

薬液注入によって改良された砂質土地盤の動的特性

ライト工業株式会社技術研究所 正会員 廖 峰 ライト工業株式会社技術研究所 有賀 度
山口大学工学部 正会員 山本哲朗 ライト工業株式会社技術研究所 半田 斌

1.はじめに

地震時の砂質土地盤における動的特性に関する調査や研究、或いはそれらのモデル解析結果は、このところ、多く報告されている。その中に特殊な土試料、もしくは、特定の地域において特殊な方法で展開されるものも少なくない。一般的な砂質土地盤の液状化及び動的変形特性に関しては、今尚、多くの実験的調査は必要であり、地盤動的挙動のメカニズムをより深く把握するためにも、更なる調査・研究が待たれる。

都市部の大規模・大深度掘削や近接施工等における地盤の安定及び地盤の変形問題となることが多く、特に、附近の構造物への影響を抑えなければならない。地山崩壊することなく、施工出来る地盤はそう多くない状況の中、いかに的確に地盤の安定性状や繰返し荷重による強度の低減を抑えるかは、大きな課題である。

実際の耐震設計、施工に当たっては地盤の流動特性、変形発生の可能性等を十分に検討、調査し、対策を考えなければならない。中でも不連続体であり、粒状体である砂質土地盤について、地震時における被害は特に顕著なため、本研究では、代表的な砂質土である豊浦砂に、8号珪砂を粉砕して得られた細粒分で調整した混合試料土を用いて、砂質土地盤改良分野で液状化対策に有効な工法の一つであるといわれている薬液注入固化工法により改良体を作製した。この種の地盤の動的特性を把握する目的で、注入薬液(水ガラス系)によって注入改良した緩い砂質土地盤に的を絞って、未改良地盤および改良地盤の非排水繰返しせん断強度と動的変形特性、変形ひずみ等について調べた。

2.試料土、注入薬液及び改良体

2.1 試料土

本文中で用いた試料土は、豊浦砂および8号珪砂(Nikko Sand)である。このNikko Sandをボールミールを使って粒径0.075mm以下に粉砕して、篩分けにより作成した細粒砂(以下、細粒砂という)である。豊浦砂に細粒砂を混合して、調整試料土の細粒分含有率をそれぞれ10%、25%になるよう配合調整を行った。豊浦砂をSample A、細粒分含有率 $F_c=10\%$ の土試料を、そして、 $F_c=25\%$ の方をSample Cとする。本実験に使用したSample A、Sample BおよびSample Cの物性値をTable2-1に示している。

2.2 注入薬液

注入に用いた薬液の主材は、水ガラス(主成分： $\text{Na}_2\text{O}\cdot x\text{SiO}_2$)である。水ガラスは3号珪酸ソーダを使用した。これに水とリアクターとして75%の希硫酸5.0%混入して注入用薬液としてのシリカ溶液(以下、SLLと称する)を作製した。

2.3 改良体

実験に使用する薬液注入改良供試体は、真空加圧法を用いて作製した。アクリル製円筒(50mm、肉厚=8.0mm)の中に相対密度 $D_r=60\%$ になるように、必要量の調整試料土を算出し、その全量をはかって、均等にアクリル円筒内に投下した。所定の体積になるように、予め決めたラインにくるよう木槌を用いて軽く打撃を加えた。これを金具で固定してアクリル円筒上部から、30分間の脱気を行った後、その下部より注入をした。注入圧は一定で 0.15MN/m^2 とした。Fig.2.1は、実験に用いた各サンプルの粒径加積曲線を示している。

3.実験装置、実験方法及び解析手法

3.1 実験装置

本報告では、非排水繰返しせん断試験及び動的変形試験において使用された実験装置は、空圧式高速デジタルサーボ制御型動的三軸試験機というもので、最大出力応力は 2.5MN/m^2 、最小分解能 $1.427\times 10^{-7}\text{mm}$ で制御することが可能であり、受信したモー

Table 2.1 The properties of samples

Samples	Sample A	Sample B	Sample C
Specific gravity G_s	2.641	2.647	2.637
Uniformity coefficient U_c	4.810	10.22	1.282
Average grain size D_{50} (mm)	0.205	0.22	0.208
Maximum grain size D_{max} (mm)	0.425	0.425	0.425
Liquid limit W_l (%)	NP	NP	NP
Plastic limit W_p (%)	NP	NP	NP
Plasticity index I_p	NP	NP	NP
Clay content F_{clay} (%)	0.73	0.64	0
Fine grained content F_c (%)	10.25	25.29	2.57

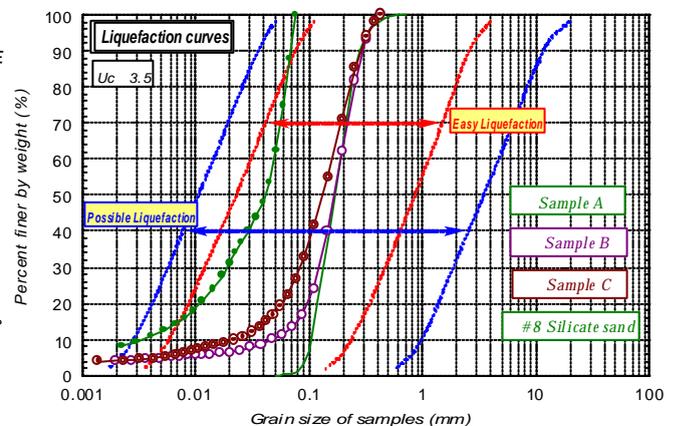


Fig.2.1 Grading curves of the liquefaction(SLL chemical grouting)

Keywords: Modulus of deformation, Water-glass chemical grouting, Shear modulus, Damping and Cyclic shear stress ratio

Address : Technical Research Institute, RAITO KOGYO Ltd. 415-6 Narashino Funabashi-City, Chiba 274-0071

ターのパルス数によって軸方向変位を計測する。上記のすべての動的実験ケースにおいて、実験装置等の機械的因子により生ずる誤差を考慮し、計測値の整合性を高め、また、統一性を図るため、出来るかぎり上記一式の実験装置を用いて試験を行った。改良地盤の一軸圧縮強さを把握するために、単調圧縮試験を行った。動的変形特性を求めるために各試料土及びその改良体の剛性試験を実施した。剛性試験は、非排水条件下すべてのケースにおいて間隙水圧比 B 値は 0.95 以上である。

3.2 実験方法および解析手法

計測データは、Binary 形式であるため、それを ASCII 形式に変換した上で、動的三軸試験解析プログラムにデータを再取り込み、解析を行った。解析に際して、実験ケースごとの改良体の物性値及び実験条件値をそれぞれ入力し、データ解析により諸特性値を求めた。

4. 動的試験及び解析結果

Fig.4.1 は、Sample B、C 改良前後の供試体における動的変形係数 E と軸歪 の関係曲線を示している。この図から、Sample B、C 未改良試料土の場合は、両方の E - 曲線がほとんど重なっており、細粒分含有率が若干異なるものの、 E 値には大きな違いが見られない。対して改良後の供試体においては、初期剛性係数 E_0 は、Sample B が 183.75 MN/m^2 であったが、Sample C は 205.78 MN/m^2 となり、約 12% の増大した。Fig.4.2 は、両ケースの未改良と SLL 薬液注入改良体のせん断剛性 G とせん断歪 の関係を表す G - 曲線である。図中より、Sample B、Sample C 未改良試料土の G - 曲線は、Fig.4.1 の E - 曲線同様、両曲線がほぼ一致しており、細粒分含有率 F_c の違いによる差異は、ほとんどないと言える。対する改良後の供試体においては、初期せん断剛性値 G_0 は、Sample B では $G_0 = 70.67 \text{ MN/m}^2$ であったが、Sample C は若干大きくなり、 $G_0 = 79.15 \text{ MN/m}^2$ となった。Sample B より Sample C の方は約 10% の増加を示した。Fig.4.3 は、Sample B、C の未改良試料及び改良試料におけるせん断剛性比 G/G_0 とせん断歪 の関係曲線を示している。未改良試料土における載荷最終回のせん断剛性比 G/G_0 は、Sample B が 0.007、Sample C は 0.006 であり、両者間にほとんど差はなかった。この時のせん断歪レベルは、それぞれ 7.85×10^{-2} 、 9.20×10^{-2} である。つまり、せん断歪が $nx10^{-2}$ レベルでの未改良試料土の剛性は、ほとんど失っていることを意味してい

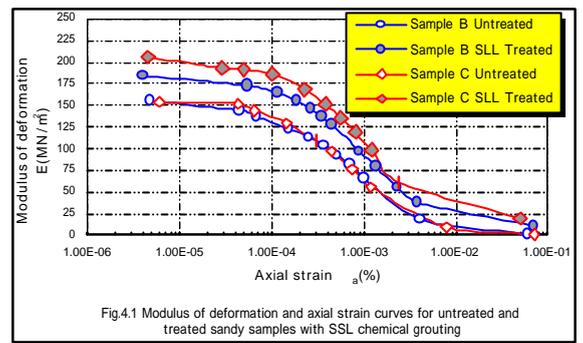


Fig.4.1 Modulus of deformation and axial strain curves for untreated and treated sandy samples with SSL chemical grouting

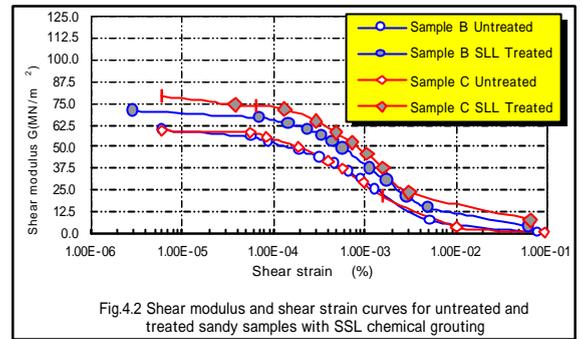


Fig.4.2 Shear modulus and shear strain curves for untreated and treated sandy samples with SSL chemical grouting

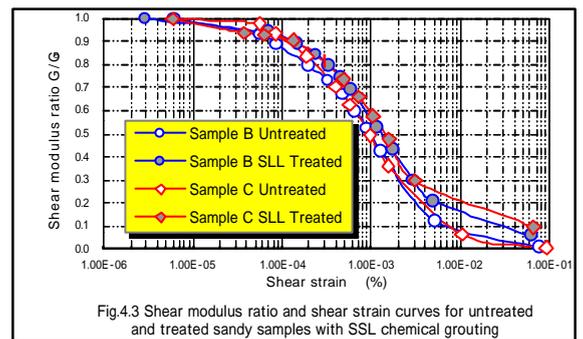


Fig.4.3 Shear modulus ratio and shear strain curves for untreated and treated sandy samples with SSL chemical grouting

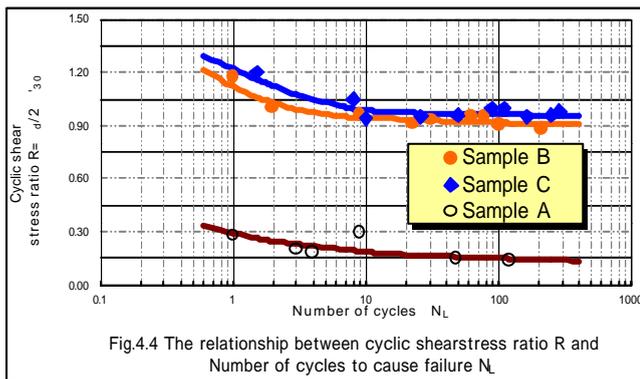


Fig.4.4 The relationship between cyclic shear stress ratio R and Number of cycles to cause failure N_L

値 R を示した。繰返し回数 N_L が 20 回の時、Sample A の抵抗値 R_{L-20} は 0.163 であるのに対して、Sample B と Sample C はそれぞれ 0.930、0.968 となり、約 5.7、5.9 倍大きくその値を示した。しかし、この場合 F_c の違いによる両者間における R 値の差異は認められなかった。

5. おわりに

本報告は、薬液注入により改良した砂質土地盤における動的特性を調べた。動的変形試験では、未改良土より改良土の方は、より大きい E_0 、 G_0 値を示した。破壊後における改良体は、未改良土より約 5% ~ 10% 程度の残留剛性を保っていたことが分かった。改良後の非排水繰返しせん断抵抗 R_{L-20} は、未改良土より約 6 倍程度増大した。砂質土地盤におけるこの種の改良体の動的強度及び動的変形特性値は、いずれも未改良土に比べてより卓越した。これは、薬液注入により土粒子間に薬液粒子が入り、ゲル化されたことによって間隙水は置換され、その結果、改良体の土粒子構造はより緻密になり安定性を増し、強度的にもより堅固になったためと考えられる。

る。対する SLL 薬液注入改良体の場合は、その載荷最終回時の剛性係数 G_e は、初期せん断剛性係数 G_0 の 5.7%、9.5% までに下がったが、未改良土とは大差がないものの、若干の残留剛性を保っていることが分かる。この時のせん断歪レベルは、それぞれ 6.30×10^{-2} 、 6.54×10^{-2} である。従って、繰返し載荷を受けるこの種の砂質土地盤では、SLL 薬液注入改良地盤は、未改良地盤より地盤安定性が大きくなっていることがわかる。

Fig.4.4 は、Sample A、B、C における非排水繰返しせん断抵抗 R と繰返し回数 N_L の関係曲線 ($R-N_L$) を示している。未改良試料土 Sample A より両改良ケースのいずれも大きくその抵抗