

II-81 fingering についての2, 3の実験

九州産業大学 正会員

崎山 正常

〃

〃

〇

細川 土佐男

〃

〃

阿部 孝行

1. まえがき 浸透度が大さい液体中へ浸透度が小さい液体が侵入する場合に、境界面が一樣に進行せず局部的に速い速度で侵入するために、fingering と呼ばれる不安定現象が生ずる。この現象については、これまでも2, 3の研究が行なわれている^{1,2)}。しかし、この現象を室内実験で検討したものは少ないようである。そこで筆者らは、Hele-Shawモデルにより実験を行ない、fingering の発性を観察し mobility ratio M 、動水こう配 I および位置の変化による fingering の発生・発達の様相を観測した³⁾。本報では、この時間的発達過程において、fingering の移動先端位置と時間との観測を行ない、これと理論解との比較を行なった。

2. Hele-Shawモデルによる実験 図-1に示すように、浸透度 k_2/μ_2 の液体2の中へ k_1/μ_1 の液体1が侵入する場合の不安定条件は、次式の mobility ratio $M > 1$ で表わされる。

$$M = \frac{k_1/\mu_1}{k_2/\mu_2} > 1 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 k_1, k_2 : ダルシー単位の透水係数 (cm^2)、 μ_1, μ_2 : 粘性係数 ($\text{g} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)

微小間隙幅が2枚の平行板の間を粘性液が層流状態で流れるときの、平均流速は、ポアズーエの法則より $v = \rho g I h^2 / (3\mu)$ ----- (2)

ここに、 ρ : 密度 ($\text{g} \cdot \text{s}^2/\text{cm}^4$)、 I : 動水こう配、2枚 : 平行板の間隙幅 (cm)、

$g = 980 \text{ cm}/\text{s}^2$

次にダルシーの法則より $v = (\rho g k/\mu)$

・ I ----- (3) 上2式より $k = h^2/3$ ---

・ (4) これを式 (1) に適用すれば

$$M = \frac{\rho_2 \nu_2}{\rho_1 \nu_1} > 1 \quad \text{----- (5)}$$

となる。ここに、 ν_1, ν_2 : 動粘性係数 (cm^2/s)。すなわち、液体1と液体2についてそれぞれ密度と動粘性係数を知れば、 M の値が求まる。

液体1にはグリセリン水溶液をローダミン ν (cm^2/s)、 ρ ($\text{g} \cdot \text{s}^2/\text{cm}^4$)

B溶液で赤色に着色したもの、液体2には無色のグリセリン水溶液を用い、図-2に示す装置により実験を行なった。その種類を、表-1に示している。

3. 検討 表-2は、 M の値を変化させて、動水こう配 $I = 0.128$ を与え、図-3に示す No. 2~9 の位置で境界面を観測した結果をまとめたものである。この表の No. は、図-3に示す境界面を観測した位置 No. を示す。次に、◎印は fingering が顕著である、○印は fingering が顕著でない、×印は fingering が認められないことを表わす。実験結果から、 $M \geq 7.13$ では、装置に動水こう配を与えた直後から顕著に fingering が表われ、時間

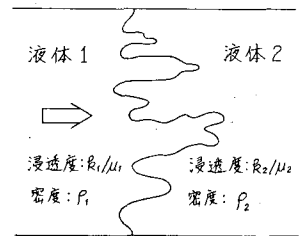


図-1 fingering

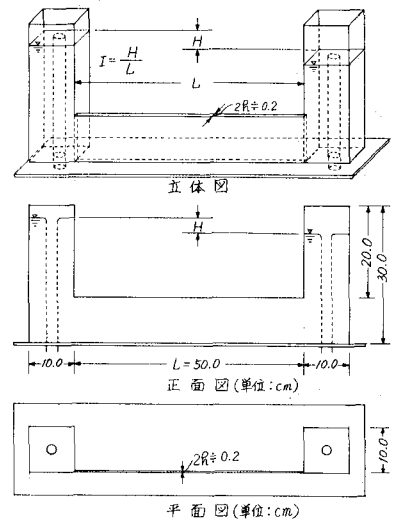


図-2 実験装置

の経過とともに発達してゆく。M ≤ 1.18 では装置内のどの位置においても fingering は認められなかった。

次に、fingering の移動先端位置と時間との関係は、

次式で与えられる。

$$t = \frac{12 \nu_1 \rho_1 \lambda}{(2h)^2 (\rho_1 g H_1 - \rho_2 g H_2)} \left\{ M L \xi + \frac{1}{2} (1-M) \xi^2 \right\} \quad (6)$$

ここに、λ：有効空隙率、2h：平行板の間隙幅 (cm)、L：浸透領域の長さ (cm)、H₁, H₂：水深 (cm)。

上式に表-1 と図-3 に示す値を適用して、それぞれの M について ξ と t の関係を求め

た。λ は、Hele-Shaw モデルでは本来 1.0 であると考えられるが、微小間隙の不ぞろいや粘液の不規則な付着などをこれに含め、それぞ

れの実験結果で ξ

= 45 cm の位置に

おける時間 t を用

いて式 (6) で逆算

した値を採用した。

表-3、図-4 に

ξ と t の関係を

示す。これらの結

果より、M の値が

小さくなるほど理

論と実験の結果は、

定性、定量ともよ

く一致している。

写真-1 には、M

= 12.43 で fingering が顕著に表われ、さらに発達して先端位置が ξ = 40 cm の場合を、写真-2 には、M = 0.76

で fingering が認められず ξ = 20 cm の場合を例示している。なお今後、実験装置を大きくして精度を高め、理

論との照合を行なっていく。

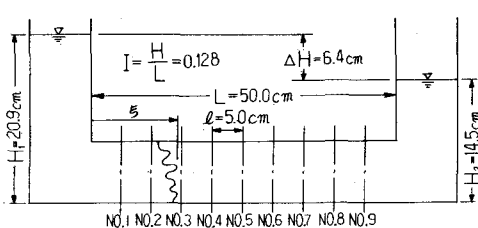


図-3 観測位置

表-2 fingering の観測結果

M NO.	2	3	4	5	6	7	8	9
12.43	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
8.13	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
7.13	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
2.24	X	○	○	○	◎	◎	◎	◎
1.18	X	X	X	X	X	X	X	X
0.76	X	X	X	X	X	X	X	X

(◎: fingering 顕著, ○: 顕著でない)
(X: 認められない)

表-3 fingering の移動先端位置と時間

M	λ	ξ	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
12.43	0.502	t	217.3	309.5	390.5	460.7	519.9	568.1	605.2	631.2
		t'	183.0	271.0	351.0	420.0	480.0	534.0	584.0	631.4
8.13	0.607	t	168.3	240.3	304.2	360.1	407.8	447.5	479.1	500.5
		t'	130.0	195.0	257.0	314.0	365.0	414.0	458.0	500.1
7.13	0.482	t	140.1	200.2	253.8	300.8	341.2	375.0	402.3	422.9
		t'	105.0	158.0	211.0	257.0	303.0	347.0	388.0	423.0
2.24	0.764	t	72.9	106.1	137.3	166.1	193.1	217.8	240.3	259.0
		t'	57.0	90.0	123.0	154.0	183.0	212.0	236.0	259.0
1.18	0.733	t	36.3	54.0	71.5	88.7	105.6	122.4	138.5	155.0
		t'	32.0	52.0	71.0	90.0	107.0	124.0	140.0	155.0
0.76	0.671	t	21.8	33.1	44.9	56.7	69.1	81.7	94.6	108.0
		t'	20.0	33.0	46.0	59.0	72.0	84.0	96.0	108.0

(λ: 有効空隙率, ξ: fingering の移動先端位置 (cm))
(t, t': fingering の移動時間の理論値, 実測値 (s))

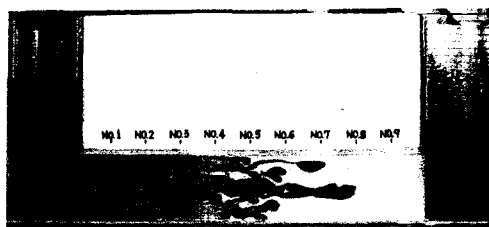


写真-1 実験状況 (M=12.43, ξ=40 cm)

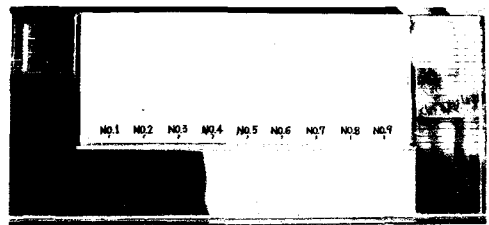


写真-2 実験状況 (M=0.76, ξ=20 cm)

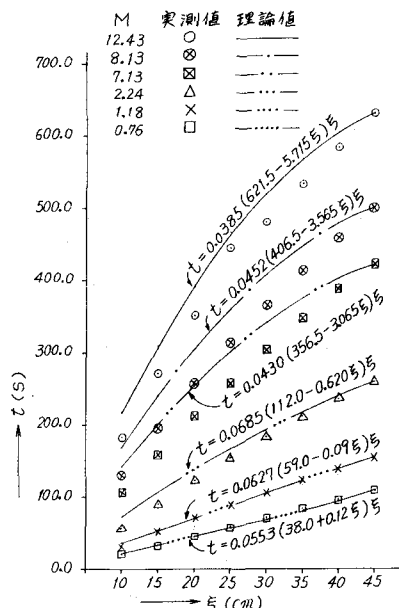


図-4 ξ と t の関係

参考文献

- 1) 水理委員会密度流研究小委員会: 成層密度流の界面現象 (2) - 第4編 地下密度流, 土木学会論文報告集, 第243号, PP.110~PP.121, 1975年
- 2) 玉井信行: 新体系土木工学 22 密度流の水理, PP.173~PP.174, 1980年9月。
- 3) 崎山正幸ほか2名: fingering についての2,3の検討, 土木学会第38回年講第2部, II-19, 昭和58年9月。