

粘性土凍土の長期変形特性における曲げおよび圧縮载荷の比較

株式会社 精研 正会員 〇大石 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。

凍土の圧縮クリープに関する既往研究^{2) 3)}では、粘性土を対象にその圧縮変形特性の把握を試み、試料土の攪乱の有無が長期変形特性に影響を及ぼすことが確認された。そこで、本報では、不攪乱状態の粘性土を対象に曲げクリープ実験を行い、その変形特性を調べた。また、曲げ载荷と圧縮载荷における変形特性の比較を行った。

2. 実験概要 凍土の曲げクリープ実験は、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、供試体中央部のたわみを連続的に計測する。図1に、凍土の曲げクリープ実験装置の模式図を示す。供試体への载荷は、三等分点方式とし、支持スパンを 120mm とした。载荷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载荷荷重を一定に保つ。計測項目は、温度、载荷重、供試体中央部のたわみである。载荷期間中の試料土の乾燥対策として、圧縮クリープ実験²⁾と同様、ゴムスリーブで供試体を被膜した。この方法により、3 カ月程度の载荷期間でも、飽和度がほとんど低下しないことを確認している。

3. 実験結果 実験に用いた試料土は、関東地方から採取された不攪乱状態の土丹(YD)である。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供試体下端から急速かつ一次元的に行った。供試体は 160mm×40mm×40mm の直方体で、実験温度は-10℃である。载荷応力は、事前に短期の曲げ実験⁴⁾を行い、曲げ強度 σ_{bmax} を基準に決定した。以下では、供試体を弾性体と仮定し導出⁴⁾される荷重 P と下端中央部の応力 σ の関係式(1)から初期载荷時に供試体に働く応力を計算し、同じく、供試体の下端中央部のひずみ ε はたわみ y との関係式(2)から導出した。

$$\sigma = \frac{l}{bd^2} P \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{27}{5} \frac{d}{l^2} y \quad (2)$$

ここで、 l は支持スパン、 b は供試体の幅、 d は供試体の高さである。

図2(a)に曲げ段階载荷実験における経過時間とひずみの関係を示す。比較のために、(b)に同一試料土の圧縮载荷における結果を示す。段階応力载荷実験は、一定荷重を維持するクリープ実験と比較して、短期的にその変形特性の概要を把握することができる²⁾。応力条件は、 σ_{bmax} に対する応力比率を0.3から24時間ごとに0.1ずつ増加させた。(a)に示す曲げ条件では、再現性を確認するために、同一条件で行った結果を併せて示す。いずれの実験でも、応力比を0.5に切り替えた数時間後に、加速的な変形に移行した。一方で、(b)に示す圧縮条件では、一軸圧縮強さ σ_{cmax} に対する応力比が0.6であっても加速的な変形に移行していない。応力比率が等しい条件で、载荷方式によるひずみ量の違いを比較すると、曲げ载荷で生じるひずみは、圧縮载荷の1/10程度で、加速的な変形へ移行するひずみ量が小さい。なお、本試料土の σ_{bmax} と σ_{cmax} はほぼ同じ値であったため、(a)に示す曲げ载荷における応力比は、概ね σ_{cmax} に対する応力比と一致する。

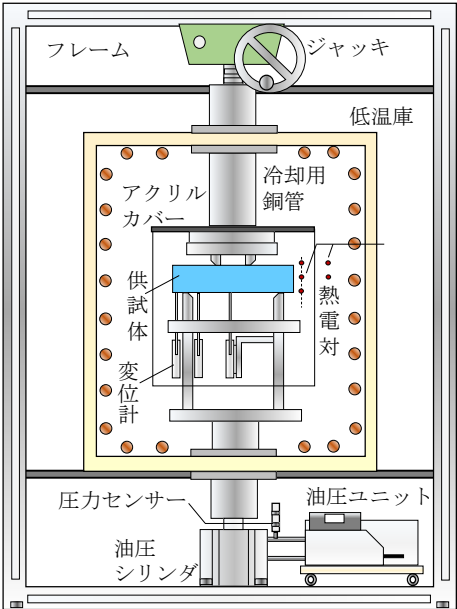


図1 クリープ曲げ実験装置の模式図

表1 試料土の物理定数

		YD
含水比	(%)	27.0～30.0
乾燥密度	(g/cm ³)	1.42～1.50
土粒子の密度	(g/cm ³)	2.622

キーワード 凍結工法，凍土，クリープ試験，一軸圧縮試験，曲げ試験

〒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

図3(a)に曲げクリープ実験における経過時間と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。比較のために、(b)に同一試料土の圧縮载荷の結果²⁾を示す。曲げクリープ実験では、応力比0.28より大きな载荷応力で加速的なクリープ変形に移行し、0.25より小さい応力条件では、約1カ月の载荷期間で定常的なひずみ速度を維持した。不攪乱土特有の不均質さによって、結果にはある程度のバラつきが生じているものの、加速的な変形へ移行する応力は0.25~0.3程度と考えられる。加速的な変形へ移行するひずみ値は、曲げ载荷では0.1~0.5%程度で、圧縮载荷のそれは1~2%程度であった。また、段階応力载荷と一定応力载荷とで比較すると、曲げ载荷と圧縮载荷ともに、段階応力载荷の方が加速的な変形に移行する応力が大きくなる傾向がある。

図4に実験後の供試体写真を示す。(a)に示す曲げ段階応力载荷後の供試体では、加速的なクリープ変形が生じ、供試体中央部付近でクラックが生じ破断している。一方で、(b)に示す曲げクリープ実験後の供試体では、加速的なクリープ変形に移行しておらず、上記のようなクラックが生じていないことから、曲げ载荷では加速的な変形に伴いクラックが生じたことが示唆される。

図4(c)に示す加速的な変形に移行しなかった圧縮段階応力载荷後の供試体には、表面に薄いクラックが生じていたものの、明確なせん断面は生じなかった。(d)に示す加速的な変形が生じた圧縮クリープ実験後の供試体には、明確なせん断面が生じている。一軸圧縮試験では、(d)のような明確なせん断面が生じることはなく、これは、粘性土凍土を対象とした圧縮クリープ特有の現象と考える。

以下に、曲げと圧縮で生じた変形特性の差異を考察する。曲げ载荷では、供試体下端面で引張りクラックが生じ始めると、該

当箇所で土粒子および氷が互いに引き剥がされ、変形の進行に対して抵抗力が相対的に減少する。圧縮载荷の場合、変形の進行に伴って生じる上記のせん断面には垂直応力が働き、せん断面では氷の剥離と付着が連続的に繰返される³⁾ため、せん断変形が卓越した際もある程度は抵抗力が保たれ、圧縮と曲げの違いが生じたと考えられる。

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. 3) 大石ほか, 2020, 雪氷研究大会, A2-7, p.21. 4) 伊豆田ほか, 1987, 雪氷, Vol.50, No.1, p.25-32. 5) 亀田ほか, 2017, 雪氷学, 古今書院, p.8-14.

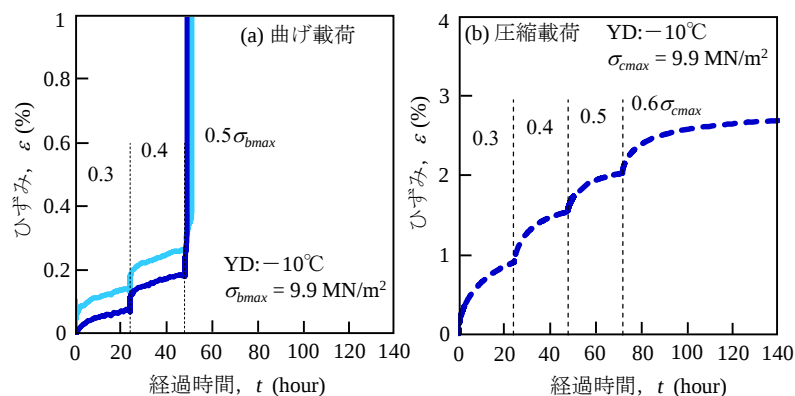


図2 段階応力载荷実験における経過時間とひずみの関係 (a)曲げ (b)圧縮

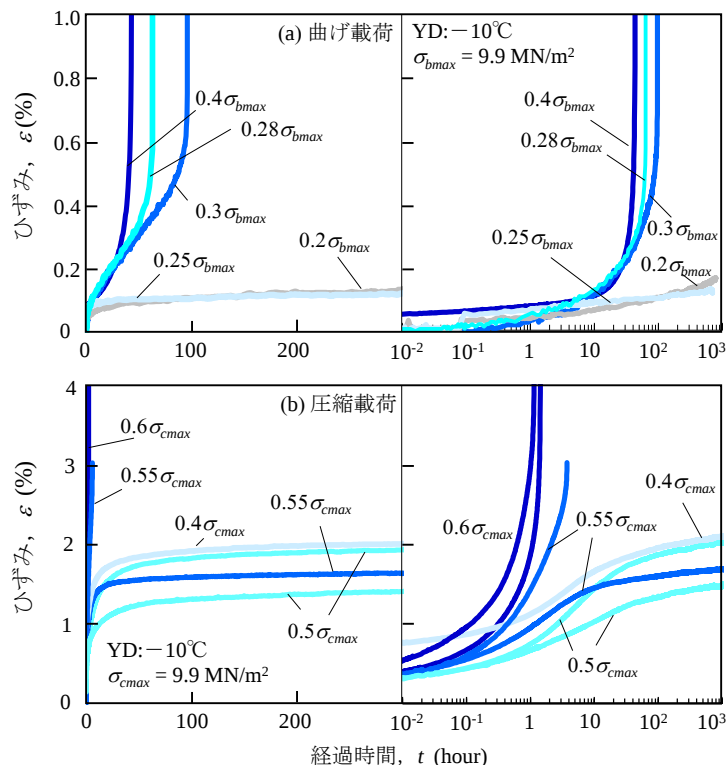


図3 クリープ実験における経過時間とひずみの関係 (a)曲げ (b)圧縮



図4 実験後の供試体