

岩石の多段階三軸試験に関する基礎実験

国際航業(株) 正会員 阿部大志
 日本大学工学部 正会員 田野久貴
 日本大学工学部 正会員 渡辺英彦

1. はじめに

岩石のせん断強度定数を求める場合、一般に三軸試験が行われる。しかし、現場のボーリングコアにおいては、亀裂の存在などにより必ずしも十分なコア長が確保困難な場合がしばしば生じる。このような場合を考慮して限られた岩石試料数でせん断強度定数を求める実験方法として多段階三軸試験が Kovari ら¹⁾により提案され、赤井ら²⁾もこれを適用した報告を行っている。この試験法は、1つの供試体でせん断強度定数を評価できる長所を有するが、載荷制御におけるピーク強度の直前状態を判断することが難しく、また繰り返し載荷の影響も無視できない場合もあると考えられる。

本研究では、その基礎実験として多段階三軸試験と通常の三軸試験を行い、両試験法のせん断強度定数を比較し多段階三軸試験におけるせん断強度定数についての検討を行った。

2. 供試体および実験方法

実験供試体は溶結凝灰岩(白河石)である。この岩石を堆積面にほぼ垂直にコアリングおよび端面整形を行い、 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ の供試体とした。供試体の物理特性として一軸圧縮強度は約 500kgf/cm^2 であり、弾性波速度が約 4000m/sec であった。供試体の乾燥状態は絶乾状態(110°C , 24hour)とした。

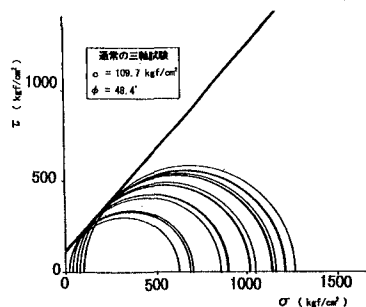


図-1. 通常の三軸試験の応力円とせん断強度定数

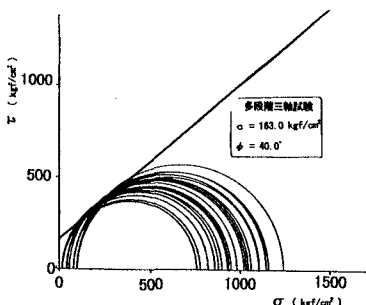


図-2. 多段階三軸試験の応力円とせん断強度定数

多段階三軸試験の実験手順は、次の手順にて行った。

- ① 供試体を三軸セル内にセットした後、設定した拘束圧を与える。
- ② 軸差応力-ひずみ曲線を観察しながら軸載荷を行う。
- ③ 軸差応力-ひずみ曲線のピーク強度直前に載荷を停止させる。
- ④ 軸差応力、軸ひずみともに載荷初期状態に戻す。
- ⑤ 拘束圧を次の段階に増加させる。
- ⑥ 設定した拘束圧にて、再度軸載荷を行う。(手順②へ)

この手順にて第1回目の拘束圧 20kgf/cm^2 から最高の設定拘束圧 100kgf/cm^2 まで各段階 20kgf/cm^2 ずつ増加させて繰り返し載荷を行った。

一方、通常の三軸圧縮試験は、供試体を三軸セルにセットし設定した拘束圧($20, 40, 60, 80$ および 100kgf/cm^2)にしたのち載荷を行った。なお、載荷速度は両試験法ともにひずみ制御にて $0.1\%/min$ とした。試験機加圧板内に設置されたセンサーよりAEの計測を行った。

3. 実験結果および考察

図-1に通常の三軸試験、図-2に多段階三軸試験のピーク点におけるモール・クーロンの破壊基準を適用して求めたせん断強度定数を示した。

keywords: 多段階三軸試験, 溶結凝灰岩, せん断強度

連絡先: (住所)〒963 郡山市田村町徳定中河原1・(Tel)0249-56-8713・(Fax)0249-56-8858

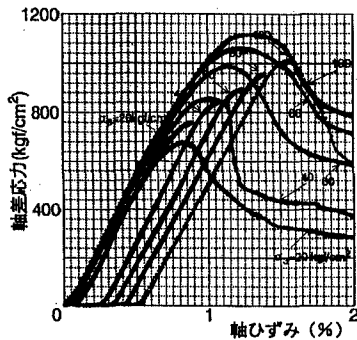


図-3. 両試験の軸差応力-ひずみ曲線の比較
(一例)

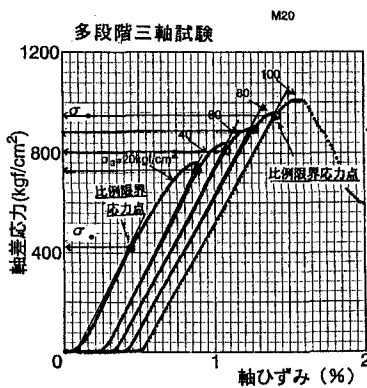


図-4. 多段階三軸試験の比例限界応力点

表-1. せん断強度定数の比較

実験方法	破壊点の評価	$\phi (^{\circ})$	$C (kgf/cm^2)$
通常の三軸試験	ピーク強度	48.4	109.7
多段階三軸試験	ピーク強度近傍	40.0	183.0
	応力-ひずみ関係の比例限界応力を考慮	48.0	93.1

通常の三軸試験と比較して多段階三軸試験の c は大きく、 ϕ は小さい値を示した。せん断強度定数の相違の理由として、多段階三軸試験の2回目以後の繰り返しによる内部損傷の累積があげられる。図-3に多段階三軸および通常の三軸試験の軸差応力-ひずみ曲線を重ねて示す。軸差応力-ひずみ曲線を同じレベルの拘束圧下と比較すると、応力-ひずみ関係の非線形化の増加によって拘束圧の割合には同一ひずみレベルにおける応力レベルが小さくなるため多段階三軸試験の ϕ は小さくなると推測される。

多段階三軸試験の軸差応力-ひずみ線における非線形性が表れる点を比例限界応力 (σ_p) としこの応力に着目した検討を行う。図-4に多段階三軸試験の軸差応力-ひずみ曲線を示す。これより比例限界応力点を読みとりせん断強度定数を求めた。その結果 ϕ_p は 48.0° を得た。比例限界応力は、ピーク強度より小さいため通常の三軸試験に比べてせん断強度定数 c_p は小さく評価される。そこで、多段階三軸試験において1つの供試体をもって c 、 ϕ ともに評価するために、包絡線を最終設定拘束圧 ($\sigma_3 = 100 kgf/cm^2$) のピークの応力円に接するようにして求めた。すると c は $93.1 kgf/cm^2$ であり、通常の三軸試験におけるせん断強度定数に近い結果が得られた。そこで多段階三軸試験法において比例限界応力を試験中に判断して試験を行うことにより、通常の三軸試験に近いせん断強度定数を得られると考えられる。

以上の様にして求めたせん断強度定数を表-1にまとめる。比例限界応力を考慮した場合 c 、 ϕ とも通常の三軸試験の結果にほぼ近い値を示した。しかし、応力-ひずみ関係において比例限界応力を得るには比例限界点のある程度越えて載荷する必要があり、その分内部損傷が増加するので現在の多段階三軸試験法では好ましくないと考えられる。

4. おわりに

今回、通常の三軸試験および多段階三軸試験を実施し、比例限界応力に関する検討を行った。得られた結果をまとめると次の事項があげられる。(1) 多段階三軸試験のせん断強度定数は、通常の三軸試験と比較して c は大きく ϕ は小さい値となった。(2) 多段階三軸試験の比例限界応力によりせん断強度定数を求めた結果は、通常の三軸試験の結果と近い値を示した。

また今後の課題として、本実験ではA-Eを計測しているのでA-Eを用いた多段階三軸試験についての内部損傷の解析および検討があげられる。

[文献] 1) K. Kovari and A. Tisa: Multiple Failure State and Strain Controlled Triaxial Test, Rock mechanics, Vol. 7, No. 1, pp. 17-33, 1975.

2) 赤井浩一・大西有三・李徳河: 多段階三軸試験とその飽和軟岩の適用について, 土木学会論文報告集, 第311号 pp. 93-102, 1981.