

## 遠心場における不飽和浸透流の解析の検討

武蔵工業大学 学生会員 ○和田 東  
武蔵工業大学 正会員 末政 直晃

### 1.はじめに

近年、土壌地下汚染が数多く報告されている。土壌地下汚染の浄化対策を行う上で汚染物質の挙動を数値解析により再現し、実地盤に適用することが必須となっている。実地盤における数値解析の精度をある程度保証するには物理実験(模型実験や原位置実験)との比較を行うのが良い。地下水や不飽和浸透の流速は小さく、実地盤での観測となると多大な年月と費用がかかる。この問題に対し遠心模型装置を使った遠心法による浸透流実験を行い、不飽和浸透の再現ができれば上記の問題が解決できる。しかし、遠心場で不飽和浸透流の再現ができるかどうかは不明確なため、不飽和浸透において遠心法を用いた解析が不明瞭な現状にある。そこで、不飽和浸透における遠心法の適用が妥当であるか検討することを本研究の目的として遠心模型実験を行った。

### 2.定水位透水実験

#### 2-1 実験概要

飽和透水係数  $K_s$  を求めるために、長さ 3m の塩ビ管に豊浦砂を詰め水中落下法により 2m の供試体を作製した。実験概略図を図-1 に示す。Dr が異なる Dr=50%、70%、77%、85% の 4 種類で実験を行い、水位差を 120cm と 200cm の 2 種類に設定して定水位透水実験を行った。電子天秤を用い、3 分間経過毎に排出量を計測した。この実験より飽和透水係数  $K_s$  を算定した。

#### 2-2 実験結果

実験結果より、Dr が大きければ間隙率も小さくなるため透水係数も小さくなるということが確かめられた。Dr=50%と 70%においてこれらの値は多少の実験誤差が見受けられた。これら 4 種類の透水係数をみると Dr が低い値から順に透水係数が小さくなっていることが分かる。この 2 種類の水位差から得られた透水係数の平均値を求めた。表-1 に示す。これは不飽和パラメータ算定の際に使用する。

### 3.脱水実験

#### 3-1 実験概要

実験に使用した装置は定水位透水実験と同様の物を使用し、供試体下部と排水先のチューブの高さを一定にした。また、電子天秤の上にバケツを置き、時間による脱水量を求めた。また重量にほとんど変化がなくなった状態を排水終了とみなして実験を終了した。

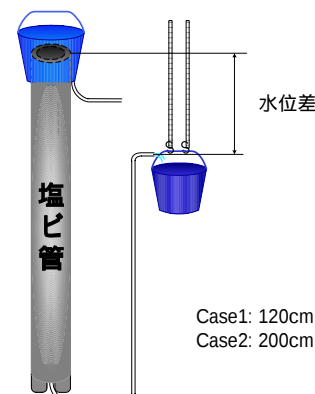


図-1 定水位透水実験装置

表-1 透水係数の平均値

| 相対密度(%) | 透水係数(cm/s)           |                      |
|---------|----------------------|----------------------|
|         | 50                   | 70                   |
| 77      | $6.6 \times 10^{-2}$ | $6.3 \times 10^{-2}$ |
| 85      | $3.3 \times 10^{-2}$ | $2.6 \times 10^{-2}$ |

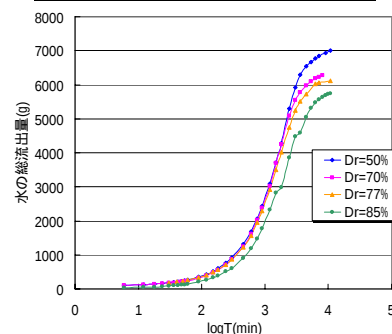


図-2 水の総流出量と時間の関係

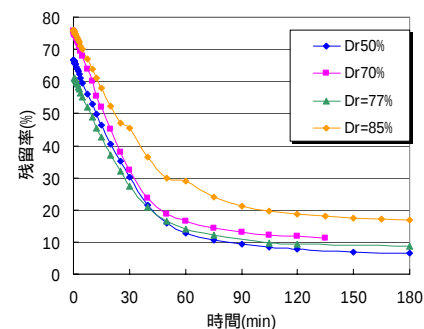


図-3 残留率と時間の関係

キーワード：遠心場 不飽和浸透流 水分特性曲線

連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 TEL03-5707-2202

### 3-2 実験結果

脱水実験結果を図-2 に示す。また、供試体内に残っている残留率を図-3 に示す。図-2 より、時間軸を log スケールでとることにより  $Dr=77\%$  を除く 3 種類において平衡状態になる前に実験を終了したことがわかった。図-3 において、初期飽和度から残留率を計測した結果、ほとんどの供試体の残留率が大体 10% に収束しているという結果になった。脱水実験後には供試体の含水比を測定した。図-4 にそれぞれの含水比分布を示す。塩ビ管の下部に設置したキャップを外し、供試体を取り出し、取り出した高さから含水比測定を行った。供試体を取り出す際に木槌で塩ビ管を叩いたために供試体が締め固まった可能性があるため測定値はいくらかばらついた。しかし、含水比分布にはある傾向が見られたのでこれらの結果を採用した。

### 4. 不飽和パラメータの決定

これら 4 ケースの含水比実験の結果より、最小二乗法を用いて Van-Genuchten モデル中の不飽和パラメータ  $\alpha$ ,  $n$  を求めた。結果を表-2 に示す。この不飽和パラメータを用いて、遠心場でのデータとの比較を行う。またパラメータにより求めた水分特性曲線のグラフを図-5 に示す。空気侵入値が圧力水頭 -0.2 ~ -0.3 付近という結果や、供試体上部をみると、どの実験でも含水率が 0.05 ~ 0.07 に収束していることより、供試体の高さ 30~60cm まで豊浦砂は水分が高く保持されているということが分かった。

### 5. 遠心場における脱水実験

#### 5-1 実験概要

遠心模型装置を用いて模型装置の脱水実験を行った。実験条件を表-3 に示す。実験に使用した模型を図-6 に示す。供試体を設置する容器と供試体から脱水する水をためる脱水容器を設置した。供試体下部から 3cm に 1 つ、そこから 6cm ごとに差圧計を設置し、時間による圧力変化を求めた。脱水容器内にも差圧計を設置することにより、水圧による脱水量を求めた。また、脱水容器内に仕切りを設置することにより水位を一定に、模型を設置することにより微量の脱水量でも計測できるようにした。圧力にほとんど変化がなくなった状態を排水終了とみなして実験を終了した。

#### 5-2 実験結果

遠心場における水の総流出量を図-7 に示す。実験結果より平衡状態前に実験を終了してしまったことが分かる。図-7 と図-2 と比べてみると、グラフの傾向が似ていることから、1g 場と 16.7 g 場では相似性があると思われる。しかし、遠心場での結果を実物換算し 5m 相当にして比較をしてみたところ遠心場での結果において排水時間に時間を要していることが分かる。

### 6. まとめ

実験過程において平衡状態になる前に実験を終了してしまったことなどさまざまな問題点がある。また、パラメータを用いて、傾向だけではなく数値からの相似性を検討していく必要がある。しかし、模型地盤や遠心場では排水現象の傾向は似ており、遠心場では脱水現象の再現性が確認でき、16.7 g 場において相似性があるという傾向が示せた。

### 7. 参考文献

- 1) 中島ら: Centrifuge Modeling of one-step outflow tests for unsaturated parameter estimations, 2006

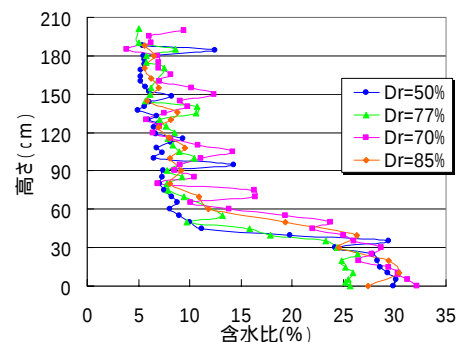


図-4 高さと含水比分布の関係

表-2 不飽和パラメータ

| 相対密度<br>(%) |  | 不飽和パラメータ |      |
|-------------|--|----------|------|
|             |  | $\alpha$ | $n$  |
| 50          |  | 3.24     | 3.95 |
| 70          |  | 2.22     | 4.12 |
| 77          |  | 2.64     | 3.92 |
| 85          |  | 2.15     | 4.79 |

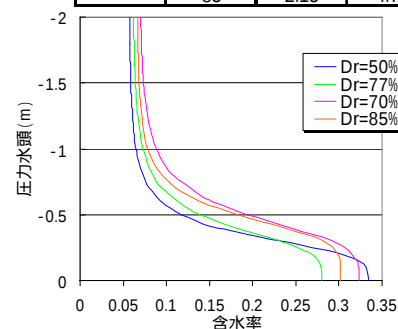


図-5 水分特性曲線

表-3 遠心場での実験条件

| 供試体の<br>高さ(mm) | 砂の重さ<br>(g) | 相対密度<br>(%) | 計測時間<br>(min) | 遠心加速<br>度(G) |
|----------------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| 300            | 1982.2      | 82.8        | 2.88          | 16.7         |

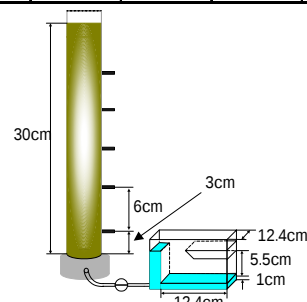


図-6 遠心場で使用する模型

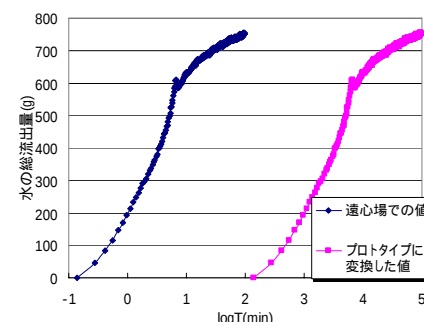


図-7 遠心場における水の総流出量