

## 破砕帯震源模型からみた平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 An interpretation of the Tohoku Earthquake in terms of a damage zone/asperity model of faults

山本 清彦<sup>1\*</sup>YAMAMOTO, Kiyohiko<sup>1\*</sup><sup>1</sup> なし<sup>1</sup> none

1. はじめに:我々は、震源パラメーターを断層の物理的な構造と関係づけることを目的に、破砕帯震源模型を提案した(2003 地震学会, 2006 地震学会)。ここでは、この模型を東北地方太平洋沖地震に適用し、断層帯(断層帯)の厚さとその地震の繰り返し時間を推定する。

2. 破砕帯震源模型:この模型では、断層帯はある厚みを持ち、断層面として見ると、破砕帯で埋め尽くされた破砕帯領域と母岩でできた asperity 領域からなる。破砕帯は動的な変形に対しては弾性的に振る舞うが、準静的な変形に対しては非圧縮であるが、剛性率を持たないと仮定する。したがって、断層帯にかかる法線応力は断層帯全体によって均等に支えられるが、剪断応力は asperity よってだけ支えられる。

無限媒質の中に長さ  $l$  で一様な厚さ  $t_d$  の断層帯を考える。 $t_d$  と  $l$  には

$$t_d = 0.0016 * l$$

の関係がある。断層帯の歪が  $e_f$  に達すると、すなわち断層帯を挟む両壁の相対変位が

$$u_c = t_d * e_f$$

に達すると asperity が破壊し、その伝播に伴って断層帯内にはすべり面が生じる。以下では、 $u_c$  を臨界変位、すべり面を(狭義の)断層面と呼ぶ。断層周囲の応力測定の結果から、断層面上の剪断応力は無視できる程度に小さいと仮定する。断層面が生じることで断層面上には断層帯に生じていた変位  $u_c$  と破砕帯の外側に蓄えられていた歪による変位  $u_b$  のすべり  $u$ ,

$$u = u_c + u_b$$

が生じる。

Asperity の面積  $s$  と断層の面積  $S$  の比  $f = s/S$  は、破壊時に asperity から解放されるエネルギー  $P_a$  と外側ブロックから解放されるエネルギー  $P_b$  の和が消費されるエネルギーに等しいという条件で決まる。消費されるエネルギーは破壊エネルギー  $W$  と地震波エネルギー  $E$  であり、 $E = h * P_b$  である。ここで、 $h$  は地震波効率である。破壊エネルギー密度  $w$  は、 $w = s_n * t_d * e_f^2$  で、破砕帯の厚さに比例する。これはすべり面の形成に伴って起こる破砕帯の回転による仕事に相当する。ここで  $s_n$  は断層面に対する法線応力。 $P_b$  は断層面を半径  $l/2$  の円形として変位固定条件で求める。この断層の剪断強度は asperity 領域が断層面に占める面積の割合で決まるが、この割合はたかだか数%であると推定されている。

以上から、地震波エネルギー  $E_s$ 、平均変位  $u_{bav}$  は以下のように書ける。

$$E = h * (8/7) * m * (l/2)^3 * (f * e_f)^2$$

$$u_{bav} = 8 * l * f * e_f / (7 * \pi)$$

ここで、 $\pi$  は円周率、 $m$  は母体の剛性率、また、最大変位  $u_{bp}$  は平均変位の約 1.4 倍である。 $f$  は  $h$  の関数である。さらに、 $h = 0.7$  の場合、以下の断層面積  $S$  と  $M_s$  の近似的な関係が得られる。

$$M_s = \log(S) + 4.0$$

ここで  $M_s$  は地震波エネルギーから求められる地震規模という意味であり、 $h = 0.7$  では  $M_w$  より約 0.1 小さい。また、定数は  $h$  の関数で、4.0 は概略値である。

3. 東北地方太平洋沖地震(2011/3/11,  $M_w 9.0$ ): 気象庁(2011)による余震域の寸法から断層長を約 500km、断層幅を約 200 km にとる。断層長から破砕帯厚は 800 m に求め、破壊時の asperity の歪を  $e_f = 0.01$  とすると、臨界変位量  $u_c$  は 8 m になる。地震波効率  $h = 0.7$  とすると、 $u_{bav}/u_c$  は約 2.5 であり、破砕帯壁の相対変位量  $u_b$  は平均 20m、最大 28m になる。これを実相対変位と呼ぶ。一方、地震波から期待される推定値は平均 17 m、最大 24 m である。これを見掛けの相対変位と呼ぶ。いずれの最大値もデータから得られている震源付近の値に近い。

実相対変位に臨界変位量を加えると、最大 36 m になる。これを同一地点で前回起こった地震以後に蓄積された相対変位量と考え、プレート間の相対変位速度を 8 cm/yr として、約 450 年間の蓄積量に相当する。ここでは塑性変形による変位は考慮されていないので、これを再来時間と考え、最短の時間であろう。このことはこの領域に、破砕帯に生じた歪を完全に解放するような地震が貞観地震(869年)以降に1回はあってもよいことを示している。

円形割れ目の面積をそのまま使うと  $M_s$  は約 9.3 になる。この地震の断層が地表に現れていることを考慮して、変位をそのままにして円形割れ目の面積の  $1/2$  を断層面積とすると、 $M_s = 9.0$  が得られる。これは断層面が地表に表れたことの効果、虚像震源で近似してよいことを示唆している。

4. 結論:以上の結果は、地震の規模や地震の再来期間が asperity がある断層帯の厚さによって決められている可能性

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS39-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 13:45-15:15

を示唆している．このようなことから，破砕帯厚の分布を調べることはその断層で起こる地震の規模や再来時間を知るために重要である．

キーワード: 断層模型, 破砕帯, ウィークフォールト, 臨界変位, 東北地方太平洋沖地震, 再来時間

Keywords: fault model, damage zone, weak faults, critical distance, The Tohoku earthquake, recurrence time