

II-90 不飽和鉛直浸透のモデル実験

名古屋大学工学部 正員 高木 不折
 大学院 前員 森下 忠司
 愛知 県 正員 宇納 保夫

1. まえがき

不飽和鉛直浸透に際して、間隙空気圧閉塞・圧縮される場合については、これまでも種々の実験的・理論的な考察が知られてきた。本報は、間隙空気圧閉塞・圧縮される際の現象を観察するために行なったモデル実験である。このモデルでは、砂柱実験で直接見ることはできない微視的な浸透機構を観察するために工夫を施した。

2. 実験装置

平行板モデルは側方と下部が密閉してあり、上部の高水槽は常に溢れさせ、浸水深を一定に保っている。間隙空気圧は下部端部に接続した圧力変換器によって測定した。普通のHele-Shawモデルとの相異点は、2枚のアクリル板の一方に底辺3mm、高さ0.5mmのピラミッド型突起物が一面に付いたダイアクト板を用いたことである。

砂柱モデルも同じようにより下部が密閉して浸透させ、間隙空気圧と浸透水量を測定した。実験砂と、モデル実験に用いた粘性流体の性質をTable 1, 2に示す。

3. 表層飽和層の形成

平行板モデルの観察によれば、浸透開始直後は飽和浸透降下するが間隙空気圧の上昇に伴ってFingeringが大きくなる。その後、表層飽和層とFingering部に分離するようになり、Fig-3のような状態になる。この段階では、浸透はFingering部で進行し、間隙空気圧も上昇を続けるが、飽和層下面は静し、飽和層厚は一定になっている。

間隙空気圧がさらに上昇してある値に達すると、飽和層を突き破って間隙空気が上方に抜ける。飽和層の進行が止まってから、空気が抜けるまでの間の間隙空気圧の上昇分はメニスカスの曲率の変化によって保持されるようだと観察された。メニスカスによって保持される圧力の大きさは、間隙空気圧の測定値を用いて計算すると、1.29cmHgであることがわかった。

また、砂柱モデルにおいても、表層3cm程度の飽和度の高い層が形成され、層の厚さは時間的に一定に保たれる。浸透は飽和層の下の不飽和部分の進行により継続するということも観察されている。砂柱モデルでは砂層内部の状態を見ることはできないが、上述した平行板モデルと比較すれば、同様なメニスカスの働きによって、一定厚さの飽和層が形成されているものと思われる。

4. 間隙空気圧の変化過程

平行板モデルでの圧力の変化過程の一例をFig-7に示す。間隙空気圧のピークは P_a と P_b の2種類に分けられる。①の段階； P_a は1回目に空気が抜ける時の値である。Fig-3の状態の飽和層下面のメニスカスが破れることによって表層飽和層を突き破って、間隙空気が上方に抜ける。間隙空気は発達した飽和層によって閉塞

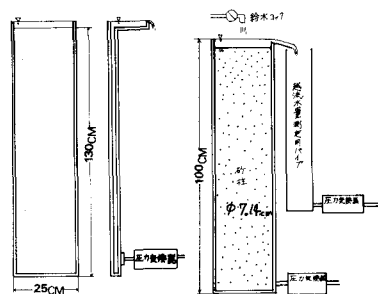


FIG-1 HELE-SHAW MODEL

FIG-2 SAND MODEL

新粘度係数 ν	centi-stokes	密度 (g/cm^3)
14.38 (20°F)	127.9 (100°F)	0.8862 (8°C)

Table-1 粘性流体(エンジンオイル)

10% 粒径 (mm)	50% 粒径 (mm)	最大粒径 (mm)
0.46	0.58	0.66

Table-2 実験砂

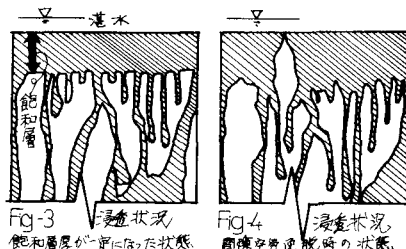


Fig-3 浸透状況

Fig-4 浸透状況

飽和層厚が一一定に保たれた状態、
 間隙空気発達段階時の状態、

されているので R_0 は R_0 よりも大きな値をとる。

Ⅲの段階： R_0 は2回目以後間歇的に空気が抜ける時の値である。1回目の空気の逸脱によって、表層飽和層に空気の通り道ができてくる (Fig-4) ので、この場合には間隙空気圧を定めるのは表面に形成されたメニスカスである。Fig-4 のような状態で間隙空気が抜ける場合の表面での力の釣り合いを考えると、間隙空気圧 R_0 は次のようになる。 港水深 h_w 、メニスカス保持圧力 A 、流体密度 γ とすると

$$R_0 = A + \gamma h_w \quad \dots\dots (1)$$

実験値 $h_w = 1.3 \text{ cm}$, $\gamma = 0.0862 \text{ g/cm}^3$, $A = 1.29 \text{ cm Hg}$ を用いると、

$$R_0 = 2.44 \text{ cm Hg}$$

となるが実際の値は Fig-7 の場合には、2.37 ~ 2.45 cm Hg であり、ほぼ一致している。また他の港水深を変えた多くの実験でも上式が成立することが確認されている。

砂柱モデルとは、 R_0 にあたる部分が明確に出る場合と、Fig-6 のように出ない場合とがある。これは浸透の初期に、Fig-3 の状態、次で起きているか、Fig-4 の状態になっているか、同じ砂であってもその時の条件や何によるのであろう。

5. 浸透水量

浸透強度は Fig-7 のように間隙空気圧の上昇に伴って小さくなるが (Fig-7 のⅠ段階)、空気の抜けた直後に大きくなり、以後大略一定値を示している。このようすは Fig-5 の累積浸透水量からうかがわれよう。すなわち、170秒以後では、現象は外見上ほぼ定率的に起きている。

浸透強度と考えて、Time Scale を平行板モデルで10秒以上、砂柱モデルで1分以上にすれば、ほとんど定常状態であると考えてよい。しかし Fig-8 のように Time Scale を間隙空気圧変化の周期より小さくとると、浸透強度と間隙空気圧の間にはきりした対応が見られる。

以上のように、不飽和浸透現象にあつてはメニスカスが間隙空気圧を制御し、間隙空気圧が浸透水量を制御するうに大きな影響を及ぼしていることがわかる。

6. あとがき

この実験で用いた平行板モデルによって、浸透現象を復元的に把握することができた。また、砂柱内部での浸透の微視的構造の定性的な説明に有効であった。

しかし、平行板モデルの毛管力が極めて小さいので定量的な議論とするには至らなかった。

今後、相似律の問題が解決できれば、平行板モデルによる実験が不飽和浸透現象の解明に有効な手段となるであろう。本研究は昭和44年度文部省科学研究費(試験研究)による研究の一部である。

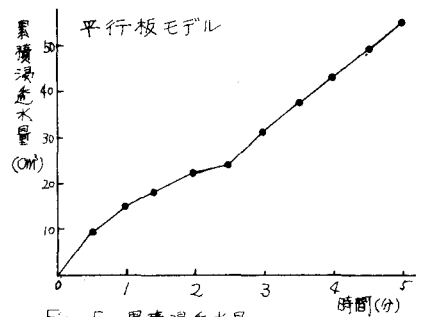


Fig-5 累積浸透水量

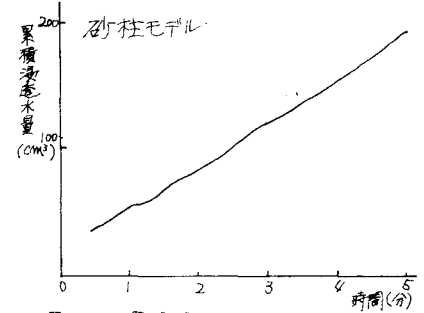


Fig-6 累積浸透水量

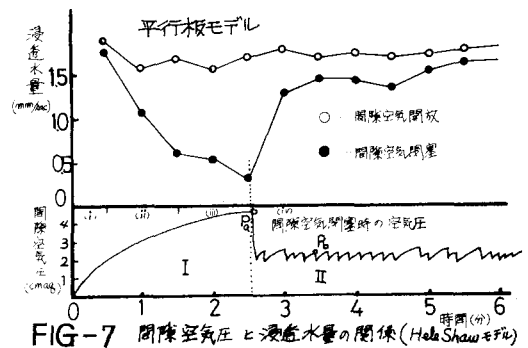


FIG-7 間隙空気圧と浸透水量の関係 (Holt Shaw モデル)

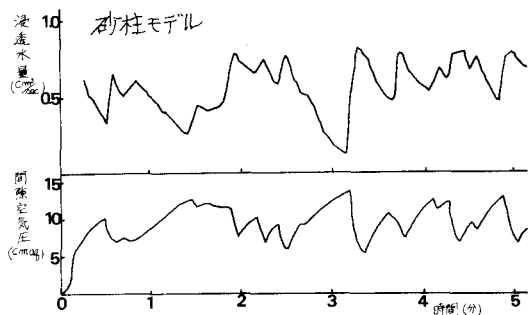


FIG-8 間隙空気圧と浸透水量の関係 (砂柱モデル, 港水深 2cm)