

2007年3月25日能登半島地震(Mj6.9)の震源のモデル化

本研究は飛鳥建設(株)技術研究所・池田隆明氏、三輪滋氏との共同研究として実施したものである。

1. はじめに

2007年能登半島地震(Mj6.9)は、輪島市、七尾市、穴水町で震度6強の揺れを観測し、死者1名、家屋の全壊630棟、半壊1,520棟という大きな被害をもたらした^[1]。この地震による観測記録はK-NET、KiK-net、JMAにより震源近傍域も含め、多数得られている。ほぼ震源直上のISK006での最大加速度(水平2方向合成)は900cm/s/sを超え、1995年兵庫県南部地震の観測記録を上回るものであった。被害は震源域の直上と思われる旧鳳至郡門前町(現:輪島市門前町)から輪島市にかけて広がっており、震源近傍域での強震動が非常に大きかったものと推察される。この地震の震源過程についてもいくつかの波形インバージョン解析が行われ^{[2],[3],[4],[5],[6]}、断層面での不均質なすべり分布等が公開されている。モデル間でのバラツキは大きい。震源域近傍と震源北東にもすべりが大きい領域が見られるなど、共通点もある。本研究では、波形インバージョン解析結果などを参考に、広帯域強震動評価のための震源モデルを経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングによって評価した。

2. 震源のモデル化

波形インバージョンによる震源の破壊過程を参考に、経験的グリーン関数法^[7]を用いたフォワードモデリングを行った。観測波形と合成波形との比較はいくつかのK-NET観測点における記録を用いた。対象とした観測点は震源域に近いISK003(輪島)、ISK005(穴水)、ISK006(富来)、および破壊伝播方向のISK001(大谷)、ISK002(正院)などである(図1)。経験的グリーン関数として用いた地震は2007年3月25日15時43分のMj4.3(Aftershock-1)の地震である。波形の精度を考慮し、0.2~10Hzのバンドパスをかけて使用した。この地震の震源パラメータ(断層面積、応力降下量)はKiK-netのISKH04(富来)観測点の地中記録から震源変位スペクトルを求め、円形クラックの式などから評価した。破壊速度は2.5km/s、S波速度は3.5km/sと仮定した。表1及び表2に本震及び余震の諸元をそれぞれ示す。

フォワードモデリングの結果、震源近傍(Asperity-1)とその西側(Asperity-2)および東側(Asperity-3)の3カ所にアスペリティを配置した震源モデルを得た。表3および図1、図2に設定した震源モデルを示す。

破壊はAsperity-1の中央最深部から円状に広がり、Asperity-2、Asperity-3にそれぞれ破壊が到達した後、再び円状に破壊が伝播すると仮定した。Asperity-1の大きさ、応力降下量、ライズタイムは、7.2km×7.2km、20MPa、0.6秒、Asperity-2は4.8km×4.8km、20MPa、0.5秒、Asperity-3は4.8km×4.8km、10MPa、0.5秒となった。

図3にISK001、ISK003、ISK005、ISK006における観測波形と合成波形を、図4には加速度応答スペクトル($h=0.05$)をトリパタイト表示で示す。断層の走向方向にある、ISK001やISK003では、断層破壊の指向性効果によるパルス状の波形がうまく再現されている。震源に最も近いISK006では、経験的グリーン関数の影響を受けやすく、今回使用した余震記録を用いた合成波形の一致度はISK001やISK003に比べるとやや劣るものの、観測波形の特徴は十分再現されている。ただし、ISK005では合成波形の短周期成分が過大評価となっている。ISK005の観測地点は、地盤が軟弱であることから、本震時における表層地盤の非線形化の影響が想定される。

図5にアスペリティの総面積と地震モーメントとの関係式を示す。実線はSomerville et al.^[8]が示したスケーリング則である。能登半島地震の震源モデルは、このスケーリング則を満足していることがわかる。

次に、参考までに経験的グリーン関数として別の余震を使った場合の結果を示す。図A1に図1中のAftershock-2(2007年4月2日8時1分)を用いた場合のISK006における観測波形と合成波形を比較して示す。同様に図A2に加速度応答スペクトル($h=0.05$)を示す。EW成分の合成波形は若干短周期成分が多いものの、観測波形との一致度は極めて高い。このように、震源近傍地点においては、経験的グリーン関数の影響が大きいため、経験的グリーン関数の選定には注意が必要である。

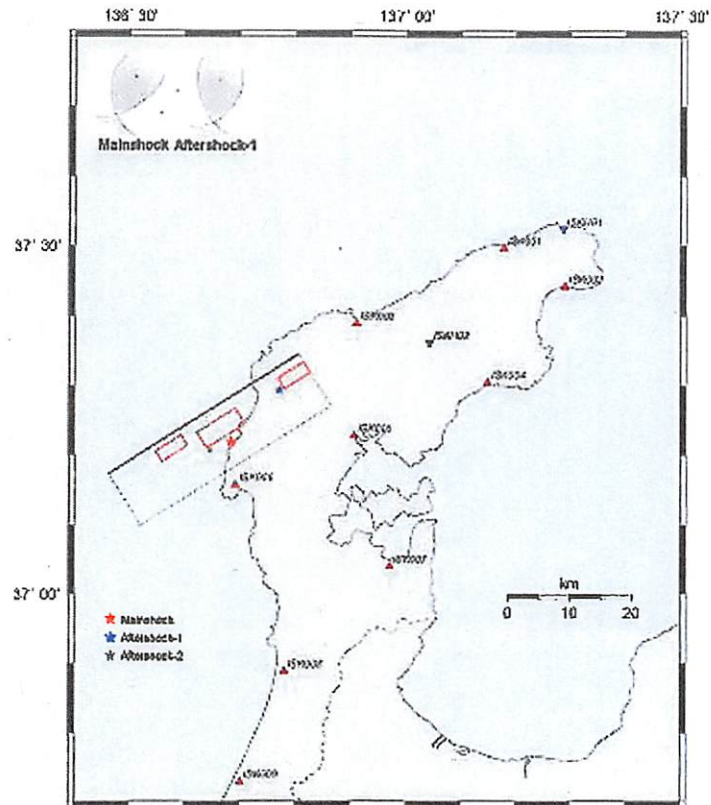


図1 震源と観測点との位置関係

表1 本震の諸元

| | |
|---|----------------------------|
| 発震日時 ^[9] | 2007/3/25 09:41:57.9 |
| 震央 ^[9] | 37° 13.2E 136° 41.1E |
| 震源深さ ^[9] | 11km |
| マグニチュード(Mj) ^[9] | 6.9 |
| メカニズム [Str:RAKE:DIP] ^[10] | 58: 66:132 173: 34: 48 |
| 地震モーメント(Mo) ^[10] | 1.36 × 10 ¹⁹ Nm |
| モーメントマグニチュード(Mw) ^[10] | 6.7 |

表2 余震の諸元(Aftershock-1)

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 発震日時 ^[10] | 2007/3/25 15:43:30.5 |
| 震央 ^[10] | 37° 17.6' 136° 46.3'E |
| 震源深さ ^[10] | 9km |
| マグニチュード(Mj) ^[10] | 4.5 |

| | |
|---|---------------------------|
| メカニズム ^[10] [Str:RAKE:DIP] | 161: 51: 60 40:137: 48 |
| 地震モーメント(Moe) ^[10] | 1.25×10^{15} Nm |
| 面積(Se) | 1.44km ² |
| 応力降下量($\Delta \sigma_e$) | 2.0MPa |

表3 能登半島地震の震源モデル

| | 地震モーメント | 面積 | 応力降下量 | ライズタイム |
|------------|--------------------------|--|-------|--------|
| Asperity全体 | 3.90×10^{18} Nm | 97.9km ² | — | — |
| Asperity-1 | 2.70×10^{18} Nm | 51.8km ² (7.2km × 7.2km) | 20Mp | 0.6s |
| Asperity-2 | 8.00×10^{17} Nm | 23.0km ² (4.8km × 4.8km) | 20Mp | 0.5s |
| Asperity-3 | 4.00×10^{17} Nm | 23.0km ² (4.8km × 4.8km) | 10Mp | 0.5s |

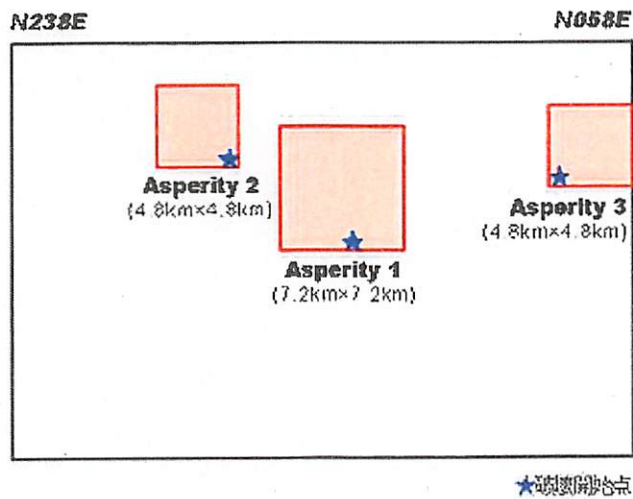
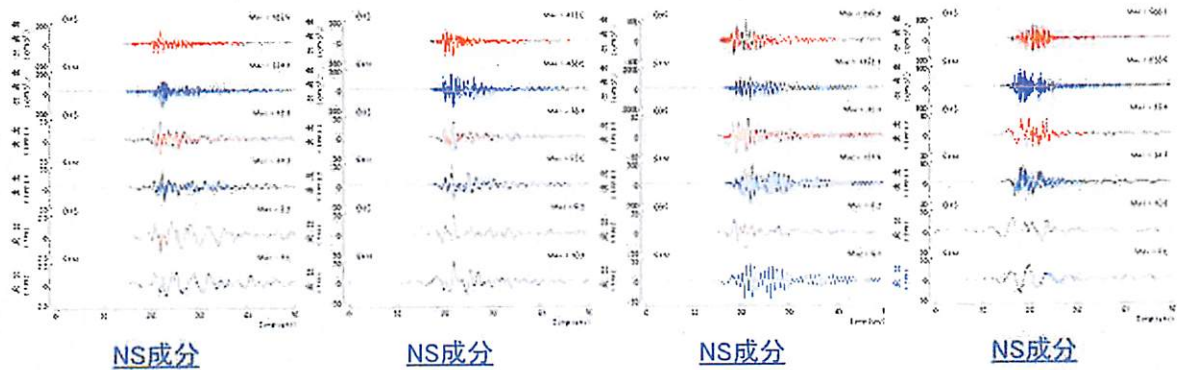


図2 能登半島地震の震源モデル



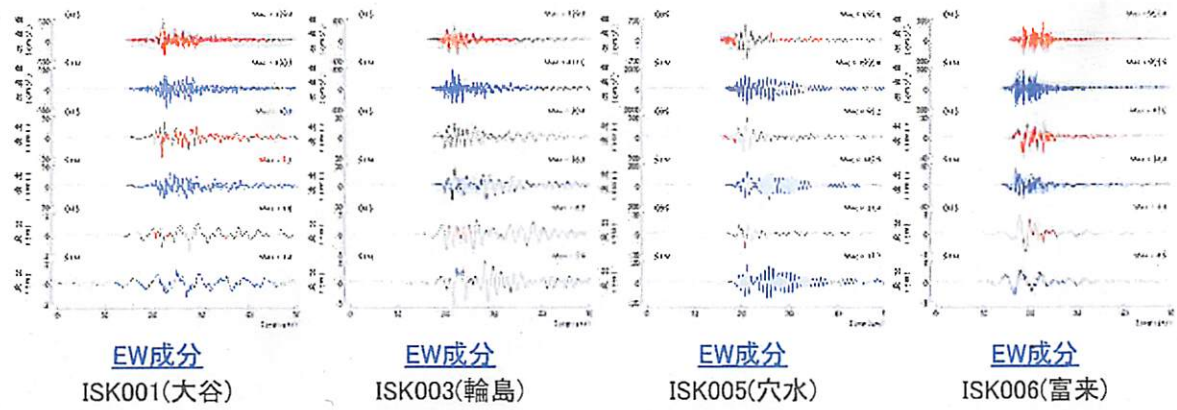


図3 観測波形と合成波形の比較(赤:観測波形、青:合成波形)

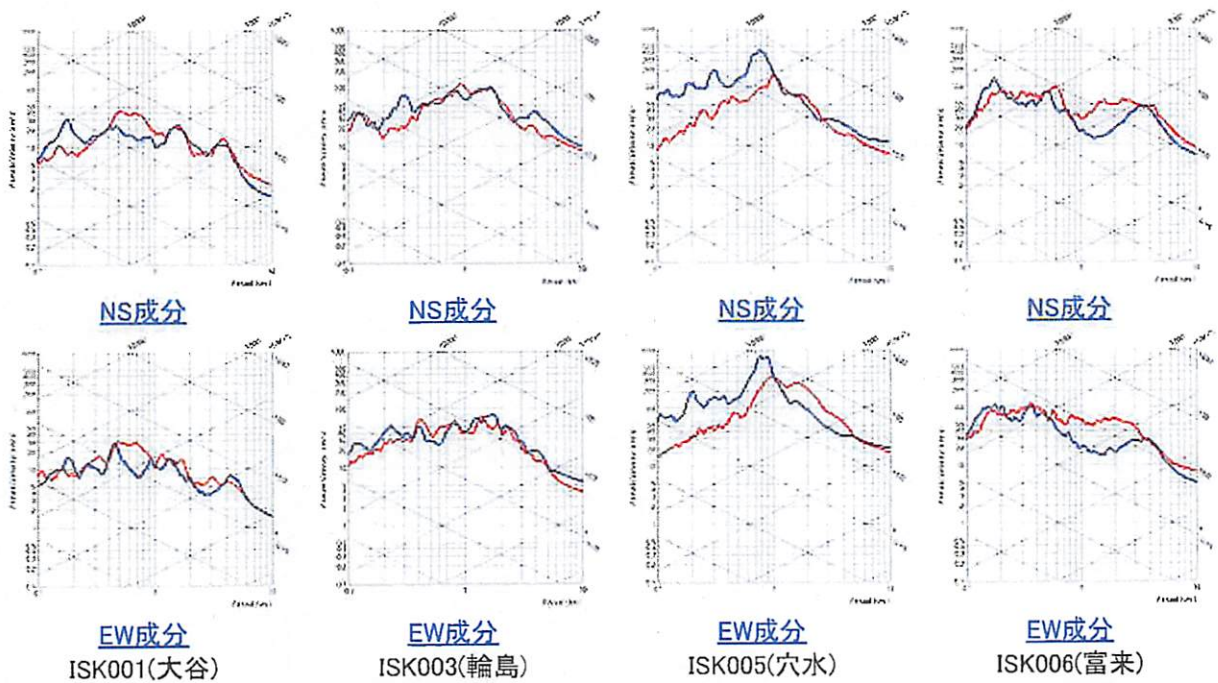


図4 観測波形と合成波形の加速度応答スペクトル(h=0.05)の比較(赤:観測波形、青:合成波形)

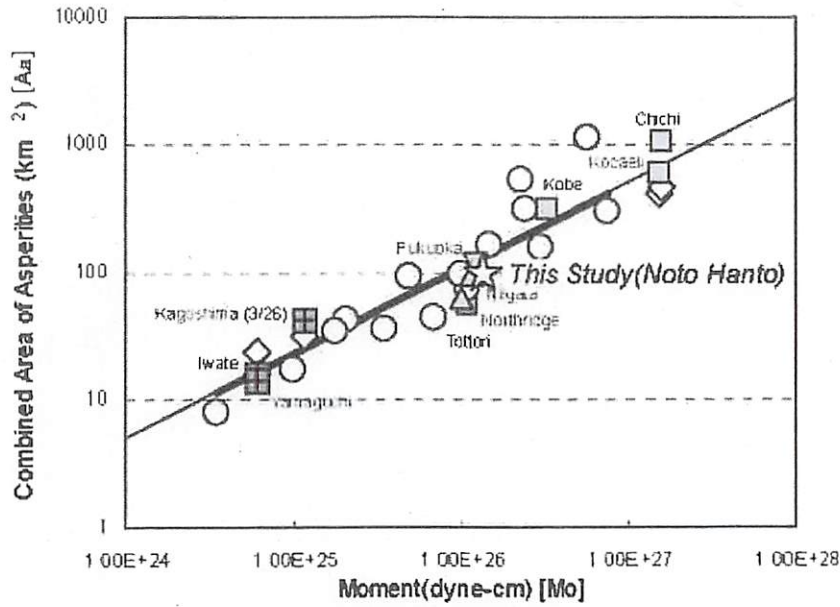
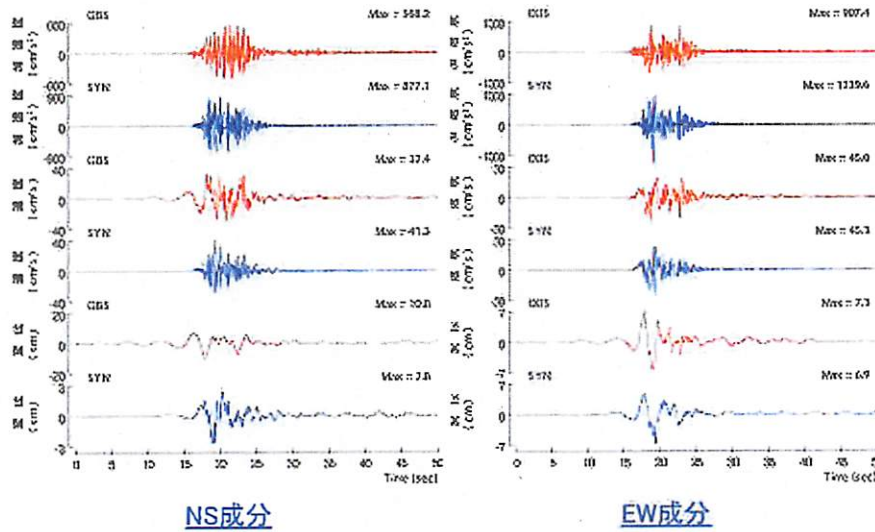
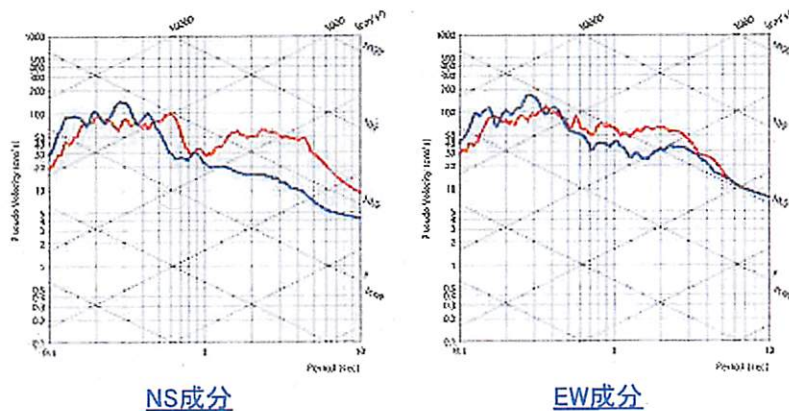


図5 アスペリティの総面積と地震モーメントとの関係



図A1 観測波形と合成波形の比較 (赤: 観測波形、青: 合成波形)



図A2 観測波形と合成波形の加速度応答スペクトル($h=0.05$)の比較 (赤: 観測波形、青: 合成波形)

謝辞

本検討ではK-NETおよびKiK-netの観測記録、F-netおよびJMAの情報を使用させて頂きました。また図の一部はGMTを使用して作成いたしました。

参考文献

1. 消防庁, <http://www.fdma.go.jp/detail/710.html>
2. 山中佳子: EIC地震学ノート, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/
3. 堀川晴央: 2007年能登半島地震の破壊過程 (第二報), <http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/jishin/notohanto/hakaikatei2.html>
4. 気象庁: 「平成19年(2007年)能登半島地震」の震源課程と余震分布, http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_03_25_noto/shingen_katei.pdf
5. 青井真、関口春子: 近地震動記録による能登半島地震の震源インバージョン (暫定版), <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/noto070325/>
6. 八木勇治: 2007年3月25日能登半島沖の地震, http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/20070325/
7. 釜江克宏・入倉孝次郎: 1995年兵庫県南部地震の断層モデルと震源近傍における強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第500号, 29-36, 1997.10.
8. Somerville, P. G., K. Irikura, K., R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada: Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, pp.59-80, 1999.
9. 気象庁: 震度データベース, http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/shindo_index.html
10. 防災科学技術研究所: F-net, 広帯域地震観測網, <http://www.fnet.bosai.go.jp/freesia/index-j.html>

