

不均質な地殻中における見掛け P 波及び S 波輻射特性 -3 次元地震動シミュレーションによる検討-

#小林学¹・武村俊介²・吉本和生¹(¹横浜市大, ²東大地震研)

Apparent *P*- and *S*-wave radiation pattern in the heterogeneous crust revealed by 3D numerical simulations of seismic wave propagation

#M. Kobayashi¹, S. Takemura² and K. Yoshimoto¹ (¹Yokohama City Univ., ²ERI, Univ. Tokyo)

1. はじめに

小・中規模の近地地震の P 波及び S 波の振幅の方位角分布（見掛け輻射特性）は、周波数・距離の増大とともにダブルカップル点震源モデルから予測される 4 象限型の振幅分布（基準輻射特性）から崩れることが報告されている（例えば, Takemura et al., 2009; Kobayashi et al., 2015）. 小林・他(2015, JpGU)による解析データをもとに、観測された見掛け輻射特性と予測輻射特性（CMT 解からの理論予測）の相関係数の規格化震源距離（震源距離 $L \times$ 波数 k ）変化を図 1 (a) に示す. 見掛け輻射特性は、相関係数が 1 に近ければ 4 象限型を保持しており、0 の場合は等方的となる. 相関係数の減少傾向に P 波と S 波の差はなく、規格化震源距離 500 以下では 0.73 から 0.26 へ単調に減少する. このような特徴から、見掛け輻射特性の崩れには伝播経路中に含まれる短波長速度不均質性が影響していると考えられる.

本研究では、この観測現象についての理解を深めるため、3 次元差分法による地震動伝播シミュレーションを実施し、不均質媒質中における見掛け輻射特性と地震波動伝播特性との関連および不均質媒質による地震波の減衰を調べた.

2. 3 次元地震動伝播シミュレーション：手法とモデル

Kobayashi et al. (2015) に基づき、3 次元不均質媒質における地震動シミュレーションを行った. $200 \times 200 \times 120 \text{ km}^3$ の領域を 0.1 km 間隔で離散化し、空間 4 次精度・時間 2 次精度の Staggered 格子差分法を用いた. 計算領域の中央の深さ 10 km に横ずれ型のダブルカップル点震源を配置した. 中国地方の上部地殻における地震波伝播を模擬するため、P 波速度 6.0 km/s, S 波速度 3.5 km/s, 密度 2.6 g/cm^3 の半無限均質媒質に、指数関数型の自己相関関数で特徴づけられるランダムな短波長速度不均質性（相関距離 1 km, ゆらぎの強さ 0.03）を重畳させた. 計算領域、媒質の平均地震波速度及び格子サイズの制約から 4 Hz, 震源距離 90 km までの計算波形を用いて解析を行った.

3. 不均質媒質中における見掛け輻射特性

シミュレーションから得られた見掛け輻射特性と基準輻射特性の相関係数の規格化震源距離変化を図 1 (b) に示す. 観測結果に含まれる震源過程の複雑さや震源近傍の局所的な不均質性の影響の除去するため、シミュレーションにより得られた相関係数は規格化震源距離 43.2 (P 波 : 0.5-1 Hz, 震源距離 55 km) の観測波形から得られた相関係数の値 (図 1 (a)) と一致するように調整した (Kobayashi et al., 2015). シミュレーションから得られた相関係数の減少傾向は P 波と S 波でほぼ同様で、規格化震源距離の増大に対して単調に 0.72 から 0.28 へ減少し、観測で得られた特徴をよく再現している. 以上の比較から、Kobayashi et al. (2015) で推定された短波長速度不均質構造により、中

国地方で観測された P 波及び S 波の見掛け輻射特性の周波数・距離変化の特徴をほぼ再現することができた。

上記のモデルを用いた地震動シミュレーションで得られた 2-4 Hz における P 波及び S 波の最大振幅分布を図 1cd に示す。ノード方向においても大きな振幅が観測されるなど、見掛け輻射特性が 4 象限型から崩れていることがわかる。

4. 地殻内の P 波及び S 波減衰構造

観測された最大振幅の距離減衰率の解析から、地殻内の見掛け P 波及び S 波減衰 (Q_P^{-1} , Q_S^{-1}) を求めた。また、先の地震動シミュレーションにより得られた最大振幅の距離減衰率より P 波及び S 波の散乱減衰 ($^{scat}Q_P^{-1}$, $^{scat}Q_S^{-1}$) を求めた。それらの結果を用いて、観測地震動より得られた見掛け P 波及び S 波減衰に含まれる内部減衰 ($^{int}Q_P^{-1}$, $^{int}Q_S^{-1}$) の分離を試みた。図 2 に見掛け減衰、散乱減衰及び内部減衰の周波数変化を示す。散乱減衰は周波数に依らずほぼ一定であり、見掛け減衰に比べ十分に小さい。以上の結果より、中国地方の地殻内における見掛け P 波及び S 波減衰には内部減衰が支配的に寄与しているものと推察される。

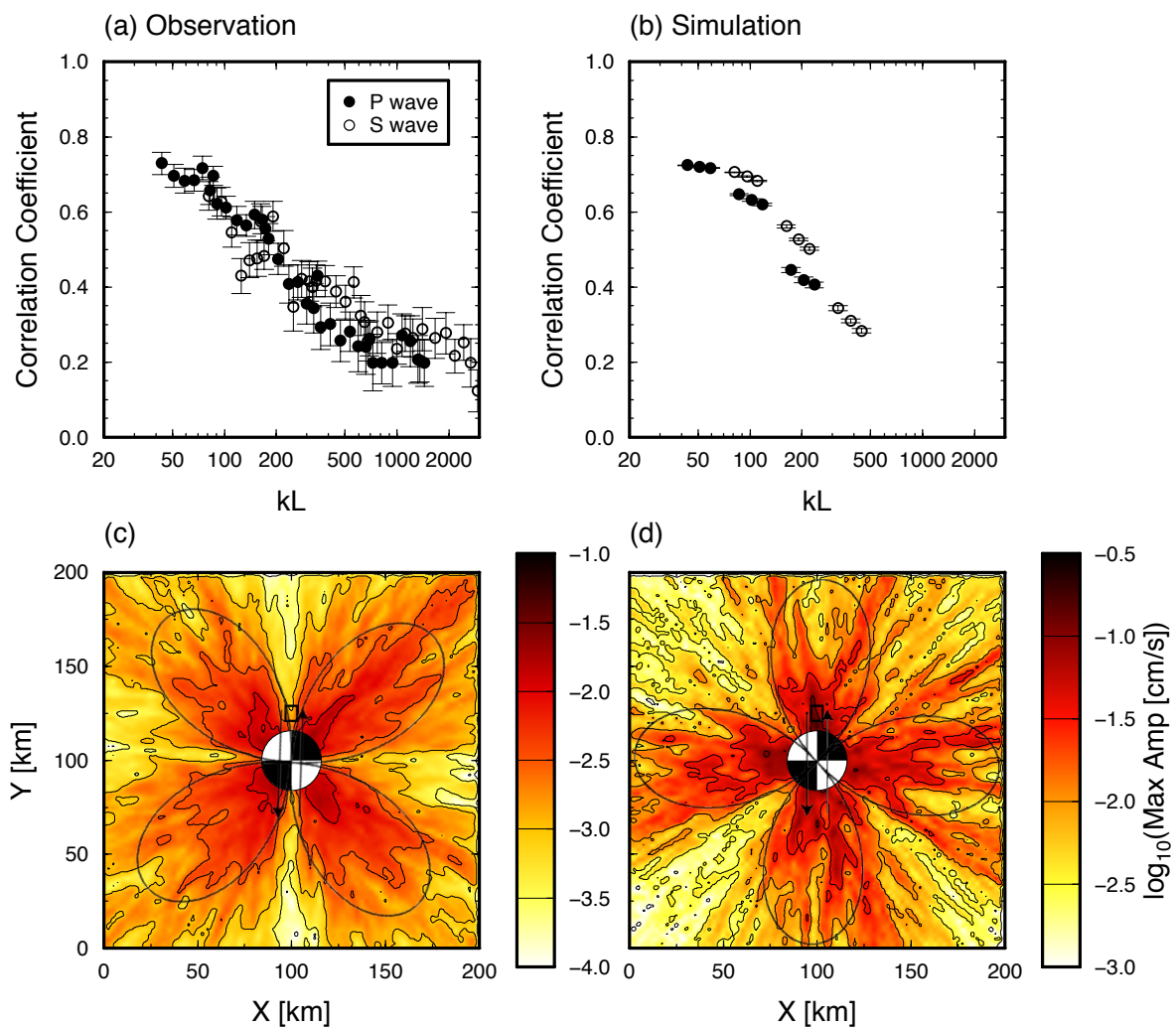


図 1. 見掛け輻射特性と予測輻射特性の相関係数の規格化震源距離変化と P 波及び S 波最大振幅分布。(a) 観

測地震動から得られた相関係数の規格化震源距離変化, (b) Kobayashi et al. (2015) に基づく地震波動伝播シミュレーションによる相関係数の規格化震源距離変化, (c) 2-4 Hz の P 波最大振幅分布及び (d) 2-4 Hz の S 波最大振幅分布. 図 ab の黒と白の丸印はそれぞれ P 波及び S 波の相関係数を示す. 相関係数の推定誤差はブートストラップ法により求めた (Efron and Tibshirani, 1986).

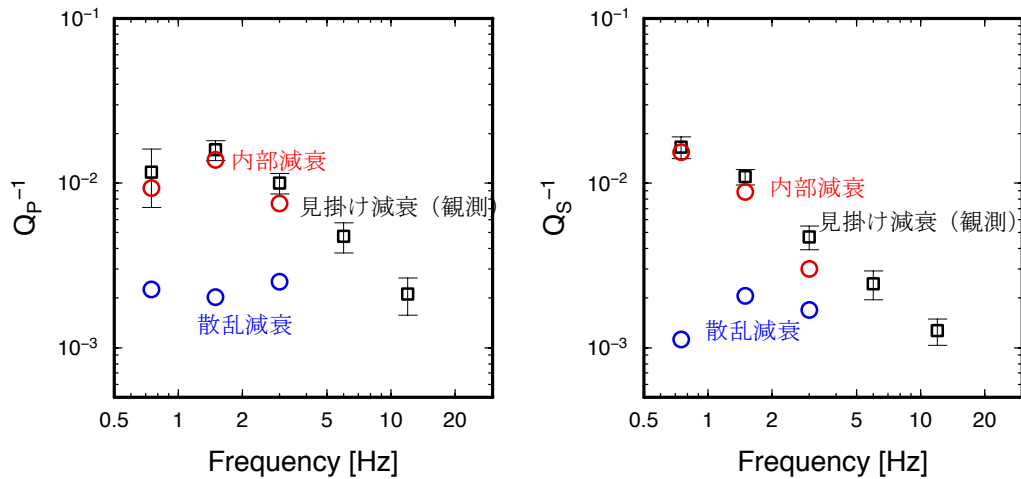


図 2. (a) P 波及び (b) S 波減衰の周波数変化. 黒四角は観測地震動の最大振幅の距離減衰から推定した見掛け減衰, 青丸はシミュレーション結果より推定した散乱減衰, 赤丸は見掛け減衰と散乱減衰から推定した内部減衰.

謝辞

本研究では防災科学技術研究所 (NIED) の高感度地震観測網 Hi-net, 広帯域地震観測網 F-net の波形記録, F-net の CMT 解及び気象庁の一元化震源を使用しました. 地震動伝播シミュレーションには東京大学地震研究所の計算機システムを利用しました. 記して感謝いたします.