

震源近傍の強震動とアスペリティーの関係

一般会員 ○久田 嘉章 1*

震源近傍強震動 アスペリティー ノースリッジ地震
理論的強震動計算 経験的震源モデル 指向性パルス

1. はじめに

近年、震源近傍の強震動特性に関する研究が飛躍的に進み、その研究成果は入倉レシピとして強震動予測値図など強震動予測に広く応用されている。入倉レシピではアスペリティーを2個程度に集約し、アスペリティー内で同じすべり関数を用いることで、断層破壊の伝播方向で生じる指向性パルス波を生成させる。さらにアスペリティー内では応力降下量も大きいとし、短周期波動の発生源も集中させる。しかしながら単純化した震源モデルで破壊の進行方向だけでなく、逆方向の震源近傍の複雑な強震動がどこまで再現可能なのか、またすべりが大きな場所(アスペリティー)に短周期波動の発生源を集約することは是非など、より詳細な検証が必要と思われる。

本研究では、断層震源の近傍で最も強震記録が得られ、かつ詳細な震源過程も調べられている1994年ノースリッジ地震を対象に、入倉レシピの検証とその改善法を調べた。

2. ノースリッジ地震の震源モデルと震源近傍強震動

図1に1994年ノースリッジ地震の震源モデル(Waldモデル)の断層¹⁾と本解析で使用した強震観測点の位置を示す。断層は南西から北東に傾斜角40度で立ち上がる逆断層である。図中の星印が震央で、破壊は南から北に伝播した。各観測点の()内のSはWaldモデルの堆積層地盤モデル、Rは岩盤地盤モデル、Uは震源逆解析を使用した観測点、Nは使用されなかった観測点を意味する。Waldモデルの震源パラメータ(断層面を12×12の小断層に分割し、小断層内で4×4のガウス点を分布させ滑らかな破壊伝播を表現。すべり速度関数は0.6秒の3つの三角形関数を0.4秒間隔で重ね合わせ)と地盤モデルを用い、波数積分法²⁾で周期1秒以上の長周期波形を計算した。観測波形と比較した結果、震源逆解析を使用されなかった観測点を含め、全ての観測波形が精度良く再現され、モデルの信頼性を確認した。一例として、図2にNHLとVNYにおけるWaldモデルによる計算波と観測波の比較を示す。破壊の進行方向にあるNHLのパルス波だけでなく、震央に近いVNYの複雑な性状まで良く再現されている。さらに図2には周期1秒以下の短周期の観測波形も載せているが、短周期波が卓越する時間は、必ずしもパルス波の発生時刻に一致しないことが分かる。

3. 入倉レシピの適用と改善案

Waldモデルを基礎に入倉レシピを適用し、観測波形と比較した。まずアスペリティーは、Waldモデルのすべりの大きな領域から図1に示す大小の2個(A1とA2)とし、各アスペリティーと背景領域のすべり量とすべり角は、各領域の平均値を使用した(A1で1.08mと116°、A2で

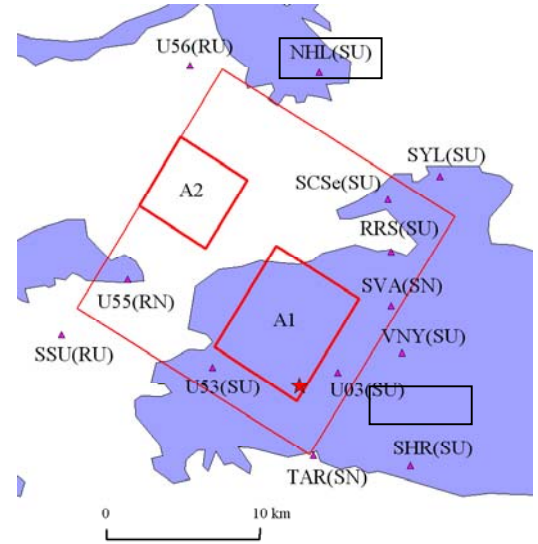


図1 1994年ノースリッジの断層震源と使用した強震観測点 (A1とA2はアスペリティーの位置、観測点の()内のSは堆積層モデル、Rは岩盤モデル、Uは震源逆解析を使用した観測点、Nは使用されなかった観測点)

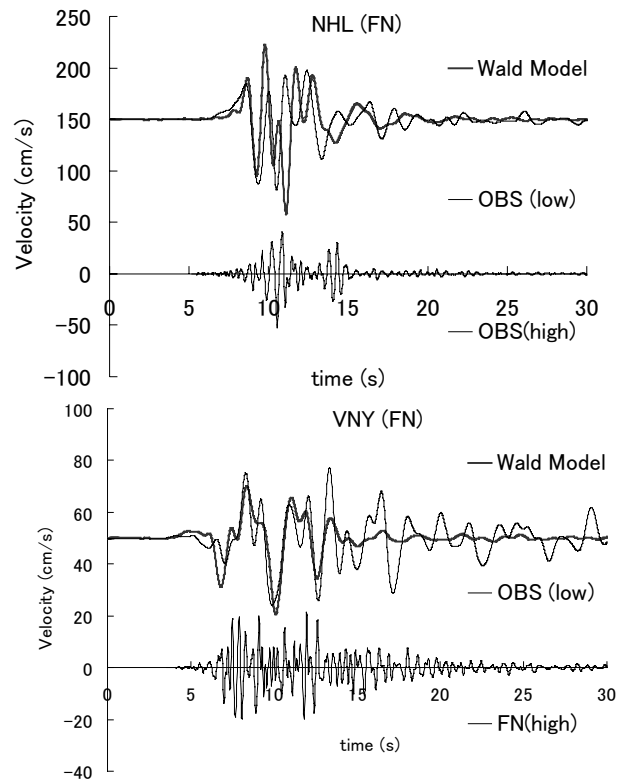


図2 NHL(上)とVNY(下)におけるWaldモデルによる計算波と観測波の比較(低振動数)と、高振動数の観測波形

1.46m と 111°、背景で 0.55m と 102°)。すべり関数は各領域内で同一とし、Wald モデルと同じ 3 つの三角形の重ね合せとし、その面積比は 0.7、0.2、0.1 とした。

まず 1 秒以上の長周期に関して波数積分法²⁾を適用し、観測波形と比較した。図 3 に一例として NHL と VNY における入倉レシピによる計算波と観測波の比較を示す(図中の OBS と 2 Asp(tr=0))。NHL のパルス波は非常に良く再現されているが、震央に近い VNY の複雑な波形は再現されていない。

改善策として震源過程の複雑さを導入するため、破壊フロントに乱れを生じさせる³⁾。実際、ノースリッジ地震の破壊フロントも大きく変動したことが確認されている(Hartzell モデル⁴⁾)。そこで Hartzell モデルを参考し、各小断層の破壊開始時刻に、破壊伝播速度 ($V_r = 3 \text{ km/s}$) から得られる値にランダムな遅れ時間を導入した。図 3 に平均値 0.5 秒として正規分布に従うランダムな遅れ時間を導入した計算波形を示すが(図中の 2 Asp(tr=0.5))、NHL のパルス波だけでなく、VNY の複雑な波形形状も比較的良く再現されている。

次に 1 秒以下の短周期に関して、入倉レシピと同様に 2 つのアスペリティーに大きな応力降下量を与えるモデル (A1 で $\Delta\sigma = 200 \text{ bar}$, $f_c = 0.26 \text{ Hz}$, A2 で $\Delta\sigma = 100 \text{ bar}$, $f_c = 0.20 \text{ Hz}$ 、背景で $\Delta\sigma = 50 \text{ bar}$, $f_c = 0.16 \text{ Hz}$) と、全断層面に同じ応力降下量を与えるモデル ($\Delta\sigma = 100 \text{ bar}$, $f_c = 0.20 \text{ Hz}$) を比較した。震源モデルは Boore の点震源モデルとし、波形合成は平行成層地盤のグリーン関数を用いた統計的震源モデル法⁵⁾を用いた。図 3 に一例として NHL と VNY における両モデルによる計算波と観測波の比較を示すが、両者には優位な差は認められない。

4. おわりに

1994 年ノースリッジ地震に入倉レシピを適用した結果、以下のことが分かった。まず周期 1 秒以上の長周期では、破壊の進行方向の指向性パルス波は非常に良く再現するが、震央近傍の複雑な波形形状は再現できなかった。改善案として破壊過程の複雑さを導入するために、小断層の破壊開始時刻にランダムな時間遅れを導入する手法が有効であった。一方、周期 1 秒以下の短周期では、レシピと同様にアスペリティーに短周期の発生源を集中させる場合と、断層面に均一な短周期発生源を分布させた場合とを比較した結果、有意な差は認められなかった。短周期の発生源は諸説あるため、過度に特定領域に集中させるよりも、分散させる後の方が実用的には使用しやすいと思われる。

謝辞

本研究は文部科学省・学術フロンティア事業の「工学院大学地震防災・環境研究センター」による研究助成によって行われました。

参考文献

- 1) Wald, D. J., T. H. Heaton, K. W. Hudnut, Bull. Seism. Soc. Am., V.86, pp.49-70, 1996
- 2) Hisada, Y, J. Bielak, Bull. of the Seism. Soc. Am., V.93, pp.1154-1168, 2003
- 3) Hisada, Y., Bull. Seism. Soc. Am., V.91, No.4, pp.651-666
- 4) Hartzell, S., P. Liu, C. Mendosa, JGR, V.101, pp.20091-20108, 1996
- 5) 久田嘉章、地震学会秋期大会、2006

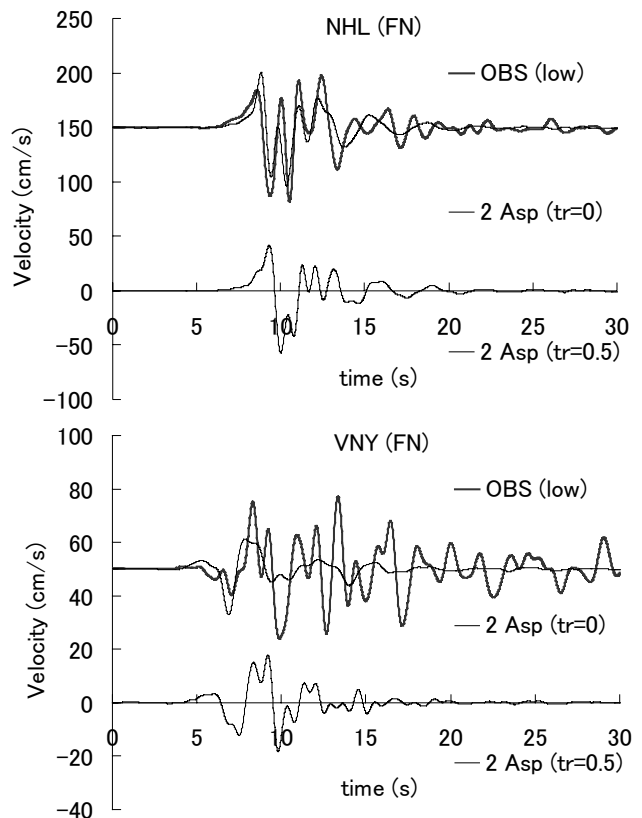


図 3 入倉レシピによる低振動数の計算波 (3 つのアスペリティー) と、改善モデルによる計算波形

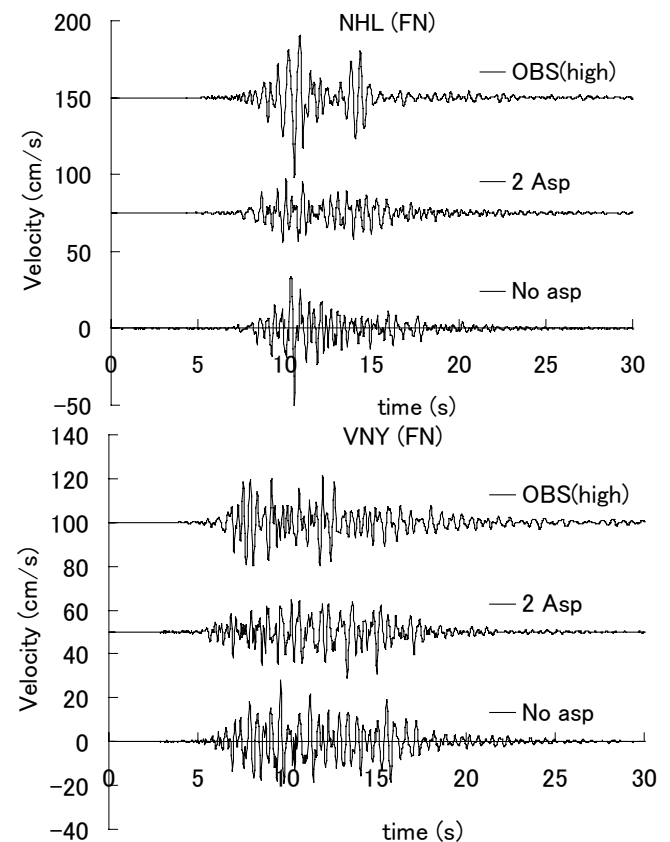


図 4 入倉レシピによる高振動数の計算波 (3 つのアスペリティー) と、アスペリティー無しによる計算波形の比較