

破碎性砂の強度特性に及ぼすひずみ速度効果

九州大学大学院 学○望月健治 九州大学工学部 正 落合英俊 正 安福規之
正 大嶺 聖 正 大野司郎

1. まえがき

破碎性の大きな土粒子で構成される地盤では、粒子破碎に伴う支持力の低下や沈下の増大といった問題が生じる。砂粒子の破碎が砂の強度特性に影響を及ぼすことは既に多くの研究で明らかにされている¹⁾が、破碎性地盤において、杭などの動的（急速）载荷を受ける場合の支持力特性を評価するためには、破碎性砂の力学特性に及ぼすひずみ速度の影響を把握することが必要である。一般に、砂は粘土に比べてひずみ速度効果が小さいと言われているが、破碎性砂は大きな圧縮性を有するため、その影響の度合は通常の砂の場合とは異なると考えられる。

本研究では、上述の観点から破碎性砂の強度特性に及ぼすひずみ速度効果と粒子破碎量の関係を明らかにすることを目的とする。破碎性の異なる2種類の砂の急速载荷三軸試験を行い、せん断に伴う粒子破碎量を定量的に評価し、ひずみ速度効果及びその拘束圧依存性について考察を行なった。

2. 粒子破碎量の評価法

粒子破碎を評価するためには、まず破碎量を定量化する方法を考える必要がある。破碎量については多くの評価手法が提案されており、1) 粒径加積曲線上の点の移動に基づくもの、2) 粒径加積曲線間の面積に基づくもの、3) 残留率の差を各ふるい²⁾で求め、それを合計したもの、4) 粒子表面積に基づくもの³⁾等がある。本研究では比較的測定が容易で粒径に着目した相対破碎率 Br ³⁾を定量的に評価する尺度として用いることにした。

図1(a)に示すように、せん断前の試料の粒径加積曲線と粒径0.074mmの直線と通過質量百分率100%の直線とで囲まれる斜線部分の面積を破碎ポテンシャル Bp_0 とする。また、図1(b)のようにせん断後の試料の粒径加積曲線で形成される部分の面積を Bp とする。 Bp_0 と Bp の差を絶対破碎量 Bt とする。相対破碎率 Br は次式で定義される。

$$Bt = Bp_0 - Bp \quad (1)$$

$$Br = Bt / Bp_0 \quad (2)$$

Bt と Bp_0 が等しい場合は $Br=1$ となり、この状態を完全破碎と呼ぶことにする。

3. 破碎性砂の強度特性

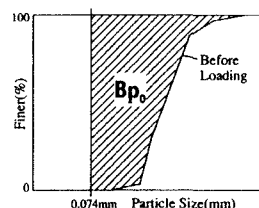
3.1. 試料及び試験方法

破碎性の異なる砂として豊浦標準砂と奄美大島より採取した奄美砂の二種類の試料を用いた。豊浦標準砂は土粒子密度 $\rho_s=2.640\text{g/cm}^3$ で、 CaCO_3 を含まない試料である。奄美砂は土粒子密度 $\rho_s=2.734\text{g/cm}^3$ で、 CaCO_3 を90%含む試料である。供試体はこれらの試料を乾燥し、空中落下法により作製した。供試体の寸法は直径50mm、高さ110mmの円柱形とし、相対密度は豊浦標準砂の場合70%、奄美砂の場合35%とした。この供試体に対し、乾燥排気条件下でひずみ速度3~1800%/min.の範囲で三軸圧縮試験を行なった。

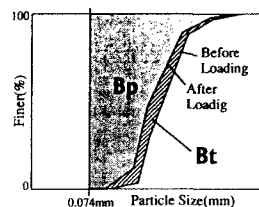
3.2. 試験結果と考察

3.2.1. 低破碎性砂—豊浦標準砂—

相対密度70%の豊浦砂に対して、拘束圧 σ_c を196kPaとし、ひずみ速度が1800, 900, 3%/min.の条件で三軸圧縮試験を行なった。



(a)破碎ポテンシャル Bp_0



(b)絶対破碎量 Bt

図1：粒子破碎量 Br の定義

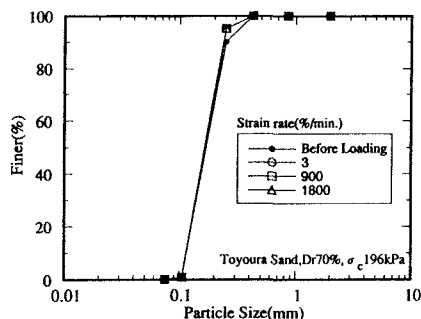


図2：豊浦砂の三軸試験前後の粒径加積曲線

図2は三軸圧縮試験前後における粒径加積曲線を示している。試験前後での粒径加積曲線に差異はほとんど見られず、豊浦砂はほとんど破碎を生じていないことがわかる。図3は、拘束圧 σ_c で正規化した軸差応力の最大値 q_{max}/σ_c (kPa)とひずみ速度との関係である。この関係でも q_{max}/σ_c の値はほぼ一定値を示し、強度に及ぼすひずみ速度効果は明確には見られない。このように破碎の少ない豊浦砂の場合、強度に及ぼすひずみ速度の影響はほとんどないことが示される。

3.2.2. 高破碎性砂—奄美砂—

豊浦砂とは対称的に破碎性の大きな奄美砂 ($\rho_s=2.734\text{g/cm}^3$) の試験結果を以下に示す。図4は相対密度 Dr が35%、拘束圧 σ_c が196kPaの三軸圧縮試験前後における奄美砂の粒径加積曲線を示している。豊浦砂の粒径加積曲線と比較すると、奄美砂の方が破碎性が大きいことがわかる。これは、奄美砂の場合 CaCO_3 が90%含まれていること及び粒子形状が細長いためと考えられる。図5は、式(2)で定義した相対破碎率 Br とひずみ速度の関係を示している。結果のばらつきは大きい、いずれの拘束圧においてもひずみ速度が大きくなると相対破碎率 Br の値が小さくなる傾向を示している。即ち、ひずみ速度が大きいくほど破碎量が少なくなることを示している。また、拘束圧が大きくなるほど破碎量は多くなることを示している。図6は q_{max} を σ_c で正規化したものとひずみ速度との関係を98、196、294kPaの各拘束圧毎に示している。豊浦砂と比較すると q_{max}/σ_c は大きく増加しており、破碎性の大きな砂ほど強度に及ぼすひずみ速度効果が顕著になることを示している。 q_{max}/σ_c はひずみ速度が100%/min.程度まではほとんど変わらないが、それ以上になると顕著に増加する。また、図5に示されるように粒子破碎量も強度増加と対応してひずみ速度100%/min.程度から減少しているため、強度増加が粒子破碎量に密接に関わっていることが示されている。

4. まとめ

急速載荷型三軸試験装置を用いて破碎性の異なる試料に対して様々なひずみ速度で乾燥排気条件で三軸圧縮試験を行ない、ひずみ速度効果と粒子破碎の関係について検討を行なった。本研究より得られた主な結論を以下に示す。

- 1) 破碎性の小さい豊浦砂の場合、強度に及ぼすひずみ速度の影響は対象とした拘束圧300kPa程度ではほとんど見られない。
- 2) 破碎性の大きな奄美砂の場合、100～300kPaの拘束圧においてひずみ速度の増加に伴い粒子破碎量は小さくなる。また、粒子破碎量の減少と対応して強度は増加する。
- 3) 強度のひずみ速度効果は破碎性の大きな砂の場合に、より顕著に現われる。

参考文献

- 1) 例えば、T.Fukumoto (1992): Particle Breakage Characteristics of Granular Soils, Soils and Foundations, Vol.32, No.1, pp.26-40
- 2) 三浦哲彦・山内豊聡(1977): 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, No.260, pp.109-118
- 3) B.O.Hardin (1984): Crushing of Soil Particles, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.111, No.10, pp.1177-1192

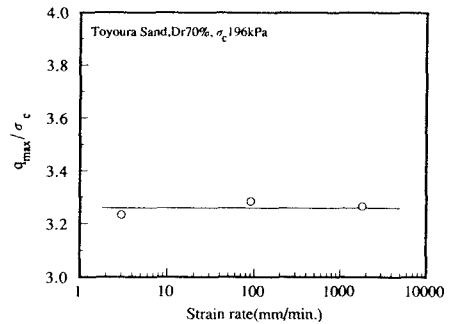


図3：豊浦砂の q_{max}/σ_c とひずみ速度の関係

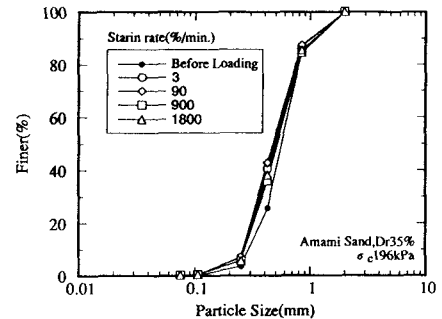


図4：奄美砂の三軸試験前後の粒径加積曲線

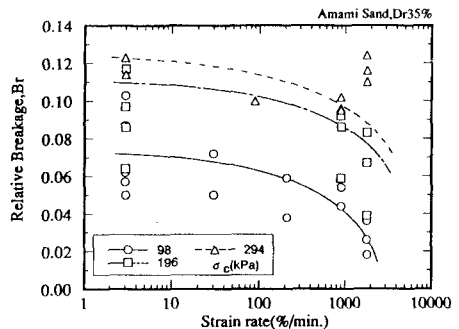


図5：奄美砂の相対破碎率 Br とひずみ速度の関係

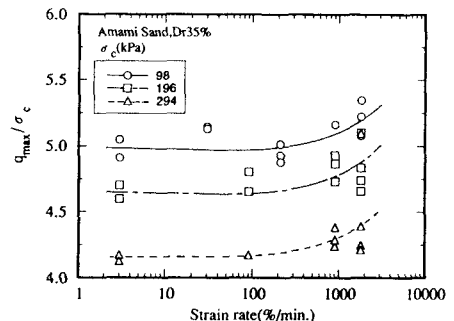


図6：奄美砂の q_{max}/σ_c とひずみ速度の関係