

鹿島建設技術研究所 正員 ○田中益弘

水谷 仁

東京瓦斯(株)工務部 正員 渡辺 修

I はじめに

凍結土は氷と不凍水を有するため、粘弾性的な挙動を呈す。そのため、液化ガス用地下式貯槽の建設や凍結工法などにおける凍結土圧や凍上変位を検討するには、特に温度やひずみ速度を加味した凍結土の強度特性を把握しておく必要がある。

この報文は、主として凍結土の圧縮強度を温度とひずみ速度の関数で表示するために実施した一軸圧縮試験結果の概要を示すものである。

II 試験概要

1) 試料 試料は、神奈川県磯子区東京瓦斯根岸工場内で採取した凍結土(シルト質砂)のブロックサンプルであり、これを $\phi=50\text{mm}$ $h=125\text{mm}$ に成型して供試体とした。その代表的な土性値を表-1に示す。

2) 装置 装置は、図-1に示すように低恒温槽を有するアムスラーであり、温度調節には炭酸ガスを使用した。なお、ひずみ速度の設定は、プログラム装置により行い、データはX・Yレコーダーで記録した。

3) 方法 試験条件としては、温度を -3°C ~ -30°C の範囲で3段階とし、ひずみ速度は $0.1\sim 10\%/min$ の範囲で5段階とした。試験はあらかじめ低温フリーザー内に所定の温度で養生した供試体を取り出し、アムスラーの恒温槽内に塩皿板を上下に介してセットし、設定した温度・ひずみ速度で一軸圧縮試験を行った。

III 試験結果

1) 応力・ひずみ曲線

図-2に -10°C における代表的なひずみ速度に対する応力・ひずみ曲線の一例を示す。図から明らかなように、同一温度であれば、ひずみ速度が早いほど曲線の立上りが大きく、ピーク値を示す脆性破壊の変形モードを示し、ひずみ速度が遅くなるほど明確なピーク値を示さない延性破壊の変形モードを呈す。

2) 圧縮強度

図-3に、各温度における、ひずみ速度($\dot{\epsilon}$)と圧縮強度(q_u)の関係を両対

表-1 土性値一覧表

項 目	単 位	土 性 値
比 重	—	2.69
含 水 比	%	35~38
湿 潤 密 度	g/cm^3	1.74~1.78
飽 和 度	%	87以上
液 性 限 界	%	34.1
塑 性 限 界	%	31.4
粒 度 組 成	砂 分	% 50
	シル 分	% 46
	粘 分	% 4

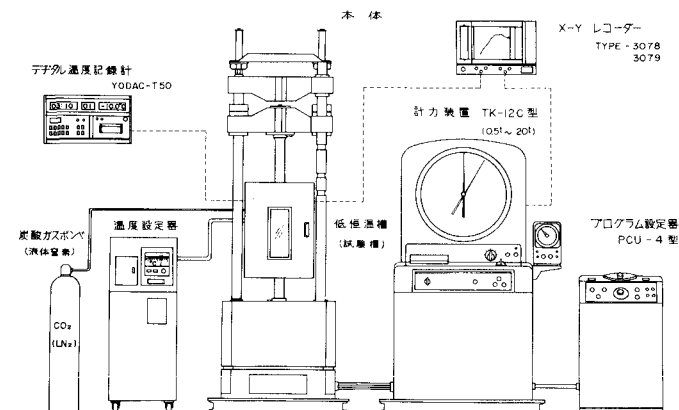


図-1 凍結土の一軸圧縮試験装置

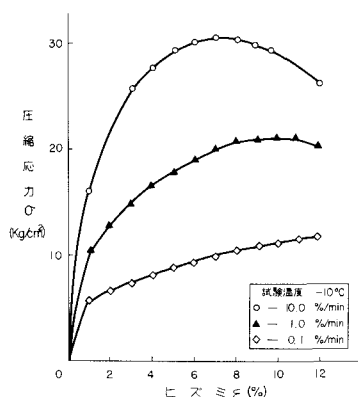


図-2 応力・ヒズミ曲線

数上に示す。図から明らかなように、同一温度ではひずみ速度が早くなるにしたがって強度が増加する。Haynes(1978年)が報告した関係式 $q_u = A(\dot{\epsilon})^b$ ----- (1) が成立することがわかる。また温度の低下と伴にひずみ速度が強度におよぼす影響も小さくなることを示している。このことは、温度の低下と伴に凍結土を構成している氷の粘性係数が大きくなることや未凍水の減少等によるものと考えられるが、結果として粘性の性質がうすれ、弾性的になっていくためと思われる。

式(1)における係数A、bを温度との関係で整理すると、図-4に示すように、温度tの対数と係数logA、bはほぼ直線関係にあることがわかる。すなわち、 $A = C10^{a \log(t)}$, $b = \beta \log(t) + C'$ ----- (2) となる。式(1)、(2)より一軸圧縮強度は $q_u = C10^{a \log(t)} (\dot{\epsilon})^{\beta \log(t) + C'}$ となり、温度とひずみ速度の関数として表示することができる。

ちなみに、今回の試験から求めた一軸圧縮強度は $q_u = 0.81 \times 10^{1.34 \log(t)} \times (\dot{\epsilon})^{-0.2 \log(t) + 0.4}$ となり、図-3に示す点線で表わせられる。したがって、凍結土の強度は、温度が低下し、ひずみ速度が早くなるにしたがって増加する傾向にあるが、温度が著しく低下(例えば-100℃以下)するとその傾向は逆になることが予想される。図-7は、上式を検証するためひずみ速度を1%/minの試験結果と比較したものである。

3) 変形係数

図-6は、各温度におけるひずみ速度と変形係数E50の関係をも対数上に示したものである。変形係数は、強度と比較してバラツキは大きいがほぼ同じ傾向にあるので、図-5に示す温度と係数の関係を用いて温度とひずみ速度で表わすと $E_{50} = 15.85 \times 10^{1.8 \log(t)} \times (\dot{\epsilon})^{-0.3 \log(t) + 0.6}$ となる。その結果を図-6の点線で示す。したがって、変形係数も圧縮強度とほぼ同じ傾向にあることが予想される。

4) 破壊ひずみ

破壊ひずみとひずみ速度の関係を図-8に示す。同一温度ではバラツキはあるがほぼ破壊ひずみとひずみ速度の対数には反比例の関係がみられる。また図-8と図-9の温度と破壊ひずみの関係からわかるひずみ速度に関係なく-10~-20℃の凍結土の破壊ひずみが特に大きくなる傾向がみられる。

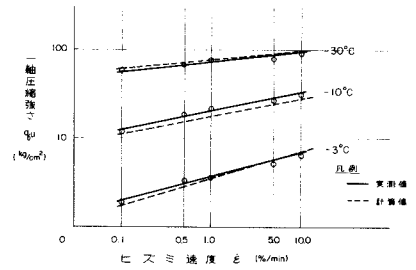


図-3 一軸圧縮強度 q_u とひずみ速度との関係

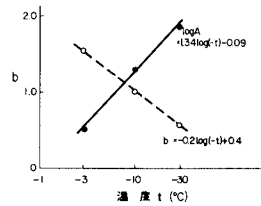


図-4 $\log A, b$ と温度tの関係($q_u - \dot{\epsilon}$)

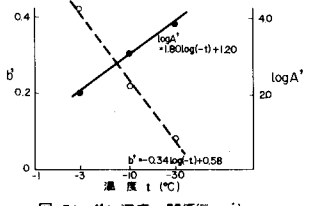


図-5 $\log A, b$ と温度tの関係($E_{50} - \dot{\epsilon}$)

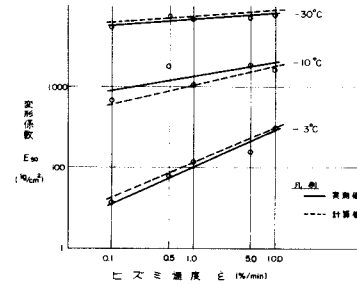


図-6 変形係数 E_{50} とひずみ速度との関係

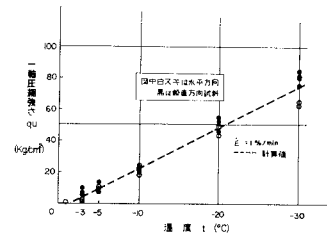


図-7 一軸圧縮強度 q_u と温度tの関係

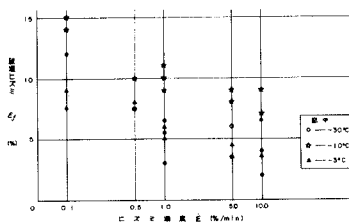


図-8 破壊ひずみ ϵ_f とひずみ速度との関係

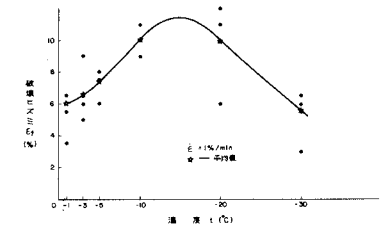


図-9 破壊ひずみ ϵ_f と温度tの関係