粘性土凍土を対象とした長期的な圧縮クリープ実験

株式会社　精研　　正会員　○大石　雅人
株式会社　精研　　非会員　　釘﨑　佑樹
株式会社　精研　　正会員　　隅谷　大作

１．はじめに　地盤凍結工法は，これまでに，国内において 600 件程度の施工実績がある．その多くは，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強度 [1)]に基づいて凍土壁の応力照査が行われており，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比較的に短期的な試験が多く行われている．一方，凍土の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．凍土のクリープ変形に関する既往研究 [2),3)]では，凍土壁での掘削防護期間に対して十分長い載荷期間の試験を行った例が少ない．そこで，本報では，載荷重および温度条件の拡充のために新たなクリープ実験装置を製作し，粘性土凍土を対象に最長 3 カ月程度の圧縮クリープ実験を実施した例を報告する．

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鉛直荷重を与え，供試体の鉛直変位量を連続的に計測するものである．**図 1** に，新たに製作した凍土のクリープ実験装置の模式図および写真を示す．

供試体への載荷は，載荷シャフトに繋がった油圧シリンダ内の圧力を圧力ユニットで制御することで行う．圧力ユニットは，供試体の変位に追随しながら，油圧シリンダ内の圧力を設定値に対して±0.2%の範囲で制御することができる．この載荷装置における，載荷重の範囲は 0.65～50kN である．低温庫内の温度制御は，庫内に設置された銅管を流れるブラインの温度および流量を調整することで行った．載荷板の周辺を囲むアクリルカバーの内側に設置された供試体周辺の空気温度は，高さ方向の分布および時間経過に対するゆらぎ幅ともに±0.2℃以内であった．

計測項目は，温度，載荷重，供試体の鉛直変位である．実験温度は，供試体周辺に 3 点設置した T 型熱電対の平均値から決定した．載荷重は，圧力ユニットと油圧シリンダとの接続部に圧力センサーを設置し，油圧シリンダの直径を考慮して載荷重に換算した．供試体の鉛直変位は，下部載荷板に設置した 3 個の変位計の平均値とした．

供試体を下部載荷板の中心に設置した後，ジャッキで上部載荷板の高さを調整し，供試体と上部載荷板が接した状態を初期状態とし，24 時間以上温度養生した後に載荷を開始した．所定の値まで荷重を増加させる初期載荷では，荷重条件によらず一定の加重増加勾配で荷重を増加させた．初期載荷に要した時間は，本報で行った実験の応力範囲では，数秒～十数秒程度であった．

３．実験結果　実験に用いた試料土は，1.0MPa で圧密して作成した藤の森粘土(FB)，近畿地方から採取された不撹乱状態の洪積粘土(ODC)，関東地方から採取された不撹乱状態の土丹(YD)である．各試料土の物理定数を**表 1** に示す．試料土の凍結は，周囲を断熱した状態で下端から急速

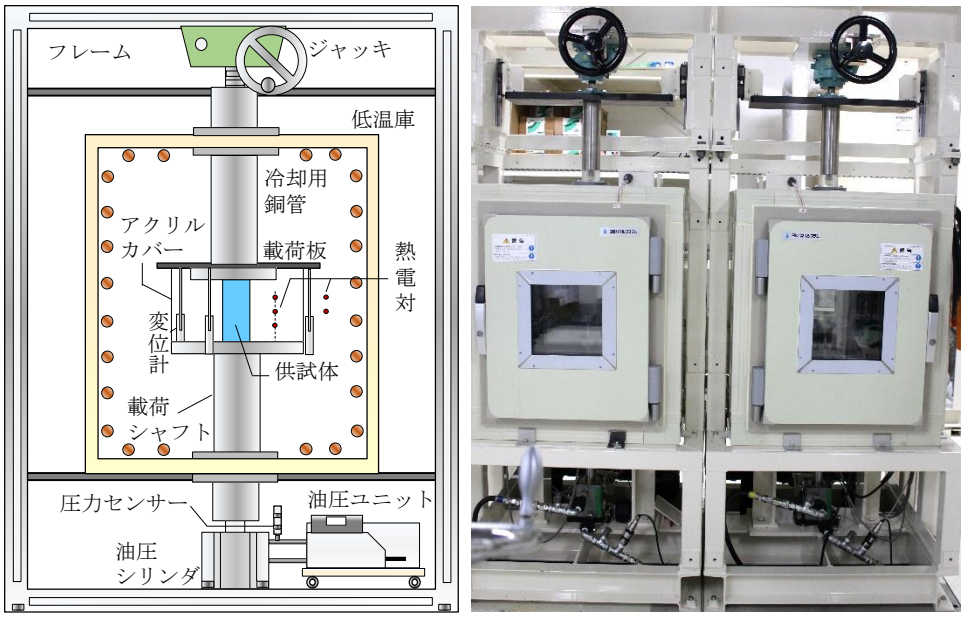

図1　クリープ実験装置の模式図および写真

キーワード　凍土，一軸圧縮強さ，クリープ変形
〒561-0894　大阪府豊中市勝部 1-2-18　(株)精研　企画開発部　TEL.(06)6858-0865　FAX.(06)6858-0903

© Japan Society of Civil Engineers

かつ一次元的に行った．供試体は直径 50mm，高さ 100mm の円柱，実験温度は－10℃である．載荷応力は，事前に一軸圧縮試験を行い，これを基準に決定した．

図 2 に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．横軸は，左図で実数軸，右図で対数軸である．各試料土において傾向が異なるが，一軸圧縮強さ σ_{max} に対する載荷応力比が大きくなると，時間経過に対して加速的に変位が増加する三次クリープが生じた．FB では，応力比が 0.9 と比較的に大きい応力条件でも，三次クリープへ移行しない．一方で，ODC では，実験ごとのバラつきはあるものの応力比 0.65～0.6 で，加速的な変位が生じる場合と変位が収束していく場合との閾値があり，YD では，応力比 0.55～0.5 にこの閾値がある．三次クリープに移行する際のひずみは，同一試料土でもバラつきがあるものの，試料土ごとの違いが顕著で，YD が最も小さく，FB が最も大きい．三次クリープへ移行する場合の多くは，載荷開始から 1 時間までのひずみ量が相対的に大きい，載荷を開始して数時間が経過してもひずみ速度が収束しないなどの傾向がある．

以上のように，粘性土凍土の圧縮クリープ特性は，試料土によって傾向が異なる．長期的な載荷を伴う試験を効率的に行うには，適切な載荷応力条件を速やかに決めることが望ましい．そこで，試料土の大まかなクリープ特性を簡易的に調べる目的で段階的に載荷応力を増加させる段階応力載荷実験 [3]を行った．結果を**図 3** に示す．ここでは，載荷応力比を 0.4 から 24 時間ごとに 0.1 ずつ増加させた．なお，YD では，応力比 0.7 の載荷中にひずみが収束する傾向がなかったので応力比を 0.8 に切り替えていない．

段階応力載荷実験において，三次クリープへ移行する応力比は ODC で 0.8，YD は 0.7 であり，FB は今回の実験で与えた載荷応力比では三次クリープに移行しなかった．この結果を**図 2** と比較すると，段階応力載荷の方が三次クリープに移行する応力比は大きいものの，**図 3** の結果は各試料土における圧縮クリープの傾向を大まかに表している．以上より，段階応力載荷実験が圧縮クリープ特性の概要把握に有効な事が確認できた．また，凍土壁の内側を掘削するような工事では，掘削に伴って凍土が受け持つ応力が少しずつ増加するため，施工時に生じる載荷条件は段階応力載荷に近い．そのため，本報で行った圧縮クリープ実験は，現場の条件と比較して安全側の強度を確認した可能性が高い．

表－1　試料土の物理定数

		FB	ODC	YD
含 水 比	(%)	28.4～29.0	17.3～25.5	27.0～30.0
乾燥密度	(g/cm^3)	1.46～1.47	1.56～1.67	1.42～1.50
土粒子の密度	(g/cm^3)	2.674	2.686	2.622

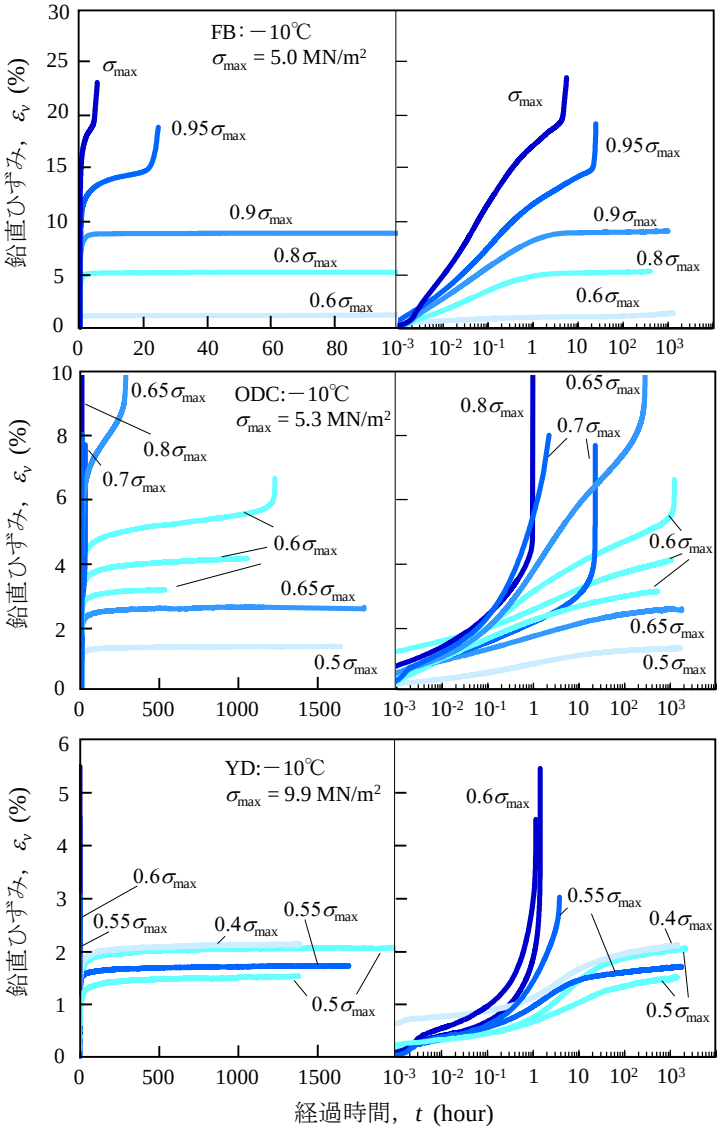

図2　経過時間と鉛直ひずみとの関係

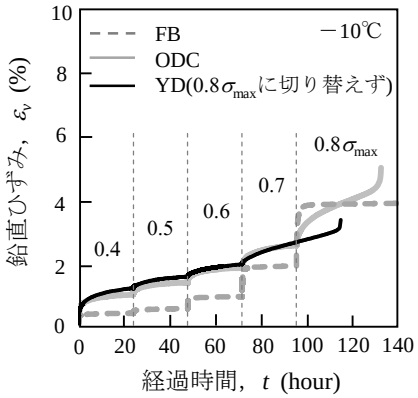

図3　段階応力載荷実験における経過時間と鉛直ひずみの関係

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) 木下ほか，1981，土と基礎，Vol.29，No.2，p.83-90，土質工学におけるレオロジー 5.凍土のレオロジー
3) Vialov *et al.*，1985，Proceedings of the 4th ISGF，Vol.2，p.183-187，Ground Freezing.

© Japan Society of Civil Engineers