

第Ⅲ部門

透水性の不均質性が宙水発生条件に与える影響に関する研究

京都大学大学院 学生会員 ○深田 竜司 正会員 肥後 陽介
 神戸大学大学院 正会員 片岡 沙都紀
 新潟大学 正会員 大竹 雄
 (株) 日建設計シビル 正会員 南野 佑貴 正会員 加藤 亮輔

1. はじめに

近年、盛土破壊の原因として宙水の影響が指摘されている。盛土内部で地下水面と不連続に形成される宙水は排水工による対策効果が得られないことがしばしばあり、宙水の発生メカニズムを明らかにし有効な対策を施すことが課題となっている。そこで本研究では宙水の発生条件の究明、及び宙水対策法の提案を目的とした。透水性の不均質性を考慮して盛土内部の透水係数分布が異なる複数ケースの不飽和浸透解析を実施して飽和度分布の比較を行い、定量的な宙水発生条件の特定、及び新設盛土の締固め管理基準の検討方法についての提案を行った結果を示す。

2. 不飽和降雨浸透解析手法

解析には LIQCA2D-SF¹⁾を使用した。支配方程式は簡易三相法により定式化し、土、水、空気 の混合体全体相の運動方程式と水相の連続式である。なお構成式はサクシヨンの影響を考慮した砂の繰返し弾塑性構成式を用いているが、本研究では変形挙動を考慮しないため、サクシヨンの影響を用いないパラメータセット²⁾としている。また、不飽和浸透特性としては水分特性曲線と透水係数の飽和度依存性が考慮されている。

3. 解析条件

本研究では現地調査により宙水の存在が確認された盛土³⁾を研究対象盛土とした。実際の盛土では密度のばらつきに起因する盛土内部の局所的な低透水層が宙水の発生要因になっていると報告されているため、解析には対象盛土材の各種土質試験結果から得られたパラメータを使用して作製した盛土内部の密度不均質性を考慮した解析モデル⁴⁾(図1)を使用した。モデルは図2に示すメッシュの各要素に正規乱数を与え、その最大値、最小値に対象盛土の密度計測⁵⁾で得られた乾燥密度の最大値(1.841g/cm³)、最小値(1.436g/cm³)を対応させて作製した。また、実盛土では締固め層毎の密度

差により鉛直方向のばらつきが大きくなるため、鉛直方向の自己相関距離を水平方向よりも長く設定している。対象盛土材の透水試験結果は図3に示すように e-logk の線形近似と良く一致していることから、各要素の透水係数は作製された密度分布にこの e-logk の線形関係を適用して算出している。なお、対象盛土ではパラメータの決定に必要な土質試験結果が不十分であるため、浸透現象に影響しないパラメータの決定には一部に淀川堤防砂の試験結果を使用している。また、境界条件は図2に示す通りであり、降雨条件には近隣観測点における13日間の時間降水量を入力した。⁵⁾

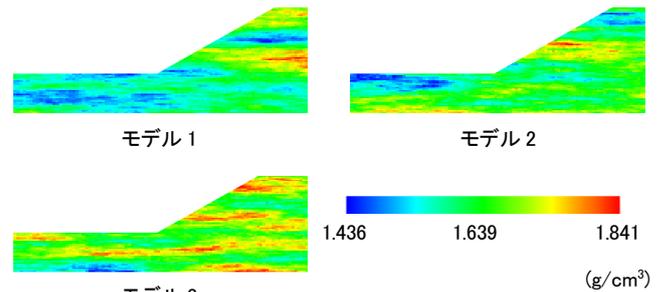


図1 密度空間分布モデル

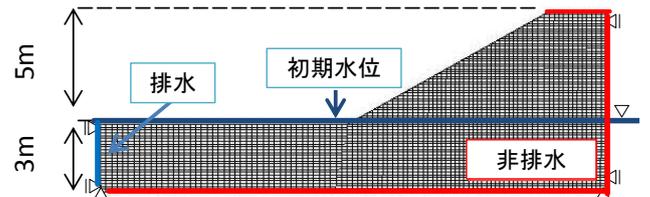


図2 解析メッシュ

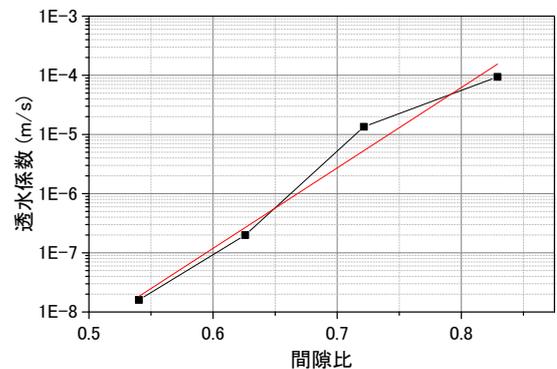


図3 対象盛土材 e-logk グラフ

4. 解析結果

各モデルの透水係数分布と解析終了時の飽和度分布を図4に示す。法面表層付近に低密度領域が存在したモデル1, 2では宙水が形成されたが、一方で法面全体が密となっていたモデル3では宙水は形成されなかった。また、モデル1, 2の解析結果からは宙水形成箇所直上の表層部の透水係数が $1.0 \times 10^{-6}(\text{m/s})$ 以上、宙水形成箇所直下では透水係数が $1.0 \times 10^{-7}(\text{m/s})$ 以下となっていることが分かる。この透水係数がそれぞれ宙水発生に対して有意な降雨浸透と盛土内部での浸透阻害の必要条件となると考えられる。

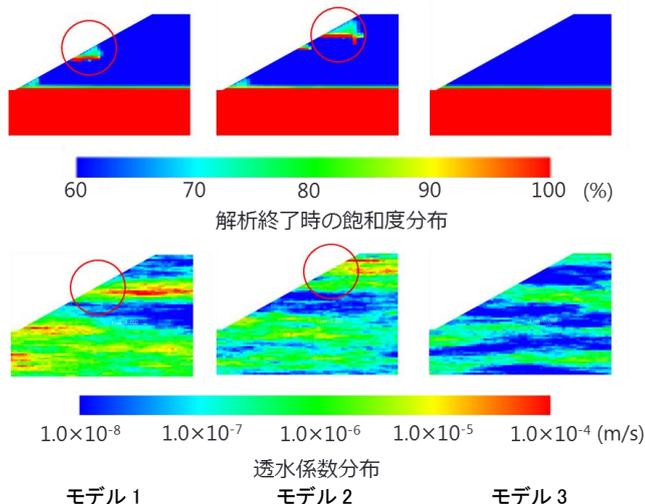


図4 各モデルの透水係数分布と解析終了時の飽和度分布

5. 透水係数分布の影響の検討

次に分布全体の特性と宙水発生への影響について検討するため、透水係数分布の平均、分散を変更して同様の解析を行った。解析はモデル2を基準として透水係数の平均値のオーダーを±1上下させ、これらの密度幅を1/2, 1/4とし計9ケースの解析を行った。透水係数分布の平均、分散と各ケースの解析終了時における宙水の有無を図5に示す。なお、本研究では簡易的に解析終了時に盛土内の要素が一つでも飽和した場合、宙水が発生したとみなしている。図より透水係数分布の分散が増加するにしたがって宙水発生の危険性が高くなることが分かるが、一方で平均については一定値を超えると宙水は形成されなくなるという結果が得られた。これは盛土全体の透水性の増加により盛土内部での浸透阻害が解消されたためだと考えられる。したがって、透水係数の平均が $1.0 \times 10^{-7}(\text{m/s})$ 程度かつ透水係数のオーダー幅が2~3オーダー以上、もしくは平均が $1.0 \times 10^{-8}(\text{m/s})$ 程度かつオーダー幅が約3オーダー以

上である時、宙水発生の危険性が高いと判断される。

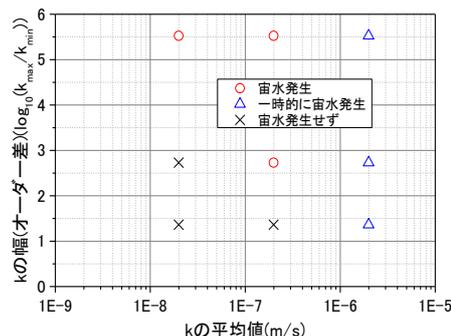


図5 透水係数分布と宙水発生の有無

6. 締固め度管理基準の検討

図5の左下部では宙水の発生は確認されていないため、新設盛土施工時にはこの領域に相当する締固め度分布を算出し、締固め管理を行うことで宙水の対策が可能だと考えられる。なお、締固め度分布の算出にはe-kの関係式が必要であるが、これは使用する盛土材料に依存するため透水試験による検討が必要である。また、この関係式によっては現実的に施工が不可能な締固め度を要求されることも考えられ、そのような場合については実現可能な締固め度において宙水や浸透水の影響を考慮して安定性の検討を行い、安定でないと判断された場合には表面排水工を注意深く設置し、盛土内部への浸透を抑制する必要がある。

7. まとめ

盛土内部の不均質性を考慮した浸透解析により、宙水発生に対して有意な表層からの降雨浸透、及び盛土内部での浸透阻害の条件となる透水係数の値を明らかにした。また、透水係数分布の平均、分散を変更して複数ケースの解析を行うことで宙水発生の危険性の高い透水係数分布を特定し、宙水対策としての締固め管理基準の検討方法についての提案を行った。

参考文献

1) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所：LIQCA-SF(2013) マニュアル, 2013., 2) Chung-Won Lee：京都大学大学院博士論文, 工学研究科, 2012, 3) 神戸大学大学院工学研究科：道路盛土における排水施設点検・管理手法に関する研究(報告書), 新都市社会技術融合創造研究会(平成27年3月), 4) 本城勇介, 大竹雄, 加藤栄和：土木学会論文集C(地圏工学) Vol.68, No.1, pp.41-55, 2012., 5) 肥後陽介, 南野佑貴, 加藤亮輔, 片岡沙都紀, 甲斐誠士：Kansai Geo-Symposium 2016 - 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム - 論文集, pp.183-188, 2016.