

III-315

非排水条件下での岩石の破壊挙動について

大成建設(株)技術研究所	正会員	○ 青木 智幸
	正会員	田中 重明
	正会員	亀村 勝美

1.はじめに

水で飽和した岩石の力学的挙動に間隙水圧が大きな影響を及ぼすことは良く知られている。従来の研究では、飽和した岩石の三軸圧縮試験において間隙水圧を加えると強度が低下し、変位速度との関係で比較的透水係数の大きい岩石の力学的挙動は有効応力の法則に従うとされている。¹⁾²⁾ 著者らも、せん断中の間隙水圧を一定に保った排水条件の三軸圧縮試験を行い、比較的透水係数の大きい安山岩に対して様々な封圧と間隙水圧の組合せで有効応力の法則が成り立つことを確かめた。³⁾ これに続き、間隙水圧が変化した際の岩石の挙動を知るために非排水条件での三軸圧縮試験を実施し、いくつかの知見を得たのでここに報告する。

2.実験の概要

実験に用いた岩石は福島県産の三城目安山岩である。試験片の準備、試験装置については文献³⁾と同じであるので割愛し、ここでは実験方法の概要について述べる。図-1に実験の概念図を示す。試験手順は、まず排水状態で所定の封圧を加え、次にブースタより間隙水圧を加えて試料上端の水圧を一定に保ち、下端の水圧を加えた水圧とおなじになった時点で一様な間隙水圧分布になったと判断し、バルブ2を閉じて非排水状態としてせん断過程に移った。載荷速度は変位制御で0.01mm/minである。配管はすべて剛性の高い1/8'のステンレスパイプを用いている。計測項目としては、軸荷重、封圧、ピストンの変位、試験片上下の間隙水圧の他、試験片中央部表裏に貼付したひずみゲージの値及び弾性波速度、AEを計測した。弾性波速度及びAEについては別の機会に述べる。表-1に試験条件を示す。封圧を一定として間隙水圧を変えたシリーズAの他、間隙水圧を一定として封圧を変えたシリーズBの条件の試験を行い、有効応力則の成否を調べた。

3.結果・考察

簡明のため、まず、シリーズAについて考察する。図-2及び図-3はそれぞれ排水及び非排水条件の応力-ひずみ線図である。ひずみゲージは最終破断まで追従しないので、これらの図ではピストンの変位を試験片高さに除したものをひずみとした。図を比較すると、排水条件ではほぼ脆性的に破壊するのにたいし、非排水条件では延性的な挙動を示している。排水条件では、図には示さなかったが、ピークをすぎたあと急激な応力の低下がみられたが、非排水条件では、明瞭なピークを示さず載荷を続けても急激な破壊は起こらなかった。ちなみに、乾燥条件の三軸試験ではこれらの封圧では全て激しい脆性破壊であった。非排水条件の体積ひずみの挙動をみると(図-4)、破壊強度に対しかなり低い応力レベルから大きなダイラテンシーを生じていることがわかる。間隙水圧の変化をみると(図-5)、軸差応力の増加に伴い間隙水圧が大きく変動している。図を比較すると、この間隙水圧の変動が体積ひずみの変化に起因していることは明らかである。なお、最大の間隙水圧及び体積ひずみを示す応力レベルがずれているのは、間隙水圧が試験片全体の体積変化により変化しているのに対し、体積ひずみは試験片中央部のひずみゲージの値から計算しており試験片の端面拘束により中央部が変形しやすいためであると理解できる。

以上を総合すると、間隙水圧は、始め上昇して岩石に作用する有効拘束圧を減じて破壊の進行を加速し、ダイラテンシーを生じて減少し始めると有効拘束圧を増加させ破壊の進行を減速する役割をはたしていると考えられる。これらの破壊挙動を定量的に理解するために、平均有効応力経路で整理してみたのが図-6である。これをみると、初期の有効応力によらず、一つの破壊線に沿って破壊が進行しているのがわかる。また、点線はシリーズBの結果であるが、同じ破壊線上を動くと言ってよく、初期の有効応力が等しければ破壊までにとる応力経路は類似していると言える。しかし、●■で示したように、排水条件の破壊線は明らかに異なっており、この差異は破壊のメカニズムの違いと予想される。この点について今後さらに追求していきたい。

参考文献

- 1) Brace, W.F., et al ; A Test of the Law of Effective Stress for Crystalline Rocks of Low Porosity, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., Vol.5, pp415-426, 1986
- 2) 後藤、他; 2、3の本邦岩石に対する間隙水圧効果、日本鉱業会誌、Vol.98, No.1131, pp392-398, 1982
- 3) 青木、他; 岩石の破壊機構に及ぼす間隙水圧の影響、第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp41-45, 1987

表-1 試験条件

シリーズ	封圧 σ_3 (kg/cm ²)	初期間隙水圧 u_i (kg/cm ²)	初期有効応力 $\sigma_3 - u_i$ (kg/cm ²)
A	300	250	50
A	300	200	100
A	300	150	150
A	300	100	200
A/B	300	50	250
B	200	50	150
B	100	50	50

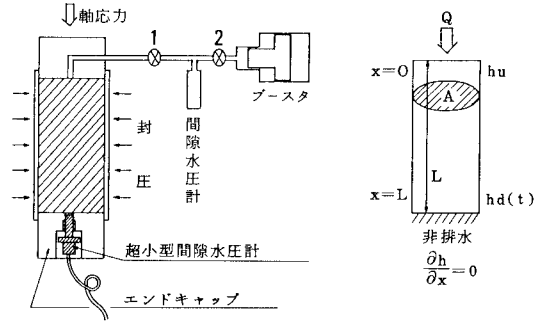


図-1 実験の概念図

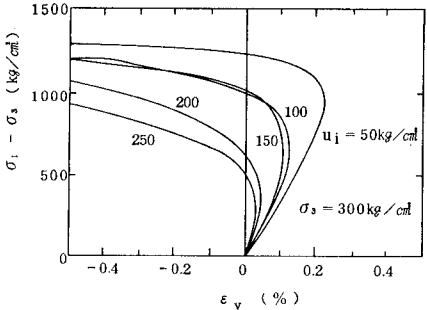


図-4 応力-体積ひずみ線図(非排水条件)

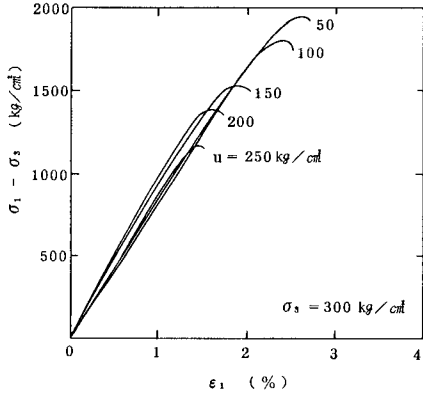


図-2 排水条件の応力-ひずみ線図

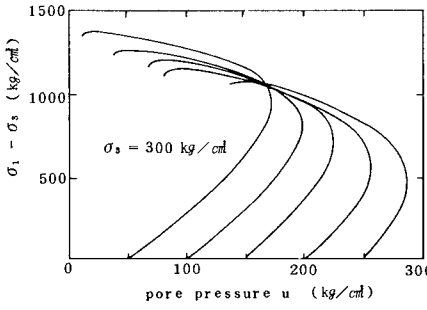


図-5 軸差応力と間隙水圧の関係
(非排水条件)

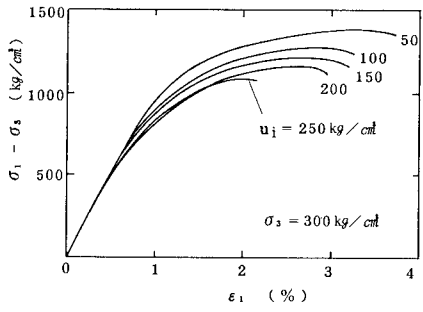


図-3 非排水条件の応力-ひずみ線図

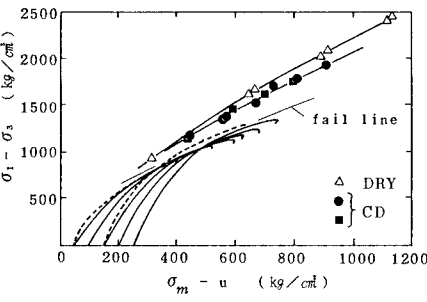


図-6 平均有効応力経路