強震計で得られた微動連続記録に対する地震波干渉法の適用性の検討

芝浦工業大学大学院　学生員　○渡邉　敬士
元芝浦工業大学　金子　陸
芝浦工業大学　正会員　紺野　克昭

1. はじめに

地震波干渉法によれば，ランダムな波動場における 2 点間の相互相関関数は一方を仮想的な震源に，他方を受信点とした場合の波形（グリーン関数）を表現する．この方法は微動記録にも適用され，深部地下構造の推定にも応用されている[例えば1)]．この目的では周期数秒まで SN 比の高い微動記録が要求されるため，その記録には微動計が使用されている．しかし，微動計は移動観測や機動的観測に用いられことが多く，地震波干渉法に必要な長期間の 2 点固定観測は前者の観測を制限してしまうことになる．そこで，本研究では固定観測された強震計の連続記録に地震波干渉法を適用し，深部地下構造の推定に利用可能な群速度が算出できるかを検討したので報告する．

2. 強震計による長期間連続観測

強震観測点[2)]を**図 1** に示す．2 点とも東京湾の埋立地に位置し，両者間の距離は約 2.8km である．強震計は加速度計（CV-374A）で，いずれも時刻校正は GPS で行っている．サンプリング周波数は 100Hz である．TYS(豊洲)での観測は 2010 年 10 月から，ARK（有明）は 2014 年 3 月から開始している．

3. 豊洲-有明間の深部地下構造

JSHIS[3)]から得られる豊洲-有明間の深部 S 波速度構造は，概ね水平成層構造で，**図 2** に中間地点の S 波速度構造（以下，JSHIS モデルと呼ぶ）を示す．この深部地下構造の妥当性を検討するため，長周期まで SN 比の高い記録が期待されるマグニチュードの大きい地震の地震動 H/V スペクトルと JSHIS モデルから得られる基本モードレイリー波の理論 H/V スペクトルの比較を行う．**表 1** は解析に使用した地震リスト[4)]を示す．**図 3** に豊洲と有明の地震動 H/V スペクトルと理論 H/V スペクトルを示す．豊洲，有明とも H/V スペクトルのピーク周期とトラフ周期は概ね一致していることから，2 点間は概ね水平成層構造とみなすことができ，JSHIS モデルも妥当と考えられる．

4. 相互相関関数の算出

地震波干渉法には 2016 年 1 月 2 日から 2017 年 3 月 31 日（440 日）の上下動の連続記録（記録長 10 分/ファイル）を使用する．各波形はドリフト補正後，周期 0.1～12 秒のバンドパスフィルター処理を施してから結合し，1 時間長の波形とした．なお，地震や突発的な大振幅のノイズの影響を取り除くため，閾値（±0.5gal）を超える振幅については，この閾値を振幅値として置き換えた．相互相関関数 $R_{xy}(\cdot)$ は次式で求める．

$$R_{xy}(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n+m)y(n) \tag{1}$$

ここで，$x(\cdot)$，$y(\cdot)$ はそれぞれ有明，豊洲の波形とし，N はデータ個数を表している．m は遅れ時間に対応し，サンプリング時間を Δt とすれば，遅れ時間は $m\Delta t$ で表される．上式から相互相関関数は，遅れ時間が正の領域では豊洲から有明に伝播する波動場のグリーン関数を，負の領域では有明から豊洲に伝播するグリーン関数を表す．相互相関関数の計算には MATLAB の xcorr 関数を用い，遅れ時間の検討範囲は-163.84～163.84s とした．**図 4** には異なる日数の相互相関係数のアンサンブル平均を示す．日数が多くなると相互相関関数の短周期成分が少なくなってくることが分かる．なお，水平成層地盤であれば，**図 4** は左右対称になることが期待されたが，結果は非対称であった．

5. 群速度の推定

今回は正と負の領域にマルチプルフィルター解析を適用した．**図 5** に負の領域の相互相関関数のマルチプルフィルター解析の結果を示す．同図には 0～10 秒の間の最大ピークのところに●印を，周期間でピーク位置が連続となるように選んだピークには●印を付けている．これらの時間を伝播時間として，2 点間の距離をこの伝播時間で除することによりレイリー波の群速度を算出した．その結果を**図 6** に示す．同図には同様にして求めた正の領域の結果と JSHIS モデルに対する基本モードレイリー波の理論群速度，理論位相速度を示している．負の領域の観測群速度は理論群速度と概ね一致していることが分かる．

6. まとめ

強震計で得られた加速度連続微動記録に対し地震波干渉法を適用した結果，強震計でもレイリー波の群速度をある程度の精度で推定できることが分かった．ただし，正と負の領域で群速度の結果が大きく異なっており，これらが深部地下構造の影響なのか，地震計の SN 比の問題なのかなど，今後明確にしていく必要がある．

参考文献

１）山中・内山：微動探査と地震波干渉法による松本盆地の S 波速度構造の推定，物理探査，2008．２）芝浦工業大学豊洲校舎（免震構造）における地震観測，http://www.eq.db.shibaura-it.ac.jp/Mensin/index.shtml，３）防災科研：JSHIS 地震ハザードステーション，http://www.j-shis.bosai.go.jp/，４）気象庁：震度データベース，http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/

キーワード　地震波干渉法，常時微動，強震計，相互相関関数，深部地下構造，群速度
連絡先　〒135-8548　東京都江東区豊洲 3-7-5　芝浦工業大学土木工学科　konno@sic.shibaura-it.ac.jp

図１ 強震観測点

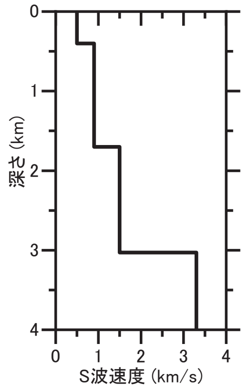

図２ JSHIS モデル

表１ 解析に使用した地震リスト

地震発生日	深さ (km)	震央距離 (km)	M_J	震央地域名	計測震度 豊洲	計測震度 有明
2011/03/11	24	385	9.0	三陸沖	5.13	－
2015/05/30	682	869	8.1	小笠原諸島西方沖	4.07	X
2011/03/11	43	142	7.6	茨城県沖	4.36	－
2016/11/22	25	248	7.4	福島県沖	3.02	2.59
2012/12/07	46	469	7.4	三陸沖	3.57	－
2016/04/16	12	893	7.3	熊本県熊本地方	1.02	0.99
2014/07/12	33	274	7.0	福島県沖	2.42	1.90

－：未設置，X：欠測

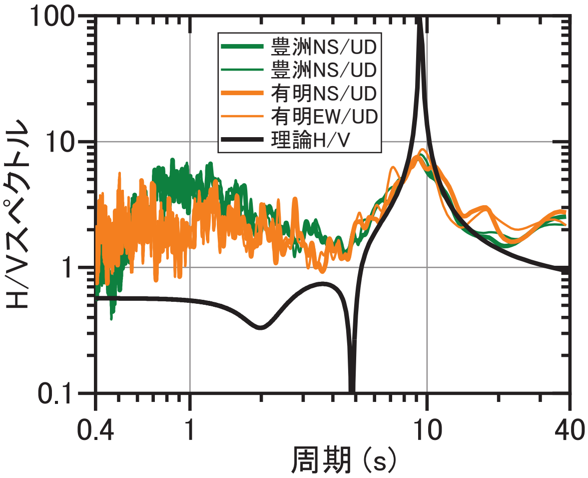

図３ 地震動 H/V スペクトルとレイリー波の理論 H/V スペクトルの比較

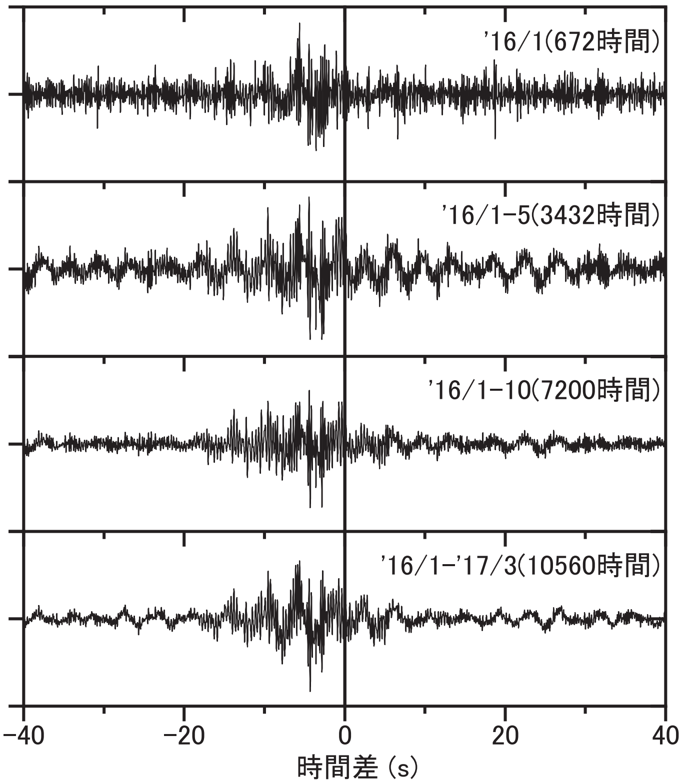

図４ 相互相関関数の日数による変化

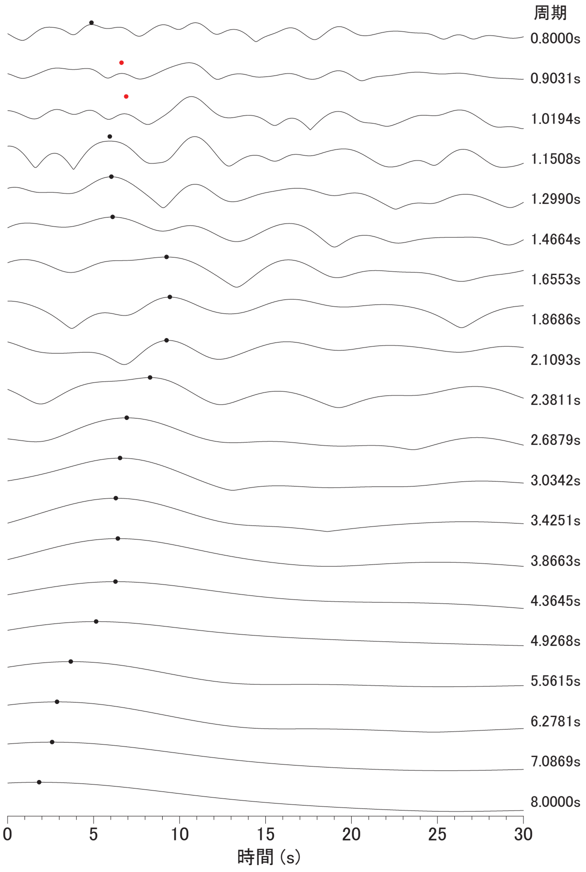

図 5 相互相関関数の負の領域に対するマルチプルフィルター解析の結果

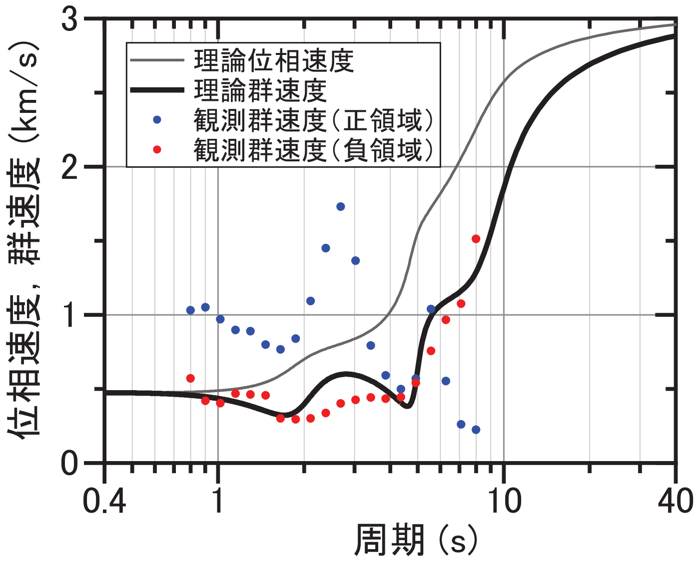

図６ 理論群速度と観測群速度の比較