

薬液注入供試体のせん断挙動におけるダイレイタンシー特性の把握

武蔵工業大学 学生会員○諏訪裕哉 鈴木祐司 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、薬液注入工法は液状化対策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、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。本研究ではこれまでに、改良体の強度増加は改良体中にある薬液ゲルの収縮によって起こるという考えのもと実験及び解析¹⁾を行っており、一定の成果を得ている。本報告では、収縮以外の強度増加要因として、改良体中の薬液ゲルが及ぼすダイレイタンシーへの影響を把握するために、改良体と砂の定圧一面せん断試験を行った。また、応力経路を把握するために定体積一面せん断試験を行った。

2. 試験概要

2-1.注入供試体の作製・養生： 注入供試体は直径 60mm のアクリル円筒に、豊浦砂を空中落下法により相対密度 $Dr=45,60,80\%$ となるように詰め、図-1 に示す装置を用い、シリカ濃度 6% で緩結性の溶液型シリカグラウトを、同様に脱気した注入槽に水頭差を用いて浸透注入させることで作製した。これにより、間隙を薬液で置換した均一な改良体を作製できる。供試体は薬液の固化後脱型し、温度 20°C 、湿度 95% 以上の恒温恒湿槽で 7 日養生させた。

2-2.一面せん断試験の条件： 試験に用いる供試体は、直径 60mm、高さ 20mm に整形した注入供試体と空中落下法により作製した $Dr=45,60,80\%$ の豊浦砂供試体とした。試験は、定圧一面せん断試験及び定体積一面せん断試験を行うこととし、圧密圧力 σ_c は 25, 50, 75kPa の 3 種類に設定した。両試験は 10 分程度圧密させた後に、せん断速度 0.2mm/min でせん断変位 $\Delta h=10\text{mm}$ 程度までせん断させた。

3.試験結果および考察

3-1.定圧一面せん断試験： 図-2 に $\sigma_c=25\text{kPa}$, $Dr=45\%$ における注入供試体と豊浦砂のせん断応力 τ 及びダイレイタンシー角 ψ とせん断変位 Δh の関係を示す。なお、ダイレイタンシー角 ψ は供試体が変形する際に、供試体を構成する粒子が粒子を乗り越える角度であり、(1)式で定義される。

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{dv}{dh} \right) \quad (1) \quad \begin{array}{l} dv: \text{鉛直変位増分} \\ dh: \text{水平変位増分} \end{array}$$

これより、注入供試体は豊浦砂に比べ、せん断応力及びダイレイタンシー角が大きくなっていることがわかる。また、注入供試体のせん断応力はピーク後、砂のせん断応力と同様の値に収束しており、残留状態においては薬液による結合が破壊されていると推測される。

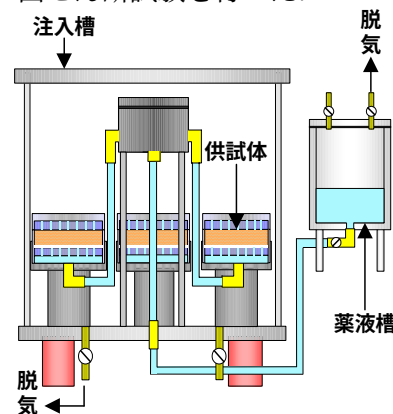


図-1 注入供試体作製装置

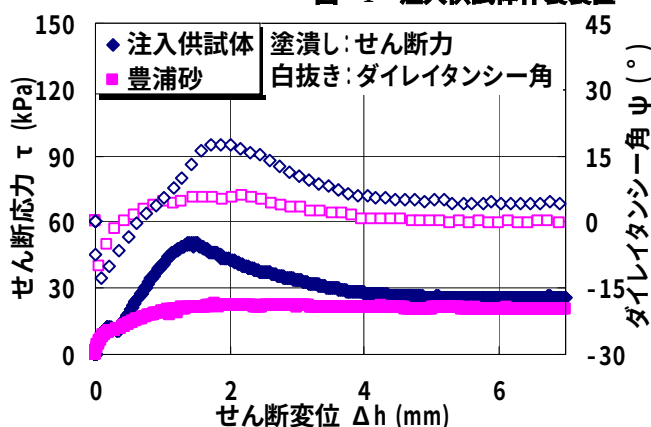


図-2 $\tau, \psi - \Delta h$ 関係

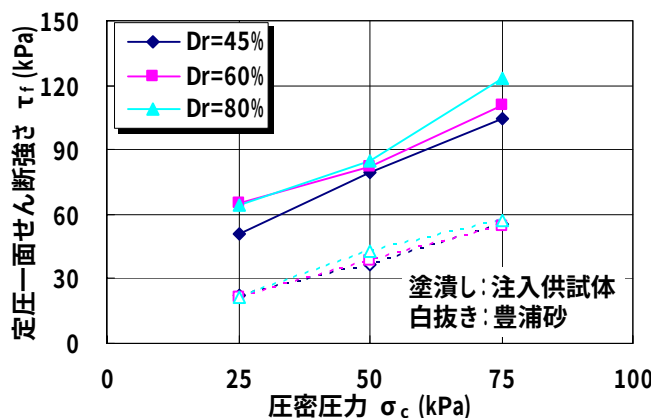


図-3 $\tau_f - \sigma_c$ 関係

キーワード：薬液注入、砂質土、一面せん断試験

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

図-3 に定圧一面せん断強さ τ_f と圧密圧力 σ_c の関係、図-4 に最大ダイレイタンシー角 ψ_{max} と圧密圧力 σ_c の関係を示す。これより、定圧一面せん断強さ及び最大ダイレイタンシー角は豊浦砂よりも注入供試体の方が大きく、ある程度相対密度に依存した。また、圧密圧力が大きいほど強度が大きくなり、圧密圧力が小さいほど最大ダイレイタンシー角が大きくなった。豊浦砂に比べて注入供試体の強度が大きくなった理由として、間隙中に存在する薬液ゲルが砂粒子を結合する力を付与したほかに、薬液ゲルがインターロッキングに伴う正のダイレイタンシーによる体積膨張量を大きくしたためであると考えることができる。

3-2.定体積一面せん断試験： 図-5 に $Dr=45\%$ における豊浦砂のせん断応力 τ と垂直応力 σ の関係を示す。同図には、最大応力比 $(\tau/\sigma)_{max}$ より求めた破壊包絡線も併記する。これより、豊浦砂は負から正のダイレイタンシーへ移行していることがわかる。

図-6 に $Dr=45\%$ における注入供試体のせん断応力 τ と垂直応力 σ の関係及び破壊包絡線を示す。同図には、砂の破壊包絡線も併記する。これより、注入供試体の応力経路は豊浦砂と大きく異なり、せん断当初から正のダイレイタンシーを示していることがわかる。また、せん断抵抗角 ϕ' は豊浦砂より若干大きくなり、粘着力の付与が確認された。そして、残留状態においては、応力経路が砂の包絡線上にあることから、破壊面は薬液のゲルの結合が破壊され豊浦砂と同等の特性となっていると推測できる。

図-7 に粘着力 c' 及びせん断抵抗角 ϕ' と相対密度の関係を示す。これより、注入供試体に付与される粘着力は相対密度によらず同程度となり、せん断抵抗角は豊浦砂よりも注入供試体の方が若干大きいことがわかる。

4.まとめ

今回行った試験により、以下の知見が得られた。

- 1) せん断強さ及びダイレイタンシー角は豊浦砂よりも改良体の方が大きく、相対密度に依存して変化する。
- 2) 改良体の応力経路は豊浦砂と大きく異なり、せん断当初から正のダイレイタンシーを示す。
- 3) 改良体のせん断抵抗角 ϕ' は豊浦砂より若干大きくなり、粘着力が付与される。

<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

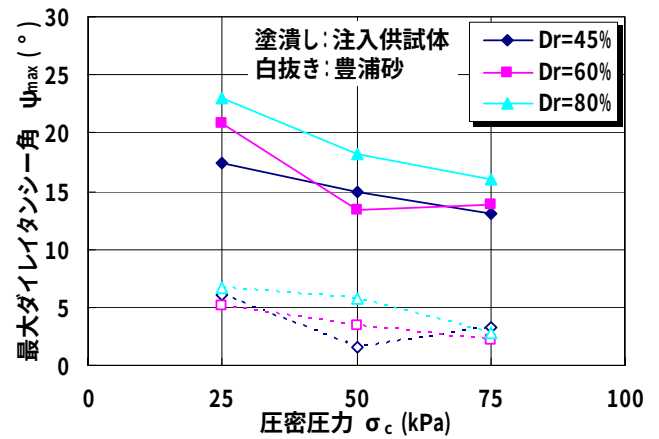


図-4 $\psi_{max}-\sigma_c$ 関係

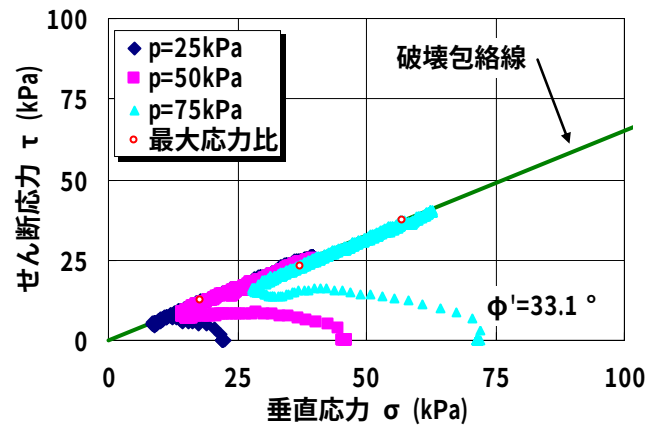


図-5 $\tau-\sigma$ 関係 (豊浦砂)

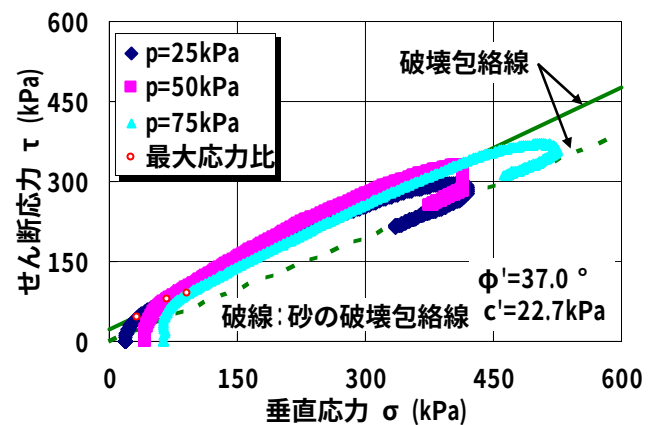


図-6 $\tau-\sigma$ 関係 (注入供試体)

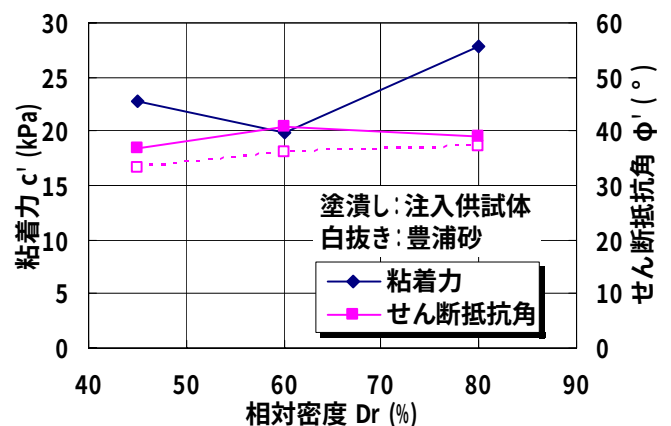


図-7 $c', \phi'-Dr$ 関係