

建設省土木研究所

正員 村尾好昭

建設機械化研究所

正員 田辺英夫

フジタ工業技術本部

○正員 酒向信一

1. まえがき

凍結工法は、軟弱地盤の無公害固結工法として有力な工法であり、特に地下鉄、上下水道、工業用水管、共同溝などで多くの実績を持っている。近年ブライン方式の冷凍機性能の向上により、従来より採用されていた -20°C 近辺から、強度的により安定性を増すと思われる -40°C 近辺まで、経済的に冷却することが可能となった。このためこれらの温度領域における凍土の強度特性を検討するため、標準砂とシルトについて、まず一軸圧縮試験と引張強度試験を行ったのでここにその結果を報告する。

2. 実験方法

2-1 実験材料と供試体の作製

実験には、標準砂とシルトを用いた。シルトの物理的性質は、 $LL=46.5\%$ 、 $PL=26.7\%$ 、 $Ip=19.8$ 、 $G_s=2.72$ 、日本統一分類法で ML であり、粒度分布は図-1に示した。標準砂は $G_s=2.65$ である。供試体の作製方法は表-1に示した通りである。凍結後の供試体含水比(w)と湿潤密度(γ_t)は、標準砂で($w=21\sim22\%$ 、 $\gamma_t=1.94\sim1.98\text{ gr/cm}^3$)、シルトで($w=67\sim70\%$ 、 $\gamma_t=1.50\sim1.54\text{ gr/cm}^3$)の範囲であった。

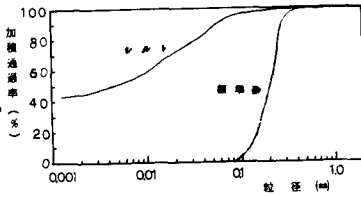


図-1 粒度分布曲線

表-1 供試体の作製方法

項目	試料名	標準砂	シルト
試料の調製		水洗いた後、使用	加水(含水比で約4%)し、ミキサーで約1.5時間混練後使用
供試体寸法		$\phi 50\text{mm}$ 、高さ 100mm (圧縮、引張とも同寸法、鋼製2つ側モールド使用)	
試料の充填		モールドに3層に分けて試料を充填、各層毎に衝撃を与え、試料中の気泡の追い出しと密度の均一化を計る。	
各層毎の衝撃回数		150	300
冷却方法		段階的に冷却後、試験温度に設定 用供試体で確認。	
			温度はタミ-

2-2 载荷試験

液体窒素(LN_2)を使用した冷却槽で試験時の温度まで冷却した供試体は、あらかじめ試験時温度と同一に冷却しておいた载荷装置内の恒温箱に、試験前に移設した。

一軸圧縮、引張試験ともヒズミ制御方式で行い、その時の载荷速度は、 1.0 mm/分 である。(供試体高さが、 10 cm であるので 1% 分のヒズミ速度となる)

引張強度は、圧裂試験によって求めたものである。なお、载荷試験時、直接金属载荷板が供試体に触れないよう、载荷面に厚さ 25 mm のベークライト板をあてがった。

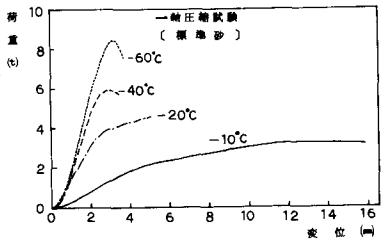


図-2 荷重と変位
〔標準砂〕

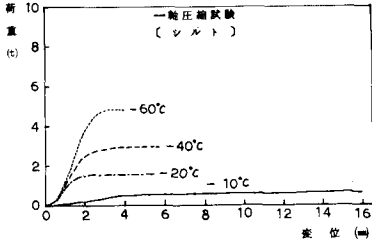


図-3 荷重と変位
〔シルト〕

3. 実験結果

3-1 荷重と変位

図-2、3から、圧縮変位量は温度の低下とともに小さくなる傾向にある。特に -10°C の温度を境にして、変位量が大幅に異なっている。 -40°C 以下の低温域では、標準砂、シルトとも $2\sim3\text{ mm}$ の変位量で破壊した。

3-2 一軸圧縮強さと温度、変形係数

図-4は、温度の低下とともに、標準砂、シルトの一軸圧縮強さが増加していることを示している。その強度増加の傾向は、標準砂、シルトともほぼ直線の関係にある。シルトの一軸圧縮強さは標準砂に比べて約20~60%であるが、温度低下に従がい強度差が大きくなる傾向が見られた。

図-5は一軸圧縮強さと変形係数 E_{50} との関係を示した。この図からは、標準砂、シルトによる違いは認められない。このことは、飽和させた標準砂、シルトでは、土質によらず一次的な相関性が存在するのではないかと推定される。

3-3 変形係数 E_{50} と温度

図-6から、標準砂、シルトともに温度低下に従がい変形係数が大きくなることを示している。標準砂は-20℃~-40℃、シルトは-10℃~-20℃の間で大きな差が認められる。この結果から変動が小さく、安定した値を示すのは-40℃以下であることがわかる。

3-4 引張強度と温度

図-7に示した引張強度は圧裂試験により求めたものであるが、標準砂は-10℃、シルトは-20℃まで変形量が大きく、線荷重とは認め難いため、圧裂試験の条件を満足していない。従がって、実際の引張強度は図に示した値より小さいと考えられる。上記より低い温度条件ではほぼ線荷重とみなされた。-40℃以下の低温では、標準砂、シルトともほぼ同じ強度であった。また低温化による引張強度の増加はあまり大きくならないが、20 Kg/cm^2 以上は安定して得られる。

4. あとがき

以上の結果から、標準砂、シルトとも温度低下とともに凍土の力学的性質は安定してくる。変形係数に関しては、-40℃以下の低い温度で安定した値が得られた。圧裂試験は、破壊ヒズミが小さい範囲でないと実用的ではないが、この条件を満足すれば、簡単に引張強度を求めることができる。また引張強度の温度低下による強度増加はあまり期待できない。

おわりに、本実験は、建設省総合技術開発プロジェクトの一つである新地盤改良技術の開発のうち、“小規模凍結工法技術開発”に関し(社)日本建設機械化協会が委託を受け、同開発に関する研究委員会(委員長遠藤浩三氏)の指導のもとに行なわれた研究の一部であることを付記する。

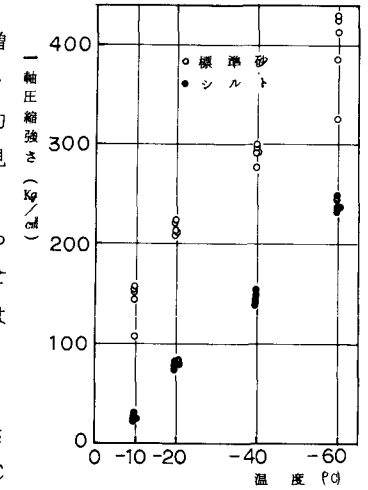


図-4 一軸圧縮強さと温度

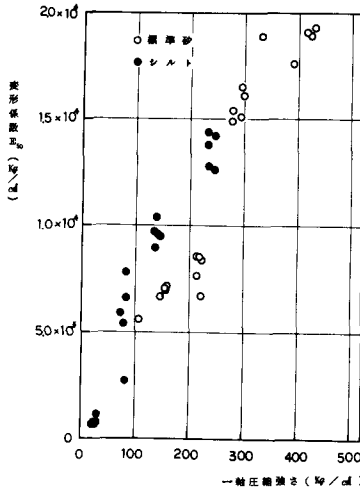


図-5 一軸圧縮強さと変形係数

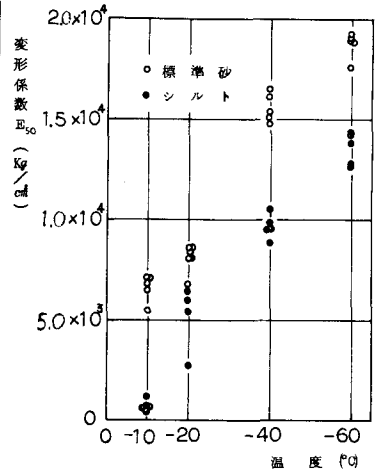


図-6 変形係数と温度

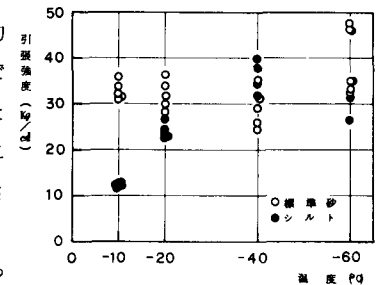


図-7 引張強度と温度