屈折率整合可視化実験で用いる石英粒子の三軸圧縮特性に整合液体の粘性が及ぼす影響

防衛大学校　学 ○山本圭祐　正 宮田喜壽　正 野々山栄人
港湾空港技術研究所　正 高野大樹　正 森川嘉之

１．はじめに

粒状体の屈折率整合可視化実験は，光の透過性の高い粒子の間隙を粒子と同じ屈折率を有する液で飽和させることで，粒状体内部に配置された固体・液体の動きを観察する技術である．その基本原理は 70 年代に確立された．最近，土質材料の力学挙動の再現性，実験の安全性と経済性が大幅に改善する成果が得られ[1)]，地盤工学分野でも多くの研究成果が得られ始めている[2)]．本研究では，溶融石英ガラスを粒子として用いた場合を対象に，流動パラフィンあるいはヨウ化ナトリウム水溶液の屈折率整合液としての適当性を三軸圧縮試験で調べた．本文ではその結果を報告する．

２．実験概要

溶解石英ガラス粒子で供試体を作製し，それを水，流動パラフィン，ヨウ化ナトリウム水溶液で飽和させ，各種拘束圧条件で三軸圧縮試験を実施した．水で飽和させたときの結果と，屈折率整合液で飽和させたときの実験結果を比較し，各整合液の可視化実験への適用性を調べた．実験に用いたガラス粒子の物理特性を**表−1** に，3 種類の液体の基本物性を**表−2** に示す．流動パラフィンは屈折率の異なる 2 種類の流動パラフィンを混合することでガラス粒子と同等の屈折率を得た．三軸圧縮試験では，供試体を相対密度 40%と 80%の 2 種類の条件で作製し，圧密排水条件のもと軸ひずみ速度 0.1%/min の速度でせん断を行った．供試体の大きさは直径 3.5cm，高さ 8.0cm で，計測項目は載荷応力，拘束圧，軸ひずみ，体積変化である．

３．結果と考察

水，流動パラフィン，ヨウ化ナトリウム水溶液それぞれのケースにおけるせん断応力－軸ひずみ関係の比較を拘束圧，供試体の密度条件ごとに**図−1～4** に示す．拘束圧および密度条件に関わらず，せん断応力がピークを示す以前の力学挙動は間隙液の種類に関わらずほぼ同一定である．ピーク後になると，間隙液の粘性が高い時ほど，せん断応力の急激な減少と戻りを繰り返す挙動が顕著になる．

せん断応力がピークを示すときの応力状態を**図−5～6** に示す．ピーク時の応力状態は間隙液の種類に関わらず一定で，せん断応力と拘束圧の関係は原点を通る直線で近似できる．この傾きから算出される内部摩擦角ϕ'は，相対密度 D_r=40%のときがϕ' =41º，D_r=80%のときがϕ' =46º となり，一般的な砂質土のそれとほぼ同等の値を示すことを確認した．

以上のことから，小ひずみ領域では，整合液の種類の違いは小さいけれども，大ひずみ領域では，整合液の影響が無視できず，ひずみの局所化が顕著になるような境界条件での実験には，結果の解釈に十分な配慮が必要との知見が得られた．

４．まとめ

三軸圧縮試験を実施し，変形強度特性の面から，流動パラフィンあるいはヨウ化ナトリウム水溶液の屈折率整合液としての適当性を明らかにした．透水性などについての検討結果は別の機会に報告したい．

参考文献　1) Ezzein, F.M. and Bathurst, R.J.: A transparent sand for geotechnical laboratory modeling, ASTM Geotechnical Testing Journal 34(6): 590-601, 2011. 2) Iskander, M, Bathurst, R.J. and Omidvar, M.: Past, present and future of physical modeling with transparent soils, ASTM Geotechnical Testing Journal 38(5): 557-573, 2015.

キーワード　粒状体，可視化実験，屈折率整合

連絡先　〒239-8686　横須賀市走水 1-10-20　TEL. 046-841-3810 E-mail：miyamiya@nda.ac.jp

表-1 溶融石英ガラス

特性	値
粒子密度 (g/mm^3)	2.214
粒子単体のヤング率 (N/m^2)	7.2 x 10^{10}
最大 / 最小粒径 (mm)	0.425 / 2.0
代表粒径 D_{15} / D_{50} / D_{85} (mm)	0.35 / 0.45 / 0.7
最大 / 最小間隙比	1.132 / 0.735
屈折率 (20^{o}C)	1.4585

表-2 屈折率整合液の基本物性

	水	流動パラフィン	ヨウ化ナトリウム水溶液*2
密度*1 (g/cm^3)	0.998	0.838	1.82
動粘度*1 (cSt)	1.004	13.0	1.12
外見	無色・透明	無色・透明	無色・透明
屈折率*1	1.333	1.4585	1.4585

*1：20^{o}C　*2：濃度=54%

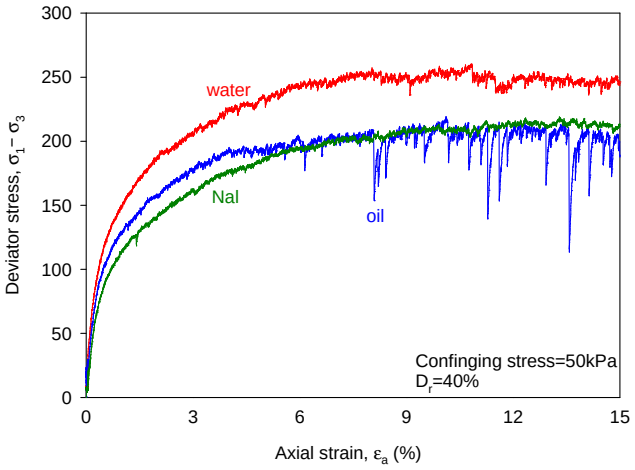

図-1　応力－ひずみ関係（σ=50kPa, D_r=40%）

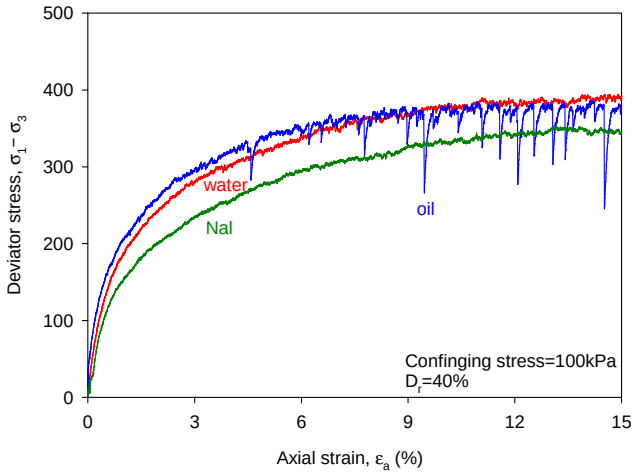

図-2　応力－ひずみ関係（σ=100kPa, D_r=40%）

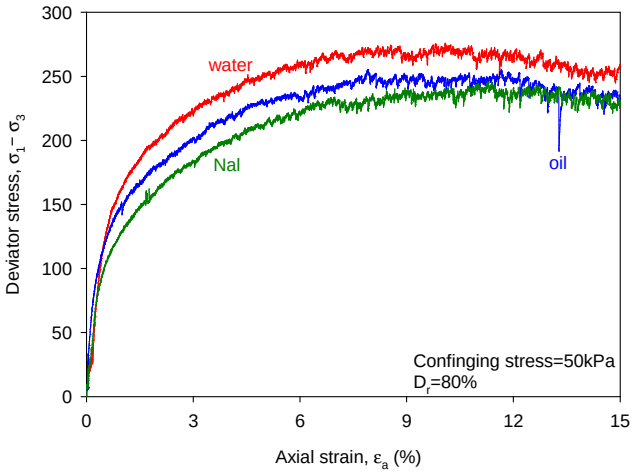

図-3　応力－ひずみ関係（σ=50kPa, D_r=80%）

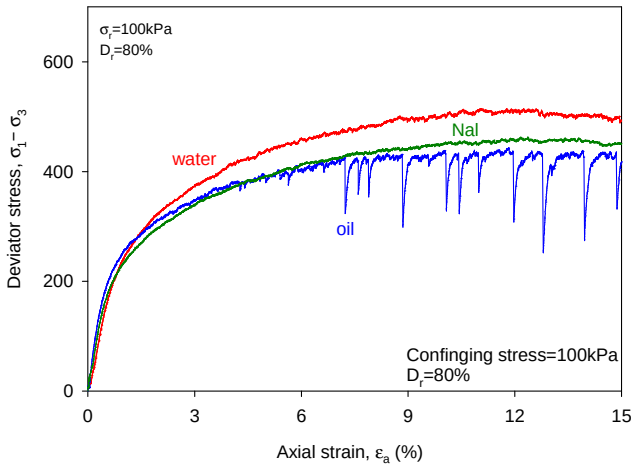

図-4　応力－ひずみ関係（σ=100kPa, D_r=80%）

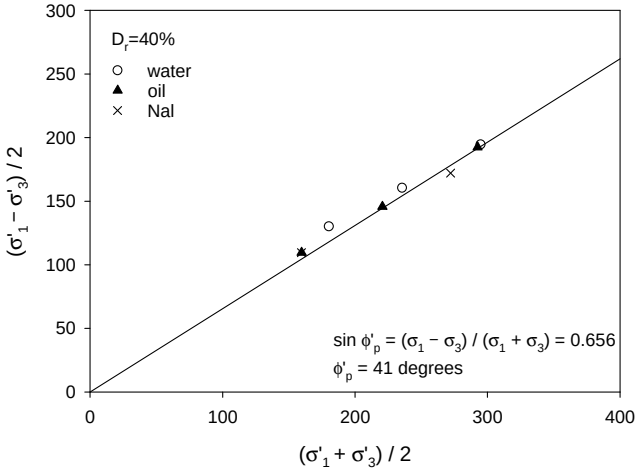

図-5　せん断応力－拘束圧関係（D_r=40%）

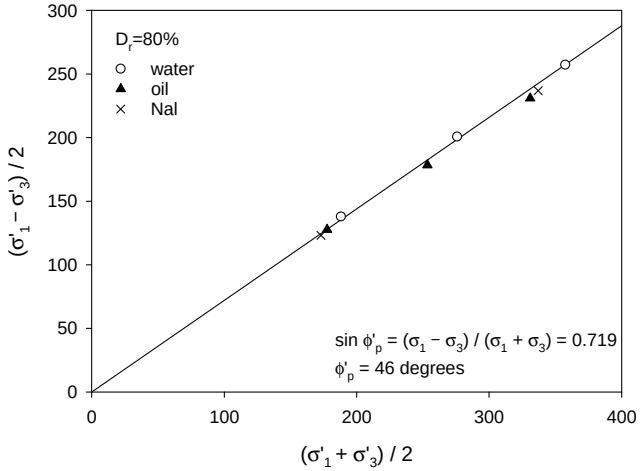

図-6 せん断応力－拘束圧関係（D_r=80%）