

II-89 飽和および不飽和浸透流におけるフィンガーリング現象に関する実験的研究

防衛大学校 ○工藤 誠  
 北海道大学 正会員 山田 正  
 防衛大学校 学生員 本釜隆博  
 防衛大学校 学生員 山田俊二

1. はじめに 本研究は浸透現象に関する基礎的な知見を得る目的から以下に示す三通りの実験を行い、結果を考察したものである。(1) ヘル- ショウ装置において、粘性の小さい流体を粘性の大きい流体に押し込んだ時にできるヘル-ショウ実験(実験 a, b)。(2) 一様な土壌中における降雨の鉛直浸透(実験 c)。

2. ヘル-ショウ実験(a) (i) 実験装置及び実験方法: 実験装置図-1は厚さ5mmの亚克力板2枚を重ね、間隙幅1mmとしたものである。水路幅としては15, 26.5, 47cmのものを作った。粘性の大きい流体としてはシェル製モーターオイル(動粘性係数  $6\text{mm}^2/\text{s}$ )を用い、粘性の小さい流体としては空気を採用した。空気の押し込みにはエア-ポンプを使用している。実験では水路を水平に置き油溜(A)に油を入れ、徐々に水路に油を満たす。水路前面に油が行き渡った後に水路端よりエア-ポンプを用い空気を送る。油の中に侵入する空気によるフィンガーの発生、成長は装置真上からの写真撮影により観察した。表-1はそのときの実験条件を示している。

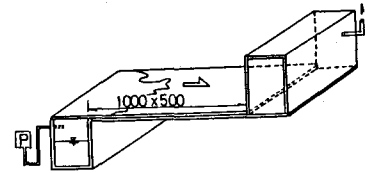


図-1 実験装置

表-1 実験条件

CASE-1	15cm	弱	CASE-4-1	47cm	極弱
CASE-2	26.5cm	弱	CASE-4-2	47cm	弱
CASE-3	47cm	弱	CASE-4-3	47cm	強

(ii) 実験結果 形状特性: 図-2より水路幅の違いにより発生するフィンガーの本数は条件が同じなら水路幅が広いほど多くなったが水路中央付近のフィンガーを先頭に放射状に成長する共通した点が見られる。図-3は幅47cmの水路を使いエア-ポンプの出力を変えた場合のものである。エア-ポンプの圧力を弱めたときには水路中央に1本のフィンガーのみが成長するのに対して、圧力が大きいときには多数のフィンガーが成長している。図-4は先行するフィンガーの最先端部の移動速度の経時変化を示している。この図よりフィンガーの移動速度は一定ではなく大きく上下していることがわかる。さらに、水路幅が同じならフィンガーの本数は空気の供給量(ポンプの圧力)が大きいほど多くなる。多数のフィンガーが成長する場合にはすべてのフィンガーが同じ速度で成長するわけではない。空気圧が低く一本のフィンガーのみが成長するときにはフィンガーの幅は水路幅の約1/4であった。移動速度は時間の経過とともに増減をくりかえしている。

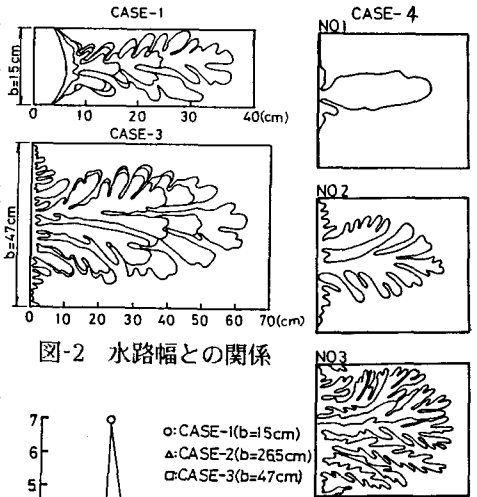


図-2 水路幅との関係

図-3 圧力との関係

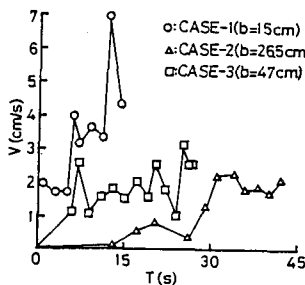


図-4 時間と移動速度の関係

3. ヘル-ショウ実験(b) (i) 実験装置及び実験方法: 実験装置

は実験(a) とほぼ同様であるが水路上方より空気を圧入している点に違いがある。(ii)実験結果 図-5は注入圧力が弱い場合であり、一方図-6は強い場合である。これらの図より注入圧力が極端に弱い場合には注入点を中心として対称的なパターンができるのに対して、圧力が高まるにつれて花びら型のパターンが発生しており、花びらの数は圧力と共に多くなっているようである。これに対して図-7は空気注入点の亚克力板に十字型の傷をつけた場合であるが、図より傷の進行方向に従ってパターンが伸びていることが認められる。このことから本実験のようなパターンの発生においては場のもつ異方性が現象をかなり支配していることがわかる。

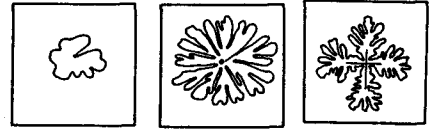


図-5 垂直方向より 圧入(極弱)  
 図-6 垂直方向より 圧入(強)  
 図-7 異方性による 影響

4. 一様な砂層における降雨鉛直浸透(c) (i) 実験装置: 図-8は本研究で用いた降雨鉛直浸透の実験装置であり、砂層の容器は縦25cm x 横30cm x 高さ80cmの直方体であり、容器底部には空気が排出し得るように多数の穴をあけた亚克力板を敷き、その上に乾いたガーゼをのせている。使用した砂は風乾状態の豊浦産標準砂(d50=0.2mm, 比重2.63)である。容器に上記の砂を詰めた時点での間隙率は34%であり、充填にはふるいを用いてできるだけ均一になるように注意をしている。模擬降雨は多数の注射針より与え、降雨強度、降雨継続時間、降雨終了後の開放時間の3つをパラメータとしている。実験では砂層表面から5cmごとの面で写真撮影と飽和度を測定した。実験条件は表-2に示す通りである。(ii)実験結果 (1)形状特性: 図-9, 図-10(a)は各断面における湿潤面積を图示したものであるが、この図より深くなるにつれて湿潤部分が減少していることがわかる。なお50-60cmにおいてみられる100%の湿潤面積率は容器底部の影響が原因であると思われる。(2)鉛直方向の水分分布図-10(b)より砂層表面20-40cm近くの飽和度はほぼ一定の値を取っているが降雨終了後の放置時間の増加に伴い減少しているのがわかる。

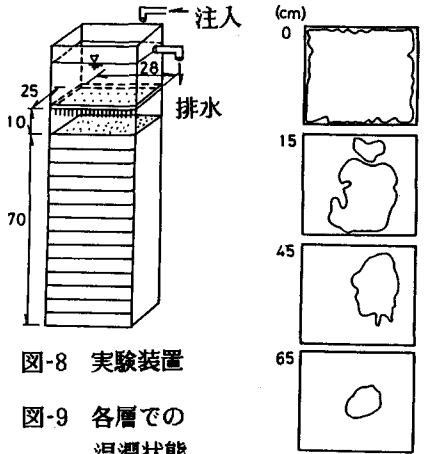


図-8 実験装置  
 図-9 各層での 湿潤状態

表-2 実験条件

	水温 C°	降雨強度 ml/cm <sup>2</sup> h	降雨継続時間 h	開放時間 h
○	15.0	8.3	0.5	5
●	14.0	7.8	0.5	3
△	13.5	3.4	1.0	6
▲	12.0	2.4	1.0	13
□	11.5	12.0	1.0	20

謝辞

本研究は筆頭著者(山田)が防衛大学校に在職中に行ったものであり、当時の多くの学生の助力のもとに遂行されたものであり、ここに紙面を借りて感謝の意をあらわす。

参考文献

- (1) 本益隆博、山田俊二、工藤誠、山田正: 降雨の浸透におけるフィンガーリング現象に関する基礎的研究 第13回関東支部概要集、PP.62-63, 1961.
- (2) 田所正、日野幹雄、山田正: 砂層内の降雨鉛直浸透に関する実験的研究、第35回年講概要集、PP.568-569, 1980.

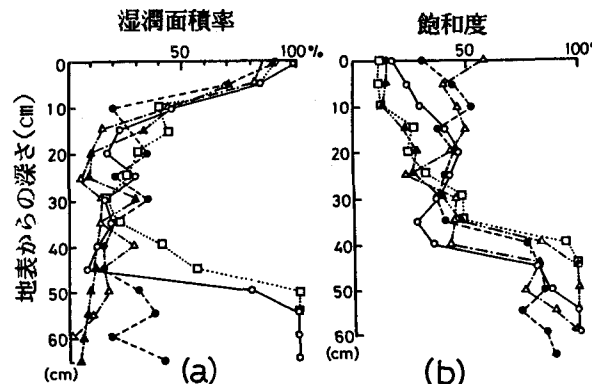


図-10 砂層厚と浸透の関係