

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：13401
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560478
 研究課題名（和文） 常時微動の一般化スペクトル密度比に基づく
 S波速度構造推定法の開発と応用
 研究課題名（英文） Development and application of S-wave velocity structure estimation procedure
 based on generalized spectrum density ratios of microtremor
 研究代表者
 小嶋 啓介（KOJIMA Keisuke）
 福井大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：40205381

研究成果の概要（和文）：

常時微動の3成分展開アレイ観測情報から算出される、一般化スペクトル密度比を直接ターゲットとする新しいS波速度構造同定法を導出・検証した。本手法では、地下構造を反映した微動観測情報が余すところ無く活用され、表層から地下深部に至るS波速度構造を精度良く推定することが可能であることを確認した。福井平野周辺の約80か所で常時微動のアレイ観測を行い、上記のS波速度構造推定法を適用し、地点ごとの構造を同定するとともに、その空間補間により福井平野の3次元S波速度構造モデルを求めた。

研究成果の概要（英文）：

The objectives of this study are to introduce the inversion analysis of the microtremor generalized spectrum density functions for estimating S-wave velocity structure of sedimentary site and to examine the reliability and accuracy of the proposed inversion procedure. The inversion analyses are conducted using the generalized spectrum density functions observed at 75 sites around the Fukui plain, and their S-wave velocity structures down to the Tertiary bedrock are estimated. The 3D configuration models of the Fukui Plain and the Ohno basin have been evaluated by using geo-statistical procedure. By comparing with the inverted structure of gravity anomaly observation and with the existing data, the validity of the estimated structure was confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：常時微動，S波速度構造，福井県

1. 研究開始当初の背景

21世紀の日本の地震環境は、南海トラフ周辺での巨大地震発生を控えた時期に、東北地方太平洋沖地震の発生に伴うずみ・応力の開放と集中が重なり、有史以来最も厳しい状況にあるといえる。一方、福井県周辺は新潟―神戸ひずみ集中帯が横切り、断層も密に分布していることに加え、福井市をはじめとする市街地は軟弱な沖積平野に位置しており、地震防災環境は厳しいといわざるを得ない。しかしながら福井県内では、原子力発電所周辺の活断層調査が集中して行われる一方で、市街地周辺の動的地盤構造および活断層を対象とした組織的な調査はほとんど行われておらず、県民の安全に直結する地震被害予測も曖昧な地盤モデルに基づいて実施されており、精度の高い地震被害予測に資する信頼性の高い地下構造が求められている。

2. 研究の目的

常時微動アレイ観測からS波速度構造を推定する従来の研究の多くは、基本モードのRayleigh波位相速度をターゲットすることが一般的である。しかし、空間自己相関係数から位相速度を設定する段階は、手間と個人の判断が混入する傾向があるが、S波速度構造の解明を前提とした場合、その段階は不要である。また、3成分アレイ観測を行うことにより、Rayleigh波に加えLove波の伝播情報ならびにH/Vスペクトルが同時に収集されることになり、地下構造の推定精度と信頼性の向上が期待できる。

本研究では以上の前提に従い、3成分展開アレイ観測から直接算出される、多様な空間自己相関係数および一般化スペクトル比をターゲットとする新しいS波速度構造同定法を導出・検証した。この手法では、地下構造を反映した微動観測情報が余すところ無く活用され、表層から地下深部に至るS波速度構造を精度良く推定することが可能となる。福井県内の平野や盆地で常時微動のアレイならびに1点3成分観測を稠密に実施し、このS波速度構造推定法を適用し、各地の詳細で信頼性の高い3次元動的な地盤構造の解明を行った。

3. 研究の方法

(1) 3成分アレイ観測による空間自己相関係数および一般化スペクトル密度比をターゲットとし、遺伝的アルゴリズムを用いて、水平堆積を仮定した地盤各層のS波速度お

よび層厚を推定する逆解析法の定式化を行った。この手法を、S波速度を仮定したモデル地盤に適用し、ターゲットとして従来のRayleigh波位相速度曲線を用いる場合、空間自己相関係数を用いる場合ならびに長によって導出された一般化スペクトル密度を用いる場合との比較を行い、各ケースの得失を確認した。

(2) 上記で定式化したS波速度構造推定法を用いて、福井県内の沖積平野・盆地の3次元S波速度構造の推定を行った。福井平野および大野盆地を対象とし、常時微動の3成分展開アレイ観測を行うとともに、すべての観測結果に上記推定法を適用し、観測点直下のS波速度構造を推定する。ついで、アレイ観測を補完するために、1点3成分観測を稠密に実施し、H/Vスペクトルを算出し、微動の卓越周期を判読するとともに、H/Vスペクトルをターゲットする地盤構造推定法を適用した。以上の結果に、KrigingおよびCo-Krigingによる空間補間を実施し、詳細で信頼性の高い3次元S波速度構造モデルを求めた。

(3) 微動観測からS波速度構造を推定する提案手法が、従来のボーリングおよびN値を主体とした地盤調査法を補間できる調査法なり得るかどうかの検討を行った。

4. 研究成果

(1) 本研究で導出された、微動の一般化スペクトル密度をターゲットするS波速度構造推定法は、位相速度を算定するコストと時間を省略できる上に、従来の方法より、アレイ半径に比較して広い深さ範囲のS波速度構造を精度良く推定できることを確認した。

(2) 福井平野の第四紀層構造

福井平野周辺の75か所で常時微動のアレイ観測を行い、位相速度曲線および一般化スペクトル密度を用いてS波速度構造を求めた。また、アレイ観測を補間することを目的とし、1点3成分観測を高密度（福井平野の約250か所）で実施し卓越周期を求めた。アレイ観測地点の推定S波速度構造をサンプルデータとし、H/Vスペクトルの卓越周期との相関を利用したCo-Krigingによる空間補間から、福井平野の500mメッシュの第四紀層構造を推定した。図-1は、本研究によって推定された福井平野の深さ30mまでの平均S波速度分布と、J-SHISの地形から概略推定されたモデルとの比較である。また、図-2は推定構造から推定された沖積層と第四紀

層に起因する卓越周期の分布である。さらに、1点3成分観測地点については、H/Vスペクトルを直接ターゲットし、S波速度は周辺のアレイ観測地点で推定された値に固定し、地盤各層の層厚を推定する方法を適用し、第四紀堆積構造の推定を行った。

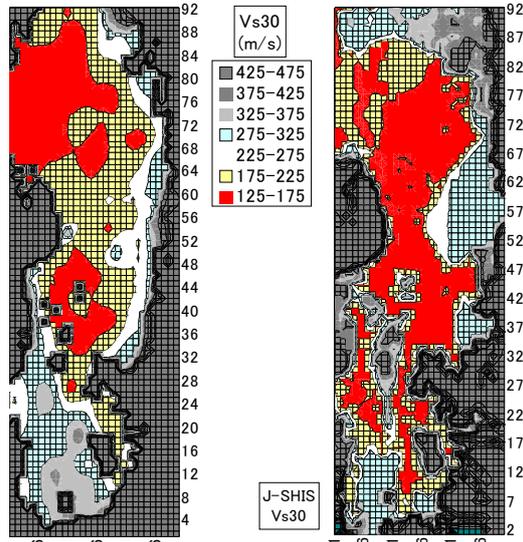


図-1：微動観測から推定した福井平野の平均S波速度

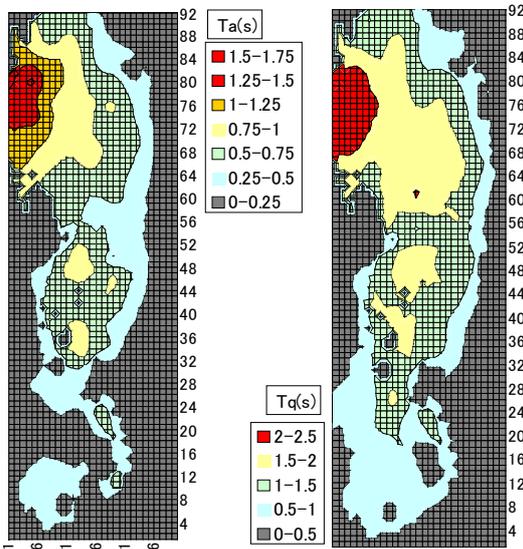


図-2：推定構造による福井平野の卓越周期分布

本手法で推定されたS波速度構造モデルを、既存の弾性波探査、重力異常ならびに福井県の地盤モデルなどと比較した。S最大深度については若干のばらつきは認められたが、第四紀層は平野中央に向かって、また沖積層についてはやや西側に向かって漸増する傾向などは類似しており、大きな矛盾のない構造であることを確認した。本研究によって求め

られた福井平野の第三紀基盤に至る3次元S波速度構造モデルは、微動の実測に基づくS波速度と層厚の情報を有した唯一のモデルであり、地震被害予測などへの利用価値は高いと考えられる。

(3) 大野盆地の地盤構造

深層ボーリングおよび動的地盤特性に関する資料が非常に少ない大野盆地を対象とし、常時微動観測に基づいて、第三紀基盤岩に至る地盤構造の推定を試みた。常時微動のアレイ観測からは、Rayleigh波位相速度と一般化スペクトル密度をターゲットする逆解析により、深さ方向のS波速度分布を推定した。推定された表層S波速度は、盆地の大部分を占める扇状地域では240~420m/sと大きく、北西の後背湿地部分で60~80m/s程度であり、微地形の影響を強く反映する結果が得られた。常時微動の1点3成分観測を稠密に実施し、H/Vスペクトルを求め卓越周期を判読するとともに、それをターゲットする逆解析により、沖積層および洪積層厚さの推定を行った。推定された観測点ごとのS波速度構造に、Krigingによる空間補間を適用し、大野盆地の第四紀地盤構造の推定を行った。推定された地盤構造によれば、大野市の市街地は、S波速度が低く第四紀層厚も大きい領域に対応しており、地震防災の立場からは不利な位置にあることが示された(図-3)。微動から推定された構造と、重力異常に基づく密度差構造の比較を行った結果、盆地西側では良好な対応が認められた。しかしながら、東側の岩層なだれ堆積物が分布する領域では、両者はかけ離れており疑問の残る結果となった。動的地盤構造の情報が非常に少ない同地域においては、推定構造の検証は現時点で十分とはいえないが、微動観測情報に基づいて盆地全体を対象とした動的地盤モデルを提示したことの意義は大きいといえる。

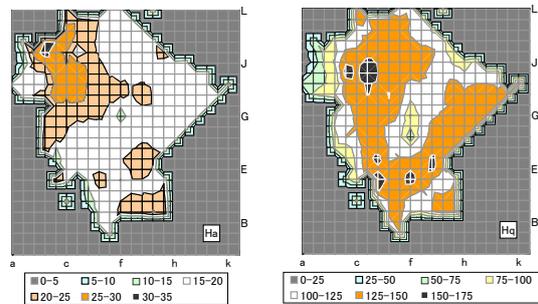


図-3：微動観測から推定した大野盆地の第四紀構造

(4) 提案した一般化スペクトル密度比に基づくS波速度提案手法が、従来のボーリングおよびN値を主体とする地盤調査法の補間的手法として利用できることを確認した。具体的には、福井地震で液状化被害を受けた地域を対象とし、複数の測線を設定し、アレイ観測と1点3成分観測を行い、提案手法によるS波速度構造の推定と、H/Vスペクトルに基づく推定を組み合わせることでS波速度構造の推定を行った。その結果、微動観測から液状化および埋立履歴の影響が探査できること、構造物の基礎地盤として十分な支持層までの深さと剛性の2次元断面構造を推定できることなどを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- 1) 安井譲, 西川隼人, 小嶋啓介他: 拡散波動場理論に基づく地震動H/Vスペクトルの計算法に関する考察, 地震工学論文集, 査読有, 土木学会論文集 A1, Vol.39, No.4, pp.280-290, 2013.
- 2) 小嶋啓介: 常時微動観測に基づく大野盆地の地下構造の推定, 日本海地域の自然と環境, 査読無, 19, 47-57, 2012.
- 3) 小嶋啓介, 本耕大: 常時微動観測のアレイ観測に基づく福井平野のS波速度構造の推定, 土木学会論文集 A1, 査読有, Vol.68, No.1, pp.98-109, 2012.
- 4) 安井譲, 小嶋啓介, 野口竜也, 香川敬生: 微動H/V探査に基づく福井平野の3次元地盤構造の推定, 福井工業大学研究紀要, 査読無, 第41号, pp.210-220, 2012.
- 5) 安井譲, 野口竜也, 小嶋啓介, 香川敬生: 鯖江盆地の微動アレイ観測, 福井工業大学研究紀要, 査読無, 第41号, 208-214, 2011.

[学会発表] (計11件)

- 1) 小嶋啓介他: 常時微動のアレイおよび3成分観測に基づく福井平野の地下構造の推定, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012.09.5.
- 2) 小嶋啓介他: 常時微動観測に基づく福井地震断層に直交する地下構造断面の照査・検討, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012.09.5
- 3) 安井譲, 小嶋啓介他: 微動 H/V 探査に基づく福井平野の3次元地盤構造の推定,

土木学会第67回年次学術講演会, 2012.09.6.

- 4) 野口竜也, 中谷英史, 吾川敬生, 安井譲, 小嶋啓介: 重力データに基づく福井平野および鯖江盆地の3次元基盤構造の推定, 第31回地震工学研究発表会, 2011.11.17.
- 5) 戸塚陽一, 小嶋啓介: 常時微動観測に基づく大野盆地の地下構造の推定, 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.09.7.
- 6) 小嶋啓介, 山本将史, 本耕大: 空間自己相関係数に基づく福井平野のS波速度構造の推定, 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.09.7.
- 7) 野口竜也, 中谷英史, 香川敬生, 安井譲, 小嶋啓介: 重力異常による福井平野および鯖江断層周辺における3次元地盤構造推定, 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.09.8.
- 8) 安井譲, 野口竜也, 小嶋啓介: 鯖江盆地の微動アレイ観測, 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.09.8.
- 9) 山本博文, 岡本拓夫, 小嶋啓介, 久谷恭平, 地震空白域に位置する鯖江断層の活動度について, 日本活断層学会2010年度秋季学術大会, 2010.11.26.
- 10) 本耕大, 小嶋啓介, 高田大資, 戸塚陽一, 野澤貴: 常時微動観測に基づく九頭竜川河口域の地下構造の推定, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.09.2.
- 11) 小嶋啓介, 上良紗代: 常時微動アレイ観測に基づくS波速度構造の合理的推定法, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.09.2.

[図書] (計3件)

- 1) 荒井克彦, 小嶋啓介: 全国77都市の地盤と災害ハンドブック-福井市-, 丸善, pp.257-262, 2012.
- 2) 小嶋啓介, 荒井克彦: 全国77都市の地盤と災害ハンドブック-敦賀市-, 丸善, pp.263-268, 2012.
- 3) 小嶋啓介: 1948年福井地震報告書-福井平野の地盤条件と地震動の特性-, 中央防災会議, pp.30-40, p.229, 2011.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小嶋啓介 (KOJIMA Keisuke)
福井大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40205381

(2) 研究分担者

該当無し