

静的に締固めた不飽和土の一軸圧縮試験時の強度・変形特性

岐阜工業高等専門学校 正会員 吉村優治  
 岐阜工業高等専門学校専攻科 学生員 ○石井慶治  
 神戸大学 正会員 加藤正司

1. はじめに これまで、不飽和土の力学的試験用の供試体は、一斉試験<sup>1)</sup>で行われたように突固め(JGS T711-1990 A-b法)<sup>2)</sup>によって締固めたものを成形することが多く、筆者ら<sup>たとえば3)</sup>もこれに準じて供試体を作成し、強度・変形特性を検討してきた。しかし、締固めエネルギー一定で作成された供試体は、乾燥密度が異なるために間隙分布や構造は一定となっていない。

そこで本研究では、供試体の構造が一定で水分量のみを変化させた静的に締固めた供試体を用いて一軸圧縮試験を行い、飽和度に対する強度、サクシオン、変形特性などとの関係について検討を行った。

2. 試料および試験方法 試料にはDLクレー( $\rho_s=2.679\text{Mg/m}^3$ ,  $w_L=NP$ )を用い、気乾状態の試料を含水比調整して2日程度ねかせたものを、内部にフッ素樹脂加工を施した直径50mm、高さ300mmの鉄製の筒に入れ、スパーサーディスクにより高さ調整をして直径50mm、高さ120mmになるように静的に締固めた。乾燥密度 $\rho_d$ は約1.250、1.330、1.405 $\text{Mg/m}^3$ の3種類に設定し、含水比は供試体の作成が可能な約3%~24%である。

締固めた試料に乾燥を防ぐ処置をして数日間保管し、試験前に取り出して上下10mmずつカットし直径50mm、高さ100mmの供試体を作る。試験時に供試体にはメンブレンを被せ、間隙空気は載荷キャップ内の経路を通じて大気へ解放させた。試験装置は、ペDESTALにセラミックディスク(A. E. V=490 $\text{kN/m}^2$ )を埋め込んだ一軸圧縮試験装置で、外セルを有するため、セル内部に水を満たしてセル内への給排水量を測定することにより、供試体の体積変化を測定することが可能である。試験時のひずみ速度は、同じ試料に対して過去に行われた一斉試験<sup>1)</sup>を参考に0.2%/minとした。

3. 試験結果および考察 図-1は一軸圧縮強度 $q_u$ と初期飽和度 $S_r$ の関係を示したもので、当然のことながら乾燥密度 $\rho_d$ が大きいものほど強度は大きくなっている。また、その $q_u$ は $\rho_d=1.250$ 、1.330、1.405 $\text{Mg/m}^3$ の供試体

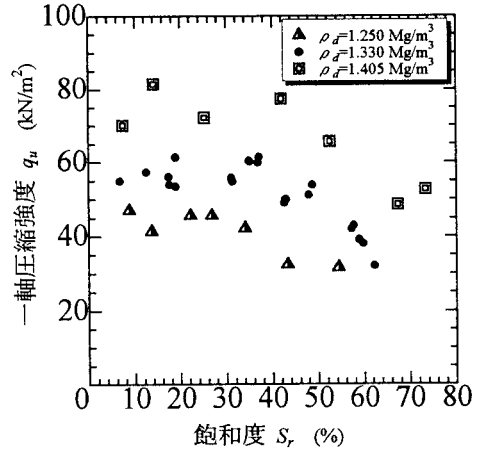


図-1 一軸圧縮強度と飽和度の関係

で $S_r$ が各々約28、37、45%まではほぼ一定であり、これより飽和度が大きくなると低下している。図-2は変形係数 $E_{50}$ と

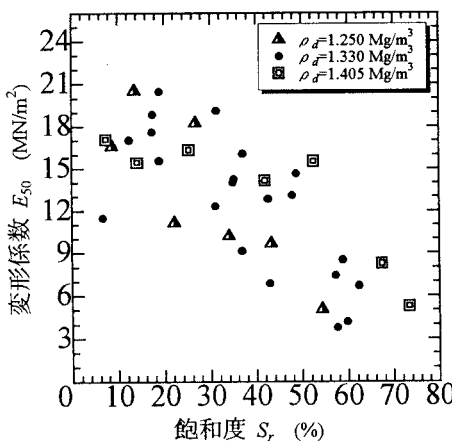


図-2 変形係数と飽和度の関係

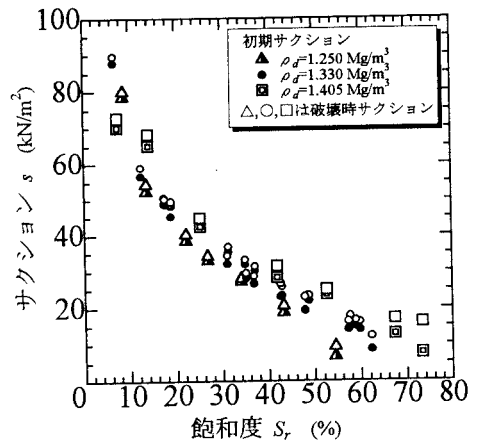


図-3 サクシオンと飽和度の関係

$S_r$ の関係を示したものである。若干ばらつきは見られるものの、 $E_{50}$ は $\rho_d$ が大きいほど大きく、 $S_r$ の増加とともに低下しており、図-1において $q_u$ が低下する $S_r$ を越えるとその低下割合は大きくなっている。

図-3は初期および破壊時のサクシオン $s_{wi}$ 、 $s_{wf}$ と $S_r$ の関係を示したものである。 $s_{wi}$ 、 $s_{wf}$ とも $S_r$ の増加に伴って減少するが、サクシオン増加量( $s_{wf}-s_{wi}$ )は $S_r$ に無関係にほぼ一定で、その増加量は小さな値となっている。また、密度の影響もほとんどみられない。

不飽和土の内部応力を含む断面応力としての等方応力は次式<sup>4)</sup>で表すことができる。

$$p+p_s = p+(p_b+p_m) = p+ \frac{S_r-S_{r0}}{100-S_{r0}} \cdot s_u \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $p$  : Net stress、 $p_s$  : サクシオン応力、 $p_b$  : パルク水に起因するバルク応力、 $p_m$  : メニスカス水に起因するメニスカス応力、 $S_r$  : 飽和度、 $S_{r0}$  : 残留飽和度、 $s_u$  : サクシオンである。

本試験においては、一軸条件でしかも間隙空気を解放しているために $p=0$ である。また、阿部<sup>5)</sup>は、スラリー状態のDLクレーについて脱水時のサクシオン～含水比曲線を求めており、その結果に基づくと脱水時の残留状態における含水比は2%以下であると判断される。これから類推して残留飽和度の影響は無視できるものとするれば、次式で与えられる換算拘束圧が破壊時に作用しているものと仮定できる。

$$\text{換算拘束圧} = \frac{S_{rf}}{100} \cdot s_{wf} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $s_{wf}$  : 破壊時サクシオン、 $S_{rf}$  : 破壊時飽和度である。

図-4は、式(2)から求まる換算拘束圧と初期飽和度 $S_r$ の関係であり、換算拘束圧は図-1、2の変化点と同様の $S_r$ ( $\rho_d=1.250$ 、 $1.330$ 、 $1.405\text{Mg/m}^3$ の供試体で $S_r$ が各々約28、37、45%)まで増加し、 $S_r$ がそれ以上になると減少しはじめる。したがって、このような変化点を示す $S_r$ を境に一軸圧縮強度 $q_u$ とこの換算拘束圧の関係も図-5に示すように反転する結果となった。すなわち、飽和度を大きくしていくと換算拘束圧は増加し、 $q_u$ も若干増加傾向にある。また、この時の $q_u$ は $\rho_d$ にも依存する。さらに飽和度が大きくなり、換算拘束圧が減少に転ずると、 $q_u$ は急激に低下しはじめる。この過程では $q_u$ と換算拘束圧は $\rho_d$ にかかわらずユニークな関係にある。

4. おわりに 本研究で得られた、乾燥密度 $\rho_d$ 一定の強度、サクシオン、変形特性などと飽和度の一連の関係は供試体内の水分量の影響のみを表すものであり、興味深い結果を得ることができた。

参考文献：1) 阿部廣史・畠山正則：不飽和土の一斉一軸・三軸圧縮試験の結果について、不飽和地盤の調査・設計・施工に関する諸問題シンポジウム発表論文集，土質工学会，pp. 23-58, 1993. 1. 2) 地盤工学会：土質試験の方法と解説，pp. 201-214, 1990. 3. 3) 吉村優治・石井慶治・所良晃・加藤正司：締固め不飽和土の一軸圧縮試験結果に及ぼす飽和度の影響，平成9年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp. 511-512, 1998. 3. 4) 軽部大蔵・加藤正司・浜田耕一・本田道識：不飽和土の間隙水の状態と土塊の力学的挙動の関係について，土木学会論文集，No. 535/Ⅲ-34, pp83-92, 1996. 3. 5) 阿部廣史：不飽和地盤の安定性に関する研究委員会 一斉試験検討資料，1991.

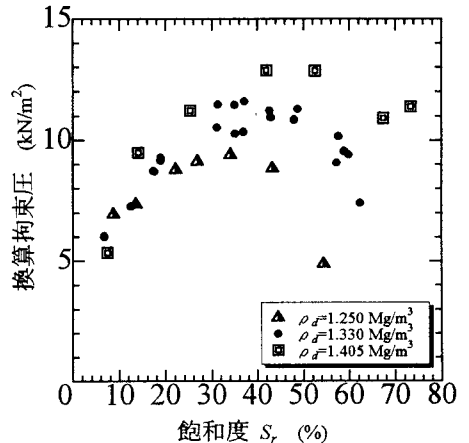


図-4 換算拘束圧と飽和度の関係

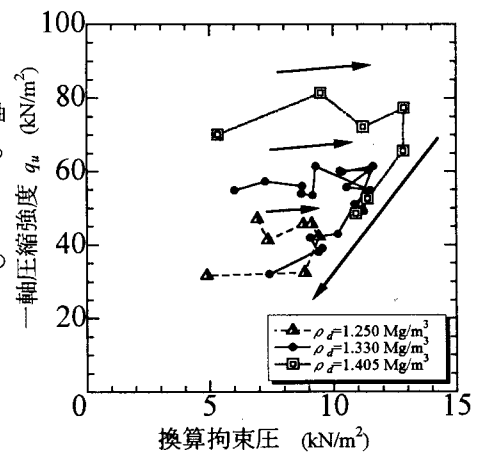


図-5 一軸圧縮強度と換算拘束圧の関係