

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：15501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13892

研究課題名(和文) 微小試料の岩石強度試験法の確立と沈み込み帯の強度断面

研究課題名(英文) Development of needle penetrator test for small fragment and strength profile of subduction zone

研究代表者

坂口 有人 (SAKAGUCHI, Arito)

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：80304666

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：南海トラフ沿いの震源断層の上盤は堆積物から成る。堆積物は歪みによって硬化するので、岩石強度から震源域の応力場推定を試みる。国際深海科学掘削計画によって東南海地震(1944)の震源断層掘削が進行中であり、そこで得られる微小なカッティングス試料から、断層上盤地殻の強度断面を描き、そこから応力場を推定した。微小な試料の強度を測るために、針貫入試験を改良し、針貫入強度から粘着力への換算式を得た。これを南海トラフの試料に応用した。その結果、岩石強度は深くなるほど高くなることがわかった。ただし増加率は浅部より深部が大きい。底面断層が固着している場合、剪断応力は底面で最大で上方に減少するためと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Hanging wall crust of the seismogenic zone along the Nankai Trough is composed of sediment. This study attempted to clarify stress distribution of seismogenic zone based on strain hardening behavior of sediment. The samples of small cuttings were obtained from IODP Nankai Trough drilling project, at Tonankai Earthquake of 1944 (Mw=8.1) area. Sediment strength is estimated from needle penetrator test that improved for this study. In the result, sediment strength increase with depth, and increasing rate of sediment at deep portion is higher than shallower portion. In case of basal friction model, shear stress will appear around basal fault, and stress level increase in proportion to friction level. The seismogenic fault may be close to high friction or locked condition.

研究分野：構造地質

キーワード：沈み込み帯 震源断層 針貫入強度 南海トラフ 応力場

1. 研究開始当初の背景

地震は地殻の弾性反発作用によるものであり、地震発生メカニズムをモデル化するには地殻強度の情報が不可欠である。南海トラフでは歴史的にマグニチュード (Mw) 8 クラスの地震が頻発しているが、震源断層の上盤地殻が付加堆積岩であるため、深度や堆積年代によって岩石強度が異なるため、実測データなしに推測することは困難である。国際深海科学掘削計画 (IODP) によって、1944 年南海地震 (Mw=8.1) (Kanamori et al., 1977) の地震発生帯の掘削が進行中であり、この試料を用いて震源域の地殻の強度断面を得る事が期待される。ただし、ごく限られた部分でしかコア試料は採取されないため、大半の深度はカッタリングスという微小な掘り屑から強度を推定しなければならない。

2. 研究の目的

IODP 第 338 次航海 (Moore et al., 2013) で得られたにより採取された、震源断層直上の海底下 1000m から 2000m のカッタリングス試料 (図 1) を対象として、南海地震 (1944) の震源上盤地殻の強度断面を得る。そのために微小な岩石試料の強度測定法として針貫入試験法を開発する。



図 1. カッタリングス試料。

3. 研究の方法

IODP の超深度掘削では、直径数 mm から 10 数 mm の微小な岩石片の試料が得られる。従来は、岩石の粘着強度は一軸圧縮試験により得られてきたが、これは試料をきれいな柱状に整形する必要がある。しかし微小な岩石片をさらに小さく整形する事は難しい。

針貫入試験は、岩石に針を刺して、強制的に開口亀裂 (いわゆるモード I クラック) を生じさせて粘着強度を知る手法であるが、これは試料整形の必要がない。針貫入試験法は、従来から土質工学分野にて簡便法として利用されてきたが、野外に持ち出すために携帯可能なバネ式の測定器であり、針の貫入量と載荷量の最大値のみが記録されるものであった。本研究では、これを精密化して、そして国内の様々な堆積盆の砂岩試料において一軸圧縮強度と比較して、天然試料における針貫入強度と一軸圧縮強度との換算式を得

る。

天然の試料における針貫入強度から粘着力を算定する式を得て、それでもって IODP 第 338 次航海で得られた南海地震 (1944) の震源断層直上の海底下 1000m から 2000m のカッタリングス試料の針貫入強度を測定する。これにより南海地震の震源断層上盤地殻の強度断面を描く。

4. 研究成果

針貫入強度の基礎実験として、硬さの異なる岩石および模擬岩石としてのモルタルを対象として、針貫入速度依存性および試料サイズ依存性を調べた。約 15MPa から 80MPa の 5 種類の強度のモルタル試料に 10mm/min から 300mm/min までの 7 段階の貫入速度で試験したが、針貫入強度はこの範囲では貫入速度に依存しないことがわかった。また、5mm から 110mm の範囲で 8 段階の試料サイズで針貫入強度のサイズ依存性を調べたが、約 12mm 以上ならサイズに依存しない事がわかった。

堆積場と年代の異なる天然の砂岩試料として、中新世後期から鮮新世の陸棚斜面から沖合相の宮崎層群、漸新世の淡水湖成層の日沖層群、そして中新世の極浅海相の油谷湾層群の砂岩の針貫入強度と一軸圧縮強度を比較した。その結果、一軸圧縮強度につれて針貫入強度も増加することがわかった。この関係式から、カッタリングス試料の一軸圧縮強度を得る事が可能となった。

IODP 第 338 次航海は、南海地震の震源直上を海底下 1000m から 2000m の区間を掘削し、約 10m 間隔の深度からカッタリングス試料が得られた。

試料は数 mm から数 10mm の大きさで、掘削泥に覆われているので、これを洗浄し、各深度から 10 試料の針貫入強度を測定した。カッタリングスは船上で回収される掘削岩片であるため、掘削先端部のみならず、裸孔の途中区間からの崩落岩片も混入する。そのため測定結果にも、浅部の弱い岩片のものも含まれ、データは大きなばらつきを含む。

本研究では、各深度で最も高い値が、その深度の岩盤の強度を示すものと考えた (図 2)。

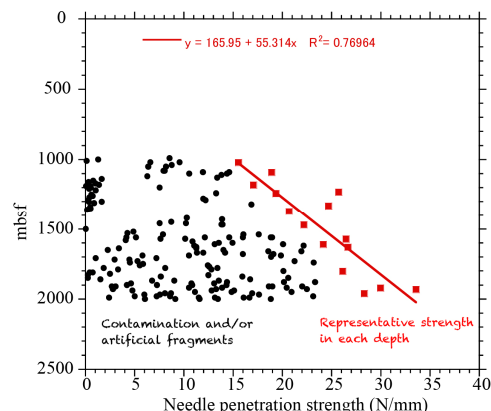


図 2. 南海地震の震源断層上盤の強度プロファイル。赤が各深度の最大値でその深度の強度を示す。

その結果、岩石強度は深度と共に線的に増加する事がわかった。ただし強度の増加率は海底下 1000m より上位では緩やかであり、そこから下位では急である。岩石強度の増加が深度による埋没圧に依存するならば、強度の増加率は海底から深部まで一定になるはずである。深部ほど増加率が上がる原因としては、震源断層が固着しており剪断応力が生じていると仮定するならば、上盤には下底部の断層付近で剪断応力は最大に、そして浅くなるほど剪断応力は小さくなる(図3)。
このモデルならば、剪断応力によって堆積岩が歪み硬化するために、深部では載荷圧の上昇率を上回って岩石強度が高くなる傾向が説明できる。すなわち南海地震の震源断層の上盤の付加堆積岩は、震源断層が固着していることによる剪断応力の影響を受けて歪み硬化しており、その影響は海底下 1000m 程度の浅部まで及んでいると考えられる。

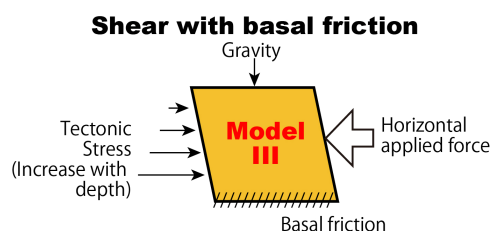


図3. 下底部が固着した断層上盤に側方から外力が作用する場合、下底部付近に高い剪断応力が生じ、剪断応力は上方に低下する。その結果、埋没圧の効果以上に、下位ほど歪み効果による岩石強度が上昇することを説明できる。

<引用文献>

- 土木学会, 1991 軟岩の調査・試験の指針, 土木学会, pp124.
Kanamori, H., 1977, The energy release in great earthquakes: Journal of Geophysical Research, v. 82, p. 2981-2987, doi: 10.1029/JB082i020p02981
Moore, G., Kanagawa, K., Strasser, M., Dugan, B., Maeda, L., Toczko, S., and the Expedition 338 Scientists, 2013. NanTroSEIZE Stage 3: NanTroSEIZE plate boundary deep riser 2. IODP Prel. Rept., doi:10.2204/iodp.pr.338.2013.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

査読有り

Rina Fukuchi, Asuka Yamaguchi, Yuzuru Yamamoto, Juichiro Ashi, 2017, Paleothermal structure of the Nankai inner accretionary wedge estimated from

vitrinite reflectance of cuttings. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 18, 3185-3196. doi: 10.1002/2017GC006928

[学会発表](計 4 件)

Rina Fukuchi, Asuka Yamaguchi, Hisatoshi Ito, Yuzuru Yamamoto, Juichiro Ashi, Structural evolution of the Nankai inner accretionary prism constrained by thermal structure and sedimentary age of deep borehole samples, AGU, 2017, 12/11-15, New Orleans Ernest N.

Rina Fukuchi, Asuka Yamaguchi, Hisatoshi Ito, Yuzuru Yamamoto, Juichiro Ashi, Warm memories of the Shikoku Basin recorded within the Nankai inner accretionary wedge, Evolutionary process of the Nankai inner accretionary prism estimated by vitrinite reflectance analysis and zircon U-Pb age dating of deep borehole samples, JpGU-AGU Joint Meeting 2017: 5/20-25, Makuhari, Chiba, Morial Convention Center

坂口有人, 井上美季, 小峯裕弥, 林為人, 多田井修, 畠田健太郎, 山口飛鳥, カッティングスからみた南海震源域上盤のテクトニック応力, 日本地質学会, 2016, 9/12, 日本大学、東京都

Arito Sakaguchi, Miki Inoue, Yuya Komine and Weiren Lin, Osamu Tadai, Kenkaro Hatakeda, Asuka Yamaguchi, Tectonic stress of the upper-plate crust above the Tonankai seismogenic zone, Japan Geoscience Union Meeting 2016, 5/24.

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:

種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂口 有人 (SAKAGUCHI Arito)
山口大学・大学院創成科学研究科・教授
研究者番号：80304666

(2) 研究分担者

山口 飛鳥 (YAMAGUCHI Asuka)
東京大学・大気海洋研究所・准教授
研究者番号：30570634