

締固められた不飽和土の強度を求める試験方法の妥当性評価と誤差評価

鹿児島大学 学生会員 ○赤鹿敬尚, 慶田佑太

鹿児島大学学術研究院理工学域工学系 正会員 伊藤真一, 酒匂一成

1. はじめに

不飽和土質力学の体系化を目指して, Kitamura and Sako¹⁾は, 確率・統計を援用した数値計算モデルを提案している。そのなかで, せん断強度に関するモデルも提案しているが, モデルの妥当性の検証のためには締固められた不飽和土の強度に関する実験データが必要である。そこで本研究では, 締固め試験と一軸圧縮試験を組み合わせることで実験データを蓄積できる一連の試験方法の提案を目指す。しかし, 写真-1 に示すように, 2 つの試験は用いる供試体のスケールが大きく異なるため, 一軸圧縮試験機用のマイターボックスのサイズに合わせた新たな締固め装置を作製する必要がある。このような新たな試験装置を作製する場合, その試験装置の妥当性評価が必須である。加えて, 土質実験を行って得られる実験データは避けられない誤差を含んでいることが想定されるため, 本研究で提案する試験方法が有する誤差の程度を予め把握しておくことは重要である。本研究では, 締固めエネルギーを固定した同条件の実験を 50 セット行うことにより, 提案する試験装置の妥当性の評価と一連の試験方法において生じる実験誤差について明らかにすることを目的としている。

2. 締固められた不飽和土の強度を求める試験方法の提案

まず, 一軸圧縮試験用マイターボックスのサイズに合うような新たな締固め装置を作製した(写真-2)。新たな締固め装置は, 日本工業規格「突固めによる土の締固め試験方法」(JIS A 1210)²⁾の A-a 法で用いられている締固め装置を参考に作製した。締固めエネルギーを A-a 法で用いられている装置の締固めエネルギーである $550(\text{kJ/m}^3)$ に合うように締固め装置の質量(1055g), 落下回数(25 回), 落下高さ(14cm)を調整した。

図-1 は本研究で提案する一連の試験方法を示している。作製した締固め装置でマイターボックスに試料を締固めて, 供試体の重量を計測後に一軸圧縮試験を実施した。その後, 破壊した供試体の 3 箇所で含水比を測定した。含水比 w が 5, 10, 15, 20, 25% になるように一連の手順を繰り返し, これを 1 セットの実験として 50 セットの実験を行った。

3. 新たな締固め装置の妥当性評価

新たに作製した締固め装置の妥当性を評価するために, A-a 法で得られた締固め曲線と新たに作製した締固め装置を用いて得られた締固め曲線を比較した。なお本研究では, 串良川堤体土(以下, 堤体土)を土試料として用いた。堤体土の土粒子密度は $\rho_s = 2.49(\text{g/cm}^3)$ である。図-2 は締固め試験結果の比較を示している。赤線は A-a 法による締固め曲線, 青色の実線は新たな締固め装置を用いた 50 セットの締固め曲線の平均値 μ , 点線は $\mu \pm \sigma$ の範囲を示している。図-2 より, 2 つの締固め装置によって得られた締固め曲線は概ね一致している。このことから, 本研究で作製した新たな締固め装置の妥当性を確認できたと判断した。

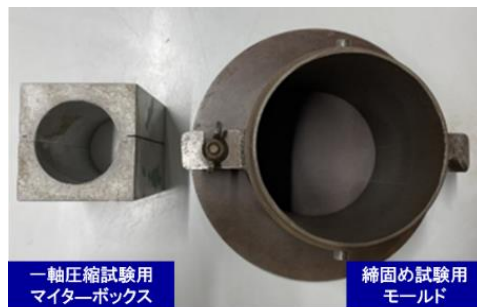


写真-1 実験で使用する供試体



写真-2 作製した締固め装置

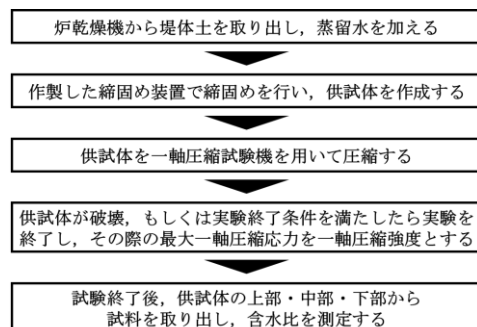


図-1 提案する一連の試験方法

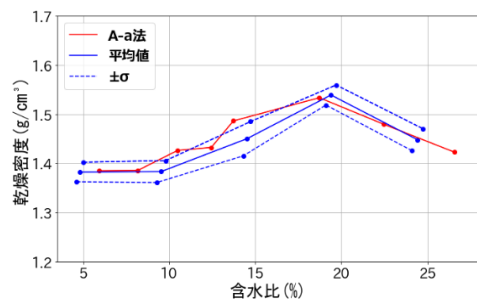


図-2 締固め曲線

4. 一連の試験方法における実験誤差の考察

目標とする含水比 ($w=5\%, 10\%, 15\%, 20\%, 25\%$; 以下, 設定含水比) ごとに 50 通りの含水比, 乾燥密度, 一軸圧縮強度を算出した。図-3 は一例として設定含水比 20%における一軸圧縮強度のヒストグラムを示しているが, 標準偏差が約 11.5kN/m^2 とばらついていることがわかる。そこで, 3 回の実験を行ってその平均値を採用することを想定して, ${}_{50}C_3=19600$ 通りの組み合わせの平均値によるヒストグラムを算出した。図-4 はその結果を示している。図-3 と比較すると, 3 つずつのサンプルの平均値を算出することで, 一軸圧縮強度のばらつきは小さくなっており, これは中心極限定理とも一致する。表-1 は 3 つずつのサンプルの平均値を算出した場合の各設定含水比に対する含水比, 乾燥密度, 一軸圧縮強度の統計量を示している。含水比と乾燥密度の標準偏差は十分に小さく, ここからも締固め装置の妥当性を確認できる。また, 一軸圧縮強度の標準偏差も 10.0kN/m^2 以内に収まっている。ただし, 本研究で用いた一連の試験方法では, 3 つずつのサンプルの平均値を算出したとしても, 一軸圧縮強度は標準偏差として 5.0kN/m^2 から 10.0kN/m^2 程度の誤差が含まれるともいえる。今後, 実験データを蓄積していく中で, 一連の試験方法は表-1 程度の誤差を含んでいることに注意が必要である。

最後に, 一軸圧縮強度の誤差が大きかった理由について考察する。写真-3, 写真-4 は, 含水比 20%における破壊時の供試体の様子を示している。写真-3 は斜め方向に 1 本の破壊線が生じているのに対し, 写真-4 では圧縮力に平行な方向に複数の破壊線が生じている。写真-3 の一軸圧縮強度は 62.1kN/m^2 で図-3 や図-4 における最頻値付近の値であるのに対して, 写真-4 の一軸圧縮強度は 36.8kN/m^2 であり, 図-3 や図-4 における外れ値である。このように供試体の破壊形状が一軸圧縮強度の試験結果に大きく影響するため, データの蓄積にあたっては破壊形状の確認が必要である。今後は, 写真-3 に示すような破壊形状の一軸圧縮強度を 3 つ集めて平均値を算出することで, より誤差の少ない締固められた不飽和土の強度に関する実験データを蓄積できると考えられる。

5. おわりに

本研究では, 締固め試験と一軸圧縮試験を組み合わせた一連の試験方法を提案し, 新たに作製した締固め装置の妥当性の検証と一連の試験方法における実験誤差について考察した。その結果, 新たに作製した締固め装置の妥当性を確認することができ, なおかつ, 一連の試験方法によって生じうる実験誤差の程度と実験時における注意点を明らかにすることができた。今後は締固めエネルギーを変化させて締固められた不飽和土の強度に関する実験データを蓄積していく予定である。

参考文献

- 1) R. Kitamura and K. Sako: Unsaturated Soil Mechanics with Probability and Statistics, CRC Press, pp.59-95, 2019.
- 2) 地盤工学会編: 地盤材料試験の方法と解説, 第 5 編 安定化試験, 第 2 章 突固めによる土の締固め試験, pp.373-385, 2009.

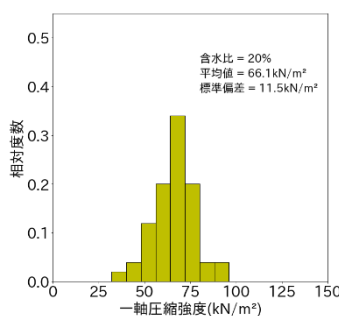


図-3 一軸圧縮強度

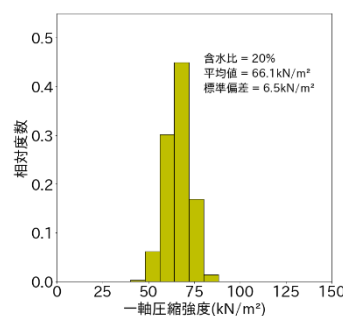


図-4 一軸圧縮強度(平均値)

表-1 各設定含水比における平均値, 標準偏差

		設定含水比				
		5%	10%	15%	20%	25%
含水比	平均	4.825	9.544	14.519	19.399	24.431
(%)	標準偏差	0.111	0.143	0.12	0.168	0.181
乾燥密度	平均	1.382	1.383	1.45	1.539	1.448
(g/cm^3)	標準偏差	0.011	0.013	0.02	0.012	0.013
一軸圧縮強度	平均	54.898	98.999	102.271	66.1	21.302
(kN/m^2)	標準偏差	6.206	9.783	7.849	6.528	4.448



写真-3 破壊形状 1



写真-4 破壊形状 2