

## 間隙水をゼリー状物質で置換された改良砂の液状化抵抗

東北大学 正会員 風間 基樹 仙頭 紀明 渦岡 良介  
同 上 学生会員 鈴木 崇  
五洋建設 正会員 ○林 健太郎 河村 健輔 大島 貴充

### 1. はじめに

溶液型薬液注入工法とは、飽和砂質土の間隙水をゼリー状のシリカの固結物で置換することにより砂の液状化抵抗性を改良する工法である。既往の研究<sup>1)</sup>より、レベル1地震動に対しては、改良砂の一軸圧縮強さと液状化抵抗の関係から、 $q_u=50\sim100\text{kN/m}^2$  で十分な液状化抵抗性を有することが分かっている。しかし、間隙水がゼリー状物質であることによる改良砂特有の粘り強さは、従来の研究では適切に評価されていないのが現状である。そこで、本研究では、改良砂の定ひずみ繰返し非排水三軸試験<sup>2)</sup>を実施し、改良砂の液状化に対する粘り強さの評価とともに、レベル2地震動に対する液状化抵抗について検証した。

### 2. 実験の概要

土試料として  $F_c=0\%$  である5号相馬硅砂と5号、6号、8号相馬硅砂を  $F_c=10\%$  となるように混合、調整した調整硅砂の2種類を使用した。改良砂は、薬液のシリカ濃度を2.0%～6.0%に変化させ、 $D_f=60\%$  となるように水中落下法で作製した。28日養生後に改良砂の一軸圧縮試験および定ひずみ繰返し非排水三軸試験を実施した。改良砂の薬液のシリカ濃度と  $q_u$  の関係を図-1に示す。定ひずみ繰返し非排水三軸試験は、未改良砂を含めた各改良砂供試体について、軸ひずみ0.2%（レベル1地震動相当）、0.5%（レベル2地震動相当）の定ひずみ振幅を正弦波、周波数0.1Hz、载荷回数100回で载荷した。

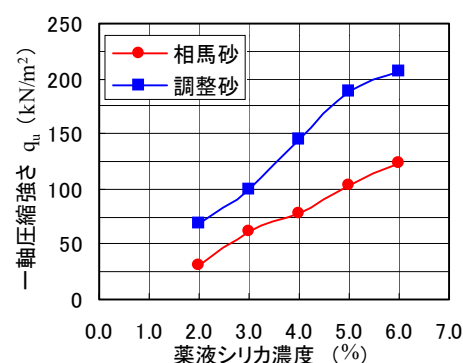
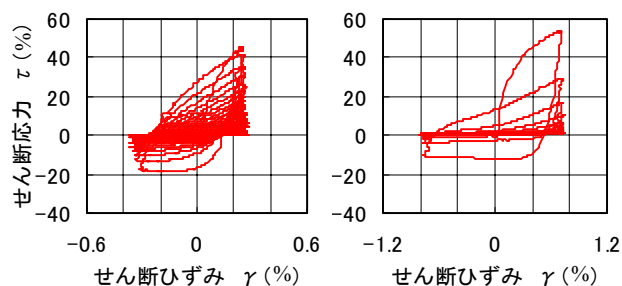


図-1 改良砂の一軸圧縮強さ

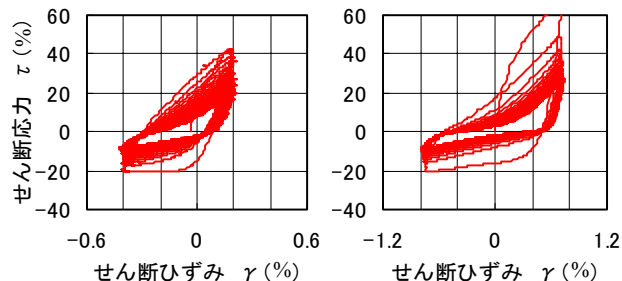
### 3. 改良砂の繰返しせん断特性

図-2に相馬砂の未改良、図-3に相馬砂の改良（シリカ濃度3.0%）の応力～ひずみ関係を示す。なお、図中のせん断ひずみは  $\gamma=1.5\times$  軸ひずみとして算出した。未改良砂は、軸ひずみ振幅に関わらず、载荷とともに剛性が低下し履歴ループが扁平な形状となり液状化状態となっている。一方、改良砂では、軸ひずみ振幅に関わらず、若干剛性は低下しているが履歴ループは扁平とならずせん断抵抗を有しており液状化していない。軸ひずみ振幅で比較すると、振幅が大きいほど剛性の低下が若干大きくなる傾向が見られる。



(a) 軸ひずみ振幅0.2% (b) 軸ひずみ振幅0.5%

図-2 未改良砂の応力～ひずみ関係



(a) 軸ひずみ振幅0.2% (b) 軸ひずみ振幅0.5%

図-3 改良砂（濃度3.0%）の応力～ひずみ関係

### 4. 改良砂の液状化抵抗性

定ひずみ繰返し非排水三軸試験から得られた結果を载荷回数と剛性低下率、载荷回数と累積損失エネルギーの関係で整理したのが図-4～7である。剛性低下率は、応力～ひずみ関係における各サイクルでの割線剛性  $G$  を初期の割線剛性  $G_0$  で除した値である。累積損失エネルギー<sup>2)</sup>は、土が地震荷重を受けた際に、液状化する過程において塑性変形して費やすことのできるエネルギー容量を表してお

キーワード 薬液注入、地盤改良、液状化、三軸試験、砂質土

連絡先 〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1 五洋建設（株）技術研究所 TEL0287-39-2116

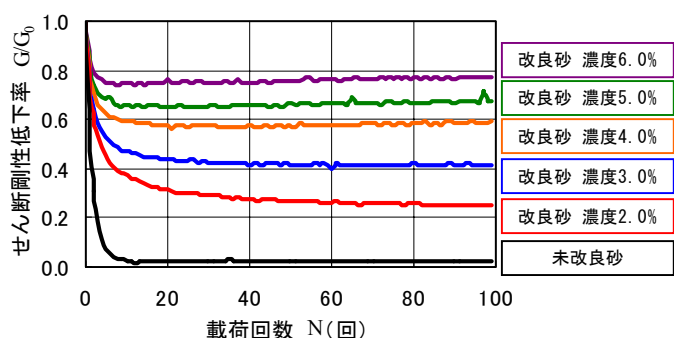


図-4 繰返しに伴う剛性低下率  
(相馬砂、軸ひずみ振幅0.5%)

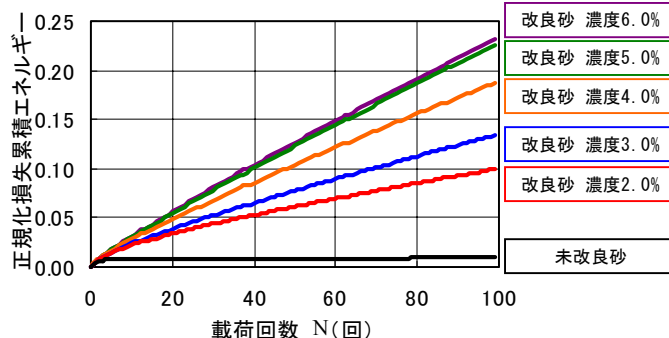


図-6 繰返しに伴う正規化累積損失エネルギー  
(相馬砂、軸ひずみ振幅0.5%)

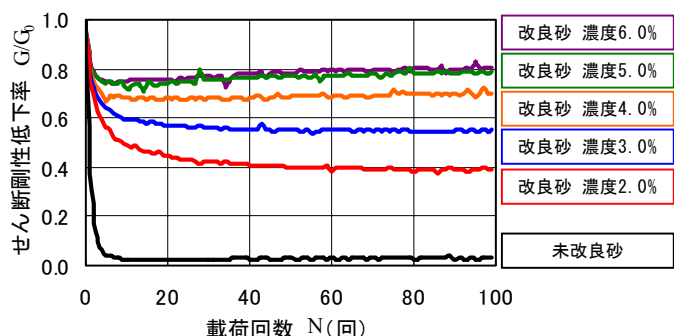


図-5 繰返しに伴う剛性低下率  
(調整砂、軸ひずみ振幅0.5%)

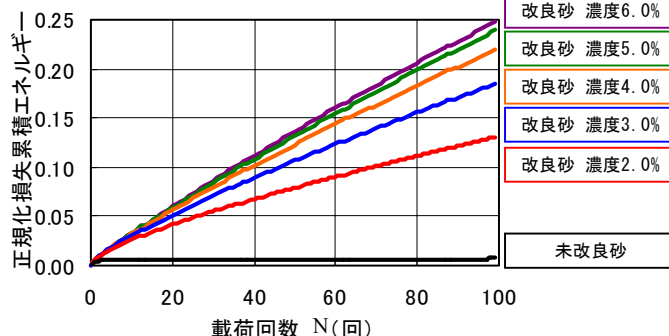


図-7 繰返しに伴う正規化累積損失エネルギー  
(調整砂、軸ひずみ振幅0.5%)

り、履歴ループの面積の累積値として表される。図-4～5より、相馬砂、調整砂ともに、未改良は载荷直後に剛性が低下し0となるのに対し、改良は徐々に剛性は低下するが、40波载荷後からほぼ一定値に収束し剛性が0になることはない。シリカ濃度が大きくなるほど剛性の低下は小さくなるが、最も薄い濃度の

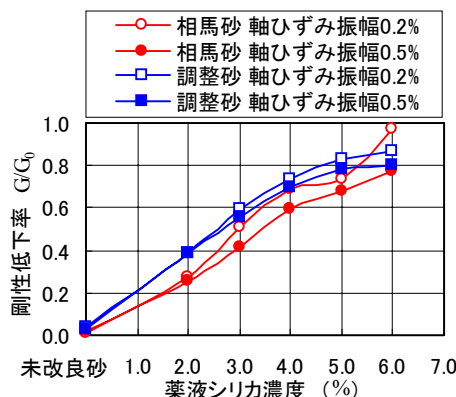


図-8 剛性低下率

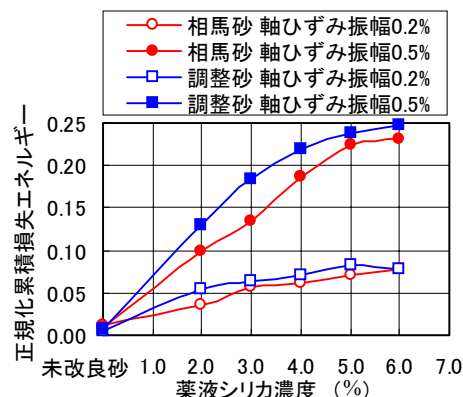


図-9 正規化累積損失エネルギー

2.0%でも初期剛性の30～40%は保持されている。また、細粒分が含まれる調整砂の改良の方が剛性の低下は小さい。累積損失エネルギーについては、未改良砂は図-2に示すように履歴ループが扁平となるため、累積損失エネルギーに上限値があるが、改良砂は履歴ループを保持するため、累積損失エネルギーは徐々に線形増加する。シリカ濃度が濃くなるほど、また、細粒分が含まれる調整砂の方が累積損失エネルギーは大きく、液状化抵抗性は大きくなる。载荷回数100回における剛性低下率および累積損失エネルギーとシリカ濃度との関係を図-8～9に示す。なお、図中のシリカ濃度0%は未改良砂の結果である。図より、改良砂が著しい液状化抵抗性を有することが確認できる。

## 5. まとめ

本研究により、溶液型薬液注入工法による改良砂の液状化抵抗性を確認することができた。この液状化抵抗性は、剛性低下の特性などから粘性土のような粘り、靱性によるものであると考えられる。特に、濃度の薄い低強度の改良砂でもその靱性が発揮されている。また、レベル2地震動を想定した軸ひずみ振幅に対しても十分な液状化抵抗性を有している。今後、この靱性を適切に評価し、レベル2地震動に対する設計手法を確立していきたい。

## 【参考文献】

- 1) 山崎他：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) 風間他：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，Vol.46，No.4，pp.21-24，1998。