

秋田市茨島工業地帯周辺における地盤の振動特性

微動研究グループ; 斎藤 徳美*・阿部 司**
小林 直太*³・中島 直吉*⁴・中村 操*⁵
野越 三雄*⁶・毎熊 輝記*⁷

Ground Vibration Characteristics in the Vicinities of the Barajima Industrial Area, Akita City

Research Group for Short- and Long-period Microtremors; Tokumi SAITO*, Mamoru ABE**,
Naota KOBAYASHI*³, Naoyoshi NAKAJIMA*⁴, Misao NAKAMURA*⁵,
Mitsuo NOGOSHI*⁶ and Teruki MAIGUMA*⁷

ABSTRACT

Observations of short-period seismic noise were made to gather information in ground vibration characteristics in Akita city, Akita prefecture, from 1986 to 1988. A three-component seismograph was used at 270 sites shown in Fig. 5, and noise levels were observed to cover a large area. Contour maps of the survey area showing amplitudes in m_{kine} indicate that a zone of anomalously high seismic noise corresponds closely to the Barajima industrial area. The changes in amplitude and power spectrum were investigated along a survey line in the west side of Barajima. The dominant and stable frequencies of 4.00, 4.88 and 5.66 Hz are recorded along the survey line. However, power levels of these frequencies decreased with increasing distances from Barajima. Array of vertical seismometers with 20 m spacing were also installed at four sites near Barajima.

The results by the f-k analysis show that the directions of arrival of such frequencies correspond to Barajima. Therefore, it may be said that the seismic noise of these predominant frequencies are continuously

1993年11月8日原稿受付; 1994年4月4日受理
物理探査学会第76回(昭和62年春季)第81回(平成元年秋季)および第82回(平成2年春季)学術講演会にて発表

* 岩手大学工学部

〒020 盛岡市上田4-3-5

** 東北大学工学部

〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉

*³ 中央大学理工学部

〒112 文京区春日1-13-27

*⁴ ㈱東京ソイルリサーチ

〒154 東京都世田谷区池尻3-15-3

*⁵ 日本物理探査(株)

〒143 大田区中馬込2-2-12

*⁶ 秋田大学教育学部

〒010 秋田市手形学園町1-1

*⁷ 埼玉大学工学部

〒338 浦和市下大久保255

(斎藤以外はアルファベット順)

Manuscript received November 8, 1993; Accepted April 4, 1994.

A part of this paper was presented at the 76th, 81st and 82nd SEGJ Conference, 1987, 1989 and 1990.

* Faculty of Engineering, Iwate Univ. 4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate 020, Japan

** Faculty of Engineering, Tohoku Univ. Aramaki Aoba, Aoba-ku, Sendai 980, Japan

*³ Faculty of Science and Engineering, Chuo Univ. 1-13-27, Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112, Japan

*⁴ Tokyo Soil Research Co., Ltd. 3-15-3. Ikeshiri, Setagaya-ku, Tokyo 154, Japan

*⁵ Nihonbutsuritanko Co., Ltd. 2-2-12, Nakamagome, Ota-ku, Tokyo 143, Japan

*⁶ Faculty of Education, Akita Univ. 1-1, Tegatagakuen-cho, Akita 010, Japan

*⁷ Faculty of Engineering, Saitama Univ. 255, Shimookubo, Urawa 338, Japan

generated by factories on operation and are propagated to the sites of comparatively long distance. The f-k method also gives phase velocities which correspond to the theoretical dispersion curve of a model subsurface based on boring data. Since the observed values are consistent with the theoretical curve, it follows that factory noise sources can effectively be used for estimating shallow velocity structures. However, it is pointed out that careful attention must be paid to source spectra of such noises in seismic zonation.

Keywords: short-period seismic noise, factory activity, f-k method

1. 緒 言

都市近郊における短周期微動の解析は、浅部地下構造の推定、地震時における地盤の振動特性の把握等を目的に、数多く行われている。短周期微動の発生源としては、人間の活動にかかわる人為的振動源が主として考えられるが、一般には入力波は多数の周波数成分を含むものとみなして解析が行われる。そのため、微動観測点付近の交通機関・工場施設等による特殊な振動について特に留意することが必要である(河内ほか, 1988)。

微動研究グループは秋田県の依頼により、1983年日本海中部地震において被害を受けた秋田市域の全域で1点3成分短周期微動の移動観測を行い、地盤災害と微動特性との関係についての検討結果を秋田市地盤振動特性調査報告書(秋田県, 1991)として報告した。その中で、工場施設が多数稼働する同市茨島工業地帯から特定周波数の振動が広範囲に伝播している可能性が大きいと推察された(微動研究グループ, 1987)。

そこで、本研究では、この工場群周辺で観測される地盤振動の特性およびその発生源について検討する目的で、

1点3成分連続観測およびアレイ観測等を行い、前述の移動観測結果と併せて検討を行ったのでその結果について報告する。

2. 観測・解析装置および方法

2.1 観測および解析装置

観測および解析システムのブロックダイアグラムおよび系の総合周波数特性をFig. 1に示す。図には上下動地震計6台によるアレイ観測の例を示してあるが、1点3成分観測の場合は、1chが水平動E-W成分、2chがN-S成分、3chが上下動成分、4chが音声成分(メモ)として用いられる。測定に用いた地震計は固有周期1秒の動電速度型で、この出力を増幅器により200~5000倍に増幅して、データレコーダに記録した。移動観測および固定点連続観測は3班によって行われた。各班の観測機器は若干異なっているが、3班の3成分とも殆ど同じ振動特性を示すことが確かめられている。

解析装置および解析方法は以下の通りである。すなわち、データレコーダの記録を再生し、波形を十分に吟味・検討の上、約1分間の解析区間を選定した。この区

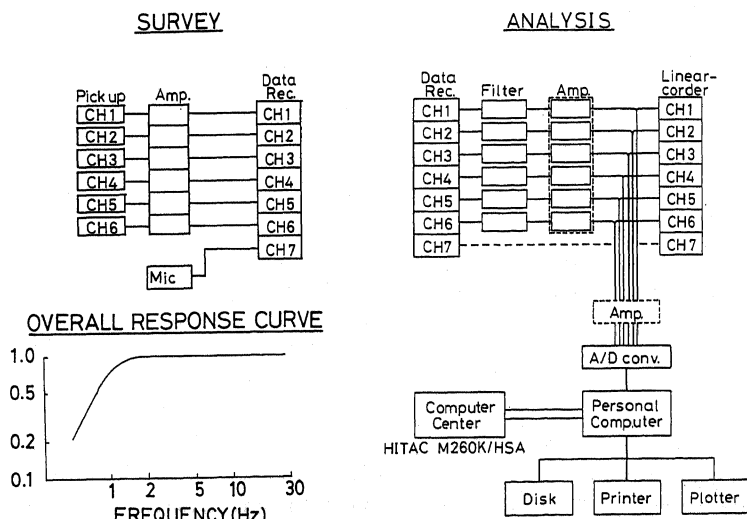
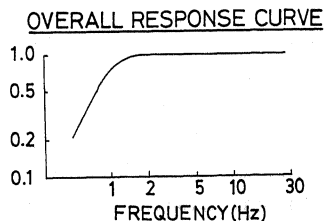


Fig. 1 Block diagram of observation and data processing systems.



間を長さ3秒ごとの20区間に区分し、各区間の最大振幅を読み取り、それら20個の算術平均を平均最大振幅とした。また、平均最大振幅を読み取った解析区間のうちの40.96秒について0.02秒間隔でデジタル化し、FFTにより周波数解析を行いパワースペクトルを求めた。アレイ観測記録についてはF-K法により見掛け位相速度・到来方向の解析を行った。なお、Fig. 1に示すように測定・再生系の総合周波数特性は、1 Hz から 25 Hz までほぼフラットである。

2.2 秋田市全域における1点3成分移動観測

1点3成分移動観測はFig. 2に示す秋田市域の東西約10 km、南北約13 kmの範囲の270測点について、1986年8月3日から12日までの10日間にわたって行われた。なお、観測は雨・風等の気象条件、交通機関等に留意し深夜0時から4時の間に行い、1測点での観測時間は正味5~10分間を基準とした。

2.3 工場群近傍での1点3成分連続観測

1点3成分連続観測は1987年8月29日23時から翌朝5時30分まで、工場群の北東に隣接するBase A（秋田経法大学旧グラウンド、略称：茨島）および同西に隣接するBase C（新屋豊町公園、略称：割山）の2箇所で行われた。また同時に、工事群から西側の日本海海岸に向かう約3 kmの測線上で、B1~B11の11点で移動観測を行った。観測点の位置をアレイ観測の観測点と共に

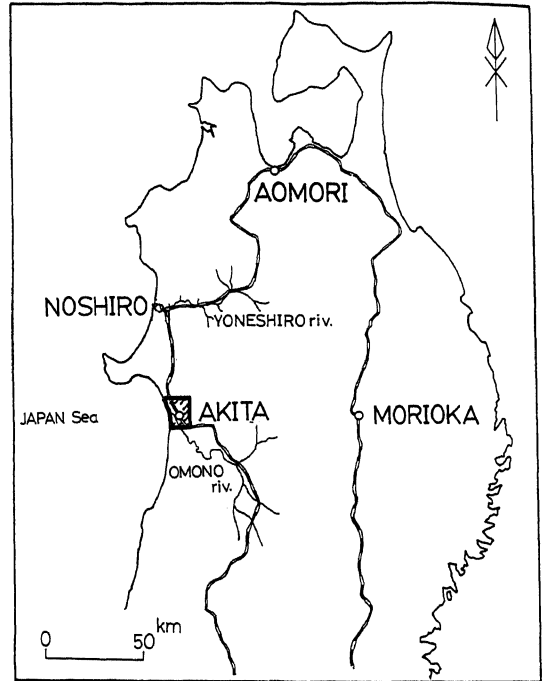


Fig. 2 Map showing the survey area.

Fig. 3に示す。斜線の範囲は工場施設が集中する範囲を示すが、同範囲内では三菱金属(株)（現、三菱マテリアル(株)）・東北化学(株)・新秋田化成(株)・コープケミカル(株)等の工場施設が稼働している。なお、工場の多くは24時

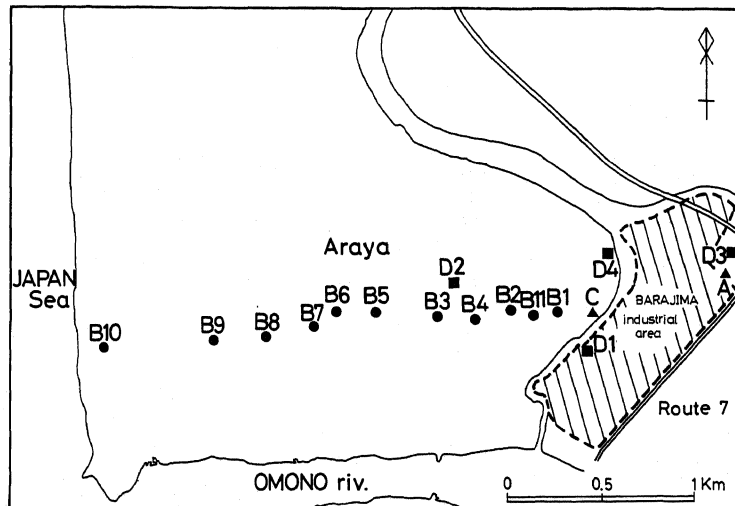


Fig. 3 Map showing the observation sites near the Barajima industrial area surrounded by a dotted line. A and C are stationary sites throughout the survey period. Sites of D1 to D4 and B1 to B11 indicate array sites and temporary stations, respectively.

間操業であるが、周辺の幹線道路における交通機関の影響をできるだけ排除すべく、深夜の時間帯に観測を行ったものである。

連続観測記録の解析は、0.02秒間隔でデジタル化した40.96秒の記録を20.48秒ずつ重複させ、平均最大振幅、パワースペクトルおよび特定周波数成分のパワー値を求めそれらの時間変化を検討した。

2.4 工場群近傍でのアレイ観測

アレイ観測は1989年8月6日から10日にかけて深夜23時から4時の間に行った。観測点の位置をFig. 3に示すが、工場群を取り囲むように設定したBase D1（三菱金属㈱敷地内、略称：三菱）・Base D2（新屋朝日町空地、略称：新屋朝日）・Base D3（茨島体育館裏空地、略称：茨島）・Base D4（勝平市民グラウンド、略称：勝平）の4箇所で見測を行った。なお、工事群の南東縁に沿って国道7号線が位置しており、深夜でも交通が途絶えないため南東側には観測点を設置しなかった。アレイの形状はFig. 4に示すように地震計6台による十字形で、地震計間隔は20mを基準とした。但し、地表条件により若干基準からずらして設置した地震計もある。観測は水平動E-W、水平動N-S成分、上下動成分のそれぞれについて約45分間程度行ったが、今回は上下動成分を対象に解析を行った。

微動の到来方向および見掛け位相速度の解析には、周波数一波数解析法（F-K法）を用いた。F-K法は複数の地震計に到達する波形の位相差に着目して、位相相関の度合いによるF-Kパワースペクトルを計算し、そのピークを与える波数から水平方向の見掛け位相速度と到来方向を求めるものである。F-Kパワースペクトルの推定方法には、Beam Forming Method (BFM) (LACOSS et al., 1969), Maximum Likelihood Method (MLM) (CAPON, 1969, 1973) 等がある。一般にMLMのほうがBFMより分解能が高いとされているが、今回の記録ではBFMによる方が明瞭なピークを示す傾向が認められたため、BFMによる解析結果をもとに検討を行った。

解析はまず約45分間の記録から波形が安定している40.96秒の区間を5箇所選定し、10 Hz ローパスフィルターにより高周波成分を除去した後、0.02秒間隔でAD変換して行った。クロススペクトルの推定はFFTにより行い、スペクトルの平滑化にはバルゼンウィンドウを用いた。

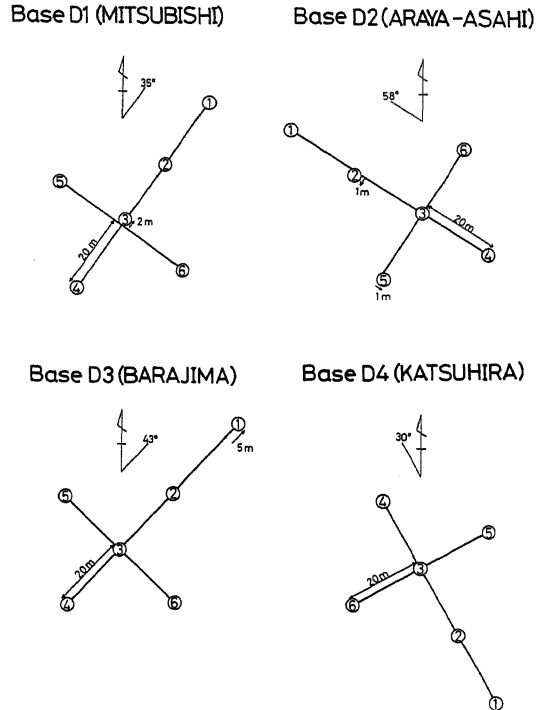


Fig. 4 Arrays of vertical seismometers with a spacing of 20 m were installed at selected locations including Barajima industrial area.

3. 解析結果

3.1 秋田市全域での振幅およびスペクトルの分布

秋田市全域における水平動成分の平均最大振幅の分布を、Fig. 5に示す。平均最大振幅は水平動成分（N-SおよびE-W成分の平均値）で0.07~2.97 mkine、上下動成分で0.06~2.14 mkineの範囲にあり、一般には上下動成分に比して水平動成分がやや大きな値を示している。水平動の平均最大振幅は工場群周辺で1.2 mkine以上と特に大きく、工場群から離れるにつれて小さくなる傾向が明らかである。この傾向は、上下動成分でも同様である。

Fig. 5に測点番号を掲げた工場群周辺での測点のパワースペクトル（最大値で正規化）をFig. 6に示すが、各成分とも4.00, 4.88, 5.22, 5.66 Hz等特定の周波数が顕著に卓越している。水平動成分の4.00 HzのパワーコンターをFig. 7に示すが、工場群付近のパワー値は10 mkine²sec以上と大きく、工場群から離れるに従って減少している。4.88, 5.22および5.66 Hzのパワー値は4.00 Hzに比して小さいが、分布の傾向は同様である。すなわち、これら特定の周波数成分のパワーが大きな観

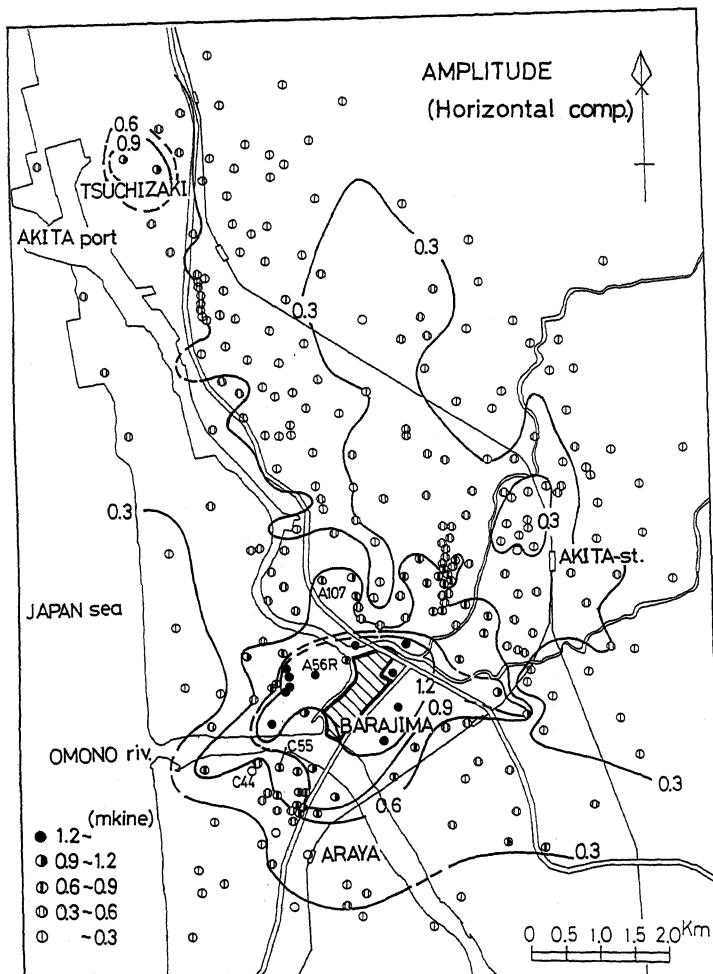


Fig. 5 Survey area in Akita city showing recording sites and noise levels. Contour interval is 0.3 mkin.

測点で平均最大振幅が大きな値を示す傾向がある。

3.2 振幅およびスペクトルの観測時刻による変化

工場群に隣接する Base A (茨島) および Base C (割山) における、観測時刻による平均最大振幅の変化を Fig. 8 に示す。観測は深夜23時から早朝5時30分にかけて連続して行われたが、図は、3時35分から43分までの短時間での変化の例である。解析区間の時間長は40.96秒であるが、その1/2の20.48秒ずつ重複させて、区間ごとの振幅の変化を求めたものである。両観測点の各成分とも小さな変動はあるが、振幅はほぼ一定の値を示す。この傾向は他の時刻においても同様である。なお、両観測点で特に上下動成分の振幅が大きく異なっている原因は判然としないが、Base C (割山) は工場群とは旧雄物川放水路をはさんだ対岸に位置しており、溝

の影響により Rayleigh 波成分が減少した (Nogoshi, 1978) とも考えられる。

Fig. 9 に同じ時間帯での N-S 成分のパワースペクトルの変化の例を示す。Base C (割山) では、4.00, 4.88, 5.66 Hz のみが卓越している。Base A (茨島) においては上記周波数の他、8.00 および 9.32 Hz にもピークが見い出される。いずれも卓越する周波数は観測時刻により変化しないが、パワー値には若干の変動がある。Fig. 10 に一例として、Base C (割山) における 4.00 および 4.88 Hz のパワー値の変化を示す。上下動成分の 4.00 Hz は明瞭ではないが、水平動成分の 4.00 Hz および 4.88 Hz は 20~40 秒程度の周期で規則的な変動をしている。

Fig. 11 に Base A (茨島) における 23時30分から 5時30分まで長時間的变化として、30分間隔でのパワース

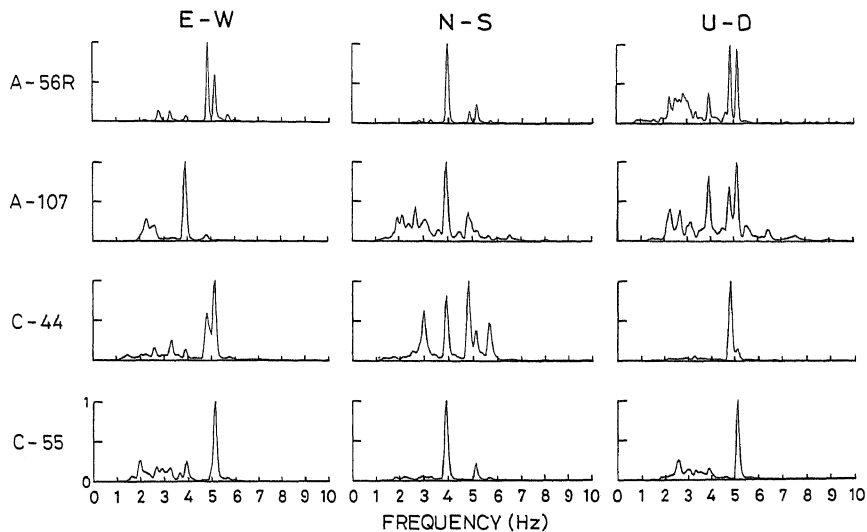


Fig. 6 Power spectra at four sites in Fig. 5 near Brajima. Frequencies of 4.00, 4.88, 5.22 and 5.66 Hz are dominated at these area.

ベクトルの変化を示すが、各スペクトルに変化はみられない。また、特定周波数のパワー値の変化は、Fig. 10に示したような短時間での変動幅の範囲内にある。これらのことから、周波数4.00, 4.88, 5.66 Hz等の振動は、観測時刻によらず定期的に発生していることが確かめられた。

Fig. 3に示した、Base C (割山) から工場群西方の海岸に向かう測線上の、Base B1からB10までの各移動観測点におけるパワースペクトルをFig. 12に示す。周波数3 Hz以下の成分には規則的な変化が見られないが、4.00および4.88 Hzは工場群から遠ざかるに従い減少する傾向が明らかである。

Fig. 13に、各移動観測点における同時間帯のBase Cのパワー値との比 (E-W成分)を示す。横軸はBase Cからの距離を表すが、4.00, 4.88, 5.66 Hzとも、全体としては工場群から離れるに従って指数関数的に振幅が減少する傾向を示している。なお、4.88および5.66 Hzのパワー値は、Base Cよりも工場群から離れたB2, B11等で大きな値を示すが、これらの観測点はこの観測点と異なり砂丘間低地に位置しており、同周波数の振動を励起しやすい地下構造が存在するとも考えられる。

3.3 微動の到来方向

Fig. 14に、アレイ観測における観測波形の一例 (Base D1)を示す。同図をみると、各地震計で記録された波形は互いに良く対応しているため、高い相関性が期待できる。工場群に近いBase D1, D3およびD4のベ

ースペクトルにはFig. 9と同様に、4.00, 4.88, 5.22, 5.66 Hzといった特定の周波数が顕著に卓越している。工場群から約1 km離れたBase D2では、Fig. 15に示すように4 Hz以下にもパワーの大きなピークが存在するが、工場振動と推定される特定周波数のピークも明らかに認められる。地震計を設置した場所の表土等の影響で、各スペクトルのパワー値は若干異なるが卓越する周波数に差異はない。

解析されたF-Kパワースペクトルの例をFig. 16に示す。図は、4箇所のBaseにおける4.00 Hzの例である。F-Kパワースペクトルは周波数と波数の関数であるので、周波数を固定すると、スペクトルは波数 K_x と K_y を軸とした平面上に最大値で規格化したコンターとして表される。そのコンターのピークを与える K_x, K_y ならびにその時の周波数 f 、位相速度 c との間に次式の関係がある。

$$c = f / \sqrt{K_x^2 + K_y^2}$$

また、波の到来方向はピーク的位置と原点 ($K_x=0, K_y=0$) とを結ぶ線の方角で示される。4.00 Hzのコンターは各Baseとも明瞭なピークを示している。5 Hz以上の周波数帯では、地震計間隔と位相速度との関係 (斎藤ほか, 1992) からして、今回の観測では適正な解析が成し得なかった。

Fig. 17に4観測点のうち工場群から最も離れたBase D2で顕著なピークを示す3.32 Hz, Fig. 18に工場群近傍で卓越する4.00 Hzの微動の到来方向をそれぞれ示す。

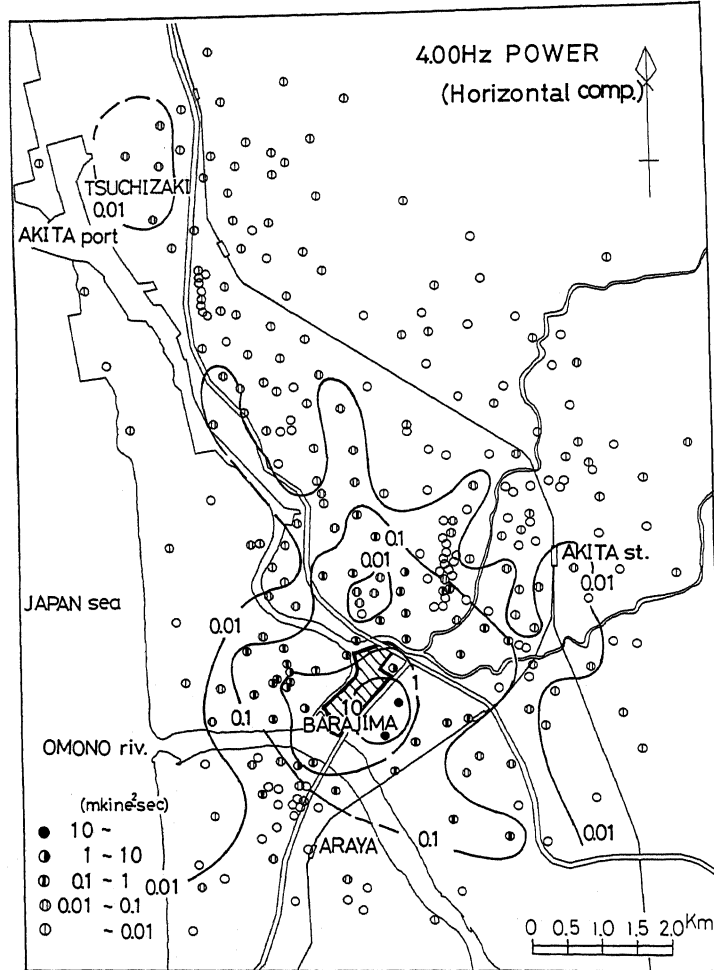


Fig. 7 Power contours at the frequency of 4.00 Hz in Akita city area. A high power level is found around Barajima.

図には、各観測点ごとに40.96秒の5個の解析区間の到来方向が示されている。3.32 Hzの波の到来方向は各観測点とも角度 45° 以内の範囲に集中しているが、工場群の方向と異なる方向から到来する観測点もある。これに対し、4.00 Hzの波の到来方向は各観測点とも解析区間での差異がほとんどみられない。また、4観測点での到来方向は1点に収束はしないものの、アレイ D1では東、D2では南東、D3では南西、D4では南といずれも工場群の方向を示している。4.88 Hzにも4.00 Hzと類似の傾向がみられる。工場敷地内での観測がD1でしか出来なかったので直接の振動源は確定しえないが、これらの周波数の波は工場敷地内から伝播しているものと考えられる。

3.4 微動の見掛位相速度および地下速度構造

前節に述べた解析方法で周波数ごとの位相速度が求められるが、このことは短周期微動の上下動成分の分散性を調べることに相当する。一方、上下動成分で記録される微動はRayleigh波タイプとみなされる(Nogoshi, 1978; 野越・乗富, 1979)ことから、理論分散曲線と観測された位相速度の分散(実測分散曲線)との対比により、地下速度構造を推定することができる(松島ほか, 1989; 微動研究グループ, 1989; Matsushima and Okada, 1990)。

Fig. 19にアレイ D1における実測分散曲線と、この実測分散曲線にもっとも適合する地下構造モデルの理論分散曲線(Haskell, 1953)を示す。図で●は微動観測から周波数間隔0.0488 Hzで求められた位相速度の分散である。地震計間隔が限定されたため5 Hz以上の周波

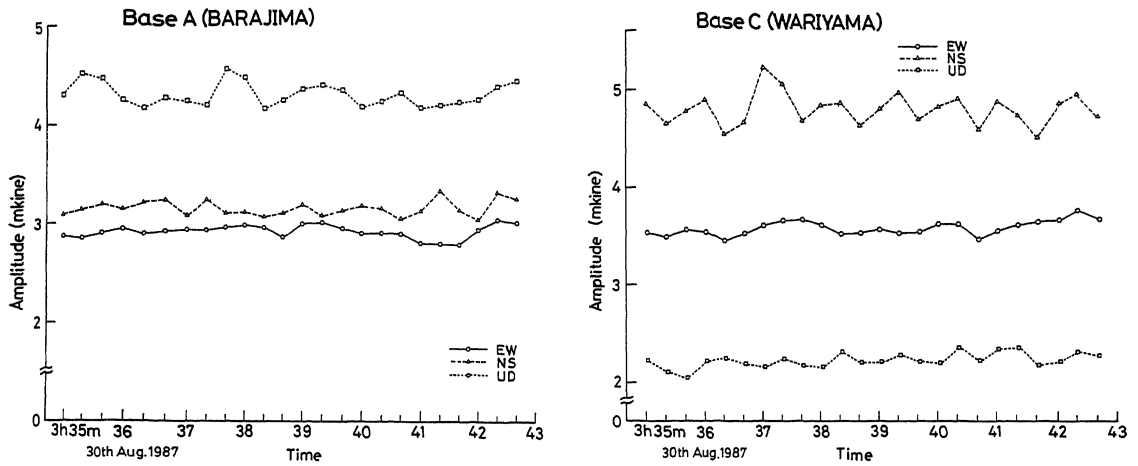


Fig. 8 Variation with time of amplitude at stationary sites of A and C from 3.35 h to 3.43 h on August 30, 1987.

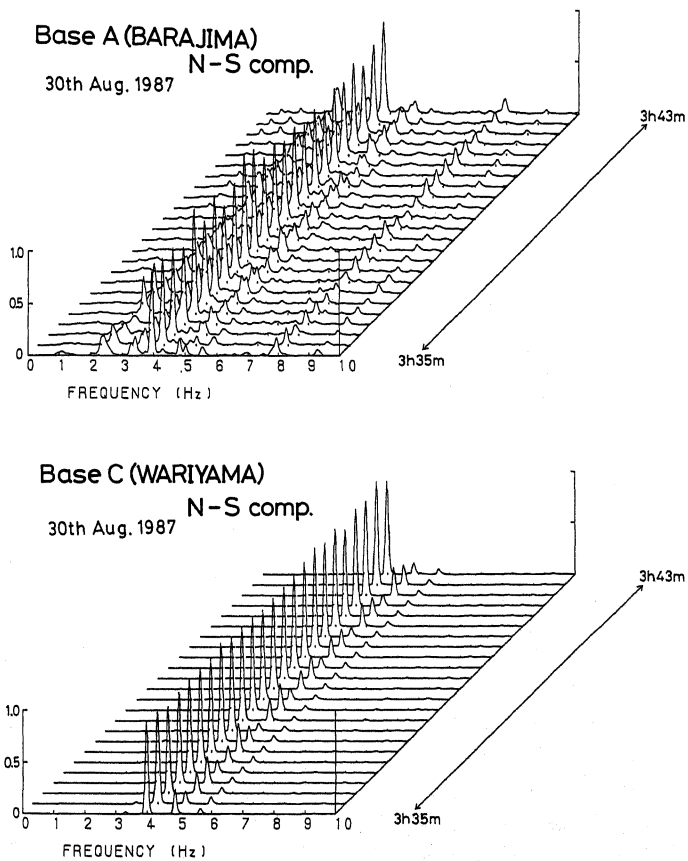


Fig. 9 Variation with time of power spectra at stationary sites of A and C from 3.35 h to 3.43 h on August 30, 1987.

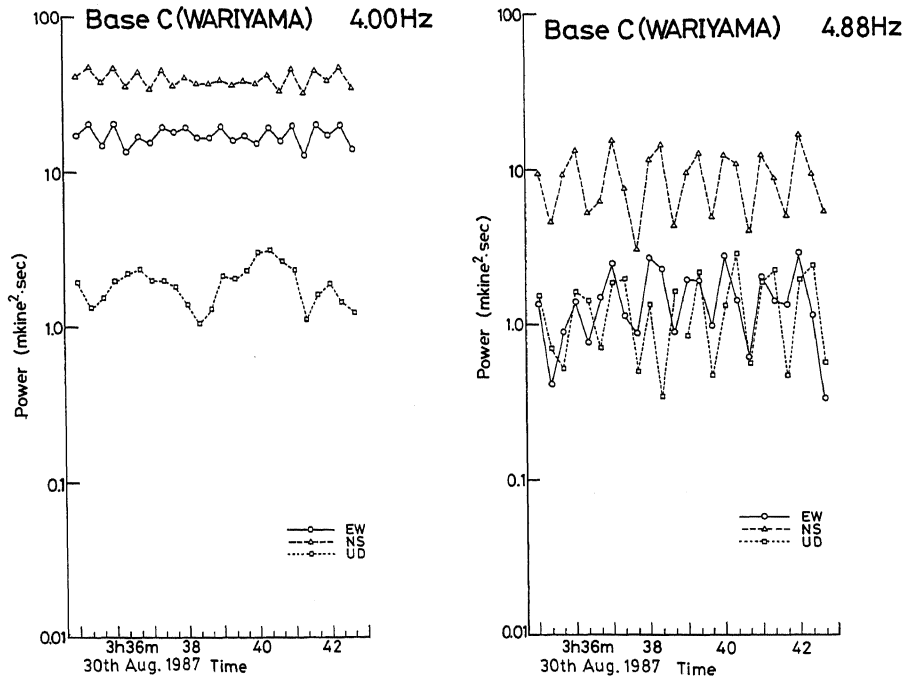


Fig. 10 Variation with time of power level at frequencies of 4.00 and 4.88 Hz at stationary sites of A and C from 3.35 h to 3.43 h on August 30, 1987.

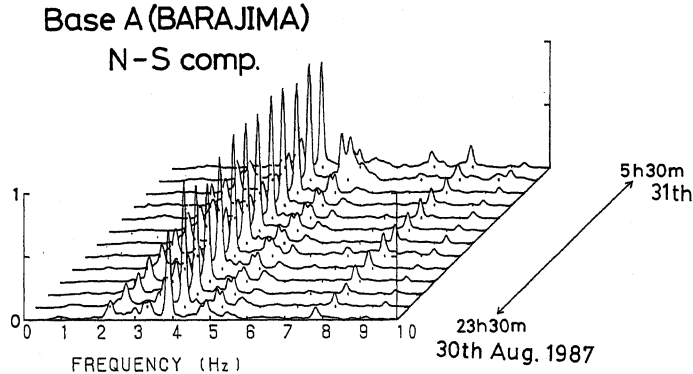


Fig. 11 Variation with time of power spectra at stationary site of A from 23.30 h 29, August to 5.30 h 30, August, 1987.

数では解析がなされていないが、一般にはばらつきが大きい 4 Hz 以上の周波数でも比較的まとまった値を示している。理論分散曲線は秋田市域の第三系浸食面深度分布（日本海中部地震秋田大学地質調査班，1984）から基盤深度を 24 m と見積もり，その上層の層数・層厚・S 波速度・P 波速度・密度の各パラメータを適宜組合せて得られたもののうち，実測分散曲線にもっとも整合するものである。その各パラメータを Table 1 に示す。

Base D1 の近傍におけるボーリング柱状図および N

値・土質区分・深度・時代区分に基づく，太田らの実験式（太田，他，1978）から推定した S 波速度分布を Fig. 20 に示す。ボーリング深度は 20 m であって基盤には到達していないが，実測分散曲線から求められた深度 20 m 以浅の地下構造とボーリング資料による地下構造は良好な対応を示している。

4. 考 察

秋田市茨島工業地帯周辺で観測される 4.00, 4.88,

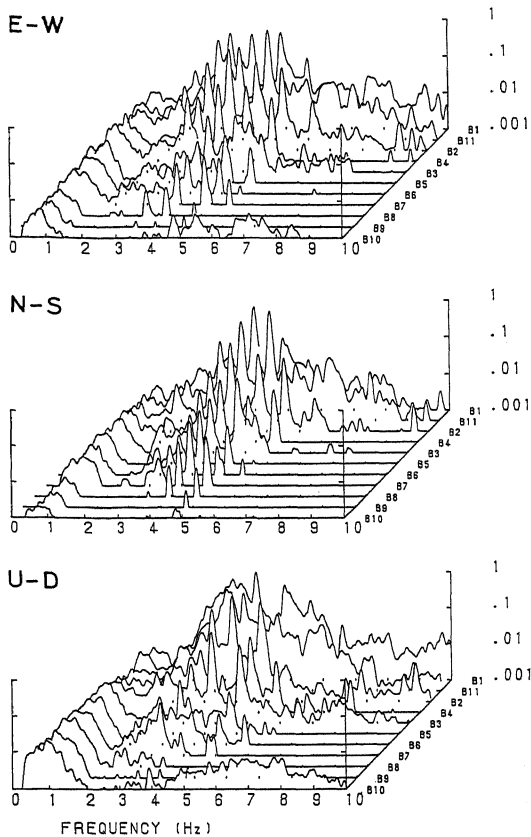


Fig. 12 Variation with distance of power spectra from the Barajima industrial area.

5.22, 5.66 Hz 等特定周波数の微動の振幅は工場群周辺で大きく、工場群から離れるにしたがって減少する。秋田市域における人口密集地は秋田駅から西方区域に広がっているが、この区域における振幅は工場群周辺に比して小さな値を示す。また、秋田市域には主として第四系の砂丘、沖積層、段丘構成層、潟西層が分布する（日本海中部地震災害秋田大学地質調査班, 1984）が、工場群周辺に上記特定周波数の振動が強く励起されるような地質構造は確認されていない。工場群周辺での連続観測によると、上記特定周波数の振動は定常的に観測され、かつ短い周期で規則的に小さな変動を繰り返している。一方、微動の到来方向については、地震計間隔の制約から4.00および4.88 Hz についてのみ解析が行われたが、その方向は工場群の方向に集中している。

茨島工業地帯では複数の工場が稼働しており、また、工場敷地内における観測が D1 でしか出来なかったので直接の発生源は確定できない。しかし、前記解析結果から、特定周波数の振動が工場の稼働による定常的な人為

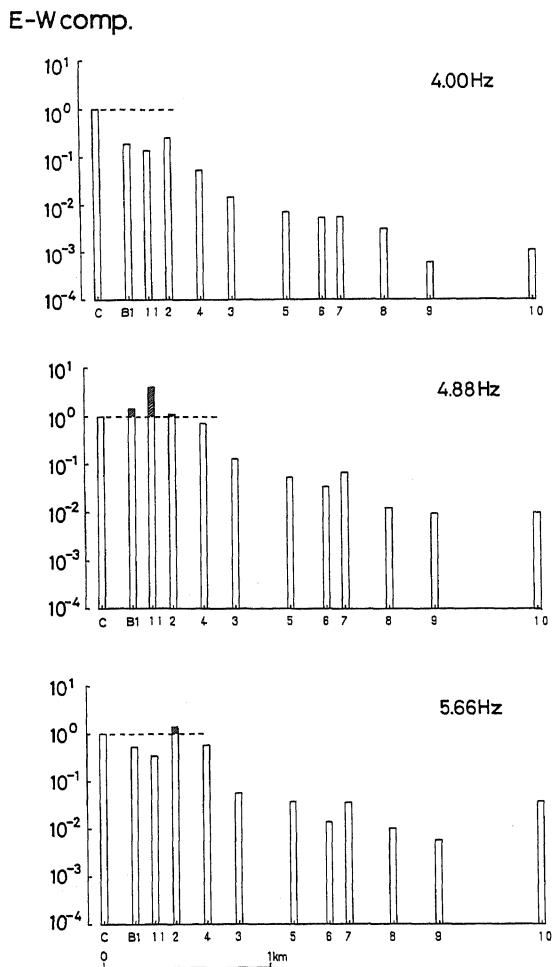


Fig. 13 Variation with distance of power levels at frequencies of 4.00, 4.88 and 5.66 Hz. Power level normalized by site C decreases with increasing distance from the Brajima industrial area.

的振動で、広範囲にわたって周辺地域に伝播していることは確実であると考えられる。それ故、地盤固有の振動特性の解析、サイスミックゾーネーション研究等に際しては、これらの定常的に発生している振動を除外して検討する等、十分配慮する必要がある。

一方、アレイ観測結果から F-K 法で解析された位相速度の分散は、一般にはばらつきが大きい 4 Hz 以上の周波数でも比較的まとまっており、理論分散との対比が容易である。また、推定された浅部地下構造は近傍におけるボーリング結果とよく適合している。F-K 法による解析に際しては、解析の対象とする周波数帯にある程度大きな振幅を有する異なる周波数成分の波が多く含ま

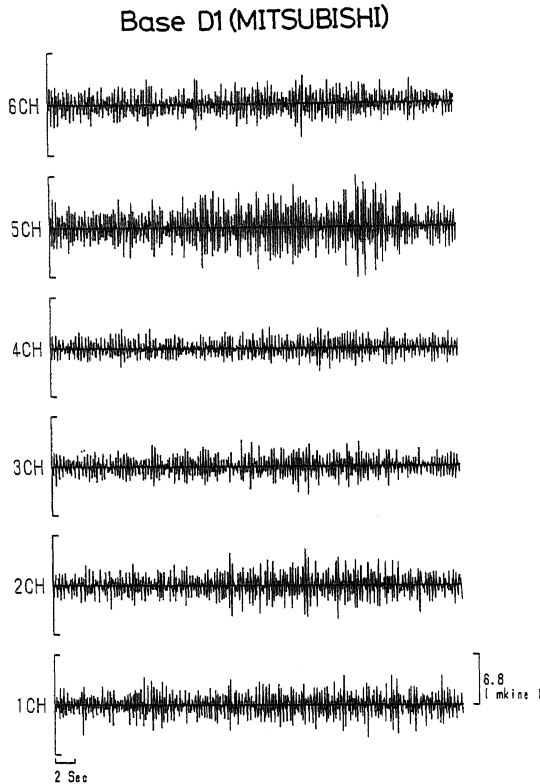


Fig. 14 Examples of traces obtained from the cross array at site D1. Integers in front of them denote sensor locations shown in Fig. 4. All the traces are high-cut filtered at 25 Hz.

れることが望ましい(斎藤他, 1992)ことを考慮すると, 1ないし10 Hz程度の周波数成分を含む定常的な振動は, 浅部地下構造の解析に積極的に活用しうる可能性があるものと考えられる。

5. 結 言

秋田市域における270観測点での1点3成分移動観測, 同市茨島工業地帯周辺での1点3成分連続観測, アレイ観測等により, 同工業地帯周辺の広範囲な区域で観測される特定周波数の振動の特性およびその発生源について検討を行った。その結果, 以下のことが明らかになった。

- 1) 茨島工業地帯近傍では平均最大振幅が周辺地域に比して大きく, かつ, 4.00, 4.88, 5.22, 5.66 Hzといった特定周波数が顕著に卓越している。
- 2) 特定周波数の成分は, 小さな変動を繰り返すが, ほぼ一定レベルで, 時間的な変化は少なく, 工場群から離れるに従って減少する。
- 3) 4.00および4.88 Hzの波は工場群の存在する方向から到来している。
- 4) 特定周波数の振動は工場施設の稼働により定期的に発生し, 周辺区域へ伝播しているものと考えられる。そのため, 地盤固有の振動特性の解析, サイスマミックゾーンネーション研究等に際しては, その広がり留意して解析する必要がある。
- 5) 工場群周辺でF-K法で解析された位相速度の分

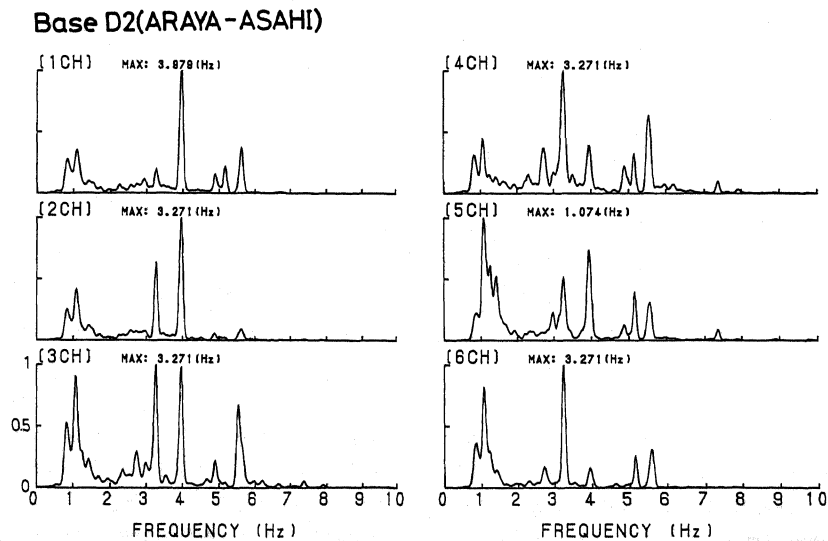


Fig. 15 Representative examples of power spectra produced from the data of site D2.

4.00 Hz

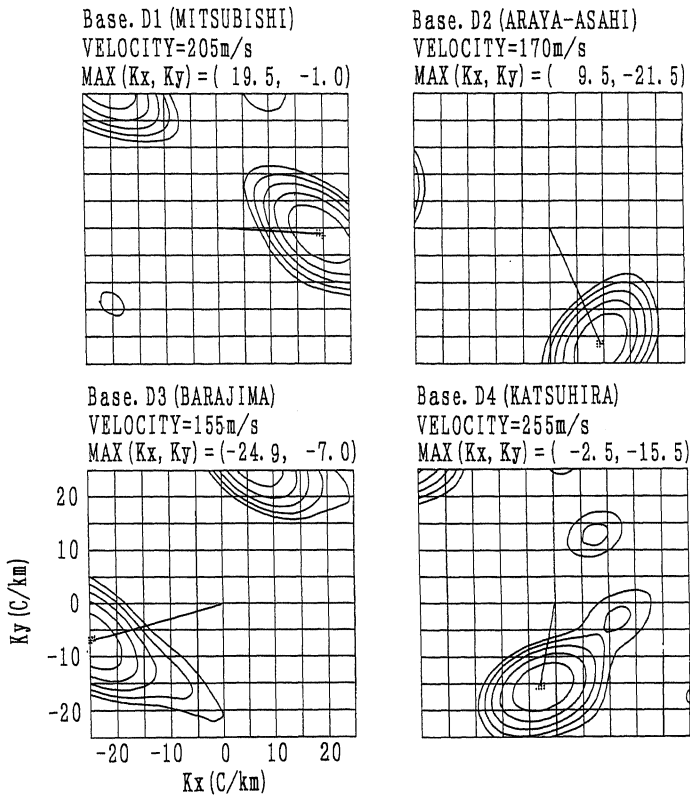


Fig. 16 Examples of the experimental frequency-wavenumber spectrum at 4.00 Hz at sites of D1 to D4. The range of wavenumber plotted in 25 cycles/km in both Kx and Ky. Contour interval is 2 dB relative to peak power value in plot.

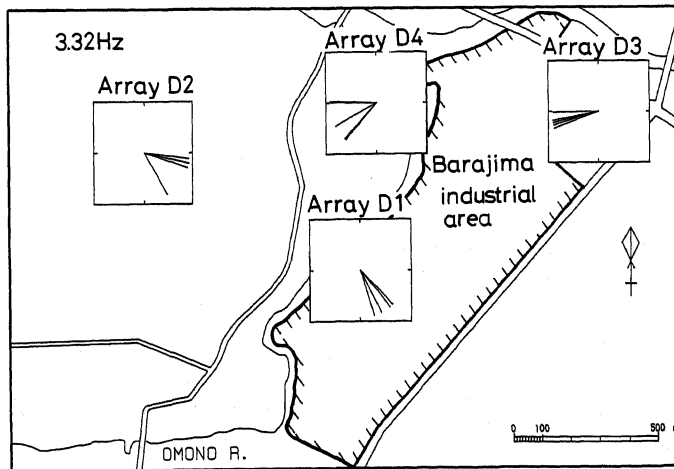


Fig. 17 Distribution of arrival direction at the frequency of 3.32 Hz by f-k analysis.

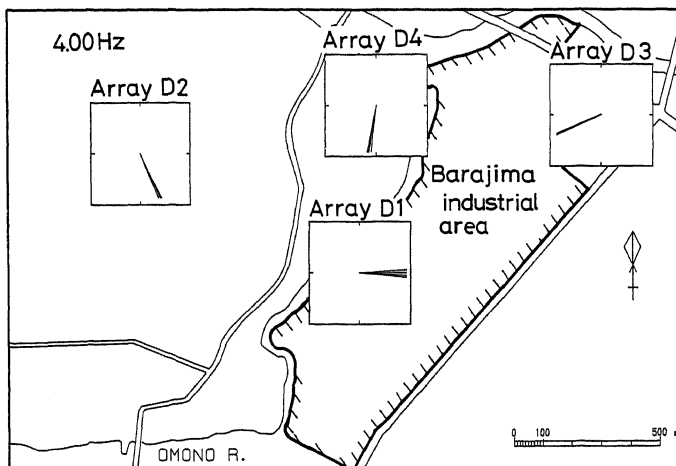


Fig. 18 Distribution of arrival direction at the frequency of 4.00 Hz by f-k analysis.

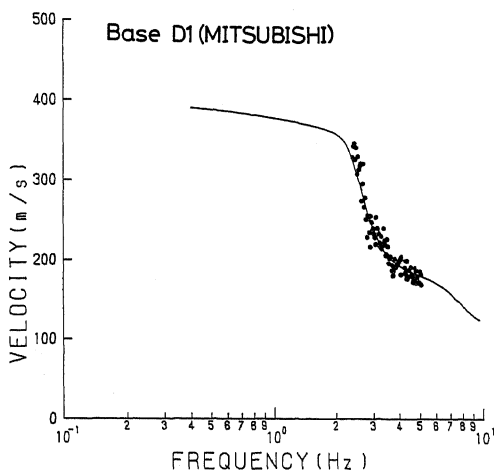


Fig. 19 Rayleigh wave dispersion curve for fundamental mode computed for a model shown in Table 1, compared with observed microseisms phase velocities at site D1. The observed phase velocities were determined at various times of the day by the f-k analysis.

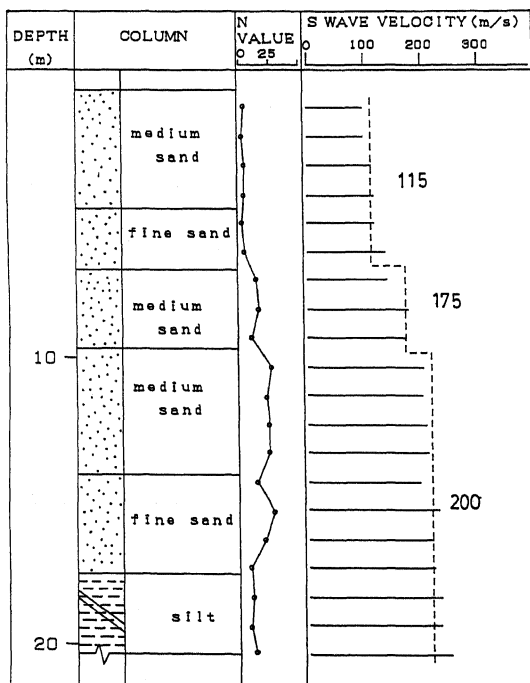


Fig. 20 Geological column of observation site D1. Examination of S wave velocity structure was based on the equation proposed by Ohta and Goto (1978).

Table 1 Model of subsurface structure adopted for the computation of the theoretical dispersion curve.

Layer	P-Wave Velocity (m/s)	S-Wave Velocity (m/s)	Density (g/cm ³)	Thickness (m)
1	700	115	1.6	6.0
2	1000	175	1.7	3.0
3	1200	200	1.7	25.0
4	1700	420	1.8	∞

散はばらつきが小さく、かつ解析された浅部地下構造はボーリング資料による地下構造と整合している。それ故、アレイ観測による浅部地下構造の解析には工場等の定常的振動を有効に利用しうる可能性がある。

謝 辞

本調査研究は、秋田県をはじめとし、(株)東京ソイルリサーチ・日本物理探鉱(株)のご支援のもとに行われた。測定に際しては、秋田市および三菱金属(株)に便宜を図って戴いた。分散曲線の計算には、東京大学地震研究所 工藤一嘉博士のプログラムを使用させて戴いた。

また、測定および解析には、当時の岩手大学大学院生 菊地英光・石川淳一・深田秀実・富田昌伸・神 薫の各氏、資源開発工学科学生 梁田和彦・船渡雄司両氏の助力を得た。記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 微動研究グループ；斎藤徳美・阿部 司・小林直太・中島直吉・中村 操・野越三雄・毎熊輝記 (1987)：秋田市における地盤の振動特性について，物理探査学会第76回学術講演会講演論文集，10-13.
- 微動研究グループ；阿部 司・小林直太・斎藤徳美・中島直吉・中村 操・野越三雄・毎熊輝記 (1989)：周波数一波数解析法の短周期微動への適用，応用地質，30，197-205.
- 微動研究グループ (1991)：秋田市地盤振動特性調査報告書，秋田県.
- CAPON, J. (1969): High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis, Pro. IEEE, 57, 1408-1418.
- CAPON, J. (1973): Signal processing spectrum analysis for a large aperture seismic array, Method in computational

Physics, 13, 1-58.

河内邦夫・後藤典俊・武藤 章 (1988)：室蘭・登別地区の地盤の振動特性(3)―常時微動の振動源と卓越周期の安定性，物理探査学会第79回学術講演会講演論文集，60-63.

LACOSS, R. T., E. J. KELLY and V. M. TOKSOZ (1969): Estimation of seismic noise structure using array, Geophysics, 34, 21-38.

松島 健・大島弘光 (1989)：長周期微動を用いた地下構造の推定，物理探査，42, 97-105.

MATSUSHIMA, T. and OKADA, H. (1990): Determination of Deep Geological Structures Under Urban Areas Using Long Period microtremors, Butsuri-Tansa, 43, 21-33.

日本海中部地震秋田大学地質調査班 (1984)：地盤地質と災害，昭和58年日本海中部地震の記録―被災要因と実例，151-249.

NOGOSHI, M., (1978): On Fundamental Nature of Microtremors and its Application, J. Min. Coll. Akita Univ., 5, 3, 1-51.

野越三雄・乗富一雄 (1979)：長・短周期微動と地下構造について，物理探鉱，32, 105-116.

太田 裕・後藤典俊 (1978)：横波速度を推定するための実験式とその物理的背景，物理探鉱，31, 8-17.

斎藤徳美・神 薫・船越千等 (1992)：周波数一波数解析法による浅所地下構造の解析に関する基礎的検討，物理探査学会第86回学術講演会講演論文集，195-200.