

## 4

## パイプクーリングによるひび割れ抑制対策効果と管理方法

大野 俊平\*1・畠中 保\*2

## 概 要

マスコンクリートの施工においては、セメントの水和熱に伴って生じる温度応力によって構造物にひび割れが発生する事例が多く、その対策が求められている。本工事は、国道 153 号線伊南バイパスに架設される橋梁の下部工事で、高さ 22.5m を 5 ロットに分割して施工するものであり、コンクリートのひび割れ対策としてパイプクーリングを実施した。パイプクーリングは、コンクリート内部に設置したクーリングパイプに通水することでコンクリート内部を冷却し、最高到達温度を低減させることにより、ひび割れ発生を抑制する手法である。

本報では、その抑制効果を確認するために行った検討と解析の概要を報告する。

キーワード：パイプクーリング，ひび割れ抑制対策，温度応力解析

THE EFFECT OF CRACK CONTROL BY PIPE COOLING AND METHOD OF  
MANAGEMENT

Shunpei OHNO \*1, Tamotsu HATAKENAKA \*2

## Abstract

Many cases have been reported in mass concrete construction of cracking in structures due to thermal stress caused by hydration heat of cement and it is essential that measures for dealing with the problem be developed. The present project is planned for the substructure of a bridge built as part of Inan Bypass of National Route 153. The height of 22.5 m has been divided into five lots for construction and pipe cooling has been employed to control cracking of concrete. Pipe cooling is a technique of reducing cracking by running water through the cooling pipe installed in the concrete to cool the inside of the concrete for decreasing the maximum temperature.

This paper outlines the study and analysis conducted for verifying its control effect.

Keywords: pipe cooling, crack control measure, thermal stress analysis

---

\*1 Concrete and PC Group, Bridge Technology Department, Civil Engineering Division

\*2 General Manager, Bridge Technology Department, Civil Engineering Division

## パイプクーリングによるひび割れ抑制対策効果と管理方法

大野 俊平\*1・畠中 保\*2

## 1. はじめに

マスコンクリートの施工においては、セメントの水和熱に伴って生じる温度応力によって構造物にひび割れが発生する事例が多く、その対策が求められている。本工事は、国道153号線伊南バイパスに架設される橋梁の下部工事で、高さ22.5mを5ロットに分割して施工するものであり、コンクリートのひび割れ対策としてパイプクーリングを実施した。パイプクーリングは、コンクリート内部に設置したクーリングパイプに通水することでコンクリート内部を冷却し、最高到達温度を低減させることにより、ひび割れ発生を抑制する手法である。

本報では、その抑制効果を確認するために行った検討と解析の概要を報告する。

## 2. クーリングの基本条件

クーリングの基本条件は、以下のように設定した。

- ・クーリングパイプ：φ25 鋼管
- ・配管ピッチ：約1.0m
- ・通水温度：約15℃
- ・通水速度：約6.0L/min

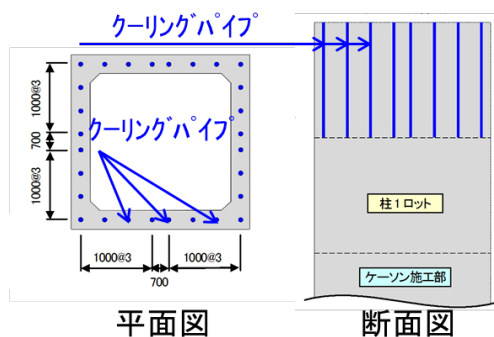


図-1 配管詳細図

- ・通水期間：打設より3日間

図-1に配管の平面図及び断面図を示す。

## 3. 事前解析

## 3.1 事前解析条件

コンクリートの内部最高到達温度とひび割れ指数（ひび割れ発生確率）には高い相関関係があるため、内部最高温度の低減量と、ひび割れ発生確率の低減値の関連性を確認する必要があった。そこで、前記したクーリングの基本条件及び現場の施工条件において事前に温度解析を行った。温度解析条件を表-1に示す。打設温度は打設月の平均温度+5℃とし、養生条件は側面部については木製型枠（熱伝達率：8W/m<sup>2</sup>℃）、水平打継ぎ部は散水+養生マット（熱伝達率：5W/m<sup>2</sup>℃）として解析を行った。

表-1 解析条件

| 打設箇所 | 打上げ高さ | 打設時期 | 平均気温 | 打設温度 |
|------|-------|------|------|------|
| 1L   | 4.5m  | 5月中旬 | 14.9 | 19.9 |
| 2L   |       | 6月中旬 | 17.7 | 22.7 |
| 3L   |       | 7月中旬 | 22.5 | 27.5 |
| 4L   |       | 8月上旬 | 24.1 | 29.1 |
| 5L   |       | 9月上旬 | 21.6 | 26.6 |

## 3.2 事前解析結果

事前解析結果一覧表を表-2に、最大温度分布図を図-2に、最小ひび割れ指数分布図を図-3に示す。

クーリング未実施時のコンクリート内部到達温度は橋脚の角部で最高値を示し、温度は50～60℃程度となった。クーリング実施時における同一着目点における温度は45～55℃程度となり、未実施時と比較して4～5℃の温度低減が

\*1 土木本部 橋梁技術部 コンクリート・PCグループ

\*2 土木本部 橋梁技術部長

確認された。

最少ひび割れ指数については、打継付近の橋脚中央部が最小値となっており、クーリング未実施のひび割れ発生確率は平均で 97.9%であるのに対し、クーリング実施時における同一着目点におけるひび割れ発生確率は約 66.8%となり、ひび割れ発生確率は平均で 31.0%低減した。ただし、5L については、低減率が 20%を下回っており、温度低減量も 5℃を下回ったことから、通水温度を 10℃として再解析を行った。その結果、通水温度の調整により、内部温度を 5℃以上低減することができ、ひび割れ発生確率を 30%程度低減できることが確認できた。

以上のことより、コンクリート内部最高到達温度を 5℃以上低減することで、ひび割れ発生確率が 25%以上低減されるという結果が得られた。ひび割れ発生確率 25%低減という値は目標値を満足しており、本工事におけるコンクリート内部の温度低減目標値は 5℃と設定することにした。

表-2 事前解析結果一覧表

| 打設箇所 | 通水温度<br>℃ | 内部温度          |              |          | ひび割れ発生確率      |              |          |
|------|-----------|---------------|--------------|----------|---------------|--------------|----------|
|      |           | クーリング未実施<br>℃ | クーリング実施<br>℃ | 低減量<br>℃ | クーリング未実施<br>% | クーリング実施<br>% | 低減率<br>% |
| 1L   | 15.0℃     | 48.1          | 44.2         | -3.9     | 92.2          | 53.4         | -38.8    |
| 2L   | 15.0℃     | 52.9          | 48.6         | -4.4     | 98.0          | 58.2         | -39.8    |
| 3L   | 15.0℃     | 58.0          | 54.2         | -4.8     | 99.6          | 70.2         | -29.4    |
| 4L   | 15.0℃     | 61.1          | 56.1         | -5.0     | 99.8          | 71.9         | -27.9    |
| 5L   | 15.0℃     | 57.5          | 52.9         | -4.6     | 99.9          | 80.6         | -19.3    |
| 5L   | 10.0℃     | 57.5          | 52.1         | -5.4     | 99.9          | 70.2         | -29.7    |

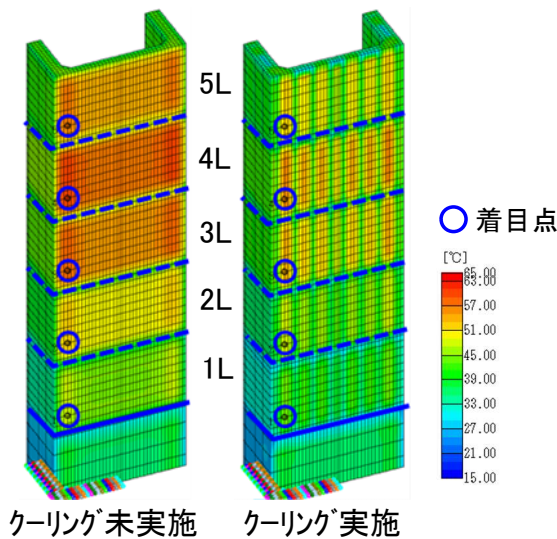


図-2 最大温度分布図

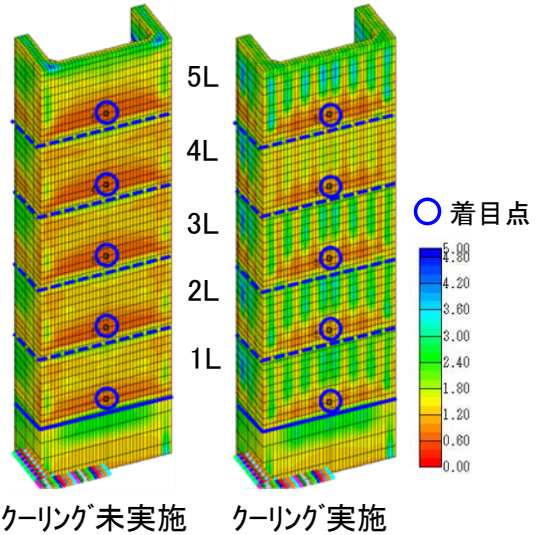


図-3 最小ひび割れ指数分布図

#### 4. クーリング施工状況

##### 4.1 クーリングパイプ

パイプクーリングに使用したパイプ材を写真-1に、設置状況を写真-2に示す。クーリングパイプはφ25mmの鋼管を使用し、配置間隔は1.0mとした（クーリング基本条件参照）。

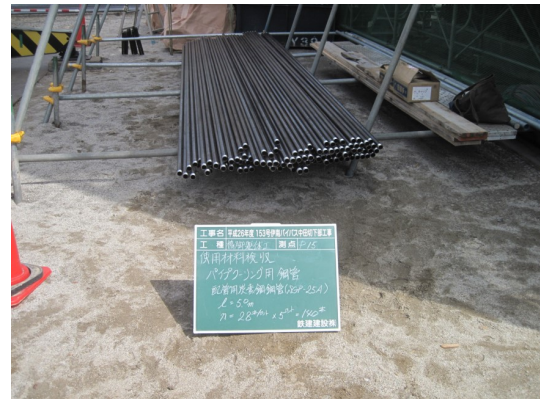


写真-1 クーリングパイプ

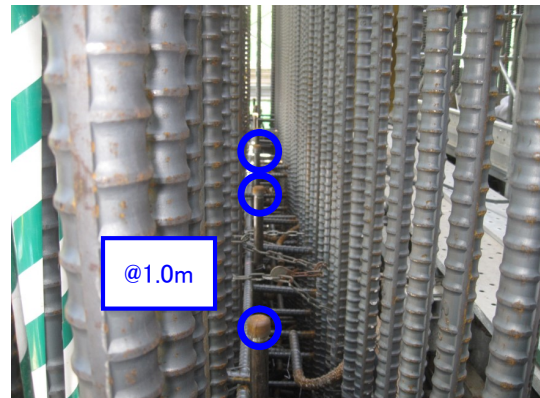


写真-2 クーリングパイプ配置状況



#### 4. 2 配管通水状況

パイプクーリング通水概要図を図-4に、通水状況を写真-3に示す。地上部の原水槽よりポンプアップされた冷却水を、橋脚上部において1次分流器から2次分流器へ分岐させ、各クーリングパイプに給水するシステムとしている。

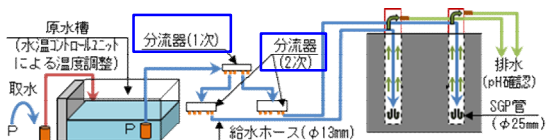


図-4 通水概要図

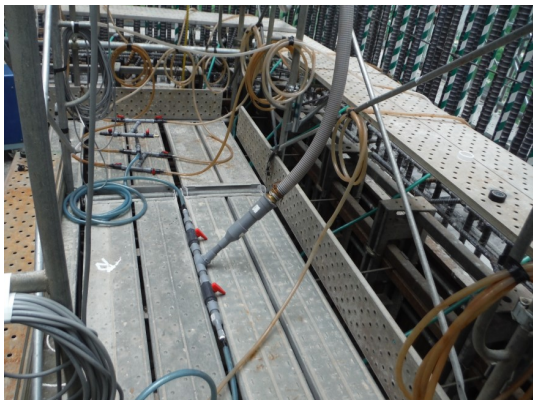


写真-3 クーリングパイプ通水状況

#### 4. 3 流量管理

流量計の設置状況を写真-4に示す。流量計は前述した第2分流器に設置しており、各分流器において流量管理を行うシステムとした。各流量器の流量は、現場に設置された流量計にデジタル表示され、確認が可能となっている(写真-5)。



写真-4 流量計設置状況



写真-5 流量デジタル表示

### 5. 実施工中の温度計測と検証

#### 5. 1 計測方法

クーリング実施中のコンクリート温度は熱伝対により自動計測した。計測箇所は、コンクリート中心部、表面部、養生温度とした。熱伝対設置状況を写真-6に示す。事前温度解析結果と比較し、5℃の温度低減効果が見込めない場合は、水温コントロールユニットにより冷却水温度を下げることで対応した。



写真-6 熱伝対設置状況

#### 5. 2 検証方法

実施工時におけるひび割れ発生確率低減値を確認するためには、コンクリート内部最高到達温度が5℃低減しているか確認する必要がある。しかしながら、本工事では全ての打設ロットにおいてパイプクーリングを実施していることから、比較対象となるクーリング未実施の温度履歴データが得られないため、現場で計測した養生温度、コンクリート温度を反映した温度解析

結果をクーリング未実施時の内部最高到達温度とし、実測温度と解析温度の比較により低減温度の確認を行うこととした。

## 6. 施工結果

### 6.1 内部温度の比較

各ロットにおけるコンクリート内部温度履歴を図-5～図-9に示す。クーリング実施時のコンクリート内部温度は、40～50℃程度となっており、打設時期の違いにより若干のバラツキは見られるが、全てのロットにおいて解析値より5℃以上低減していることが確認された。最高到達温度の比較グラフを図-10に、最高到達温度比較表を表-3に示す。

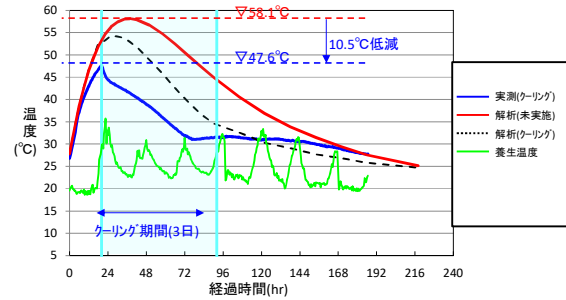


図-8 4L 内部温度履歴

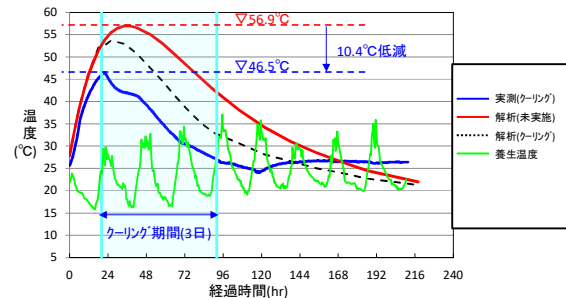


図-9 5L 内部温度履歴

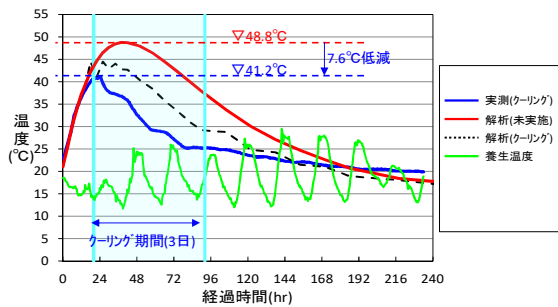


図-5 1L 内部温度履歴

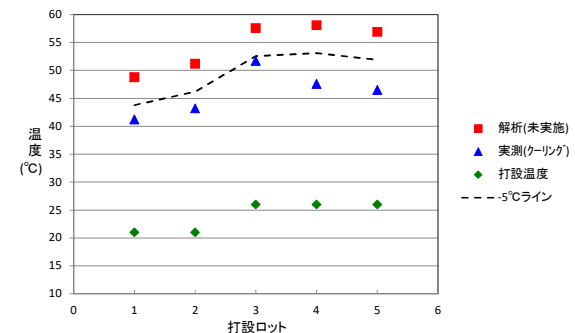


図-10 最高到達温度比較グラフ

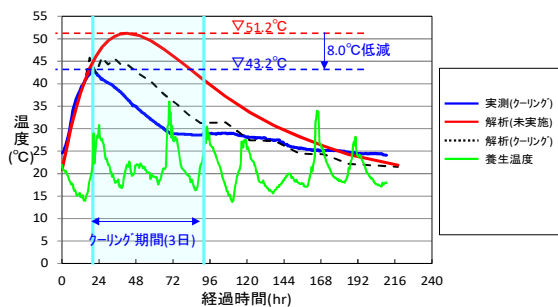


図-6 2L 内部温度履歴

表-3 最高到達温度比較表

| 打設リフト | 未実施時(解析)<br>(°C) | クーリング(実測)<br>(°C) | 低減温度<br>(°C) |
|-------|------------------|-------------------|--------------|
| 10L   | 48.8             | 41.2              | 7.6          |
| 11L   | 51.2             | 43.2              | 8.0          |
| 12L   | 57.6             | 51.7              | 5.9          |
| 13L   | 58.1             | 47.6              | 10.5         |
| 14L   | 56.9             | 46.5              | 10.4         |

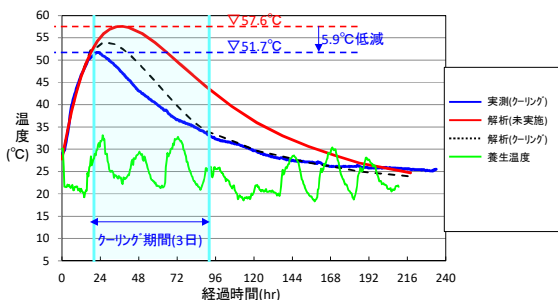


図-7 3L 内部温度履歴

### 6.2 表面温度の比較

各ロットにおけるコンクリート表面温度履歴を図-11～図-15に示す。打設時期の違いにより若干のバラツキは見られるが、表面付近における実測の最高到達温度及び温度履歴グラフの形状は、解析値と近似しており実施におけるクーリング条件は妥当であったといえる。

## 7. まとめ

今回のパイプクーリングでは、全てのロットにおいてコンクリート内部最高到達温度で 5℃以上の低減効果が確認されたことから、パイプクーリングによるひび割れ発生確率の低減効果が十分に得られることを確認することができた。施工が完了した構造物には有害なひび割れも発生していないことから、クーリングによるひび割れ抑制効果が良好に作用したといえる。

今回の工事で得られた実績を、今後のパイプクーリングによるひび割れ抑制対策にも活用していく所存である。

### 参考文献

- 1) (公社) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008

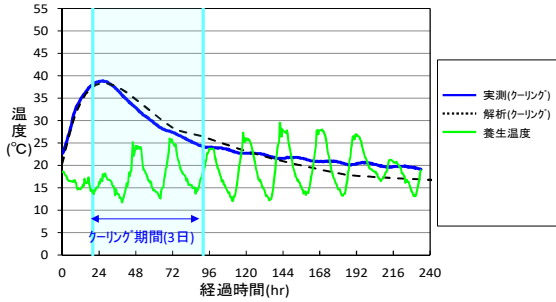


図-11 1L 表面温度履歴

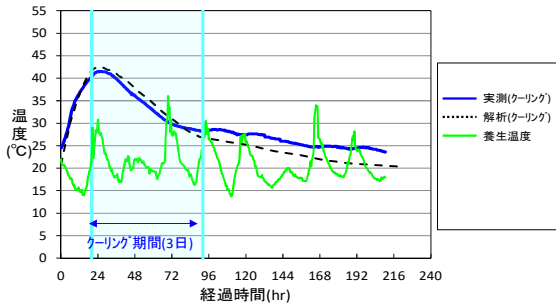


図-12 2L 表面温度履歴

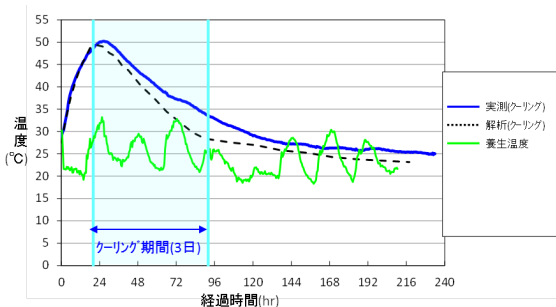


図-13 3L 表面温度履歴

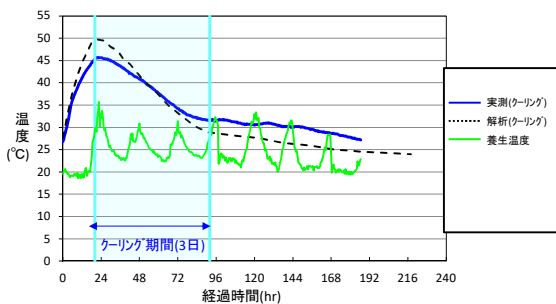


図-14 4L 表面温度履歴

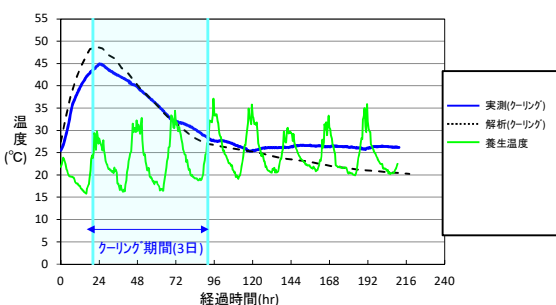


図-15 5L 表面温度履歴