

斜面への雨水浸透に関する数値解析

鹿児島大学工学部 学生会員 ○宮里紗世
 鹿児島大学大学院 学生会員 松元真一
 鹿児島大学工学部 正会員 北村良介
 JR 東日本 安全研究所 フェロー会員 島村 誠
 JR 東日本 安全研究所 外狩麻子

1. はじめに

豪雨時の斜面の崩壊要因として、雨水が浸透し、土塊の自重の増加と土中の含水比が増加することによるサクシンの低下が挙げられる。しかし、サクシンの変化に伴う見掛けの粘着成分の変化を時々刻々と評価して、降雨時の斜面の安定性を定量的に評価する方法は未だ確立されていない。そこで松尾ら¹⁾は、降雨に伴う斜面崩壊を予知するためのシステムの開発を目指し、不飽和土の間隙水の浸透挙動に対する数値力学モデルを提案している。

本報告では、JR 東日本武蔵野線付近の鉄道盛土斜面を対象とし、室内土質試験と現地計測データをもとに数値解析を行い、計算結果について考察を加えている。

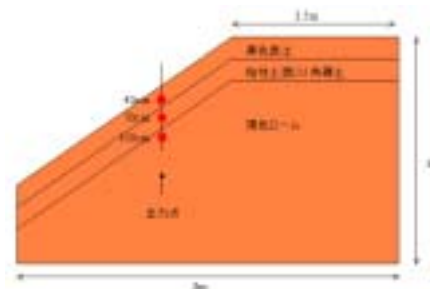


図-1 対象斜面

表-1 入力パラメータ

試料	黒色表土	粘性土混じり角礫土	褐色ローム
土粒子の密度(g/cm^3)	2.708	2.733	2.672
水の表面張力(N/m) (水温15 時)	73.48×10^{-3}		
水の粘性係数($Pa \cdot s$) (水温15 時)	1.138×10^{-3}		
分割数	360		
円管の傾き θ の p.d.f. の最低高さ z_c	0.159		
間隙比	0.95	0.98	2
粒径加積曲線データ数	18	18	16

2. 対象斜面

対象斜面を図-1に示す。計測した盛土斜面は、上層より黒色表土(第一層)、粘性土混じり角礫土(第二層)、褐色ローム(第三層)で構成されている。法面の深さ 40、70、100cm に TDR センサーを設置し、それぞれの深さの体積含水率を計測している。また、雨量と地中温度も同時に計測している。

3. 数値力学モデル

松尾らが提案する数値力学モデル¹⁾には、間隙モデル、粘着モデル、浸透モデルや斜面安定解析モデルがある。本報告では、室内土質試験結果より入力パラメータを決定し、間隙モデルから水分特性曲線や体積含水率-不飽和・飽和透水係数の関係を計算する。次に現地計測結果より初期条件・境界条件を決定し、浸透モデルによる2次元不飽和浸透解析を行っている。また、層状地盤の境界付近における浸透挙動の検討を行っている。

3.1 間隙モデルの計算結果

対象法面で採取した試料の室内土質実験結果を用いて、数値計算を行った。間隙モデルに用いた入力パラメータを表-1に示す。図-2、3に土質試験から得られた黒色表土の水分特性曲線と体積含水率-不飽和・飽和透水係数関係と間隙モデルから得られたそれらの計算結果を示している。実線は計算結果、 $\square$ ・ $\triangle$ ・ $\circ$ 印は実験結果である。図-2の水分特性曲線の計算結果と実験結果はほぼ一致しているが、低い飽和度領域において実験結果とのずれが見られる。図-3体積含水率-不飽和・飽和透水係数関係において計算結果と実験結果は一致している。しかし、実験プロットが定水

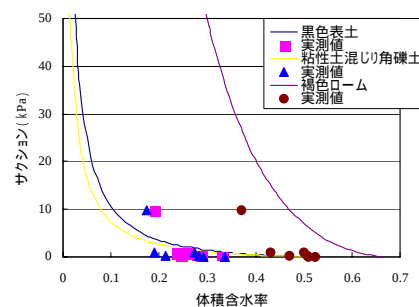


図-2 水分特性曲線

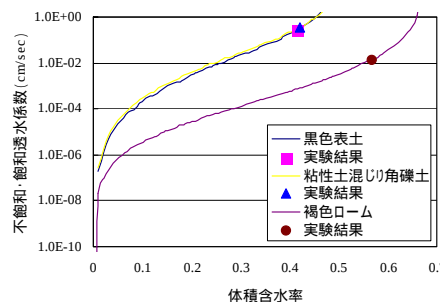


図-3 体積含水率-不飽和・飽和透水係数関係

位透水試験の透水係数のみのため、低い体積含水率領域におけるモデルの妥当性の検討を行うことができていない。

3.2 浸透モデルの計算結果

図-1 に示す対象斜面の模式図を解析領域とした。上面 3.5m、底面 8m、高さ 5m、表層付近のメッシュ幅を 5cm とした。また、境界条件を天端部と斜面部を降雨条件、底面を排水条件とした。図-2、3 に示された水分特性曲線および体積含水率-不飽和・飽和透水係数関係の計算結果を適用している。数値計算では、2003 年 8 月 26 日 16:00 から 8 時間の 10 分間雨量を用いた。以上の条件より地表面から 40cm、70cm、100cm の深さにおける間隙水圧を計算し、図-2 の関係より体積含水率を求めている。

図-4 に実測結果と 2 次元浸透解析の結果を示す。横軸に時間を取り、縦軸にそれぞれ体積含水率、10 分間雨量をとっている。実測値は降雨と共に 40、70、100cm の順に反応を示し、無降雨時には地盤内の含水量が低下していく様子が分かる。計算結果においても、降雨と共に 40、70、100cm の深さで反応し、同様な挙動を示している。しかし、実測値と比べると浸透の時間にずれが見られる。

次に、土層境界付近の浸透挙動を検討するため、解析領域を中心高さ 150cm、底面 50cm とし、境界条件は斜面部を降雨条件、底面を排水条件、右側面を非排水条件とし、左側面を排水条件と非排水条件の 2 つの条件で解析を行った。図-5 の(a)、(b) に解析結果を示す。(a) は排水条件、(b) は非排水条件の解析結果である。解析開始 30 分後ではほぼ同じ挙動を示しているのに比べ、7 時間後では排水条件で水が流れ去り、非排水条件で水が第三層まで浸透している様子が見られる。

土層境界付近のメッシュ幅を変えていき、浸透状況の比較・検討を行った。結果を図-5 の(c) に示す。(c) は境界付近のメッシュ幅 1.25cm、底面非排水条件の解析結果である。図-5 の非排水条件(b)と比較すると、解析開始 30 分後では大きな違いが見られないのに比べ、7 時間後にはメッシュ幅 1.25cm が第三層まで浸透していない様子が見られる。すなわち、メッシュの大きさに依存した浸透挙動を示している。今後は土層境界付近の不飽和浸透解析における最適なメッシュサイズについて検討する必要がある。

4. おわりに

本報告では武蔵野線現地データをもとに数値力学モデルを用いて浸透解析し、解析結果と現地計測結果の比較・検討を行った。また層状地盤の境界条件の差異が浸透挙動に及ぼす影響について検討を行った。その結果、有限要素を用いた層状地盤の不飽和浸透解析において、計算結果が土層境界付近のメッシュサイズに依存することが明らかになった。今後は精度の良い現地計測結果、室内模型土槽試験結果と数値計算結果を比較することによって、土層境界付近の最適なメッシュサイズの検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 松尾和昌、酒匂一成、北村良介: 斜面崩壊予知戦略 - 南九州シラス地帯を例として -、自然災害科学、21 - 1、pp.25 - 33、2002。

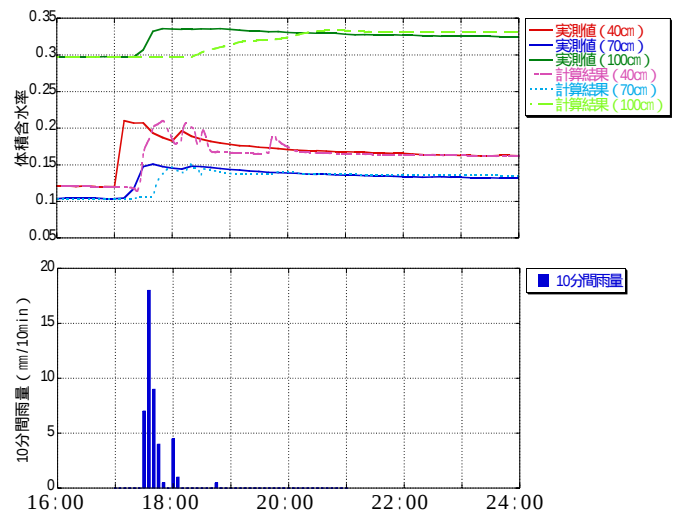


図-4 体積含水率・雨量の時系列変化

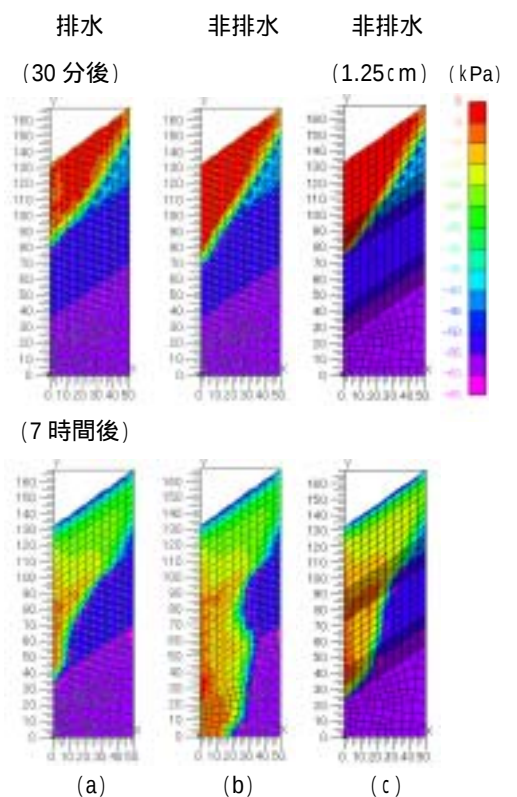


図-5 間隙水圧のコンター図