

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

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○倉上 由貴, 中島 進, 高木 翔太, 富田 佳孝
東急建設株式会社 正会員 太田 啓介

1. はじめに 土構造物の急速化・省力化施工を実現するために、まき出し・転圧による締固め作業が不要となる流動化処理土を用いた盛土構造の適用性を検討してきた¹⁾。著者らの検討¹⁾では、鉄道土構造物における保護層を設けた基本構造を提案し、繰返し載荷試験や要素試験・FEM 解析から強度等の必要性能を明らかにした。また、試験施工から、施工性や保護層の施工条件・乾燥に対する保護層の効果について検討をした。本研究では、長期材齢における流動化処理土の累積変形特性および強度特性や、設計で必要となる強度定数の特性について把握することを目的として、繰返し載荷試験ならびに三軸圧縮試験・一軸圧縮試験を実施した。

2. 繰返し載荷試験 長期材齢における流動化処理土の列車荷重に対する変形特性を把握するために、長期暴露した供試体の繰返し載荷試験を実施した。著者らの実験¹⁾では、設計基準強度として設定している材齢の28日で繰返し載荷試験を実施している。材齢の影響を確認するために、著者らの既往研究の結果も併せて比較検討する。長期材齢の供試体は、保護層・路盤・バラストを設置した状態で屋外で、約550日間暴露させた後、繰返し載荷試験を実施した(図1)。表1に著者らの既往研究¹⁾と本検討で実施した繰返し載荷試験の条件を示す。模型土槽の寸法や載荷条件は、著者らの既往研究¹⁾と同一である(図1)。流動化処理土の設計基準強度は $q_{u28}=1,200\text{kPa}$ と $q_{u28}=600\text{kPa}$ の2種類を設定しており、著者らの既往研究と本研究での流動化処理土の打設は同時に実施し、同一バッチの材料を用いている。

材齢28日の供試体では、湿潤状態と水浸状態で繰返し載荷試験を行い水浸による影響を検討している。長期材齢の供試体では水浸状態とした。載荷条件は表1に示す通りであるが、Case1200Aのみ、繰返し載荷の後に、応力振幅を100kPaに増加させ、10Hzで80万回の繰返し載荷を実施した¹⁾。各供試体の試験時の一軸圧縮強さ q_u は表1に示すとおりである。

表1 試験条件

Case	q_{u28} (kPa)	材 齢	試験時 の q_u (kPa)	水浸 状態	載荷条件		
					繰返し 載荷荷重 (kPa)	繰返し 載荷回数 (万回)	繰返し 周波数 (Hz)
Case1200A	1,200	28 日	615	湿潤	65→100	150+80	10
Case1200B	1,200		615	水浸	65	150	
Case600A	600		447	湿潤			
Case600B	600		447	水浸			
Case1200C	1,200	550 日	3,367	水浸			
Case600C	600		2,736	水浸			

図2には、繰返し載荷試験により得られた、載荷応力比(列車荷重による鉛直応力/流動化処理土の一軸圧縮強さ q_u)と残留沈下量の関係を示す。既往研究(木幡, 2006)²⁾では、トンネルインバート部への適用を対象として検討されており、 $q_{u28}=5,880\text{kPa}$, $1,960\text{kPa}$ の2種類の流動化処理土を用いた繰返し載荷試験の結果も併せて示す。材齢28日を対象としたCase1200A, 1200B, 600A, 600Bについて着目すると、湿潤状態(Case1200A, 600A)よりも水浸状態(Case1200B, 600B)の方が残留沈下量は増加しているが、載荷応力比0.15以下の範囲では、残留沈下量は既往研究(木幡, 2006)²⁾と概ね同程度の微小な範囲に留まっている。材齢550日のCase1200CとCase600Cではそれぞれ残留沈下量が0.01mm, 0.00mmと極めて微小であった。後述するように材齢28日の結果と比較すると強度が増加し、載荷応力比が減少している。図2では水浸状態で試験をしたケースを塗りつぶし印で示しており、載荷応力比と残留沈下量の関係に、ある程度の相関が確認された。著者らの研究で

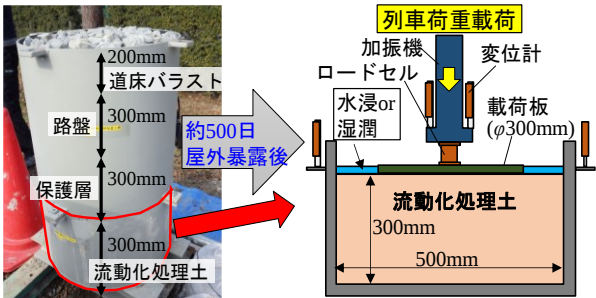


図1 繰返し載荷試験の概要

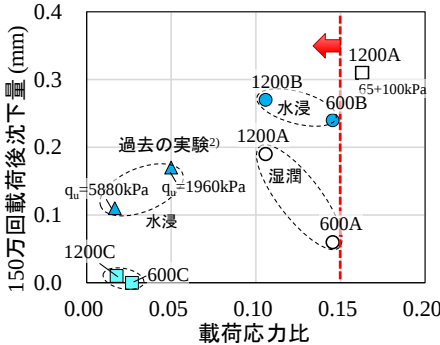


図2 沈下量と載荷応力比の関係

キーワード 流動化処理土, 長期材齢, 繰返し載荷, 一軸圧縮強さ, 三軸圧縮試験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7261

使用した流動化処理土の処理土密度が $1.52 \sim 1.59 \text{ g/cm}^3$ であることから、載荷応力比が 0.15 程度以下となるように強度を設定し、かつ処理土密度を 1.60 g/cm^3 以上とすることで水浸状態においても列車荷重の繰返し作用に耐え得る盛土となるとの知見¹⁾が得られているが、長期材齢においても微小な残留沈下量に抑えられることが確認された。

3. 土質諸数値 流動化処理土の設計に必要な強度定数の検討をするために三軸圧縮試験と一軸圧縮試験を実施した。

(1) **三軸圧縮試験** 供試体は繰返し載荷試験後に長期材齢の供試体の表面付近からコアサンプリングで採取し、寸法は直径 70mm、高さ 140mm とした。試験条件は地盤工学会基準 (JGS0524-2020) に準拠し、圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験とした。Case1200C、Case600C の供試体において、有効拘束圧は 25kPa、50kPa、100kPa の 3 水準とし、鉛直ひずみ速度 $0.1\%/\text{min}$ でせん断した。三軸圧縮試験による軸差応力と鉛直ひずみの関係を図 3 に示す。軸差応力は、全ケースともに鉛直ひずみ 1% 程度で最大値に達し、その後急激に低下し、ひずみ軟化挙動を示した。軸差応力の最大値 q_{max} は、拘束圧に依らず、Case1200C で 3,500kPa 程度、Case600C で 2,500kPa 程度であった。図 4 にモールの応力円を示す。強度定数は内部摩擦角 $\varphi=0^\circ$ で、粘着力 c は拘束圧に寄らず一定であり、材齢 550 日では、Case1200C で $c=1,754\text{kPa}$ 、Case600C で $c=1,279\text{kPa}$ であった。以上より、有効拘束圧 100kPa の範囲 (高さ 6m 程度の土構造物に作用し得る拘束圧) では、せん断強さは一定であると考えられる。

(2) **一軸圧縮試験** 供試体は長期材齢の暴露材齢の供試体から三軸圧縮試験と同様に採取し、試験は各ケース 9 本ずつ実施した。図 5 に一軸圧縮強さと破壊ひずみの関係を示す。なお、各ケースの平均値を破線で示している。破壊ひずみは概ね 1% 以内であった。また、一軸圧縮強さ q_u より推定される粘着力は、Case1200C で $c=1,834\text{kPa}$ 、Case600C で $c=1,188\text{kPa}$ であり前述した三軸圧縮試験により得られた値と概ね一致している。以上から、設計に用いる粘着力を一軸圧縮試験から推定可能なことが示唆される。

また、一軸圧縮強さ q_u と変形係数 E_{50} の関係を図 6 に示す。著者らの既往研究¹⁾では、長期材齢の供試体と同時に二つ割モールドに打設し、養生した供試体に対して一軸圧縮試験を実施しており、その結果も併記している。Case1200C や Case600C ではひずみを外部変位計で計測をしており、ベディングエラーによるバラツキがあると考えられるものの q_u と E_{50} には相関があるようにみられる。本試験の全データの結果より $E_{50} = 103q_u$ であり、流動化処理土に関する既往の研究結果 $E_{50} = 100 \sim 360q_u$ ^{1, 3)} と概ね同じ範囲になっていることを確認した。

4. まとめ 長期材齢の流動化処理土は、乾燥対策として保護層を施工した提案構造においては、長期性能が安定しており、繰返し載荷によって生じる残留沈下量は微小であった。三軸圧縮試験・一軸圧縮試験から確認された強度定数は、内部摩擦角 $\varphi=0^\circ$ で、粘着力 c は拘束圧に寄らず一定であり、一軸圧縮強さ q_u から設計に用いる粘着力 c を設定することが可能と考えられる。

参考文献 1) 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 C，vol.79，No.3，ID22-00236，2023. 2) 木幡：流動化処理土の力学特性と今後の課題，土木学会論文集 F，Vol.62，No.4，pp.618-627，2006. 3) 久野ら：固化した流動化処理土の力学的特性と品質基準に関する考察，土木学会論文集，No.750，pp.99-113，2003.

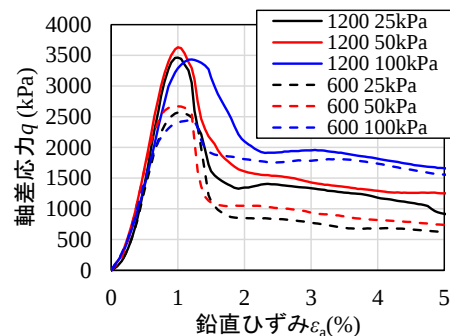


図 3 応力-ひずみ関係

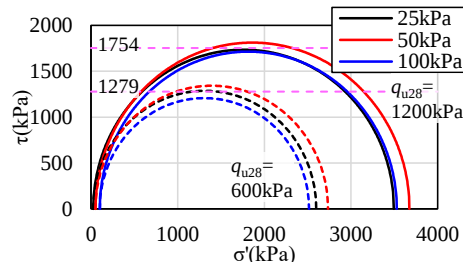


図 4 モールの応力円

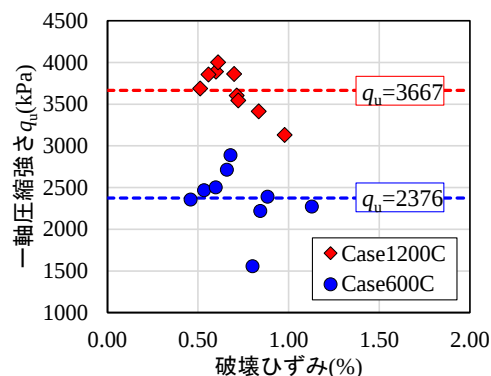


図 5 一軸圧縮強さと軸ひずみ

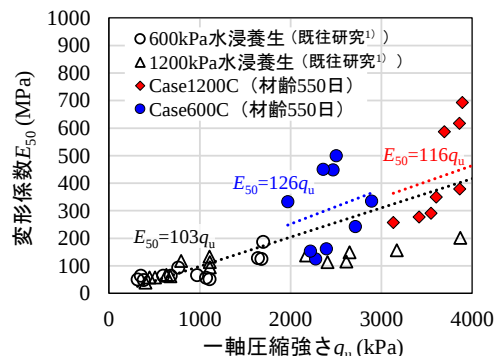


図 6 E_{50} と q_u の関係