

断層および断層破碎帯の特徴的形態と地震

Characteristic geometry of fault and shaer zone; its seismological implications.

大概 憲四郎 [1]

Kenshiro Otsuki [1]

[1] 東北大・理・地球科学

[1] Earth Sci., Tohoku Univ.

大きな断層へと成長する潜在能力をもった断層には、特徴的な最小サイズがあるようだ。これらが主圧力軸から遠ざかるように湾曲・連結をくりかして大断層へと成長する。このとき、連結部の構造は破碎帯の内部構造(リーデルシア)へと次第に組み込まれ、新たにより大きな単位セグメントに生まれ変わる。このような進化過程での断層形態は、常に相似形を保っているようだ。

すべり核の生成はリーデルシア上で起こり、本震の上限サイズを断層のサイズが決定するのではなかろうか。応力降下量は破碎帯の内部構造に依存するようである。ジョグは地震のサイズを決める要因のひとつだが、ジョグの数密度は断層形態の進化を考慮しなければならない。

三軸圧縮試験機によって、非常に均質な石灰質のジュール試料(2cm x 4cm)に破壊直前までの繰り返し荷重(約320MPa)を7回加え、試料表面に現れた微小割目の成長過程を追跡した。2回目までの载荷では、長さ1mm以下の羽毛状極微小剪断割目が一面に発生した。3回目から割目の選択的成長が開始し、7回目でパーストした。このときの応力降下は約10MPaなので、かなり延性的な破壊である。選択的に成長しつつある剪断割目の特徴は以下の通り。

- ①剪断面角が羽毛状剪断割目よりも3°ほど小さい。
- ②これらの割目が直線的に成長する長さには上限があり、それは約1mmである。
- ③この上限を超えると、割目の両先端部が主圧力軸から遠ざかるように湾曲し、隣接する割目と連結する。
- ④連結回数が増加するにつれて破碎帯幅が増加し、連結部の構造が破碎帯の内部構造に組み込まれていく。
- ⑤連結本数が3~4本になると、連結した割目群が新たな単位割目となり、②と同様な様式で同程度に成長した隣接する単位割目と再び連結する。
- ⑥最初に連結した割目群の形態は、新たな単位割目が連結して出来たより大きな割目群とほぼ相似である。

○室内実験による上記のような割目成長過程は、天然の断層にも共通している。ただし、後者の1例では、直線的に成長する断層長さの上限値は1~3mと3桁も異なっている。

○上記のような剪断割目の連結部はジョグに対応し、鉤脈鉤床の構造としても確認されている。

○準静的に成長する剪断割目が主圧力軸から遠ざかるように湾曲することは、食い違い弾性論からの示唆されている(Chinnery, 1966)。高速破壊での断層の湾曲は、亀・木下(1998)が指摘している。

○破碎帯内部を特徴付ける構造はリーデルシアであり、上の実験では連結部の構造が破碎帯の内部構造として組み込まれたものであるが、多くの模擬ガウジを挟んだ摩擦すべり実験では、模擬ガウジ中に初生的に発生するものである。

○リーデルシアのスケールは、実験ではmmオーダーだが、天然ではcmからkmオーダーまであり、6桁にわたって相似形を保っている。

地震の物理との関係

地震学では力学・物質・形を統合した研究が是非必要であると思える。ここでは「形」を強調したい。なぜなら、地震を含む非平衡力学系はパターン形成を行い、形そのものが物理過程を支配するからである。

地震の核生成と破碎帯の内部構造

地震モーメントが生成核の臨界サイズの3乗に比例すると主張されている。このことは、自分がどこまで成長し、止まるのかを地震自身が発生初期に自覚しているという、ありそうもないことを主張していることになる。しかし、核生成自体は重要である。しかし、核生成はどこでおきているのか?多くの地震は既存の断層上で発生するのだから、核生成は断層破碎帯のどこかで起こっているはずである。臨界核は多分物性に固有な特徴的なサイズであるから、それは

破碎帯内の特徴的な構造と対応しているはずである。すでに述べたように、それはリーデルシア以外に無い。リーデルシアが10の6桁にもわたって相似形を保っていて、破碎帯の幅は断層の変位量（または長さ）に比例するから、破碎帯の幅大きいほど核生成サイズが大きく、大きな地震になりうる場を提供していることになる。このことは、本震の地震モーメントが臨界核サイズの3乗に比例するという関係が、起こり得る本震のサイズの上限值を与えるものであることを示唆する。

応力降下と破碎帯の内部構造

Moor (1986) などの摩擦すべり実験によれば、スティックスリップはリーデルシアの形成を伴うことが多く、応力降下 $\delta \tau$ はリーデルシアと破碎帯壁岩とのなす角度 θ と正の相関がある。このことはすべり核の生成場所の問題についての示唆的である。破碎帯の幾何学的パラメータとして、 θ のほかにリーデルシア集団のフラクタル次元 β 、破碎帯の幅 W があろう。剪断応力のピーク値を τ_p 、すべり量を δD としたとき、次元解析からは $\delta \tau / \delta D$ が $\theta^m \cdot \beta^n \cdot \tau_p / W$ に比例すると期待される。

地震のサイズとジョグ密度

ジョグは破壊伝播のバリアーになり得て、地震のサイズを決める要因のひとつで重要である。ジョグ密度は総変位量の約0.6乗に比例するようである (Wesnousky, 1988)。しかし、このことについては問題がある。上の実験結果を参照すれば、断層が小さいうちに形成されたジョグは、断層が成長するにつれて破碎帯内部構造に編入され、ジョグとしては見えなくなる効果と合体・成長したセグメントが新たに大きなジョグを形成する効果が、並行して進行するからである。この"見えなくなる"効果をどう評価すればよいのだろうか。また、セグメントの長さには、地域毎に最小サイズがあるようにも見える (Wallace, 1989)。このことは、実験結果と調和的であるが、最小サイズは何によって決定されているのだろうか？