

1. はじめに

従来おこなわれてきた M , Δ , 地盤条件をパラメーターとした強震動の統計的予測モデルの適用は, 解析したデータの範囲に強く制限される^{1), 2)}. この困難を避けるために, 震源の確率モデル³⁾を応用して強震動予測モデルを作成した^{4), 5)}. そのモデルはデータの範囲による制限をある程度克服したばかりでなく, 従来のモデルに比して短周期成分の強度も適切に表現できる. また, 最近, 小地震記録を重ね合わせることにより, 大地震記録を合成するという方法が数多く試みられているが^{6), 7), 8), 9)}, 小地震の選び方や重ね合わせ方法については未だ確立されていない. これらの問題点についても考察を加える.

2. 短周期成分の強度を表現するために有効なパラメーターについて

強震記録を統計解析する場合に説明変数としてよく用いられる M (気象庁マグニチュード又は表面波マグニチュード) は周期20秒程度の地震波の強度によって決定される. 短周期成分の強度を表現するために M を用いる場合には, 地震の相似則と暗に仮定していることになる. ところが現実に, M が同じでも, 即ち長周期成分の強度が同じでも短周期成分の強度が相当に異なる地震が観測されている. 例えば, 1978年6月の宮城県沖地震は短周期成分の卓越した地震であった. 適切でないパラメーターを用いることは, たとえ解析したデータの範囲内の予測ではあっても, 予測精度を低下させてしまう大きな原因となる.

図-1に宮城県沖地震の塩釜における強震記録の加速度応答スペクトル, 片山ほか¹⁾のモデルによるもの(M , Δ に関しては重み係数 ω を挿して用い, 地盤条件はIVとした), 筆者^{4), 5)}によるものを示した. 筆者によるモデルの方が, 片山ほかによるモデルよりも多くのパラメーターを用いているため, 言わば当然ではあるが, 観測結果をよく説明できる. 図-2に示したように, 長周期部の強度を表現するためには $\Delta\sigma$ (断層に巨視的にみた場合の応力降下量), 短周期部の強度を表現するためには $\sqrt{E(\tau)}$ (断層の各部分における応力降下量の自乗平均値の平方根)が有効に働いている.

3. 小地震記録の重ね合せモデルについて

小地震記録を重ね合わせて大地震記録を合成する場合に, 重ね合わせるべき個数は小地震の地震モーメント(M_0)の総和が大地震の M_0 に等しくなるように決定される. M_0 を一致させることは長周期地震波を扱う場合には当然の配慮である⁶⁾. しかし M_0 が, M と同じく, 短周期成分の強度を表現するのに適さないことは明らかである. 従って, 短周期成分が適切に表現されるかどうかは「どのように重ね合わせるか」によって決まる. 「断層のすべり」と「破壊進行」とが滑らかであると仮定して重ね合せた場合には, 通常, 合成された記録の短周期成分が不足する^{7), 8)}. 一方, 震源過程の不規則性を考慮してランダムに重ね合わせると短周期成分が強すぎる場合がある⁹⁾.

小地震記録の重ね合せモデルはBarrierモデル¹⁰⁾に対応する. 即ち, 小地震は大地震断層上で「破壊しないBarrier」に囲まれた若干小領域の破壊に相当する. 大地震断層及び小領域の代表的な長さ L_a , L_s とし, 簡単のため, 断層の長さ L は一定値 L_0 であると考えると, 応力降下量は,

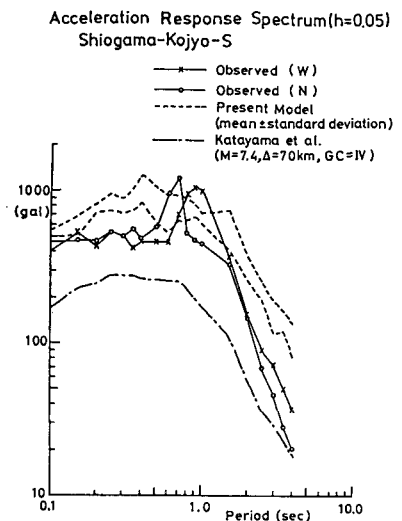


図-1. 宮城県沖地震(塩釜)の
加速度応答スペクトル

$$\Delta\sigma_g = C\mu D/L_g$$

$$\Delta\sigma_s = C\mu D/L_s$$

となる。Cは定数、 μ は剛性率である。 $\Delta\sigma_g$ は所謂「決定論的震源モデル」¹¹⁾における大地震の応力降下量である。 M_0 は $\Delta\sigma L^3$ に比例するから、小領域の個数 $N = (L_g/L_s)^3$ を考慮すると、

$$N \cdot \Delta\sigma_s L_s^3 = \Delta\sigma_g L_g^3$$

となり、長周期部に関しては小領域からの寄与の合計は大地震の強度を説明する。ところが短周期部に関しては、小領域からの寄与は、滑らかな断層をバリエーションを仮定すると互いに打ち消し合い^{6), 7), 8)}結局は $\Delta\sigma_s L_s$ に比例する程度しか残らない。

$$\Delta\sigma_s L_s = \Delta\sigma_g L_g$$

であるから、「決定論的震源モデル」¹¹⁾から期待される強度と同程度になてしまう¹⁰⁾。一方、ランダムに重ね合わせると短周期部の強度は $\Delta\sigma_s L_g$ に比例する³⁾。

$$\Delta\sigma_s L_g = (L_g/L_s) \cdot \Delta\sigma_g L_g$$

であるから、合成された記録の短周期成分は「決定論的震源モデル」によるものに比べて L_g/L_s 倍大きい。以上のことを模式的に示すと図-3のようになる。従って、ランダムに重ね合わせ場合には小地震としてどのような大きさ (L_s) のものを選ぶかによって結果が大きく違ってくる。

4. 小地震の大きさを選ぶ目安と問題点

震源記録を解析することによって、ある地震の短周期成分の強度が「決定論的震源モデル」からどの程度ズレているかを求めることができた^{3), 5)}。これは、断層の確率モデル³⁾に従えば図-2に示したよ

うに $\sqrt{E(\tau^2)}/\Delta\sigma$ を意味するが、重ね合わせモデルの表現を用いれば図-3のように L_g/L_s に相当する。従って、 $\sqrt{E(\tau^2)}/\Delta\sigma$ を推定することができれば、すべり量 D 、断層の大きさ L_g の大地震記録は、同じすべり量を有し(すべり量が多い場合は振幅を D_g/D_s 倍だけ増加させる)、大きさ L_s の地震記録と $(L_g/L_s)^2$ 個ランダムに重ね合わせればよいことになる。ただ、将来の地震の $\Delta\sigma$ は推定され得るが $\sqrt{E(\tau^2)}$ を推定する方法は今のところ確立されておらず、数多くの強震記録の解析により推定方法と早急に検討する必要がある。

一方、入倉¹²⁾は断層のすべり速度の不規則性を考慮することによって滑らかな重ね合わせモデル⁸⁾における短周期強度不足を解決しようとしている。しかしながら、そこで用いている「window 関数」が具体的にどのような断層破壊過程に対応しているのか、また、将来の地震に対して「window 関数」をどのように推定すべきか未だ明らかではない。

- 【参考文献】 1) 片山ほか：土木学会論文報告集(275), 29-40, 1978. 2) 後藤ほか：土木学会論文報告集(286), 37-51, 1979. 3) 平沢：自然災害科学研究報告書, A-54-3, 35-45, 1979. 4) 泉谷：土木学会第36回全国大会, I-197, 1981. 5) Izutani: J. Phys. Earth, 29, 537-557, 1981. 6) Kanamori: Bull. Seism. Soc. Am., 69, 1645-1670, 1979. 7) 三雲：自然災害科学研究報告書, A-56-3, 25-30, 1981. 8) 村松・入倉：自然災害科学研究報告書, A-56-3, 33-46, 1981. 9) 飯田ほか：土木学会第36回全国大会, I-196, 1981. 10) Das & Aki: J. Geophys. Res., 82, 5658-5670, 1977. 11) Haskell: Bull. Seism. Soc. Am., 54, 1811-1841, 1964. 12) 入倉：地震学会春季大会, C41, 1982.

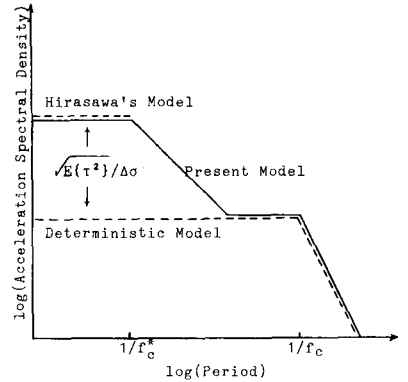


図-2. 震源での加速度スペクトル

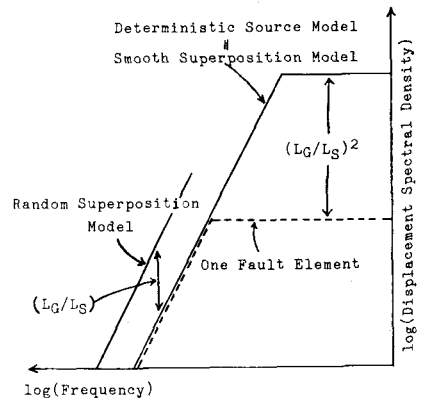


図-3. 震源での変位スペクトル