

低熱ポルトランドセメント、石灰石骨材および膨張材を用いた PCLNG 貯槽の温度ひび割れ対策

大成建設株式会社 正会員 ○木村 利秀
 大成建設株式会社 正会員 小林 祐樹
 大成建設株式会社 正会員 三谷 弘則

1.はじめに

PCLNG 地上式貯槽は、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 防液堤および基礎版は、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（以下、コ示と称す）またはマスコンクリートのひび割れ制御指針 2008（以下、JCI 指針と称す）に基づき 5%以下と規定されている。本稿では PC 防液堤の最下端部#1 ロット（図 1）を対象とした初期ひび割れに対する検討を行った。対象部位は、壁厚が 1200mm と厚く、セメント量の多い高強度コンクリート ($f'_{ck}=60\text{N/mm}^2$) を用い、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。

そこで、本工事では温度ひび割れ対策として、低熱ポルトランドセメント、石灰石骨材および膨張材を併用したコンクリートを採用した。本稿では、その物性試験結果および温度応力の低減効果について述べる。

2.対象構造物

検討対象は現在、青森県八戸市で建設中の大型 PCLNG 地上式貯槽とし、以下に構造寸法を示す。

- ・容量 : 14 万 kL
- ・PC 防液堤内径 : 76.2m
- ・防液堤高さ : 36.65m

3.コンクリート配合

表 1 に、#1 ロットコンクリートの配合表を、以下に使用材料の種類を示す。

- ・セメント : 低熱ポルトランド
- ・粗骨材 : 石灰石骨材（八戸市松館産）
- ・混和材 : 膨張材（石灰系）
- ・混和剤 : 高性能 AE 減水剤

4.コンクリート物性試験結果

コンクリートの物性試験は、①簡易断熱温度上昇試験、②熱膨張係数測定試験、③拘束膨張試験、④凝結試験、⑤強度試験の 5 項目である。これら試験のうち、①、②、③の結果を以下に示す。

①簡易断熱温度上昇試験（断熱温度上昇特性）

図 2 に、断熱温度上昇特性を示す。参考として、JCI 指針により算定した断熱温度上昇特性を併記する。

②熱膨張係数測定試験（熱膨張係数）

JCI 指針では、ポルトランドセメントの場合、熱膨張係数を $10.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を標準としているのに対し、今回の試験では石灰石骨材を用いたことで $6.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ となった。

③拘束膨張試験（拘束膨張率）

材齢 7 日における拘束膨張率は、 200×10^{-6} となり、コ示に規定される収縮補償用コンクリートの標準的な膨張率の範囲内 (150×10^{-6} 以上、 200×10^{-6} 以下) である。

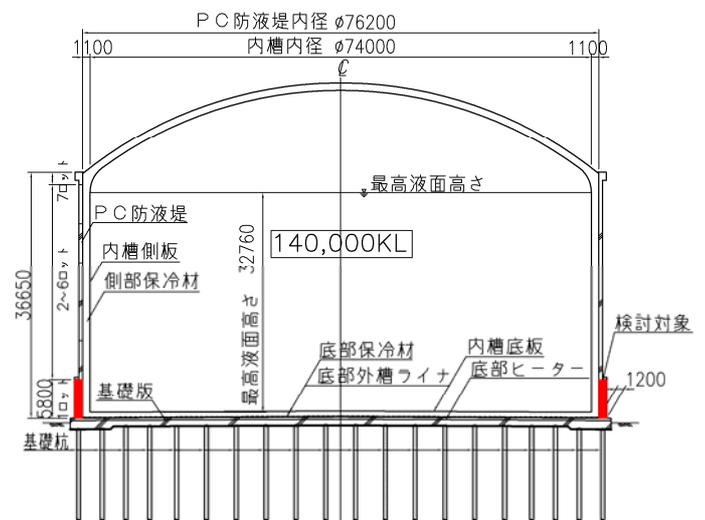


図 1 PC 防液堤の寸法

表 1 配合表

水結合剤比 W/B (%)	単位量(kg/m³)					
	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 EX	混和剤 Ad
35.0	157	434	784	980	15	1.1%

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、石灰石骨材、膨張材

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 陸上設計室 TEL 03-5381-5418

5.解析条件および目的

図 3 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。

6.解析結果

表 2 に、解析ケースおよび解析結果を示す。解析ケースは、普通ポルトランドセメントを使用した無対策のケース 1 と、各対策の効果を反映した全 4 ケースとした。

ケース 1 と 2 の解析結果を比較すると、セメント種類を変更することにより、最高温度が、24.8℃低下した。この影響により、最小ひび割れ指数 ($I_{cr min}$) は、約 2 倍改善された。更に、熱膨張係数および膨張ひずみの影響を考慮することで、 $I_{cr min}$ が、それぞれ 1.4~1.5 倍改善された。全ての対策を考慮したケース 4 では、 $I_{cr min}$ が 2.15 となり、目標とするひび割れ指数 ($I_{cr}=1.85$) を満足する結果を得た。

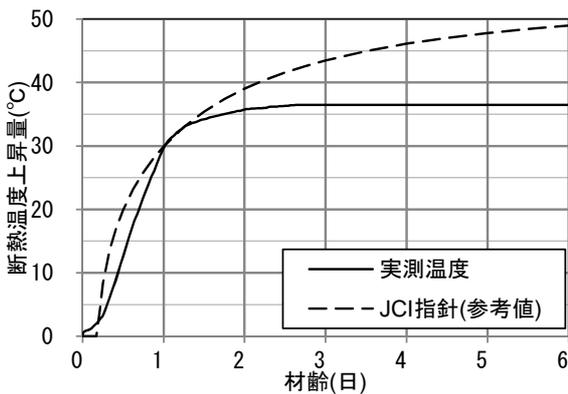


図 2 断熱温度上昇特性

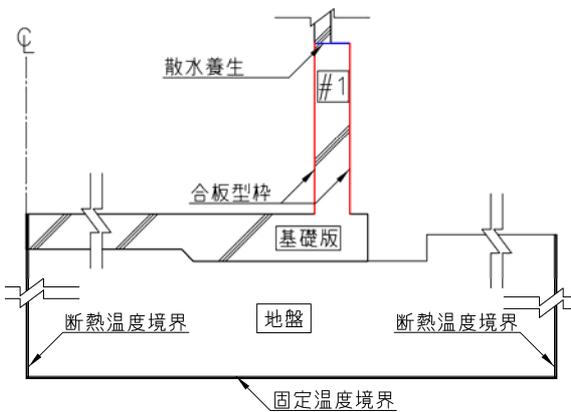


図 3 解析モデル

7.まとめ

- ・熱膨張係数は石灰石骨材を使用することで $6.10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ となった。
- ・低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートにおいても、拘束膨張率は、 200×10^{-6} となり、コシに規定される膨張効果を得ることができた。
- ・実測した物性値を用い、温度応力解析を行うことにより、目標 $I_{cr}=1.85$ を満足する結果となった。
- ・脱型後にコンクリート表面を確認したところ有害なひび割れは発生していなかった。

参考文献：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008 年, 日本コンクリート工学協会

謝辞：本稿は、JX 八戸 LNG ターミナル建設工事のうち、PCLNG 貯槽建設工事に関する検討の一部であり、関係者各位に謝意を表す。

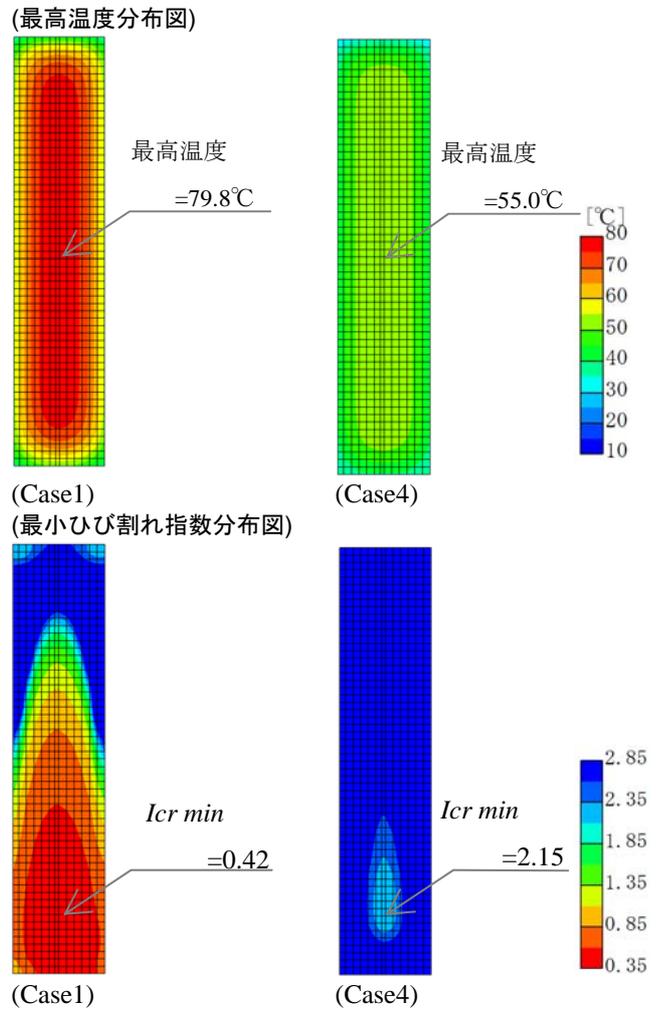


図 4 解析結果

表 2 解析ケースおよび解析結果

ケース	断熱温度上昇特性	熱膨張係数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	膨張ひずみ	最高温度($^{\circ}\text{C}$)	$I_{cr min}$	ひび割れ発生確率(%)
ケース 1	普通セメント(JCI)	10.0(JCI)	-	79.8	0.42	100
ケース 2	低熱セメント(実測値)	10.0(JCI)	-	55.0	0.94	60
ケース 3	低熱セメント(実測値)	6.1(実測値)	-	55.0	1.49	12
ケース 4	低熱セメント(実測値)	6.1(実測値)	実測値	55.0	2.15	5%以下