

# 経験的グリーン関数法を用いた 2000年10月6日鳥取県西部地震の 震源の特性化と強震動シミュレーション

池田 隆明<sup>1</sup>・釜江 克宏<sup>2</sup>・三輪 滋<sup>3</sup>・入倉 孝次郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 飛島建設株式会社 技術研究所(〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472)

<sup>2</sup>工博 京都大学 原子炉実験所(〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町野田)

<sup>3</sup>正会員 飛島建設株式会社 技術研究所(〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472)

<sup>4</sup>理博 京都大学 防災研究所(〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震を対象に、経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングにより、震源の特性化と強震動シミュレーションを行った。震源モデルは関口・岩田の震源すべり分布モデルを初期モデルとし、すべり量の大きい震源の南側と上方の2カ所にアスペリティを設定し、各アスペリティをサブイベントと考えた多重震源として取り扱った。その結果、震源近傍を含めた観測記録は震源の上方と南側の二つのアスペリティからの強震動によって説明できると考えられた。また、アスペリティの大きさは、Somerville et al.による経験的的特性化によってほぼ説明できると考えられた。

**Key Words:** source model, empirical Green's function method, strong ground motion, asperity, simulation, near-source

## 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、多くの研究機関により各地で強震観測が行われ、貴重な観測記録が得られている。2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震においても、本震および余震記録がK-Net<sup>1)</sup>およびKiK-Net<sup>2)</sup>により得られ、インターネットを通じて公開されている。そこで、経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングにより、震源のモデル化と断層近傍の観測地点を対象に強震動シミュレーションを行った。

## 2. 震源モデルの設定

鳥取県西部地震の破壊過程は、関口・岩田<sup>3)</sup>、堀川<sup>4)</sup>、井出<sup>5)</sup>、Yagi & Kikuchi<sup>6)</sup>により求められている。関口・岩田および堀川のモデルは震源の上方から南側にかけてすべり量が大きい領域が見られる。これに対して井出のモデルは震源の上方、Yagi & Kikuchiのモデルは震源の南側にすべり量の大きい領域が見られる。

本検討ではこれらのモデルのうち、震源から70km以内の14地点でのK-NetとKik-Netの観測記録を用いた波形インバージョンにより求められた関口・岩田の震源すべり分布モデルを初期モデルとし、すべり量の大きい領域にアスペリティを設定し、アスペリティの位置や大きさ、および応力降下量をパラメータとして経験的グリーン関数法による強震動シミュレーションをフォワードモデリングで行い<sup>7)</sup>震源モデルを設定した。

経験的グリーン関数に使用する小地震記録は、地震規模が比較的大きいこと、震源が本震の震源近傍にあること、多くの観測地点で記録が得られていること等の条件から、10月17日22時17分に発生したMj=4.2の余震による記録とした。図-1に本震の震源断層と余震の震源との位置関係、および強震動シミュレーションの対象とする観測地点を示す。また、表-1に余震の諸元を示す。地震モーメントはFREESIA Project<sup>9)</sup>による結果を使用した。応力降下量は、コーナー周波数を断層ごく近傍地点(TTRH02)の地中の記録から求めた震源変位スペクトルから読みとり、Bruneの式<sup>10)</sup>により23barと評価した。

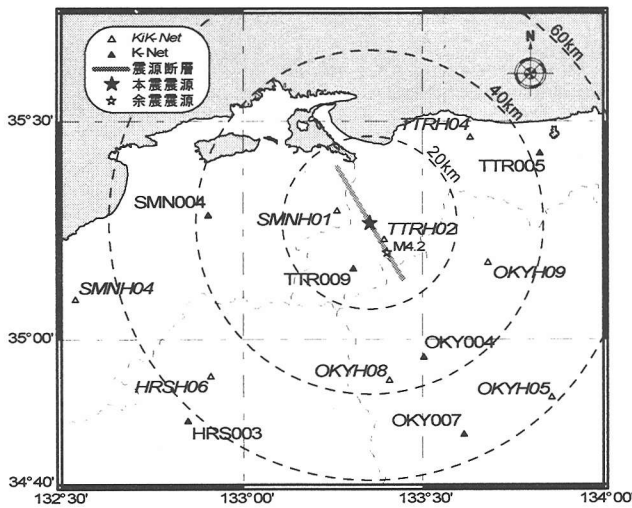


図-1 震源断層と検討対象地点

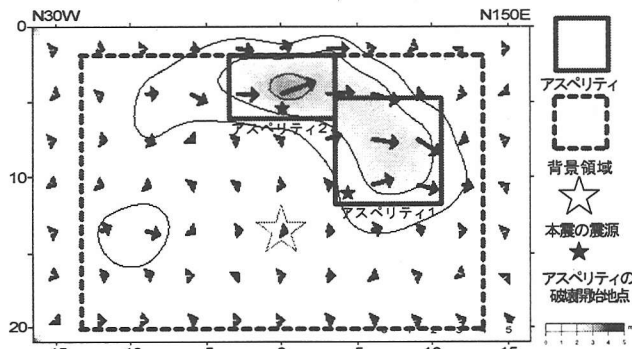


図-2 検討に用いた震源モデル  
(関口・岩田のすべり分布に加筆修正<sup>3)</sup>)

表-1 余震の諸元

	設定値
発生日時	2000/10/17 22:17 頃
震源位置 <sup>2)</sup>	35.2N 133.4E
Mj	4.2
震源深さ <sup>2)</sup>	12km
Strike,Dip,Slip <sup>9)</sup>	309deg.,87deg.,18deg.
地震モーメント <sup>9)</sup>	$2.84 \times 10^{15}$ Nm

表-2 震源パラメータ

	設定値	
発生日時	2000/10/6 13:30 頃	
Strike,Dip,Slip <sup>3)</sup>	150deg.,90deg.,0deg.	
発震点位置 <sup>3)</sup>	35.2679N 133.3527E, 13.5km	
地震モーメント <sup>11)</sup>	$9.6 \times 10^{18}$ Nm	
破壊領域面積 <sup>12)</sup>	468km <sup>2</sup>	
せん断波速度	3.5km/s	
アスペリティ	1(南側)	2(上方)
面積	49.0km <sup>2</sup>	29.4km <sup>2</sup>
上端深さ	4.7km	1.9km
地震モーメント	$2.49 \times 10^{18}$ Nm	$1.19 \times 10^{18}$ Nm
応力降下量	160bar	160bar
破壊伝播速度	2.3km/s	2.0km/s
ライズタイム	0.6s	0.6s

図-2 に断層近傍地点(SMNH01, TTRH02)での観測結果との一致度から設定した震源モデルを示す。アスペリティは震源の南側(アスペリティ 1)と上方(アスペリティ 2)の二箇所に設定し、各アスペリティをサブイベントとした多重震源として取り扱った。アスペリティ内のすべり量は一樣とし、震源から最も近い地点から放射状に破壊伝播するとした。

表-2 に震源パラメータを示す。アスペリティの大きさは、南側が49.0km<sup>2</sup>、上部が29.4km<sup>2</sup>、合計78.4km<sup>2</sup>である。菊池・山中のMo( $9.6 \times 10^{18}$ Nm)<sup>11)</sup>にSomerville et al.<sup>12)</sup>の経験式を適用して破壊領域とアスペリティの総面積を推定すると468km<sup>2</sup>と105km<sup>2</sup>となる。アスペリティの面積は本モデルの方が少し小さいものの、ほぼ経験式に従った大きさと考えられる。

### 3. 強震動シミュレーション

震源から半径80km程度までの14の観測地点を対象として強震動シミュレーションを実施した。KiK-Netの観測地点については、地中での地震動記録を対象とし、地震計の設置方位誤差を補正した。

波形合成においては、震源から各アスペリティの破壊開始地点までの距離に応じて破壊開始時間の差を考慮した。重ね合わせ数はアスペリティ1が5×5×5、アスペリティ2は5×3×4とした。本震と余震との応力降下量の比は二つのアスペリティともに7とした。しかし、最大振幅の調整は十分ではないため、この値は暫定値として取り扱う。

余震記録に含まれる無効な長周期成分はフィルターにより除去しているが、短周期(0.1秒)から比較的長周期(3.3~10秒)までのブロードバンドを対象としている。地震規模に依存するとした高周波遮断周波数を経験式<sup>13)</sup>より求め補正した。また、震源放射特性の違いはここでは符号のみを考慮した。

図-3 に震源近傍のSMNH01 および TTRH02 におけるシミュレーション結果についてEW成分の加速度および速度時刻歴を示す。各図とも上から、観測記録、合成結果(二つのアスペリティ)、アスペリティ1のみ、アスペリティ2のみ、背景領域のみの合成結果である。

二つの観測点とも、速度波形の一致度は高く、特に断層破壊の指向性効果によるパルス状の波形が良く再現できている。最大振幅については多少ばらつきが見られる。これは、最大振幅に大きく寄与する応力降下量を二つのアスペリティとも同じとしていること等に起因すると考えられる。

アスペリティ1の北端部に位置するSMNH01の地震動は、アスペリティ2からの地震動に大きく支配

されており、アスペリティ1からの地震動の寄与率は低いことがわかる。一方、二つのアスペリティの間に位置するTTRH02の地震動は、二つのアスペリティから同程度の強震動が発生しており、アスペリティの寄与率は同程度であることがわかる。

二つの観測点ともに背景領域から生成される地震動の影響は小さく、断層近傍の強震動はアスペリティからの強震動で説明できることがわかる。

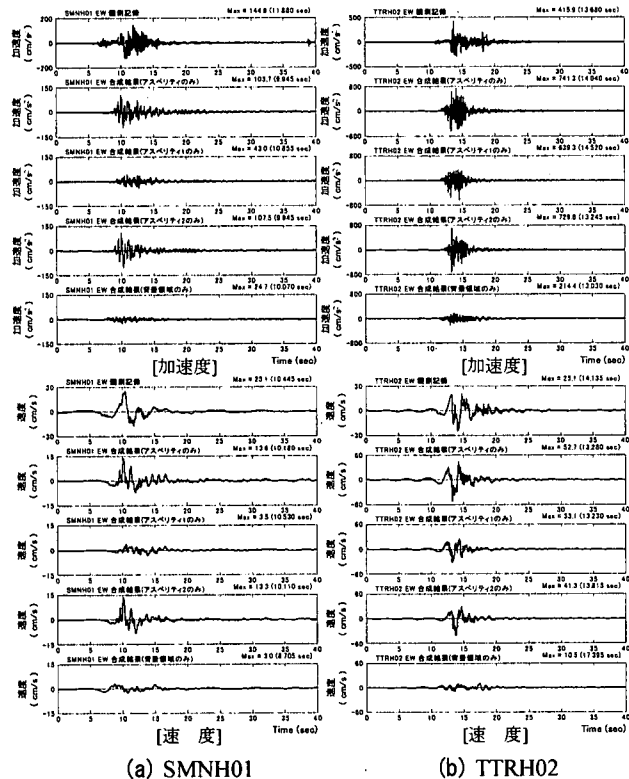


図-3 断層近傍地点でのシミュレーション結果

図-4には、SMNH01, TTRH02以外の12地点でのシミュレーション結果(加速度・速度時刻歴, EW成分)を観測記録と比較して示す。各図の最下段には背景領域を考慮した場合の合成結果をあわせて示す。全体的に加速度波形の継続時間や包絡形状の一致度は高い。図-3に示すように、震源近傍でも良好な結果が得られており、これらの結果は設定した震源モデルが広帯域強震動評価に有効であることを示唆するものである。

背景領域を考慮した場合の合成結果はアスペリティのみを考慮した場合と同程度であり、検討した範囲での強震動は、アスペリティから生成される強震動によって評価可能と考えられる。

図-5に観測結果と合成結果との最大値の比を震源距離との関係で示す。検討に用いた震源モデルは、波形の形状に主に着目して設定したため、前述のようにアスペリティの応力降下量は二つとも同じとしているなど、設定精度については十分でないものの、最大値との比の大部分は加速度で0.5~2.0、速度が

0.4~1.5の範囲におさまる、比較的良好な一致を示す。

図-6には図-5に示した結果をもとに水平二成分の比(NS/EW)を示す。この図から、ばらつきは最大加速度よりも最大速度の方が大きく、震源放射特性の周波数依存性を示唆していると考えられる。

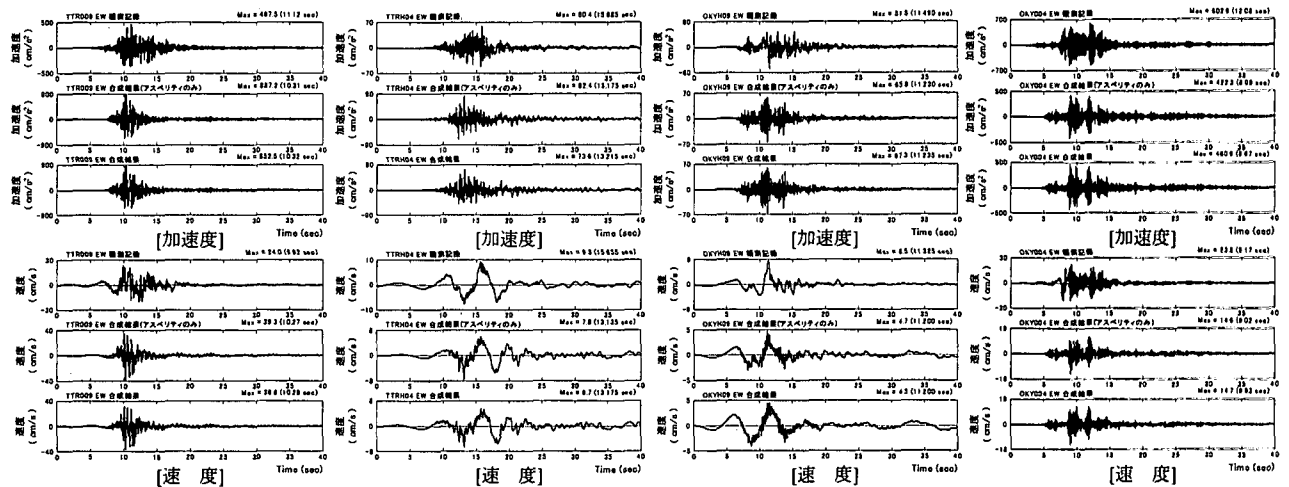
#### 4. まとめ

2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震を対象に、経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングにより、震源の特性化と強震動シミュレーションを行った。その結果、断層近傍の観測記録は、震源の南側と上方の二つのアスペリティからの強震動によって説明できることがわかった。また、アスペリティの大きさは、Somerville et al.の経験的特性化によってほぼ説明できる。今後、余震のパラメータの精度向上、震源放射特性の影響、fmaxの定量化等についての検討を行う必要がある。

謝辞：本検討では防災科学技術研究所のK-net, KiK-netの記録を使用させていただきました。

#### 参考文献

- 1) 防災科学技術研究所:強震観測網,  
<http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 2) 防災科学技術研究所:基盤地震観測網,  
<http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 3) 関口春子,岩田知孝: K-net,KiK-net 地震記録を用いた断層破壊過程の推定,  
<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/iwata/ttr.source.html>
- 4) 堀川晴央: 2000年鳥取県西部地震の断層モデル,  
<http://www.aist.go.jp/~horikawa/2000Tottori/source.html>
- 5) 井出 哲: 鳥取県西部地震の近地震波による解析,  
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ide/TTR/ttr1.html>
- 6) Yagi, Y. and Kikuchi, M.: Source Rupture Process of the Tottori-ken Seibu earthquake of Oct. 6, 2000,  
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/tottori/>
- 7) Irikura, K.: Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, Proceedings. 7th Japan Earthquake Symposium, pp.151-156, 1986.
- 8) 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,pp.29-36, 1997.
- 9) 防災科学技術研究所:地震素過程と地球内部構造の解明に関する総合研究(FREESIA Project),  
<http://argent.geo.bosai.go.jp/freesia/index-j.html>
- 10) Brune, J. N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J. Geophys. Res., Vol.75, pp.4997-5009, 1970.
- 11) 菊池正幸,山中佳子:遠地実体波解析,10月6日鳥取県西部の地震(M7.3), EIC 地震学ノート, No.93s,2000.10.6,  
[http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC\\_News/001006.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/001006.html)
- 12) Somerville, P. G., Irikura, K., R. Graves, Sawada, S., Wald, D. J., N. Abrahamson, Iwasaki, Y., Kagawa, T., N., Smith and A., Kowada: Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70, pp.59-80, 1999.
- 13) Faccioli, Ezio: A study of strong motions from Italy and Yugoslavia in terms of gross source properties, Geophys. Monograph, 37, Maurice Ewing, AGU, 6, pp.297-309, 1986.

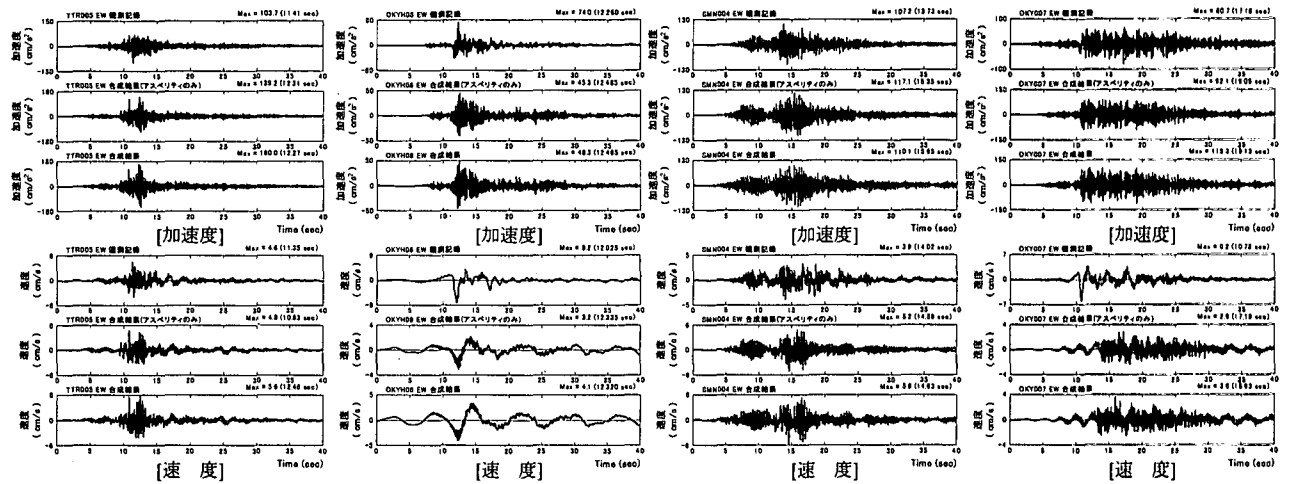


(a) TTR009

(b) TTRH04

(c) OKYH09

(d) OKY004

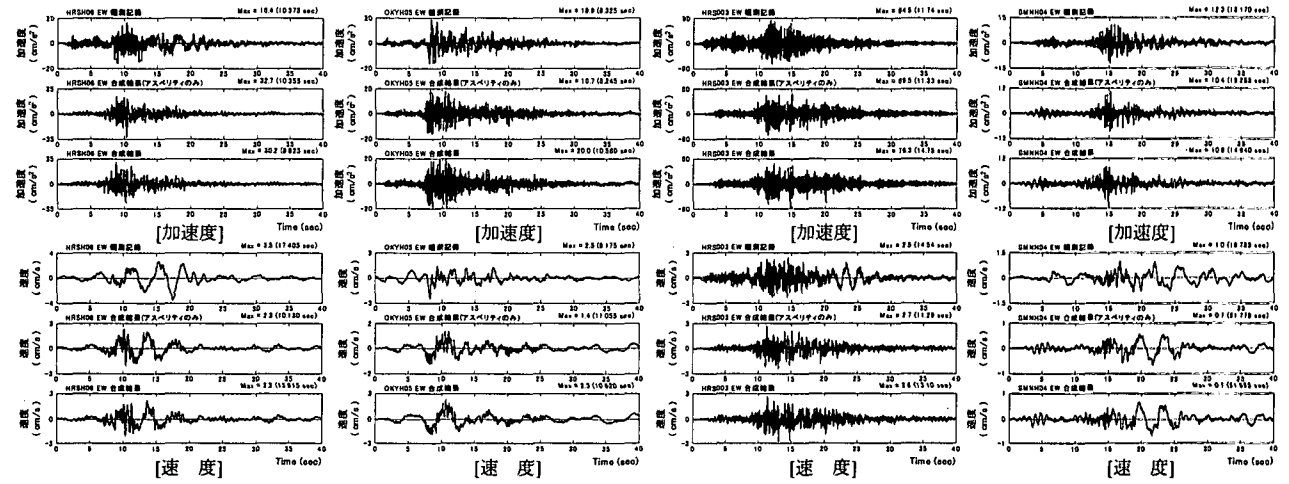


(e) TTR005

(f) OKYH08

(g) SMN004

(h) OKY007



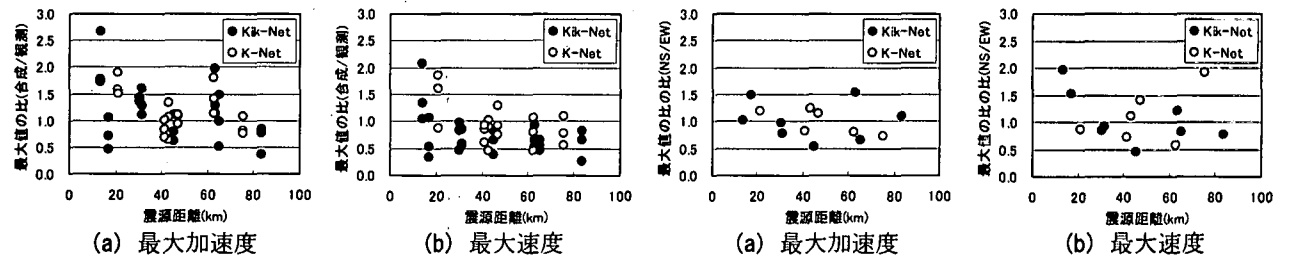
(i) HRSH06

(j) OKYH05

(k) HRS003

(l) SMNH04

図-4 観測記録と合成結果との比較



(a) 最大加速度

(b) 最大速度

(a) 最大加速度

(b) 最大速度

図-5 観測記録と合成結果の最大値の比

図-6 水平二成分(NS,EW)の最大値の比(合成/観測)の比