

列車荷重対応仕様における流動化処理土の試験施工と長期強度発現特性

鉄道総合技術研究所

(正) ○中島進, 倉上由貴, 富田佳孝, 高木翔太

(正) 東急建設 太田啓介

1. はじめに 筆者らは、盛土施工の省力化、高速化の実現に向けて、これまでトンネルインバート(必要 $q_{u28}=6000\text{kPa}$)を除き列車荷重を受ける範囲での適用実績が限定的な流動化処理土¹⁾を鉄道盛土に活用するための研究を行い、列車荷重下での累積変形特性や耐久性、施工性について検討を進めてきた²⁾。その結果、流動化処理土で構築する盛土上面に保護層を設けた構造とすることで鉄道盛土としての適用性が確認されつつある。本論文では、提案した列車荷重対応仕様を採用し流動化処理土で構築した試験盛土における乾燥防止効果と、関連して実施した暴露試験結果他で得られた長期強度発現特性について報告する。

2. 乾燥防止効果の確認 (1) 試験盛土 本研究の試験盛土は、布製型枠、大型土のう、既設擁壁で閉塞された幅 $4\text{m} \times$ 奥行き $2\text{m} \times$ 深さ 2m の範囲に流動化処理土を打設して構築した。試験盛土の概要と流動化処理土の仕様を図-1、表-1に示す。なお、表-1には後述する暴露試験の配

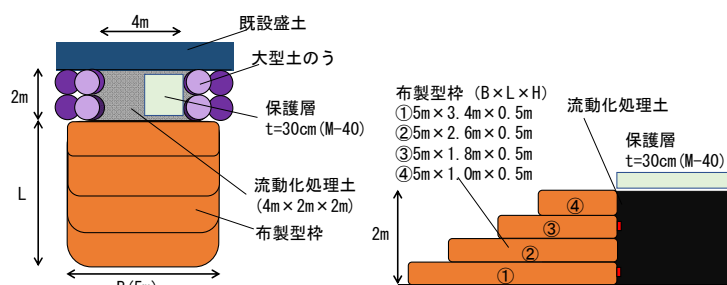


図-1 試験盛土の概要 (左: 上面図、右: 断面図)

表 1 処理土の配合

適用箇所・ 目標28日 強度	泥水密度 (g/cm^3)	固化材・高炉B 種 (kg)	処理土密度※ (g/cm^3)
試験施工 1,200 kPa	1.46~1.50	170	1.80
暴露試験 1,200 kPa	1.46~1.50	170	1.52
暴露試験 600 kPa	1.46~1.50	100	1.59

※現場での計測値

合も併せて示している。筆者らは乾燥防止と応力分散効果に期待し、流動化処理土上面に粒調砕石 M-40 からなる保護層 $t=30\text{cm}$ を設けることを提案している。これを踏まえ、試験施工では、流動化処理土の28日養生後の一軸圧縮強度は $q_{u28}=1200\text{kPa}$ とした。また、保護層施工による乾燥防止効果を確認するために、保護層施工ゾーンと非施工ゾーンを設けた。保護層は、流動化処理土打設の2~3日後に施工し、締固め試験(E法)で設定した ρ_{dmax} に対し95%の締固め度を確保した。

(2) 計測結果 試験盛土施工後、材齢2~420日にかけて、保護層施工ゾーン、非

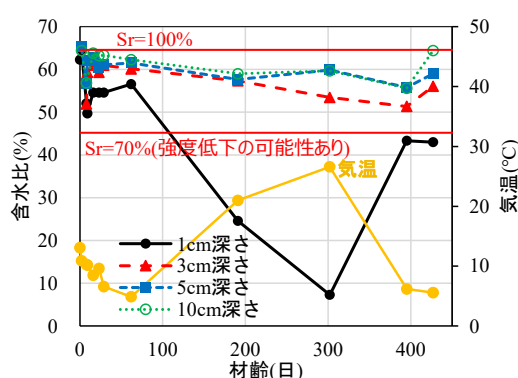


図-2 含水比計測結果 (保護層非施工)

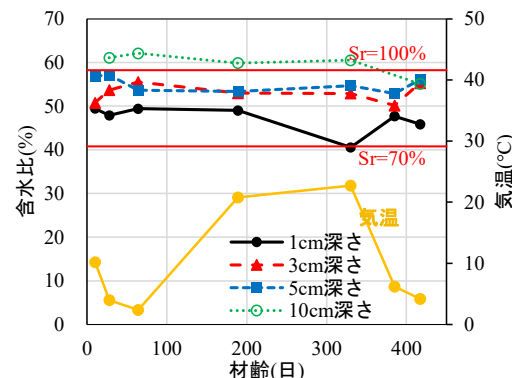


図-3 含水比計測結果 (保護層施工)

施工ゾーン双方から一軸圧縮試験用の供試体を採取した。その際、併せて流動化処理土上面から深さ1cm、3cm、6cm、10cmの位置で含水比を計測した。図-2、図-3は保護層施工ゾーン、非施工ゾーンにおける含水比の計測結果である。同図には気温も併せて示している。温度変化に応じて乾燥の程度が変化するものの、保護層非施工ゾーンでは表層部の乾燥が顕著である。これに対して、保護層施工ゾーンでは含水比の変動は限定的であった。実際の運用では、保護層上面に砕石路盤30cm、道床バラスト約30cmを敷設するため、処理土上面の湿潤状態は本検討以上に保持されやすいものと考えられる。

3. 長期強度発現特性 軟弱な路床の改良に関して、繰り返し載荷に伴う累積変形の影響を限定的とするた

めに改良土の一軸圧縮強度と作用応力の比を 0.2 以下とすることが必要との知見がある³⁾。流動化処理土に対する太田²⁾、倉上ら⁴⁾の検討もこれを裏付けている。これより、列車荷重を受ける場合の必要強度の算定条件として、筆者らは暫定案として載荷応力比 0.15 以下を提案し、同仕様に基づき図-1 に示す試験施工を実施した。以下では、提案仕様の流動化処理土の長期的な強度発現特性を分析する。 q_{u28} で正規化した一軸圧縮強度を強度発現率と定義した場合の、強度発現率と材齢との関係を図-5 に示す。

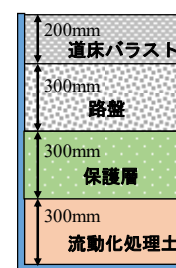


図-4 暴露試験供試体

ここで、分析対象は前述した①試験施工($q_{u28}=1200\text{kPa}$)に加えて、長期モニタリング供試体(②～⑤)、長期暴露した繰り返し載荷試験用供試体(⑥～⑦)である。繰り返し載荷試験用供試体(⑥～⑦)では、図-4 に示すように、鋼製モールド内に流動化処理土を打設し、供用時と同様に保護層、碎石路盤、バラストを処理土上面に施工した状態で550日間、屋外暴露した供試体に列車荷

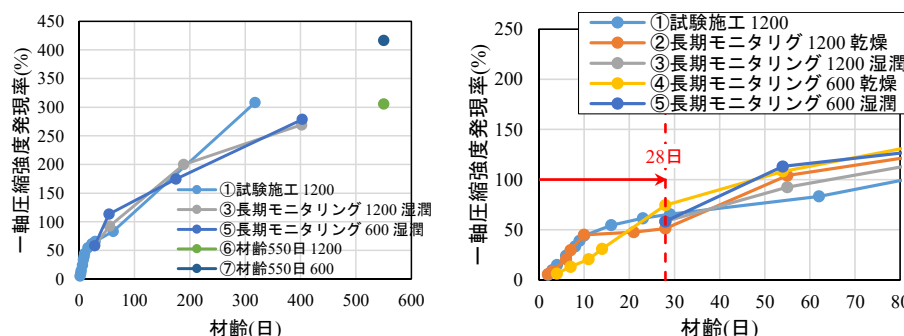


図-5 強度発現率と材齢の関係（左：長期材齢、右：若材齢）

重を模擬した繰り返し載荷⁴⁾を行った後に、一軸圧縮試験用に処理土を抽出・整形して供試体を作製し試験を実施した。長期モニタリング用供試体(②～⑤)では、繰り返し載荷試験用供試体を打設する際に、プラスチック製の二つ割モールド内に打設し、供試体の乾燥を許容する条件（乾燥条件）と、湿潤状態を保持した条件（湿潤条件）で養生した供試体に対し、所定の養生日に試験を実施した。長期モニタリング供試体(②～⑤)、繰り返し載荷試験用供試体(⑥～⑦)の q_{u28} は 600kPa、1200kPa であり、処理土の配合は表-1 に示す通りである。

長期材齢の試験結果に着目すると、550 日時点で 300～400%程度の強度発現率であり、供用開始時に必要強度を保持していれば、長期的には安定化する傾向にあることが確認された。これに対して、若材齢の結果に着目すると、28 日時点では平均的に 50～60%程度の強度発現率であり、供用開始時に必要強度を確実に確保するために、適切な現場室内強度比設定の必要性が示唆される。一般的な埋め戻し等に用いる流動化処理土の設計・施工においては、必要強度（概ね $q_{u28}=200\text{kPa}$ 程度）に対して安全率 3 程度を設定した上で、現場室内強度比を考慮して目標現場強度を設定する。鉄道構造物に用いる流動化処理土の設計・施工マニュアル¹⁾においては、流動化処理土の強度設定に関する安全率や現場室内強度比は未設定である。鉄道構造物等設計標準・同解説⁵⁾では、安全係数により強度特性値を低減して設計に用いる。また、安定処理土の現場室内強度比として、路床安定処理における石灰・セメント安定処理の場合、室内強度に対して、現場強度低減率 0.6 を設定しているが、この値は図-5 に示した室内の q_{u28} に対する現場養生流動化処理土の強度発現率と概ね整合していた。

4. まとめ 筆者らが提案した列車荷重対応仕様の流動化処理土及び同構造に対して、乾燥防止効果を確認するとともに、強度発現特性を評価した。その結果、長期的には強度増加するために供用開始時に必要強度が確保されていれば、土構造物としては経年とともに安定化することが示唆された。また、施工時に配合を設定する際に適切な現場強度低減率を設定する必要性が示唆されたが、本研究の試験結果から得られた低減率は、設計標準でセメント安定処理をする際などに設定している値と概ね整合していた。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物に用いる流動化処理土設計施工法マニュアル、2005、2)太田ら：流動化処理土の鉄道盛土材料への適用性に関する検討、土木学会論文集、土木学会論文集、Vol.79, No.3, <https://doi.org/10.2208/jscej.22-00236>, 2023、3) 関根ら：安定処理した鉄道路盤の繰返し荷重に対する耐久性の検討、土木学会論文集、No.546, pp.181-188, 1996、4)倉上ら：長期材齢における流動化処理土の累積変形特性と強度特性、第 77 回土木学会年次学術講演会(投稿中)、5)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物、2007。