

液状化解析法の高度化に関する研究

—飽和-不飽和地盤材料の動的変形局所化のモデルと解析—

岡二三生*・木元小百合**

1. 研究の目的

土の変形破壊の前兆として地盤材料の変形の局所化の研究はこれまで多くなされてきたが、動的かつ不飽和の材料に対するものは少ない。本研究では、空気—水—土からなる3相不飽和土の変形の局所化について updated Lagrangian スキームによって解析するモデルを提案し、動的な荷重下での変形の局所化特性を飽和材料との比較で明らかにした。

2. 研究の方法

空気—水—土の3相系の支配方程式を多孔質体の質量保存則、運動量保存則を用いて定式化した。支配方程式としては、各相の質量保存則と運動量保存則を用いるが、最終的には、多孔質体全体の質量、運動方程式と液相、気相の連続式を用いる。構成式の定式化には分応力と骨格応力を用いた弾粘塑性構成式を用いた。数値解析では、動的有限要素解析法を用いた。速度と間隙水圧を未知数とする u-p 定式化をコーシー応力の Jaumann 速度を採用し、updated Lagrangian method を用いて支配方程式の弱形式を構成した。構成式は非線形移動硬化則を用いた繰り返し弾粘塑性構成式 (Kimoto ら 2015) である。解析に用いたパラメータを表-1 に示す。

3. 得られた成果

表—1 土材料定数

Initial void ratio	e_0	1.250
Permeability (m/s)	k	5.77×10^{-10}
Coefficient of earth pressure at rest	K_0	1.0
Overconsolidation ratio	OCR	1.00
Density (t/m^3)	ρ	1.66
Compression index	λ	0.341
Swelling index	κ	0.019
Initial elastic shear modulus (kPa)	G_0	15040
Initial mean effective stress (kPa)	σ_{m0}	200
Initial pore water pressure (kPa)	p_0	100
Initial value of σ_{ma}	σ_{mai}	200
Stress ratio at compression ⁾	M_m^*	1.24
Viscoplastic parameter (kPa)	σ_{mk}^*	1.0
Viscoplastic parameter	m'	24.68
Viscoplastic parameter (1/s)	C_1	1.00×10^{-5}
Viscoplastic parameter (1/s)	C_2	3.83×10^{-6}
Structural parameter (kPa)	σ_{maf}^*	60
Structural parameter	β	3.6
Kinematic hardening parameter	B_0^*	100
Kinematic hardening parameter	B_1^*	40
Kinematic hardening parameter	C_f	10
Reference value of plastic strain (%)	$\gamma^{ps*} (0.1r)$	1.25
Strain-dependent parameter of G	α	10
Scalar hardening parameter	A_2^*	5.9
Scalar hardening parameter	B_2^*	1.8
Permeability constant	C_k	1.0
Suction dependent parameter	S_1	0.5
Suction dependent parameter	S_d	0.25

表—2 間隙流体の材料定数

Water permeability coefficient under saturated conditions(m/s)	k_z^w	5.77×10^{-10}
Gas permeability coefficient (m/s)	k_z^g	1.00×10^{-3}
Van Genuchten parameter(1/kPa)	α	0.033
Van Genuchten parameter	n'	1.038
Minimum saturation	S_{rmin}	0.0
Maximum saturation	S_{rmax}	0.99
Shape parameter of water permeability	a	3.0
Shape parameter of gas permeability	b	2.3

*京都大学・名誉教授, **同・准教授

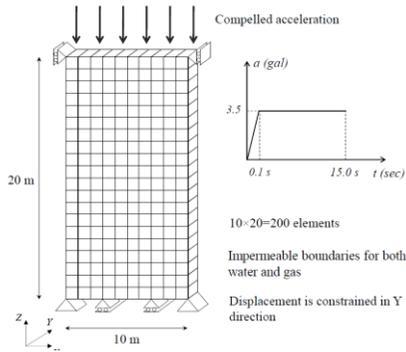


Fig.1 有限要素と境界、入力加速度条件

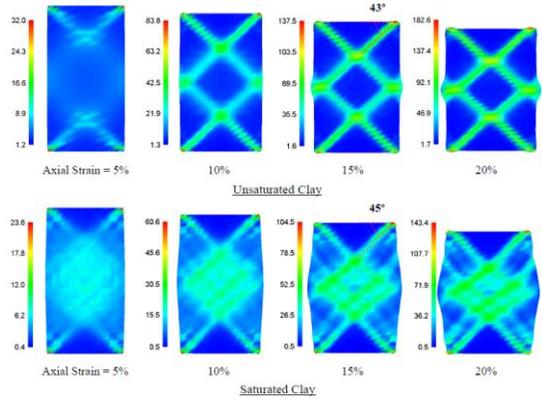


Fig.2 蓄積粘塑性せん断ひずみ

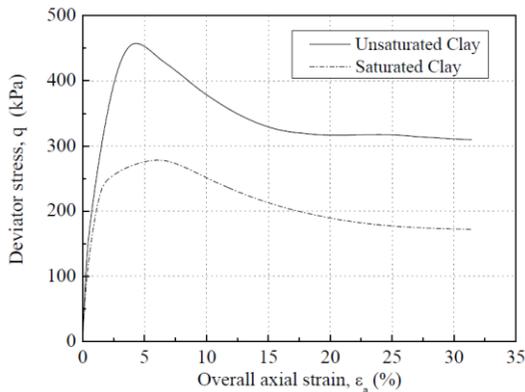


Fig.3 飽和—不飽和材料の平均応力—ひずみ関係

表-1、表-2 の材料定数を用い、図-1 のモデルで解析を行った。その結果を図-2 と図-3 に示す。飽和材料と不飽和材料で変形の局所化パターンは類似であるが、不飽和材料では局所化がより明瞭である。この理由は、不飽和材料はキャピラリーによるサクシオンによって強度は大きくなるが、水分によって構造の劣化が発生し、ひずみ軟化が顕著であることによると考えられる。

4. 結論

飽和材料と不飽和材料で変形の局所化パターンは類似であるが、不飽和材料では局所化がより明瞭である。この理由は、不飽和材料はキャピラリーによるサクシオンによって強度は大きくなるが、水分によって構造の劣化が発生し、ひずみ軟化が顕著であることによると考えられる。

5. 謝辞 Univ. of New Castle (元京都大学大学院生) Babak.Shahbodagh Khan 氏との助力を得た記して謝意を表します。

発表論文

岡 二三生,木元小百合,Babak Shahbodagh Khan,飽和-不飽和地盤材料の動的変形局所化のモデルと解析,日本材料学会第 67 期学術講演会講演集,517,pp.285-286,2018.

参考文献

Kimoto S, Shahbodagh KB, Mirjalili M, Oka, F. Int. J. Geomechanics,; 2015, 15 (5): A4014005,1-14.