

電力中央研究所 正員 伊藤 洋
同 上 正員 緒方 信英
同 上 片岡 若え

1. まえがき. 近年, 液化ガス用地下貯槽が建設されているが, ヒーティング設備を設けない場合, 地盤の凍上量, 凍結土圧により, 地下貯槽が長年に渡ってどのような挙動をするのか検討するためには, 地盤の凍上特性, 凍後・変形特性, およびフリープ変形に伴う応力緩和の効果などについて十分に把握する必要がある.
本報告は長期的な地下貯槽の挙動に対して影響を与える凍土のクリープ特性について, 以下の項目に留意して実施した試験結果の概要を示したものである.

表-1 試料の土質諸定数(未凍結土)

	沖積砂(A ₁)	沖積粘性土(D ₂)	シルト
比重 G _s	2.70	2.64	2.64
含水比 W _L (%)	29.6	5.90 ~ 6.90 (6.45)	29.8
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.94	1.44 ~ 1.51 (1.55)	1.86 ~ 1.91
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.50*	0.86 ~ 1.02 (0.94)	1.40 ~ 1.49
液性限界 W _L (%)		52.6 (55.0)	31.3
塑性限界 W _P (%)		42.7 ~ 52.0 (46.4)	22.1
塑性指数 I _p		6.7 ~ 10.9 (8.6)	9.2
凍分濃度 (%)	0.03	0.005	
一軸圧縮強度 (kg/cm ²)		4.16 ~ 7.42	0.84 ~ 0.96
土質分類	砂 SP	粘土質シルト MH	砂質粘土 CL

*--目標の密度, 1/10に平均値

a). 温度の影響, b). 載荷重の影響, c). 塩分濃度の影響
d). アイスレンズの有無による影響.

2. 試験に用いた試料. LNG地下貯槽建設地から採取した未凍土の沖積砂(A₁)と浸透粘性土(D₂)および瀬戸内海電力所地から採取した未凍土とシルト質の自然凍結土である. これらの一般的な土質諸定数を表-1に示した.

3. 試験装置. 本装置は圧密試験装置と同様の載荷構造形式で載荷部と冷却槽に収納した最大載荷重800kgの能力を有するものである. 冷却方式はLN₂をガス化してパイプで引き込み冷却槽内に取り付けたサーモスタットにより槽内温度をコントロールする. 槽内温度は±1~2℃の範囲で-50℃までの制御が可能である.

4. 供試体作成方法. 文献1)に示めされている方法と同様に現地より採取した未凍土の擾乱(A₀)および不擾乱(D₂)およびシルト)の試料よりφ5^{cm}×h10^{cm}の供試体を作成し, -20℃の冷凍庫内で水の供給なしに試料全面から急激に冷却して凍結させた(コンクリート状凍結土). また, 自然凍土(霜降状凍結土)未凍土を採取した地盤より冬季の凍土をブローファンプリングして, -5℃の大型冷凍室でφ5^{cm}×h10^{cm}の供試体に整形した.

5. 試験方法
供試体の試験中の含水比の変化をさけるため, 供試体の表面にグリースを塗布したのち, ビニールで周面を覆い, 冷却槽内の装置にセットした.

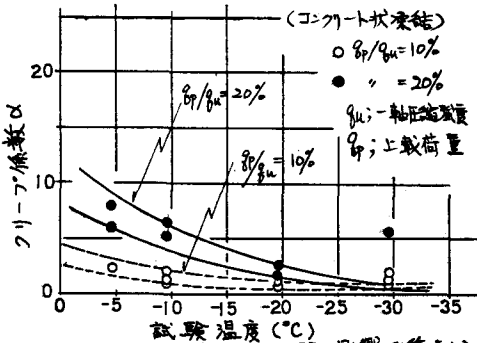


Fig. 1 クリープ係数に及ぼす温度の影響(砂質土)

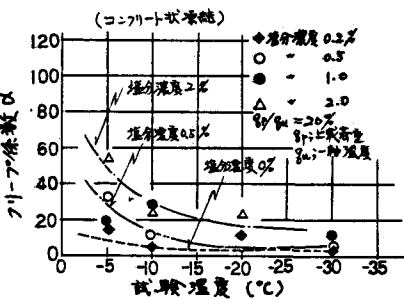


Fig. 3 クリープ係数に及ぼす塩分濃度の影響(砂質土)

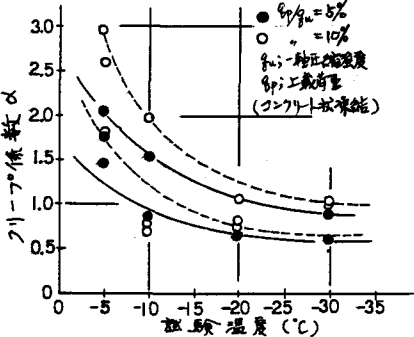


Fig. 2 クリープ係数に及ぼす温度の影響(浸透粘性土)

試験開始は冷却槽内に供試体温度千エフ用のダミーの供試体(約5^{cm}×約10^{cm}の砂質シルト)を置き、ダミー供試体が試験温度になつてから、さらに30分間経過後とした。試験は10~15日間に亘つて載荷が行なわれた。²³
 6. 試験結果と考察、試験により得られたクリープ特性は別途実定している凍土量、凍結土圧の数値解析との関連から、三要素 β モデルにより整理した。以下に得られた主な知見を示す。

(1). 温度の影響; コンクリート状態時の A_0 および D_0 試験のクリープ係数は供試体の温度に強く支配され、温度が下がるにつれて指数関数的に小さくなる。しかも、-40℃以下の温度で両者ともにほぼ一定値の0.5程度に収束する傾向を示す(図-1, 2)。 (2). 載荷量の影響; 凍土と同様、凍土の場合もクリープ係数は荷重が増加するとともに顕著な増加傾向を示す(図-1, 2)。一軸圧縮強度の30%までの載荷量に対し、クリープ係数は A_0 の場合指数関数的に増加するのに対し、 D_0 の場合対数律的に増加する傾向を示した。

(3). 塩分濃度の影響; A_0 試験のクリープ係数は強度、変形係数と同様に土中飽和水の塩分濃度に著しく影響され、塩分濃度の増加とともに大きくなる。塩分濃度を0~2%まで変化させて実験したコンクリート状態試験材料では塩分濃度の増加にしたがい、クリープ量や弾性ひずみの数倍から数10倍になる(図-3)。 (4). アイスレンズの影響; 凍土のクリープ変形はアイスレンズの存在状況、すなわち、アイスレンズの含有量に大きく影響を受け、多くなる程、同一荷重に対するクリープ変形量も大きくなる。しかも、載荷量の少しの変化に対して、クリープ変形量は大きく変化し、クリープ破壊強度もアイスレンズの含有量の増加とともに低下することが推定される(図-4, 5)。

また、クリープひずみの遷延特性を示すクリープ係数 β は一定値とせず、クリープ経過時間とともに減少し、 $\beta = a(\frac{1}{t})^b$ (a, b は実験定数、 t は経過時間)なる式で良く表現しうる(図-6)。表-2にアイスレンズの有無によるクリープ試験結果の一覧を示した。

7. 参考文献。 1). 片岡、他2名; 電中研報告378011, 2). 伊藤、他2名; 電中研報告378011, 3). 電気事業連合会; LNG地下式貯槽(土木設備)設計指針、付録。

不凍乱凍結土のクリープ実験一覽表

試験材料	アイスレンズの状況	試験温度 T(℃)	拘束圧 σ_1 (kg/cm ²)	上載荷重 σ_2 (kg/cm ²)	試験時間 t(h)	クリープひずみ ϵ_c (%)	弾性ひずみ ϵ_e (%)	クリープ係数 β	試験結果
室内凍結土(不凍土)	コンクリート	-5	0.0	4.0	0.158	0.212	1.342	$\beta = 0.176$	0.016
	"	"	12.0	4.0	0.370	1.810	4.692	$\beta = 0.356$	0.703
自然凍土	霜降状	"	0.0	4.0	0.090	0.440	4.689	$\beta = 0.423$	0.736
	"	"	12.0	3.0	0.500	破壊	—	—	—
室内凍結土(凍結土)	コンクリート	-10	0.0	6.74	0.490	0.760	1.551	$\beta = 0.356$	0.703
	"	"	26.2	6.74	1.326	1.674	1.262	$\beta = 0.423$	0.736
自然凍土	霜降状	"	0.0	6.74	0.250	0.850	3.400	$\beta = 0.176$	0.016
	"	"	26.2	3.0	0.767	破壊	—	—	—

(注) 1. クリープ表示式 $\epsilon_c = a(\frac{1}{t})^b$
 ϵ_c : 総ひずみ(%)
 t : 経過時間(h)
 a, b : クリープ係数

2. アイスレンズ方向と載荷方向

↓ σ_1 (軸方向)

3. 表中 q_0 : 一軸圧縮強度(100cm)
 q_0 : 軸圧(100cm)

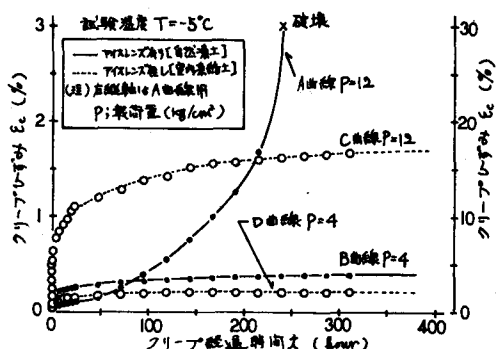


Fig. 4 アイスレンズの有無によるクリープ特性の相違(不凍土)

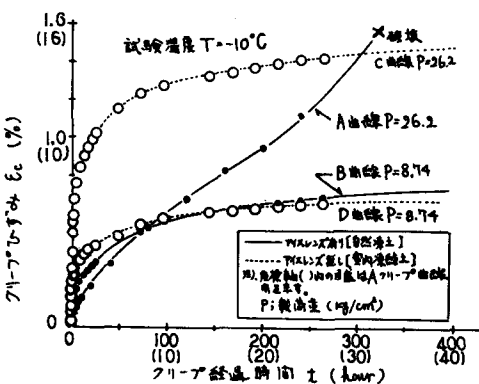


Fig. 5 アイスレンズの有無によるクリープ特性の相違(不凍土)

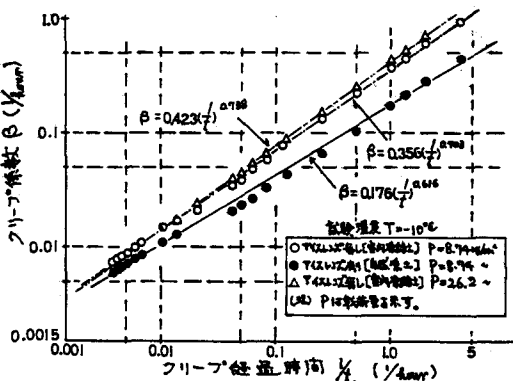


Fig. 6 クリープ係数 β の経時的な変化