

不飽和土の三軸圧縮特性について

岐阜大学工学部 正会員 宇野 尚雄 杉井 俊夫
 岐阜大学大学院 学生員 ○森崎 泰隆

1. まえがき 不飽和土の三軸圧縮試験では σ_1 、 σ_3 、 ϵ_1 、 ϵ_v 、 u_w 、 u_a の6要素の計測・制御が不可欠である。これらのうち、 σ_1 の制御と ϵ_v の計測が難しい。本報告では、制御の検定および検定結果、シルト試料に対して開始した第1段階の等方圧縮・せん断試験結果の概要を報告する。

2. 計測制御の検定 σ_1 は σ_3 や载荷軸の自重の影響を考慮してロードセルにより計測している(①式)。そして、その制御はペロフラムシリンダー上部圧力室の圧力を調節することにより行われる。また、体積変化 ΔV の計測は、体積変化の発生によって生ずる二重ピュレット内の液面変動を差圧計で読み取り、その値から载荷軸の押し込みと側圧によるセルの膨張を考慮にいれた形で行われている(②式)。

$$\sigma_1 = Q/19.635 - (1.01691 - 1) * \sigma_3 + 0.05924 \quad \Delta V = Qb + 19.6 * d / 10 - C (\sigma_3) \quad \text{--- ①} \quad \text{--- ②}$$

σ_1 : 軸圧(kgf/cm²) σ_3 : 側圧(kgf/cm²) d : 軸変位(mm) Q : ロードセルの読み(kgf) ΔV : 体積変化(cm³)

Qb : 二重ピュレット内の水面変動(低下を正)(cm³) $C(\sigma_3)$: 側圧によるセルの膨張の項(cm³)

σ_1 の制御が可能であるか、 ΔV の計測は正しく行われているかという問題に対して検定実験の内容と結果を述べる。三軸セル内に飽和試料をセットし、試料を等方圧縮し、等方圧はある値まで徐々に増加させ、その後、徐々に0まで戻した。試験中は排水条件とし、②式で求めた体積変化と実測排水量とを比較した。その結果を図-1、2に示す。図-1は σ_1 と σ_3 の経時変化を示している。 σ_1 の制御が正しく行われていることが判る。図-2は排水量と②式より求めた体積変化の経時変化を示している。両者には、多少の差が認められるものの体積変化が測定ができていたと考えた。土試料には、長良川堤防より採取したシルト質土を自然乾燥状態で0.85mmのふるいを通過したGs=2.680の試料を用いた。

3. 圧縮試験 (1)試験条件…Lloret(1980)らは図-3のような不飽和土の状態曲面を求めた¹⁾。本研究でも長良川シルトに対する不飽和土の状態曲面及び強度特性を求めめるため、次のような実験を行った。設定サクシオンに合うよう水分保持曲線から求めた3種の含水比の試料を用いて内径5cm、高さ12.5cmの供試体を5層に分けて突き固める方法で作成した。この時、 $\gamma_a=1.5\text{gf/cm}^3$ に設定した。応力条件は、初めに非排水・非排気条件の等方圧縮で $\sigma_m=0.1\text{kgf/cm}^2$ まで上昇させた後、この状態で90分载荷し続けた。その後、設定の $p=(\sigma_1+2\sigma_3)/3-u_a$ になるまで等方圧を上昇させた。いずれも、载荷速度は $0.005\text{kgf/cm}^2/\text{min}$ とした。次の1時間で p 、 S (サクシオン)を設定の値になるよう等方圧、間隙空気圧を調節した(ここから非排水・排気条件)後、 $p=S=\text{const}$ の条件で $q=(\sigma_1-\sigma_3)$ を $0.0075\text{kgf/cm}^2/\text{min}$ の速度で载荷したせん断試験を行った。表-1に今までに行った4つの実験の条件および結果をまとめた。

(2)試験結果…①等方圧縮時--図4、5は表-1の実験5のデータを示している。図-4は等方圧 σ_m と体積ひずみ ϵ_v の関係、図-5は σ_m の増加に伴う S 、 u_a 、 u_w の値を示している。 ϵ_v は小さな値となっており、そのためか S 、 u_a 、 u_w も余り変化がみられない。②せん断時--図-3のような状態曲面では強度については表されていないため、せん断時の整理を図-6のような応力レベル p 、強度 q 、密度(ここでは ϵ_v を用いた)、サクシオン S の4つの要素で構成された2つの座標軸に行くことを試みた。図-7は $p \sim q_f$ 関係で、軽部らの粘土に対する結果と同様の傾向が認められる²⁾。図-8は $q_f \sim S$ 関係でサクシオン変化に対する q_f の変化は小さいことが判る。図-9は q の増加に伴う ϵ_v の発生を示している。初めは q が増加するに従って徐々に圧縮していき破壊時近くで急速に膨張側に転じている脆性的な破壊をしていることが判る。図-10は ϵ_1 (軸ひずみ)と q の関係、図-11は ϵ_1 の増加に伴う $S \cdot u_a \cdot u_w$ の変化を示している。

(3)まとめ…以上では、等方圧縮でもせん断過程でも体積ひずみは小さく、従って間隙空気圧や間隙水圧の発生も微小で、粘性土に比べて発生するサクシオン効果も小さく、乾燥土のような脆性的挙動であるが、今後、試料土(シルト)の状態曲面を確かめるためにも、高飽和度状態やゆるい状態に対しても検討する予定である。

最後に実験を共に行った岐阜大学4年生 高木 紀人君に感謝の意を表します。

【参考文献】1)Lloret.A and E. Alonso(1980): Consolidation of unsaturated soils including swelling and collapse behavior, Geotechnique, Vol.30, No4, pp.449-477 2)軽部大蔵・加藤正司・勝山潤一(1986): 不飽和力オりの有効応力と力学変数、土木学会論文集、No.370/III-5, pp179-188.

表-1 実験データ

Exp.No.	等方圧縮				せん断試験							
	γ_d	Sri	ei	ϵ_v	Sr0	e0	破壊時			制御		
							Srf	ϵ_{vf}	ef	S(kg/cm ²)	p(kg/cm ²)	qf(kg/cm ²)
1	1.502	45.4%	0.785	約0.30%	46.9%	0.760	47.2%	約0.30%	0.755	0.1	0.4	0.98
2	1.485	37.3%	0.805	0.27%	37.9%	0.792	38.2%	0.35%	0.786	0.2	0.4	0.98
3	1.483	34.0%	0.807	0.50%	34.9%	0.786	35.4%	0.60%	0.775	0.3	0.4	1.03
5	1.477	36.8%	0.815	0.95%	38.6%	0.777	47.2%	0.98%	0.760	0.2	0.8	1.61

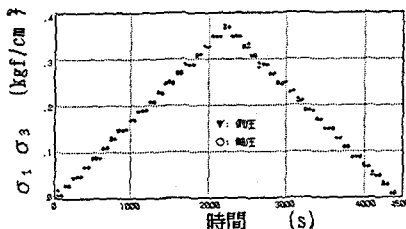


図-1 等方圧の経時変化

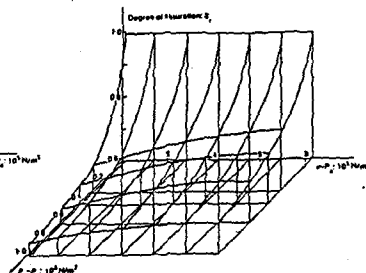
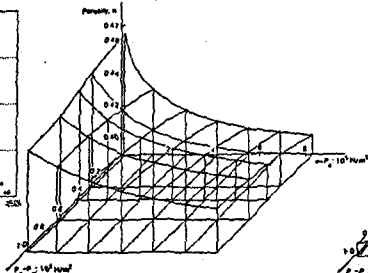


図-3 Lloretらによる状態曲面

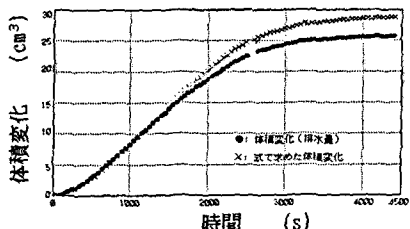


図-2 体積変化測定の結果

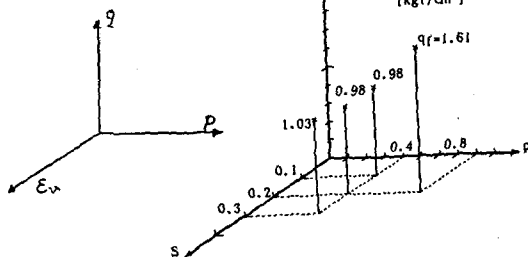


図-5 p-q-S-epsilon_v関係

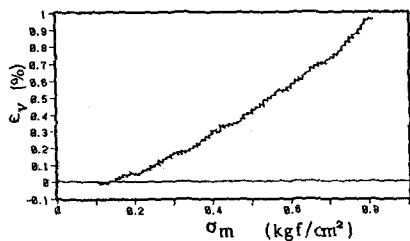


図-4 sigma_m-epsilon_v関係

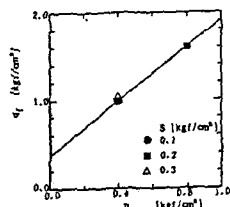


図-7 p-q関係

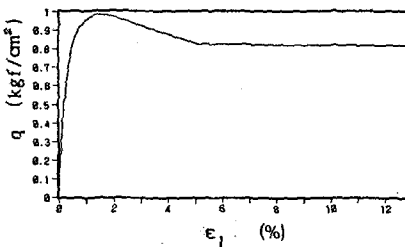


図-10 epsilon_1-q関係

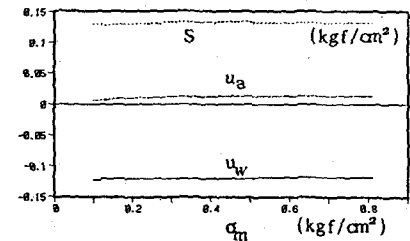


図-5 sigma_m-S-u_a-u_w関係

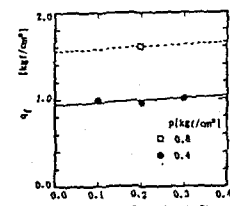


図-8 S-q関係

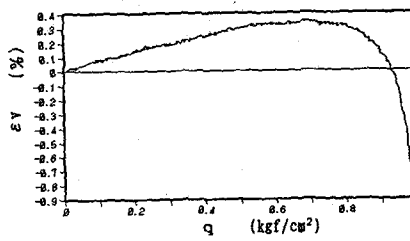


図-9 q-epsilon_v関係

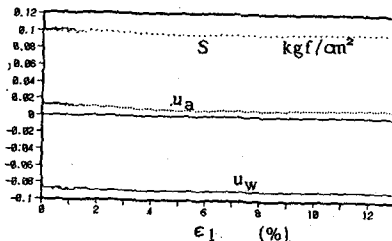


図-11 epsilon_1-S-u_a-u_w関係