

凍土の気密性に関する実験的研究

東京ガス 生産技術部 正会員 ○ 川村佳則
東京ガス 生産技術部 正会員 中野正文
清水建設 土木本部設計部 正会員 若林雅樹

1. はじめに

LNGを貯蔵する低温地下タンクにおいて、万一の内槽からのガス漏洩を想定した場合、タンクの周囲に存在する凍土の気密性により外部へのガス漏洩はないと考えられる。凍土の気密性は、その土質、温度、飽和度などによって異なると考えられるが、既往の実験データはほとんどなく定量的な評価はできなかった。そこで、一定条件のもと室内で作成した凍土、および、実際に地下タンク周囲でサンプリングした凍土を用いて透気試験を行い、凍土の気密性を定量的に把握した。

2. 実験方法

凍土試料は、室内で飽和度を変えて作成した試料A（木更津産砂：表－1参照）と、地下タンク周囲の凍土から不攪乱でサンプリングした試料B1、B2を用いた。

試料Aは含水比を調整した後に、透気試験装置にセットしたアクリルシリンダー（内径60mm）の中に高さ60mmで入れ、上下の冷却板により下部－10℃、上部＋10℃で凍上させた（図－1参照）。凍結面が上部に達した後に、上部も－10℃の一定温度として透気試験を実施した。気体は空気を用い、圧力は0.02、0.029、0.049MPaの3ケースとした。透気量は水に置き換え、メスシリンダーによって測定した。

また、試料B1、B2は大きめの凍土サンプリング塊から室内にて所定の大きさに成形した後、アクリルシリンダーにセットした。上下冷却板の温度は－10℃一定とし、試料Aと同様に透気試験を行った。透気係数 k (cm/sec) は、以下の式で求めた。

$$k = (q \cdot h \cdot \gamma_a \cdot g) / (100 \cdot p \cdot t) \quad (\text{式－1})$$

q : 透気量 (cm³/cm²)

h : 厚さ (6cm)

γ_a : 空気の密度 (1.29×10^{-6} kg/cm³)

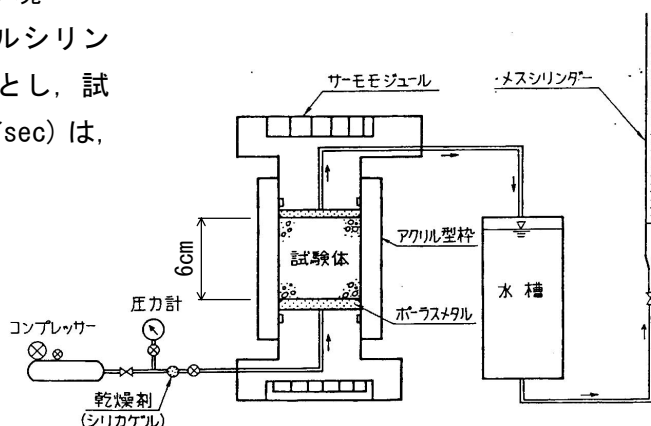
p : 圧力 (0.02, 0.029, 0.049MPa)

t : 経過時間 (sec)

g : 重力加速度 (9.81m/sec²)

表－1 土性値

	試料 A	試料 B1, B2
土粒子の比重	2.67	2.69～2.70
含水比 (%)	パラメーター	34～51
飽和度 (%)	パラメーター	95～100
粒度特性	砂 分 (%)	97.0
	シルト分 (%)	3.0
	粘土 分 (%)	0.0
	D ₅₀ (mm)	0.35
凍上特性	ζ_0	0
	σ_0 (MPa)	0.0005
	U_0 (mm/hr)	144
	n_f	0.294



図－1 透気試験装置

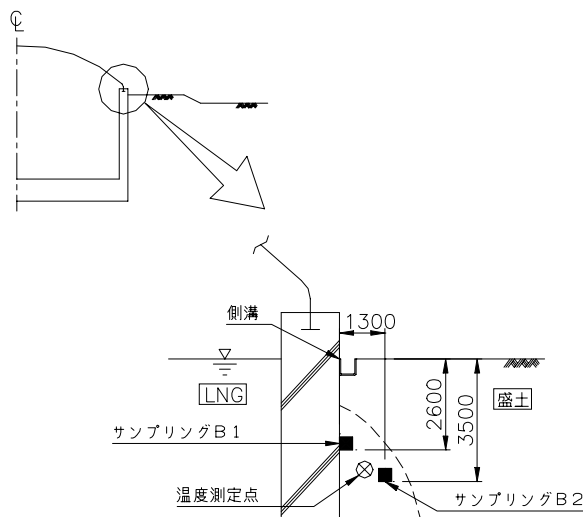
3. 地下タンク周囲の凍土からのサンプリング状況

試料B1、B2は、袖ヶ浦地区の地下タンク周囲の盛土からサンプリングしたが、その状況は以下の通りである（図－2参照）。

キーワード：LNGタンク、凍土、気密性

連絡先：〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20 TEL:03-5400-7583 e-mail:y_kawa@tokyo-gas.co.jp

- ・地盤：よく締め固められた盛土層であり、ところどころに粘土が混在する砂である（表－１参照）。
- ・凍土：砂部にはアイスレンズは存在しないが、粘土塊部には若干のアイスレンズが存在する。側壁との接触部には最大厚 5mm の純氷層が認められた。凍土と側壁は完全に密着していた。凍土の温度は -2.2°C であった。
- ・サンプリング：側壁に接した部分のサンプリング B 1 はアイスレンズを含んでおり、試験はアイスレンズと直角方向（タンク放射方向）とした。側壁から離れたサンプリング B 2 はアイスレンズが存在せず、試験は鉛直方向とした。
- ・飽和度：サンプリング試料の飽和度は 95～100% であり、地下水位より高い盛土中であってもほぼ飽和されていることがわかった。

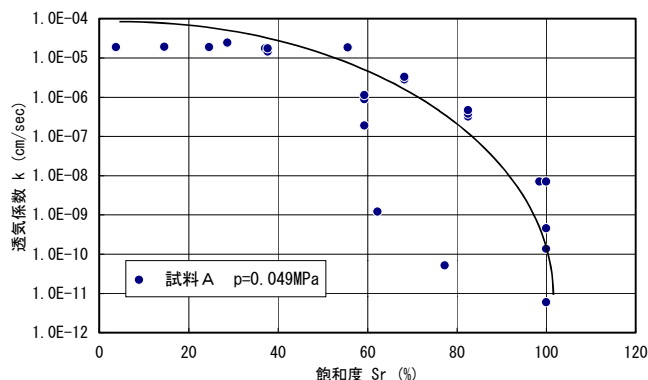


図－２ 試料B採取状況図

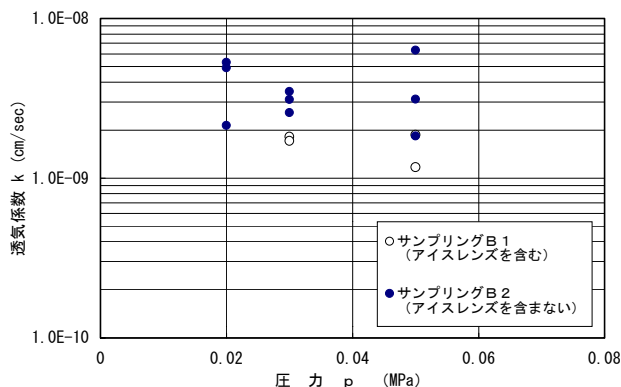
4. 実験結果

試料 A における、飽和度と透気量の関係（ $p=0.049\text{MPa}$ ）を、図－３に示す。図－３より、飽和度 50% までは透気係数がほぼ 10^{-5}cm/sec で一定であるが、飽和度がさらに大きくなると透気係数は徐々に小さくなり、飽和度 100% では $10^{-8}\sim 10^{-11}\text{cm/sec}$ となった。

試料 B 1、B 2 における、圧力と透気係数の関係を、図－４に示す。図－４より、透気係数は、 $10^{-8}\sim 10^{-9}\text{cm/sec}$ となった。



図－３ 飽和度と透気係数の関係



図－４ 圧力と透気係数との関係

5. 考 察

凍土の透気係数は、凍土の飽和度、すなわち土中に含まれる水の量によって明らかに異なることが認められた。これは、土中の水が凍結し、空隙を氷の固体が埋め、空気の流れを遮断するためと考えられ、水の凍結量が多いほどその効果は大きい。

地下タンク周囲に実際に発達している凍土からサンプリングした試料は、地下水位より 5m 以上高いところで採取されたにもかかわらず飽和度が 95～100% であり、これは長年の雨水の供給によるものと想定される。また、その透気係数は飽和度 100% の室内試験結果とほぼ同じ 10^{-9}cm/sec であり、高い気密性を有している。なお、紙面の都合で地下タンク凍土の原位置透気試験の結果を省略したが、その結果からも 10^{-9}cm/sec のオーダーであることが確認されていることを補足しておく。