

III-231 排水および非排水条件での軸差応力に対する岩石の挙動について

大成建設（株）技術研究所 正会員 里 優
同 上 正会員 飯星 茂

1. はじめに

高圧流体（圧縮空気、LPG、LNGなど）の岩盤内貯蔵や高レベル放射性廃棄物の地層処分などでは、空洞掘削や内圧の付加、あるいは温度変化などに対する岩盤の力学的な応答を的確に予測することが望まれている。

これらの施設は、岩盤の包蔵性を活用するため地下深部（数100m～1000m）に設けられるが、地下深部では、強大な地圧や地下水圧のために、空洞掘削などに対して岩盤が必ずしも弾性的に挙動するとは限らない。また、空洞掘削に伴う地下水流れの発生が、岩盤の変形挙動に影響を及ぼすことも考えられる。したがって、岩盤の力学的応答を精度よく予測するためには、岩盤の非弾性的な性質や、岩盤と地下水の力学的相互作用を十分に理解しておくことが必要である。

筆者らは、三軸試験装置を用いて、岩石の変形挙動やこれに及ぼす間隙水圧の影響などを詳細に調べ、この成果を岩盤内構造物の安定性向上に結び付けていくことを試みている。本報告は、これらの研究のうち、飽和した岩石に軸差応力を加えた場合の挙動を調べた結果を示すものである。

2. 実験条件

実験に用いた岩石は、島根県産の来待砂岩である。岩石は $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ の円柱状に整形し、一旦乾燥させた。試料中央部には、クロスゲージ一對と、P波およびS波速度計測用の圧電素子（共振周波数1MHz）それぞれ一對を直接貼付した。シリコンゴムでセンサー部を保護したのち試料を真空脱気し、その状態のまま脱気水に浸潤させた。試料の重量変化が充分小さくなったことを確認した上で（約1週間後）、シリコンゴムにて試料全体をシールし供試体とした。

実験は、試料に40MPaの等方圧と20MPaの間隙水圧を加え、つぎに軸力を加えて軸差応力を発生させる方法を用いた。間隙水圧は、一定水圧を試料上端に加え発生させ、試料下端の圧力センサーで計測した（図-1）。軸差応力を加える過程で間隙水圧を一定に保持した場合を排水条件と、また軸差応力を加える前に加圧経路を閉じて試料からの間隙水の出入りを停止した場合を非排水条件とそれぞれ呼ぶこととした。軸力は変位制御で加え、排水条件ではひずみ速度を $3 \times 10^{-7}/\text{s}$ 、非排水条件では $1 \times 10^{-6}/\text{s}$ とした。

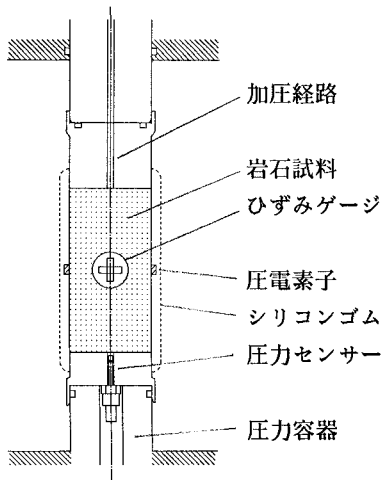


図-1 圧力容器にセットした供試体の形状

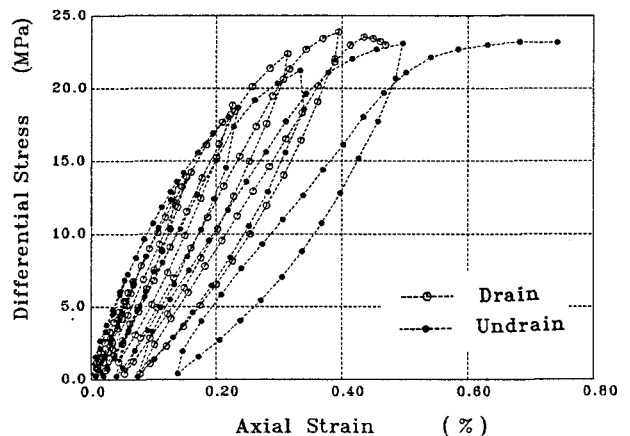


図-2 軸差応力と軸ひずみの関係

3. 実験結果

図-1が、得られた軸差応力-軸ひずみ線図である。本実験では、軸差応力を増減させ、除荷に対する岩石の変形挙動についても調べた。排水条件と非排水条件とで、ほぼ同様の曲線が得られている。軸差応力が大きくなると接線剛性が低下することや、軸差応力を0に戻すと圧縮の残留ひずみが観測されることも共通している。

軸差応力と体積ひずみの関係を示したのが図-3である。軸差応力に対する軸ひずみの変化が試験条件の影響をあまり受けていなかったのに比べ、体積ひずみの変化は両条件で大きく異なっている。非排水条件の試料は、排水条件の試料に比べ顕著なダイラタンシーを示し、軸差応力を0に戻すと膨張側のひずみが残る。

図-4は、試料下端で計測した間隙水圧と軸差応力との関係を示したものである。非排水条件の試料では、軸差応力が増加すると間隙水圧が一旦上昇し、その後減少する。軸差応力を0に戻すと、間隙水圧はほぼ初期の状態に復帰する。

排水条件の試料では、試料上端で水圧が一定に保たれているにもかかわらず10%程度の圧力変動が見られている。これは、設定したひずみ速度では岩石内部で生じた間隙水圧変化が十分に散逸しないことを示している。なお、来待砂岩の透水係数は $2 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ 程度である。また、非排水条件の実験には約35時間を要した。

4. 考察とまとめ

実験結果は、岩石の変形挙動が排水条件に大きく左右されることを示している。特に、非排水条件の試料では、排水条件の試料に比べ顕著なダイラタンシーが計測され、また間隙水圧が増加から減少に転ずるなど特徴的な挙動が見られる。ダイラタンシーは、軸差応力によって岩石内部に微小な空隙が発生するために生ずると考えられるが、両条件におけるダイラタンシーの大きさの違いは、この空隙の発生が間隙水圧の影響を受けていることを示唆するものである。また、非排水条件の試料でみられる間隙水圧の変化は、空隙の発生によるものと考えられ、空隙の発生と間隙水圧の変化は相互に影響を及ぼし合っていることがわかる。

岩盤が地下水で飽和している場合、空洞掘削に伴う岩盤変形や地下水圧の変化は本実験と類似のものとなると推測できる。空洞近傍で生ずるこれらの変化を正しく予測するためには、地下水の排水条件や、本実験で示されている岩盤変形と地下水の力学的相互作用を考慮に入れておく必要がある。

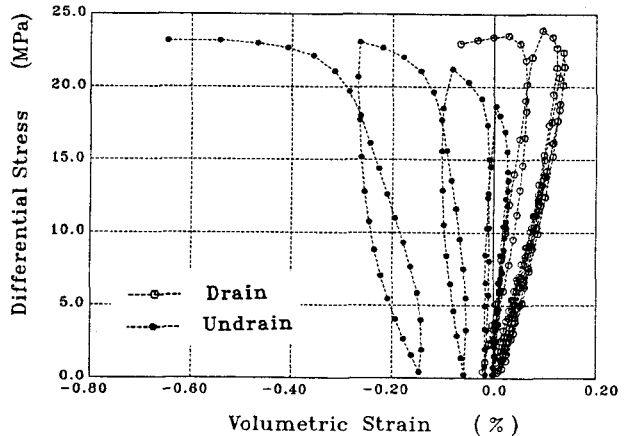


図-3 軸差応力と体積ひずみの関係

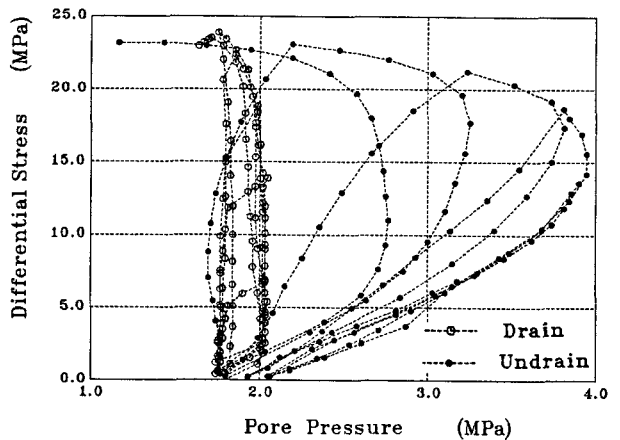


図-4 軸差応力と間隙水圧の関係