

京都大学大学院 フェロー 足立紀尚
 京都大学大学院 学生会員 中嶋裕信

1.はじめに

軟岩はひずみ軟化・時間依存性挙動の卓越した材料である。時間依存性挙動にはひずみ速さ効果・応力緩和・クリープ現象などが挙げられる。そのうち、クリープ現象とは一定応力のもと定常クリープ状態で最小ひずみ速さに至り材料の劣化が始まり加速クリープ過程を経てクリープ破壊に至る現象である。また、軟岩は粒子間の結合に余り大きくないがセメンテーションが発達して構造骨格はある程度の強度をもつため、岩石材料と土質材料の中間の性質を持ち、拘束圧の低い場合はせん断面が入りひずみ軟化を呈し破壊するが、拘束圧の高い場合はせん断により粒子間の摩擦が卓越して、ひずみ硬化が継続し最大強度に移る。本研究ではこのような軟岩の挙動に遷移現象が生じる付近の拘束圧下でのクリープ挙動を調べるため、多孔質凝灰岩の戸室石を用いて、拘束圧 10, 20, 30, 47 kgf/cm²の下で排水定ひずみ速さ三軸圧縮試験および排水クリープ試験を行った。

2.ひずみ軟化型からひずみ硬化型に遷移する拘束圧下のせん断特性

定ひずみ速さ三軸圧縮試験により得られた軸差応力-偏差ひずみ関係および体積ひずみ-偏差ひずみ関係を図1に示す。拘束圧10kgf/cm²ではせん断に伴いひずみ軟化と同時に体積膨張して典型的なひずみ軟化型となる。拘束圧47kgf/cm²ではひずみ硬化し続けて体積も圧縮し続けるひずみ硬化型となった。ところが拘束圧 20, 30 kgf/cm²ではひずみ軟化と同時に体積は圧縮している。

クリープ試験で得られた体積ひずみ-時間関係を図2に示す。拘束圧 10kgf/cm²の場合、クリープ破壊に伴って体積膨張して、拘束圧20, 30 kgf/cm²ではクリープ破壊に伴って急激な体積圧縮を呈している。また、拘束圧47kgf/cm²ではクリープ破壊しても体積に急激な変化は生じない。

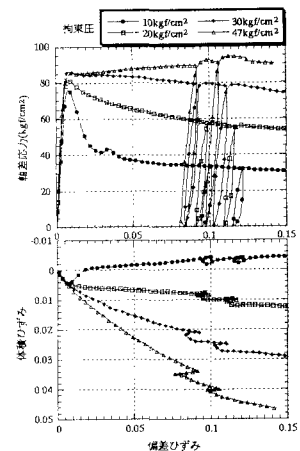


図1 三軸試験結果
(ひずみ速さ0.056%/min)

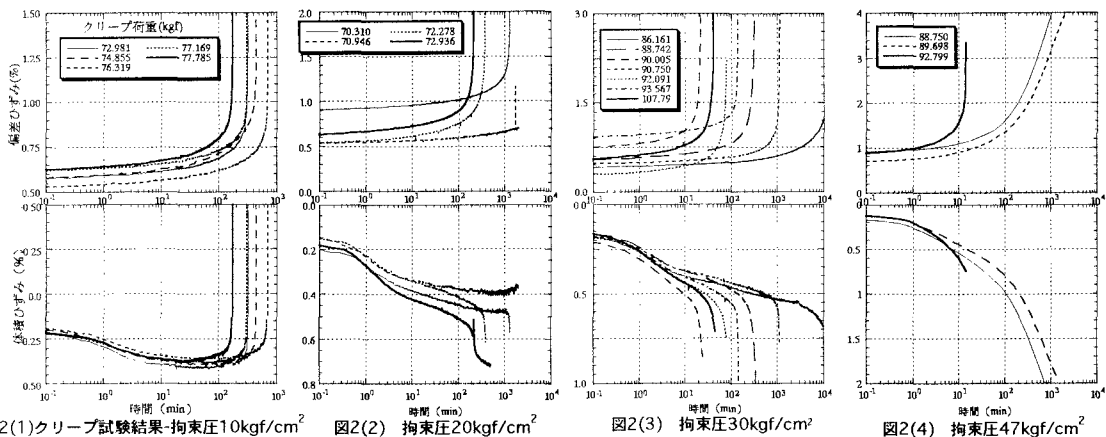


図2(1)クリープ試験結果-拘束圧10kgf/cm²

図2(2) 拘束圧20kgf/cm²

図2(3) 拘束圧30kgf/cm²

図2(4) 拘束圧47kgf/cm²

以上より、ひずみ軟化型からひずみ硬化型に遷移する拘束圧 20, 30 kgf/cm²の場合、定ひずみ速さ三軸圧縮試験でひずみ軟化とともに体積圧縮するのは、クリープ試験で破壊時に急激な体積圧縮が生じることから、ひずみ軟化過程においてセメンテーションによる粒子間の結合が部分的に劣化し、せん断により粒子が間隙に落ち込むことによると考えられる。

3. ひずみ軟化型とひずみ硬化型のクリープ挙動

定ひずみ速さ三軸圧縮試験とクリープ試験より得られた体積ひずみ－平均主応力関係を図3に示す。また、拘束圧30kgf/cm²および、拘束圧47kgf/cm²での偏差ひずみ－時間関係を図4に示す。この節ではこれらの結果をもとに、ひずみ軟化型となる拘束圧下とひずみ硬化型となる拘束圧下での「一定応力に対してひずみが時間の経過とともに増加する」というクリープ挙動の違いと、それぞれの特性を説明する。

1) ひずみ軟化を示す拘束圧下のクリープ挙動

図3によると、三軸圧縮試験でひずみ軟化を示す拘束圧 10, 20, 30 kgf/cm²では、クリープ試験において最小ひずみ速さに到達時の体積ひずみと三軸圧縮試験で最大強度到達時の体積ひずみはほぼ一致している。すなわち、クリープ試験における最小ひずみ速さに到達時と三軸圧縮試験における最大強度時はともに構造骨格の劣化が始まる状態であるので、構造骨格の劣化が始まるまでの体積ひずみは拘束圧によって一義的に決まると考えられる。

図4によると拘束圧30kgf/cm²の下でのクリープは、三軸試験で最大強度を示す1%程の偏差ひずみで定常クリープ状態を経て加速クリープ状態に至る。すなわち、粘弾性をもった構造骨格が加速クリープ過程で劣化してクリープ破壊によって構造が変わる。

2) ひずみ硬化を示す拘束圧下のクリープ挙動

図3では、拘束圧47kgf/cm²ではクリープ破壊のおこらない場合、体積変化は等方圧密曲線を越えて圧縮し、ほぼ三軸圧縮試験の経路に一致した。また、図4によると拘束圧47kgf/cm²の下でのクリープは、定常クリープ状態は現れず、ひずみは4%以上進行している。これは、セメンテーションによる粒子間の結合はほとんど壊されていて、構造骨格による粘弾性は発揮されず、ゆる詰めめの砂のように構造骨格は容易に塑性変形するためと考えられる。そのため、クリープによって体積圧縮が進行して材料は密になるので時間の経過に伴って強度は強くなると考えられる。

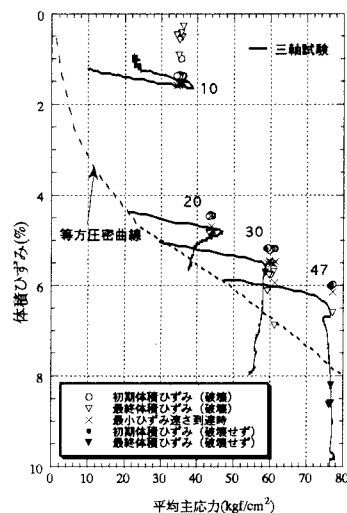


図3 体積変化経路

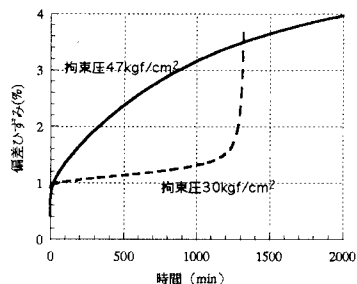


図4 ひずみ硬化型とひずみ軟化型のクリープ挙動の違い

4. 結論

本研究では、高拘束圧下において排水定ひずみ速さ三軸圧縮試験および排水クリープ試験を行い、クリープ挙動を調べることによって以下のことがわかった。

- 1)せん断特性は拘束圧によってひずみ軟化型とひずみ硬化型に分かれるが、ひずみ軟化型はさらに拘束圧によって体積変化の挙動が異なる。拘束圧の低い場合はひずみ軟化と共に正のダイレイタンスが発生して膨張し、ひずみ硬化型に遷移する拘束圧下ではひずみ軟化と共に負のダイレイタンスが発生して圧縮する。
- 2)ひずみ軟化型の拘束圧下の材料では、構造骨格の劣化の始まるまでの体積ひずみは拘束圧によって一義的に決まる。
- 3)ひずみ硬化型のクリープ挙動は塑性流動であるから、クリープにより時間の進行に伴って材料は強化する。