

京大 正員 下島孝一, 京大 正員 石原安雄, 京大大学院 学生員 古谷博司

§1. はしごき

実際の雨水浸透の場は多層である。そこで、本文ではその運動場を二層に単純化し、そこで生起する鉛直不飽和浸透現象と実験結果を参照しながら考察したものである。

§2. 実験方法及び使用砂

実験に使用した砂は図1に示した3種類である。内径18.5cm, 長さ170cmの透明アクリル樹脂製の円筒を使用し、その中に砂を充填して、上層が細砂、下層が粗砂の場合及びその逆の場合の浸透場を作った。実験時の境界条件としては、上端での湛水深(h_w)を10cmとし、下端条件は開放及び閉塞の場合の2通りであり、一方、初期条件としてはいずれの場合も自然乾燥状態の砂を使用した。実験では、浸透強度 f , 土壌水分 θ (静電容量式)及び間隙空気圧 p_a (計測位置は円筒下部)を計測したが詳細は参考文献(1),(2),(3)を参照されたい。

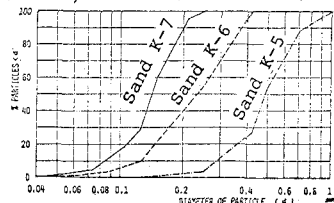


図-1. 粒度分布

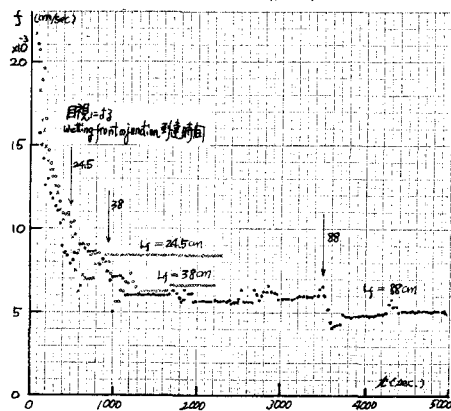


図-2. K7/K5系の浸透強度の変化 (開放の場合)

§3. 粗砂から細砂への浸透

§3-1. 開放の場合: wetting front が層境界(junction)を通過の際、その前後の capillary potential (ψ) の連続性を考慮すると、 θ と ψ の関係より front の一時的な停止(あるいは遅延)が予想される。図2,3は K7/K5系に於ける浸透強度及び wetting front の移動の様子を、また図4は front が junction 通過直後までの上層の土壌水分の変化の様子を示したものである。これから、front が junction 通過直後、 θ の急激な増加, front の移動速度の遅れ、及び f が一旦急激に減少し再度増加(そして一定値 f_{oo} に移行)することが判る。この場合、下層では“部流”の生起していることが定量的にも評価されたが、 f_{oo} の特性よりすれば、Hill & Parlange⁴⁾ の実験の結果に junction 直下の“induction zone”は存在する様であるが、 $f_{oo} = K_{s1}(1 + \frac{h_w}{L_1})$, K_{s1} : 粗砂の飽和透水係数, L_1 : 粗砂層厚、の関係は成立しない。また、front の junction 通過後の遷移時間は L_1 が小ほど大という結果になっている。なお、K7/K5系と比べ粒径差の小さな K7/K6系での下層では、ある一定の土壌水分を有する wetting front が一定の相速度で移動する不飽和浸透流(部流でない)であることが定量的に判る。したがって、junction 通過時の浸透特性は同様であった。

§3-2. 閉塞の場合: 図5は $L_1=38$ cm の K7/K5 系、図6は $L_1=64$ cm の K7/K6 系での f , p_a などの測定結果である。wetting front が junction 通過の際、 f , p_a に急激な変化が生じている。この空気圧の変化は、§3-1. で述べた土壌水分の急増(=の場合にも計測されている)に起因する。また、一連の空気圧の変化は、間隙空気の間断的放出を考慮すると、砂の air entry value, h_w 及び飽和領域の形成

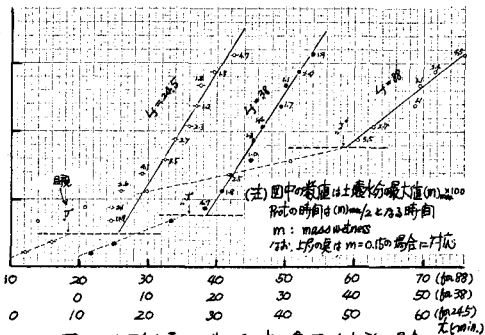


図-3. K7/K5系の wetting front の進行 (開放の場合)

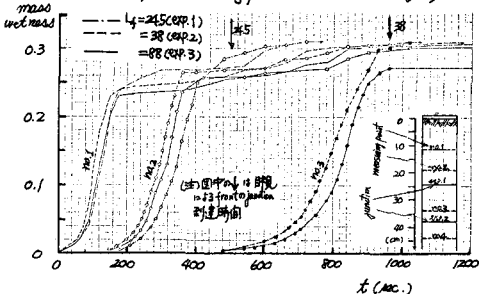


図-4. K7/K5系での土層部の土壌水分の変化 (開放の場合)

発達により定量的に評価出来る。特に k_7/k_5 系では、開放の場合と異り下層では不飽和浸透流が生起(定量的に評価される)したが、これは間隙空気の役割として興味深い。次に飽和領域の形成は、開放で部分流が生じない場合、細砂層でのみ生じる(理論的に証明可能)が、閉塞の場合は理論的には明確でない。しかし、本実験(例えば、 k_7/k_6 系; $L_1=13, 24.5, 38, 64, 88\text{cm}$)の範囲では、それは上層にのみ存在していた。もし、下層にまで発達するなら、その際は両層の air entry value の相違より、一旦急に減少するものと予想されよう。

§4. 粗砂から細砂への浸透

§4-1. 開放の場合: wetting front が junction を通過の際、§3と同様の考察より加速されるものと予想出来る。図-7は粗砂層厚 $L_c=64\text{cm}$ の k_6/k_7 系の実験例である。f は front の junction 通過の際、急に減少が一旦緩和されている。この事実は、J.R. Philip の Delta function approach (Green & Ampt model) に適用すると、front が junction 通過時(t_j)に f は不連続に急増すると、また $f(x)=f(t_j)$; $x=t_j$ となる $(x-t_j)$ の値は L_c が大いなること等が判るが、実際には front は中を有する点に注目すれば、一応の説明が可能である。

§4-2. 閉塞の場合: 図-8は、 $L_c=64\text{cm}$ の k_6/k_7 系の実験例である。wetting front が junction 通過の際、f は一旦ほぼ一定の値となり、その後急減するものと判る。また、この一定区間は $L_c=38, 64, 88\text{cm}$ の場合、 L_c が大いなることが判ったが、このことは §4-1. の議論から類推出来る。一語、 ρ_a は、f が急減すると同時に急上昇を示している。粗砂細砂の系では、飽和領域の形成は土層のみとは限らず、また上層でも給水面より junction 面から発達が可能である。仮に給水面から発達するなら、junction 通過の際の air entry value (ρ_a) の相違により ρ_a は急増するものと予想される。図-8はこの場合に対応し、 $t=6000-8000\text{sec}$ の急増は junction 通過時の特性であることが、θ の計算より $x_s + h_w - L_c$ 及び ρ_a , x_s : 飽和域の長さ、の関係より評価出来る。なお、 $L_c=88\text{cm}$ の場合は飽和域が junction 面からも発達していたことが判ったが、このことは L_c の大きさの効果と考えられる。一語、粒径差の大きな k_5/k_7 系では、上層は下層に対して基水素と同様の役割を演ずることが判った。

§5. ちりび

以上、二層砂層での浸透現象と junction の存在に注目して述べたが、特に空気の開塞のある場合、現象論的記述に停っており、今後詳細な mechanism の究明が必要である。

<参考文献>

- 1) 石原・下島: 鉛直不飽和浸透における空隙空気の役割に関する実験的検討, 水30回講義
- 2) 石原・下島: 閉塞半一砂層への雨水浸透に関する研究, 森林試験報 (投稿中)
- 3) 石谷: 砂層への雨水浸透に関する実験的研究, 京大(工学)年報 55:1.
- 4) Hill & Parlange: wetting front instability in layered soil, Soil Science Soc. of America 1972
- 5) Philip: The theory of infiltration: 4. Simplified and algebraic infiltration equations, Soil Science 1957

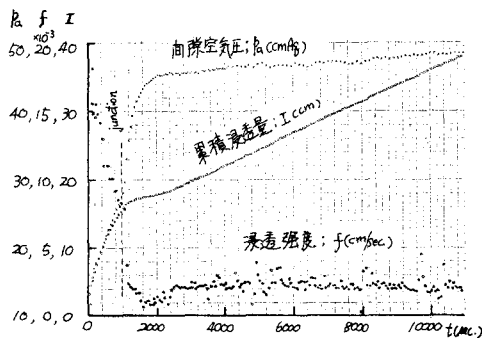


図-5. $L_c=38\text{cm}$ の k_7/k_5 系での測定結果 (閉塞の場合)

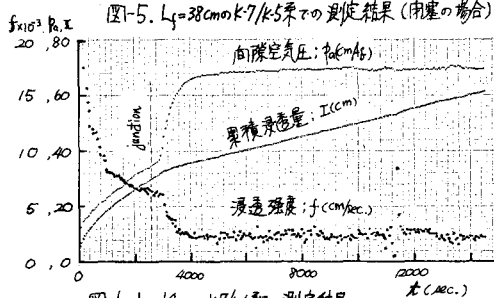


図-6. $L_c=64\text{cm}$ の k_7/k_6 系での測定結果 (閉塞の場合)

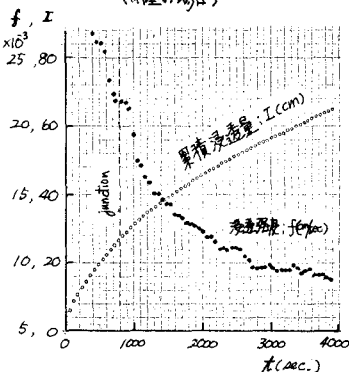


図-7. $L_c=64\text{cm}$ の k_6/k_7 系での測定結果 (開放の場合)

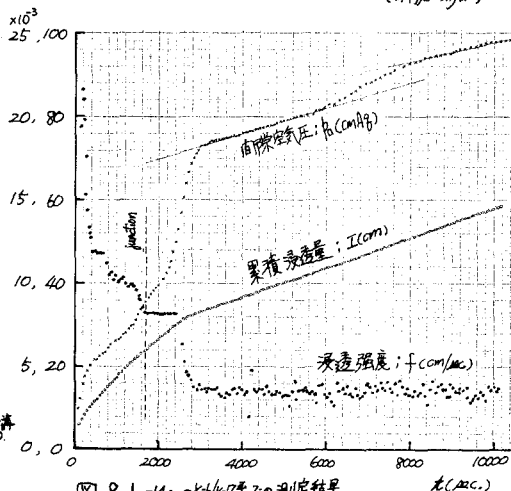


図-8. $L_c=64\text{cm}$ の k_6/k_7 系での測定結果 (閉塞の場合)