

## 低シリカ濃度の薬液を用いた改良体の強度増加メカニズム

武蔵工業大学 学生会員 諏訪裕哉 正会員 末政直晃  
 強化土エンジニアリング（株） 正会員 島田俊介 佐々木隆光

### 1.はじめに

近年、薬液注入工法は本設工としても用いられつつあるが、薬液注入による強度増加のメカニズムは未だ明らかにされていない。多様な薬液注入材がある中で、対象地盤に対して最適な薬材を選択するためにはこのメカニズムを解明する必要がある。筆者らは、水ガラス系薬液による地盤の強度発現が、ゲルの収縮による拘束圧付加、ゲルの粘着力付加、固結によるせん断抵抗角の増大からなる3要素で説明できると考えた。特に、低シリカ濃度の薬液を用いた改良体の強度増加は、主としてゲルの収縮が土の骨格により制限されることで発生する拘束効果により起こると考えた。そこで、異なる剛性・収縮性をもつ薬液において、改良体構成要素の特性を用いて一軸圧縮強度の推定を行ったところ、改良体の強度増加を説明することができた。

### 2.強度増加メカニズムの概念

本研究における改良体の強度発現メカニズムを図-1に示す。薬液で改良を行うことで発現する効果として、ゲルの収縮が土の骨格により制限されることで発生する拘束圧と薬液ゲル自身のせん断強度であり、改良体に付加される粘着力  $c$  がある。また、薬液改良体をせん断する際には、間に薬液ゲルがあることで、せん断による膨張に対し、ゲルが砂を拘束しようとする力の発生と正のダイレイタンスが増大することに伴う、せん断抵抗角の増加が起こると仮定した。これより、一軸圧縮強度  $q_u$  は図-1中の式で推定できることになる。ここで、 $s$  は砂のせん断抵抗角、 $g$  は改良体のせん断抵抗角、 $p$  は収縮等により付加される拘束圧である。以上の3要素の大きさを定量的に把握するために、改良体構成要素に関する実験を行った。

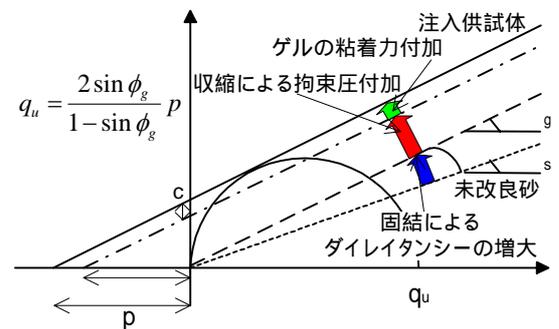


図-1 改良体の強度増加メカニズム（概念図）

### 3.改良体構成要素に関する実験条件

改良体構成要素である薬液ゲルの性質を把握するために、ゲルの収縮量測定実験、ゲルの一軸圧縮試験、ゲルのポアソン比測定実験を行った。用いた薬液ゲルは剛性と収縮性が異なる3種のゲルでシリカ濃度は6%で統一してある。ゲルは改良体の内部に存在する状態を再現するために、砂と薬液を混合した後に、砂分のみを取り除いた薬液を固化させて作製した。実験方法は諏訪ら<sup>1)</sup>の方法に従った。

### 4.実験結果と改良体の強度推定

4-1.薬液ゲルの諸特性： 図-2に、ゲルの体積ひずみの経時変化を示す。これより、体積ひずみは時間経過に伴い増加し、増加量はゲルの種類によって異なることがわかる。

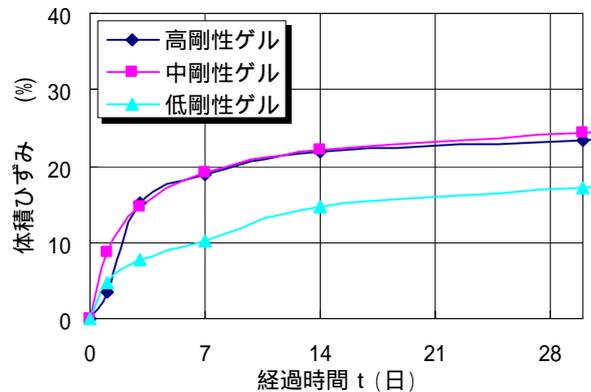


図-2 体積ひずみの経時変化（ゲル）

図-3に、ゲルの一軸圧縮強度  $q_{uc}$  と変形係数  $E_{50}$  の経時変化を示す。これより、強度は養生7日程度まで増加し、その後ほぼ一定となっていることがわかる。また、強度及

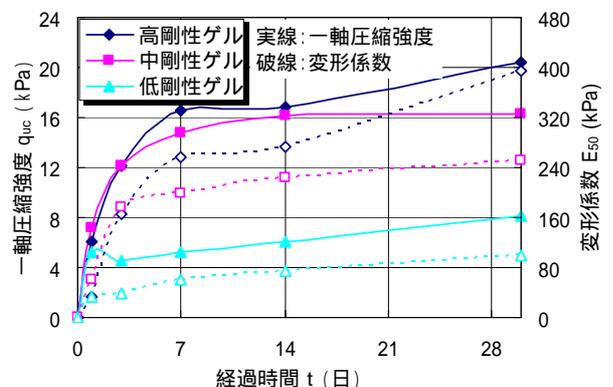


図-3 一軸圧縮強度の経時変化（ゲル）

キーワード：薬液注入，砂質土，強度予測

連絡先：武蔵工業大学 地盤環境工学研究室 TEL 03-5707-2202 FAX 03-5707-2202

び剛性はゲルの種類によって異なることがわかる。

図-4に、ゲルのポアソン比の経時変化を示す。これより、ポアソン比は養生とともに小さくなり、その大きさはゲルの種類によって異なることがわかる。

4-2.砂骨格に作用する拘束圧の定式化： 実験で得られた、薬液ゲルの、及びEを用いて、改良体の間隙中で三次元的に収縮するゲルの体積ひずみ $\epsilon_c$ と拘束圧 $p$ の関係を表すと(1)式のようになる。

$$\epsilon_c = \frac{e}{1+e} \epsilon - \frac{3(1-2\nu)}{E} p \quad (1)$$

図-5に、(1)式より得られた $\epsilon_c - p$ 関係を示す。同図には、砂の体積ひずみ $\epsilon_s$ と拘束圧 $p$ の関係<sup>1)</sup>も併記する。これより、ゲルは砂以上に収縮することがわかる。よって、改良体が収縮する場合、ある拘束圧を伴って改良体の収縮は収束すると考えられる。ここで得られた $\epsilon_s - p$ 曲線と $\epsilon_c - p$ 曲線の交点における拘束圧を $p_1$ とする。

改良体の間隙には薬液ゲルが充填されているため、ゲルそのものの粘着力が付加されると考えられる。ゲルの一軸圧縮強度 $q_{uc}$ より、仮想的な拘束圧 $p_2$ を(2)式で算定する。

$$p_2 = \frac{e}{1+e} \cdot \frac{q_{uc}}{2 \tan \phi'} \quad (2)$$

改良体をせん断した場合、圧縮ひずみに対して横ひずみが発生し、間隙中のゲルは骨格を拘束しようとする。改良体の破壊時のひずみ $\epsilon_f$ より、拘束圧 $p_3$ を(3)式で算定する。

$$p_3 = \frac{E}{6(1-2\nu)} \epsilon_f \quad (3)$$

4-3.改良体一軸圧縮強度の推定： 改良体のせん断抵抗角 $\phi'$ は砂に比べて若干の増大が確認<sup>2)</sup>されている。改良体の三軸圧縮試験<sup>1)</sup>より得られたせん断抵抗角と算出した拘束圧 $p_1, p_2, p_3$ から(4)式により一軸圧縮強度の推定を行った。

$$q_u^* = \frac{2 \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} (p_1 + p_2 + p_3) \quad (4)$$

図-6に、改良体の一軸圧縮試験<sup>1)</sup>より得られた、一軸圧縮強度の実験値と(4)式で計算した推定値の経時変化を示す。これより、推定値は実験値と同程度の値となっていることがわかる。図-7に、実験値と推定値の比較を示す。これより、差異は養生3日以降、ばらつき30%以内に収束しており、強度推定式の妥当性が示されたといえる。

5.まとめ

改良体構成要素である薬液ゲルの特性から薬液改良体の強度推定を行ったところ、推定値は実験値と同程度となり、異なる剛性・収縮性を持つ薬液を用いた改良体の強度発現について説明できた。

<参考文献>

- 1)諏訪ら(2005)：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
- 2)諏訪ら(2006)：薬液注入供試体のせん断挙動におけるダイレイタンス特性の把握,第33回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集

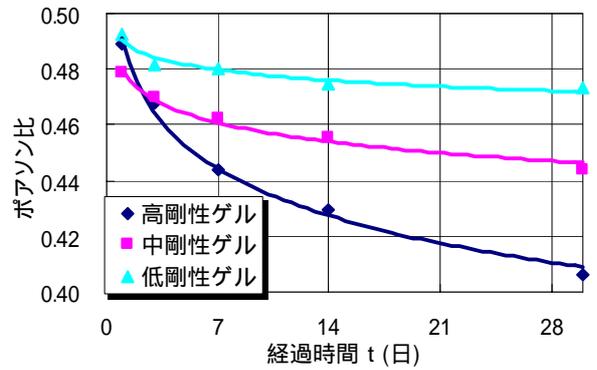


図-4 ポアソン比の経時変化(ゲル)

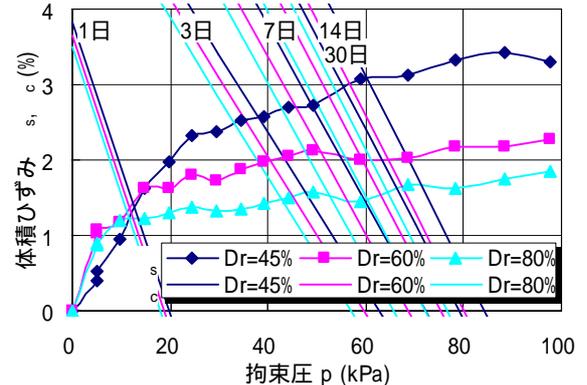


図-5 体積ひずみと拘束圧の関係(中剛性)

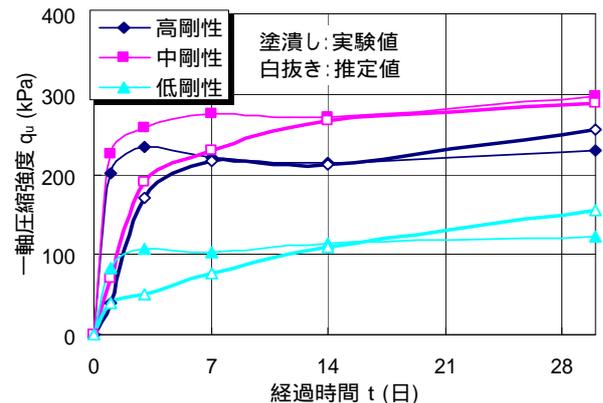


図-6 一軸圧縮強度の経時変化(Dr=60%)

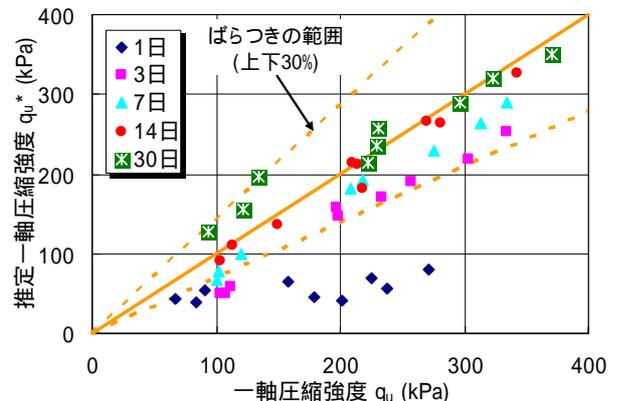


図-7 実験値と推定値の比較