

極低温環境下での冷熱抵抗緩和材の圧縮強度試験

(株)大林組 正会員 ○嶋田祐人, 正会員 阿久津富弘
積水ソフランウイズ(株)非会員 井田知宏, 非会員 渡邊二夫

1. はじめに

我が国のエネルギー安全保障と地球温暖化対策として、水素をエネルギー源として利用する水素社会の実現に期待が寄せられている。水素発電が実現すれば、エネルギー源となる水素を大規模に貯蔵する必要があるが、水素は -253°C で液化し、体積が気体に比べて約 800 分の 1 となるため、液体での輸送・貯蔵が効率的である。

液化水素を大量貯蔵した金属製タンクから万が一、液化水素が漏洩した場合に液化水素の周囲への漏洩を防ぐコンクリート防液堤が必要になる。防液堤の内面には漏液時に作用する冷熱を緩和するため冷熱抵抗緩和材を設置する必要がある。液化天然ガス(LNG) 地上式貯槽では硬質ポリウレタンフォーム(PUF) が冷熱抵抗緩和材として使用されている。

本報告は、 -162°C で液化する天然ガスの貯蔵技術を発展させて、液化水素タンクの保安施設である防液堤を開発することを念頭に、液化水素温度(-253°C)における PUF の強度特性を確認することを目的とした。

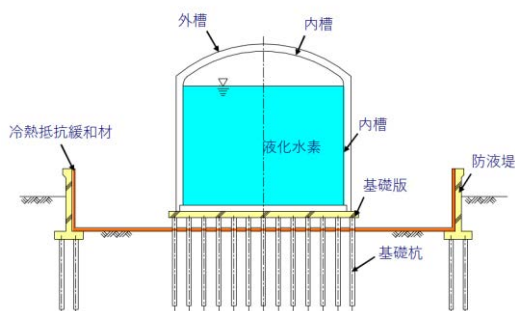


図-1 液化水素タンク用防液堤の概念図

2. 試験装置

液化水素温度(-253°C)下での PUF の圧縮強度を確認するため、(株)コベルコ科研が保有する 100kN 疲労試験機を使用し、液化ヘリウム(-269°C)浸漬

環境下での圧縮強度試験を実施した。また、比較対象として液化窒素浸漬下(-196°C)での圧縮強度試験を合わせて実施した。液化ヘリウム浸漬環境試験装置を写真-1、PUF 試験片の設置状況を写真-2 に示す。



写真-1 液化ヘリウム浸漬環境試験装置

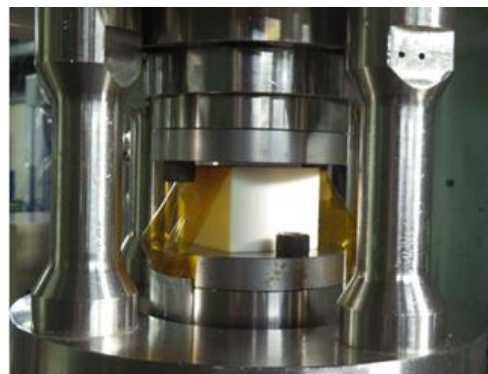


写真-2 PUF 試験片の設置状況

3. 試験方法

3.1 試験片の寸法・個数

試験片は 50mm×50mm×高さ 40mm の硬質ポリウレタンフォームブロックである。負荷は試験片の高さ方向に掛ける。液化ヘリウムおよび液化窒素浸漬環境下でそれぞれ試験片数は 3 個とした。

3.2 PUF 試験片の熱平衡時間

PUF は断熱性能が高い材料であることから、試験

キーワード 液化水素, 防液堤, 極低温, PUF, 冷熱抵抗緩和材, 圧縮強度

連絡先〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組土木本部生産技術本部設計第三部 TEL 03-5769-1314

片の内部まで均等に冷却するためには一定の浸漬時間が必要とされる。液化ヘリウム浸漬下での PUF の圧縮強度を測定するにあたり、試験片の予冷に必要な時間を推定することを目的として熱伝導解析を実施した。熱伝導解析の解析条件は以下の通りである。

- ・試験片密度：65kg/m³
- ・試験片比熱及び熱伝導率：比熱は-100℃から+20℃、熱伝導率は-150℃から+24℃の範囲の既知実測データより、外挿により各々-270℃から+30℃の範囲の値を設定した。
- ・初期温度：+25℃
- ・表面熱伝達係数：6面とも 20W/m²K

熱伝導解析の結果、液化ヘリウム浸漬下での雰囲気温度を-269℃とした時に試験片中心部温度が-268℃に達する時間は 39.5 分、液化窒素浸漬下での雰囲気温度を-196℃とした時に試験片中心部温度が-195℃に達する時間は 31.6 分とされた。

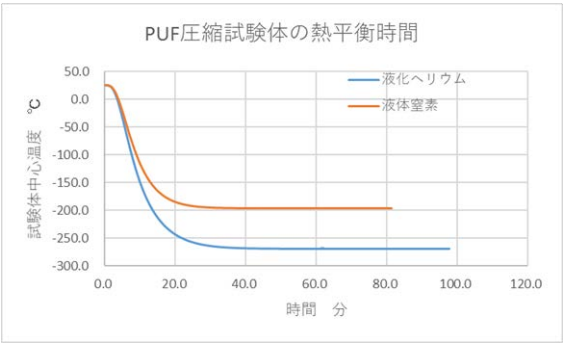


図-2 PUF 試験片の熱平衡時間

試験片表面全面に熱伝達係数 20W/m²K を設定して、試験体が気体中に浮いている条件で解析を実施したが、実際には予め冷却された熱容量の大きい治具に接し、浸漬している液化ヘリウムの気化熱の効果などの影響により解析で得られた冷却時間より速く冷却されると判断した。

3.3 試験片冷却方法

液化ヘリウム浸漬試験は、試験片を液化窒素で予冷したのち、液化ヘリウムに 40 分間以上浸漬して圧縮強度試験を行った。液化窒素浸漬試験は、試験片が液化窒素に完全に浸漬してから 40 分間以上静置した。

4. PUF 圧縮強度試験結果

圧縮試験の載荷速度は、液化ヘリウム浸漬下で 1.0mm/分、液化窒素浸漬下で 1.5mm/分とした。試験片の圧縮強度は、JIS K7220「硬質発泡プラスチック

—圧縮特性の求め方」に基づき 10%変形圧縮応力で評価する。PUF 圧縮強度の試験結果を表-1 に示す。

極低温下におけるコンクリートや金属材料と同様に、PUF 圧縮強度は温度が低くなるにつれて強度が増加し、常温での圧縮強度(LNG タンク要求値 0.3MPa)に対して 2 倍以上の強度を確認できた。ただし、液化窒素および液化ヘリウム浸漬環境の結果に大きな差が見られず、-196℃から-269℃の圧縮強度はほぼ同じ結果となった。試験後の試験片には損傷が無いことを外観により確認した。

表-1 PUF 圧縮強度試験結果

試験片記号	試験片寸法			試験環境	試験速度 (mm/min)	10%変形 圧縮応力 (MPa)
	縦 (mm)	横 (mm)	高さ (mm)			
48	50.79	50.75	39.45	-196℃ (液体窒素浸漬)	1.5	0.75
64	50.58	50.60	40.55			0.77
67	50.66	50.53	40.33			0.80
15	50.69	50.36	40.54	-269℃ (液体ヘリウム浸漬)	1.0	0.76
44	50.65	50.72	40.61			0.76
50	50.28	50.44	40.63			0.77

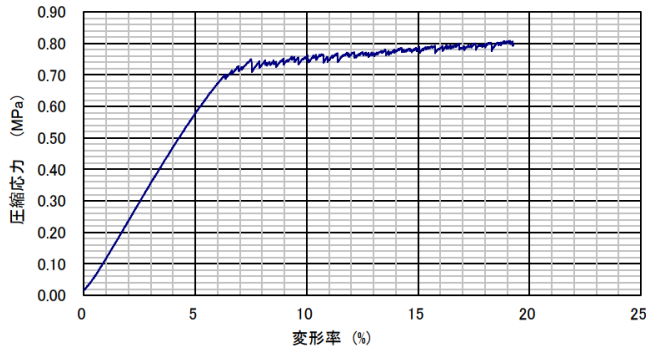


図-3 PUF の圧縮応力-変形率線図（-269℃浸漬下）

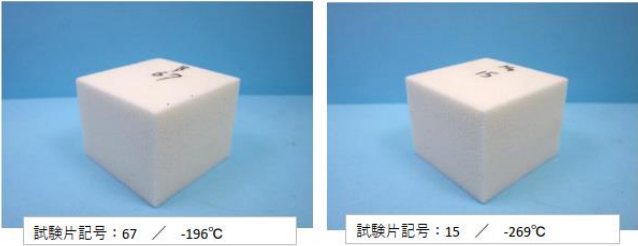


写真-3 試験後 PUF 試験片外観

5. まとめ

液化水素タンクを想定した極低温下の PUF 圧縮強度試験を実施し、PUF の圧縮強度は温度低下に伴い上昇することを確認できた。-196℃から-269℃の圧縮強度はほぼ同じ結果となったことについては、PUF の T_g（ガラス転移温度）が試験温度より高い温度域に存在している可能性も考慮し、極低温下における PUF の熱物性を今後精査する必要があると考える。

謝辞：本検討における試験は(株)コベルコ科研にて実施いただいた。