

1. はじめに

経験的グリーン関数法を強震動予測に適用する際の問題点の一つとして、合成波の振幅スペクトルの中間周波数帯域における落ち込みが挙げられる[入倉(1994)]。本稿では中間周波数帯域での落ち込みの本質について考察を行うとともに、Sato and Hirasawa(1973)の円形クラックモデルを経験的グリーン関数法に應用することが中間周波数帯域での落ち込みを防止する上で有効であることを示す。

2. 中間周波数帯域での落ち込みの本質

まず、経験的グリーン関数法で中間周波数帯域での落ち込みが発生するような場合をとりあげ、中間周波数帯域での落ち込みの本質について考察する。図1(左)にここで考える震源とサイトの位置関係を示す。密度 2.7t/m^3 、S波速度 3.2km/s の一様な媒質中に $8\text{km} \times 8\text{km}$ の矩形の破壊領域を考え、破壊フロントは中心から同心円状に毎秒 2.8km/s の速さで広がるものとする。最終滑り量は破壊領域内で一様であるとし、この矩形領域を同じ面積の円で置き換えたときに応力降下量がちょうど 10MPa となるように最終滑り量を設定する(すなわち約 1.2m)。ライズタイムも破壊領域内で一様であるとする(1.2s)。サイトとしては $\approx 30^\circ$ のA点を考える。大地震のモーメント M_0 と小地震のモーメント m_0 の比が $5 \times 5 \times 5$ 、 $25 \times 25 \times 25$ および $80 \times 80 \times 80$ の3つの場合を考える。小地震による地震動は ω^{-2} モデルに従うものとする。小地震の応力降下量は大地震の等しいとし、小地震のコーナー周波数は小地震の応力降下量と地震モーメントから Brune(1970)の式で定める。小地震の地震動を入倉他(1997)の方法で重ね合わせ、合成波形のスペクトルを ω^{-2} モデルと比較したものが図-1(右)である。ここでは変位フーリエスペクトルの低周波側のフラットレベルが1となるように正規化している。ここで比較の対象としている ω^{-2} モデルのコーナー周波数は、大地震の応力降下量と地震モーメントから Brune(1970)の式で定めた。モーメント比が 5^3 、 25^3 、 80^3 の3ケースを検討したが、特にモーメント比の大きいケースで中間周波数帯域での落ち込みが顕著である。上記の検討内容は入倉(1994)の検討と比べて滑り速度時間関数の補正関数のみ新しくなっているが、新しい補正関数を導入してもスペクトルの山谷が多少緩和される程度で、中間周波数帯域の落ち込みの問題は解決されないことがわかる。

さて、図-1(右)には ω^{-3} の傾きを示す直線をプロットしているが、中間周波数帯域ではスペクトルの包絡線は ω^{-3} の傾きを示すことがわかる。食い違いの弾性論によると、高周波側で ω^{-3} の傾きを示す変位のスペクトルは、断層長さの有限性、断層幅の有限性、それに破壊継続時間の有限性に対応する3つのコーナー周波数の存在と関連づけられる(例えば Geller, 1976)。上記の検討で仮定している滑りの時空間分布は、まさに3つのコーナー周波数が存在し得るような条件の時空間分布であるから、中間周波数帯域でスペクトルの落ち込みが生じるのは、単に理論地震動のスペクトルを忠実にトレースしているだけであると考えるのが合理的であろう。むしろ高周波側での合成結果が理論(ω^{-3})から離れているのであり、その理由としては、地震波の波長に対して断層面上の分割数が十分に細くないことが考えられる。図-1(右)において断層面上の分割数が細くなるほど合成結果がより高周波側まで ω^{-3} の傾きを示すことはこの考えを裏付けている。以上の考察をさらに検証するため、上記と同じ条件で理論地震動のフーリエスペクトルを計算した。これは解析的には与えられていないので、全無限弾性体の理論的なグリーン関数(ただし far-field S波の項)を断層面上で面積積分することにより計算した。このとき計算精度を確保するため断層面の分割数を 10000×10000 とした。図-2(右)に計算結果を示すが、中間周波数帯域において経験的グリーン関数法の結果は理論地震動のスペクトルを忠実にトレースしていることがわかる。

3. 円形クラックモデルによる波形合成方法

以上の考察が正しいとすれば、あらかじめ ω^{-2} モデルに従う理論地震動を生成するような震源モデルを選択して用いることにより、中間周波数帯域での落ち込みの問題は解決されるはずである。ここでは Sato and Hirasawa(1973)の円形クラックモデルを経験的グリーン関数法に應用する。先程の破壊領域を面積の等しい円形クラックに置き換え、A点での合成波を計算すると、意図したとおり、中間周波数帯域での落ち込みの問題は解決される(図-3)。円形クラックモデルでは、クラック端付近ではライズタイムは小さな値を示すため、時間に関するコーナー周波数が高周波側に移動する性質があり、そのためS波のスペクトルが事実上 ω^{-2} モデルに従うものと考えられる。

参考文献

Brune, J., 1970, Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J. Geophys. Res., 84, 6149-6159.

Geller, R.J., 1976, Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 1501-1523.

入倉孝次郎, 1994, 震源のモデル化と強震動予測, 地震 2, 46, 495-512.

入倉孝次郎・香川敬生・関口春子, 1997, 経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, No.2, B25.

Sato, T. and T. Hirasawa, 1973, Body wave spectra from propagating shear cracks, J. Phys. Earth, 21, 415-431.

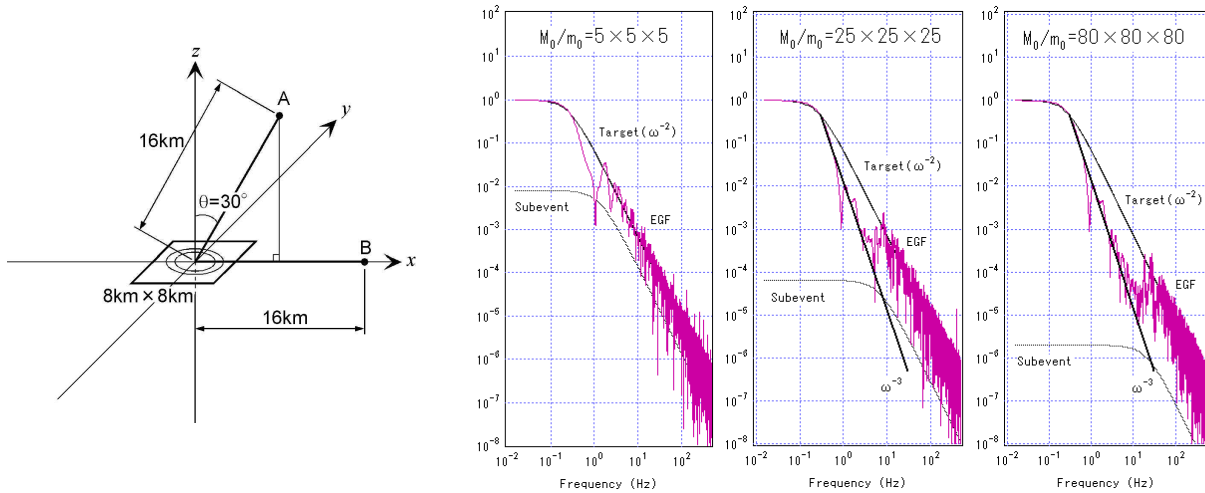


図-1 矩形断層（左）に対する経験的グリーン関数法の合成結果（EGF）と ω^{-2} モデル（Target）との比較

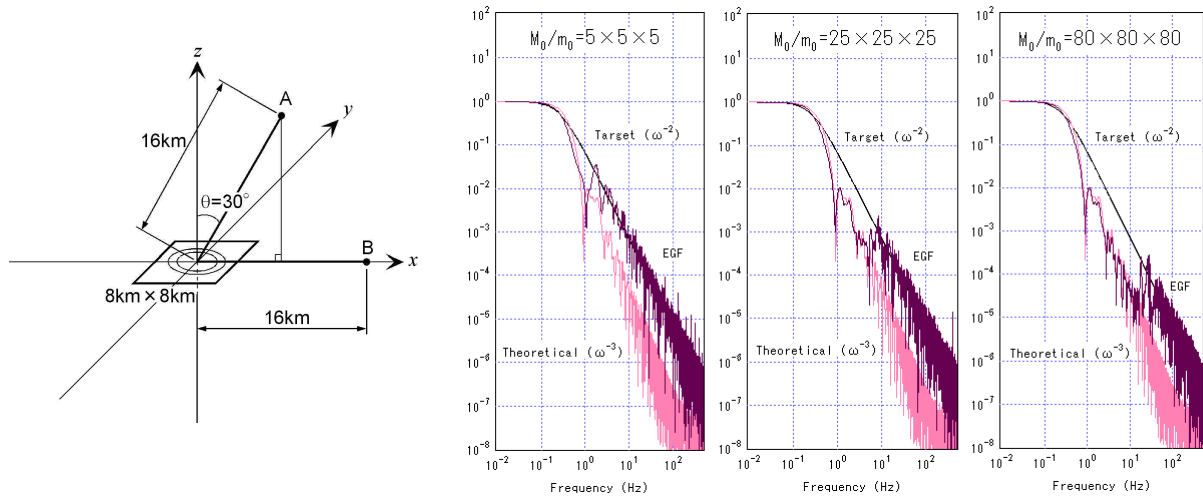


図-2 矩形断層（左）に対する経験的グリーン関数法の合成結果（EGF）と理論地震動（Theoretical）との比較

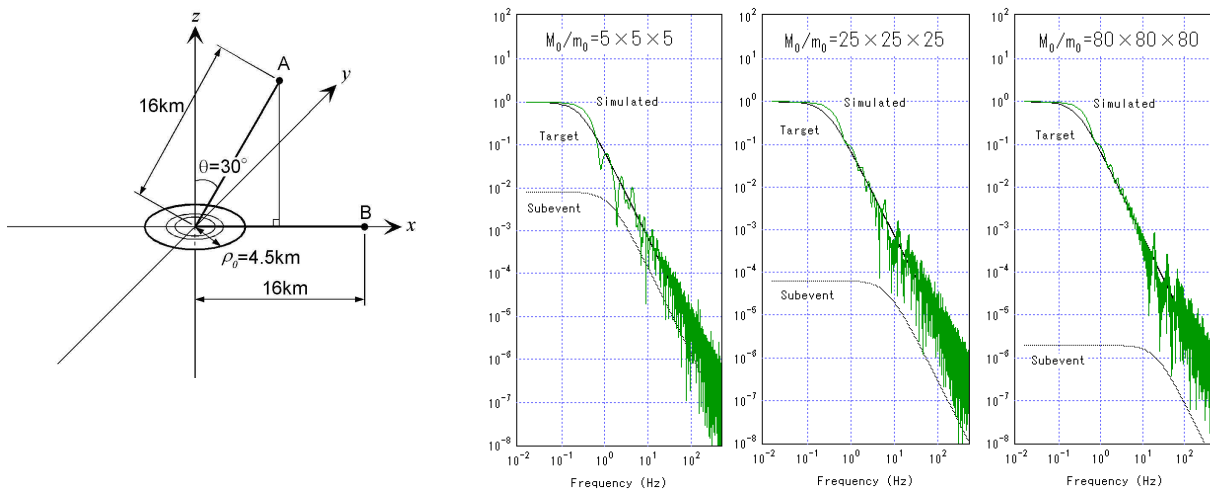


図-3 円形クラック（左）に対する経験的グリーン関数法の合成結果と ω^{-2} モデル（Target）との比較