

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420479

研究課題名(和文) 常時微動観測に基づくS波速度構造推定法の高度化と若狭地域の地盤構造の解明

研究課題名(英文) Estimation of subsurface structure of Wakasa region based on microtremor observation

研究代表者

小嶋 啓介 (KOJIMA, Keisuke)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40205381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：従来の、常時微動アレイ観測からS波速度構造を推定する研究は、観測情報のごく一部しか利用されていない面があった。本研究では、3成分センサーを用いたアレイ観測から得られる、高次モードの混在を認める3成分空間自己相関係数、ならびにH/Vスペクトルを同時にターゲットとし、S波速度と層厚の逆解析を行うことにより、信頼性の高い地下構造を迅速に推定できる方法を導出した。原発の集中立地地域である若狭湾周辺の、小浜市や若狭町を対象とし、常時微動の3成分アレイ観測ならびに単点3成分観測を実施し、提案する手法を適用し、対象地域の詳細で信頼性の高い地下構造を推定し公表した。

研究成果の概要(英文)：I formulated the inversion procedure of the S-wave structure of array sites as an optimization problem based on both generalized spectrum density function and H/V spectral ratios permitting higher-mode contamination. By evaluating two kinds of information from the array observations simultaneously, the procedure can estimate reliable underground structure. Microtremor array observations were conducted in the Wakasa region to know S-wave structures of sedimentary layers down to the bedrock. 3-components single-site microtremor observations were carried out to compensate the array observations. The 3D subsurface structures around Obama city and Wakasa town have been interpolated by using geo-statistical procedure. The validity of the estimated subsurface structure was confirmed by comparing with the density structure and with the existing seismic-reflection survey results. The estimated bedrock depth has a discontinuity of which the position is coincided with the Mikata Fault.

研究分野：土木工学

キーワード：常時微動 展開アレイ観測 S波速度構造 逆解析 小浜平野 若狭町

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の壊滅的被害は、原子力発電所の安全基準を根底から見直す契機となるとともに、原発立地および周辺自治体住民の安全確保に多大な課題を突きつけた。福井県若狭地方は、15基の原子炉を有し、活断層も密に分布しており、軟弱地盤も密に分布するという、地震防災上の危険度が高い地域である。しかしながら、地下構造調査は原発周辺の活断層を対象としたものしか行われておらず、住民の安全に直結する平野域の詳細な地下構造の解明は十分とはいえず、地震防災計画の基礎となる地震被害予測の信頼性は高いとはいえない。市街地周辺の信頼性の高い地盤構造を精度良く簡便に求められる方法の開発と、その方法による詳細な地盤構造モデルが求められている。

地震応答解析に必要な地下構造の推定手法として、常時微動のアレイ観測から求めた Rayleigh 波位相速度に基づいて、S波速度構造を逆解析によって推定しようとする一連の研究がある。申請者も、福井平野、鯖江盆地、敦賀平野などで常時微動アレイ観測を高密度で実施し、空間自己相関法 (SPAC 法) を適用して Rayleigh 波位相速度を求め、各地の地下構造モデルの推定を試みてきた。この手法では、表層から深部に向かって S 波速度が単調に増加する地点では、比較的安定して S 波速度構造を求めることが可能であるが、扇状地や台地などのように表層が硬質で S 波速度の逆転構造があるケースでは、Rayleigh 波位相速度が安定的に求められない場合がある。またこれらの地点では、3成分観測による H/V スペクトルの形状が複雑で卓越周期が不明瞭となり、H/V スペクトルをターゲットする最適化計算によって S 波速度構造を求めることも難しくなる傾向にあり、地盤構造モデルの精度と信頼性を確保する際の障害となっていた。

2. 研究の目的

地域の地震被害予測を行う上で必須である速度構造を明らかにするためには、PS 検層や反射法などの弾性波探査の信頼性が高いといわれているが、コストや時間的制約から、特に地方では実施地点が限られている。

本研究では、はじめに常時微動のアレイ観測および単点3成分観測から得られる情報を最大限に活用し、観測点直下の S 波速度構造を高い信頼性と解像度で推定できる方法を提案する。多数の原子力発電所を有し、活

断層も集中している若狭地方の、小浜市及び若狭町周辺の地下構造を解明することを目的とし、多数の常時微動展開アレイ観測と、それを補間する単点3成分観測を実施する。各観測点に提案する S 波速度構造推定法を適用して、深さ方向の地盤構造を推定し、結果をデータベース化した。これに地盤統計手法を適用し、小浜平野及び若狭町周辺の基盤岩にいたる3次元地盤モデルを作成する。得られたモデルを反射法弾性波探査や重力異常構造と比較し、その信頼性の検証を行う。これらの成果が地震応答解析で使用される地盤モデルの修正につながることで、地域の地震被害予測の精度が向上し、住民の安全性確保に貢献することを目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的のため、以下の一連の研究を実施した。

3成分展開アレイ観測に基づく高次モードが混在する3成分空間自己相関係数をターゲットとする S 波速度構造推定法を定式化し、モデル地盤での検証を行った。従来の、常時微動アレイ観測から S 波速度構造を推定する研究は、1)アレイ観測 2)空間自己相関係数の算出 3)Rayleigh 波位相速度の算出 4)位相速度をターゲットとする地下構造の最適化、という4段階で行われていた。このうち3)の位相速度曲線を求める段階は、個人の判断と時間を要する傾向にあるが、「アレイ観測の目的は S 波速度構造の解明にある」との立場では不要な段階といえ、この段階で微動観測情報の大部分が捨てられていた。本研究では、高次モードの混在を許容した観測空間自己相関係数を直接ターゲットとし、S 波速度と層厚の最適化を行う逆解析報を提案した。

Rayleigh 波位相速度の特定を目的とする場合、3成分センサーを用いたアレイ観測で得られる情報のごく一部しか活用されていない。本研究では、幅広い周波数帯域の3成分の空間自己相関係数に加えて、H/V スペクトルを同時にターゲットする新しい逆解析報を提案した。これにより、3成分アレイ観測から得られる微動観測情報を余すところ無く活用し、浅層から深層まで S 波速度構造を精度良く求めることが可能となった。

原子力発電所周辺の活断層および隣接した平野を対象とし、高密度で常時微動の3成分展開アレイ観測と1点3成分観測を実施した。さらに、三方断層及び熊川断層の活動に起因する食い違い構造を明らかにするために、これらの断層に直交する方向に測線をとって、アレイ観測と単点3成分観測を行った。

これらの観測情報に上述の S 波速度構造推定法を適用した。

水平方向に多数の観測点を連結し、水平方向に層が連続し、各層では共通の S 波速度を持つが、各地点で層厚は異なると仮定し、すべてのアレイ観測点の空間自己相関係数と H/V スペクトルを同時に評価し、すべての観測点の S 波速度構造を同時に推定する方法を提案した。

求められた地点ごとの S 波速度構造をサンプルとし、標高などを補助情報とした地盤統計手法による空間補間を行い、3 次元 S 波速度構造を求めた。

4. 研究成果

若狭湾周辺の平野域で、3 成分展開アレイ観測を実施し、空間自己相関係数に基づく S 波速度構造推定法を順次適用し、観測点直下の S 波速度構造を推定した。さらに、アレイ観測点を補間するために、1 点 3 成分観測を詳細に実施するとともに、アレイ観測地点で推定された S 波速度の空間補間値を既知とし、H/V スペクトルをターゲットする層厚の逆解析により S 波速度構造を推定した。また、複数の観測点のスペクトル密度と H/V スペクトルを同時に評価しながら、複数地点の S 波速度を同時に推定する方法を適用した。以上の S 波速度構造推定結果は、ボーリングおよび弾性波探査などの既存情報との比較検証により、その信頼性が高いことを確認した。推定された S 波速度構造を標本として、地盤統計手法 (Kriging) による空間補間を行い、小浜市および若狭町周辺の 3 次元地盤モデルを作成した。さらに、三方断層および熊川断層について、断層直交方向に複数の測線をとって微動の展開観測を集中して行い、断層活動に伴う基盤等の食い違い構造を見いだした。

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 4 件)

小嶋啓介, 安井譲
常時微動観測に基づく福井平野の深部地盤構造の推定, 自然災害科学, 査読有, 33(4) 359-374 2015 年.
安井譲, 西川隼人, 前田寿朗, 長郁夫, 小嶋啓介, 纈纈一起, 宮島昌克
地震動 H/V スペクトルによる地盤構造逆解析の適用性, 土木学会論文集, 査読有,

A1 70(4) 628-643 2014 年.

小嶋 啓介

常時微動観測に基づく大野盆地の S 波速度構造の推定, 応用地質, 査読有, 55(1) 28-37 2014.

安井譲, 西川隼人, 小嶋啓介

サイト増幅特性を用いた地震動 H/V スペクトルの計算法に関する考察, 土木学会論文集, 査読有, A1 69(4) 280-290 2013 年.

〔学会発表〕(計 9 件)

小嶋啓介, 氣田雄志

強震・微動複合情報の逆解析による小浜平野の地下構造の推定, 日本自然災害学会学術講演会, 2015 年.

小嶋啓介, 氣田雄志

常時微動観測に基づく小浜平野の地下構造の推定 (その 2), 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年.

小嶋啓介, 伊藤良樹

常時微動観測に基づく小浜平野の地下構造の推定, 土木学会第 69 回年次学術講演会 2014.

桐山大志, 小嶋啓介

福井県内の谷埋め盛土造成地における常時微動特性について, 土木学会第 69 回年次学術講演会 2014 年.

西川隼人, 安井譲, 小嶋啓介, 大堀道広

福井県内の PS-P 時間の評価, 土木学会第 69 回年次学術講演会 2014 年.

安井譲, 西川隼人, 小嶋啓介, 大堀道広
PS-P 時間を付帯条件とした福井平野の深部地盤構造の照査・検討の試み, 土木学会第 69 回年次学術講演会 2014 年.

小嶋啓介, 安井譲, 納村漠

常時微動および重力異常観測に基づく福井平野の深部地盤構造の推定, 土木学会第 68 回年次学術講演会 2013 年.

安井譲, 西川隼人, 小嶋啓介

サイト増幅特性に関する考察 -H/V を同定して地震基盤深さを定めたモデルとの比較-, 土木学会第 68 回年次学術講演会 2013 年.

野寄真徳, 小嶋啓介

高次モードを考慮した空間自己相関係数に基づく S 波速度構造の合理的推定法, 土木学会第 68 回年次学術講演会 2013 年.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔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 工学研究科・教授
研究者番号：40205381

(2) 研究分担者

大堀 道広 (OH-HORI Michihiro)
福井大学附属国際原子力工学研究所・
准教授
研究者番号：50419272

(3) 連携研究者

該当なし ()
研究者番号：