

埼玉大学 工学部 学生員 O Cesar Morales
 埼玉大学 工学部 正会員 浪迅 邦夫
 東京大学 工学部 正会員 玉井 信行

はじめに

降雨の地下水流出現象を把握する上で、不飽和浸透流の性質を把握することは大変重要である。そのため従来から多数の研究・報告があるが、これらの多くは、均質地盤中の鉛直1次元流を対象としたものであった。一方、実際の地盤中の不飽和浸透流は、たとえば地盤の不均質性に左右されて、2次元、3次元性を持つことが多し。そのため、不飽和浸透流の2次元、3次元的な挙動の特徴を基礎的に調べ、その解析法を提示することが重要と思われる。今回の研究は不均質地盤として層状地盤を考え、その中の不飽和浸透流の特性を実験的に調べ、近似的解析法を提示すると共に、具体的問題への応用にフィードバックを考察したところである。

1 実験方法および実験結果

実験装置の概略図を図-1に示す。層状地盤モデルは、幅100cm、高さ50cm、奥行3cmのアクリル製2次元土槽内に作る。この土槽内に、上から注射針方式により種々の強度の降雨を与える。土槽の下部には2つの排水パイプが設けられている。また土槽左側面に横方向流出口が置かれている。

土槽下部には常時飽和地下水帯があり、降雨がこの地下水帯に達すればすぐ排水パイプから流出する。実験に用いた層状地盤モデルを図-2に概略的に示す。モデルは基本的に3つのタイプに分けられ、それらをタイプ-1、-2、-3とする。タイプ-1は2層モデルであり、横方向流出口が図のようにA、B層境界面に傾斜しているものである。タイプ-2は水平な層モデルであり中間層(C層)下底面レベルが横方向流出口レベルに等しいもの、タイプ-3は、タイプ-2の中間層を2つに分離した4層モデルである。

これら各タイプにつき、各層の土壌状態を種々変えて実験を行った。これらのモデルで、横方向流出口は層界面に沿った流水の量を測定するものといえる。

実験結果のうち、最も層状地盤内の不飽和浸透流の特徴をあらわしていると思われる例を示す。これはタイプ-1のモデルであり、図-2(a)中A、B各層の条件を表-1に示す。表から、B層つまり上部層の方がより細粒で透水係数が小さく、毛管上昇高が大きいことがわかる。こういった組み合わせ条件は一般の地盤でもよく見られるものと思われる。実験中の浸透状態の写真例を図-3に示す。これは降雨約20mm/hrを与えた場合の定常状態である。写真から、上層(B層)中ではどこどこにも鉛直下方に浸透経路ができていることがわかる。一方、この浸透流が下層(A層)との境界面に到達すると、境界面に沿って流れている。この降雨条件では、下層中への浸透は生ぜず、降雨はすべて境界面上を通り、横方向流出口へ流れた。このことは、上部層がより細粒土でできている層状地盤の場合、鉛直1次元的な解析は困難で、層境界面の存在を十分考

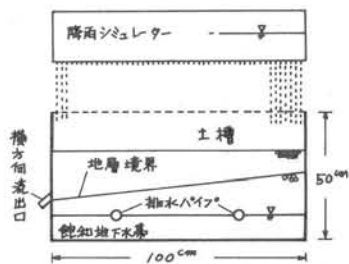


図-1 実験装置概略図

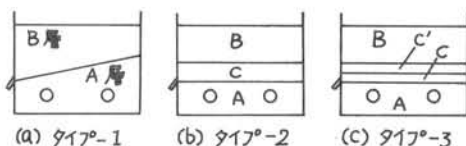


図-2 実験した地盤モデル

表-1 実験条件例(タイプ-1)

層名	透水係数 cm/s	毛管上昇高 cm	平均径 mm	材質
A	1.09	0.3-0.4	2.5	ガラス玉
B	0.48	2.3-3.3	1.7	3カサ砂

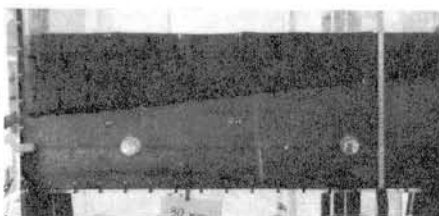


図-3 実験写真の例

應しなければならぬことを示している。図-4は、種々の降雨強度について、層境界面上を流れる横方向流出流量(Q_L)と、下層中に浸透した排水パイプ流量(Q_P)を比較したものである。なお、図中●は乾燥した地盤モデル中に降雨を与えたもので、○は地盤が濡れた状態で降雨を与えたものである。この図から降雨強度の小さい間は下層への浸透量 Q_P はほとんどなく、ある降雨強度 R_c 以上で急速に増大する。一方 Q_L は、 R_c 以下では降雨強度の増加に比例して増大し、 R_c 以上では増大傾向がゆるやかになることがわかる。こういった性質はタイプ-2、つまり上部層が細粒の場合と一般的にみられ、実際の地盤中でも生じていると考えられる。

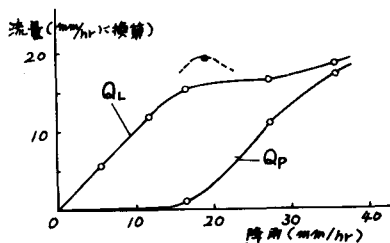


図-4 実験結果(降雨強度と流出量
 Q_L, Q_P との関係)

2 層状地盤内不飽和浸透流のメカニズムと近似解析法

実験で明らかとなった現象は、境界面をはさんだ2つの層の毛管力の差によって生ずるものと考えられる。いま境界面を水平と仮定し、界面上の地下水が飽和状態であるとすれば、この地下水帯は図-5のように考えうる。ここで、この地下水帯中の流れは水平方向と近似的に考えている。この状態において、境界面より上の水は上層(B層)の毛管力水頭を h_B として $z_s - h_B$ 、境界面上では下層(A層)の毛管力水頭を h_A として $z_0 - h_A$ のポテンシャル ϕ を持つている。ここに z_s, z_0 は基準線から測った地下水帯上面および境界面の位置水頭である。また図中 H は地下水帯厚さである。 $z_s - h_B < z_0 - h_A$ であれば、下層(A層)への浸透は生じない。一方、 $z_s - h_B > z_0 - h_A$ において下層中への浸透が開始する。このような層境界面での毛管力差を考える方法は、渡辺・玉井¹⁾の報告した表土-岩盤系中の浸透流解析法と同様である。まず、 $z_s - h_B < z_0 - h_A$ の条件が成立すれば、通常の不透水層境界上の流理解析と同様、境界面勾配が小さい時、

$$\lambda e \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (H \frac{\partial \phi}{\partial x}) + g \quad \text{----- (1)}$$

を解く。ここに λe は有効空隙率、 g は降雨浸透率、 ϕ は毛管力を考慮したポテンシャルである。この式により前述した実験条件における境界面上水位 H を計算したものが図-6である。但し、図左側境界つまり横方向流出位置でポテンシャル差が h_B とした。また図中横軸は、境界面に沿って取り、図から降雨強度の上昇に伴い H が増大していることがわかる。この計算では図中 $x=20 \sim 30 \text{ cm}$ で H が最大となりその位置で下層への浸透が起り易いことになる。実際に実験においても図中矢印の位置で下方浸透が生じた。下方浸透が生じた後、つまりどこかの位置で $z_s - h_B > z_0 - h_A$ となれば、地下水帯中の鉛直流速成分が無視できず、渡辺・玉井¹⁾が述べているように断面二次元的解析が必要となる。以上は近似的な考え方であるが、層状地盤に対しては、妥当性が高いと思われる。

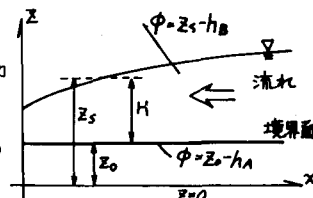


図-5 境界面上の地下水帯

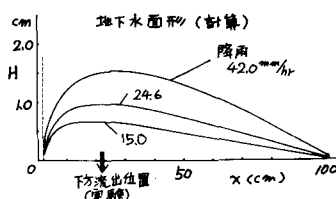


図-6 1次元解析結果

3 考察

今回層状地盤内の不飽和浸透流の性質を調べた。その1つの結果として、上部と細粒層を持つような地層境界の存在が流れに大きく影響を与えることがわかった。この影響は降雨強度の小さい範囲で顕著であり、降雨の大半は境界面に沿って流出する。降雨強度が大きくなり初めて下層(粗粒層)に浸透しそこから流出する。このことは、降雨強度によって流出経路が異なっていることを意味し、流出解析上非常に重要な性質と思われる。また地盤中の地下水の排水を考える時、粗粒層に排水パイプを埋めても細粒層の水がうまく排水しえなれることを意味する。このように、今回得られた性質は応用上非常に重要と思われる。今後さらに研究をつづけていきたい。

参考文献 渡辺幹夫, 玉井信行, 表土にみられる岩盤斜面内への降雨浸透機構, 第24回水講, pp.313-319, 1982