

薬液改良砂と薬液自身の排水三軸圧縮強度と載荷速度依存性

熊谷組（元東京理科大学）正会員 ○中村 滋 元東京理科大学 学生会員 紙山 卓次
 東京理科大学 正会員 龍岡 文夫 東京理科大学 正会員 塚本 良道

1. はじめに

水ガラス系薬液による薬液注入工法は従来、推進工事や開削工事の止水など、仮設工事のみに適用されてきたが、近年開発された特殊シリカ系薬液は長期耐久性を有し、既設構造物下部の地盤改良工事などに適用されてきている。砂質地盤が地震動により液状化に至る際、有効拘束圧がゼロに至るが、砂粒子の間隙がゲルで充填されている改良砂は、有効拘束圧が約 5～20kPa 残留し液状化に至らないことが既往の研究で知られている¹⁾²⁾。本研究では、比較的低い拘束圧下でせん断試験を実施し、薬液改良砂、薬液（ホモゲル）、未改良砂のせん断挙動を調べ薬液改良砂の液状化強度増加メカニズムを検討した。

2. 実験概要

試料には、未改良砂、薬液改良砂、薬液（ホモゲル）を用いた。供試体作製方法には湿潤締め法（6 cm×12 cm, $D_r=20,40\%$ ）を採用した。供試体作製後、ゼロ拘束圧下で通気・通水を行い養生した。ホモゲル供試体（ $\phi 6$ cm×12 cm）の作製には、pH=3.0 に調整された溶液型活性シリカ（濃度 9%）を使用した。試験機は、ひずみ制御型三軸圧縮試験機を使用した。供試体設置後、排水三軸圧縮試験を行い、その際鉛直ひずみを LDT を用いて測定し、また側方ひずみを Gap-sensor を用いて測定し体積変化を求めた。

3. 排水三軸試験結果

(1) 薬液改良砂、薬液（ホモゲル）、未改良砂の排水三軸試験における変形強度特性

図 1 に、薬液改良砂（相対密度=40%，ゲル濃度=9%，pH=3.0, $t_{ini}=126$ days, 拘束圧=40 kPa, 載荷速度=0.4 %/min）、未改良砂（相対密度=40%，拘束圧=40 kPa）とホモゲル（ゲル濃度=9%， $t_{ini}=180$ day, 拘束圧=40 kPa）の三種類の供試体を用いて排水三軸圧縮試験を行った実験結果を示す。図 1 より、未改良砂とホモゲルの応力ひずみ曲線を見ると、未改良砂のピーク強度は約 120 kPa となり、またホモゲル供試体においてはピークは生じず、軸ひずみ 15 %の時、軸差応力は約 20 kPa である。この両者の軸差応力を足し合わせたものが図の点線である。砂の間隙にホモゲルを充填したものが薬液改良砂であるので、一般的に考えれば薬液改良砂の軸差

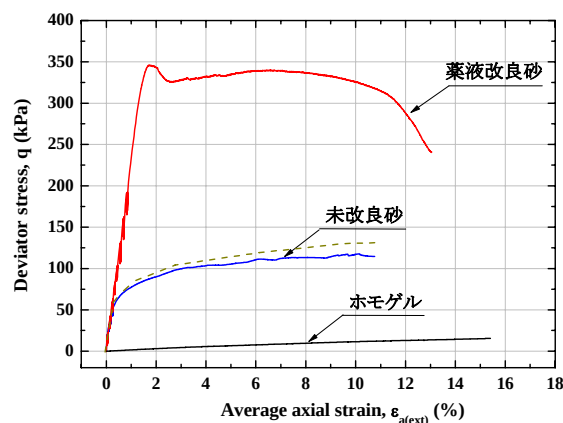


図 1 排水試験結果比較（拘束圧 40kPa）

応力のピーク強度は約 140 kPa になるはずである。理由は使用している薬液には収縮性がなく、ただ砂の間隙の水をホモゲルに置換しただけのもので、かつホモゲルの強度は弱いものであるからである。しかし、実際の薬液改良砂のピーク強度は約 350 kPa と未改良砂とホモゲルの軸差応力を足し合わせたものの約 2.5 倍になる。このことは、地盤が液状化に至る低拘束圧でさらに顕著になる。図 2 に薬液改良砂（相対密度=40%，ゲル濃度=9%，pH= 3.0, $t_{ini}=240$ days, 拘束圧=5kPa, 載荷速度=0.4 %/min）、未改良砂（相対密度=40%，拘束圧=5kPa）とホモゲル（ゲル濃度=9%， $t_{ini}=100$ days, 拘束圧=5 kPa）の三種類の供試体を用いて排水三軸圧縮試験を行った実験結果を示す。図 2 より、未改良砂とホモゲルの応力ひずみ曲線を見ると、未改

キーワード 溶液型薬液注入 排水圧縮強度 載荷速度依存性

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
 TEL 04-7124-1501

良砂の軸差応力のピークは約 40kPa となり、拘束圧が 40kPa の時に行った未改良砂排水三軸試験のピーク強度約 110kPa の約半分となる。また、拘束圧 5 kPa で排水三軸試験を行ったホモゲル供試体 ($t_{ini}=100$ days) は、拘束圧 40kPa でのホモゲル ($t_{ini}=180$ days) の排水圧縮試験同様、ピーク強度は表れず強度的にはほぼ同じとなった。また、薬液改良砂においても同様に、未改良砂の強度とホモゲルの強度を足し合わせたものよりも遥かに大きな強度になった。

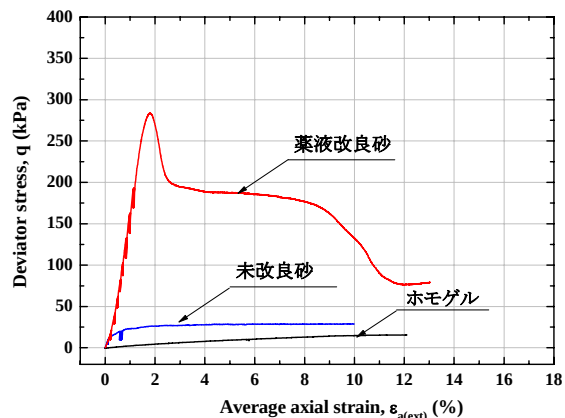


図 2 排水試験結果の比較 (拘束圧 5kPa)

(2)薬液改良砂の載荷速度依存性

図 3 に、相対密度 40 % の薬液改良砂（濃度 = 9 %， $\text{pH}=3.0$ ， $t_{\text{ini}}=98\text{day}$ ，拘束圧 = 20 kPa）を用いて、載荷速度を急変させた排水三軸圧縮試験を行った実験結果を示す。図 3 より薬液改良砂は、載荷速度を急変したときの軸差応力のジャンプ量が極めて大きいことが、図 3 の実験結果からわかる。この材料の粘性がもたらす載荷速度急変時の主応力のジャンプ量を定量的に表すために、速度感応係数 B が用いられる。（速度感応係数 B についての研究は参考文献を参照されたい。）これにより、速度感応係数 B を算出した図を、図 4 に示す。その結果、速度感応係数 $B=0.175$ という極めて大きな値を示した。一般に砂の速度感応係数 B は 0.02~0.04 の値をとるといわれているが、薬液改良砂の速度感応係数は 0.175 であり砂の値と比較して遥かに大きな値を示す。すなわち、載荷速度が大きくなると薬液改良砂の強度は著しく増加するといえる。地震時の原地盤での載荷速度は、室内試験よりも遥かに大きい。従って、薬液改良砂の原地盤での液状化強度は室内実験による強度よりも大きいと考えられる。

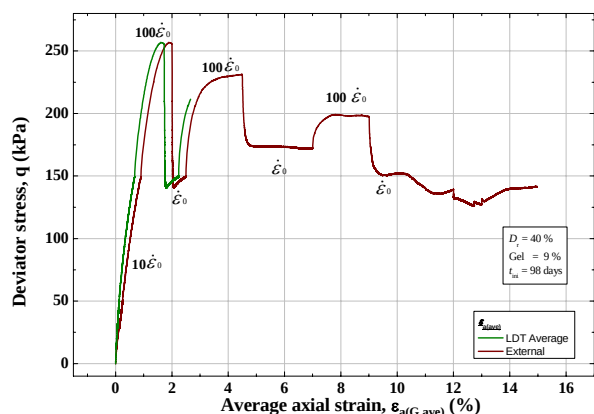


図3 薬液改良砂の載荷速度依存性

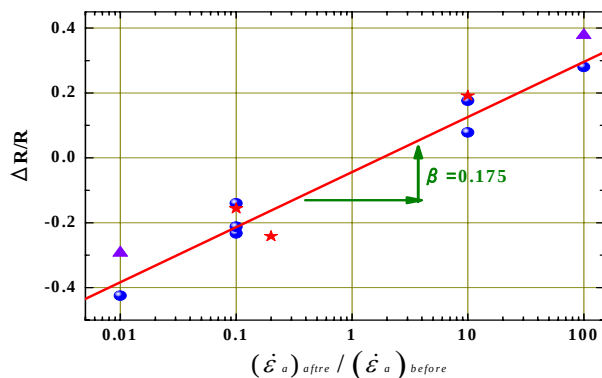


図4 薬液改良砂の速度感応係数 β

4. まとめ

薬液改良砂のせん断強度は、未改良砂とホモゲルの両者のせん断強度を足し合わせたものよりも遥かに大きい。これは、拘束圧が高い時よりも、地盤が液状化する低拘束圧状態で著しい。薬液改良砂の単調載荷における変形強度特性は、通常の砂よりも遥かに大きな載荷速度依存性を示す。地震時の原地盤での載荷速度は、室内試験よりも遥かに大きい。従って、原地盤での液状化強度は室内実験による強度よりも大きいと考えられる。

【謝辞】 本研究の遂行にあたり、ライト工業羽田哲也氏の協力を得たので、ここに謝意を表します。

【参考文献】 1) 梅田敬太郎：薬液注入固化砂の繰返し強度特性と変形特性、東京理科大学修士論文、2004. 2) 榎本忠夫：三軸圧縮における粒状体の粘性特性に及ぼす粒子特性の影響とそのモデル化、東京理科大学修士論文、2005.