

特殊シリカ液が砂の初期せん断弾性係数に及ぼす影響

東京都市大学 学○安部利亮 正 末正直晃

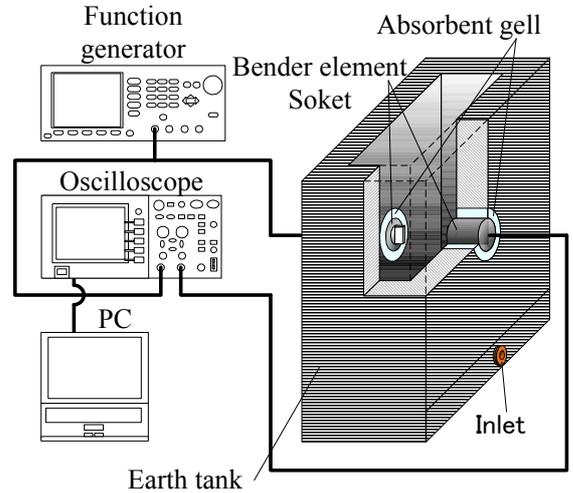
強化土エンジニアリング(株) フェロー 島田俊介 正 小山忠雄 佐々木隆光

1 はじめに

地盤改良工法の一つである恒久性のある薬液注入工法は地盤中の土粒子を特殊シリカで固結させることで地盤の強度を増加させる工法である。この工法は、施工後の強度発現メカニズムや初期強度の測定、予測が困難なことから、施工管理、品質管理等に課題が残されている。強度発現メカニズムを解明することができれば、特定の地盤条件に対して適切な薬液の選定、または配合を決定することができ、恒久性のある薬液注入工法はコストや性能の面でより効果的な地盤改良工法となる。本研究では、薬液改良体の初期せん断弾性係数の計測を目的とし、波動試験の一つであるベンダーエレメント試験を実施した。また、ベンダーエレメント試験は、非破壊で供試体の初期せん断弾性係数が測定することが可能である。本報告では、特性の異なる二種類の特殊シリカ系(活性複合シリカコロイド、活性シリカコロイド)薬液<sup>1)</sup>を用いて作製された薬液改良砂の養生に伴う初期せん断弾性係数の変化を計測し、比較した。

2 薬液供試体を用いたベンダーエレメント試験

図1に本試験で使用したベンダーエレメント計測ユニットを示す。ベンダーエレメント計測ユニットは、土槽、ベンダーエレメントソケット、ファンクションジェネレータ、オシロスコープで構成されている。土槽は、塩化ビニール製で幅40mm×奥行き150mm×高さ150mmであり、土槽底面に薬液注入口が設置されている。また、土槽の側面には、底面から高さ75mmの位置にせん断波送信用のベンダーエレメント取付穴とその対面側にせん断波受信用のベンダーエレメント取付穴があり、その穴にベンダーエレメントソケットを取付けられるようになっている。表1に本試験



(Dimensions: W40.D150.H150mm)

図1 ベンダーエレメント計測ユニット

表1 豊浦砂の物理特性

土粒子密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	最大間隙比 $e_{\text{max}}$	最小間隙比 $e_{\text{min}}$
2.640	0.986	0.621

表2 使用薬液の諸元値

薬液A		薬液B	
活性複合シリカ		活性シリカ	
ゲルタイム	シリカ濃度	ゲルタイム	シリカ濃度
12時間以上	6%	150分	30%

表3 試験条件の諸元

試験名	試料	相対密度	$\Delta s$
Case1	薬液A	-	10mm
Case2	薬液B	-	
Case3	豊浦砂+薬液A	高密(約80%)	30mm
Case4	豊浦砂+薬液A	低密(約45%)	
Case5	豊浦砂+薬液B	高密(約80%)	
Case6	豊浦砂+薬液B	低密(約45%)	

試験で使用した豊浦砂の物理特性を、表2に本試験で使用した薬液Aと薬液B(活性複合シリカと活性シリカ)の諸元値をそれぞれ示した。ゲルタイムとは薬液を配合した時から薬液の粘性度が20cpsに達するまでの時間である(配合時は2~3cps)。薬液Bは高水圧用に開発された薬液でシリカ濃度が高くゲルタイムが早く設定されている薬液である。

表3に本試験の試験条件の諸元を示す。Case3からCase6に関しては豊浦砂を空中落下法にて所定の相対密度になるように土槽に充填し、その後薬液を土槽下部の注入口より土粒子骨格を乱さないように低圧で浸透注入し作製した。また $\Delta s$ とは土槽内に突出しているせん断波送信用ベンダーエレメントとせん断波受信用ベンダーエレメントの先端間距離である。この距離をせん断波速度算出時のせん断波有効伝播距離とした。

ベンダーエレメント試験では、薬液注入時からの低強度においてもせん断波速度の測定が可能のため、配合、注入時より72時間後まで継続的に計測を実施した。各Caseとも一回の計測につき、ファンクションジェネレータから送信

キーワード: 地盤改良 薬液注入 シリカ 養生 初期せん断弾性係数

連絡先: 東京都市大学 都市基盤工学専攻 地盤環境工学研究室 TEL03-5707-2202

用バンダーエレメントに入力した電圧波形は±10Vの単一sin波で、使用周波数帯は0.5~10kHzである。前述の試験機概要の通りの接続系統を伝播した電圧波はオシロスコープに取り込まれる。この際、オシロスコープのトリガ機能と連動したアベレーシング集積機能により複数の受信波からランダム波(主に高周波ノイズ)を除去し、この後受信波形をエクセルファイルとしてPCに保存した。

3 試験結果

図2と図3に試験により測定された各ケースの養生時間に対する初期せん断弾性係数を示した。Case1と2では測定初期は試料が液体のためせん断波が伝播せず、ゲルタイム後より徐々にせん断波の振幅と速度が上昇した。またCase3から6に関しては初期から不規則な変化がみられた。

ここで、Iwasaki & Tatsuoka は豊浦砂と同様に細粒分を含まなくて均等係数Ucが小さなきれいな砂に対して共振法試験で求めたせん断ひずみ $\gamma=10^{-6}$ でのGと間隙比および拘束圧との関係を次式で定義<sup>2)</sup>している。

$$G = 14091F_{(e)}\sigma_v'^{0.2}\sigma_h'^{0.2} \text{ (kPa)} \quad \text{②}$$

このGはせん断弾性係数、 $F_{(e)}$ は間隙比関数(豊浦砂 $= (2.17-e)/(1+e)$ )、 $\sigma_v'$ は鉛直有効応力、 $\sigma_h'$ は水平有効応力である。今回の試験において、土槽内が等方応力状態であると仮定し、②式を変換すると、薬液の固化に伴う土粒子の有効拘束圧 $\sigma$ は次式で定義される。

$$\sigma' = \left( \frac{G}{14091F_{(e)}} \right)^{2.5} \text{ (kPa)} \quad \text{③}$$

図4に養生時間と③式より算出した有効拘束圧 $\sigma$ との関係を示す。これより、土の密度によりその大きさは異なるが、改良土中の有効応力は計時的に増加することがわかる。

4 まとめ

今回、特性の異なる二種類の薬液を用いて薬液改良砂の養生に伴う初期せん断弾性係数の変化を測定したところ、以下の知見が得られた。

- ・小型土槽を用いてバンダーエレメント試験を行ったところ試験条件、試験装置から初期せん断弾性係数の上昇を測定することが可能であった。
- ・ホモゲル、サンドゲルにおいて、初期せん断弾性係数は養生に伴い上昇する。
- ・サンドゲルにおいて初期せん断弾性係数の不規則な変化が見られた。ホモゲルには不規則さが見られないことから、要因は砂に由来すると考えられる。
- ・試料の密度に変化が無いことから初期せん断弾性係数の上昇は薬液の拘束圧の増加によるものと考えられるが、薬液自体の剛性以外に拘束圧に大きく影響を与える因子の存在が考えられる。

<参考文献>

1)パーマロック ASF-IIカタログ 強化土エンジニアリング(株)技術資料  
 2)岩崎 敏男, 龍岡 文夫: Effect of grain size and grading on dynamic shear moduli of sands

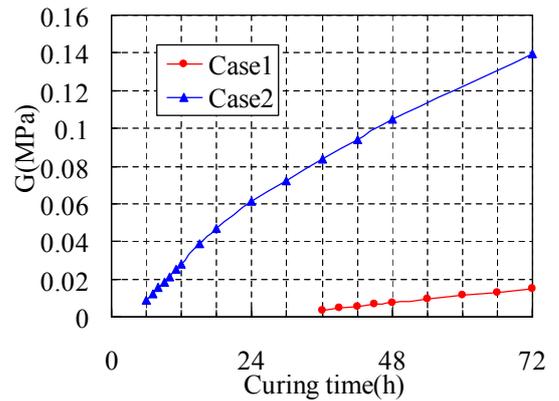


図2 初期せん断弾性係数(ホモゲル)

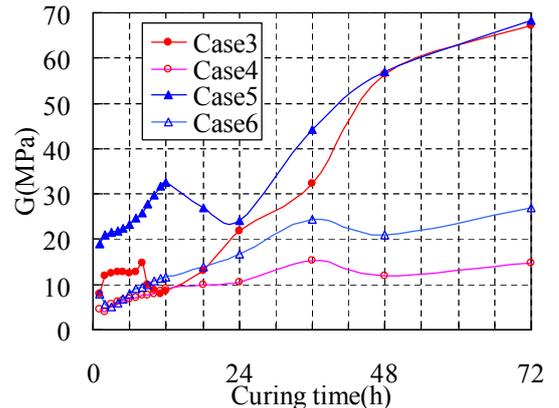


図3 初期せん断弾性係数(サンドゲル)

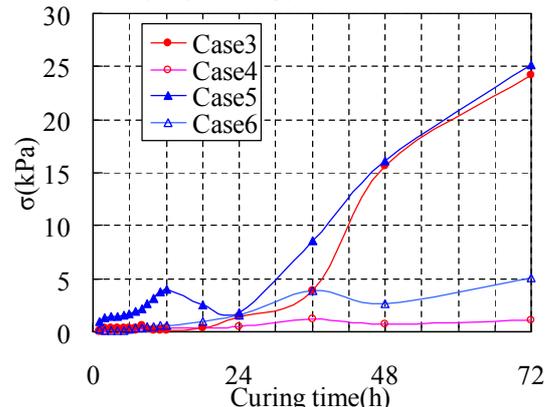


図4 拘束圧の仮定