

SYS カムクレイモデルに基づく粒子形状の異なる砂の力学挙動記述

名古屋大学大学院 正会員 ○中井健太郎・中野正樹・野田利弘・浅岡顕

1. はじめに

三笠(1964)¹⁾によると、砂のような粒状体の力学特性は、材質・粒度組成・粒子形状などの一次性質および密度・含水比・骨格構造などの二次性質によって決定され、砂の力学挙動を把握するためには、状態を規定する密度や骨格構造だけでなく、種類を規定する粒径、粒径分布や粒子形状の影響を調べる事が重要であると述べている。本研究の目的は、粒子形状の異なる砂の力学挙動を把握し、粒子形状の違いが SYS カムクレイモデル²⁾でどのように表現されるのか調べる事である。

2. 試験に用いた試料の物性

試験には三河珪砂と呼ばれる砕砂のうち、粒子形状の粗い珪砂 A と砂粒表面を磨鉢処理して粒子形状を滑らかにした珪砂 B の2種類を用いた(図-1)。両者とも 0.368mm ふるいを通過し 0.198mm ふるいに残留した粒径幅の狭く粒径分布をそろえた試料である。最大間隙比・最小間隙比試験結果を表-1 に示す。最大・最小間隙比ともに粒子形状の滑らかな珪砂 B の方が小さく、また両者の差も小さい。

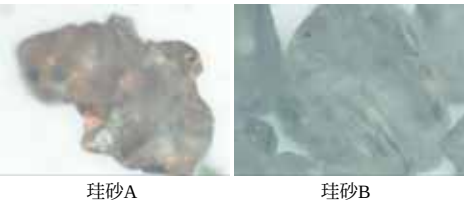


図-1 珪砂 A、B の粒子形状

表-1 最大・最小間隙比試験

	珪砂 A	珪砂 B
e_{max}	1.10	0.94
e_{min}	0.71	0.61
$e_{max} - e_{min}$	0.39	0.33

3. 側圧一定非排水三軸圧縮試験

粒子形状が砂の変形挙動に及ぼす影響について調べるために、珪砂 A、B ともに様々な相対密度の供試体を作製し、等方圧 294kPa を与えた後、側圧一定非排水三軸圧縮試験を実施した。

図-2、表-2 に珪砂 A の、図-3、表-3 に珪砂 B の試験結果を示す。珪砂 A、B ともに一定の拘束圧下で様々な初期相対密度の供試体を作製することができる。試験結果を見ると、比体積が大きく緩い供試体ほど軟化の程度が大きくてその後の硬化の程度が小さい、逆に比体積が小さく密な供試体ほど軟化の程度が小さくてその後の硬化の程度が大きくなる。珪砂 A、B の最も緩くつめた供試体の挙動を比較すると、珪砂 A は軟化挙動しか示さなかったのに対し(図-2[1])、粒子形状の滑らかな珪砂 B は軟化挙動の後に、少しではあるが硬化挙動が現れた(図-3[1])。

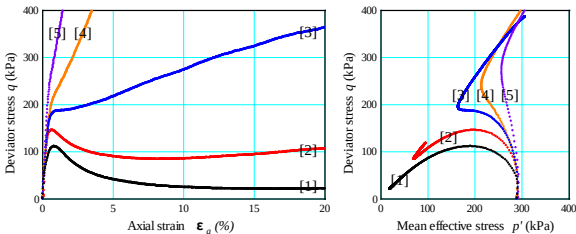


図-2 珪砂 A の非排水せん断挙動

表-2 せん断前初期値

	比体積	相対密度
[1]	2.10	0.00
[2]	2.02	0.20
[3]	1.99	0.27
[4]	1.90	0.50
[5]	1.82	0.71

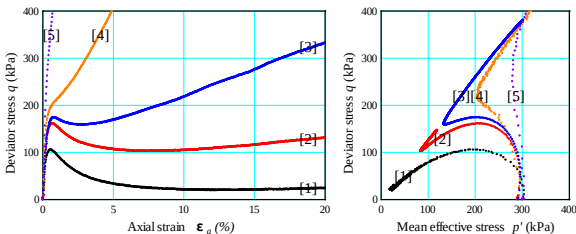


図-3 珪砂 B の非排水せん断挙動

表-3 せん断前初期値

	比体積	相対密度
[1]	2.00	-0.17
[2]	1.94	0.00
[3]	1.91	0.10
[4]	1.88	0.18
[5]	1.76	0.54

4. SYS カムクレイモデルによる数値計算

図-4 と図-5 に SYS カムクレイモデルを用いた軸対称条件下での非排水せん断挙動の数値計算結果を、表-4 と表-5 にせん断前の初期値を示す。せん断前初期値は 10kPa の低拘束圧で非常に緩い状態から、供試体作製過砂・粒子形状・せん断

程における締固めを模擬した微小な応力振幅での圧縮/伸張両振り繰返しせん断を与え、その後 294kPa まで等方圧密して求めた。締固めの繰返し回数を変えることによって、緩から密までの異なる初期状態を材料定数の変更なく、自動的に算出することができる。計算結果と実験結果を比較してみると、初期比体積からせん断挙動に至るまで良い対応を示している。初期値については、比体積が小さくなるほど締固めの影響で、構造の程度が低位で過圧密比が大きくなる。

ここで計算に用いた材料定数(弾塑性パラメータと発展則パラメータ)を表-6 に、締固め前の 10kPa の低拘束圧で非常に緩い状態を表-7 に示す。粒子形状の粗い珪砂 A は滑らか珪砂 B よりも最大間隙比が大きいのので、それを表現するために N を大きくしている。また珪砂 B は、できるだけ緩く供試体を作製しようとしても、せん断後半で硬化挙動を示すことから、初期構造の程度が低位で、かつ過圧密比を有することがわかる。

5. まとめ

砂のせん断挙動と SYS カムクレイモデルの応答の対比から、砂の粒子形状と当該モデルの各種パラメータとの関係を調べた。粒子形状の影響は弾塑性パラメータ(正規圧密線の切片 N)に現れる。また、粒子形状が滑らかなとき、最も緩くつめた状態でも過圧密状態になっていることが分かった。従来から、粒子形状の影響は強度定数 ϕ の違いで記述されることが多い³⁾。N 以外の材料定数を変えないで、珪砂 A と珪砂 B の排水せん断挙動をシミュレートしたところ(図-6)、軸差応力のピークから「内部摩擦角 ϕ_d 」は図-7 に示すように緩詰め砂に比して密詰め砂の方が、また粒子形状の滑らかな砂に比して粗い砂の方が大きくなり、従来の研究成果と傾向が一致した。

参考文献

1)三笠正人 (1964) : 土の工学的性質の分類表とその意義, 土と基礎, Vol.12, No.4, PP.17-24.
2) Asaoka, A. (2003) : Consolidation of Clay and Compaction of Sand ~An elasto-plastic description~, Proc.12th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Leung et al. Singapore, Vol.2, pp.1157-1195.
3) Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1964) : Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, New York, pp.89.

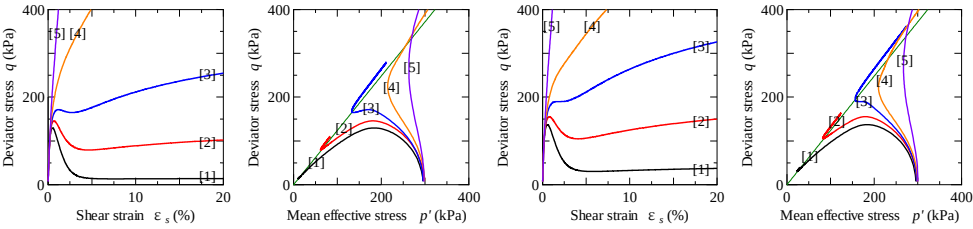


図-4 珪砂 A の非排水せん断計算結果

表-4 せん断前初期値

	比体積 v	構造の程度 1/R*	過圧密比 1/R
[1]	2.13	66.7	1.25
[2]	2.02	8.75	2.64
[3]	1.97	3.63	3.85
[4]	1.90	1.75	6.85
[5]	1.82	1.19	30.6

表-6 計算に用いた材料定数

	珪砂 A	珪砂 B
弾塑性パラメータ		
圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.05	0.05
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.012	0.012
限界状態定数 M	1.00	1.00
NCL の切片 N ($p' = 98.1 \text{ kPa}$ の時の v)	2.03	1.98
ポアソン比 ν	0.3	0.3
発展則パラメータ		
構造劣化指数 a ($b = c = 1.0$)	2.2	2.2
正規圧密土化指数 m	0.06	0.06
回転硬化指数 br	3.5	3.5
回転硬化限界定数 m_b	0.7	0.7

図-5 珪砂 B の非排水せん断計算結果

表-5 せん断前初期値

	比体積 v	構造の程度 1/R*	過圧密比 1/R
[1]	2.02	31.4	2.54
[2]	1.95	7.47	3.93
[3]	1.90	3.54	5.32
[4]	1.86	2.29	7.30
[5]	1.77	1.31	33.8

表-7 計算に用いた初期値

	珪砂 A	珪砂 B
初期比体積 v_0	2.34	2.18
初期平均有効応力 p'_0	10	10
初期構造の程度 $1/R_0^*$	150.0	50.0
初期過圧密比 $1/R_0$	1.0	3.0
初期異方性 ζ_0	0.0	0.0

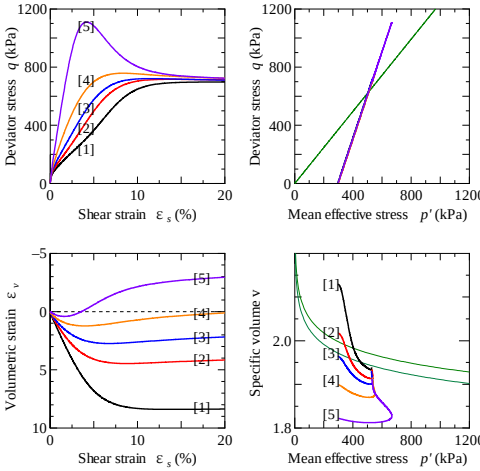


図-7 珪砂 A の排水せん断計算結果

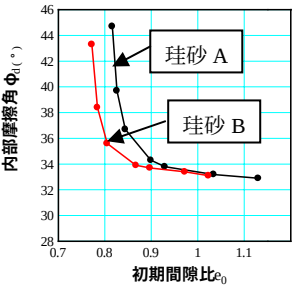


図-8 内部摩擦角