

南海トラフの巨大地震による強震動と津波の予測のための統一震源モデルの設定（その1）2011年東北地方太平洋沖地震の断層パラメータのアスペリティモデルによる解釈

南海トラフ 強震動 津波 統一震源モデル アスペリティモデル 2011年東北地方太平洋沖地震

1. はじめに

最近、南海トラフの巨大地震の震源域については、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえて、見直しが行われている（中央防災会議、2012）¹⁾。この震源域には、強震動と津波を引き起こす深部の断層面とともに、津波を増大させる浅部の断層面も含まれている。一方、強震動を生成する断層と津波を引き起こす断層は、従来、解析方法の違いや対象とする周期の違いにより別々のモデルとして扱われてきた。

そこで、本研究では、津波も強震動も断層破壊という共通の現象の結果であるという観点で、両者の統一震源モデルを考えてみた。本稿（その1）では2011年東北地方太平洋沖地震の断層パラメータを強震動予測で用いられているアスペリティモデルで解釈し、その解釈に基づいて想定地震の断層パラメータの設定方法を提案した。次稿（その2）では本稿（その1）で提案する想定地震の断層パラメータの設定方法を南海トラフの巨大地震に適用し、既往のプレート境界地震の断層パラメータの相似則と比較した。

2. アスペリティモデルを記述する主なパラメータ

強震動を予測するために、現在、わが国で最も多く用いられている断層モデルはアスペリティモデルである（地震調査研究推進本部、2005など）²⁾。アスペリティモデルとは、応力降下量が大きく地震波を多く放出するアスペリティと、応力降下量が0でアスペリティにおける断層運動に引きづられて動くだけで地震波をあまり放出しない背景領域から構成されるモデルで、主なパラメータは、断層面積 S 、平均応力降下量 $\Delta\sigma$ 、アスペリティの面積 S_{asp} 、アスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_{asp}$ 、地震モーメント M_0 、短周期レベル A の6つである。ここに、短周期レベルとは加速度震源スペクトルの短周期領域における振幅レベルである。また、強震動用の断層モデルは、地表からはやや深いところにあって応力を蓄積できる地震発生層におかれている。

一方、津波を予測するためには、深部のすべりだけではなく、図1（Yoshida et al., 2011）³⁾に示したような浅部のすべりも考える必要がある。したがって、浅部のすべりを考えると、強震動と津波を統一的に説明するための主な断層パラメータとして、上述した6つのパラメータ以外に、浅部の断層面積 $S_{shallow}$ と平均すべり量 $D_{shallow}$ 、および深部の断層面積 S_{deep} と平均すべり量 D_{deep} を加える必要がある。ただし、

正会員 ○ 壇 一男*	同 石井 やよい*
同 具 典淑*	同 宮腰 淳一**
同 護 雅史**	同 福和 伸夫**

この場合、深部の断層面積 S_{deep} は、従来の断層面積 S と同じものである。

図2に、強震動と津波を統一的に説明するための主な断層パラメータを示す。

3. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層パラメータ

東北地方太平洋沖地震の震源の大きさは南北方向の長さ L が約500km、東西方向の幅 W が約200km（例えば、Yoshida et al., 2011）³⁾であった。したがって、断層面積 S は約10万km²である。また、気象庁発表の地震モーメント M_0 は、 4.22×10^{29} dyne·cm（モーメントマグニチュード M_W 9.0）である。

一方、短周期レベル A は、佐藤（2012）⁴⁾により $A=3.51 \times 10^{27}$ dyne·cm/s²と求められている。ここに、佐藤（2012）⁴⁾は、強震動生成領域として、応力降下量が206bar～398barの4つの領域を同定している。佐藤（2012）⁴⁾による短周期レベルは、壇・他（2001）⁵⁾による内陸地震の式の約2倍である。

深部と浅部の区分けについては、図1に示したYoshida et al. (2011)³⁾の領域分けを参考に、深部と浅部の比率を0.73:0.27とした。したがって、深部の断層面積 S_{deep} と浅部の断層面積 $S_{shallow}$ はそれぞれ、 $S_{deep}=0.73S=73000\text{ km}^2$ および $S_{shallow}=0.27S=27000\text{ km}^2$ となる。

さらに、Yoshida et al. (2011)³⁾のすべり分布から深部の平均すべり量 D_{deep} と浅部の平均すべり量 $D_{shallow}$ を求めたところ、それぞれ、 $D_{deep}=5.0\text{ m}$ 、 $D_{shallow}=16.7\text{ m}$ となった。したがって、その比 γ は $\gamma=D_{shallow}/D_{deep}=3.3$ である。なお、Yoshida et al. (2011)³⁾が震源インバージョンに用いた地盤定数のうち、深部のせん断剛性率 μ_{deep} は 5.2×10^{11} dyne/cm²、S波速度 β_{deep} は4.1 km/sであり、浅部のせん断剛性率 $\mu_{shallow}$ は 3.6×10^{11} dyne/cm²、S波速度 $\beta_{shallow}$ は3.6 km/sである。

4. 強震動と津波の統一震源モデルとしてのアスペリティモデルによる東北地方太平洋沖地震の解釈

中央防災会議（2012）¹⁾で示されている南海トラフの巨大地震では、深部の断層面積と浅部の断層面積が推定されていることから、この2つの値をもとにアスペリティモデルのパラメータを設定する方法を図3のように考えた。ここに、断層面積 S とモーメントマグニチュード M_W との関係は、宇津（2001）⁶⁾の下式を準用した。

Consistent source model both for strong motions and tsunami from the huge subduction earthquakes along the Nankai Trough. Part 1: Interpretation of the fault parameters of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan, earthquake by asperity model.

DAN Kazuo, ISHII Yayoi,
JU Dianshu, MIYAKOSHI Junichi,
MORI Masafumi, and FUKUWA Nobuo

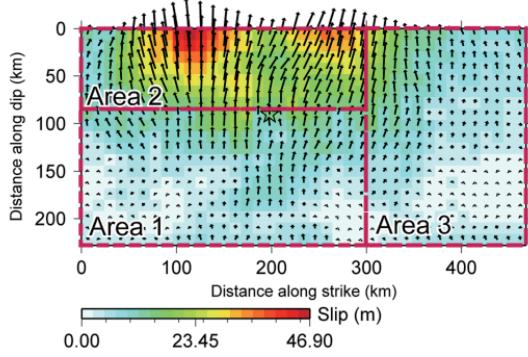


図 1 2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり分布
(Yoshida *et al.*, 2011)³⁾

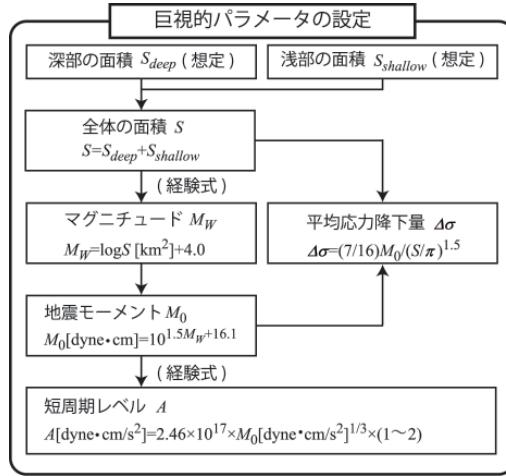


図 3 強震動と津波の統一震源モデルの断層パラメータ算定手順

$$M = \log S [\text{km}^2] + 4.0 \quad (1)$$

図 3 に示した断層パラメータ設定手順によると、東北地方太平洋沖地震の平均応力降下量 $\Delta\sigma$ は、下の円形クラックの式 (Eshelby, 1957)⁷⁾ により、 $\Delta\sigma=30.7 \text{ bar}$ と求まる。

$$\Delta\sigma = (7/16)M_0(S/\pi)^{1.5} \quad (2)$$

また、図 2 に示した主な断層パラメータのうち、平均応力降下量 $\Delta\sigma$ と短周期レベル A は他の断層パラメータと下の関係がある。

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_{asp} S_{asp} / S \quad (3)$$

$$A = 4\pi\beta_{deep}^2 (S_{asp}/\pi)^{1/2} \Delta\sigma_{asp} \quad (4)$$

上式をアスペリティの面積 S_{asp} とアスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_{asp}$ について解くと、アスペリティの面積は $S_{asp}=\pi(4\beta_{deep}^2 S \Delta\sigma/A)^2=9153 \text{ km}^2$ 、アスペリティの応力降下量は $\Delta\sigma_{asp}=[A/(4\beta_{deep}^2)]^2/[\pi S \Delta\sigma]=335 \text{ bar}$ となる。アスペリティの応力降下量の値は、当然ながら、佐藤 (2012)⁴⁾ による強震動生成領域の応力降下量と対応している。

一方、深部のすべり量と浅部のすべり量を求めるために、 $\gamma=D_{shallow}/D_{deep}$ を用いると、地震モーメント M_0 は、
 $M_0 = \mu_{deep} S_{deep} D_{deep} + \mu_{shallow} S_{shallow} D_{shallow} \quad (5)$

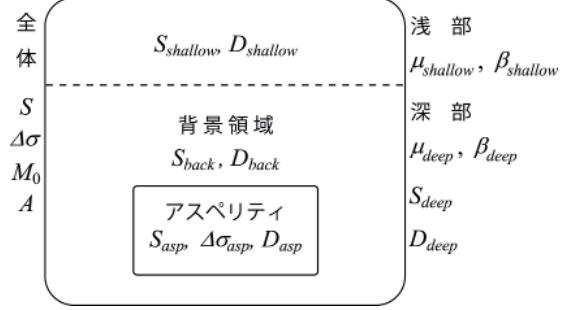
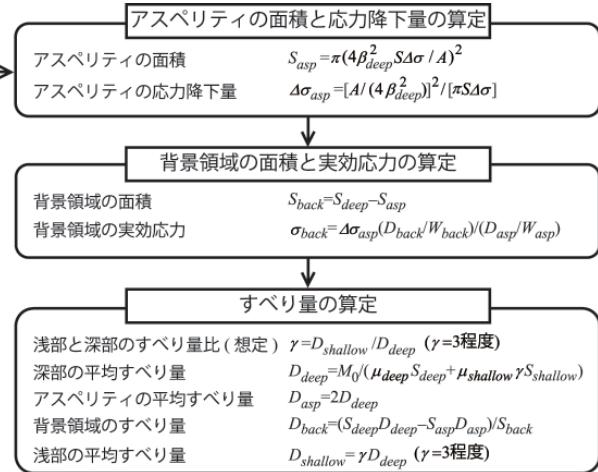


図 2 強震動と津波を統一的に説明するための主な断層パラメータ



と表されるから、これより $D_{deep}=M_0/(\mu_{shallow}\gamma S_{shallow} + \mu_{deep} S_{deep})=5.9 \text{ m}$ および $D_{shallow}=\gamma D_{deep}=17.8 \text{ m}$ となる。この値も、当然ながら、Yoshida *et al.* (2011)³⁾ によるすべり分布から求めた深部と浅部の平均すべり量 5.0 m および 16.7 m とはほぼ等しい。

参考文献

- 中央防災会議 (2012): 防災対策推進検討会議 (第4回), <http://www.bousai.go.jp/chubou/suishinkaigi/4/index.html> (2012.2.27 参照).
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005): 「全国を概観した地震動予測地図」報告書(平成17年3月23日公表, 平成17年4月13日更新, 平成17年12月14日更新), 分冊2, 震源断層を特定した地震動予測地図の説明.
- Yoshida *et al.* (2011): EPS, Vol. 63, pp. 1-5.
- 佐藤(2012): 日本建築学会シンポジウム「東日本大震災からの教訓, これから的新しい国づくり」, pp. 175-178.
- 壇・他 (2001): 日本建築学会構造系論文集, No. 545, pp. 51-62.
- 宇津 (2001): 地震学(第3版), 共立出版.
- Eshelby (1957): Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. 241, pp. 376-396.

* 株式会社大崎総合研究所

* Ohsaki Research Institute, Inc.

** 名古屋大学

** Nagoya University