

## 地盤の常時微動特性と工学的利用

MICROTREMORS ON THE GROUND AND  
THE ENGINEERING APPLICATION森 芳 信\*  
By Yoshinobu MORI

## 1. ま え が き

常時微動は工場機械、交通機関などの人工的振動源や風圧などの自然的外力によって起こされた振動で、四方八方から伝播してくる間に地盤のフィルター作用によりその地盤に特有な周期成分が卓越するようになる。一般に硬い地盤では短周期成分が卓越し、振幅が小さく、軟弱な地盤ほど長周期成分が卓越し、振幅も大きいといわれている。常時微動はその周期特性が地震時の周期特性と類似していることから主として地震学の研究分野で発展したものであるが、上記のような特性を利用して常時微動の周期と振幅により地盤を4種に分類したり<sup>1)</sup>、地すべりの研究に利用されている<sup>2)</sup>。また橋や建物などの構造物の微動を測定して振動モードを求めることも行われる<sup>3),4)</sup>。

この研究は地盤の常時微動を対象にし、交通振動や風などの外乱に対して常時微動特性がどのように変動するかを確認するとともに、地盤調査や耐震工学での常時微動の利用範囲を広げようとするものである。用いた換振器は固有周期1秒の倒立振子型振動計（速度型）で、電氣的に積分して変位での記録を行った。

## 2. 解析時間の長さによる変動誤差

測定した常時微動を解析する場合、どの程度の長さ（時間）の記録を解析すればその地点の常時微動が本来持っている特性を見出すことができるか、ということは重要なことであるにもかかわらず定まった値が示されていない。

郡山盆地（福島県）内の3地点での水平2成分（N-S, E-W成分）と上下1成分の各5分間の記録（電磁オシログラフ）から、1分ごとに30秒間ずつ計2分30

秒間を0.1秒ごとに振幅を読み取り、その絶対値の平均値を平均振幅、また解析区間中に読み取った値の最大値を最大振幅として30秒ごとと累積平均で示した一例が図-1および図-2である。各30秒間での解析ではかなりの変動（特に最大振幅において）があるが、90秒以上の累積平均になるとほぼ定常的な値を示す。一方、周期特性の変動をみるために5分間の振動波形の周期を読み取り、周期-頻度曲線よりそのピークを示す周期を卓越周期、頻度×周期の総和を頻度総数で割ったものを平均周期、周期-頻度曲線でピークより長周期側で最初に頻度が零となる周期を最大周期として1分ごとの累積平均値を求めたのが図-3である。また図-3には電磁オシロと同時記録したデータレコーダーの記録からパ

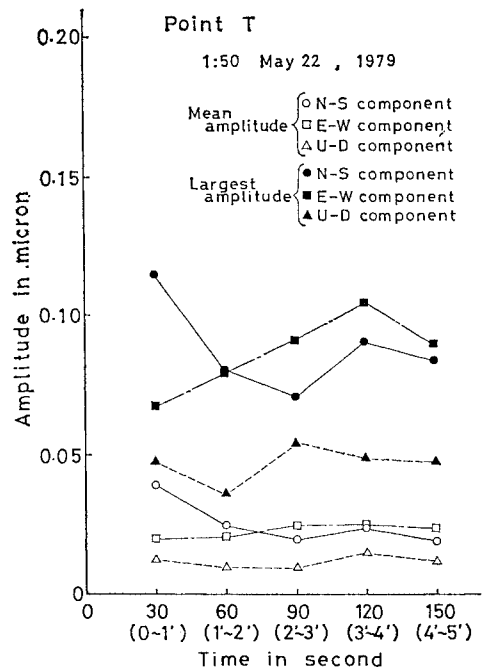


図-1 30秒ごとの平均振幅と最大振幅

\* 正会員 工博 日本大学助教授 工学部土木工学科

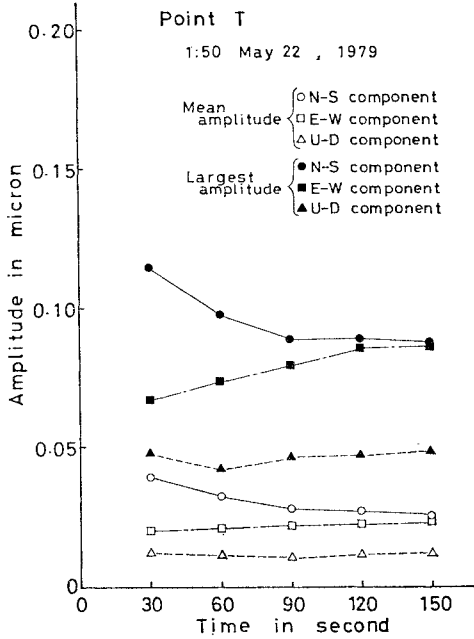


図-2 累積平均の平均振幅と最大振幅

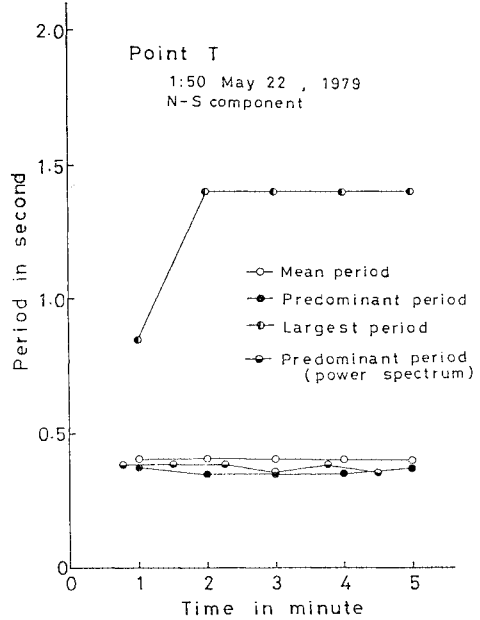


図-3 累積平均の卓越周期, 平均周期, 最大周期

ワースペクトル解析して求めた卓越周期の累積平均値も示してある。卓越周期と平均周期は1分間の解析でも誤差は小さいが、最大周期は2分間以上の解析区間が必要である。図-1から図-3に示した傾向は比較測定した3地点の各成分で同様にみられた。

振動であるので、時間的変動を調べるために郡山盆地内で昼夜により交通量の差の激しい味噌池原地内(以後M地点と示す)、昼夜ともに交通量が少ない徳定地内(T地点)、およびその中間的な状態にある下行合地内(S地点)を選定した。各地点においてそれぞれ1時間ごとに2分間ずつ24時間の測定を2~3か月の間隔で2度行った。

### 3. 常時微動特性の時間的変動

常時微動は主として交通機関、工場機械などの人工的振動源で起こされた震動が地層のフィルターの作用を受けながら伝播してきたものの集りである。しかし、これら人工振動源から地層のフィルターの作用を十分に受けて直接計器に届く震動の影響を受けることにより各地盤固有の震動性状を示す波形が乱されるものと考えられる。約25年前にも金井<sup>1)</sup>による常時微動の時間的変動の研究がある。しかし当時とは交通事情が大きく変化した今日では再検討の必要がある。また現在常時微動は夜間に測定が行われているが、場所や測定項目によっては昼間でも測定が可能であると考えられるし、時間的変動の幅を認識しておく必要もある。

図-4, 5はそれぞれM地点, T地点での平均振幅の時間的変動を示したものである。2~3か月の測定日の違いがあっても傾向は変わらず、M地点では昼夜の交通量の差が振幅の変化に明瞭に現われている。T地点でも昼間はわずかに振幅が大きいが夜間との差は小さい。

常時微動の時間的変動に最も強く影響すると考えられるのが交通

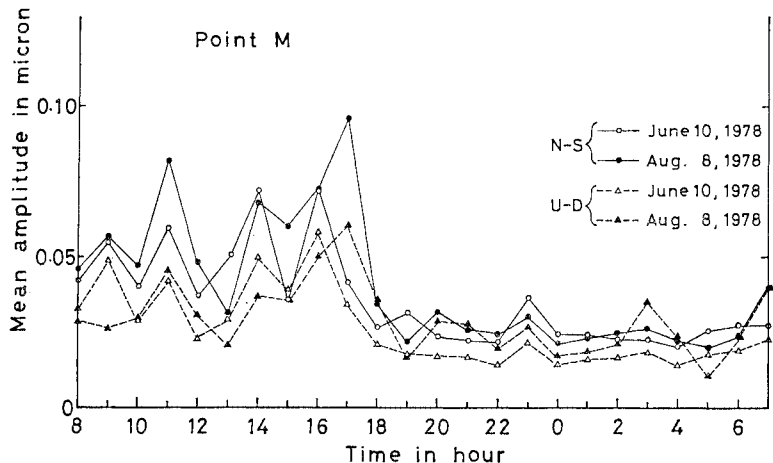


図-4 平均振幅の時間的変動 (M地点)

3地点とも20時～6時の間では変動が少なく、また夜間での平均振幅の値は測定日が異なってもほぼ同程度の値を示す。最大振幅の変動も平均振幅の変動とほぼ同様

でM地点(図-6)では昼夜の差が激しいが20時～6時には差が小さく、S、T地点では昼夜とも差が小さい。

図-7にM地点での卓越周期の変動を示す。卓越周期の時間的変動は、夜間において少し長くなる傾向があるが、振幅特性とは異なり昼夜により交通量の差の大きいM地点でも比較的安定した値を示す。図-8は平均周期の変動で、卓越周期と同様に夜間に多少大きくなるがM地点でも安定している。しかし図-9に示す最大周期は交通量の少ないT地点でも割合大きな変動を生じる。最大周期を用いた地盤種別を使用するときには注意が必要である。

各周期が夜間で長くなるのは、昼間の短周期大振幅の波に隠れていた長周期小振幅の波が解析に現われやすいためと考えられる。この長周期小振幅の波が解析に現われる時間帯が常時微動測定に適した時間と考えられる。

#### 4. 風の影響による常時微動特性の変動

交通振動と同様に風が強い場合には常時微動特性が乱されることが考えられるが、現在、常時微動の測定条件に対する風速の規制はされておらず、測定の備考として風の有無を簡単に記すのみである。卓越周期に対する風速の影響に関しては浜保ら<sup>9)</sup>の研究があるが他の項目に関する研究がなされていない。したがって、どの程度の風速までは大丈夫なのか、各周期特性、振幅特性ごとに明らかにする必要がある。また、その防御方法については研究されたものがなく、常時微動の利用範囲を広げるためには検討しておく必要がある。Eduard J. Douze<sup>9)</sup>によると、風圧の影響は風速や地質によって異なるが地下数10mに及ぶことがあるとされている。

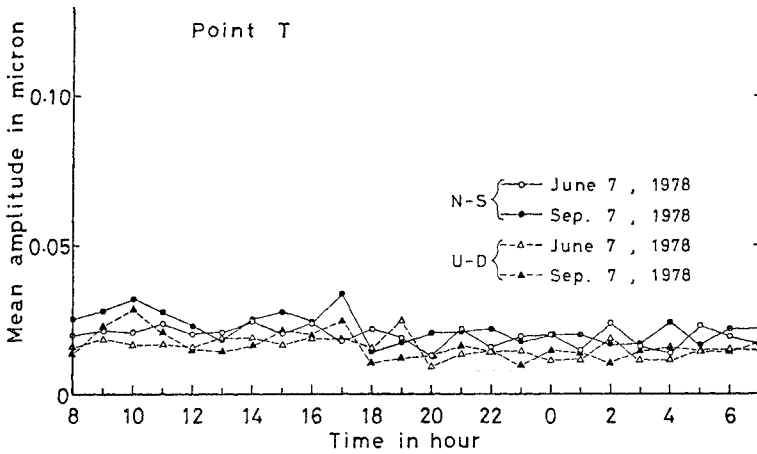


図-5 平均振幅の時間的変動 (T地点)

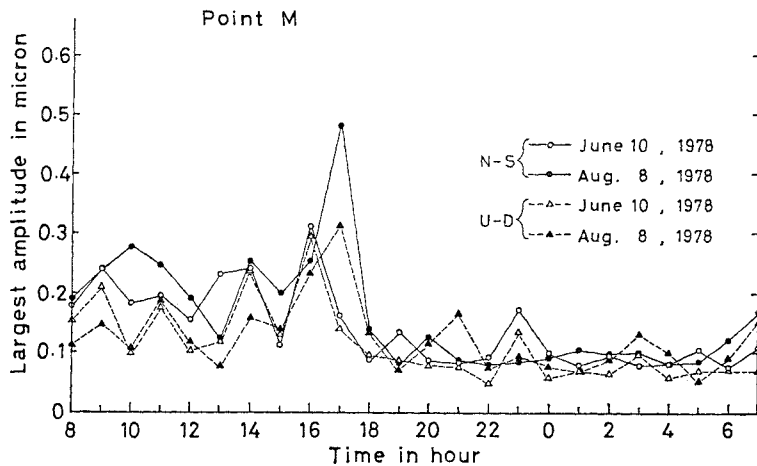


図-6 最大振幅の時間的変動 (M地点)

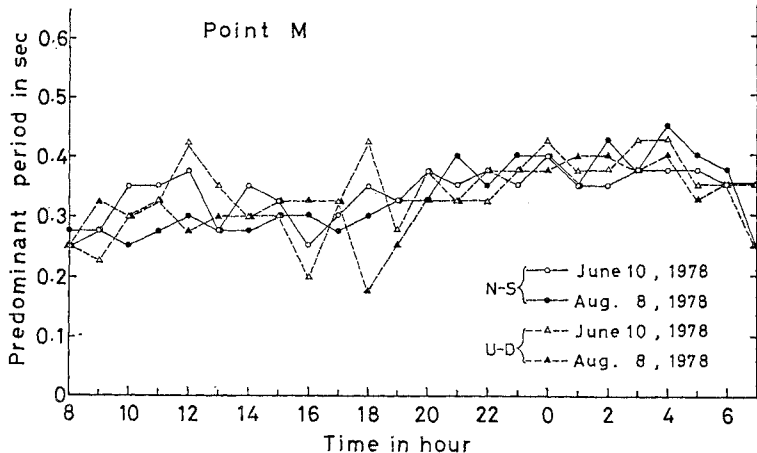


図-7 卓越周期の時間的変動 (M地点)

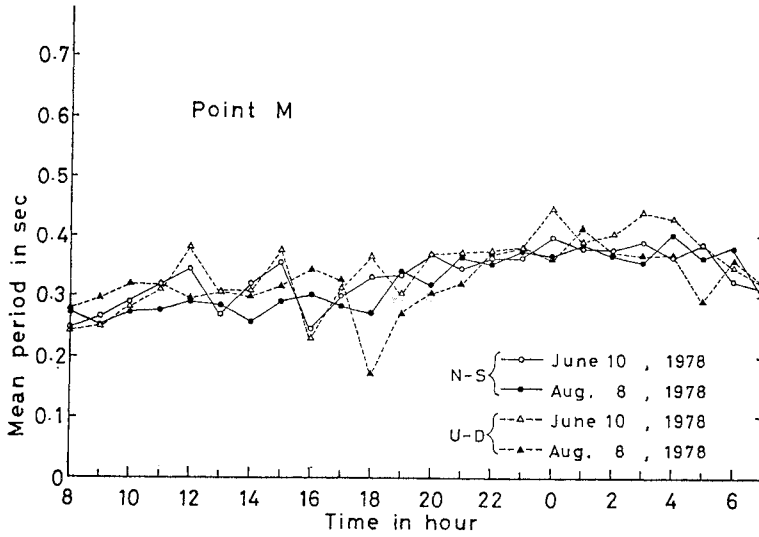


図-8 平均周期の時間的変動 (M地点)

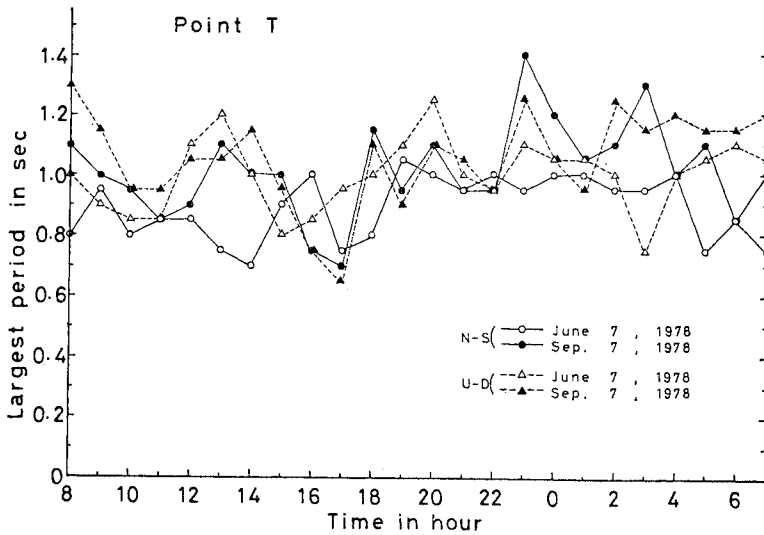


図-9 最大周期の時間的変動 (T地点)

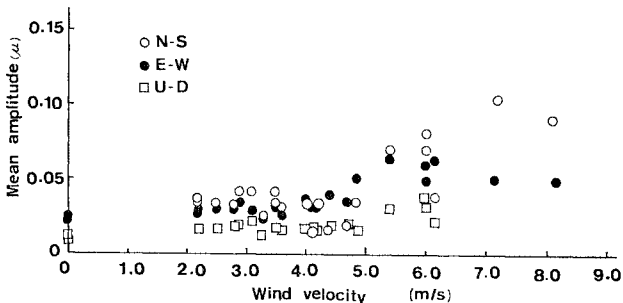


図-10 風速と平均振幅

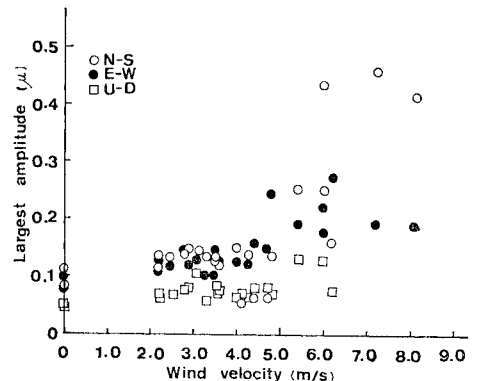
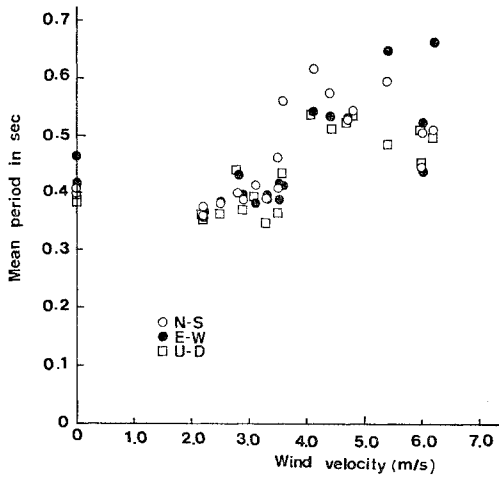


図-11 風速と最大振幅

気象庁の示す風速は地上 10 m の塔、あるいはポール上での 10 分間の平均風速であるが、現場での常時微動測定時にはそのような位置での測定が困難なので、ここに示す風速は地上 1 m の位置での風速である。したがって、地上 10 m での風速よりいくぶん小さな値となっていると思われる。風速の計測はプロペラ型の風向風速計を用いたが、風の向きが頻繁に変化する場合には風杯型の風速計を併用した。風向と風速は 15 秒ごとに観測し、風速は常時微動の解析時間と合わせて 2 分間の平均風速として求めた (常時微動は 5 分間観測し、そのうち 2 分間分を解析)。

図-10 は T 地点での風速と平均振幅の関係をみたものである。測定はすべて夜間のものである。風速が 5 m/s 程度より大きくなると振幅が大きくなる。最大振幅 (図-11) は平均振幅以上に風の影響を受ける傾向にあり、風速が 3 m/s 程度から振幅が大きくなる。常時微動により地盤種別を判定する際に最大振幅を用いる場合には無風状態に近い状態で測定しなければならない。

図-12, 13 はそれぞれ平均周期、最大周期と風速との関係を示したものである。平均周期は風速 2~3 m/s のときに無風状態のときよりわずかに小さくなる傾向があ

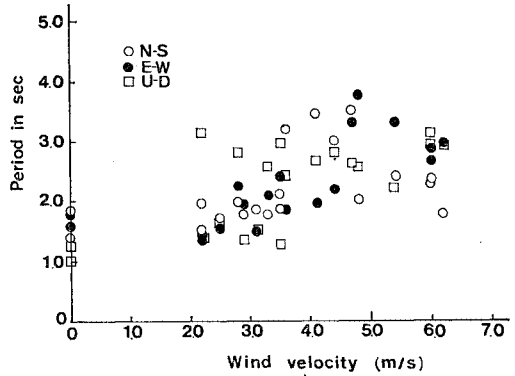


図—12 風速と平均周期

るが、それ以上の風速になると急激に大きくなる。風速 2~3 m/s のときに平均周期が小さくなるのは、風によって換振器に振動が励起されるときに過渡的現象として短周期の振動が発生するためと考えられる。平均周期、最大周期（水平成分）とも風速 3 m/s 以下のときには実用的に問題ないと思われる。

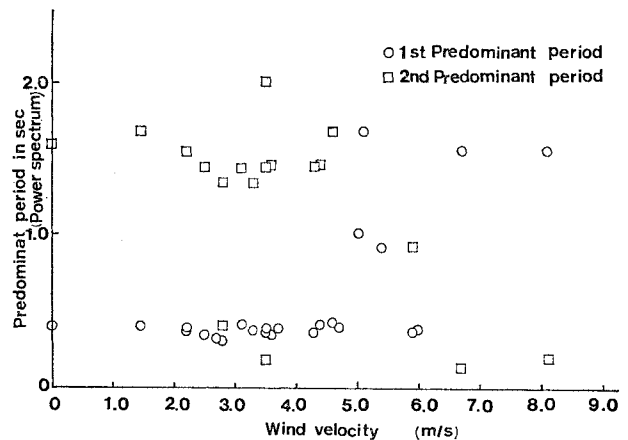
図—14 はパワースペクトル解析より求めた卓越周期と風速との関係を示すものである。図—14 には第 2 卓越周期も示してある。卓越周期は 0.4 秒付近のものと 1.6 秒付近のものに分けることができる。1.6 秒付近のものはより深い地層構造を反映しているものと考えられるが、周期-頻度解析では解析上求めにくい。風速が大きくなると第 1 卓越周期と第 2 卓越周期が入れ換わり、長周期の卓越周期が出やすくなっている。図—14 の場合、風速 5~6 m/s のところが入れ換わりの境と考えられる。風速が大きくなると振幅特性が大きく乱され、また平均周期、最大周期も大きく変化するが、卓越周期にはより深い地層を反映した情報が現われやすくなる。しかしながら風速が大きくなると地層構造とは無関係な雑振動も多く発生し卓越周期の解析が複雑なものになることも事実である。図—14 においても、風速が大きいところでは見かけ上多くの卓越周期が存在し、風速が小さいときの卓越周期を参考にして決定したが、風速が大きいときのみの測定では地盤固有の卓越周期を決定するのは困難である。

風向については、風速が大きい場合に風向方向の振幅が大きくなる傾向がみられたが、一般に風向が一定せず、風向の違いによる影響を明らかにするには至らなかった。

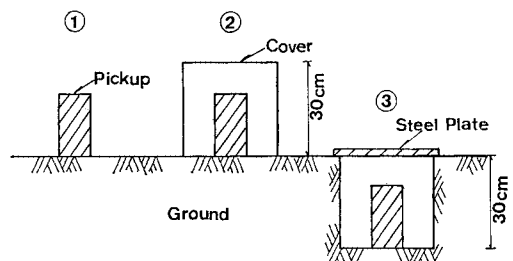


図—13 風速と最大周期

風からの防御方法として、換振器にカバーをすることと、地中に換振器を入れることが考えられるが、どちらが有効であるかを調べてみた。地表に換振器をそのまま設置した場合と、地表で換振器を高さ 30 cm、直径 30 cm の鉄製カバーで覆った場合、および地中に深さ 30 cm の穴を開けて換振器を入れその上を板で覆った場合、の 3 つの場合（図—15）について比較測定した結果の一例を表—1 に示す。卓越周期は周期-頻度解析によるものである。カバーで覆う場合には風が強くなると風圧を受ける面積が大きいためか、かえって特性が乱される傾向



図—14 風速と卓越周期 (N-S 成分)



図—15 換振器の設置方法

表一 換振器の設置別比較 (T 地点, 水平 N-S 成分)

風速 (m/s)	平均振幅 ( $\mu$ )			最大振幅 ( $\mu$ )			平均周期 (s)			卓越周期 (s)		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
0.0	0.027 2	0.027 1	0.029 5	0.097 5	0.095 4	0.127 2	0.385 5	0.408 8	0.429 1	0.35	0.35	0.40
3.7	0.039 5	0.041 6	0.029 1	0.174 9	0.155 8	0.127 1	0.464 8	0.496 4	0.524 5	0.30	0.40	0.38
7.3	0.158 7	0.162 9	0.033 7	0.722 0	0.782 5	0.149 5	0.458 2	0.592 4	0.490 7	*	*	0.42

\* 特定の卓越周期を決めるのが困難

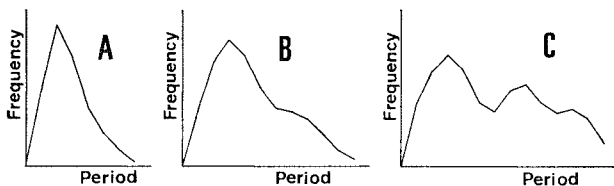
にある。地中に設置すればかなり風の強いときにも測定可能で、特に卓越周期のみを利用する場合にはこの方法が有効である。

5. 常時微動特性の利用

(1) 地盤調査への利用

常時微動特性の中で交通振動や風に対して変動を受けにくいのが卓越周期である。また、卓越周期は周波数解析装置により簡単に求められ、解析装置のない場合でも周期-頻度解析により比較的簡単に求めることができる。また卓越周期による調査によって、沖積、洪積地では地質学的に求めた地盤構造によく対応した結果を得ている<sup>7)</sup>。したがって、広範囲の地域の地盤の概要を簡便に知るには卓越周期による地盤調査が有効である。

周期-頻度解析は一見原始的な解析方法であるが、常時微動のように振幅、周期の変化が割合単純で数多くの波が得られる場合にはかなり精度のよい解析ができる。また、その周期-頻度曲線の形からも地盤に関するある程度の情報を得ることができる。たとえば、周期-頻度曲線の型を図一16のA(ピークが1つのもの)、B、C(ピークが2つ以上あるか、なだらかなもの)の3種に分類することは比較的簡単で経験を要しない。A型のものは地盤中に硬軟の差が明瞭な層を有する地盤のもので、C型のものは同程度の硬さの層が連続して深くまである地盤の場合のものである。A型の硬軟の差の明瞭なものというのは、地表から硬い層までの平均  $N$  値  $\bar{N}$  と硬い層の  $N$  値  $N_1$  との比で表わすと、 $N_1/\bar{N}$  がほぼ4.5以上のものに相当する<sup>8)</sup>。少し経験を積めば卓越周期の大きさを考慮に入れて図一16のA、B、CをA、B、C、Dの4種に分類できる。これは建築規準法の地盤種別I、II、III、IVの分類にほぼ対応する<sup>9)</sup>。表ら<sup>10)</sup>も



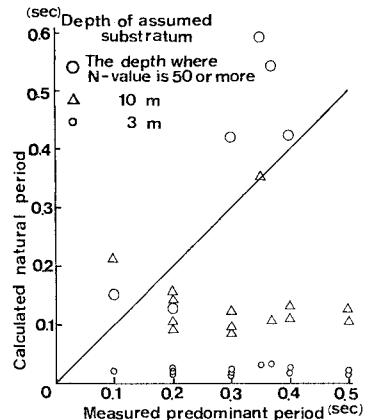
図一16 周期-頻度曲線の型

常時微動の周期-頻度曲線の形と  $N$  値の深さ方向の分布形状との比較研究を行っている。

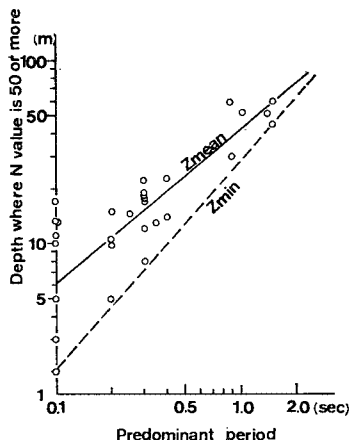
しかしながら、卓越周期そのものから得られる地盤についての情報を明らかにしておく必要がある。卓越周期が地盤の固有周期に対応するものであることから考え、地層の硬軟と深さに関係するものであることは明らかである。しかし、過去に行ったいろいろな地点(たとえば津軽平野, 下北半島, 仙台平野, 福島盆地など)での約1000点の測定での経験によると、卓越周期の地域的分布は地層の硬軟の変化より沖積層厚などの層厚の変化により対応している感がある。図一17は郡山盆地内で標準貫入試験がすでに行われて地盤構造が明らかな地点で、各土層の横波伝播速度  $V_s$  を  $N$  値から<sup>11)</sup>,

$$V_s = 76 N^{0.39} \dots \dots \dots (1)$$

として求め、重複反射理論から固有周期を簡便に求め、同地点での常時微動測定による卓越周期と比較したものである。常時微動の卓越周期がどの程度の深さまでの地層構造の影響を強く受けるのか不明であるので、図一17では一応各地点とも基盤を地表面下3mの位置にある場合、10mの位置にある場合、および  $N$  値が50以上になる(玉石等による一時的なものは除く)層の場合、の3種の場合を仮定して比較計算した。3mと10mを選んだのは単に比較のために特に根拠はない。図一17から  $N$  値50の層までの計算固有周期と実測卓越周期とが最も相関性があることがわかる。これは  $N$  値50までの深さというより、 $N$  値の大小(硬軟)の差がはっきりしている深さまでの層の影響が最も現われるものと



図一17 計算固有周期と実測卓越周期



図—18 N 値 50 の層の深度と卓越周期との関係

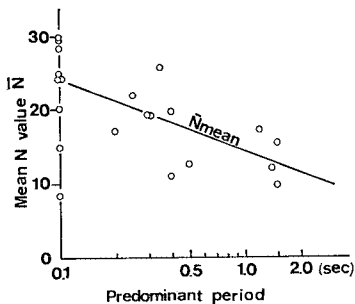
考えられるが、N 値 50 はだいたいの目安となると思われる。

図—18 は標準貫入試験と同一地点で行った常時微動測定の結果から卓越周期と N 値 50 の層までの深さとの関係を求めたものである。図—18 には広範囲の卓越周期での関係を求めるためにいろいろな地域の結果を用いた。主として、0.1 秒付近の短周期のものは青森県下北郡六ヶ所村，中間周期は福島県郡山盆地，長周期のものは青森県津軽平野北部のものである。常時微動の卓越周期（明瞭なもの）が 2 つ以上ある場合には大きい方のものをとっている。ただし，風化表層のない岩盤上でも長周期成分が卓越するし，丘陵地帯でも地形構造の影響と思える長周期成分が存在することがあるがこれらは区別しなければならない。特に後者については不明な点が多く経験を要する。したがって 図—18 は平坦な沖積地盤，洪積地盤上でのものと解釈すべきである。図—18 中の  $Z_{min}$  はあくまで測定値中の最小深さを示すもので，これより浅い場合も当然あり得るが，経験的にはおおむね妥当な値を与えているものと考えている。したがって，これにより実用上，卓越周期から N 値 50 以上の層までの深さが最低何 m 以上あるかを予測できる。N 値 50 は杭基礎等の支持地盤としての 1 つの目安になる値であり，卓越周期により概略の深さを知り得ることは工学的に有用なことである。図—18 中の  $Z_{mean}$ 、 $Z_{min}$  と卓越周期  $T$  との関係はそれぞれ次式で与えられる。

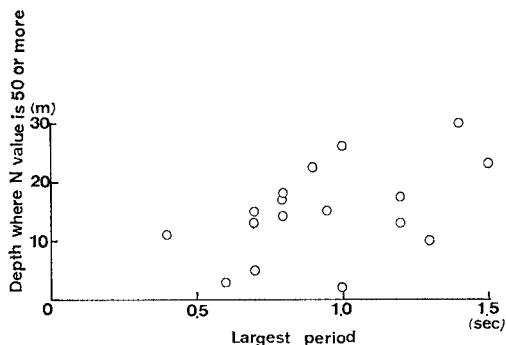
$$Z_{mean} = 42 T^{0.848} \dots\dots\dots (2)$$

$$Z_{min} = 28 T^{1.14} \dots\dots\dots (3)$$

図—19 は地表から N 値 50 の深さまでの平均 N 値と卓越周期との関係を示すものである。全体として卓越周期が大きくなると平均 N 値が小さくなる傾向にあるが，ばらつきが大きい。図—18 の卓越周期と深さとの関係と比較すると卓越周期との関係が明瞭でなく，卓越周期には地層の硬軟より沖積層厚がより強く反映される



図—19 N 値 50 の深さまでの平均 N 値と卓越周期との関係



図—20 N 値 50 の層の深度と最大周期との関係

という経験と一致した傾向を示す。

図—20 は最大周期と N 値 50 までの深度との関係を示したものである。解析した中にはもっと大きな最大周期を示すものが多くあるが，測定装置の性能（固有周期 1 秒の換振器使用）上信頼がおけないので省略してある。図—20 は卓越周期の場合よりばらつきが大きい，最大周期が大きくなると N 値 50 までの深さが大きくなる傾向がみられる。より多くのデータを集めて最適曲線を引くことができれば式 (2)，(3) の補助曲線として利用できるものとする。

## (2) 耐震工学的利用

常時微動の平均周期と最大周期，あるいは卓越周期と最大振幅とによって地盤を 4 種に分けることが行われるが，これによって設計震度の増減を行ってよいことになっており一種の耐震工学的利用といえる。

常時微動の卓越周期は地震時にも卓越して現われるといわれており，卓越周期の大きな地盤では地震時に長周期の波が発生しやすく，それだけ変位振幅が大きくなり震害が多く発生する可能性がある。しかし震害分布と常時微動特性との相関性を広範囲の実測によって確かめた研究はないので，1978 年宮城県沖地震で被害を受けた仙台平野北部で常時微動の測定を行いこれを確かめた。測定は測定範囲に東西南北 5 km 間隔のメッシュを組

み、メッシュの中心とメッシュの交点の各位置で行ったものである（各測点間隔は約 3.5 km になる）。測定点数は 100 で、各測点で水平 2 成分（E-W, N-S 方向）、上下 1 成分を 5 分間同時測定した。測定はすべて夜間に行ったものである。図-21 は最大頻度を示す卓越周期（水平 E-W 成分）の地域的分布とおもな震害分布との関係をみたものである。震害分布は北村ら<sup>13)</sup>の調査によるものである。測点間隔が約 3.5 km, 測点数 100 の粗いものであるが、卓越周期の大きな地域に震害が多いのがわかる。したがって、卓越周期による地盤調査は単に地盤の概要を知るだけでなく震害の予測に役立つ。

図-22 は 図-21 と同地域の常時微動の平均振幅（水平成分）の分布と家屋倒壊率の分布との関係を示す。家屋倒壊率の分布は村井<sup>13)</sup>の調査によるものである。平均振幅の大きな地域で倒壊率が大きい。卓越周期の分布と平均振幅の分布とは似かよっているが、常時微動（水平成分）が横波の重複反射によるものと考えれば当然のことといえる。現在、地震時の地表面の震動の大小を予測する場合、重複反射理論による計算が行われているが、常時微動測定地域の基盤での震動が一定と仮定すれば、常時微動の平均振幅は基盤から地表までの層の振幅増幅の大小に比例するので、重複反射の計算値の大小を直接得ることになる。現在、常時微動の振幅特性としては最

大振幅のみが地盤種別などに用いられているが、この研究で初めて用いた「平均振幅」は最大振幅よりばらつきも小さく応用範囲が広いものになると思われる。常時微動の平均振幅による震害予測分布図は卓越周期によるもの以上に有効なものになる可能性をもつと思われるが、卓越周期とは異なり交通振動の影響を受けやすいので、交通量が絶対的に多い地域ではそれらに対する対策が必要である。

地盤の横波、縦波の速度構造を知ることは耐震工学をはじめ種々の分野で有用なことである。ボーリングによる速度構造の直接測定だけでなく、これまでも地震探査時に測定した表面波の分散特性から地盤の速度構造を求める研究<sup>14)</sup>や、地盤構造から計算した表面波の分散曲線が与える極小群速度の周期と常時微動の卓越周期との関係の研究<sup>15)</sup>などがある。ここでは常時微動を用いて地盤の速度構造を求めてみた。最近の研究では、常時微動の上下動成分はレーレー波によるものが優勢であるとされている。レーレー波は層状地盤を伝播するときに分散性を示すが、その分散性は地盤固有の物性を反映する。したがって常時微動の測定からレーレー波の分散特性を求めることができるなら、その分散特性から逆に地盤の横波、縦波の伝播速度などを推定できる。常時微動（上下成分）の地表面 3 点同時観測によりレーレー波の分散

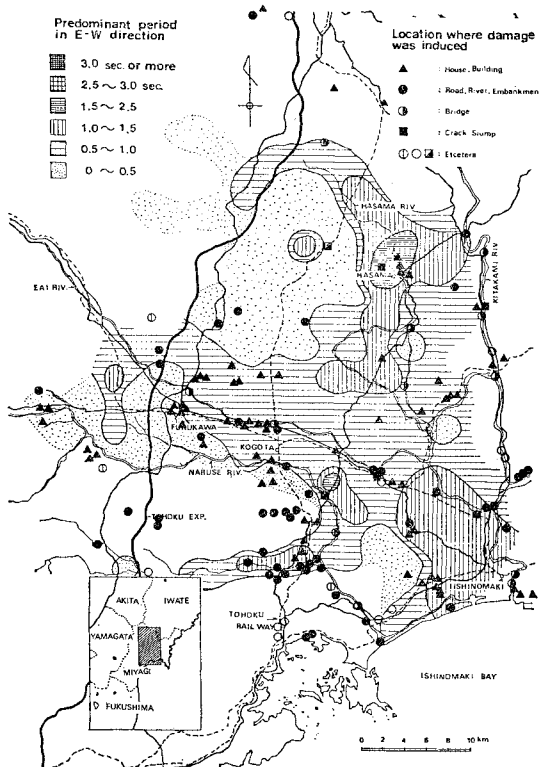


図-21 卓越周期の分布と震害分布（仙台平野北部）

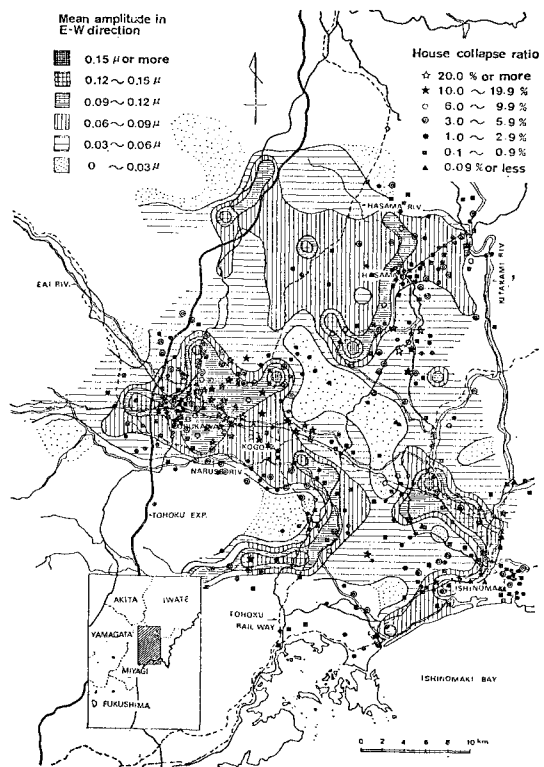


図-22 平均振幅の分布と家屋倒壊率の分布（仙台平野北部）



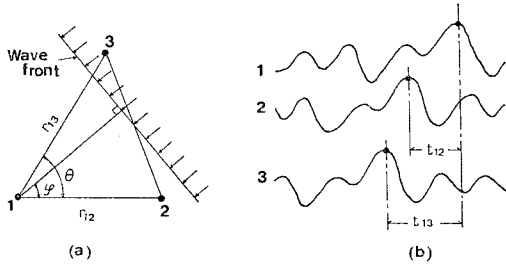


図-23 3点同時観測の原理

特性をピックアップし、これより地盤の速度構造を求めることを新たに試みた。3点同時観測の原理を図-23に示す<sup>16)</sup>。地表面に平行に平面波が入射してきた場合、地表で3点同時観測を行うと各点での記録波に波の対応とそのタイムラグが現われ、次の関係式が成り立つ。

$$\frac{1}{v} = \left( \frac{t_{12}}{r_{12}} \right) \sec \varphi \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{1}{v} = \left( \frac{t_{13}}{r_{13}} \right) \sec(\theta - \varphi) \dots\dots\dots (5)$$

ここに、

$v$  : 入射波の伝播速度

$t_{12}, t_{13}$  : 各測点間のタイムラグ

$r_{12}, r_{13}$  : 各測点間の距離

$\theta, \varphi$  : 図-23に示す角度

式(4)、(5)で  $r_{12}, r_{13}, \theta$  は既知で、 $t_{12}, t_{13}$  を測定より求めると  $v$  と  $\varphi$  が求まる。常時微動の場合、タイムラグを求めるのに記録紙から直接目測する方法では対応する波の周期はほとんど卓越周期付近の周期帯であり、広い周期帯にわたる波の対応とタイムラグを求めるのは困難である。また直接目測によるタイムラグの算定は不明瞭で主観が入る恐れがあり精度が悪くなる。そのため、ここではスペクトルの経時変化をトレースできるランニングスペクトル(マルチフィルタ解析<sup>17)</sup>)を利用して見た。3点での同時記録の同時刻、同解析区間の

ランニングスペクトルを求め、いろいろな周期ごとにスペクトル密度が極大値を示す時間各点について求めれば、その時間差から各測点間の各周期ごとのタイムラグを求めることができる<sup>18)</sup>。

図-24のプロットはこのようにして求めた仙台市苦竹地区での位相速度を示す。測定は  $r_{12}=r_{13}=25\text{ m}$ 、 $\theta=90^\circ$  の二等辺三角形で行ったものである。苦竹地区の地盤は図-25に示すような状態であり、これに対し表-2に示すように密度  $\rho$ 、横波伝播速度  $V_s$ 、縦波伝播速度  $V_p$  を4種の組合せで仮定し、その理論的なレーレー波の位相速度分散曲線を基本モード  $M_{11}$  について求めたのが図-24中の4本の曲線である。図-24からこの地盤の横波、縦波の伝播速度構造は  $D$  の仮定値に近いと推定される。このような常時微動の利用を進展させるには多くの地点での横波、縦波の伝播速度の実測値との対比が必要であるし、また、まったく地盤構造がわかっていない地点での利用には理論分散曲線をいかに早く実測プロットと合わせるかという問題があるが、発展の

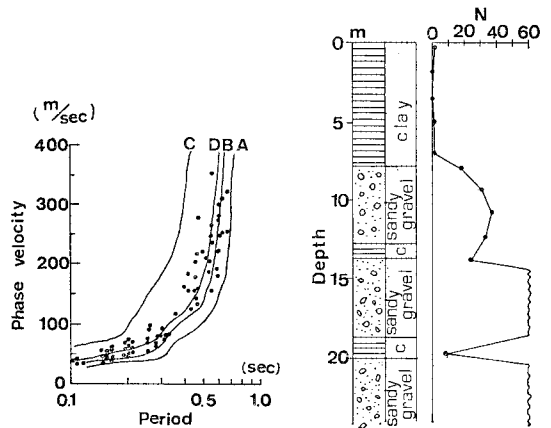


図-24 実測位相速度のプロットと計算分散曲線

図-25 仙台市苦竹地区の地盤

表-2 仮定した速度構造

m	Model A			Model B			Model C			Model D		
	$\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$V_s$ ( $\text{m/s}$ )	$V_p$ ( $\text{m/s}$ )	$\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$V_s$ ( $\text{m/s}$ )	$V_p$ ( $\text{m/s}$ )	$\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$V_s$ ( $\text{m/s}$ )	$V_p$ ( $\text{m/s}$ )	$\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$V_s$ ( $\text{m/s}$ )	$V_p$ ( $\text{m/s}$ )
0												
5	1.5	40	250	1.5	45	250	1.5	70	250	1.5	50	250
10	1.5	120	500	1.5	150	500	1.5	150	500	1.5	150	500
15	1.7	250	800	1.7	250	800	1.7	250	800	1.7	250	800
20	2.0	350	1500	2.0	350	1500	2.0	350	1500	2.0	350	1500
	1.8	150	1500	1.8	150	1500	1.8	150	1500	1.8	150	1500
	2.0	500	2000	2.0	500	2000	2.0	500	2000	2.0	500	2000

可能性があると考える。

## 6. 結 語

地盤の常時微動特性を工学的に利用するために種々の観点からの研究を長年試みてきたが、地盤の常時微動を一般的に利用してもらうべく著者の研究の概要を集約した。この研究から明らかになった事項を簡単にまとめると次のようになる。

(1) 常時微動の解析に必要な解析区間(時間)はいままで明確にされていなかったが、卓越周期、平均周期に対しては60秒以上、最大周期は120秒以上、また振幅特性の解析には90秒以上が必要である。

(2) 交通量の多い地域では昼夜により常時微動の振幅特性は時間的に大きく変動するが夜間では安定する。周期特性は最大周期を除き交通量の多い地域でも昼夜の変動が小さい。この時間的変動の傾向は25年前の金井の測定結果と類似しており、交通事情が大きく変化した現在でも常時微動の周期特性はばらつきが小さく利用しやすいことが確認された。

(3) 常時微動の測定条件に対する風速の規制はこれまで明確にされていないが、卓越周期、平均振幅では4m/s以下、平均周期、最大周期では3m/s以下、最大振幅では2m/s以下なら実用上問題がないことが明らかになった。また、強風時にはより深い地層の影響と思われる長周期が観測されるので、換振器を地中に入れて風からの直接的影響を避ければより深い地層の探査に利用できると思われる。

(4)  $N$  値50の深さまでで常時微動の卓越周期との間に相関性が認められた。したがって、卓越周期により $N$  値50以上の硬い層までの深さをある程度予測できる。

(5) 卓越周期の地域的分布は震害分布と相関性があるが、この研究で用いた平均振幅も卓越周期と同等以上に相関性があることが明らかになった。したがって、常時微動の卓越周期や平均振幅はサイスミック・ゾーニングに有効に利用できる。

(6) 地表面の3地点で常時微動の上下成分を同時測定し、マルチフィルター解析することにより、地盤の横波、縦波の速度構造を推定することができることが明らかになったが、まったく地盤構造が未知の地点では速度構造の仮定が困難で、実用には多くの実測と研究が必要である。

本研究の測定には東北工業大学 浅田秋江教授に多く

の便宜を図っていただき、また同大学 神山 眞助教授には測定の協力と有益な助言をいただいた。厚く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) Kanai, K. and T. Tanaka : On Microtremors. III, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 39, pp. 97~114, 1961.
- 2) 泉谷恭男・島 坦：奈良尾地すべり地における常時微動特性，地すべり，第15巻，第3号，pp. 17~22, 1978.
- 3) たとえば，小坪清真・島野 清・串間正敏：常時微動による構造物の減衰常数推定の問題点，第12回地震工学研究発表会講演概要，pp. 31~34, 1972.
- 4) たとえば，桜井彰雄・増子芳夫：常時微動による大型構造物の振動特性，第14回地震工学研究発表会講演概要，pp. 125~128, 1976.
- 5) 浜保文雄・金井 清：常時微動の周期傾度曲線に対する一考察，第15回自然災害科学総合シンポジウム，pp. 133~134, 1978.
- 6) Douze, E.J. : Noise Attenuation in Shallow Holes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 56, pp. 619~632, 1966.
- 7) 河上房義・浅田秋江・森 芳信・神山 眞：津軽チュウ積平野の常時微動特性について，第7回災害科学総合シンポジウム講演論文集，pp. 55~58, 1970.
- 8) 森 芳信：常時微動の卓越周期と地盤構造について，第32回土木学会年次学術講演会講演概要集 III, pp. 295~296, 1977.
- 9) 河上房義・浅田秋江・森 芳信：青森県上北郡東方海岸地域の常時微動特性について，東北地域災害科学研究報告，pp. 150~158, 1970.
- 10) 表 俊一郎・中島直吉：常時微動観測と $N$  値との対比，Proceedings of Japan Earthquake Engineering Symposium, pp. 21~24, 1966.
- 11) 吉村正義・内山成和・今井常雄：弾性波速度と土の性質について，第5回土質工学研究発表会講演集，pp. 13~16, 1970.
- 12) 北村 信・中川久夫：地盤地質と地盤被害，1978年宮城県沖地震による被害の総合的調査研究(昭和53年度自然災害特別研究)，pp. 77~88, 1979.
- 13) 村井 勇：アンケート調査による震度分布と被害分布，1978年宮城県沖地震による被害の総合的調査研究(昭和53年度自然災害特別研究)，pp. 89~96, 1979.
- 14) 小柳敏郎：同一測線上におけるラブ波とレーリー波の分散と地下構造との関係，物理探査，第25巻，第2号，pp. 4~14, 1972.
- 15) 表 俊一郎・中島直吉・小林直太：地盤の常時微動と地下構造との関係についての一考察，物理探査，第25巻，第5号，pp. 28~36, 1972.
- 16) Akamatsu, K. : On Microseisms in Frequency Range from 1c/s to 200c/s., Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 39, pp. 23~75, 1961.
- 17) 神山 眞：フィルター理論による強震地動の解析，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要，pp. 18~20, 1973.
- 18) 神山 眞・森 芳信：常時微動測定による地盤のP, S波速度構造の推定について，第11回土質工学研究発表会講演集，pp. 833~836, 1976.

(1980.7.10・受付)