

地殻・マンツルの不均質性と高周波数P波の伝播特性

Characteristics of the high-frequency P-wave propagation thorough the heterogeneous crust and upper mantle

武村 俊介^{1*}, 古村 孝志²

Shunsuke Takemura^{1*}, Takashi Furumura²

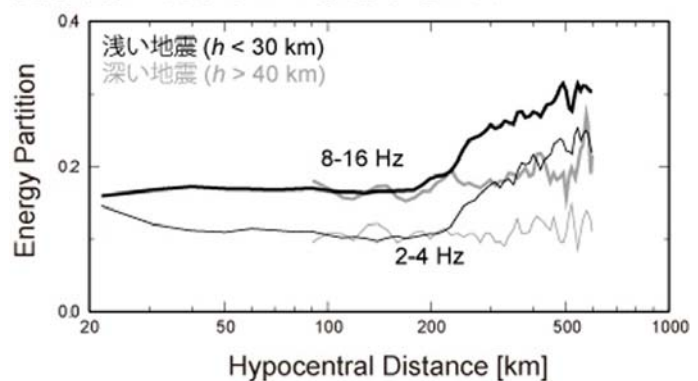
¹東大地震研, ²東大情報学環総合防災情報研究センター

¹ERI, the University of Tokyo, ²CIDIR, the University of Tokyo

はじめに

不均質な地殻・マンツルを伝播する高周波数 ($f > 1$ Hz) の地震波は、数km程度の小さなスケールの不均質 (短波長不均質) 構造による散乱の影響を強く受ける。たとえば、低周波数ではVerticalおよびRadial成分のみ見られるP波振幅が、高周波数ではTransverse (T) 成分にも観測されるようになり、伝播経路中の不均質構造との関連が報告されている [e.g. Nishimura et al., 2002; Kubanza et al., 2007]。本研究では、日本全国で発生した地震について、T成分におけるP波振幅の周波数および震源距離変化を調べることにより、地殻・マンツルの不均質構造モデル構築を行う。

震源距離に対するEPの移動平均の図



データ・解析手法

日本全国で発生した、震源の深さが30km以浅、 $M_{\text{JMA}} 2-5.3$ の地震時に得られたHi-net速度記録を用いた。観測波形にバンドパスフィルター(1-2 Hz, 2-4 Hz, 4-8 Hz, 8-16Hz, 16-32 Hz)をかけ、Hilbert変換を用いて各成分のエンベロープを作成する。合成したエンベロープより、P波初動1秒前から3秒間の間のT成分の平均エネルギーを3成分の平均エネルギーの和で割ったものとしてEnergy Partition (EP) を計算する。それぞれの周波数帯に対してEPを計算し、震源距離の関数としてプロットし、周波数および距離変化を調べた。以上の解析を、310の浅発地震53220の波形データと、比較のために14の深い ($h > 40$ km) 地震3957の波形データに対して行った。

解析結果

53220の波形解析より得られたEPの震源距離変化を調べた。各々のEPは大きなばらつきをもつため、震源距離毎に移動平均をとったものを図示する。震源距離50-150 kmでは、EPは距離に関係なく一定の値をとり、周波数が高いほど大きい。低周波数 (2-4 Hz : 図中実線) ではEP = 0.08と小さな値であるのに対して、高周波数 (8-16 Hz : 図中太線) ではEP = 0.2と大きくなる。震源距離 $D = 150$ kmをこえると、EPは周波数だけでなく距離に対しても変化するようになる。例えば、高周波数 (8-16 Hz) では $D > 300$ kmにおいてEPが0.2から0.33へ距離の増加に伴い漸近し、P波のエネルギーが3成分へ等分配されるようになる。

また、震源の深さが40 km以深の地震についても同様の解析を行ったところ、高周波数ほどEPは大きくなることは同じであったが、距離には依らず一定の値を持つことが分かった（灰色線）。浅い ($h < 30\text{km}$) 地震においてEPが震源距離 $D = 150\text{ km}$ を境に変化した原因は、地殻内を伝わる直達P波と、地殻・マントルを伝わるPn相の伝播経路の違いが関係していることが示唆される。また、高周波数ほどEPが高いことより、地殻・マントル内の短波長不均質構造による地震波散乱の影響も示唆される。

3次元不均質中での地震動シミュレーション

EPの周波数・距離変化の再現および不均質構造モデル構築のため、3次元不均質媒質を用いた差分法による地震動シミュレーションを行った。409.6 km×102.4 km×64.0 kmの計算領域を、水平方向0.1 km、鉛直方向0.05 kmの格子間隔で離散化し、水平方向へ空間16次・鉛直方向へ空間4次精度のスタッガード格子並列差分法[Furumura and Chen, 2004]を用いて計算を行った。短波長不均質構造は、媒質の平均速度 V_0 からのゆらぎ $g(x)$ を用いて表現する。ゆらぎ g の性質は変動の空間スケールを表す相関距離 a とゆらぎの強度を表す e によって、統計的に規定される。

IASP 91の速度構造[Kennett and Engdahl, 1991]へ地殻内に $a = 5\text{ km}$, $e = 0.07$ 、マントルに $a = 10\text{ km}$, $e = 0.04$ の指数関数型のランダム不均質を与え、浅い地震のシミュレーションを行った。その結果、IASPを用いたモデルにおいてEPの周波数および距離変化の特徴を定性的に再現することができた。よって、EPの周波数変化の原因は地震波散乱によるものであり、距離変化特性は直達P波とPn相の伝播特性の違いによるものであることが明らかとなった。しかし、観測されたEPにくらべ計算結果より得られたものは値が小さい。この不一致を解消するためには、地形散乱の効果や水平成層ではない速度構造を考える必要がある。

謝辞

防災科学技術研究所のHi-netの観測データ及び気象庁の1元化震源を使わせていただきました。また、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: 実体波, 地震波散乱, 地震波回折, 地殻, 上部マントル, コンピュータシミュレーション

Keywords: body wave, seismic wave scattering, seismic wave diffraction, crust, upper mantle, computer simulation