

アレイ解析による長周期レイリー波コーダの構成要素の推定

Constituents of Rayleigh-Wave Coda in Long Periods Revealed from Array Analysis

前田 拓人[1], 佐藤 春夫[1], 大竹 政和[1]

Takuto Maeda[1], Haruo Sato[2], Masakazu Ohtake[3]

[1] 東北大・理・地球物理

[1] Geophys.Sci.,Tohoku Univ., [2] Geophysics, Science, Tohoku University, [3] Dept. of Geophysics,Tohoku Univ

近年、広帯域かつ広ダイナミックレンジの地震観測が全世界規模で行われるようになり、長周期表面波の散乱現象が注目されるようになってきた。Sato and Nohechi (2001)は、長周期レイリー波の2乗振幅エンベロープに着目し、球面上に一樣ランダムに分布する不均質による、基本モードの一次散乱によってレイリー波エンベロープの概形を理論的に合成することに成功した。しかし、この基本モードの散乱モデルは経過時間が20,000s程度までのエンベロープの特徴を定量的に再現できるが、多重散乱の効果も考慮に入れても経過時間が十分に大きい時のエンベロープを説明することはできなかった。そこで本研究では、経過時間が30,000sを超える部分の波群の構成要素を明らかにすべく、アレイ波形記録を用いてf-kパワースペクトル解析を行った。

解析には、FREESIAのSTS-1地震計の観測点で収録された1999年トルコ・コジャエリ地震(Mw 7.4)の波形のうち、ノイズレベルが低く他の地震が混入していない本州中部の10点をアレイとして用いた。周期90s~180sの上下動速度波形に対して360sのタイムウインドウを用い、その位置をずらしながら震源時からの経過時間65,000sまでを解析した。観測される波形は位相速度の異なる複数のモードの表面波が重ね合わさっているが、f-kパワースペクトルのピークを与えるスローネスによってある程度分離可能であり、到来方向の分布から散乱が起こっているか否かも判断することができる。

各タイムウインドウでf-kパワースペクトルのピークを与えるスローネスベクトルの時間変化を調べた結果、震源時から30,000s程度までは地球を大円経路に沿って到達してくる位相速度4km/s前後の基本モードの直達波が顕著であり、これに重畳して到来方向の大きく異なる散乱波と思われるピークや位相速度の速い高次モードが検出された。しかし、経過時間が30,000sを超えるころから、基本モードがほとんど見られなくなり、その代わりにより位相速度の速い高次モードが卓越し、30,000s以前に比べて到来方向の分布がランダムになることが明らかになった。これらの結果から、経過時間の前半部分では基本モードとその散乱波が卓越し、後半部分では速度分散と散乱により地球全体に一樣に広がった高次モードが支配的であることが示唆される。一般に高次モードは基本モードに比べてより深部の構造に敏感であり内部減衰が小さいので、基本モードが減衰した後にも十分な大きさのエネルギーが残ると考えられる。

この結果を受けて、レイリー波基本モードの一次等方散乱によるエネルギー密度と全地球に一樣に広がった低減衰の高次モードのエネルギー密度の重ねあわせで、エンベロープの合成を試みた。全エネルギー、全散乱係数および内部減衰係数はIRISのSTS-1観測点12点を利用して推定し、 $g_0=2 \times 10^{-6} \text{ km}^{-1}$ 、 $Q_i^{-1}=8.48 \times 10^{-3}$ を得た。全散乱係数は、高周波のコーダ解析等から求められているS波の全散乱係数よりも4桁も小さい。震源時からの経過時間が20,000s程度までのエンベロープの特徴は、基本モードの一次等方散乱モデルで十分によく説明できる。高次モードのエネルギー密度は、速度分散と散乱によって全球面上に一樣に分布するもとの仮定し、観測点の位置によらず内部減衰によって指数関数的に減少するものとして表現する。高次モードの内部減衰定数と輻射エネルギーは、f-k解析から高次モードが支配的であると判断できる経過時間35,000s~60,000sの間で最小二乗法を用いて求めた。データにはIRISのSTS-1地震計観測点21点の波形に1,000sのタイムウインドウで平滑化したMSエンベロープを用いた。その結果、高次モードの内部減衰は $Q_i^{-1}=2.53 \times 10^{-3}$ と求められた。この値は、PREMによる9次から10次のモード解の減衰値に対応する。

以上から、長周期上下動地震記録の解析により、支配的なエネルギーを与えるレイリー波のモードが経過時間によって異なり、特に後半部分のコーダは散乱されて到来方向がランダムになった減衰の小さな高次モードから形成されるということが明らかになった。これを基本モードの一次等方散乱モデルと組み合わせることにより、震源時からノイズレベルに到る広範な時間領域でのエンベロープを簡単なモデルで定量的に説明することが可能になった。

本研究には防災科学技術研究所のFREESIA及びIRIS Consortiumの広帯域地震波形データを利用させていただきました。記して謝意を表します。