Evaluation of characteristics of spatial variation at adjacent points based on 3-D ground motion simulation and coherence model

*Ryoichi Tokumitsu[1], Yu Yamamoto[1], Yasuo Uchiyama[1], Susumu Ohno[2]

1. Taisei Corporation, 2. Tohoku Univ.

1. はじめに

地震動は離間距離が数m～数十mとごく隣接する地点間においても、表層地盤の不均質性に伴い、位相や振幅に空間的な変動が見られる。本検討では3次元不均質地盤モデルを用いた地震動シミュレーションにより、隣接地点間における地震動のコヒーレンス特性を分析する。また、散乱を考慮した波動方程式に基づき隣接地点間における地震動のコヒーレンスモデルを構築し、地震動シミュレーションにより計算されるコヒーレンスとの整合性を検証する。

2. 不均質地盤モデルと入力地震動

3次元不均質地盤モデルの形状を図1に示す。モデルのサイズは水平2方向を300mとし、深さ方向は40～200mの範囲において40m単位で変化させた。またモデルのメッシュサイズは1m×1mとした。平均S波速度は300m/sとし、ばらつきのパターンがガウス型の自己相関関数に従うように変動させた。

地盤の不均質パターンは2ケース作成した。いずれのケースも水平方向の相関距離を30mとし、鉛直方向の相関距離はケース1を6m、ケース2を15mとした。また変動係数はいずれのケースも15%とした。本検討では初期乱数を変化させることにより、各ケースに対し5種類の地盤モデルを作成した。なお地盤の内部減衰は考慮していない。ケース1の地盤モデルの例を図2に示す。

入力地震動はy方向のみに振幅を持つ加振時間0.02秒の三角型関数の変位波形を地盤モデルの底面より鉛直方向に平面波入射した。応答波は図1に太線で示すとおり、モデル地表の中央部でx、y方向ともに100mの線上において1.0m間隔で抽出し、全抽出点間のコヒーレンスの平均を評価対象とした。なお、応答波の抽出時間はモデル底面より入力を開始してから約2.5秒間とした。

3. コヒーレンスモデルとシミュレーション結果との比較

不均質地盤を伝播する地震動の波動方程式より、Ishimaru(1978) [1)] を参考に、隣接地点間における地震動の相関関数（コヒーレンス）の評価モデルを構築した。また3次元不均質モデルを用いた地震動シミュレーションより計算した隣接地点間における地震動のコヒーレンスとの比較により、評価モデルの適用性について検証する。

不均質媒質中を鉛直方向（z方向）に波動が伝播するとき、不均質媒質中の(ρ,z)（ρは水平方向のベクトル）における波動場$u(\rho,z)$の波動方程式は、伝播速度の変動分を$n_1(\rho,z)$とすると、（1）式となる。

$$(\partial^2 u(\rho,z))/(\partial z^2)+k^2[1+n_1(\rho,z)]^2 u(\rho,z)=0 \quad (1)$$

ここでkは波数である。隣接地点間の地震動のコヒーレンスは（1）式を展開し、（2）式のとおり表現できる[1)]。

$$\mathrm{Coh}(|\rho|,z)=\exp\{-k^2 z[\int B_n(0,z-z')dz'-\int B_n(|\rho|,z-z')dz']\} \quad (2)$$

ここで$|\rho|$は水平方向の離間距離、$B_n(0,z-z')$および$B_n(|\rho|,z-z')$は$(0,z-z')$間および$(|\rho|,z-z')$間での$n_1(\rho,z)$の相関関数で、ガウス型とする。

地震動シミュレーションにおけるケース１、２の不均質パラメータを対象に、（2）式にてコヒーレンスを評価し、地震動シミュレーションにより計算したコヒーレンスの結果を比較する。（2）式により離間距離5m～50mにおいて5mごとにコヒーレンスを評価した結果および地震動シミュレーションにより計算されたコヒーレンスを図3に示す。

ケース1は（2）式と地震動シミュレーションによる結果がおおむね対応している。一方、ケース2では、地盤深さが深くなるほど、地震動シミュレーションによる結果の方が（2）式による評価に比べ、かなり大きくなる。

水平方向と鉛直方向の相関距離の比は地震波の散乱角に影響し、散乱角が大きくなると想定されるケース2では、散乱波がコヒーレンスの上昇に寄与する成分も多くなると予想される。ケース2において、（2）式により

© The Seismological Society of Japan

コヒーレンスが過小評価されるのは、（2）式がz方向の1次元波動方程式に基づき構築されているため、コヒーレンスに含まれる散乱波の影響が反映されていないためと推測される。

４． まとめ

隣接地点間における地震動のコヒーレンスモデルを構築し、不均質地盤モデルを用いた地震動シミュレーションに基づくコヒーレンスと比較した。コヒーレンスモデルは地震動シミュレーション結果より計算されるコヒーレンスとほぼ同様の傾向を示したが、鉛直方向の相関距離が大きい不均質地盤モデルでは、地震動シミュレーション結果に比べ過小評価する傾向が見られた。

【参考文献】1）Ishimaru, A.: Wave propagation and scattering in random media, Academic Press, New York, 1978

© The Seismological Society of Japan

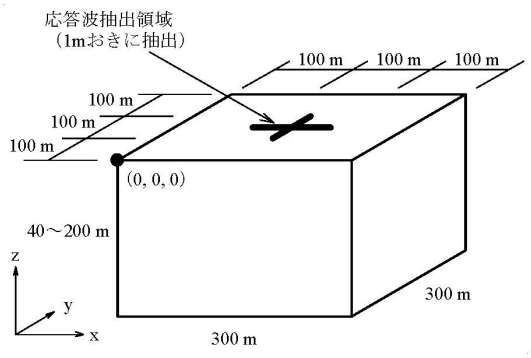


図 1　3 次元地盤モデルの形状

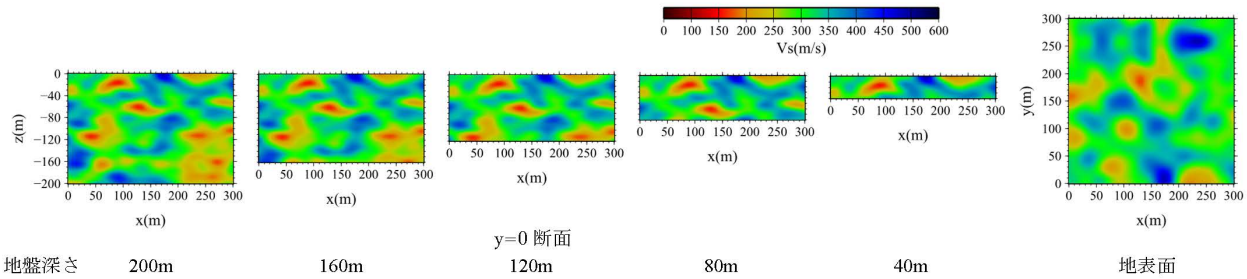
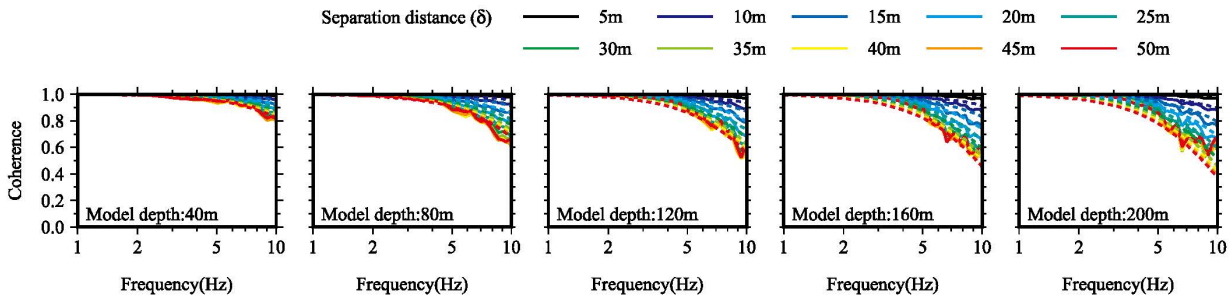
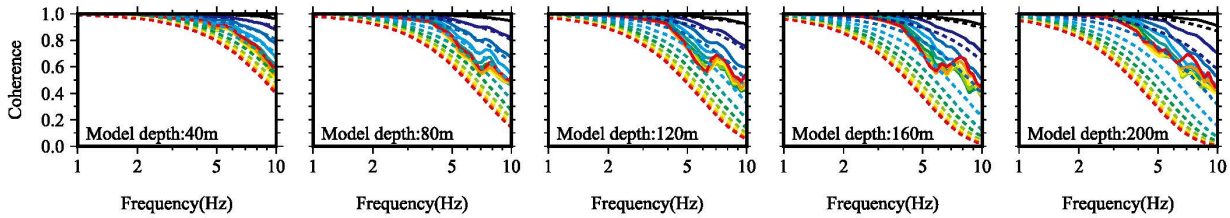


図 2　不均質地盤モデルの例（ケース 1）



(a)　ケース 1



(b)　ケース 2

図 3　隣接地点間の地震動のコヒーレンス　地震動シミュレーションと評価モデルとの比較
（実線：地震動シミュレーション　点線：コヒーレンスモデル）

© The Seismological Society of Japan