

低周波コーダエンベロープにおける Rayleigh 波散乱波の卓越条件

Criterion for the dominance of scattered Rayleigh waves in coda envelopes at low frequencies

前田 拓人 [1]; 佐藤 春夫 [1]; 西村 太志 [1]
Takuto Maeda[1]; Haruo Sato[1]; Takeshi Nishimura[1]

[1] 東北大・理・地球物理
[1] Geophysics, Science, Tohoku University

(1) はじめに

広帯域地震観測点の稠密化に伴い、より広い周波数帯での解析を行うための高精度のデータの蓄積が進んでいる。また、コーダ波エンベロープの情報を利用した地殻の不均質構造の推定が行われるようになり、異なる領域で推定された解析結果の比較も行われるようになってきた。ところが、近地地震のコーダ波理論モデルの対象は主に 1Hz 以上の高周波であり、0.1Hz から 1 Hz までの周波数帯はコーダ波解析の空白帯域となっている。これは、この周波数帯のコーダ波には表面波が存在することが過去の研究から示唆されていたものの、それを地下の不均質構造と結びつける定量的なモデルは確立されていなかったと考えられる。2005 年の地震学会では、もっとも単純な構造である半無限弾性媒質とそれに重畳したランダムな不均質を考え、Rayleigh 波を含めた変換散乱の素過程を Born 近似に基づいて統一的に記述し、ダブルカップル型震源から輻射される地震波の 3 成分波形エンベロープの理論的導出を行った。そこで、今回は、その結果をもとに、Rayleigh 波散乱波のコーダ波への寄与についての定量的検討を行った。

(2) Born 近似に基づく 1 次散乱エンベロープモデル

まず、エンベロープモデルを簡単に説明する。サイズ L の領域に局在したランダム不均質構造を考え、そこに平面波が入射した際に生ずる散乱波を Born 近似で表す。まず、ランダム不均質構造は等方的な自己相関関数で特徴づけられるとし、不均質構造のサイズ L はランダム不均質構造の特徴的スケールと地震波の波長よりも大きいものとする。ここで、入射波、散乱波をそれぞれ均質媒質中の実体波およびレイリー波の和で表現し、実体波の入射波を等価体積力項に持つ表面波、表面波の入射波を等価体積力項に持つ実体波、という形式で変換散乱を記述する。この Born 近似に基づく散乱波の表現をもとに、不均質構造への入射波とそこからの散乱波のエネルギー流束密度の収支からランダム不均質構造中の散乱強度の指標である散乱係数を求める。全空間が一様にランダムな媒質を考え、媒質を上記のような大きさ L の無数のブロックに分割する。各ブロックから到来する散乱波が互いに非干渉的であると仮定すると、1 次散乱して観測点に到達するエネルギー密度を、散乱を起こす不均質領域について総和をとることで MS エンベロープを合成する。なお、震源からは、ダブルカップル型の輻射特性をもとに地震波が励起される。また、実体波および Rayleigh 波の輻射、地表での実体波の反射を考慮し、計 17 モードの散乱波からなるエンベロープを計算する。

このモデルを用いて、平均 P 波速度 7km/s、P 波/S 波の速度比 1.73、密度 2.7g/cm^3 の背景媒質に、相関距離 2km、ゆらぎの大きさの RMS 値 10% の指数型 ACF で特徴づけられるランダム媒質を重畳させた媒質を想定し、深さ 10km におけるストライクスリップ型の地震 ($M=5$) の 1 次散乱波の MS エンベロープ振幅を数値計算した。その結果、震央距離 50km の点でのエンベロープ振幅は、中心周波数 0.125Hz の低周波では Rayleigh 波の散乱波が、2Hz の高周波では SS 散乱波がコーダエンベロープに卓越し、周波数により卓越する散乱波の種類が異なるといった特徴が明らかになった。

(3) Rayleigh 波散乱波の卓越経過時間

Rayleigh 波散乱波がコーダ波に卓越するか否かを判定するための基準を理論的に明らかにすることはデータを解析する上で極めて重要である。そこで、前述した 1 次散乱の近似にもとづくエンベロープモデルを用いてその判定基準を求める。そこで、Rayleigh 波同士の散乱波の 2 乗振幅の 3 成分の総和が SS 散乱よりも大きくなる Rayleigh 波散乱波の卓越経過時間を推定した。震源と観測点とが同一地点にあるという 1 次後方散乱モデルの仮定の下では、エンベロープ振幅は解析的に表現できるため、卓越経過時間を比較的簡単に推定することができる。幾つかのメカニズム解と震源深さについての卓越経過時間を計算したところ、メカニズムによる差はあるものの、卓越経過時間は低周波になるほど、また震源が浅くなるほど小さくなるという傾向を示した。たとえば上記の媒質・地震の場合、1Hz では卓越経過時間が 100,000 秒と、事実上 Rayleigh 波が卓越できないことを示す一方、0.2Hz では 20 秒であり、比較的短い経過時間から Rayleigh 波散乱波が卓越することを示している。このように、1 次散乱かつ特定のランダム媒質という限られた場合にはあるものの、Rayleigh 波の散乱がコーダエンベロープに影響を及ぼしているか否かを判断する簡便な基準を与えることができた。