



Title	強震動予測のためのスラブ内地震の特性化震源モデルの構築
Author(s)	岩田, 知孝; IWATA, Tomotaka; 浅野, 公之 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 73, 129-135
Issue Date	2010-03-19
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.73.129">https://doi.org/10.14943/gbhu.73.129</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/44464">https://hdl.handle.net/2115/44464</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	73_12_p129-135.pdf



## 強震動予測のためのスラブ内地震の特性化震源モデルの構築

岩田 知孝・浅野 公之

京都大学防災研究所

(2010年1月6日受理)

### Characterized Source Model of Intraslab Earthquakes for Strong Ground Motion Prediction

Tomotaka IWATA and Kimiyuki ASANO

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

(Received January 6, 2010)

We study characterized source model for the strong motion prediction of intraslab earthquakes in the same manner as crustal earthquakes (Somerville et al., 1999) and interplate earthquakes (Murotani et al., 2009). We characterized the heterogeneous slip distributions of 11 events with  $M_W$  6.6–8.3 and determined rupture area ( $S$ ), total asperity area ( $S_a$ ), and average slip ( $D$ ) with following the procedure proposed by Somerville et al. (1999). Assuming power of 2/3 dependency of  $S$  and  $S_a$  on seismic moment and that of 1/3 for  $D$ , we got the empirical relationships as follows,

$$S \text{ (km}^2\text{)} = 6.57 \times 10^{-11} \times M_0^{2/3} \text{ (Nm)} \quad (1)$$

$$S_a \text{ (km}^2\text{)} = 1.04 \times 10^{-11} \times M_0^{2/3} \text{ (Nm)} \quad (2)$$

$$D \text{ (cm)} = 2.25 \times 10^{-5} \times M_0^{2/3} \text{ (Nm)} \quad (3)$$

The stress parameters on and off asperities are estimated as 28.9 MPa and 4.6 MPa, respectively, from the asperity model by Boatwright (1988). We also summarized size and position of strong motion generation area (SMGA, Miyake et al., 2003) for intraslab earthquakes by broad-band ground motion simulations. We found SMGA corresponds to the asperity and the size of SMGA is equivalent to or a little bit smaller than the asperity size. Based on these characteristics, we propose the characterized source model of intraslab earthquakes for strong ground motion prediction. We confirmed the procedure by simulating strong ground motions for the 2001 Geiyo earthquake ( $M_W$  6.8, hypocentral depth=46 km). Using these empirical relationships, we constructed the characterized source models for the 2001 Geiyo earthquake and simulated ground motions at strong motion observation sites using the empirical Green's function method.

## I. はじめに

日本列島は沈み込み帯に位置しており、日本列島直下で沈み込む海洋プレート（スラブ）内部で発生するスラブ内地震による地震被害が繰り返されてきた（例えば、1993年釧路沖地震、2001年芸予地震、2003年宮城県沖の地震など）。そのようなスラブ内地震の強震動予測には、震源のモデル化に必要な地震学的知見を過去の地震の記録に基づいて整理し、強震動予測のためのモデル化方法を構築することが必要である。

これまで経験的グリーン関数法を用いた広帯域強震動シミュレーションによって、最近の国内の中規模～大規模スラブ内地震の震源モデルが推定され、スラブ内地震の強震動生成領域（震源断層面内の応力降下量が大きく強震動を特に放射する領域）は同規模の内陸地殻内地震のそれと比べ、面積が小さく、高い応力降下量をもつこと、深い地震ほど応力降下量がより大きいことが明らかにされた（例えば Asano et al., 2003, 2004；浅野・他, 2004; Morikawa and Sasatani, 2004）。しかしながら、破壊領域全体の大きさ等に関する知見は必ずしも十分ではないことが指摘されている（笹谷・他, 2006）。内陸地殻内地震や海溝型プレート境界地震に対しては Somerville et al. (1999), Mai and Beroza (2000) や Murotani et al. (2008) などによって、運動学的震源インバージョンの結果がコンパイルされ、断層面積や平均すべり量、アスペリティ総面積などの地震モーメントに対する経験式が提案されている。

本研究では、既往の研究と同様な考え方でスラブ内地震の不均質震源断層のすべりモデルの特性化を行うとともに、アスペリティと広帯域強震動生成に関係する強震動生成領域との関係をもとにスラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデルの考え方を提案する。さらに、本研究での強震動予測の手続きに基づいて、既往地震の地震動評価を行い、その手続きの妥当性を調べる。

## II. スラブ内地震のすべり不均質の特性化

本研究では国内外の11個のスラブ内地震 ( $M_w$  6.6-8.3, 深さは約120 km まで) の震源モデルを収集し、既往の研究と同様な考え方で断層面積や平均すべり量、アスペリティ総面積などの地震モーメントに対する不均質震源断層モデルのすべり特性化を行った。内陸地殻内地震に適用された Somerville et al. (1999) の規範に従って、すべり分布から破壊領域及びアスペリティ領域を抽出し、断層面積 ( $S$ )、アスペリティ総面積 ( $S_a$ )、平均すべり量 ( $D$ ) を求めた。Fig. 1 には地震規模に対する断層面積とアスペリティ総面積の関係を示す。

これらが地震モーメント ( $M_0$ ) と相関があることを確認した上で、面積に関しては地震モーメントの2/3乗、すべり量に関しては1/3乗の比例関係にあることを仮定し、以下の経験式を導いた。

$$S \text{ (km}^2\text{)} = 6.57 \times 10^{-11} M_0^{2/3} \quad (1)$$

$$S_a \text{ (km}^2\text{)} = 1.04 \times 10^{-11} M_0^{2/3} \quad (2)$$

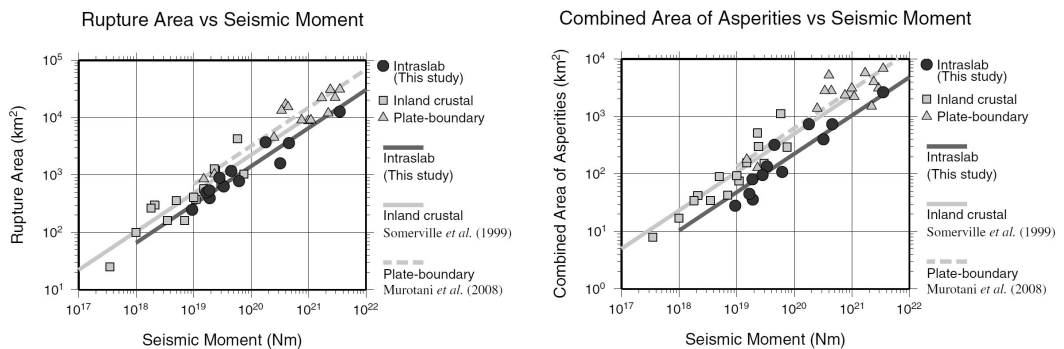
$$D \text{ (cm)} = 2.25 \times 10^{-5} M_0^{1/3} \quad (3)$$

ここに $M_0$ の単位はNmである。

地震規模を与えた場合、スラブ内地震の断層面積、アスペリティ総面積は、内陸地殻内地震のそれらに比べ、平均で67%、50%となる。平均すべり量は、内陸地殻内地震とプレート境界地震の中間の範囲にある。Boatwright (1988)のアスペリティモデルに、(1)と(2)から与えられるある規模の地震に対する断層面積とアスペリティ面積の値をあてはめて、断層全体及びアスペリティの応力降下量を見積もると、それぞれ4.6 MPa、28.9 MPaとなる。内陸地殻内地震のそれらは、Somerville et al. (1999)の式からそれぞれ2.3 MPa、10.5 MPaと見積もられる。

ここでのアスペリティサイズの関係式は、運動学的インバージョンによって得られたものであって、このアスペリティモデルを広帯域地震動シミュレーションに用いることのできる震源モデルとして用いるには、Miyake et al. (2003)が行っているような強震動生成領域とアスペリティの関係性を調べる必要がある。経験的グリーン関数法(例えば、Irikura, 1986)など広帯域の強震動シミュレーションが可能な方法によって推定されているスラブ内地震の強震動生成領域のサイズを上記の波形インバージョンによるアスペリティと比較すると、位置は一致しているが、強震動生成領域サイズは、アスペリティサイズと同等かもしくはやや小さめであることが多いことがわかっていて、Fig. 2には地震モーメントと強震動生成領域の関係を示す。

アスペリティサイズと強震動生成領域のサイズ及び位置の対応から、スラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデルは、内陸地殻内地震などのそれ(入倉, 2004)に準じた形、即ちアスペリティと背景領域で構成されるモデルをまず提案することができると考えた(Iwata and Asano, 2010)。次節ではこのスラブ内地震の特性化震源モデルによって強震動シミュレーションを行い、モデルの妥当性の検証を行う。なお、スラブ内地震に関しては、壇・他(2006)や笹谷・



**Fig. 1.** Relationships between rupture area and seismic moment (Upper) and combined area of asperities and seismic moment (Lower). Solid circles indicate intraslab earthquakes compiled in this study. Squares (Somerville et al., 1999) and triangles (Murotani et al., 2008) show inland crustal and plate-boundary earthquakes, respectively.

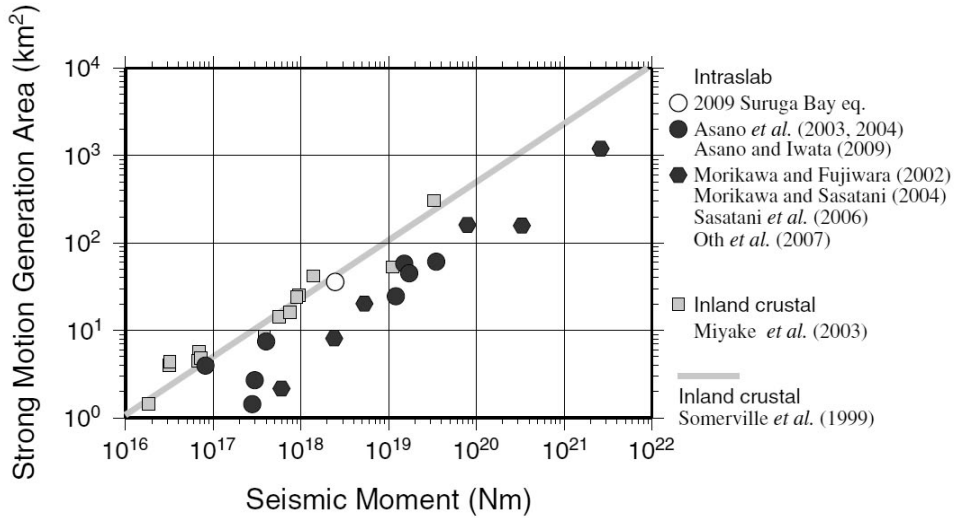


Fig. 2. Relationships between strong motion generation area and seismic moment. Solid hexagons and circles indicate intraslab earthquakes compiled by Asano and Iwata (2010) and squares show inland crustal earthquakes by Miyake *et al.* (2003). The line indicates the empirical relationship of combined asperity area by Somerville *et al.* (1999).

他 (2006) が、強震動生成領域と短周期レベルのスケーリングを用いて強震動生成領域のみからなる震源モデルの提案を行っている。

### III. スラブ内地震の特性化震源モデルの構築と強震動シミュレーション

震源モデルの構築の手順は、日本建築学会 (2009) のスラブ内地震の震源の設定を参考に、震源断層が特定できる場合 (歴史的にスラブ内地震の経験がある) とし、断層パラメータの設定は以下の手続きで、いくつかの仮定をおきながら設定する。ターゲットは 2001 年芸予地震とする。この地震は 1995 年兵庫県南部地震後に整備された強震観測網において本震及び余震記録が良好に観測され、また震源域を囲むように記録が得られていることから、

- [1] 地震規模を設定する。
  - [2] 経験式(1)及び(2)から断層面積、アスペリティ総面積を決める。
  - [3] 震源断層は正方形 (長さと同幅) と仮定する。
  - [4] 震源断層の走向、傾斜角、すべり角は想定地域のメカニズムを用いる。
  - [5] アスペリティは 1 つもしくは 2 つを仮定する。アスペリティが 2 つの場合の応力降下量は同じと仮定する。
  - [6] 破壊様式は 2 通り (今回の場合は北から、及び南からの破壊) を設定する。
- 以上により 4 つのケースを設定した。

強震動シミュレーションは 2001 年芸予地震の余震記録を使った経験的グリーン関数法

(Irikura, 1986) により行った。地震規模、及び震源断層のメカニズムは、2001年芸予地震のモデル (Kakehi, 2004) と余震分布を参照し、断層面は1枚としておき、正断層型の地震とした。震央に近い強震観測点において波形シミュレーションを行い、計測震度等の観測値と比較した。また比較のために、内陸地殻内地震の特性化震源モデルの設定方法 (入倉, 2004) を行った場合に予測値がどのようになるかを調べた。Fig. 3 には余震分布と震源近傍の強震観測点分布を示している。Fig. 4 にはシミュレーション波形 (アスペリティ2個、北震源破壊モデル) を観測波形と比較している。

Fig. 5 には4ケースによるシミュレーション波形から求めた計測震度を観測のそれと比較している。ケース毎に予測値はやや異なっているものの、平均的には2001年芸予地震の観測値を再現していると考えている。一方内陸地殻内地震用のパラメータでは、計測震度が過小評価になっていることがわかった。

#### IV. ま と め

スラブ内地震の特性化震源モデルの構築のために、不均質すべりモデルから破壊領域、アスペリティ領域を求め、スラブ内地震のアスペリティモデルのスケーリング関係式を構築した。また強震動生成領域とアスペリティの関係についての議論を行い、特性化震源モデルのプロトタイプを提案を行った。この特性化震源モデルに基づいて強震動シミュレーションを行い、2001年芸予地震の観測強震動の特性を再現できることを確認した。地殻内地震の特性化震源モデルのパラ

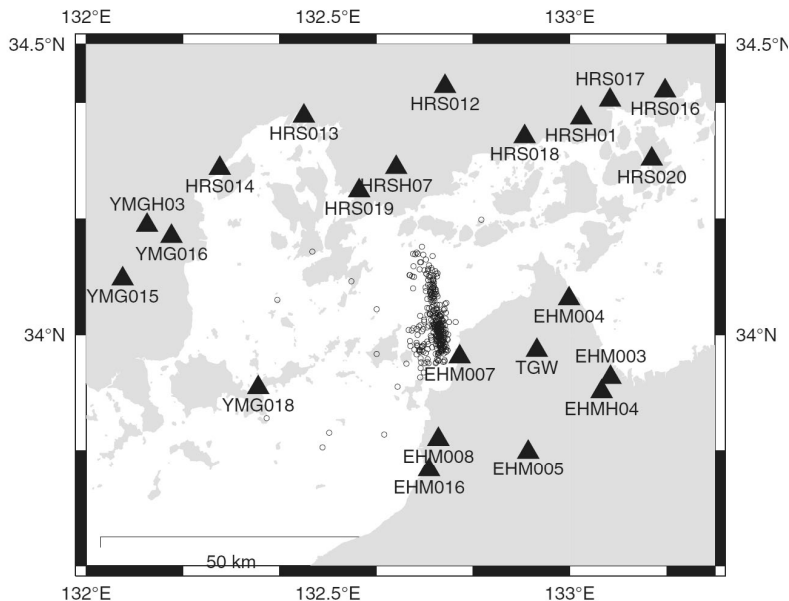
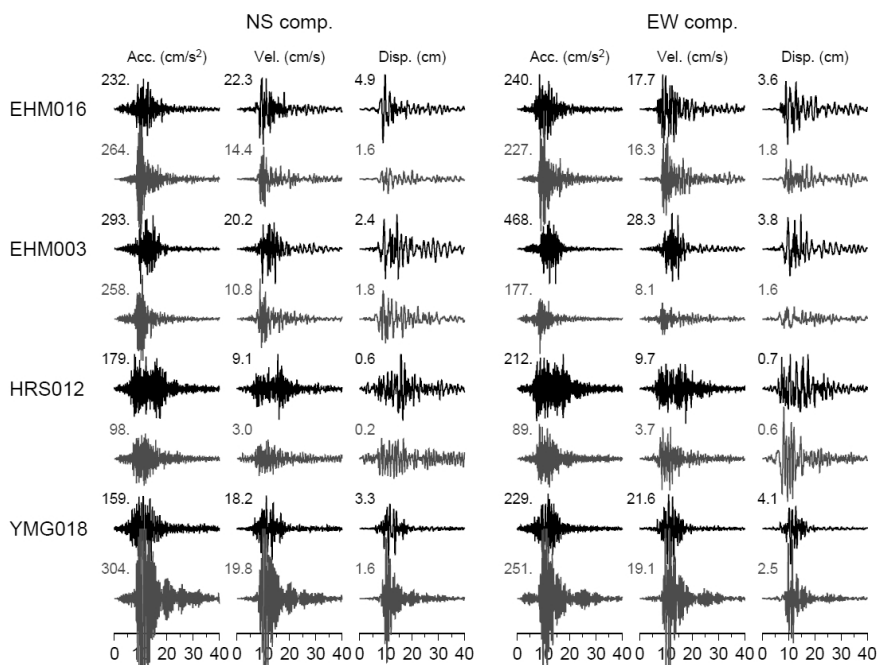
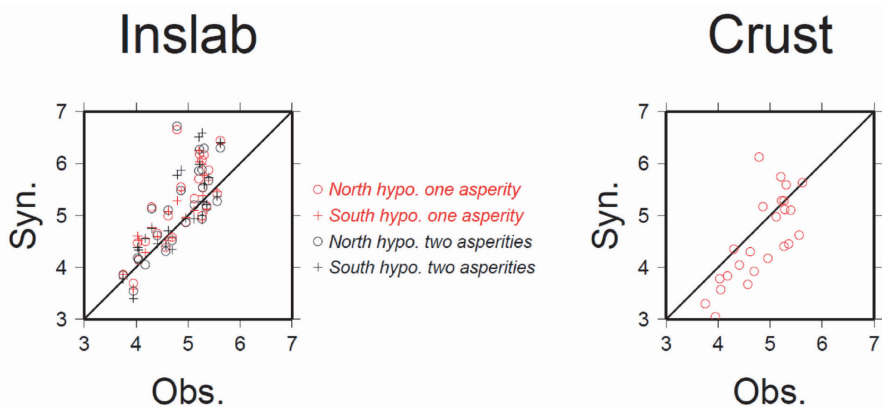


Fig. 3. Map of epicenter distribution of aftershocks and strong motion stations near the source area.

メータでは観測値に対して過小評価になることも確認された。他のイベントでの検証，また笹谷・他（2006）のモデル構築手法との関係を今後検証していく。



**Fig. 4.** Comparisons between observed (black) and simulated (red) waveforms of four stations. Horizontal acceleration, velocity, and displacement are shown. The simulations are for the case of two asperities and north rupture starting point.



**Fig. 5.** (Left) Comparison of JMA seismic intensities from observed and simulated waveforms. Different marks indicate different source rupture scenarios. (Right) Comparison of JMA seismic intensities from observed and simulated waveforms by the characterized source model for inland crustal earthquakes.

**謝辞** 本研究に用いたすべり断層モデルは多数の研究者の成果を利用させていただいております。また解析には(独)防災科学技術研究所K-NET, KiK-netの強震記録を用いました。本研究を進めるにあたって、笹谷先生、共同研究者の森川博士、前田博士らとの情報交換、議論が有益でした。記して感謝いたします。図の作成には GMT (Wessel and Smith, 1998) を使用しました。本研究は首都直下地震防災・減災特別プロジェクトの一環として実施しました。

## 文 献

- Asano, K., T. Iwata and K. Irikura, 2003. Source characteristics of shallow intraslab earthquakes derived from strong-motion simulations, *Earth Planets Space*, **55**, e5-e8.
- Asano, K., T. Iwata and K. Irikura, 2004. Characterization of source models of shallow intraslab earthquakes using strong motion data, *Proc. 13th World Conf. Earthq. Eng.*, paper no. 835.
- 浅野公之・岩田知孝・入倉孝次郎, 2004. 2003年5月26日に宮城県沖で発生したスラブ内地震の震源モデルと強震動シミュレーション, *地震II*, **57**, 171-185.
- 浅野公之・岩田知孝, 2010. 経験的グリーン関数法による2009年8月11日駿河湾の地震( $M_{JMA}$  6.5)の震源モデルの推定と強震動シミュレーション, *北海道大学地球物理学研究報告*, **73**, 137-147.
- Boatwright, J., 1988. The seismic radiation from composite model of faulting, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **78**, 489-598.
- 壇一男・武藤尊彦・宮腰淳一・渡辺基史, 2006. スラブ内地震による強震動を予測するための特性化震源モデルの設定方法, *日本建築学会構造系論文集*, **600**, 35-42.
- Irikura, K., 1986. Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, *Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp.*, Tokyo, 151-156.
- 入倉孝次郎, 2004. 強震動予測レシビー大地震による強震動の予測手法一, *京都大学防災研究所年報*, **47 A**, 25-46.
- Iwata, T. and K. Asano, 2010. Characterization of Heterogeneous Source Model of Intraslab Earthquakes toward Strong Ground Motion Prediction, submitted to *Pure Appl. Geophys.*
- Takehi, Y., 2004. Analysis of the 2001 Geiyo, Japan, earthquake using high-density strong ground motion data: Detailed rupture process of a slab earthquake in a medium with a large velocity contrast, *J. Geophys. Res.*, **109**, B08306, doi:10.1029/2004JB002980.
- Mai, P. M. and G. C. Beroza, 2000. Source-scaling properties from finite-fault rupture models, *Bull. Seis. Soc. Am.*, **90**, 604-615.
- Miyake, H., T. Iwata and K. Irikura, 2003. Source characterization for broadband ground-motion simulation: Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **93**, 2531-2545.
- 森川信之・藤原広行, 2002. スラブ内地震のスケーリング則(2), 2002年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, S042-013 (CD-ROM).
- Morikawa, N. and T. Sasatani, 2004. Source models of two large intraslab earthquakes from broadband strong ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **94**, 803-817.
- Murotani, S., H. Miyake and K. Koketsu, 2008. Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, *Earth Planets Space*, **60**, 987-991.
- 日本建築学会, 2009. 最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法, 163 pp.
- Oth, A., F. Wenzel and M. Radulian, 2007. Source parameters of intermediate-depth Vrancea (Romania) earthquakes from empirical Green's functions modeling, *Tectonophysics*, **438**, 33-56.
- 笹谷 努・森川信之・前田宣浩, 2006. スラブ内地震の震源特性, *北海道大学地球物理学研究報告*, **69**, 123-134.
- Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada, 1999. Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seism. Res. Lett.*, **70**, 59-80.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans AGU*, **79**, 579.