

Ⅲ-71

浸透に伴う土中の間隙空気圧の形成と変化

岐阜大学工学部 正会員○佐藤 健
三菱建設（株） 正会員 伊藤健太郎
岐阜大学工学部 学生員 中村 幸生

（1）目的

地盤に降った雨がどのように浸透していくかを正確に知ることは、地下水かん養や地盤の安定性を考える上で大変重要である。地表に降った降雨がその後もスムーズに浸透し続けるには、土の間隙中の空気が地表面を通じて浸透水とスムーズに置換されねばならない。降雨強度によってはこの置換がスムーズに行えず、地表面に湛水が発生する場合もある。このような時、土中の間隙空気は浸透水によって閉塞圧縮され、複雑な圧力変動を示しながら間歇的に浸透水と置換している。

本研究はこのような湛水発生時における水と空気の置換が、間隙空気圧との関連でどのような機構によって行われるか実験的に検討を加えたものである。

（2）実験方法

気泡にかかる浮力や静水圧的水圧の影響を排除するため、Fig.1のような実験装置を用いる。

① 試料砂と水が接した時点から計測を開始し、間隙空気圧 p_a 、浸潤前線高 hw を時間と共に

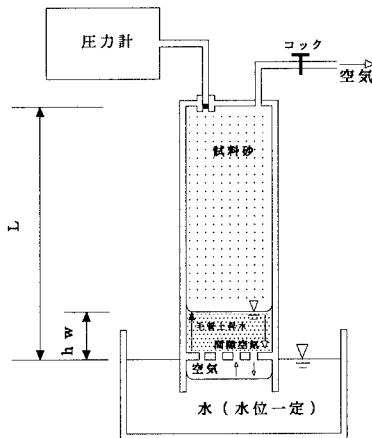


Fig.1 実験装置
に記録する。

② 実験開始と共に浸潤前線は上昇を始め、間隙空気圧も増大する。ある程度まで間隙空気圧が上昇すると空気と水の置換が起こり、砂カラムの下に空気が逃げ出し、浸潤前線の上昇は止まる。

以上の操作をカラム長 (L)、密度 (ρ_d)、初期飽和度 (S_{ri}) を変えて行った。

（3）実験結果

浸潤前線高と間隙空気圧は Fig.2 の模式図のような挙動を示した。実験開始と共に hw も p_a も急激な上昇を示し、 p_a がある値に達すると閉塞圧縮されていたカラム上部の空気の一部が飽和帯を突き破って逃げだし始め、 p_a は急激に減少する。逃げ出した空気が砂試料下に溜まり、水と砂の接触を絶つと浸潤が止まる。カラム上端のコックを開ける。このとき p_a はゼロになるが、試料下端に溜まった空気の存在によって hw はほとんど上昇しない。

試料の下に溜まっていた空気が上端コックの開放で上部に移動し、水が試料と接したらコックを閉め、2回目の実験を開始する。コックを開閉した時間をFig.2の中に点線で示す。

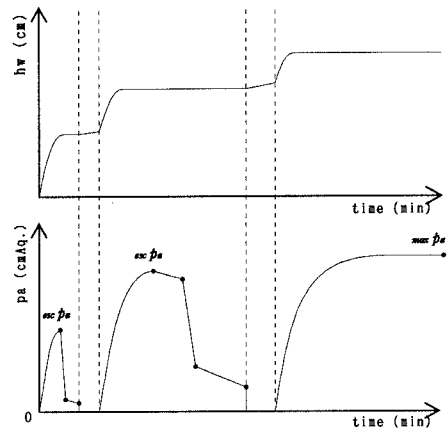


Fig.2 hw と p_a の挙動模式図

ここで水と空気との置換が発生した時点の間隙空気圧を $esc\ p_a$ 、圧縮されて安定したときの間隙空気圧を $max\ p_a$ とする。

(4) 実験に対する考察

実験結果よりカラム長、密度が $esc\ p_a$ 、 $max\ p_a$ に与える影響が次のように分かった。

(i) Fig. 3 の示す通り、密度が大きくなる程 $esc\ p_a$ 、 $max\ p_a$ は大きくなっている。密度が大きくなると Air Entry Value も大きくなり、飽和水帯を突き破るのにより大きな空気圧が必要になるためと考えられる。

(ii) Fig. 3 より、カラム長が長くなる程 $esc\ p_a$ 、 $max\ p_a$ は大きくなることが分かる。これはカラムの長い方が同じ空気圧を形成するのに多くの浸潤前線の上昇を必要とし、その結果飽和水帯を突き破るのに大きな空気圧が必要になるためと考えられる。

(5) 限界間隙空気圧 $esc\ p_a$ の推定

水と空気が置換し、空気が逃げ出すときの空気圧 $esc\ p_a$ を推定しようという試みは従来の研究^{1) 2)}でもなされてきた。しかし、それらの推定法では密度やカラム長による影響が考慮されておらず不十分である。

毛管飽和帯の中に仮想的な円管状の間隙を考え、空気が逃げ出すにはこの間隙の端に形成されたメニスカスを破らねばならず、限界状態において次の関係が成り立つものとする。

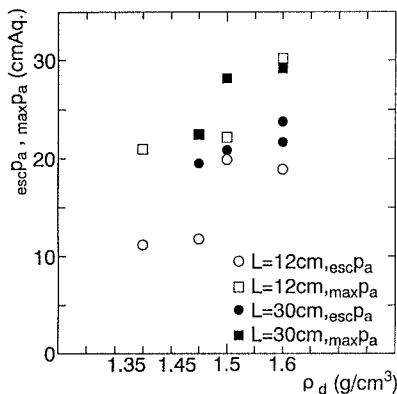


Fig. 3 $esc\ p_a$ 、 $max\ p_a$ と密度の関係

参考文献

- 1) E.G.Youngs and A.J.Peck : Moisture Profile Development and Air Compression During Water Uptake by Bounded Porous Bodies, 1; Soil Sci., vol.98, pp.290-294, 2; Soil Sci., vol.99, pp.327-334, 3; Soil Sci., vol.100, pp.44-51, 1965.
- 2) 高木不折・馬場洋二: 砂柱における鉛直浸透の機構に関する研究; 土木学会論文集144号, pp.11-19, 昭和42年8月.

$$p_a = 4T/D \quad (T: \text{表面張力}, D: \text{仮想間隙径})$$

30cm のカラムに対する実験結果を用いて、上式で D を計算すると Fig. 4 のようになる。密度が高くなると間隙比が低下し、間隙比に対し間隙径は指数関数的に変化するので 30cm カラムの $esc\ p_a$ を指数関数でフィッティングさせた曲線も同時に示す。図中には光学顕微鏡を用いて画像解析から求めた最大間隙径も示してあり、両者の対応はかなりいいことが分かる。

縦軸を p_a に変えたものを Fig. 5 に示す。 $esc\ p_a - \rho_d$ 曲線を用いることにより $esc\ p_a$ が推定できることがわかる。

以上の結果を用いて、降雨浸透時の境界条件を考えてみたい。

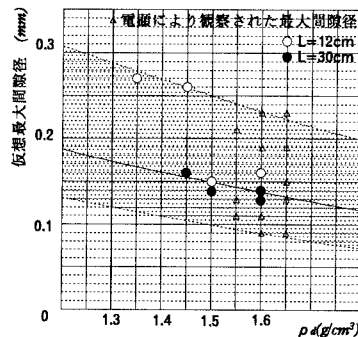


Fig. 4 仮想最大間隙径と ρ_d の関係

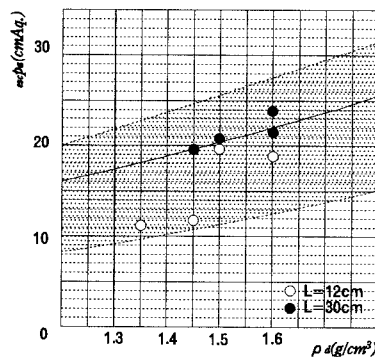


Fig. 5 豊浦標準砂に対する $esc\ p_a$ と ρ_d の関係