

## 薬液改良土の弾性波速度と一軸圧縮強さについて

強化土エンジニアリング(株) 正 会 員 ○ 佐々木 隆光  
 フェロー会員 島田 俊介  
 東京都市大学 正 会 員 末政 直晃

## 1. はじめに

筆者らは、薬液注入材により固化した砂（サンドゲル）の強度発現機構として、図-1に示す様に、注入材単体の固化体（ヒドロゲル）が体積収縮することにより、砂骨格に拘束圧  $P_1$  を付与するモデルの提案を行っている。このモデルにおける  $P_1$  を決定する手法として、未改良砂の拘束圧  $\sigma'_c$  と初期せん断弾性係数  $G$  の関係を用い、サンドゲルの  $G$  より  $P_1$  を算出することを試みている。なお、 $G$  は密度  $\rho$  と弾性波試験より得られるせん断波速度  $V_s$  より算出することができるものである。本報告では、研究の第一歩としてヒドロゲルとサンドゲルの弾性波速度と一軸圧縮強さを計測し、シリカ濃度  $C_s$  や材令、供試体の作製方法が試験結果に及ぼす影響について検討を行った。

## 2. 試験条件

写真-1に弾性波速度の測定状況を示す。本装置はマイクロメータにロードセルとバンダーエレメント (BE) が取付けられている。使用した BE はバイモルフ型アクチュエータであり、結線方法を変えることにより、P波とS波を送受信することができる。送信波はファンクションジェネレータで±1Vの単一 sin 波を送信し、これをバイポーラ電源にて±50Vに増幅している。また、受信波はオシロスコープにより計測した。試験は3種類の適切な周波数を選定し、これを180°位相転換したものを用いた。伝播時間  $\delta t$  の読取は発進波と受信波の立ち上がりを読み取る start-to-start 法によって求めた。

試験に用いた供試体は  $C_s$  が 6%、9%、12%のヒドロゲルと、真空圧下浸透法<sup>2)</sup>と混合法<sup>2)</sup>により作製した豊浦砂のサンドゲルである。一般的に BE は供試体に貫入させ、測定は三軸セル室などを用い、 $\sigma'_c$  が与えられた状態で測定するが、本研究ではマイクロメータを用い BE をゲルに接触させる方法を採用した。これは、弾性波試験後に一軸圧縮試験を実施するため、ゲルに乱れが生じない様にするためと、サンドゲルにおいては  $\sigma'_c$  の影響を排除するためである。なお、設置荷重はロードセルを用い、2.0N以下となるように管理した。

## 3. 試験結果

図-2にヒドロゲルの弾性波試験結果の一例として、 $C_s$  が 6%、材令が 28 日のものを示す。同図より、 $\delta t$  は S 波で 3.06ms、P 波で 0.03ms となり、S 波速度  $V_s$  は 15.0m/s、P 波速度  $V_p$  は 1480m/s

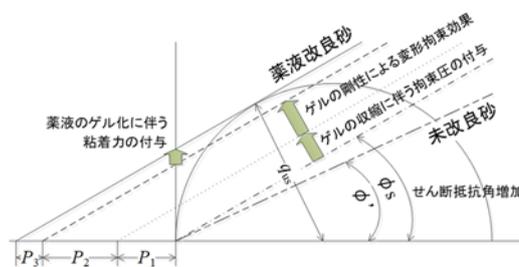


図-1 薬液改良土の強度発現機構

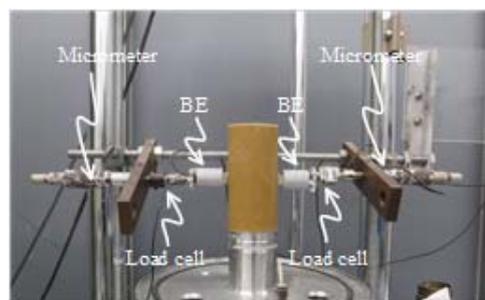
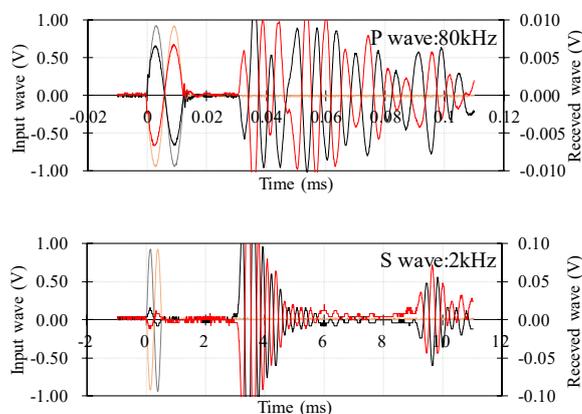
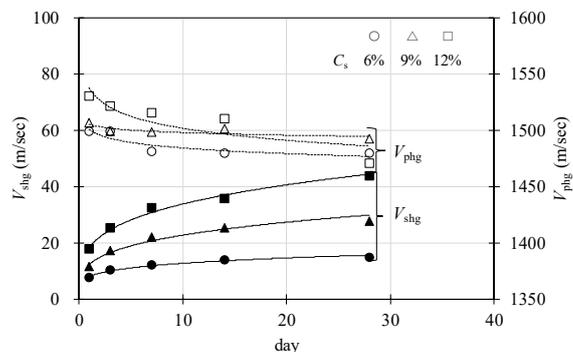


写真-2 弾性波速度の測定状況

図-2 ヒドロゲルの弾性波試験 ( $C_s=6\%$ , 28day)図-3 ヒドロゲルの  $V_s$  と  $V_p$  の経時変化

キーワード：薬液改良土 弾性波試験 一軸圧縮試験

連絡先：〒113-0033 東京都文京区本郷 3-15-1 TEL03-3815-1687 強化土エンジニアリング(株) 研究開発本部

となる。この様に求めた  $V_s$  と  $V_p$  の経時変化を図-3 に示す。 $V_s$  は養生に伴い早くなる傾向を示し、 $C_s$  が高いものほど早い傾向を示した。一方、 $V_p$  は弱材令において水の  $V_p$  と同程度の値を示すが、養生に伴い低下する傾向を示した。なお、榎本ら<sup>3)</sup>の試験結果では、 $V_p$  については同程度の結果となっているが、 $V_s$  に関しては本試験結果と異なり、 $V_s$  は測定不能であり、ヒドロゲルはせん断剛性を持たないものとしている。

図-4 はヒドロゲルの  $q_u$  に対する  $G$  とポアソン比  $\nu$  の関係である。なお、 $G$  は  $\rho_t$  と  $V_s$  から、 $\nu$  は  $V_s$  と  $V_p$  より算出している。 $G$  は  $C_s$  や材令に関わらず、 $q_u$  に対し同一の近似曲線で表すことができる。また  $\nu$  は切片を 0.5 とし、 $q_u$  の増加に対し直線的に低下する傾向を示した。

真空圧下浸透法により作製したサンドゲルの一軸圧縮強さ  $q_u$  と  $V_s$  の関係を図-5 に、 $V_p$  との関係を図-6 に示す。また、同図には吉川ら<sup>4)</sup>と兵動ら<sup>5)</sup>が実施した試験結果もプロットしている。 $q_u$  と  $V_s$  の関係に着目すると、 $q_u$  の増加に伴い  $V_s$  が速くなる傾向を示し、 $C_s$  に関わらず同一の近似曲線で表すことができる。しかし、既往の研究<sup>4)5)</sup>と比較すると、特に強度が低い条件では  $V_s$  が遅い傾向にある。これは、既往の研究で用いた砂や密度、注入材のタイプや  $C_s$  が異なることもあるが、本試験では拘束圧  $\sigma_c$  が大気圧下で計測された値であることが主な要因と考えられる。

$q_u$  と  $V_p$  の関係に着目すると、 $q_u$  の増加に対し、 $V_p$  が増加する場合と低下する2つのパターンが見られ、増加傾向にあるものは既往の研究<sup>4)5)</sup>と同様である。一方、低下傾向にあるものは図-3 に示したヒドロゲルの養生に伴う  $V_p$  の低下に対応する。この傾向について榎本ら<sup>3)</sup>は、 $V_s$  は  $B$  値に関わらず一定の値となるのに対し、 $V_p$  は作製方法や  $B$  値に依存することを指摘している。

そこで、比較的高い  $B$  値が得られると想定される真空圧下浸透法によるサンドゲルと、混合法によるサンドゲルの  $q_u$  と  $V_p$ 、 $V_s$  の比較を行った。なお、試験に用いた  $C_s$  は 6% であり、材令は 1 日とした。図-7 は  $B$  値に対する  $q_u$  と  $V_s$ 、 $V_p$  の関係である。 $B$  値は式(1)により算出した。

$$\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 = \frac{4}{3} + \frac{2(1+\nu_s)}{3(1-2\nu_s)(1-B)} \quad (1)$$

ここで、 $V_p$ 、 $V_s$ ：サンドゲルの弾性波速度 (m/sec)、 $\nu_s$ ：砂骨格のポアソン比 (0.3 と仮定)、 $B$ ： $B$  値である。真空圧下浸透法により作製したサンドゲルの  $V_p$  は高く、 $B$  値は 0.98 であった。一方、混合法によるものは  $V_p$  が低く、 $B$  値が 0.88 ~ 0.93 であった。しかし、 $q_u$  と  $V_s$  は作製方法や  $B$  値によらず同程度の値となった。以上の結果より、高い  $B$  値を得るためには、真空圧下浸透法による供試体作製方法が有効であることを確認した。

<参考文献> 1) 佐々木隆光ら：薬液注入工法における非アルカリ系注入材の主剤が固化特性に及ぼす影響，土木学会論文集 C, Vol.74, No.1, pp.92-105, 2018.

2) (社)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，pp.440-442, 2009. 3) 榎本忠夫ら：浸透注入により固化された砂の液化強度と波動伝播特性，土木学会第 59 回年次学術講演会，3-517, pp.1033-1034, 2004. 4) 吉川ら：固結粒状材料における個別要素法のパラメータの決定方法の検討，地盤工学ジャーナル，Vol.8, No.2, pp.221-237, 2013. 5) 兵動ら：効果骨格間隙比に基づく薬液固結砂の力学特性評価の試み，地盤工学ジャーナル Vol.8, No.1, pp.109-118, 2013.

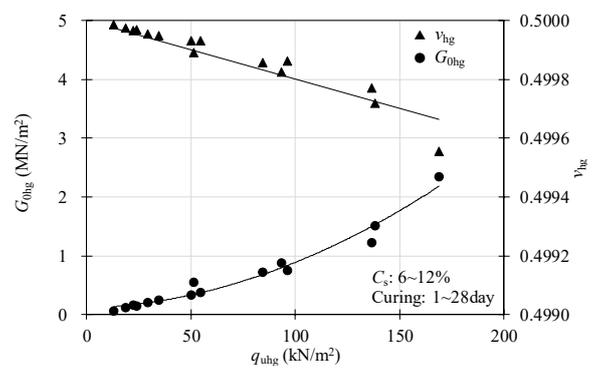


図4 ヒドロゲルの  $q_u$  と  $G$ 、 $\nu$  の関係

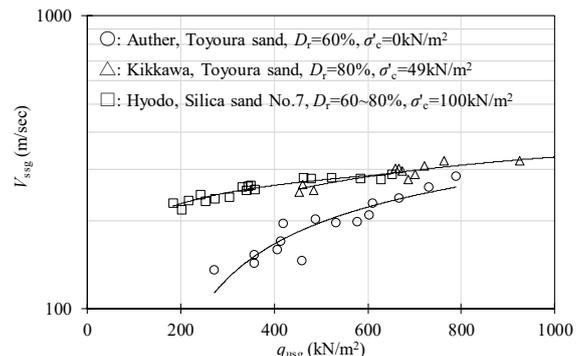


図5 サンドゲルの  $q_u$  と  $V_s$

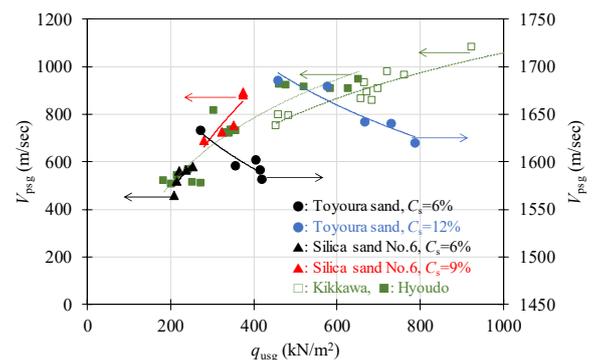


図6 サンドゲルの  $q_u$  と  $V_p$

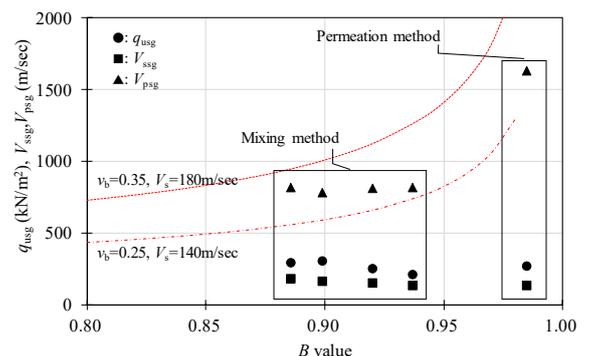


図7 サンドゲルの  $B$  値と  $q_u$ 、 $V_s$ 、 $V_p$  の関係