142
ISSN—0386—5878
土研資料第1869号

土木研究所資料

気象庁1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—

昭和58年3月

建設省土木研究所
地震防災部・振動研究室

Copyright © 1982 fiscal year by P.W.R.I.
All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor transland into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.
この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

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の関係でＳＭＡＣ－Ｂ２型強震計記録の精度が安定しているのはおおむね0.07～３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かいものが多く，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。

本研究は上記の観点から，周期５～15秒程度の長周期地震動を比較的正しくとらえていると考えられる気象庁１倍強震計（固有周期５～６秒の機械式変位型地震計）の記録に着目し，1968年十勝沖地震による記録50成分を数値化することにより，これらの特性を調べたものである。また，同地震によるＳＭＡＣ型強震計記録についても整理するとともに，既往のＳＭＡＣ型強震計記録の統計解析結果から求めた現有の最大地震動および加速度応答スペクトルの推定手法の適用性を検討した。

昭和58年３月

建設省土木研究所地震防災部振動研究室
主任研究員　川　島　一　彦
相　沢　　興
高　橋　和　之

目　　次

まえがき

1. 気象庁1倍強震計の特性 …… 1

2. 1968年十勝沖地震による記録 …… 4

3. 数値化および計器補正 …… 7

　3－1　数　値　化 …… 7
　3－2　記録のメンディング …… 7
　3－3　円弧補正 …… 8
　3－4　波形のゆがみおよびその補正方法 …… 9
　3－5　計器補正および加速度，速度の計算法 …… 14
　3－6　各種補正を加えた変位，速度，加速度 …… 23

4. 長周期地震動の特性 …… 94

　4－1　気象庁1倍強震計記録の特徴 …… 94
　4－2　最大変位，最大速度，最大加速度の距離減衰特性 …… 94
　4－3　加速度応答スペクトル値の距離減衰特性 …… 98

5. 結　　論 …… 104

謝　　辞 …… 105

付属資料1.　SMAC型強震計記録の応答スペクトル …… 109

付属資料2.　気象庁1倍強震計記録から求めた $S_A(T)$ スペクトル値 …… 121

1. 気象庁1倍強震計の特性

気象庁1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倍とか10000倍といった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，1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3cm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1000gal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1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があるが，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52C型1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の通りである。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vは次式で定義される。

$$v = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \qquad (1-1)$$

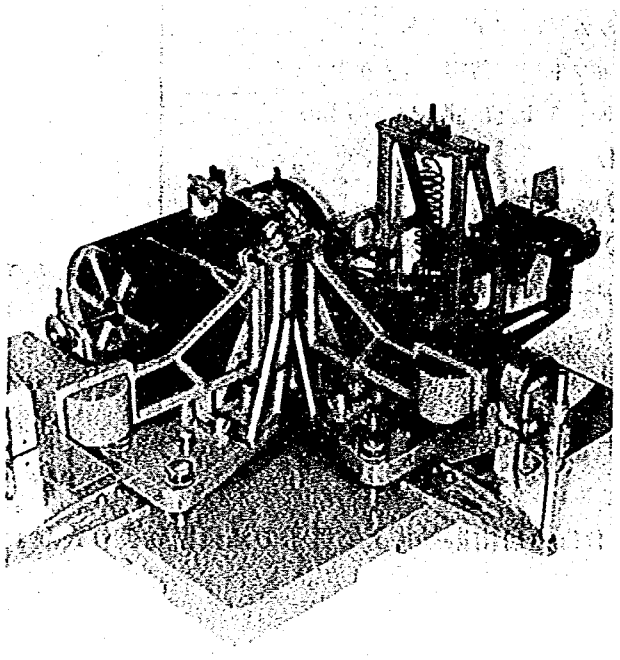


図1－1　52C型1倍強震計の外観

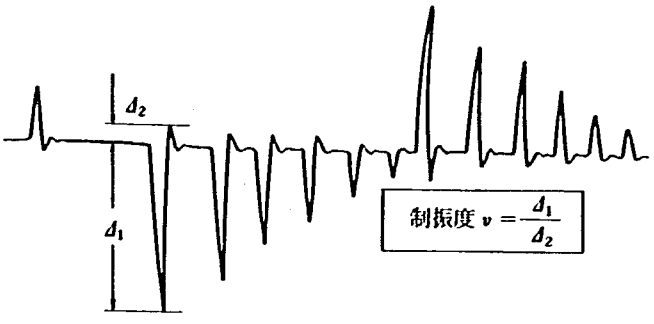


図1－2　制振度の定義

表1－1　52C型1倍強震計の主要な特性

項目	特性	仕様
基本仕様	周期	水平成分　6.0±0.2秒 上下成分　5.0±0.2秒
	基本倍率	1倍（水平，上下とも）
	制振度	10以上
	摩擦値	水平成分　＜0.04㎜ 上下成分　＜0.05㎜
	記録方式	ドラム，インク書き
	起動器	電動無停電（24時間以上）方式
	刻時	水平1成分のみ
	最大記録全振幅	水平成分　60㎜ 上下成分　50㎜
振子部	形式	水平成分　水平振子 上下成分　ユーイング型
	質量	水平成分　約5.9㎏ 上下成分　約4.4㎏
	描針腕の長さ	水平成分　300㎜ 上下成分　250㎜
	相当振子の長さ	水平成分　約314㎜ 上下成分　約266㎜
	重心距離	水平成分　約274㎜ 上下成分　約227㎜
ドラム部	円周	750㎜±4㎜
	横幅	400㎜±2㎜
	材質	ドラム　アルミ板 シャフト　黄銅（12φ）
制振器	マグネット型	MK－5または同等以上のもの
	制振板	銅板
起動器	送り速度	30㎜/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㎜
その他	寸法	横1200㎜×奥行1000㎜×高さ600㎜
	重量	約150㎏

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）は次式で与えられる。

$$v = e^{\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}} \qquad (1-2)$$

ここで，h は減衰定数である。式（1－2）を変形すると，h と v の関係は次式となる。

$$h=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\pi}{\ln v}\right)^2}} \qquad (1-3)$$

これより，$v=7, 8, 9$ 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，$v=7\sim9$ の範囲の制振度は減衰定数 $h=0.55\pm0.03$ 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は十勝沖地震による記録に示された時定数を各観測点ごとに示したものである。

表1－2　観測所別時定数の一覧

観測所		成分	時定数			
			含率 v	固有同期 T（秒）	r	制振度 v
1	釧路	U D	1	5.1	0.02	9
		N S	1	5.9	0.03	8
		E W	1	6.0	0.04	8
2	森	U D	1	5.2	0.01	8
		N S	1	6.0	0.01	8
		E W	1	5.9	0.01	8
3	函館	U D	1	5.2	0.01	8
		N S	1	6.0	0.01	9
		E W	1	5.9	0.01	8
4	根室	U D	1	5.1	0.02	7
		N S	1	6.0	0.02	7
		E W	1	6.0	0.02	7
5	盛岡（本震）	U D	1	5.0	0.020	9
		N S	1	6.0	0.028	8
		E W	1	5.9	0.026	7
6	盛岡（余震）	U D	1	5.0	0.020	9
		N S	1	6.0	0.028	8
		E W	1	5.9	0.026	7
7	仙台（本震）	U D	1	5.0	0.10	8
		N S	1	5.8	0.03	9
		E W	1	5.9	0.05	8
8	仙台（余震）	U D	1	5.0	0.10	8
		N S	1	5.8	0.03	9
		E W	1	5.9	0.05	8
9	広尾	U D	1	5.7	0.04	8
		N S	1	6.0	0.05	8
		E W	1	6.1	0.04	8
10	大船渡（本震）	U D	1	5.9	0.02	8
		N S	1	6.0	0.01	8
		E W	1	6.0	0.03	8
11	大船渡（余震）	U D	1	5.9	0.02	8
		N S	1	6.0	0.01	8
		E W	1	6.0	0.03	8
12	札幌	U D	1	4.9	0.05	8
		N S	1	6.0	0.01	8
		E W	1	6.0	0.03	8
13	室蘭	U D	1	5.0	0.02	8
		N S	1	5.6	0.01	8
		E W	1	6.0	0.01	8
14	秋田	U D	1	5.2	0.04	8
		N S	1	5.9	0.04	8
		E W	1	5.7	0.03	8
15	石巻	U D	1	5.0	0.022	8
		N S	1	6.0	0.020	8
		E W	1	6.0	0.035	8
16	宮古	U D	1	5.4	0.006	5
		N S	1	5.9	0.004	8
		E W	1	5.9	0.035	8
17	留萌	U D	1	4.8	0.08	8
		N S	1	5.8	0.02	7
		E W	1	5.9	0.02	8

2. 1968年十勝沖地震およびこれによる気象庁1倍強震計記録

「1968年十勝沖地震」は1968年5月16日午前9時49分に北海道襟裳岬の南南東約150kmの海底を震源として発生したマグニチュード7.9の地震である。気象庁による震央は東経143°35′±3′，北緯40°41′±1′，深さは地震記録が複雑でS相の検側が困難であったが一応0kmとされている。また，本震と同じ日の19時39分に$M=7.5$の大規模な余震が発生した。

気象庁による本震および余震の各地の震度は下記の通りである。

（本震：1968年5月16日9時49分）

震度Ⅵ：苫小牧

震度Ⅴ：浦河，盛岡，広尾，函館，八戸，青森

震度Ⅳ：岩見沢，江差，室蘭，小名浜，大船渡，石巻，秋田，釧路，帯広，宮古，寿都，札幌，小樽，倶知安，旭川，福島，白河

震度Ⅲ：東京，仙台，新潟，山形，千葉，宇都宮，軽井沢，秩父，熊谷，長野，根室，網走，森，留萌

震度Ⅱ：水戸，輪島，横浜，甲府，諏訪，河口湖，酒田，雄武，紋別，稚内

震度Ⅰ：静岡，高田，銚子，飯田

（余震：1968年5月16日19時39分）

震度Ⅴ：浦河，広尾

震度Ⅳ：秋田，福島，釧路，倶知安，旭川，函館，苫小牧，盛岡，帯広，大船渡，青森，八戸，森

震度Ⅲ：札幌，仙台，根室，江差，岩見沢，室蘭，酒田，宮古，深浦，石巻，白河

震度Ⅱ：東京，宇都宮，水戸，甲府，館山，寿都，長野，大島；新潟，千葉，横浜，秩父

震度Ⅰ：銚子，輪島，三島，軽井沢，尾鷲，高田，稚内，網代

本震および余震の震度の分布はそれぞれ図2－1，2－2に示す通りである。本震の等震度線は南南西方向に伸びており，このような傾向は1933年の三陸沖地震と類似したものとされている。

1968年十勝沖地震の本震および最大余震により得られた気象庁1倍強震計記録のうち，下記の地点による記録を今回の検討対象とした。

本震記録

釧路，森，函館，根室，盛岡，仙台，広尾（ただし，NS成分を除く），大船渡，札幌，室蘭，秋田，石巻，宮古，留萌 …… 計14箇所

余震記録

盛岡，仙台，大船渡 …… 計3箇所

また，1968年十勝沖地震の本震により下記地点（地盤上）で工学強震計（SMAC型強震計）により

記録が得られている。これについては基線補正および数値化精度を考慮した計器補正を加え，４章において，上記気象庁１倍強震計記録との比較を行っている。

千代田橋周辺地盤	室蘭港内の地盤上
新石狩大橋周辺地盤	青森港内の地盤上
大楽毛橋周辺地盤	宮古港内の地盤上
幌満橋周辺地盤	釧路港内の地盤上
	八戸港内の地盤上
	計　９箇所

なお，これらの気象庁１倍強震計および工学式強震計（ＳＭＡＣ型強震計）設置位置を示すとそれぞれ図２－３，２－４のようになる。

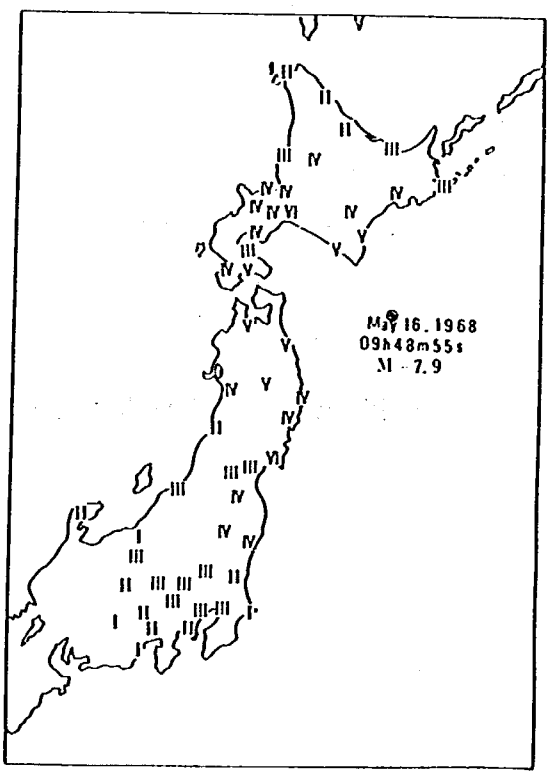


図２－１　本震の震度分布図（気象庁による）

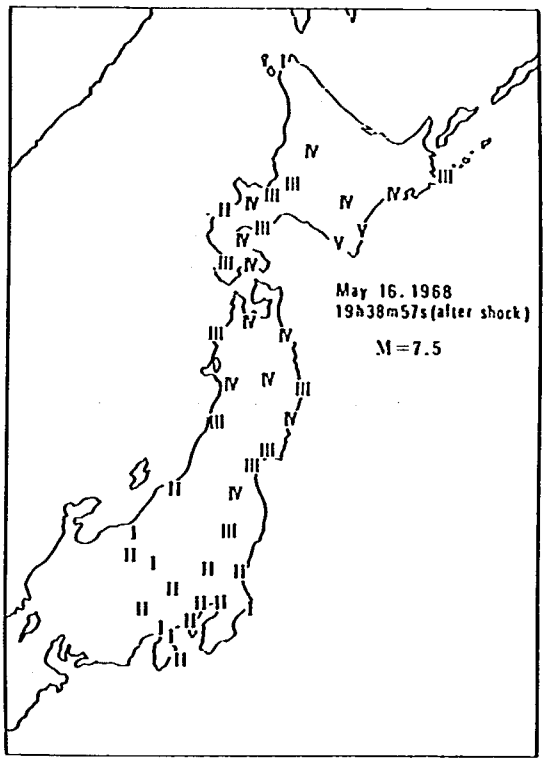
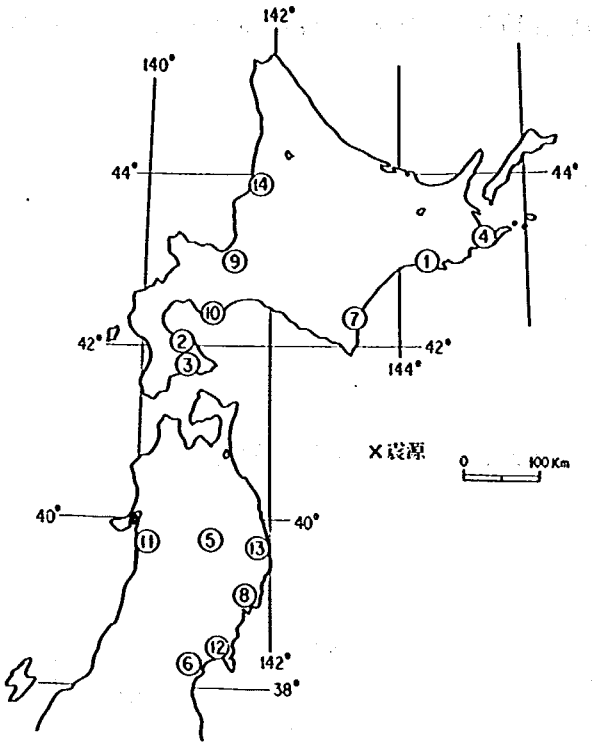
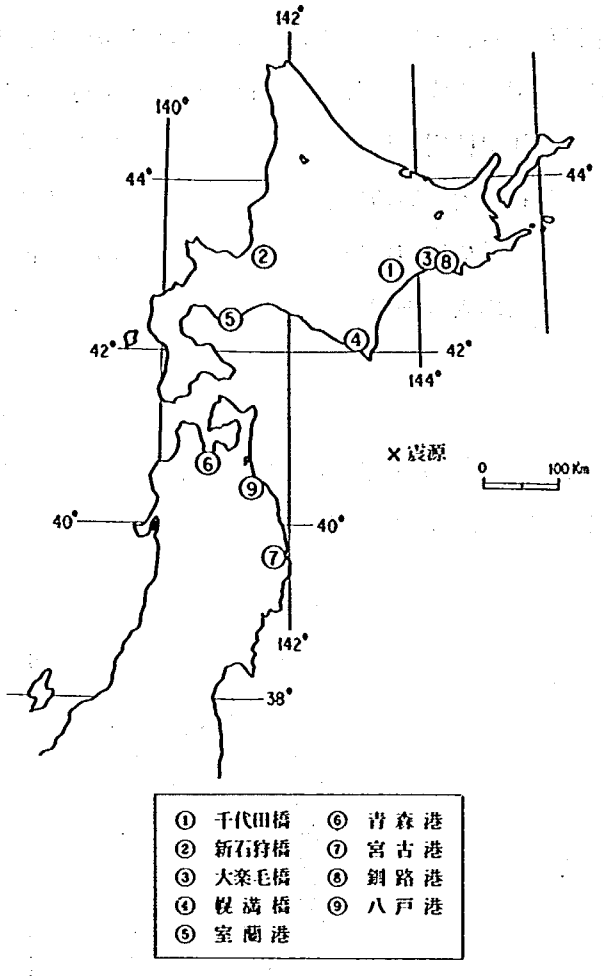


図２－２　余震の震度分布図（気象庁による）



①	釧路	⑥	仙台	⑪	秋田		
②	森	⑦	広尾	⑫	石巻		
③	函館	⑧	大船渡	⑬	宮古		
④	根室	⑨	札幌	⑭	留萌		
⑤	盛岡	⑩	室蘭				

図２－３　観測点の位置（気象庁１倍強震計）



①	千代田橋	⑥	青森港
②	新石狩橋	⑦	宮古港
③	大楽毛橋	⑧	釧路港
④	幌満橋	⑨	八戸港
⑤	室蘭港		

図２－４　観測点の位置（ＳＭＡＣ型強震計）

3. 数値化および計器補正

3－1 数 値 化

記録の数値化は建設省土木研究所所有のディジタイザーにより行った。ディジタイザーは，SMAC型強震計記録の数値化のために導入されているもので，読取りテーブル部，コンソール部，出力装置部から構成されている。読取りの最小分解能（公称値）は2.5/100㎜である。気象庁1倍強震計記録に対する読取りの方式は，SMAC型強震計の場合と基本的に同じであり，記録を原寸の2倍に引伸ばしたフィルムをテーブル上にセットし，カーソル内に印された直径約0.3㎜の点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み取る。時間およびこれに対応する変位の値は離散化データとしてフロッピーディスクに書き込まれたのち，大型電子計算機により内挿（読取点の直線補間）し，等時間間隔の変位記録にする。読取りには，原記録をマイクロフィルムにとり，これを現寸の2倍の大きさにマイラー紙上に拡大コピーしたものを用いた。

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。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，この信号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。

このようにして読み取った波形は，フィルムに焼付けた実測記録と同一の縮尺（原寸の2倍）でディ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，原記録に高振動数の成分が卓越し，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，周期2秒程度以上の基本的な波形の動きを追うことを基本とした。

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。たとえば，図3－1は大船渡のN－S成分の記録の一部であるが，波形が時間軸で逆転している。この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。また，図3－2は函館のU－D成分の記録の一部であるが，波形が途中で途切れている。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

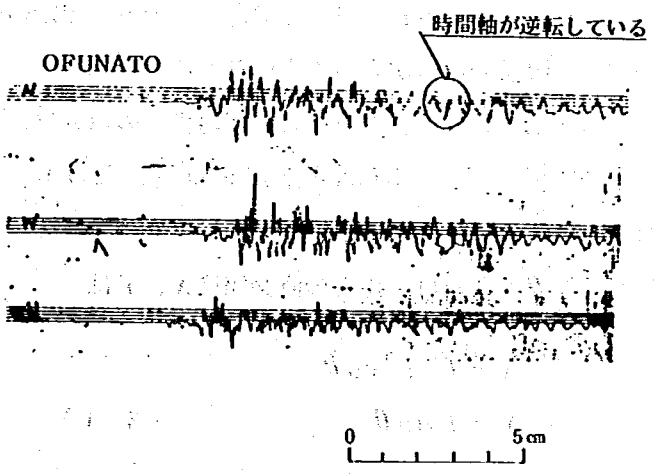


図3－1 大船渡の記録

内挿し波形のメンディングを行った。

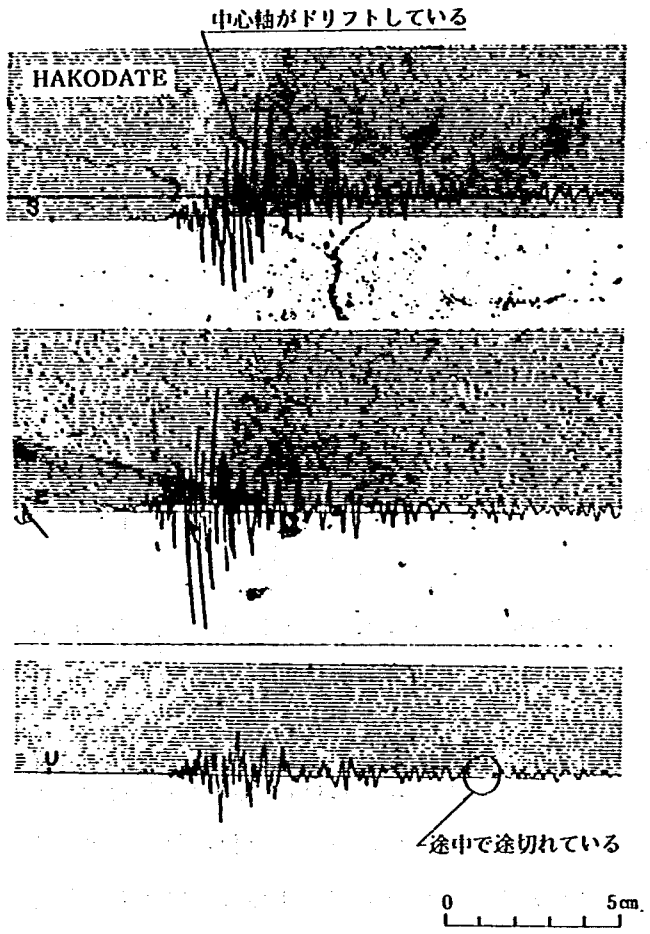


図３－２　函館の記録

３－３　円弧補正

記録ペンのアーム長は 30cm であり，一方，記録の最大片振幅は 3cm 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３－３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，中心軸からのペンの回転角を θ とすれば，点Aの直交座標 X，Y は

$$X = l - l\cos\theta$$

$$Y = l\sin\theta \qquad (3-1)$$

であり，一方，点 A′ の直交座標 x，y は次式で与えられる。

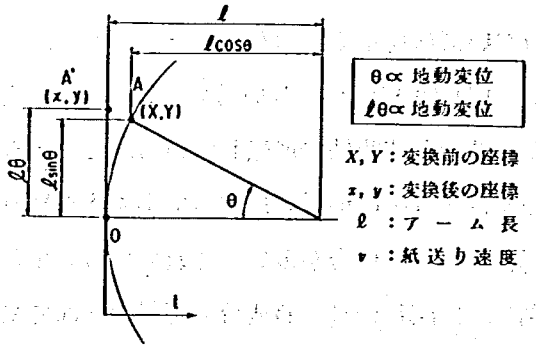


図３－３　円弧補正

$$x = 0$$

$$y = l\theta \qquad (3-2)$$

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），（3－2）より，

$$\Delta x_1 = X - x$$

$$= l\,(1-\cos\theta) \qquad (3-3)$$

$$\Delta y_1 = Y - y$$

$$= l\,(\sin\theta - \theta) \qquad (3-4)$$

となる。ただし，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 は以下のようになる。

$$\Delta t_1 = \Delta x_1 / v = \frac{l}{v}\,(1-\cos\theta) \qquad (3-5)$$

3－4　波形のゆがみおよびその補正法

この他に，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。

i）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，もとに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になり，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3－4 はこのような例であり留萌のE－W成分の記録である。

ii）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。図3－2 はこのような例であり函館

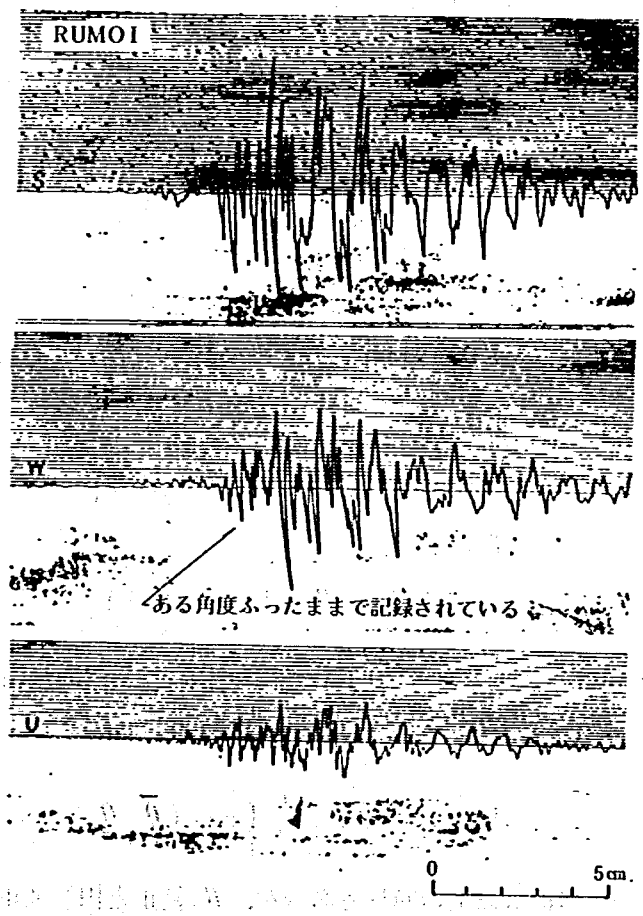


図3－4　留萌の記録

のN−S成分の記録である。

iii）上記i）およびii）が複合して生じる場合。

上記のうち，ii）では，中心軸のドリフトは一瞬に生じる訳ではなく，ある有限の時間内で生じる（一般には主要動付近で生じている）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むつかしいことから，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，i）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3−5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。点Aの座標（X，Y）を

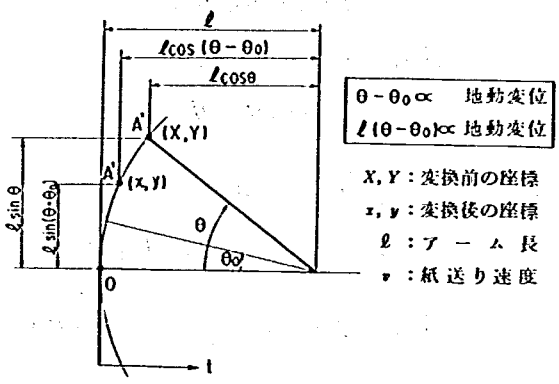


図3−5　θ_0 補正

$$X = l - l\cos\theta$$
$$Y = l\sin\theta \qquad (3-6)$$

と与えると，点A′の座標（x，y）は

$$x = l - l\cos(\theta-\theta_0)$$
$$y = l\sin(\theta-\theta_0) \qquad (3-7)$$

となる。したがって，θ_0 による補正量 Δx_2，Δy_2 は次式となる。

$$\Delta x_2 = X - x$$
$$= l\{\cos(\theta-\theta_0) - \cos\theta\} \qquad (3-8)$$
$$\Delta y_2 = Y - y$$
$$= l\{\sin\theta - \sin(\theta-\theta_0)\} \qquad (3-9)$$

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。すなわち，

$$\Delta t_2 = \Delta x_2 / v = \frac{l}{v}\{\cos(\theta-\theta_0) - \cos\theta\} \qquad (3-10)$$

θ_0 補正は以上の通りであるが，θ_0 補正と円弧補正の両者による補正量は以下の通りとなる。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），（3−5）でθを$\theta-\theta_0$と置けばよい。したがって，

$$\Delta x_1' = l\{1-\cos(\theta-\theta_0)\} \tag{3-11}$$

$$\Delta y_1' = l\{\sin(\theta-\theta_0)-\theta+\theta_0\} \tag{3-12}$$

$$\Delta t_1' = \Delta x_1'/v \tag{3-13}$$

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。

$$\begin{aligned}\Delta x &= \Delta x_1' + \Delta x_2 \\ &= l\{1-\cos(\theta-\theta_0)\} + l\{\cos(\theta-\theta_0)-\cos\theta\} \\ &= l\{1-\cos\theta\}\end{aligned} \tag{3-14}$$

$$\begin{aligned}\Delta y &= \Delta y_1' + \Delta y_2 \\ &= l\{\sin(\theta-\theta_0)-\theta+\theta_0\} + l\{\sin\theta-\sin(\theta-\theta_0)\} \\ &= l\{\sin\theta-\theta+\theta_0\}\end{aligned} \tag{3-15}$$

$$\Delta t = \Delta x/v \tag{3-16}$$

ここで，Δyは以下のように解釈される。

$$\begin{aligned}\Delta y &= l\{\sin\theta-\theta+\theta_0\} \\ &= \underbrace{l\{\sin\theta-\theta\}}_{\theta\text{の場合の円弧補正}} + \underbrace{l\theta_0}_{\theta_0\text{によるドリフト分}}\end{aligned} \tag{3-17}$$

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}）（$i=1, 2, \cdots, N-1$，　N：総データ数）の間の勾配をS_iとする。この時，

$$\sum_{i=1}^{N-1} S_i = 0 \tag{3-18}$$

ここで，

$$S_i = \frac{y_{i+1}-y_i}{x_{i+1}-x_i} \tag{3-19}$$

の条件を満足するようθ_0を定めようとするものである。ただし，θ_0をあらかじめ仮定しないと式（3−9），（3−10）による補正ができないため，実際の計算は適当にθ_0を補正し，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，後述するように式（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。このため，i点と $i+1$点間の線分の長さの重みを付けた場合，および勾配の tanをとる場合を考えることとした。このようにして，最終的には勾配 S_i は以下の4通りの方法で求め，試算によりこれらの適用性を検討した。

$$\tan^{-1}\left(\frac{y_{i+1}-y_i}{x_{i+1}-x_i}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{（タイプ－Ⅰ）}$$

$$\left\{\tan^{-1}\left(\frac{y_{i+1}-y_i}{x_{i+1}-x_i}\right)\right\}\frac{l_i}{l} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{（タイプ－Ⅱ）}$$

$$\frac{y_{i+1}-y_i}{x_{i+1}-l_i} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{（タイプ－Ⅲ）} \qquad (3-20)$$

$$\frac{y_{i+1}-y_i}{x_{i+1}-x_i}\times\frac{l_i}{l} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{（タイプ－Ⅳ）}$$

ここで，

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

$$l=\sum_{i=1}^{N-1} l_i \qquad (3-21)$$

記録の最大片振幅は3cmであり，記録ペンのアーム長は30cmであるから，$|\theta_0|\leq 0.1$ である。したがって，θ_0を－0.1～0.1の範囲で逐次変化させ，$\sum_{i=1}^{N-1} S_i$ の値を求めた。図3－6は釧路の記録に対する θ_0 ～$\sum_{i=1}^{N-1} S_i$ の試算例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

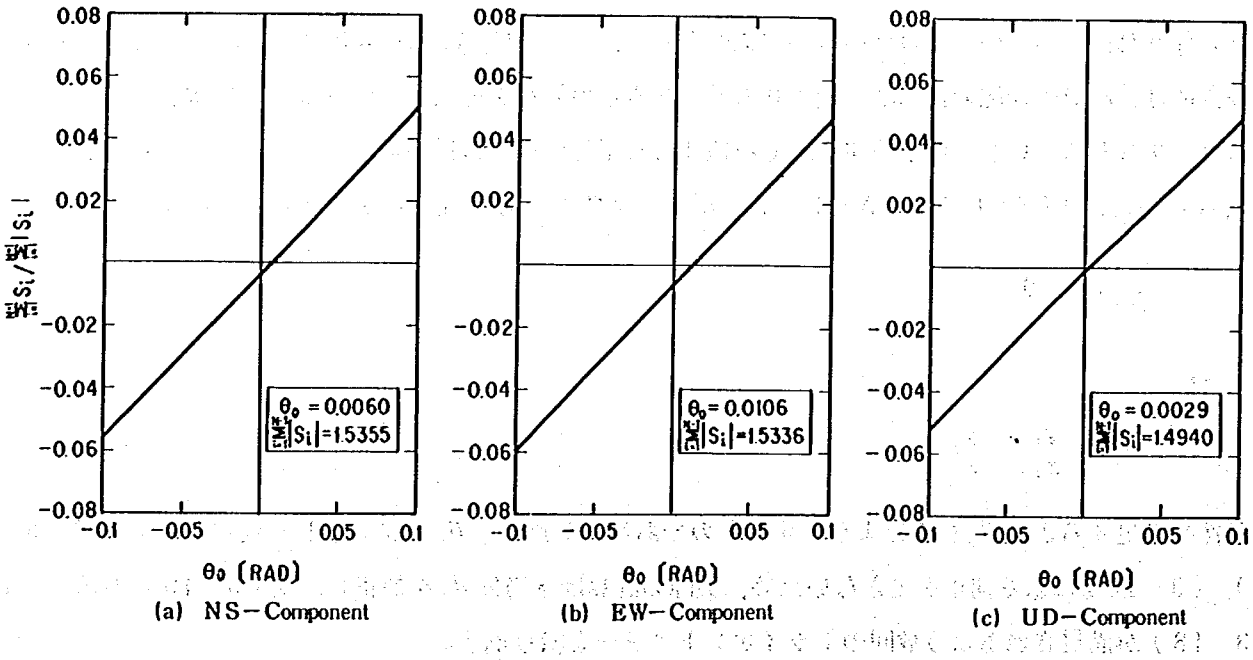


図3－6　θ_0を変化させた場合の$\sum_{i=1}^{N-1} S_i$の値（釧路の記録の例）

表3－1　式（3－18）の$\sum_{i=1}^{N-1} S_i = 0$となるθ_0の値（Radian）

観測所名	成分	Type Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
釧路	UD	0.0715	0.0029	−0.0763	−0.0490
	EW	0.0008	0.0106	−0.0985	−0.0630
	NS	0.0164	0.0060	−0.0665	−0.0651
森	UD	−0.0243	0.0058	−0.0915	−0.0288
	EW	0.0067	−0.0007	−0.0744	−0.0733
	NS	0.0819	0.0031	−0.0132	−0.0124
函館	UD	−0.0411	0.0018	0.0057	0.0046
	EW	0.0154	−0.0009	−0.0805	0.0025
	NS	0.0076	0.0020	−0.0820	−0.0408
根室	UD	0.0603	0.0052	−0.0967	−0.0964
	EW	0.1001	−0.0013	−0.0757	−0.0633
	NS	0.0560	−0.0032	−0.0958	−0.0320
盛岡	UD	0.0524	0.0069	−0.0890	−0.0739
	EW	−0.0006	−0.0034	−0.0965	−0.0926
	NS	−0.0394	0.0026	−0.0925	−0.0811
盛岡（余震）	UD	0.0052	0.0132	−0.0920	−0.0906
	EW	−0.0137	−0.0007	−0.0887	−0.0882
	NS	0.0155	−0.0024	−0.0869	−0.0872
仙台	UD	−0.0174	0.0082	−0.0662	−0.0316
	EW	−0.0333	−0.0077	−0.0788	−0.0763
	NS	0.0205	−0.0036	−0.0502	−0.0377
仙台（余震）	UD	−0.0254	−0.0147	−0.0938	−0.0983
	EW	−0.0333	−0.0077	−0.0788	−0.0763
	NS	−0.0095	0.0030	−0.0868	−0.0299
広尾	UD	−0.0208	−0.0007	−0.0915	−0.0903
	EW	0.0360	−0.0074	−0.0663	−0.0502
	NS				
大船	UD	−0.0465	0.0121	−0.0970	−0.0687
	EW	0.0528	0.0055	−0.0914	−0.0533
	NS	−0.0257	−0.0007	−0.0983	−0.0571
大船（余震）	UD	−0.0346	0.0025	−0.0939	−0.0982
	EW	−0.0335	0.0088	−0.0969	−0.0979
	NS	−0.0524	0.0051	−0.0878	−0.0890
札幌	UD	−0.0413	0.0010	−0.0703	−0.0660
	EW	0.0009	−0.0033	−0.0954	−0.0301
	NS	−0.0158	−0.0070	−0.0462	−0.0237
室蘭	UD	0.0460	0.0080	−0.0977	−0.0311
	EW	−0.0387	0.0025	−0.0626	−0.0202
	NS	−0.0220	−0.0005	−0.0803	−0.0724
秋田	UD	−0.0252	0.0061	−0.0803	−0.0370
	EW	0.0275	−0.0036	−0.0773	−0.0047
	NS	0.0291	0.0019	−0.0421	−0.0172
石巻	UD	0.0064	0.0084	−0.0988	−0.0990
	EW	0.0067	0.0023	−0.0951	−0.0718
	NS	0.0468	−0.0016	−0.0893	−0.0883
宮古	UD	0.0692	0.0129	−0.0567	−0.0580
	EW	0.0037	0.0147	−0.0818	−0.0351
	NS	−0.0263	0.0051	−0.0578	−0.0212
留萌	UD	0.0272	−0.0025	−0.0907	−0.0772
	EW	0.0532	0.0148	−0.0883	−0.0879
	NS	0.0484	0.0094	−0.0373	−0.0021

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波形の一例を図３－７（釧路の場合）および図３－８（宮古の場合）に示す。これによれば，タイプ－ⅢおよびⅣの場合には，上述した理由により θ_0 が不安定に大きな値となる場合があることがわかる。これに対して，勾配の角度をとった場合にはタイプ－Ⅰ，Ⅱとも比較的正しく θ_0 の影響が補正されている。ここでは，タイプ－Ⅱの場合がタイプ－Ⅰよりも線分の長さの重みをつけており，より安定した結果を与えることから，タイプ－Ⅱを θ_0 の補正に用いることとした。

３－５　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周波数領域で加えた。いま，式（３－１５），（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，このフーリエ変換 $F_0(f)$ は，

$$F_0(f)=\int_{-\infty}^{\infty} d_0(t)\, e^{-2\pi i f}\, dt \qquad (3-22)$$

と求められる。これに気象庁１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。

$$a(t)=\int_{-\infty}^{\infty} -4\pi^2 f^2 F(f) e^{2\pi i f t}\, df \qquad (3-23)$$

$$v(t)=\int_{-\infty}^{\infty} 2\pi i f F(f) e^{2\pi i f t}\, df \qquad (3-24)$$

$$d(t)=\int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{2\pi i f t}\, df \qquad (3-25)$$

ここで，

$$F(f)=F_0(f)\cdot F_c(f) \qquad (3-26)$$

であり，補正フィルター $F_c(f)$ は次式とした。

$$F_c(f)=\frac{e^{i\phi(f)}}{R(f)}\cdot A(f) \qquad (3-27)$$

ここで，

$$R(f)=\frac{1}{\sqrt{\left\{\left(\frac{f_0}{f}\right)^2-1\right\}^2+4h^2\left(\frac{f_0}{f}\right)^2}} \qquad (3-28)$$

$$\phi(f)=\tan^{-1}\left[\frac{2h\left(\frac{f_0}{f}\right)}{\left(\frac{f_0}{f}\right)^2-1}\right] \qquad (3-29)$$

ここで，f_0，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 の関数として表わす）は次式で与えられるバンドパスフィルタ

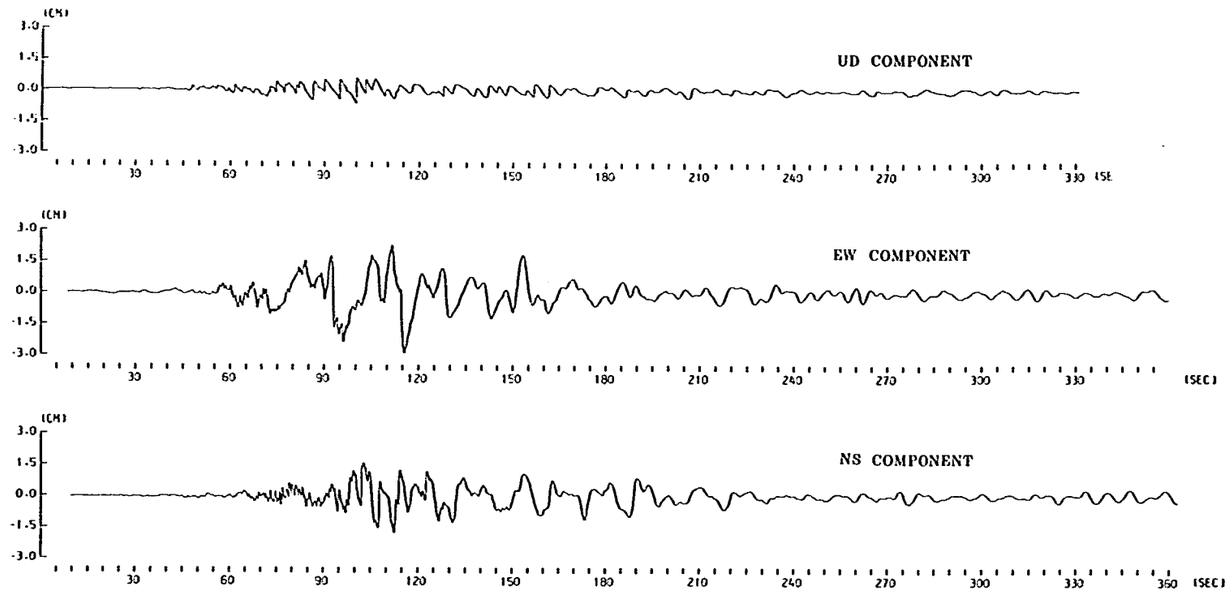


図３－７(1)　タイプＩによる θ_0 補正の例（釧路の記録）

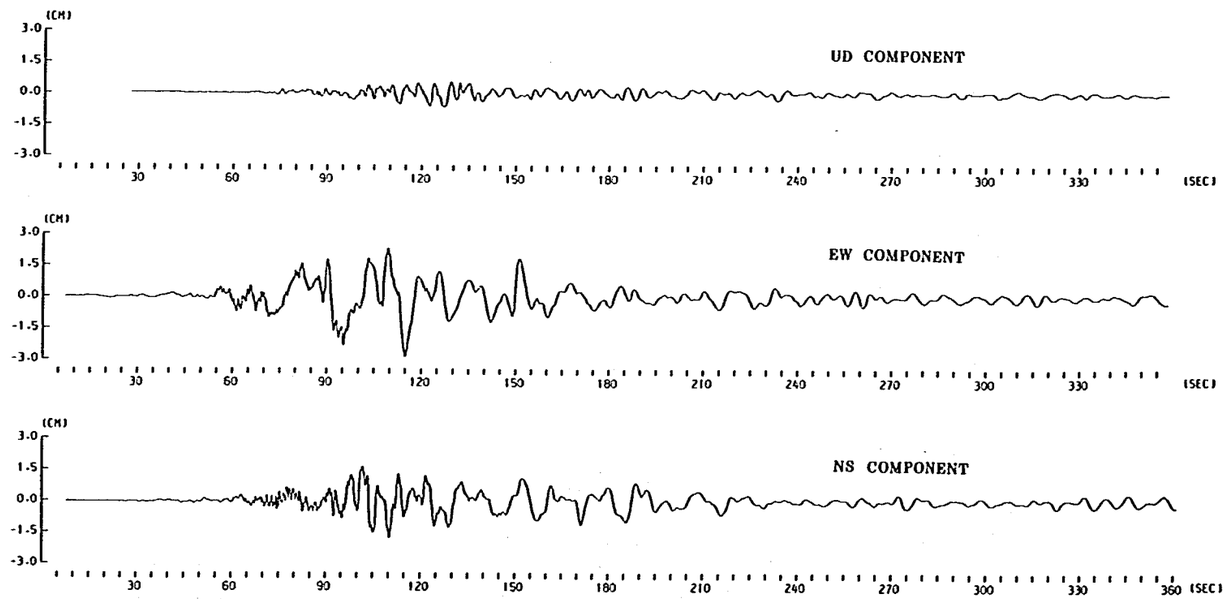


図３－７(2)　タイプＩＩによる θ_0 補正の例（釧路の記録）

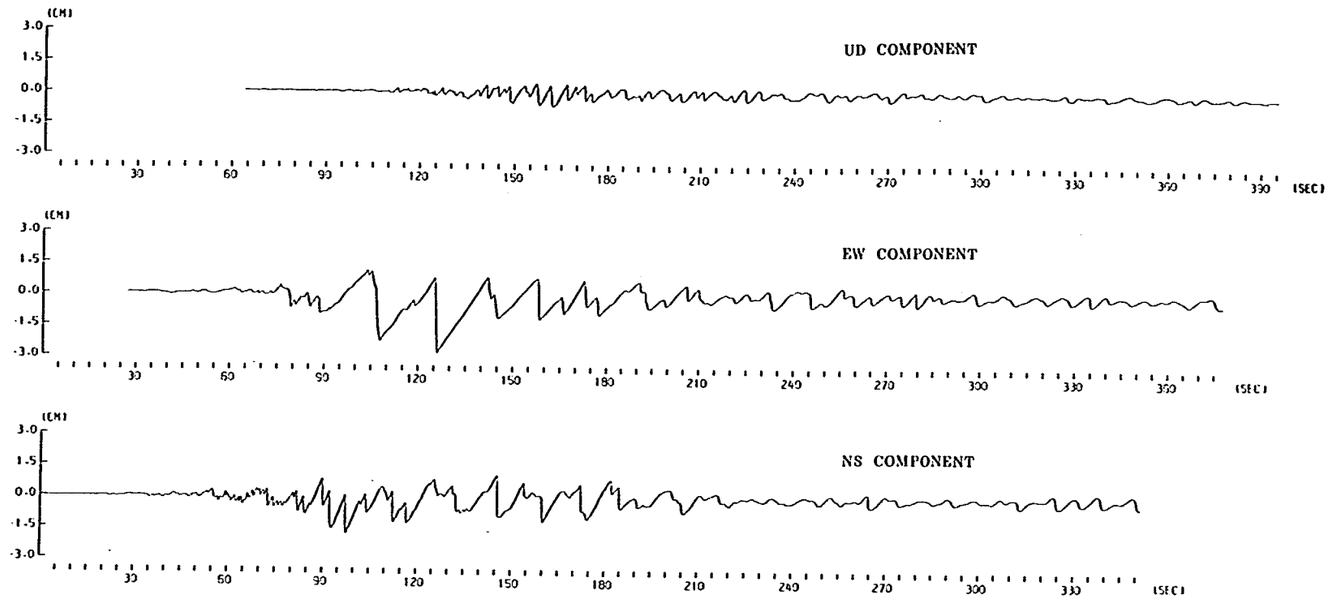


図３－７(3)　タイプⅢによるθ_0補正の例（釧路の記録）

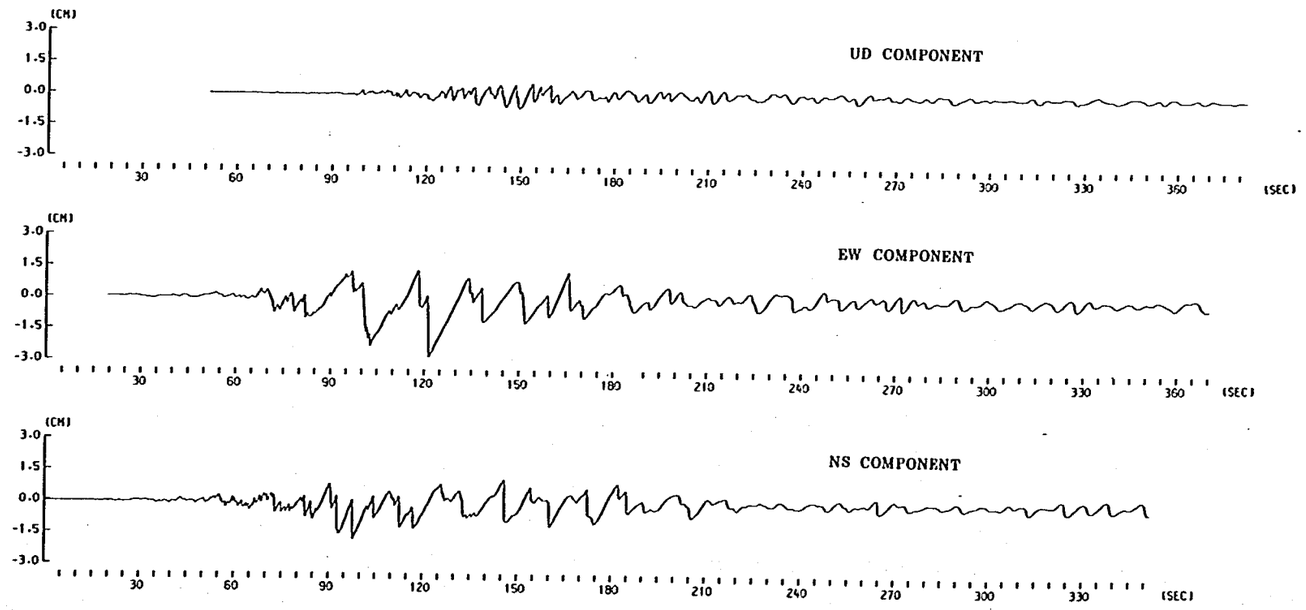


図３－７(4)　タイプⅣによるθ_0補正の例（釧路の記録）

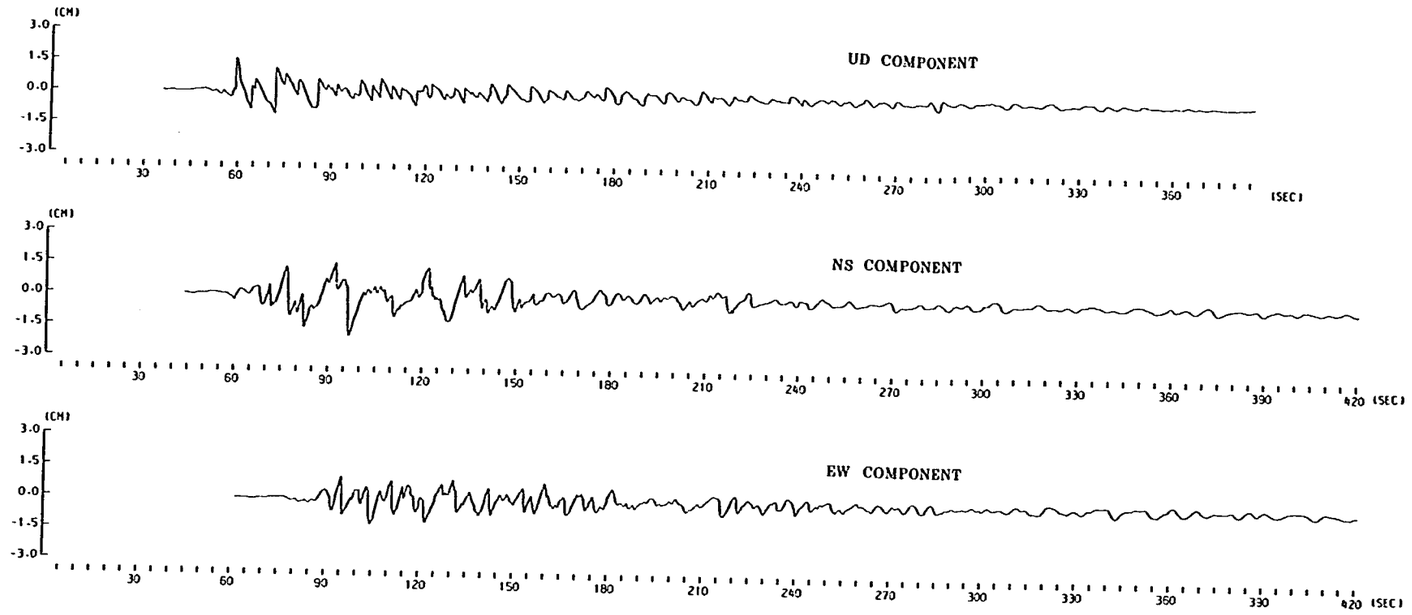


図3－8(1)　タイプⅠによるθ_0補正の例（宮古の記録）

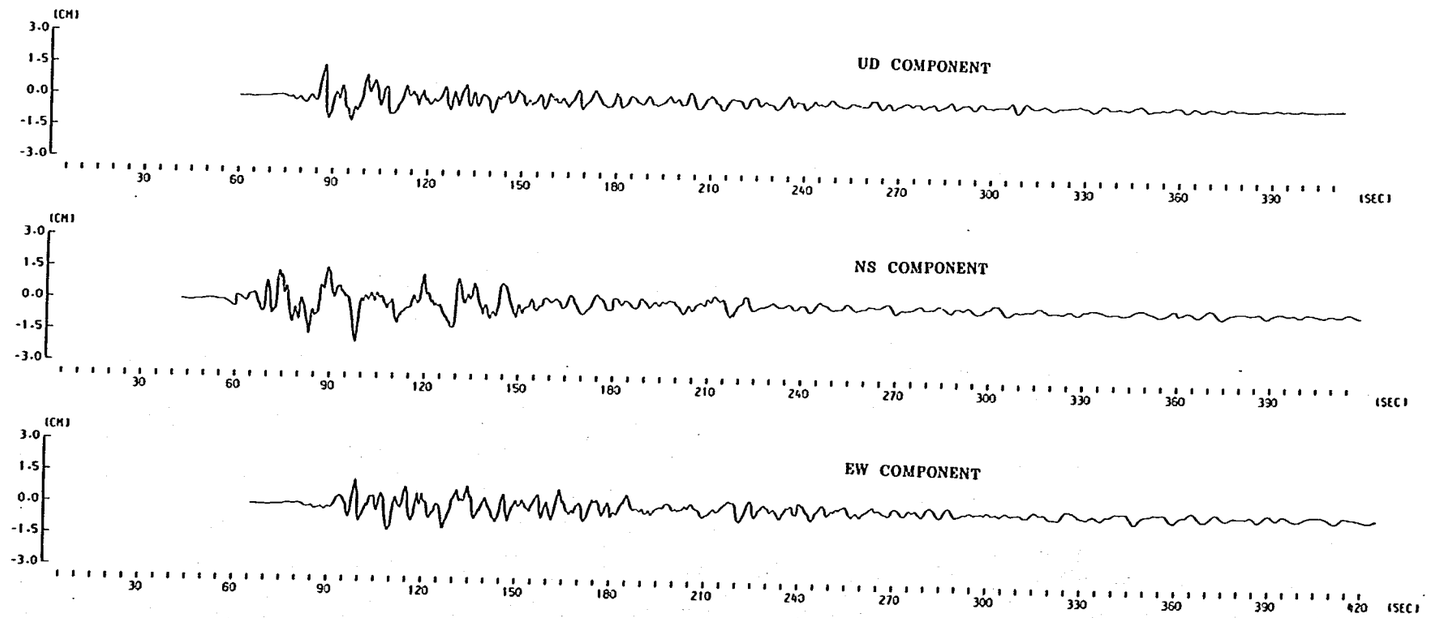


図3－8(2)　タイプⅡによるθ_0補正の例（宮古の記録）

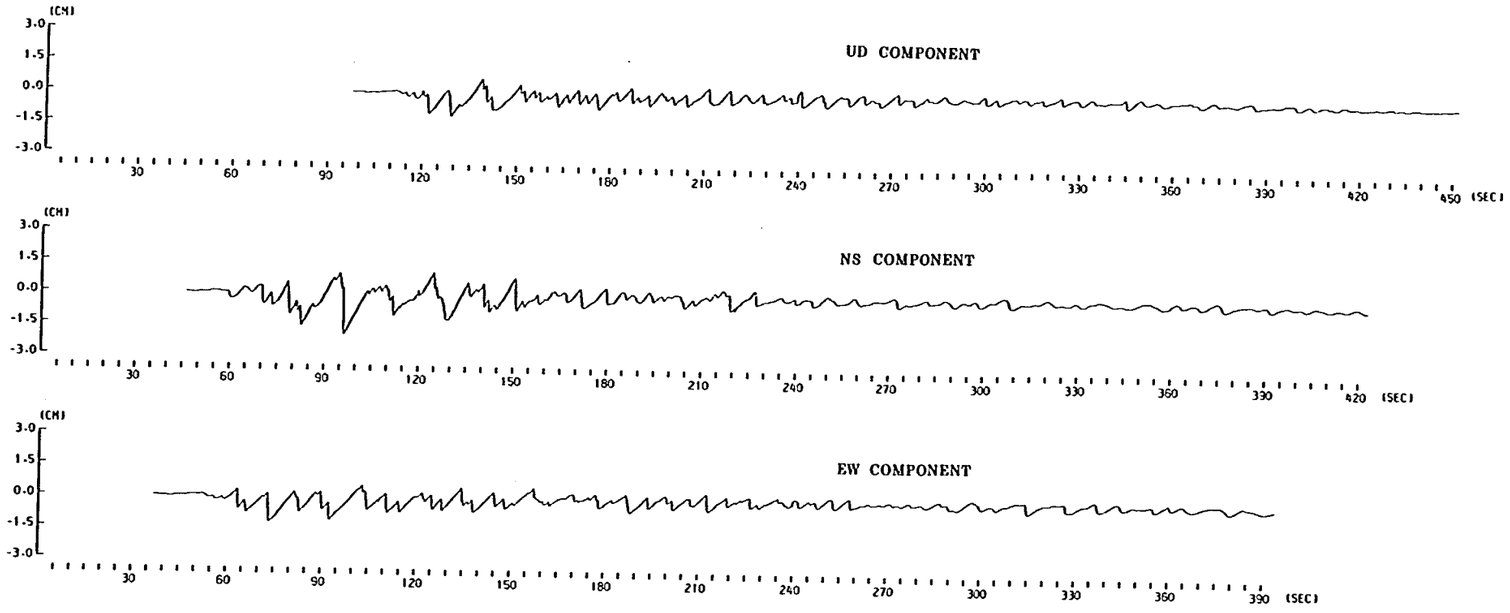


図3－8(3)　タイプⅢによるθ_0補正の例（宮古の記録）

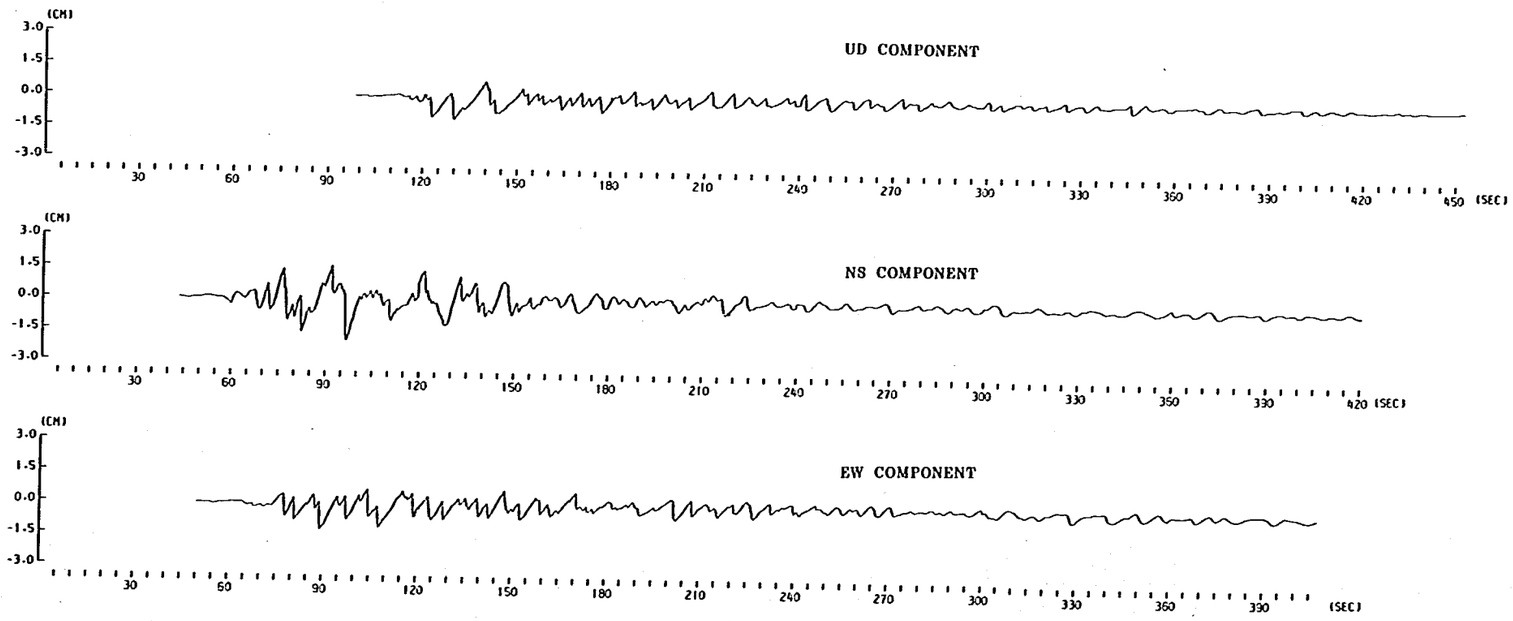


図3－8(4)　タイプⅣによるθ_0補正の例（宮古の記録）

ーとした。

$$A(T)=\begin{cases} 0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots & T<T_{LL} \\ \frac{1}{2}\left[1-\cos\left(\frac{T-T_{LL}}{T_{LU}-T_{LL}}\pi\right)\right] \cdots\cdots\cdots & T_{LL}\leqq T\leqq T_{LU} \\ 1 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots & T_{LU}\leqq T\leqq T_{LU} \\ \frac{1}{2}\left[1+\cos\left(\frac{T-T_{UL}}{T_{UU}-T_{UL}}\pi\right)\right] \cdots\cdots\cdots & T_{UL}\leqq T\leqq T_{UU} \\ 0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots & T>T_{UU} \end{cases} \qquad (3-30)$$

ここで，T_{LL} および，T_{UU} はそれぞれ低周期および高周期側の遮断周期であり，T_{LU} および T_{UL} はそれぞれ T_{LL} および，T_{UU} 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（3−23）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1倍強震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とした。すなわち，ＳＭＡＣ−Ｂ2型強震計では紙送り速度は1㎝/sec であるため，時間軸は1秒が1㎝に相当している。このような条件でＳＭＡＣ−Ｂ2型強震記録の短周期側の実用的な遮断周期は一応約1/12 秒とされている。これに対して，気象庁1倍強震計では1分間が3㎝であり，1秒は 1/20㎝に対応している。したがって，ディジタイザーによる時間軸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1倍強震計の短周期側の遮断周期は 1/12×20＝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秒ととることにした。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3×20＝60秒程度までとれることになる。しかしながら，気象庁1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（3−28）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（3−28）および（3−29）による振幅および位相の補正量を固有周期6秒（水平成分）および5秒（上下成分）の場合について示すと図3−9の通りとなる。

3−6　各種補正を加えた地震動の変位，速度および加速度

以上のようにして図3−10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および速度，加速度の波形を示すと図3−11〜図3−27のようになる。各記録ごとにデータ個数，継続時間，波形メンディングの個数等を表3−2に示す。また，これらの最大値（最大変位，最大速度，最大加速度）を示すと表3−3の通りである。なお，図3−11〜図3−27では同一観測地点ごとにＮＳ成分，ＥＷ成分，ＵＤ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，速度応答スペクトル，変位応答スペクトルを求めると図3－28～図3－44となる。ここで，減衰定数hは0, 0.01, 0.02, 0.05とした。

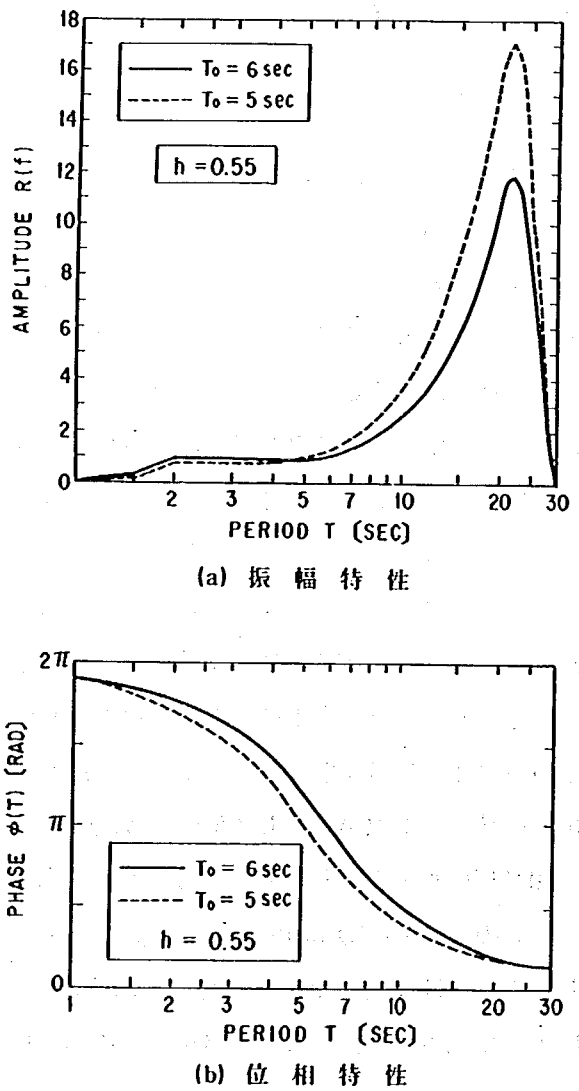


図3－9　気象庁1倍強震計記録の計器補正関数

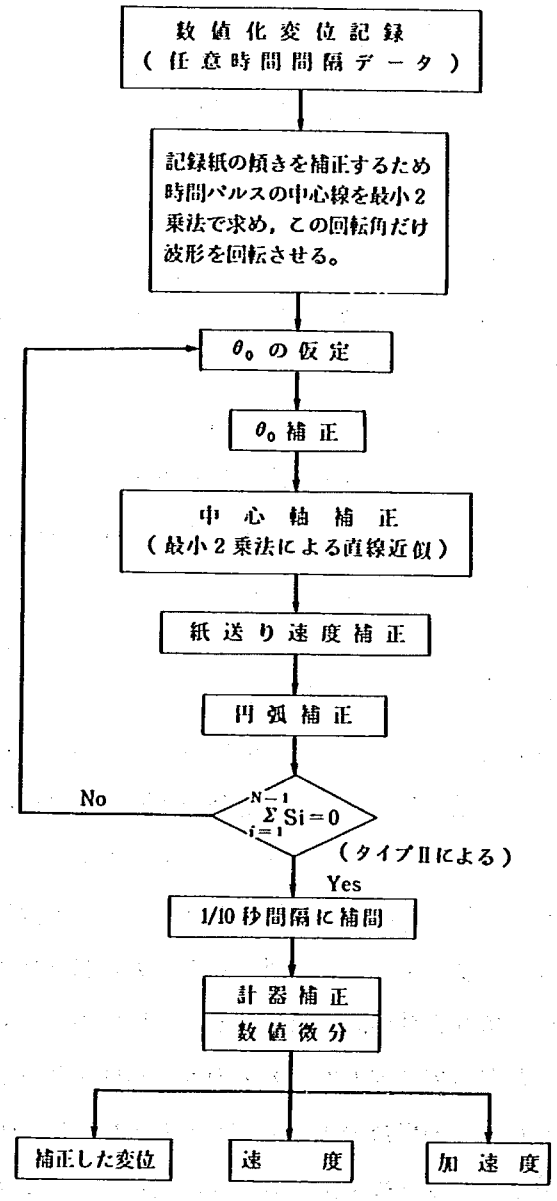


図3－10　気象庁1倍強震計記録の処理システム流れ図

表３－２　解析対象記録の一覧

No.	観測所名	成分名	計器補正前（不等間隔データ）最大変位(cm)	計器補正前（不等間隔データ）データ個数	計器補正後（補間データ）最大変位(cm)	計器補正後（補間データ）データ個数	継続時間(sec)	1) 修正個所数	2) 振り切れ
1	釧路	UD	0.657	2,215	1.828	3,311	331.1	0	
		EW	2.878	1,185	13.399	3,515	351.5	0	
		NS	1.767	2,287	6.094	3,532	333.2	0	
2	森	UD	3.196	1,614	10.726	4,754	475.4	0	
		EW	4.350	1,993	5.920	4,780	478.0	0	振り切れ
		NS	3.986	1,857	7.612	4,785	478.5	0	振り切れ
3	函館	UD	1.355	1,993	4.958	4,813	481.3	5	
		EW	3.413	1,333	5.530	4,776	477.6	4	振り切れ
		NS	2.844	1,343	5.526	4,766	476.6	4	
4	根室	UD	0.497	2,040	3.430	4,435	443.5	0	
		EW	1.172	2,868	8.315	4,396	439.6	1	
		NS	1.425	2,297	8.064	4,779	477.9	1	
5	盛岡（本震）	UD	2.438	1,223	9.229	4,214	421.4	0	
		EW	2.315	1,062	7.217	4,456	445.6	0	
		NS	2.577	947	6.358	4,104	410.4	0	
6	盛岡（余震）	UD	0.538	525	1.837	1,871	187.1	0	
		EW	0.905	497	1.657	2,224	222.4	0	
		NS	0.752	478	1.874	1,854	185.4	0	
7	仙台（本震）	UD	0.761	1,172	2.188	4,159	415.9	0	
		EW	1.843	2,213	3.963	4,197	419.7	1	
		NS	1.555	1,783	4.173	4,002	400.2	1	
8	仙台（余震）	UD	0.362	1,177	0.812	4,352	435.2	0	
		EW	0.897	1,273	2.068	4,645	464.5	0	
		NS	0.872	1,573	1.713	4,466	446.6	0	
9	広尾	UD	2.554	1,271	9.018	3,954	395.4	0	
		EW	3.384	1,532	9.822	3,852	385.2	1	振り切れ
		NS	—	—	—	—	—	—	
10	大船渡（本震）	UD	0.743	1,052	2.541	2,787	278.7	3	
		EW	1.727	1,075	2.255	2,917	291.7	3	
		NS	1.110	926	2.779	2,944	294.4	3	
11	大船渡（余震）	UD	0.529	773	0.647	4,766	476.6	0	
		EW	0.885	758	1.794	4,728	472.8	0	
		NS	0.733	790	1.238	4,518	451.8	0	
12	札幌	UD	2.179	2,341	10.348	4,756	475.6	0	
		NS	3.458	2,214	12.864	4,700	470.0	0	振り切れ
		EW	3.129	2,434	13.747	4,719	471.9	0	
13	室蘭	UD	1.775	2,249	4.702	4,805	480.5	0	
		NS	2.074	1,508	4.437	4,725	472.5	0	
		EW	2.145	2,074	5.538	4,489	448.9	0	
14	秋田	UD	3.787	1,611	12.262	5,207	520.7	0	振り切れ
		EW	4.748	1,839	10.773	5,187	518.7	0	振り切れ
		NS	4.335	1,715	7.908	5,194	519.4	0	振り切れ
15	石巻	UD	0.630	1,009	2.185	3,738	373.8	0	
		EW	0.794	966	2.625	4,186	418.6	0	
		NS	1.403	1,201	5.831	4,040	404.0	0	
16	宮古	UD	1.509	1,538	4.603	3,532	353.2	0	
		NS	1.955	1,765	6.557	3,768	376.8	0	
		EW	1.211	1,565	4.055	3,595	359.5	0	
17	留萌	UD	1.140	1,003	9.878	3,881	388.1	1	
		NS	3.812	1,446	19.530	4,191	419.1	1	振り切れ
		EW	2.623	1,278	10.206	4,147	414.7	1	

注 1) 修正とは，3－2に示すように，波形の一部が途切れている場合，および，時間軸が反転している場合を指す。
注 2) 原記録が振り切れ，頭打ちとなっているもの。
注 3) 広尾のNS成分は，原記録が，不鮮明なため数値化していない。

表３－３　最大変位，最大速度および最大加速度の一覧

No	観測所名	上下成分			東西成分			南北成分			震央距離 (km)
		最大変位 (cm)	最大速度 (cm/sec)	最大加速度 (gal)	最大変位 (cm)	最大速度 (cm/sec)	最大加速度 (gal)	最大変位 (cm)	最大速度 (cm/sec)	最大加速度 (cm/sec^2)	
1	釧路	1.828	1.356	2.452	13.399	5.435	4.927	6.094	3.798	5.029	277
2	森	10.726	6.620	8.051	5.920	8.279	15.763	7.612	7.846	15.781	279
3	函館	4.958	2.699	3.596	5.530	5.084	11.133	5.526	3.904	8.791	252
4	根室	3.430	1.452	0.986	8.315	3.185	1.762	8.064	3.060	1.959	333
5	盛岡	9.229	5.881	8.976	7.217	3.710	6.258	6.358	4.965	7.291	235
6	盛岡（余震）	1.837	1.233	3.108	1.657	1.532	2.672	1.874	1.132	1.720	235
7	仙台	2.188	1.212	2.371	2.068	1.645	3.675	4.173	2.869	6.171	360
8	仙台（余震）	0.812	0.720	1.586	2.068	1.645	3.675	1.713	1.568	2.832	360
9	広尾	9.018	4.314	4.652	9.822	6.370	14.259	—	—	—	195
10	大船	2.541	1.637	2.874	2.255	3.156	6.613	2.779	1.837	3.277	247
11	大船（余震）	0.647	1.066	2.779	1.794	1.366	2.272	1.238	1.484	2.754	247
12	札幌	10.348	5.516	4.713	13.474	9.428	15.068	12.864	7.711	18.575	268
13	室蘭	4.702	3.591	4.662	5.538	4.134	7.161	4.437	3.437	6.986	252
14	秋田	12.262	5.916	9.654	10.773	11.786	20.584	7.908	10.337	24.421	313
15	石巻	2.185	1.220	2.230	2.625	1.889	2.672	5.831	2.794	2.427	320
16	宮古	4.603	3.378	5.688	4.055	2.178	4.401	6.557	3.385	3.632	183
17	留萌	9.878	4.073	3.813	10.206	6.396	9.667	19.530	8.885	16.183	370

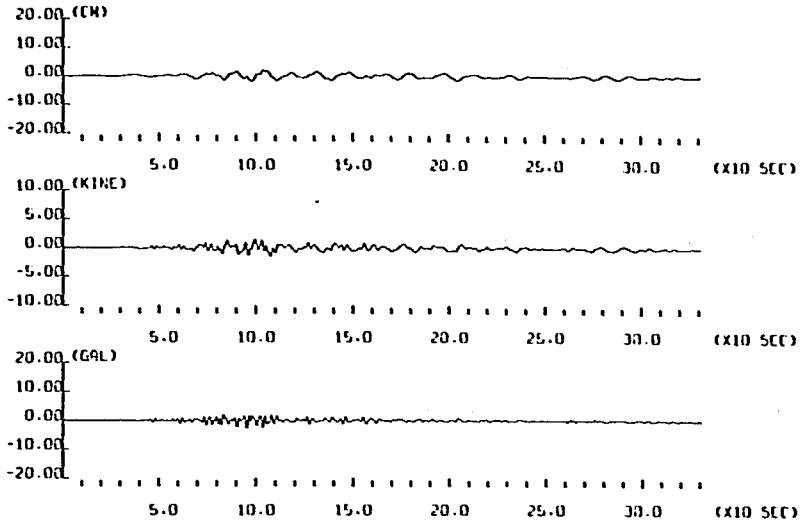


図3－11(1) 釧路（ＵＤ成分）

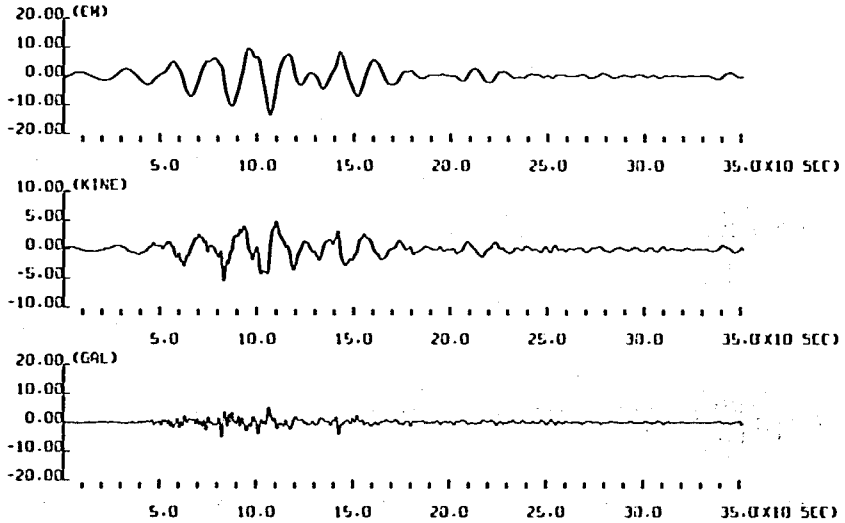


図3－11(2) 釧路（ＥＷ成分）

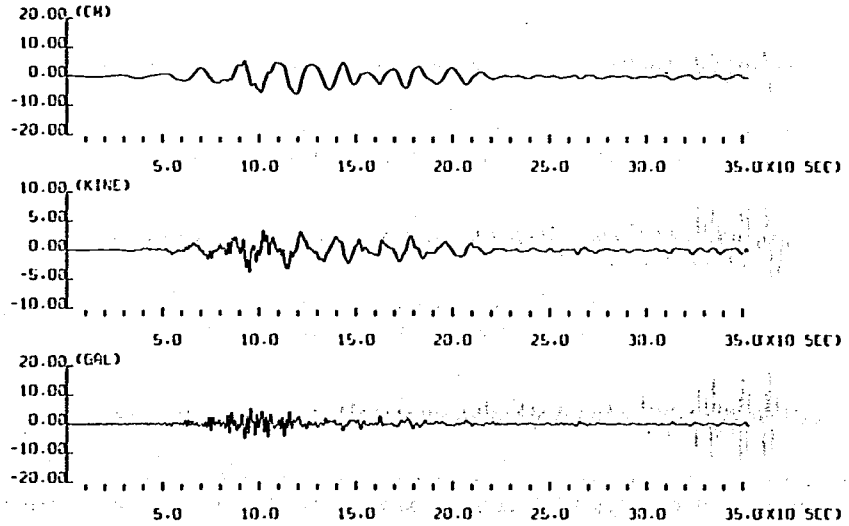


図3－11(3) 釧路（ＮＳ成分）

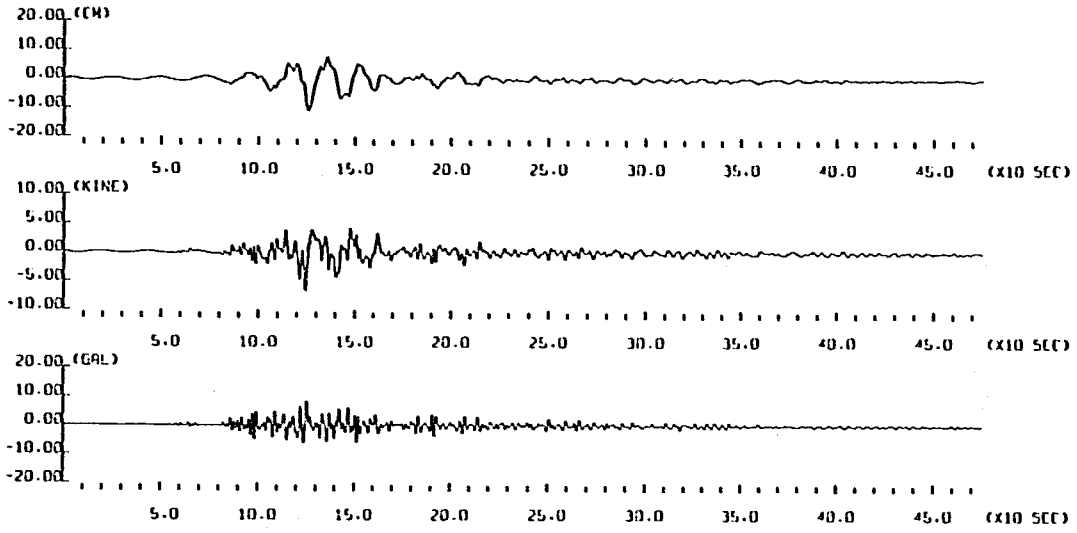


図3－12(1)　森（ＵＤ成分）

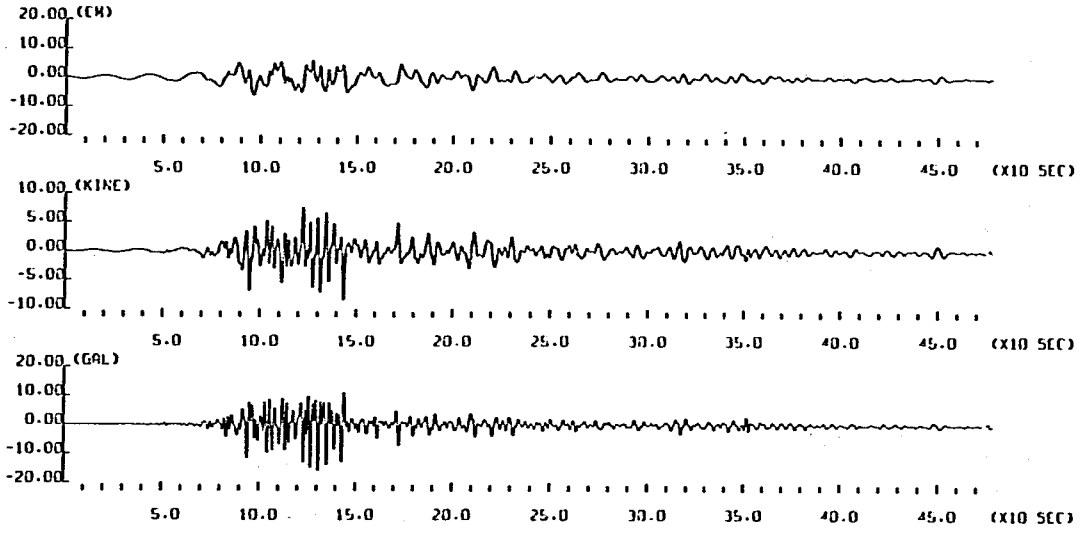


図3－12(2)　森（ＥＷ成分）

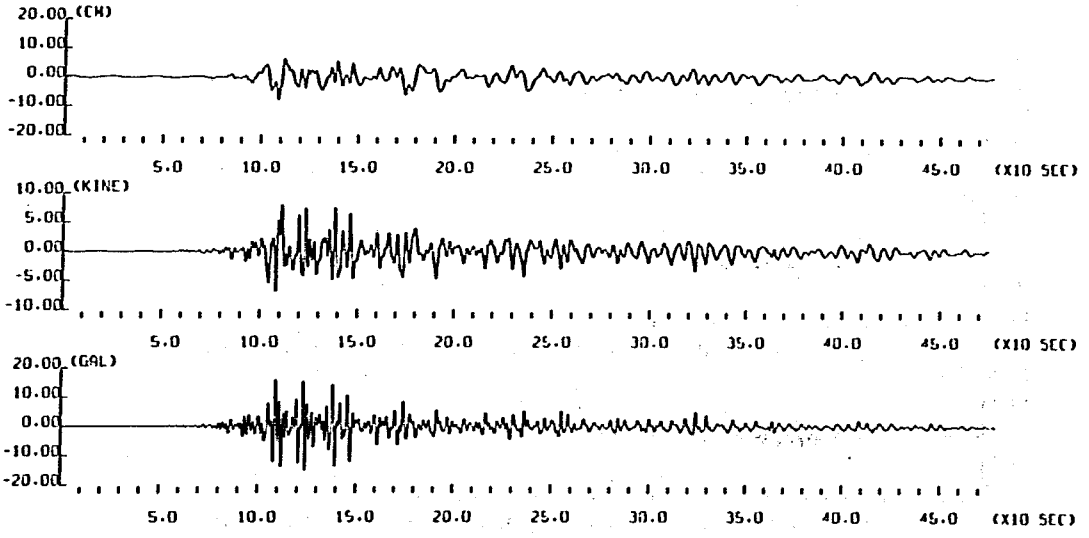


図3－12(3)　森（ＮＳ成分）

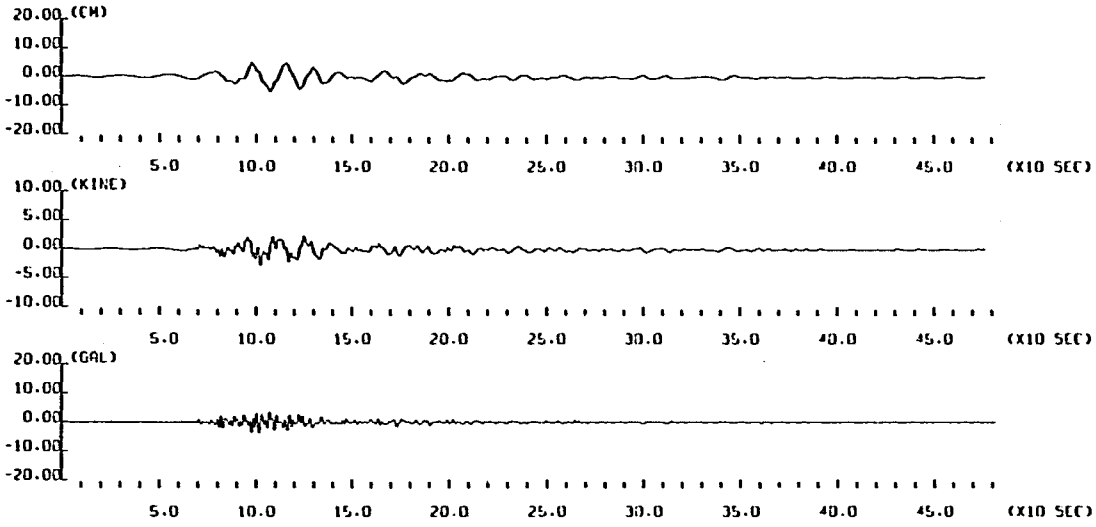


図3－13(1)　函館（ＵＤ成分）

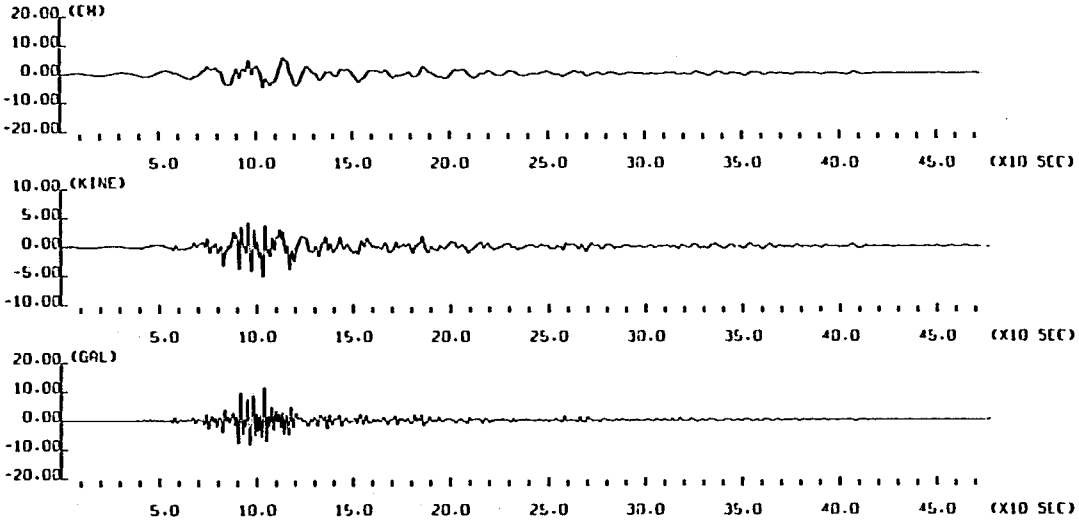


図3－13(2)　函館（ＥＷ成分）

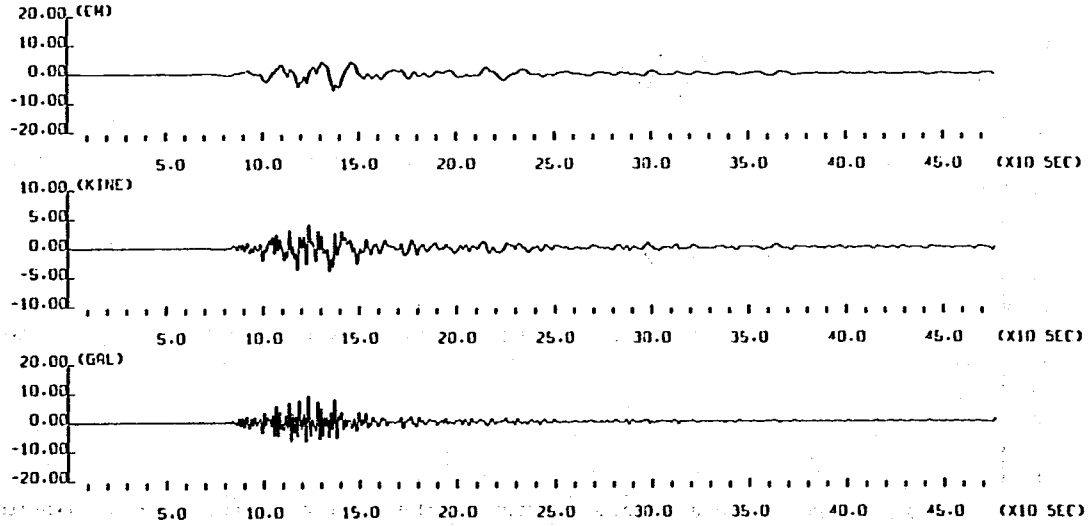


図3－13(3)　函館（ＮＳ成分）

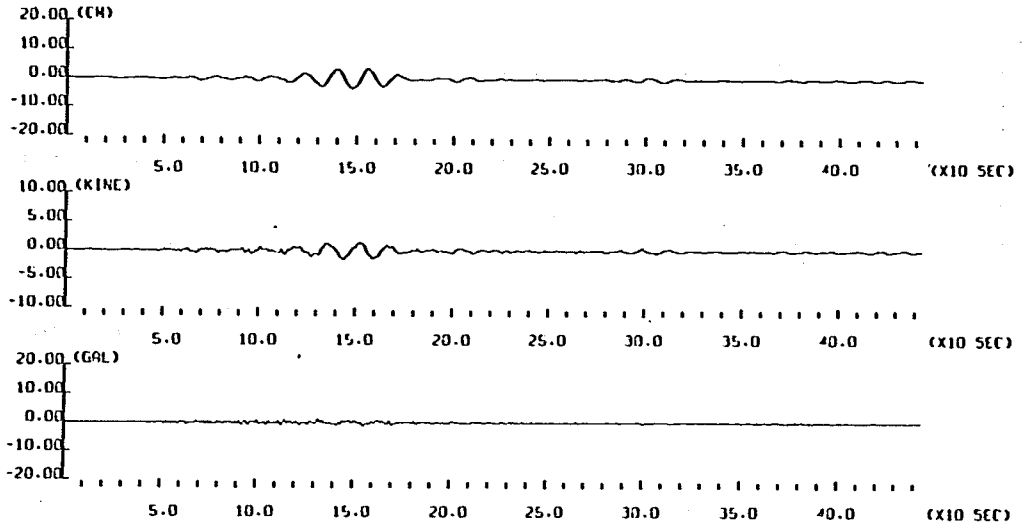


図3－14(1) 根室（ＵＤ成分）

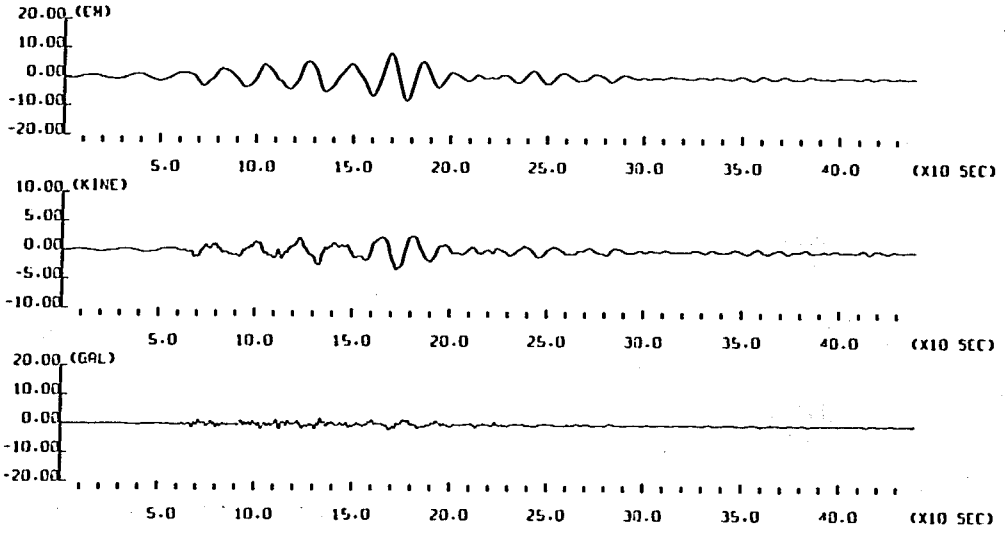


図3－14(2) 根室（ＥＷ成分）

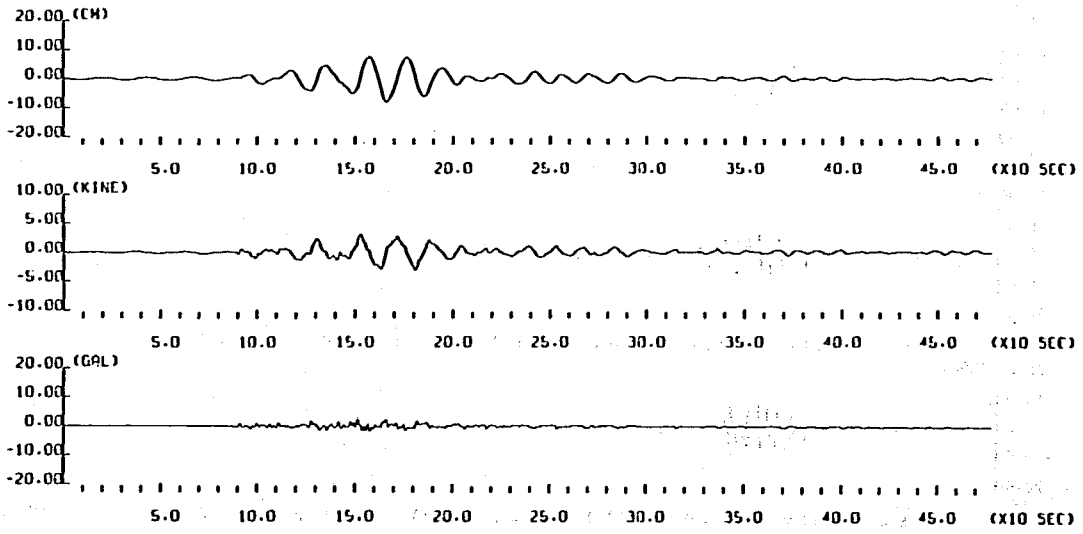


図3－14(3) 根室（ＮＳ成分）

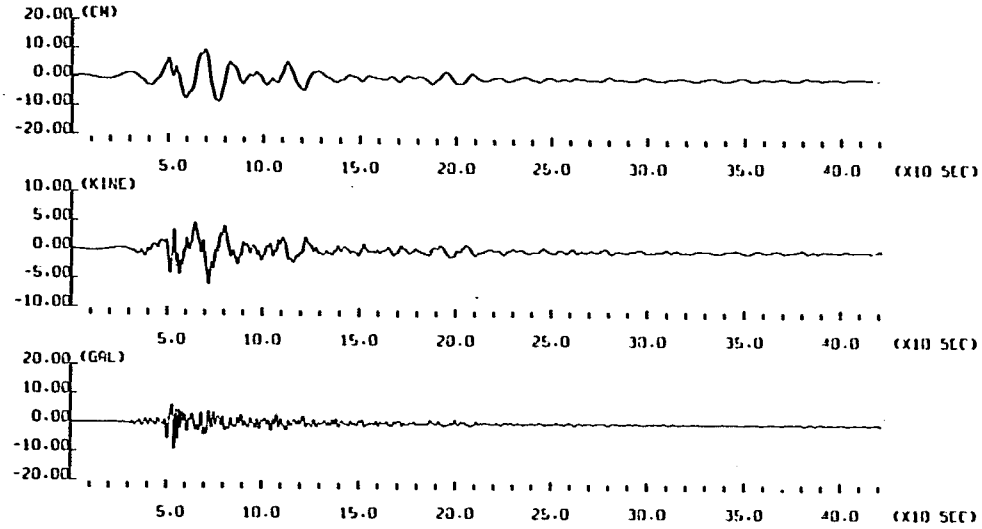


図3－15(1)　盛岡（ＵＤ成分）

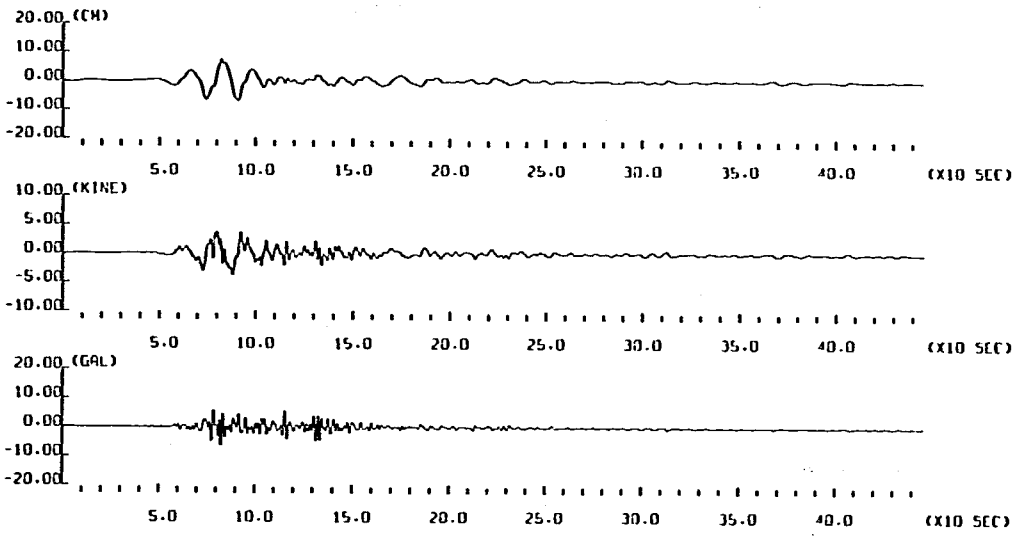


図3－15(2)　盛岡（ＥＷ成分）

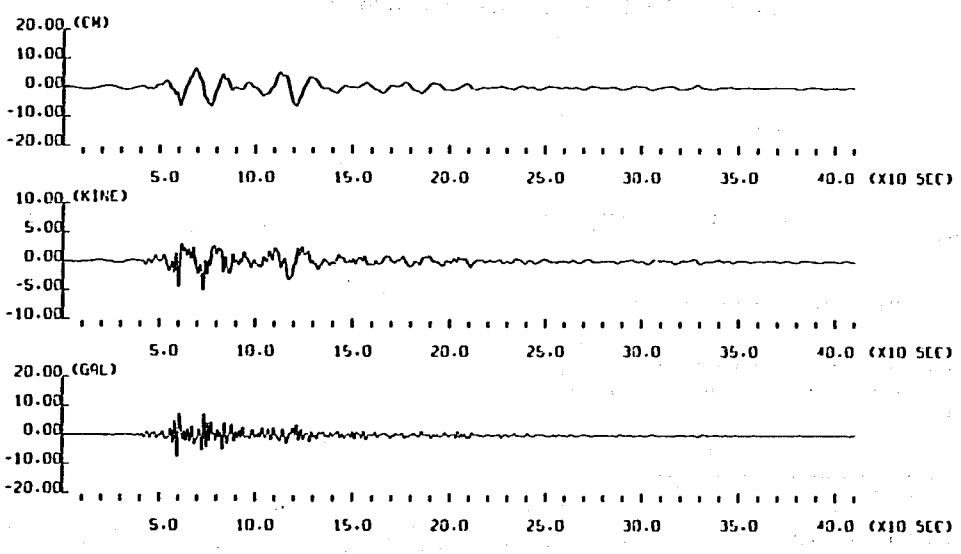


図3－15(3)　盛岡（ＮＳ成分）

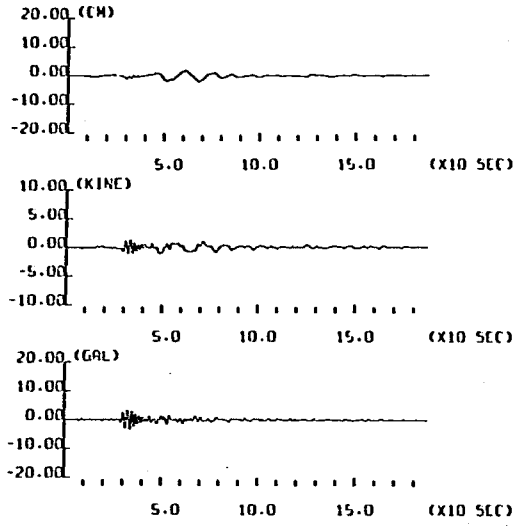


図3－16(1)　盛岡（余震・UD成分）

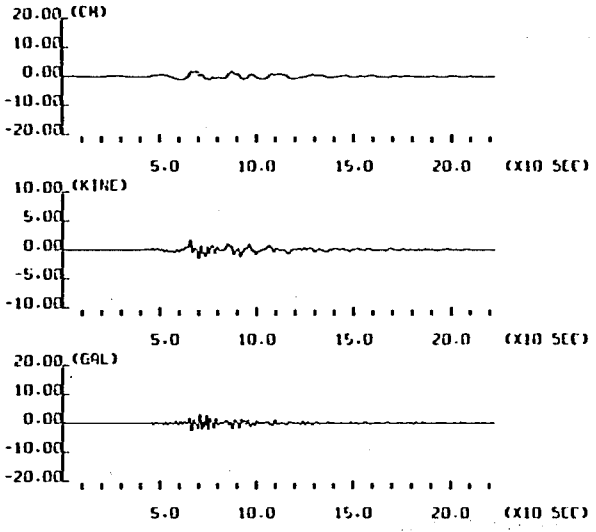


図3－16(2)　盛岡（余震・EW成分）

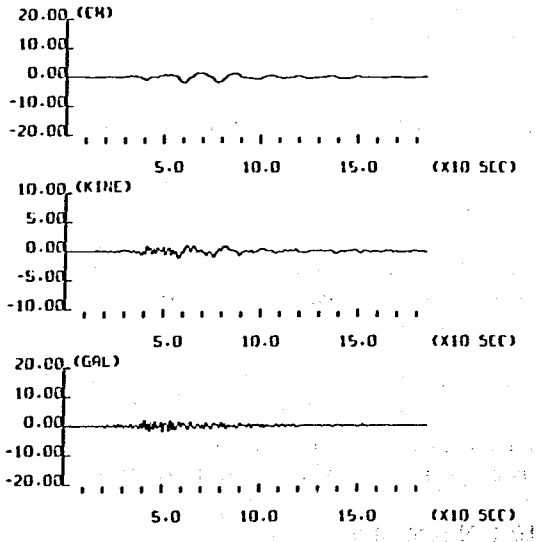


図3－16(3)　盛岡（余震・NS成分）

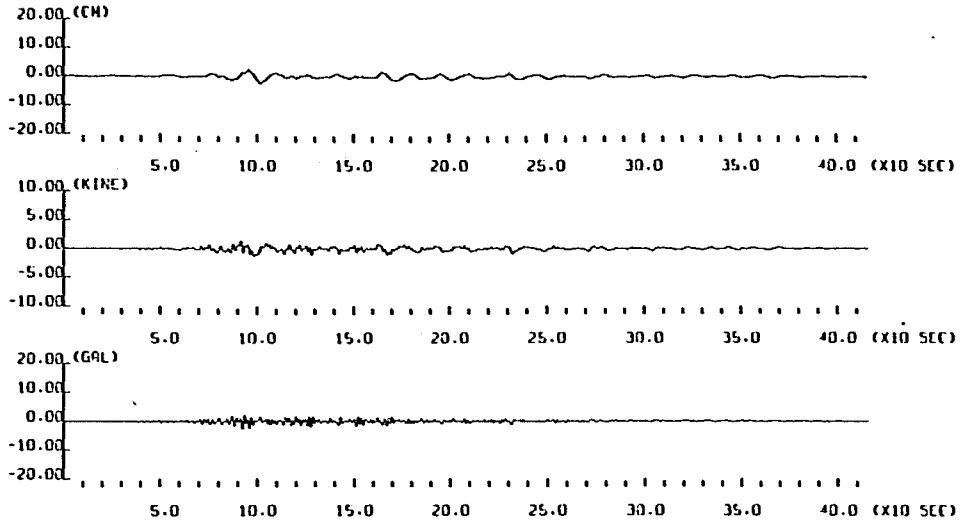


図3－17(1)　仙台（ＵＤ成分）

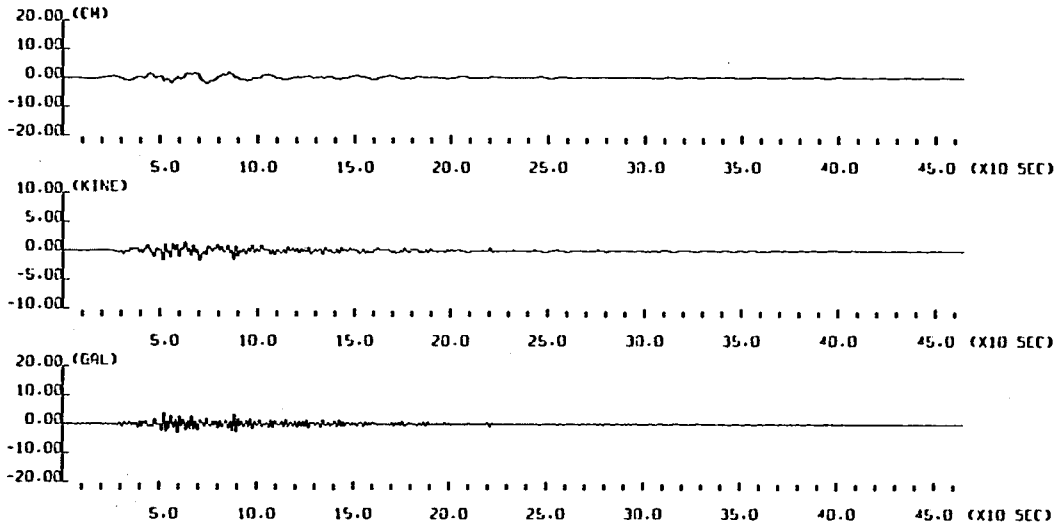


図3－17(2)　仙台（ＥＷ成分）

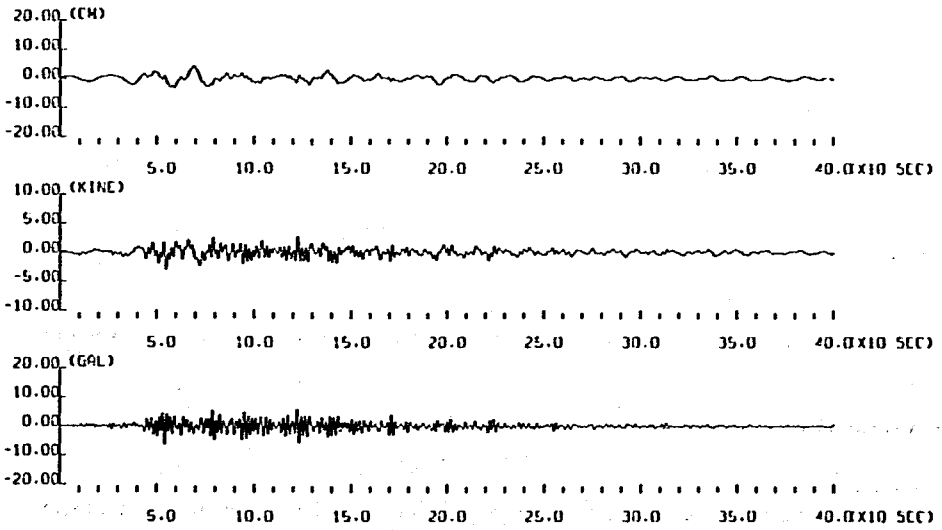


図3－17(3)　仙台（ＮＳ成分）

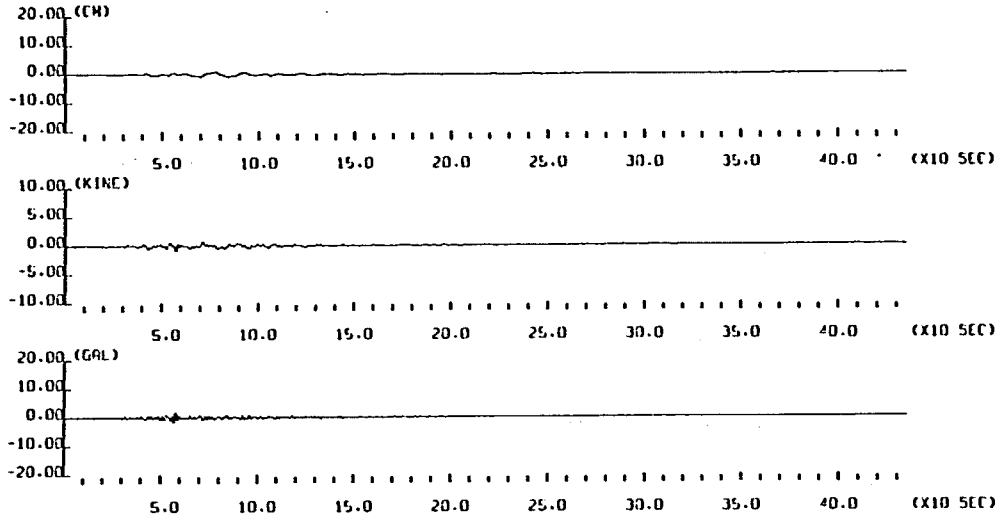


図3－18(1) 仙台（余震・UD成分）

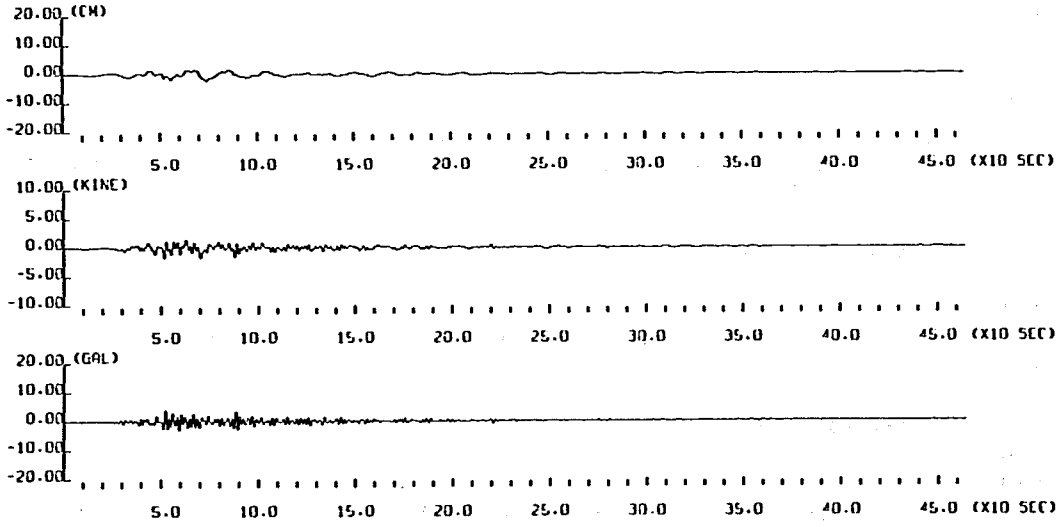


図3－18(2) 仙台（余震・EW成分）

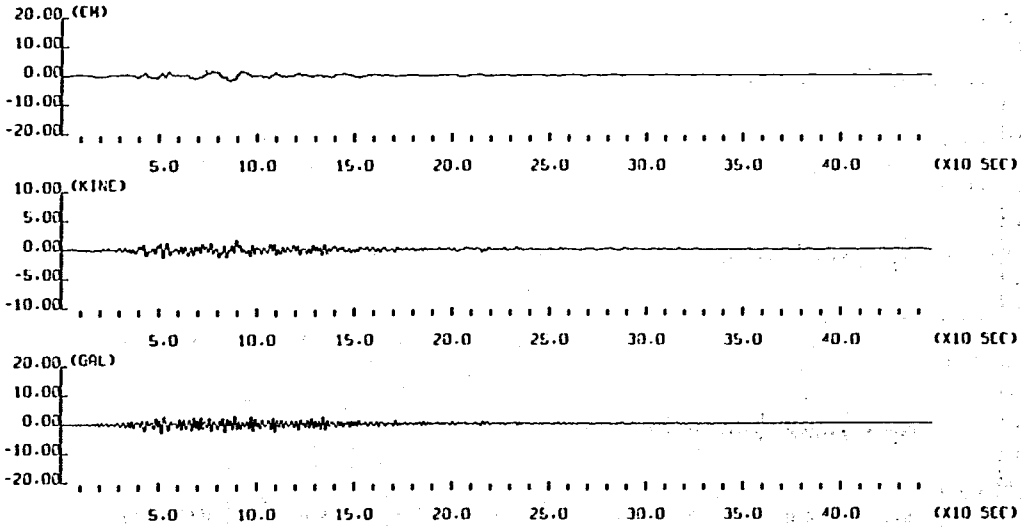


図3－18(3) 仙台（余震・NS成分）

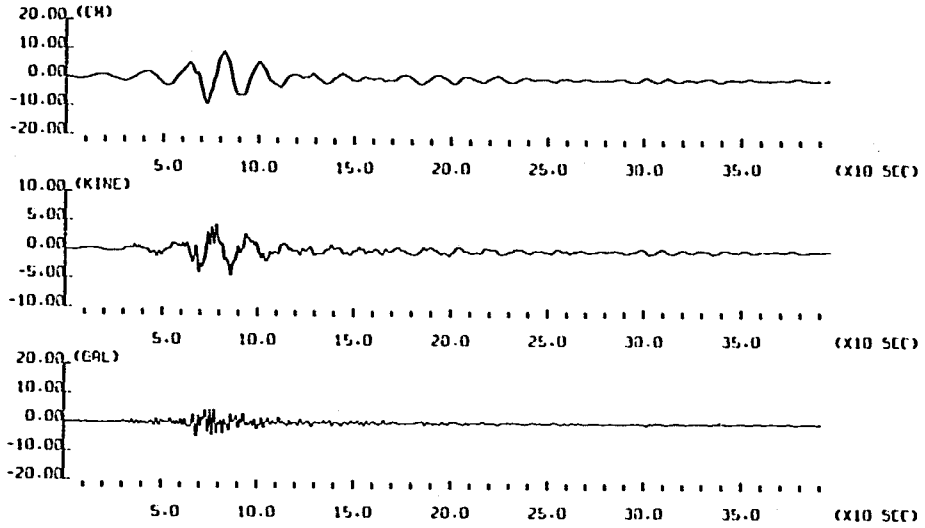


図3－19(1) 広尾（ＵＤ成分）

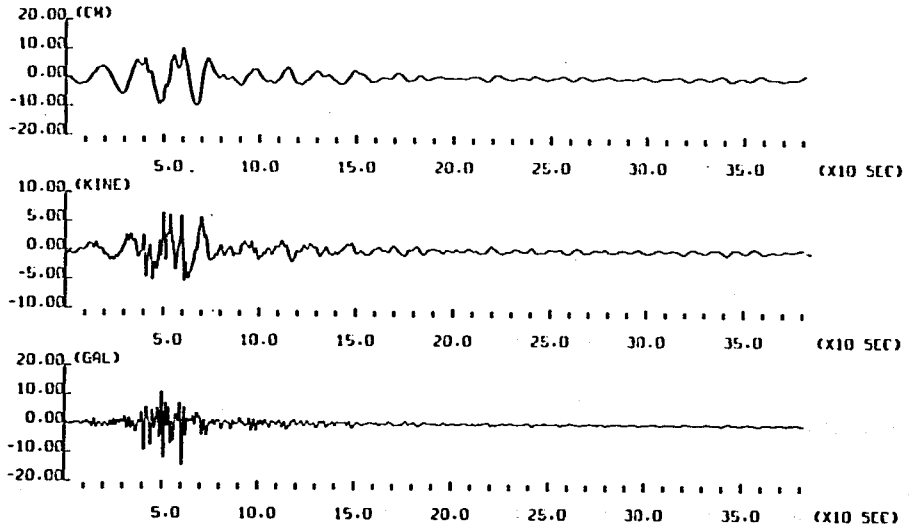


図3－19(2) 広尾（ＥＷ成分）

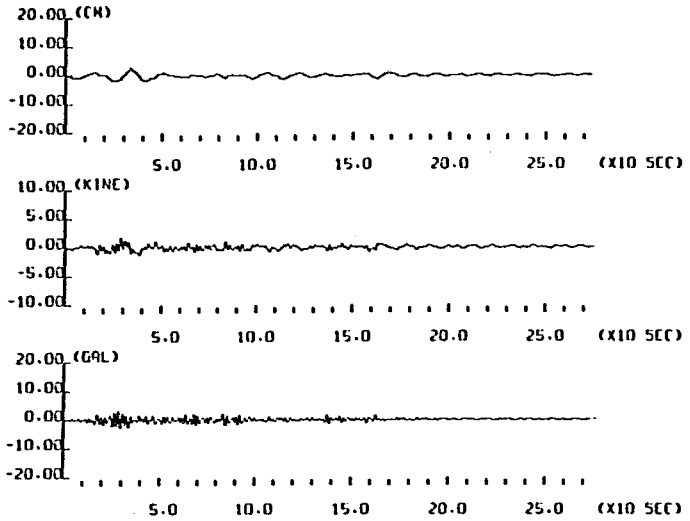


図3－20(1)　大船渡（ＵＤ成分）

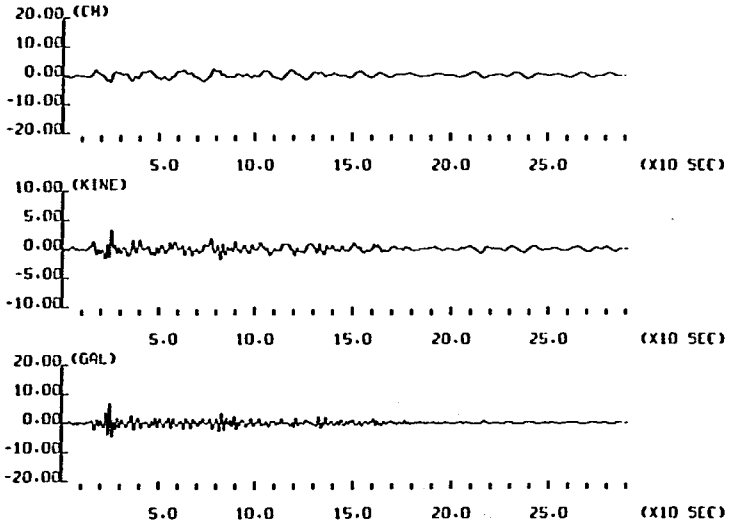


図3－20(2)　大船渡（ＥＷ成分）

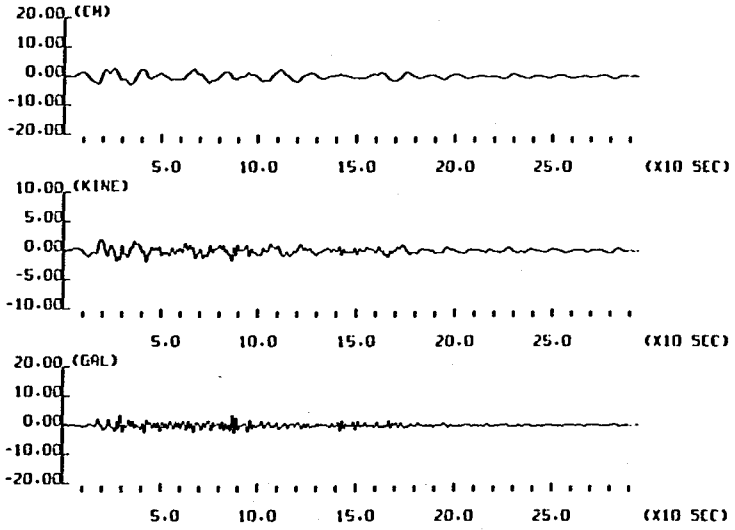


図3－20(3)　大船渡（ＮＳ成分）

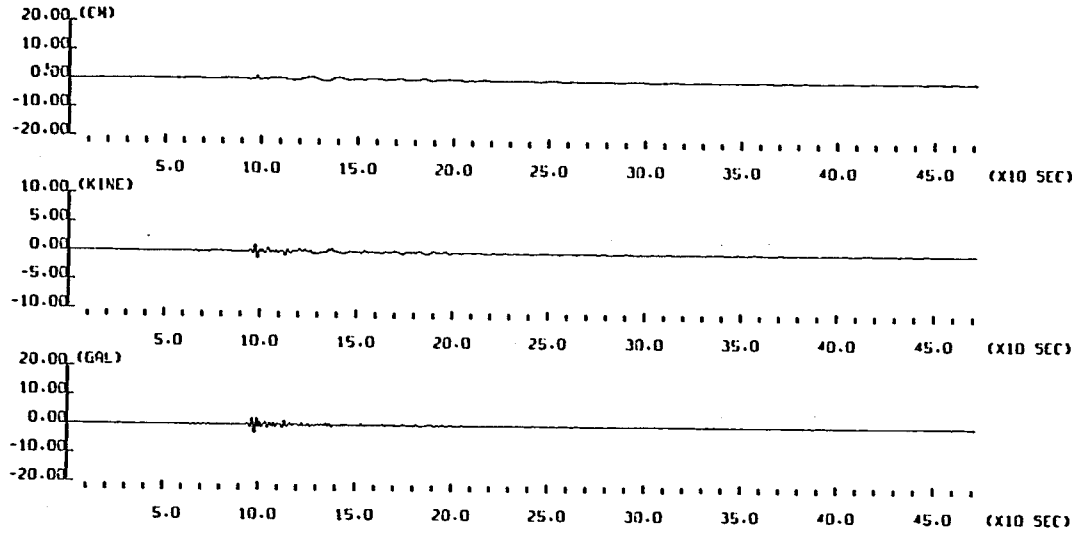


図３－21(1)　大船渡（余震・ＵＤ成分）

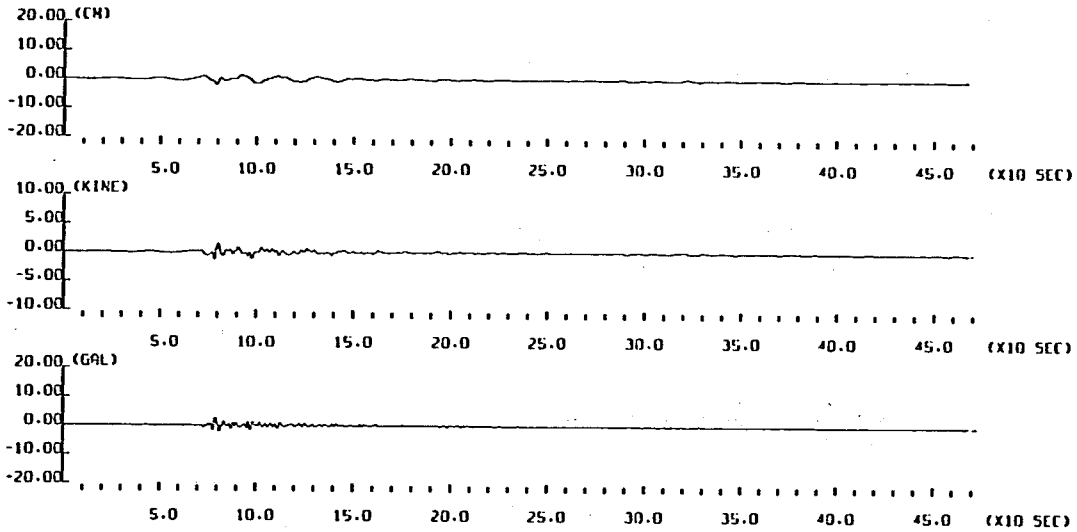


図３－21(2)　大船渡（余震・ＥＷ成分）

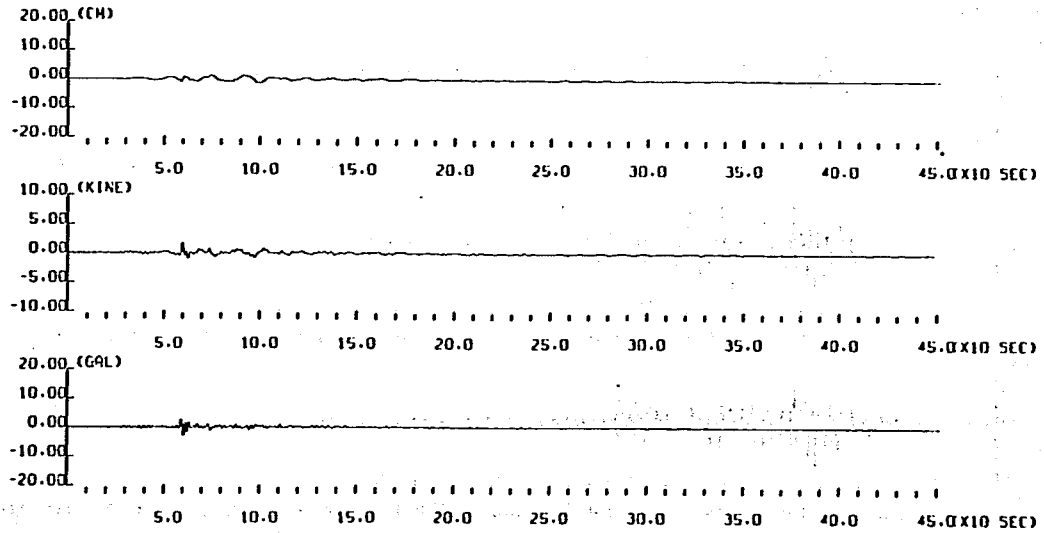


図３－21(3)　大船渡（余震・ＮＳ成分）

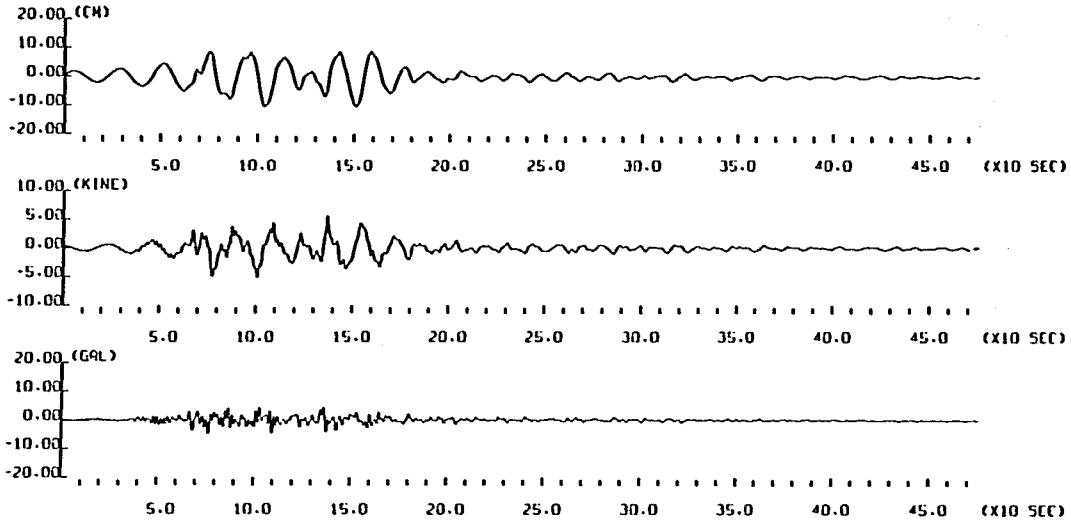


図3－22(1)　札幌（ＵＤ成分）

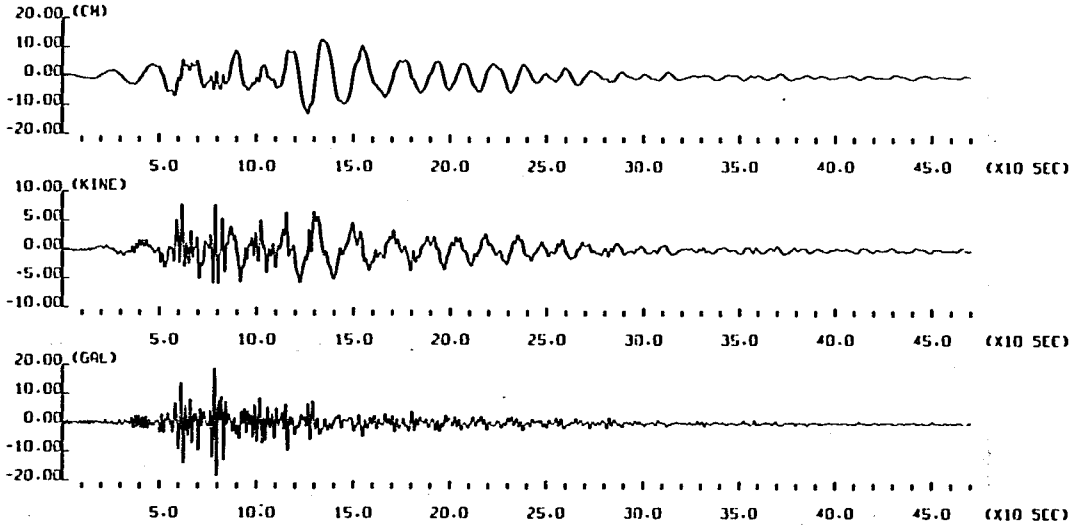


図3－22(2)　札幌（ＮＳ成分）

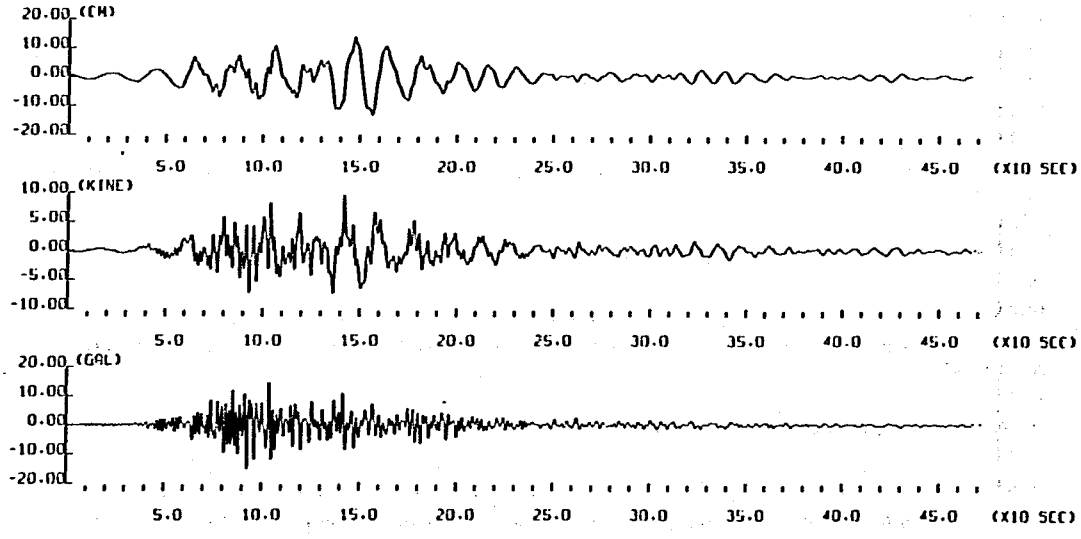


図3－22(3)　札幌（ＥＷ成分）

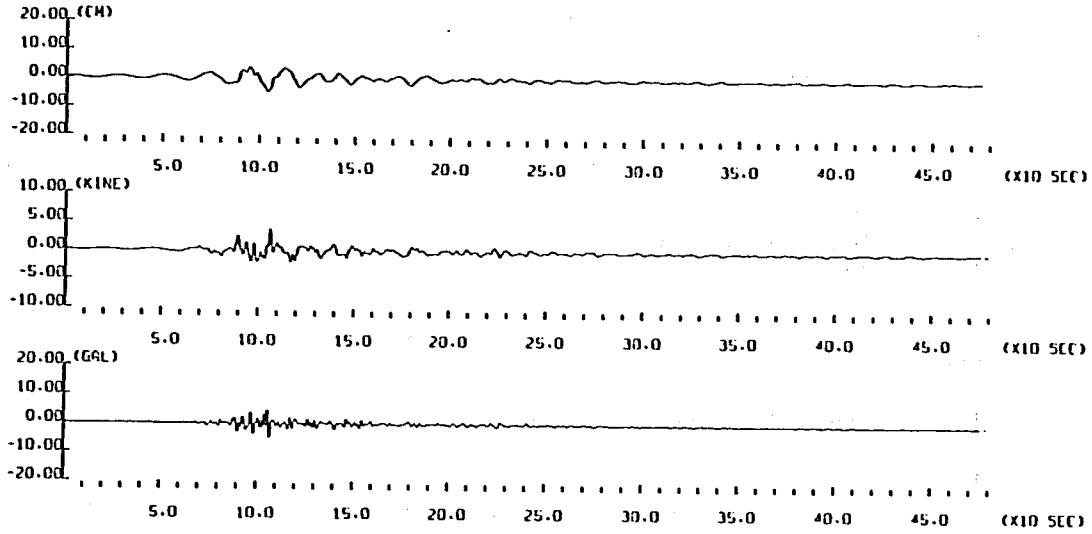


図3－23(1) 室蘭（ＵＤ成分）

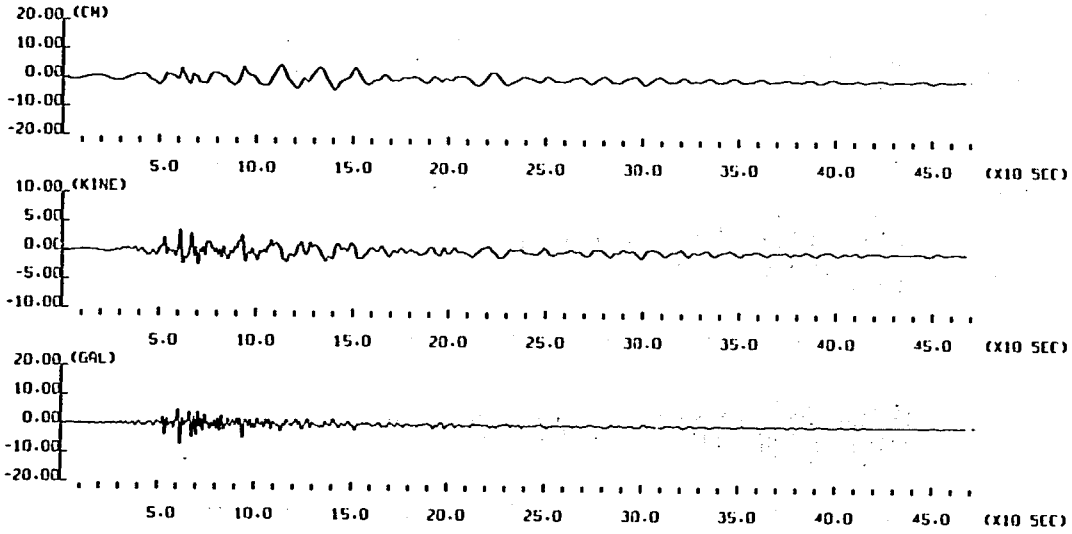


図3－23(2) 室蘭（ＮＳ成分）

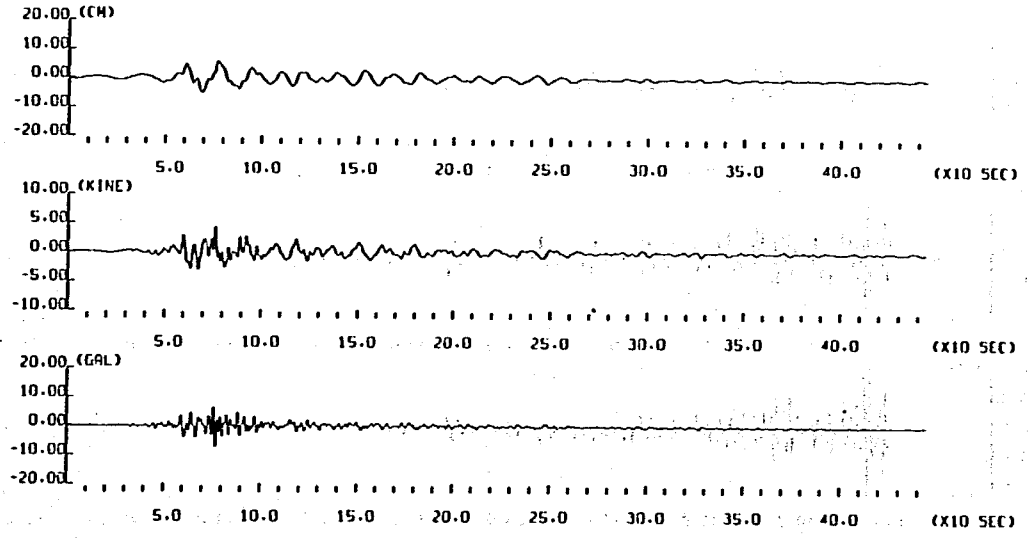


図3－23(3) 室蘭（ＥＷ成分）

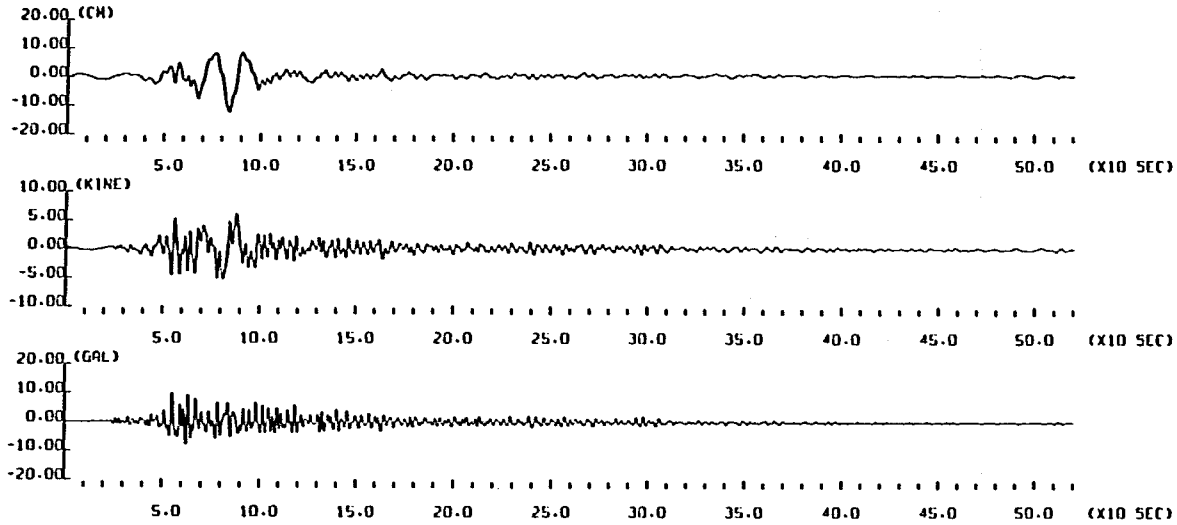


図3－24(1)　秋田（ＵＤ成分）

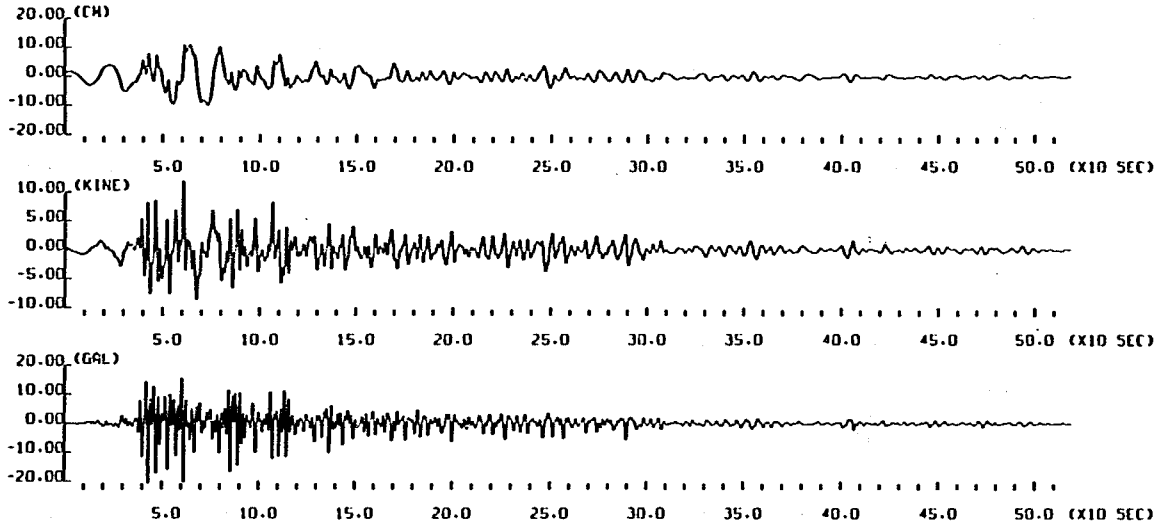


図3－24(2)　秋田（ＥＷ成分）

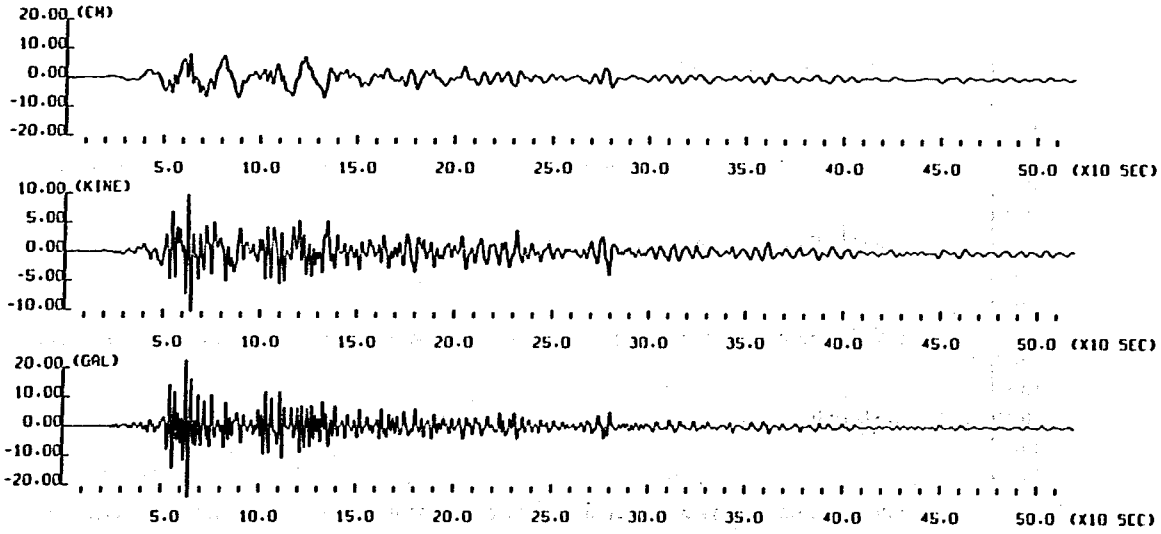


図3－24(3)　秋田（ＮＳ成分）

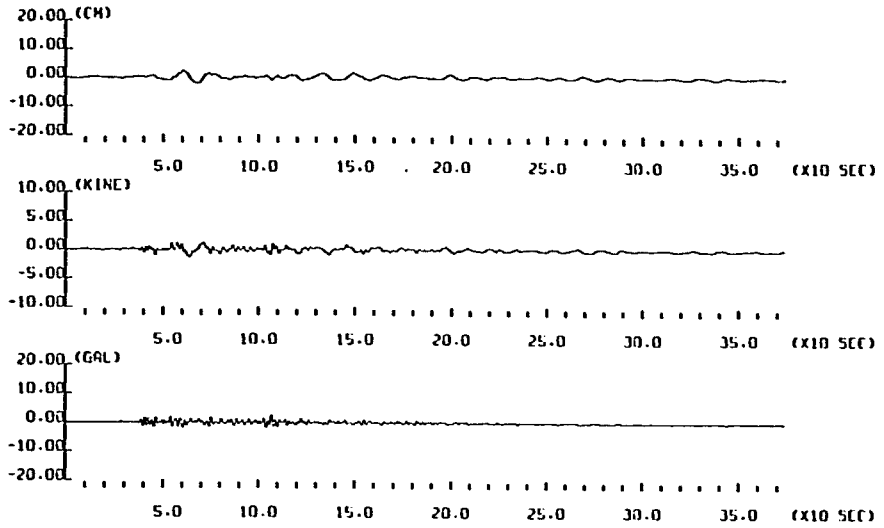


図3－25(1)　石巻（ＵＤ成分）

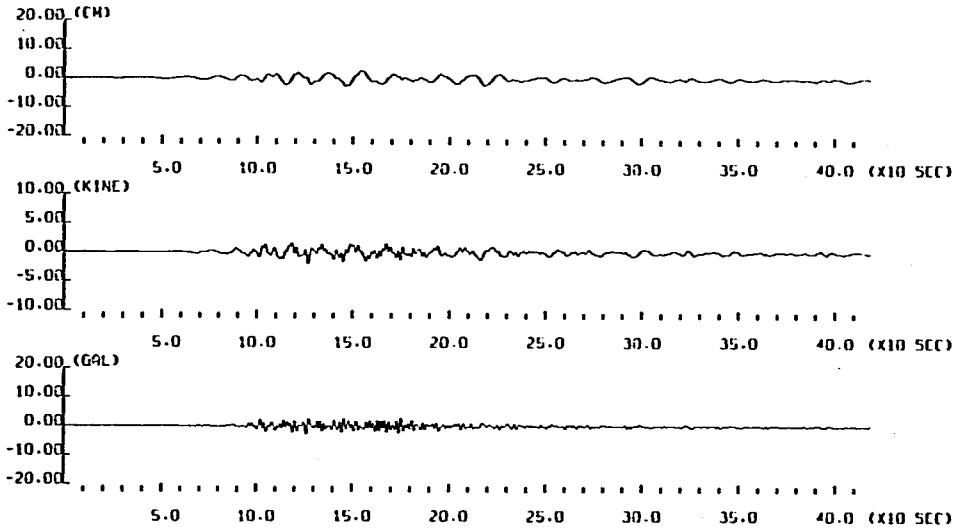


図3－25(2)　石巻（ＥＷ成分）

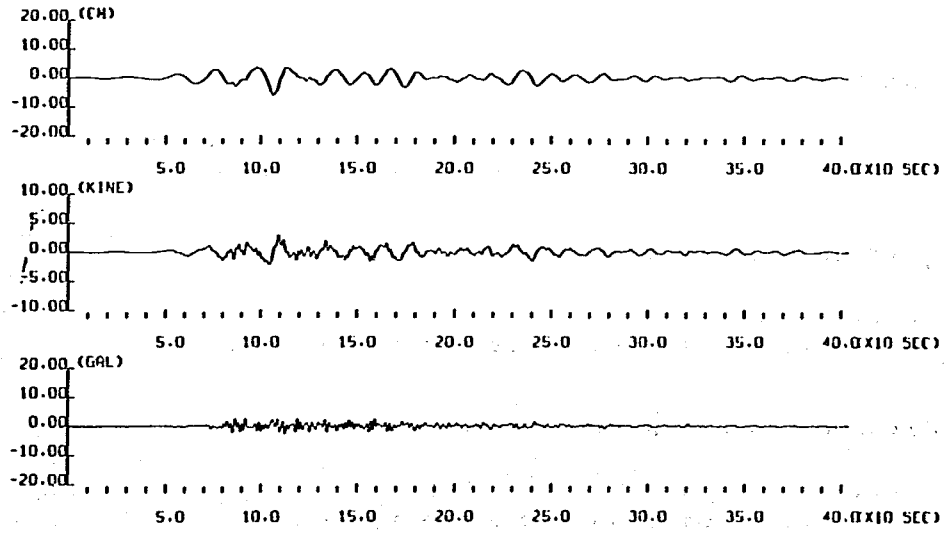


図3－25(3)　石巻（ＮＳ成分）

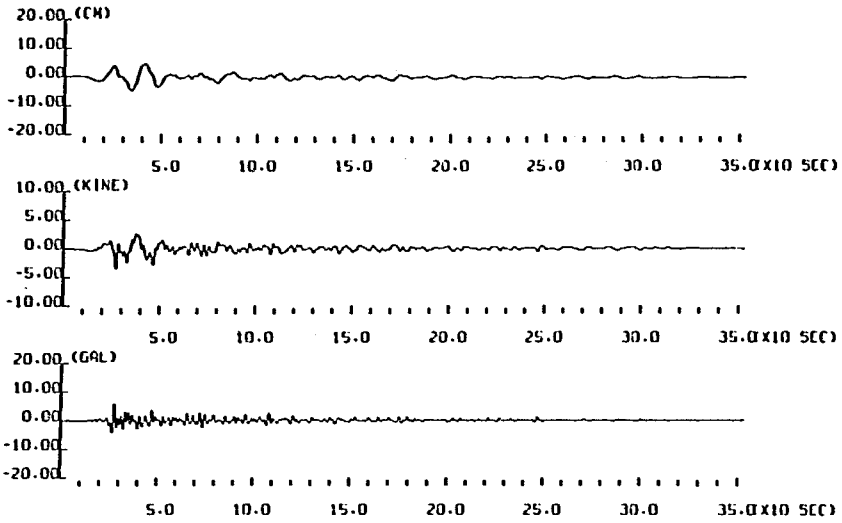


図３－26(1)　宮古（ＵＤ成分）

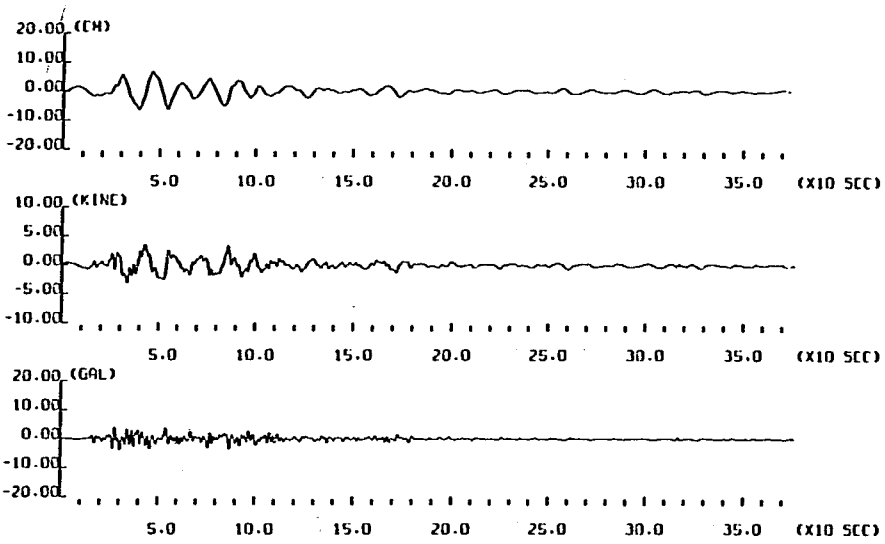


図３－26(2)　宮古（ＮＳ成分）

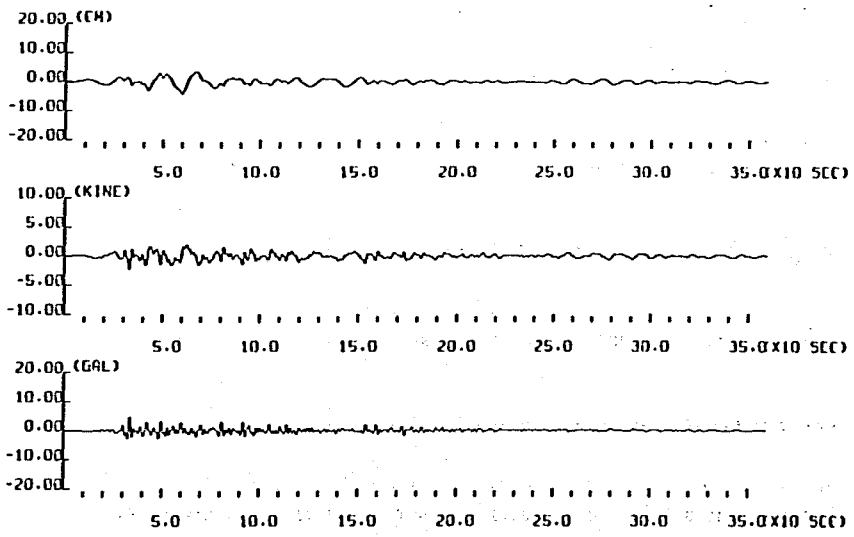


図３－26(3)　宮古（ＥＷ成分）

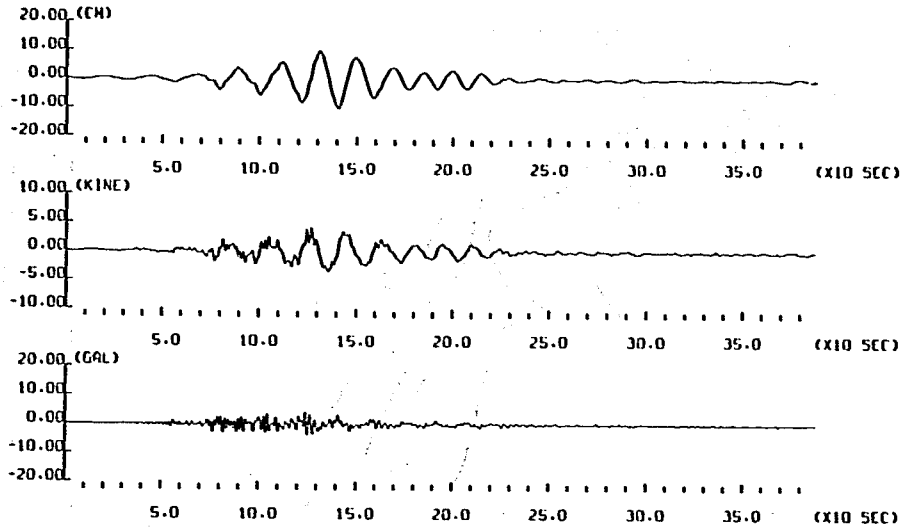


図３－27(1)　留萌（ＵＤ成分）

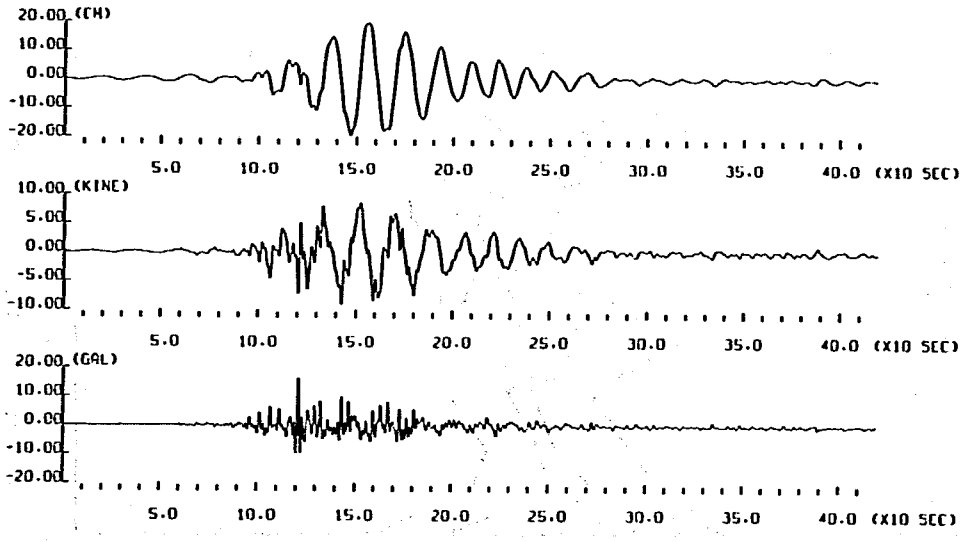


図３－27(2)　留萌（ＮＳ成分）

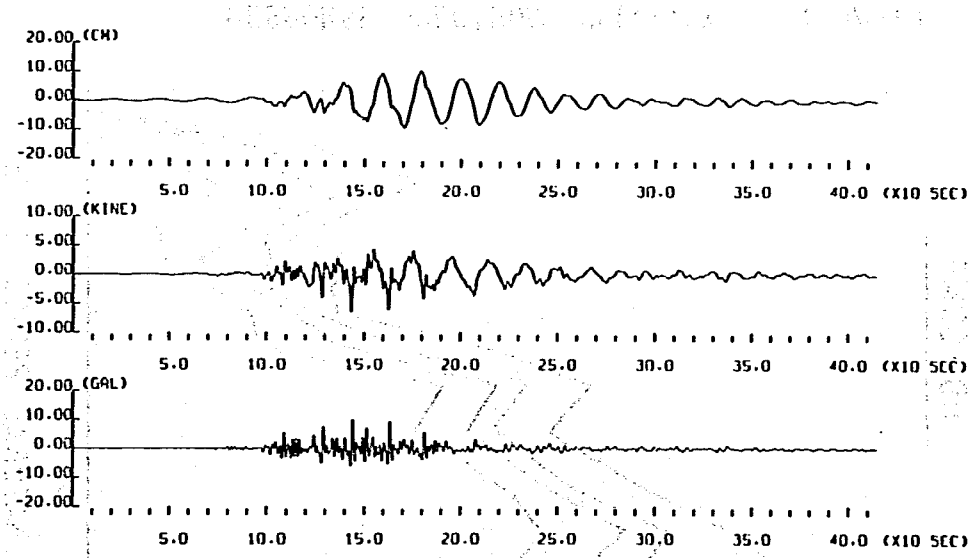


図３－27(3)　留萌（ＥＷ成分）

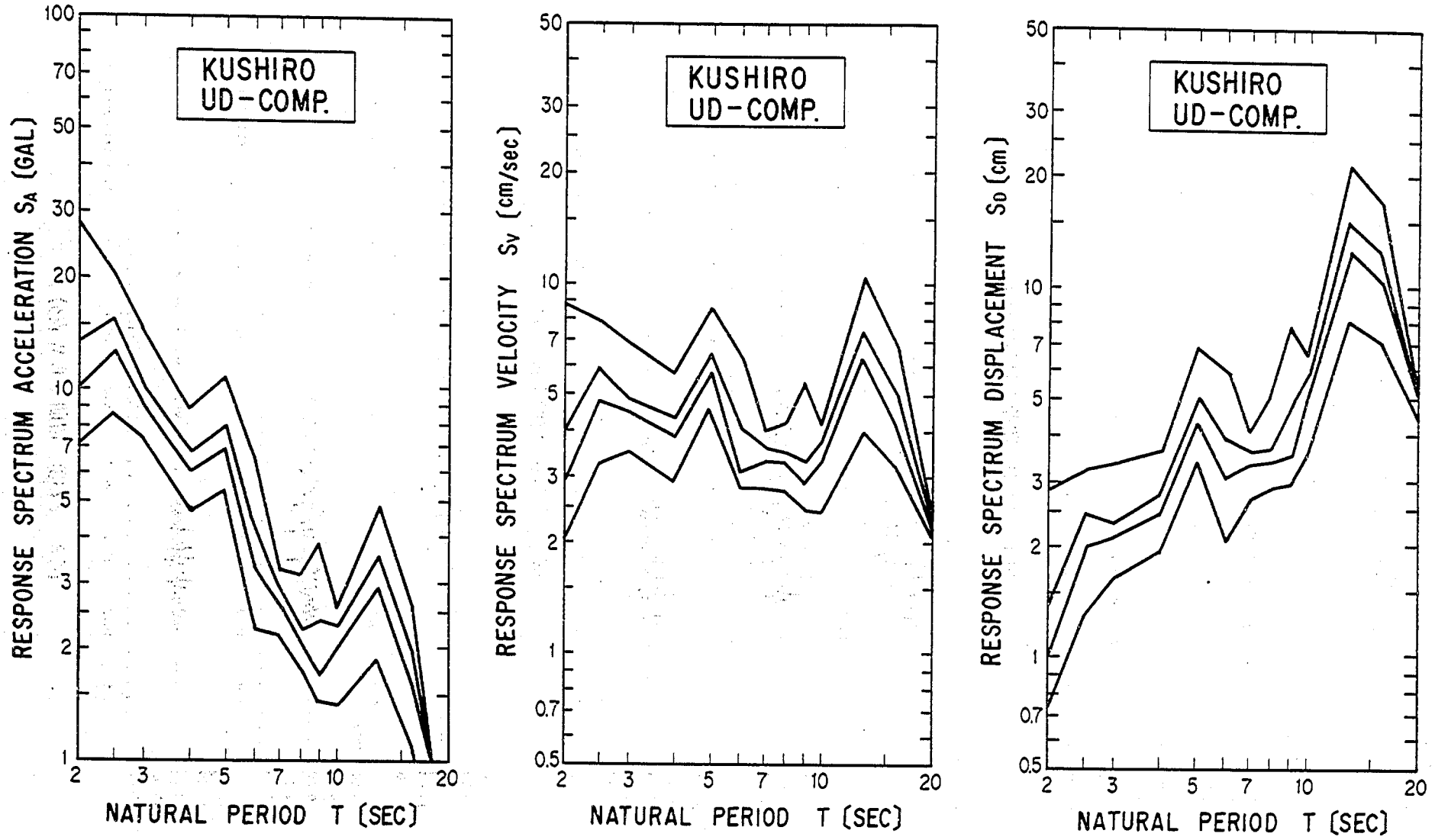


図3－28(1)　応答スペクトル（釧路・UD成分）

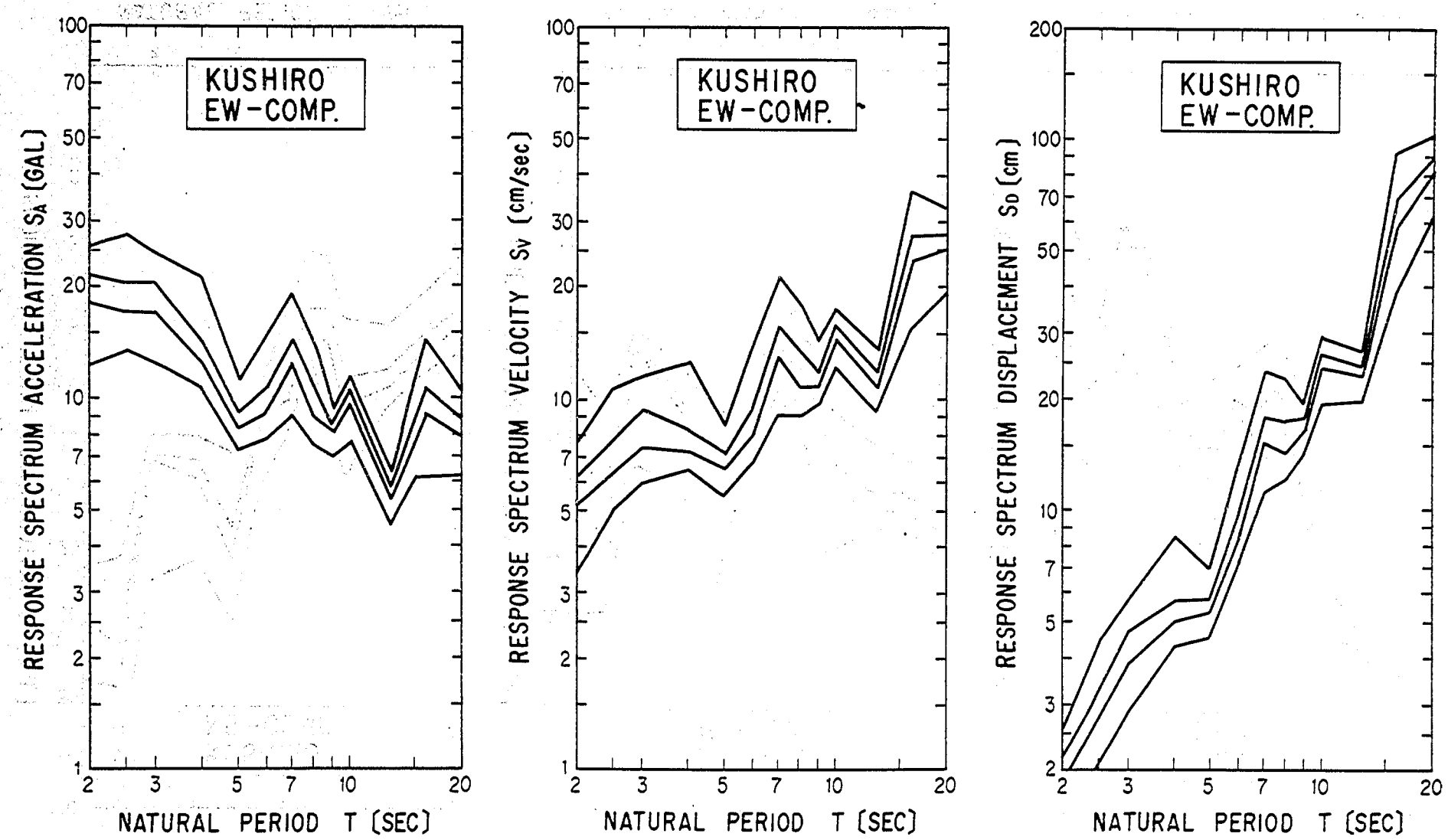


図3－28(2)　応答スペクトル（釧路・EW成分）

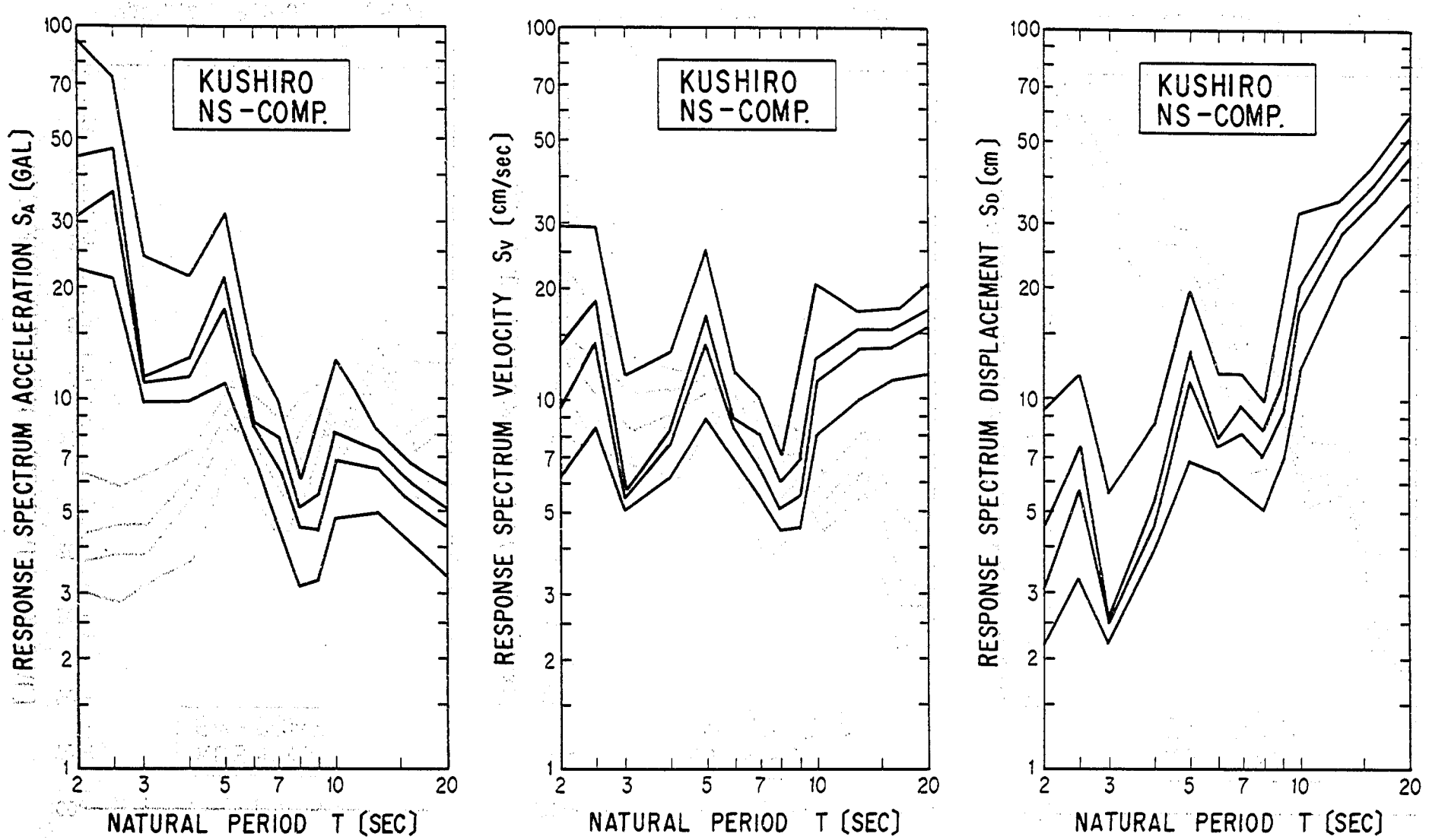


図３－28(3)　応答スペクトル（釧路・ＮＳ成分）

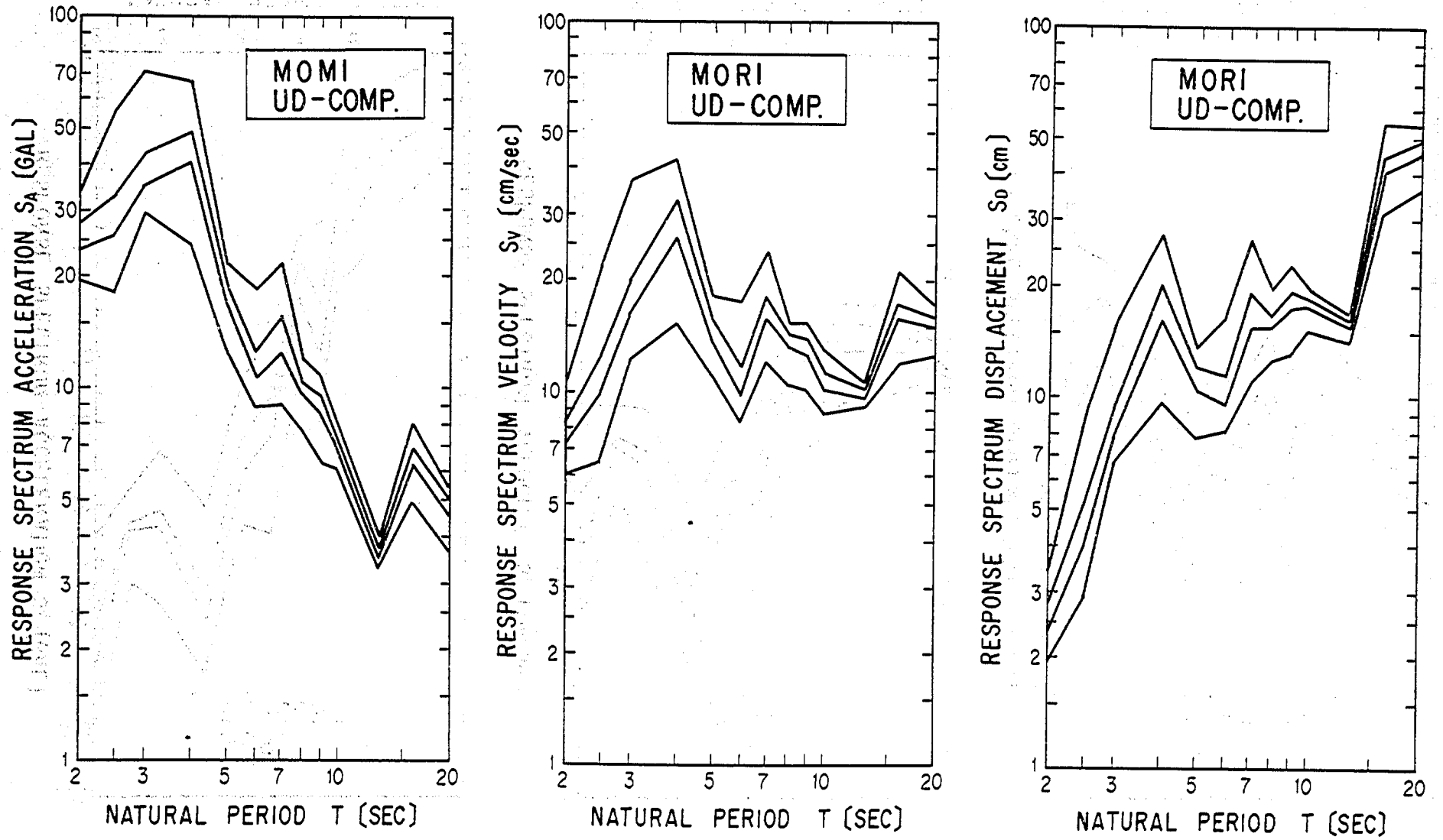


図3－29(1) 応答スペクトル（森・UD成分）

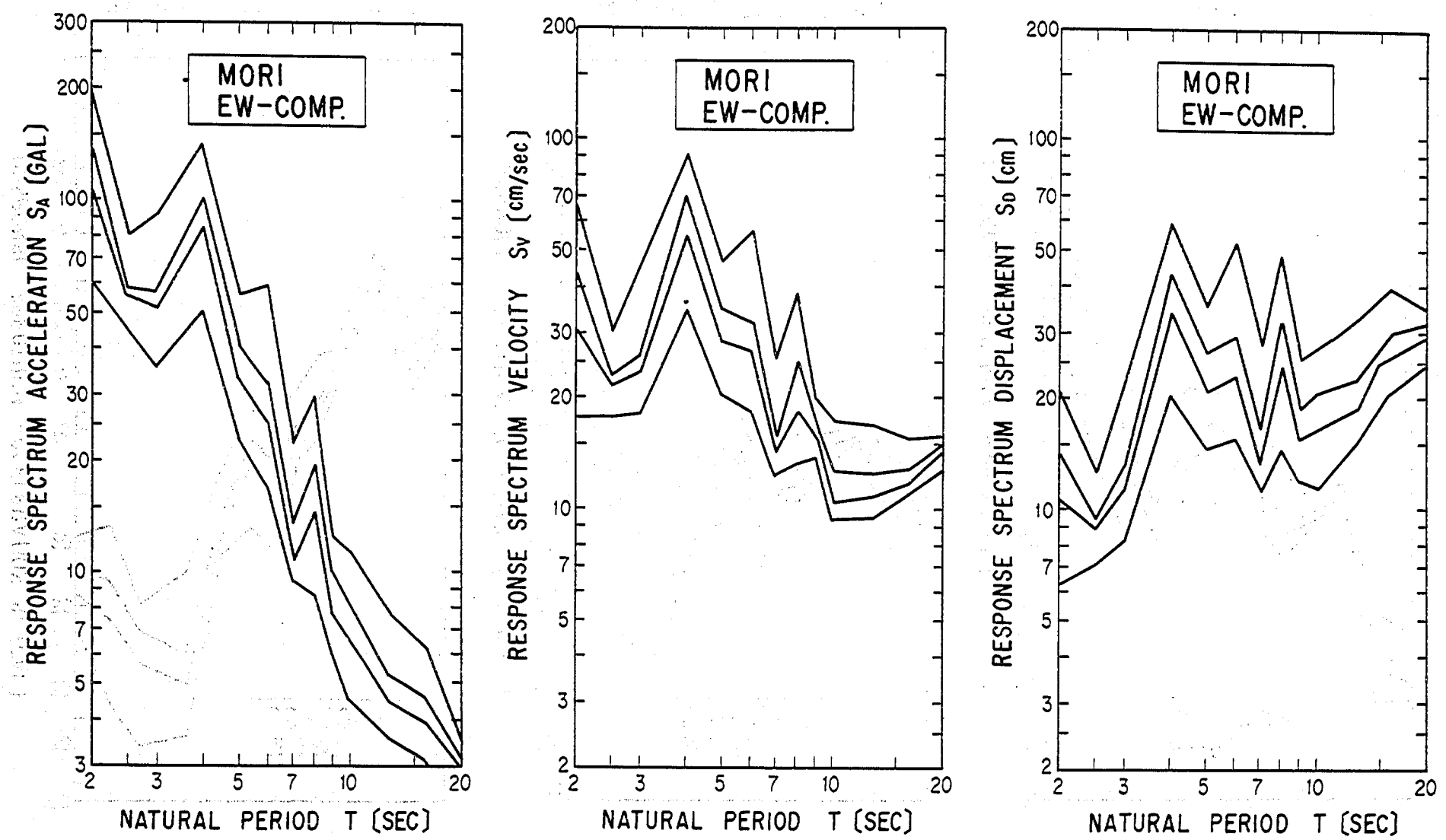


図3－29(2)　応答スペクトル（森・EW成分）

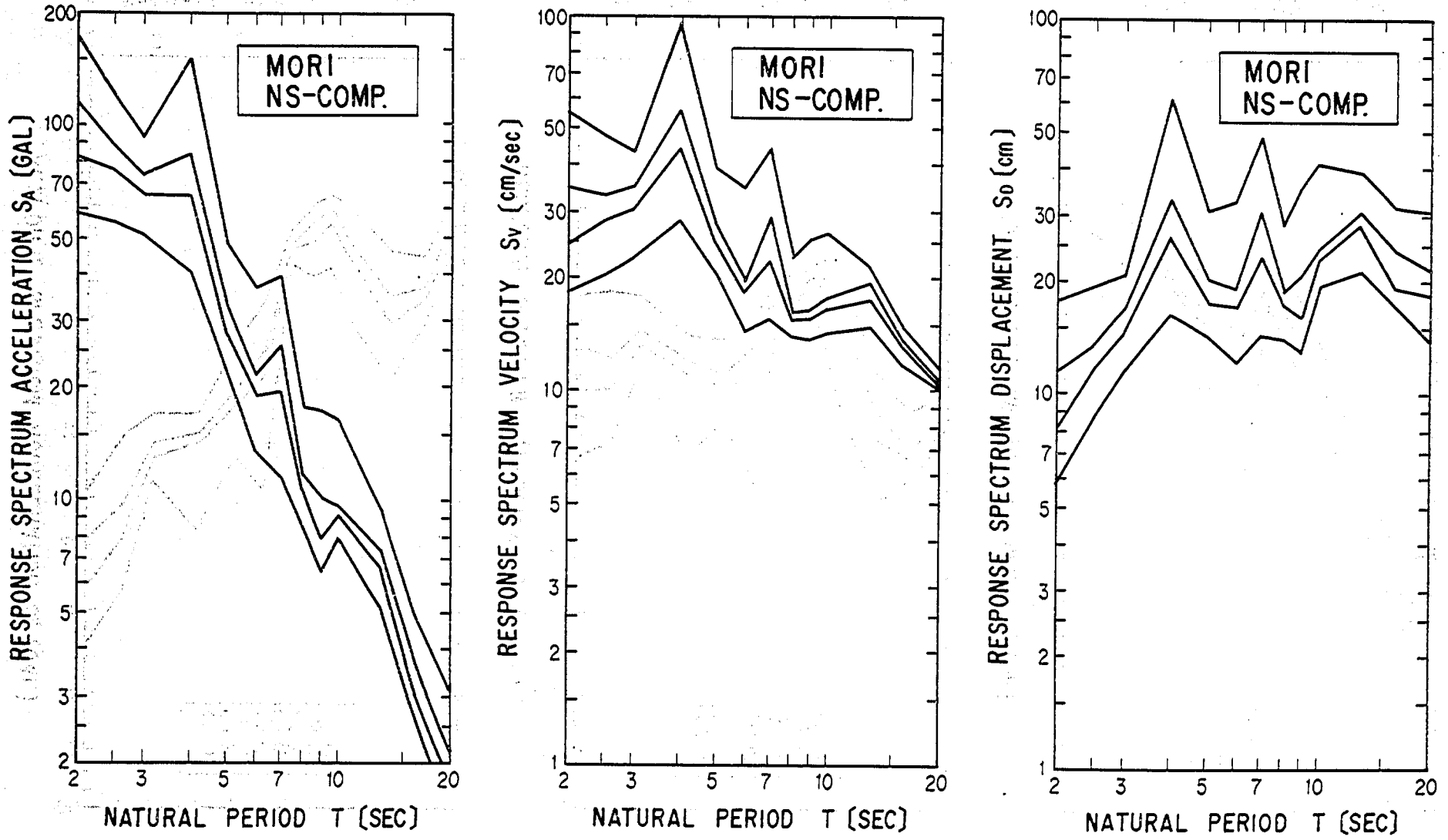


図3－29(3) 応答スペクトル（森・NS成分）

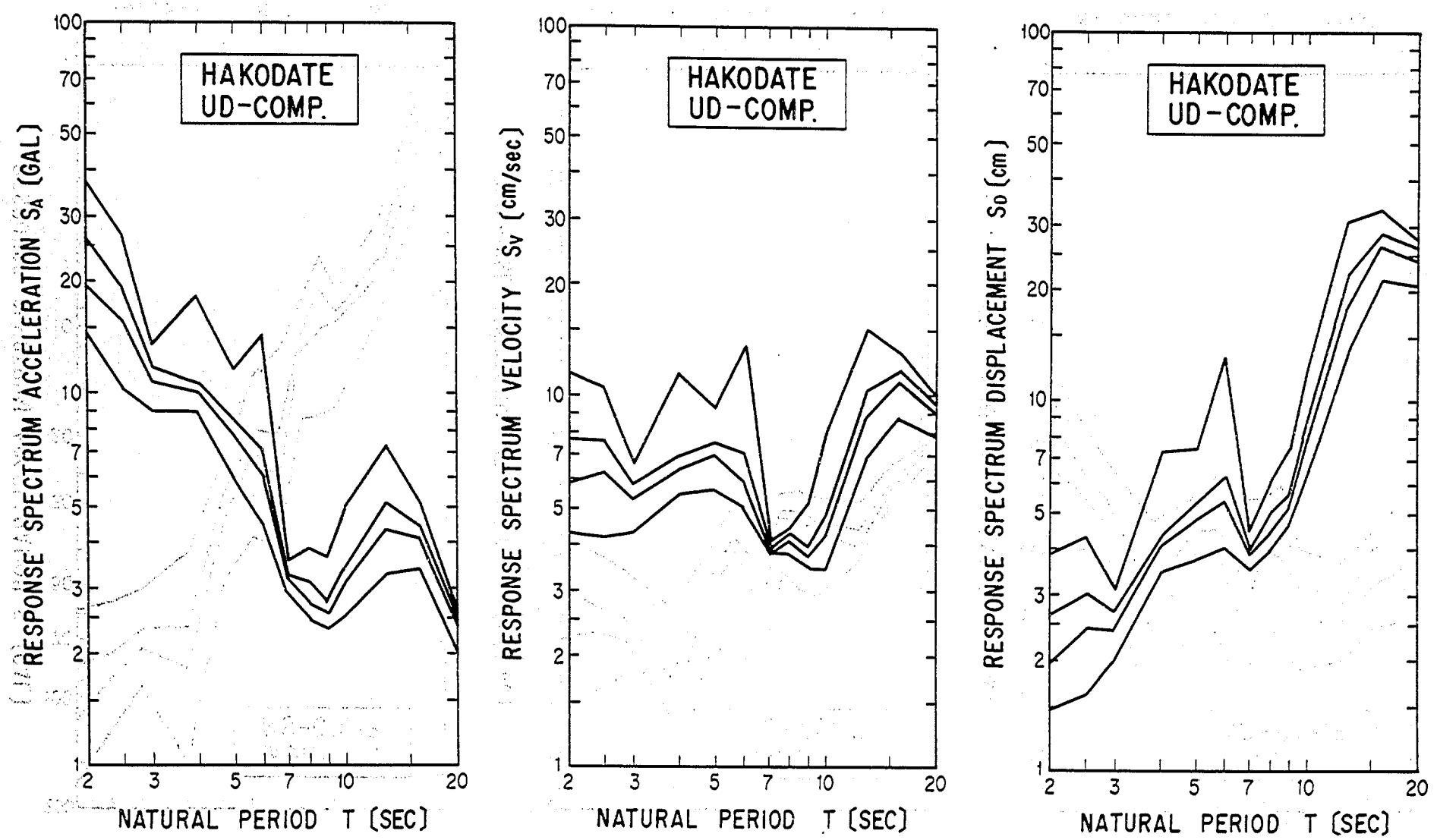


図３－30(1)　応答スペクトル（函館・UD成分）

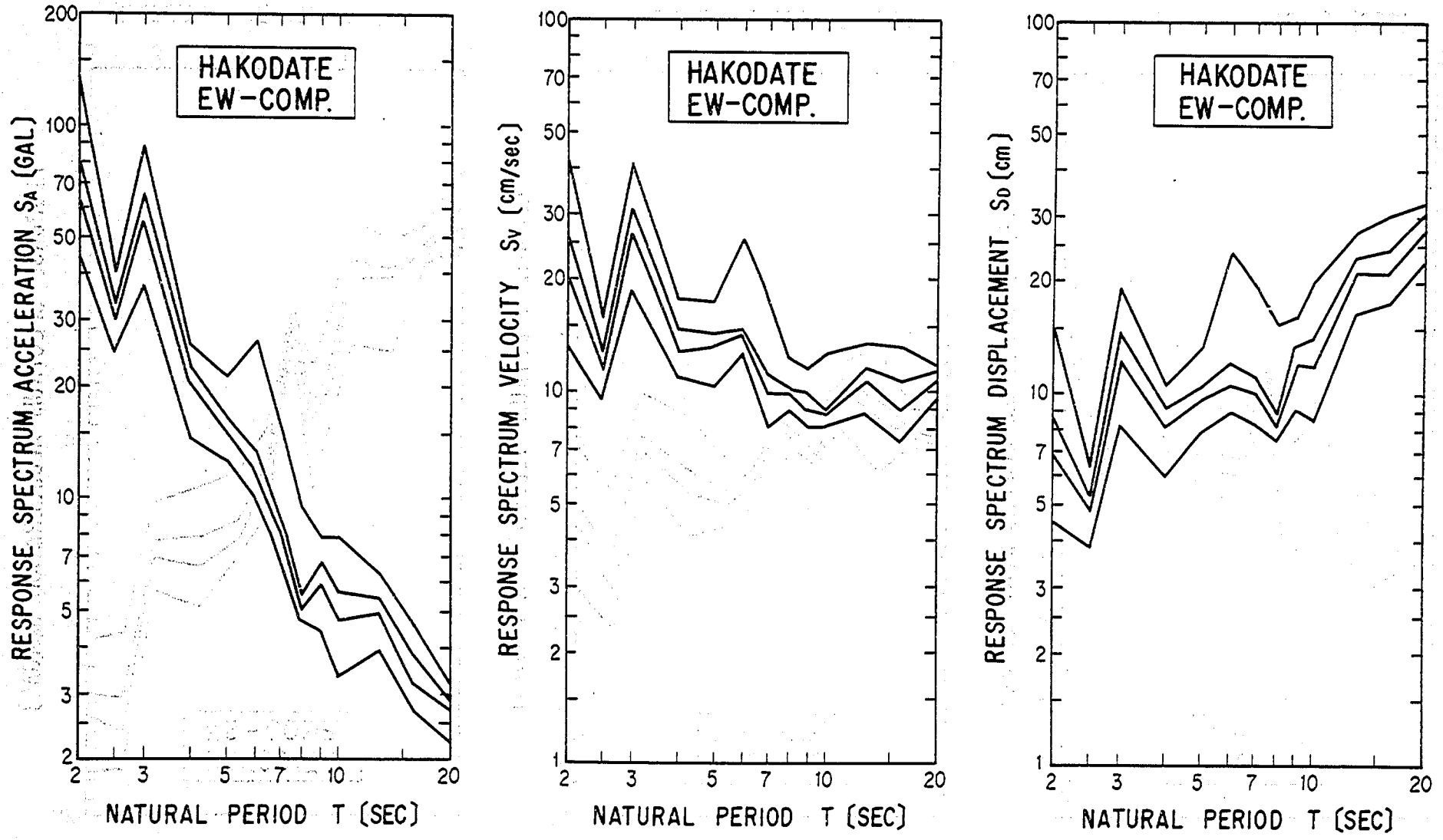


図3－30(2)　応答スペクトル（函館・EW成分）

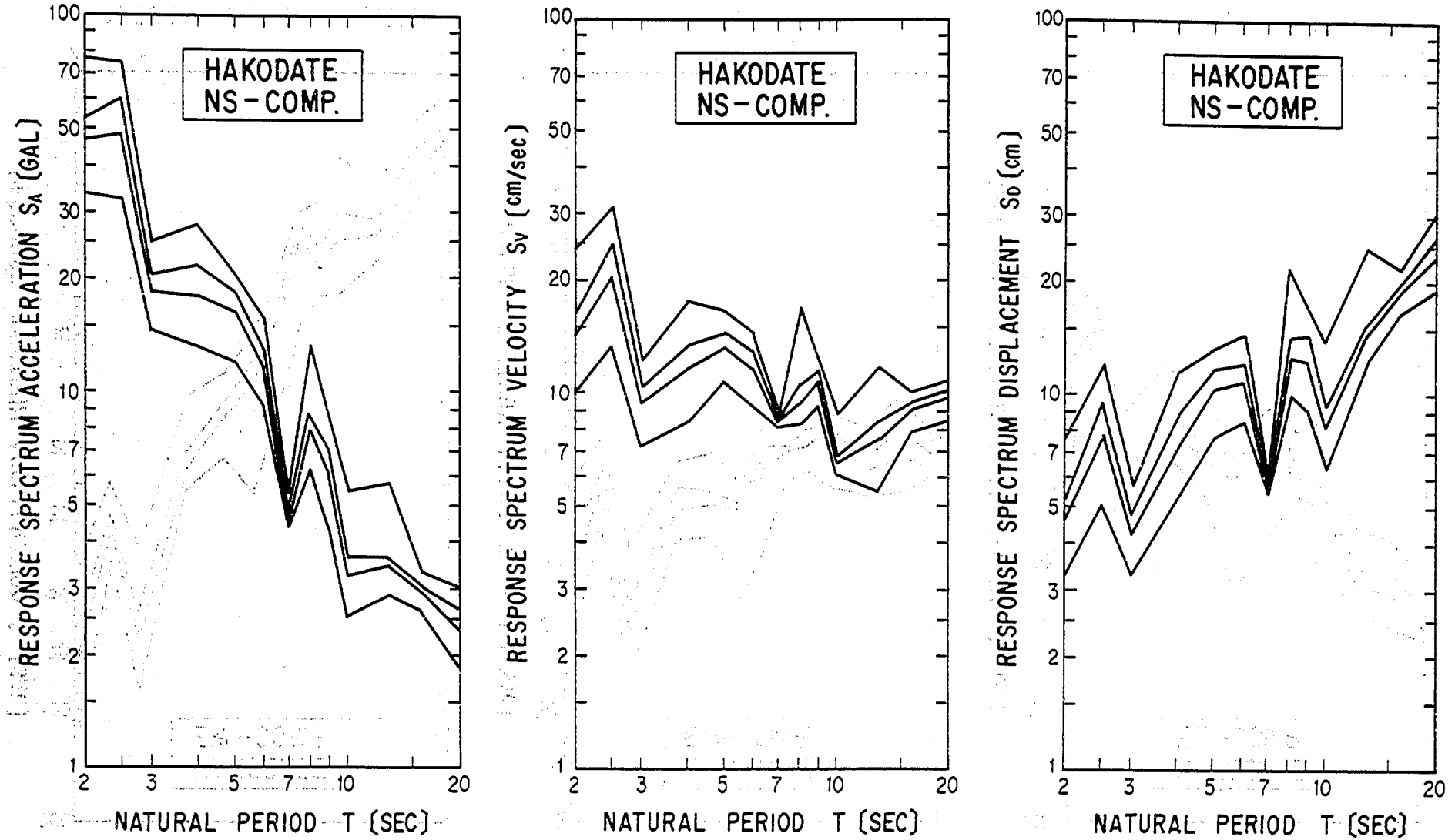


図３－30(3)　応答スペクトル（函館・ＮＳ成分）

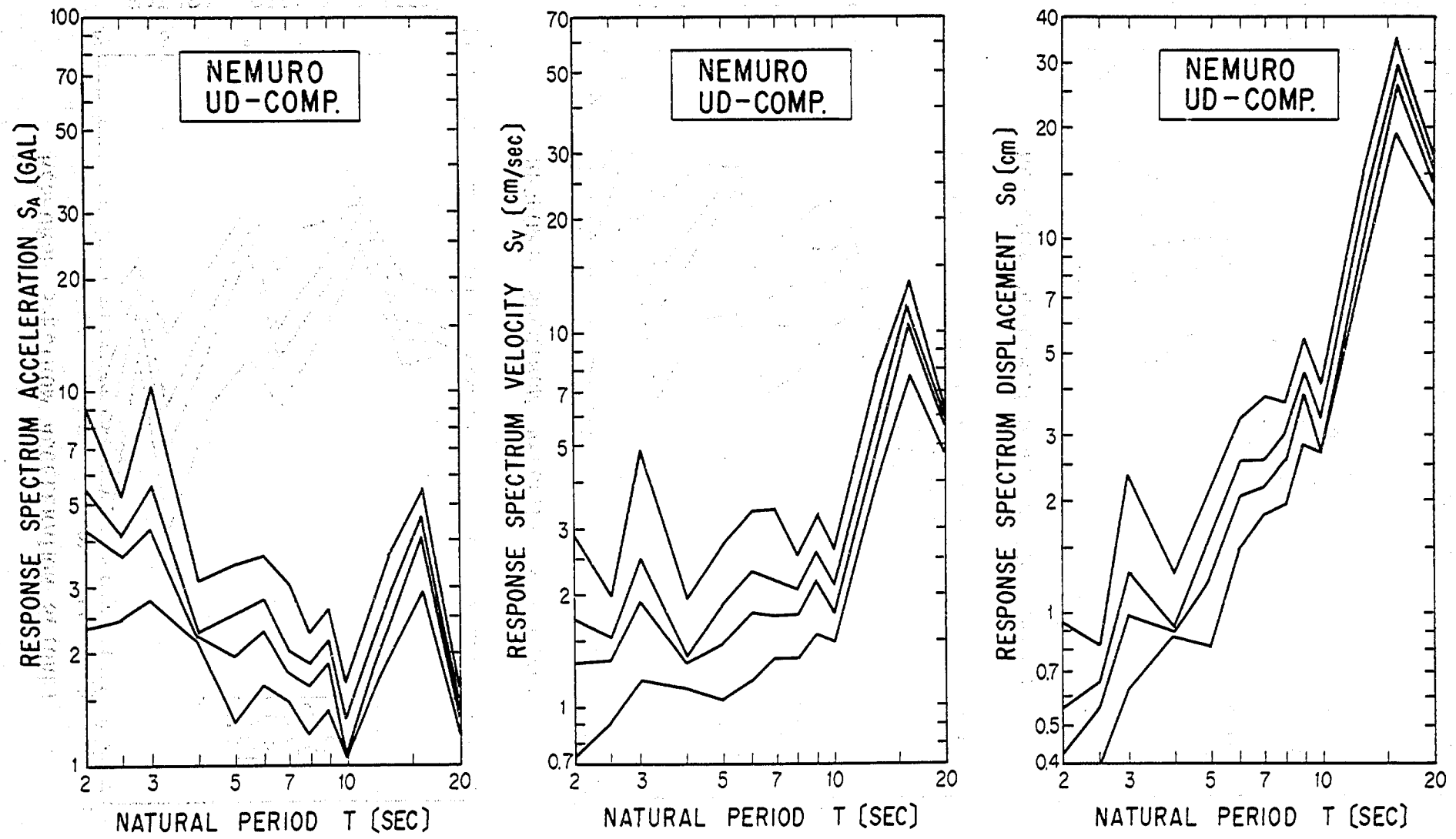


図3－31(1) 応答スペクトル（根室・UD成分）

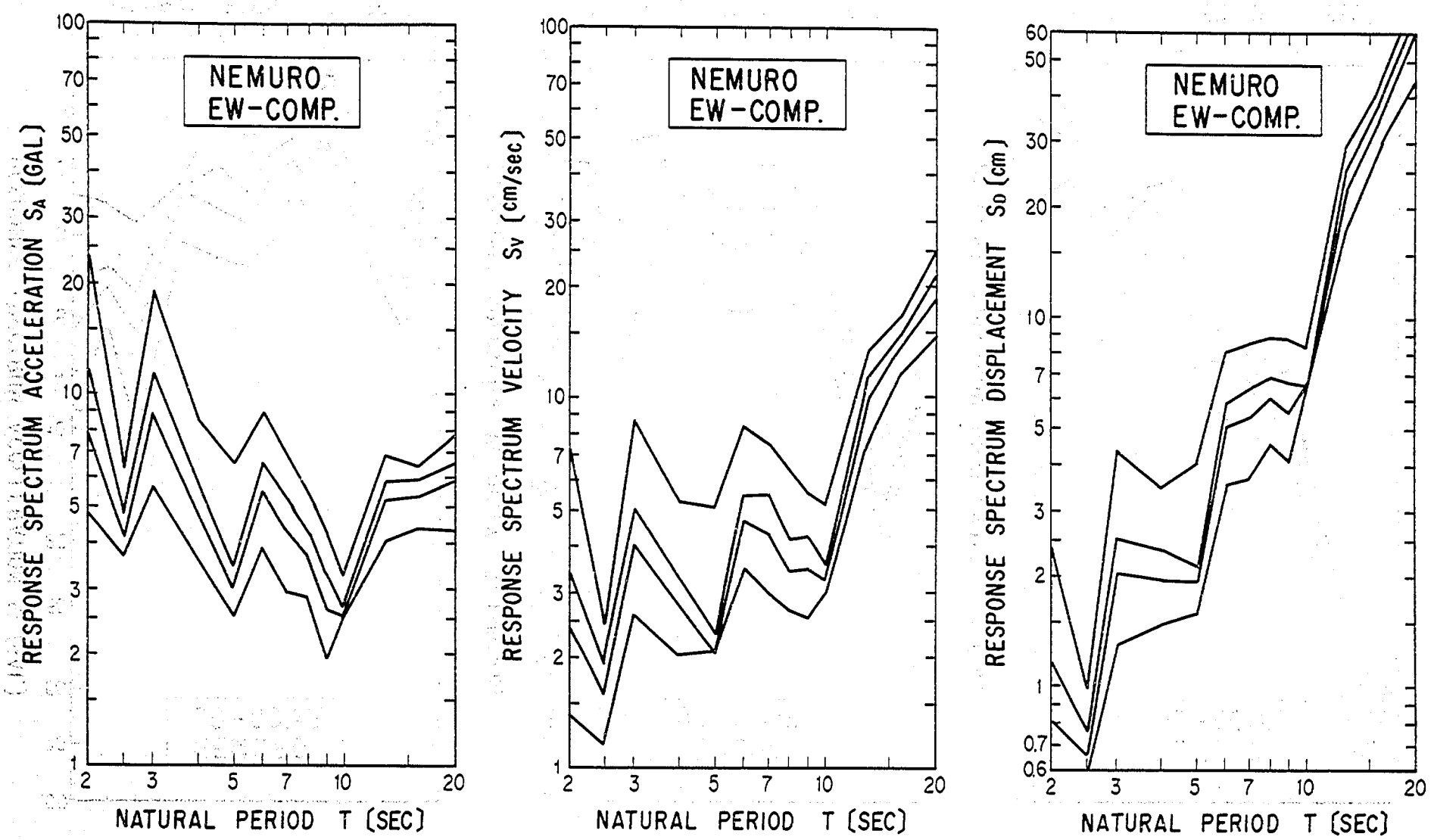


図3－31(2)　応答スペクトル（根室・EW成分）

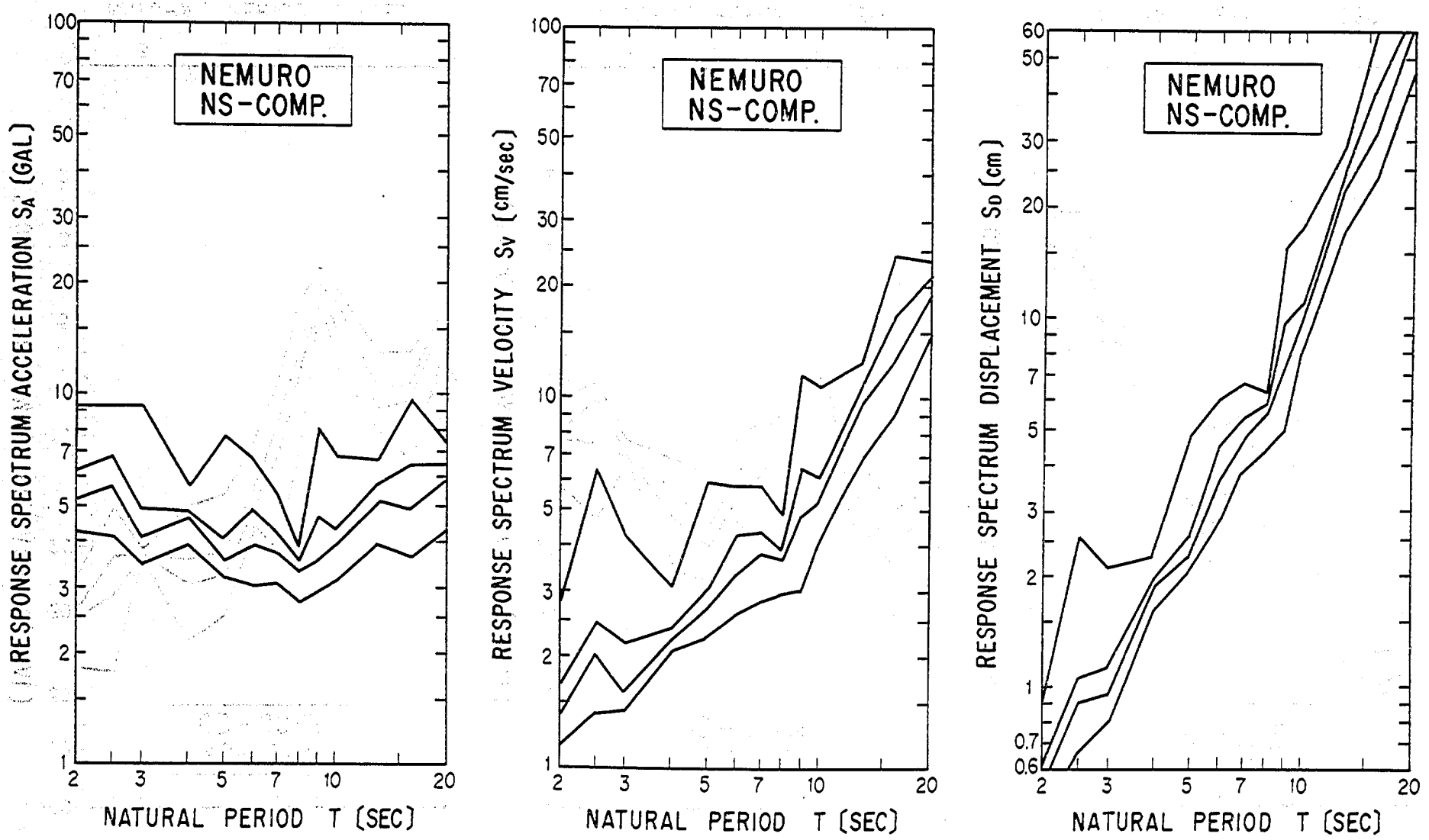


図3－31(3) 応答スペクトル（根室・NS成分）

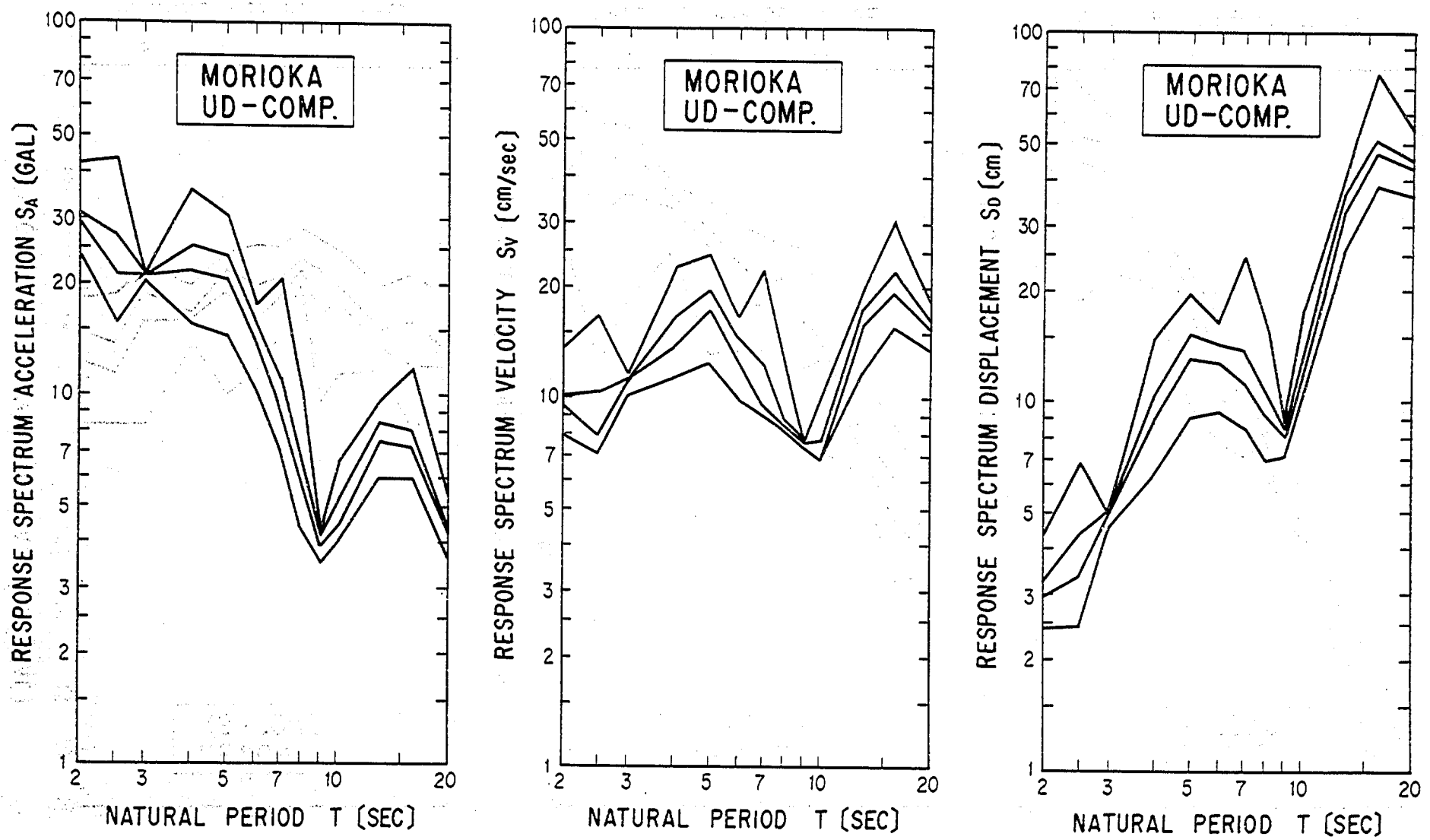


図3－32(1) 応答スペクトル（盛岡・UD成分）

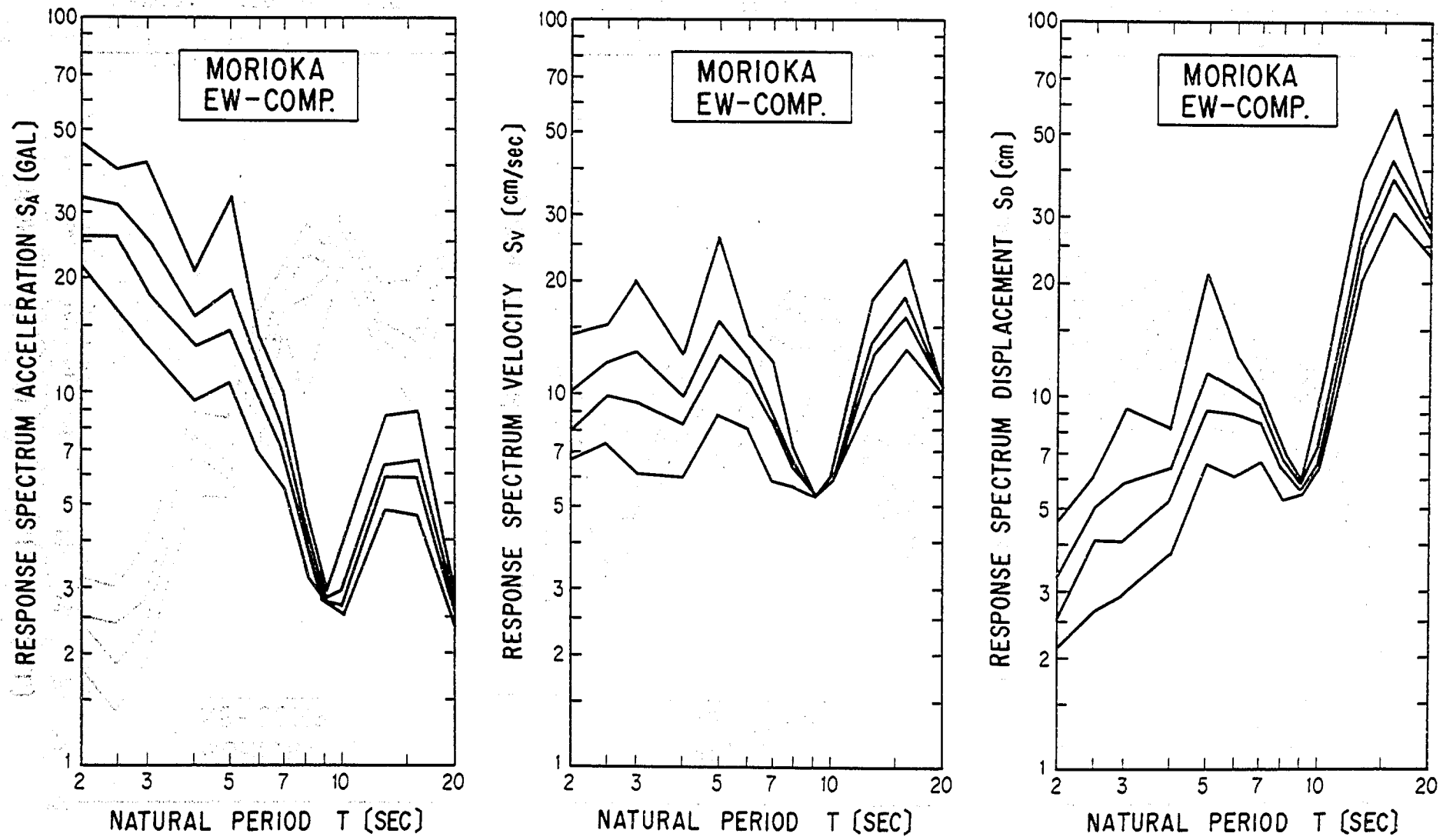


図3－32(2)　応答スペクトル（盛岡・EW成分）

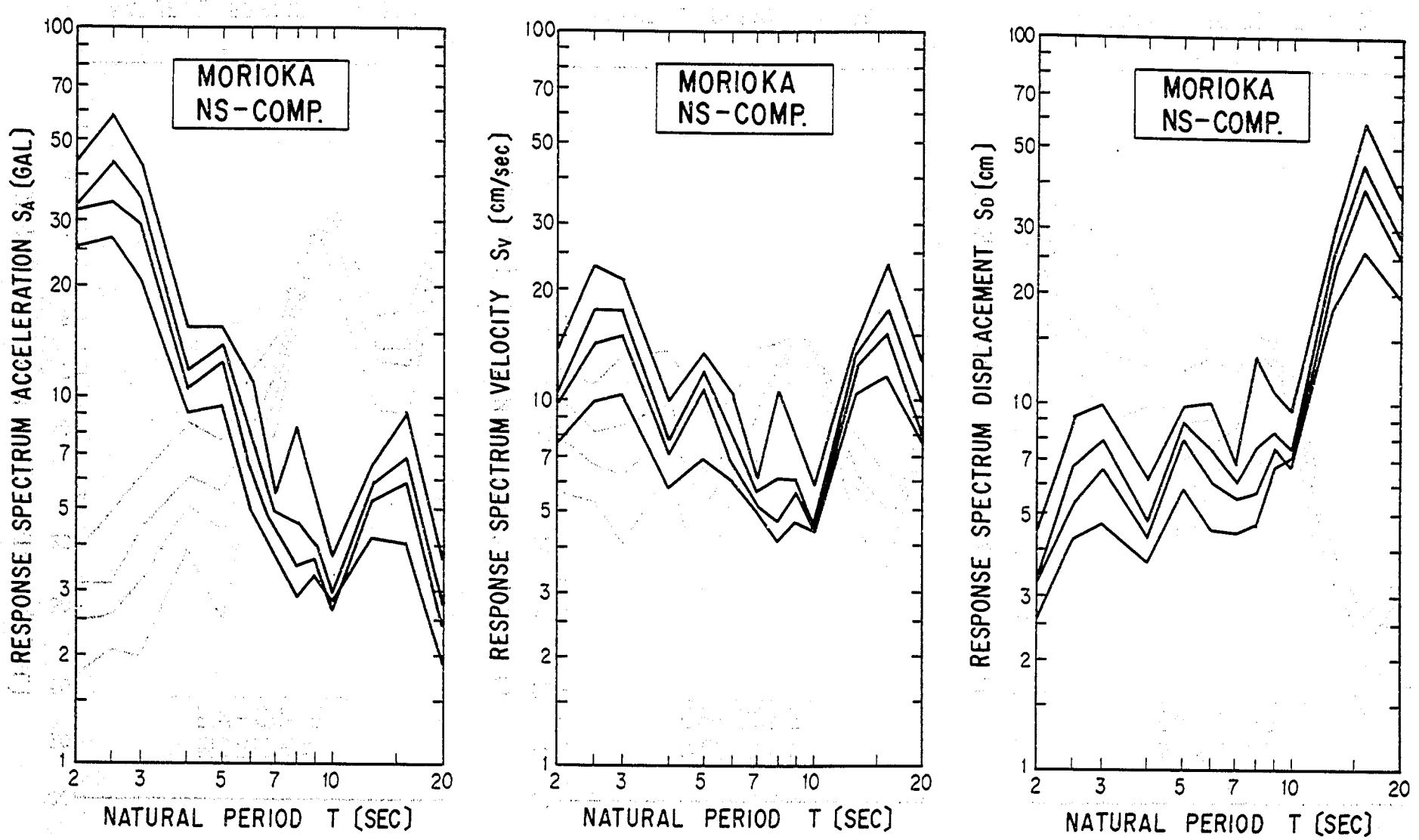


図3－32(3)　応答スペクトル（盛岡・NS成分）

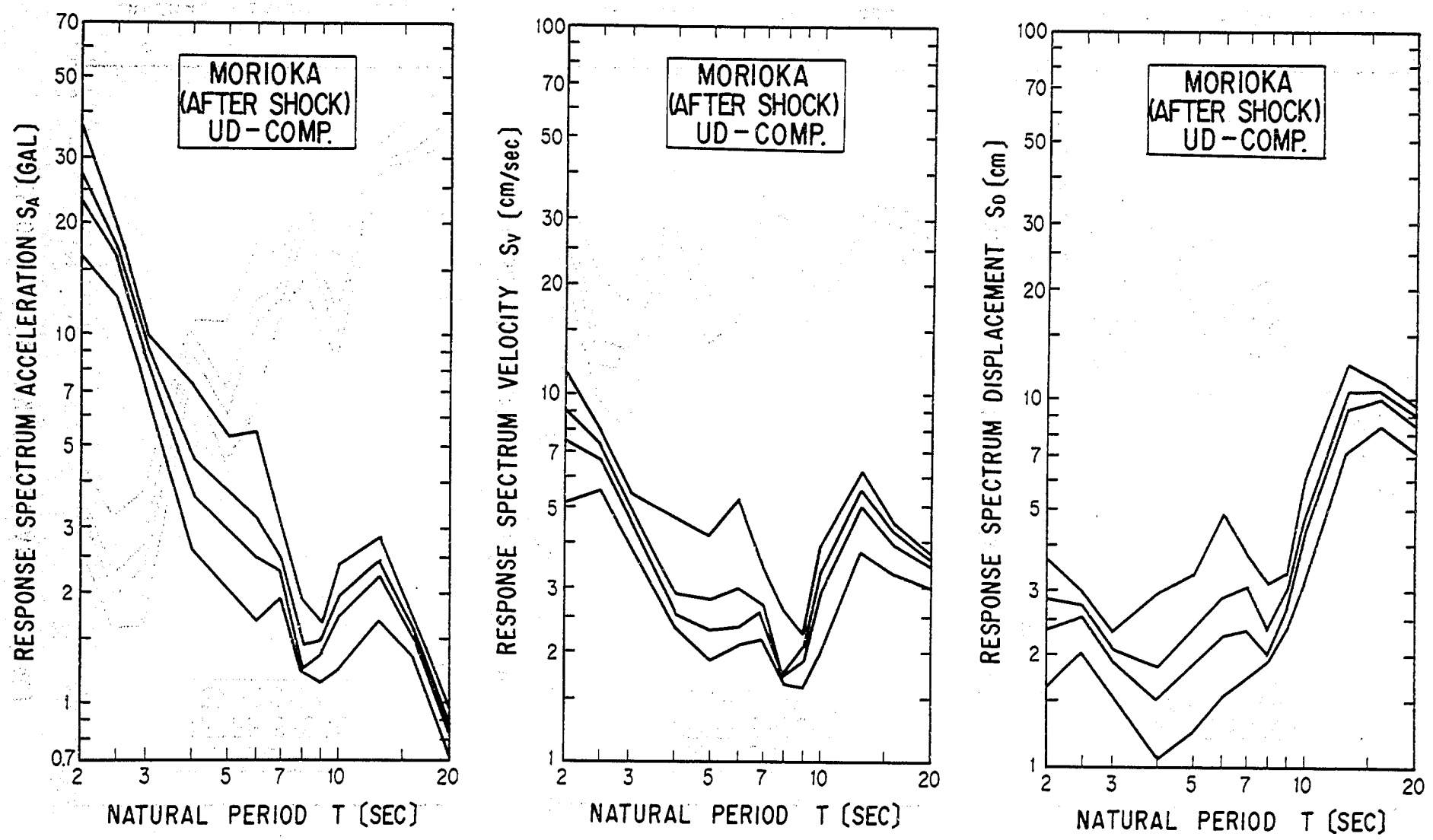


図3－33(1) 応答スペクトル（盛岡（余震），UD成分）

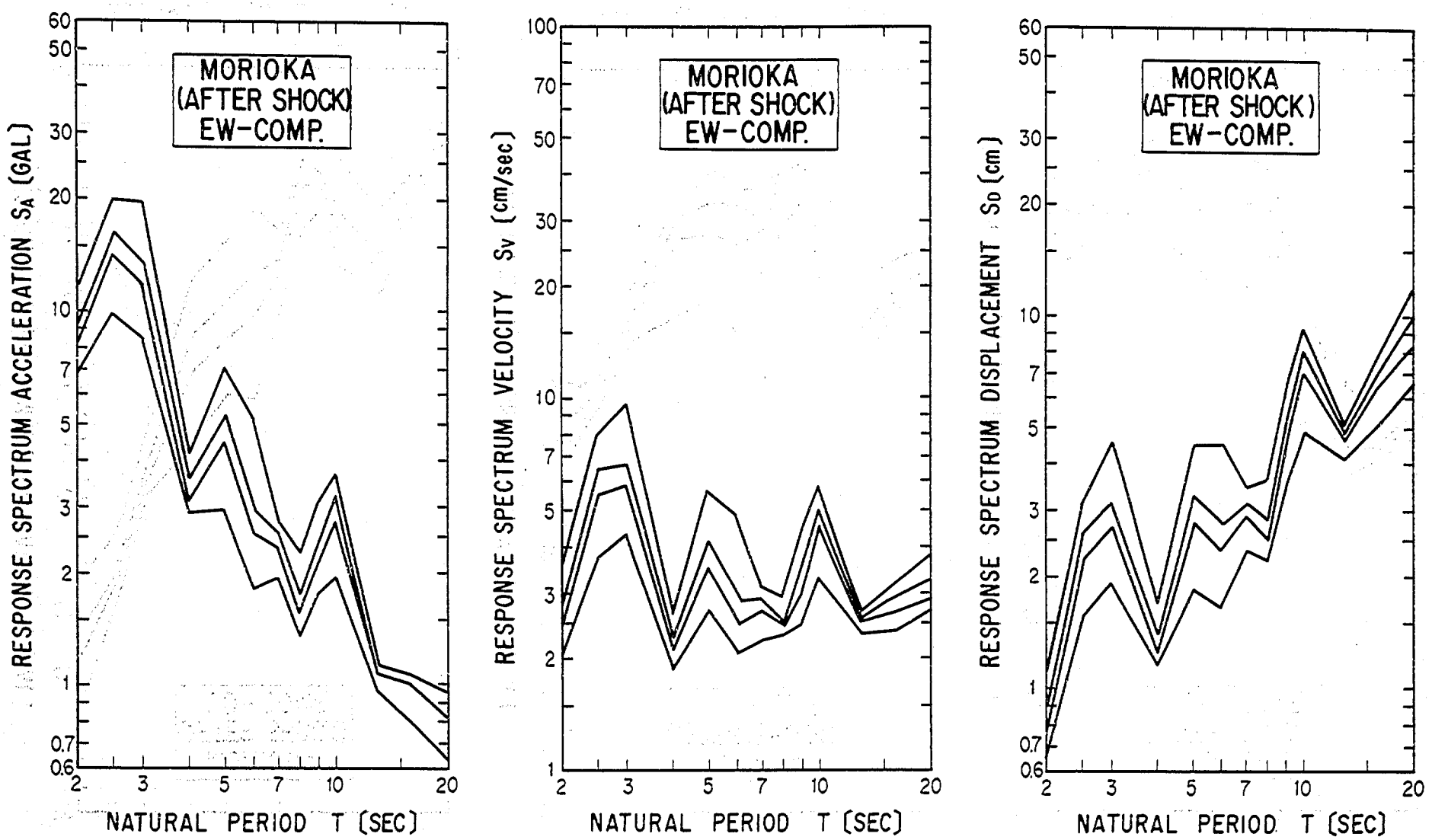


図3－33(2) 応答スペクトル（盛岡（余震），EW成分）

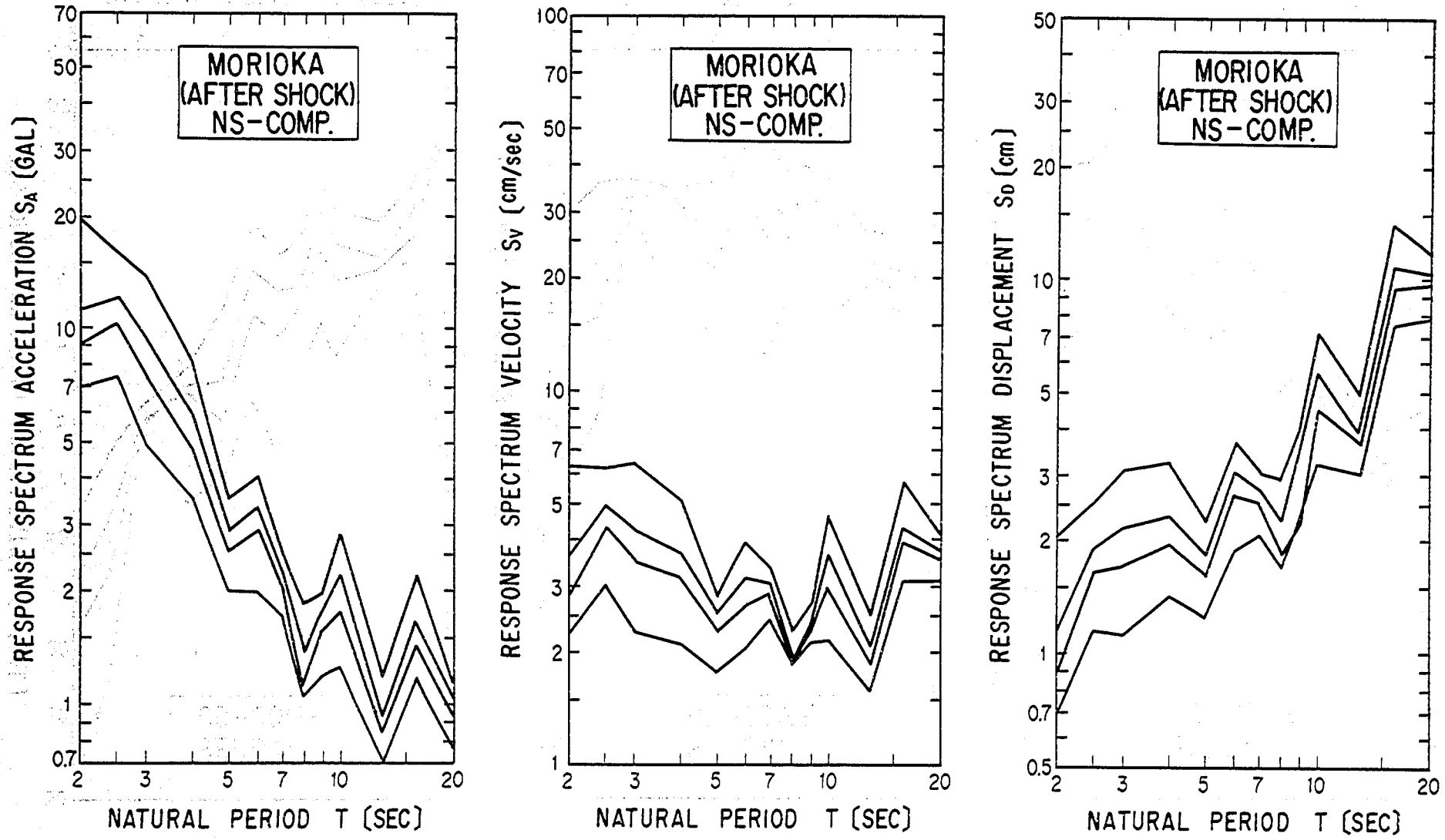


図3－33(3) 応答スペクトル（盛岡（余震），NS成分）

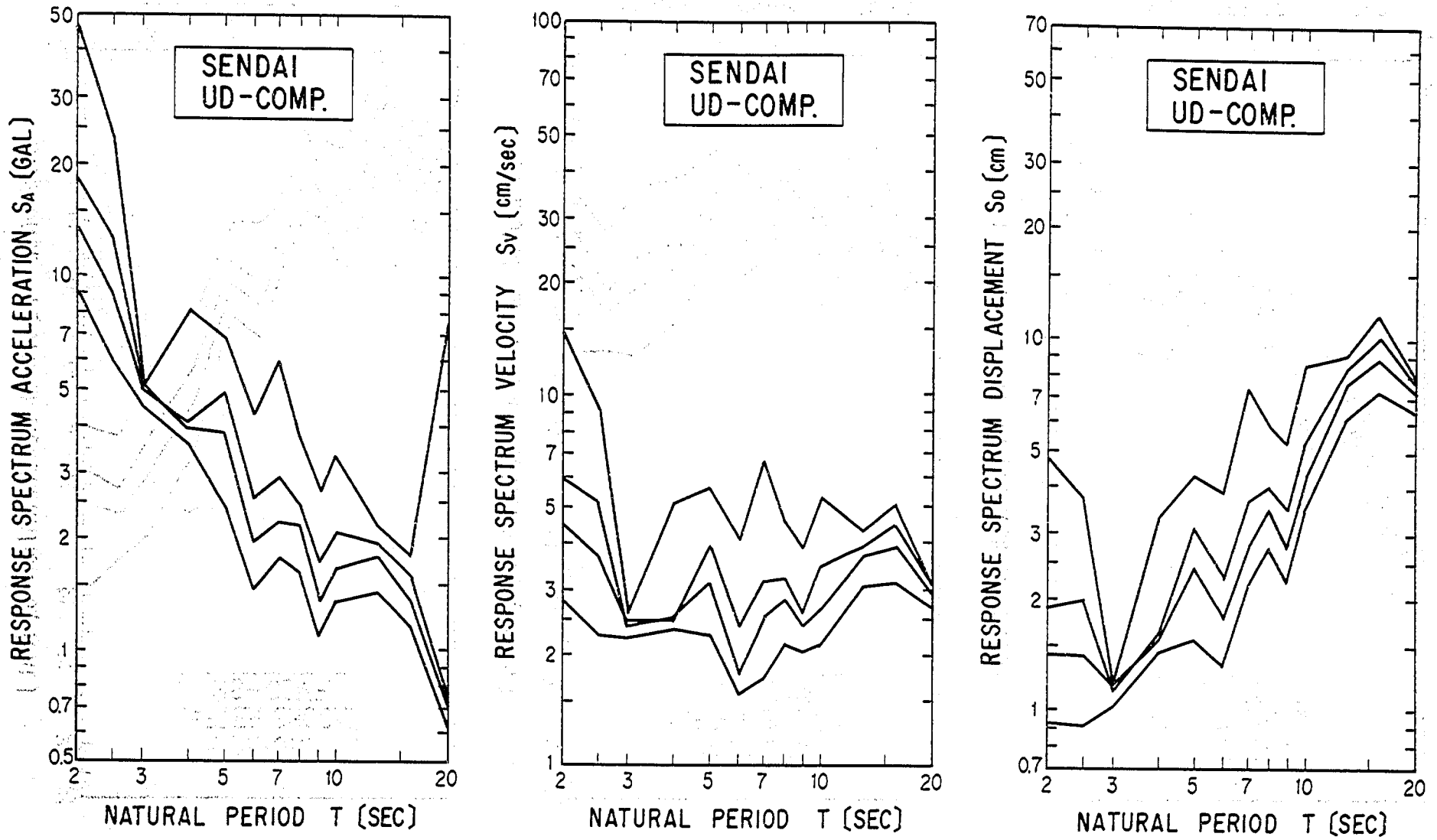


図3－34(1)　応答スペクトル（仙台・UD成分）

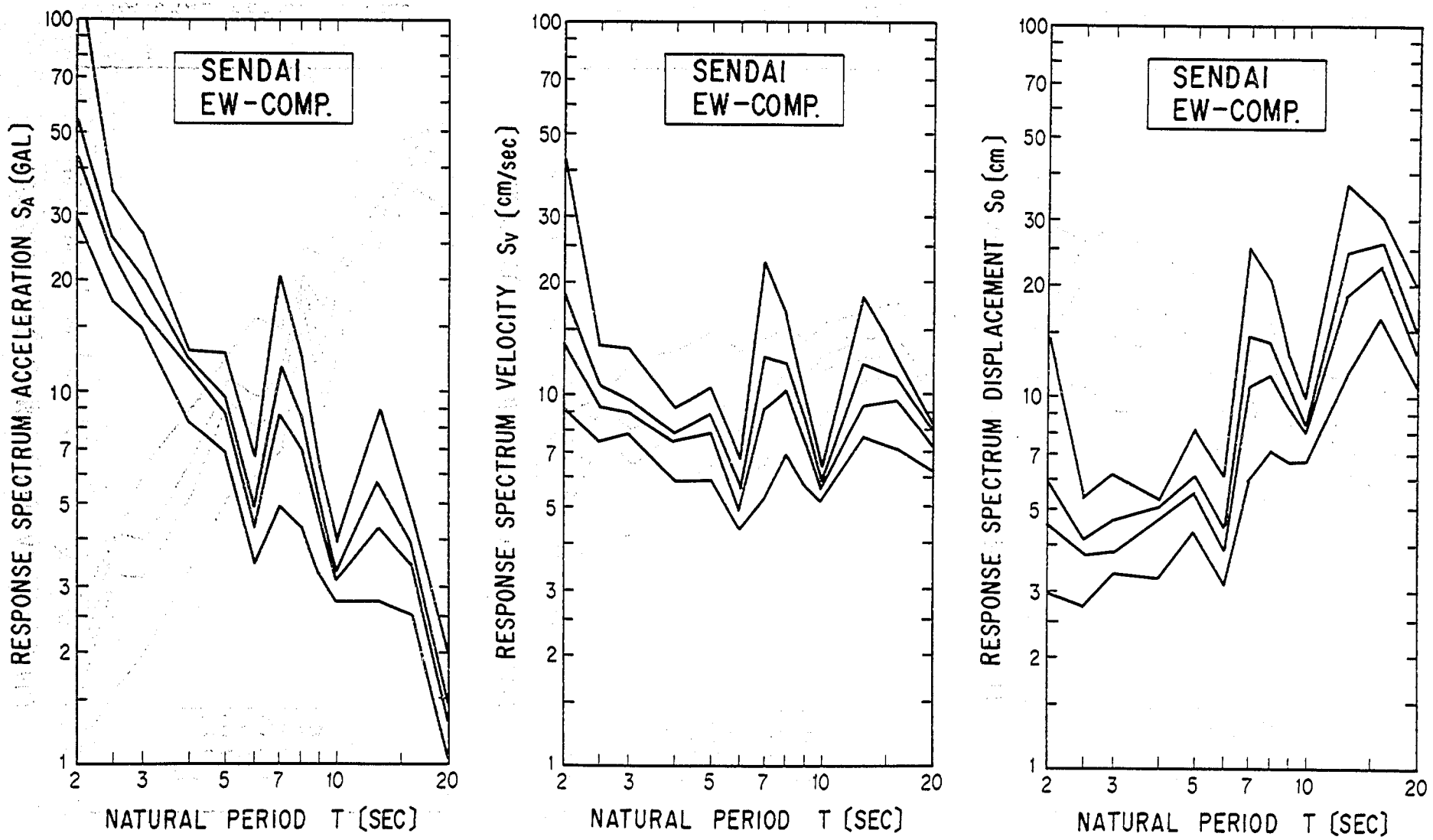


図3－34(2) 応答スペクトル（仙台・EW成分）

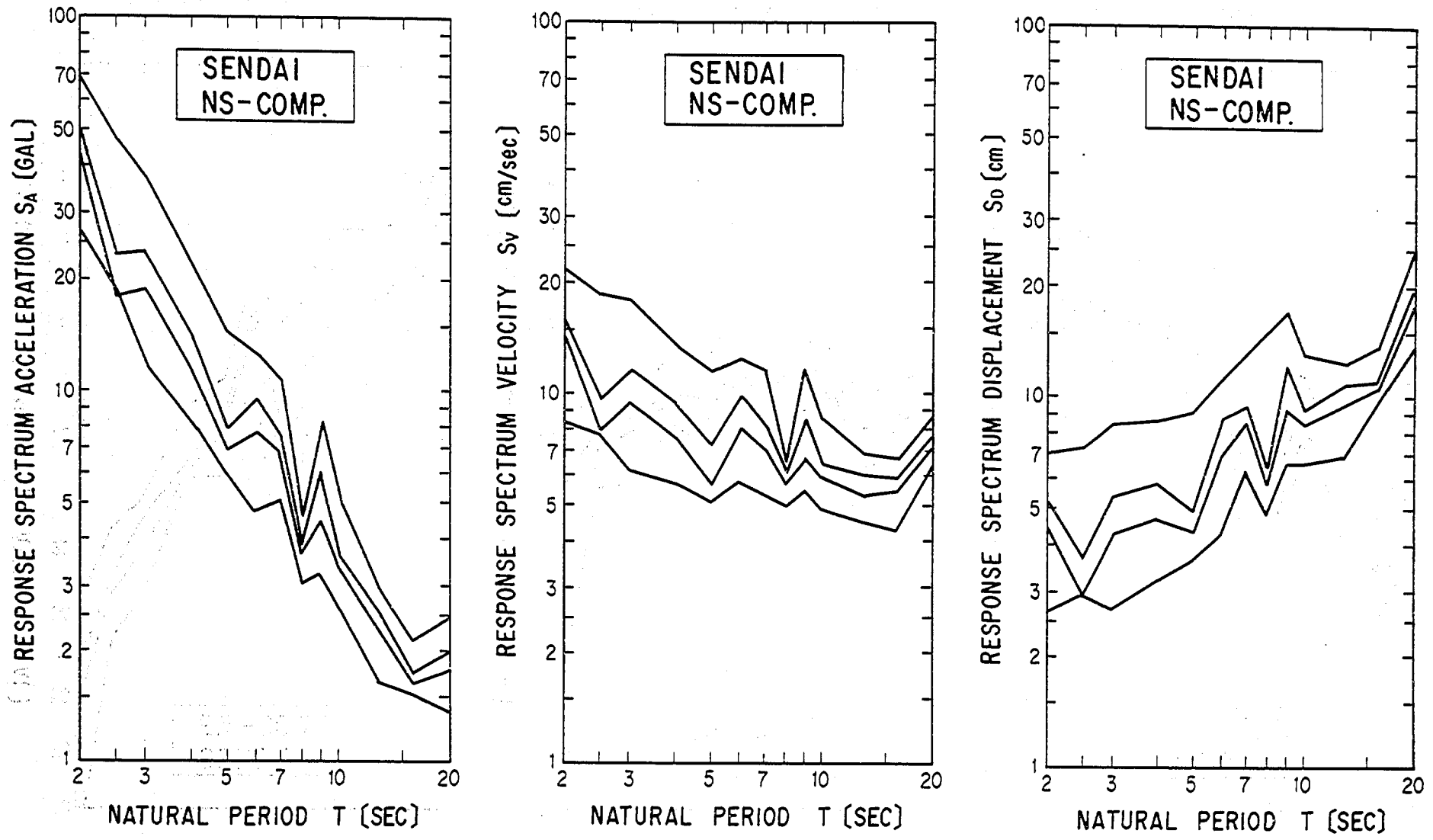


図3－34(3)　応答スペクトル（仙台・NS成分）

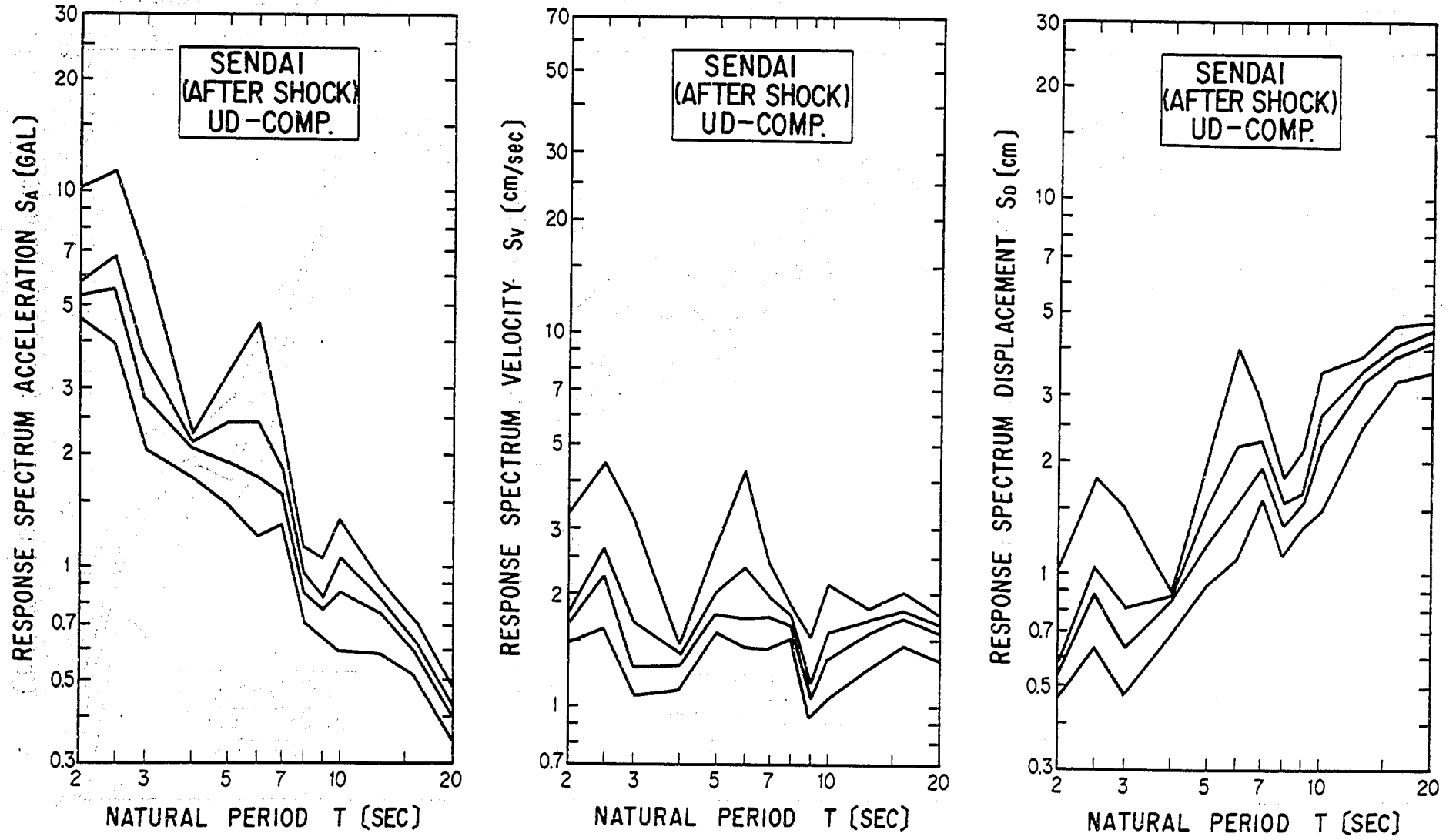


図3－35(1) 応答スペクトル（仙台（余震），UD成分）

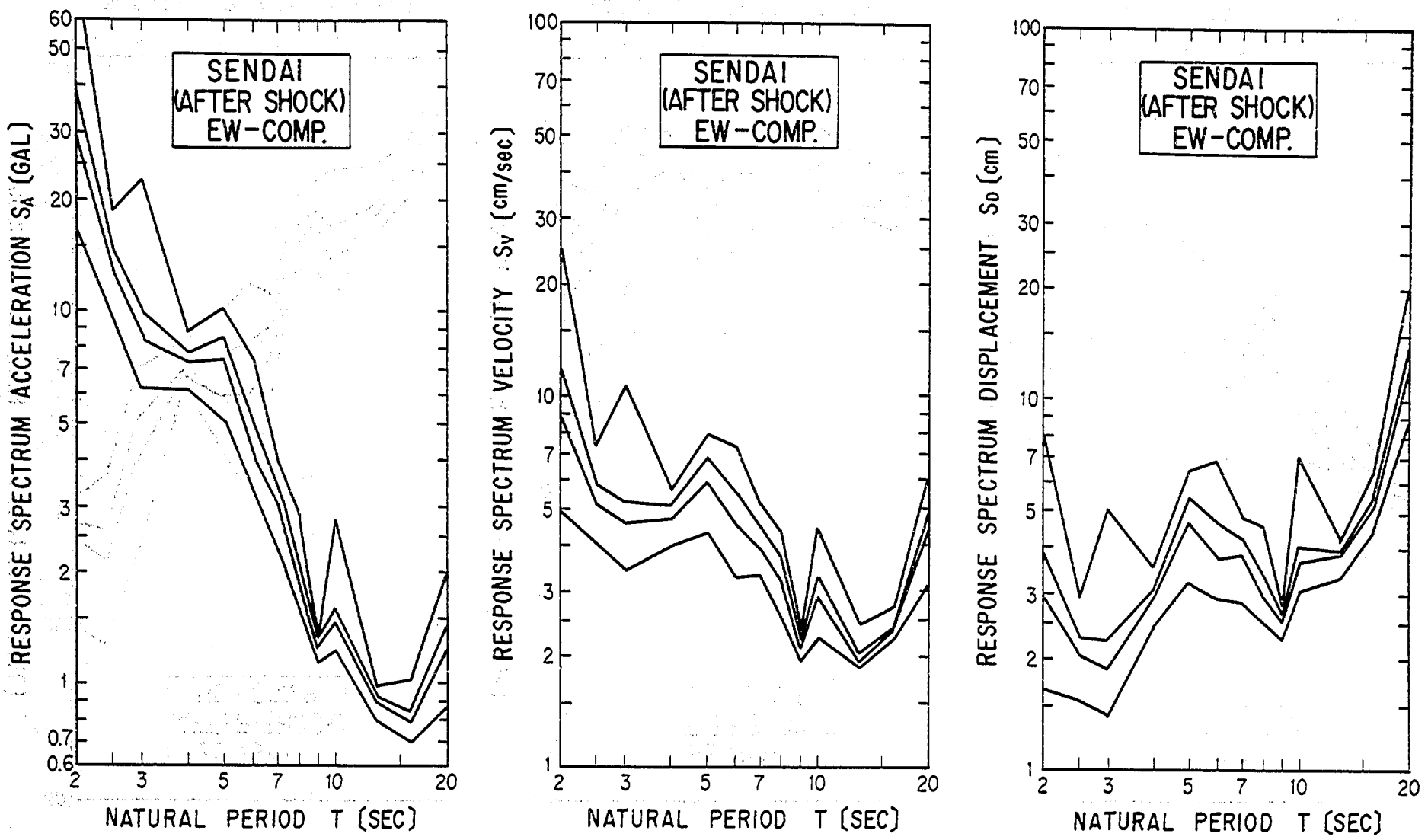


図３－35(2)　応答スペクトル（仙台（余震），ＥＷ成分）

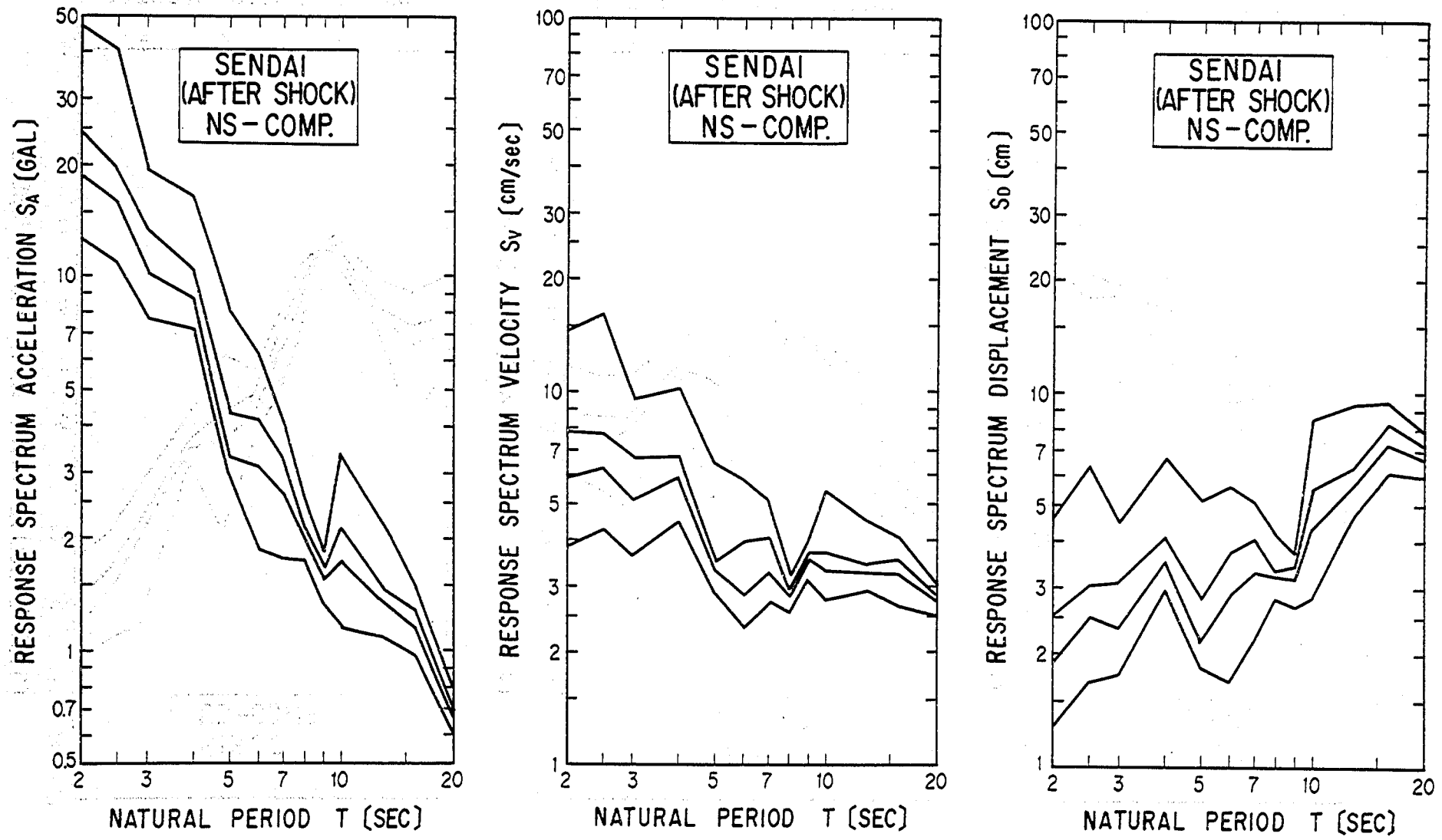


図3－35(3) 応答スペクトル（仙台（余震），NS成分）

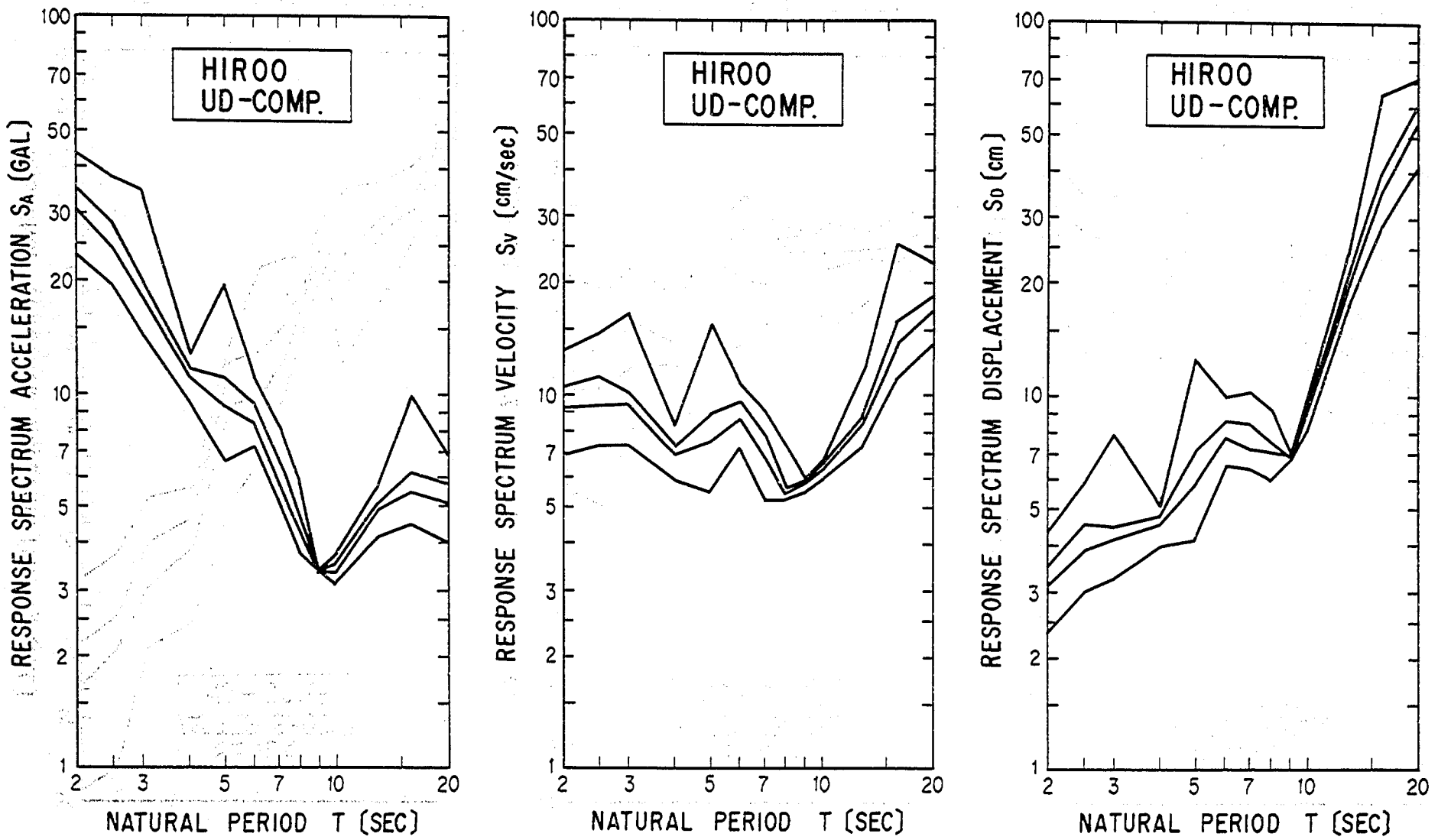


図3－36(1) 応答スペクトル（広尾・UD成分）

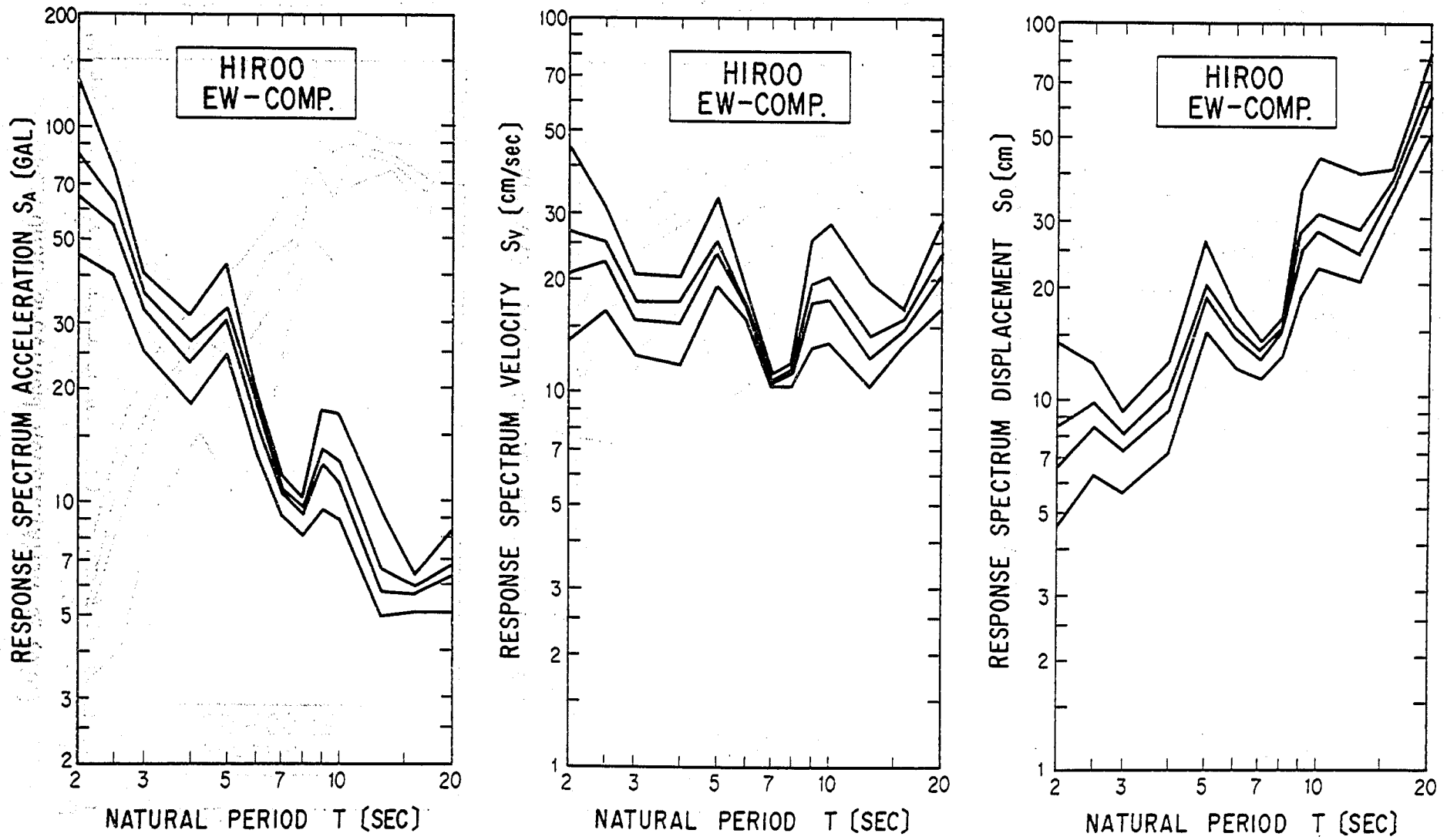


図3－36(2)　応答スペクトル（広尾・EW成分）

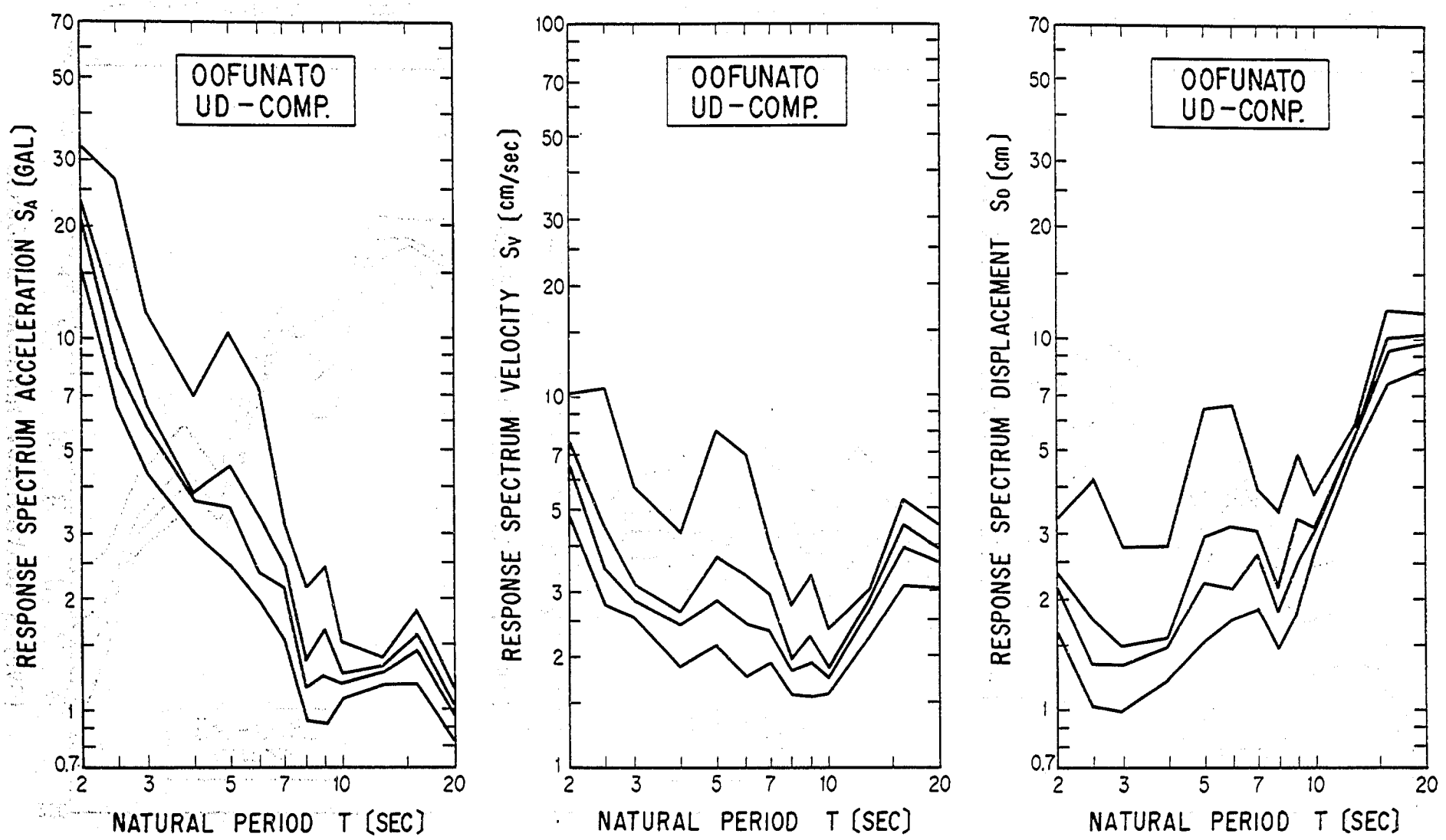


図3－37(1)　応答スペクトル（大船渡・UD成分）

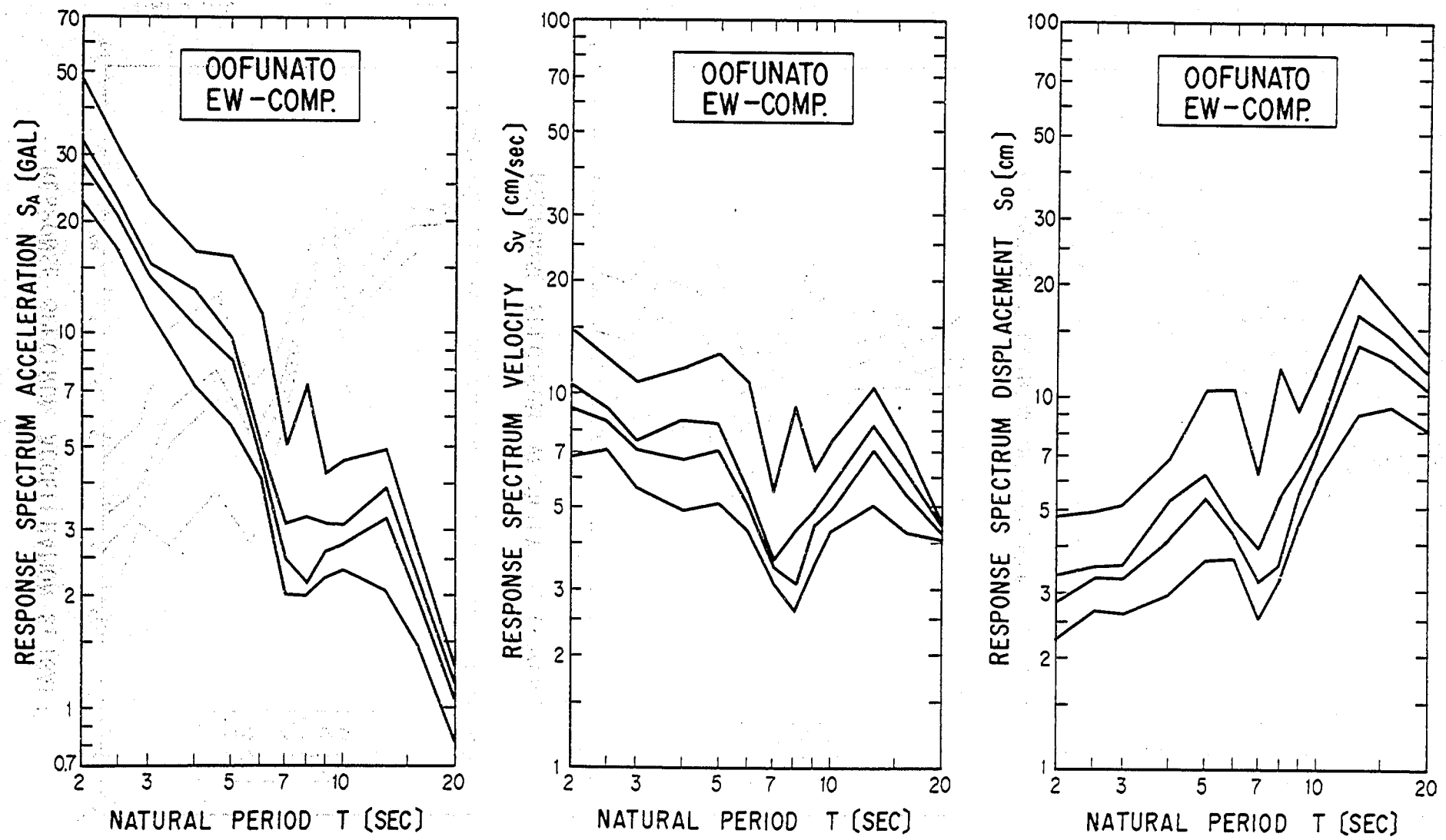


図3－37(2)　応答スペクトル（大船渡・EW成分）

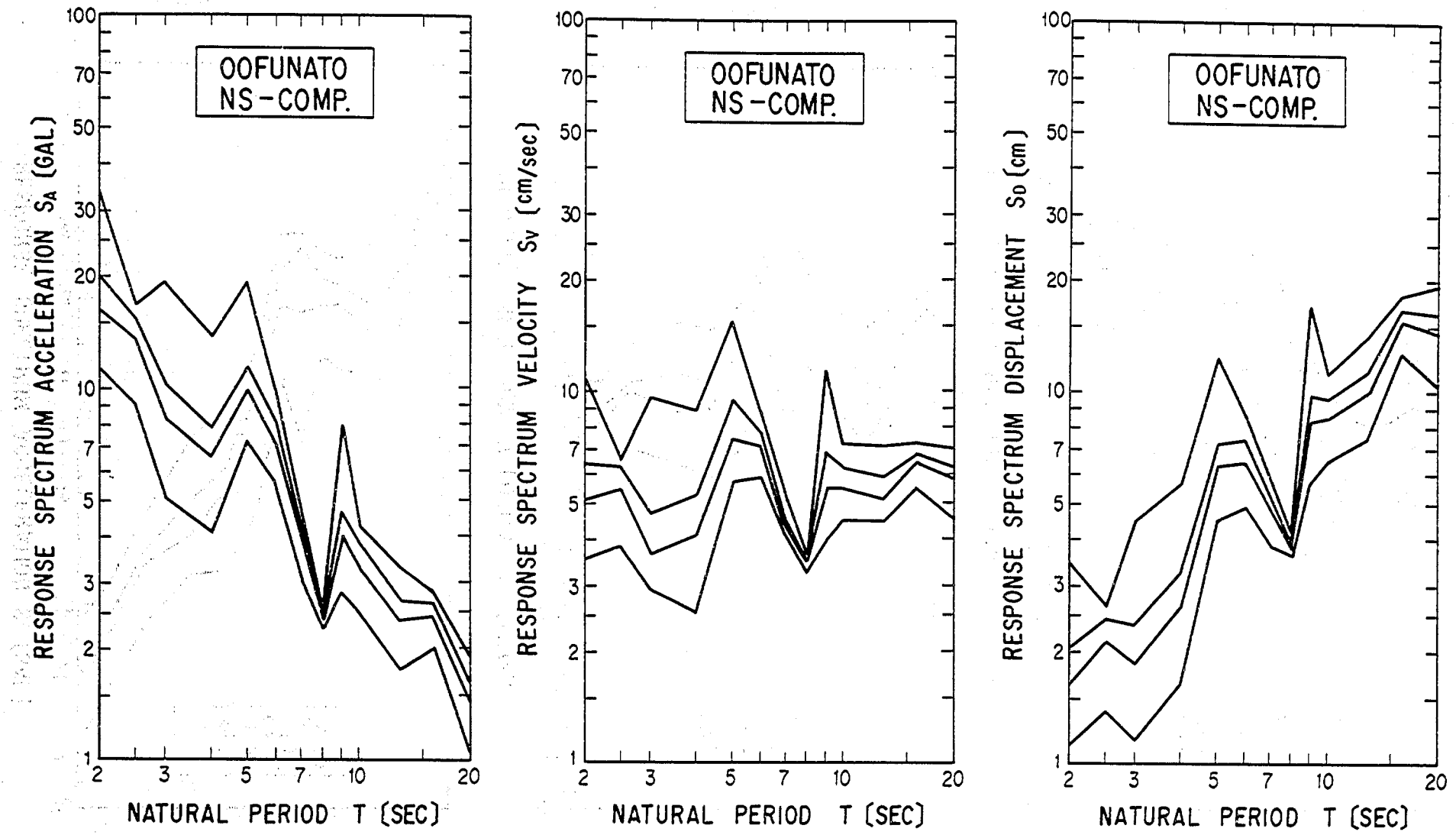


図３－37(3)　応答スペクトル（大船渡・ＮＳ成分）

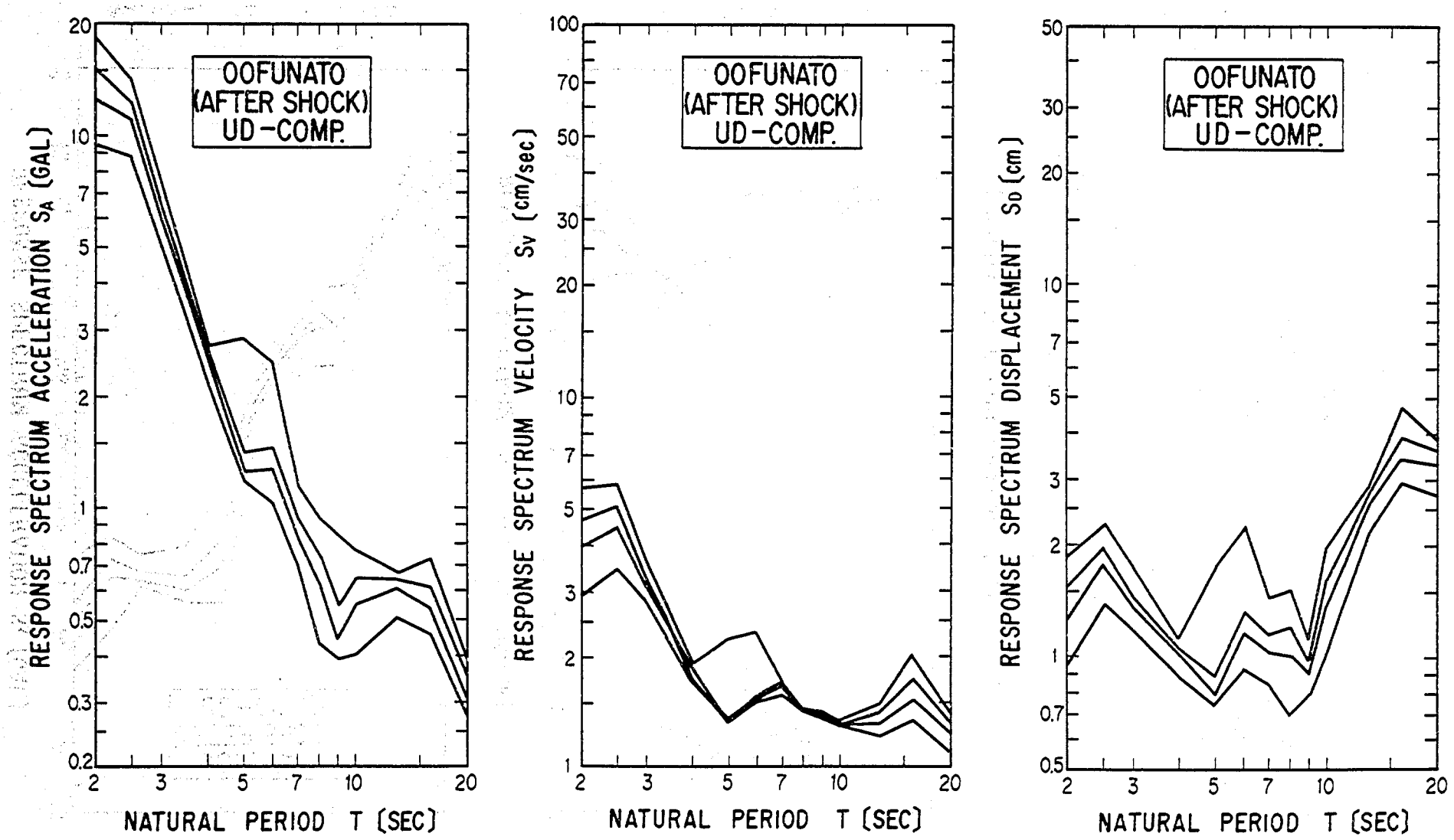


図3－38(1) 応答スペクトル（大船渡（余震），UD成分）

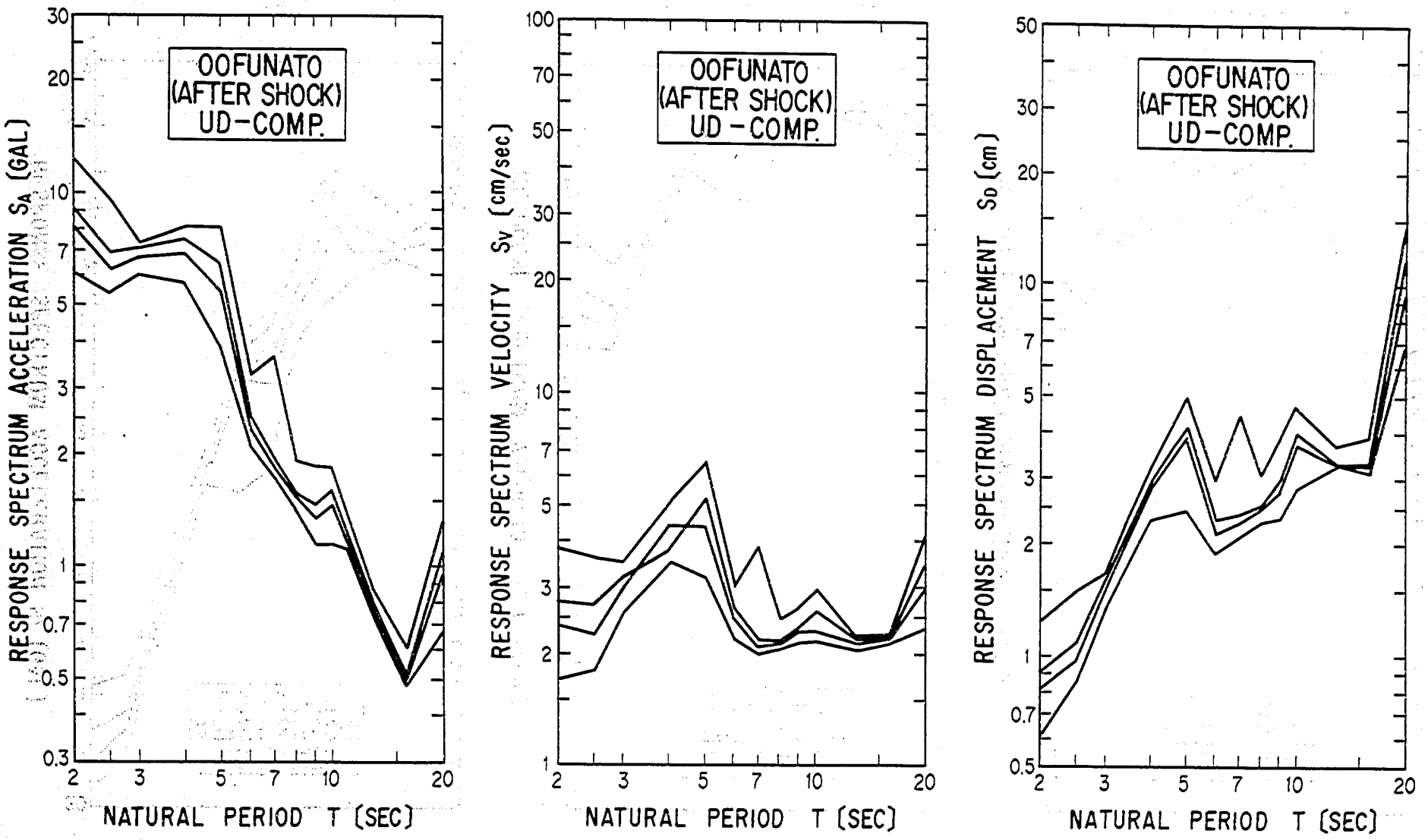


図3－38(2)　応答スペクトル（大船渡（余震），EW成分）

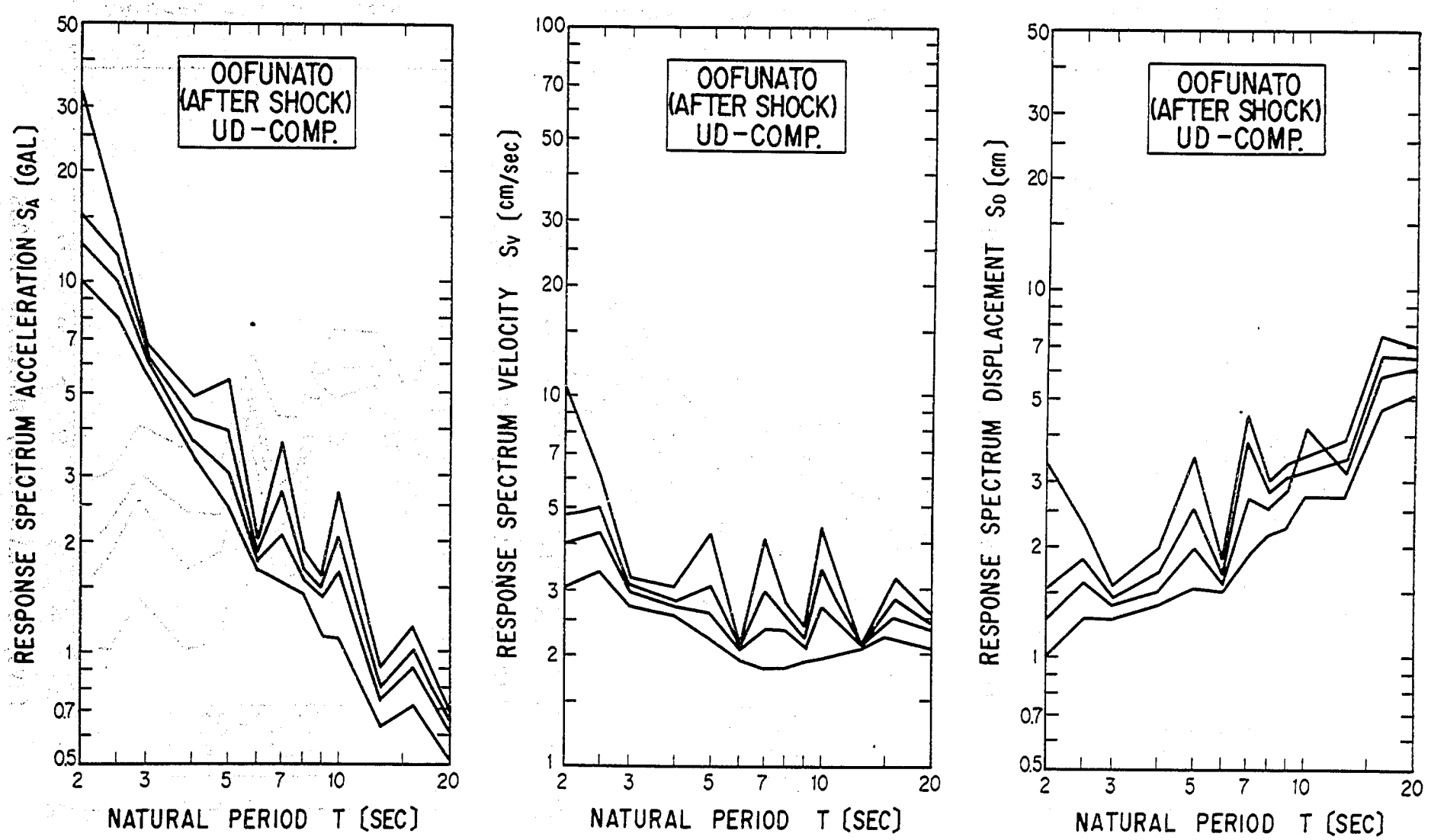


図3－38(3) 応答スペクトル（大船渡（余震），NS成分）

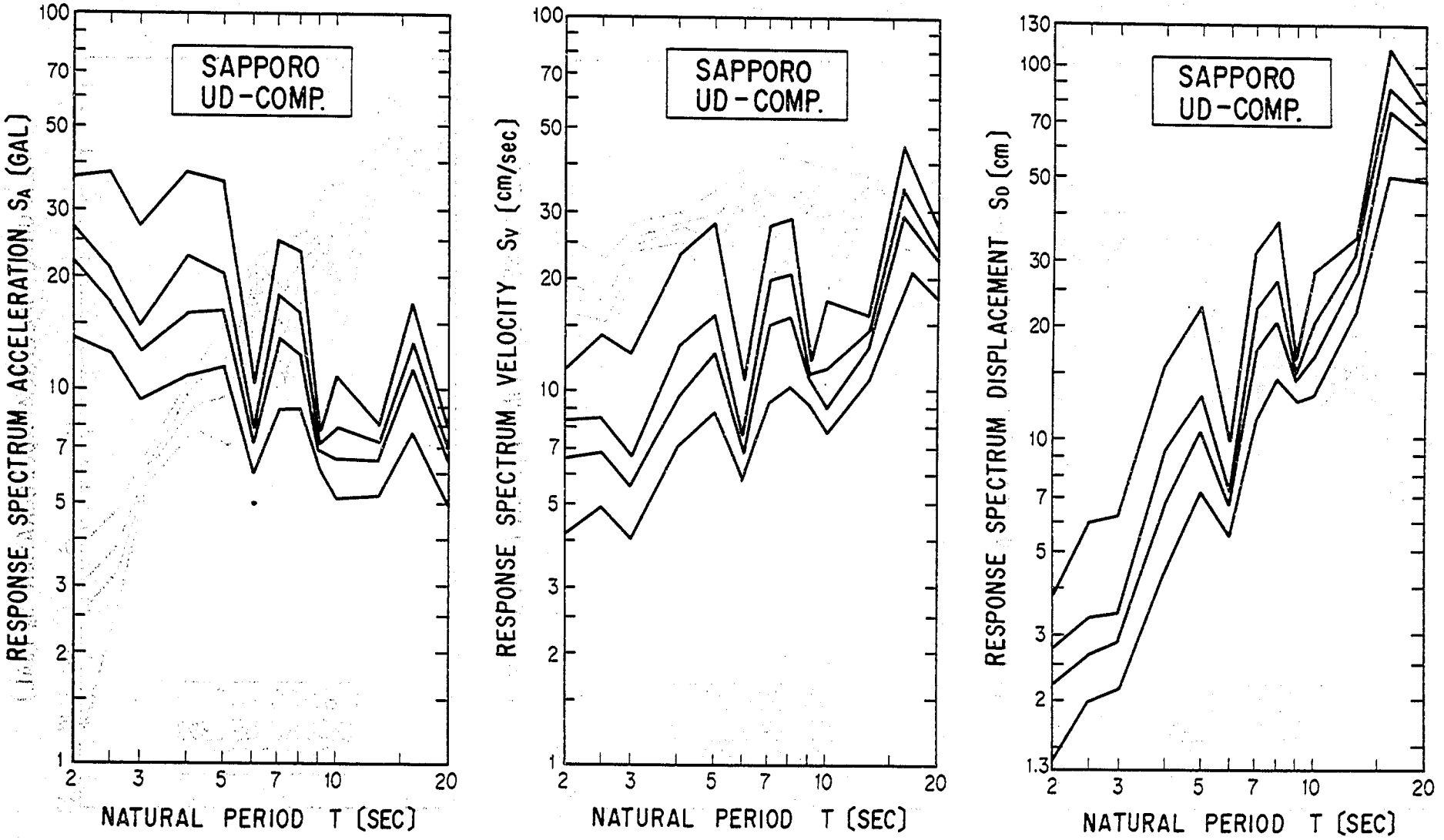


図3－39(1)　応答スペクトル（札幌・UD成分）

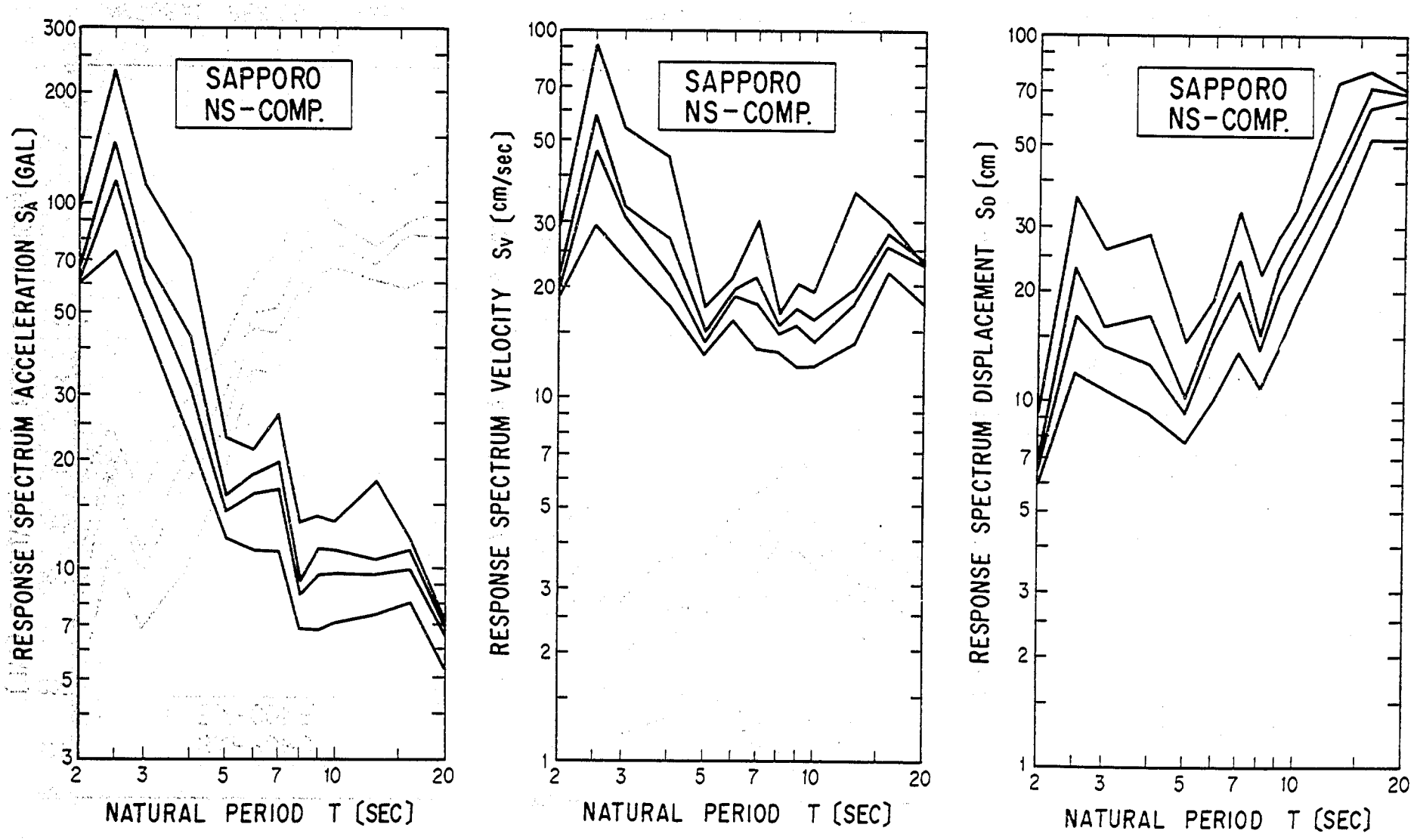


図３－39(2)　応答スペクトル（札幌・ＮＳ成分）

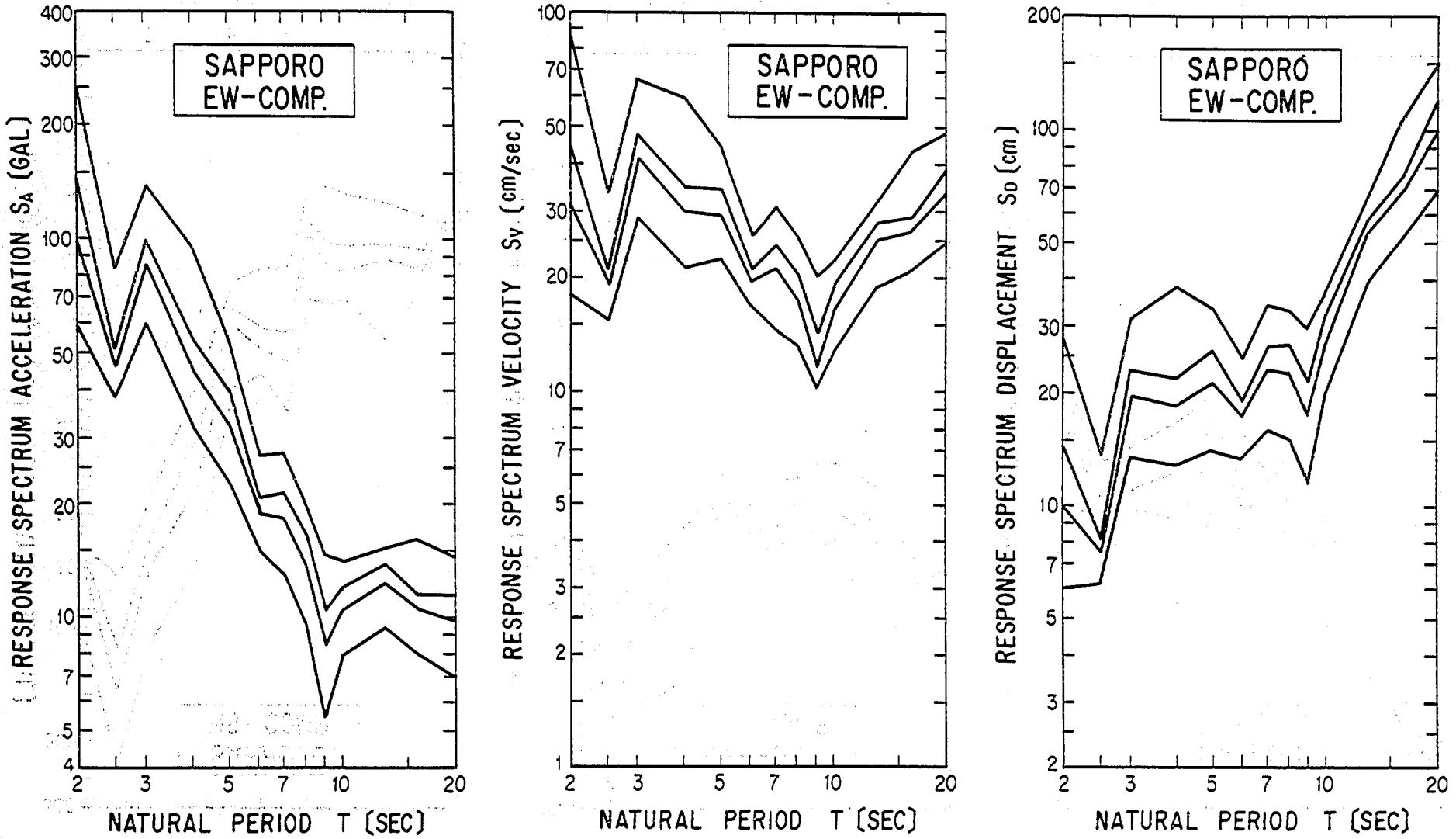


図３－39(3)　応答スペクトル（札幌・ＥＷ成分）

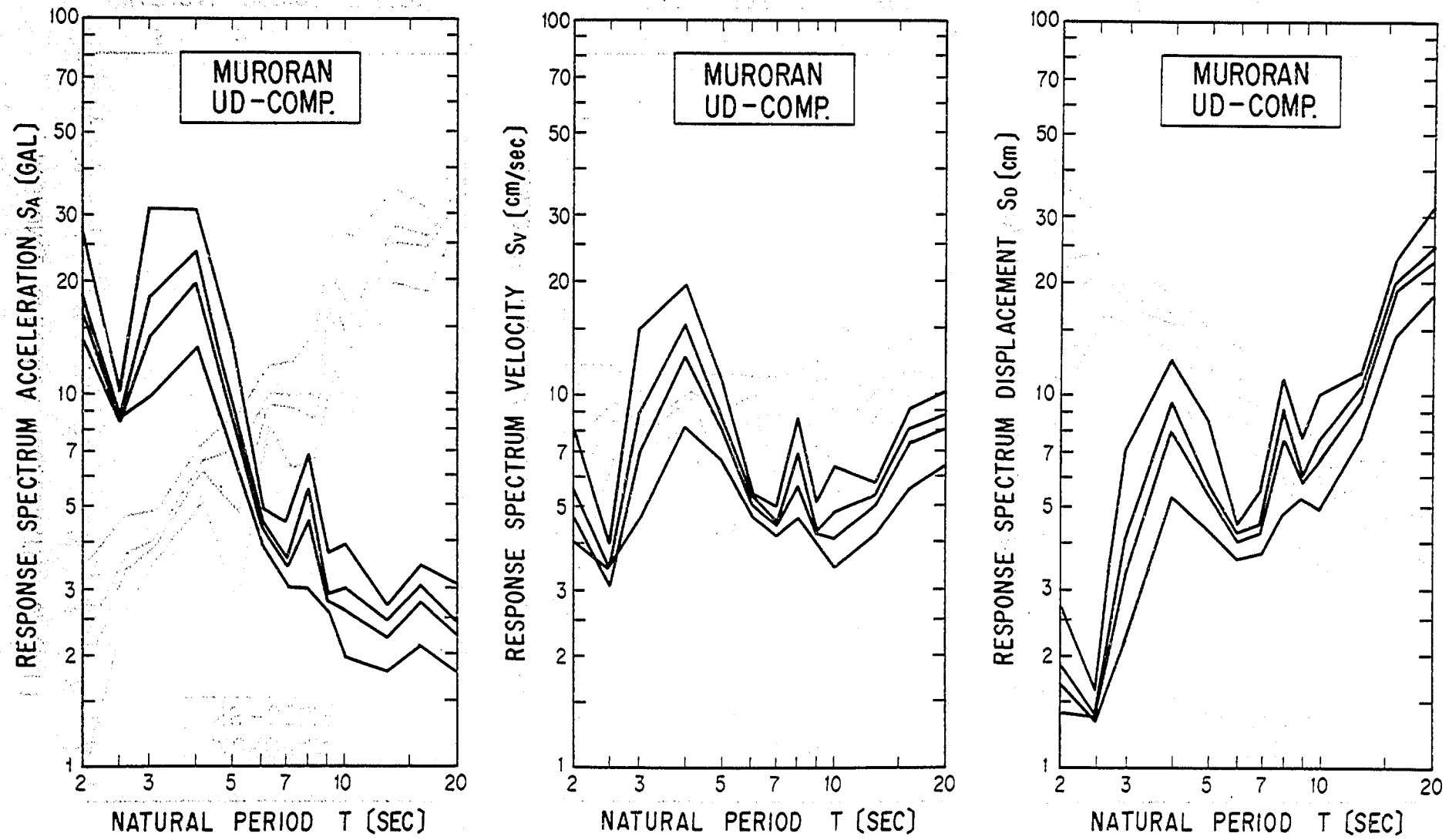


図3－40(1) 応答スペクトル（室蘭・UD成分）

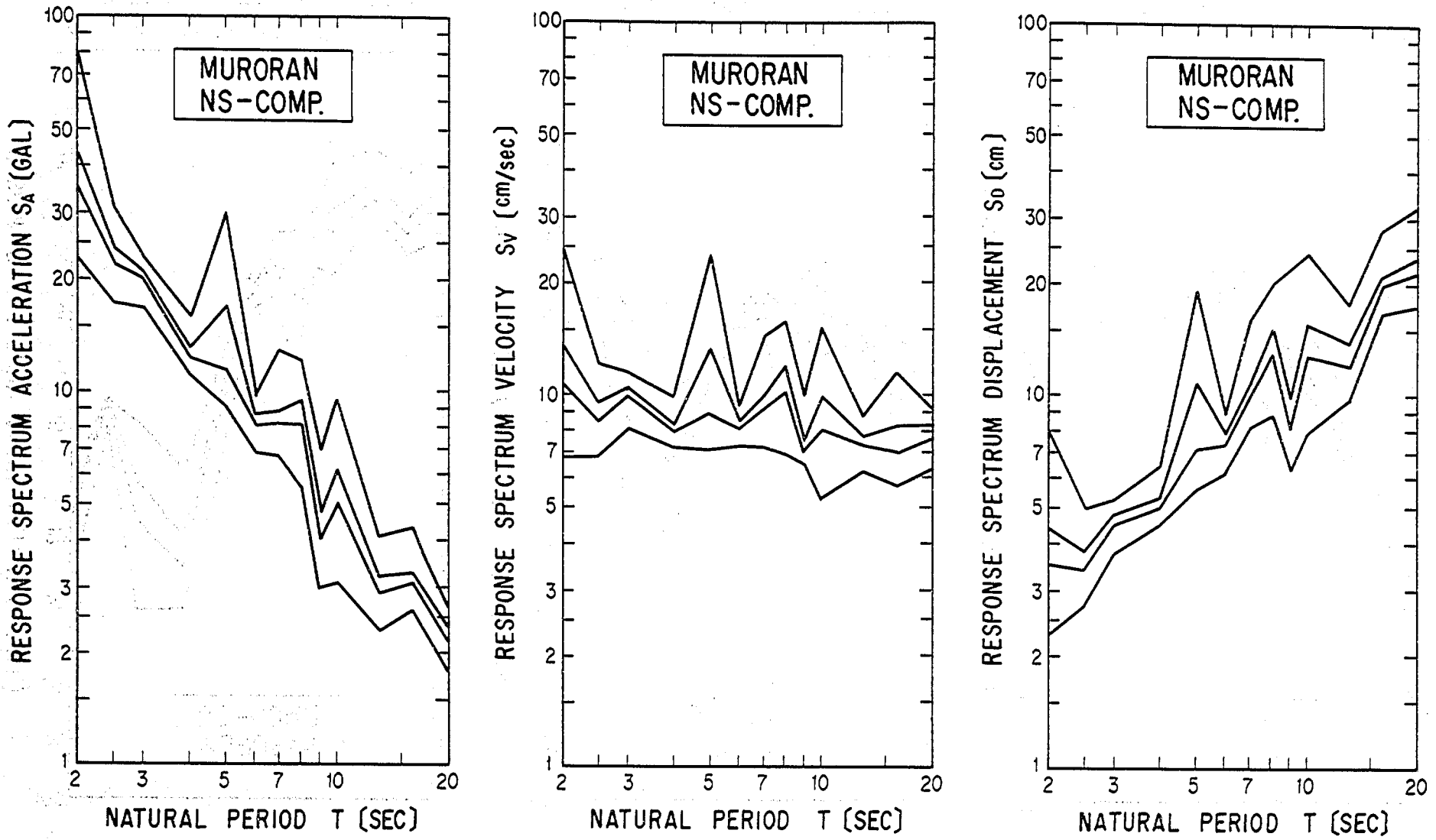


図3－40(2)　応答スペクトル（室蘭・NS成分）

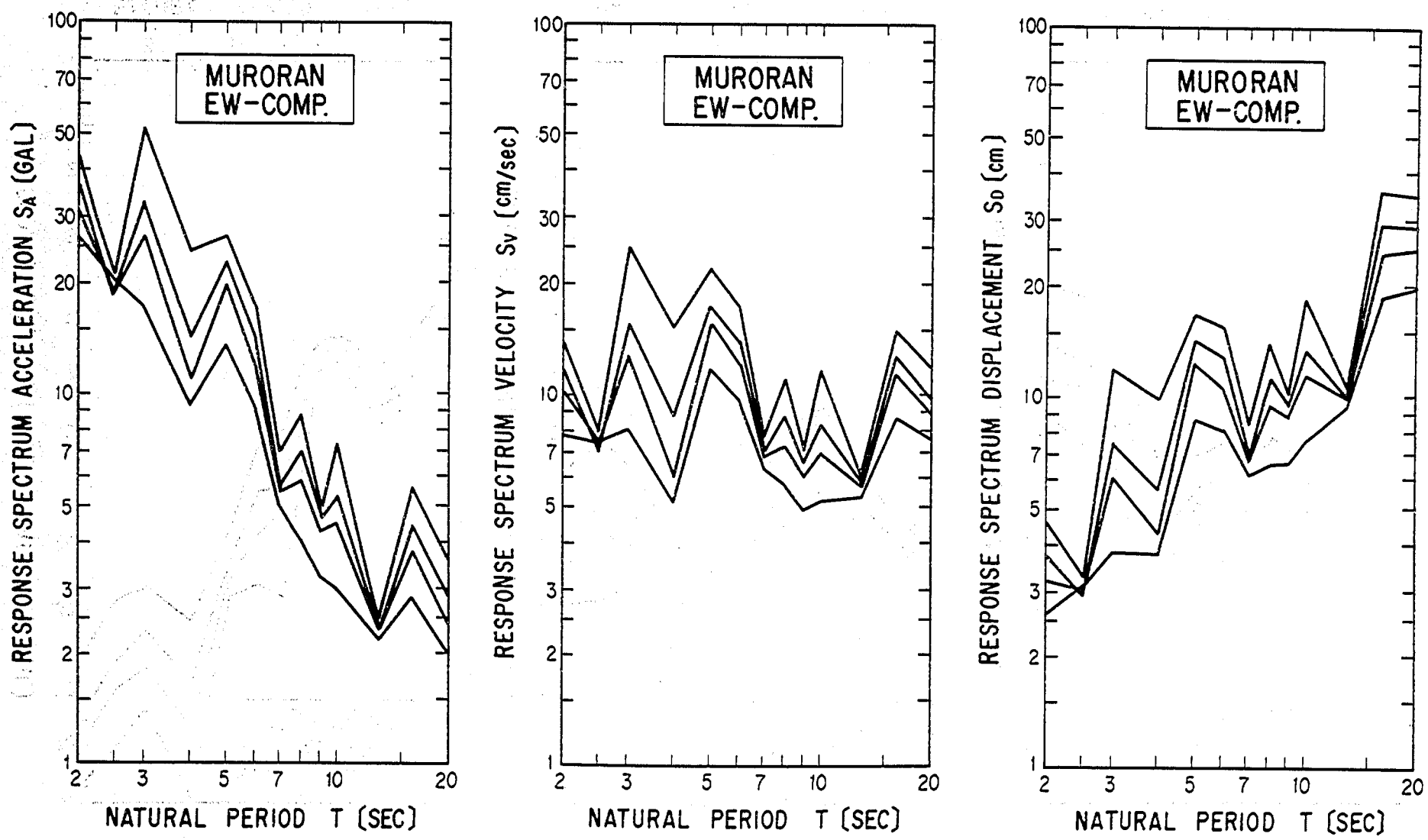


図3－40(3) 応答スペクトル（室蘭・EW成分）

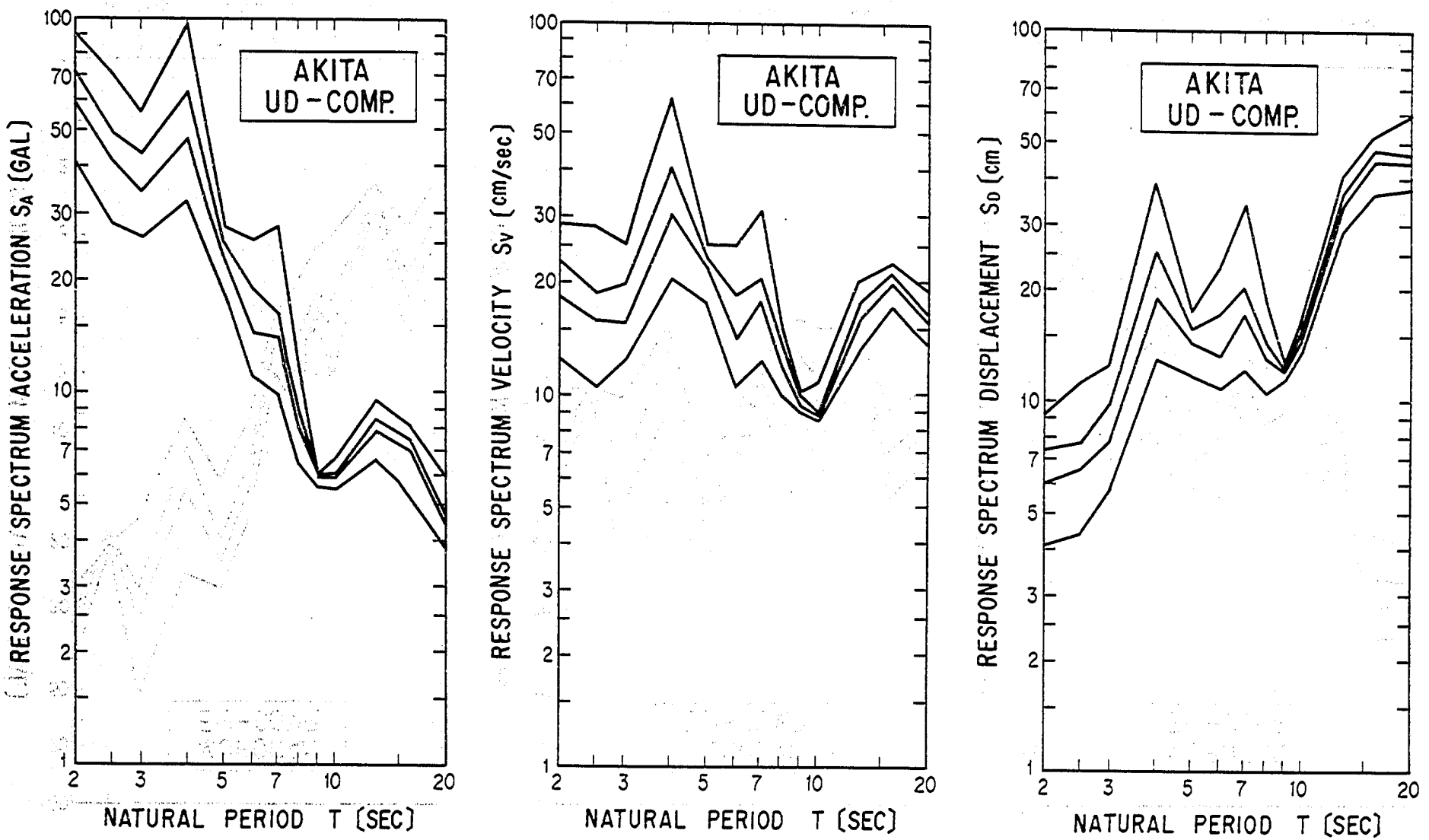


図3－41(1) 応答スペクトル（秋田・UD成分）

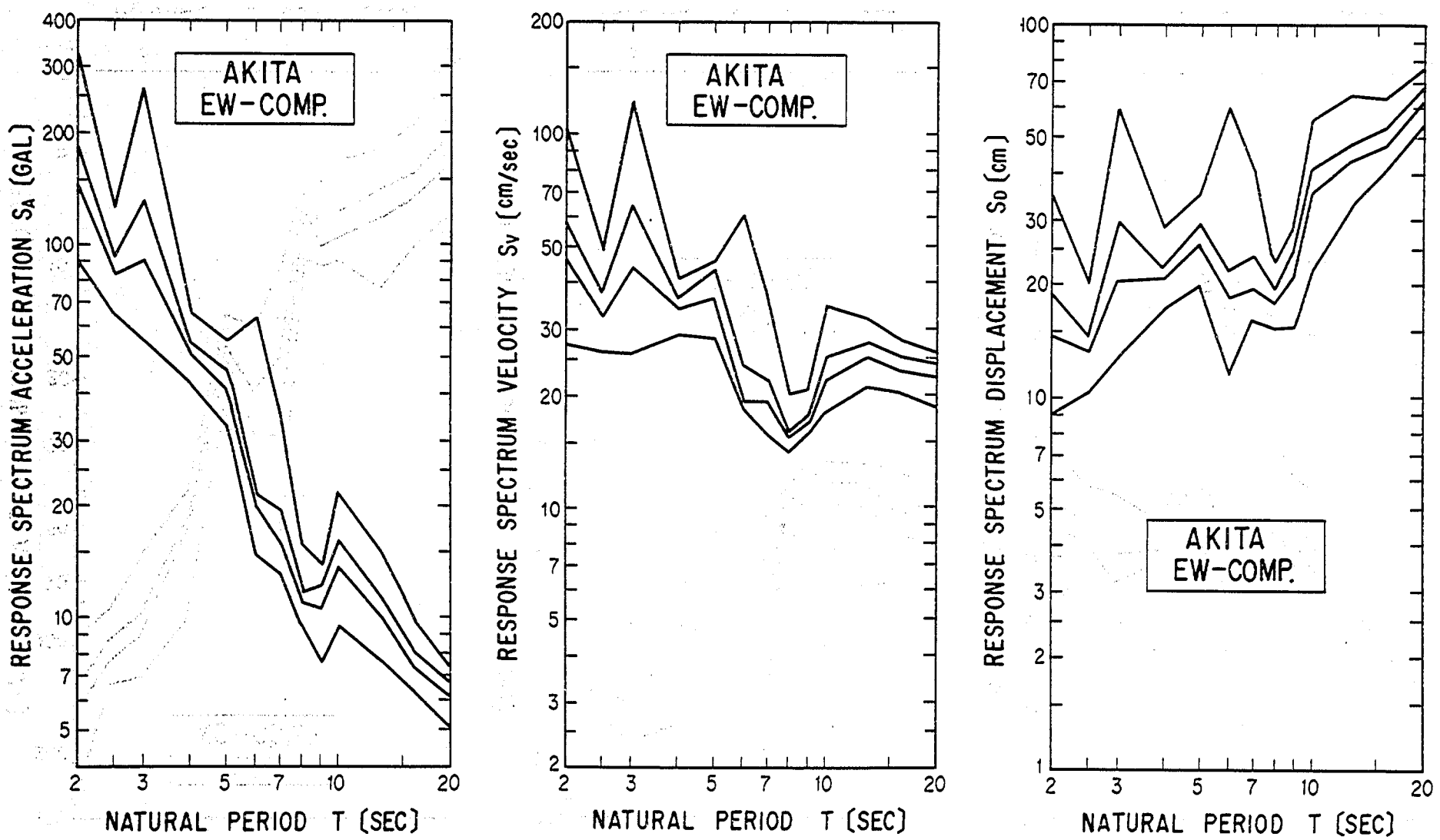


図3－41(2) 応答スペクトル（秋田・EW成分）

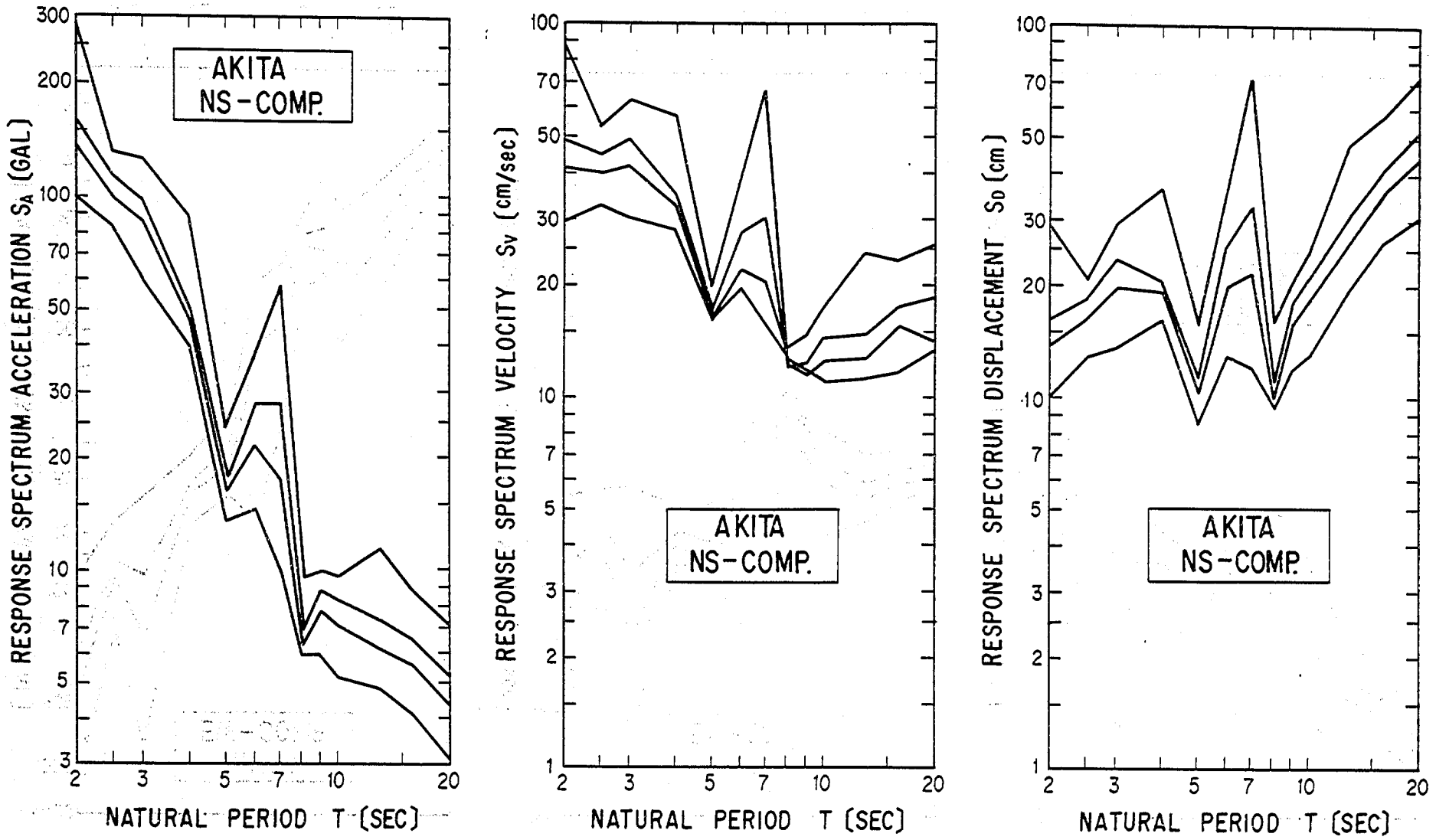


図３－41(3)　応答スペクトル（秋田・NS 成分）

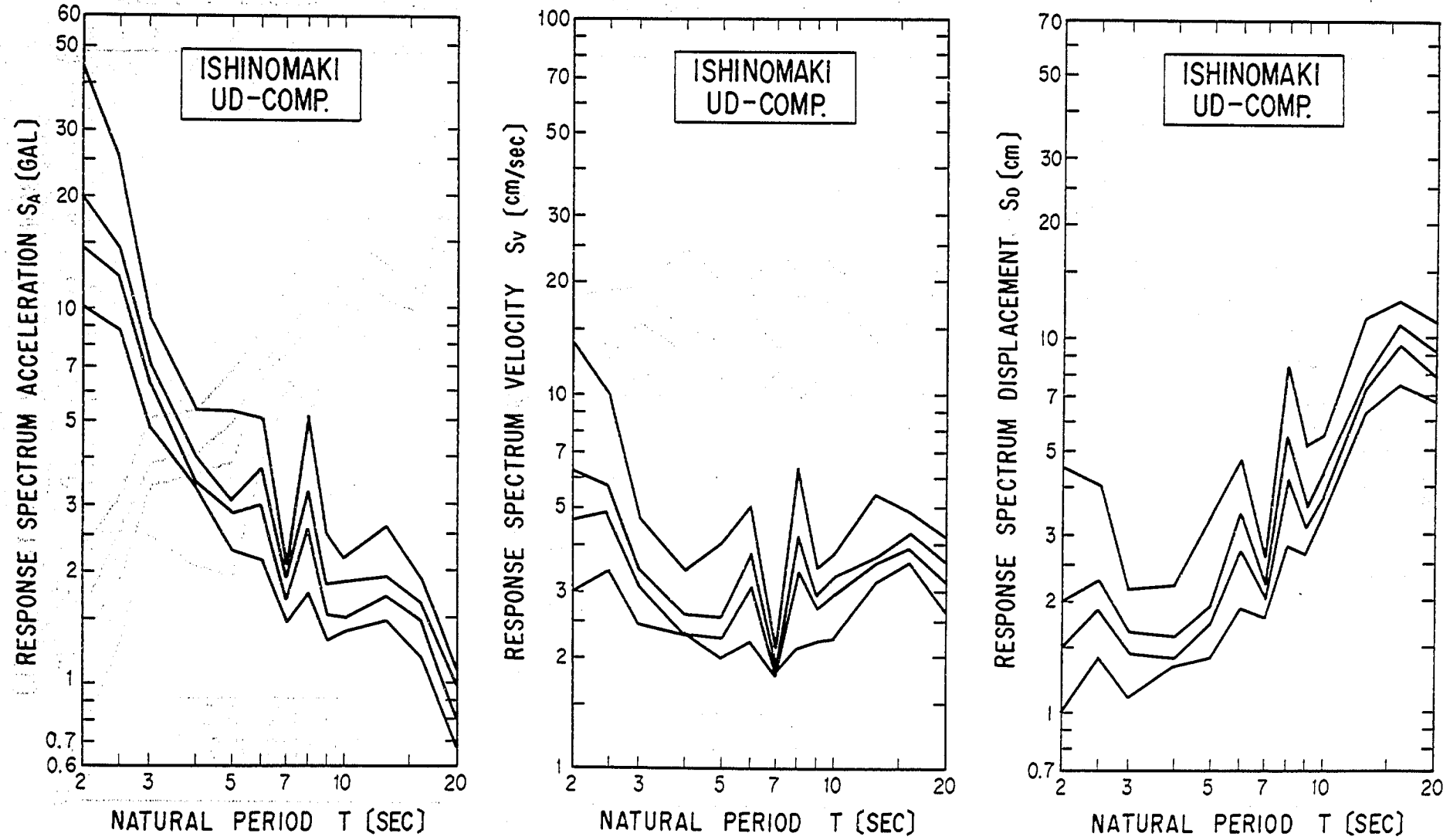


図３－42(1)　応答スペクトル（石巻・UD成分）

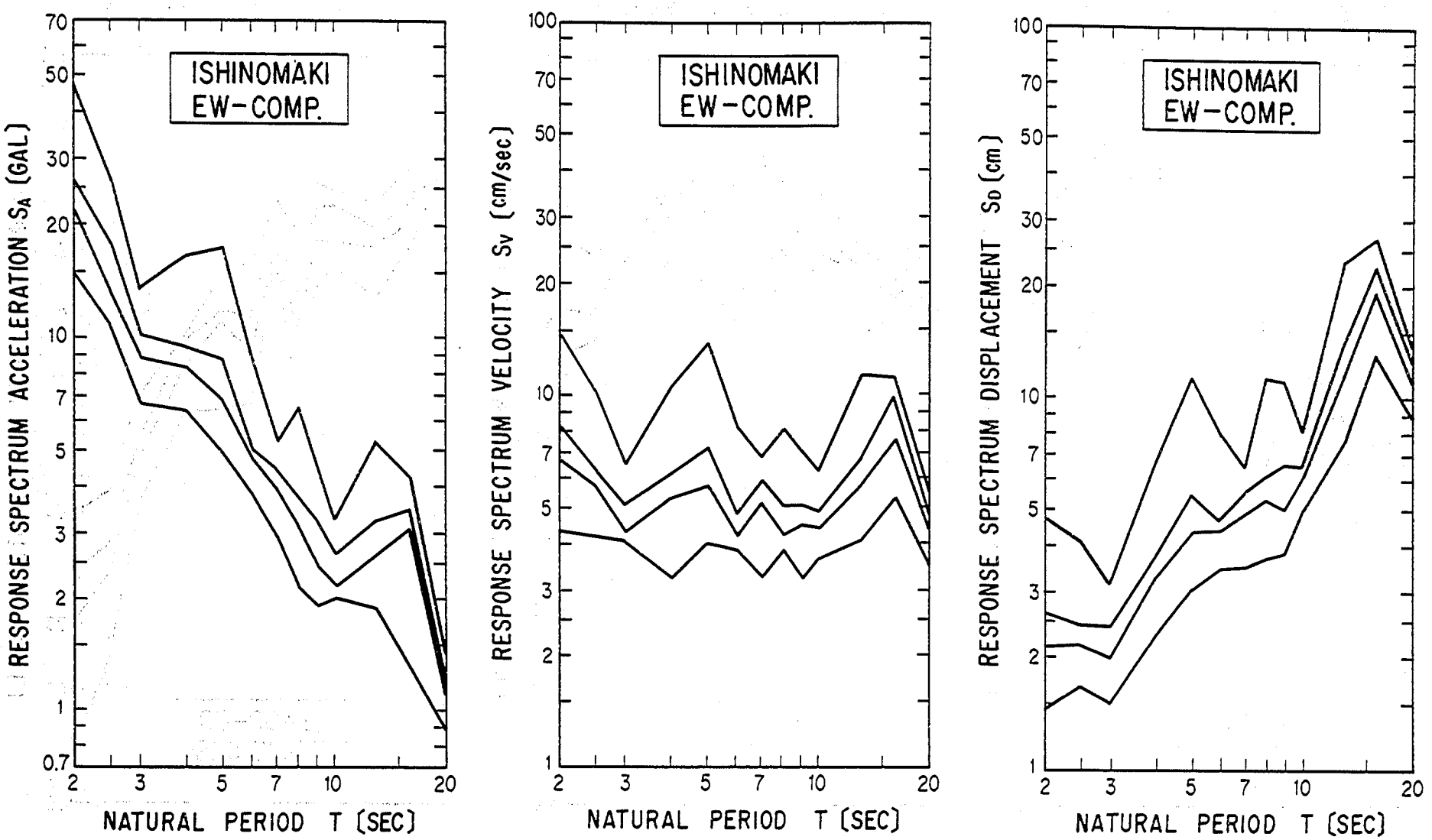


図３－42(2)　応答スペクトル（石巻・EW成分）

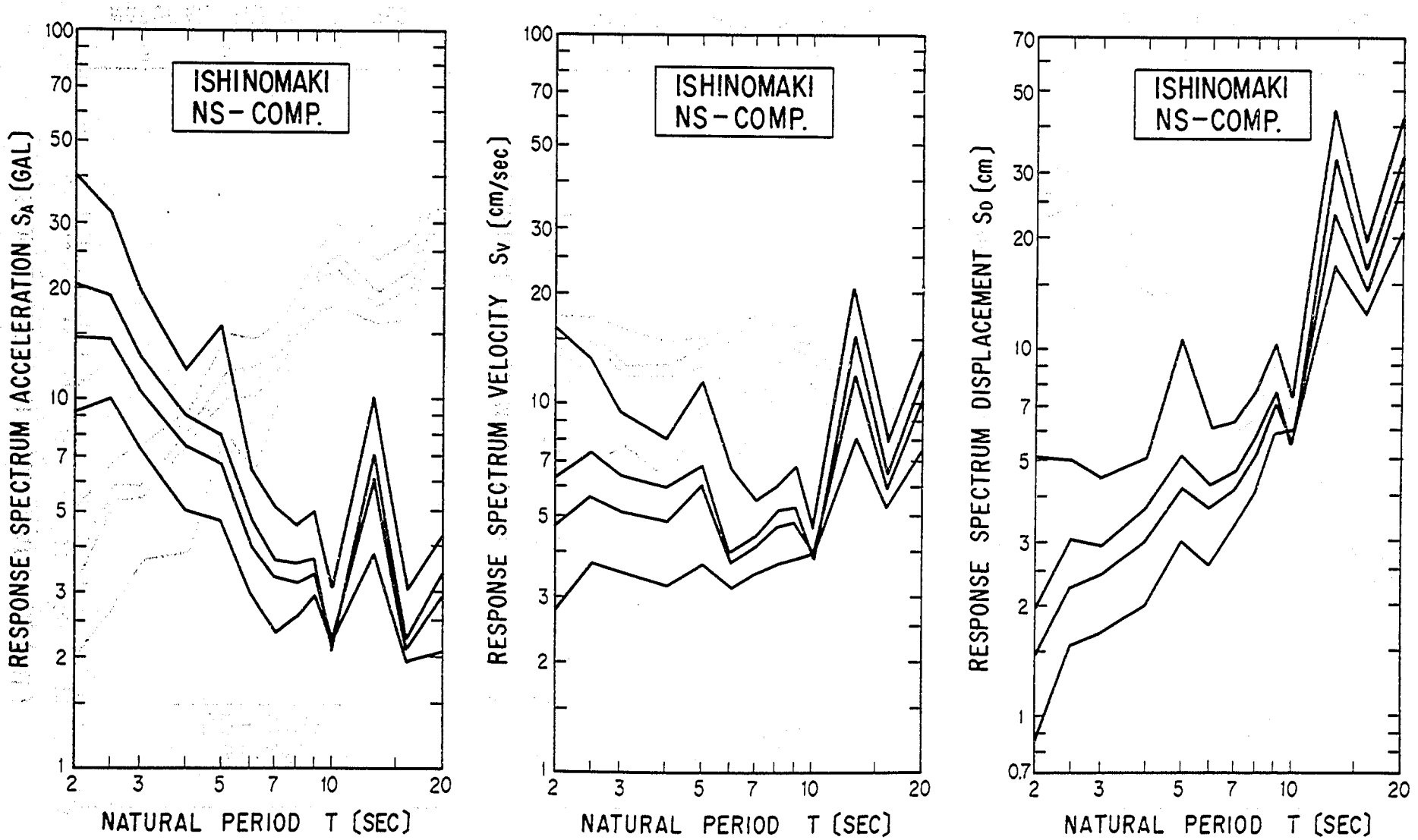


図3－42(3) 応答スペクトル（石巻・NS成分）

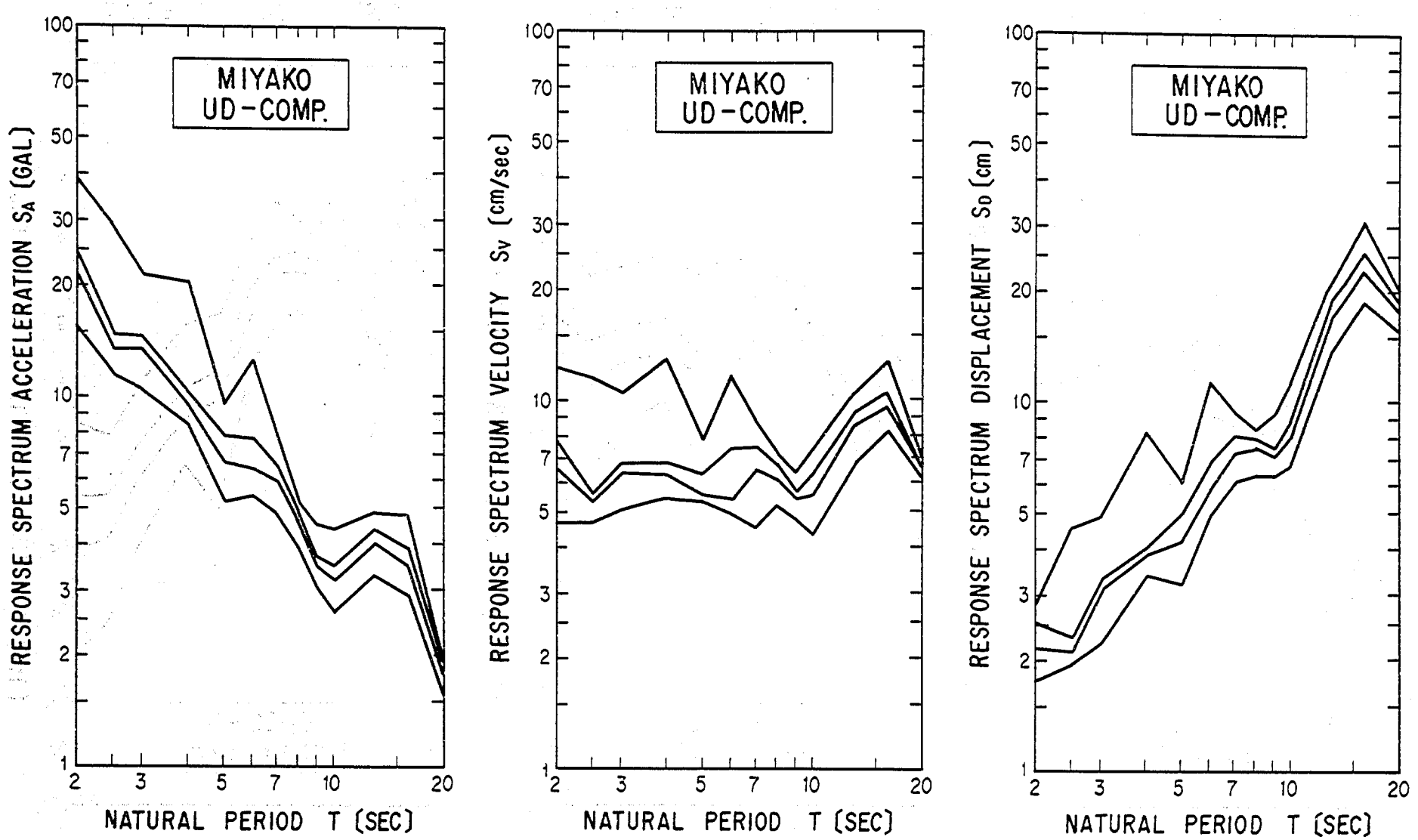


図3－43(1) 応答スペクトル（宮古・UD成分）

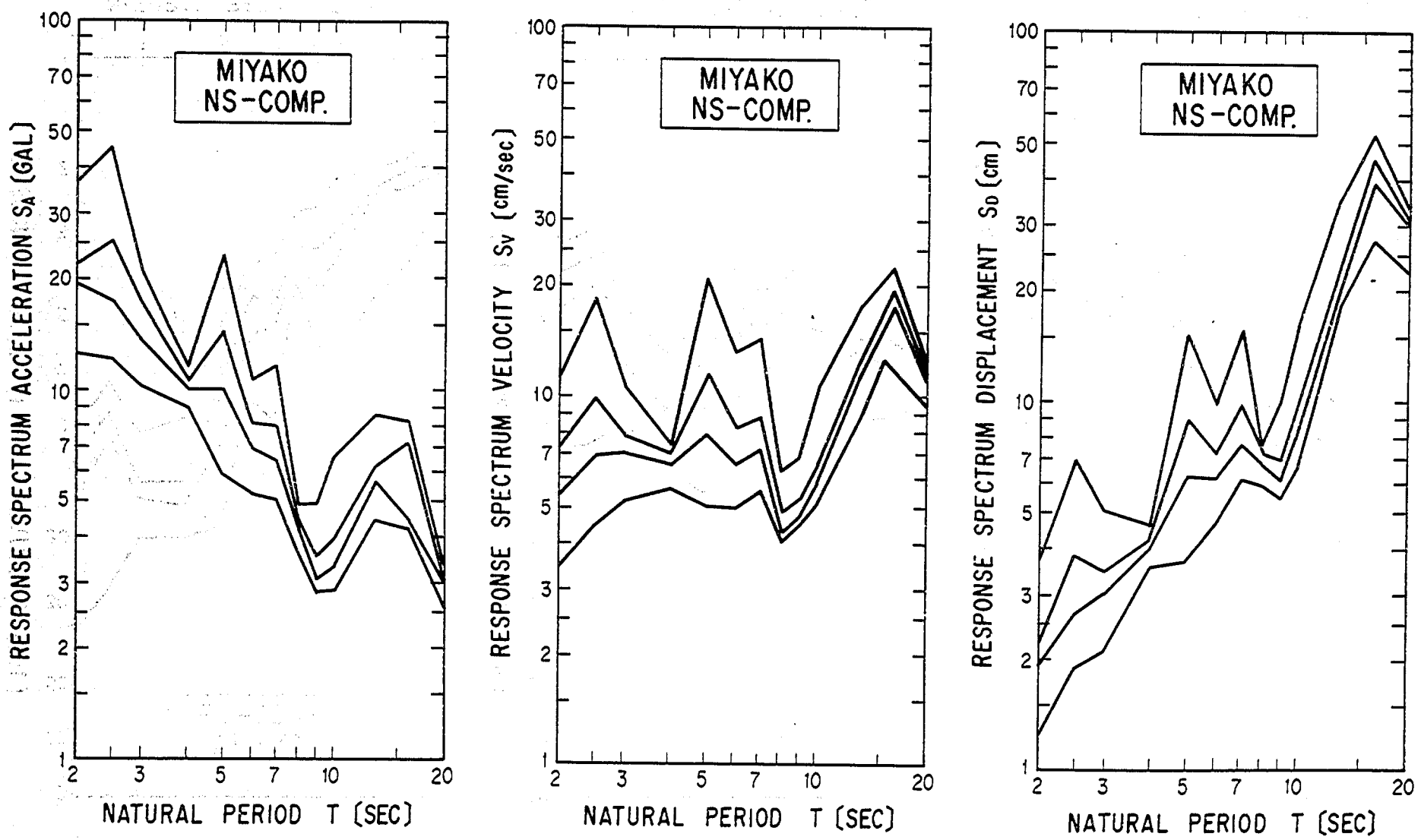


図3－43(2) 応答スペクトル（宮古・NS成分）

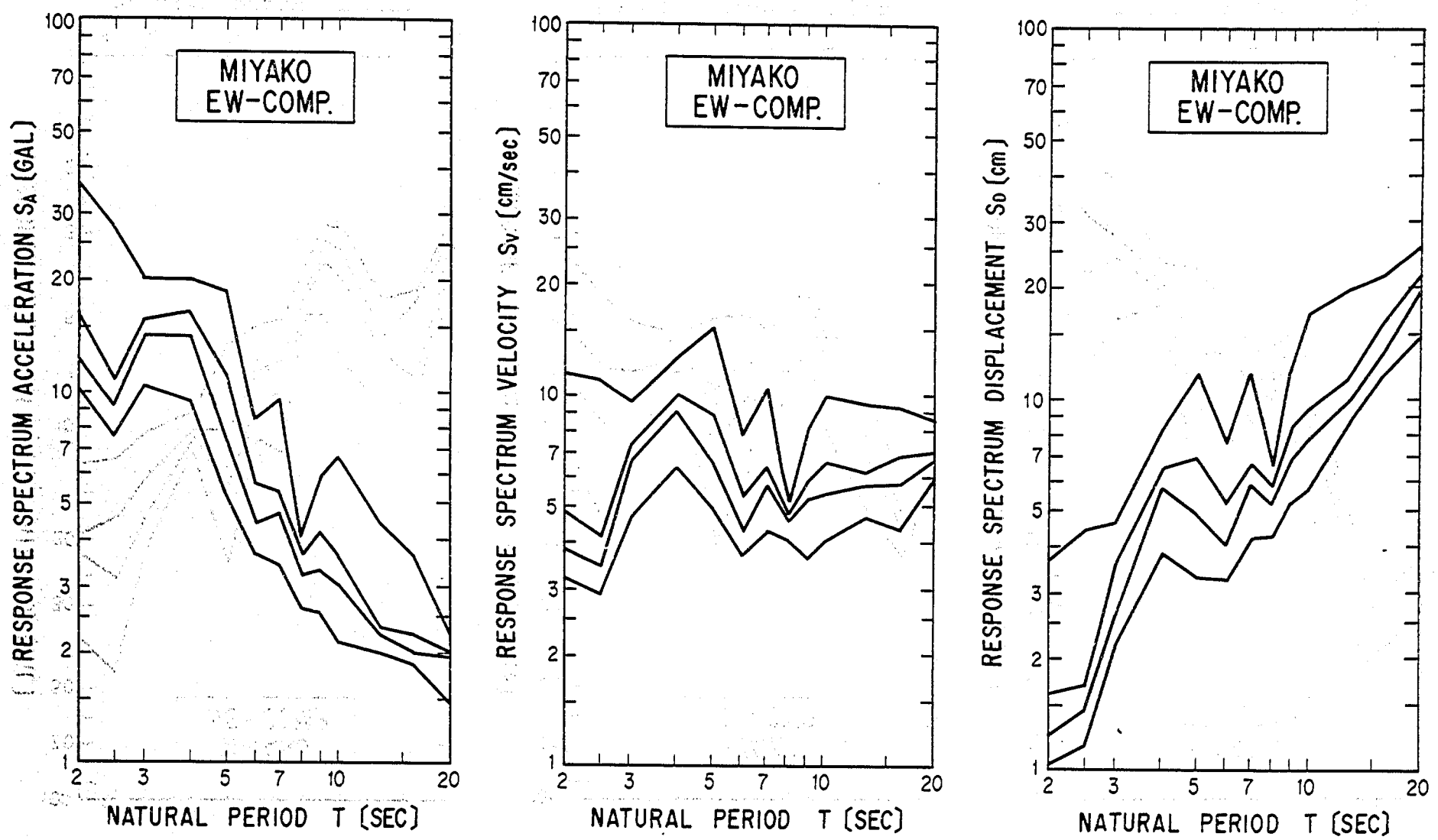


図3－43(3)　応答スペクトル（宮古・EW成分）

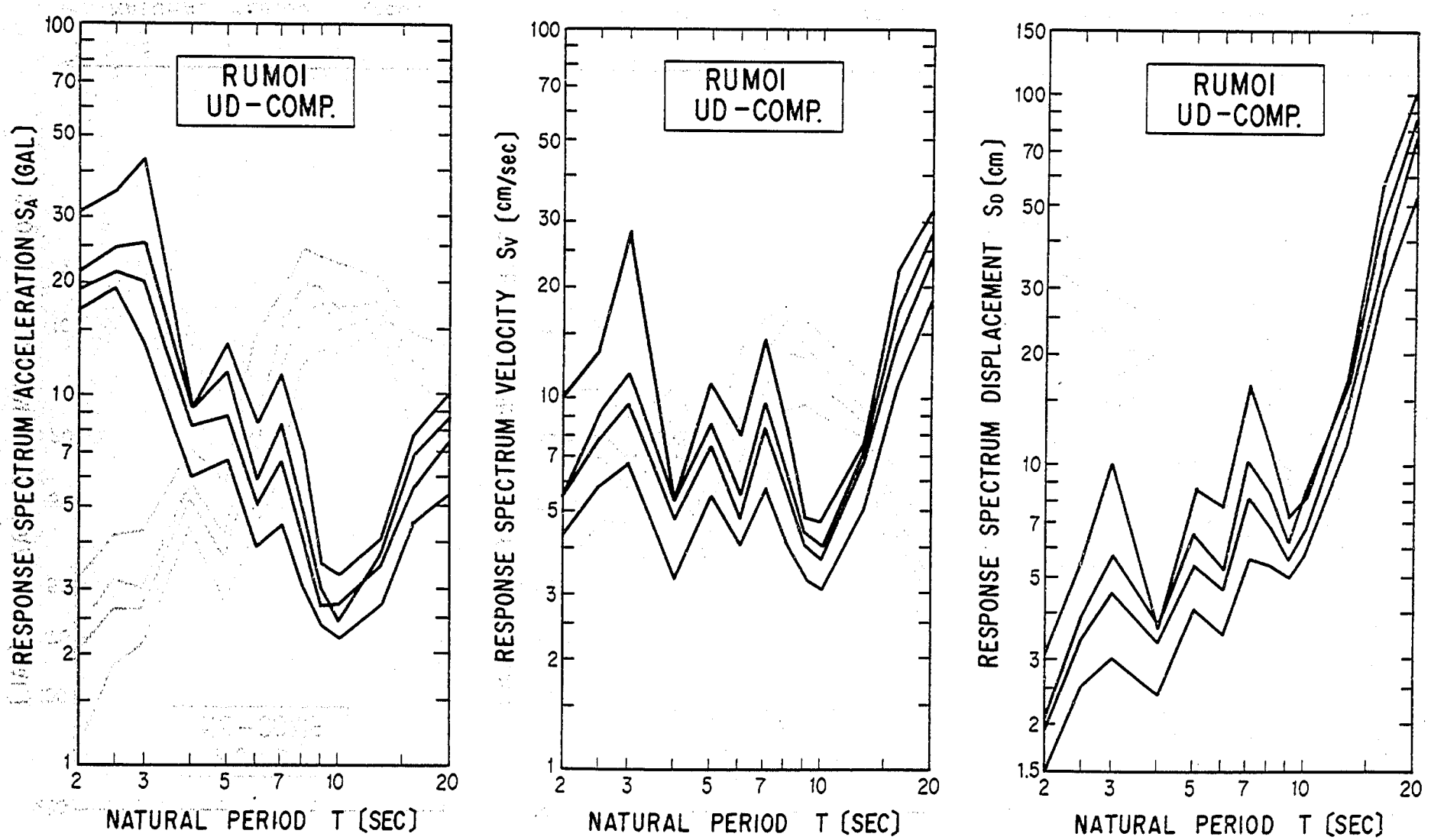


図3－44(1) 応答スペクトル（留萌・UD成分）

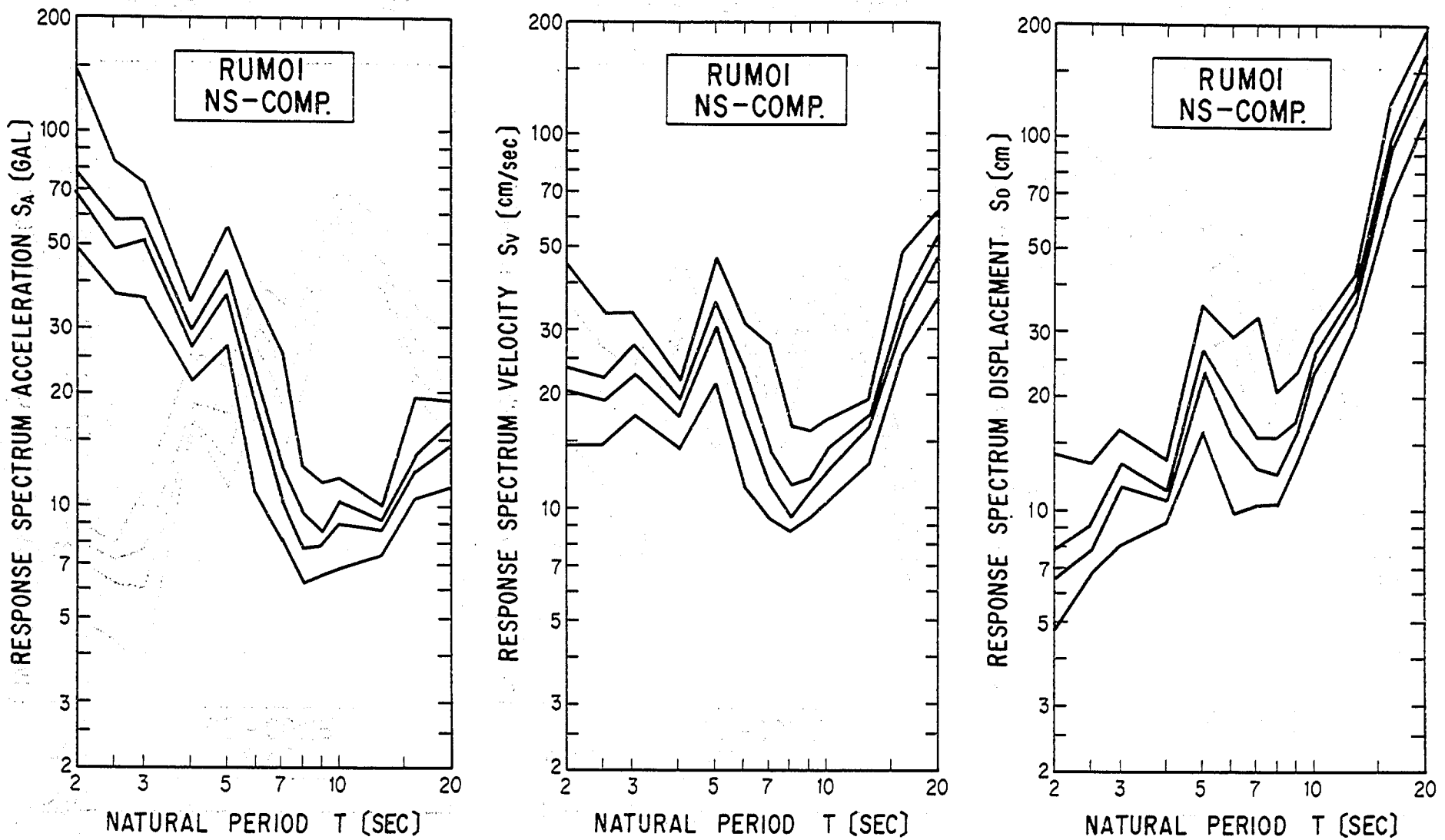


図３－44(2)　応答スペクトル（留萌・ＮＳ成分）

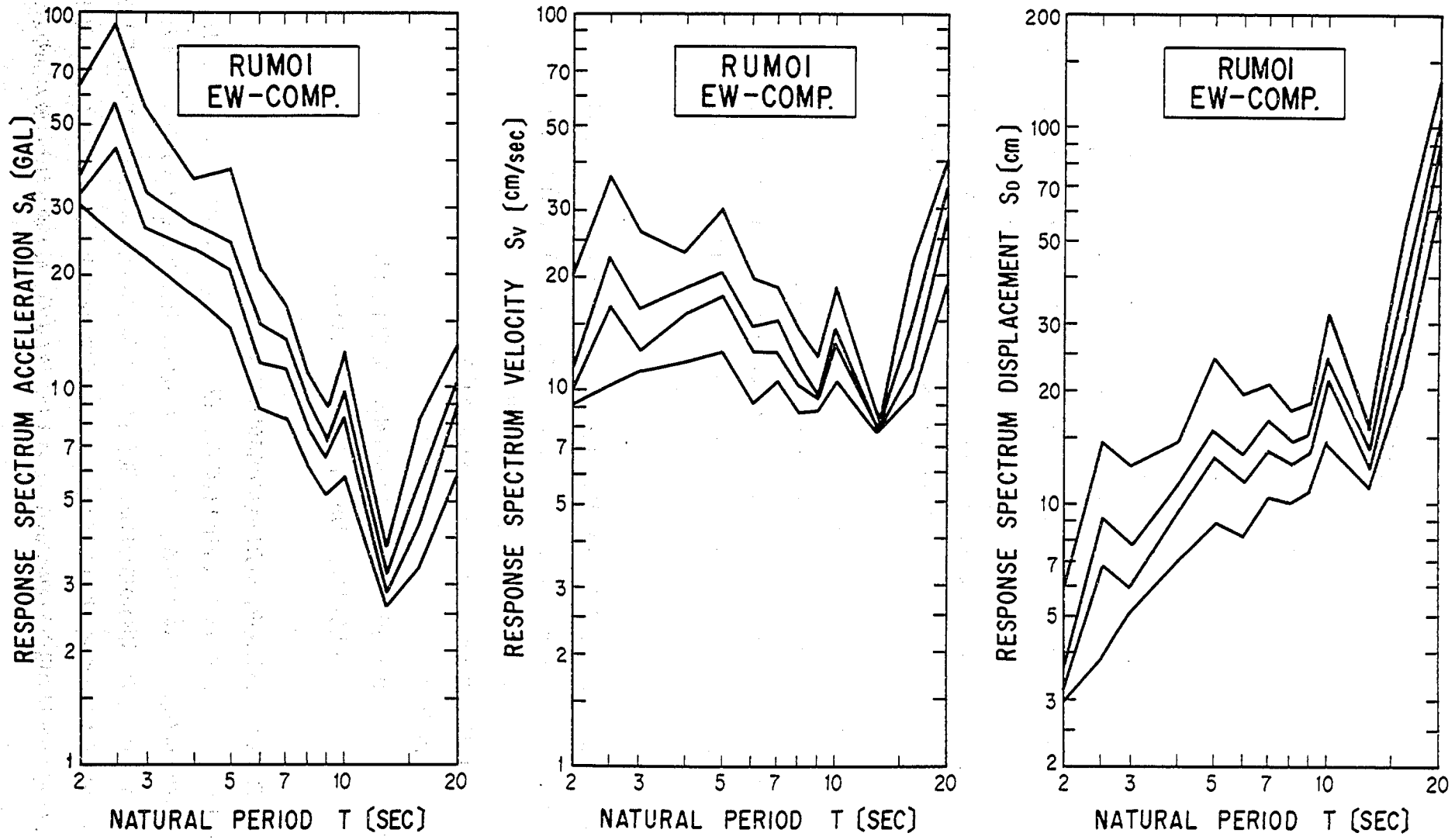


図３－44(3)　応答スペクトル（留萌・EW成分）

4. 長周期地震動の特性

4－1 気象庁1倍強震計記録の特徴

図3－11～図3－27に示した気象庁1倍強震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1倍強震計記録では大部分の記録の継続時間が450秒程度（約7分）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1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5～15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3－11～図3－27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1倍強震計では記録可能な最大変位は本来±3cmのはずであるが，3章に示した計器補正の効果で，最大変位はこれよりもかなり大きくなり，表3－3に示したように留萌のNS成分では19.5cmに達している。このような大きな変位は15秒程度の長周期成分に伴なって生じたものであり，上述したように工学式強震計記録の解析からは求められないものである。

(4) 加速度振幅が小さい

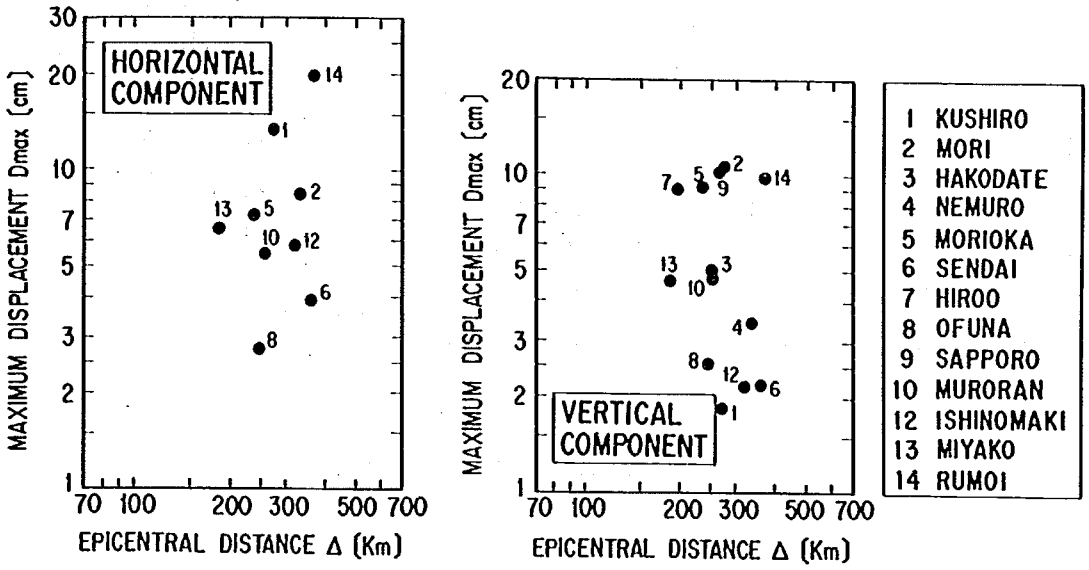
記録精度および数値化の精度を考慮し，短周期側の遮断周期を2秒としているため，短周期成分が欠落している。したがって，最大加速度は見かけ上小さくなっている。

4－2 最大変位，最大速度，最大加速度の距離減衰特性

図4－1～4－3は，それぞれ気象庁1倍強震計記録から求めた本震の最大変位，最大速度および最大加速度の距離減衰を示したものである。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，気象庁による本震の震央からの距離（震央距離）を用いている。また，図4－4は工学式強震計記録による最大加速度の距離減衰を示したものである。整理の方法は気象庁1倍強震計記録の場合と同様である。これより，最大変位，最大速度および最大加速度の距離減衰

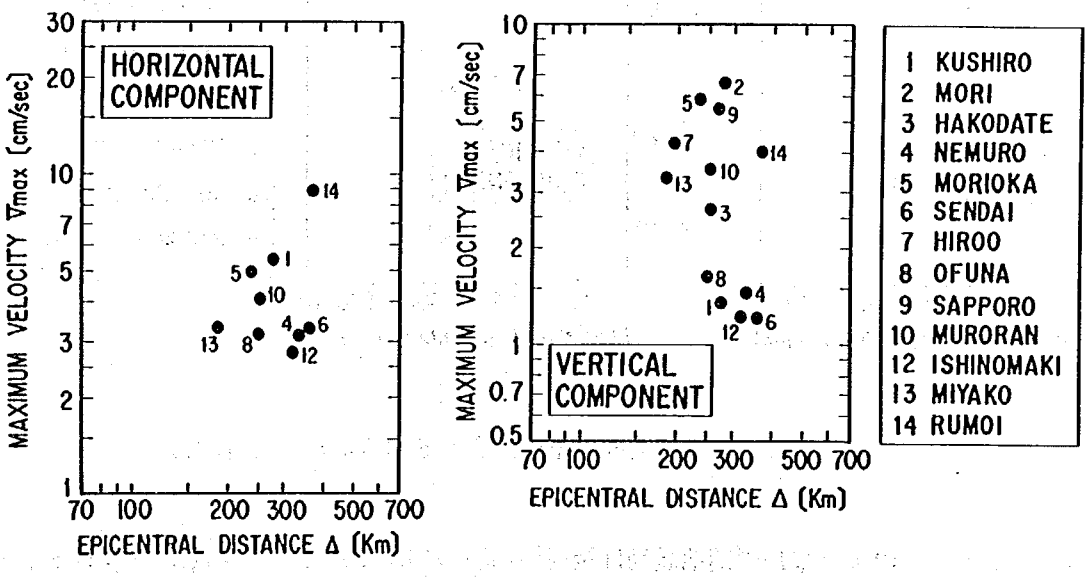
に関し，以下の事項が指摘される。

(1) 気象庁１倍強震計による変位の距離減衰には工学式強震計による最大加速度の距離減衰と同程度の大きなばらつきがある。気象庁１倍強震計記録は前述したように２～２０秒の間の非常に長い周期成分が



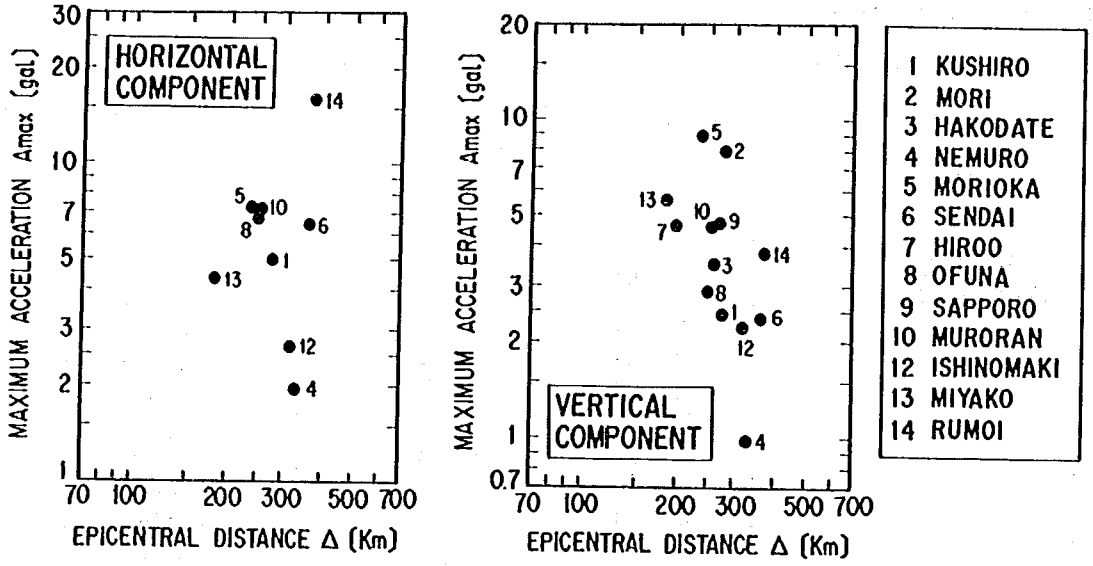
(a) 水平成分　　(b) 上下成分

図４－１　最大変位の距離減衰（気象庁１倍強震計記録）



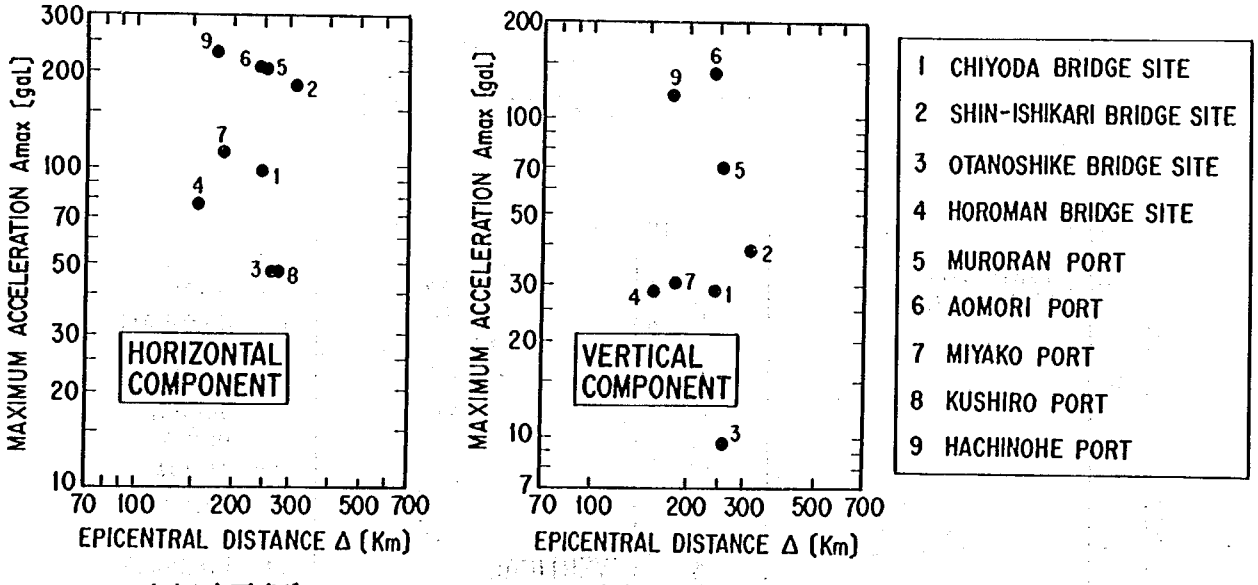
(a) 水平成分　　(b) 上下成分

図４－２　最大速度の距離減衰（気象庁１倍強震計記録）



(a) 水平成分　　(b) 上下成分

図４－３　最大加速度の距離減衰（気象庁１倍強震計記録）



(a) 水平成分　　(b) 上下成分

図４－４　最大加速度の距離減衰（ＳＭＡＣ型強震計記録）

主体となっており，このような長周期地震動は短周期領域の加速度と違って地表から数10ｍ程度の間の表層地盤の増幅特性に強く影響されるとは考えにくい。したがって，地震動の特性にはこうした表層地盤よりもさらに深層の地盤条件の影響が強く表われることを示していると考えられる。

(2) 震央距離２００kmおよび３００km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４－１～図４－４から読み取ると表４－１のようになる。また，表中には我国で得られた既往の強震記録（３９４成分）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。

$$\tilde{a}_{max}=\begin{cases}987\times10^{0.216M}\times(\Delta+30)^{-1.218} & (1\text{種地盤})\\ 232\times10^{0.313M}\times(\Delta+30)^{-1.218} & (2,3\text{種地盤})\\ 404\times10^{0.265M}\times(\Delta+30)^{-1.218} & (4\text{種地盤})\end{cases}\qquad(4-1)$$

$$\tilde{v}_{max}=\begin{cases}20.8\times10^{0.263M}\times(\Delta+30)^{-1.222} & (1\text{種地盤})\\ 2.80\times10^{0.430M}\times(\Delta+30)^{-1.222} & (2,3\text{種地盤})\\ 5.11\times10^{0.404M}\times(\Delta+30)^{-1.222} & (4\text{種地盤})\end{cases}\qquad(4-2)$$

$$\tilde{d}_{max}=\begin{cases}0.626\times10^{0.372M}\times(\Delta+30)^{-1.254} & (1\text{種地盤})\\ 0.0617\times10^{0.567M}\times(\Delta+30)^{-1.254} & (2,3\text{種地盤})\\ 0.0704\times10^{0.584M}\times(\Delta+30)^{-1.254} & (4\text{種地盤})\end{cases}\qquad(4-3)$$

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ある。

表4－1　最大地震動（水平成分）の比較（十勝沖地震本震）

	震央距離	気象庁1倍強震計記録	工学式強震計記録	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〕	200km	3～30	—	0.6	2.0	3.2	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。
	300km	2.5～20	—	0.4	1.3	2.0	
最大速度〔cm/sec〕	200km	3～15	—	3	9	10	
	300km	2～10	—	2	6	7	
最大加速度〔gal〕	200km	3～20	60～300	67	91	67	気象庁1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。
	300km	2～15	40～200	43	59	43	

表4－1より以下の事項が指摘される。

a）最大変位については，気象庁1倍強震計記録から求められる値が3～30cm（震央距離200km），2.5～20cm（震央距離300km）であるのに対し，式（4－3）による推定値は0.6～3.2cm（震央距離200km），0.4～2.0cm（震央距離300km）と小さい。これは，上述したように式（4－3）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1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。

b) 最大加速度については，上記a)と反対で，気象庁1倍強震計記録から求められる値は3～20 gal（震央距離200 km），2～15 cm（震央距離300 km）と非常に小さい。これは，前述したように気象庁1倍強震計記録には周期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。なお，工学式強震計記録による最大加速度は60～300 gal（震央距離200 km），40～200 gal（震央距離300 km）となっており，同一の震央距離でも大きなばらつきを持っていることがわかる。なお，式（4－1）による最大加速度の推定値は67～91 gal（震央距離200 km），43～59 gal（震央距離300 km）となっており，これらは工学式強震計による実測値の下限に近い値を与えている。

c) 最大速度については，気象庁1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。これらは，後述の速度応答スペクトルからわかるように速度は加速度と変位の中の中間の周期領域（一般に周期4～10秒程度)で卓越し，上記a)とb) の中間的な性格を有しているため，気象庁1倍強震計記録の周期帯域と工学式強震計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。

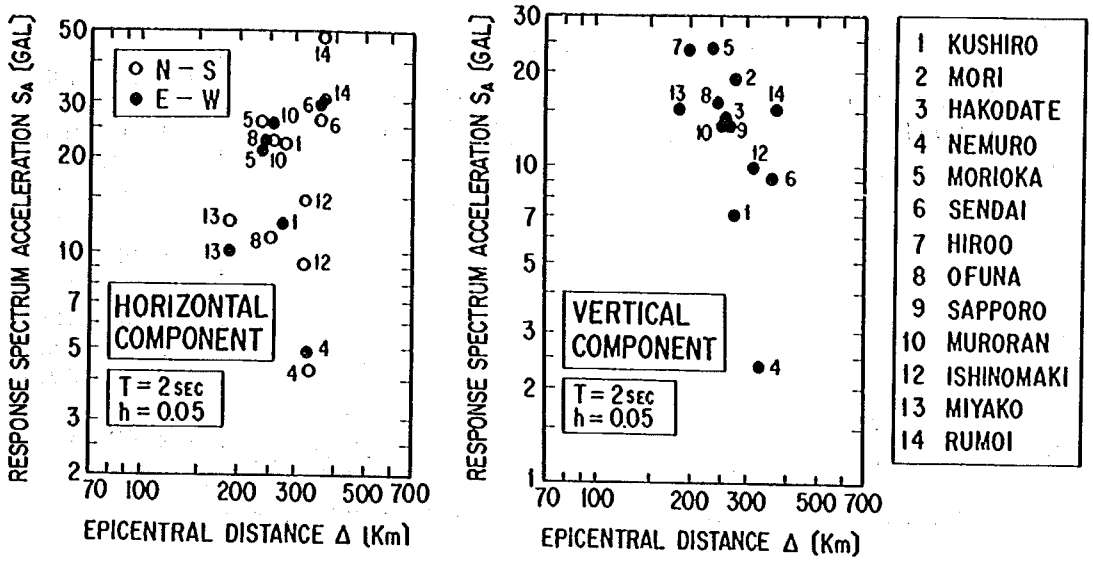
以上の点から，式（4－1）～（4－3）で与えられる既往の強震記録の統計解析結果に基づく最大加速度，最大速度，最大変位の予測式から求められる値と気象庁1倍強震計記録から求められる値を比較すると，両者の周期帯域の違いから，最大加速度および最大変位については直接比較することはできない。しかしながら，最大速度については，式（4－2）の距離減衰式は気象庁1倍強震計記録より求められる距離減衰と大勢においてよく一致している。

4－3　加速度応答スペクトル値の距離減衰特性

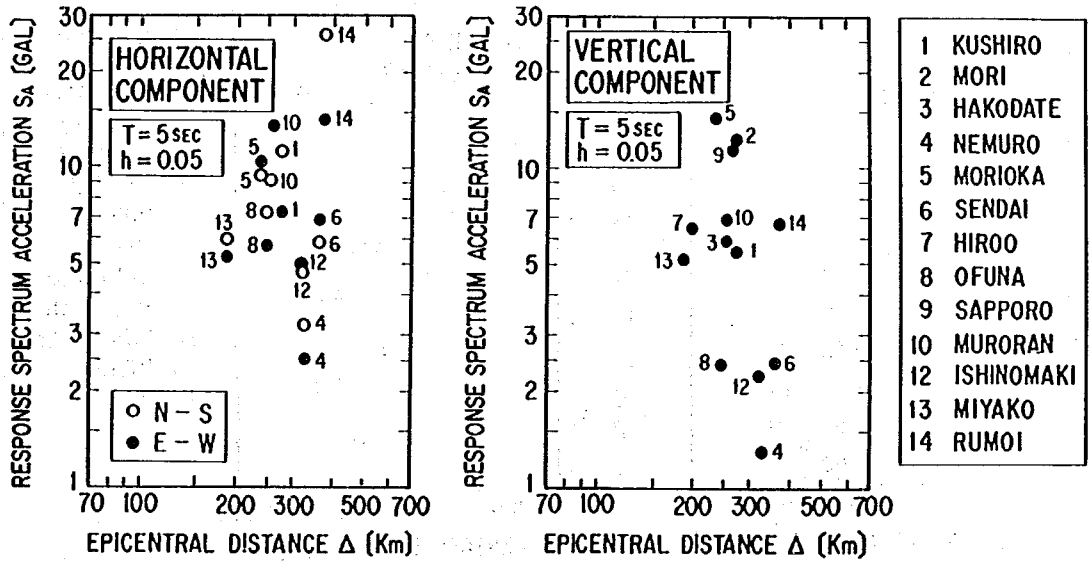
図3－28～3－44に示した気象庁1倍強震計記録の加速度応答スペクトル（減衰定数5％）から固定周期2秒，5秒，10秒および20秒について距離減衰を求めると図4－5のようになる。また，工学式強震計によって得られた記録から加速度応答スペクトルを計算し（減衰定数5％，付属資料1参照），固定周期2秒，5秒および10秒のスペクトル値の減衰特性を求めると図4－6のようになる。ここで，工学式強震計による記録には，強震計の短周期計器補正は加えていない。この理由は，ここで検討対象しているような長周期地震動に対しては計器特性の影響はないためである。

図4－5および図4－6の距離減衰特性を比較するために，震央距離200 km および300 km について両者の加速度応答スペクトル値を比較した結果が表4－2である。ここで，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）を示している。

$$S_A(2\text{秒}) = \begin{cases} 111 \times 10^{0.261M} \times (\Delta+30)^{-0.924} & (1\text{種地盤}) \\ 86.5 \times 10^{0.358M} \times (\Delta+30)^{-1.052} & (2,3\text{種地盤}) \\ 598.7 \times 10^{0.338M} \times (\Delta+30)^{-1.360} & (4\text{種地盤}) \end{cases} \qquad (4-4)$$

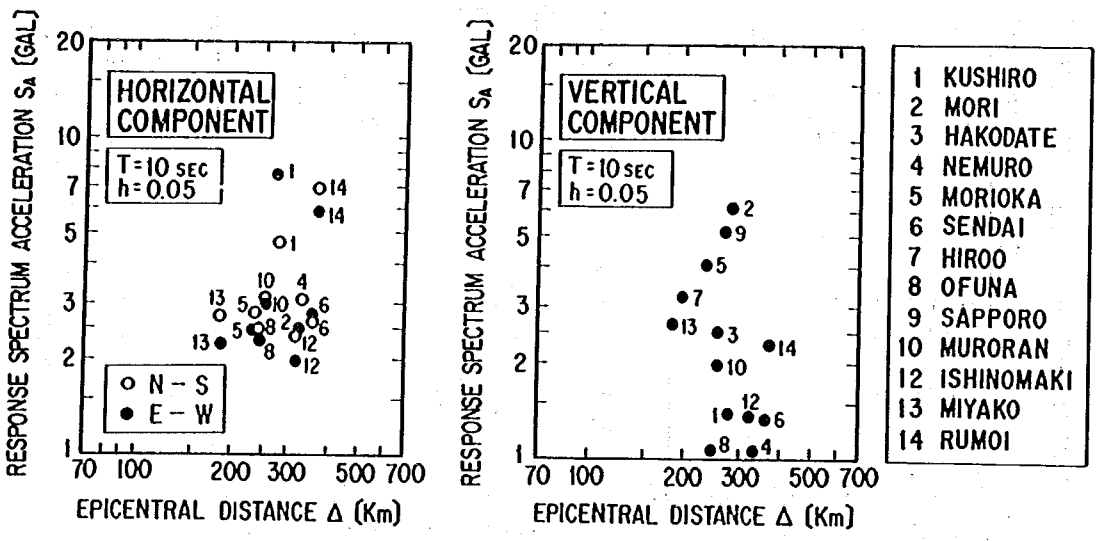


(a)　$T=2$ 秒

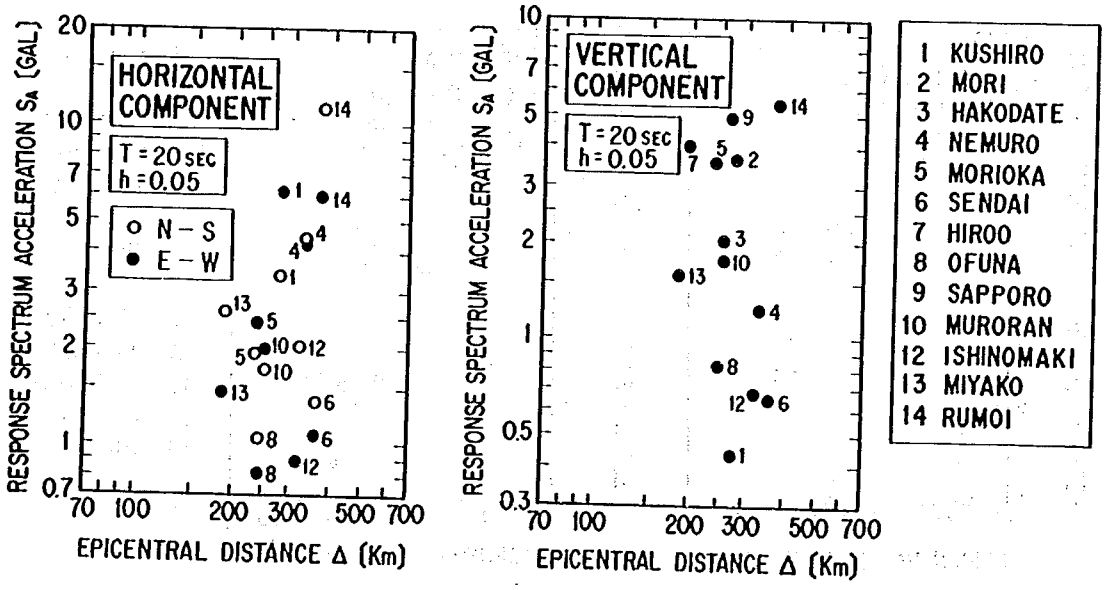


(b)　$T=5$ 秒

図4－5(1)　加速度応答スペクトル（減衰定数h＝0.05）の距離減衰（気象庁1倍強震計記録）

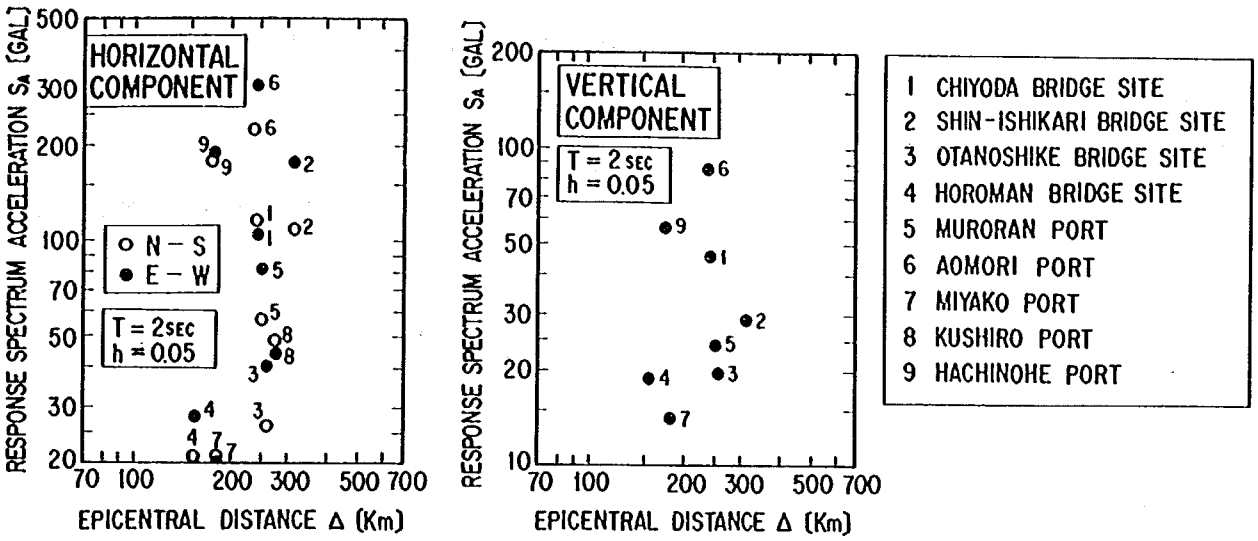


(c)　$T=10$ 秒

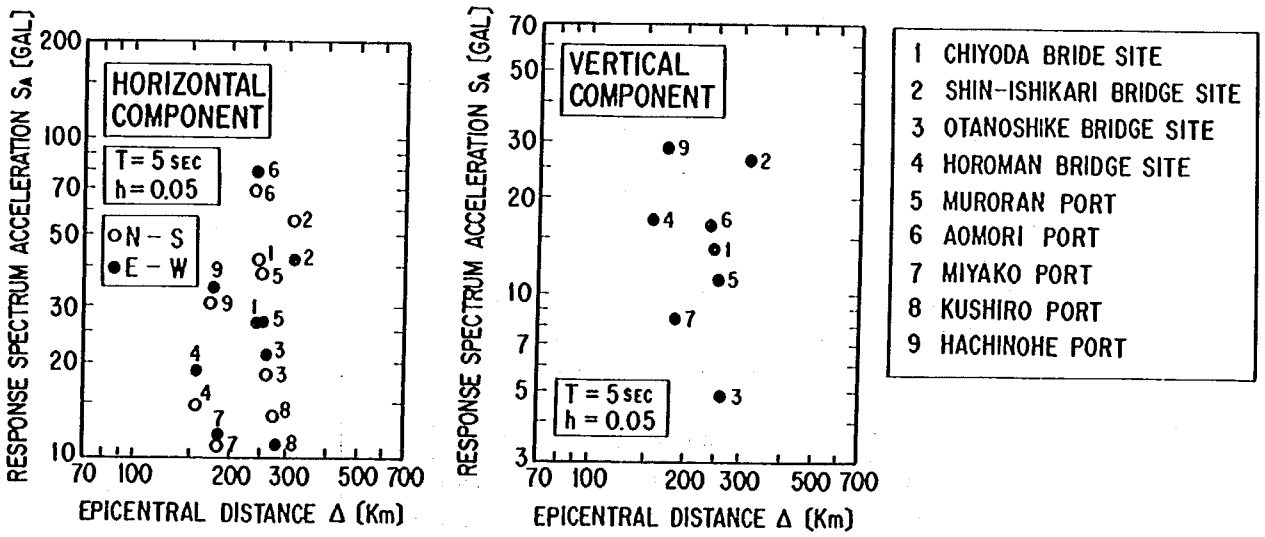


(d)　$T=20$ 秒

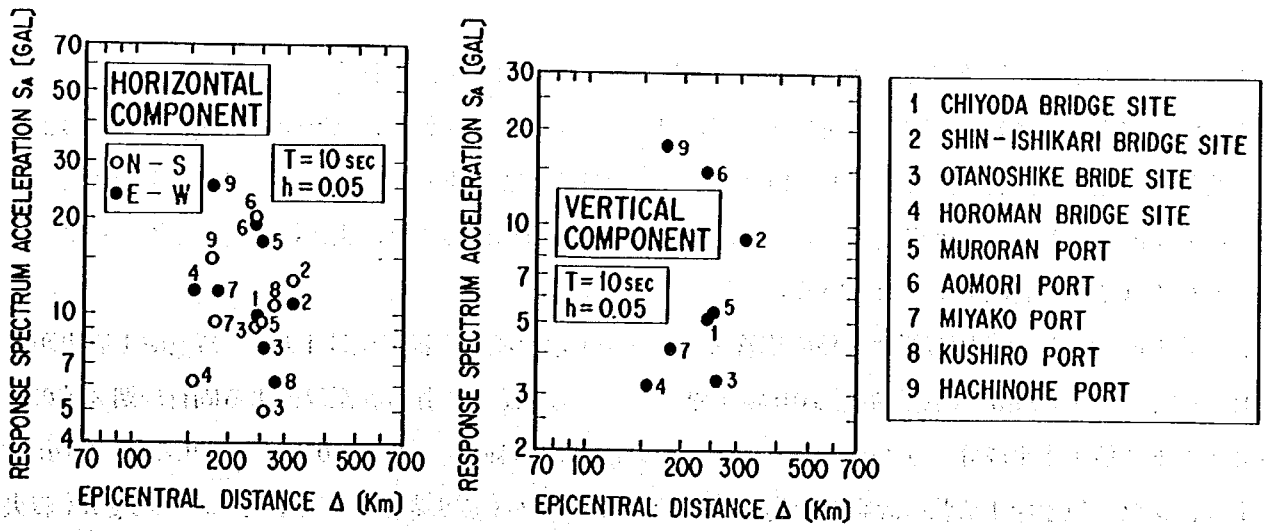
図４－５(2)　加速度応答スペクトル（減衰定数h＝0.05）の距離減衰（気象庁１倍強震計記録）



(a) $T = 2$ 秒



(b) $T = 5$ 秒



(c) $T = 10$ 秒

図４－６　加速度応答スペクトル（減衰定数h＝0.05）の距離減衰（工学式（SMAC型）強震計記録）

表４－２　加速度応答スペクトル値（減衰定数h＝0.05）の比較

(a)　水平成分

固有周期 T〔秒〕	震央距離　200 km		震央距離　300 km	
	気象庁１倍強震計記録	工学式強震計記録	気象庁１倍強震計記録	工学式強震計記録
2	10～40	20～400	5～30	20～200
5	5～30	10～100	2～20	10～60
10	2～10	5～25	1.5～8	4～15
20	1.5～10	—	0.7～7	—

(b)　上下成分

固有周期 T〔秒〕	震央距離　200 km		震央距離　300 km	
	気象庁１倍強震計記録	工学式強震計記録	気象庁１倍強震計記録	工学式強震計記録
2	10～30	15～100	3～20	10～70
5	3～20	6～30	1.5～20	4～30
10	1.5～8	3～20	1～5	2～10
20	0.7～7	—	0.4～5	—

(c)　既往の工学式強震計記録に基づく加速度応答スペクトル値
（固有周期２秒，水平成分，　h＝0.05　）

震央距離〔km〕	表層地盤条件		
	１種地盤	2,3種地盤	４種地盤
200	18.9	70.0	106.9
300	12.4	45.7	69.9

これらの結果より，加速度応答スペクトルに関し，以下の事項が指摘される。

1）同一震央距離に対する固有周期２秒，５秒，10秒のスペクトル値を，気象庁１倍強震計記録および工学式強震計記録の両者で比較すると，相互にかなりのばらつきはあるが，いずれの場合にも全体として後者の方が前者よりも約２倍程度大きい。しかしながら，固有周期および震央距離による応答スペクトル値の変化の様子は両者間でよく似ている。

2）式（４－４）による固有周期２秒の応答スペクトル（水平成分）推定値は19～107 gal（震央距離200 km），12～70 gal（震央距離300 km）である。一方，工学式強震計記録による固有周期２秒の応答スペクトル値（水平成分）は10～100 gal（震央距離200 km），10～60 gal（震央距離300 gal）であり，また，気象庁１倍強震計記録の場合には10～40 gal（震央距離200 km），5～30 gal（震央距離300 km）である。これより，式（４－４）による応答スペクトル値は，工学式強震計記録の距離減衰とよく一致しているといえよう。また，上記1)に示したように気象庁１倍強震計記録による応答スペクト

ル値は式（4－4）による推定値および工学式強震計記録から計算した値と比較するとやや小さいが，震央距離による応答スペクトル値の変化の様子はよく一致している。

結　　論

大規模地震による長周期地震動の特性を検討することを目的として，1968年十勝沖地震による気象庁1倍強震計（倍率1倍の変位計）記録50成分を数値化し，これらの特性を調べるとともに同地震により得られた工学式強震計（ＳＭＡＣ型強震計）記録および既往の工学式強震記録の統計解析により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。この種の解析は今回が最初であり，また，1回の地震だけを対象としているため，一般的な結論を出すことはできないが，多数の興味深い知見を得ることができた。これらをまとめると以下のようになる。

(1) 今回解析した気象庁1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，a) 継続時間が非常に長く，b) 全体として15秒付近で卓越した長周期成分を含んでおり，また，c) 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) 気象庁1倍強震計記録のように周期2～20秒の長周期地震動においても，その距離減衰特性は観測地点ごとに大きくばらついている。このような長周期地震動は短周期地震動のように地表から数10mの表層地盤の増幅特性に強く影響されるとは考えられないことから，地震動特性を考える場合には深層の地盤条件の影響を無視できないことを示していると考えられる。

(3) 対象とする周期帯域の違いを考慮して十勝沖地震による気象庁1倍強震計記録と工学式強震計記録の両者を固有周期2秒，5秒および10秒の加速度応答スペクトル（減衰定数5％）で比較すると，一般に後者の方が前者よりも2倍程度大きい。しかしながら，震央距離および固有周期による応答スペクトル値の変化の様子等はよく一致している。

(4) 既往の強震記録の統計解析に基づき求められた式（4－1）～（4－3）の距離減衰式から十勝沖地震による最大加速度，最大速度，最大変位の距離減衰を推定し，これを気象庁1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，両者はよく一致する。ただし，気象庁1倍強震計とＳＭＡＣ型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。

同様に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1倍強震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，前者の方が後者よりも一般に2倍程度大きいが，全体としての特性は両者はよく一致している。

なお，上述した式（4－4）の距離減衰式から求めた加速度応答スペクトルは十勝沖地震による工学式強震計記録より得られた加速度応答スペクトルの平均値とよく一致している。

謝　辞

本解析に用いた気象庁１倍強震計記録は茨城大学工学部建設工学科井上涼介先生により収集されたものであり，また，記録の数値化等処理手法に関しては土木学会屋外貯蔵タンクの耐震安全性検討小委員会（委員長：奥村敏恵東京電気大学教授）内に設けられた入力地震波検討幹事会（幹事長：片山恒雄東京大学生産技術研究所教授）において御検討いただいた。片山幹事長，東大工学部土木工学科藤野陽三先生をはじめとする同幹事会の幹事からは種々有用な御指摘をいただいた。また，気象庁１倍強震計の特性および長周期地震動の特性に関し，気象庁気象研究所地震火山研究部の勝又護氏に種々御教示いただいた。さらに，運輸省港湾技術研究所により得られたＳＭＡＣ型強震計記録を使用させていただいた。末尾ながらともに厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

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

4) 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, 1973, pp. 43－66.

2) 1968年十勝沖地震調査委員会：1968年十勝沖地震調査報告.

3) 気象庁：1968年十勝沖地震調査報告，気象庁技術報告第68号，昭和44年3月.

5) 表俊一郎：1975年大分県中部地震による九州各地の1倍強震計記録の解析，自然災害科学総合研究班，長大構造物の地震動災害とその防止に関する研究（研究代表者　小林啓美），昭和53年5月.

6) 岩崎敏男，川島一彦，若林進，高木義和：地震応答スペクトルに及ぼすＳＭＡＣ型強震計特性に関する実験的研究，土木学会論文報告集，No. 309, 1981.

7) 川島一彦，高木義和，相沢興：ディジタイザによるＳＭＡＣ型強震計記録の数値化精度，土木学会論文報告集，No. 324, 1982.

8) 川島一彦，高木義和，相沢興：数直化精度を考慮した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，Vol. 325, 1982.

9) 田中貞二，吉沢静代，大沢胖：やや長周期帯域における強震動の特性 ― 長周期低倍率地震計記録の解析 ― 地震研究所彙報，Vol. 54, 1979. pp. 629－655.

10) 萩原尊礼：振動測定，宝文館，昭和26年.

11) 浜松音蔵：気象官署における地震計観測の履歴表，地震，第2輯，第19巻，1966, pp. 286－305.

12) 井上涼介，藤野陽三，松原勝己，伯野元彦：断層震源モデルを適用した周期10秒前後の地震動評価の試み，土木学会論文報告集，Vol. 317, 1982.

13) 伯野元彦，松井芳彦，藤野陽三：強震記録による長周期構造物応答計算の精度，土木学会論文報告集，Vol. 275, 1978.

14) 工藤一嘉：やや長周期の地震波形予測と周辺問題，第10回地盤震動シンポジウム.

15) Morioka, T. : The Ground Motion of the Great Kwanto Earthquake of 1923，日本建築学会論文報告集，第289号，昭和55年.

16) 建設省土木研究所：土木構造物における加速度強震記録，土木研究所彙報，No. 1～No. 8，Vol. 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40.

17) 土田肇，倉田栄一ほか：港湾地域強震観測年報，1963年以後.

18) 片山恒雄，岩崎敏男，佐伯光昭：地震動加速度応答スペクトルの統計解析，土木学会論文報告集，第275号，1978.

19) 建設省土木研究所：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 ―（その３）最大加速度，速度，変位および加速度応答スペクトルの距離減衰式の開発 ―，土研資料第1864号，昭和57年11月.

20) 川島一彦，相沢興，高橋和之：最大地震動および地震応答スペクトルの統計解析，第6回日本地震工学シンポジウム，昭和57年12月.

21) 篠　泉，片山恒雄：A Comparative Study of Japanese and U.S. Strong Motion Properties by Response Spectra，第6回日本地震工学シンポジウム，昭和57年12月.

22) 川島一彦，相沢興，高橋和之：最大地震動および応答スペクトルの推定式に及ぼす強震記録の水平2成分合成の影響，土木学会論文報告集，Vol.329，1983.

23) 建設省土木研究所：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 —（その4）最大加速度，速度，変位および加速度応答スペクトルの距離減衰式の再検討— 土研資料，第1993号，昭和58年3月.

付　属　資　料　1

工学式(SMAC型)強震計記録に基づく加速度応答スペクトル

付表－1　工学式強震計記録による最大加速度および加速度応答スペクトル一覧

(a)　最大加速度 A_{max}〔gal〕

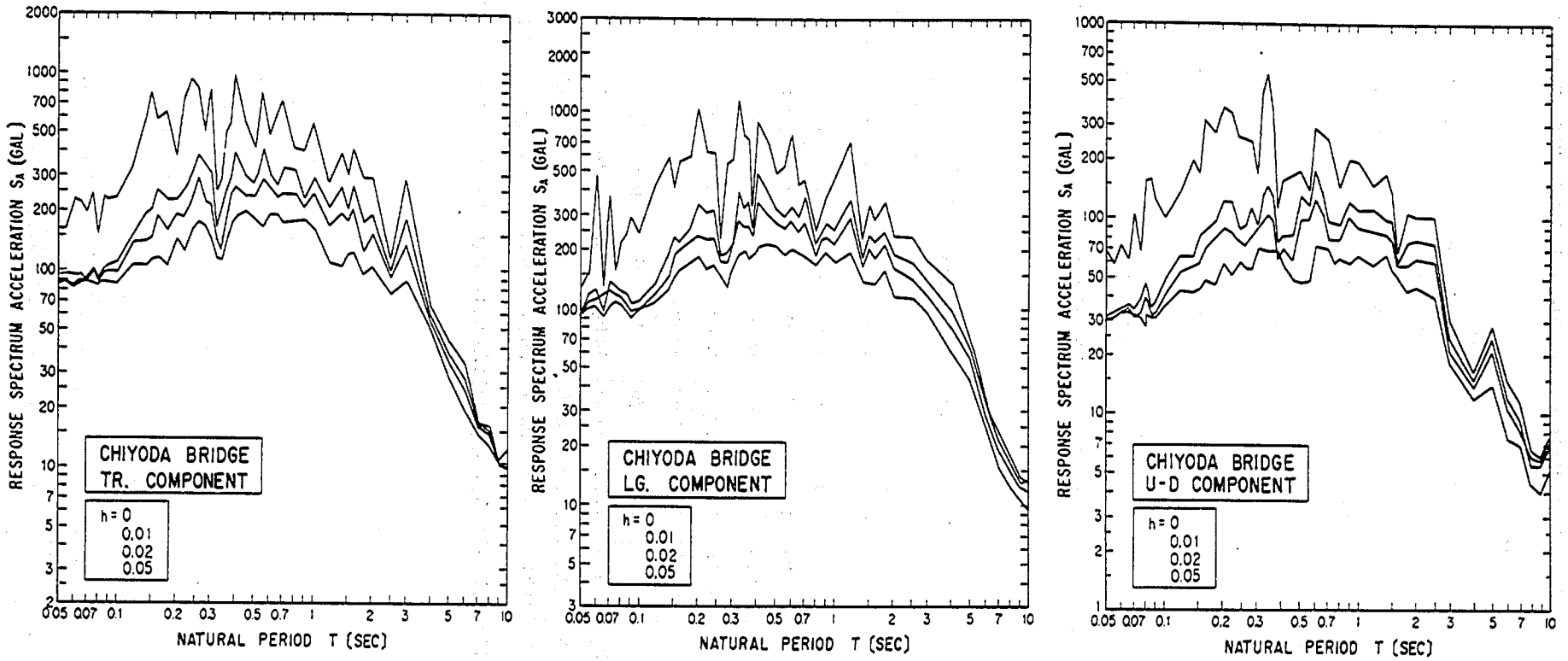
No	観測所名	橋軸直角方向	上下方向	橋軸方向	震央距離〔km〕
1	千代田橋	83.49	28.99	90.75	243
2	新石狩橋	181.25	38.07	174.87	316
3	大楽毛橋	33.00	9.58	47.00	259
4	幌満橋	77.49	28.44	52.23	155
5※	室蘭港	204.57	70.38	135.10	252
6※	青森港	207.67	137.08	179.91	239
7※	宮古港	112.27	30.67	96.71	183
8※	釧路港	39.27		47.24	277
9※	八戸港	232.67	119.21	180.59	175

注）No 5～No 9の観測所では，橋軸直角方向，橋軸方向の覧の数値はそれぞれＮＳ成分，ＥＷ成分の最大加速度を表わす。

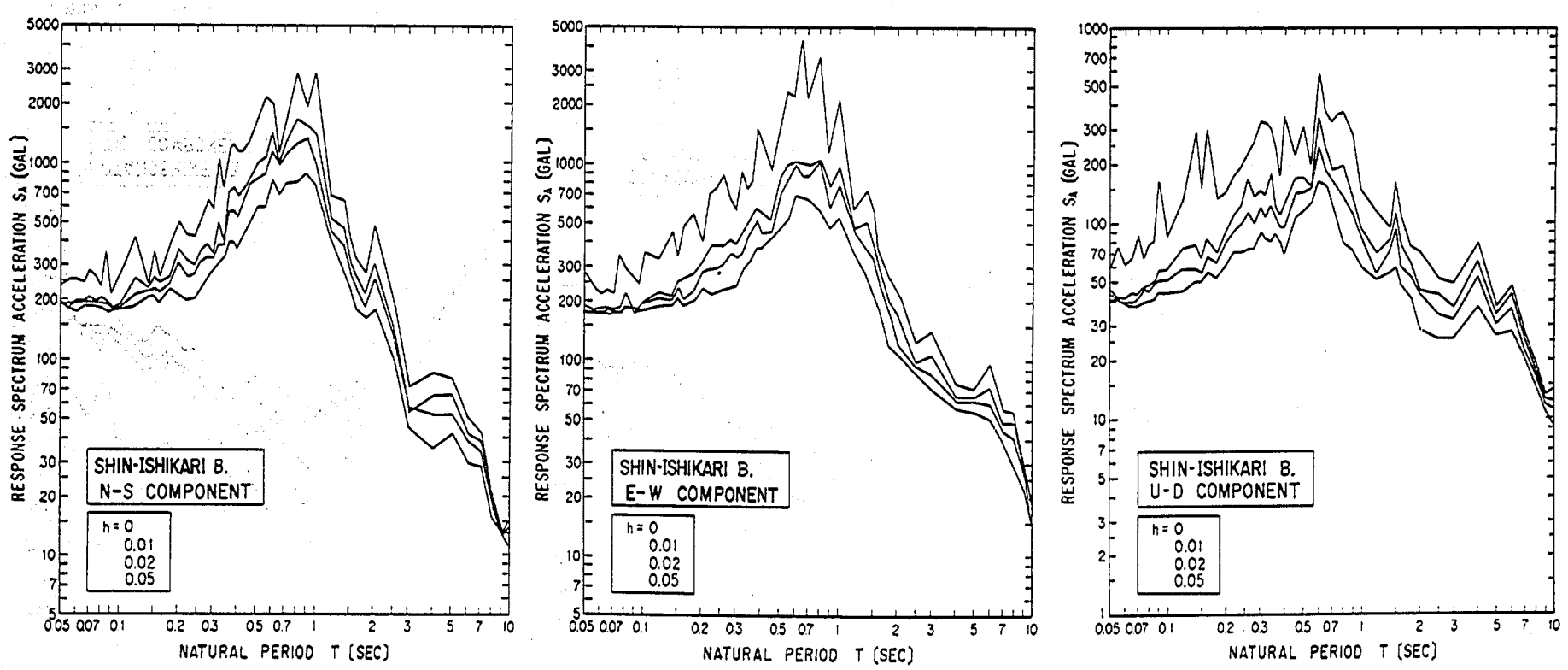
(b)　加速度応答スペクトル $S_A(T)$〔gal〕（減衰定数５％の場合）

No	成分／固有周期／観測所名	橋軸直角方向			上下方向			橋軸方向			震央距離〔km〕
		2秒	5秒	10秒	2秒	5秒	10秒	2秒	5秒	10秒	
1	千代田橋	105.70	27.10	9.93	45.95	14.23	5.12	116.60	41.29	9.30	243
2	新石狩橋	177.34	42.31	10.87	28.41	26.53	9.03	109.62	55.70	12.79	316
3	大楽毛橋	40.18	21.34	7.98	19.62	4.94	3.36	26.81	18.89	5.04	259
4	幌満橋	28.56	19.17	12.13	18.89	17.35	3.20	21.15	14.86	6.22	155
5※	室蘭港	83.47	27.17	17.02	23.99	11.19	5.45	57.12	38.12	9.56	252
6※	青森港	311.11	78.96	19.36	86.40	16.69	14.88	224.28	69.14	19.97	239
7※	宮古港	20.65	11.87	12.02	14.02	8.46	4.18	20.92	10.89	9.45	183
8※	釧路港	44.48	11.29	6.19				48.43	13.73	10.91	277
9※	八戸港	188.67	34.91	25.58	56.27	28.77	17.77	180.03	30.87	15.31	175

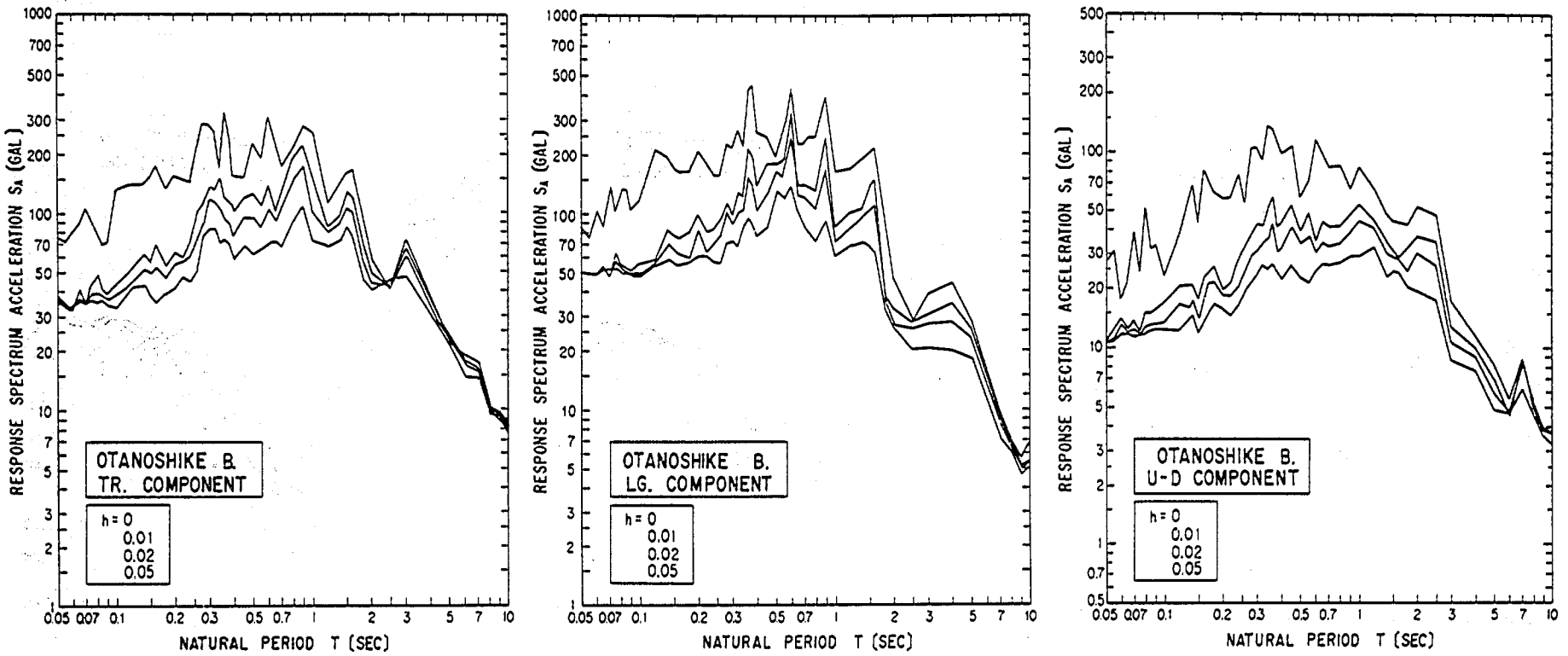
注）No 5～No 9の観測所では，橋軸直角方向，橋軸方向の覧の数値はそれぞれＮＳ成分，ＥＷ成分のスペクトル値を示す。



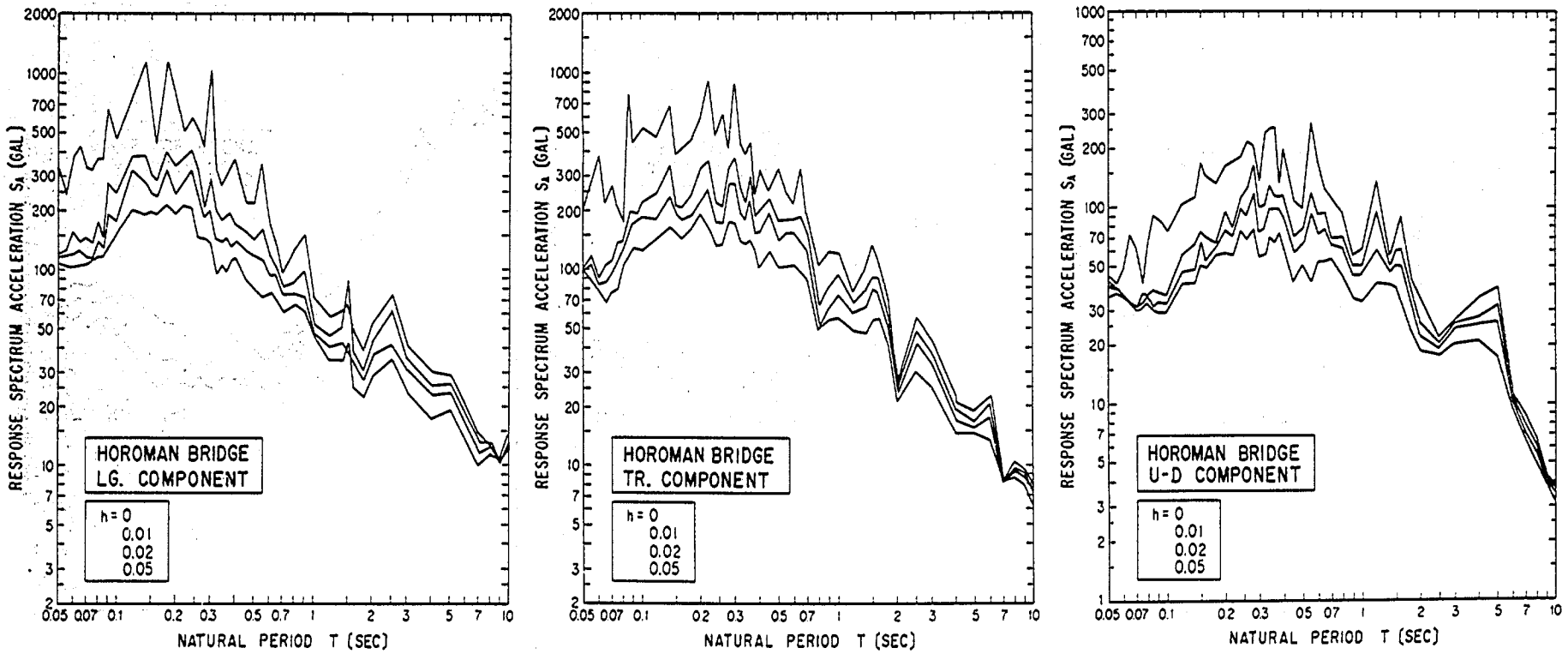
付図１　応答スペクトル（千代田橋，強震計記録）



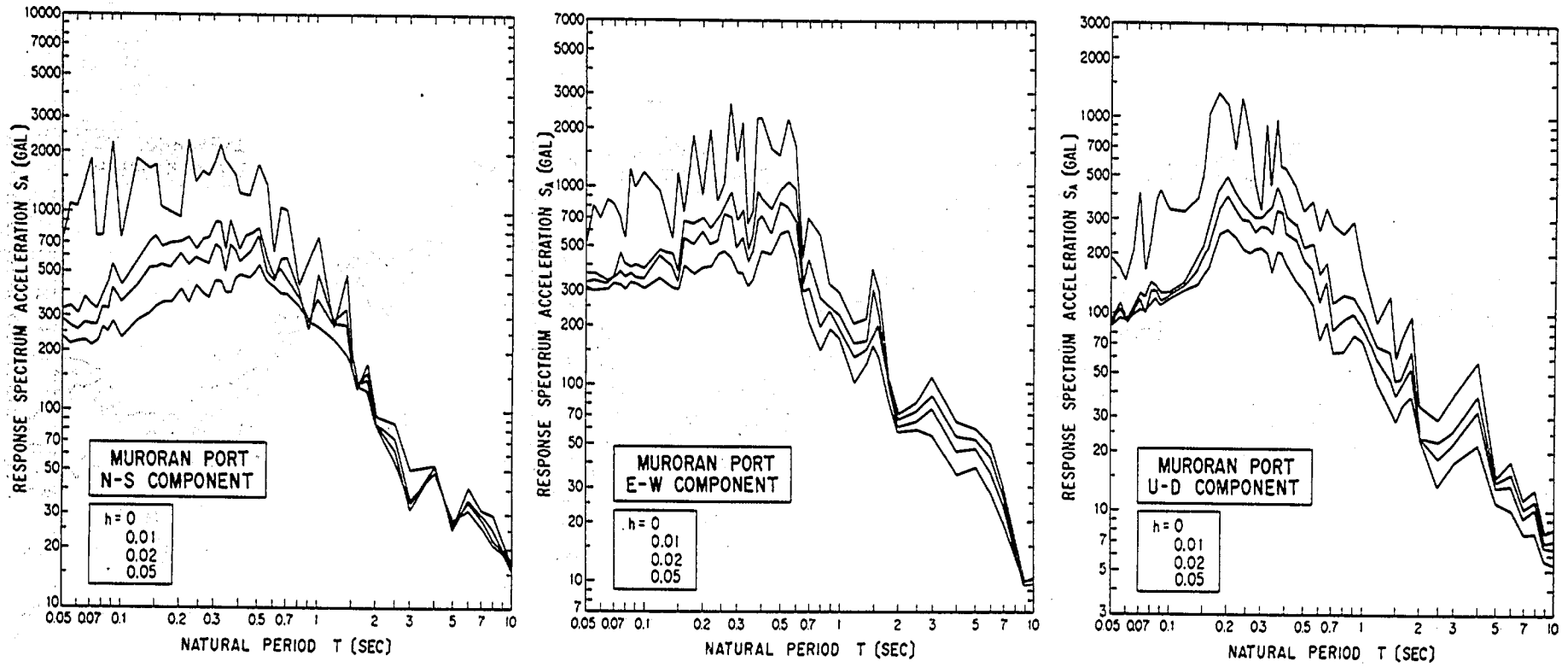
付図2　応答スペクトル（新石狩橋，強震計記録）



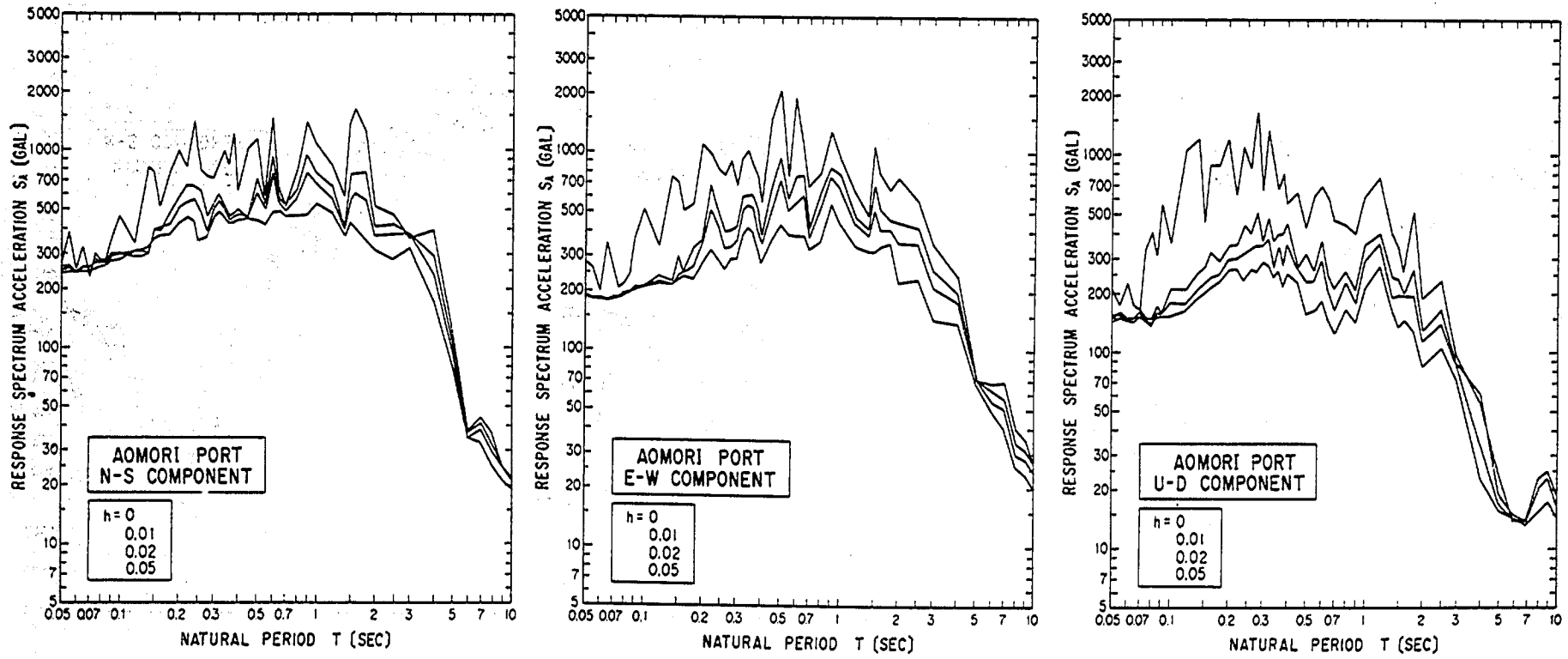
付図3　応答スペクトル（大楽毛橋，強震計記録）



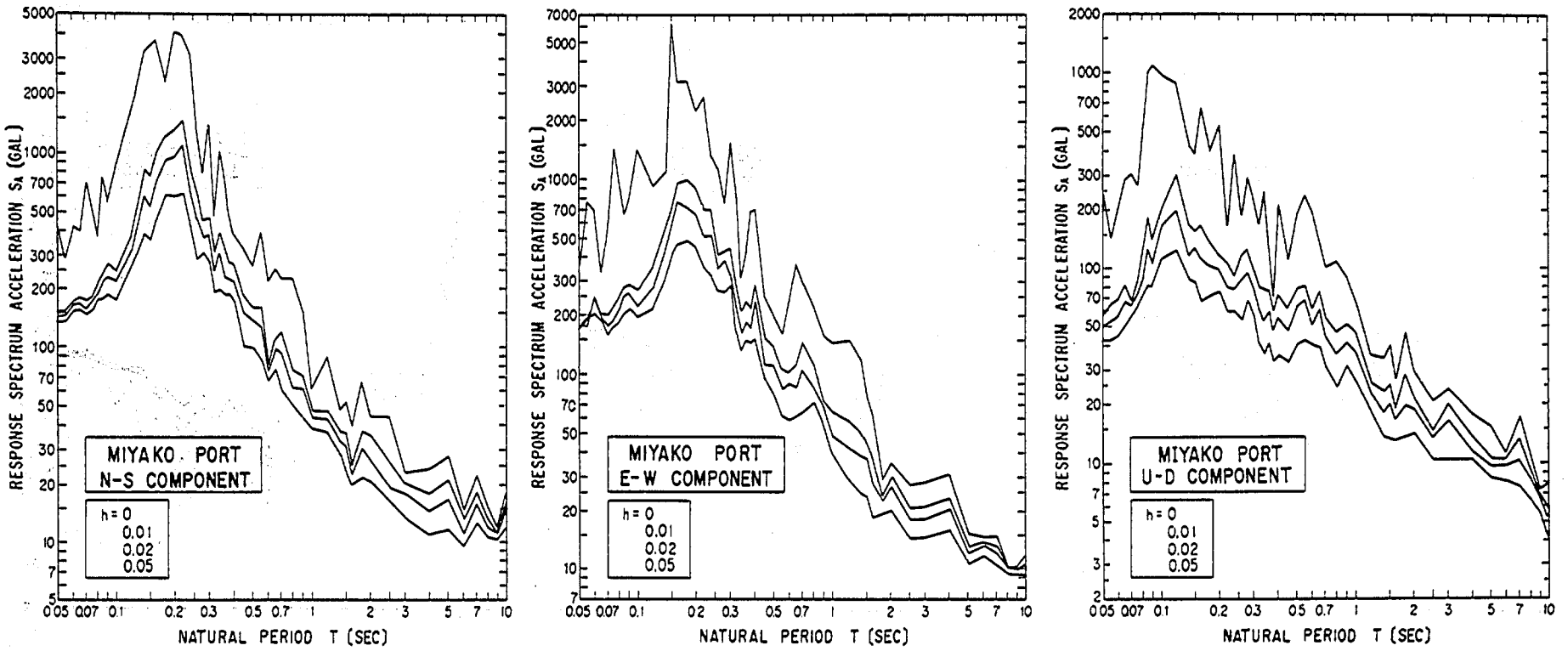
付図４　応答スペクトル（幌満橋，強震計記録）



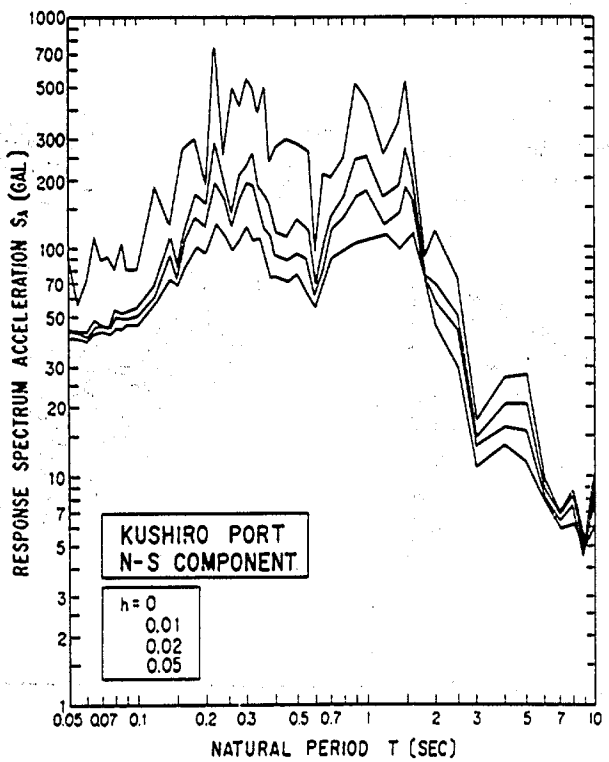
付図５　応答スペクトル（室蘭，強震計記録）

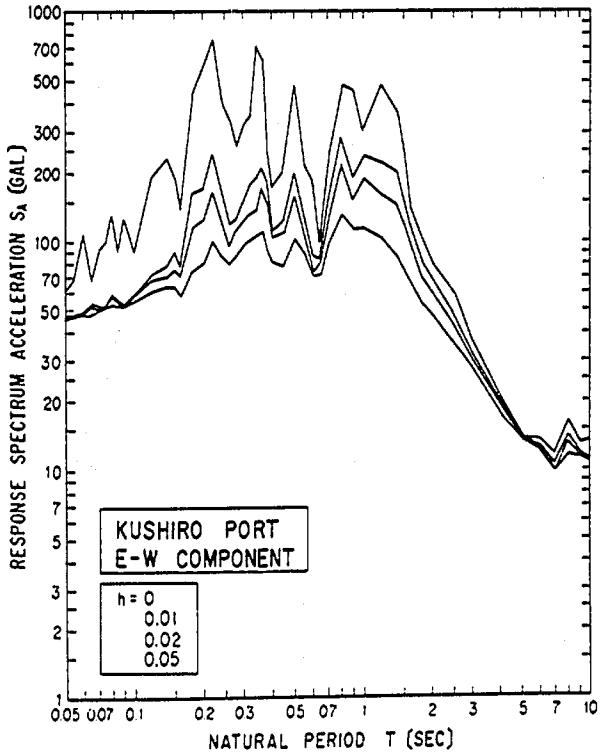


付図6　応答スペクトル（青森，強震計記録）

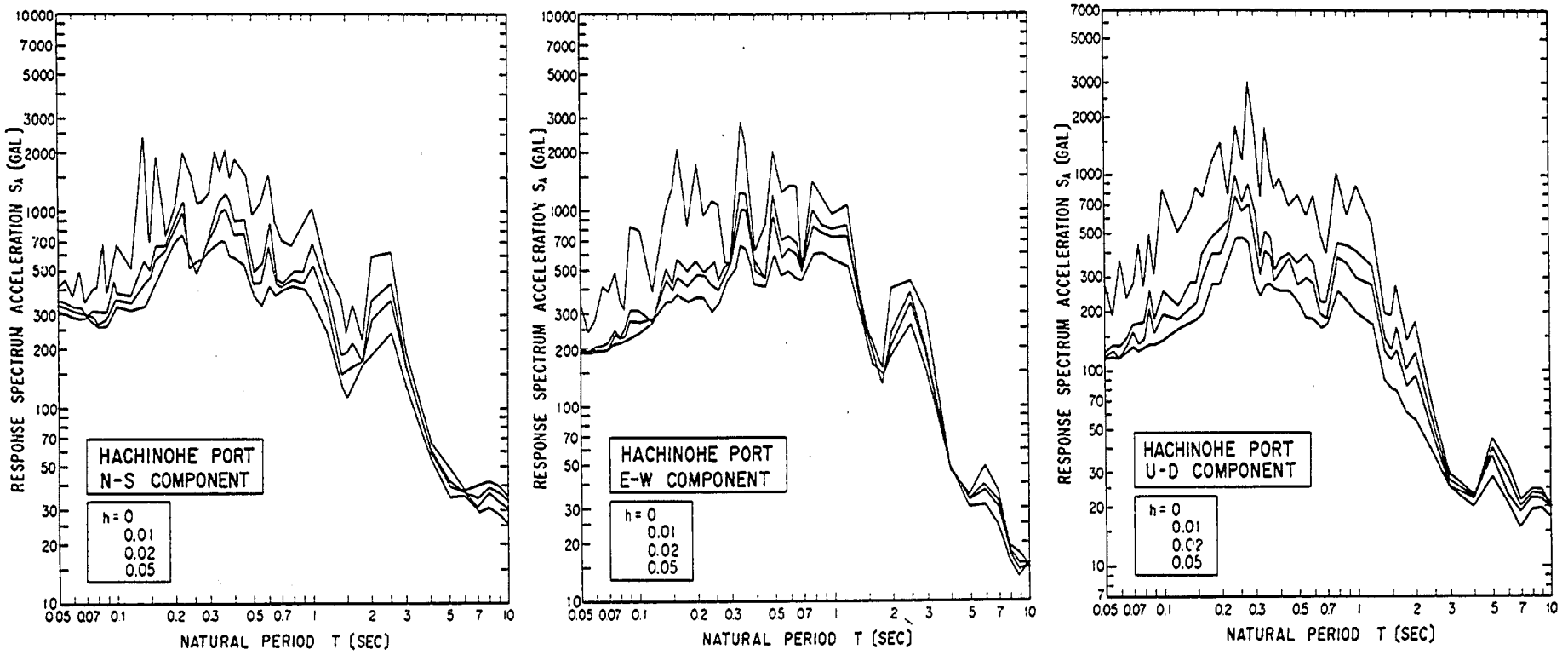


付図７　応答スペクトル（宮古，強震計記録）





付図８　応答スペクトル（釧路，強震計記録）



付図９　応答スペクトル（八戸，強震計記録）

付　属　資　料　2

気象庁１倍強震計記録から求めた $S_A(T)$ スペクトル値

(h=0.00)

No	記録名	成分名	ACCELERATION RESPONSE SPECTRUM S_A [gal]												
			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	KUSHIRO	U-D	27.981	20.192	14.513	8.909	10.871	6.557	3.264	3.189	3.819	2.540	4.952	2.612	0.507
2	KUSHIRO	E-W	25.806	27.416	24.782	21.130	11.018	14.914	19.046	14.053	9.285	11.425	6.234	14.223	10.099
3	KUSHIRO	N-S	91.819	73.974	24.335	21.352	31.542	12.964	9.657	6.053	8.821	12.890	8.262	6.654	5.844
4	MORI	U-D	33.194	54.578	70.911	66.792	21.681	18.223	21.480	12.002	10.751	7.830	3.934	8.502	5.364
5	MORI	E-W	209.050	80.209	93.899	143.295	56.627	58.838	22.207	29.422	12.327	11.003	7.626	6.109	3.460
6	MORI	N-S	177.376	121.544	90.163	150.733	48.958	36.506	39.296	17.682	17.259	16.311	9.278	4.873	3.076
7	HAKODATE	U-D	37.947	26.979	13.357	18.078	11.759	14.355	3.589	3.816	3.606	4.935	7.249	5.133	2.740
8	HAKODATE	E-W	139.439	39.493	86.843	25.904	21.102	26.381	15.689	9.540	7.847	7.897	6.354	4.627	3.223
9	HAKODATE	N-S	77.738	75.995	24.960	27.941	20.798	15.791	5.114	13.440	8.428	5.508	5.800	3.346	3.028
10	NEMURO	U-D	9.290	5.279	10.388	3.167	3.464	3.670	3.100	2.289	2.644	1.633	3.669	5.425	1.673
11	NEMURO	E-W	23.187	6.286	19.074	8.558	6.423	8.831	6.928	5.438	4.264	3.252	6.875	6.505	7.705
12	NEMURO	N-S	9.228	16.187	9.227	5.601	7.664	6.636	5.338	3.834	8.019	6.804	6.702	9.529	7.447
13	MORIOKA-1	U-D	42.340	43.062	21.276	36.108	30.542	17.724	20.103	10.179	4.311	6.621	9.562	11.975	5.534
14	MORIOKA-1	E-W	46.008	39.443	40.663	20.464	33.352	14.046	9.709	4.627	2.878	3.732	8.619	8.967	2.900
15	MORIOKA-1	N-S	43.979	58.381	43.541	15.311	15.586	11.046	5.421	8.313	5.301	3.752	6.625	9.140	3.617
16	MORIOKA-2	U-D	36.260	19.009	10.099	7.330	5.276	5.426	3.025	1.937	1.654	2.386	2.814	1.726	0.966
17	MORIOKA-2	E-W	11.032	19.922	19.847	4.171	7.162	5.005	2.776	2.268	3.142	3.696	1.195	1.182	1.171
18	MORIOKA-2	N-S	19.825	16.022	13.729	7.956	3.507	4.045	2.421	1.827	1.974	2.851	1.163	2.201	1.167
19	SENDAI-1	U-D	46.648	23.131	5.227	8.083	6.918	4.272	5.986	3.633	2.628	3.360	2.130	1.805	0.787
20	SENDAI-1	E-W	141.790	34.010	26.978	12.986	12.909	6.678	20.172	12.770	6.296	3.943	8.839	4.660	1.963
21	SENDAI-1	N-S	69.690	46.220	37.088	21.440	14.369	12.456	10.759	4.548	8.328	5.237	2.946	2.140	2.451
22	SENDAI-2	U-D	10.209	11.375	6.627	2.205	3.338	4.414	2.242	1.122	1.046	1.353	0.898	0.719	0.473
23	SENDAI-2	E-W	79.975	18.420	22.512	8.698	10.149	7.543	3.911	2.892	1.359	2.778	0.986	1.013	1.949
24	SENDAI-2	N-S	46.643	40.107	19.749	16.405	8.140	6.144	4.149	2.487	1.805	3.376	2.169	1.473	0.773
25	HIROO	U-D	42.983	37.833	34.811	12.771	19.671	10.858	8.158	5.591	3.326	3.774	5.677	9.910	6.962
26	HIROO	E-W	139.946	78.581	41.060	31.337	42.277	19.707	11.511	10.272	17.615	17.614	9.440	6.335	8.217
27	OOFUNA-1	U-D	32.445	26.387	11.891	6.842	10.258	7.257	3.207	2.113	2.424	1.520	1.394	1.849	1.175
28	OOFUNA-1	E-W	47.447	31.139	22.412	16.877	16.249	11.305	5.015	7.332	4.344	4.603	4.928	2.576	1.291
29	OOFUNA-1	N-S	34.013	16.817	19.550	13.922	19.463	9.405	4.677	2.592	8.117	4.396	3.321	2.808	1.902
30	OOFUNA-2	U-D	18.497	14.243	7.563	2.748	2.840	2.486	1.176	0.941	0.554	0.774	0.679	0.728	0.384
31	OOFUNA-2	E-W	12.257	9.505	7.354	8.097	8.059	3.233	3.610	1.902	1.870	1.855	0.868	0.608	1.329
32	OOFUNA-2	N-S	33.485	14.696	6.799	4.906	5.565	2.003	3.720	1.905	1.644	2.789	0.913	1.184	0.696
33	SAPPORO	U-D	37.488	38.078	27.440	38.730	35.703	10.911	24.931	23.461	7.867	10.909	8.113	17.395	7.712
34	SAPPORO	N-S	94.252	231.910	114.253	71.440	23.005	21.393	26.653	13.523	13.926	13.527	17.583	12.371	7.110
35	SAPPORO	E-W	265.439	84.969	137.874	94.234	53.316	26.987	27.638	20.285	14.514	14.392	15.395	16.194	14.589
36	MURORAN	U-D	27.853	10.105	31.103	30.840	13.663	4.913	4.572	6.807	3.710	3.994	2.686	3.481	3.085
37	MURORAN	N-S	79.268	31.181	22.967	15.935	30.069	9.704	13.062	12.350	6.940	9.561	4.146	4.315	2.602
38	MURORAN	E-W	45.565	21.251	52.219	24.283	26.552	17.107	6.802	8.623	4.959	7.335	2.453	5.612	3.516
39	AKITA	U-D	91.394	71.414	55.293	96.655	27.658	25.499	27.888	11.353	6.096	6.608	9.512	8.132	5.913
40	AKITA	E-W	336.921	124.658	257.933	64.875	54.593	64.772	32.323	15.608	13.916	21.912	15.026	9.870	7.422
41	AKITA	N-S	280.973	133.098	130.028	89.924	24.547	38.760	58.672	9.632	9.984	9.789	11.482	8.922	7.181
42	ISHINOMAKI	U-D	44.570	25.536	9.505	5.438	5.307	5.148	2.031	5.219	2.526	2.163	2.664	1.940	1.098
43	ISHINOMAKI	E-W	46.911	25.953	13.506	16.495	17.472	8.671	5.249	6.488	4.891	3.242	5.407	4.185	1.390
44	ISHINOMAKI	N-S	50.843	32.214	19.770	12.352	16.754	6.776	5.083	4.696	5.026	2.906	10.383	3.023	4.280
45	MIYAKO	U-D	39.457	29.341	21.935	20.518	9.650	12.507	7.649	5.291	4.503	4.407	4.934	4.830	1.967
46	MIYAKO	N-S	36.724	45.337	22.720	11.572	26.014	10.865	12.686	4.809	4.937	6.702	8.597	8.359	3.374
47	MIYAKO	E-W	36.174	27.851	20.377	20.179	18.824	8.415	9.617	4.098	5.930	6.707	4.578	3.690	2.497
48	RUMOI	U-D	31.717	35.429	43.956	9.116	13.890	8.456	13.183	6.930	3.527	3.330	4.183	8.975	10.092
49	RUMOI	N-S	140.902	83.145	71.912	34.366	56.967	32.712	25.102	12.844	11.657	11.926	10.045	19.385	19.101
50	RUMOI	E-W	63.340	92.024	55.625	36.091	38.170	21.040	16.552	10.790	8.825	12.515	3.730	8.170	13.009

($h=0.01$)

No.	記録名	成分名	ACCELERATION RESPONSE SPECTRUM S_A [gal]												
			$T=2.0$	$T=2.5$	$T=3.0$	$T=4.0$	$T=5.0$	$T=6.0$	$T=7.0$	$T=8.0$	$T=9.0$	$T=10.0$	$T=13.0$	$T=16.0$	$T=20.0$
1	KUSHIRO	U-D	13.239	15.573	10.177	6.681	7.977	4.286	2.933	2.242	2.345	2.271	3.569	1.960	0.511
2	KUSHIRO	E-W	21.582	20.418	20.483	14.029	9.054	10.813	14.345	10.689	8.469	10.474	5.716	10.766	8.690
3	KUSHIRO	N-S	44.766	47.516	11.302	12.956	21.318	8.608	7.874	5.131	5.502	8.135	7.255	5.940	5.071
4	MORI	U-D	27.705	32.785	42.164	49.415	18.975	12.409	15.632	10.314	9.412	7.326	3.752	6.841	4.907
5	MORI	E-W	144.962	59.140	57.476	107.390	41.234	32.738	13.113	19.843	9.088	8.162	5.195	4.652	3.198
6	MORI	N-S	114.900	88.061	73.919	82.507	32.730	21.039	25.322	11.677	10.167	9.750	7.272	3.719	2.111
7	HAKODATE	U-D	26.181	19.293	11.883	10.760	8.511	7.016	3.232	3.180	2.789	3.465	5.200	4.444	2.582
8	HAKODATE	E-W	84.337	33.391	65.188	22.586	16.521	13.356	8.908	5.536	6.736	5.606	5.417	3.802	2.977
9	HAKODATE	N-S	53.165	60.477	20.847	21.692	18.329	13.196	4.689	8.766	7.041	3.670	3.647	3.091	2.633
10	NEMURO	U-D	5.543	4.183	5.694	2.270	2.521	2.796	2.057	1.866	2.189	1.317	2.818	4.637	1.538
11	NEMURO	E-W	11.337	4.777	11.144	5.834	3.401	6.496	5.283	4.317	3.306	2.603	5.901	5.926	6.555
12	NEMURO	N-S	6.323	6.806	4.904	4.838	4.010	4.933	4.275	3.577	4.741	4.319	5.783	6.538	6.568
13	MORIOKA-1	U-D	31.562	27.440	21.177	25.534	23.963	15.653	11.201	6.662	4.114	5.216	8.494	8.002	4.481
14	MORIOKA-1	E-W	32.903	31.612	25.555	15.938	18.863	11.664	7.710	4.263	2.814	2.904	6.263	6.533	2.756
15	MORIOKA-1	N-S	33.335	43.004	34.828	11.821	14.007	8.133	4.927	4.630	4.025	2.936	5.896	6.925	2.813
16	MORIOKA-2	U-D	27.970	17.234	9.205	4.617	3.710	3.153	2.455	1.422	1.484	1.946	2.463	1.633	0.898
17	MORIOKA-2	E-W	8.996	16.542	13.712	3.499	5.266	2.971	2.537	1.756	2.468	3.201	1.144	1.085	0.977
18	MORIOKA-2	N-S	11.319	12.012	9.383	5.832	2.887	3.382	2.209	1.362	1.768	2.237	0.915	1.686	1.055
19	SENDAI-1	U-D	18.672	12.568	5.006	4.055	4.934	2.507	2.933	2.454	1.707	2.085	1.951	1.567	0.753
20	SENDAI-1	E-W	58.357	26.227	20.444	12.382	9.632	4.838	11.873	8.721	5.269	3.276	5.741	3.990	1.487
21	SENDAI-1	N-S	51.897	23.197	23.712	14.363	7.835	9.570	7.668	3.853	6.029	3.697	2.565	1.733	1.973
22	SENDAI-2	U-D	5.752	6.631	3.603	2.174	2.416	2.423	1.848	0.968	0.809	1.060	0.819	0.627	0.439
23	SENDAI-2	E-W	38.738	14.466	9.890	7.669	8.584	5.066	3.459	2.101	1.301	1.604	0.934	0.841	1.405
24	SENDAI-2	N-S	24.919	19.236	13.454	10.131	4.341	4.154	3.252	2.079	1.667	2.148	1.485	1.291	0.718
25	HIROO	U-D	35.451	28.750	19.622	11.758	11.094	9.412	6.786	4.651	3.344	3.509	5.079	6.156	5.809
26	HIROO	E-W	84.123	62.142	35.984	26.613	32.706	17.416	10.962	9.760	13.712	12.616	6.604	5.938	6.754
27	OOFUNA-1	U-D	23.675	11.210	6.586	3.870	4.581	3.399	2.478	1.332	1.621	1.247	1.301	1.586	1.026
28	OOFUNA-1	E-W	33.123	22.166	15.493	13.016	9.801	5.119	3.128	3.292	3.169	3.184	3.920	2.205	1.149
29	OOFUNA-1	N-S	20.181	15.458	10.489	7.996	11.417	8.137	4.262	2.451	4.786	3.823	2.677	2.610	1.627
30	OOFUNA-2	U-D	15.106	12.281	6.429	2.663	1.402	1.461	0.939	0.751	0.491	0.647	0.641	0.612	0.356
31	OOFUNA-2	E-W	9.025	6.925	7.055	7.429	6.532	2.561	1.933	1.564	1.479	1.609	0.790	0.514	1.104
32	OOFUNA-2	N-S	15.334	11.738	6.385	4.272	4.072	1.852	2.766	1.728	1.512	2.129	0.807	1.030	0.651
33	SAPPORO	U-D	27.074	20.922	14.915	22.778	20.617	7.827	18.036	16.266	7.289	7.900	7.210	13.530	6.908
34	SAPPORO	N-S	66.999	146.923	70.067	42.932	16.089	18.453	19.804	9.261	11.488	11.307	10.693	11.138	7.005
35	SAPPORO	E-W	140.411	50.792	101.024	53.774	40.619	20.613	21.572	16.567	10.377	12.199	13.724	11.655	11.655
36	MURORAN	U-D	18.886	8.726	18.316	23.920	9.180	4.665	3.599	5.584	2.936	3.028	2.456	3.084	2.444
37	MURORAN	N-S	43.577	24.048	21.164	13.120	17.073	8.671	8.806	9.453	4.761	6.203	3.220	3.268	2.330
38	MURORAN	E-W	37.102	18.656	33.022	13.974	22.871	13.993	5.612	7.018	4.666	5.296	2.338	4.506	2.879
39	AKITA	U-D	73.375	49.752	43.270	63.517	25.063	18.758	16.467	9.058	6.004	6.096	8.560	7.539	4.657
40	AKITA	E-W	184.870	91.220	132.813	55.297	46.355	23.820	19.323	11.773	12.314	16.439	11.208	8.238	6.789
41	AKITA	N-S	160.390	115.889	104.285	50.695	17.954	27.872	26.811	6.842	8.888	8.336	7.339	6.424	5.272
42	ISHINOMAKI	U-D	20.074	14.512	7.322	4.003	3.069	3.792	1.802	3.337	1.744	1.747	1.844	1.680	0.921
43	ISHINOMAKI	E-W	26.181	15.475	10.574	9.394	8.696	5.142	4.497	3.809	3.230	2.565	3.270	3.476	1.240
44	ISHINOMAKI	N-S	20.406	19.182	13.141	9.228	8.163	4.720	3.713	3.621	3.750	2.176	7.574	2.496	3.431
45	MIYAKO	U-D	25.064	14.953	14.749	10.124	7.995	7.728	6.554	4.955	3.729	3.534	4.462	3.924	1.828
46	MIYAKO	N-S	24.122	25.104	15.772	10.679	14.556	8.134	8.105	4.544	3.502	3.940	6.276	7.214	3.159
47	MIYAKO	E-W	16.030	10.781	15.944	16.539	11.218	5.695	5.418	3.628	4.200	3.767	2.700	2.519	2.160
48	RUMOI	U-D	21.494	24.938	25.598	9.172	10.343	5.839	8.404	5.158	3.058	2.968	3.760	6.872	8.612
49	RUMOI	N-S	78.217	58.022	58.471	28.461	43.937	21.864	12.728	9.640	8.525	10.372	9.288	13.971	16.690
50	RUMOI	E-W	37.528	57.575	33.899	27.606	24.802	14.779	13.506	9.056	7.312	9.739	3.246	5.821	10.769

(h=0.02)

No.	記録名	成分名	ACCELERATION RESPONSE SPECTRUM S_A [gal]												
			$T=2.0$	$T=2.5$	$T=3.0$	$T=4.0$	$T=5.0$	$T=6.0$	$T=7.0$	$T=8.0$	$T=9.0$	$T=10.0$	$T=13.0$	$T=16.0$	$T=20.0$
1	KUSHIRO	U-D	9.908	12.509	9.315	6.073	6.923	3.329	2.682	2.107	1.695	2.001	2.960	1.611	0.499
2	KUSHIRO	E-W	18.178	17.125	16.971	12.424	8.327	9.157	12.378	8.857	8.026	9.629	5.364	9.026	7.936
3	KUSHIRO	N-S	31.164	36.268	11.030	11.323	17.673	8.229	6.693	4.432	4.541	6.893	6.558	5.308	4.538
4	MORI	U-D	23.320	25.705	34.540	40.202	16.716	10.506	12.477	9.618	8.445	6.946	3.597	6.277	4.503
5	MORI	E-W	106.285	56.317	50.602	86.154	33.049	25.107	10.946	14.767	7.534	6.441	4.390	3.890	2.960
6	MORI	N-S	82.298	75.790	65.136	64.971	27.652	18.948	19.206	10.943	7.859	9.211	6.593	3.006	1.821
7	HAKODATE	U-D	19.448	15.483	10.799	10.147	7.708	6.001	3.162	2.718	2.566	3.148	4.366	4.101	2.434
8	HAKODATE	E-W	67.128	30.519	54.645	20.101	15.269	11.614	8.256	5.078	5.938	4.737	4.966	3.273	2.769
9	HAKODATE	N-S	46.652	49.367	18.311	17.946	16.245	11.845	4.397	7.964	6.166	3.278	3.427	2.944	2.312
10	NEMURO	U-D	4.255	3.618	4.379	2.242	1.987	2.299	1.763	1.603	1.891	1.099	2.333	4.061	1.438
11	NEMURO	E-W	7.950	4.150	8.947	4.806	3.040	5.534	4.295	3.714	2.692	2.590	5.220	5.372	5.867
12	NEMURO	N-S	5.281	5.707	4.132	4.634	3.594	3.938	3.772	3.347	3.576	3.900	5.186	4.966	5.834
13	MORIOKA-1	U-D	29.406	21.205	21.192	21.735	20.805	13.923	9.046	5.704	3.936	4.438	7.568	7.280	4.226
14	MORIOKA-1	E-W	25.644	25.994	18.237	13.250	14.517	9.897	6.976	3.960	2.762	2.627	5.855	5.871	2.637
15	MORIOKA-1	N-S	32.034	33.903	29.026	10.770	12.623	6.590	4.438	3.511	3.671	2.674	5.303	5.951	2.493
16	MORIOKA-2	U-D	23.371	16.047	8.474	3.775	2.962	2.486	2.296	1.236	1.351	1.705	2.210	1.545	0.840
17	MORIOKA-2	E-W	7.963	14.131	11.967	3.082	4.456	2.558	2.345	1.571	2.181	2.793	1.096	1.001	0.823
18	MORIOKA-2	N-S	9.004	10.432	7.500	4.840	2.591	2.895	2.050	1.118	1.593	1.786	0.845	1.462	0.959
19	SENDAI-1	U-D	13.878	8.853	5.170	3.937	3.808	1.957	2.214	2.193	1.344	1.663	1.795	1.362	0.723
20	SENDAI-1	E-W	44.811	23.881	16.738	11.612	8.732	4.276	8.650	7.108	4.534	3.176	4.341	3.481	1.299
21	SENDAI-1	N-S	45.474	18.277	18.819	11.681	6.963	7.647	6.809	3.622	4.594	3.338	2.263	1.637	1.768
22	SENDAI-2	U-D	5.357	5.597	2.798	2.083	1.906	1.734	1.596	0.849	0.774	0.861	0.749	0.596	0.410
23	SENDAI-2	E-W	29.502	12.737	8.563	7.219	7.404	4.133	3.091	1.634	1.249	1.470	0.892	0.783	1.212
24	SENDAI-2	N-S	18.982	15.846	10.167	8.731	3.354	3.100	2.646	1.995	1.553	1.715	1.350	1.139	0.669
25	HIROO	U-D	31.428	24.436	18.360	11.139	9.238	8.470	5.724	4.353	3.346	3.367	4.811	5.453	5.192
26	HIROO	E-W	65.651	54.049	32.261	23.352	30.300	16.314	10.466	9.301	12.400	11.298	5.791	5.691	6.215
27	OOFUNA-1	U-D	21.470	8.305	5.761	3.663	3.504	2.370	2.123	1.151	1.228	1.196	1.270	1.440	0.966
28	OOFUNA-1	E-W	28.362	20.497	14.422	10.338	8.427	4.644	2.507	2.184	2.634	2.766	3.235	1.949	1.030
29	OOFUNA-1	N-S	16.301	13.529	8.245	6.580	9.914	7.092	3.914	2.350	4.066	3.374	2.370	2.432	1.444
30	OOFUNA-2	U-D	12.722	11.041	6.085	2.549	1.252	1.298	0.842	0.634	0.447	0.551	0.604	0.540	0.332
31	OOFUNA-2	E-W	8.120	6.244	6.764	6.956	5.461	2.348	1.853	1.526	1.357	1.464	0.771	0.503	0.957
32	OOFUNA-2	N-S	12.816	10.214	6.136	3.795	3.178	1.787	2.212	1.574	1.397	1.679	0.748	0.915	0.613
33	SAPPORO	U-D	21.940	17.038	12.660	16.344	16.530	7.278	13.859	12.539	6.978	6.635	6.551	11.574	6.203
34	SAPPORO	N-S	63.568	116.268	62.510	31.377	14.610	16.330	16.761	8.517	9.688	9.623	9.636	9.987	6.651
35	SAPPORO	E-W	99.237	46.802	87.466	45.246	33.365	18.925	16.614	13.957	8.513	10.655	12.355	10.535	9.873
36	MURORAN	U-D	16.649	8.495	14.273	19.965	8.506	4.457	3.401	4.056	2.834	2.603	2.236	2.780	2.251
37	MURORAN	N-S	35.058	21.763	20.074	12.580	11.515	8.167	8.201	8.110	3.998	5.058	2.872	3.094	2.139
38	MURORAN	E-W	32.197	19.178	27.122	10.802	19.905	11.645	5.475	5.885	4.307	4.517	2.332	3.808	2.471
39	AKITA	U-D	59.880	41.832	34.283	47.710	22.914	14.581	14.181	8.045	5.918	5.929	7.914	7.015	4.410
40	AKITA	E-W	146.448	82.997	90.398	51.406	41.827	20.174	15.794	11.063	10.794	13.993	10.092	7.367	6.294
41	AKITA	N-S	138.621	102.976	87.543	47.794	16.574	22.098	17.755	6.439	7.933	7.225	6.233	5.606	4.403
42	ISHINOMAKI	U-D	14.849	12.189	6.412	3.479	2.779	3.015	1.681	2.673	1.529	1.514	1.725	1.494	0.788
43	ISHINOMAKI	E-W	21.872	14.184	8.804	8.331	6.825	4.804	3.906	3.270	2.470	2.393	2.664	3.015	1.127
44	ISHINOMAKI	N-S	14.950	14.251	10.707	7.465	6.710	4.064	3.325	3.203	3.480	2.275	6.134	2.203	2.926
45	MIYAKO	U-D	21.503	13.468	13.517	9.502	6.750	6.485	6.073	4.654	3.557	3.230	4.044	3.534	1.756
46	MIYAKO	N-S	18.731	17.299	13.820	10.215	10.141	6.995	6.431	4.307	3.020	3.334	5.623	6.269	3.009
47	MIYAKO	E-W	12.348	9.239	14.309	14.206	7.702	4.430	4.791	3.235	3.349	3.083	2.474	2.090	1.920
48	RUMOI	U-D	19.228	21.644	20.301	8.319	8.754	5.055	6.729	4.258	2.735	2.712	3.423	5.731	7.587
49	RUMOI	N-S	67.007	49.780	51.061	26.258	37.808	17.145	10.500	7.773	7.934	9.176	8.661	12.580	14.759
50	RUMOI	E-W	32.730	43.068	26.244	23.394	20.876	11.400	11.195	7.794	6.549	8.384	2.873	4.396	9.102

(h=0.05)

No.	記録名	成分名	ACCELERATION RESPONSE SPECTRUM S_A [gal]												
			$T=2.0$	$T=2.5$	$T=3.0$	$T=4.0$	$T=5.0$	$T=6.0$	$T=7.0$	$T=8.0$	$T=9.0$	$T=10.0$	$T=13.0$	$T=16.0$	$T=20.0$
1	KUSHIRO	U-D	7.141	8.521	7.327	4.770	5.473	2.286	2.176	1.795	1.454	1.409	1.907	1.112	0.436
2	KUSHIRO	E-W	12.235	13.429	12.514	10.655	7.280	7.786	8.994	7.456	6.998	7.634	4.597	6.069	6.184
3	KUSHIRO	N-S	22.177	21.028	9.825	9.810	11.087	7.091	4.585	3.163	3.317	4.777	4.960	4.105	3.390
4	MORI	U-D	19.616	18.290	29.893	24.176	12.312	8.865	9.026	7.779	6.392	6.024	3.327	4.961	3.633
5	MORI	E-W	61.724	45.580	35.925	51.376	22.887	16.980	9.301	8.875	5.820	4.532	3.582	3.159	2.406
6	MORI	N-S	58.016	55.652	50.456	40.481	22.786	13.493	11.455	8.728	6.431	7.943	5.053	2.791	1.406
7	HAKODATE	U-D	14.704	10.206	8.920	8.576	5.929	4.411	2.887	2.469	2.336	2.506	3.246	3.354	2.057
8	HAKODATE	E-W	44.800	24.611	37.154	14.671	12.687	9.883	6.836	4.723	4.420	3.398	3.944	2.742	2.286
9	HAKODATE	N-S	33.615	32.506	14.537	13.260	12.296	9.352	4.611	6.280	4.348	2.562	2.899	2.621	1.896
10	NEMURO	U-D	2.366	2.475	2.797	2.157	1.303	1.650	1.496	1.214	1.408	1.090	1.957	2.982	1.247
11	NEMURO	E-W	4.865	3.731	5.757	3.660	2.515	3.904	2.967	2.844	1.961	2.523	4.091	4.399	4.348
12	NEMURO	N-S	4.272	4.100	3.515	3.949	3.204	3.017	3.080	2.712	2.399	3.144	3.981	3.628	4.389
13	MORIOKA-1	U-D	24.007	15.737	20.305	15.831	14.409	10.224	6.965	4.315	3.511	4.041	6.021	5.989	3.609
14	MORIOKA-1	E-W	21.335	16.569	13.134	9.448	10.562	6.780	5.411	3.296	2.746	2.548	4.814	4.695	2.406
15	MORIOKA-1	N-S	25.748	26.924	20.589	9.020	9.453	5.069	3.650	2.865	3.301	2.812	4.213	4.089	1.986
16	MORIOKA-2	U-D	16.321	12.880	7.079	2.636	2.033	1.673	1.937	1.230	1.150	1.215	1.693	1.311	0.727
17	MORIOKA-2	E-W	6.711	9.950	8.421	2.914	2.973	1.816	1.940	1.364	1.738	1.954	0.975	0.805	0.642
18	MORIOKA-2	N-S	6.941	7.432	4.889	3.507	2.028	2.021	1.705	1.056	1.211	1.284	0.709	1.190	0.785
19	SENDAI-1	U-D	9.242	5.819	4.535	3.606	2.469	1.448	1.772	1.600	1.098	1.366	1.428	1.143	0.646
20	SENDAI-1	E-W	29.873	17.442	14.815	8.181	6.916	3.455	4.823	4.349	3.288	2.748	2.755	2.528	1.081
21	SENDAI-1	N-S	26.386	18.527	11.983	8.112	5.878	4.738	5.075	3.038	3.270	2.642	1.650	1.521	1.399
22	SENDAI-2	U-D	4.648	3.955	2.088	1.740	1.467	1.205	1.304	0.700	0.649	0.594	0.583	0.519	0.343
23	SENDAI-2	E-W	16.352	9.747	6.155	6.156	5.126	3.255	2.319	1.570	1.124	1.210	0.785	0.692	0.866
24	SENDAI-2	N-S	12.706	10.859	7.636	7.216	2.909	1.873	1.765	1.763	1.309	1.131	1.092	0.966	0.613
25	HIROO	U-D	23.648	19.130	14.371	9.816	6.571	7.267	5.209	3.718	3.334	3.194	4.156	4.449	4.002
26	HIROO	E-W	45.478	40.356	25.104	18.178	24.492	13.475	9.160	8.139	9.538	8.954	4.841	5.015	5.074
27	OOFUNA-1	U-D	16.176	6.429	4.351	3.016	2.448	1.960	1.539	0.928	0.919	1.072	1.176	1.174	0.825
28	OOFUNA-1	E-W	22.604	16.887	11.526	7.217	5.766	4.083	2.038	2.003	2.237	2.321	2.091	1.450	0.825
29	OOFUNA-1	N-S	11.174	8.897	5.184	4.141	7.215	5.429	3.139	2.277	2.822	2.557	1.777	2.004	1.069
30	OOFUNA-2	U-D	9.405	8.847	5.277	2.209	1.197	1.032	0.702	0.439	0.393	0.408	0.507	0.459	0.276
31	OOFUNA-2	E-W	6.002	5.469	6.026	5.785	3.873	2.115	1.727	1.423	1.153	1.130	0.746	0.484	0.676
32	OOFUNA-2	N-S	10.107	8.120	5.676	3.451	2.477	1.688	1.549	1.350	1.115	1.105	0.650	0.726	0.524
33	SAPPORO	U-D	13.709	12.651	9.392	10.985	11.552	6.026	8.987	8.959	6.214	5.130	5.197	7.769	4.912
34	SAPPORO	N-S	60.297	74.657	47.983	22.921	12.398	11.359	11.176	6.889	6.879	7.157	7.519	8.074	5.191
35	SAPPORO	E-W	59.407	39.151	59.791	31.873	22.668	14.922	13.018	9.483	5.665	8.052	9.369	7.956	6.924
36	MURORAN	U-D	13.867	8.692	9.795	13.307	6.967	3.989	3.018	2.971	2.600	1.970	1.806	2.181	1.784
37	MURORAN	N-S	22.809	17.361	16.838	11.287	9.039	6.821	6.759	5.549	3.043	3.149	2.303	2.612	1.757
38	MURORAN	E-W	26.076	19.971	17.043	9.390	13.796	9.006	5.085	4.043	3.241	3.045	2.200	2.872	1.990
39	AKITA	U-D	41.719	28.356	25.929	32.782	18.640	11.117	10.023	6.560	5.636	5.553	6.687	5.715	3.794
40	AKITA	E-W	90.065	65.486	54.863	42.822	31.739	14.936	13.155	9.493	7.454	9.241	7.685	6.314	5.163
41	AKITA	N-S	101.097	83.796	60.779	40.141	13.673	14.525	9.951	5.905	5.978	5.200	4.819	4.160	3.139
42	ISHINOMAKI	U-D	10.025	8.855	4.810	3.342	2.258	2.118	1.474	1.749	1.304	1.381	1.480	1.178	0.681
43	ISHINOMAKI	E-W	14.831	10.816	6.659	6.418	4.990	3.888	2.896	2.345	1.875	2.006	1.802	2.073	0.886
44	ISHINOMAKI	N-S	9.271	10.085	7.438	5.062	4.770	2.912	2.735	2.570	2.933	2.400	3.965	1.939	2.125
45	MIYAKO	U-D	15.392	11.711	10.591	8.491	5.200	5.476	4.943	3.923	3.127	2.660	3.257	2.941	1.595
46	MIYAKO	N-S	12.745	12.168	10.390	9.008	5.985	5.235	5.180	3.757	2.742	2.743	4.430	4.345	2.628
47	MIYAKO	E-W	10.333	7.504	10.703	9.530	5.293	3.629	3.438	2.632	2.574	2.259	2.072	1.858	1.485
48	RUMOI	U-D	15.479	15.975	13.616	6.064	6.654	3.956	4.573	3.128	2.490	2.299	2.782	4.537	5.443
49	RUMOI	N-S	48.613	37.188	36.121	23.036	26.144	10.842	8.340	6.328	6.608	6.995	7.301	10.397	11.116
50	RUMOI	E-W	30.113	25.188	22.628	17.431	14.138	8.968	8.346	6.250	5.254	5.916	2.630	3.367	6.038

気象庁１倍強震計記録に基づく長周期地震特性の解析－１９６８年十勝沖地震の解析－

ISSN 0386－5878
土研資料第 1869号
昭和５８年 ３月

川島一彦，相沢 興，高橋和之

キーワード 長周期地震動，耐震設計，設計地震入力

要 旨 本研究は1968年十勝沖地震による気象庁１倍強震計記録50成分を数値化し，長周期地震動の特性を調べたものである。また，同地震によるＳＭＡＣ型強震計記録についても整理するとともに，既往のＳＭＡＣ型強震計記録の統計解析結果から求めた現有の最大地震動および加速度応答スペクトルの推定手法の適用性を検討した。

郵便はがき

40円切手をはって下さい

3 0 5 - □□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

地震防災部振動研究室 御中

No.142

No.142

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第１８６９号　　部

上記のとおり受領しました。

所　　属（住所）

氏　名　　印