

III-A 304 地盤の貯留性を考慮した単孔式透水試験結果の自動整理法の開発

鴻池組 正○ 進士 喜英 古田 直
嶋村 貞夫 濱野 隆司

1. はじめに

ボーリング孔を利用した単孔式現場透水試験は簡便さ経済性という利点から実施されることの多い試験法の一つであり、近年、低透水性岩盤¹⁾から高透水性砂礫帯水層²⁾にまで適用範囲が拡張されつつある。この試験結果は主に、Hvorslev³⁾によって提案された地盤の貯留性が極めて小さい場合に対する手法で整理され、試験結果である孔内水位の経時変化プロットの直線関係を利用して透水係数が算出できる。しかし、地盤の貯留性が顕著にみられる試験結果では明確な直線関係が得られず、この手法が適用できない。このような場合にはCooperら⁴⁾によって提案されている標準曲線とのマッチング技法（以下Cooper法）を用いる事ができる。Cooper法は透水係数だけでなく比貯留係数も算定することができるが、極めて形状の似た標準曲線群から唯一適切な曲線に一致させることが要求され、人為誤差が介入しやすい。また選択された曲線に対して得られる比貯留係数はオーダー単位であることがこの手法の普及を妨げていると考えられる。このような観点にたつて、Cooper法適用時の人為的誤差の介入を極力避け、任意の比貯留係数に対応できる自動マッチング技法を開発した。この技法を数値解析による試験シミュレーション結果に適用したところ、少なくとも透水係数は数十%以下の誤差範囲で算定できることがわかったので報告する。

2. Cooper法の概要

Cooperらは有限井戸半径の井戸貯留を考慮した揚水理論をもとに、図-1に示すような完全貫入試験孔による単孔式透水試験時の孔内水位の経時変化をあらわす理論解を示した。この理論解は初期の孔内外水位差 s_0 に対して正規化された孔内水位 s のグラフ群図-2であらわすことができる。図-2のように実測値とマッチングした結果は次式に代入され所定の浸透特性を算出する。

$$S_s = \frac{S}{b} = \frac{C_w}{\pi r_w^2 b} \alpha^* \quad (1) \quad K = \frac{T}{b} = \frac{C_w}{\pi b} \left(\frac{t'}{t} \right)^* \quad (2)$$

ここで、 T :透水量係数、 S_s :比貯留係数、 S :貯留係数、 r_w :ストレーナ部分の半径、 C_w :試験孔の貯留項（オープンホール:水面の移動する部分の断面積 $(=\pi r_c^2)$ 、閉塞孔:閉塞区間内の水などの圧縮率)、 b :帯水層厚 $(=$ ストレーナ長さ $L)$ 、 t :試験時間、 t' :無次元時間、*:マッチングによって選ばれた値を意味する。

3. 自動化手法(t_{50}' 法)

マッチングに用いるグラフ座標(図-2)の縦軸水位変化は0~1までに正規化されているのでマッチング時の探索は時間軸と α に対して実施される。双方に対して細かな増分幅でパラメトリックスタディーし、実測値との残差評価を行うが、双方それぞれに試行すると計算効率が悪いことから、別途これら二つのパラメータの関係をを用いて、 α を選べば時間軸のマッチング時間が得られるようにした。ここで、マッチングでは観測されたある水位(例えば、 $s/s_0=0.5$)は必ず標準曲線上にある(マッチングする)とし、この水位に対する無次元時間 t_{50}' は α の関数として図-3に示すように事前に用意することができ、任意の α に対して t_{50}' を決定できることを利用する。 t_{50}' は試験結果の同

$$K = \frac{T}{b} = \frac{C_w}{\pi b} \left(\frac{t_{50}'}{t_{50}'} \right)^* \quad (3)$$

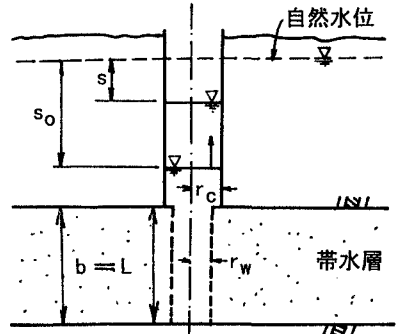


図-1 完全貫入孔による単孔式透水試験

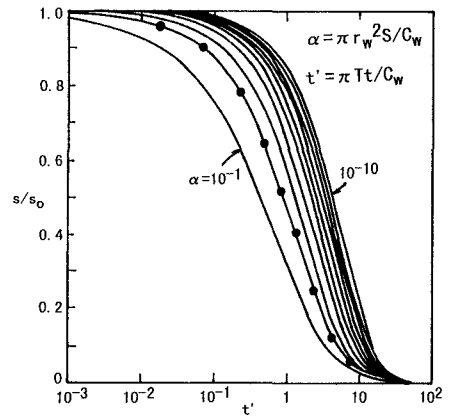


図-2 Cooper法の標準曲線群とマッチング

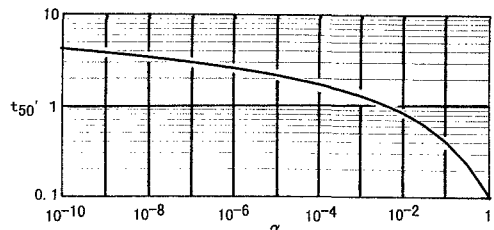


図-3 α 値と t_{50}' 値の関係

じ水位に対する時間 t_{50} に対応するので、時間軸のマッチング座標比は容易に算出でき、これにより、式(2)は式(3)として用いることができる。

4. 適用例

数値シミュレーションで、表-1, 2に示す比貯留係数の異なる5つの地盤での試験結果を作成し、これに本手法を適用した。図-4に示した試験結果のHvorslev法による整理では明確な直線部分がみられず同手法の適用が困難であることがわかる。図-5, 6に残差二乗和の観測点数平均と試行 α および時間比をそれぞれ示した。最小となる残差二乗和値をとる時、試行パラメータは最適であると考え、図-5では α 値が小さなケース（地盤の貯留性が小さい）場合には α の評価は真値から1オーダー以上外れることがあるが、 α の大きな場合には比較的良く評価できる。これは、小さな α では標準曲線の形状が互いに近似していることから、残差二乗和に有意な差もみられず、その値も小さくなり最適値を決定しにくいためである。実際の適用では真値が不明であるが、図-5のように α に対する残差の違いが明確に見られるなら最小残差となる時の α の信頼性を高く評価することができる。また、図-6では時間比(t_{50}'/t_{50})はどのケースに対してもほぼ真値に近い値を評価している。図-7に最適マッチング状況を示した。表-2の整理結果のようにCooper法では透水係数は比較的よい精度で算定でき、また比貯留係数は α の大きくなる場合に比較的精度よく算定できる事がわかった。加えて、本報で示した自動化手法は任意の α に対するマッチング精度を残差で表示できるのでマッチングの良否を客観的に評価できる利点を有し、きわめて有効な手法であると考えられる。尚、同手法は筆者の一人がアリゾナ大学留学中にその基本部分を作成し、担当教授Dr. Neumanに貴重な助言を頂いたことに感謝の意を表します。〈参考文献〉1)竹内ら、難透水性岩盤を対象とした現場透水試験に関する検討、日本地下水学会秋季講演会講演要旨、10-13, 1995. 2)黒山ら、高透水性地盤における単孔式透水試験の適用、第28回土質工学研究発表会、2249-2250, 1993. 3)Hvorslev, Time lag and soil permeability in ground-water observations, Waterways experiment st. corps of Eng, U.S. Army, No. 36, 1951. 4)Cooper et. al, Response of a Finite-Diameter Well to an Instantaneous Charge of Water, WRR, Vol. 3, No. 1, 263-269, 1967.

表-1 シミュレーション条件

$b=L=1000\text{cm}$
 $r_w=r_c=5\text{cm}$
 $s_o=100\text{cm}$
 $K=10^{-2}\text{cm/sec}$
 影響圏半径 $R=2\text{Km}$

表-2 自動マッチングの結果(真値 $K=10^{-2}\text{cm/sec}$)

真値 Ss(1/cm)	真値 α	マッチング α^*	真値 t_{50}'/t_{50}	マッチング $(t_{50}'/t_{50})^*$	算定Ss* /真値Ss	算定K* /真値K
10^{-4}	10^{-1}	1.09×10^{-1}	0.4	0.401	1.09	1.003
10^{-5}	10^{-2}	1.55×10^{-2}	0.4	0.368	1.55	0.920
10^{-6}	10^{-3}	1.97×10^{-3}	0.4	0.357	1.97	0.893
10^{-8}	10^{-5}	5.11×10^{-5}	0.4	0.338	5.11	0.845
10^{-10}	10^{-7}	25.0×10^{-7}	0.4	0.316	25.0	0.790

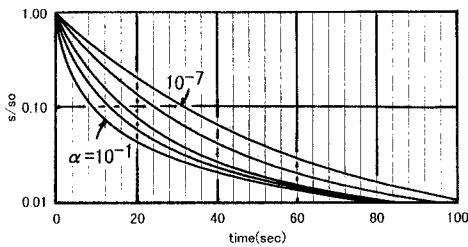


図-4 Hvorslev法による整理

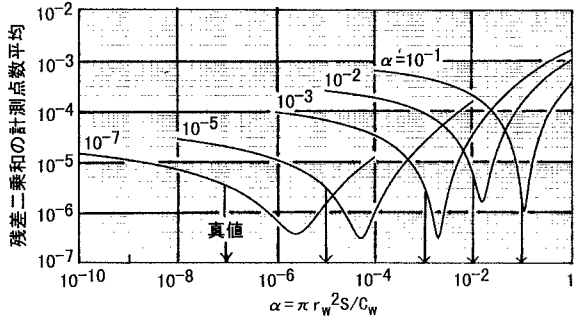


図-5 試行 α 値と残差二乗和

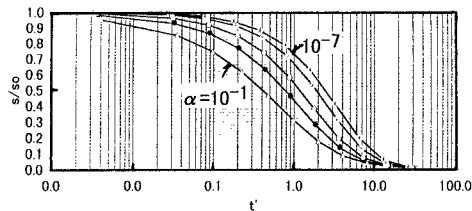


図-7 Cooper法による整理

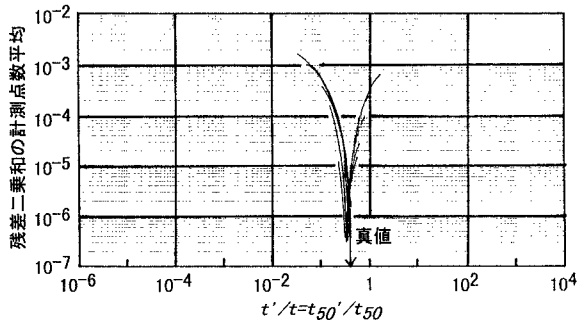


図-6 時間比(t_{50}'/t_{50})と残差二乗和