

PC 防液堤のパイプクーリングを用いた温度ひび割れ制御

大成建設(株) 正会員 ○米倉 良介

大成建設(株) 正会員 横田 崇之

ひびきエル・エヌ・ジー(株)

溝口 敬義

1. はじめに

ひびきエル・エヌ・ジー(株)では、近年ますます拡大している天然ガスの需要に対応するため、北九州市若松区に、北部九州における「天然ガス」の広域供給拠点となる LNG 受入基地の建設を計画し、平成 22 年 11 月に起工した。

本基地の主要構造物となる 180,000kl の PCLNG 地上式貯槽は、金属製タンクの基礎となる RC 構造の基礎版と PC 構造の防液堤（内径：D=82.2m，壁厚：t=0.6m～1.2m）からなる大型構造物である。

本報は、PCLNG 貯槽における PC 防液堤工事のうち、パイプクーリングによる温度ひび割れ制御について述べるものである。

2. PC 防液堤の機能と目標ひび割れ指数

PC 防液堤は機能上、所定の強度を有し、耐久性に優れかつ液密性の高い構造物であることが求められる。

「LNG 地上式貯槽指針」では、耐久性と液密性確保の観点から、目標ひび割れ指数（Icr）として「コンクリート標準示方書」で示されている 1.75（ひび割れ発生確率 5%）程度を目標とすることになっている。

3. PC 防液堤のコンクリート仕様とロット割

PC 防液堤のコンクリート仕様とロット割を表 1 に示す。

表 1 PC 防液堤のコンクリート仕様とロット割

ロット	高さ (m)	設計基準強度 (水セメント比)	セメントの種類	施工時の温度ひび割れ対策
#15	2.30	$f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ (W/C=55%)	低熱高炉セメント B 種	特になし
#14	1.80			
#5～#13	2.80			
#4	2.60			
#3	2.50	$f'_{ck}=60\text{N/mm}^2$ (W/C=38%)	低熱ポルトランドセメント	パイプクーリング×2 本
#2	2.90			パイプクーリング×2 本
#1	2.80			パイプクーリング×12 本

4. 温度ひび割れに対する検討

温度ひび割れの検討は、地盤・基礎版・PC 防液堤を軸対象ソリッド要素でモデル化し、非定常熱伝導解析および温度応力解析により行った。

解析の結果、壁厚が厚い PC 防液堤 #1, 2 ロット (t=1.2m) では、 $I_{cr} \geq 1.75$ を満足させるため、低熱ポルトランドセメントの採用と合わせて、パイプクーリングによるコンクリート内部温度の制御が必要となった。

クーリングパイプとして継ぎ目のない 1inch のポリエチレン管を採用し、コンクリートの温度上昇に応じて冷却水を通水できるように計画した。

パイプクーリングを併用したときの #1 ロットの温度ひび割れ解析結果を図 1 に示す。

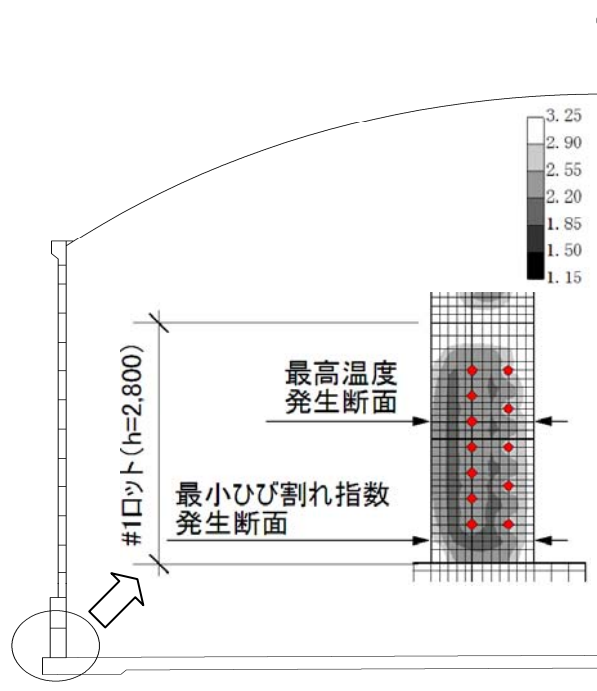


図 1 ひび割れ指数分布（#1 ロット）

このとき、 $I_{cr} \geq 1.75$ を満足する条件として、コンクリートの最大上昇温度を 56℃以下とするため、クーリングの仕様は、通水温度（平均）27℃，通水量 100cm/sec，クーリングパイプ本数は 12 本となった。

キーワード LNG, PCLNG 貯槽, PC 防液堤, 温度ひび割れ, パイプクーリング, 低熱ポルトランドセメント

連絡先 〒808-0002 福岡県北九州市若松区向洋町 20 番 1 大成建設(株) ひびき LNG 基地(作) TEL 093-752-1882

5. パイプクーリングの課題

これまでの PC 防液堤におけるパイプクーリングの課題として、以下の2点が挙げられる。

- ① 冷却効果が不均一になりやすい。
- ② コンクリート内部温度の管理が難しく、解析と比較し、温度が上下しやすい。

5.1 冷却効果の不均一性の解消対策

冷却効果の不均一性を解消するため、通水ルートは、PC 防液堤を 360° 循環させるのではなく、180° で循環させる計画にした。(図 2 参照) また、12 本あるクーリングパイプの通水系統を6系統に分割し、入口、出口に分けて千鳥配置とした。(図 3 参照)

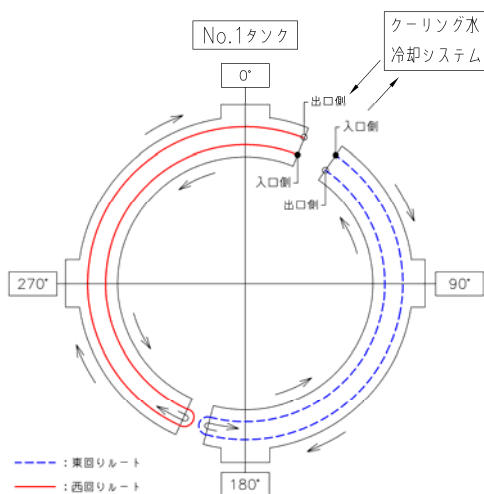


図 2 通水ルート (180° 循環)

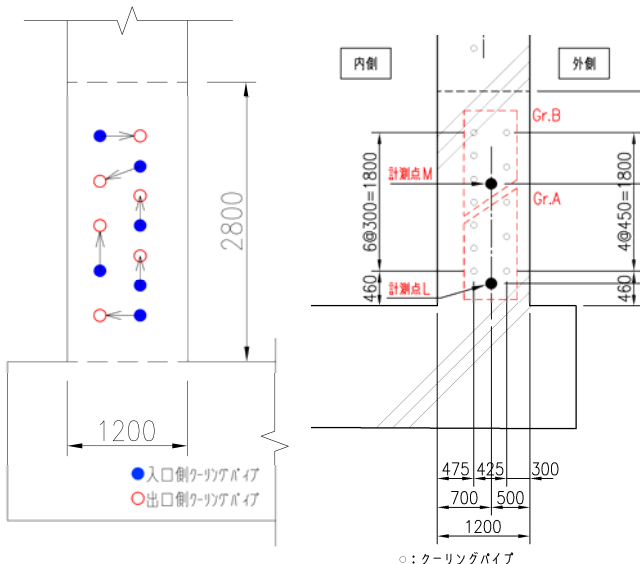


図 3 通水系統分け

図 4 温度計測位置

5.2 コンクリート内部の温度管理

工事において PC 防液堤内部に配置した熱電対の測定結果をリアルタイムに確認できるシステムを構築し、実際の温度状況に応じたパイプクーリングを行うことでコンクリートの温度管理を行った。

パイプクーリングの運転管理基準となる管理基準温度（開始基準、停止基準、再通水基準）を温度ひび割れ解析結果から設定した。このとき、解析と比較し、温度変化が大きくなる場合は、通水温度を調整することで対応した。なお、通水温度の管理は、パイプ出口部の冷却水の温度を計測し、出口部での水温が所定の管理通水温度を確保できるよう、冷却器で調整を行った。

6. パイプクーリング実施結果

防液堤 120° 方向計測点 M ($h=1,600\text{mm}$) における実測値と解析結果を図 5 に示す。

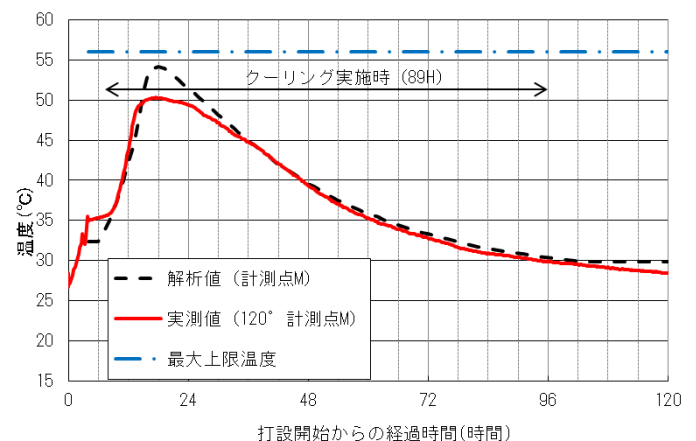


図 5 実測値と解析結果

実測値と $I_{cr} \geq 1.75$ を満足する解析結果とを比較すると最大温度を低減することができ、温度低下傾向もほぼ合致していることからパイプクーリングは、温度ひび割れ対策として効果的に実施できたと考えられる。

7. おわりに

本工事では、PC 防液堤の温度ひび割れに対する検討を実施し、その対策として低熱ポルトランドセメントの採用と合わせてポリエチレン管を用いたパイプクーリングを実施した。また、通水ルートを 180° 循環とし、入口、出口のパイプを千鳥で配置したことで、冷却効果が均一になり、温度低減効果も確認できた。

リアルタイムに温度測定が可能なシステムを構築し、情報化施工とすることで、解析条件に準じた運転管理が可能となり、解析の再現および効果的なクーリングを実施することができた。なお、現地調査においても有害なひび割れは発生していないことから、クーリングによる温度ひび割れ制御として一定の成果を確認することができた。