

I-701

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

東京電力（株）正会員 藤谷昌弘 正会員 嶋田昌義 望月直也
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

1. はじめに

地震工学上、表層地盤の震動特性を支配するパラメータとして速度構造と共に重要な要素が減衰特性である。鉛直アレイ観測の充実により、表層地盤でのQ値の周波数依存性の存在が観測記録より指摘されている[武村 他(1992)]。Q値の周波数依存性は地盤の不均質性に起因すると言われている[佐藤(1991)]。Sato and Kawase(1992)は表層地盤の不均質性を速度構造の揺らぎで表現し、不均質地盤の散乱減衰の性質を数値実験により検討している。本研究はSato and Kawaseの研究を追試的に行い、解析結果の再現性を確認すると共に、速度構造の持つ揺らぎの相関が鉛直方向と水平方向で異なる場合についての解析を行い、揺らぎの異方性の散乱減衰に与える影響を検討するものである。

2. 地盤震動シミュレーションと減衰の評価方法

解析は図-1に示す二次元有限要素モデルを用いて行った。各要素に平均値回りにばらつかせたせん断剛性を与えて、基盤面よりRicker waveletの平面SV波を入射して地盤震動解析を行い、各深度での変位応答を出力した。速度構造の揺らぎはYamazaki and Shinozuka(1988)の提案する三角級数法を用いて作成した。揺らぎの統計的性質を決定付ける自己相関関数は次式に示すGauss型のものを用いた。

$$R(\xi_x, \xi_y) = \sigma^2 \exp \left\{ -\left(\frac{\xi_x}{a_x} \right)^2 - \left(\frac{\xi_y}{a_y} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

ここで、 ξ_x, ξ_y は2点間の距離、 σ^2 は揺らぎの分散、 a_x, a_y は相関距離を表している。解析の諸元を表-1に示す。ここで、質量とポアソン比は全地盤で均一とした。

表-1 不均質地盤の諸元

単位体積重量 (t/m ³)	1.8
平均P波速度 (m/s)	1000.0
平均S波速度 (m/s)	200.0
Vp/Vs	一定
自己相関関数	Gauss型
揺らぎの変動係数	0.2
内部減衰	0

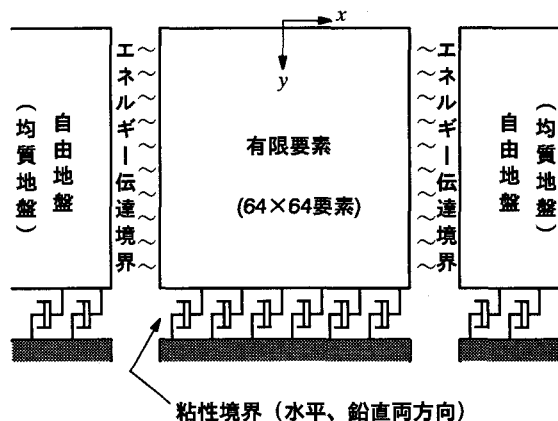


図-1 解析モデル

散乱減衰 (1/Qs) は、入射した波動が伝播距離に対して減衰していく比率から、次式の関係を用いて重み付き最小二乗法により求めた。

$$\frac{A(y)}{A_0(y)} = \exp \left[-\frac{2\pi f_c y}{2V_{sm} Q_s(f_c)} \right] \quad (2)$$

ここで、

- $A(y)$: 直達波の最大振幅 (不均質場)
- $A_0(y)$: 直達波の最大振幅 (均質場)
- V_{sm} : 不均質場の平均S波速度
- f_c : 入射波のピーク周波数

式(2)からある周波数に対応する減衰が求められる為、入射波のピーク周波数を低周波数から高周波数まで変化させれば、各周波数毎の減衰が求められる。

3. 揺らぎの異方性が散乱減衰に与える影響

揺らぎの異方性の度合は水平方向の相関距離を鉛直方向の相関距離の1.5倍と2倍の2ケースを行った。また、比較の為に水平方向と鉛直方向の相関距離が等方の場合についても2ケースを行った。図-2に水平方向の相関距離 $a_x=4m$ 鉛直方向の相関距離 $a_y=2m$ としたときのS波速度の分布を示す。入射波のピーク周波数は3Hz～32Hzまでの間で、散乱減衰のピーク値が確認できる値を適宜選択した。図-3は図-2の速度構造にピーク周波数12HzのRicker waveletを入射させたときの地盤深度に対する直達波の振幅比の減衰の様子を示している。ここで、●印は同一深度での平均振幅比、エラーバーは平均値±標準偏差を各々表している。また、実線は最小二乗法で求められた1/Qsを式(2)に代入した回帰線である。

図-3に示した操作を各ピーク周波数の入射波に対して行い、求めた散乱減衰を図-4に示す。まず最初に鉛直方向の相関距離を固定して、水平方向の相関距離の影響について考えてみる。○印で示した等方媒質で相関距離 $2m$ の結果と▲印で示した異方性媒質の相関距離 $a_x=3m$ 、 $a_y=2m$ の結果を比較すると、異方性媒質の方が減衰のピークの位置が低周波数側にある。また、■印で示した相関距離 $a_x=4m$ 、 $a_y=2m$ の異方性媒質の結果は、更に低周波数側にピークの位置が移動している。水平方向の相関距離が2倍になるとピーク周波数の位置はほぼ1/2となる線形関係が見られる。このように、水平方向の相関距離の散乱減衰に及ぼす感度は非常に大きい。

次に、水平方向の相関距離を固定して、鉛直方向の相関距離の影響を調べる。▽印で示した相関距離 $4m$ の等方媒質と、■印で示した相関距離 $a_x=4m$ 、 $a_y=2m$ の異方性媒質を比較すると、減衰のピークの位置は変わらず、減衰の値が異方性媒質の方が小さい値となっている。ピーク値で比較すると約20%の減少となっている。水平方向に比べると鉛直方向の相関距離が散乱減衰に及ぼす影響はやや小さいと言える。

また、▲印で示した異方性媒質の相関距離 $a_x=3m$ 、 $a_y=2m$ の結果と■印で示した相関距離 $a_x=4m$ 、 $a_y=2m$ の異方性媒質の比較をすると、両者のピークにおける減衰の値はほぼ同じである。

以上のことから、散乱減衰のピークの位置は水平方向の相関距離によって決まる。異方性媒質の減衰はピークの等しい等方媒質の減衰に比べて値が小さくなる。しかし、散乱減衰の大きさは、異方性の度合にさほど影響を受けないことが分った。ここで得られた結果から考えて、水平方向の揺らぎの評価は重要であり、揺らぎを深さ方向のみ考慮した次元問題では、周波数依存性が充分評価できない可能性が有ると思われる。

4. おわりに

地盤の速度構造の揺らぎの相関距離が異方性を示す場合の散乱減衰の性質に及ぼす影響を検討した。数値解析の結果から、水平方向の相関距離の方が鉛直方向の相関距離よりも散乱減衰の性質に与える影響が大きく、水平方向の相関距離の大きさによって散乱減衰のピークとなる周波数がほぼ決定されることが分った。

参考文献

- 1) 佐藤：地震，第2輯，第44巻，pp.85-97，1991。
- 2) Sato and Kawase：International Symposium the Effects of Surface Geology on Seismic Motion，pp.257-262，1992。
- 3) 武村 他：日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.459-460，1992年8月。

4) Yamazaki and Shinozuka：Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.114, No.7, pp.1183-1197, July, 1988.

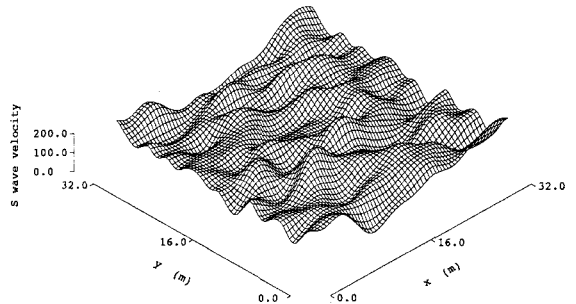


図-2 S波速度の分布

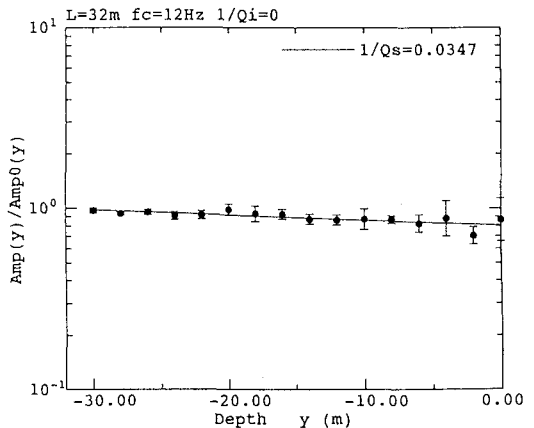


図-3 地盤深度に対する直達波の最大振幅比

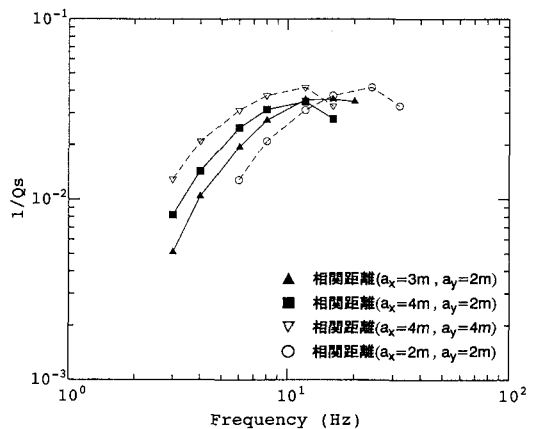


図-4 異方性媒質の $1/Q_s$