

## LNG地上タンク向けPCテンドンシステムの低温性能確認試験

極東鋼弦コンクリート振興(株) 正会員 ○岡田 稔  
 国際石油開発帝石(株) 工藤 恭平  
 清水建設(株) 坂井 康伸  
 神鋼鋼線工業(株) 鴨井 智也

### 1. はじめに

現在、国際石油開発帝石(株)は直江津 LNG 受入基地において PCLNG 地上式貯槽(容量 18 万 kL×2 基)を建設中である。本稿では、本貯槽の防液堤に採用された通常仕様の PC テンドンシステムの低温性能確認試験を行った結果について報告する。

### 2. 試験概要

#### 2.1 試験項目と判定基準

「LNG 地上式貯槽指針」(日本ガス協会、2002 年)に示される PC 定着具及び接続具に求められる性能は、一般的に常温時に求められる性能に加え、1) 設計温度(低温下)において十分なじん性を有すること、2)設計温度(低温下)において PC 鋼材を含めたテンドンシステムとして脆性的に破壊したり有害な変形を生じることがなく、かつ PC 鋼材が十分な伸びを示すことができる構造、強さを有すること、である。

表-1 試験項目及び判定基準

試験項目	判定基準
低温における最大引張荷重	低温下でのPC鋼材の実測引張荷重に対する定着効率が95%以上であること。
低温における破断箇所	破壊は緊張材の破断によるものであること。緊張材の破壊が定着具の破損によって誘発されないこと。
低温試験後の定着具の変形	試験後の定着具に有害な変形がないこと。
ウェッジのめり込み量	常温時のウェッジのめり込み量の変化量が荷重の増加とともに低下すること。
最大引張荷重時の緊張材の伸び	緊張材の伸び $\geq 2\%$

従って、上記要求性能を確認することを目的に、設計温度である $-40^{\circ}\text{C}$ 以下において PC テンドンシステム試験を実施し、定着具の低温性能を確認することとした。試験方法及び試験項目は、国内の規準類に明確な規定がないため、「LNG 地上式貯槽指針」に示される性能を満足するように、EOTA「ETAG 013 Edition June 2002」(以下 ETAG013)に従い定めることとした(表-1 参照)。なお、PC 鋼材の伸びについては、「ETAG013」の低温試験には規定は無いが、「ETAG013」での常温性能の規定「常温下で 2.0%以上の伸び」を参考に、常温時よりも伸びの小さくなる $-40^{\circ}\text{C}$ 以下においても 2.0%以上の伸びを有することを合否判定基準とした。

#### 2.2 使用材料および試験数量

##### (1) 定着具

定着具は、FKK 工法 LNG タンク用定着具(27K15M, 19K15M, 12V15M)を使用した。これらの定着具は、通常の定着具と同様にウェッジ、定着ブロック、ガイドから構成されている。LNG タンク用の定着具の特長としては、低温作用による PC 鋼材の強度増加や材料の硬化に伴う脆化に対して十分な定着性能を有していることである。そのために定着具ガイド内面に旋削精密加工を施して PC 鋼材との接触面を滑らかにし、低温下においても PC 鋼材の伸び性能を十分に発揮できるようにしている。なお、定着具の材質には、従来の極低温( $-196^{\circ}\text{C}$  ~  $-160^{\circ}\text{C}$ )を想定した LNG タンク用定着具に使用していた特



写真-1 FKK工法  
LNGタンク用定着具 27K15M

殊な低温仕様品ではなく、常温仕様品と同じものとした。表-2 に低温試験を実施した定着具の材質を示す。

## (2) 緊張材

緊張材は JIS G 3536-2008 を満足する神鋼鋼線工業(株)製の PC 鋼より線(SWPR7BL)を用いた。表-3 に緊張材の機械的性質を示す。表-3 に示す緊張材の -40℃での実引張荷重は、事前に-40℃での低温引張試験を実施した 5 体の供試体の試験結果の平均値であり、常温での実引張荷重である 273kN に比べて 6% 程度の強度増加が確認された。なお、試験時の温度範囲は 3 点の各温度測定点において、-40℃以下を確保し、-60℃までとした。

## (3) 試験数量

PC テンドンシステムの低温試験は、表-2 に示す 3 種類の定着具に対して、それぞれ 3 回(合計 9 回)実施した。

表-2 定着具の材質

定着具	材質		
	定着ブロック	ウェッジ	ガイド
27K15M	S55C	SNCM420H	FCD450
19K15M	S55C	SNCM420H	FCD450
12V15M	S55C	SNCM420H	FCD450

表-3 PC 鋼材の機械的性質

緊張材呼び名	規格降伏荷重(kN)	規格引張荷重(kN)	-40℃での実引張荷重(kN)
7 本より 15.2mm	222	261	289

## 2.3 試験概要

### (1) 試験装置

荷重は 10MN 試験装置の固定端に試験体となる定着具と PC 鋼材を組立て、緊張端に設置したジャッキにより片引き緊張で荷重を導入する方法で行った。低温環境は、断熱材を組み合わせた低温槽内を冷却することにより作成し、その範囲は定着具と PC 鋼材の全長とした。試験概要図を図-1 に、定着具詳細図を図-2 に示す。

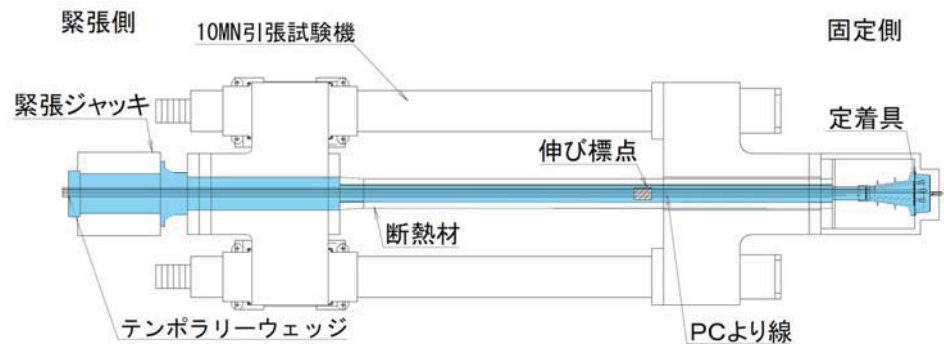


図-1 試験装置

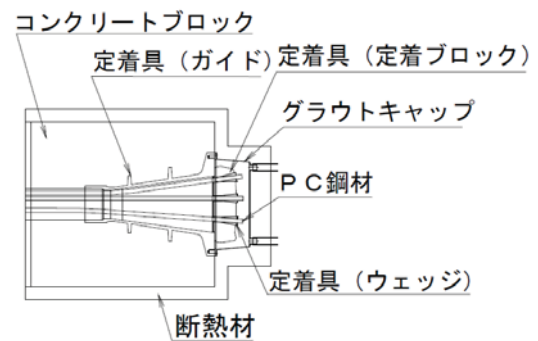


図-2 定着具詳細図

### (2) 荷重ステップ

荷重ステップの詳細は、1) ジャッキ圧力 5MPa ( $F_{P0.1k}$  の約 15%) まで荷重し、伸びの測定点をセットする。2) 毎分約 100MPa の荷重速度で、 $F_{P0.1k}$  の 20%、40%、60%、80%と段階的に荷重を与える。3)  $F_{P0.1k}$  の 80%の荷重で 1 時間一定に保つ。4) 荷重を一定に保ちながら、-40℃まで温度を下げる。5)  $F_{P0.1k}$  とその 80%の荷重の間のサイクル荷重(10 サイクル)を行う。6) 毎分 0.002 の最大ひずみ率で破損するまで荷重を与え、試験終了となる。図-3 に荷重ステップを示すが、ここで、 $F_{P0.1k}$  とは 0.1%永久ひずみを生じる荷重の規格値(229kN×PC 鋼より線本数)を示す。

## 3. 試験結果

### 3.1 試験温度

試験中は定着具と PC 鋼材全長の温度を複数個の熱電対により常に測定した。温度の微調節が試験装置の都

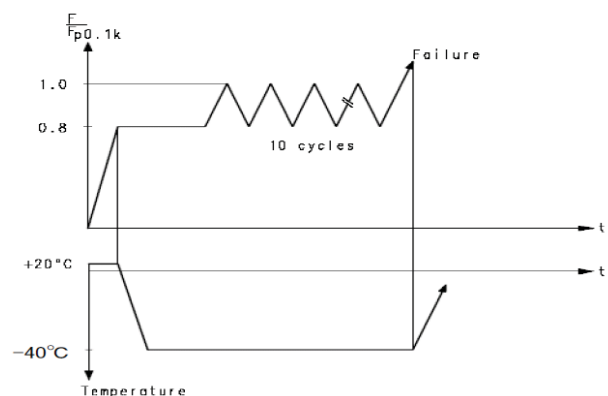


図-3 荷重ステップ

合上、困難であったため、温度の管理は全て温度測定箇所において-40℃以下となるように行った。載荷時の温度は常温下では 16℃～25℃、低温下では-40℃以下を確保し、概ね-70℃までの範囲で試験を実施することができた。

### 3.2 低温下における定着効率

PC テンドンシステム試験の試験時最大引張荷重と定着効率を表-4 に示す。ここに示す-40℃における実測引張荷重  $P_{u-40℃}$  とは、-40℃での実測引張荷重 289kN (表-3 参照) × PC 鋼より線本数であり、定着効率とは緊張材の-40℃における実測引張荷重に対する試験時最大引張荷重の比を百分率で示した値である。定着

表-4 最大引張荷重と定着効率

試験体		試験時 最大引張荷重 P	-40℃における 実測引張荷重 $P_{u-40℃}$	-40℃における 実測引張荷重に 対する定着効率 $P/P_{u-40℃} * 100$
定着具	No.			
27K15M	No.1	7603kN	7803kN	97.4%
	No.2	7628kN		97.8%
	No.3	7614kN		97.6%
19K15M	No.1	5369kN	5491kN	97.8%
	No.2	5420kN		98.7%
	No.3	5456kN		99.4%
12V15M	No.1	3454kN	3468kN	99.6%
	No.2	3454kN		99.6%
	No.3	3439kN		99.2%

効率は、PC 鋼材の-40℃における引張荷重に対して 97.4%～99.6%であり、全ての試験体において判定基準である 95%以上を満足する結果であった。このことから、本試験に用いた定着具は低温作用による PC 鋼材の強度増加に対しても十分な定着効率を有していることが確認された。

### 3.3 定着具の変形及び破損と緊張材の破断位置

表-5 に PC 鋼材の破断位置を、写真-2 に試験直後の定着具の一例を示す。いずれの場合においても、破壊は PC 鋼材の破断であり、その位置はテンポラリーウェッジ(ジャッキ側ウェッジ)先端、PC 鋼材と定着具ガイドとの接触面又はその両方であった。定着具は試験後に解体して変形や損傷の有無を確認した(写真-3 参照)。全ての定着具に有害な変形、破損は無いことから、PC 鋼材の破断は定着具の破損によって生じたものでは無いと考えられ、定着具は-40℃の低温下においても十分な強度とじん性を有していることが確認された。

表-5 PC 鋼材の破断位置

試験体		破壊位置
定着具	No.	
27K15M	1	テンポラリーウェッジ先端
	2	テンポラリーウェッジ先端
	3	PC鋼材の定着具ガイドとの接触箇所
19K15M	1	PC鋼材の定着具ガイドとの接触箇所 テンポラリーウェッジ先端
	2	PC鋼材の定着具ガイドとの接触箇所
	3	テンポラリーウェッジ先端
12V15M	1	テンポラリーウェッジ先端
	2	テンポラリーウェッジ先端
	3	PC鋼材の定着具ガイドとの接触箇所



写真-2 試験後の定着具



写真-3 試験後に解体した定着具

### 3.4 ウェッジのめり込み量

めり込み量は載荷ステップ 2) の常温時の段階的な載荷の際に測定した。測定状況を写真-4 に、荷重とウェッジ

のめり込み量の関係を図-4 に示す。ウェッジのめり込み量の変化量は荷重の増加に伴い減少し、定着具に有害なめり込み等は確認されなかった。



写真-4 測定状況

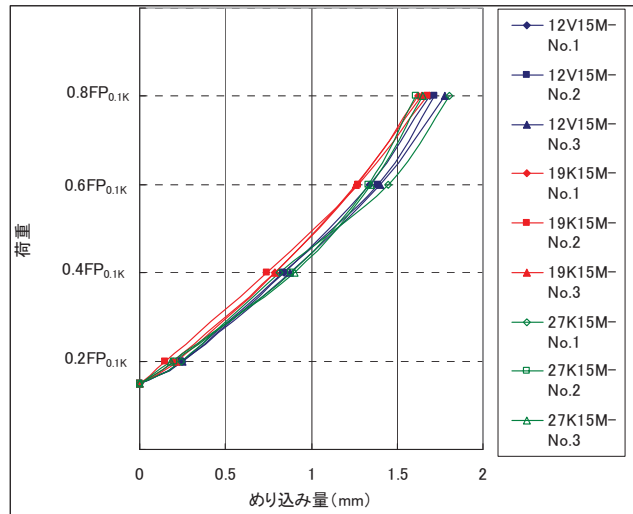


図-4 ウェッジのめり込み量の測定結果

### 3.5 最大引張荷重時の緊張材の伸び

低温下における PC 鋼材の伸びを図-1 に示す定着具～伸び標点間において測定した。測定は複数本の緊張材の内の 1 本の緊張材に取り付けた治具を介して変位計にて測定を行った。表-6 に示すように伸びは全ての試験体において 2.0%以上を示し、判定基準を満足する結果であった。また、19K15M の PC 鋼材全長の伸びと荷重の関係を図-5 に示す。このように、PC 鋼材全長の伸びは、荷重の増加に比例して増加して、その後 5000kN を超えた付近から急激に増加し、その後に破断に至っている。このことから、PC 鋼材は降伏後に十分な伸びを示し破断していることが分かる。これらより、本試験に用いた定着具は -40℃ においても緊張材が十分な伸びを示す構造であることが確認された。

表-6 緊張材の伸び(定着具～標点)測定結果

試験体	標点距離 L	伸び量 ΔL	伸び ε = ΔL/L*100	
定着具 No.	(mm)	(mm)	(%)	
27K15M	1	2135	60.8	2.85
	2	2135	52.6	2.46
	3	2135	44.2	2.07
19K15M	1	2200	65.6	2.98
	2	2170	57.7	2.66
	3	2180	51.4	2.36
12V15M	1	2136	47.6	2.23
	2	2141	44.5	2.08
	3	2140	48.5	2.27

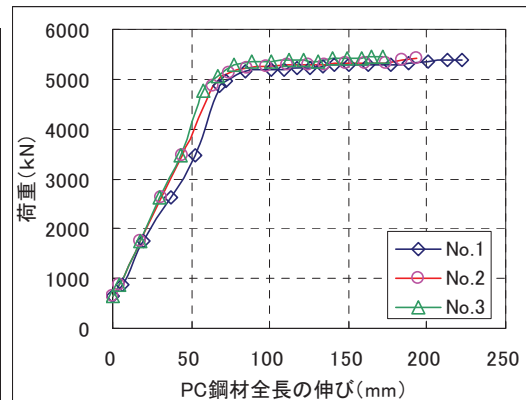


図-5 荷重と PC 鋼材全長伸びの関係

## 4. おわりに

FKK 工法 LNG タンク用定着具(27K15M, 19K15M, 12V15M)について、「LNG 地上式貯槽指針」の要求性能を満たすことを確認するために、PC テンドンシステム低温試験を実施し、設定した全ての合格判定基準を満足する結果が得られた。

### 【参考文献】

- 1) コンクリート標準示方書(規準編), 土木学会
- 2) LNG 地上式貯槽指針, 日本ガス協会, 2002 年
- 3) ETAG 013 Edition June 2002, EOTA