

砂圧入式静的締固め工法による地盤の密度増加に関する基礎実験

関東学院大学 正会員 規矩 大義 正会員 ○山口 恵美
不動テトラ 正会員 原田 健二

1. はじめに

近年、狭隘地や構造物直下でも施工可能な液状化対策工法が求められており、2011年に発生した東日本大震災を契機にその需要はさらに高まってきているものと思われる。さらに、近年では環境への配慮が重要視されるケースも多く、対策工法の開発条件は年々厳しくなっている。セメント系固化剤を用いずに、低騒音で小型施工機による施工が可能な工法として砂圧入式静的締固め工法¹⁾がある。この工法は流動化剤（アニオン系高分子剤）を砂に混合させて作る流動化砂（写真 1）を用いることで、小径のロッドでもポンプ圧送を可能とした工法であり、材料としてセメント混合砂ではなく「砂単体」を用いることが最も大きな特徴である。また、地盤内への圧入後に流動性が消失するように遅効性の塑性化剤（カチオン系高分子）を添加するため、施工後は良好な地盤が形成されることが明らかにされている。添加する流動化剤、塑性化剤は両者ともに中性であり、魚類による急性毒性試験においても安全性が確認されている²⁾。以上の事を鑑みると、これまでに困難であった様々な条件下での施工が可能であり、なお且つ自然環境にも配慮した、優れた点を多くあわせ持つ工法と言える。このような空洞拡張による密度増加に関する実験は実施されてきたが³⁾、拘束圧、土性、圧入速度などの影響に関するものは行われていない。そこで本研究では、砂圧入式静的締固め工法による地盤の強度増加メカニズムに関する基礎実験として、三軸条件下での室内再現実験を行ったのでここに報告する。



写真 1 流動化砂¹⁾

2. 実験概要

本実験では、地盤内で拡張してゆく流動化砂をバルーンで模擬して、バルーン内に水を注入させることで三軸試験供試体内における空洞拡張実験を再現した。図 1 に実験装置の概要図を示す。下部ペDESTALからチューブが出ており、その先に脱気水で満たしたバルーンを装着する。その後、所定の高さから試料を空中落下させて供試体を作成し、脱気水を通して飽和させる。バルーンへの注水は 1.574cm³/回転の手動定量ポンプを用いて行った。試験の基本条件は相対密度 $D_r=40\%$ 、有効拘束圧 $\sigma'_0=50\text{kPa}$ 、試料は日光珪砂 7 号($F_c=0\%$)を用いて、圧入速度は試行の末、4.722cm³/min とした（表 1 網掛け部）。比較したその他の試験条件についても合わせて表 1 に示したが、 $F_c=20\%$ の試料については日光珪砂 7 号に微粉末粘土のスミクレーを混合させて調整している。計測項目については①鉛直応力、②バルーンへの圧入圧力、③供試体間隙水の吸排水量、④供試体の体積変化量（側方変位量）を計測した。なお③、④については、低容量差圧計を用いて水頭差を計測し、換算を行っている。

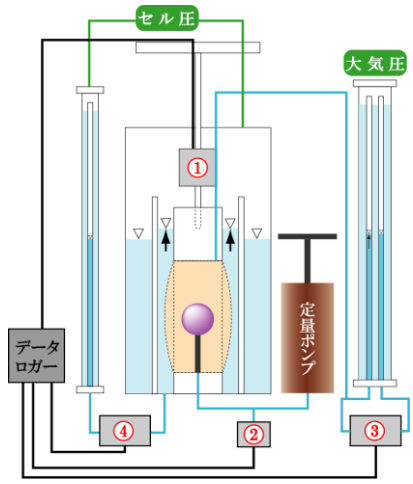


図 1 実験装置概要図

表 1 試験条件

相 対 密 度 の 比 較	40	60	%
有 効 拘 束 圧 の 比 較	50	100	kPa
細 粒 分 含 有 率 の 比 較	0	20	%
圧 入 速 度 の 比 較	0.787	4.722	47.22
			cm ³ /min

3. 実験結果

図 2 は基本条件の $D_r=40\%$ 、 $\sigma'_0=50\text{kPa}$ 、 $F_c=0\%$ 、圧入速度=4.722cm³/min で行った実験の時刻歴である。実験開始と同時に圧入圧力は上昇しており、間隙水は排水（プラス側）されている。この状態は図中の破線で示した部分まで続いており、体積変化も見られないため供試体が締固められている

キーワード 地盤改良，砂圧入式静的締固め工法，締固め
連絡先 〒236-8501 横浜市中区金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学理工学部土木学系 地盤防災工学研究室 TEL：045-786-7144
〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町 7-2 不動テトラ TEL：03-5644-8534

ことになる。しかし、破線を超えた辺りから排水が吸水側（マイナス側）に転じており、体積変化も生じている。一般的に考えてみると圧入に伴って排水されるのがイメージしやすい現象だが、バルーンの膨らみ方が一方向へ膨らんでいくのが確認できたため、膨らみ方のばらつきによって締固まる部分と逆に緩くなってしまう部分が生じたと考えられる。そのため、密度変化量 ΔV もその辺りから低下してゆく結果となった。なお、 ΔV の定義は式1に示す。 ΔV が注入量と同じであれば100%密度増加に寄与しているが、体積変化が生じれば注入した分がそのままロスになってしまい、間隙水が吸水されると ΔV は低下してしまう。

$$\text{密度増加量 } \Delta V = \text{注入量} - (\text{体積変化} + \text{吸排水量}) \cdots \cdots \text{(式 1)}$$

各試験条件について比較するため、バルーンへの注入量 V_w と ΔV についてまとめたのが図3であるが、先にも述べたように注入過程において ΔV が低下してゆく、つまり供試体が緩むという現象が起こったため、 ΔV の最大値に着目して比較を行った。その理由として、実地盤では地表面における盛上がり等の現象は見られるものの、地盤の破壊に類似するような現象と、それに起因した強度低下は非現実的であるといったことが挙げられる。まず(a)を見てみると、 D_r が低い方が ΔV のピークは高いことが分かった。 $D_r=60\%$ という条件は密な地盤を再現しており、密な地盤ほど締固めにくいことを示している。それと同様なことは(b)の σ'_0 による違いに関しても言える。(c)の F_c による影響については、 $F_c=20\%$ の方が遥かに高い。また、ここで注目すべき点は締固まっている継続時間が他のものと比べて長いということである。その理由としては、粒径の違う土粒子で構成されているため、バルーンが膨らんでいくと大きな土粒子の隙間に細粒分が入り込む結果となり、土が効率良く締固まったものと推察した。(d)では圧入速度の遅いケースが $\Delta V_{\max}=4.7\text{cm}^3$ と最大値を示しており、締固まっている継続時間も(c)と同様の結果となった。これはゆっくりとバルーンを膨らますことで供試体もゆっくり締固まり、効果を最大限に引き出したのではないかと考える。注入速度が早いケースは基本条件のものと比べると僅かながら高い値を示しているが、速度の遅いケースほどの効果は期待できないと言える。

4. まとめ

本研究は、側方の拘束条件など実際の地盤中で圧入時に起こる現象とは異なる点はあるが、様々な条件下で実験を行った結果、いくつかの強度増加の傾向がみえてきた。今後は、実際に流動化砂を用いた再現実験を行い、圧入後の密度変化の他に、流動化砂本体の締固め効果にも着目して、具体的に検証してゆきたい。なお、この研究を進めるに当たり、金刺紀暁氏(双葉鉄道工業)、渡辺幸恵氏(明和工業)には卒業研究としてご尽力いただいた。この場を借りて謝意を表す。

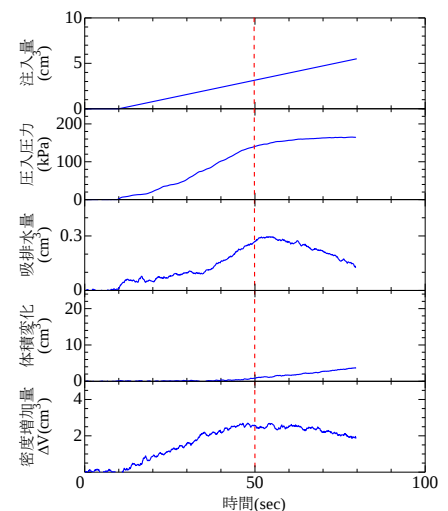


図2 基本条件による試験の時刻歴

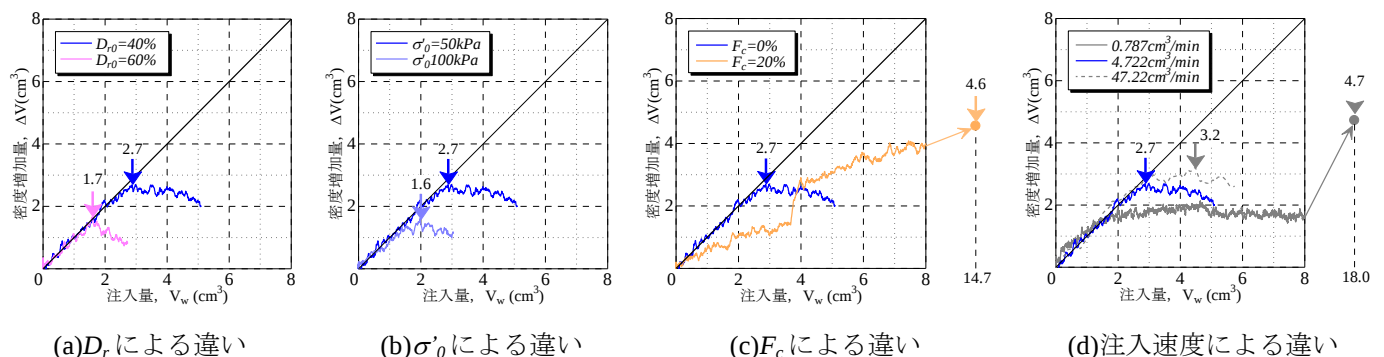


図3 各試験条件による相対密度変化量の比較

【参考文献】1)今井ら：砂圧入式静的締固め工法(SAVE-SP 工法)の改良効果と適用事例，第45回地盤工学シンポジウム論文集，pp.579-584，2009。2)磯谷ら：砂圧入式静的締固め工法(SAVE-SP 工法)の使用材料に関する一考察，第45回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.805-806，2010。3)例えば新坂ら：静的圧入締固め工法による締固め高価に関する基礎的研究，土木学会論文集，pp.183-192，2001。