

金沢大学工学部

正員

高瀬信忠

福井工業高等専門学校

正員

○広部英一

1. まえがき 不飽和鉛直浸透における間隙空気の影響を考察するためにポテンシアル表現を仮定し、 $h_a = \frac{P_a}{\rho g}$ が用いられる。 P_a : 空気圧 (gf/cm^2)、 ω : 水の単位重量 (gf/cm^3) であるが、浸潤前線前方の P_a 値の挙動に関しては多くの報告があり、一定圧力分布をなす事が知られている。この事から浸潤前線前方の未だ乾燥砂領域においては、 $\frac{\partial(P_a/\omega)}{\partial z}$ の値が 0 (ゼロ) となる事が証明されるが、間隙空気の影響を不飽和浸透流方程式に導入するためには、土柱上層面から浸潤前線にかけての空気圧分布を知る必要がある。

2. 土柱実験

(1) 実験試料および実験装置 図-1に示した豊浦標準砂(飽和透水係数 0.032 cm/s)を、内径 10 cm 高さ 100 cm の透明アクリル円筒に充填した。上部から一定水量を給水し、一定湛水深で越流させた水量を水位計で測定した。給水量から越流量を差し引き浸透量を得る。側面に 5 cm 間隔に穴を開け、内径 2 mm のガラス管の先端にガラスウールを巻いたものをマノメーターに導いて間隙空気圧 P_a を測定した。マノメーター液を着色して変動の様子をテレビカメラで撮影し、後で 10 秒間隔で読み取ったが、浸潤前線の降下状態も記録した。実験装置の系統を図-2に示す。

(2) 実験結果

実験条件を表-1、測定例を図-3、図-4に示してある。

表-1 実験条件

湛水深	0 cm	閉鎖	開放
湛水深	2 cm	閉鎖	開放
湛水深	10 cm	閉鎖	開放
湛水深	30 cm	閉鎖	開放

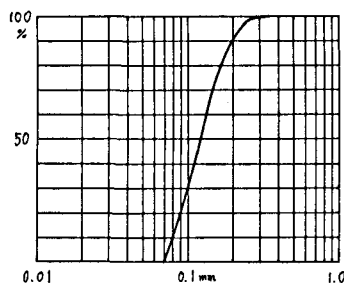


図-1 粒径加積曲線

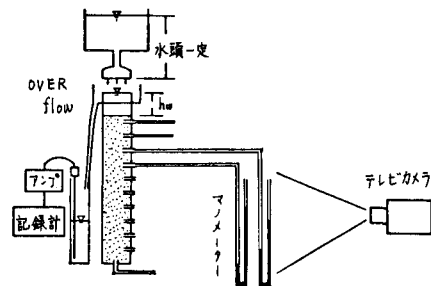


図-2 実験装置の系統

間隙空気

閉鎖とは、パテを用いて、円筒を完全密閉した実験を行う。

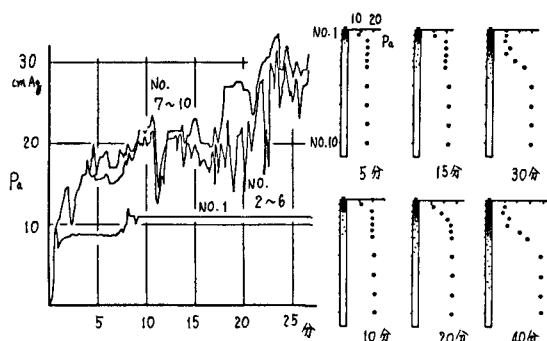


図-3 湛水深 0 cm・間隙空気閉鎖

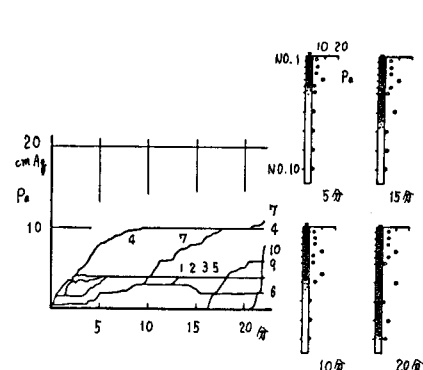


図-4 湛水深 0 cm・間隙空気開放

(3) 間隙空気圧分布のモデル化 実験例によると不飽和鉛直浸透における間隙空気圧分布は、一般的に図-5(c)の様になる。同図(c)を空間偏微分すると同図(d)が得られるが、同図(c)を図-6(c)の様にモデル化する。このモデル化により間隙空気圧ポテンシアル分布は図-6(d)の様になり次式で表現される。

浸潤面より上側 : $\frac{\partial h_a}{\partial z} = \frac{\partial (P_a/w - h_w)}{\partial z} = \frac{P_a/w - h_w}{L_w} \dots (1-a)$

浸潤面より下側 : $\frac{\partial h_a}{\partial z} = 0 \dots (1-b)$

h_w : 湛水深 (cm) L_w : 浸潤域の長さ (cm)

3. 不飽和浸透流方程式

(1) 基本式 ダルシー式 $v = -k(\theta, \psi) \frac{\partial h}{\partial z} \dots (2)$,

連続式 $\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial v}{\partial z} \dots (3)$, ポテンシャル関係式 $h = \psi - z + h_a$

$\dots (4)$, $k(\theta, \psi)$: θ もしくは ψ の一価関数と仮定した不飽和

和透水係数 (cm/s), θ : 土壌水分量 (cm^3/cm^3),

ψ : 圧力水頭, 不飽和領域では毛管ポテンシャル (cm),

式(2),(3),(4)より, ψ もしくは θ に統一すると次式を得る。

$$\left[C(\psi) + \alpha S_s \right] \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 + \frac{\partial h_a}{\partial z} \right) \right] \dots (5)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - k(\theta) \left(1 - \frac{\partial h_a}{\partial z} \right) \right] \dots (6)$$

式(5),(6)の右辺第3項は, 間隙空気の挙動を式中に導入した項であり, 式(1)から計算される値である。間隙空気圧を考慮しない場合(開放)はこの項は付加されない。なお飽和で $\alpha = 0$, 不飽和で $\alpha = 1$ となる。

(2) 離散化 式(5),(6)の離散化は, 有限要素法による。

(3) 境界条件 (i) 毛管ポテンシャル方程式(5), 土柱上端 $\psi(0, t) = h_w$, 下端 $\psi(L, t) = -30\text{cm}$ (風乾)

(ii) 土壌水分拡散方程式(6), 土柱上端 $\theta(0, t) = \theta_{\text{sat}}$ (飽和), 下端 $\theta(L, t) = \theta_{\text{dry}}$ (風乾)

4. 土柱実験と数値計算の比較 湛水深 0cm の例を示す。2cm・10cm・30cm は, 講演時に示す。

(1) 浸透能 実験値、

計算値ともに, 閉鎖と開

放では異なる様相を示す。浸

透水の差による違いは、

同じく講演時に示す。

(2) 浸潤面の移動

閉鎖では, 間隙空気の封

入条件式(1)を, 不飽和浸

透流方程式に導入する事

により, 浸潤面の降下の

停止する様子がよく表わ

されている。

文献 1)高木馬場: 土木

学会論文集 144号, 2)田中

: 水理講演会 10号, 13号,

3)石原下島: 防災研年報

19号, 4)岡角屋: 同 17号

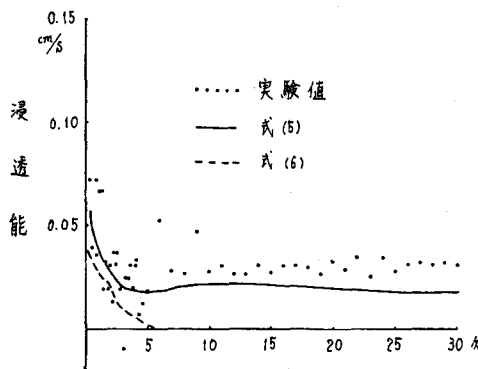


図-7 湛水深 0cm・間隙空気閉鎖

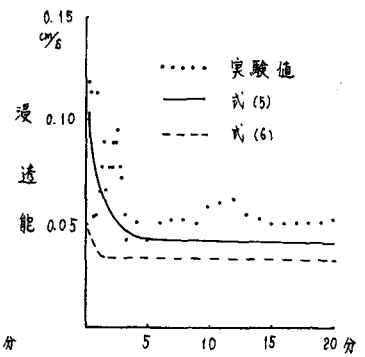


図-8 湛水深 0cm・間隙空気開放

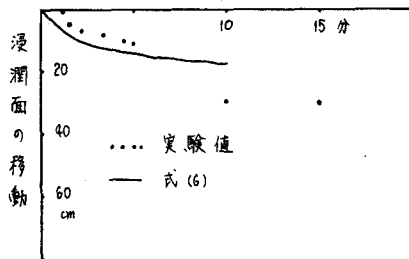


図-9 湛水深 0cm・間隙空気閉鎖

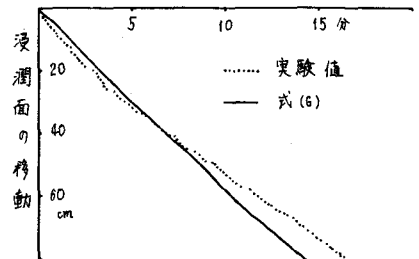


図-10 湛水深 0cm・間隙空気開放