

Ⅲ-13

浸透固化薬液により改良した砂質土の液状化抵抗

東北大学工学部土木工学科 学生会員

○鈴木 崇

同 上 正会員 仙頭 紀明 渦岡 良介 風間 基樹

五洋建設技術研究所 正会員 林 健太郎 河村 健輔 大島 貴充

1. はじめに

近年、既存構造物の直下地盤の液状化対策として浸透固化処理工法が注目されている。この工法は、地盤に薬液を注入し、浸透させ間隙水を薬液と置換し、地盤の粘性力を増加させ、液状化防止を図るという工法である。しかし、薬液濃度と改良効果の関係や原地盤に細粒分が含まれた場合の影響は十分に定量的に評価されていないのが現状である。また、改良土の持つ靱性や粘りについては、従来は設計上積極的に評価されていない。そこで、本研究では改良土の定ひずみ非排水三軸試験を行い、レベル2地震動への適用の可能性について検討を行った。

2. 試験方法

2.1 浸透固化薬液

浸透固化処理工法で使用する薬液であるエコシリカ I は特殊シリカ、反応剤 A、反応剤 B、助剤の 4 つの材料を配合することで作液される。実験の供試体は、特殊シリカ濃度が 2,3,4,5,6% となるように配合した。配合表と一軸試験結果を表 1 に示す。

2.2 土試料

土試料として相馬砂と、5,6,8 号珪砂を細粒分含有率が 10% となるように調整した砂（以下、調整砂）の 2 つを使用した。相馬砂の最大、最小間隙比は $e_{\max}=1.120$ 、 $e_{\min}=0.653$ 、調整砂は $e_{\max}=0.983$ 、 $e_{\min}=0.541$ 、比重はともに $G_s=2.620$ であった。

2.3 非排水繰返しせん断の載荷方法

(1) 軸ひずみ 0.2%、0.5% の一定ひずみ振幅、sin 波、周波数 0.1Hz、載荷回数 100 回のせん断を加え、間隙水圧と軸差応力を計測した。

(2) 供試体作成方法

1) シリカ濃度が 2,3,4,5,6% の浸透固化薬液に、3 層に分けて砂を落下させ、振動を加えて相対密度が 60% になるように密度調整した。その後、20℃一定で 28 日間以上養生した。

2) 改良土の供試体の寸法は直径 5cm、高さ 10cm とした。改良土は透水性が低いので、供試体の上下面にポーラスストーンを設置し、側面にはろ紙を設置した。なお、ろ紙は供試体表面積の 50% 程度となるようにした。供試体には二酸化炭素を十分に流し、通水し、その後、背圧を 200kPa 載荷し飽和させた。この方法により作成した供試体の B 値は 0.95 以上

であった。また圧密条件は、等方圧密条件にて、100kPa の平均有効応力を 10kPa きざみで載荷し、その後、20kPa を除荷・再載荷を行い、圧縮・膨潤係数を測定した。

表 1 配合表及び改良土の一軸試験結果

薬液濃度 (%)		2	3	4	5	6
特殊シリカ(ml)		160.6	241.8	321.5	401.9	482.3
水(ml)		832.0	747.2	666.3	584.1	500.7
反応剤 A(ml)		5.0	7.0	10.2	13.0	15.2
反応剤 B (ml)		2.4	4.0	2.0	1.0	1.8
助剤(g)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
合計(ml)		1000	1000	1000	1000	1000
— q、	相馬砂	31.0	60.8	78.4	103.3	123.7
	調整砂	68.8	99.7	144.7	188.7	206.5

— q_u: 一軸圧縮強度の平均値(kPa)

3. 実験結果及び考察

3.1 未改良土の繰返しせん断特性

図 1 から未改良土の剛性は載荷サイクルとともに低下し、その履歴ループは偏平な形状へと変化し、液状化状態に至っていることが分かる。また、有効応力経路は原点に到達し、せん断抵抗を失っている。

3.2 改良土の繰返しせん断特性

改良土（相馬砂、シリカ濃度 3%）の応力 - ひずみ関係、有効応力経路を図 2 に示す。剛性は低下するが定常状態に収束するが、その状態でも履歴ループも偏平にはならずせん断抵抗を有する土であるといえる。有効応力経路も原点に達していない。

3.3 改良土の靱性の評価

土の靱性の評価は累積損失エネルギーを用いて行った。累積損失エネルギーは、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り、履歴ループの面積の累積値として表される。図 1 より、未改良土のように液状化する土は、液状化した状態においては履歴ループが描かれず、累積損失エネルギーに上限値がある。一方、改良土は、靱性があり

履歴ループが常に存在し線形的に増加している。図 3, 4 に繰返しに伴う剛性低下率を示す。剛性低下率は各サイクルにおける割線剛性を初期割線剛性で除したものである。先に述べたとおり、未改良土は剛性がほぼ 0 になるまで低下し、せん断抵抗を発揮しなくなるのに対して、改良土は粘りの性質から剛性低下が止まる。また、細粒分が含まれた方が粘りの性質は大きくなる。実務で用いられるレベルよりもかなり低い濃度の 2% でさえも 4 割程度の剛性が保持され、液状化していないことが分かる。図 5 は 100 回の繰返しせん断中に費やされる正規化累積損失エネルギーを示したものである。また、図 6 は改良土が各ひずみレベルで載荷回数 100 回までに吸収した正規化累積損失エネルギーを未改良土が吸収した正規化累積損失エネルギーで除し、各改良土の改良効果を表したものである。この図は、薬液改良土が液状化抵抗に対する著しい改良効果を有していることを示している。

4. 結論

- 改良土は貧配合のものでも、未改良土よりも大幅にその靱性能を有していた。
- 改良土に細粒分が 10% 含まれていると同じ薬液濃度でも液状化抵抗が増加する傾向にあった。
- 薬液改良土の靱性を評価することで合理的な設計の可能性が示された。

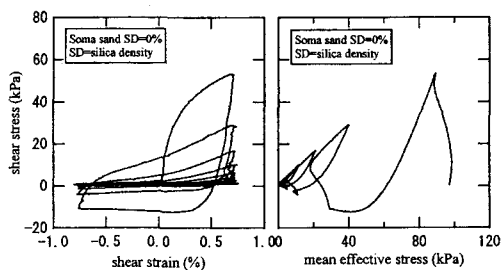


図 1 応力 - ひずみ関係 (未改良土, 片ひずみ 0.5%)

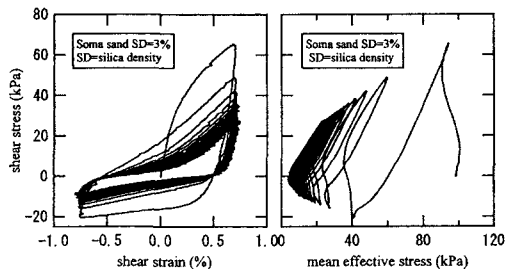


図 2 応力 - ひずみ関係 (改良土, 片ひずみ 0.5%)

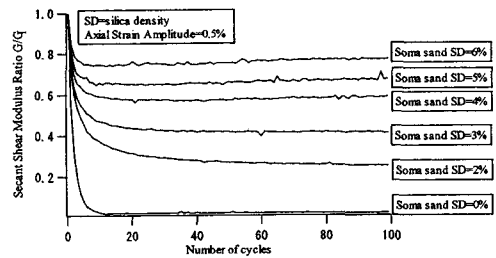


図 3 繰返しに伴う剛性低下率 (相馬砂)

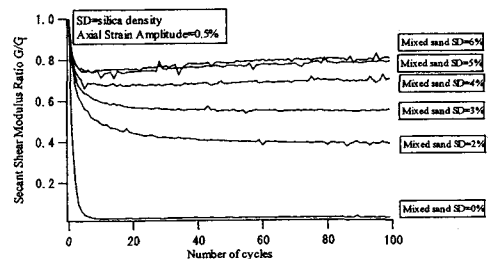


図 4 繰返しに伴う剛性低下率 (調整砂)

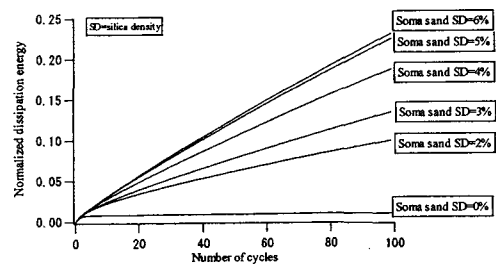


図 5 正規化累積損失エネルギーの比較

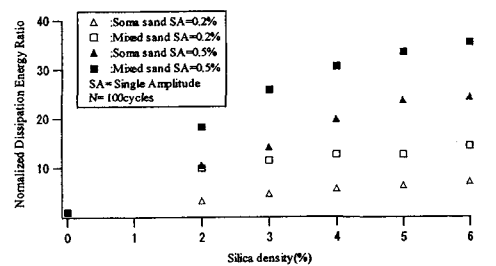


図 6 各改良土の正規化累積損失エネルギー比

参考文献

- 1) 風間基樹, 柳沢栄司, 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, Vol. 46, No. 4, pp. 21-24, 1998.