

# 2007年中越沖地震の震源破壊過程と強震動

入倉孝次郎<sup>1</sup>・倉橋撰<sup>1</sup>・宮脅研<sup>2</sup>・○香川敬生<sup>2</sup>愛知工業大学<sup>1</sup>、(財)地域地盤環境研究所<sup>2</sup>Fault Rupture Process and Strong Ground Motion due to the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake  
Kojiro Irikura<sup>1</sup>, Susumu Kurahashi<sup>1</sup>, Ken Miyakoshi<sup>2</sup>, ○Takao Kagawa<sup>2</sup> AITI, GRIZ

**要旨** 本報告は、2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震において、海底地震計の観測結果を基に再決定された余震分布により、本震を引き起こした震源断層が南東傾斜であった可能性が高いという結果を受けて、地震の強震動を引き起こした震源断層モデルの推定を行い、柏崎刈羽原子力発電所(KKNPP)が大きな強震動に襲われた原因について検討を行ったものである。はじめに、観測記録にみられた顕著な3つのパルスの到達時刻とパルス間の時間差からアスペリティの位置を推定し、それを基に経験的グリーン関数法を用いて震源モデルを構築した。その結果、本震は3つのアスペリティで構成され、面積と応力降下量は、約5×5km<sup>2</sup>、20~24MPaと推定された。推定したアスペリティの場所は、堀川(2007)によるすべり量の大きい場所と調和的であった。次に、波数積分法による理論的手法により震源モデルの修正を行うとともに、KKNPPにおいて顕著に大きな加速度が観測された断層南側アスペリティ(ASP3)に注目して、最適な断層面の推定を試みた。その結果、ASP3の振幅が最大となる断層面は(strike, dip)=(30°, 30°)となった。

## 1. 本震の観測記録の特徴

本震による最大震度は6強で、震度の大きい分布は海岸線に沿って広がっていた。また、KKNPP(柏崎刈羽原発)は、震度6強の観測域内に位置していた。広域における最大加速度の分布は、過去の同規模の地震の距離減衰式(司・翠川, 1999)とほぼ調和的である。しかしながら、震源断層から近いKKNPPでは、距離減衰式よりも顕著に大きい(図1)。東大地震研究所による海底地震計を用いて計算された余震分布は、震源断層が南東傾斜であった可能性を強く示唆している(図2)。震源近傍に位置するK-net観測点の観測記録には、2~3個の明瞭なパルスが観測されており(図3),震源に存在するアスペリティの影響と考えられる。図4に経験的なスペクトルの距離減衰(Abrahamson and Silva, 1997)と観測応答スペクトル比(右図)を示す。その結果、本震は過去の地震と比較して平均的なものといえる。

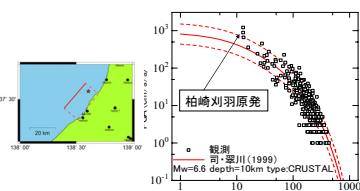


図1 観測最大加速度と堀川(2007)(左図)の断層モデルによる距離減衰式(司・翠川, 1999)との比較

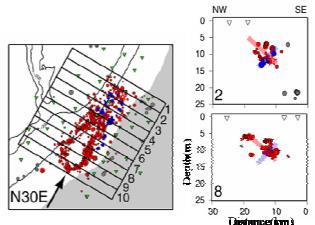


図2 海底地震記録を含めて計算された余震分布(東大地震研, 2007).

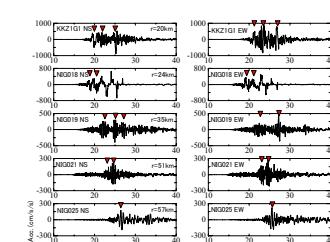


図3 K-net観測点における加速度記録

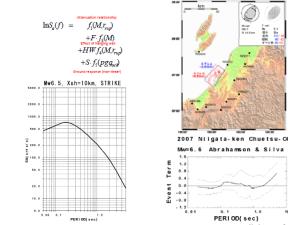


図4 スペクトルの距離減衰(Abrahamson and Silva, 1997)(左図)およびそれと観測応答スペクトル比(右図)

## 2. 想定震源破壊モデル

観測記録に見られる顕著なパルスを用いて、アスペリティ1(ASP1)の位置は、震源(破壊開始点)から発生したS波の伝達時刻と観測記録から読み取れるアスペリティ1からのS波初動の到達時刻との差から推定した(左下の「S波初動時刻からのASP1の推定方法」を参照)。一方、アスペリティ2, 3(ASP2,3)は、ASP1とのパルスの時間差から相対的な位置を推定した。この方法に必要なS波速度と破壊速度は、S波速度は観測走時記録から、破壊速度は式(3)の残差が最小となる値をグリッドサーチにより推定した。その結果、Vsは2.7km/s、Vrは2.2km/sとなった。ただし、S波速度は、震源距離40kmより遠い記録を用いると3.1km/sとなる。

パルスから推定したアスペリティの位置を参考として、経験的グリーン関数法により震源モデルを構築した。グリーン関数となる余震は、本震と同方向のものを用いるため、ASP1, 2には2007年7月16日21時08分を、ASP3には、2007年8月4日0時16分の余震を選定した。解析に使用した観測点の地図と推定された震源モデルを図5に、本震と余震の緒元を表1に、震源モデルの緒元を表2に示す。KKNPPでの合成波形を図6に示す。合成波形(赤)は、観測波形(黒)にみられる3つのパルスの振幅、位相などをよく再現している。構築した震源モデルと、波形インバージョンにより推定されたすべり量分布(堀川, 2007)と比較すると、すべり量の大きい場所と強震動が生成された場所は調和的である(図7)。

### S波初動時刻からのASP1の推定方法

ASP1からのS波初動の到達時刻からASP1の位置を推定する。オリジンタイムは既知とする。

震源から放射されたS波の到達時刻(T0)は、震源距離:R0と平均S波速度:Vsにより計算される。

$$T0 = \frac{R0}{Vs} \quad (1)$$

ASP1から放射されたS波の到達時刻(T1)は、震源からASP1への破壊時間とASP1から観測点までのS波伝播時間で計算される。

$$T1 = \frac{r}{Vr} + \frac{R2}{Vs} \quad (2)$$

観測記録から読み取ることができる時間差(T1-T0)と、震源および任意のASP1の位置から発生したS波到達の時間差の関係より最適なASP1の位置が推定される。

$$T1 - T0 = \frac{r}{Vr} + \frac{R2}{Vs} - \frac{R1}{Vs} \quad (3)$$

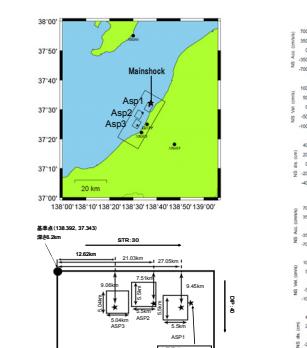
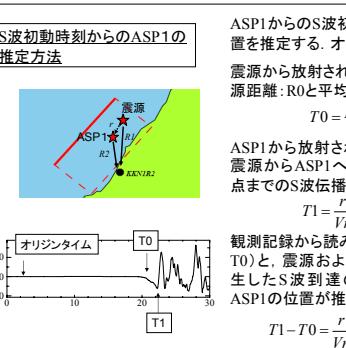


図5 経験的グリーン関数法を用いて構築した震源モデル

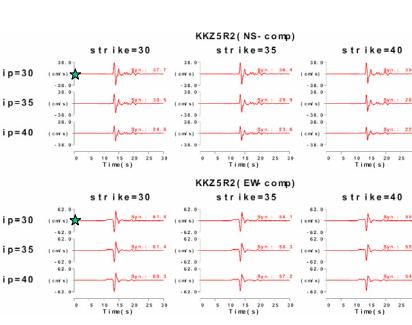


図8 Asp3の走向角と傾斜角を変えた計算速度波形例

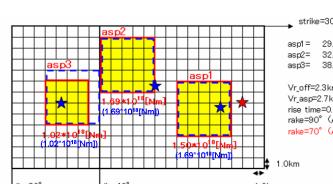


図9 修正した震源モデル(青:Initial, 赤:Revised)

### 3. 波数積分法による強震動評価

経験的グリーン関数法による震源モデル(図5)を参考に、波数積分法(Bouchon, 1981)を用いて断層面の走向・傾斜角およびすべり角を含めた震源モデルの修正を行った。余震分布からAsp3が位置する南側断層面の傾斜角はAsp1, Asp2の北側断層面(dip≈40°)と異なるという報告がある(図2参照)。そこでAsp3に着目して、その断層面の走向角(30~40°)と傾斜角(30~40°)を変えて計算される波形について考察を行った。図8にKKZ5R2の計算速度波形例を示す。Asp3のパルス振幅が最大となるのは(strike, dip)=(30°, 30°)の場合であり、これはKKZ1R2でも同じであった。以上からAsp3が位置する南側断層面の走向角と傾斜角は、パルス波が最大となる(strike, dip)=(30°, 30°)が適当と考える(図8の★)。図9に修正震源モデルとその計算波形を図10に示す。Asp3からの破壊開始点はAsperity領域のほぼ中央に位置しており、またKKNPPがAsp3の面に直交する方向に位置していることなどから、KKNPPでの大地震動の原因として震源のフォーカッシングによる影響が示唆される。図11にAsp1, Asp2の(strike, dip)=(30°, 40°), Asp3の(strike, dip)=(30°, 30°)とした経験的グリーン関数法による合成波形結果を示す。

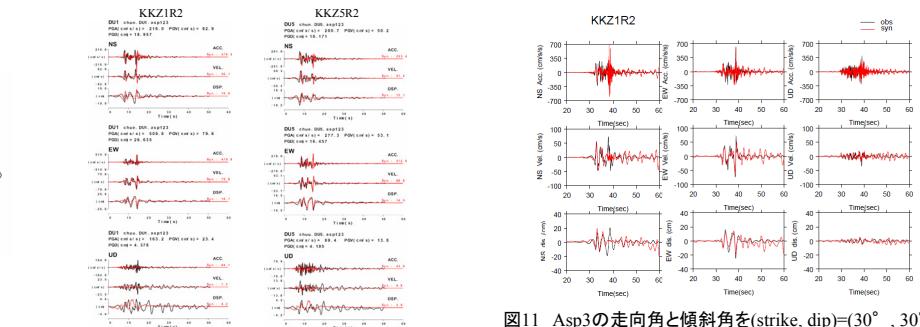


図10 KKNPPでの観測波形(黒)と合成波形(赤)の比較

図11 Asp3の走向角と傾斜角を(strike, dip)=(30°, 30°)にした経験的グリーン関数法による合成波形(赤)と観測波形(黒)の比較

表1 本震と余震の緒元

	Mainshock	Aftershock(P1)	Aftershock(AFT2)
Origin time	07/07/16 10:13	07/07/16 21:01	07/07/04 00:16
Hypocenter	37.567, 138.609	37.509, 138.630	37.425, 138.537
Depth	12km	15.8km	15.1km
Mw	6.6	4.4	4.4
Mo	5.21±1.0m	5.21±1.0m	5.06±1.4m

表2 震源モデルの緒元

	Asp1	Asp2	Asp3
Rupture start point	(4.0)	(2.5)	(4.1)
Depth (km)	12.3	1.6±1.0	11.0
Length (km)	1.6±1.0	1.6±1.0	1.6±1.0
Width (km)	0.5±0.5	0.5±0.5	0.5±0.5
Asp1 Length (W/km)	5.2±0.5	5.2±0.5	5.5
Asp2 Length (W/km)	2.7	2.7	5.5
Asp3 Length (W/km)	5.5±1.5	5.5±1.5	5.6±1.4

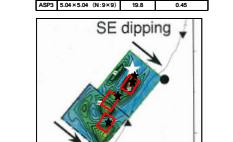


図7 すべり量分布(堀川, 2007)と本研究で得られた強震動生成領域(図中の□)の比較