

保水性の異なる不飽和砂質土の静的せん断挙動解析

茨城大学大学院(現パシフィックコンサルタンツ株式会社) 学生会員 西丸あずさ
茨城大学 正会員 村上 哲 正会員 小峯秀雄 学生会員 安島史征

1.はじめに 降雨時の斜面崩壊メカニズムのひとつに不飽和型の崩壊がある¹⁾。これは、斜面内に雨水が浸透し、サクシジョンの低下に伴う強度の低下が起因して崩壊に至るものである。不飽和型のメカニズムを解明するためには、土質に応じたサクシジョンと強度特性の関係を把握する必要がある。不飽和土のせん断特性に関する研究は、シルトや粘土などを対象に実施され、不飽和砂質土を対象とした研究はそれらに比べて少ない。そこで、著者らは、不飽和砂質土の静的せん断特性について検討を行ってきた^{2, 3)}。本稿では、保水性の異なる不飽和砂質土の静的せん断特性に及ぼすサクシジョンの影響を把握し、それらを、弾塑性構成モデルを用いて解析した結果について報告する。

2.本研究で使用する土質材料の粒度特性および保水性

本研究では、土質特性の異なる2種類の試料(桜川砂, まさ土)を用いた。各試料の基本的性質を表1に示す。また、図1に各試料のサクシジョンと飽和度の関係を示す。表1および図1より細粒分含有率が高いほど保水性が高い傾向がみられる。したがって、使用した試料においては、まさ土、桜川砂の順に、不飽和状態において、サクシジョンの作用による有効応力増分の大きな試料であると考えられる。

表1 各試料の基本的性質

土質特性	桜川砂	まさ土
工学的分類(小分類)	細粒分 まじり砂	細粒分 質砂
土粒子の密度(g/cm ³)	2.672	2.649
細粒分含有率 Fc(%)	5.7	16.0
平均粒径 D ₅₀ (mm)	0.39	0.48
均等係数 U _c	3.1	40.0

3.不飽和砂質土の静的せん断挙動評価

3.1 不飽和砂質土のサクシジョン一定三軸圧縮試験概要

本研究では、不飽和砂質土のサクシジョン一定三軸圧縮試験(以下、s一定三軸圧縮試験と称す。)より、保水性が不飽和砂質土の静的せん断特性に及ぼす影響について考察する。試験方法を以下に述べる。供試体は、直径50 mm、高さ100 mmの供試体を、締め固め作製した。試験方法は、まず、目標サクシジョン(s)を負荷し、 $p_{net}=98 \text{ kPa}$ まで等方圧密する。圧密後の供試体状態を本試験の初期状態とした(表2参照)。次に、平均基底応力(p_{net})およびサクシジョンを一定に制御し、軸ひずみ速度0.05%/minで排気・排水せん断を行った。

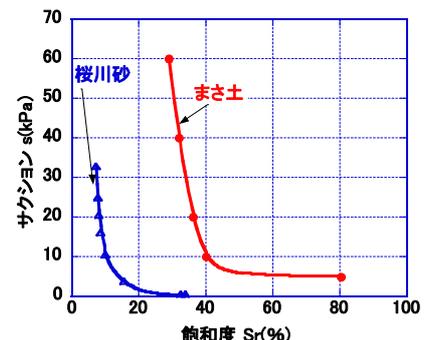


図1 各試料のサクシジョンと飽和度の関係

3.2 村上らの提案した弾塑性構成式

村上らの提案した弾塑性構成式を用いて三軸圧縮試験のシミュレーションを実施した。村上らの提案した弾塑性構成式⁴⁾は、降伏関数に修正 Cam-clay モデルを用い、サクシジョンの作用による有効応力の増加と降伏曲面の拡大を仮定している。また、構成式には下負荷面の概念^{5)・6)}を導入し、弾性状態から弾塑性状態への滑らかな推移を表現可能とした。さらに、せん断時の異方性の影響を考慮するため、回転硬化の概念⁵⁾を取り入れている。解析に用いるパラメータは、表3に示すとおりである。

3.3 弾塑性構成式を用いた不飽和砂質土の静的せん断挙動評価

図2の実線で示したものが、s一定三軸圧縮試験より得られた応力～ひずみ関係である。まさ土は、桜川砂と比較してサクシジョンの低下に伴う強度低下の大きな試料であることが分かる。これは、保水性の高い試料ほど、サクシジョンの作用による有効応力の増加が大きいため、サクシジョンが低下する事による強度低下が大きいと考えられる。

キーワード：不飽和砂質土 せん断特性 構成式

連絡先：〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL 0294-38-5174 茨城大学工学部都市システム工学科

表 2 s一定三軸圧縮試験せん断開始時の供試体状態

	s(kPa)	Sr(%)	e
	サクシオン	飽和度	間隙比
桜川砂	0	100	0.99
	29.4	14.6	0.92
	49	14.8	0.91
まさ土	0	100	0.55
	5	80.4	0.58
	40	32	0.58
	60	29	0.55

表 3 数値シミュレーションに用いる各試料の材料パラメータ

材料パラメータ	桜川砂	まさ土
圧縮指数	0.0389	0.03188
膨張指数	0.0148	0.007923
限界状態応力比	1.31	1.52
ポアソン比	0.30	0.30
下負荷面パラメータ μ_R	300	130
応力誘導異方性パラメータ μ_d	s=0kPa: 0.0512	s=0kPa: 0.01507
	s=14.9kPa: 0.0202	s=5kPa: -0.023
	s=49kPa: 0.0048	s=40kPa: -0.0397
		s=60kPa: -0.0541
回転硬化パラメータ m	20	4

続いて、村上らの弾塑性構成式を用い、不飽和砂質土の s一定三軸圧縮試験の数値シミュレーションを行った。不飽和桜川砂および不飽和まさ土のサクシオン毎の静的せん断特性ついて、実験結果と弾塑性構成式⁴⁾を用いた解析結果とを比較する。

図 2 の実線で示したものが、解析より得られたサクシオン毎の応力～ひずみ関係である。解析結果および実験結果の比較より、不飽和桜川砂の応力～ひずみ関係に関しては、s=49kPa のケースを除き概ね表現でき

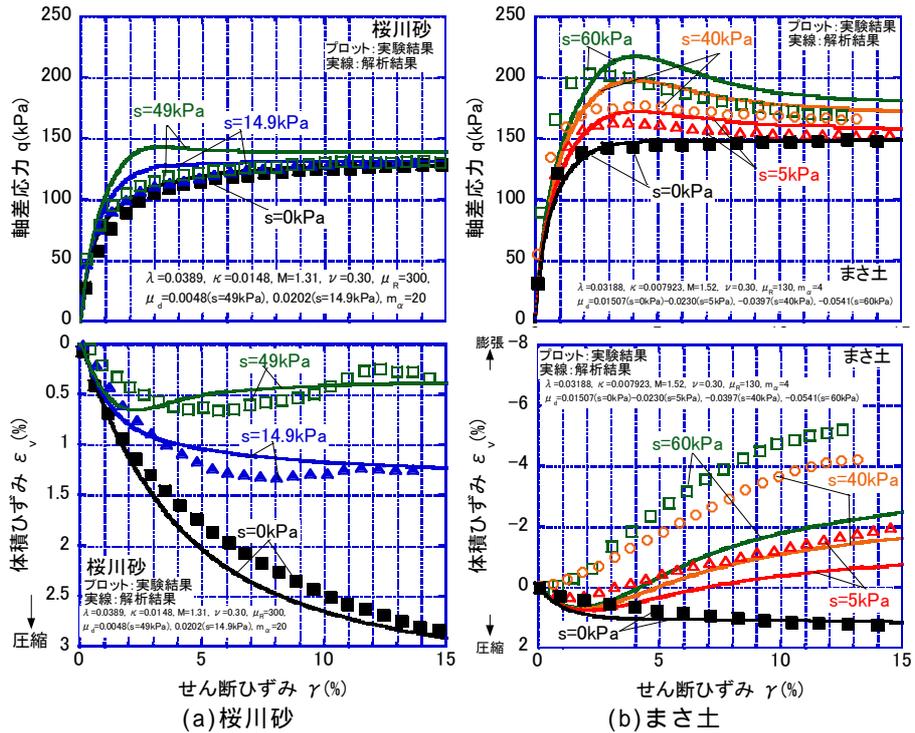


図 2 不飽和砂質土の応力～ひずみ関係

(プロットは実験結果，実線は解析結果を示す。)

ている事が分かる。不飽和まさ土に関しても、ダイレイタンスについては、解析結果は実験結果よりも低い値を示す傾向にあるが、軸差応力～せん断ひずみ関係については、実験結果と一致する傾向が見て取れる。いずれのケースもサクシオンの作用による有効応力の増加および強度増加を、保水性を考慮して表現できているといえる。したがって、水浸によるせん断挙動は、村上らの提案した弾塑性構成式を用いる事により定性的ではあるが予測可能であると考ええる。

4. 結論 不飽和砂質土の静的せん断挙動は、サクシオンの増加による有効応力の増加、降伏曲面の拡大を仮定した弾塑性構成式⁴⁾の理論と一致する。よって、不飽和状態から飽和状態に移る過程のせん断挙動に関し、保水性の違いを考慮した予測を行う事ができると考える。

【参考文献】1) 地盤工学会 豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測編集委員会：地盤工学・実務シリーズ 23 豪雨時における斜面崩壊のメカニズムと危険度予測，社団法人 地盤工学会，pp.1-48, 2006.07. 2) 西丸あずさ，村上哲，安原一哉，小峯秀雄，布川直矢：不飽和状態における桜川砂の静的せん断特性，土木学会第 64 回年次学術講演会発表論文集，pp.667-668, 2009. 3) 西丸あずさ，布川直矢，村上哲，安原一哉，小峯秀雄：密詰め不飽和稲城砂の静的せん断特性に及ぼすサクシオンの影響，第 45 回地盤工学研究発表会発表論文集，2010. 4) Murakami, S., Mitsuyama, S., Yasuhara, K. and Komine, H.: An Elasto-plastic Model for Unsaturated Soil based on Sub-loading Surface and Rotational Hardening Concepts, Proc. Plasticity'05: 11th Int. Symp. Plasticity and its Current Applications, pp.280-282, 2005. 5) 橋口公一：下負荷面および回転硬化の概念に基づく土の弾塑性構成式，土木学会論文集，No.547/ -36, pp.127-144, 1996. 6) 橋口公一：最新弾塑性学，朝倉書店，1995.