

# ニューマチックケーソンにおけるマスコンクリートひび割れ制御対策

(株)植木組 非会員 ○安藤 政徳  
(株)植木組 非会員 増子 征治  
(株)植木組 非会員 熊木 亮介

## 1. はじめに

大河津分水路河口部に位置する新野積橋P2橋脚は、ニューマチックケーソン工法にて築造され、橋脚の躯体部分は、マスコンクリートの対象となる。

一般的にマスコンクリートの場合は、躯体内部の温度上昇を抑制することにより温度応力によるひび割れの発生を制御する。ひび割れを抑制する方法として、材料と施工による対策がある。材料的には単位セメント量の低減、セメント種類の変更、AE減水材や膨張材の使用、補強鉄筋の追加などがある。施工的には躯体内部の温度上昇を抑制する方法としてプレクーリング、パイプクーリングがあり、外部拘束力の低減としては前述の材料の使用、打設量の調整、クラック誘発目地設置などがある。本工事では、AE減水材・膨張材・補強鉄筋を用いたひび割れ抑制を行うと共に、暑中コンクリートの対象となる部位に対しては温度上昇の抑制を目的としてパイプクーリングを実施することとした。

今回は躯体形状、及び当社の施工実績より鉛直パイプクーリング工法を選定した。この報文では施工概要、及び実施効果について報告する。

## 2. 施工概要

### 1) 実施概要

当該箇所を施工した時期、施工場所、及び対象構造物の寸法を表-1、図-1に示す。打込み施工時期は7月中旬であり、対象ロットは暑中コンクリートであった。

表-1 実施概要

打込み時期	7月中旬
施工場所	新潟県長岡市寺泊野積地内
対象構造物	橋脚柱部2ロット目 図-1参照

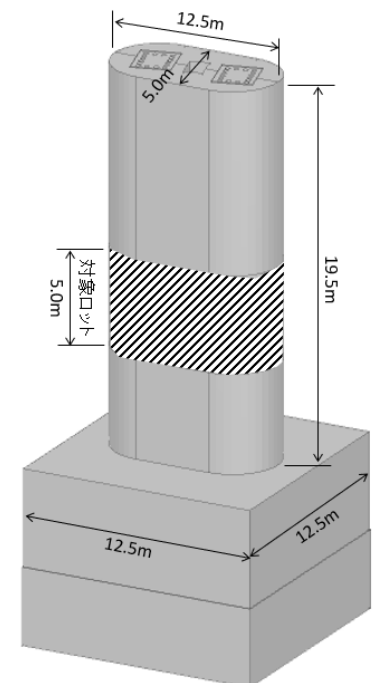


図-1 躯体形状

### 2) 冷却水の選定

冷却水の取水方法として、以下の3案を立案し比較検討を行う。

#### ① 水温制御ユニットを使用し循環させる手法

水温制御ユニットとは、ユニット内を水が通過する際に水温を低下させる装置である。この手法は循環型の設備であり、最初に一定量の水量を供給し、コンクリート内部を通水し温度上昇した回収水を再び冷却、再利用する。今回、パイプクーリングに使用する水量と想定温度上昇量に対し、水温制御ユニットの冷却能力を比較したところ、2台の水温制御ユニットが必要となり不経済となるため不採用とした。

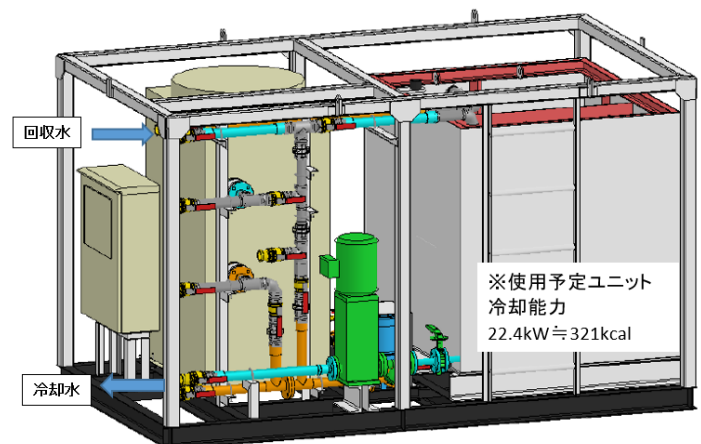


図-2 水温制御ユニット

## ② 河川水を利用する方法

河川水をポンプでくみ上げ、冷却水として使用する方法である。施工場所は大河津分水路の河口であり、取水位置付近の水面は、干満の影響や波の影響を受ける他、塩分を含むため構造物の冷却水としては採用しにくい。また、河川水は上流域での降雨時に砂質分を多く含んだ茶褐色となる。安定した水の給水が困難であることに加えて、細い配管内に冷却水を通水させる構造のため、配管内での土粒子を含む河川水が目詰まりを懸念し不採用とした。

## ③ 水道水を利用する方法

施工箇所付近の上水道より、仮設配管を躯体付近まで施工し使用する方法である。調査の結果、現場付近の上水道配置状況から、冷却水の計画使用量を確保できることがわかった。仮設配管工事も可能であり、最も安定した給水が可能であると判断し、この手法を採用した。なお、水温は水道年報<sup>1)</sup>より21.8°Cが想定される。

## 3) 使用材料

使用した主な材料を表-2に示す。

クーリング管はシース管とし、冷水を給水ポンプでくみ上げ必要本数に分岐させビニールホースで管内に給水する。給水した冷水は、ブレードホースにて回収する。冷却後の排水はコンクリート表面の湿潤養生にも使用できるが、河川へ近接しているなどの地域特性からコンクリートに触れてPHが上昇するのを防ぐ構造とした。(図-3 給水・回収概要参照)

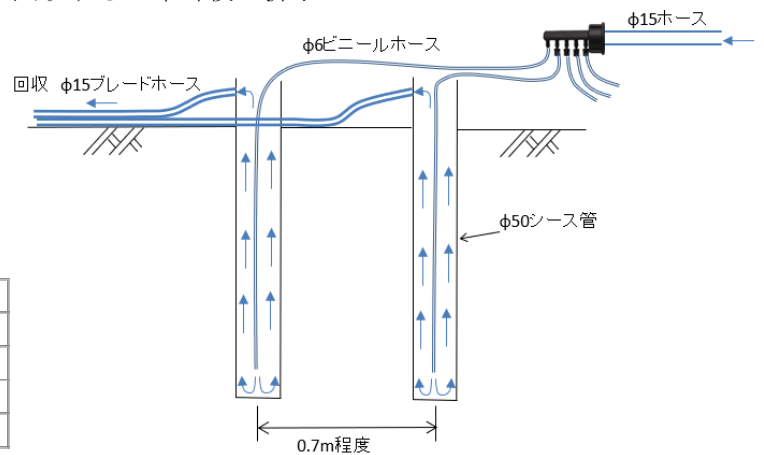


図-3 給水・回収概要

表-2 主な使用材料

材料	規格・仕様
クーリング管	シース管(φ50)
給水管	ビニールホース(φ6)
排水管	ブレードホース(φ15)
給水ポンプ	2インチ, 0.75kw

## 4) コンクリート配合

構造物に用いたコンクリートの配合を表-3に示す。

表-3 コンクリート配合表

セメントの種類	呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	スラブ (cm)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
							水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
早強	24	12	40	48	4.5	32.6	154	301	588	1272	3.43

混和剤：AE減水材、膨脹材を含む

## 5) 実施方法<sup>2)</sup> ※および施工手順

- ① クーリング管をコンクリート打込み前に設置。
- ② 打込み完了後、クーリング管頭部の給水設備を設置。
- ③ クーリング開始(所定期間の冷却水を通水)
- ④ 終了後給水設備を撤去し、クーリング管内に無収縮モルタルを充填。 ※パイプクーリングの径、設置ピッチ、通水速度については、第34回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会(株)植木組「鉛直パイプクーリングの実験工を目的とした実験報告」を参考とした。



写真-1 実施状況

## 6) 温度応力解析

鉛直パイプクーリング工法の実施にあたっては、クーリングパイプの本数、冷却期間および工法の効果を予測するため、施工条件（打設リフト、生コン配合、外気温度、冷却水温度、型枠・養生方法）を整理し、温度応力解析を行った。

解析に用いるソフトは、(株)計算力学研究センターの「ASTEAMACS Ver.9.3.4」有限要素法（FEM）による3次元温度応力解析プログラムを使用し、

「2017年度制定コンクリート標準示方書〔設計編・施工編〕<sup>3)</sup>」及び「ひび割れ制御指針2016」<sup>4)</sup>に準拠し解析を行った。なお、解析を行うモデルは、左右前後対称の構造であるので、1/4断面のモデルとした。

クーリングパイプ計画図(1/4モデル)を図-4、解析結果による経験最大温度分布図を図-5、経験最小指数分布図を図-6、温度・指数解析値を表-3に示す。

コンクリートの温度は、点3（躯体中心）において無対策で84.64℃、鉛直パイプクーリング工法で67.27℃となり、17.37℃の温度低下の効果が期待される。また、同地点におけるひび割れの発生確率と安全係数の関係を示すひび割れ指数Icrは2.05から4.66へ上昇しており、ひび割れ指数についても改善効果が期待される。

また、前リフトに拘束される躯体下部の点1（躯体下部中心）では、無対策で63.93℃、鉛直パイプクーリング工法で57.51℃となり6.42℃の温度低下が予想された。躯体中心よりも冷却効果は劣るものの、ひび割れ指数Icrは0.88から1.35へ上昇しており、目標としているひび割れ指数Icr=1.00を上回る予測となった。

## 3. 実施効果

鉛直パイプクーリング工法の実施効果を確認するため、コンクリート温度、冷却水流入温度、冷却水流出温度、外気温について計測を行った。計測機器は、(株)ティアンドディの無線データロガー「おんどとりR TR500シリーズ」を用いた。図-7に温度計測結果・理論値比較グラフを示す。

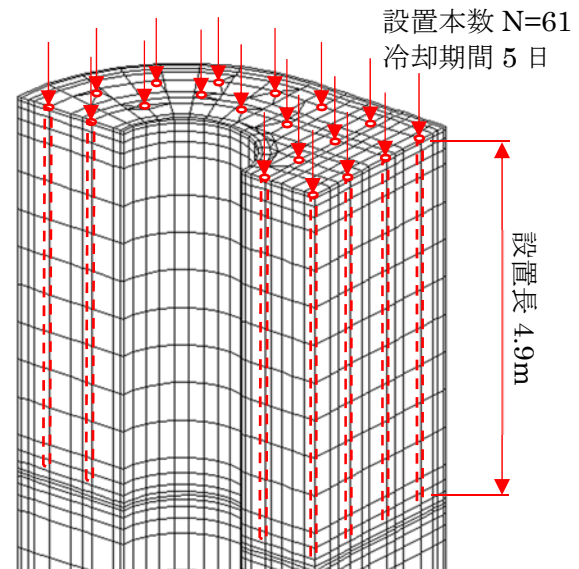


図-4 クーリングパイプ計画図(1/4モデル)

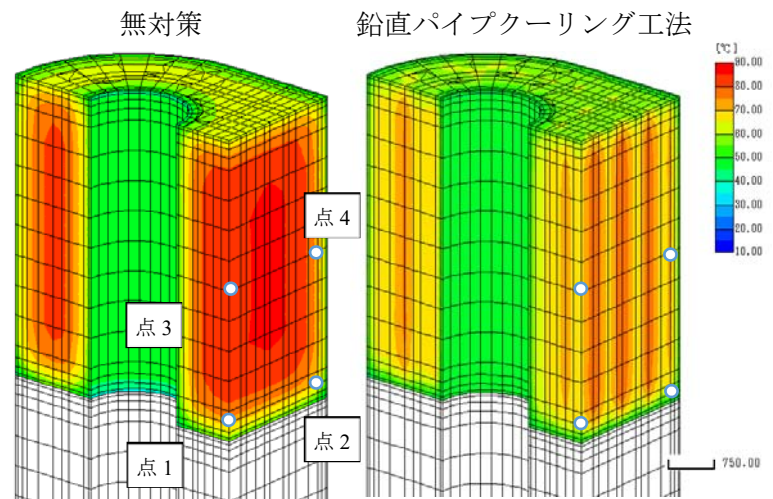


図-5 経験最大温度分布図

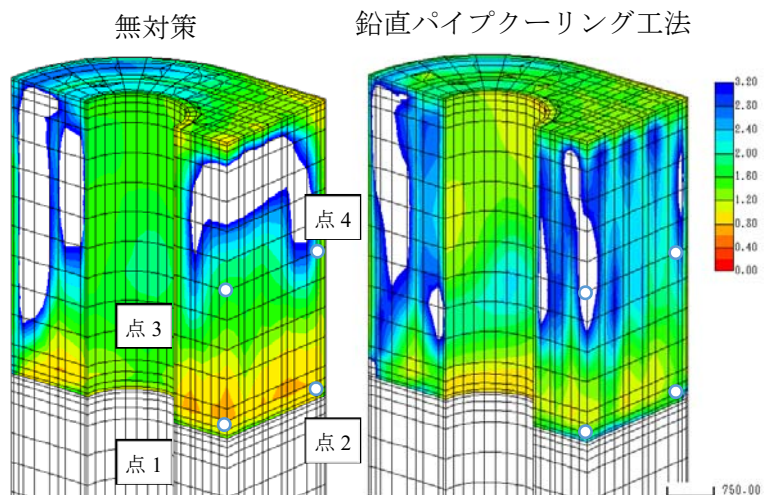


図-6 経験最小指数分布図

工法	種別	コンクリート温度(℃)				ひび割れ指数(Icr)			
		点1	点2	点3	点4	点1	点2	点3	点4
	無対策	63.93	58.20	84.64	71.93	0.88	0.93	2.05	1.93
	パイプクーリング	57.51	59.64	67.27	71.25	1.35	1.89	4.66	2.41
	差	-6.42	1.44	-17.37	-0.68	0.47	0.96	2.61	0.48

表-3 温度・指数解析値

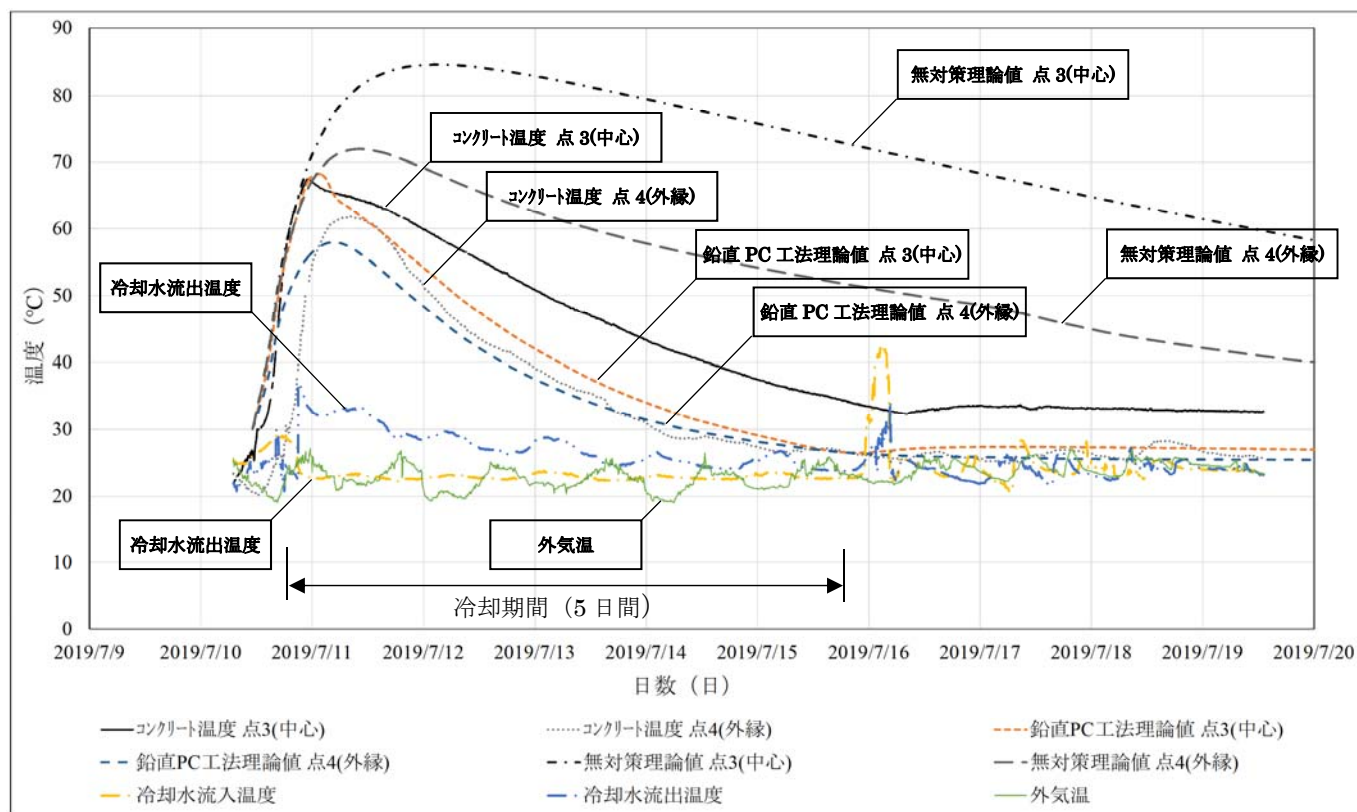


図-7 温度計測結果・理論値比較グラフ

実測のコンクリート最高温度は、点 3(中心)で 67.5°Cとなり、前述の鉛直パイプクーリング工法理論値 67.27°Cとの差は+0.23°C、無対策からの温度低減は 17.14°Cとなり予測通りの結果が得られた。一方、冷却開始から 1 日程度経過した以降では、点 3(中心)の実測値が理論値より高くなる傾向が続き、予測より冷却効果が低い状況となった。パイプクーリングの熱伝達率を同定するなど検証していく必要がある。

冷却水の流入温度は、クーリング開始(7/10 pm11:00)時点では水タンクの常時温度であった 28°C程度から下がり始め、冷却水の給水・回収が安定した後は 23°C程度となった。

冷却水の流出温度は、クーリング開始(7/10 pm11:00)直後は 36.9°Cまで上昇した。クーリング開始時点のコンクリート温度 65°C程度を考慮すると冷却効果が十分発揮しているものと考えられる。

#### 4. まとめ

鉛直パイプクーリング工法の冷却効果に関しては、期待した効果が得られたうえ、ひび割れ制御に対しても躯体にひび割れが発生しておらず品質の高いコンクリートとなった。一方、コンクリート打込み時は空洞となっている躯体中心を貫通するマンロックシャフト、マテリアルシャフト(φ1200mm×2)の放熱・蓄熱は解析上考慮していないため、温度応力解析と実施温度との比較では少しの相違がみられた。精度の良い温度応力解析を行うためにも、今後の課題として検証していく必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 長岡市水道局 「平成 29 年度 水質年報 第 34 集」
- 2) 第 34 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会 (株)植木組「鉛直パイプクーリングの実験工を目的とした実験報告」
- 3) 公益社団法人 土木学会 「2017 年度制定コンクリート標準示方書 [設計編・施工編]」
- 4) 公益社団法人 日本コンクリート工学会 「ひび割れ制御指針 2016」