

地盤の微動に現われるやや長周期成分についての実測による検討

A STUDY BY FIELD OBSERVATION ON THE SLIGHTLY-LONG-PERIOD
MICROTREMORS OF GROUND

森 芳信*

By Yoshinobu MORI

In order to investigate the slightly-long-period microtremors, the measurement of microtremors at the seaside region and the periodical observations of microtremors over two years at the basin of inland have been carried out. It is conjectured that the slightly-long-period microtremors are due to natural disturbances such as the swell of the sea.

Microtremors are affected by sea waves even at the region 60 km away from the seashore, but the microtremors on the deposit change in the same manner as ones on the hill. The ratio of mean amplitude on the deposit to one on the hill is almost constant for each site. The ratio corresponds to the amplification degree of earthquake movements by each deposit. This ratio is useful for geophysical exploration and seismic hazard analysis.

Keywords: microtremors, field observation, microzoning

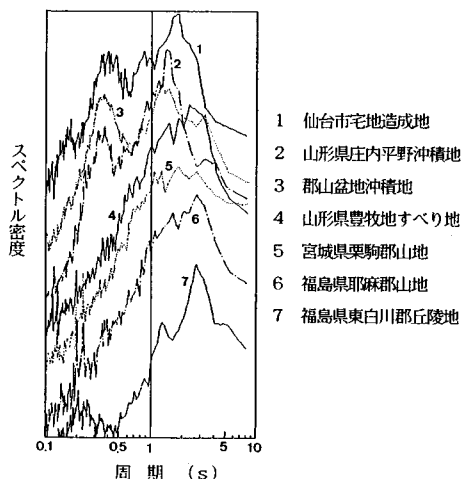
1. まえがき

耐震工学や地盤探査のために地盤の微動測定が利用される。地盤の常時微動の特性として、岩盤などの硬い地盤では0.1秒程度の短周期の振動が卓越し、沖積地盤などの軟らかい地盤になるほど長周期となり振幅も大きくなるといわれており¹⁾、これが一般的固定概念となっている。しかしながら上記のような特性が報告された当時に比べ、現在では測定装置の精度（特に長周期側）が大きく向上し、解析手法も進んでいるので単純な固定概念は誤解をまねくもとなる。

図一は東北各地の各種地盤での微動フーリエスペクトルの例を示す。縦座標はなるべく重ならないようにずらしてあるので数値は入れていない。この図で明らかのように、換振器の固有周期1秒時でも、また軟弱地盤でなくとも周期1~5秒に卓越周期を示すことが多い。このやや長周期といわれる程度での卓越周期が各地盤の特性を表わすものであれば問題はないが、そうでない場合には耐震設計や地盤調査で誤った結果を導くことになる。

常時微動は一般に交通振動や機械振動などの人工的なものによって励起されるといわれている。しかしながら

長周期成分は交通振動や風などの局地的な要因によるものではなく、自然現象、特に海洋波浪の影響が強いと考えられる。風による微動への影響や、微動の1日の時間的変動についてはすでに報告²⁾したが、長周期微動の研究のためには季節的な変動の測定も必要となる。この研究は各地の微動測定の結果からやや長周期成分の成因と工学的利用について述べたものである。



図一 各種地盤上のスペクトル（換振器固有周期 $T_n=1$ 秒）

* 正会員 工博 日本大学教授 工学部土木工学科
(〒963 郡山市田村町徳定字中河原1)

論文の構成は、内陸での測定によるやや長周期微動の存在と海洋波浪の影響の可能性の認識、臨海地域の測定による海洋波浪の影響の測定、内陸での影響の度合いの確認と利用、となっている。

2. 微動の定点観測

微動のやや長周期成分の卓越が各地でみられることは先にその一例を示したが、同一地点で常にみられるものであるかどうか検証する必要がある。微動の季節的変動を詳しく調べるために、福島県の郡山盆地東側丘陵地と盆地内の沖積地盤上の定点（両地点間距離約4 km）で約10日ごとに1年間微動の測定を行った。丘陵地測点の地盤は地下1.5 mまでが砂礫、その下は風化花崗岩で、5 m以深はN値50以上である。沖積地測点の地盤は深さ6.5 mまでN値10程度の礫まじり中砂、深さ6.5~11 mはN値15~30の礫まじり粗砂、その下にN値の大きな砂礫（層厚約5 m）、熔結凝灰岩が続き、19 m以深はN値50以上である。

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。また換振器の固有周期を電氣的に1秒と5秒に切り替え、短周期成分とやや長周期成分の特性をとらえやすいようにした。

また解析では、これまで常時微動では主として卓越周期が利用されているが、常時微動の応用範囲を広げるために個人誤差の少ない平均周期や平均振幅を積極的に利用した。

図-2は卓越周期の変動をみたもので、図中の黒丸は卓越周期が2つあるときの長周期側、白丸は短周期側のもを示す。また実線は水平N-S成分、1点鎖線はE-W成分、破線は上下成分を表わす。沖積地で丘陵地と同じ3~4秒程度のやや長周期の卓越周期が現われている。長周期成分に関しては沖積地盤のフィルター作用が十分に働かず、広範囲に伝播している入力微動の周期がそのまま現われたものと考えられる。

図-3と4は平均周期（周期-頻度曲線の図心を示す周期）の変動を示す。平均周期の変動は大きいですが、丘陵地と沖積地の比をとれば図-5のようにほぼ一定となる。またやや長周期成分では水平、上下の3成分ともほとんど同じ比率を示す。

図-6と7は平均振幅(0.008秒間隔で3分間読み取った振幅の絶対値の平均値)の変動で、図-7の丘陵地のやや長周期成分では年間を通じ水平成分より上下成分の振幅の方が大きい。

沖積地と丘陵地の変動は類似した傾向を示し、丘陵地に対する沖積地盤での振幅倍率を各月ごとにみると(図-8)、短周期成分での倍率はばらつきがあるが、やや長

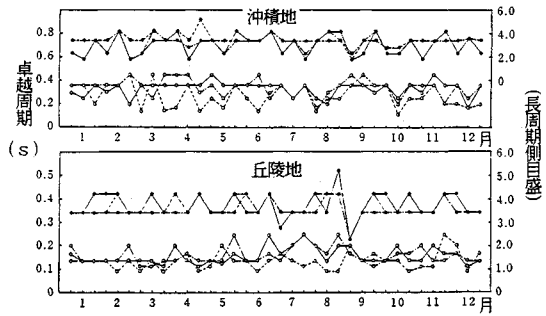


図-2 卓越周期の年間変動 ($T_n=5$ 秒)

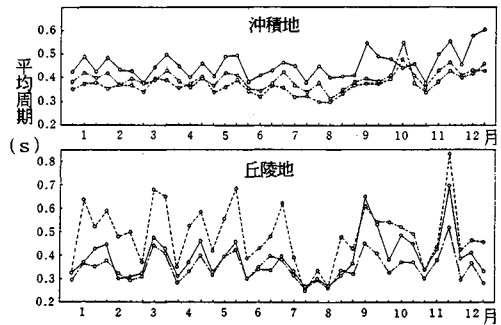


図-3 平均周期の年間変動 ($T_n=1$ 秒)

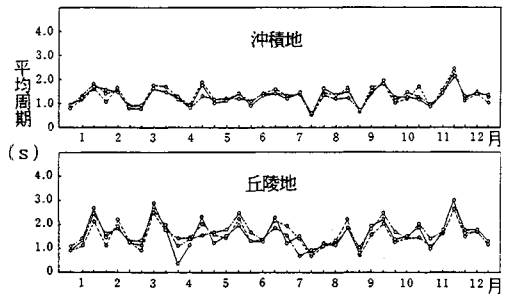


図-4 平均周期の年間変動 ($T_n=5$ 秒)

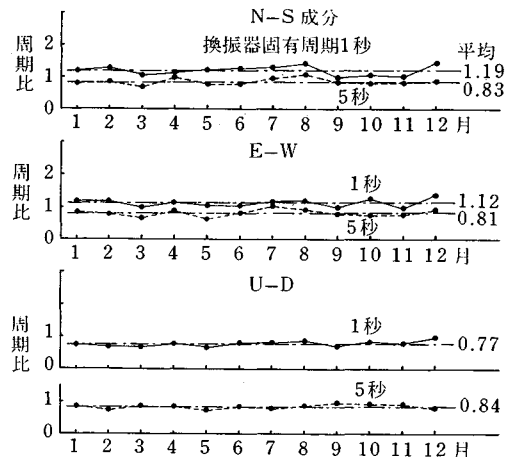


図-5 丘陵地に対する沖積地盤の平均周期の比

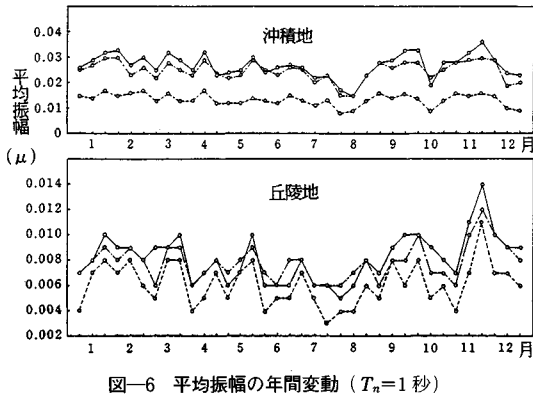


図-6 平均振幅の年間変動 ($T_n=1$ 秒)

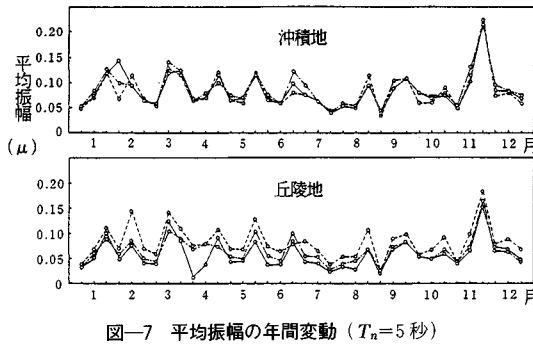


図-7 平均振幅の年間変動 ($T_n=5$ 秒)

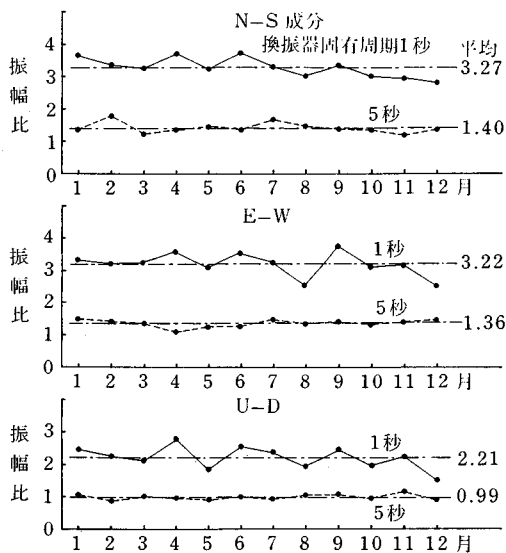


図-8 丘陵地に対する沖積地盤の振幅比 (1985年)

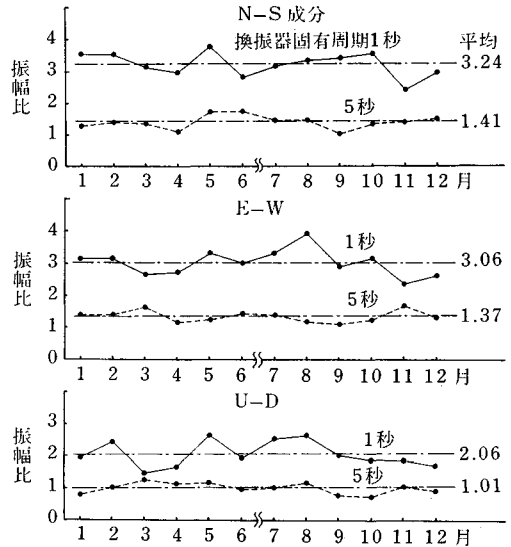


図-9 丘陵地に対する沖積地盤の振幅比 (1986年)

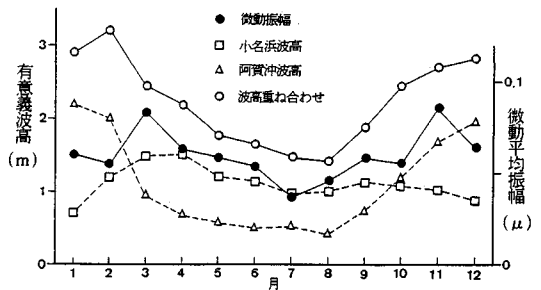


図-10 微動振幅と海洋有意義波高の季節的変動

周期成分では非常に安定した倍率を示す。図-9は翌年に月1回の割合で行った測定結果で、月1回のためにはばらつきが大きい平均倍率は兩年ともほぼ同じ値を示す。約4km離れている沖積地盤と丘陵地で周期や振幅の比率が一定値を示すことは、やや長周期成分の振動源が広範囲に伝播しているものであることを示唆してい

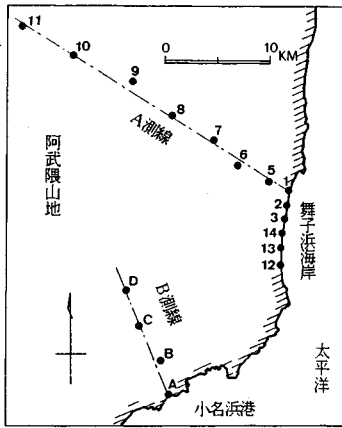
る。

図-10は丘陵地での微動平均振幅(換振器固有周期5秒時)と海洋波浪の平均有意義波高³⁾の季節的変動を比べたものである。波高は太平洋側(小名浜港)と日本海側(阿賀沖)の測定点での月平均を示す。比較のために小名浜、阿賀沖両者の波高を重ね合わせた値を示してある。冬季の波高は太平洋と日本海とで傾向が全く異なることや、微動測定点(郡山)が太平洋側に近いことなどから単純な比較はできないが、波高と微動の季節的変動には類似性がみられる。

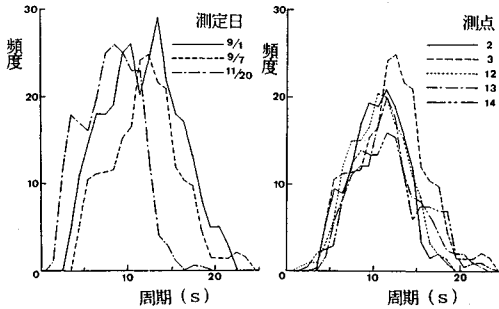
3. 海洋波浪の微動への影響

海洋波浪によって生じる微動は沖合10km程度のところで生じる定常波による⁴⁾といわれている。発生する微動の周期は理論的に定常波周期の1/2程度とされており⁵⁾、やや長周期といわれている範囲のものである。

微動と海洋波浪との関係に関する研究は数少ないが、工藤ら⁶⁾は八戸市の太平洋に面する地域で微動のアレー観測を行い、周期1~5秒の範囲ではM₁₁、M₂₁モード



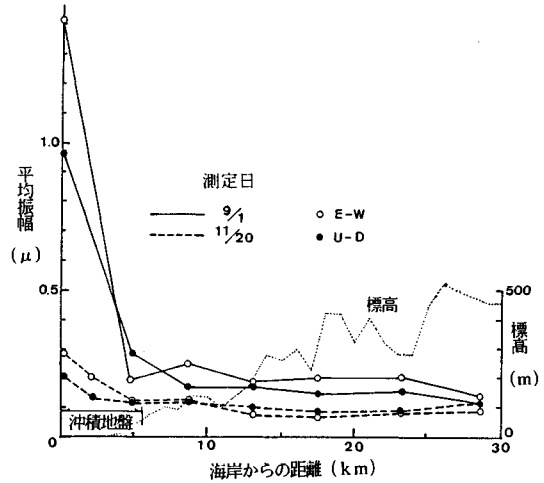
図—11 臨海地域での微動測定点 (いわき市)



図—12 海岸に打ち寄せる波の周期

波が卓越すること、微動の到来方向は多少の時間変動性もあるが、多くは海側から伝播してくることを示している。また坂尻ら⁷⁾は八戸市での観測から長周期側の微動は波浪に影響されるのではないかと想定している。鏡見ら⁸⁾は同じく八戸市で波浪との比較観測を行い、微動の発生源として長周期側は沖合の波浪、短周期側は沿岸近くの波浪とする考えを示している。多賀ら⁹⁾は濃尾平野東側岩盤上での観測から、微動と外洋波浪を比較して振動数の絶対値そのものの大きさは必ずしも一致していないが、変化の傾向はかなり類似していること、長周期微動の震源を波浪と考えたとき、岩盤上での特性と波浪特性には関連があることを示している。

しかしながら、これらの研究では臨海地域のみでの測定であることや、測点数、測定回数がごくわずかであることから、海岸からどの程度の距離まで影響があるのか、一般に行われる内陸堆積地盤での振動測定に海洋波浪によって生じる微動がどの程度影響するのかなど明らかでない。これらを明らかにするには多くの実測によっていろいろな観点から影響の程度を推定しなければならない。また、現在のところ地盤の常時微動が耐震工学や地盤調査に利用されているのは主として卓越周期であるが、平均振幅や平均周期も利用価値が十分にあると思わ



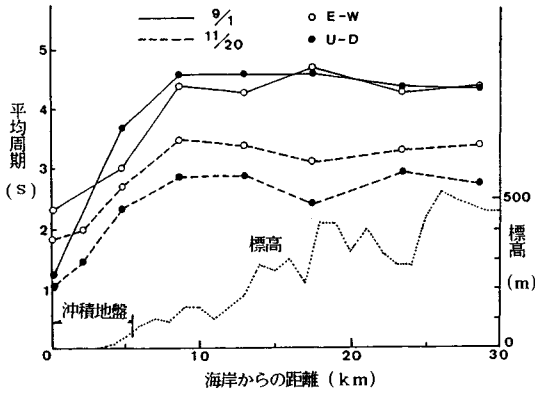
図—13 海岸からの距離と平均振幅 (A 測線, $T_n=5$ 秒)

れるので、これらに対する影響を調べることも必要である。

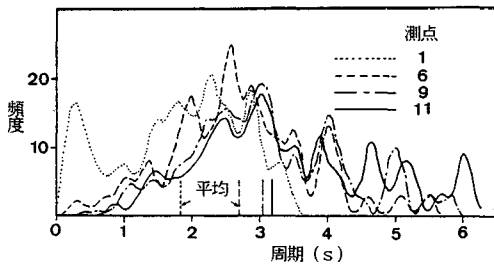
福島県いわき市北部の舞子浜海岸は約 10 km にわたる砂浜で、この地域に図—11 に示すように海岸に沿った測線と海岸にはほぼ直交するような方向に測線 A を設けた。

参考のために海岸に打ち寄せる波の周期をいくつかの地点で約 30 分間ずつ測定した結果が図—12 である。図中の測定日 9 月 1 日は四国沖合に台風があり強いうねりによって波が特に荒い日であり、11 月 20 日は波の穏やかな日である。海が荒れている日の方が発生する波の周期が長い傾向がある。また同じ日であればどの測点でもほぼ同じ周期で波が打ち寄せている。その最頻度周期はおおよそ 8~14 秒である。沿岸波浪観測年報³⁾によるといわき市沿岸の有意義波周期は 7~8 秒であり、沖合に発生する定常波の周期も有意義波程度と考えられる。Longuet-Higgins⁵⁾ の理論によると発生する微動の周期はこの 1/2 程度であるので、波浪の微動に対する影響はやや長周期成分に現われると考えられる。

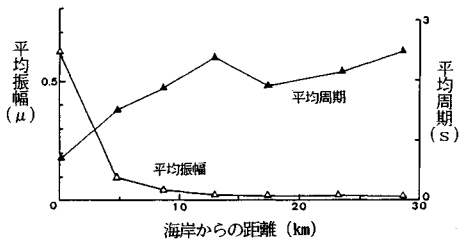
図—13 は海岸からの距離と平均振幅との関係を A 測線について示すもので、海の荒れている日 (9/1) と穏やかだった日 (11/20) の両日の結果と各測点の標高を示している。図—14 は同様に平均周期について示したものである。平均周期では海岸近くで波浪の影響による差が少ない。海岸近くは沖積地盤であるために、地盤構造を反映する短周期 (波浪の周期に比べて) の振動の影響が強いためと思われる。平均振幅では海岸から 5 km 程度、平均周期では 8 km 程度までの変化が激しいが、それ以遠では標高に関係なくほぼ一定となる。平均周期が一定になることから海岸から遠く離れると平均周期に近い大きさの卓越周期が現われている可能性が強く (図



図—14 海岸からの距離と平均周期 (A 測線, $T_n=5$ 秒)



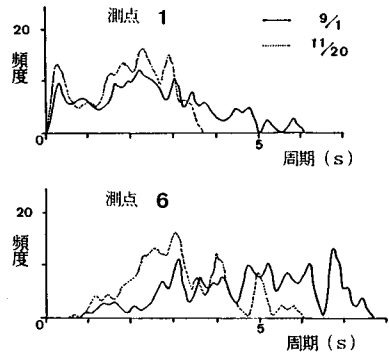
図—15 海岸からの距離による周期特性の変化 ($T_n=5$ 秒)



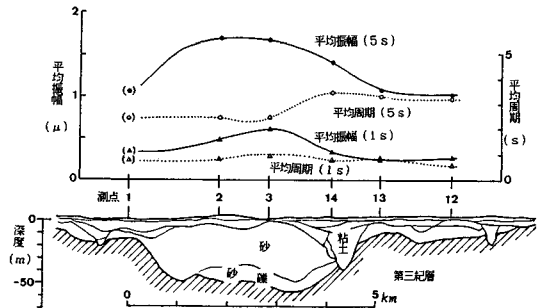
図—16 海岸からの距離と振幅・周期 (A 測線, $T_n=1$ 秒)

—15), 長周期成分では減衰しにくいのでその傾向が特に強いと思われる。図—15の周期-頻度曲線中に示されている縦線の位置は各測点の平均周期の大きさを表わしている。また図—13, 14では測定日による相違が明らかで, 海の荒れていた日は振幅, 周期とも大きな値を示す。海岸から約30 kmの位置でもその差は歴然として存在し, 図の傾向からみてさらに遠くまで影響が及ぶことは明らかである。

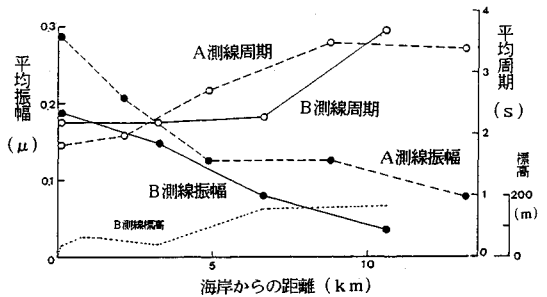
換振器の固有周期1秒の状態で測定した場合, 波の荒い日でも振幅は海岸から10 kmまでに減衰しほぼ一定となり(図—16), 周期は海岸から離れるに従い大きくなり, 10 km程度からほぼ一定となる。図—17は測定日による周期-頻度曲線の相違を海岸に近い地点から示したもので, 測定日が異なっても各地点ごとの卓越周期は共通しているものが多く, 地盤の固有周期と考えられ



図—17 測定日による周期-頻度曲線の相違



図—18 海岸線に沿う測線での微動特性と地盤構造



図—19 海岸からの距離と振幅・周期 (B 測線, $T_n=5$ 秒)

る。しかし海の荒れている日は長周期成分の振動が多く発生する傾向を示す。

図—18は海岸線に沿う測線での地盤構造¹⁰⁾と水平成分の平均振幅, 平均周期との関係を示すもので, 同一日の測定によるものである。図中の括弧内は換振器の固有周期を示す。海岸線に沿った地点では波浪の影響をものに受けると思われ, 平均周期, 特に長周期成分での平均周期は地盤構造との対応がみられないが, 平均振幅は地盤構造を反映している。

A 測線では海岸から数 km が沖積地盤であるが, 沖積層の影響を除くために, 海岸からすぐ崖(高さ約34 m)で沖積層のない測線(図—11, B 測線)について波の穏やかな日に測定を行った(図—19)。図には水平成分の

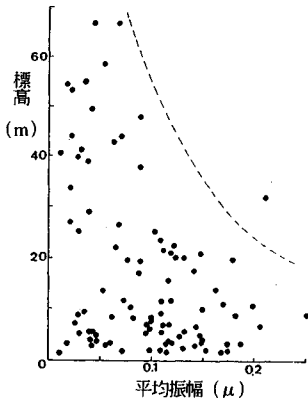


図-20 標高と平均振幅 (仙台平野北部)

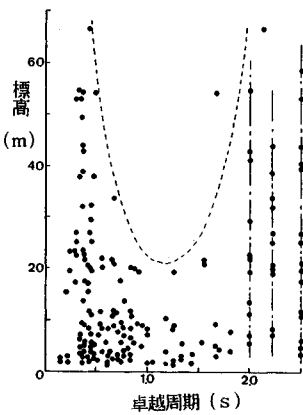


図-21 標高と卓越周期 (仙台平野北部)

みを示すが、比較のためにA測線の波の穏やかな日の結果も示してある。沖積地でなくとも海岸から10km程度の範囲では振幅の変化が激しく、また海岸から離れるほど長周期成分が優勢になる傾向がみられる。

振幅特性として平均振幅のみについて記したが、最大振幅の変動傾向も平均振幅と同様である。

4. 内陸地域での海洋波浪による微動の影響

図-20は、宮城県石巻湾に面する仙台平野北部で東西南北約5kmごとに100点の測点を設け、各測点の標高と水平成分平均振幅との関係を示したものである。海岸から最も離れた測点は海岸から約50kmのところの位置する。全体として内陸ほど標高が高くなり、標高の低いところは堆積地盤、標高の高いところは丘陵地が多いと考えられるが、図-20では標高が高くなると平均振幅が小さくなる傾向を示す。一方、標高と卓越周期の関係を見ると(図-21)、標高の高い地点では長周期と短周期の2つのグループに分かれる。長周期成分は標高の低い地点から高い地点までほぼ共通した値を示し、海洋波浪の影響によるものと考えられる。標高の低い沖積

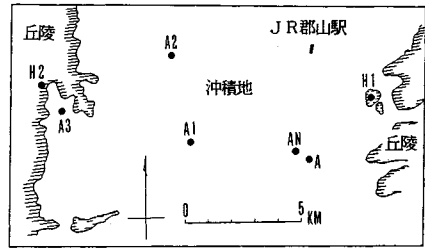


図-22 内陸地域での微動測定点 (郡山盆地)

表-1 丘陵地と盆地内の卓越周期 ($T_n=1$ 秒)

測点	6月	7月	8月	9月	10月	11月
H 1	0.36 0.29 0.19	0.34 0.30 0.19	0.19 0.37 0.29	0.29 0.38 0.33	0.18 0.20 0.29	0.30 0.39 0.20
H 2	(0.31)	(0.35)	0.61 (0.44)	0.37	(0.40) (0.30)	(0.30) (0.45)
A	0.35	0.38	0.33	0.32	0.36	0.36
AN	0.33	0.39 0.70	0.37 0.57	0.36 0.57	0.37	0.38
A 1	0.31 0.60	0.31	0.31 0.67	0.31	0.30	0.30
A 2		0.33	0.32	0.36	0.35	0.33
A 3	0.31 0.60	0.31	0.32 0.62	0.31 0.58	0.30	0.30

表-2 丘陵地と盆地内の卓越周期 ($T_n=5$ 秒)

測点	6月	7月	8月	9月	10月	11月
H 1	3.2 2.3	3.2	3.2	3.1	2.9	4.0 2.3
H 2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.0
A	3.8	3.2	3.2	1.3 2.3	3.2 1.8	2.8 1.7
AN	3.5 2.3 1.8	3.2	3.2	1.3 2.3	3.2 1.8	2.8 1.7 1.3
A 1	2.3	2.3	2.3	2.4	2.6	2.3
A 2		3.1 1.8	3.2 (1.8)	2.8 2.0	2.1	2.3
A 3	3.5	3.2	3.2	3.1	3.2	3.8

地盤では短周期から長周期まで幅広い卓越周期が存在している。厚い沖積地盤では地盤の特性を表わす卓越周期が長周期となるので、波浪による長周期卓越周期との判別が必要である。

図-13および14で海洋波浪の影響が海岸から30km以上遠に及ぶことが示されたが、この測線の延長上約60kmに位置する郡山盆地で微動の観測を行った。観測点は図-22に示す7点で、郡山盆地をささむ東西両側丘陵地の2測点と堆積地盤上の5測点である。測定は月1回、6か月間行った。

表-1と2はフーリエスペクトルから求めた各測点の卓越周期で、換振器の固有周期が1秒のときは1秒未満の卓越周期を、また固有周期が5秒のときは1秒以上の卓越周期を示す。複数の卓越周期が存在するときには優

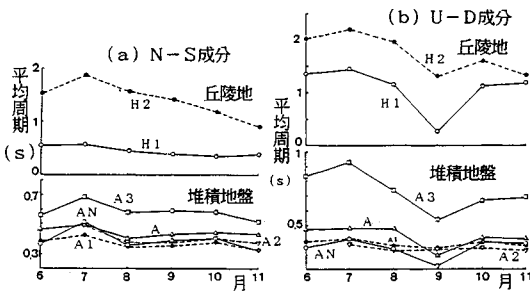


図-23 丘陵地と堆積地盤の平均周期 ($T_n=1$ 秒)

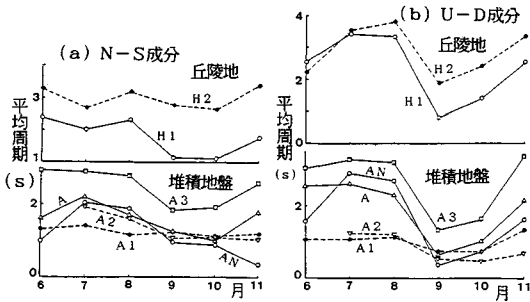


図-24 丘陵地と堆積地盤の平均周期 ($T_n=5$ 秒)

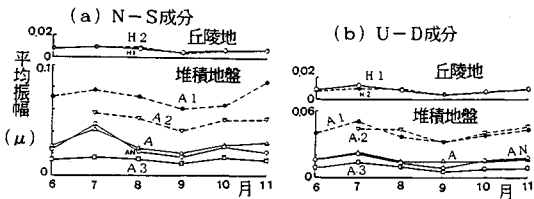


図-25 丘陵地と堆積地盤の平均振幅 ($T_n=1$ 秒)

勢なものから示し、括弧が付いているのは不明瞭なものである。A2地点の6月は測定ミスで欠けている。丘陵地のH2地点では短周期での明瞭な卓越周期が存在せず、軟らかい表層がなく地震基盤に近い状態の地盤であることを示している。沖積地盤では短周期成分で各測点とも安定した卓越周期を示す。やや長周期成分では丘陵地においても明瞭な卓越周期を示し、堆積地盤でも丘陵地と同じ卓越周期を示す地点が多い。表には示していないがやや長周期の上下動成分では丘陵地を含む郡山盆地全域で同じ3.2秒付近の卓越周期を示す。これらのことはやや長周期成分でみられる卓越周期は各測点の地盤状態を反映したものではなく、広範囲に影響する振動源によるものであることを示している。また得られる卓越周期は3.2秒付近が多いが、これは図-14, 15から予測された卓越周期に近い値である。

図-23, 24は各測点の平均周期の変動を示すもので、H1とH2の大きさに大きな差があるが、H1地点では1秒以下の短周期成分を多く含むからである。丘陵地と

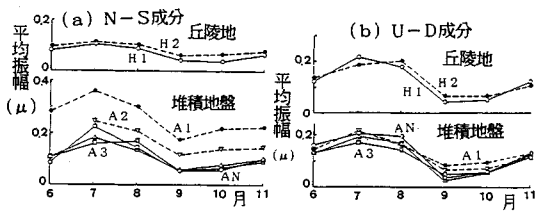


図-26 丘陵地と堆積地盤の平均振幅 ($T_n=5$ 秒)

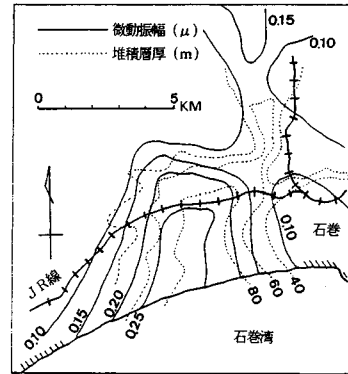


図-27 微動振幅と堆積層厚との相関性 (石巻臨海地域)

堆積地盤の変動状態は対応していると判断されるが、水平成分より上下成分の方が、また短周期成分より長周期成分の方がよく対応している。丘陵地どうしのH1とH2地点は盆地をはさんで約14km離れているが変動状態はよく対応している。

図-25, 26は平均振幅の変動をみたもので、平均振幅も長周期成分の方が丘陵地と堆積地盤の相関性がある。丘陵地の2地点は大きさもほとんど同じである。

卓越周期, 平均周期, 平均振幅のいずれの点からみても郡山盆地全体が同一の振動源の影響を受けていることは明らかである。これまでの種々の観点からみて海洋波浪による影響の可能性が強い。

5. 微動の振幅特性の利用

地盤の常時微動では主として卓越周期が利用されている。それは卓越周期が最も変動が少なく安定しており、堆積層厚との関連が付きやすいことと、振幅特性は各地域の振動源の大きさの相違のために普遍性をもちにくいことによる。しかしながら、海岸付近においても同一日の測定であれば振幅の大小が地盤構造を反映することを考えると、同一日でなくとも気象条件が似た日の測定であれば海洋波浪の影響による誤差は少なくなると考えられる。

図-27は宮城県石巻湾の臨海地帯で行った微動水平成分平均振幅と堆積層厚との対比である。換振器の固有周期は海洋波浪の影響を比較的受けにくい1秒の状態

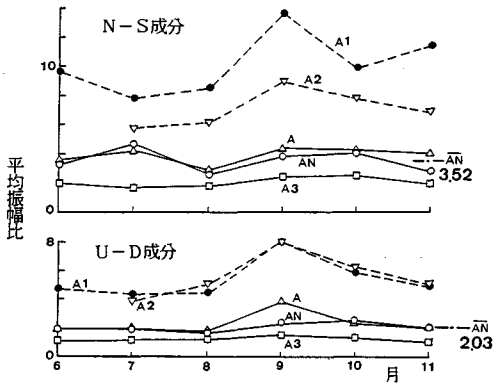


図-28 堆積地盤ごとの丘陵地に対する振幅比 ($T_n=1$ 秒)

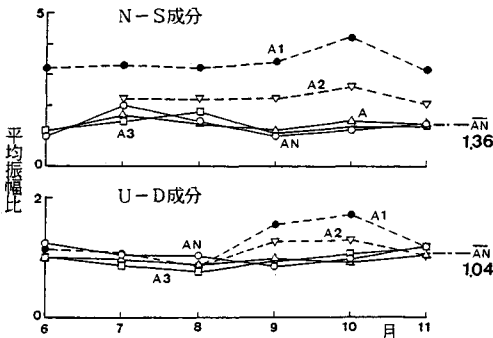


図-29 堆積地盤ごとの丘陵地に対する振幅比 ($T_n=5$ 秒)

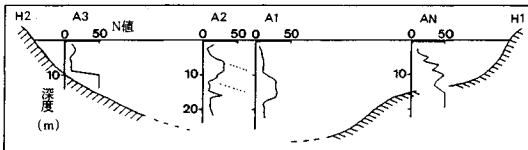


図-30 郡山盆地の地盤状況

行っている。微動測定点は約 2 km ごとの粗いメッシュで行ったものであり、測定日も同一でないが平均振幅は堆積層厚¹¹⁾によく対応している。

一方、堆積地盤と周辺丘陵地が同一の振動源の影響を受けていることから、振幅増幅作用が少ないと考えられる丘陵地に対する堆積地盤の振幅比は堆積地盤の振幅増幅度の大小に対応していることになる。図-22の郡山盆地の場合について、盆地内の各測点の丘陵地に対する振幅比を示したのが図-28, 29である。丘陵地の振幅は H1 と H2 地点の平均値を用いた。やや長周期成分では増幅の割合が小さいが安定している。振幅比は地点ごとに異なるが、それらの大小は図-30に示される N 値 50 までの堆積層厚¹²⁾の大小とよい相関性を示す。しかしながらこれらの振幅比は、表層による振幅増幅のほとんどない丘陵地に対する各堆積地盤の振幅増幅を表わすと考えられるから、実際には堆積層厚の大小そのもの

表-3 AN 地点での地震時増幅度

	N-S	E-W	U-D
平均加速度増幅度	3.13	2.77	2.66
加速度記録平均周期 (s)	0.11	0.10	0.10
平均変位増幅度	1.34	1.45	1.17
変位記録平均周期 (s)	1.09	1.25	1.79

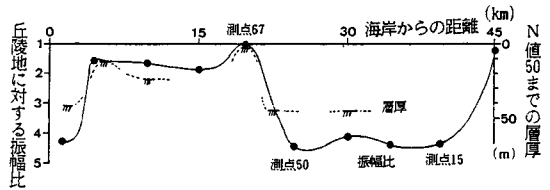


図-31 丘陵地に対する振幅比と N 値 50 までの層厚 (仙台平野北部, $T_n=1$ 秒)

より、各地点の堆積地盤の地震時増幅度の大小に対応しているものと思われる。

AN 地点では地下 16.5 m と地下 1.5 m に 3 成分地震計を設置し地震観測を行い 12 の地震が観測されている。記録は加速度で行われたが、そのうち比較的振幅の大きな 3 つの地震については積分により変位記録が求められた。表-3 は地下 16.5 m 地点に対する地下 1.5 m 地点での地震時増幅度を加速度と変位について求めたものである。また AN 地点の PS 検層の結果から横波の重複反射理論によって求めた振幅の応答倍率は約 3.2 である。これらの値は図-28, 29 で求まる値、すなわち堆積地盤による振幅増幅度の大小と関連性があると思われる。丘陵地に対する堆積地盤の振幅比が地震時増幅度の大小に対応しているとすればマイクロゾーニングの有力な手段となる。

図-31 は石巻湾から内陸側への直線上に約 5 km ごとにとった測点での振幅比の結果で、測点 67 の丘陵地を基準として求めたものである。図には測線付近のボーリング柱状図から求めた N 値 50 以上を示す地層深度¹³⁾も示してある。振幅比は堆積層厚の大小とよい対応を示すが、振幅比は地盤の軟らかさの程度も加味されたものになっており、1978 年宮城県沖地震時の被害の状態とよい対応を示す。すなわち、宮城県沖地震時に、この測線上では測点 50 から 15 の範囲で家屋の倒壊率が最も高い¹⁴⁾。

6. 総括

臨海地域と内陸地盤での多くの微動測定から、微動に現われるやや長周期成分に関連して得られた事項についてまとめると次のようになる。

(1) 海岸から 10 km 程度の地域では海洋波浪の影響を強く受ける。しかし、海岸近くでも同一日での測定

であれば振幅の大小は地盤構造を反映する。また堆積地盤での卓越周期には海岸近くでも常に地盤の固有周期が含まれるが、波浪による卓越周期が含まれるので判別が必要である。

(2) 海岸から 10 km 程度以上離れるとやや長周期微動が優勢になる。このやや長周期微動は海洋波浪との関係が強く、海岸から 30 km 以上伝播する。

(3) 微動の周期、振幅は季節的に大きく変動するが、地盤の固有周期を表わす卓越周期は安定している。

(4) 海岸から 60 km 以上離れた内陸地でも地盤構造に関係のないやや長周期微動が存在するので、地盤調査や耐震工学に地盤の固有周期を知る目的で微動測定を利用する場合には注意を要する。このやや長周期微動は丘陵地、沖積地ともに存在し、広範囲で同様の変動をすることと、海洋波浪による微動が海岸から 30 km 以上伝播することから海洋波浪の影響と考えられる。厚い堆積地盤がもつやや長周期の固有周期(たとえば、八郎潟¹⁵⁾では 2.5 秒)と海洋波浪によるやや長周期の卓越周期を判別するには、同一日に付近の何か所かで測定を行い波浪による共通周期を判別することが考えられる。

(5) 現在のところ地盤の微動が工学的に利用されるのは卓越周期を主とした周期特性がほとんどであるが、同一地域内での振幅の大小は堆積地盤厚を反映するので振幅特性の利用範囲を広げる必要がある。

15 km 四方程度の盆地では盆地内の堆積地盤と周辺丘陵地の微動特性に相関性がある。両地点の振幅比は堆積地盤の層厚の大小、硬軟に影響されるので、堆積地盤の地震時増幅度の大小が推測される。したがってこの振幅比を利用したマイクロゾーニングや地盤種別が将来実用的になる可能性がある。この場合、変動の少ないやや長周期成分を積極的に利用することも考えられる。

参考文献

- 1) 金井 清：地震工学，共立出版，1969.
- 2) 森 芳信：地盤の常時微動特性と工学的利用，土木学会論文報告集，第 313 号，pp.55~64，1981.
- 3) 小舟浩治，ほか 4 名：沿岸波浪観測年報 (1985)，港湾技研資料，No.574，1987.
- 4) 三東哲夫：波浪はどこで脈動に変わるか？，地震，第 2 輯，第 13 巻，第 3 号，pp.150~162，1960.
- 5) Longuet-Higgins, M.S. : A Theory of the origin of microseisms, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol.243 A, pp.1~35, 1950-51.
- 6) 工藤一嘉，ほか 8 名：やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (4)—Array 観測による微動伝播性の検討一，地震，第 2 輯，第 29 巻，pp.323~337，1976.
- 7) 坂尻直己，ほか 10 名：やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (5)—卓越周期の安定性の検討と観測の定式化への提案一，地震，第 2 輯，第 31 巻，pp.179~193，1978.
- 8) 鏡味洋史，ほか 6 名：やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (8)—波浪との同時比較観測一，地震，第 2 輯，第 36 巻，pp.609~617，1983.
- 9) 多賀直恒・富樫 豊・宮崎 正・谷口仁士：濃尾平野の微動特性 (7)—堆積地盤と岩盤上での比較観測一，第 17 回土質工学研究発表会講演集，pp.1793~1796，1982.
- 10) 建設省計画局・福島県編：福島県常磐地区の地盤 (都市地盤調査報告書)，第 12 巻，1966.
- 11) 建設省計画局・宮城県編：仙台湾臨海地帯の地盤 (都市地盤調査報告書)，第 10 巻，1965.
- 12) 土質工学会東北支部：郡山周辺ボーリング柱状図，1986.
- 13) 梶谷エンジニアリング株式会社社内資料.
- 14) 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.
- 15) 柳沢栄司：振動時における堤防と地盤の動的相互作用と逸散減衰，土と基礎，Vol.29, No.9, pp.11~17, 1981.
(1990.1.25・受付)