189
ISSN 0386－5878
土木研究所資料第2386号

土 木 研 究 所 資 料

気象庁一倍強震計の記録精度に関する実験的検討

昭和61年6月

建 設 省 土 木 研 究 所
地震防災部・振動研究室

Copyright ©(1986) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第2386号昭和61年6月

土木研究所資料

気象庁一倍強震計の記録精度に関する実験的検討

要旨　気象庁一倍強震計の記録精度に関する実験的検討

長周期地震動特性の解明を図るために，最近，気象庁一倍強震計記録の解析が数多く実施されているが，同強震計の記録精度について検討した事例は必ずしも多くない。そこで，本解析では，気象庁一倍強震計の加振実験を行い，同強震計記録の数値補正フィルターの妥当性について検討するとともに，一倍強震計記録から数値微分して求めた加速度による加速度応答スペクトルの精度について検討した。その結果，気象庁一倍強震計記録の計器補正を行うための長周期側および短周期側の遮断周期は，それぞれ，20秒および2秒とすることが適当であることが明らかになった。また，その時の固有周期2～20秒の範囲における加速度応答スペクトル値（減衰定数5％）はディジタル強震計による加速度応答スペクトル値の1.05～1.15倍程度の値をとることが明らかになった。

キーワード：長周期地震動，気象庁一倍強震計，加速度応答スペクトル

ま　え　が　き

地震動の特性に関する研究は，我が国においては従来SMAC型強震計記録を主体として行われてきており，最大地震動（最大加速度，最大速度，最大変位）および加速度応答スペクトルに及ぼす地震の規模，震央距離，地盤条件等の影響が体系的に調査されてきている。また，これらの検討結果に基づき上記諸特性の推定式（距離減衰式）も提案されるに至っている[1]。SMAC型強震計の中でも主要記録の大部分を提供しているのはSMAC－B_2型強震計であるが，この型の強震計は，振子の固有周期が0.14秒の機械式強震計であり，さらに記録はスタイラスペーパー上にアナログ記録として得られる。したがって，各種の解析に用いるためにはこれを数値化しなければならないが，主としてこの過程の精度の関係からSMAC－B_2型強震計記録の精度が安定しているのはおおむね0.08～3秒の範囲内とされている[2]。さらに，振子の機械的な固有周期が0.14秒であることから，本質的に数秒のオーダーの地震動を正確に記録し得るかどうかに関しては検討の余地があると考えられる。

土木構造物の固有周期は一般に短いものが多く，固有周期が1～2秒を超えるものは稀であるが，長大吊橋等の構造物では数秒のオーダーになるものもある。こうした長周期構造物の設計地震力を設定する際には，SMAC型強震計記録の検討だけでは十分でなく，長周期の地震動特性を慎重に検討する必要がある。このような長周期地震動特性の解明を図るために，最近，気象庁一倍強震計記録の解析[例えば，3)-6)]が数多く実施されているが，同強震計の記録精度について検討した事例[7]は必ずしも多くない。

以上のような観点から，本解析は，気象庁一倍強震計の加振実験を行い，同強震計記録の数値補正フィルターの妥当性について検討するとともに，一倍強震計記録から数値微分して求めた加速度による加速度応答スペクトルの精度について検討するものである。

昭和61年　6月

建設省土木研究所　地震防災部振動研究室
室　　長　佐々木　　康
研 究 員　田 村 敬 一
相 沢　　興
高 橋 和 之*

---

*現　建設省関東地方建設局　関東技術事務所　材料試験課

目　　次

まえがき

1. 実験の概要 …… 1

2. 計器補正および加速度の計算方法 …… 14

3. 記録精度の検討 …… 20
   3.1 長周期側の遮断周期が変位の精度に及ぼす影響 …… 20
   3.2 加速度応答スペクトル値の精度の検討 …… 21

4. 結　　論 …… 54

謝　　辞 …… 55
参考文献 …… 56

付属資料 1. 気象庁一倍強震計による変位波形 …… 57
2. 気象庁一倍強震計記録から計算した加速度波形 …… 65
3. ディジタル強震計記録から計算した変位波形 …… 73
4. 加速度応答スペクトル比の一覧 …… 79
5. 減衰定数2％の加速度応答スペクトル比 …… 83

1. 実験の概要

加振実験の対象とした気象庁一倍強震計は，52C型一倍強震計の水平1成分のみを記録できるようにしたものであり，その記録方向が加振方向と一致するように振動台上に固定した（写真1.1参照）。52C型一倍強震計の基本仕様は表1.1に示すとおりであり，固有周期（水平成分）および制振度[5]は，それぞれ，6秒および10以上となっている。また，その外観は図1.1に示すとおりである。本実験で使用した気象庁一倍強震計の自由振動波形および減衰波形は図1.2に示すとおりであり，これより求めた固有周期および制振度は，表1.2に示すように，5.78秒および8.03となる。ここで，制振度vと減衰定数hの間には次式に示す関係があるので[5]，減衰定数は0.553となる。

$$h = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\pi}{\log_e v}\right)^2}} \qquad (1.1)$$

加振実験に使用した振動台は土木研究所所有の強震計検定用振動台であり，その主要な仕様は表1.3に示すとおりである。本振動台の特長は，最大変位振幅20cmの加振が可能であるため低振動数領域の地震動に対する再現性が良く，動電型であるため振動波形にノイズが少ないことである。

気象庁一倍強震計の記録精度を検討するための基準となる振動台の加速度および変位は，それぞれ，ディジタル強震計および差動トランス型変位計を用いて記録することとした。ディジタル強震計の換振器には速度帰環型サーボタイプ加速度計が使用されており，また，記録は200Hzサンプリングの16ビットAD変換器によりディジタル化された後ディジタルカートリッジテープに収録される。なお，本強震計は土木研究所が駿河湾沿岸における高密度強震観測[8)-10)]に使用しているディジタル強震計と同一のものであり，その主要な仕様は表1.4に示すとおりである。また，差動トランス型変位計の記録は，12ビットAD変換器により50Hzサンプリング（後述する実験Iの場合）もしくは100Hzサンプリング（実験IIの場合）で磁気テープに収録した。

加振実験は，比較的長周期領域（周期2秒程度以上）における気象庁一倍強震計の記録精度の検討を主目的とした実験（以下，実験Iと呼ぶ），および比較的短周期領域（周期2秒程度以下）における同強震計の記録精度の検討を主目的とした実験（以下，実験IIと呼ぶ）の2種類を実施した。実験Iおよび実験IIに使用した入力記録は，それぞれ，表1.5に示す8成分の気象庁一倍強震計記録および4成分のSMAC型強震計記録である。差動トランス型変位計による変位波形およびディジタル強震計による加速度記録は，それぞれ，図1.2および図1.3に示すとおりである。なお，加速度記録には付属資料3に示すような計器補正を施している。また，ディジタル強震計による加速度記録から求めた加速度応答スペクトル（減衰定数5％）を示すと，図1.4のようになる。図1.4からわかるように，実験Iおよび実験IIのいずれの場合にも入力記録には種々異なる周期特性を有する記録を選定している。

表 1.1　気象庁一倍強震計（52 C型）の主要仕様

項　目	特　性	仕　様
基本仕様	周　期	水平成分　6.0±0.2秒 上下成分　5.0±0.2秒
	基本倍率	1倍（水平，上下とも）
	制振度	10 以上
	摩擦値	水平成分　＜0.04 mm 上下成分　＜0.05 mm
	記録方式	ドラム，インク書き
	起動器	電動無停電（24 時間以上）方式
	刻　時	水平1成分のみ
	最大記録全振幅	水平成分　60 mm 上下成分　50 mm
振子部	形　式	水平成分　水平振子 上下成分　ユーイング型
	質　量	水平成分　約5.9 kg 上下成分　約4.4 kg
	描針腕の長さ	水平成分　300 mm 上下成分　250 mm
	相当振子の長さ	水平成分　約314 mm 上下成分　約266 mm
	重心距離	水平成分　約274 mm 上下成分　約227 mm
ドラム部	円　周	750 mm±4 mm
	横　幅	400 mm±2 mm
	材　質	ドラム　アルミ板 シャフト　黄銅（φ 12 mm）
制振器	マグネット型	MK－5または同等以上のもの
	制振板	銅　板
起動器	送り速度	30 mm／分
	モーター	100V　6W　60Hz シンクロナス
	充電方式	フローティング
	記録間隔	1.5 mm
その他	寸　法	横1200 mm×奥行1000 mm×高さ600 mm
	重　量	約150 kg

表 1.2　実験に用いた気象庁一倍強震計の固有周期および制振度

(a) 固有周期

	5周期〔sec〕	固有周期 T_0〔sec〕
1回	28.87	5.78
2回	28.99	5.80
3回	28.80	5.76
平均	—	5.78

(b) 制振度

	振幅 Δ_1〔mm〕	振幅 Δ_2〔mm〕	制振度 $v=\Delta_1/\Delta_2$
1回	32.70	4.10	7.98
2回	33.65	4.20	8.01
3回	21.85	2.70	8.09
平均	—	—	8.03

表 1.3　強震計検定用振動台の主要仕様

駆動方式	動電型
振動台寸法	800㎜×800㎜
最大載荷重量	100kg
最大加振力	60kg
最大加速度	1400gal（無載荷時） 840gal（最大載荷時）
最大速度	60 cm/sec
最大変位	20 cm
加振振動数範囲	0.1～100 Hz
加振波形	正弦波，ランダム波，地震波

表 1.4　ディジタル強震計の主要仕様

換振部	タイプ	速度帰還型サーボタイプ加速度計
	フルスケール	±1000gal
	固有振動数	5 Hz
	減衰定数	240
起動部	感振方向	上下成分
	起動加速度	5 gal（可変）
記録部	方式	ディジタル（16ビット）
	成分数	信号3，時間1，計 4
	テープ	ディジタルカートリッジテープ
	ダイナミックレンジ	96 dB（公称値）
	サンプリング間隔	1/200秒
	記録時間	約30分
	遅延時間	5秒
タイムコード	時計精度	10^{-7}（公称値）
	自動時刻較正	NHK時報により毎正時に較正

表1.5 加振実験の一覧

	記録番号	記録名	成分	気象庁一倍強震計記録			最大変位[1] (cm)	最大加速度[2] (gal)	地震名
				継続時間 (sec)	データ個数	平均サンプリング間隔(sec)			
実験I	1	森	N−S	449.6	842	0.534	1.503	2.926	1968年十勝沖地震
	2	鹿児島	N−S	448.8	874	0.514	0.915	2.842	1968年日向灘地震
	3	仙台	E−W	441.6	877	0.504	1.644	3.203	1968年十勝沖地震
	4	岡山	E−W	449.4	616	0.730	3.814	4.826	1968年日向灘地震
	5	盛岡	E−W	474.2	649	0.731	2.703	3.851	1968年十勝沖地震
	6	高知	E−W	419.9	558	0.753	4.724	4.263	1968年日向灘地震
	7	根室	N−S	509.0	663	0.768	4.338	5.920	1968年十勝沖地震
	8	剣山	E−W	479.1	896	0.535	5.684	5.666	1968年日向灘地震
実験II	9	八戸港	N−S	149.6	552	0.271	1.177	25.843	1968年十勝沖地震
	10	石狩河口橋	TR.	149.4	600	0.249	1.396	27.228	1982年浦河沖地震
	11	津軽大橋	LG.	146.0	339	0.431	1.750	26.710	1983年日本海中部地震
	12	八郎潟	TR.	176.9	603	0.293	1.694	6.517	1983年日本海中部地震

1) 差動トランス型変位計による。 2) ディジタル強震計による。

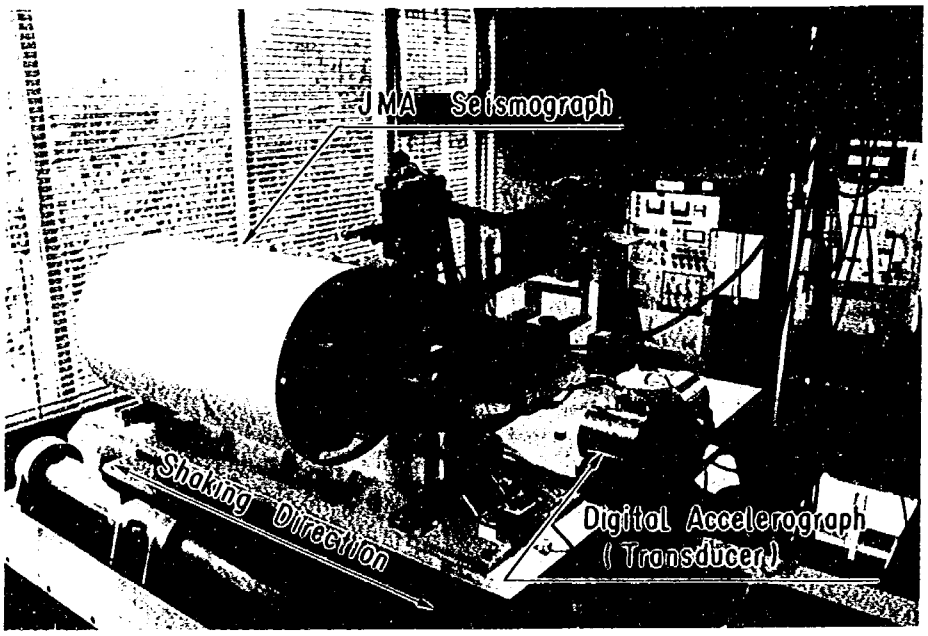
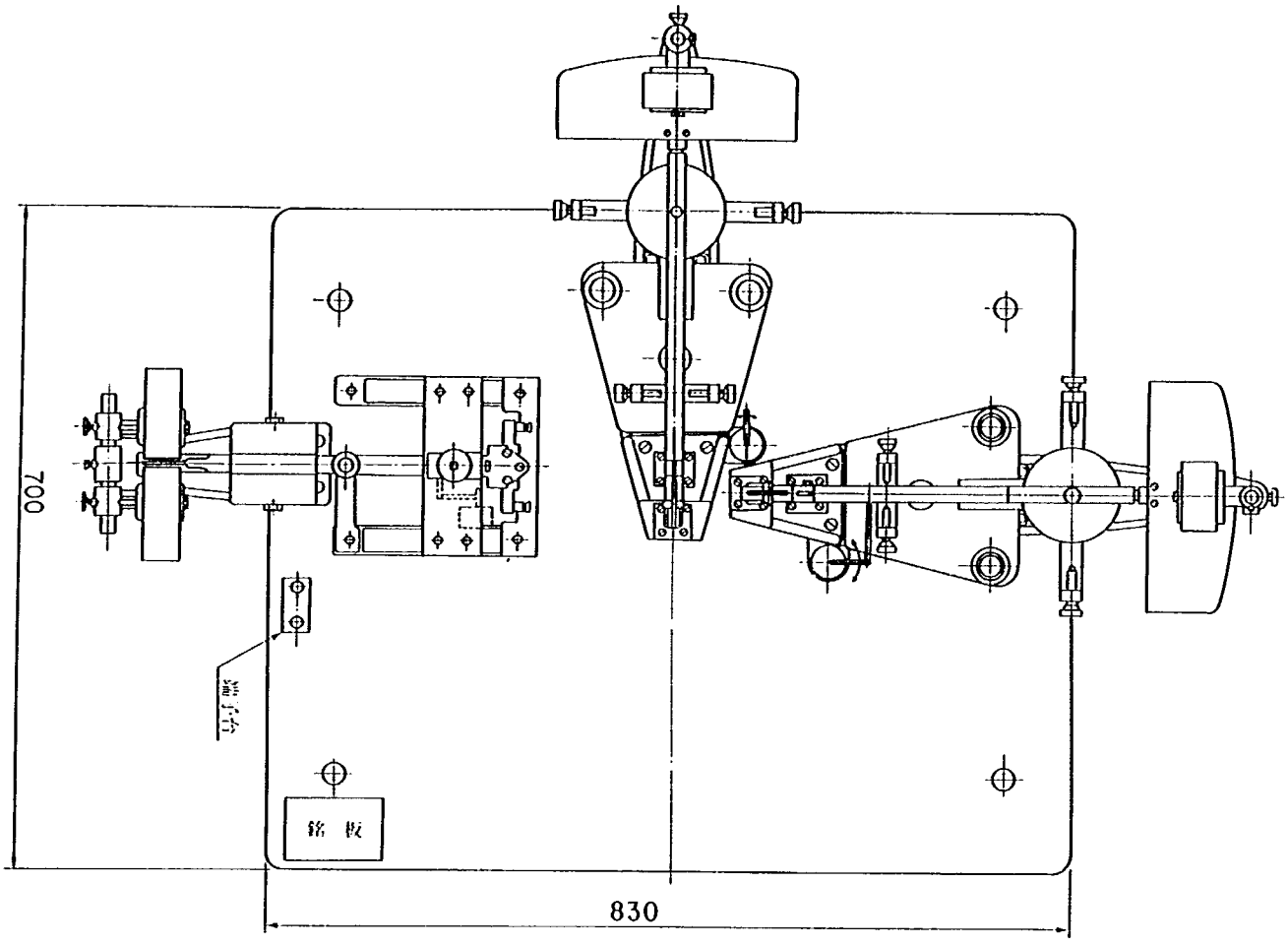
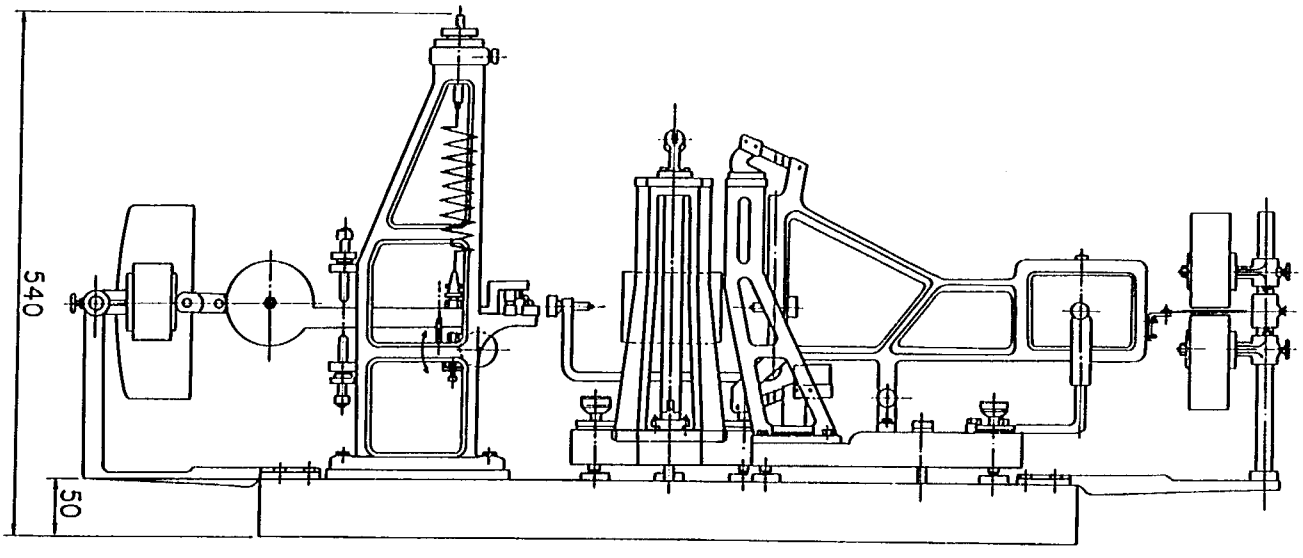


写真1.1 加振実験の概要

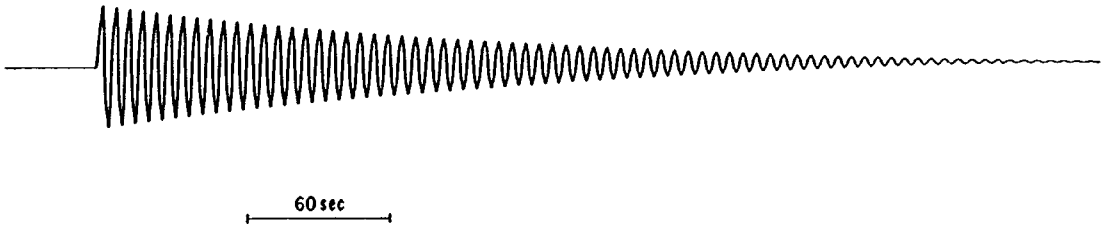


(a) 平 面 図

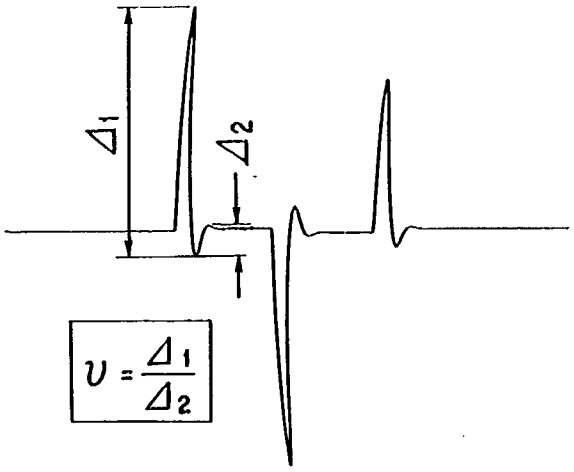


(b) 正 面 図

図 1.1 気象庁一倍強震計（52 C型）の外観図（記録ペンおよびドラムは省略）

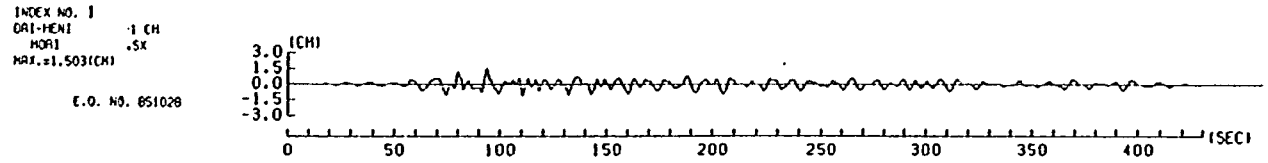


（a） 自由振動波形

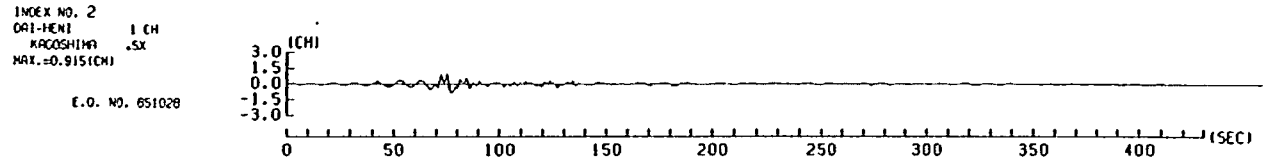


（b） 減 衰 波 形

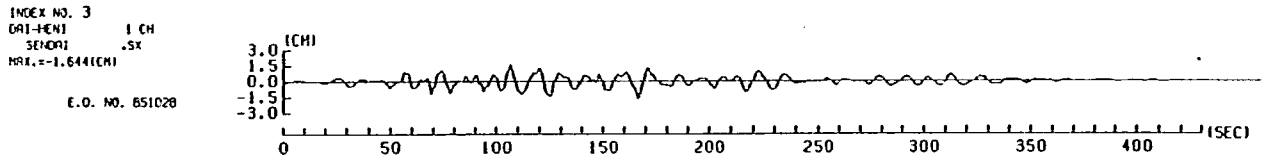
図 1.2　気象庁一倍強震計の自由振動波形および減衰波形



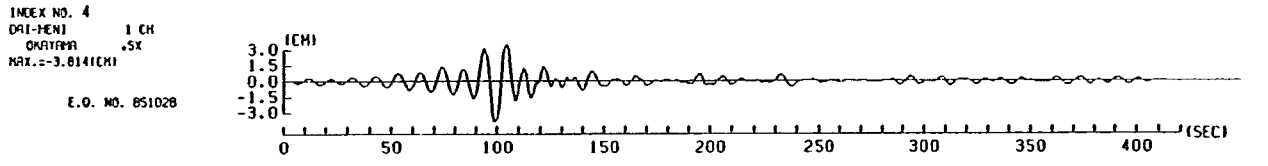
(a) 森



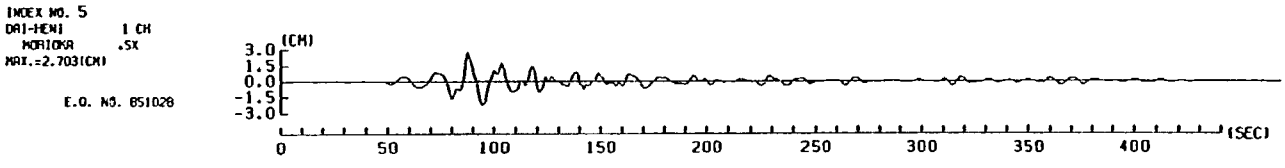
(b) 鹿 児 島



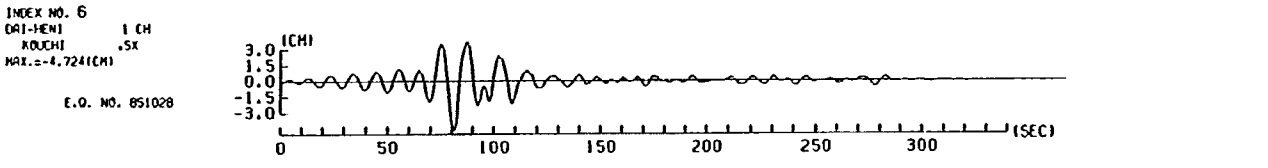
(c) 仙 台



(d) 岡 山

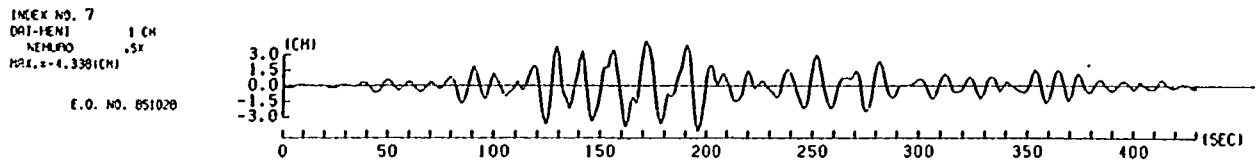


(e) 盛 岡

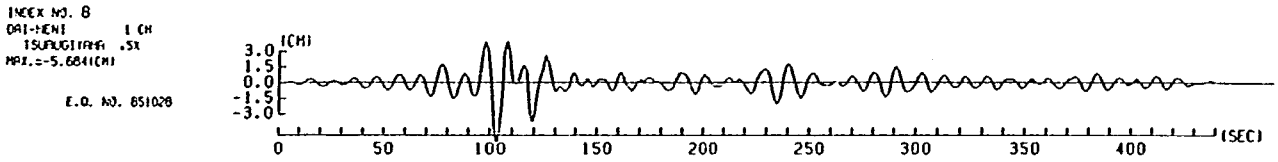


(f) 高 知

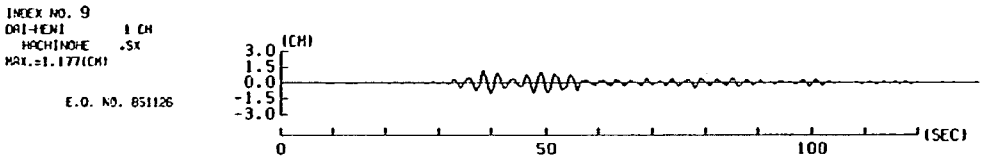
図 1.3(1) 差動トランス型変位計による変位波形



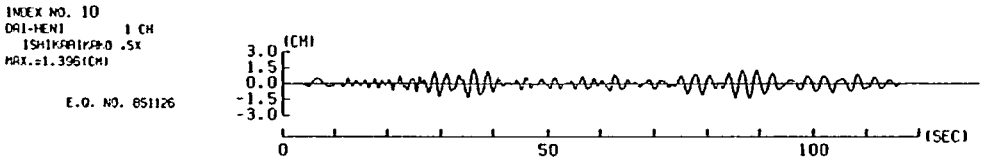
(g) 根　室



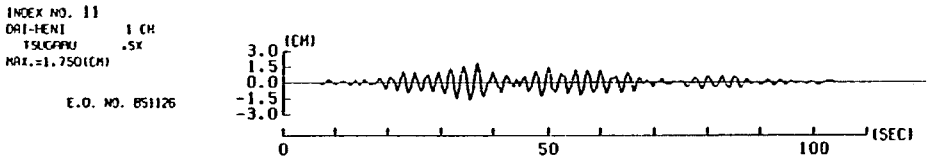
(h) 剣　山



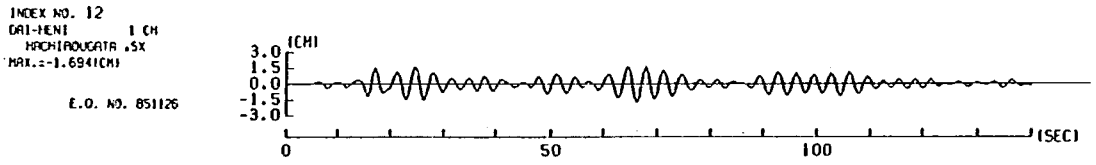
(i) 八 戸 港



(j) 石狩河口橋

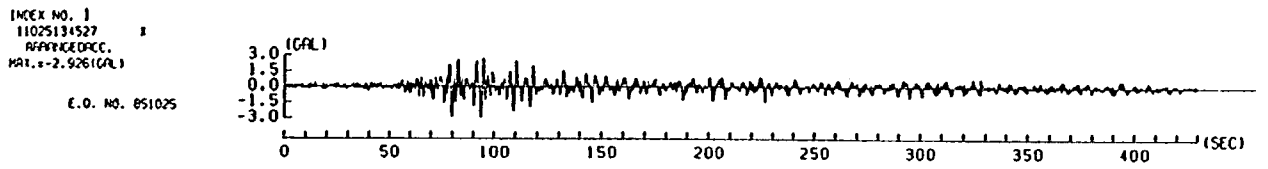


(k) 津 軽 大 橋

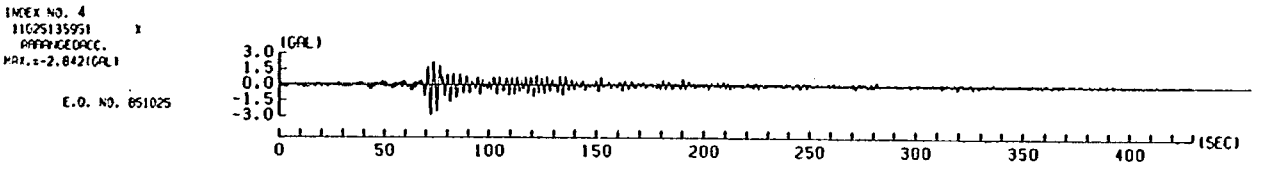


(l) 八 郎 潟

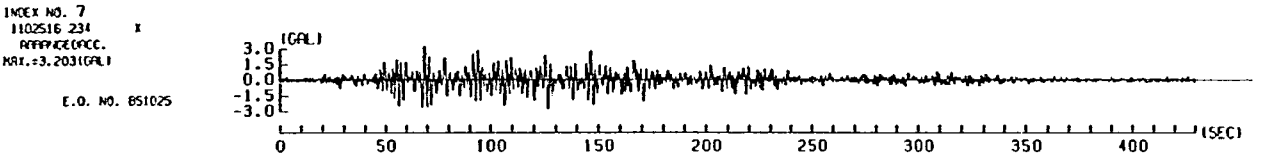
図 1.3(2) 差動トランス型変位計による変位波形



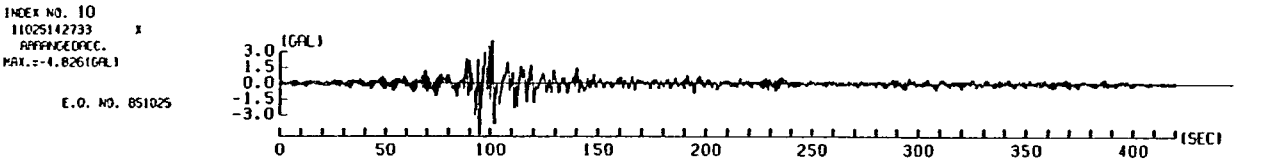
(a) 森



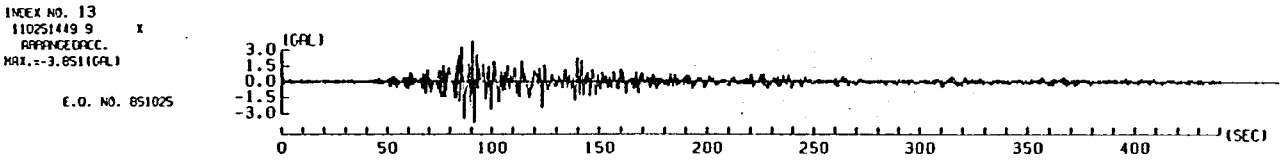
(b) 鹿 児 島



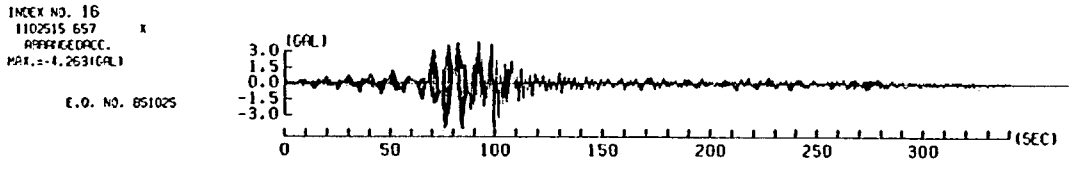
(c) 仙 台



(d) 岡 山

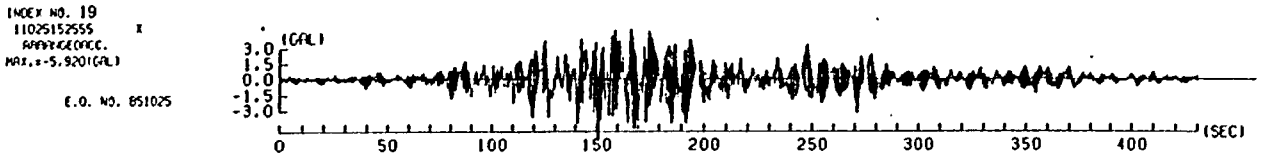


(e) 盛 岡

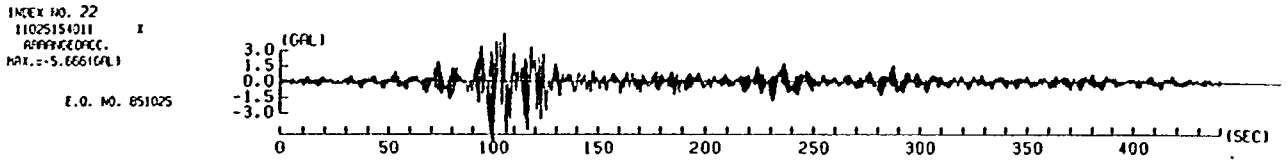


(f) 高 知

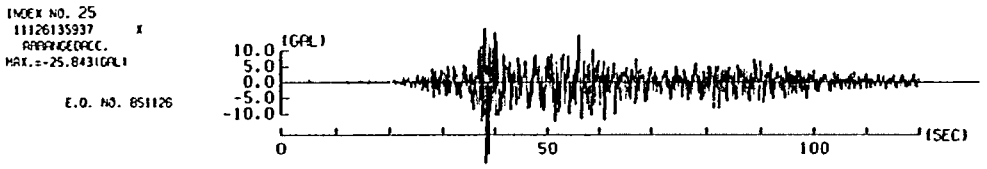
図 1.4(1) ディジタル強震計による加速度波形



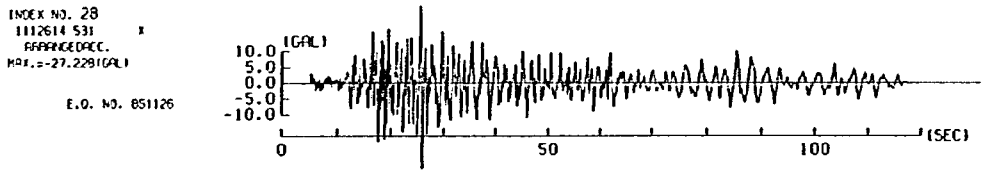
(g) 根　　室



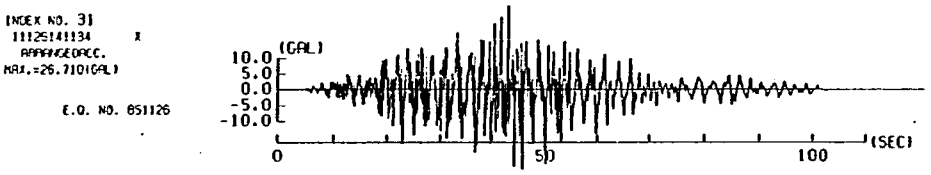
(h) 剣　　山



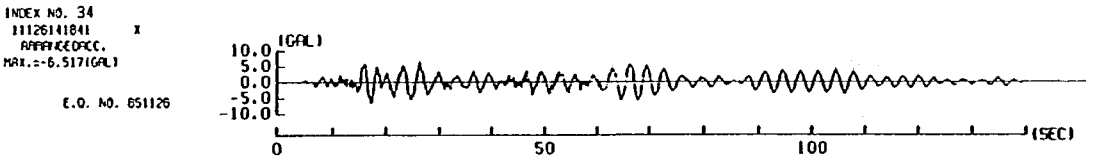
(i) 八 戸 港



(j) 石狩河口橋

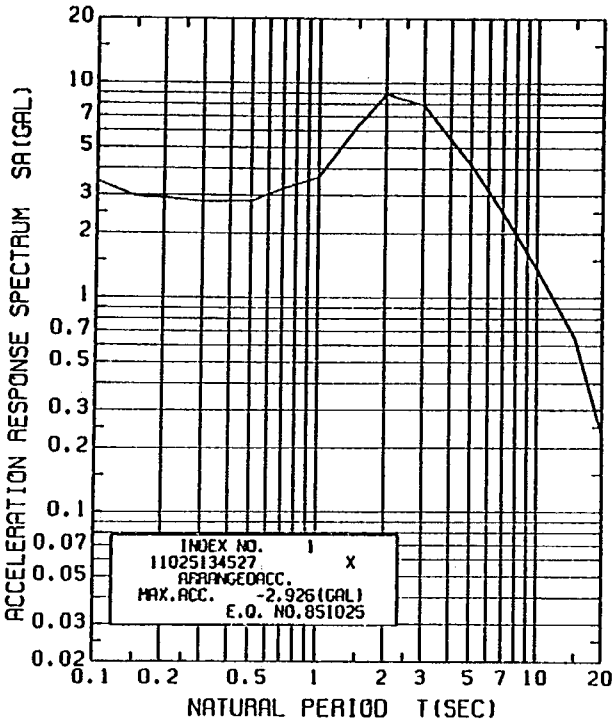


(k) 津 軽 大 橋

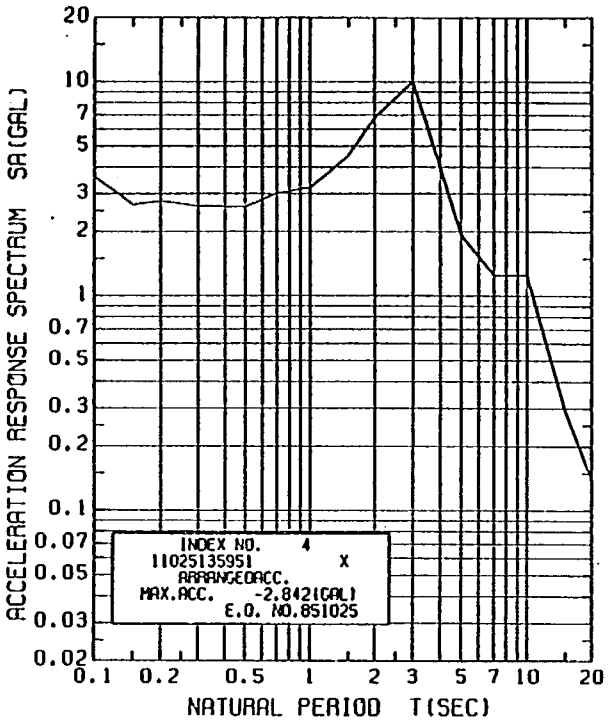


(l) 八 郎 潟

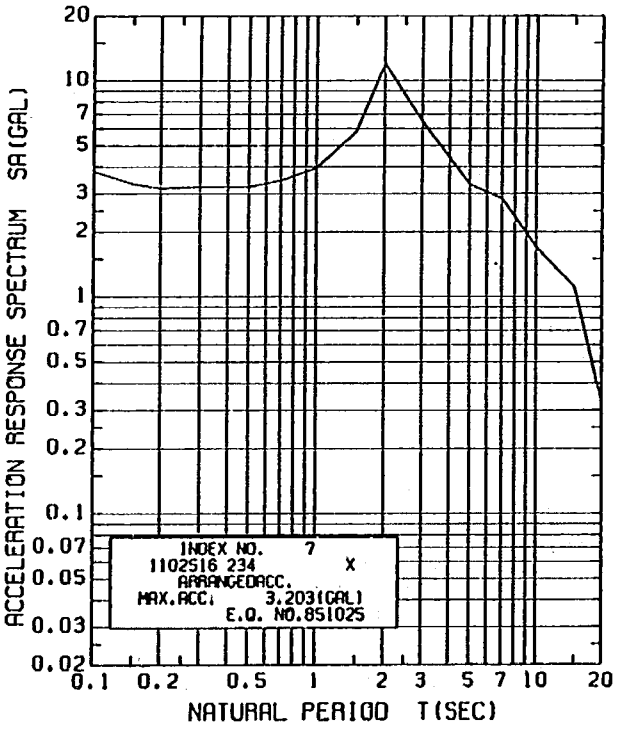
図 1.4(2) ディジタル強震計による加速度波形



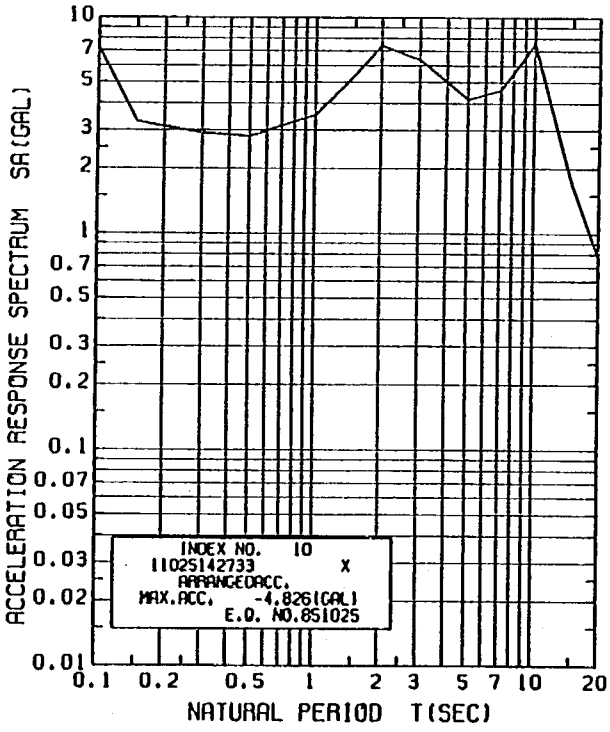
(a) 森



(b) 鹿 児 島

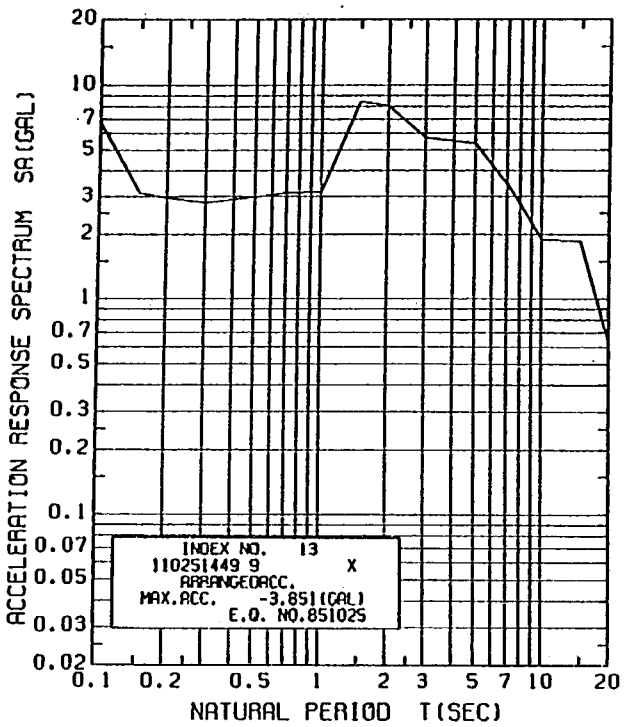


(c) 仙 台

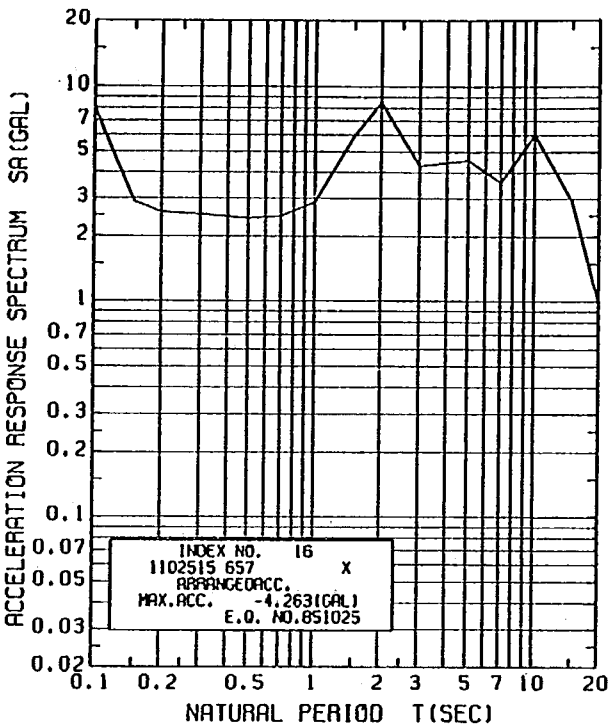


(d) 岡 山

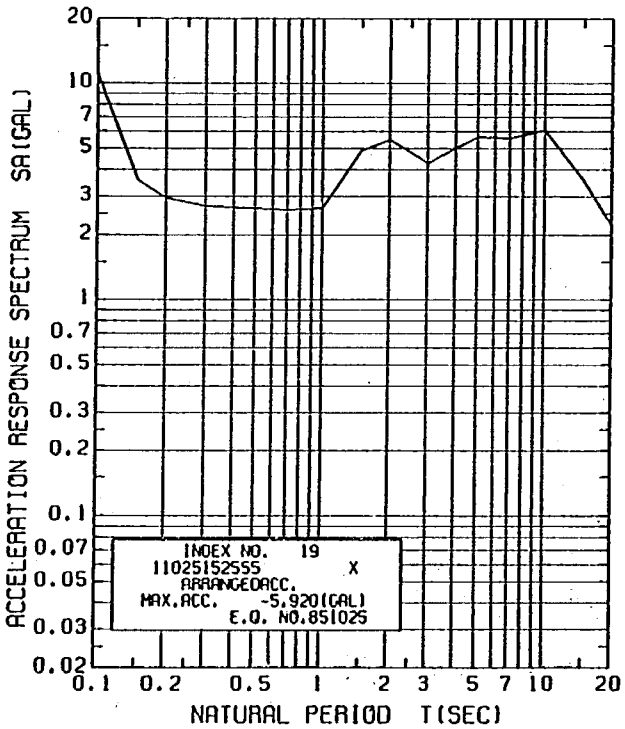
図 1.5(1) 加速度応答スペクトル（減衰定数5％）



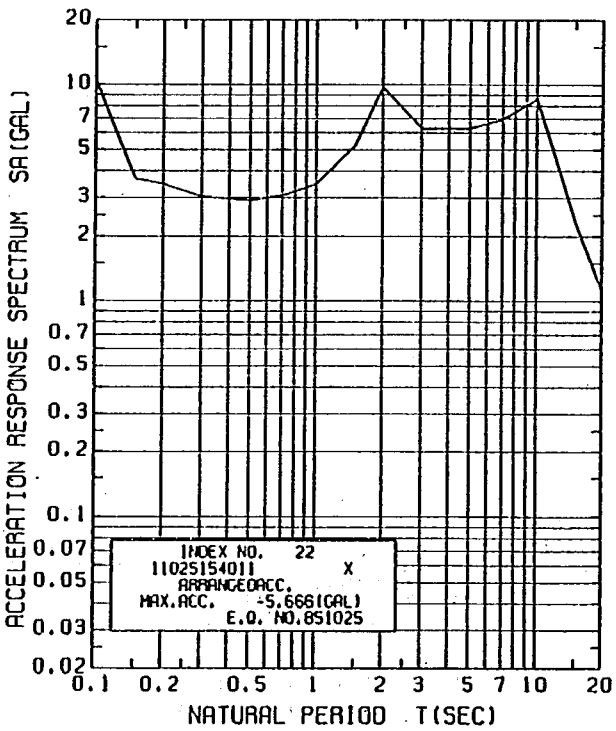
(e) 盛　　岡



(f) 高　　知

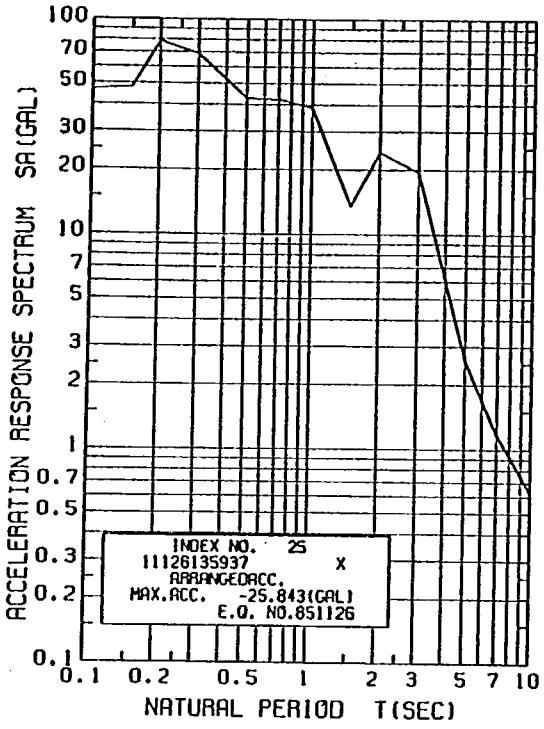


(g) 根　　室

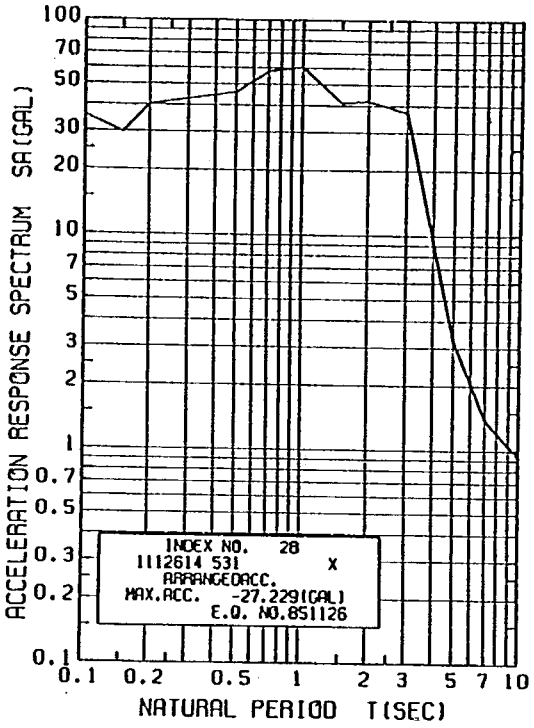


(h) 剣　　山

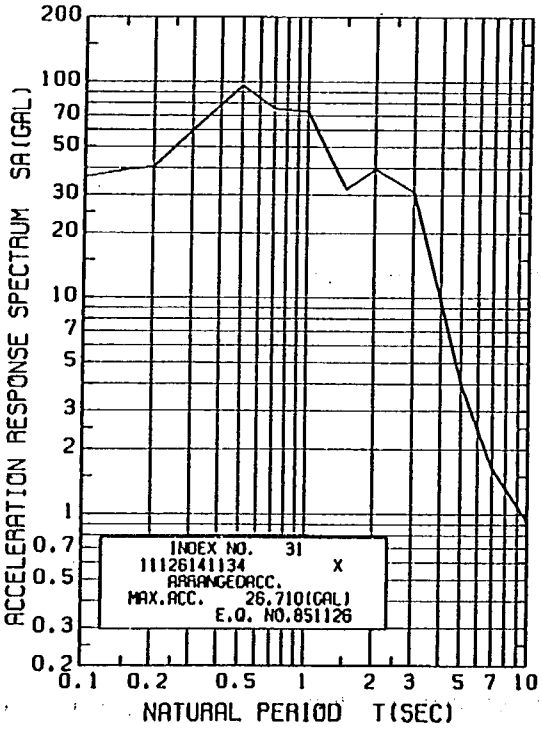
図 1.5(2) 加速度応答スペクトル（減衰定数５％）



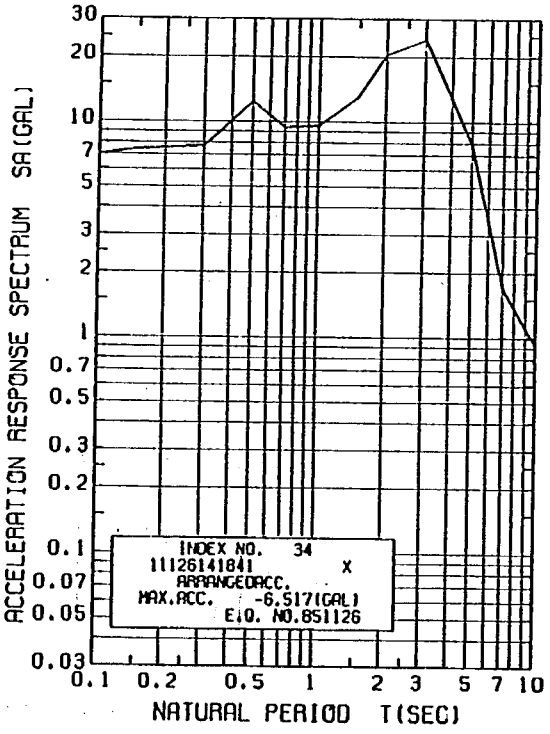
(i) 八 戸 港



(j) 石狩河口橋



(k) 津 軽 大 橋



(l) 八 郎 潟

図 1.5(3) 加速度応答スペクトル（減衰定数 5 %）

2. 計器補正および加速度の計算方法

気象庁一倍強震計記録の数値化の方法については参考文献5)に詳しいので，ここでは省略する。数値化を行った範囲の記録の継続時間および読み取ったデータ個数は表1.5に示したとおりである。

記録の計器補正および加速度の計算は，振動数領域において変位記録に気象庁一倍強震計の特性を補正するためのフィルターをかけ，数値微分する方法を用いる[3)]。すなわち，いま，原変位記録を$d_0(t)$とすれば，そのフーリエ変換$F_0(f)$は次式で表される。

$$F_0(f)=\int_{-\infty}^{\infty} d_0(t)\, e^{-i2\pi ft}\, dt \qquad (2.1)$$

これに強震計の特性を補正するためのフィルター$F_c(f)$を見込むと，補正した変位$d(t)$および加速度$a(t)$は次のように求められる。

$$d(t)=\int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{i2\pi ft}\, df \qquad (2.2)$$

$$a(t)=-\int_{-\infty}^{\infty} 4\pi^2 f^2 F(f) e^{i2\pi ft}\, df \qquad (2.3)$$

ここで，

$$F(f)=F_0(f)\cdot F_c(f) \qquad (2.4)$$

$$F_c(f)=\frac{e^{i\phi(f)}}{R(f)}\, A(f) \qquad (2.5)$$

式（2.5）中の$R(f)$および$\phi(f)$は，それぞれ，気象庁一倍強震計の振幅特性および位相特性であり，次のように表される。

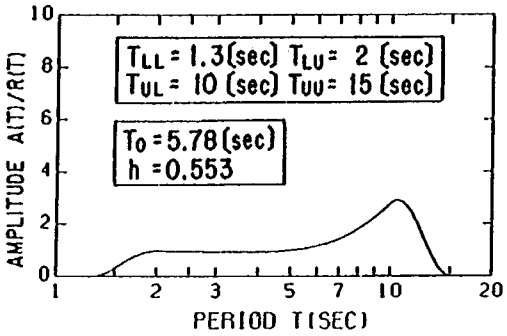
$$R(f)=\frac{1}{\sqrt{\left\{\left(\frac{f_0}{f}\right)^2-1\right\}^2+4h^2\left(\frac{f_0}{f}\right)^2}} \qquad (2.6)$$

$$\phi(f)=\tan^{-1}\left\{\frac{2h\left(\frac{f_0}{f}\right)}{\left(\frac{f_0}{f}\right)^2-1}\right\} \qquad (2.7)$$

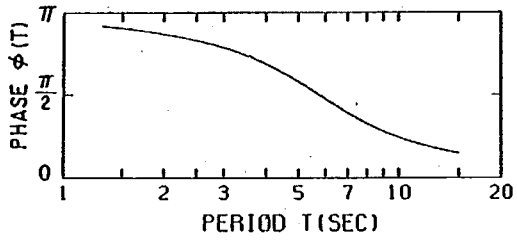
ここで，f_0およびhは，それぞれ，強震計の固有振動数および減衰定数である。また，式(2.5)中の$A(f)$は振幅の傾向関数であり，次式で表されるバンドパスフィルターとする。

$$A(f)=\begin{cases} 0 & f<f_{LL} \\ \frac{1}{2}\left\{1-\cos\left(\frac{f-f_{LL}}{f_{LU}-f_{LL}}\pi\right)\right\} & f_{LL}\leqq f\leqq f_{LU} \\ 1 & f_{LU}<f<f_{UL} \\ \frac{1}{2}\left\{1+\cos\left(\frac{f-f_{UL}}{f_{UU}-f_{UL}}\pi\right)\right\} & f_{UL}\leqq f\leqq f_{UU} \\ 0 & f_{UU}<f \end{cases} \qquad (2.8)$$

ここで，f_{LU}およびf_{UL}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_{LL}およびf_{UU}は，それぞれ，f_{LU}およびf_{UL}に対応する傾向関数が0となる振動数である。ただし，以降の解析においては，便宜上，遮断振動数ではなく，その逆数である遮断周期を用いることとする。遮断周期は実験Ⅰおよび実験Ⅱのそれぞれについて次のように変化させるものとする。すなわち，実験Ⅰの場合は，短周期側を$T_{LU}=2$〔秒〕および$T_{LL}=1.3$〔秒〕に固定して，長周期側を$T_{UL}=10, 15, 20, 25$〔秒〕の4種類に変化させる。なお，T_{UU}はT_{UL}に応じて，15, 20, 30, 35〔秒〕とする。また，実験Ⅱの場合は，長周期側を$T_{UL}=10$〔秒〕および$T_{UU}=15$〔秒〕に固定して，短周期側を$T_{LU}=1, 0.7, 0.5$〔秒〕の3種類に変化させる。なお，T_{LL}はT_{LU}に応じて，0.7, 0.5, 0.3秒とする。各々の遮断周期の場合について，振幅および位相の補正関数を示すと，図2.1～図2.7のようになる。また，このように遮断周期を変化させて求めた変位波形および加速度波形の一例として，実験Ⅰについては森記録，実験Ⅱについては八戸港記録の場合を図2.8～図2.11に示す。なお，全変位波形および全加速度波形を，それぞれ，付属資料1および付属資料2に示す。

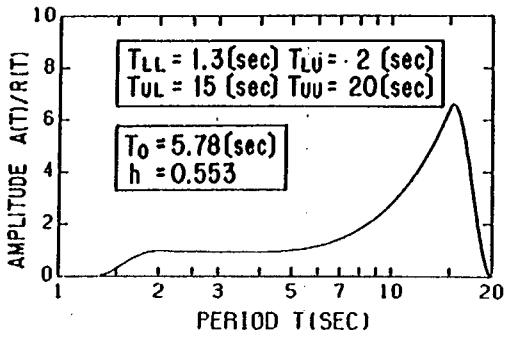


(a) 振幅特性

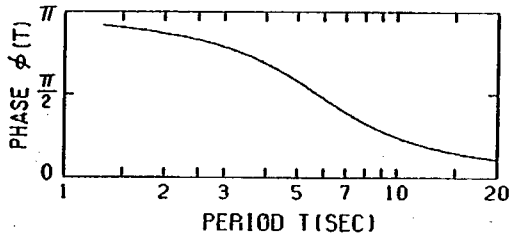


(b) 位相特性

図 2.1 気象庁一倍強震計の振幅特性および位相特性補正関数（$T_{LU}=2$〔sec〕, $T_{UL}=10$〔sec〕）

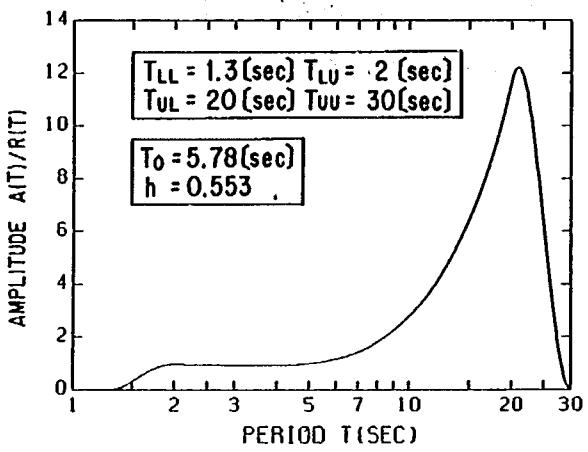


(a) 振幅特性

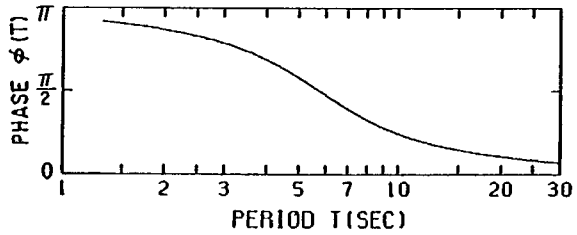


(b) 位相特性

図 2.2 気象庁一倍強震計の振幅特性および位相特性補正関数（$T_{LU}=2$〔sec〕, $T_{UL}=15$〔sec〕）

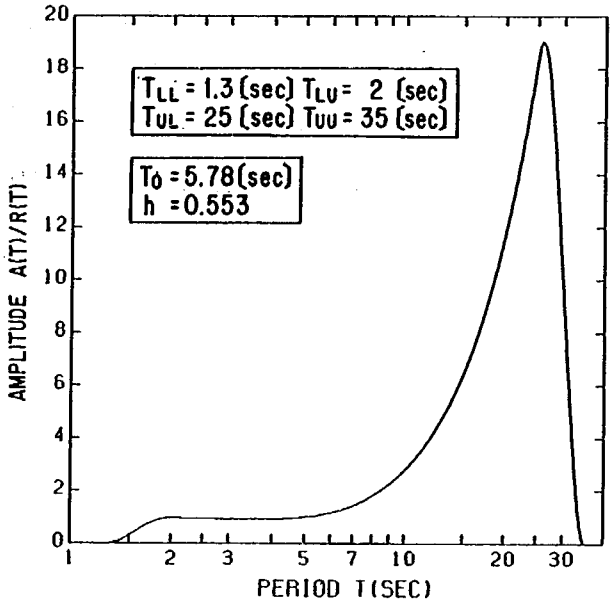


(a) 振幅特性

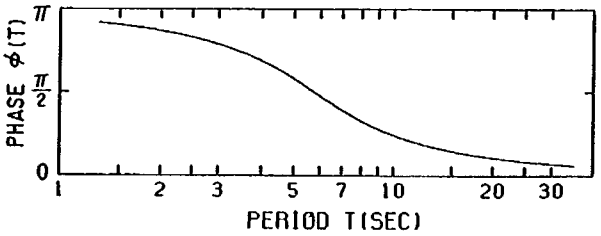


(b) 位相特性

図 2.3 気象庁一倍強震計の振幅特性および位相特性補正関数（$T_{LU}=2$〔sec〕, $T_{UL}=20$〔sec〕）

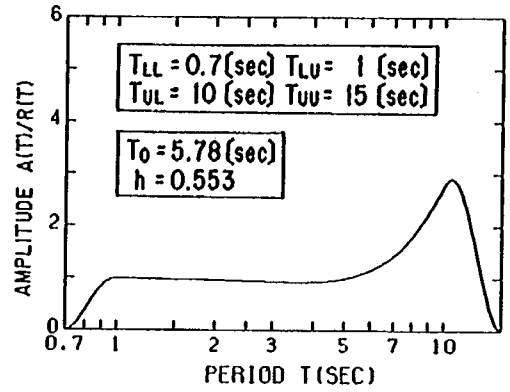


(a) 振幅特性

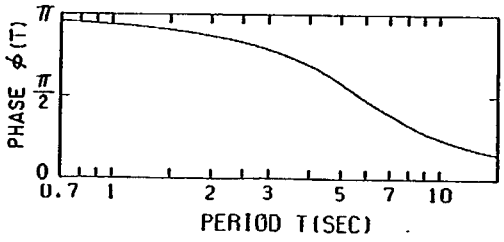


(b) 位相特性

図 2.4 気象庁一倍強震計の振幅特性および位相特性補正関数（$T_{LU}=2$〔sec〕, $T_{UL}=25$〔sec〕）

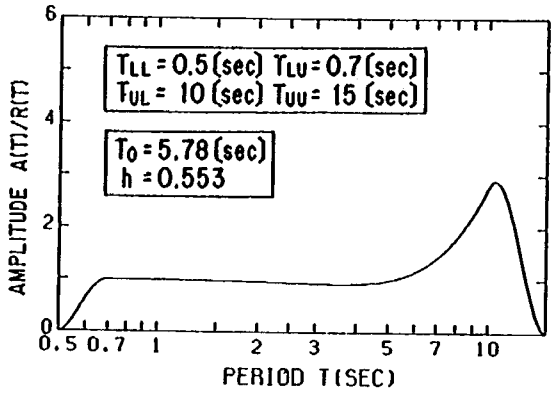


(a) 振幅特性

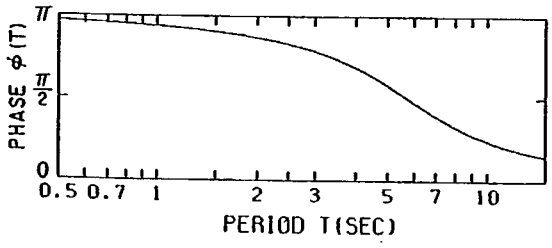


(b) 位相特性

図 2.5 気象庁一倍強震計の振幅特性および位相特性補正関数（$T_{LU}=1$〔sec〕, $T_{UL}=10$〔sec〕）

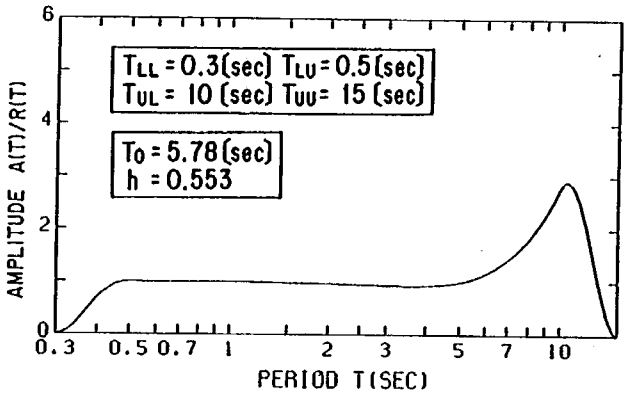


(a) 振幅特性

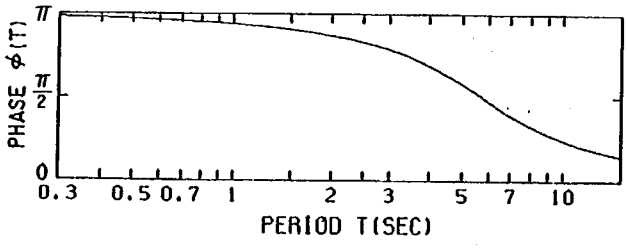


(b) 位相特性

図 2.6 気象庁一倍強震計の振幅特性および位相特性補正関数（$T_{LU}=0.7$〔sec〕, $T_{UL}=10$〔sec〕）

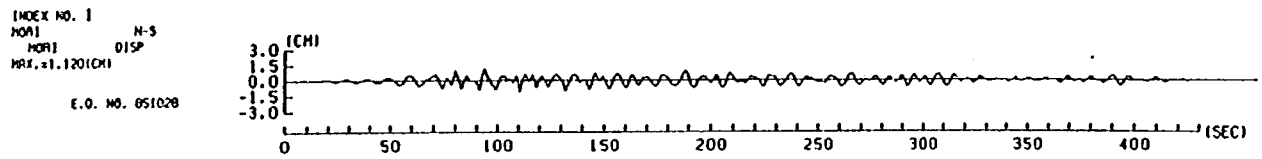


(a) 振幅特性

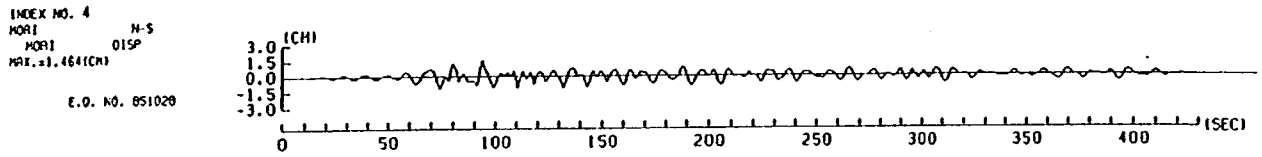


(b) 位相特性

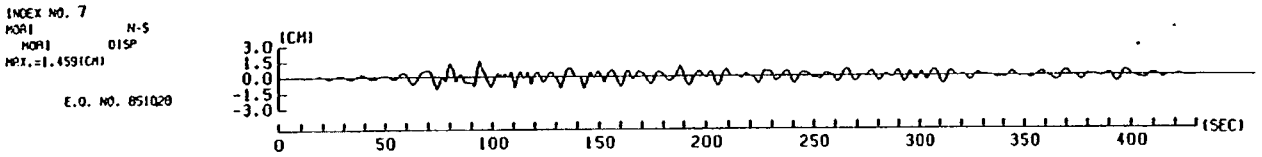
図 2.7 気象庁一倍強震計の振幅特性および位相特性補正関数（$T_{LU}=0.5$〔sec〕, $T_{UL}=10$〔sec〕）



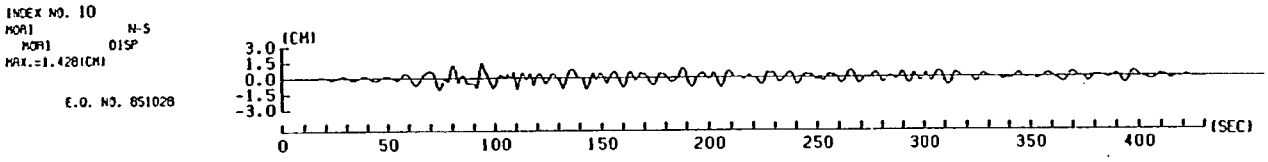
(a)　$T_{UL}=10$〔sec〕



(b)　$T_{UL}=15$〔sec〕

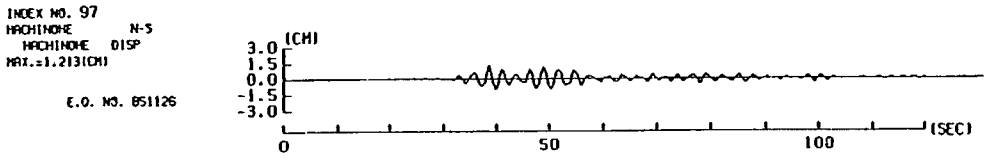


(c)　$T_{UL}=20$〔sec〕

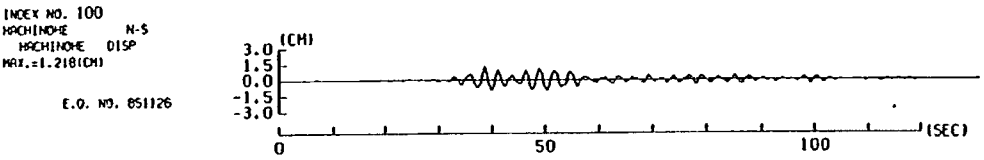


(d)　$T_{UL}=25$〔sec〕

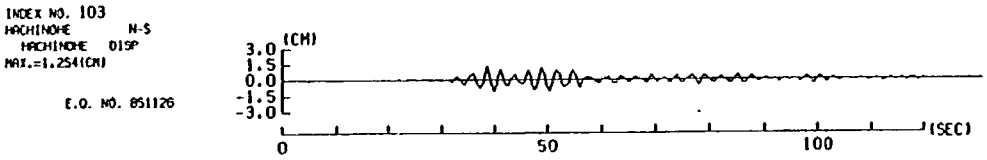
図 2.8　変位波形の例（森，$T_{LU}=2$〔sec〕）



(a)　$T_{LU}=1$〔sec〕

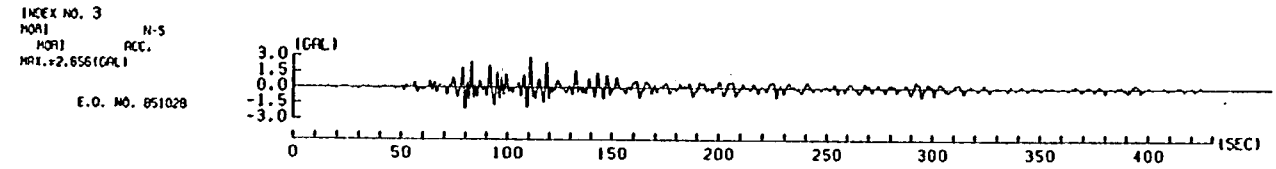


(b)　$T_{LU}=0.7$〔sec〕

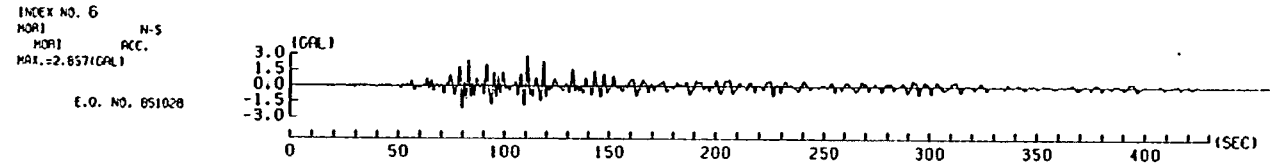


(c)　$T_{LU}=0.5$〔sec〕

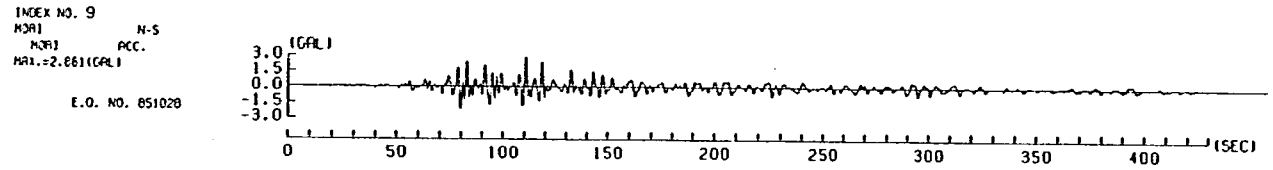
図 2.9　変位波形の例（八戸港，$T_{UL}=10$〔sec〕）



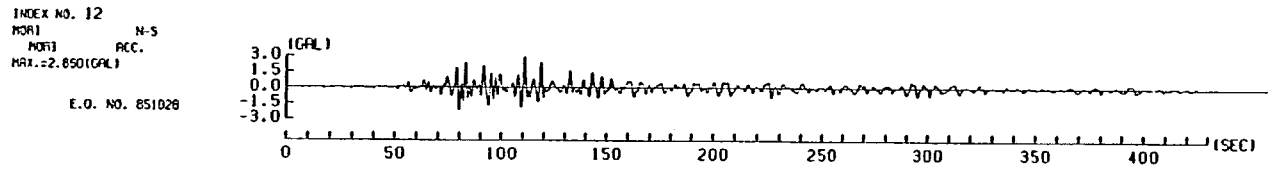
(a)　$T_{UL}=10$ (sec)



(b)　$T_{UL}=15$ (sec)

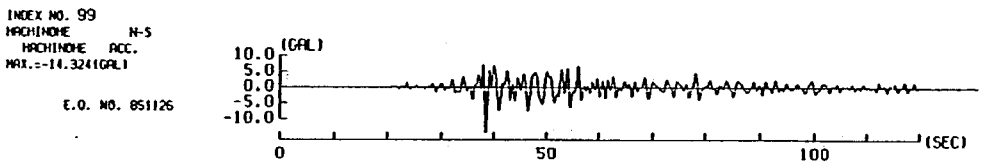


(c)　$T_{UL}=20$ (sec)

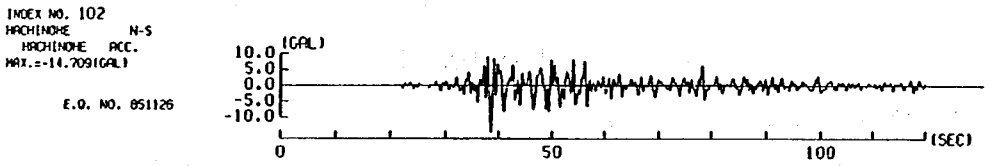


(d)　$T_{UL}=25$ (sec)

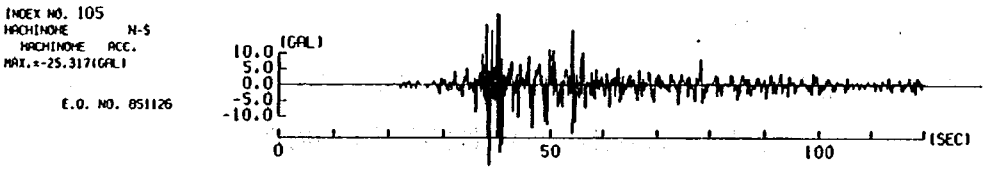
図 2.10　加速度波形の例（森，$T_{LU}=2$ (sec)）



(a)　$T_{LU}=1$ (sec)



(b)　$T_{LU}=0.7$ (sec)



(c)　$T_{LU}=0.5$ (sec)

図 2.11　加速度波形の例（八戸港，$T_{UL}=10$ (sec)）

3. 記録精度の検討

3.1 長周期側の遮断周期が変位の精度に及ぼす影響

気象庁一倍強震計記録の計器補正を行う場合の長周期側の遮断周期T_{UL}はなるべく長くとることが望ましいが，T_{UL}を長くとり過ぎた場合には数値化時の誤差等により変位の精度はかえって低下すると考えられる。そこで，ここでは，実験Ⅰの8記録を対象として長周期側の遮断周期が変位の精度に及ぼす影響について検討する。

いま，式(2.2)により気象庁一倍強震計記録から求めた変位を$d(t)$，差動トランス型変位計で直接測定した振動台の変位を$D(t)$とし，$d(t)$の精度を検討するために，次の3種類のパラメータを定義する[11]。

$$\sigma=\frac{1}{T_d}\int_0^{T_d}|d(t)^2-D(t)^2|\,dt \qquad (3.1)$$

$$\mu=\frac{\int_0^{T_d}d(t)^2dt}{\int_0^{T_d}D(t)^2dt} \qquad (3.2)$$

$$\xi=\frac{|d(t)|_{max}}{|D(t)|_{max}} \qquad (3.3)$$

ここで，T_dは$d(t)$および$D(t)$の継続時間である。式(3.1)～式(3.3)から明らかなように，$d(t)$が$D(t)$によく一致するほどσは0に，また，μおよびξは1に，それぞれ，近くなる。

長周期側の遮断周期T_{UL}を10, 15, 20, 25秒として，各記録に対して式(3.1)～式(3.3)で定義した3種類のパラメータを求めると，表3.1および図3.1～図3.8のようになる。なお，表中および図中には参考のために長周期側の遮断周期を20秒としてディジタル強震計の加速度記録から求めた変位(付属資料3参照)の記録精度も合わせて示している。これより，以下の事項が指摘される。

1) σの値は，$T_{UL}=10$〔秒〕では相対的に大きく，$T_{UL}=15$〔秒〕では減少する。$T_{UL}=20, 25$〔秒〕では15秒の場合に比べてσの値は増加するが，$T_{UL}=10$〔秒〕の場合よりは小さい。また，20秒と25秒の場合を比較すると，σの値に大差はない。この理由としては，T_{UL}を10秒とした場合には周期10秒以上の変位成分を評価できないため，計算された変位は実際の変位よりも小さくなり，従って変位の精度が悪くなると考えられる。また，振動台の特性上，20秒程度以上の周期成分はあまり含まれていないため，T_{UL}を20秒以上としても変位の精度は向上しないものと考えられる。

2) μおよびξの値は，一般に，$T_{UL}=10$〔秒〕では1より小さく，$T_{UL}\geqq15$〔秒〕では1より大きくなる。μおよびξが最も1に近くなる遮断周期T_{UL}は15秒であり，この場合に変位の精度が良いことを示している。この傾向は，上述の1)の場合と同様である。

以上の点を総合すると，本実験の範囲内では，長周期側の遮断周期を15秒程度にとる場合に変位の精度が最も良いと考えられる。ただし，ここで，振動台の特性上，20秒程度以上の周期成分については必ずしも十分には評価し得なかったことに注意しなければならない。

3.2 加速度応答スペクトル値の精度の検討

(1) 長周期側の遮断周期の影響

気象庁一倍強震計記録をもとに加速度応答スペクトルを設定しようとする場合等においては，その精度について把握しておく必要がある。そこで，ここでは，実験Ｉの８記録を対象として気象庁一倍強震計記録から求めた加速度応答スペクトルの精度について検討する。

まず，式(2.3)により気象庁一倍強震計記録から加速度を求め，それから計算した加速度応答スペクトル(減衰定数５％)を示すと，図3.9～図3.16のようになる。なお，ここで，計算を行った固有周期の範囲は，2～20秒である。次に，ある固有周期Tについてディジタル強震計記録から求めた加速度応答スペクトル値(図1.4参照)に対する気象庁一倍強震計記録から求めた加速度応答スペクトル値の比を$\gamma(T)$とする。各記録に対して$\gamma(T)$の値を求めると，図3.17～図3.24に示すようになる。図3.17～図3.24より，一般に，固有周期10秒程度以下の領域においては，長周期側の遮断周期T_{UL}による$\gamma(T)$の差異は小さく，$\gamma(T)$は1～1.2程度の値をとることがわかる。また，固有周期10秒程度以上の領域においては，$T_{UL}=10$〔秒〕の場合は他の場合に比較して，$\gamma(T)$の値が明らかに小さい。なお，固有周期20秒では，$T_{UL}=15$〔秒〕の場合は$T_{UL}=20$，25〔秒〕の場合に比較して$\gamma(T)$の値は多少小さくなる。

次に，$\gamma(T)$の平均的な傾向を知るために，各遮断周期ごとに実験Ｉの８記録から求めた$\gamma(T)$の平均値$\overline{\gamma}(T)$および標準偏差$\sigma_\gamma(T)$を示すと，図3.25および付表4.1のようになる。図3.25より以下の事項が指摘される。

1) $T_{UL}=10$〔秒〕および$T_{UL}=15$〔秒〕の場合には，いずれも固有周期10秒程度以下の領域において$\overline{\gamma}(T)$は1.05～1.15程度の値をとるが，それぞれ，固有周期が15秒および20秒になると$\overline{\gamma}(T)$の値は減少する。

2) $T_{UL}=20$〔秒〕および$T_{UL}=25$〔秒〕の場合を比較すると，固有周期2～20秒の範囲において明確な差異は認められず，いずれの場合も$\overline{\gamma}(T)$は1.05～1.15程度の値をとる。

以上の点および3.1節の検討結果を総合すると，現状では，気象庁一倍強震計記録の計器補正を行うための長周期側の遮断周期は20秒とすることが適当であると考えられる。また，その時の固有周期2～20秒の範囲における加速度応答スペクトル値(減衰定数５％)は，ディジタル強震計記録による加速度応答スペクトル値の1.05～1.15倍程度の値をとる。

(2) 短周期側の遮断周期の影響

一般に，気象庁一倍強震計記録は長周期地震動特性を検討するための基礎資料として用いられることが多いが，表1.5に示したように，実験Ⅱ(ＳＭＡＣ型強震計記録入力)においては平均して0.31秒間隔程度で気象庁一倍強震計記録の数値化を行っている。したがって，理論的にはナイキスト振動数の逆数である0.62(＝2×0.31)秒程度までの周期成分を評価し得ることになる。そこで，ここでは，実験Ⅱの４記録を対象として，主として，固有周期２秒程度以下の領域における気象庁一倍強震計記録から求めた加速度応答スペクトルの精度について検討する。

まず，上記４記録より加速度応答スペクトル(減衰定数５％)を求めると，図3.26～図3.29のようになる。なお，ここで，計算を行った固有周期の範囲は，0.5～10秒である。次に，前項の場合と同様に加速度

応答スペクトル比$\gamma(T)$を定義する。各記録に対して$\gamma(T)$の値を求めると，図3.30～図3.33に示すようになる。さらに，各遮断周期ごとに実験Ⅱの4記録から求めた$\gamma(T)$の平均値$\overline{\gamma}(T)$および標準偏差$\sigma_\gamma(T)$を示すと，図3.34および付表4.2のようになる。図3.30～図3.34より以下の事項が指摘される。

1) 一般に，固有周期2秒程度以上の領域においては，短周期側の遮断周期T_{LU}による$\gamma(T)$の差異は小さく，$\gamma(T)$は0.9～1.2程度の値をとる。

2) 八郎潟記録については，固有周期1秒程度以下の領域において，他の3記録の場合と比較して$\gamma(T)$の値が明らかに大きい。

3) 八郎潟記録以外の3記録については，$T_{LU}=1$〔秒〕および$T_{LU}=0.7$〔秒〕の場合，それぞれ，固有周期が1秒および0.7秒より短くなると，$\gamma(T)$の値は1よりもかなり小さくなる。$T_{LU}=0.5$〔秒〕の場合には固有周期が0.5秒になると，$\gamma(T)$の値は固有周期が0.7秒の時よりもむしろ大きくなる傾向が認められる。

4) 同一の遮断周期に注目すると，固有周期2秒程度以上の領域においては記録による$\gamma(T)$のばらつきは比較的小さいが，固有周期1秒程度以下の領域においては記録によるばらつきが大きくなる。

以上の点より，現状では，気象庁一倍強震計記録から加速度応答スペクトルを求める際の信頼できる固有周期の下限は2秒程度であると考えられる。

表 3. 1　長周期側の遮断周期と変位の精度の関係

(a)　パラメータ σ (cm^2)

記録番号	記録名	気象庁一倍強震計				ディジタル強震計
		$T_{UL}=10$ (sec)	$T_{UL}=15$ (sec)	$T_{UL}=20$ (sec)	$T_{UL}=25$ (sec)	$T_{UL}=20$ (sec)
1	森	0.0494	0.0266	0.0282	0.0298	0.0149
2	鹿児島	0.0070	0.0051	0.0049	0.0051	0.0040
3	仙台	0.1184	0.0678	0.0775	0.0787	0.0348
4	岡山	0.2962	0.2816	0.2909	0.2954	0.2116
5	盛岡	0.1491	0.0666	0.0811	0.0829	0.0371
6	高知	0.5528	0.2898	0.3157	0.3166	0.1298
7	根室	1.2830	0.9087	0.9697	0.9726	0.3786
8	剣山	0.5264	0.3069	0.3313	0.3474	0.1223

(b)　パラメータ μ

記録番号	記録名	気象庁一倍強震計				ディジタル強震計
		$T_{UL}=10$ (sec)	$T_{UL}=15$ (sec)	$T_{UL}=20$ (sec)	$T_{UL}=25$ (sec)	$T_{UL}=20$ (sec)
1	森	0.9154	1.2051	1.2229	1.2274	0.9501
2	鹿児島	0.9297	1.1097	1.1350	1.1436	0.9773
3	仙台	0.5972	1.3654	1.4447	1.4490	1.0548
4	岡山	1.0331	1.3138	1.3840	1.3909	1.0306
5	盛岡	0.2922	1.3029	1.4440	1.4486	1.1140
6	高知	0.5205	1.3634	1.4454	1.4460	1.1124
7	根室	0.4079	1.1268	1.5776	1.5793	1.1709
8	剣山	0.8231	1.2898	1.3945	1.4008	1.0679

(c)　パラメータ ξ

記録番号	記録名	気象庁一倍強震計				ディジタル強震計
		$T_{UL}=10$ (sec)	$T_{UL}=15$ (sec)	$T_{UL}=20$ (sec)	$T_{UL}=25$ (sec)	$T_{UL}=20$ (sec)
1	森	0.7455	0.9743	0.9709	0.9502	0.9481
2	鹿児島	0.9132	0.9577	0.9800	0.9852	1.0674
3	仙台	0.8563	1.0710	1.1646	1.1789	1.0495
4	岡山	0.8815	1.1096	1.2242	1.2501	1.0538
5	盛岡	0.4279	1.0347	1.1475	1.1523	0.9936
6	高知	0.5554	1.1131	1.1930	1.1943	1.0663
7	根室	0.6755	1.1401	1.2798	1.2926	1.0538
8	剣山	0.7594	1.0488	1.1646	1.1733	1.0320

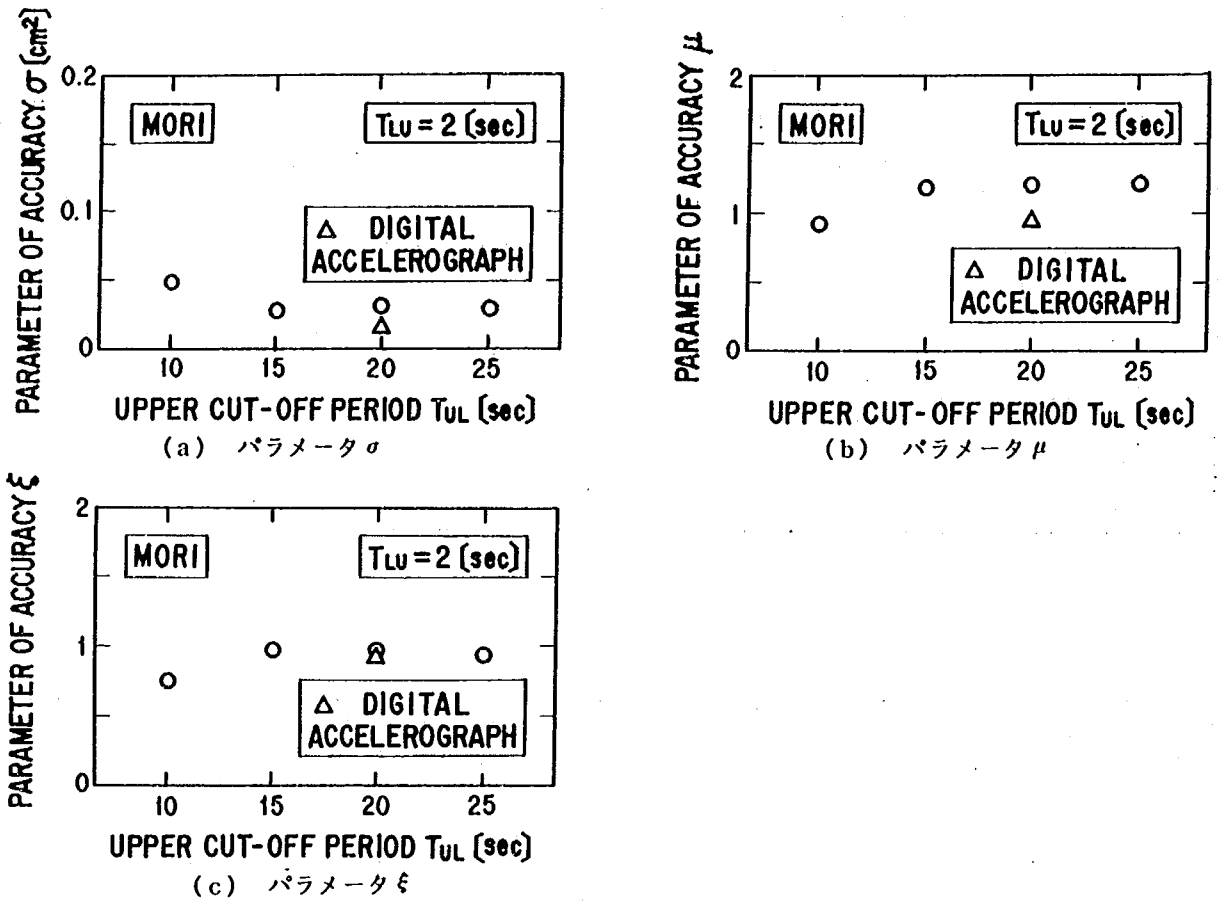


図 3.1　長周期側の遮断周期と変位の精度の関係（森）

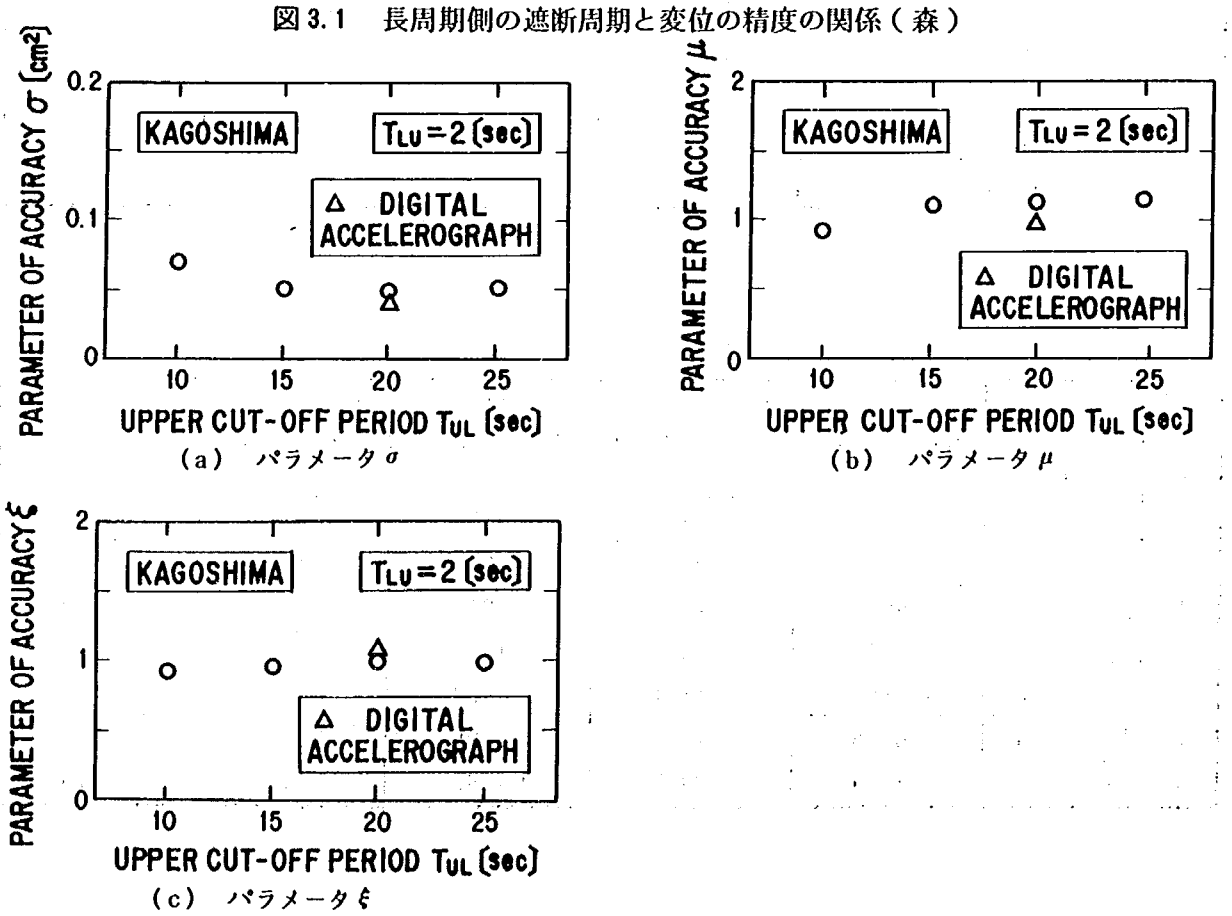
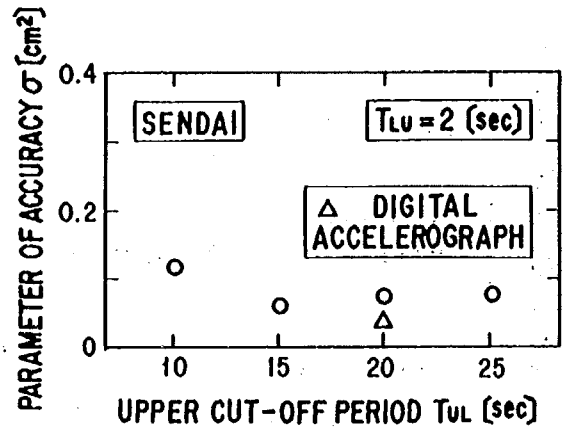
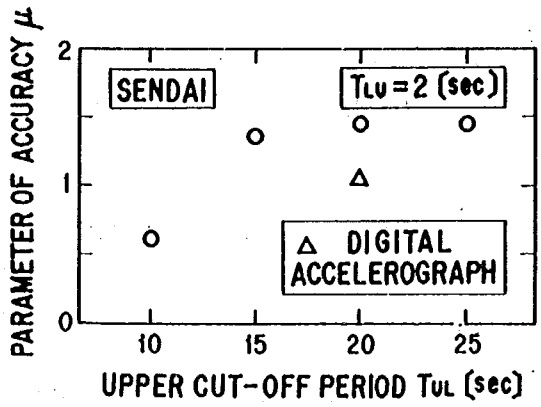


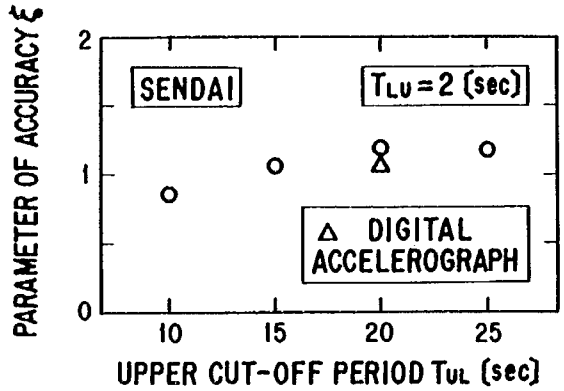
図 3.2　長周期側の遮断周期と変位の精度の関係（鹿児島）



(a) パラメータ σ

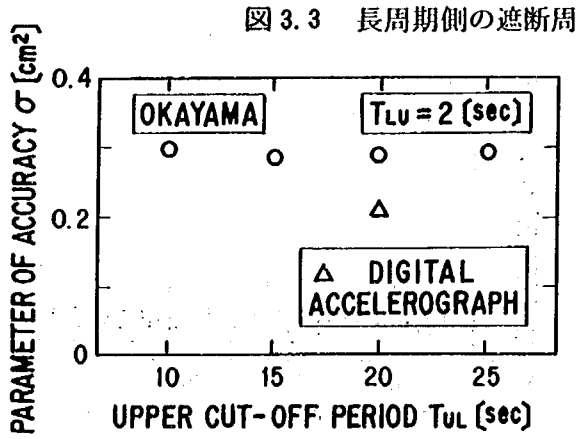


(b) パラメータ μ

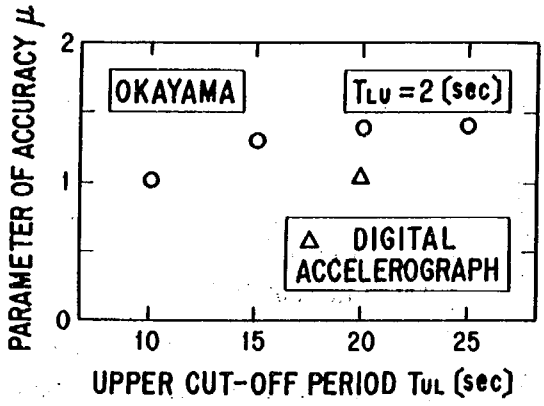


(c) パラメータ ξ

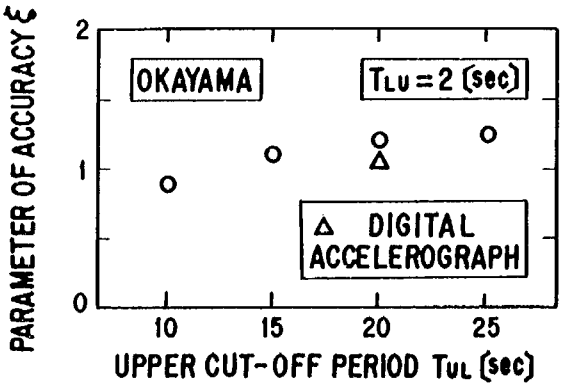
図 3.3 長周期側の遮断周期と変位の精度の関係（仙台）



(a) パラメータ σ

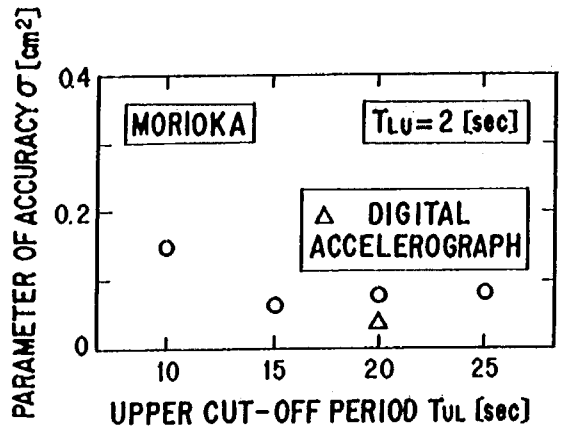


(b) パラメータ μ

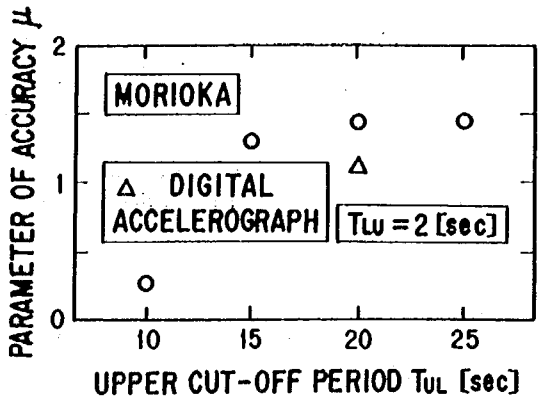


(c) パラメータ ξ

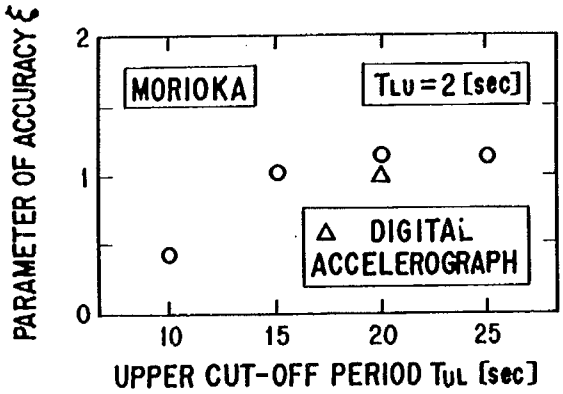
図 3.4 長周期側の遮断周期と変位の精度の関係（岡山）



(a) パラメータ σ

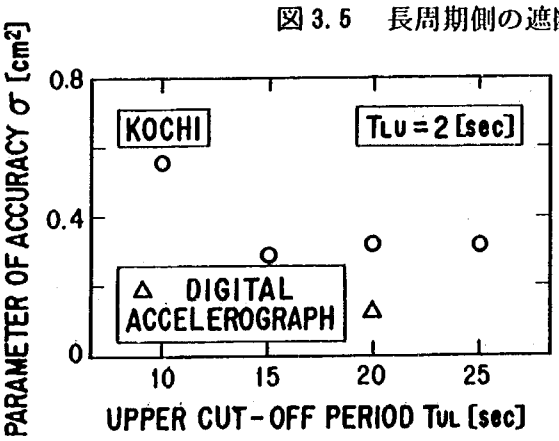


(b) パラメータ μ

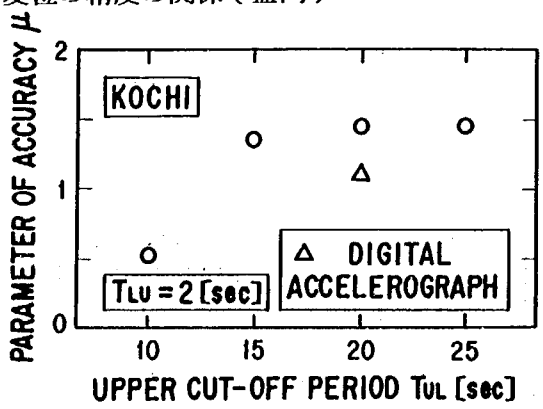


(c) パラメータ ξ

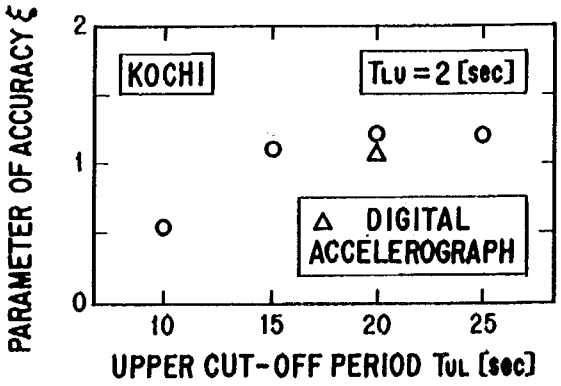
図 3.5 長周期側の遮断周期と変位の精度の関係（盛岡）



(a) パラメータ σ



(b) パラメータ μ



(c) パラメータ ξ

図 3.6 長周期側の遮断周期と変位の精度の関係（高知）

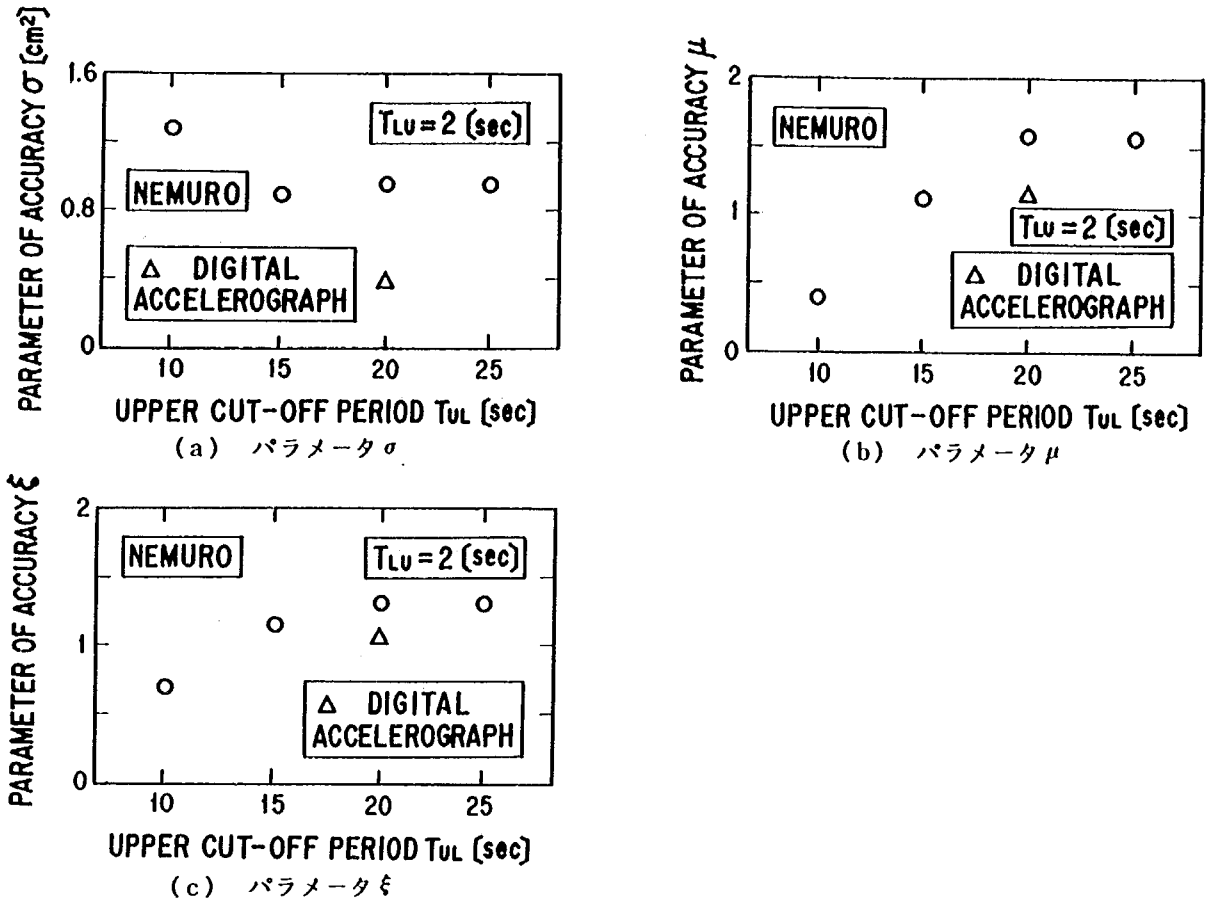


図 3.7　長周期側の遮断周期と変位の精度の関係（根室）

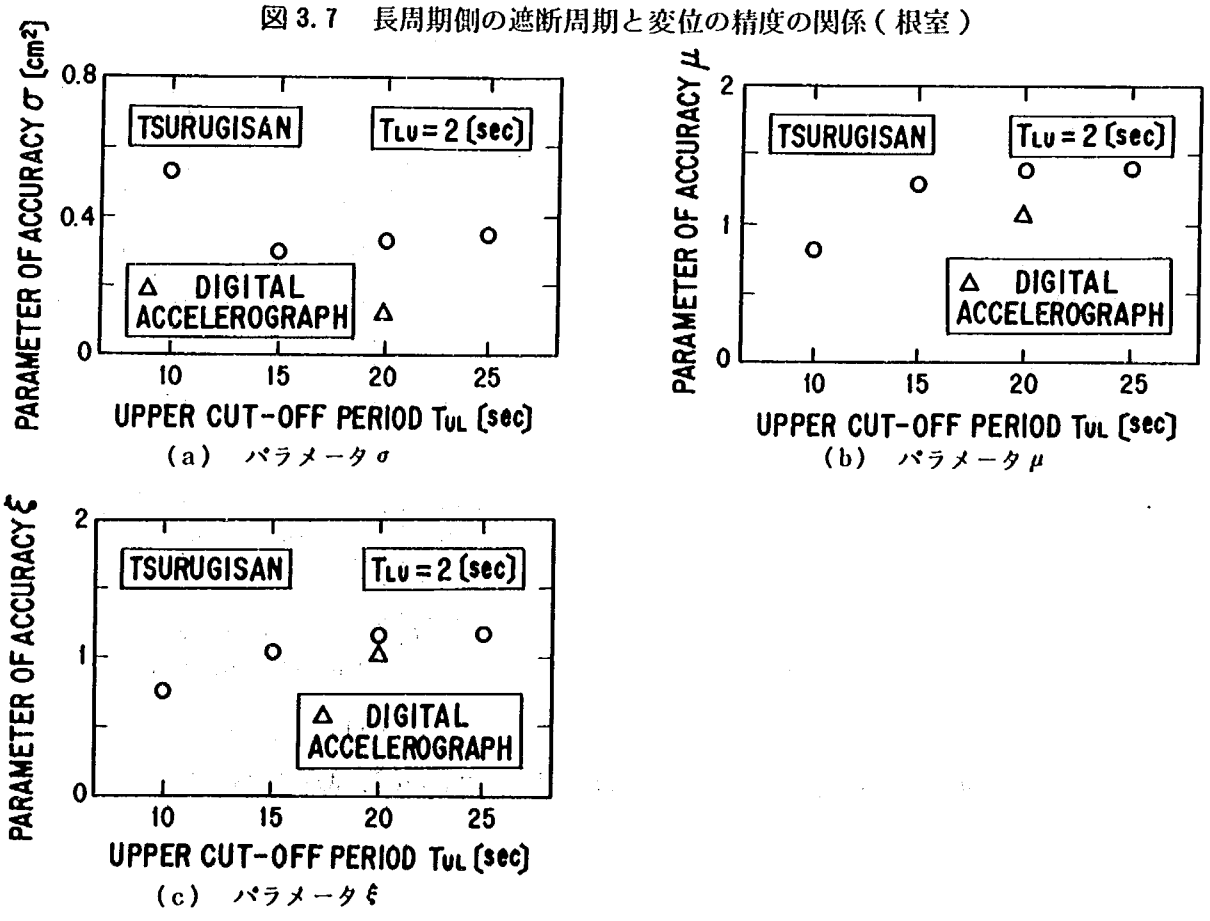
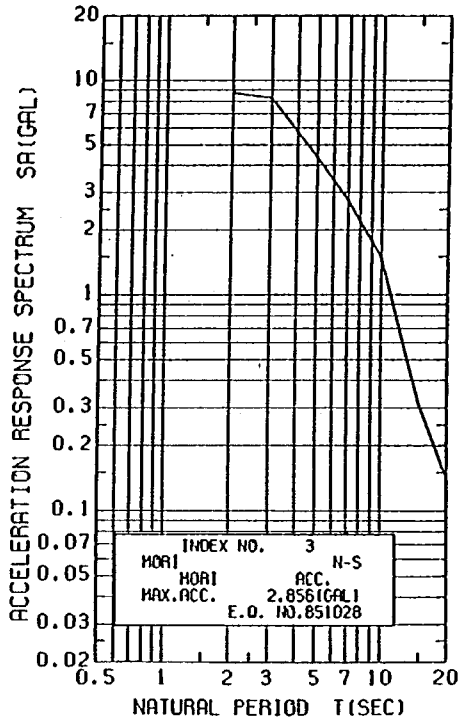
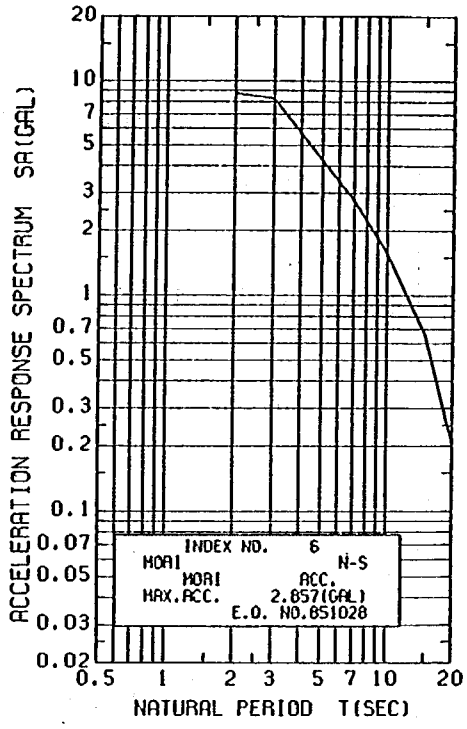


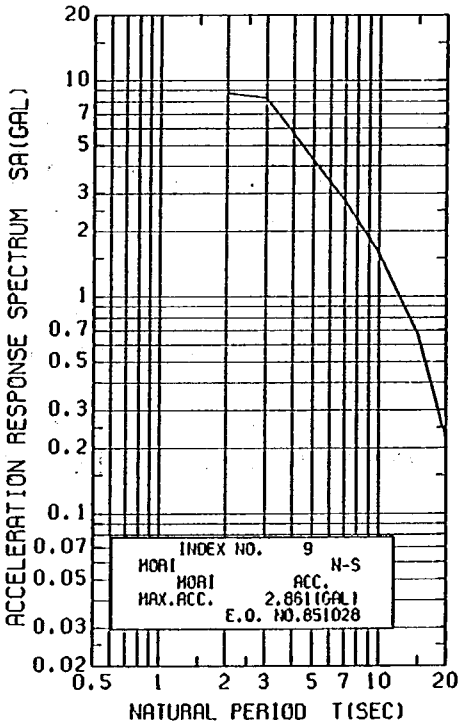
図 3.8　長周期側の遮断周期と変位の精度の関係（剣山）



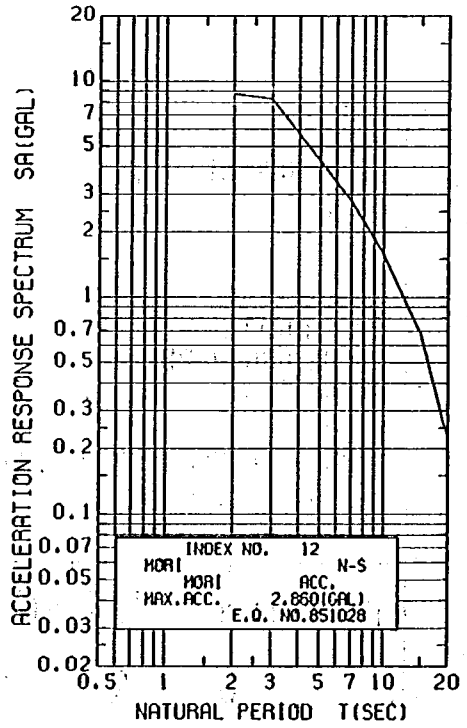
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

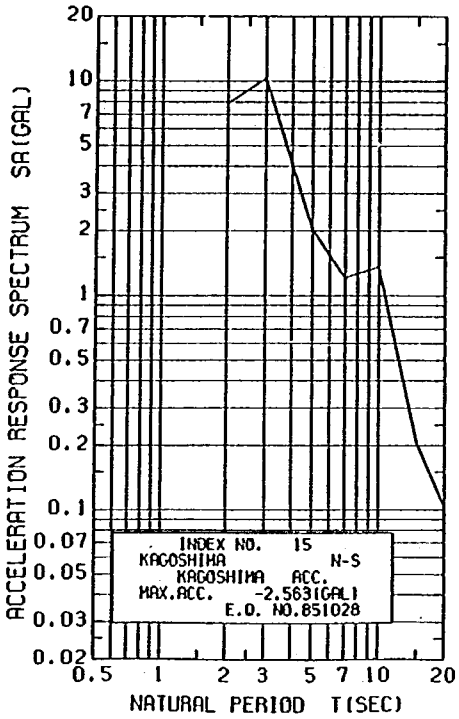


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

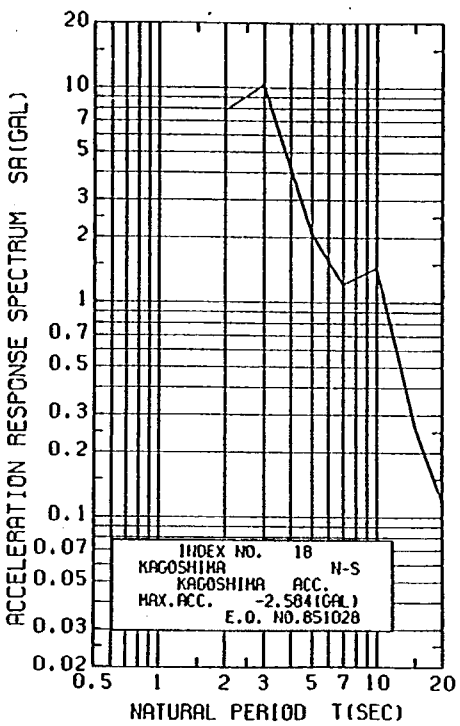


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

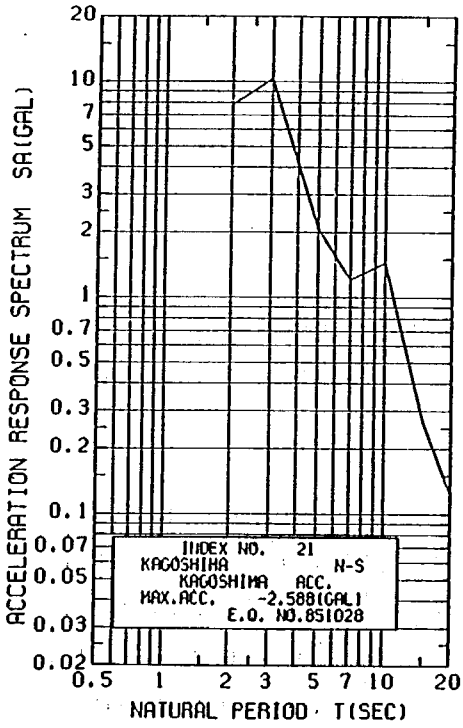
図 3.9　加速度応答スペクトル（森，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 5 %）



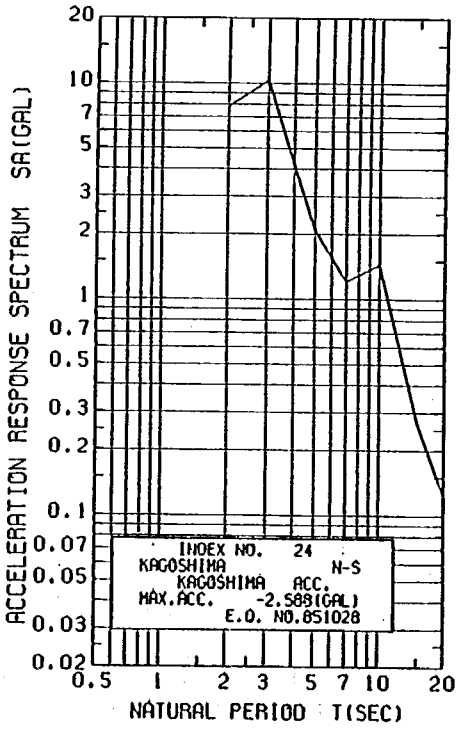
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

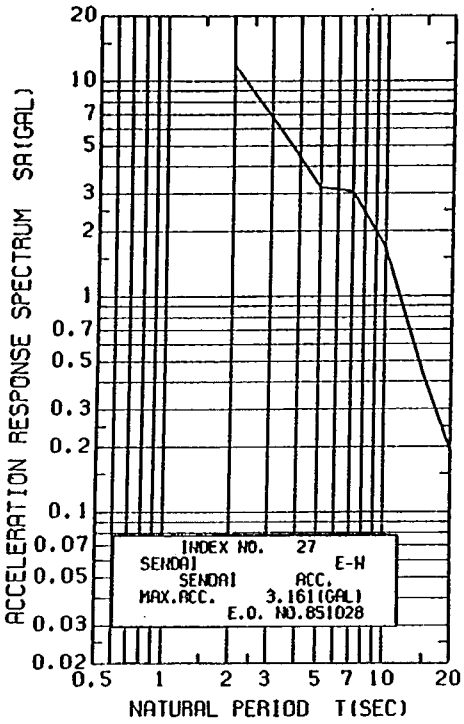


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

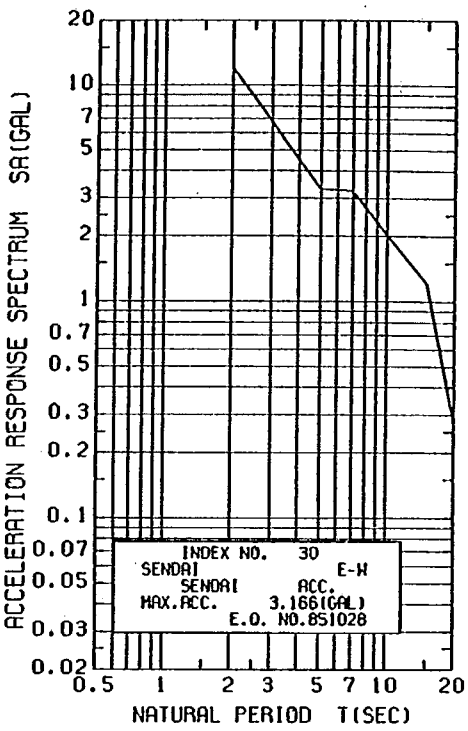


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

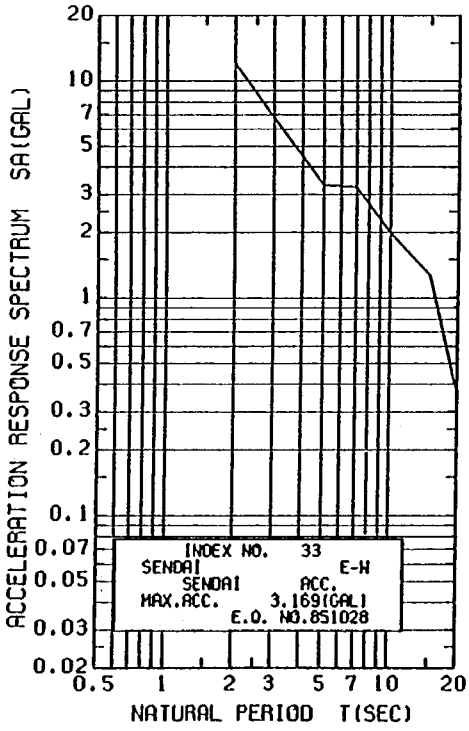
図 3.10 加速度応答スペクトル（鹿児島，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 5 %）



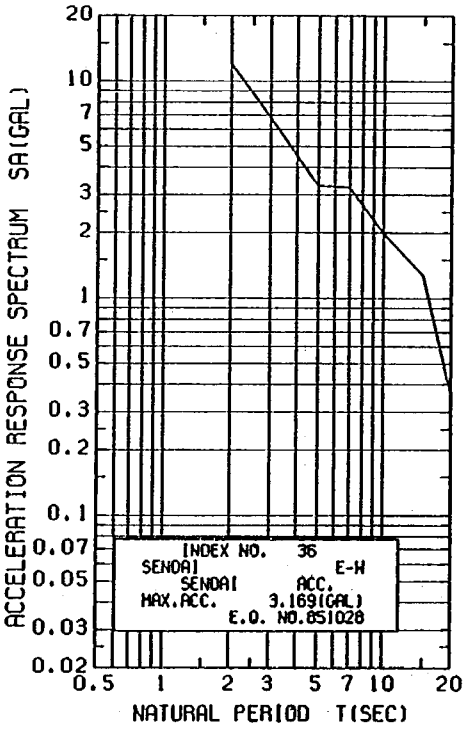
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

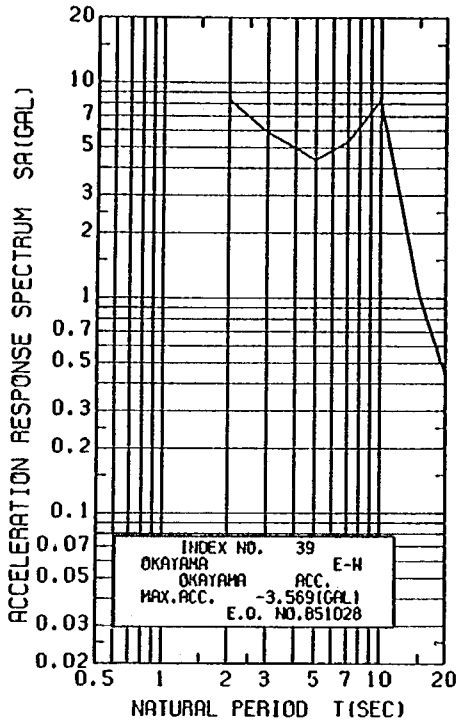


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

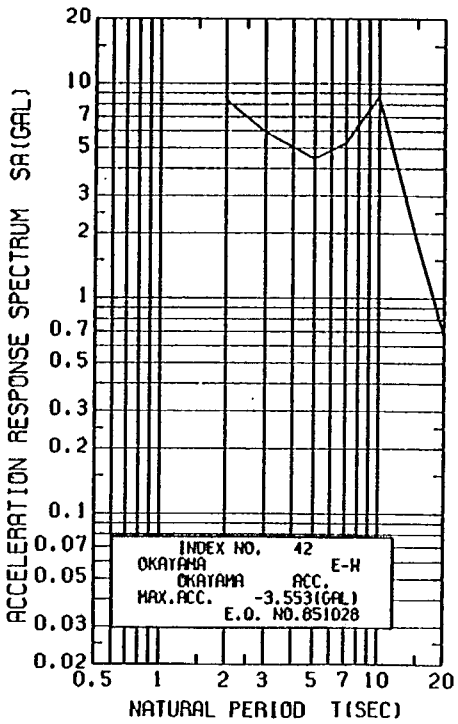


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

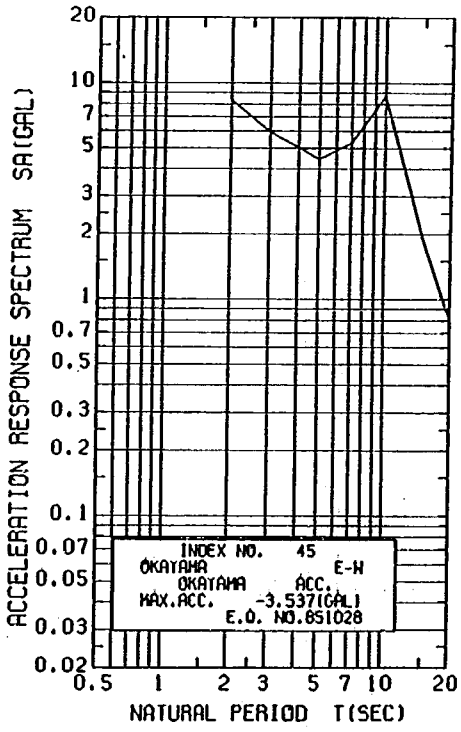
図 3.11 加速度応答スペクトル（仙台，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数 5 %）



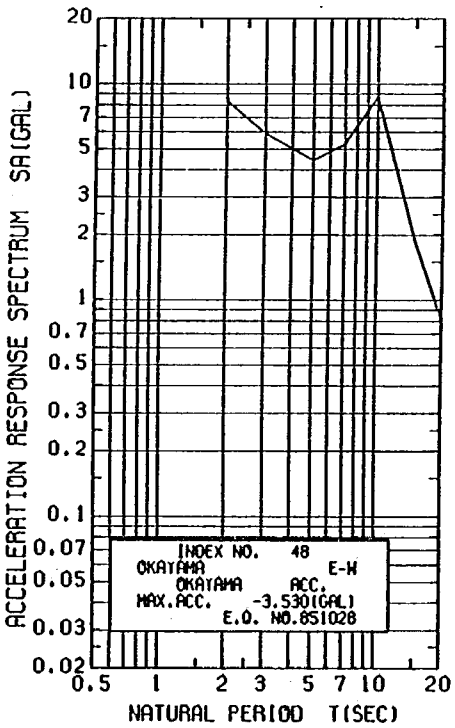
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

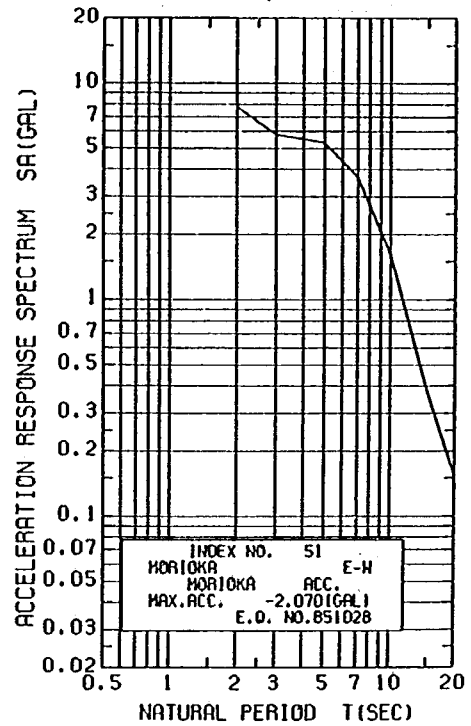


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

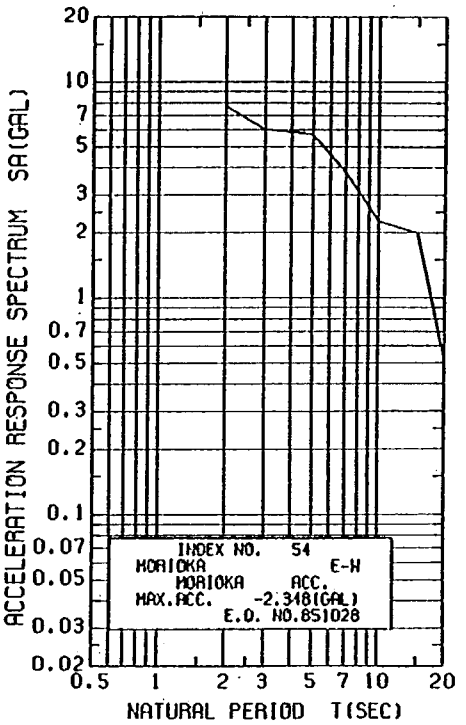


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

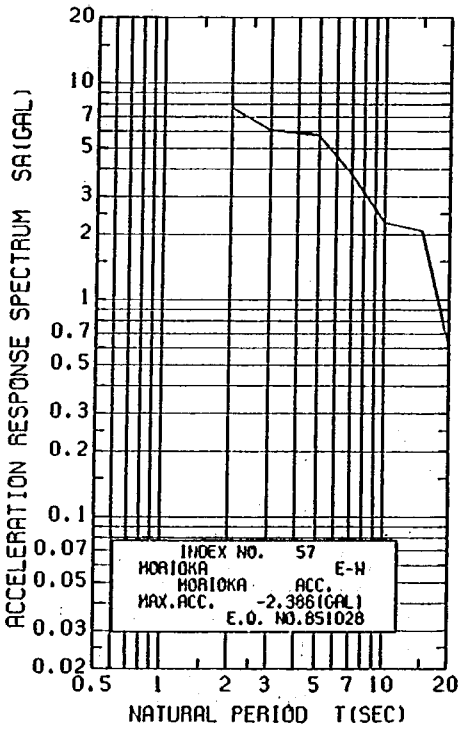
図 3.12 加速度応答スペクトル（岡山，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 5 %）



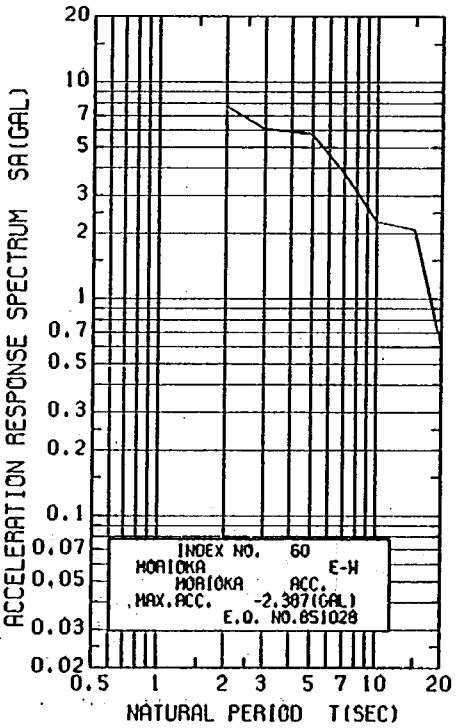
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

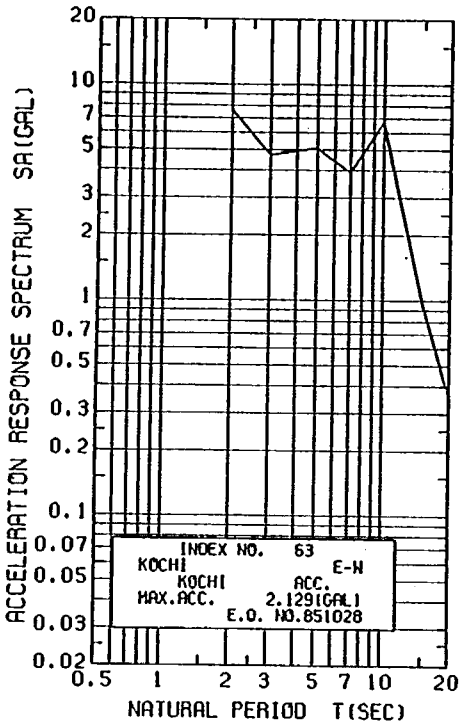


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

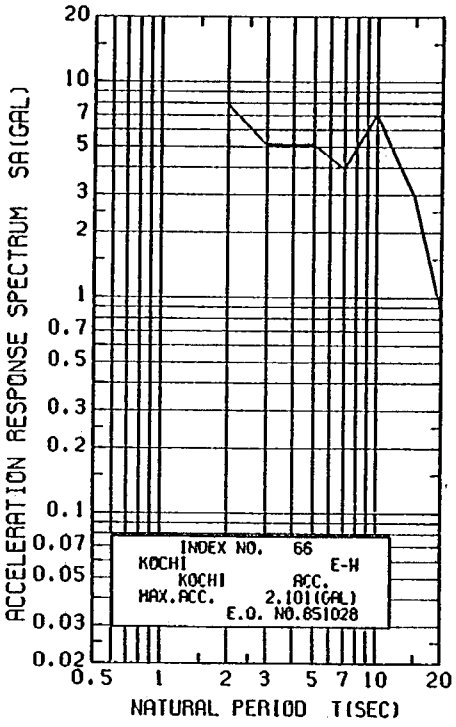


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

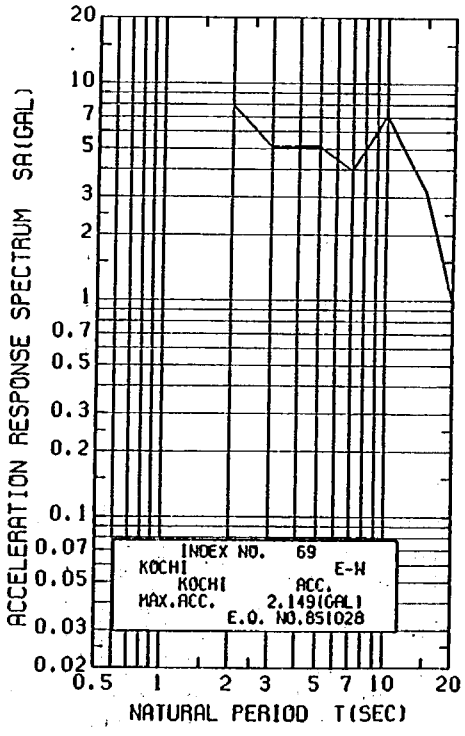
図 3.13 加速度応答スペクトル（盛岡，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数5％）



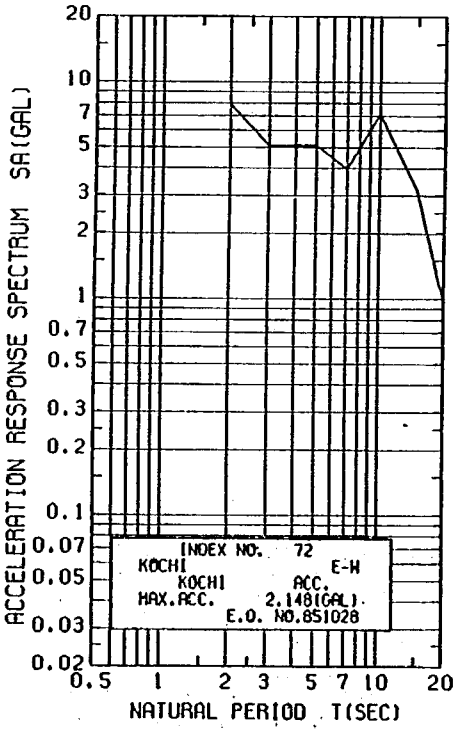
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

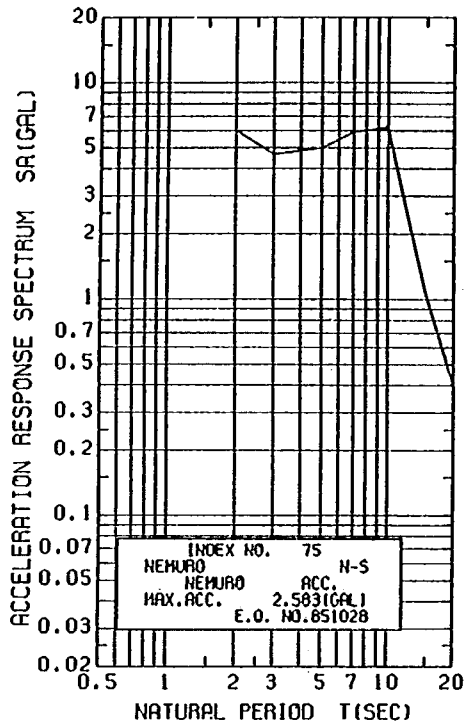


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

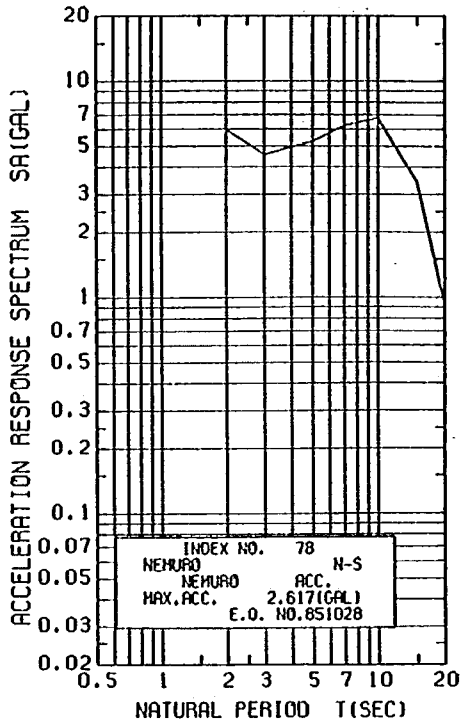


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

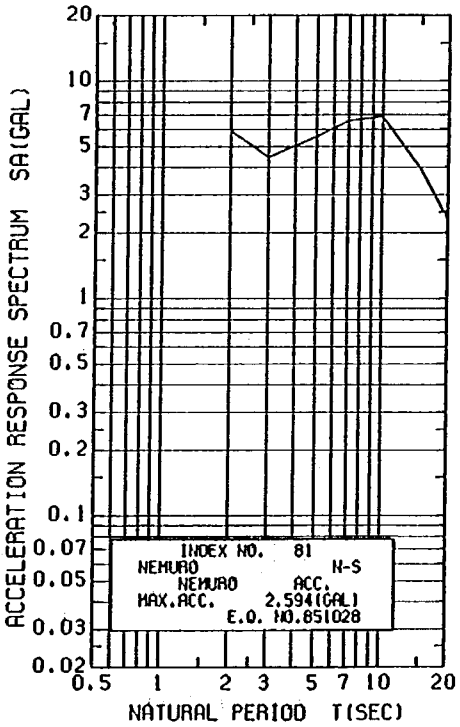
図 3.14 加速度応答スペクトル（高知, $T_{LU}=2$ (sec), 減衰定数 5 %）



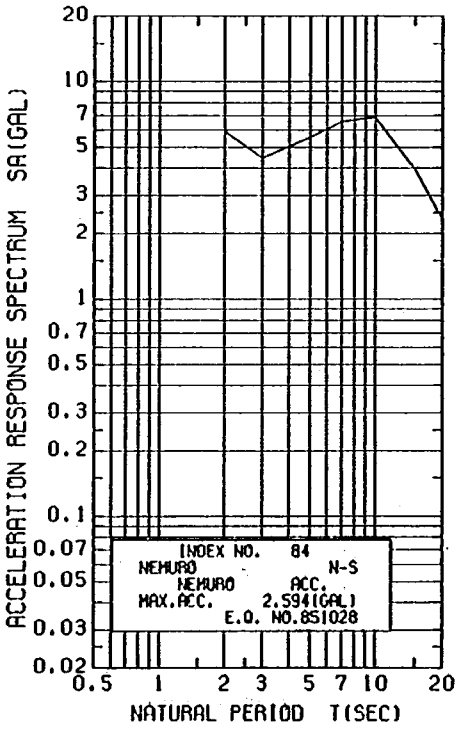
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

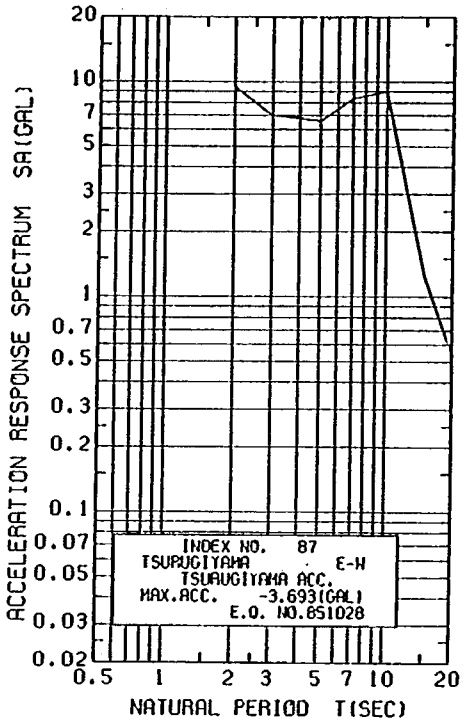


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

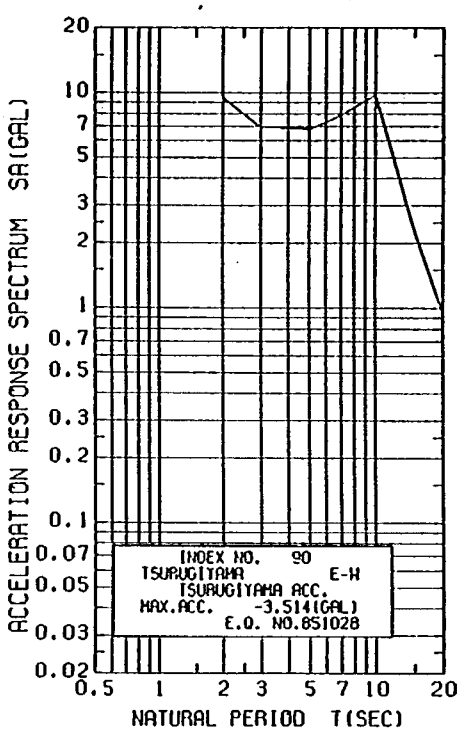


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

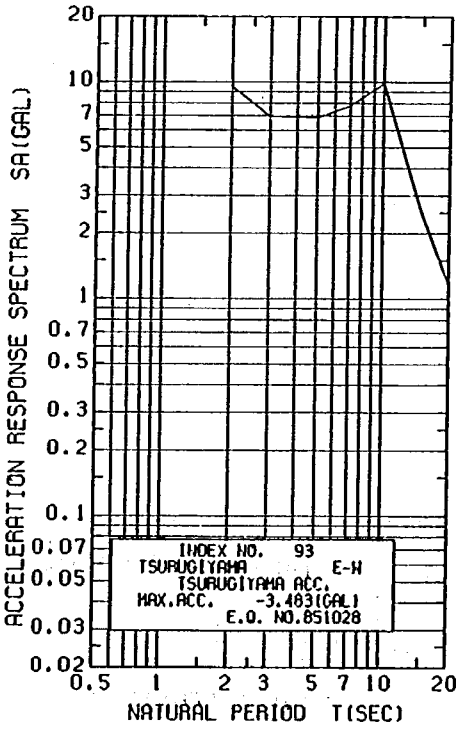
図 3.15 加速度応答スペクトル（根室，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 5 %）



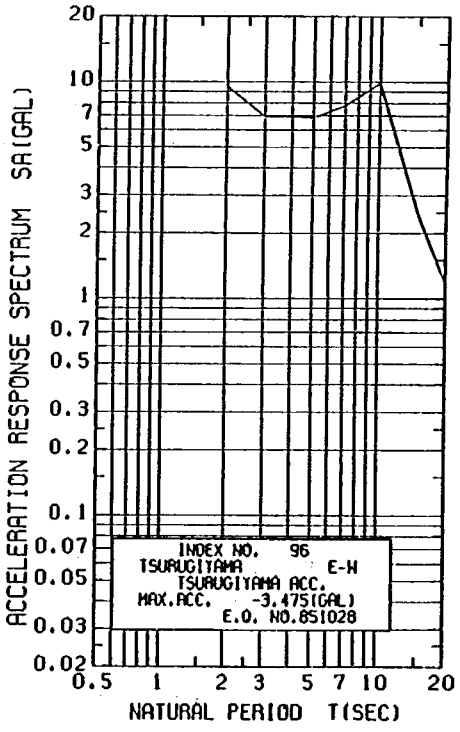
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

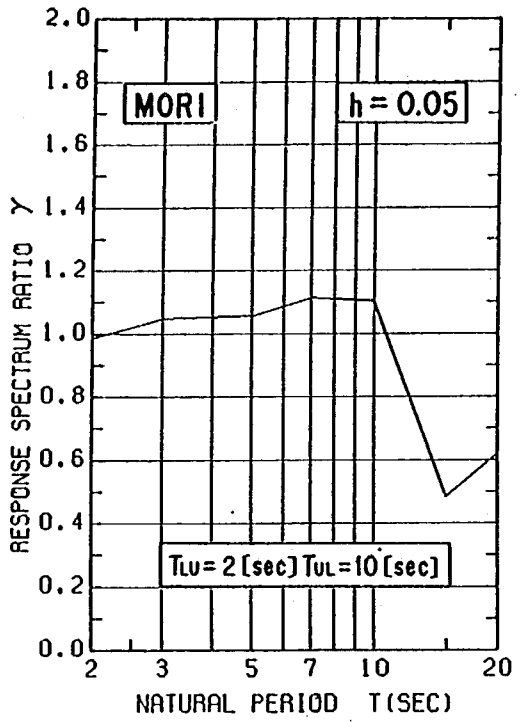


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

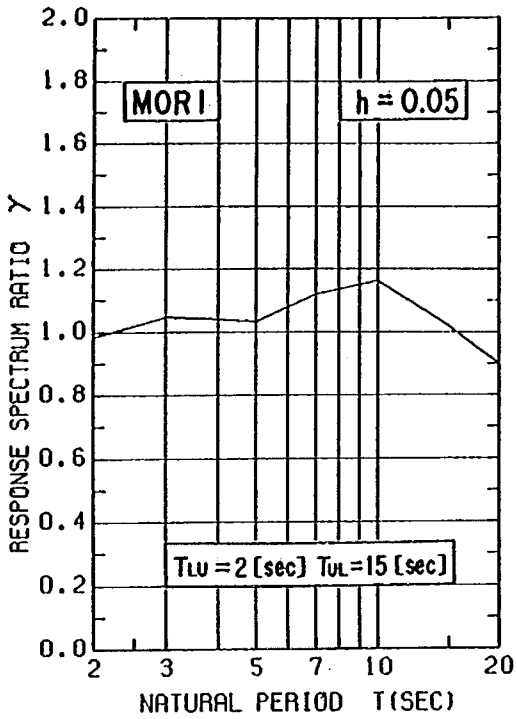


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

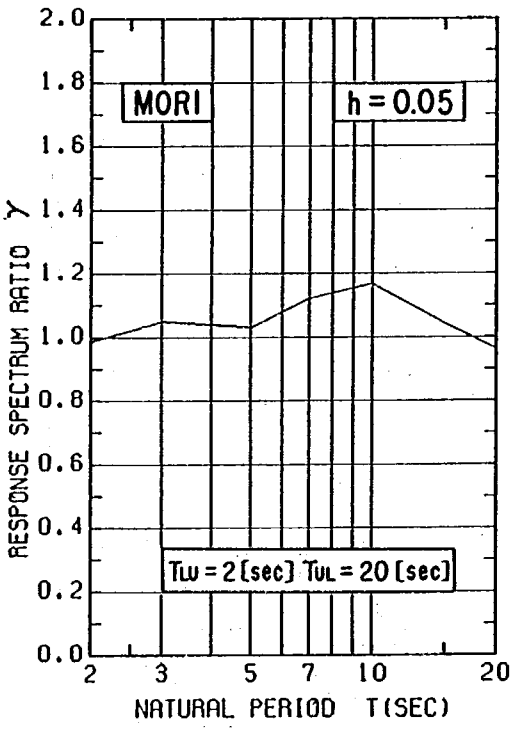
図 3.16 加速度応答スペクトル（剣山, $T_{LU}=2$ (sec), 減衰定数 5 %）



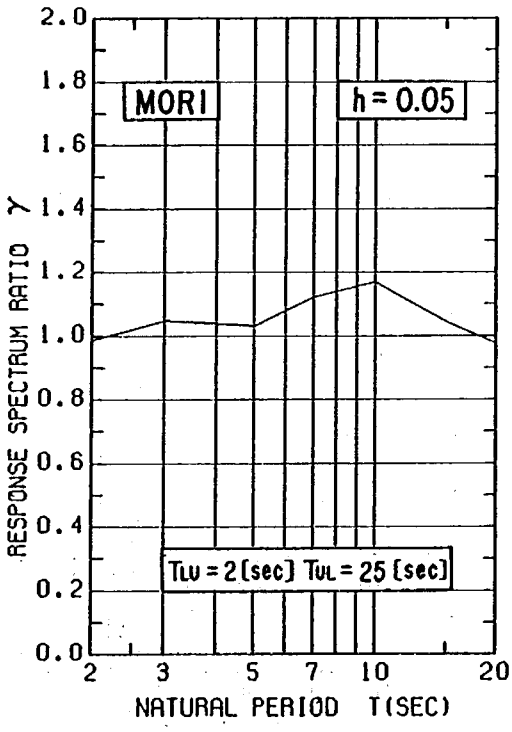
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

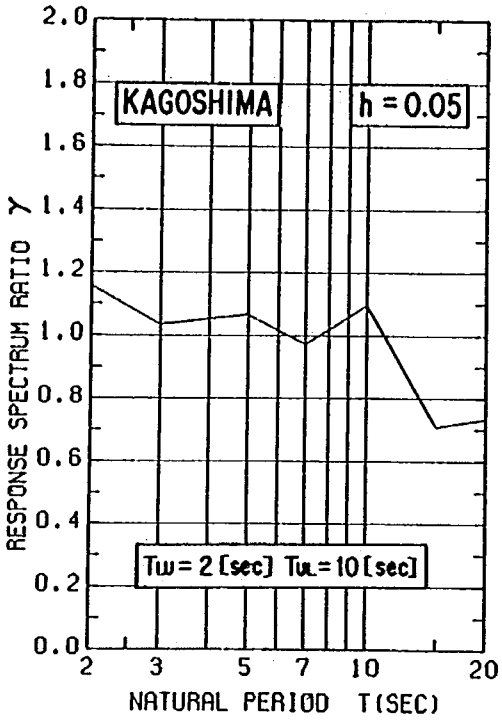


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

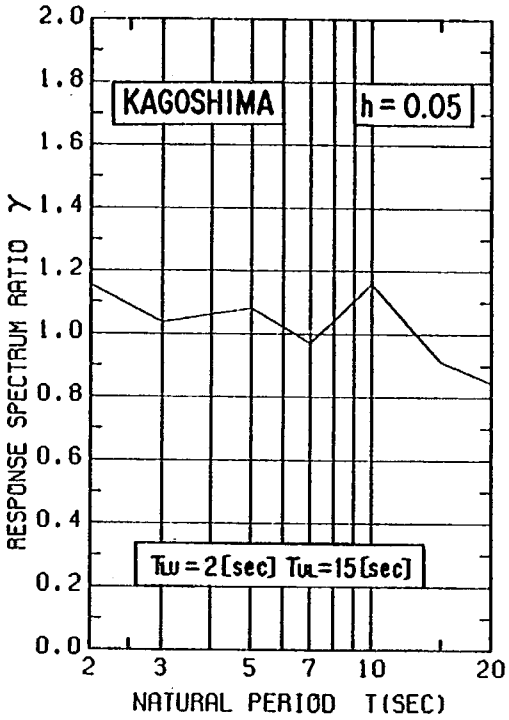


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

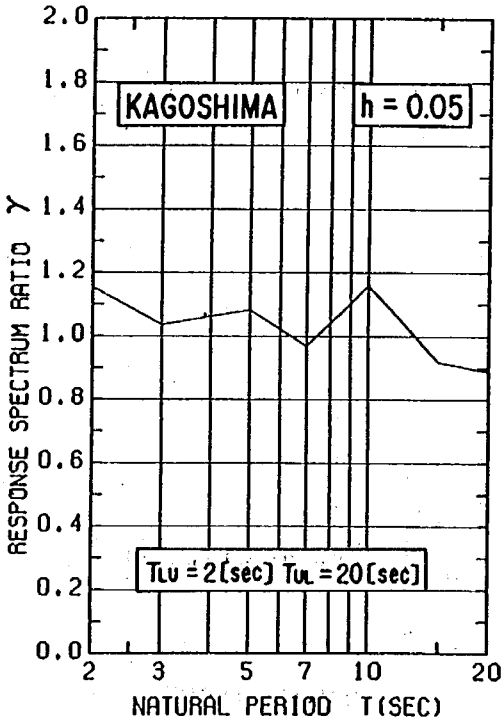
図 3.17 加速度応答スペクトル比（森，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 5 %）



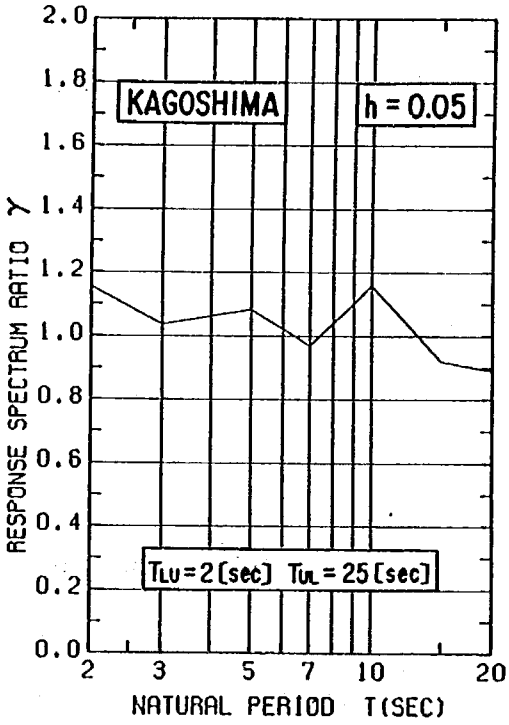
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

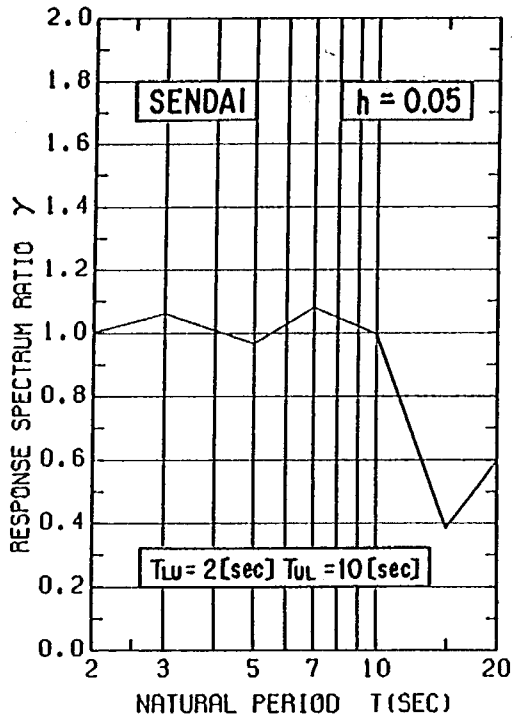


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

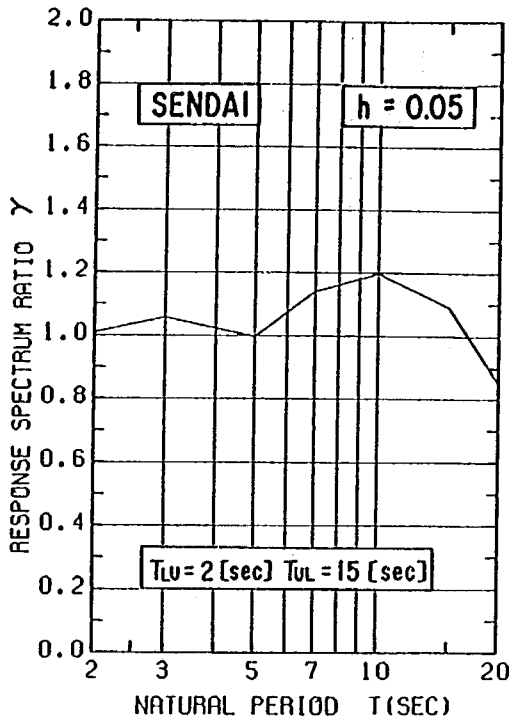


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

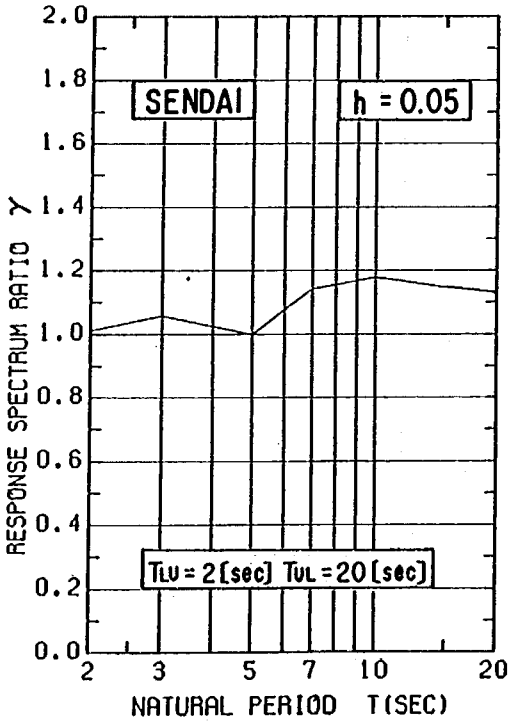
図 3.18 加速度応答スペクトル比（鹿児島，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 5 %）



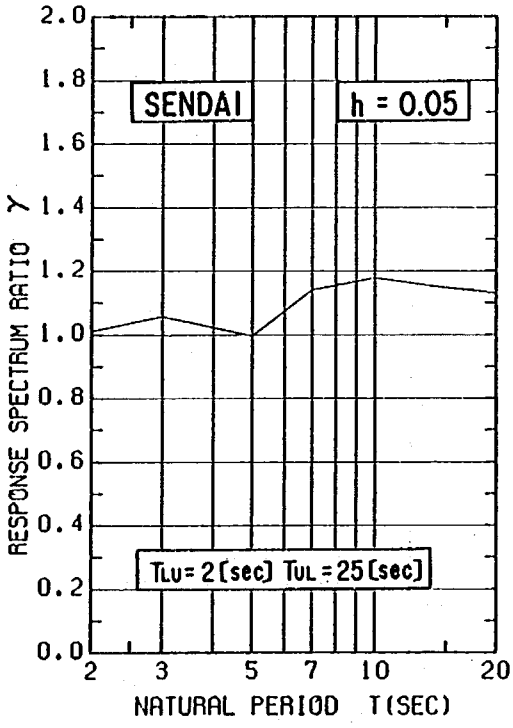
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

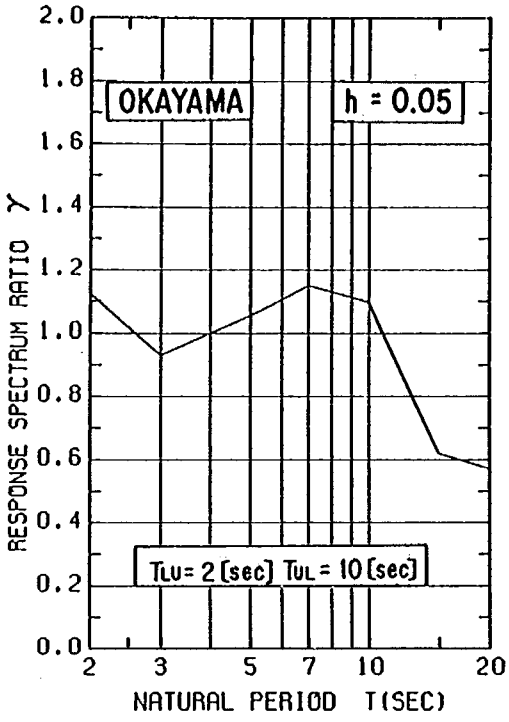


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

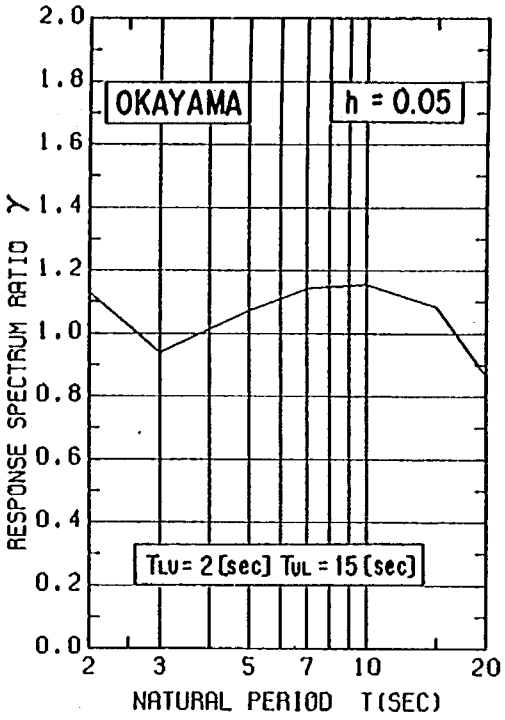


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

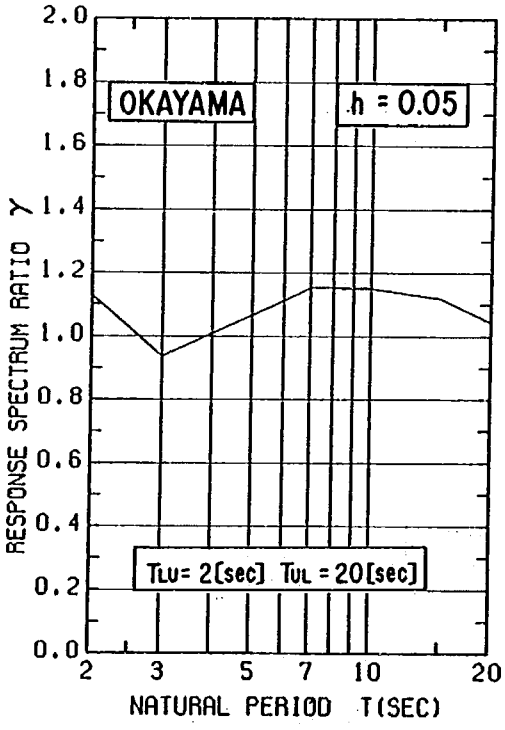
図 3.19 加速度応答スペクトル比（仙台，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 5 %）



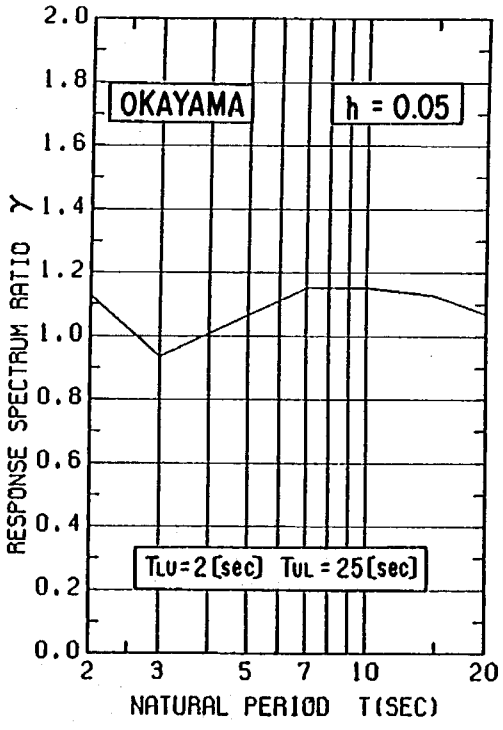
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

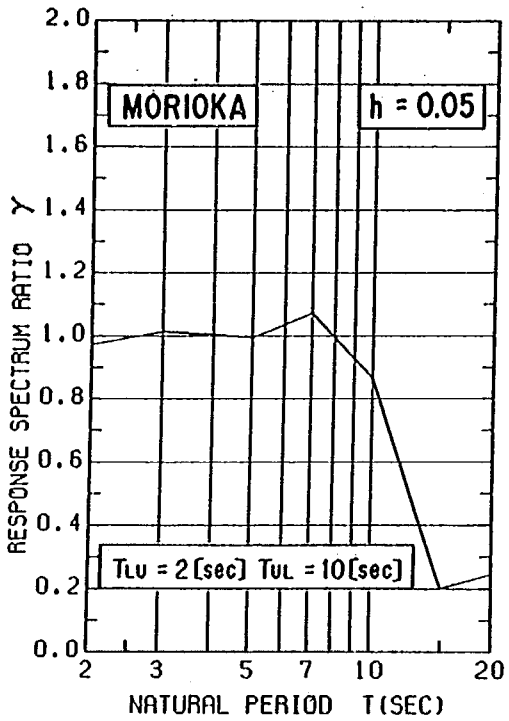


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

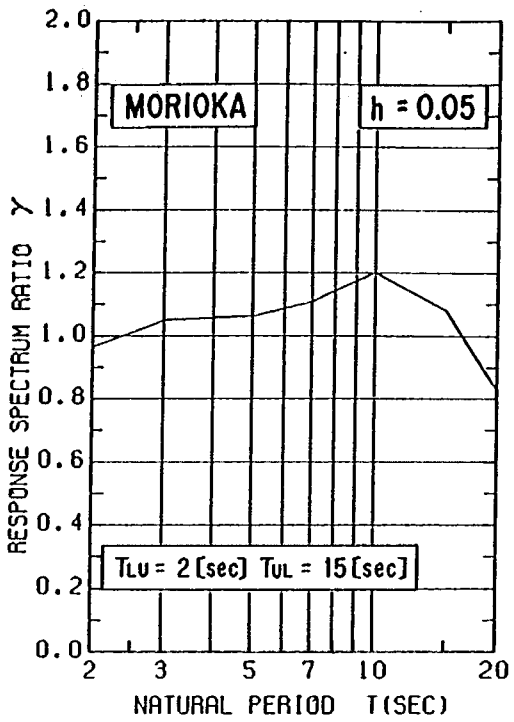


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

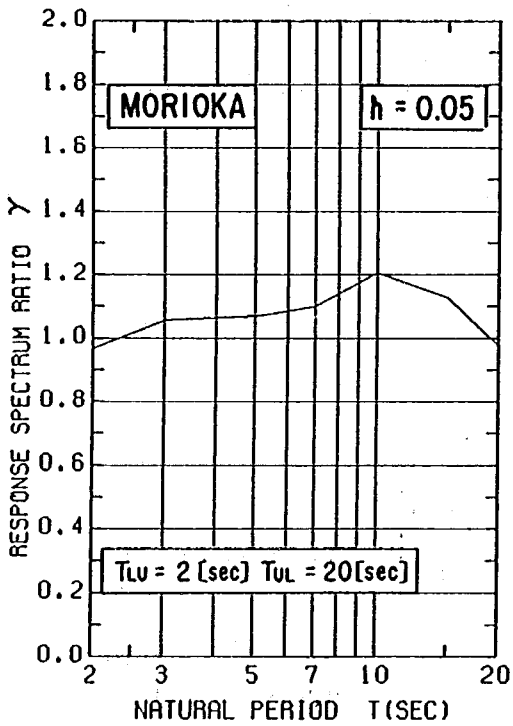
図 3.20 加速度応答スペクトル比（岡山，$T_{LU}=2$（sec），減衰定数 5％）



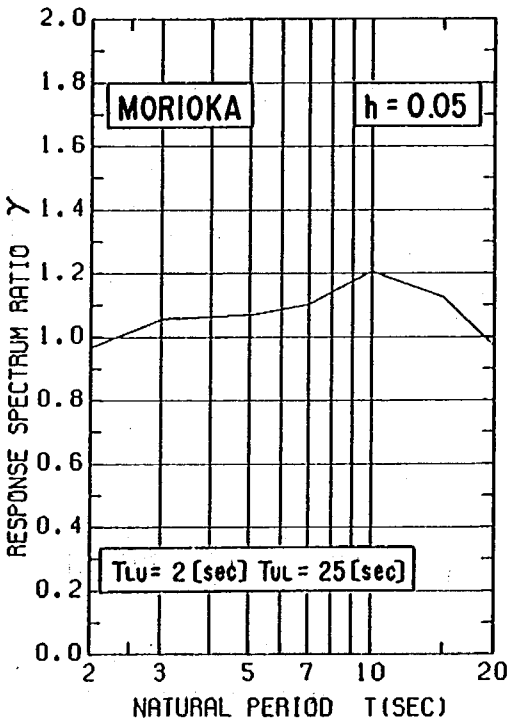
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

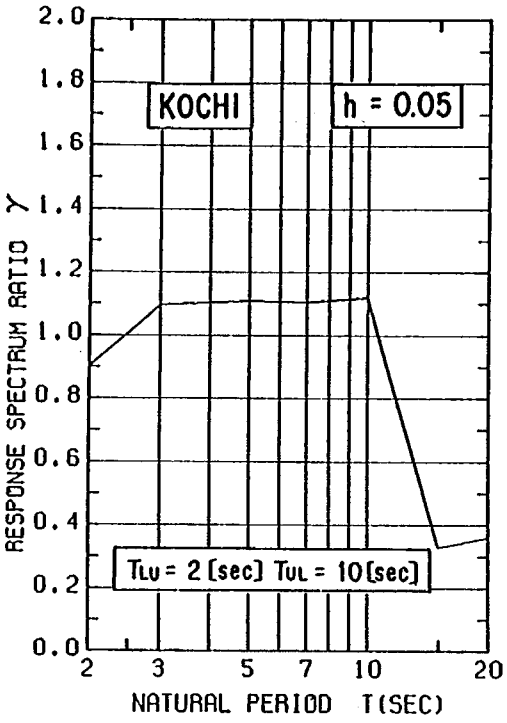


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

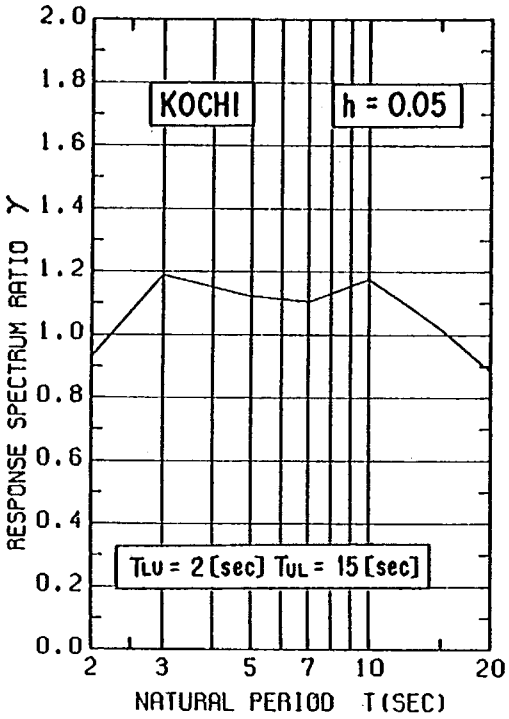


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

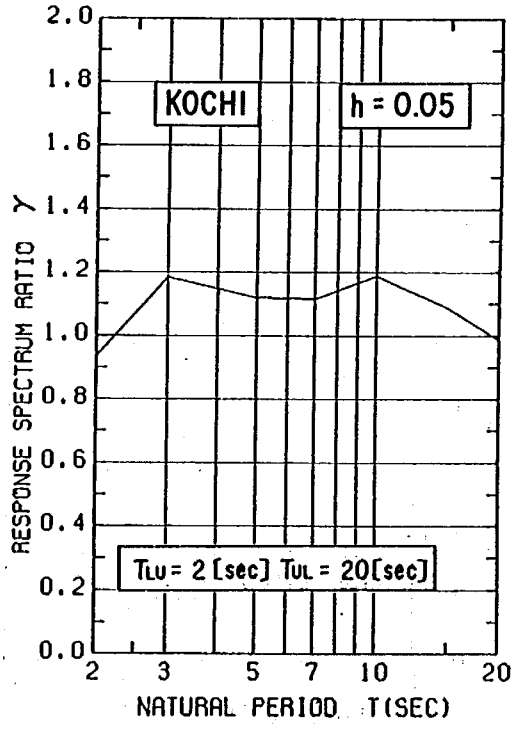
図 3.21 加速度応答スペクトル比（盛岡, $T_{LU}=2$ (sec), 減衰定数 5 %）



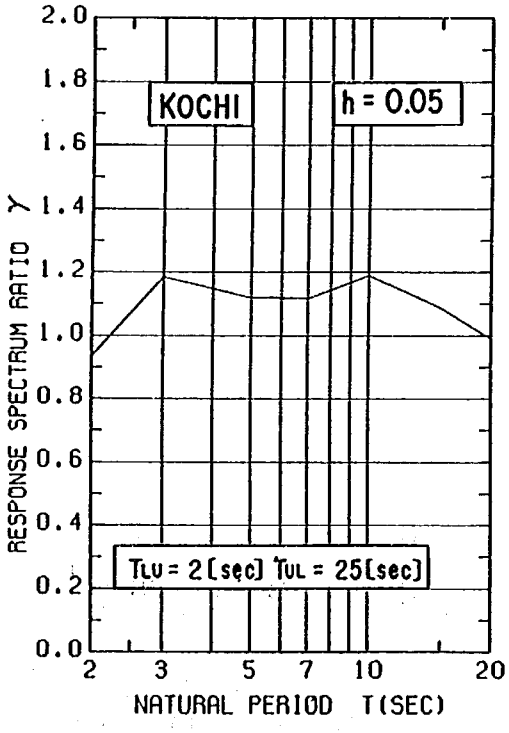
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

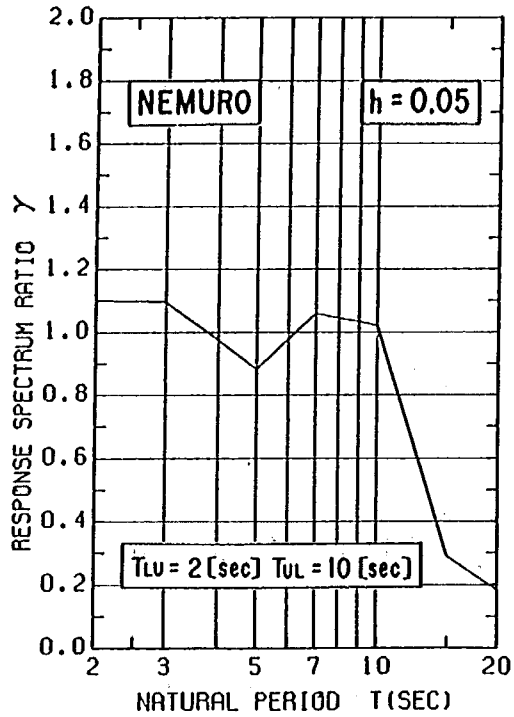


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

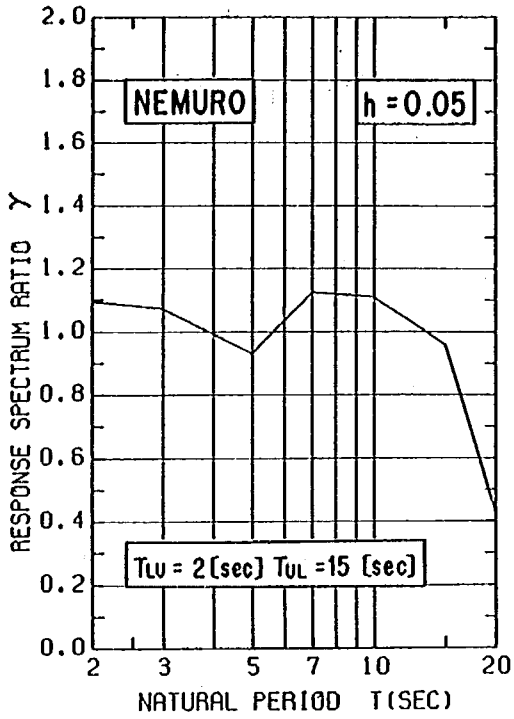


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

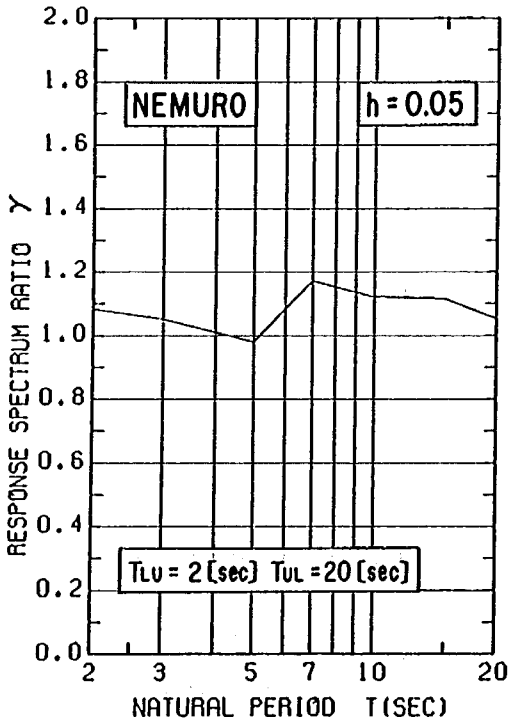
図 3.22 加速度応答スペクトル比（高知, $T_{LU}=2$ (sec), 減衰定数 5 %）



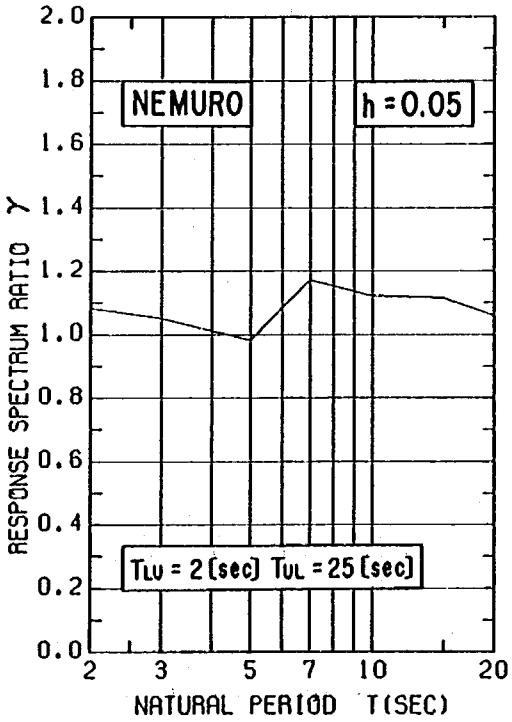
(a)　T_{UL} = 10 (sec)



(b)　T_{UL} = 15 (sec)

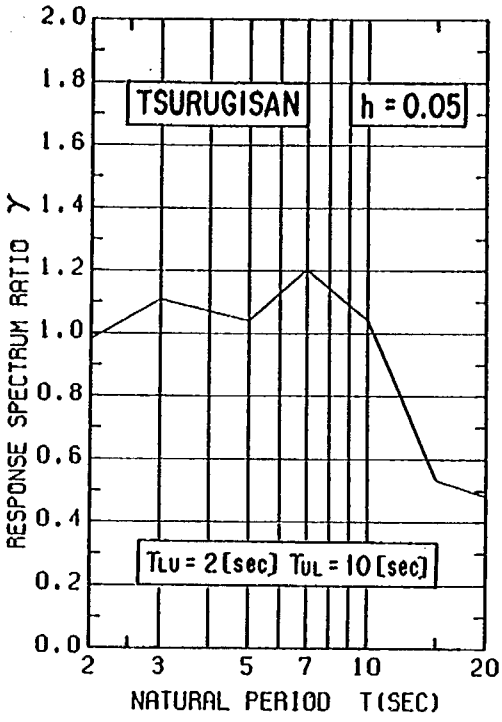


(c)　T_{UL} = 20 (sec)

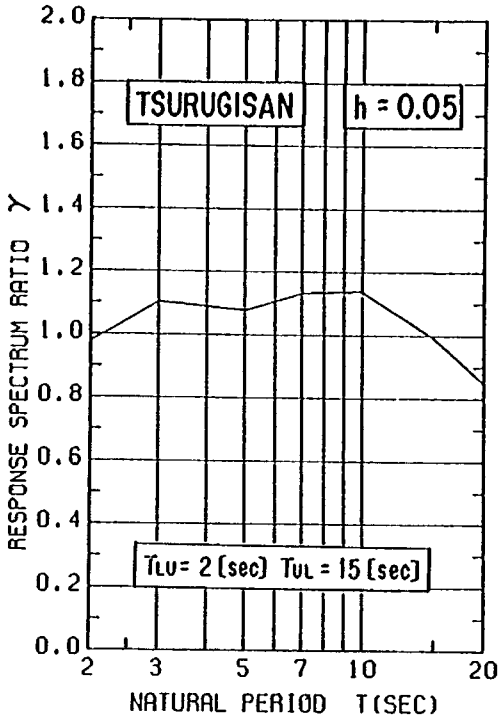


(d)　T_{UL} = 25 (sec)

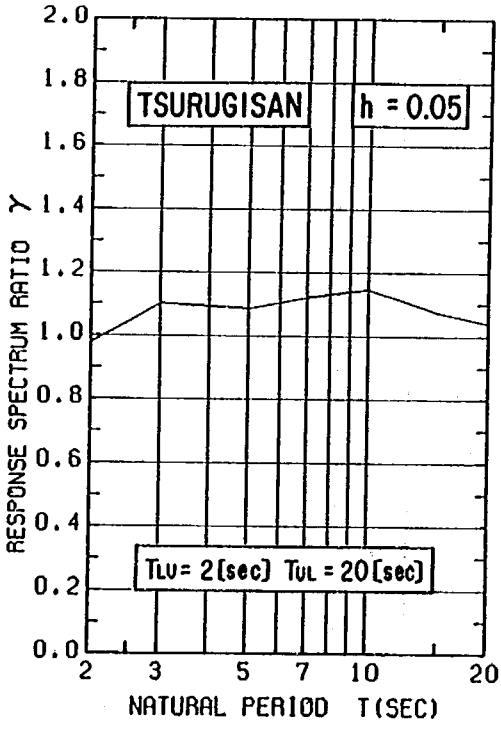
図 3.23　加速度応答スペクトル比（根室，T_{LU} = 2 (sec)，減衰定数 5 %）



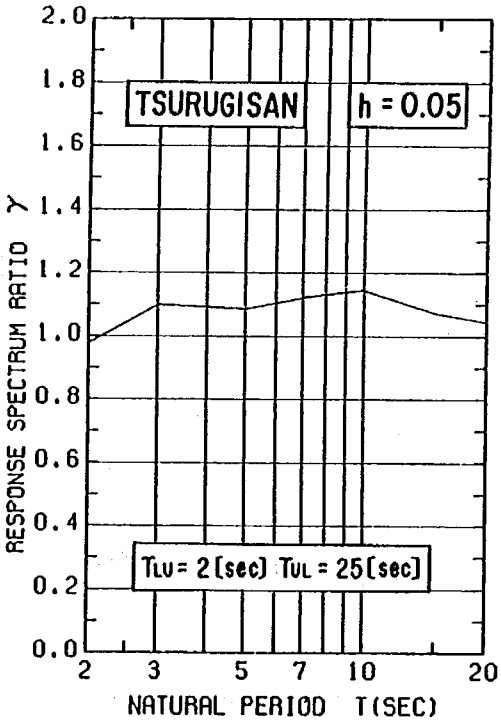
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

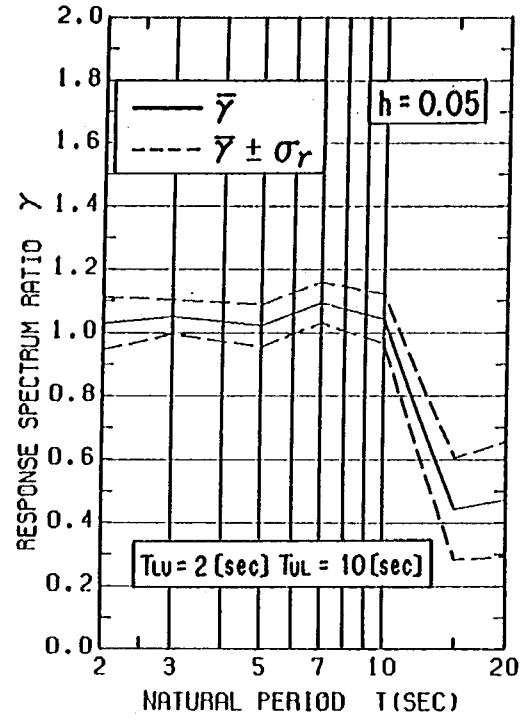


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

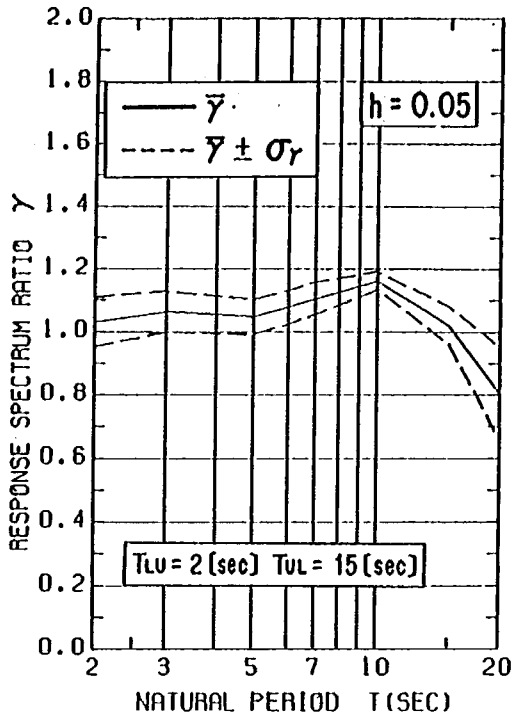


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

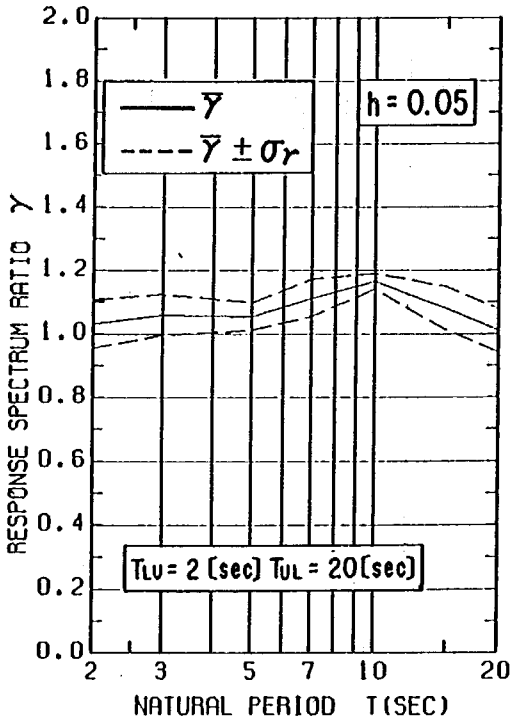
図 3.24 加速度応答スペクトル比（剣山，$T_{LU}=2$（sec），減衰定数 5 %）



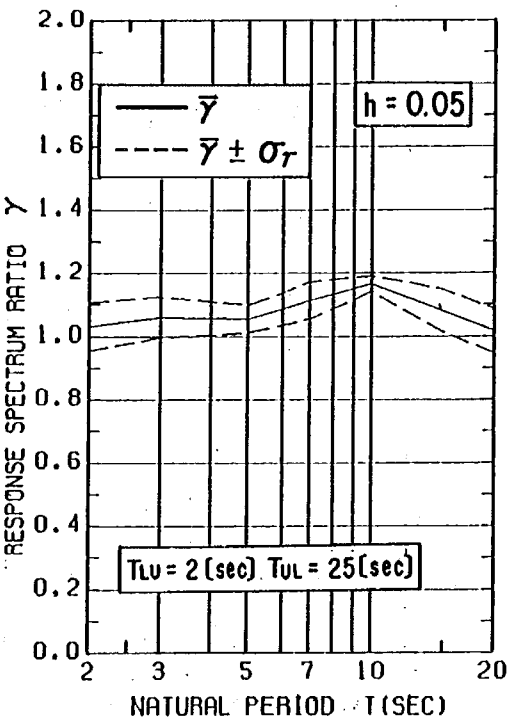
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

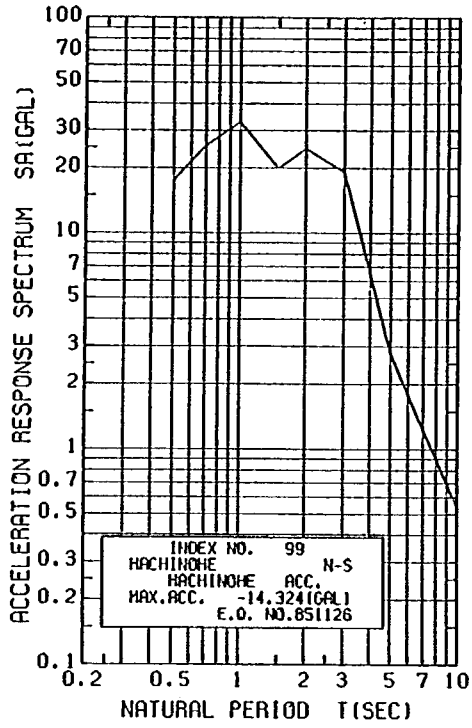


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

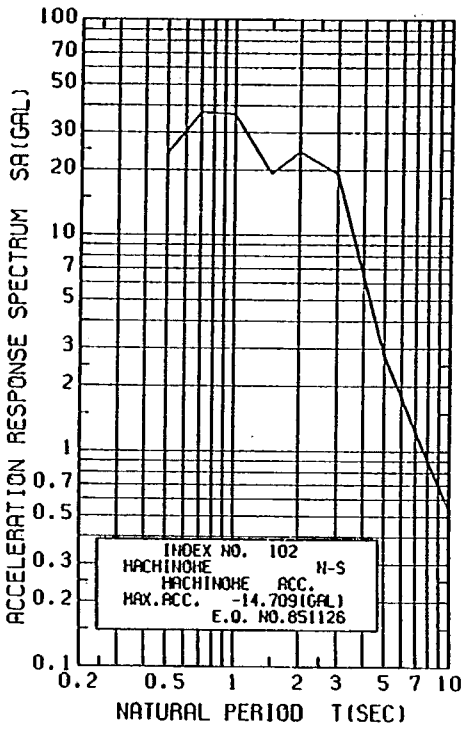


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

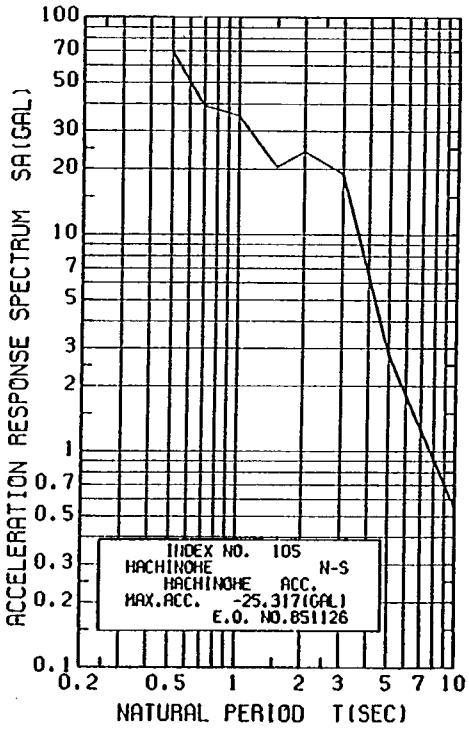
図 3.25　加速度応答スペクトル比の平均値および標準偏差（実験Ⅰ，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 5 %）



(a) $T_{LU} = 1$ (sec)

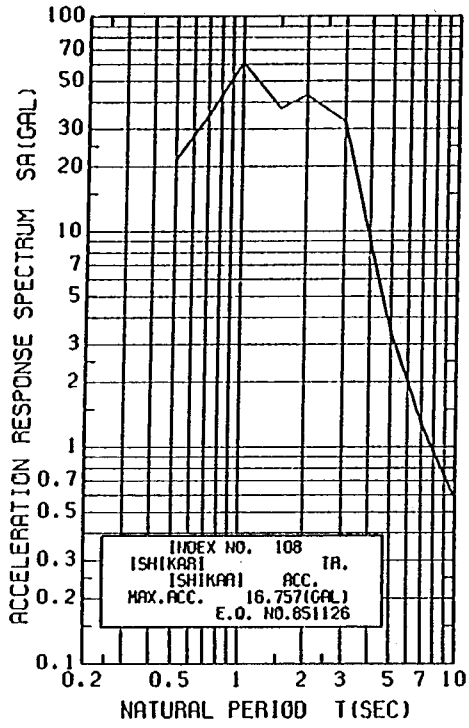


(b) $T_{LU} = 0.7$ (sec)

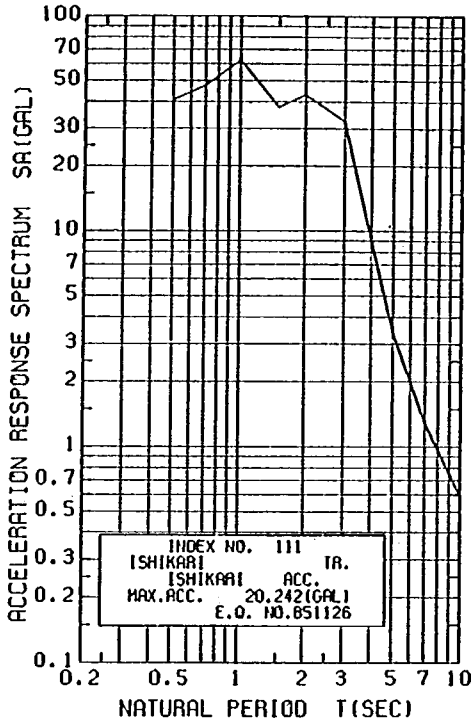


(c) $T_{LU} = 0.5$ (sec)

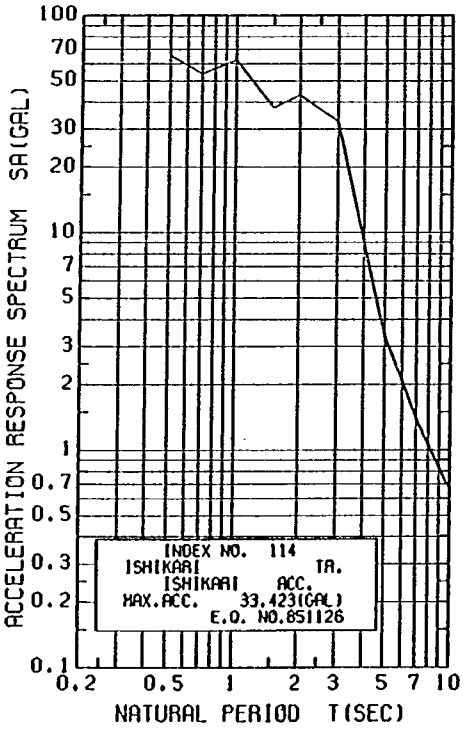
図 3.26 加速度応答スペクトル（八戸港，$T_{UL} = 10$ (sec)，減衰定数 5 %）



(a) $T_{LU} = 1$ (sec)

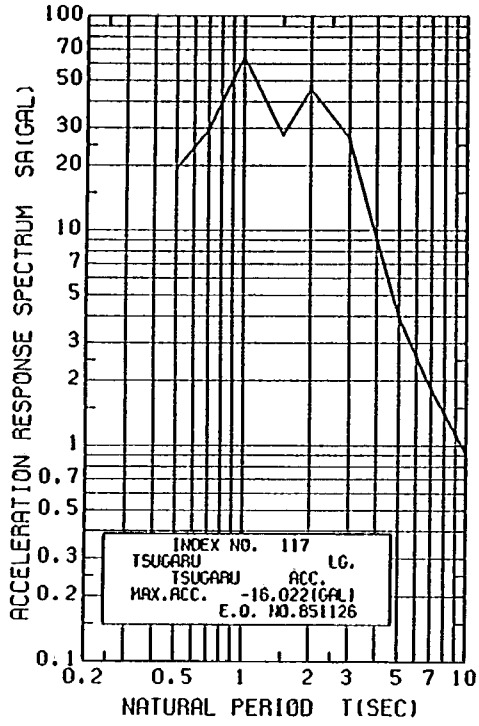


(b) $T_{LU} = 0.7$ (sec)

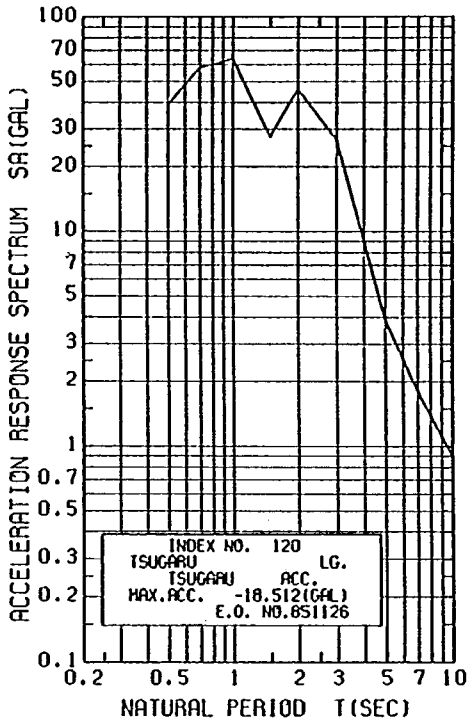


(c) $T_{LU} = 0.5$ (sec)

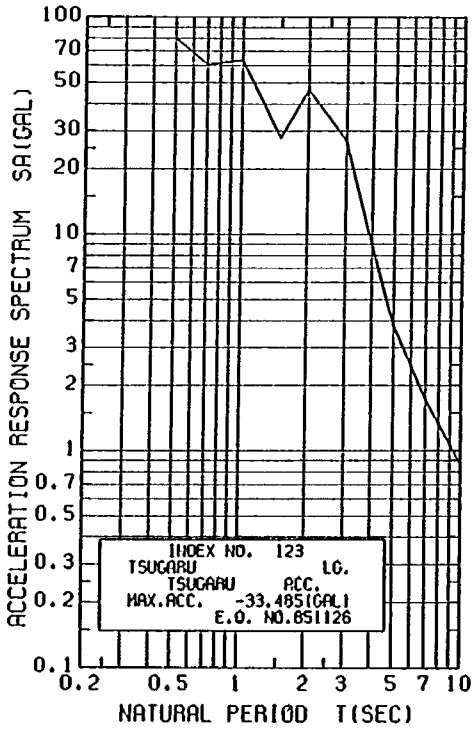
図 3.27 加速度応答スペクトル（石狩河口橋, $T_{UL} = 10$ (sec), 減衰定数 5 %）



(a) $T_{LU} = 1$ (sec)

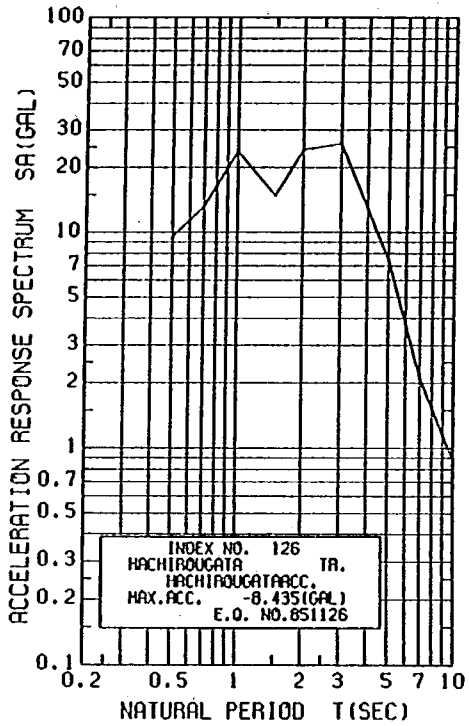


(b) $T_{LU} = 0.7$ (sec)

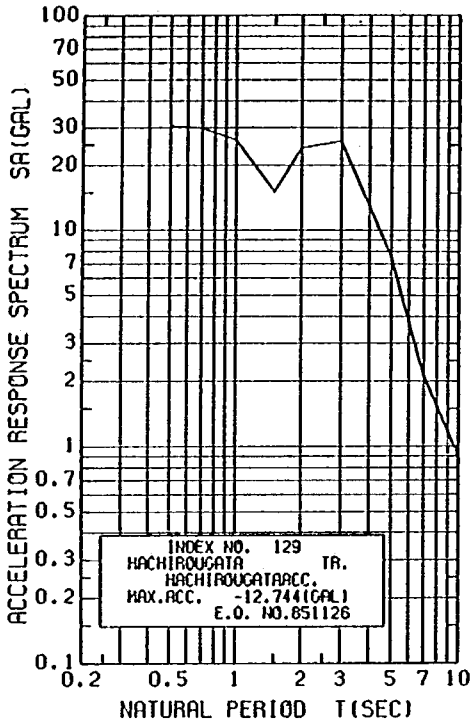


(c) $T_{LU} = 0.5$ (sec)

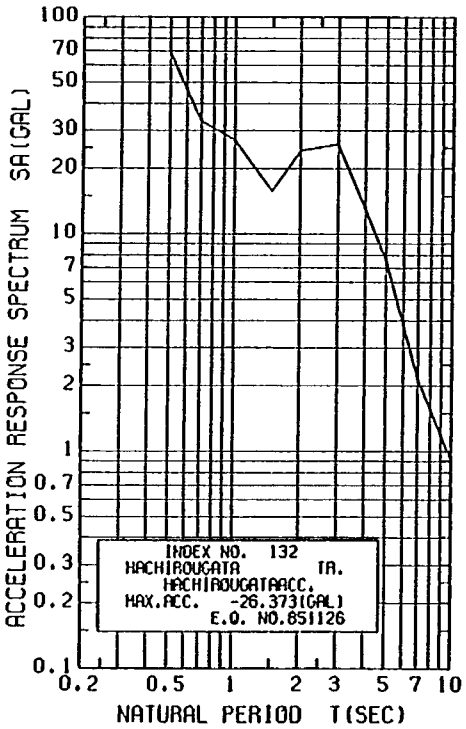
図 3.28 加速度応答スペクトル（津軽大橋，$T_{UL} = 10$〔sec〕，減衰定数 5 %）



(a) $T_{LU} = 1$ (sec)

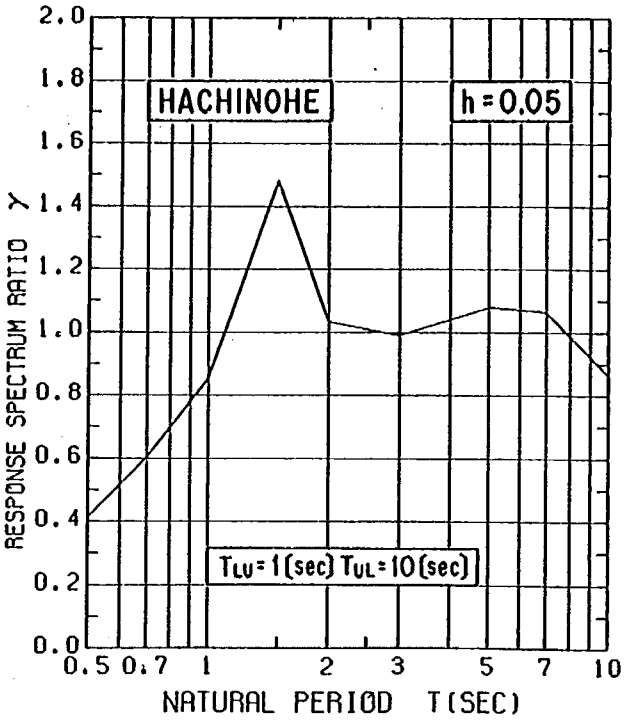


(b) $T_{LU} = 0.7$ (sec)

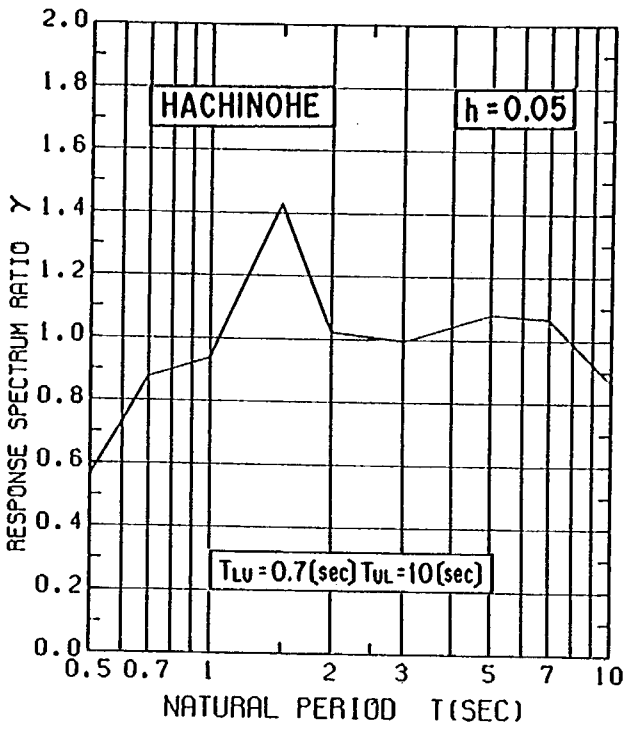


(c) $T_{LU} = 0.5$ (sec)

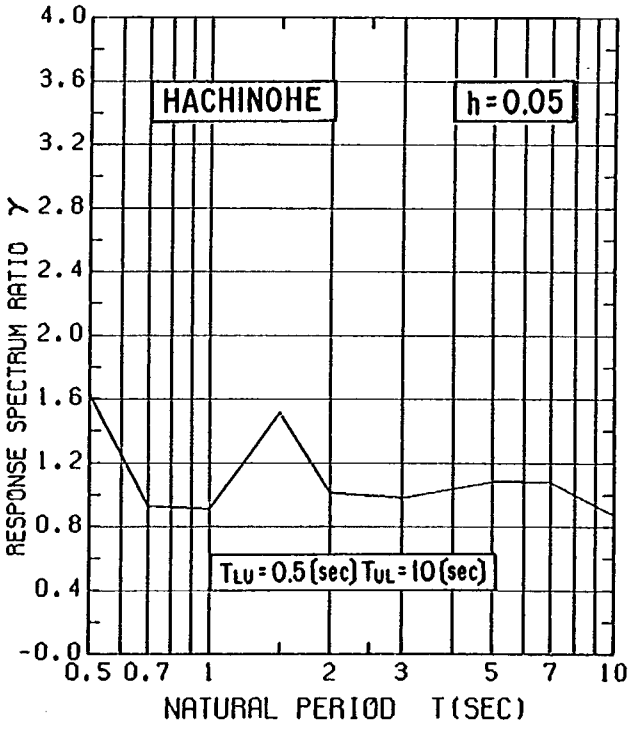
図 3.29 加速度応答スペクトル（八郎潟，$T_{UL} = 10$ (sec)，減衰定数 5 %）



(a) $T_{LU}=1$ (sec)

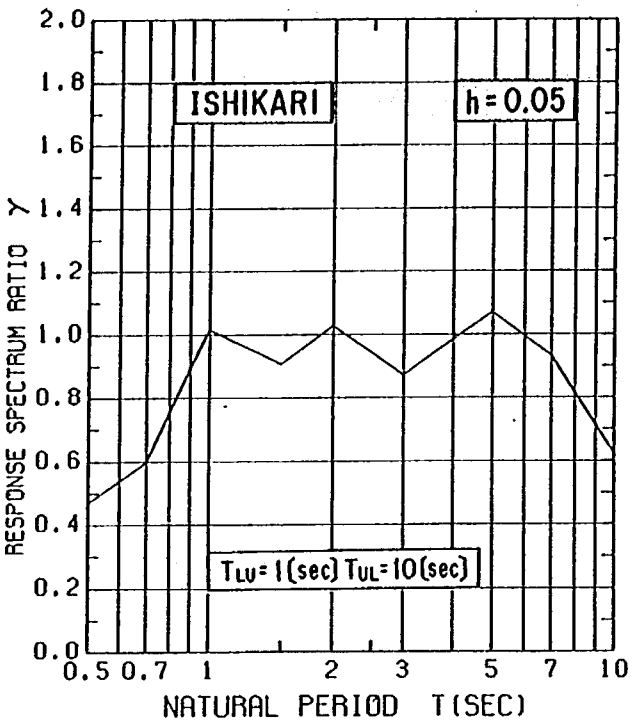


(b) $T_{LU}=0.7$ (sec)

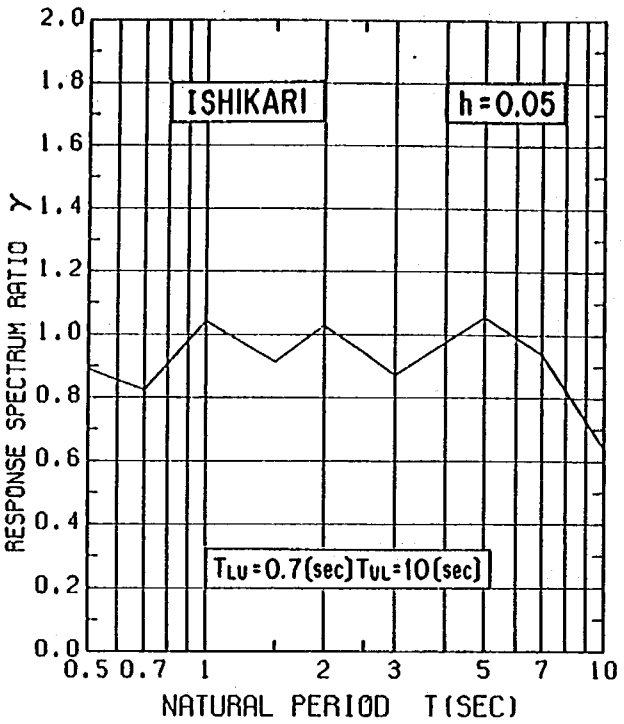


(c) $T_{LU}=0.5$ (sec)

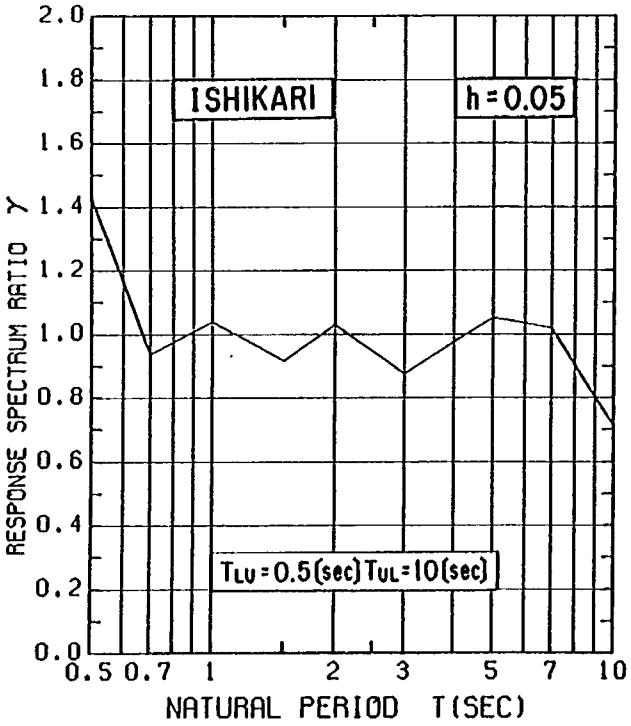
図 3.30 加速度応答スペクトル比（八戸港，$T_{UL}=10$ (sec)，減衰定数 5 %）



(a)　$T_{LU}=1$ (sec)

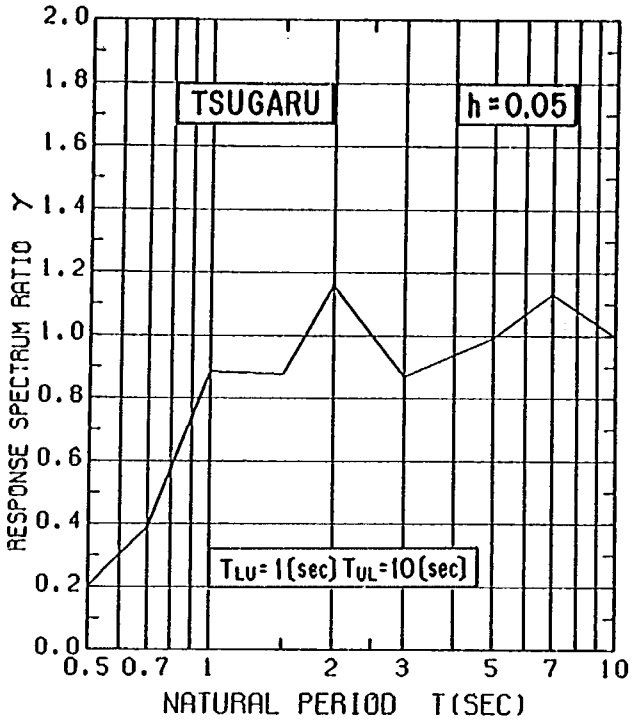


(b)　$T_{LU}=0.7$ (sec)

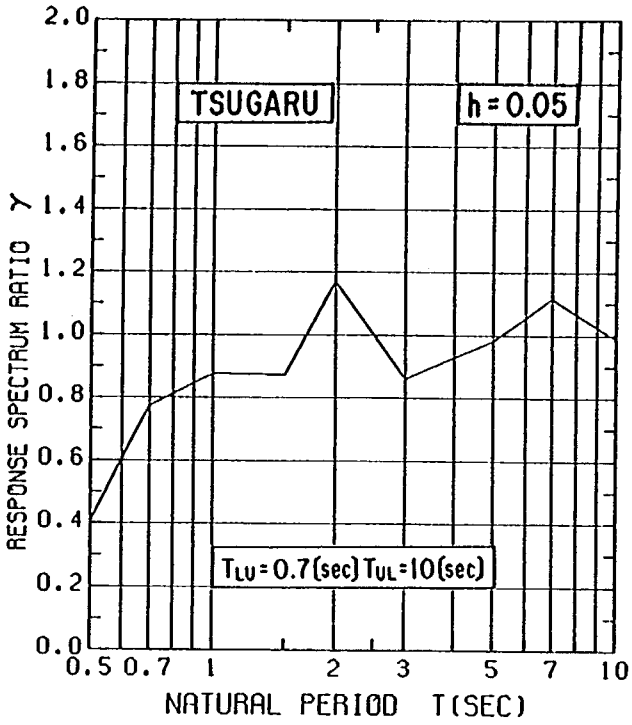


(c)　$T_{LU}=0.5$ (sec)

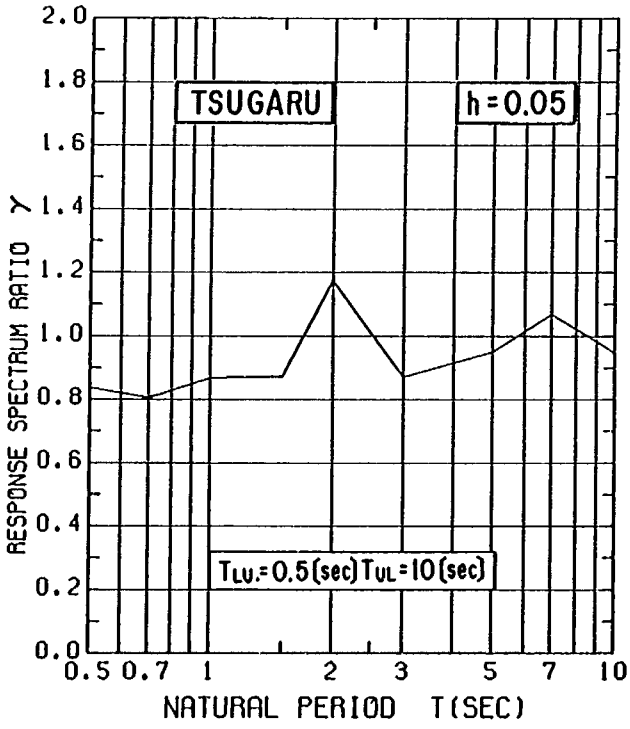
図 3.31　加速度応答スペクトル比（石狩河口橋，$T_{UL}=10$ (sec)，減衰定数 5 %）



(a) $T_{LU}=1$ (sec)

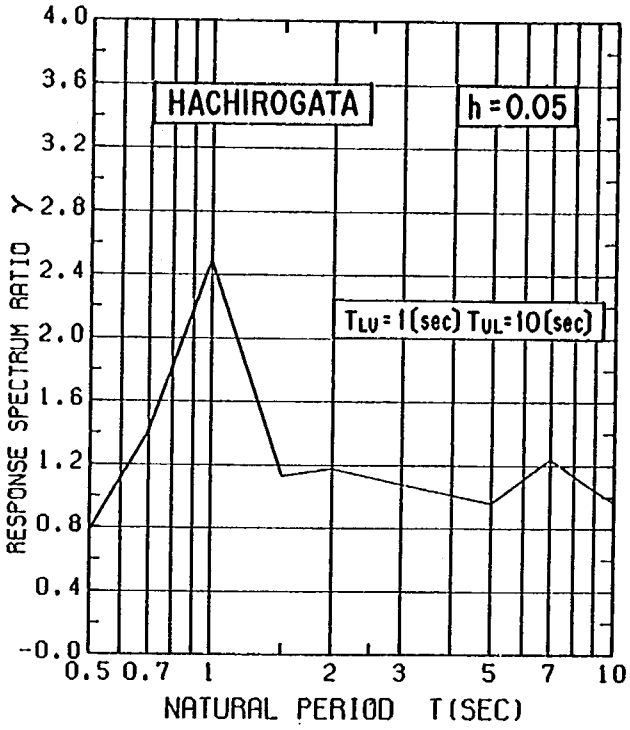


(b) $T_{LU}=0.7$ (sec)

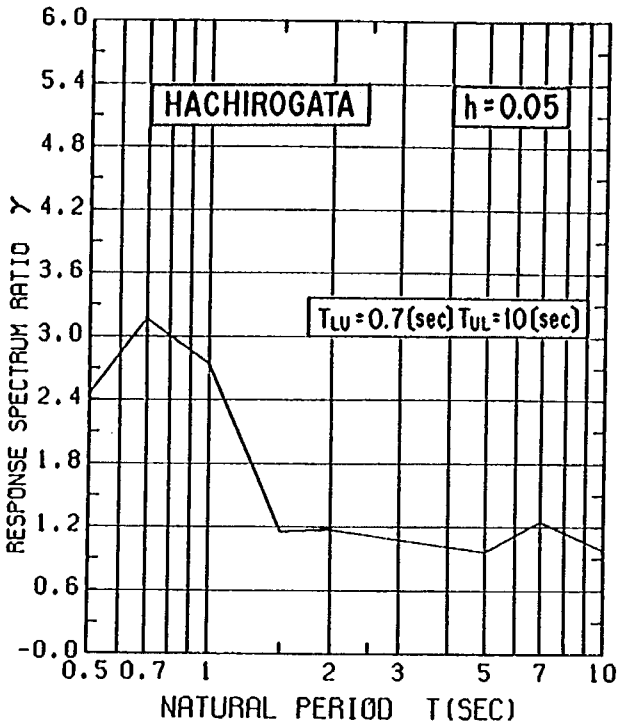


(c) $T_{LU}=0.5$ (sec)

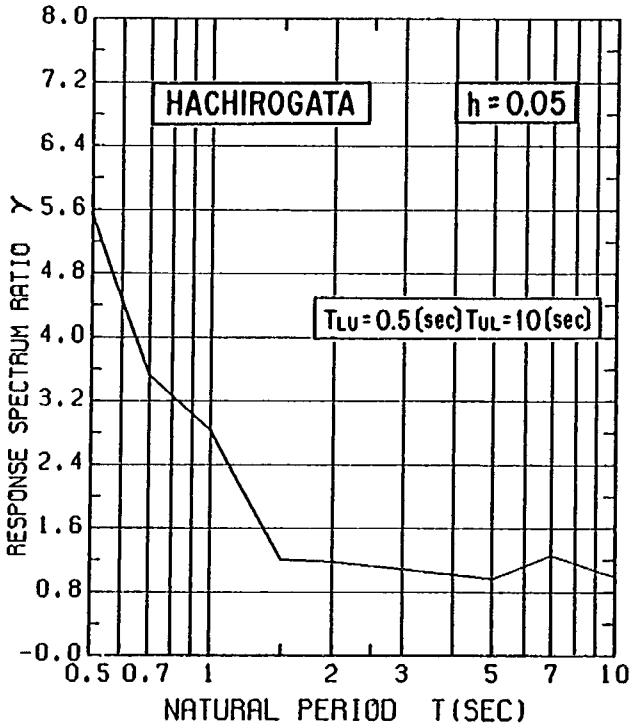
図 3.32 加速度応答スペクトル比（津軽大橋，$T_{UL}=10$〔sec〕，減衰定数 5 %）



(a) $T_{LU}=1$ (sec)

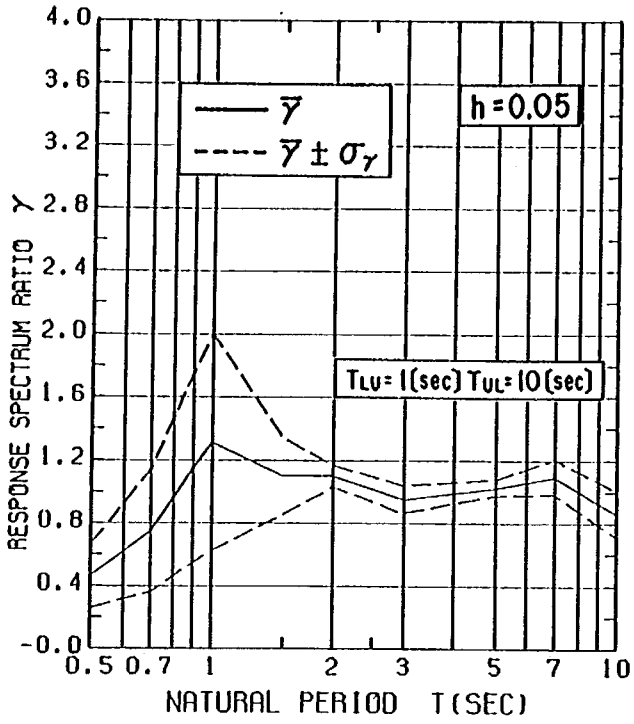


(b) $T_{LU}=0.7$ (sec)

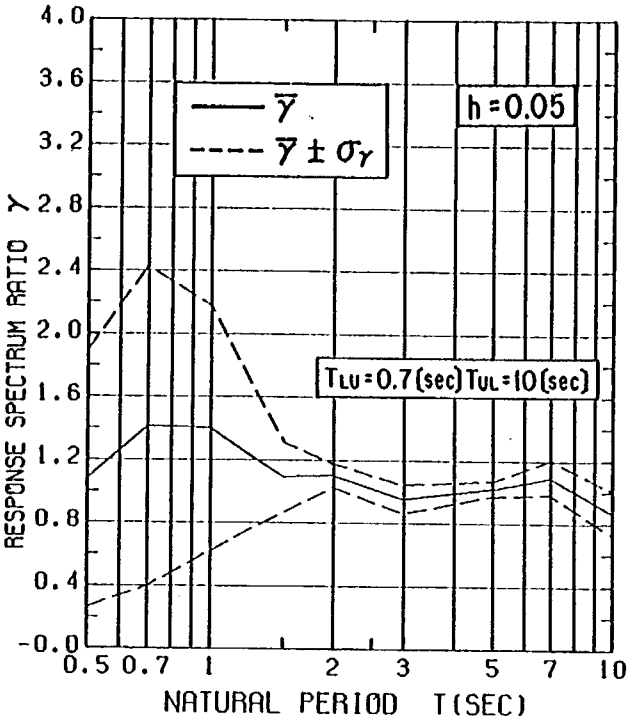


(c) $T_{LU}=0.5$ (sec)

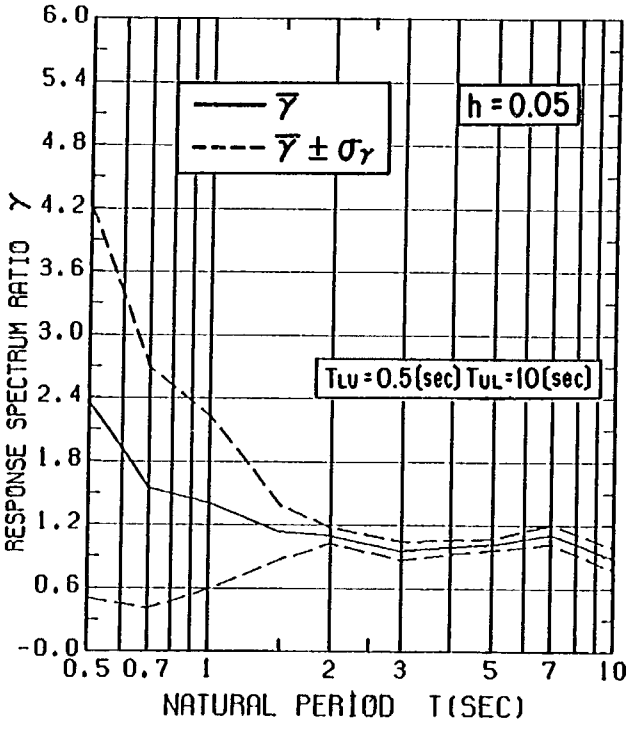
図 3.33 加速度応答スペクトル比（八郎潟，$T_{UL}=10$ (sec)，減衰定数5％）



(a) $T_{LU}=1$〔sec〕



(b) $T_{LU}=0.7$〔sec〕



(c) $T_{LU}=0.5$〔sec〕

図 3.34　加速度応答スペクトル比の平均値および標準偏差（実験Ⅱ，$T_{UL}=10$〔sec〕，減衰定数5％）

4. 結　　論

気象庁一倍強震計の加振実験を行い，振動数領域における同強震計記録の数値補正フィルターの遮断周期について検討するとともに，一倍強震計記録から数値微分して求めた加速度による加速度応答スペクトルの精度について検討した。

本検討から得られた結論は，以下のとおりである。

1) 気象庁一倍強震計記録の計器補正を行うための長周期側の遮断周期は20秒とすることが適当であると考えられる。また，短周期側および長周期側の遮断周期を，それぞれ，2秒および20秒とした場合の固有周期2～20秒の範囲における加速度応答スペクトル値（減衰定数5％）はディジタル強震計による加速度応答スペクトル値の1.05～1.15倍程度の値をとる。

2) 短周期側の遮断周期を1秒以下に種々変化させて固有周期1秒程度以下の領域における加速度応答スペクトルを算出した場合，その精度は必ずしも十分ではない。ただし，この場合でも固有周期2秒程度以上の領域における加速度応答スペクトル値は上記1)と同程度になる。したがって，現状では，短周期側の遮断周期を2秒として，固有周期2秒以上の領域における加速度応答スペクトルを検討対象とすることが適当であると考えられる。

謝　　辞

本検討に当たっては，東京大学工学部土木工学科篠助手より有益な御討議を頂いた。気象庁気象測器工場からは気象庁一倍強震計をお借りするとともに，特に横田工場長および五十嵐技術課長を始めとする皆様より同強震計の据え付けおよび操作について懇切なる御指導を賜った。また，本実験における入力地震動の一部は，運輸省港湾技術研究所により観測および数値化されたものであり，ディジタル強震計は，㈱東京測振の御厚意によりお借りしたものである。末尾ながら，深く感謝の意を表する次第である。

参　考　文　献

1) 川島一彦，相沢　興，高橋和之：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式，土木研究所報告，第166号，昭和60年9月。

2) 川島一彦，高木義和，相沢　興：数値化精度を考慮したSMAC−B_2型強震計記録の計器補正法および変位計算法，土木学会論文報告集，第325号，昭和57年9月。

3) 土木学会：屋外貯蔵タンクの耐震安全性検討のための入力地震波の変位特性に関する調査報告書，昭和57年12月。

4) 片山恒雄ほか：長周期（約2〜20秒）地震動の工学的特性に関する総合研究，昭和59年度 科学研究費補助金（総合研究A）研究成果報告書，昭和60年3月。

5) 建設省土木研究所：気象庁一倍強震計記録に基づく長周期地震動特性の解析 — 1968年十勝沖地震記録の解析 —，土木研究所資料，第1869号，昭和58年3月。

6) 建設省土木研究所：気象庁一倍強震計記録に基づく長周期地震動特性の解析 —（その2）1968年日向灘地震記録の解析 —，土木研究所資料，第2245号，昭和60年6月。

7) 篠泉，片山恒雄：気象庁一倍強震計による地動の再現性の検討，第18回地震工学研究発表会講演概要，昭和60年7月。

8) International Association for Earthquake Engineering : Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays, Proc. of the International Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays, Edited by Iwan, W. D., Honolulu, Hawaii, U. S. A., May, 1978.

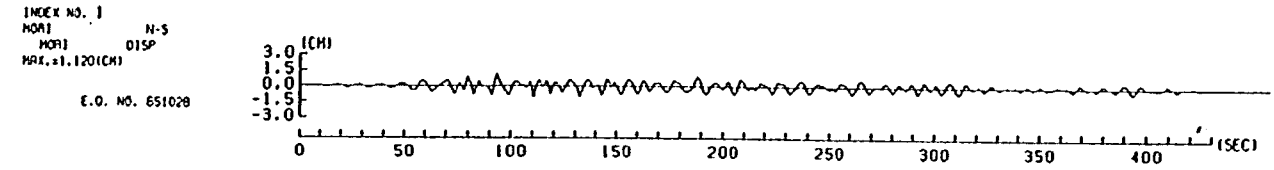
9) 大久保忠良：高密度強震観測計画について，土木技術資料，第22巻，第4号，昭和55年4月。

10) 佐々木康，田村敬一，相沢　興，高橋和之：土木研究所における高密度強震観測，土木技術資料，第28巻，第1号，昭和61年1月。

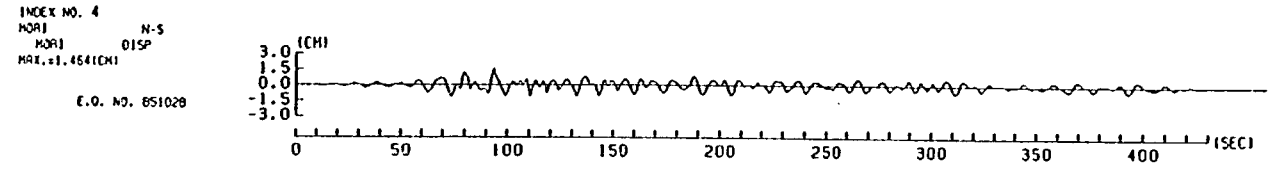
11) 建設省土木研究所：高密度強震観測用ディジタル強震計の記録精度に関する実験的検討，土木研究所資料，第2019号，昭和58年8月。

付　属　資　料　1

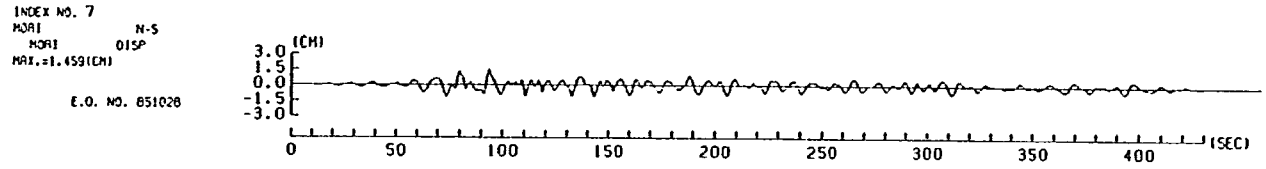
気象庁一倍強震計による変位波形



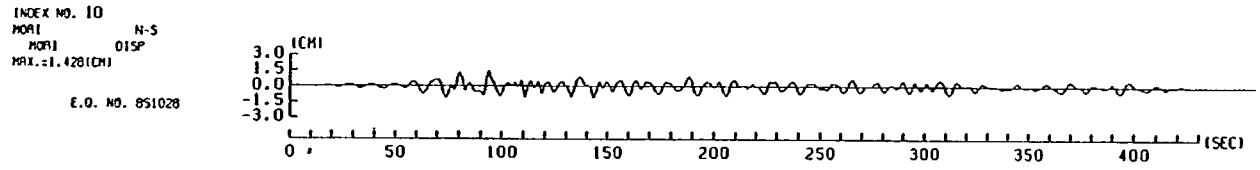
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

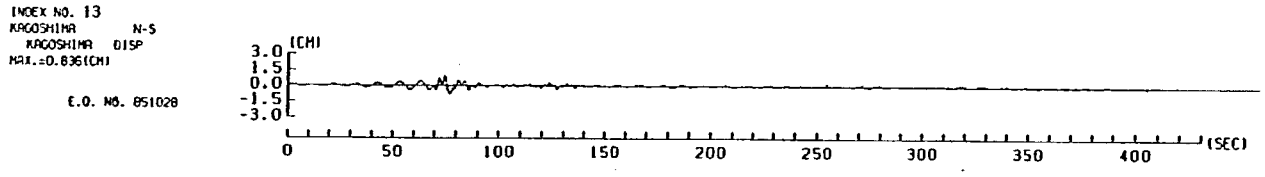


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

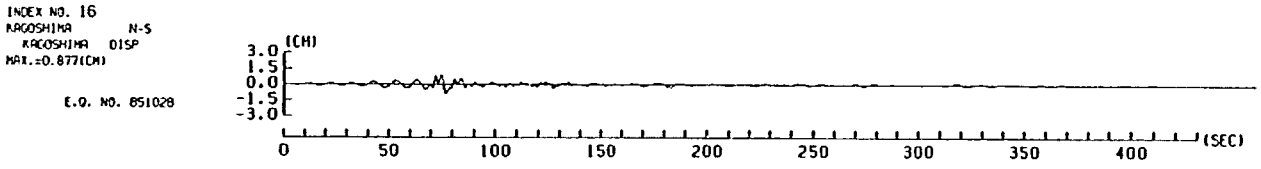


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

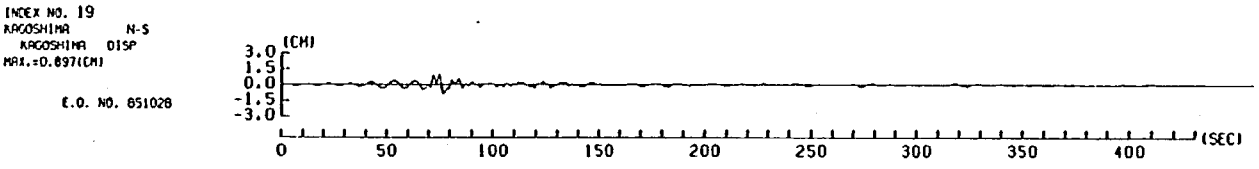
付図 1.1　変位波形（森，$T_{LU}=2$ (sec)）



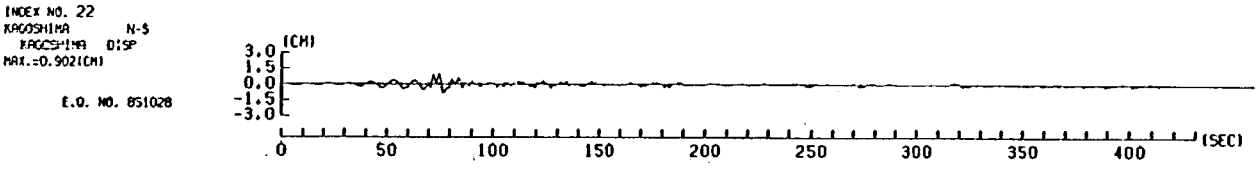
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

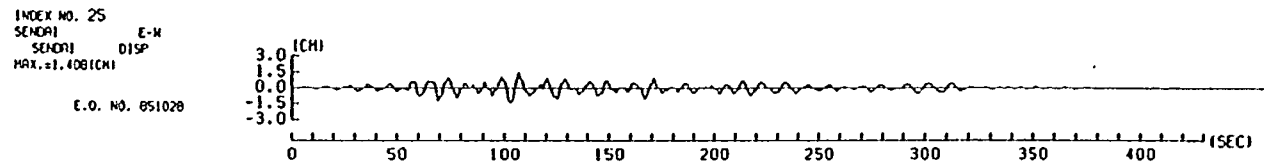


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

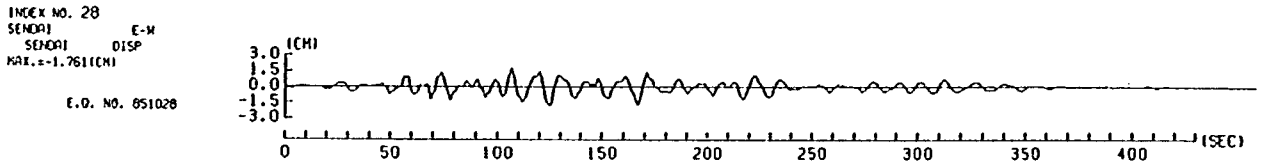


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

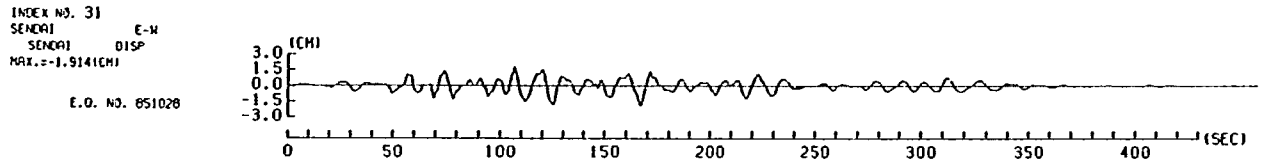
付図 1.2　変位波形（鹿児島，$T_{LU}=2$ (sec)）



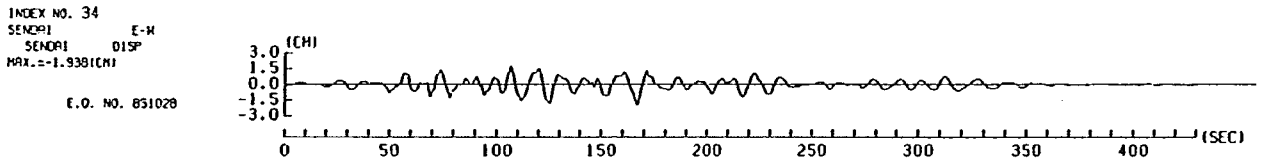
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

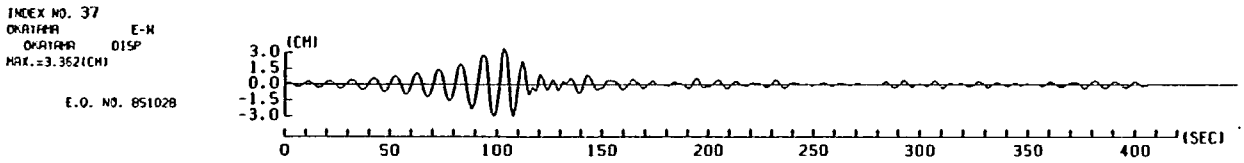


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

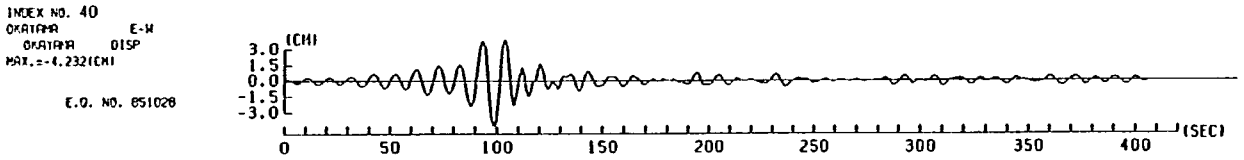


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

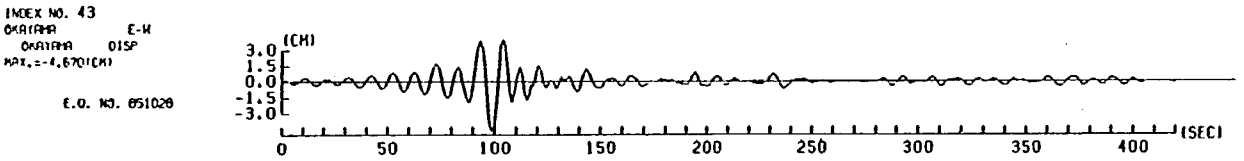
付図 1.3　変位波形（仙台，$T_{LU}=2$ (sec)）



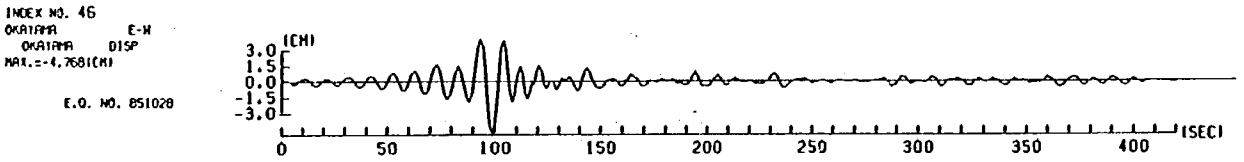
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

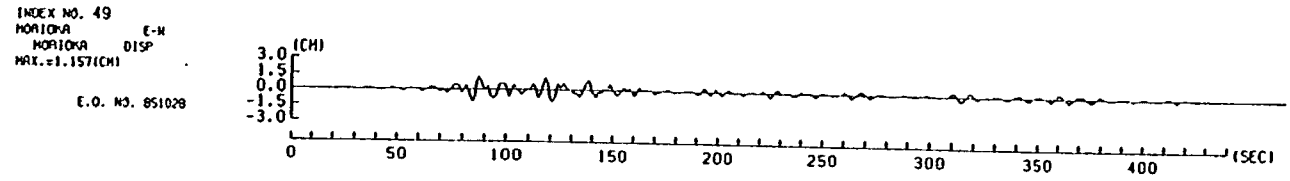


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

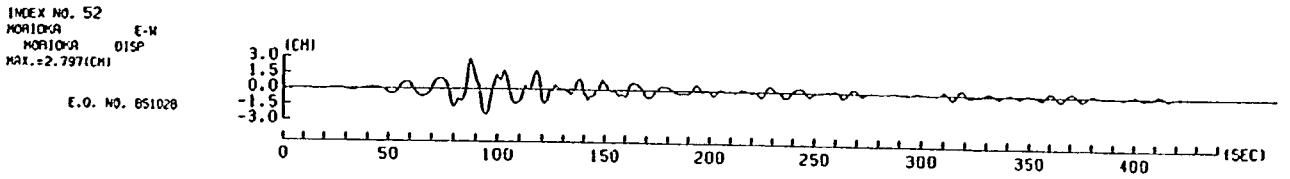


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

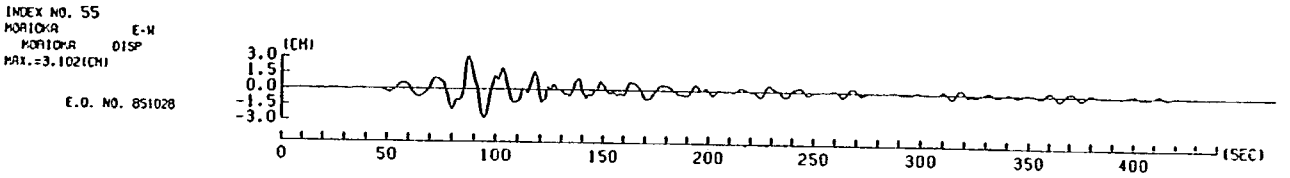
付図 1.4　変位波形（岡山，$T_{LU}=2$ (sec)）



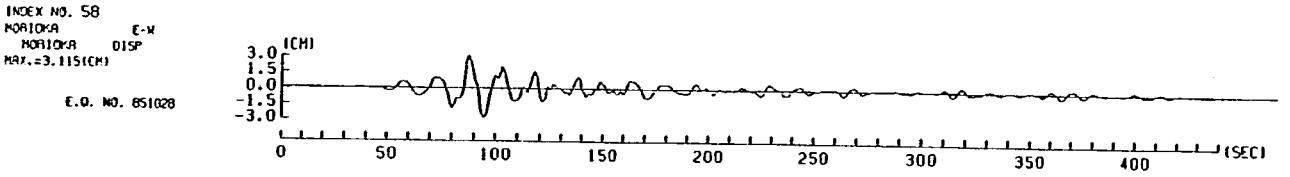
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

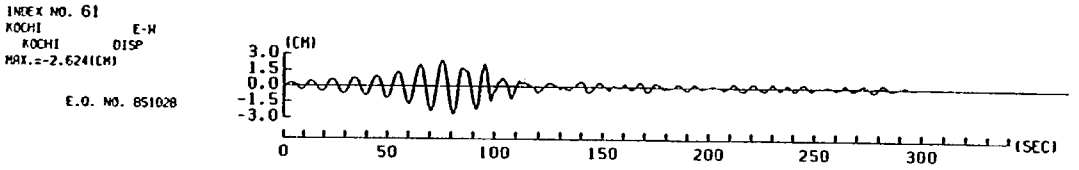


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

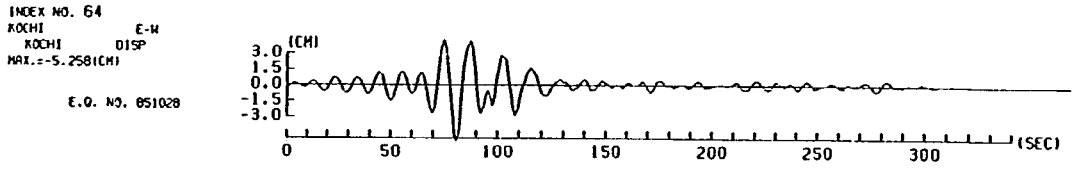


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

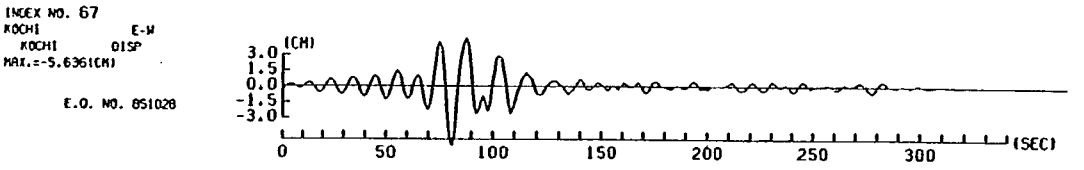
付図 1.5　変位波形（盛岡, $T_{LU}=2$ (sec)）



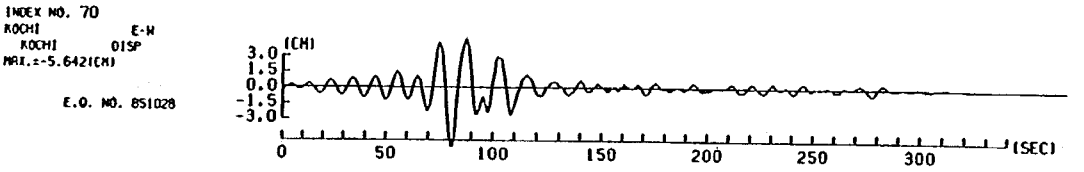
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

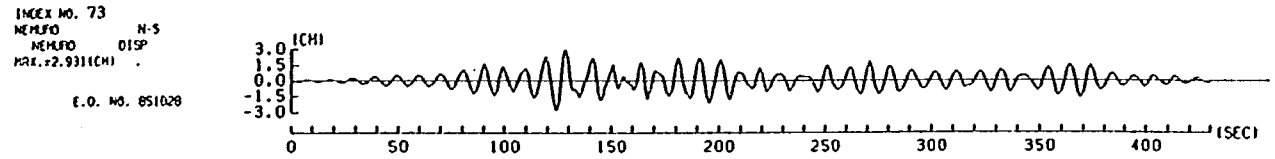


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

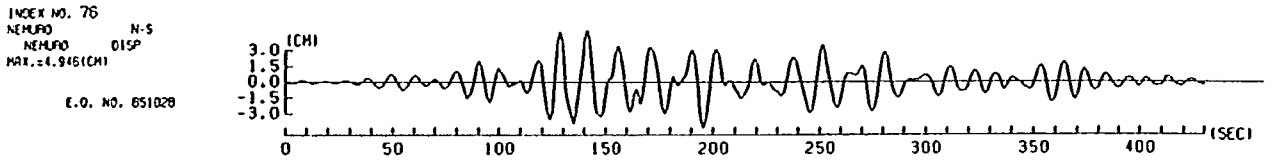


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

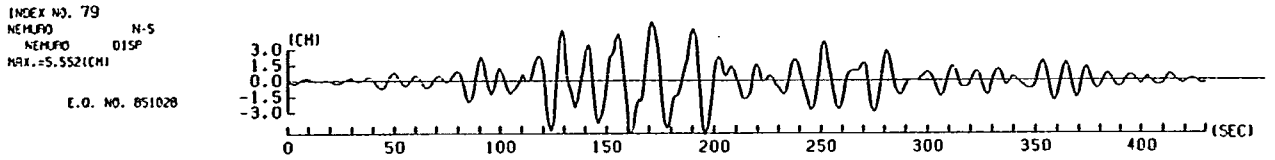
付図 1.6　変位波形（高知, $T_{LU}=2$ (sec)）



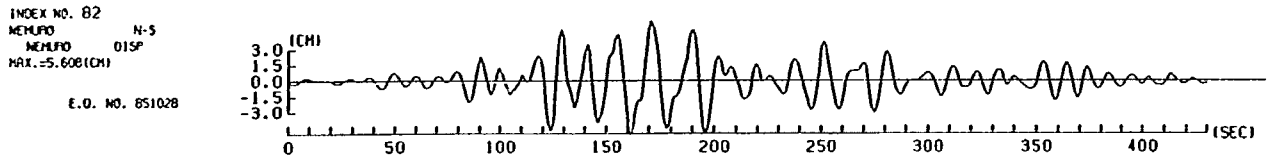
(a) $T_{UL}=10$〔sec〕



(b) $T_{UL}=15$〔sec〕

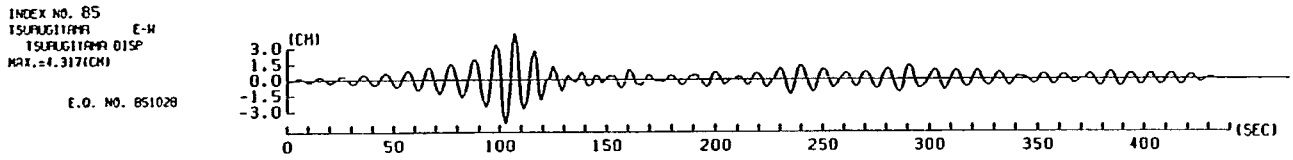


(c) $T_{UL}=20$〔sec〕

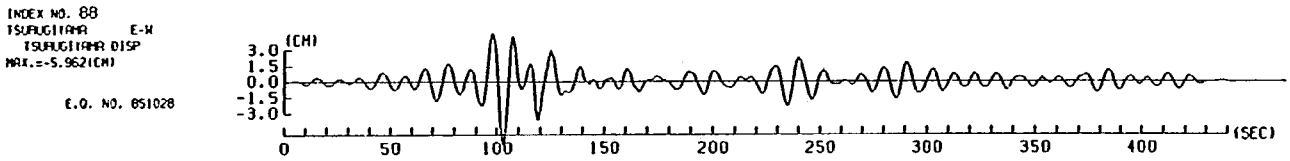


(d) $T_{UL}=25$〔sec〕

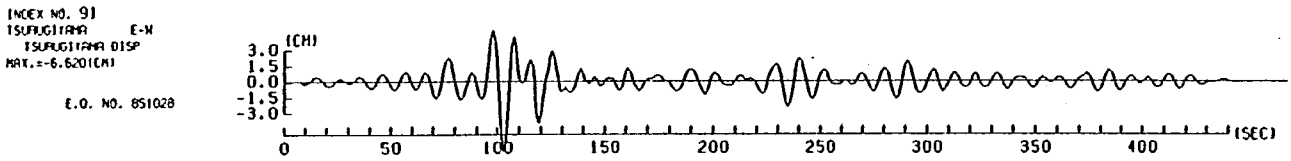
付図 1.7　変位波形（根室，$T_{LU}=2$〔sec〕）



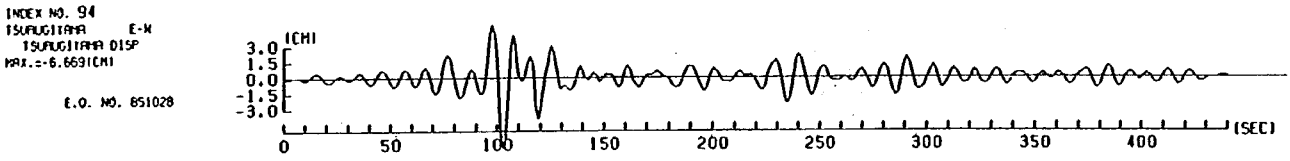
(a) $T_{UL}=10$〔sec〕



(b) $T_{UL}=15$〔sec〕

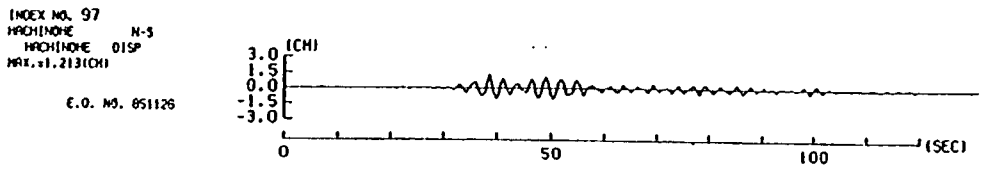


(c) $T_{UL}=20$〔sec〕

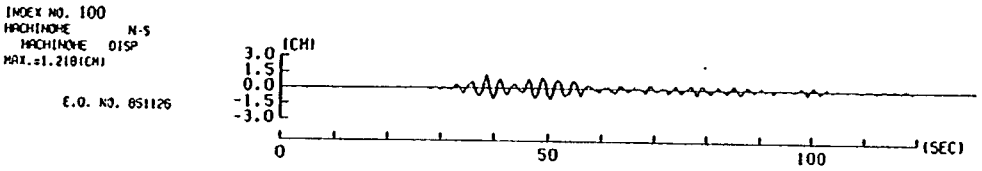


(d) $T_{UL}=25$〔sec〕

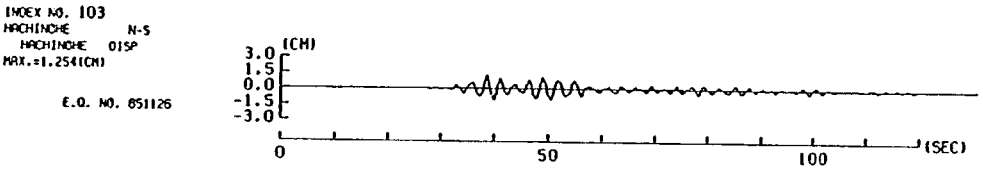
付図 1.8　変位波形（剣山，$T_{LU}=2$〔sec〕）



(a) $T_{LU}=1$ (sec)

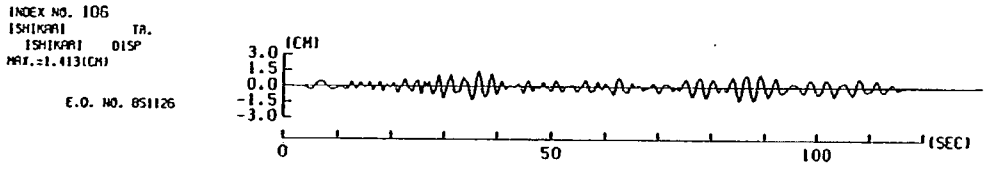


(b) $T_{LU}=0.7$ (sec)

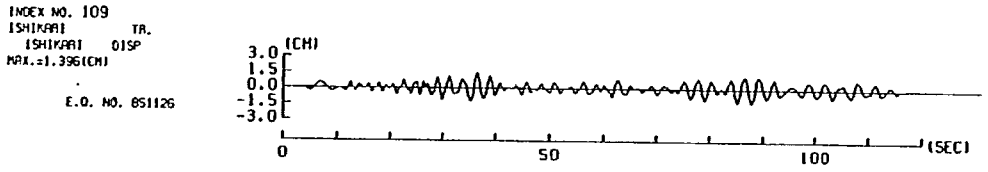


(c) $T_{LU}=0.5$ (sec)

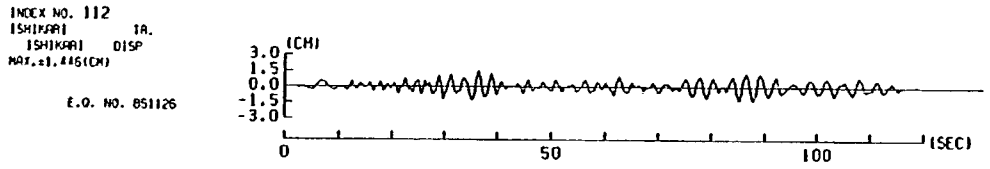
付図 1.9　変位波形（八戸港，$T_{UL}=10$ (sec)）



(a) $T_{LU}=1$ (sec)

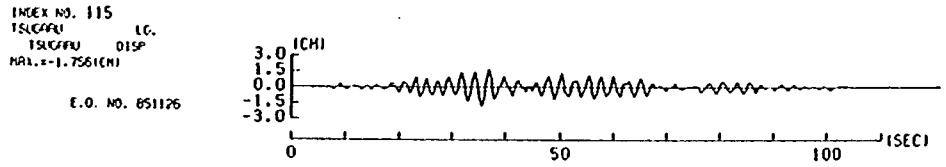


(b) $T_{LU}=0.7$ (sec)

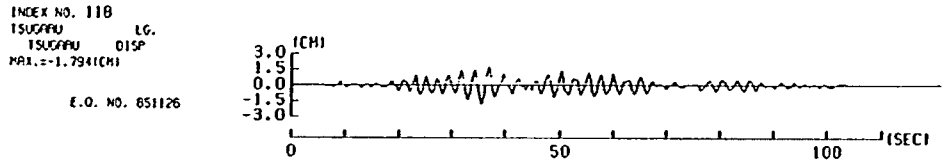


(c) $T_{LU}=0.5$ (sec)

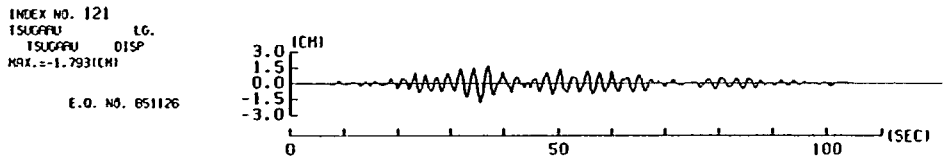
付図 1.10　変位波形（石狩河口橋，$T_{UL}=10$ (sec)）



(a)　$T_{LU}=1$〔sec〕

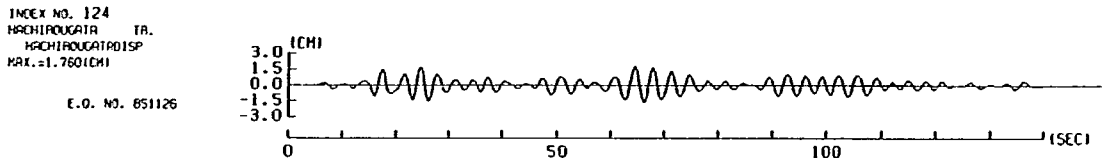


(b)　$T_{LU}=0.7$〔sec〕

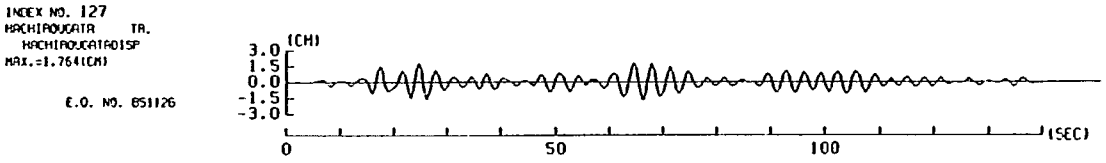


(c)　$T_{LU}=0.5$〔sec〕

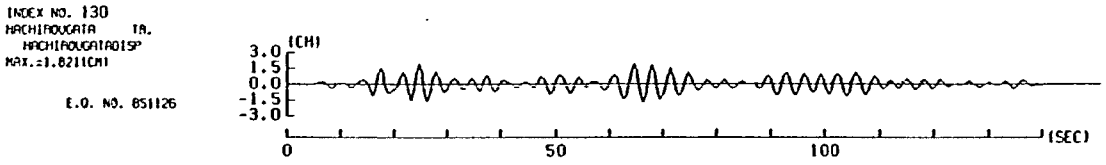
付図 1.11　変位波形（津軽大橋，$T_{UL}=10$〔sec〕）



(a)　$T_{LU}=1$〔sec〕



(b)　$T_{LU}=0.7$〔sec〕

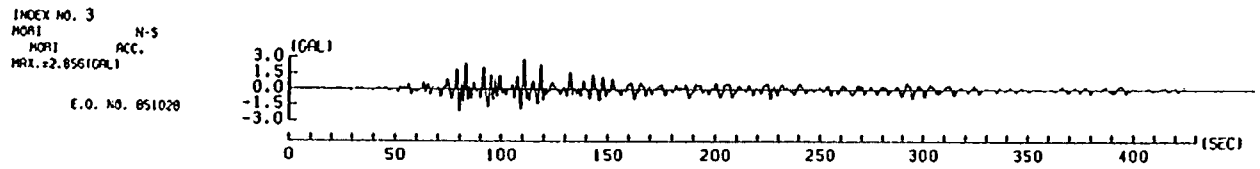


(c)　$T_{LU}=0.5$〔sec〕

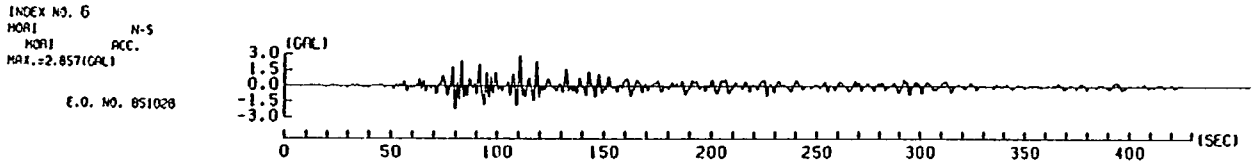
付図 1.12　変位波形（八郎潟，$T_{UL}=10$〔sec〕）

付　属　資　料　2

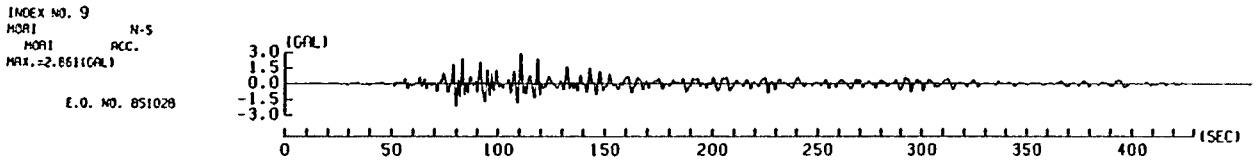
気象庁一倍強震計記録から計算した加速度波形



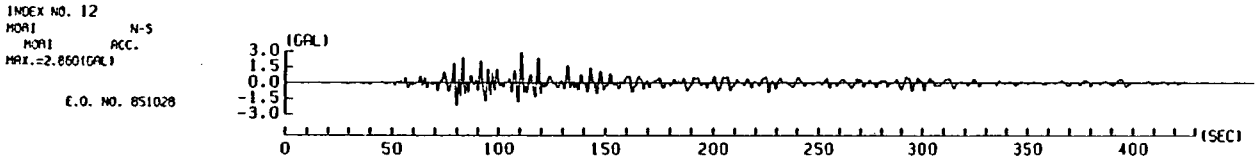
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

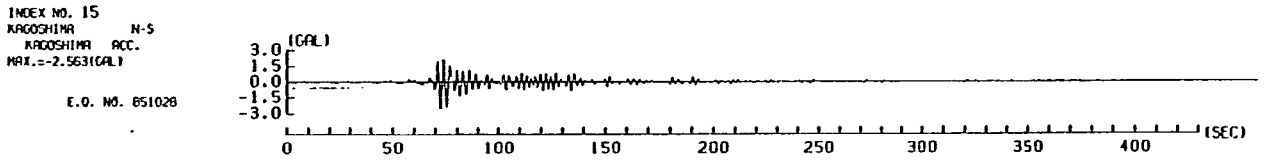


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

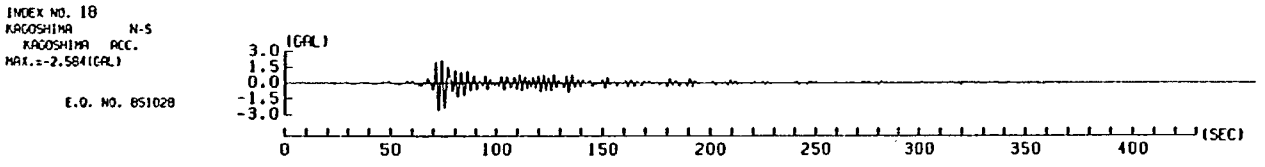


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

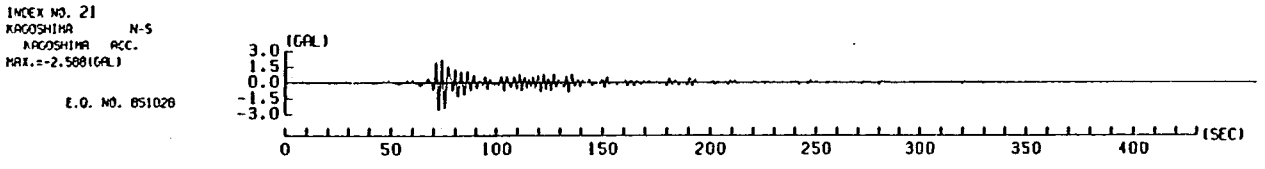
付図 2.1　加速度波形（森，$T_{LU}=2$ (sec)）



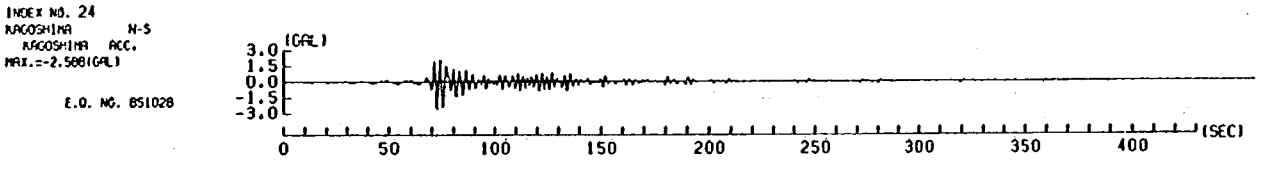
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

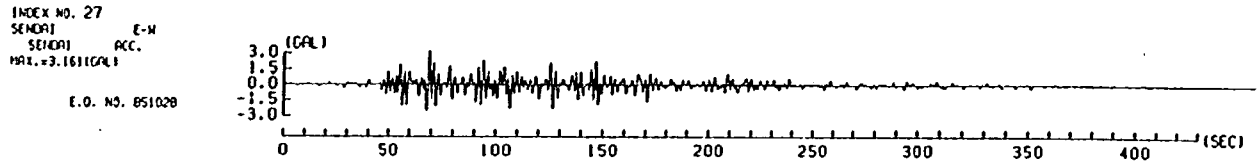


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

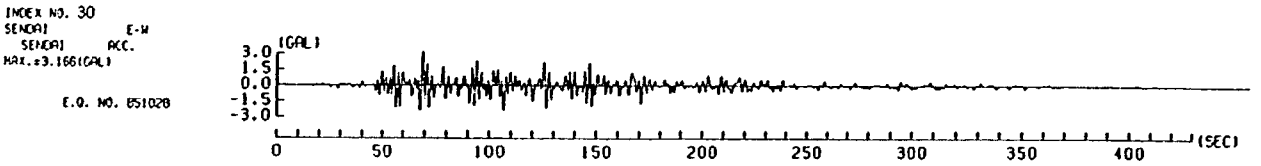


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

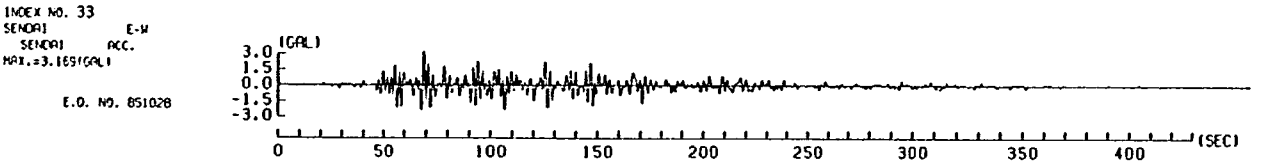
付図 2.2　加速度波形（鹿児島，$T_{LU}=2$ (sec)）



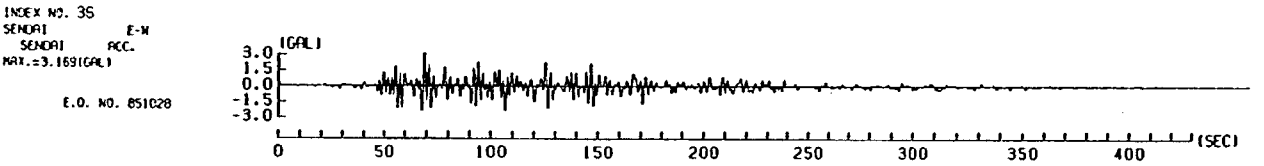
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

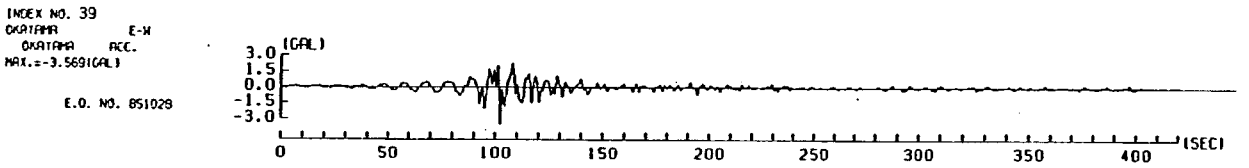


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

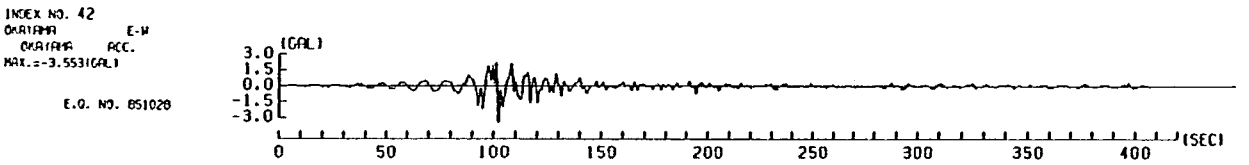


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

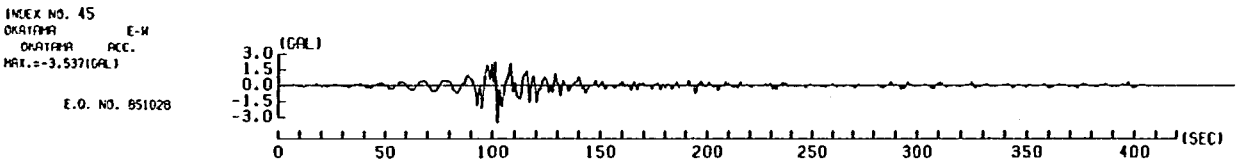
付図 2.3　加速度波形（仙台，$T_{LU}=2$〔sec〕）



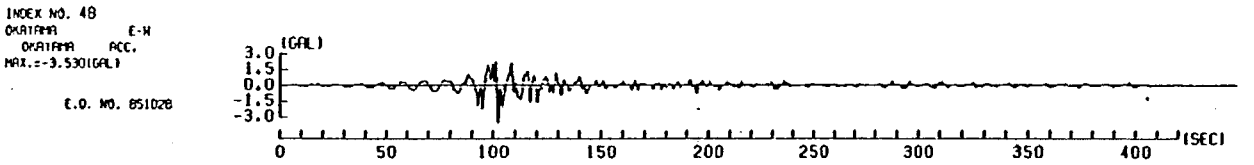
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

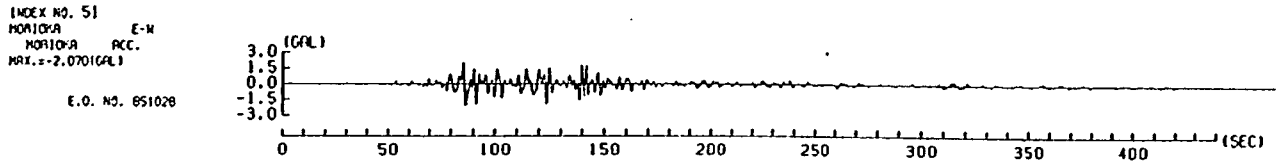


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

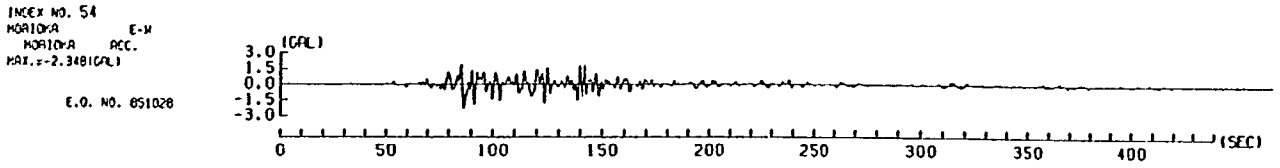


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

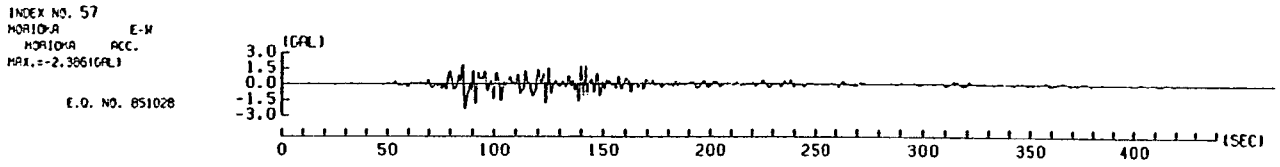
付図 2.4　加速度波形（岡山，$T_{LU}=2$〔sec〕）



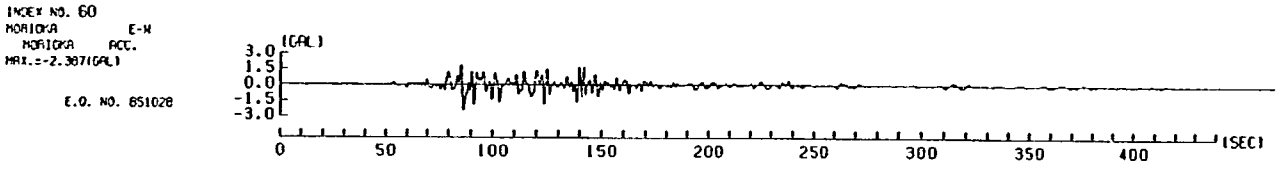
(a)　$T_{UL}=10$ (sec)



(b)　$T_{UL}=15$ (sec)

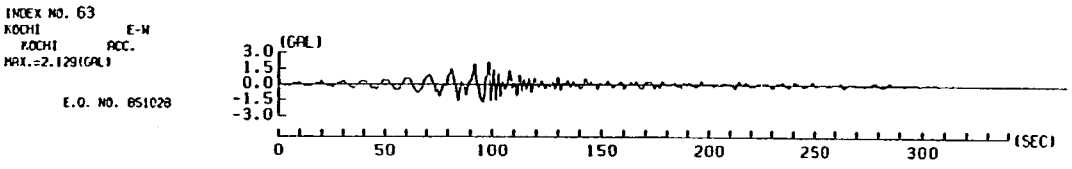


(c)　$T_{UL}=20$ (sec)

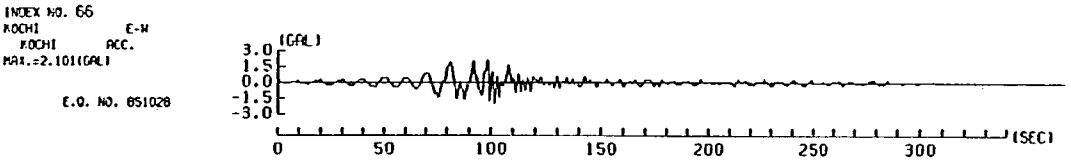


(d)　$T_{UL}=25$ (sec)

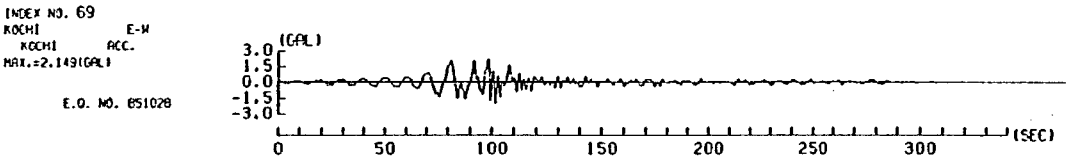
付図 2.5　加速度波形（盛岡，$T_{LU}=2$ (sec)）



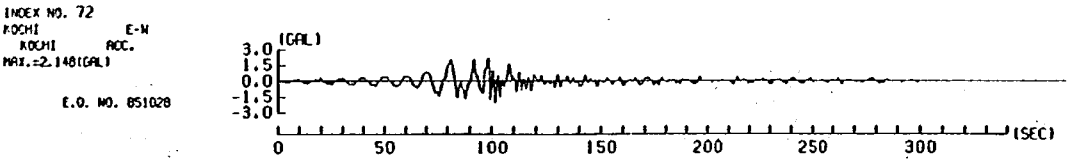
(a)　$T_{UL}=10$ (sec)



(b)　$T_{UL}=15$ (sec)

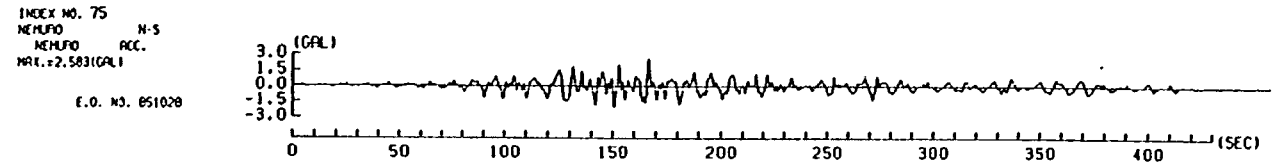


(c)　$T_{UL}=20$ (sec)

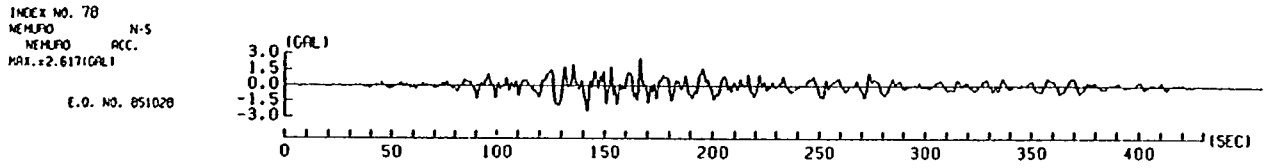


(d)　$T_{UL}=25$ (sec)

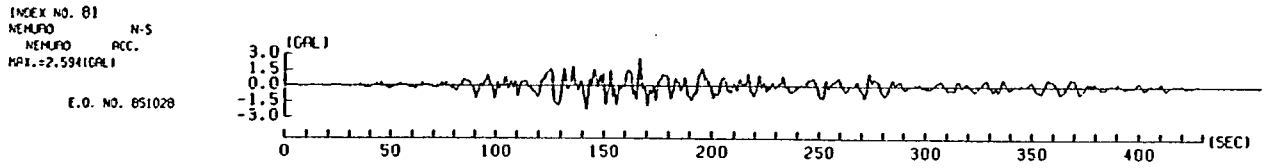
付図 2.6　加速度波形（高知，$T_{LU}=2$ (sec)）



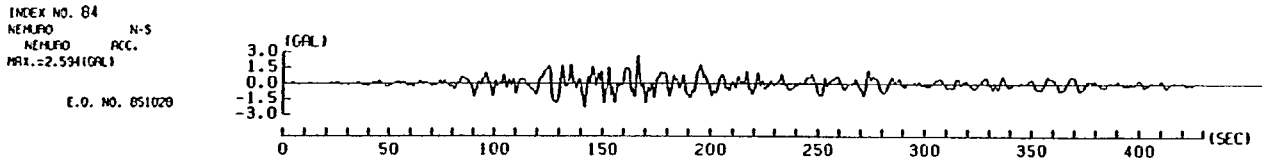
(a)　$T_{UL}=10$〔sec〕



(b)　$T_{UL}=15$〔sec〕

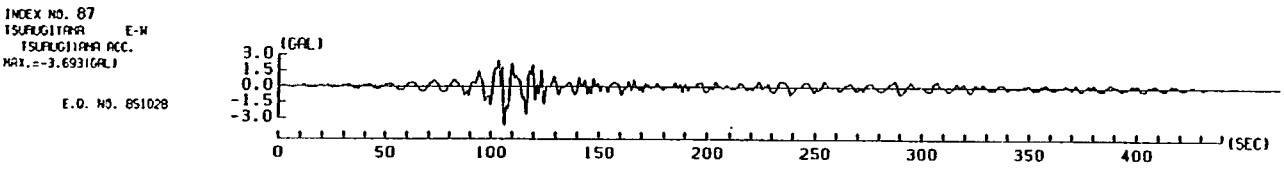


(c)　$T_{UL}=20$〔sec〕



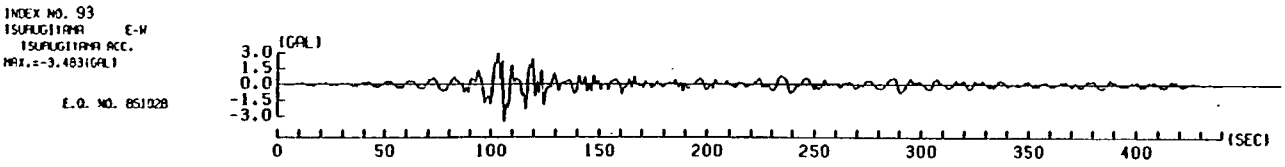
(d)　$T_{UL}=25$〔sec〕

付図 2.7　加速度波形（根室，$T_{LU}=2$〔sec〕）

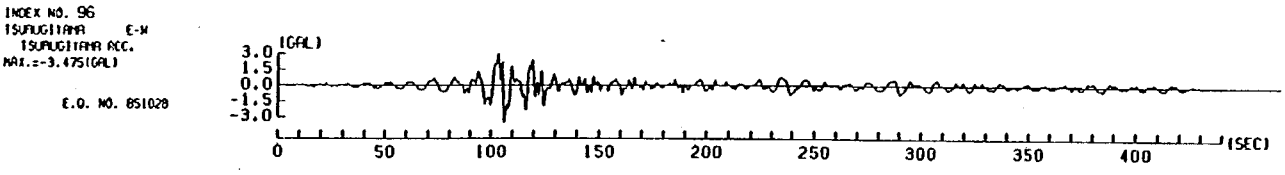


(a)　$T_{UL}=10$〔sec〕

(b)　$T_{UL}=15$〔sec〕

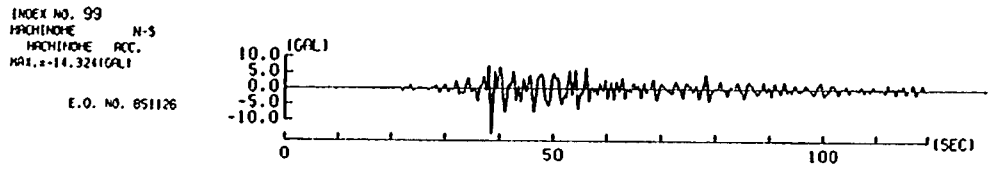


(c)　$T_{UL}=20$〔sec〕

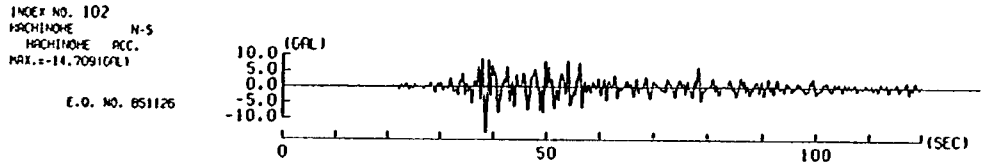


(d)　$T_{UL}=25$〔sec〕

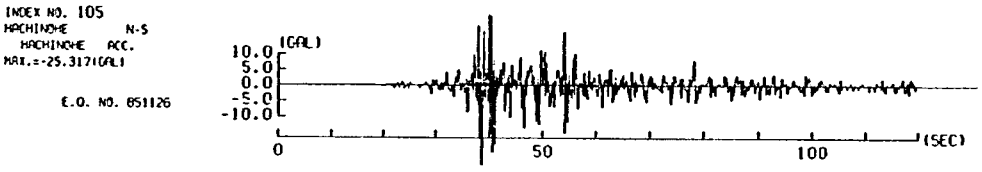
付図 2.8　加速度波形（剣山，$T_{LU}=2$〔sec〕）



(a) $T_{LU}=1$〔sec〕

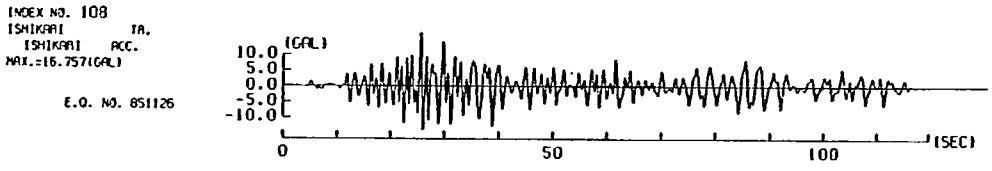


(b) $T_{LU}=0.7$〔sec〕

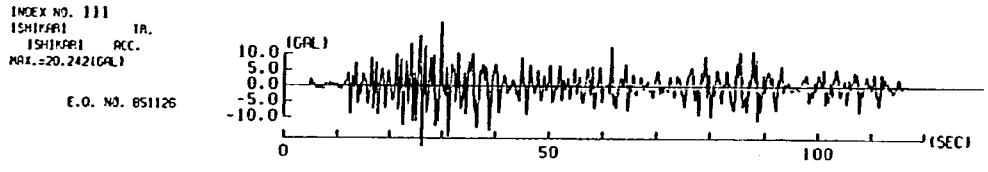


(c) $T_{LU}=0.5$〔sec〕

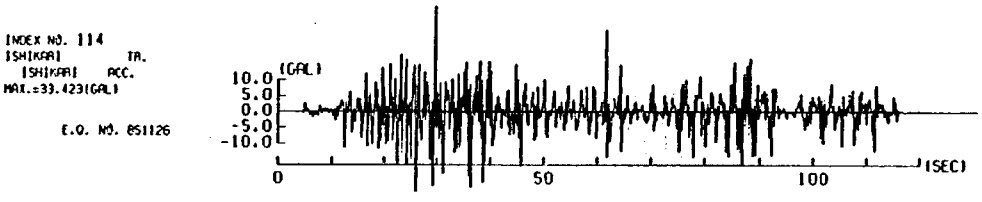
付図 2.9　加速度波形（八戸港，$T_{UL}=10$〔sec〕）



(a) $T_{LU}=1$〔sec〕

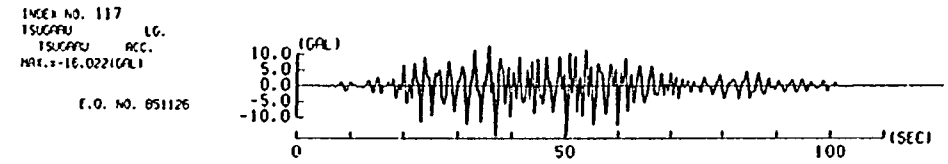


(b) $T_{LU}=0.7$〔sec〕

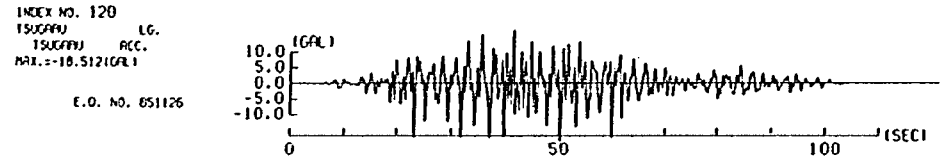


(c) $T_{LU}=0.5$〔sec〕

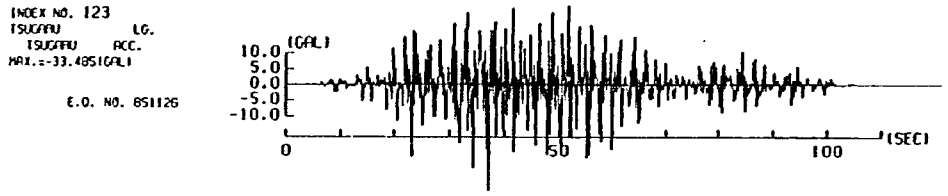
付図 2.10　加速度波形（石狩河口橋，$T_{UL}=10$〔sec〕）



(a)　$T_{LU}=1$〔sec〕

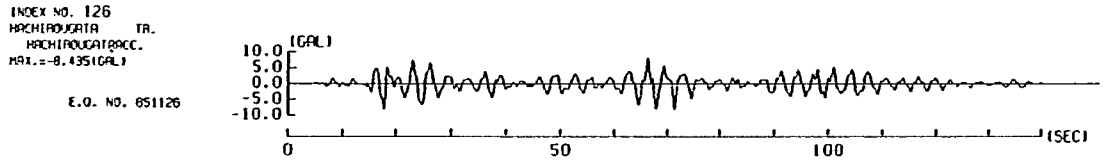


(b)　$T_{LU}=0.7$〔sec〕

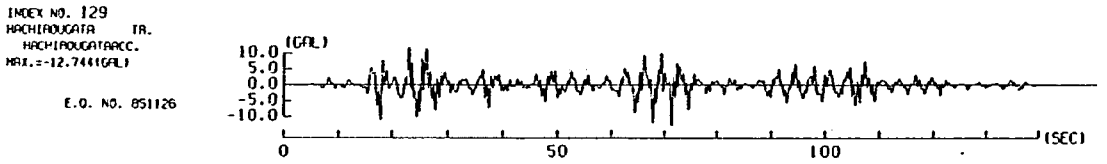


(c)　$T_{LU}=0.5$〔sec〕

付図 2.11　加速度波形（津軽大橋，$T_{UL}=10$〔sec〕）



(a)　$T_{LU}=1$〔sec〕



(b)　$T_{LU}=0.7$〔sec〕

(c)　$T_{LU}=0.5$〔sec〕

付図 2.12　加速度波形（八郎潟，$T_{UL}=10$〔sec〕）

付　属　資　料　3

ディジタル強震計記録から計算した変位波形

3. 変位の計算方法

ディジタル強震計の加速度記録から変位を計算する方法としては，振動数領域において加速度記録に強震計の特性を補正するためのフィルターをかけ，数値積分する方法を用いる[11]。すなわち，いま，原加速度記録を$a_0(t)$とすれば，そのフーリエ変換$F_0(f)$は次式で表される。

$$F_0(f)=\int_{-\infty}^{\infty} a(t)\,e^{-i2\pi ft}\,dt \qquad (付3.1)$$

これに強震計の特性を補正するためのフィルター$F_c(f)$を見込むと，補正した加速度$a(t)$および変位$d(t)$は次のように求められる。

$$a(t)=\int_{-\infty}^{\infty} F(f)\,e^{i2\pi ft}\,df \qquad (付3.2)$$

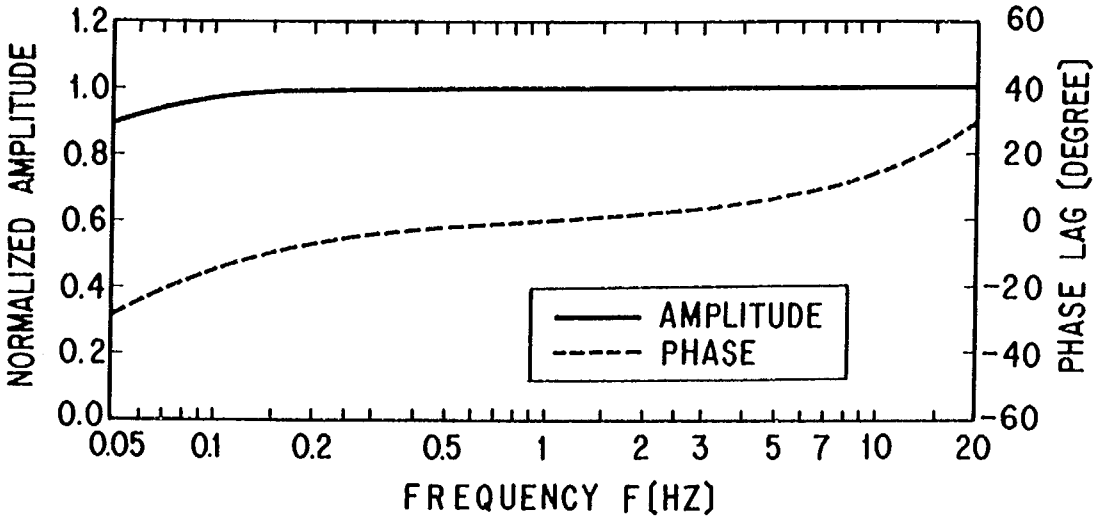
$$d(t)=-\int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(f)}{4\pi^2 f^2}\,e^{i2\pi ft}\,df \qquad (付3.3)$$

ここで，

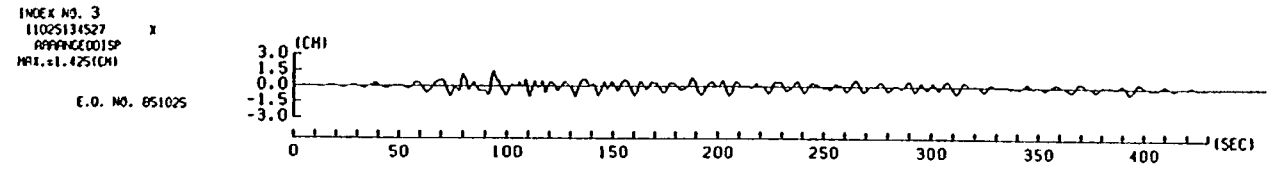
$$F(f)=F_0(f)\cdot F_c(f) \qquad (付3.4)$$

$$F_c(f)=\begin{cases} 0 & f<f_{ll} \\ \dfrac{f-f_{ll}}{f_{lu}-f_{ll}}\,\dfrac{e^{i\phi(f)}}{A(f)} & f_{ll}\leqq f\leqq f_{lu} \\ \dfrac{e^{i\phi(f)}}{A(f)} & f_{lu}\leqq f\leqq f_{ul} \\ \dfrac{f_{uu}-f}{f_{uu}-f_{ul}}\,\dfrac{e^{i\phi(f)}}{A(f)} & f_{ul}\leqq f\leqq f_{uu} \\ 0 & f_{uu}<f \end{cases} \qquad (付3.5)$$

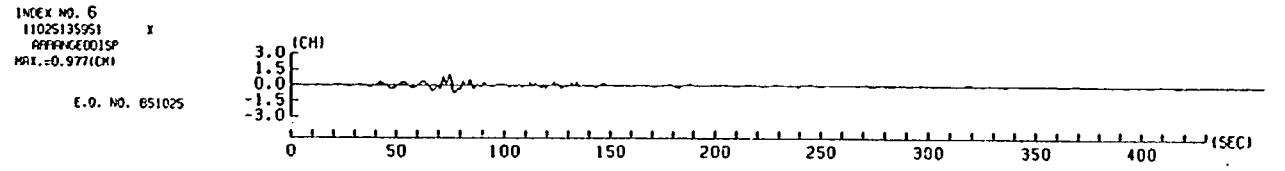
式(付3.5)中の$A(f)$および$\phi(f)$は，それぞれ，ディジタル強震計の振幅特性および位相特性であり，**付図3.1**に示すとおりである。また，f_{lu}およびf_{ul}は，それぞれ，低振動数側および高振動数側の遮断振動数であり，f_{ll}およびf_{uu}は，それぞれ，f_{lu}およびf_{ul}に対応する補正フィルター倍率が0となる振動数である。本解析では，高振動数側の遮断振動数は，実験Ⅰおよび実験Ⅱのいずれの場合でも，$f_{ul}=20$〔Hz〕および$f_{uu}=21$〔Hz〕とする。また，低振動数側の遮断振動数は，実験Ⅰの場合には$f_{lu}=1/20$〔Hz〕および$f_{ll}=1/21$〔Hz〕とし，実験Ⅱの場合には$f_{lu}=1/10$〔Hz〕および$f_{ll}=1/11$〔Hz〕とする。このようにして求めた実験Ⅰおよび実験Ⅱの変位波形を，それぞれ，**付図3.2**および**付図3.3**に示す。



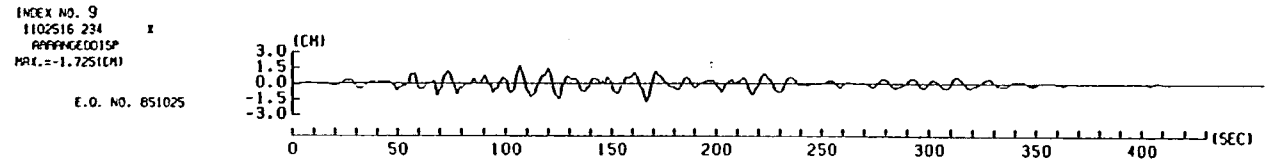
付図 3. 1　ディジタル強震計の振幅特性および位相特性



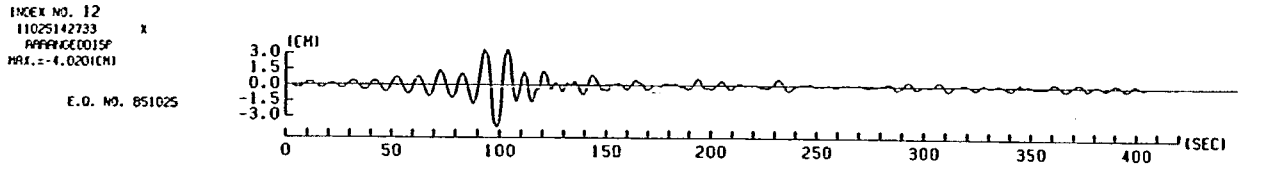
(a) 森



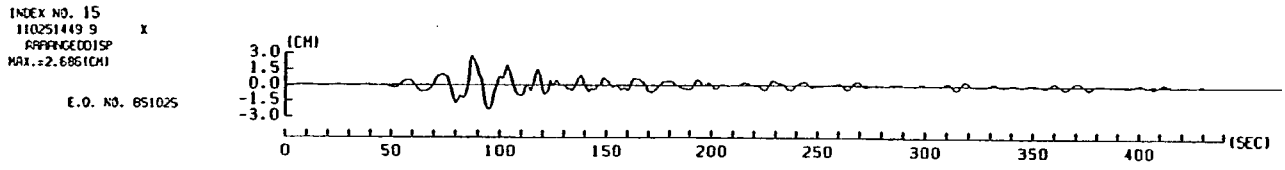
(b) 鹿 児 島



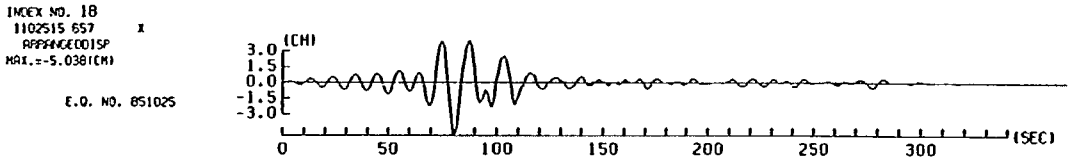
(c) 仙 台



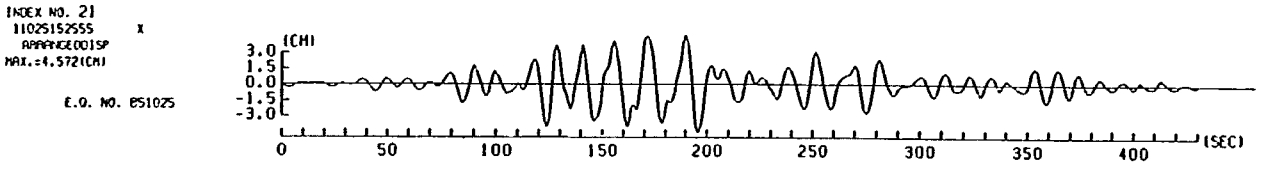
(d) 岡 山



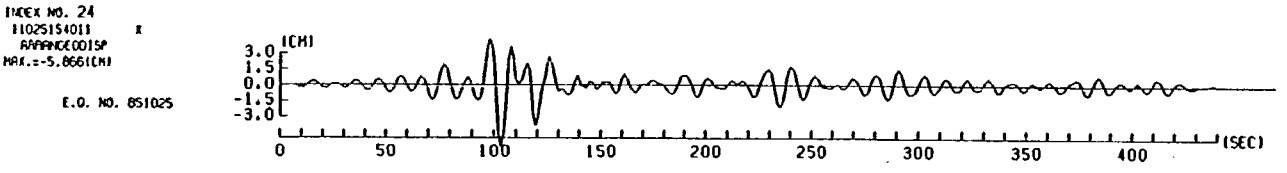
(e) 盛 岡



(f) 高 知

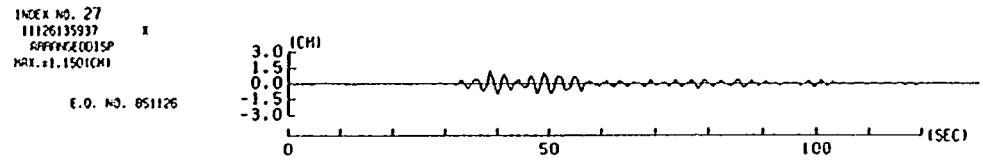


(g) 根 室

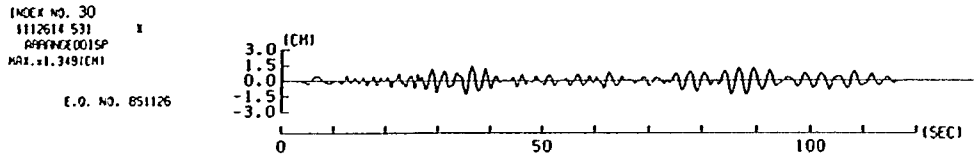


(h) 剣 山

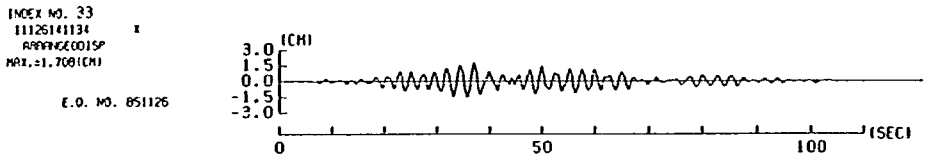
付図 3.2 ディジタル強震計記録から求めた変位波形（$f_{lx}=1/20$〔Hz〕, $f_{xl}=20$〔Hz〕）



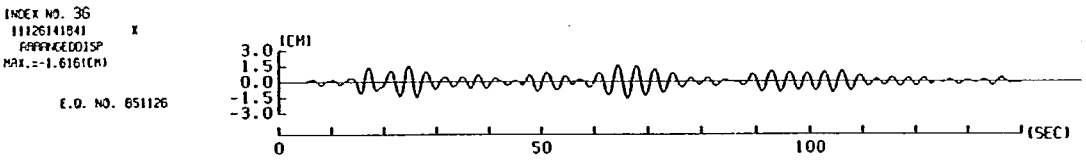
(a) 八 戸 港



(b) 石狩河口橋



(c) 津 軽 大 橋



(d) 八 郎 潟

付図 3.3 ディジタル強震計記録から求めた変位波形（ $f_{lx} = 1/10$〔Hz〕, $f_{xl} = 20$〔Hz〕）

付　属　資　料　4

加速度応答スペクトル比の一覧

付表 4.1　実験Ⅰにおける加速度応答スペクトル比の一覧（T_{LU} = 2〔sec〕，減衰定数 5 %）

(a)　T_{UL} = 10〔sec〕

	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=2.0	1.15869	1.11208	1.02908	0.94607	0.90160	0.08301	0.08623	8.
	T=3.0	1.10932	1.10325	1.04895	0.99465	0.93112	0.05430	0.05534	8.
	T=5.0	1.10993	1.08880	1.02183	0.95486	0.88245	0.06697	0.07007	8.
	T=7.0	1.20523	1.15888	1.09519	1.03151	0.97288	0.06369	0.06217	8.
	T=10.0	1.11888	1.12125	1.04369	0.96612	0.86892	0.07756	0.07945	8.
	T=15.0	0.70989	0.60635	0.44474	0.28313	0.20202	0.16161	0.38847	8.
	T=20.0	0.73484	0.65641	0.47505	0.29369	0.18357	0.18136	0.40813	8.
最大加速度比		0.98674	0.92148	0.71616	0.51085	0.43635	0.20531	0.30648	8.

(b)　T_{UL} = 15〔sec〕

	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=2.0	1.15558	1.11026	1.03124	0.95222	0.92888	0.07902	0.08191	8.
	T=3.0	1.19026	1.12789	1.06239	0.99689	0.93896	0.06550	0.06591	8.
	T=5.0	1.12212	1.10313	1.04726	0.99139	0.93121	0.05587	0.05703	8.
	T=7.0	1.14295	1.15799	1.10602	1.05406	0.97251	0.05197	0.05023	8.
	T=10.0	1.20224	1.19194	1.16320	1.13446	1.10883	0.02874	0.02641	8.
	T=15.0	1.09317	1.08139	1.02057	0.95975	0.91235	0.06082	0.06371	8.
	T=20.0	0.90100	0.95283	0.80748	0.66212	0.42705	0.14535	0.19244	8.
最大加速度比		0.98852	0.92344	0.72192	0.52039	0.44198	0.20152	0.29843	8.

(c)　T_{UL} = 20〔sec〕

	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=2.0	1.15505	1.10737	1.03060	0.95382	0.93357	0.07677	0.07964	8.
	T=3.0	1.18440	1.12337	1.05932	0.99526	0.93770	0.06405	0.06464	8.
	T=5.0	1.11931	1.09896	1.05482	1.01067	0.98097	0.04414	0.04474	8.
	T=7.0	1.17288	1.17060	1.11229	1.05398	0.96871	0.05831	0.05605	8.
	T=10.0	1.20719	1.19037	1.16567	1.14097	1.12289	0.02470	0.02265	8.
	T=15.0	1.14655	1.14718	1.07936	1.01154	0.91934	0.06782	0.06717	8.
	T=20.0	1.13150	1.07972	1.01146	0.94319	0.88949	0.06826	0.07215	8.
最大加速度比		0.98954	0.92434	0.72347	0.52261	0.43809	0.20086	0.29681	8.

(d)　T_{UL} = 25〔sec〕

	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=2.0	1.15502	1.10708	1.03053	0.95398	0.93360	0.07655	0.07941	8.
	T=3.0	1.18466	1.12327	1.05900	0.99474	0.93658	0.06426	0.06487	8.
	T=5.0	1.11952	1.09855	1.05461	1.01066	0.98165	0.04394	0.04454	8.
	T=7.0	1.17363	1.17062	1.11246	1.05430	0.96893	0.05816	0.05589	8.
	T=10.0	1.20676	1.19044	1.16562	1.14080	1.12287	0.02482	0.02276	8.
	T=15.0	1.14673	1.14770	1.08030	1.01290	0.92125	0.06740	0.06670	8.
	T=20.0	1.13091	1.08690	1.01743	0.94796	0.89147	0.06947	0.07300	8.
最大加速度比		0.98950	0.92395	0.72305	0.52216	0.43812	0.20090	0.29703	8.

付表 4.2　実験Ⅱにおける加速度応答スペクトル比の一覧（T_{UL} ＝10〔sec〕，減衰定数５％）

(a)　T_{LU} = 1〔sec〕

	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=0.5	0.77371	0.66880	0.46434	0.25988	0.20214	0.20446	0.50844	4.
	T=0.7	1.41014	1.14073	0.75015	0.35958	0.39019	0.39058	0.60121	4.
	T=1.0	2.49507	1.99769	1.31184	0.62598	0.85234	0.68586	0.60371	4.
	T=1.5	1.48270	1.34200	1.10006	0.85812	0.87740	0.24194	0.25396	4.
	T=2.0	1.17615	1.16836	1.10006	1.03176	1.02933	0.06830	0.07169	4.
	T=3.0	1.07924	1.04066	0.95274	0.86482	0.86950	0.08792	0.10656	4.
	T=5.0	1.08034	1.07776	1.02643	0.97511	0.95993	0.05133	0.05774	4.
	T=7.0	1.24222	1.20495	1.09334	0.98174	0.93399	0.11161	0.11787	4.
	T=10.0	1.00016	1.01034	0.86397	0.71759	0.62510	0.14638	0.19564	4.
最大加速度比		1.29420	1.07175	0.76593	0.46011	0.55427	0.30582	0.46104	4.

(b)　T_{LU} = 0.7〔sec〕

	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=0.5	2.45771	1.89407	1.07903	0.26400	0.40552	0.81503	0.87219	4.
	T=0.7	3.16788	2.42605	1.41119	0.39633	0.77521	1.01486	0.83040	4.
	T=1.0	2.74619	2.17995	1.40114	0.62232	0.87725	0.77881	0.64183	4.
	T=1.5	1.42906	1.31458	1.09239	0.87019	0.87167	0.22220	0.23487	4.
	T=2.0	1.17842	1.17518	1.10025	1.02532	1.02210	0.07493	0.07864	4.
	T=3.0	1.08273	1.04417	0.95304	0.86191	0.86215	0.09113	0.11041	4.
	T=5.0	1.07997	1.06918	1.02028	0.97137	0.96383	0.04890	0.05534	4.
	T=7.0	1.25038	1.20446	1.09353	0.98261	0.94089	0.11092	0.11713	4.
	T=10.0	0.98765	1.00980	0.86981	0.72982	0.64174	0.13999	0.18585	4.
最大加速度比		1.95539	1.55108	0.99026	0.42945	0.56917	0.56081	0.65394	4.

(c)　T_{LU} = 0.5〔sec〕

	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=0.5	5.55269	4.22800	2.36383	0.49966	0.83779	1.86417	0.91062	4.
	T=0.7	3.53136	2.69542	1.55079	0.40616	0.80724	1.14463	0.85228	4.
	T=1.0	2.83466	2.23601	1.41257	0.58913	0.86883	0.82344	0.67312	4.
	T=1.5	1.51702	1.38677	1.12820	0.86964	0.87227	0.25857	0.26464	4.
	T=2.0	1.17956	1.17737	1.09958	1.02179	1.01308	0.07779	0.08169	4.
	T=3.0	1.08193	1.03924	0.95268	0.86611	0.87160	0.08656	0.10492	4.
	T=5.0	1.08568	1.07020	1.01422	0.95825	0.95127	0.05597	0.06373	4.
	T=7.0	1.26342	1.20094	1.10868	1.01643	1.02010	0.09225	0.09608	4.
	T=10.0	0.99563	0.99012	0.88388	0.77764	0.71509	0.10624	0.13879	4.
最大加速度比		4.04667	3.13416	1.87687	0.61958	0.97966	1.25729	0.77352	4.

付　属　資　料　5

減衰定数2%の加速度応答スペクトル比

5. 減衰定数２％の加速度応答スペクトル比

3.2節の検討と同様に，減衰定数を２％とした場合の気象庁一倍強震計記録から求めた加速度応答スペクトルの精度について検討する。なお，ここで，検討の対象とした記録は実験Ｉの８記録である。

まず，ディジタル強震計記録から求めた加速度応答スペクトル（減衰定数２％）を示すと，付図5.1のようになる。また，気象庁一倍強震計記録から求めた加速度応答スペクトル（減衰定数２％）を示すと，付図5.2～付図5.9のようになる。次に，ある固有周期Tについてディジタル強震計記録から求めた加速度応答スペクトル値に対する気象庁一倍強震計記録から求めた加速度応答スペクトル値の比を$\gamma(T)$とし，各記録に対して$\gamma(T)$の値を求めると，付図5.10～付図5.17に示すようになる。さらに，各遮断周期ごとに実験Ｉの８記録から求めた$\gamma(T)$の平均値$\overline{\gamma}(T)$および標準偏差$\sigma_\gamma(T)$を求めると，付図5.18および付表5.1に示すようになる。

付表 5.1　加速度応答スペクトル比の一覧（T_{LU} = 2〔sec〕，減衰定数 2％）

(a)　T_{UL} =10〔sec〕

	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=2.0	1.32483	1.22128	1.07917	0.93706	0.87952	0.14211	0.14078	8.
	T=3.0	1.11600	1.12193	1.05032	0.97872	0.88419	0.07161	0.07288	8.
	T=5.0	1.12308	1.09480	1.04386	0.99291	0.97142	0.05095	0.05217	8.
	T=7.0	1.18963	1.17885	1.09642	1.01399	0.92355	0.08243	0.08037	8.
	T=10.0	1.22065	1.18584	1.13517	1.08451	1.07489	0.05067	0.04772	8.
	T=15.0	0.68078	0.56230	0.38865	0.21499	0.14960	0.17365	0.47766	8.
	T=20.0	0.72764	0.64166	0.45852	0.27539	0.16299	0.18314	0.42698	8.
最大加速度比		0.98674	0.92148	0.71616	0.51085	0.43635	0.20531	0.30648	8.

(b)　T_{UL} =15〔sec〕

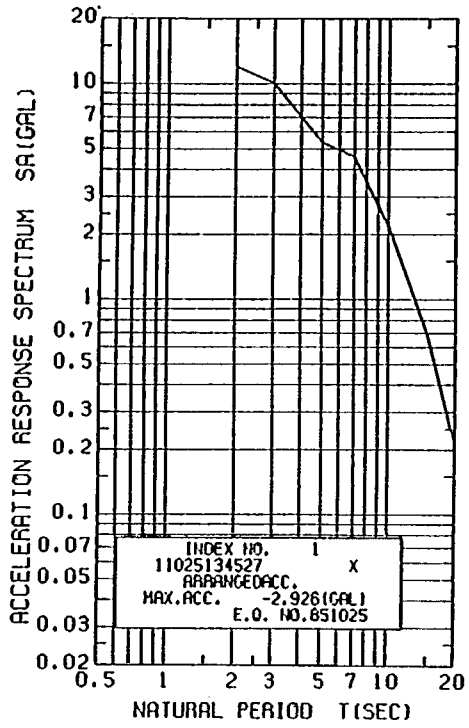
	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=2.0	1.35244	1.23199	1.08635	0.94070	0.88043	0.14564	0.14332	8.
	T=3.0	1.17665	1.13225	1.05442	0.97658	0.88880	0.07783	0.07891	8.
	T=5.0	1.14675	1.11007	1.05491	0.99976	0.97729	0.05516	0.05590	8.
	T=7.0	1.18969	1.19061	1.11108	1.03155	0.91806	0.07953	0.07652	8.
	T=10.0	1.26306	1.23180	1.19125	1.15069	1.14081	0.04055	0.03639	8.
	T=15.0	1.26495	1.16465	1.06736	0.97006	0.91892	0.09729	0.09745	8.
	T=20.0	0.92192	0.94770	0.78961	0.63151	0.38781	0.15810	0.21405	8.
最大加速度比		0.98852	0.92344	0.72192	0.52039	0.44198	0.20152	0.29843	8.

(c)　T_{UL} =20〔sec〕

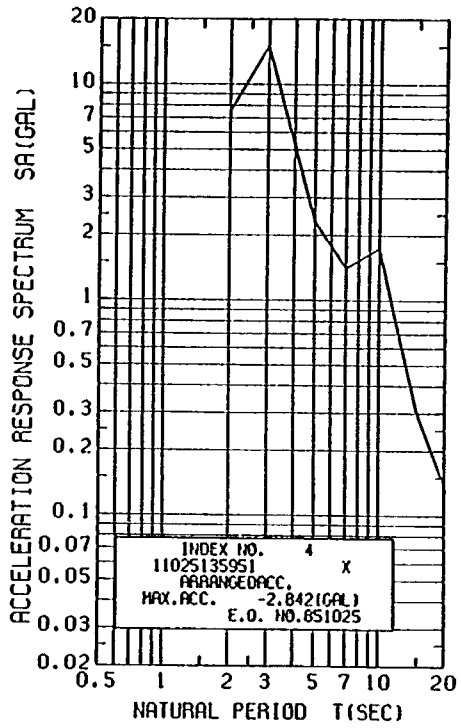
	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=2.0	1.35234	1.23747	1.09045	0.94343	0.88154	0.14702	0.14413	8.
	T=3.0	1.17240	1.12684	1.05057	0.97430	0.88761	0.07627	0.07761	8.
	T=5.0	1.14142	1.10563	1.05603	1.00643	0.99569	0.04960	0.05021	8.
	T=7.0	1.22627	1.20191	1.11548	1.02906	0.91482	0.08642	0.08283	8.
	T=10.0	1.27450	1.23453	1.19353	1.15252	1.15222	0.04101	0.03673	8.
	T=15.0	1.24545	1.19173	1.10540	1.01906	0.91667	0.08633	0.08349	8.
	T=20.0	1.19489	1.15727	1.05049	0.94371	0.83826	0.10678	0.10867	8.
最大加速度比		0.98954	0.92434	0.72347	0.52261	0.43809	0.20086	0.29681	8.

(d)　T_{UL} =25〔sec〕

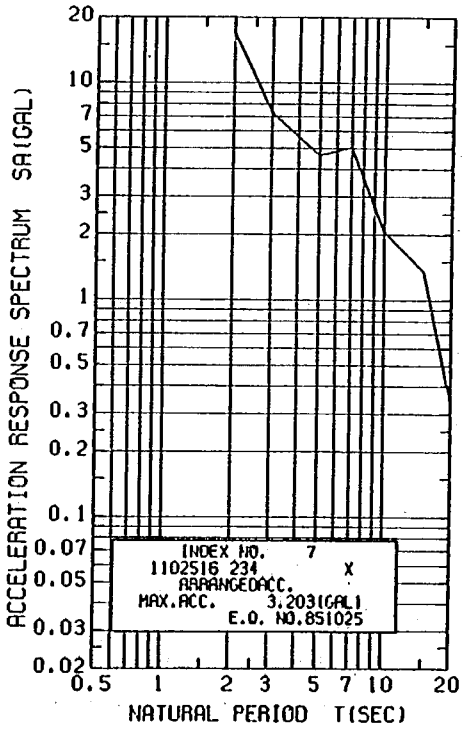
	固有周期〔秒〕	最大値	平均値＋標準偏差	平均値	平均値－標準偏差	最小値	標準偏差	変動係数	データ数
加速度応答スペクトル比	T=2.0	1.35282	1.23774	1.09055	0.94336	0.88134	0.14719	0.14429	8.
	T=3.0	1.17261	1.12677	1.05032	0.97386	0.88672	0.07646	0.07782	8.
	T=5.0	1.14158	1.10553	1.05585	1.00618	0.99539	0.04967	0.05029	8.
	T=7.0	1.22687	1.20184	1.11553	1.02922	0.91492	0.08631	0.08271	8.
	T=10.0	1.27435	1.23442	1.19332	1.15222	1.15180	0.04110	0.03682	8.
	T=15.0	1.24511	1.19206	1.10624	1.02042	0.91834	0.08582	0.08294	8.
	T=20.0	1.19607	1.16392	1.05575	0.94759	0.83509	0.10817	0.10953	8.
最大加速度比		0.98950	0.92395	0.72305	0.52216	0.43812	0.20090	0.29703	8.



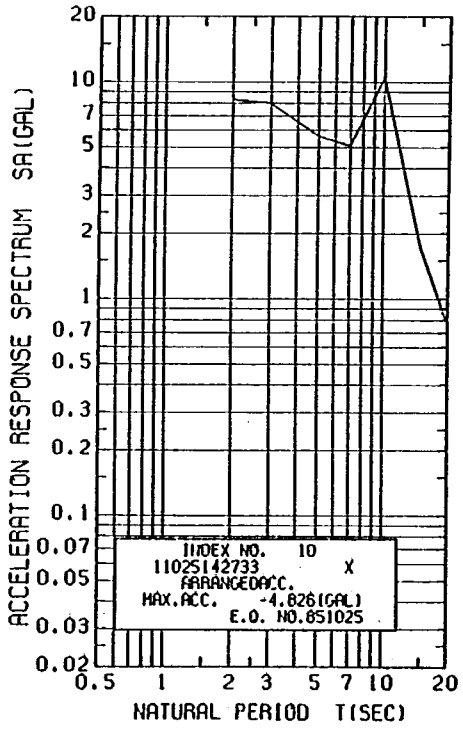
(a) 森



(b) 鹿 児 島

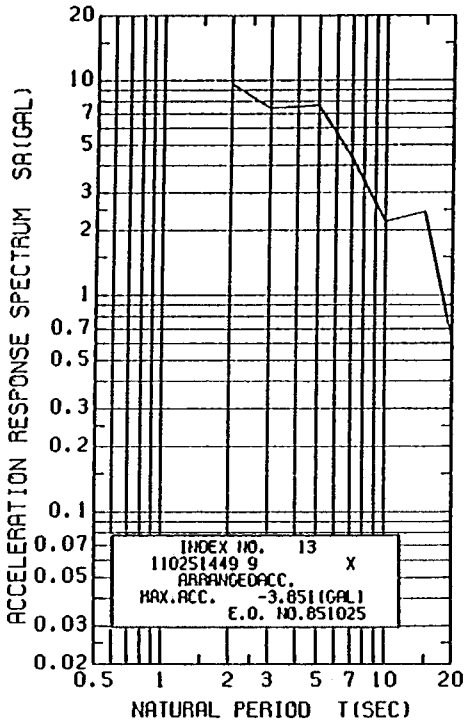


(c) 仙 台

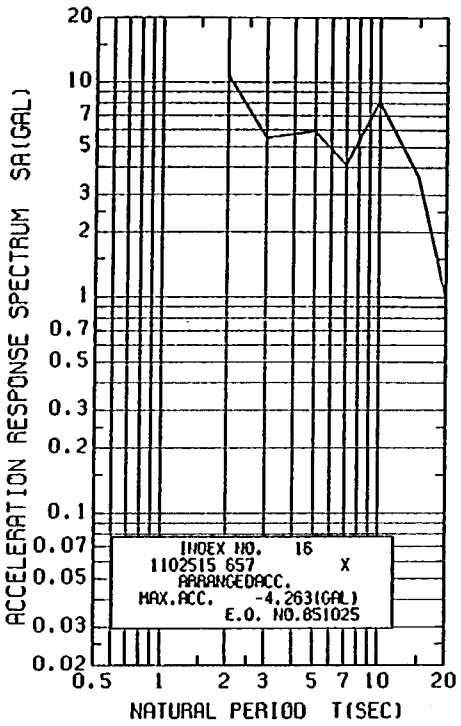


(d) 岡 山

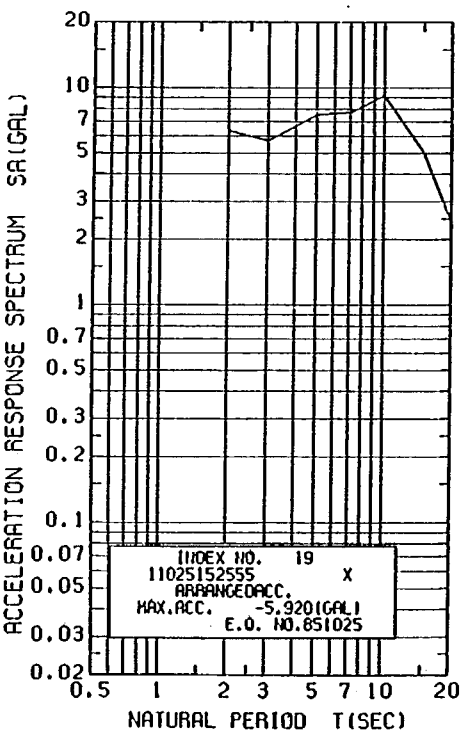
付図 5.1(1) 加速度応答スペクトル（減衰定数 2％）



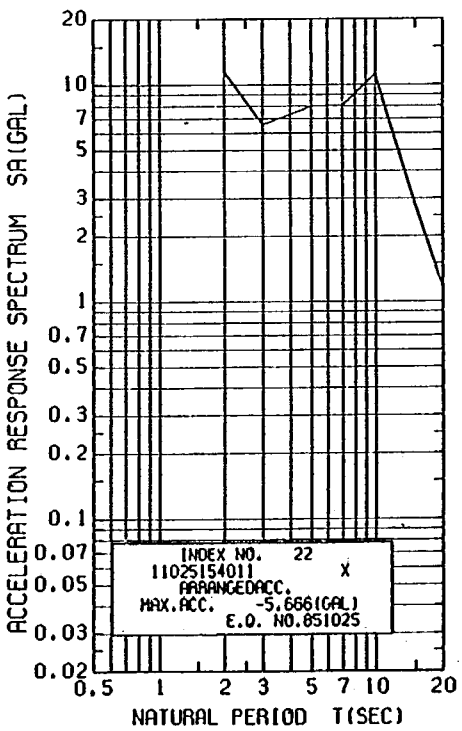
(e) 盛　　岡



(f) 高　　知

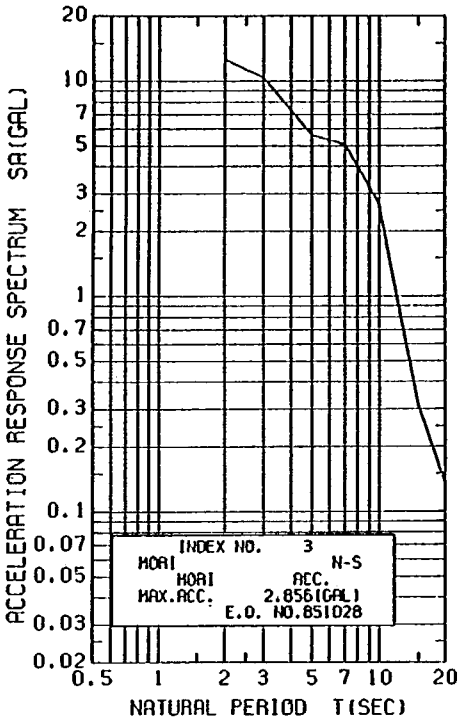


(g) 根　　室

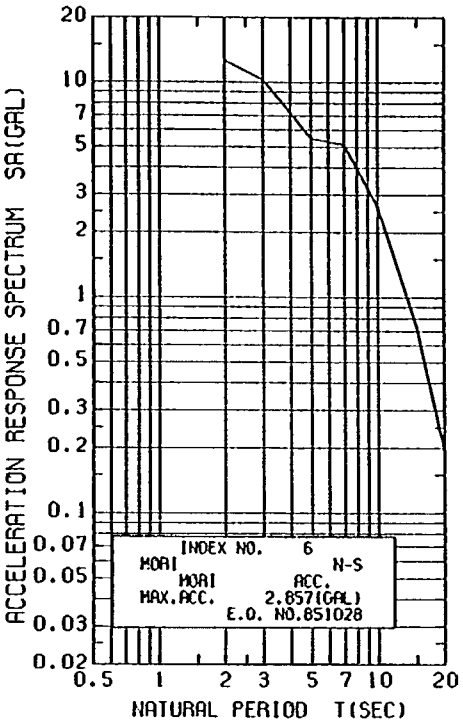


(h) 剣　　山

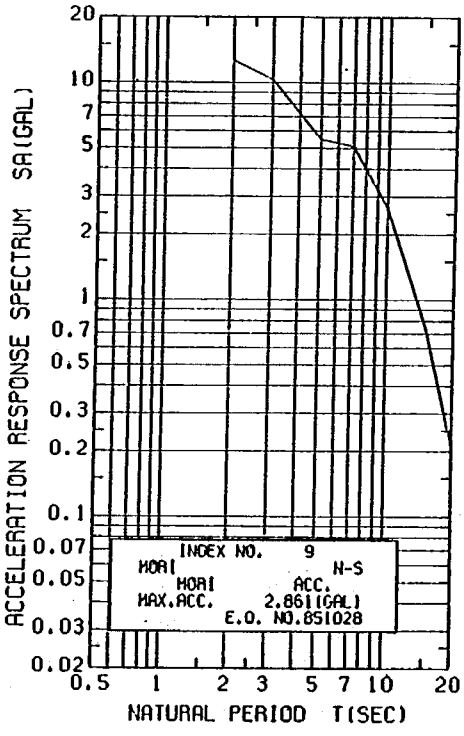
付図 5.1(2) 加速度応答スペクトル（減衰定数２％）



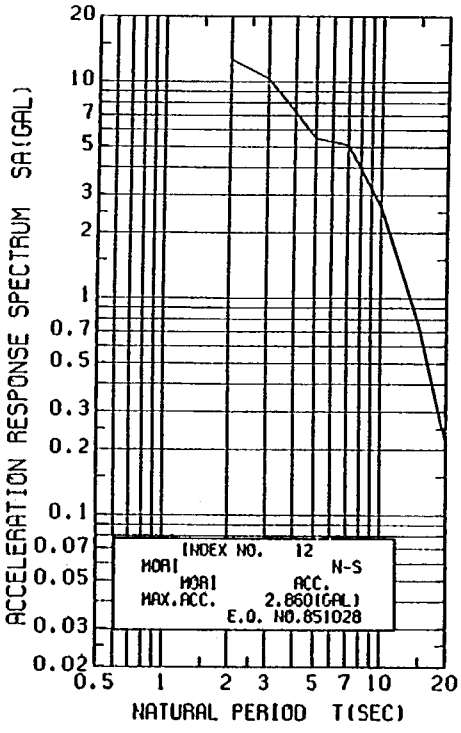
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

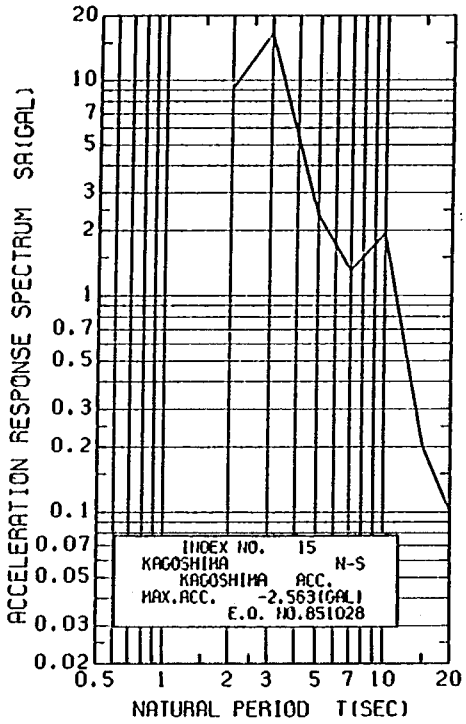


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

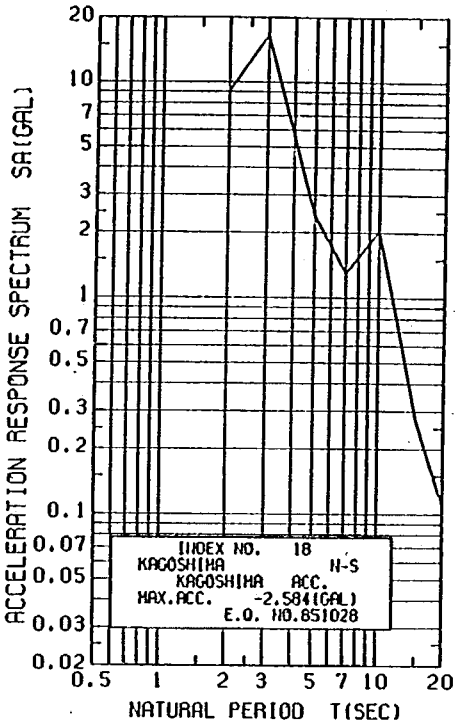


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

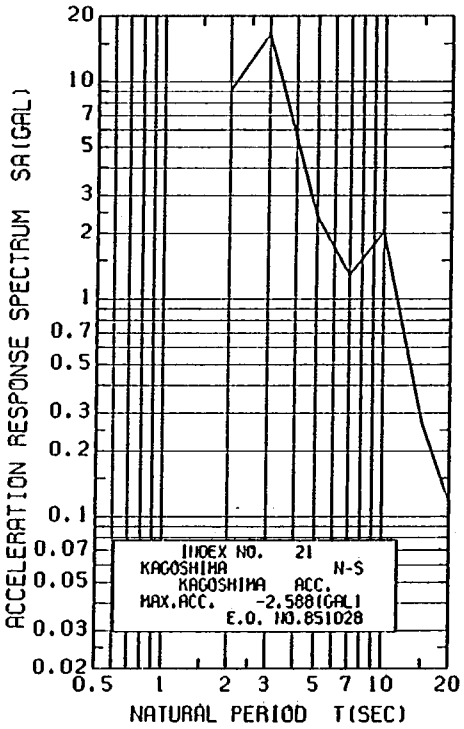
付図 5.2 加速度応答スペクトル（森，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数2％）



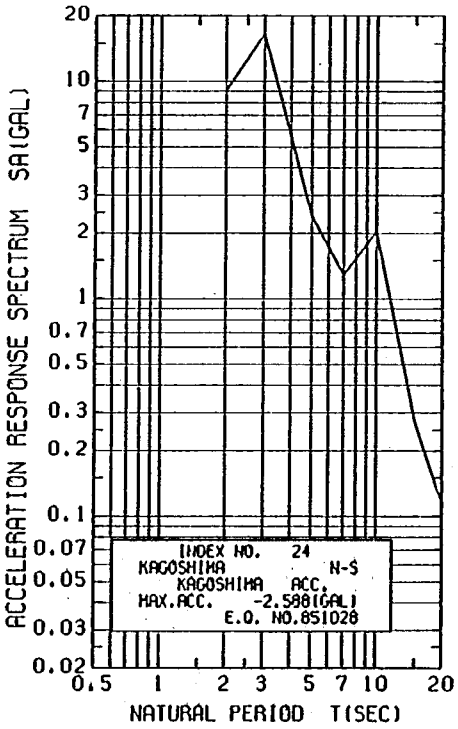
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

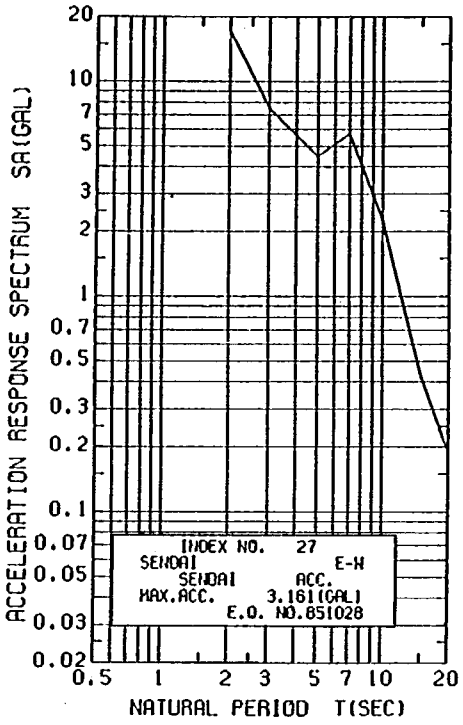


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

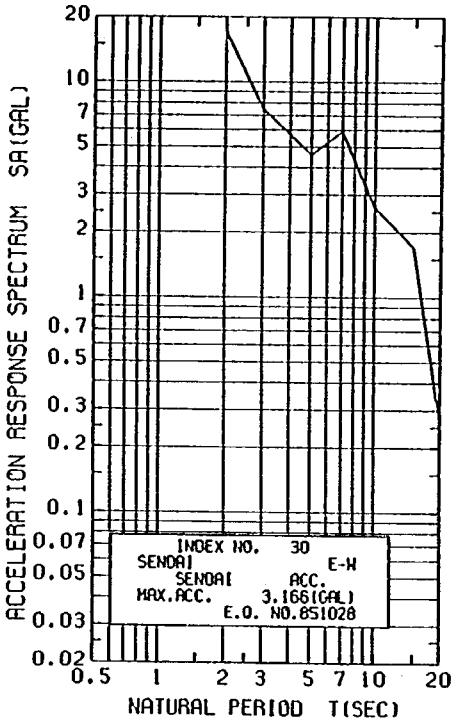


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

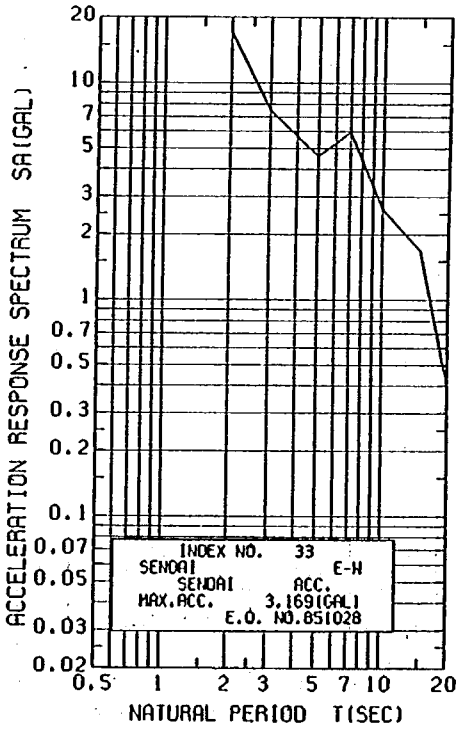
付図 5.3　加速度応答スペクトル（鹿児島，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数２％）



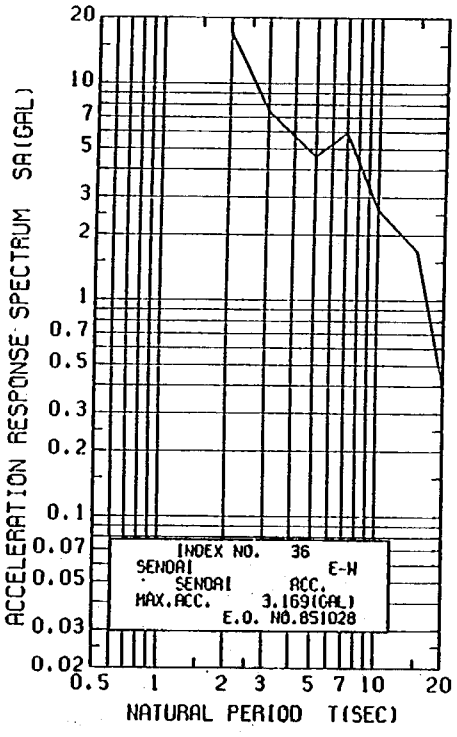
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

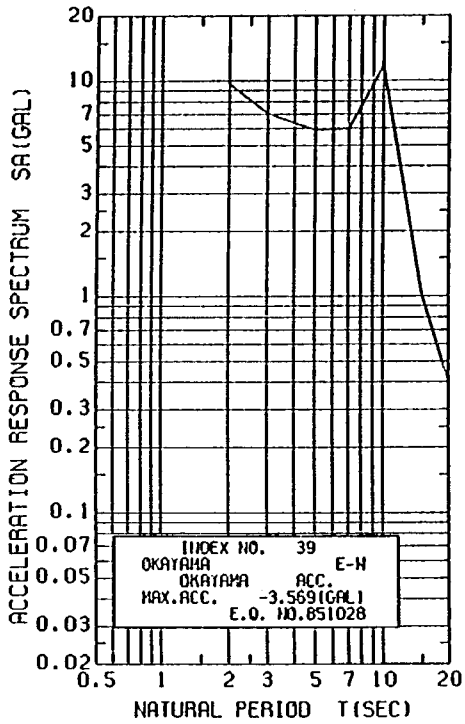


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

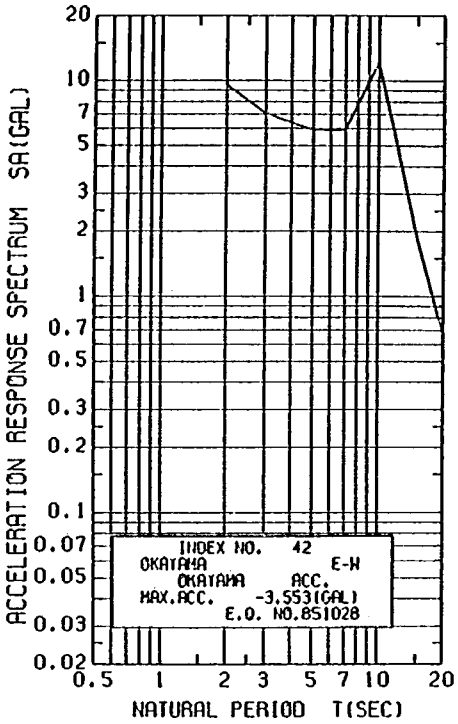


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

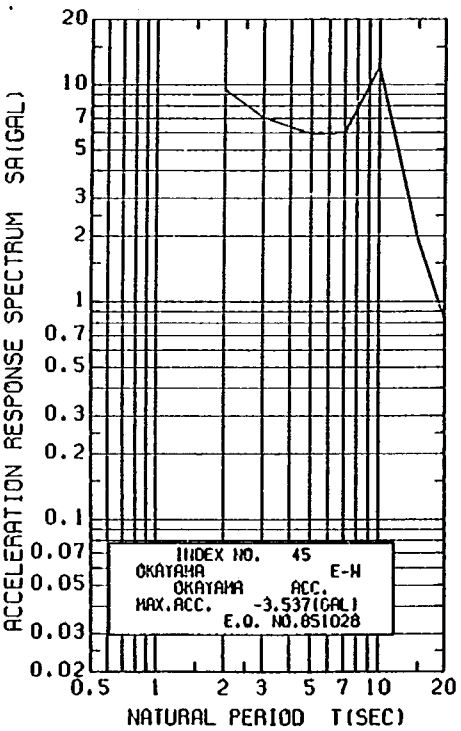
付図 5.4 加速度応答スペクトル（仙台，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 2 %）



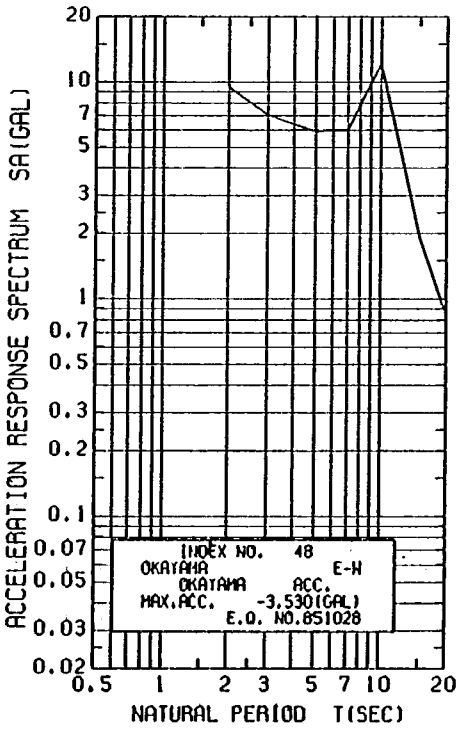
(a) $T_{UL}=10$(sec)



(b) $T_{UL}=15$(sec)

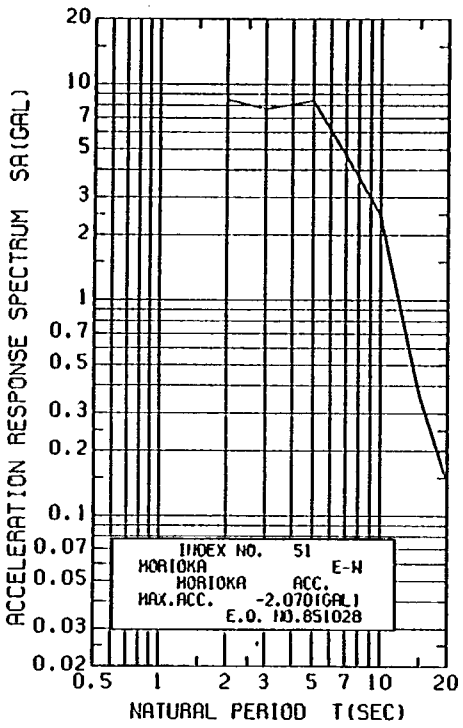


(c) $T_{UL}=20$(sec)

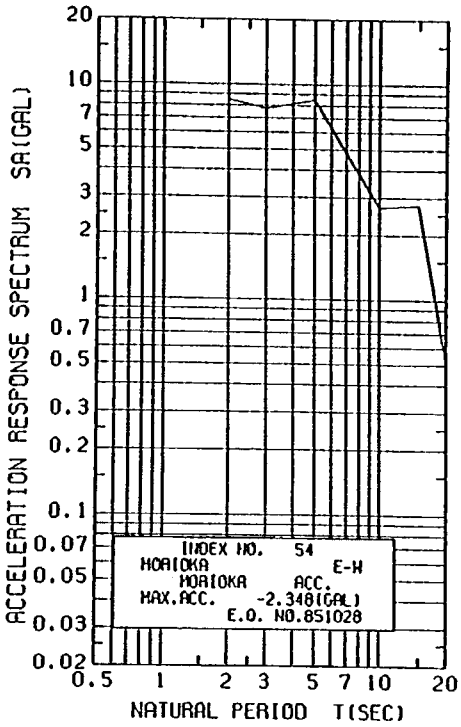


(d) $T_{UL}=25$(sec)

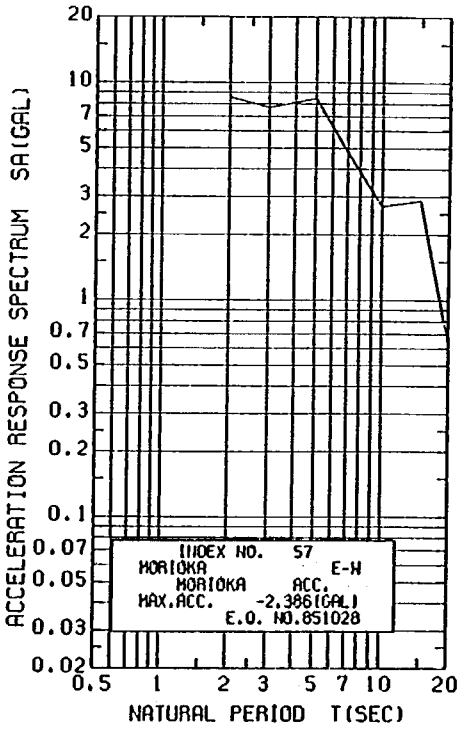
付図 5.5 加速度応答スペクトル（岡山，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数2％）



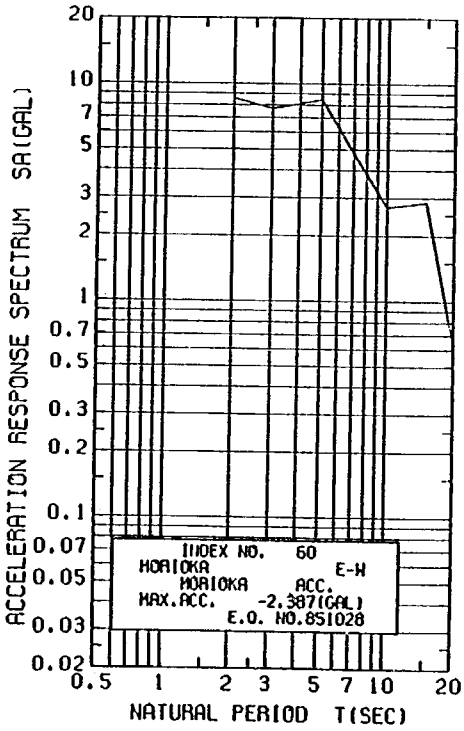
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

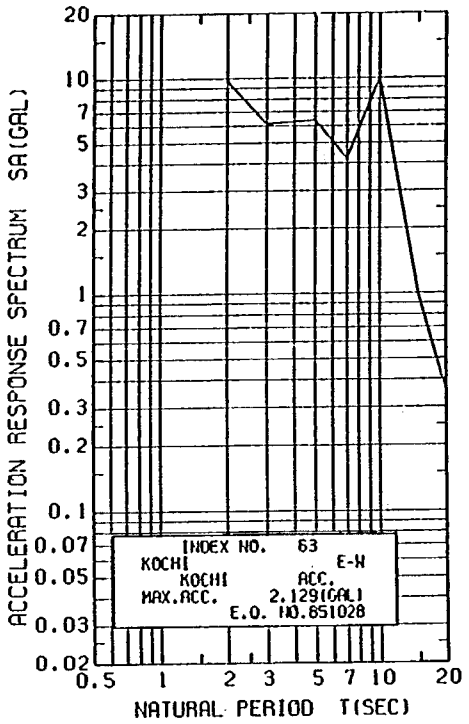


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

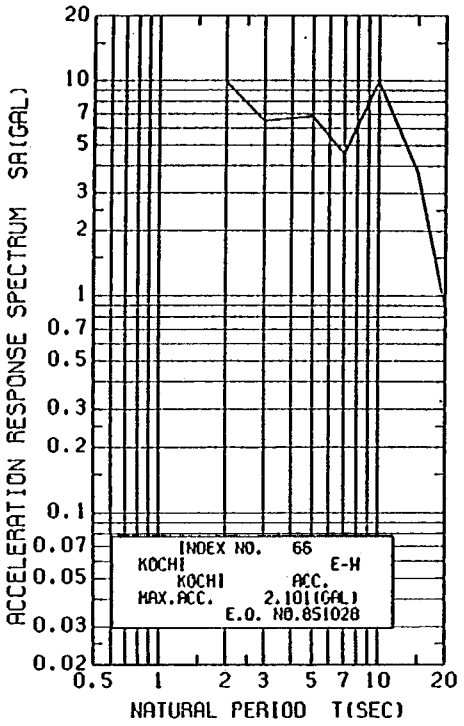


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

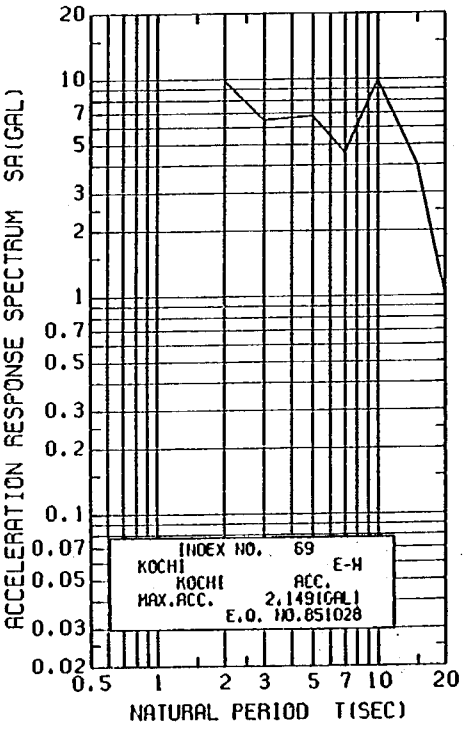
付図 5.6 加速度応答スペクトル（盛岡，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数 2％）



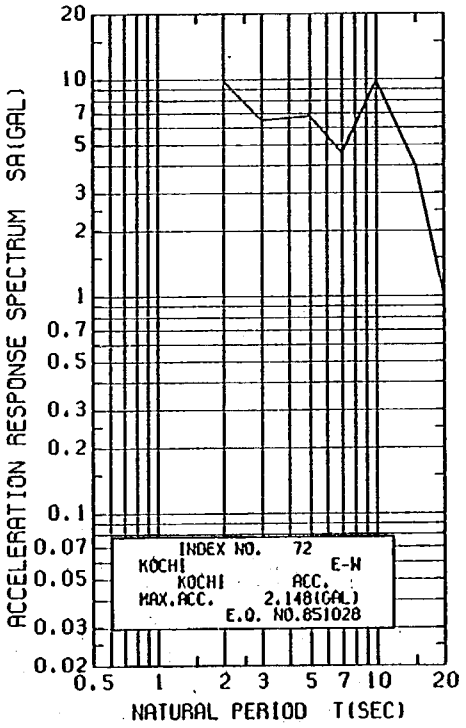
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

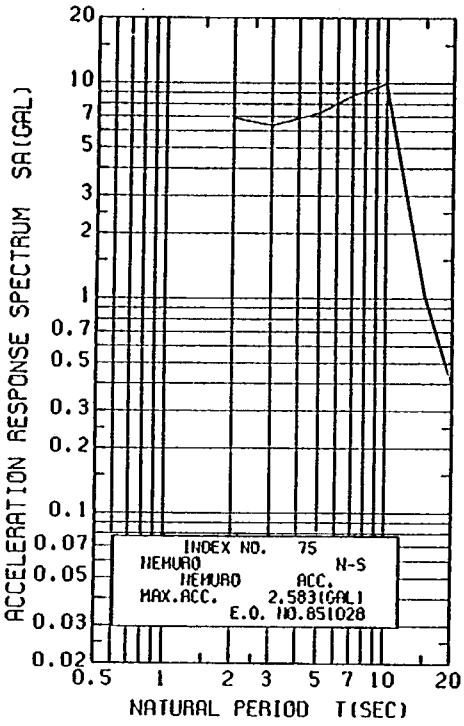


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

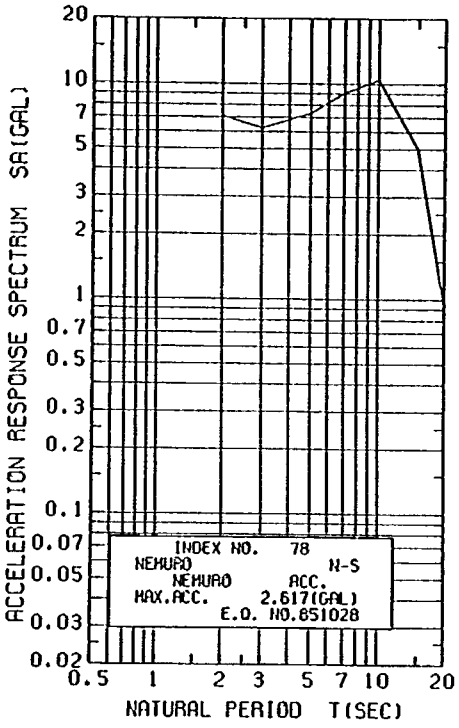


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

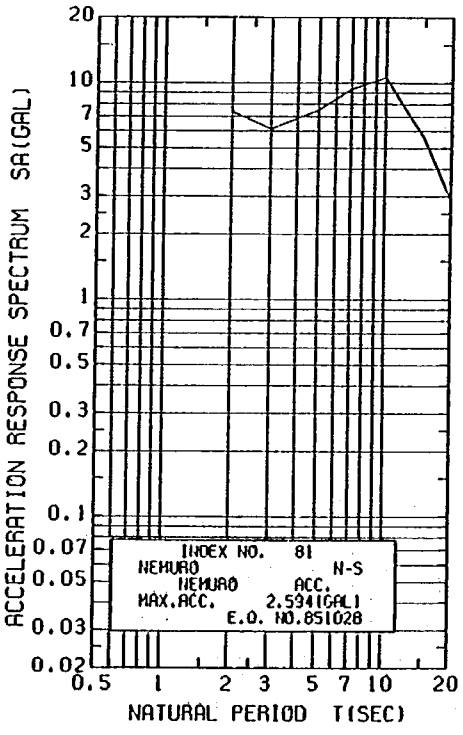
付図 5.7 加速度応答スペクトル（高知，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 2％）



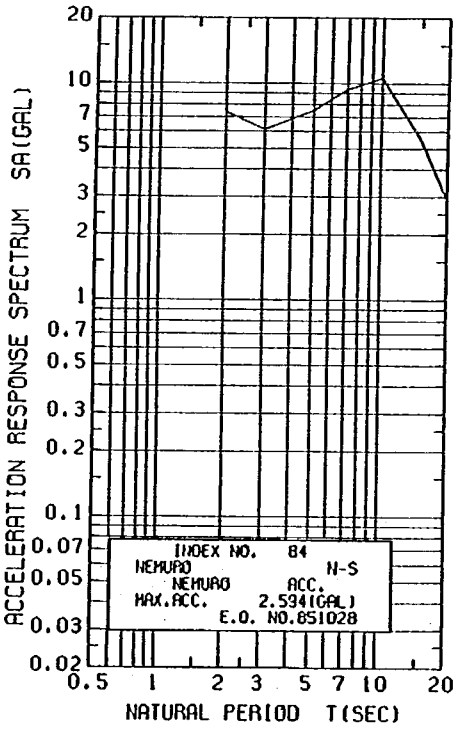
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

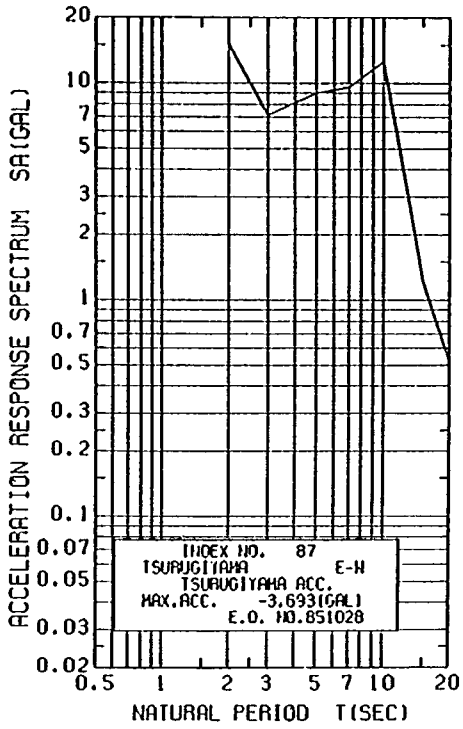


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

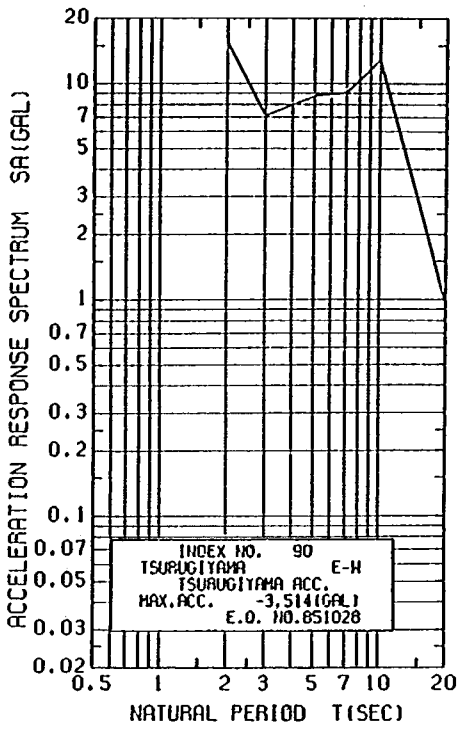


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

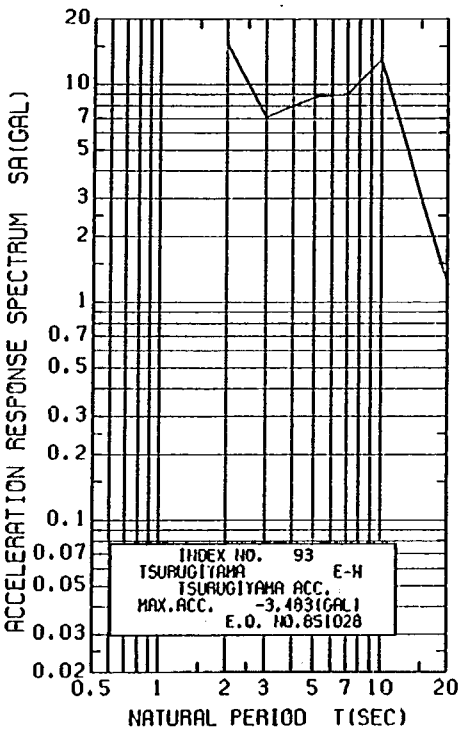
付図 5.8 加速度応答スペクトル（根室，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 2％）



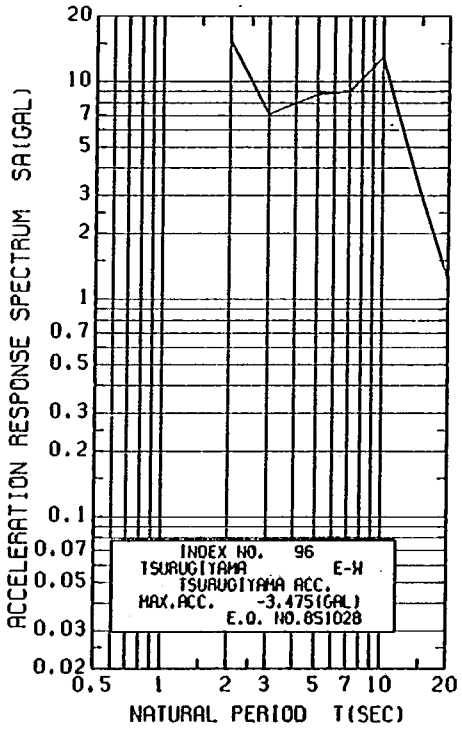
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

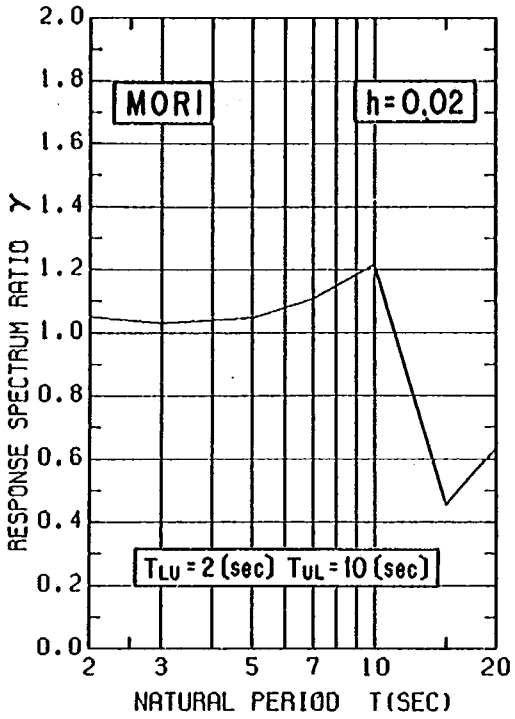


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

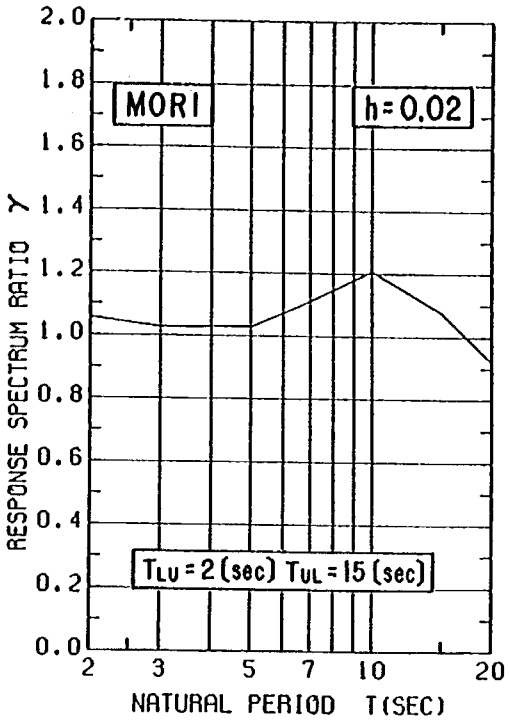


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

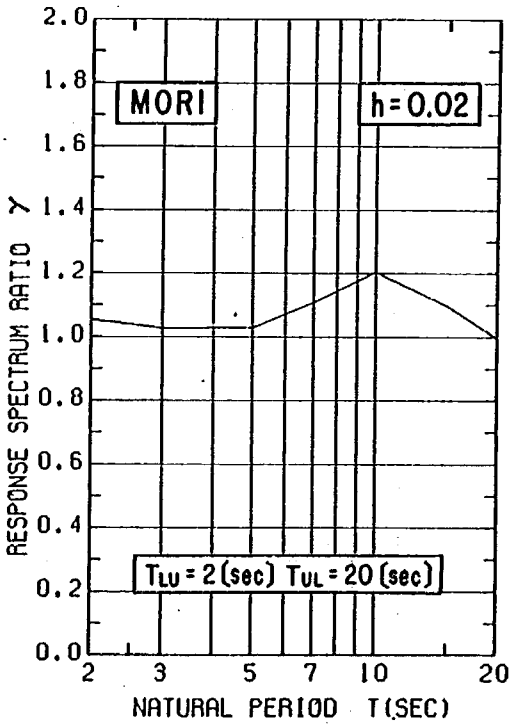
付図 5.9　加速度応答スペクトル（剣山，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数 2％）



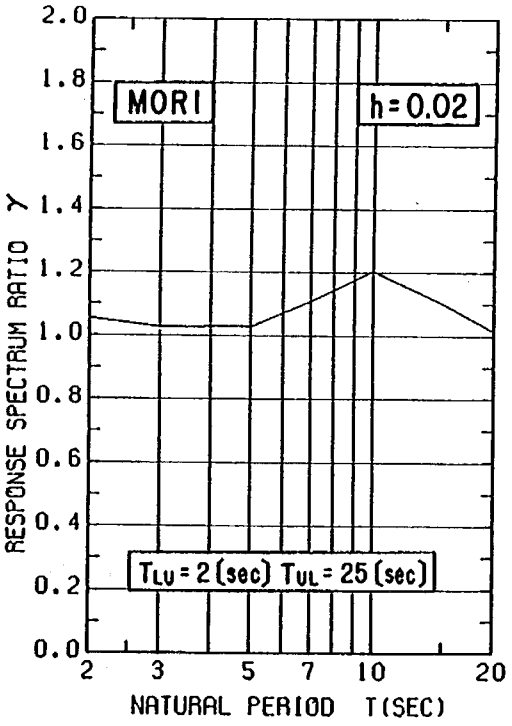
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

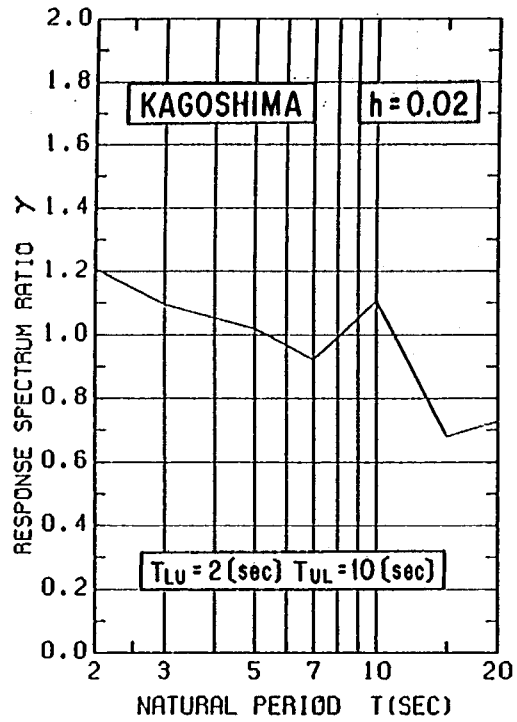


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

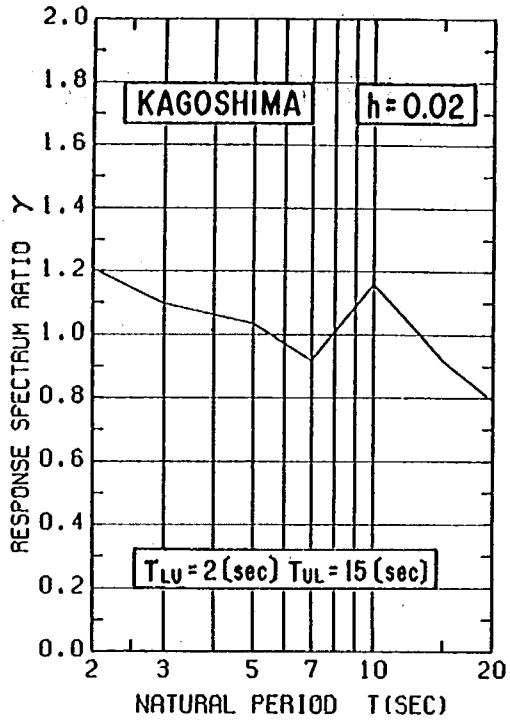


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

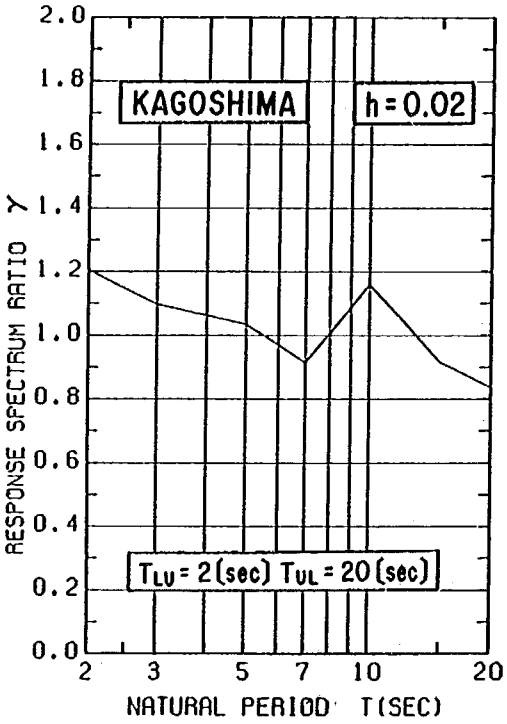
付図 5.10 加速度応答スペクトル比（森，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 2 %）



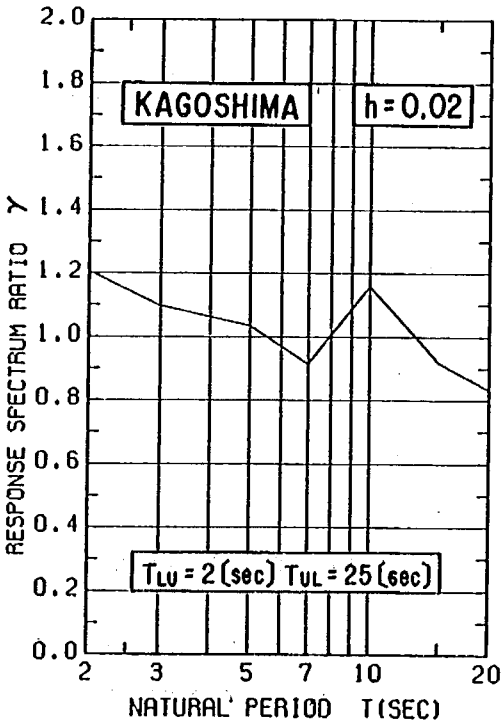
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

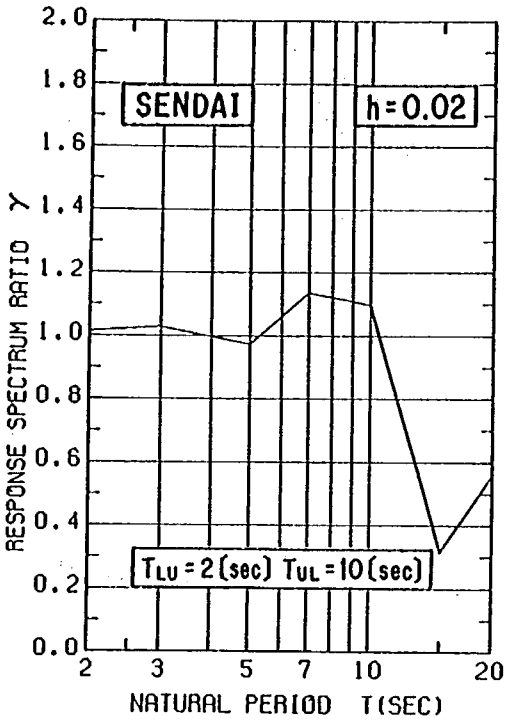


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

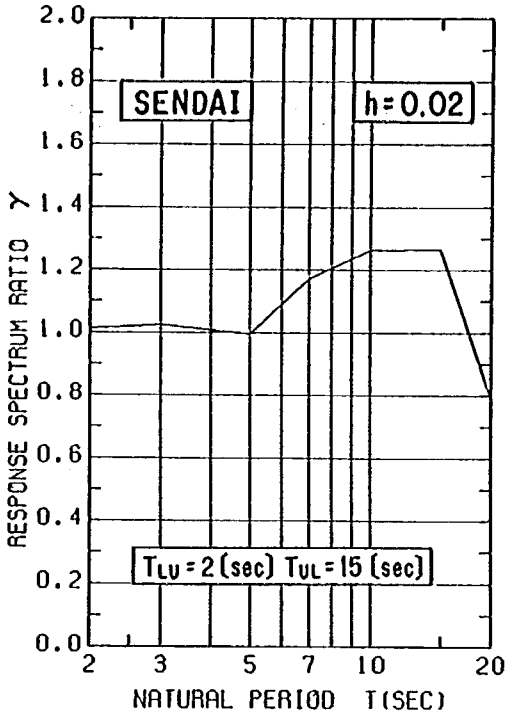


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

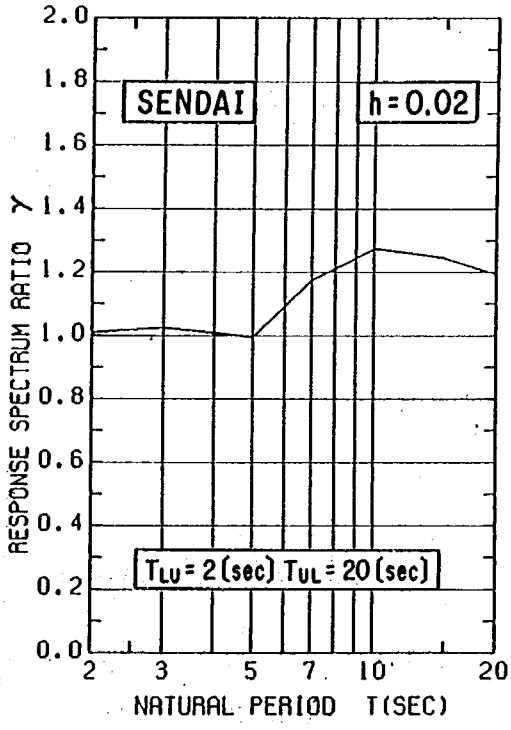
付図 5.11　加速度応答スペクトル比（鹿児島，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数2％）



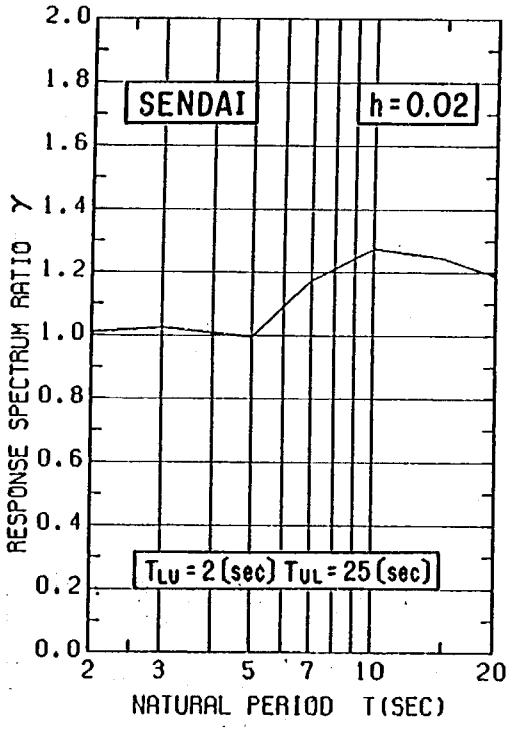
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

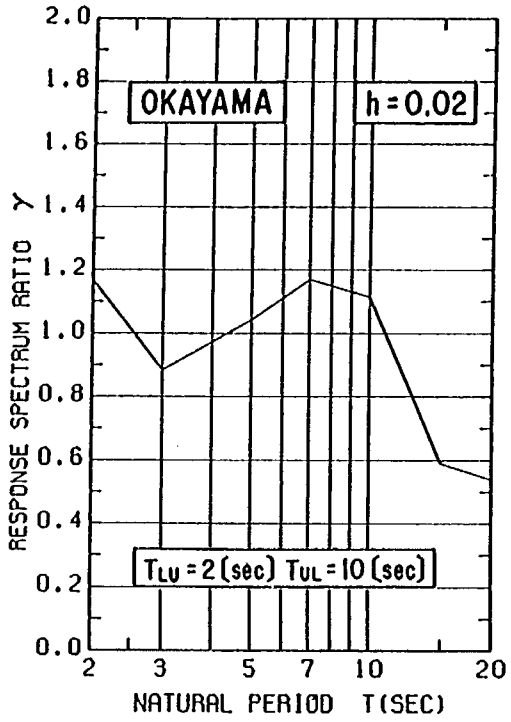


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

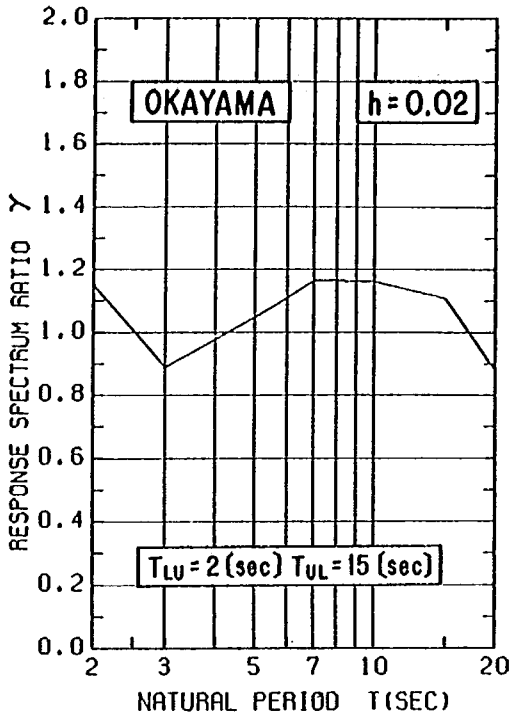


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

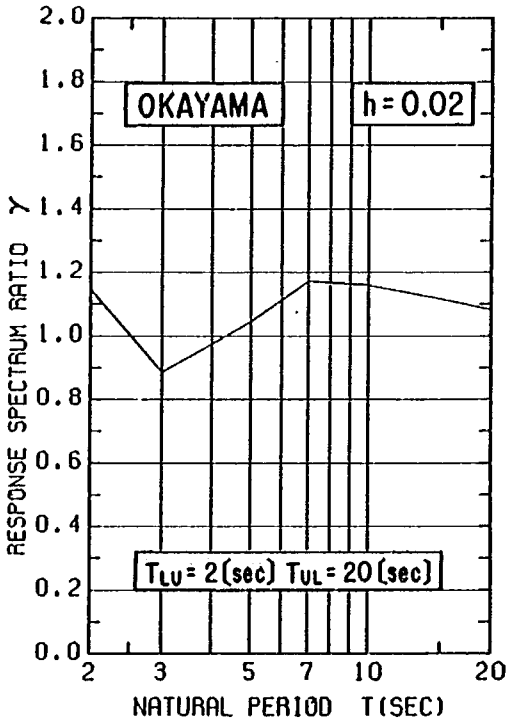
付図 5.12 加速度応答スペクトル比（仙台，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数 2％）



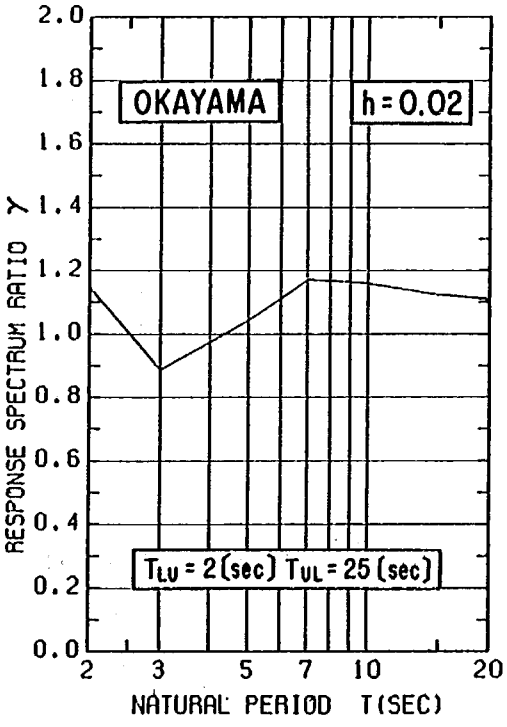
(a)　$T_{UL}=10$ (sec)



(b)　$T_{UL}=15$ (sec)

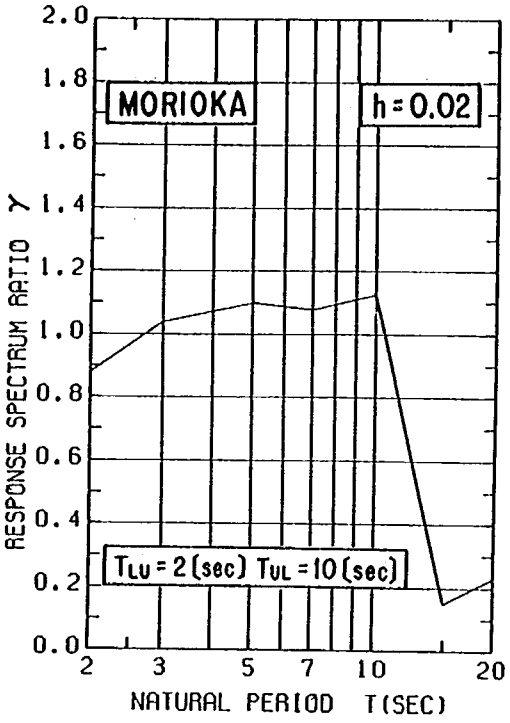


(c)　$T_{UL}=20$ (sec)

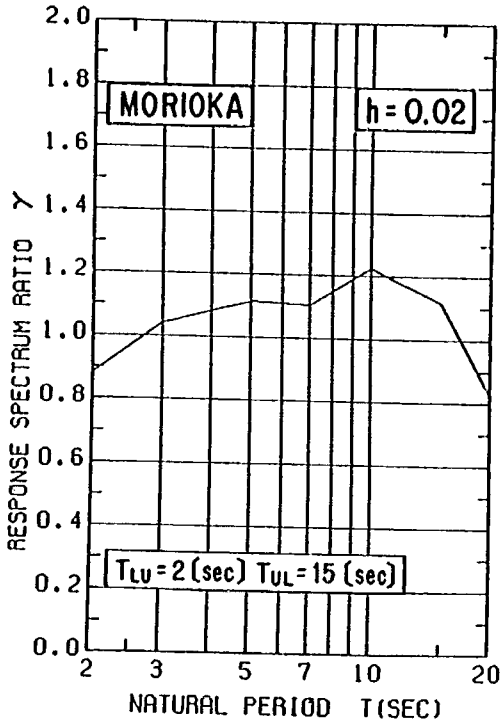


(d)　$T_{UL}=25$ (sec)

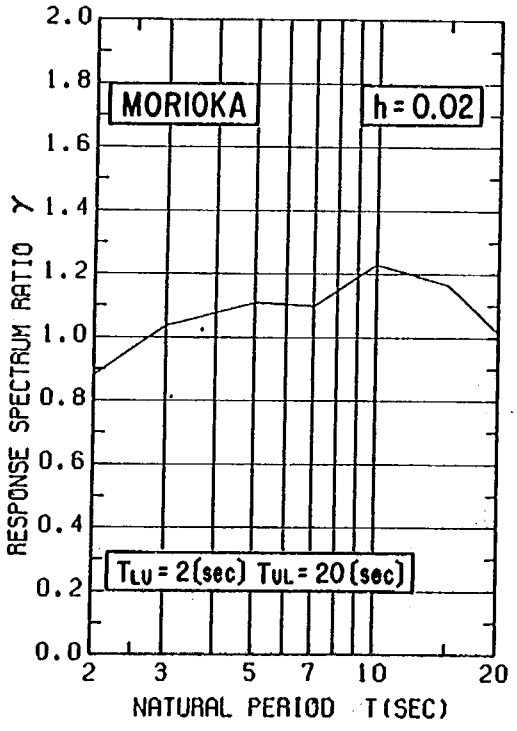
付図 5.13　加速度応答スペクトル比（岡山，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 2 %）



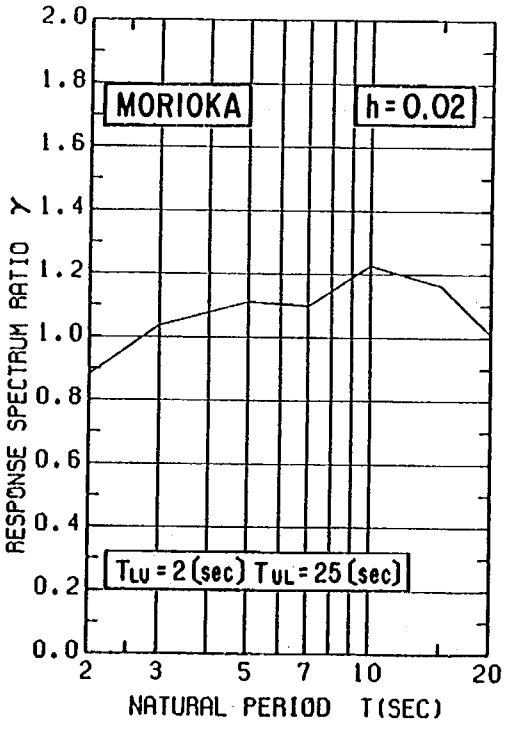
(a) $T_{UL}=10$(sec)



(b) $T_{UL}=15$(sec)

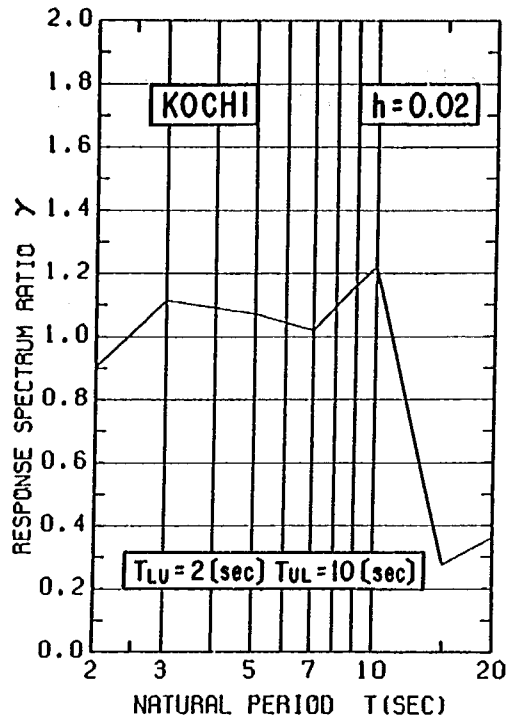


(c) $T_{UL}=20$(sec)

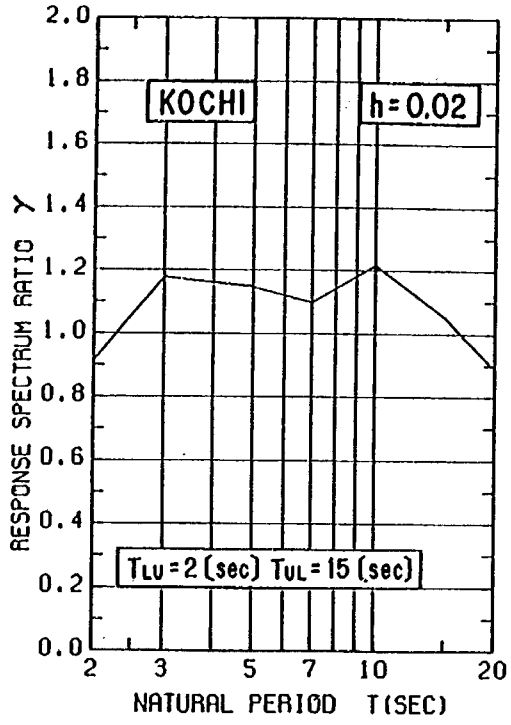


(d) $T_{UL}=25$(sec)

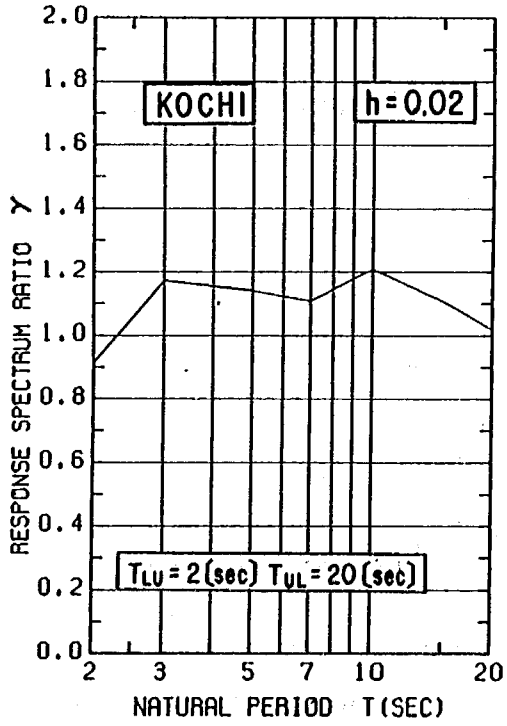
付図 5.14 加速度応答スペクトル比（盛岡，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数2％）



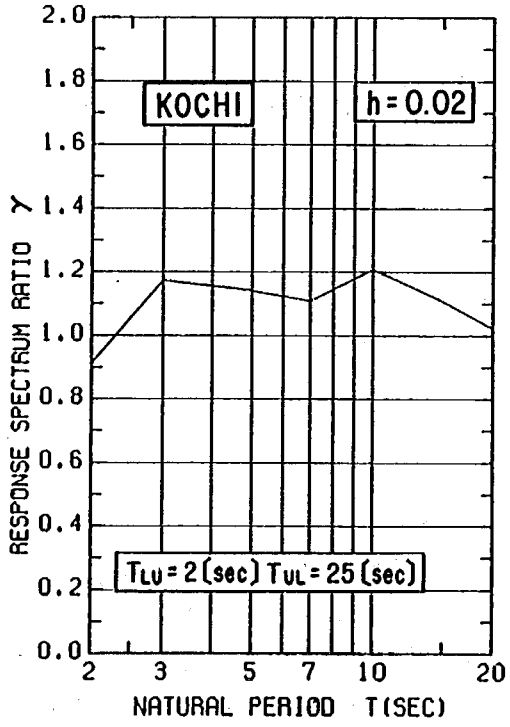
(a)　$T_{UL}=10$ (sec)



(b)　$T_{UL}=15$ (sec)

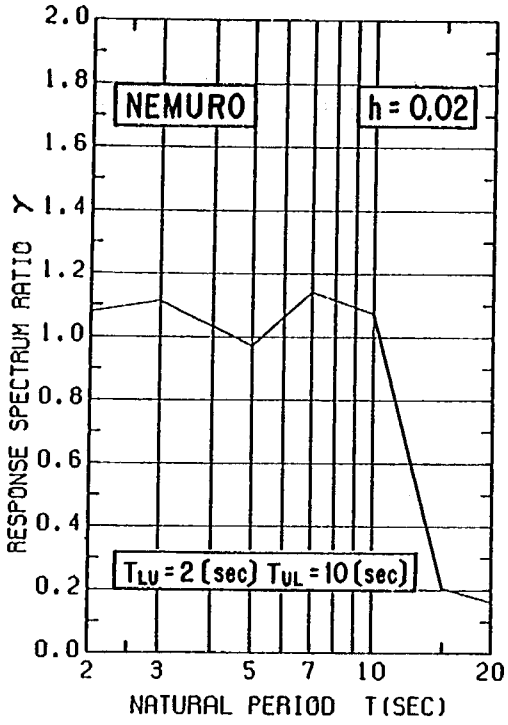


(c)　$T_{UL}=20$ (sec)

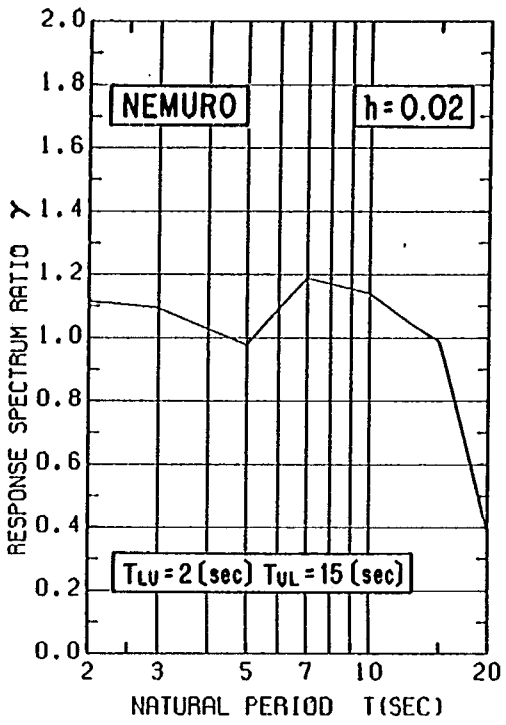


(d)　$T_{UL}=25$ (sec)

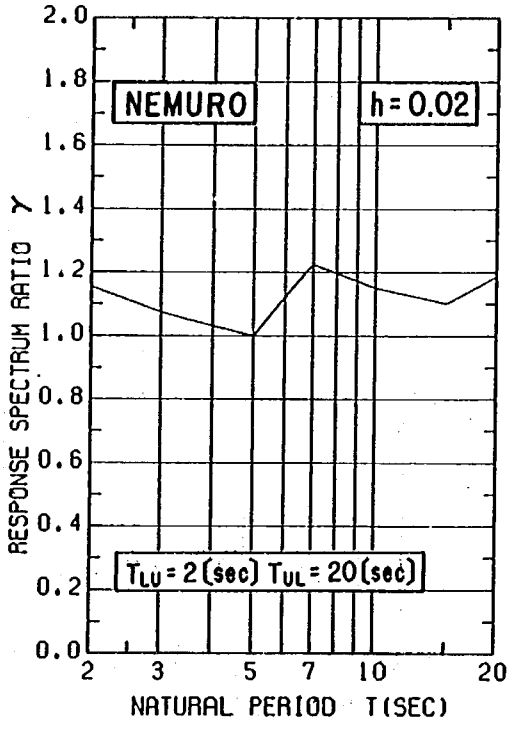
付図 5.15　加速度応答スペクトル比（高知，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 2 %）



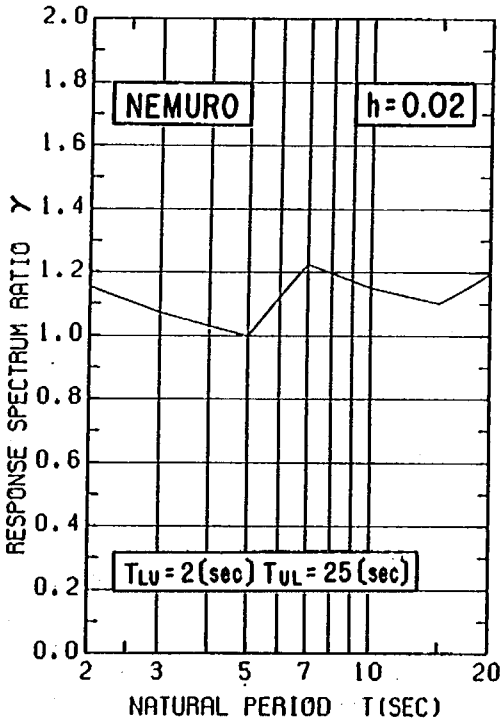
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

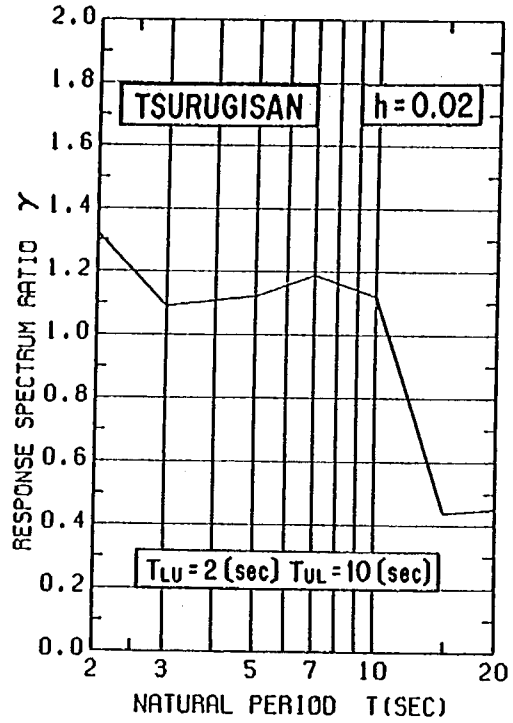


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

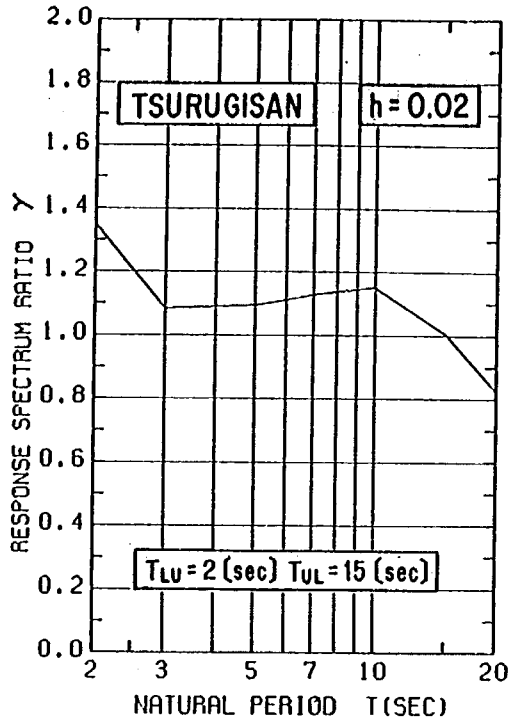


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

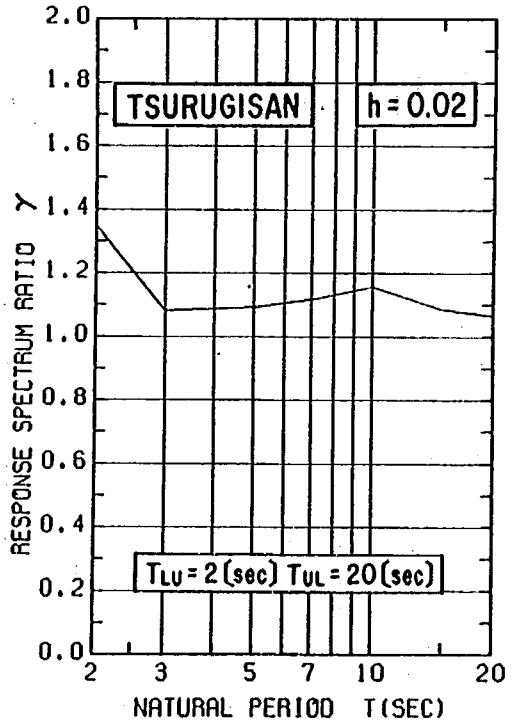
付図 5.16 加速度応答スペクトル比（根室，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数 2 %）



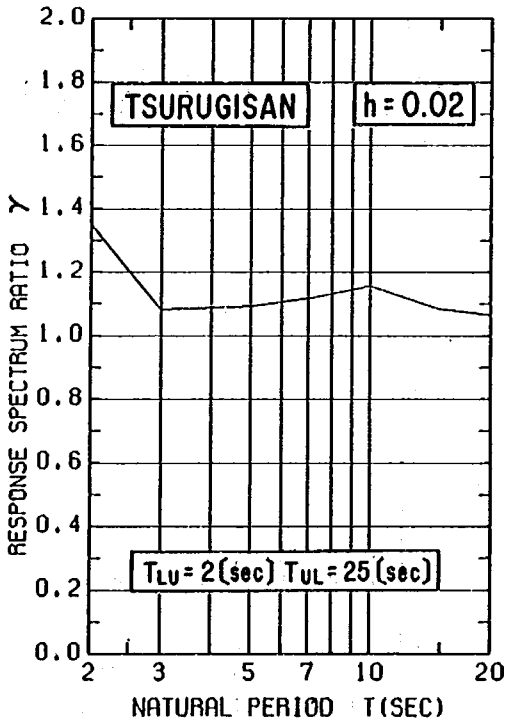
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)

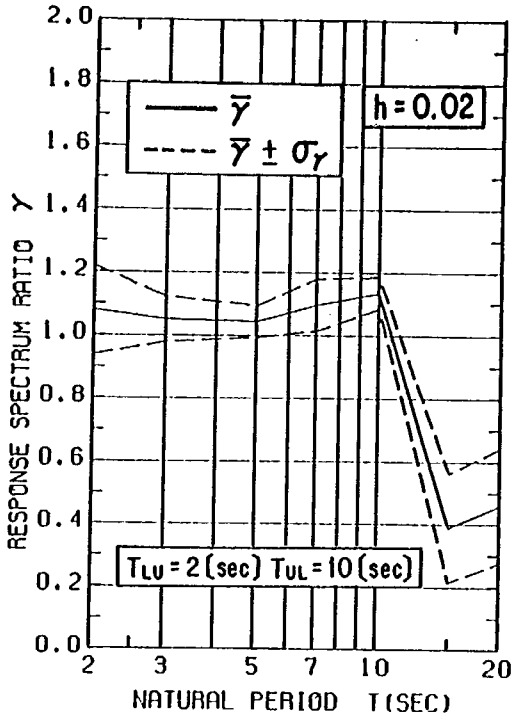


(c) $T_{UL}=20$ (sec)

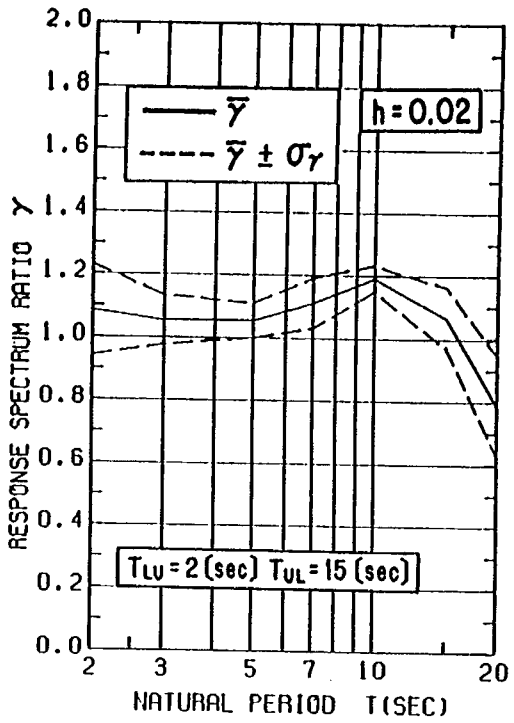


(d) $T_{UL}=25$ (sec)

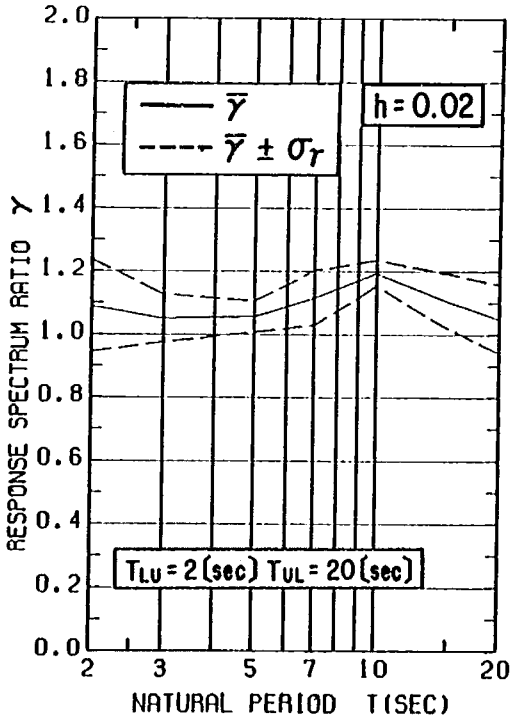
付図 5.17 加速度応答スペクトル比（剣山，$T_{LU}=2$〔sec〕，減衰定数2％）



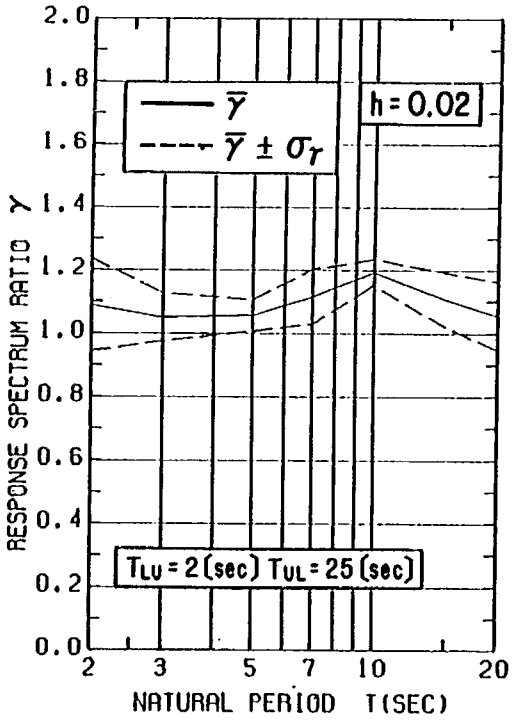
(a) $T_{UL}=10$ (sec)



(b) $T_{UL}=15$ (sec)



(c) $T_{UL}=20$ (sec)



(d) $T_{UL}=25$ (sec)

付図 5.18 加速度応答スペクトル比の平均値および標準偏差（実験Ⅰ，$T_{LU}=2$ (sec)，減衰定数2％）

気象庁一倍強震計の記録精度に関する実験的検討

ISSN 0386−5878
土研資料第２３８６号
昭和61年6 月(1986)

佐々木　康　田村敬一
相沢　興　高橋和之

要　旨　本資料は，気象庁一倍強震計の加振実験を行い，同強震計記録の数値補正フィルターの妥当性について検討するとともに，一倍強震計記録から求めた加速度応答スペクトルの精度について検討した結果をとりまとめたものである。

キーワード：長周期地震動，気象庁一倍強震計，加速度応答スペクトル。