

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04080

研究課題名(和文) 堆積平野における不整形地盤構造のモデル化精度が強震動予測に及ぼす影響の評価

研究課題名(英文) Study on the modeling accuracy of irregular subsurface structure in sedimentary basins on strong ground motion prediction

研究代表者

上林 宏敏 (Uebayashi, Hirotoishi)

京都大学・複合原子力科学研究所・准教授

研究者番号：30300312

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,670,000円

研究成果の概要(和文)：堆積平野の高精度な強震動予測には、3次元地下構造モデルが必要となる。このモデルの構築に用いる探査手法のうち微動探査手法を対象として、地盤媒質の不整形の度合と観測データの処理に用いる解析パラメータが地下構造モデルの推定精度に及ぼす影響を数値実験に基づいて評価した。解析パラメータの違いは、推定されたS波速度構造のばらつきとして見られた。ところが、全ての構造の推定結果をアンサンブル平均することによって求めたモデルは、不整形の度合が大きい領域を除けば、ターゲットとなる地盤構造モデルに対応する傾向が見られた。

研究成果の概要(英文)：A three-dimensional (3D) subsurface structure model is necessary for highly accurate strong motion prediction in sedimentary basins. For the microtremor exploration methods used to construct the 3D model, the influence of the degree of the laterally irregularity of the subsurface structure and the analysis parameters for processing the observed records on the accuracy of the subsurface structure model was evaluated based on the numerical experiments. Differences of the analysis parameters were appeared as variations in the estimated S-wave velocity structure model. However, the model derived from ensemble averaging all the estimated models showed a tendency to correspond to the target model except for the region with a strong irregularity degree.

研究分野：地震工学

キーワード：微動探査 不整形地盤 位相速度 H/Vスペクトル ベンチマークテスト 強震動予測 大阪堆積盆地モデル

1. 研究開始当初の背景

地震調査研究推進本部（地震本部）による強震動評価や中央防災会議、地方公共団体による各地域の地震被害想定、建築基準整備促進事業による設計用地震動の策定では、地震本部による全国1次地下構造モデルなどの3次元地盤（地下）構造モデルが利用されている。これら地盤構造モデルを用いた観測地震動の再現を鑑みると、堆積層上における観測とシミュレーションの差異が建物応答上、有意な差となるケースが多く見られる。このことは、設計用入力地震動のための強震動評価に用いる地盤構造モデルの改良が必要であることを示している。

地盤構造モデル作成に必要な探査手法のうち、探査のし易さ、コストおよび速度構造推定精度の兼ね合いから、微動探査法も多用されており、モデル化に寄与する割合も高い。これらの探査手法の殆どは水平成層構造の仮定の下に探査地点直下の地盤構造を推定し、その推定結果を空間的に補間することによって不整形地盤（3次元）モデルが設定されることが多い。また、堆積平野の周辺部や平野直下に伏在する断層帯付近の不整形地盤領域においては、推定結果が大きく異なることも示されている。

一方、水平成層構造における微動探査においても、微動データの分析手法や分析上のパラメータ設定の違いによる微動位相速度分散曲線及び速度構造の同定が異なることも指摘されている。さらに、これら同定結果への実体波成分の寄与についての評価については、これまで殆ど行われてこなかった。

2. 研究の目的

水平成層構造に基づく微動探査手法の不整形性の度合いによる地盤構造の推定誤差の評価は重要な課題である。本研究では、不整形な基盤面形状を含むできるだけ現実に近い地盤構造モデルを対象に、微動の波動場を数値実験によって再現し、さらにその波形を観測記録と見なし、水平成層構造に基づく各探査手法による地盤構造の推定結果と、上述の波動場の計算に用いた地盤構造モデル（真の地盤構造）の差について評価を行う。

また、微動データの分析手法や設定パラメータ、及び実体波による微動位相速度分散曲線及び地盤構造推定結果への影響についても評価する。

3. 研究の方法

研究は2つのステップに分けて実施する。ステップ1として、堆積層厚さが異なる二つの水平成層構造を傾斜基盤面で繋いだ単純な不整形地盤モデルに対して生成した模擬微動データを用いて、位相速度分散曲線の分析手法やデータ処理の際に設定される各種パラメータなどの違いによるデータ処理結果（位相速度やHVスペクトル比など）のバラツキ及び水平成層構造仮定による理論値

からのバイアスについて評価し、研究へ参加した各研究者が利用した分析コードや各種設定パラメータの違いによる位相速度算出への有意な影響がないことを確認する。

ステップ2では、上記に基づき、1) 現実的な地盤モデルである大阪堆積盆地モデルに対して生成した模擬微動データを用いて、不整形性の度合いにより分類した各領域の波形データセットを参加者へ配布し、2) 課題参加者はそれら模擬微動データを実観測データと見なし、速度構造推定のための位相速度等の同定を行う。さらに3) 位相速度等のデータを用いて、水平成層構造の仮定に基づく速度構造の推定を行い、位相速度と推定速度構造のデータを幹事側が集約し、参加者間のバラツキ及びバイアスについて評価する。また、速度構造の違いによる増幅特性のバラツキなどを評価し、不整形性の度合いが位相速度や速度構造へ及ぼす影響について調べる。なお、参加者へは対象領域の場所や直下の速度構造と云った情報を告知せず（ブラインドテスト）実施する。

4. 研究成果

(1) 模擬微動波形を用いたアレイ解析と全波動場における位相速度(ステップ1)

離散化波数(DW)法によって算出したFKパワースペクトルを波数平面上において円周積分することによって得られるHankelスペクトルを第一種0次ベッセル関数への重み関数として乗じ、それを波数積分することによって空間自己相関(SPAC)係数を算出し、実体波を含む全波動場に対する等価な（見かけの）位相速度を求めた。全波動場の位相速度分散曲線は、S波共振周波数付近において山なりの明瞭なピークが見られ、既往の表面波理論による同ピークが生じる周波数より低周波数側へシフトすると共に、比較的ブロードなピーク形状となった。傾斜基盤を有するモデル（図1）から、差分法によって求めた模擬微動波形のアレイ解析から算出した位相速度は、上記の全波動場における位相速度分散曲線のピークを良く再現した（図2）。

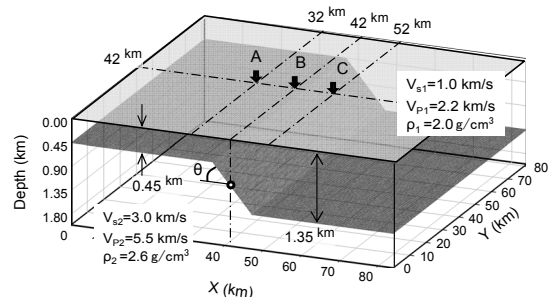


図1 ステップ1のモデル（ θ は傾斜角）

基盤傾斜角の位相速度への影響として、傾斜角が5度のケースでは水平成層モデルとの差異は僅かであった。傾斜角が10度のケースでは水平成層モデルに比べて低周波数域

において、やや遅くなる傾向が見られた。傾斜角が 90 度のケースでは低周波数域において堆積層の厚い領域の高周波数域において、薄い領域のそれぞれの水平成層モデルによる位相速度へ近づくが、中間の周波数において堆積層厚さを変えた何れの水平成層モデルによる位相速度とも異なる結果となった。

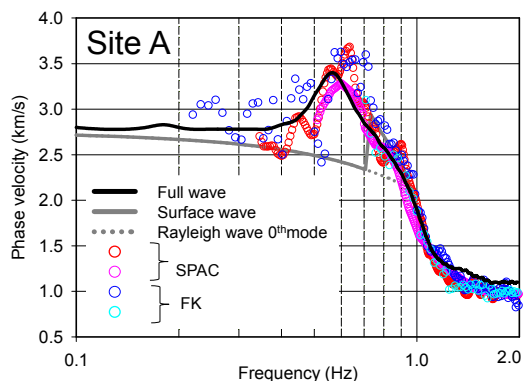


図 2 Site A における位相速度分散曲線

(2) 大阪堆積盆地モデルの模擬微動波形を用いた速度構造推定のベンチマークテストより現実的な地盤構造モデルである大阪堆積盆地 3 次元速度構造モデル (図 3) を用いて、3 次元差分法による模擬微動波形を作成し、不整形性の度合いが異なる 10 サイトを対象に、研究参加者が推定した 1 次元速度構造について考察を行い、さらに同定された位相速度及び H/V スペクトルについての考察を行った。

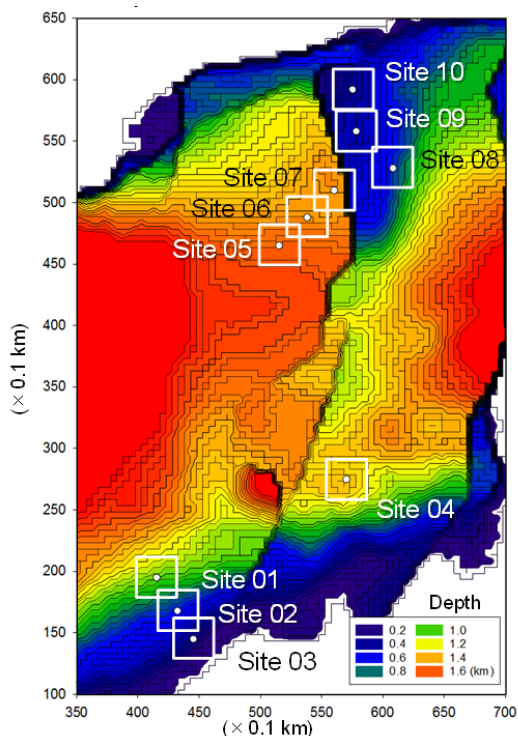


図 3 大阪盆地モデル基盤面深度と評価地点

速度構造推定結果を、位相速度の逆解析のみからと位相速度と H/V スペクトルの結合逆解析による 2 つのグループに分けてターゲ

ットとのバイアスとばらつきについて統計的な分析を行った。その結果、逆解析に H/V スペクトルも用いることで、よりターゲットに近い構造が得られることが分かった (図 4)。一方、不整形の度合いが大きいサイトでは分析グループによる違いは少ないながら、基盤面深度において、ターゲットとは大きく異なる結果となった (図 4)。

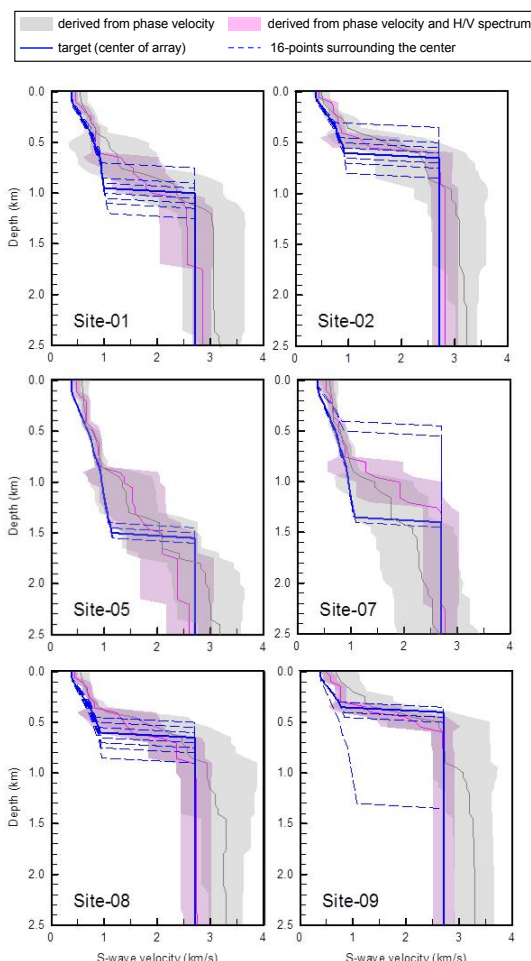


図 4 推定 S 波構造の平均とばらつき評価

推定速度構造へ S 波を鉛直入射させた時の伝達関数から読み取ったピーク周波数の平均と標準偏差をターゲット速度構造から求めた同値と比較した結果、各領域内及びその近傍において基盤面不整形度合いが比較的大きな領域では、両者にやや差が見られるものの、総じて推定モデルから求めたピーク周波数の平均値はターゲットのそれにほぼ対応していた (図 5)。このように、推定速度構造は個々の参加者やケース毎にばらつきがあるものの、それらをアンサンブル平均することにより、不整形性が強い領域を除けば、ターゲットとなる速度構造に収束する傾向が見られ、異なる条件下で数多くのインバージョンを実施し、それらの平均値をとることによって、意味のある結果が得られる可能性があることを示していた。

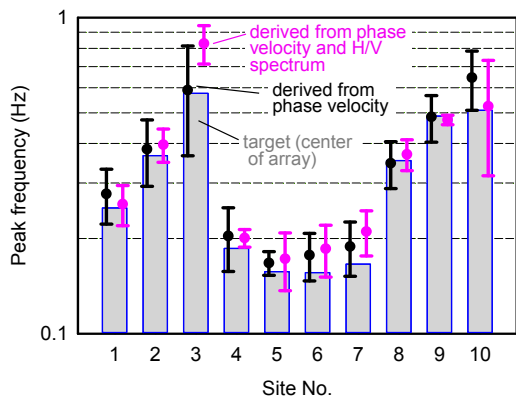


図5 推定速度構造によるS波ピーク周波数の平均とばらつき評価

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3件)

- ① 吉田邦一, 上林宏敏, 微動アレイ記録から求めた回転成分によるラブ波位相速度の推定、物理探査、71巻、15-23、2018、DOI: 10.3124/segj.71.15
- ② Cho Ikuo, Iwata Takaki, Development and numerical tests of a Bayesian approach to inferring shallow velocity structures using microtremor arrays, Exploration Geophysics, 2018, DOI: 10.1071/EG18011
- ③ Ikuo Cho, Atsushi Urabe, Tsutomu Nakazawa, Yoshiki Sato, Kentaro Sakata, Simple assessment of shallow velocity structures with small-scale microtremor arrays: intervalaveraged S-wave velocities, Exploration Geophysics, 2018, DOI: 10.1071/EG18020

[学会発表] (計11件)

- ① 吉田邦一, 上林宏敏, 模擬微動アレイ記録の回転成分から求めた位相速度とその推定可能帯域、物理探査学会、2018
- ② 上林宏敏, 長郁夫, 大堀道広, 新井洋, 永野正行, 模擬微動波形を用いたアレイ解析と全波動場における位相速度、日本地震工学会、2017
- ③ 上林宏敏, 長郁夫, 大堀道広, 永野正行, 新井洋, 微動アレイ解析のベンチマークテスト(その1 全波動場における見かけ位相速度)、日本建築学会、2017
- ④ 長郁夫, 上林宏敏, 大堀道広, 永野正行, 新井洋, 萩原由訓, 野畑有秀, 林田拓己, 横井俊明, 岸俊甫, 関口徹, 小嶋啓介, 凌魁群, 中川博人, 野口竜也, 鈴木晴彦, 高橋広人, 吉田邦一, 微動アレイ解析のベンチマークテスト(その2 SPAC系手法による位相速度)、日本建築学会、

2017

- ⑤ 大堀道広, 上林宏敏, 長郁夫, 永野正行, 新井洋, 早川崇, 岸俊甫, 関口徹, 元木健太郎, 土田琴世, 微動アレイ解析のベンチマークテスト(その3 FK法による位相速度)、日本建築学会、2017
- ⑥ 岸俊甫, 関口徹, 上林宏敏, 長郁夫, 大堀道広, 数値解析に基づくアレイ形状が微動から推定される分散曲線へ与える影響の検討、日本建築学会、2017
- ⑦ 吉田邦一, 上林宏敏, 微動アレイ記録から求めた回転成分によるラブ波位相速度の推定、物理探査学会、2018
- ⑧ 長郁夫, 上林宏敏, 大堀道広, 永野正行, 不整形地盤構造への各種微動探査手法の適用性に関する数値実験(その1 段差・傾斜基盤構造モデルにおけるSPAC/CCA法の適用例)、日本建築学会、2016
- ⑨ 大堀道広, 上林宏敏, 長郁夫, 永野正行, 不整形地盤構造への各種微動探査手法の適用性に関する数値実験(その2 段差・傾斜基盤構造モデルにおけるFK法の適用例)、日本建築学会、2016
- ⑩ 上林宏敏, 大堀道広, 川辺秀憲, 釜江克宏, 岩田知孝, 山田浩二, 宮腰研, 強震動予測のための和歌山平野の3次元地下構造モデル構築(その1 モデル化と微動H/Vスペクトルによるモデルの検証)、日本建築学会、2015
- ⑪ 大堀道広, 上林宏敏, 川辺秀憲, 釜江克宏, 岩田知孝, 山田浩二, 宮腰研, 強震動予測のための和歌山平野の3次元地下構造モデル構築(その2 微動アレイ観測による地下構造モデルの推定)、日本建築学会、2015

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

上林 宏敏 (UEBAYASHI Hirotoshi)
京都大学・複合原子力科学研究所・准教授
研究者番号：30300312

(2)研究分担者

長 郁夫 (CHO Ikuo)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員
研究者番号：10328560

松島 信一 (MATSUSHIMA Sinichi)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：30393565

新井 洋 (ARAI Hiroshi)
国立研究開発法人建築研究所・その他部
局等・研究員
研究者番号：40302947

大堀 道広 (OHORI 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

永野 正行 (NAGANO Masayuki)
東京理科大学・理工学部建築学科・教授
研究者番号：60416865

宮腰 研 (MIYAKOSHI Ken)
一般財団法人地域地盤環境研究所・その
他部局等・その他
研究者番号：80450914

吉田 邦一 (YOSHIDA Kunikazu)
一般財団法人地域地盤環境研究所・その
他部局等・その他
研究者番号：50425732

(4)研究協力者

萩原由訓 (HAGIWARA Yoshinori)
野畑有秀 (NOBATA Arihide)
林田拓己 (HAYASHIDA Takumi)
横井俊明 (YOKOI Toshiaki)
岸 俊甫 (KISHI Shunsuke)
関口 徹 (SEKIGUCHI Toru)
小嶋啓介 (KOJIMA Keisuke)
凌甦群 (LING Suqun)
元木健太郎 (MOTOKI Kentaro)
早川崇 (HAYAKAWA Takashi)
中川博人 (NAKAGAWA Hiroto)
野口竜也 (NOGUCHI Tatsuya)
鈴木晴彦 (SUZUKI Haruhiko)
高橋広人 (TAKAHASHI Hiroto)
土田琴世 (TSUCHIDA Kotoyo)