ケーソン壁コンクリートへのパイプクーリングの適用と温度応力解析の妥当性

清水建設(株)　正会員　○後藤　大輔　　清水建設(株)　正会員　野村　朋宏
清水建設(株)　正会員　頃安　研吾　　清水建設(株)　正会員　關　浩太郎

1．はじめに

現在名古屋市で構築中の広川ポンプ所は，名古屋駅周辺を含む中川運河上流地域等の浸水被害対策として事業化されたもので，中央雨水調整池の流下先となり，本施設を経由して中川運河に排水される．

本ポンプ所の工事概要（地下部）を**表-1** に示す．本ケーソン外周壁は，最大 3.0m の部材厚を有し，底版等の既設構造物から拘束を受けるマスコンクリートである．有害なひび割れが生じた場合，補修に伴う工程の遅延あるいはポンプ所の諸性能の低下に繋がるため，温度ひび割れの制御が重要課題であった．このため，配合面の対策として中庸熱ポルトランドセメントを使用し，施工面の対策としてパイプクーリングを実施した．本報では，外周壁を対象としてパイプクーリングを考慮した事前温度応力解析結果および施工時の温度計測値を用いて，解析結果の妥当性について検証し，報告するものである．

表-1　工事概要

工法	ﾆｭｰﾏﾁｯｸｹｰｿﾝ工法(圧気ｹｰｿﾝ工法)
平面寸法	52.0 m×29.5 m
面積	1,534 m^2
沈設深さ	約 65 m

2．外周壁概要

外周壁のロット割（コンクリートの打込み高さ）を**図-1** に示す．これは，沈設ロットと 1 日の打込み可能数量から決定した．外周壁のコンクリートの設計基準強度は 24 N/mm^2 である．

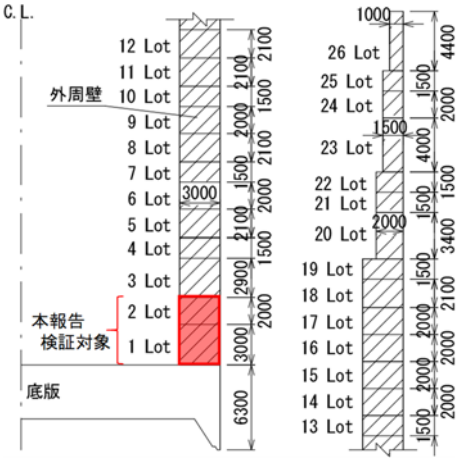


図-1　外周壁ロット割

3．事前温度応力解析概要およびパイプクーリング仕様

上記の対策が適切であるかの確認およびパイプクーリングの仕様決定のため，外周壁を対象とした事前温度応力解析を実施した．解析は，3 次元有限要素法を用いた非定常熱伝導解析および応力解析により行った．解析の諸条件あるいは入力値はコンクリート標準示方書［設計編］[1]およびマスコンクリートのひび割れ制御指針 [2]に概ね準拠した．使用するコンクリートは 24 15 20M であり、水セメント比は 52.0%，単位セメント量は 331kg/m^3 である．

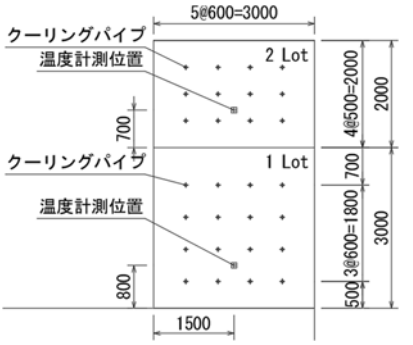


図-2　パイプ配置、温度計測位置

目標とするひび割れ指数を満足するように選定したクーリングパイプの配置およびパイプクーリングの仕様を**図-2**，**表-2** にそれぞれ示す．仕様は解析結果と施工性，調達面を考慮して選定した．特に，通水終了時期は，通水停止によるコンクリート内部温度の再上昇および過冷却を防止するため，温度ピーク値から 24 時間後と設定した．また，打込み後のコンクリート温度により通水終了時期を把握するため，熱電対による温度計測を行った（**図-2**）．

実施工におけるパイプクーリングの通水温度や流量は計画通りに実施でき，出口温度も解析値と同等であった．

表-2　パイプクーリング仕様

配管径	25.4 mm
配管規格	STKM11A
配管延長	159 m/系統
配管配置	1Lot：4 列(@60cm) × 4 段(@60cm) 2Lot：4 列(@60cm) × 3 段(@50cm)
通水流量	1Lot：25 L/min，2Lot：20 L/min
通水期間	通水開始：打込み終了直後 通水終了：温度ﾋﾟｰｸから 24 時間後
水種類	地下水（循環なし）
通水温度	1Lot：20.4 ℃，2Lot：28.2 ℃

キーワード　ニューマチックケーソン工法，壁コンクリート，温度応力解析，パイプクーリング
連絡先　〒104-8370　東京都中央区 2-16-1　清水建設株式会社　TEL 03-3561-3915

© Japan Society of Civil Engineers

4．事前解析値および実測値の比較，温度同定解析

外周壁 1 Lot および 2 Lot における事前解析値と実測値の温度履歴を**図-3** および**図-4** にそれぞれ示す．1 Lot における実測値は事前解析値と比べて，温度ピーク値が 4℃程度低く，その到達時期が半日程度早い結果となった．2 Lot においては，温度ピーク値は概ね一致したが到達時期が半日程度早い結果となった．特に，温度上昇開始からの上昇速度について大きく差があることがわかる．これに対して温度解析の入力値である断熱温度上昇特性値を調整して温度同定解析を行い，同定後に再解析を行った結果を同図に併せて示す．また，特性値の調整結果を**表-3** に示す．温度上昇速度に関する係数 γ が 20%程度大きく，s が 30%以上小さくなった．本工事の範囲内では，事前解析では温度上昇速度をより大きく見込む必要があることがわかった．

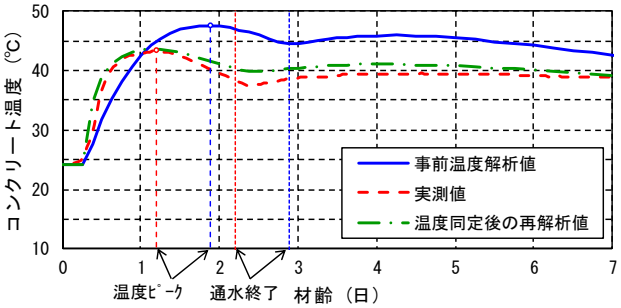


図-3　コンクリート温度履歴（1 Lot）
（事前解析値，実測値，同定解析結果）

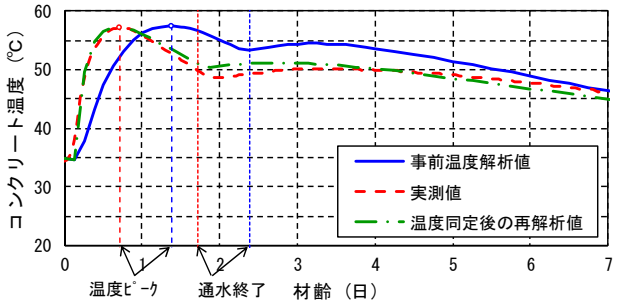


図-4　コンクリート温度履歴（2 Lot）
（事前解析値，実測値，同定解析結果）

5．再応力解析結果（温度同定解析後）

事前応力解析および温度同定後（特性値調整後）の再応力解析の結果を**図-5** に示す．上述の通り，特に温度ピーク値を迎える材齢が半日程度異なるにもかかわらず，最小ひび割れ指数はほぼ同等の結果を示した．本検証の範囲内では，ひび割れ指数へ与える影響としては温度ピーク値が支配的であると考えられ，事前の温度応力解析での入力値および結果は妥当であったといえ，温度上昇速度が異なってもひび割れ指数には大きく影響しないことを示唆している．ただし，温度上昇速度に差が出る原因を明確にすることが今後の課題である．

表-3　断熱温度上昇特性値調整結果（温度同定結果）

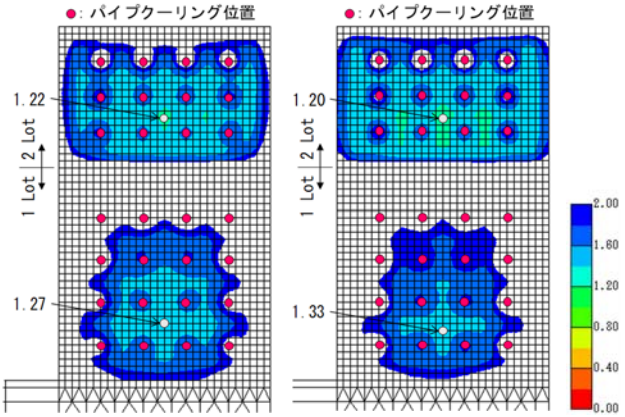
項目		事前解析入力値		同定解析調整値	
ロット (Lot)		1	2	1	2
打込み温度 (℃)		24.1	34.8	24.1	34.8
終局断熱温度上昇量 Q_∞(℃)		44.06	42.34	40.06	40.34
温度上昇速度に関する係数	γ	0.924	1.347	1.062	1.684
	s	0.788	0.701	0.512	0.455

※断熱温度上昇量 $Q(t)$を精度よく表現するため下式を採用し，事前解析入力値はセメント技術資料を基に設定した．

$$Q(t) = Q_\infty\left(1 - e^{-\gamma(t-t_0)^s}\right)$$

6．まとめ

- 事前温度応力解析により選定した温度ひび割れ対策の実施により，有害なひび割れは発生を抑制できた．
- 事前温度解析結果と温度実測値を比較して，特に，温度ピーク値に到達する時期が異なる結果となった．温度同定解析を行ったところ，温度上昇速度が事前解析値より大きくなる傾向を示した．
- 温度履歴は事前解析値と実測値で異なるものの，温度同定解析により調整した断熱温度上昇特性値を用いて，再応力解析を行った場合でも最小ひび割れ指数は事前解析値と概ね一致しており，事前温度応力解析における入力値や結果は妥当であったといえる．



a. 事前応力解析結果　b. 再応力解析結果

図-5　最小ひび割れ指数分布

参考文献

1)　土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書［設計編］，2013･3
2)　日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2008･11

© Japan Society of Civil Engineers