

凍土の変形係数推定に用いる真ひずみ率の温度依存性

(株) 精研 技術開発部 正会員 ○大石 雅人

(株) 精研 技術開発部 正会員 隅谷 大作

(株) 精研 技術開発部 正会員 上田 保司

1. はじめに 凍結工法において、合成体凍土の設計や施工管理に重要な凍土の変形係数を力学試験から求める場合、供試体上下端面の乱れた領域の影響により、変形係数は過小に評価されることが知られている¹⁾。この影響を排除するために、供試体の健全な領域にひずみゲージを貼付する方法が推奨されている¹⁾が、それには手間が掛かり、また、局所的なひずみを測定するため、ある程度のばらつきが生じる。その問題に対して既報²⁾では、“真ひずみ率”を導入することで、ひずみゲージを使わずに健全な領域の凍土の変形係数をより簡易的に推定する方法を提案した。本報では、簡易推定法の適用範囲の拡張を目的として、真ひずみ率の温度依存性を調べる実験を行った。

2. 実験方法 試料土は既報^{1) 2)}と同様、豊浦砂と藤の森粘土を用いた。一軸圧縮実験の模式図を図1に示す。実験は既報^{1) 2)}と同様の手順で行った。実験温度は、豊浦砂では-5℃と-20℃、藤の森粘土では-5℃である。供試体全体の圧縮変位量を差動トランスで、健全な領域の局所ひずみをひずみゲージで測定し、応力—ひずみ曲線の初期勾配から式(1)で表される変形係数 E_{50} を求めた。

$$E_{50} = 0.5 \sigma_{\max} / \varepsilon_{50} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_{\max}$ は最大応力、 ε_{50} は $\sigma_{\max}$ に対する 50% 応力点におけるひずみである。また、実測値である 50% 応力点での圧縮変位量 $h_{50,a}$ は式(2)のように供試体高さ H の一次関数で表すことができる^{1) 2)}。

$$h_{50,a}(H) = \varepsilon_{50,t} \cdot H + (\varepsilon_{50,d} - \varepsilon_{50,t}) \cdot H_d \quad (2)$$

ここで、 $\varepsilon_{50,t}$ は健全な領域のひずみ、 $\varepsilon_{50,d}$ は乱れた領域のひずみ、 H_d は乱れた領域の厚みである。真ひずみ率 R_t は、式(2)の傾きである $\varepsilon_{50,t}$ と、 $h_{50,a}$ を H で除すことで求められる供試体全体の軸ひずみ $\varepsilon_{50,a}$ との比率を表す次式で定義される²⁾。

$$R_t(H) = \varepsilon_{50,t} / \varepsilon_{50,a} \quad (3)$$

R_t が求まると、供試体全体の軸変位による変形係数 $E_{50,a}$ と式(4)から健全な領域の変形係数 $E_{50,t}$ が求められる。

$$E_{50,t} = E_{50,a} / R_t \quad (4)$$

3. 実験結果 図2に供試体高さ H と圧縮変位量 $h_{50,a}$ との関係を示す。左の図は豊浦砂、右は藤の森粘土である。図中には、式(2)で表される H と $h_{50,a}$ との関係で近似した直線とともに既報¹⁾における-10℃の結果も併せて示す。いずれの試料土でも、温度が高くなるほど直線の傾き $\varepsilon_{50,t}$ および切片が大きくなる。図3に H と変形係数 E_{50} との関係を示す。上の図が豊浦砂、下が

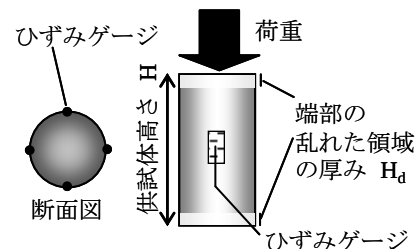


図1 一軸圧縮実験の模式図

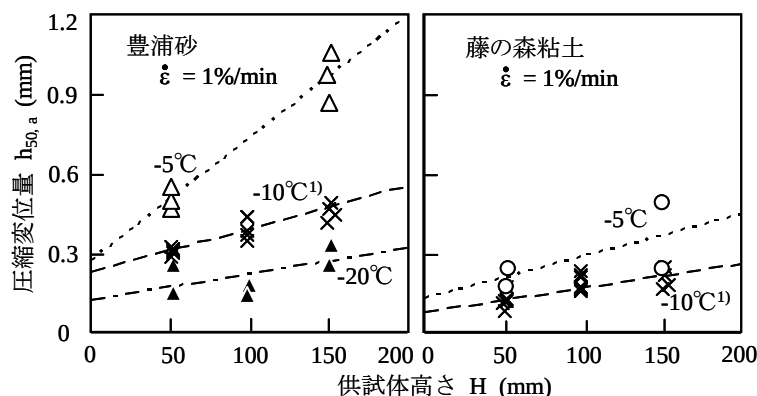


図2 供試体高さ と圧縮変位量 との関係

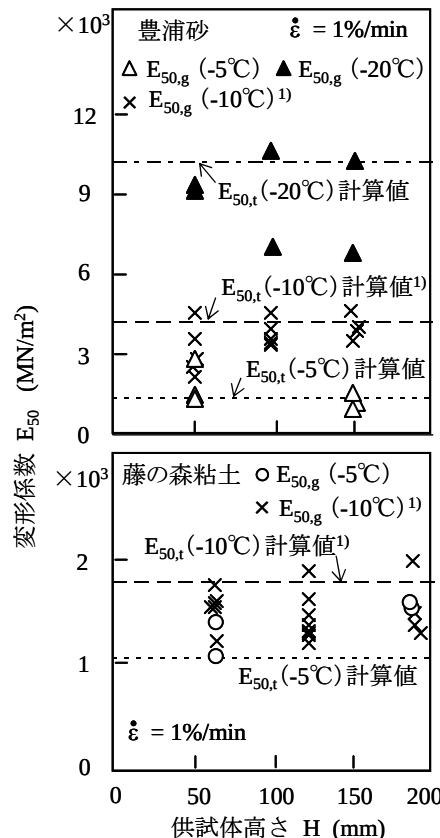


図3 供試体高さ と変形係数 との関係

キーワード 凍土の変形係数、上下端面の乱れ、ひずみゲージ、真ひずみ率

〒561-0894 大阪府豊中市勝部 1-2-18 TEL.(06)6858-0865 FAX.(06)6858-0903

藤の森粘土で、プロットした記号は健全な領域にひずみゲージを貼付して測定した局所ひずみ $\epsilon_{50,g}$ から求めた変形係数 $E_{50,g}$ である。それぞれの条件において、式(2)～式(4)で求めた健全な領域の変形係数 $E_{50,t}$ を破線で示す。豊浦砂および藤の森粘土とも、 $E_{50,t}$ の計算値は $E_{50,g}$ を概ね説明できる値を示している。以上より、既報とは異なる温度条件でも、供試体高さを変えた実験から乱れた領域の影響を排除した変形係数が求まることを確認できる。

図4に供試体高さ H と式(2)および式(3)から求めた真ひずみ率 R_t との関係を示す。豊浦砂では、 -10°C と -20°C で R_t の違いはほとんどみられない。それに対して、 -5°C と -10°C を比較すると、 -5°C の R_t は顕著に値が大きい。一方、藤の森粘土の -5°C と -10°C を比較すると、 R_t の違いはほとんど見られない。2つの試料土の R_t を比較すると、 -5°C では豊浦砂が僅かに大きい、 -10°C では両者の大小関係は入れ換わり、藤の森粘土の方が大きい。

4. 考察 式(2)および式(3)より、 R_t は健全な領域の変形係数と上下端面の乱れた領域の性状(変形係数と厚み)との相関関係に支配されると考えられる。また、温度が変化した場合には、健全な領域の変形係数が変化する。一方で、図2に示す近似直線の切片が温度ごとに異なることから、乱れた領域の性状も同時に変化することがわかる。そこで、 $E_{50,g}$ と R_t との関係を供試体高さごとに整理し、図5に示す。いずれの供試体高さでも、試料土の種類や温度に関わらず、 R_t を $E_{50,g}$ のみで整理できることがわかる。また、 $E_{50,g}$ が $3 \times 10^3 \text{ MN/m}^2$ の辺りを境として、 R_t の増減傾向が分かれる。

$E_{50,g}$ が $3 \times 10^3 \text{ MN/m}^2$ よりも小さい領域では、 $E_{50,g}$ が大きいほど R_t が小さな値を示す。健全な領域の変形係数が小さい場合は、乱れた領域の変形係数との差が小さいために、相対的に乱れの影響が小さくなり R_t が大きくなると考えられる。逆に、健全な領域の変形係数が大きい場合は、乱れた領域との変形係数の差が大きいために、乱れの影響が大きくなり R_t が小さくなる。つまり、硬質な凍土は、軟質な凍土よりも乱れの影響を受けやすいと推察される。ちなみに、未凍結土の力学試験でも、硬質な土ほど供試体端面の乱れの影響が大きくなることが知られている³⁾。

一方、 $E_{50,g}$ が $3 \times 10^3 \text{ MN/m}^2$ よりも大きい領域では、 $E_{50,g}$ の変化に対して R_t はほとんど変化せず、ほぼ一定値に収束している。これは、健全な領域の変形係数がある程度大きい場合は、温度や土質に関わらず R_t をほぼ一定値として評価できる可能性を示唆している。

5. まとめ 凍土の一軸圧縮試験において、供試体の健全領域の変形係数を求めるために導入した真ひずみ率の、温度依存性を調べる実験を行った。以下に、得られた結果を列挙する。

- ・本実験における砂凍土と粘土凍土の真ひずみ率を比較すると、高い温度では僅かに砂凍土が大きく、低い温度では粘土凍土が大きくなった。
- ・温度や土質に関わらず、真ひずみ率を健全な領域の変形係数のみで整理することができた。
- ・変形係数が小さな領域では、変形係数の増加に伴って真ひずみ率が低下する傾向を示し、変形係数が大きな領域では、変形係数の値によらず真ひずみ率はほぼ一定値を示す傾向が見られた。

文献 1)上田他(2007):土木, Vol.63, No.2, 577-589. 2)大石他(2013), 土木学会学術講演概要集 III-174.

3)龍岡他(1992), 土質工学会フォーラム「大深度掘削問題と土と岩の変形特性」11-28.

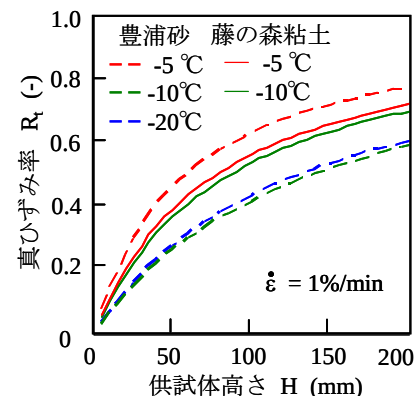


図4 供試体高さと真ひずみ率との関係

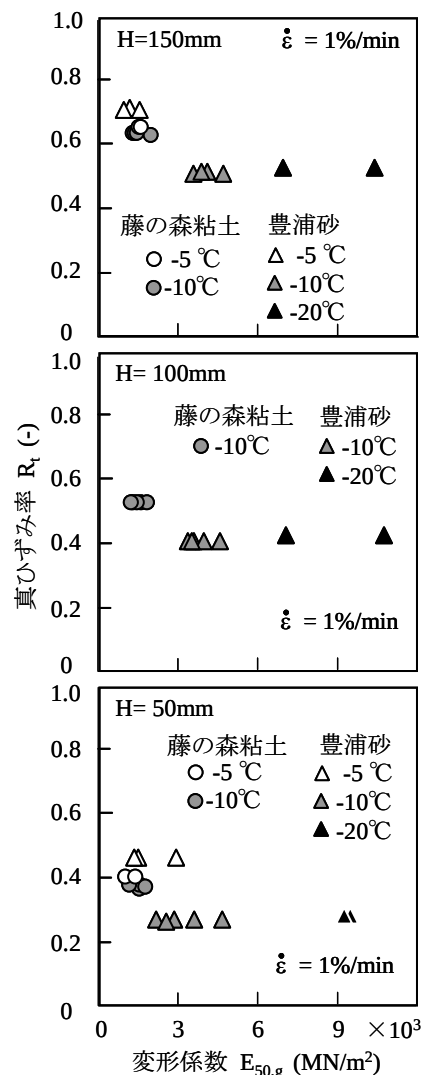


図5 健全な領域の変形係数と真ひずみ率との関係