

スラブ構造物のパイプクーリングによる温度ひび割れ抑制効果について

東北電力株式会社仙台火力発電所建設所

○山上 司

東北電力株式会社仙台火力発電所建設所

正会員

小野雅毅

1. はじめに

仙台火力発電所 4 号機新設工事のうち、排熱回収ボイラー設備を築造するにあたり、その基礎となるコンクリートスラブは、部材厚が 2.5m、1 ブロックあたりの長さが 26m のマスコンクリートであり、さらに、施工時期(夏季) および類似既設部材の施工実績を考慮すると、セメントの水和に伴う温度応力に起因したひび割れ(以下、「温度ひび割れ」と称す。)対策が必要となる。本躯体の構造形状を考慮すると、外部拘束に起因した貫通ひび割れおよび内部拘束に起因した表面ひび割れの発生が考えられることから、ひび割れ制御対策としてパイプクーリングを実施することとした。

本稿では、耐久性に影響を及ぼす外部拘束による貫通ひび割れの発生抑止を目的に、スラブ内温度低減効果の定量的な評価が可能な 3 次元 FEM による温度応力解析を行うことにより、合理的な温度ひび割れ抑制対策を実施できたことから、その概要について報告する。

2. 温度応力解析

2. 1 温度応力解析条件

解析モデルは、コンクリート水和熱の吸熱によるクーリングパイプ内冷却水の温度上昇を考慮することが可能な全断面モデルを用いた。解析に用いたモデルを図-1 に示す。

貫通ひび割れについては、経験上、ひび割れが発生しないとされるひび割れ指数の 1.45 以上を確保することを

目標とし、この目標値を満足するように、クーリングパイプの設置間隔をパラメータとした検討を行った。

クーリングパイプは、直径 2.45cm の薄肉電縫鋼管(STKM11A)を用いることとし、冷却水の通水条件は、実際に用いる冷却器の性能を反映し、パイプ入口温度を 15℃、通水流量は 200 /min と想定した。

また、温度応力解析および実施工で使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。セメントには、水和熱の小さいフライアッシュセメント B 種を用いた。なお、コンクリートの熱特性および力学的特性などの解析条件については、土木学会のコンクリート標準示方書(2002 年制定)¹⁾を参照した。

2. 2 温度応力解析結果

貫通ひび割れに対する温度応力解析結果一覧を表-2 に示す。表-2 にはパイプクーリングの効果を検討するため、パイプクーリングを実施しない場合の解析結果も記載した。また、厚さ方向の中央断面での最高温度の分布図を図-2 に、最小ひび割れ指数の分布図を図-3 に示す。

温度解析の結果、パイプクーリングを実施することにより、部材の最高温度を 1 ブロックで 9℃程度、2 ブロックで 6℃程度低減でき、さらに外部拘束による発生温度応力が低減されることから、最小ひび割れ指数は 7 割程度

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
40	12	4.5	52.0	38.8	163	314	684	1134

表-2 温度応力解析結果一覧

ブロック No.	パイプ クーリング の有無	打込み 温度 (℃)	温度解析		応力解析	
			最高温度 (℃)	材齢*1 (日)	引張応力*2 (N/mm ²)	最小ひび割 れ指数
1	無	27.3	71.3	3.1	3.4	0.88
	有		62.3	1.8	1.9	1.56
2	無	27.0	71.1	3.3	2.6	1.14
	有		65.2	2.2	1.5	1.99

*1: 最高温度に達する材齢

*2: 最小ひび割れ指数となる時にコンクリートに発生する引張応力

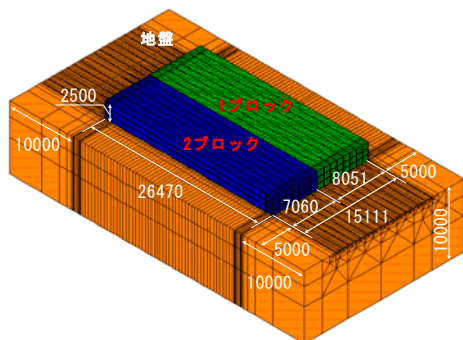


図-1 解析モデル

キーワード: パイプクーリング, 温度応力, スラブ状構造物, ひび割れ指数

連絡先: 宮城県宮城郡七ヶ浜町代ヶ崎浜字前島 1 番 TEL:022-357-2124 FAX:022-357-2127

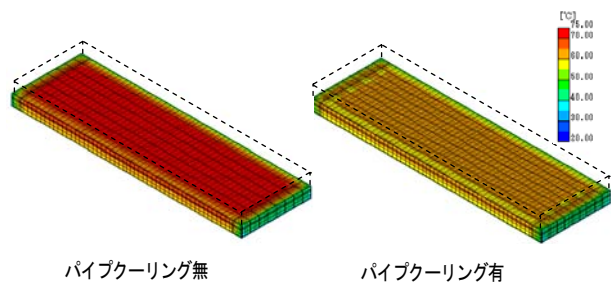


図-2 最高温度分布図

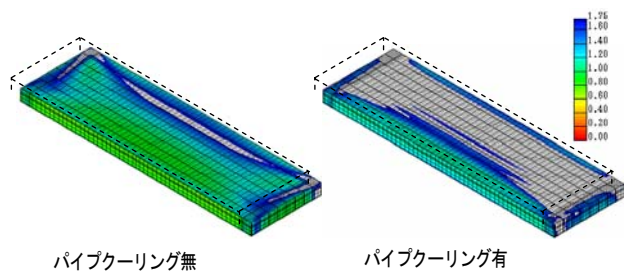


図-3 最小ひび割れ指数

(1 ブロック 0.88→1.56, 2 ブロック 1.14→1.99) 改善される結果となった。

また、本温度解析は、各メッシュの温度履歴の算定が可能であることから、各ブロックのコンクリート打設時期の相違による、相互の熱伝播の影響を考慮することができる。本工事では、工程上、1ブロック打設後、2日後に2ブロックを打設する計画としていたことから、打設工程を考慮した解析を実施した結果、1ブロックと2ブロックの隣接部において1ブロック自体の発熱に加えて、2ブロックの発熱の影響を受け、温度がさらに上昇する傾向が認められた。そのため、隣接ブロックによる発熱の影響を受ける1ブロックについては、2ブロックに比べクーリングパイプの設置間隔を狭くすることにより温度上昇量の低減を図ることとした。

以上の検討から、1・2ブロックともにひび割れ指数の目標値 1.45 以上を確保できたことから、前述のクーリングパイプ位置および流量計画に基づき施工を実施した。

解析結果をもとに実施工に反映したクーリングパイプの設置位置を図-4に示す。

3. 施工管理および施工結果

実施工では、長手方向中心断面の断面中心および表面部に熱電対を設置し、躯体温度を計測した。ここで、1ブロックでは、解析値の前提条件と同等な通水条件とした。1ブロック断面中心の計測値および解析値の温度履歴を図-5に示す。計測値は解析値とほぼ同様の履歴を示しており、実施工においても解析上の管理目標値同等の品

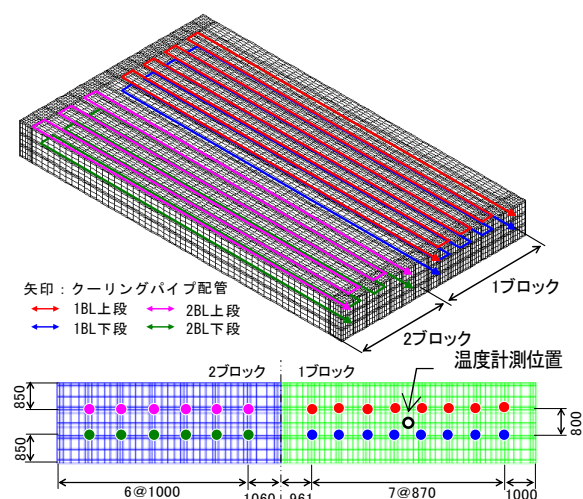


図-4 クーリングパイプ設置位置

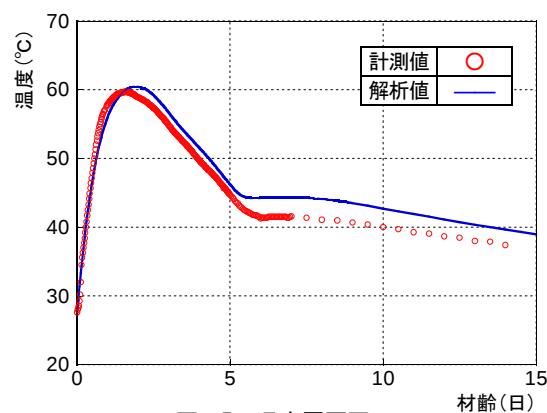


図-5 温度履歴図

質が確保できたと考えられる。さらに施工後およそ半年が経過した現在、耐久性上有害な貫通ひび割れの発生は認められず、本検討によるパイプクーリングのひび割れ抑制効果が実証できた。

4. まとめ

- ・3次元FEMを用いた温度応力解析を実施することにより、スラブ内温度および温度応力低減効果の定量的な評価が可能となり、パイプクーリングによる温度ひび割れ抑制対策を合理的に計画することができた。
- ・実施工において、解析結果に基づく、躯体内での温度管理を行った結果、貫通ひび割れの発生は認められず、本検討の有効性が確認できた。

参考文献

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書【施工編】(2002 年制定), pp.41-53