

凍土の変形係数推定に用いる真ひずみ率の乾燥密度依存性

(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 上田 保司

1. はじめに 地盤凍結工法において、凍土内部および隣接構造物の応力分布計算などに用いられる凍土の変形係数は、一般に、室内一軸圧縮試験から求められる。試験供試体の上下端部には乱れた領域¹⁾が存在するため、変形係数の測定には、健全領域にひずみゲージを貼付する方法²⁾やLDT³⁾の使用が推奨されているが、既報では、供試体全体の軸ひずみと健全領域のひずみの比率から乱れの影響を評価する簡易推定法を提案した³⁾。この推定法は、手間が少なく、今後の工学的な展開も考えられる。

表1 試料土の物理定数および平均粒径

試料土	乾燥密度調整方法	乾燥密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	平均粒径 ×10 ⁻³ (mm)
豊浦砂	粗に水中充填*	1.49 ~ 1.55	24.4 ~ 25.6	195
	密に水中充填*	1.62 ~ 1.67	21.3 ~ 22.9	
藤の森粘土	スラリー	1.01 ~ 1.05	50.7 ~ 55.8	22.3
	0.1MN/m ² 圧密	1.32 ~ 1.34	31.6 ~ 35.9	
	1.0MN/m ² 圧密	1.46 ~ 1.48	28.3 ~ 29.6	
土丹	不攪乱	1.47 ~ 1.50	26.5 ~ 27.8	60.2

*水中充填の際、打撃回数を変え締固め具合を調整¹⁾

本報では、簡易推定法の適用範囲の拡大および影響因子依存性把握を目的として、乾燥密度を調整した試料土で実験を行った。また、本推定法の現場への適用を見据え、不攪乱状態の土丹も試料土とした。

2. 実験方法および簡易推定法 凍土の一軸圧縮実験装置を図1に示す。試料土は、乾燥密度を調整した豊浦砂と藤の森粘土、関東地方で採取した不攪乱状態の土丹である。物理定数等を表1に示す。実験は、文献^{1) 3)}と同様の手順で、温度を-10℃、ひずみ速度を1%/minに設定し、供試体高さHを変えて行った。供試体全体の軸変位を変位計、局所ひずみをひずみゲージで測定した。

図1のように、凍土供試体を健全領域と乱れた領域の2つの部材からなる弾性体と仮定すると、50%応力点までの供試体全体の軸変位を表す圧縮変位量 $h_{50,a}$ は、式(1)で示すように供試体高さHの一次関数として表現できる³⁾。

$$h_{50,a}(H) = \epsilon_{50,t} \cdot H + (\epsilon_{50,d} - \epsilon_{50,t}) \cdot H_d \quad (1)$$

ここで、 $\epsilon_{50,t}$ は健全領域のひずみ、 $\epsilon_{50,d}$ は乱れた領域のひずみ、 H_d は乱れた領域の厚みである。式(1)の傾きである $\epsilon_{50,t}$ と、 $h_{50,a}$ をHで除した供試体全体の軸ひずみ $\epsilon_{50,a}$ との比率を表す式(2)で真ひずみ率 R_t を定義する。

$$R_t(H) = \epsilon_{50,t} / \epsilon_{50,a} \quad (2)$$

健全領域の変形係数 $E_{50,t}$ は、式(3)に示すように、 R_t と供試体全体の軸変位による変形係数 $E_{50,a}$ から求まる。

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

3. 実験結果 図2に乾燥密度 ρ_d と最大応力 σ_{max} との関係を示す。豊浦砂と藤の森粘土は、 ρ_d の増加にともなって、それぞれ σ_{max} が増加する傾向を示す。 $\rho_d=1.5g/cm^3$ 付近で土質による σ_{max} の違いを比較すると、粘性土よりも砂質土の方が大きく、土丹の σ_{max} は藤の森粘土よりも2倍ほど大きい。

図3に乾燥密度 ρ_d と変形係数 E_{50} との関係を示す。豊浦砂および藤の森粘土ともに、 ρ_d の増加に対して E_{50} が減少する。同じ ρ_d の3つの土質を比較すると、砂質土が最も大きく、土丹の E_{50} は藤の森粘土の約2倍である。セメンテーション構造を持つ凍土は、構造を持たないものと比べて、最大強度が大きくなる⁴⁾だけでなく変形係数も大きくなることが分かった。

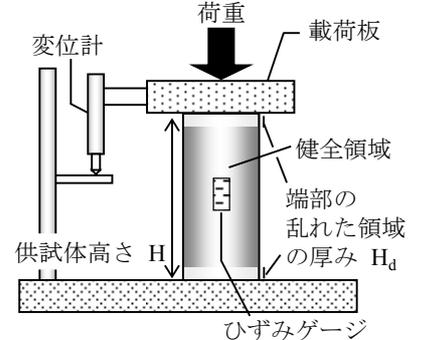


図1 一軸圧縮実験の模式図

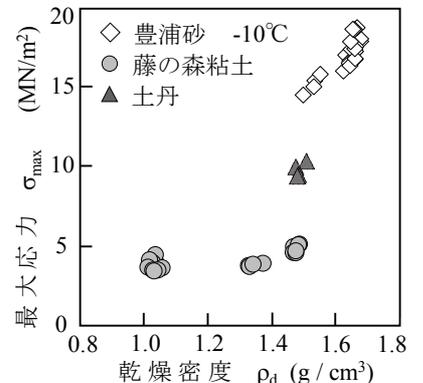


図2 乾燥密度と最大応力との関係

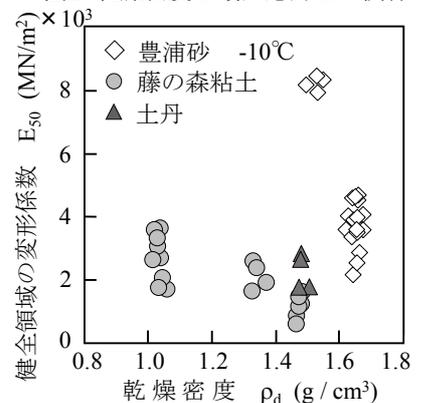


図3 乾燥密度と変形係数との関係

キーワード 変形係数, 凍結工法, 上下端部の乱れ, 乾燥密度, 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

載荷初期における凍土の弾性的な変形は、氷および土粒子自身の変形、氷と土粒子の接着部の滑りによると考えられる。土粒子の母材となる岩石および氷のヤング率は、氷の結晶構造や岩石の種類によっても異なるが、凍土の変形係数より大きい⁵⁾⁶⁾。そのため、氷と土粒子の接着部の滑りが凍土の変形に最も寄与すると考えられる。そこで、**図4**に土粒子の見かけの比表面積 S_{re} と変形係数 E_{50} との関係を示す。ここで、見かけの比表面積とは、粒径加積曲線から平均粒径を決定し、土粒子が球型をしていると仮定した場合の単位重量当たりの比表面積である。

図中では、土質に関わらず、 S_{re} の減少にともなって E_{50} がほぼ直線的に減少する。つまり、乾燥密度が増加することで、比表面積が増加し、接着部分における滑りが相対的に多く生じたと考えられる。なお、土粒子表面に存在する不凍水が凍土の変形におよぼす影響については、今後の課題のひとつにしたい。

図5は供試体高さ H と圧縮変位量 $h_{50,a}$ との関係で、それぞれの近似直線を破線で示す。いずれの条件でも、 H の増加にともなって $h_{50,a}$ が直線的に増加する。直線の傾きは、 ρ_d の増加に伴って大きくなる傾向で、特に砂質土で顕著である。切片も、 ρ_d が大きくなると増加する傾向を示す。この直線から、式(1)の $\epsilon_{50,t}$ を決定し、真ひずみ率 R_t を求めた。さらに、式(3)から健全領域の変形係数を求め、ひずみゲージの結果との比較から、既報³⁾と同様に、推定法の妥当性を確認した。

図6に供試体高さ H と真ひずみ率 R_t との関係を示す。粘性土および砂質土ともに、 ρ_d の増加に対して、 R_t が減少する傾向を示す。ここで、 $H=100\text{mm}$ を例にとり、**図7**に乾燥密度 ρ_d と真ひずみ率 R_t との関係を示す。 $\rho_d=1.5\text{g/cm}^3$ 付近で、土質によらずに R_t が近い値を示すことから、 R_t を ρ_d で一意的に整理できる可能性がある。また、同程度の ρ_d では土丹と藤の森粘土の R_t がほとんど変わらないことから、セメンテーション構造の有無が真ひずみ率に及ぼす影響は小さいことが示唆された。

既報³⁾では、変形係数が小さいほど真ひずみ率が大きく、乱れの影響が小さくなる傾向を示したが、今回の実験範囲では、こうした傾向は見られなかった。今後は、上記の課題とともに、工学的な利用のために、不攪乱土に関する実験と検討を試みたい。

4. まとめ 本報では、凍土の一軸圧縮実験において、健全領域の変形係数を簡易的に求めるために導入した真ひずみ率の乾燥密度依存性を確認した。成果を以下に列挙する。

- ・乾燥密度の増加に伴い、凍土の最大応力は増加し、変形係数は減少した。
- ・真ひずみ率は、乾燥密度の増加に伴い減少する傾向を示し、同程度の乾燥密度では土質による差があまりない。
- ・セメンテーション構造によって、真ひずみ率はあまり変わらなかった。

文献 1)上田他(2007):土木,Vol.63,No.2,pp.577-589. 2)龍岡他(1989):土と基礎,Vol.37,No.12,pp.33-37. 3)大石他(2015):土木学術講演概要集III-280
4)小林他(1996):雪氷講演要旨集,pp.126. 5)甲村(2014):材料,Vol.63,No.3, pp.234-238. 6)山地他(1956):低温科学 Vol.15,pp.171-183.

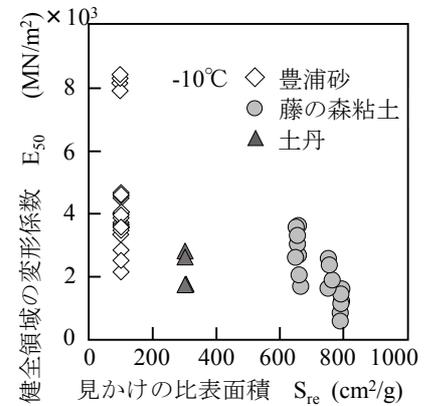


図4 比表面積と変形係数との関係

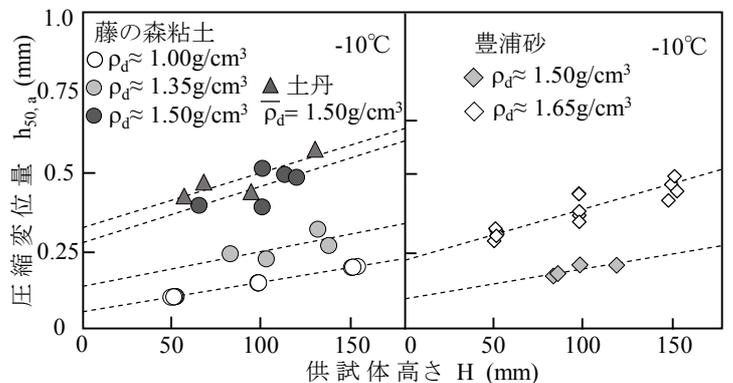


図5 供試体高さと圧縮変位量との関係

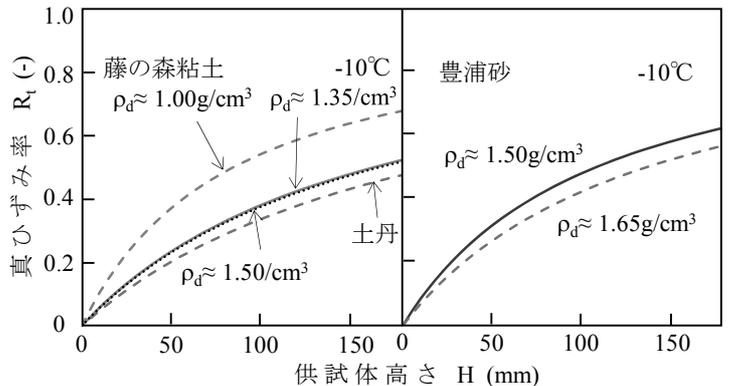


図6 供試体高さと真ひずみ率との関係

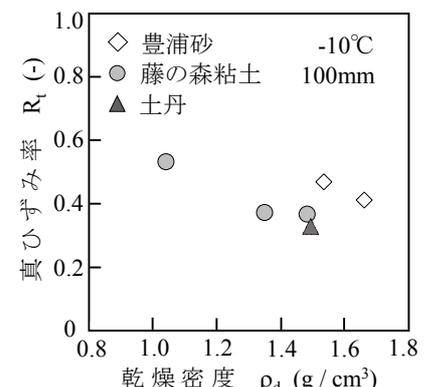


図7 乾燥密度と真ひずみ率との関係