

不飽和三軸試験機を用いた保水性試験による 関東ロームの水分特性曲線および三次元変形特性

建設技術研究所 正会員 ○胸組智光 茨城大学 正会員 小峯秀雄 茨城大学 フェロー会員 安原一哉
茨城大学 正会員 村上 哲 茨城大学 学生会員 谷口雄太

1. はじめに

1950 年以降、地球温暖化に伴い、多くの陸域で大雨の頻度が増加している¹⁾。日本においても、月降雨量は長期的に減少し、日降雨量、時間雨量が極めて大きい集中豪雨が増加している²⁾。また近年、日本各地で集中豪雨による河川堤防への被害が発生し、2006 年 7 月、長野県では記録的な豪雨により、天竜川の河川堤防が決壊した。以上のような背景から、集中豪雨の発生件数の増加に伴い、河川堤防の被害も増加することが懸念されるため、降雨、河川水の浸透に対する河川堤防の補強が必要と考えられる。しかし、河川堤防は長大な土構造物であり、日本全国に数多く点在するため、全ての河川堤防を補強することは困難である。したがって、河川堤防の補強を効率的に行うことが求められることから、本研究では、日本各地域より採取した代表的な土質材料を用いて、土の保水性試験を実施し、降雨に対する脆弱な地域を把握する。

2. 本研究で使った土質試料

河川堤防は建設の際に大量の堤体材料を必要とするため、現場に近接する場所から入手することが多い³⁾。そこで、本研究では関東地域に多く分布する関東ロームを使用した。関東ロームの採取場所および基本物性結果を表 1 に示す。土粒子の密度、自然含水比の測定は日本工業規格「土粒子の密度試験方法」(JIS A 1202:1999)⁴⁾、「土の含水比試験方法」(JIS A 1203:1999)⁴⁾に準拠した。土粒子の密度の測定では真空ポンプを用いた減圧吸引が煮沸に比べて、植物繊維の間隙空気の除去に効果があるため、真空ポンプを用いて間隙空気の除去を行った。自然含水比は密閉容器による保存状態での値を用いた。なお、本研究で用いる関東ロームは攪乱試料である。

3. 不飽和三軸試験機を用いた土の保水性試験

既往の研究^{5), 6), 7)}では、各土質試料の一次元変形特性および水分特性曲線から河川堤防の脆弱性評価を行ってきた。しかし、降雨による河川堤防の変形は三次元である。したがって、本研究では、降雨により河川水位が上昇し、堤体内が浸水した後の排水過程に着目し、堤体材料と想定する土質試料の水分特性曲線、三次元変形特性を把握することを目的とした。土の保水性試験においては、不飽和三軸試験機を用いて、加圧板法による測定を行った。試験装置の概略図を図 1 に示す。試験方法は、地盤工学会基準「不飽和三軸圧縮試験不飽和三軸圧縮試験方法(JGS 0527-1998)⁴⁾」の圧密過程に準拠した。本研究では、サクシヨンの変化に伴う供試体内の水分量変化および体積変化を求めるため、せん断過程は行わない。既往の研究^{5, 7)}より、排水過程において、サクシヨンが 40~200kPa の範囲で、二次しらす、赤ぼく、江別の鉛直ひずみが顕著な沈下を示すため、測定サクシヨンの範囲を 10~200kPa とした。また、堤体中心部の応力を等方応力状態と仮定し、等方圧密 50kPa と設定し、中心より離れた位置は上載圧による影響を受けることから、異方状態になると考えられるため、堤体下部側面の応力状態を鉛直圧 100kPa、側圧 50kPa と設定した。以上の条件で実施した土の保水性試験の結果から、式(1)~(5)を用いて、サクシヨン s (kPa)、体積含水率 θ (%), 体積ひずみ ε_v (%), 鉛直ひずみ ε_a (%) および側方ひずみ ε_l (%) を求めた。

$$s = u_a - u_w \cdots (1), \theta = w\rho_d / \rho_w \cdots (2), \varepsilon_v = (\Delta V / V_0) \times 100 \cdots (3), \varepsilon_a = (\Delta h / h_0) \times 100 \cdots (4), \varepsilon_l = (\varepsilon_v - \varepsilon_a) / 2 \cdots (5)$$

ここで、 s :サクシヨン (kPa)、 u_a :間隙空気圧 (kPa)、 u_w :間隙水圧 (kPa)、 θ :体積含水率 (%), w :含水比 (%), ρ_d :供試体の乾燥密度 (g/cm^3)、 ρ_w :水の密度 (g/cm^3)、 ε_v :体積ひずみ (%), V_0 :圧密後の供試体体積 (cm^3)、 ΔV :

表 1 採取場所および基本物性結果

土質試料	採取場所	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	自然含水比 w_n (%)
関東ローム	茨城県水戸市	2.691	100.7

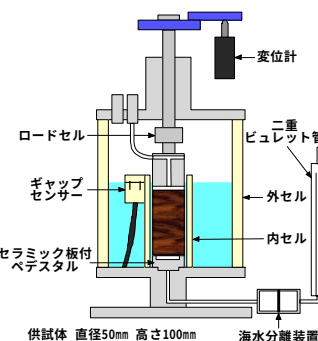


図 1 不飽和三軸試験機の概略図

キーワード：土の保水性 水分特性曲線 三次元変形特性 不飽和土 河川堤防

連絡先 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町 1 丁目 6-7 TEL 06-6206-5587 e-mail munegumi@cite.cojp

圧密後の供試体体積を基準とした体積変化量 (cm^3)、 ε_a : 鉛直ひずみ (%), h_0 : 圧密後の供試体高さ (mm)、 Δh : 圧密後の供試体高さを基準とした鉛直変位 (mm)、 ε_l : 側方ひずみ (%)とし、各ひずみの符号は圧縮を正とする。

3.1 供試体の初期条件

河川土工マニュアルにおける河川堤防の締固め度の規定より、粘性土に分類した関東ロームの目標乾燥密度は、施工含水比時の空気間隙率および飽和度の規定より設定した⁸⁾。供試体作製時の含水比は、自然含水比を用いた。供試体の作製方法は、本研究では実施工の締固めを模擬し、動的締固め方法にて行った。供試体の締固めには突棒を用い、直接モールド内にて作製し、目標寸法は直径 50mm、高さ 100mm とした。関東ロームの供試体の作製結果および各試験条件の圧密後における乾燥密度を表 2 に示す。

表 2 供試体の作製結果および各試験条件の圧密後の乾燥密度

試験条件	含水比 w (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	飽和度 S_r (%)	圧密後の 乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)
等方応力	100.1	0.686	1.356	90.8	0.686
異方応力	95.9	0.675	1.343	88.4	0.675

4. 排水過程における関東ロームの水分特性曲線

関東ロームの等方応力状態、異方応力状態条件下における水分特性曲線を図 2 に示す。図 2 より、各試験条件下の水分特性曲線において、保水性に僅かな差があることが確認できる。これは乾燥密度が高くなるに伴い、保水性が高くなることから、表 2 に示す圧密後の乾燥密度および初期含水比が異なるためと考えられる。したがって、関東ロームの保水性は応力状態に支配されるのではなく、圧密後の供試体の乾燥密度および初期含水比に支配されると考えられる。

5. 排水過程における関東ロームの三次元変形特性

関東ロームの等方応力状態、異方応力状態条件下における三次元変形特性を図 3 に示す。図 3 より、排水過程における等方応力状態の関東ロームの体積ひずみ、鉛直ひずみおよび側方ひずみはサクシヨンの増加に伴い圧縮し、サクシヨンの増加に伴い、等方的に圧縮すると考えられる。また、排水過程における異方応力状態の関東ロームの鉛直ひずみは、側方ひずみに比べて圧縮を示している。すなわち、異方応力状態の鉛直圧が 100kPa、側圧が 50kPa であることから、異方応力状態条件下の関東ロームの三次元変形特性は、サクシヨンの増加に伴い、拘束圧が高い方に圧縮すると考えられる。

6. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。排水過程における関東ロームの水分特性曲線より、等方応力状態、異方応力状態条件下の保水性に僅かな差があることが確認できた。排水過程における関東ロームの三次元変形特性より、等方応力状態条件下の体積ひずみ、鉛直ひずみおよび側方ひずみはサクシヨンの増加に伴い圧縮し、サクシヨンの増加に伴い、等方的に圧縮を示した。また、異方応力状態条件下の鉛直ひずみは、側方ひずみに比べて圧縮を示したことが確認できた。

謝辞 環境省地球環境推進研究『温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合評価に関する研究』(研究代表者: 茨城大学・三村信男)におけるサブ課題「2(5)沿岸域における気候変動の複合的災害影響・リスクの定量評価と適応策に関する研究」(課題代表者: 茨城大学・安原一哉)において実施された研究成果の一部をまとめたものである。ここに深謝申し上げます。

参考・引用文献 1) IPCC: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers, 2007. 2) 気候変動監視レポート, pp.30-32, 2007. 3) 中島秀雄: 図説 河川堤防, 技報堂出版, p.189, 2003. 4) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, pp.97-114, pp.162-176, 2009. 5) 内田佳子, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 工藤竜太: 河川堤防を想定した堤体地盤材料の排水過程における一次元変形特性, 第 42 回地盤工学研究発表会, 2007. 6) 胸組智光, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 内田佳子: 吸水および排水過程での保水性試験に基づく各地域における河川堤防堤体材料の脆弱性の比較, 第 65 回年次学術講演会, 2009. 7) 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 内田佳子: 各種土質材料の水分特性曲線に着目した集中豪雨による河川堤防や河岸の脆弱性簡易評価, 地盤工学会誌, pp.22-25, 2009. 8) (財)国土開発技術研究センター: 河川土工マニュアル, 国土開発技術研究センター, pp.76-84, 1993.

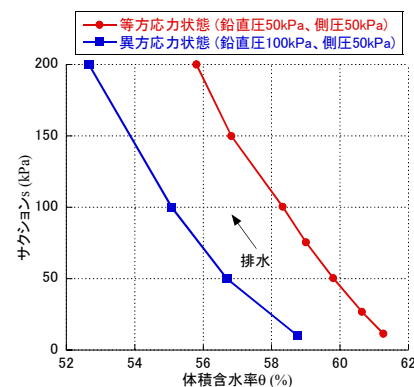


図 2 排水過程における水分特性曲線

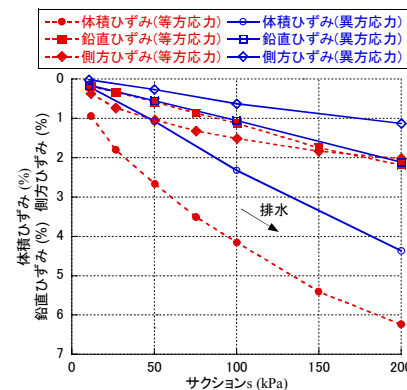


図 3 排水過程における三次元変形特性