

秋田市におけるやや長周期微動観測に基づく深層地盤構造の推定*

秋田工業高等専門学校 環境都市工学科 水田 敏彦
秋田工業高等専門学校 専攻科 安田 祐輔

1. はじめに

長大構造物などに影響を及ぼす周期1秒以上のやや長周期地震動の特性は、厚い堆積層の構造による影響を受けていることが明らかになっており、その構造を知ることは重要である。しかし、秋田市ではS波速度構造を対象とした深層地盤構造調査はあまり行われていない。そこで本研究では、秋田市を対象にやや長周期微動のアレイ観測と移動観測を併用し、深層地盤構造の基礎資料を得ること目的としている。アレイ観測については、得られた結果から周波数-波数スペクトル解析法¹⁾を用いて位相速度を求め、遺伝的アルゴリズム²⁾（以下GAと略記する）を用い、S波速度構造を推定した。また、移動観測についてはH/Vスペクトルを求め、その卓越周期から秋田市の深層地盤構造の空間分布を推定した。

2. アレイ観測の概要と記録の分析

2.1 アレイ観測の概要

秋田市におけるやや長周期微動のアレイ観測は、図1に示す秋田市山王（秋田地方気象台）を中心に行った。観測方法は最大地震計間隔約7.8kmの大アレイ、約1.2kmの中アレイと約0.4kmの小アレイについて7点同時観測を100Hzサンプリングで大アレイは90分間、中アレイは50分間、小アレイは25分間行った。図2に観測点の配置を、表1に観測点のリストを示す。

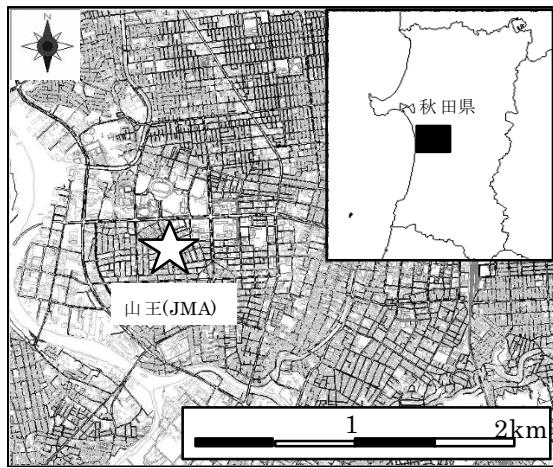


図1 微動アレイ観測点の位置

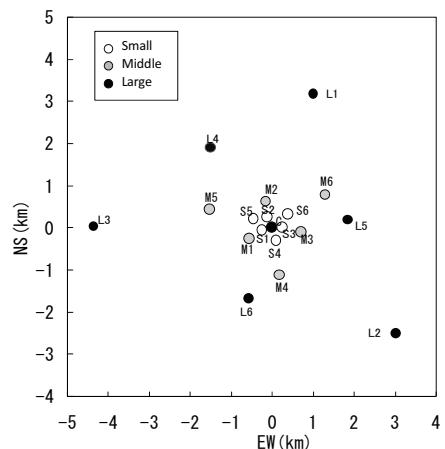


図2 微動アレイ観測点の配置

* Estimation of deep underground sediments structure by microtremor measurement in Akita City

by Toshihiko MIZUTA and Yusuke YASUDA

表1 微動アレイ観測点のリスト

小アレイ			中アレイ			大アレイ		
観測地点	緯度	経度	観測地点	緯度	経度	観測地点	緯度	経度
C	39.7146	140.1031	C	39.7146	140.1031	C	39.7146	140.1031
S1	39.7142	140.1007	M1	39.7123	140.0979	L1	39.7464	140.1089
S2	39.7169	140.1020	M2	39.7203	140.1015	L2	39.6954	140.1270
S3	39.7147	140.1053	M3	39.7138	140.1093	L3	39.7182	140.0605
S4	39.7120	140.1038	M4	39.7046	140.1046	L4	39.7349	140.0863
S5	39.7166	140.0988	M5	39.7184	140.0893	L5	39.7195	140.1165
S6	39.7176	140.1064	M6	39.7217	140.1146	L6	39.7028	140.0947

2.2 秋田市山王で推定された位相速度

位相速度の推定には周波数-波数スペクトル解析法を用いた。解析では得られた速度データを 163.84 秒間ごとに分割し、各データセットに対して周波数-波数スペクトルを計算することで位相速度を求めている。また、アレイサイズに依存する解析可能なレイリー波の波長範囲の目安として、MATSUSHIMA AND OKADA³⁾ を参考にして、最大波長は最大観測点間隔の約 3 倍、最小波長は最小観測点間隔の約 2 倍程度までとした。秋田市山王において得られた位相速度の分散曲線を図3 に示す。位相速度は分散性を示しており、レイリー波であると考えられる。

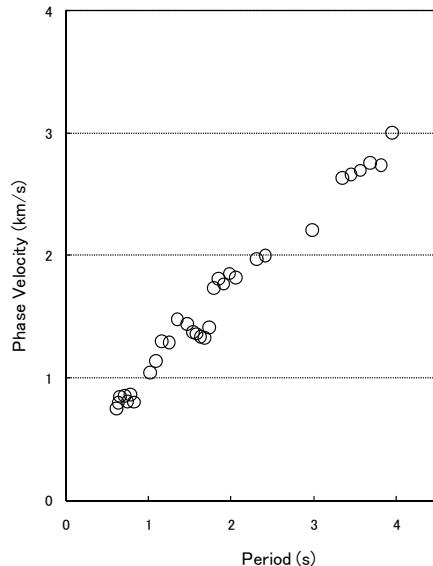


図3 秋田市山王で推定された位相速度

3. 移動観測の概要と記録の分析

3.1 秋田市におけるやや長周期微動の安定性と振動源

長周期微動は、波浪等の自然要因に大きく影響を受けることが既に報告されている^{例えば4)}。そこで、波浪と微動の時間変化について比較・検討を行った。図4に定点観測点である秋田市飯島（秋田高専）の位置を●印で示す。定点観測点は日本海側から内陸に約 3.5 km の位置にあり、アレイ観測点の位置も併せて★印で示している。定点観測は 2007 年 6 月から 2008 年 6 月まで、4 時間毎 (0, 4, 8, 12, 16, 20 時) に 30 分間ずつ、1 年間にわたって行った。

微動計は、べた基礎平屋建て倉庫内のコンクリート床上に設置し、(株)東京測振社製固有周期 10 秒のサーボ型速度計 (VSE15D) を使用、サンプリング 100Hz、30 分間、東西、南北、上下の 3 成分について観測を行った。スペクトル解析は、観測した記録 163 秒を 1 セグメントとして、ノイズの少ない 5 セグメントを選んで、その平均のよって評価を行う。また、比較する海洋波浪の情報はインターネット上で公開されている国土交通省港湾局全国港湾海洋波浪情報網⁵⁾ (ナウファス) の「秋田」における波の周期、波高を利用した。なお、2007 年 12 月から 4 月までは観測機材の故障により欠測し、その期間の波の周期、波高の情報は公開されていない。

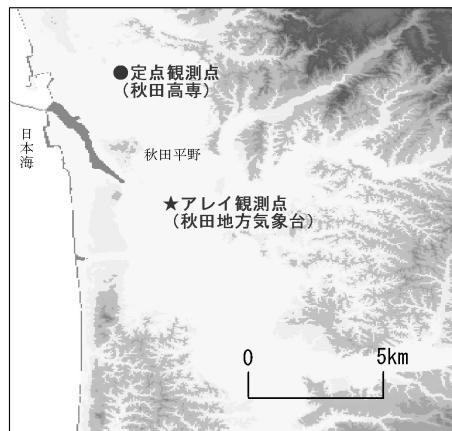


図4 微動の定点観測点位置

2008年5月における波浪（波の周期、波高）とフーリエスペクトル（周期、振幅）の変化を図5に、2007年6月から2008年6月における波浪とフーリエスペクトルの変化を図6に示す。波の周期と波高は横軸に時間、左の縦軸に波の周期（s）と波高（m）として折れ線グラフで示す。フーリエスペクトルは横軸に時間、右の縦軸にフーリエスペクトルの周期として、色はフーリエスペクトルの振幅を表す。赤になるほど振幅が大きく、白になるほど振幅が小さくなる。なお、フーリエスペクトルの縦軸は左側波浪の縦軸の半分となっている。図5をみると5月6日、16日、21日において急激に波高が高くなり、波の周期も5秒～9秒程度に長くなっている。これらに比例して、フーリエ振幅とピーク値も大きくなっており、強い相関がみられる。

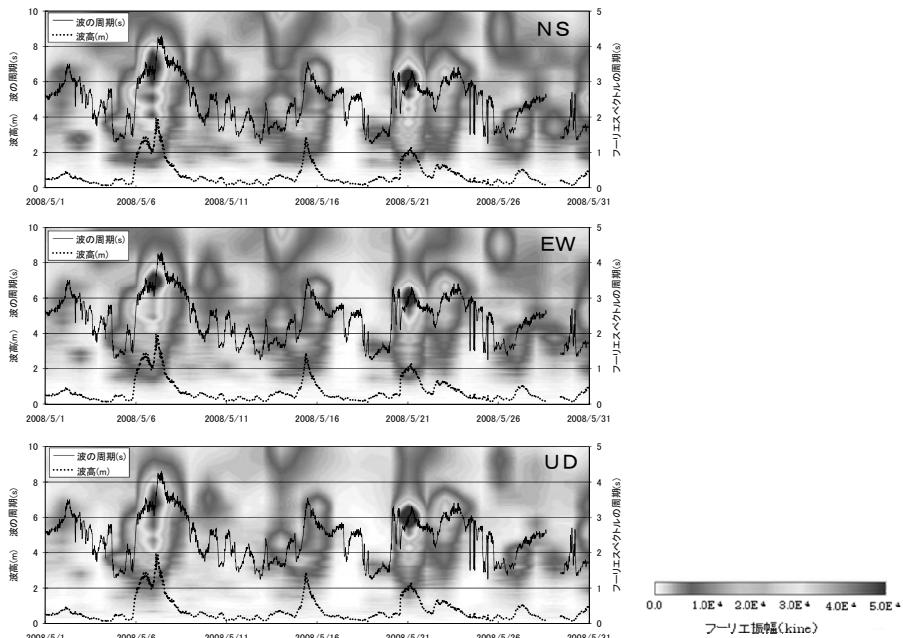


図5 2008年5月における波浪（波の周期、波高）とフーリエスペクトル（周期、振幅）の変化

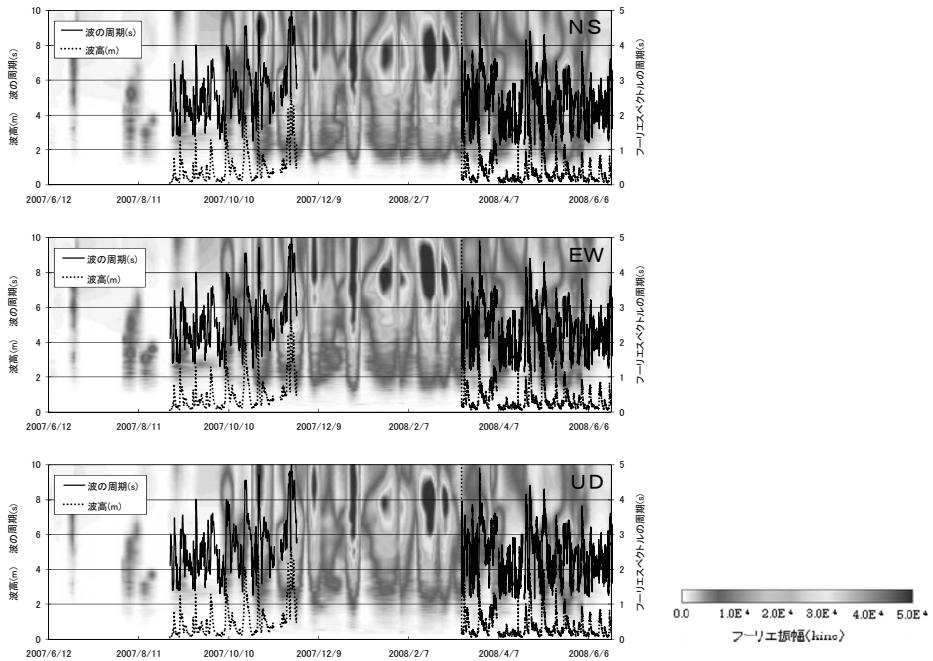


図6 2007年6月から2008年6月における波浪とフーリエスペクトルの変化

また、図6をみると10月から3月にかけてフーリエ振幅の周期2s以上で振幅が大きくなっている。これは冬季に日本海が荒れるため振動源が大きくなつたためだと考えられる。これらのことから、波浪の変化に比例して、フーリエ振幅と卓越周期（波の周期の1/2程度）に強い相関がみられ、秋田市における周期1秒～4秒付近の微動は日本海の波浪が主な振動源と思われる。一方、H/Vスペクトルについては、一年を通して変化がほとんど無く、移動観測についてはH/Vスペクトルから地盤構造を推定することとした。

3.2 微動の移動観測

移動観測は、図7に示すAB測線上の秋田市内6地点で観測を行った。なお、地質および重力異常も併せて示している。秋田市に各観測点については定点観測と同じ機材を使用し、サンプリング100Hz、30分間、東西、南北、上下の3成分について観測を行った。フーリエスペクトルは定点観測と同様の方法で求め、水平成分の相乗平均を上下成分で除してH/Vスペクトルを算出した。

移動観測によって得られた各観測点のH/Vスペクトルについては、山側の観測点である観測点1と観測点2で1秒前後と2秒前後でピーク周期がみられた。また、平野部の観測点については、観測点3から観測点5では1秒～1.5秒と2秒～3秒付近でピーク周期が表れ、観測点6では周期2秒と周期4秒付近でピーク周期がみられた。

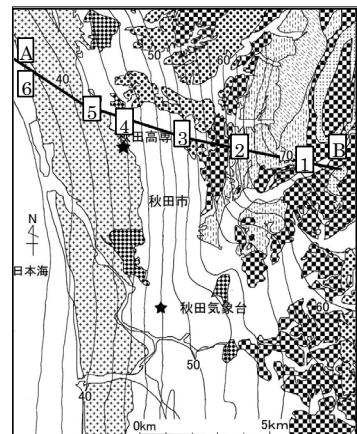


図7 移動観測点の位置

4. 秋田市における微動観測に基づく深層地盤構造の推定

4.1 位相速度の逆解析による S 波速度構造の推定

アレイ観測から得られた位相速度に対して GA による逆解析を行い、S 波速度構造の推定を行った。逆解析では、水平成層での基本モードのレイリー波を仮定し、秋田市における層構造として、地質図を参考に第四紀層と 5 つの第三紀層からなる 6 層モデルを仮定した。また、P 波速度は狐崎・他⁶⁾による経験式によって S 波速度と連動させ、密度は各層で一定とした。

推定された S 波速度構造を図 8 および表 2 に示す。逆解析結果については、沖積層～笹岡層相当で S 波速度 0.78km/s、天徳寺層相当（シルト岩）で 1.28km/s、船川層相当（凝灰岩）で 1.69 km/s、その下部の女川層相当（泥岩）については 2.34km/s、砂小渕層相当（玄武岩）については 3.00 km/s、太平山花崗岩類相当（花崗岩）については 3.95 km/s となった。地震基盤（3 km/s）までの深さについては約 1.7km である。また図 9 は、観測された位相速度と図 8 の S 波速度構造モデルに対するレイリー波の基本モードの位相速度が比較されている。逆解析されたモデルに対する理論位相速度とよく一致した結果が得られている。

4.2 微動の H/V スペクトルに基づく深層地盤構造の推定

図 10 に S 波速度構造から求めたレイリー波基本モードの理論 H/V スペクトルと同観測点で観測された微動観測による H/V スペクトルを示す。理論値の形状は観測と全般的な傾向は概ね一致し、その値が最大となる周期は理論値で約 3 秒、観測値で約 3.5 秒と理論値が 0.5 秒程度小さくなっている。以上の結果を踏まえ、移動観測によって得られた微動の H/V スペクトルに基づいて秋田市の深層地盤の空間分布を推定した。移動観測によって得られた微動の H/V スペクトルの位置的変化を線形補完して図 11 に示す。縦軸は周期、横軸は距離（km）、スペクトル比の大小は色の濃淡により表示し、ピーク周期の位置を○で示している。観測点 1 から 6 の間で、H/V ス

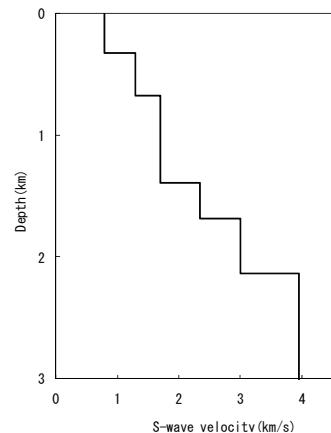


図 8 推定された S 波速度構造

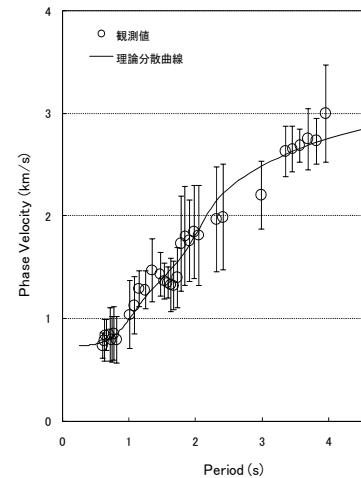


図 9 位相速度の観測値
と理論値との比較

表 2 秋田市山王において推定された S 波速度構造

地質年代		地層	主な岩質	P波速度(km/s)	S波速度(km/s)	密度(g/cm ³)	H(m)
第四紀	完新世	沖積層					
新第三紀	更新世	段丘堆積物					
		潟西層	泥・砂・礫・砂石	2.16	0.78	1.9	320
	新鮮世	高岡層					
		笹岡層					
中新世	天徳寺層	天徳寺層	シルト岩	2.71	1.28	1.90	350
		船川層	凝灰岩	3.17	1.69	2.00	720
		女川層	泥岩	3.89	2.34	2.20	290
	砂小渕層	砂小渕層	玄武岩	4.62	3.00	2.40	450
		太平山花崗岩類	花崗岩	5.67	3.95	2.60	∞

ペクトルのピーク周期が2秒から4秒程度へ、山側から海側に向かうほど周期が長くなることが確認された。

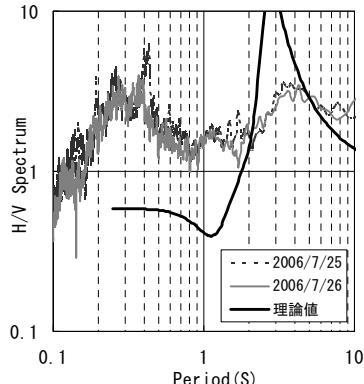


図10 H/Vスペクトル
の観測と理論との比較

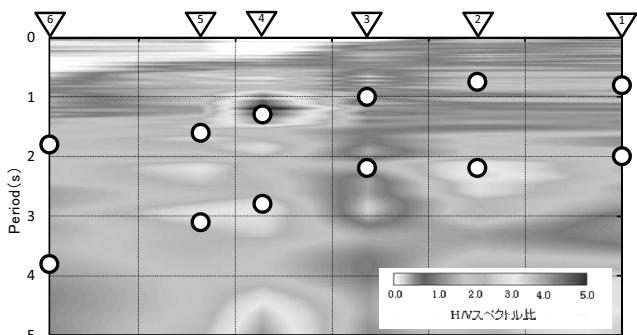


図11 A-B測線に沿うH/Vスペクトルの位置的変化

5. まとめ

秋田市を対象に、深層地盤構造の基礎資料を得ること目的とし、微動のアレイ観測と移動観測を行った。微動のアレイ観測では、観測された速度記録から周波数-波数スペクトル解析法を用いて位相速度を求め、GAによる逆解析によりS波速度構造を推定した。微動の移動観測では、H/Vスペクトルを求める分布から秋田市の深層地盤構造の空間分布を検討した。

謝辞

本研究のアレイ観測およびその解析は、東京工業大学の山中浩明准教授、元木健太郎助教、鹿島建設技術研究所の大保直人氏、株式会社アルテスの比嘉泰雄氏、秋田高専の学生諸氏からご協力いただきました。また本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究(A)(2)(代表者 瀬尾和大 14205081)により実施いたしました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Capon.: High-resolution frequency-wave number spectral analysis, Proc. IEEE., vol. 57, pp. 1408-1419, 1969.
- 2) 山中浩明・石田寛:遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析、日本建築学会構造系論文集、No. 468, pp. 9-17, 1995.
- 3) Matsushima T., and H. Okada: determination of deep geological structures under urban areas using long-period microtremors, Butsuri-Tansa, vol. 43, No. 1, pp. 21-33, 1990.
- 4) 小林喜久二: やや長周期微動の基礎的性質と地下構造推定への応用、第17回地盤震動シンポジウム、pp. 19-30, 1989.
- 5) 国土交通省港湾局 全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)
<http://www.mlit.go.jp/kowan/nawphas/index.html>
- 6) 狐崎長琅・後藤典俊・小林芳正・井川猛・堀家正則・斎藤徳美・黒田徹・山根一修・奥住宏一:地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定、自然災害科学、9-3, pp. 1-17, 1990.