

LNG地上式貯槽へのフライアッシュ置換（30％）セメントの適用

北海道電力(株) 正会員 ○服部 直
後藤 政明
正会員 宮下 将典

1. はじめに

北海道電力(株)では、石狩湾新港に液化天然ガス（以下、「LNG」という。）を燃料とするコンバインドサイクル発電方式を採用した総出力約171万kWの火力発電所の建設を行っており、発電用燃料の貯蔵設備として国内最大級(容量23万kl)のLNG地上式貯槽（以下、「No.4貯槽」という。）を構築している。

No.4 貯槽は、-162℃の液体である LNG を貯蔵する内槽、冷熱を保持する保冷材、気密を保持する外槽からなる機械構造と、内槽からの万一の LNG 漏液に備え液密性能および液圧・冷熱に対する耐荷性能を有する防液堤、貯槽全体の荷重を支える基礎版、鋼管杭からなる土木構造の複合構造である。

No.4 貯槽の基礎版は、図－1 に示すように、外径が91.9m、厚さが中央部 1.2m、外周部 1.8m である。基礎版コンクリートの仕様は表－1 に示すとおりである。

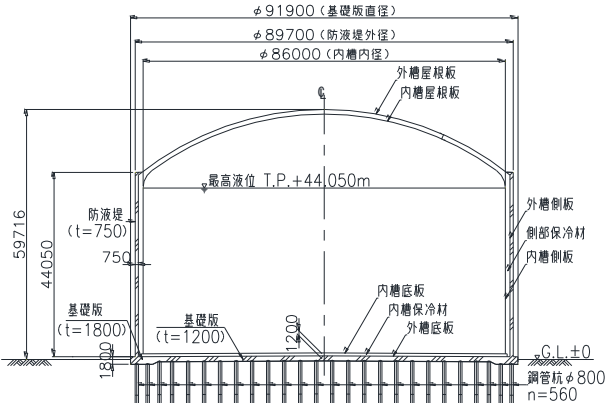
基礎版コンクリートについては、液密性が求められたため、温度ひび割れの防止を目的とし、さらに産業副産物の有効利用の観点から、普通ポルトランドセメントの 30%をフライアッシュで置換したフライアッシュセメント C 種（以下、「FC」という。）を使用した。

本稿では、基礎版に用いたコンクリートの配合設計および温度ひび割れ抑制効果について詳述する。

2. 液密性の照査

液密性を確保するために温度ひび割れについて要求性能を設定している。温度ひび割れの発生の可能性については、温度応力解析により、コンクリート標準示方書²⁾（以下、「示方書」という。）に基づき、ひび割れ指数を用いて評価した。温度応力解析には、汎用ソフト ASTEA MACS Ver8.0.3 を用いた。

基礎版コンクリートの温度ひび割れに対する要求性能は液密性能の確保であることから、目標とするひび割れ指数は、ひび割れの発生を防止するため、ひび割



図－1 No. 4 貯槽構造図（単位 mm）

表－1 基礎版コンクリート仕様

項目		仕様
コンクリート量		9,200m ³
設計基準強度 σ_{91}		30N/mm ²
セメント	ブレミックス	フライアッシュセメントC種
	混和材	普通ポルトランドセメント＋フライアッシュ
管理材齢		91日
フレッシュ性状	スランプ	18.0±2.5cm
	空気量	5.0±1.5%
塩化物イオン量		0.30kg/m ³ 以下

れ発生確率 5%の 1.85 以上とした。温度ひび割れの検討に用いた配合を表－2 に示す。温度ひび割れの検討に用いた FC を使用したコンクリートの配合は、出荷数量が最大となるプラント工場の配合を基本とし、単位セメント量のみ、全プラントの単位量の平均値とした。

また、表－2 には、比較用として普通ポルトランドセメントを単体で使用すると仮定したコンクリート（以下、「OPC」という。）の水セメント比、単位水量および単位セメント量についても示す。なお、OPC 使用時の

表－2 コンクリート配合

配合名称	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ²)				
			水 W	結合材 B		細骨材 S	粗骨材 G
				セメント C	フライアッシュ FA		
FC	44.0	46.8	152	243	103	843	954
OPC	47.0	—	160	340	—	—	—

キーワード フライアッシュ、温度ひび割れ

連絡先 〒061-3242 北海道石狩市新港中央 4 丁目 3740 番地 2 北海道電力（株）石狩湾新港火力発電所建設所 TEL011-772-8604

水セメント比は、示方書に準拠し FC と同等の圧縮強度および耐久性を満足する最大値とし、単位水量は FC の配合を基にフライアッシュの使用による単位水量低減効果を差引いた値とした。

3. 照査結果

基礎版外周部における各メッシュの最高温度分布図を図-2に、最小ひび割れ指数分布を図-3に示す。

図-2に示すとおり、部材厚が厚い中心で最大温度を示した。FC 使用時の最高温度は 46.0℃となり、打込み温度(16℃)からの温度上昇量は 30℃であった。また、OPC 使用時の最高温度は 61.0℃となり、温度上昇量は 45℃であった。OPC に替えて FC を使用することにより、温度上昇量は 50%程度低減されている。

また、図-3に示すとおり、温度上昇が大きかった基礎版外周部の中心でひび割れ指数が最小となる結果を示した。最小ひび割れ指数は、OPC 使用時は 1.60 となり、目標とする 1.85 以上を達成できなかったのに対し、FC 使用時には 2.15 となり、1.85 を上回る結果であった。OPC に替えて FC を使用することにより、最小ひび割れ指数は 35%程度($\approx 2.15/1.60$)増加している。

4. 実測値との比較

温度ひび割れ検討結果の検証のため、基礎版コンクリートの外周部の中心部で熱電対による温度計測を行った。なお、実施工時におけるコンクリート打込み温度は 14℃であった。

コンクリート打込み温度と外気温に実測値を使用して再解析を行った温度解析結果のうち、基礎版外周部についての実測値との比較を図-4に示す。

温度上昇時の傾向が一致し、最高温度が約 50℃で同等であることから、解析値は実測値をよく反映していると考えられる。この温度解析結果を用いて応力解析を実施した結果、最小ひび割れ指数は 2.09 となり、実施工においても目標とするひび割れ指数 1.85 以上を満足する結果を示した。

5. まとめ

基礎版コンクリートに FC を使用するに当たり、温度ひび割れの検討を行った。その結果、明らかとなったことを以下に示す。

- (1) FC を基礎版に適用することで、普通ポルトランドセメントを使用した配合に比べ、温度上昇量を 50%程度低減でき、ひび割れ指数は 35%程度改善し、最小ひび割れ指数は目標とする 1.85 以上を満足した。

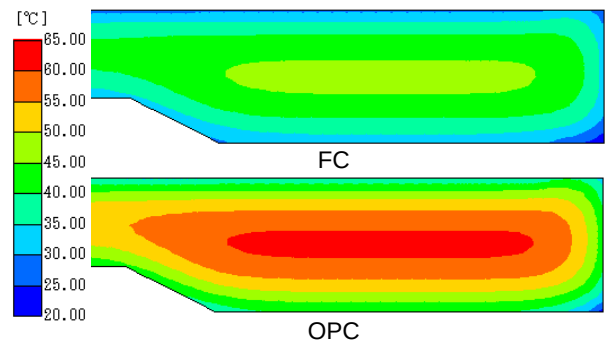


図-2 最高温度分布図

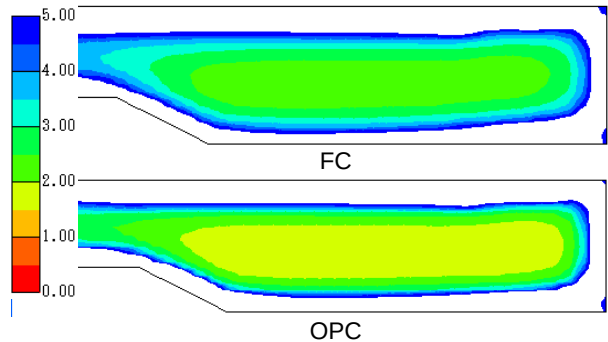


図-3 最小ひび割れ指数分布図

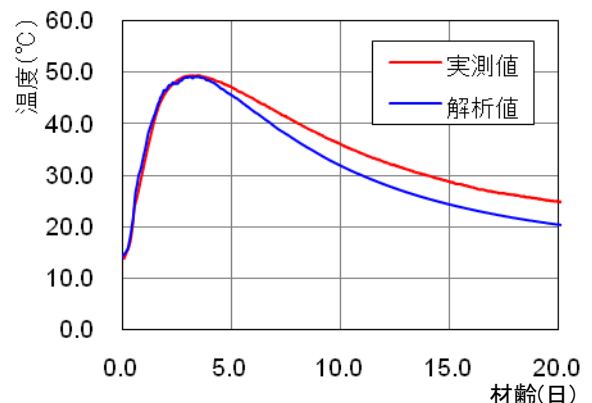


図-4 温度の実測値と解析値の比較(基礎版外周部)

- (2) 温度ひび割れ検討結果の検証のため、実施工においてコンクリート内部の温度を実測した結果、温度上昇時の傾向が一致し、最高温度が同程度となり、解析値が妥当であったことを確認した。

なお、FC を用いた配合で基礎版を施工した結果、ひび割れの発生は認められていない。したがって、ひび割れ指数 1.85 以上を満足できれば概ねひび割れを防止できると考えられる。

参考文献

- 1) 遠藤勉ほか: 石狩湾新港発電所新設工事のうち土木工事の計画概要, 電力土木, No.378, 2015.7, pp.33-37
- 2) 土木学会: 2012 年制定 コンクリート標準示方書 設計編, 2013