

変位波形を用いた速度応答値の推定

片岡 則子
(大崎研究室)
渡辺 孝英
(大崎研究室)

§ 1. はじめに

近年、長大構造物や高層建築物などの固有周期の長い構造物が建設されるようになり、周期2~20秒程度の地震動（やや長周期地震動と呼ばれている）の強さを推定することが重要になってきた。これらの構造物の耐震設計では、入力地震動の大きさを、最大速度振幅値や速度応答スペクトルで定めている。

周期2~20秒程度の範囲の地震動は、地震学で対象としていた数十秒の長周期と、耐震工学で対象とした1~2秒以下の短周期との間にあり、理論的にも観測記録の面からも取り残されていた。しかし最近、気象庁変位型一倍強震計や精度の良い加速度強震計の記録の解析が進み、やや長周期地震動の特性が明らかにされてきた。

気象庁地震観測で用いられている気象庁変位型一倍強震計（以後、一倍計と呼ぶ）は、その計器特性から地震動のやや長周期帯域の特性を記録するのに適している。また、長い観測期間を有し多くの記録が得られているが、ほとんどの記録は紙に描かれたままである。最近、これらの記録を数値化して解析した研究が行なわれ、成果が上げられている¹⁾。しかし、強震計の波形記録を精度良く数値化および補正する作業は必ずしも容易ではなく、多くの記録を数値化することは困難である。

また、やや長周期地震動の特性を別の視点から表わしたものと、最大変位振幅値の距離減衰を求めた研究がある。しかし、変位振幅のみでは耐震設計へ応用するのに十分とはいえない。

以上の観点から、本研究では一倍計の波形記録を数値化せずに、波形の図と気象庁地震月報に発表される最大振幅と周期のみから、やや長周期帯域における速度応答の値を簡易的に推定する手法を検討した。まず、変位波形から速度応答を推定する方法を提案し、数値化された6地震 ($M_J=7.0\sim 7.9$) の記録を用いてこの方法の妥当性を確かめた。次に、速度応答の予測の観点から、観測点での特性および変位振幅の距離減衰式と組み合わせた

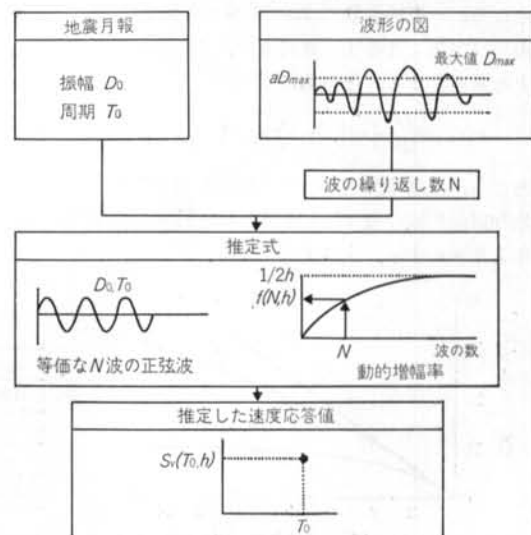
速度応答の距離減衰について検討した。

なお、本報告は既発表の論文²⁾⁻⁴⁾を修正、加筆したものである。

§ 2. 変位波形から速度応答値を推定する方法

地震動の変位記録は加速度記録に比べると、特定の周期が卓越した調和振動により近いといえる。そこで、変位記録を構造物の応答に対して等価であるような調和振動に置き換えられれば、その調和振動に対する過渡応答から構造物の応答を簡単に求めることができる。

気象庁地震月報は、地震動の最大振幅と周期の情報を提供するものである。この振幅と周期と、後は継続時間が分かれば調和振動は一意的に決定される。本研究では継続時間の代わりに波の繰り返し数を用い、地震月報の最大振幅、周期、波の繰り返し数により観測地震動を等



図一 速度応答値を推定する概念図

偏な正弦波に置き換え、その過渡応答から速度応答値を推定しようとするものである(図-1)。

ここでは、まず調和地動による共振時の過渡応答変位振幅の増加傾向を、地動の周期と波の繰り返し数の関数として示し、次に構造物の速度応答値をその増加傾向関数を用いて求める式を導く。

2.1 調和地動に対する変位の過渡応答

一質点系の振動系に正弦波地動 $u_0 = D_0 \sin \omega_0 t$ が作用するときの振動方程式は

$$\ddot{u}(t) + 2h\omega_0 \dot{u}(t) + \omega^2 u(t) = D_0 \omega_0^2 \sin \omega_0 t \quad \dots\dots(1)$$

となる。この式の一般解は次のように求められる。

$$u(t) = e^{-h\omega t} (A \sin \omega_D t + B \cos \omega_D t) + \frac{\beta^2}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2h\beta)^2}} D_0 \sin(\omega_0 t - \theta) \quad \dots(2)$$

ここで、

$$\omega_D = \sqrt{1-h^2} \omega, \quad \beta = \omega_0/\omega$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2h\beta}{1-\beta^2}$$

である。式(2)の共振点 ($\beta=1$) における応答は

$$u(t) = e^{-h\omega t} (A \sin \omega_D t + B \cos \omega_D t) - \frac{D_0}{2h} \cos \omega t \quad \dots\dots(3)$$

となり、ここで初期条件として $t=0$ で $u=\dot{u}=0$ とすれば

$$u(t) = \frac{D_0}{2h} \left[e^{-h\omega t} \left(\frac{h}{\sqrt{1-h^2}} \sin \omega_D t + \cos \omega_D t \right) - \cos \omega t \right] \quad \dots\dots(4)$$

となる。一般構造物における減衰の値を考えると、 \sin の項は無視できる大きさであり、また $\omega_D \div \omega$ であることを考慮すると、近似的に

$$u(t) \div \frac{D_0}{2h} (e^{-h\omega t} - 1) \cos \omega t \quad \dots\dots(5)$$

となる。振動成分 ($\cos \omega t$ の項) を無視した応答振幅の増加傾向を波の繰り返し数 $N (=t/T_0; T_0$ は地動周期) により表わすと、次のようになる。

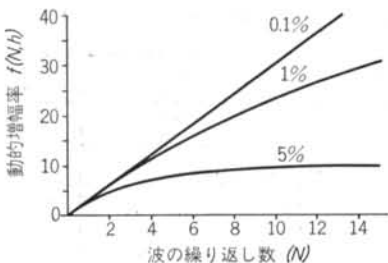


図-2 動的増幅率

$$u(t) = f(N, h) D_0 \quad \dots\dots(6)$$

$$f(N, h) = \frac{1}{2h} (1 - e^{-2\pi h N}) \quad h \neq 0 \quad \dots\dots(7)$$

$f(N, h)$ は、共振時における過渡応答振幅の時間的増加傾向を表わす関数である。本論では以後、 $f(N, h)$ を動的増幅率と呼ぶことにする。図-2 は、 $f(N, h)$ を h をパラメータとして表わしたものである。

2.2 速度応答値の推定式

地動の周期が $T_0 (=2\pi/\omega_0)$ のとき、式(7)を用いて T_0 での速度応答値を求めることができる。すなわち式(6)、(7)より最大応答変位が求まるので、速度応答値 $S_{V, P}(T_0, h)$ は、

$$S_{V, P}(T_0, h) = \omega_0 |u(t)|_{max} = \frac{2\pi}{T_0} f(N, h) \cdot D_0 \quad \dots\dots(8)$$

となり、正弦地動による速度応答値が、地動最大変位、周期、波の繰り返し数のみから求まる。

§ 3. 検討に用いる地震記録

3.1 地震記録の概要

検討に用いる一倍計のデジタル記録は、1961年北美濃地震³⁾、1968年十勝沖地震本震と2つの余震¹⁾、1983年日本海中部地震本震と最大余震⁶⁾の計6地震である。表-1に地震諸元の一覧を、図-3に6地震の震央位置を示す。

これらのデジタル記録と地震月報値との対応を調べてみる。図-4は、北美濃地震と日本海中部地震本震について、デジタル記録の最大振幅と周期(フーリエスペクトルの卓越周期)と地震月報のそれとの対応を示している。図より見て取れるように、月報の最大振幅の値が2mm以上の場合はデジタル記録と月報の振幅値はほぼ対応している。一方、周期の対応には、振幅に比べてかなりのばらつきがみられる。

地震名	発震日	震央位置		震源深さ(km)	M	波形記録数	観測点の震央距離(km)
		東経	北緯				
北美濃地震	1961.8.19	136°46'	36°1'	0	7.0	71	46~667
十勝沖地震	1968.5.16	143°35'	40°44'	0	7.9	32	173~501
同余震1	1968.5.16	142°51'	41°25'	40	7.5	28	104~508
同余震2	1968.6.12	143°8'	39°25'	0	7.2	16	103~519
日本海中部地震	1983.5.26	139°5'	40°21'	14	7.7	62	174~601
同余震	1983.6.21	139°0'	41°16'	6	7.1	32	159~649

表-1 地震諸元一覧

振幅が小さい地震動は構造物の応答を励起する力も小さいので、月報の振幅値が2 mm以上、周期に関しては一倍計の計器特性を考慮して、月報の周期が2~10秒に対応するデジタル記録を以後の検討に用いる。ただし、日本海中部地震本震、余震は周期が10秒以上のデータが多数を占めるので、月報の周期が2~15秒に対応するデジタル記録を用いる。

表-1には、検討に用いる各地震のデジタル記録の数も併せて示してある。

3.2 計器補正

一倍計は、計器の固有周期（水平6秒、上下5秒）より長い周期領域で感度の低下が著しい。観測記録の長周期成分を正しく評価するためには計器補正の必要がある。

デジタル記録については、その周期が一倍計の固有周期より長い場合に限り、補正フィルタ $A(f)^{20}$ により計器補正を施す。この補正フィルタは、一倍計の計器補正と2秒以下および20秒以上の周期成分をカットするバンドパス特性を持つフィルタである。

一方、月報の振幅についても、月報の周期が一倍計の固有周期より長い場合に限りデジタル記録と同様の計器補正を施す。これは、月報周期 T_0 における補正フィルタの補正係数 $A(1/T_0)$ を月報振幅に乗ずることで行なう。既往の研究⁹⁾によると、周期10秒前後の一倍計の記録では、計器補正したデジタル記録の最大振幅は補正前の最大振幅の(1~2) $A(f)$ 倍の関係があるといわれているが、本研究では $A(f)$ の係数は考慮しない。月報値の補正で注意を要するのは、月報周期は計器補正後も変わらないということである。

§ 4. 地震記録を用いた速度応答値の推定

一倍計の波形記録を数値化することなく波形の図と地震月報の最大振幅、周期のみから速度応答値を簡易的に推定する方法と

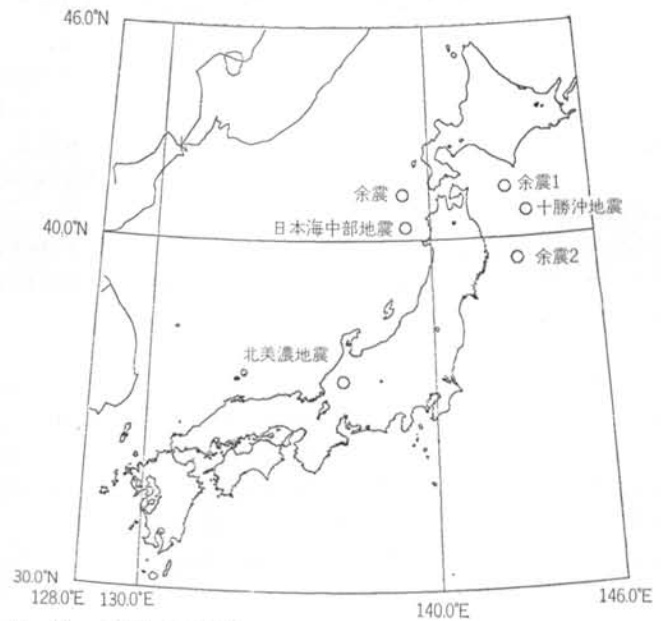
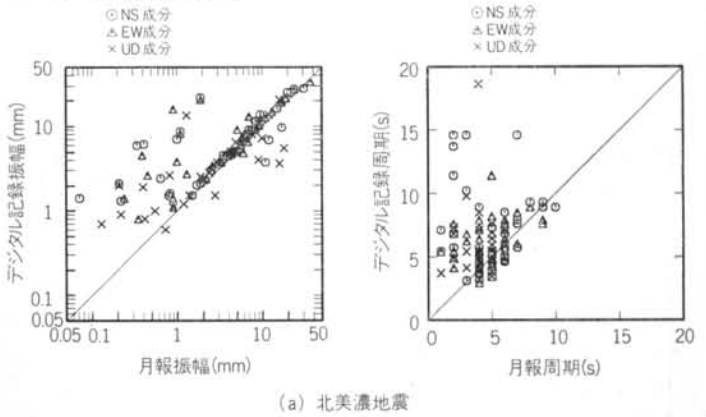
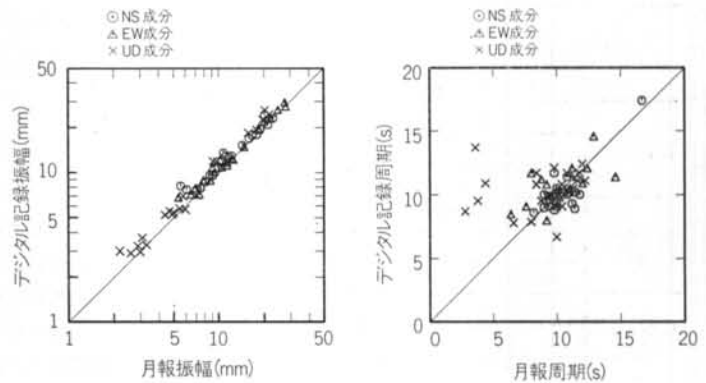


図-3 6地震の震央位置



(a) 北美濃地震



(b) 日本海中部地震本震

図-4 デジタル記録と地震月報の振幅・周期の比較

して、§2.では正弦波地動による速度応答値が、地動最大振幅と周期、動的増幅率から求めることを示した。この方法を実地震記録に適用するため、数値化された6地震記録を用いて検討を行ない、本手法の妥当性を確かめる。

4.1 波の繰り返し数の求め方

実地震動記録を式(8)に適用するためには、地震動記録を構造物の応答に対して等価であるような正弦波に置き換えなければならない。正弦波の振幅と周期は地震月報の値とするので、残る未知量は継続時間である。この未知量を求める手段を一倍計の波形の図のみと限ると、波形の図から読み取れるものはそれほど多くはない。

記録波形の継続時間そのものを正弦波の継続時間とすれば、応答が過大になることは明白である。正弦波が実地震動と等価になるような継続時間の求め方として、本論では図-5に示すように、振幅が最大振幅値 D_{max} の a 倍 ($0 < a < 1.0$) を越える山の数から波の繰り返し数を

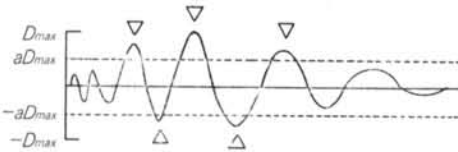


図-5 波の繰り返し数の求め方

	減衰定数 (%)	推定誤差 (σ)					
		$a=0.4$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
北米濃地震	5	0.39	0.35	0.30	0.27	0.28	0.38
	1	0.43	0.35	0.28	0.27	0.33	0.50
	0.1	0.42	0.33	0.27	0.29	0.38	0.57
十勝沖地震 本震	5	0.42	0.38	0.31	0.24	0.25	0.32
	1	0.57	0.46	0.32	0.27	0.37	0.51
	0.1	0.54	0.39	0.26	0.30	0.48	0.66
十勝沖地震 余震	5	0.40	0.35	0.29	0.23	0.22	0.32
	1	0.51	0.39	0.28	0.29	0.33	0.49
	0.1	0.47	0.33	0.24	0.36	0.44	0.63
岩手沖地震	5	0.44	0.40	0.32	0.24	0.26	0.33
	1	0.54	0.42	0.29	0.26	0.40	0.54
	0.1	0.49	0.35	0.27	0.34	0.52	0.69
日本海地震 本震	5	0.33	0.28	0.21	0.16	0.21	0.33
	1	0.42	0.32	0.21	0.22	0.35	0.52
	0.1	0.39	0.27	0.20	0.30	0.46	0.65
日本海地震 余震	5	0.37	0.30	0.23	0.20	0.24	0.35
	1	0.49	0.34	0.26	0.25	0.37	0.54
	0.1	0.45	0.28	0.26	0.34	0.51	0.70

表-2 推定速度応答値のデジタル記録から求めた速度応答値に対する推定誤差

を求めることにした。いうまでもなく、波の繰り返し数が1とは、波が1周期であるのと同じである。

波の繰り返し数 N は、次式より求められる。

$$N = [(\pm aD_{max}) \text{を越える振幅の山の数}] \times 1/2 \dots (9)$$

例えば、図-5では振幅 $\pm aD_{max}$ を越える山は5つある(▽印)ので、 $N=5/2$ となる。

4.2 速度応答値の推定誤差

地震月報の振幅(計器補正後)と周期、4.1で述べた波の繰り返し数を用いて、式(8)より速度応答値 $S_{v,p}$ を推定する。これと比較するのは、計器補正したデジタル記録から応答計算をして求めた速度応答スペクトル値である。推定速度応答値は、その仮定から月報の周期 (T_0) 近傍での値である。したがって、比較するスペクトルの値も、周期 $T_0 \pm 5\%$ の範囲での最大値を代表値 $S_{v,o}$ とした。

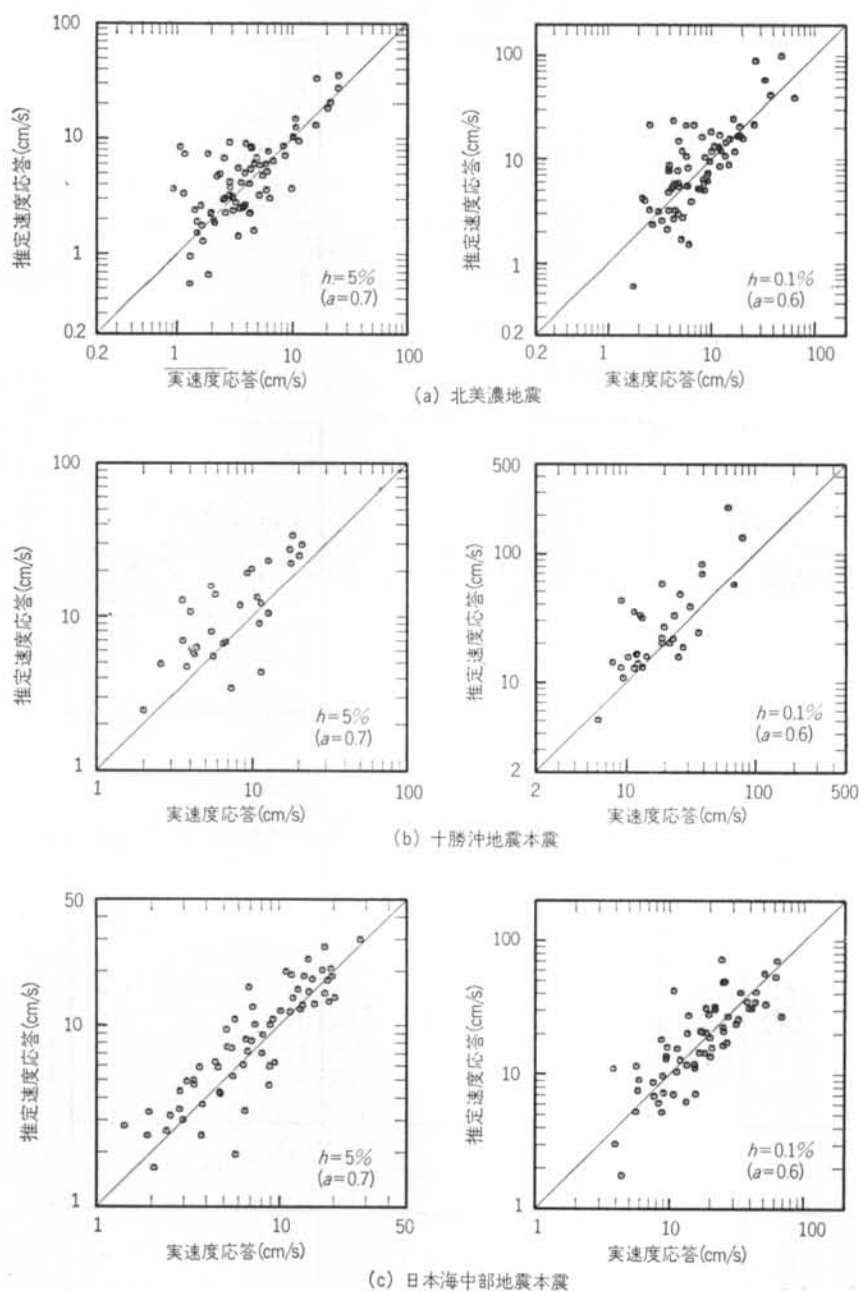
式(9)の a をパラメータにして波の繰り返し数を求め、式(8)より $S_{v,p}$ を推定した結果を表-2にまとめて示す。同表は、 $S_{v,p}$ の $S_{v,o}$ に対する推定誤差 σ の値を示したものである。 σ は次式で求められる。

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^m [\log(S_{v,p}) - \log(S_{v,o})]^2}{m} \dots (10)$$

表の太字は、 σ の最小値を示す。 σ が最小となる a の値は、減衰とともに小さくなるのが分かる。これは、同じ波に対する応答でも、減衰が小さいほど波の繰り返し数を多く見積もらなければならないことを示す。減衰が5%、0.1%の速度応答値を式(8)より推定する場合は、 a をそれぞれ0.7、0.6として波の繰り返し数を求めるのが適当であることが分かる。減衰が1%の場合は、 a は0.6~0.7である。図-6に各地震の本震について、減衰5% ($a=0.7$) と減衰0.1% ($a=0.6$) の場合の推定値 $S_{v,p}$ と実応答値 $S_{v,o}$ の比較を示す。

§5. 速度応答値の予測に関して

§4.では、地震記録が得られている波形から速度応答値を推定する方法について検討した。本節では、記録がない場合あるいは想定した地震に対して、本手法を用いた速度応答値の予測方法を考えてみる。そのため、まず波の繰り返し数に関する検討を行ない、次に地動変位の距離減衰式を利用して速度応答の距離減衰を求め、記録との整合性を検討する。



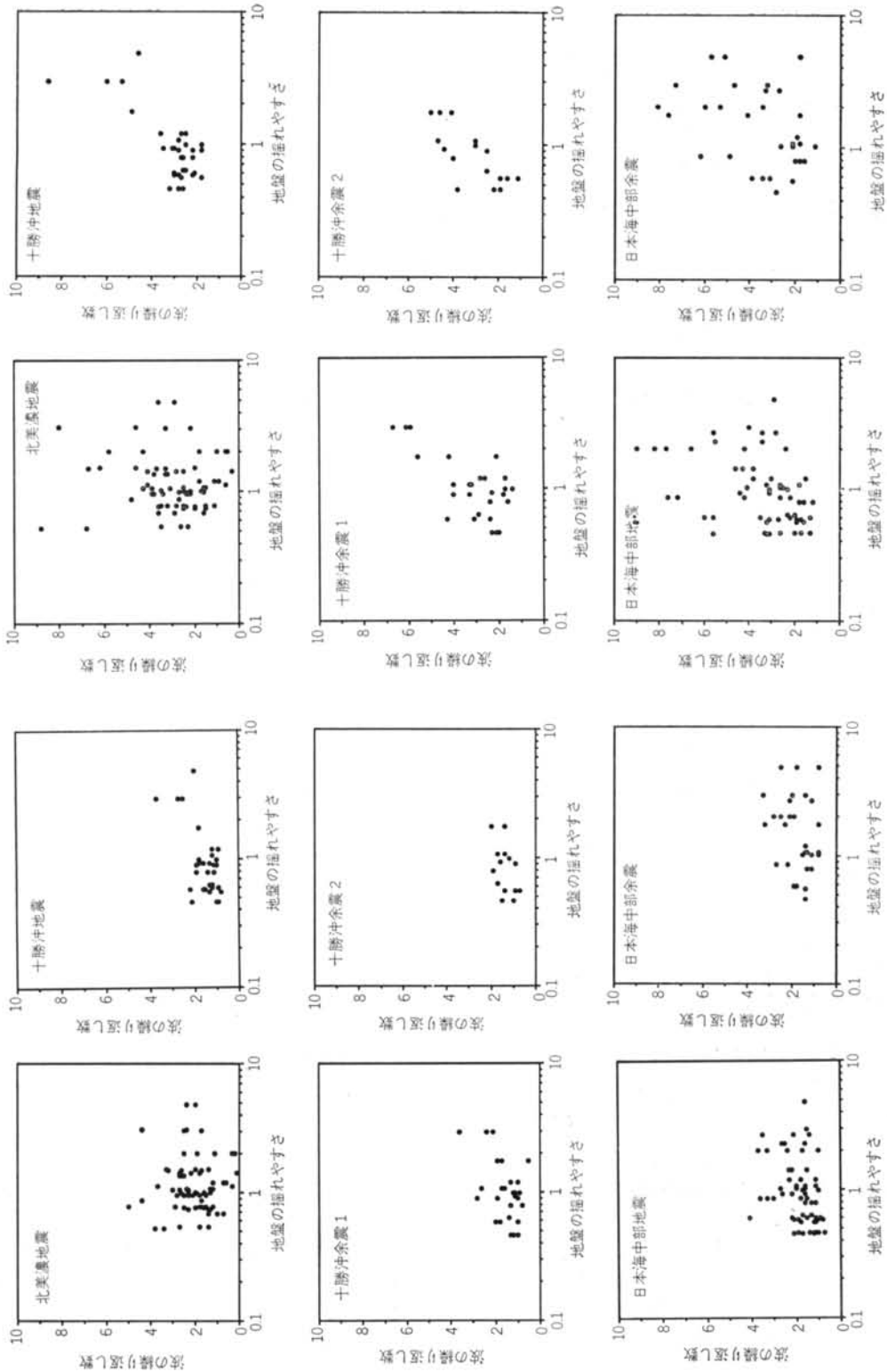
図一六 推定速度応答値と実速度応答値の比較

5.1 観測点の揺れやすさと波の繰り返し数の関係

一倍計の変位振幅は、観測点によって系統的に差があり、岡田・鏡味は各観測点の揺れやすさを全国平均に対する比で示している⁹⁾。また、揺れやすい地点は、波の継続時間が長くなる傾向にあることが知られている。そこで、波の繰り返し数と地盤の揺れやすさとの間の相関

性を調べ、波の繰り返し数にも地域的傾向が存在するかどうか検討する。

式(8)の左辺の $S_{r,p}$ を、デジタル記録の応答計算から求めた速度応答値 $S_{v,o}$ に置き換え、 T_0, D_0 を計器補正した月報の周期、振幅とすれば、波の繰り返し数 N を式(8)より逆に求めることができる。得られる波の繰り返し



(a) 減衰5%の推定速度応答値より求めた最速繰り返し返し数

(b) 減衰0.1%の推定速度応答値より求めた最速繰り返し返し数

図一七 岡田・鯉味の地震の揺れやすさと最速繰り返し返し数

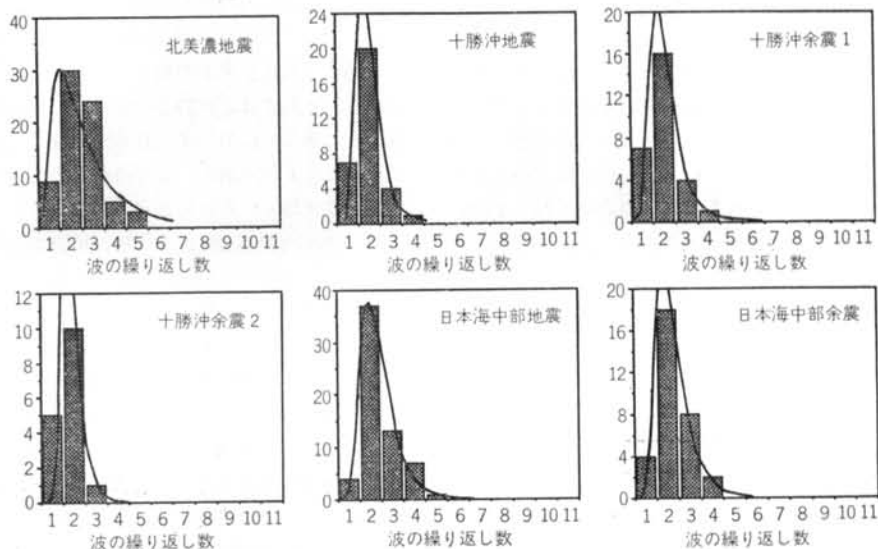
数は、速度応答値を推定するときに必要な真の波の繰り返し数と数になる。この波の繰り返し数を、最適繰り返し数と呼ぶことにする。以後の検討に用いるのは、この最適繰り返し数である。

図-7は、減衰5%と0.1%の $S_{v,0}$ から求めた6地震の最適繰り返し数を地盤の揺れやすさに対してプロットしたものである。減衰0.1%用の最適繰り返し数では、十勝沖地震本震、余震のように両者の相関性を示すものもあるが、全体としてはその傾向は強くない。減衰5%

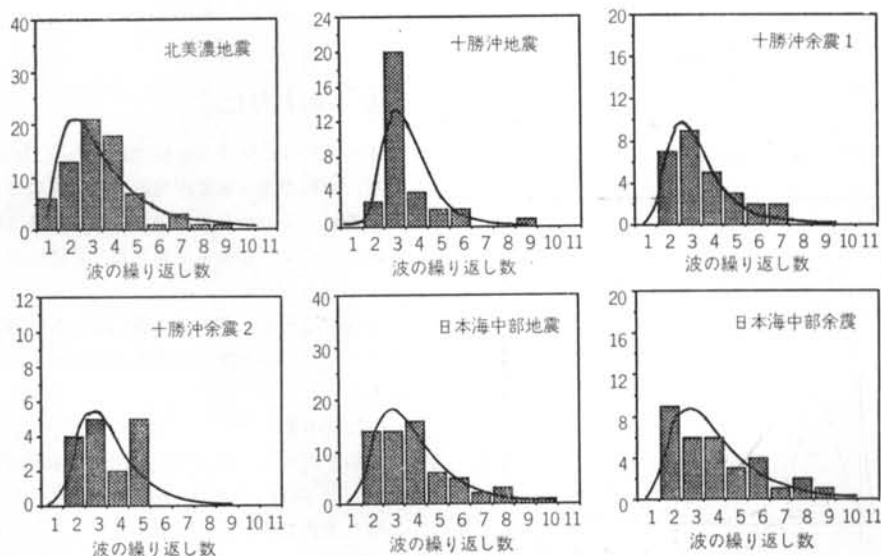
では、さらにその傾向は弱まる。

5.2 波の繰り返し数の分布

図-8は、減衰5%と0.1%における6地震の最適繰り返し数の頻度分布を示す。頻度の分布形は地震によらず、ほぼ同じような形状を示している。図中の実線は、各地震の最適繰り返し数の対数を取り、その平均と標準偏差(表-3)から求めた対数正規分布である。図より、最適繰り返し数の頻度分布はほぼ対数正規分布に近似さ



(a) 減衰5%の推定速度応答値より求めた最適繰り返し数



(b) 減衰0.1%の推定速度応答値より求めた最適繰り返し数

図-8 最適繰り返し数の頻度分布と対数正規分布

れることが分かる。そこで、波の繰り返し数の平均的な分布を、6地震の対数正規分布の平均として求めることにする。表-3に6地震の定数の平均を示し、図-9にその値を用いた減衰5%と0.1%における分布を示す。図-9の対数正規分布の累積確率は、減衰5%の場合 $P(N \leq 2) = 0.75$, $P(N \leq 3) = 0.94$, 減衰0.1%の場合 $P(N \leq 4) = 0.76$, $P(N \leq 5) = 0.88$ である。

5.3 速度応答値の距離減衰

波の繰り返し数が既知のものとなれば、式(8)は地動の最大変位と速度応答を結び式である。地動の最大変位には種々の距離減衰式が提案されているが、それらを利用して、式(8)より速度応答の距離減衰を求めることが考えられる。本論では、気象庁マグニチュードを決定する距離減衰式(坪井式)を導出するときを用いたデータとほぼ同じデータより求められた田中・福島の式(11)を用いて、速度応答の距離減衰を求めた。

$$\log D = 0.88M - 1.73 \log J - 2.36 \quad \dots (11)$$

波の繰り返し数は5.2の検討より、確率70%を満足するように、減衰5%で $N=2$, 減衰0.1%で $N=4$ とした。波の繰り返し数を確率70%を満足するように決定したということは、求まる距離減衰もまた確率70%で記録

	減衰 5%		減衰 0.1%	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
北美濃地震	0.53	0.70	0.94	0.62
十勝沖地震	0.36	0.36	1.08	0.34
同余震 1	0.35	0.42	1.04	0.44
同余震 2	0.26	0.29	1.06	0.43
日本海中部地震	0.54	0.41	1.13	0.49
同余震	0.47	0.40	1.15	0.52
6地震の平均	0.40	0.442	1.05	0.477

表-3 $\ln(\text{最適繰り返し数})$ の平均と標準偏差

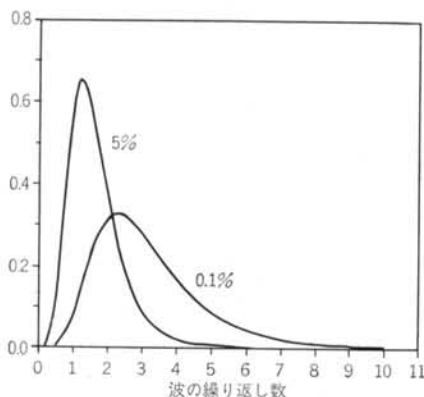


図-9 波の繰り返し数の平均的な分布

を満足する。いい換えると、この距離減衰を越えるであろう記録の確率は30%であるということである。また、この値では減衰0.1%の応答が減衰5%の約3倍となる。

図-10に、各地震における速度応答の距離減衰と実応答値 $S_{r,o}$ を示す。式(11)の距離減衰式は水平成分から求められたものなので、 $S_{r,o}$ も水平成分のみをプロットしている。また、各図の距離減衰は、図に示した $S_{r,o}$ の周期の最大、最小の範囲で表わしており、実線はその平均周期における距離減衰を示している。日本海中部地震本震、余震以外の速度応答の距離減衰と実応答値との整合性はよいが、日本海中部地震では距離減衰は他に比べて速度応答値を実際の値よりも小さく評価している。この原因としては、式(11)で考慮されている周期が3~5秒辺りであるのに対して、日本海中部地震は周期10数秒が卓越したものであり、記録そのものが式(11)の距離減衰式からはずれているためと考えられる。

図-11は、北美濃地震と十勝沖地震本震について、実応答値から地域的な振幅の増幅特性を岡田・鏡味の地盤の揺れやすさにより補正し、周期2~6秒の範囲で再び距離減衰と比較したものである。北美濃地震において、一組離れたデータがみられるのは佐賀の記録である。佐賀は、岡田・鏡味の地盤の揺れやすさは決められていないが、Mamula et al.¹⁰⁾ によれば、周期2~6秒の範囲で2.7~8.6の増幅率をもつ観測点である。以上を考慮すれば、求めた距離減衰は、日本の平均的な地盤で観測される地動による速度応答の距離減衰を表わしているといえる。

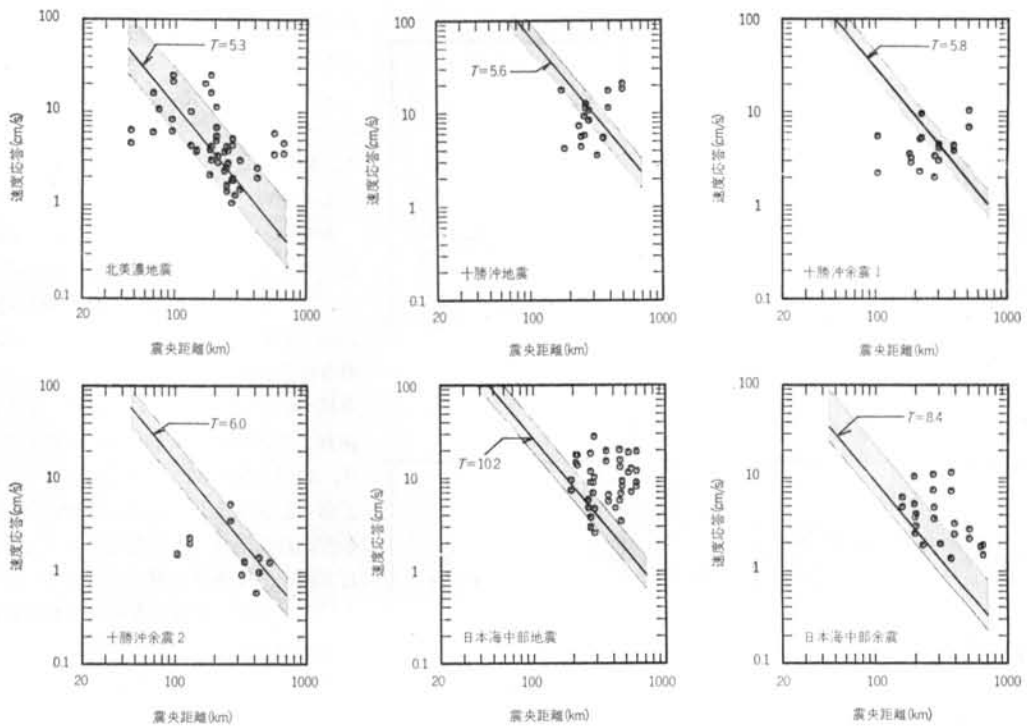
§ 6. おわりに

本研究では、気象庁一倍強震計の波形記録を数値化せずに、波形の図と気象庁地震月報に発表される最大振幅と周期から、やや長周期帯域における速度応答の値を簡易的に推定する手法を検討した。その結果は、以下のようによまとめられる。

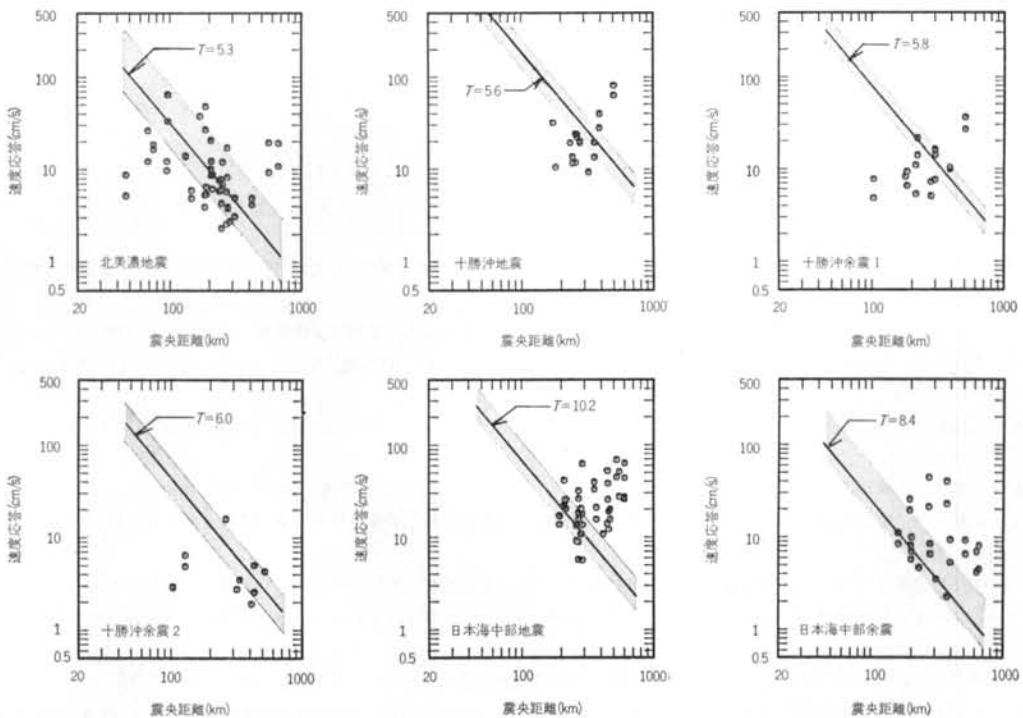
(1)変位波形を、応答が等価になるN波の正弦波に置き換えて速度応答を推定する方法を提案し、その妥当性を示した。

(2)波形の図を用いて、減衰定数が5%、0.1%の速度応答値を式(8)より推定する場合は、 a をそれぞれ0.7、0.6とし、減衰1%の場合は0.6~0.7として波の繰り返し数を求めるのが適当である。

(3)また、最適な波の繰り返し数の分布は対数正規分布で近似でき、累積確率は減衰5%の場合 $P(N \leq 2) = 0.75$,



図一10(a) 速度応答の距離減衰 (減衰5%)



図一10(b) 速度応答の距離減衰 (減衰0.1%)

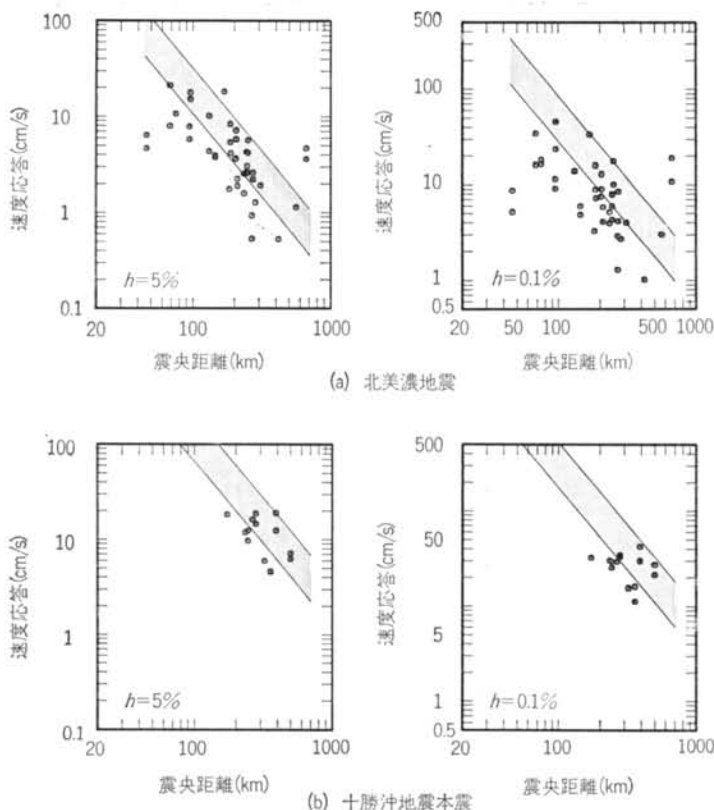


図-11 地盤の揺れやすさを補正した実速度応答値($2 \leq T \leq 6$)と距離減衰

＜参考文献＞

- 1) 片山恒雄 (研究代表者): “長周期 (約 2~10 秒) 地震動の工学的特性に関する総合研究” 昭和 59 年度科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究成果報告書 (1985 年)
- 2) 中沢則子, 他: “変位波形を用いた速度応答値の推定” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1988 年) pp. 695~696
- 3) 中沢則子, 渡辺孝英: “変位波形を用いた速度応答値の推定 (その 2)” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1989 年) pp. 765~766
- 4) 片岡則子, 渡辺孝英: “変位波形を用いた速度応答値の推定 (その 3)” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1990 年) pp. 399~400
- 5) 佐藤泰夫, 嶋悦三: “東京直下地震に関する調査研究 (その 6)” 東京都防災会議 (1978 年) pp. 91~117
- 6) 山田善一, 野田茂: “日本海中部地震時の周期 10 秒前後の地震動特性” 日本建築学会構造系論文報告集 第 378 号 (1987 年) pp. 1~15
- 7) 土木学会編: “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” 土木学会 (1982 年)
- 8) 岡田成幸, 鏡味洋史: “日本各地におけるやや長周期の地盤特性の定量評価の試み” 日本建築学会論文報告集 第 267 号 (1978 年) pp. 29~38
- 9) 田中貞二, 福島美光: “地震動強さの距離減衰” 第 15 回地盤震動シンポジウム資料集 (1987 年) pp. 7~16
- 10) L. Mamula, K. Kudo & E. Shima: “Distribution of Ground-Motion Amplification Factors as a Function of Period (3-15 sec) in Japan” Bull. of Earthq. Res. Inst., Univ. of Tokyo, Vol. 59 (1981) pp. 467~500

$P(N \leq 3) = 0.94$, 減衰 0.1% の場合 $P(N \leq 4) = 0.76$, $P(N \leq 5) = 0.88$ である。

(4) 波の繰り返し数と観測点の地盤の揺れやすさとの相関性は強くない。すなわち、観測点によらず波の繰り返し数を評価してよい。

(5) 地動の最大変位の距離減衰式と組み合わせて速度応答の距離減衰が求められた。しかし、距離が近い場合は最大変位が振り切れているので、今回得られたものは中遠距離に対する評価である。この点については今後の検討が必要である。

謝辞 北米濃地震の記録は、佐藤泰夫先生、嶋悦三先生および東大地震研究所の工藤一嘉先生より、十勝沖地震の本震・余震記録は茨城大学井上凉介先生より、日本海中部地震の本震・余震記録は鳥取大学工学部野田茂先生より、それぞれ提供して頂いたものである。貴重な記録の使用を快諾して頂きましたことを感謝いたします。

付 録

本報告で用いたデジタル記録から求められた速度応答値と波の繰り返し数，および対応する地震月報の振幅・周期の値を，参考のため以下にまとめて示す。

観測点	地震月報						速度応答値						波の繰り返し数					
	振幅(micron)			周期(秒)			減衰5%			減衰0.1%			a=0.7			a=0.6		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
大分	6600	5700		7	6		5.92	3.51		19.23	9.26		4.5	1.5		7.0	3.5	
佐賀	4500	3300		4	4		4.65	3.59		18.99	10.81		6.0	5.0		9.5	8.5	
酒田	3100	4300		7	5		1.98	2.52		4.15	4.86		3.0	2.5		4.5	3.5	
清水		2600			9			1.29			1.77			0.5			0.5	
熊谷	5000	5800	3000	6	6	5	2.34	3.73	2.62	5.82	7.62	8.50	6.0	1.5	2.5	6.0	2.5	5.0
洲本	11000	6800	2800	5	4	4	2.85	3.87	1.14	6.86	12.01	3.99	3.5	2.0	4.5	5.0	4.0	6.5
高松	3500	4200	3300	6	7	4	1.49	3.03	2.09	3.11	4.95	4.57	1.5	3.0	1.5	2.5	3.5	2.0
長津呂	3900	7200	2000	6	6	5	2.56	4.26	1.67	5.94	7.88	3.35	3.5	1.0	2.0	4.0	2.0	3.0
御前崎	6800	17000	4300	5	7	5	4.90	11.35	3.24	10.09	20.49	6.02	5.0	2.0	2.0	7.0	2.5	4.5
和歌山	2500	2500	2400	6	4	6	1.64	1.43	1.49	20.10	4.30	2.55	3.0	3.0	2.5	4.5	4.5	3.0
高山	9500	7000	10000	6	6	5	4.63	6.38	4.37	5.18	8.72	4.90	0.5	1.5	3.0	0.5	2.0	3.5
岐阜	22000	7000	16000	4	4	4	16.00	6.03	9.85	26.13	12.21	15.32	1.5	2.0	0.5	2.0	2.5	2.0
敦賀	20000	17000	12000	4	4	4	10.66	10.70	8.65	16.45	18.29	14.95	2.0	2.0	1.5	2.5	2.0	1.5
名古屋	24000	24000	7600	3	4	4	25.07	21.50	5.18	64.13	33.16	9.41	2.5	2.5	1.0	2.5	5.0	2.0
亀山	15000	9200	2100	5	5	4	10.14	4.35	1.61	14.00	13.76	3.94	2.5	2.0	5.0	2.5	3.0	8.0
彦根	10000	13000	6200	4	4	5	8.37	6.19	2.85	12.21	9.74	4.36	2.5	1.5	1.5	3.5	1.5	1.0
舞鶴	8300	5600	8400	6	5	4	3.75	3.91	5.96	4.85	5.93	9.30	1.0	1.5	1.0	1.0	2.5	1.5
静岡	7000	7000		7	5		4.27	3.06		6.47	5.35		1.0	1.0		1.5	1.0	
神戸	9300	11000	4000	5	6	6	6.82	5.50	2.85	12.26	8.60	3.92	2.5	1.5	4.5	3.5	1.5	4.5
宇都宮		2200			6			1.30			2.74			1.5			3.0	
東京	8300	9600	4900	6	4	4	5.21	4.42	3.39	17.02	8.25	10.14	3.0	2.5	4.0	4.0	3.5	5.0
横浜	6200	4400	4300	2	2	2	1.86	1.07	0.93	5.78	2.57	2.18	1.5	3.0	1.0	3.5	5.0	1.0
大島	3500	2000		8	8		1.86	1.96		3.78	3.89		0.5	6.0		1.5	6.0	
浜松		19000	18000		4	5		20.35	2.55		37.55	4.78		3.0	1.0		4.5	1.0
奈良			16000			2			1.16		4.37			0.5				1.5
大阪	31000	37000		5	5		16.28	25.28		26.89	47.89		6.0	4.5		7.5	7.0	
豊岡	12000	6000	9000	10	6	5	3.95	2.11	2.22	5.31	3.93	4.46	2.0	1.0	1.5	2.0	1.5	1.5
前橋	8500	4900	4200	6	5	4	3.39	2.87	4.23	6.15	8.80	12.61	0.5	3.0	3.0	0.5	5.5	6.0

付表一 北米濃地震

観測点	地震月報						速度応答値						波の繰り返し数					
	振幅(micron)			周期(秒)			減衰5%			減衰0.1%			a=0.7			a=0.6		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
秋田			32000			4.3			20.17			69.40			2.5			4.0
函館	24000	28000	10000	5.5	6.2	6.3	12.73	11.44	4.29	23.27	21.81	12.11	1.5	1.5	1.5	2.5	2.0	3.5
広尾		35000	18100		5.4	5.4		17.83	6.77		31.60	14.43		2.5	1.0		3.0	2.0
石巻		9900	4600		4.1	5.7		3.56	2.01		9.27	6.11		7.5	1.5		10.0	2.5
釜石	15800	26000	6200	8.0	8.4	6.2	5.81	9.33	4.10	11.67	23.91	7.89	3.5	2.5	3.5	5.5	3.0	5.0
宮古		10500	12600		7.0	5.0		4.20	3.82		10.46	9.54		2.0	1.0		4.0	2.0
盛岡	19900		22400	5.2		4.0	7.37		11.19	19.05		25.63	0.5		1.0		3.0	1.5
宝蘭	18800	18800	12800	6.0	6.0	4.8	8.41	10.81	6.55	19.12	19.86	12.23	2.5	3.0	1.5	3.0	4.0	3.0
新潟	27000	26000	15500	4.7	5.3	5.9	18.31	20.97	12.80	62.72	80.67	36.60	15.0	10.0	2.0	23.0	14.5	3.5
大船渡	10200	12600	5800	5.8	4.4	3.2	5.65	4.43	2.60	11.61	13.50	9.17	2.0	1.5	2.0	3.5	2.5	4.0
留萌	34800	25300	8600	5.3	5.3	4.9	17.57	11.49	4.03	39.43	27.73	13.01	3.5	0.5	7.0	5.5	2.0	9.0
酒田			18300			4.0			12.76			39.24			6.0			10.0
札幌			17100			7.8			9.94			26.58			3.5			5.0
仙台	11900	14000	5000	4.0	5.0	2.0	5.44	5.49	3.60	19.23	13.43	12.44	7.5	2.0	2.0	11.0	6.0	3.0

付表二 十勝沖地震本震

観測点	地震月報						速度応答値						波の繰り返し数					
	振幅(micron)			周期(秒)			減衰5%			減衰0.1%			a=0.7			a=0.6		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
秋田	8850	7950	3300	5.0	5.6	2.1	4.48	4.13	1.34	14.12	16.02	6.02	3.0	2.5	2.0	7.0	6.0	5.5
函館	9300		4000	5.5		3.7	3.53		1.42	8.17		3.21	1.5		1.0	1.5		2.0
広尾	7700	15100	10500	5.5	6.1	5.6	2.22	5.48	4.30	4.78	7.70	6.26	0.5	0.5	1.0	2.0	1.0	1.5
釧路	4500	7100	2600	6.2	7.4	6.0	2.30	5.09	0.98	5.29	10.90	2.17	6.5	2.0	1.0	7.5	3.0	2.5
盛岡			4900			2.2			4.64			11.84			3.5			3.5
宝蘭	6100	5700	5500	6.0	5.4	5.0	3.26	2.88	1.98	9.29	6.50	5.69	1.0	3.5	0.5	2.0	4.5	1.5
新潟	17000	12000	4200	6.0	6.7	5.8	10.33	6.83	4.08	35.80	26.48	12.31	1.5	3.0	4.0	4.5	7.0	6.5
大船渡	6400	8400	4500	5.2	5.0	2.8	2.00	3.37	2.98	5.04	7.18	5.78	0.5	1.0	0.5	1.5	1.0	1.0
留萌	8750			4.9			3.01			7.59			1.0			3.5		
札幌	11300	13300	5600	7.0	8.0	6.0	5.25	9.56	3.39	13.93	21.25	8.15	5.5	2.5	4.5	9.0	4.0	4.5
仙台	7900	8800	3500	4.0	4.0	6.0	3.86	4.35	1.26	9.91	10.23	2.56	2.5	5.0	3.5	4.0	6.0	6.0

付表三 十勝沖地震余震1

観測点	地震月報						速度応答値						波の繰り返し数					
	振幅(micron)			周期(秒)			減衰5%			減衰0.1%			a=0.7			a=0.6		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
秋田	9350	8400	5050	5.0	5.0	4.3	5.31	3.54	2.53	16.01	15.76	9.14	2.0	4.5	2.5	4.0	7.0	4.5
函館		2000			4.1			1.27			3.50			1.0			2.0	
広尾		2400			4.8			0.93			2.77			2.0			3.0	
釧路		2100			6.1			0.59			1.91			3.0			5.5	
宮古	5050	5300	5000	7.0	10.0	4.0	1.51	1.56	2.59	2.95	2.87	4.51	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.5
盛岡			3500			4.2			2.09			3.93			0.5			0.5
大船渡	6000	4050	3750	4.1	8.4	7.8	2.29	2.01	1.83	4.89	6.45	4.65	1.5	1.5	1.0	2.5	2.5	1.5
留萌	2100			3.8			1.27			4.35			3.0			3.5		
札幌	2200	3000		7.6	6.0		0.99	1.41		2.57	5.04		1.0	2.0		1.5	5.0	

付表-4 十勝沖地震余震2

観測点	地震月報						速度応答値						波の繰り返し数					
	振幅(micron)			周期(秒)			減衰5%			減衰0.1%			a=0.7			a=0.6		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
相川	6100	12500	3000	9.4	9.2	8.8	8.95	3.77	1.95	18.47	15.80	5.85	1.0	2.5	2.5	2.5	2.5	4.0
旭川	8200	10500	4900	11.4	11.2	12.0	8.15	9.27	5.20	15.50	19.81	9.51	4.0	2.0	2.5	6.0	2.0	3.0
八戸	21300	24900	19600	11.8	10.0	10.4	17.90	14.61	13.47	41.28	21.92	25.30	1.5	1.5	1.0	2.5	2.5	1.5
函館	23000	22100	21800	10.8	12.4	9.8	17.84	13.73	14.46	25.25	20.23	18.81	2.0	3.0	2.0	1.5	3.5	2.0
広尾		5400	4700		12.9	11.3		4.74	3.43		10.82	9.00		1.5	1.5		2.0	2.5
石巻	8700	6500	5000	9.0	8.0	8.4	2.55	4.65	2.43	5.68	13.60	3.97	2.0	1.5	1.0	3.0	2.0	1.0
水戸	9900	7900	3300	8.2	6.4	2.8	3.42	6.77	3.68	12.14	18.92	8.81	2.5	2.5	5.0	5.0	4.5	8.0
宮古	9900	9100	9200	9.8	9.2	10.4	5.79	4.78	6.39	13.44	9.10	11.43	1.0	0.5	1.0	1.5	1.5	1.5
森			20300			-3.8			7.18			17.28			1.5			2.0
盛岡	16000	11100		9.0	12.0		7.37	9.50		13.71	16.90		1.0	2.0		2.0	3.0	
宝蘭	14400	20200	7100	11.4	11.6	11.8	18.46	11.75	5.51	31.59	25.90	11.52	4.0	2.0	1.5	6.0	2.0	2.5
新潟			9700			8.0			6.58			22.01			2.0			5.5
帯広	20200	11400	5500	9.4	8.8	4.4	5.74	20.19	3.82	14.02	52.22	8.38	2.0	3.5	2.0	3.5	5.5	2.5
大船渡	7100	7400	5800	9.8	7.6	8.4	2.88	2.98	2.07	5.71	8.85	4.44	1.0	2.0	0.5	1.5	4.0	0.5
留萌	16800	14800	3100	10.4	11.0	11.0	13.08	15.65	3.12	25.30	38.09	7.63	2.0	2.0	3.0	4.0	2.0	3.5
酒田			17800			6.6			10.95			24.52			4.0			8.5
札幌	19000	28000	6000	10.8	11.0	12.2	19.52	15.24	5.17	39.40	32.81	9.53	2.5	1.5	2.5	2.5	2.0	2.5
仙台	10800	9400	4400	10.0	14.6	10.0	6.84	8.84	4.48	10.83	20.42	9.69	1.0	4.0	3.0	2.5	6.0	5.0
寿都	12200	27600	15800	11.2	11.0	11.6	28.01	10.23	17.32	62.18	17.80	34.08	2.5	3.0	2.0	3.0	3.5	3.0
館山	10500	8800	2900	9.4	10.6	10.8	8.07	8.90	2.86	25.55	27.02	7.78	1.5	2.0	2.0	3.5	4.5	3.0
高田	5600	7000		10.0	10.0		5.61	6.53		20.88	15.62		1.5	2.0		4.0	4.5	
東京	11200	18600	2600	9.9	9.7	3.6	18.81	11.51	1.91	68.57	44.39	5.96	3.5	2.0	2.5	7.5	3.0	6.5
稚内	17900	11400		10.0	10.2		11.94	19.31		43.66	63.16		4.0	4.5		8.0	6.0	
横浜	9100	12300	2200	9.2	9.4	10.0	12.68	7.07	1.43	51.16	27.40	3.85	3.0	6.0	2.5	6.5	10.0	7.0

付表-5 日本海中部地震本震

観測点	地震月報						速度応答値						波の繰り返し数					
	振幅(micron)			周期(秒)			減衰5%			減衰0.1%			a=0.7			a=0.6		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
秋田	7100	15600	4000	6.7	7.9	6.3	10.37	5.26	1.35	25.42	19.43	3.45	1.5	4.5	3.5	4.0	6.5	5.5
八戸	3300			10.0			1.90			4.65			0.5			1.0		
函館	12400	10800	6300	3.6	8.6	7.4	4.90	6.21	3.16	8.39	11.02	6.75	0.5	3.5	1.5	0.5	4.5	2.0
宮古	2800			11.8			1.95			3.50			2.5			2.5		
森			14000			2.8			13.91			38.27			3.0			6.0
宝蘭	5800	6700		7.4	8.6		4.07	3.04		9.92	6.96		2.0	2.0		3.0	3.0	
新潟	13700	12000	2500	8.0	8.0	5.0	7.23	11.44	1.26	22.77	39.95	3.48	4.5	1.5	1.5	7.5	3.0	3.5
帯広	7400	4300		9.4	7.0		2.48	3.21		5.29	9.35		3.0	2.0		4.5	3.5	
酒田	10100	13500	3800	8.2	3.4	6.4	10.97	7.36	1.23	44.04	21.13	3.15	7.5	3.5	1.0	11.0	8.0	1.0
札幌	7600	8000	2500	12.0	7.6	8.4	3.64	4.81	1.06	6.58	8.43	2.69	3.0	1.5	1.0	4.0	1.5	1.0
仙台		2000			11.6			1.36			2.25			2.0			3.5	
寿都	7100	8500	4900	5.2	7.0	6.6	3.76	2.52	1.67	8.19	5.74	2.67	1.0	1.5	0.5	1.0	2.0	1.0
東京	2600	2000		9.0	12.2		1.80	1.83		4.17	6.95		3.0	5.0		7.0	11.0	
稚内	3200	2900		9.4	9.4		2.21	2.78		6.56	9.19		1.5	2.5		3.0	3.0	
横浜	2100	2200		8.0	9.2		1.89	1.48		8.05	4.49		1.0	5.5		3.0	7.5	

付表-6 日本海中部地震余震