

短繊維による液状化に対する補強効果に粒子形状が及ぼす影響

補強土 液状化 粒子形状

名古屋大学 国際会員 ○酒井 崇之 中野 正樹
株式会社奥村組 国際会員 ガニエフ ジャックホンギルベク

1. はじめに

本研究では、短繊維補強土に着目する。これまでは、地盤工学分野では、繊維補強土の改良メカニズムを探るために、これまで数多くの実験研究が行われてきた。多くの研究では、短繊維補強土を使用した単調せん断試験を主に実施しており、繊維補強の有効性が確認されてきた^{例え ば 1)-3)}。しかし、短繊維補強土の動的挙動の検討例は比較的限られていると指摘されている⁴⁾。また、粒子形状によって繊維との相互作用が変化することが予想されることから、本研究では、粒度分布がほとんど同じである 2 つの異なる粒子の形状を持つ砂に対して、繊維の添加量を変えた様々なケースでの繰返しせん断特性を把握し、粒子形状が補強効果に及ぼす影響を調べる。

2. 本研究で用いた材料に関して

本研究では、三河珪砂 6 号(N6)と三河珪砂 R6 号(R6)を用いた。R6 は N6 を磨いた試料である。粒度分布は、JGS 0131 に規定された手順に従って得られた(図 1)。土粒子密度は、JIS A 1202 に従い計測し、2.65 g/cm³であった。表 1 に粒子形状を示すパラメータである真円度と縦横比を示した。N6 は R6 に比べ真円度・縦横比ともに値が大きく、角張っていることが分かる。R6 は、N6 を磨いて作製したから当然の結果ではある。用いた繊維はポリビニルアルコール製であり、長さ 12mm、直径 0.04mm、比重 1.3、引張強度 1560MPa、ヤング率 41GPa である。

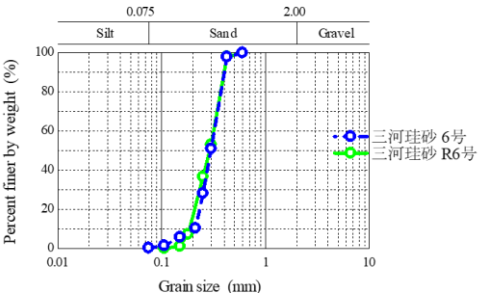


図 1 粒度分布

表 1 砂試料の粒子形状の比較

	N6	R6
真円度: R_c	0.73	0.80
縦横比: A_r	0.65	0.83

3. 供試体の作製方法と試験ケース

供試体の作製は、繊維と砂の混合、そして成形の 2 段階にわけて行った。短繊維は束状になっているため、手作業でばらけさせてから砂と混合させた。

砂と繊維を混合した後に高さ 100mm、直径 50mm の寸法のモールドに入れ、木槌でモールド側面を打撃することで締め固めて供試体を作製した。その後、背圧を-20kPa にして供試体を自立させ、モールドを外した。その後、繰返し非排水三軸圧縮試験を JGS 0541 2020 に従い実施した。なお、初期の拘束圧 p'_0 は 100kPa である。

試験ケースについては、繊維と砂の乾燥重量比 w_f が 0.0、0.2、0.4% の 3 ケースに対して実施した。相対密度は全て 40% である。応力振幅比 $(\sigma_a/2p'_0, \sigma_a$: 振幅)については、0.125、0.150、0.175、0.200 の 4 ケースに対して行い、液状化強度曲線を得る。

4. 実験結果と考察

ここでは、図 2~5 に非排水繰返し三軸試験の結果を示す。 q - p' 図にはサイクリックモビリティの傾き α の値を示した。 α は、 q と p' が増加していく過程における応力パスの傾きである。なお、紙幅の都合で、 $w_f = 0.2\%$ については示さない。図 2~5

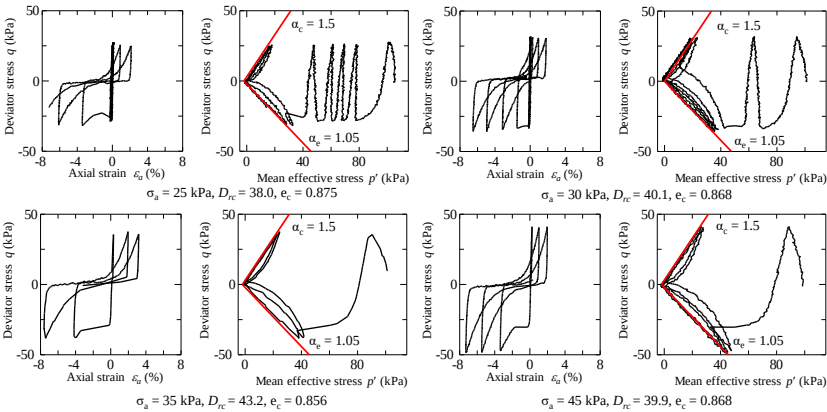


図 2 試験結果 (N6, $w_f = 0.0\%$)

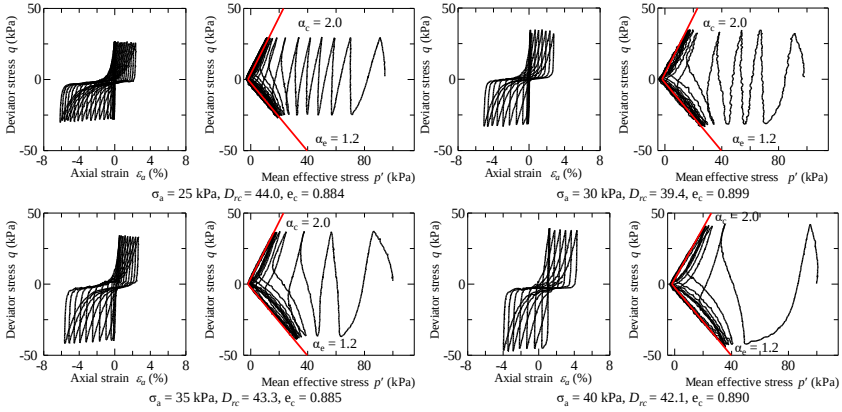


図 3 試験結果 (N6, $w_f = 0.4\%$)

から、いずれの場合も応力振幅が大きくなるほど、繰返しせん断によって平均有効応力が大きく減少しやすくなる。 q - p' 関係に着目すると、繊維を混合させることにより、圧縮側、伸長側どちらも大きくなる。またすべてのケースでサイクリックモビリティの傾き α は、圧縮側の方が大きい。これは中間主応力が原因の1つとされている⁵⁾。また、有効応力が0付近になるまでの繰返し回数が繊維補強土の方が多い。 q - e_a 関係に着目すると、多くの場合で引張側の方が、ひずみが進展しやすい。これは供試体作製時における異方性の影響であり、空中落下法で作製した場合、圧縮側と比較して伸長側の方が「強度」が低くなるからである。供試体作製時の異方性については、Yamada, et al. (2023)⁶⁾も指摘している。ここまでの傾向は粒子形状によらず、一致している。一方、繊維を混合することにより、供試体の作製時の異方性は低減される。そのため、繊維補強土は圧縮・伸長側について同程度ひずみが進展しているケースがみられる。これは、繊維がない場合は供試体作製時に砂粒子が堆積面を形成するためである。一方、繊維がある場合、繊維がこの堆積面の形成を阻害するため、供試体作製時の異方性が発現しづらい。

図6に、N6とR6の液状化強度曲線を示す。図中の N_{DA} は繰返し載荷により軸ひずみの両振幅DAが5%に達した回数である。図6のプロットが実験結果で、実線は近似曲線である。液状化強度曲線の近似曲線はTatsuoka et al. (1980)⁷⁾を参考に、以下の式で近似した。

$$CSR = R_{L20} \left(\frac{N}{20} \right)^a \quad (1)$$

ここで、 R_{L20} は N_{DA} が20のときの、応力振幅比である。 a は曲線の傾きを示す。 a の絶対値が小さい方が、少しの応力振幅の変化で、急激に液状化しやすくなりやすい。 R_{L20} と a の値は図中に示した。また図中には近似曲線の決定係数 R^2 も示した。ほとんどのケースで $R^2 > 0.95$ となっており、Tatsuokaらの提案式で短繊維補強土の挙動を表現可能である。

w_f が大きくなるにつれて、液状化強度曲線が右上に移動していく。N6とR6の両方とも、応力振幅比の大小に依らず、ひずみが進展しづらくなった。つまり、繊維補強によって液状化強度は大きくなる。また、 w_f が増加するにつれて、曲線の傾き a の絶対値が大きくなった。

同じ相対密度、 w_f でも、R6の方が、液状化強度が大きい。このことは同じ相対密度であっても、間隙比はR6の方が0.1程度小さいからだと考えられる。しかし、N6は繊維による改良効果は、特に $w_f = 0.2$ のときは、R6よりも大きいことがわかった。これは、R6は、N6を研磨して作製しているため、N6の方が角ばっている。そのため、N6の方が、R6に比べて繊維との相互作用が大きくなったと考えられる。

5. おわりに

短繊維によって液状化強度は上昇することがわかった。今後は密度の影響なども調査していき、さらに補強効果について調べていく。

参考文献：1) Consoli, et al. (2007): Shear strength behavior of fiber-reinforced sand considering triaxial tests under distinct stress path. J. Geotech. Geoenviron. Eng. ASCE 133 (11), 1466-1469. 2) Dos Santos, et al. (2010) The mechanics of fibereinforced sand, Géotechnique, 60(10), pp791-799. 3) Ibrahim, et al. (2012) Assessment of laboratory sample preparation for fibre reinforced sands, Geotextiles and Geomembranes, 34, pp69-79. 4) Festugato, et al. (2022): Cyclic response of fibre reinforced dense sand, Transportation Geotechnics, 37, 100811. 5) Yoshimine, et al. (1998) Effects of Principal Stress Direction and Intermediate Principal Stress on Undrained Shear Behavior of Sand, Soils Found., 38 (3), pp.179-188. 6) Yamada, et al. (2023): Experimental study on sand anisotropy using hollow cylinder apparatus. Soils Found., 63 (3), 101326. 7) Tatsuoka, et al. (1980): Normalized dynamic undrained strength of sands subjected to cyclic and random loading. Soils Found., 20 (3), pp. 1-16.

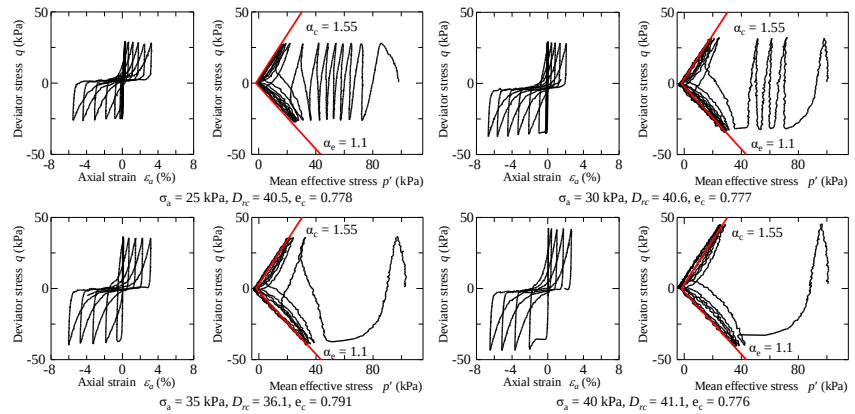


図4 試験結果 (R6, $w_f = 0.0\%$)

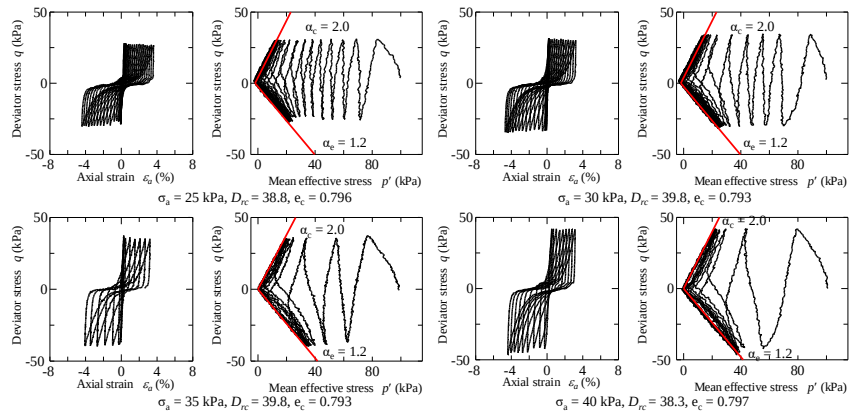


図5 試験結果 (R6, $w_f = 0.4\%$)

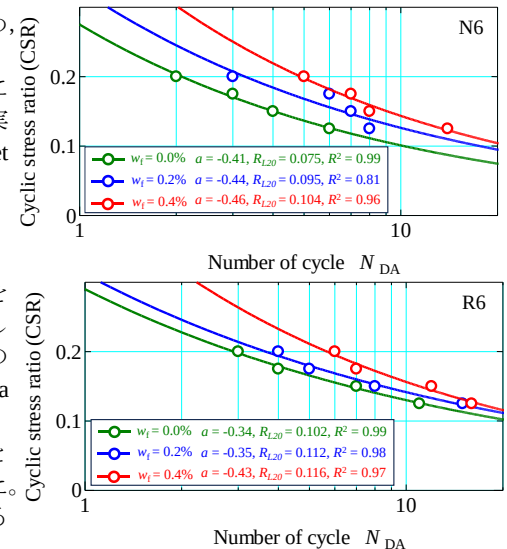


図6 液状化強度曲線