

# 特殊中酸性薬液による固結砂における弾性波伝播特性

薬液注入 弾性波特性 セン断弾性係数

早稲田大学 学生会員 ○梅谷 拓馬  
 早稲田大学 国際会員 兵動 太一  
 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一  
 ケミカルグラウト(株) 正会員 小林 正志

## 1. はじめに

日本は地震大国であり、将来的に首都圏を含む都市部においても大型地震が高い確率で発生すると言われている。1995年の兵庫県南部地震において、液状化現象による被害が注目されるようになり様々な対策がなされてきた。そうした中の一つが砂地盤の間隙水を薬液で置換し安定した地盤に改良する薬液注入工法<sup>1)</sup>である。しかし薬液注入工法は液状化対策や軟弱地盤の強度増加機構に不明確な部分が多く、現場においても施工時に経験則に頼らざるをえない。よって、実験室レベルでのデータの蓄積が急務である。

ここでは、水ガラス系溶液型無機系特殊中・酸性薬液を用いて改良した砂供試体に対して弾性波速度測定試験や一軸圧縮試験を行った。その結果をもとに、薬液の濃度や材齢の経過による強度発現の状況や、その拘束圧依存性を把握することで薬液注入による改良メカニズムの基本的な解明を試みた。

表1 日光珪砂6号の物理的性質

土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最大間隙比	最小間隙比
2.66	0.982	0.619

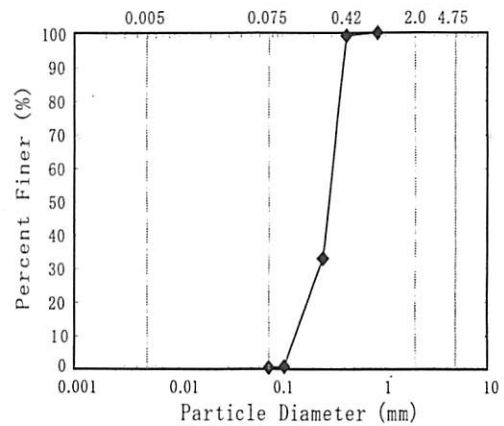


図1 日光珪砂6号の加積粒径曲線

## 2. 試料および試験方法

### 2.1 試料と試験装置

本研究では、実験試料として日光珪砂6号 ( $D_{50}=0.26mm$ )を用い、注入材として特殊中・酸性薬液を用いた。表1に日光珪砂6号の物理的性質、図1に粒径加積曲線をそれぞれ示す。供試体に拘束圧を載荷した状態で弾性波速度を測定する装置として三軸装置を使用した。弾性波の送受信には、図2に示すセラミック素子を用いた。本センサは図3に示すように、試料キャップおよびベDESTALに組み込まれている。素子は試料から排水経路を確保出来るよう中空構造となっている。

### 2.2 試験方法

本研究では、薬液供試体の弾性波伝播特性を知るために弾性波速度測定システムを用いた。供試体 ( $\phi 50mm \times 100mm$ ) は、水中落下法の要領<sup>2)</sup>であらかじめ薬液を入れたモールドに相対密度  $Dr=60\%$  になるように日光珪砂6号を加えて作成した。薬液はシリカ濃度を通常現場で使用される5.8%に加えて、4.5%になるよう配合した。作成した固結砂を7週間水中養生し、弾性波速度測定機に設置した。脱気水で十分通水した後拘束圧を作用させ、有効拘束圧  $\sigma'_c=20kPa$  を加えて飽和化を図った。その後、等方応力条件で有効拘束圧を  $\sigma'_c=50kPa$  載荷し、一時間ほど時間を置き体積変化が落ち着いた後、P波素子およびS波素子に発振用電圧を印加し供試体を伝播する弾性波速度  $V_p, V_s$  を測定した。有効拘束圧を100、200、300、400kPaと変えてい同様に波動を測定した。また弾性波の測定条件として起振電圧を100V、起振波形を矩形波とした。

### 2.3 弾性波速度の算出

弾性波速度については波形記録を用いP波速度とS波速度を解析した。解析の方法は、発振波および受振波の初動を同定する方法を採用した。弾性波速度の算出は式(1)の通りとした。同式中の  $dt$  は、伝搬距離  $l$  の状態で観測される遅延時間で、送受振機器の持つ電気的な遅延時間である。この遅延時間は、計測システムや使用するセンサに依存する。



図2 セラミック素子

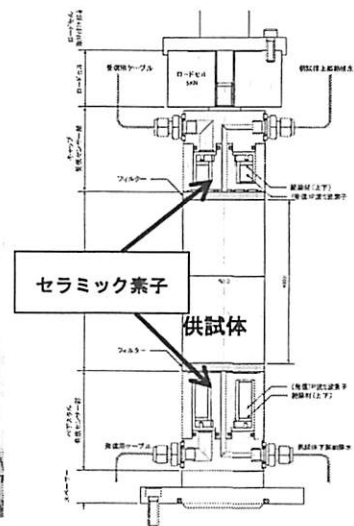


図3 セラミック素子の設置

$$v = \frac{l}{(t_1 - t_0) - dt} \quad \dots \dots (1)$$

ここで  $v$  : 弾性波速度(m/sec),  $l$  : 供試体高さ(m),  $(t_1 - t_2)$  : 発振初動から受振初動までの遅延時間(sec),  $dt$  : 計測システムの遅延時間である。これらにより、薬液による強度発現メカニズムについて検討した。

### 3. 試験結果及び考察

#### 3.1 一軸圧縮試験

図4に一軸圧縮強度とシリカ濃度の関係を示す。一軸圧縮試験における供試体は弾性波速度測定試験と同様に水中落下法で作成した。材齢は1週間で供試体寸法も同様に(φ50mm×100mm)である。ここでは、シリカ濃度5.8、4.5%の他にも比較のため7.2%の供試体を用いた。シリカ濃度7.2%のとき多少ばらつきが見られたものの、各シリカ濃度の一軸圧縮強度はそれぞれ近い値を示している。シリカ濃度が高いものの方が一軸圧縮強度は高くなっていることがわかる。よって同じシリカ濃度の供試体における強度の差は少ないと言える。

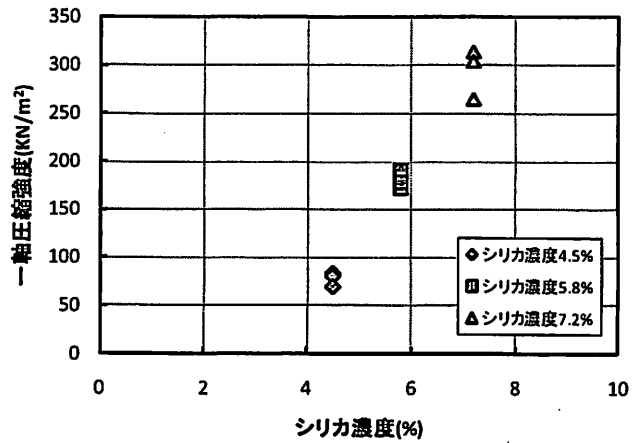


図4 一軸圧縮強度とシリカ濃度の関係

#### 3.2 弾性波速度測定試験

図5に材齢7週目、シリカ濃度5.8%の供試体における弾性波速度と有効拘束圧の関係を示す。 $V_p$ は有効拘束圧の増加とともに弾性波速度も上昇している。 $V_s$ においては有効拘束圧が増加しても弾性波速度はほぼ一定である。

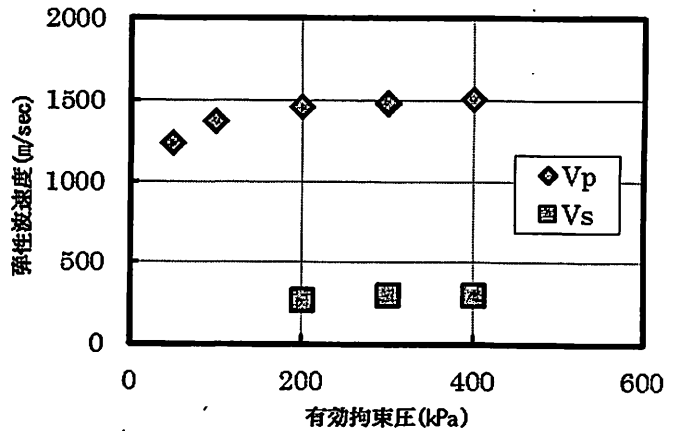


図5 弾性波速度と有効拘束圧の関係

せん断波速度  $V_s$  を利用して(2)式より供試体のせん断弾性係数を求めることができる。

$$G = \rho_s \cdot V_s^2 \quad \dots \dots (2)$$

ここで  $G$  はせん断弾性係数(MPa),  $\rho_s$  は湿潤密度である。

図6にせん断弾性係数と有効拘束圧の関係を示す。

比較材料として山田ら<sup>3)</sup>がベンダーエレメント試験より算出した未改良土である相対密度60%の三河珪砂におけるせん断弾性係数をプロットした。いずれの供試体においても有効拘束圧の増加に伴いせん断弾性係数の増加がみられた。また薬液固結砂は未改良土である三河珪砂と比較して高い剛性がみられる。

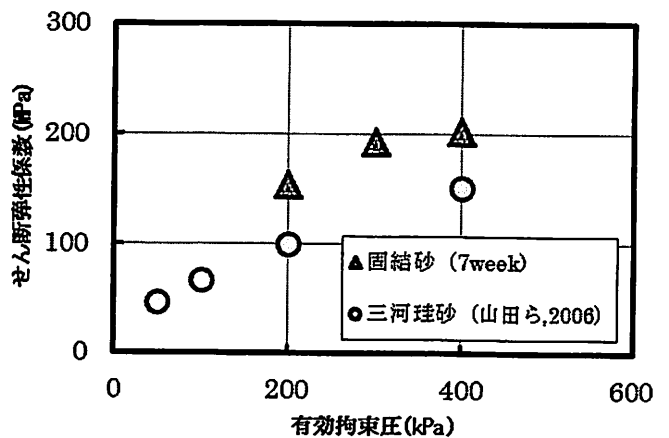


図6 せん断弾性係数と有効拘束圧の関係

### 4. まとめ

本研究では薬液改良供試体の弾性波伝播特性を測定するために弾性波速度試験を用いた。その結果から以下の知見が得られた。

1)一軸圧縮試験においてはシリカ濃度が高いものの方が一軸圧縮強度は高く、また同濃度での個体差は少ないことが分かる。

2)弾性波速度測定試験においては  $V_p$  と  $V_s$  で有効拘束圧の増加に伴う、弾性波速度の変化に違いがあることが分かる。

#### 【参考文献】

- 1)社団法人 地盤工学会 「薬液注入工法の理論・設計・施工」, 2009年 2)財団法人 沿岸開発技術センター 「没透固化処理工法技術マニュアル」, 2005年, pp.49-51 3)山田卓: 種々の塑性を有する土の動的変形特性に関する研究, 山口大学大学院博士論文, 2006年