

実体波成分および表面波成分が表層地盤の震動特性に及ぼす影響

基礎地盤コンサルタンツ株式会社（元日本大学大学院） 正会員 ○田中博孝

日本大学 正会員 仲村成貴，鈴木順一，花田和史

1. はじめに

耐震工学上，工学基盤面より表層部の震動特性を検討することは重要である．地盤を伝播する波動には地表面近傍で卓越する表面波と，実体波が存在する．一般的には地盤震動特性はS波成分の影響が支配的であると考えられ，表面波による地盤震動特性を観測値と比較した検討例は少ない．そこで基盤強震観測網（KiK-net）²⁾の一部の観測点（御調・三原・日野・伯太）と日本大学理工学部船橋校舎地震観測点（船橋）の地盤を対象として，表面波応答解析と実体波応答解析を適用し，地表面挙動との一致程度を検討した．KiK-netの3地点は30m程度で基盤に達する軟質地盤の薄い硬質地盤系であり，船橋は深さ150mを超えてせん断波速度600m/sに達する比較的深い第四紀層を持つ地盤である．

検討ではまず，工学基盤面に対する地表面応答の観測波形の伝達関数を得る．次いで，表面波応答解析では，地表面応答が全てラブ波であると解釈した場合の伝達関数を算定した．また実体波解析では1次元重複反射法を用いた．しかし重複反射法では表現できない伝達関数がしばしば観測されていることが過去に報告されている．特に微小地震時の地表面伝達関数が鋭く立ち上がって実挙動を表現できない場合が多い．そこで，層境界面の凹凸で波動エネルギーが分散することを仮定した1次元散乱解析法¹⁾を用いて解析に使用した．

2. 鉛直アレー記録

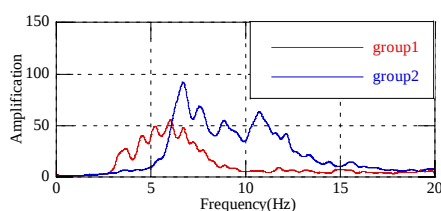
表1 センサー深さと観測地震動

観測点	地中センサー深さ(m)	対象とした地震波の数	発生期間
御調	200	21	1998年1月～2001年12月
三原	205	17	
日野	100	14	
伯太	101	19	
船橋	156	14	1992年5月～1996年12月

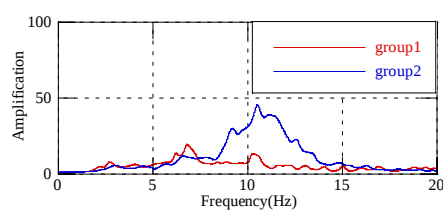
表1に示す期間に各地点で観測された地震波の鉛直アレー記録を対象とした．これらには強地震動から微小地震動まで幅広い事象が含まれている．このため表2に示すように各地点の地表面水平成分(NS)の速度2乗平均値により0.2kineを境として全観測点の記録を地震動レベルの強い事象（group1）と弱い事象（group2）に分類した．対象地点の鉛直アレー記録よりgroupごとの観測伝達関数を推定した．同一レベルの地震波を振動数領域で重ね合わせて平均化した後，バンド幅0.5HzのParzenウィンドウで平滑化した伝達関数を図1に示す．同図により，KiK-netの4地点に関してはどの地盤も地震動レベルによって振動数特性が変化しており，強地震時に非線形挙動を示していることが予想できる．船橋の地盤では非線形性がほとんど見られない．

表2 速度2乗平均値による分類

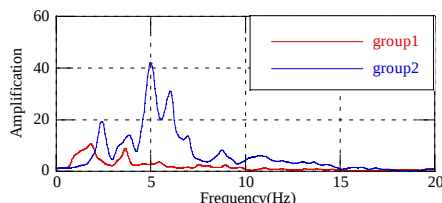
	0.2kine以上の 個数 (group1)	0.2kine未満の 個数 (group2)	速度2乗平均 の最大値 (kine)
御調	3	18	2.80
三原	3	14	2.51
日野	4	10	18.85
伯太	3	16	2.84
船橋	2	12	0.33



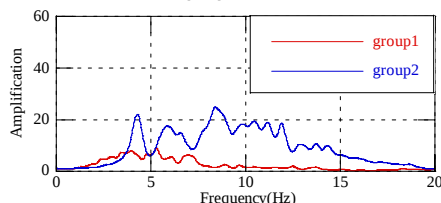
(1) 御調



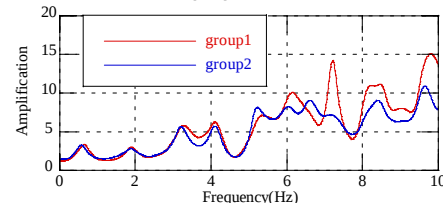
(2) 三原



(3) 日野



(4) 伯太



(5) 船橋

図1 鉛直アレー記録から求まる各観測地点の伝達関数

キーワード 表面波，地盤震動特性，KiK-net，鉛直アレー記録

連絡先 住所 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8

Tel/Fax 03-3259-0689

3. 地震応答解析

散乱解析法¹⁾では、鉛直方向に伝播する実体波のエネルギーが層境界の凹凸によって図2のように分散すると仮定しており、同図の角 φ を変化させることで散乱の程度を調節する。2次元有限要素法による表面波解析法⁴⁾では、側方から伝播してくる表面波を対象とし、FLUSHによる水平成層表面波応答をDeconvolution法で解析した。

KiK-net（御調・三原・日野・伯太）

検討対象とした観測サイトの一つ伯太は、図3に示す速度分布を持つ。ボーリングデータを基に散乱解析法および表面波応答による数値計算を行った結果を、伯太を例に図5(1)に示す。散乱解析法と表面波解析法の両手法は、group2の観測値伝達関数の1次卓越振動数を表現している。また表面波解析法の2次成分は比較的観測伝達関数を表現している。ただし散乱楕円の角度は $\varphi = \pi/500$ radである。

船橋

船橋の地盤は図4に示すPS検層図³⁾より、深部でも $V_s=600$ m/s前後である。土質は深さ約10mまでが粘土層、それ以深は砂層である。図5(2)に散乱解析法と表面波応答による計算結果を併せて示す。ただし散乱楕円の角度は $\varphi = \pi/255$ radである。なお同図の観測平均値（赤線）とは対象とした地震波全てを振動数領域で重ね合わせて平均化した観測伝達関数である。約4Hzまでの低振動数領域に関しては、散乱解析法が観測伝達関数をよく表現している。表面波解析法と観測伝達関数には増幅率・卓越振動数とも一致する箇所は見られないことから、鉛直アレー記録より推定される伝達関数にはあまり表面波が卓越しているとは認められない。

4. おわりに

検討対象とした鉛直アレー記録を地震動レベルによって2種類に分類し、KiK-netで対象とした地盤は地震動レベルによって震動特性が異なることが認められた。地震応答解析の結果は、伯太の表層地盤がgroup2レベルの地震時に表面波の影響を受けていることを示した。船橋のような砂が主体の軟弱地盤では低振動数領域において散乱現象が支配的であると解釈できる。今回行った水平成層地盤に対する表面波解析法および散乱解析法による検討で表現されていない震動特性については、対象地点の2次元・3次元の地下構造や地形の影響、表面波・実体波の混合程度、地盤の非線形性を考慮する必要がある。

〔謝辞〕本研究は、文部科学省学術フロンティア推進事業（日本大学理工学部）研究課題「環境防災都市に関する研究」（総括代表者：石丸辰治）の一環として実施したものである。また、地震記録は防災科学技術研究所のKiK-netを使用した。

参考文献

- 1) JUN-ICH SUZUMURA, MITSUHIRO OZAKI and KAZUFUMI HANADA : ONE DIMENSIONAL SCATTERING MODEL FOR HORIZONTAL SOIL LAYERS, *Proc. of the 11th WCEE*, Paper No.1279,1996
- 2) 防災科学研究所ホームページ：http://www.kik.bosai.go.jp
- 3) 松澤拓郎：地盤の震動特性と鉛直アレー記録，平成14年度日本大学大学院修士論文，2003
- 4) Super FLUSH/Love：地震工学研究所

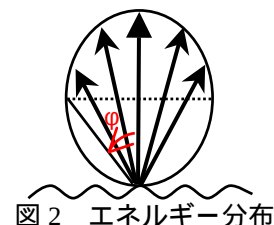


図2 エネルギー分布

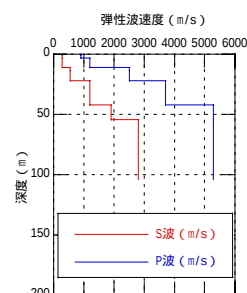


図3 伯太 PS 検層図

（KiK-net より抜粋）

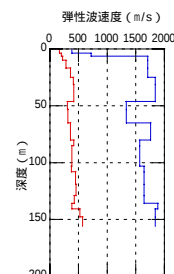
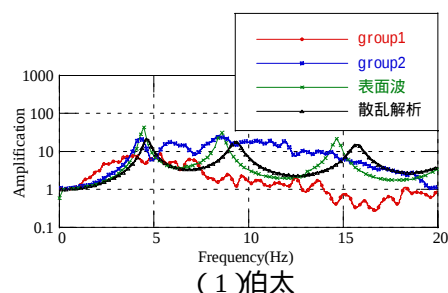
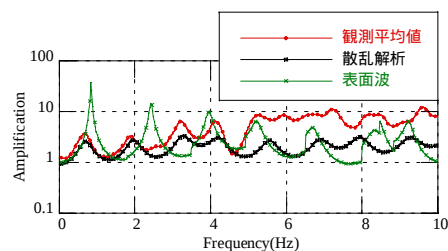


図4 船橋 PS 検層図



(1) 伯太



(2) 船橋

図5 伝達関数の比較