

南海トラフ沖地震断層帯浅部の流体移動特性とせん断変形に伴う透水係数の変化 Permeability structure and permeability evolution of the fault systems in a shallow depth of Nankai subduction zone

向吉 秀樹¹, 谷川 亘^{2*}, 廣瀬 丈洋², 林 為人², 堤 昭人³

Mukoyoshi Hideki¹, Wataru Tanikawa^{2*}, Takehiro Hirose², Weiren Lin², Akito Tsutsumi³

¹(株)マリン・ワーク・ジャパン, ²海洋研究開発機構高知コア研究所, ³京都大学大学院理学研究科

¹Marine Works Japan Ltd., ²JAMSTEC/Kochi core center, ³Graduate School of Science, Kyoto Univer

地震時の断層運動にともない断層帯のすべり面近傍では大きく水理特性が変化し、またその水理特性の変動が断層のすべり挙動に影響を与えることが予想される。しかし、地震断層運動に伴い断層帯の水理特性がどのように変化するか、そのすべり速度依存性を含めてあまりよく理解されていない。そこで本研究では、IODP Expedition 316によって採取された巨大分岐断層 (SiteC0004) と前縁断層帯 (SiteC0007) の断層帯と付加体堆積物のコア試料を用いて、南海トラフ地震発生帯浅部の水理特性の評価を行った。また断層帯の試料を用いて、断層すべり運動に対する水理特性の変化の考察を行った。

水理定数の測定は試料に封圧 (等方圧) をかけた状態で室温下において行った。封圧は最大 40MPa まで変化させて、その時の水理定数の変化を測定した。透水係数の測定は水を間隙流体に用いて定差圧流量法 (Bernabe, 1987) により求めた。また、間隙流体圧および間隙差圧を 1MPa 以下の条件で測定を行った。間隙率は、窒素ガスを間隙流体として用いて Boil-Mariotte の式を応用した Gas expansion method (Scheidegger, 1974) により測定を行った。

いずれの試料も封圧の増加に対して水理特性が減少した。封圧 40MPa の増加に対して透水係数は 2 桁以上減少し、間隙率も 2% 以上減少した。断層帯の透水係数は巨大分岐断層帯と前縁断層帯でそれぞれ $7.6 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ と $8.7 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ を示し、比貯留量 (間隙率の結果を用いて推定) は $8.6 \times 10^{-9} \text{ Pa}^{-1}$ と $5.8 \times 10^{-9} \text{ Pa}^{-1}$ を示した。また水理拡散係数は両断層帯ともかなり低い $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の値を示した。前縁断層帯では深度が深くなるにつれて透水係数が減少する傾向が認められた。巨大分岐断層帯は断層帯の拡散係数が周囲の岩相よりも小さいため、流体シール層としての役割をなす可能性がある。

断層すべり運動に対する水理特性の変化の考察は、巨大分岐断層と前縁断層帯の断層帯の試料を用いて行った。粒径を 0.2mm 以下の紛体状 (ガウジ状) にした 1g の試料 (厚さ約 1 mm) を円柱状の石英質インド砂岩 (直径 25mm、長さ 20mm、間隙率 12~14%、透水係数 $10^{-15} \sim 10^{-16} \text{ m}^2$) にはさみこんで模擬断層を作成した。この模擬断層をせん断変形させることにより、断層すべり運動を再現した。1) インド砂岩のみの透水係数の測定、2) 模擬断層の透水係数の測定、3) せん断変形実験後の模擬断層の透水係数の測定、という手順で透水係数の測定を行い、せん断変形に伴う透水係数の変化を考察した。せん断変形実験は高知コアセンターの回転式高速摩擦試験機を用いて行った。いずれの摩擦試験も垂直荷重 1.5MPa、回転数 150 回転 (=8m 変位相当) の条件で行った。摩擦実験は a) 高速すべり (1m/s) - 水で飽和、b) 低速すべり (0.013 m/s) - 水で飽和、c) 高速すべり (1m/s) - 乾燥、の 3 条件で行った。ガウジ状に成形した断層帯試料の透水係数は $2 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \sim 4 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ を示し、ガウジ状に成形しないバルクの透水係数に比べて約 1 桁の減少が認められた。巨大分岐断層帯と前縁断層帯の試料はともに、水に飽和させた試料はいずれも摩擦実験後に透水係数の減少が認められた。また低速すべり実験後のほうが高速すべり実験よりも透水係数の減少量が大きくなり、1 桁以上の減少が認められた。一方、乾燥条件の摩擦実験はいずれの試料も透水係数の増加が認められた。

せん断変形後の透水係数の減少は、ガウジ層のせん断圧密、もしくは細粒化によるものだと考えられる。また高速すべり実験で透水係数があまり減少しなかったのは、高速すべり時にガウジ層で Thermal pressurization が働いた結果、試料が膨張して圧密が妨げられたためと考えられる。一方、乾燥条件の摩擦実験後の透水係数の増加は、熱クラッキングの生成やガウジの熱膨張が原因として考えられる。

キーワード: 南海トラフ, NantroSEIZE, 透水係数, permeability evolution, 断層帯, thermal pressurization

Keywords: Nankai Trough, NantroSEIZE, permeability, permeability evolution, fault zone, thermal pressurization