

榊大林組 技術研究所 正会員 西林清茂
同 上 上野孝之
同 上 ○佐藤 哲

1. まえがき

地盤凍結工法，LNG地下貯蔵槽の建設，寒冷地における工事等に伴い人工凍土，自然凍土の研究が行われている。凍土の強度変形特性に与える影響の内的要因に粒径，乾燥密度，飽和度，含水比，不凍水，塩分濃度，アイスレンズの分布，温度履歴，異方性などがある。また外的要因には試験方法，凍結方法，計測方法などがある。しかし凍結土の強度変形特性に関する統一された試験方法がなくそれぞれの因子の影響度は十分に把握されていない。ここでは粘土凍土の強度変形特性に及ぼすこれら影響因子のうち温度，ひずみ速度，含水比について調べた結果を述べる。

2. 試験方法

(1) 供試体 試料はカオリン粘土を用いた。含水比35%の供試体は1.5 g/cm³の荷重で圧密し，成形した。含水比60,118%の供試体は所定量の蒸留水を加えミキサーで攪拌した。その後φ5cm×h10cmの鋼製モールドに入れ全周より急速凍結した。凍結後-5℃の低温室内で膨張した端面を成形し，φ5cm×h10cmの円柱とした。供試体の物理定数を表-1に示す。飽和度，単位体積重量は凍結後の値である。なお凍結前後で含水比の差はなかった。

(2) 一軸圧縮試験 試験条件として温度は-5，-10，-30，-50℃，ひずみ速度は1.0,0.1,0.01,0.0015%/minとした。

3. 試験結果

$\sigma(1-\frac{\epsilon}{100})$ で断面補正した最大圧縮応力を一軸圧縮強度 q_f と定義し変形係数 E_{50} は次式で定義した。
 $E_{50}=1/2q_f/[\text{応力が}1/2q_f\text{のときのひずみ}]$

表-1 供試体の物理定数

比重	G _s	2.696		
液性限界	WL (%)	44.54		
塑性限界	WP (%)	28.26		
塑性指数	I _p	16.28		
平均含水比	w (%)	34.96	60.00	118.00
平均飽和度	S _r (%)	92.4	93.4	91.5
平均単位体積重量	γ _t (g/cm ³)	1.801	1.578	1.313

(1) 応力～ひずみ曲線 図-1に応力～ひずみ曲線の一例を示す。含水比35%のものは完全塑性体型であるが含水比が大きくなるにしたがってピーク型となり，温度，ひず

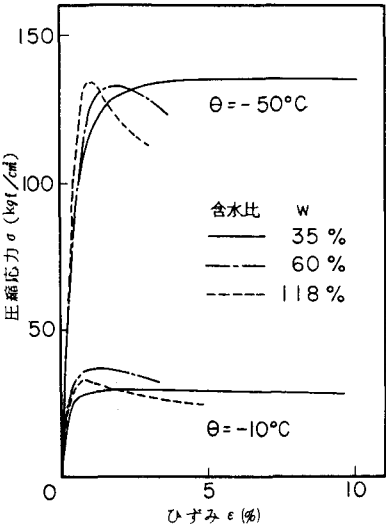


図-1 応力～ひずみ曲線

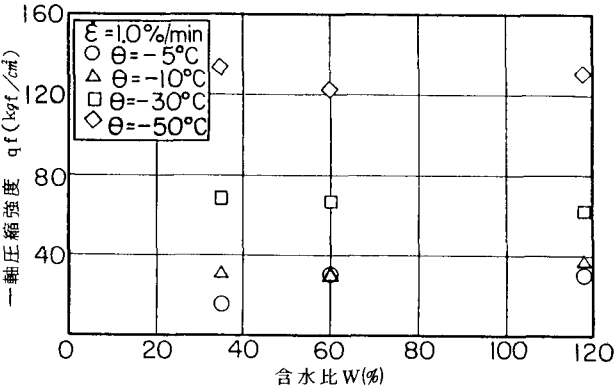


図-2 一軸圧縮強度～含水比

み速度が変化してもこのパターンの傾向は変わらない。
未凍結時の供試体作製方法に差異はあるが液性限界を境にして応力～ひずみ曲線は完全塑性体型とピーク型に分れると推定される。

(2) 一軸圧縮強度、変形係数～含水比 図-2に一軸圧縮強度と含水比、図-3に変形係数と含水比の関係を示す。どちらも平均値を示したものでバラツキは±10%以内であった。これより温度が同じであれば含水比が変化しても一軸圧縮強度は変化しないことがわかる。変形係数と含水比の関係では含水比が35%と60%の間では含水比の増加に伴う変形係数の増加が顕著であるのに対し60%と118%の間ではわずかである。これは応力～ひずみ曲線のパターンの分類と同様液性限界を境としていると推定される。

(3) 一軸圧縮強度～温度 図-4に含水比35%の一軸圧縮強度と温度の関係を示す。温度の低下に伴い一軸圧縮強度は増加するが特に-50℃では急激に増加している。既往の研究では $q_f = a(-\theta)^b$ という式が提案されているがここでは $q_f = a + b(-\theta) + c(-\theta)^2 + d(-\theta)^3$ という実験式で近似できることがわかった。-50℃での一軸圧縮強度の急激な増加の原因として不凍水分量の減少、土粒子間に存在する氷の強度の急激な増加等が考えられる。

(4) 一軸圧縮強度～ひずみ速度 図-5は含水比35%の一軸圧縮強度とひずみ速度の関係を両対数紙上に示したものである。両者は図上で直線関係にありHaynesらの報告と一致する。

(5) 一軸圧縮強度～変形係数 図-6に含水比35%と118%の場合の一軸圧縮強度と変形係数の関係を示す。これには温度、ひずみ速度を変化させた試験結果すべてを表示した。これより一軸圧縮強度と変形係数は比例関係にあるといえる。

4. あとがき

全周より凍結したコンクリート状粘土凍土の強度変形特性に対する温度、ひずみ速度、含水比の影響度を定量的に把握した。興味ある結果として、含水比が変化すると変形係数は変化するが一軸圧縮強度は変化しないこと、温度の低下とともに一軸圧縮強度は増加し、特に-50℃で急激に増加すること等を得た。

<参考文献> 1) Tsytoich, N.A.; The Mechanics of Frozen Ground, McGraw-Hill Book Co., p148 1973 2) Haynes, F.D., 1978. "Strength and Deformation of frozen silt" 3rd Intern Conf. on Permafrost.

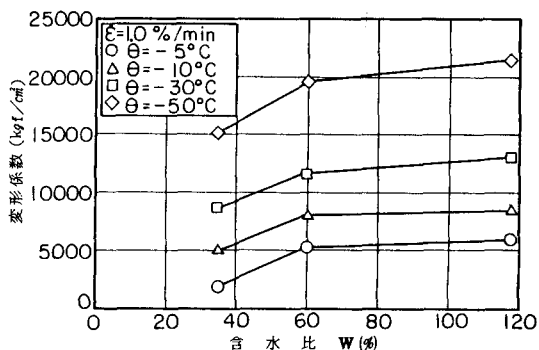


図-3 変形係数～含水比

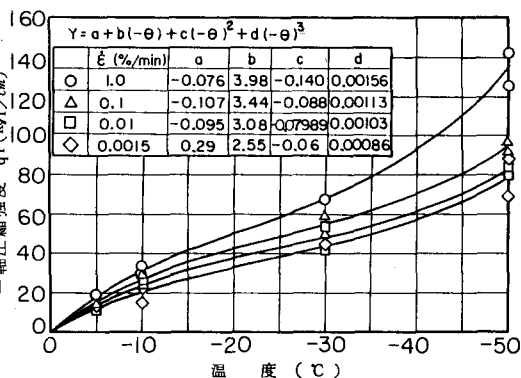


図-4 一軸圧縮強度～温度

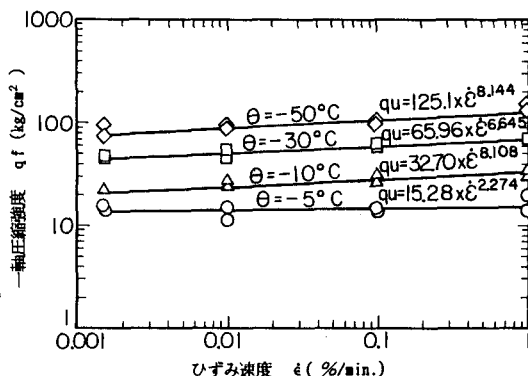


図-5 一軸圧縮強度～ひずみ速度

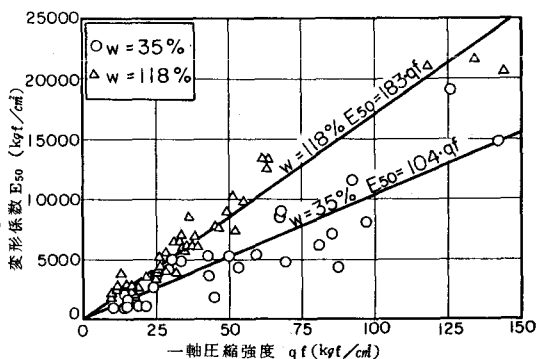


図-6 一軸圧縮強度～変形係数