

砂の土粒子強さの特性とその工学的意義

九州大学工学部 学○郭 理敏 正 落合英俊
同上 正 安福規之 正 大野司郎

1 はじめに： 石灰質堆積地盤を構造物基礎の支持地盤とする場合、支持力発現の低いことと過大な沈下とが問題となっていることが指摘されている¹⁾。これは、地盤を主に構成する石灰質砂が石英砂に比べ粒子破碎が顕著で大きな圧縮性をもつことに起因するといわれている。そこで著者らは、等方圧縮条件における地盤材料の降伏応力と関係づけた実用的な破碎性指標を提案し、またその破碎性指標を用いた強度パラメータの推定法を示している²⁾。

本報では、地盤材料の破碎性を評価するための状態量として土粒子強さを取り上げ、数種類の砂を用いた単粒子破壊試験を通してその特性を明確にするとともに、土粒子強さの状態量としての工学的意義と有用性を実験的に検討する。

2 単粒子破壊試験³⁾

単粒子破壊試験は粒度調整した豊浦砂、奄美砂、Dogs Bay 砂、Quiou 砂（以後、それぞれT砂、A砂、D砂、Q砂）を用いて行われた。また、試験は一つの平均粒径 (d_m) に対し 50 個以上の土粒子を用いて、ひずみ制御の条件で行われた。平均粒径は任意のふるい目を d_i (mm) とした場合、幾何平均径 $d_m = \sqrt{(d_i \times d_{i+1})}$ として算出した。

(1) 単粒子破壊モード

用いた試料の粒子形状を顕微鏡観察によって G. Lees の分類法⁴⁾により分類し、その結果をまとめたものが図-1 である。図中では、それぞれの砂に対して shape factor S_F の値が示されているが、この S_F が 1 に近いほど粒子形状は球状に近くなることを考えると、D砂が最も扁平率が高く、T砂が最も球状に近い粒子

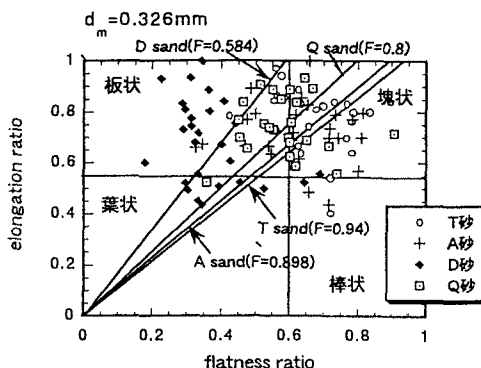


図-1 粒子形状の分類法

形状を有しているといえる。それらの砂の代表的な破壊モードの概要図とその荷重と変位の関係を図-2 の (a)~(c) に示した。(a)で見られるモードは粒子形状がスムーズな場合に多く、荷重のピーク値が表れるとともに粒子全体が壊れる引張破壊となる。また、(b)で見られるモードは粒子形状がラフな粒子に対して多く見られ、粒子自身の部分的な圧裂引張破壊が断続的に生じ、荷重変位関係は波打つ形として表れた。一方、(c)に示した D 砂の破壊モードの場合は、載荷板に当たった部分が 2 分される形で破壊されるパターンが多かった。

Q 砂の場合、荷重の増加とともに少しずつ割れ続け、両載荷板に拘束されて押し潰されるように圧縮されるものが多かった。ここでは各粒子の荷重変位関係で最も弱い部分の破壊に対応していると考えられる最初に現れる破壊荷重 P_{11} (図 2 参照) を単粒子破碎強度とみなした。また、その P_{11} と破壊面積 A (mm²) から単粒子破碎応力 σ_{sf} を $\sigma_{sf} = P_{11}/A$ として定義した。A は T

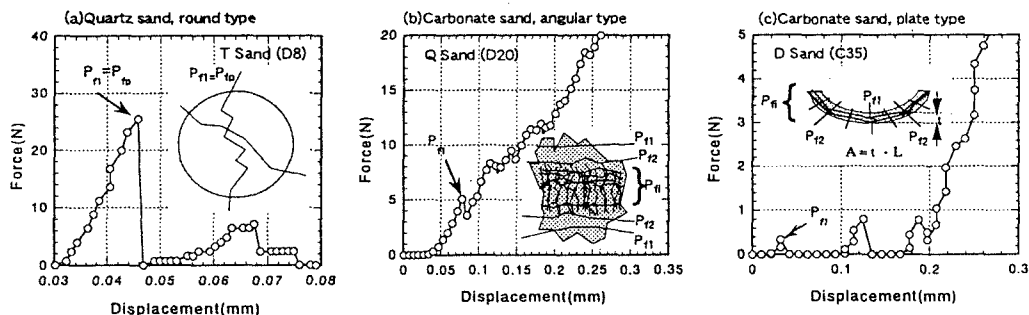


図-2 各試料の破壊モードと単粒子破壊試験結果

砂, A砂およびQ砂の場合には, 平均粒径 d_m により, $A = \pi \cdot d_m^2 / 4$ とし, Dogs Bay 砂は極めて扁平な粒子形状のため各平均粒径での粒子の厚さの平均値を t , 平均粒径の d_m を長さ L とし, $A = t \cdot L$ で算定した。

(2) 単粒子破砕応力と平均粒径の関係

予備実験によって, 試験個数が増加するとともにいずれの砂の σ_{sf} の値もある値に収束していくことを確認している³⁾。それによれば, 少なくとも30個以上の試験結果があれば, ある粒径の粒子に対して平均的な強さが求められることがわかっている。そこで, 平均粒径 d_m の土粒子が持つ単粒子強さは, 50個以上の破壊試験結果に基づいて95%信頼区間の実験値の平均値を用いて算定した。

図-3はその破砕応力と平均粒径 (d_m) の関係を示したものである。いずれの試料とも平均粒径が大きくなるとともに, 粒子強さは低下する傾向が確認できる。その低下の仕方は両対数グラフで直線的である。したがって, 平均粒径と破砕応力の関係は

$$P_n/A = Z \cdot d_m^b \quad (1)$$

として表現できる。ここで Z は材料定数, 係数 b はその直線の勾配である。図-3の傾向は均質材料の寸法効果という立場から説明できる。すなわち, 一つの粒子は成分が同じであれば大きい粒子のほうが数多くの,あるいは大きな内部クラックを含むと考えられ, これらのクラックが材料全体の強さとしては低い引張り応力を与える要因として考えられている。この特性をふまえると, 式(1)の関係は砂の単粒子破砕応力の一般的な特性と考えられる。

3 土粒子強さによるマスの降伏応力の評価

図-3を用いれば, 式(1)で与えられる線形下降曲線によって, b , Z の材料定数が既知であれば, 任意の粒径の単粒子破砕応力を推定することが可能であり, 砂粒子の粒径による強度特性が評価できる。本来, 砂地盤は粒度分布が様々に異なるため, 単粒子破砕応力をひとつの状態量として地盤物性値との対応を考える場合には, 砂を構成する粒径の代表値を規定する必要がある。ここでは, 粒度分布の期待値を与える粒径加積曲線による D_{50} での破砕応力を代表値として考える。 D_{50} での単粒子破砕応力がマスとしての砂の破砕性を示す状態量であると仮定し, その状態量としての有用性を示したものが図-4の単粒子破砕応力と破砕性指標 K との関係である。これによると, D_{50} による単粒子破砕応力は, 相対密度0%の降伏応力として定義される破砕性指標 K ²⁾ と一義的な相関関係があることがわかる。このことは, この単粒子破砕応力が地盤材料の破砕性を規定するひとつの状態量として有効であること

を示すとともに単粒子破壊試験を通して, 破砕性指標が容易に求められ得ることを表している。

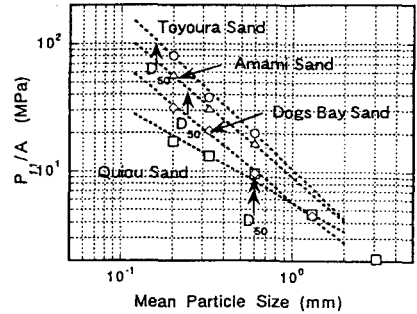


図-3 平均粒径による各試料の単粒子破砕応力

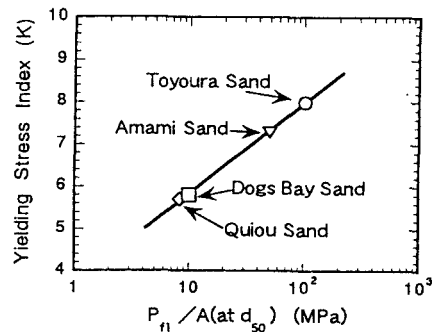


図-4 D_{50} による単粒子破砕応力と破砕指標 K の関係

4 まとめ

(1) 土粒子の形状や堅さに依存した単粒子破壊モードにはいくつかのパターンが存在することを示した。また, 単粒子の強さは, 土粒子の平均粒径の増加と共に指数関数的に低下することを明らかにした。

(2) 50%粒径に対応した単粒子破砕応力に基づくと, 地盤材料としての破砕性を示す指標が推定可能であり, この単粒子破砕応力が地盤材料の破砕性を規定するひとつの状態量として有効であることを言及した。

参考文献

- 1) Randolph, M.F. (1988), The Axial Capacity of Deep Foundations in Calcareous Soils, Proc. Int. Conf. on Calcareous Sediments, Perth, pp.837-857,
- 2) 郭 ジョン敏, 落合英俊, 安福規之, 大野司郎, (1997), 砂の強度パラメータと破砕性についての一考察, 九州大学工学集報 Vol.70, pp. 307-314
- 3) 郭 ジョン敏, 落合英俊, 安福規之, 大野司郎, 砂の状態量としての単粒子破砕強度について, 九州大学工学集報 (1997年12月22日投稿)
- 4) Lees, G. (1964), The measurement of particle shape and its influence in engineering materials, Journ. Brit. Granite and Whinstone Federation, Vol.4, No.2