

安定処理砂の圧裂引張およびせん断特性における固化材の影響

山口大学大学院 学生会員 ○山下智 吉川直孝 徳永諭史
山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一

1. はじめに

実地盤の支持力増強や盛土のすべり破壊防止、液状化防止を目的として、各種固化材を地盤に混合させる安定処理工法が数多く用いられている。近年の地盤改良材の技術開発は目覚ましく、使用される固化材の固化後の強度は、比較的低いものから高いものまで広範である。そのため、対象地盤の用途に応じ、固化材を適切に選定する必要もある。本研究では、固化材が改良地盤の強度に与える影響を検討し、様々な固結砂に対する統一的な力学特性の評価を試みた。ここでは種々の固化材で固化された砂に対して、二粒子間直接引張試験、圧裂引張試験および三軸圧縮試験と系統立てた実験を行い、力学挙動に与える固化材の影響を検討した。

2. 試料および供試体作製方法

本研究で用いた試料は、粒径 $0.18\sim 2.0\text{mm}$ の $\text{Silica}_{0.18-2.0}$ と粒径 $1.4\sim 1.7\text{mm}$ の $\text{Silica}_{1.4-1.7}$ である。固化材には超微粒子セメント(以下MC)、ポルトランドセメント(以下PC)、石膏(以下GY)を用いた。固化材の粒径はMCが $1\sim 10\mu\text{m}$ と最も微細であり、続いてGYが $1\sim 52\mu\text{m}$ 、PCが $8\sim 670\mu\text{m}$ である。供試体は砂と固化材と水を混合させモールド内に投入後、所定高さまで締固めを行い、1日後脱型し、所定期間養生させた。供試体の相対密度は砂のみで考慮して $D_{rs}=45\%$ とした。固化材添加率は $Q_c=3.4\%$ 、 6% 、 15% とした。水セメント比 W/C は、 $Q_c=3.4\%$ および 6% において $W/C=150\%$ 、 $Q_c=15\%$ において $W/C=70\%$ とした。養生日数は脱型後 20°C 13日間とした。 $\text{Silica}_{0.18-2.0}$ を用いて圧裂引張試験は直径 $d=50\text{mm}$ 、厚さ $t=20\text{mm}$ の円盤供試体、三軸圧縮試験は直径 $d=50\text{mm}$ 、高さ $h=100\text{mm}$ の円柱供試体を使用した。また固化材自体の圧裂引張強度を計測するため、それぞれ固化材 42g に水 29.4g ($W/C=70\%$) を加えて圧裂引張試験用の供試体を作製した。PC、MC 固化材のみの供試体に対して脱型後 50°C 2日間、GY 固化材のみの供試体に対して脱型後 20°C 2日間養生させた。また、二粒子直接引張試験に用いた固結された二粒子は、 $\text{Silica}_{1.4-1.7}$ の圧裂引張試験用の供試体を脱型後破壊し、比較的損傷を受けていない箇所からランダムに採取し、PC、MC は脱型後 50°C 2日間、GY は脱型後 20°C 2日間養生させた。

3. 試験の結果および考察

(1) 二粒子間直接引張特性：二粒子間直接引張試験より試験後の破壊面の顕微鏡写真から破壊形態を観察し、以下に示す破壊パターン A, B, C に分類した。A は砂粒子と固化材の境界で破壊される場合、B は固化材自体が破壊される場合、C は砂粒子自体が破砕する場合とした。図 1 に分類した破壊形態の頻度分布を示す。いずれの固化砂も砂粒子と固化材の境界での破壊が最も多いが、GY は固化材自体の破壊が多く見られること、MC においては固化材自体の破壊よりも砂粒子自体が破砕しやすいことがみてとれる。

(2) 圧裂引張強度特性：各種固化砂に対して圧裂引張試験を行い、得られた最大軸荷重 $P_{\max}$ を用いて次式により圧裂引張強度 σ_t を算定¹⁾した。

$$\sigma_t = \frac{2P_{\max}}{\pi dt}$$

ここで d : 供試体直径、 t : 供試体厚さである。写真 1 は圧裂引張試験後の MC 固化砂および GY 固化砂において、破断面の顕微鏡写真である。写真 1(a)より、MC 固化砂は破断面の一部に

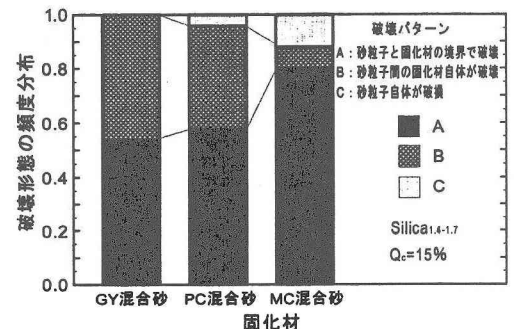
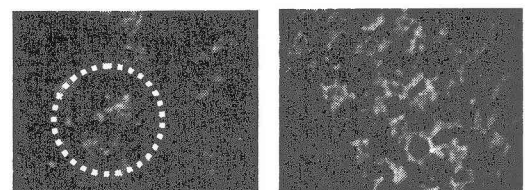


図 1 各種固化砂の二粒子間破壊形態の比較



(a) MC 固化砂 ($Q_c=15\%$) (a) GY 固化砂 ($Q_c=15\%$)

写真 1 顕微鏡写真による圧裂引張試験後の破断面の観察

粒子自体の破碎が確認できた。また、粒子の形がよく確認できることから、砂粒子と固化材の境界で多く破壊していると考えられる。写真 1(b)より、GY 固化砂は破断面において粒子の形が明確でないこと、固化材が多く見られたことから、固化材自体が多く破壊していると推察される。このことより、二粒子間の微視的な破壊形態が、より巨視的な圧裂引張破壊と類似していることが認められた。図 2 に圧裂引張強度と固化材添加率の関係を示す。いずれの固化砂もセメント添加量の増加に伴い、圧裂引張強度は増加しているが、固化材添加率の増加に対する圧裂引張強度の増加の割合が固化材によってそれぞれ異なっていることが見出された。なお、図の右端に示すプロットは固化材のみの供試体における圧裂引張強度である。これより、固化材自体の強度は PC と MC でほぼ同等であり、GY は固化材の強度が非常に弱いことが明らかとなった。

(3) 排水三軸圧縮試験による各種固化砂のせん断特性²⁾：図 3 に、3.4%MC、6%PC、15%GY 固化砂に対して三軸圧縮試験を行い得られた応力とひずみの関係を示す。図 2 において 3.4%MC 固化砂、6%PC 固化砂および 15%GY 固化砂の圧裂引張強度がほぼ同等であることがわかる。図 3 より、等しい拘束圧下において、最大応力比はほぼ等しいことがみてとれることから最大応力比は圧裂引張強度より推定可能であることが示唆された。また、いずれの固化砂も最大応力比を先に迎えており、最大ひずみ増分比と一致していない。有効拘束圧 $\sigma_c = 0.1 \text{ MPa}$ において 3.4%MC 固化砂は最大応力比と最大ひずみ増分比の差が大きく、15%GY 固化砂は両者の差が小さく表れた。一般的な粒状材料は、最大応力比と最大ひずみ増分比が一致することから、15%GY 固化砂が最も粒状材料の挙動に近いといえる。拘束圧のより高い $\sigma_c = 0.3 \text{ MPa}$ は、最大応力比時の軸差ひずみと、最大ひずみ増分比時の軸差ひずみの差は、15%GY 固化砂と 3.4%MC 固化砂でほぼ同等となった。図 4 に 3.4%MC 固化砂と 15%GY 固化砂における等方圧縮時の体積ひずみと平均有効主応力の関係を示す。これより、 $\sigma_c = 0.3 \text{ MPa}$ は $\sigma_c = 0.1 \text{ MPa}$ に比べ、MC 固化砂と GY 固化砂の体積ひずみの差が大きく表れていることが確認できる。これは、MC 固化砂が $Q_c = 3.4\%$ と固化材添加量が少なく、等方圧縮時に拘束圧の増加に伴い粒子間の固結構造が損傷し、せん断時に粒状材料の挙動に近くなったと考えられる。

4. まとめ

今回用いた固化砂に対して、圧裂引張特性およびせん断特性の評価を行った。1) 固化砂の圧裂引張強度は固化材自体の強度に起因していることが認められた。2) 三軸圧縮試験における応力比の最大値は圧裂引張強度より推定可能であることが示唆された。しかし、変形特性は固化材の影響を無視できないことが認められた。3) 二粒子間の破壊時に固化材自体が壊れやすい固化砂は粒状材料に近いせん断挙動を示すと考えられる。

【参考文献】1) 平松良雄，岡行俊，木山英郎（1969）：岩石の圧裂試験に関する研究，日本鉱業会誌，85，969，pp.8-14

2) 香月大輔，中田幸男，兵動正幸（2004）：割裂強度およびダイレタンス特性に着目したセメント固化粒状材料のせん断特性の評価，

Journal of Society of MATERIALS SCIENCE JAPAN vol.53, No.1, pp13~16 Jan.2004

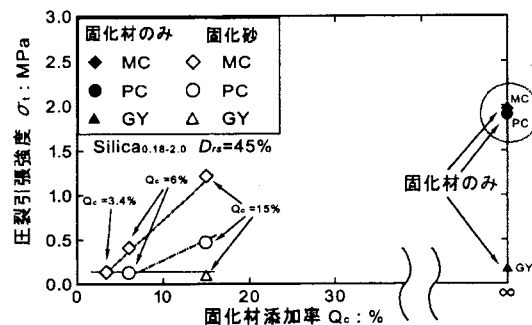


図 2 圧裂引張強度－固化材添加量関係

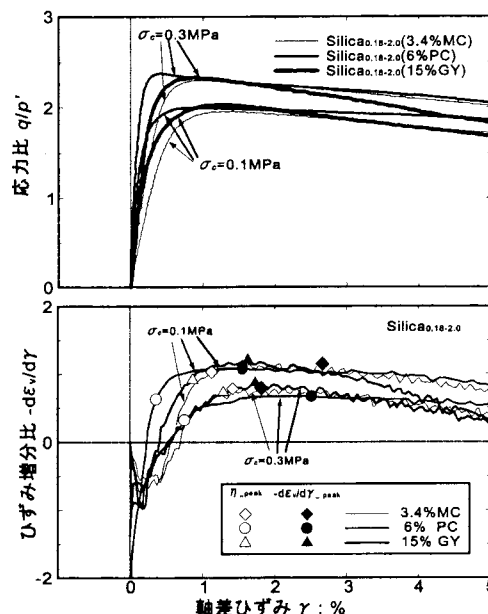


図 3 三軸圧縮試験での応力－ひずみ関係

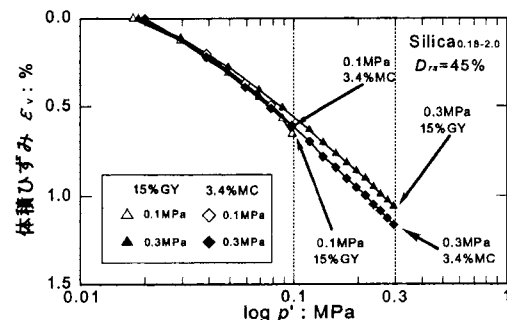


図 4 等方圧縮時の体積ひずみ
－平均有効主応力関係