

一軸試験と三軸試験によるセメント固化処理土の力学特性の評価

名城大学 学生会員 ○古山翔悟
 名城大学大学院 学生会員 石樽宏充
 名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛

1. はじめに

現地発生粘性土を固化処理して補強土壁の裏込め材として用いるためには、設計土圧の算定法も含めて合理的な設計法を整備する必要がある。同時に固化処理土の力学特性を適切に評価する試験法についても検討しておかねばならない。一般に、固化処理土の改良効果は一軸圧縮強さによって評価されることが多いが、試験は簡便な反面、三軸試験と比べて得られる情報も少ない。本報では、一軸試験と三軸試験の両者を実施することにより固化処理土の力学特性の評価について検討する。

2. 供試体作製方法および試験方法

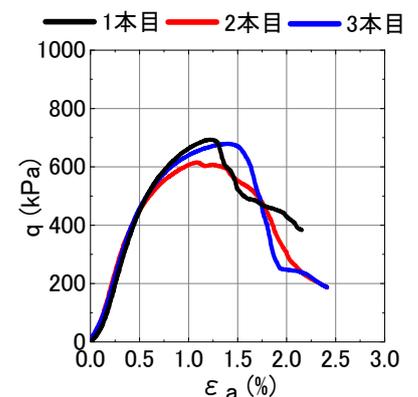
固化処理方法はセメント固化であり 2 種類の供試体を作製した。ひとつは固化処理したままの供試体であり、もう一つは固化処理後に、一旦粉砕して粒状体としてから締め固めた供試体である。以下にそれぞれの作製方法を示す。①固化供試体：市販の粉末カオリンをあらかじめ含水比 25% に調整した後、普通ポルトランドセメント 9.8g を添加した（質量比約 4%）。このセメント添加量は実施工での最低量 $50\text{kg}/\text{m}^3$ に相当する。このセメント添加粘土試料をよく攪拌し、5 層に突き固めて、高さ 10cm、直径 5cm の供試体を作製した。固化供試体は、モールドに入れたまま恒温室内で 7 日または 14 日気中養生させてから試験を実施した。②固化破碎供試体：固化供試体と同様にセメント添加したカオリンを、モールド内に通常の 1.5 倍の高さとなるよう突固めた後、所定の期間仮置きをする。その後、モールドから取り出し、軽くほぐして 9.5mm ふるいにかけて粒状試料を、再び突き固めて供試体を作製した。

いずれの供試体においても、一軸試験の荷重速度は $1.0\%/min$ 、三軸試験は $0.1\%/min$ とした。なお、固化供試体も固化破碎供試体も、最終状態での乾燥密度は $1.26\text{g}/\text{cm}^3$ であり、これはカオリン単体の最大乾燥密度 ($1.40\text{g}/\text{cm}^3$) に対して締固め度 90% に相当する。

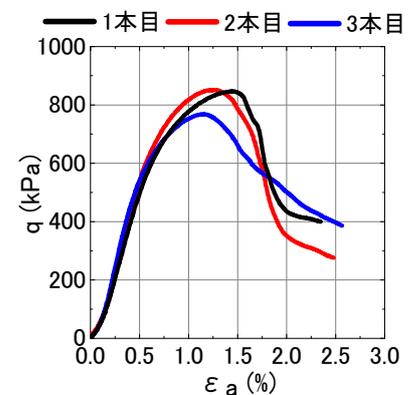
3. 試験結果

図 1 に一軸試験の応力～ひずみ関係を示す。養生日数は、固化供試体では 7 日と 14 日とし、固化破碎供試体は仮置きを 1 日、養生日数を 7 日として、それぞれ 3 本試験を行った。固化供試体の養生日数に着目すると、養生日数が長い方が一軸圧縮強さは大きくなっている。固化供試体と固化破碎供試体を比較すると、固化破碎供試の方が若干ではあるが一軸圧縮強さが大きくなっている。また、いずれの供試体も破壊ひずみは $1.0\% \sim 1.5\%$ の間であり、ほぼ同様の脆性的な破壊挙動を示した。

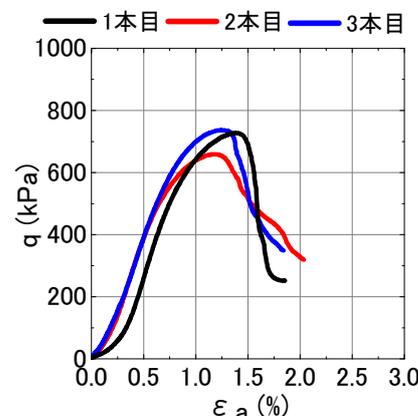
図 2 は三軸 CD 試験結果である。拘束圧 100 および 200kPa で等方圧密後に排水せん断を実施しているが、いずれの拘束圧においても、固化処理供試体の方が固化破碎供試体よりもピーク強度は大きい。しかし、残留強度はほぼ等しくなっている。図 3 はそれぞれのピーク強度時と残留



(a) 固化供試体 養生 7 日



(b) 固化供試体 養生 14 日



(c) 固化破碎供試体

仮置き 1 日 養生 7 日

図1 軸差応力～軸ひずみ関係
(一軸圧縮試験)

強度時のモールの応力円である。固化供試体のピーク強度時、固化破砕供試体のピーク強度時、残留強度時の順で、粘着力は大きく、内部摩擦角は小さい。これは供試体内の固結度の大きさに依存していると考えられる。また、拘束圧ゼロとして一軸圧縮強さでモールの応力円を描くと、固化供試体の CD 試験結果と調和的である。一軸圧縮強さは、破砕の有無に拘わらずどちらの供試体もほぼ同じであったが、完全飽和後の三軸 CD 試験においては両者の差が明確に現れている。すなわち、不飽和状態であれば、固化破砕土も固化土と同様の固結力を発揮するが、飽和化して拘束圧を作用させるとことにより、固結力が低下することを示唆している。

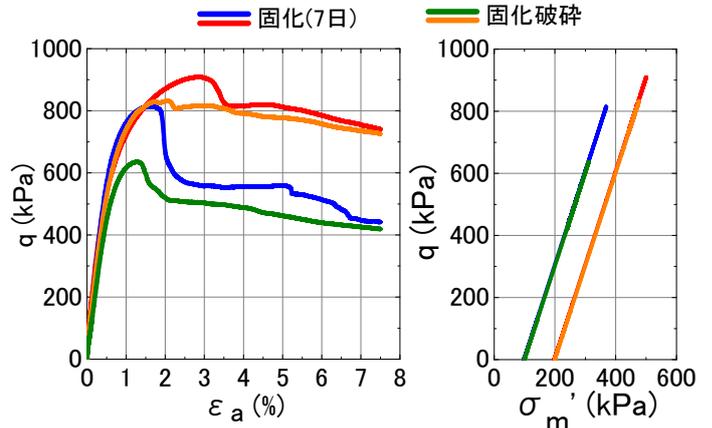
図 4 は一軸試験と CD 試験（有効拘束圧 200kPa）の変形係数 E_{50} である。固化供試体の一軸試験結果を見ると、養生日数が長いほど E_{50} が大きくなる傾向を示した。また、固化破砕供試体の E_{50} は固化供試体よりも小さい。三軸 CD 試験による E_{50} は固化、固化破砕によらずほぼ同様であり、拘束圧の効果により一軸試験の値よりもかなり大きい。

写真 1 は試験後の供試体の様子である。いずれの一軸試験後の供試体においても、縦の亀裂が発生している。CD 試験のいずれの供試体も斜めの 2 本のせん断面が袈裟懸けに発生し、供試体中央付近で交差している。この様子から、一軸試験は引張破壊、三軸試験はせん断破壊していることが示唆され、両者の破壊機構が異なることがわかる。

4. まとめ

固化土供試体においては、一軸試験と三軸試験は整合した試験結果であったが、固化破砕土の一軸圧縮強さは飽和に伴い低下することが懸念され、一軸圧縮強さは、せん断強度を過大評価する可能性もある。なお、不飽和供試体を用いた一軸試験のせん断時にはダイレイタンスが拘束されないことから、本報では一軸試験との比較を同条件の CD 試験とで行った。別途 CU 試験も実施している¹⁾が、せん断時に体積拘束をしているため、CD 試験のせん断挙動とは大きく異なる。摩擦補強材近傍では強制的な体積拘束が働くことが想定され、補強盛土の裏込め材として改良土を考える場合、CU 試験による検討も必要不可欠である。

参考文献：石博ら、固化破砕土の力学特性に及ぼす破砕粒子の固結度の影響、土木学会中部支部、2013。



(a) 応力～ひずみ関係 (b) 有効応力経路
図 2 三軸 CD 試験結果

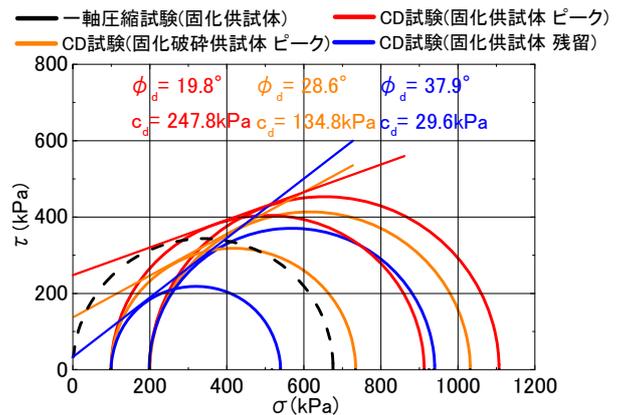


図 3 試験方法別のモールの応力円
■一軸 固化供試体 7日 ■一軸 固化供試体 14日 ●一軸 固化破砕供試体
●三軸 固化供試体 7日 ●三軸 固化破砕供試体

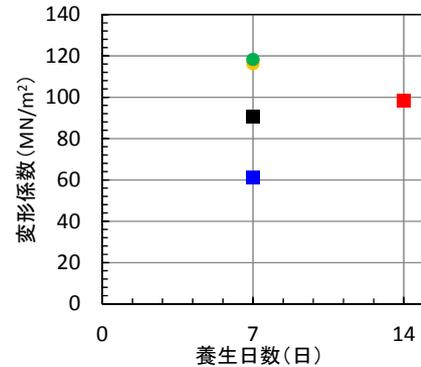


図 4 養生日数と変形係数の関係



(a)一軸 固化 (7 日) (b)一軸 固化 (14 日) (c)一軸 固化破砕



(d)三軸 固化 (7 日) (e)三軸 固化破砕

写真 1 試験後の供試体の様子