

砂に対するセメンテーション効果が三軸圧縮挙動に与える影響

山口大学工学部 正員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一
 山口大学大学院 学生員 ○香月大輔
 (株) 復建調査設計 正員 福永誠

1. はじめに

地盤改良工法にはいくつかの工法が開発されており、技術的にも改良が加えられ、生活基盤の多様化とともに土木構造物建設に用いられるケースが増加している。中でも、セメント系固化材を用いた浅層および深層の地盤改良工法は今後も施工例が増加するものと思われる。しかし、施工例が増加しているにも関わらず、施工後の改良効果の予測における精度はまだ高いものとはいえない。この原因は、セメント固結土の強度評価法にその簡便性のため、主に一軸圧縮試験が用いられているため拘束圧による影響を考慮することができないためであると考えられる。本研究では、その問題を解決しセメント固結土の力学特性をより正確に把握するため、実地盤においてセメント固結砂土が拘束圧を受ける状態で存在していることを考慮し、一軸圧縮試験および三軸圧縮試験両方の試験結果から、セメント固結土の力学特性の拘束圧依存性について調べることを目的とした。

2. 試料および試験方法

用いた砂試料は、2種類の粒径（0.074～2.0mm, 0.074～0.6mm）に粒度調整した珪砂を用いた。図-1に用いた試料の粒度加積曲線を示している。試料は砂のみの相対密度が30%に相当する質量と、その砂の乾燥質量に対して4%, 7%となる量のセメント、水セメント比（W/C）が150%となる水、ベントナイト水比（B/W）が2%となるベントナイトを混合したものを用いている。ここで、試料に砂を用いた理由として、粒径の違いによる強度の比較が可能である砂はそれ自身では粘着力を持たないためセメントの固結力について正確なデータを得やすいことなどが挙げられる。ベントナイトは、混合した試料の分離を防ぐために用いた。供試体は混合した試料をモールドに詰め、プレス機により締固めを行い作成した。供試体作成後14日間養生した後試験を行った。試験条件は、一軸圧縮試験はセメント添加量4, 7%, 三軸圧縮試験は0.4, 7%の供試体に対して行った。三軸圧縮試験の拘束圧は $\sigma_c = 0.1 \sim 2.0 \text{ MPa}$ とした。セメントを添加しない供試体は、空中落下法により作成した。供試体寸法は直径5cm、高さ10cmで一軸および三軸圧縮試験ともに共通である。

3. 試験結果

まず最初に、三軸圧縮試験の結果について示す。ここでは、何種類かある条件の中から粒径0.074～0.6mm、セメント添加量4, 7%の供試体について示す。（図-2参照）この図から拘束圧の増加に伴い最大主応力比が減少していく様子が見られる。また、拘束圧が増加すると、最大主応力比が認められる軸ひずみの値が大きくなる傾向が見られる。また、

(a), (b)図の同一の拘束圧で比較すると、最大主応力比にセメント添加量が多いために大きな影響を与えているのが0.1MPaのときであり、拘束圧が高くなるとセメント添加量の影響を受けにくくなり、1.0, 2.0MPaにおいては、その影響はほぼ見ることができない。また、セメント添加量4%の供試体と比較してセメント添加量の多い7%の供試体では、拘束圧0.1MPa～2.0MPaの範囲内で最大主応力比の遷移した値の幅が大きくなっていることがわかる。このことから、セメント添加量が多いほど拘束圧の影響を受けやすいといえる。

つぎに、変形係数 E_{50} と拘束圧 σ_c の関係を図-3に示す。ここでは、変形係数を求めることにより、セメント固結砂

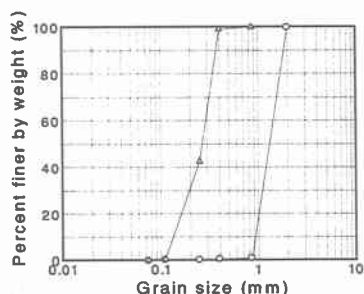
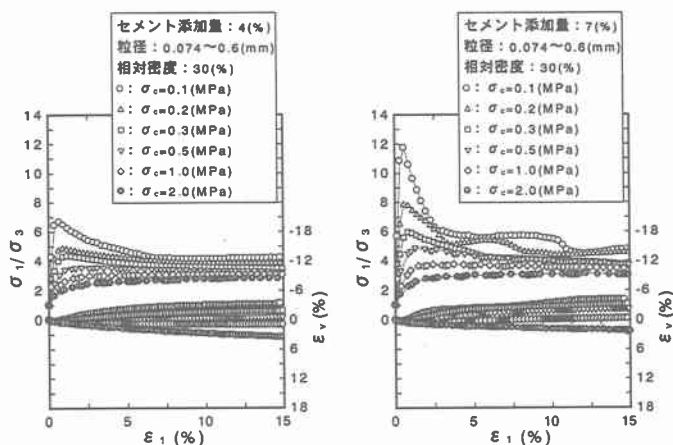


図-1 粒度加積曲線



(a) セメント添加量 4%

(b) セメント添加量 7%

図-2 主応力比・軸ひずみ関係

の初期剛性について調べることとする。図-3 (a) (b) から、変形係数 E_{50} の遷移の過程は曲線を示しており、拘束圧が増加するに伴い変形係数が低下していく様子がわかる。また (a) (b) を比較すると粒径の違いによる変形係数の遷移の傾向に違いが認められる。粒径 0.074~2.0mm の供試体において変形係数 E_{50} の低下の割合は、粒径 0.074~0.6mm の供試体と比較し

て小さいものと判断される。セメントを添加した供試体の最大主応力比が大きく拘束圧の影響を受けたのと同様に、初期剛性も拘束圧の影響を受ける。

固結砂の最大主応力比は顕著な拘束圧依存性を示すことが認められたことから、より詳細な検討を行うために、セ

メント固結砂の強度と一軸圧縮試験および三軸圧縮試験を行った後の供試体の破壊形態の関係について述べた。試験後の供試体の破壊形態について調べると、何種類かの違う破壊形態が存在することがわかった。その破壊形態は大きく分類すると、供試体が縦に割れるもの、せん断面が現れるものおよび供試体の側面が膨らんで樽状になるものの 3 種類である。ここでは、それぞれを縦割れ型、せん断破壊型および樽型と呼ぶものとする。しかし、すべての供試体の破壊形態が上記の 3 種類に明確に分類可能というわけではなく、縦割れ型とせん断破壊型の中間的な破壊形態や、せん断破壊型と樽型の中間的な破壊形態の存在が確認された。また、各条件において破壊形態の出現頻度が異なり、セメント固結砂の強度と破壊形態の間には一義的な関係がある

ことがわかった。その関係を図に示したのが図-4 である。拘束圧の増加に伴い強度が遷移して低下するのと同様に、破壊形態も遷移していく様子が認められる。また、図-4 の (a), (b) を比較すると、破壊形態出現領域が異なっており、粒径の違いが破壊形態の出現傾向に影響を与えていることがわかる。また、粒径 0.074~0.6mm の供試体においては領域分けが明確であったが、粒径 0.074~2.0mm の供試体においては同一条件での破壊形態にばらつきが多く領域分けがやや困難であった。これは、粒径が大きいため粒子間の結合が供試体内でばらついているためだと考えられる。

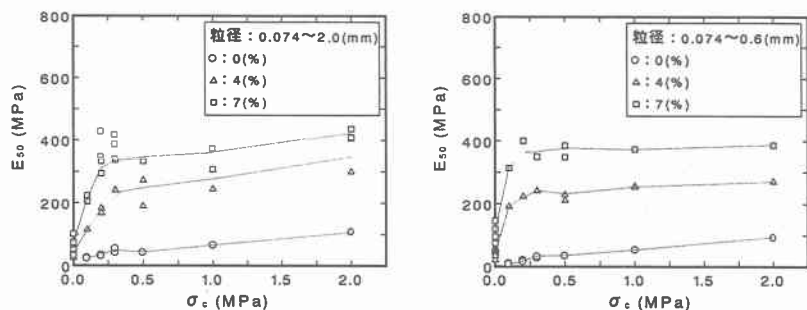
4. まとめ

セメント固結砂の強度特性は、セメントを添加していないものと比較すると拘束圧の影響を強く受ける。セメント固結砂は拘束圧の増加に伴いセメントによる粒子間の結合を失うため、セメント添加量 0% の供試体の強度特性に遷移していくものと推察された。強度特性と一軸圧縮試験および三軸圧縮試験実施後の供試体の破壊形態との間には一義の関係が認められ、破壊形態も拘束圧の影響を受けて縦割れ型からせん断破壊型、樽型へと遷移していき、この過程が粒子間の結合力の変化を示しているものといえる。

○参考文献

セメント協会編：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第2版、セメント協会

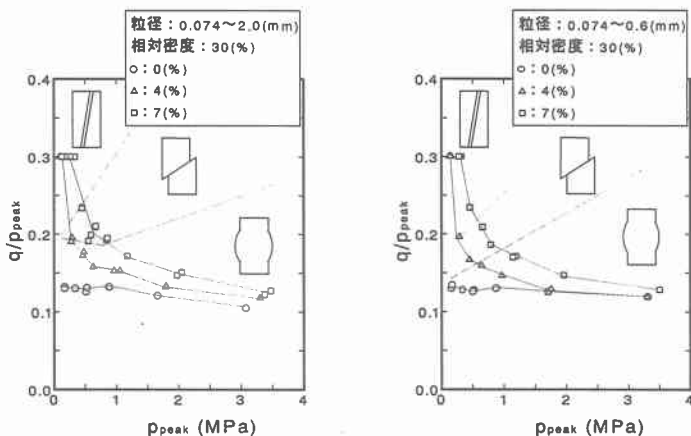
馬場崎亮一、寺師昌明：安定処理土の強度に及ぼす影響因子、セメント系安定処理土に関するシンポジウム、地盤工学会



(a) 粒径：0.074~2.0mm

(b) 粒径：0.074~0.6mm

図-3 変形係数-拘束圧関係



(a) 粒径：0.074~2.0mm

(b) 粒径：0.074~0.6mm

図-4 破壊形態-軸差応力関係