

## 凍結したシルト質土の力学特性とその温度依存性

北海道大学大学院工学研究科	学生員	○西	楨彦
北海道大学大学院工学研究科	学生員	岡本	玄
北海道大学大学院工学研究科	正員	蟹江	俊仁
北海道大学大学院工学研究科	正員	赤川	敏

## 1. はじめに

永久凍土と非永久凍土が混在する地域に埋設された構造物には、構造物周辺の地盤の凍上などの複雑な相互作用による予期せぬ上昇や沈下の被害が生じている。このような問題の解決に向けて、構造物と凍土との間に作用する応力評価と予測技術の確立が求められる。

本研究では、構造物と凍土との間に作用する応力評価に影響する凍土の温度と弾性係数の関係、凍土の温度と最大圧縮強度の関係を実験的に捉えるとともに、実験結果から、温度と弾性係数、温度と最大圧縮強度の定量的評価を行うことを目的とする。

## 2. 一軸圧縮試験

試料の実験条件を表-1に示す。本研究でシルト質土を扱ったのは、その凍上性の高さから、相互作用による構造物への影響が懸念されるためである。本研究では、シルト質土として、カオリンを用いた。試料の圧密条件は両面排水条件とし、含水比は圧密の収束により管理した。圧密後の試料の含水比の平均は57%であり、供試体の作成は圧密後の試料にサンプラーを押し込むという方法により行った。圧縮試験時の供試体寸法は直径 $D$ を5cm、高さ $H$ を10cmとする円柱状とする。

供試体の冷却は、圧縮試験時の供試体の状態を試験温度に関わらず均一化させるために、恒温低温室内の前室・本室と二段階に分けて行った。前室では供試体のアイスレンズ形成を抑制し、凍上を起こりにくくするために急速冷却を行い、その後圧縮試験を行う本室に供試体を移動させた。急速冷却は、金属板上に供試体を置き、上部を発泡スチロール製の箱で覆い断熱するという方法をとった。これにより底面に対して垂直で一次元的な冷却を行うことができる。本室内は実際の試験温度を示すように温度調

整をする。

このようにして作成した供試体を一軸圧縮試験機にセットし、鉛直方向荷重を作用させることで、軸ひずみと圧縮応力を直接求められる。凍土を構成する氷の強度がひずみ速度に依存するため、荷重方法はひずみ制御とし、ひずみ速度は毎分1%の割合とする。供試体の軸ひずみが15%に達した所で、荷重を終了する。実験装置の概要は図-1に示す。

供試体の温度は表-2に示したように4Caseとし、各Caseについて、初めに3本の荷重を行った。その後、応力-ひずみ曲線から判断して、曲線の形状が他と大きく異なるものがある-5℃と-14℃のCaseについては、追加してもう1本の荷重を行った。

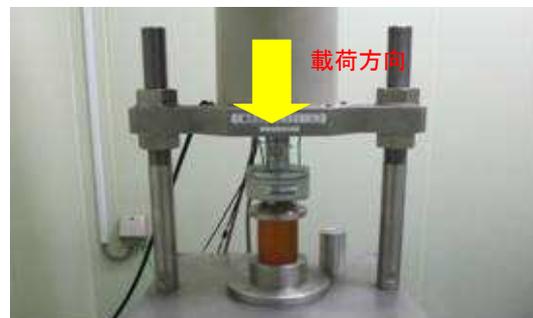


図-1 一軸圧縮試験機

## 3. 実験結果

本研究での弾性係数は $E_{50}$ を採用し、以下の式(1)を用いて算定した。

$$E_{50} = \frac{\sigma_{\max}}{\varepsilon_{50}} \times 100 \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

ただし、 $\sigma_{\max}$  : 最大圧縮強度(MPa),  $\varepsilon_{50}$  :  $\sigma = \sigma_{\max}/2$ のときの軸ひずみ(%)とする。

図-2は供試体温度と最大圧縮強度の分布を示したものである。灰色の四角形は各Caseのデータ、黒色の直線は各Caseのデータから、最小二乗法に

キーワード 凍土, 最大圧縮強度, 弾性係数, 温度依存性, 実験

〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科 構造システム研究室 TEL : 011-706-6177

より求めた直線回帰式となっている。温度を  $T$  とすると回帰式は  $\sigma_{max} = -0.026T + 1.070$  となり、決定係数  $R^2$  は 0.93 であるため、この回帰式の信頼性は非常に高いといえる。

図-3 は供試体温度と弾性係数の分布を示したものである。灰色の点線は全ての Case から求められた直線回帰式である。この回帰式の決定係数  $R^2$  は 0.51 と信頼性に難がある。そこで、各 Case の応力-ひずみ曲線から、载荷開始から最大圧縮強度を記録するまでの曲線が他と大きく異なるものは、データとしての信頼性に乏しいと判断し取り除いた。取り除いたデータは灰色の三角形で表した。残りのデータから直線回帰式を求めた結果は黒色の直線のようになり、最大圧縮強度の場合と同様に温度を  $T$  とすると回帰式は  $E = -29.9T + 64.4$  となる。決定係数  $R^2$  は 0.89 であるため、この回帰式の信頼性は非常に高いといえる。

図-4 は供試体温度と最大圧縮強度時の軸ひずみの分布を示したものである。灰色の三角形は各温度での最大圧縮強度時の軸ひずみの平均値、灰色の四角形は各 Case のデータとなっている。図より-14°C の Case で大きなばらつきがあるデータが見られるが、それを除けば全体的には各温度について、ばらつきはあまり見られず、最大圧縮強度時の軸ひずみは供試体温度に関係なく概ね一定であると言える。

4. 考察

実験結果から、凍土の温度低下により、最大圧縮強度は増大するが、その時のひずみはおおむね一定であるということがいえる。この現象を、凍土と構造物の相互作用という観点から考えると、凍土が最大圧縮強度を発揮する時のひずみレベルは、温度に関わらず概ね一定であるのに対し、凍土と構造物の剛性比は大きく変化するため、構造物の変形形状は、凍土の温度に依存して変化するものと推察される。

表- 1 試料の実験条件

材料	MZ カオリン
土粒子密度	2.64g/cm <sup>3</sup>
含水比 (試料作成時)	108% (試料作成時)
含水比 (圧密後)	57% (平均値)
圧密荷重	100kPa
圧密時間	165hr (平均値)

表- 2 供試体の温度

目標温度	試験温度	供試体本数
-5°C	-5°C	4 本
-10°C	-10°C	3 本
-15°C	-14°C	4 本
-20°C	-19°C	3 本

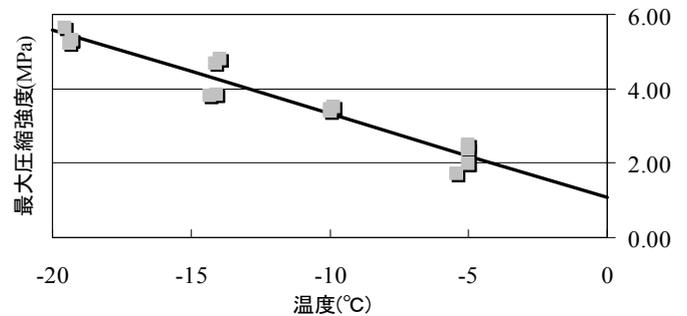


図- 2 供試体温度と最大圧縮強度

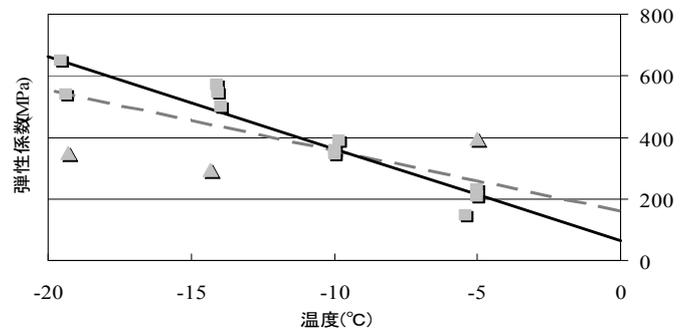


図- 3 供試体温度と弾性係数

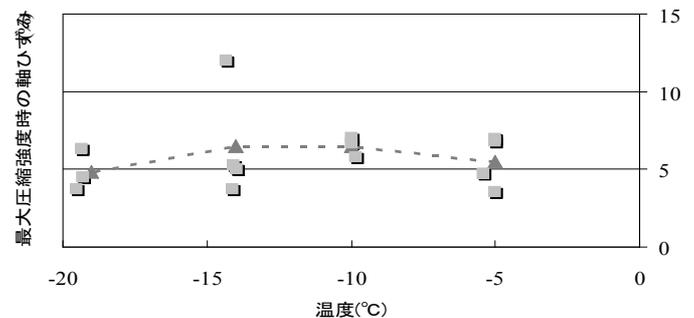


図- 4 最大圧縮強度時の軸ひずみと供試体温度

参考文献

- 1) 岡本玄, 蟹江俊仁, 赤川敏, 西尾淳: 軸対称凍結モデルによるフロストバルブとパイプの凍着強度, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol64, C-4, 2008
- 2) 岡本玄, 蟹江俊仁, 赤川敏, 横山正臣: 軸対称凍結モデルによるフロストバルブとパイプの凍着強度特性, 土木学会第 63 回年次学術講演会論文報告集, iii-433, Vol.63, 2008
- 3) 上田保司, 生瀬孝博, 田村武: 凍土の変形係数に関する実験的研究, 土木学会論文集 C, Vol.63 No.2, 577-589, 2007.

キーワード 凍土, 最大圧縮強度, 弾性係数, 温度依存性, 実験

〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究科 構造システム研究室 TEL : 011-706-6177