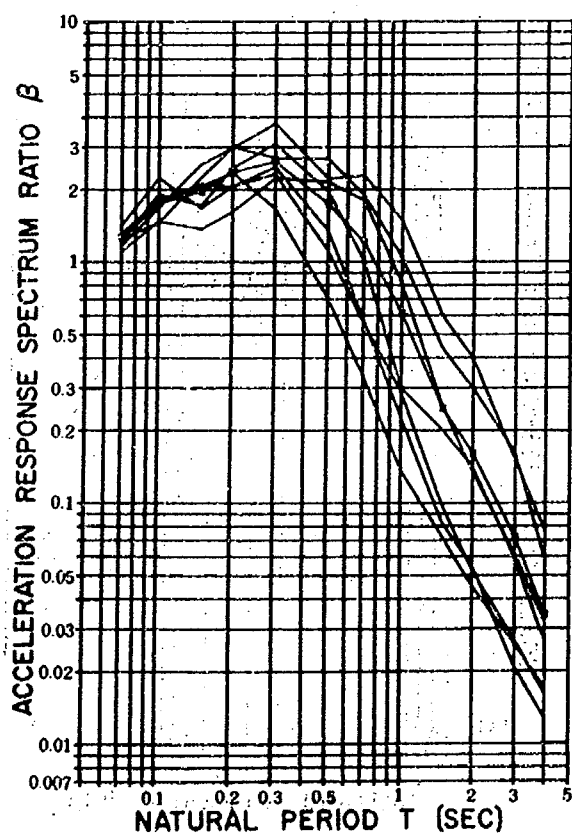
Site No 5 有明海堤防



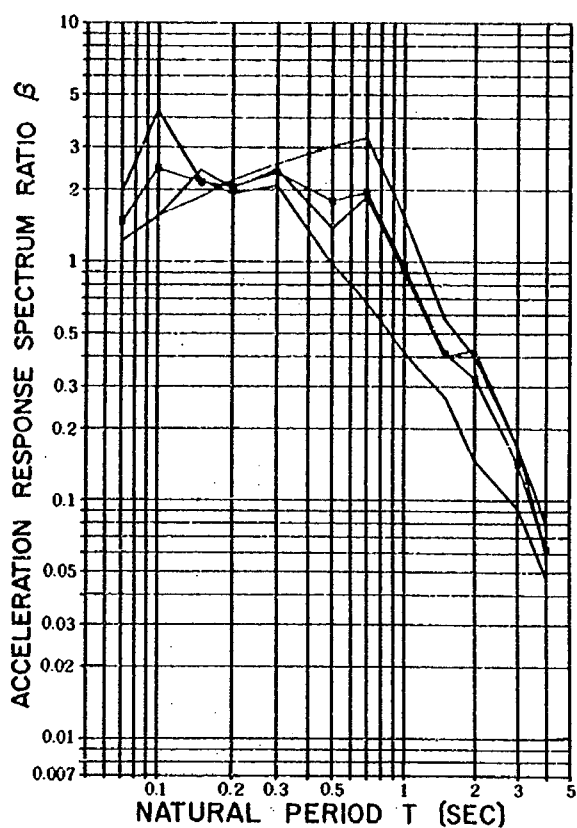
Site No 6 伊達橋



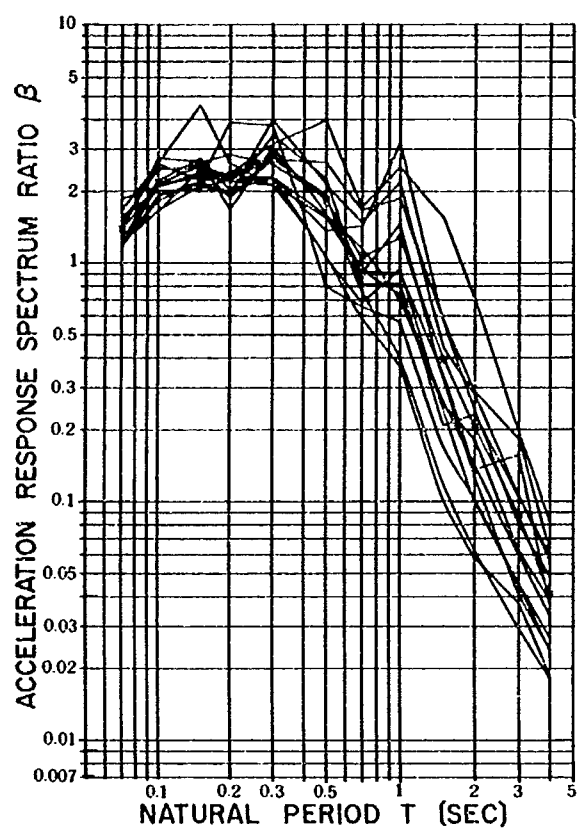
Site No 7 新葛飾橋



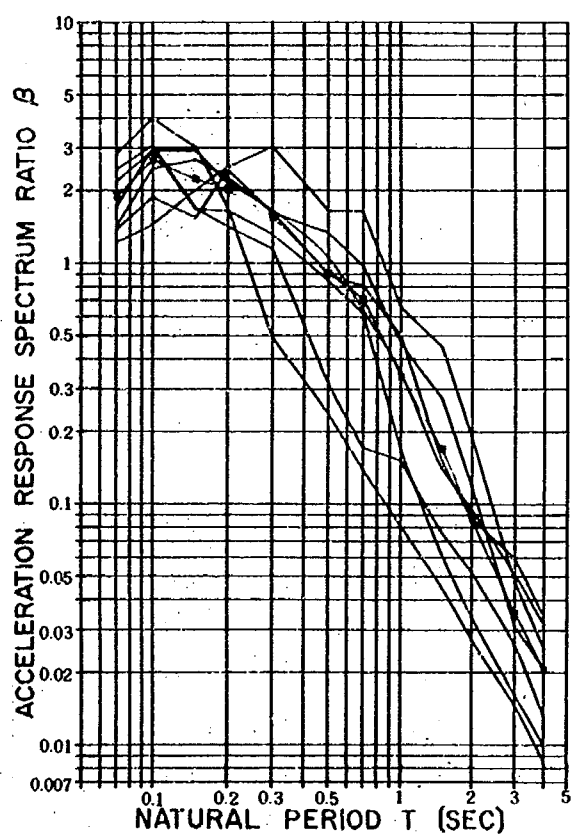
Site No 8 鹿島試験所



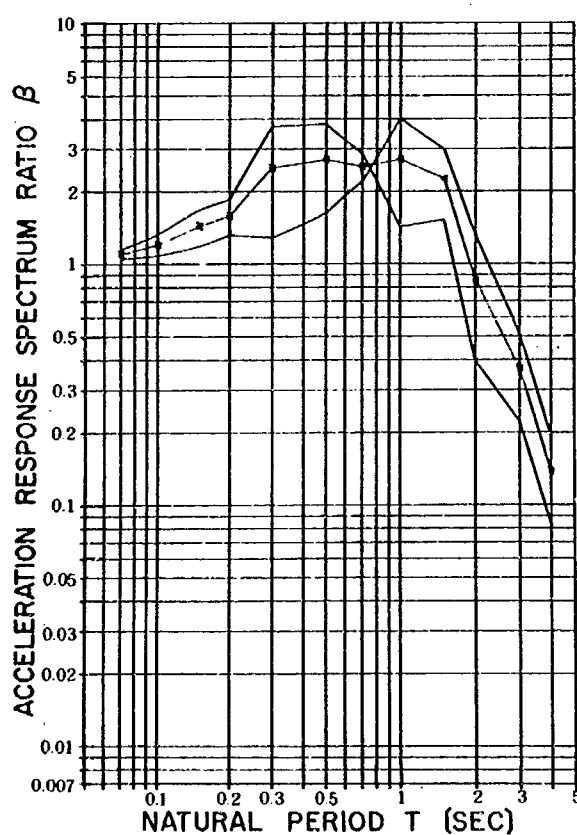
Site No 9 石瀬戸橋



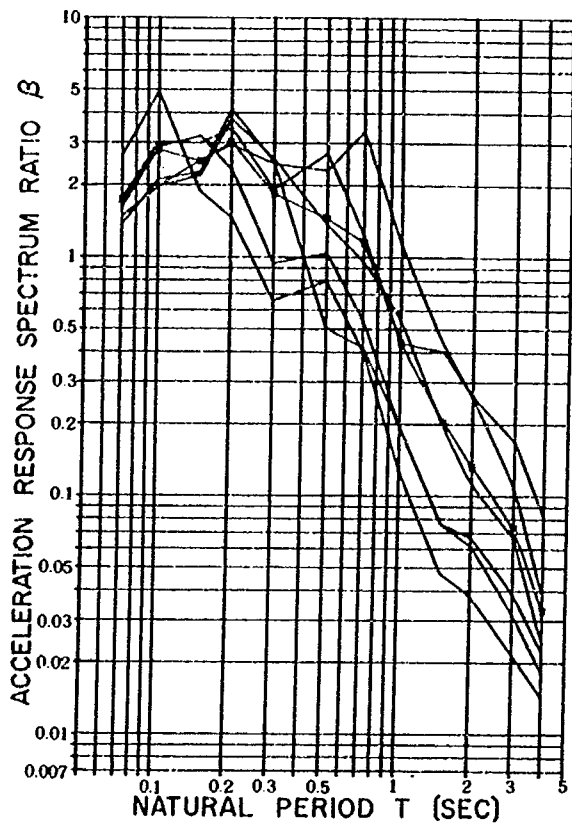
Site No 10 平大橋



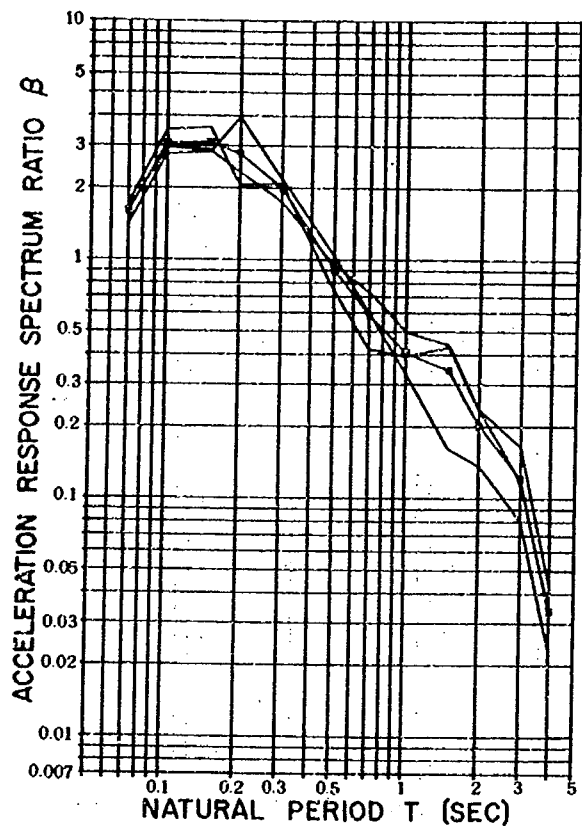
Site No 11 紀ノ川橋



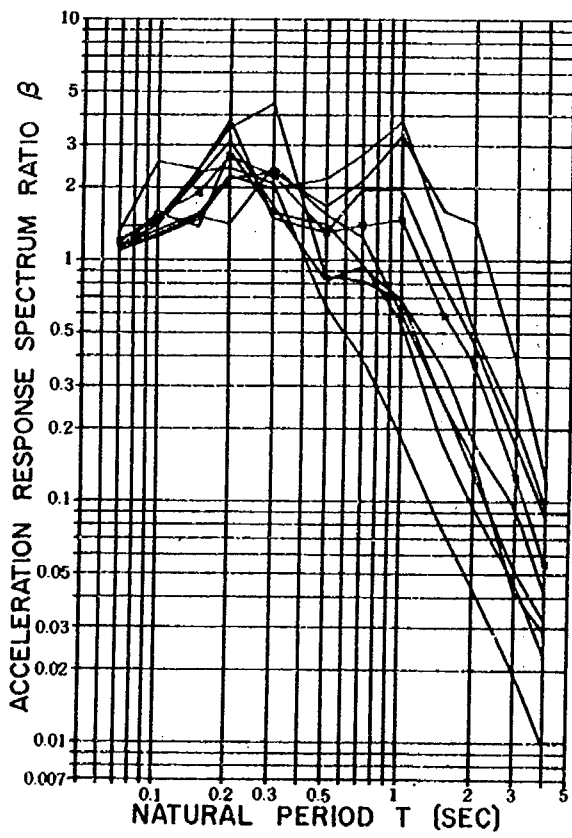
Site No 12 妙見橋



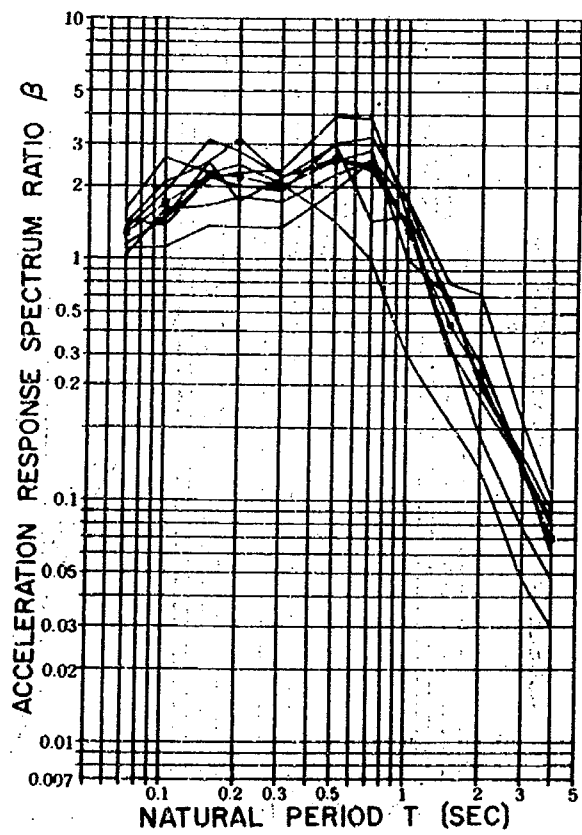
Site No 13 板島橋



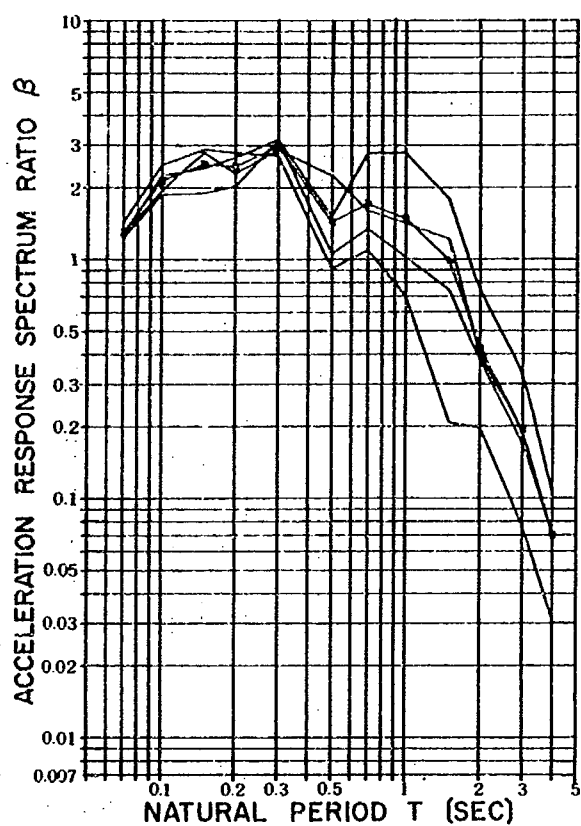
Site No 14 幌満橋



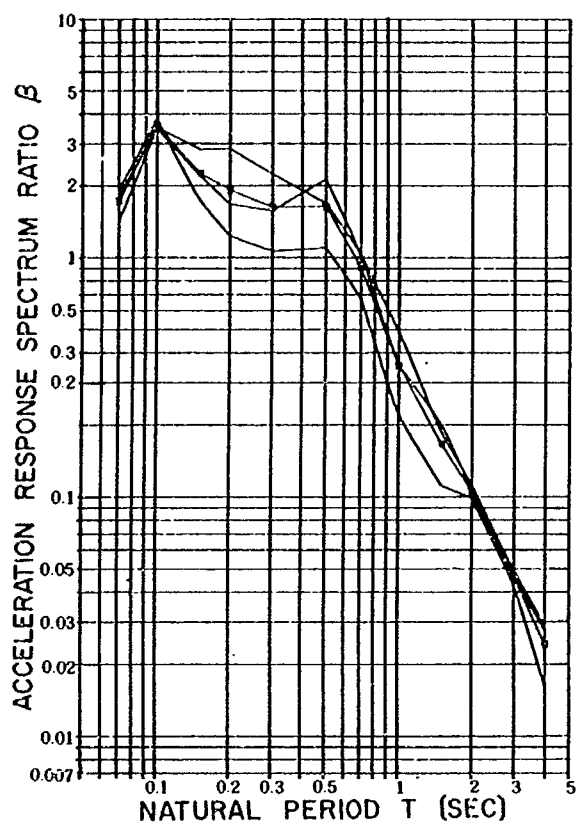
Site No 15 新利根川橋



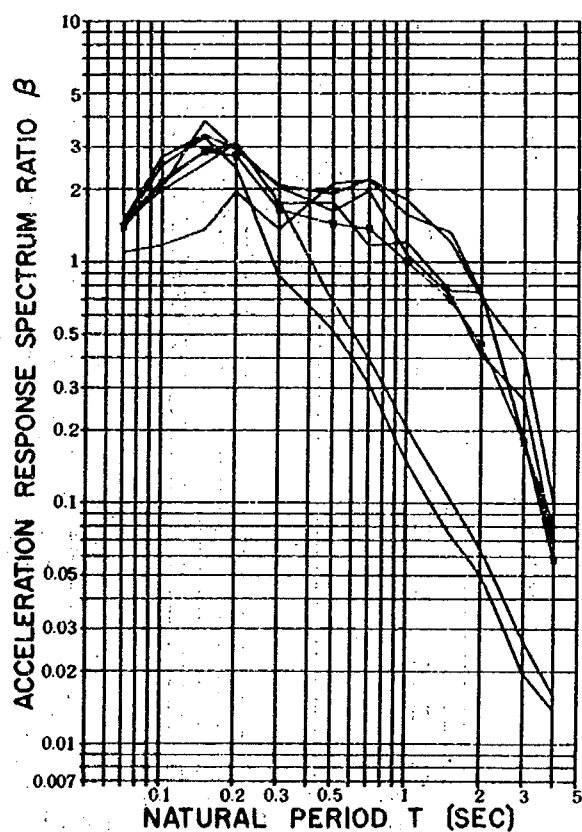
Site No 16 草加高架橋



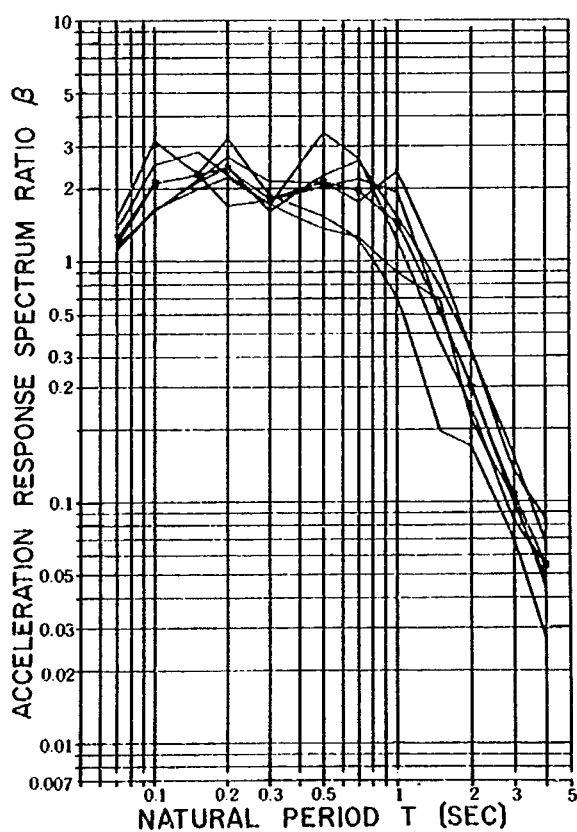
Site No 17 平大橋



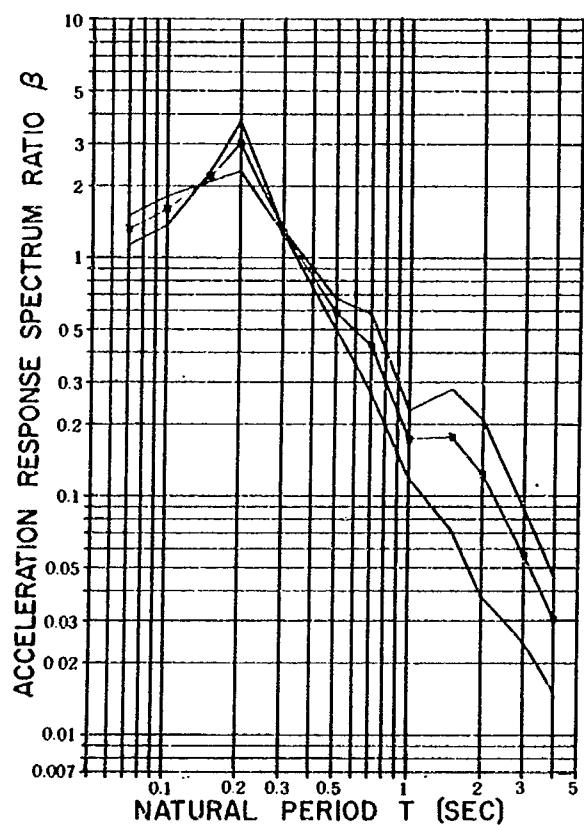
Site No 18 四徳大橋



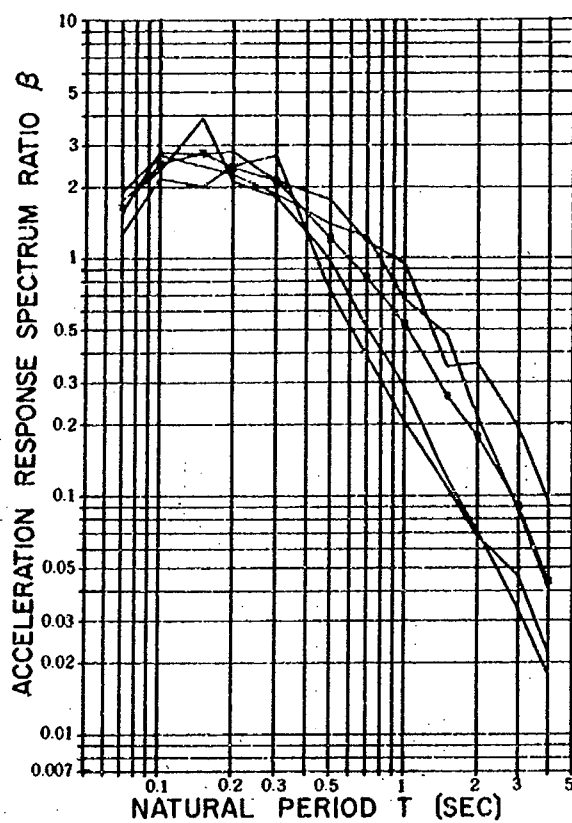
Site No 19 東京湾 (富津岬)



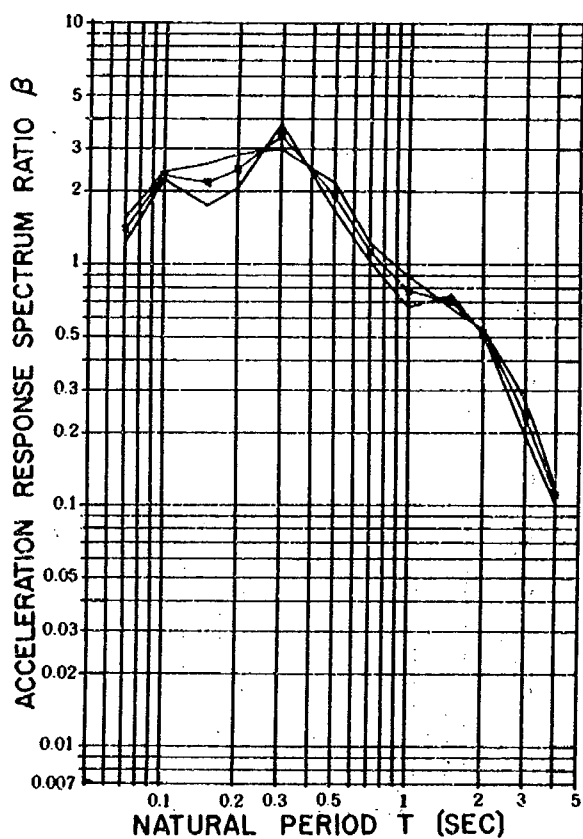
Site No 20 西新井橋



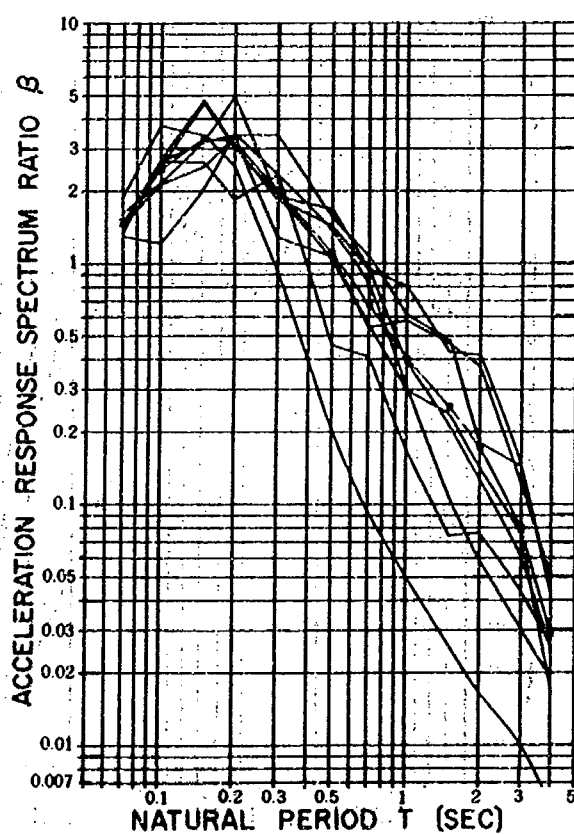
Site No. 21 境川橋



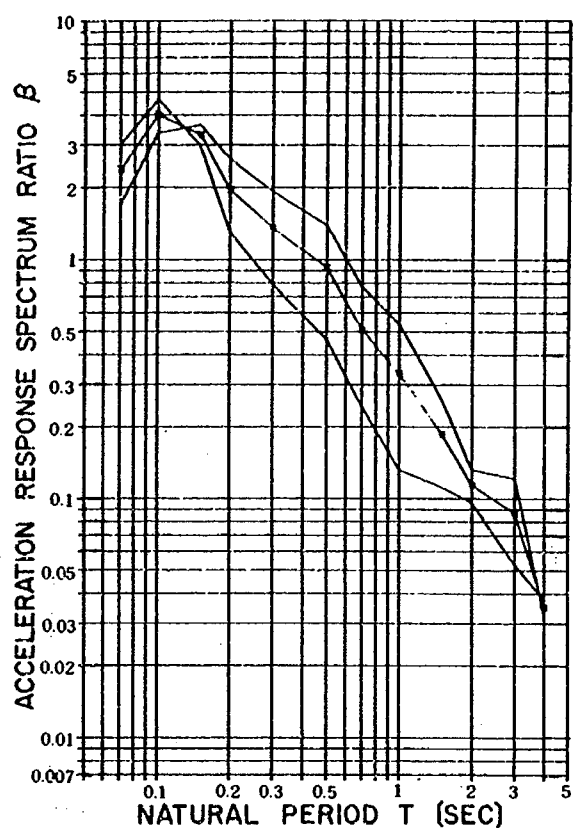
Site No. 22 姥久保橋



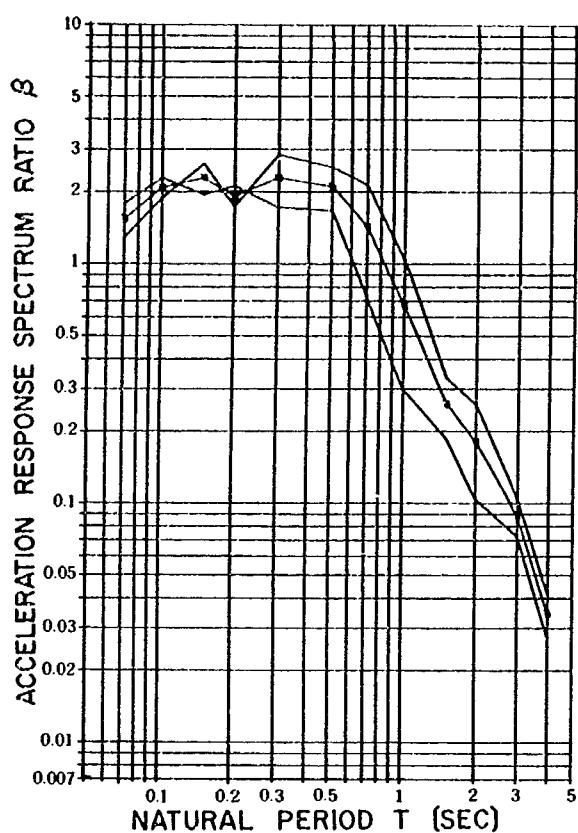
Site No. 23 羽田海底トンネル



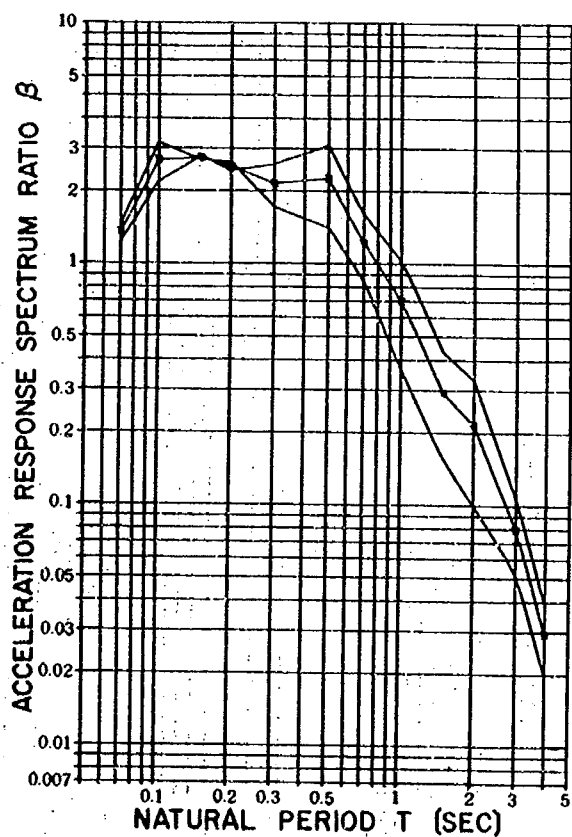
Site No. 24 東京湾(観音崎)



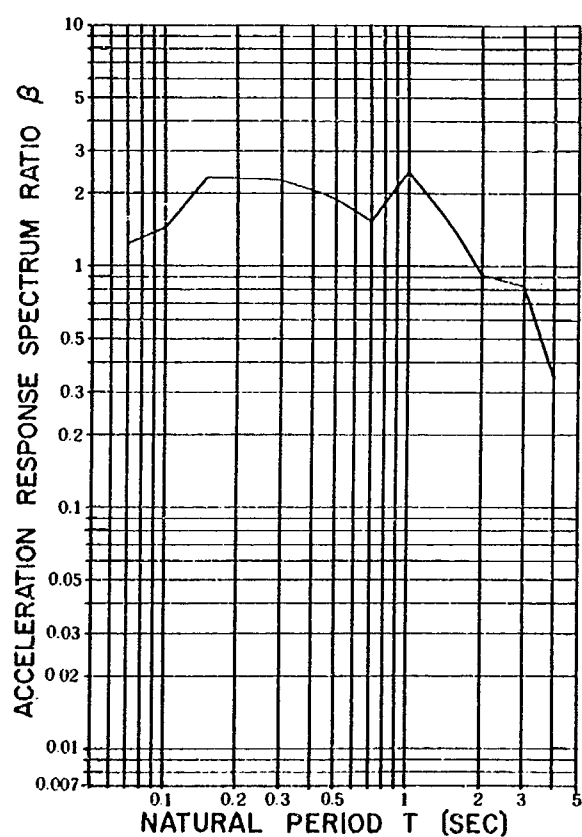
Site No 25 石鎚橋



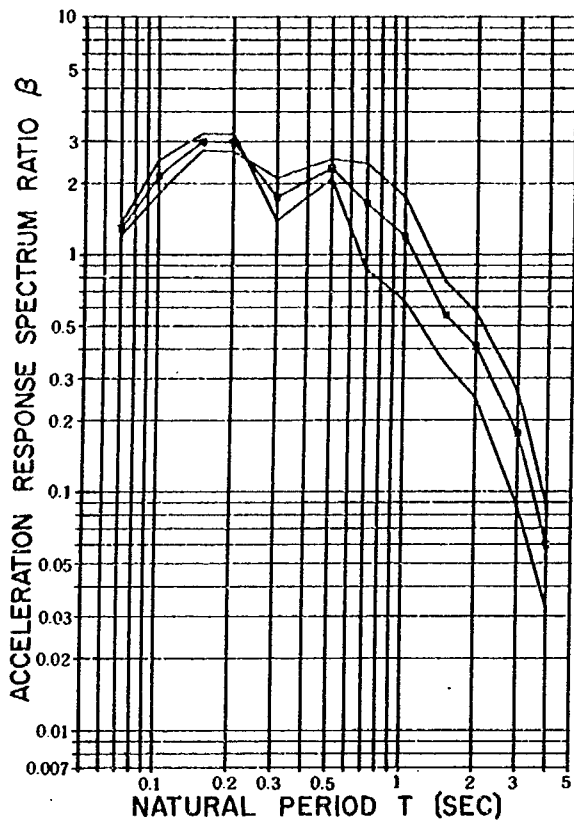
Site No 26 新八幡橋



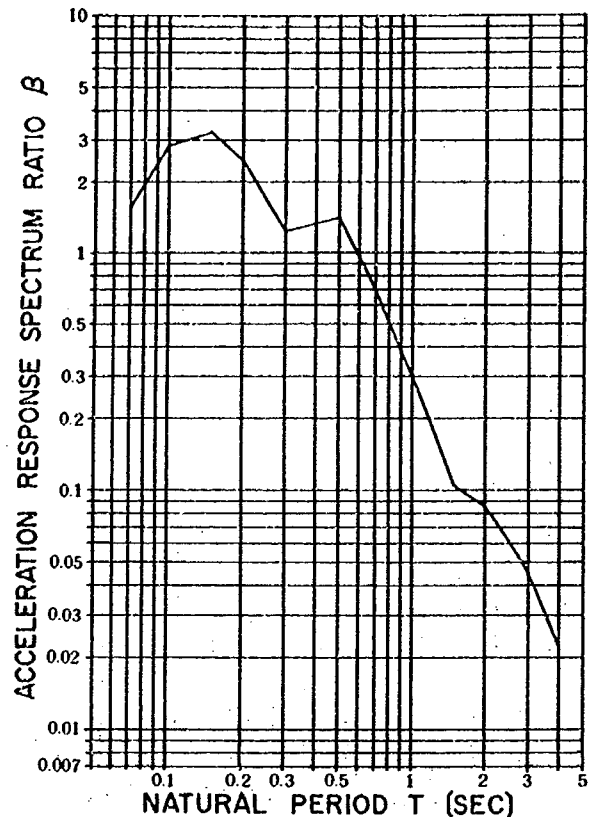
Site No 27 豊浜大橋



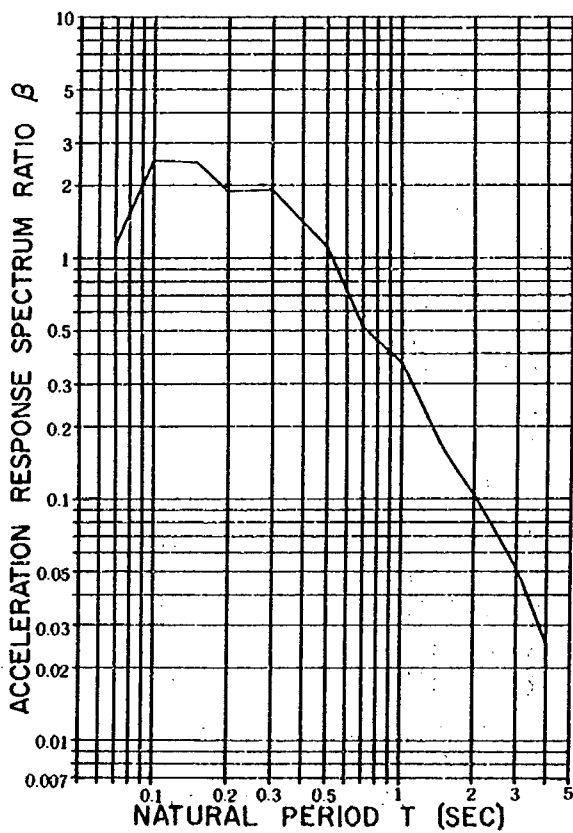
Site No 28 西横堀高架橋



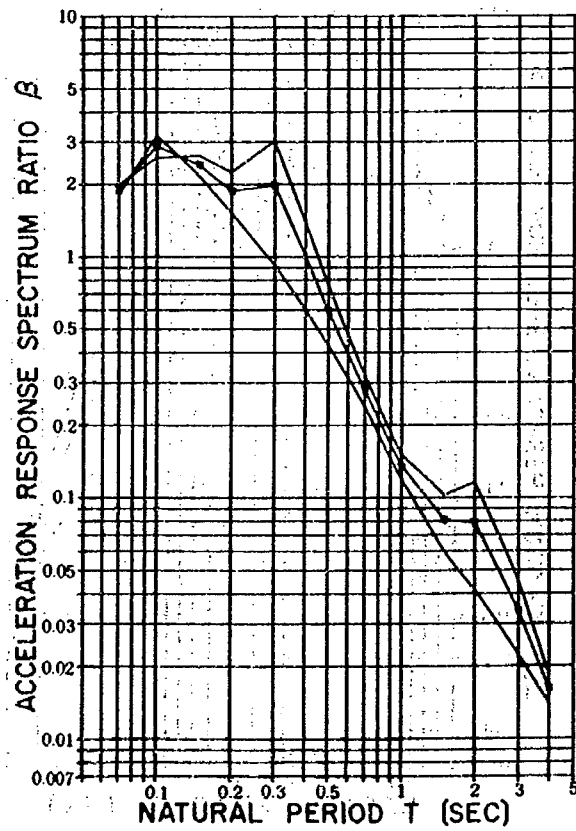
Site No. 29 雄平橋



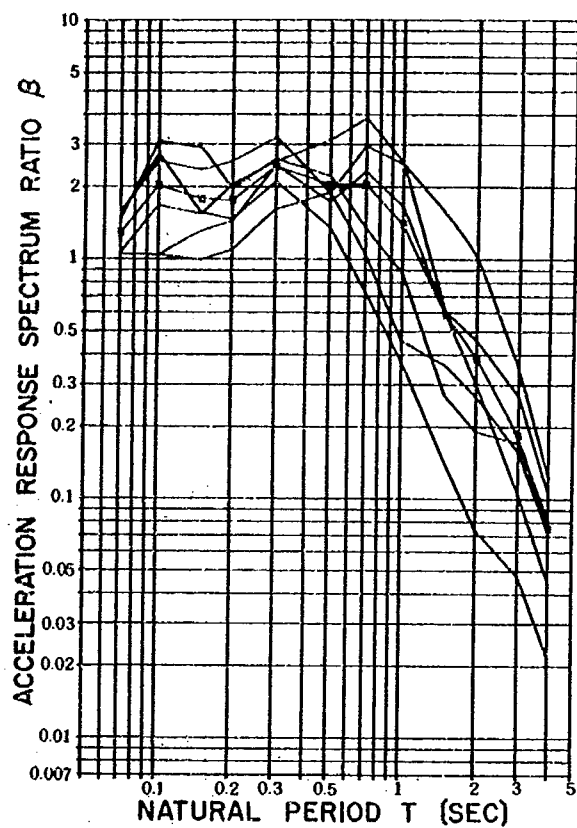
Site No. 30 米山大橋



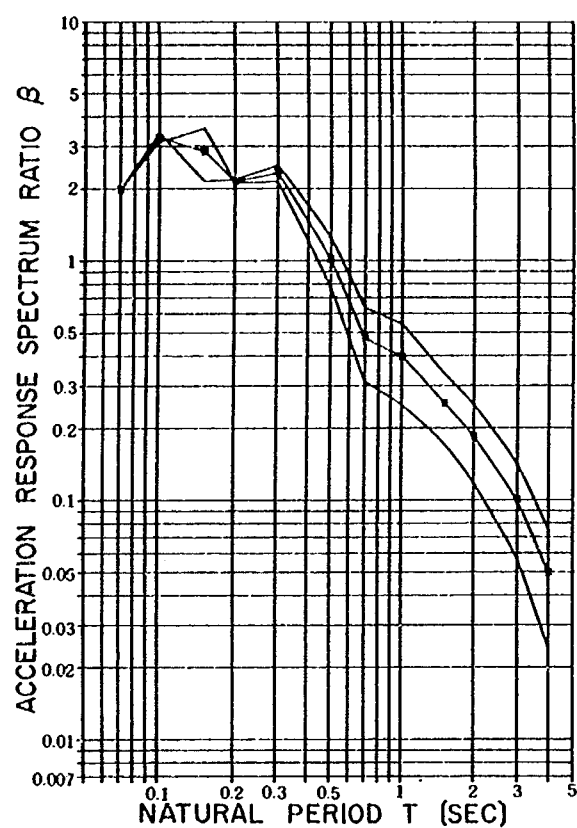
Site No. 31 魚沼橋



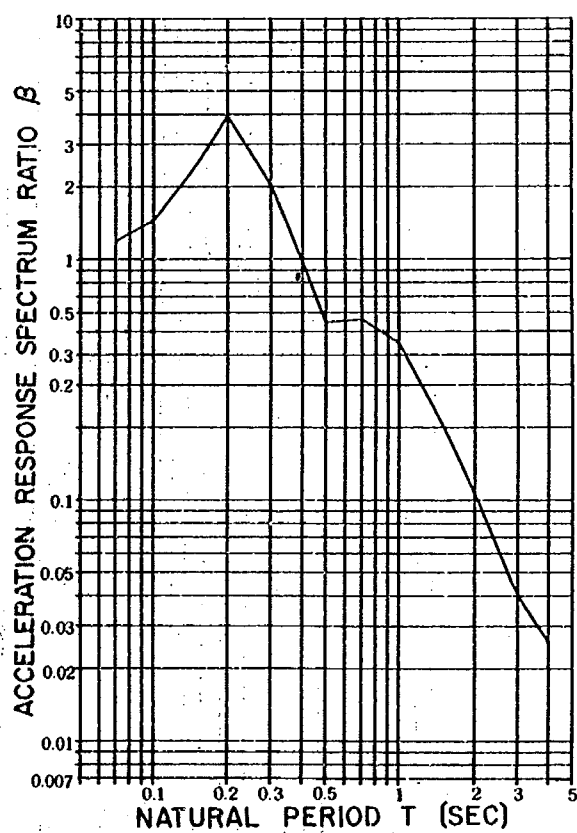
Site No. 32 鶴川橋



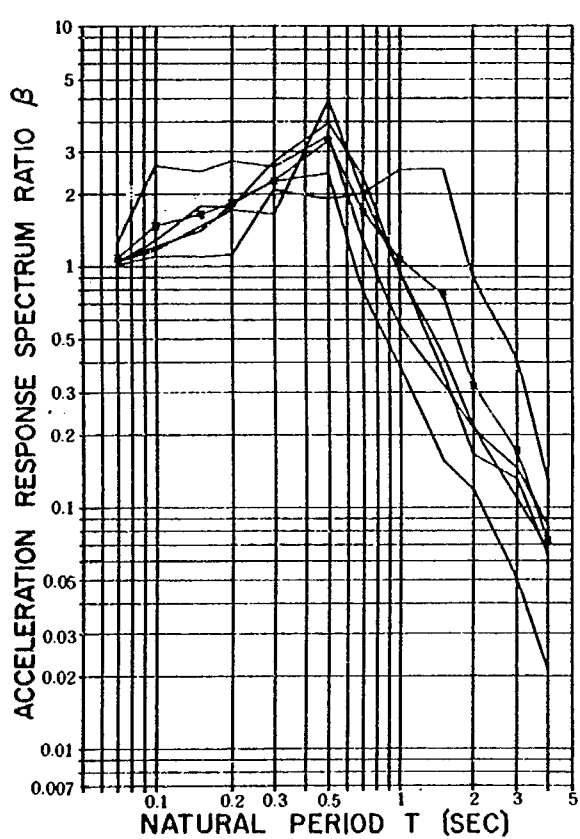
Site No. 33 利根川河口堰



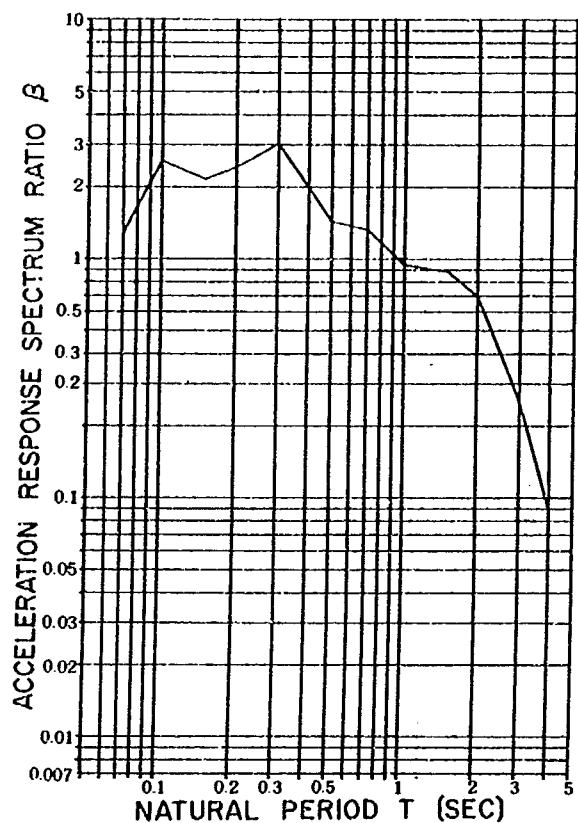
Site No. 34 真崎大橋



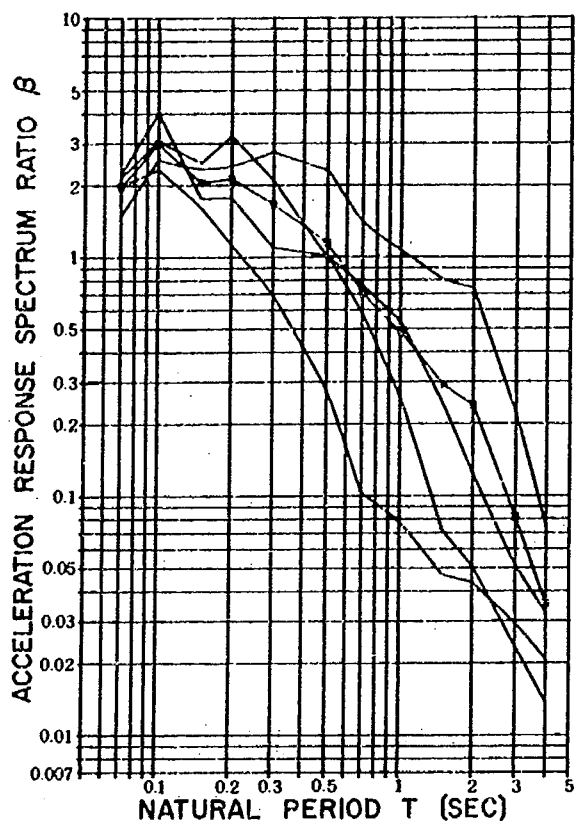
Site No. 35 小見川大橋



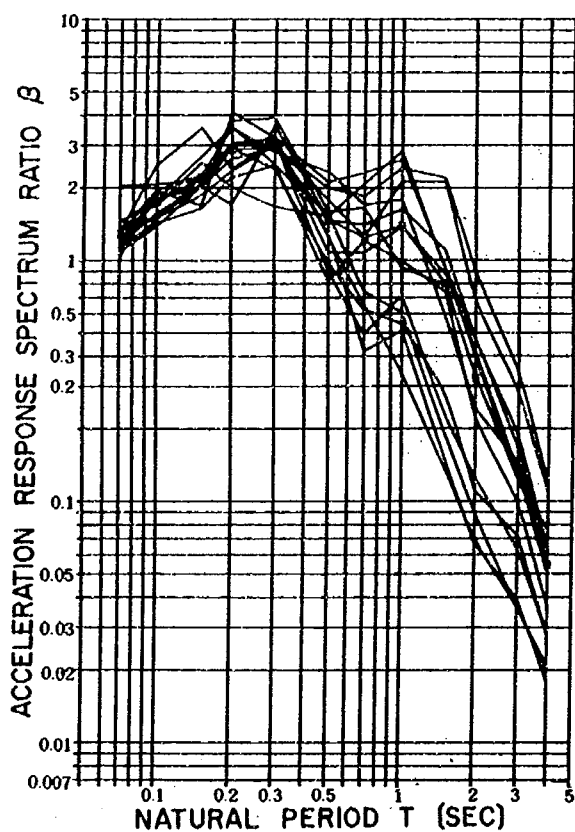
Site No. 36 土研千葉支所(2)



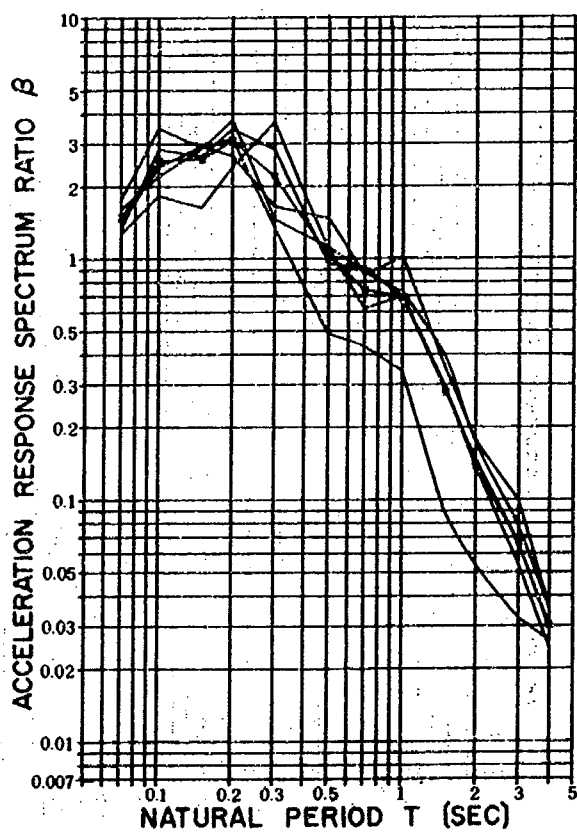
Site No. 37 東名・富士川橋



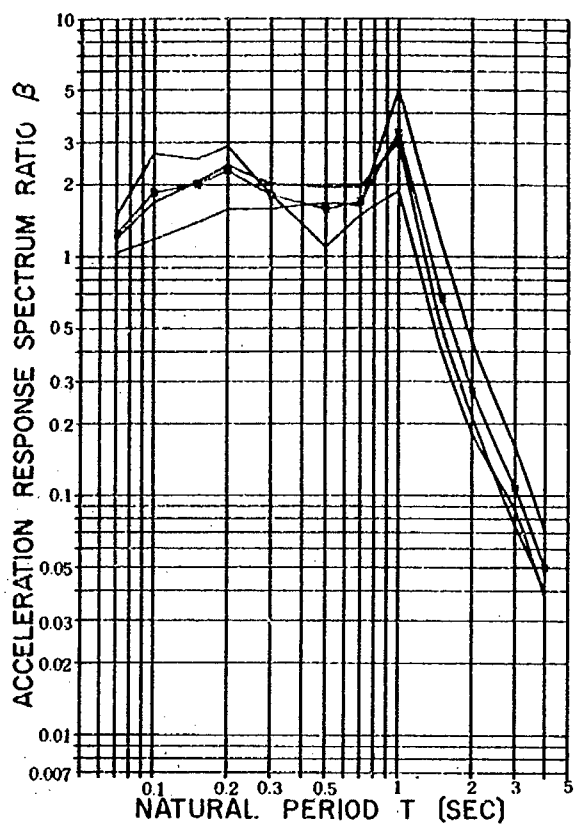
Site No. 38 名古屋港



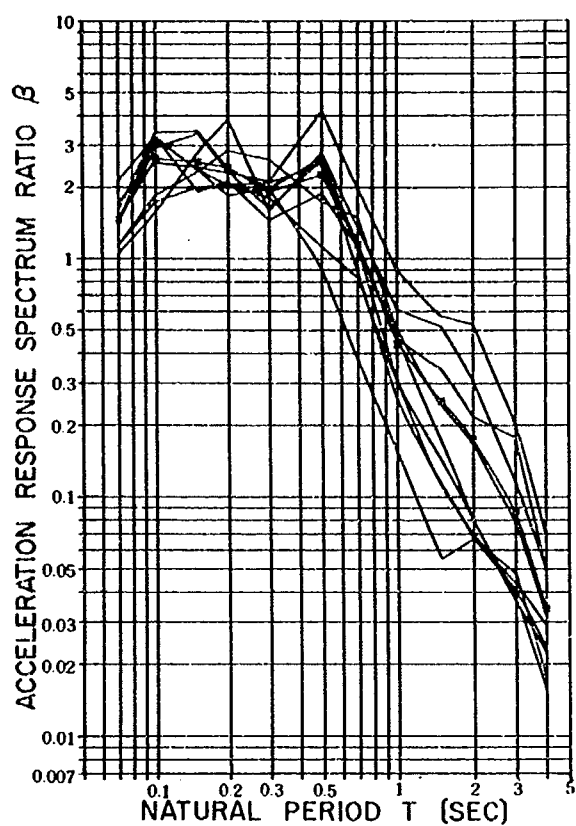
Site No. 39 釧路港



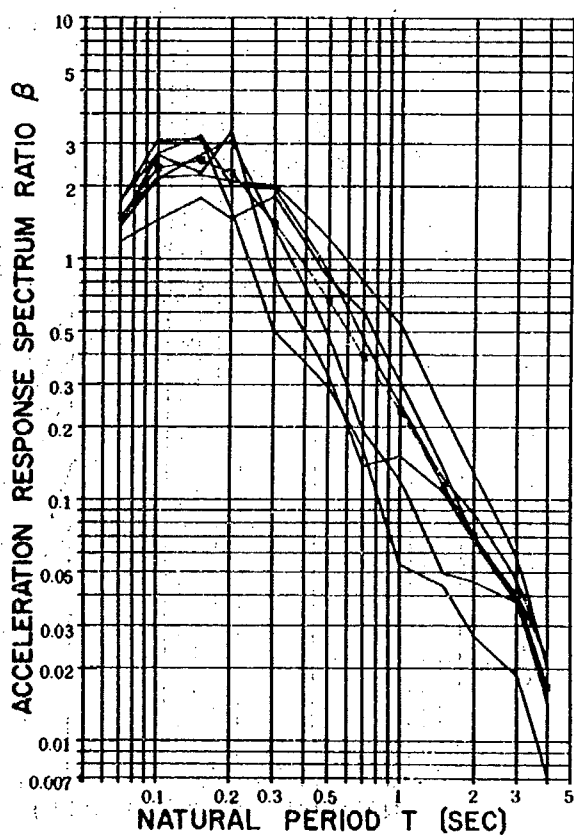
Site No. 40 小名浜港



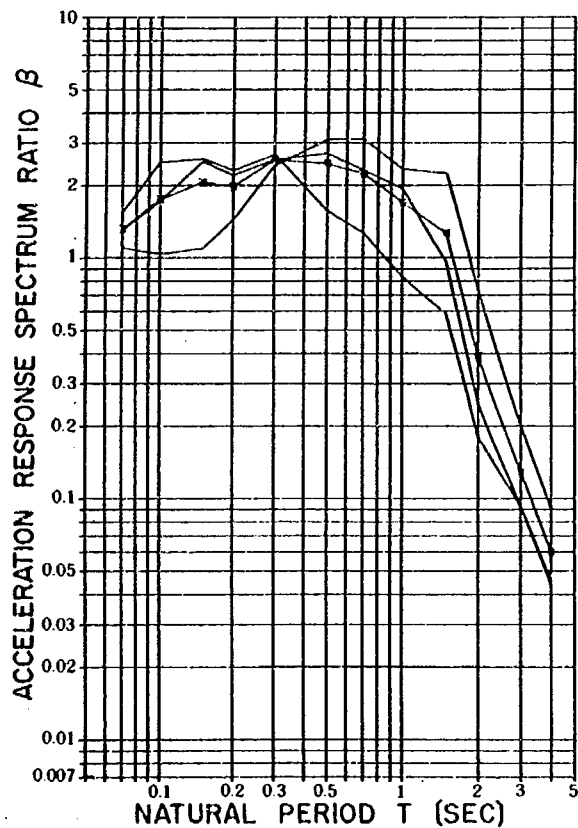
Site No. 4-1 大船渡港(1)



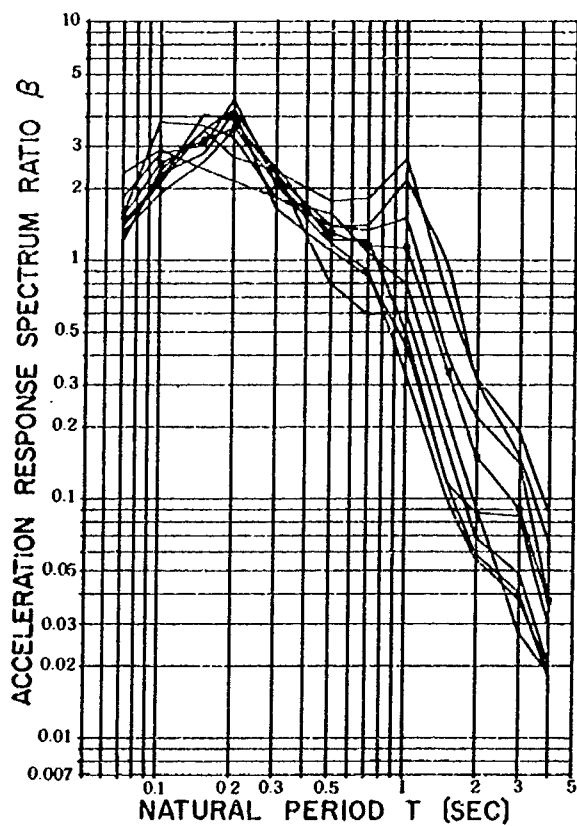
Site No. 4-2 東京港 (品川)



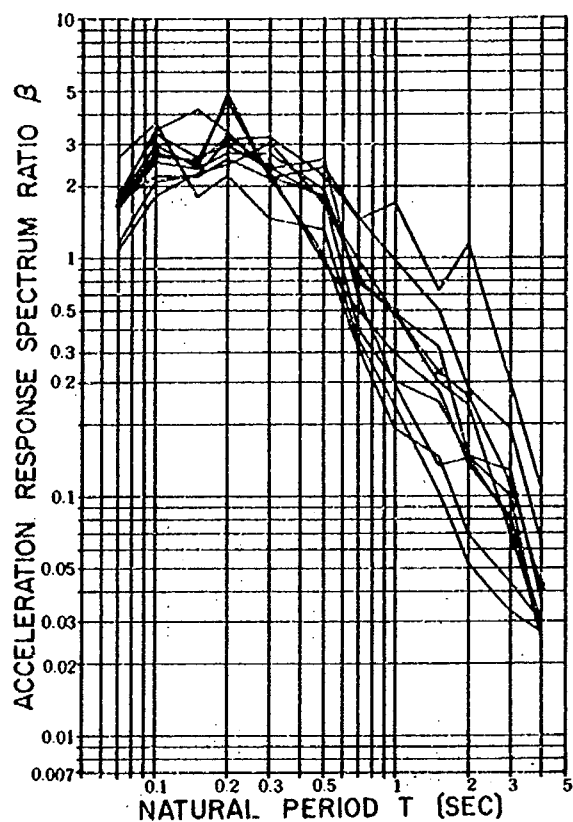
Site No. 4-3 鹿島港



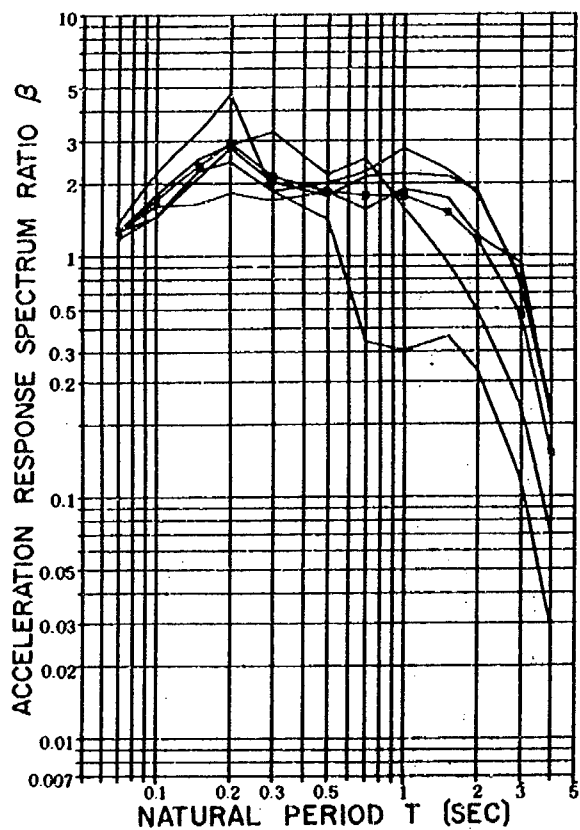
Site No. 4-4 高知港



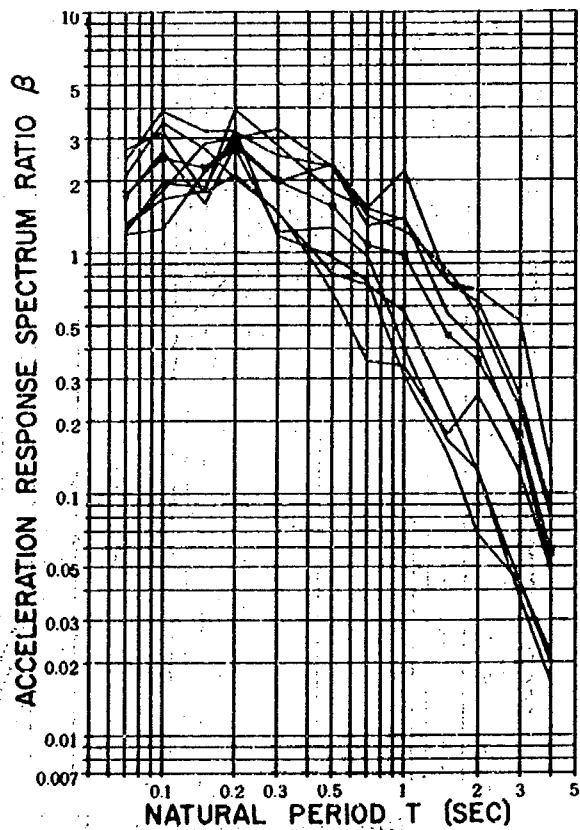
Site No. 45 細島港



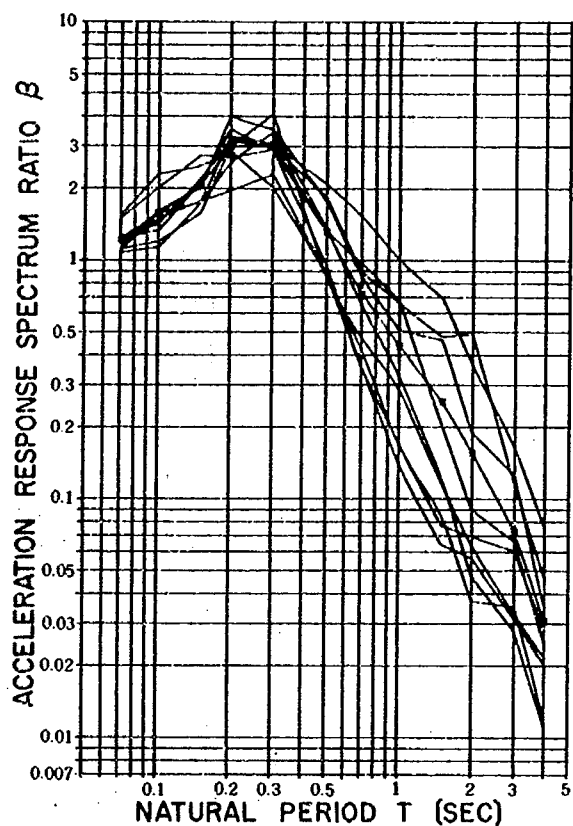
Site No. 46 室蘭港



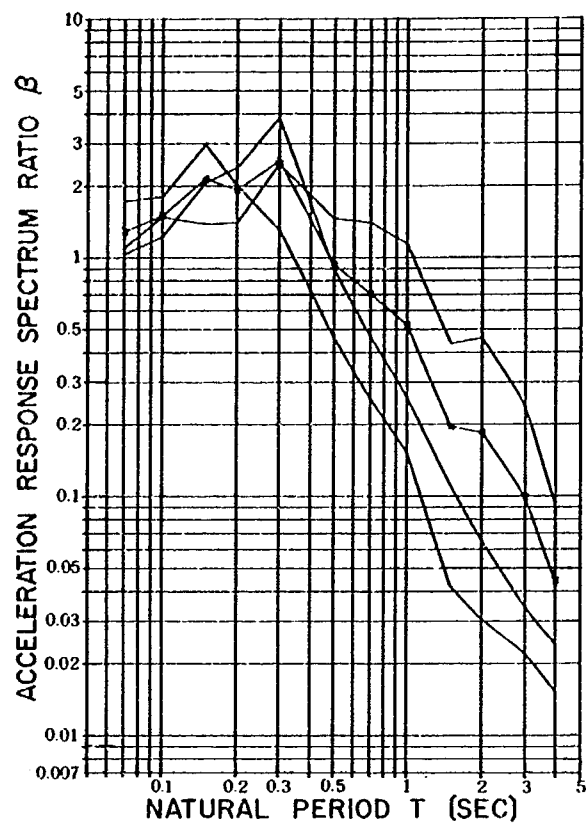
Site No. 47 青森港



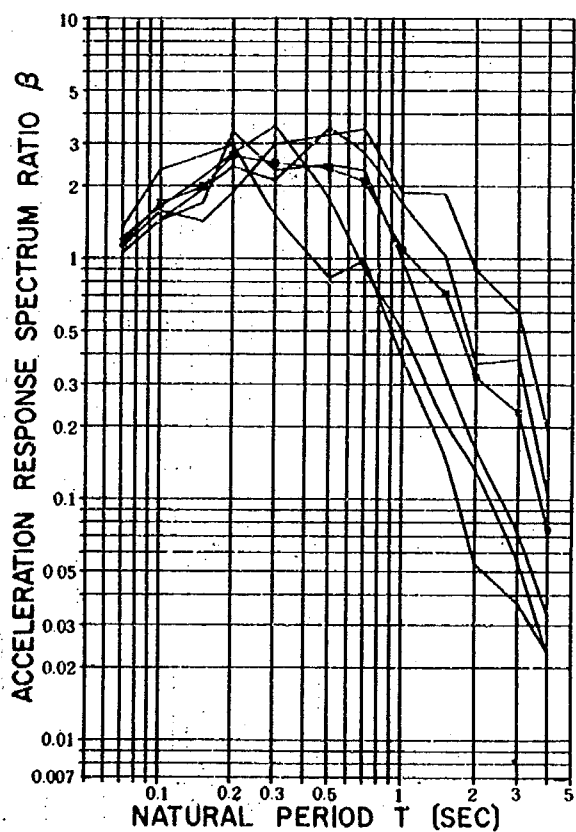
Site No. 48 八戸港



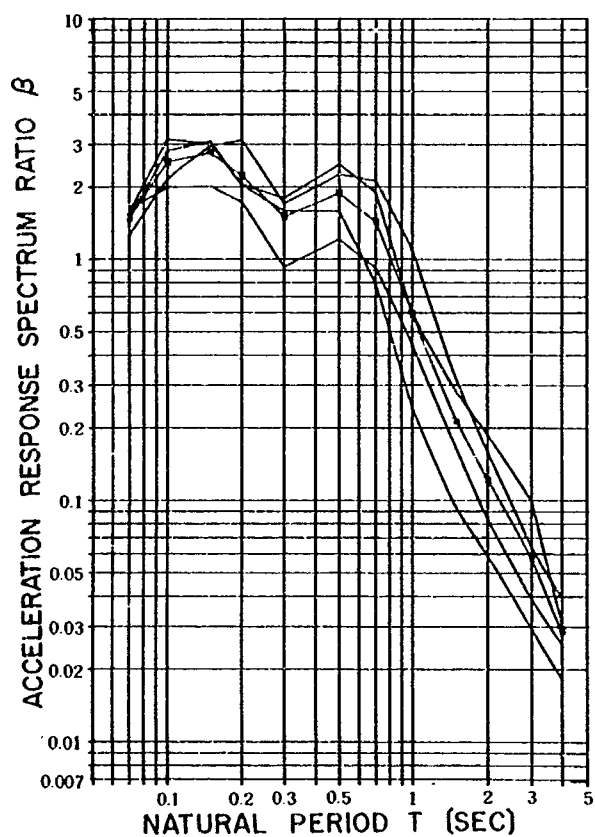
Site No 4 9 横浜港(2)



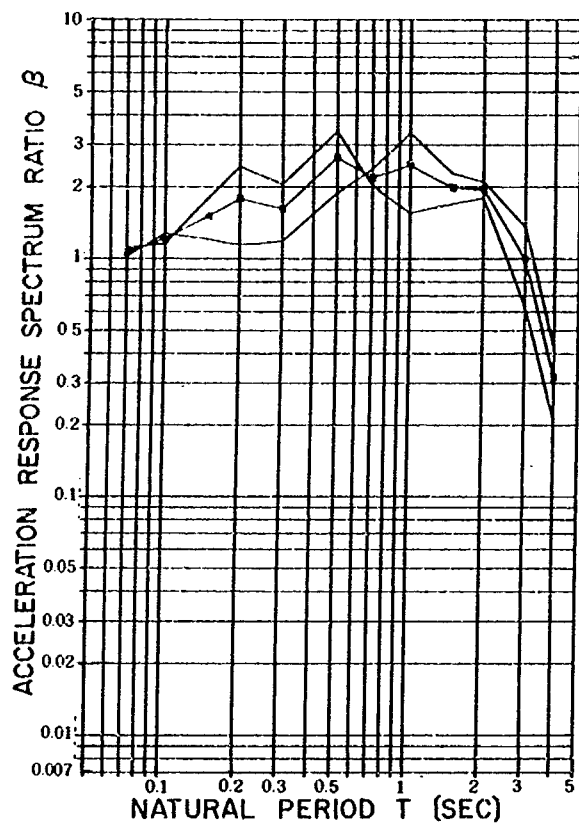
Site No 5 0 神戸港



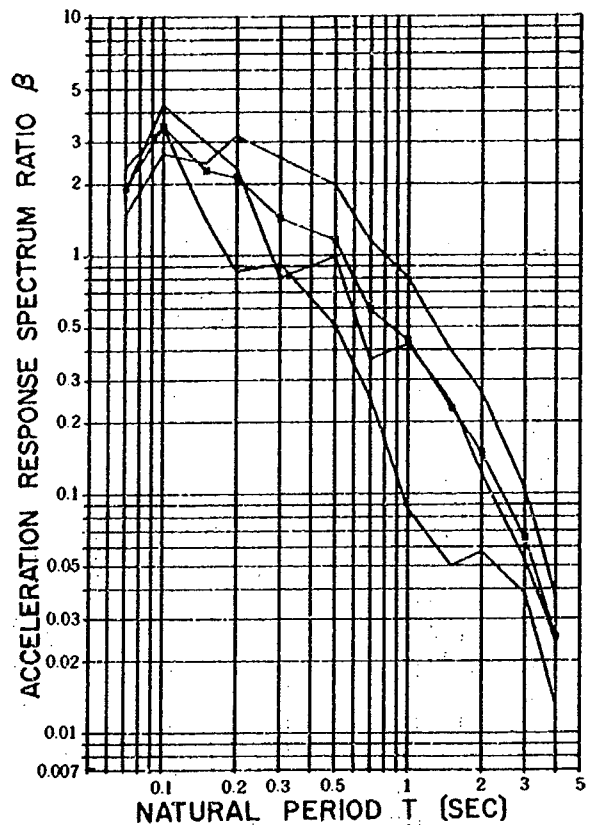
Site No 5 1 横浜港(1)



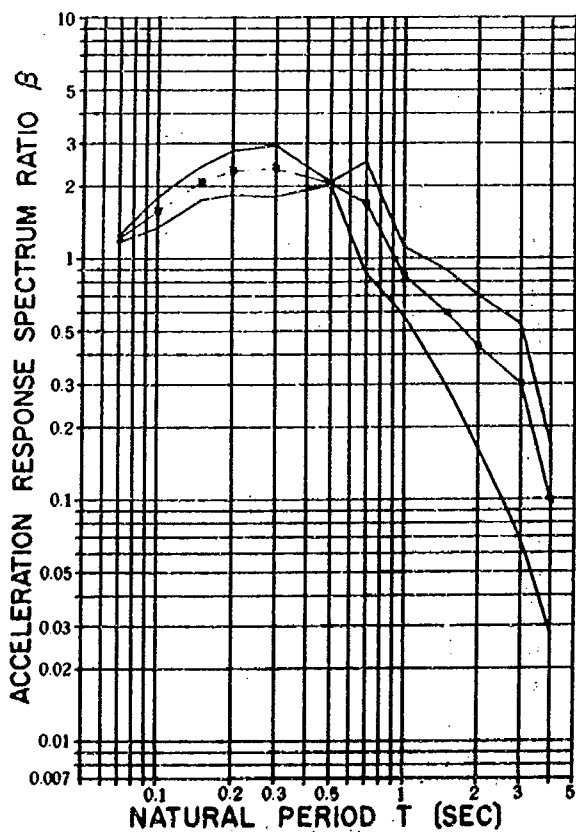
Site No 5 2 衣浦港



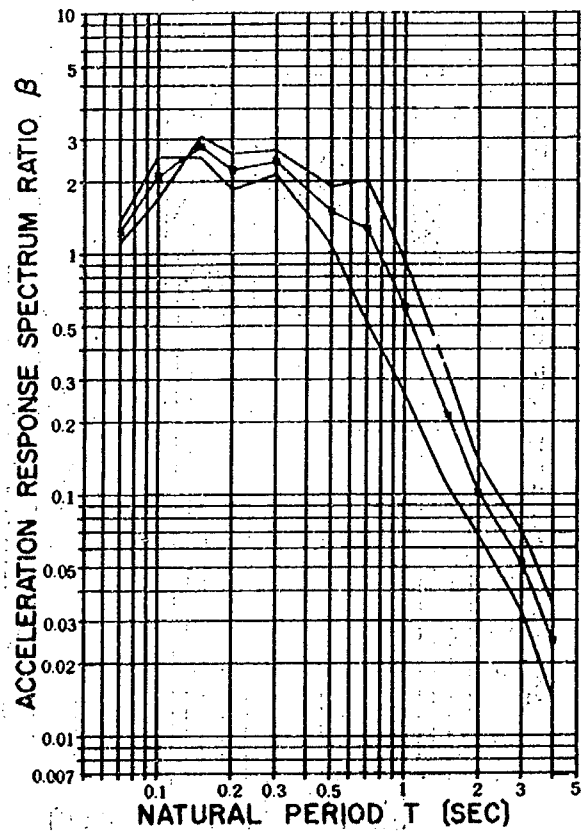
Site No. 5 3 鹿児島港



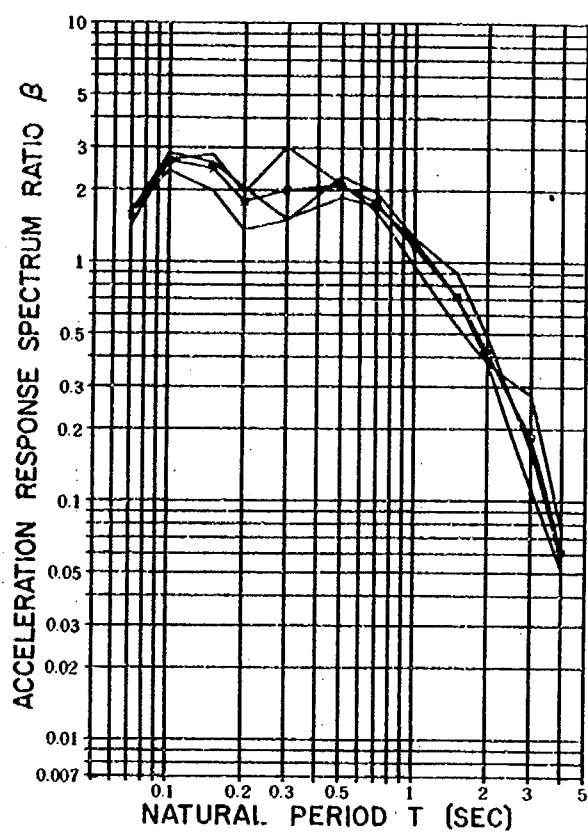
Site No. 5 4 大船渡港(2)



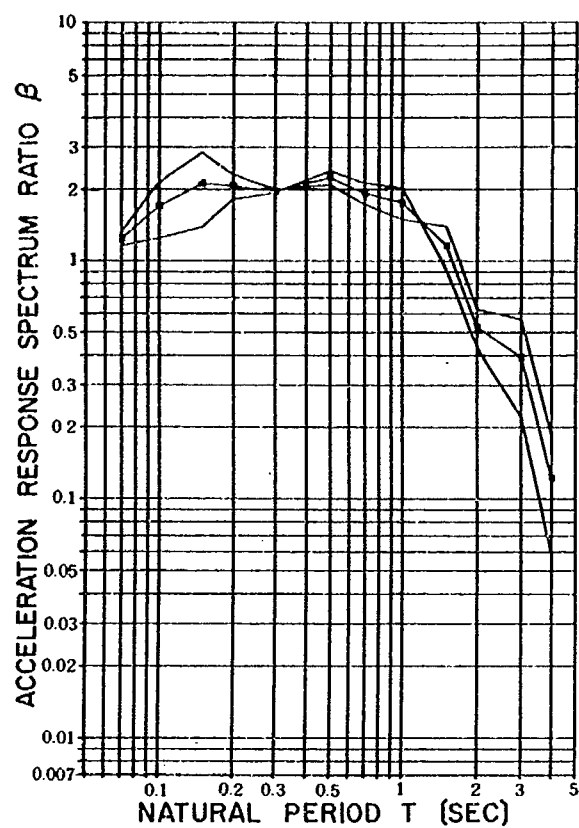
Site No. 5 5 酒田港



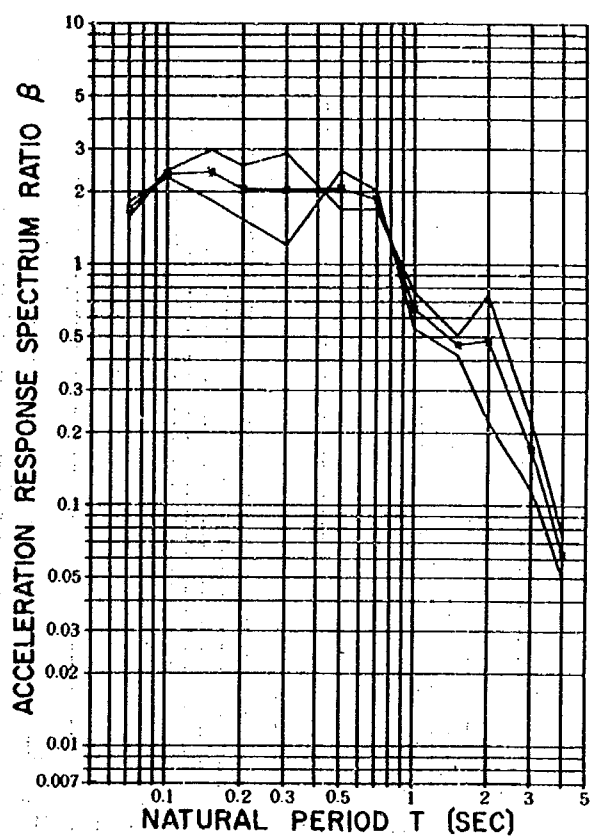
Site No. 5 6 四日市港



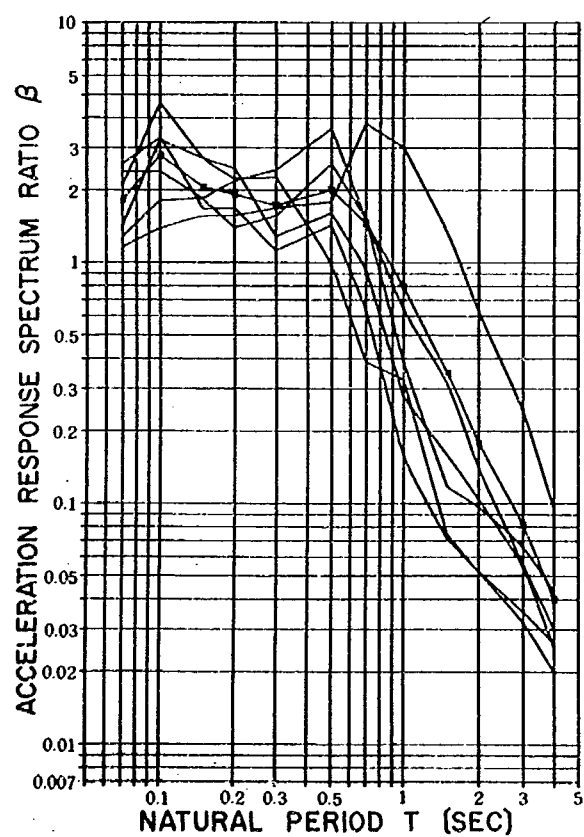
Site No. 57 千葉港



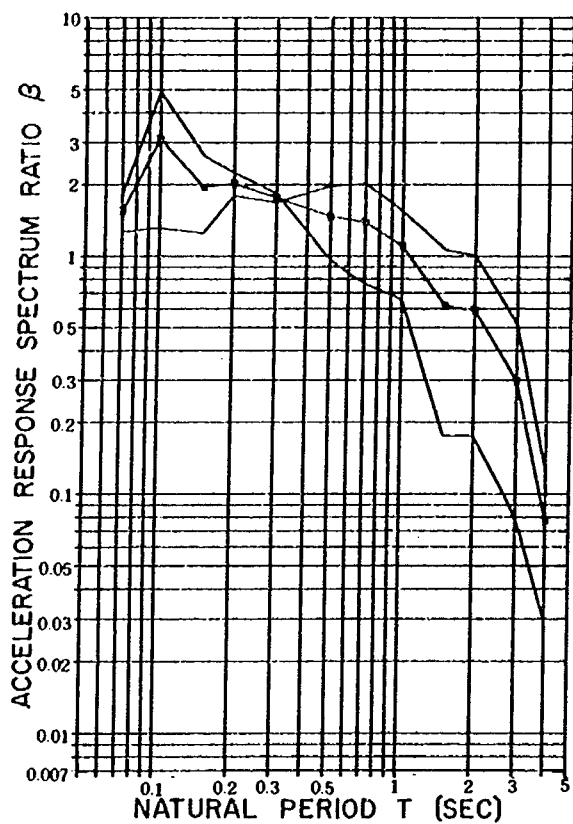
Site No. 58 田子の浦港



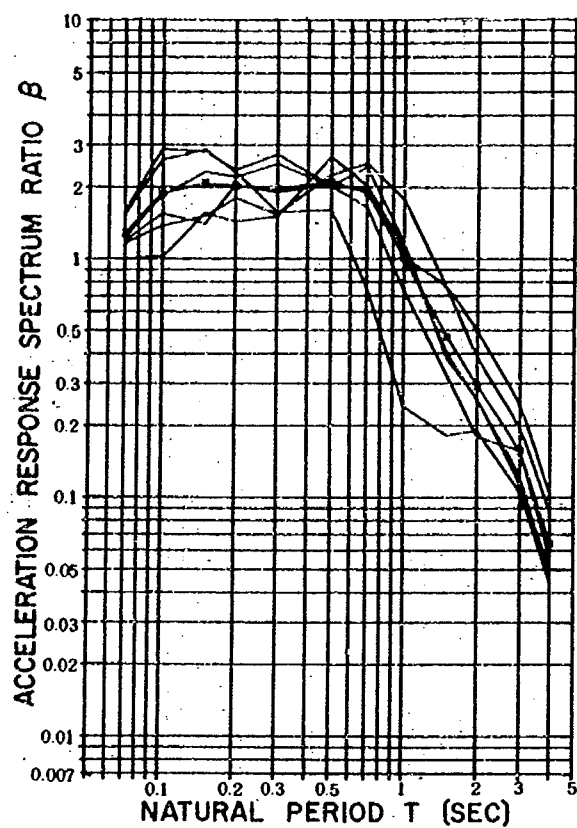
Site No. 59 久里浜港



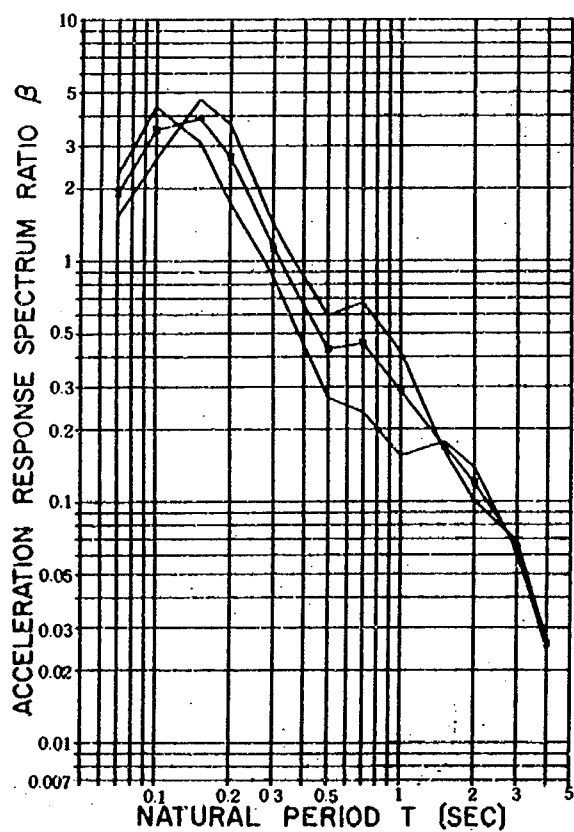
Site No. 60 塩釜港



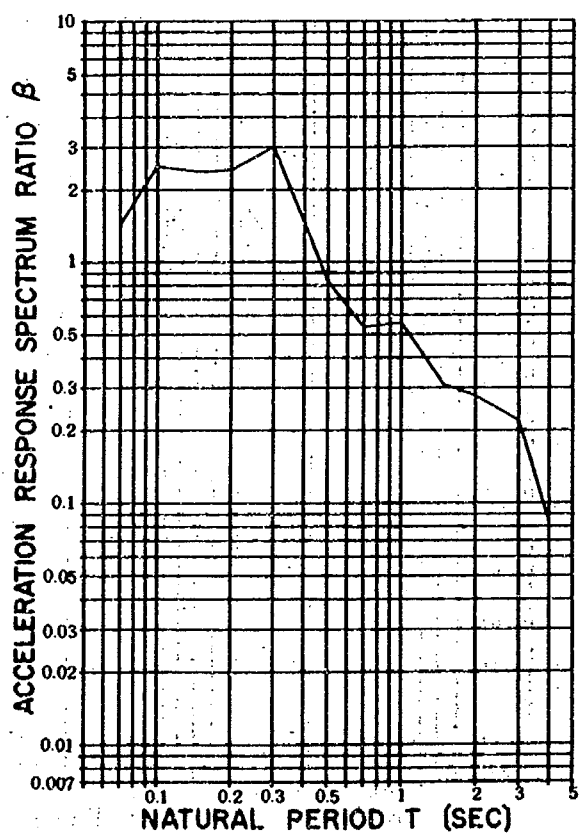
Site No. 6 1 苫小牧港



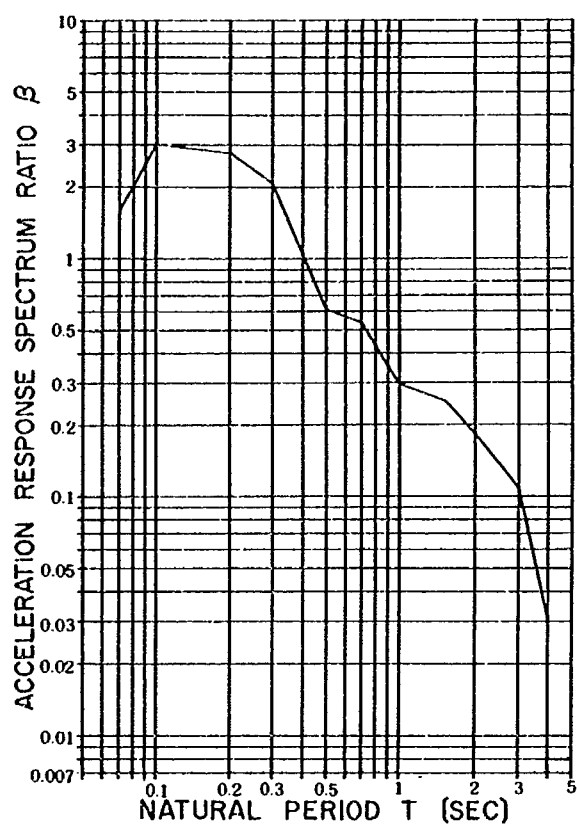
Site No. 6 2 鹿島港



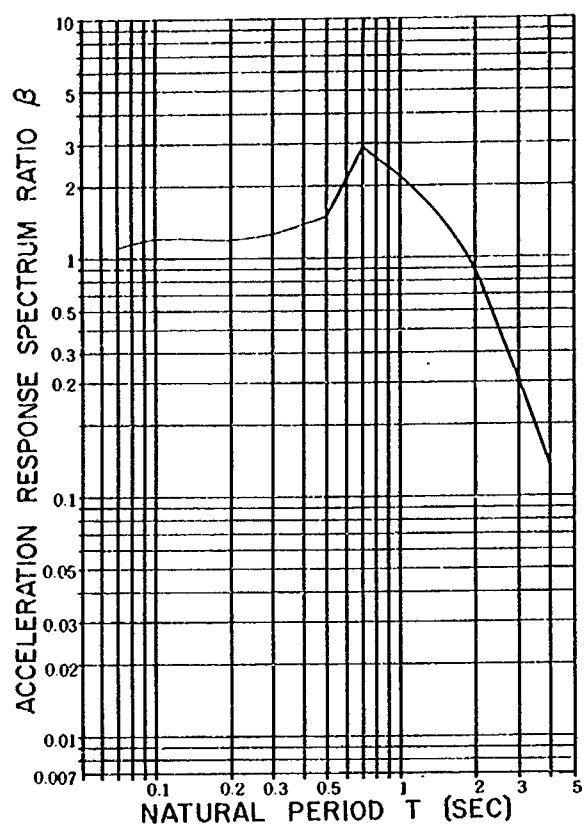
Site No. 6 3 大分港



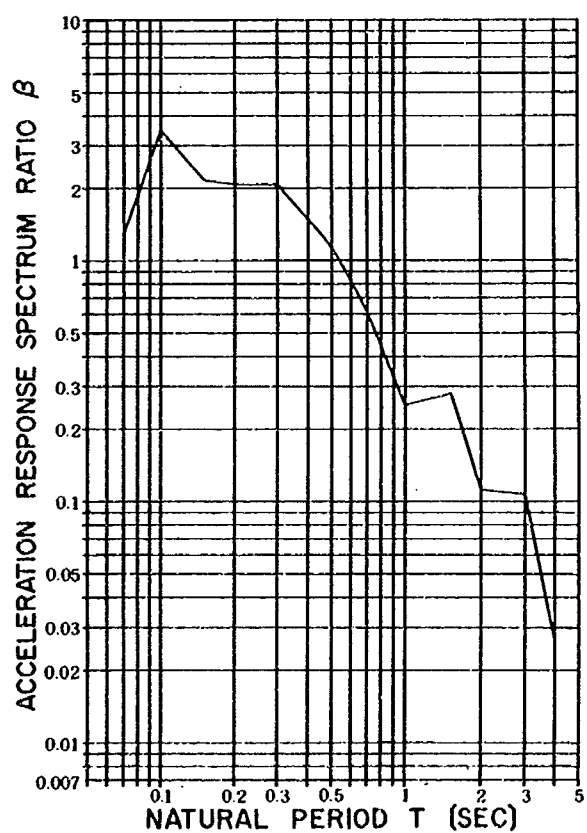
Site No. 6 4 沼津変電所



Site No. 65 熱海変電所



Site No. 66 新岩田変電所



Site No. 67 白堀変電所

付 属 資 料 - 3

$\tilde{P}(T)$ スペクトルの推定式

付属資料-3 $\tilde{\beta}(T)$ スペクトルの推定式

本章の4章および5章では、それぞれ加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A(T)$ および最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$ の推定式を示した。それぞれの推定式は式(4-1)および式(5-1)に示す通りであり、次式で与えられる。

$$\tilde{S}_A(T) = a(T) \times 10^{b(T)M} \times (d+30)^{-c(T)} \quad (\text{付3-1})$$

$$\tilde{a}_{\max} = a \times 10^{bM} \times (d+30)^c \quad (\text{付3-2})$$

係数 $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$ および a , b , c は重回帰分析よりそれぞれ表4-1および5-1のように与えられている。いま、式(付3-1)および式(付3-2)より加速度応答スペクトル倍率 $\tilde{\beta}(T)$ を次式で求める。

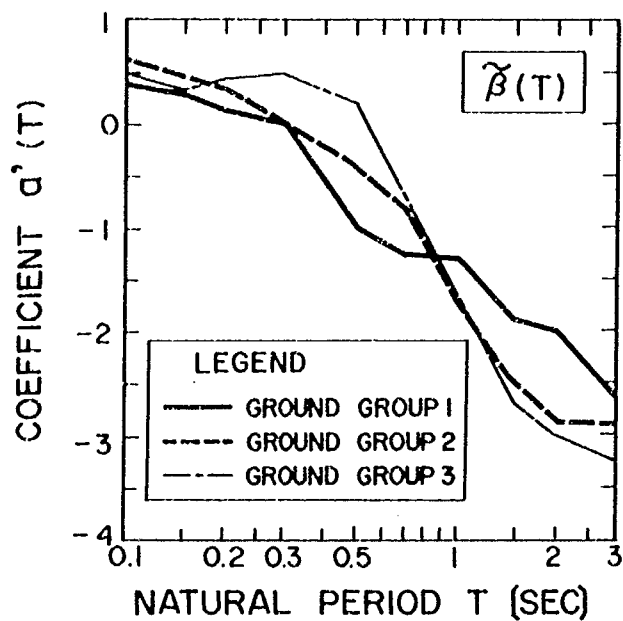
$$\begin{aligned} \tilde{\beta}(T) &= \frac{\tilde{S}_A(T)}{\tilde{a}_{\max}} = \frac{a(T)}{a} \times \frac{10^{b(T)M}}{10^{bM}} \times \frac{(d+30)^{-c(T)}}{(d+30)^c} \\ &= a'(T) \times 10^{b'(T)M} \times (d+30)^{-c'(T)} \quad (\text{付3-3}) \end{aligned}$$

上式による $\tilde{\beta}(T)$ スペクトルは、 $\tilde{S}_A(T)$ および $\tilde{a}_{\max}$ を水平面内でそれぞれ単独に求めた結果から計算した値であり、厳密には $\tilde{\beta}(T)$ とはならないが、一般に水平2成分の合成による $\tilde{a}_{\max}$ の増加率が8%程度と小さいことから、 $\tilde{\beta}(T)$ を近似すると考えられる。このようにして式(付3-3)の係数 $a'(T)$, $b'(T)$, $c'(T)$ を定めると付表3-1のようになる。また、付図3-1は $a'(T)$, $b'(T)$, $c'(T) \sim T$ の関係を示したものである。

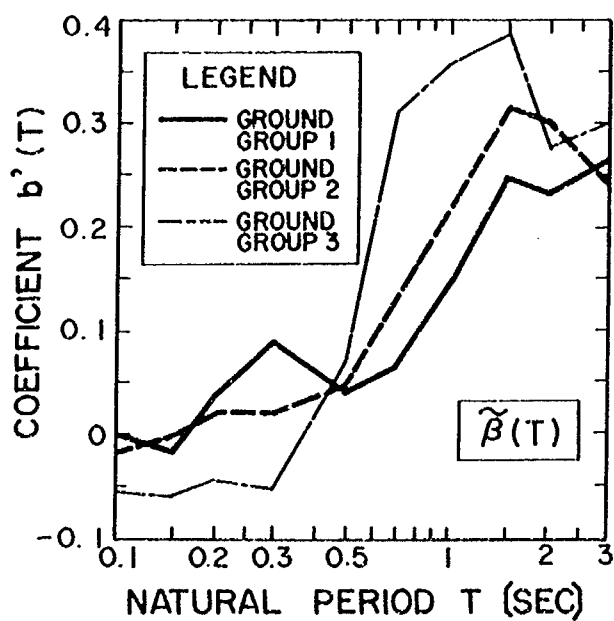
代表的な M および d の組合せに対して、式(付3-3)による $\tilde{\beta}(T)$ スペクトルを計算すると付図3-2のようになる。

付表3-1 $\tilde{\beta}(T)$ スペクトルの係数 $a'(T)$, $b'(T)$ および $c'(T)$ (式(付3-3)参照)

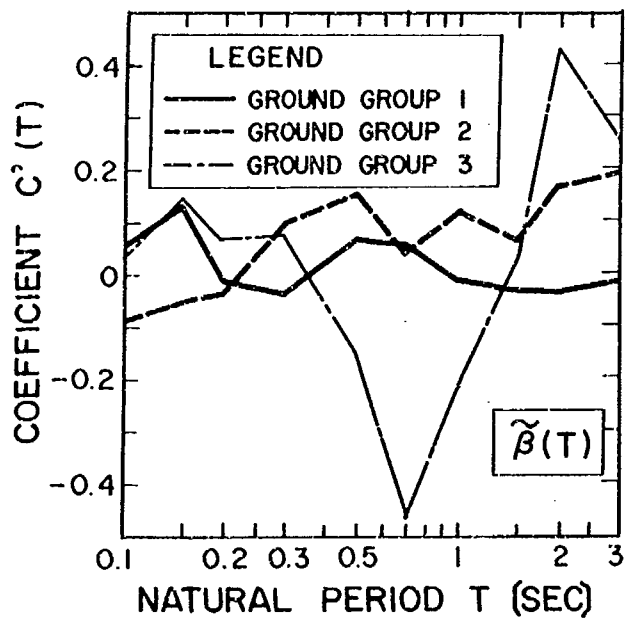
| 固有周期
T[秒] | 1 種 地 盤 | | | 2 種 地 盤 | | | 3 種 地 盤 | | |
|--------------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|----------|---------|
| | $a'(T)$ | $b'(T)$ | $c'(T)$ | $a'(T)$ | $b'(T)$ | $c'(T)$ | $a'(T)$ | $b'(T)$ | $c'(T)$ |
| 0.1 | 2.37 | -0.00177 | 0.0519 | 4.32 | -0.01927 | -0.0879 | 3.24 | -0.05476 | 0.03190 |
| 0.15 | 1.95 | -0.01827 | 0.1312 | 3.06 | -0.00176 | -0.0535 | 2.31 | -0.05977 | 0.1441 |
| 0.2 | 1.45 | 0.03885 | -0.0071 | 2.22 | 0.02091 | -0.0369 | 2.78 | -0.01572 | 0.0685 |
| 0.3 | 1.06 | 0.09271 | -0.1959 | 1.07 | 0.01977 | 0.0950 | 3.11 | -0.05235 | 0.0749 |
| 0.5 | 0.104 | 0.04045 | 0.3274 | 0.381 | 0.04962 | 0.1496 | 1.49 | 0.07587 | 0.1524 |
| 0.7 | 0.0562 | 0.06502 | 0.2826 | 0.151 | 0.1323 | 0.0214 | 0.1770 | 0.3115 | -0.4610 |
| 1 | 0.0538 | 0.1451 | -0.0695 | 0.01957 | 0.2172 | 0.1175 | 0.01906 | 0.3580 | -0.2250 |
| 1.5 | 0.0126 | 0.2485 | -0.1771 | 0.003012 | 0.3125 | 0.0609 | 0.001995 | 0.3855 | 0.02780 |
| 2 | 0.0100 | 0.2331 | -0.1710 | 0.001259 | 0.2994 | 0.1730 | 0.0008149 | 0.2793 | 0.4329 |
| 3 | 0.00230 | 0.2643 | -0.0792 | 0.001272 | 0.2377 | 0.1907 | 0.0006240 | 0.2997 | 0.2647 |



(a) 係数 $a'(T)$

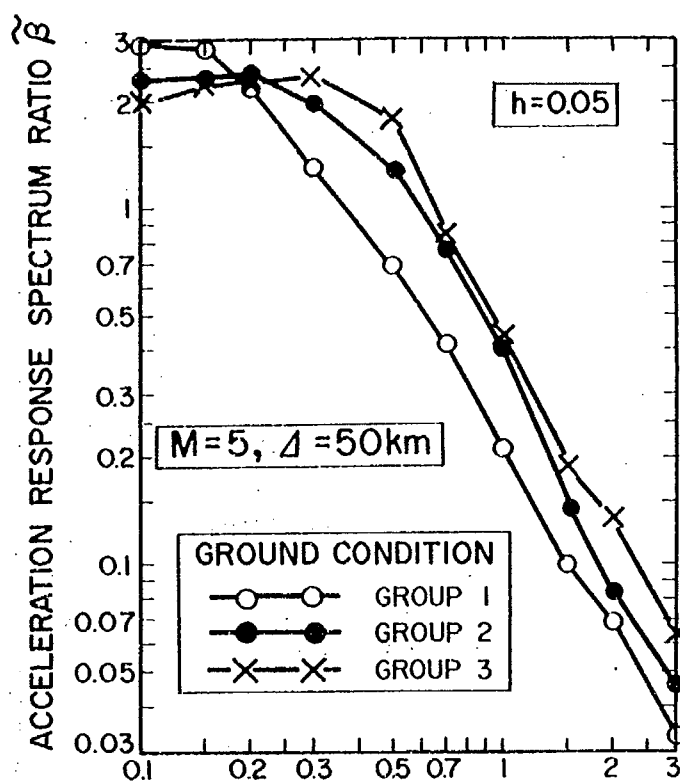


(b) 係数 $b'(T)$

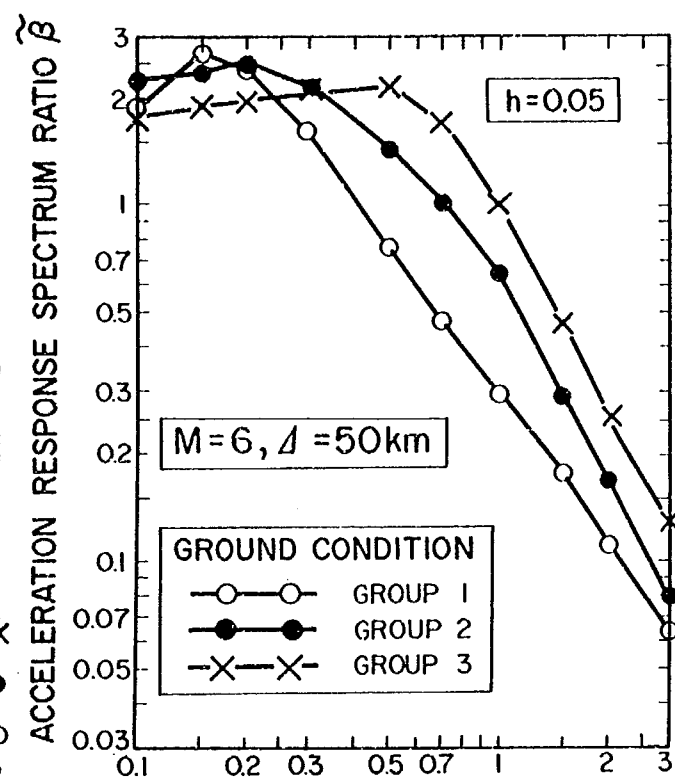


(c) 係数 $c'(T)$

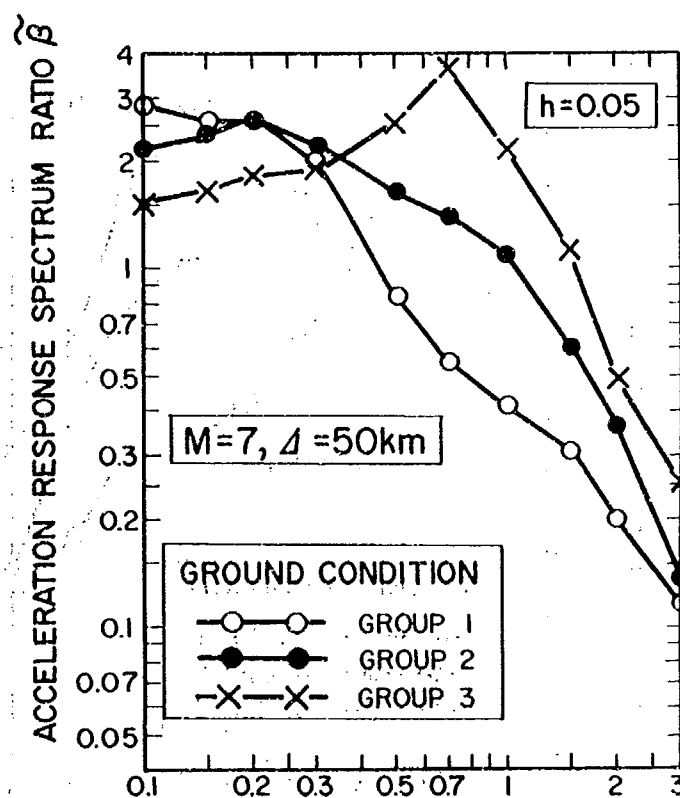
付図 3-1 $\tilde{\beta}(T)$ スペクトルの係数 $a'(T)$, $b'(T)$, $c'(T)$
(式(付 3-3) 参照)



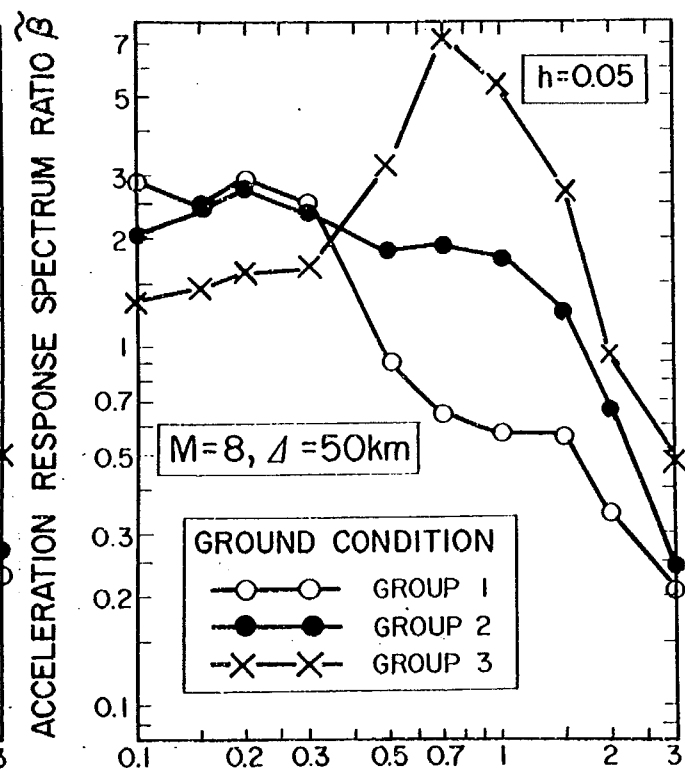
(a) M=5



(b) M=6

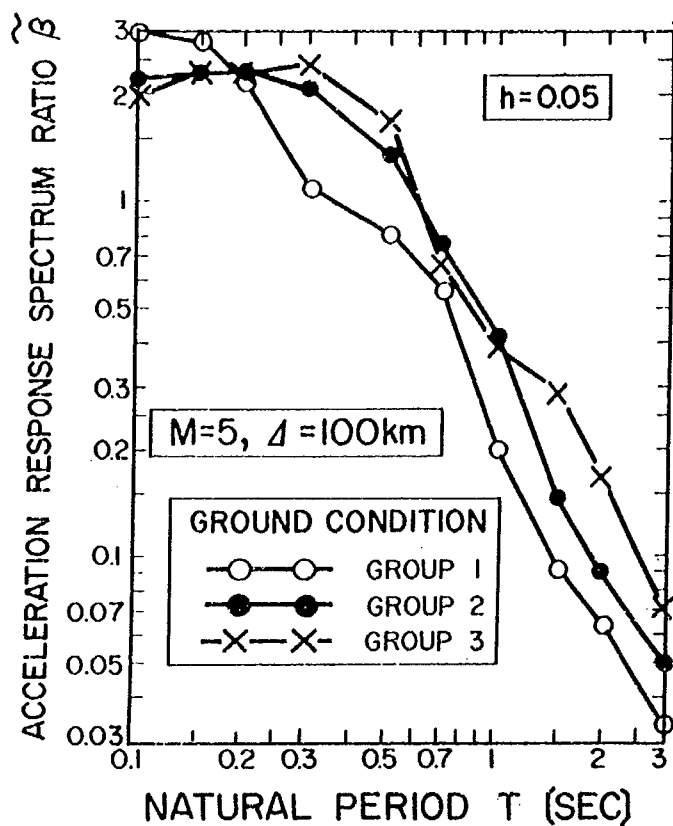


(c) M=7

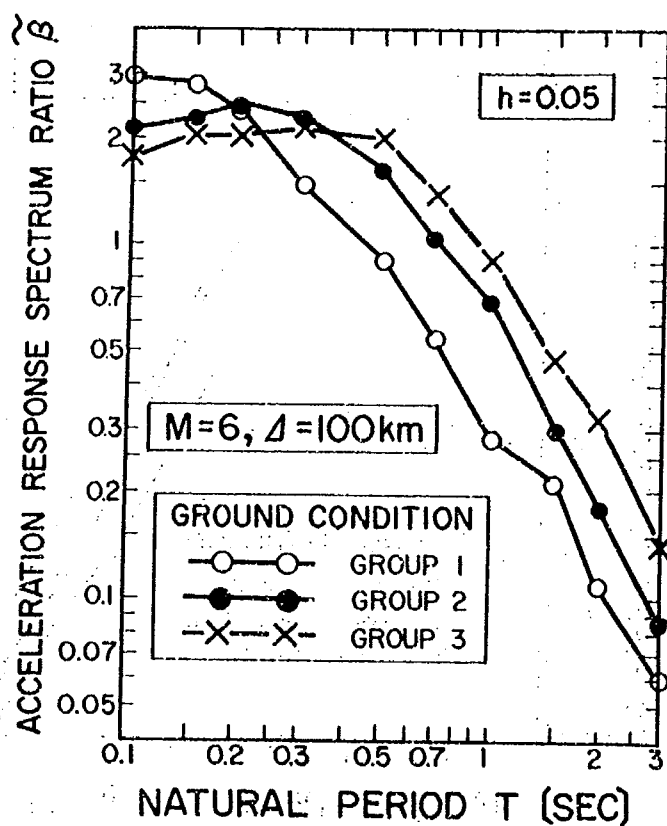


(d) M=8

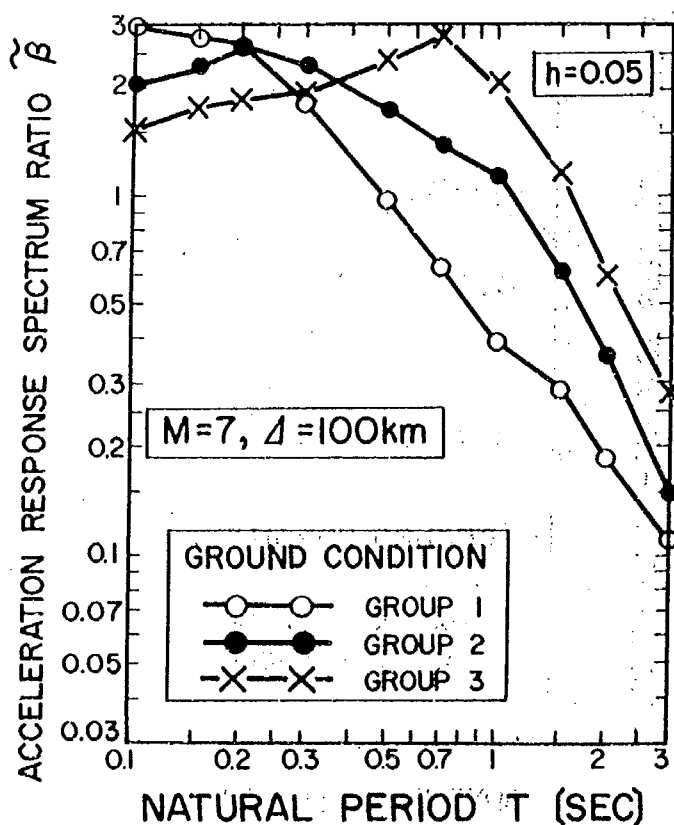
付図 3-2(1) $\tilde{\beta}(T)$ スペクトル ($\Delta=50\text{ km}$ の場合)



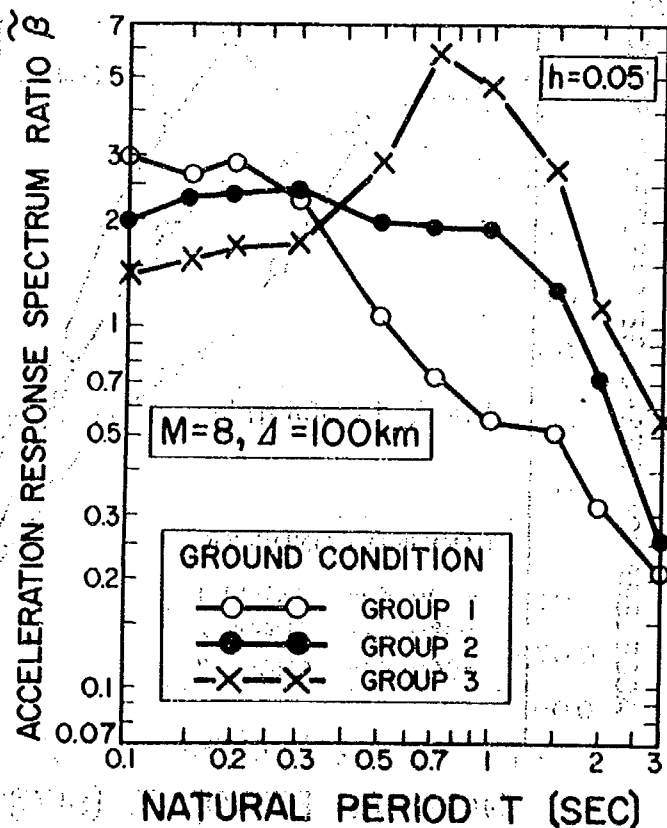
(a) $M=5$



(b) $M=6$

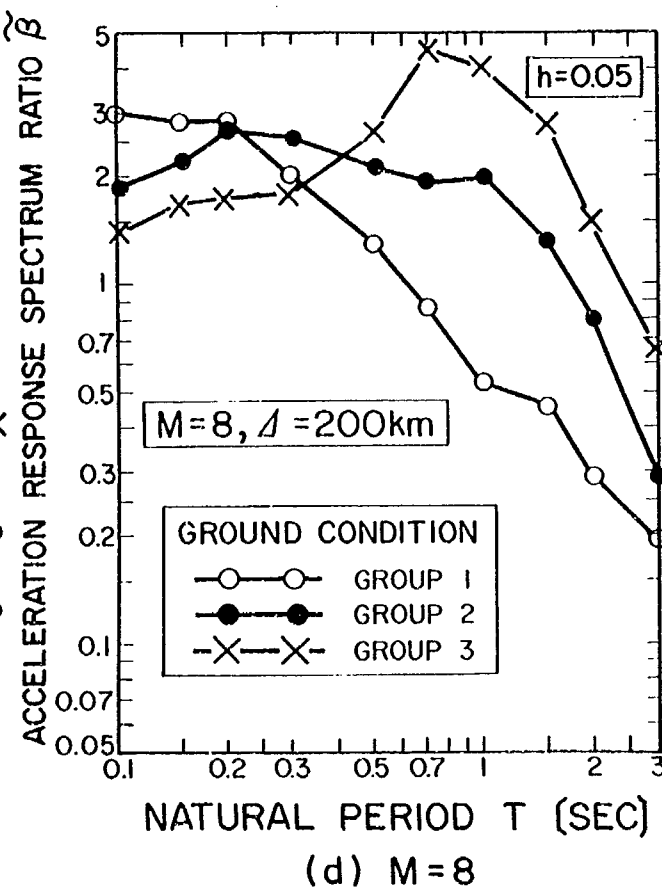
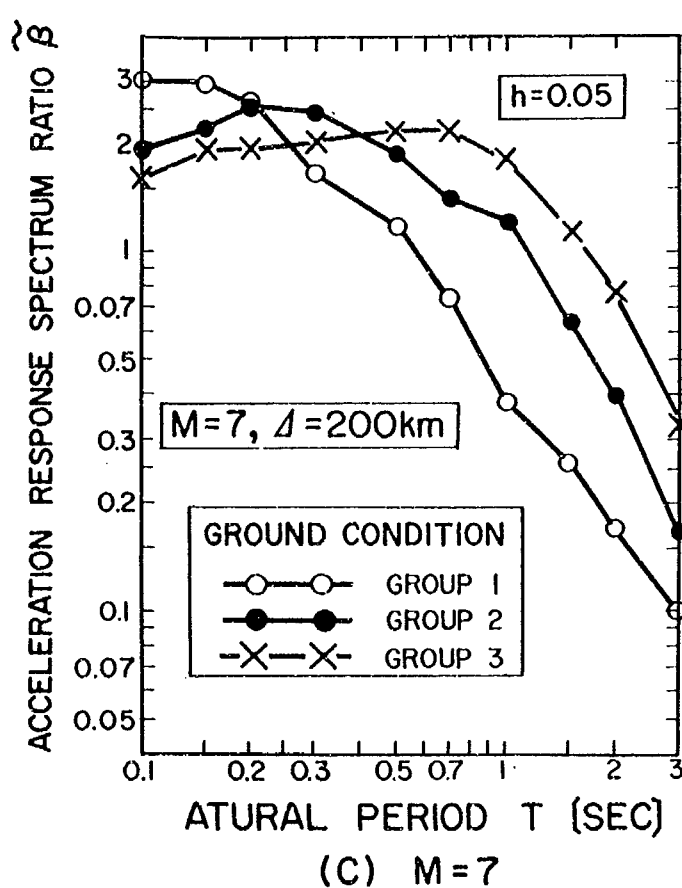
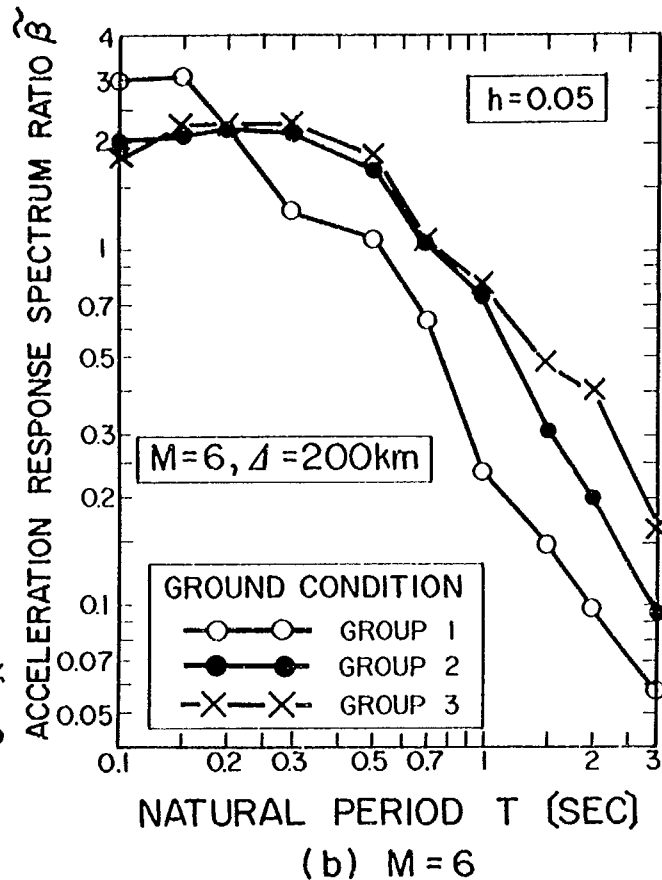
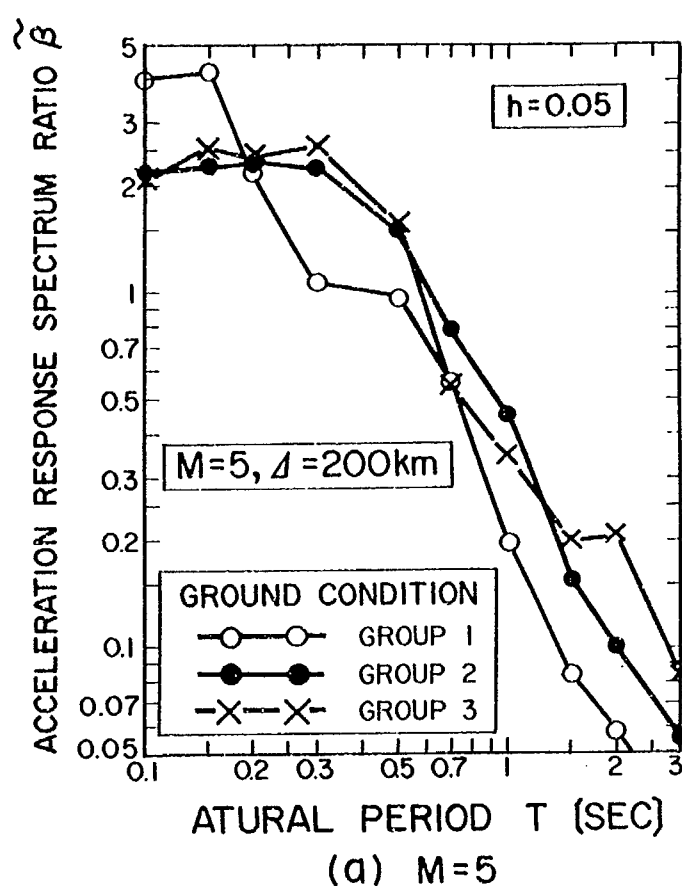


(c) $M=7$



(d) $M=8$

付図 3-2(2) $\tilde{\beta}(T)$ スペクトル ($\Delta=100\text{km}$ の場合)



付図 3-2(3) $\tilde{\beta}(T)$ スペクトル ($\Delta=200\text{km}$ の場合)

最大地震動および地震応答スペクトルの推定法

——(その3)最大加速度,速度,変位および加

速度応答スペクトルの距離減衰式の開発——

ISSN 0386-5878

土研資料第1864号

昭和57年9月(1982)

荒川直
川島一
相沢和
高橋和
士彦興之

キーワード

耐震設計, 地震応答スペクトル, 最大地震動, 入力地震動

要 旨 本報告は, SMAC型強震計記録の数値化精度を考慮した計器補正法を用い, 水平2成分の合成効果を考慮して, 我国の地盤上で得られた197組(2@197成分)の強震記録をもとに, 水平成分の地震動の最大加速度, 最大速度, 最大変位および地震応答加速度スペクトルの統計解析を行い, これらの実用的な推定式を提案するものである。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十円切手
をはって下
さい

建設省土木研究所

振動研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一

No. 270

No. 270

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1864号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印