

セメント固化処理したカオリンの三軸圧縮試験

カオリン セメント固化処理 三軸圧縮試験

名城大学 国際会員 小高猛司・崔 瑛
名城大学大学院 学生会員 ○石博宏充・小寺真人

1.はじめに

補強盛土擁壁は補強材の引抜き抵抗によって安定化が図られる土構造物であり、特に補強材と裏込め土との摩擦特性が重要となる。しかし、近年、現場発生粘性土を固化処理して裏込め土に用いることを目的とし、固化処理土における補強材の引抜き抵抗の研究が進められている¹⁾。通常の補強盛土擁壁の設計では、設計土圧算定は裏込め土の粘着力を考慮せずに安全側に見積もり、対する引抜き抵抗力の算定（すなわち、補強材密度の算定）には粘着力が考慮される²⁾場合が多い。すなわち、通常の設計では、非常に粘着力が大きい固化処理土を用いることは想定しておらず、固化処理土を用いるためには設計土圧の算定も含めて合理的な設計法を開発する必要がある。さらに固化処理土の粘着力は、永久構造物としてどれほどの信頼性があるのかも併せて十分に検証しておく必要がある。本報では、固化処理土の裏込め土としての力学特性をまず理解することを目的とし、粘性土にセメント添加した固化処理土の三軸圧縮試験を実施した。具体的には、養生日数、セメント添加してから締め固めるまでの仮置き時間と方法の影響について検討した結果を示す。

2. 供試体作製方法および試験方法

試験試料には、粉末状カオリンを用いた。セメント無添加のカオリン単体の試験では、締め固め度 90% ($\rho_{\max}=1.40\text{g/cm}^3$) の供試体を使用した。カオリンを含水比 25%に調整し、5 層に突き固めて高さ 10cm、直径 5cm の供試体として。一方、セメント添加試料では普通ポルトランドセメント 9.8g (質量比約 4%: 地盤改良の実施工での最低添加量 50kg/m^3 に相当) を添加した。セメント添加供試体の締め固め度は 90%相当とし、セメントを添加する分だけカオリンの質量を減少させ、乾燥密度を無添加供試体と同一とした。セメントはあらかじめ含水比 25%に調整したカオリンに添加し、良く攪拌してから突き固めて供試体（固化土供試体）を作製し、モールドに入れたまま恒温室内で所定の期間気中養生させてから試験を実施した。一方、現場施工でのセメント添加から転圧までの仮置き時間の影響を考慮し、粘性土にセメント添加して攪拌後、そのまま 1 日仮置きしてから突き固めて作製した供試体（仮置き供試体）でも試験を実施した。さらに、固化処理してから一旦粉砕して摩擦性材料として再生する固化破碎土でも試験を実施した。具体的には、固化処理土を通常の 1.5 倍の高さに突き固め、1 日または 7 日養生させてからモールドから取り出し、軽くほぐして 9.5mm ふるいにかけた粒状試料を、突き固めて供試体（固化破碎供試体）を作製した。なお、載荷速度 $0.1\%/\text{min}$ で CU 試験、CD 試験を実施した。

3. 非排水試験結果

図 1 にセメント無添加のカオリン単体の供試体とセメント添加による固化土供試体(養生 7 日, 28 日)の $\overline{\text{CU}}$ 試験結果を示す。カオリン単体の限界状態定数 M は 1.35 であり、 ϕ' に換算しておよそ 33° となる。セメント添加した固化土はセメント添加によって劇的にせん断特性が変化していることがわかる。すなわちせん断初期から破壊するまでほぼ弾性挙動を示している。また有効応力経路を見ると、平均有効応力と軸差応力が 1:3 のいわゆる tension cut の境界線に沿って軸差応力が増加していることから、これは固化処理供試体が最小主応力ゼロの状態で引張破壊したことを示している。また養生日数に着目すると、供試体作製後の養生日数が増すことによって軸差応力も増加している。いずれも破壊時には明確な不連続帯が発生しており、軸ひずみの増加とともに不連続面で正のダイレイタンスが発生するために、負の間隙水圧が発生し、徐々に無添加カオリンの限界状態線に近づきつつある。

図 2 に固化処理土のモールの応力円を示す。セメント添加によって強度は増したが、それによって増加したのは粘着力 c_u のみで内部摩擦角 ϕ_{cu} の増加は見られなかった。また増加した粘着力が半永久的に強度を保つか保証できないことからこのまま使用するのはリスクを伴うと考えられる。

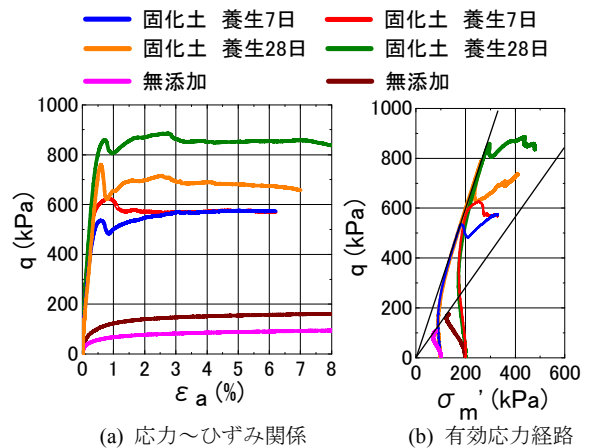


図 1 無添加・添加(固化土)供試体の CU 試験結果
— セメント無添加供試体 — セメント添加供試体(固化土)

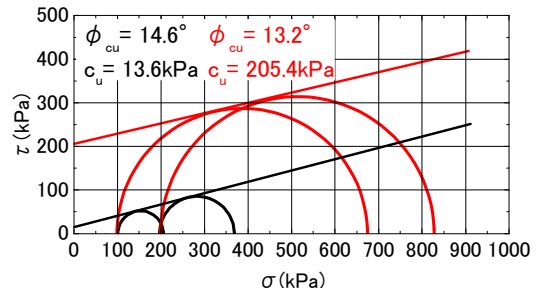


図 2 無添加・添加(固化土)供試体のモールの応力円

Triaxial compression characteristics of cement-solidification treated kaolin clay

Takeshi Kodaka, Cui Ying, Hiromitsu Ishigure, Masato Kodera (Meijo University)

写真 1 は有効拘束圧 100kPa, 200kPa で試験を行った養生 14 日の固化土の破壊形態を示している。また、図 3 にその際の $\overline{CU}$ 試験結果を示す。有効拘束圧で比較すると、せん断に伴って生成されたせん断面の角度は低い拘束圧の方が大きくなっている。これは有効応力経路における軸差応力の増加の際、拘束圧の低いもののほど tension cut に沿っている状態が長いことが原因だと考えられる。これにより引張破壊が顕著に現れ、せん断面が大きく現れたり、縦にせん断面が見られたと考えられる。同条件で試験を行った供試体(b)と供試体(c)を比較すると、供試体(b)はせん断面が 1 つだけ確認できたのに対し、供試体(c)には複数のせん断面が確認できた。これを図 3 の軸差応力～軸ひずみ関係と照らし合わせると、供試体(b)は最初の急激な軸差応力の減少後、緩やかに軸差応力が上昇している。一方、供試体(c)は急激な軸差応力の減少が発生した後も 1～2 回程、同様な減少が起きている。このことから軸差応力が大きく減少した時に明確なせん断面が生成しているものと考えられる。

図 4 に作製方法の違いによる $\overline{CU}$ 試験結果を示す。なお供試体作製後の養生は、固化土、仮置き土(仮置き 1 日)、固化破碎土(1 日後破碎)では 7 日間、固化破碎土(7 日後破碎)では養生を行っていない。固化土、仮置き土(仮置き 1 日)、固化破碎土(1 日後破碎)を比較すると、軸差応力～軸ひずみ関係ではいずれの供試体においても弾性挙動を示した。また固化破碎土(7 日後破碎)では軸差応力が緩やかに増加をしていき軸ひずみが 4%程度でピーク強度に達し、その後は急激な減少も無く、徐々に減少していることがわかる。有効応力経路を見ると養生を 7 日間させた供試体は軸差応力が tension cut に沿って上昇しているが、養生させていない供試体に関しては tension cut に沿わないで上昇した。試験結果のみを見ると、固化破碎土(7 日後破碎)はかなり良質な摩擦性材料となっているように見えるが、養生をさせていないためにこのような結果となったと考えられる。この供試体を数日間養生させることによって、固化が起こり養生をさせた供試体と同様の挙動を示す可能性があるため、さらなる検討が必要である。

図 5 に固化土(養生 7 日, 28 日)と仮置き土(養生 7 日)の CD 試験結果を示す。 $\overline{CU}$ 試験と同様にせん断初期において、弾性挙動を示している。しかし、 $\overline{CU}$ 試験では軸ひずみが 1%になるまでにピーク強度に達しているのに対し、CD 試験では拘束圧 100kPa の供試体は 1～2%, 200kPa の供試体は 2～3%でピーク強度に達している。また破壊が起こった後は軸ひずみが増加するとともに軸差応力は減少している。固化土に着目すると、拘束圧が低い供試体ほどピーク強度からの軸差応力の減少幅が大きくなっている。

4 まとめ

わずかなセメント添加で粘性土のせん断強度は劇的に増大し、破壊直前まで弾性挙動し最終的に引張破壊に至る。仮置きや破碎までの期間が短い供試体は、固化土供試体とほぼ変わらない挙動を示したが、破碎までの期間を長くとした供試体は摩擦性材料としての挙動を示した。今後は、固化のさせ方を含めて、補強盛土擁壁にとってより効率的な粘性土の改良方法を検討するとともに、改良土を用いた補強盛土擁壁の合理的な設計法の開発を行う予定である。

参考文献：1)例えば、米田・田坂・志村・鈴木：固化処理土を用いた帯鋼補強土壁工法における施工プロセス上の要因が補強材土中引抜き抵抗に与える影響，地盤工学ジャーナル，6(2)，2011。 2) FILL WALL 工法設計・施工マニュアル（第2版），2010。



(a)拘束圧 200kPa (b)拘束圧 100kPa (c)拘束圧 100kPa
写真 1 試験後の写真(固化土 養生 14 日)

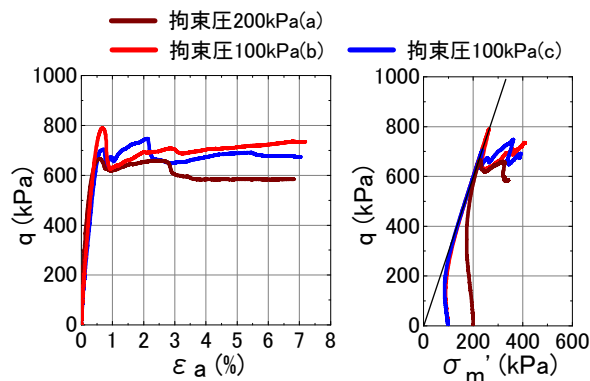


図 3 $\overline{CU}$ 試験結果(固化土 養生 14 日)

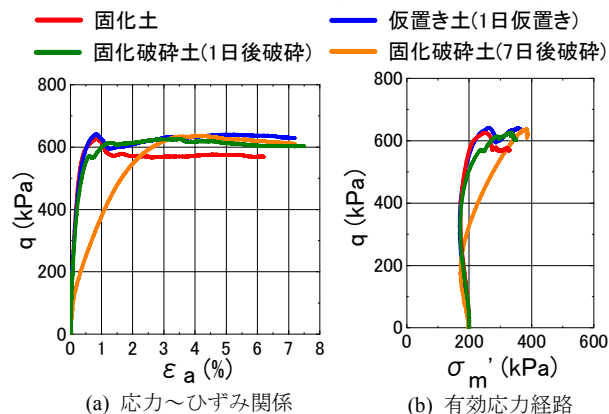


図 4 作製方法の違いによる $\overline{CU}$ 試験結果

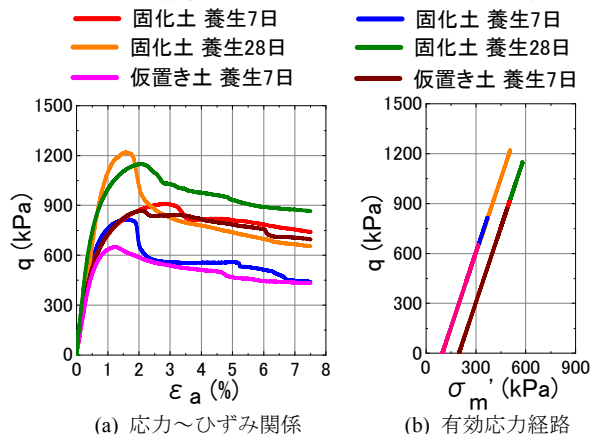


図 5 CD 試験結果