

溶液型薬液改良砂の非排水せん断挙動およびせん断後における体積圧縮特性

(独) 港湾空港技術研究所 正会員○中澤博志, 菅野高弘
五洋建設(株) 正会員 池野勝哉, 三藤正明

1. はじめに

溶液型薬液注入工法¹⁾は、地盤中の間隙水を浸透注入した薬液に置換し固化することで、液状化の要因となる過剰間隙水圧の発生を抑制する液状化対策工法であり、空港の滑走路を始めとした既設構造物を対象に実績がある。空港土木施設への性能設計導入に伴い、滑走路の耐震設計では地震後の支持力と平坦性が求められており、地震後の供用判定をするために、滑走路に生じる沈下量や勾配等の変状予測が必要となる。したがって、その一環として、どの程度の過剰間隙水圧により改良体に劣化が生じるのか、あるいは過剰間隙水圧の上昇の違いにより、その消散に伴う改良体の体積ひずみは異なるのか等の基本的な特性を把握しておくことは、地震後の性能を議論する上で重要である。

筆者らは、2007年に実施した滑走路の液状化対策を目的とした現場実大実験²⁾において同工法を施工し、その対策効果について確認した。そこで、本報では石狩湾新港での現場実験で施工された改良体の不攪乱試料を採取し、三軸試験により非排水繰返し載荷および非排水単調せん断を実施するとともに、発生した過剰間隙水圧レベルに応じた改良砂の劣化の度合いや繰返しせん断後の体積変化特性について調べたので報告する。

2. 試験概要

(1) 試料条件

現場実験における石狩砂を用い、モールド内に空中落下法で $Dr=73\%$ (原位置相当) に調整した供試体と、写真-1 に示すように、同サイトで施工された改良砂をブロックサンプリングした供試体を用いた。なお、改良砂は概ね $Dr=86\%$ であった。

石狩砂の物理特性は表-1 に示すとおりである。また、溶液型薬液注入工法による改良仕様は、 $SiO_2: 8\%$ 、ゲルタイム: 250min であり、別途ブロックサンプリングから実施した一軸圧縮試験では、概ね $q_u=160\sim 180\text{kPa}$ であった。

(2) 試験手順

表-2 に試験ケースを示す。基本的な試験手順を以下に示す。

①三軸試験機において、 $\sigma'_c=50\text{kPa}$ まで等方圧密した後、バンダーエメント BE によりせん断波速度 $V_s(\text{m/s})$ を計測し、せん断剛性係数 G_0 (MPa) を求めた。

②非排水状態の供試体に過剰間隙水圧 Δu_0 を発生させた。過剰間隙水圧の発生方法は、非排水繰返しせん断と非排水状態で背圧を供試体に負荷する 2 種類の方法とし、表-2 に示す値で止め、非排水状態のまま、再度 BE による測定を実施し、せん断剛性係数(G_{aft})を求めた。

③排水バルブを開放し、体積ひずみ $\varepsilon_v(\%)$ を測定した。



写真-1 現場実験での改良体試掘状況

表-1 物理特性

土粒子の密度 G_s	細粒分含有率 $F_c(\%)$	平均粒径 $D_{50}(\text{mm})$	相対密度 $Dr(\%)$
2.680	7	0.167	73(86)
均等係数 U_c	曲率係数 U_c	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}
1.90	1.00	1.528	0.874

() は改良砂

表-2 試験ケース

試料	繰返しせん断		背圧負荷 $\Delta P_b / \sigma'_c$
	繰返しせん断応力比 $\sigma_d / 2\sigma'_c$	過剰間隙水圧比 $\Delta u / \sigma'_c$	
石狩砂	0.155	0.200	0.200
	0.155	0.300	0.400
	0.155	0.830	0.800
改良砂	0.207	0.207	0.200
	0.300	0.398	0.400
	0.420	0.751	0.900

キーワード 非排水せん断, 溶液型薬液注入工法, 過剰間隙水圧, 体積ひずみ

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 (独) 港湾空港技術研究所 TEL: 046-844-5058

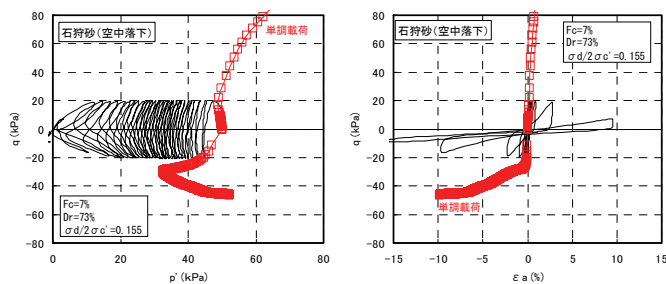


図-1 石狩砂の非排水せん断特性

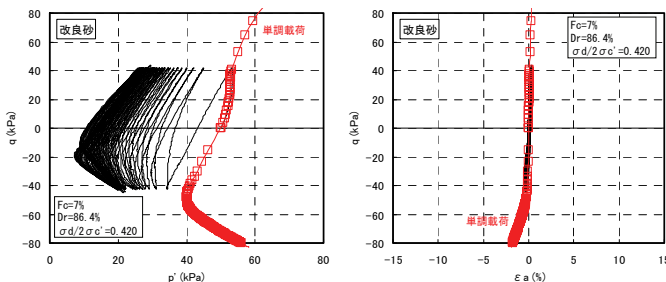


図-2 改良砂の非排水せん断特性

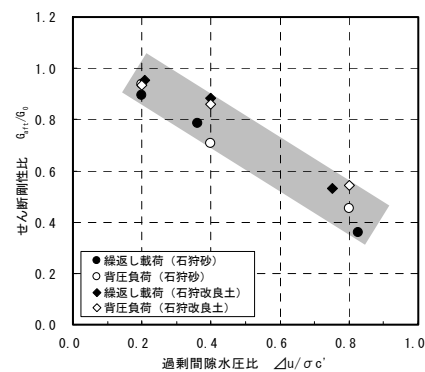
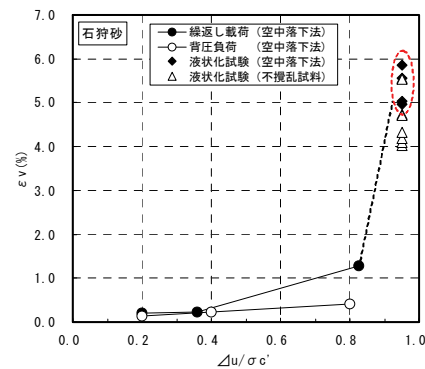
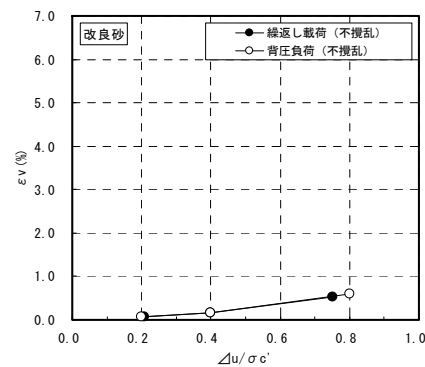


図-3 過剰間隙水圧とせん断剛性比の関係



(a) 石狩砂



(b) 改良砂

図-4 過剰間隙水圧と体積ひずみの関係

3. 試験結果および考察

石狩砂と改良砂の非排水繰返しせん断および単調載荷による有効応力経路、軸差応力-ひずみ関係を図-1、図-2にそれぞれ示す。石狩砂の単調載荷の有効応力経路を見ると、圧縮側では載荷直後から膨張的挙動を示しているのに対し、伸張側では載荷直後から収縮的挙動を示した後、膨張的挙動に転じている。一方、改良砂では石狩砂と比べ、圧縮・伸張側ともに膨張的挙動を示し、変相点もそれぞれ上方および下方に移動し、特に伸張側でその傾向が顕著である。今回の試験条件では、供試体作製条件が石狩砂と改良砂で異なるため直接の比較は難しいと思われるが、改良砂において膨張的挙動が顕著になっていることから、安定性向上や改良効果発揮の要因になっているものと推察される。

次に、過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_c$)とせん断剛性比(G_{af}/G_0)の関係を図-3に示す。石狩砂、改良砂ともに、過剰間隙水圧比の上昇に伴い、せん断剛性比が低下する傾向を示している。このせん断剛性比の低下傾向は、繰返しせん断や水圧伝播といった Δu の発生条件に拘らず、同一密度の下、平均主応力の変化で一意的に決まるものと推察される。また、図-4に $\Delta u/\sigma'_c$ と ε_v の関係を示す。石狩砂では、 $\Delta u/\sigma'_c$ が0.4付近までは Δu の発生条件に拘らず同様な傾向を示すが、0.8以上の領域では、繰返しせん断による ε_v が急増する傾向を示している。一方、改良砂の ε_v については Δu の発生条件に全く依存しない傾向を示している。今回の試験条件である $\Delta u/\sigma'_c \leq 0.8$ では、改良することで繰返しせん断や過剰間隙水圧の伝搬等による骨格構造の変化や攪乱の影響を受けにくくなっているものと考えられる。

4. まとめ

今回の試験条件の下、改良砂では、非排水せん断挙動からその効果が確認できること、過剰間隙水圧発生条件に関係なく、せん断剛性の低下傾向は非改良砂と同様であり、また、過剰間隙水圧消散に伴う体積ひずみは変わらないことが示された。

参考文献 1) 山崎浩之, 善功企, 河村健輔: 溶液型薬液注入工法の液状化対策への適用, 港湾空港技術研究所報告, 第41巻, 第2号, pp.119~151, 2002. 2) 中澤博志, 菅野高広: 空港施設の液状化挙動に関する実物大実験概要, 第43回地盤工学研究発表会, pp.1827-1828, 2008.