

7) 国際地震工学センター

7) - 1 堆積平野における長周期地震動伝播特性の評価手法に関する研究【基盤】

Study on Evaluation Methods of Long-period Seismic-wave Propagation in a Sedimentary Basin

(研究期間 平成 25~27 年度)

国際地震工学センター
International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

林田 拓己
HAYASHIDA Takumi

The objective of this research is to investigate applied conditions of seismic interferometry technique with continuous ambient noise data, for validation of existing seismic velocity structure models. The results show quantitative indexes of appropriate observation period and frequency range for the analysis. The accuracy of the existing velocity model is also investigated by comparing the observed and simulated group-velocities of surface waves and its full-waveforms.

【研究目的及び経過】

3 次元的不均質構造を伴う深部地盤（地震基盤面以浅）中における地震動長周期成分の励起・伝播・増幅特性を定量的に把握するためには、対象領域およびその周辺の地震波速度構造のモデル化が必須となる。現在、日本列島では堆積平野を中心に各種物理探査が実施され、詳細な 3 次元地震波速度構造モデルが構築されつつあるが、モデルの基となる情報の空間分布には疎密がある。したがって、探査データの乏しい領域（都市部、港湾域）における 3 次元的不均質な空間精度を検証し、地震波速度構造モデルの信頼性を確保することが地震動予測の高度化に向けた主要な課題である。

近年、2 地点で記録された常時微動の相互相関処理によって堆積盆地内における表面波（長周期地震動の主成分）の伝播特性を検討する研究（地震波干渉法）が地震学・物理探査分野において着目されており、三次元速度構造モデル検証のための有力な手法として適用されている。本研究では、既往の地震観測網で捉えられた長期間の連続微動記録に対して地震波干渉法を適用することで、既往の深部地盤モデルの妥当性を確認するための統合的なデータ処理手法を検討するとともに、同手法の実用的および信頼性についても考察する。

【研究内容】

1) 既往の観測データに基づく解析手法の検討

本課題では、地震基盤面までの深度が数 km 以上におよぶ複数地域における既存の連続微動観測（表 1）を用いることで、地震波干渉法処理における以下の課題を検討した。

- 異なる解析手法による処理結果の差異
- 有意な処理結果を得るために最低限必要な微動の観測期間
- 微動の相互相関関数（以下、観測グリーン関数）から表面波群速度を効率的に推定するための適切かつ効率的な解析手法
- 微動源の不均質性が処理結果の信頼性にもたらす影響
- 解析可能な周波数帯域および波長域

2) 数値計算に基づく既往地下構造モデルの検討

実データを用いた地震波干渉法処理と同時に、既存の地震波速度構造モデルの信頼性を確認するための理論的検討を行った。

- 3 次元的不均質な地盤構造の空間変化を考慮した表面波群速度の導出
- 平行成層構造に基づく観測点間の理論グリーン関数（点加振解）の導出
- 3 次元地盤構造モデルによる理論グリーン関数の導出

なお、本課題で開発した計算プログラムは、今後の国際地震工学研修の個人研修において活用することを念頭に置いている。

表 1 本研究で対象とした地域およびデータ

対象地域	データ提供機関	観測機器	観測期間
中京地域	(国研)防災科研	短周期計	12 ヶ月
新潟県南部	(国研)産総研	長周期計	35 ヶ月
九州北東部	(国研)防災科研	短周期計 広帯域計	12 ヶ月

【研究結果】

1) 既往の観測データに基づく解析手法の検討

各地域において、1 年以上に及ぶ観測記録を用いることで得られた統合的な知見は以下の通りである。

- [1] 有意なレベルで微動（脈動）を観測可能な場合には、6 ヶ月程度の観測で深部地盤構造の検討に資する情報を得ることが可能である（図 1）。したがって、観測地域の微動の特性を適切に把握しておくことが重要である。
- [2] 水平成分の微動を予め Radial、Transverse 成分に座標変換した後に関連処理を行う場合と、南北・東西成分を用いたデータ処理後に座標変換する場合とでは、得られる情報量に差異がない（図 2）。
- [3] 観測グリーン関数には、観測点間を直接伝播する表面波に加え、二次的に励起される波や実体波も明瞭に見られる。上下動方向と Radial 方向成分（Z-R、R-Z）の相互相関関数を用いた処理を適用することで、これらの分離が可能となった。
- [4] 表面波の群速度を安定的に推定することができる波長の上限値は概ね観測点間距離の半分程度である。
- [5] 相互相関関数の正および負の時系列をそれぞれ狭帯域の信号に分解し、共通の波群を抽出することで適切な群速度の推定が可能となる（図 3）。
- [6] クロススペクトルの時空間安定性と空間自己相関（SPAC）法における複素コヒーレンス評価の概念を併用することで、微動の到来方向が解析結果にもたらす影響の推察が可能となる。

また、膨大なデータ量を効率的に処理するため、計算プログラムの最適化および並列処理を行うことで、処理時間を大幅に削減した。

2) 数値計算に基づく既往地下構造モデルの検討

平成 25 年度は、観測グリーン関数から表面波群速度を精度よく抽出することを目指し、簡単なモデル（平行成層地盤）に基づくシミュレーション波形を用いた検討を行った。平成 26 年度には、平行成層地盤近似（モデルの 2 次元近似）が可能な事例を対象に、観測グリーン関数と理論グリーン関数との比較を行った。平成 27 年度には、3 次元地盤構造モデルを用いて理論グリーン関数を得るために、地表面での鉛直加振を考慮することが可能な計算プログラムの構築に着手しているが、バグの除去等、プログラムに改良の余地が残されている。今後、既存のプログラムを用いた同一条件下での数値計算結果との比較を行いながら、プログラムの妥当性の検証を重ねる予定である。

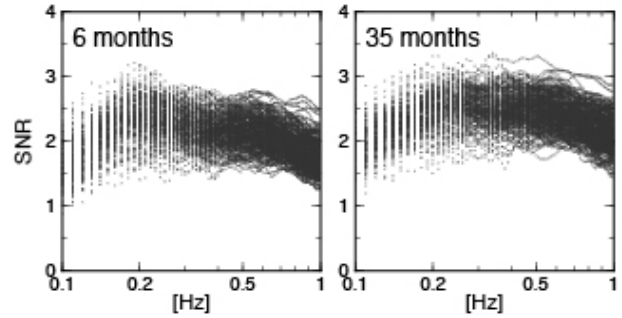


図 1 理論グリーン関数の周波数毎の S/N 比の比較
（6 ヶ月、35 ヶ月のスタッキング処理結果）

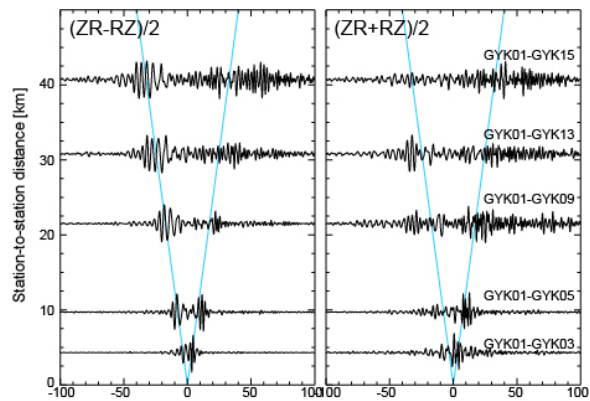


図 2 表面波成分（左）と実体波成分（右）
の分離処理結果の例

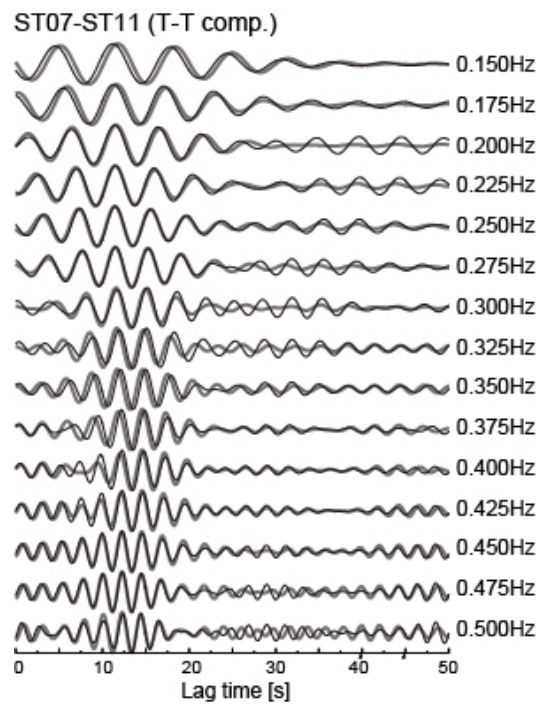


図 3 時間正（赤）負（青）における共通の波群抽出
処理結果の例（観測点間距離：11 km）