

薬液改良体の P 波・S 波速度の経時変化について

東京都市大学大学院 学生会員 ○上村健太郎

正 会 員 末 政 直 晃

強化土エンジニアリング 正 会 員 佐々木隆光

1. はじめに

近年、薬液注入工法は仮設工だけでなく本設工にも用いられている。しかし、注入された薬液の強度発現メカニズムは未だ明らかになっていない。薬液改良体の強度発現メカニズムの解明は、地盤の性質に応じた注入材の適切な配合の一助となり、コストおよび性能面で有利となり得る。

薬液の強度発現を取り扱った既往の研究¹⁾では、間隙内の薬液の固化過程における収縮が土骨格に制限されることにより拘束圧が発生し、強度増加に寄与すると考えた。実際に、走査型電子顕微鏡を用いて、土粒子間隙内のゲルの経時的な収縮により土構造は密になることが確認されている²⁾。また、砂のせん断波速度は接触圧が大きくなることによって増加する³⁾。そこで、本研究では、土粒子間隙内のゲルの収縮に着目し、薬液改良体に対するベンダーエレメント(Bender Element: 以下 BE)試験を適用した。BE 試験は非破壊で薬液改良体のせん断波速度を測定することが可能である。本報告では、薬液改良体および拘束圧を加えた乾燥砂を対象に BE 試験を適用し、試験結果を比較した。

2. 薬液改良体における BE 試験の適用

2-1. 試験概要

本試験は、低圧注入により作製した薬液改良体のゲルの養生過程における、S 波速度(以下 V_s)および P 波速度(以下 V_p)の推移および測定された V_p から算出したせん断弾性係数 G_p の推移を検討するために行った。供試体に用いる試料は豊浦砂とし、相対密度が 80%、高さ 10.0cm、直径 5.0cm となるように空中落下法でアクリルモールドに砂詰めを行った。供試体に用いた豊浦砂の粒径加積曲線、物性を図 1、表 1 に示す。砂詰め後、CO₂ を透気し、脱気水を通水させることによって完全に飽和させた。飽和させた供試体に対して、低圧で薬液を注入することによって薬液改良体を作製した。表 2 に試験条件を示す。注入から 72 時間経過後にアクリルモールドから改良体を脱型し、所定期間養生した。所定の養生期間を経た改良体に BE 試験を適用することによって、養生期間ごとの V_s 、 V_p を計測した。BE の設置状況を図 2 に示す。また、計測した V_p から以下の算定式(1)を用いて、せん断弾性係数 G_p を算出した。ここで、ポアソン比 ν は本研究にて算定した 0.255 を用いた。

$$G_p = \frac{\rho V_p^2}{2(1 + \nu)} \quad (1)$$

ν : 豊浦砂のポアソン比, ρ : 供試体の密度(g/cm³)

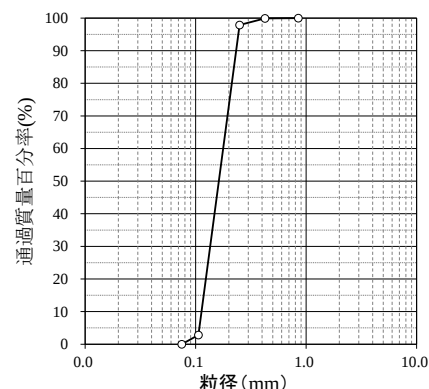


図 1 豊浦砂の粒径加積曲線

表 1 豊浦砂の物性

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}
2.64	0.986	0.621

表 2 試験条件

	試料	相対密度 Dr(%)	薬液濃度 (Si濃度)
Case1	豊浦砂	80	6%
Case2	豊浦砂	80	12%

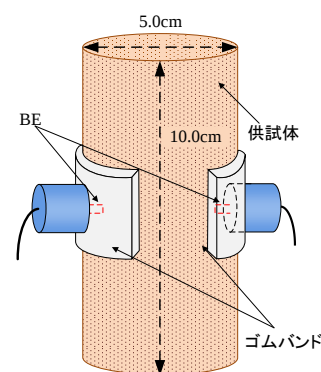


図 2 BE 設置状況

キーワード 薬液注入 ベンダーエレメント 強度発現

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104 E-mail : g1481705@tcu.ac.jp

2-2. 試験結果

図3, 図4にBE試験より得られた, 伝播速度 V_s , V_p と材令の関係, G_p と材令の関係を示す. 図から材令に伴って弾性波の伝播速度が上昇していることが確認できる. これより, 薬液の経時的な収縮により供試体の砂骨格の拘束圧が増加していることが示唆された.

3. 拘束圧を加えた豊浦砂における BE 試験の適用

3-1. 試験概要

本試験は, 拘束圧を変化させることによる, 豊浦砂の G_s , G_p の推移を検討するために行った. 供試体は空中落下法で相対密度が 80% になるように作製し, 真空ポンプより 20kPa から 100kPa までの負圧を段階的にかけることにより自立させた. 供試体条件, 供試体の設置状況を表3, 図5に示す. 拘束圧が 20kPa 上昇するごとに BE 試験を適用することによって V_s , V_p を計測する. 計測した V_s , V_p から算定式(2)を用いて, せん断弾性係数 G_s を算出した. また, 算定式(1)を用いて G_p も算定した.

$$G_s = \rho V_s^2 \quad (2)$$

3-2. 試験結果

図6にCase1のせん断弾性係数 G_s , G_p をプロットした, せん断弾性係数 G_s , G_p と有効拘束圧の関係を示す. 図中の二点鎖線および一点鎖線はCase3, Case4における近似線を示している. 図から有効拘束圧が上昇するとともに, せん断弾性係数 G_s , G_p が上昇していることが確認できる. これは, 真空ポンプからの負圧が砂粒子同士の接触圧を高めたためと考えられる. また, Case3 と Case4 の結果には多少の差が見られる. これは, 砂の堆積構造などに起因するものと考えられる. 図から, Case1 の伝播速度をプロットした場合, Si 濃度 6% である薬液の収縮による拘束圧は, 養生期間によるが, 40kPa から 80kPa 程度になると考えられる.

4. まとめ

本報告では, 薬液の養生期間および乾燥砂供試体の拘束圧の違いに伴う, せん断弾性係数 G_s , G_p および伝播速度 V_s , V_p の推移を示した. 今後は, ポアソン比の値や供試体の堆積構造による異方性を考慮し, 薬液の収縮により発生する具体的な拘束圧を検討していく.

<謝辞>

本研究の実施にあたり, 東京都市大学の山崎貴広氏にはご協力を頂きました. ここに感謝の意を表します.

<参考文献>

- 1) 諏訪裕哉・末政直晃・島田俊介・佐々木隆光: 薬液注入供試体の強度特性と強度発現に関する一考察, 第50回地盤工学シンポジウム論文集, pp159-164, 2005
- 2) 大野康年・岡二三生・八嶋厚・重松宏明・関口宏二: 薬液による浸透改良された砂の微視的構造, 第57回土木学会年次学術講演会講演概要集, PP.83-184, 2002
- 3) 松枝修平・後藤聡: 液状化試験における砂のせん断波速度特性 -供試体密度の影響-, 第35回地盤工学研究発表会発表講演集, pp871-872, 2000

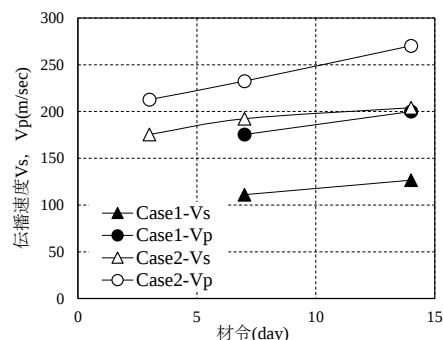


図3 伝播速度 V_s , V_p と材令の関係

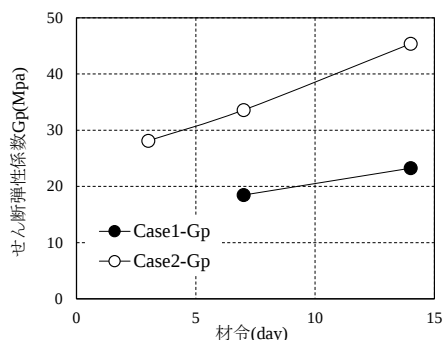


図4 G_p と材令の関係

表3 試験条件

	試料	相対密度 Dr(%)	弾性波
Case3	豊浦砂	80	S波
Case4	豊浦砂	80	P波

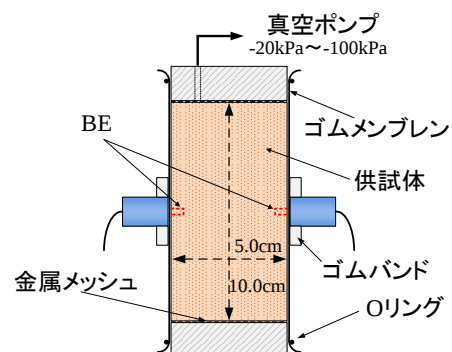


図5 供試体・BE 設置状況

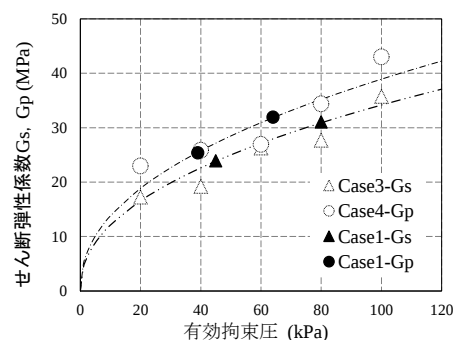


図6 Case1の試験結果をプロットした G_s , G_p と有効拘束圧の関係