

石狩 LNG 基地 PCLNG 貯槽の温度ひび割れ対策

大成建設 (株) 正会員 ○木村 利秀

北海道ガス (株) 久保 有司

東京ガス・エンジニアリング (株) 正会員 北郷 徳久

1.はじめに

北海道ガス(株)では、道内での天然ガス需要の増大に対応し、将来にわたり安定的に供給できる体制を整えるため、石狩湾新港地域において新たに石狩 LNG 基地(仮称)を建設している。当基地における主要施設の一つである PCLNG 貯槽は、容量が 18 万 kL と国内最大のものであり、直径 85.8m の基礎版と高さ 40.2m の PC 防液堤を有する大型貯槽である。本報は、この大型貯槽、特に PC 防液堤を対象とした温度ひび割れ対策および計測結果について述べるものである。

2.PC 防液堤の機能と要求性能

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、2002 年」による、施工時段階における温度ひび割れ発生に対する安全性の検討において、目標とするひび割れ指数(Icr)はコンクリート標準示方書に基づき 1.75 程度(ひび割れ発生確率 5%程度)と規定されている。上記規定に対し本検討では、最新の知見を踏襲し、2008 年に発行された「マスコンクリートのひび割れ制御指針、2008 年」に準拠し、Icr=1.85 程度 (ひび割れ発生確率 5%程度)を目標とした。

3.PC 防液堤#1 ロットの仕様

図 1 に、PC 防液堤#1 ロット下部の構造および仕様を示す。PC 防液堤において、下端の#1 ロットの温度応力が、最も厳しいことから、#1 ロットの対策と計測結果について以下に述べる。

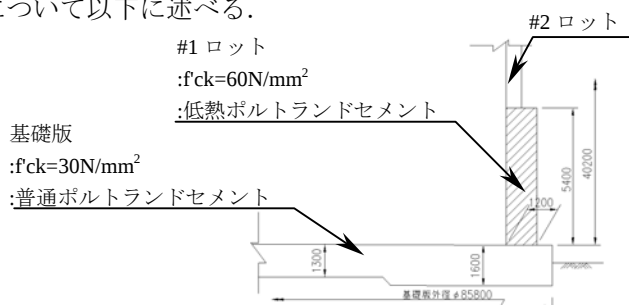


図 1 PC 防液堤の仕様

4.温度ひび割れに対する検討

図 2 に、解析モデルおよび養生条件を示す。温度ひび割れ検討は、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行った。

解析に用いたコンクリートの物性は、簡易断熱温度上昇試験や強度試験により得られた、実際の熱特性と強度特性を用いた。

5.温度ひび割れ対策

#1 ロットにおいては、ひび割れ指数 Icr=1.85 という高い目標を満足するため、低熱ポルトランドセメントの使用に加え、円周 PC シース管を利用したパイプクーリングを実施することとした。

図 3、図 4 に、パイプクーリングの実施の有無による最高温度分布および最小ひび割れ指数の分布図を示す。パイプクーリングを実施することにより、初期材齢におけるコンクリートの最高温度を低減し、部材全体の平均温度を早期に最終温度まで低下させることが可能となった。なお、Icr の厳しい#1 ロット下端部にクーリングパイプを密に配置することで、Icr が最小となる位置が#1 ロット中央部に移動する結果となった。

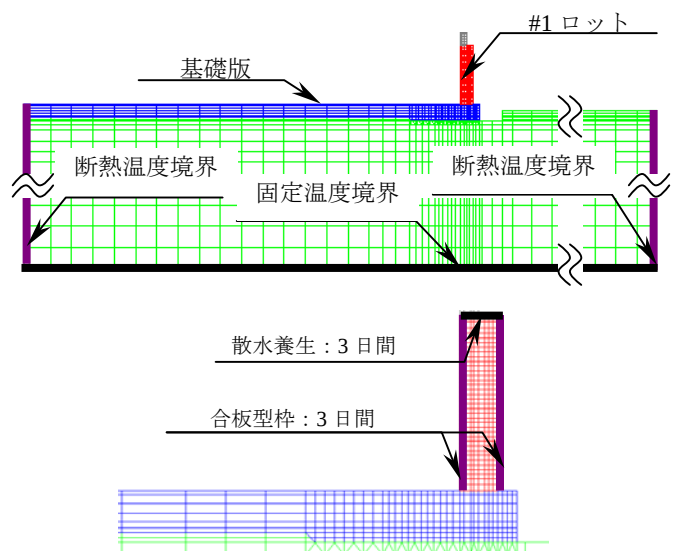


図 2 解析モデル

キーワード 温度ひび割れ、温度応力解析、断熱温度上昇試験、低熱ポルトランドセメント、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(株) 土木設計部 陸上第一設計室 TEL 03-5381-5292

6. 解析と実測の温度履歴の比較

図 5に、解析上 I_{cr} が最小となる点(図 4参照)における事前解析と実測結果、ならびに後述する外気温と冷却水温を考慮した温度履歴を示す。図 5に示す通り、実測のコンクリートの打込み温度は、解析よりも約 6°C 高い結果となった。さらに、実測のコンクリートの最高温度は打込み温度の上昇に伴い、温度上昇特性が高まり、解析よりも約 10°C 高い結果となった。

事前解析における打込み温度は、プラント実績より外気温 $+3^{\circ}\text{C}$ と設定している。しかしながら、以下の要因により、実測の打込み温度が解析よりも大きくなった。

- ① 打設当日の外気温は、設定した外気温よりも 4°C 程度高い結果であった。
- ② 外気温は日平均の温度としているが、解析上 I_{cr} が最小となる点(図 4参照)の打込みは、正午頃であり一日の中でも温度が高い時間であった。

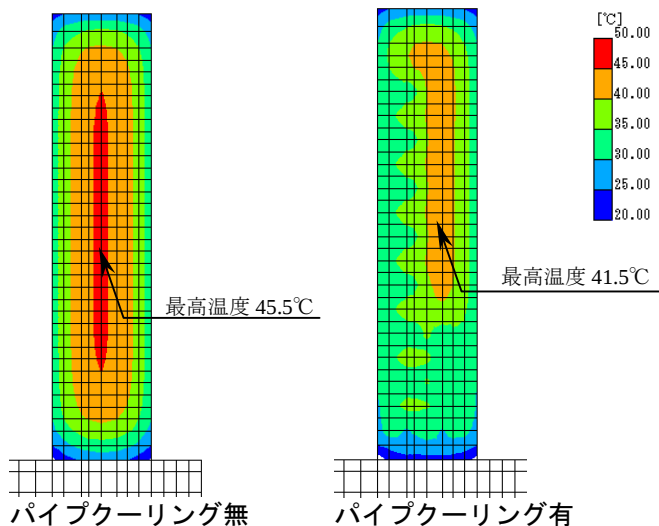


図 3 最高温度分布

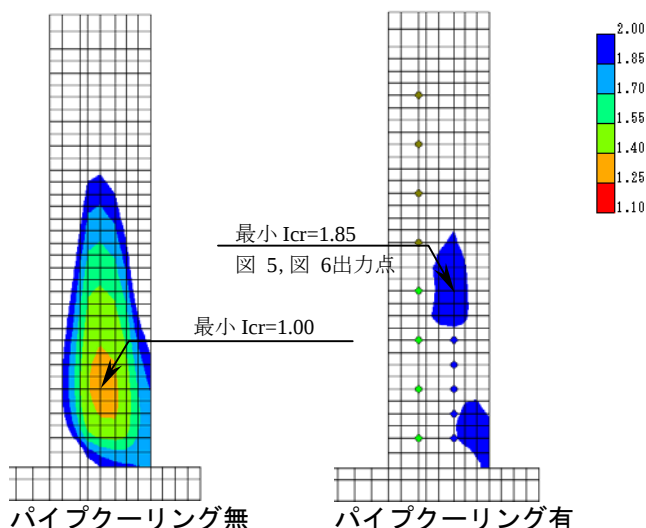


図 4 最小 I_{cr} 分布

7. 実測の外気温、冷却水の温度を反映した解析

図 5より、外気温および冷却水温を考慮することにより事後解析は実測の温度履歴に概ね一致する結果となった。

図 6に、上記の事後解析の I_{cr} の履歴を示す。事後解析の最小 I_{cr} は 1.66 となり、目標とする I_{cr} を下回る結果となった。しかしながら、ひび割れ発生確率は、約 8% ($I_{cr}=1.66$) であり、また、型枠脱型後、現地のひび割れ調査をした結果からも有害なひび割れは発生していなかった。

8. まとめ

本検討では、PC 防液堤#1 ロットの温度ひび割れ防止対策に、低熱ポルトランドセメントを使用し、円周 PC シース管を利用したパイプクーリングを実施した。

実測したコンクリート内部の温度履歴は、事前解析による予測値を上回る結果となったが、実測の外気温、冷却水温を反映した事後解析を実施した結果、温度履歴は概ね一致する結果となった。このことから、試験値より設定した物性値を用いた本解析手法の妥当性が確認でき、また、有害なひび割れの無い PC 防液堤を構築することができた。

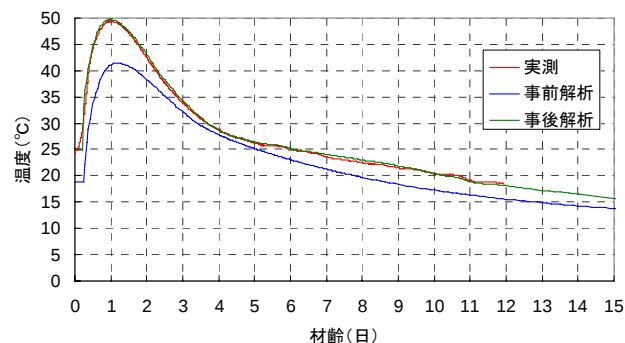


図 5 事前解析、事後解析および実測の温度履歴

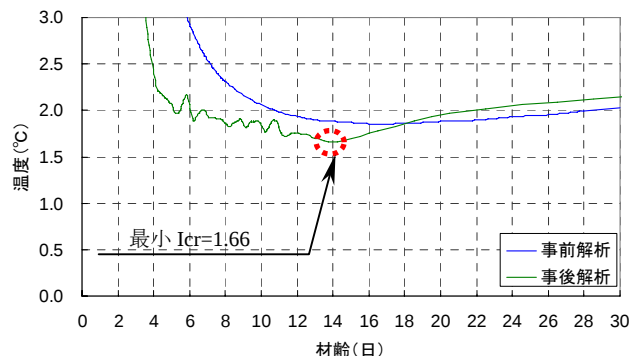


図 6 事後解析と事前解析の I_{cr} 履歴