

粘性土凍土のクリープひずみ特性に及ぼす荷重応力の影響

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。また、施工管理において凍土の健全性を確認する方法として、クリープひずみ計測が考えられるが、クリープひずみ挙動に注目した報告例は多くない。そこで本報では、施工期間の安全性向上を目的として、クリープひずみに着目した。ひずみ速度を根拠に、ひずみの経時変化を3つの領域に分割し、各領域のひずみ特性を荷重応力や土質の違いで整理した。

2. 実験概要 凍土の一軸圧縮クリープ実験は、供試体の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。荷重シャフトに繋がった油圧シリンダ内の圧力を油圧ユニットで制御して実験期間中の荷重荷重を一定に保つ。計測項目は、温度、荷重、軸ひずみである。荷重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カ月程度の荷重期間でも、飽和度がほとんど低下しないことを確認している。

実験に用いた不攪乱試料土は、関東地方から採取された土丹(YD)、関西地方で採取された洪積粘土(ODC)、攪乱試料として、練返したYDを2MPaで2週間圧密し再構成したものをを用いた。試料土の諸定数を表1に示す。試料土の凍結は、周囲を断熱した状態で供試体下端から急速かつ一次的に行った。供試体は直径50mm、高さ100mmの円柱形で、実験温度は -10°C である。荷重応力は、事前に一軸圧縮試験を行い、一軸圧縮強さ σ_{cmax} を基準に与えた。

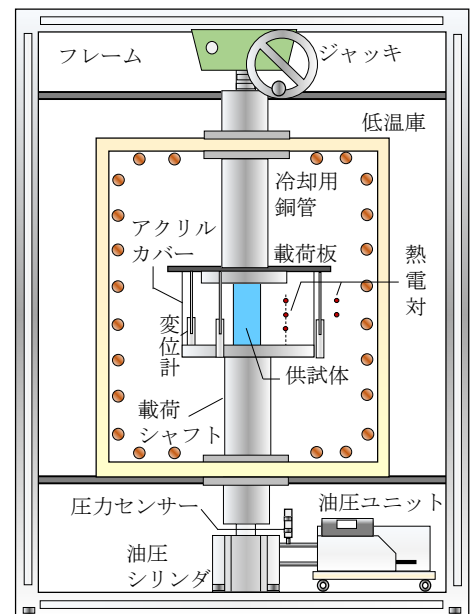


図1 クリープ実験装置の模式図

表1 試料土の物理定数と凍土の一軸圧縮強さ

	ODC (不攪乱)	YD (不攪乱)	YD (攪乱)
含水比 (%)	17.3~25.5	27.0~30.0	29.0~29.7
乾燥密度 (g/cm^3)	1.56~1.67	1.42~1.50	1.41~1.43
土粒子の密度 (g/cm^3)	2.686	2.622	2.622
凍土の一軸圧縮強度 (MN/m^2)	5.3	9.9	7.3

3. 結果の整理方法 図2にODCを例にした、圧縮クリープ実験における経過時間と鉛直ひずみの関係を示す。図中に示すひずみ経時変化曲線を対象にひずみ速度を導出し、図3に示すように、ひずみ速度を基にひずみ曲線を3つの領域に分割した。図中の減速領域は、荷重開始時に初期ひずみが生じた直後から、ひずみ速度が漸減していく領域である。定常領域は、ひずみ速度が最も小さく、ほぼ一定の領域で、加速領域は、ひずみ速度が加速的に増加する領域である。なお、必ずしも加速領域に移行するわけではなく、相対的に荷重応力が小さい場合には、定常領域においてひずみ速度が減少し、クリープひずみの変化が収束する。

4. 実験結果と考察

図4に荷重応力比と定常領域に移行時のひずみ ε_{cs} の関係を示す。ここで荷重応力比とは、クリープ実験時の荷重軸応力と一軸圧縮強さ σ_{cmax} との比率である。

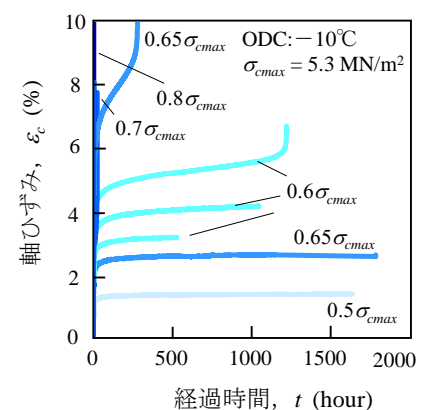


図2 クリープひずみの経時変化

キーワード 地盤凍結工法, 凍土, クリープ試験, 一軸圧縮試験, 粘性土

〒112-0002 東京都文京区小石川 1-15-17 (株)精研 外環本部 TEL.(03)5689-2356 FAX.(03)5689-2363

凡例の色によって、加速領域へ移行する場合としない場合とを区別する。ODC と攪乱 YD では載荷応力比の増加に伴って ϵ_{cs} が増加する。両試料土では、定常領域移行時のひずみが 4% より大きい場合に、加速領域へ移行する頻度が増加する。一方で、不攪乱 YD は、載荷応力比の増加に対して ϵ_{cs} はあまり変化せず、 ϵ_{cs} が他の試料土と比較して小さい。YD による攪乱の有無による上記の傾向の違いから、未凍結状態の試料土の硬軟が、定常領域に移行するまでのひずみ値に影響していることが推察される。

図 5 に載荷応力比と定常ひずみ速度 v_{cs} の関係を示す。いずれの試料土でも、載荷応力比が大きいくほど、定常ひずみ速度が大きい傾向を示す。また、定常ひずみ速度が 0.1%/h より大きい場合には、本報の実験条件では、すべての試料土で加速ひずみに移行している。YD を対象に攪乱状態による違いを比較すると、同一の載荷応力比を与えた場合、攪乱土の方が、加速領域に移行しにくい傾向がある。

図 6 に載荷応力比と定常領域への移行時間 t_{cs} との関係を示す。いずれの試料土でも、載荷応力比の増加にしたがって、 t_{cs} が短くなる傾向にある。特に、加速領域に移行した条件の多くは、数時間以内に定常領域へ移行した。加速領域に移行しなかった条件では、攪乱状態の異なる YD の比較から、攪乱が t_{cs} に与える影響は明確でない。また、YD と ODC の比較では、YD がより t_{cs} が長い傾向にある。

図 7 に載荷応力比と加速領域移行時のひずみ ϵ_{cf} の関係を示す。いずれの試料土でも、載荷応力比の増加に対する ϵ_{cf} の傾向は明確でない。一方で、試料土ごとに、加速領域移行時のひずみ値の傾向が異なり、不攪乱 YD の値が最も小さい。YD の比較から、攪乱によって ϵ_{cf} が大きくなる傾向がみられ、未凍結状態で強固なセメンテーション構造を持つ試料土では、加速領域に移行する際のひずみ値が小さくなることが推察される。

5. まとめ 図 5 に示したように、定常ひずみ速度と加速領域への移行との関係は、本報の試料土では明確で、施工管理における、有効な判断材料と成り得る。同様に、図 7 に示した加速ひずみに移行する際のひずみは、ひずみ管理値を設ける際に有用な指標と成り得る。今後、砂質土を含む、他の試料土でも同様の整理を行い、その傾向を把握することは有用と考える。

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, 2020, 令和 2 年度土木学会第 75 回年次学術講演会, III-303.

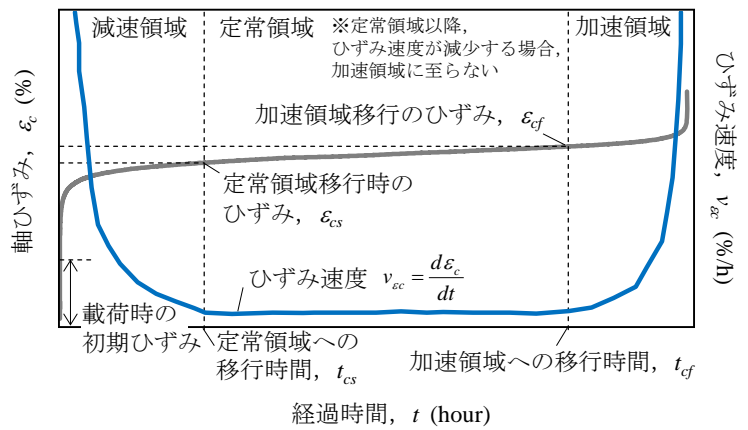


図3 ひずみクリープひずみ領域分けの模式図

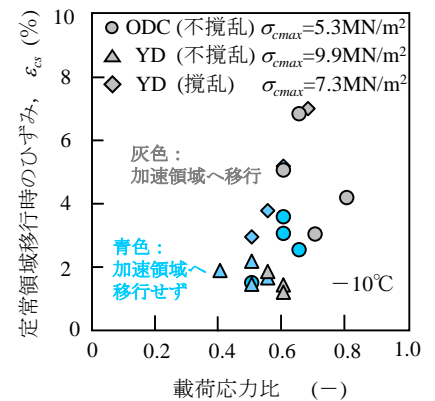


図4 載荷応力比と定常領域移行時のひずみの関係

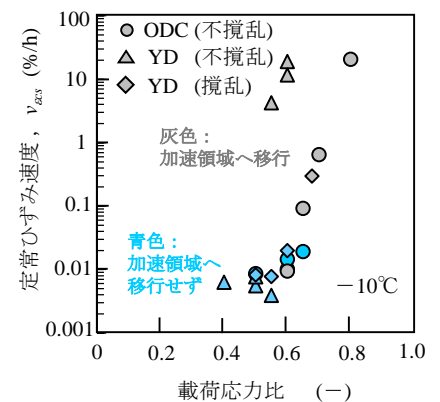


図5 載荷応力比と定常ひずみ速度の関係

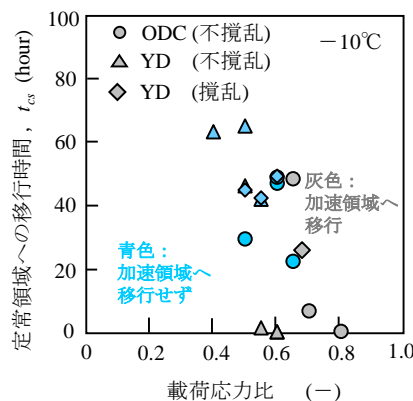


図6 載荷応力比と定常領域に移行する時間の関係

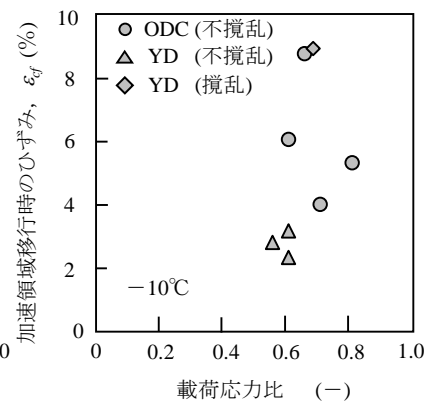


図7 載荷応力比と加速領域移行時のひずみの関係