

## LNG タンクに用いる PC テンドンシステムの低温性能確認試験

大成建設 (株) 正会員 ○中村 友哉, 本谷 幸康  
 ブイ・エス・エル・ジャパン (株) 正会員 大熊 光  
 神鋼鋼線工業 (株) 山家 芳大

## 1. はじめに

「LNG 地上式貯槽指針」(以下、「LNG 指針」と称する)が2019年に改定され、LNG タンクの重要な構成部材である PC テンドンシステムおよびその定着具の要求性能に関する記述が変更された。具体的には、「定着具及び接続具」と「PC テンドンシステム」の2つの項目に分割され、それぞれに対して性能を評価することが求められるようになった。また、引用規準の改定に伴い、試験方法および評価方法も一部変更となった。

本稿では、改定後の「LNG 指針」に準じて実施した、定着具および PC テンドンシステムの低温性能確認試験について報告する。

## 2. 使用材料および設計温度

緊張材は、神鋼鋼線工業(株)製の PC 鋼より線 SWPR7BL (JIS G 3536) を使用する。使用した PC 鋼より線の機械的性質を表-1に示す。定着具は、国内最大級の地上式 LNG 貯槽への適用を想定し、VSL 工法 GC6-27 を使用する。(図-1 参照)

PC 定着部は、防液堤外面に設けられており、内側に設置する冷熱抵抗緩和材などにより、漏液時においても極低温環境まで達しない。LNG タンクの構造を考慮した熱伝導解析より、設計温度は $-40^{\circ}\text{C}$ と設定した。

表-1 使用した PC 鋼より線の機械的性質 (常温)

PC 鋼より線	規格引張荷重 <sup>※1</sup> $P_{uk}$ (kN)	規格降伏荷重 <sup>※2</sup> $P_{yk}$ (kN)	実引張荷重 $P_u$ (kN)
SWPR7BL	261	222	273

※1: 最大試験力の最小値

※2: 0.2%永久伸びに対する試験力の最小値

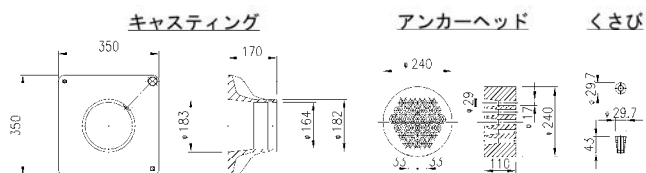


図-1 定着具 (VSL 工法 GC6-27)

## 3. 定着具のシャルピー衝撃試験

## (1) 試験方法

定着具は、JIS Z 2242 に規定されているシャルピー衝撃試験により、設計温度環境下でのじん性を確認する。

試験対象は、アンカーヘッド、キャストイングおよびくさびとする。各部材の材質を表-2に示す。後述する PC テンドンシステムの低温引張試験に使用した定着具と同一ロットの材料を使用し、各部材より3つの試験片を採取した。なお、くさびについては、加工前の丸鋼から試験片を採取するため、別ロットの材料を用いた。試験片はアルコールとドライアイスの液槽に浸して冷却し、5分以上冷却した後、液槽から取り出して5秒以内に試験を実施した。

表-2 定着具材質

部材	材質	規格
アンカーヘッド	40Cr	GB/T 3077
キャストイング	HT250	GB 9439
くさび	20CrMnTiH	GB/T 5216

## (2) 試験結果

シャルピー衝撃試験の計測項目は、吸収エネルギー、ぜい性破面率および横膨出の3つである。試験結果を表-3に示す。各値は、3体の試験片の平均値を示す。いずれも、既往の常温における試験結果と同等の値を示しており、今回の設計温度の範囲では、温度低下がじん性に与える影響は小さいことが確認できた。

表-3 シャルピー衝撃試験結果 ( $-40^{\circ}\text{C}$ )

計測項目	アンカーヘッド	キャストイング	くさび
吸収エネルギー (J)	9.28	1.84	2.79
ぜい性破面率 (%)	98	100	100
横膨出 (mm)	0.13	0.04	0.05

## 4. PC テンドンシステムの低温引張試験

## (1) 試験方法

PC テンドンシステムの低温引張試験の試験方法および評価方法は、「LNG 指針」に記載されている欧州技術評価機構 EOTA の「EAD 160004-00-0301, 2016」(以下、「EAD160004」と称する)を参照する。

試験装置は、鋼製フレームを使用し、固定端にコンクリート製の定着ブロック、緊張端に 800t 油圧ジャッキを設置し、片側から緊張して荷重を導入した。なお、テンドンの自由長を 3m 以上確保した結果、固定間距離は

キーワード LNG タンク, PC テンドンシステム, シャルピー衝撃試験, 低温試験

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木設計部特殊構造設計室 TEL: 03-5381-5293

約 7,400mm となった。図-2 に示す定着ブロックは、土木学会規準 (JSCE-E 503) および「EAD 160004」の両規準を参考に構造仕様を決定した。

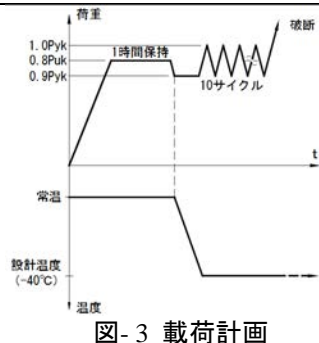
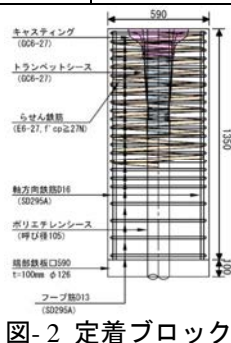
次に、載荷計画を図-3 に示す。各 PC 鋼より線の導入力が均等となるように、予備載荷を行ってから引張試験を開始した。1) 規格引張荷重  $P_{uk}$  の 20%, 40%, 60%, 80% と段階的に昇圧する。2)  $0.8P_{uk}$  に到達してから、荷重を 1 時間保持する。この間、安定性の評価項目である、めり込み量を計測する。3) PC テンドンシステム全体を冷却しながら、 $0.9P_{yk}$  に調整する。4) 設計温度以下で安定したことを確認してから、 $0.9\sim 1.0P_{yk}$  間のサイクル載荷 (10 回) を行う。5) 一定の伸び速度で破断まで緊張して、試験終了となる。

なお、温度については、定着部および PC 鋼より線 (内外の 2 箇所) に設置した熱電対により計測を行い、液体窒素を適宜注入することで、PC テンドンシステム全域が設計温度を下回るように管理した。

評価項目と判定基準を表-4 に示す。「EAD160004」は、PC テンドンシステムの低温環境に応じて評価項目を設定している。国内の LNG タンクにおいては、通常運転時は常温で、鋼製の内槽タンクから漏液したとき低温環境となるが、本試験では、常に低温環境にあるものとして、判定基準を設定した。また、本試験は、固定端および緊張端を含め、PC テンドンシステム全体を冷却したが、片側の定着具が常温というケースでの判定基準も参考に、判定基準を設定した。

表-4 低温引張試験の評価項目と判定基準

評価項目	判定基準
定着効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大荷重が常温における実引張荷重 <math>P_u</math> の 95% 以上であること</li> <li>最大荷重が低温下での降伏荷重を上回ること</li> </ul>
伸び	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大荷重計測時の緊張材の伸びが、2.0% 以上であること</li> </ul>
安定性	<ul style="list-style-type: none"> <li>荷重を <math>0.8P_{uk}</math> に保持した状態で、くさびと PC 鋼より線のめり込み量が最初の 30 分間で安定すること</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>PC 定着具の構造部材の破壊より PC 鋼より線の破断が先行すること</li> <li>PC 鋼より線破断後に定着具に有害な変形や損傷がないこと</li> </ul>



(2) 試験結果

くさびと PC 鋼より線のめり込み量は、中心部と外周部の 2 ヲ所で計測した。最初の 5 分間で 0.15mm 程度引き込まれた後、徐々に変位量が減少し、20 分経過後 0.20mm を上回ったところで安定した。

引張試験により得られた荷重と PC 鋼より線全長伸びの関係を図-4 に示す。サイクル載荷終了後、荷重が 7,000kN を越えたあたりから伸びが急増し、判定基準の 2.0% を上回る 3.6% に達したところで、PC 鋼より線が破断した。破断箇所は緊張側定着部のくさび先端付近 (写真-1) で、破断時の引張荷重は 7,487kN (実引張荷重  $P_u$  に対する定着効率 102%) であった。また、試験終了後に外観を確認したが、定着具や定着ブロックに有害な変形や損傷は見られなかった。(写真-2)

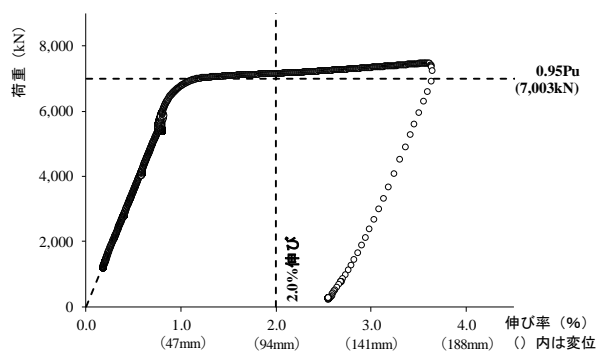


図-4 荷重-伸び



写真-1 破断箇所



写真-2 試験後の定着具

5. まとめ

定着具および PC テンドンシステムのそれぞれについて、低温性能確認試験を実施した。「EAD160004」に準じた低温引張試験では、すべての判断基準を満足する結果が得られ、PC テンドンシステムが必要な低温性能を有することが確認された。また、PC 鋼より線の破断が達しても定着具に有害な変形や損傷は生じず、定着具として十分な強度とじん性を有することが確認された。

以上より、VSL 工法 GC タイプの定着具が改定された「LNG 指針」の要求性能を満たすことを確認した。

【参考文献】

- 1) LNG 地上式貯槽指針, 日本ガス協会, 2019 年
- 2) EAD 160004-00-0301 「Post-tensioning kits for prestressing of structures」, EOTA, September 2016