

パイプクーリングを用いたケーソン壁部の温度ひび割れ制御

清水建設株式会社
清水建設株式会社

正会員 ○幸田 圭司, 江渡 正満, 大野 裕嗣
正会員 宮越 優, 遠藤 和雄, 渡辺 太一

1. はじめに

マスコンクリート構造物の温度応力の発生を抑制するための手法の一つであるパイプクーリングは、現在に至るまで様々な構造物で適用された実績のある工法である。本稿はその一例として、「東京外かく環状道路 東名 JCT・本線シールドトンネル立坑工事」におけるケーソン壁部を対象に、パイプクーリングを用いた温度ひび割れ対策の計画および結果を取りまとめたものである。

2. パイプクーリングの計画

ケーソンの断面を図-1に示す。本構造物は最大で壁厚が4.0mとなり、温度ひび割れの発生が懸念されたため、工事着手前に三次元温度応力解析を実施し、低熱および中庸熱ポルトランドセメントをロット毎に使い分けるとともに、2ロットからパイプクーリングを実施することでコンクリートの温度上昇の低減を図った。ひび割れ制御の目標値は、ひび割れ指数 1.75 以上とした。計画時のパイプクーリングの概要は表-1に示す通りである。なお、解析で用いた各種物性値は、指針等^{1),2)}をもとに設定し、圧縮強度および線膨張係数は事前の試験結果から設定した。

管理計画では、図-2に示すように温度計（熱電対）および有効応力計を設置し、コンクリート内部の最高温度が管理値（以下、管理温度）を上回らないよう、さらには有効応力計の計測値から得られる実測ひび割れ指数が 1.75 を下回らないよう、通水の温度、期間、流量を調整することとした。なお、管理温度は事前解析の結果から、ひび割れ指数が 1.75 以上を満足するコンクリート内部の最高温度とした。

3. 実施工の結果

実施工で計測されたコンクリート内部の温度およびひび割れ指数を表-2にまとめる。実施工では安全側となるように計画時の通水入口温度 (=25℃) よりも低めの温度で通水した。結果として、コンクリート内部の温度およびひび割れ指数は管理値を全て満足することができた。

次に、解析結果と実測値の一例として、2ロットのコンクリート内部の温度および発生応力について、図-3 および図-4にそれぞれ示す。なお、解析で用いた外気温、打込み温

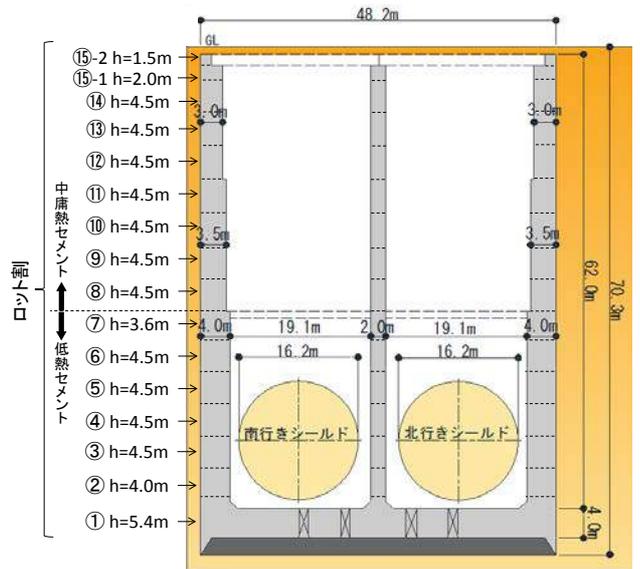


図-1 構造物断面図

表-1 計画時のパイプクーリング概要

項目	設定値
通水管径	1 (inch)
設置間隔	50 (cm)
通水流量	ロットによって 15 (L/min), 20 (L/min)
通水入口温度	25 (°C)
熱伝達率	320 (W/°C・m ²), 420 (W/°C・m ²)
通水期間	5 日間

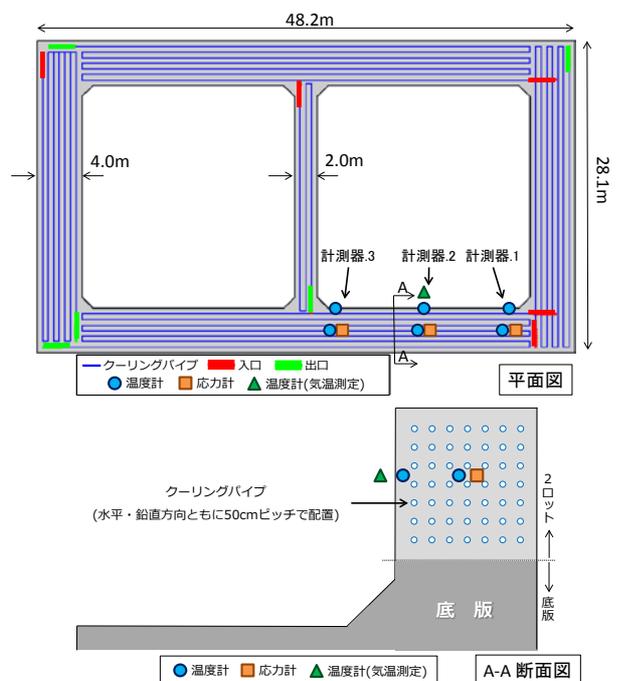


図-2 各計測器の設置位置 (2ロットの例)

キーワード パイプクーリング, マスコンクリート, 温度応力解析, ケーソン, 施工管理

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設(株) 基盤技術部 TEL 03-3561-3915

表-2 パイプクーリング実施結果

対象ロット	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15-1	15-2
管理温度(°C)	51.7	61.6	106.7	59.9	46.3	48.8	48.7	44.0	41.9	40.3	45.0	53.3	59.2	50.8	50.2
実測最高温度(°C)	38.0	50.5	44.9	42.4	34.1	34.7	34.9	30.3	34.3	36.4	42.9	51.2	54.7	50.8	49.5
実測最小 ひび割れ指数※2	2.51	3.86	1.80	1.78	1.84	1.94	3.62	1.81	7.71	3.09	2.95	2.12	4.25	※1	※1

※1：15ロットは有効応力計を設置していない。

※2：ひび割れ指数 = 引張強度/実測応力, 引張強度 = $0.2744 \times \text{圧縮強度}^{0.6833}$ (割裂引張強度試験結果より)

度, 通水温度, 通水流量は実測値を用いた. コンクリート内部の温度については, 温度が最高となる時期は解析値と実測値で半日程度のずれが生じたが, 最高温度は比較的精度よく再現できていた. 一方で, 発生応力については実測値が解析値を上回る事象も生じた. このため, 施工管理では, ひび割れ指数での管理は安全側の評価として, 計測された3つの応力値のうち, 最も値の大きいもの(ひび割れ指数が最も小さいもの)を採用している. また, 4~6ロットにおいて, 実測温度が管理温度を下回っているにも関わらず, ひび割れ指数が目標値とする1.75に近づく結果(1.78~1.84)となった. この主な要因としては, 最高温度からの温度降下速度, 即ち, 通水温度, 通水期間が関係していると考え, 7ロット以降は温度降下速度を緩やかにするためにパイプクーリングの通水期間や通水温度を調整し, ひび割れ指数の向上を図った. しかしながら, その後も7, 9ロットにおいて, 同様の傾向が確認された. この要因は, 図-4に示す通り, 有効応力計の計測値のバラつきが大きいこと, さらには応力解析結果が実際の応力の発生を精度よく再現出来ていないことが挙げられる. そのため, 13ロット以降では, 解析値ではなく, 前ロットで計測された実測温度および実測応力の値をもとにして管理温度を定め, 施工管理に用いた. 写真-1に施工後のケーソン躯体を示す. 以上のような温度ひび割れ対策を実施した結果, 有害となるようなひび割れは発生しなかった.

4. まとめ

本施工では, 事前解析結果および実際のコンクリート内部の温度, 有効応力の測定値をもとにし, パイプクーリングによるコンクリート温度の管理を行った. コンクリート内部の最高温度については, 解析値は実測値を比較的精度よく捉えていた. 応力については, 実測値が解析値を上回る事象も生じたが, 通水の温度, 期間, 流量の調整, 管理値の見直しにより, 有害なひび割れの発生を制御することができた.

謝辞：本報告は中日本高速道路(株)殿のご指導を受けてまとめることが出来ました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書【設計編】, 土木学会, 2007
- 2) マスコンクリートのひび割れ制御指針, 日本コンクリート工学会, 2008

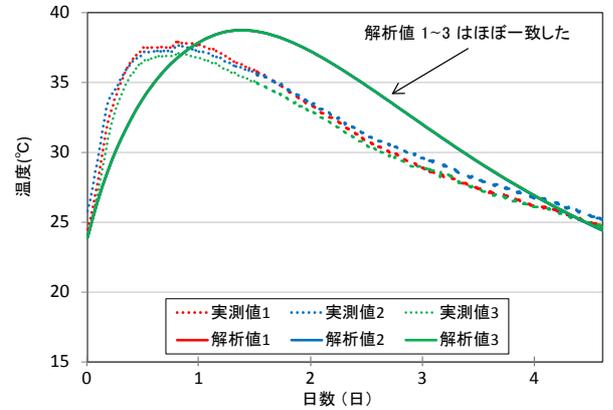


図-3 コンクリート内部の温度の解析値と実測値 (2 ロット)

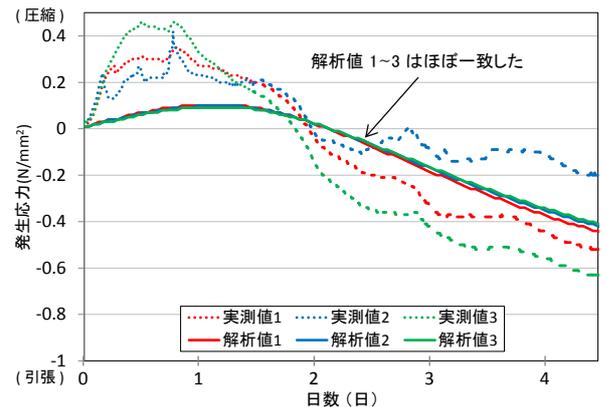


図-4 発生応力の解析値と実測値 (2 ロット)



写真-1 施工後のケーソン躯体