不飽和浸透模型実験の空気～水～土骨格連成有限変形シミュレーション

名古屋大学　学生会員　○吉川　高広　フェロー会員　野田　利弘
名城大学　正会員　小高　猛司　正会員　崔　瑛

１．はじめに

飽和・不飽和状態にある土の浸透も変形も扱える空気～水～土骨格連成有限変形解析コード[1)]を用いて，不飽和浸透模型実験のシミュレーションを行い，本解析コードの浸透破壊シミュレーションへの適用可能性を検証した．

２．浸透模型実験の概要と解析条件

図-1 はシミュレーションに用いた解析断面を示していて，浸透模型実験と同スケールに設定している．浸透模型は，地盤部分と盛土部分から成る．左右で高さを変えて土を積み上げた後に，高く積み上げた方の土塊の左上端の三角形（三角柱）部分を削りとることで盛土を作成し，解析においてもその過程を再現している．その後，右端の水頭を 46cm で常にオーバーフローさせながら浸透させていく．用いた土材料は三河珪砂 6 号で，表 1 は解析に用いた土骨格の構成式（SYS Cam-clay model[2)]）に関する材料定数を示す．初期の間隙比（1.0 ; 実験と同じ値）と構造の程度を一定として，初期応力を自重を考慮して与え，初期の過圧密比を未知数として計算している．水分特性曲線に関する材料定数は紙幅の都合上省略するが，水分特性曲線と透水係数～飽和度関係を図-2 に示す．初期飽和度は実験と同じ 8%で与えた．初期間隙空気圧は 0kPa で与え，初期間隙水圧は初期飽和度 8%に相当するサクションから算出して与えた．地盤部分の幾何的境界条件は，下端を水平・鉛直固定，側面を水平固定とする．盛土部分の幾何的境界条件は，右端を水平固定とする．水理・空気境界条件は，底面は非排水・非排気境界，右端は 46cm の水頭境界と非排気境界，地表面と盛土表面は浸出面境界（境界の外へ流出する場合は水圧＝大気圧＝0，それ以外の場合は非排水境界）と排気境界，左端は浸出面境界と非排気境界に設定した．

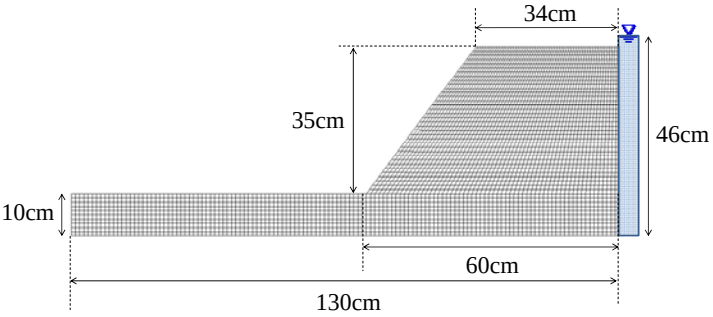


図-1　解析断面（平面ひずみ条件）

表-1　構成式に関する材料定数

			珪砂6号
弾塑性パラメーター	NCLの切片	N	1.98
	限界状態定数	M	1.0
	圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	0.05
	膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	0.012
	ポアソン比	ν	0.3
発展則パラメータ	正規圧密土化指数	m	0.06
	構造劣化指数	a	2.2
	構造劣化指数	c_s	1.0
	回転硬化指数	b_r	3.5
	回転硬化限界定数	m_b	0.7
初期値	構造の程度	$1/R^*_0$	4.0
	応力比	η_0	1.0
	間隙比	e_0	1.0
	異方性の程度	ζ_0	0.545
土粒子密度		ρ^s	2.65

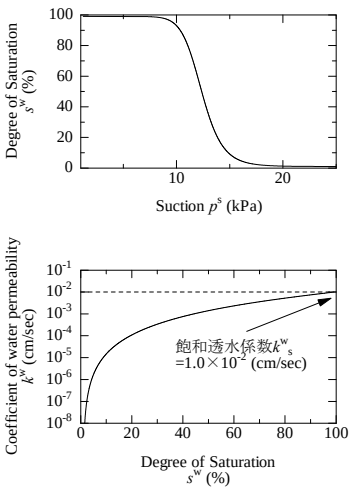
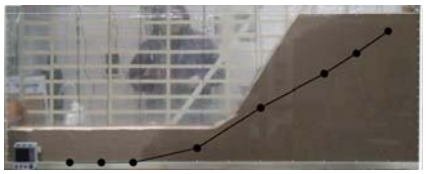


図-2　水分特性曲線と透水係数～飽和度関係

３．解析結果

地盤と盛土を作成する過程の解析結果は紙幅の都合上省略し，浸透過程のみを本稿では示す．図-3 は実験時の浸透過程の様子，図-4 は解析結果の飽和度分布を示す．ただし，図-3 には模型底部で計測した水圧値を水頭換算した値をプロットし，その点をつないだ直線を併記している．図-3 と図-4 を見比べると，下から浸透が進む様子や，同時刻に対する浸潤面の位置など，解析結果は実験結果をよく再現できている．ただし，実験では図-3 で示したように浸透開始 17 分後に法尻付近から崩壊し始めたが，今回の解析条件では実験と同様の崩壊はしなかった．図-5，図-6，図-7 はそれぞれ間隙水圧，平均有効応力，せん断ひずみの浸透開始 15 分後と 45 分後のコンター図を示す．

キーワード　不飽和土，浸透破壊，連成解析
連絡先　〒464-8603　名古屋市千種区不老町工学部 9 号館 318 室　ＴＥＬ052-789-4483



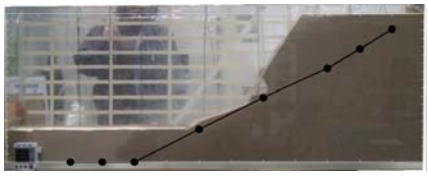
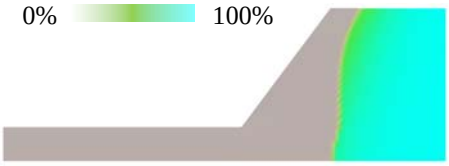


図-3　実験時の浸透過程の様子



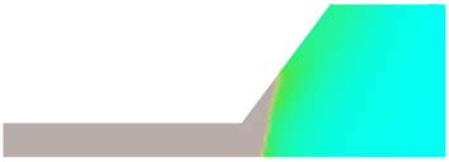
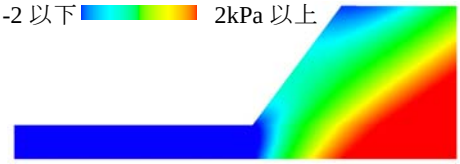


図-4　飽和度分布（解析結果）



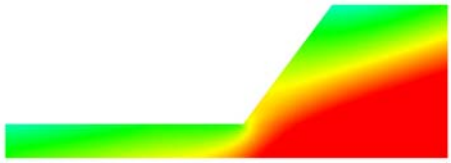
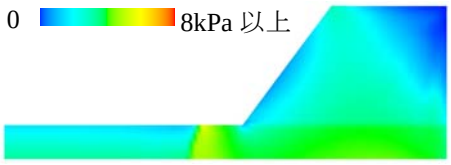


図-5　間隙水圧分布（解析結果）



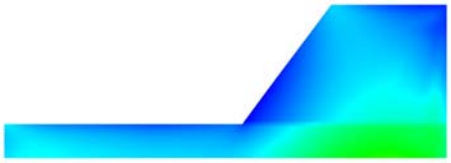
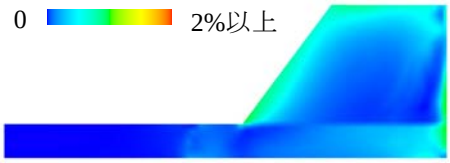


図-6　平均有効応力分布（解析結果）



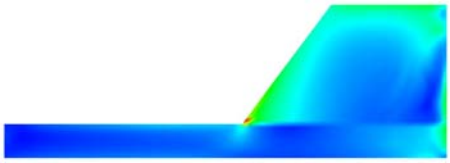


図-7　せん断ひずみ分布（解析結果）

間隙水圧のコンター図の 15 分後と 45 分後を見比べると，45 分後には法尻付近の水圧が高く，その結果平均有効応力の減少，せん断ひずみの増加が見られる．図-3 の 17 分後の実験結果を見ても，崩壊し始めた法尻付近では水圧値が高い．このように，実験と解析の両方で，法尻付近の水圧が上昇し，有効応力の減少とせん断ひずみの増加が見られたことは，本解析コードが浸透破壊シミュレーションへの適用可能性が高いことを示している．実験と解析で変形が大きく出始めた時間が異なることに対しては，実験において模型の外から観察される浸潤面位置での飽和度がどの程度であるかを踏まえながら，解析結果を検証していく必要がある．

4．おわりに

本手法は空気の流れも考慮できる三相系解析手法であるため，今後は，実構造物解析を行うに当たって，空気が地盤の外に排出できない場合の影響も考えていく．また運動方程式を解いているため，地震と降雨の複合外力に対する土構造物の評価も行なっていく予定である．

謝辞：JSPS 科研費 21226012，25249064 と国土交通省 H25 年度河川砂防技術研究開発の助成を受けた．謝意を表します．

参考文献　1) Noda and Yoshikawa (2014): Soil-water-air coupled finite deformation analysis based on rate-type …, S&F, to be submitted.
2) Asaoka et al. (2002): An elasto-plastic description …, S&F, 42(5), 47-57.