

京都大学工学部

正会員 足立紀尚

中央復建コンサルタンツ（株）

正会員 張 峰

東京電力（株）

正会員 曾良岡宏

京都大学大学院

学生員 ○小池真史

1. はじめに

軟岩は、土と岩の中間的な力学的挙動を呈する材料で、ひずみ軟化現象・ダイレイタンスーおよび時間依存性挙動などの特徴的な性質を有している。また軟岩では、間隙水が力学的挙動に大きな影響を与えるので、硬岩と異なって有効応力の原理が適用できる。そこで本研究では、堆積軟岩である戸室石に対して、非排水定ひずみ速さ三軸圧縮試験および非排水クリープ試験を行い、特に時間依存性挙動に着目して、その非排水条件下における力学特性を明らかにする。

2. 試料および実験方法

本研究では、理想的な堆積軟岩として、多孔質凝灰岩である戸室石を試料として用いた。供試体は、直径 5cm、高さ 10cm の円柱形であり、水で飽和させて実験に用いた。その飽和は容器内の空気を炭酸ガスで置換したのち供試体を水浸させ、容器にサクションを作用させることで強制的に行った。また成形した端面の摩擦を極力除去するため、シリコンオイルを塗ったテフロンシートを敷いた。供試体を三軸セル内にセットし、3kgf/cm²のバック・プレッシャーを適用して所定の圧密応力で等方圧密を行った後、非排水定ひずみ速さ三軸圧縮試験および非排水クリープ試験を行った。なお非排水定ひずみ速さ三軸圧縮試験は、4種類のひずみ速さについてひずみ制御で行った。また非排水クリープ試験では、荷重の載荷は重錘の懸荷によるレバー載荷方式で、軸荷重が時間に比例するような多段載荷で試験を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 非排水定ひずみ速さ三軸圧縮試験

Fig.1 はひずみ速さをパラメータとした軸差応力および間隙水圧と軸ひずみの関係を示している。図からわかるように、軸差応力はせん断が進むにつれて増加し、最大強度に達した後減少に転じ最終的には残留応力に至るという、典型的なひずみ硬化－軟化型である。一方、間隙水圧はせん断初期にいったん正の値を取り、最大強度に至る前にピークに達する。その後ひずみの進行に伴って減少に移り、残留応力状態では負の値となる。Fig.2 に各拘束圧ごとの最大強度－ひずみ速さ関係を示す。軟岩の非排水強度が、せん断ひずみ速さの影響を受け、ひずみ速さが大きいほど強度は大きくなるという、時間依存特性の 1 つであるひずみ速さ効果が認められる。Fig.3 は拘束圧 5kgf/cm² の場合の有効応力経路を求めたものである。図中に示される等ひずみ線はほぼ最大主応力軸に平行で、このことは赤井ら¹⁾が主張しているように間隙水圧がひずみ速さには依存せず、ひずみに一義的に関係するという事実と一致する。

(2) 非排水クリープ試験

Fig.4 は軸差応力をパラメータとして軸ひずみ速さ－時間関係を求めたものである。試料が破壊する場合には、ひずみ速さの対数は最初は時間の対数に逆比例して直線的に減少し、やがて最小ひずみ速さを経て加速され破壊に至っていることがわかる。一方、試料が破壊に至らない場合には、時間とともにひずみ速さは直線的に減少している。また Fig.5 には間隙水圧－時間関係を示す。クリープ初期に正の値を取った間隙水圧は、時間の経過とともに緩やかに減少していき最終的には負の値を取る。Fig.6 は拘束圧 5kgf/cm² の場合の有効応力経路を求めたものである。図中に示される等ひずみ線はほぼ最大主応力軸に平行で、このことから間隙水圧は、ひずみに大きく関係すると考える。

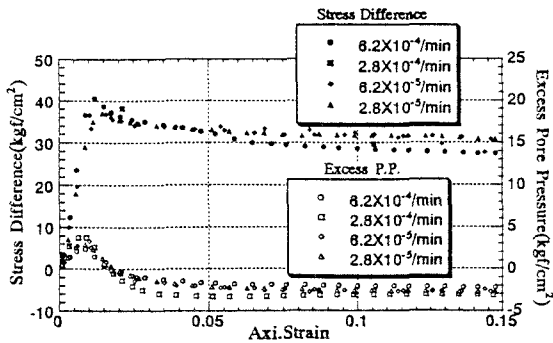


Fig.1 軸差応力-軸ひずみ関係 (拘束圧 5kgf/cm²)

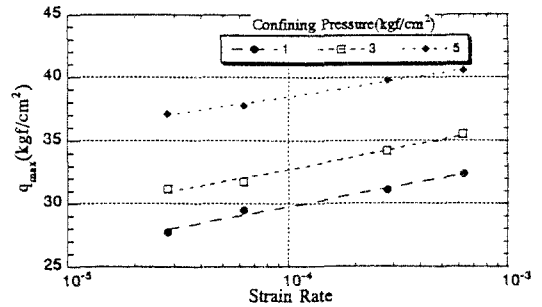


Fig.2 最大強度-ひずみ速さ関係

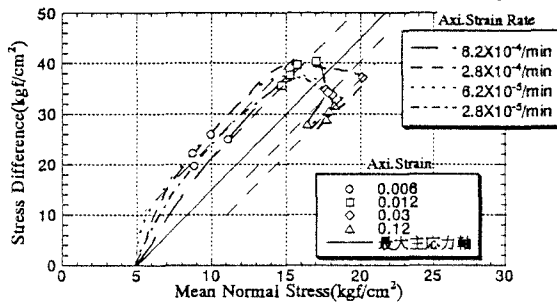


Fig.3 有効応力経路 (拘束圧 5kgf/cm²)

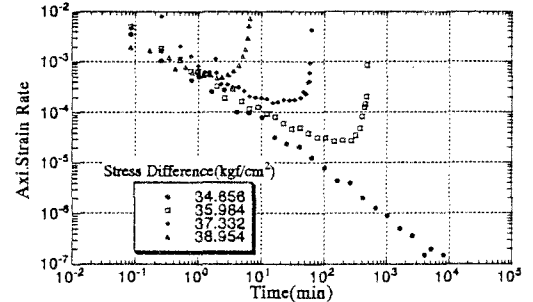


Fig.4 軸ひずみ速さ-時間関係 (拘束圧 5kgf/cm²)

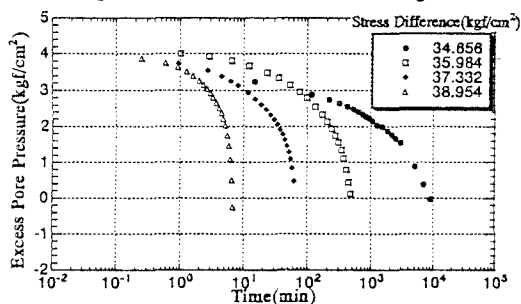


Fig.5 間隙水圧-時間関係 (拘束圧 5kgf/cm²)

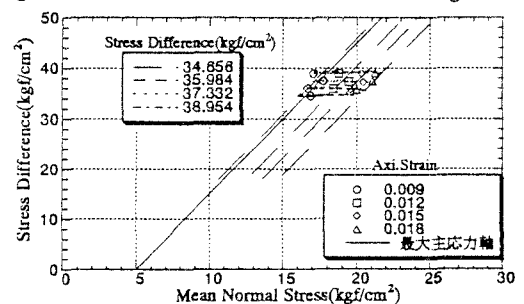


Fig.6 有効応力経路 (拘束圧 5kgf/cm²)

4. 結論

今回行った2つの実験から考えられる間隙水圧の解釈の仕方について以下に述べる。

Skemptonは、間隙水圧の増分は応力の増分の一次関数であるとして、次式を提案している。

$$\Delta u = B \{ \Delta \sigma_3 + A (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \}$$

これに対して、 L_o は間隙水圧の増分はひずみの不変量の関数であると仮定し、非排水で軸対称の場合には最大主ひずみ ϵ_1 のみの関数で与えられるとして、次式を提案した。

$$\Delta u = f(\epsilon_1)$$

実験結果は、Skemptonの式がせん断過程のような動態時における間隙水圧を説明するには無理があり、かつクリープ過程時の間隙水圧の時間的変化を説明できないことを示すものであるといえる。そこで、これらの過程では L_o の主張するように間隙水圧の増分は軸ひずみの関数であると考えの方が妥当である。

参考文献

- 1) 赤井浩一ら：飽和粘土の応力-ひずみ-時間関係，土木学会論文報告集，第225号，pp.53-61，1974.
- 2) Lo, K.Y. : The Pore Pressure-Strain Relationship of Normally Consolidated Undrained Clays, Canadian Geotechnical Journal, Vol.6, pp.383-412, 1969.