

III-104

除荷過程を考慮した低透水性材料の封圧下透水試験

中央開発(株) 正○中村 裕昭, 平野 圭一  
 大成建設(株) 正 末岡 徹, 守屋 雅之  
 大成建設(株) 正 名田 実

1. はじめに

大深度地下開発等, 深い地盤を対象とした掘削問題では掘削の進行に伴う応力除荷とともに地盤の透水性や変形特性も変化することが予想される。そこで, 本研究では三軸圧縮試験装置を用いた透水試験システムによって, 有効拘束圧(有効側圧 $\sigma_3'$ )を8, 4, 2, 1, 0.5 kgf/cm<sup>2</sup>と段階的に除荷変化させた時のそれぞれの側圧段階における透水係数と微小ひずみ領域( $\epsilon = 10^{-6} \sim 10^{-5}$ )での変形係数を同一供試体より求めた。これより試料によっては約8 kgf/cm<sup>2</sup>の側圧差によって変形係数は大幅に低減するとともに透水係数についても10倍近く高くなることが分かった。また, 本研究では低透水性材料( $k = 1.0 \times 10^{-10} \sim 10^{-5}$  cm/s)を主眼に試料には砂・ベントナイト混合土を使用し, 試験時間の短縮と精度向上のため透水流量の計測に高精度(読取り分解能=0.015 mm) 差圧計を用いた。

2. 試験条件と試験方法

試験に用いたシステムは, 文献<sup>1)</sup>を参考に一部独自に改良し, 図-1に示したように繰返し三軸試験装置に透水流量計測のための設備(二重管ビューレットと差圧計)を連結したシステムを用いた。特に, 当試験システムでは低透水領域を対象に試験を実施することから, 内径1.6 mmのビューレットとフルスケールが5 cmで分解能が0.03 %/FSの高精度差圧計を用いたことに最大の特徴があり, 流量に換算すると0.00003 cm<sup>3</sup>の読み取り分解能となる。また, この差圧計の分解能はパーソナルコンピュータに取り込む際に介するA/D変換ボードの分解能(約0.02%)とも整合する。試験装置の主な仕様は表-1に示した。

試験は供試体作成, 飽和, 側圧負荷, 圧密, 微小ひずみ領域における動的変形特性試験, 定水位透水試験の順に実施したが, 圧密過程以降を所定の側圧段階( $\sigma_3' = 8.0, 4.0, 2.0, 1.0, 0.5$  kgf/cm<sup>2</sup>)分だけ順次除荷し圧密, 変形試験, 透水試験を実施した。透水試験は各側圧段階とも10~60分間の計測を3回繰返し, 試験結果の再現性と解の安定度を確認した。また, 蒸発散量補正用の二重管ビューレットを設備した。

試験に用いた供試体は低透水性地盤を念頭に, 便宜上, 砂とベントナイトの混合材を用い, 混合割合はベントナイトが5%, 10%, 20%の3種類(以下, BS5, BS10, BS20と表記)とした。

表-1 主な試験装置仕様と試験条件

項目	主な試験装置仕様と試験条件
試料	砂(豊浦標準砂)とベントナイト(ケガル V1)の混合 ベントナイト混合比: BS5=5%, BS10=10%, BS20=20%
変形	試験装置: 繰返し三軸試験装置 $\sigma_3'$ : 8, 4, 2, 1, 0.5 kgf/cm <sup>2</sup> の5段階 B.P.: 2 kgf/cm <sup>2</sup> or 1 kgf/cm <sup>2</sup>
試験	周波数: 0.2 Hz, $\epsilon = 10^{-6} \sim 10^{-5}$ 付近 繰返し載荷: 正弦波11波負荷, 10波目採用
透水	試験装置: 三軸装置+二重管ビューレット+差圧計 透水試験方法: 定透水試験方法
試験	$\sigma_3'$ : 8, 4, 2, 1, 0.5 kgf/cm <sup>2</sup> の5段階除荷 測定精度: 水頭=0.015mm, 流量=0.00003cm <sup>3</sup> kの計測範囲: $1.0 \times 10^{-10} \sim 10^{-5}$ cm/s

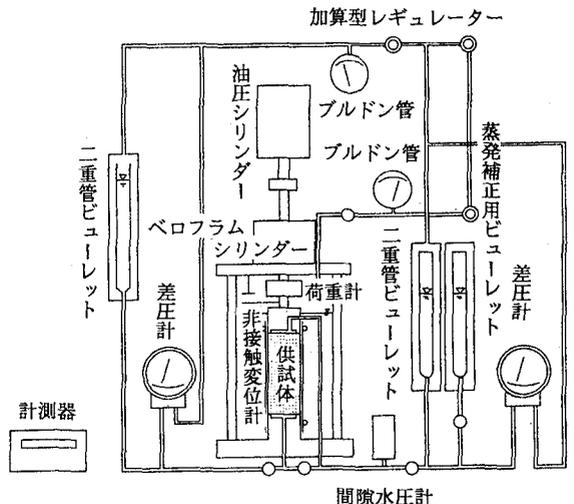


図-1 透水試験システム概念図

試験に先立ち供試体とメンブレンとの境界面における漏水をチェックするため, ダミー供試体(硬質ゴム

製)を用いて、各側圧に対して確認試験を行い無視しうる量であることを確認している。また、一般に三軸試験装置を用いた透水試験法では、メンブレンを介して供試体と水で満たしたセル室との間で漏水・漏気の問題がある。飽和・圧密過程に時間を要し、長時間の試験となることを考慮してセル水としてシリコンオイルを用いるとともに、試験が3日以上に及ぶ場合にはメンブレンとして Mildネオブレンを使用した。ただし、万が一、供試体の水がセル室内に排出(漏水)した場合には透水係数は小さく求められ、また、セル室側から供試体内に漏気する場合の透水係数も小さく求められるはずであることから、後述する除荷過程ごとに透水係数が増加した今回の試験結果は有意であると判断した。

### 3. 試験結果

試験の結果は、図-2 に変形係数と軸ひずみ・有効拘束圧との関係、図-3 には有効拘束圧と透水係数および間隙比との関係、図-4 には間隙比と透水係数との関係としてまとめた。

図-2 より当試験材料の変形係数のひずみ依存性および拘束圧依存性が読み取れる。また、図-3 より、有効拘束圧を 8 kgf/cm<sup>2</sup> から 0.5 kgf/cm<sup>2</sup> まで変化させると、BS5 で  $3.0 \times 10^{-8}$  cm/s から  $1.7 \times 10^{-7}$  cm/s へ、BS10 で  $9.0 \times 10^{-10}$  cm/s から  $1.7 \times 10^{-9}$  cm/s へ、BS20 で  $4.4 \times 10^{-10}$  cm/s から  $3.6 \times 10^{-9}$  cm/s へと何れもほぼ10倍に透水性が良くなっている。また間隙比に着目してみると有効拘束圧を 8 kgf/cm<sup>2</sup> から 0.5 kgf/cm<sup>2</sup> まで除荷すると、図-4 より BS5 で 0.709 から 0.736 へ、BS10 で 0.726 から 0.740、BS20 で 0.685 から 0.697 へと 3.8~1.8% 程度大きくなっており、この間隙比の変化が透水係数の変化に寄与しているものと見られる。この関係は、ラム&ホワイトマンの Compacted caliche 等の間隙比と透水係数の関係<sup>2)</sup> と類似している。

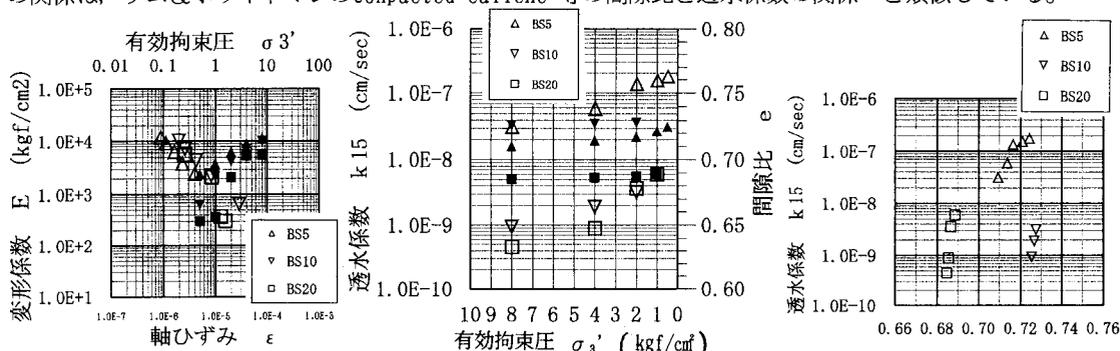


図-2 有効拘束圧と変形係数・間隙比 図-3 有効拘束圧と透水係数・間隙比

注: 黒塗りは  $\sigma_3'$ -E 関係

注: 黒塗りは  $\sigma_3'$ - $e$  関係

図-4 間隙比と透水係数

### 4. あとがき

本研究で使用した三軸試験装置と高精度差圧計を用いた透水試験システムによって、

- ① 除荷過程, 載荷過程, 繰り返し載荷等, 任意の応力履歴を考慮した封圧下での透水試験が実施できる。
- ② 高精度の差圧計を用い  $1.0 \times 10^{-10} \sim 1.0 \times 10^{-3}$  cm/s の低透水領域での透水試験が実施できる。
- ③ 低透水材料を対象に数10分という短時間で透水試験が実施できる。このことは温度変化その他誤差要因の排除に有効であるとともに、試験の繰り返し(再現性の確認等)が容易となる。
- ④ 有効拘束圧を 8 kgf/cm<sup>2</sup> から 0.5 kgf/cm<sup>2</sup> まで変化させると、間隙比が2~3%程度大きくなり、それに伴い透水係数も約10倍程度変化する。

こと等が分かった。今後、供試体を代えてデータの蓄積を図っていきたい。なお、本研究を進めるに当たり、主に計測精度の問題、および結果の評価等に関し、岡山大学工学部の西垣 誠助教授には貴重なご意見を戴いた。記して謝意を表します。

《参考文献》 1) 中野勝志・斉藤 章・西垣 誠: 難透水性岩石を対象とした室内透水試験, 土質工学会論文報告集, Vol.31, No.3, pp.164~174, 1991.9.

2) T. William Lambe and Robert V. Whitman: Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., p.286, 1969.