

集中豪雨による浸透流が地盤内の間隙水圧分布に与える影響に関する基礎的研究

長崎大学工学部 学生会員 ○吉田 徳美 長崎大学大学院 フェロー会員 棚橋 由彦
 長崎大学工学部 フェロー会員 蔣 宇静 長崎大学工学部 正会員 杉本 知史
 長崎大学大学院 学生会員 東 幸宏 長崎大学大学院 学生会員 辻 大志

1. はじめに

近年の環境問題の一つとして異常気象の問題が深刻化している。局地的な集中豪雨や梅雨時期の長雨が頻発しており、平時安定している斜面でも豪雨や長雨による雨水浸透により崩壊する事例が多く起きている。崩壊する斜面の特定や崩壊後の挙動が予測可能ならば、事前に適切な対策をとることが期待される。

本研究は、集中豪雨時の雨水浸透流が地盤内の間隙水圧分布に与える影響を模型実験により検証する。実験によって得られた結果を基に有限差分解析を実施する。これにより数値解析手法の検証を行い、集中豪雨による斜面崩壊の評価解析の研究に役立てる。

2. 模型実験の実験概要

雨水浸透流による地盤内間隙水圧の実際の挙動を把握するため、透水試験を実施する。供試体の寸法を内径 280mm、高さ 500mm とし、含水比を 6%程度に調節したまさ土を用いる。図-1 に実験装置の概略を示す。透水係数は締固めエネルギーにより管理し、今回の実験では 1.87×10^{-3} cm/sec とした。また降雨量を 50mm/h に設定し、底面の境界条件を非排水として検証する。

既往の再現解析¹⁾や実際の地盤環境下では間隙水圧が発生していることから、間隙水圧計を供試体中央部と下部の 2 箇所に設置し、供試体内の間隙水圧を測定する。

3. 数値解析の概要

図-2 に供試体と同じ寸法に設定した解析モデルを示す。用いる解析コードは陽解法を基本とした有限差分解析コード(FLAC3D)であり、浸透の支配方程式は水圧によって表現される。

異方性を有する多孔質を対象としたダルシー則は、(1)式で与えられる。また、数値解析における不飽和浸透流の取扱いは、土が不飽和状態で間隙水圧は 0 となり、完全な飽和状態になってはじめて間隙水圧の測定がなされる。連続式は(2)式のように飽和領域での間隙水圧の変化をもたらす。

$$q_i = -k_{ij} \hat{k}(s) \frac{\partial}{\partial x_j} (P - \rho_w g_k x_k) \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{M}{V} (\sum Q + \alpha \frac{\partial v}{\partial t}) \quad (2)$$

ここで、 q_i は流速ベクトル、 k_{ij} は透水テンソル、 $\hat{k}(s)$ は比透水係数、 P は圧力、 g は重力加速度、 M は Biot モジュール、 V はモデルの体積、 α は Biot 係数、 v はメッシュの体積を表す。

図-1 の解析モデルで間隙水圧を上部(No.1)、中央(No.2)、下部(No.3)の 3 箇所計測、解析モデルに透水係数 1.87×10^{-3} cm/sec の物性値を入力し、有限差分解析を行う。円柱の上面から水を浸透させ、降雨強度、透水係数、底面の境界条件は実験と同様に設定する。

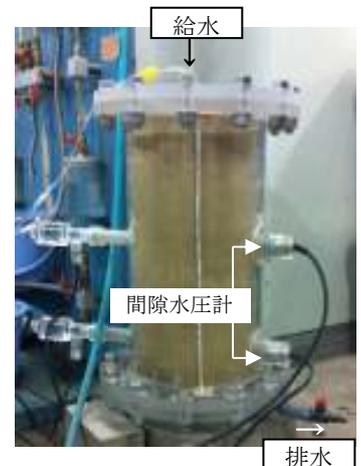


図-1 実験器具

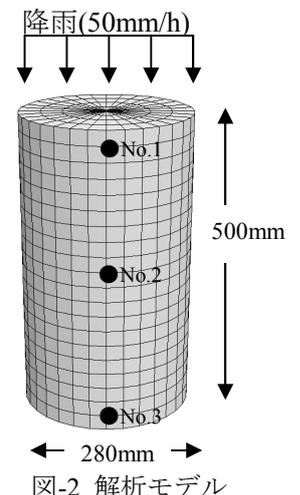


図-2 解析モデル

4. 透水試験による間隙水圧の測定

4.1 模型実験による間隙水圧の変化

含水比 6%のまさ土を、透水係数 1.87×10^{-3} cm/sec となるように締固め、降雨量 50mm/h、底面の境界条件を非排水とした供試体で透水試験を実施した。発生間隙水圧の経過時間変化の実験結果を図-3 に示す。供試体上部から雨水が浸透し、先に中央部測定箇所では間隙水圧が発生した後、底面から飽和状態に近づくため、中央部間隙水圧から値が上昇し、最終的には下部間隙水圧が高い値を示して収束するものと考えられる。

4.2 数値解析による間隙水圧の変化

実験と同様の条件で、モデル底面の境界条件を非排水、排水の 2 パターンで数値解析を実施した。結果を図-4、図-5 に示す。非排水時、排水時ともに、底面まで浸透した雨水が供試体内で上昇し、完全に飽和した状態の下部測定箇所から間隙水圧が発生している。その様子を図-6 に示す。

排水時は下面から空気が抜ける状態にあり、浸透流が空気を押し出すため、非排水時より浸透が早く進み間隙水圧が発生したと考える。また、非排水時は排水されない水の影響で間隙水圧が排水時よりも大きく作用していると考えられる。

4.3 模型実験と数値解析の比較

模型実験と数値解析による非排水時の発生間隙水圧の比較をする。同様の挙動を示したが、間隙水圧の発生時間と収束間隙水圧値において差異がみられた。模型実験では、総降雨量のすべてが浸透するわけではなく、供試体外に流出する水が確認できたこと、透水係数が解析モデルでは一様であるのに対し、実験では土の締固めによる透水係数の管理に供試体内でのばらつきがあったことが、数値解析に比べて間隙水圧の発生時間が遅れた原因、また収束間隙水圧値の差であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、集中豪雨による浸透流が地盤内の間隙水圧分布に与える影響を模型実験と数値解析で間隙水圧の測定を行い、比較することで数値解析手法の有用性の検証を行った。今後は異なる土質や降雨量を用いて模型実験のパターンを増やし、同時に数値解析で検証することにより、さまざまな地盤環境下における集中豪雨による浸透流の斜面崩壊評価のひとつの指標根拠として適用することを目指す。さらに間隙空気圧を考慮した二相流解析の検討を行う予定である。

参考文献

1) 菊本祐太郎 他：集中豪雨による浸透流を考慮した斜面崩壊メカニズムの解明，土木学会西部支部研究発表講演概要集，p 381-382, 2010.

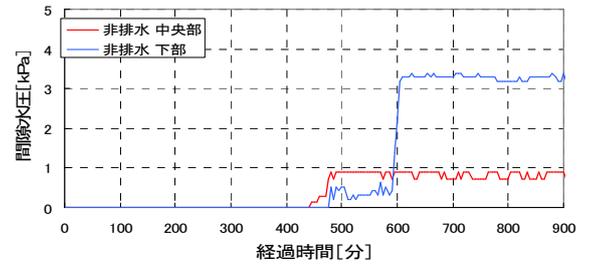


図-3 実験による発生間隙水圧の経時変化

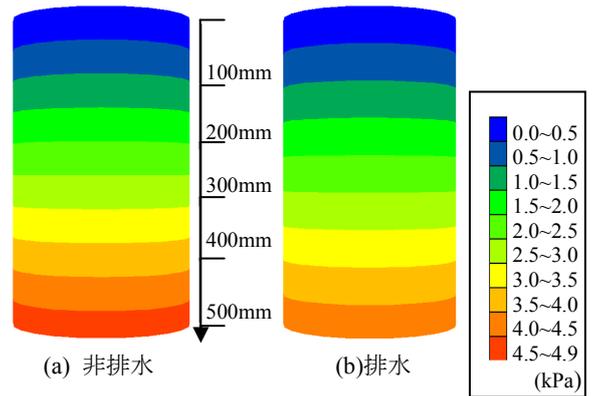


図-4 間隙水圧の分布(360分)

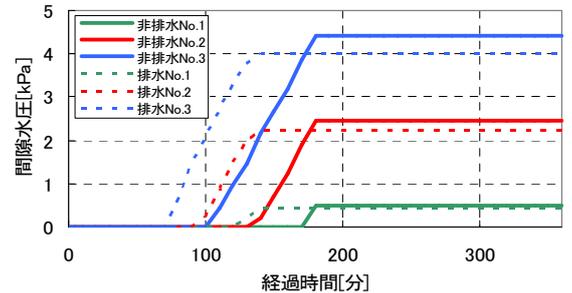


図-5 解析による発生間隙水圧の経時変化

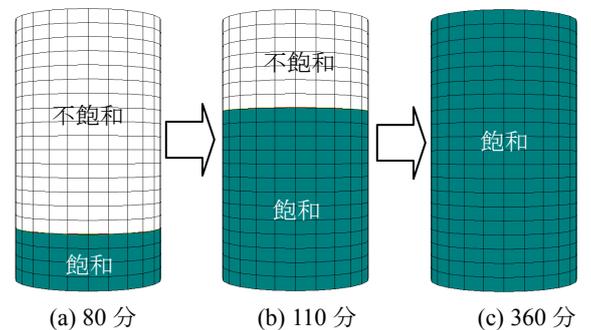


図-6 浸潤面の変化 (排水)