

大成建設(株) 土木設計部 ○正会員 渡部昭一

" " " 伊佐 秀

" " " 貞光誠人

1. まえがき

本報告は、前報告⁽¹⁾に続き、低温貯槽を念頭においたコンクリートの液気密性に関する実験を行なった結果をとりまとめたものである。コンクリートタンクに直接LPG/LNGを貯蔵するためには、コンクリートが液密性・気密性を有するものでなければならぬ。透気性と透水性は必ずしも比例関係にあるとは限らないが、同じ材質のものに対して透気量は透水量の数オーダー上になることから、気密性が満足できれば液密性も十分満足できるものと考えられる。コンクリートの透気量は養生条件、特に含水率に大きく左右するといわれている。また実際には、コンクリートが低温状態にあり、更に液面下では片面が直接低温液体に触れた状態にあるため、その状態における透気量が問題となる。常温におけるコンクリートの透気性に関しては多くの論文が発表されているが、低温時における研究は非常に少ない。⁽²⁾ 以上の背景をふまえて、低温時におけるコンクリートの透気係数の測定を行なった。また、実験より測定された透気係数がタンク性能の上でどの程度に相当するかということについての考察もつけ加えた。

2. 供試体

厚さ10^{cm}の平打ちコンクリート版(試験部50^{cm}×50^{cm})であり、コンクリートの配合は表-1に示す3種類とし、設計基準強度は400 kg/cm²とした。養生方法は、気中放置、強制乾燥、水中養生の3種類とした。強制乾燥の供試体は、脱型後気中放置し、40

表-1 コンクリートの配合

配合 の種別	水	セメント	W/C	細骨材 粗模川	細骨材 木更津	粗骨材 粗模川	粗骨材 砕石	混和剤 Po.No.20	混和剤 Po.N.P.20	混和剤 コンク	スチール ファイバ
普通コンクリート	166	415	40	612	153	587	391	4.15 ⁰	2.9 ⁰	—	—
ノンクラコンクリート (0.1%量以下追加使用)	"	"	"	"	"	"	"	"	"	3.0 ⁰	—
スチールファイバー コンクリート	"	"	"	"	"	"	"	"	"	—	78.5 ⁰

℃, RH=18%(平均)で7日間の強制乾燥を行なった。水中養生の供試体は、脱型後試験前日まで水中養生し以後はビニールで密封して試験に供した。

3. 試験方法

試験装置を図-1に示す。試験用気体としては窒素ガスを、供試体の冷却には液体窒素(-196℃)を用いた。

試験の手順は以下の通りである。

- (1) 室温で、試験圧力0.5, 1.0, 2.0 kg/cm²における透気量を測定する。
- (2) 室温から-196℃までの冷却を3サイクル繰り返し、第1回、第3回冷却時に液体窒素を溜めない状態及び2~3 cm 溜めた状態で、試験圧力1.0 kg/cm²における透気量を測定する。
- (3) 室温で、試験圧力2.0 kg/cm²における透気量を測定する。なお、供試体の冷却は、噴出するLN₂量を調節しながら約9時間かけて徐々に行なう。

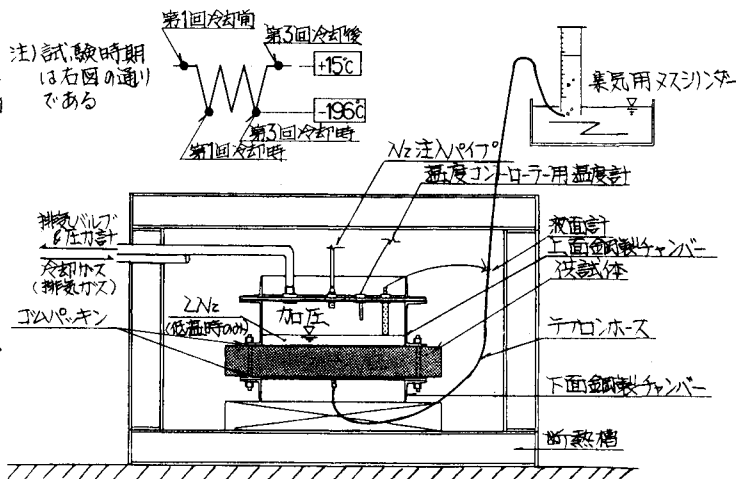


図-1 試験装置図

ける透気量を測定する。なお、供試体の冷却は、噴出するLN₂量を調節しながら約9時間かけて徐々に行なう。

4. 試験結果

定常状態における単位時間当りの透気量より、次式によつて透気係数を算出した。

$$K = \frac{Q \times L \times \rho_A}{P \times A}$$

ここに、

K：透気係数 (cm/sec)

Q：単位時間当りの透気量(cc/sec)

L：供試体厚さ (cm)

ρ_A ：透過気体の常温、大気圧下における単位体積重量

N_2 ガス = 1.2×10^{-6} (kg/cm³)

P：供試体上下面の圧力差 (kg/cm²)

A：透過面積 (cm²)

上式より算出した各供試体の透気係数の一覧を表-4に示す。

表-2 透気係数一覧

配合 種別	養生 条件	含水 率 (%)	供試 体番 号	透気係数 (×10 ⁻¹⁰ cm ² /sec)					
				室温 (+15℃)			低温 (-196℃)		
				第1回冷却前			第1回冷却時	第3回冷却時	第3回冷却後
				0.5 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²
普通 コンクリート	気中放置	3.8	1-1	2.61	2.99	4.03	0	0	5.49
			1-2	5.97	7.04	8.88	0 (7.44)	0 (7.58)	4.00
			平均	4.29	5.02	6.46	0	0	4.75
	強制乾燥	2.0	2-1	6.48	7.46	8.72	0	0 (2.72)	5.21
			2-2	—	—	—	—	—	—
			平均	6.48	7.46	8.72	0	0	5.21
	水中	4.3	3-1	0	0	0	0	0	0
			3-2	0	0	0	0 (クラックの浸入による透気)	同左	同左
			平均	0	0	0	0	0	0
	ノンフラ コンクリート	3.7	4-1	9.98	11.2	13.7	0	0	7.87
			4-2	1.65	1.92	2.96	0	0	4.45
			平均	5.82	6.56	8.33	0	0	6.16
スチール ファイバ コンクリート	気中放置	3.7	5-1	4.16	5.17	6.45	0	0	6.43
			5-2	3.95	5.12	6.11	0	0	6.48
			平均	4.06	5.15	6.28	0	0	6.46

注) () 内の値は、供試体上面にLN₂を溜めない状態での試験結果を示す。

表-4中で透気係数が0というのは、本試験において透気量が測定できなかったということを意味し、供試体が完全気密という意味ではない。本試験の結果をまとめると以下の通りである。

- (1) コンクリートの配合による透気係数の差はみられず、室温における透気係数は 10^{-10} cm/s オーダーである。
- (2) 水中養生したものは透気係数の減りが顕著である。
- (3) 試験圧力による透気係数の差は僅かである。
- (4) 液体が接している場合は透気現象はみられない。
- (5) 低温時における透気係数は、室温時と同等かそれ以下である。

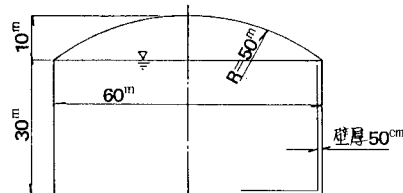


図-2 計算モデル

表-3 判定基準と所要透気係数

	条 件	判 定 基 準	透気係数 (cm/sec)
気密試験時	設計圧力 1400 ^{mm} Aq (空気圧 1400 ^{mm} Aq × 1.1)	24 ^{hr} 後における圧力低下が1%以内 (1400 × 1.1 × 0.99 = 1525 ^{mm} Aq 以上)	1.0 × 10 ⁻⁹
運転時	設計圧力 1400 ^{mm} Aq	設計 Boil-off gas 率を0.07%とした場合、漏減量がその1%以内	1.0 × 10 ⁻⁸
		タンク表面より30 ^{mm} 離れた点のメタンガス濃度が爆発限界5%	3.0 × 10 ⁻⁶

表-4に示す。前報告の結果(打継部を有する場合の常温での透気係数は 10^{-9} cm/s程度)と今回の実験結果より、打継部を有する場合でも全ての基準を満足すると思われる。しかしながら、これは実験室レベルでのコンクリートに関してであり、今後実用レベルでの検討が必要と思われる。

最後に、本実験を行なうにあたり適切な御助言をいただいた東北大学三浦尚教授に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- (1) 川崎宏二, 鏑原功, 初崎俊夫: コンクリートの液気密性に関する基礎実験, 第39回土木学会年次学術講演会
- (2) P.B.Bamforth, W.T.Murray, R.D.Browne; THE APPLICATION OF CONCRETE PROPERTY DATA AT CRYOGENIC TEMPERATURE TO LNG TANK DESIGN, 2nd Int.Conf.on Cryogenic Concrete, Amsterdam, Oct.1983.