

1. はじめに

断層近傍で生じる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重要である。断層近傍の速度波形や加速度波形に対しては、断層面上での動き、特にすべり時間関数の詳細な形が影響を与える。そのため、断層近傍での地震動を予測するためにはすべり時間関数を合理的に与える必要がある。一方、断層の近傍においても断層上での運動だけではなく、地下構造もまた地震動に非常に大きな影響を与える。

本研究では、3次元差分法により断層近傍の地震動の解析を行うが、動学的モデルを用いることで震源断層の動きを合理的に求め、さらに不連続格子を用いることで表層付近のより細かな地下構造を考慮して解析を行った。解析は平野部の地下浅部で地震が起きて大きな被害が生じた1948年福井地震を対象とした。

2. 解析手法及び解析モデル

(1) 動学的モデル

動学的モデルは断層上での応力降下量と破壊基準(または破壊時刻)を与えて地震を応力の解放過程として表現するモデルで、物理的にも妥当なモデルであり、また、すべり時間関数については予めその形状を仮定するのではなく、計算の結果求まるものとなる。本解析では断層上の各点で応力降下量と破壊時刻を与えて計算を行った。また、応力降下は1タイムステップで起こるものとした。

(2) 不連続差分格子^{1),2)}

本解析に用いたstaggered gridで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。本研究では地震波速度が遅い浅い領域においては細かい格子を用いたが、大きさの異なる格子間で対応する成分ができるだけ存在するように、細かい格子の間隔については大きな格子の間隔の3分の1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、まず、大きいグリッドの値を用いて小さいグリッドの値(図1中濃い灰色)を内挿し、その値を境界条件として小グリッド内部の各点(図1中黒塗り点)での応力・速度を求め、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(図中淡い灰色で塗られた点)の値を大グリッドの境界での値として大きなグリッド内部(図中白抜き点)での応力・速度を計算することによって行った。この操作を各タイムステップで繰り返して各点での速度と応力を求めた。

(3) 解析モデル

福井地震に関してはこれまでに様々な研究が行われてきている³⁾。それらを参考に図2に示したようなモデルを用いた。

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13km、長さ30km、傾斜角90度の横ずれ断層とし、 $z=0$ の平面上においた。断層の上端の深さは2kmとした。 $-33.6\text{km} \leq x \leq 33.6\text{km}$, $0\text{km} \leq y \leq 30\text{km}$, $-24\text{km} \leq z \leq 26\text{km}$ を計算領域とした。

媒質の密度と波速については表1に示すような構造を仮定した。格子間隔は480m以深では240m、それ以浅では80mとした。断層の破壊は、図2及び3の断層の左下(図3中 印)から一定の速度(S波速度の0.8倍)で伝

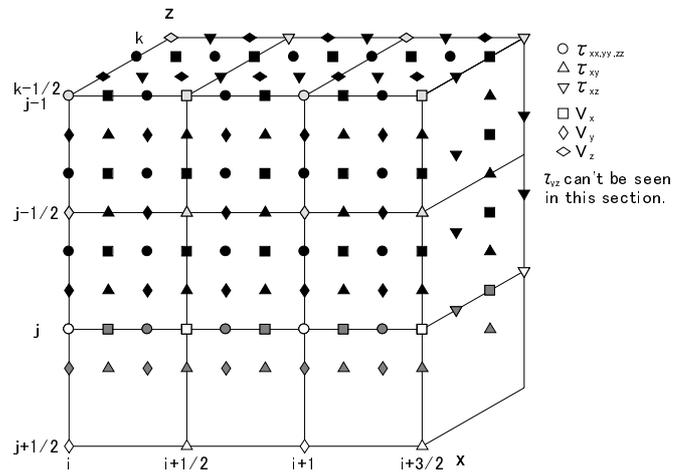


図1. 大グリッドと小グリッドの接合

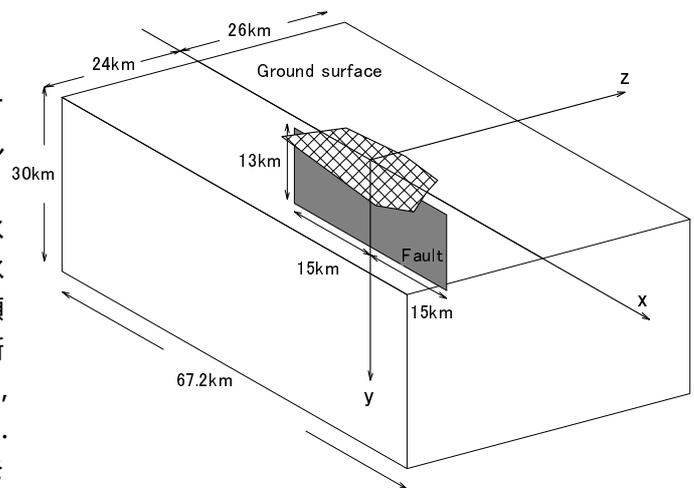


図2. 計算モデル

キーワード：不連続格子，動学的モデル，福井地震

連絡先：338-8570 埼玉県浦和市下大久保255 Tel. 048-852-2111 Fax. 048-858-7374

表1. 仮定した地下構造

深さ(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	(g/cm ³)
図2ハッチ部 0-240	2000	600	1.8
0-480	3700	2000	2.4
480-4480	5500	3200	2.6
4480-	6100	3500	2.7

播するものとし、応力降下量は、図3中灰色部分はアスペリティー領域として10Mpa、それ以外の部分では1Mpaとした。地表面以外の境界面では反射波を消去するために粘性境界を用いた。

時間間隔0.01秒で15秒間計算し、計算の結果得られた速度波形に対して、差分法における離散化による数値分散を考慮してローパスフィルターをかけて1.2Hz以上の高周波成分を落とした。

3. 解析結果

時刻8秒, 11秒における地表面での速度(断層直交水平成分, V_z)分布を図4に示す。横軸が断層平行方向(x方向), 縦軸が断層直交方向(z方向)で、軸の数字はkm単位である。図中に黒い線で示した縦軸の中央(z=0)が断層の真上にあたる。スケールは統一されており、値の単位はcm/sである。

時刻8秒においては断層の破壊の先端は上端部ではx=3km周辺に達している。図4上図において破壊先端部に近いx=2kmから3km周辺において断層近傍で大きな地震動が生じている。またx=-2kmから-3kmにおいては逆向きに地震動の大きな領域がある。これらの強震動域はz<0の方が広く値が小さくなっているが、これは図2の低速度層に対応したものと考えられる。

時刻11秒では破壊の先端は上端部で右端に近いx=13km付近に達している。地表では破壊先端部に近いx=12km周辺において断層近傍で地震動の大きな領域が見られる。破壊伝播の方向性の影響とアスペリティーの存在によりこの値は時刻8秒の破壊先端付近に比べて2倍程度に大きくなっている。また、その左側の低速度層内においても後続波によるものと思われる地震動の大きな領域がいくつか見られる。

4. まとめ

震源断層の動きを合理的に与えるために動学的モデルを用い、さらに表層付近のより細かな地下構造を与えるために不連続格子を使って差分法により福井地震の解析を行った。

その結果、震源断層の破壊先端付近に地震動の大きな領域が見られること、表層の低速度層内では地震動の増幅が起きるとともに後続波によっても強震動域が生じていることが示された。

参考文献 1) 谷山尚・島田篤: 動学的モデルによる断層近傍の強震動 - 地下構造の影響を入れたモデル - , 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.111-116, 1998. 2) Aoi, S., and H. Fujiwara: 3D finite difference method using discontinuous grids, B.S.S.A., pp.918-930, 1999. 3) 例えば, 入倉孝次郎・釜江克宏: 1948年福井地震の強震動 - ハイブリッド法による広周期帯域強震動の再現 - , 地震, pp.129-150, 1999.

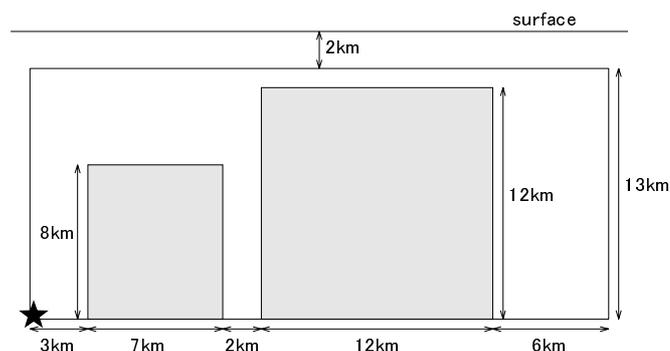


図3. 断層モデル

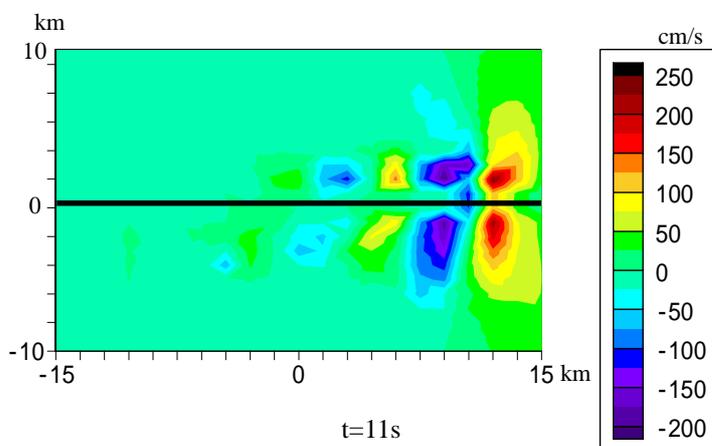
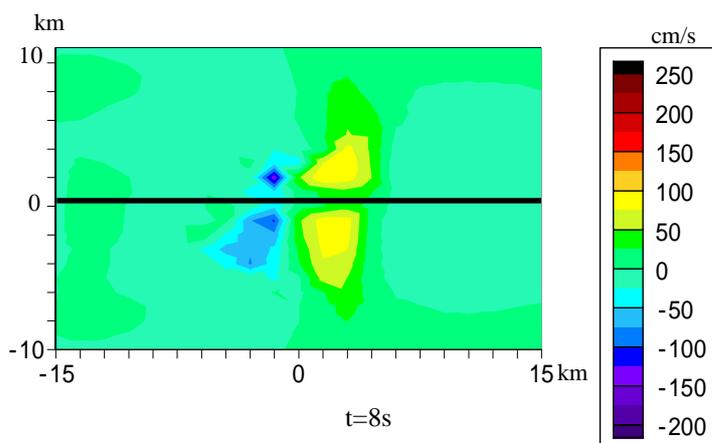


図4. 断層直交水平速度 (V_z) のスナップショット