

薬液固結砂の非排水繰返し載荷時の間隙水圧応答について

早稲田大学 学生会員 土田 真嗣
 早稲田大学 学生会員 伊藤 健
 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

1. 目的

液状化対策工法の1つに薬液注入工法が挙げられる。しかし、コスト面等の理由から施工された実績は少ない。近年になり、狭いスペースでも施工可能であり、また既設構造物の直下地盤の改良も可能である等の利点により薬液注入工法が液状化対策として注目されている。そのため、薬液注入工法のコスト削減が必要とされている。

本研究では薬液濃度を20, 15, 10%の3種類に変化させた薬液で固結させた砂の液状化試験を0.2, 0.3, 0.5MPaの3種類の拘束圧で行い、それぞれの液状化特性について実験的に調査した。

2. 中空ねじりせん断による液状化試験

主剤濃度の異なる3種類の薬液で固結させた砂の液状化抵抗を中空ねじりせん断試験機により実験的に調査し、液状化対策として必要な主剤濃度を検討した。

(1) 実験装置・方法

相対密度40%となるように外形7cm、内径3cm、高さ10cmの中空円筒供試体を薬液中に珪砂($D_{50}=0.15\text{mm}$)を自由落下させて作成し、図1の実験装置に設置する。セルをか

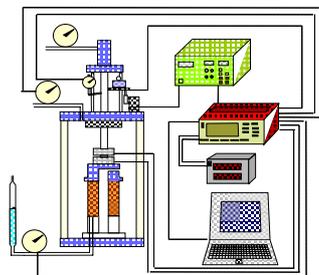


図1 実験装置

ぶせ拘束圧を供試体に加える。等方圧密終了後、非排水状態で片振幅約1.0%せん断ひずみとなるよう繰返し載荷を行った。

(2) 使用試料とその物性値

試料は珪砂7号、8号を重量比で1:3に混合したものを使用し、注入剤として中酸性シリカゾル系の薬液であるエコリ

表.1 試料の物性値

試料	珪砂
土粒子密度(g/cm^3)	2.63
乾燥密度(g/cm^3)	1.56
透水係数(cm/s)	6.99×10^{-3}
最大密度(g/cm^3)	1.55
最小密度(g/cm^3)	1.157

オン溶液を使用した。物性値を表.1、薬液配合表を表2に示す。薬液の初期強度発現までのゲルタイムは20%濃度で15時間、15%濃度で27時間、10%濃度で72時間であった。

(3) 実験条件

薬液濃度10%、15%、20%について、それぞれ0.2Mpa、0.3Mpa、0.5Mpaの拘束圧で繰返し載荷試験を行う。

表.2 薬液配合表

薬液濃度20%	
A液	B液
主剤 200g	硬化剤(硫酸) 16.67m
水 550ml	L剤 16.67g
合計 750ml	水 215.1ml
薬液濃度15%	
A液	B液
主剤 150g	硬化剤(硫酸) 13.33ml
水 600ml	L剤 13.33g
合計 750ml	水 222.06ml
薬液濃度10%	
A液	B液
主剤 100g	硬化剤(硫酸) 10ml
水 650ml	L剤 10g
合計 750ml	水 229.04ml

3. 薬液固結砂の一軸圧縮強さ

薬液注入による液状化対策としての性能を判断するためには、簡便に測定可能な固結砂の一軸圧縮強さをを用いることが望ましい。固結砂の一軸圧縮強さと薬液濃度の関係を図2に示す。図2より薬液濃度の増加と共に一軸圧縮強さが増加していることが分かる。これは、薬液の主剤濃度が高いほどゲルの主成分である SiO_2 も多く生成されるためだと考えられる。既往の文献などによると液状化対策を目的とした薬液固結砂の一軸圧縮強さの目安は、50~100 kN/m^2 とされている¹⁾。10,15%濃度では100 kN/m^2 を超えていないが、エコリオン溶液(中酸性型)の強度は化学反応の進行に伴い徐々に増加すると考えられる。

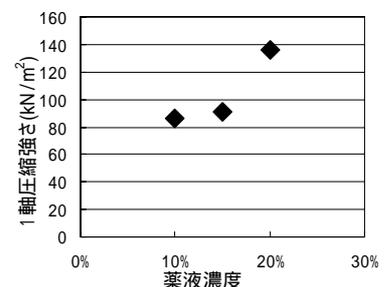


図.2 薬液濃度と一軸圧縮強さの関係

キーワード 液状化 薬液注入 一軸圧縮強さ 間隙水圧

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部 58-205 TEL.03-5286-3405

4. 非排水繰返し載荷時の間隙水圧応答

(1) 間隙水圧比

繰返し載荷過程における間隙水圧と経過時間の関係を拘束圧ごとにそれぞれ図.3、図.4、図.5 に示す。図.3～5 より全ての実験において間隙水圧が拘束圧の95%まで達しておらず、完全液状化には至っていない。また、薬液濃度が高い方が間隙水圧の上昇が抑制された結果となった。一軸圧縮強さと最大間隙水圧比の関係を図.6 に示す。図.6 より拘束圧の増加に伴って最大間隙水圧比が増加する結果が得られたが、0.5MPa の試験終了後に供試体を取り出してみると全く液状化した形跡は見られなかった。また一軸圧縮強さが大きくなるにしたがって、最大間隙水圧比は小さく、液状化抵抗も増加する結果となった。これは固結砂の間隙中に存在するゲルがねじりに抵抗し、薬液の主材濃度が高くなるにしたがってゲルの主成分であるシリカゲル (SiO₂) が多くなる

ことからせん断に対する抵抗力が大きくなるためであると考えられる。しかしながら、拘束圧が大きくなるにつれて最大間隙水圧比は上昇し、1.0 に近い値となった。

(2) 間隙水圧比上昇の原因

拘束圧 0.5MPa における試験時に間隙水圧比が 1.0 近くまで上昇する原因としては、拘束圧の増加による供試体の飽和度の上昇が考えられる。そこで、薬液濃度 20% の固結砂における拘束圧と B 値の関係を図.7 に示す。B 値は(増加間隙水圧)/(増加側圧)により求めた。図.7 から分かるように拘束圧の増加に伴い B 値も増加している。B 値の増加は、拘束圧の増加に伴う供試体内の気泡の減少によるものと考えられる。実際、供試体の非排水状態での体積変化に着目し、拘束圧ごとの供試体の体積変化量を測定した。拘束圧の変化に伴う供試体の体積変化量を図.8 に示す。図.8 より拘束圧の

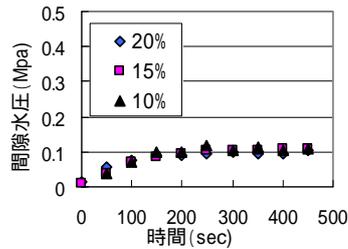


図.3 0.2MPa における間隙水圧応答

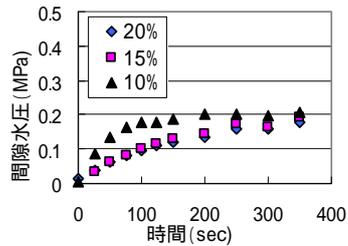


図.4 0.3MPa における間隙水圧応答

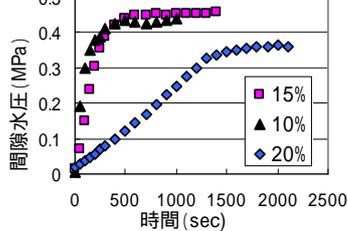


図.5 0.5MPa における間隙水圧応答

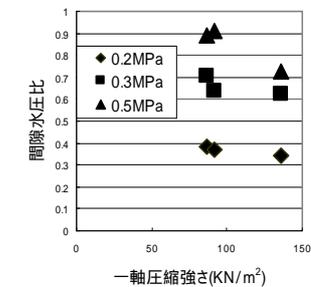


図.6 一軸圧縮強さと間隙水圧比

増加に伴い、供試体の体積は減少していることが分かる。このことから拘束圧が増加することにより、供試体内の気泡が圧縮され供試体の体積が減少し供試体の飽和度が上昇すると考えられる。この飽和度の上昇が非排水載荷時の間隙水圧比増加につながったと考えられる。

(3) 間隙水圧比の観点からみた液状化対策

間隙水圧比の観点から薬液注入による液状化対策としての有効性を考察する。地表面から深い位置での薬液注入の施工条件を考慮した場合、薬液の注入には大きな圧力が必要である。薬液を高圧で注入すると、含まれる気泡が薬液に溶解し飽和度が高くなり本実験における高い拘束圧と同様の状態になることが予想される。しかしながら、通常の液状化対策を目標とした薬液注入は、たかだか拘束圧 0.2MPa 程度の地表から 10 数 m の範囲で行われる場合が多い。したがって、この場合には間隙水圧比は図.6 からわかるように薬液濃度に無関係に 0.5 以下であり、10% 程度の低濃度薬液でも液状化対策として十分である。

5. まとめ

ここでは、液状化対策を目的とした薬液注入の有効性を一軸圧縮強さと非排水中空ねじり試験時の間隙水圧応答をもとに調査した。

- ・薬液固結砂の一軸圧縮強さは、50～100(kN/m²)の範囲にあった。

- ・薬液濃度 10%、15%、20% の薬液固結砂の供試体の非排水載荷時の最大間隙水圧比は 0.95 以下であった。

- ・拘束圧 0.2MPa 程度の地表から 10 数 m の範囲で行われ薬液注入地盤では、繰返し載荷時の最大間隙水圧比は薬液濃度に無関係に 0.5 以下であり、10% 程度の低濃度薬液でも液状化対策として十分である。

謝辞 本研究の実施にあたり、ケミカルグラウト株式会社のご援助をいただいたことを記し謝意を表す。

参考文献：1) 山崎浩之他，既設構造物直下地盤の液状化対策-浸透固化処理工法，土と基礎，51-3(542)，P.13～15，2003.3

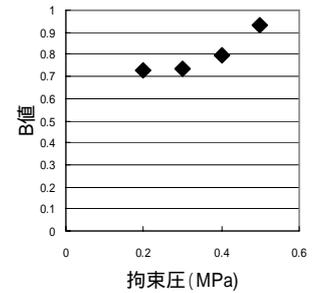


図.7 拘束圧と B 値

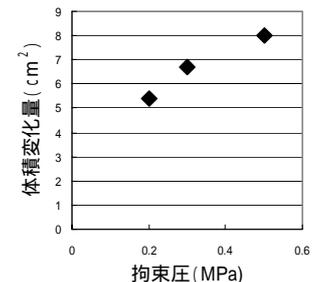


図.8 体積変化量