

小型供試体を用いた一軸圧縮試験の強度特性

Strength Properties of Unconfined Compression Test Using Small Size Specimens

藤原 照幸 (ふじわら てるゆき)

(財)地域地盤環境研究所 神戸御影研究所

三上 武子 (みかみ たけこ)

応用地質(株) 技術本部

小泉 和広 (こいずみ かずひろ)

ダイヤコンサルタント(株) ジオエンジニアリング事業本部

1. はじめに

近年、情報機器・計測機器類の急速な性能向上により小型軽量かつ高精度のセンサー類が比較的安価で入手できるようになった。それらを導入することによって、小さな寸法の供試体に対しても十分な精度を有する力学試験の実施が可能となっている。

我が国では、試験方法が簡単で経済性に優れること、実際の破壊事例をうまく説明できる^{1),2)}ことから、粘性土のせん断強さを求める方法として一軸圧縮試験が広く用いられており、各種構造物基礎の設計基準においても、粘性土の非排水せん断強さ s_u を求める方法の一つとして規定されている^{3)~5)}。

小さな寸法の供試体から得られた結果が、標準的な寸法の供試体から得られた結果と同等であるならば、小さな供試体で試験を実施することにより、一軸圧縮試験の経済的メリットは、さらに高まると考えられる。

本稿では、「地盤調査・試験法の小型・高精度化に関する研究委員会」で実施した小型供試体による一軸圧縮試験の一斉試験〔①自然堆積土による一斉試験(委員会メンバーを対象)、②再構成粘性土による一斉試験(委員会メンバーと一般会員を対象)〕の結果に基づき、一軸圧縮試験の供試体を小型化した場合の問題点を抽出するとともに、適用範囲について検討を行った。小型供試体により一軸圧縮試験を実施する上での問題に関するアンケート結果については本号で三上ら⁷⁾が別途報告している。また、一斉試験の詳細な結果については研究委員会の報告書⁶⁾にまとめられているので、そちらを参照されたい。

2. 試験概要

2.1 試験試料

用いた試料は、固定式ピストン式シンウォールサンプラーおよびロータリー式二重管サンプラーによって採取した不攪乱自然堆積土と市販の粉末粘性土を再構成した試料である。試料の物性の範囲を表-1に、試料の概要を以下に示す。

① 自然堆積土

茨城県の内陸部において採取した不攪乱試料(沖積粘性土, 洪積粘性土, 有機質土)

表-1 試料の物性

試料	$\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	$w_n(\%)$	$w_L(\%)$	$w_p(\%)$
沖積粘性土	2.65-2.70	120-150	120-145	45-55
洪積粘性土	2.65-2.70	73-93	100	40
有機質土	1.75-2.00	390-640	360-650	160-280
再構成 NSF	2.71	30-52	57	30

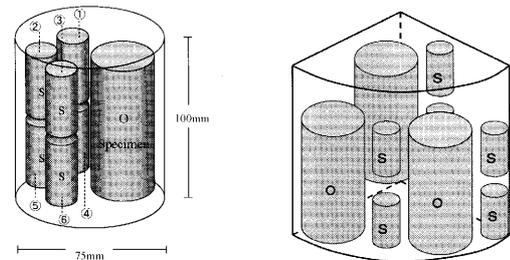
(a) ϕ 75mm サンプル(b) 再構成試料(ϕ 200 の 1/4 円)

図-1 供試体の切り出しの一例

② 再構成粘性土

粉末 NSF クレイを液性限界 w_L の 2 倍の含水比 ($w_n = 114\%$) でよく練り混ぜたのち、大型の圧密モールド内で $400 \text{ kN}/\text{m}^2$ まで段階的に圧密した試料

2.2 試験方法

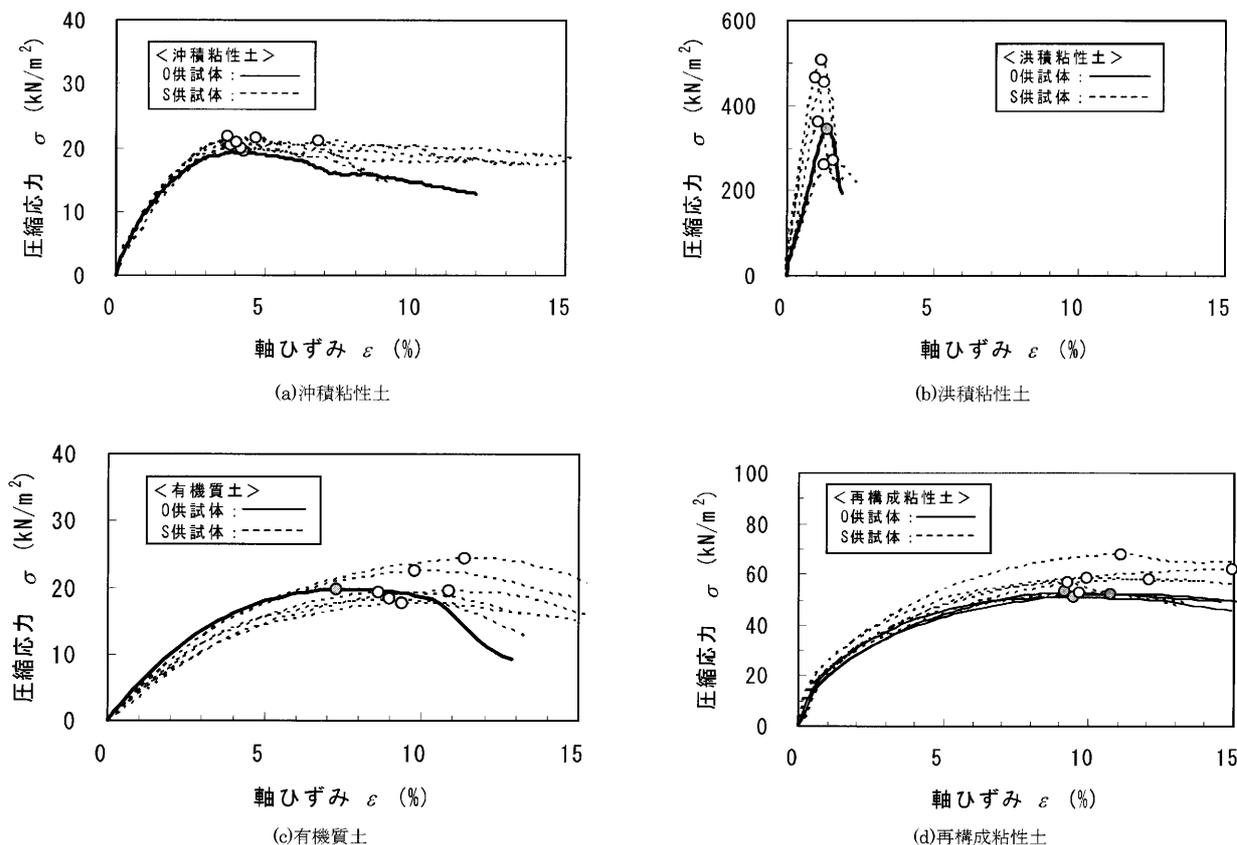
試験は JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」に準拠するものとし、口絵写真-12に示す小型 ($d 15 \times h 35 \text{ mm}$), 標準 ($d 35 \times h 80 \text{ mm}$) 供試体による比較試験を次の仕様で実施した。なお、試料送付に併せて小型寸法供試体について留意すべき点を記した「小型一軸圧縮試験方法のマニュアル」⁶⁾を各実施機関へ配布している。

1) 試験数量

- 標準寸法 (以下, O 供試体) $d 35 \times h 80 \text{ mm}$:
1 供試体 [自然堆積土], 3 供試体 [再構成粘性土]
- 小型寸法 (以下, S 供試体) $d 15 \times h 35 \text{ mm}$:
6 供試体 [自然堆積土, 再構成粘性土]

2) 供試体の切り出し方法

切り出し例(図-1)を参考にして所定個数の供試体を切り出す。



図—2 応力-ひずみ関係の代表例

3. 試験結果

図—2は、それぞれの試料から得られた代表的な圧縮応力-ひずみ関係を示している。

沖積粘性土は、O供試体とS供試体でほぼ同じ応力-ひずみ関係を示し、一軸圧縮強さ q_u や変形係数 E_{50} に差異は認められない。

洪積粘性土は、比較的小きなひずみで圧縮応力がピークとなり、その後脆性的な破壊挙動を示している。サンプリング時の応力解放によってクラック型の乱れ⁸⁾が生じていると考えられ、個々の供試体の含水比には差異がないにもかかわらず、 q_u 、 E_{50} のばらつきは大きい。平均的にはS供試体がやや大きめの q_u 、 E_{50} を与えるようである。

有機質土と再構成粘性土では、ひずみの増加とともに圧縮応力がゆるやかに増加する傾向がみられる。有機質土は、未分解の繊維質が多く残っていたことからO供試体とS供試体とも軸圧縮中に間隙水の滲み出し（1%/minのひずみ速度では非排水条件を満足できない）が観察された。有機質土の q_u は相対的に排水距離の短いS供試体がやや大きい、逆に E_{50} はS供試体で小さくなる傾向が見られる。再構成粘性土はS供試体の方が q_u 、 E_{50} ともやや大きくなる傾向が見られるが、その要因については更なる検討が必要である。

亀井ら⁹⁾は、海成粘土について直径10~50 mmの供試体について一軸圧縮試験を行い小さな供試体ほど q_u 、 E_{50} とも大きくなることを示している。また、常田ら¹⁰⁾

も陸成の再構成粘性土について同じ直径10~50 mmの供試体について一軸圧縮試験を行い、塑性指数が大きい土に対しては、直径が35 mm以上であれば一軸圧縮強さはほぼ一定値を示すことを報告している。

しかし、亀井ら⁹⁾、常田ら¹⁰⁾の結果については、直径 $d=10, 20$ mmの供試体をトリミングでなく、ステンレス製サンプリング装置で成形しており、その影響を受けているとも考えられる。

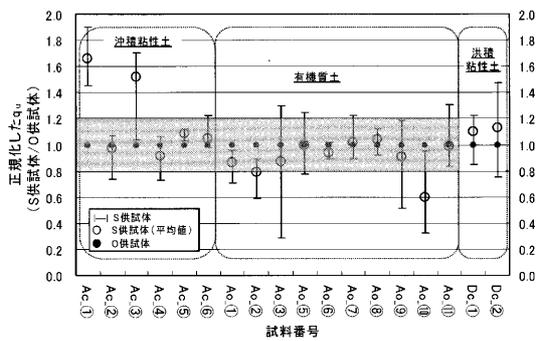
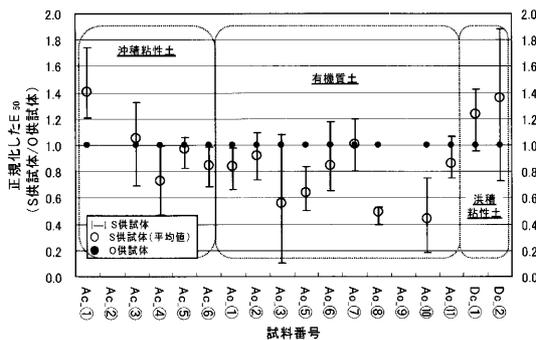
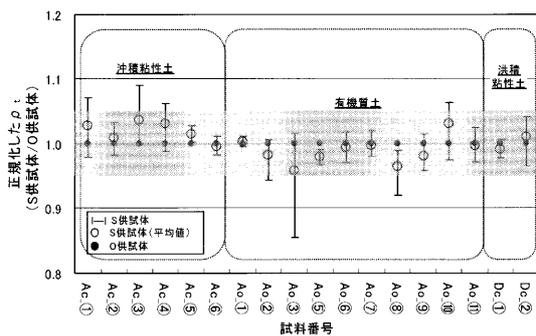
一方、正垣ら¹¹⁾は、多種の不攪乱粘性土および不攪乱珪藻泥岩を対象として供試体寸法の影響に関する検討を行い、一軸圧縮強さと変形係数について小型サイズ供試体（ $d 15 \times h 35$ mm）と標準サイズ供試体（ $d 35 \times h 80$ mm）で差異が認められないとしており、一斉試験による沖積粘性土の結果と同様の結果を報告している。

次に、土質や試料の硬軟の違いによる結果のばらつきについて言及する。紙数の都合により、ここでは自然堆積土の結果について述べる。比較のためS供試体の値をO供試体の値で正規化して示している。

図—3~図—5は、それぞれS供試体から得られた q_u 、 E_{50} 、 ρ_t のばらつきの程度を示している。図中にはS供試体から得られたそれぞれの値の範囲を（—|—）で、平均値を（○）で示している。

q_u については軟らかい試料（沖積粘性土、有機質土）では供試体の採取位置によって ρ_t が大きく変動している試料ほど q_u の値に大きなばらつきが見られ、かつ ρ_t が大きなものほど q_u の値も大きくなっている。それぞれの供試体の ρ_t が5%程度の変動幅（1割程度の含水比

論文

図—3 正規化した一軸圧縮強さ q_u [自然堆積土]図—4 正規化した変形係数 E_{50} [自然堆積土]図—5 正規化した湿潤密度 ρ_t [自然堆積土]

の変動)であれば, S 供試体の q_u は O 供試体の 0.8~1.2 倍の範囲に収まる結果となっていることから, 供試体サイズの大小による影響よりも供試体個々の初期状態のバラツキの違いが結果に大きく影響しているといえる。洪積粘性土については, 前述したように, 初期状態のバラツキが小さい場合でも q_u は供試体ごとばらつきが大きい。

一方, E_{50} については, O 供試体の 0.5~2.0 倍程度の範囲で変動しており, q_u に比べるとばらつきが大きく, 利用に際しては注意が必要であるといえる。

4. おわりに

一軸圧縮試験の供試体を小型化した場合の問題点を抽出するとともに, 適用範囲について検討を行った結果, 以下のことが明らかとなった。

① 比較的軟らかい無機質の粘性土であれば, 一軸圧縮強さ q_u については小型供試体による結果が適用できるといえる。

② 硬質の粘性土については, クラック型の乱れにより結果のばらつきが生じるため, 三軸 UU 試験などの併用も含めた利用法を検討する必要がある。

③ 有機質土については, 小型供試体と標準供試体は同程度の q_u を与える結果となったが, 未分解の繊維質が多く含まれる有機質土については, 土質試験の方法と解説¹²⁾でもその問題点が指摘されているように, 数多くの一軸圧縮試験を実施し, 他の室内試験結果と併せて総合的に判定することが必要となろう。

④ 再構成粘性土は S 供試体の方が q_u , E_{50} ともやや大きくなる傾向が見られたが, 塑性の異なる他の試料についても試験を実施した上で, その要因について検討することが必要である。

一軸圧縮試験が数多く適用される沖積粘性土については, 小型供試体と標準供試体ではほぼ同等の値が得られることが明らかとなった。少ない試料でより多くの試験を行えるというメリットも大きく, 適用範囲に留意した上で供試体を小型化することによって, 経済的な調査・設計と地盤特性の詳細評価につながると考えている。

参考文献

- 1) Nakase, A.: The $\phi=0$ analysis of stability and unconfined compression strength, Soils and Foundations, Vol. 7, No. 2, 1967.
- 2) 松尾 稔: 地盤工学—信頼性設計の理論と実際, 技報堂出版, pp. 28~31, 1984.
- 3) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999.
- 4) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 SI 単位版 (基礎構造物・抗土圧構造物), 2000.
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説, 2002.
- 6) 地盤工学会: 地盤調査・試験法の小型・高精度化と設計・施工への適用に関するシンポジウム論文集, 2006.
- 7) 三上武子・大島昭彦: 小型一軸圧縮試験に関するアンケート, 土と基礎, Vol. 54, No. 8, pp. 20~21, 2006.
- 8) 土田 孝・小林正樹・山川 匠・平良 聡: 一軸圧縮強度のばらつきとその要因について, 港湾技術研究所報告, 第27巻, 第1号, pp. 93~124, 1988.
- 9) 亀井健史・常田 亮: 海成粘性土の一軸圧縮結果に及ぼす寸法効果の影響, 土と基礎, Vol. 41, No. 11, pp. 41~46, 1993.
- 10) 常田 亮・亀井健史: 一軸圧縮強さに及ぼす供試体の形状寸法の影響, 土木学会第45回年次学術講演会概要集, pp. 210~211, 1990.
- 11) 正垣孝晴・坂本 竜・須藤剛史: 自然堆積土の一軸圧縮強度特性に及ぼす供試体寸法の影響, 土木学会第54回年次学術講演会, pp. 90~91, 1999.
- 12) 地盤工学会編: 土質試験の方法と解説 (第一回改訂版), pp. 741~742, 2000.

(原稿受理 2006.4.3)