

粘性土の攪拌難易に基づくセメント改良土の初期強度発現特性

株式会社ワイビーエム 〇津留崎 一洋
 株式会社ワイビーエムサービス 九十九 督 眞崎 照吉
 佐賀大学 金納 宇宙 日野 剛徳

1. はじめに

深層混合処理工法(DMM)における柱状改良体の固体化不全が発生することがあるが、そのひとつの要因として、改良対象土とセメント系固化材における攪拌の難易が着目されている¹⁾。本報では、コンシステンシーを変化させたカオリン粘土に異なる水セメント比からなるセメント系固化材スラリーを添加して改良土を作製し、カオリン粘土における混合の難易と改良土の作製時における攪拌の難易の関係、さらに改良土の初期強度発現特性に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 粘性土の「混ざりやすさ」と「混ざりにくさ」

佐賀県政下の地域高規格道路・有明海沿岸道路(佐賀福富道路)の六角川右岸から福富インターチェンジの区間において実施された地質調査業務における土の状態諸量のデータを統計処理し、粘性土の「混ざりやすさ」と「混ざりにくさ」について報告されている¹⁾。また、土の一軸圧縮試験に基づく破壊ひずみ ϵ_f を独立変数とし、同試験の応力-ひずみ曲線から得られる正規化変形係数 E_{50}/s_u ²⁾、土の液性限界試験・塑性限界試験から得られる液性指数 I_L 、土の段階載荷型圧密試験の $e-\log p$ 曲線から得られる圧縮指数比 C_{c1}/C_{c2} ³⁾ を従属変数とする単純な統計処理により、表-1 のように状態諸量に基づく粘性土の「混ざりやすさ」と「混ざりにくさ」のしきい値について提案されている。

本研究では、液性指数 I_L と水セメント比 W/C に着目し、 $I_L=1.00, 0.75, 0.50, 0.25$ のカオリン粘土に対し、 W/C を変えて作製した改良土の養生時間 120 分までの初期強度発現特性について検討した。

3. 実験方法

佐賀県嬉野市塩田町において陶磁器原料として販売されているカオリンパウダーを用いて、後述の含水比調整を施すことによってカオリン粘土の試料調整を行った。

混合に際しては、カオリンパウダーをソイルミキサーの混合容器に分取、所定の含水比になるように加水、2 分間と 5 分間の混合経過時にミキサーを止め、改良土塊の

上下を裏返して混合容器に戻し、計 15 分間の混合を行った。ここに当該試験で用いたカオリン粘土のコンシステンシー特性は、液性限界 $w_L=67.9\%$ 、塑性限界 $w_p=45.5\%$ であった。表-2 に、カオリン粘土における I_L ごとの調整含水比 w_i とこの含水比のもとで得られる湿潤密度 ρ_t を示す。 ρ_t の計測は JGS 0821-2020 に準じ、直径 50 mm×高さ 100 mm のプラモールドに 3 層に分けてカオリン粘土を挿入し、1 層ごとにタッピングによる充填を行い、表面を擦切り端面成形の後に重さを計って値を求めた。

表-2 カオリン粘土の I_L ごとの基本的性質

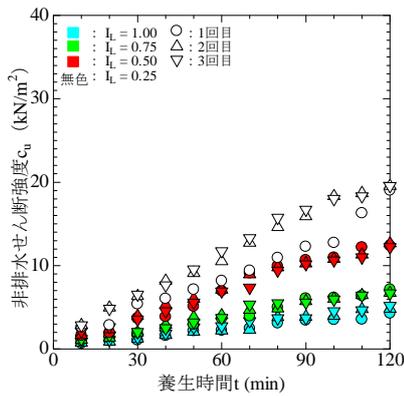
液性指数 I_L	1.00	0.75	0.50	0.25
調整含水比 w_i (%)	67.9	62.3	56.7	51.1
湿潤密度 ρ_t (Mg/m ³) (JGS 0821 2020)	1.55	1.57	1.60	1.63

作製したカオリン粘土を用い、攪拌翼の空転を防ぐための所要の土量を事前に求め、JGS 0821-2020 に従って改良土を作製した。固化材は、地域高規格道路群の DMM で用いられている一般軟弱土用セメント系固化材を用いた。セメント添加量 C を 110 kg/m³ に固定し、 W/C は 0.5, 1.0, 1.5 とし、計 12 パターンの実験に供した。上記のカオリン粘土に蒸留水とセメント系固化材を加え、カオリン粘土の作製と同様の手順にて混合した。なお、改良土の混合時間について、JGS 0821-2020 を遵守し 10 分間の混合時間を保った。

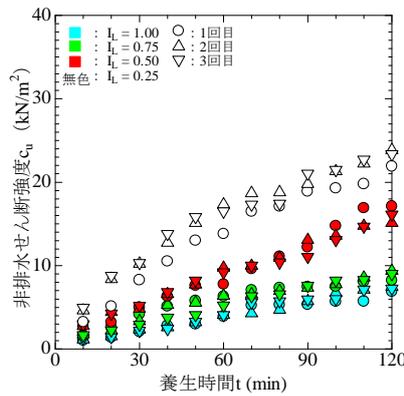
作製した改良土を用い、JGS 0142-2020「フォールコーンを用いた土の液性限界試験方法」における 12 個の試料容器にタッピングによる充填の後、表面を擦切ることによって端面成形し、重さを計り供試体間の均質性を確認・調整した。供試体はポリエチレンフィルムで表面を覆い、乾燥を防いだ。養生時間は供試体作製後 10 分から 10 分間隔で 120 分までの 12 個の供試体に対して連続的にフォールコーン試験を実施し、貫入量を計測した。同様の試験を 3 回繰返し、藤川・甲本らの式⁴⁾を用いて非排水せん断強度 c_u に換算したものを以後の検討に供した。

表-1 状態諸量に基づく粘性土の「混ざりやすさ」と「混ざりにくさ」¹⁾

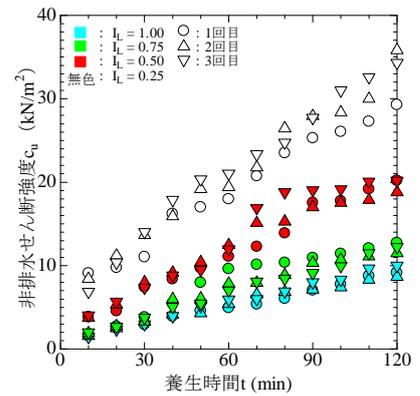
粘性土	OCR	ϵ_f	E_{50}/s_u	I_L	C_{c1}/C_{c2}
混ざりやすい	$OCR \geq 1$	$\epsilon_f < 2.8$	$E_{50}/s_u \geq 110$	$I_L \geq 1.11$	$C_{c1}/C_{c2} \geq 1.43$
混ざりにくい	$OCR \geq 1$	$\epsilon_f \geq 2.8$	$E_{50}/s_u < 110$	$I_L < 1.11$	$C_{c1}/C_{c2} < 1.43$



(a) $W/C : 1.5 \cdot I_L : 1.0 \sim 0.25$

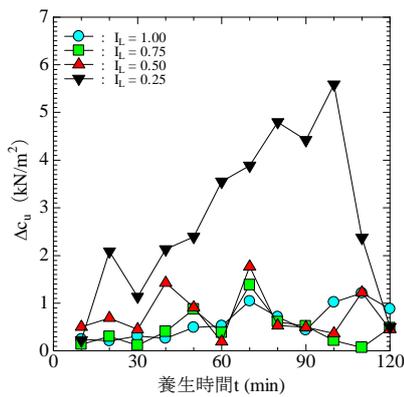


(b) $W/C : 1.0 \cdot I_L : 1.0 \sim 0.25$

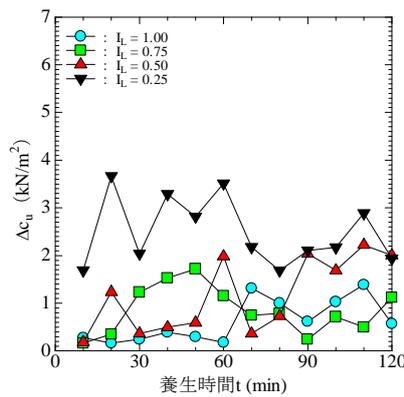


(c) $W/C : 0.5 \cdot I_L : 1.0 \sim 0.25$

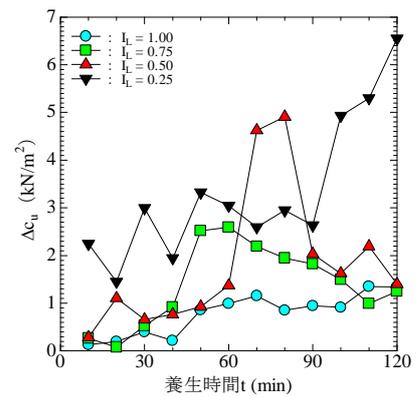
図-1(a)~(c) 異なる W/C における I_L の違いに基づく c_u の経時変化



(a) $W/C : 1.5 \cdot I_L : 1.0 \sim 0.25$



(b) $W/C : 1.0 \cdot I_L : 1.0 \sim 0.25$



(c) $W/C : 0.5 \cdot I_L : 1.0 \sim 0.25$

図-2(a)~(c) 異なる W/C における I_L の違いに基づく Δc_u の経時変化

4. 実験結果

図-1(a)~(c)に、各 W/C のもとで異なる I_L に基づく改良土の c_u の経時変化を示す。図-2(a)~(c)に、各 W/C のもとで異なる I_L に基づく改良土の Δc_u の経時変化を示す。3回の実験における c_u の最大値と最小値の差を非排水せん断強度差 Δc_u とした。図-2(a)より、 $W/C=1.5$ では、 $I_L=0.5 \sim 1.0$ の Δc_u はいずれも小さな値を示す傾向にある。他方、 $I_L=0.25$ は、他の3条件と比較して大きな Δc_u を示している。図-2(b)より、 $W/C=1.0$ では、 $I_L=0.5 \sim 1.0$ の Δc_u は、いずれも小さな値を示す傾向にある。ただし、養生時間90分以降において、 $I_L=0.5$ の Δc_u は $I_L=0.25$ の Δc_u と同様に大きな値を示している。図-2(c)より、 $W/C=0.5$ では、 $I_L=1.0$ の Δc_u は小さな値を示す傾向にある。 $I_L=0.5$ 、 0.75 の Δc_u は、60分以降は大きな値を示すことがあり、 $I_L=0.25$ の Δc_u は常に大きな値を示している。

5. 考察

実験結果から、スラリーの W/C が高い場合では $I_L=0.5 \sim 1.0$ の強度のばらつきが小さいことから、攪拌が比較的容易であり、かつ均質になることが考えられる。 $I_L=0.25$ の強度のばらつきは大きくなることから、改良土が混ざりにくい状態にあると考えられる。他方、 W/C が低い場合では、 $I_L=0.5, 0.75$ であっても攪拌性が低下し、60分以降に強度のばらつきが大きくなる傾向が認めら

れた。これらより、改良土の初期強度に認められるばらつきについて、カオリン粘土のコンシステンシーとスラリーの W/C に大きく影響されることが考えられる。

6. まとめ

本報で得られた知見を要約すると、次のとおりである：

- 1) 改良土の初期強度に認められるばらつきは、カオリン粘土のコンシステンシーとスラリーの W/C に影響される；
- 2) W/C が高い場合、 $I_L=0.5 \sim 1.0$ のもとでは攪拌性が良好であり、改良土は均質化しやすく、 Δc_u は小さい；
- 3) I_L が低い、または W/C が低いと攪拌が困難になり、改良土の強度のばらつきが顕在化する。

《引用・参考文献》

- 1) Mitsuse, K., Nakao, R., Sindete, M. J., Hino, T., & Harianto, T. (2025). *Smart Construction and Sustainable Cities*, DOI: <https://doi.org/10.1007/s44268-025-00050-0>, 2025.4
- 2) 中瀬明男, 小林正樹, 兼近明男: 港湾技術研究所報告, 第11巻, pp243-259, 1972.
- 3) 土田孝, 小林正樹, 水上純一, 田中政典: 港湾技術研究所報告, 第28巻, pp121-141, 1989.
- 4) 藤川武信, 甲本達也: 農業土木学会論文集, 第83号, pp38-43, 1979.

Air-des 工法による残存空気の確認調査事例（その1）

大日本ダイヤコンサルタント(株) ○杉山 詠一, 甲斐 誠士, 伊藤 諒
 (株)不動テトラ 鈴木 亮彦
 東亜建設工業(株) 浅田 英幸
 オリエンタル白石(株) 小宅 知行

1. はじめに

空気注入不飽和化工法(以下、Air-des 工法とする)は、地盤内に空気を注入することにより地盤を不飽和化させ、液状化強度を増加させる液状化対策工法である。従来の対策工法と比較して、施工設備や仮設等が小規模となることから、コスト削減や工期短縮が期待されている。

しかしながら、Air-des 工法の施工実績は少ないため、Air-des 工法の適用性の検証や注入空気の長期持続性の検証が必要とされている。

本稿では、過去に道路盛土の液状化対策として Air-des 工法を施工した箇所において、ボーリング調査および PS 検層を実施し、注入空気の残存状況を確認した結果を報告する。

2. 空気注入不飽和化工法(Air-des 工法)の概要

図-1に Air-des 工法の概略図を示す。Air-des 工法により、注入した空気がまんべんなく土中に5~10%程度含まれると、地盤の基本的な性質をほとんど変えずに液状化抵抗だけが増加するとされている。

Air-des 工法の主な特徴として、以下の点が挙げられる。①注入材料として大気中の空気を使用するので、他工法に比べ安価となり、施工に伴う環境負荷も軽減することができる。②構造物直下の地盤の液状化対策が可能であり、かつ施設を使用したまま施工できる。③材料調合などのプラントを設ける必要がなく、仮設ヤードが十分取れない狭隘な箇所でも施工が可能である。本工法の改良効果は図-2に示すように遠心模型実験¹⁾により確認されている。

一方で、Air-des 工法の施工実績は未だ少なく、空気を注入して一旦不飽和化した地盤に対して、長期間経過後の飽和状況を検証した事例はほとんどない。

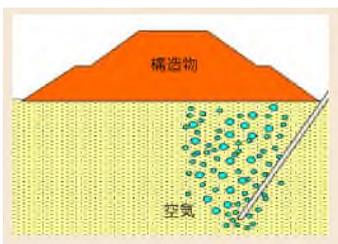


図-1 Air-des 工法概要図

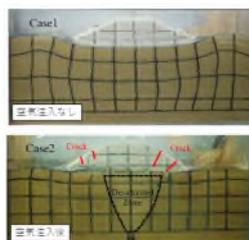


図-2 遠心模型結果図¹⁾

3. 調査概要

図-3に調査位置平面図、図-4に地質断面図に空気注入位置を記載したものを示す。2013年に道路盛土の液状化対策として Air-des 工法を施工した A-1' 地点近傍にお

いて、今回ボーリング調査および PS 検層を実施した。ボーリング地点は A-1' から1m 程度離れた位置とした。また、図-5に調査地周辺の土性図を示す。既往調査結果より、調査地周辺の主な地層構成は以下のとおりである。T.P. -12m 程度まで N 値2~10程度の砂質土層 (As1層) が分布している。T.P. -12m~-16m 程度までシルト質砂~砂質シルト (Asc 層) の中間土が分布している。T.P. -16m 以深は粘性土層 (Ac2層) となる。

Air-des 工法による空気注入は、①T.P. -4.8m 付近、②T.P. -8.3m 付近、③T.P. -9.3m 付近、④T.P. -11.0m 付近の砂質土を対象とした4深度で実施されている。



図-3 調査位置平面図

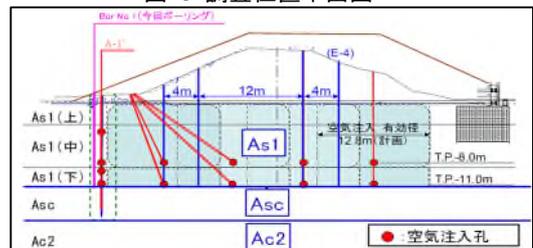


図-4 地質断面図

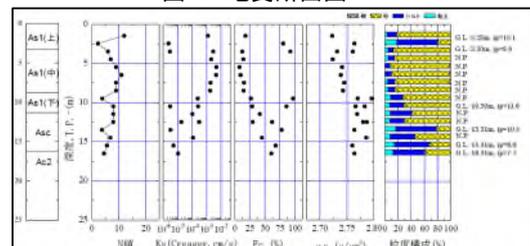


図-5 調査地周辺の土性図

今回の調査では、不飽和状態であるかを評価する手法として PS 検層を採用した。地盤が不飽和化されると、いくつかの地盤の特性が変化するが、その1つとして「地盤の P 波速度」の変化が挙げられる。不飽和化すると、P 波速度が大きく減少する性質がある。図-6に P 波速度と飽和度の関係²⁾を示す。P 波速度が600m/s 程度であれば、

飽和度は概ね95%以下を示す傾向にある。

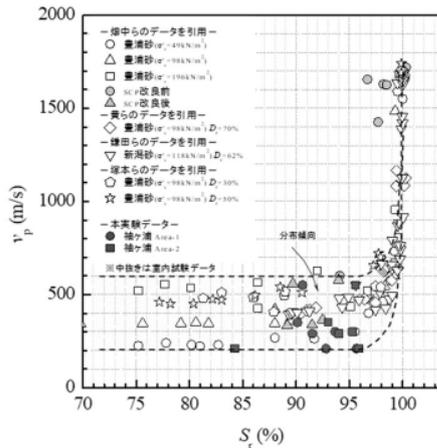


図-6 P波速度と飽和度の関係²⁾

図-7に既往調査における空気注入後のPS検層結果を示す。T.P. -1.0～-6.0m程度まで500m/s程度、T.P. -6.0～-12.0mでは700m/s程度のP波速度が確認されていることから、本調査では、T.P. -12.0m程度（P波速度：700m/s程度）まで掘削を行い、現時点の不飽和状態の評価を行った。

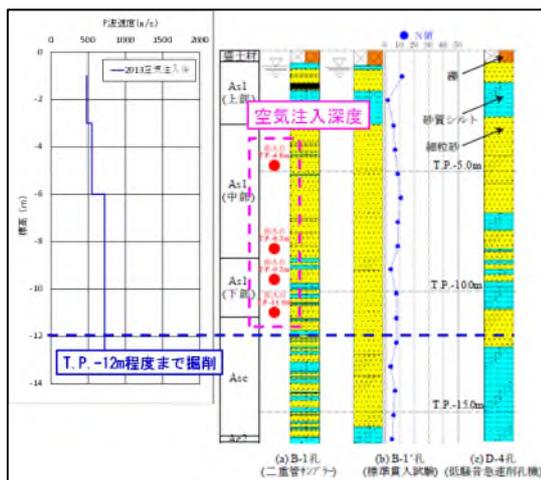


図-7 既往調査におけるPS検層結果図

4. 調査結果

図-8にP波検層結果図を示す。同図には2013年の空気注入前後の測定結果を併せて示している。2013年の空気注入前の結果では、T.P. -1.0～-4.0mまで1,000m/s程度、T.P. -4.0～-14.0mまで1,500m/s程度であることから、空気注入前の地盤は飽和状態であることが確認されている。今回PS検層を実施した結果、地下水で深部のT.P. -1.5m～-7.5mまで1,200 m/s程度、T.P. -7.5m～-14.5mまで860m/s程度のP波速度が確認された。T.P. -1.5～-7.5m区間では、2013年空気注入後よりもP波速度が大きくなったものの、T.P. -7.5m以深においては $V_p=860\text{m/s}$ と2013年空気注入後とほぼ同様の大きさとなっていることがわかった。

この結果、T.P. -7.5mより深部においては空気注入後10年以上経過した現在においても、不飽和化状態は持

続していると考えられる。一方、T.P. -1.5m～-7.5m区間において、P波速度は1,200 m/s程度を示し、飽和に近い状態と考えられる。上部側のP波速度が大きくなった理由として、以下の2点が推察される。

①地下水流動の影響

上部の地盤の透水係数が下部より大きく、水の流れにより地盤内の残存空気が水に溶解されたためと考える。図-5で示したとおり、T.P. -7.5m～-14.5m区間の透水係数は、 $10^{-7}(\text{m/s})\sim 10^{-5}(\text{m/s})$ オーダー程度であるのに対し、上部のT.P. -1.5m～-7.5m区間では、 $10^{-5}(\text{m/s})\sim 10^{-4}(\text{m/s})$ オーダー程度を示し、全体的に上部側の方が透水係数は大きい。

②降雨の影響

図-9に示す通り、地表面から降雨が浸透し、上部地盤に流入することで空気が溶解されたためと考える。

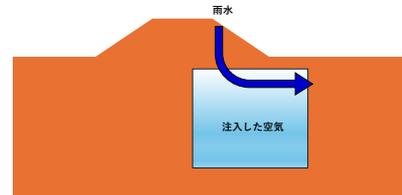


図-9 降雨による空気溶解イメージ図

5. まとめ

2013年にAir-des工法により空気注入を実施した箇所近傍においてPS検層を実施した結果、地層下部においてP波の低下が継続されており、不飽和化状態が10年以上持続している状況が確認された。

この結果、当工法は液状化対策の1つとして、長い期間効果が期待できることが把握できた他、地下水流が遅い場所、降雨浸透が少ない場所等、より適した条件の場合は、より高い液状化抑制効果が見込まれることが示唆されたものである。

《引用・参考文献》

- 1) 空気注入不飽和化工法 (Air-des 工法) 技術マニュアル参考資料(改訂版)(2019.6) : Air-des 工法研究会, p145.
- 2) 三枝弘幸, 三好朗弘, 藤井直, 山田直之, 岡田克寛, 岡村未対(2012) : 空気注入不飽和化工法の開発 その7 千葉県袖ヶ浦市での現場実験(品質確認), 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, III-252.

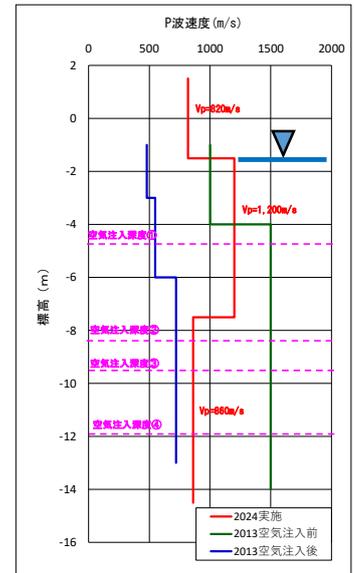


図-8 P波検層結果図

Air-des 工法による残存空気の確認調査事例（その2）

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○三石 隼也, 森島 直樹, 山田 直之
 株式会社不動テトラ 高田 英典
 東亜建設工業株式会社 三枝 弘幸
 オリエンタル白石株式会社 藤井 直

1. はじめに

空気注入不飽和工法（Air-des 工法）は、地盤に空気を注入することで地盤を不飽和化させ、液状化強度を増加させる地盤改良工法である。

本稿では、比抵抗測定による空気注入のモニタリング結果と、P 波検層による不飽和状態の持続の確認結果、および気液二層流解析によるシミュレーションとの比較から再現性の検証を行った結果を報告する。

2. 調査配置

本調査は茨城県土浦市の自然堆積地盤で行った。本調査での調査孔の配置断面図を図-1 に示す。空気注入孔はφ133mmで削孔し、空気注入深度はGL-10.5mとした。比抵抗電極孔は空気注入孔から離隔距離 2.5m、5.0m、9.7m の位置に設置し、GL-2.5m～10.0m まで 0.5m 間隔で電極を設置した。P 波検層孔は離隔距離 2.0m、3.75m の位置に設置した。地下水位はGL-4.6mであった。

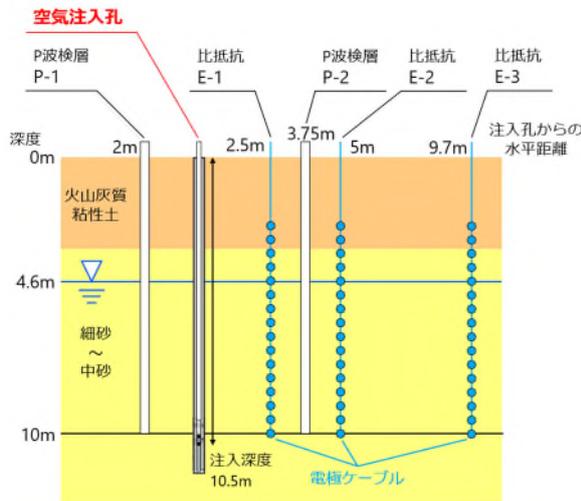


図-1 測定孔配置断面図

3. 注入諸元

注入圧力は注入深度での有効上載圧の 1/2 と静水圧の和から約 122kPa とした。有効領域（不飽和化領域の内、設計上考慮する領域。ここでは直径 5m、高さ 5m の円柱状。）の間隙率を $n=0.5$ とすると、目標飽和度 $S_r=90\%$ での必要最小空気量は約 5m^3 である。注入した空気の有効領域外の地盤への侵入や、地下水面から地表への漏出を考慮するため、積算の空気注入量は必要最小空気量の 3 倍の約 15m^3 とした。目標の積算注入量を満足する実注入時間は約 12 時間となった。

4. 比抵抗変化率による空気注入のモニタリング

地盤の比抵抗は間隙率や飽和度、粘土鉱物含有量、地下水の比抵抗、地温などの要因で変化する。土粒子の骨格構造を乱さず、短期間で空気注入を行うことで、これらの要因の内飽和度変化が比抵抗変化の支配要因になると考えられる。そこで本調査では、空気注入中の飽和度変化を式-1 に示す比抵抗変化率でモニタリングした。

$$\Delta\rho_t = \{(\rho_t - \rho_{t0})/\rho_{t0}\} \times 100 \quad \dots \text{式-1}$$

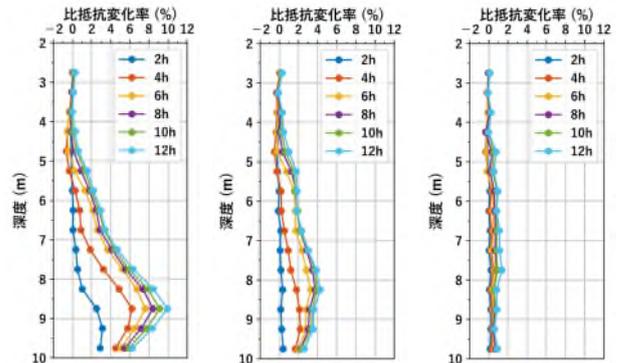
ここで、 $\Delta\rho_t$: 比抵抗変化率 (%)

ρ_t : 空気注入中の比抵抗 (Ωm)

ρ_{t0} : 空気注入前の比抵抗 (Ωm)

空気注入中の比抵抗変化率を図-2 に示す。GL-8.0m～9.0m 付近の変化率が最も大きく、最大で 10% 程度の変化率であった。注入開始から 2～4 時間での比抵抗変化率の変化が大きく、それ以降の変化は小さくなっている。E-2 孔（離隔距離 5.0m）でも空気注入時間に応じた比抵抗変化が見られたため、ここまで空気が到達していたと考えられる。

深度が浅くなるほど比抵抗変化率が小さくなっている。調査を行った地盤は深度が浅いほど細粒分含有率が高くなっており、細粒分により空気の侵入が鈍化したためと考えられる。



a) E-1 孔 離隔距離 2.5m b) E-2 孔 離隔距離 5.0m c) E-3 孔 離隔距離 9.7m

図-2 比抵抗変化率測定結果

5. P 波検層による不飽和化の持続の確認

飽和状態の地盤の P 波速度は水中の伝搬速度である 1,500m/s 程度、もしくはそれ以上となる。しかし、飽和度が 98% 程度以下になると P 波速度が急激に低下するという傾向がある¹⁾。そこで本調査では空気注入から半年後、1 年後、1.5 年後に P 波検層（ダウンホール方式）を

実施し、不飽和化の持続について確認を行った。

P 波検層の結果を図-3 に示す。空気注入前は GL-5.5m ~10m の区間で P 波速度が 1,500m/s 程度であり、飽和状態だったと考えられる。空気注入後は地下水面下も 400m/s 程度まで P 波速度が低下した。空気注入後 1.5 年後も P 波速度は低下したままであり、地盤の不飽和化が持続していることが確認できた。

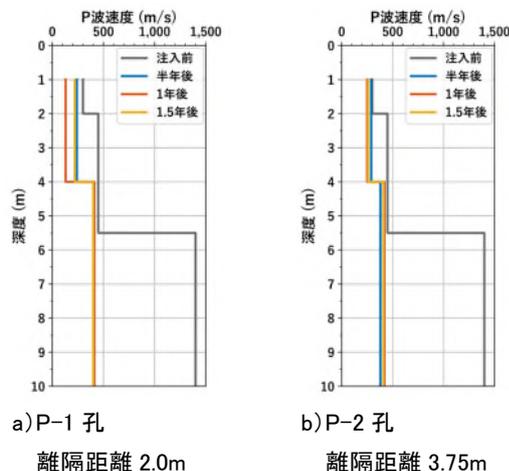


図-3 P 波検層結果

6. 気液二層流解析によるシミュレーション

積分型有限差分法による解析コード TOUGH3 を用いた気液二層流解析を行った。解析に使用する透水係数はサンプリング試料の GL-8.15m の部分で実施した室内透水試験の結果 (2.05×10^{-5} m/s) を用いた。

注入試験と同様な空気注入をしたときの飽和度変化をシミュレートした結果を図-4 及び図-5 に示す。注入孔から離隔距離 5m 程度まで不飽和領域が広がっていることがわかる。GL-9.0m 付近で最も飽和度が減少した。注入開始から 2~4 時間での飽和度の変化が大きく、それ以降の変化は小さくなっている。E-2 孔では飽和度の減少が見られた深度は GL-9.0m 付近のみであった。概ね図-2 に示した比抵抗変化率の結果と整合的な結果が得られた。

空気注入から 1 年後の飽和度分布図を図-6 に示す。1 年後も離隔距離 6m 程度、およそ GL-10m 以浅の範囲に不飽和領域が広がっており、図-3 に示した P 波検層結果と整合的な結果が得られた。

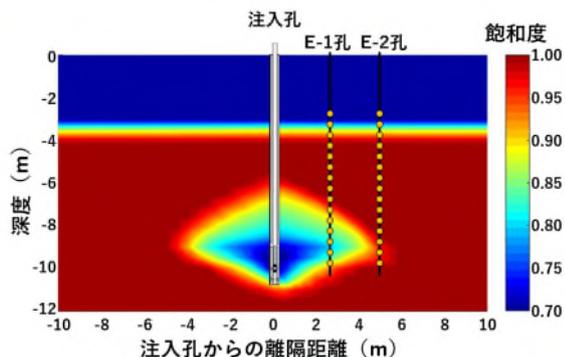
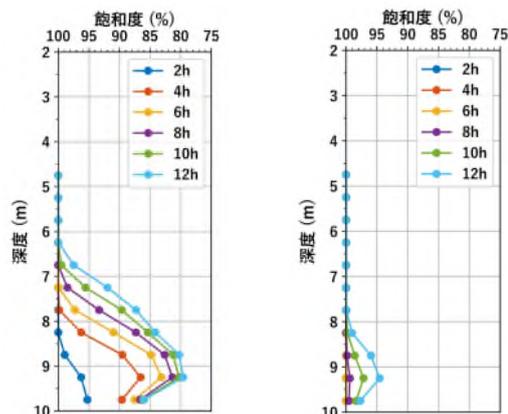


図-4 注入開始 12 時間後の飽和度分布



a) 離隔距離 2.5m b) 離隔距離 5.0m

図-5 シミュレーションによる空気注入中の飽和度変化

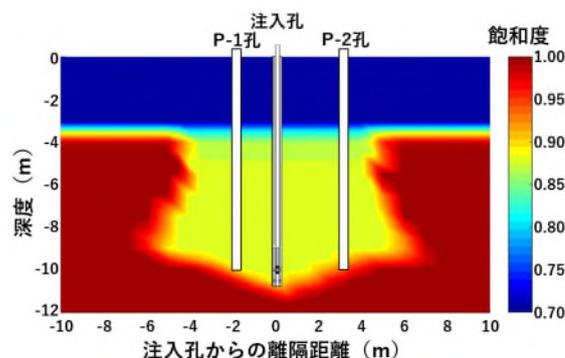


図-6 空気注入 1 年後の飽和度分布

7. まとめ

空気注入中のモニタリングとして比抵抗測定を、空気注入後の不飽和化の持続の確認として P 波検層を実施した。その結果、空気注入による空気侵入範囲の経時変化を捉えることができた。また、Air-des 工法による不飽和化の持続を確認できた。

また、気液二層流解析により、Air-des 工法による飽和度変化をシミュレートすることができ、比抵抗測定、P 波検層結果と整合的な結果が得られた。

《引用・参考文献》

- 1) 空気注入不飽和化工法 (Air-des 工法) 技術マニュアル参考資料 (改訂版) (2019) : Air-des 工法研究会, pp. 96.

火山灰質粘性土と高炉スラグ微粉末を用いた流動化処理土の適用性

土木地質株式会社 ○相澤 英輔, 岡林 昌宏, 橋本 亮

1. はじめに

地盤に構造物を建設する場合、地山を掘削し、必要に応じて地盤を補強し、構造物を設置し、空隙の埋戻しや裏込めが行われる。過密化した都市では、道路の地下や住宅地の大深度地下に、様々な公共インフラが埋設されている。近年、地下構造物の非開削工事に伴う地上の陥没事故や、埋設物の老朽化に起因する地中の空洞化による事故が多発している。その原因は、過去の工法が未発達な時代の不十分な締固めによるものもあれば、また現代においては崩落性の高い地質に対する不適切な工法による場合もある。地下の掘削をともなう工事では、周辺地盤の確実で堅牢な補強や埋戻しが必要である。

転圧機械による締固めが困難な環境下で、堅牢な埋戻し地盤を形成可能な工法として、流動化処理工法がある。流動化処理工法は、土と水と固化材を混合した流動化処理土を空隙に充填する工法である。流動化処理土は、施工時には流動性があり運搬性に優れ、施工完了後は固化材の効果により必要な強度に硬化するよう設計調整される。流動化処理土の原料土は、ストックヤードに貯蔵された残土である場合や、現場での掘削から生じた発生土が利用される場合がある。

全国各地に分布する火山灰質粘性土（ローム）からなる軟弱地盤に対して地盤改良を施すとき、特殊土用のセメント系固化材以外では思うように効果が得られないことが知られている。本研究では、火山灰質粘性土の現場発生土を流動化処理土の材料として利用可能かどうか、いくつかの種類固化材を用いて試みた。

2. 使用材料

(1) 材料土

使用した土は、入手性の上での便宜上、仙台市近郊などでも採取可能なローム（図-1）を使用した。その概要を以下に示す。また、土質試験結果を表-1に示す。

土質名称：ローム
 採取量：135 kg 土嚢袋（内ポリ袋）10袋に分取
 含水比：100.5±5.0%

表-1 ロームの土質試験結果.

土粒子密度 (g/cm ³)	自然含水比 (%)	粒度組成 (%)				コンシステンシー(%)	
		礫分	砂分	シルト分	粘土分	液性限界	塑性限界
2.493	95.7	8.6	16.8	43.0	31.6	109.2	76.3

(2) 固化材

流動化処理土を固めるための固化材には、以下の物を単独または幾つかの組合せで混合して使用した。

1. アースシリカ® (ES) — アルカリ剤を添加したガラス粉。
2. 高炉スラグ微粉末 — JIS A 6206 コンクリート用高炉スラグ微粉末に規定する高炉スラグ微粉末4000の品質に相当するもので、石膏無添加のもの。
3. 石膏系土質改良材 — 石膏を主要成分とし、水に溶いたときの液性が中性である固化材製品。
4. 普通ポルトランドセメント — JIS R 5210 に規定するポ



図-1 試料袋に採取したローム.

ルトランドセメントのうち、普通ポルトランドセメントに相当するもの。

5. 高炉セメント — JIS R 5211 に規定する高炉セメントのうち、高炉セメント B 種に分類される、高炉スラグの分量が30%を超え60%以下のもの。

3. 試験方法

流動化処理土の要求品質として、強度・流動性・材料分離抵抗性・密度などの品質を満たすための、原料土量・固化材量・水量などを探ることを目的として、室内配合試験を行った。試験の実施手順は、配合設計に基づき各材料を計量し、ミキサーで練混ぜ、フロー試験、ブリーディング試験を行い、型枠に充填し供試体を作製する。供試体は所定の養生日数毎に型枠から取り出し、湿潤密度試験、一軸圧縮試験を行った。

4. 流動化処理土の室内配合試験結果

配合及び試験結果の一覧を表-2に、フロー試験結果のグラフを図-2に、一軸圧縮試験結果のグラフを図-3に示す。

配合 No.1-No.7では、流動化処理土の練混ぜ直後の流動性の確保を目的とした。固化材添加量を 193 kg/m³、練混ぜ水の量を 290 kg/m³ とし、固化材の配合を様々な組合せで試験を行った。これら7例の何れの配合もフロー値は目標の 140 mm を上回ったが、固化材の効果は現れず、供試体は28日経過後も泥状であった。このうち配合 No.1-No.5 は顕著なブリーディングが発生した。比較対象として固化材に普通ポルトランドセメントを使用した配合 No.8 は、ある程度の硬化がみられた。

上の例にて固化しなかった原因は水量が多すぎたためと考え、配合 No.9-No.11では、練混ぜ水を 241 kg/m³ に減らした。だが、目標のフロー値を得るには固化材料も 142 kg/m³ に減らす必要があり、これも28日経過後も固化材量の不足のため固化しない結果となった。

配合 No.12-No.15では固化材量を 240 kg/m³ または 290 kg/m³ に増やし、練混ぜ水量も 312 kg/m³ と 318 kg/m³ に増やした。これらの配合では固化材に石膏系固化材と普通ポルトランドセメントを6対4または8対2に混合したものを使用した。セメントの割合が 40% の場合は

7日養生で目標強度に達したが、セメントが 20% の場合はほとんど硬化が伸びなかった。以上から、この固化材の組み合わせでは、固化材添加量 240 kg/m³ 以下では固化せず、また固化材添加量 240 kg/m³ 以上でも、セメントが 20% 以下では固化しないという傾向が見られた。

配合 No.16-No.19は、水の量が少なく、フロー試験ではほぼ流動性が現れなかった。強度については、固化材に普通ポルトランドセメントを 33% 使用した No.16, 18 は十分な強度が出たが、高炉セメント B 種を 33% 使用した No.17, 19 は事実上ポルトランドセメント約 16% となるため目標強度に達しなかった。

No.20, 21 は高炉セメント B 種固化材を使用、No.22, 23 は石膏系 60%、高炉セメント B 種 40% の固化材を使用した。これら 2通りの固化材を比較すると、硬化速度の違いがよく現れている。石膏系主体の固化材の

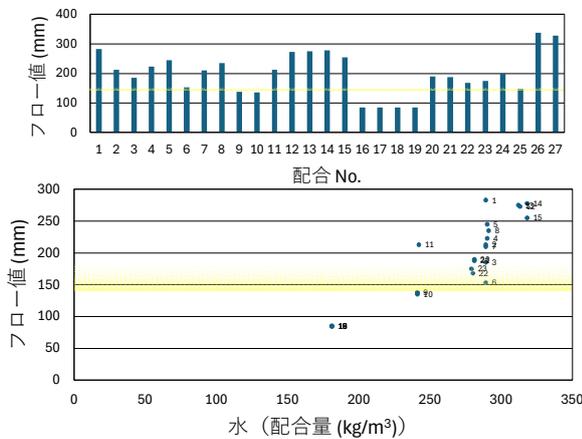


図-2 フロー試験結果.

No.22, 23 は7日経過時点では最終的な強度の半分程度かそれ以下の強度までしか達していない。一方で高炉セメント B 種固化材の No.20, 21 は7日で 80% の強度に達している。

No.24-27 は比較対象として土に笠岡粘土を使用したもので、ロームに比して非常に高強度となった。

5. まとめ

自然含水比 100±5% のロームを流動化処理土の原料土とするとき、実用的な流動性（本件ではフロー値 140 mm）を得るには、流動化処理土の練上がり1立方メートルのうち、加水量は 250 kg/m³ 以上を必要とする（図-2 下段）。養生後の仕上がり土の強度について、十分な強度（本件では $q_u \geq 200 \text{ N/m}^2$ ）を得るには少なくとも 240 kg/m³ の固化材添加量を必要とする（図-3 下段）。

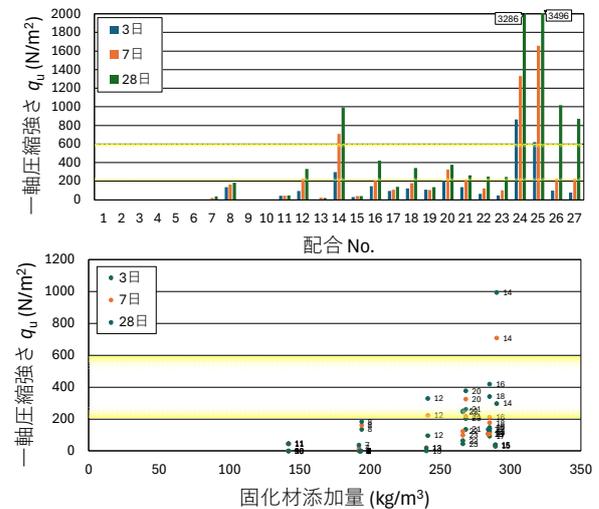


図-3 一軸圧縮試験結果.

表-2 配合及び試験結果の一覧.

配合 No	水固化材比 W/B (%)	固化材量 kg/m ³	流動化処理土 材料配合 (kg/m ³)								湿潤密度 ρ_w g/cm ³	フロー試験		ブリーディング試験		一軸圧縮試験 q_u (N/m ²)			適用性
			水 W	固化材					対象土			目標 $\geq 140 \text{ mm}$	目標 $< 3\%$	28日目標強度 200-600 N/m ²					
				アルカリ添加剤 ES	石膏系固化材 GS	高炉スラグ微粉末 BS	普通セメント N	高炉セメント B BB	湿潤ローム Lm	湿潤粘土 KC				3日	7日	28日			
																	2.58	2.70	
1	150	193	289	26	-	167	-	-	927	-	1.41	283	0.5	7.0	軟	軟	軟	-	
2	150	193	289	26	33	134	-	-	926	-	1.41	213	1.0	3.6	軟	軟	軟	-	
3	150	193	289	26	67	100	-	-	925	-	1.41	185	0.1	2.4	軟	軟	軟	-	
4	150	193	290	26	-	134	33	-	927	-	1.41	223	1.0	4.9	軟	軟	軟	-	
5	150	193	290	26	-	100	67	-	928	-	1.41	245	1.0	3.8	軟	軟	軟	-	
6	150	193	289	9	147	-	37	-	925	-	1.41	153	0.0	0.0	軟	軟	軟	-	
7	150	192	289	9	110	-	73	-	926	-	1.46	210	0.0	0.0	軟	18.3	37.1	-	
8	150	194	291	-	-	-	194	-	932	-	1.45	235	0.0	0.0	136	162	184	△	
9	170	142	241	7	108	-	27	-	1020	-	1.40	138	0.0	0.1	軟	軟	軟	-	
10	170	142	241	7	81	-	54	-	1022	-	1.41	135	0.0	0.1	軟	軟	軟	-	
11	170	142	242	-	-	-	142	-	1027	-	1.45	213	0.0	0.0	44.2	44.1	46.5	-	
12	130	241	313	-	145	-	96	-	868	-	1.44	273	0.0	0.0	96.5	224	330	○	
13	130	240	312	-	192	-	48	-	866	-	1.47	275	0.0	0.0	軟	21.5	17.7	-	
14	110	290	318	-	174	-	116	-	835	-	1.45	278	0.0	0.0	297	709	994	△	
15	110	289	318	-	231	-	58	-	833	-	1.47	255	0.0	0.0	28.6	39.5	39.7	-	
16	64	285	181	-	190	-	95	-	1034	-	1.48	85	0.0	0.0	147	211	420	-	
17	64	285	181	-	190	-	-	95	1033	-	1.49	85	0.0	0.0	93.3	107	138	-	
18	64	285	181	4	190	-	91	-	1034	-	1.49	85	0.0	0.0	122	178	342	-	
19	64	284	181	4	190	-	-	90	1033	-	1.50	85	0.0	0.0	109	106	136	-	
20	105	268	281	-	-	-	-	268	908	-	1.46	190	0.0	0.0	203	326	378	○	
21	105	268	281	13	-	-	-	255	907	-	1.46	188	0.0	0.0	136	218	262	○	
22	105	266	280	-	157	-	-	109	902	-	1.49	168	0.0	0.0	65.8	123	251	○	
23	105	266	279	5	157	-	-	104	902	-	1.50	175	0.0	0.0	45.6	99.6	246	○	
24	105	298	313	-	-	-	-	298	-	888	1.51	200	0.0	0.0	863	1330	3286	△	
25	105	298	313	14	-	-	-	284	-	887	1.50	148	0.0	0.0	619	1657	3496	△	
26	105	296	311	-	175	-	-	121	-	881	1.50	338	0.0	0.0	97.6	227	1018	○	
27	105	296	310	6	175	-	-	115	-	881	1.50	328	0.0	0.0	76.8	227	872	○	