

II-90 3次元多孔媒体中のフィンガリング現象

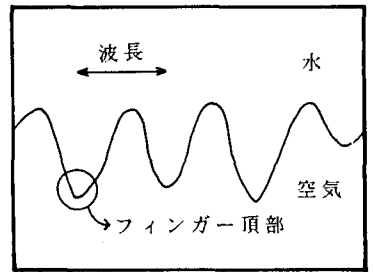
東京大学土木工学科 正員 玉井 信行
 東京大学土木工学科 正員 浅枝 隆
 東京大学 大学院 ○学生員 深見 和彦

1. はじめに

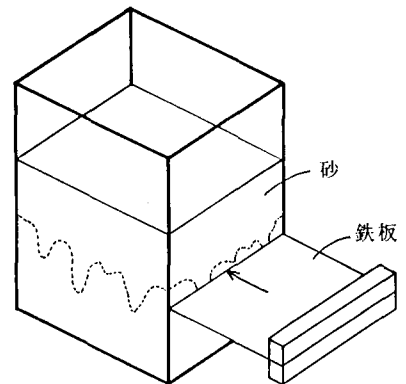
最近、多孔媒体中で二層流境界面が進行して行くときに界面に発生した微小擾乱がある条件下で指状に発達するフィンガリング現象と、不飽和浸透における水みち形成との関連が注目されている。フィンガリング現象に関する従来の実験は、多孔媒体を用いない Hele-Shawモデルによるものが大半であり、多孔媒体を用いた場合でも、二次元的な観察例が中心であった。そこで、本研究では、実際の多孔媒体中のフィンガリング現象を3次元的に確認・観察するとともに、その定量的評価を試みた。

2. 実験方法

フィンガリング現象を把握するに際しては、フィンガーの初期発生過程と、成長過程の二段階に分けるのが一般的である。本実験では、前者については、フィンガー波長 λ (フィンガー間隔)を求め、後者については、 λ の深さによる変化及びフィンガー頂部の進行速度 V を求めた。実験ケースは表1に示す通りである。実験装置としては、50cm*50cmの断面と十分な高さを持ったアクリル製の容器を用いた。底面には金網を敷き、空気が自由に抜けるようにしてある。まず、実験装置に均一に砂を詰め、その上から一定量の水を貯めたビニールシートを抜き取って急激に水を湿潤・降下浸透させた。そして、図2のように、決められた経過時間後特定の深さの断面に鉄板を差し込み、その時刻にそれより下方まで到達しているフィンガー数を求めた。この操作を鉄板を差し込む深さを変えて行い、時間とフィンガー到達数との関係から50%のフィンガーが到達する時刻を求め、2断面の距離をその時間差で割ることにより V を求めた。



(図1) フィンガー概念図



(図2) 実験方法

3. 理論

平面内に分布するフィンガーの波長 λ については、Choukeら¹⁾による解析を平面的な場合に拡張すると次式のように理論値が求まる。

正の増幅率を有する最小波長 λ_c :

$$\lambda_c = 2\pi \{ K\sigma / (K-W) / (\rho g) \}^{1/2} / \sqrt{2} \dots (1)$$

最大増幅率を有する卓越波長 λ_m :

$$\lambda_m = \sqrt{3} \cdot \lambda_c \dots (2)$$

ここに、 K : 飽和透水係数、 σ : 表面張力、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 W : 流速 を示す。

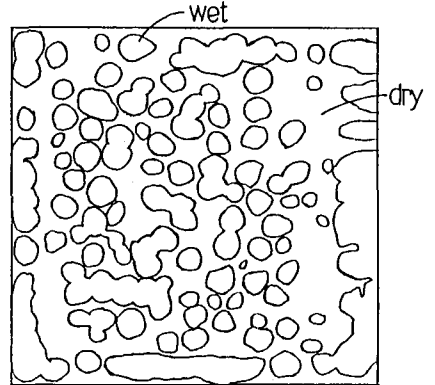
一方、フィンガー頂部の進行速度 V については、Tamaiら²⁾の変断面毛管モデルを用いて、式2によって計算される λ_m の波長のフィンガーの成長過程についてシミュレーション計算を行い、 V の理論値を算定した。

No.	多孔媒体	使用流体
1	0.7mm砂, 絶乾状態	水, 15リットル
2	0.7mm砂, "	" , 30リットル
3	0.4mm砂, "	" , 15リットル
4	0.4mm砂, "	" , 30リットル

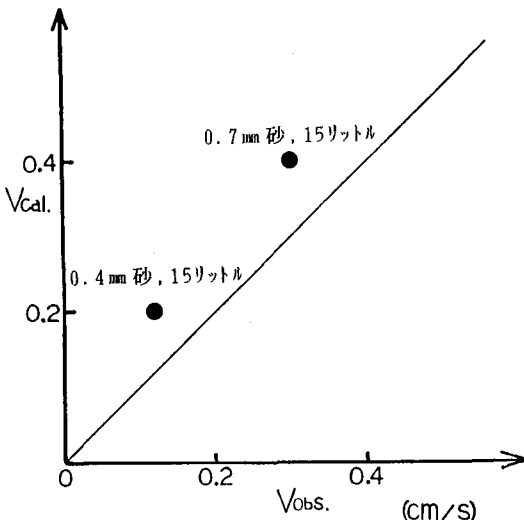
(表1) 実験ケース

4. 実験結果及び考察

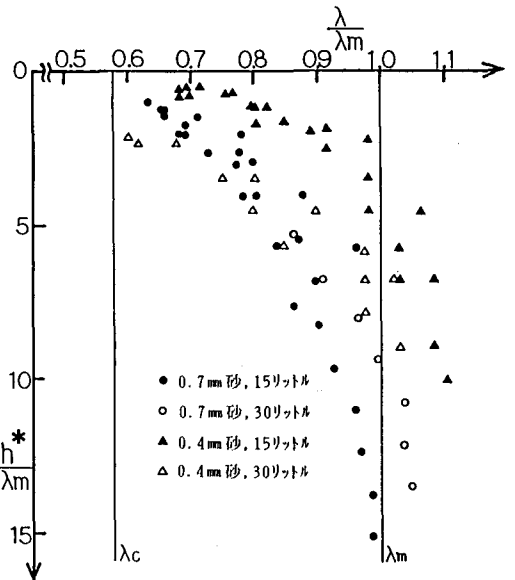
図3に示すように、フィンガーが円柱状に3次的に発生していることが確認された。 λ についての実験結果を図4にまとめて示す。横軸は、 λ を式2で求められる λ_m で無次元化したものであり、縦軸は、砂層上面から水面が消失したときの湿潤面からの深さ h^* を、やはり λ_m で無次元化したものである。まず、最小波長 λ_c よりも小さな波長は最も浅い断面においても存在せず、理論がよく適合していることがわかる。また、成長過程においてフィンガーどうしが合体(特に0.4mm砂の場合)したり、フィンガーが下降途中で停止する現象が確認され、フィンガーの間隔が下にいくにしたがって広がっていくのがわかる。しかし、下方では、卓越波長 λ_m 付近に収束していることがわかる。これは、卓越波長のフィンガーが最も早く増幅し、他の波長で生じたものは最終的には増幅率の大きなものに吸収されてしまうことを考慮すれば理解することができる。このようなことから、成長過程がフィンガリング現象において極めて重要な役割を演じていることが明らかとなった。一方、フィンガー頂部の進行速度の実測値 $V_{obs.}$ と、理論値 $V_{cal.}$ とを比較したものを図4に示す。実験の精度を考えるとよく一致していると言える。理論値が若干大きいのが、これは、実際の砂では間隔が複雑な形状をしているのに対し、正弦曲線状の滑らかな毛管を仮定しているために形状による抵抗を小さく見積っているためと考えられる。



(図3) 水平断面におけるフィンガー



(図5) フィンガー頂部の進行速度



(図4) 深さによる波長の変化

5. 結論

以上の研究により、1) 均一な3次元砂層においても円柱状のフィンガーが発生すること、2) 3次元フィンガーについても、Chuokeらの理論及びTamaiらの理論により定量的予測が可能であること、の2点が明らかになった。

<参考文献>

- 1) Chuoque et al. 1959 Trans. AIME 216, 188-194
- 2) Tamai et al. 1986 第30回水理講演会論文集, 61-66