

破砕帯とアスペリティーとからなる断層模型: 不変量と相似則

A damage-zone/asperity model of faults: Invariants and scaling Laws

山本 清彦 [1]; 矢部 康男 [2]

Kiyohiko Yamamoto[1]; Yasuo Yabe[2]

[1] なし; [2] 東北大・院理

[1] none; [2] RCPEV,Tohoku Univ.

はじめに: われわれは断層近傍で測定された応力データや断層破砕帯の観察データをもとに、幅を持った断層模型を提案した(2003 地震学会, 2006 地震学会)。ここでは、この模型で得られる不変量と相似則について述べる。

模型: 断層帯模型は、破砕岩で埋め尽くされた破砕帯と母岩でできた asperity の領域からなる。破砕帯は非圧縮であるが、剪断応力は緩和している。よって、断層帯にかかる法線応力は、断層帯全体が支えるが、剪断応力は、asperity 領域だけが支える。ただし、破砕帯は高速の変形に対しては弾性的に振る舞う。

asperity に働く剪断応力による歪エネルギー P は asperity と断層を挟む両側ブロックに蓄えられる。asperity の破壊はこの歪エネルギーを解放し、破砕帯内に破壊を伝播させる。その結果、すべり面が形成される。以下では、すべり面を断層面と呼ぶ。

ここで、断層帯は一樣な幅 w を持つとする。asperity が破壊するときの歪を e_f 、その剪断破壊強度を t_a 、断層の面積を S 、asperity 領域が断層面に占める割合を g で表す。asperity 破壊の直前には、断層帯には幅方向に相対変位 Du_{el} (臨界変位 d_c に相当) が生じている。ここで、

$$Du_{el} = e_f * w \dots (1)$$

破壊時には、断層面の形成によって Du_{el} は消滅し、両ブロック間に Du_s の相対変位が新たに生じる。その際にエネルギー P が解放される。ここで、 P は asperity から解放されるエネルギー P_a と両ブロックから解放されるエネルギー P_b の和であり、 P_a と P_b は、それぞれ、

$$P_a = (g * S * t_a * Du_{el}) / 2 \dots (2-1); \quad P_b = g * S * t_a * Du_s / 2 \dots (2-2)$$

である。

破壊の伝播でなされる仕事 W は、すべり面の生成に使われる表面エネルギー g_s 、断層帯に生じる回転がなす仕事 W_d (見かけの破壊エネルギーに相当) と地震波エネルギー E_s の和である。 s_n を断層に働く法線応力、 c を地震波効率とすると、

$$W_d = s_n * S * w * e_f^2 \dots (3-1); \quad E_s = c * P_b \dots (3-2); \quad g_s \sim 0.1 * W_d \dots (3-3)$$

で表される。断層運動の1サイクルで、 $W=P$ を仮定する。

結果: i) 臨界変位量と見かけの破壊エネルギーは断層帯の幅に比例する。ii) asperity 領域が断層面に占める割合 g は asperity の強度の逆数に比例し、断層の大きさに直接的には依存しない。iii) 断層の剪断強度 (あるいは応力降下量) は断層の面積や幅に直接的には依存しない。破砕帯幅と断層長に線形関係があること (Velmilje & Scholz, 1998, JGR) を利用すると、iv) 臨界変位量と見かけの破壊エネルギーの断層長との関係 (相似則) が得られる。

さらに、高速運動に対する破砕帯の弾性をブロックのものと同じとして、円形クラックの模型を適用すると、以下が得られる。v) g 、 t_f 、 Du_s/Du_{el} は地震波効率が減少すると減少し、断層の大きさには依存しない。vi) Du_s 、 P_b 、 E_s は断層を大きくすると増大し、地震波効率を小さくすると小さくなる。

式 (3-1) は、エネルギーが asperity から等方的に射出される場合、 w の深さ依存性が小さければ、破壊は浅部に広がりを持つことを示唆している。また、(v) の結果は、slow earthquake では断層の面積に対して asperity 領域が小さいことを示唆している。

議論: 破砕帯幅と断層長との関係を用いて相似則の導出された。この関係は、asperity の大きさと破砕帯幅の関係と言い換えることができる。この関係がいかんして決まっているかを知ることがつぎの課題であろう。