

シリカ薄液で改良したサンゴ礫混じり土の液状化抵抗

奥村組 正会員○日下部 伸 森尾 敏
山口大学 工学部 正会員 兵動 正幸
琉球大学 工学部 正会員 原 久夫
沖縄総合事務局 正会員 親泊 正孝

1. まえがき: 著者らは、通常採用されているシリカ濃度より、はるかに低濃度の「シリカ薄液」で改良された砂の液状化抵抗をひずみ振幅漸増方式の液状化試験とオンライン地震応答実験により調べてきた^{1),2)}。その結果、改良砂は一軸圧縮強さ q_u が 13kPa もあれば、相当な液状化抵抗と耐震性能を有することを明らかにした。さらに、従来の応力振幅一定方式の液状化試験では、優れた靱性に基づく改良砂の耐震性能を必ずしも合理的に評価し得ないことを示した³⁾。

本研究では、「サンゴ礫混じり土」に対するシリカ薄液の適用性を調べている。この種の土は、鹿児島、沖縄から東南アジア、オーストラリアまで広く太平洋諸島に分布する。これらの地域では物流システムの海運への依存度も高く、防災拠点としての港湾施設の耐震性は他の地域にも増して重要である。親泊ら⁴⁾は、沖縄を中心にサンゴ礫混じり土の分類方法とその強度特性について調査・研究を進めている。しかし、施設が立地しているサンゴ礫混じり土の動的性質に関するデータ・ベースは、必ずしも十分な状況とは言えない。ここでは、改良前後の供試体に対して、通常の液状化試験に加え、ひずみ振幅漸増方式の液状化試験を実施し、風間ら⁵⁾が提案している剛性低下率と累積損失エネルギーを用いて改良効果の評価を試みた。

2. 実験内容: サンゴ礫混じり土は沖縄県的那覇港で採取した。実験に使用した 4.75mm ふるい通過試料と原粒径試料の粒度分布を図-1 に示す。土粒子の密度は 2.748 である。供試体は、乾燥状態で相対密度 D_r が約 50% になるようにロート法で作製した。しかし、通水・圧密過程で相対密度は、約 67% 前後に増加した。改良砂では、型枠内に同様の方法で D_r が約 50% の供試体を作製し、次に飽和度を高めるために 93kPa の負圧を作用させた状態でシリカ薄液を浸透注入させた。その後、大気圧下で養生した。注入には、恒久グラウトである溶液型超微粒子シリカ原液を質量濃度 0.75% に希釈して使用した。材令 21 日の q_u は図-2 に示すように約 10kPa 程度であった。非排水繰返し単純せん断に用いた供試体の寸法は、直径が 7.5cm、高さが 5cm である。異方圧密条件は地表面近くを想定し σ'_h を 9.8kPa、 σ'_v を 24.5kPa とした。

液状化抵抗の評価には、通常の応力振幅一定方式の液状化試験 (CT 試験) とひずみ振幅漸増方式の液状化試験 (GA 試験) を実施した。この GA 試験では、第一波目のせん断ひずみ片振幅を $\pm 1 \times 10^{-3}$ とし、第二波目以降、順次せん断ひずみ片振幅を 1.5 倍間隔で漸増させるひずみ制御の正弦波を用いた。本研究で使用した簡易単純せん断試験装置とその実験手順の詳細については、文献 6) を参照されたい。

3. サンゴ礫混じり土の液状化抵抗: CT 試験から得られた未改良砂と改良砂の繰返し応力比 ($R = \text{繰返しせん断応力} / \text{初期の平均有効拘束圧}$) と繰返し回数の関係を図-3 示す。同図の繰返し回数 20 回での R は改良砂で 0.30、未改良砂では 0.20 程度と推定される。この試験方法では、両者の R の差 0.10 あるいは両者の R の比 1.5 (倍) がシリカ薄液の改良効果と評価されることになる。一方、図-4,5 は、GA 試験でのせん断応力～せん断ひずみ関係を、また図-6,7 は有効応力経路を示したものである。これらの図からは、未改良砂では流動的な液状化が懸念される。それに対し、改良砂ではダイレタンシー挙動が改善されており、極めて優れた靱性が付加された結果、流動的な液状化には至らないことが見て取れる。同一のひずみ履歴を与えたにも関わらず、未改良砂ではせん断応力の包絡線が低下し、改良砂では逆に包絡線が上昇している。GA 試験は、この両者の相異を明確に捉えている。

図-8 は、第一波目のせん断剛性に対する第二波目以降の剛性低下率とせん断ひずみ γ (片振幅) の関係を示している。 γ が 10% 付近の大ひずみ領域では、剛性低下率は未改良砂で 0.008 程度、改良砂では 0.035 程度であり、両者は 4 倍ほど異なる。ただし、未改良砂と改良砂の初期剛性はほぼ同様の値である。図-9 は、正規化累積損失エネルギー ($\Sigma \Delta W / \sigma'_{mo}$) とせん断ひずみの関係を示している。 $\Sigma \Delta W / \sigma'_{mo}$ は、せん断応力～せん断ひずみ関係の履歴ループの面積から損失エネルギーを求め、これを累積し、初期の平均有効拘束圧 σ'_{mo} で正規化したものである。大ひずみ領域における改良砂のエネルギー吸収性能は、未改良砂の 3.3 倍程度に改良されている。

4. まとめ: ひずみ振幅漸増方式の液状化試験を実施し、剛性低下率と累積損失エネルギーを用いてサンゴ礫混じり土に対するシリカ薄液の改良効果の評価を試みた。その結果、破碎性砂であり特殊土に分類されるサンゴ礫混じり土においても、靱性を付加するシリカ薄液の改良効果が確認できた。一方、通常の液状化試験では応力比の増加は 0.10、その倍率で 1.5 程度であった。本来この試験方法は変形性能の照査を主たる目的とした手法ではない。従って、シリカ薄液による変形性能の向上を適切に評価するには、ひずみ振幅漸増方式の試験等による剛性低下率と累積損失エネルギーからの検討も必要である。

キーワード：液状化、サンゴ礫混じり土、地盤改良、超微粒子シリカ薄液、単純せん断試験 連絡先：〒300-2612 つくば市大砂 387 奥村組技術研究所 TEL0298-65-1521 FAX0298-65-1522 E-Mail: oku05937@gm.okumuragumi.co.jp

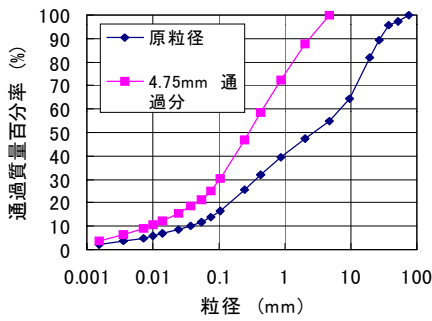


図-1 粒度分布

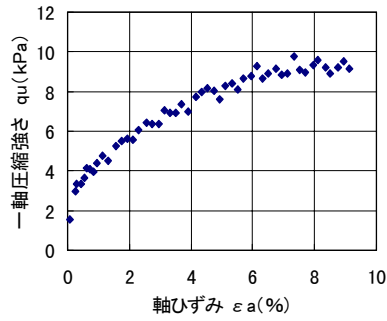


図-2 改良砂の一軸圧縮強さ(Dr=50%)

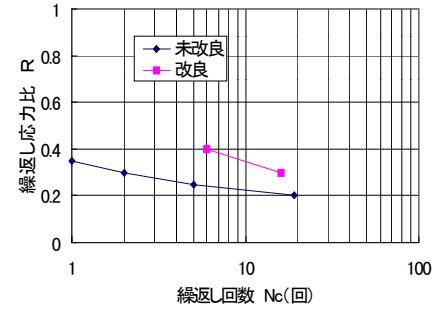


図-3 繰返し応力比と繰返し回数の関係

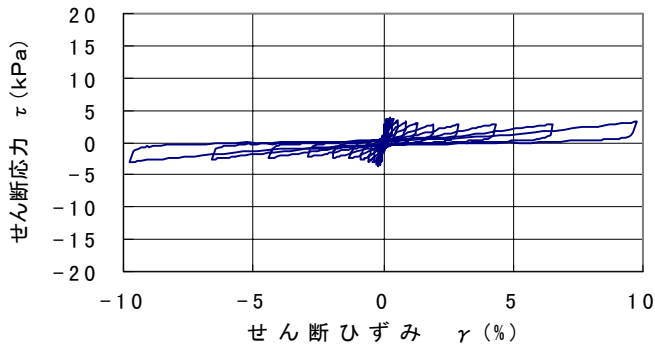
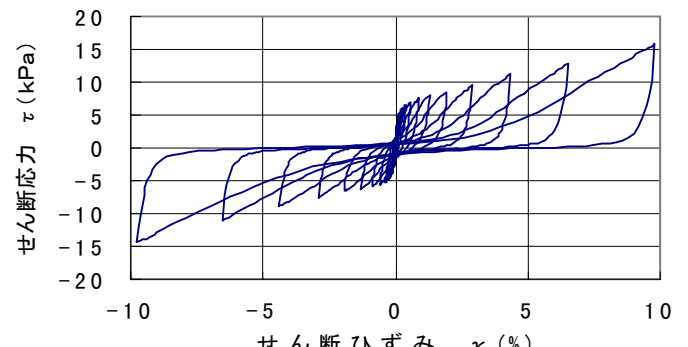
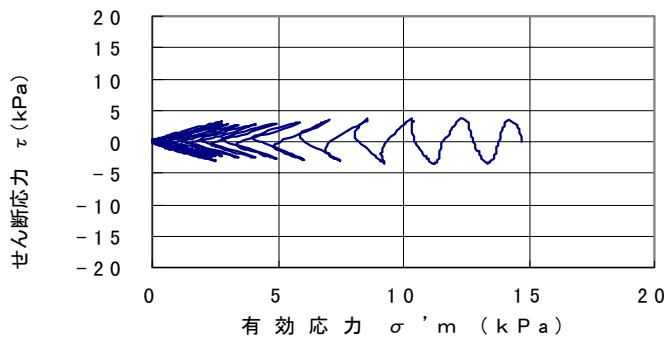
図-4 せん断応力～せん断ひずみ関係
(未改良砂 Dr=66%)図-5 せん断応力～せん断ひずみ関係
(改良砂 Dr=56%)

図-6 有効応力経路(未改良 Dr=66%)

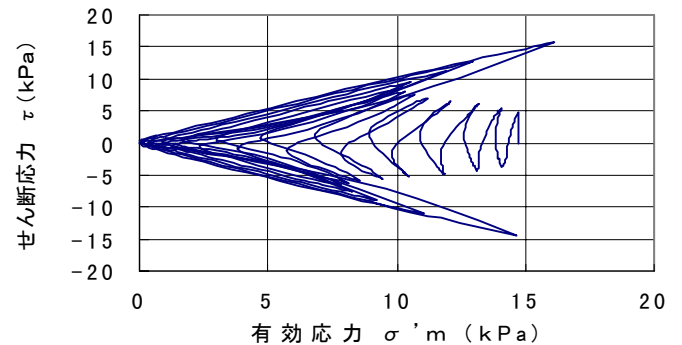


図-7 有効応力経路(改良砂 Dr=56%)

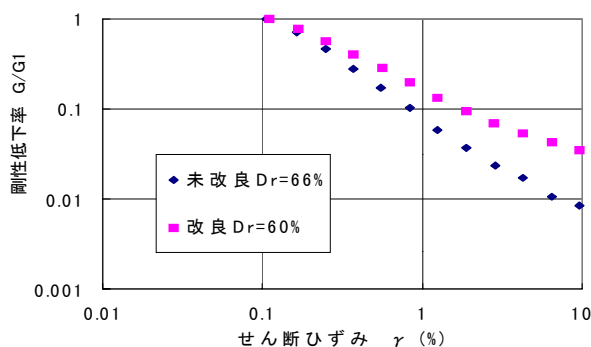


図-8 剛性低下率とせん断ひずみの関係

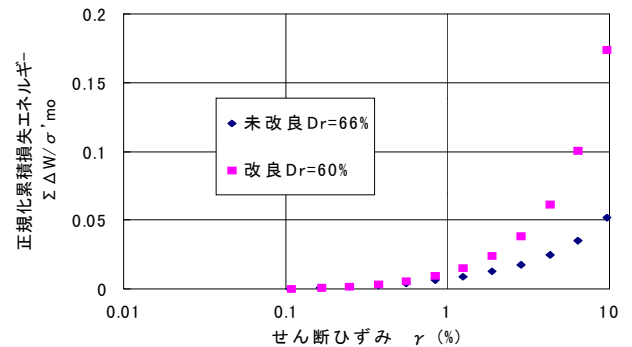


図-9 正規化累積損失エネルギーとせん断ひずみの関係

参考文献 1) 日下部伸, 森尾敏: 薬液注入による低強度改良砂の液状化抵抗, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp. 87~88, 1998. 2) 日下部伸, 森尾敏: 薬液注入による低強度改良砂の動的挙動, 土木学会第 53 回年次学術講演会, III-A114, pp. 226~227, 1998. 3) 日下部伸, 森尾敏: シリカ薄液による改良砂の液状化抵抗の評価, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp. 1009~1010, 1999. 4) M. Oyadomari, H. Uehara: Classification and strength properties of coral gravelly soils - Case studies of the port and coastal ground in Okinawa Islands -, Coastal Geotechnical Engineering in Practice, Vol.1, pp.135~140, 2000. 5) 風間基樹, 柳澤栄司, 増田昌昭: 定ひずみ制御繰返し三軸試験による液状化強度評価の可能性, 土と基礎, pp. 21~24, 1998. 6) 日下部伸, 森尾敏, 岡林巧, 藤井照久, 兵動正幸: 簡単単純せん断試験装置の試作と種々の液状化試験への適用, 土木学会論文集, No.617/III-46, pp. 299~304, 1999.