

Ⅲ-A25

飽和砂の非排水せん断と粒子破碎

山口大学工学部	正会員	兵動正幸
熊本工業大学	正会員	荒牧憲隆
山口大学工学部	正会員	中田幸男
ライト工業(株)	正会員	井上省吾

1. まえがき

1995 年兵庫県南部地震において埋立てまさ土地盤が、また、1997 年鹿児島県北西部地震でしらす地盤が液状化を起こし、脆弱な粒子からなる破碎性土の液状化の被害が顕在化してきた。筆者らは、破碎性土においては、非排水せん断中有効応力の低下過程においても粒子破碎が生じ、そのことが破碎性土の液状化を特徴付けていることについて言及した^{1), 2)}。しかしながら、一般にこれら破碎性土は脆弱であり、通常の拘束圧下で容易に粒子破碎を起こしてしまうため、拘束圧の変化に伴う破碎のメカニズムを調べるのが困難である。本研究では、このような理由により、常圧で粒子破碎を起こさない堅固な粒子からなる海砂を対象に、低圧から粒子破碎を伴う高拘束圧下にわたり非排水単調および繰返しせん断試験を実施した。さらに、非排水せん断過程各ひずみレベルにおける粒子破碎量の推移を調べ、非排水せん断特性に及ぼす粒子破碎の影響について検討を行った。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は、秋穂砂 ($G_s = 2.633$, $e_{max} = 0.958$, $e_{min} = 0.582$, $U_c = 2.74$) であり、シリカ系の堅固な粒子から構成される。秋穂砂は、豊浦標準砂に比べ角張った粒子や扁平な粒子が多いのが特徴であり、その粒子は、豊浦標準砂とほぼ同じ成分である石英、長石から構成される。このような試料を対象に非排水三軸圧縮試験を行った。供試体は、直径 5cm、高さ 11cm の円柱形であり、空中落下法により、初期相対密度 $D_{ri} = 80\%$ を目標として作成した。飽和供試体の作成のために供試体内に炭酸ガス (CO_2) を注入し、脱気水を通水し、背圧 100kPa を与えて B 値 0.96 以上を確認し、種々の拘束圧下で等方圧密 ($\sigma'_c = 100\text{kPa}$, 3MPa , 5MPa) を行い、非排水でせん断試験を行った。実験は、側圧一定下で、ひずみ速度 0.05%/min のひずみ制御により圧縮および伸張それぞれに対し行った。まず、秋穂砂の三軸等方圧縮特性の結果を図-1 に示した。図の $e-\log p$ 曲線において、変曲点の部分を圧密降伏応力 p'_y と見なし、矢印で示した。秋穂砂では平均有効主応力の変化に伴う間隙比の変化は、3MPa を越える高压域に至るまであまりないが、圧密降伏応力 $p'_y = 3\text{MPa}$ を越えると急激に生じている様子が認められる。この圧密降伏応力以降の拘束圧下で粒子破碎が卓越してくるものと考えられる。

3. 非排水単調せん断特性に及ぼす粒子破碎の影響

各せん断試験時に発生する粒子破碎の評価方法として、三浦・山内³⁾の提案する粒子破碎を数量化する尺度となる砂粒子の表面積 S (cm^2/cm^3) を用いた。ここでは、非排水単調せん断試験の試験前、圧密終了時、非排水せん断時の変相点、非排水せん断終了時のそれぞれでふりわけを行い、その結果より試料の表面積を測定し粒子破碎の評価を行った。図-2 に初期拘束圧 $\sigma'_c = 5\text{MPa}$ の初期状態、圧密終了後、非排水せん断時の変相点時および定常状態における試料の粒度試験結果を示す。この図より各状態時で粒度分布が異なることが分かる。圧密後と変相点後の粒度分布は類似しており、初期の粒径加積曲線と比べると若干粒子破碎が生じていることが認められる。しかしながら $74\mu\text{m}$ 以下の細粒分はほとんど増加していないことがわかる。定常状態となるとどの状態とも異なっており細粒分も多くなっていることが認められる。この粒度分布の差をより明確に見るために、それぞれの状態からせん断試験前の表面積 S_0 を差し引いた表面積増加量 ΔS を求

キーワード： 非排水せん断、低圧および高圧、粒子破碎

連絡先： 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 tel 0836-35-9939, fax 0836-35-9429

め初期平均有効拘束圧 σ'_c との関係を図-3 に示した。同じ拘束圧で見た場合、圧密後～変相点時～定常状態とせん断が進行するにつれ粒子破碎が顕著になっている様子が認められる。拘束圧の低い $\sigma'_c=0.1\text{MPa}$ では、粒子破碎は顕著ではないが、せん断が進行し定常状態に至った状態では粒子破碎が発生していることが確認でき、その表面積増加量は $\sigma'_c=1\text{MPa}$ における変相点時よりも大きな値となっていることがわかる。また圧密降伏応力以上の拘束圧下では、変相点以前にも粒子破碎が生じていることが分かる。図-4 はそれぞれ軸ひずみが0.5, 1, 2, 5, 15%の時点および変相点時、Steady stateにおけるプロットを有効応力径路上にとり、それらを結ぶ曲線で表した図である。非排水せん断において、軸ひずみ $\varepsilon_a=0.5\%$ までは収縮側の体積ひずみの発生は小さく、粒子間のかみ合わせ内での微少な体積膨張が生じていると推察される。次に軸ひずみ $\varepsilon_a=0.5\%$ から変相点までの領域に着目する。変相点まで軸差応力は増加し軸ひずみはどの拘束圧においても約2～3%程発生している。そのため粒子のかみ合わせを越えた変形になるのではないかと推察される。表面積としては圧密終了時よりも増えており、かみ合わせを越えるときに粒子の角が欠損する程度の破碎を引き起こしていると考えられる。次に、変相点を過ぎ、軸ひずみ ε_a が10%を越える間においては、粒子相互の乗り越えが起こると推察される。圧密降伏応力以上の応力域においては、圧密により粒子が非常に密な状態であり、そこから大きく変形することにより粒子の母材を含む破碎が引き起こされていると推察される。

参考文献

- 1) 兵動正幸他：破碎性土の定常状態と液状化強度，土木学会論文集，No.554/III-37，pp.197-209，1996。
- 2) Hyodo, et al.: Cyclic strength and deformation of crushable carbonate sand, *Int. Jour. of Soil Dynamics and Earthquake Eng., Elsevier Science*, Vol.15, No.5, pp.331-336, 1996。
- 3) 三浦哲彦，山内豊聡：砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響，土木学会論文報告集，第260号，pp.109-118，1977。

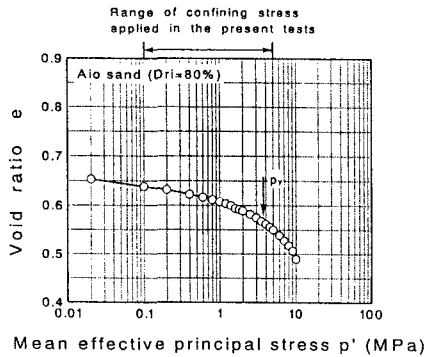


図-1 等方圧縮曲線

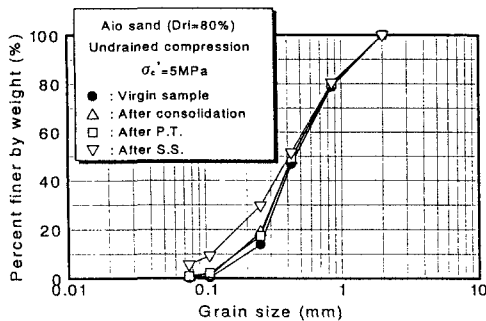


図-2 拘束圧 $\sigma'_c=5\text{MPa}$ におけるせん断における粒度曲線

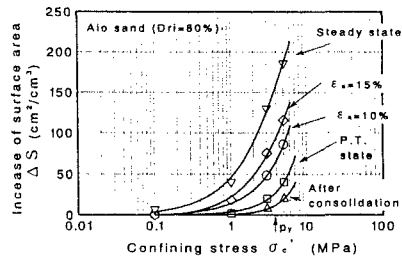


図-3 種々の拘束圧下の非排水せん断過程の表面積増分

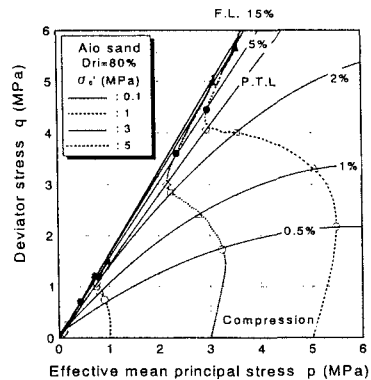


図-4 非排水せん断時の有効応力経路と軸ひずみコンター