

粗粒材（ロック材相当）の不飽和浸透特性について

関西電力（株） ㊦ 西方 卯佐男
 関西電力（株） 正 近藤 茂
 (株)建設企画コンサルタント 玉野 浩之
 (株)建設企画コンサルタント 浅田 昌蔵

1. はじめに 本研究では、貯水位急降下時におけるロックフィルダム内の残留水位面を精度よく推定するため、実粒度相当の粗粒材の透水係数および不飽和浸透特性の計測手法の検討を行った。これらのうち前報において、不飽和透水試験、水分保持特性試験を実施するための試験装置の試作、および試験結果の一部について報告した。本報では、それらの装置を用いて引き続き実施した試験の結果から、Van-Genuchten モデル（以下 VG モデル）の粗粒材への適用性を再確認するとともに、粒径とVGモデルのパラメータとの相関性から実粒度相当の不飽和浸透特性の推定が可能であるかについて報告する。

2. 試験試料 一連の試験に用いた試料は、C_H級の頁岩と花崗岩の2種類である。図-1に試験試料の粒径加積曲線を示す。図中の試験粒度『～』および『～』は、採取した実粒度『、』に対して最大粒径を試験粒度用にシフトさせた相似粒度である。

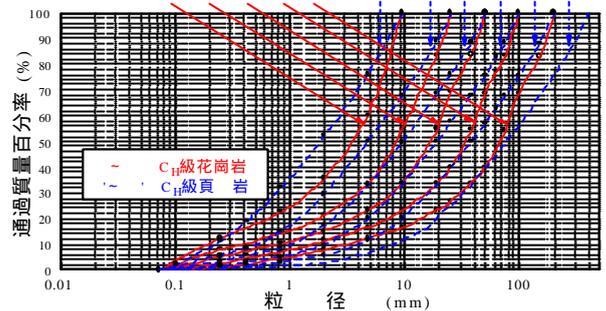


図-1 試験試料の粒径加積曲線

3. 試験装置および試験方法

(a) 不飽和透水 (kus) 試験 試験装置は前報¹⁾の通り、定量ポンプにて一定水量を供試体上面から供給して、不飽和状態での透水係数を測定するものである。また、これまでの試験では、供試体の飽和度が50%から80%程度の範囲で測定されている。この程度の飽和度測定範囲では、堤内残留水位面の同定に当たって大きく影響すると考えられる高飽和領域の不飽和透水係数が測定されていない状況にあると言える。そこで、表-1に示すように、より高飽和領域の不飽和透水係数測定を可能とするための試験方法について検討を行った。

表-1 不飽和透水試験方法の検討

| 試験方法 | 目的・期待する効果 |
|---------------|--|
| 炭酸ガスの混入 | 滞留空気をCO ₂ に置換することで高含水化を促進する |
| 微弱な振動を加える | 高含水状態化を妨げている滞留空気を振動により除去する |
| 負圧を作用させる | 滞留空気を負圧により供試体底面より吸引する |
| 飽和状態から給水量を下げる | 高含水状態になり難い供試体を飽和に近い領域から測定する |
| 供試体高さの変更 | 供試体高さを半分にし滞留空気をぬけやすくする |

これら検討した方法の内、『～』および『～』法については、従来法と同程度の飽和度領域しか測定することができず、『～』法は80%以上の領域で、また『～』法では100%飽和に近い範囲の測定が可能であった。このような予備検討結果から、従来の不飽和透水試験方法¹⁾に次の行程を加えて実施することにした。

- ・ 粒度調整、供試体作成時、試験実施中に飽和化を促進するために炭酸ガスを混入する。
- ・ 供試体上面に水面が形成した場合は、供試体を水で満たした水槽(水深90cm)に移し水浸飽和する。供試体を再度、不飽和透水試験装置に移し、飽和に近い状態から不飽和透水試験を実施する。

表-2 試験条件

| 岩種 | 粒度番号 | 最大粒径(mm) | 10%粒径(mm) | 60%粒径(mm) | 均等係数Uc | 平均比重Gs | 試験の種類 | | |
|---------------------|------|----------|-----------|-----------|--------|--------|-------|------|-----|
| | | | | | | | kus試験 | pF試験 | r試験 |
| C _H 級頁岩 | 9.52 | 0.20 | 2.72 | 136 | 2.620 | | | - | |
| | 25.4 | 0.51 | 7.29 | 14.3 | 2.645 | | | - | |
| | 50.8 | 1.00 | 14.3 | 14.0 | 2.659 | | | | |
| | 100 | 2.00 | 28.6 | 14.3 | 2.670 | | - | | |
| | 200 | 4.00 | 57.2 | 14.3 | 2.676 | - | - | | |
| C _H 級花崗岩 | 9.52 | 0.172 | 4.76 | 27.7 | 2.472 | | | - | |
| | 25.4 | 0.387 | 10.8 | 27.9 | 2.508 | | | - | |
| | 50.8 | 0.760 | 21.1 | 27.8 | 2.534 | | | | |
| | 100 | 1.52 | 42.2 | 27.8 | 2.554 | | - | | |
| | 200 | 3.02 | 84.8 | 27.9 | 2.565 | - | - | | |

(b) 排水過程の水分保持特性 (pF) 試験 試験装置および試験方法は前報¹⁾の通り、土柱(カラム)法による供試体を凍結後に切断して直接含水比を計測する方法である。本試験においては、試験過程の制約(供試体直径

20cm) から、試料 $D_{max}=50.8\text{mm}$ が限界となるため、別途、 $D_{max}=50.8 \sim 200\text{mm}$ の試料について乾燥側の自然状態の測定し、これを最小含水量 r として整理することにした。

4. 試験条件 表 - 2 に実施した試験の条件を示す。なお、表中の番号は図 - 1 に示した粒度番号に対応している。

5. 試験結果 k_{us} 、 pF 試験結果を体積含水率 () と比透水係数 (k_r) とサクション () の関係にそれぞれ整理したもの、および V G モデルの適用結果を図 - 2 に、また k この時のパラメータ n 値を表 - 3 に示す。なお、 k_r の算出に用いた飽和透水係数 (k_s) は、 $r \sim k_{us}$ の関係を回帰して得られた飽和体積含水率 s 時の値を用いた。また r は、 pF 試験の最乾燥側値および r 試験の結果と最大粒径 (D_{max}) との関係で整理 (図 - 3 参照) し、片対数軸グラフ上で直線近似したものから算定した。図 - 2 より、 $r \sim k_r$ は測定された試験結果と推定したそれとが概ね一致しており、粗粒材料についても V G モデルが適用できることが再確認された。

6. 実粒度相当の不飽和浸透特性の推定 V G モデルにより同定したパラメータ n 値と試験試料の D_{max} の関係を図 - 4、5 に示す。これら $D_{max} \sim r$ および $D_{max} \sim n$ の両者はそれぞれ高い相関性が見られることから、V G モデルを適用することにより、実粒度相当の不飽和浸透特性が算定可能となる。なお、前掲の表 - 3 には、外挿した実粒度相当の n 値および $D_{max} \sim r$ (図 - 3 参照) から得られた実粒度相当の r を併記している。

7. おわりに 一連の不飽和透水試験および水分保持特性試験結果から、粗粒材においても V G モデルが適用できること、最大粒径と V G モデルから同定されるパラメータは良好な相関性があり、実粒度相当の不飽和浸透特性が推定できることが判った。今後は、実験によって得られた特性を用いた非定常飽和不飽和浸透流解析を実施し、堤内水圧分布を高精度に評価していく予定でる。

最後に、試験装置の試作および試験の実施にあたり、岡山大学環境理工学部 西垣誠教授にご指導いただいたことに謝意を表します。

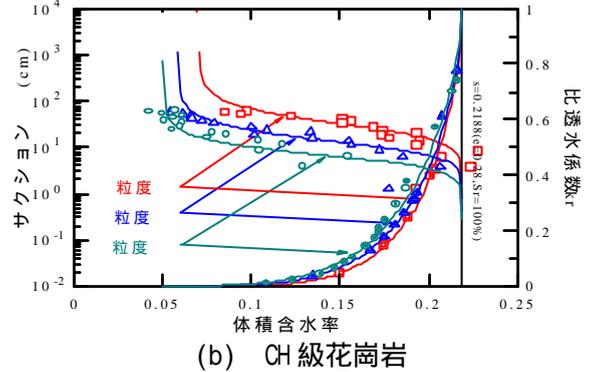
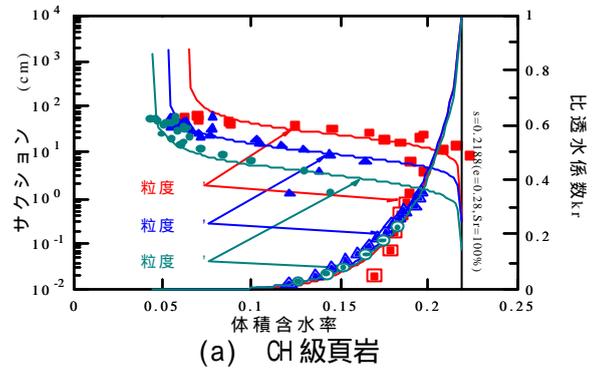


図 - 2 $r \sim k_r$ 、 $r \sim n$ の関係

表 - 3 V G モデルによるフィッティング結果

| 岩種 | 最大粒径 D_{max} (mm) | 最小容水量 r (cm^3/cm^3) | 最大容水量 s (cm^3/cm^3) | フィッティング結果 | | |
|-----|---------------------|---|---|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | パラメータ n (1/cm) | 飽和透水係数 k_s (cm/sec) | 飽和透水係数 k_s (cm/sec) |
| 頁岩 | 9.52 | 0.0646 | 0.2188 | 0.0486 | 2.636 | 3.73E-03 |
| | 25.4 | 0.0528 | | 0.1227 | 2.802 | 4.14E-02 |
| | 50.8 | 0.0445 | | 0.2949 | 3.012 | 1.20E-01 |
| | 100 [*] | 0.0364 | | - | 7.321 | 3.74E-01 |
| | 400 実粒度相当 | 0.0198 | | 2.570 | 13.00 | - |
| 花崗岩 | 9.52 | 0.0694 | 0.2188 | 0.0380 | 2.844 | 1.01E-02 |
| | 25.4 | 0.0579 | | 0.0862 | 2.815 | 4.83E-02 |
| | 50.8 | 0.0498 | | 0.1678 | 2.555 | 1.91E-01 |
| | 100 [*] | 0.0419 | | - | 4.100 | 2.32E-01 |
| | 200 実粒度相当 | 0.0338 | | 0.5510 | 20.90 | - |

*) ; 不飽和透水試験から同定

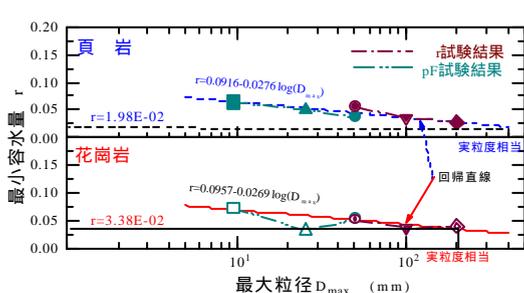


図 - 3 D_{max} と r の関係

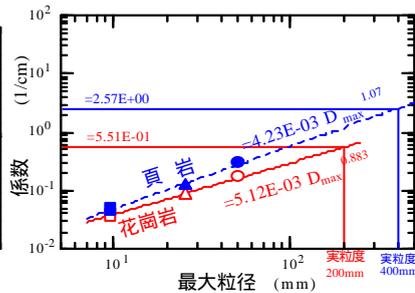


図 - 4 D_{max} と n の関係

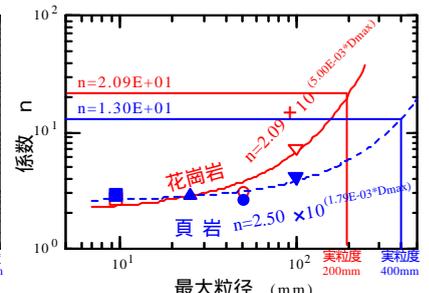


図 - 5 D_{max} と n の関係

参考文献：1) 西方卯佐男・玉野浩之・浅田昌蔵：粗粒材の不飽和浸透特性について、第 54 回土木学会年次学術講演会， -A290， pp580 ~ pp581， 1999 年 9 月