

三軸圧縮試験における薬液改良土の変形特性

強化土エンジニアリング(株) 正会員 ○佐々木隆光
 東京都市大学 正会員 末政 直晃
 強化土(株) 正会員 島田 俊介

1. はじめに

薬液注入による地盤改良技術は、仮設の補助工法として用いられてきたが、注入材の耐久性の向上に伴い液状化対策などの本設工事として採用されるようになった。これに伴い配合試験が実施され、薬液改良土の力学特性が明らかになりつつある。特に、筆者らの研究¹⁾²⁾によると一軸圧縮強さが同一の薬液改良土における液状化強度は、拘束圧が低いほど強くなる傾向を示す。また、薬液単体で固化したものの一軸圧縮強さは数十 kN/m^2 であるのに対し、薬液で改良された砂のそれは数百 kN/m^2 となる。このメカニズムとして、薬液が固化する際にシリカが縮合重合し、ゲルが収縮するが、この収縮により土粒子骨格が拘束され、砂の有効応力が増加することが検討されている。本研究では、これらのメカニズムや改良効果を定量的に評価する目的で、三軸試験を実施し力学特性の把握を行った。

2. 試験条件

本試験に用いた注入材は、非アルカリ系注入材であり、そのシリカ濃度 SiO_2 は 6, 12%, 薬液の固化時間は 3 時間に調整されたものである。また、使用した砂は豊浦砂であり、相対密度が 60% となるように「真空法による注入供試体の作製」³⁾ により作製した。作製した供試体は湿潤状態を保つように保管し、強度が一定となる材令 3~5 週において各種試験を実施した。

試験項目・条件を表-1 に示す。本試験では排水条件による改良土の強度定数(粘着力 c , 内部摩擦角 ϕ)の違いを評価するため、圧密非排水三軸圧縮試験(CU)と圧密排水三軸圧縮試験(CD)を実施した。なお、これらの試験では背圧 u_b は 200kN/m^2 とし、所定の拘束圧 σ'_0 で 3 時間等方圧密した後、設定した軸ひずみ速度(ASR)で載荷を行った。

3. 試験結果

図-1 に CD 試験の結果を示す。同一の拘束圧下での試験結果(a)に着目すると、軸差応力 q および体積ひずみ ε_v は未改良砂に比べ改良砂の方が大きくなる傾向を示し、 SiO_2 が高くなるほど大きくなる傾向を示した。また、 $\text{SiO}_2=6\%$ の試験結果(b)に着目すると、拘束圧が高くなるほど q および ε_v が大きくなる傾向を示した。なお、(c)は最大軸差応力 $q_{\max}$ から求めたモールの応力円であるが、 c は SiO_2 の増加に伴い大きくなるが、未改良砂と比較した改良砂の ϕ の大小関係は SiO_2 によって異なる傾向となった。

図-2 に CU 試験の結果を示す。同一の拘束圧下での試験結果(a)に着目すると、軸差応力 q および最大過剰間隙水圧 $\delta u_{\max}$ は未改良砂に比べ改良砂の方が大きくなる傾向を示し、シリカ濃度が高くなるほど大きくなる傾向を示した。また、 $\text{SiO}_2=6\%$ の試験結果(b)に着目すると、拘束圧が高くなるほど q および $\delta u_{\max}$ が大きくなる傾向を示した。また低拘束圧条件の ε_a-q に着目すると、一軸圧縮試験における破壊ひずみ ε_f 付近までほぼ同一線上にあり、拘束圧の効果があまり見られない傾向にあった。

なお、(c)は有効応力経路であるが、改良砂はいずれの濃度においても低拘束圧の条件下では載荷初期に q が増加し、

キーワード 薬液改良土, 三軸圧縮試験, 強度定数, 拘束圧
 連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷 3-15-1 強化土エンジニアリング(株) TEL03-3815-1687

表-1 試験条件

specimen	未改良砂		改良砂			
	US		IS			
SiO_2 %	—	—	6	6	12	12
Test	CU	CD	CU	CD	CU	CD
u_b kN/m^2	200	200	200	200	200	200
σ'_0 kN/m^2	50	50	20	50	50	50
	100	100	50	100	100	100
	200	200	100	200	200	200
	300	300	200	300	300	300
ASR %/min	0.1	0.1	0.02	0.005	0.02	0.005
一軸圧縮 試験結果	—	—	$q_u=330\text{kN/m}^2$ $\varepsilon_f=1.2\%$		$q_u=750\text{kN/m}^2$ $\varepsilon_f=1.0\%$	

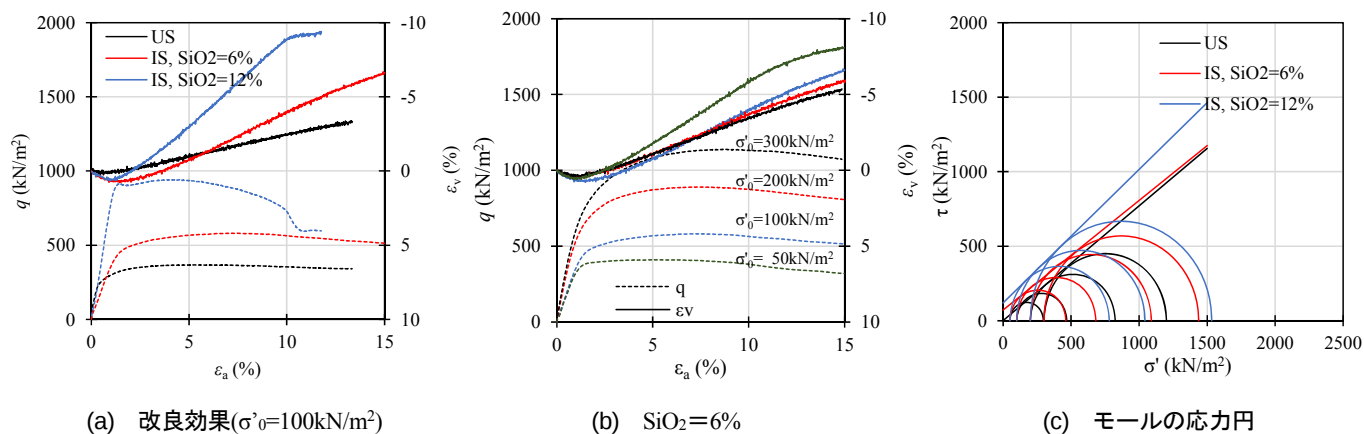


図-1 CD 試験結果

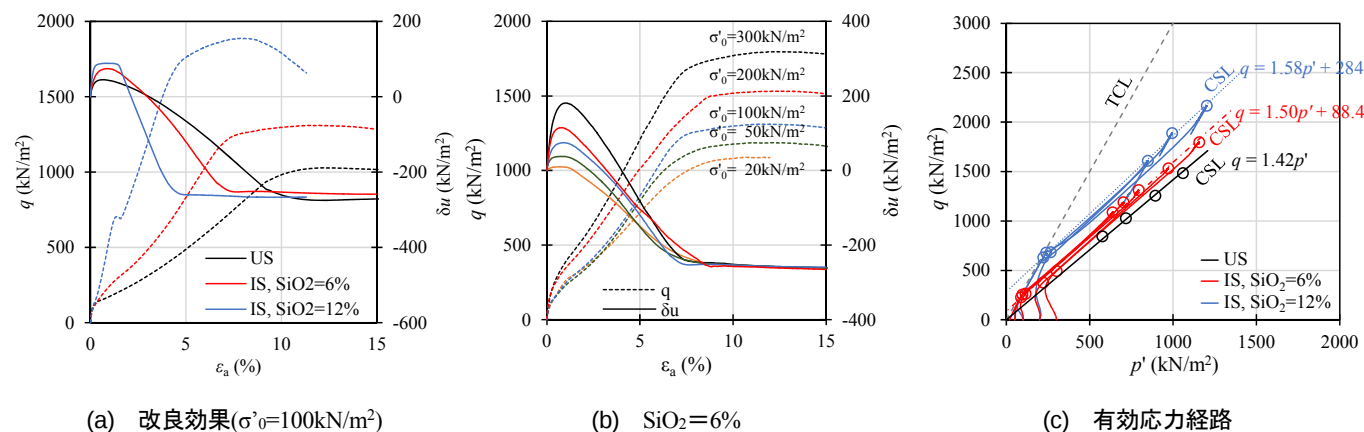


図-2 CU 試験結果

有効応力 p' が低下して応力経路がテンションカットオフライン (TCL) に接する。その後 TCL に沿って $q \cdot p'$ は増加し、さらに改良土の一軸圧縮強さ q_u 付近からは限界状態線 (CSL) に沿って $q \cdot p'$ は増加する傾向が見られた。なお拘束圧が高い条件では TCL に接することはなく、CSL に沿って $q \cdot p'$ が増加した。

表-2 は一連の試験結果より得られた c , ϕ と、この強度定数より求めた換算 $q_u = 2c \times \tan(45 + \phi/2)$ である。改良砂は、試験方法によらず未改良砂には無い

c が発揮され、特に SiO_2 が高いものほど大きくなる傾向を示した。また試験方法の違いに着目すると、 SiO_2 が高い場合、 c は同程度となるが、 SiO_2 が低い場合では大きく異なる結果となった。なお、 c は実測 q_u の値に対し 1/5~1/8 の範囲にある。一方、 ϕ は未改良砂と比較して CU 試験は SiO_2 に関わらず大きくなる傾向を示し、CD 試験では $\text{SiO}_2=6\%$ は小さく、 $\text{SiO}_2=12\%$ では大きくなる傾向を示した。また、得られた強度定数から求めた換算 q_u は実測 q_u の 0.54~0.85 倍の範囲となっている。

4. まとめ

未改良砂と 2 濃度の薬液による改良砂の三軸圧縮試験を行った結果、得られる強度定数はシリカ濃度や試験条件により異なることが明らかとなった。なお今後の予定としては、拘束圧の依存性について検討を行う予定である。

<参考文献> 1) 諏訪裕哉ら：薬液改良体の強度予測に影響する改良体構成要素の諸特性，第 41 回地盤工学研究発表会，395，pp.789-790，2006 2) 佐々木隆光ら：薬液注入材の体積変化に伴う拘束効果に関する検討，第 50 回地盤工学研究発表会，298，pp.595-596，2015 3) (社)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，第 5 編，第 8 章薬液注入による安定処理土の供試体作製，pp.442-443，2009

表-2 試験結果一覧

試料	SiO_2 %	Test	c kN/m^2	ϕ °	換算 q_u kN/m^2	実測 q_u kN/m^2
US	—	CU	—	34.9	—	—
IS	6	CU	44.2	37.0	177	330
IS	12	CU	144	38.7	599	750
US	—	CD	—	37.6	—	—
IS	6	CD	71.3	36.3	282	330
IS	12	CD	120	41.8	537	750