

一軸圧縮供試体端面の影響を排除した凍土の変形係数

(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、合成体凍土の構造解析¹⁾や施工管理の際に重要となる凍土の変形係数は、一軸圧縮試験から求められることが多いが、供試体上下端面に乱れた領域が存在するため、供試体全体の軸変位から変形係数を求めると過小になることが分かっている²⁾。乱れた領域の影響を排除するために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が、これには手間がかかり、また、供試体の局所的なひずみを測定することになるため、測定値にはある程度のバラつきがある。一方、文献2)では、砂および粘土凍土の供試体高さを変化させた実験を行うことで、ひずみゲージを貼付せずに乱れた領域の影響を排除した変形係数が求まることも示されている。本報では、文献2)における砂および粘土凍土の結果に加え、新たに粗砂についても供試体高さを変化させた実験を行い、乱れの影響を排除した変形係数の土質依存性を検討した。また、供試体全体のひずみに対する健全な領域のひずみの割合をモノグラフ化することで、ただ1点の実験からでも変形係数を概算できることを提案した。

2. 実験方法 実験には、文献2)における豊浦砂より粒径の大きい粗砂を用いた。図1に試料土の粒径加積曲線、表1に物理定数を、それぞれ文献2)の試料土の値と併せて示す。風乾状態の試料土を加水して飽和させ、内径50mmの塩ビ製モールドに充填して鉛直方向に急速一次元凍結し、所定の高さに整形したものを実験供試体とした。実験の模式図を図2に示す。実験は、低温室内の一軸圧縮試験機で行った。载荷中の荷重をロードセル、供試体全体の軸変位を差動トランスにて測定した。また、ひずみゲージを、供試体高さ方向の中央部の位置に、円周方向には等間隔に、4枚貼付した。実験温度 θ を -10°C 、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ を1%/minに設定して、载荷を行った。

3. 実験結果 図3に応力-ひずみ曲線の測定例を示す。定点ひずみとはひずみゲージを用いて測定した局所的なひずみ、全体ひずみとは差動トランスを用いて測定した供試体全体のひずみである。変形係数 E_{50} は、弾性領域の応力増加勾配を表す式(1)から求める。

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

ここで、 σ_{\max} は最大応力、 ϵ_{50} は σ_{\max} に対する50%応力点におけるひずみである。図4上部に供試体高さ H と σ_{\max} との関係を示す。図中の破線は、 σ_{\max} の平均値であり、文献2)における試料土の結果も併せて示す。3つの土質の平均 σ_{\max} を比較すると、粗砂の平均 σ_{\max} は、豊浦砂と藤の森粘土のほぼ中間の値を示す。また粗砂の σ_{\max} は、実験ごとのバラつきが小さく、供試体高さの影響もほとんど見受けられない。図4下部に H と変形係数 E_{50} との関係を示す。全体ひずみ $\epsilon_{50,a}$ から求めた変形係数 $E_{50,a}$ は、定点ひずみ $\epsilon_{50,g}$ (ひずみゲージ4点の平均値)から求めた変形係数 $E_{50,g}$ と比べ値が小さい。また、実験ごとのバラつきはあるものの、 $E_{50,g}$ は H の増加

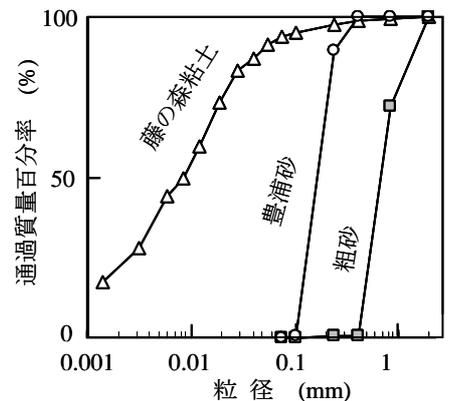


図1 試料土の粒径加積曲線

表1 凍土供試体の物理定数

	粗砂	豊浦砂	藤の森粘土
含水比 (%)	16.8~18.5	19.7~25.1	38.0~57.1
乾燥密度 (g/cm ³)	1.661~1.748	1.510~1.682	1.002~1.279
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.628	2.640	2.632
平均粒径 (mm)	0.856	0.195	0.032

キーワード 凍土の変形係数, 供試体の乱れ, ひずみゲージ

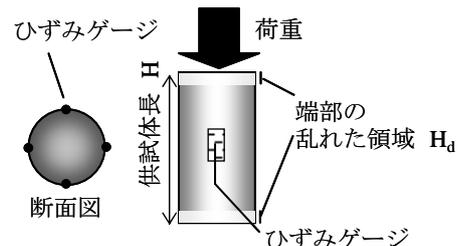


図2 一軸圧縮実験の模式図

に対してほとんど一定であるが、 $E_{50,a}$ はHの増加に伴い大きくなる。これは、Hが増加することで、乱れの領域の影響が相対的に小さくなるためと考えられる。図5にHと圧縮変位 $h_{50,a}$ との関係を示す。 $h_{50,a}$ は、50%応力点における供試体全体の変位量であり、式(2)に示すように、Hの1次関数である²⁾。

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

ここで、 $\epsilon_{50,t}$ は健全な領域のひずみ、 $\epsilon_{50,d}$ は乱れた領域のひずみ、 H_d は乱れた領域の厚さである。図中の破線は、実験結果に対して求めた式(2)の近似線であり、文献2)における近似線も併せて示す。

式(2)の勾配 $\epsilon_{50,t}$ を式(1)に代入して求めた $E_{50,t}$ は、図4下部に破線で示すように、 $E_{50,g}$ を概ね説明できる値となっている。3つの土質の $E_{50,g}$ を比較すると、粗砂が最も大きい。

以上の結果は、粗砂においても、豊浦砂や藤の森粘土と同様に、供試体高さを変化させた実験から、上下端面の乱れの影響を排除した変形係数を求められることを示している。

4. 真ひずみ率の導入と利用 式(3)に示すように $\epsilon_{50,a}$ に対する健全な領域のひずみ $\epsilon_{50,t}$ の割合を真ひずみ率 R_t と定義する。

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

ここで、式(2)の両辺をHで除した式(4)で示すように、供試体全体のひずみ $\epsilon_{50,a}$ はHの関数であるため、 R_t もHの関数である。

$$\epsilon_{50,a}(H) = \epsilon_{50,t} + (\epsilon_{50,d} - \epsilon_{50,t}) \cdot H_d / H \quad (4)$$

図6に、3つの土質におけるHと R_t との関係を示す。土質ごとに R_t を比較すると、粗砂の R_t が最も小さく、平均粒径が小さくなるにつれて R_t は大きくなる傾向である。その原因として、粒径が大きいほど乱れた領域の厚みが厚くなること、健全な領域の変形係数が大きいほど乱れた領域の変形係数に対する比率が大きくなること、などが可能性として考えられるが、これらの検証については今後の課題としたい。

R_t をモノグラフ化すると、ただ1点の実験で測定した $\epsilon_{50,a}$ であっても、 $\epsilon_{50,t}$ に変換して乱れた領域の影響を排除した変形係数を概算することが可能になる。今後は、本報で示した土質依存性の実験だけでなく、ひずみ速度、温度、塩分濃度など、さまざまな条件での実験を行い、 R_t のモノグラフ化を図って、その適用範囲を広げていきたい。

5. まとめ ・粒径の大きな粗砂を用いた供試体高さを変化させた実験から、豊浦砂や藤の森粘土と同様に乱れた領域の影響を排除した変形係数を求めることができた。

- ・真ひずみ率を導入することで、乱れの影響を排除した変形係数を概算できることを提案した。
- ・平均粒径が大きい土ほど、真ひずみ率は小さくなる傾向を示した。

文献 1)上田他(2001):土木, Vol.III-57, No.694, 81-90. 2)上田他(2007):土木, Vol.63, No.2, 577-589.

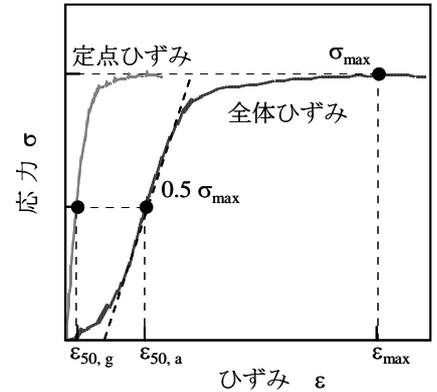


図3 応力-ひずみ曲線の測定例

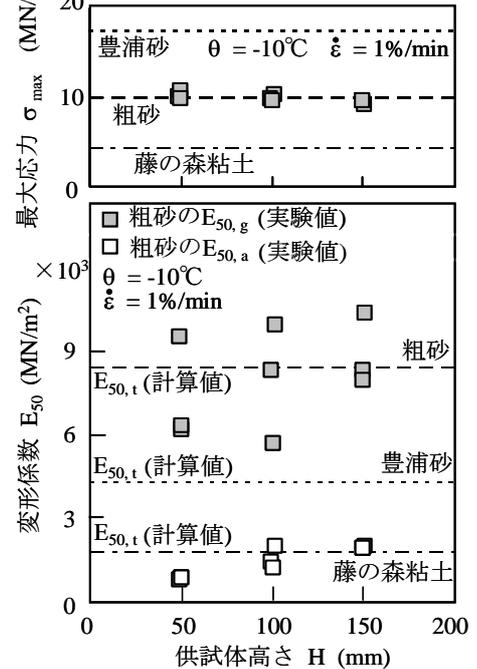


図4 供試体高さ最大応力および変形係数との関係

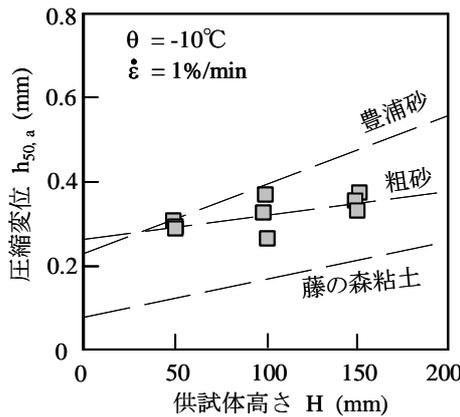


図5 供試体高さ圧縮変位との関係

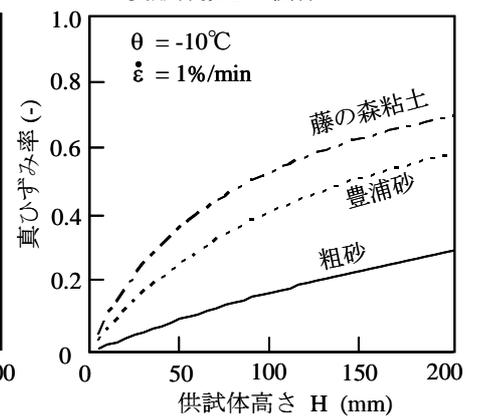


図6 供試体高さ真ひずみ率との関係