

微動観測から推定した境港地域の表層地盤の S 波速度構造

境港 微動 S 波速度構造

防災科学技術研究所 国際会員 新井 洋
愛媛大学工学部 国際会員 森 伸一郎
愛媛大学大学院 学生会員 和仁 晋哉

1. はじめに

2000 年鳥取県西部地震において、弓ヶ浜半島最北部の境港（震央距離 30km）では、西南西 - 東北東に伸びる高震度地域が綫状に発生し、多くの建物が甚大な被害を受けた（図 1）^{1,2)}。この原因として地盤の S 波速度構造の影響が考えられる。境港地域では、深い地盤（深度 100-1000m 程度）については、やや長周期の微動観測や重力測定などから、S 波速度構造が推定されている^{3,4)}。一方、それよりも浅い地盤については、図 1 の PARI 強震観測点⁵⁾を除いて、S 波速度構造に関する情報は少ない。そこで本報では、境港地域の複数地点において微動のアレイ観測を行い、比較的浅い地盤の S 波速度構造を推定する。

2. 微動のアレイ観測

アレイ観測は、図 1 に示す 9 地点（SSK, SKI, SJM, SJ1, SKW, AGR, AMK, SID, TAK）で、2004 年 10 月 21-23 日の夜間および 2005 年 7 月 19-21 日の昼間に行った。アレイの形状は中心 1 点を持つ 3-5 角形とし、その等価半径 r を 2-3 倍程度ずつ変化させて、各地点それぞれ 6-8 組のアレイを組んだ（表 1）。図 1 に、各地点の最大半径アレイを示す。

微動計は、固有周期 1 秒または 5 秒の 3 成分速度計を用い、 r が 40m 程度以下では 1 秒計を、それ以上では 5 秒計を使用した。各アレイごとに、それぞれ数分ないし数十分間、各点 3 成分の微動を同時観測した。ただし、 r が 1-2.5m 程度以下の場合、アレイから 10-15m 程度離れた地表面を人力で鉛直点加振した。観測波形は、増幅器とローパスフィルタを通した後、サンプリング周波数 100-500Hz で A/D 変換（24bit）し、ノートパソコンに記録した。記録波形が定常性を保っていると考えられる区間を選び、各成分 2048 ないし 8192 ポイントのデータを 10-30 個程度作成して、以後の解析に用いた。

3. 微動の H/V スペクトルと分散特性

まず、アレイ内の各観測点（等価半径 75m 程度以上）で得られた微動の 3 成分データに対し、文献⁶⁾と同様の方法で H/V スペクトル^{6,7)}を求めた。図 2 に、SSK, SKW, AGR, AMK 地点におけるアレイ内の微動 H/V スペクトルを細灰線で示す。図から、いずれの地点でも、アレイ内の微動 H/V は、周期 1 秒程度以下では概ね安定しているが、周期 1 秒程度以上では大きく変動している。とくに、境水道に比較的近い SSK, SKW, AGR 地点では、いずれの微動 H/V にも周期 1-2 秒程度に明瞭なピークが認められるが、その周期と絶対値はアレイ内で大きく変動している。同様の指摘は、既報^{4,8)}にも見られる。ここで、微動の H/V の周期特性はレイリー波のそれを反映しており⁹⁾、レイリー波の特性は、その波長の 1/3 程度の深さの地盤の影響を強く受ける¹⁰⁾。このことから、各地点のアレイ内では、深い地盤構造が水平方向に変化している可能性が高いが、周期 1 秒のレイリー波の 1/3 波長程度の深さまでに限れば、地盤を水平成層構造と仮定できると考えられる。

次に、各地点の 4-5 角形アレイおよび正 3 角形アレイで得られた微動の鉛直成分データに対し、F-k スペクトル解析¹¹⁾および空間自己相関法¹²⁾を適用し、有効波長を $2r-6r$ の範囲として、周期 - 位相速度の関係（分散特性）を求めた。ただし、図 2 の検討を踏まえ、位相速度を求める周期は 1 秒程度以下とした（図 3）。図から、各地点とも、得られた位相速度は表面波（レイリー波）特有の分散性を示しており、その周期 1 秒における波長は 400-600m 程度となっている。したがって、各地点のアレイ内では、深度 130-200m 程度までの地盤を水平成層構造と仮定できると考えられる。

4. 同時逆解析による S 波速度構造の推定

3 章の検討から、各地点で得られたアレイ中心の微動 H/V スペクトル（周期 1 秒程度以下、図 2 の 印）および微動鉛直成分の分散特性が表面波およびレイリー波によるものと考え、高次モードの影響を考慮した同時逆解析¹³⁾を行って、深度 150m 程度までの地盤の S 波速度構造を推定した。この際、各地点の地盤構造は 5-6 層にモデル化し、各層の密度と P 波速度は S 波速度を参考に仮定した。また、逆解析における H/V と分散特性の重みは、アレイ内 H/V の安定性を勘案して 0.25:1 とした。

図 4 に、SSK, SJM, SKW, AGR, AMK, TAK 地点で推定された S 波速度構造を実線で、その逆解析における標準誤差^{6,13)}を鎖線で示す。図から、各地点の逆解析の誤差は、推定値の概ね 1-2 割程度以下であり、比較的小さく抑えられている。図 4(c)の破線は、SKW アレイ内の PARI 地点（図 1）における速度検層結果⁵⁾である。SKW 地点の推定 S 波速度構造は検層結果と良

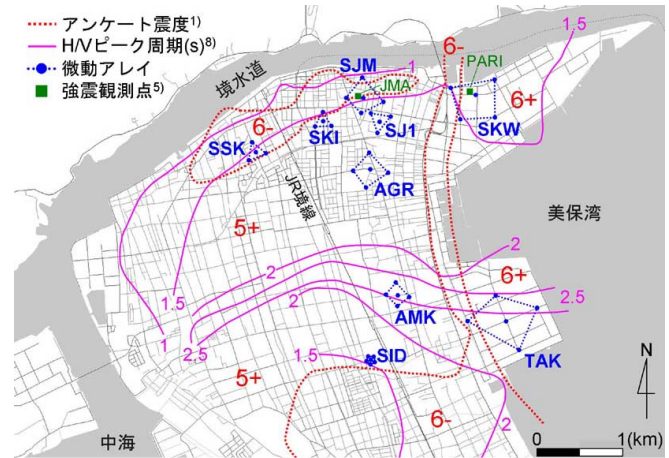


図 1 微動アレイおよび強震観測点⁵⁾、アンケート震度分布¹⁾、微動 H/V スペクトルのピーク周期分布⁸⁾

表 1 観測で用いたアレイの等価半径と形状

観測日\観測点	SSK	SKI	SJM	SJ1	SKW	AGR	AMK	SID	TAK
2004/10/21-23	1, 2.5, 5, 10, 20, 30-40m (5 角形)								
2005/07/19-21	130m (正 3 角形)	100m (正 3 角形)	75, 200m (4 角形)	130m (正 3 角形)	100, 280m (4 角形)	75, 200m (4 角形)	130m (4 角形)		130, 350m (4 角形)

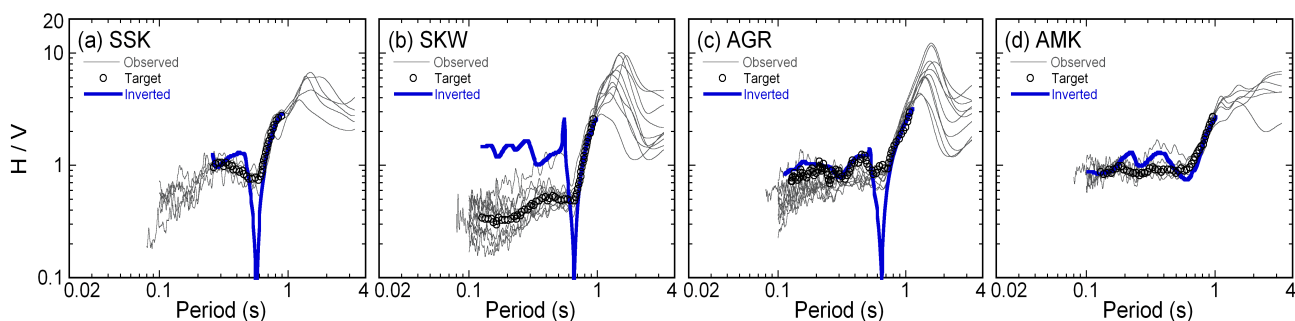


図 2 微動および表面波の H/V スペクトル

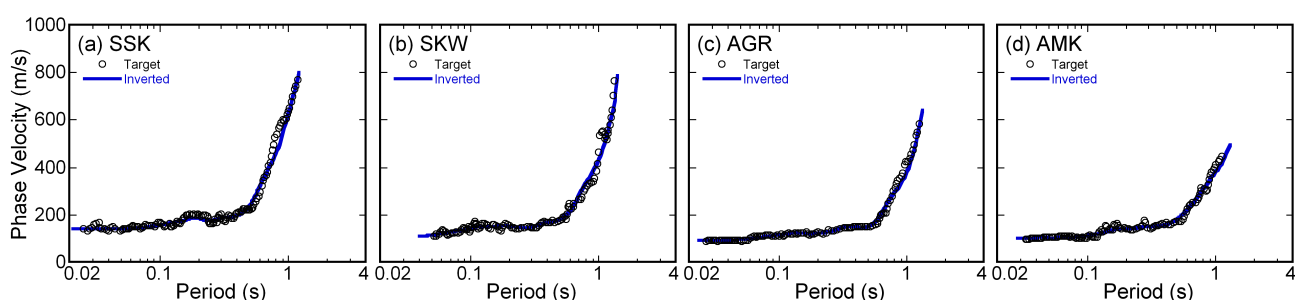


図 3 微動鉛直成分およびレイリー波の分散特性

く対応している．また，図 2, 3 の太実線は，各地点の推定地盤構造に対応する表面波の理論 H/V スペクトル⁶⁾およびレイリー波の理論分散曲線¹⁴⁾である．いずれの場合も，理論値は観測値と概ね対応している．以上の結果は，各地点で推定された S 波速度構造の妥当性をある程度示唆している．

図 4 から，各地点の S 波速度構造は，S 波速度 400m/s 程度以上の層（建築分野における工学的基盤）とそれよりも上部の層とのコントラストが比較的明瞭である．また，PARI 地点の土質柱状図⁵⁾との比較から，この地域の工学的基盤は N 値 50 以上の粘土層に対応しており，その出現深度は 50-80m 程度と推定される．

5. まとめ

境港地域の 9 地点において，微動のアレイ観測を行い，深度 150m 程度までの地盤の S 波速度構造を推定した．本報の推定結果は，続報¹⁵⁾における本震地震動の再現解析において活用される．

謝辞：微動アレイ観測の実施にあたり，境港市教育委員会および同市立境小学校・上道小学校・余子小学校・誠道小学校・第一中学校，気象庁大阪管区気象台鳥取地方気象台，国土交通省中国地方整備局境港湾・空港整備事務所，鳥取県済生会境港総合病院には，敷地使用の便宜を図って頂いた．現場観測では，馬場美智子，張富明，Nelson Pulido，堀江啓（当時，防災科学技術研究所），土谷基大，福村耕平（当時，愛媛大学）各氏の協力を得た．記して謝意を示す．

<参考文献> 1) 森ほか (2001). 第 36 回地盤工学会大会, 2127-2128. 2) 日本建築学会 (2001). 2000 年鳥取県西部地震災害調査報告, 248pp. 3) 吉川ほか (2002). 地震 2, 55, 61-73. 4) 新井 (2003). 第 2 回日本地震工学会大会, 50-51. 5) 港湾空港技術研究所. <http://www.pari.go.jp/> 6) Arai and Tokimatsu (2004). BSSA, 94(1), 53-63. 7) 中村, 上野 (1986). 第 7 回日本地震工学シンポジウム, 265-270. 8) 和仁ほか (2006). 第 41 回地盤工学会大会, 1999-2000. 9) 時松, 宮寺 (1992). 日本建築学会構造系論文報告集, 439, 81-87. 10) Takeuchi and Saito (1972). Methods in Computational Physics, 11, Academic Press, 217-295. 11) Capon (1969). Geophysics, 34(1), 21-38. 12) Aki (1957). Bull. ERI, Tokyo Univ., 35, 415-456. 13) Arai and Tokimatsu (2004). BSSA, 95(5), 1766-1778. 14) Tokimatsu et al. (1992). J. Geotech. Eng., ASCE, 118(10), 1544-1558. 15) 和仁ほか (2007). 第 42 回地盤工学会大会, 印刷中.

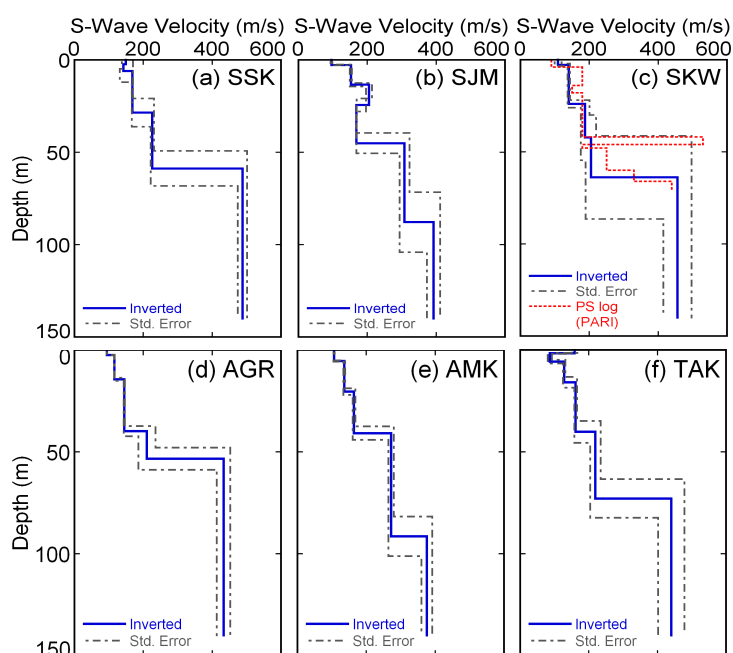


図 4 推定された S 波速度構造