

地震観測記録から同定した周波数依存型減衰を用いた地盤速度構造の相関距離の推定

東電設計（株）正会員 栗田哲史 正会員 都築富雄 正会員 安中 正
 東京電力（株）正会員 嶋田昌義 正会員 藤谷昌弘

1. はじめに

地盤を伝播する地震波の減衰が周波数に依存していることは知られており、原因として地盤物性の不均質性に起因する散乱現象が考えられている。不均質性の主なものは速度構造の揺らぎであると考えられる。この揺らぎを特徴付ける統計的性質には、分散、自己相関関数の関数型、相関距離等がある。一般に、堆積地盤は水平成層が仮定される様に、水平方向の相関距離の方が鉛直方向の相関距離よりもかなり長いと考えられる。この相関距離を求める場合、水平方向の相関距離は鉛直方向の相関距離のようにボーリングデータ等から直接求めることは非常に困難である。従って、何らかの間接的な方法により推定することが実際的である。著者等¹⁾は、速度構造の揺らぎの異方性に関する検討を行い、周波数依存性を示す散乱減衰のピーク周波数が、地盤の速度構造の揺らぎの水平方向の相関距離に大きく影響されることを数値シミュレーションにより示している。本研究は、この関係を用いて、地震記録から同定した周波数依存型の減衰と一次散乱理論との比較から、東京湾沿いの4地点における速度構造の揺らぎの統計的性質を推定するものである。

2. S波速度の揺らぎと散乱減衰

S波速度の揺らぎに起因する散乱減衰の値は一次散乱理論によって表すことができる。Frankel and Clayton²⁾は、一次散乱理論に基づく散乱減衰を表す Q^{-1} 値を次式のように示している。

$$Q^{-1}(k) = 2k^2 \left(\frac{\delta c}{c} \right)^2 \int_{\theta_{min}}^{\pi} P[2k \sin(\theta/2)] d\theta \quad (1)$$

ここで、 k は波数、 $\delta c/c$ は媒質の速度の揺らぎの変動係数、 $P[\cdot]$ は媒質の自己相関係数を2次元Fourier変換した関数である。また、 θ_{min} は等方散乱している散乱波のうち減衰に寄与する波の波線方向からの角度の最小値を表している。また、地盤の鉛直アレイ観測記録から周波数依存型の減衰を同定³⁾するとき、次式のようなべき乗型のモデルを考えた。

$$Q^{-1}(f) = \alpha \cdot f^{-\beta} \quad (2)$$

ここで、 f は周波数、 α 、 β が同定パラメータである。式(1)と式(2)の比較から対象地点の速度構造の統計的性質を推定する。但し、式(1)は等方な不均質場における理論式であるが、文献1)の検討より散乱減衰のピーク周波数が水平方向の相関距離によって決定されることから、ここではピーク周波数の比較のみから相関距離を推定している。

3. 各地点の速度構造の統計的性質

本研究で対象とした地点は東京湾沿いの4地点で、全ての地点で鉛直アレイが組まれており、地震データが観測されている。減衰モデルの同定には、ひずみレベルの小さい最大加速度10gal~30gal程度の弱震動記録の平均スペクトル比を用いた。図-1~図-4に各地点の同定結果と一次散乱理論による散乱減衰との比較を示す。各図の外枠上に示した関数型の自己相関関数の一次散乱理論との比較を行っている。各々の自己相関関数の関数型は、同定結果の勾配に最も良く一致するものを選んでいく。このフィッティングにより各地点の揺らぎの自己相関関数の型が推定できる。また、図-5は自己相関関数がvon Karman型 ($\nu=0.2$) の時の一次散乱理論に基づく減衰について、横軸を無次元化した周波数 ka (波数×相関距離)で表現したものである。ここで減衰がピークとなるのは $ka=1.2\sim 2.5$ の範囲である。これと一般に言われている減衰の周波数依存性のピーク周波数が1Hz程度であるということから、O地点の水平方向の相関距離は77m~161mと推定できる。以下、同様に求めた結果を表-1に示す。各地点毎に相関の性質がかなり異なることが分る。また、水平方向の相関距離も地点毎にばらつきは見られるが40m~160m程度である。

4. おわりに

地震記録から同定した周波数依存型の減衰と一次散乱理論との比較から、東京湾沿いの4地点における速度構造の揺らぎの統計的性質を推定した。各地点毎に揺らぎの性質がかなり異なることが分った。また、推定された水平方向の相関距離は、対象地点が堆積地盤であることから妥当な範囲内の値であると考えられる。

参考文献

- 1) 藤谷 他:速度構造に異方性揺らぎを有する地盤中の地震波の散乱減衰, 土木学会第49回年次学術講演会, 第1部門, pp.1398~1399, 1994.
- 2) Frankel and Clayton:Finite Difference Simulations of Seismic Scattering, JGR, pp.6465~6489, 1986.
- 3) 安中 他:鉛直アレイ記録を用いた地盤の動的物性のバイズの推定, 土木学会第49回年次学術講演会, 第1部門, pp.1358~1359, 1994.

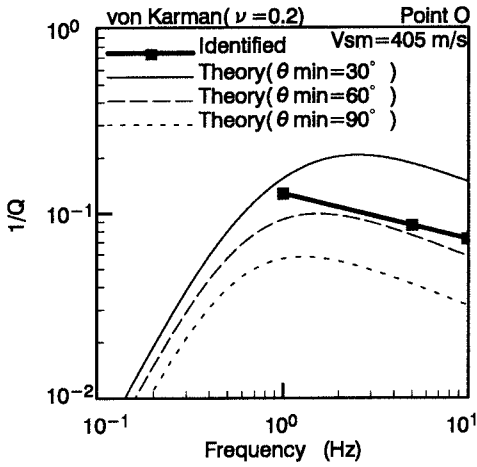


図-1 一次散乱理論と同定結果の比較 (O地点)

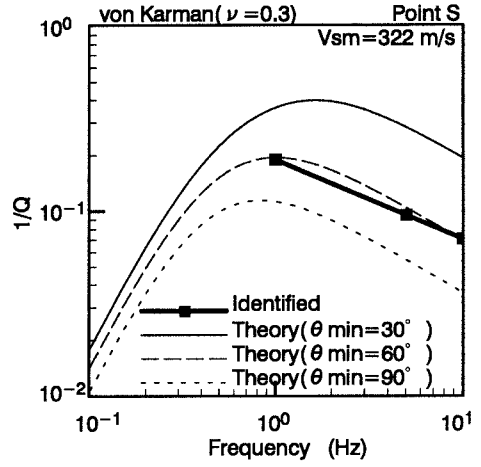


図-3 一次散乱理論と同定結果の比較 (S地点)

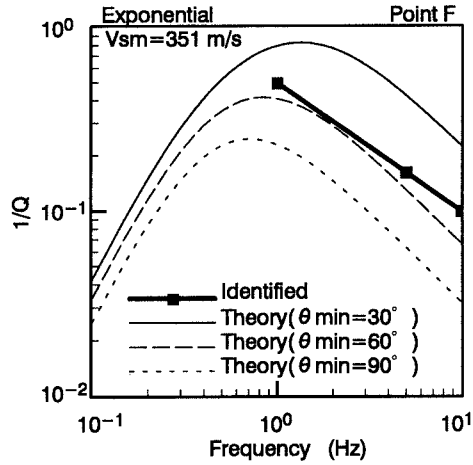


図-2 一次散乱理論と同定結果の比較 (F地点)

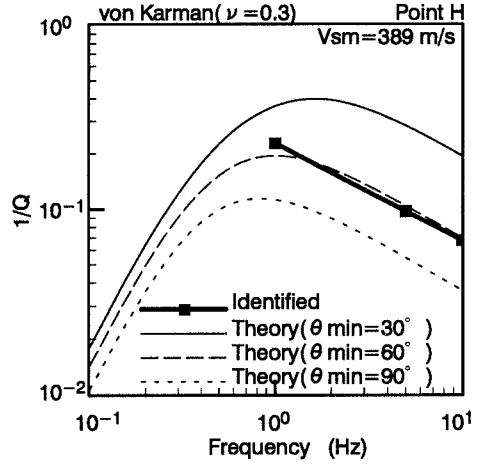


図-4 一次散乱理論と同定結果の比較 (H地点)

但し、Vsm : 平均Vs

表-1 速度構造の水平方向の統計的性質

地点	自己相関関数の関数型	水平方向の相関距離 (m)
O	von Karman($\nu=0.2$)	77~161
F	Exponential	39~84
S	von Karman($\nu=0.3$)	51~102
H	von Karman($\nu=0.3$)	62~124

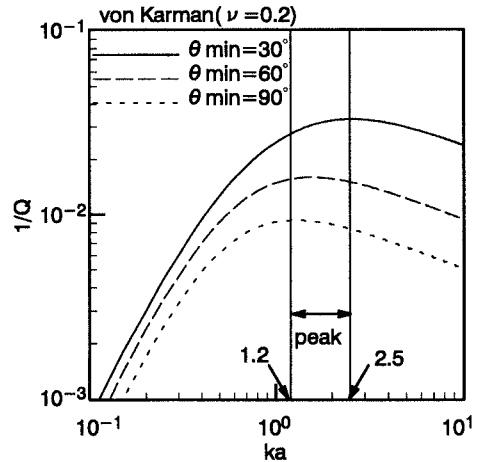


図-5 von Karman型 ($\nu=0.2$) 地盤の散乱減衰のピーク