

山口大学工学部 正員 ○三浦哲彦
鳥取市 水道局 河原徹郎

1. まえがき 不飽和砂質土の応力ひずみ特性は浸水によって著しく変えることがある。たとえば、まき土の気乾試料(含水比約4%)について側圧 100 kN/m^2 で排水三軸試験を行う際、せん断応力一定の状態の水を供給するとせん断ひずみは2~3%進行し、飽和後の強度は水を与えない場合の約70%に低下する¹⁾。

平衡状態にある不飽和土が浸水によって著しいせん断変形や体積減少をきたす現象は structural collapse (または collapse) と呼ばれており、前述のまき土の場合もこの現象の一例であると考えられる。そのメカニズムとして、粒子間付着物質あるいはメスカス効果による粒子間結合力が水の作用で消失する、²⁾ ³⁾ せい弱土粒子からなる土の場合は水の作用により粒子破砕が促進される、⁴⁾ などが考えられる。

本実験は、上記諸要因のうち測定が比較的容易と思われたメスカス効果に注目し、それがせん断強度にどの程度寄与しているかという観点からメスカス効果を量的に把握しようと試みたものである。

2. 実験方法 実験試料として豊浦砂(乾燥試料)およびまき土(初期含水比4.3%, 最大粒径4.76mm, 50%粒径1mm, 細粒分含有率11%, 土粒子比重2.63)を用いた。直径50mm, 高さ130mmの密づめ供試体について、側圧 100 kN/m^2 で次の3種類の排水三軸圧縮試験を行った。a)初期含水比の試料に対するせん断試験; b)破壊時軸差応力の40%, 60%の応力レベルを保持した状態で水を供給して24h放置、その後せん断試験; c)前記b)により24h放置後、脱水してせん断試験。b)とc)の試験で測定したせん断強度の差は、他の影響要因(まき土における粒子破砕効果など)を除いた、メスカス効果のみに依存する量であると考えた。

等方圧密から飽和、脱水、せん断に至る全過程の供試体体積変化は図1の二重ビューレットを用いて測定した。三軸室に水を満たした後、バルブ①, ②, ③だけを開いて 100 kN/m^2 の圧力を負荷し圧密量を二重ビューレットで読取る。せん断中は側圧が変動しないようレギュレータを操作しつつ二重ビューレットで水量変化を読取り、これよりピストン貫入量を差引いて体積変化量を算出する。図2は、ピストン貫入量を補正した後の検定曲線であり、測定精度はほぼ満足できるものであることがわかる。

3. 実験結果 豊浦砂についての実験結果は図3に示すとおりであった。乾燥供試体の σ_3 の60%の応力レベルで水を供給したところ、軸ひずみは0.3~0.6%程度進行し体積は0.2~0.3%収縮した。飽和供試体(ただし飽和度 $S_r \approx 92\%$)の σ_3 に比べて、飽和後脱水した供試体($S_r \approx 30\%$)の σ_3 は約25 kN/cm^2 高いことがわかる。 σ_3 の40%で水を供給した場合も、ひずみの進行が小さくなるほかはほぼ同じ結果が得られた。

まき土に関する実験結果は図4に示す。気乾供試体の σ_3 の40%の応力レベルで水を供給すると、軸ひずみは約2.5%進行し、体積はおおよそ2.3%収縮する。ひずみ変化の大部分は水を供給しはじめてから短時間の間に起こる。この collapse 現象に粒子破砕が強く係っていることは先の研究で明らかにしている。⁴⁾

飽和供試体(ただし $S_r \approx 94\%$)の σ_3 値は気乾供試体の σ_3 の73%に過ぎ

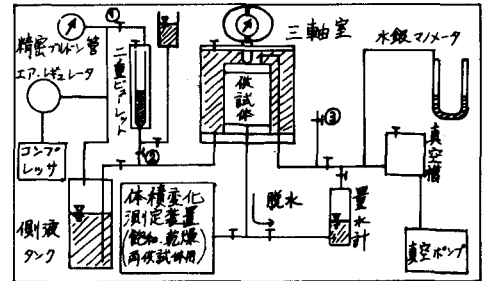


図1 実験装置の概略図

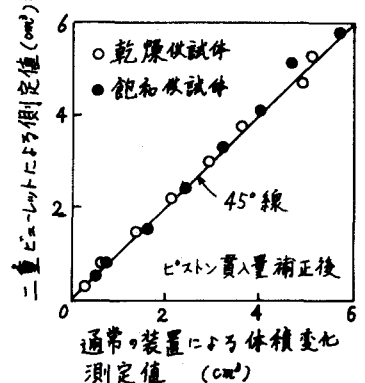


図2 体積変化測定装置の検定

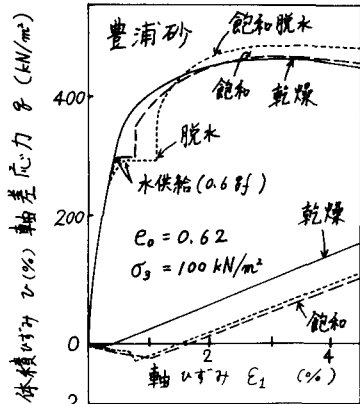


図3 排水三軸圧縮試験

ない。また、後者の体積変化は正のダイレイタンスーを示すが、飽

和供試体の体積はせん断中収縮する一方である。このような飽和供試体の応力ひずみ特性もまた粒子破碎に起因するところが大きい。

次に、飽和供試体の σ_f に比べて脱水した供試体($S_r = 70\%$)の σ_f は約70 kN/m²高くなっている。このとき脱水供試体は粒子破碎を生じているが、その程度は飽和供試体の場合と変うまいと考える。気乾供試体の σ_f の60%で水を供給した場合は、軸ひずみは約5%、体積ひずみは約3%それぞれ進行した。また、飽和供試体の σ_f に対して脱水供試体の σ_f は約50 kN/m²高いという結果を得ている。

4. メニスカス効果 上述の実験によって、脱水供試体の σ_f は飽和供試体の σ_f に比べて豊浦砂では25 kN/m²、まさ土では70 kN/m²高いことがわかった。脱水によって σ_f 値が高くなるのは、飽和度が低下してメニスカス効果による粒子間結合力が生じたためと考えられる。このメニスカス効果は、飽和度があまり低くならない範囲では、すなわち最大毛管上昇高に相当する飽和度より低くない飽和度の範囲では有効拘束圧が増加したのと同じ効果をもたらすと考えた。

さて、メニスカス効果による有効拘束圧の増加 $\Delta\sigma_{3s}$ は毛管上昇高から推定できよう。図5は三軸供試体と同じ密度の試料について調べた毛管上昇高である。スタンドバイア下部からの自然吸水には2週間、上部から給水した後の脱水(飽和後脱水)には3週間をあてた。2本の曲線のうち、飽和後脱水の曲線が三軸供試体の含水状態に近い。この曲線上の折点 α は最大毛管上昇高で、豊浦砂では約60 cm、まさ土では約230 cmである。

飽和後脱水した三軸供試体の飽和度は、豊浦砂では30%、まさ土では70%であった。図5の飽和後脱水曲線上で上記の飽和度に相当する毛管上昇高を求めるとそれぞれ60 cm および190 cmとなる。いま、これらの毛管上昇高に相当する負圧(6 kN/m² および19 kN/m²)が $\Delta\sigma_{3s}$ として作用したと仮定すると、それによる σ_f の増加は図6より推定することができて豊浦砂では25 kN/m²、まさ土では65 kN/m²となり、実測値25 kN/m² および70 kN/m²に近い値であった。

5. まとめ 豊浦砂とまさ土についてメニスカス効果が三軸圧縮強度 σ_f に及ぼす影響を調べ、それぞれ25 kN/m²、70 kN/m²の $\Delta\sigma_f$ をもたらすことがわかった。この $\Delta\sigma_f$ は、不飽和状態にあるこれらの土が浸水されることによって失う強度成分を意味する。本実験では、まさ土の粒子破碎効果を除くために高い飽和度の範囲で実験したが、実際問題では低い飽和度領域での検討が一層重要であると思われる。今後研究を進めていきたい。

(文献) 1) Ohara-Miura: GARC, 1972, 2) Kezdi: Soil Physics, 1974, 3) Dudley: ASCE, Vol. 96, SM3, 1970, 4) Miura: Natural Disaster Science, 1979

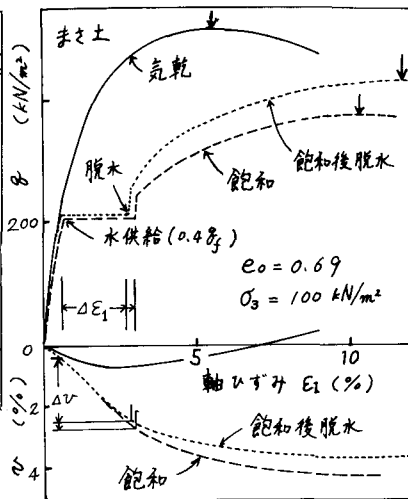


図4 排水三軸圧縮試験

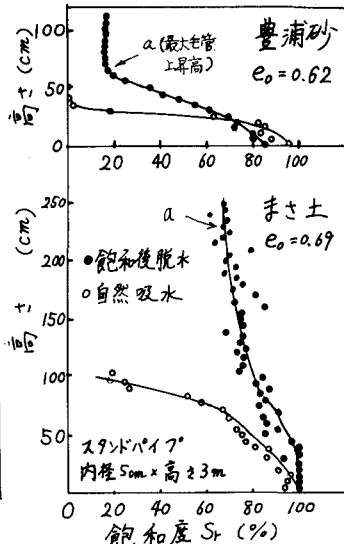


図5 毛管上昇高さの測定

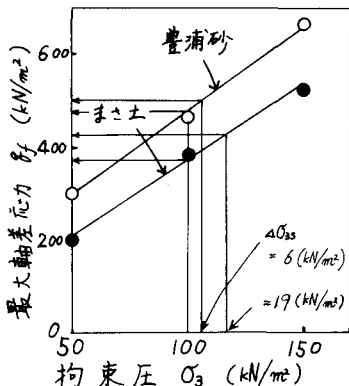


図6 $\sigma_3 \sim \sigma_f$ 関係(飽和供試体)