

凍土のクリープひずみ特性に及ぼす細粒分含有率の影響

株式会社 精研 正会員 ○大石 雅人
株式会社 精研 非会員 釘崎 佑樹

1. はじめに

地盤凍結工法を施工する際には、凍土の一軸圧縮試験および曲げ試験を根拠に定められた設計基準強度¹⁾に基づいて凍土壁の応力照査が行われており、その安全性が確保されてきた。凍土の強度に関する研究や現場試料土を対象とする強度試験は、一軸圧縮試験に代表されるような短期的な試験が多く行われ、クリープ変形を伴う長期的な力学特性は、未解明な点が多い。本報では、地盤凍結工法の安全性向上につなげるねらいで、ひずみ速度を根拠にクリープひずみの経時変化曲線を3つの領域に分割し、各領域のひずみ特性と細粒分含有率の関係を整理した。

2. 実験概要

凍土の一軸圧縮クリープ実験は、供試体温度を均質かつ時間経過に対して一定に保った状態で任意の一定荷重を与え、供試体の軸ひずみを連続的に計測する。図1に凍土の圧縮クリープ実験装置の模式図を示す。計測項目は、温度、載荷重、軸ひずみである。載荷期間中の試料土の乾燥対策として、ゴムスリーブで供試体を被膜した²⁾。この方法により、3カ月程度の載荷期間でも、供試体の飽和度がほとんど低下しないことを確認した。

実験に用いた不攪乱土は、関東地方の土丹(YD)、洪積細砂(TDS, HDS)、洪積中間土(HDM)、関西地方の洪積粘土(ODC)の5種である。また、人工的にセメンテーションの強さや細粒分含有率を変化させた試料土(KS:FB:Ce=8:2:0.25, KS:FB:Ce=7:3:0.3, KS:FB:Ce=6:4:0.5)を3種用意した。ここで、KSは山砂、FBは藤の森粘土、Ceはセメントで、数値は重量混合比である。試料土の諸定数を表1に示す。供試体は直径50mm、高さ100mmの円柱形で実験温度は-10℃である。載荷応力は、凍土の一軸圧縮強さ $\sigma_{max}(-10℃)$ を基準に与えた。

3. 結果の整理方法

図2にクリープひずみの領域分割における模式図を示す。灰色で示す軸ひずみに基づいて、青色で示すひずみ速度を導出した。図中の減速領域は、載荷開始時に初期ひずみが生じた直後から、ひずみ速度が漸減する領域である。定常領域は、ひずみ速度が最小かつ一定の領域で、加速領域は、ひずみ速度が加速的に増加する領域である。

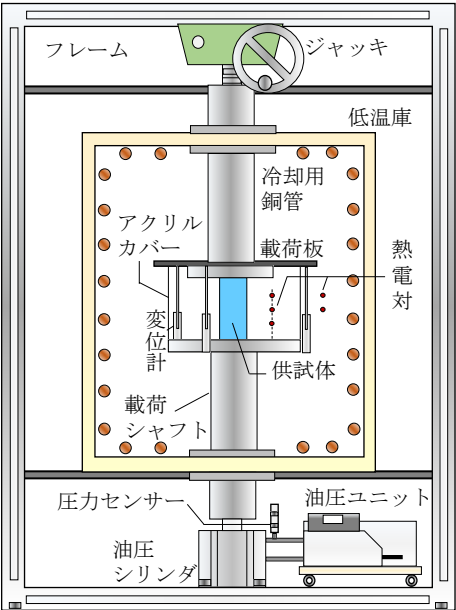


図1 クリープ実験装置の模式図

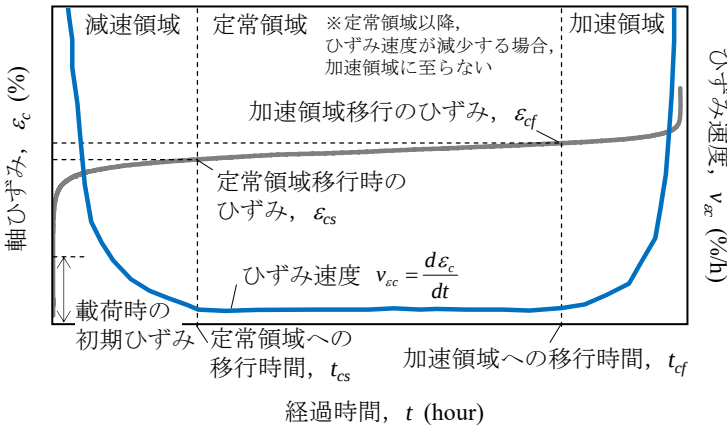


図2 ひずみクリープひずみ領域分けの模式図

表1 試料土の物理定数と凍土の一軸圧縮強さ

	ODC	YD	KS:FB:Ce=8:2:0.25	KS:FB:Ce=7:3:0.30	KS:FB:Ce=6:4:0.50	HDM	HDS	TDS
含水比 (%)	17.3~25.5	27.0~30.0	24.6~25.5	26.0~28.1	28.1~30.8	29.6~34.8	30.0~35.7	20.4~25.9
乾燥密度 (g/cm ³)	1.56~1.67	1.42~1.50	1.52~1.55	1.47~1.52	1.39~1.43	1.31~1.48	1.27~1.38	1.48~1.62
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.686	2.622	2.632	2.639	2.645	2.661	2.65	2.713
細粒分含有率 (%)	67.7	85.3	23.4	32.5	41.6	63.4	45.7	48.0
凍土の一軸圧縮強度 (MN/m ²)	5.3	9.9	8.0	7.4	7.5	9.6	9.9	7.7

キーワード 地盤凍結工法, 凍土, クリープ試験, 細粒分含有率, 一軸圧縮試験, 粘性土, 砂質土
連絡先 〒112-0002 東京都文京区小石川 1-15-17
(株) 精研 外環本部 TEL03-5689-2356

4. 実験結果と考察

図3に細粒分含有率 F_C と凍土の一軸圧縮強さ σ_{cmax} の関係を示す。一般に F_C が大きいほど σ_{cmax} が小さい傾向³⁾にあるが、各試料土が未凍結状態で持つ構造の強さが異なるため、ここでは、 σ_{cmax} の F_C に対する依存性は明確でない。

図4に細粒分含有率 F_C と定常領域への移行時間 t_{cs} の関係を示す。以下では、いずれも σ_{cmax} に対する応力比を 0.6 とした。灰色の凡例は、定常領域から加速領域に移行し、白色は加速領域に移行しなかった。加速領域に移行しなかったものでは、 F_C が小さいほど t_{cs} が長くなる傾向を示す。一方、加速領域に移行したものでは、 F_C に対する傾向が明確でない。また、定常領域への移行時間が 100h 以上の場合、ほとんど加速領域に移行しなかった。

図5に細粒分含有率 F_C と定常ひずみ速度 v_{cs} の関係を示す。加速領域に移行したものでは、 F_C が大きいほど v_{cs} が大きく、加速領域に移行しなかったものでは、 F_C の変化に対する v_{cs} の傾向は明確でない。また、加速領域への移行の有無は、0.001%/h を境に分けられ、それ以下では加速領域へ移行する頻度は少ない。

以上より、一定期間に渡り減速領域が続く場合や定常ひずみ速度が十分小さい場合は、加速領域へ移行する頻度が少ないことから、定常領域への移行時間と定常ひずみ速度は、凍土壁の健全性確認における重要な指標となることが期待できる。

図6に細粒分含有率 F_C と定常領域移行時のひずみ ε_{cs} の関係を示す。加速領域への移行の有無にかかわらず、 F_C の変化に対する ε_{cs} の変化は明確でない。図7に細粒分含有率 F_C と加速領域への移行時間 t_{cf} の関係を、図8に細粒分含有率 F_C と加速領域移行時のひずみ ε_{cf} の関係を示す。 F_C の増加に伴って、 t_{cf} および ε_{cf} が減少した。図6と図8から両者のひずみの差を取ると、定常領域のひずみ $\varepsilon_{cf} - \varepsilon_{cs}$ が求まる。 F_C が大きいほど $\varepsilon_{cf} - \varepsilon_{cs}$ が小さく、 F_C が 50% 以下の場合で $\varepsilon_{cf} - \varepsilon_{cs}$ が 5% 程度と比較的に大きくなる。以上より、細粒分含有率が高い試料土では、定常領域のひずみ、加速領域への移行までに生じるひずみが比較的に小さく、加速領域に移行するまでの時間が短い。一方、細粒分含有率が小さい場合には、加速クリープが生じなくても、定常領域で大きな変形が生じる場合がある。適切な施工管理に繋げるために、土質に応じた基準を設ける必要性を確認した。

参考文献 1)「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座委員会, 2014, トンネルと地下, Vol.45, No.10, p.65-73. 2) 大石ほか, 2022, 土木学会第 77 回年次学術講演会, III-59. 3) 上田ほか, 1999, 第 34 回地盤工学研究発表会, 625-626.

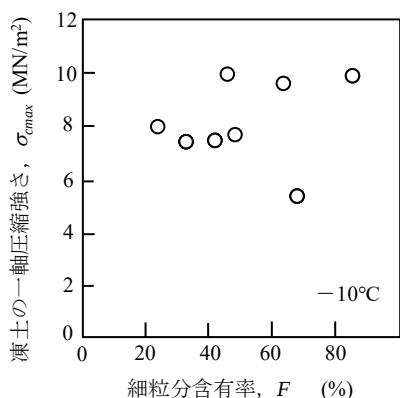


図3 細粒分含有率と凍土の一軸圧縮強さの関係

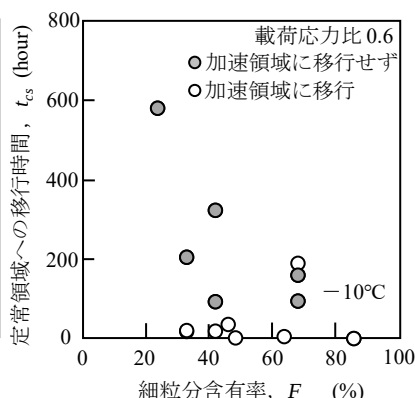


図4 細粒分含有率と定常領域に移行する時間の関係

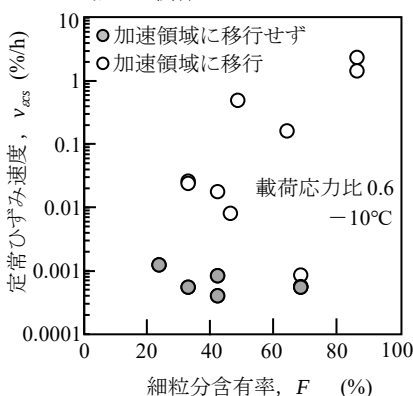


図5 細粒分含有率と定常ひずみ速度の関係

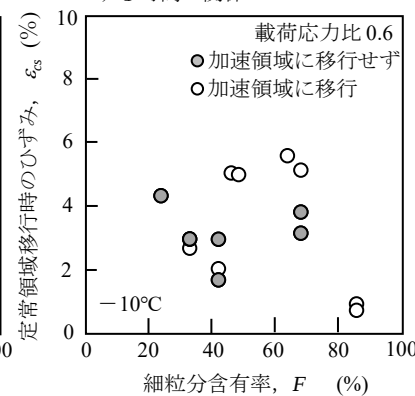


図6 細粒分含有率と定常領域移行時のひずみの関係

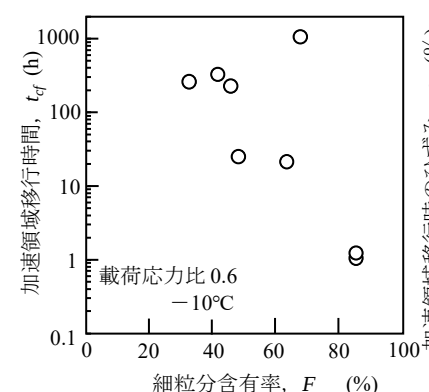


図7 細粒分含有率と加速領域に移行する時間の関係

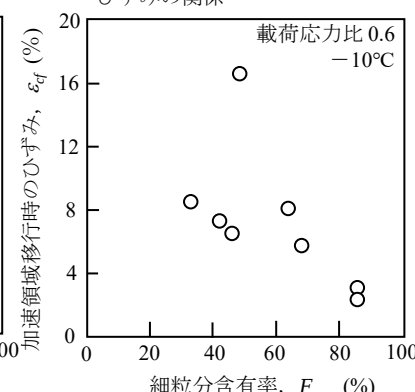


図8 細粒分含有率と加速領域移行時のひずみの関係