

断層破砕帯の定義とその物理的性質

Definition and expected physical properties of fault damage zones

山本 清彦 [1]; 日野 亮太 [2]; 矢部 康男 [3]

Kiyohiko Yamamoto[1]; Ryota Hino[2]; Yasuo Yabe[3]

[1] なし; [2] 東北大・理・予知セ; [3] 東北大・院理

[1] none; [2] RCPEV, Graduate School of Sci., Tohoku Univ.; [3] RCPEV, Tohoku Univ.

1. はじめに

ある断層で発生する地震の規模は従来その断層の長さから推定されてきた。一方、プロセスゾーンの厚さは断層長に比例している (Vermilye and Scholz, 1998)。したがって、プロセスゾーンの厚さを正確に測定できれば、それを測ることによってその断層で発生する地震の規模を推定できることになる。山本・矢部 (2008) は地震の規模を決定づける要素としての断層破砕帯を定義し、その厚さとプロセスゾーンの厚さとの関係を示した。ここでは、破砕帯の定義と破砕帯で観測されるであろう物理的な性質について述べる。

2. 破砕帯の定義

Chester et al. (1993) は断層中心部が断層面に垂直な方向に圧縮されていることを指摘した。一方、断層中心部での応力測定から主応力軸が断層面に直交していることが測定によって示唆されるとともに、断層中心部では大きな歪が期待されるにもかかわらず、差応力が小さいことも明らかになった。この観測事実は断層中心部が post-failure の状態であることを意味している。ここでは、破砕帯を断層面に垂直な圧縮応力下で post-failure 状態にある断層中心部の領域として定義する。

3. 破砕帯の物理的性質

岩石試料を 3 軸圧縮試験 ($s_1 > s_2 \approx s_3$) すると圧縮軸に平行な面を持つ張力型割れ目が試料内に生成することが知られている。Yamamoto (1995) は生成される張力型割れ目の密度 c が試料内に生成される剪断型割れ目の密度 $G = G(u)$ と $c = C f(s_3) G(u) \dots (1)$

の関係で表されることを示した。ここで、 $C \sim 10$ の定数、 $u = r/r_f$ である。ただし、 $r = (s_1 - s_3)/(s_1 + s_3)$ で r_f は母岩の剪断破壊強度に対応した r の値で、ここでは約 0.6 である。 $f(s_3)$ は $s_3^{-1/2}$ に比例する関数、 G は単位体積中に含まれる既破壊岩石の体積と解釈できるので、これを破壊密度とよぶ。 $G(u)$ は山本 (1998) によって提案された破壊過程関数である。

3.1 破壊密度

破砕帯が断層面に垂直に働く応力によって生じたと仮定すれば、測定された応力から破砕帯の G を求めることができる。ここで、 s_1 を断層面に働く法線応力にとる。Yamamoto et al. (2002) によれば $G \sim 0.8$ である。

3.2 弾性波速度

($s_1 > s_2 \approx s_3$) の場合、張力型割れ目の密度の密度 c は (1) を用いて求めるられる。ただし、 $s_3 = g(r_s - r_f)d$ とする。ここで、 g, r_s, r_f と d はそれぞれ重力加速度、岩石母体の密度、間隙流体の密度と深さである。破砕帯は異方性をもつが、割れ目の方向分布がでたらめな場合の速度を平均速度と考え、その速度は NSC (DS) で計算できる。このようにして計算された破砕帯の P 波速度が測定値にほぼ等しいことが示されている。割れ目の配向が任意のときは、Weak Interaction Approximation の方法で近似計算ができる (Yamamoto et al., 2002)。

($s_1 > s_2 \approx s_3$) の場合、弾性波には P, S_1, S_2 の 3 通りのモードがある。 S_1 は断層面に直交する面内の変位をもつ S 波、 S_2 は平行な面に変位をもつ S 波である。これらの波の伝播速度は岩石中の間隙が流体で飽和しているか否かで異なる。飽和している場合、P 波では断層面に直交する方向 (0° 方向) に伝播する波の伝播速度はほぼ母体のそれに等しく、約 50° 方向に伝播する波で最小である。 S_1 では、 0° 方向で最小、約 50° 方向で最大である。 S_2 では伝播方向にかかわらず伝播速度は一定で、 S_1 の 0° 方向へのそれに等しい。深さ 10 km における最小の P 波速度は母体のその約 80%、 S_1 の速度で約 50% に減少する。これらの変化量は測定に掛かる大きさと考えられる。ところで、間隙が空の場合、伝播速度だけでなく、速度の伝播方向依存性も上に述べた飽和状態の場合とは異なることに注意が必要であろう。