

平成22年6月1日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19310115
 研究課題名（和文） やや長周期地震動評価のための深部地盤構造モデルの
 戦略的構築手法に関する研究
 研究課題名（英文） A study on modeling S-wave velocity structure of deep basin for
 estimation of long-period ground motion
 研究代表者
 山中 浩明（YAMANAKA HIROAKI）
 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授
 研究者番号：00212291

研究成果の概要（和文）：

地震動評価のための深部地盤のS波構造モデルの構築方法について検討を行った。S波主要動部分の波形逆解析方法を新たに提案した。S波主要動だけでなく、表面波成分の位相速度、レシーバー関数、 coda部分の水平上下スペクトル比などとの同時逆解析による深部地盤の信頼性の高いS波速度モデルを構築できることを示した。さらに、地震動の増幅特性や地震波干渉法による表面波群速度も深部地盤モデルの構築に有効であることを明らかにした。これらのモデル構築の妥当性を地震動シミュレーションによって確認した。

研究成果の概要（英文）：

This study investigates modeling of S-wave velocity structure of deep sedimentary layers for prediction of strong ground motion in seismic hazard estimation. We proposed a waveform inversion method to deduce an S-wave velocity profile using S-wave part of earthquake records. We also proposed a joint inversion method of the S-wave part, surface-wave phase velocity, receiver function, and coda H/V spectra to S-wave velocity with high accuracy. It is also effective in modeling S-wave velocity to use amplification factors estimated from earthquake records and group velocity from seismic interferometric processing of long-term continuous microtremor data. We finally validated an S-wave velocity model with comparison between calculated and observed earthquake motion.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：強震動地震学、物理探査工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 自然災害科学

キーワード：地震動、やや長周期、S波速度構造、深部地盤、微動探査、逆解析、地震波干渉法、地震動シミュレーション、

1. 研究開始当初の背景

地震動の評価は、地震災害を軽減するために不可欠であり、そのためには震源と地下構造の高精度なモデルが必要となる。地下構造のモデル化では、対象地域で決定論的に評価することができ、しかも、地下構造の調査・研究の成果の蓄積によって確実にモデルを高精度にすることができる。

関東平野などの主要な地域では、地下構造探査や地震動特性の関係に関する研究が進められている。これらの調査研究では、地下構造探査、地震観測データの分析、地震動シミュレーションの3つの要素があるが、地盤のモデル化では、これらの研究を統合していくことが重要であるが、地下構造のモデル化手法については標準化の検討が遅れており、どのように深部地盤をモデル化するかは、地震動評価において重要な課題であると考えられている。

2. 研究の目的

この研究では、調査研究成果の蓄積が豊富な関東平野を対象として、深部地盤構造探査により、深部地盤構造のモデルを作成し、中小地震による地震動のシミュレーションを行い、モデルの妥当性の検証を行い、強震動予測のための信頼性の高い深部地盤モデルを構築する方法を提案することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 微動探査の実施

S波速度構造のモデル化として実績のある微動探査を関東平野や新潟平野などの地域で実施し、表層および深部地盤モデルを作成する。また、実測を通じて問題点も明らかにする。

(2) 地震記録を用いた地盤モデル推定法開発

地震記録のS波主要動部分から深部地盤のS波速度構造モデルを逆解析方法を開発する。さらに、レシーバー関数、表面波位相速度、コーダ部分のH/Vスペクトルのピーク周期の同時逆解析による地盤モデルの推定法の開発も行う。

(3) 地震波干渉法による表面波の抽出

微動の長期連続観測記録の地震波干渉法処理を行い、2地点間のグリーン関数を求め、その表面波成分の群速度を抽出する。さらに、既存の地盤モデルに基づく理論値と比較し、モデルの妥当性を検証する。

(4) 地震動シミュレーション

上記の方法などに基づいて得られる深部地盤モデルを用いて、中小地震のシミュレー

ションを行い、観測記録と比較することによって地盤モデルの妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1) 微動探査の実施

首都圏でやや長周期地震動評価のための深部地盤構造のモデル化のための基礎的データを収集するために、微動アレイ観測を実施した。これらの観測点は、北関東や房総半島東部の既存の地下構造データが少ない地域にある。アレイ観測記録に対して周波数-波数スペクトル解析を行い、レイリー波の位相速度を求めた。さらに、そのレイリー波の位相速度の逆解析によって地震基盤までの1次元S波速度構造を推定した。その結果を既存のモデル(山中・山田, 2006)と比較し、既存のモデルの差異を述べ、モデル修正を行った。また、周期数秒よりも長周期での位相速度データの欠如によって深い部分のS波速度構造に不確かさが生じることがあることを指摘した。

首都圏以外の地域(柏崎市、鬼頭地域など)でも地震被害を受けたなどの理由によって、微動探査や地震記録の分析に基づいて深部地盤のモデル化を行った。その結果に基づいて、対象地域の地盤増幅特性について議論した。

(2) 地震記録を用いた地盤モデル推定法開発

地震記録のS波主要動部分の数秒間の波形を逆解析することによって深部地盤の1次元S波速度構造モデル推定するよ方法を新たに提案した。数値実験および地下構造が機知な地点で適用した結果、レシーバー関数など同様にS波速度構造モデルの構築に有効であることがわかった。さらに、微動探査によるレイリー波の位相速度、地震記録によるレシーバー関数・コーダ波のH/Vスペクトル比のピーク周期との同時逆解析を行い、より信頼性の高い深部地盤のS波速度構造モデルを推定できることを示した。こうした同時逆解析によって、微動探査において位相速度データが長周期帯域で得られていないために生じる深い部分でのS波速度の不確かさを解消することができ、同時逆解析が深部地盤モデル構築で有益であることがわかった。

また、地震観測記録から得られる短周期の地盤増幅特性の逆解析から表層と深部地盤の両者をつなぐ地盤モデルを推定する方法を提案した。この考え方によってシームレス地盤モデルを作ることができることを示した。

(3) 地震波干渉法による表面波の抽出

首都圏において微動の長期間連続観測を実施し、200 日程度の間で得られた微動の連続データに対して地震波干渉法を適用し、各観測点ペアの間のグリーン関数を求めた。それらから表面波の群速度を推定した。平野中心部で得られた群速度は、既往の地盤モデルに対する理論値で説明できた。しかし、海城や山地などを挟む2観測点間では、既往の地盤モデルでは表面波の分散性状を説明できず、こうした地域での地盤モデルには、修正が必要であることがわかった。これらの結果は、地震波干渉法が地盤モデルの妥当性の検証には有効な方法となりうることを示している。

(4) 地震動シミュレーション

一般に、長周期地震動のシミュレーションでは、表層地盤の存在を無視している。表層地盤が長周期地震動評価に及ぼす影響を数値計算によって検討した。検討では、差分法に基づく並列計算アルゴリズムを用いて、表層地盤も含めた3次元地盤モデルでの波動伝播をシミュレーションした。その結果、表層地盤が数十mと厚い地域では、表層地盤での表面波の影響は周期1~2秒の帯域まで及び、長周期地震動の評価で無視できないことを明らかにした。

上記の(1)で修正した関東平野の地盤モデルを用いて、中小地震による長周期地震動のシミュレーションを行った。既往のモデルに比べて、観測された地震動の継続時間をよりよく再現することができた。

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9件)

- (1) 鈴木晴彦, 山中浩明, 深部地盤のS波速度構造推定のための地震記録と微動探査データの同時逆解析, 物理探査, 印刷中, 査読有
- (2) 山中浩明, 山田伸之, 翠川三郎, 大堀道広, 三浦弘之, 佐間野隆憲, 首都圏における微動アレイ観測による堆積層のS波速度構造の推定, 東京大学地震研究所彙報, 84, 241-249, 2009, 査読有
- (3) 山中浩明, 元木健太郎, レイリー波位相速度とレスナー関数の同時逆解析による新潟県柏崎市の深部地盤のS波速度構造の推定, 物理探査, 62, 237-247, 2009, 査読有
- (4) 鈴木晴彦, 山中浩明, 地震動のS波部分を用いた深部地盤のS波速度構造モデルの推定, 物理探査, 62, 261-275, 2009, 査読有
- (5) 佐藤浩章, 山中浩明, 東 貞成, 佐藤清隆, 芝 良昭, 元木健太郎, 水田敏彦, 長周期地震動評価のための新潟平野および庄内平野における深部S波速度構造の推定, 地震 2, 61-4, 191-205, 2009, 査読有
- (6) 山中浩明, 元木健太郎, 山田伸之, 福元俊一, 山田悦子, 瀬尾和夫, 2007年能登半島地震の余震観測と微動探査による輪島市門前町の地盤震動特性の評価, 物理探査, 61, 385-396, 2008, 査読有
- (7) 山中浩明, 内山知道, 微動探査と地震波干渉法による松本盆地のS波速度構造, 物理探査, 61, 469-482, 2008, 査読有
- (8) H.Yamanaka, K.Motoki, N.Yamada, T. Sugawara, Y. Mabuchi, K. Seo, Observation of ground motions of aftershocks of the 2007 Noto Hanto earthquake in Monzenmachi, the Wajima city for estimation of site amplification, Earth Planets Space, 60, 1063-1067, 2008, 査読有
- (9) 山中浩明, ハイブリッドヒューリスティック探索による位相速度の逆解析, 物理探査, 60, 265-275, 2007, 査読有

[学会発表] (計29件)

- (1) Yamanaka, H., and S. Akeda, Effects of shallow soil layers on propagation of long-period ground motion in large basin in 3D numerical simulation, Proc. of 7th Intern. Conf. on Urban, 163-168, 2010年3月, 東京
- (2) MOTOKI, K., H. YAMANAKA, K.SEO and H. SUZUKI, Evaluation of site effects in the Onikobe basin in Miyagi Prefecture, from ground motion data from aftershocks of the Iwate-Miyagi Nairiku earthquake in 2008 and microtremor Measurements, Proc. of 7th Intern. Conf. on Urban Earthquake Engineering, 131-136, 2010年3月, 東京
- (3) 鈴木晴彦, 山中浩明, 元木健太郎, 福元俊一, 江藤公信, 地震記録と微動探査データを用いた鬼首地域のS波速度構造モデルの推定, 物理探査学会第121回(平成21年度秋季)学術講演会, 2009年11月23日, 名古屋大学
- (4) 地元孝輔, 山中浩明, 諸井孝文, 池浦友則, 瀨瀬一起, 坂上実, 中井正一, 関口徹, 小田義也, 地震波干渉法による南関東における表面波群速度の抽出, 物理探査学会第121回(平成21年度秋季)学術講演会, 2009年11月23日, 名古屋大学
- (5) 山中浩明, 地元孝輔, 諸井孝文, 池浦友則, 瀨瀬一起, 坂上実, 中井正一, 関口徹, 小田義也, 南関東および相模湾の堆積層

- のS波速度構造モデルの検証のための地震波干渉法による表面波群速度の抽出, 日本地震学会 2009 年秋季大会, 2009 年 10 月 23 日, 京都大学
- (6) 山田伸之, 山中浩明, 地震動シミュレーションによる深部地盤構造モデルのやや長周期地震動への影響評価～8 4 年長野県西部地震, 関東平野北西部の場合～, 日本地震学会講演予稿集 2009 年度秋季大会, P2-77, 2009 年 10 月, 京都
- (7) 山中浩明, 大堀道広, 翠川三郎, 地震記録に基づく地盤増幅特性の逆解析による関東平野のシームレス S 波速度構造モデルの推定, 2009 年日本建築学会学術講演会, 2009 年 8 月 26 日, 東北学院大学
- (8) 地元孝輔, 山中浩明, 諸井孝文, 池浦友則, 瀨尾和起, 坂上 実, 中井正一, 関口 徹, 地震波干渉法による関東平野の深部地盤の S 波速度構造探査の試み, 2009 年日本建築学会学術講演会, 2009 年 8 月 26 日, 東北学院大学
- (9) 山中浩明, 明田翔, 大規模な堆積平野の地震動シミュレーションにおける表層地盤の影響, 物理探査学会第 120 回 (平成 21 年度春季) 学術講演会, 2009 年 5 月 27 日, 早稲田大学
- (10) 鈴木晴彦, 山中浩明, 地震記録と微動探査データを用いた同時逆解析, 物理探査学会第 120 回 (平成 21 年度春季) 学術講演会, 2009 年 5 月 27 日, 早稲田大学
- (11) Yamanaka, H., M. Ohori, S. Midorikawa, Estimation of shallow soil models for the Kanto basin, Japan, using site amplifications from spectral inversion of strong motion data, Sixth International Conf. Earthq. Eng., 115-120, 2009 年 3 月 6 日, 東京
- (12) Suzuki, H., H. Yamanaka, Joint inversion of S-wave, receiver function and phase velocity of Rayleigh wave to S-wave profile of deep sedimentary layers, Sixth International Conf. Earthq. Eng., 149-153, 2009 年 3 月 6 日, 東京
- (13) 山田伸之, 山中浩明, 福岡地域の深部地盤 S 波速度構造モデル構築のための博多湾の小地震の地震動シミュレーション, 日本地震学会講演予稿集 2008 年度秋季大会, Y1-204, 2008 年 11 月 24 日, つくば
- (14) Yamanaka, Motoki, H. Suzuki, S. Akeda, S. Fukumoto, K. Eto, Observation of ground motion of aftershocks of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake and microtremors in the Onikobe area, 2008 fall meeting of seismological Society of Japan, 2008 年 11 月 27 日, つくば国際会議場
- (15) 鈴木晴彦, 山中浩明, 地震動の S 波部分を用いた地下構造モデルの推定—他種観測のデータの同時逆解析の試み, 物理探査学会第 119 回学術講演会, 2008 年 10 月 21 日, タワーホール船堀
- (16) 山田伸之, 山中浩明, 関東平野のやや長周期地震動評価用深部地盤モデルの表層部分の取り扱いについて, 日本建築学会学術講演会, 2008 年 9 月 18 日, 広島大学
- (17) 菅原達哉, 山中浩明, 2003 年宮城県北部地震の震源域における余震記録を用いたレスナー関数による地下構造モデルの推定その 2, 日本建築学会学術講演会, 2008 年 9 月 18 日, 広島大学
- (18) 安田祐輔, 水田敏彦, 山中浩明, 元木健太郎, 瀬尾和起, 秋田市における微動アレイ観測による S 波速度構造の検討, 日本建築学会学術講演会, 2008 年 9 月 18 日, 広島大学
- (19) 山中浩明, 内山知道, 微動観測による松本盆地の S 波速度構造探査, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 27 日, 幕張メッセ国際会議場
- (20) 山中浩明, 元木健太郎, レイリー波位相速度とレスナー関数の同時逆解析による柏崎市の深部地盤構造の推定, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 27 日, 幕張メッセ国際会議場
- (21) 山田伸之, 山中浩明, 関東平野北西部の深部地盤モデルの再検討～やや長周期地震動の観測記録とシミュレーション記録の分析から～, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, S225-P003, 2008 年 5 月 28 日, 幕張
- (22) 内山知道, 山中浩明, 微動観測に基づく松本盆地の S 波速度構造探査—地震波干渉法の適用—, 物理探査学会第 118 回学術講演会, 2008 年 5 月 14 日, 早稲田大学
- (23) 山中浩明, 微動と他種観測のデータの同時逆解析の試み, 第 3 回地震防災シンポジウム「微動と地震防災」, 89-96, 2008, 早稲田大学
- (24) 山中浩明, 地盤震動からみた能登半島地震の地震動, 第 35 回地盤震動シンポジウム「頻発する内陸地殻内地震の地震動とその解釈」23-30, 2007, 建築会館
- (25) 内山知道, 山中浩明, 微動アレイ探査による長野県松本盆地の S 波速度構造の推定, 物理探査学会第 117 回学術講演会論文集, 25-28, 2007, 北大
- (26) 鈴木晴彦, 山中浩明, 地震動の S 波部分を用いた地下構造モデルの推定—琵琶湖地域における適用—, 物理探査学会第 117 回学術講演会論文集, 29-31, 2007, 北大

- (27) 山中浩明, 元木健太郎, 菅原達哉, 内山知道, 瀬尾和大, 福元俊一, 山田悦子, 2007 年能登半島地震の被災地域での微動アレイ探査による地盤構造の推定, 物理探査学会第 117 回学術講演会論文集, 41-42, 2007, 北大
- (28) 山中浩明, 新才浩之, 山田伸之, レシーバー関数とレイリー波位相速度の同時逆解析による関東平野南部の深部地盤の S 波速度構造の推定, 日本地震学会 2007 年秋季大会, 2007 年 10 月 25 日, 仙台市
- (29) 山田伸之, 山中浩明, 関東平野における深部地盤モデルの表層 V_s の地域性を考慮した地震動シミュレーション, 日本地震学会講演予稿集 2007 年度 秋季大会, D22-04, 2007 年 10 月 25 日, 仙台市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山中 浩明 (YAMANAKA HIROAKI)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科
・准教授
研究者番号：00212291

(2) 研究分担者

山田 伸之 (YAMADA NOBUYUKI)
福岡教育大学・教育学部・准教授
研究者番号：80334522

元木 健太郎 (MOTOKI KENTARO)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科
・助教
研究者番号：60334520