

セメンテーション効果のある砂の液状化特性とダイレイタンスー

新潟大学工学部 正会員 保坂 吉則
(株) 植木組 大島 崇弘
(株) オリス 大倉 直哉

1. はじめに

液状化強度は、同じ砂であっても密度や粒子配列による幾何学的要因、せん断履歴や過圧密などの応力履歴による力学的要因と、セメンテーションによる粒子間結合のような物理化学的要因などがそれぞれ組み合わせることによって異なってくるとされている。密度や履歴効果については多くの研究がなされているが、セメンテーションについては、これを実験室内で実地盤と同じように忠実に再現することは困難であるため明らかでない点が多い。そこで本研究では微量のセメントを混入することにより土粒子間の結合を簡易的に再現し、これが液状化挙動とダイレイタンスー特性に及ぼす影響がどの程度あるのかを三軸試験によって探ってみた。

2. 実験方法

試料には豊浦標準砂を用い、これに普通ポルトランドセメントを、土粒子質量に対して0.5%、および1.0%加えた。粒子接点に弱い結合を生じさせるという目的のため、地盤改良などで用いられるセメント量に比べてかなり少ない割合である。はじめに乾燥試料とセメントを良く混ぜ、飽和する程度の脱気水を加えてから直径50mm、高さ100mmの鋼製モールドに少しずつ入れて、木槌で打撃を与えながら所定の密度になるように作成した。セメント混入供試体は7日間の養生の後に実験を行なった。砂のみの試料は一度飽和度を下げ、凍結させてから三軸装置に設置した。

液状化試験は、98kPaで初期圧密した後、0.1Hzの正弦波による軸差応力振幅一定条件で行なった。

三軸排水せん断試験は、側圧一定(98kPa)、0.1%/minの軸ひずみ速度制御で行なった。軸ひずみ $\epsilon_a = 2.5\%$ まで圧縮したら載荷の方向を転じて除荷過程に入り、伸張側でも -2.5% まで達したら除荷を行なって1サイクルとした。両振幅約5%は液状化状態のひずみレベルを想定したものである。また、通常の三軸圧密排水せん断試験(CD試験)も実施し c_d, ϕ_d を求めた。

3. 液状化試験結果

液状化試験は、セメント0.5%混入したものと、砂のみの試料で、それぞれ相対密度が60%程度の中密な供試体と80%程度の高密な供試体、計4パターンを実施した。結果をまとめて図1に示す。

中密、および高密な供試体共にセメントを微量添加することによって液状化強度の増加を確認することができた。繰返し回数15~20回における応力比で見ると30%前後の強度増加を得ている。しかし、中密なセメント添加供試体が高密な砂供試体の強度を上回るまでには至らなかった。もちろん地盤改良で行なわれているようにセメントの量を増やせば大きな強度は得られるが、自然地盤におけるセメンテーション効果とは掛け離れたものになると思われる。今回作成した供試体を乾燥させたものを指で軽くほぐすとボロボロと崩れていく様子は、ちょうど凍結サンプリングした乱さない試料と同じようであったことから、力学的にはある程度自然なセメンテーションを再現できていたと思われる。

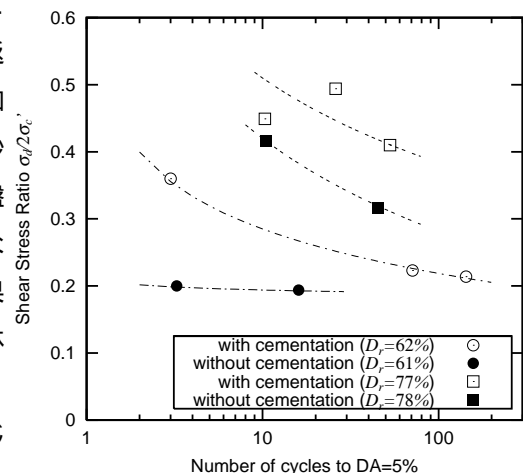


図1 液状化試験結果

キーワード: 液状化, ダイレイタンスー, セメンテーション, 三軸試験

連絡先 (〒 950-2181 新潟市 五十嵐 2 の町 8050 番地 ・ TEL 025-262-7032 ・ FAX 025-262-7021)

サンプリングされた乱さない試料の液状化強度が再構成試料に比べて2~3倍まで高くなっている事例¹⁾と比較すると、その地盤の液状化強度を規定する諸要因の内、セメンテーションの効果に因るものは、力学的な応力履歴に因るものに比べてあまり大きくないと言える。

4. 排水せん断試験結果

1サイクルの排水せん断試験におけるダイレイタンスー挙動として、軸ひずみと体積ひずみの関係を、中密な試料については図2に、高密な試料については図3に示す。

図から、圧縮過程ではセメントの添加量が増えるほど体積膨張が小さくなっていくのに対して、伸張過程では逆に体積膨張が大きくなり、正のダイレイタンスーが顕著になっていることがわかる。密度が異なってもその傾向は同じであるが、セメンテーションがない高密な砂でもセメンテーションを有する中密な試料よりは正のダイレイタンスーが卓越している。

中密試料によるCD試験の結果は、砂のみが $\phi_d = 36^\circ$ 、セメント0.5%添加の試料では $\phi_d = 34^\circ$ であり、予想に反してセメントを含んだ試料の方が若干小さくなった。粘着力 c_d もほとんど認められず、セメントによる粒子間結合力はかなり小さいのではないかと考えられる。

5. 液状化時の挙動とダイレイタンスー特性の比較

液状化時の有効応力挙動とダイレイタンスー特性の関係の定性的な比較を行なった。与えた軸差応力振幅がほぼ等しい液状化試験の有効応力経路を載荷初期の1サイクル分について図5に示す。最初の圧縮過程では双方ともその経路はほぼ同じであるが、伸張過程に入るとセメンテーションを有する試料の方が有効応力の低下が小さい。このことは、伸張過程での正のダイレイタンスー特性が大きいことと良く対応している。

三軸液状化試験時には圧縮過程より伸張過程で有効応力の低下を生ずることが多い。したがって、セメントを添加した試料の方が伸張側で正のダイレイタンスーが卓越したため、有効応力の低下が小さく、液状化強度の増加したものと考えられる。

6. まとめ

セメンテーション効果が液状化特性に及ぼす影響を検証するため、微量のセメントを添加した試料の三軸液状化試験を実施し、液状化強度が高くなることを確認したが、その効果は力学的な応力履歴や密度の影響に比べて小さいことがわかった。また、同じ試料による三軸排水1サイクルせん断試験によりダイレイタンスー特性を求めたところ、セメンテーションのある試料において伸張側で正のダイレイタンスーが卓越し、これが、液状化時の有効応力挙動と良く対応することがわかった。

<参考文献>

1)Yoshimi, Y., et al.(1984):Undrained Cyclic Shear Strength of a Dense Niigata Sand, 土質工学会論文報告集, Vol.17, No.4, pp.131-145

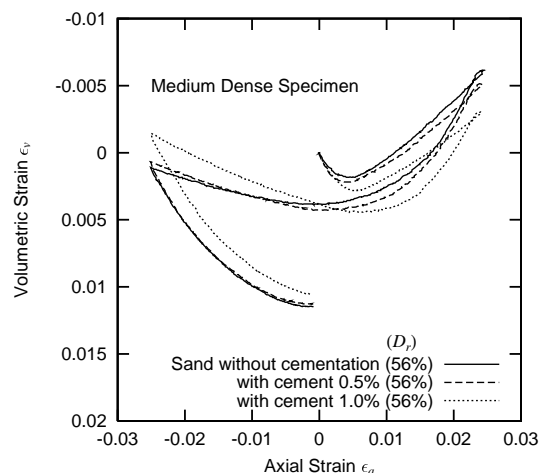


図2 排水せん断試験結果(中密)

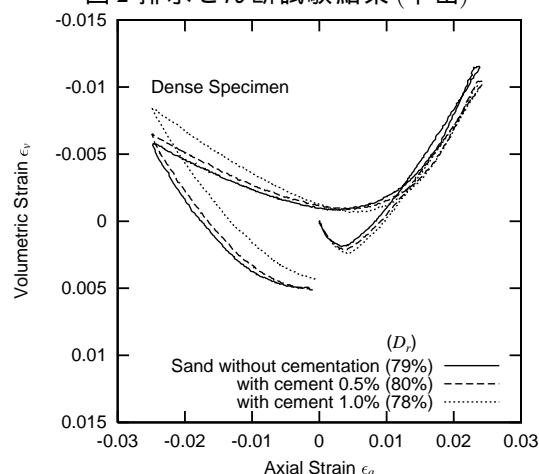


図3 排水せん断試験結果(高密)

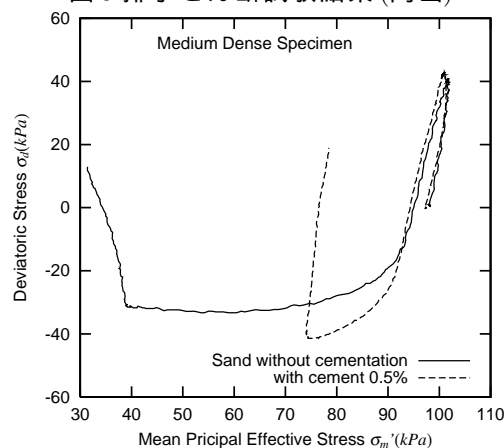


図4 有効応力経路の例