

シリカと水酸化カルシウムを混合した懸濁型注入材の液状化抵抗性について

微粒子 非セメント系注入材 液状化対策

東京都市大学大学院 学生会員 ○上村健太郎
 強化土エンジニアリング 正会員 佐々木隆光
 東京都市大学 正会員 末政直晃
 正会員 伊藤和也
 佐藤工業 正会員 永尾浩一

1. はじめに

宅地などの狭隘な土地や既設構造物直下の地盤における液状化対策には、一般的に恒久性を有する溶液型注入材を使用した工法が適用される。一方、セメント系の注入材に代表される懸濁型注入材は、溶液型注入材と比較して高い耐久性に期待が持てる。また、最近では、粒子粉碎技術¹⁾の発達により浸透性の高い懸濁型注入材が開発され、懸濁型注入材を用いた浸透注入による地盤改良が検討される²⁾など、その適用範囲が拡大している。しかし、セメント系材料に関する既往の研究³⁾では、地盤条件によっては六価クロムが溶出する可能性を指摘している。さらに、従来のセメント系改良材を用いた液状化対策に関する研究における改良強度は 1000kN/m²を超える²⁾が、宅地に対する液状化対策としては過大である。

そこで、本研究では非晶質のシリカ(以下 Si)と水酸化カルシウム(以下 CH)を混合した非セメント系注入材を提案する。ポゾラン材である Si に反応材である CH を混合することでポゾラン反応を誘起し、ケイ酸カルシウム水和物(以下 C-S-H)が生成される。これによって、土の骨格が補強されることで、強度が得られると考えられる。本報告では、Si と CH を混合した注入材の液状化対策効果を、応力制御の繰り返し三軸試験によって検討するとともに、繰り返し載荷による軸ひずみが大きくなった後の体積ひずみを確認した。

2. 繰り返し非排水三軸圧縮試験

2-1. 試験概要

試験条件の概略図を表-1 に示す。試料にはすべて珪砂 6 号を用い、未改良砂を扱った Case1 では、空中落下法で相対密度 D_r が 60% となるように供試体を作製した。一方、Case2, 3 においては、Si と CH を表-1 に示すような配合で混合した注入材を浸透注入させることで改良体を作製した。なお、表中の Si/CH および P/W は、それぞれ Si と CH、粉体(P)と水(W)の配合割合を重量比で示している。供試体作製後、脱型して 7 日間養生し、三軸試験機内に設置した。この際の供試体寸法は、いずれのケースでも直径 D が 5.0cm、高さ H が 10.0cm であった。供試体設置完了後、すべてのケースにおいて、CO₂ を透気、脱気水を 200ml 以上通水して飽和し、B 値を確認した。表-1

には各供試体の B 値も示しており、未改良砂については B 値が 0.95 以上となった供試体のみを用いた。しかし、改良体を使用するケースでは、0.95 以上まで B 値を上昇させることができなかった。これは、微粒子によって微細な気泡が注入材中に連行されるためと推測されるが、完全に固結した改良体において、このような気泡を取り除くことは困難である。そのため、不飽和改良体から得られた液状化強度は割り引いて評価される必要がある。ただし、不飽和砂の液状化強度に関する研究⁴⁾では、B 値が 0.95 から 0.6 に低下した場合でも、その強度は概ね 10% 増加する程度であることから、割引率はそれほど高くなく、本実験の

表-1 供試体と三軸試験の条件

Case	試験番号	注入材の配合 (重量比)		B 値	σ'_0 (kPa)	応力比 $P/2A_c \sigma'_0$
		CH/Si	P/W			
Case1 (未改良)	1-a	-	-	0.95	100	0.151
	1-b	-	-	0.99	100	0.154
	1-c	-	-	0.96	100	0.162
	1-d	-	-	0.96	100	0.171
	1-e	-	-	0.95	100	0.177
Case2 (改良)	2-a	4/6	0.07	0.92	100	0.201
	2-b	4/6	0.07	0.94	100	0.268
	2-c	4/6	0.07	0.92	100	0.328
	2-d	4/6	0.07	0.94	100	0.379
	2-e	4/6	0.07	0.92	100	0.395
Case3 (改良)	3-a	4/6	0.10	0.93	100	0.409
	3-b	4/6	0.10	0.93	100	0.497
	3-c	4/6	0.10	0.94	100	0.596
	3-d	4/6	0.10	0.94	100	0.696
	3-e	4/6	0.10	0.92	100	0.794

キーワード 微粒子 非セメント系注入材 液状化対策
 連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104 E-mail : g1691702@tcu.ac.jp

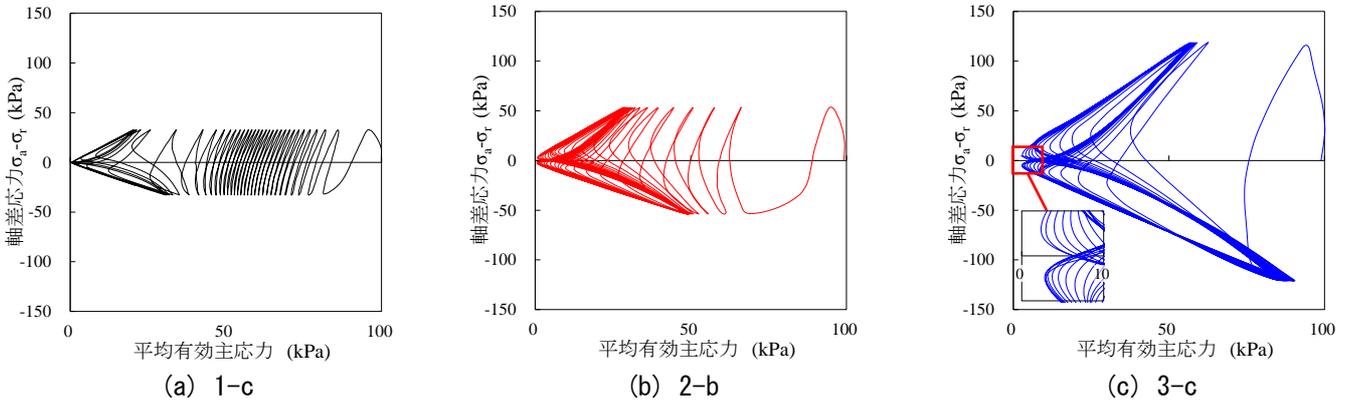


図-1 有効応力経路

B 値の範囲では結論に影響を及ぼさないと判断した。また、試験終了後の供試体の体積変化を計測し、液状化後の体積ひずみを算定した。

2-2. 試験結果

図-1 は、有効応力経路を示している。有効応力経路から、未改良砂では、平均有効応力が徐々に低下している。それに対して、固結砂の有効応力経路は、载荷初期から平均有効応力が低下し、繰返し载荷を数回経る間にほぼ一定の値に収束する。特に、P/W が 0.10 の注入材で改良した 3-c の結果では、平均有効応力の最小値が正の値を保っている。

次に、図-2 に液状化強度曲線を示す。図から、P/W が 0.07 である注入材を注入した Case2 では約 1.9 倍、Case3 については、3.6 倍程度の液状化強度が得られている。このことから、十分な液状化抵抗性が得られていることが確認できる。

液状化後の体積ひずみを評価するために、Ishihara et al.⁵⁾による最大せん断ひずみ(以下 γ_{max})と液状化後の体積ひずみ(以下 ϵ_v)の関係でまとめた。 γ_{max} と ϵ_v の関係を図-3 に示す。図中の実線は、Ishihara et al.によってまとめられた結果である。図から、Case1 の結果では、 γ_{max} の増加に伴い ϵ_v が増加していることに加え、概ね $D_r=60\%$ の線上に ϵ_v の測定値がプロットされるが、改良砂の ϵ_v は、未改良砂とそれほど大きな差はない。このことから、繰返し履歴の異なる未改良砂と改良砂において、 γ_{max} のみを用いて ϵ_v の大きさを一意に表すことは困難であると考えられる。

3. まとめ

P/W の増加に伴い液状化強度が増加し、特に P/W が 0.10 の注入材で改良砂は、十分は液状化強度を有する。一方、 ϵ_v は未改良砂と改良砂でほとんど差がない結果となった。この結果から、 γ_{max} のみを用いて ϵ_v の大きさを一意に表すことは困難であることが示唆された。

[参考文献]

1) 齊藤進六：超微粒子ハンドブック，pp.866-867，フジ・テクノシステム，1990。 2) 斎藤潤，田中俊行，北本幸義，竹内仁哉，金沢智彦，西垣誠：超大型地震に対する極超微粒子注入材による液状化対策，第 66 回土木学会年次学術講演会概要集，CD-ROM，III-038，pp.75-76，2011。 3) 恒岡伸幸：セメント改良土からの六価クロムの溶出とその周辺地盤での挙動に関する研究，京都大学博士論文，pp.7-29，2004。 4) Tsukamoto, Y., Ishihara, K., Nakazawa, H., Kamada, K., Huang, Y.: Resistance of partly saturated sand to liquefaction with reference to longitudinal and shear wave velocities, Soils and Foundations, Vol. 42, No. 6, pp 93-104, 2002. 5) Ishihara, K. and Yoshimine, M.: Evaluation of settlement in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol.32, No.1 pp.173-188, 1992.

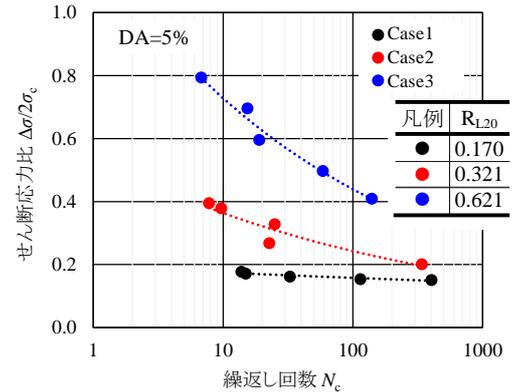


図-2 液状化強度曲線

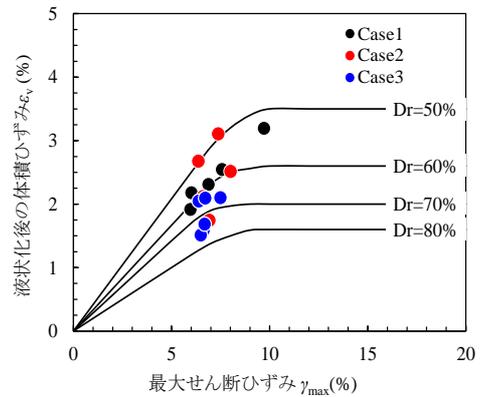


図-3 γ_{max} と ϵ_v の関係