

I-B288

浅い地下構造を考慮した動力学的モデルによる断層近傍の強震動

埼玉大学工学部 正会員 谷山尚

1. はじめに

断層近傍の地震動を予測することは、被害の予測や被害軽減の研究のために、工学上重要である。断層近傍の速度波形や加速度波形には、断層面上での詳細な運動、特にすべり時間関数の詳細な形が影響を与えるため、断層近傍の地震動の予測には、すべり時間関数を合理的に与える必要がある。

動力学的モデル（例えば、Miyatake¹⁾、Toki and Miura²⁾等）は、地震を応力の解放過程として表現し、断層上での応力降下量とせん断強度（または破壊時刻）から、すべり時間関数を含めて地震動を計算するモデルで、物理的にも妥当なモデルであり、断層近傍の地震動を計算する上で有用なモデルである。

一方、兵庫県南部地震の神戸の被害やその地震動解析結果（Inoue and Miyatake³⁾、川瀬他⁴⁾、Pitarka et. al.⁵⁾、古村・嶺嶺⁶⁾等）に端的に示されるように、断層近傍においても、地下構造は地震動に非常に大きな影響を与える。

本研究では、断層の詳細な運動については動力学的モデルを用いることで、そして、より小さなスケールの複雑な地下構造については、地震波速度が速い領域では大きなグリッド、速度の遅い領域では小さなグリッドを用いる3次元差分法を使用することで、ともに考慮することが可能な計算手法を開発し、地震動の計算を行った。

2. 解析手法

計算は、staggered grid⁷⁾を用いた3次元差分法により行った。

本研究に用いた staggered grid は、応力の格子と速度の格子が互い違いに配置されている。地震波速度が遅い領域で細かい格子を用いるにあたり、大きさの異なる格子間に対応する成分ができるだけ存在するように、細かい格子の間隔を、大きな格子の間隔の1/3とした。

大きい格子部分と細かい格子部分の接合に関しては以下のように行った。

図1は1例として yz 面上に関する接合を示したものであるが、まず、大きいグリッドの、 $i, i+1/2, i+1$ の値を用いて、小さいグリッドの値（図中濃い灰色）を内挿して求め、その値を小グリッドの境界条件として、小グリッド内部の各点（図中黒塗り点）の応力、速度を求める。

次に、小グリッドの計算で求めた値のうち、大グリッドで対応する成分（図中淡い灰色の点）の値を、大グリッドのこの境界での値とし、大きなグリッド内部（図中白抜き点）での応力、速度を求める。

xy 面、zx 面についても同様に接合し、各タイムステップでこの操作を繰り返し、各点での速度と応力を求める。

3. 解析モデル

浅い所で小さなスケールの不整形な地下構造を持つ例として、図2に示すモデルに対して計算を行った。

原点を地表かつ断層の中心上に取り、断層に平行な水平方向を x 方向、鉛直方向を y 方向、断層面に垂直な水平方向を z 方向とした。断層は、幅 12km、長さ 20km、傾斜角 90 度の右横ずれ断層とし、 $z=0$ の平面上においた。断層の上端の深さは 400m とした。本解析においては、 $z=0$ の面に関する対称性を仮定して、計算領域を $-34\text{km} \leq x \leq 34\text{km}$ 、 $0\text{km} \leq y \leq 28\text{km}$ 、 $0\text{km} \leq z \leq 26\text{km}$ とした。

媒質の密度と波速については、断層面を含む地震基盤では、密度は 2.7g/cm^3 、P 波速度 (V_p) は 5.7km/s 、S 波速度 (V_s) は 3.3km/s とし、図で淡灰色に塗られた、 $z \geq 1.2\text{km}$ 、 $y \leq 2\text{km}$ の範囲では、密度 2.0g/cm^3 、 $V_p=1.9\text{km/s}$ 、 $V_s=1.1\text{km/s}$ とした。さらに図中濃灰色で塗られた $-14.4\text{km} \leq x \leq 20.8\text{km}$ 、 $y \leq 0.9\text{km}$ 、 $2\text{km} \leq z \leq 16.8\text{km}$ の領域では、 $V_s=600\text{m/s}$ 、 $V_p=1.0\text{km/s}$ 、 $\rho=2.0\text{g/cm}^3$ とした。この濃灰色領域の $z=2\text{km}$ の境界面では、 $0.4\text{km} \leq y \leq 0.9\text{km}$ の間で、45 度の傾斜を与えた。断層の破壊は図の断層の左下 ($x=-10\text{km}$ 、 $y=12.4\text{km}$) から一定速度 (S 波速度の 0.8 倍) で伝播するものとし、応力降下量は断層上の各点で 10MPa (100bar) とした。

計算は、大きい格子間隔を 400m、図 2(a)ではやや濃い灰色、図 2(b)ではハッチで塗られた領域では格子間隔を 133m とした、staggered grid を用いた 3 次元差分法により、時間間隔 0.02 秒で、12 秒間行った。数値分散による影響を取り除くため、計算された速度波形に pass frequency が 1Hz、stop frequency が 2Hz のローパスフィル

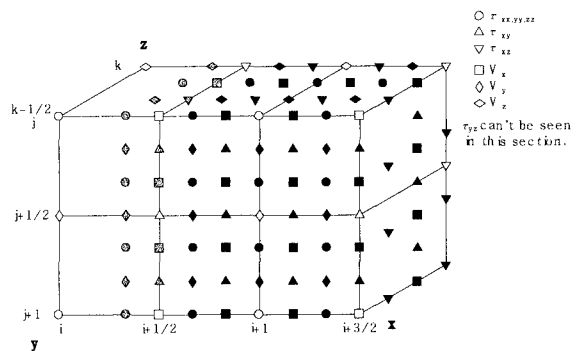


図1. 大グリッドと小グリッドの接合 (yz 面)

キーワード：強震動、動力学的モデル、不整形

連絡先 (〒338-8570 浦和市中大久保 255 ・ Tel. 048-852-2111 ・ Fax. 048-855-9361)

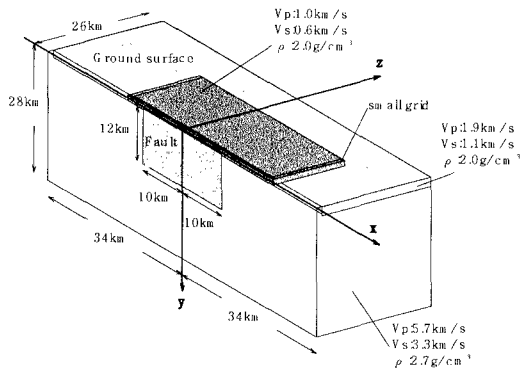


図2.(a)計算モデル

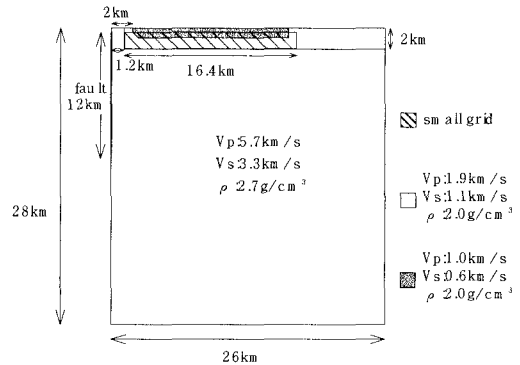


図2.(b)計算モデル（断面図）

ター 8) をかけて短周期成分を落とした。

4. 解析結果

図3に時刻 (t) 6 秒、8 秒、10 秒での地表における断層直交水平速度 (V_z) のスナップショットを示す。

縦軸は断層を含む面からの z 方向の水平距離、横軸は x 座標を km 単位で表す。各図の上辺の $-10\text{km} \leq x \leq 10\text{km}$ が断層の直上に当たる。上向きが V_z 正で、その値は、色が薄い程正に、濃い程負に大きい。スケールは、すべての図で統一されており、値の単位は cm/s である。

$t=6$ 秒では、断層の破壊先端部の真上に地震動の大きな領域があり、低速度層中で波面が屈折し、波面の先端付近に沿って周囲よりも地震動の大きな領域がみられる。

$t=8$ 秒においては、破壊伝播の方向性の影響により、断層破壊先端上の地震動はより大きくなる。波は2つめの低速度層にも達し、2つの低速度層の境界で2度屈折している。そのどちらの波面先端付近でも地震動は周囲より大きくなっている。また、2つめの低速度層中では、後続波による負の値で地震動の大きな領域がみられる。

$t=10$ 秒では、断層面上の破壊は終了し、破壊先端上と、低速度層の波面先端付近の大きな地震動は、値が小さくなりながら右へ進む。一方、後続波による負の値の地震動の大きな領域が、より顕著にみられるようになる。

5. まとめ

本研究では、断層近傍の地震動を計算する上で、動力学的モデルを用いることで、断層面上の運動を物理法則に基づき合理的に与える一方、地震波速度が遅い領域では、より小さな間隔の格子を用いることで、より細かい地下構造が地震動に与える影響を考慮可能な手法を開発した。そして、低速度層中に、さらに傾いた境界を持つ低速度層がある場合について計算し、境界部分で生じた波が、地表での地震動に影響を与える様子を示した。

参考文献

- 1) MIYATAKE, T., Reconstruction of dynamic rupture process of an earthquake with constraints of kinematic parameters, *G. R. L.*, 19, 4, 349-352, 1992.
- 2) Toki, K. and Miura, F: Simulation of a fault rupture mechanism by a two-dimensional finite element method, *J. P. E.*, 33, 485-511, 1985.
- 3) INOUE, T. and MIYATAKE, T., 3-D simulation of near-field strong ground motion: Basin edge effect derived from rupture directivity, *G. R. L.*, 24, 8, 905-908, 1997.
- 4) 川瀬博, 松島信一, GRAVES, R., W., SOMERVILLE, P., G., 「エッジ効果」に着目した単純な二次元盆地構造の三次元波動場解析—兵庫県南部地震の際の震災帯の成因—, *地震* 2, 50, 431-449, 1998.
- 5) PITARKA, A., IRIKURA, K., IWATA, T., and SEKIGUCHI, H., Three-dimensional simulation of the near-fault ground motion for the 1995 Hyogo-ken Nanbu, Kobe, Japan earthquake, *日本地震学会講演予稿集*, 2, A74, 1996.
- 6) 古村孝志, 額領一起, 3次元数値シミュレーションによる兵庫県南部地震の強震動の生成過程, *第1回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集*, 83-86, 1996.
- 7) VIRIEUX, J. and MADARIAGA, R., Dynamic faulting studied by a finite difference method, *B. S. S. A.* 72, 2, 345-369, 1982.
- 8) 齊藤正徳, 漸化式デジタル・フィルターの自動設計, *物理探鉱*, 31, 240-978, 1978.

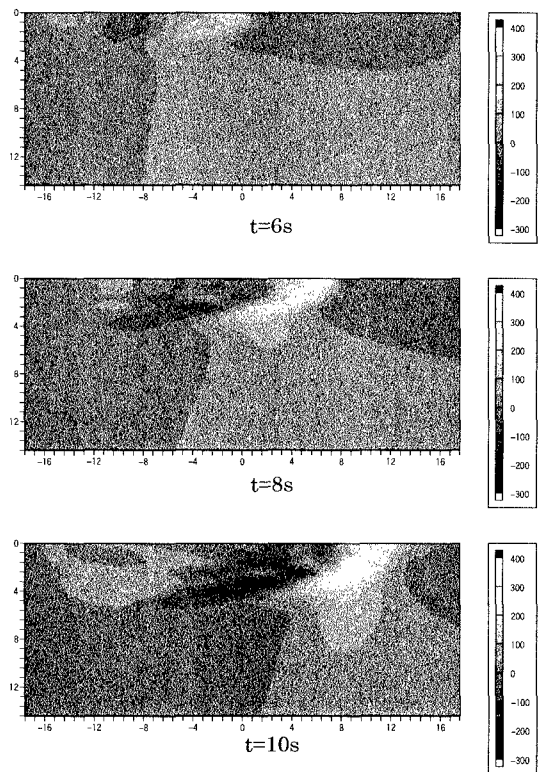


図3. 断層直交水平速度 (V_z) のスナップショット