

μX線CTを用いた不飽和砂の応力-ひずみ関係と内部構造変化の関係に関する研究

京都大学大学院 学生会員 吉田 竜也
 京都大学大学院 正会員 肥後 陽介
 京都大学大学院 正会員 松島 祥樹
 (現東海旅客鉄道)
 京都大学大学院 フェロー会員 岡 二三生

1. はじめに

不飽和砂を含む地盤材料の巨視的挙動と微視的挙動の関係を知ることは、変形・強度特性が発揮されるメカニズムを知り、連続体としてモデル化する場合にパラメータの物理的意味を理解する上で重要である。本研究では、密な不飽和豊浦砂の三軸圧縮試験を行い、その変形過程をμフォーカスX線CTで撮影した画像を用いて、巨視的な応力-ひずみ関係と内部構造変化の関係を研究した。実験は、サクシオンが一定の排気-排水状態とサクシオンが変化する排気-非排水状態で実施し、局所的な間隙比及び飽和度の変化と巨視的な応力-ひずみ関係の間にどのような関係があるかを考察した結果を示す。

2. 試験条件および試験結果

拘束圧はいずれも50kPaとし、水中落下法で供試体を作成した後一定のサクシオンを与えた排気-排水状態のものと、Moist-tamping法で供試体を作成したサクシオンの変化する排気-非排水状態のもの2つのケースについてひずみ速度0.5%/minの三軸圧縮試験を行った。軸ひずみ0%、2%、4%、6%、8%、12%、16%、20%の各段階において載荷を中断しμX線CT撮影を行っている。撮影にはμX線CT装置KYOTO-GEOμXCT(TOSCANER-32250μHDK)¹⁾を用いた。なお、撮影のvoxelサイズは三相割合評価のためのPartial CT scan²⁾では、 $4.2 \times 4.2 \times 7.0 \mu\text{m}^3$ 、供試体全体撮影では $76 \times 76 \times 120 \mu\text{m}^3$ となっている。図-1はそれぞれのケースの応力・体積ひずみ-軸ひずみ関係を示したものである。ピーク応力及び大ひずみでの応力に違いが表れていることが確認できる。応力-軸ひずみ関係のカーブの形状の違いには供試体作成方法の違いが影響していると考えられ、特にMoist-tamping法では脆性的な挙動を示すことが知られているが、供試体作成法による変形・強度特性の詳しい違いについては今後の検討課題である。

3. 巨視的な応力-軸ひずみ関係と内部構造変化の関係

まず、ピーク応力に上記のような差が出る原因の一つとして、初期飽和度(サクシオン一定:53.45%,サクシオン変化:59.95%)およびそれに伴う初期サクシオンの違いが考えられる。図-2はdry側の水分特性曲線上²⁾に各ケースの初期状態をプロットしたものである。サクシオン一定のケースでは排水過程で供試体を作成しているためdry側の水分特性曲線上に位置している(図-2の赤点)。一方、サクシオン変化のケースでは初期飽和度が既知であることと、間隙比が大きい(間隙比が大きくなるほ

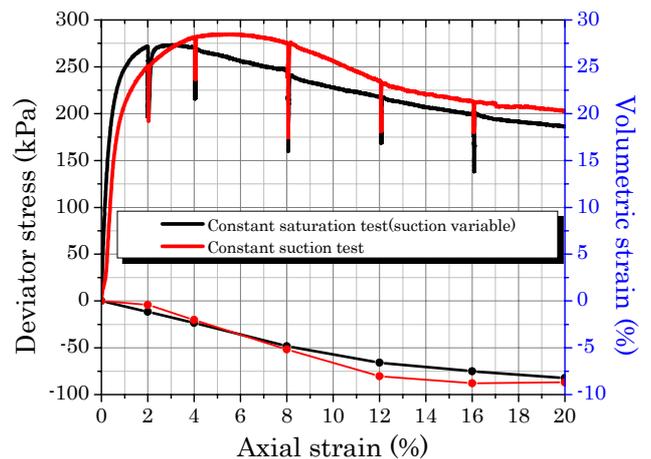


図-1 応力・体積ひずみ-軸ひずみ関係

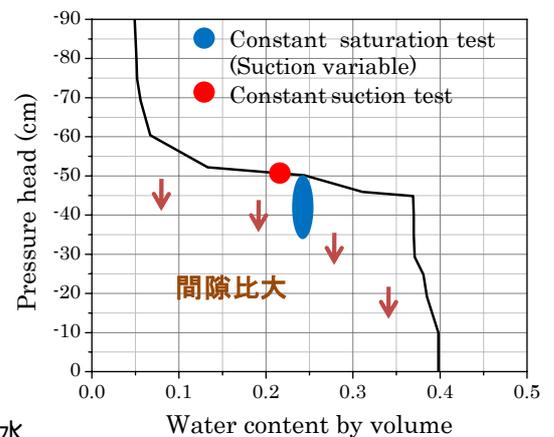


図-2 水分特性曲線(排水過程)

ど水分特性曲線は下に遷移する。)ことから図の青色のような範囲の中のどこかに位置していると考えられる。ただし、サクシオン変化のケースでは排水過程で供試体を作成していないため、水分特性曲線の dry 側上ではなく、ヒステリシス内に位置している可能性がある。

図-3 に軸ひずみ 20%時のサクシオン一定条件およびサクシオン変化条件の供試体の CT 画像を示す。また、図-4 は各 case のせん断帯内外の間隙比 - 軸ひずみ関係を、図-5 は飽和度 - 軸ひずみ関係を示したものである。なお、せん断帯内外の間隙比・飽和度の値は CT 画像解析を用いた三相割合評価³⁾によって求めている。

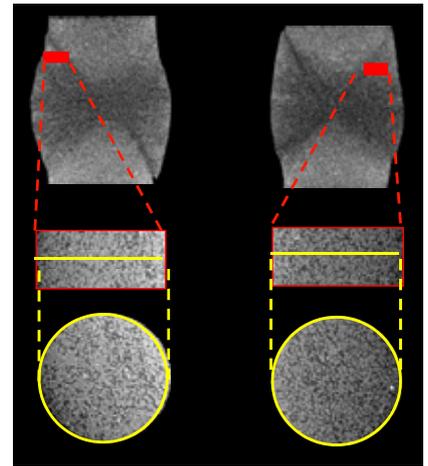


図-3 軸ひずみ 20%時の CT 撮影画像
サクシオン一定(左)とサクシオン変化(右)

次に、大ひずみでの応力について考える。図-4 と図-5 を比較すると軸ひずみ 20%の段階で Partial 撮影領域全体の間隙比はほぼ等しいのに対し、飽和度はサクシオン変化の供試体の方が約 5%上回っている。このことがピーク応力と同様にサクシオン一定条件のケースの方がサクシオン変化条件のケースよりも大ひずみで大きな応力となった一因と考えられる。

軸ひずみ 16% ~ 20%の限界状態では変形が局所化し、せん断帯に変形が集中していることから、巨視的な応力 - ひずみ関係に及ぼすせん断帯内部の微視的な構造、挙動の影響は大きいと考えることができる。今回の 2 つのケースでは軸ひずみ 20%におけるせん断帯内部の間隙比はサクシオン一定条件では 0.837、サクシオン変化条件では 0.870 となっており、サクシオン一定条件の供試体の方が粒子間が密であったために、せん断帯内部で有効なサクシオンが大きく、大ひずみで大きな応力を生み出す一因となったと考えられる。

またせん断帯外部に関しては、変形がせん断帯内部に局所化したことにより、間隙比が Partial 撮影領域全体と比べ小さい値となっている。

4. まとめ

異なる 2 条件での三軸圧縮試験に対して μX 線 CT 撮影を行い、各軸ひずみにおける供試体全体の密度低下領域・密度増加領域を可視化した。また、Partial CT scan により各軸ひずみにおける微細な粒子構造を可視化し、画像解析によりせん断帯内外の三相割合を評価した。それにより微視的な粒子構造と巨視的な応力 - ひずみ関係の検討を行い、限界状態でのせん断帯内部の構造と大ひずみでの応力 - ひずみ関係を示した。

今後の課題としては、初期間隙比、飽和度等を変え試験を行い、データを蓄積し、不飽和土の変形・強度特性に及ぼすサクシオンの影響を微視的視点から明らかにすること、供試体作製法が応力 - ひずみ関係に与える影響を検討すること等があげられる。

参考文献

1) Higo, Y., Oka, F., Kimoto, S., Sanagawa, T., and Matsushima, Y.: Soils and Foundations, 2011, to appear. 2) μX 線 CT による密詰め豊浦砂の保水性試験時の間隙水の可視化：松島，肥後，吉田，岡，木元，Salager，Bésuelle，Viggiani：第 46 回地盤工学会研究発表会，神戸，2011，7，発表予定．3) 三軸圧縮過程における不飽和砂の三相割合変化の μX 線 CT による定量的評価：肥後，松島，岡，木元，吉田，Hall，Viggiani：第 46 回地盤工学会研究発表会，神戸，2011，7，発表予定．

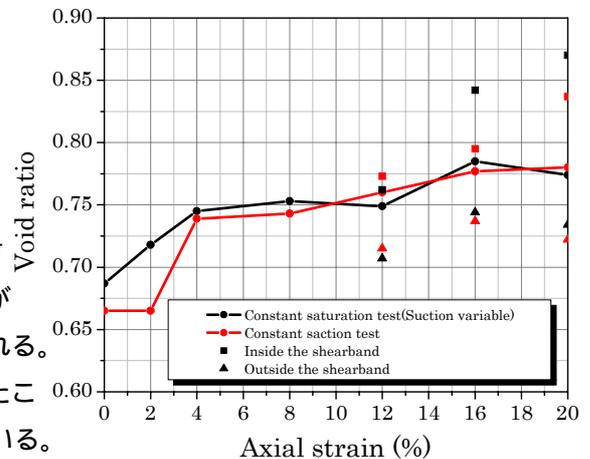


図-4 間隙比 - 軸ひずみ関係

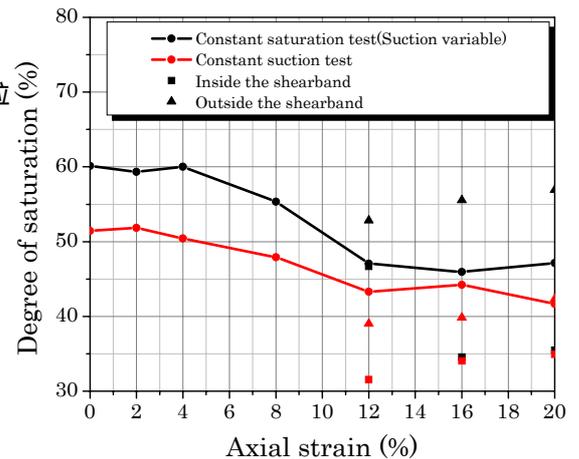


図-5 飽和度 - 軸ひずみ関係