

常時微動観測記録に基づく地盤の固有周波数の推定方法の提案

東電設計 正会員 ○中村 直樹 栗田 哲史 高橋 秀明 田邊 成
東京電力パワーグリッド 中川 貴洋 杉本 剛康

1. はじめに

送電用鉄塔と地盤の共振に対する検討は、設計の基本検討段階で両者の固有周波数が近いと判定された場合に詳細なものを行っている。したがって基本検討段階では、なるべく簡便な調査で地盤の固有周波数を精度よく推定できることが重要である。本研究は、工学的基盤以浅の地質層序、N 値、常時微動観測記録を用いて、地盤の固有周波数を推定することを目的とする。

2. 常時微動観測と既往のデータ

常時微動観測は、常設地震計による鉛直アレイ観測記録または PS 検層のデータがある複数の地点で実施した。鉛直アレイ観測を行っている地点は、弱震動観測記録の地中/地表のフーリエスペクトル比の逆解析より、工学的基盤以浅の V_s 構造（最適地盤モデル）が明らかになっている。本研究でデータを扱う地点は、観測した常時微動の H/V スペクトルに明瞭なピークが確認できた 6 地点とした。対象地点の表層の主な地質と既往のデータの有無を表-1 に示す。

3. 観測 H/V スペクトルと表面波理論の比較

常時微動観測で得られた H/V スペクトルと表面波理論のピーク周波数を比較する。横軸に観測 H/V スペクトルのピーク周波数、縦軸に表面波理論のピーク周波数をプロットしたグラフを図-1 に示す。表面波理論のピーク周波数は、PS 検層と弱震動観測記録から推定した最適地盤モデルの V_s で計算した。傾き 1 の直線付近にプロットが集まっており、観測 H/V スペクトルと表面波理論のピーク周波数が近い値を示している。地点 A の表面波理論のピーク周波数は、PS 検層に比べ最適地盤モデルの V_s を用いたものが観測 H/V スペクトルのピーク周波数によく合っている。弱震動鉛直アレイ観測記録で得た最適地盤モデルは、表面波理論にも整合すると言える。

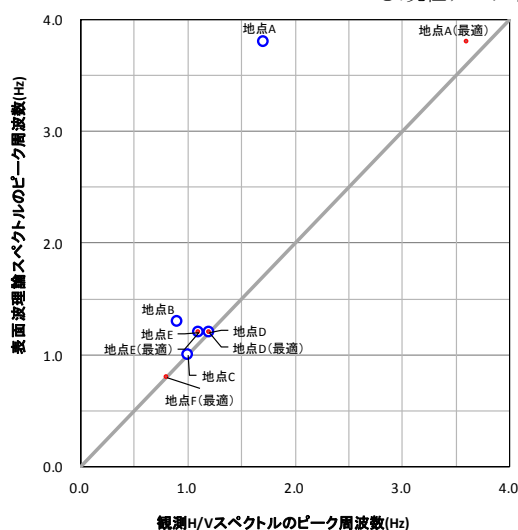
4. 観測 H/V スペクトルと弱震動鉛直アレイ観測記録の比較

鉛直アレイ観測と常時微動観測の両方を行っている地点を対象として、横軸に観測 H/V スペクトルのピーク周波数、縦軸に弱震動鉛直アレイ観測記録のフーリエスペクトル比の 1 次ピーク周波数をプロットしたグラフを図-2 に示す。観測 H/V スペクトルと鉛直アレイ観測のフーリエスペクトル比の 1 次ピーク周波数を比較する。

表-1 常時微動観測地点と既往のデータ

地点	所在地	表層の主な地質	鉛直アレイ	PS 検層
A	神奈川県	ローム	○	○
B	茨城県	粘性土	-	○
C	埼玉県	粘性土	-	○
D	新潟県	粘性土	○	○
E	静岡県	砂礫/粘性土	○	○
F	東京都	砂質土	○	-

○:既往データ有



○ PS検層によるピーク周波数 ● 最適地盤モデルによるピーク周波数

図-1 観測 H/V スペクトルと表面波理論スペクトルのピーク周波数の比較

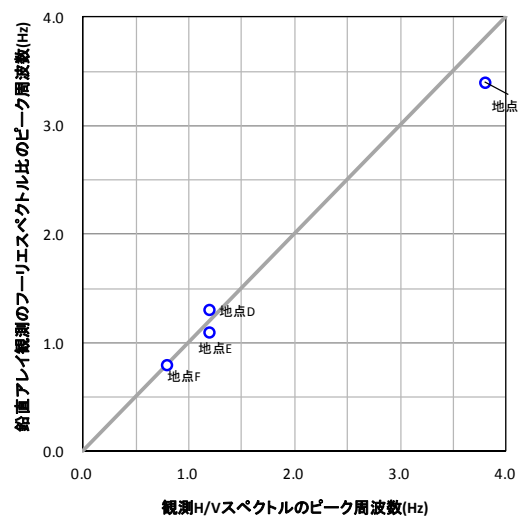


図-2 観測 H/V スペクトルと鉛直アレイフーリエスペクトル比のピーク周波数の比較

キーワード：地盤の固有周波数 常時微動観測 H/V スペクトル 鉛直アレイ観測 フーリエスペクトル比

連絡先 〒108-0023 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計（株）パワーソリューション本部

TEL：03-6372-5449

表-2 地点Cの地盤の固有周波数推定に用いた地盤モデル

層番号	層厚(m)	単位体積重量(t/m ³)	平均N値	Vs(m/s)			
				PS 検層	H/V スペクトルの逆解析 初期値はN値換算		
					初期値	拘束無	拘束有
1	6.80	1.4	0	60.0	50	80.1	96.8
2	2.90	1.4	0	100.0	50	246.5	
3	3.20	1.4	0	90.0	50	147.7	
4	8.70	1.4	0	100.0	50	53.3	
5	4.20	1.4	1	200.0	104	114.7	130.6
6	1.00	1.7	2	180.0	97	108.3	148.9
7	1.20	1.8	22	270.0	216	252.4	258.2
8	5.90	2.0	61	380.0	256	223.7	207.2
9	1.80	1.8	75	310.0	338	337.9	337.9

ク周波数が概ね一致している．2つの観測手法で得られるピーク周波数が近い値を示しており，これらは地盤の固有周波数と考えられる．

5. 地盤の固有周波数の推定とその精度

表面波理論，弱震動鉛直アレイ観測記録との比較から，常時微動観測のH/Vスペクトルのピーク周波数を用いて，地盤の固有周波数を比較的高い精度で推定できることが分かった．ここでは，設計の基本検討段階と同じ手順で，地盤の固有周波数を一次元重複反射理論の伝達関数より推定し，その精度を確認した．対象地点は，共振に対する詳細検討の対象になりやすい表層に軟弱層を有する地点B，CおよびDとした．地点Cの地盤モデルを代表例として，表-2に示す．推定に用いるVsは，PS検層の値，観測H/Vスペクトルの逆解析で得た値とした．ここで，逆解析における層区分は，ボーリング調査結果に基づいて設定した．各層の密度とVsの初期値はN値から換算した．また逆解析は，表層の「第1層～第4層のVsが一定」の拘束条件を与えたケースも実施したため，両方の地盤モデルで固有周波数を推定した．

観測H/Vスペクトルと各地盤モデルの伝達関数の一次ピーク周波数を表-3に示す．両者を比較して地盤の固有周波数の推定精度を確認する．PS検層のVsでは地点Bの精度が劣るが，観測H/Vスペクトルの逆解析によるVsを用いれば高い精度で地盤の固有周波数が推定できる．地点BおよびCの拘束条件無しのように，逆解析したVsを用いても，一次元重複反射理論の伝達関数のピーク周波数が，観測H/Vスペクトルのピーク周波数と一致しない場合がある．この場合には，Vsの分布に多くの自由度を与えず，地質区分を参照して平均的な初期条件とすることが重要と言える．

6. 常時微動観測に基づく地盤の固有周波数の推定方法とまとめ

これまでの検討結果を基に提案する常時微動観測を用いた地盤の固有周波数の推定法を図-3に示す．ボーリング調査で得られる地質層序とN値に基づき地盤モデルを作成し，各層のVsをN値換算により設定する．設定したVsを初期値として常時微動観測記録のH/Vスペクトルの逆解析を行い，Vs構造を推定する．得られたVs構造で一次元重複反射理論の伝達関数を計算し，そのピーク周波数と観測H/Vスペクトルのピーク周波数両者が一致することを確認する．一致しない場合はVs分布に拘束条件を与えるなど地盤モデルを修正し，再度逆解析を行う．このような繰り返し操作を行うことで，常時微動観測のH/Vスペクトルと一致する一次元重複反射理論に適合した地盤の固有周波数を推定できると考えられる．

表-3 観測H/Vスペクトルと各地盤モデルの伝達関数のピーク周波数

地点	観測 H/V スペクトル ピーク 周波数 (Hz)	伝達関数のピーク周波数(Hz)		
		Vsの推定方法		
		PS 検層	H/V スペクトルの 逆解析 初期値は N 値換算	
			拘束無	拘束有
B	1.3	0.9 △	1.0 △	1.4 ○
C	1.0	1.0 ◎	0.7 △	1.0 ◎
D	1.2	1.3 ○	1.2 ◎	---

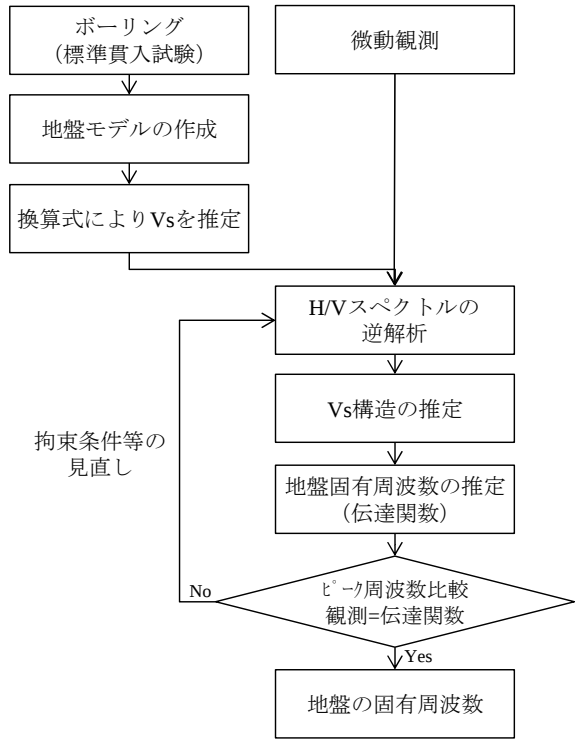


図-3 地盤の固有周波数の推定方法