

## 断層近傍の応力から推定される破砕帯の弾性定数：深さ依存性

## Elastic constants of damaged zone estimated from in-situ stresses in the vicinity of fault core axis: Depth dependence

# 山本 清彦[1], 佐藤 凡子[2], 矢部 康男[2]

# Kiyohiko Yamamoto[1], Namiko Sato[2], Yasuo Yabe[3]

[1] 東北大・理・観測セ, [2] 東北大・理

[1] RCPEV, Tohoku Univ., [2] Graduate School of Science, Tohoku Univ., [3] Sci., Tohoku Univ.

測定された応力から断層破砕帯の弾性を見積もった。破砕帯で流体の加圧がないとした場合、断層面に働く応力に対する剛性率とヤング率の比は、浅部で母岩の 1/10 以下、深さ 15 km 付近で母岩の 1/4 から 1/3 である。これらは、破砕帯に加圧された流体の存在を考えなくても、アスペリティーへの剪断応力の集中が法線応力のそれよりも大きいこと、それによって断層の剪断破壊強度が低下する可能性を示唆している。また、見積もられた破砕帯の平均的な P 波速度は深さ約 15 km で約 5.1 km/s で、サンアンドレアス断層近傍で得られているその深さの速度にほぼ等しい。

[破砕帯] 断層の剪断破壊強度は、地震の発生を論じるにあたって最も基礎的な物理量であるにもかかわらず、明らかではない。野島断層では水圧破碎法や変形率変化法 (DRA) による応力測定がなされ、この断層が weak fault であることが示された。測定は、さらに、断層のコア軸から約 100m 以内の領域で剪断応力がその外側の約 1/3 に低下していることも明らかにした。これはこの領域内のある部分が、破碎によって応力の保持力 (強度) を失っている結果であると考えられる。この剪断応力の小さな領域を破砕帯 (damaged zone) と呼ぶことにすると、破砕帯は断層面にたいする法線応力のもとで post-failure の状態にあると模式化することができよう。

[破砕帯の弾性的性質と断層の強度] 山本・他 (2000) は、上記のように模式化された破砕帯に対して岩石破壊実験の結果を適用し、測定された応力から破砕帯の破碎度と弾性を推定した。その結果、破砕帯は断層面に働く応力の法線成分に対しては大きなヤング率を持つ一方、剪断成分に対しては小さな剛性率しか持たないことが分かった。断層が「アスペリティー領域」と「破碎岩で埋められたすき間領域」(破砕帯) から成ると考えると、推定された破砕帯の弾性的性質は、断層面にかかる応力の法線成分が「アスペリティー」に集中することを妨げ、剪断応力のみを集中をさせる働きをすることを考えることができる。巨視的には固着している断層を考えると、このことは断層の剪断強度が破砕帯の弾性的性質に支配されている可能性を示している。

[本論の目的] 以上に述べた破砕帯の弾性的性質は、破砕帯中の張力型割れ目の弾性的振る舞いに基づいている。張力型割れ目の密度は圧力とともに減少するから、弾性的性質も深さに依存して変わる。本発表では、1) 最大圧縮応力の方向は断層面に垂直であり、他の 2 主圧縮応力は等しい、2) 破砕帯は post-failure の状態にある、3) 破砕帯の破碎度は深さによらず一定であると仮定して破砕帯の弾性の深さ依存性を求め、既存測定データとの簡単な比較を試みる。

[方法] 花崗質岩石試料を封圧  $p$  のもとで三軸圧縮すると、試料内に生成される張力型割れ目の密度  $c$  (空隙率/縦横比) は、 $p > 0.04$  GPa のとき、 $c = f(p)G(u)$  のように書ける。 $f(p)$  は  $p^{-1/2}$  に比例する関数、 $u$  は強度で規格化された剪断応力である。破碎度  $G(u)$  は理論的に求められており、試料が破壊に至る過程がこの  $G(u)$  によってよく表現できることは実験的に確かめられている。

$u$  は応力の測定値から近似的に知ることができる。断層面の法線方向に最大主圧縮応力があり、他の 2 方向の主応力値を等しいと仮定すると、 $u$  の値から  $G$  が求まり、さらに  $p$  として有効封圧を与えれば、 $c$  が決まる。ここで、割れ目の配向は非等方的である。以下の a) から c) の場合について  $c$  を推定し、この  $c$  に対して断層面に平行な方向の剛性率と垂直な方向のヤング率の深さによる変化を近似計算法 (WIA) によって計算した。(a) は割れ目内に空気やガスが入っている場合の近似、(b) は割れ目内にシールされていない水がある場合、(c) は割れ目内にシールされた液体がある場合である。

弾性波動による速い変形に対しては、割れ目内の水は割れ目相互の間を移動しないと考える。また、破砕帯内の弾性的異方性を議論できる速度構造探査はまだ行われていない。以上のことから、弾性波速度については、水で飽和した割れ目が等方的に配向している場合を平均的な弾性波速度と考えて NSC (DS, DEM) によって計算した。

[破砕帯の弾性の深さ依存性]  $R_s$  と  $R_e$  を母体のもので規格化された剛性率とヤング率とする。 $R_e/R_s$  は (c) の場合深さによらず 10 以上、また、(a) と (b) の場合は、5 km 以浅で 10 以上、約 15km で 3 ないし 4 に収まる。このことは、シールされた水がない場合でも、アスペリティーへの剪断応力の集中が法線応力のそれを上回ることを示しており、断層の剪断強度が破砕帯の弾性的な性質によって低下する可能性を示唆している。

母岩の P 波と S 波速度を 6.32 km/s と 3.65 km/s としたとき、深さ 15 km での平均的な弾性波速度は、

約 5.1 km/s と 2.2 km/s に求まる．この P 波速度はサンアンドレアス断層近傍で求められている P 波速度 (Feng & McEvilly, 1983) によく近似している．このことは，本論で仮定した事柄の妥当性を示すものと考えられる．