

# 学位論文要旨

## Strength and mechanical behavior of the present Nankai accretionary prism (南海付加体の強度と力学挙動)

北村 真奈美

沈み込み帯地震は、プレートの沈み込みに伴う歪の蓄積と、プレート境界断層のすべり運動による歪の開放によって発生する。このような地震歪エネルギーの蓄積・開放プロセスを理解するためには、断層の摩擦挙動だけでなく、歪の蓄積をまかなっている断層周辺地質体の変形様式や強度などの物理特性を知る必要がある。特に、プレート境界断層に近づくにつれて物理特性がどのように変化するのかを調べることは、地震歪エネルギーの蓄積領域・量などを見積もるために重要である。しかし、沈み込み帯、特に付加体内部の物理特性は、過去に沈み込み帯に存在し、現在陸上に露出している岩石の物性計測値から推定されているのが現状である。そこで本研究では、国際深海科学掘削計画 (International Ocean Discovery Program, 略称 IODP) の南海トラフ地震発生帯掘削 (NanTroSEIZE) 第 348 次研究航海によって、紀伊半島沖の南海トラフプレート境界断層の上盤側に相当する南海付加体深部 (海底下約 3000m, 以下 mbsf) から、はじめて直接採取されたカッティングス試料およびスポットコア試料を用い、その力学特性を室内実験によって調べることによって、南海トラフ地震の歪エネルギー蓄積領域の素性を明らかにすることを試みた。

南海地震震源域を目指す超深度ライザー掘削では時間的な制約から、掘削コア試料は限られた深度でしか採取されないため、コア試料の分析から連続的に深度方向の物理特性を調べることは難しい。しかし、ライザー掘削では泥水循環によって数 mm 程度のカッティングス試料 (岩石片) が連続的に採取される。本研究では、金属や樹脂などの物理特性を調べるためによく用いられるインデンテーション試験を、数 mm 程度の岩片に適応し、その力学特性を調べる手法を開発した。そしてその手法を用いて、南海付加体深部から採取されたカッティングス試料の深度方向の力学的特性の変化を調べた。以下に主な研究結果を示す。

### (1) インデンテーション試験を用いた岩石の力学特性評価手法の開発

間隙率の異なる 4 つの岩石試料 (間隙率 < 20%) についてインデンテーション試験と一軸圧縮実験をおこない、それぞれから得られるヤング率と圧縮強度を調べた。いずれの試験から得られるヤング率及び圧縮強度も、間隙率が減少するにしたがい増加することがわかった。また間隙率 20% 以下の岩石について、一軸圧縮実験から求めたヤング率 ( $E_{uni}$ ) はインデンテーション試験から得られるヤング率 ( $E_{ind}$ ) の約 2 倍の値を示した。一軸圧縮強度 ( $C_0$ )

はインデンテーション強度 ( $C_i$ ) より低い値を示し、間隙率 10%以下の岩石ではその差がより顕著に表れた。実験による物性値の差は、圧子周辺の空隙崩壊に起因する非弾性的な変形量、及び主応力に直行する方向への変形量の違いがもたらしている可能性が考えられる。これらの特徴は異なるが、 $E_{uni}$  と  $E_{ind}$  には指数関数的な、 $C_0$  と  $C_i$  には線形的な相関関係があることが明らかになった。インデンテーション試験は一軸圧縮実験よりも短時間でこなうことができるシンプルな試験である。本研究から得られた経験式は、一軸圧縮実験から得られる物性値と同等の値をインデンテーション試験の結果から換算することができる。本研究で提案した手法を小さな岩石片について用いることで、一軸圧縮実験をおこなうよりも、非常に大きな領域もしくは掘削孔に沿って岩石の力学挙動を調べることができるようになる可能性がある。

## (2) 南海付加体の強度断面と地震歪蓄積域の推定

南海付加体内部のライザー掘削孔 (SiteC0002) にて 870~3058 mbsf から得られたカッティングス試料を用いてインデンテーション試験をおこない、南海付加体内部の強度及び変形様式について深度方向の連続データを調べた。地下深部における岩石強度 ( $S_d = \sigma_1 - \sigma_3$ ) は以下の手順で求めた。(1)  $C_i$  と  $C_0$  の経験式を用いてインデンテーション試験から  $C_0$  を算出する。(2) カッティングス試料の間隙率を用いて内部摩擦角 ( $\Phi$ ) と間隙率の相関関係から  $\Phi$  を求める。(3) 各カッティングス試料について  $C_0$  と  $\Phi$  からモール・クーロン破壊基準を決める。(4) 2つの応力場について静水圧を仮定し各試料の  $S_d$  を決めた。応力場は逆断層場 (最小主応力  $\sigma_3 =$  上載岩圧  $\sigma_v$ )、及び正断層場 (最大主応力  $\sigma_3 = \sigma_v$ ) を仮定した。逆断層場における  $S_d$  は、975 mbsf から~3000 mbsf へと深くなるにつれて~20 MPa から~70 MPa へと徐々に増加することがわかった。このカッティングス試料から見積もった  $S_d$  は、~1000 mbsf 及び~2200 mbsf から得られたコア試料について三軸圧縮変形実験をおこなった結果とよく一致した。正断層場の  $S_d$  は、逆断層場での  $S_d$  に比べて 30%程度低く、深度が深くなるにつれて数 MPa から~20 MPa へと増加することがわかった。また第 348 次研究掘削航海中に Site C0002 において実施されたリークオフテスト及びステップレート圧入テストの結果から、Site C0002 の全深度について  $\sigma_3$  が  $\sigma_v$  より低い値を示し、現在の応力場は正断層場もしくは横ずれ断層場であることが示されている (Saffer et al., 2016)。つまり実際の岩石強度  $S_d$  は、2つの応力場から求めた  $S_d$  の間の値を示すことがわかった。現に掘削時にドリルビットにかかる掘削データ (トルクと荷重) から計算された現場の強度は、カッティングス試料から求めた  $S_d$  の間の値を示している。これらの異なる手法を用いて求めた南海付加体の強度断面の傾きは、摩擦係数 0.85 に基づく地殻上部の強度断面に比べて、なだらかな傾斜 (摩擦係数 0.2~0.4) を示すことが明らかになった。さらに付加体堆積物は 1400-2000 mbsf では圧密による塑性変形から脆性破壊へと遷移し、2000 mbsf 以深では脆性的な挙動を示す物質が存在することがわかった。つまり南海トラフ地震の歪エネルギーは 2000 mbsf 以下で蓄積されていると考えられる。