

高周波数におけるS波輻射パターンの崩れに対する地形の影響

Effect of complex surface topography on the distortion of the apparent S-wave radiation pattern

武村 俊介^{1*}, 古村 孝志², 前田 拓人²

TAKEMURA, Shunsuke^{1*}, FURUMURA, Takashi², MAEDA, Takuto²

¹ 東大地震研, ² 東大情報学環総合防災情報研究センター

¹ERI, the Univ. Tokyo, ²CIDIR, the Univ. Tokyo

はじめに

均質な地下構造において横ずれ型の震源から輻射された地震動の最大振幅分布(以下、見かけの輻射パターン)は、断層の走行方向とそれに直交する方向に大きい四象限型の分布となる。しかし、不均質な地下構造を伝播した1 Hz以上の高周波数地震動の見かけの輻射パターンは方位によらず等方的な分布となることが報告されている(e.g. Liu and Helmberger, 1985; Takemura et al., 2009)。Takemura et al.(2009)は高密度・大量の観測記録の解析から、この輻射パターンの崩れは伝播経路中に含まれる短波長の速度ゆらぎによる地震波散乱が主たる原因であることを明らかにした。さらに、地下構造中に統計的に合成した速度ゆらぎを考慮した地震動シミュレーションと観測記録の比較により、西南日本の上部地殻における速度ゆらぎ構造の推定を行った。その結果、見かけの輻射パターンの崩れを説明するには相関距離 $a = 3-5$ km、ゆらぎの強さ $e = 0.07$ の指数関数型の媒質が最適であることが明らかとなった。

その一方で、複雑な地表地形に伴う散乱波の影響が大きいことも指摘されている(Kumagai et al., 2011)。そこで、本研究では数値シミュレーションに基づき、地形散乱の影響および速度ゆらぎによる影響を速度ゆらぎによる影響と区別して評価した。

3次元差分法による地震動シミュレーション

128 km × 128 km × 64 km の計算領域を、水平方向に0.1 km、鉛直方向に0.05 kmの格子間隔で離散化し、空間4次・時間2次精度のスタッガード格子による並列差分法を用いて計算を行った。複雑な地形による散乱波を高精度に評価するため、固体/気体境界(自由表面)に対して適切な境界条件を適応した(e.g. Okamoto and Takenaka, 2005; Maeda and Furumura, 2011)。地表面形状については国土地理院のデータを利用し、中国・四国地方の一部を切り出してモデル化した。媒質の速度ゆらぎによる地震波散乱の影響も考慮するために指数関数型のランダムな速度ゆらぎ(相関距離 $a = 5$ km、ゆらぎの強さ $e = 0.05$)を仮定した。

媒質の中央、深さ5 kmの地点に横ずれ型の震源を仮定した。(a)複雑地形モデル、(b)速度ゆらぎモデル、(c)速度ゆらぎおよび複雑地形の3つのモデルについてシミュレーションを行い、得られた波形から2-4 Hzにおける二乗振幅の最大値を計算し、その空間パターンを見かけの輻射パターンとしてモデルごとの変化を調べた。

シミュレーション結果

複雑地形モデルを用いた計算結果は、地形によるS波振幅の局所的な増幅・減衰の効果は見られるものの、四象限型の見かけの輻射パターンは保持される。また、崩れ方も各地点近傍の地形に依存しており、震央距離によらないことが明らかとなった。それに対して速度ゆらぎモデルを用いた計算結果は、伝播に伴い前方散乱・回折の効果が蓄積し、震央距離30 kmより遠くにおいては見かけの輻射パターンが四象限型から大きく崩れるようになる。このように、地形と媒質内部不均質構造では、見かけの輻射パターンの崩れの程度や距離依存性が異なることがわかった。また、速度ゆらぎと複雑地形の双方を含んだより現実に近いモデルでは2つの不均質構造の効果が合わさり、崩れはさらに大きくなる。

見かけのS波輻射パターンの四象限型からの崩れを定量的に評価するために、半無限均質媒質で計算された見かけの輻射パターンを基準として二乗振幅の残差の総和を計算した。複雑地形モデルでは二乗振幅残差の総和が2016であったのが、速度ゆらぎモデルでは6324と大きい。速度ゆらぎと複雑地形を両方仮定したモデルでは7042とそれぞれ単独の場合に比べて11%大きくなった。Takemura et al. (2009)では速度ゆらぎのみを仮定した数値シミュレーションと観測記録の比較により西南日本における不均質の強さを推定した。しかし、その際に地形による寄与を考慮に入れていないため、速度不均質構造の推定が過大評価となっている可能性がある。速度ゆらぎ構造の推定に地形の影響を考慮することで、より精緻な地球内部不均質構造の推定が可能になると期待される。

謝辞

海洋研究開発機構の地球シミュレータを使わせていただきました。記して感謝いたします

キーワード: 地震波動伝播, 地震波散乱, 短波長不均質, 表層地形, 数値シミュレーション

Keywords: Seismic wave propagation, Seismic wave scattering, Small-scale heterogeneity, topography, numerical simulation