

微動探査による鳥取県中部の地盤構造推定

野口 竜也¹・伊藤 奨悟²・香川 敬生³

¹正会員 鳥取大学大学院工学研究科助教 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)

E-mail:noguchit@cv.tottori-u.ac.jp

²非会員 鳥取大学工学部土木工学科 (現井木組) (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)

³正会員 鳥取大学大学院工学研究科教授 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)

E-mail:kagawa@cv.tottori-u.ac.jp

鳥取県中部では、1983年鳥取県中部地震、2000年鳥取県西部地震、2002年鳥取中西部地震等により、被害が発生しており、この要因として地盤構造の影響が示唆される。よって、この地域で地盤構造を把握することは地震防災を考える上で重要である。地盤構造の情報に関しては、倉吉市街地を中心に微動探査が実施されている。本研究では、海岸部の平野を中心に新たに83地点の単点3成分観測、3地点のアレイ観測による微動探査を実施し、既往の研究によるデータを含めて地盤構造の推定を行った。その結果、対象地域において地盤の卓越周期とS波速度構造を推定することができた。

Key Words : microtremor survey, subsurface structure, Central part of Tottori Prefecture

1. はじめに

鳥取県中部は、東部の鳥取市、西部の米子市にならぶ人口を有する倉吉市の他、北栄町、湯梨浜町が近接し、農業や漁業が盛んで、温泉地も数多く存在する。この地域の過去地震による被害として、1983年鳥取県中部の地震で負傷者が発生、水道管の破裂、道路の陥没など多くの被害が生じている¹⁾。また2000年鳥取県西部地震、2002年鳥取中西部の地震でも、倉吉市街地の一部地域で住宅の一部破損やブロック塀被害等が発生している^{1) 2)}。これらの被害は地盤構造の影響が示唆され、この原因を追及することは地震動予測を行う上で重要である。そのための基礎資料となる地盤構造の情報に関しては、内陸部の倉吉市街地を中心に微動探査が実施されている³⁾が、海岸部の北栄町、湯梨浜町の平野部では実施されていない。

本研究では、海岸部の平野を中心に新たに微動探査を実施し、既往の研究によるデータを含めて地盤構造の推定を行った。

2. 地形および地質

鳥取県中部には鳥取県の三大河川のひとつである天神川が流れており、この流域の堆積作用により倉吉平野が形成されている。平野の天神川西側には新

第三紀の玄武岩が露頭する場所が点在し、海岸部には東西12km、南北1.8kmの第四紀の沖積層が広がっており、海岸部に北条砂丘、東端に東郷池がある。

倉吉平野とその周辺山地の地質としては下位から、中生代の流紋岩、花崗岩、第三紀鮮新世火山岩類、第四紀大山火山噴出物、谷底平野・三角州・地下堆積物を構成する洪積層、沖積層からなっている¹⁾。対象地域の表層地質図⁴⁾を図-1に示す。

3. 観測

単点3成分観測は平成22年10月8日、12日の日中に行った。観測点の配置は、海岸部の平野の範囲を1kmメッシュ、既往の観測点網に近接する倉吉市街地を500mメッシュの格子点上に測点を設けて両地域合わせて83点とした。観測点位置を図2に示す。計測機器はGPL-6A3P(アカシ)を用い、サンプリング周波数100Hz、フィルター50Hz、増幅倍率1000倍に設定して観測を実施した。観測時間は1地点10分間程度とした。

アレイ観測は平成22年11月30日、12月1日、3日、6日に3地点(YRH, HKE, HSD)で円周上に4台のセンサーを配置する正三角形アレイで行った。観測点位置を図-2に示す。アレイ半径はYRHでは3, 10, 30, 125, 250, 500m, HKEでは3, 10, 30, 170, 250, 500m, HSDでは3, 10, 30mとした。

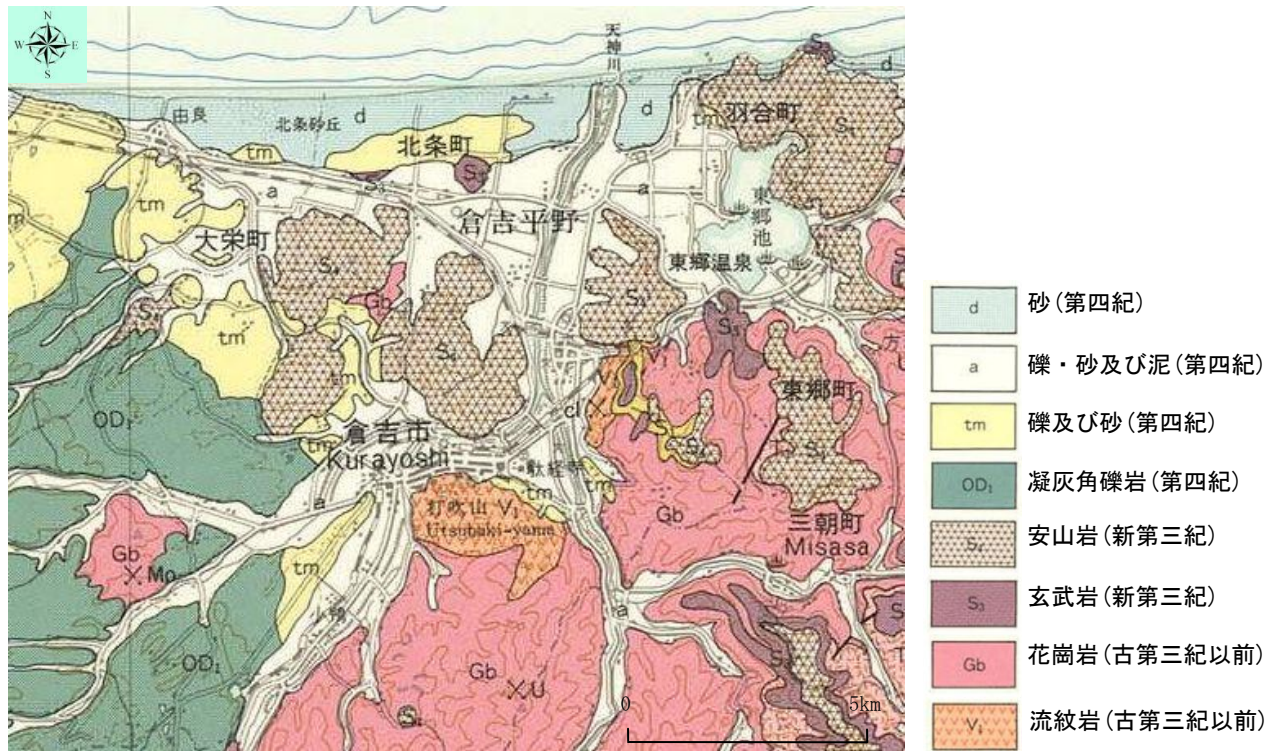


図-1 表層地質図

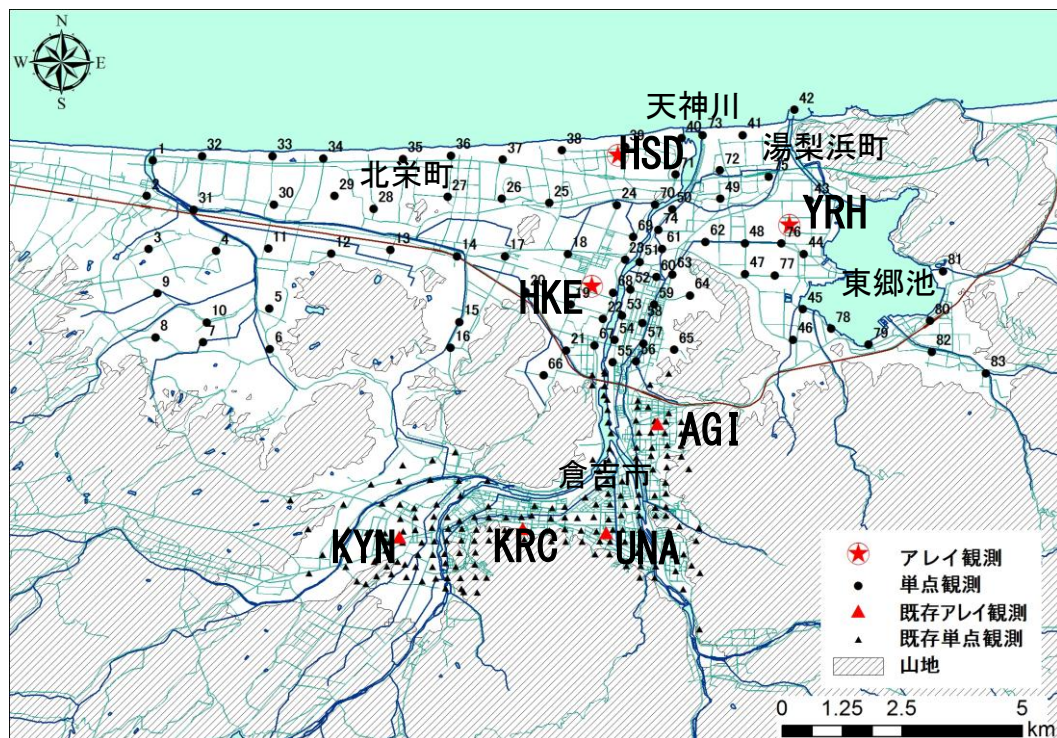
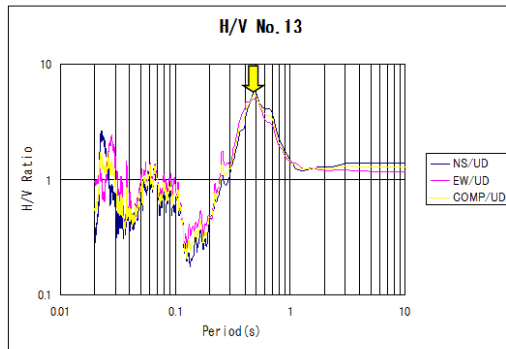


図-2 観測点位置

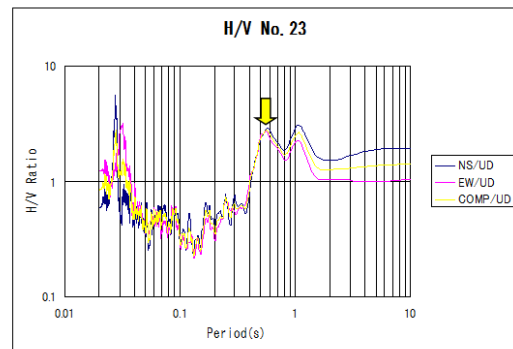
観測機器としては 125m～500m のアレイ半径では速度計 (PK110 ; 勝島製作所) を 4 台, 分解能 24bit のデータレコーダ (LS7000 ; 白山工業) , 3～30m のアレイ半径では, 速度計 (HS1 ; Geospace) を 4 台, 直流アンプ (SA16 ; TEAC) 分解能 16bit のデータレコーダー (es8 ; TEAC) を用いた。

データ収録の仕様としては, 125m～500m のアレイではサンプリング周波数 100Hz, 観測時間は 40 分とし, GPS クロックを用いて同時性を確保した。3～30m のアレイではサンプリング周波数 500Hz, 増幅倍率 1000 倍, フィルター30Hz, 観測時間は 10 分とした。

A タイプ



B タイプ



C タイプ

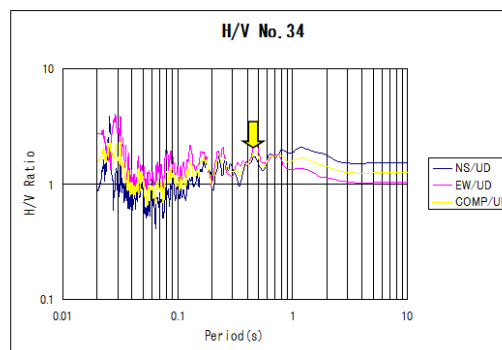


図-3 H/V の例

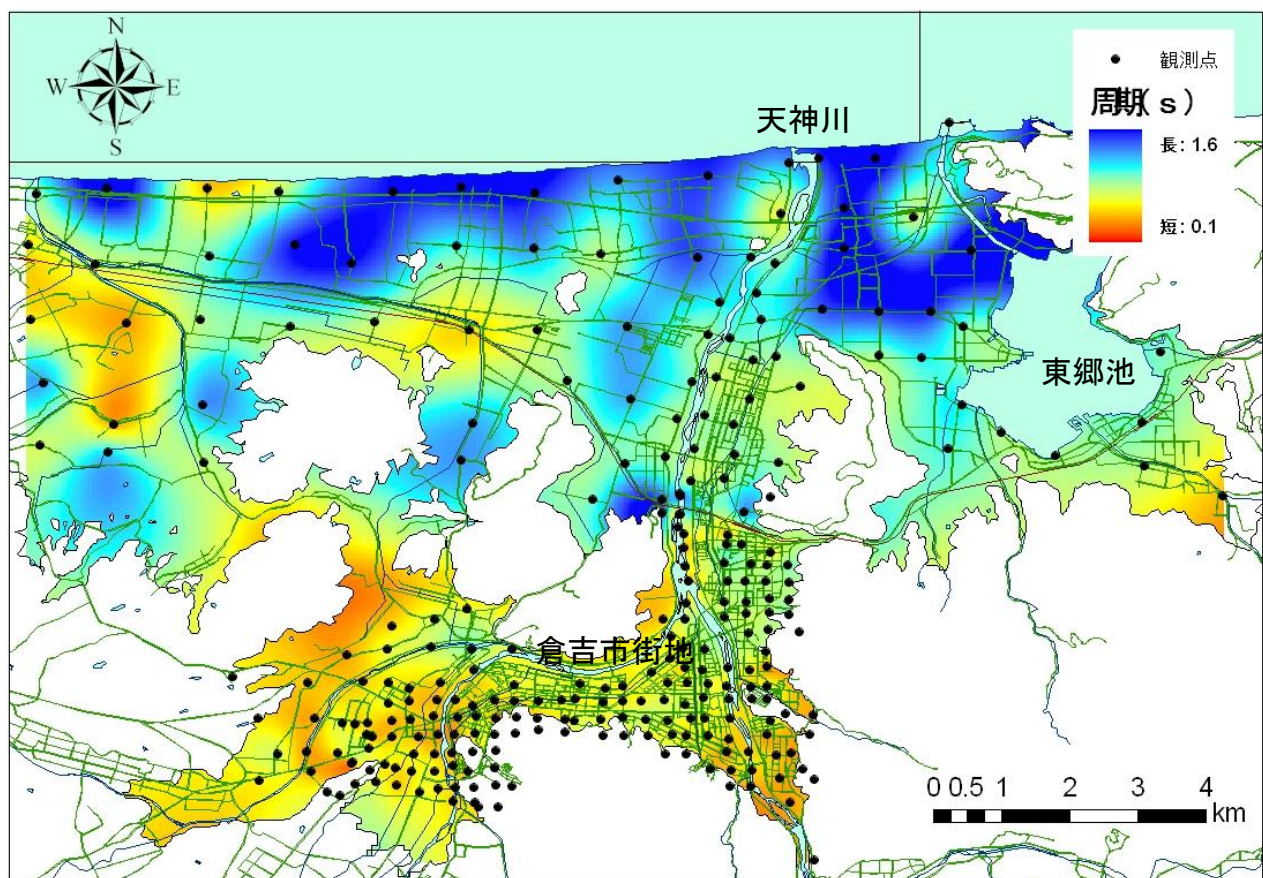


図-4 H/V の卓越周期分布

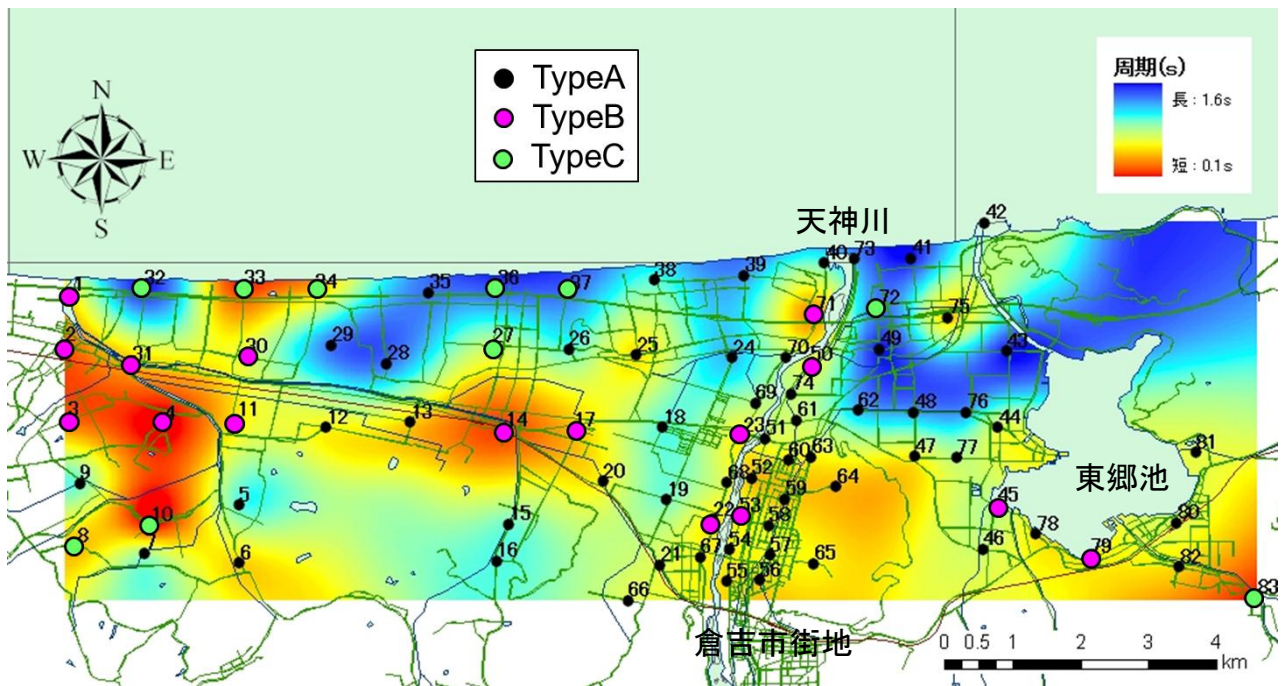


図-5 H/Vの卓越周期分布とタイプ別分布

4. 解析

(1) 3成分観測データ

各観測点における3成分の波形記録から交通振動などの非定常な波形が含まれない安定した部分の20.48秒を5区間以上選んだ後、FFTによりフーリエスペクトルを求めた。平滑化にはバンド幅0.3Hzのパーゼンウィンドウを施した。水平2成分のフーリエスペクトルを相乗平均し水平動上下動のスペクトル比H/Vを求めた。

図-3に特徴的な3タイプ（Aタイプ；単一の明瞭なピークがある，Bタイプ；同じようなピークが複数ある，Cタイプ；明瞭なピークがみられない）のH/Vの例を示す。H/Vから卓越周期を目測で読み取った。なお，Bタイプのようなピークが複数みられる場合は，長周期側のピークを卓越周期とした。

卓越周期の分布をみるためスプライン法を用いた補間によりコンターマップを作成した。図-4に卓越周期のコンターマップを示す。

(2) アレイ観測データ

125～500mのアレイ観測の記録については，センサーの設置点毎に計器補正を行い地震計の固有周期よりも長周期帯の記録の精度を確保した。観測波形記録から3成分観測データ同様，安定した部分の81.92秒の区間を6区間以上，3～30mのアレイについては16.384秒の区間を10区間以上選定し，SPAC法⁵⁾により位相速度を推定した。ただし，YRHで行った半径500mのアレイの観測記録については，パワースペクトルが0.1～3Hzの帯域で地震計でごとに大きなばらつきがあり，今回の解析結果からは除外した。

5. 地盤構造の推定

(1) H/Vによる地盤構造の把握

図3のH/V卓越周期分布について地形・地質との関係をみていく。倉吉市街地から天神川の下流域の砂丘にかけて卓越周期が長くなっていることがわかる。海岸部の平野で卓越周期が短い地点のうち，14，17，25，71地点では旧地形¹⁾や地質図⁴⁾と比較すると岩盤が露頭する地域の近傍となっている。海岸部の20，22，23，24地点では表層地質や地形とは対応しないが，これは周辺より基盤が浅いかもしくは堆積層の速度が大きい可能性がある。

今回の得られた各観測点のH/Vを図-3に示した形状の3タイプに分類し，図-5に卓越周期分布と重ねて分布を示す。ピークの明瞭なA・Bタイプは堆積層と基盤層の速度コントラストが大きく，Cタイプは小さいと考えられる。Aタイプは海岸部から内陸部までの全域において，卓越周期の長い地域，Bタイプは天神川付近の卓越周期が短い地域，Cタイプは山地近傍の卓越周期が短い地域，海岸線に沿った一部の地域でみられる。Bタイプについては，短周期側のピークが浅部の工学的基盤，長周期側ピークが深部の地震基盤相当の速度境界に対応すると考えられる。

(2) S波速度構造の推定

アレイ観測で得られた位相速度の分散曲線から，地盤構造（S波速度構造）を推定する。求められた位相速度（分散曲線）をレイリー波基本モードと仮定してフォワードモデリングを行った。その基本手順として，野口ら³⁾によって推定されたアレイ観測

表-2 既往の地盤構造モデル

AGI				UNA			
ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)
1.6	1430	130	14	1.7	1510	200	7
1.9	1730	400	15	1.9	1730	400	8
2.2	2400	1000	30	2.2	2400	1000	30
2.5	3840	2300	∞	2.5	3840	2300	∞

KYN				KRC			
ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)
1.6	1430	130	5	1.7	1530	220	8
1.9	1730	400	15	1.9	1730	400	10
2.2	2400	1000	30	2.2	2400	1000	20
2.5	3840	2300	∞	2.5	3840	2300	∞

表-3 推定された地盤構造モデル

HKE				HSD			
ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)
1.6	1430	130	28	1.6	1600	280	30
1.9	1730	400	60	1.9	1730	400	80
2.2	2400	1000	∞	2.2	2400	1000	∞

YRH			
ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)
1.6	1430	130	27
1.9	1730	400	150
2.2	2400	1000	∞

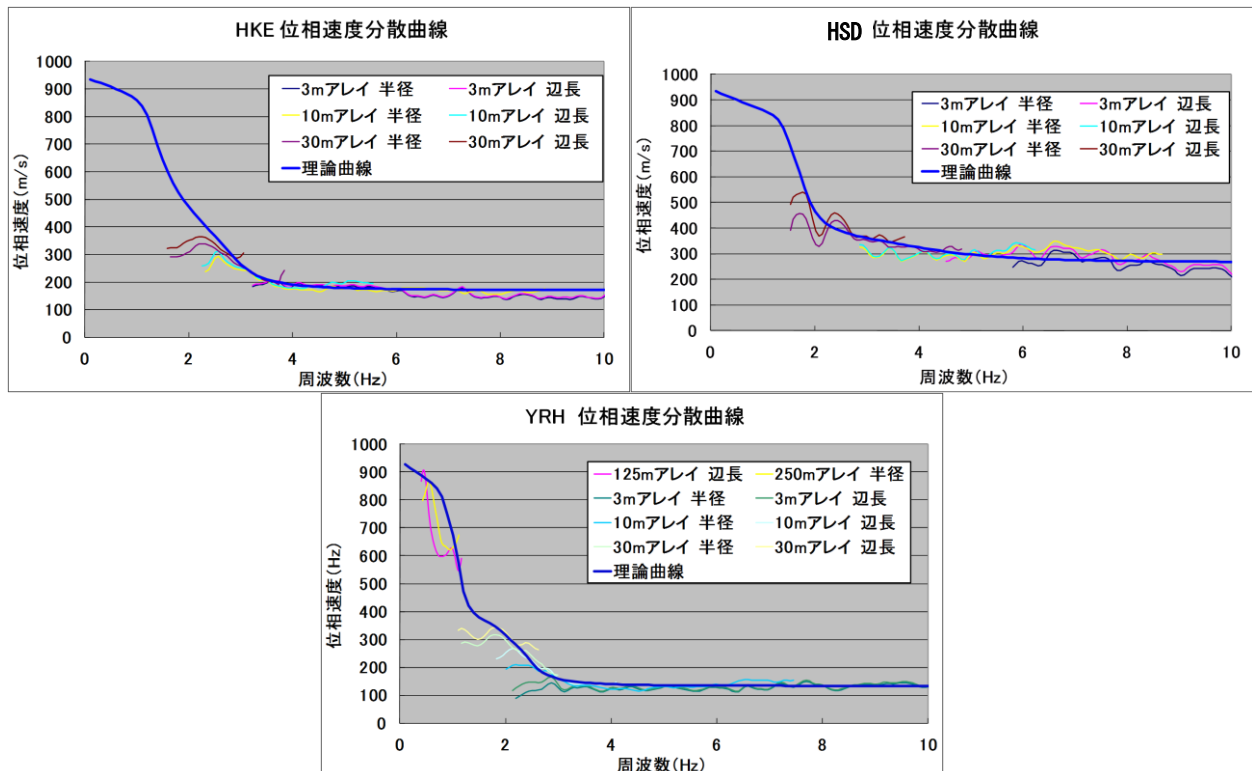


図-6 位相速度分散曲線

点における地盤構造モデル（表-2）を参考に S 波速度を設定した。設定した S 波速度から層厚のみを変え、観測値と理論値が一致するまで試行錯誤により

地盤構造モデルを決定した。なお P 波速度については S 波速度の換算式⁶⁾を用いた。今回得られた地盤構造モデルを表-3、観測値の位相速度分散曲線に表

-3 のモデルによるレイリー波基本モードの理論分散曲線を重ねたものを図-6 に示す。

推定した地盤構造モデルから、第 1 層目の S 波速度・層厚は HKE で 180m/s・28m, YRH で 140m/s・27m, HSD で 280m/s・30m, 第 2 層目は S 波速度 400m/s の層厚が HKE で 60m, YRH で 150m, HSD で 80m, 最下層の S 波速度 1000m/s までの深さが HKE で 88m, YRH で 177m, HSD で 110m となっている。ボーリングデータ⁷⁾によれば、第 1 層目の地層は、海岸線に近い HSD で砂、内陸部の HKE, YRH で粘土の沖積層、第 2 層目と最下層は 3 地点ともそれぞれ砂礫の洪積層、基盤岩に対応する。ただし、図-6 より HKE と HSD では低周波数側の位相速度が十分に得られておらず、今後新たな観測を追加するなどして検討する必要がある。

6. まとめ

鳥取県中部の平野内で微動の3成分観測およびアレイ観測を実施し、地盤構造の推定を行った。その結果以下のことがわかった。

- a) 卓越周期が1秒前後の地域が多く分布しておりピークも明瞭なことから、海岸部の平野には岩盤層の上に軟弱な粘土や砂層に対応する堆積層が厚く堆積していることが推測できる。卓越周期分布から、天神川中流域から海岸線に向かって周期が長くなっていることがわかった。
- b) 今回の観測により得られたH/Vをタイプ別に分

類し分布を調べた結果、以下のようなことがわかった。

- ・タイプA（明瞭なピークがみられる）は今回の観測地域の全域に分布。
- ・タイプB（同じようなピークが複数みられる）天神川付近の卓越周期が短周期の地域に分布。
- ・タイプC（明瞭なピークがみられない）山の境界や砂丘の卓越周期が短周期の地域に分布。
- c) アレイ観測記録から3地点についてS波速度140～1000m/sの3層の地盤構造モデルが得られた。堆積層の最上層のS波速度は内陸部140～180m/s, 海岸部280m/sで層厚は約30mであった。最下層までの深度は88～110mであることがわかった。

参考文献

- 1) 新編倉吉史：第四巻 自然文化編，pp.3-122，1995.
- 2) 消防庁：鳥取県中・西部を震源とする地震，2002.
- 3) 野口竜也，西田良平，中野雅巳，作永達也：倉吉市における地盤構造および地盤振動特性，第2回日本地震工学会年次大会2003梗概集，2003.
- 4) 地質調査所：20万分の1地質図，1974.
- 5) Aki, K. : Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst., 35, pp.415-456, 1957.
- 6) 狐崎長琅，後藤典俊，小林芳正，井川猛，堀家正則，斉藤徳美，黒田徹，山根修一，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，9-3，4-10，1990.
- 7) 中国地方基礎地盤研究会：山陰臨海平野地盤図'95，1995.

DETERMINATION OF SUBSURFACE STRUCTURE OF THE CENTRAL PART OF TOTTORI PREFECTURE BY MICROTREMOR SURVEY

Tatsuya NOGUCHI, Shougo ITO and Takao KAGAWA

Earthquake damages occurred by the earthquake that occurred at the Middle West of Tottori in 1983, 2002 and the 2000 Western Tottori earthquake in the central part of Tottori Prefecture. It is supposed that the damage influenced the subsurface structure. It is important that the information of subsurface structures is obtained for prediction of ground motion in the area. Microtremor surveys were carried out in the plains of the shore part and Kurayoshi city area. The subsurface structures were determined by S-wave velocity models obtained at the array observation 3 sites and predominant period distribution at 3-components observation 84 sites newly.