

岡山大学工学部 正員 河野伊一郎

岡山大学工学部 正員 ○西垣 誠

八千代エンジニアリング

村瀬 俊彦

1. まえがき 近年アースダム、ロックフィルダム等の建設がさかんになってきた。また、これらの構造物の安定解析のために、有限要素法等の数値解析も階段の進歩をとげてきている。しかし、これらの解析に用いる入力データを求めるための手法には、まだ確固たるものがないのが現状である。現場透水試験法として従来より用いられているオーガホールを用いる試験法では長時間の計測が必要である。本研究では以上の観点に基づいて簡単な試験法で短時間に盛土地盤の透水係数および従来の現場透水試験法では測定が不可能であった貯留係数(有効閉がキ率)、サクション水頭の値を求める手法を示す。

2. 試験装置及び試験方法 本試験法においては定水位試験法と変水位試験法とが考えられ、図-1、図-2にその詳細図を示す。試験では鉄製の円筒ケーシングを地盤に貫入させ、定水位試験ではマリオートサイホン、変水位試験ではビューレットを給水管として、それぞれの水位低下を経時的に測定する。試験に用いた試料は、試験室内において水槽に豊浦標準砂を乾燥密度 $\gamma_d = 1.50/\text{cm}^3$ で詰めたものと岡山市内の盛土地盤である。

ケーシングの種類は、標準砂を用いた試験では内径の大きさにより43mm, 93mm, 143mmの3種類を、現場の試料では43mm, 93mmの2種類を用いた。

ケーシングの貫入深さは、標準砂を用いた試験で30cm~40cm、現場の試料については24cmとした。

3. 現場透水試験法の理論解析 不飽和領域内への浸透においてGreen-Amptモデル¹⁾より次式の運動方程式が与えられている。

$$v = k \frac{h(t) + Z_f + h_c}{Z_f} \quad (1)$$

ここに、 v : 浸透流速 (cm/sec), k : 透水係数 (cm/sec), $h(t)$: 時間 t における水頭 (cm), Z_f : 時間 t における地表から浸透前線までの距離 (cm), h_c : 浸透前線におけるサクション水頭 (cm)

また連続式は次のように表わされる²⁾。

$$q = a \frac{dh(t)}{dt} = A\beta \frac{dZ_f}{dt} \quad (2)$$

ここに、 q : 地盤への水の流入量 (cm³/sec), $h(t)$: 時間 t における給水管の水位降下量 (cm), A : 浸透面の断面積 (cm²), a : 給水管の断面積 (cm²), β : 貯留係数

(1)式と(2)式より Z_f を消去すると定水位試験法について次式を得る。

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{k\beta}{g^2} \frac{h_0 + h_c}{h(t)} + \frac{k}{g} \quad (3)$$

また浸透がある程度進んだところで水頭変化を与えると次式を得る。

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{k\beta}{g^2} \frac{h_0 + h_c}{h(t)} + \frac{k}{g} \quad (4)$$

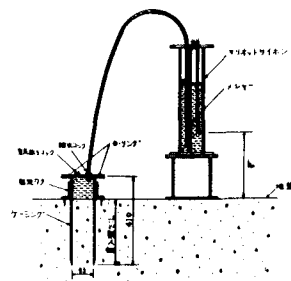


図-1 定水位試験法

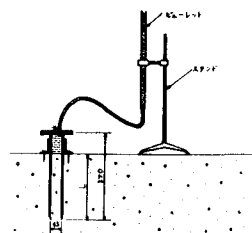


図-2 変水位試験法

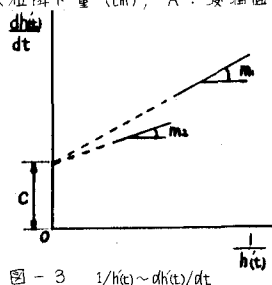


図-3 $1/h(t) \sim dh(t)/dt$

ここに, h_{01} , h_{02} : 初期水頭 (cm), ϕ : α / A

変水位試験法についても同様に次式を得る。

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{k\beta}{\phi^2} \frac{h_{01} + h_c}{h(t)} + \frac{k}{\alpha} \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) \quad \text{----- (5)}$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{k\beta}{\phi^2} \frac{h_{02} + h_c + h(t_{01})}{h(t)} + \frac{k}{\alpha} \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) \quad \text{----- (6)}$$

ここに, $h(t_{01})$: 水頭を変える直前までの給水管の水頭降下量 (cm)

ここで(3)式と(4)式, または(5)式と(6)式を, $1/h(t)$ を横軸に $dh(t)/dt$ を縦軸にとりグラフにすると図-3のように2本の直線を得る。これらの直線の勾配をそれぞれ m_1 , m_2 , また $dh(t)/dt$ 切片を C として求めると, 定水位試験法では,

$$h_c = \frac{m_2 h_{01} - m_1 h_{02}}{m_1 - m_2} \quad k = C\phi \quad \beta = \frac{\phi m}{C(h_{01} + h_c)} \quad \text{----- (7)}$$

変水位試験法では,

$$h_c = \frac{m_2 h_{01} - m_1 (h_{02} + h(t_{01}))}{m_1 - m_2} \quad \beta = \frac{m_1 \phi}{m_1 + C(h_{01} + h_c)} \quad k = \frac{C\phi^2}{\alpha - \beta} \quad \text{----- (8)}$$

としてサクション水頭 h_c , 透水係数 k , 貯留係数 β の値が求められる。

4. 試験結果および考察 均質層地盤での解析手法の検証を目的で実験室内で $\gamma_d = 1.5 \text{ kg/cm}^3$ に標準砂を詰めた工槽を地盤として内径43mmのケーシングを30cm貫入して, ここで示す変水位試験を第一段階 $h_{01} = 80.0 \text{ cm}$, 第二段階初期水頭 $h_{02} = 49.5 \text{ cm}$ で実験を行った。 $\alpha = 4.326$ である。その結果の水頭降下速度 ($dh(t)/dt$) と水頭変化の逆数の関係を図-4に示す。図中の2本の直線の勾配は, $m_1 = 0.0372 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$, $m_2 = 0.0268 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$ と求まり, 縦軸の切片より, $C = 0.76 \times 10^{-2} \text{ (cm/sec)}$ と求められる。これらの値を(8)式に代入すると $h_c = 20.30 \text{ (cm)}$, $\beta = 0.201$, $k = 3.45 \times 10^{-3} \text{ (cm/sec)}$ と求められた。透水係数の値は, 同じ標準砂について JIS-A1218 に規定された変水位試験で求めた値とほぼ同じ値が求められた。サクションヘッドについても, この実験で用いた標準砂は気乾状態 (体積含水率 = 0.05%) であり, 圧力変換器を用いて求めた値とほぼ同じ値である。貯留係数 β については, $\gamma_d = 1.5 \text{ kg/cm}^3$ に詰めた場合, 間ガキ率 $\epsilon = 0.48$ であり, この値と実験より求められた値を比較すると, 有 $\frac{dh(t)}{dt}$ 効空ガキ率は間ガキ率の約40%である。これは, 地盤内に浸潤が速むにつれて, 地盤内の空気がトラップされるためであると考えられる。

本試験法を現実の地盤に対して応用した結果の一例を示すと, 地盤に $h_{01} = 108.3 \text{ cm}$, $h_{02} = 58.0 \text{ cm}$, 内径43mm ($\phi = 0.908$) で行った結果 $k = 6.301 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$, $h_c = 1.34 \text{ cm}$, $\beta = 0.134$ と求められ, 同じ場所でもかく乱状態でサンプリングした試料について JIS-A1218 に基づいて変水位試験を行った平均値が $k = 6.14 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ であり比較的良好な値が求められた。なお地盤においては含水量は深さ方向に異なるため, ここで求められた h_c , β の値は, 地盤の平均的な値であると言えよう。比較的簡単な試験で従来取り扱われてなかった, サクションヘッド, 有効空ガキ率を求める手法を示したが, これらの値は, 有限要素法による飽和-不飽和領域内の浸透解析においての入力データとして応用できると考えられる。

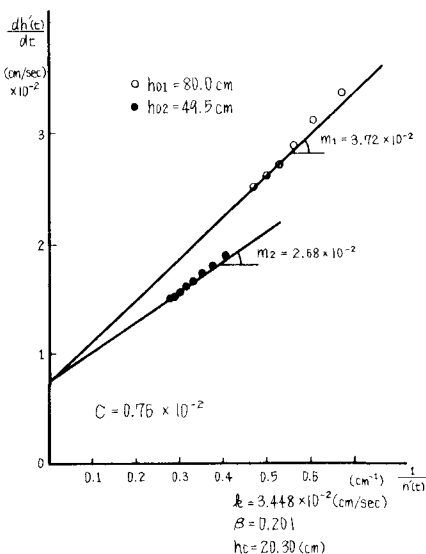


図-4 $1/h(t) \sim dh(t)/dt$ (変水位 $D=43 \text{ mm}$)

参考文献 1) Shlomo P. Neuman; Wetting Front Pressure Head in the Infiltration Model of Green and Ampt. Water Resources Research, vol 12, 1976, pp. 564~566

2) 久保田 敬一, 河野 伊一郎, 甲野 尚雄; 透水-設計へのアプローチ, 鹿島出版会, 1976, PP.12~23