

鹿島建設技術研究所 正員 池浦友則

鹿島建設小堀研究室 正員 武村雅之

§ 1 序

小地震記録の重ね合せで大地震記録を表現する方法がある。これは基本的には相似則に従って地震モーメント(M_0)の比から重ね合せ数を決め、ハスケルモデルに基づいて小地震波をたし合わせるものであるが、この方法では①短周期成分を十分に説明できない、②重ね合せ時間間隔の周期でスペクトルにゴーストピークを生じ易い、などの問題がある¹⁾。これらの解決を目的として、断層面の長さ方向、幅方向の重ね合せのみとする手法²⁾や重ね合せの時刻にゆらぎを与える手法³⁾⁴⁾などが提案されているが、前者では結果的に合成波の M_0 が不足し、後者では時刻のゆらぎという動的なパラメータの評価が現状では困難であるという様な問題が残る。さらに、この種の半経験的な波形合成法を用いる場合、③要素とする小地震の選び方で結果の地震動強さが大きく変化することがあるという点にも注意が必要である。

これに対して、近年断層運動の不均質性によって短周期成分を説明しようとする試みがあり、観測波形からこれを評価した例もある⁵⁾⁶⁾。ここではこれらの研究を参考にして断層面上のすべり量の不均質な分布に基づいて小地震記録から大地震記録を評価する方法を提案し、ゆらぎの定量的検討を試みた。

§ 2 不均質なすべりに基づく波形合成法

断層面を小領域に分割し各小領域のすべり量 D_{ij} を(1)式であらわす。

$$D_{ij} = D_0 + \Delta D_{ij} = n D_e + \kappa D_e \quad (1)$$

ここに、 D_0 は断層面全体の平均すべり量、 ΔD_{ij} はすべり量のゆらぎ、 D_e は小地震のすべり量、 n は大地震と小地震との M_0 の比から求められるすべりの立ち上がり関数の重ね合せ数、 κ は平均値0、分散 σ_D^2 の正規分布に従う確率量である。(1)式に基づく重ね合せを(2)~(4)式に示す。

$$S_{\text{syn}}(X, t) = S_L(X, t) + S_S(X, t) \quad (2)$$

$$S_L(X, t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (R_e / R_{ij}) S_e(t - \tau_{ijk}) \quad (3)$$

$$S_S(X, t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \kappa (R_e / R_{ij}) S_e(t - \tau_{ij1}) \quad (4)$$

ここで、 X は観測点座標、 R_e は小地震記録の震源

距離、 R_{ij} は断層面上の小領域から観測点までの距離、 τ_{ijk} は重ね合せの際の時間遅れである。 S_L は従来の波形合成手法による長周期波であり、 S_S は震源の不均質性の効果による短周期波となっている。ただし、 $E[\kappa]=0$ であるから S_S は全体の M_0 に対して寄与しない。このため S_{syn} は想定した大地震と M_0 が一致し長周期領域で相似則を満足する。

§ 3 日本海中部地震(秋田)への適用

断層のモデルはT.Sato⁷⁾を参考に短周期成分への寄与が大きかったとされる南側部分($E1+E2$)のみとした(図1)。また、要素地震の選択にあたっては③の問題をふまえ、ここでは例えば不均質領域の大きさと面積が近い余震を用いるとして表1に示すT.Satoの結果(crack radius $\rho_0 = 7.85\text{km}$)から6/9, 21:49($M=6.1$)の余震を採用した。その際、 M_0 比より $n=6$ となる。この他、破壊伝播速度 $V_R = 1.5\text{km/s}$ 、 $V_S = 3.7\text{km/s}$ 、 $\sigma_D = 1.6$ と仮定した。なお、(3)式の合成でゴーストピークの発生を防止するためにはすべりに関してスムージングを行う手法を用いた。

§ 4 結果

秋田における合成波形(NS)を図2に示す。震源過程を単純化しているため包絡線の2山は表現できないが、全体的な継続時間や最大振幅は妥当なものとなっている。図3は応答スペクトルにおける比較である。広い周期範囲でスペクトルレベル、周期特性が良く表現されている。また、 S_L は長周期側で大きくなるため無視できなくなっており、さらに長周期領域では支配的な成分になると予想される。

§ 5 考察

今回、すべり量の不均質性のパラメータとして $\sigma_D = 1.6$ を採用し妥当な結果を得た。本手法の様に半経験的波形合成法にゆらぎを取り入れた研究はいくつかあるが⁴⁾⁸⁾⁹⁾、ゆらぎの大きさを震源の不均質性の評価に関連して検討した例は少い。短周期の評価を目的とした代表的なモデルとして平沢⁵⁾、Papageorgiou&Aki⁶⁾がある。これらのモデルは本手法のモデルと一致するものではないが、今回用いたモデル

が両モデルとどのような関係にあるかを知るために、一例としてT.Satoの結果(表1)をもとに比較してみる。平沢モデルに対して「各小領域の応力降下量の平均値が断層面全体の応力降下量に一致する」と仮定して表1の $\sqrt{E[\tau^2]}$ より本モデルの σ_D を見積もると $\sigma_D = 2.7$ 、P.& A.モデルについては「すべり量の2乗平均値が一致する」と仮定すると表1の $\Delta\sigma_L$ より $\sigma_D = 3.8$ となる。本モデルでは $\sigma_D = 1.6$ であるから、短周期成分を説明するために必要なすべり量のゆらぎは両モデルに対して約半分である。

この差に相当する短周期成分の原因が主としてモデル自体にあるのか、それとも要素地震にあるのかについてはさらに検討が必要である。ちなみに要素地震にもともと含まれているすべり量の不均質性のみでこの差を説明するとしてP.& A.モデルを用いて

$\sigma_D = 1.6$ から要素地震のすべり量のゆらぎ σ_{De} を求めると $\sigma_{De} = 2.1$ であり、断層面全体におけるゆらぎと要素地震内のゆらぎがほぼ同程度となる。

§ 6 まとめ

小地震記録から大地震記録を合成する手法に震源のすべり量の不均質性を取り入れ、長周期で相似則を満足しつつ短周期ですべり量の不均質性を反映するような広い周期帯で適用できる波形合成法を提案した。本モデルの様にゆらぎを取り入れた評価法ではその物理的裏付けが不可欠であり今後も他の大地震記録に適用し検討してゆく予定である。

(謝辞) 記録波形は港湾技研に提供していただきました。記して感謝いたします。

(文献) 1)入倉、建築学会第10回地盤振動シンポジウム(1982)、2)田中他、B.E.R.I.(1982)、3)村松、建築学会第13回地盤振動シンポジウム(1985)、4)吉川他、第20回土質工学研究発表会(1985)、5)平沢、建築学会第9回地盤振動シンポジウム(1985)、6)Papageorgiou&Aki、B.S.S.A.(1983a)、7)T.Sato、J.P.E.(投稿中)、8)今川他、地震(1982)、9)飯田他、土木学会論文報告集(1983)

表1 T. Satoの結果⁷⁾

M_0 (dyn cm)	S (km^2)	D_0 (cm)	$\Delta\sigma$ (bar)	$\sqrt{E[\tau^2]}$ (bar)	$\Delta\sigma_L$ (bar)	ρ_0 (km)
5×10^{27}	60×35	644	126	360	525	7.85

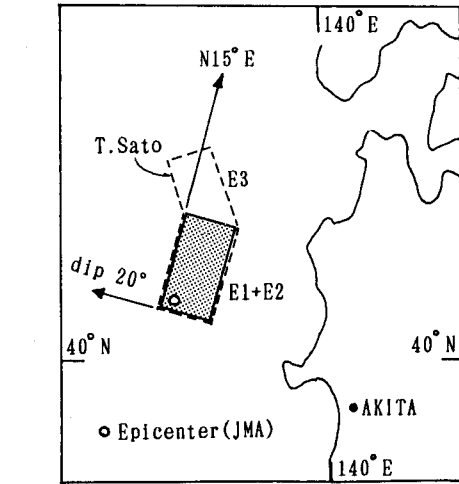


図1 断層面位置⁷⁾

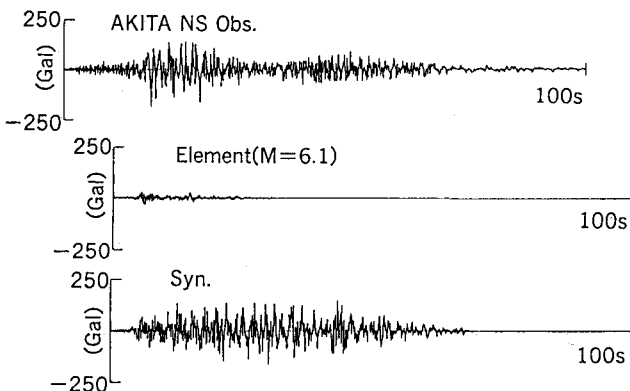


図2 波形の比較

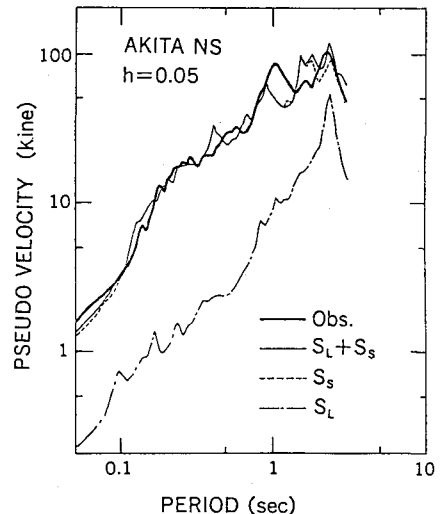


図3 応答スペクトルの比較