

一面せん断試験装置を用いた軟岩の強度特性評価

長崎大学工学部 学生会員 早川 輝 長崎大学大学院 学生会員 東 幸宏 平井 光希
長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静 正会員 李 博
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 井浦 智実

1. はじめに

我が国の国土の多くは軟岩からなるため、その力学特性を正しく評価することが求められている。現在、九州では九州自動車道や九州新幹線西九州ルート等の工事が行われているが、それらも軟岩で構成される地山を通過することとなる。軟岩の強度を求めるには三軸圧縮試験が一般的に用いられているが、軟岩は脆弱であり、同じ状況にあるサンプルを複数採取することが困難である。本研究では一面せん断試験機を用いて軟岩の粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ 等の強度定数を1本の供試体で評価する手法を提示し、同時に土木学会などの適応基準である地山等級C級およびD級の岩種¹⁾の強度定数との比較により本評価法の妥当性を検証する。

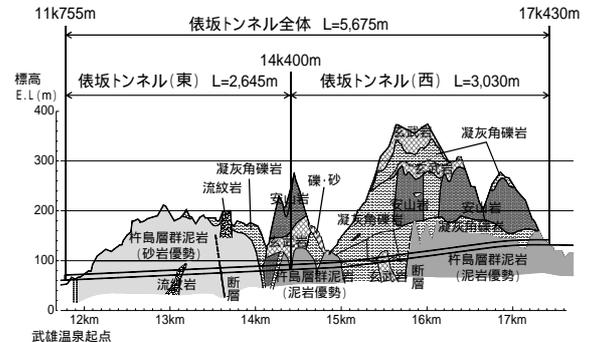


図-1 俵坂トンネル周辺の地質縦断図

2. 対象軟岩の概要

本研究では九州新幹線西九州ルートの俵坂トンネル²⁾における掘削岩盤を対象とする。図-1に俵坂トンネル周辺の地質縦断図を示す。当該トンネル周辺の地層は、トンネル起点方から約2.2kmまでは古第三紀の杵島層群の砂岩または泥岩、それ以降は杵島層群の泥岩が主体となるものの、部分的にはその上位の新第三紀～第四紀の凝灰岩も掘削の対象とされている。杵島層群はトンネルの起点方では砂岩優勢であり、終点方では泥岩が優勢となっている。

3. 一面せん断試験の概要

3.1 供試体の作成

対象トンネルの鉛直、水平ボーリングで得られた円柱供試体(高さ10cm、直径68.5mm)をせん断箱(高さ5cm、幅20cm、奥行き10cm)の中心部に入れ、隙間を水と石膏を混ぜたもの(石膏200:水40:遅延剤1)で満たす。数時間後石膏が固まると次に上半も同様の作業を行うことにより図-2のような供試体が完成する。

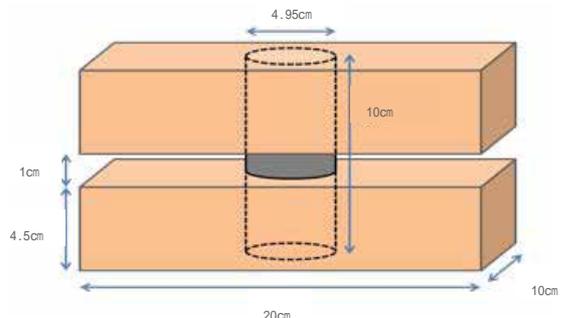


図-2 せん断試験用供試体

3.2 試験機の特徴と試験手順

図-3にデジタル制御型一面せん断試験装置³⁾を示す。この試験装置は、せん断箱の下箱を水平に動かすことにより供試体をせん断するもので、上箱はせん断供試体を挟み込む形で設置され、せん断荷重計測用のロードセルを組み込んだ2本のロッドにより支持されている。このロッドは十分に長く、両端の取り付け部はピン構造となっていることから、供試体の垂直方向の移動あるいは回転は許されるが、せん断方向に対して横方向の動きは固定されている。また、この試験装置はフィードバック機構を有する完全閉ループ方式の電気・油圧サーボシステムであり、載荷条件はコンピュータにより自動制御される。

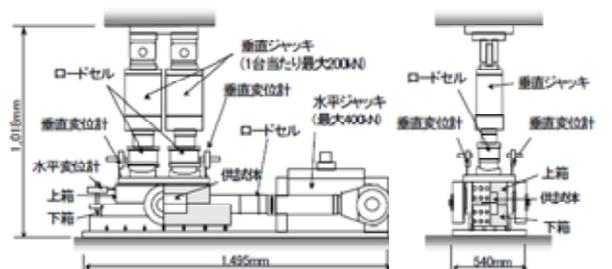


図-3 デジタル制御型一面せん断試験装置

試験手順を以下に示す。作成した供試体をせん断箱に入れ、ボルト等でせん断箱を固定する。次に、供試体に油圧式ジャッキで垂直応力が1.0MPaか1.5MPaとなるように加圧する。その後、せん断変位を残留強度が確認できるように5mmまで速度0.5mm/minでせん断し続ける。

3.3 実験ケース

表-1 に実験ケースを示す。供試体の採取地点は、武雄温泉駅を起点としたものとする。Case1, Case3, Case5 では 1.0MPa, Case2, Case4 では 1.5MPa の垂直応力を与えるように設定している。

4. 試験結果と考察

4.1 試験結果

図-4 にせん断後の供試体を、図-5 にせん断応力とせん断変位の関係図を、図-6 に垂直変位とせん断変位の関係図を示す。また、各応力を算出する際、供試体の断面積は、せん断が進むに連れて小さくなるため、せん断変位に応じて補正を行っている。各ケースの結果をまとめてみると、ピークせん断応力は 1mm 以内で発生し、それと同時に垂直変位は最小値を示している。ピークせん断応力は 1.3MPa から 3.6MPa の間で、ばらついた結果となっている。

図-5 よりピークせん断応力 τ_{peak} と破壊後の残留せん断応力 τ_{res} を算出する。ここで、ピーク時および残留状態における内部摩擦角は同じであると仮定し、この2つのせん断応力をモール・クーロンの破壊規準である式(1)と式(2)に代入して、粘着力 c と内部摩擦角 i をそれぞれ算出する。なお、式中の i はせん断破断面の傾斜角で、せん断方向に下って傾いた場合はマイナスを、逆の場合はプラスをとる。

$$\tau_{peak} = c + \sigma_n \tan(\pm i) \quad (1)$$

$$\tau_{res} = \sigma_n \tan(\pm i) \quad (2)$$

4.2 考察

表-2 に試験で得られた粘着力と内部摩擦角を示す。地山等級 CII 級または DI 級の岩盤の強度定数と比較してみると、Case1, 2, 4 の粘着力はやや大きな値が出ているが全体的により整合性がみられる。今回の試験対象となった軟岩は砂岩と泥岩の互層からなることが多く、亀裂も多く含まれていることから、試験結果にばらつきを生じたと推測する。

5. おわりに

本研究では、一面せん断試験装置を用いて軟岩の強度特性を評価することを試みた。その結果、対象軟岩は CII 級地山の強度特性とよく整合することが分かった。今後は試験時における供試体の固定法などを改善し、従来の試験法では求めにくい脆弱性岩盤の強度特性を正しく評価できる試験法を提示していく。

[参考文献]

- 建設省土木研究所トンネル研究室：土木研究所資料 トンネル掘削時地盤変状の予測・対策マニュアル(案), pp.20-21, 1994
- 後藤知治, 内田雅洋, 高山藤博：TSP など切羽前方予測を試みつつ膨張性地山に挑む -九州新幹線西九州ルート俵坂トンネル(西)-, トンネルと地下, Vol.42, No.3, pp.7-14, 2011
- 千年俊介, 棚橋由彦, 蔣宇静, 李博：岩盤不連続面のせん断挙動のせん断速度依存性の実験的解明, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.409-410, 2009

表-1 実験ケース

Case	地点 (13k535m)	岩種
Case1 ($\sigma_n=1.0\text{MPa}$)	深度 (36.1-36.2m)	砂粒砂岩
Case2 ($\sigma_n=1.5\text{MPa}$)	深度 (72.0-72.1m)	砂粒砂岩
Case3 ($\sigma_n=1.0\text{MPa}$)	深度 (71.7-71.8m)	砂粒砂岩
Case4 ($\sigma_n=1.5\text{MPa}$)	深度 (36.0-36.1m)	泥岩
Case5 ($\sigma_n=1.0\text{MPa}$)	深度 (71.8-71.9m)	泥岩



図-4 せん断後の供試体

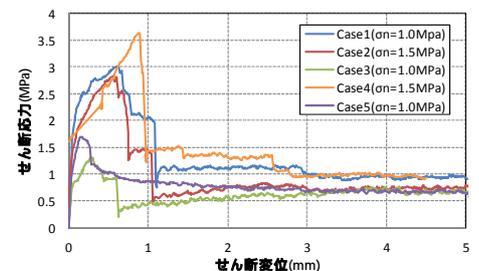


図-5 せん断応力 - せん断変位

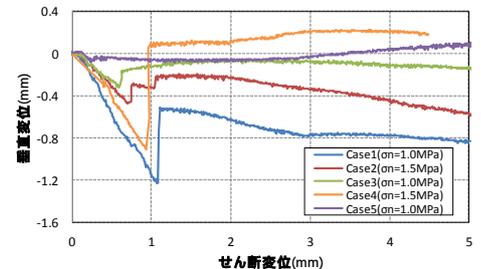


図-6 垂直変位 - せん断変位

表-2 粘着力と内部摩擦角

	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (deg)	せん断面の角度 (deg)
Case1	2.0	45.0	40.0
Case2	2.1	34.6	25.0
Case3	1.0	35.0	20.0
Case4	2.4	50.0	30.0
Case5	0.8	26.6	50.0
CII	1.0	40.0	
DI	0.4	35.0	