

フィリピン海スラブ内の地震の震源過程：低周波と高周波で見る震源過程

筧 案麿（神戸大理）・山内麻記子（名古屋大院環境）

0. はじめに

スラブ内地震は、純粋に理学的な関心からも、強震動予測という実際の観点からも興味深く重要であるが、その発生頻度の低さゆえ、性質はよくわかっていない。防災科学技術研究所のK-NET, KiK-netに代表されるここ数年の驚異的な強震観測網の充実により、規模の小さいスラブ内地震でも、多数の観測点で良質の強震記録が観測されるようになった。このようなデータセットを使えば、対象とする地震の規模は小さいながらも震源過程の解析事例を増やすことができ、スラブ内というテクトニックな環境が震源過程に与える影響を評価する道が開かれると考える。

この研究では、2001年3月24日の芸予地震 ($M_{JMA}=6.7$) と2000年10月31日の三重県中部の地震 ($M_{JMA}=5.5$) の2つのフィリピン海スラブ内地震の震源過程を、高密度強震記録の解析により推定する。

1. 2001年芸予地震 ($M_{JMA}=6.7$) の解析

1.1 波形インバージョンによる低周波震源モデル

まず、multiple time window analysis により低周波の震源モデルを波形インバージョンによって求めた。解析に使用したパラメーター等は以下の通り。

- multiple time window analysis
- 断層面の設定
 $L \times W = 30 \text{ km} \times 21 \text{ km}$, strike = 180° , dip = 60°
 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ のメッシュ $10 \times 7 = 21$ 個に分割
- time window
 幅1.0秒のものを0.5秒ずつずらして8個置いている
 (トータル時間は $0.5 \text{ 秒} \times (8 + 1) = 4.5 \text{ 秒}$)
- 第1 time windowの伝播速度
 3.6 km/s (S波速度 4.5 km/s の80%)
- すべり量に空間・時間のスムージングと非負の拘束条件
- 経験的グリーン関数
 余震 (3月24日, $M_{JMA} = 5.0$) の記録
- 震央距離50~100kmの19観測点
- 0.1~1 Hzの速度波形
- 求められた総モーメント
 $1.9 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$

1.2 震源での低周波と高周波の地震波の励起

異なる周波数帯域で震源断層面での地震波の励起過程が異なるどうかを次のようにして調べてみた。グリーン関数は高周波のものを用い、しかし震源モデルは低周波のモデルを用い、合成波形を計算する。これと観測された高周波地震波を比べ、低周波のデータから得られた震源モデルが高周波の波まで再現し得るかどうかを見る。

1.3 破壊開始点の位置が地震波形に与える影響

directivity効果が地震波形に与える影響は非常に大きい。ここでは、その影響を見るために、破壊開始点の位置を変えた複数のケースについて合成波形を計算し、破壊の伝播が地震波の振幅や継続時間等に与える影響を見てみた。言わば、破壊開始点が異なる仮想的な芸予地震の強震動予測を実験的に行ってみるわけである。その際に、震源のモデルとしては、波形インバージョンによって求められた各メッシュのすべり分布と震源時間関数を使い、唯一各メッシュの第一time windowの破壊開始時刻だけを破壊開始点の位置に応じて変えることにする。

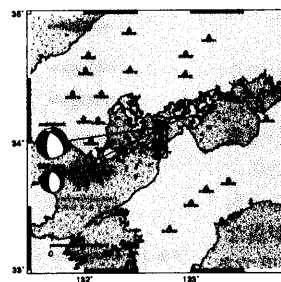


Fig. 1-1 The hypocenters of the 2001 Geiyo earthquake and EGF event, and the KiK-net stations used in this study.

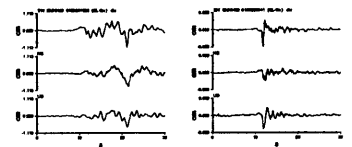


Fig. 1-2 The observed displacement waveforms of the mainshock and the EGF event at SMNH09.

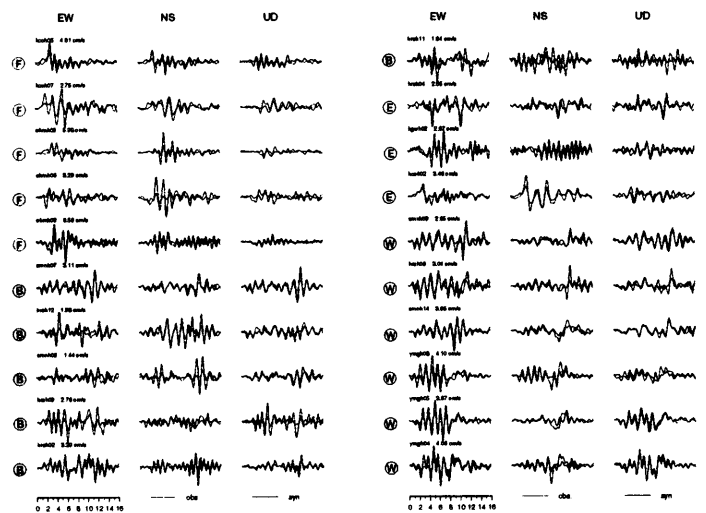


Fig. 1-3 Comparison between the observed and synthetic velocity waveforms. Symbols denote the station locations. ⊕: forward-directivity side, ⊙: backward-directivity side, ⊗: eastern side, ⊚: western side.

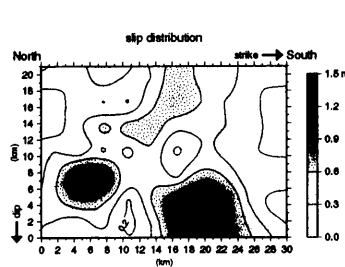


Fig. 1-4 Slip distribution on the fault plane obtained from the waveform inversion.

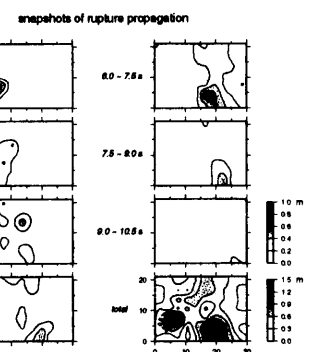


Fig. 1-5 Snapshots of the rupture propagation.

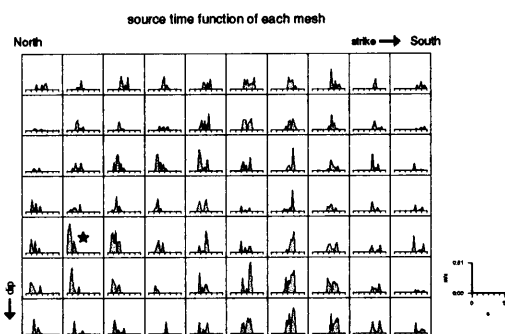


Fig. 1-6 Source time functions of the meshes obtained from the waveform inversion.

1.4 まとめ

- ・破壊は断層面上の北から南に向かって進んだ。震源過程は複雑で、断層面上に2ないし3つのアスペリティが見いだされた。断層面上の各点の震源時間関数の形も概して複雑であった。
- ・低周波 (0.1~1 Hz) の震源モデルを使って計算した高周波 (2~10 Hz) 合成波形は、観測波形と大きくは異なるが、同じでもない。低周波と高周波で地震波の励起過程は、大きくは異なるが、全く同じでもないことが示唆される。
- ・破壊開始点の位置を変え、各観測点での地震波形を計算する仮想的シミュレーションを行った。これは破壊開始点の位置ないしディレクティビティが強震動にどのような影響を与えるかを見るためである。破壊開始点の位置により、観測点での地震波形の最大振幅や継続時間、最大振幅の出現時刻などが異なることが確認された。最大振幅の変化は2倍程度であった。

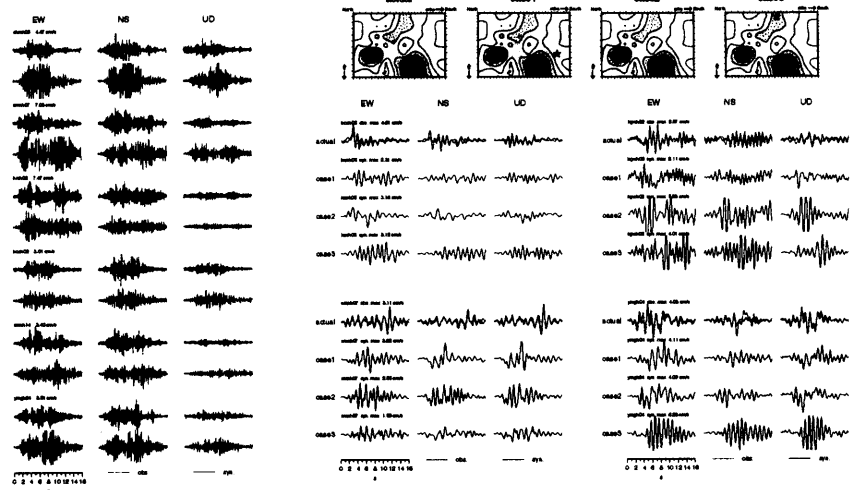


Fig. 1-7 Comparison between the high-frequency (2-10 Hz) synthetic waveforms calculated using low-frequency source model and observed waveforms.

Fig. 1-8 Experimental simulations for the various locations of rupture starting points.

2. 2000年三重県中部地震の解析 (M_{JMA}=5.5)

2.1 波形インバージョンによる低周波震源モデル

まず、multiple time window analysis により低周波の震源モデルを波形インバージョンによって求めた。解析に使用したパラメーター等は以下の通り。

- ・断層面の設定
L×W=6 km × 6 km, strike = 309°, dip = 74°
0.4 km×0.4 kmのメッシュ15×15 = 225個に分割
- ・time window
幅0.4秒のものを0.2秒ずつずらして3個置いている
(トータルの時間長は0.2秒×(3+1) = 0.8秒)
- ・第1 time windowの伝播速度
3.69 km/s (S波速度 4.61 km/sの80%)
- ・すべり量に空間・時間のスムージングと非負の拘束条件
- ・すべりは1方向 (rake = 146°)
- ・理論的グリーン関数：水平成層構造を仮定
- ・8観測点, 0.2~2 Hzの変位波形
- ・求められた総モーメント：1.7×10¹⁷ N*m

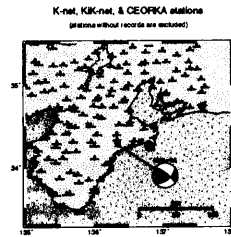


Fig. 2-1 The strong motion observation stations which recorded the 2000 Mie-ken Chubu earthquakes.

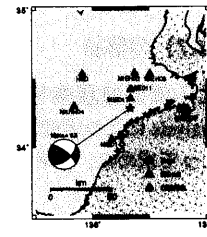


Fig. 2-2 The stations used in this study.

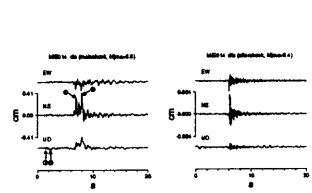


Fig. 2-3 The observed displacement waveforms of the mainshock and the largest aftershock at MIE014.

2.2 Iterative deconvolutionで求めた震源時間関数の高周波 (2~10Hz) と低周波 (0.2~2Hz) での違い

最大余震 (M_{JMA}=3.4) の地震波形を経験的グリーン関数として使い、高周波 (2~10 Hz) 地震波の震源での生成過程を見る。最大余震の記録がある観測点が MIE014 の1点のみであったため、空間分布はあきり iteratively deconvolution によって震源時間関数を求めることとした。比較のため、理論的グリーン関数で低周波の変位波形をdeconvolutionして、低周波の震源時間関数も求めた。

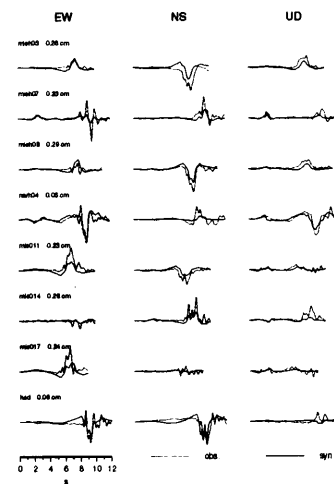


Fig. 2-4 Comparison between the observed and synthetic displacement waveforms.

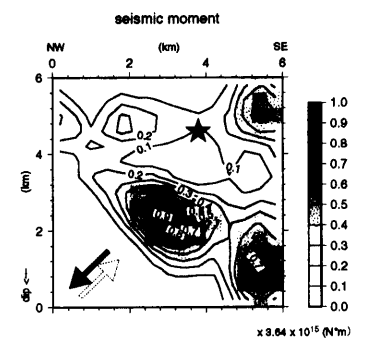


Fig. 2-5 Seismic moment distribution on the fault plane obtained from the waveform inversion.

2.3 まとめ

- ・震源過程は複雑で、断層面上に3つのアスペリティが見いだされた。
- ・1観測点の波形データのdeconvolutionによって求められた、低周波 (0.2~2 Hz) と高周波 (2~10 Hz) の震源時間関数の比較から、低周波と高周波とで地震波の励起過程が少し異なることがわかった。

謝辞

解析には防災科学技術研究所のKiK-net, K-NETと関西地震観測研究協議会の貴重な強震記録を使わせていただきました。記して感謝いたします。

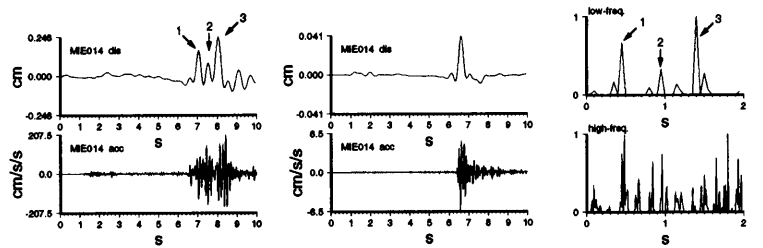


Fig. 2-6 Left: the low- and high-frequency waveforms of the mainshock at MIE014. Middle: the low-frequency theoretical Green's function and high-frequency EGF at MIE014. Right: the low- and high-frequency source time functions at MIE014 obtained by iterative deconvolution.

Layer top depth (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	density (kg/m ³)	Qp	Qs
0	3820	2320	2200	400	150
1000	4200	2520	2400	300	200
2000	4300	2520	2500	400	300
3000	4700	2800	3000	1000	300
3500	4700	2800	3000	700	300
4000	4800	2800	3000	1000	400
5000	7200	4100	3200	1500	700

Table 2-1 Underground structure parameters used for the calculation of the synthetic Green's functions.