

施工時の含水比や締固めに着目した盛土の透水性能に関する実験的検討

神戸大学大学院工学研究科 学生会員 ○友近 温人

北見工業大学工学部 正会員 片岡 沙都紀

近畿大学理工学部 正会員 河井 克之

神戸大学大学院工学研究科 正会員 齋藤 雅彦

1. はじめに

盛土の安定性確保のために排水工を設置しているにもかかわらず、地震による盛土の変形等の被害が報告されており、「宙水」の影響が示唆されている<sup>1)</sup>。宙水とは、局所的に存在する難透水層の上にレンズ状にたまった地下水のことである<sup>2)</sup>。本研究では、友近ら<sup>3),4)</sup>がこれまでに実施してきた締固め度、含水比と透水係数との関係性をもとに、宙水が発生しやすいような透水係数の異なる不連続面を要した供試体を作製し、降雨を想定した一定量の水を供給後、内部の水分状況を把握するという一連の試験(以下、通水試験と称する)を実施することで、宙水発生要因の検討を行った。

2. 実験に用いた試料

試験には、兵庫県内より採取した2種類の建設残土(以下「残土A」および「残土B」と称する)を使用した。各種物性試験の結果を表-1に示す。また、供試体作製時の締固め度や含水比を変化させた供試体を用いて、室内透水試験を実施した。透水試験の結果を表-2に示す。

3. 円筒供試体を用いた通水試験

写真-1 および図-1 に示すような、2層構造の円筒供試体を作製した。供試体の作製は、ランマーおよび押し棒を用いて、4.23cmごとに所定の量の試料が所定の高さまで締め固めることで密度の調整を図った。霧吹きを用いた降水後に4日間静置し、供試体上部より2cmごとに試料を採取し、含水比を計測した。表-3 に示す試験条件のとおり、締固め時の含水比および降水量が異なる3ケースで試験をした。

4. 円筒供試体を用いた通水試験の結果および考察

深度方向における飽和度分布を図-2 に示す。なお、各試験における締固め時の飽和度を、図中に破線で示す。Case1 では、a層中間部から層境界にかけて、飽和度が漸増する傾向が確認でき、最大値は $S_r=94\%$ であった。a層の透水係数の値が3ケースで最も大きく、降水のほとんどがa層下部まで浸透したことが考えられる。Case2 では、a層中間部から層境界にかけて、飽和度はわずかに増加しており、最大値は $S_r=83\%$ であった。Case3 では、a層の含水比の変化が見られなかった。a層の透水係数が3ケースで最も小さく、上部から水がほとんどa層下部に浸透していないことが考えられる。締固め時の含水比の違いによって供試体内部の水分状況が変化することは、これまで保水性の観

表-1 各種物性試験の結果

| 物性                                   |                                            | 残土A   | 残土B   |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|
| 最大粒径, (mm)                           |                                            | 9.5   | 9.5   |
| 土粒子密度, $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) |                                            | 2.699 | 2.662 |
| 締固め特性                                | 最大乾燥密度, $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.940 | 1.724 |
|                                      | 最適含水比, $w_{opt}$ (%)                       | 13.0  | 18.4  |
|                                      | 液分含有率, $G_c$ (%)                           | 21.8  | 22.1  |
| 粒度特性                                 | 砂分含有率, $S_c$ (%)                           | 57.0  | 40.4  |
|                                      | 細粒分含有率, $F_c$ (%)                          | 21.2  | 37.5  |
|                                      | 均等係数, $U_c$                                | 73.0  | 273   |
|                                      | 曲率係数, $U_c$                                | 3.7   | 10.4  |

表-2 透水試験の結果

| 試料名 | 締固め度, $D_c$ (%) | 締固め時の含水比, $w$ (%) | 透水係数, $k$ (m/s) |
|-----|-----------------|-------------------|-----------------|
| 残土A | 90              | 9.5               | 3.23E-04        |
|     | 90              | 13.0              | 6.11E-05        |
|     | 90              | 15.2              | 1.03E-05        |
| 残土B | 100             | 18.4              | 7.06E-08        |



写真-1 通水試験概況

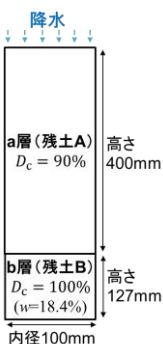


図-1 供試体作製条件

表-3 通水試験 試験条件

|       | a層の締固め時の目標含水比(%) | 締固め前の加水量(ml) | 降水量(ml) | 加えた水の総量(ml) |
|-------|------------------|--------------|---------|-------------|
| case1 | 10               | 0            | 270     | 270         |
| case2 | 13               | 80           | 190     | 270         |
| case3 | 16               | 160          | 110     | 270         |

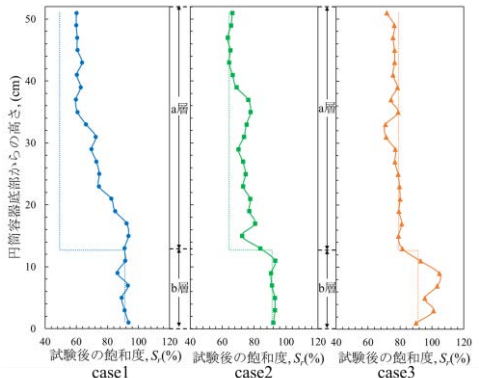


図-2 試験後の飽和分布

キーワード 宙水, 透水係数, 締固め度, 含水比, 飽和度

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科 友近温人 TEL 078-803-6067

点から説明されてきたが、透水係数に着目した検討も有効であることが示唆された。

## 5. 模型盛土を用いた通水試験

透水係数の不連続面を有する模型盛土を試験土槽内に作製し、通水試験を実施した。模型盛土の断面図および平面図を図-3 および図-4 に示す。模型盛土は高さ 700mm、のり勾配 1:1、奥行き 800mm とした。模型盛土の作製は、タンパーおよびこてを用いて、5cm ごとに所定の量の試料を所定の高さまで締固めることで密度の調整を図った。降水は、噴霧器を用いて、15L の水を 2 回に分けて、計 1 時間で天端全体に降水させた。降雨強度は 20.8mm/h の強い雨に相当する。また、土壌水分計を図-3, 4 中に記載のとおりに設置することで、盛土内部の水の挙動を詳細に確認した。

## 6. 模型盛土を用いた通水試験の結果および考察

土壌水分計の計測結果を図-5 に示す。1 回目の降水と同時刻に計測を開始し、2 回目の時刻は図中に破線で示す。まず、6 つの土壌水分計の中で、層境界の土壌水分計 3, 4 において顕著な飽和度の上昇が見られた。a 層の間隙率は 0.407 であるため、高飽和度領域が層境界上部に形成されたことが推測できる。次に、土壌水分計 4(法面側)は土壌水分計 3(背面側)と比較して、速やかに体積含水率が低下している。加えて、試験終了時には法面側で計 5L の漏水が確認できた。法面側に向かって水平方向に水が浸透するような動水勾配が盛土内に存在し、盛土内に水が滞水していたことが推測できる。以上から、模型盛土内部の層境界上部に宙水が形成されていたことが示唆される。また、塚本ら<sup>5)</sup>は、宙水が形成された盛土における法面の湿潤化事例を報告していることから、実盛土において、法面での湧水が宙水の早期発見につながる可能性が示唆される。

また、円筒供試体の Case2 の結果と比較すると、模型盛土では Case2 のような飽和度の分布は見られなかった。この要因として、円筒供試体は鉛直方向のみ水の浸透を許容するが、今回の模型盛土は難透水層が水平方向に様に分布していたことから、水平方向への水の浸透が可能であったことが考えられる。

## 7. まとめ

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 加水時期の違いによる盛土内部の水分状況の変化は、飽和透水係数の分布に着目する手法が有効である。
- (2) 透水係数の不連続面を持つ模型盛土において、層境界上部に宙水が形成されていたことが推測できた。
- (3) 実盛土において、法面での湧水が宙水の早期発見につながる可能性が示唆される。

## 謝辞

本研究成果は、JSPS 科研費 JP22K04311 の助成を受けて実施したものである。また、実験の協力を瀬古一樹氏(神戸大学大学院工学研究科)と中村洋斗氏(神戸大学工学部)にいただいた。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 藤岡一頼ら：東北地方太平洋沖地震における高速道路盛土の被害分析，日本地震工学論文集，第 16 巻，第 1 号(特集号)，pp.285-308, 2016., 2) (公社)地盤工学会：地盤工学用語辞典，pp.127, 2006., 3) 友近温人ら：盛土材料の粒度および締固め度が土の透水性に与える影響，第 57 回地盤工学研究発表会，pp.325-326, 2022., 4) 友近温人ら：締固め時の飽和度が土の透水性に与える影響，第 58 回地盤工学研究発表会，2023, (投稿中), 5) 塚本将康ら：大規模河川堤防における湿潤化調査の一例，全国地質調査業協会連合会「技術フォーラム 2013」長野，No.28, 2013.

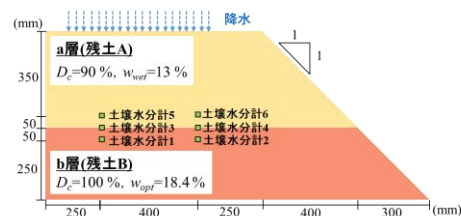


図-3 模型盛土(断面図)

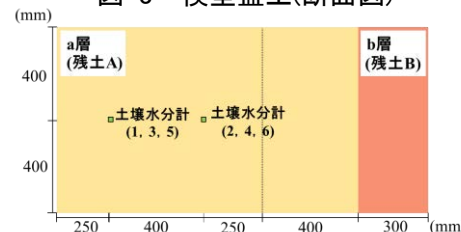


図-4 模型盛土(平面図)

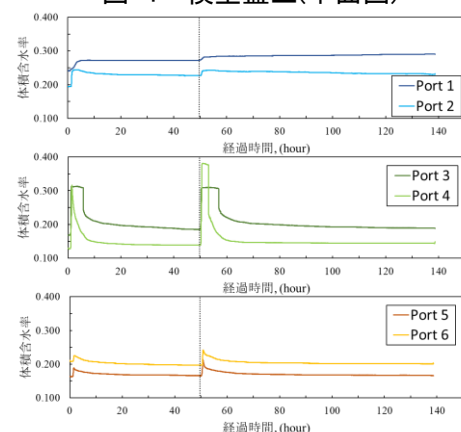


図-5 体積含水率の時刻歴