

フラクタルEGFモデルによる震源近傍での地震動のシミュレーション

鳥取大学工学部 正 野田 茂

1. まえがき

Hartzellの先駆的研究(1978年)以来、地震の相似則の考えと結びつけ、小地震の記録を重ね合わせて大地震の強震動を合成する方法が発表され、強震動予測がより現実的なものになった。この方面の研究の第一人者は入倉であり、入倉と彼の共同研究者によって優れた研究成果が発表されてきている。本研究では、1944年東南海地震(M7.9)が再び同じ場所で見られると仮定し、震源域近傍地点における強震動を経験的グリーン関数法とフラクタル複合モデル¹⁾を併用することによって予測することを試みる。

2. 前提条件

1944年東南海地震の断層震源パラメータについては、Kanamori、Andoや相田を始めとしていくつかの研究結果が発表されている。ここでは、将来起こりうるアスペリティの分布がどのようなものかわからないので、Andoモデルを基本の断層震源モデルとして採用する。シミュレーションに当たって発震点(震央)を断層面の中央とし、破壊の拡がり方としては震源から断層上を円状に伝播する様式を考えた。

ここで対象とする強震動の予測地点は震源近傍のI地点である。この地点では、地表ならびに地中のGL-34mとGL-104mに地震計(サーボ型加速度計SMAC-MD)が設置されている。経験的グリーン関数として用いた小地震は、1994年12月23日6時29分28秒に発生したM4.6の地震である。この地震の地震モーメントや震源メカニズムは未公表であるので、ここでは岩盤上(GL-104m)の記録を用いて震源パラメータを決定した。

種々の検討の結果、小地震の震源スペクトルは ω^{-2} モデルに従うと考えてよく、1944年東南海地震、小地震の震源パラメータなどは表1のように求められた。

3. フラクタル複合モデルの有効性

表1の如く、1944年東南海地震と経験的グリーン関数として用いた小地震の応力降下量は大きく異なる。波形合成に際しては応力降下量の違いを補正しなければならない。重ね合せ数Nは、大地震と小地震の地震モーメントから、92となる。大地震の合成に当たっては、92x92x92回、小地震の重ね合せをしなければならない。これは、大地震に比べて極めて規模の小さい小地震を経験的グリーン関数として用いたためである。このような場合、合成された地震動振幅は大地震と小地震のコーナー周波数の間で顕著な落ち込みを生じるはずである。このような現象を避けるため、ここではフラクタル複合モデルを用いる。

要素地震の小断層の長さ、幅を求めると、1.4130km、0.7609kmとなる。大地震の断層面上に異なるサイズの断層の分布を自己相似的に与えることを考えると、3つのサブイベントの小断層の個数は、それぞれ、2893、313、34となる。一様乱数を用いて3つのサイズの断層の自己相似分布をランダムに発生させ、その一つのサンプル示すと図1のようになる。

各サブイベントと要素地震(最小の小断層に対応する小地震)の食い違い量の比に対応する個数の小地震はライズタイム内に生成される。そこで、その個数を決めると、サブイベント1では92、サブイベント2では30、サブイベント3では10となる。断層の中央から破壊が拡がるとし、最小の小断層に対応する要素地震の震源スペクトルにBruneの ω^{-2} スペクトルを仮定して地震動のスペクトルを合成する。

表1 1944年東南海地震と小地震の断層震源パラメータ

断層パラメータなど	大地震 (1944年東南海地震)	小地震 (1994年12月23日の記録)
長さ(km)	130	—
幅(km)	70	—
面積(km ²)	9,100	1.2
走向(°)	N240° E	—
傾斜角(°)	25	—
食い違いの方向(°)	108	—
深さ(km)	0 (断層上端)	42 (震源)
位置(緯度、経度)	(33.92°, 137.39°) (断層東南端)	(34.7442°, 136.8598°) (震源)
地震モーメント(dyne·cm)	1.5×10 ²⁸	5.8×10 ²²
応力降下量(bar)	36	107
ライズタイム(sec)	5	0.12
コーナー周波数(Hz)	0.024	1.64
破壊伝播速度(km/sec)	3.0	—
破壊の拡がり方	円状	—
破壊開始点	断層中央	—
S波速度(km/sec)	3.7	
Q値	110√f	

1944年南海地震と1地点における位置関係を勘案して合成波の震源スペクトルを求めると、図2のようになる。大地震の断層面を同じサイズの小断層に分割すると、ターゲット地震と要素地震のモーメント比は $92 \times 92 \times 92$ となる。このとき、サブイベント1の小地震記録のスペクトルを合成したスペクトルは、ターゲット地震のスペクトルに比べて中間周波数域で顕著な落ち込みを生じる。すなわち、 ω^{-2} モデルに従わないスペクトルが得られる。一方、フラクタル複合モデルを用いると、3つのサブイベントから合成されたスペクトル形状は、図2からわかるように、ライズタイムに相当する周波数(0.2Hz)付近を除くと、 ω^{-2} モデルに適合しており、理想的である。

大地震と経験的グリーン関数としての小地震の規模の差が大きい場合、フラクタル複合モデルによる合成法は工学的に重要な短・中周期成分を十分に評価できることが明らかになった。

4. 周波数領域におけるスペクトルの検討

低周波数域や高周波数域では ω^{-2} モデルにはほぼ従っているものの、伝統的合成モデルによるスペクトルの中間周波数域では振幅の顕著な落ち込みが見られた。3.では ω^{-2} モデルの震源スペクトルの重ね合わせによってこのことを理論的に検証したが、実測記録を用いた合成法においてもこの特性が現われている。一方、フラクタル複合モデルによる多段階合成法を適用すれば、人工的な断層分割によって生じる振幅の落ち込みは見られない。大地震と小地震の規模の差が大きい場合、伝統的合成モデルでは工学的に重要な短周期成分(0.5~数Hz)を過小評価するので、フラクタル複合モデルによる波形合成法を採用することは極めて重要である。モデルの差によるフーリエスペクトルの違いは合成波形における振幅レベルや周波数成分の生成に顕著な影響を及ぼす。

次に、減衰定数 $h=5\%$ の加速度応答スペクトル(NS成分)を図3に示す。この図からもフラクタル複合モデルによる合成法の妥当性が確認できる。伝統的な波形合成法では工学的に意味ある周期範囲で応答を過小評価しており、断層震源モデルとともに合成の方法を十分に吟味しておく必要がある。ここで対象とした周期範囲においては応力降下量の補正のみを考慮した応答が3種類の補正(応力降下量、Q値、 f_{max})による結果よりも若干大きくなっている。

5. あとがき

上述した結果は、フラクタル複合モデルと経験的グリーン関数法を用いた波形合成法を適用すれば、将来の強震動予測に十分威力を発揮することを示唆するものである。この方法では対象とする断層の震源過程、観測点と断層面との幾何学的な位置関係など、従来の統計回帰式では考慮できない問題点を物理的に考慮でき、しかも観測点近傍の地盤の増幅効果を忠実に反映できるという意味で、この合成法の有効性が明らかになった。

参考文献

- 1) Irikura, K. and Kamae, K.: Estimation of strong ground motion in broad-frequency band based on a seismic source scaling model and an empirical Green's function technique, in Annali di Geofisica, Vol. XXXVII, No. 6, pp. 1721~1743, December 1994.

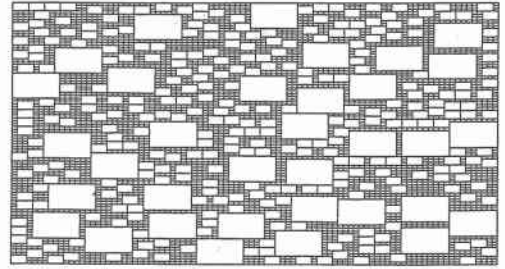


図1 断層面上での小断層の分布

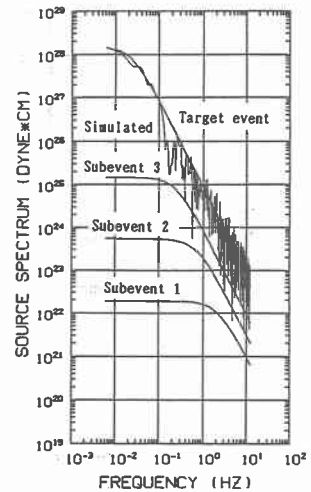


図2 ターゲット地震、小地震、合成地震波の震源スペクトル

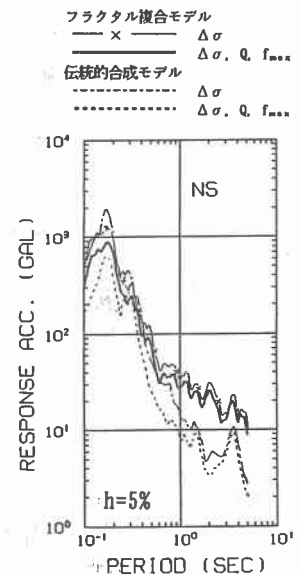


図3 加速度応答スペクトル