

京都大学大学院 正会員 岡二三生・小高猛司

京都大学大学院 学生員 ○西松範介・高戸順一・田久勉

東亜建設工業 正会員 大野康年

1.はじめに

液状化対策工法として用いられる薬液注入工法は設備等が小規模で騒音、振動が小さいことから都市部や既設構造物に対する工法として期待されている。本報では薬液注入工法を用いる際に必要となる薬液改良砂の強度特性、変形特性について研究を行った。注入薬液として水ガラス系のグラウトが一般的であるが、今回はその中で特殊シリカ系の溶液型活性シリカを用いた。この薬液は、水ガラスをイオン交換することによって得られる純粋なシリカの活性コロイドをベースに作られており、劣化の原因である固結物からのシリカ溶脱がほとんどなく、長期耐久性に優れたグラウトである。

2.実験概要

実験には相対密度 $Dr=40\%$ と 80% の無改良豊浦砂と $Dr=40\%$ の豊浦砂に所定の鉛直拘束圧を加えたまま、薬液を浸透注入および養生して作製した改良砂を用いた。行った実験は以下の4種である。I) 単調載荷試験：有効拘束圧を $50kPa$ 、 $100kPa$ 、 $200kPa$ の3種類で等方圧密後、軸ひずみ速度 $0.5\%/min$ で非排水せん断、II) 繰返し三軸試験：有効拘束圧 $50kPa$ で等方圧密後、数種類の繰返し応力比で軸ひずみ速度 $0.5\%/min$ で非排水繰返しせん断、III) 繰返し中空ねじりせん断試験：有効拘束圧 $50kPa$ で等方圧密後、数種類の繰返し応力比でせん断ひずみ速度 $0.5\%/min$ で非排水繰返しせん断、IV) 変形特性を求めるための繰返し三軸試験

3.実験結果と考察

図1～図3に単調載荷試験の結果を示す。改良砂と豊浦砂を比べてみるといずれの拘束圧においても、同じ軸ひずみレベルでは改良砂の方が軸差応力は明らかに大きい。載荷開始直後、弾性応答により有効応力径路はほぼ垂直に上昇するが、その後負のダイレイタンスーによって正の過剰間隙水圧が発生し始める。過剰間隙水圧比に換算した場合、最大値は改良の有無、拘束圧の大きさによらず、ほぼ一定となる。しかし、正のダイレイタンスーを示すようになると、改良砂の方が大きな負の過剰間隙水圧が発生している。また、有効応力径路に大きな違いは見られないが、破壊線に漸近する前に若干上側にふくらんで上昇してゆく。破壊線の勾配は豊浦砂も改良砂もほとんど同じであるが、改良砂の有効応力径路は載荷初期にわずかに上側にふくらんだ分だけ、改良砂の破壊線は豊浦砂の破壊線より上方に存在することになる。拘束圧 $50kPa$ の改良砂の実験において、軸ひずみが大きくなり軸差応力が $1000kPa$ に近くなったあたりで軸差応力上昇の曲率が急激に下がり、頭打ちの状態となっているが、これは負の間隙水圧が真空状態に近づき、それ以上に有効応力が増加しなくなるためである。背圧を十分大きくしておけばこの現象は回避できるが、今回は背圧を一律 $200kPa$ で行ったためにこのような

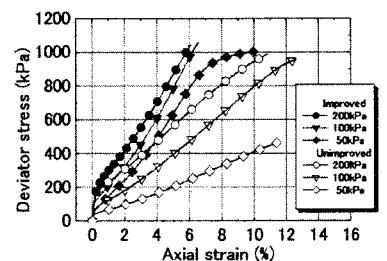


図1 軸差応力-軸ひずみ関係

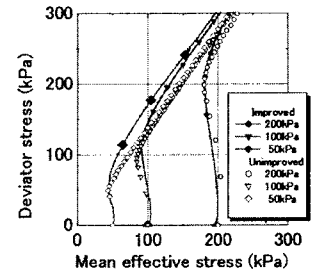


図2 有効応力径路

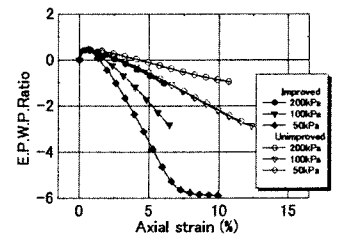


図3 過剰間隙水圧比-軸ひずみ関係

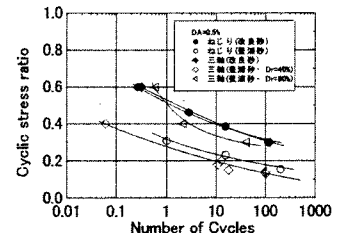


図4 液状化強度曲線

結果となった。しかし、軸差応力は増加しなくなるものの、改良砂供試体は樽型に変形したのみであり、せん断帯の発生等大きな変化は観察されなかった。

図4に繰返し試験結果から得られた液状化強度曲線を示す。軸ひずみ両振幅が0.5%のデータをプロットしたものである。改良砂とDr=40%の豊浦砂では強度に違いが見られたが、Dr=80%の密詰め豊浦砂とは近い強度を示している。

図5で等価ヤング率に注目すると軸ひずみ片振幅0.1%以下では改良砂とDr=40%の豊浦砂に明らかな強度の違いが見られる。また、ここにおいてもDr=80%の豊浦砂は比較的改良砂に近い変形特性を示している。履歴減衰率は軸ひずみ片振幅が小さい範囲ではあまり大きな違いはない。しかし、大ひずみでDr=40%の豊浦砂の履歴減衰が非常に大きくなっているが、これは急激にひずみが発生し、正確な計測ができなかったためであり、これは参考値とする。

図6～図8に繰返し三軸試験の代表的な場合の軸差応力-軸ひずみ関係と有効応力径路を示す。改良砂と豊浦砂では発生するひずみの量は異なっているが軸差応力-軸ひずみ関係の最終的なループはほぼ同じ形状で改良砂の方がやや膨らみがある程度である。しかしひずみの発生の方には大きな違いが見られる。改良砂はひずみが繰返し回数1回目に大きく発生したあと、回数を重ねるごとに徐々に増分量は小さくなり、最終的に一定のひずみレベルに収束している。それに対し豊浦砂では始めひずみはほとんど発生しないが平均有効応力20kPa前後で急激に発生し、増大している。密詰め豊浦砂は液状化強度曲線の上では似ているが、繰返すごとにひずみは蓄積されており応力-ひずみ関係としてはかなり異なる。

4.まとめ

単調および繰返し載荷試験、また動的変形試験を通し、改良砂が静的にも動的にも強度が上昇し、非常に改良効果の高い材料であることが分かった。特に液状化強度と初期剛性が大きく上昇することが確かめられた。改良砂は浸透注入する前の供試体作製時には、Dr=40%で作製されたが、実験終了後に炉乾燥させた試料の重量から求めた見かけの相対密度は数字上60%以上となっていることが分かった。そのため、Dr=80%の無改良密詰め砂の実験も比較のため行ったが、液状化強度および変形特性いずれをとっても、改良砂の実験結果と類似の結果を得ることができ、浸透注入改良砂の性質は密詰め砂の性質に近いことが示唆された。しかし、依然として改良砂独特の性質、例えば、繰返し試験中に軸ひずみが一定に収束する、絶対真空中でも形状を維持できる、などの特徴が明らかとなった。

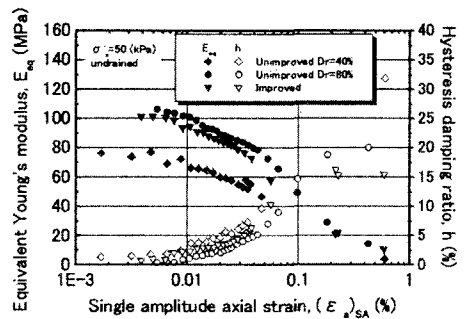


図5 動的変形試験

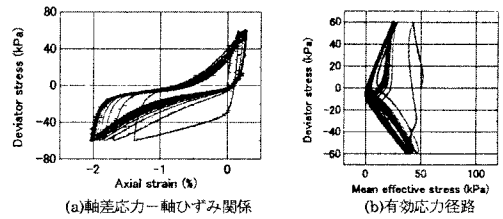


図6 繰返し三軸試験結果(改良砂・応力比0.6)

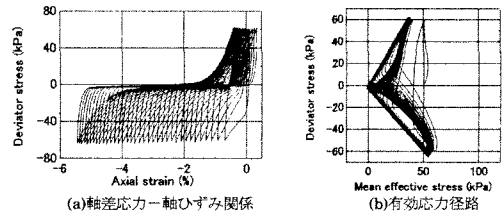


図7 繰返し三軸試験結果(密詰め豊浦砂・応力比0.6)

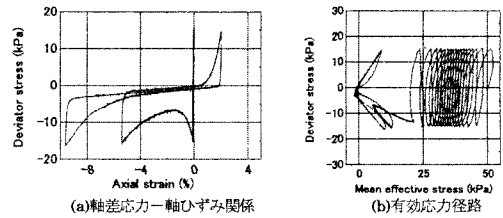


図8 繰返し三軸試験結果(豊浦砂・応力比0.15)