

排水ボーリング孔による排水後の地盤飽和度分布と間隙径分布との関係

前橋工科大学 学生会員 ○西山 優介
前橋工科大学 正会員 森 友宏

1. はじめに

盛土で起こる災害は、降雨浸透水や地下水位の浸透による安定性の低下によって発生するが多い。したがって盛土地盤内の排水対策が効果的とされている。しかし、盛土内から排水を行うための対策の多くは設計法が確立されておらず、経験に基づいて決定される場合が多い。盛土の排水に関する研究はこれまでも多数行われている。渡邊ら¹⁾は排水パイプの浸透流解析モデルを作成し、徐ら²⁾は盛土における水平排水パイプの地下水排除効果について検討を行っている。しかしながら、排水ボーリングによって盛土内の地下水がどの程度排水され、また排水完了後の盛土内の飽和度分布がどのようになるかは明瞭になっていない。

本研究では地盤の間隙径分布の測定³⁾および、飽和地盤材料から自然排水（重力排水）を行った後の残留飽和度の計測を行うことによって、排水ボーリング設置後の盛土内水分分布の推定を行うことを試みた。

2. 実験材料の物理特性

実験に使用した試料は宮城県角田市枝野地区において採取したヨナ(シルト質砂質土)を用いた。最初にこの材料の物理的特性を調べるために土の締めめ試験（乾燥法繰返し法）、土の粒度試験を行った。実験材料の主な物性値を表1、粒径加積曲線を図1に示す。

3. 間隙径分布測定試験の手順

a) 試料の乾燥密度に応じた間隙径分布を、空気圧入による間隙径分布測定法（参考文献³⁾、神谷ら）を用いて測定する。間隙径分布測定装置の経路図を図2に示す。本手法の基本的概念は、地盤材料を鉛直方向に束ねられた様々な直径を持つ細孔管の集合体と仮定し、飽和した細孔管に空気圧をかけることにより、細孔管から水を押し出すというものである。徐々に空気圧を高めると、直径の大きな細孔管から順に水が押し出される。細孔管の内壁に生じる水のメニスカスによる抵抗力と空気圧との釣り合いを考慮することで、細孔管の直径を算出する。試験の詳細については参考文献³⁾を

参照されたい。

b) 盛土に排水ボーリングを設置した後、排水が完了したときの排水ボーリング孔周辺地盤の飽和度を把握することを目的として、所定の乾燥密度に調整した試料を飽和させた後に自然排水を行い、試料から水が排水されなくなったときの試料の飽和度（以降、残留飽和度と記述）を測定する。

表1 実験材料の物性値

| | | |
|--------|------------------------------------|-------|
| 土粒子密度 | ρ_s (g/cm ³) | 2.696 |
| 最大乾燥密度 | ρ_{dmax} (g/cm ³) | 1.747 |
| 最適含水比 | ω_{opt} (%) | 16.0 |
| 均等係数 | U_c | 8.667 |
| 曲率係数 | U'_c | 0.926 |

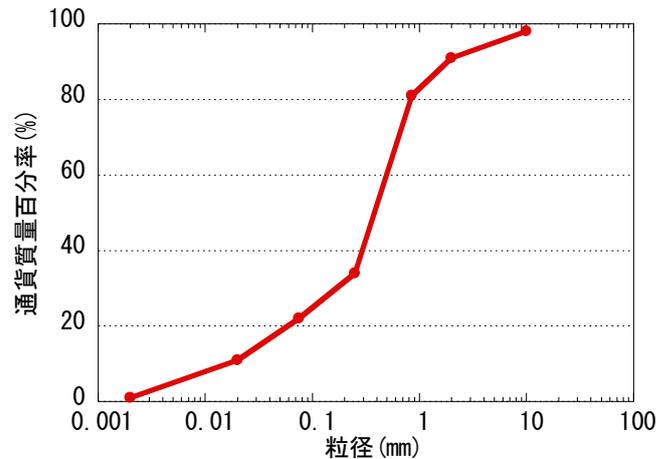


図1 粒径加積曲線

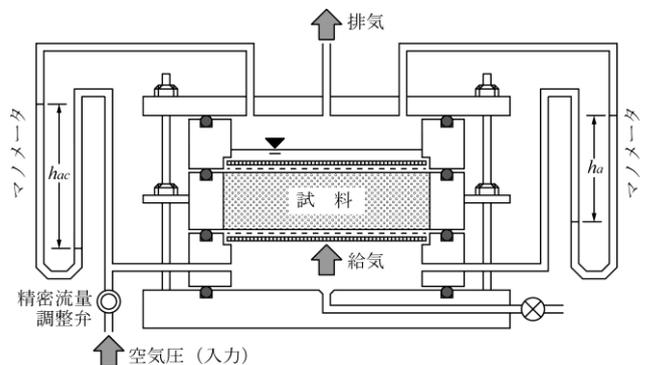


図2 間隙径分布測定装置の経路図

キーワード 盛土, 排水ボーリング, 間隙径分布, 飽和度分布, サクション

- c) a)による所定の乾燥密度の試料における間隙径分布、および b)による残留飽和度の測定により、土試料から排水が生じる間隙径の閾値が求められる。すなわち、平均間隙径の大きな緩い試料は自然排水後の残留飽和度が小さく、平均間隙径の小さな密な試料は残留飽和度が大きくなる。
- d) 排水ボーリング孔より上方に位置する盛土材料の飽和度分布を推定するために、加圧法による土の保水性試験 (JGS0151-2009) を行い、当該試料の水分特性曲線を求める。

4. 試験結果

空気圧入による間隙径分布測定法³⁾による試料の間隙径分布を図3に示す。ここでは、乾燥密度 ρ_d が 1.501g/cm^3 , 1.552g/cm^3 の試料の結果を示す。他に乾燥密度 1.631g/cm^3 の試料を用いた試験も実施したが、間隙径が小さすぎるために空気が通らず、本手法では間隙径分布を求めることができなかった。当該試料の間隙径は $0.015\sim 0.035\text{mm}$ の範囲に分布している。また、自然排水後の残留飽和度は、乾燥密度 ρ_d が 1.501g/cm^3 , 1.552g/cm^3 の試料において、それぞれ 78.9% , 91.8% であった。これら残留飽和度と、図3の累積間隙体積百分率を考え合わせると、自然排水によって空隙径 $0.028\sim 0.029\text{mm}$ より大きな空隙からは水が排水され、それ以下の空隙径を持つ空隙からは排水が生じないことが明らかとなった。

加圧法による土の保水性試験から求めた、試料の水分特性曲線 (主脱水曲線) を図4に示す。水分特性曲線より、乾燥密度 ρ_d が 1.82g/cm^3 で 2mm 以下の試料では、飽和度 60% に対応するサクション値が 23kPa である。これは、降雨後長時間が経過して盛土内の水分分布が定常となった時、地下水面上 2.3m の位置の飽和度が 60% となることを意味する。

5. 結論

一般的な盛土構造物は締固め度 85% 以上で施工管理される。本研究の試料の締固め度は、乾燥密度 ρ_d が 1.501g/cm^3 , 1.552g/cm^3 の試料においてそれぞれ 84.8% , 87.7% である。このことより、横ボーリング排水工の設置により盛土内地下水の排水を行った後、地下水の排出が停止したとしても、横ボーリング孔周辺地盤の飽和度は約 90% 以上を維持していることが確かめられた。横ボーリング孔周辺地盤の飽和度の低下割合は小さく、排水による土要素の強度増加分もそれほど大きくない。それで

も実際に排水ボーリング工が盛土斜面災害の防止に大きな効果がある理由として、横ボーリング孔設置により盛土内の地下水の排水距離が短くなり排水速度が増加すること、不飽和領域を盛土内部まで導入できることにより潜在すべり面を深くできる (すべり安全率は大きくなる) ことが挙げられる。

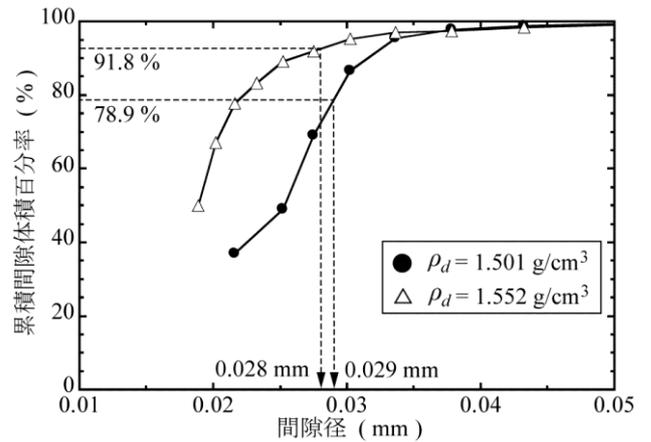


図3 間隙径分布

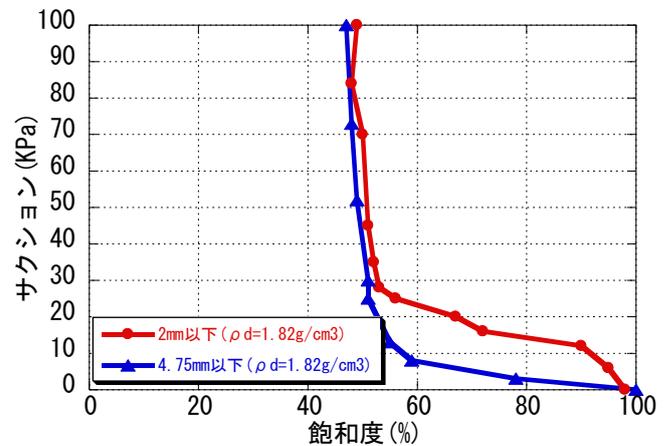


図4 水分特性曲線

参考文献

- 1) 渡邊 諭：盛土に用いる排水パイプの浸透流解析モデル, 鉄道総研報告, Vol.26, No9, 2012
- 2) 徐 永強: 盛土における水平排水パイプの地下水排除効果, 土木学会第 64 回年次学術講演概要集, Vol64, No3, III-299
- 3) 神谷浩二ら: 「空気圧入法」による砂質土の間隙径分布の計測, 土木学会論文集, No.541/III-35, pp.189-198, 1996.