供試体作製法と締固め度がセメント固化処理粘土の三軸試験結果に及ぼす影響 Effects of specimen preparation methods and degree of compaction on triaxial test result of cement treated soil

石槫宏充¹, 小高猛司², 崔 瑛²

1 名城大学大学院・理工学研究科建設システム工学専攻

2 名城大学・理工学部建設システム工学科・kodaka@meijo-u.ac.jp

概 要

近年,現場発生粘性土を固化処理して補強盛土壁の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。通常の補強盛土壁の設計では,非常に粘着力が大きい セメント固化処理した粘性土を用いることは想定しておらず,固化処理土を用いる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。本論文では,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供試体作製方法の影響について検討 した。その結果,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った。しかし,締固め度が大きかったため作製方法の違いによる力学挙動の変化は, ほとんど見られなかった。そこで新たに締固め度を変えて試験を行い締固め度と作製方法の関係性につい て検討を行った。

キーワード:セメント固化処理,固化破砕土,カオリン,三軸圧縮試験,締固め度

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,固化処理した 粘性土を用いた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,通常の補強 盛土擁壁の設計では,非常に粘着力が大きい固化処理土を 裏込め材に用いることは想定していない。そのため固化処 理土を裏込め材に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もある。本論文では, 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、セメント添加と無 添加,養生日数,セメント添加してから締め固めるまでの 仮置き時間と作製方法の違いによる影響について検討し た結果について考察する。

2. 試験概要

2.1 供試体作製方法

本研究の試験試料には、カオリン粘土の粉末を用いた。 物理特性は、液性限界が 41.8%、 塑性限界が 32.0%、 塑性 指数が 9.8%である。セメント無添加のカオリン単体の試 験では, 締固め度 90% ($\rho_{max}=1.40g/cm^3$)の供試体を使用 した。具体的にはカオリンを含水比25%に調整し、5層に 突き固めて高さ10cm, 直径5cmの供試体とした。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/m³に 相当)を添加した。セメント添加供試体の締固め度はカオ リン単体を基準にして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、良く撹拌してから突き固めて供試 体(固化土)を作製し、モールドに入れたまま恒温室内で 所定の日数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撹拌後、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(仮置き土) でも試験を実施した。さらに、固化処理してから一旦粉砕 して様々な粒径の粒状材料とすることで摩擦性材料とし て再生することを目論んだ固化破砕土でも試験を実施し

					表日	試!	験条件									
締固め度(%)	80							85							90	
セメントの添加	添加							添加							無添加	
作製方法	固	íĽ	固化破砕					固化			固化破砕					
仮置きまたは破砕 までの日数(日)	0		1		7			0			1		7			
養生日数(日)	7		7		7			7			7		7			
圧密時有効 拘束圧(kPa)	100	200	100	200	100	20	0 10	00	200	100	200	100	200	100	200	
せん断時間隙比	1.317	1.271	1.263	1.240	1.279	1.3	31 1.1	1.135 1.182		2 1.17	9 1.175	5 1.163	1.149	0.981	0.970	
締固め度(%)	90															
セメントの添加	添加															
作製方法	固化									仮置き	固化破砕					
仮置きまたは破砕 までの日数(日)	0							1			1	3		7		
養生日数(日)		7					28		7	7	7		7			
圧密時有効 拘束圧(kPa)	100	200	100 (b)100 (c) 20	00	100	2	.00	200	100	100	200	100	200	
せん断時間隙比	1 104	1.033	1.030	1.03	5 10	91	1.026	1 (013	1.033	1 051	1.052	1.039	1 0 5 9	1 045	

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,再 度突き固めて供試体(固化破砕土)を作製した。固化破砕 土供試体では高い締固め度において粒状体がつぶれてし まうことで力学挙動に変化する可能性を考慮して, 締固め 度80%および85%の供試体でも試験を実施した。またその 比較のために固化土供試体でも同様に締固め度を変えた 供試体でも試験を実施した。表1に試験一覧を示す。

2.2 試験装置

本研究では三軸試験を実施した。成形した供試体をセル に設置後,二重負圧法によって飽和化を行う。背圧を 200kPa 作用させ, 所定の有効拘束圧で等方圧密し, 非排水 せん断試験を実施した。また、載荷速度は 0.1%/min のひ ずみ速度制御とした。

試験結果 3.

3.1 セメントの有無と養生日数

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, d'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-off 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 シーが発生するために, 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に固化土のモールの応力円を示す。セメント添加に よってせん断強度は増したが、増加したのは粘着力のみで 内部摩擦角の増加は見られなかった。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。有効拘束圧で比較すると, せん断に 伴って発生したせん断面の角度は拘束圧の低い方が大き 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, 拘束圧の低いものほど早く tension cut-off の状態

_____ 固化土 養生7日 _____ 固化土 養生28日 🛽







(b) 拘束圧 100kPa (a) 拘束圧 200kPa 写真1 試験後の供試体(固化土 養生14日)

(c) 拘束圧 100kPa

セメント無添加

に達する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、せん断面の角度が大きくなったり、縦に現 れると考えられる。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。

3.2 供試体作製方法の違い

図3に供試体作製方法の違いによるCU 試験結果を示す。 なお供試体の養生日数はいずれの供試体でも7日である。 固化土と仮置き土(仮置き1日)を比較すると、軸差応力 ~軸ひずみ関係,有効応力経路のどちらでも目立った違い は見られなかった。固化土,仮置き土と固化破砕土(1日 後破砕)を比較すると、軸差応力~軸ひずみ関係において 固化土,仮置き土はせん断初期に軸差応力が大きく上昇し ピーク強度を示した後、急激に低下をしているのに対し、 固化破砕土はせん断初期に軸差応力が上昇するのは変わ らないが、ピーク強度を迎えた後の低下は見られなかった。 また有効応力経路を見ると固化土, 仮置き土は軸差応力上 昇の過程で tension cut-off に接しているのに対し、固化破 砕土は tension cut-off に接しないで軸差応力が上昇してい ることから固化破砕土は摩擦性材料として再生できてい ると考えられる。

破砕までの日数の違い 3.3

図4に固化破砕供試体における破砕までの日数を変えて 供試体を作製し、7日間養生させたもののCU 試験結果を 示す。軸差応力~軸ひずみ関係を見ると、いずれの試験結 果においてもせん断初期に弾性挙動を示している。また破 砕までの日数が長くなるほどピーク時の軸差応力が大き くなっている。また破砕までの日数が長くなるにつれてピ ーク強度からの低下も大きいことがわかる。これはカオリ ンとセメントを混ぜ合わせてからの日数が影響している のではないかと考えられる。破砕までが1日と3日の供試 体においては、拘束圧 200kPa での軸差応力はピーク強度 から急激な低下していないが,破砕までが7日の供試体に おいては固結力が増大するためか、拘束圧 200kPa におい て軸差応力はピーク強度から急激に低下している。しかし 残留強度はいずれも近い値となっている。拘束圧 100kPa の供試体では破砕までが3日,7日ともにピーク強度後, 軸差応力が低下している。

図5に固化破砕供試体における破砕までが3日と7日の 供試体の供試体のモールの応力円を示す。粘着力はどちら も非常に大きく現れているが破砕までの日数が長くなる につれて若干の増加が見られる。また内部摩擦角はどちら も大きな違いは見られず、図2の固化土と比較をしても大 きな違いはない。今回の試験では、密度を同一にし、かつ その値が大きかったため、固化破砕時にできた粒状試料が 供試体作製時の突固めによってつぶれてしまい, 固化供試 体とあまり差がない結果になったと考えられる。

締固め度の違い 34

固化破砕土において粒状試料がつぶれてしまわいよう 考慮して締固め度を小さくして行った試験結果を図5に示 す。比較のため固化土でも同様に締固め度を変えて試験を 行った。まず締固め度ごとの固化土,固化破砕土(1日,7 日)を比較する。締固め度80%の応力~ひずみ関係を見る と拘束圧 200kPa において破砕までの日数が長くなるにつ れて軸差応力がピークを迎えた後の減少が緩やかになっ ている。また拘束圧 100kPa では固化土よりも固化破砕土 (1日)の低下が大きくなっているものの、固化破砕土(7 日)では軸差応力の低下が見られなかった。有効応力経路 を見ると拘束圧 100kPa において、破砕までの日数が長く なるにつれて tension cut-off から遠くなっている。続いて 締固め度 85%の応力~ひずみ関係を見ると拘束圧 200kPa の固化土以外では締固め度80%と同様の傾向を示してい





図5 破砕までの日数が異なる供試体のモールの応力円



写真3 試験後の供試体

る。また有効応力経路でも締固め度 80%と同様に破砕する までの日数が長くなるにつれて tension cut-off から遠ざか っている。

写真3にせん断後の写真を示す。固化土を見ると締固め 度が変わってもせん断面がはっきりできているのに対し, 固化破砕土(1日,7日)を見ると締固め度が低下するに 従って,せん断面が確認しづらくなっているのがわかる。 締固め度 80%の供試体では供試体中央部に粒状のものが 確認できる。このことから締固め度が小さい場合には粒状 試料がつぶれず摩擦性材料の特徴が現れる。

図6・図7に締固め度80%,85%それぞれのピーク強度 を用いたモールの応力円を示す。固化土を見ると,締固め 度90%の時と比較して粘着力は小さくなっているが,内部 摩擦角はほとんど変わらない。また固化破砕土(1日,7 日)を見ると締固め度の85%の固化破砕土(7日)はかな り良質な摩擦性材料として傾向を示しているがそれ以外 はほとんど変わらない結果となった。以上の結果から締固 め度を小さくすることで粒状試料が潰れないままで済み, 軸差応力の急激な減少を軽減することはできるが,設計で



必要となる内部摩擦角の増加には至らなかった。

4. まとめ

粘性土にわずかなセメントを添加することでせん断強 度は劇的に増大した。しかし,せん断強度の増大は粘着力 の増加が支配的で,設計で必要とされる内部摩擦角の増加 には至らなかった。固化破砕土を用いて締固め度を小さく することで摩擦性材料のような挙動を示す事例も見られ たが,総じて内部摩擦角の増加には至らなかった。今後は 引き続き効率的な改良方法を検討するとともに,粘着力も 考慮し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

例えば、米田ら: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.
FILL WALL工法設計・施工マニュアル(第2版),2010.