

軟弱な表層を有する斜面の降雨時の安定性に関する研究

京都大学大学院	正会員	○澤田 茉伊
京都大学大学院	学生会員	中野 雄太
京都大学大学院	フェロー会員	三村 衛

1. はじめに

動植物の活動により攪乱された表層は、崩壊の素因のひとつである。しかし、不均一・低拘束圧下のため、その土質定数を適切に把握することが難しい。本研究では、降雨で表層が崩壊した墳丘を対象に、原位置試験と不飽和三軸圧縮試験を組み合わせ、表層の土質定数を評価し、降雨時の変形を解析する。また、表層の透水性が変形に与える影響について考察する。

2. 原位置試験と不飽和三軸圧縮試験による土質定数の評価

発掘調査用トレンチで墳丘断面を観察したところ、細粒分が豊富なマサ土 ($F_c=40\%$) を締め固めた堅固な版築であるが、表層は枯死した木根やマクロポアが顕著であった。弾性波探査で層構造を調べると、表層の数十センチの弾性波速度 ($V_s=70\text{m/s}$) は、版築層の半分程度であった。また、トレンチ壁面で針貫入試験を実施した。針貫入試験は、貫入抵抗から一軸圧縮強度を推定する試験であり、粘着力が卓越する細粒分が多い地盤に適している。試験から推定される表層の平均的な一軸圧縮強度は、版築層の $1/4$ 程度であり、工学的に変化していることが明らかになった¹⁾。これらの情報に基づいて図1に示す二層構造の解析モデルを作成した。

版築層を対象に、原位置の密度、含水比 ($\rho_d=1.37\text{g/cm}^3$, $w=29\%$) に合わせて、墳丘土を締め固めた供試体を用いて、排気・排水試験を実施した。サクシオンは $0\sim 80\text{kPa}$ の範囲で制御した。図2は、平均骨格応力で整理した応力経路である。一方、表層は締め固め供試体では、適切に再現できないため、針貫入試験の結果をもとに、見かけの粘着力が版築層の $1/4$ となるように、破壊応力比を推定した。見かけの粘着力は、Bishop の有効応力式を Coulomb の破壊基準に適用することにより、サクシオンの関数で表すことができる (図3)。また、弾性波探査の結果をもとに、表層のせん断係数の単位深さあたりの増分は、版築層の $1/4$ とする。

3. 表層の土質定数が変形に与える影響

図4に降雨波形を示す、墳丘が崩壊したと考えられる期間について解析する。各層の透水性は、浸透とこれに伴う変形に大きく影響する。攪乱された表層は、版築層 ($1.04\times 10^{-5}\text{m/s}$) よりも透水性が高いと予想されるため、ここでは両層の透水係数の比 k_s/k_u が 1, 10, 100 の場合に、透水性が変形に与える影響を調べる。浸透－変形連成解析は、降伏応力と剛性へのサクシオンの寄与を考慮した弾塑性モデルを適用した LIQCA2D18 を用いた。 k_s/k_u が 1 と 100 の場合

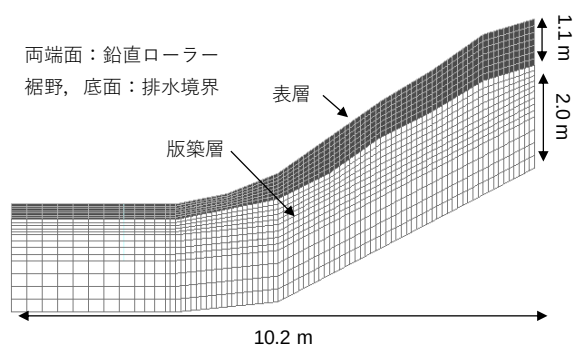


図1 二層構造の解析モデル

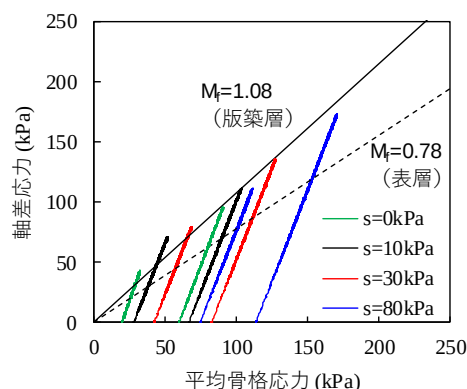


図2 排気・排水試験の応力経路

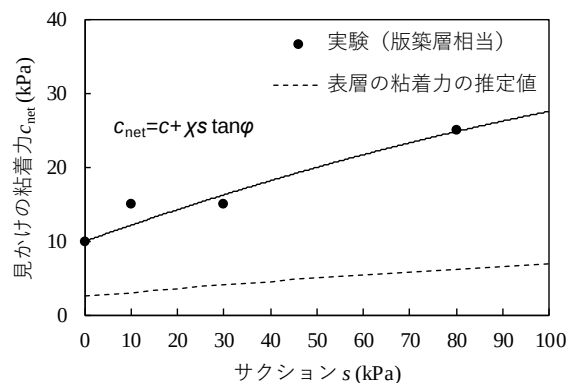


図3 サクシオンと見かけの粘着力の関係

キーワード 針貫入試験, 浸透－変形連成解析, 古墳墳丘

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-213 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-383-3306

の降雨開始から24時間後の間隙水圧分布を図5に示す。また、最終（168時間）の変形を図6に示す。表層の透水性が低い場合は、裾野への水分移動が卓越するが、透水性が高い場合は、速やかに深部に浸入し、透水性が不連続な層境界で水圧が高まっている。図7は、斜面中央部の層境界に接する表層の要素の間隙水圧分布の推移である。解析期間を通して、表層の透水性により浸透挙動が異なる結果、変形モードにも違いが生じている。 $k_s/k_u=1$ の場合は、斜面のごく表層しか浸潤せず、裾野にわずかな変形が生じるのに対し、 $k_s/k_u=100$

の場合は、表層全体で層境界にすべりが生じている。変形量の最大値の推移を図8に実線で示す。層境界では水面は形成されておらず、平均骨格応力はさほど低下しないが、表層の透水性が高いほど、飽和度が高まり、剛性が低下するため、大きな変形が生じている。

以上、表層の透水性によって、変形モードと変形量が大きく異なることが示されたが、填丘の崩壊状況を観察すると、表層の数十センチが填頂近くから失われたことを鑑みると、実際に表層は相対的に透水性が高い状態であったと考えられる。また、本解析では表層の強度・変形特性を版築層と区別したが、これらが等しいと仮定した場合の変形量を図8に破線で示す。変形量が多い場合ほど、両層の区別の有無による影響が顕著に見られ、 $k_s/k_u=100$ の場合は半分以下である。このように、表層と以深の土質定数を区別する場合としない場合では、浸透・変形挙動に大きな違いが見られるため、区別の根拠となる地盤調査の実施は不可欠である。

4. 結論

本研究では、表層が攪乱されて軟弱になった斜面に対し、地盤調査に基づき、層構造のモデル化と土質定数の評価を行い、降雨時の変形挙動を解析した。表層の透水性は変形モードに影響し、相対的に透水性が高い場合に実際の崩壊をよく説明する結果となった。斜面の安定問題では、均質な地盤を仮定する場合も多いが、表層の工学的性質は攪乱により変化しており、浸透・変形挙動に有意な影響を及ぼすため、表層の安定性を評価する際は、地盤調査に基づき以深の層と適切に区別することが必要である。

参考文献：1)澤田：地盤工学に基づく歴史的地盤構造物の修復と保存に関する研究，博士論文，2016。

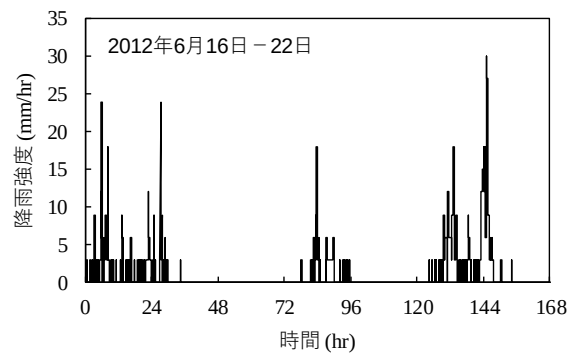


図4 解析期間の降雨波形

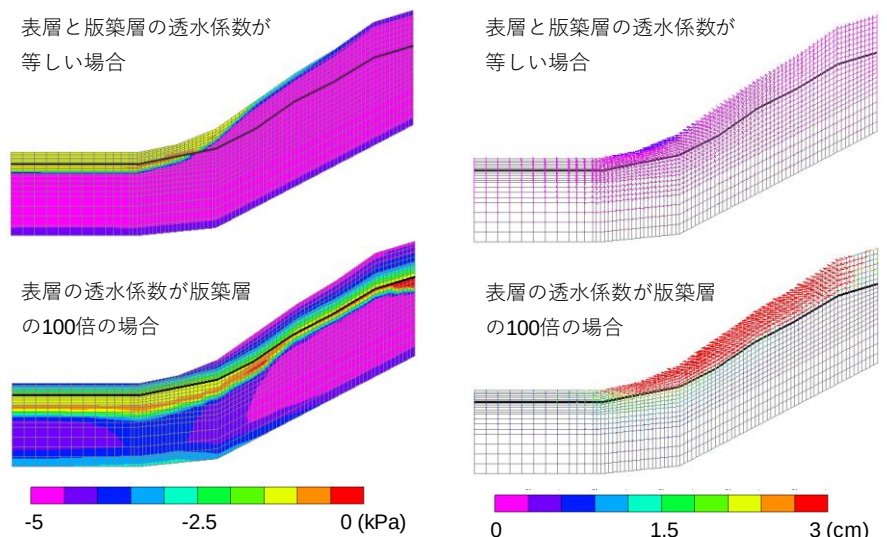


図5 間隙水圧分布（24時間後）

図6 変形ベクトル（168時間後）

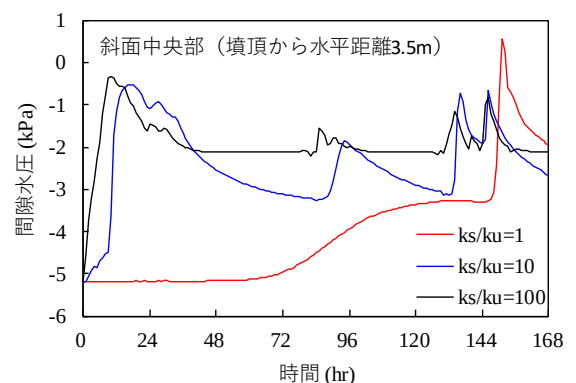


図7 表層の透水性の層境界の水圧への影響

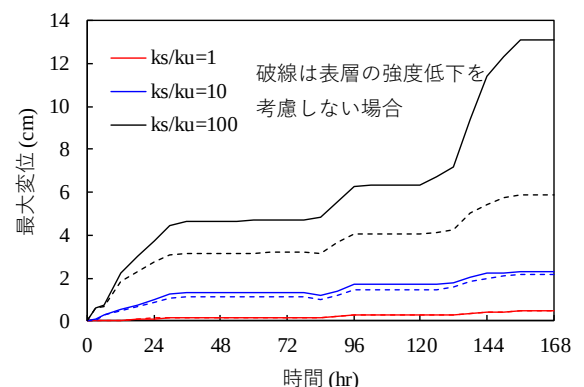


図8 表層の土質定数の最大変位への影響