

鉛直浸透過程における間隙空気の影響に関する室内実験と数値シミュレーション

神戸大学 学生会員 ○正木 寛昭
 阪急電鉄 非会員 八木 宗一郎
 神戸大学 正会員 齋藤 雅彦
 神戸大学 正会員 市成 準一

1. はじめに

一般に、降雨浸透過程について解析する場合、飽和・不飽和浸透流解析が用いられることが多い。この解析手法は地盤内の間隙空気の挙動は考慮されていないが、一方で、降雨浸透のような地表面付近の飽和度が急速に上昇するような浸透過程では、間隙内の空気と水の交換が妨げられるため、間隙空気の影響が顕著に表れることが考えられる。また、このような地盤内間隙空気の運動を考慮した解析手法として気液2相流解析を用いることが提案されている¹⁾。

本研究では、地盤への降雨浸透を模した室内実験を行い、鉛直浸透過程における間隙空気の影響について考察する。また、飽和・不飽和浸透流解析(以下、1相流解析と呼ぶ)および気液2相流解析により実験の再現を試み、両者の適用性について検討する。

2. 実験条件

図-1 に実験装置の概略図を示す。実験装置の底部には開閉可能な排水孔が設置されており、寸法は0.04m×0.04m、位置は右端より0.2mである。試料はマサ土を用い、定水位透水試験より求められた飽和透水係数は 1.6×10^{-5} (m/s)であった。センサには間隙水圧計とADRセンサを用いて、図-1に示すように配置した。青色が間隙水圧計、赤色がADRセンサである。降雨条件の設定には、飽和透水係数を最終浸透能とみなし、飽和透水係数より少し大きい60mm/h、十分に大きい120mm/h、また十分に小さい20mm/hの条件で降雨を与えた。降雨は実験開始後、1時間後から2時間後までの1時間降雨を与えた。実験の際には、地下水面の高さを0.16mとし、同じ初期条件となるようにして、各降雨実験を行った。降雨にはバルブ付流量計を用いて所定の流量を与えることによって降雨強度を調節した。

3. 実験結果と考察

両センサの計測結果を図-2に示す。2時間後から3時間後にかけて間隙水圧が大きく上昇しているが、ほぼ同時刻に飽和度も上昇していること

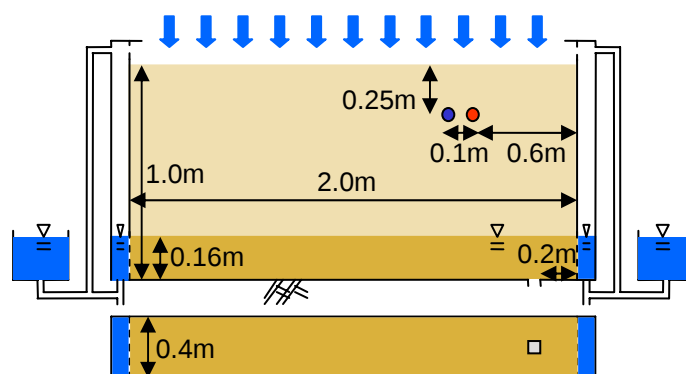
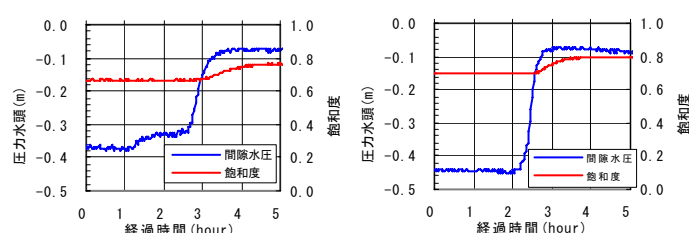


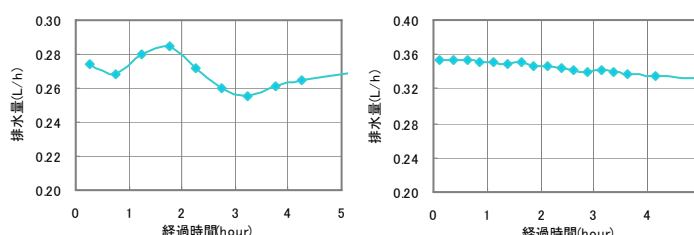
図-1 実験装置概略図



(a)60mm/hour

(b)20mm/hour

図-2 実験結果(間隙水圧, 飽和度)



(a)60mm/hour

(b)20mm/hour

図-3 実験結果(排水量)

キーワード 鉛直浸透, 浸透能, 間隙空気, 飽和・不飽和浸透流解析, 気液2相流解析

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学都市安全研究センター TEL 078-803-6435

から、この時点で浸潤線が到達したことがわかる。一方、60mm/h においては、降雨直後に間隙水圧が上昇している。これは、降雨により地表面付近の飽和度が上昇し、不飽和領域内の間隙空気の影響が阻害されて空気圧が上昇したためであると考えられる。また、排水孔からの排水量の測定結果を図-3 に示す。60mm/h においては、降雨直後にまだ浸潤線が地下水面に到達していないにもかかわらず排水量が増加していることがわかる。これは先ほど述べた間隙空気圧の上昇により、地下水の間隙水圧が上昇し、その結果排水量が増加したものと考えられる。120mm/h の降雨実験においても、60mm/h と同様の結果が得られた。

4. 数値シミュレーションと結果の考察

数値シミュレーションは、3次元有限要素法を用い、降雨条件が60mm/hと20mm/hのケースについて実施した。また、境界条件は模型地盤と同様になるように設定し、各降雨実験についてそれぞれ1相流解析および2相流解析を行った。シミュレーションにおいては、模型地盤を等方性均質場と仮定し、飽和透水係数は事前に実施した定水位透水試験の結果を用いた。また水分特性曲線のヒステリシスは考慮せず、実験から求められた飽和度と毛管圧の関係から推定しており、パラメータの最適化は行っていない。

解析結果を図-4 に示す。60mm/h について、1相流解析では、飽和度と間隙水圧が同時に上昇し、その間排水量にも変化は見られなかった。一方で、2相流解析では、実験と同様に、飽和度が上昇する以前に間隙水圧の値が上昇するという結果が得られた。また、それに伴い排水量が増加する現象も確認された。20mm/h については、1相流解析と2相流解析では解析結果に違いは無く、また実験結果と同様に飽和度と間隙水圧は同時に上昇した。この場合、間隙空気の影響は無視できる程度であり1相流解析と2相流解析のどちらを用いても同様の結果となる。

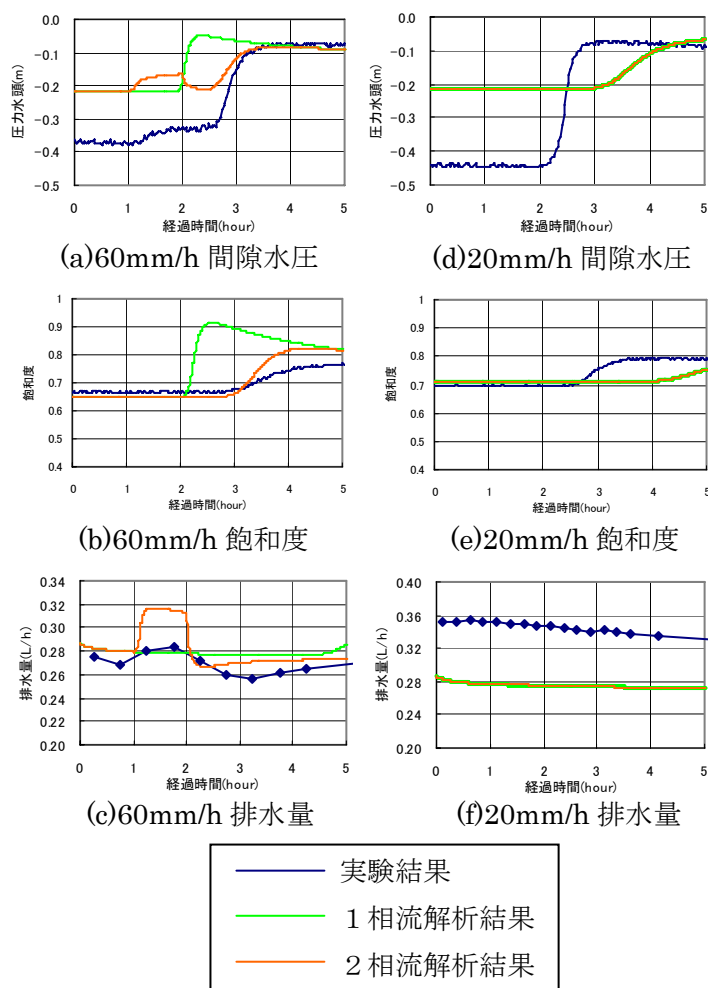


図-4 実験結果と解析結果の比較

5. おわりに

- 1) 降雨強度が最終浸透能に比べ大きい降雨では、降雨浸透により地盤間隙内に空気が封入されることで間隙空気圧が上昇し、それに伴い地下水面が加圧され排水量が増加する現象を室内実験により確認した。
- 2) 降雨強度が最終浸透能に比べ十分に小さな降雨では、上述のような現象を生じなかった。
- 3) 室内実験によって確認された間隙空気圧が上昇する現象および排水量が増加する現象を、気液二相流解析により概ね再現することができた。

参考文献

- ・ 齋藤雅彦, 川谷健: 間隙内空気の運動を考慮した数値シミュレーションによる雨水浸透・浸出過程に関する研究, 応用力学文集 Vol. 6, pp865-872, 2003