



平面ひずみ試験圧縮における大谷石の間隙水圧と変形～強度特性

岐阜大学 流域圏科学研究センター 准教授 沢田 和秀
 岐阜大学大学院工学研究科 生産開発システム工学専攻 岩田麻衣子

1. はじめに

1999年に発生した東海北陸自動車道の切土のり面崩壊や2006年に揖斐川左岸で発生した地すべりなどの地盤災害は、近隣住民の安全・安心を脅かすだけでなく、地域の経済活動に大きな影響を与える。事例で示したような軟岩で構成されている斜面では、これまでも数多くの崩壊事故が発生している。崩壊の要因には、地盤材料の時間依存特性、風化の程度、降雨や融雪による地下水位の上昇、それに伴う有効応力の低下などが深く関係している。このように複雑な現象を要因とする軟岩の変形～破壊を数値解析によって予測するためには、その力学挙動を十分に把握し、その力学挙動を忠実に再現できる構成式を構築する必要がある。

軟岩の構成式の構築および高度化のために、数多くの三軸試験が行われ、それらの実験結果に基づいて、Zhang らにより軟岩の特徴である時間依存性挙動を表現できる構成式が提案され、研究されている¹⁾。この構成式には、地盤材料(軟岩)の力学挙動を論じる上で非常に重要な中間主応力の影響も考慮されている。

この構成式について、軟岩の時間依存性挙動を検証するために、平面ひずみ試験機を作成し、平面ひずみ試験を実施した。平面ひずみ試験機は、等方圧密が可能であり、供試体内部の間隙水圧の計測ができるように作成した²⁾。ここでは、供試体内部(せん断帯付近)の間隙水圧の挙動に着目し、先述した構成式の検証のために実施した、異なるひずみ速度および異なる排水条件下での平面ひずみ圧縮試験の結果を示す。

2. 実験概要

試料に含まれる異物の大きさやその含有率が試料の強度に少なからず影響を与える。そのため、均一な材料ほど実験データの信頼性は高くなる。本研究の試験試料には、堆積軟岩の中でも比較的均一な材料である栃木県宇都宮市で採取される大谷石を用いた。これまでにに行った実験から、大谷石は風化の影響を受けやすく、採取してからの経過時間や採取時期および採取場所の違いが、強度特性に影響することを確認している。そこで、採取条件の違いによる影響を少なくするために、使用するすべての供試体と同じブロックから採取し、風化防止のために脱気水に浸して保存した。また、全ての試験を飽和状態で行うため、試験前に供試体を水で飽和させた。これらの作業により、比較的強度特性の近い試料でいくつかの試験を実施し、その結果を比較することが可能となった。

平面ひずみ試験では、高さ200mm、幅100mm、奥行き80mmの直方体供試体を使用し、200mm×80mmの面を両側から剛板で拘束する。図-1に平面ひずみ試験のイメージ図および供試体の写真を示す。供試体の200mm×100mmの片面中央に直径3mm、深さ40mmの穴を開け、そこに間隙水圧計測用のチューブを通し、せん断帯付近の間隙水圧を経時的に計測した。

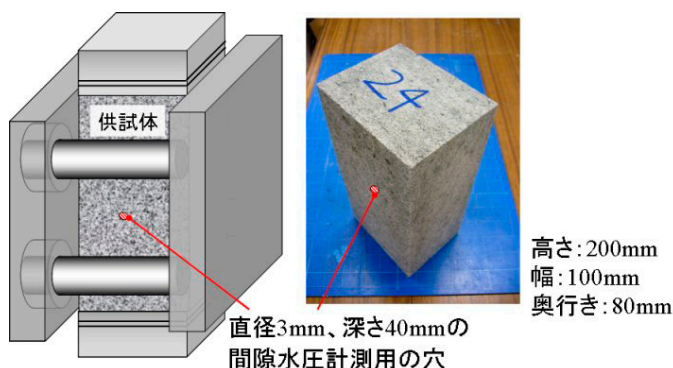


図-1 平面ひずみ試験のイメージと供試体

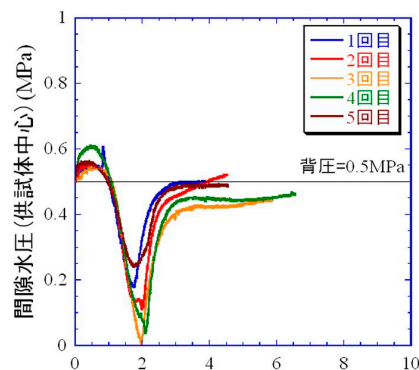


図-2 供試体内部の間隙水圧
 (拘束圧 1.0MPa、軸ひずみ速度 0.001%/min)

3. 実験結果とまとめ

図-2に拘束圧 1.0MPa、軸ひずみ速度 0.001%/min の条件で行った5回の排水試験から得られた供試体内部の間隙水圧の結果を示す。軸ひずみ速度 0.001%/min は、用いた試験機で設定することができる低速の限界である

が、供試体の内部(せん断帯付近)では、せん断中の間隙水圧が一定ではなかった。供試体の上下端では排水を許した状態ではあるが、供試体の内部では間隙水の移動がスムーズに行われておらず、供試体内で間隙水圧の分布が均一ではなかったと考えられる。そこで、この平面ひずみ試験を模型実験と捉え、異なる軸ひずみ速度および異なる排水条件での実験を行い、供試体内部および下端の間隙水圧の計測を行った。全ての試験で背圧を0.5MPa、拘束圧を1.0MPaとし、排水および非排水でそれぞれ1.0、0.1、0.01、0.001(%/min)の軸ひずみ速度を設定し計8ケースの試験を行った。図-3に軸差応力-ひずみ関係、図-4に中間主応力-ひずみ関係を示した。それぞれ左図が排水試験、右図が非排水試験の結果である。

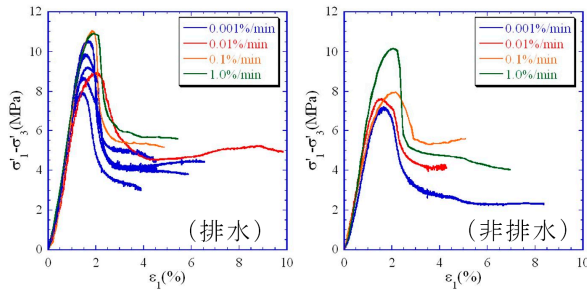


図-3 軸差応力-ひずみ関係

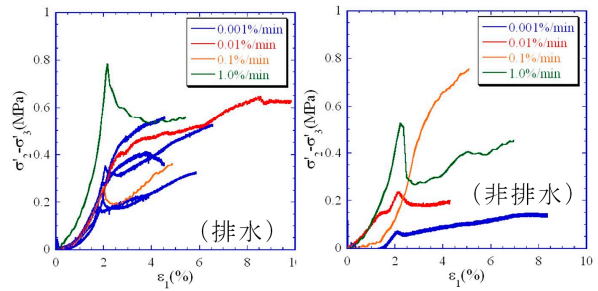


図-4 中間主応力-ひずみ関係

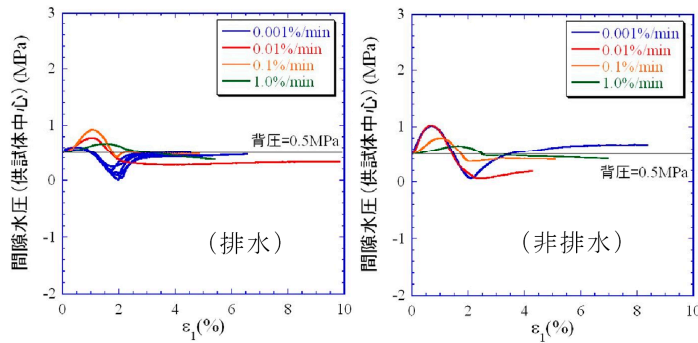
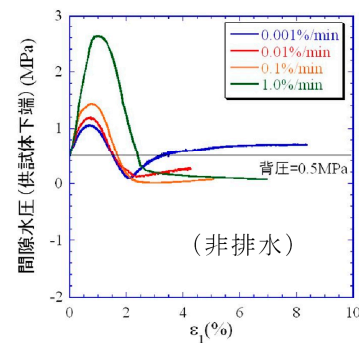


図-5(a) 間隙水圧(供試体内部)-ひずみ関係



(b) 間隙水圧(供試体下端)-ひずみ関係

図-3および図-4から、ピーク強度はひずみ速度が速いほど大きいという結果が得られた。また、排水試験と非排水試験を比較すると、同じひずみ速度では排水試験の方が大きいことが確認できた。図-5(a)および(b)から、排水試験の供試体内部・非排水試験の供試体下端ではひずみ速度が速いとせん断初期の間隙水圧は大きく生じている。一方、非排水試験の供試体内部では、ひずみ速度が速いと間隙水圧は小さくなった。また、ひずみ速度1.0%/minのケースの供試体中心では、供試体上下端の排水状態に関わらず、同じような間隙水圧が生じていることがわかった。一般に間隙水圧が大きく生じると有効応力が低下し、ピーク強度は小さくなる。それは、排水試験と非排水試験の結果の比較からも確認できた。しかし、異なるひずみ速度の試験結果の比較では、ひずみ速度が速いケースほど間隙水圧が大きく生じたが、ピーク強度はひずみ速度が速いケースほど大きくなった。したがって、軟岩の力学挙動には、ひずみ速度や間隙水圧、その他にも拘束圧や中間主応力などが複雑に影響を与えていると考えられる。

本研究で行った模型実験で、供試体内部の間隙水圧の挙動が得られたことにより、これらの複雑な関係の一部を捉えられたことは大きな成果である。

参考文献

- 1)F. Zhang, A. Yashima, T. Nakai, G.L. Ye and H. Aung: An elasto-viscoplastic model for soft sedimentary rock based on t_{ij} concept and subloading yield surface, *Soils and Foundations*, Vol.45, No.1, pp.65-73, 2005.
- 2)G.L. Ye, F. Zhang, K. Naito, H. Aung and A. Yashima: Test on soft sedimentary rock under different loading paths and its interpretation, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.5, pp.897-910, 2007.