簡易パイプクーリングによるPC防液堤の温度ひび割れ対策

北海道ガス（株）石狩LNG基地　設備グループ　寺岡　匡伸
東京ガスエンジニアリングソリューションズ（株）　正会員　北郷　徳久
大成建設（株）　正会員　○木村　利秀，本谷　幸康，　小林　祐樹

1.はじめに

北海道ガス（株）は道内における天然ガス需要の増加と安定した供給を図り，2基目のPCLNG貯槽を建設している．当該貯槽は容量が20万kl，直径87.4mの基礎版と高さ43.1mのPC防液堤を有する大型貯槽である（図 1参照）．本稿ではPC防液堤下端の温度ひび割れ対策として実施した簡易パイプクーリングの方法と温度応力低減効果について述べる．

2.PC防液堤の機能と要求性能

PCLNG貯槽は，金属製の内槽・保冷材・PC構造の防液堤と基礎版からなる構造である．このうち，PC防液堤は，万一のLNGの漏洩を防止するための重要な構造物であり，耐久性に優れ，液密性の高い構造であることが求められている．そのため，「LNG地上式貯槽指針，2012年」において，施工段階における，目標ひび割れ発生確率は，「コンクリート標準示方書」または「マスコンクリートのひび割れ制御指針2008」に基づき5%以下（ひび割れ指数（Icr≧1.85））と規定されている．

3.従来型パイプクーリングの課題と本工事における温度ひび割れ対策

PC防液堤の下端部#1，2ロットは，壁厚が1360mmと厚く，基礎版に拘束されている．そのため，コンクリート打設後における温度応力が大きく，初期ひび割れの発生が懸念される．温度ひび割れ対策の一つとして，円周方向に配置したPC鋼材用のシースと冷却装置を用いたパイプクーリングを適用した事例がある[1)]（以下従来型パイプクーリングと称す）．しかしながら，従来型パイプクーリングでは下記の課題があった．

①円周方向シースは内径が95mmと大きいため，多量のクーリング水が必要となる．

②円周方向シース位置は構造計算上のPC鋼材配置により決定されるため，任意の位置にクーリングパイプを設置できない．

③円周方向シースは約10m毎に継ぎ目があるため，パイプクーリング時の漏水が懸念される．

④冷却装置は大型であり，設置に時間がかかる他，リース費用が高い．

そこで，本工事のパイプクーリングでは，PC防液堤内に継ぎ目のないエフレックス管（内径30mm）を任意の位置に設置することで，通水流量を縮減し，かつ適切な冷却効果を得られることが事前の温度応力解析で確認できたため，冷却装置を省略した．

4.解析条件

図 2に，解析モデルおよび養生条件を示す．ひび割れ指数は，地盤，基礎版およびPC防液堤を軸対称ソリッド要素によりモデル化した非定常熱伝導解析および温度応力解析により得られる引張応力と引張強度より算定した．解析ケースは，「パイプクーリング無し」，「円周方向シースを利用したパイプクーリング（ケース1）」，「任意の位置に設置したエフレックス管を利用したパイプクーリング（ケース2）」とした．パイプク―リングの設定条件を表 1に示す．

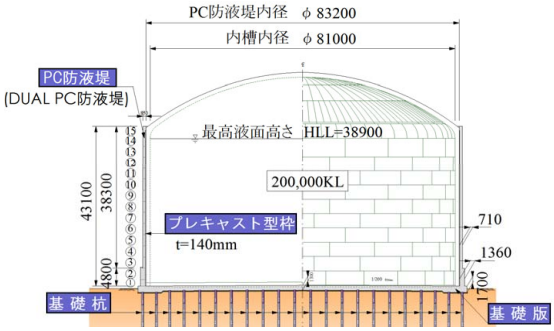

図 1　PC防液堤の寸法

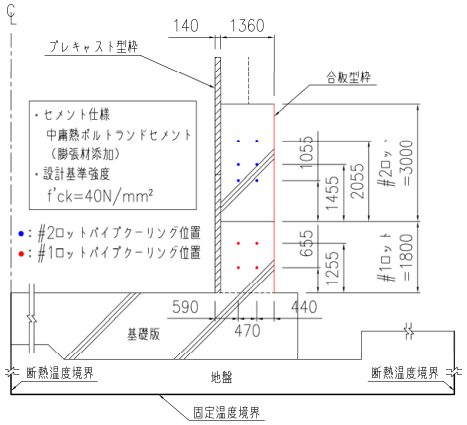

図 2　解析モデル

キーワード　PCLNG貯槽，温度ひび割れ，温度応力解析，パイプクーリング
連絡先　〒163-0606　東京都新宿区西新宿1-25-1　大成建設㈱　土木設計部　特殊構造設計室　TEL　03-5381-5293

5.解析結果（最高温度およびひび割れ指数）

図 3に，解析結果を示す．パイプクーリングを考慮した場合の最高温度は，パイプクーリング無しよりもケース 1 の#1 で 2℃，#2 で 7℃，ケース 2 の#1 で 3℃，#2 で 6℃低下した．この冷却効果により，最小ひび割れ指数は，ケース 1 の#1 で 2.75，#2 で 2.35，ケース 2 の#1 で 2.76，#2 で 2.49 となり，同程度の結果となった．

6.通水流量

ケース 2 の通水流量はケース 1 の 10%以下に減らすことができた理由は，以下の通りである．

・ケース 2 のクーリングパイプの直径は，ケース 1 の 30%程度である．（断面積の比率は 10%程度）

・ケース 2 はクーリングパイプを任意の位置に設置可能であるため，必要な場所に必要なだけ配置した．そのため，ケース 2 のクーリングパイプ本数が，ケース 1 の 80%以下となった．

7.簡易パイプクーリング方法

通水経路は図 4に示す通り，工事開口から 2 系統に分割した．通水方法は以下の通りである．

①工事開口付近に設置した受水槽（2m^3 水タンク）で工業用水を集水する．

②受水槽に貯留した水を水中ポンプ（0.4kW）にて，クーリングパイプに通水する．

③0° 側に設置した受水槽（2m^3 水タンク）にてクーリング水を集水し放水する．

円周方向シースを利用した場合と本工事のパイプクーリングの状況を図 5（a）に示す．本工事に適用したパイプクーリングは，非常に簡易な設備で実施できた．

8.まとめ

本工事において，PC 防液堤の下端部の温度ひび割れ対策として実施した簡易なパイプクーリングのメリットを以下に示す．

・パイプ内径が小さいため，通水流量を少なくできる．

・任意の位置にパイプを設置できる．

・パイプの継ぎ目がないため，漏水の懸念がなく，早期にクーリングを開始できる．

以上のメリットにより，本工事では大型の冷却装置を省略することで施工の合理化を図り，かつ高品質な PC 防液堤を構築した．

参考文献

1）木村，久保，北郷：石狩 LNG 基地　PCLNG 貯槽の温度ひび割れ対策，第 65 回土木学会年次学術講演会

表 1　パイプクーリングの設定条件

検討ケース	ケース 1		ケース 2	
ロット	#1	#2	#1	#2
パイプ本数（本）	5	9	4	6
パイプ内径（mm）	95		30	
流速（cm/sec）	60		60	
通水温度（℃）	28	24	28	24
流量（m^3/時間）	77	138	6	9

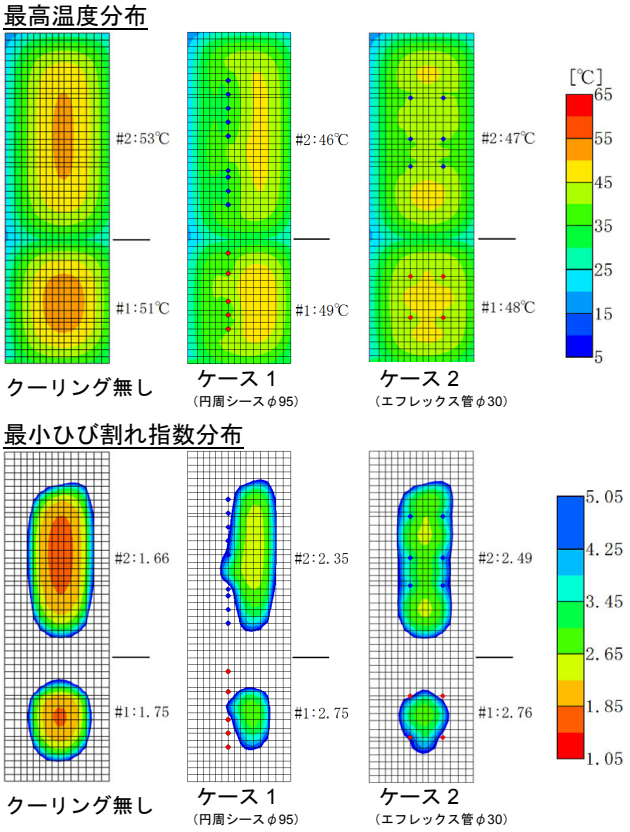

図 3　解析結果

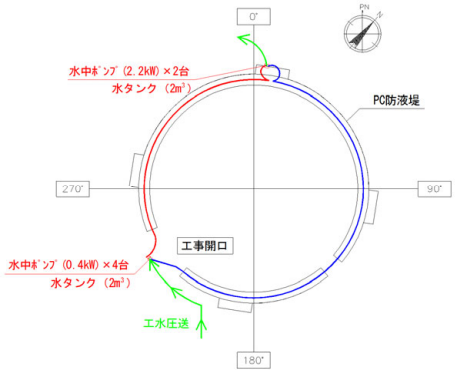

図 4　通水経路

（a）従来型パイプクーリング　（b）簡易パイプクーリング

図 5　クーリング状況