

段階載荷圧密試験と透水試験による粘土の透水係数の比較

大阪市立大学大学院 正 大島昭彦 高田直俊
 鹿島建設(株) 正 合田泰三
 大阪市立大学大学院 学 森本和人 池田靖宏

まえがき 現行の段階載荷圧密試験では、得られた圧密量 - 時間関係に圧密理論解をフィッティングして、理論解に整合する部分（一次圧密域）で圧密係数 c_v を求めているため、 c_v を構成する透水係数、体積圧縮係数はそれぞれ一次圧密域での値 k_1, m_{v1} となる。しかし、 c_v を実地盤に適用する際には、1) c_v をそのまま適用する、2) c_v を構成する m_{v1} を二次圧密を含む 1 日載荷の m_{v2} に置き換えるために、一次圧密比 $r (=m_{v1}/m_{v2})$ で補正した $c_v' (=rc_v)$ を適用する¹⁾、という 2 つの考え方がある。したがって透水係数も、1') c_v と m_{v2} を組み合わせて $k=c_v m_{v2} \gamma_w$ から求める、2') c_v' と m_{v2} を組み合わせて $k'=c_v' m_{v2} \gamma_w (=c_v m_{v1} \gamma_w)$ 、結局 c_v と m_{v1} の組み合わせとなるから求める、という 2 つの考え方があり、現在でもいずれを採用すべきかの結論は得られていない²⁾。この問題に対して、吉國ら³⁾、今井ら⁴⁾ は段階載荷圧密試験実施時に透水試験も併行して行い、 k の方が実測透水係数に近いことを報告している。

そこで本研究では、改めて段階載荷圧密試験と変水位透水試験を併行して行う試験を実施し、前者から算定される k, k' と後者から実測される k_p を比較し、 k, k' の妥当性を検討した。また、同時に透水試験時のダルシー則の成立、 k_p に与える供試体層厚、載荷時間の影響についても検討した。

実験方法 試料は、大阪南港粘土に市販のカオリンを乾燥重量比 2:1 で混合した粘土 ($w_L=74.0\%$, $w_p=33.5\%$) である。

供試体寸法は、周面摩擦の影響を同程度とするため、[直径 ϕ (cm), 層厚 H_0 (cm)] の比が 3 となる [3, 1], [6, 2], [9, 3], [12, 4], [15, 5] の 5 種類に設定した。圧密試験条件の詳細は文献 5) を参照されたい。

図-1 に変水位透水試験の概略を示す。予め底盤部を飽和しておき、透水試験は、圧密終了の 2~3 時間前から開始し、初期水位差 h_1 から、水位差 h_2 の経時変化およびその時点での供試体層厚から透水係数を算出した。また、より厳密にダルシー則の確認を目的として、 $[\phi, H_0]=[6, 2]$ の条件で、2 日載荷で約 1 日連続して透水試験を行った。以下、上記 2~3 時間での透水試験を「短期透水試験」、1 日連続の透水試験を「長期透水試験」と呼ぶ。

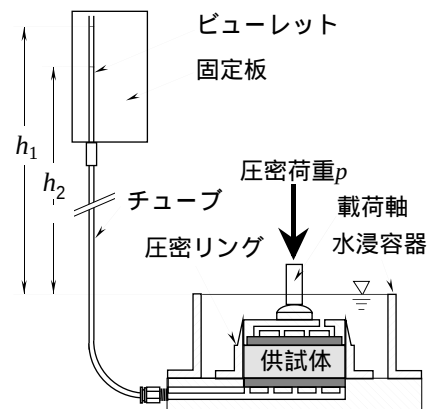


図-1 変水位透水試験の概略

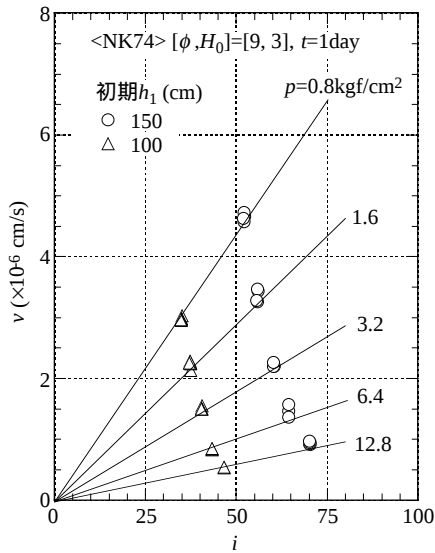
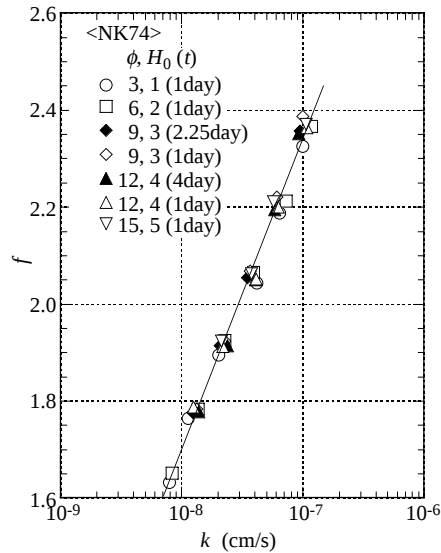
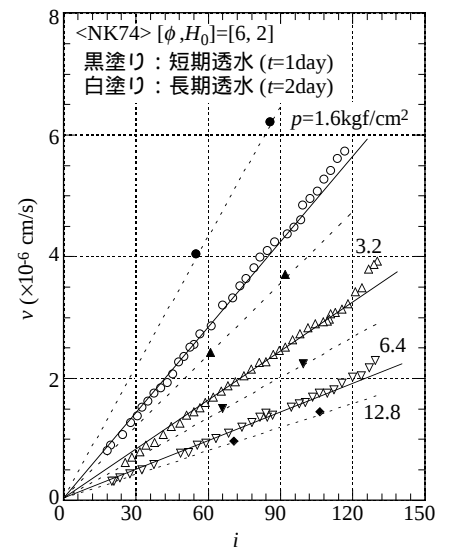
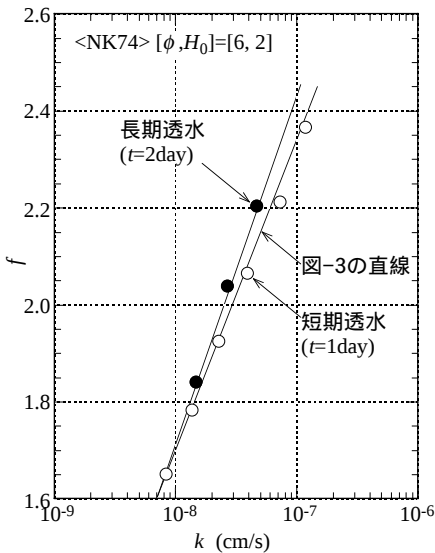
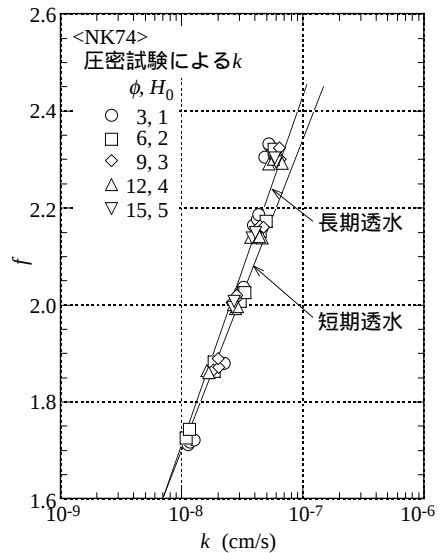
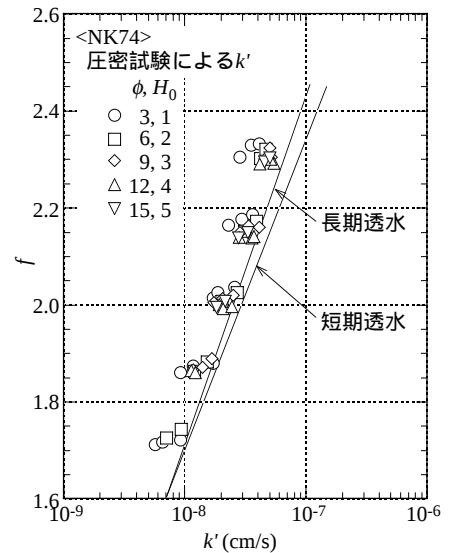
透水試験結果 図-2 に短期透水試験から得られた流速 v と動水勾配 i の関係の一例 ($[\phi, H_0]=[9, 3]$ の 1 日載荷) を示した。図は初期水位差 $h_1=150, 100$ cm からの平均的な $v-i$ 関係で示している。各圧密圧力 p とともに初期においてやや v が大きくなる場合があるが、定常状態と考えられる点を結ぶと、ほぼ原点を通る直線となり、ダルシー則が成立している。これらの傾向は、他の供試体層厚、載荷時間でも同じであった。

図-3 に短期透水試験の全ケースの $f-\log k_p$ 関係を示した。 k_p は変水位試験による算定式によって求め、測定時の f (各圧密段階の終期) に対してプロットしている。なお、 $[\phi, H_0]=[15, 5]$ の 6.25 日載荷は異常値(水漏れ)のため除いた。図中には、全データの平均的な $f-\log k_p$ 直線を入れている。 k_p は比較的狭い範囲に収まっており、 $f-\log k_p$ 関係に与える供試体層厚と載荷時間の影響はほとんど見られない。

図-4 に長期透水試験における $v-i$ 関係を示した。図には同じ供試体寸法における短期透水試験の $v-i$ 関係も比較のために示した。長期透水の $v-i$ 関係は、低動水勾配域で v がやや減少する傾向が見られるものの、各載荷段階とも原点を通る直線関係と見なすことができ、やはりダルシー則の成立が確認できる。長期透水の方が短期透水に比べ、同じ i に対して v が小さいのは、長期透水が 2 日載荷であるため、透水試験時の f が小さいことが影響している。図-5 に両者の $f-\log k_p$ 関係の比較を示したが、 f の大きい範囲では、先の傾向を反映して長期透水による k_p はやや小さいが、 f が小さくなると短期透水の平均的な $f-\log k_p$ 直線とほぼ一致している。

Key Words: 段階載荷圧密試験, 透水試験, 載荷時間, 供試体層厚, 粘土

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL 06-6605-2996 FAX 06-6605-2726

図-2 $v-i$ 関係 (短期透水) の例図-3 $f-\log k_p$ 関係 (短期透水)図-4 $v-i$ 関係 (長期 vs 短期透水)図-5 $f-\log k_p$ 関係 (長期 vs 短期透水)図-6 圧密試験による $f-\log k$ 関係図-7 圧密試験による $f-\log k'$ 関係

圧密試験と透水試験による透水係数の比較

図-6 に文献 5) で示した段階荷重圧密試験による全データの $f-\log k$ 関係と図-3, 5 に示した短期, 長期透水試験による $f-\log k_p$ 直線を示した。ただし, 圧密試験による k は一次圧密域での平均体積比 $\bar{f} = (f_0 + f_{100})/2$ に対してプロットしている。 k は比較的狭い範囲に収まっている⁵⁾。短期透水の $f-\log k_p$ 直線と比較すると, f が大きい範囲では k の方が小さいが, 長期透水の $f-\log k_p$ 直線と比較すると, 全体にわたって k と k_p はかなり近いことがわかる。

図-7 に段階荷重圧密試験による全データの $f-\log k'$ 関係と短期, 長期透水試験による $f-\log k_p$ 直線を示した。 k' は k に比べるとばらつきが大きく, 透水試験による $f-\log k_p$ 直線と比較するとかなり小さい。特に, 層厚が小さい (一次圧密比 r が小さくなる) ほど k' が小さいことから, r による補正が寄与していると考えられる。

なお, 大阪南港粘土 ($w_L=103\%$, $w_p=38.5\%$) に対しても同様な試験を行い, 同様な結果を得ている。

以上から, 吉國³⁾, 今井⁴⁾ による結果と同様に, 段階荷重圧密試験による透水係数 k は, 透水試験による実測透水係数にほぼ一致するため, 透水係数の算定は k' でなく, k でよい。また, 実測透水係数に与える荷重時間と層厚の影響は見られないため, $f-\log k$ 関係は土に固有の性質といえる。なお, 詳細な考察は文献 6) を参照されたい。

参考文献

- 1) 三笠: 圧密試験の整理方法について, 土木学会第 19 回年次学術講演会, III-7, 1964 . 2) 地盤工学会: 土質試験の方法と解説 (第一回改訂版), pp.367~368, 2000 . 3) 吉國, 他: 透水試験を併用した圧密試験法, 第 24 回土質工学研究発表会, No.163, 1989 . 4) 今井, 他: 圧密係数に関する 2, 3 の検討, 第 24 回土質工学研究発表会, No.165, 1989 . 5) 大島, 他: 粘土の段階荷重圧密試験における荷重時間と層厚の影響, 土木学会第 56 回年次学術講演会, 2001 (投稿中) . 6) 大島, 他: 段階荷重圧密試験結果の解釈と適用方法に対する一考察, 土木学会第 56 回年次学術講演会, 2001 (投稿中) .