

土木研究所資料

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4) 1964年新潟地震記録の解析——

昭和62年5月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

Copyright © (1987) 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。

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4）1964年新潟地震記録の解析——

振動研究室 室長 佐々木 康一
研究員 田村 敬一
相沢 興

要旨 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4）1964年新潟地震記録の解析——

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なく、長周期の地震動特性を慎重に検討する必要がある。そこで、本解析では、1964年新潟地震による72成分の気象庁一倍強震計（固有周期5～6秒の機械式変位型地震計）記録の数値化を行い、長周期地震動の特性について検討した。また、既に数値化が完了している1968年十勝沖地震、1968年日向灘地震および1983年日本海中部地震による気象庁一倍強震計記録と合わせて、長周期地震動の距離減衰式について検討した。

キーワード：長周期地震動，耐震設計，設計地震入力，1964年新潟地震

まえがき

土木構造物の耐震設計の合理化を図るためには、外力、すなわち、地震動の特性を正しく把握することが重要である。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。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-B₂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から SMAC-B₂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。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はなく、長周期の地震動特性を慎重に検討する必要がある。

本報告では、既往の検討に引き続き、1964 年新潟地震による 72 成分の気象庁一倍強震計（固有周期 5～6 秒の機械式変位型地震計）記録を数値化し、長周期地震動の特性について検討した。また、既に数値化が完了している 1968 年十勝沖地震、1968 年日向灘地震および 1983 年日本海中部地震による気象庁一倍強震計記録と合わせて、長周期地震の距離減衰式について検討した。

昭和 62 年 5 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

目 次

まえがき

1. 気象庁一倍強震計の特性	1
2. 1964 年新潟地震による記録	6
3. 数値化および計器補正	10
3.1 数値化	10
3.2 記録のメンディング	10
3.3 円弧補正	10
3.4 波形のゆがみおよびその補正方法	11
3.5 時間軸の戻りの補正	13
3.6 計器補正および加速度, 速度の計算法	14
3.7 各種補正を加えた変位, 速度, 加速度	15
4. 長周期地震動の特性	62
4.1 気象庁一倍強震計記録の特徴	62
4.2 最大変位, 最大速度, 最大加速度の距離減衰特性	62
4.3 加速度応答スペクトル値の距離減衰特性	64
5. 長周期地震動の距離減衰式	74
5.1 最大変位, 最大速度, 最大加速度の距離減衰式	74
5.2 加速度応答スペクトルの距離減衰式	76
6. 結 論	93
謝 辞	94
参考文献	95
付属資料 気象庁一倍強震記録による加速度応答スペクトル値 (1964 年新潟地震)	97

1. 気象庁一倍強震計の特性

気象庁一倍強震計とは、気象庁が定常地震観測のために各地の気象台に設置している倍率 1.0 の変位型地震計である。一般に地震学の分野では、1000 倍もしくは 10000 倍という感度の高い地震計がよく用いられるが、その中にあって、強震動もある程度記録ができるようにとの配慮から特に倍率を 1 倍と低くしたため、一倍強震計と呼ばれている。しかし、記録可能な最大の変位振幅は 3 cm であり、これは震度 IV 相当の地震動に相当している。したがって、これ以上の強震動では振り切れが生じ完全な記録を得ることはできない。こうした点から、同じ強震計という名称がついているが工学の方面で使われている強震計（一般に 1000 gal 程度の加速度まで記録できる。これは、震度 VII 以上に相当している）とは本質的に違う。

気象庁一倍強震計には、製作の西暦年数にちなんで、50 年型、51 年型、52 年型などがあるが、これらの基本的な特性は同じものである。ただし、50 年型、51 年型は製作台数が少ないため、現在稼動している大部分のものは 52 年型とされている。なお、西暦年数のあとに、A, B, C 等のアルファベットがつけられる場合もあるが、これは前者の 2 つのタイプがともにすす書き式であることを、また、最後のものがペン書き式であることを示している。

図 1.1 は 52 C 型一倍強震計の外観を示したものであり、主要な諸元は表 1.1 に示すとおりである。ここで、制振度とは振子の減衰性を定義する量である。すなわち、図 1.2 に示すように、振子を片方に Δ_1 だけ振らし、これを自由振動させた場合に反対方向に Δ_2 だけ振動したとすれば、制振度 ν は次式で定義される。

$$\nu = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \dots\dots\dots (1.1)$$

いま、振子を 1 自由度の線形粘性減衰振動系と仮定すれば、自由振動による振子の減衰振動より式 (1.1) は次のように変形される。

$$\nu = e^{\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}} \dots\dots\dots (1.2)$$

ここで、 h は減衰定数である。式 (1.2) を変形すると、 h と ν の関係は次式となる。

$$h = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{\log_e \nu}\right)^2}} \dots\dots\dots (1.3)$$

また、一般に、制振度は $\nu = 7 \sim 9$ 程度の値をとる。 $\nu = 7, 8, 9$ に対する減衰定数を求めると、それぞれ、 $h = 0.527, 0.552, 0.573$ となり、 $\nu = 7 \sim 9$ の範囲の制振度は減衰定数 $h = 0.55 \pm 0.03$ 程度に相当することがわかる。

制振度および振子の固有周期等の時定数は大きい記録が得られる都度、記録に記入される。表 1.2 は 1964 年新潟地震による記録に記入された時定数を各観測点ごとに示したものである。本解析において使用した記録の制振度の範囲は $\nu=3\sim 11$ であり、減衰定数は $h=0.330\sim 0.607$ に相当する。

表 1.1 52C 型一倍強震計の主要な特性

項 目	特 性	仕 様
基 本 仕 様	周 期	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平成分} \quad 6.0 \pm 0.2 \text{ 秒} \\ \text{上下成分} \quad 5.0 \pm 0.2 \text{ 秒} \end{array} \right.$
	基 本 倍 率	1 倍 (水平, 上下とも)
	制 振 度	10 以上
	摩 擦 値	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平成分} \quad < 0.04 \text{ mm} \\ \text{上下成分} \quad < 0.05 \text{ mm} \end{array} \right.$
	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
振 子 部	最大記録全振幅	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平成分} \quad 60 \text{ mm} \\ \text{上下成分} \quad 50 \text{ mm} \end{array} \right.$
	形 式	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平成分} \quad \text{水平振子} \\ \text{上下成分} \quad \text{ユーイング型} \end{array} \right.$
	質 量	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平成分} \quad \text{約 } 5.9 \text{ kg} \\ \text{上下成分} \quad \text{約 } 4.4 \text{ kg} \end{array} \right.$
	描針腕の長さ	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平成分} \quad 300 \text{ mm} \\ \text{上下成分} \quad 250 \text{ mm} \end{array} \right.$
	相当振子の長さ	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平成分} \quad \text{約 } 314 \text{ mm} \\ \text{上下成分} \quad \text{約 } 266 \text{ mm} \end{array} \right.$
	重 心 距 離	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平成分} \quad \text{約 } 274 \text{ mm} \\ \text{上下成分} \quad \text{約 } 227 \text{ mm} \end{array} \right.$
ド ラ ム 部	円 周	$750 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$
	横 幅	$400 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$
	材 質	$\left\{ \begin{array}{l} \text{ド ラ ム} \quad \text{アルミ板} \\ \text{シャフト} \quad \text{黄銅 (} \phi 12 \text{ mm)} \end{array} \right.$
制 振 器	マグネット型 制 振 板	MK-5 または同等以上のもの 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 重 量	横 1200 mm × 奥行 1000 mm × 高さ 600 mm 約 150 kg

表 1.2 時定数の一覧

No.	観測所名	成 分	時 定 数				備 考
			倍 率 V	固有周期 T_0 (秒)	摩擦値 γ	制振度 ν	
1	石 巻	N-S	1	6.0	0.01	8	
		E-W	1	6.1	0.01	8	
		U-D	1	5.0	0.06	8	
2	青 森	N-S	1	6.2	0.03	8	
		E-W	1	6.1	0.04	8	
		U-D	1	5.0	0.03	8	
3	宮 古	N-S	1	5.8	0.00	9	
		E-W	1	5.5	0.14	10	
		U-D	1	4.9	0.01	9	
4	秋 田	N-S	1	5.1	0.009	11	
		E-W	1	4.9	0.005	8	
		U-D	1	4.7	0.023	9	
5	盛 岡	N-S	1	5.9	0.01	8	
		E-W	1	6.0	0.01	8	
		U-D	1	5.4	0.02	7	
6	仙 台	N-S	1	6.0	0.01	9	
		E-W	1	5.9	0.01	8	
		U-D	1	5.2	0.03	9	
7	白 河	N-S	1	6.0	0.02	8	
		E-W	1	4.8	0.01	8	
		U-D	1	4.8	0.01	7	
8	熊 谷	N-S	1	5.9	0.04	8	
		E-W	1	6.1	0.04	8	
		U-D	1	5.2	0.03	8	
9	秩 父	N-S	1	5.8	0.04	9	
		E-W	1	5.8	0.05	8	
		U-D	1	5.2	0.04	10	
10	高 田	N-S	1	4.0	0.004	7	
		E-W	1	4.0	0.003	6	
		U-D	1	3.9	0.004	8	
11	甲 府	N-S	1	6.0	0.01	9	
		E-W	1	6.0	0.01	9	
		U-D	1	5.0	0.01	9	
12	前 橋	N-S	1	6.1	0.01	8	
		E-W	1	5.7	0.01	7	
		U-D	1	5.0	0.01	7	
13	軽 井 沢	N-S	1	6.1	0.03	8	
		E-W	1	6.2	0.02	8	
		U-D	1	4.7	0.02	8	
14	納 代	N-S	1	5.9	0.03	8	
		E-W	1	6.0	0.03	8	
		U-D	1	5.9	0.04	8	
15	富 山	N-S	1	6.0	0.025	8	本解析では不使用
		E-W	1	6.0	0.013	7	
		U-D	1	5.2	0.025	7	
16	御 前 崎	N-S	1	5.8	0.01	8	
		E-W	1	6.0	0.01	8	
		U-D	1	5.0	0.00	8	
17	津	N-S	1	6.0	0.01	8	本解析では不使用
		E-W	1	6.1	0.01	8	
		U-D	1	6.1	0.01	8	
18	高 山	N-S	1	6.0	0.01	8	
		E-W	1	6.0	0.01	8	
		U-D	1	5.1	0.01	8	
19	名 古 屋	N-S	1	6.1	0.01	9	
		E-W	1	5.9	0.02	8	
		U-D	1	4.9	0.01	8	
20	浜 松	N-S	1	6.0	0.03	8	
		E-W	1	6.0	0.02	8	
		U-D	1	4.8	0.03	8	
21	宇 都 宮	N-S	1	6.0	0.03	8	
		E-W	1	6.0	0.03	8	
		U-D	1	5.0	0.04	8	
22	東 京	N-S	1	6.1	0.012	9	本解析では不使用
		E-W	1	6.2	0.006	10	
		U-D	1	5.0	0.010	U 16 D 8	
23	富 崎	N-S	1	5.9	0.02	7	
		E-W	1	5.8	0.02	7	
		U-D	1	4.8	0.02	7	
24	横 浜	N-S	1	6.3	0.02	8	
		E-W	1	6.0	0.04	9	
		U-D	1	5.0	0.04	8	
25	大 島	N-S	1	6.2	0.04	8	
		E-W	1	6.3	0.04	7	
		U-D	1	5.1	0.04	3	

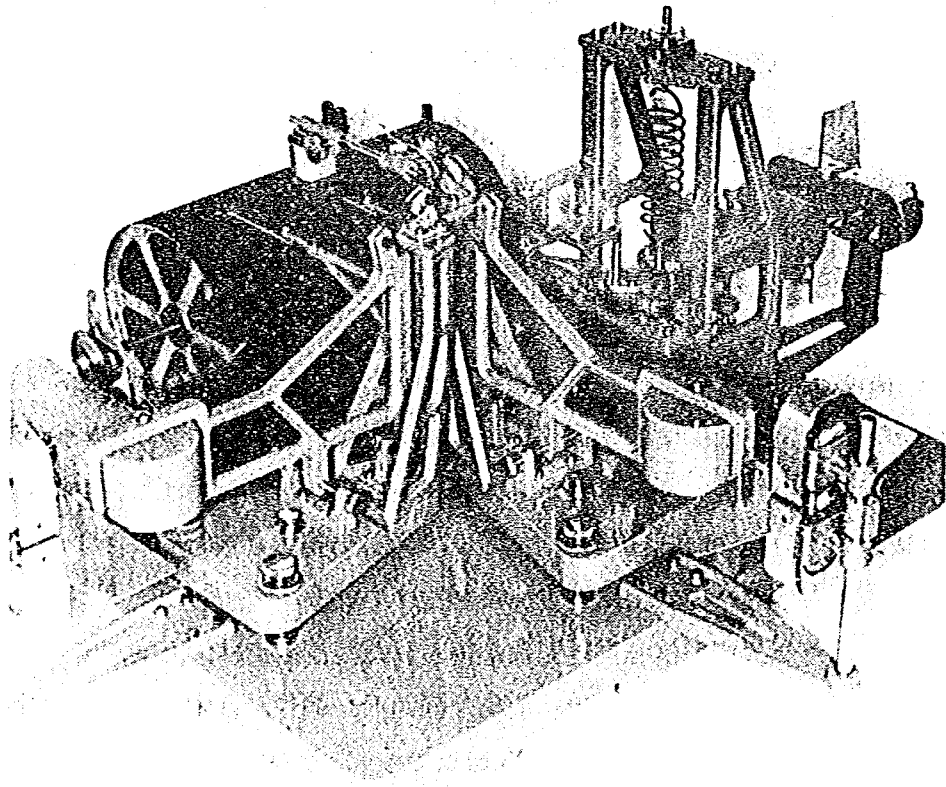


図 1.1 52 C型一倍強震計の外観

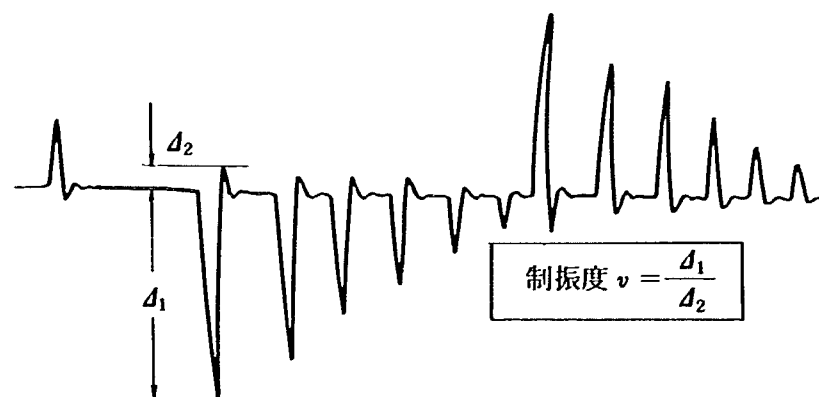


図 1.2 制振度の定義

2. 1964 年新潟地震による記録

「1964 年新潟地震」は、1964 年 6 月 16 日 13 時 1 分頃新潟県沖の粟島南方の海底を震源として発生したマグニチュード 7.5 の地震である。気象庁による震央および震源の深さは、それぞれ、北緯 38°24′、東経 139°12′および 40 km とされている¹⁾。各地の震度は、表 2.1 および図 2.1 に示すとおりであり²⁾、新潟県および山形県の日本海沿岸、宮城県の一部において震度 V が記録されている。

新潟地震による被害^{3)~5)}は新潟県および山形県を中心として、表 2.2 に示すように 9 県に及んだ。このうち、特に住家の被害が著しかったのは新潟県新潟市、村上市、山形県酒田市、鶴岡市等であった。また、被害の特徴としては砂質地盤の液状化に起因する被害が顕著であったことが挙げられる。例えば、新潟市の県営川岸町アパート（鉄筋コンクリート 4 階建）は上部構造にはほとんど変状が認められなかったのにもかかわらず、転倒するという被害を被った。道路橋についても、落橋、下部構造の傾斜・沈下、支承部・伸縮継手・高欄等の局所的な破壊などの被害を受けた。中でも、新潟市の昭和大橋（単純鋼合成桁 10 連）では 5 連が落橋するという著しい被害を被った。また、道路盛土、河川堤防、上下水道施設等も地盤の液状化による被害を受けている。

本解析で検討対象とした気象庁一倍強震計記録が得られた観測地点は、石巻、青森、宮古、秋田、盛岡、仙台、白河、熊谷、秩父、高田、甲府、前橋、軽井沢、網代、富山、御前崎、津、高山、名古屋、浜松、宇都宮、東京、富崎、横浜、大島の 25 地点であり、その位置は図 2.2 に示すとおりである。

表 2.1 1964 年新潟地震による各地の震度

V	新潟・酒田・相川・仙台・新庄
IV	山形・福島・秋田・白河・高田・石巻・水沢・盛岡・長野・前橋・小名浜・輪島・柿岡・若松
III	宇都宮・大船渡・軽井沢・富山・熊谷・宮古・松本・秩父・東京・甲府・横浜・御前崎・諏訪・中宮祠・深浦
II	松代・水戸・金沢・青森・銚子・飯田・三島・船津・伏木・田名部
I	高山・八戸・富崎・函館・静岡・彦根・室蘭・福井・豊岡・津・帯広・剣山・森

表 2.2 1964 年新潟地震による被害の一覧（文献 3）による）

県 名	死	傷	住 家 (棟)						非 住家 被害 (棟)	水 田**		畑**		道 路 被 害	橋 被 害	山 (崖) 崩 れ	堤 防 決 壊	鉄 軌 道 被 害	船 舶	
			全 壊	半 壊	全 焼	床 上 浸 水	床 下 浸 水	一 部 破 損		流 失 ・ 埋 没	冠 水	流 失 ・ 埋 没	冠 水						船 沈 没 ・ 流 失	船 そ の 他
新 潟	13	315	1448	5376	290 (1)*	9446	5544	19472	10556	3624	2111	392	476	759	67	111	56	86	26	208
山 形	9	91	486	1189		16	23	42077	1772	787	42			185	4	35	6	22		4
秋 田	4	25	8	65		9	142	6116	3859	47	25			47	7	1	1	10	3	5
宮 城		1						13								3		5		
福 島		12	8	6				83	86					15		17		5		
群 馬		1						1	5					1		1		1		
長 野		2		4				25	5									1		
石 川						3	113				75									
島 根							1	38			10									
計	26	447	1960	6640	290	9474	5823	67825	16283	4458	2263	392	476	1007	78	168	63	130	29	217

* 半焼 (外数), ** 単位 : ha.

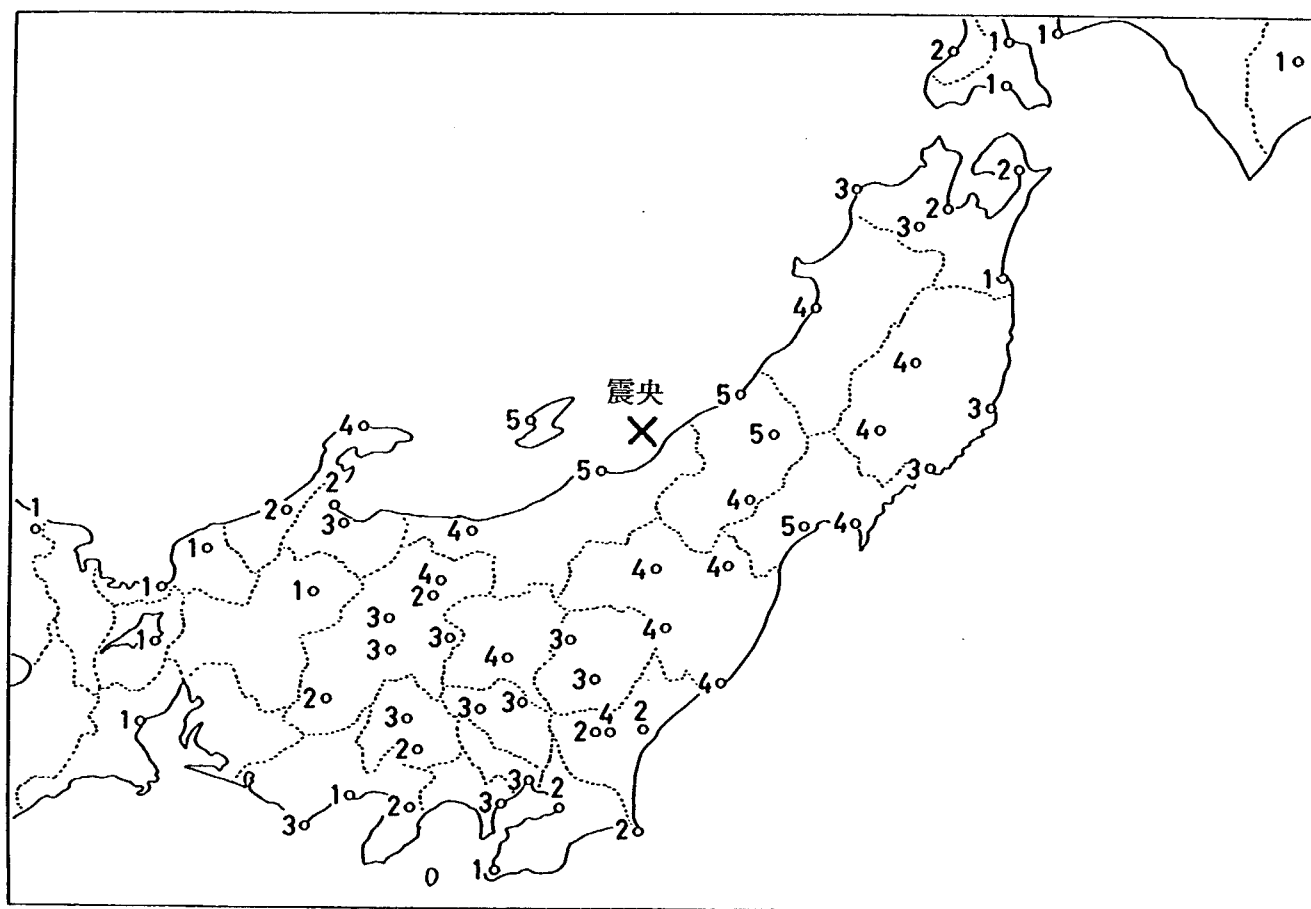


図 2.1 1964 年新潟地震による各地の震度 (文献 2) による)

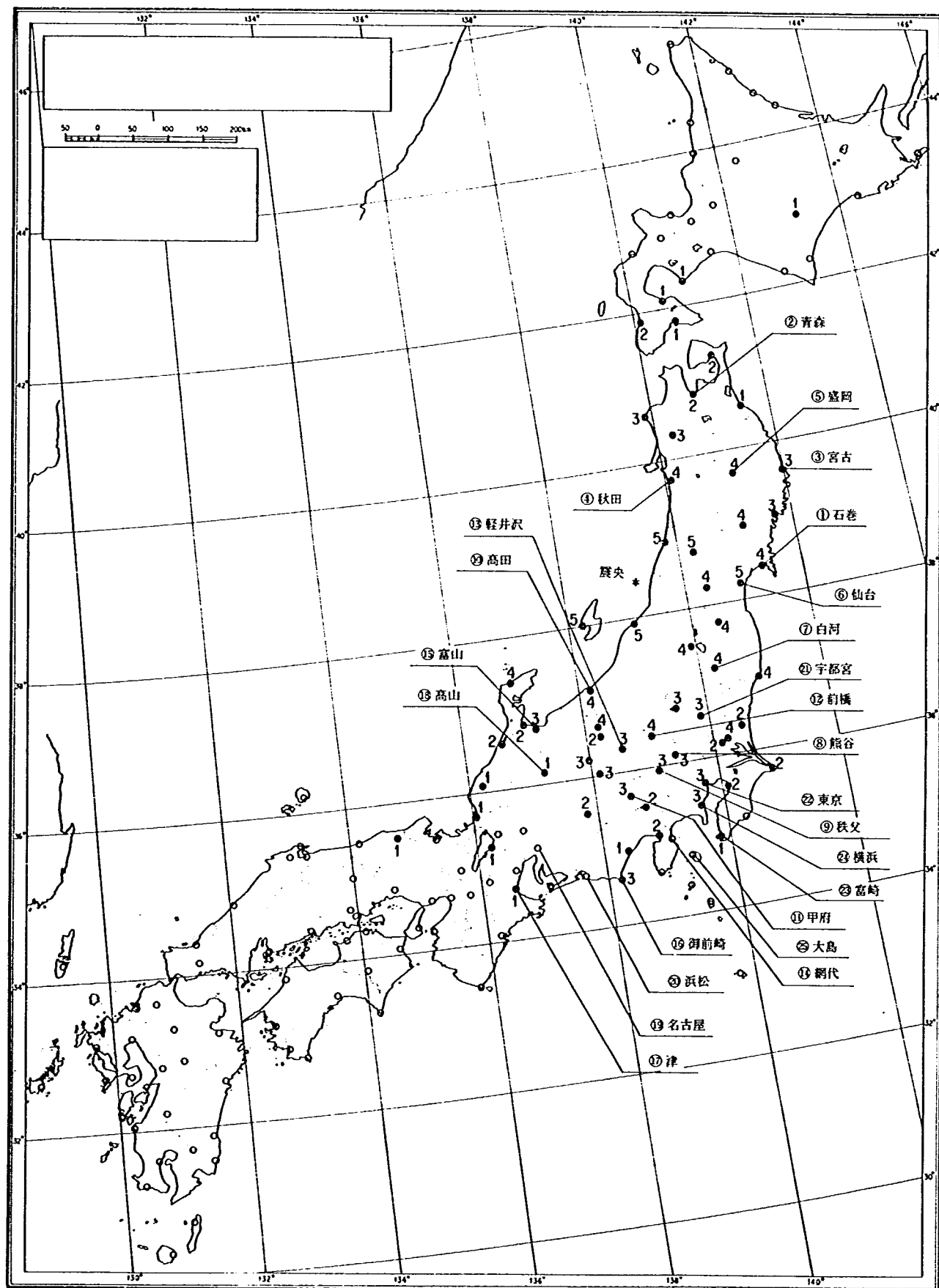


図 2.2 気象庁一倍強震計の設置位置

3. 数値化および計器補正

3.1 数値化

記録の数値化は、最小分解能（公称値）1/10 mm のデジタイザーを用いて行った。読取りの方式は、SMAC 型強震計記録の場合⁶⁾と基本的に同じであり、記録をテーブル上にセットし、カーソルを記録波形に沿って手動操作によりスライドさせながら、オペレータが指示する任意の時間とそれに対応する変位を読取った。なお、読取りには原記録をマイクロフィルムにとり、これを原寸大にマイラー紙上に焼付けたものを用いた。

読取りの範囲は、記録立上りの直前の時間パルス信号を起点とし、終了は数値化可能な点までとした。このようにして読み取った波形は、マイラー紙に焼付けた実測記録と同一の縮尺でデジタルプロッターにより再生し、再生した波形と原波形とを重ね合わせる事により、目視で両者の一致度を検討した。もし、再生波形と原波形が継続時間内のどの 1 点においても一致しない場合には、もう一度最初から読み直しすることを原則とした。ただし、原記録に短周期成分が卓越し、正確に波形をトレースできない箇所があったため、このような箇所については、2 秒程度以上の周期成分に注目することとした。なお、時間パルス信号は、読取可能な範囲ですべて読み取り、この範囲内では紙送り速度が一定であるものと仮定して送り速度のむらの影響を補正した。

3.2 記録のメンディング

記録波形の中には、ある区間が途切れていたり、あるいは、明らかに正常な記録とは考えられない形状を示すものがあった（図 3.1 参照）。たとえば、波形が時間軸で逆転するような現象は、記録中に地震計に誤って手や体を触れた場合に生じる場合が多いとされている。このような箇所は、前後の波形の形状からできる限り適切に内挿し波形のメンディングを行った。

3.3 円弧補正

記録ペンのアーム長は 30 cm であり、一方、記録の最大片振幅は 3 cm であるから、記録には無視し得ない程度の円弧の影響が入ることになる。いま図 3.2 に示すように座標軸をとると、記録紙上の点 A は、円弧の影響がないとすれば本来 A' の位置になければならない。ペンの長さを l 、中心軸からペンの回転角を θ とすれば、点 A の直交座標 X 、 Y は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} X &= l - l \cos \theta \\ Y &= l \sin \theta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

一方、点 A' の直交座標 x 、 y は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} x &= 0 \\ y &= l \theta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

したがって、円弧の影響による補正量 Δx_1 、 Δy_1 （以後、円弧補正量と呼ぶ）は式(3.1) および (3.2)

より、次のように求められる。

$$\begin{aligned}\Delta x_1 &= X - x \\ &= l(1 - \cos\theta) \dots\dots\dots (3.3)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta y_1 &= Y - y \\ &= l(\sin\theta - \theta) \dots\dots\dots (3.4)\end{aligned}$$

ただし、ここで、 Δx_1 を時間単位に変換するためには、これを記録紙の送り速度 v で割らなければならない。よって、式(3.3) より、 Δt_1 は次のようになる。

$$\begin{aligned}\Delta t_1 &= \frac{\Delta x_1}{v} \\ &= \frac{l}{v}(1 - \cos\theta) \dots\dots\dots (3.5)\end{aligned}$$

3.4 波形のゆがみおよびその補正方法

波形としては連続しているが、プラスもしくはマイナスのいずれか一方に中心線が偏ったり、あるいは波形の勾配がある一定の方向に大きくなっている記録がある。このような現象が生じる原因としては以下の3者が考えられる。

- 1) 気象庁1倍強震計は固有周期が5~6秒と長いため、振子の復元力が小さく機構がフレキシブルである。したがって、いったん記録ペンが中心線からずれると、もとの復帰しない場合がある。この場合には記録ペンはある角度ふったままで記録を描くこととなり、中心線がずれるとともに、波形の勾配が一方にのみ大きくなることになる(図3.3(a)参照)。
- 2) 記録ペンが、衝撃等で曲がり、中心軸がある量だけドリフトした結果、もとの中心軸と平行な新しい中心軸ができ、このまわりに波形を描く場合。
- 3) 上記1)および2)が複合して生じる場合。

上記のうち、2)では、中心軸のドリフトは一瞬に生じる訳ではなく、ある有限の時間内(一般には主要動付近)で生じるが、この過程を追うことは非常に困難である。また、中心軸ドリフト後のドリフト量を記録波形から求めることさえも一般には非常に難しいことから、これに対する補正を加えることはできなかった。

これに対して、1)の場合には、単に記録ペンがピボットを中心に回転を起こしただけであるから、以下のように補正を行うことにした。すなわち、いま、図3.3(b)に示すように記録ペンが本来の中心線に対して θ_0 だけの回転を生じ、この位置を中心に地震動の変位に比例した回転 θ をしているとする。この場合には、記録紙上で点A(X, Y)にある点は本来は点A'(x, y)になければならない。図3.3(b)に示すように、点Aの座標(X, Y)は次のように与えられる。

$$\begin{aligned}X &= l - l\cos\theta \\ Y &= l\sin\theta \dots\dots\dots (3.6)\end{aligned}$$

また、点A'の座標(x, y)は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} x &= l - l \cos(\theta - \theta_0) \\ y &= l \sin(\theta - \theta_0) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

したがって、 θ_0 による補正量 Δx_2 , Δy_2 は次式となる。

$$\begin{aligned} \Delta x_2 &= X - x \\ &= l \{ \cos(\theta - \theta_0) - \cos \theta \} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\begin{aligned} \Delta y_2 &= Y - y \\ &= l \{ \sin \theta - \sin(\theta - \theta_0) \} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

ただし、式(3.5)と同様に、 Δx_2 を時間単位に変換するためには、これを記録紙の送り速度 v で割らなければならない。よって、式(3.8)より、 Δt_2 は次のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta t_2 &= \frac{\Delta x_2}{v} \\ &= \frac{l}{v} \{ \cos(\theta - \theta_0) - \cos \theta \} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

θ_0 補正は以上のとおりであるが、 θ_0 補正と円弧補正の両者による補正量は以下のようにになる。すなわち、 θ_0 補正と円弧補正は独立であるから、まず、 θ_0 補正を施し、その後に円弧補正を加えるものとする。この場合の円弧補正量は、式(3.3), (3.4) および (3.5) で θ を $\theta - \theta_0$ と置いて次のように与えられる。

$$\Delta x'_1 = l \{ 1 - \cos(\theta - \theta_0) \} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

$$\Delta y'_1 = l \{ \sin(\theta - \theta_0) - \theta + \theta_0 \} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

$$\Delta t'_1 = \frac{\Delta x'_1}{v} \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

これより、 θ_0 補正と円弧補正の両者による補正量の合計は、以下のようにになる。

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta x'_1 + \Delta x_2 \\ &= l \{ 1 - \cos(\theta - \theta_0) \} + l \{ \cos(\theta - \theta_0) - \cos \theta \} \\ &= l \{ 1 - \cos \theta \} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

$$\begin{aligned} \Delta y &= \Delta y'_1 + \Delta y_2 \\ &= l \{ \sin(\theta - \theta_0) - \theta + \theta_0 \} + l \{ \sin \theta - \sin(\theta - \theta_0) \} \\ &= l \{ \sin \theta - \theta + \theta_0 \} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v} \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

ここで、 Δy は以下のように解釈される。

$$\begin{aligned} \Delta y &= l \{ \sin \theta - \theta + \theta_0 \} \\ &= \underbrace{l \{ \sin \theta - \theta \}}_{\theta \text{ の場合の円弧補正}} + \underbrace{l \theta_0}_{\theta_0 \text{ によるドリフト分}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

次に、式(3.15) および (3.16) により θ_0 補正（円弧補正を含む）を施す場合には θ_0 自身をあらか

じめ正しく知っている必要がある。実際には、 θ_0 は未知であるから、トライアンドエラーにより θ_0 を求めなければならない。このための判定条件として、ここではSkokoら⁷⁾に従い、波形の長さが十分長い場合には、波形の勾配の総和は一般に0に近くなるとの仮定を導入し、以下のように θ_0 を定めることとした。すなわち、いま、任意時間間隔で数値化した記録の第*i*番目の点(x_i, y_i)と*i*+1番目の点(x_{i+1}, y_{i+1}) ($i=1, 2, \dots, N-1, N$:総データ数)の間の勾配を S_i とする。この時、次のような条件を満足するように θ_0 を定めようとするものである。

$$\sum_{i=1}^{N-1} S_i = 0 \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

ここで、 S_i は次式で与えられる。

$$S_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

ただし、 θ_0 をあらかじめ仮定しないと式(3.9)および(3.10)による補正ができないため、実際の計算では適当に θ_0 を仮定し、式(3.19)を求め、式(3.18)が満足されるよう数回のトライアンドエラーを繰り返す。

ただし、式(3.19)により勾配を求めると、ある瞬間には勾配が無限大に大きくなる(＋、－両側とも)箇所が現われ、このような値が式(3.18)で支配的となる場合がある。そこで、既往の検討結果^{8)~10)}を参考にして、 S_i の関数としては*i*点と*i*+1点間の線分の長さの重みを付けた勾配の逆正接をとる次式を用いた。

$$S_i = \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right) \right\} \frac{l_i}{l} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

ここで、

$$l_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

$$l = \sum_{i=1}^{N-1} l_i \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

記録の最大片振幅は3 cmであり、記録ペンのアーム長は30 cmであるから、 $|\theta_0| \leq 0.1$ である。したがって、 θ_0 を $-0.1 \sim 0.1$ の範囲で逐次変化させ、 $\sum_{i=1}^{N-1} S_i$ の値を求めた。図3.4は石巻のN-S方向の記録に対する θ_0 と $\sum_{i=1}^{N-1} S_i$ の関係を示したものである。ただし、この図では縦軸の値は $\sum_{i=1}^{N-1} |S_i|$ で正規化してある。このような計算から、 $\sum_{i=1}^{N-1} S_i = 0$ となる θ_0 を求めると、表3.1のようになる。表3.1の θ_0 に基づき式(3.15)および(3.16)による補正を加えた。

3.5 時間軸の戻りの補正

本解析で数値を行った1964年新潟地震による気象庁一倍強震計記録はス書き記録であり、必ずしも記録状態が良好でないために、波形の線幅が0.5~1 mm程度ある場合がある。このため、円弧および θ_0 補正を行ったデータの中には、波形の線幅の中で前後に逆転、もしくは、重複して読取られたデー

タがある。このようなデータを単純に棄却すると波形のピークが欠落する場合があるので、本解析では時間データに時間の戻り（記録紙上 0.3 mm 以下）、もしくは、重複がある場合には、それぞれ、図 3.5(a)および(b)に示すように処理を行った。なお、記録紙上において 0.3 mm 以上時間軸が戻っているデータは棄却するものとした。

3.6 計器補正および加速度、速度の計算法

計器補正および加速度、速度の計算は以下のように振動数領域で加えた^{11),12)}。いま、式(3.15)および(3.16)により θ_0 補正および円弧補正を加えた変位記録を $d_0(t)$ とすれば、そのフーリエ変換 $F_0(f)$ は、次のように求められる。

$$F_0(f) = \int_{-\infty}^{\infty} d_0(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

これに気象庁一倍強震計の特性によるフィルター $F_c(f)$ を見込み、補正した加速度 $a(t)$ 、速度 $v(t)$ 、変位 $d(t)$ を次式で求めた。

$$a(t) = \int_{-\infty}^{\infty} -4\pi^2 f^2 F(f) e^{i2\pi ft} df \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

$$v(t) = \int_{-\infty}^{\infty} i2\pi f F(f) e^{i2\pi ft} df \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

$$d(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{i2\pi ft} df \quad \dots\dots\dots (3.26)$$

ここで、

$$F(f) = F_0(f) \cdot F_c(f) \quad \dots\dots\dots (3.27)$$

また、補正フィルター $F_c(f)$ は次式とした。

$$F_c(f) = \frac{e^{i\phi(f)}}{R(f)} \cdot A(f) \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

ここで、

$$R(f) = \frac{1}{\sqrt{\left\{ \left(\frac{f_0}{f} \right)^2 - 1 \right\}^2 + 4h^2 \left(\frac{f_0}{f} \right)^2}} \quad \dots\dots\dots (3.29)$$

$$\phi(f) = \tan^{-1} \left[\frac{2h \left(\frac{f_0}{f} \right)}{\left(\frac{f_0}{f} \right)^2 - 1} \right] \quad \dots\dots\dots (3.30)$$

ここで、 f_0 および h は、それぞれ、振子の固有振動数および減衰定数であり、また、 $A(f)$ は振幅の傾向関数である。傾向関数 $A(T)$ (式の都合上、周期 T の関数として表す) は次式で与えられるバンド

パスフィルターとした¹³⁾。

$$A(T) = \begin{cases} 0 & \dots\dots\dots T < T_{LL} \\ \frac{1}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{T - T_{LL}}{T_{LU} - T_{LL}} \pi \right) \right] & \dots\dots T_{LL} \leq T \leq T_{LU} \\ 1 & \dots\dots\dots T_{LU} \leq T \leq T_{UL} \\ \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{T - T_{UL}}{T_{UU} - T_{UL}} \pi \right) \right] & \dots\dots T_{UL} \leq T \leq T_{UU} \\ 0 & \dots\dots\dots T_{UU} < T \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3.31)$$

ここで、 T_{LU} および T_{UL} は、それぞれ、短周期および長周期側の遮断周期であり、 T_{LL} および T_{UU} は、それぞれ、 T_{LU} および T_{UL} に対応する傾向関数が 0 となる周期である。

傾向関数の周期範囲は、計測器の特性および記録の数値化精度の両者から定めなければならない。加速度波形を式(3.24)により求めるためには当然周期の短い成分が大きく影響してくる。気象庁一倍強震計記録に対する数値化精度を検討した事例はないが、記録の形状が SMAC-B₂型強震計記録に比較的似ていることから、SMAC-B₂型強震計記録の数値化精度に対する検討結果を参考に数値化の精度が安定した周期範囲を検討してみることにした。すなわち、SMAC-B₂型強震計では紙送り速度は 1 cm/秒であるため、時間軸は 1 cm が 1 秒に相当する。このような条件で SMAC-B₂型強震計記録の短周期側の実用的な遮断周期は、1/12 秒程度とされている。これに対して、気象庁一倍強震計記録では、1 cm が 20 秒に相当する。ディジタイザーの分解能は同じであり、紙送り速度が短周期側の遮断周期に比例すると考えると、気象庁一倍強震計記録の短周期側の遮断周期は $1/12 \times 20 = 1.6$ 秒となる。したがって、このような結果を参考にし、 $T_{LU} = 2$ [秒]、 $T_{LL} = 1.3$ [秒] とすることにした。一方、長周期側についても、数値化精度に基づく SMAC-B₂型強震計記録の遮断周期 (3 秒程度) をもとに検討すると、 T_{UL} は $3 \times 20 = 60$ 秒程度までとれることになる。しかしながら、気象庁一倍強震計の固有周期は 5~6 秒であり、60 秒までの地震動を忠実に記録しているとは考えられない。したがって、式(3.29)の振幅特性を種々検討し、ここでは $T_{UL} = 20$ [秒]、 $T_{UU} = 30$ [秒] とすることとした。この場合の式(3.29)および(3.30)による振幅および位相の補正量を固有周期 6 秒 (水平式分) および 5 秒 (上下成分) の場合について示すと、図 3.6 のようになる。

3.7 各種補正を加えた地震動の変位、速度、加速度

以上のようにして図 3.7 のフローに従い、 θ_0 補正、円弧補正および計器補正を加えた変位、速度および加速度の波形を示すと、図 3.8~図 3.32 のようになる。各記録ごとに数値化データの最大値、データ個数および計器補正により得られた波形の最大値 (最大変位、最大速度、最大加速度) 等を表 3.2 に示す。なお、図 3.8~図 3.32 では同一観測地点ごとに N-S 成分、E-W 成分、U-D 成分の間の時間の同時性は確保されていない。これは、記録ペンの支持位置が 3 成分間で同じではなく、原記録に

においても時間の同時性がはっきりしないためである。

次に、固有周期 2 秒～20 秒の範囲で加速度応答スペクトルを求めると、図 3.33～図 3.57 のようになる。ここで、減衰定数 h は、0, 0.01, 0.02, 0.05 とした。

表 3.1 式(3.18) の $\sum_{i=1}^{N-1} S_i = 0$ となる θ_0 の値 (単位: rad)

No.	観測所名	成分	θ_0
1	石 巻	N-S E-W U-D	0.01106 0.00330 0.02083
2	青 森	N-S E-W U-D	-0.01164 0.01112 -0.00722
3	宮 古	N-S E-W U-D	0.03310 0.04707 0.00632
4	秋 田	N-S E-W U-D	0.00484 0.00480 0.03157
5	盛 岡	N-S E-W U-D	0.03661 0.01757 0.00397
6	仙 台	N-S E-W U-D	-0.00732 0.02244 -0.01213
7	白 河	N-S E-W U-D	0.03990 0.00610 -0.01848
8	熊 谷	N-S E-W U-D	0.02002 -0.00572 -0.04718
9	秩 父	N-S E-W U-D	0.01329 0.04030 0.04615
10	高 田	N-S E-W U-D	0.04215 -0.01160 -0.04583
11	甲 府	N-S E-W U-D	0.00787 0.00513 -0.02537
12	前 橋	N-S E-W U-D	0.01080 -0.00995 0.03483
13	軽井沢	N-S E-W U-D	0.02101 0.00978 -0.02465

No.	観測所名	成分	θ_0
14	網 代	N-S E-W U-D	0.03436 -0.00691 -0.01967
15	富 山	N-S E-W U-D	-0.00368 -0.00461 ——
16	御 前 崎	N-S E-W U-D	-0.00624 -0.01020 0.00002
17	津	N-S E-W U-D	0.02867 0.01094 ——
18	高 山	N-S E-W U-D	-0.03696 0.02525 -0.03280
19	名 古 屋	N-S E-W U-D	0.04210 0.00020 0.04023
20	浜 松	N-S E-W U-D	0.03896 0.00096 -0.02995
21	宇 都 宮	N-S E-W U-D	-0.01141 -0.02024 -0.00150
22	東 京	N-S E-W U-D	0.01430 -0.01104 ——
23	富 崎	N-S E-W U-D	-0.00319 0.00201 0.00734
24	横 浜	N-S E-W U-D	-0.01684 0.00160 -0.03905
25	大 島	N-S E-W U-D	0.02163 0.00711 -0.00179

表 3.2 (1) 解析対象記録の一覧

No.	観 測 所 名	成分名	計器補正 (不等) 前データ (間隔)		計 器 補 正 後 デ ー タ (等間隔データ)								震央距離 Δ [km]
			最大変位 [cm]	データ個数	最大変位 d_{max}		最大速度 v_{max}		最大加速度 a_{max}		継続時間 [sec]	データ個数	
					[cm]	[sec]	[cm/sec]	[sec]	[gal]	[sec]			
1	ISHINOMAKI	N-S	-1.612	653	3.946	57.5	-3.937	54.8	6.706	54.2	469.1	4691	182.9
2	ISHINOMAKI	W-E	-1.069	653	2.242	71.6	-1.910	69.3	-3.878	64.0	470.2	4702	182.9
3	ISHINOMAKI	D-U	-1.076	668	-1.820	57.3	-2.044	59.6	-4.314	54.0	471.8	4718	182.9
4	AOMORI	S-N	1.931	938	4.646	76.4	2.891	79.1	-3.832	76.4	630.4	6304	300.9
5	AOMORI	E-W	0.906	1046	1.726	86.6	1.716	87.4	-2.978	86.7	631.1	6311	300.9
6	AOMORI	D-U	-0.397	704	-1.612	76.1	0.976	73.4	-0.816	81.4	630.4	6304	300.9
7	MIYAKO	S-N	-0.844	604	-2.575	48.3	-1.314	49.6	1.473	48.5	483.4	4834	276.4
8	MIYAKO	W-E	0.603	581	1.931	63.8	-1.212	61.6	1.225	60.9	483.6	4836	276.4
9	MIYAKO	D-U	0.512	587	-2.138	89.9	-1.157	92.5	-1.131	95.4	483.0	4830	276.4
10	AKITA	N-S	-2.349	1461	-5.126	56.0	-4.201	129.6	9.620	56.0	753.8	7538	165.7
11	AKITA	W-E	2.755	1374	-4.855	63.7	4.287	38.2	-9.229	28.4	754.1	7541	165.7
12	AKITA	D-U	-1.254	1269	-3.087	60.8	2.596	58.6	3.423	44.4	754.1	7541	165.7
13	MORIOKA	N-S	-0.729	605	-2.501	63.3	1.375	43.3	1.811	43.8	451.3	4513	222.9
14	MORIOKA	W-E	-0.918	655	-2.249	58.2	-1.323	48.6	2.204	48.0	450.8	4508	222.9
15	MORIOKA	D-U	-0.942	648	-3.213	60.5	1.615	58.0	1.265	48.8	451.2	4512	222.9
16	SENDAI	S-N	-1.858	1035	-3.545	52.5	3.677	51.2	-6.429	83.9	652.7	6527	148.9
17	SENDAI	W-E	-2.333	1059	-4.727	35.6	3.262	35.0	8.139	35.6	652.3	6523	148.9
18	SENDAI	D-U	0.857	905	-2.452	40.3	-2.159	44.0	-3.496	44.5	652.3	6523	148.9
19	SHIRAKAWA	N-S	-3.441	815	-3.700	48.1	5.438	45.6	-11.462	45.1	566.5	5665	168.3
20	SHIRAKAWA	W-E	-2.726	808	-5.576	38.4	-6.194	41.1	-10.859	41.7	565.7	5657	168.3
21	SHIRAKAWA	D-U	1.063	760	-1.640	51.2	1.955	47.0	4.532	47.5	566.2	5662	168.3
22	KUMAGAYA	S-N	2.635	1092	3.411	59.0	3.542	60.5	4.202	61.2	667.3	6673	250.6
23	KUMAGAYA	E-W	3.962	1102	6.607	63.2	-4.858	61.5	-7.307	53.5	666.0	6660	250.6
24	KUMAGAYA	D-U	-2.306	1097	-4.363	71.7	4.079	69.4	-3.824	57.5	665.4	6654	250.6
25	CHICHIBU	N-S	-0.613	725	-0.946	58.3	0.947	56.6	1.475	58.2	411.1	4111	268.8
26	CHICHIBU	W-E	-1.154	693	-1.589	93.6	-1.549	95.1	-2.181	84.2	410.6	4106	268.8
27	CHICHIBU	D-U	-0.633	632	1.292	95.8	1.015	97.3	1.457	98.4	410.5	4105	268.8
28	TAKADA	S-N	-3.846	933	-6.638	30.5	-8.653	32.8	16.989	32.3	481.3	4813	166.9
29	TAKADA	E-W	3.063	979	4.476	50.7	6.137	51.4	-13.761	50.8	482.1	4821	166.9
30	TAKADA	D-U	-0.803	901	-2.626	35.1	1.937	92.4	-3.348	73.2	483.2	4832	166.9
31	KOFU	N-S	0.559	773	0.981	102.6	0.784	69.8	1.276	73.9	453.5	4535	309.3
32	KOFU	W-E	1.013	849	1.257	77.2	-1.296	76.3	-2.539	77.1	453.7	4537	309.3
33	KOFU	D-U	0.213	568	0.740	102.4	-0.479	100.2	-0.542	68.2	453.9	4539	309.3
34	MAEBASHI	N-S	1.747	1046	2.329	48.8	-2.919	47.9	5.251	40.1	529.6	5296	222.6
35	MAEBASHI	W-E	2.555	969	3.478	44.8	3.273	56.1	-6.247	55.4	528.4	5284	222.6
36	MAEBASHI	D-U	-1.165	1081	3.083	47.6	2.312	57.3	-4.289	56.6	530.2	5302	222.6
37	KARUIZAWA	S-N	2.274	879	2.035	66.5	3.209	67.3	-7.263	53.4	506.5	5065	236.8
38	KARUIZAWA	E-W	-2.003	927	2.247	69.3	-3.248	50.8	8.281	50.2	508.3	5083	236.8
39	KARUIZAWA	D-U	-0.800	845	-1.837	77.1	-1.359	78.6	1.936	65.1	507.7	5077	236.8
40	AJIRO	N-S	0.388	702	0.932	83.9	0.549	85.2	0.740	59.6	472.0	4720	372.5
41	AJIRO	W-E	1.068	741	-1.399	72.9	-1.228	74.7	-1.540	76.4	473.0	4730	372.5
42	AJIRO	D-U	-0.201	544	0.304	67.2	-0.302	60.5	0.525	59.7	473.3	4733	372.5
43	TOYAMA	S-N	-1.697	759	2.766	165.0	2.667	74.2	-5.796	73.6	431.2	4312	258.4
44	TOYAMA	E-W	-1.733	793	2.949	89.8	-2.329	87.4	4.450	86.6	434.1	4341	258.4
45	TOYAMA	***											258.4

表 3.2 (2) 解析対象記録の一覧

No.	観測所名	成分名	計器補正 (不等) 前データ (間隔)		計 器 補 正 後 デ ー タ (等間隔データ)								震央距離 Δ [km]
			最大変位 [cm]	データ個数	最大変位 d_{max}		最大速度 v_{max}		最大加速度 a_{max}		継続時間 [sec]	データ個数	
					[cm]	[sec]	[cm/sec]	[sec]	[gal]	[sec]			
46	OMAEZAKI	S-N	1.033	941	-1.639	147.0	-1.497	89.3	-2.191	155.0	696.7	6967	431.5
47	OMAEZAKI	E-W	-1.438	926	-2.073	121.1	-2.131	122.3	-3.605	101.7	698.0	6980	431.5
48	OMAEZAKI	D-U	0.728	885	1.854	104.4	1.193	90.4	-1.881	104.5	698.0	6980	431.5
49	TSU	N-S	0.636	672	1.200	52.5	0.893	76.5	-1.531	75.7	396.2	3962	476.0
50	TSU	W-E	0.653	709	1.210	104.0	-0.895	122.9	-1.526	55.7	395.7	3957	476.0
51	TSU	***											476.0
52	TAKAYAMA	N-S	-0.602	607	-1.124	115.5	0.857	70.5	1.502	71.3	511.4	5114	303.8
53	TAKAYAMA	W-E	-0.500	637	-1.379	69.4	-1.023	75.1	-1.836	66.8	513.1	5131	303.8
54	TAKAYAMA	D-U	-0.454	595	-0.988	108.7	-0.607	85.8	1.094	76.5	513.5	5135	303.8
55	NAGOYA	S-N	0.572	924	-1.189	107.0	1.035	104.1	1.928	104.6	538.4	5384	410.7
56	NAGOYA	W-E	-0.786	849	-2.630	99.6	1.535	112.7	2.130	113.4	538.3	5383	410.7
57	NAGOYA	D-U	-0.188	569	-0.680	101.1	0.325	98.2	0.589	87.5	539.0	5390	410.7
58	HAMAMATSU	N-S	-0.714	902	0.928	127.4	-1.144	70.0	-1.935	74.2	629.1	6291	432.1
59	HAMAMATSU	W-E	-0.969	970	-1.143	70.8	1.223	69.7	-2.105	113.5	628.8	6288	432.1
60	HAMAMATSU	D-U	-0.261	796	-1.009	96.9	-0.568	84.7	0.524	84.0	628.3	6283	432.1
61	UTSUNOMIYA	N-S	-1.846	922	2.420	75.3	-2.487	73.5	-3.537	64.4	528.7	5287	213.9
62	UTSUNOMIYA	W-E	2.217	928	6.143	61.7	-4.657	58.8	-8.839	66.6	530.1	5301	213.9
63	UTSUNOMIYA	D-U	0.796	827	-2.309	51.3	1.374	78.8	-2.414	47.8	529.9	5299	213.9
64	TOKYO	N-S	-3.413	1662	-3.502	133.3	-4.755	129.0	8.315	128.3	907.7	9077	309.3
65	TOKYO	W-E	3.822	1702	5.916	232.0	4.916	205.4	6.869	132.0	908.7	9087	309.3
66	TOKYO	***											309.3
67	TOMISAKI	N-S	-2.719	1248	-2.614	128.0	-4.315	128.8	6.906	128.3	698.6	6986	385.0
68	TOMISAKI	W-E	1.511	1306	3.811	95.5	1.914	96.7	3.073	113.7	698.8	6988	385.0
69	TOMISAKI	D-U	-0.556	1100	-1.150	113.1	-1.210	128.3	1.515	112.9	698.7	6987	385.0
70	YOKOHAMA	N-S	-2.186	1366	-3.493	114.5	2.378	112.6	4.248	66.1	743.5	7435	332.2
71	YOKOHAMA	W-E	-2.457	1287	-3.622	98.2	3.907	75.4	-6.544	78.8	744.1	7441	332.2
72	YOKOHAMA	D-U	0.882	1145	-2.158	78.9	-1.784	84.0	1.907	83.0	744.1	7441	332.2
73	OSHIMA	N-S	1.183	881	1.941	116.5	-1.275	96.8	1.697	89.7	630.8	6308	404.2
74	OSHIMA	W-E	0.589	911	0.970	103.4	0.706	129.9	-0.977	97.2	631.6	6316	404.2
75	OSHIMA	D-U	0.409	649	0.638	109.6	-0.418	88.3	0.684	93.1	631.4	6314	404.2

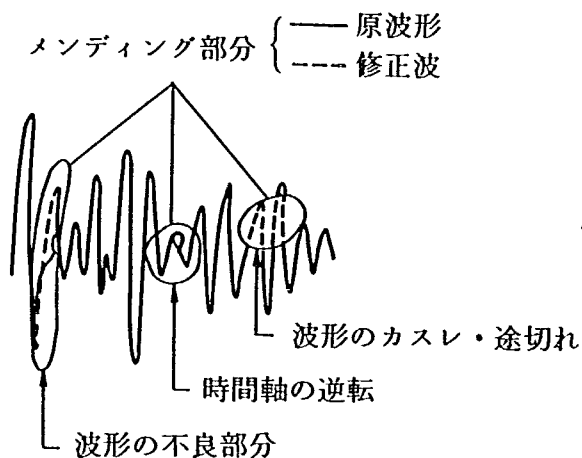


図 3.1 記録のメンディング例

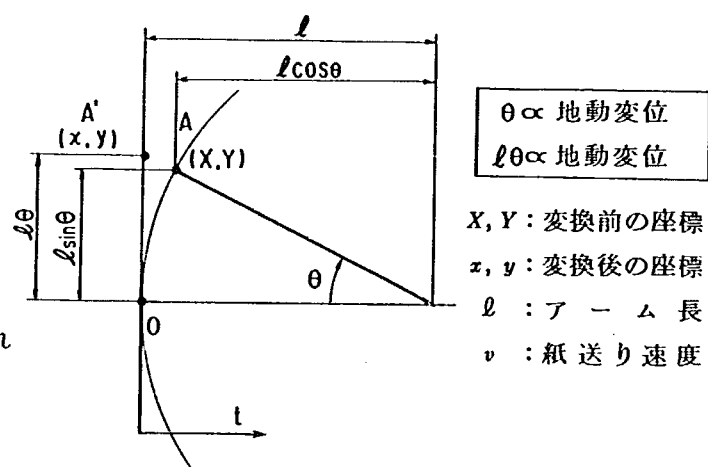
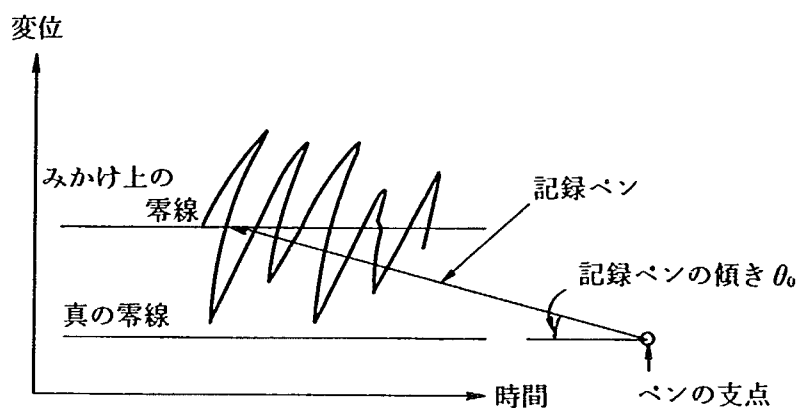
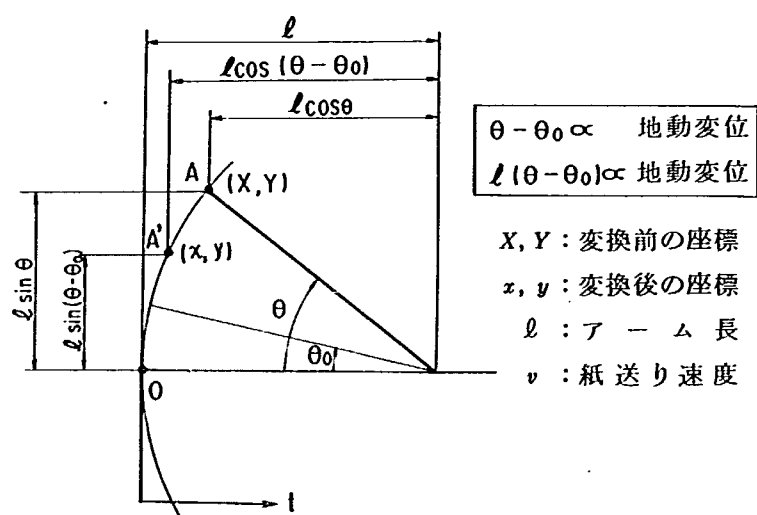


図 3.2 円弧補正



(a) 記録ペンがある角度 (θ_0) ふれたまま記録された場合の波形例



(b) θ_0 補正

図 3.3 記録ペンの傾きおよび θ_0 補正

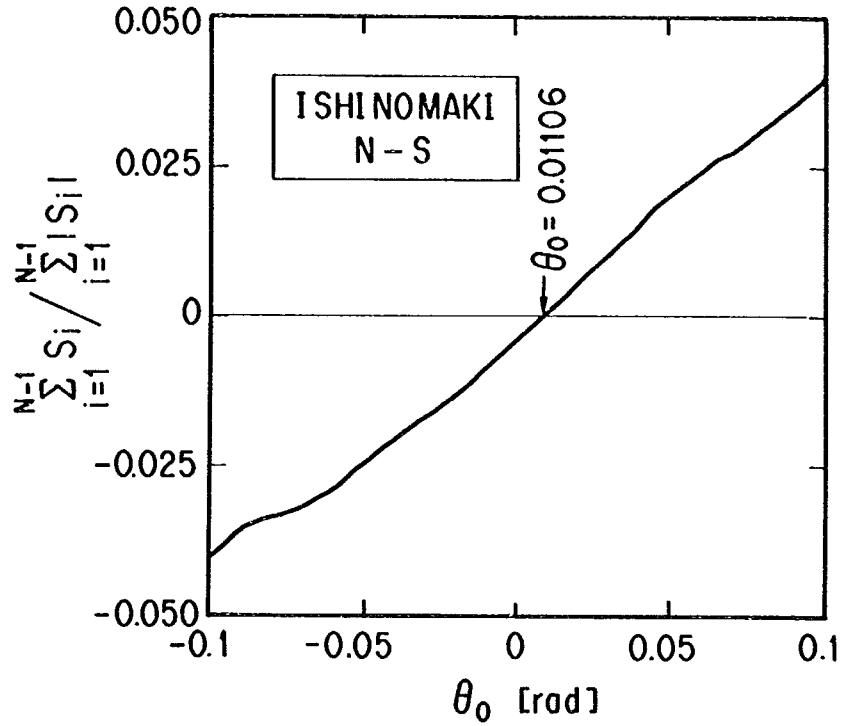
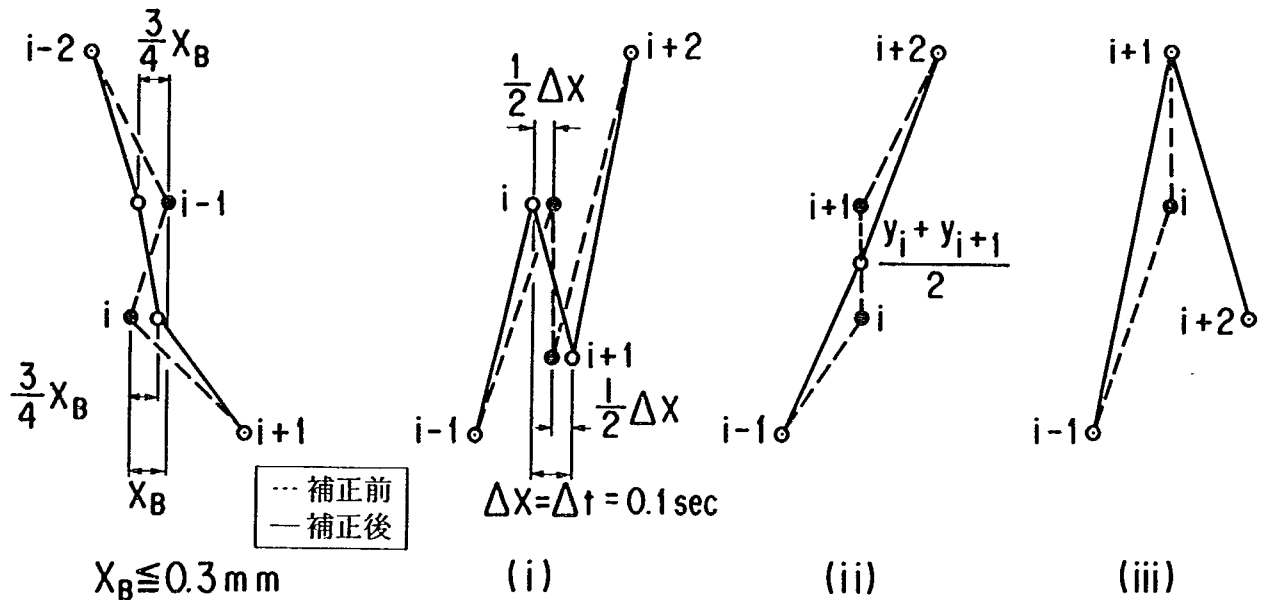


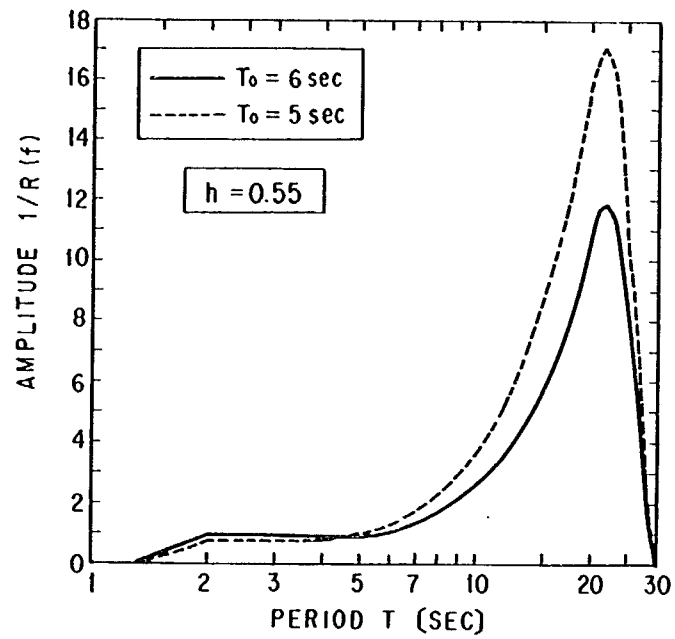
図 3.4 θ_0 と $\sum_{i=1}^{N-1} S_i$ の関係の列 (石巻の N-S 成分)



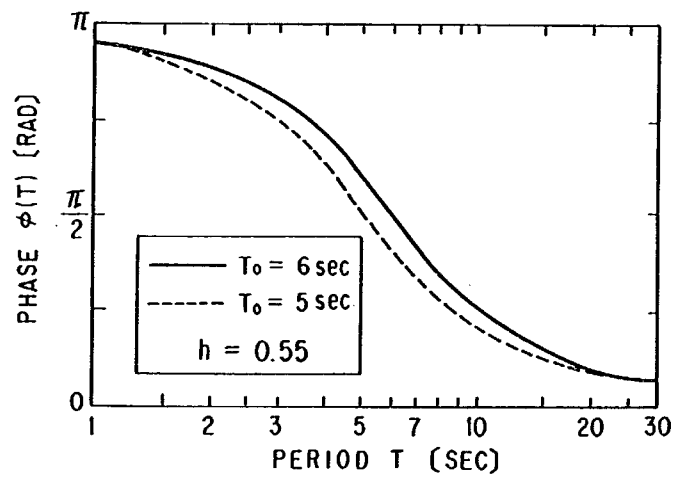
(a) 時間データが戻る場合の処理

(b) 時間データが重複する場合の処理

図 3.5 時間軸の戻りの補正



(a) 振 幅 特 性



(b) 位 相 特 性

図 3.6 気象庁一倍強震計記録の計器補正関数

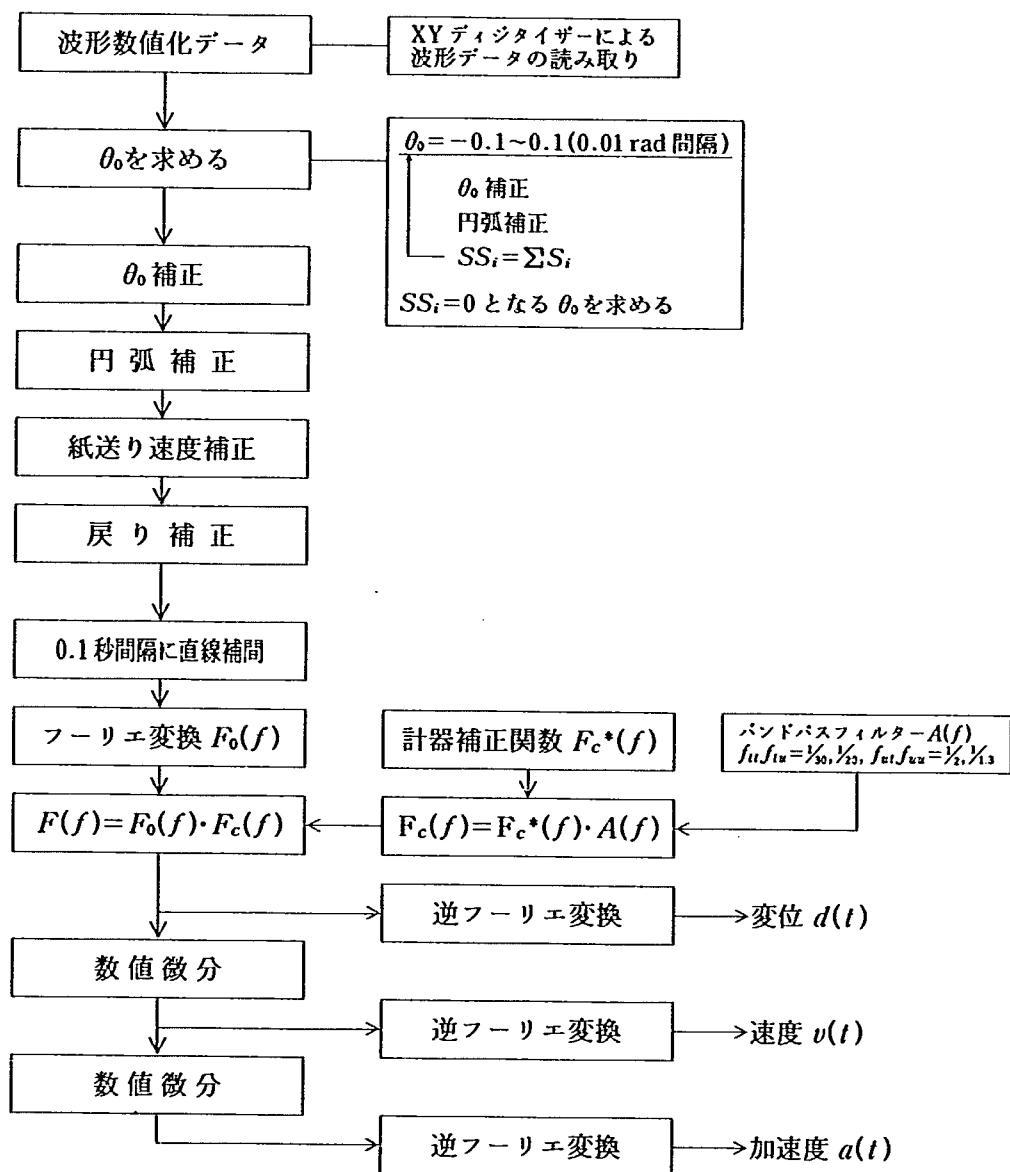
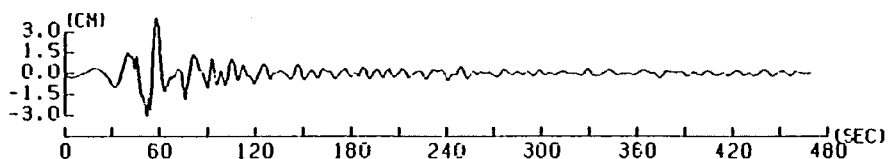
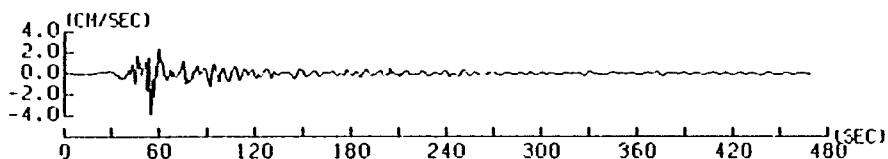


図 3.7 気象庁一倍強震計記録の処理フロー

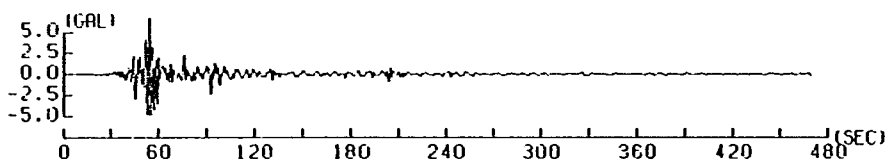
INDEX NO. 1
ISHIYAKI N-S
JMA, NIIGATA DISP
MAX.=3.946(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 2
ISHIYAKI N-S
JMA, NIIGATA VEL.
MAX.=3.937(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

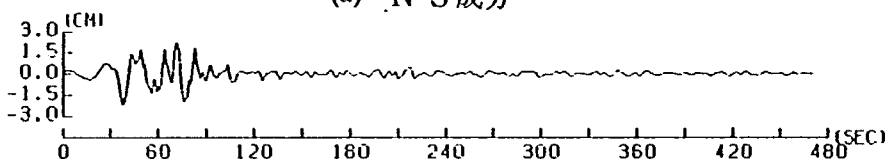


INDEX NO. 3
ISHIYAKI N-S
JMA, NIIGATA ACC.
MAX.=6.706(CAL)
E.O. NO. 640616

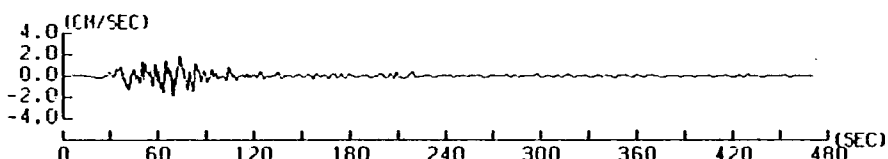


(a) N-S 成分

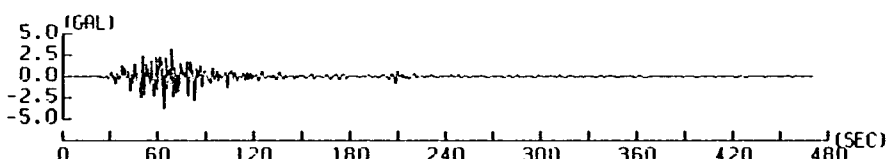
INDEX NO. 4
ISHIYAKI N-E
JMA, NIIGATA DISP
MAX.=2.242(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 5
ISHIYAKI N-E
JMA, NIIGATA VEL.
MAX.=1.910(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

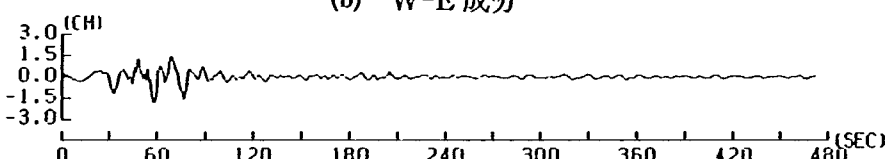


INDEX NO. 6
ISHIYAKI N-E
JMA, NIIGATA ACC.
MAX.=3.678(CAL)
E.O. NO. 640616

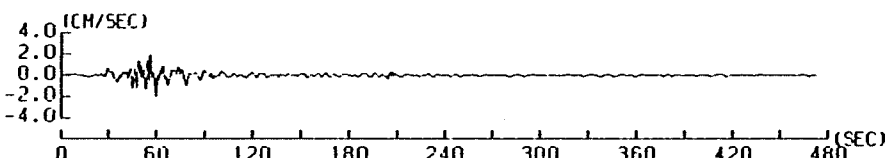


(b) W-E 成分

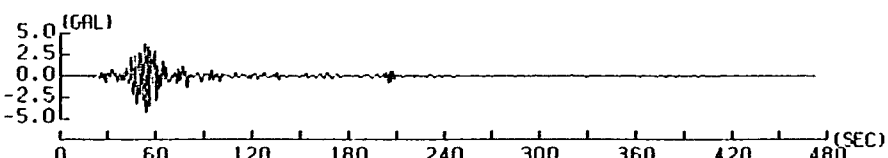
INDEX NO. 7
ISHIYAKI D-U
JMA, NIIGATA DISP
MAX.=1.820(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 8
ISHIYAKI D-U
JMA, NIIGATA VEL.
MAX.=2.044(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



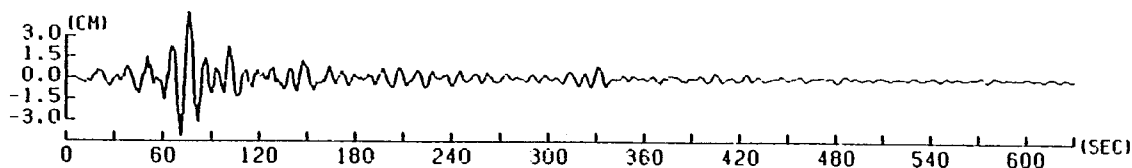
INDEX NO. 9
ISHIYAKI D-U
JMA, NIIGATA ACC.
MAX.=4.314(CAL)
E.O. NO. 640616



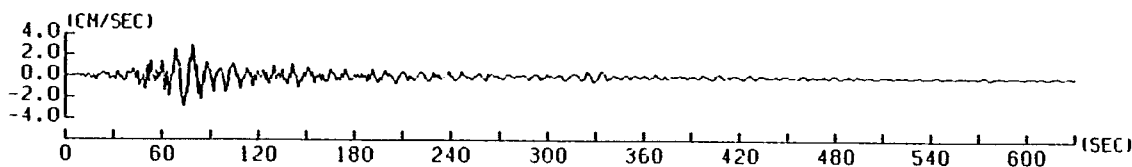
(c) D-U 成分

図 3.8 石巻記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.1)

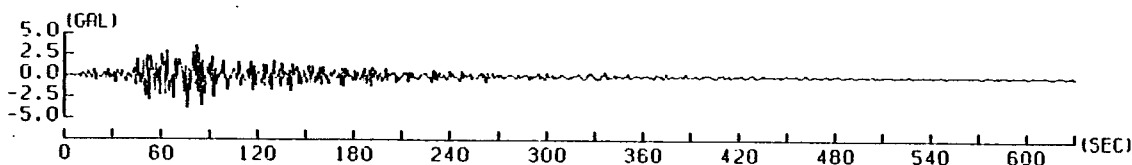
INDEX NO. 10
 AQH001 S-N
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=4.646(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 11
 AQH001 S-N
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=2.891(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

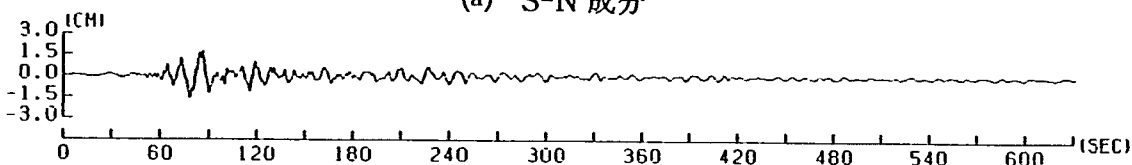


INDEX NO. 12
 AQH001 S-N
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=3.832(GAL)
 E.O. NO. 640616

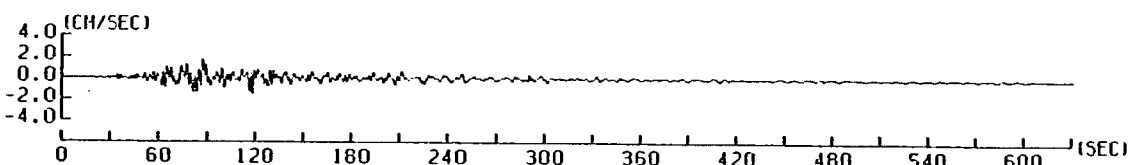


(a) S-N 成分

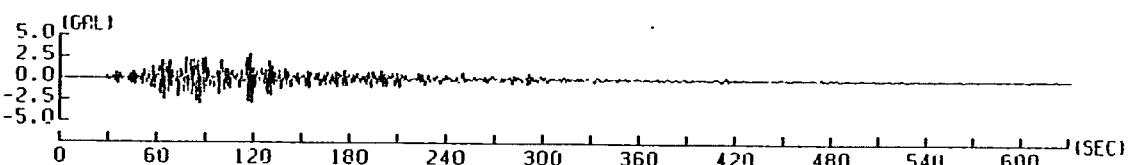
INDEX NO. 13
 AQH001 E-W
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=1.725(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 14
 AQH001 E-W
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=1.716(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

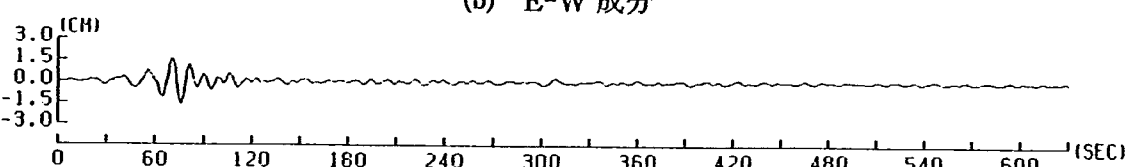


INDEX NO. 15
 AQH001 E-W
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=2.978(GAL)
 E.O. NO. 640616

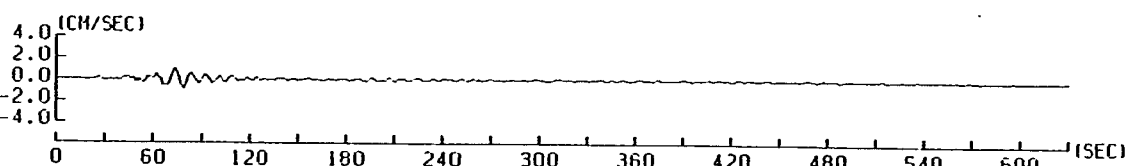


(b) E-W 成分

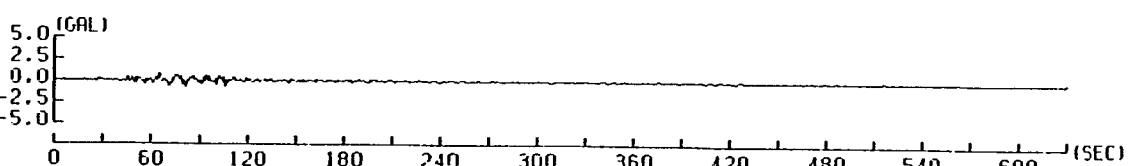
INDEX NO. 16
 AQH001 D-U
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=1.612(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 17
 AQH001 D-U
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=0.976(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616



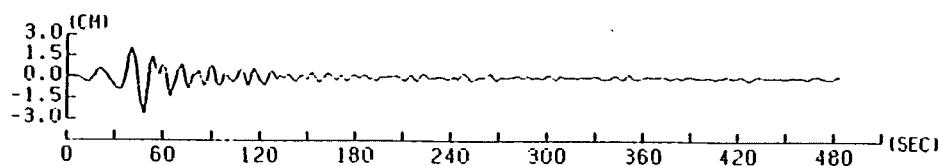
INDEX NO. 18
 AQH001 D-U
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=0.816(GAL)
 E.O. NO. 640616



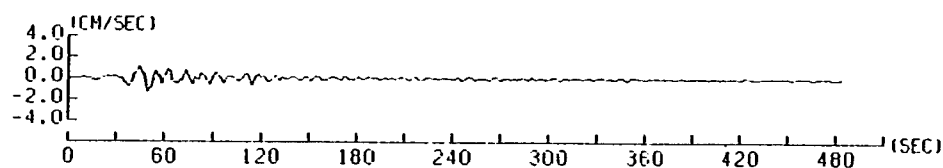
(c) D-U 成分

図 3.9 青森記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.2)

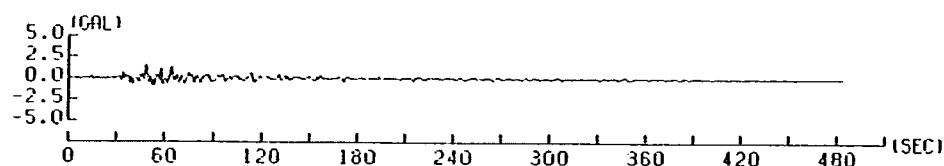
INDEX NO. 19
 MIYAKO S-N
 JMA, NIIGATA DISP
 MAX. = -2.575 (CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 20
 MIYAKO S-N
 JMA, NIIGATA VEL.
 MAX. = -1.314 (CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

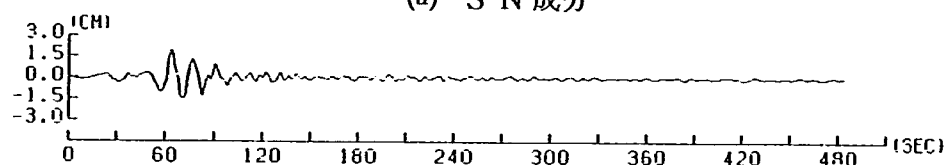


INDEX NO. 21
 MIYAKO S-N
 JMA, NIIGATA ACC.
 MAX. = 1.473 (GAL)
 E.O. NO. 640616

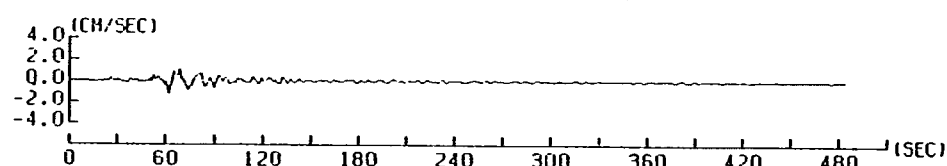


(a) S-N 成分

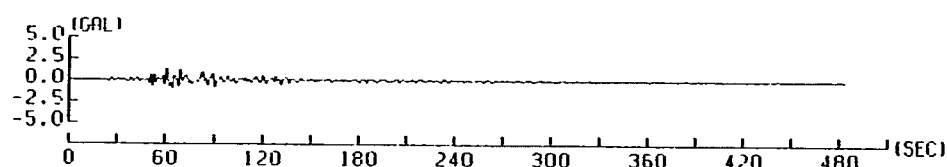
INDEX NO. 22
 MIYAKO H-E
 JMA, NIIGATA DISP
 MAX. = 1.931 (CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 23
 MIYAKO H-E
 JMA, NIIGATA VEL.
 MAX. = -1.212 (CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

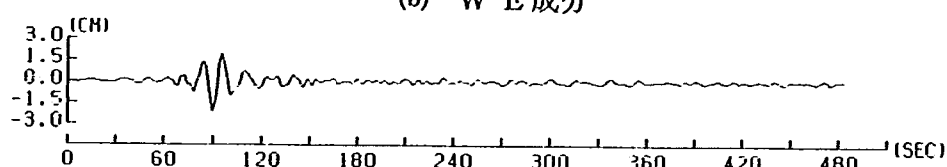


INDEX NO. 24
 MIYAKO H-E
 JMA, NIIGATA ACC.
 MAX. = 1.225 (GAL)
 E.O. NO. 640616

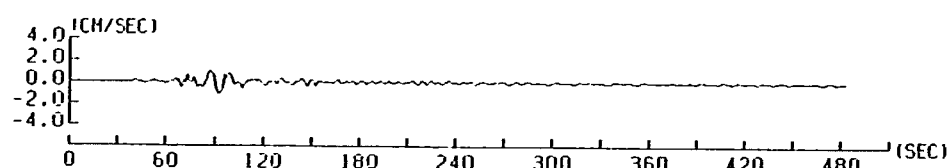


(b) W-E 成分

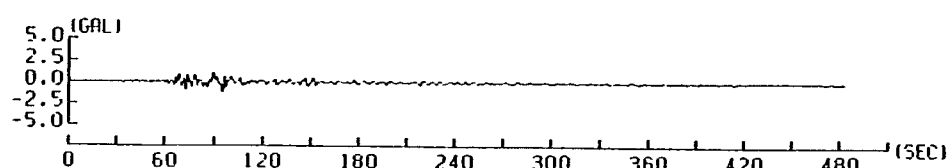
INDEX NO. 25
 MIYAKO D-U
 JMA, NIIGATA DISP
 MAX. = -2.138 (CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 26
 MIYAKO D-U
 JMA, NIIGATA VEL.
 MAX. = -1.157 (CM/SEC)
 E.O. NO. 640616



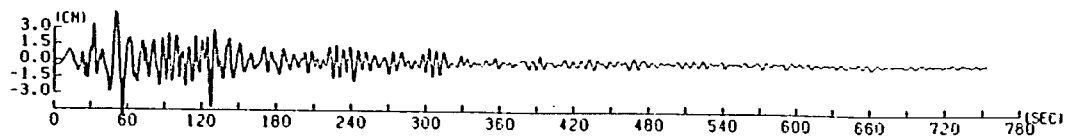
INDEX NO. 27
 MIYAKO D-U
 JMA, NIIGATA ACC.
 MAX. = -1.131 (GAL)
 E.O. NO. 640616



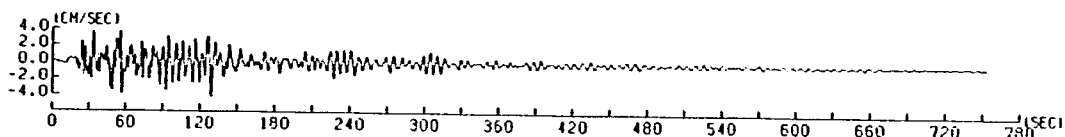
(c) D-U 成分

図 3.10 宮古記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.3)

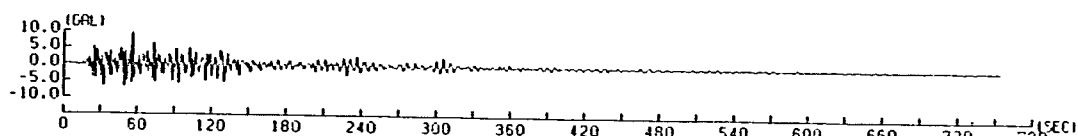
INDEX NO. 28
AKITA N-S
JMA, NIIGATA DISP.
MAX. = -5.126 (CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 29
AKITA N-S
JMA, NIIGATA VEL.
MAX. = -4.201 (CM/SEC)
E.O. NO. 640616

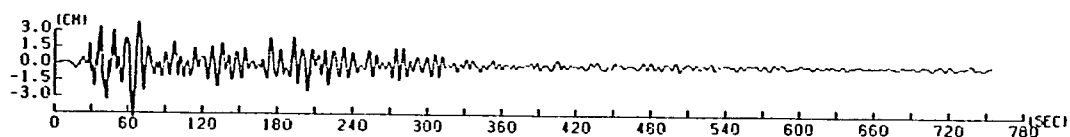


INDEX NO. 30
AKITA N-S
JMA, NIIGATA ACC.
MAX. = 9.620 (GAL)
E.O. NO. 640616

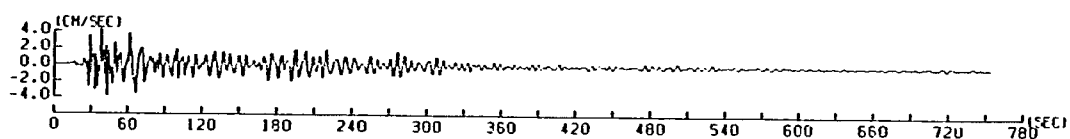


(a) N-S 成分

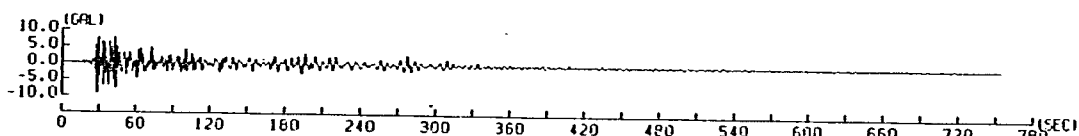
INDEX NO. 31
AKITA W-E
JMA, NIIGATA DISP.
MAX. = -4.855 (CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 32
AKITA W-E
JMA, NIIGATA VEL.
MAX. = 4.267 (CM/SEC)
E.O. NO. 640616

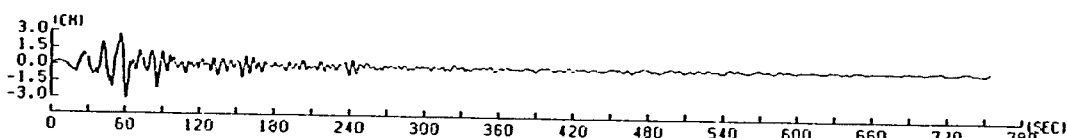


INDEX NO. 33
AKITA W-E
JMA, NIIGATA ACC.
MAX. = -9.229 (GAL)
E.O. NO. 640616

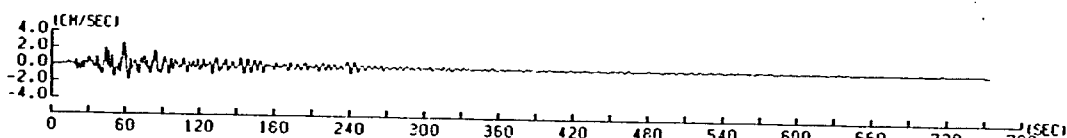


(b) W-E 成分

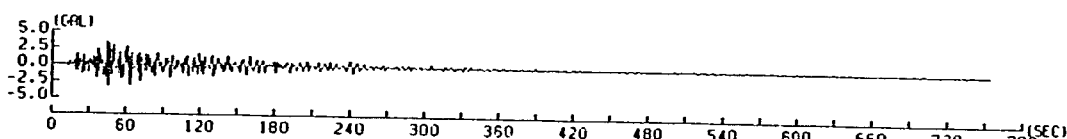
INDEX NO. 34
AKITA D-U
JMA, NIIGATA DISP.
MAX. = -3.067 (CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 35
AKITA D-U
JMA, NIIGATA VEL.
MAX. = 2.536 (CM/SEC)
E.O. NO. 640616



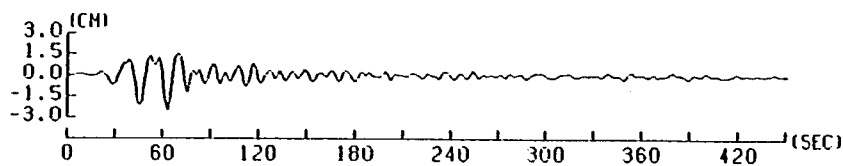
INDEX NO. 36
AKITA D-U
JMA, NIIGATA ACC.
MAX. = 3.423 (GAL)
E.O. NO. 640616



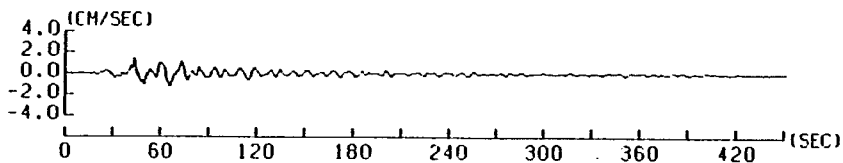
(c) D-U 成分

図 3.11 秋田記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.4)

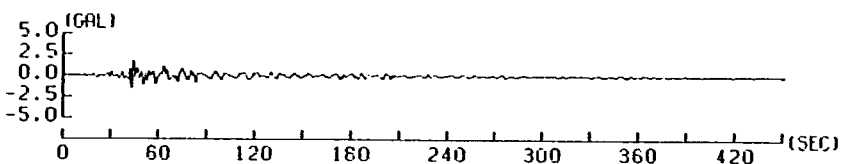
INDEX NO. 37
MORIOKA N-S
JMA.NIICATA DISP
MAX.=-2.501(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 38
MORIOKA N-S
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=1.375(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

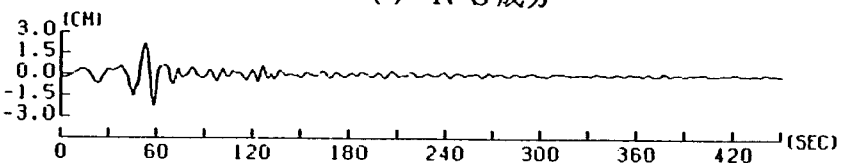


INDEX NO. 39
MORIOKA N-S
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=1.811(GAL)
E.O. NO. 640616

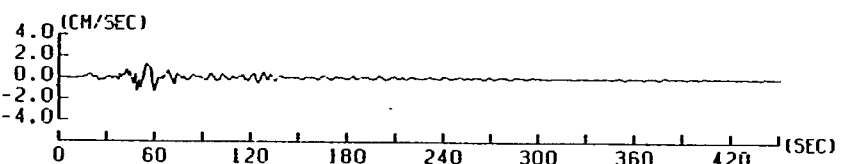


(a) N-S 成分

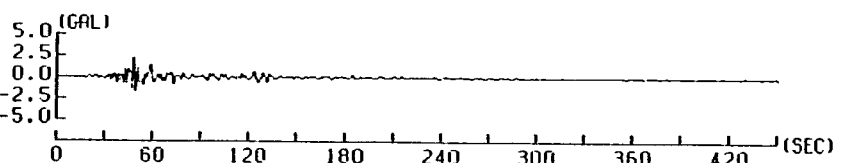
INDEX NO. 40
MORIOKA W-E
JMA.NIICATA DISP
MAX.=-2.249(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 41
MORIOKA W-E
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=-1.323(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

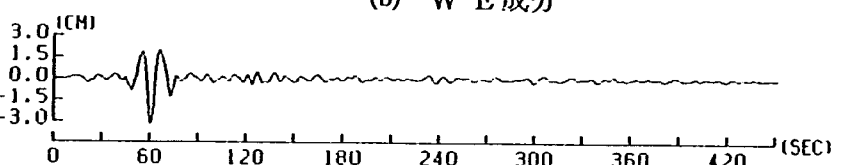


INDEX NO. 42
MORIOKA W-E
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=-2.204(GAL)
E.O. NO. 640616

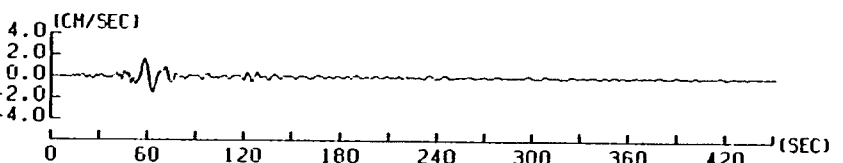


(b) W-E 成分

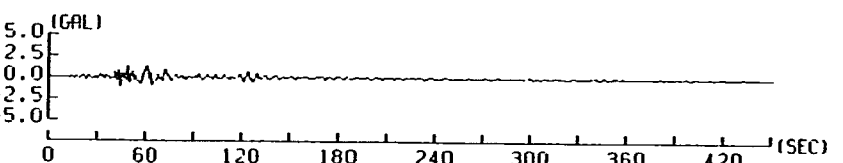
INDEX NO. 43
MORIOKA D-U
JMA.NIICATA DISP
MAX.=-3.213(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 44
MORIOKA D-U
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=1.615(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 45
MORIOKA D-U
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=1.265(GAL)
E.O. NO. 640616

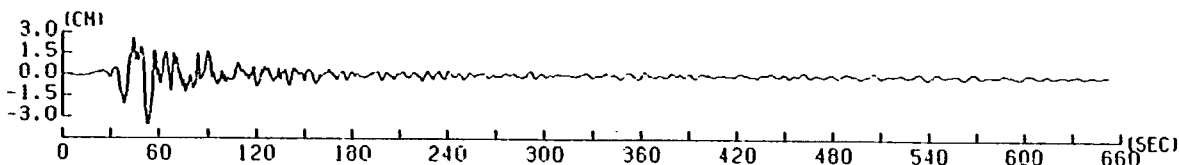


(c) D-U 成分

図 3.12 盛岡記録の変位，速度および加速度波形（記録 No.5）

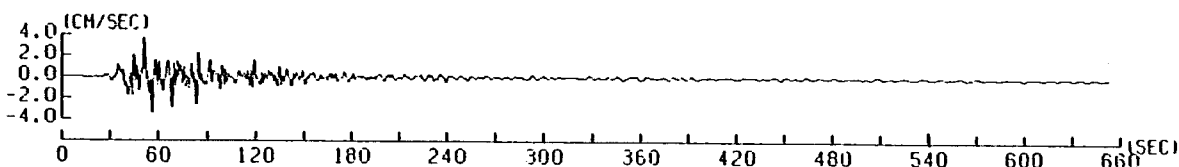
INDEX NO. 46
SENDAI S-N
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-3.545(CM)

E.O. NO. 640616



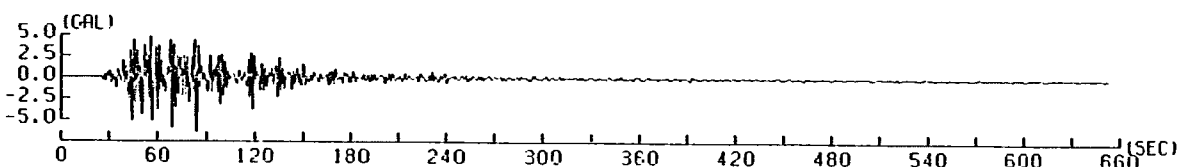
INDEX NO. 47
SENDAI S-N
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=3.677(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 48
SENDAI S-N
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-6.429(CAL)

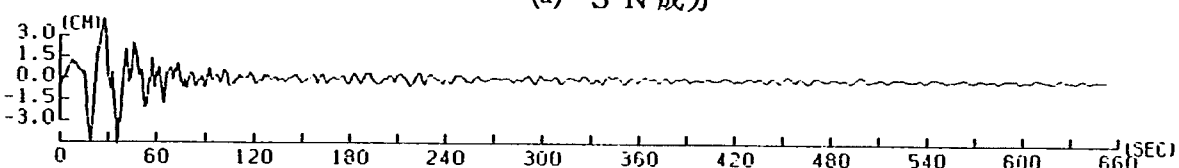
E.O. NO. 640616



(a) S-N 成分

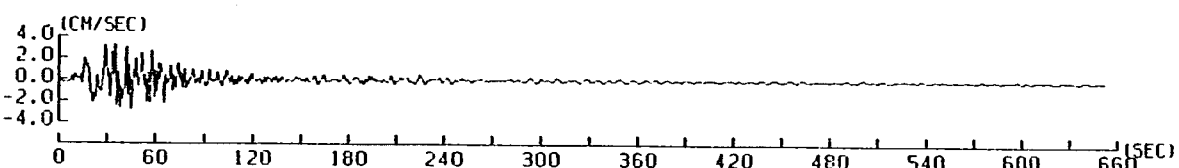
INDEX NO. 49
SENDAI H-E
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-4.727(CM)

E.O. NO. 640616



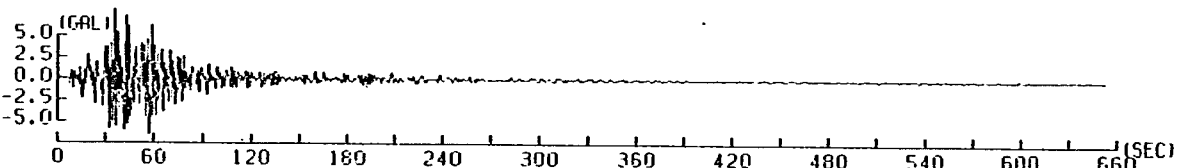
INDEX NO. 50
SENDAI H-E
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=3.262(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 51
SENDAI H-E
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=8.139(CAL)

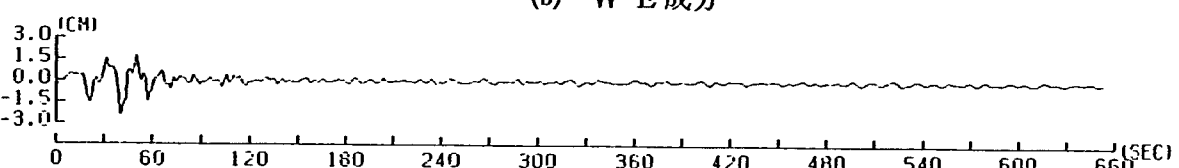
E.O. NO. 640616



(b) W-E 成分

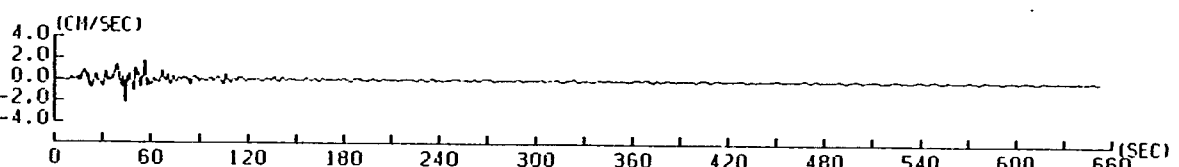
INDEX NO. 52
SENDAI D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-2.452(CM)

E.O. NO. 640616



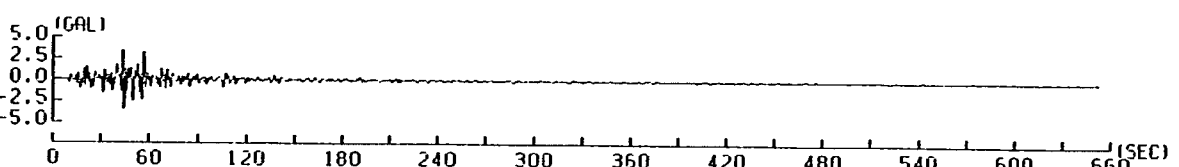
INDEX NO. 53
SENDAI D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-2.159(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 54
SENDAI D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-3.496(CAL)

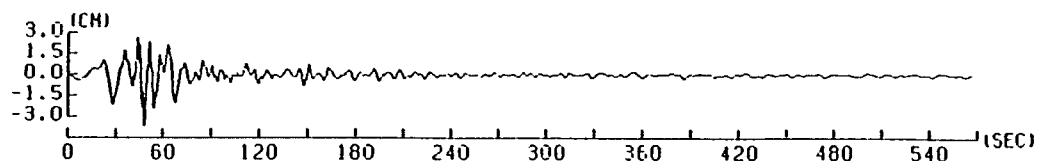
E.O. NO. 640616



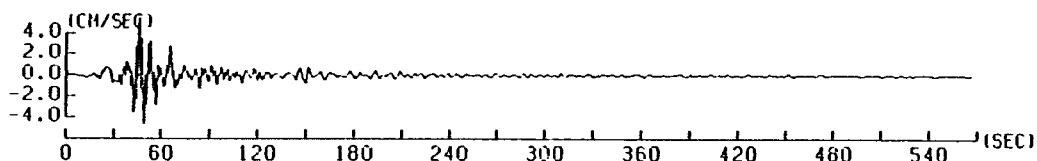
(c) D-U 成分

図 3.13 仙台記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.6)

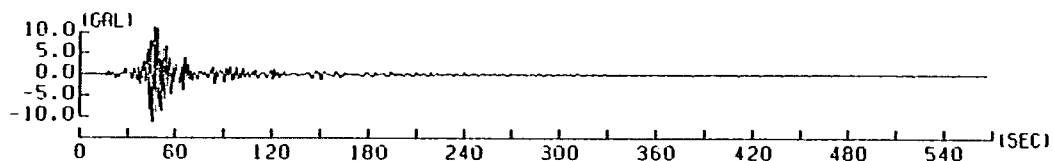
INDEX NO. 55
SHIRAKAWA N-S
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-3.7001(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 56
SHIRAKAWA N-S
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=5.4381(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

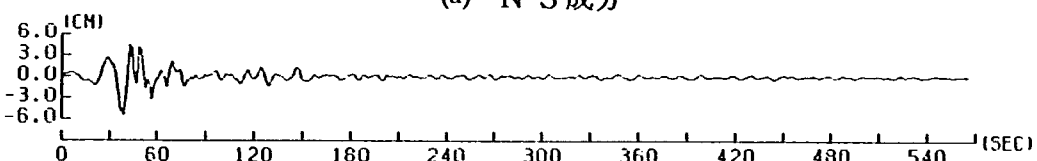


INDEX NO. 57
SHIRAKAWA N-S
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=11.4621(GAL)
E.O. NO. 640616

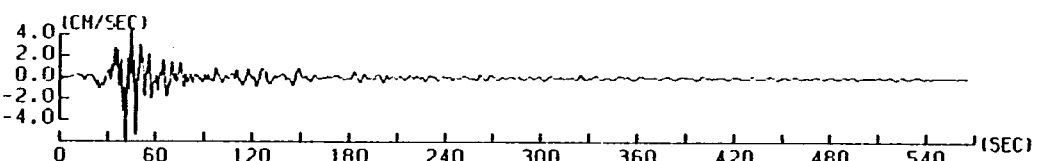


(a) N-S 成分

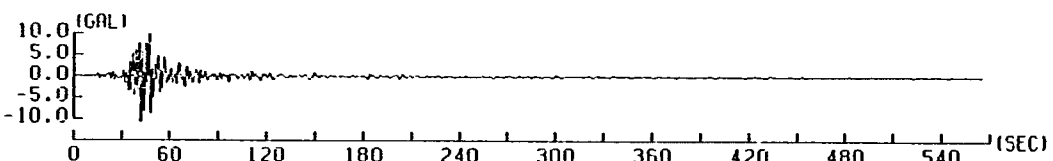
INDEX NO. 58
SHIRAKAWA W-E
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-5.5761(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 59
SHIRAKAWA W-E
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-6.1941(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

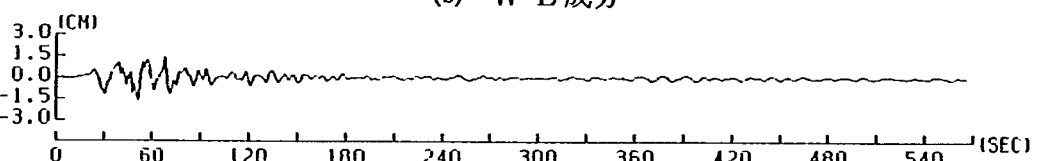


INDEX NO. 60
SHIRAKAWA W-E
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-10.8591(GAL)
E.O. NO. 640616

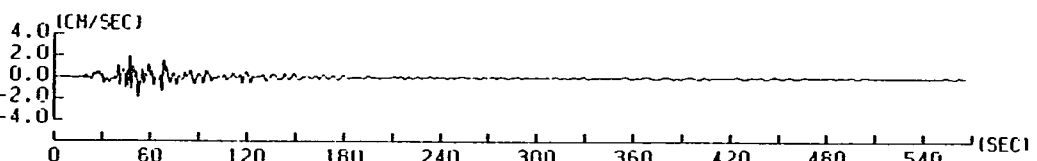


(b) W-E 成分

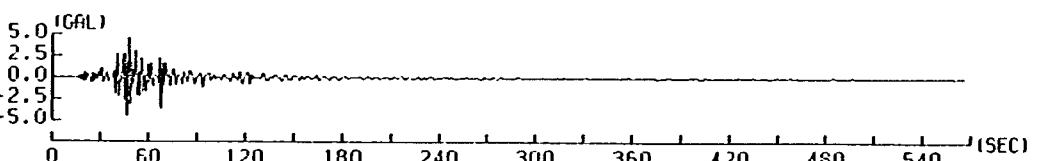
INDEX NO. 61
SHIRAKAWA D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-1.6401(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 62
SHIRAKAWA D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=1.9551(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 63
SHIRAKAWA D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=4.5321(GAL)
E.O. NO. 640616

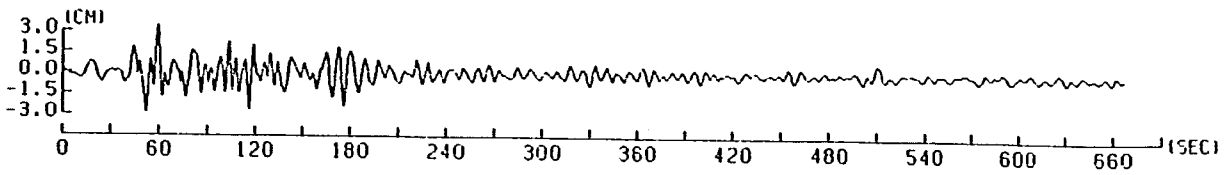


(c) D-U 成分

図 3.14 白河記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.7)

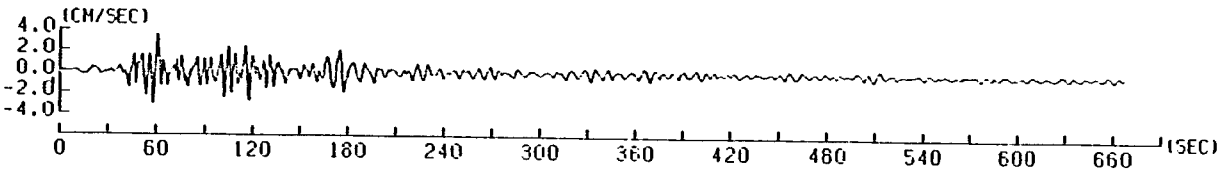
INDEX NO. 64
KURAGATA S-N
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=3.411(CH)

E.O. NO. 640616



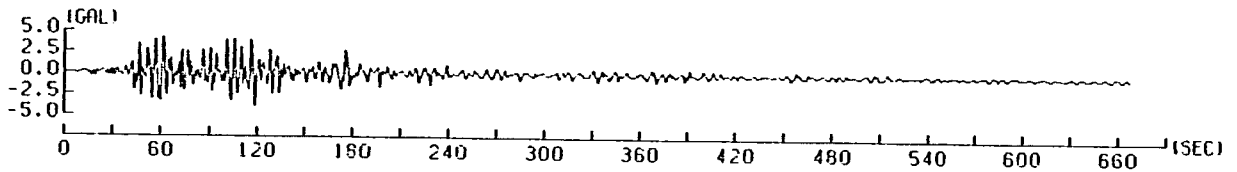
INDEX NO. 65
KURAGATA S-N
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=3.542(CH/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 66
KURAGATA S-N
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=4.202(GAL)

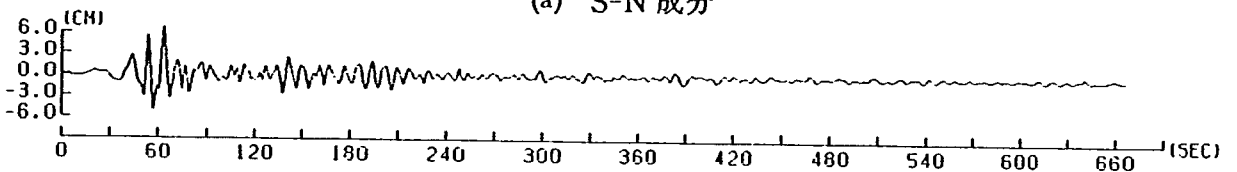
E.O. NO. 640616



(a) S-N 成分

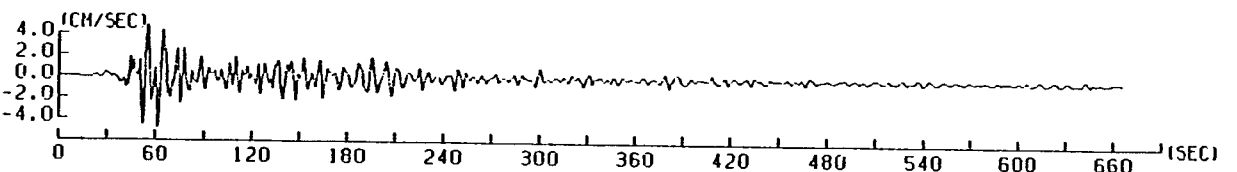
INDEX NO. 67
KURAGATA E-W
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=6.607(CH)

E.O. NO. 640616



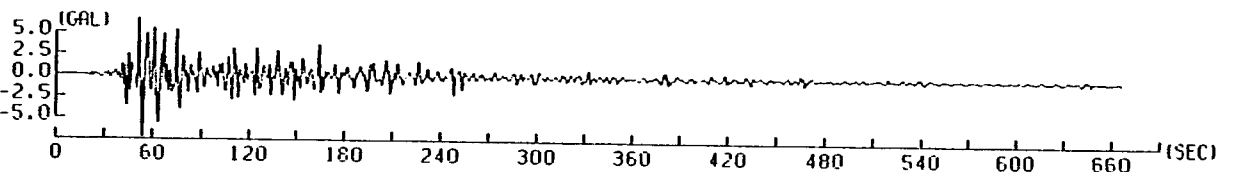
INDEX NO. 68
KURAGATA E-W
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=4.858(CH/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 69
KURAGATA E-W
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=7.307(GAL)

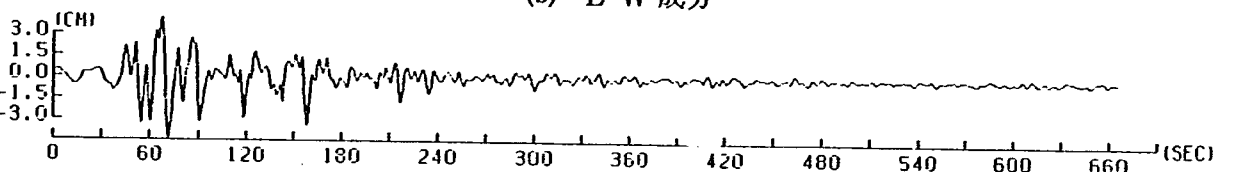
E.O. NO. 640616



(b) E-W 成分

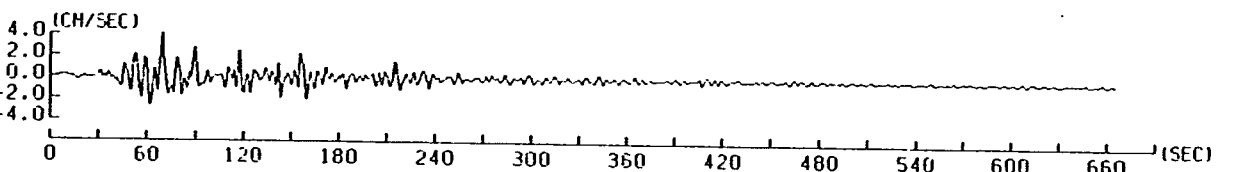
INDEX NO. 70
KURAGATA D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=4.363(CH)

E.O. NO. 640616



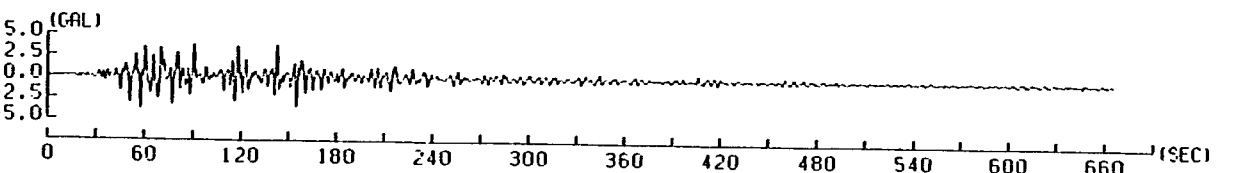
INDEX NO. 71
KURAGATA D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=4.079(CH/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 72
KURAGATA D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=3.824(GAL)

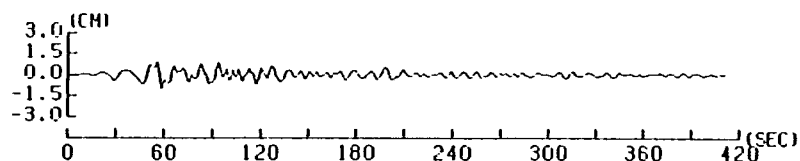
E.O. NO. 640616



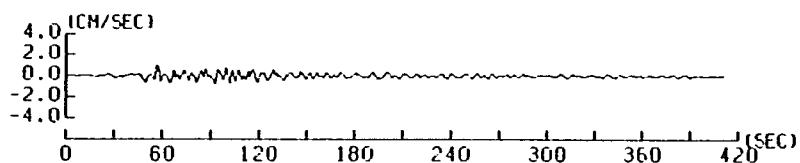
(c) D-U 成分

図 3.15 熊谷記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.8)

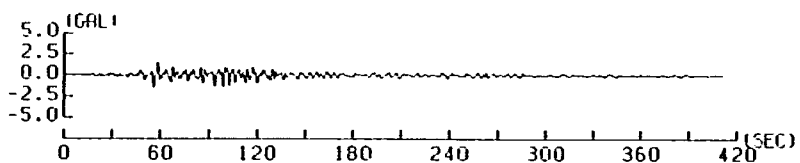
INDEX NO. 73
CHICHIEU N-S
JMA.NIICATA DISP
MAX.=-0.946(CM)
E.O. NO. 640616



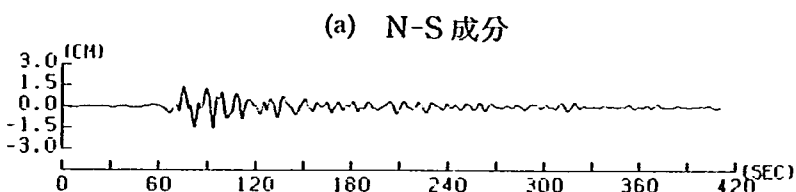
INDEX NO. 74
CHICHIEU N-S
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=0.947(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



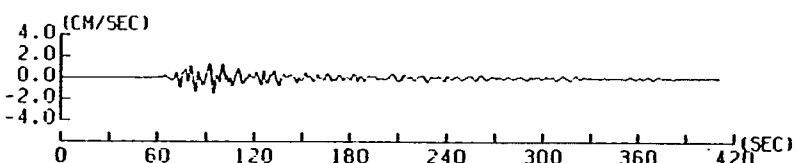
INDEX NO. 75
CHICHIEU N-S
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=1.475(GAL)
E.O. NO. 640616



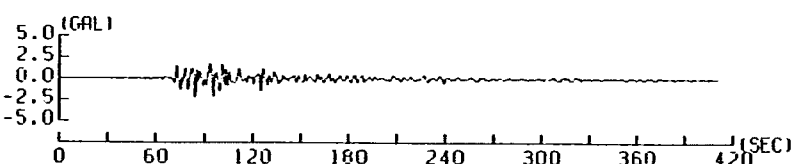
INDEX NO. 76
CHICHIEU W-E
JMA.NIICATA DISP
MAX.=-1.589(CM)
E.O. NO. 640616



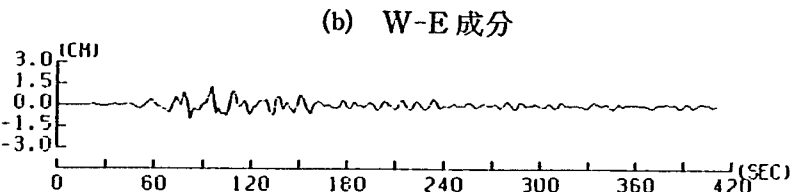
INDEX NO. 77
CHICHIEU W-E
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=-1.549(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



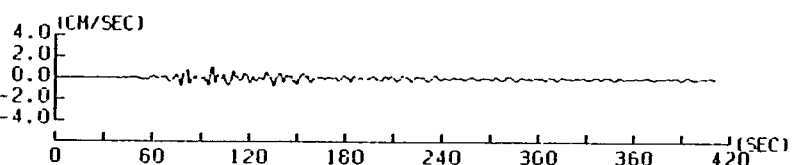
INDEX NO. 78
CHICHIEU W-E
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=-2.181(GAL)
E.O. NO. 640616



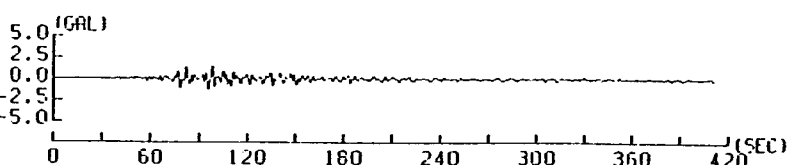
INDEX NO. 79
CHICHIEU D-U
JMA.NIICATA DISP
MAX.=1.232(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 80
CHICHIEU D-U
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=1.015(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



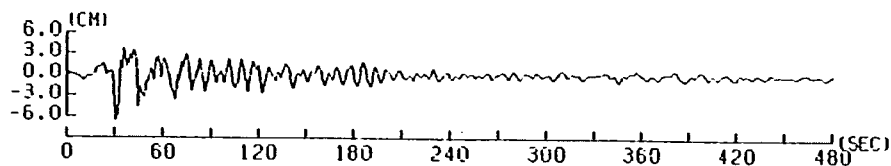
INDEX NO. 81
CHICHIEU D-U
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=1.457(GAL)
E.O. NO. 640616



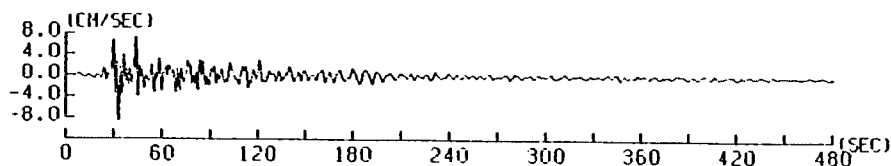
(c) D-U 成分

図 3.16 秩父記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.9)

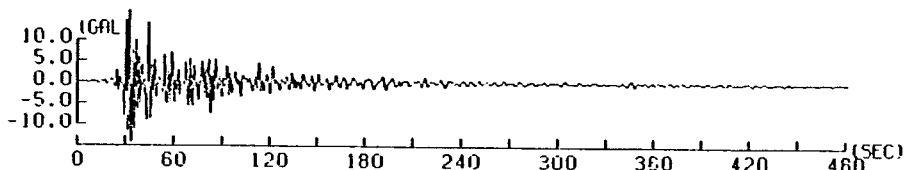
INDEX NO. 82
TAKADA S-N
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-6.638(CH)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 83
TAKADA S-N
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-8.653(CH/SEC)
E.O. NO. 640616

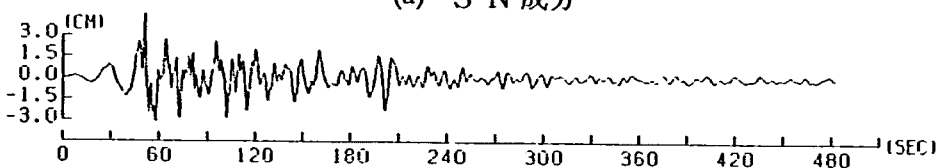


INDEX NO. 84
TAKADA S-N
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=16.989(GAL)
E.O. NO. 640616

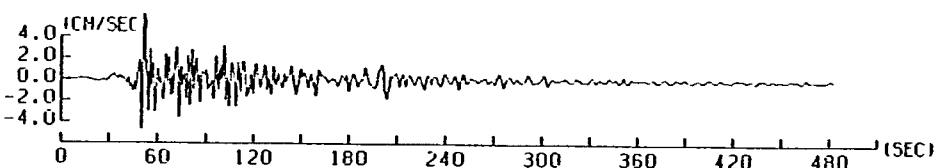


(a) S-N 成分

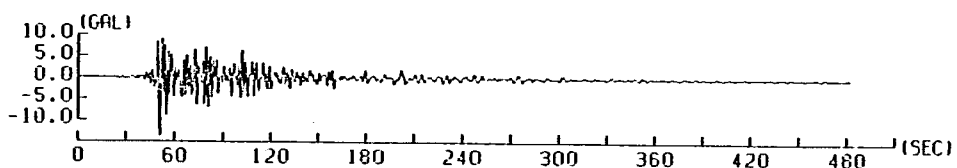
INDEX NO. 85
TAKADA E-W
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=4.476(CH)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 86
TAKADA E-W
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=6.137(CH/SEC)
E.O. NO. 640616

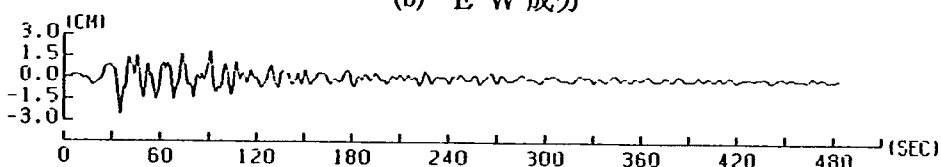


INDEX NO. 87
TAKADA E-W
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-13.761(GAL)
E.O. NO. 640616

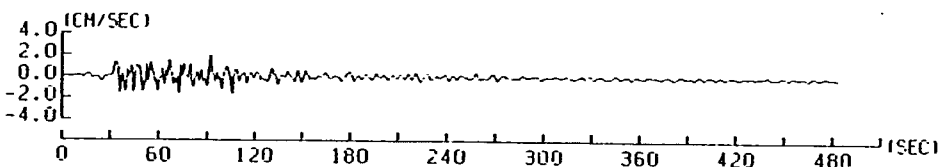


(b) E-W 成分

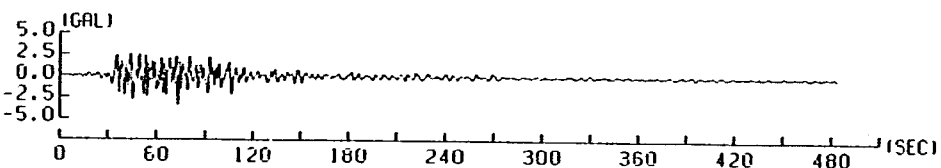
INDEX NO. 88
TAKADA D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-2.626(CH)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 89
TAKADA D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=1.937(CH/SEC)
E.O. NO. 640616



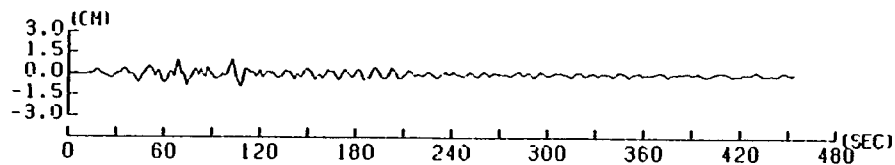
INDEX NO. 90
TAKADA D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-3.348(GAL)
E.O. NO. 640616



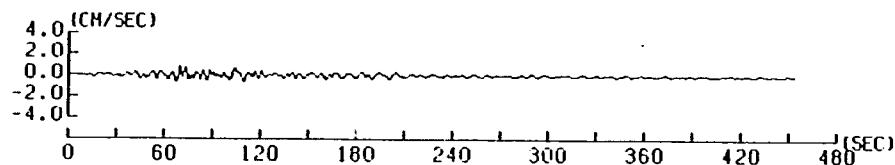
(c) D-U 成分

図 3.17 高田記録の変位，速度および加速度波形（記録 No.10）

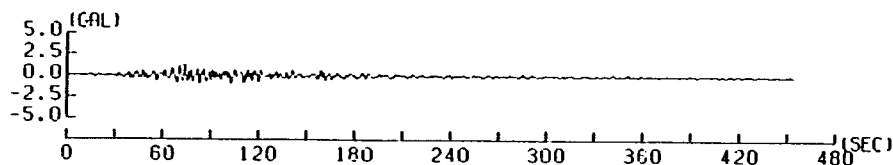
INDEX NO. 91
 KOHFU N-S
 JMA, NIIGATA DISP
 MAX.=0.981(CH)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 92
 KOHFU N-S
 JMA, NIIGATA VEL.
 MAX.=0.781(CH/SEC)
 E.O. NO. 640616

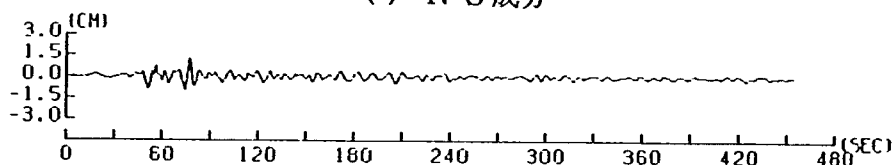


INDEX NO. 93
 KOHFU N-S
 JMA, NIIGATA ACC.
 MAX.=1.276(GAL)
 E.O. NO. 640616

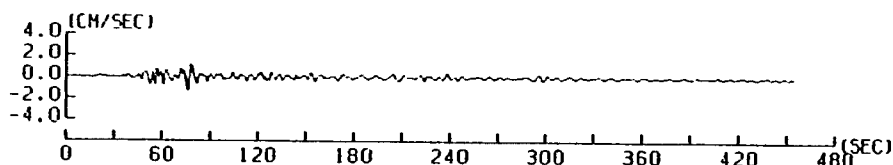


(a) N-S 成分

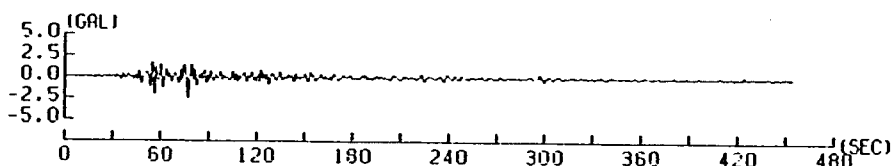
INDEX NO. 94
 KOHFU W-E
 JMA, NIIGATA DISP
 MAX.=1.257(CH)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 95
 KOHFU W-E
 JMA, NIIGATA VEL.
 MAX.=1.296(CH/SEC)
 E.O. NO. 640616

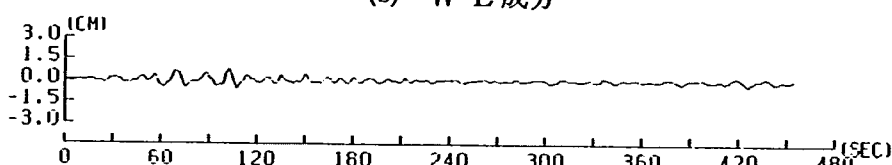


INDEX NO. 96
 KOHFU W-E
 JMA, NIIGATA ACC.
 MAX.=2.539(GAL)
 E.O. NO. 640616

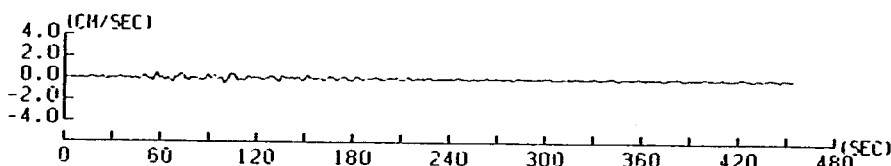


(b) W-E 成分

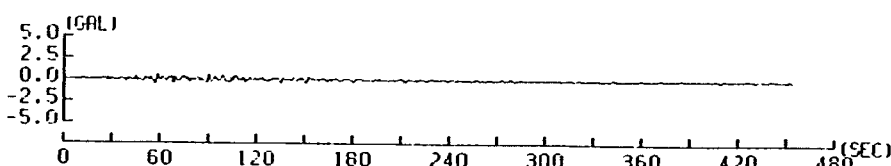
INDEX NO. 97
 KOHFU D-U
 JMA, NIIGATA DISP
 MAX.=0.740(CH)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 98
 KOHFU D-U
 JMA, NIIGATA VEL.
 MAX.=0.479(CH/SEC)
 E.O. NO. 640616



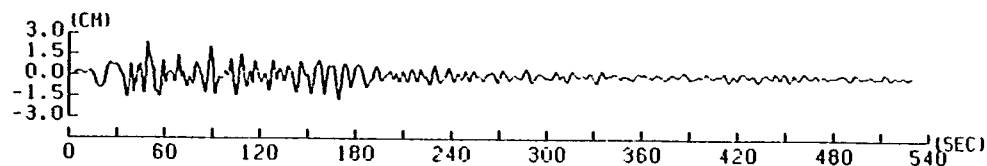
INDEX NO. 99
 KOHFU D-U
 JMA, NIIGATA ACC.
 MAX.=0.542(GAL)
 E.O. NO. 640616



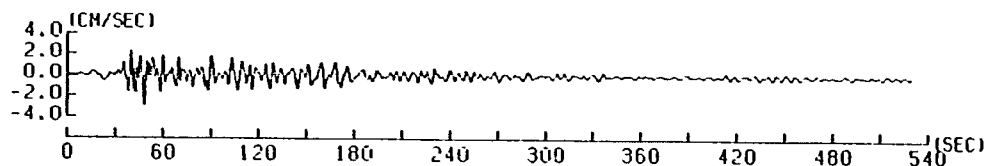
(c) D-U 成分

図 3.18 甲府記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.11)

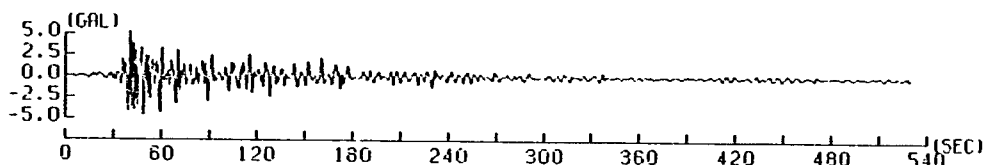
INDEX NO. 100
MAEBASHI N-S
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=2.329(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 101
MAEBASHI N-S
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=2.919(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

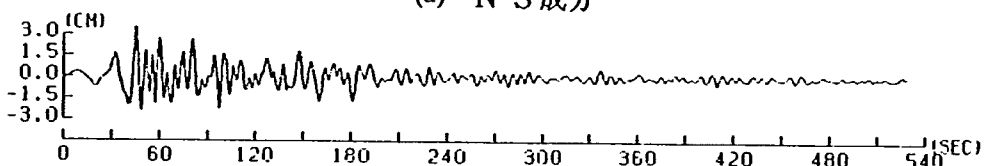


INDEX NO. 102
MAEBASHI N-S
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=5.251(GAL)
E.O. NO. 640616

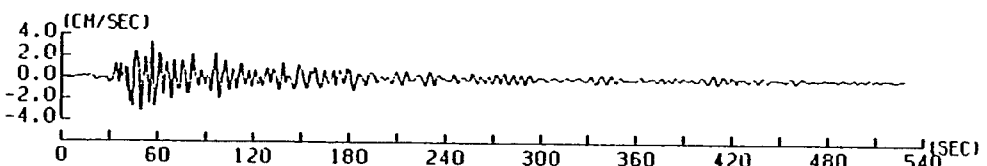


(a) N-S 成分

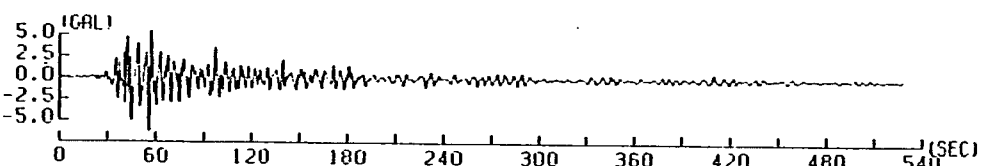
INDEX NO. 103
MAEBASHI W-E
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=3.478(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 104
MAEBASHI W-E
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=3.273(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

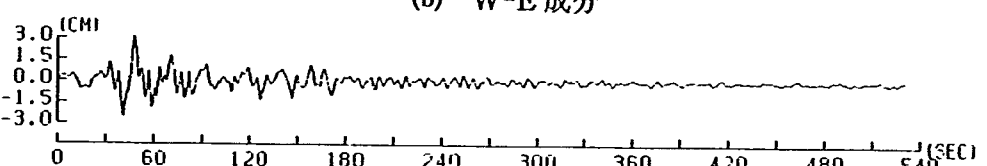


INDEX NO. 105
MAEBASHI W-E
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=6.247(GAL)
E.O. NO. 640616

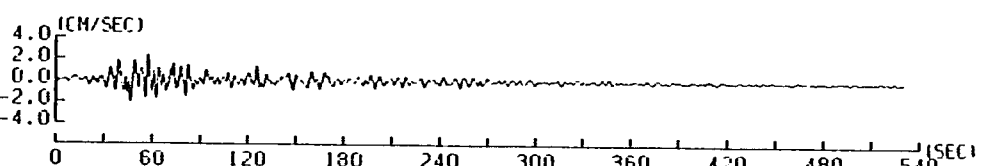


(b) W-E 成分

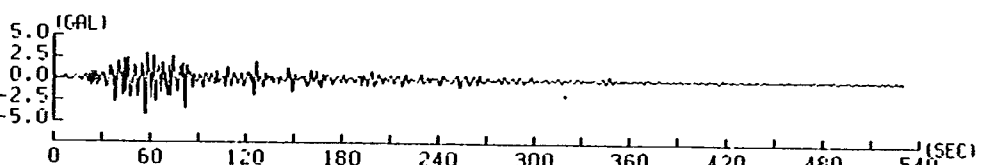
INDEX NO. 106
MAEBASHI D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=3.083(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 107
MAEBASHI D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=2.312(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 108
MAEBASHI D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=4.289(GAL)
E.O. NO. 640616

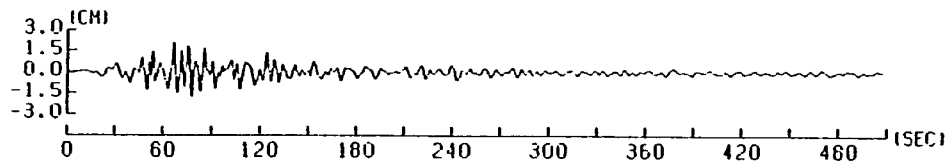


(c) D-U 成分

図 3.19 前橋記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.12)

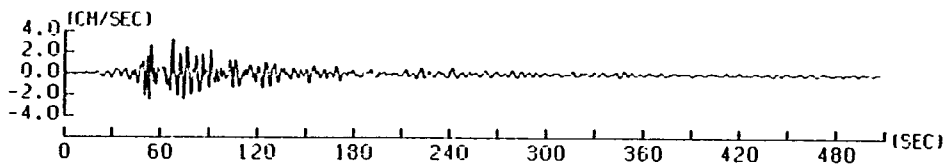
INDEX NO. 109
KARUJIZAWA S-N
JMA.NIICATA DISP
MAX.=2.035(CM)

E.O. NO. 640616



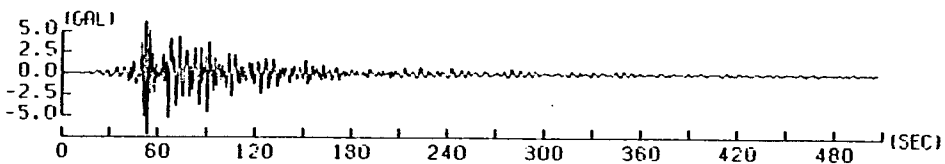
INDEX NO. 110
KARUJIZAWA S-N
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=3.209(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 111
KARUJIZAWA S-N
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=7.263(GAL)

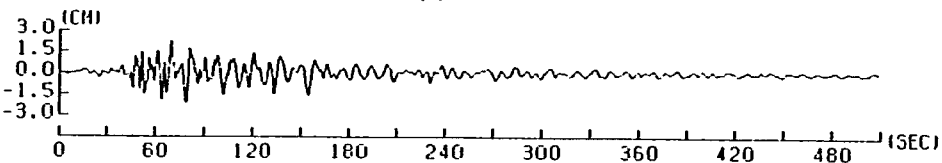
E.O. NO. 640616



(a) S-N 成分

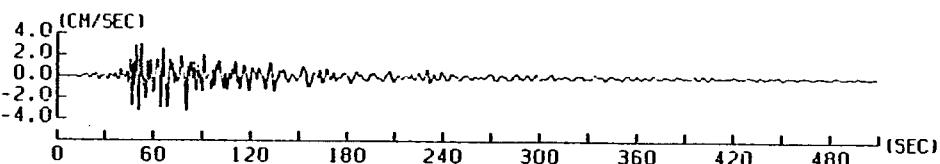
INDEX NO. 112
KARUJIZAWA E-W
JMA.NIICATA DISP
MAX.=2.247(CM)

E.O. NO. 640616



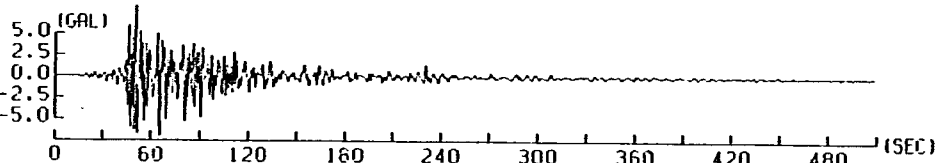
INDEX NO. 113
KARUJIZAWA E-W
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=3.248(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 114
KARUJIZAWA E-W
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=8.281(GAL)

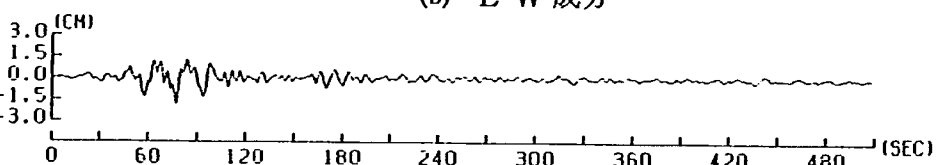
E.O. NO. 640616



(b) E-W 成分

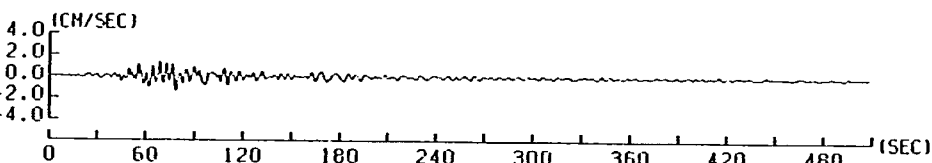
INDEX NO. 115
KARUJIZAWA D-U
JMA.NIICATA DISP
MAX.=1.837(CM)

E.O. NO. 640616



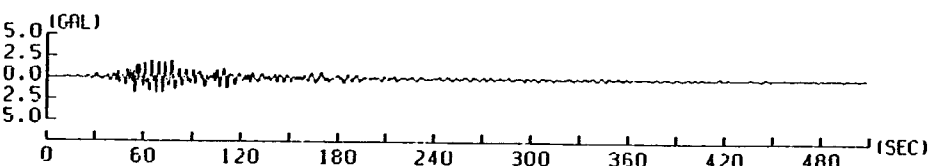
INDEX NO. 116
KARUJIZAWA D-U
JMA.NIICATA VEL.
MAX.=1.359(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 117
KARUJIZAWA D-U
JMA.NIICATA ACC.
MAX.=1.936(GAL)

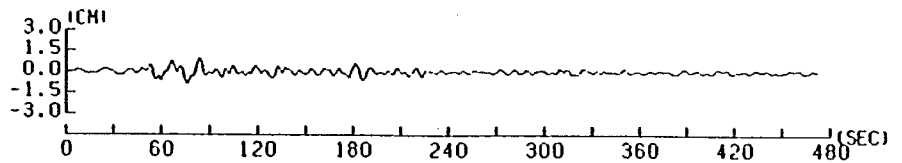
E.O. NO. 640616



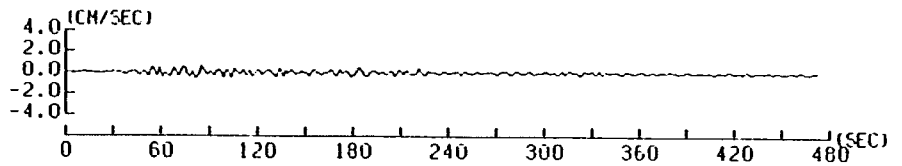
(c) D-U 成分

図 3.20 軽井沢記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.13)

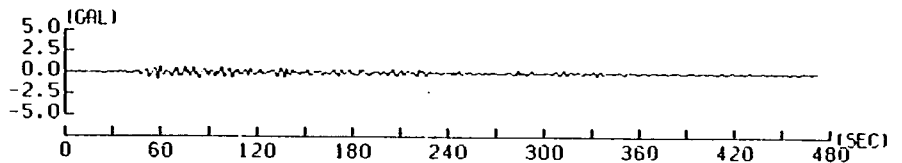
INDEX NO. 118
 AJIAD N-S
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=0.932(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 119
 AJIAD N-S
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=0.549(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

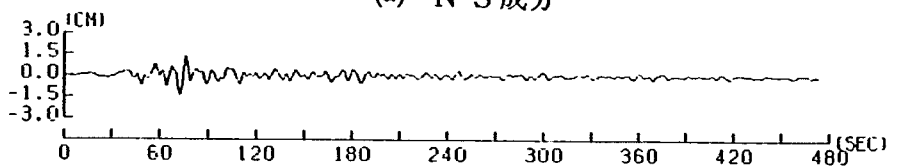


INDEX NO. 120
 AJIAD N-S
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=0.740(GAL)
 E.O. NO. 640616

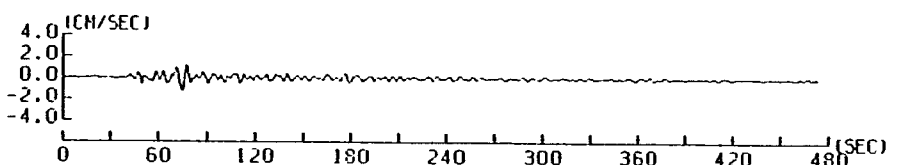


(a) N-S 成分

INDEX NO. 121
 AJIAD W-E
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=1.399(CM)
 E.O. NO. 640616

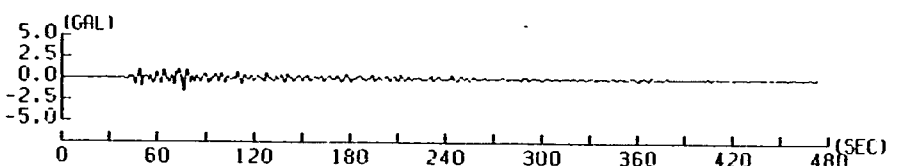


INDEX NO. 122
 AJIAD W-E
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=1.228(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

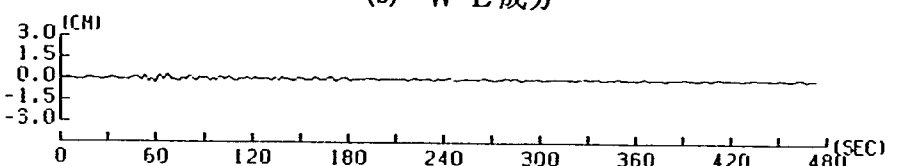


(b) W-E 成分

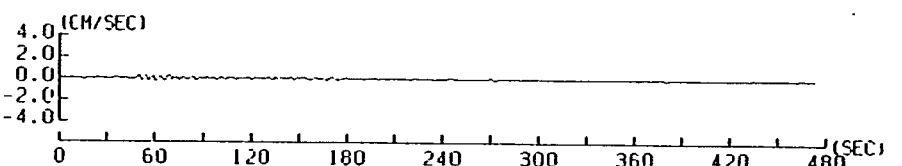
INDEX NO. 123
 AJIAD W-E
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=1.540(GAL)
 E.O. NO. 640616



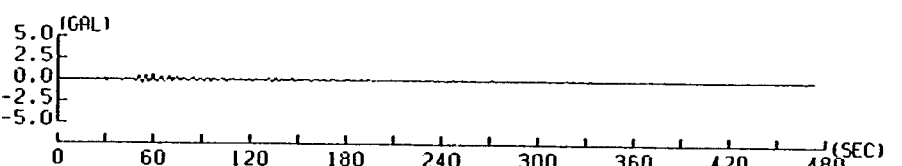
INDEX NO. 124
 AJIAD D-U
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=0.304(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 125
 AJIAD D-U
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=0.302(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 126
 AJIAD D-U
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=0.525(GAL)
 E.O. NO. 640616

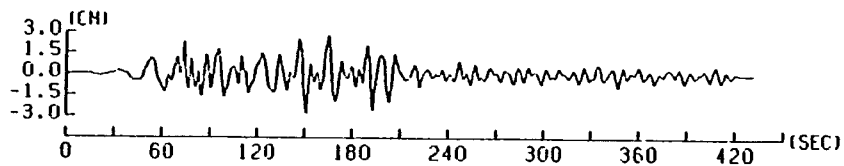


(c) D-U 成分

図 3.21 網代記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.14)

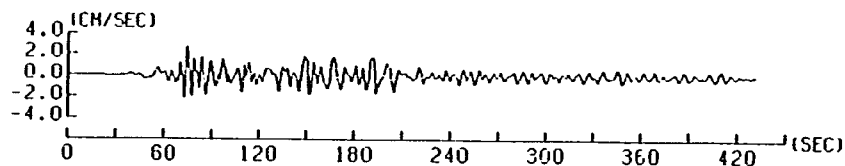
INDEX NO. 127
 TOTARA S-N
 JMA.NIIGATA DISP
 MAX.=2.766(CM)

E.O. NO. 640616



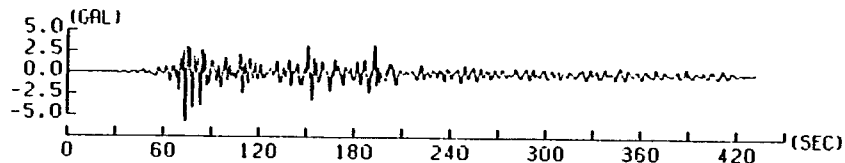
INDEX NO. 128
 TOTARA S-N
 JMA.NIIGATA VEL.
 MAX.=2.667(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 129
 TOTARA S-N
 JMA.NIIGATA ACC.
 MAX.=2.796(GAL)

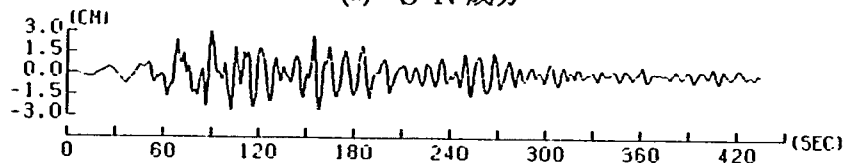
E.O. NO. 640616



(a) S-N 成分

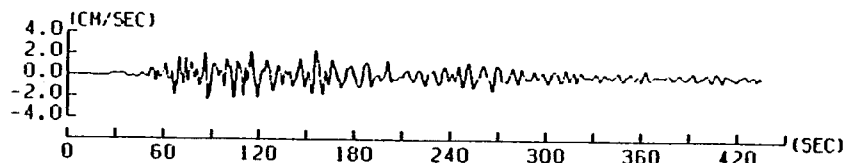
INDEX NO. 130
 TOTARA E-W
 JMA.NIIGATA DISP
 MAX.=2.949(CM)

E.O. NO. 640616



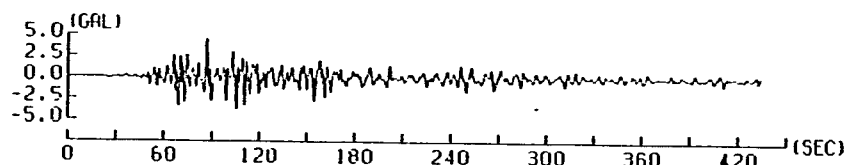
INDEX NO. 131
 TOTARA E-W
 JMA.NIIGATA VEL.
 MAX.=2.329(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 132
 TOTARA E-W
 JMA.NIIGATA ACC.
 MAX.=4.450(GAL)

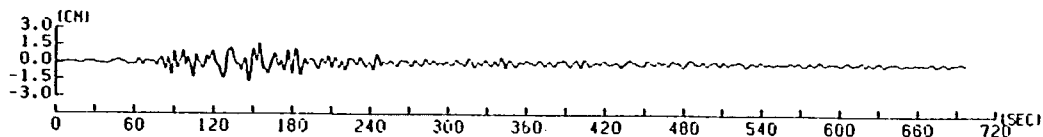
E.O. NO. 640616



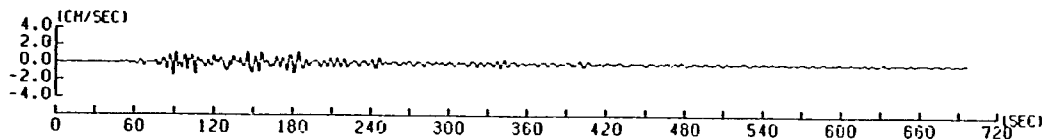
(b) E-W 成分

図 3.22 富山記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.15)

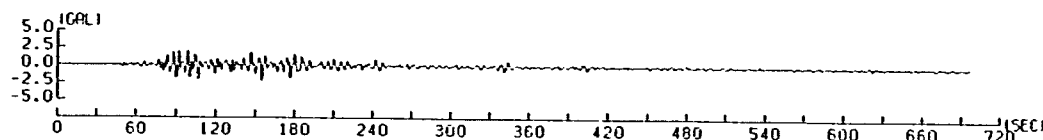
INDEX NO. 136
 ONFEZAKI S-N
 JMA.NIIIGATA DISP
 MAX.=-1.639(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 137
 ONFEZAKI S-N
 JMA.NIIIGATA VEL.
 MAX.=-1.497(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

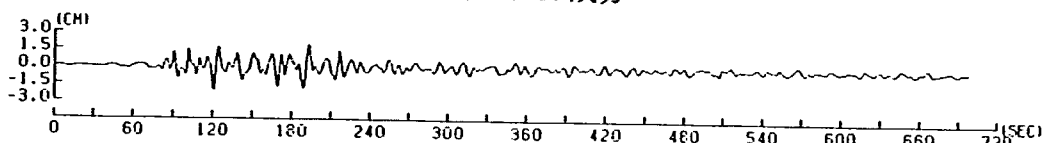


INDEX NO. 138
 ONFEZAKI S-N
 JMA.NIIIGATA ACC.
 MAX.=-2.191(GAL)
 E.O. NO. 640616

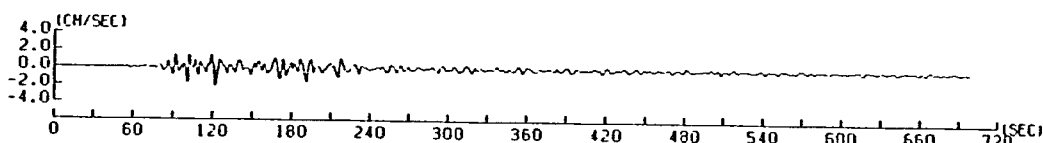


(a) S-N 成分

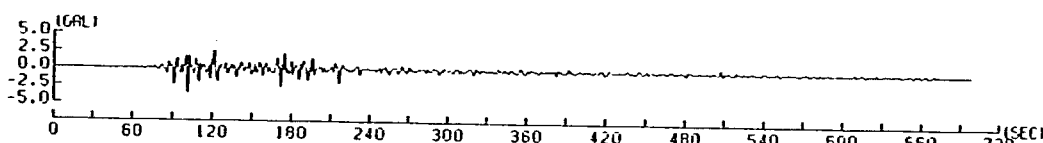
INDEX NO. 139
 ONFEZAKI E-W
 JMA.NIIIGATA DISP
 MAX.=-2.073(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 140
 ONFEZAKI E-W
 JMA.NIIIGATA VEL.
 MAX.=-2.131(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

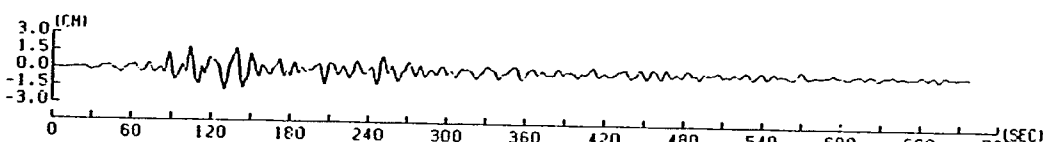


INDEX NO. 141
 ONFEZAKI E-W
 JMA.NIIIGATA ACC.
 MAX.=-3.605(GAL)
 E.O. NO. 640616

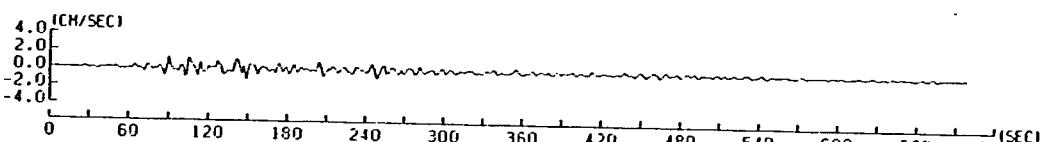


(b) E-W 成分

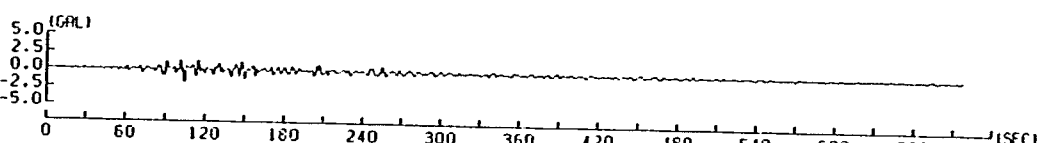
INDEX NO. 142
 ONFEZAKI D-U
 JMA.NIIIGATA DISP
 MAX.=-1.054(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 143
 ONFEZAKI D-U
 JMA.NIIIGATA VEL.
 MAX.=-1.193(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616



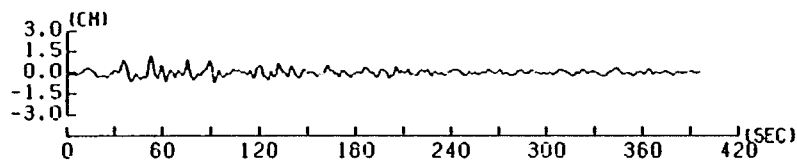
INDEX NO. 144
 ONFEZAKI D-U
 JMA.NIIIGATA ACC.
 MAX.=-1.881(GAL)
 E.O. NO. 640616



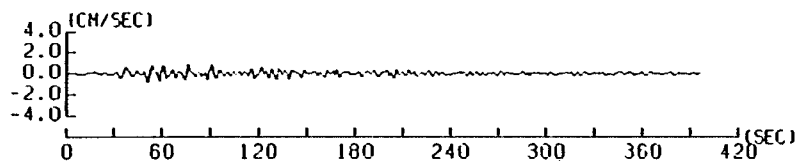
(c) D-U 成分

図 3.23 御前崎記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.16)

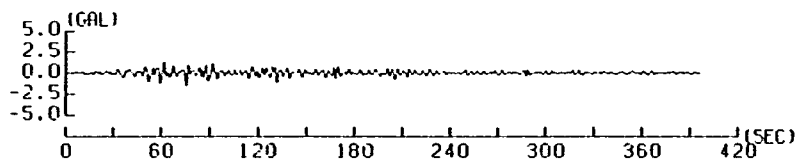
INDEX NO. 145
 TSU N-S
 JMA.NIIGATA DISP
 MAX.=1.200(CH)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 146
 TSU N-S
 JMA.NIIGATA VEL.
 MAX.=0.893(CH/SEC)
 E.O. NO. 640616

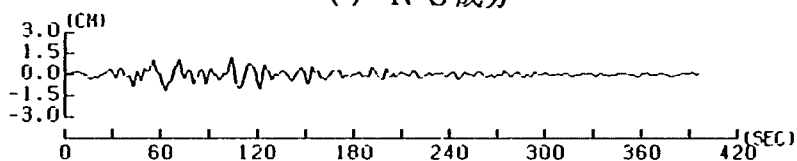


INDEX NO. 147
 TSU N-S
 JMA.NIIGATA ACC.
 MAX.=1.531(GAL)
 E.O. NO. 640616

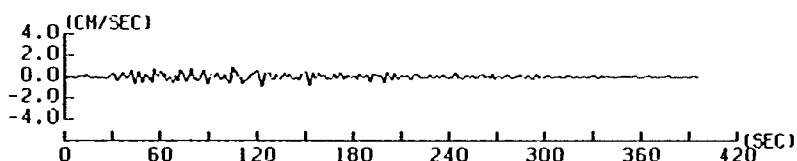


(a) N-S 成分

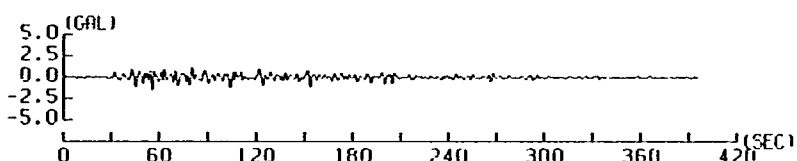
INDEX NO. 148
 TSU W-E
 JMA.NIIGATA DISP
 MAX.=1.210(CH)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 149
 TSU W-E
 JMA.NIIGATA VEL.
 MAX.=0.895(CH/SEC)
 E.O. NO. 640616



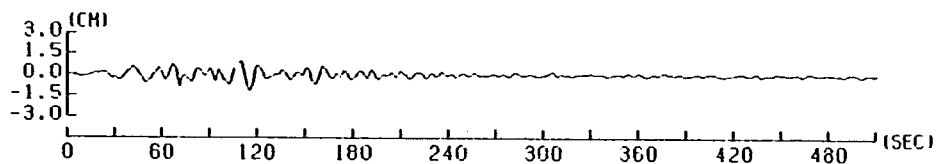
INDEX NO. 150
 TSU W-E
 JMA.NIIGATA ACC.
 MAX.=1.526(GAL)
 E.O. NO. 640616



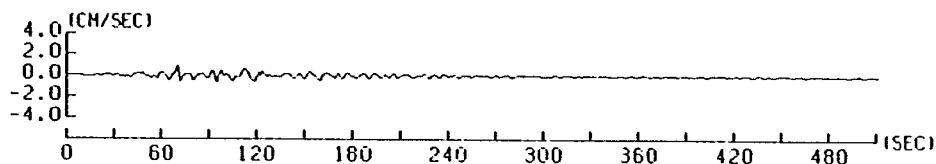
(b) W-E 成分

図 3.24 津記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.17)

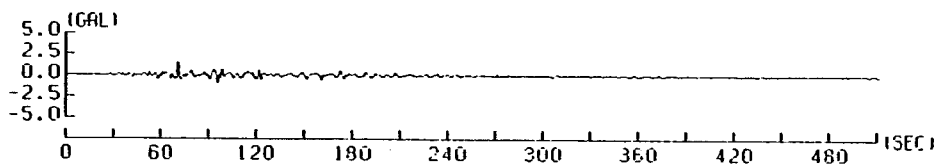
INDEX NO. 154
TAKATAMA N-S
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-1.124(CH)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 155
TAKATAMA N-S
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=0.657(CH/SEC)
E.O. NO. 640616

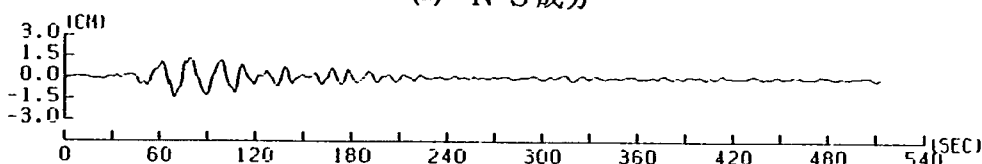


INDEX NO. 156
TAKATAMA N-S
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=1.502(GAL)
E.O. NO. 640616

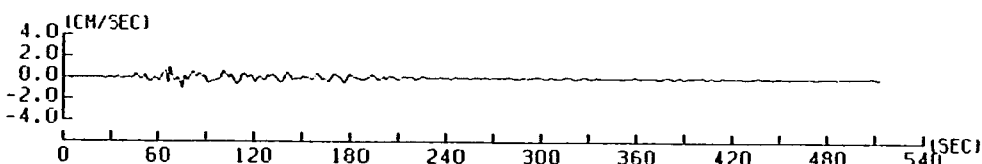


(a) N-S 成分

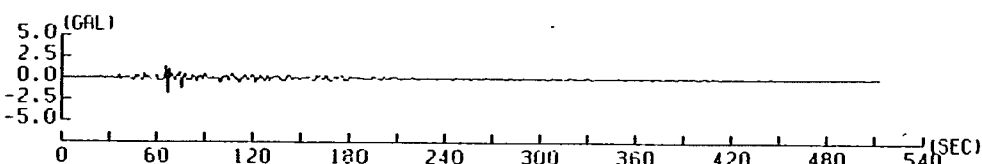
INDEX NO. 157
TAKATAMA W-E
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-1.379(CH)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 158
TAKATAMA W-E
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-1.023(CH/SEC)
E.O. NO. 640616

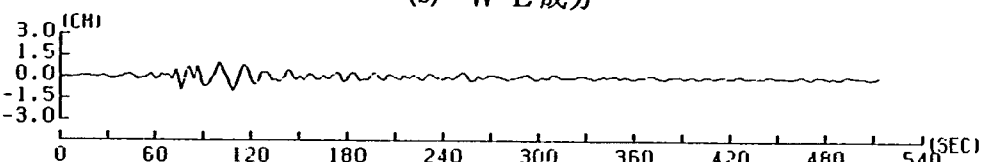


INDEX NO. 159
TAKATAMA W-E
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-1.836(GAL)
E.O. NO. 640616

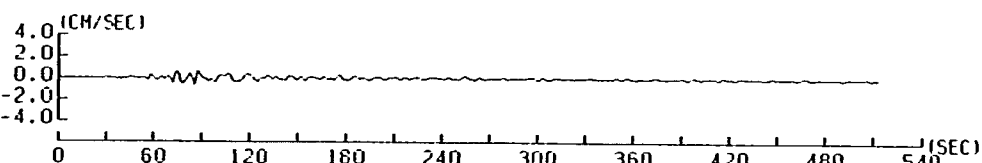


(b) W-E 成分

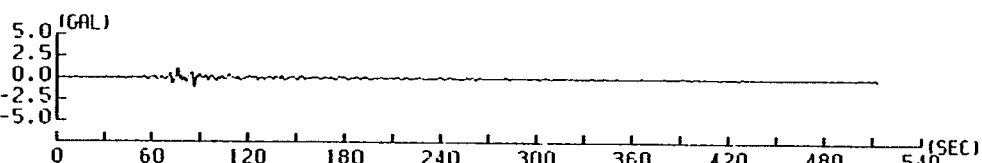
INDEX NO. 160
TAKATAMA D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-0.968(CH)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 161
TAKATAMA D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-0.607(CH/SEC)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 162
TAKATAMA D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=1.034(GAL)
E.O. NO. 640616

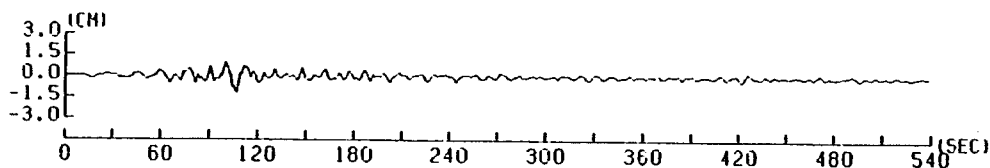


(c) D-U 成分

図 3.25 高山記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.18)

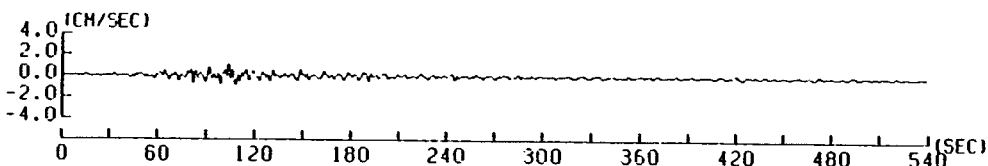
INDEX NO. 163
NAGOYA S-N
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-1.189(CM)

E.O. NO. 640616



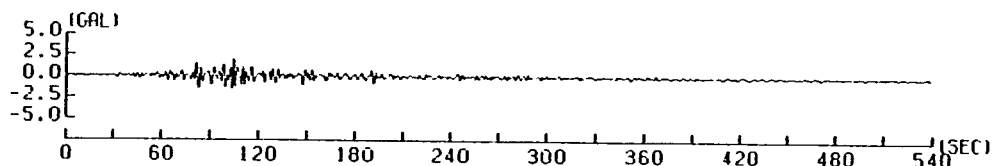
INDEX NO. 164
NAGOYA S-N
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=1.035(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 165
NAGOYA S-N
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=1.928(GAL)

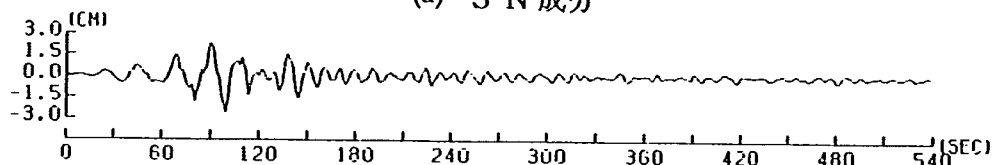
E.O. NO. 640616



(a) S-N 成分

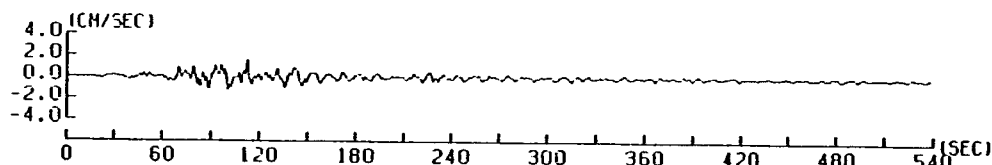
INDEX NO. 166
NAGOYA W-E
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-2.630(CM)

E.O. NO. 640616



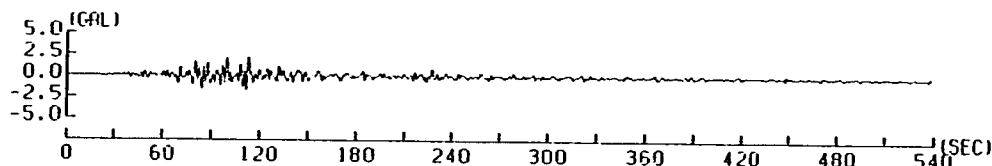
INDEX NO. 167
NAGOYA W-E
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=1.535(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 168
NAGOYA W-E
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=2.130(GAL)

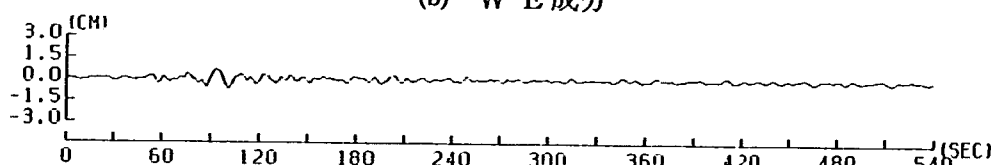
E.O. NO. 640616



(b) W-E 成分

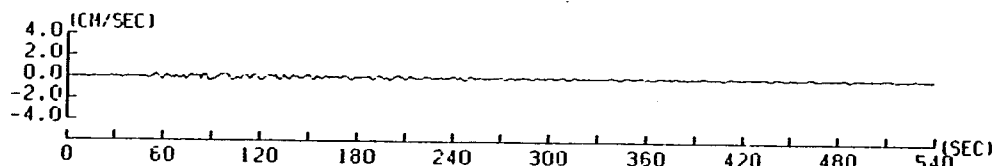
INDEX NO. 169
NAGOYA D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-0.680(CM)

E.O. NO. 640616



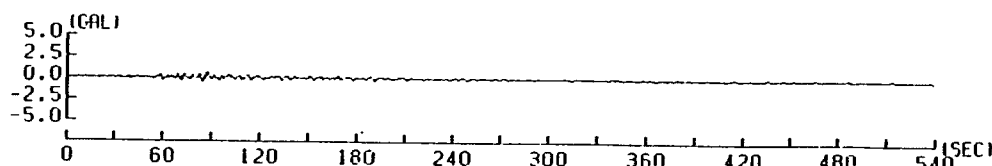
INDEX NO. 170
NAGOYA D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=0.325(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 171
NAGOYA D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=0.589(GAL)

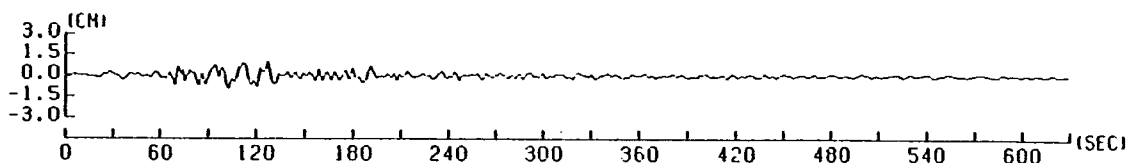
E.O. NO. 640616



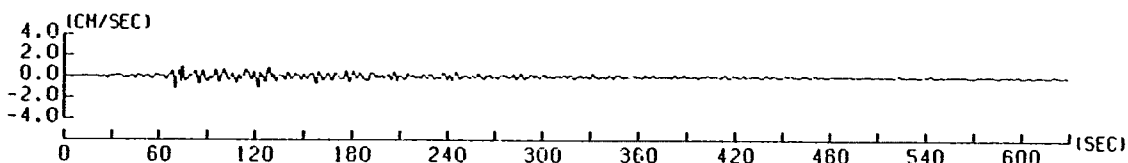
(c) D-U 成分

図 3.26 名古屋記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.19)

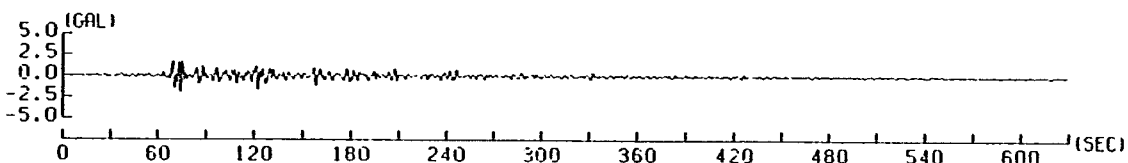
INDEX NO. 172
HAMAMATSU N-S
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-0.928(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 173
HAMAMATSU N-S
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-1.144(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

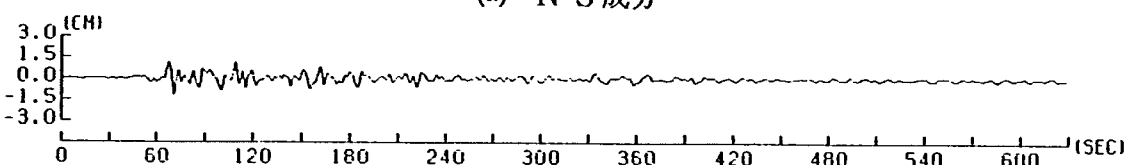


INDEX NO. 174
HAMAMATSU N-S
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-1.935(GAL)
E.O. NO. 640616

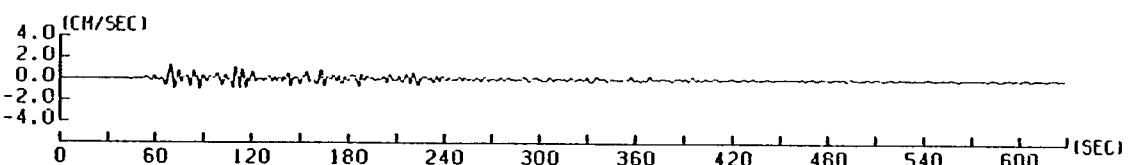


(a) N-S 成分

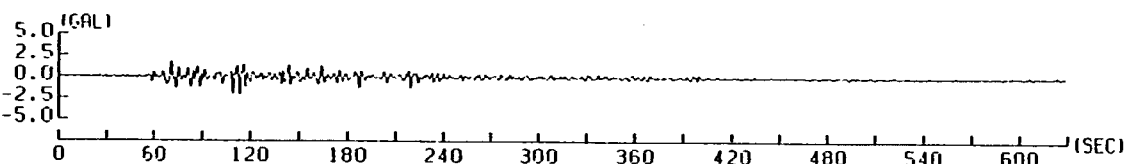
INDEX NO. 175
HAMAMATSU W-E
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-1.143(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 176
HAMAMATSU W-E
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-1.223(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

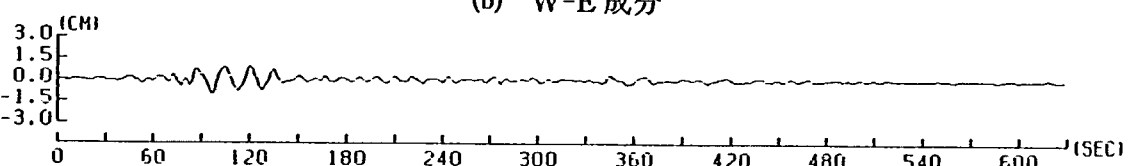


INDEX NO. 177
HAMAMATSU W-E
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-2.105(GAL)
E.O. NO. 640616

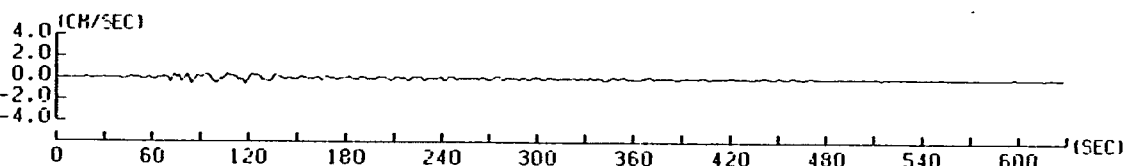


(b) W-E 成分

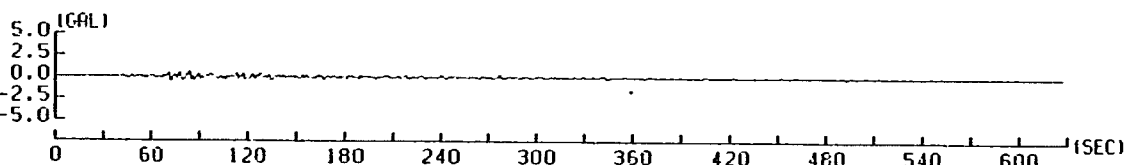
INDEX NO. 178
HAMAMATSU D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-1.003(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 179
HAMAMATSU D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-0.568(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



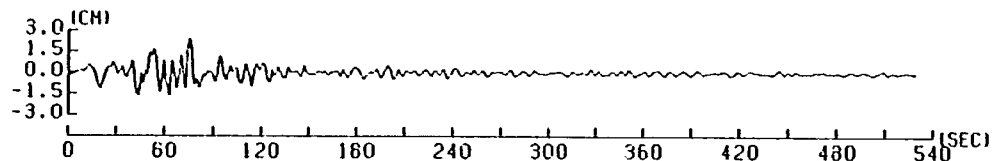
INDEX NO. 180
HAMAMATSU D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-0.524(GAL)
E.O. NO. 640616



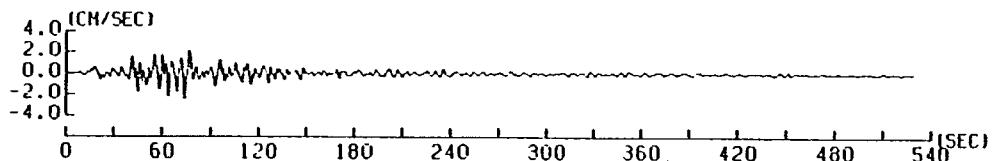
(c) D-U 成分

図 3.27 浜松記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.20)

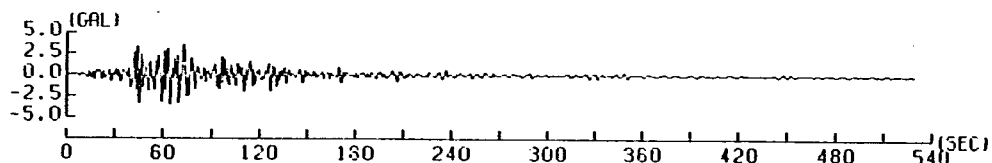
INDEX NO. 181
 UTSUNOMIYA N-S
 JMA.NIIGATA DISP
 MAX.=2.420(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 182
 UTSUNOMIYA N-S
 JMA.NIIGATA VEL.
 MAX.=2.487(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

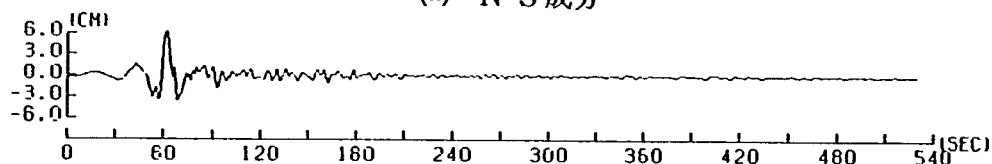


INDEX NO. 183
 UTSUNOMIYA N-S
 JMA.NIIGATA ACC.
 MAX.=3.537(GAL)
 E.O. NO. 640616

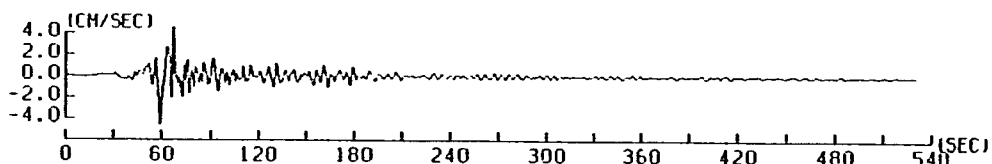


(a) N-S 成分

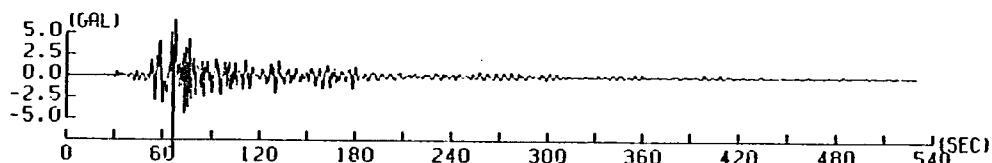
INDEX NO. 184
 UTSUNOMIYA W-E
 JMA.NIIGATA DISP
 MAX.=6.143(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 185
 UTSUNOMIYA W-E
 JMA.NIIGATA VEL.
 MAX.=4.657(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

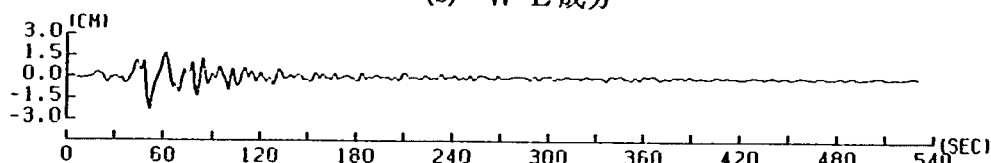


INDEX NO. 186
 UTSUNOMIYA W-E
 JMA.NIIGATA ACC.
 MAX.=8.839(GAL)
 E.O. NO. 640616

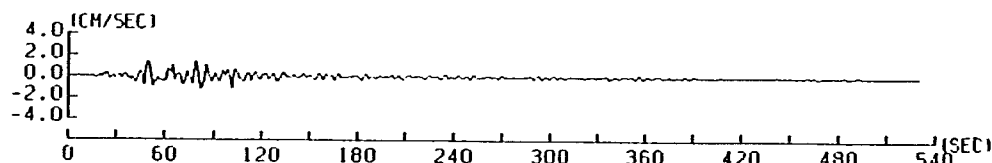


(b) W-E 成分

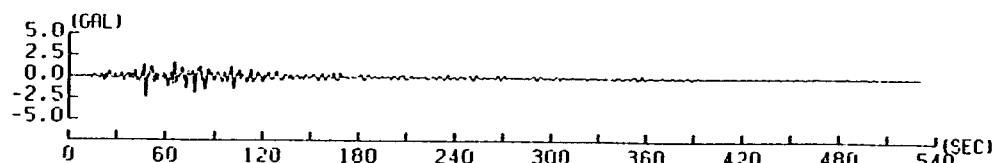
INDEX NO. 187
 UTSUNOMIYA D-U
 JMA.NIIGATA DISP
 MAX.=2.309(CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 188
 UTSUNOMIYA D-U
 JMA.NIIGATA VEL.
 MAX.=1.374(CM/SEC)
 E.O. NO. 640616



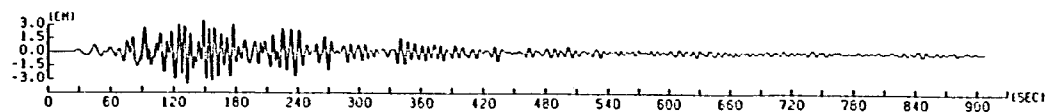
INDEX NO. 189
 UTSUNOMIYA D-U
 JMA.NIIGATA ACC.
 MAX.=2.414(GAL)
 E.O. NO. 640616



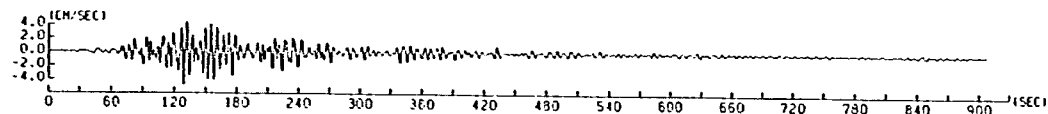
(c) D-U 成分

図 3.28 宇都宮記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.21)

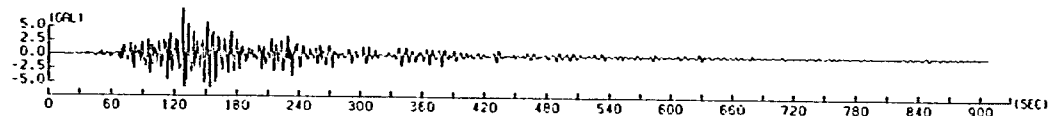
INDEX NO. 190
TOKYO N-S
JMA. WIGGATA DISP
MAX. = -3.502 (CM)
E.O. NO. 643616



INDEX NO. 191
TOKYO N-S
JMA. WIGGATA VEL.
MAX. = 4.755 (CM/SEC)
E.O. NO. 643616

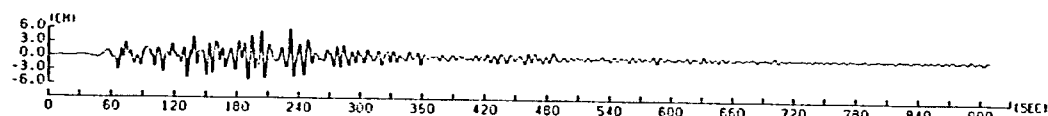


INDEX NO. 192
TOKYO N-S
JMA. WIGGATA ACC.
MAX. = 8.315 (GAL)
E.O. NO. 643616

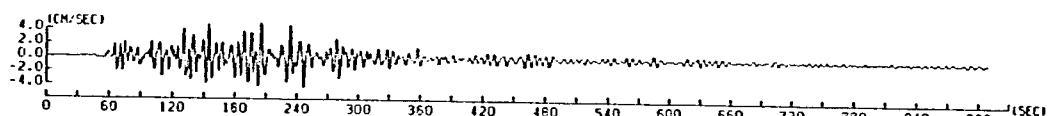


(a) N-S 成分

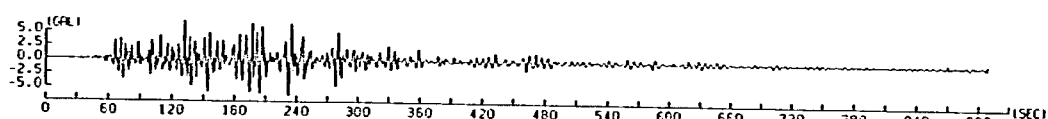
INDEX NO. 193
TOKYO W-E
JMA. WIGGATA DISP
MAX. = 5.916 (CM)
E.O. NO. 643616



INDEX NO. 194
TOKYO W-E
JMA. WIGGATA VEL.
MAX. = 4.915 (CM/SEC)
E.O. NO. 643616



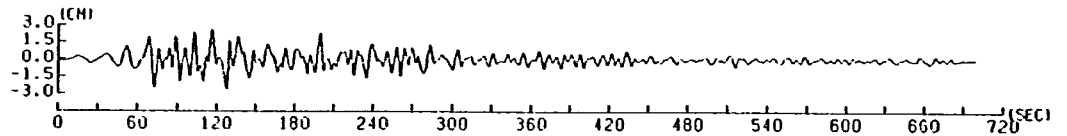
INDEX NO. 195
TOKYO W-E
JMA. WIGGATA ACC.
MAX. = 5.983 (GAL)
E.O. NO. 643616



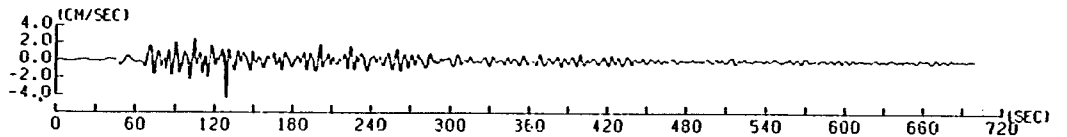
(b) W-E 成分

図 3.29 東京記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.22)

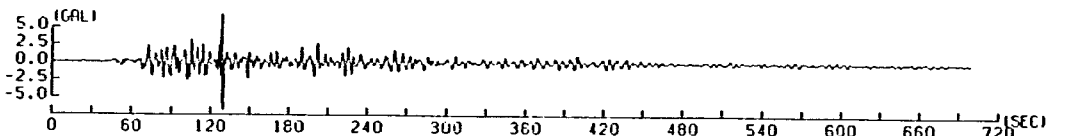
INDEX NO. 199
TOMISAKI N-S
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-2.611(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 200
TOMISAKI N-S
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-4.315(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

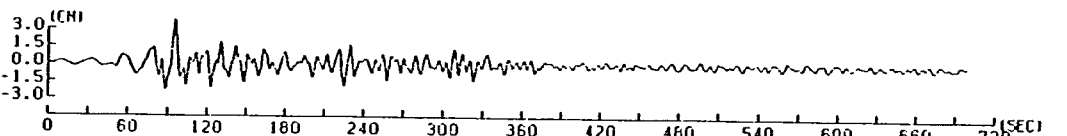


INDEX NO. 201
TOMISAKI N-S
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=-6.906(GAL)
E.O. NO. 640616

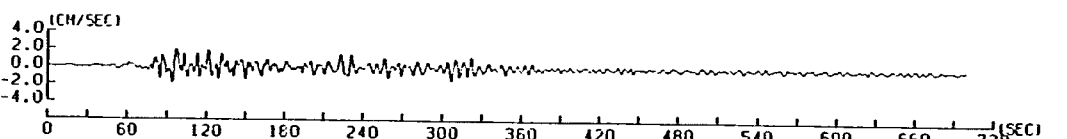


(a) N-S 成分

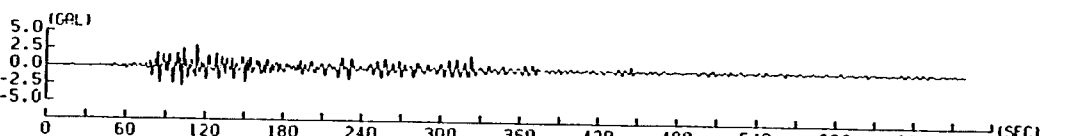
INDEX NO. 202
TOMISAKI W-E
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=3.811(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 203
TOMISAKI W-E
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=1.914(CM/SEC)
E.O. NO. 640616

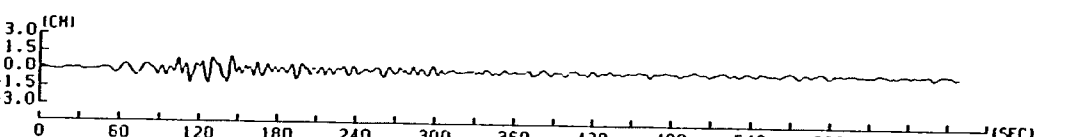


INDEX NO. 204
TOMISAKI W-E
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=3.073(GAL)
E.O. NO. 640616

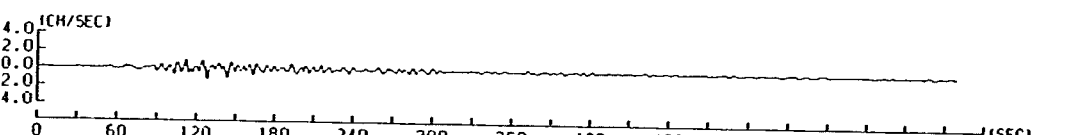


(b) W-E 成分

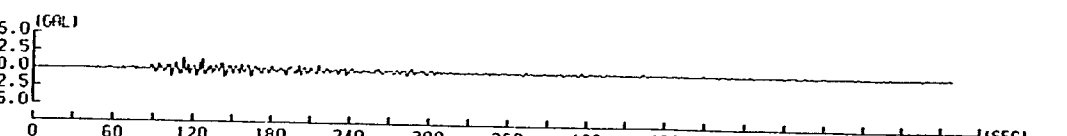
INDEX NO. 205
TOMISAKI D-U
JMA.NIIGATA DISP
MAX.=-1.150(CM)
E.O. NO. 640616



INDEX NO. 206
TOMISAKI D-U
JMA.NIIGATA VEL.
MAX.=-1.210(CM/SEC)
E.O. NO. 640616



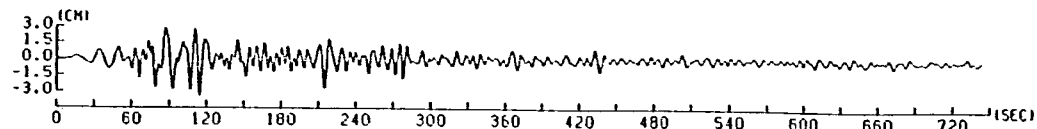
INDEX NO. 207
TOMISAKI D-U
JMA.NIIGATA ACC.
MAX.=1.515(GAL)
E.O. NO. 640616



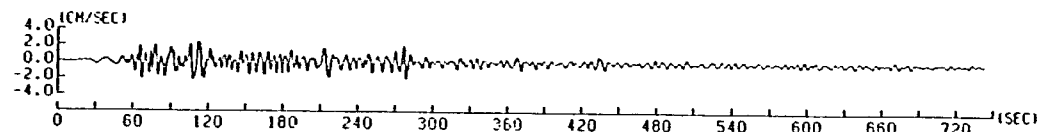
(c) D-U 成分

図 3.30 富崎記録の変位，速度および加速度波形（記録 No.23）

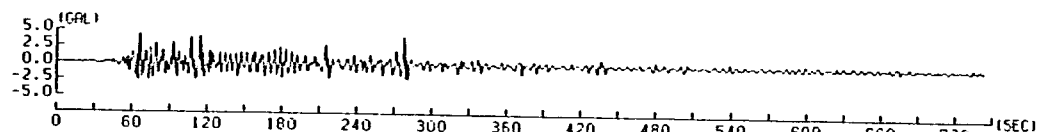
INDEX NO. 208
 TOP-FFFF N-S
 JMA-NITICATA DISP
 MAX. = -3.493 (CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 209
 TOP-FFFF N-S
 JMA-NITICATA VEL.
 MAX. = 2.378 (CM/SEC)
 E.O. NO. 640616

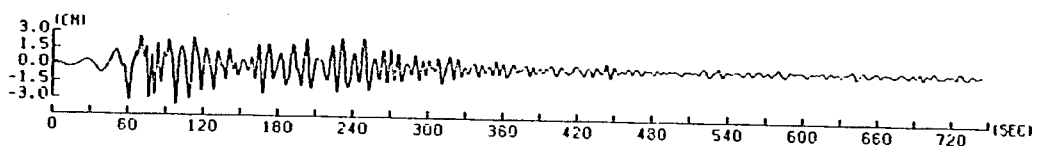


INDEX NO. 210
 TOP-FFFF N-S
 JMA-NITICATA ACC.
 MAX. = 4.243 (GAL)
 E.O. NO. 640616

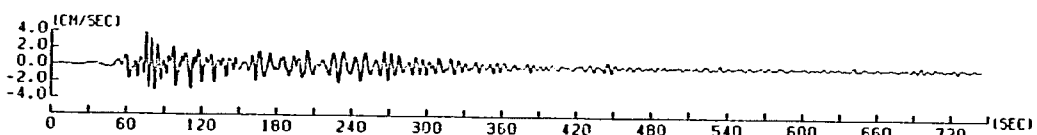


(a) N-S 成分

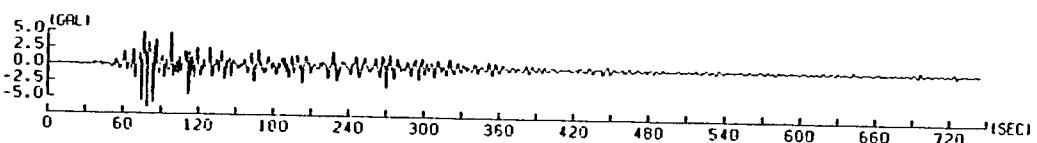
INDEX NO. 211
 TOP-FFFF W-E
 JMA-NITICATA DISP
 MAX. = -3.622 (CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 212
 TOP-FFFF W-E
 JMA-NITICATA VEL.
 MAX. = 3.907 (CM/SEC)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 213
 TOP-FFFF W-E
 JMA-NITICATA ACC.
 MAX. = 6.544 (GAL)
 E.O. NO. 640616

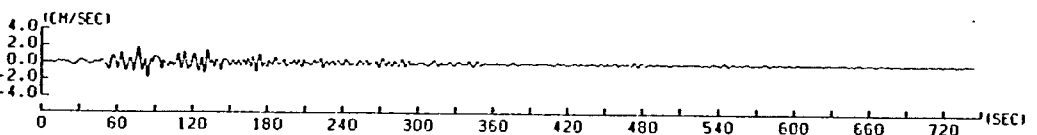


(b) W-E 成分

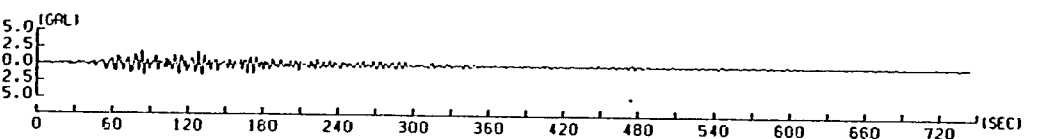
INDEX NO. 214
 TOP-FFFF D-U
 JMA-NITICATA DISP
 MAX. = -2.158 (CM)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 215
 TOP-FFFF D-U
 JMA-NITICATA VEL.
 MAX. = 1.784 (CM/SEC)
 E.O. NO. 640616



INDEX NO. 216
 TOP-FFFF D-U
 JMA-NITICATA ACC.
 MAX. = 1.907 (GAL)
 E.O. NO. 640616

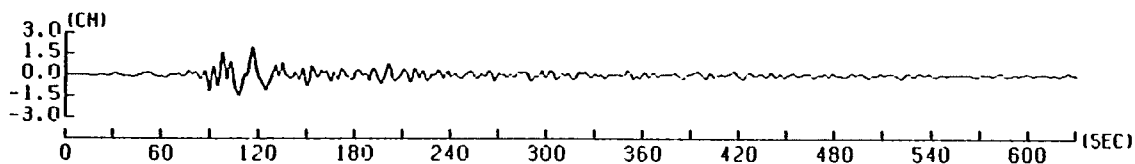


(c) D-U 成分

図 3.31 横浜記録の変位、速度および加速度波形 (記録 No.24)

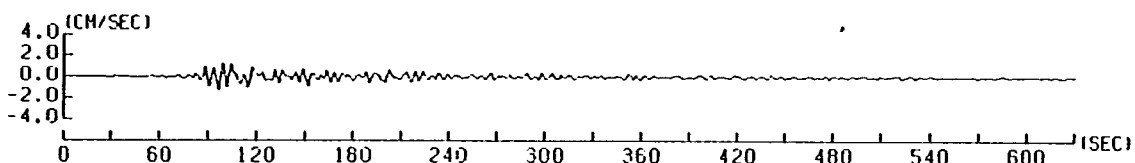
INDEX NO. 217
 OHSIMA N-S
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=1.941(CM)

E.O. NO. 640616



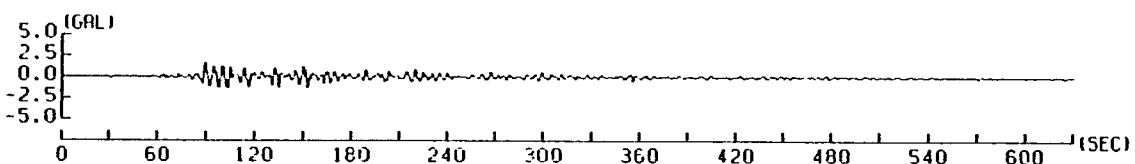
INDEX NO. 218
 OHSIMA N-S
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=1.275(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 219
 OHSIMA N-S
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=1.697(GAL)

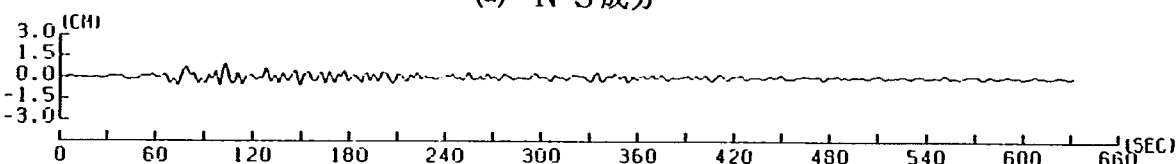
E.O. NO. 640616



(a) N-S 成分

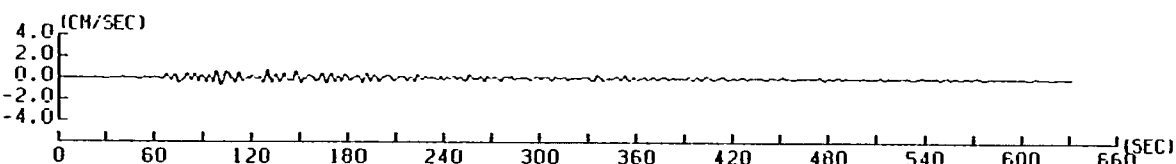
INDEX NO. 220
 OHSIMA W-E
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=0.970(CM)

E.O. NO. 640616



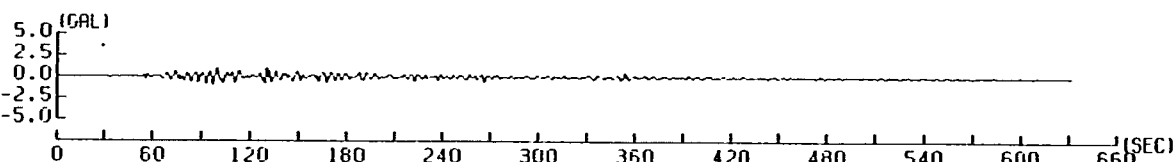
INDEX NO. 221
 OHSIMA W-E
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=0.706(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 222
 OHSIMA W-E
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=0.977(GAL)

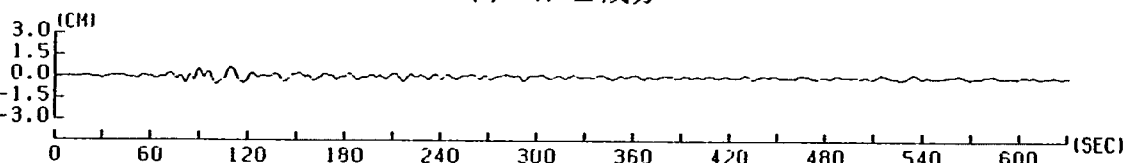
E.O. NO. 640616



(b) W-E 成分

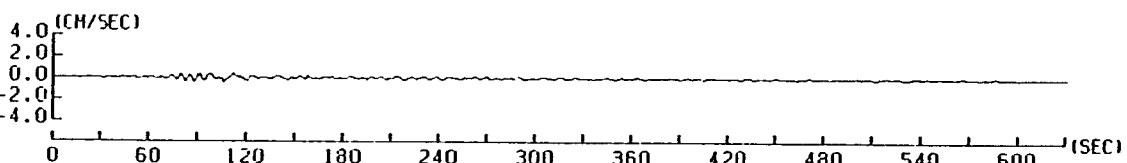
INDEX NO. 223
 OHSIMA D-U
 JMA.NIICATA DISP
 MAX.=0.638(CM)

E.O. NO. 640616



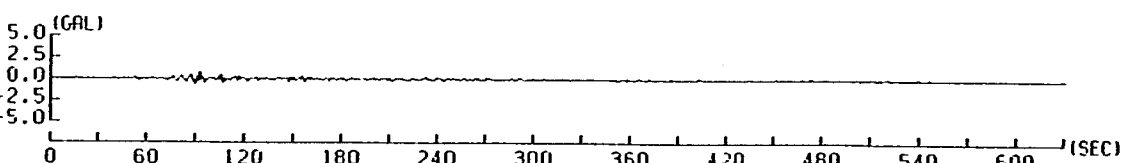
INDEX NO. 224
 OHSIMA D-U
 JMA.NIICATA VEL.
 MAX.=0.418(CM/SEC)

E.O. NO. 640616



INDEX NO. 225
 OHSIMA D-U
 JMA.NIICATA ACC.
 MAX.=0.684(GAL)

E.O. NO. 640616



(c) D-U 成分

図 3.32 大島記録の変位, 速度および加速度波形 (記録 No.25)

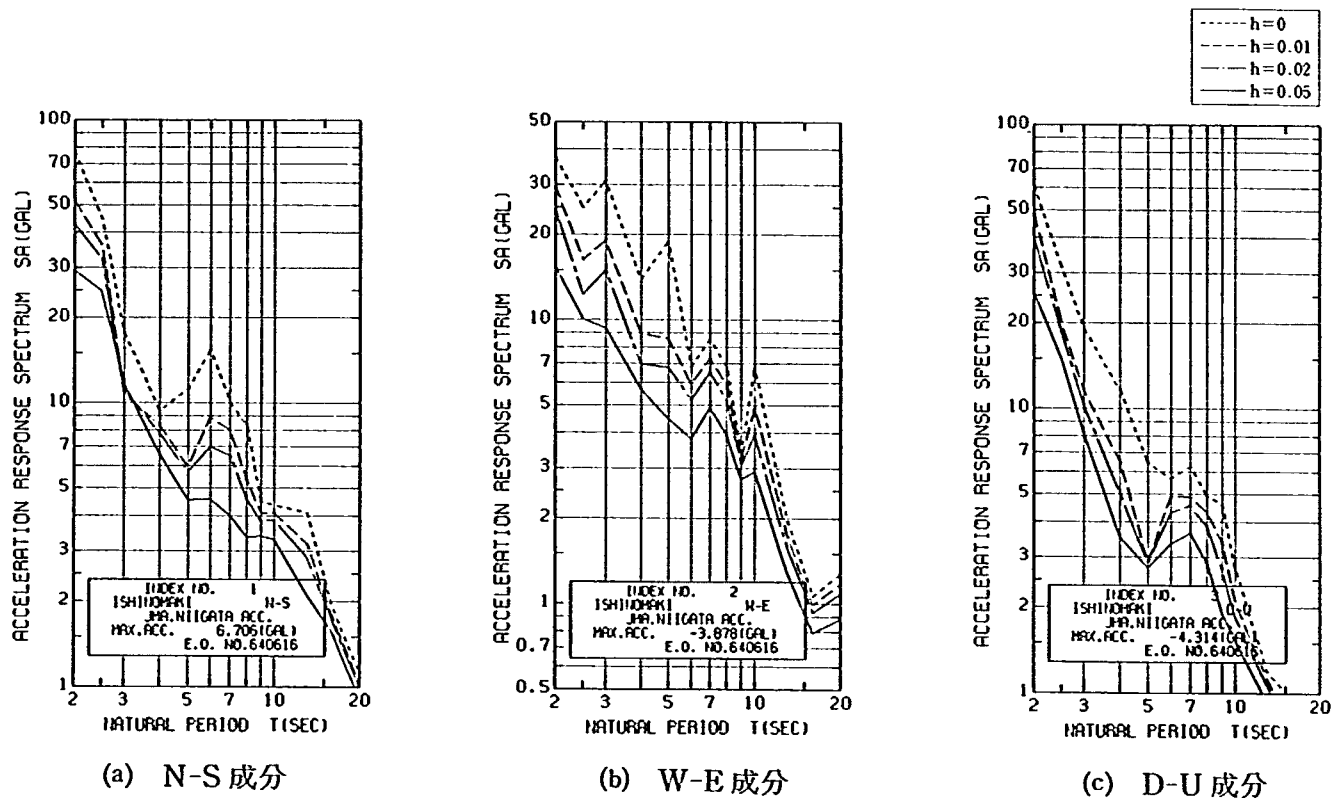


図 3.33 石巻記録の加速度応答スペクトル (記録 No.1)

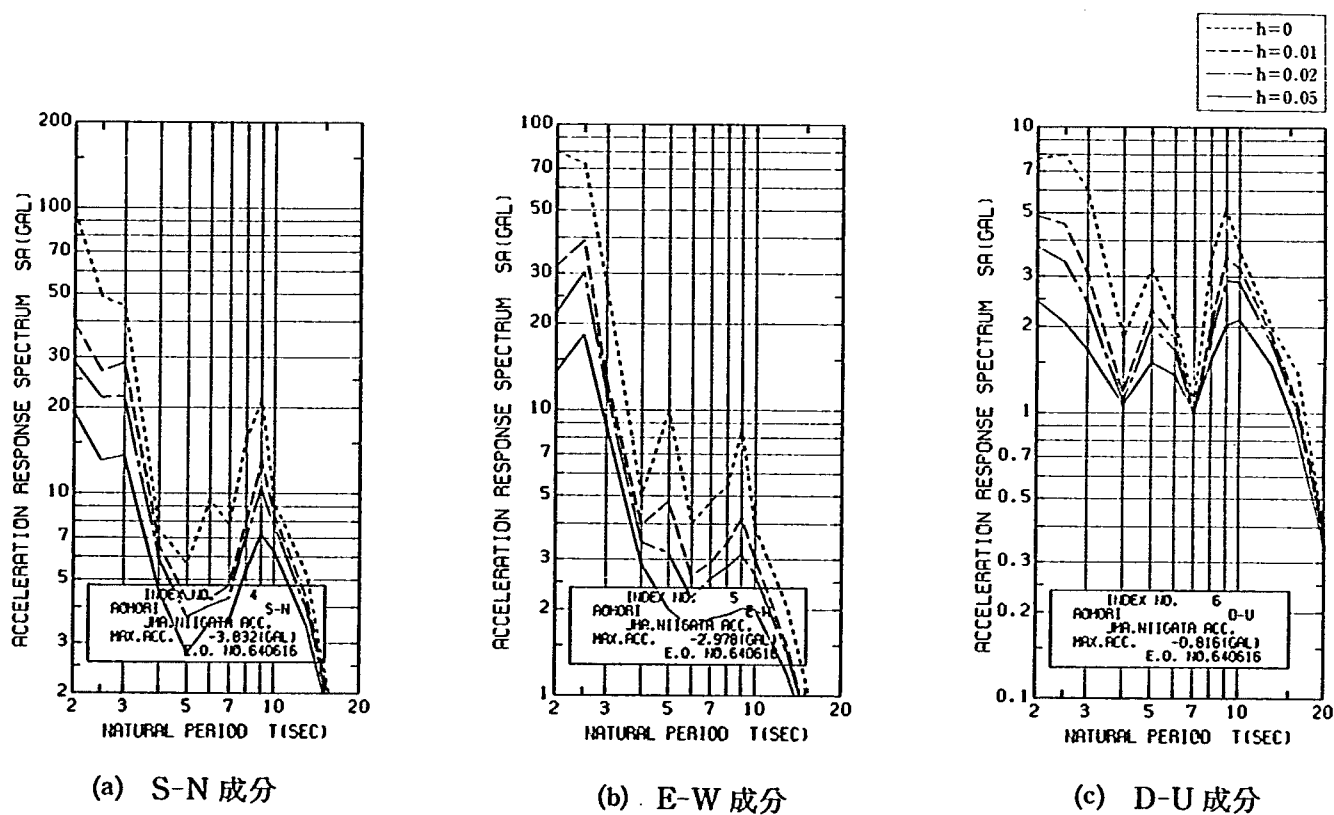


図 3.34 青森記録の加速度応答スペクトル (記録 No.2)

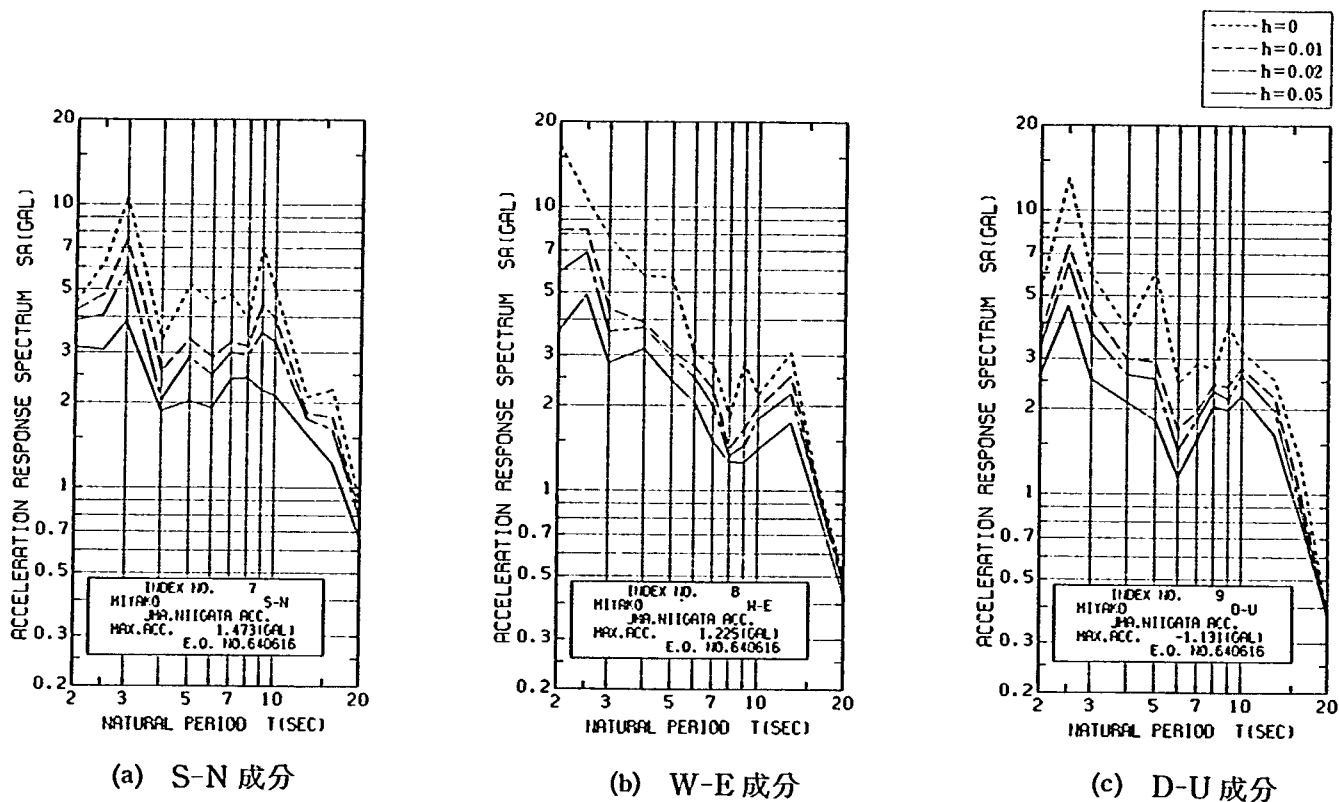


図 3.35 宮古記録の加速度応答スペクトル (記録 No.3)

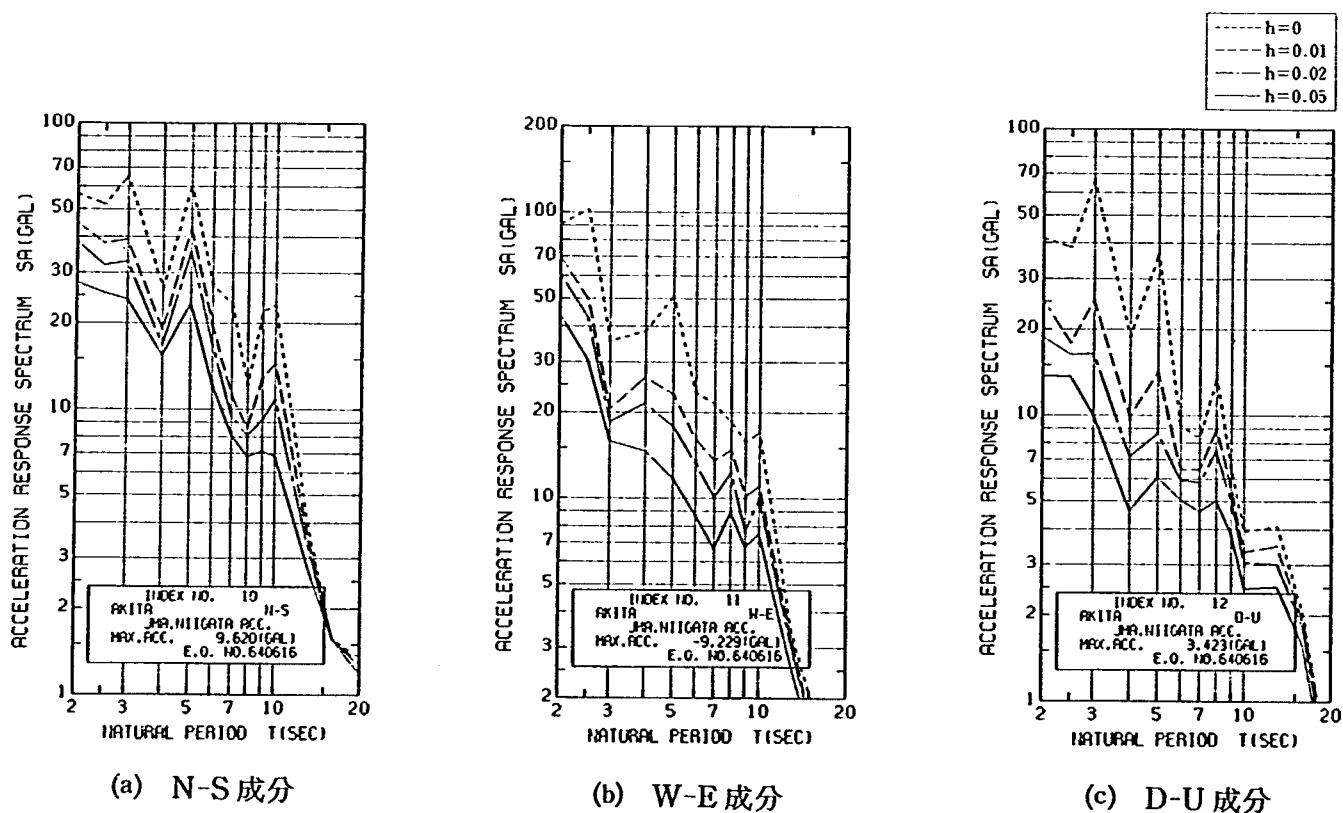


図 3.36 秋田記録の加速度応答スペクトル (記録 No.4)

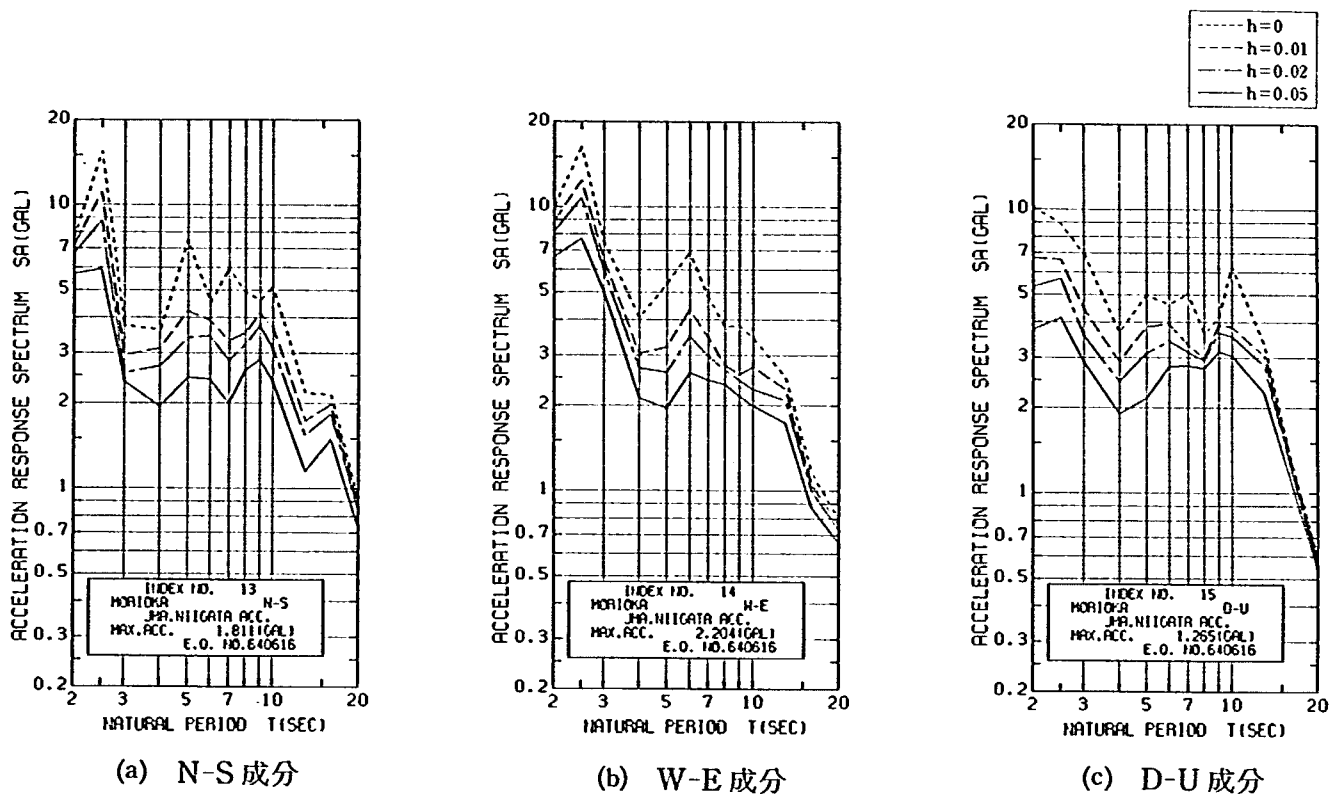


図 3.37 盛岡記録の加速度応答スペクトル (記録 No.5)

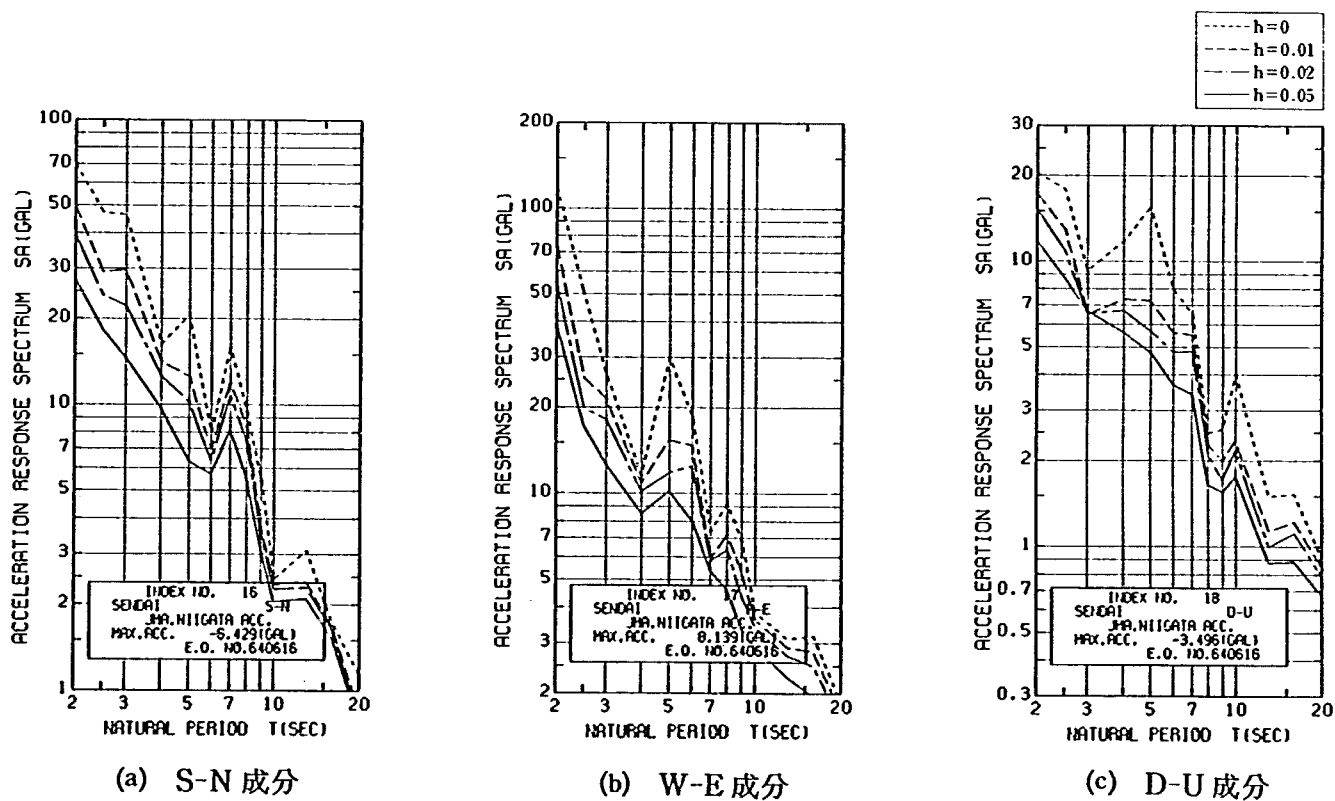


図 3.38 仙台記録の加速度応答スペクトル (記録 No.6)

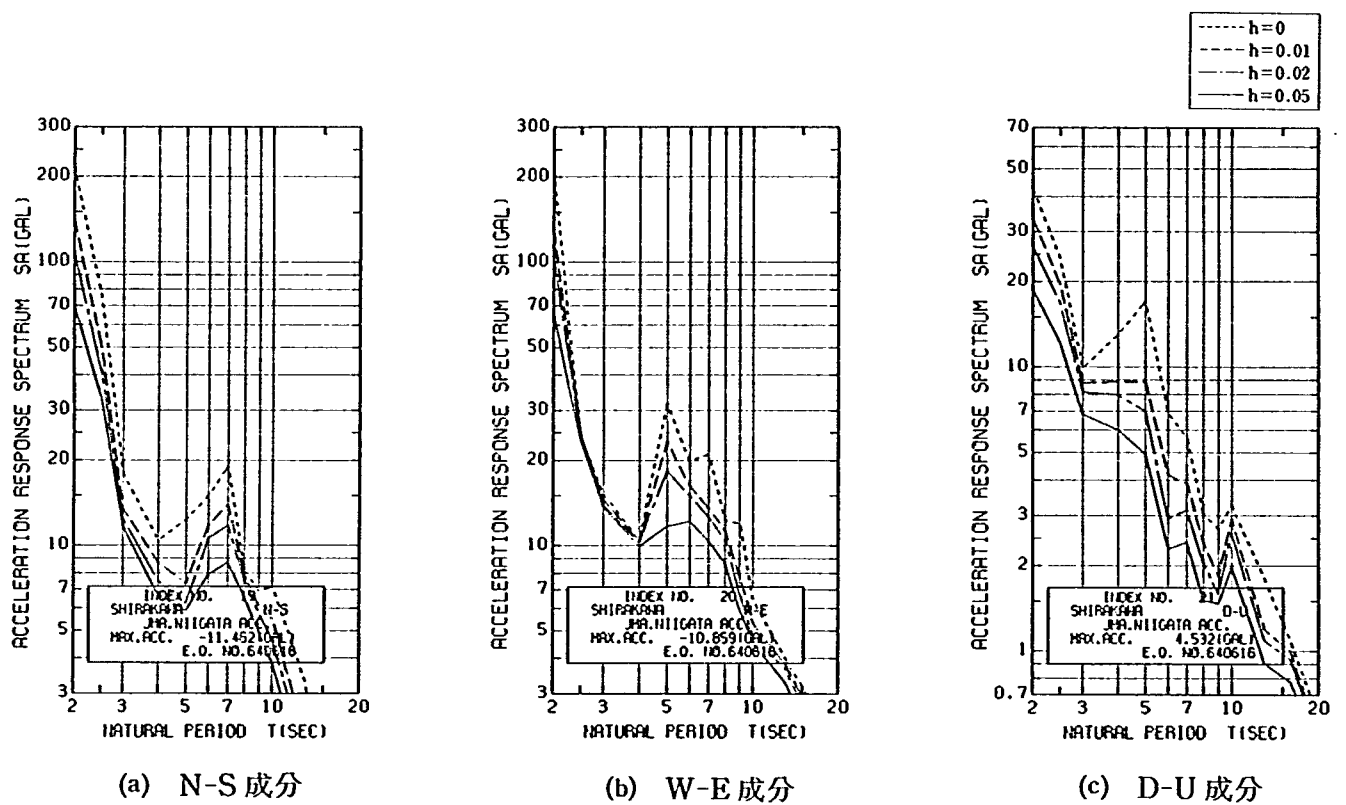


図 3.39 白河記録の加速度応答スペクトル (記録 No.7)

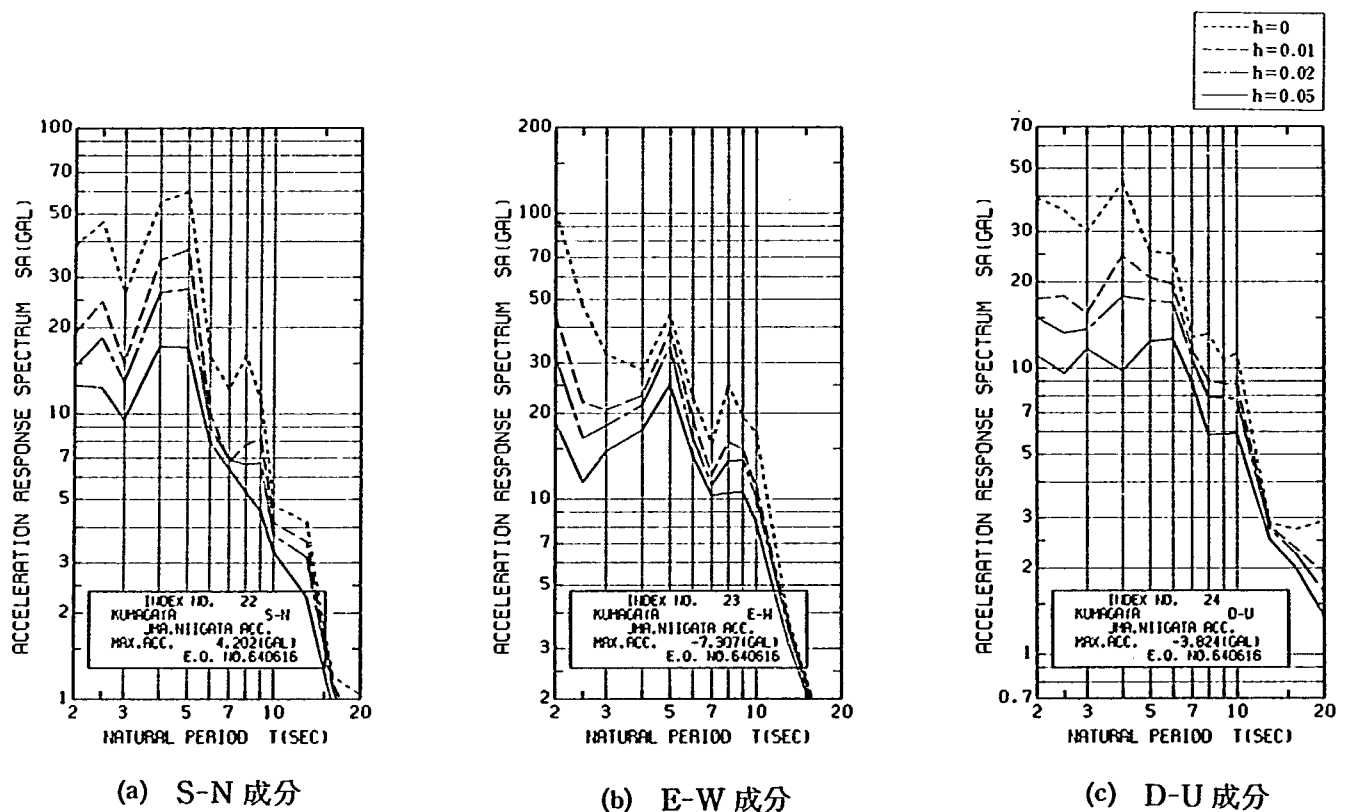


図 3.40 熊谷記録の加速度応答スペクトル (記録 No.8)

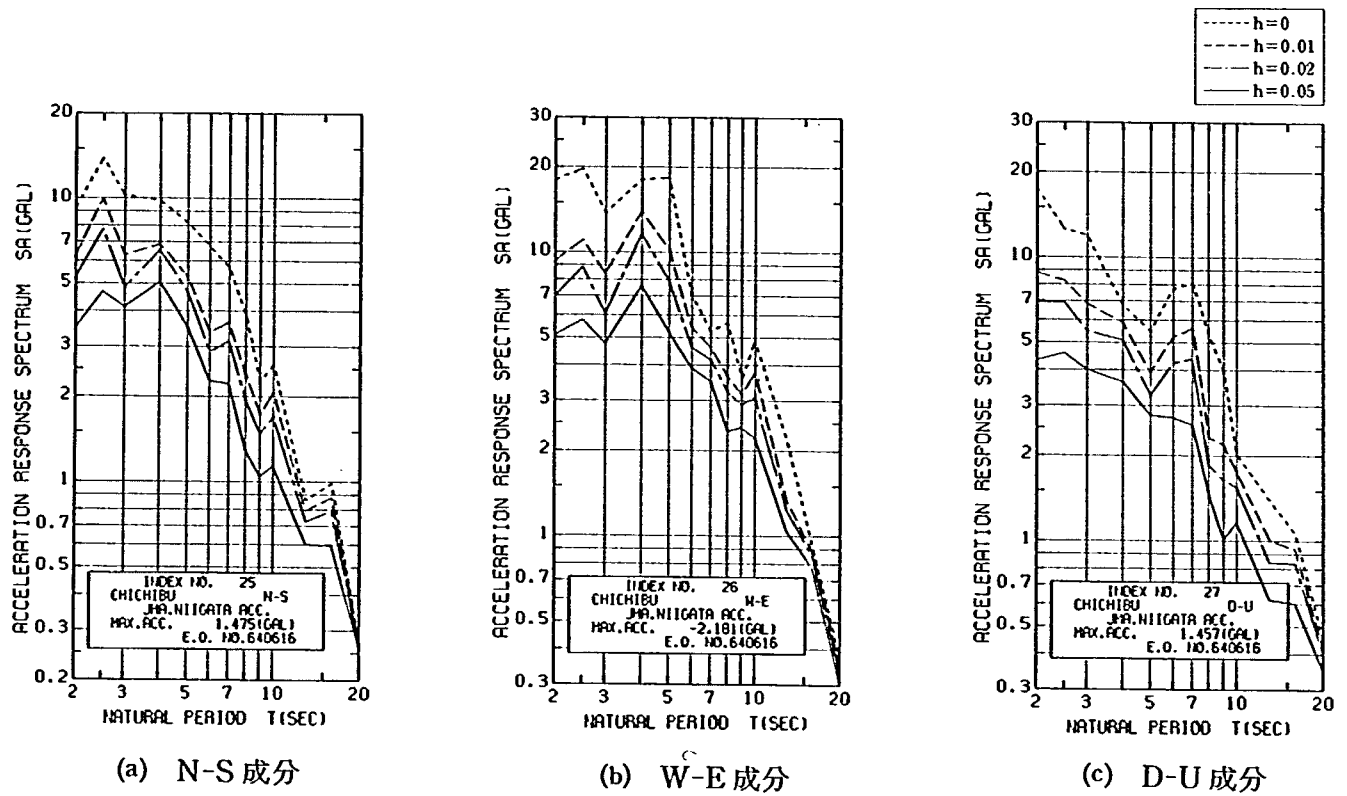


図 3.41 秩父記録の加速度応答スペクトル (記録 No.9)

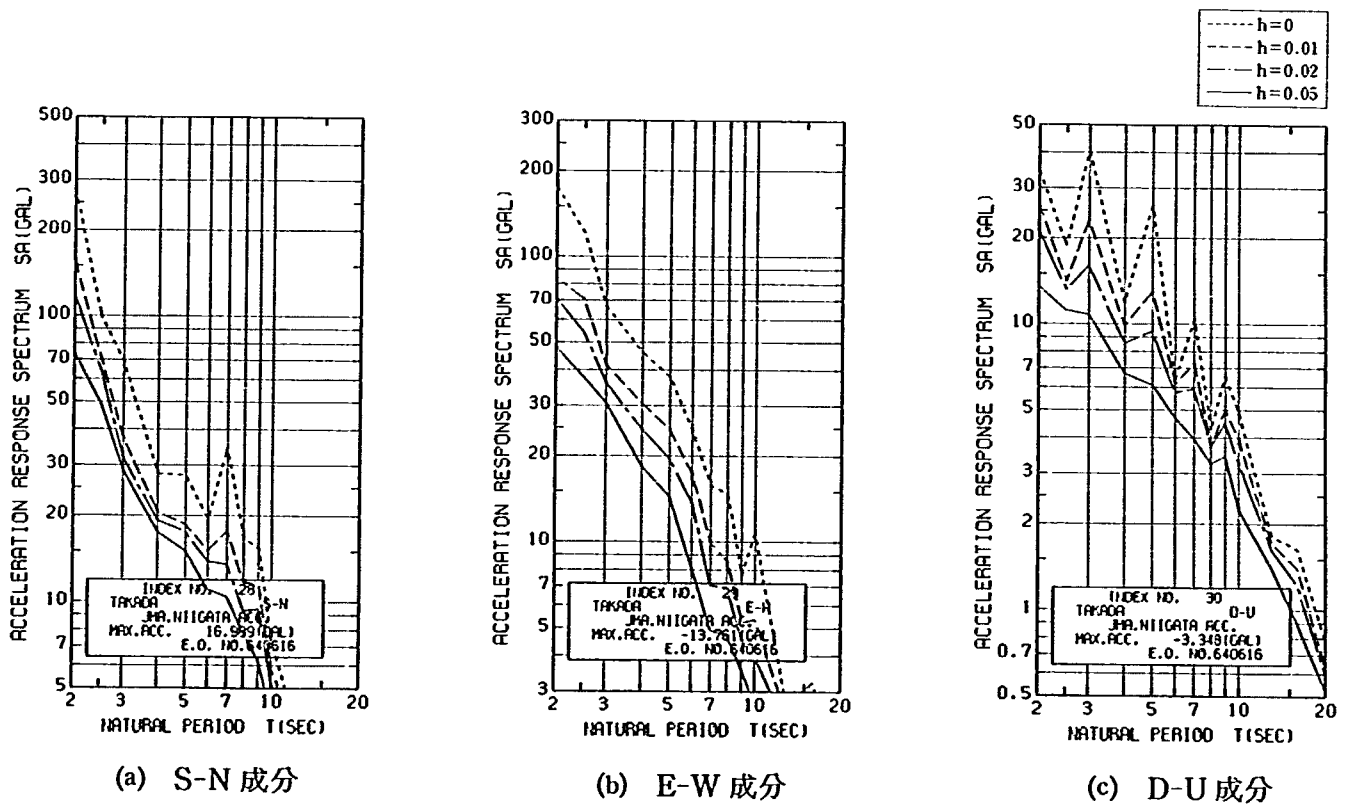


図 3.42 高田記録の加速度応答スペクトル (記録 No.10)

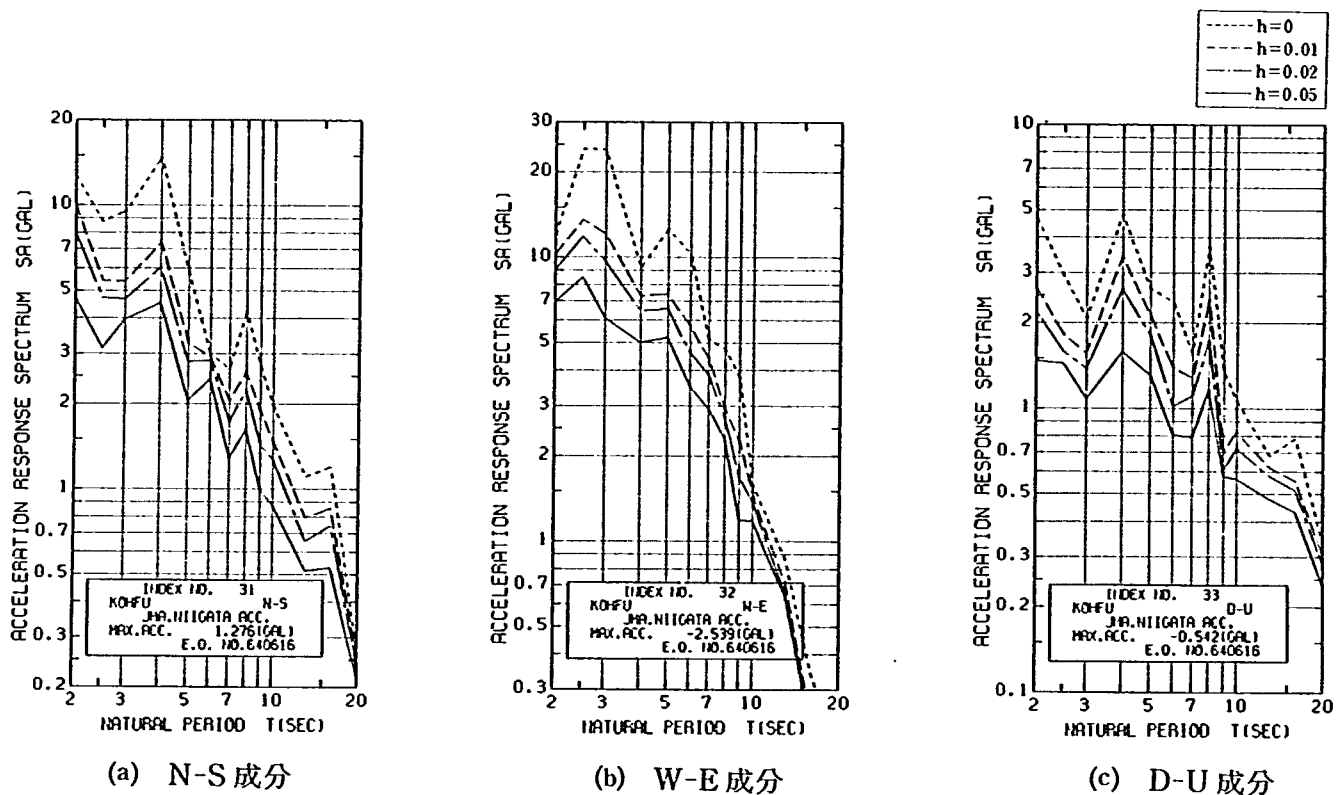


図 3.43 甲府記録の加速度応答スペクトル (記録 No.11)

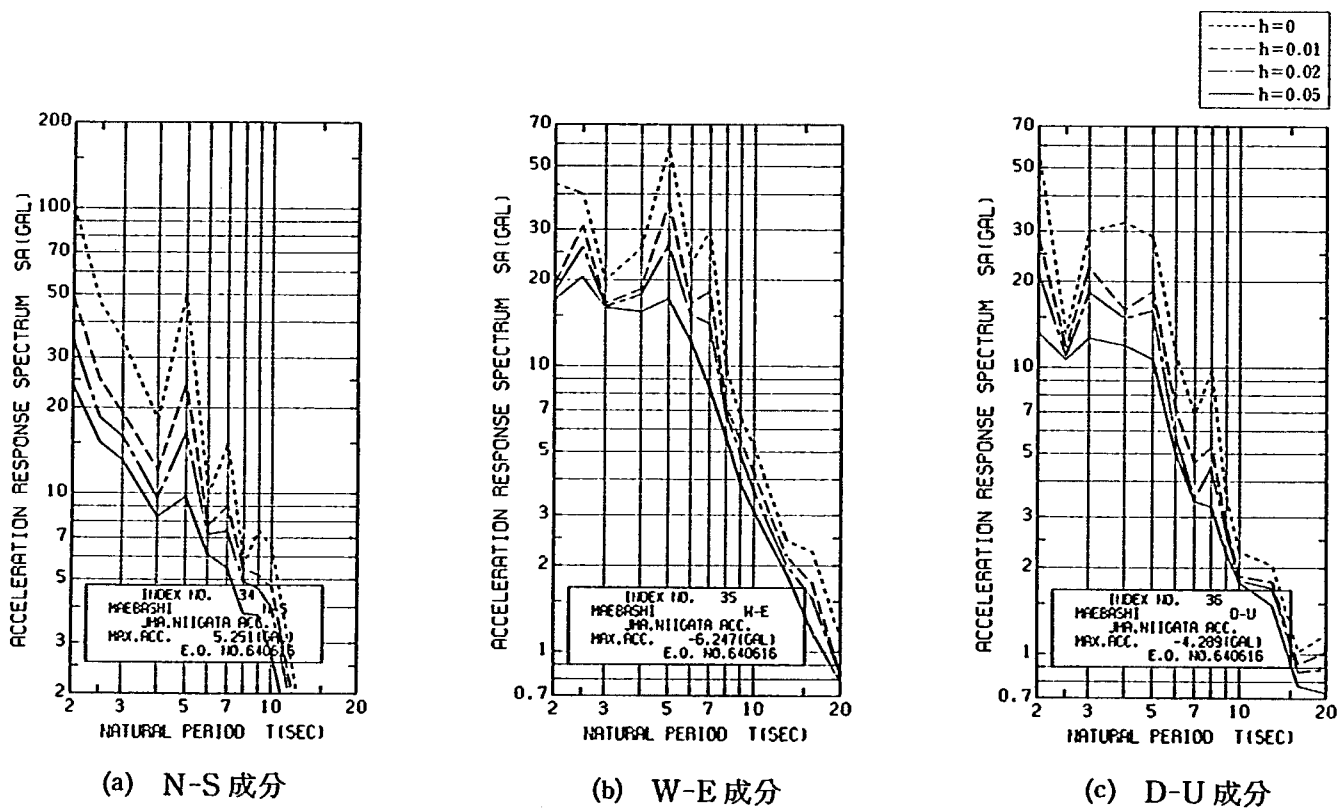


図 3.44 前橋記録の加速度応答スペクトル (記録 No.12)

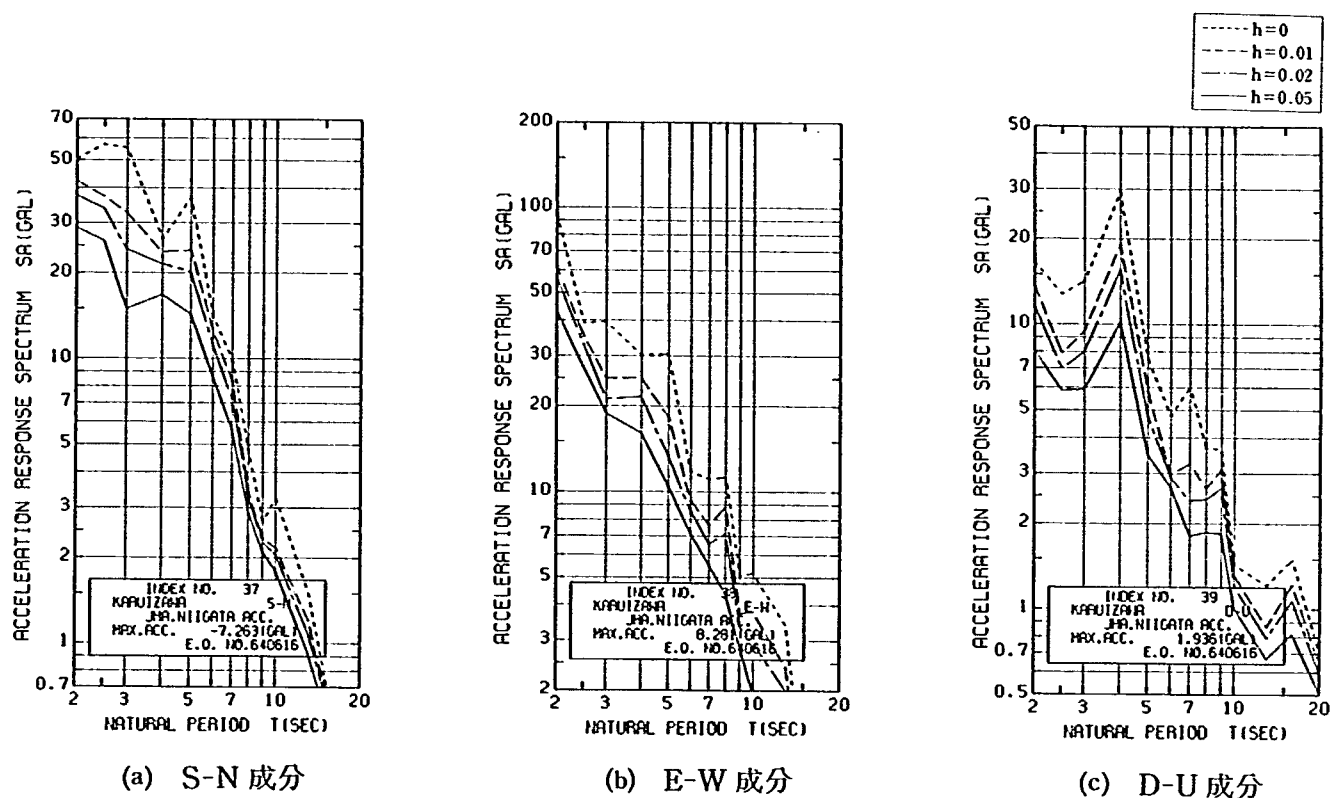


図 3.45 軽井沢記録の加速度応答スペクトル (記録 No.13)

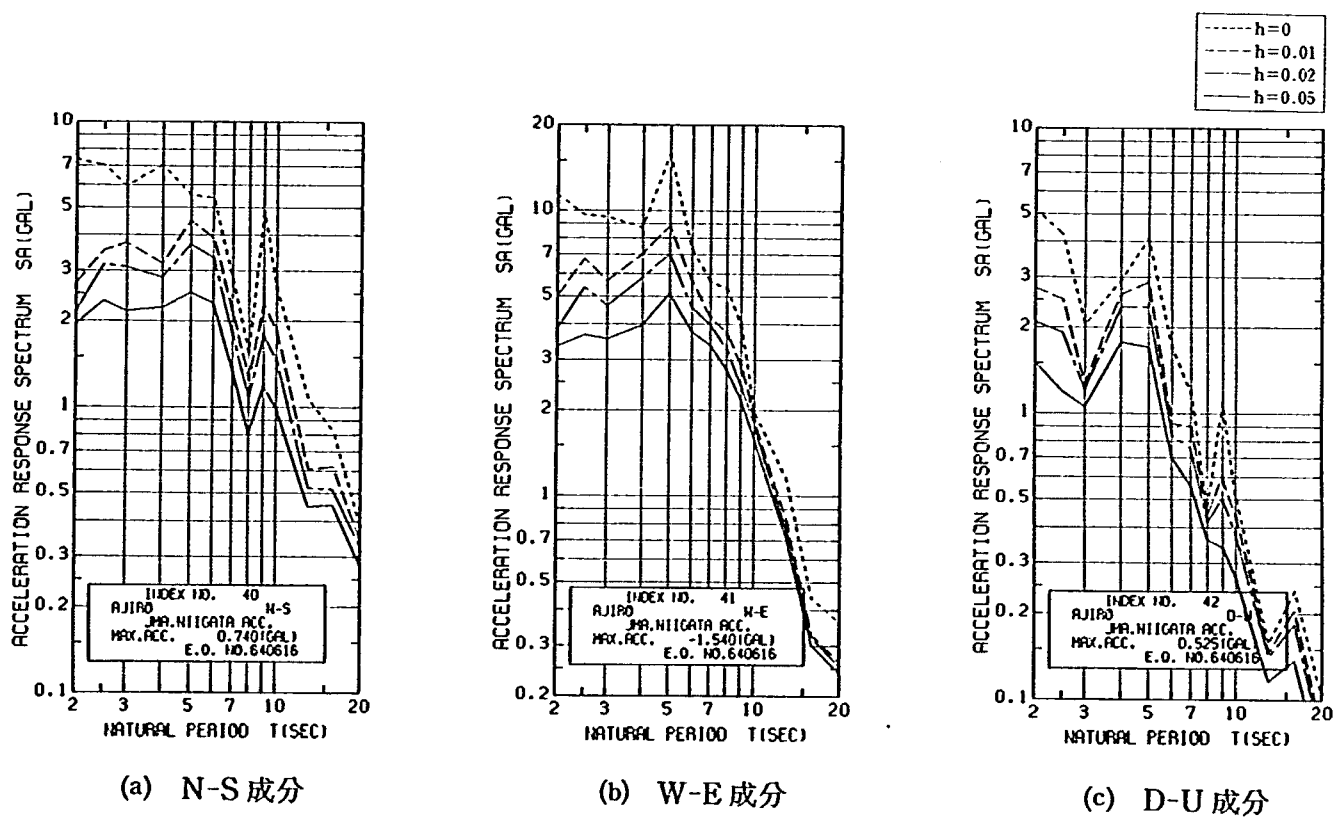


図 3.46 網代記録の加速度応答スペクトル (記録 No.14)

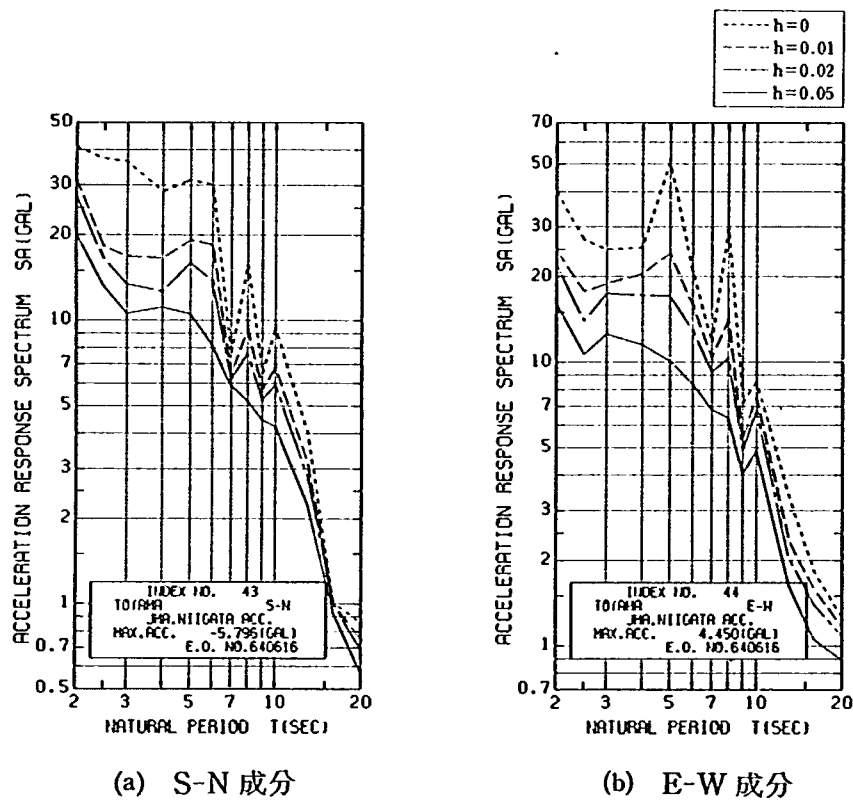


図 3.47 富山記録の加速度応答スペクトル (記録 No.15)

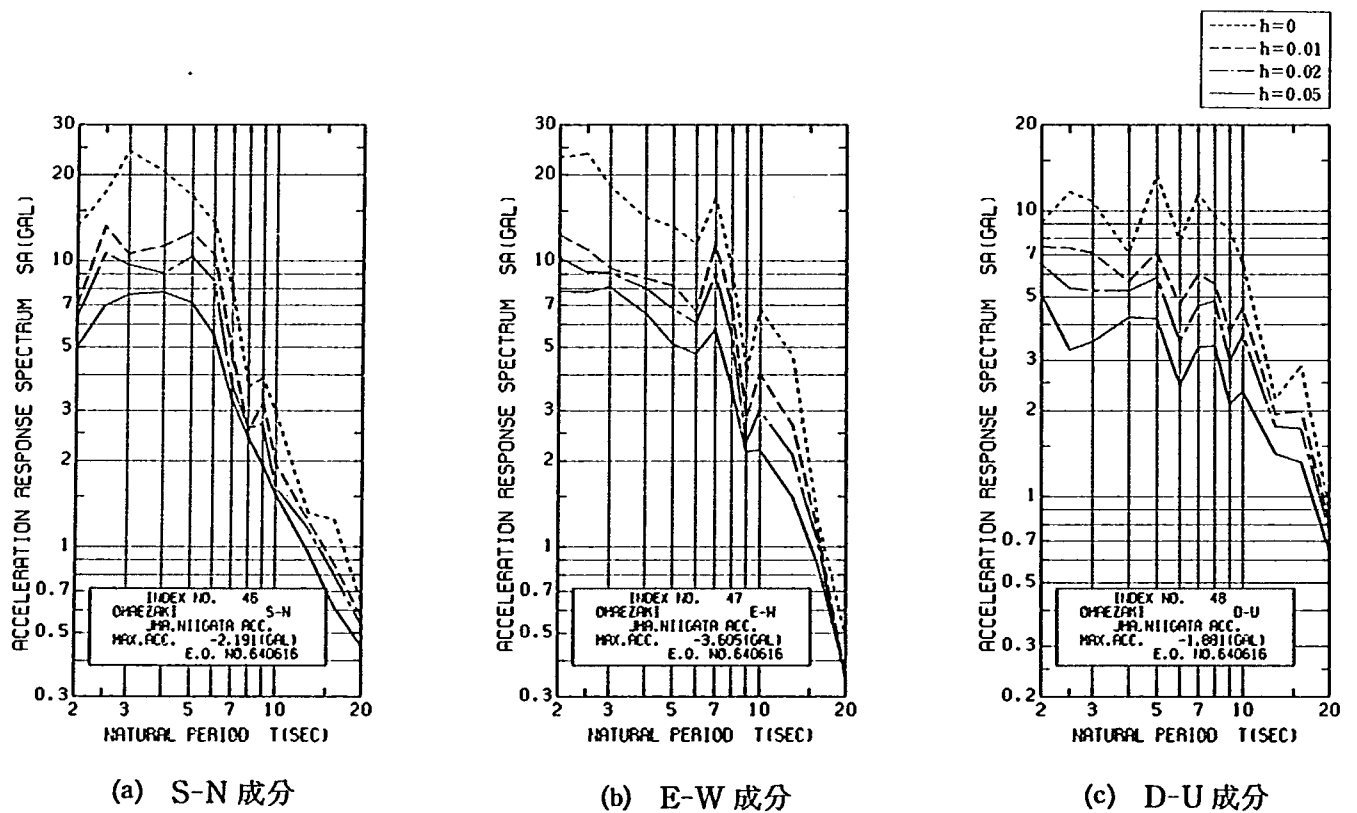


図 3.48 御前崎記録の加速度応答スペクトル (記録 No.16)

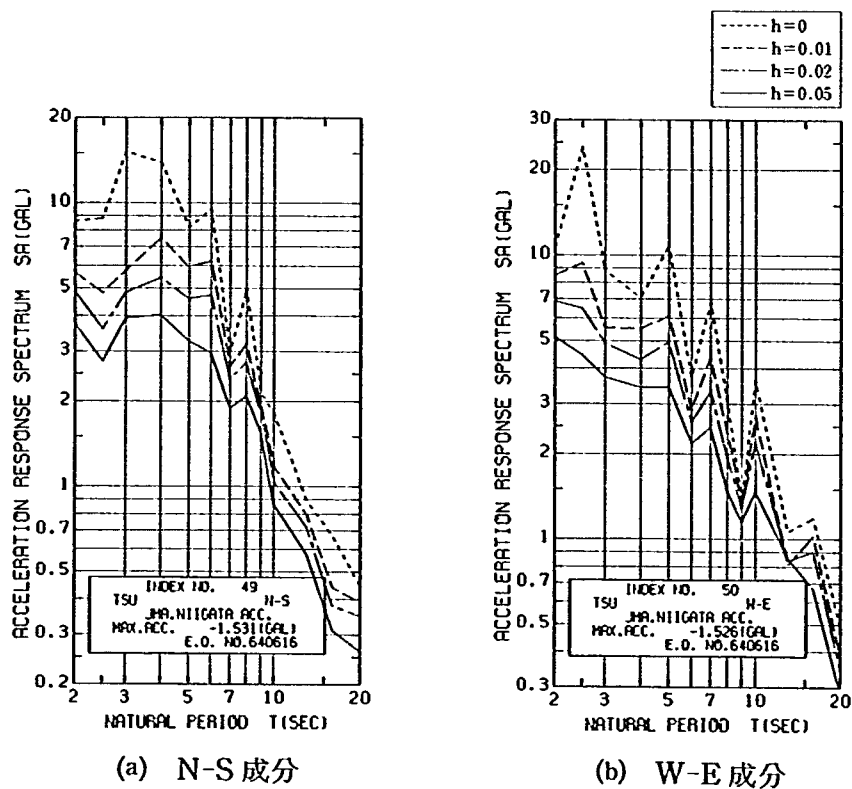


図 3.49 津記録の加速度応答スペクトル (記録 No.17)

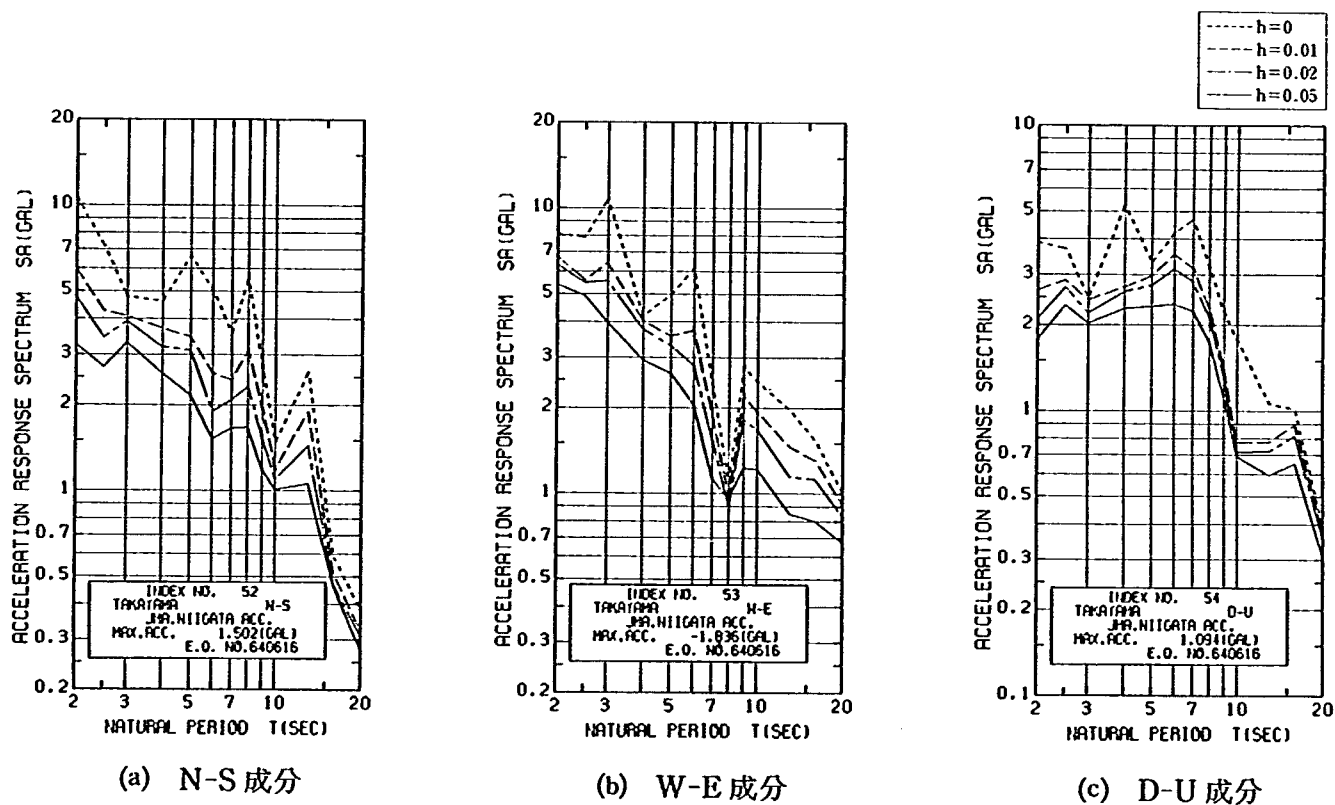


図 3.50 高山記録の加速度応答スペクトル (記録 No.18)

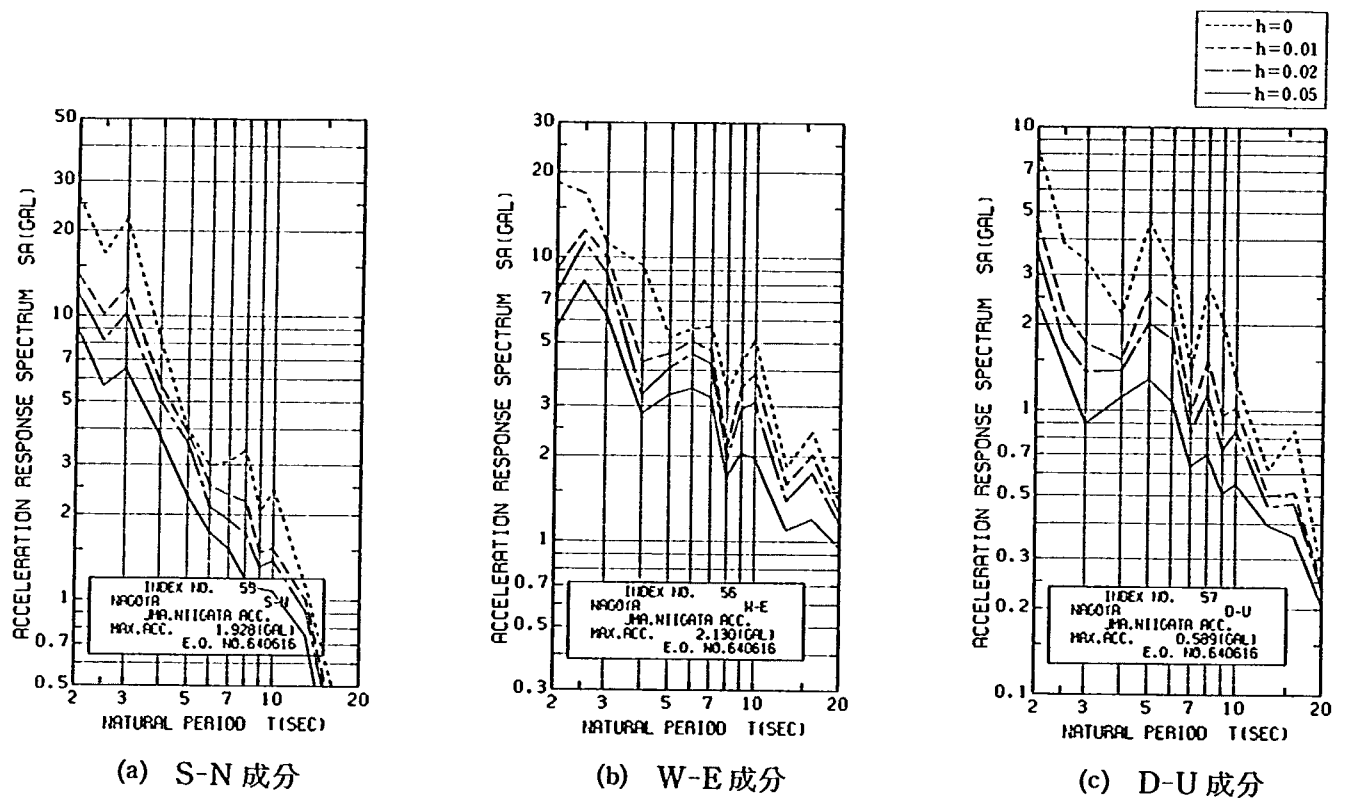


図 3.51 名古屋記録の加速度応答スペクトル (記録 No.19)

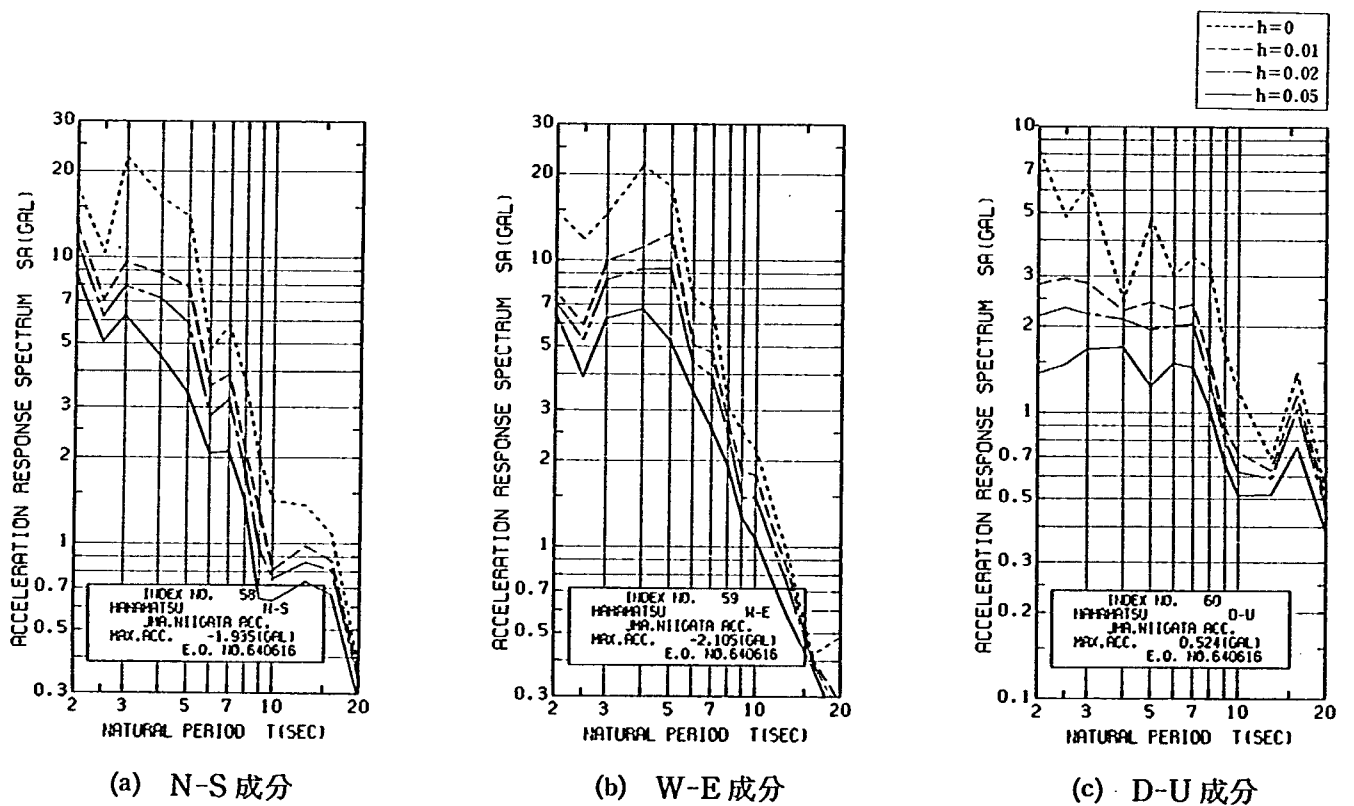


図 3.52 浜松記録の加速度応答スペクトル (記録 No.20)

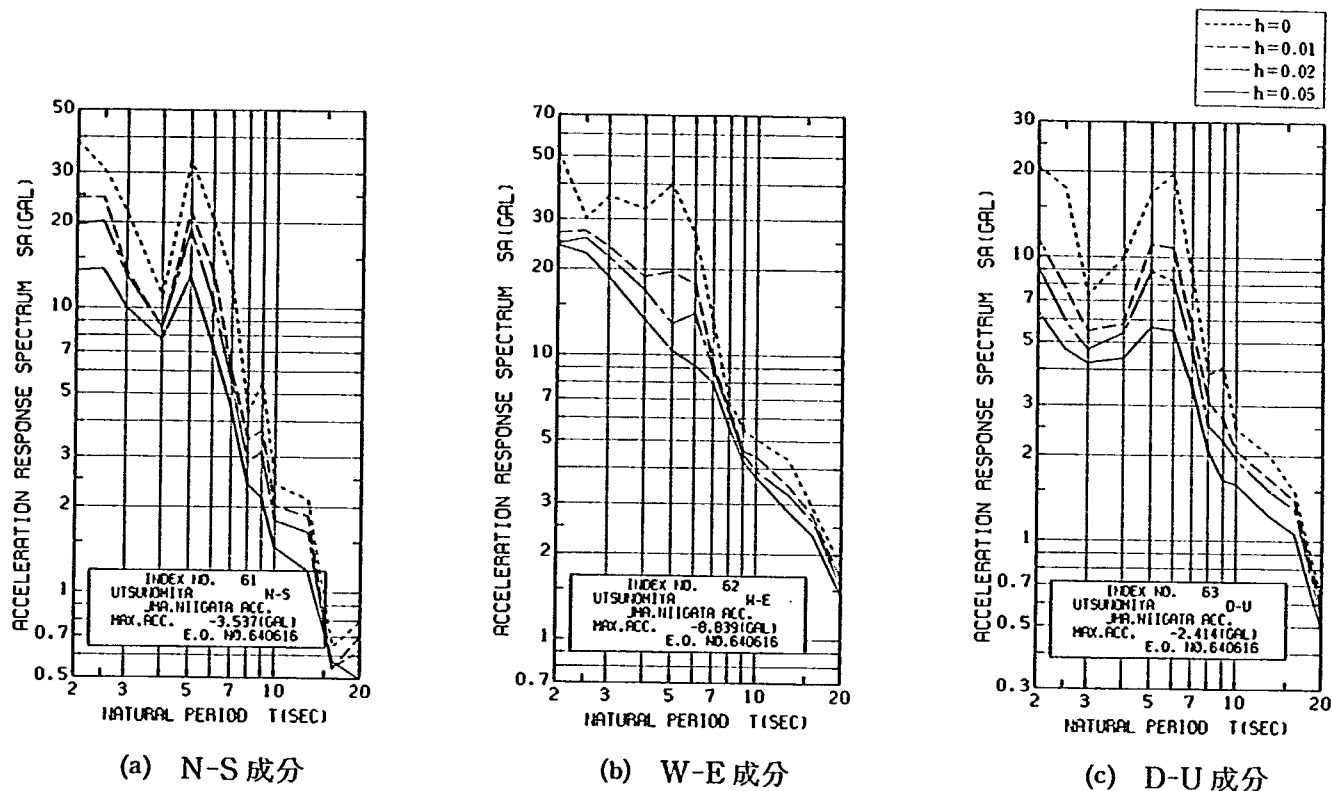


図 3.53 宇都宮記録の加速度応答スペクトル (記録 No.21)

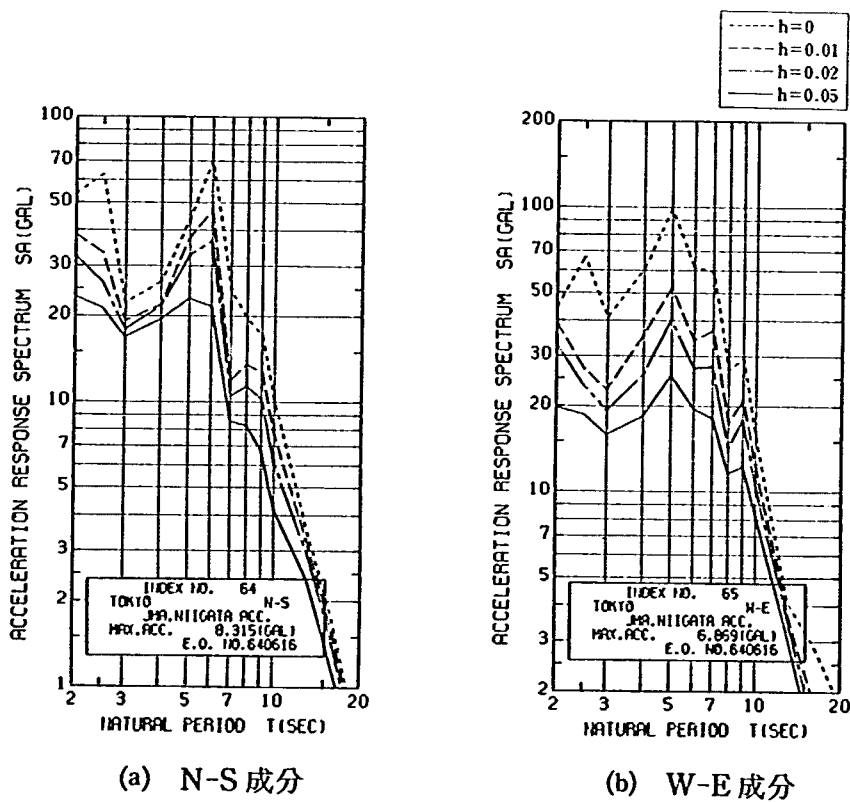


図 3.54 東京記録の加速度応答スペクトル (記録 No.22)

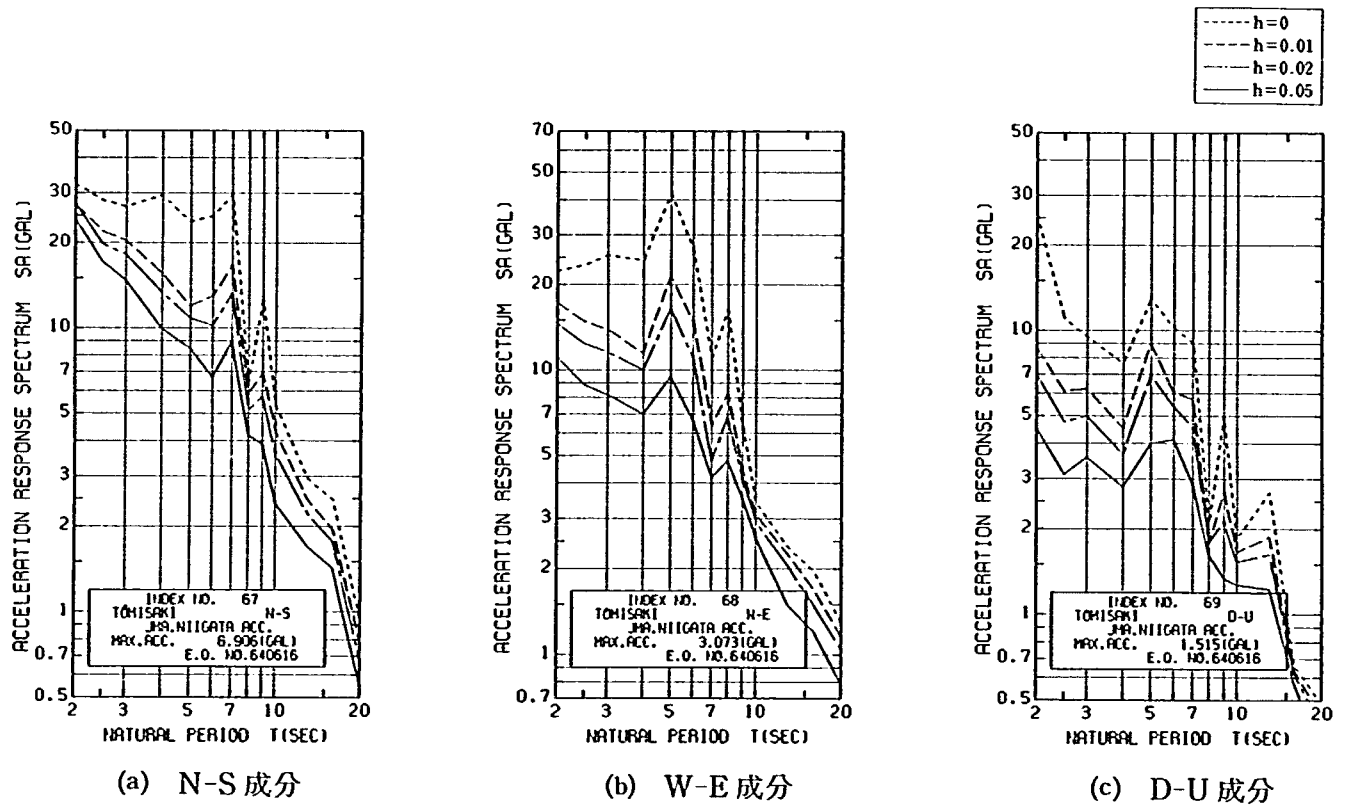


図 3.55 富崎記録の加速度応答スペクトル (記録 No.23)

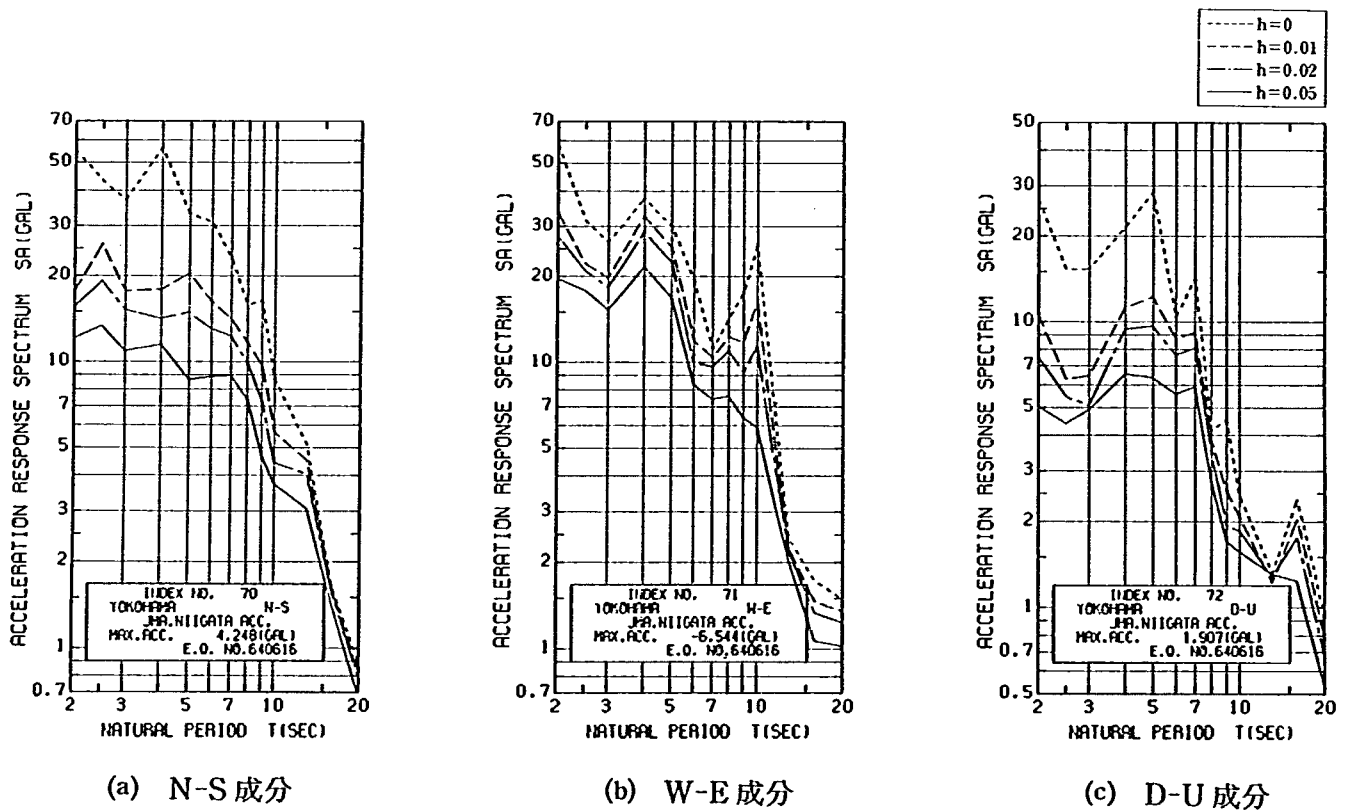
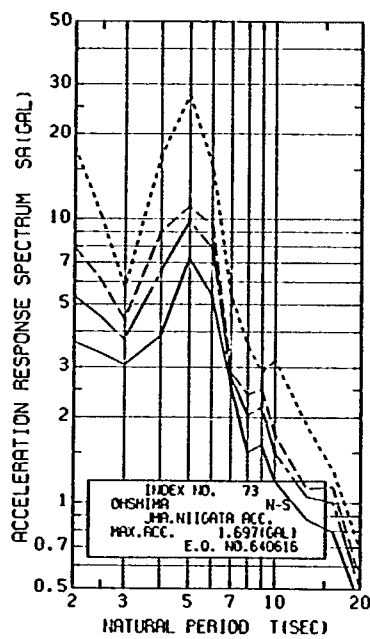
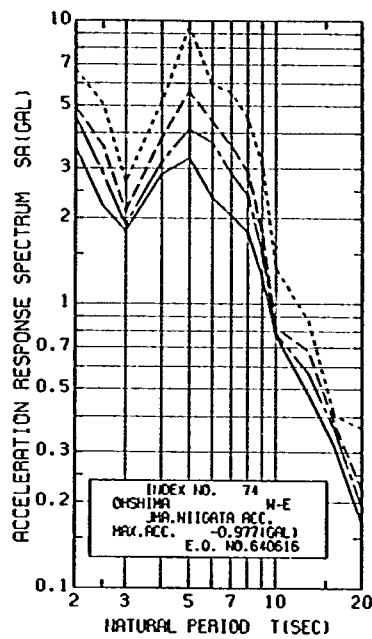


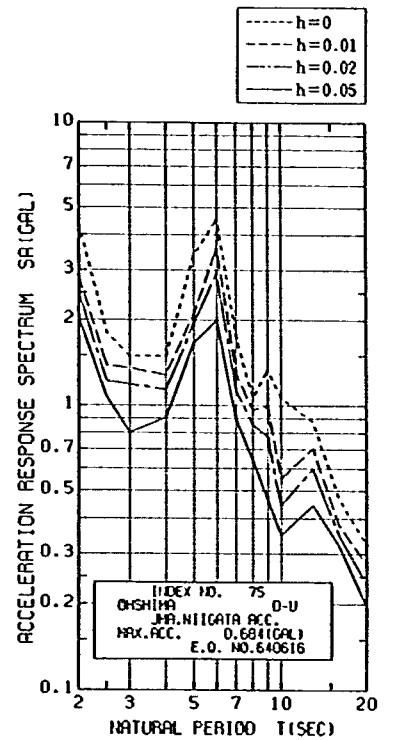
図 3.56 横浜記録の加速度応答スペクトル (記録 No.24)



(a) N-S 成分



(b) W-E 成分



(c) D-U 成分

図 3.57 大島記録の加速度応答スペクトル (記録 No.25)

4. 長周期地震動の特性

4.1 気象庁一倍強震計記録の特徴

図 3.8～図 3.32 に示した気象庁一倍強震計記録およびこれから求めた速度、加速度波形を従来得られている工学式強震計記録と比較すると、全体として次のような特徴のあることが指摘される。

1) 継続時間が非常に長い

気象庁一倍強震計記録では大部分の記録の継続時間が 400 秒程度以上である。これに対し、一般に従来得られている工学式強震計記録の場合には長い記録でも数値化可能な継続時間（加速度が 10～20 gal 程度以上）は 90～120 秒程度にすぎない。加速度の記録を目的とした工学式強震計では、せん断波の主要部が終り加速度がある程度小さくなると自動的に記録を停止する。したがって記録の後半には加速度は小さいが周期の長い波のあることはわかっていても記録を得ることができない。これに対して、変位の記録を目的とする気象庁一倍強震計ではせん断波の後に続く表面波成分まで記録できるため継続時間が長くなると考えられる。

2) 長周期成分を卓越して含んでいる

変位記録には周期 5～10 秒の非常に長い周期の波が卓越しているのが認められる。このような長周期成分の波は数値化精度の関係で、工学式強震計記録の数値積分からは正しく求めにくいものである。なお、今回の解析では長周期側の遮断周期を 20 秒としているため、図 3.8～図 3.32 の波形には 20 秒以上の周期成分は含まれていない。

3) 変位振幅が大きい

気象庁一倍強震計では記録可能な最大変位は±3 cm であるが、3 章に示した計器補正の効果により最大変位はこれよりも大きくなり、表 3.2 に示したように、秋田の N—S、白河の W—E、熊谷の E—W および高田の S—N 成分では 5 cm を越えている。

4) 加速度振幅が小さい

記録精度および数値化の精度を考慮し、短周期側の遮断周期を 2 秒としているため、短周期成分が欠落している。したがって、最大加速度は見かけ上小さくなっている。

4.2 最大変位、最大速度、最大加速度の距離減衰特性

1964 年新潟地震による気象庁一倍強震計記録の最大地震動（最大変位、最大速度、最大加速度）の一覧を示すと、表 4.1 のようになる。ここで、水平成分の場合には水平 2 成分のうちいずれか大きい方の値を示しており、また、距離の指標には、気象庁による震央距離を用いている。表中の地盤分類は気象官署近傍の表層地盤条件¹⁴⁾を示すものであり、表 4.2 に示すように、良好な硬質地盤である 1 種から軟弱地盤である 4 種までの 4 種類に区分される。また、揺やすさは岡田・鏡味¹⁵⁾により提案されたものであり、各地点における気象庁一倍強震計記録の統計解析に基づく相対的な最大変位振幅を表す指標である。各地点ごとの揺れやすさの分布は、表 4.3 および図 4.1 に示すとおりである。

長周期地震動は表層地盤条件よりも地中深部の地盤条件の影響を受けるものと考えられるので、以降の検討においては岡田・鏡味による揺れやすさをもとに地盤条件を区分するものとする。ただし、原論文では揺れやすさを分類ⅠからⅥまでの6段階に区分しているが、ここでは分類ⅠおよびⅡ（揺れやすさ $\bar{X}_i < 0.67$ ）、ⅢおよびⅣ（ $0.67 \leq \bar{X}_i < 1.50$ ）、ⅤおよびⅥ（ $\bar{X}_i \geq 1.50$ ）の3区分とすることにする。

表4.1より最大地震動の距離減衰特性を示すと、図4.2および図4.3に示すようになる。これより、最大地震動（水平成分）の距離減衰に関し、以下の事項が指摘される。

- 1) 本解析の範囲内では、各観測所の揺れやすさと最大地震動の距離減衰特性との間には明瞭な相関関係は認め難い。
- 2) 気象庁一倍強震計記録による最大変位の距離減衰は震央距離の -1.5 乗程度であり、既往の工学式強震計記録の統計解析¹⁶⁾による最大変位の減衰率（震央距離の -1.254 乗、式(4.1)参照）よりも若干大きくなっている。
- 3) 震央距離200 kmおよび300 kmにおける最大変位、最大速度および最大加速度の範囲を図4.2から読み取ると、表4.4のようになる。また、表中には我が国で得られた既往の強震記録の統計解析から求められた次の予測式による値も参考のため示している。

$$d_{\max} = \begin{cases} 0.626 \times 10^{0.372M} \times (\Delta + 30)^{-1.254} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 0.0617 \times 10^{0.567M} \times (\Delta + 30)^{-1.254} & (2, 3 \text{ 種地盤}) \dots\dots\dots (4.1) \\ 0.0704 \times 10^{0.584M} \times (\Delta + 30)^{-1.254} & (4 \text{ 種地盤}) \end{cases}$$

$$v_{\max} = \begin{cases} 20.8 \times 10^{0.263M} \times (\Delta + 30)^{-1.222} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 2.80 \times 10^{0.430M} \times (\Delta + 30)^{-1.222} & (2, 3 \text{ 種地盤}) \dots\dots\dots (4.2) \\ 5.11 \times 10^{0.404M} \times (\Delta + 30)^{-1.222} & (4 \text{ 種地盤}) \end{cases}$$

$$a_{\max} = \begin{cases} 987 \times 10^{0.216M} \times (\Delta + 30)^{-1.218} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 232 \times 10^{0.313M} \times (\Delta + 30)^{-1.218} & (2, 3 \text{ 種地盤}) \dots\dots\dots (4.3) \\ 404 \times 10^{0.265M} \times (\Delta + 30)^{-1.218} & (4 \text{ 種地盤}) \end{cases}$$

ここで、地盤種別は道路橋示方書耐震設計編の地盤種別を示している。また、上記推定式を求める際には、強震記録に1/12秒および3秒をそれぞれ周期の下限および上限とする計器補正を加えている。

表4.3より1964年新潟地震（マグニチュード7.5）による記録について、以下の事項が指摘される。

- i) 最大変位については、気象庁一倍強震計記録から求められる値が3.5～7 cm（震央距離200 km）、1.5～6 cm（震央距離300 km）であるのに対し、式(4.1)による推定値は0.42～1.8 cm（震央距離200 km）、0.27～1.2（震央距離300 km）と小さい。これは、上述したように式(4.1)が周期3秒までの変位を対象としているのに対して、気象庁一倍強震計記録では20秒までの周期成分を対象としているためと考えられる。
- ii) 最大加速度については、上記i)と反対で、気象庁一倍強震計記録から求められる値は6～10 gal（震央距離200 km）、1.5～9 gal（震央距離300 km）と小さい。一方、式(4.3)による推定値は、

52～69 gal（震央距離 200 km）、34～44 gal（震央距離 300 km）である。これは、前述したように気象庁一倍強震記録には周期 2 秒以下の短周期成分が含まれていないために、加速度値が小さく求められたものである。

- iii) 最大速度については、気象庁一倍強震計記録から求められる値と式(4.2)により求められる推定値は比較的良く一致している。これは、速度は加速度と変位の中間の周期領域で卓越し、上記 i) と ii) の中間的な性格を有しているため、気象庁一倍強震計記録の周期帯域と工学式強震記録の周期帯域がおおむね合致しているためと考えられる。

4.3 加速度応答スペクトル値の距離減衰特性

気象庁一倍強震計記録より固有周期 2, 3, 5, 7, 10, 20 秒について加速度応答スペクトル値（減衰定数 5%）を求めると、表 4.5 に示すようになる。表 4.5 より最大地震動の場合と同様に、加速度応答スペクトル値の距離減衰を求めると、図 4.4 および図 4.5 のようになる。ここで、水平成分の場合には水平 2 成分からそれぞれ求めた加速度応答スペクトル値のうちいずれか大きい方の値を示している。図 4.4 より、震央距離 200 km および 300 km における気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値の範囲を示すと表 4.6 のようになる。また、表中には、式(4.1)～(4.3) と同一の既往強震記録の統計解析から求められた次の予測式による加速度応答スペクトル値（減衰定数 5%、固有周期 2 秒、水平成分）も合わせて示している。

$$S_A(2 \text{ 秒}) = \begin{cases} 5.78 \times 10^{0.417M} \times (\Delta + 30)^{-1.178} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 0.347 \times 10^{0.644M} \times (\Delta + 30)^{-1.178} & (2, 3 \text{ 種地盤}) \dots\dots\dots (4.4) \\ 0.351 \times 10^{0.666M} \times (\Delta + 30)^{-1.178} & (4 \text{ 種地盤}) \end{cases}$$

これらの結果より、加速度応答スペクトルの距離減衰に関し、以下の事項が指摘される。

- 1) 最大地震動の場合と同様に、本解析の範囲では、観測所の揺れやすさと加速度応答スペクトル値の距離減衰特性との間には明瞭な関係は認め難い。
- 2) 式(4.4) による固有周期 2 秒の加速度応答スペクトルの推定値は、13～57 gal（震央距離 200 km）、8.4～37 gal（震央距離 300 km）である。一方、気象庁一倍強震計記録による固有周期 2 秒の加速度応答スペクトル値は、10～40 gal（震央距離 200 km）、4～25 gal（震央距離 300 km）であり、最大加速度の場合と同様に、気象庁一倍強震計記録から求められる加速度応答スペクトル値は小さくなっている。

表 4.1 最大地震動の一覧

No.	観測所名	地盤分類 GC _i	振れやすさ $\bar{X}_i$	震央距離 Δ [km]	水平方向の最大地震動			上下方向の最大地震動		
					最大変位 d_{max}^H [cm]	最大速度 v_{max}^H [cm/sec]	最大加速度 a_{max}^H [gal]	最大変位 d_{max}^V [cm]	最大速度 v_{max}^V [cm/sec]	最大加速度 a_{max}^V [gal]
1	ISHINOMAKI	2	0.60	182.9	3.946	3.937	6.706	1.820	2.044	4.314
2	AOMORI	4	2.51	300.9	4.646	2.891	3.832	1.612	0.976	0.816
3	MIYAKO	1	0.56	276.4	2.575	1.314	1.473	2.138	1.157	1.131
4	AKITA	3	1.74	165.7	5.126	4.287	9.620	3.087	2.596	3.423
5	MORIOKA	2	0.63	222.9	2.501	1.375	2.204	3.213	1.615	1.265
6	SENDAI	2	1.20	148.9	4.727	3.677	8.139	2.452	2.159	3.496
7	SHIRAKAWA	1	1.02	168.3	5.576	6.194	11.462	1.640	1.955	4.532
8	KUMAGAYA	2	1.48	250.6	6.607	4.858	7.307	4.363	4.079	3.824
9	CHICHIBU	2	0.87	268.8	1.589	1.549	2.181	1.292	1.015	1.457
10	TAKADA	3	0.60	166.9	6.638	8.653	16.989	2.626	1.937	3.348
11	KOFU	3	1.15	309.3	1.257	1.296	2.539	0.740	0.479	0.542
12	MAEBASHI	2	1.51	222.6	3.478	3.273	6.247	3.083	2.312	4.289
13	KARUIZAWA	3	1.66	236.8	2.247	3.248	8.281	1.837	1.359	1.936
14	AJIRO	2	0.52	372.5	1.399	1.228	1.540	0.304	0.302	0.525
15	TOYAMA	2	1.20	258.4	2.949	2.667	5.796			
16	OMAEZAKI	2	1.35	431.5	2.073	2.131	3.605	1.854	1.193	1.881
17	TSU	3	0.74	476.0	1.210	0.895	1.531			
18	TAKAYAMA	2		303.8	1.379	1.023	1.836	0.988	0.607	1.094
19	NAGOYA	2	1.41	410.7	2.630	1.535	2.130	0.680	0.325	0.589
20	HAMAMATSU	2	1.12	432.1	1.143	1.223	2.105	1.009	0.568	0.524
21	UTSUNOMIYA	2	1.02	213.9	6.143	4.657	8.839	2.309	1.374	2.414
22	TOKYO	3	2.00	309.3	5.916	4.916	8.315			
23	TOMISAKI			385.0	3.811	4.315	6.906	1.150	1.210	1.515
24	YOKOHAMA	2	2.00	332.2	3.622	3.907	6.544	2.158	1.784	1.907
25	OSHIMA		0.87	404.2	1.941	1.275	1.697	0.638	0.418	0.684

表 4.2 気象官署の地盤分類

番号	地 盤 の 分 類	
1	岩 盤	庁舎の周囲相当な範囲にわたって、岩盤、硬質砂礫層、その他、主として第3紀以前の地層によって構成されているもの
2	硬い砂もしくは粘土の地盤	庁舎の周囲の相当な範囲にわたって、砂礫層、ローム層、砂混り硬質粘土層、その他、主として洪積層によって構成されているもの、また厚さが、おおむね5 m以上の砂利層もしくは砂礫層の沖積層によって構成されているもの
3	普通の柔らかい地盤	第1、第2および第4に属さない地盤で、砂層、砂混り粘土層、粘土層、泥土など主として沖積層に属するもの
4	特に柔らかい地盤	著しく軟弱な地盤で、次のいずれかに該当するもの 1. 腐食土、泥土その他これに類するもので構成されている沖積層でその深さが30 m以上のもの 2. 埋立て地で深さ3 m以上、埋立てられてからおおむね30年を経過していないもの

表 4.3 やや長周期帯域における揺れやすさの一覧 (文献 15) による)

分類	順位	観測所	揺れやすさ $\bar{X}_i$	分類	順位	観測所	揺れやすさ $\bar{X}_i$	分類	順位	観測所	揺れやすさ $\bar{X}_i$	
VI	1	酒田	4.79		32	浜松	1.12		64	岐阜	0.76	
	2	大分	3.09		33	高知	1.12		65	広島	0.74	
	3	大阪	3.02		34	宮崎	1.12		66	静岡	0.74	
	4	新潟	2.95		35	石廊崎	1.10		67	津	0.74	
	5	帯広	2.69		36	彦根	1.07		68	下関	0.69	
	6	青森	2.51		37	札幌	1.07		69	潮岬	0.69	
	7	館山	2.29		38	長崎	1.05		70	室戸岬	0.68	
	8	鹿児島	2.09		39	白河	1.02		71	州本	0.68	
	9	東京	2.00		40	宇都宮	1.02		II	72	八丈島	0.66
	10	横浜	2.00		41	敦賀	1.00			73	飯田	0.65
V	11	河口湖	1.78	III	42	福島	0.98	74		足摺	0.63	
	12	秋田	1.74		43	広島	0.98	75		盛岡	0.63	
	13	水沢	1.74		44	輪島	0.95	76		種子島	0.62	
	14	熊本	1.70		45	福岡	0.95	77		石巻	0.60	
	15	軽井沢	1.66		46	柿岡	0.95	78		高田	0.60	
	16	長野	1.55		47	金沢	0.95	79		浜田	0.59	
	17	前橋	1.51		48	神戸	0.95	80		網走	0.59	
IV	18	熊谷	1.48		49	松山	0.93	81		室蘭	0.58	
	19	水戸	1.41		50	留萌	0.93	82	宮古	0.56		
	20	那覇	1.41		51	釧路	0.89	83	屋久島	0.54		
	21	名古屋	1.41		52	秩父	0.87	84	和歌山	0.54		
	22	奈良	1.41		53	松本	0.87	85	網代	0.52		
	23	三島	1.35		54	大島	0.87	86	京都	0.52		
	24	御前崎	1.35		55	福島	0.87	87	西郷	0.52		
	25	浦河	1.23		56	旭川	0.85	I	88	岡山	0.50	
	26	延岡	1.23		57	稚内	0.85		89	姫路	0.49	
	27	仙台	1.20		58	福岡	0.79		90	根室	0.47	
	28	富山	1.20		59	函館	0.79		91	八戸	0.46	
	29	豊岡	1.20		60	鳥取	0.78		92	大船戸	0.46	
	30	甲府	1.15		61	山形	0.78		93	相川	0.45	
	31	小名浜	1.15		62	高松	0.78		94	大相尾	0.45	
			63	銚子	0.76					94	尾鷲	0.44

VI : $2.00 \leq \bar{X}_i$

V : $1.50 \leq \bar{X}_i < 2.00$

IV : $1.00 \leq \bar{X}_i < 1.50$

III : $0.67 \leq \bar{X}_i < 1.00$

II : $0.50 \leq \bar{X}_i < 0.67$

I : $\bar{X}_i < 0.50$

表 4.4 最大地震動（水平成分）の比較（1964 年新潟地震，M=7.5）

	震央距離	気象庁一倍 強震計記録	既往の工学式強震計記録の 統計解析に基づく予測式			備 考
			1 種地盤	2, 3 種地盤	4 種地盤	
最大変位 [cm]	200 km	3.5~7	0.42	1.2	1.8	既往の工学式強震計記録の統計解析に基づく予測式では3秒以上の長周期成分は遮断されている。
	300 km	1.5~6	0.27	0.77	1.2	
最大速度 [cm/sec]	200 km	3~5	2.5	6.1	7.1	
	300 km	1~5	1.6	3.9	4.6	
最大加速度 [gal]	200 km	6~10	55	69	52	気象庁一倍強震計記録には2秒以下の周期成分が含まれていない（数値化時に数値的に遮断している）ため、最大加速度は小さくなっている。
	300 km	1.5~9	35	44	34	

表 4.6 加速度応答スペクトル値（水平成分，減衰定数 $h=0.05$ ）の比較

(a) 気象庁一倍強震計記録

周有周期 T [秒]	震 央 距 離	
	200 km	300 km
2	10~40	4~25
3	10~20	3.5~20
5	4~25	2.5~25
7	4~10	1.5~20
10	2.5~8	1~9
20	0.7~1.5	0.2~1.5

(b) 既往の工学式強震計記録の統計解析に基づく加速度
応答スペクトル値（固有周期 2 秒）

震央距離 [km]	地 盤 種 別		
	1 種地盤	2, 3 種地盤	4 種地盤
200	13	39	57
300	8.4	25	37

表4.5 加速度応答スペクトルの一覧

方向	No.	観測所名	加速度応答スペクトル $S_a(T)$ [gal] T :固有周期 [sec]					
			$T=2.0$	$T=3.0$	$T=5.0$	$T=7.0$	$T=10.0$	$T=20.0$
水 平 方 向	1	ISHINOMAKI	29.462	11.613	4.537	4.905	3.304	0.914
	2	AOMORI	19.290	13.545	2.753	3.581	6.307	0.661
	3	MIYAKO	3.643	3.855	2.459	2.419	2.122	0.671
	4	AKITA	44.115	24.260	23.387	8.118	7.542	1.193
	5	MORIOKA	6.663	5.009	2.453	2.457	2.385	0.733
	6	SENDAI	38.965	14.588	10.208	8.143	2.923	1.357
	7	SHIRAKAWA	70.354	13.705	11.687	10.417	4.571	1.498
	8	KUMAGAYA	18.682	14.742	25.143	10.279	8.279	0.931
	9	CHICHIBU	5.089	4.763	5.203	3.514	2.215	0.307
	10	TAKADA	74.252	30.596	15.102	10.435	4.100	1.462
	11	KOFU	6.962	6.124	5.206	2.934	1.185	0.216
	12	MAEBASHI	24.216	16.010	17.228	8.421	3.098	0.790
	13	KARUIZAWA	43.300	18.826	14.355	5.665	1.949	0.359
	14	AJIRO	3.339	3.539	5.115	3.384	1.590	0.279
	15	TOYAMA	20.199	12.599	10.538	6.819	4.842	0.896
	16	OMAEZAKI	7.829	8.129	7.173	5.734	2.184	0.452
	17	TSU	5.165	3.922	3.438	2.475	1.474	0.286
	18	TAKAYAMA	5.405	3.986	2.648	1.657	1.217	0.675
	19	NAGOYA	9.146	6.517	3.289	3.231	1.975	0.955
	20	HAMAMATSU	8.747	6.260	5.236	2.597	1.071	0.287
	21	UTSUNOMIYA	24.302	18.911	12.974	8.032	3.741	1.447
	22	TOKYO	23.429	16.885	25.597	18.217	8.307	1.094
	23	TOMISAKI	24.185	14.752	9.462	8.959	2.572	0.790
	24	YOKOHAMA	19.710	15.279	16.953	8.967	5.928	1.021
	25	OSHIMA	3.696	3.069	7.262	2.613	1.196	0.443
上 下 方 向	1	ISHINOMAKI	25.648	8.135	2.762	3.647	1.529	0.426
	2	AOMORI	2.468	1.662	1.504	1.013	2.118	0.345
	3	MIYAKO	2.620	2.547	1.824	1.563	2.230	0.376
	4	AKITA	13.699	9.972	6.059	4.613	2.481	0.465
	5	MORIOKA	3.775	2.902	2.156	2.808	3.051	0.538
	6	SENDAI	11.838	6.681	4.788	3.425	1.754	0.676
	7	SHIRAKAWA	18.848	6.824	4.952	2.420	1.977	0.450
	8	KUMAGAYA	11.112	11.710	12.375	8.942	5.906	1.362
	9	CHICHIBU	4.318	4.008	2.774	2.577	1.160	0.352
	10	TAKADA	13.580	10.745	6.103	3.973	2.245	0.525
	11	KOFU	1.468	1.078	1.312	0.790	0.564	0.238
	12	MAEBASHI	13.306	12.698	10.711	3.406	1.779	0.734
	13	KARUIZAWA	8.091	5.902	3.486	1.813	1.008	0.511
	14	AJIRO	1.510	1.056	1.705	0.559	0.268	0.056
	15	TOYAMA						
	16	OMAEZAKI	5.086	3.492	4.193	3.330	2.338	0.645
	17	TSU						
	18	TAKAYAMA	1.779	2.027	2.315	2.235	0.693	0.309
	19	NAGOYA	2.460	0.896	1.288	0.638	0.550	0.207
	20	HAMAMATSU	1.369	1.664	1.238	1.438	0.514	0.384
	21	UTSUNOMIYA	6.398	4.226	5.664	3.508	1.585	0.500
	22	TOKYO						
	23	TOMISAKI	4.528	3.572	4.002	2.872	1.272	0.317
	24	YOKOHAMA	5.044	4.916	6.347	5.923	1.569	0.532
	25	OSHIMA	2.049	0.803	1.662	0.902	0.350	0.198

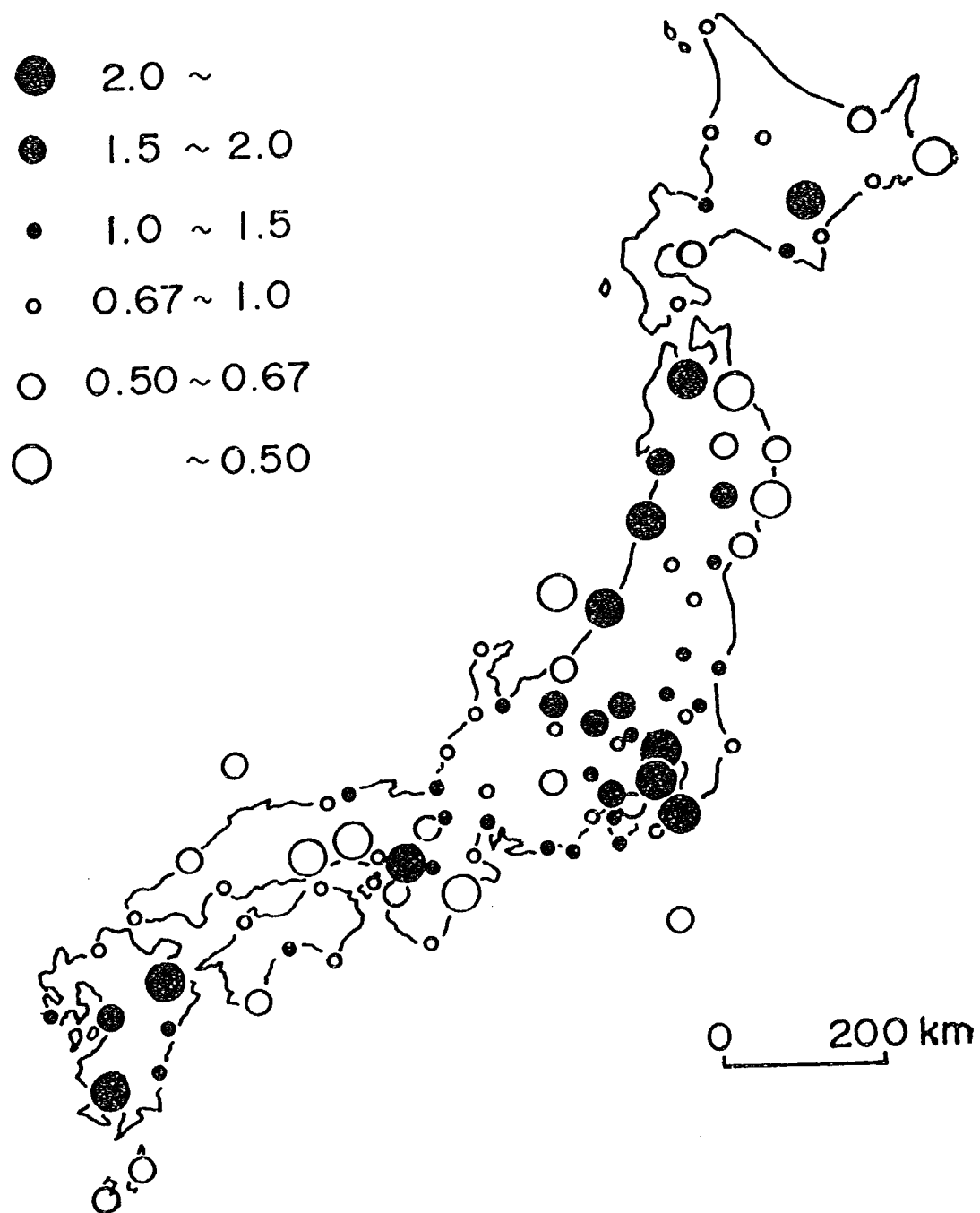
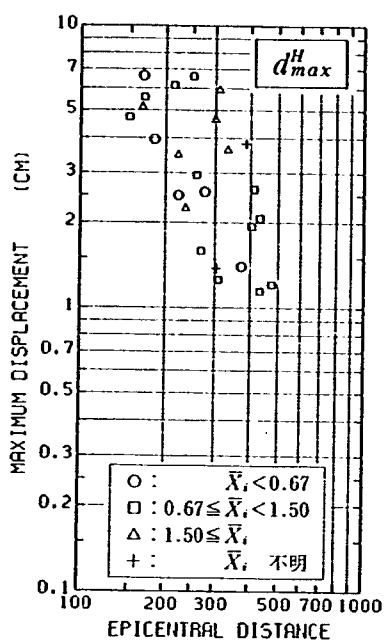
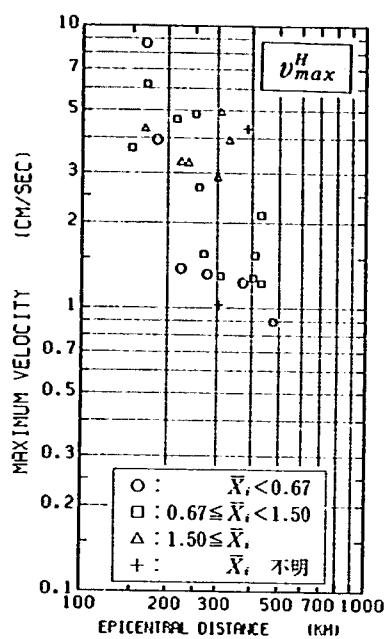


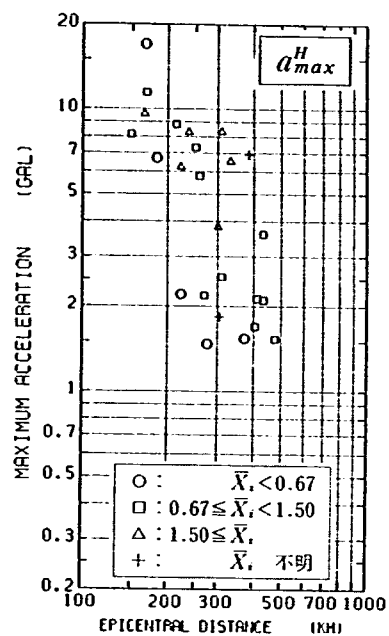
図 4.1 やや長周期帯域における揺れやすさの分布 (文献 15) による)



(a) 最大変位 d_{max}^H

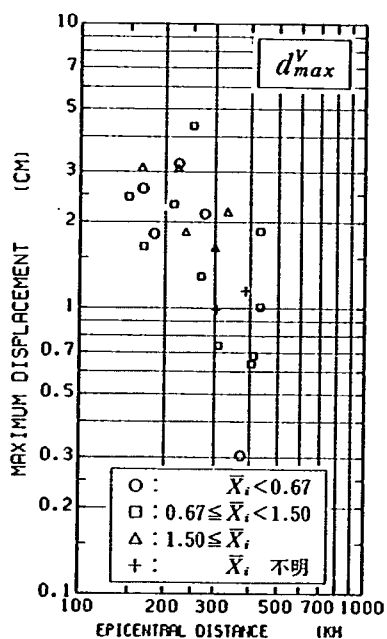


(b) 最大速度 v_{max}^H

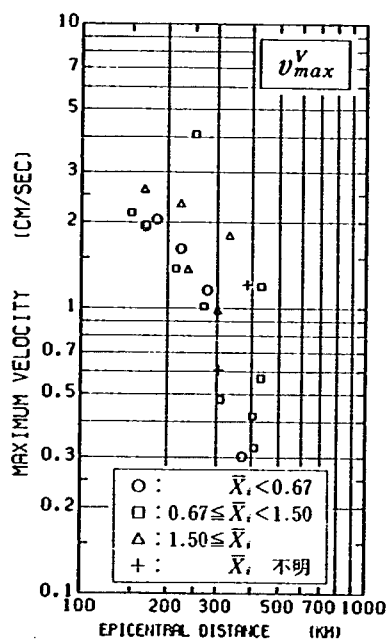


(c) 最大加速度 a_{max}^H

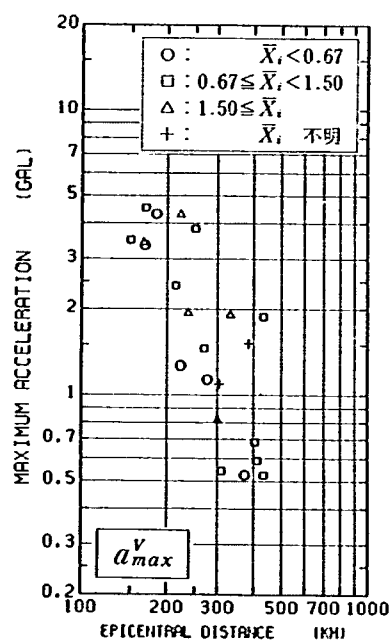
図 4.2 水平方向の最大地震動の距離減衰



(a) 最大変位 d_{max}^V

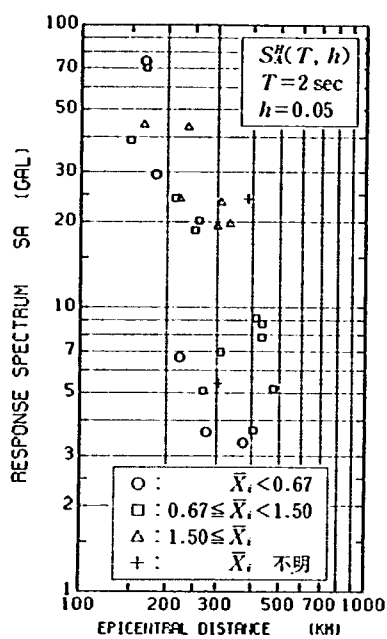


(b) 最大速度 v_{max}^V

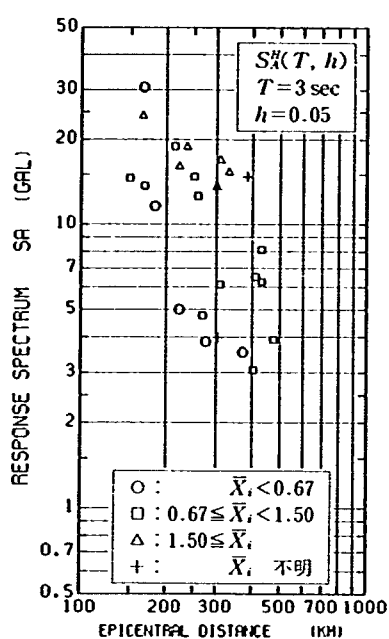


(c) 最大加速度 a_{max}^V

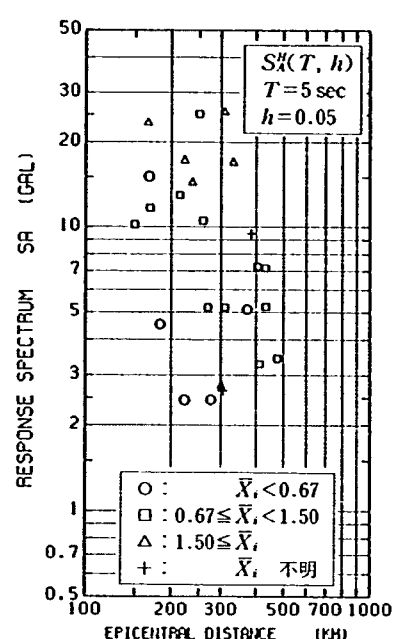
図 4.3 上下方向の最大地震動の距離減衰



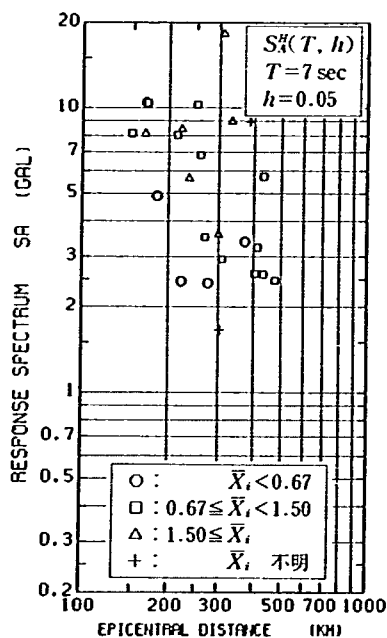
(a) $T=2 \text{ [sec]}$



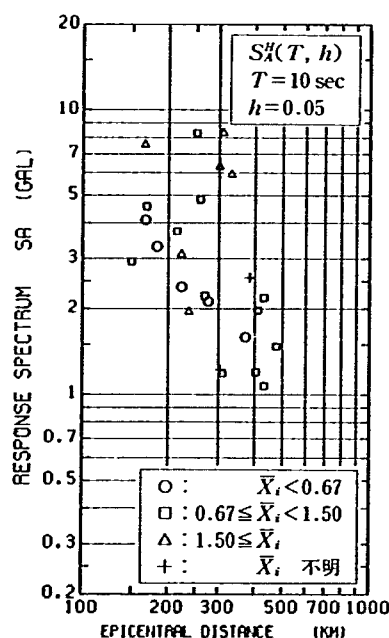
(b) $T=3 \text{ [sec]}$



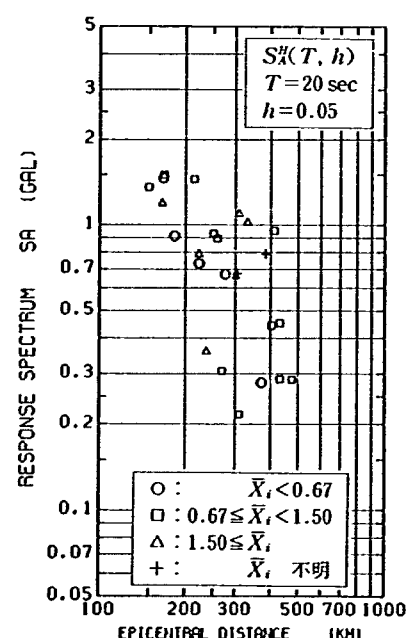
(c) $T=5 \text{ [sec]}$



(d) $T=7 \text{ [sec]}$

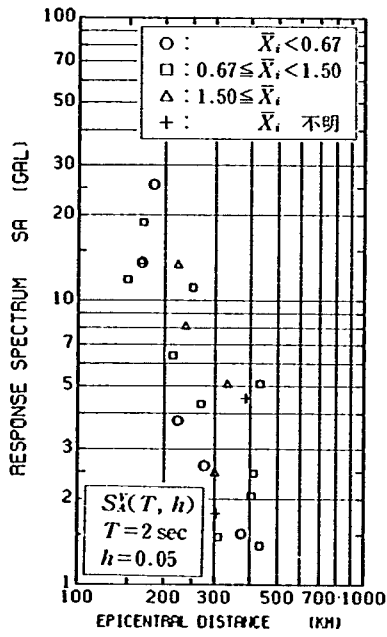


(e) $T=10 \text{ [sec]}$

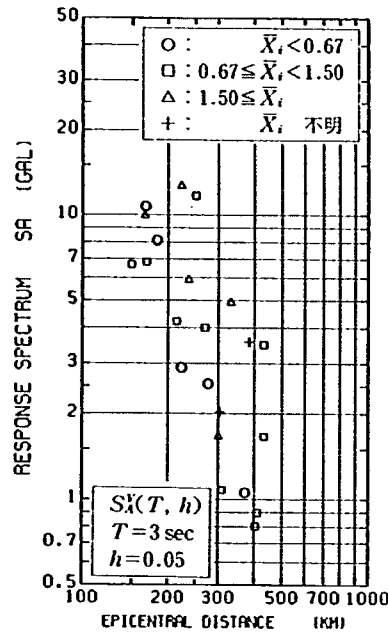


(f) $T=20 \text{ [sec]}$

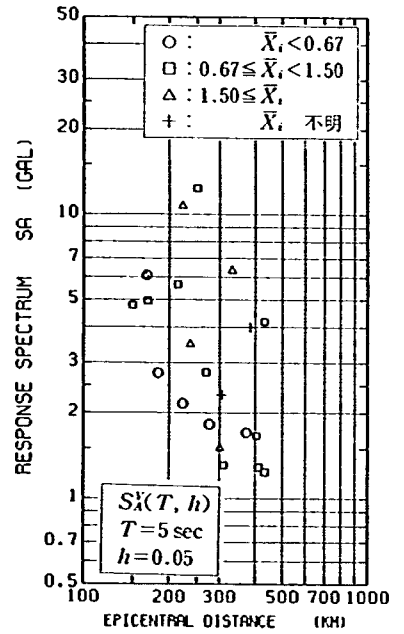
図 4.4 水平方向の加速度応答スペクトル ($h=0.05$) の距離減衰



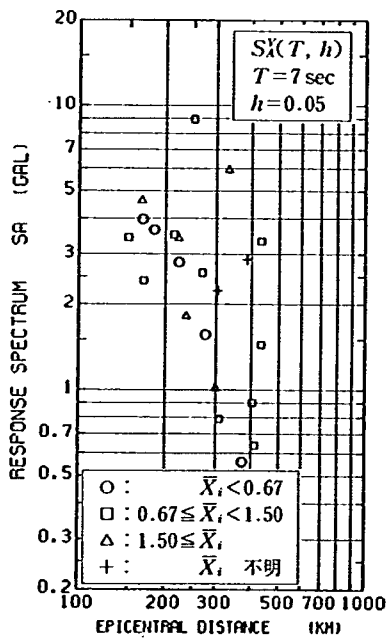
(a) $T=2$ [sec]



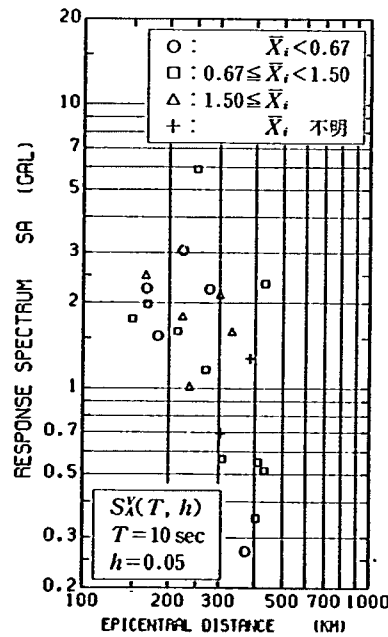
(b) $T=3$ [sec]



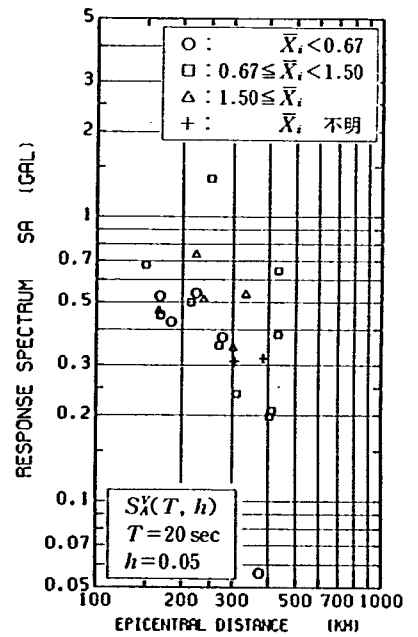
(c) $T=5$ [sec]



(d) $T=7$ [sec]



(e) $T=10$ [sec]



(f) $T=20$ [sec]

図 4.5 上下方向の加速度応答スペクトル ($h=0.05$) の距離減衰

5. 長周期地震動の距離減衰式

5.1 最大変位, 最大速度, 最大加速度の距離減衰式

昭和62年3月現在, 建設省土木研究所において数値化されている気象庁一倍強震計記録は, 1968年十勝沖地震(マグニチュードM7.9)による41成分, 同最大余震(M7.5)による9成分, 1968年日向灘地震(M7.5)による51成分, 1983年日本海中部地震(M7.7)による64成分, 同最大余震(M7.1)による31成分, 1964年新潟地震(M7.5)による72成分である。これらの記録のうち水平2成分のいずれか大きい方の最大変位, 最大速度および最大加速度, 震央距離等の一覧を示すと, 表5.1のようになる。表中の地盤分類および揺れやすさは, 4.2節に示したとおりである。長周期地震動は表層地盤条件よりも地中深部の地盤条件の影響を受けるものと考えられるので, 以降の検討においては揺れやすさをもとに地盤条件を区分するものとする。ただし, 原論文では揺れやすさを分類IからVIまでの6段階に区分しているが, ここでは, 4.2節および4.3節の場合と同様に, 2段階づつをとりまとめて分類IおよびIIを1種地盤(揺れやすさ $\bar{X}_i < 0.67$), IIIおよびIVを2種地盤($0.67 \leq \bar{X}_i < 1.50$), VおよびVIを3種地盤($\bar{X}_i \geq 1.50$)とすることにする。

工式強震計記録に基づく最大地震動(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と地震のマグニチュードおよび震央距離との関係式(距離減衰式)に関しては, 現在までに各種の検討が行われている。これらの結果によれば, 実用的な距離減衰式としては次式が実測値との対応がよいとされている¹⁶⁾。

$$X(M, \Delta, GC_i) = a(GC_i) \times 10^{b(GC_i)M} \times (\Delta + \Delta_0)^{c(GC_i)} \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで,

X : 最大地震動もしくは加速度応答スペクトル値

GC_i : 地震のマグニチュード

Δ : 地盤種別

Δ_0 : 震央距離が小さい範囲の X を調整するための定数

$a(GC_i), b(GC_i), c(GC_i)$: 係数

本検討では, 表5.1に示した水平2成分のいずれか大きい方の最大変位, 最大速度および最大加速度のそれぞれについて, 距離減衰式が式(5.1)により表されると仮定し, 係数 a, b, c を求めるものとする。なお, 式(5.1)中の Δ_0 については, 文献16)を参考として30 kmとした。

全データおよび各地盤種別に分類したデータをもとに, 最大変位 $d_{\max}$ [cm], 最大速度 $v_{\max}$ [cm/s] および最大加速度 $a_{\max}$ [gal] のそれぞれについて, 式(5.1)の係数 a, b, c を求めると表5.2および次に示すようになる。

$$d_{\max} = \begin{cases} 2.88 \times 10^{-3} \times 10^{0.647M} \times (\Delta + 30)^{-0.707} & (\text{全データ}) \\ 4.75 \times 10^{-4} \times 10^{0.832M} \times (\Delta + 30)^{-0.999} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 4.46 \times 10^{-6} \times 10^{1.071M} \times (\Delta + 30)^{-0.876} & (2 \text{ 種地盤}) \\ 2.84 \times 10^{-1} \times 10^{0.240M} \times (\Delta + 30)^{-0.225} & (3 \text{ 種地盤}) \end{cases} \dots\dots\dots (5.2)$$

$$v_{\max} = \begin{cases} 2.23 \times 10^{-2} \times 10^{0.557M} \times (\Delta + 30)^{-0.853} & (\text{全データ}) \\ 1.02 \times 10^{-2} \times 10^{0.757M} \times (\Delta + 30)^{-1.393} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 1.75 \times 10^{-4} \times 10^{0.865M} \times (\Delta + 30)^{-0.953} & (2 \text{ 種地盤}) \\ 6.65 \times 10^{-2} \times 10^{0.512M} \times (\Delta + 30)^{-0.819} & (3 \text{ 種地盤}) \end{cases} \dots\dots\dots (5.3)$$

$$a_{\max} = \begin{cases} 2.24 \times 10^{-1} \times 10^{0.565M} \times (\Delta + 30)^{-1.224} & (\text{全データ}) \\ 1.92 \times 10^{-2} \times 10^{0.860M} \times (\Delta + 30)^{-1.793} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 1.71 \times 10^{-2} \times 10^{0.782M} \times (\Delta + 30)^{-1.437} & (2 \text{ 種地盤}) \\ 1.55 \times 10^{-2} \times 10^{0.874M} \times (\Delta + 30)^{-1.563} & (3 \text{ 種地盤}) \end{cases} \dots\dots\dots (5.4)$$

また、最大変位、最大速度および最大加速度と震央距離との関係を示すと、図 5.1～図 5.3 のようになる。ここで、図中には式(5.2)～(5.4) によるマグニチュード 7, 7.5 および 8 に対する回帰曲線も合わせて示している。これらの結果より次の事項が指摘される。

1) 最大変位については、震央距離が大きい場合には揺れやすの大きさの順番に従って、1 種地盤から 3 種地盤の順番に変位が大きくなる。一方、震央距離が小さい場合には必ずしもそのような傾向は認められない。この原因は必ずしもはっきりしないが現在のところ記録が得られている震央距離の範囲に偏りが大きく、また、地盤種別によりデータ数に差異があること、等を勘案して、今後さらにデータの蓄積を図り、慎重に検討することが必要とされる。

また、3 種地盤については、1 種および 2 種地盤に比較して、最大変位の震央距離による減衰が小さい。

2) 最大速度についても、最大変位の場合と同様に、震央距離が大きい場合は 1 種地盤から 3 種地盤の順番に速度が大きくなる。また、最大速度の震央距離による減衰は 1 種地盤から 3 種地盤の順に小さくなる。

3) 最大加速度については、震央距離によらず、3 種地盤の最大加速度が 1 種および 2 種地盤の最大加速度よりも大きくなる。また、最大加速度の距離による減衰は、最大変位および最大速度の場合よりも大きくなる傾向が認められる。

一方、既往の工学式強震計記録の統計解析によれば、水平成分（2 成分の合成を考慮）の最大加速度、最大速度および最大変位の距離減衰式は、次のように求められている¹⁶⁾。

$$\tilde{a}_{\max} = \begin{cases} 987.4 \times 10^{0.216M} \\ 232.5 \times 10^{0.313M} \\ 403.8 \times 10^{0.265M} \end{cases} \times (\Delta + 30)^{-1.218} \begin{matrix} (1 \text{ 種地盤}) \\ (2, 3 \text{ 種地盤}) \\ (4 \text{ 種地盤}) \end{matrix} \dots\dots\dots (5.5)$$

$$\tilde{v}_{\max} = \begin{cases} 20.82 \times 10^{0.263M} \\ 2.805 \times 10^{0.430M} \\ 5.105 \times 10^{0.404M} \end{cases} \times (\Delta + 30)^{-1.222} \quad \begin{matrix} (1 \text{ 種地盤}) \\ (2, 3 \text{ 種地盤}) \\ (4 \text{ 種地盤}) \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

$$\tilde{d}_{\max} = \begin{cases} 0.626 \times 10^{0.372M} \\ 0.062 \times 10^{0.567M} \\ 0.070 \times 10^{0.584M} \end{cases} \times (\Delta + 30)^{-1.254} \quad \begin{matrix} (1 \text{ 種地盤}) \\ (2, 3 \text{ 種地盤}) \\ (4 \text{ 種地盤}) \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

ここで、地盤種別は道路橋示方書耐震設計編による地盤種別を示している。なお、上記距離減衰式を求める際には、強震記録に 1/12 秒および 3 秒をそれぞれ周期の下限および上限とする計器補正を加えている。

マグニチュード 6 および 8 の場合について、式(5.5)～式(5.7) より最大加速度、最大速度および最大変位の距離減衰を示すと、図 5.4 のようになる。気象庁一倍強震計記録による最大地震動と工学式強震計記録による最大地震動の距離減衰特性を比較すると、次の事項が指摘される。

- 1) 最大地震動の震央距離による減衰項は、最大加速度については気象庁一倍強震計記録（全データ）および工学式強震計記録のいずれの場合もほぼ同程度である。最大速度および最大変位については、気象庁一倍強震計記録の方が距離減衰が小さくなる。
- 2) 図 5.1～図 5.3 および図 5.4 をもとに、マグニチュード 8、震央距離 200 km の場合を比較すると、最大加速度については工学式強震計記録の方が大きく、最大変位については気象庁一倍強震計記録の方が大きくなる。また、最大速度の場合は、両者は同程度である。

5.2 加速度応答スペクトルの距離減衰式

最大地震動の場合と同様に、固有周期 T および減衰定数 h の加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ についても式(5.1) と同様の距離減衰式を仮定する。

$$S_A(T, h, M, \Delta, GC_i) = a(T, h, GC_i) \times 10^{b(T, h, GC_i)M} \times (\Delta + 30)^{c(T, h, GC_i)} \quad \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで、固有周期は 2, 3, 5, 7, 10 秒とし、減衰定数は 5% および 2% とした。また、水平 2 成分から求めた加速度応答スペクトル値のいずれか大きい方を検討対象とした。

全データおよび各地盤種別に分類したデータをもとに、重回帰分析により式(5.8) の係数 a, b, c を求めると、表 5.3 に示すようになる。ここで、後述する工学式強震計記録による加速度応答スペクトルの距離減衰式との比較のために、固有周期 2 秒、減衰定数 5% の場合の加速度応答スペクトルの距離減衰式を示すと、次のようになる。

$$S_A(2, 0.05) = \begin{cases} 5.48 \times 10^{-1} \times 10^{0.642M} \times (\Delta + 30)^{-1.409} & (\text{全データ}) \\ 7.19 \times 10^{-3} \times 10^{0.936M} \times (\Delta + 30)^{-1.649} & (1 \text{ 種地盤}) \\ 2.79 \times 10^{-2} \times 10^{0.911M} \times (\Delta + 30)^{-1.706} & (2 \text{ 種地盤}) \\ 2.91 \times 10^{-2} \times 10^{1.129M} \times (\Delta + 30)^{-2.229} & (3 \text{ 種地盤}) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

また、気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトルの距離減衰の例として、 $S_A(2, 0.05)$, $S_A(5, 0.05)$, $S_A(10, 0.02)$ および $S_A(20, 0.02)$ の場合を示すと、図 5.5～図 5.8 のようになる。ここで、図中には式(5.8) によるマグニチュード 7, 7.5 および 8 に対する回帰曲線も合わせて示している。これらの結果により次の事項が指摘される。

- 1) 固有周期 2 秒および 5 秒、減衰定数 5% の場合には、いずれの震央距離においても、1 種地盤から 3 種地盤の順番に加速度応答スペクトルが大きくなる。また、固有周期 2 秒と 5 秒の場合を比較すると、後者の場合の方が震央距離による減衰が小さい。
- 2) 固有周期 10 秒、減衰定数 2% の場合、3 種地盤における加速度応答スペクトルの回帰式は、震央距離の増加に伴い増加する傾向が認められる。この原因としては、1983 年日本海中部地震により震央距離 400 km 程度以上の観測点で得られた加速度応答スペクトルが大きな値を示していることが考えられる。例えば、図 5.9 および図 5.10 は震央距離 522 km に位置する東京で得られた記録（東西成分）の加速度応答スペクトル（減衰定数 0, 1, 2, 5%）および記録波形を示したものである。同地点では繰り返し作用した 10 秒程度の周期成分により固有周期 10 秒付近において加速度応答スペクトル値が高くなっていることがわかる。

一方、既往の工学式強震計記録の統計解析によれば、固有周期 2 秒、減衰定数 5% の加速度応答スペクトルの距離減衰式は次のように与えられる。

$$S_A(2, 0.05) = \begin{cases} 5.784 \times 10^{0.417M} \\ 0.347 \times 10^{0.644M} \\ 0.351 \times 10^{0.666M} \end{cases} \times (\Delta + 30)^{-1.178} \quad \begin{matrix} \text{(1 種地盤)} \\ \text{(2, 3 種地盤)} \\ \text{(4 種地盤)} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

ここで、地盤種別は、式(5.5)～式(5.7) の場合と同様に、道路橋示方書耐震設計編による地盤種別を示している。マグニチュード 5～8 について式(5.10) より工学式強震計記録の加速度応答スペクトル（固有周期 2 秒、減衰定数 5%）の距離減衰を示すと、図 5.11 のようになる。固有周期 2 秒、減衰定数 5% の場合について、気象庁一倍強震計記録と工学式強震計記録による加速度応答スペクトルの距離減衰特性を比較すると、次の事項が指摘される。

- 1) 気象庁一倍強震計記録の距離減衰は、工学式強震計記録の距離減衰よりも大きくなる。
- 2) 図 5.5～図 5.8 および図 5.11 をもとに、マグニチュード 8、震央距離 200 km の場合を比較すると、気象庁一倍強震計記録および工学式強震計記録とも加速度応答スペクトルは 20～150 gal 程度となる。ただし、気象庁一倍強震計記録については、データ数が少なく、ばらつきの大きい 3 種地盤により加速度応答スペクトルの上限が定まっているので、さらに詳細な検討が必要とされる。

表 5.1(1) 気象庁一倍強震計記録による最大変位、最大速度および最大加速度の一覧

(a) 1968 年十勝沖地震

No	観測所名	地盤分類	揺れやすさ	震央距離 [km]	マグニ チュード	最大変位 [cm]	最大速度 [cm/s]	最大加速度 [gal]
1	KUSHIRO	3	0.89	259.1	7.9	13.864	5.575	5.576
2	MORI	3		293.8	7.9	7.367	8.429	15.659
3	HAKODATE	3	0.79	265.6	7.9	5.518	4.856	10.025
4	NEMURO	1	0.47	332.8	7.9	8.162	3.094	4.776
5	MORIOKA	2	0.63	235.1	7.9	7.871	5.117	7.285
6	MORIOKA *	2	0.63	237.9	7.5	1.993	1.625	2.679
7	SENDAI	2	1.20	358.0	7.9	4.131	3.137	6.446
8	SENDAI *	2	1.20	387.7	7.5	4.868	2.835	6.102
9	HIROO	2	0.98	175.5	7.9	10.266	7.370	17.706
10	OFUNATO	1	0.46	244.2	7.9	2.839	3.306	6.868
11	OFUNATO *	1	0.46	278.4	7.5	1.957	1.493	2.739
12	SAPPORO	2	1.07	317.8	7.9	14.737	9.582	24.479
13	MURORAN	1	0.58	278.9	7.9	6.045	4.406	7.095
14	AKITA	3	1.74	316.5	7.9	11.361	11.573	28.253
15	ISHINOMAKI	2	0.60	321.9	7.9	6.621	2.844	2.952
16	MIYAKO	1	0.56	182.6	7.9	6.928	3.462	3.893
17	RUMOI	2	0.93	391.8	7.9	21.655	9.657	8.770

注) *を付した記録は最大余震による

(b) 1968 年日向灘地震

No	観測所名	地盤分類	揺れやすさ	震央距離 [km]	マグニ チュード	最大変位 [cm]	最大速度 [cm/s]	最大加速度 [gal]
1	TSURUGIYAMA			229.2	7.5	3.423	2.137	2.618
2	OSAKA	3	3.02	386.5	7.5	4.241	3.279	5.589
3	TAKAMATSU	2	0.78	268.0	7.5	3.331	2.345	3.786
4	ASHIZURI	1	0.63	68.3	7.5	7.783	7.996	15.856
5	MATSUYAMA	2	0.93	174.3	7.5	3.908	2.572	4.110
6	HIROSHIMA	1	0.74	231.7	7.5	2.721	2.277	2.446
7	OKAYAMA	2	0.50	294.0	7.5	3.274	1.833	2.015
8	KOCHI	3	1.12	170.6	7.5	8.168	4.075	6.618
9	KYOTO	3	0.52	426.4	7.5	2.170	1.563	1.275
10	IZUHARA	2		365.9	7.5	0.811	0.542	0.619
11	NOBEOKA	1	1.23	85.0	7.5	6.729	5.398	8.879
12	SHIMONOSEKI	1	0.69	235.8	7.5	1.174	0.840	1.901
13	SAGA	4		232.0	7.5	2.663	3.942	9.639
14	KAGOSHIMA	2	2.09	200.5	7.5	7.097	9.338	21.080
15	FUKUE	2	0.79	346.9	7.5	1.110	0.902	1.359
16	FUKUOKA	2	0.95	244.7	7.5	1.437	1.313	2.766
17	MUROTOMISAKI	1	0.68	190.5	7.5	8.810	4.990	4.098
18	UWAJIMA	1		105.7	7.5	5.316	3.592	5.167

表 5.1 (2) 気象庁一倍強震計記録による最大変位，最大速度および最大加速度の一覧

(c) 1983 年日本海中部地震

No	観測所名	地盤分類	揺れやすさ	震央距離 [km]	マグニ チュード	最大変位 [cm]	最大速度 [cm/s]	最大加速度 [gal]
1	WAKKANAI	2	0.85	601.7	7.7	5.448	3.591	1.912
2	RUMOI	2	0.93	452.0	7.7	5.621	4.025	3.105
3	SAPPORO	2	1.07	353.5	7.7	10.652	5.542	4.673
4	OBIHIRO	2	2.69	446.4	7.7	5.027	3.211	3.739
5	SUTTSU	1		286.9	7.7	8.305	5.023	3.248
6	MURORAN	1	0.58	270.1	7.7	8.995	5.063	2.686
7	MORI	3		230.7	7.7	9.696	7.080	15.747
8	HIROO	2	0.98	414.5	7.7	5.761	2.343	1.013
9	OFUNATO	1	0.46	266.6	7.7	2.572	1.345	1.387
10	HACHINOHE	2	0.46	208.2	7.7	9.794	4.965	4.306
11	MORIOKA	2	0.63	191.5	7.7	5.686	3.044	2.365
12	MIYAKO	1	0.56	257.5	7.7	3.729	1.808	1.706
13	SENDAI	2	1.20	279.3	7.7	3.892	2.601	3.922
14	ISHINOMAKI	2	0.60	285.7	7.7	4.471	1.885	2.527
15	FUKUSHIMA	2	0.98	312.7	7.7	2.420	1.218	0.847
16	ONAHAMA	3	1.15	409.5	7.7	3.731	1.730	2.130
17	WAJIMA	3	0.95	380.1	7.7	2.058	1.398	1.754
18	AIKAWA	1	0.45	269.1	7.7	2.953	1.818	1.639
19	TAKADA	3	0.60	368.4	7.7	2.825	1.469	1.647
20	KUMAGAYA	2	1.48	467.6	7.7	2.760	1.782	1.274
21	TOKYO	3	2.00	522.2	7.7	5.252	3.382	4.907
22	YOKOHAMA	2	2.00	548.8	7.7	3.725	2.277	1.943
23	SAPPORO *	2	1.07	276.1	7.1	2.954	1.899	2.758
24	SUTTSU *	1		196.9	7.1	2.327	1.591	2.061
25	MURORAN *	1	0.58	201.6	7.1	2.296	1.344	1.250
26	MORI *	3		159.6	7.1	7.816	7.664	13.317
27	HAKODATE *	3	0.79	157.9	7.1	3.158	2.746	4.793
28	TOMAKOMAI *	3		261.0	7.1	3.692	2.251	3.119
29	AOMORI *							
30	HACHINOHE *	2	0.46	227.9	7.1	1.352	0.697	0.642
31	AKITA *	3	1.74	195.8	7.1	6.113	3.574	3.564
32	SAKATA *	4	4.79	272.8	7.1	4.042	3.022	3.765
33	NIIGATA *	3	2.95	372.4	7.1	4.432	2.647	3.524

注) *を付した記録は最大余震による

表 5.1 (3) 気象庁一倍強震計記録による最大変位, 最大速度および最大加速度の一覧

(d) 1964 年新潟地震

No	観測所名	地盤 分類	揺れ やすさ	震央距離 (km)	マグニ チュード	最大変位 (cm)	最大速度 (cm/s)	最大加速度 (gal)
1	ISHINOMAKI	2	0.60	182.9	7.5	3.946	3.937	6.706
2	AOMORI	4	2.51	300.9	7.5	4.646	2.891	3.832
3	MIYAKO	1	0.56	276.4	7.5	2.575	1.314	1.473
4	AKITA	3	1.74	165.7	7.5	5.126	4.287	9.620
5	MORIOKA	2	0.63	222.9	7.5	2.501	1.375	2.204
6	SENDAI	2	1.20	148.9	7.5	4.727	3.677	8.139
7	SHIRAKAWA	1	1.02	168.3	7.5	5.576	6.194	11.462
8	KUMAGAYA	2	1.48	250.6	7.5	6.607	4.858	7.307
9	CHICHIBU	2	0.87	268.8	7.5	1.589	1.549	2.181
10	TAKADA	3	0.60	166.9	7.5	6.638	8.653	16.989
11	KOFU	3	1.15	309.3	7.5	1.257	1.296	2.539
12	MAEBASHI	2	1.51	222.6	7.5	3.478	3.273	6.247
13	KARUIZAWA	3	1.66	236.8	7.5	2.247	3.248	8.281
14	AJIRO	2	0.52	372.5	7.5	1.399	1.228	1.540
15	TOYAMA	2	1.20	258.4	7.5	2.949	2.667	5.796
16	OMAEZAKI	2	1.35	431.5	7.5	2.073	2.131	3.605
17	TSU	3	0.74	476.0	7.5	1.210	0.895	1.531
18	TAKAYAMA	2		303.8	7.5	1.379	1.023	1.836
19	NAGOYA	2	1.41	410.7	7.5	2.630	1.535	2.130
20	HAMAMATSU	2	1.12	432.1	7.5	1.143	1.223	2.105
21	UTSUNOMIYA	2	1.02	213.9	7.5	6.143	4.657	8.839
22	TOKYO	3	2.00	309.3	7.5	5.916	4.916	8.315
23	TOMISAKI			385.0	7.5	3.811	4.315	6.906
24	YOKOHAMA	2	2.00	332.2	7.5	3.622	3.907	6.544
25	OSHIMA		0.87	404.2	7.5	1.941	1.275	1.697

表 5.2 最大地震動の回帰式の係数一覧

	地盤種別	係数 a	係数 b	係数 c	重相関係数 R	標準誤差 σ
最大変位	全データ	2.880E-03	0.647	-0.707	0.531	0.246
	1種地盤	4.746E-04	0.832	-0.999	0.783	0.168
	2種地盤	4.464E-06	1.071	-0.876	0.627	0.265
	3種地盤	2.841E-01	0.240	-0.225	0.327	0.163
最大速度	全データ	2.228E-02	0.557	-0.853	0.524	0.247
	1種地盤	1.021E-02	0.757	-1.393	0.795	0.175
	2種地盤	1.754E-04	0.865	-0.953	0.645	0.226
	3種地盤	6.652E-02	0.512	-0.819	0.671	0.155
最大加速度	全データ	2.237E-01	0.565	-1.224	0.526	0.310
	1種地盤	1.920E-02	0.860	-1.793	0.778	0.227
	2種地盤	1.714E-02	0.782	-1.437	0.670	0.261
	3種地盤	1.550E-02	0.874	-1.563	0.766	0.212

表 5.3(1) 加速度応答スペクトルの回帰式の係数一覧

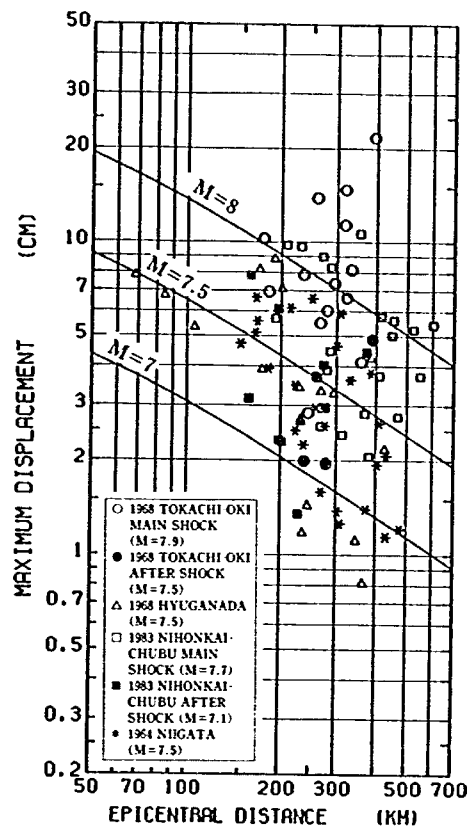
(a) 減衰定数 5%

固有周期 T [秒]	地盤種別	係数 a	係数 b	係数 c	重相関係数 R	標準偏差 σ
2	全データ	5.484E-01	0.642	-1.409	0.533	0.350
	1種地盤	7.191E-03	0.936	-1.649	0.710	0.275
	2種地盤	2.793E-02	0.911	-1.706	0.683	0.298
	3種地盤	2.910E-02	1.129	-2.229	0.853	0.213
3	全データ	8.286E-01	0.518	-1.157	0.493	0.318
	1種地盤	3.861E-01	0.715	-1.721	0.749	0.227
	2種地盤	1.002E-02	0.803	-1.253	0.650	0.251
	3種地盤	2.657E-01	0.857	-1.846	0.793	0.215
5	全データ	9.127E-02	0.505	-0.817	0.404	0.322
	1種地盤	6.017E-04	0.878	-1.173	0.772	0.190
	2種地盤	3.808E-03	0.733	-0.957	0.520	0.289
	3種地盤	2.598E-01	0.738	-1.555	0.665	0.266
7	全データ	1.254E+00	0.241	-0.523	0.286	0.274
	1種地盤	3.946E-02	0.598	-1.081	0.703	0.182
	2種地盤	1.824E-02	0.545	-0.717	0.466	0.249
	3種地盤	1.873E+01	0.133	-0.567	0.397	0.184
10	全データ	2.471E-02	0.352	-0.200	0.257	0.285
	1種地盤	2.821E-01	0.425	-0.902	0.549	0.213
	2種地盤	1.278E-05	0.847	-0.403	0.530	0.252
	3種地盤	8.959E-03	0.191	0.557	0.474	0.210
20	全データ	2.296E-06	1.017	-0.810	0.657	0.260
	1種地盤	6.196E-07	1.100	-0.864	0.814	0.183
	2種地盤	1.173E-09	1.532	-1.055	0.713	0.290
	3種地盤	2.882E-03	0.511	-0.497	0.436	0.249

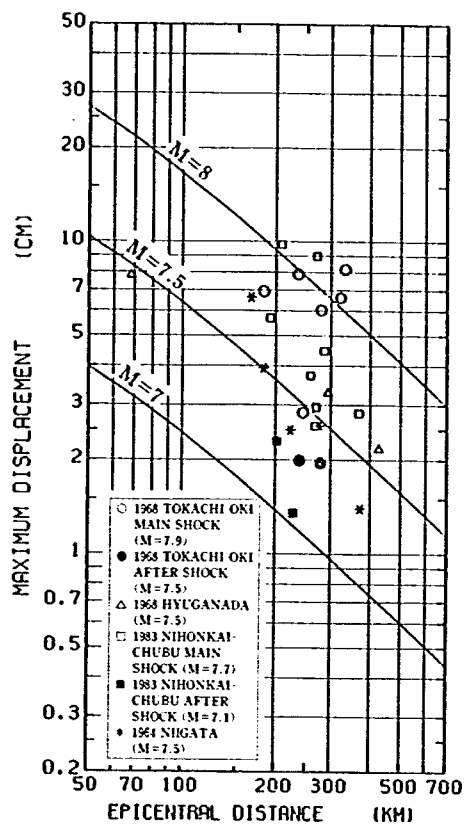
表 5.3 (2) 加速度応答スペクトルの回帰式の係数一覧

(b) 減衰定数 2%

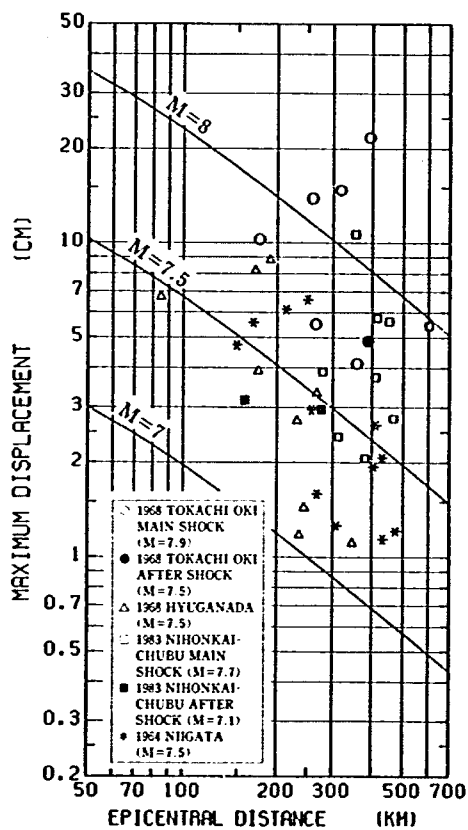
固有周期 T (秒)	地盤種別	係数 a	係数 b	係数 c	重相関係数 R	標準偏差 σ
2	全データ	4.743E-01	0.656	-1.371	0.530	0.348
	1 種地盤	3.232E-03	0.973	-1.566	0.703	0.279
	2 種地盤	1.166E-02	0.982	-1.709	0.691	0.297
	3 種地盤	3.103E-02	1.145	-2.232	0.863	0.204
3	全データ	5.520E-01	0.550	-1.134	0.486	0.324
	1 種地盤	2.186E-01	0.739	-1.641	0.751	0.221
	2 種地盤	4.015E-03	0.873	-1.258	0.648	0.260
	3 種地盤	1.326E-01	0.922	-1.869	0.753	0.252
5	全データ	7.536E-02	0.514	-0.763	0.379	0.338
	1 種地盤	1.143E-03	0.843	-1.130	0.745	0.198
	2 種地盤	1.658E-03	0.778	-0.900	0.500	0.304
	3 種地盤	2.144E-01	0.800	-1.653	0.674	0.278
7	全データ	1.580E+00	0.226	-0.476	0.247	0.295
	1 種地盤	1.759E-02	0.644	-1.047	0.695	0.189
	2 種地盤	2.183E-02	0.523	-0.640	0.425	0.258
	3 種地盤	8.808E+01	0.097	-0.676	0.410	0.215
10	全データ	2.407E-02	0.304	-0.000	0.216	0.303
	1 種地盤	1.080E+00	0.345	-0.850	0.494	0.222
	2 種地盤	3.785E-06	0.864	-0.198	0.521	0.263
	3 種地盤	4.233E-03	0.184	0.773	0.536	0.225
20	全データ	7.026E-07	1.081	-0.771	0.663	0.268
	1 種地盤	1.834E-07	1.147	-0.762	0.813	0.188
	2 種地盤	3.006E-10	1.618	-1.048	0.721	0.297
	3 種地盤	2.837E-03	0.492	-0.417	0.389	0.271



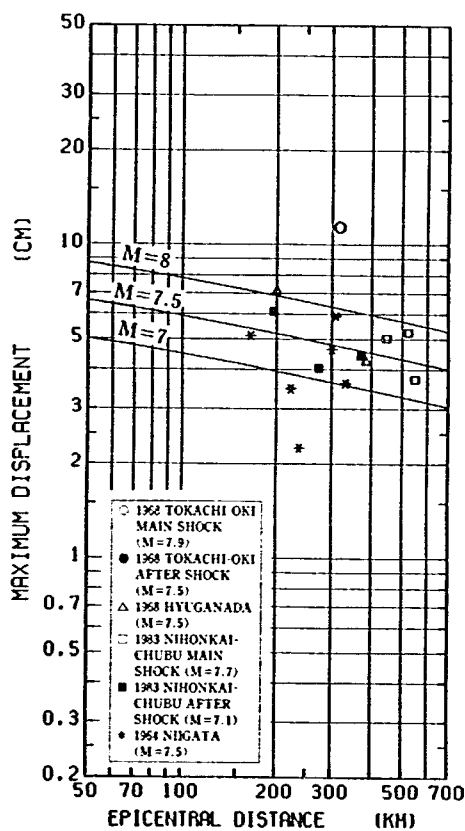
(a) 全データ



(b) 1種地盤

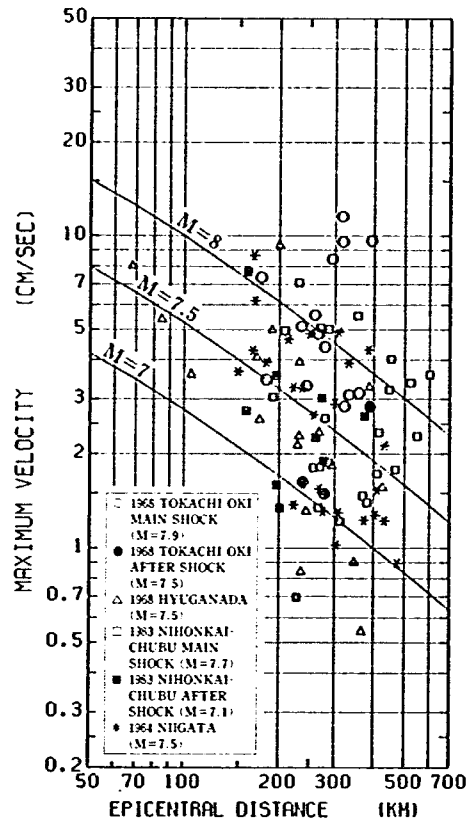


(c) 2種地盤

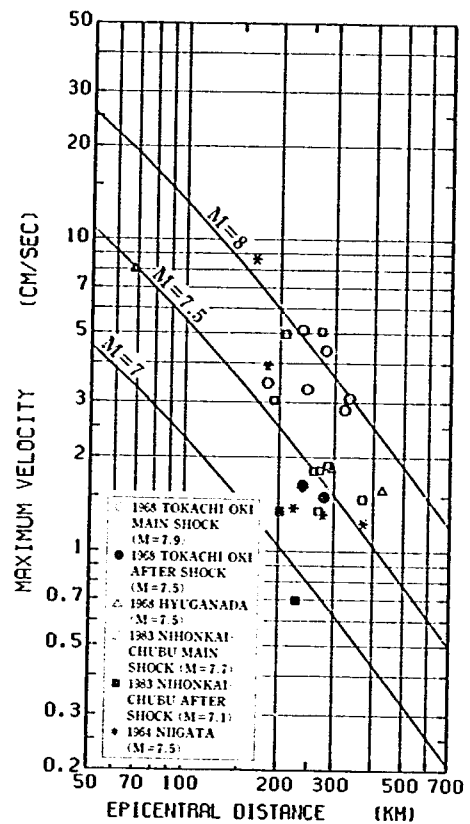


(d) 3種地盤

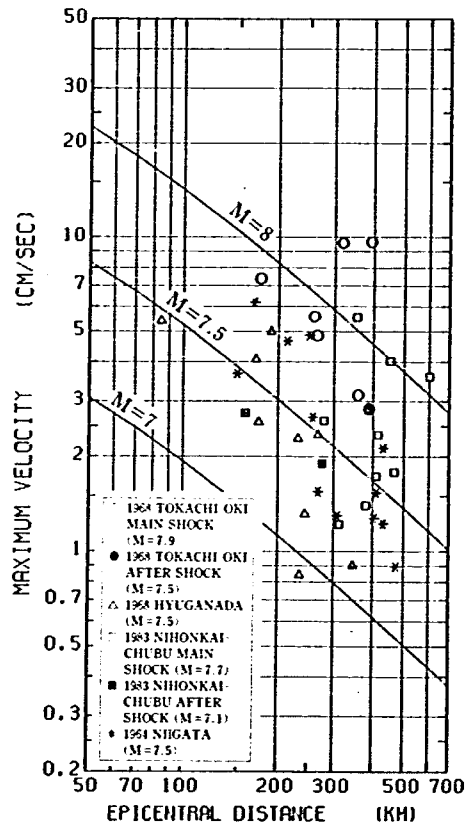
図 5.1 最大変位の距離減衰



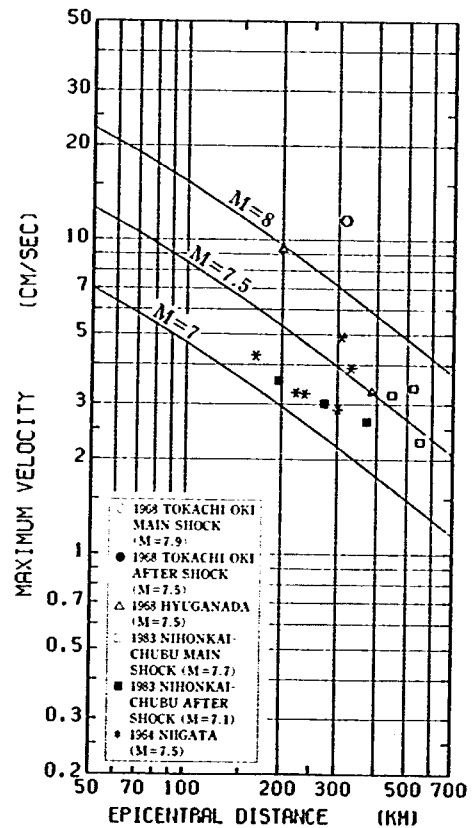
(a) 全データ



(b) 1種地盤

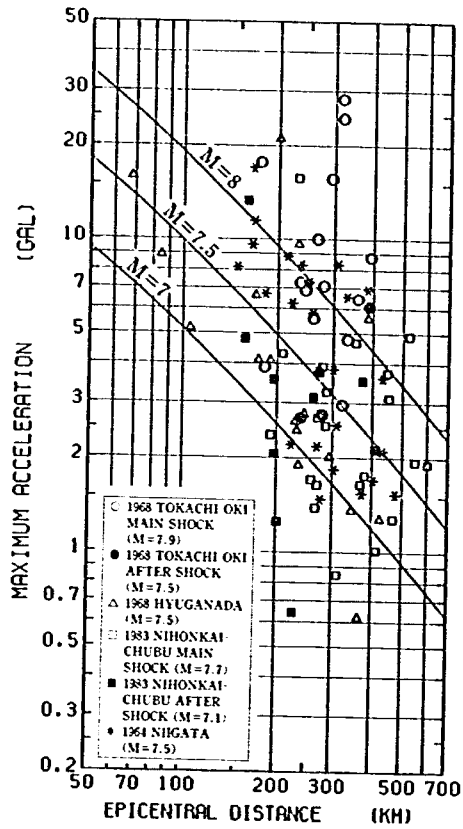


(c) 2種地盤

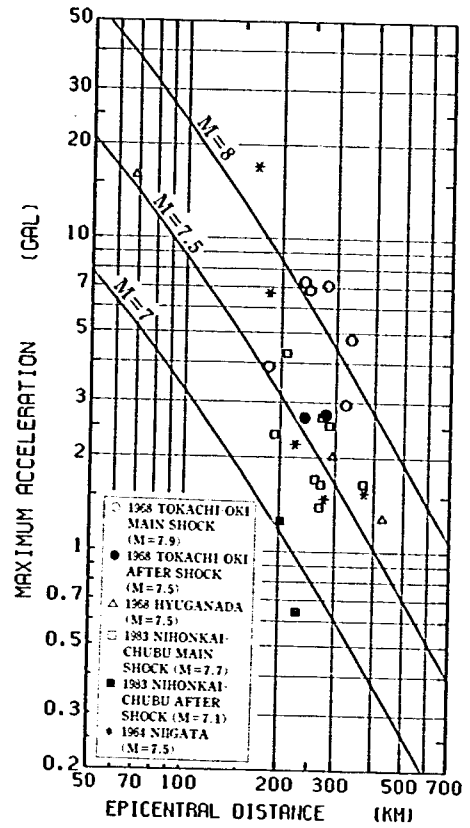


(d) 3種地盤

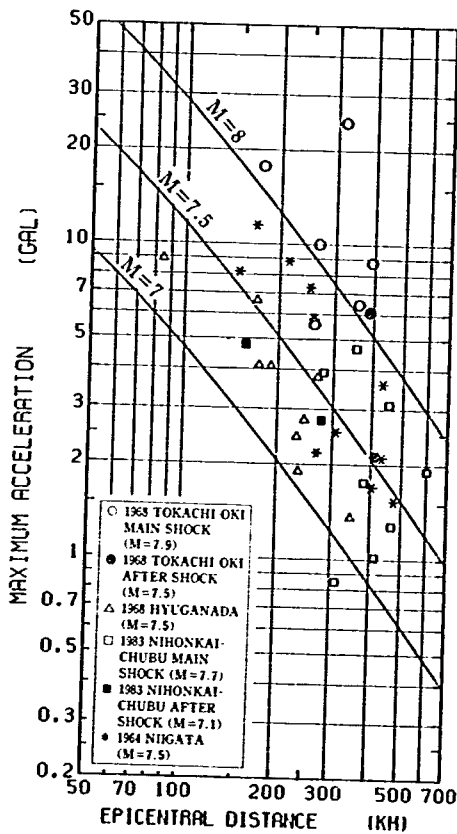
図 5.2 最大速度の距離減衰



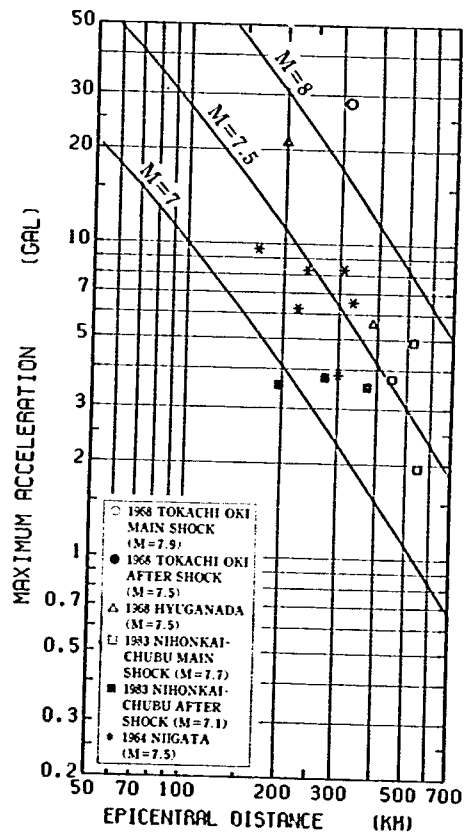
(a) 全データ



(b) 1種地盤



(c) 2種地盤



(d) 3種地盤

図 5.3 最大加速度の距離減衰

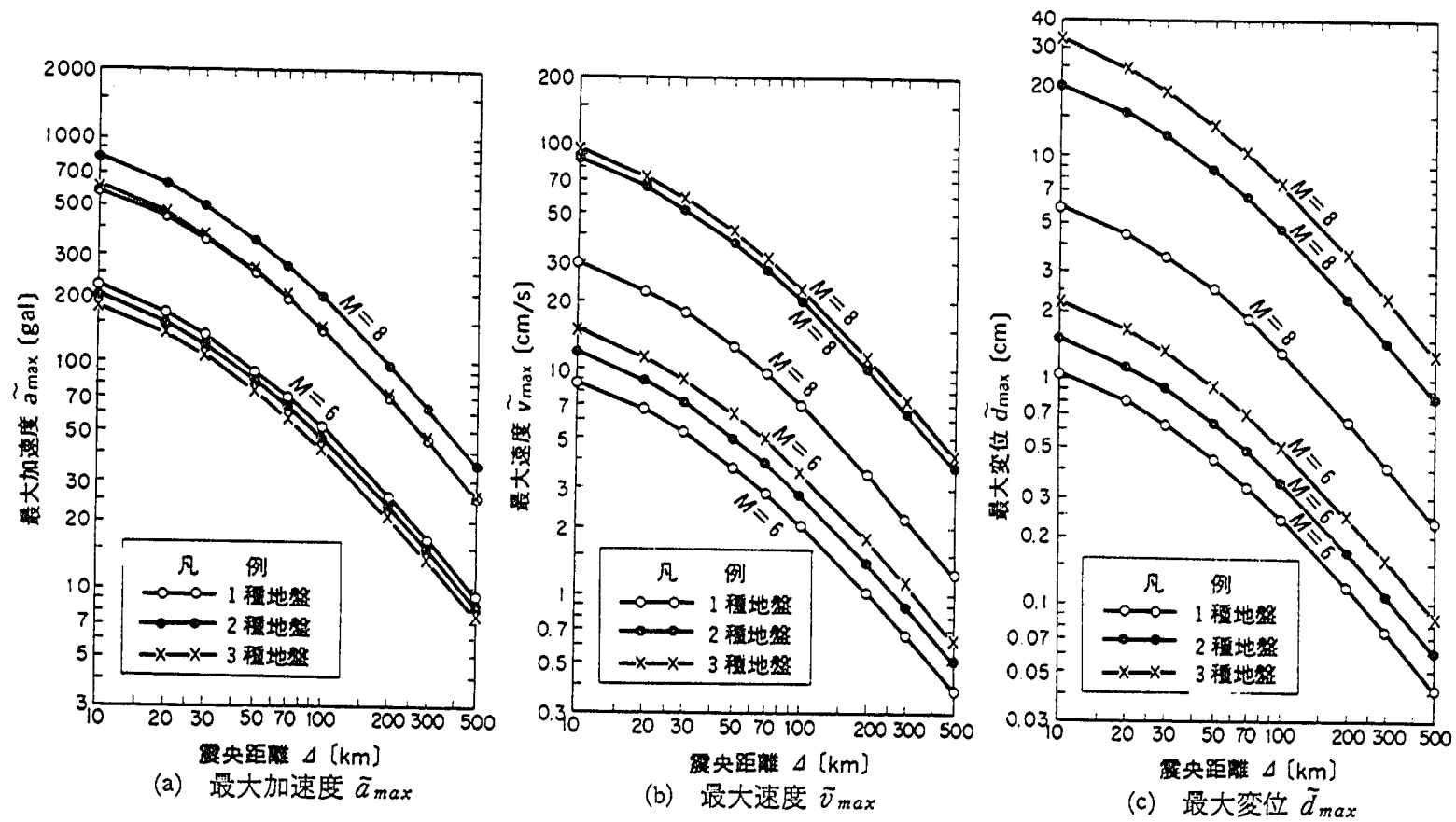
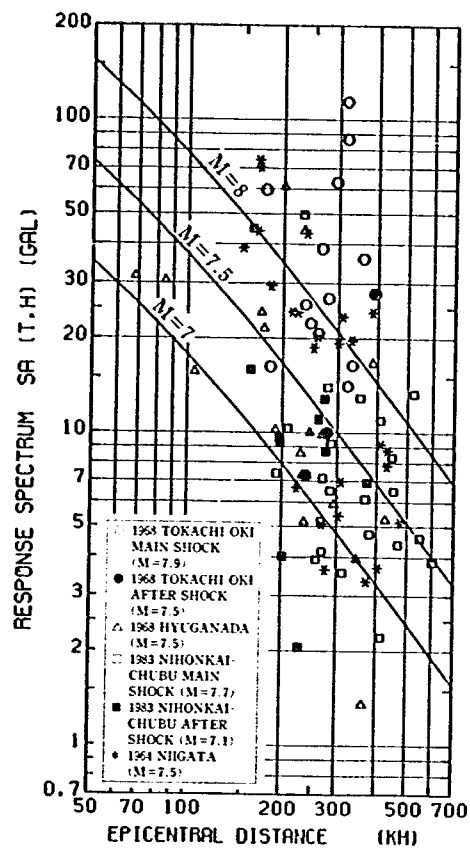
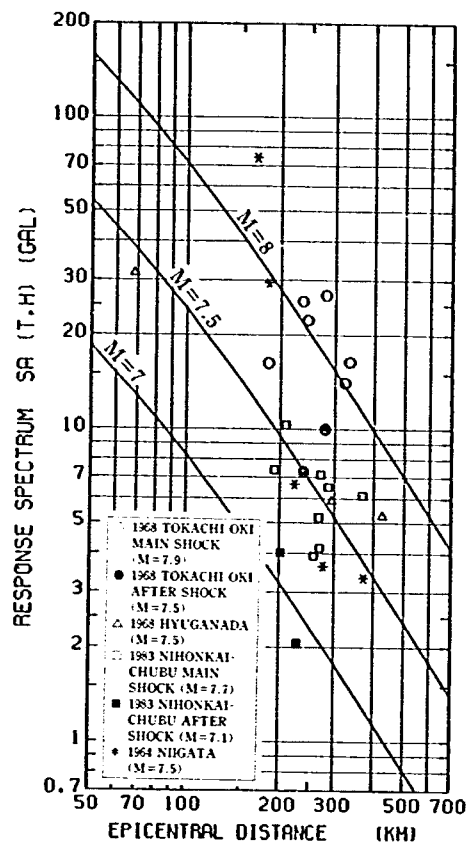


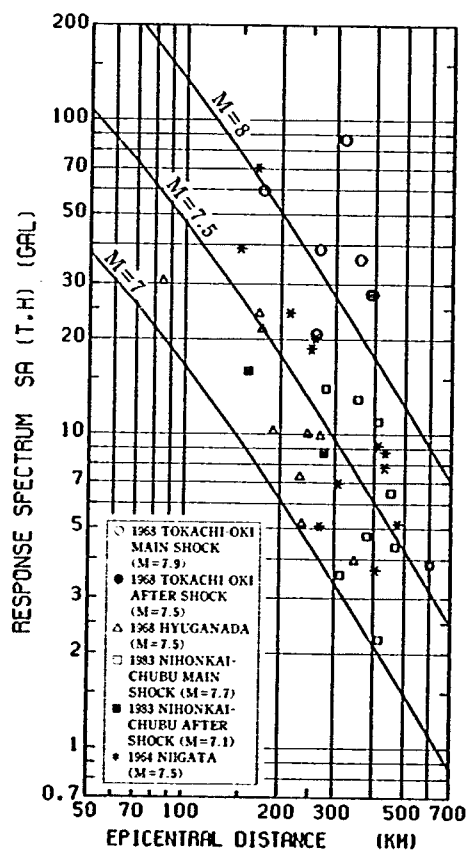
図 5.4 工学式強震計記録に基づく最大地震動の距離減衰式
(マグニチュード 6 および 8 の場合)



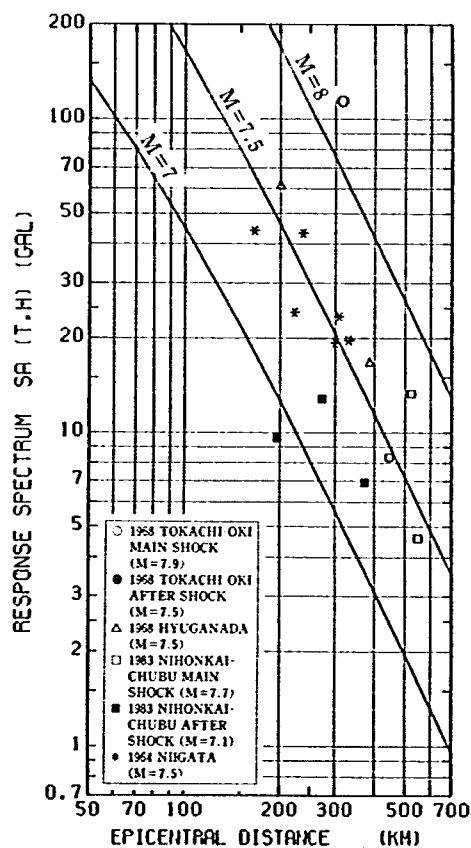
(a) 全データ



(b) 1種地盤

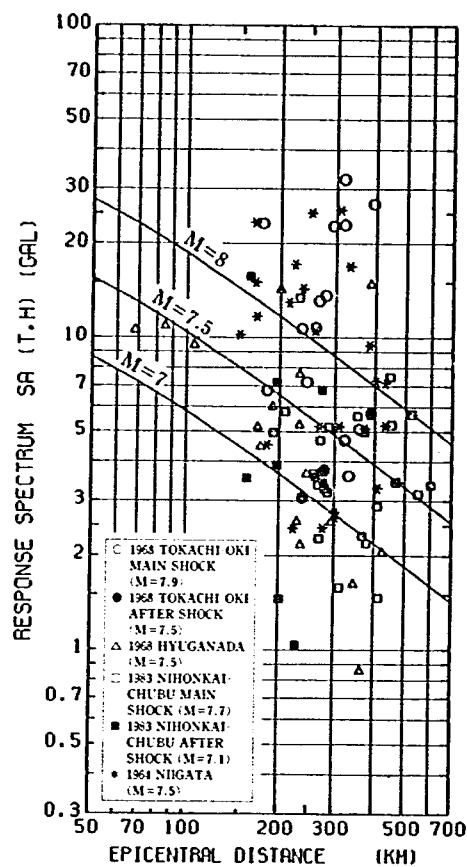


(c) 2種地盤

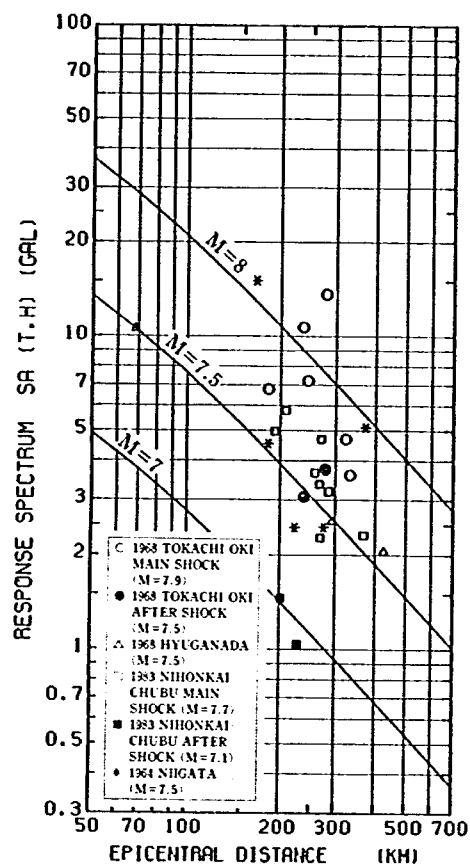


(d) 3種地盤

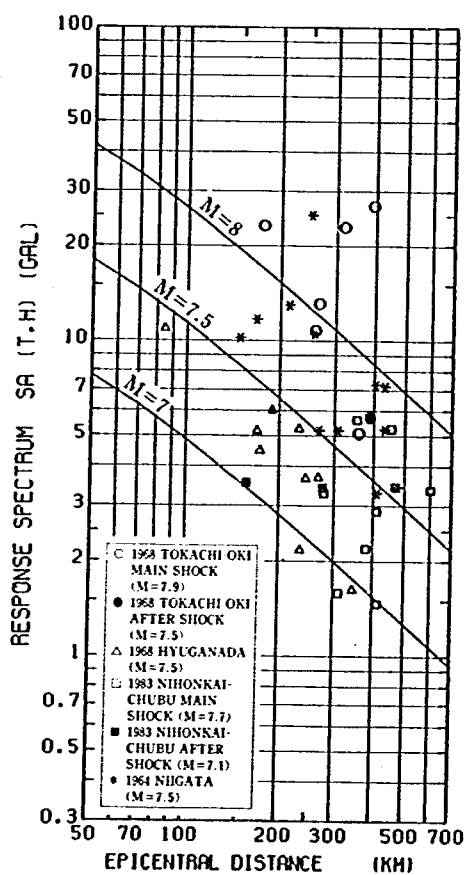
図 5.5 加速度応答スペクトルの距離減衰 (固有周期 2 秒, 減衰定数 5%)



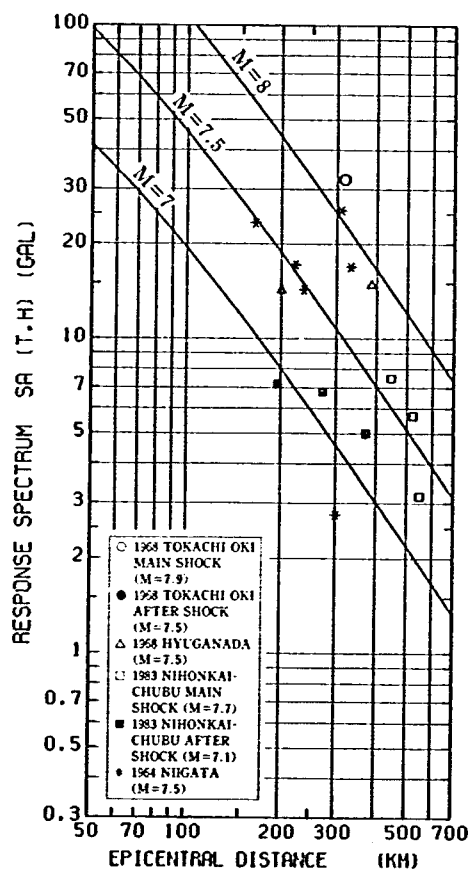
(a) 全データ



(b) 1種地盤

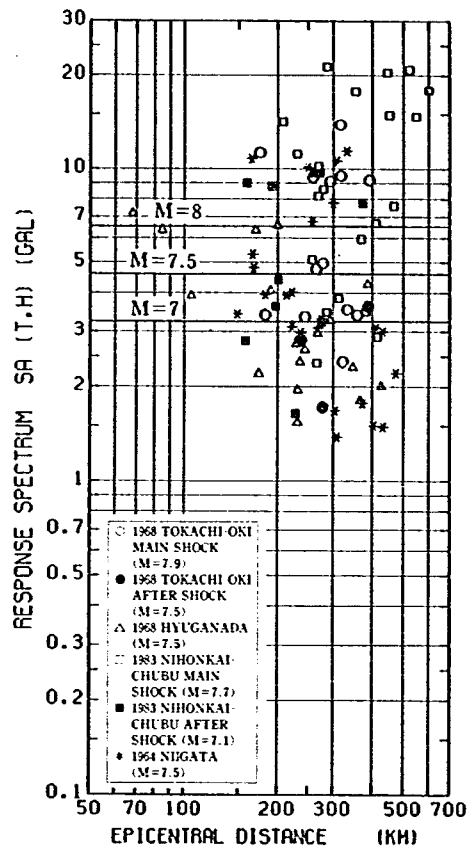


(c) 2種地盤

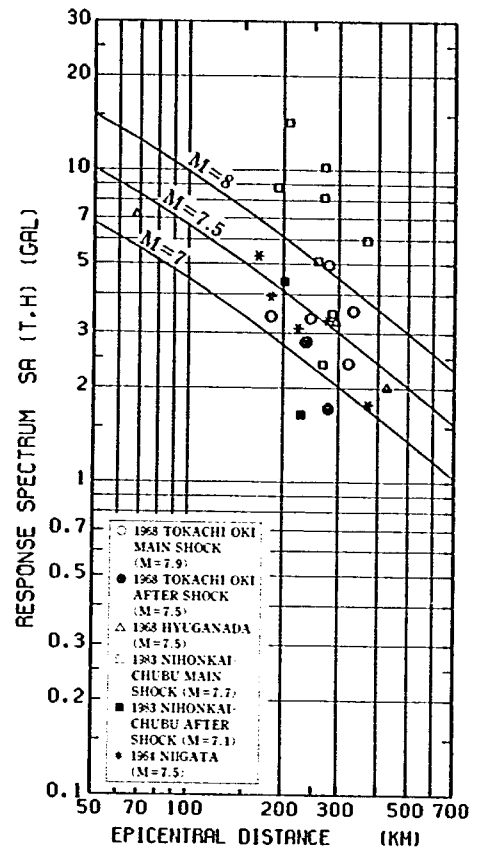


(d) 3種地盤

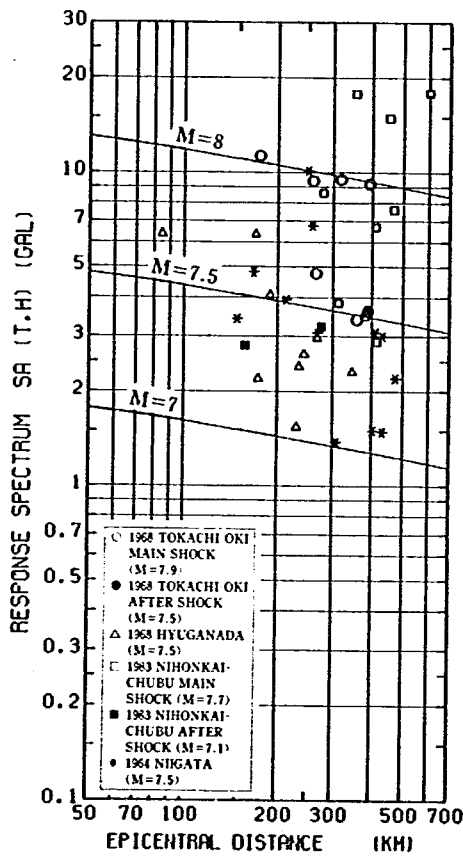
図 5.6 加速度応答スペクトルの距離減衰 (固有周期 5 秒, 減衰定数 5%)



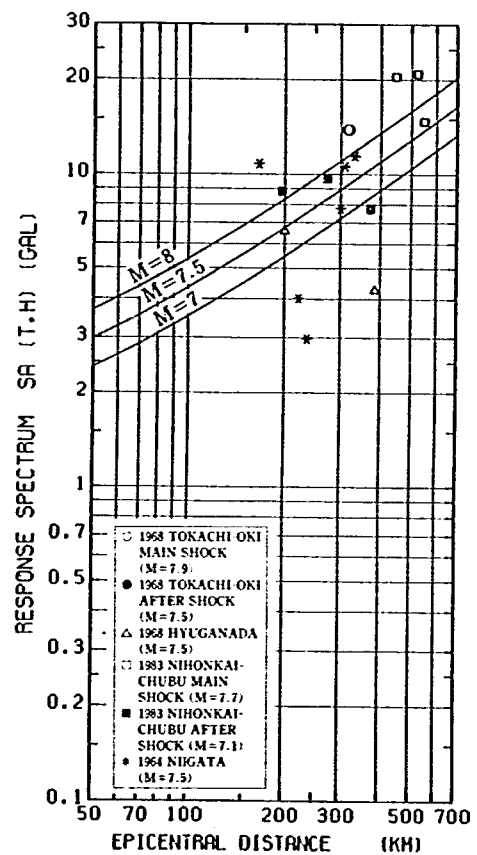
(a) 全データ



(b) 1種地盤



(c) 2種地盤



(d) 3種地盤

図 5.7 加速度応答スペクトルの距離減衰 (固有周期 10 秒, 減衰定数 2%)

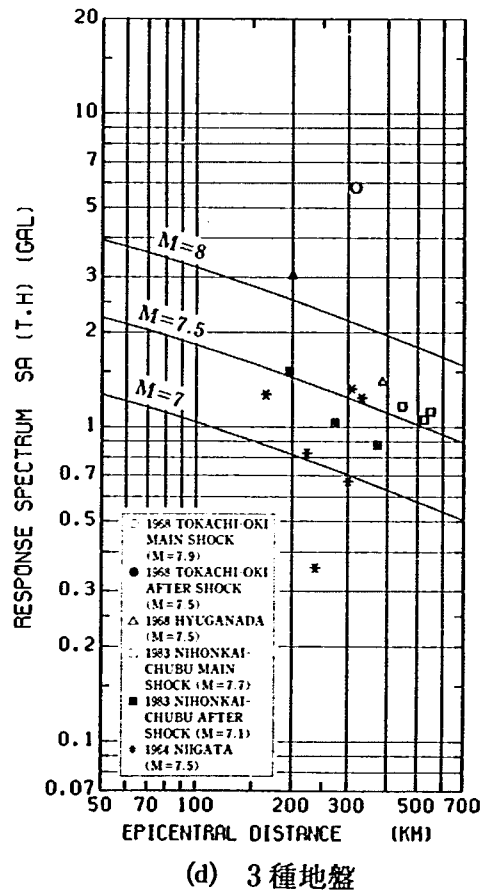
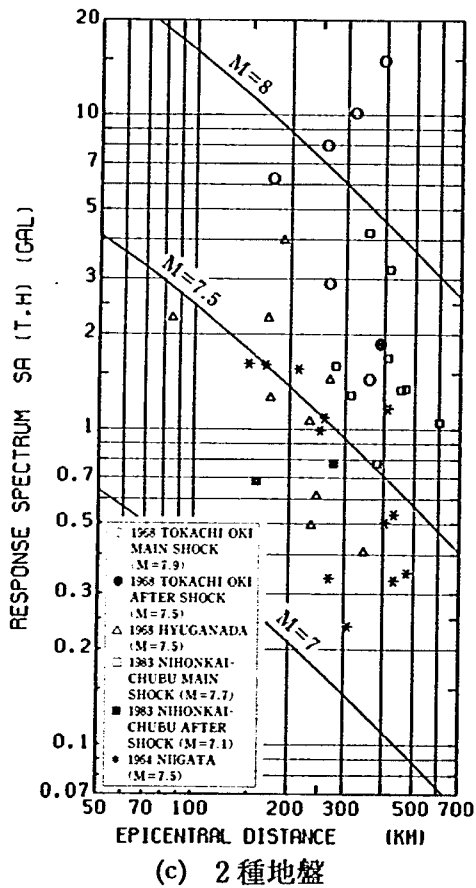
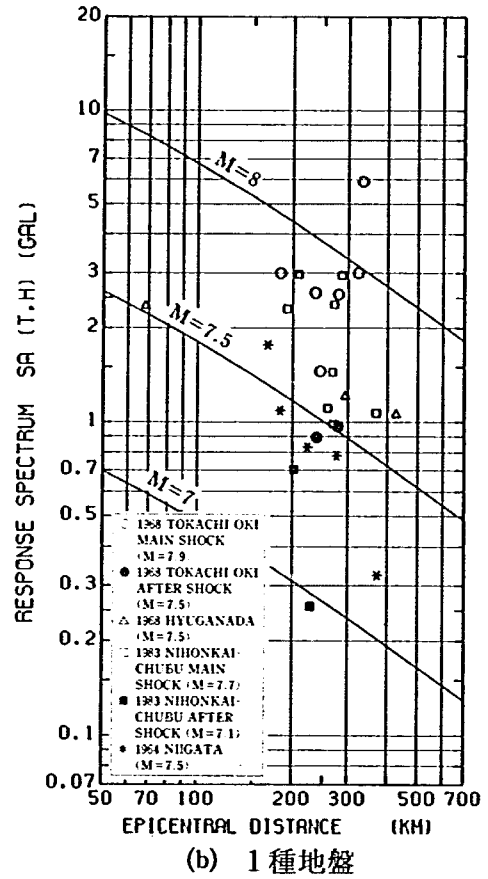
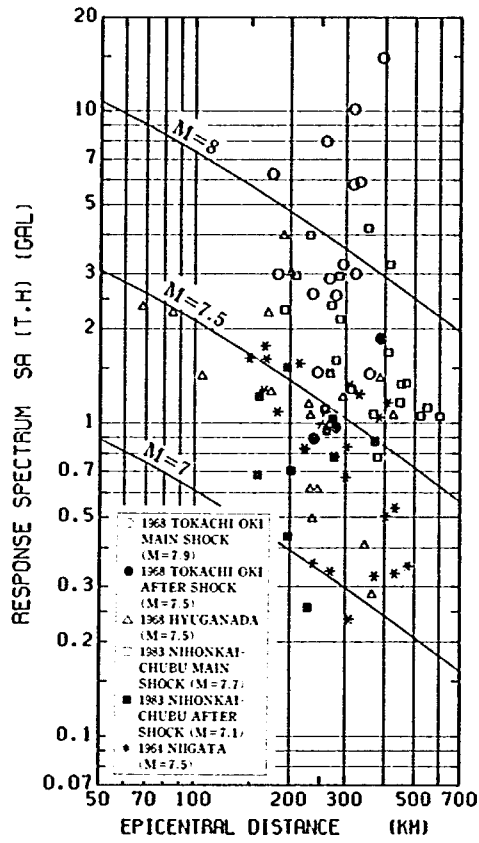


図 5.8 加速度応答スペクトルの距離減衰 (固有周期 20 秒, 減衰定数 2%)

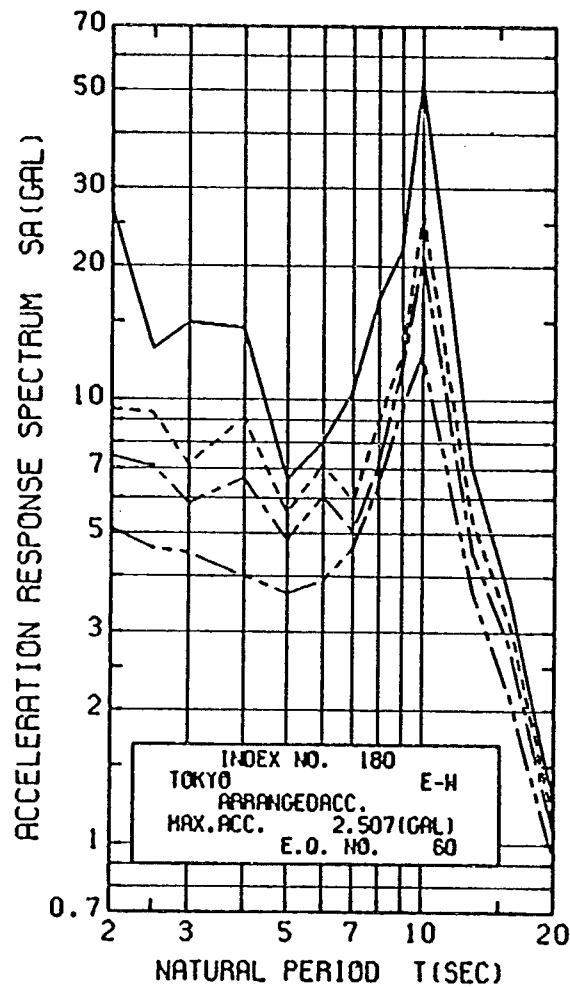
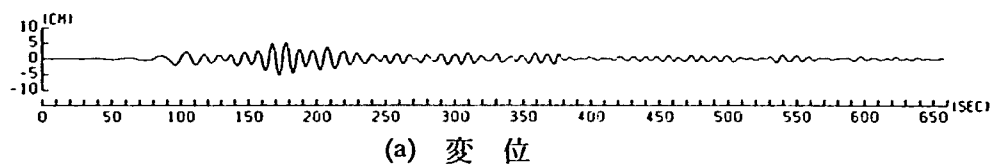
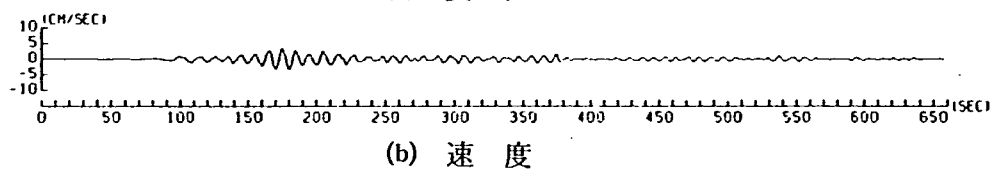


図 5.9 1983 年日本海中部地震により東京で得られた
記録の加速度応答スペクトル (東西成分)

INDEX NO. 178
TOKYO E-W
ARRANGED VEL.
MAX. = 3.382 (CM/SEC)
E.O. NO. 60



INDEX NO. 179
TOKYO E-W
ARRANGED VEL.
MAX. = 3.382 (CM/SEC)
E.O. NO. 60



INDEX NO. 180
TOKYO E-W
ARRANGED ACC.
MAX. = 2.507 (GAL)
E.O. NO. 60

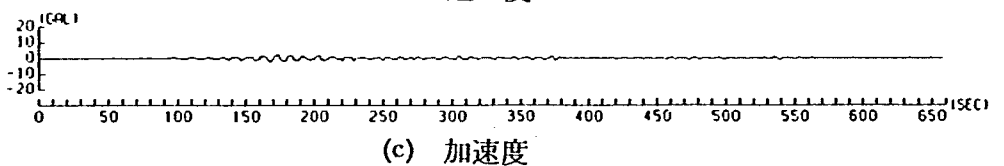


図 5.10 1983 年日本海中部地震により東京で得られた
記録波形 (東西成分)

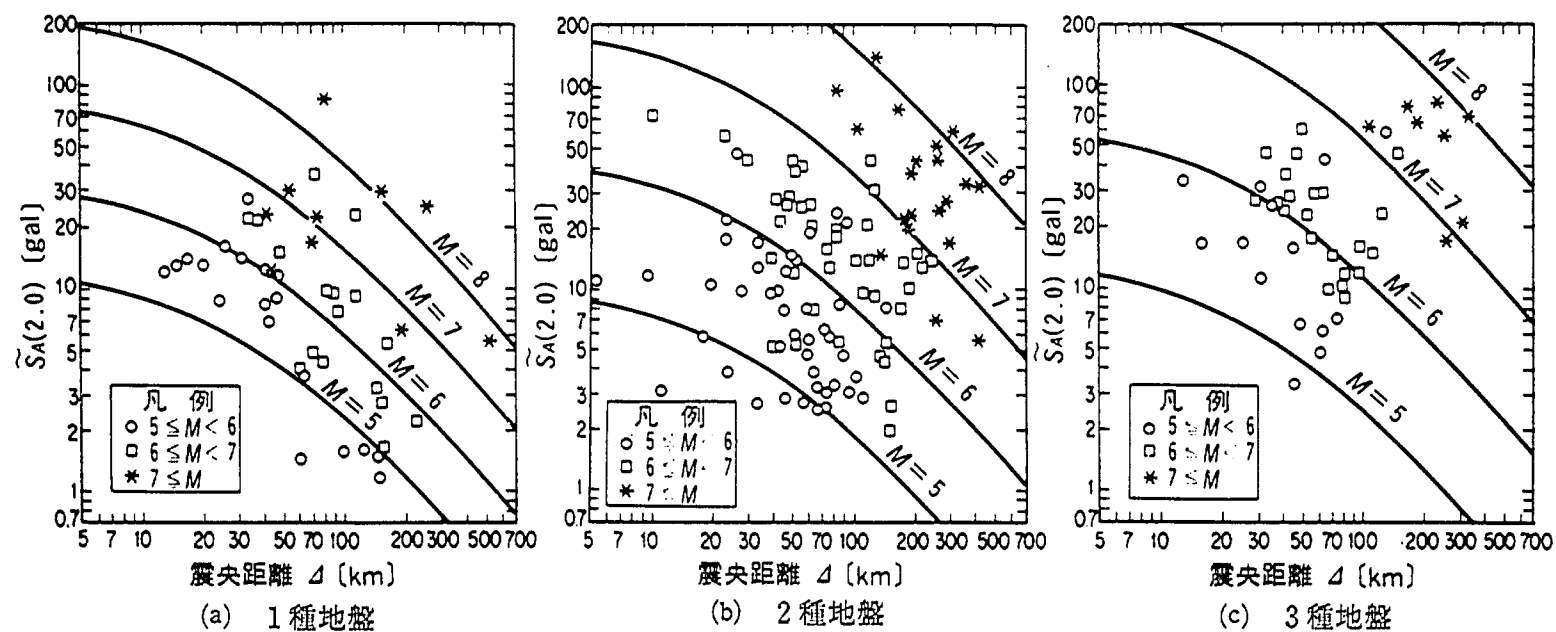


図 5.11 工学式強震計記録に基づく加速度応答スペクトルの距離減衰（固有周期 2 秒，減衰定数 5%）

6. 結 論

大規模地震による長周期震動の特性を検討することを目的として、1964年新潟地震による72成分の気象庁一倍強震計記録を数値化し、これらの特性について検討するとともに、既往の工学式強震計記録の統計解析から求めた最大地震動および加速度応答スペクトルの予測値と比較した。本解析から得られた主な結論は、以下のとおりである。

- 1) 今回解析した気象庁一倍強震計記録には周期2~20秒の長周期地震動が含まれており、i) 継続時間が非常に長く、ii) 全体として10秒程度以上の長周期成分を含み、また、iii) 変位振幅が非常に大きい点において、従来工学の分野で検討されてきたSMAC型強震計記録とは大きく異なっている。これらの特性は数値化を含めた総合精度の面からSMAC型強震計記録では検討できない点であり、今後、長周期地震動の特性を慎重に検討していくことが必要とされる。
- 2) 観測所の地盤条件を表す指標として揺れやすさを導入して検討を行ったが、本解析の範囲内では、各観測所の揺れやすさと最大地震動および加速度応答スペクトルの距離減衰特性との間には明瞭な関係は認め難い。地盤条件が地震動の距離減衰特性に及ぼす影響については、今後さらに検討が必要とされる。
- 3) 既往の工学式強震計記録の統計解析に基づき求められた式(4.1)~(4.3)の距離減衰式から新潟地震による最大加速度、最大速度、最大変位(いずれも水平成分)の距離減衰を推定し、これを気象庁一倍強震計記録から求めた最大加速度、最大速度、最大変位と比較すると最大速度については、両者は比較的よく一致する。ただし、気象庁一倍強震計と工学式強震計がカバーする周期帯域の違いから最大加速度および最大変位については両者の比較はできない。
- 4) 既往の強震記録の統計解析に基づく加速度応答スペクトル(減衰定数5%)の推定式(式(4.4))から、固有周期2秒(水平成分)の加速度応答スペクトルを求め、これと気象庁一倍強震計記録より求めた同じ条件の加速度応答スペクトルとを比較すると、一般に、前者の方が後者よりも大きくなる。

謝 辞

本解析に当り，気象庁地震火山部地震津波監視課より 1964 年新潟地震記録のマイクロフィルムをお借りしました。末尾ながら，厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 気象庁：昭和39年6月16日新潟地震調査報告，気象庁技術報告，第43号，昭和40年5月
- 2) 気象庁：被害地震の表と震度分布図，昭和58年3月
- 3) 宇佐美龍夫：日本被害地震総覧，昭和50年3月
- 4) 福岡正巳ほか：新潟地震調査報告，土木研究所報告，第125号，昭和40年6月
- 5) 土木学会：昭和39年新潟地震震害調査報告，昭和41年6月
- 6) 川島一彦，高木義和，相沢 興：ディジタイザーによるSMAC型強震計記録の数値化精度，土木学会論文報告集，第323号，昭和57年7月
- 7) Skoko, D. and Sato Y.: Strong Motion Seismogramme of Off-Boso Earthquake on November 26, 1953, Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Vol. 11, pp. 43~66, 1973
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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3）1983年日本海中部地震記録の解析——，土木研究所資料，第2387号，昭和61年6月
- 11) 後藤尚男，亀田弘行，杉戸真太，今西直人：ディジタルフィルターによるSMAC-B₂加速度計記録の補正について，土木学会論文報告集，第277号，昭和53年9月
- 12) 川島一彦，高木義和，相沢 興：数値化精度を考慮したSMAC-B₂型強震計記録の計器補正法および変位計算法，土木学会論文報告集，第325号，昭和57年9月
- 13) 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
- 14) 気象庁地震課：気象庁地震観測官署の地盤調査，験震時報，第37巻，第3号，昭和47年
- 15) 岡田成幸，鏡味洋史：日本各地におけるやや長周期の地盤特性の定量評価の試み，日本建築学会論文報告集，第267号，昭和53年5月
- 16) 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

付 属 資 料

気象庁一倍強震計記録による
加速度応答スペクトル値
(1964 年新潟地震)

付表 1.1 (1) 気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値一覧 (減衰定数 $h=0$)

No.	観測所名	成分名	加 速 度 応 答 ス ペ ク ト ル $S_A(T)$ [gal] T : 固有周期 [sec]												
			$T=2.0$	$T=2.5$	$T=3.0$	$T=4.0$	$T=5.0$	$T=6.0$	$T=7.0$	$T=8.0$	$T=9.0$	$T=10.0$	$T=13.0$	$T=16.0$	$T=20.0$
1	ISHINOMAKI	N-S	77.444	44.992	17.642	9.363	11.180	15.400	10.097	8.285	4.484	4.364	4.102	1.920	1.114
2	ISHINOMAKI	W-E	37.473	24.898	31.047	13.856	18.910	6.852	8.528	6.827	3.414	6.785	1.966	1.063	1.279
3	ISHINOMAKI	D-U	60.941	31.495	19.229	11.594	6.438	5.672	6.249	4.915	4.632	2.756	1.186	0.951	0.560
4	AOMORI	S-N	96.958	48.680	45.359	7.476	5.699	9.579	7.766	15.712	21.184	9.243	5.226	1.779	0.696
5	AOMORI	E-W	80.854	72.663	27.183	5.009	9.971	3.996	4.775	5.413	8.555	3.875	2.043	0.876	0.547
6	AOMORI	D-U	7.717	7.979	5.996	1.824	3.197	2.080	1.078	3.512	5.171	3.698	1.985	1.387	0.397
7	MIYAKO	S-N	4.484	6.194	10.507	3.339	5.229	4.489	4.800	3.937	7.043	4.931	2.092	2.224	0.891
8	MIYAKO	W-E	16.529	10.617	7.861	5.716	5.633	3.068	2.793	1.834	2.817	2.171	3.062	1.115	0.502
9	MIYAKO	D-U	5.224	13.005	5.885	3.845	6.142	2.448	2.877	2.767	3.908	3.189	2.542	1.316	0.372
10	AKITA	N-S	56.536	51.976	65.105	26.340	60.112	27.214	23.406	12.147	22.021	23.079	4.101	1.575	1.360
11	AKITA	W-E	90.698	102.397	35.406	38.423	50.785	23.454	21.426	18.477	15.770	16.949	3.442	1.641	1.440
12	AKITA	D-U	41.454	38.615	65.797	18.823	36.642	9.188	8.343	13.516	6.505	3.923	4.081	2.023	0.541
13	MORIOKA	N-S	7.604	15.474	3.742	3.620	7.505	4.514	5.942	4.907	4.611	5.128	2.172	2.145	0.919
14	MORIOKA	W-E	10.039	16.269	7.499	4.063	5.323	6.904	4.809	3.776	3.814	3.470	2.522	1.172	0.797
15	MORIOKA	D-U	10.250	8.907	6.985	3.677	4.969	4.629	5.030	3.638	4.140	6.294	3.313	1.357	0.587
16	SENDAI	S-N	69.985	47.230	46.328	16.253	20.590	7.968	15.904	9.420	5.489	2.459	3.089	1.734	1.139
17	SENDAI	W-E	118.448	50.047	26.114	11.548	29.847	18.768	7.378	9.192	6.835	3.862	3.107	3.164	1.859
18	SENDAI	D-U	20.497	17.969	9.276	11.711	15.488	8.031	6.536	2.494	2.560	4.004	1.497	1.522	0.906
19	SHIRAKAWA	N-S	216.458	77.204	18.016	10.434	12.339	15.008	18.985	8.245	6.872	7.165	3.317	0.955	0.834
20	SHIRAKAWA	W-E	209.293	23.593	15.264	10.517	31.542	19.818	20.983	12.242	12.003	6.500	4.021	2.861	2.095
21	SHIRAKAWA	D-U	42.394	24.195	9.906	12.981	17.056	6.940	5.624	3.034	2.701	3.261	1.805	1.077	0.575
22	KUMAGAYA	S-N	38.611	46.897	26.401	55.301	59.548	16.020	12.152	16.012	11.082	4.779	4.165	1.206	1.040
23	KUMAGAYA	E-W	101.835	46.966	32.123	28.315	44.186	22.735	15.567	24.891	19.497	17.046	3.779	1.920	1.307
24	KUMAGAYA	D-U	39.500	35.671	30.070	44.472	25.475	25.048	12.817	13.172	10.749	11.222	2.877	2.727	2.926
25	CHICHIBU	N-S	9.229	13.864	10.231	9.832	8.221	6.768	5.711	3.863	2.267	2.587	0.864	0.989	0.274
26	CHICHIBU	W-E	17.995	19.686	13.808	18.075	18.335	7.071	5.258	5.635	3.609	4.860	2.187	0.923	0.380
27	CHICHIBU	D-U	17.547	12.546	11.955	6.826	5.493	7.728	8.097	5.378	4.010	2.035	1.399	1.066	0.451
28	TAKADA	S-N	275.853	98.651	69.503	27.970	27.636	19.465	34.407	16.739	15.422	7.308	3.004	3.828	2.638
29	TAKADA	E-W	175.707	121.967	66.757	46.309	37.868	24.836	15.723	14.773	7.691	10.686	2.703	3.225	1.390
30	TAKADA	D-U	34.448	18.868	40.323	11.917	26.064	6.346	10.407	4.242	6.545	4.915	1.820	1.626	0.773
31	KOFU	N-S	12.780	8.755	9.515	14.695	5.819	2.989	2.663	4.203	2.703	1.957	1.108	1.198	0.268
32	KOFU	W-E	11.955	24.154	24.009	9.168	12.572	10.360	5.133	4.751	3.783	1.595	0.869	0.347	0.175
33	KOFU	D-U	4.676	2.920	2.075	4.843	2.634	2.378	1.562	3.713	1.338	1.067	0.681	0.785	0.333
34	MAEBASHI	N-S	101.581	46.547	34.647	18.118	49.831	9.968	14.915	5.667	7.453	6.513	1.468	0.887	0.818
35	MAEBASHI	W-E	43.441	39.928	19.868	25.878	58.148	22.745	29.728	9.767	6.569	5.231	2.453	2.233	1.116
36	MAEBASHI	D-U	57.496	13.010	29.922	32.222	28.714	11.220	6.837	9.771	3.530	2.272	2.036	1.016	1.171
37	KARUIZAWA	S-N	50.432	56.948	55.363	26.349	36.960	14.061	9.901	4.750	2.691	3.231	1.537	0.563	0.375
38	KARUIZAWA	E-W	94.775	39.035	39.571	30.243	30.399	11.795	11.114	11.250	5.053	5.183	3.406	0.581	0.376
39	KARUIZAWA	D-U	16.623	12.790	14.164	29.376	7.564	4.759	6.008	3.682	3.637	1.439	1.214	1.492	0.696
40	AJIRO	N-S	7.371	7.031	5.956	7.042	5.534	5.406	2.812	1.554	4.849	2.586	1.065	0.828	0.384
41	AJIRO	W-E	11.365	9.656	9.489	8.731	15.787	7.347	5.635	5.329	3.938	1.987	1.151	0.441	0.365
42	AJIRO	D-U	5.213	4.242	2.049	2.915	4.093	1.714	1.171	0.466	1.087	0.518	0.157	0.241	0.101
43	TOYAMA	S-N	41.136	37.295	36.510	28.503	31.296	30.183	7.576	15.790	6.527	9.365	4.009	1.014	0.863
44	TOYAMA	E-W	40.147	27.052	24.960	25.383	50.876	21.033	11.747	30.020	7.202	8.499	3.395	1.842	1.260
45	TOYAMA	***													

付表 1.1 (2) 気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値一覧 (減衰定数 $h=0$)

No.	観測所名	成分名	加速度応答スペクトル $S_a(T)$ [gal] T :固有周期 [sec]												
			$T=2.0$	$T=2.5$	$T=3.0$	$T=4.0$	$T=5.0$	$T=6.0$	$T=7.0$	$T=8.0$	$T=9.0$	$T=10.0$	$T=13.0$	$T=16.0$	$T=20.0$
46	OMAEZAKI	S-N	13.273	17.492	24.432	20.477	16.914	13.631	7.954	3.641	3.897	1.311	1.250	2.923	0.641
47	OMAEZAKI	E-W	23.096	23.709	18.344	14.195	13.201	11.518	16.615	9.190	4.114	4.687	1.246	6.756	0.483
48	OMAEZAKI	D-U	9.112	11.630	10.790	7.114	13.371	7.871	11.478	9.571	8.535	2.197	2.858	6.551	0.882
49	TSU	N-S	8.599	8.830	15.172	13.897	8.208	9.516	2.997	4.925	2.146	0.897	0.674	1.812	0.447
50	TSU	W-E	10.581	24.100	8.851	7.103	10.749	3.740	6.845	3.030	1.373	1.061	1.183	3.618	0.484
51	TSU	***													
52	TAKAYAMA	N-S	10.631	7.189	4.771	4.613	6.646	5.043	3.564	5.566	2.685	2.612	0.593	1.483	0.383
53	TAKAYAMA	W-E	8.107	7.867	10.723	4.187	4.963	6.151	2.393	1.100	2.787	1.974	1.538	2.467	1.006
54	TAKAYAMA	D-U	3.886	3.695	2.487	5.274	3.298	4.188	4.684	3.199	2.212	1.062	1.012	1.773	0.389
55	NAGOYA	S-N	26.433	16.671	22.118	8.138	3.973	2.957	3.089	3.371	2.053	1.118	0.517	2.448	0.322
56	NAGOYA	W-E	18.342	16.870	11.237	9.363	5.210	5.589	5.720	3.367	4.324	1.831	2.434	5.134	1.358
57	NAGOYA	D-U	8.439	3.880	3.356	2.197	4.634	3.140	1.384	2.712	2.075	0.618	0.853	1.261	0.267
58	HAMAMATSU	N-S	17.618	10.336	22.529	16.160	13.944	4.780	5.798	3.619	1.938	1.362	1.081	1.413	0.371
59	HAMAMATSU	W-E	14.768	11.852	14.521	21.430	18.175	7.355	6.800	3.108	2.529	0.961	0.420	2.189	0.486
60	HAMAMATSU	D-U	8.299	4.831	6.274	2.452	4.737	3.008	3.505	3.179	1.669	0.690	1.376	1.202	0.535
61	UTSUNOMIYA	N-S	38.841	30.842	21.776	11.034	33.338	20.294	12.575	4.348	5.464	2.133	0.647	2.399	0.795
62	UTSUNOMIYA	W-E	51.985	30.230	36.211	32.720	40.105	26.702	13.037	6.824	5.519	4.325	2.875	5.081	1.827
63	UTSUNOMIYA	D-U	20.820	17.477	7.334	9.955	16.904	19.762	8.571	3.860	4.074	2.021	1.503	2.494	0.636
64	TOKYO	N-S	53.495	62.815	22.224	26.495	43.566	70.200	24.779	19.628	17.233	3.529	1.697	10.091	0.664
65	TOKYO	W-E	44.404	66.770	40.825	60.262	98.786	61.070	59.530	26.825	29.372	4.142	2.936	15.706	1.814
66	TOKYO	***													
67	TOMISAKI	N-S	32.289	28.314	26.911	29.545	23.787	24.932	29.777	6.467	12.569	2.959	2.494	5.308	0.938
68	TOMISAKI	W-E	22.320	23.523	25.404	24.475	42.072	26.966	11.100	16.335	6.366	2.391	1.974	3.452	1.298
69	TOMISAKI	D-U	25.730	11.054	9.526	7.677	12.946	10.260	9.071	2.098	4.974	2.681	0.665	1.843	0.488
70	YOKOHAMA	N-S	55.346	43.230	37.057	56.437	32.995	30.885	23.120	15.877	16.321	5.116	1.637	8.624	0.887
71	YOKOHAMA	W-E	58.133	31.475	26.413	37.699	30.137	19.488	11.161	14.146	17.604	2.431	1.737	25.719	1.493
72	YOKOHAMA	D-U	26.796	15.265	15.315	21.462	28.478	10.401	14.191	4.161	4.511	1.319	2.384	2.447	0.922
73	OSHIMA	N-S	18.028	10.014	5.732	16.904	27.485	15.438	5.349	3.573	2.886	1.865	1.307	3.175	0.684
74	OSHIMA	W-E	6.739	5.084	2.683	5.151	9.506	5.949	5.580	4.530	3.075	0.870	0.406	1.346	0.365
75	OSHIMA	D-U	4.364	1.806	1.492	1.494	3.401	4.542	1.741	1.063	1.337	0.878	0.471	1.067	0.325

付表 1.2 (1) 気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値一覧 (減衰定数 $h=0.01$)

No.	観測所名	成分名	加速度応答スペクトル $S_a(T)$ [gal] T : 固有周期 [sec]												
			$T=2.0$	$T=2.5$	$T=3.0$	$T=4.0$	$T=5.0$	$T=6.0$	$T=7.0$	$T=8.0$	$T=9.0$	$T=10.0$	$T=13.0$	$T=16.0$	$T=20.0$
1	ISHINOMAKI	N-S	51.923	36.259	10.755	8.323	5.947	8.877	8.036	5.329	4.083	4.089	3.203	1.782	1.046
2	ISHINOMAKI	W-E	29.789	16.247	19.130	8.951	8.580	5.949	7.300	5.920	3.241	4.906	1.739	0.996	1.176
3	ISHINOMAKI	D-U	48.209	20.088	11.532	6.528	2.894	4.908	4.897	4.315	3.378	2.099	1.118	0.779	0.517
4	AOMORI	S-N	39.456	26.932	28.573	6.626	4.265	4.289	4.757	7.961	12.954	8.418	4.329	1.714	0.681
5	AOMORI	E-W	31.834	39.021	12.706	3.954	4.797	2.641	2.922	3.423	4.164	3.027	1.501	0.673	0.395
6	AOMORI	D-U	4.877	4.559	3.063	1.174	2.302	1.818	1.006	2.057	3.514	3.215	1.862	1.084	0.385
7	MIYAKO	S-N	4.222	4.805	7.501	2.577	3.357	2.893	3.270	3.163	4.407	3.976	1.832	1.776	0.833
8	MIYAKO	W-E	8.300	8.272	4.376	3.924	3.116	2.759	2.285	1.409	1.651	1.964	2.538	1.070	0.480
9	MIYAKO	D-U	3.621	7.510	4.440	2.998	2.921	1.690	1.965	2.422	2.399	2.780	2.202	1.016	0.373
10	AKITA	N-S	44.928	38.074	39.185	18.853	42.301	19.405	11.220	8.609	12.882	14.406	3.675	1.581	1.308
11	AKITA	W-E	70.262	49.856	20.518	26.459	23.251	16.174	13.546	14.754	10.155	11.036	3.219	1.386	0.944
12	AKITA	D-U	25.313	17.930	25.185	9.847	14.097	6.446	6.456	8.878	5.582	3.324	3.494	1.913	0.521
13	MORIOKA	N-S	7.186	11.111	2.947	3.114	4.228	3.911	3.317	3.546	4.138	3.701	1.736	1.978	0.872
14	MORIOKA	W-E	8.888	12.398	6.541	3.036	3.203	4.332	3.479	2.769	2.571	2.727	2.287	1.065	0.762
15	MORIOKA	D-U	6.724	6.642	4.469	2.911	3.846	3.957	3.328	2.981	3.897	3.866	3.045	1.311	0.574
16	SENDAI	S-N	49.755	29.203	29.674	14.150	12.547	6.976	11.887	8.343	3.665	2.359	2.402	1.684	0.856
17	SENDAI	W-E	73.616	25.458	21.445	10.824	15.382	14.715	5.914	7.200	5.317	3.630	2.896	2.810	1.727
18	SENDAI	D-U	17.365	13.007	6.496	7.351	7.255	5.620	5.499	2.285	1.987	2.347	1.136	1.215	0.846
19	SHIRAKAWA	N-S	141.124	50.057	13.545	8.729	7.345	11.800	13.911	7.933	6.077	5.523	2.087	0.925	0.760
20	SHIRAKAWA	W-E	129.215	24.592	14.616	10.363	23.330	16.306	13.592	11.319	7.827	5.354	3.851	2.616	1.714
21	SHIRAKAWA	D-U	33.644	19.621	8.797	8.873	8.855	4.176	3.897	2.401	1.838	2.905	1.194	1.000	0.511
22	KUMAGAYA	S-N	19.067	24.712	15.018	34.547	37.381	10.144	6.790	7.785	8.177	4.154	3.572	1.142	0.745
23	KUMAGAYA	E-W	44.399	21.803	20.586	23.003	38.672	19.087	12.186	15.843	15.026	10.966	3.630	1.879	1.023
24	KUMAGAYA	D-U	17.487	17.893	15.565	24.719	20.748	19.626	11.666	9.048	8.822	8.792	2.814	2.348	1.924
25	CHICHIBU	N-S	6.250	9.965	6.312	6.869	5.301	3.371	3.643	2.383	1.742	2.065	0.793	0.882	0.270
26	CHICHIBU	W-E	9.300	11.057	8.378	13.930	10.236	5.447	4.609	3.652	3.167	3.749	1.332	0.886	0.347
27	CHICHIBU	D-U	8.815	8.245	6.858	5.902	3.922	5.219	5.615	2.324	2.188	1.760	1.011	0.938	0.426
28	TAKADA	S-N	156.705	70.641	37.500	20.520	18.648	15.120	17.615	11.744	11.424	5.902	2.766	3.135	1.927
29	TAKADA	E-W	84.346	71.096	41.707	30.582	24.762	17.496	9.989	8.609	5.232	5.343	2.531	2.775	1.296
30	TAKADA	D-U	26.440	14.068	23.086	9.865	12.930	6.163	7.261	3.718	4.958	3.966	1.718	1.396	0.627
31	KOFU	N-S	10.132	5.414	5.396	7.380	3.273	2.935	2.049	2.580	1.879	1.479	0.796	0.858	0.251
32	KOFU	W-E	10.217	13.590	12.154	7.311	7.407	5.752	4.419	2.920	2.262	1.477	0.725	0.249	0.173
33	KOFU	D-U	2.668	1.811	1.565	3.425	2.133	1.391	1.283	2.406	0.707	0.824	0.621	0.557	0.306
34	MAEBASHI	N-S	49.380	25.096	19.247	12.063	24.010	7.722	9.019	5.439	5.210	4.714	1.286	0.780	0.719
35	MAEBASHI	W-E	19.307	30.831	16.556	18.561	37.164	16.620	18.260	7.267	5.483	4.231	2.164	1.731	0.844
36	MAEBASHI	D-U	28.424	11.763	22.417	15.948	18.494	7.174	4.656	5.264	2.816	1.865	1.785	0.926	1.014
37	KARUIZAWA	S-N	42.518	37.352	32.714	23.730	24.094	12.483	8.387	3.425	2.337	2.174	1.217	0.543	0.351
38	KARUIZAWA	E-W	62.039	35.083	25.022	25.124	18.322	9.410	7.664	8.873	3.735	3.795	2.428	0.535	0.363
39	KARUIZAWA	D-U	13.780	7.911	9.454	19.118	5.791	2.962	3.241	2.660	3.088	1.315	0.866	1.218	0.645
40	AJIRO	N-S	2.711	3.534	3.755	3.186	4.505	3.914	2.139	1.243	2.297	1.838	0.605	0.618	0.345
41	AJIRO	W-E	5.006	6.760	5.672	7.045	8.818	5.673	4.230	3.753	2.880	1.873	0.833	0.330	0.264
42	AJIRO	D-U	2.755	2.512	1.271	2.608	2.883	0.919	0.898	0.440	0.599	0.440	0.147	0.205	0.078
43	TOYAMA	S-N	31.734	18.250	16.828	16.591	19.186	18.508	6.452	9.282	5.690	6.835	3.161	1.014	0.751
44	TOYAMA	E-W	24.838	17.837	18.928	20.546	24.176	15.983	10.386	14.027	5.338	7.534	2.374	1.593	1.168
45	TOYAMA	***													

付表 1.2 (2) 気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値一覧 (減衰定数 $h=0.01$)

No.	観測所名	成分名	加速度応答スペクトル $S_a(T)$ [gal] T : 固有周期 [sec]												
			$T=2.0$	$T=2.5$	$T=3.0$	$T=4.0$	$T=5.0$	$T=6.0$	$T=7.0$	$T=8.0$	$T=9.0$	$T=10.0$	$T=13.0$	$T=16.0$	$T=20.0$
46	OMAEZAKI	S-N	6.898	13.275	10.593	11.300	12.596	10.540	4.747	2.562	3.173	1.953	1.241	0.877	0.573
47	OMAEZAKI	E-W	12.366	10.965	9.449	8.687	8.200	6.682	11.427	6.888	2.824	4.037	2.668	1.124	0.353
48	OMAEZAKI	D-U	7.488	7.391	7.119	5.660	7.160	4.728	5.998	5.578	3.771	4.568	1.945	1.992	0.810
49	TSU	N-S	5.707	4.829	5.769	7.525	5.936	6.243	2.662	3.176	1.917	1.186	0.798	0.442	0.394
50	TSU	W-E	8.494	9.395	5.538	5.524	6.105	2.854	4.360	2.362	1.329	2.682	0.810	1.025	0.384
51	TSU	***													
52	TAKAYAMA	N-S	6.004	4.265	4.087	3.700	3.462	2.581	2.456	3.088	1.942	1.189	1.901	0.513	0.326
53	TAKAYAMA	W-E	6.757	5.591	6.406	4.029	3.566	3.719	1.861	0.979	2.196	1.938	1.460	1.309	0.915
54	TAKAYAMA	D-U	2.648	2.873	2.451	2.716	2.971	3.533	3.167	2.267	1.378	0.773	0.774	0.892	0.369
55	NAGOYA	S-N	14.191	10.138	12.593	5.730	3.877	2.540	2.348	2.240	1.476	1.517	1.010	0.424	0.249
56	NAGOYA	W-E	9.076	12.494	10.026	4.294	4.582	5.073	4.702	2.152	3.509	3.889	1.593	2.025	1.252
57	NAGOYA	D-U	4.670	2.238	1.723	1.511	2.626	2.269	0.976	1.488	0.961	1.021	0.500	0.514	0.250
58	HAMAMATSU	N-S	13.168	7.048	9.602	8.778	7.885	3.560	3.892	2.098	1.275	0.811	0.982	0.873	0.350
59	HAMAMATSU	W-E	7.737	5.932	9.923	11.125	12.426	5.097	4.781	2.749	1.839	1.778	0.848	0.409	0.288
60	HAMAMATSU	D-U	2.799	2.942	2.828	2.282	2.429	2.301	2.389	1.529	0.890	0.730	0.629	1.148	0.495
61	UTSUNOMIYA	N-S	24.388	24.523	13.653	8.571	22.030	13.361	6.078	3.463	3.717	2.022	1.860	0.543	0.703
62	UTSUNOMIYA	W-E	26.802	27.266	24.079	18.911	19.630	17.940	9.390	6.531	4.627	4.427	3.494	2.720	1.660
63	UTSUNOMIYA	D-U	11.521	7.782	5.477	5.789	11.079	10.785	5.551	3.094	2.704	2.093	1.667	1.397	0.589
64	TOKYO	N-S	38.809	33.295	19.196	21.970	37.631	46.806	11.905	13.533	12.763	7.670	3.222	1.543	0.608
65	TOKYO	W-E	39.333	27.042	22.818	35.355	52.191	34.062	36.975	17.517	20.809	12.338	3.800	1.896	1.449
66	TOKYO	***													
67	TOMISAKI	N-S	27.309	22.011	20.383	15.619	11.996	12.958	16.729	5.913	6.888	4.307	2.495	1.951	0.784
68	TOMISAKI	W-E	17.338	14.856	13.949	11.493	21.440	14.931	6.445	8.222	4.433	3.131	2.257	1.706	1.160
69	TOMISAKI	D-U	8.728	6.095	6.219	4.540	8.981	6.081	5.737	1.787	2.696	1.664	1.868	0.641	0.439
70	YOKOHAMA	N-S	17.671	25.958	17.736	17.954	20.400	16.324	14.216	11.742	9.725	5.664	4.527	1.603	0.831
71	YOKOHAMA	W-E	33.725	22.146	19.829	32.627	25.420	11.947	10.430	12.276	11.777	16.146	2.251	1.464	1.354
72	YOKOHAMA	D-U	10.621	6.300	6.450	11.226	12.222	8.779	9.160	3.786	2.565	2.070	1.226	2.036	0.786
73	OSHIMA	N-S	7.958	6.042	4.426	9.043	11.081	9.486	2.897	2.403	2.500	1.733	1.124	1.141	0.552
74	OSHIMA	W-E	4.965	3.609	2.118	3.827	5.621	4.425	3.619	2.918	1.746	0.828	0.685	0.384	0.221
75	OSHIMA	D-U	2.861	1.381	1.353	1.279	2.095	3.581	1.306	0.963	0.992	0.552	0.705	0.381	0.276

付表 1.3 (1) 気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値一覧 (減衰定数 $h=0.02$)

No.	観測所名	成分名	加速度応答スペクトル $S_a(T)$ [gal] T: 固有周期 [sec]												
			T= 2.0	T= 2.5	T= 3.0	T= 4.0	T= 5.0	T= 6.0	T= 7.0	T= 8.0	T= 9.0	T=10.0	T=13.0	T=16.0	T=20.0
1	ISHINOMAKI	N-S	42.828	32.443	11.061	7.845	5.723	7.004	6.537	4.583	3.844	3.859	2.866	1.723	1.002
2	ISHINOMAKI	W-E	24.463	12.286	14.972	6.978	6.791	5.237	6.524	5.247	3.072	3.943	1.581	0.935	1.088
3	ISHINOMAKI	D-U	40.358	18.646	10.258	5.028	2.879	4.314	4.555	3.849	2.725	1.858	1.060	0.738	0.489
4	AOMORI	S-N	28.963	21.653	21.872	5.934	3.702	4.054	4.320	7.089	10.430	7.763	3.959	1.658	0.671
5	AOMORI	E-W	21.749	30.261	11.594	3.454	3.164	2.204	2.568	2.817	3.125	2.678	1.418	0.669	0.373
6	AOMORI	D-U	3.810	3.369	2.417	1.096	2.019	1.655	0.997	1.838	2.908	2.858	1.750	1.018	0.373
7	MIYAKO	S-N	3.886	4.078	5.903	2.034	2.900	2.509	3.005	2.939	3.534	3.295	1.757	1.607	0.782
8	MIYAKO	W-E	5.880	6.902	3.641	3.750	2.998	2.515	2.007	1.330	1.447	1.789	2.204	1.027	0.463
9	MIYAKO	D-U	3.292	6.481	3.700	2.629	2.541	1.428	1.838	2.303	2.165	2.629	1.974	0.914	0.373
10	AKITA	N-S	38.647	31.952	32.820	16.718	35.457	16.870	9.482	8.085	9.157	10.773	3.392	1.584	1.269
11	AKITA	W-E	60.552	43.137	18.540	21.490	17.896	13.289	10.107	12.308	7.676	9.936	3.031	1.325	0.806
12	AKITA	D-U	18.765	16.308	16.370	7.161	8.618	5.920	5.832	7.468	5.061	3.053	3.017	1.615	0.505
13	MORIOKA	N-S	6.744	8.787	2.547	2.701	3.387	3.448	2.822	3.225	3.739	3.115	1.541	1.832	0.832
14	MORIOKA	W-E	8.146	10.753	5.970	2.709	2.597	3.498	2.989	2.662	2.453	2.282	2.086	1.010	0.731
15	MORIOKA	D-U	5.342	5.693	3.605	2.470	3.109	3.436	3.135	2.934	3.680	3.566	2.810	1.266	0.563
16	SENDAI	S-N	39.532	24.136	22.234	12.614	10.205	6.405	10.725	7.442	3.486	2.270	2.294	1.638	0.793
17	SENDAI	W-E	54.956	19.918	18.142	10.154	11.814	12.419	5.857	6.337	4.393	3.419	2.711	2.504	1.612
18	SENDAI	D-U	15.258	10.927	6.532	6.707	5.707	4.802	4.812	2.098	1.713	2.165	0.998	1.112	0.795
19	SHIRAKAWA	N-S	109.003	41.383	12.447	7.522	6.256	10.617	11.756	7.594	5.744	4.670	1.826	0.898	0.698
20	SHIRAKAWA	W-E	104.883	24.717	13.925	10.291	18.395	15.063	12.644	10.493	6.783	4.806	3.699	2.398	1.600
21	SHIRAKAWA	D-U	26.760	16.855	8.165	7.989	7.002	2.925	3.139	2.036	1.585	2.610	1.092	0.933	0.493
22	KUMAGAYA	S-N	14.578	18.389	12.895	26.512	27.286	9.046	6.913	6.663	6.710	3.767	3.143	1.085	0.657
23	KUMAGAYA	E-W	31.347	16.417	18.097	21.326	34.012	16.516	11.161	13.598	13.687	10.105	3.492	1.843	0.991
24	KUMAGAYA	D-U	15.089	13.283	13.648	17.799	17.222	16.958	10.865	7.930	7.875	7.812	2.745	2.251	1.654
25	CHICHIBU	N-S	5.249	7.742	4.848	6.567	4.669	2.880	3.134	1.946	1.484	1.699	0.726	0.792	0.267
26	CHICHIBU	W-E	6.978	8.847	6.072	11.637	7.923	4.623	4.184	3.227	2.905	3.082	1.239	0.853	0.336
27	CHICHIBU	D-U	6.918	6.924	5.498	5.109	3.266	4.228	4.374	1.864	1.646	1.552	0.841	0.833	0.405
28	TAKADA	S-N	119.021	64.214	31.838	19.303	17.585	13.840	13.528	9.304	9.449	5.315	2.581	2.766	1.766
29	TAKADA	E-W	71.408	54.358	36.086	24.804	19.593	13.796	7.057	6.906	4.571	3.992	2.283	2.410	1.217
30	TAKADA	D-U	21.267	13.183	15.978	8.597	9.399	5.746	5.911	3.725	4.493	3.262	1.627	1.214	0.594
31	KOFU	N-S	8.042	4.705	4.674	6.043	2.814	2.834	1.727	2.223	1.427	1.276	0.656	0.745	0.237
32	KOFU	W-E	9.035	11.869	9.667	6.472	6.571	4.642	3.853	2.722	1.690	1.382	0.667	0.235	0.172
33	KOFU	D-U	2.192	1.581	1.382	2.622	1.817	1.018	1.105	1.733	0.607	0.723	0.577	0.516	0.284
34	MAEBASHI	N-S	35.038	18.431	15.856	9.630	16.322	7.176	7.399	4.943	4.663	4.009	1.154	0.732	0.640
35	MAEBASHI	W-E	18.228	26.098	16.133	17.792	26.525	15.062	14.165	6.831	4.910	3.661	2.020	1.542	0.826
36	MAEBASHI	D-U	21.507	10.999	18.395	14.879	15.810	5.731	3.501	4.462	2.651	1.807	1.694	0.866	0.883
37	KARUIZAWA	S-N	37.680	33.845	24.298	21.562	20.156	11.207	7.240	3.293	2.279	2.064	1.097	0.525	0.332
38	KARUIZAWA	E-W	56.510	32.708	21.169	21.572	13.364	8.614	6.571	7.141	3.366	2.977	2.004	0.520	0.357
39	KARUIZAWA	D-U	11.563	6.996	8.004	15.578	4.753	2.900	2.412	2.428	2.662	1.212	0.791	1.075	0.601
40	AJIRO	N-S	2.161	3.153	3.088	2.849	3.714	3.338	1.808	1.092	1.784	1.457	0.523	0.515	0.325
41	AJIRO	W-E	3.838	5.383	4.637	5.814	7.046	4.582	3.975	3.254	2.442	1.774	0.764	0.324	0.256
42	AJIRO	D-U	2.093	1.926	1.209	2.353	2.358	0.841	0.753	0.417	0.505	0.380	0.142	0.183	0.071
43	TOYAMA	S-N	27.808	16.540	13.431	12.649	15.975	13.799	6.203	7.649	5.265	5.902	2.820	1.003	0.694
44	TOYAMA	E-W	22.165	14.022	17.461	17.240	17.137	12.963	9.235	10.348	4.895	6.760	2.056	1.403	1.086
45	TOYAMA	***													

付表 1.3 (2) 気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値一覧 (減衰定数 $h=0.02$)

No.	観測所名	成分名	加速度応答スペクトル $S_a(T)$ [gal] T : 固有周期 [sec]												
			T= 2.0	T= 2.5	T= 3.0	T= 4.0	T= 5.0	T= 6.0	T= 7.0	T= 8.0	T= 9.0	T=10.0	T=13.0	T=16.0	T=20.0
46	OMAEZAKI	S-N	6.366	10.648	9.714	9.094	10.373	8.551	3.709	2.605	2.693	1.611	1.166	0.807	0.536
47	OMAEZAKI	E-W	10.311	9.139	9.107	8.051	6.800	6.080	8.960	5.453	2.314	3.005	2.099	1.040	0.342
48	OMAEZAKI	D-U	6.514	5.353	5.249	5.255	5.823	3.505	4.656	4.834	2.981	3.682	1.761	1.730	0.754
49	TSU	N-S	4.872	3.605	4.846	5.455	4.602	4.734	2.401	2.737	1.816	1.036	0.723	0.380	0.350
50	TSU	W-E	6.894	6.514	4.913	4.305	4.955	2.593	3.304	1.950	1.283	2.211	0.839	0.903	0.347
51	TSU	***													
52	TAKAYAMA	N-S	4.774	3.450	3.916	3.192	3.102	1.906	2.083	2.315	1.536	1.100	1.437	0.473	0.309
53	TAKAYAMA	W-E	6.328	5.472	5.546	3.770	3.305	2.816	1.550	0.903	1.816	1.680	1.147	1.123	0.838
54	TAKAYAMA	D-U	2.101	2.706	2.202	2.613	2.753	3.142	2.846	2.108	1.297	0.716	0.719	0.818	0.352
55	NAGOYA	S-N	12.144	8.226	10.169	5.047	3.578	2.134	1.924	1.729	1.314	1.381	0.918	0.378	0.247
56	NAGOYA	W-E	7.486	11.327	8.821	3.287	4.088	4.581	4.232	1.941	2.938	3.085	1.396	1.746	1.160
57	NAGOYA	D-U	3.680	1.749	1.366	1.379	2.032	1.783	0.841	1.139	0.725	0.848	0.459	0.471	0.236
58	HAMAMATSU	N-S	11.367	6.200	7.925	7.213	5.901	2.794	3.185	1.809	0.958	0.755	0.862	0.810	0.331
59	HAMAMATSU	W-E	7.102	5.249	8.553	9.327	9.337	4.436	3.972	2.493	1.485	1.488	0.756	0.399	0.262
60	HAMAMATSU	D-U	2.173	2.327	2.215	2.118	1.950	2.012	2.038	1.318	0.811	0.622	0.590	1.028	0.461
61	UTSUNOMIYA	N-S	19.639	20.241	13.054	8.541	18.883	10.611	5.557	2.885	3.122	1.796	1.637	0.546	0.627
62	UTSUNOMIYA	W-E	24.643	25.824	22.226	17.000	12.945	14.021	9.026	6.255	4.533	3.931	3.255	2.605	1.550
63	UTSUNOMIYA	D-U	9.178	5.967	4.717	5.381	8.887	8.243	4.779	2.564	2.249	1.949	1.507	1.302	0.547
64	TOKYO	N-S	32.589	26.276	18.025	21.722	32.693	36.632	10.500	11.345	10.248	6.093	2.963	1.416	0.565
65	TOKYO	W-E	32.910	23.549	19.282	25.708	40.333	27.153	27.473	14.302	17.853	10.602	3.565	1.609	1.323
66	TOKYO	***													
67	TOMISAKI	N-S	27.556	19.878	18.187	13.348	10.865	10.240	13.253	5.149	5.735	3.604	2.216	1.768	0.674
68	TOMISAKI	W-E	14.618	12.379	11.610	10.026	16.451	11.150	4.790	6.851	4.137	2.949	2.054	1.496	1.044
69	TOMISAKI	D-U	7.008	4.764	4.989	3.663	6.951	5.388	4.558	1.782	2.132	1.532	1.622	0.622	0.400
70	YOKOHAMA	N-S	15.575	19.260	15.252	14.221	14.873	13.090	12.361	9.981	7.305	4.434	4.048	1.564	0.786
71	YOKOHAMA	W-E	27.803	21.011	18.354	28.703	22.537	10.012	9.667	11.002	9.294	11.388	2.181	1.336	1.237
72	YOKOHAMA	D-U	7.535	5.473	5.069	9.440	9.653	7.670	8.102	3.465	1.934	1.854	1.281	1.758	0.681
73	OSHIMA	N-S	5.349	4.485	3.762	6.527	9.823	7.923	2.806	2.035	2.175	1.503	1.052	1.011	0.504
74	OSHIMA	W-E	4.591	2.884	1.888	3.156	4.132	3.715	2.895	2.418	1.516	0.791	0.570	0.365	0.193
75	OSHIMA	D-U	2.521	1.220	1.185	1.137	1.954	2.931	1.133	0.858	0.779	0.445	0.600	0.350	0.236

付表 1.4 (1) 気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値一覧 (減衰定数 $h=0.05$)

No.	観測所名	成分名	加速度応答スペクトル $S_a(T)$ [gal] T : 固有周期 [sec]												
			T= 2.0	T= 2.5	T= 3.0	T= 4.0	T= 5.0	T= 6.0		T= 8.0	T= 9.0	T=10.0	T=13.0	T=16.0	T=20.0
1	ISHINOMAKI	N-S	29.462	24.829	11.613	6.608	4.537	4.583	4.005	3.360	3.391	3.304	2.105	1.569	0.914
2	ISHINOMAKI	W-E	15.425	10.088	9.338	5.674	4.475	3.820	4.905	3.941	2.752	2.917	1.288	0.791	0.888
3	ISHINOMAKI	D-U	25.648	14.954	8.135	3.523	2.762	3.348	3.647	2.864	1.916	1.529	0.928	0.650	0.426
4	AOMORI	S-N	19.290	13.062	13.545	4.613	2.753	3.525	3.581	5.349	7.227	6.307	3.469	1.527	0.661
5	AOMORI	E-W	13.510	18.239	8.824	2.903	2.015	1.724	1.860	1.916	2.022	2.013	1.200	0.657	0.334
6	AOMORI	D-U	2.468	2.061	1.662	1.072	1.504	1.360	1.013	1.529	2.030	2.118	1.467	0.870	0.345
7	MIYAKO	S-N	3.131	3.062	3.855	1.871	2.031	1.920	2.419	2.448	2.221	2.122	1.552	1.220	0.671
8	MIYAKO	W-E	3.643	4.904	2.822	3.165	2.459	2.058	1.500	1.267	1.261	1.402	1.741	0.912	0.428
9	MIYAKO	D-U	2.620	4.599	2.547	2.110	1.824	1.154	1.563	2.035	1.983	2.230	1.621	0.832	0.376
10	AKITA	N-S	27.890	25.589	24.260	15.422	23.387	12.219	8.118	6.830	7.147	6.859	2.854	1.577	1.193
11	AKITA	W-E	44.115	30.722	15.866	14.657	11.761	8.727	6.683	8.944	6.744	7.542	2.583	1.200	0.784
12	AKITA	D-U	13.699	13.659	9.972	4.628	6.059	5.055	4.613	5.028	3.848	2.481	2.515	1.573	0.465
13	MORIOKA	N-S	5.705	5.917	2.380	1.948	2.453	2.422	1.998	2.610	2.851	2.385	1.153	1.491	0.733
14	MORIOKA	W-E	6.663	7.721	5.009	2.123	1.947	2.599	2.457	2.370	2.157	2.000	1.734	0.880	0.658
15	MORIOKA	D-U	3.775	4.144	2.902	1.904	2.156	2.789	2.808	2.752	3.155	3.051	2.254	1.142	0.538
16	SENDAI	S-N	27.551	18.295	14.588	9.727	6.322	5.731	8.143	5.496	3.096	2.053	2.099	1.531	0.767
17	SENDAI	W-E	38.965	17.190	12.592	8.511	10.208	8.044	5.396	4.628	3.362	2.923	2.274	1.961	1.357
18	SENDAI	D-U	11.838	8.714	6.681	5.633	4.788	3.682	3.425	1.650	1.548	1.754	0.875	0.884	0.676
19	SHIRAKAWA	N-S	70.354	33.210	11.738	6.687	5.891	7.885	8.700	6.618	4.950	3.885	1.544	0.824	0.665
20	SHIRAKAWA	W-E	66.842	23.487	13.705	9.988	11.687	12.212	10.417	8.679	6.003	4.571	3.308	2.247	1.498
21	SHIRAKAWA	D-U	18.848	12.183	6.824	6.030	4.952	2.292	2.420	1.512	1.470	1.977	0.904	0.779	0.450
22	KUMAGAYA	S-N	12.556	12.311	9.519	17.136	17.041	7.979	6.419	5.338	4.579	3.301	2.277	0.953	0.526
23	KUMAGAYA	E-W	18.682	11.465	14.742	17.519	25.143	14.274	10.279	10.483	10.579	8.279	3.158	1.763	0.931
24	KUMAGAYA	D-U	11.112	9.635	11.710	9.799	12.375	12.650	8.942	5.867	5.888	5.906	2.527	2.007	1.362
25	CHICHIBU	N-S	3.482	4.679	4.145	5.071	3.520	2.272	2.222	1.289	1.049	1.133	0.603	0.596	0.263
26	CHICHIBU	W-E	5.089	5.759	4.763	7.609	5.203	3.905	3.514	2.340	2.407	2.215	1.040	0.773	0.307
27	CHICHIBU	D-U	4.318	4.583	4.008	3.635	2.774	2.713	2.577	1.481	1.017	1.160	0.621	0.604	0.352
28	TAKADA	S-N	74.252	49.060	29.010	17.529	15.102	11.067	10.435	7.770	6.265	4.100	2.140	2.141	1.462
29	TAKADA	E-W	48.233	37.898	30.596	18.374	14.469	8.179	4.926	4.720	3.593	2.762	1.668	1.689	1.034
30	TAKADA	D-U	13.580	11.139	10.745	6.707	6.103	4.692	3.973	3.254	3.429	2.245	1.397	0.890	0.525
31	KOFU	N-S	4.719	3.143	3.971	4.530	2.051	2.449	1.285	1.617	0.993	0.880	0.515	0.528	0.216
32	KOFU	W-E	6.962	8.528	6.124	5.006	5.206	3.515	2.934	2.301	1.190	1.185	0.641	0.227	0.176
33	KOFU	D-U	1.468	1.438	1.078	1.582	1.312	0.804	0.790	1.161	0.576	0.564	0.479	0.434	0.238
34	MAEBASHI	N-S	24.216	15.131	13.121	8.296	9.758	6.147	5.512	3.808	3.748	2.786	0.938	0.658	0.493
35	MAEBASHI	W-E	17.064	20.465	16.010	15.457	17.228	12.255	8.421	5.673	3.890	3.098	1.890	1.171	0.790
36	MAEBASHI	D-U	13.306	10.703	12.698	11.968	10.711	5.070	3.406	3.269	2.263	1.779	1.481	0.775	0.734
37	KARUIZAWA	S-N	28.975	26.095	14.991	16.776	14.355	8.662	5.665	2.939	2.105	1.807	0.936	0.485	0.308
38	KARUIZAWA	E-W	43.300	27.189	18.826	16.135	10.486	7.118	5.525	4.377	2.844	1.949	1.309	0.552	0.359
39	KARUIZAWA	D-U	8.091	5.847	5.902	10.133	3.486	2.687	1.813	1.861	1.838	1.008	0.671	0.816	0.511
40	AJIRO	N-S	1.950	2.350	2.165	2.227	2.516	2.320	1.348	0.803	1.180	0.991	0.449	0.454	0.279
41	AJIRO	W-E	3.339	3.655	3.539	3.961	5.115	3.756	3.384	2.775	2.183	1.590	0.715	0.304	0.242
42	AJIRO	D-U	1.510	1.193	1.056	1.769	1.705	0.702	0.559	0.363	0.342	0.268	0.117	0.137	0.056
43	TOYAMA	S-N	20.199	13.188	10.603	11.138	10.538	8.201	5.901	5.217	4.456	4.240	2.235	0.934	0.571
44	TOYAMA	E-W	16.145	10.671	12.599	11.561	10.125	8.387	6.819	6.380	4.046	4.842	1.642	1.057	0.896
45	TOYAMA	***													

付表 1.4 (2) 気象庁一倍強震計記録による加速度応答スペクトル値一覧 (減衰定数 $h=0.05$)

No.	観測所名	成分名	加速度応答スペクトル $S_a(T)$ [gal] T : 固有周期 [sec]												
			T= 2.0	T= 2.5	T= 3.0	T= 4.0	T= 5.0	T= 6.0	T= 7.0	T= 8.0	T= 9.0	T=10.0	T=13.0	T=16.0	T=20.0
46	OMAEZAKI	S-N	5.000	6.981	7.642	7.780	7.173	5.538	3.309	2.421	1.946	1.529	0.963	0.622	0.452
47	OMAEZAKI	E-W	7.829	7.779	8.129	6.582	5.140	4.744	5.734	3.645	2.149	2.184	1.498	0.874	0.362
48	OMAEZAKI	D-U	5.086	3.265	3.492	4.241	4.193	2.464	3.330	3.370	2.116	2.338	1.417	1.320	0.645
49	TSU	N-S	3.751	2.766	3.922	4.036	3.264	2.967	1.895	2.084	1.553	0.866	0.579	0.312	0.263
50	TSU	W-E	5.165	4.454	3.726	3.429	3.438	2.186	2.475	1.476	1.154	1.474	0.858	0.668	0.286
51	TSU	***													
52	TAKAYAMA	N-S	3.262	2.716	3.296	2.581	2.170	1.526	1.657	1.669	1.189	1.012	1.063	0.464	0.277
53	TAKAYAMA	W-E	5.405	4.942	3.986	2.932	2.648	2.050	1.131	0.964	1.228	1.217	0.851	0.801	0.675
54	TAKAYAMA	D-U	1.779	2.348	2.027	2.280	2.315	2.362	2.235	1.734	1.113	0.693	0.596	0.652	0.309
55	NAGOYA	S-N	9.146	5.686	6.517	3.790	2.322	1.741	1.520	1.202	1.100	1.077	0.757	0.278	0.239
56	NAGOYA	W-E	5.642	8.250	6.272	2.822	3.289	3.462	3.231	1.689	2.046	1.975	1.101	1.204	0.955
57	NAGOYA	D-U	2.460	1.438	0.896	1.113	1.288	1.077	0.638	0.698	0.511	0.550	0.395	0.360	0.207
58	HAMAMATSU	N-S	8.747	5.062	6.260	4.538	3.369	2.069	2.103	1.418	0.641	0.631	0.738	0.664	0.287
59	HAMAMATSU	W-E	6.510	3.909	6.249	6.762	5.236	3.502	2.597	1.924	1.282	1.071	0.579	0.382	0.230
60	HAMAMATSU	D-U	1.369	1.468	1.664	1.693	1.238	1.490	1.438	1.042	0.666	0.514	0.516	0.760	0.384
61	UTSUNOMIYA	N-S	13.570	13.722	10.084	7.762	12.974	7.471	4.482	2.417	2.156	1.446	1.200	0.576	0.500
62	UTSUNOMIYA	W-E	24.302	22.774	18.911	13.416	10.422	9.234	8.032	5.606	4.282	3.741	2.843	2.315	1.447
63	UTSUNOMIYA	D-U	6.398	4.720	4.226	4.393	5.664	5.494	3.508	2.096	1.636	1.585	1.234	1.066	0.500
64	TOKYO	N-S	23.429	21.330	16.885	19.532	23.047	21.720	8.570	8.279	6.742	4.182	2.366	1.150	0.539
65	TOKYO	W-E	19.796	18.664	15.888	18.404	25.597	19.598	18.217	11.608	12.289	8.307	3.142	1.383	1.094
66	TOKYO	***													
67	TOMISAKI	N-S	24.185	17.189	14.752	9.938	8.500	6.714	8.959	4.187	3.900	2.405	1.699	1.430	0.554
68	TOMISAKI	W-E	11.131	8.857	8.185	7.016	9.462	6.680	4.200	4.777	3.558	2.572	1.492	1.210	0.790
69	TOMISAKI	D-U	4.528	3.111	3.572	2.810	4.002	4.126	2.872	1.616	1.342	1.272	1.229	0.578	0.317
70	YOKOHAMA	N-S	12.121	13.411	10.951	11.516	8.656	8.881	8.967	7.405	4.691	3.724	3.063	1.426	0.685
71	YOKOHAMA	W-E	19.710	17.873	15.279	21.647	16.953	8.406	7.452	7.619	6.418	5.928	2.028	1.066	1.021
72	YOKOHAMA	D-U	5.044	4.404	4.916	6.560	6.347	5.581	5.923	2.744	1.704	1.569	1.308	1.241	0.532
73	OSHIMA	N-S	3.696	3.359	3.069	3.860	7.262	5.402	2.613	1.506	1.601	1.196	0.876	0.794	0.443
74	OSHIMA	W-E	3.568	2.212	1.808	2.858	3.262	2.377	2.050	1.791	1.249	0.779	0.479	0.319	0.171
75	OSHIMA	D-U	2.049	1.075	0.803	0.907	1.662	1.995	0.902	0.642	0.467	0.350	0.445	0.323	0.198

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4) 1964年新潟地震記録
の解析—

ISSN 0386-5878
土研資料第2493号
昭和62年5月(1987年)
佐々木 康田村敬一
相沢 興

要 旨

本解析は、1964年新潟地震による気象庁一倍強震計記録72成分を数
値化し、長周期地震動の特性について検討したものである。また、既に
数値化が完了している1968年十勝沖地震、1968年日向灘地震および
1983年日本海中部地震による気象庁一倍強震計記録と合わせて、長周
期地震動の距離減衰式について検討した。

キーワード：長周期地震動，耐震設計，設計地震入力，1964年新潟地震

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十円切手
をはって下
さい。

建設省土木研究所
振動研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 192

No. 192

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第 2493 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

土木研究所資料第 2493 号

○

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 4) 1964 年新潟地震記録の解析 —