

PC LNG貯槽における体積変化に起因した残留応力の制御

大阪ガス 正会員 岡井 大八
 大阪ガス 正会員 西崎 丈能
 大林組 正会員 鎌田 文男
 大林組 正会員 高橋 寛

1. はじめに

可燃性の天然ガスを冷却、液化したLNGを貯蔵するPC LNG貯槽の防液堤は、容器としての機能上、所要の強度を有し、液密性が高く、耐久性に優れた構造であることが要求される。コンクリートは早期材齢において、セメントの水和反応による発熱、自己収縮等により体積変化を生じ、この体積変化は各種拘束を受けるコンクリート構造の各部位に応力を発生させ、温度ひび割れのような構成材料の損傷につながることもある。高強度コンクリートを用いるため PC LNG貯槽の開発・実用化には、温度ひび割れを確実に防止できる技術の確立が必須であった。コンクリートの材料・配合上の対策と施工上の対策を効果的に組み合わせ、打設条件に応じて温度ひび割れの発生を確実に防止できる技術を確立した¹⁾。施工実績を積み重ね、最近では温度ひび割れを発生させない管理から初期残留応力を制御する管理へと移っている。ここではその概要について報告する。

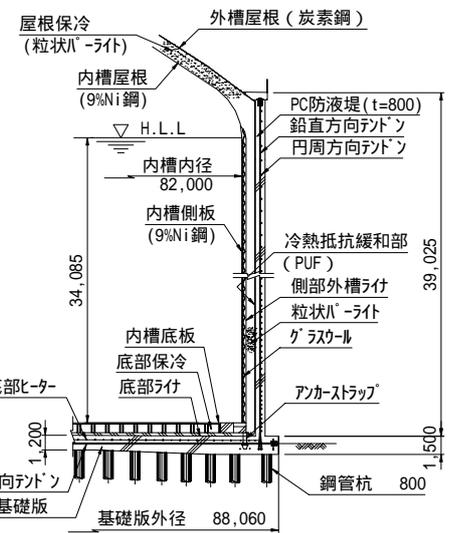


図 - 1 構造断面図

2. PC LNG貯槽(18万KL容量)のコンクリート工事の概要

防液堤は直径約85m、壁高さ39m、壁厚は0.80mの大規模な円筒シェルで、設計基準強度は60N/mm²である。その施工にはコンクリート工事の合理化、コスト縮減のために自己充填コンクリート(SCC)を採用し、先に完成した泉北製造所18号タンクでは1リフト約4.5m、現在建設中の姫路製造所8号タンクでは1リフト1.9mで構築した。SCCには高ピーライト系の低熱ポルトランドセメントを515kg/m³用い、収縮補償のためにCSA系膨張材を15kg/m³混和した。

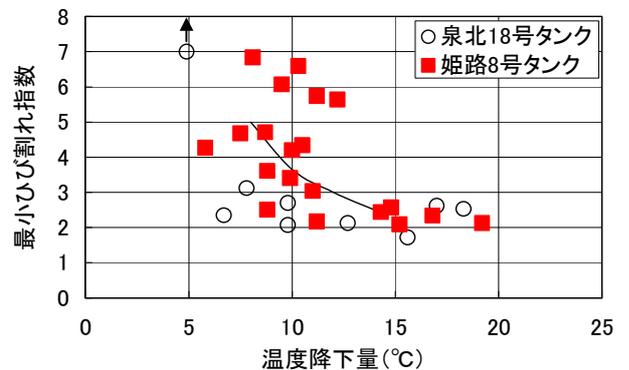


図 - 2 温度降下量とひび割れ指数

3. 温度ひび割れと初期残留応力の制御管理

2基のタンクの制御管理結果を、従来の温度ひび割れ指数により評価すると、図-2のようになる。これは、各リフト毎にピーク温度から安定温度までの温度降下量と計測値から求めたひび割れ指数の最小値との関係を表したもので、自己収縮や日射、外気温の日変動などの影響を含んだ実測値に対する評価値として、いずれのリフトにおいてもひび割れ指数は1.7以上を上回り、ひび割れの発生に対して十分な安全性を有する結果であった。これを長期計測による構造物の応力挙動で見ると、防液堤の構築過程で生じた温度応力(初期残留応力)は図-3のように完成後においても残留し、それによって稼働状態における耐久性の確保(曲げひび割れ発生限界)に直接影響が及ん

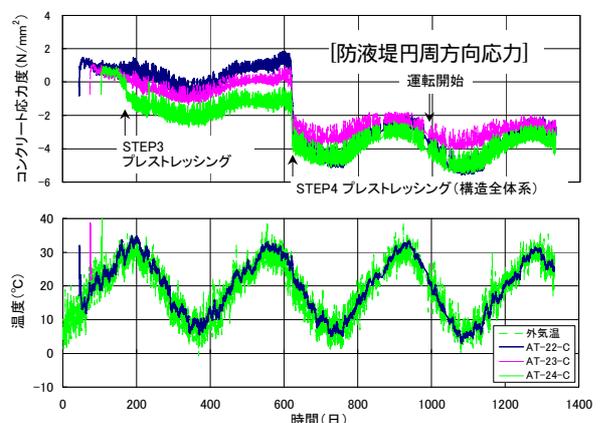


図 - 3 PC LNG貯槽の温度・応力長期挙動

キーワード：LNG，PC容器，マスコンクリート，温度応力，自己収縮

連絡先：(株)大林組 土木技術本部 (〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川イナターティ B 棟 TEL 03-5769-1307)

でいる。この残留応力は水和反応に起因した温度応力と自己収縮、その他の影響が合わさったものであるが、それが限界状態に及ぼす影響は無視できないとして設計上、寸法効果とは別にコンクリートの材料係数として $c=1.3$ を考慮している。

次に、ピークからの温度降下量と初期残留応力の相関関係として表すと図 - 4 のようになる。コンクリートのピーク温度からの温度降下量が大きくなるほど残留応力は増加している。その割合は概ね 1 当たり 0.1N/mm^2 となっている。この相関関係を外挿すると、温度降下量が 0 の時の残留応力は 0.4N/mm^2 前後であり、残留応力 0 のときの温度降下量は 4~5 程度と読み取れ、これが膨張材を混和した見掛け上の効果と考えられる。同図において温度降下量が比較的小さいにも拘わらず残留応力の大きなリフトについて温度・応力の経時変化（図 - 5）を分析してみると、安定温度まで温度が降下していく過程で外気温が上昇したことに伴い拘束体となる既に構築した部分の温度が上昇して体積膨張することにより、被拘束体（打設したリフト）に発生する引張応力が大きめ（コンクリートの温度降下量 1 当たり約 0.2N/mm^2 ）となっている。これとは逆に外気温が降下したケース（図 - 6）では、温度降下量は大きくなるが拘束体の温度も下がって体積収縮することにより、被拘束体に発生する応力が緩和されている。この他に、外気温の変動が比較的小さい条件下でポストクーリングにより緩やかに温度降下させる形となったケースでは、クリープによる応力緩和効果が大きく現れる傾向が認められた。最近の破壊力学的アプローチによる研究報告によれば、寸法効果の中には温度応力や収縮の影響が含まれているとの指摘がある。その影響は定量評価するまでに至っておらず、従って単純に比較することはできないが、 $1\sim 1.5\text{N/mm}^2$ 程度以内という残留引張応力の大きさは、[寸法効果 + 材料係数 $c=1.3$]相当分と比べてほぼ同等である。

4. まとめ

早期材齢における発熱や自己乾燥による体積変化に起因してコンクリート構造の各部位に生ずる拘束応力の挙動に対して、ここに報告したような計測実績と研究の積み重ねから、影響要因とその影響度が明確にされ、それを適切に考慮した施工管理技術を適用することにより、近い将来、温度ひび割れ制御の照査を温度ひび割れ指数という安全率に置き換えた間接的な評価から、残留応力で直接評価することも可能になると考えられる。

4. まとめ

早期材齢における発熱や自己乾燥による体積変化に起因してコンクリート構造の各部位に生ずる拘束応力の挙動に対して、ここに報告したような計測実績と研究の積み重ねから、影響要因とその影響度が明確にされ、それを適切に考慮した施工管理技術を適用することにより、近い将来、温度ひび割れ制御の照査を温度ひび割れ指数という安全率に置き換えた間接的な評価から、残留応力で直接評価することも可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 西崎丈能, 鎌田文男, 入矢桂史郎, 十河茂幸: PCLNG地上式貯槽の温度ひび割れ制御対策とその効果, 第47回土木学会年次学術講演会講演概要集, -247, pp.524-525, 1992.9

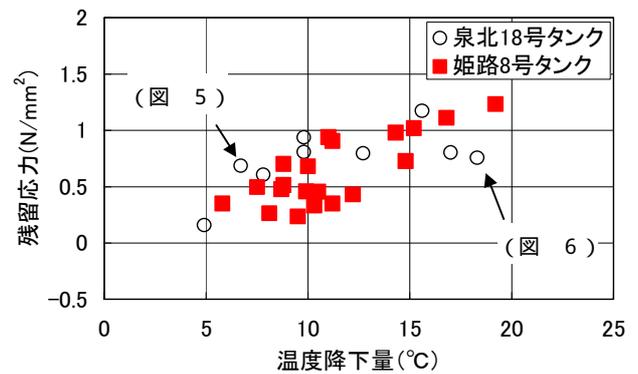


図 - 4 温度降下量と残留応力

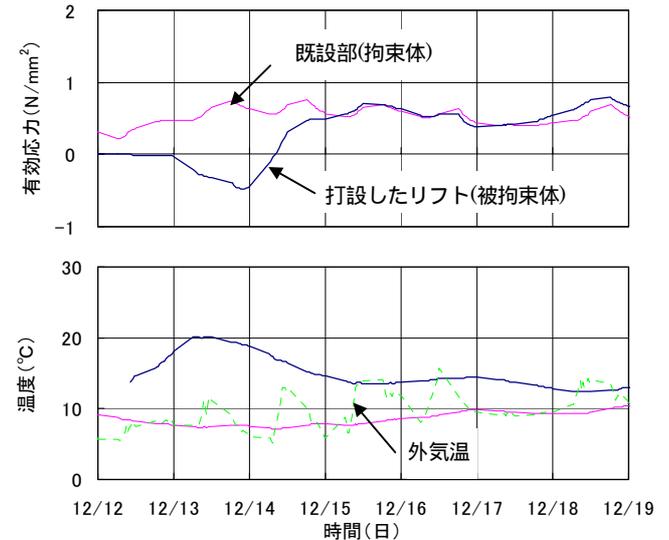


図 - 5 温度・応力の経時変化(その 1)

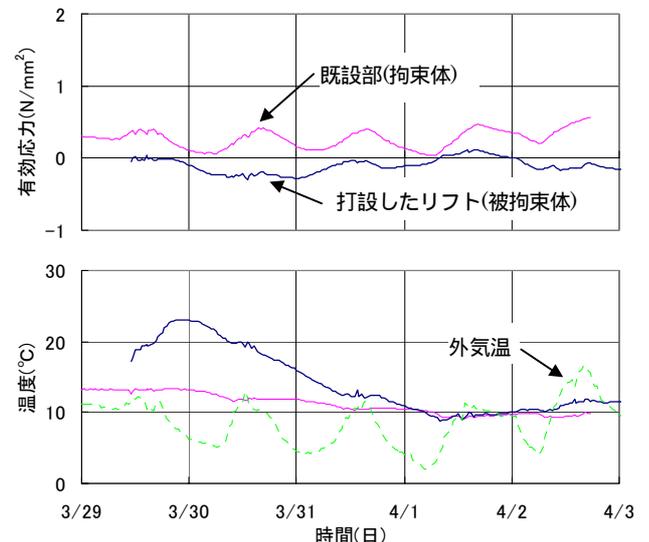


図 - 6 温度・応力の経時変化(その 2)