

第 III 部門

セメント及び特殊シリカ改良土の三軸試験による変形強度特性に関する研究

京都大学大学院 学生会員 竹内正之、調枝哲弥
 京都大学大学院 正会員 肥後陽介、木元小百合
 京都大学大学院 フェロー会員 岡二三生

1. 研究の背景と目的

日本には構造物の基礎としては軟弱で不安定な地盤が多く、地盤改良は不可欠な技術となっている。そのため、改良された地盤材料の変形強度特性を把握することは重要な課題であり、多くの研究が行われている¹⁾²⁾³⁾。そこで本研究では、セメントによる改良と、特殊シリカによる改良に着目し、それぞれの改良による変形強度特性の変化を詳細に研究するため、三軸圧縮試験と微視構造の観察を行った。

2. 実験試料と手法

本研究では深草粘土にセメント改良を行い、セメント改良供試体を作製した。水セメント比(w/c)は 1 : 0.65 とし、セメント含有率は 10、15(%)とし、それぞれ 28 日間 20 で水中養生した後、表.1 に示す実験条件で三軸圧縮試験、等方圧密試験を行った。

また、熊本県八代港で浚渫された砂(以下八代砂)を飽和し、50kPa の拘束圧下で特殊シリカ液を 20kPa で浸透注入させ特殊シリカ改良供試体を作製した。このとき、改良前の供試体の相対密度は現地地盤と同様に $D_r=50(\%)$ とした。

表.2 の通りに三軸圧縮試験を行い、さらに等方圧密試験、 μ フォーカス X 線 CT による撮影を行った。また、八代砂に対しては改良前、改良後に走査電子顕微鏡(以下 SEM)による観察を行い、特殊シリカによる間隙の充填の様子を観察した。

3. 実験結果

3.1 セメント改良粘土

図.1 にセメント改良土のセメント含有率依存性を比較した三軸圧縮試験結果を示す。セメント含有率が高くなるに連れて、同じ軸ひずみにおける軸差応力は増大していった。しかし、一方で脆性が高くなりセメント含有率 15% では急激なひずみ軟化が発生した。

表-1 セメント改良粘土実験条件

排水条件		非排水				排水	
セメント含有率(%)	0	10		15	10	15	
拘束圧 (kPa)	200	100	200	300	200	200	200
ひずみ速度 (%/min)	0.01						
	0.0025	-	-	-	-	-	-

表-2 特殊シリカ改良砂実験条件

	非排水			
拘束圧 (kPa)	50	100	200	300
未改良八代砂				-
改良八代砂				

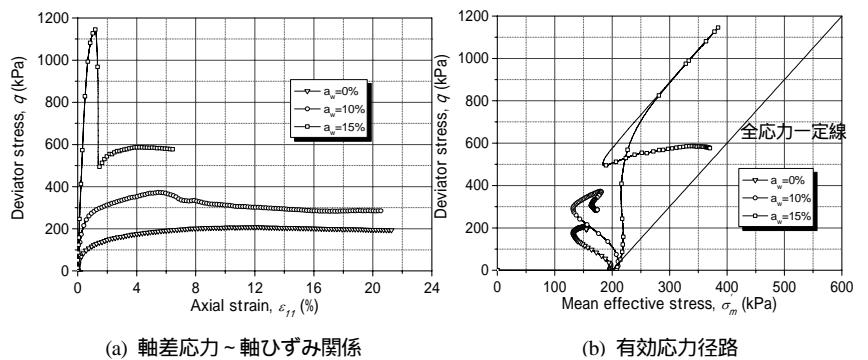


図-1 セメント改良土の三軸圧縮試験結果 (セメント含有率依存性)

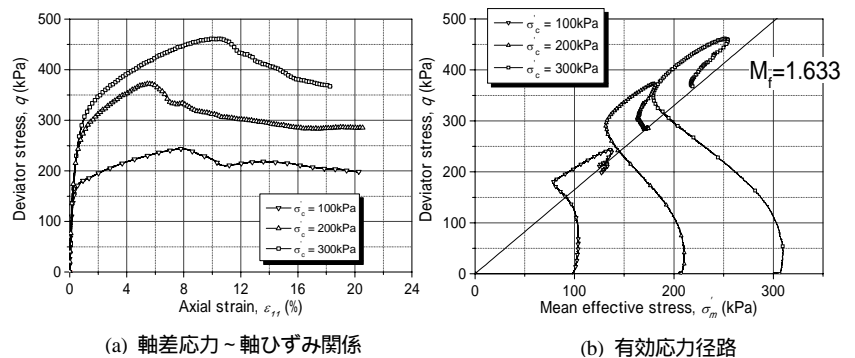


図-2 セメント改良土の三軸圧縮試験結果 (拘束圧依存性)

図2 にセメント改良土の拘束圧依存性を比較した三軸圧縮試験結果を示す。拘束圧依存性については、拘束圧の増加に伴いピーク強度も増大していった。破壊応力比(限界状態)はほぼ一定で $M_f = 1.63$ となったが、変相応力比は一定の値とはならなかった。また、軸差応力～軸ひずみ関係の図を見ると、傾きが急激に減少している点があり、その時有効応力径路図をみると変相時と一致していた。有効応力径路図において変相後は、緩やかなカーブを描きながら傾きが減少しつつ、ピークを迎えその後ひずみ軟化が発生している。

3.2 特殊シリカ改良砂

図3 に未改良八代砂、特殊シリカ改良八代砂の非排水三軸圧縮試験結果を示す。未改良砂、改良砂ともに拘束圧の増加に伴い、おなじ軸ひずみにおける軸差応力は増加している。また、同じ拘束圧で比べると改良砂の方が軸差応力は高くなっている。また、有効応力経路図をみると、改良に

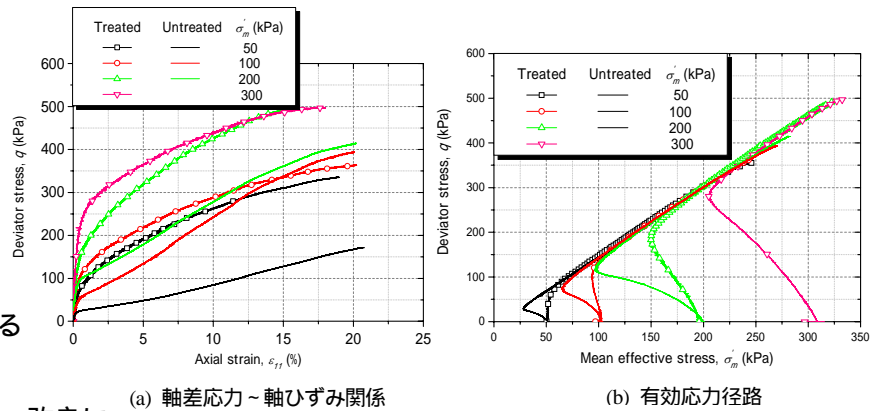


図-3 未改良八代砂及び改良八代砂の非排水三軸圧縮試験結果

より間隙水圧の発生が抑えられている事が明確に見て取れる。

また、この有効応力径路図から、破壊応力比 M_f 、変相応力比 M_m を読み取ると、特殊シリカによる改良の結果 M_f は1.49から1.55へと変化し、 M_m は1.10から1.30へと変化した。改良砂では非排水三軸圧縮試験後も明確なせん断帯が発生する変形モードには至らなかったため、粒子間の結合の崩壊の程度はそれほど小さくなく、ある程度結合が残っていたと考えられる。

走査電子顕微鏡を用いて改良前、改良後の供試体の表面を撮影した。改良前と改良後の比較を行うと、未改良で多く存在していた空隙が充填され、特殊シリカで土粒子が結合されている様子を明確に観察することができた。

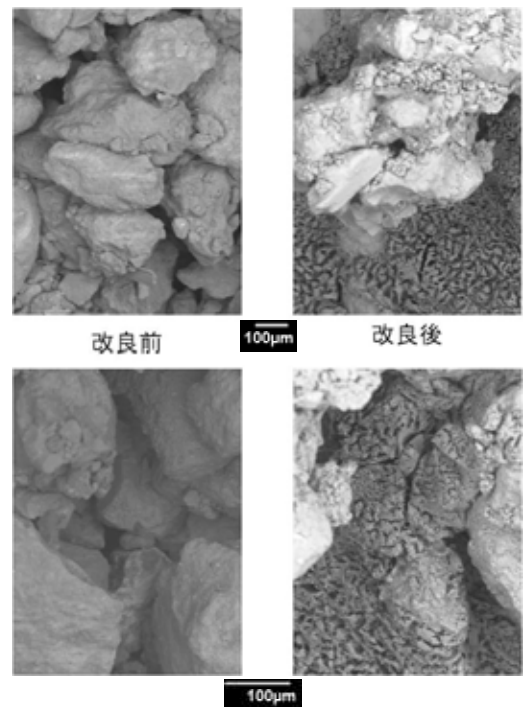


写真-1 未改良砂及び改良砂のSEM画像
(上 100倍、下 200倍)

4. 結論

セメントによる改良では粘性土材料の強度の大幅な増加、間隙水圧の抑制、剛性の増加といった利点が目立ったが、一方でセメント含有率が高くなるにつれ、脆性が非常に高くなり、応力が限界を超えてしまうと著しいひずみ軟化を示すといった点に注意が必要である事がわかった。

特殊シリカによる改良では砂質土材料の強度の増加も見られ、間隙水圧の大幅な抑制といった利点がある。強度及び剛性の増加はセメント改良に比べて小さかったが、間隙水圧の抑制により、砂質土の液状化防止に大きな効果がある事がわかった。さらに、特殊シリカによる改良によっては延性的となり、セメント改良土のように顕著な脆性的挙動は見られなかった。今後はさらに実験データを蓄積していくと共に、SEM や X 線 CT を用いた内部構造変化の可視化により、変形強度特性を明らかにしていく。

参考文献

(1)Tatsuoka, F. and Kobayashi, A.: Triaxial strength of cement-treated clay, *Proc. 8th European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng.*, Vol.1, pp.421-426, 1983. (2) Terashi, M. and Tanaka, H.: Settlement analysis for deep mixing method, *Proc. 8th European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng.*, Vol.2, pp.955-960, 1983. (3)Kodaka, T., Oka, F., Ohno, Y., Takyu, T., Yamasaki, N.: Modeling of cyclic deformation and strength characteristics of silica treated sand, in *Geomechanics Testing, Modeling, and Simulation, Geotechnical Special Publication, 143*, ASCE, pp.205-216, 2005.