

熱分配方式パイプクーリングの効果確認とシステム開発

(株)安部日鋼工業 正会員 ○安藤 健
 (株)安部日鋼工業 正会員 大村 一馬
 (株)安部日鋼工業 古川 正悟

キーワード：パイプクーリング，冷却水温度管理，温度ひび割れ抑制

1. はじめに

マスコンクリートの温度応力ひび割れを抑制するため，現場の条件や環境などに合わせてさまざまな対策がとられており，対策の1つにパイプクーリングがある。一般的に実施されるパイプクーリングは一律の温度履歴で冷却水を通水する。その反面，コンクリートの硬化にともなう発熱は，構造物の形状によって部位ごとに異なる。最高到達温度やそこに達するまでの時間に差が生じるため，部材中心部と表層部の温度勾配は，時間の経過とともに変化することになる。このことから，従来のパイプクーリングは，その効果を十分に発揮できない箇所が生じる可能性もある。

そこで，クーリング箇所に応じて，異なる温度履歴の冷却水を通水することで，さらなるひび割れ発生の抑制につながると考えられた。本稿では，温度ひび割れ抑制効果の向上を目指して考案した熱分配方式パイプクーリングについて，温度解析によるひび割れ抑制効果の検証結果と自社で開発したパイプクーリングシステムについて報告を行う。

2. 熱分配方式パイプクーリングの効果確認

(1) 概要

熱分配方式パイプクーリングとは，構造物の部位と時間軸に応じて，冷却水温度を変化させる養生方法であり，コンクリート打設後から時間の経過とともに変化する部材内部の温度勾配を緩やかにすることで温度ひび割れ抑制効果の向上を目指したクーリング手法である。

具体的には，コンクリートの内部に2系統のパイプを設置して，それぞれ独立した温度履歴で冷却水を通水する。たとえば，コンクリート中心部の温度を制御するパイプ系統Aとコンクリート表層部の温度を制御するパイプ系統Bにそれぞれ異なる温度履歴の冷却水を通水する(図-1)。

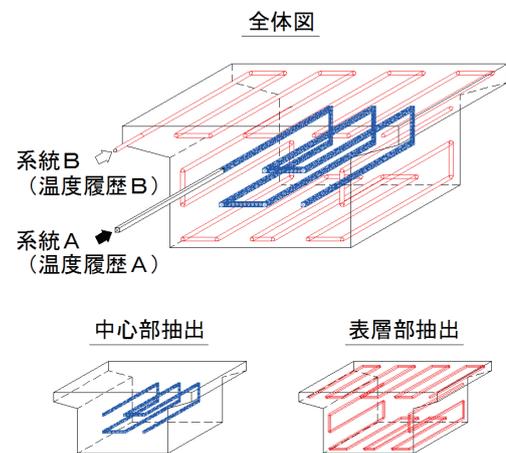


図-1 2系統のパイプ配置例

(2) 温度解析による効果確認

熱分配方式パイプクーリングの効果を確認するため，一室箱桁橋の柱頭部をモデルとして1回打設による施工を想定した温度解析を行った。ケース1は通常のパイプクーリングを想定した1系統の冷却水温度履歴を設定した場合，ケース2は熱分配方式パイプクーリングを想定してコンクリートの中心部と表層部で異なる冷却水の温度履歴を設定した場合とした。冷却水温度履歴の設定は，まずケース1でひび割れ指数が小さくなる履歴を設定する。ケース2では中心部にケース1と同様の履歴を設定し，表層部の温度履歴を調整する。

冷却水の設定と温度解析結果を図-2に示す。ケース1の通常のパイプクーリングは，主桁下端の

隅角部で最小ひび割れ指数が1.17 (ひび割れ発生確率約30%)となり、張出し床版先端や箱桁内部の横桁付近ウェブ下端でひび割れ指数が1.50 (ひび割れ発生確率約12%)以下となった。ケース2は、表層部の冷却水温度履歴のうち最も高い温度とする時期を半日早めることで中心部と異なる履歴を設定した。その結果、最小ひび割れ指数が1.62 (ひび割れ発生確率約8%)まで改善するとともに、張出し床版先端や主桁下端の隅角部でも指数が改善した。

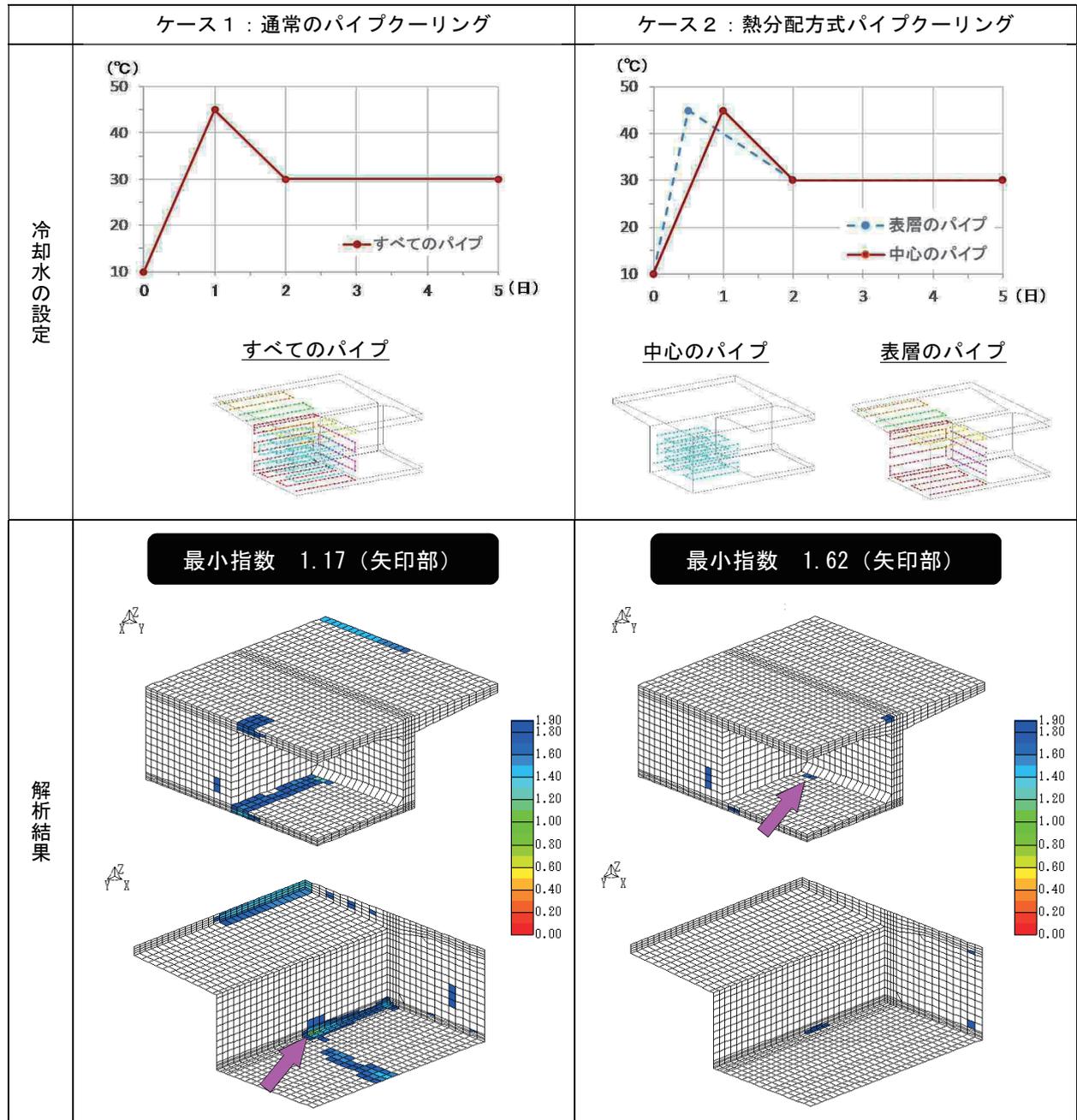


図-2 温度解析による熱分配方式パイプクーリングの効果確認

3. 熱分配方式パイプクーリングシステムの開発

熱分配方式パイプクーリングの実現とさらなるひび割れ抑制効果の向上を目指すには、①異なる温度履歴の冷却水を構造物の部位ごとに分配できる施工、②冷却水の温度を経時的に変化させて自動で供給できるシステムの構築、③実施工の不確定要素の影響を抑制する管理手法の確立、などが課題となる。これらの課題を解決するために下記に示す特徴を有した熱分配方式パイプクーリングシステム

の開発を行った。

- ・温度解析時に想定した冷却水温度履歴を再現した通水ができる
- ・2系統のパイプにそれぞれ独立して異なる温度の冷却水を同時に送水できる
- ・コンクリート温度の実測値が解析値より上回ったとき冷却水の温度を自動で補正する。

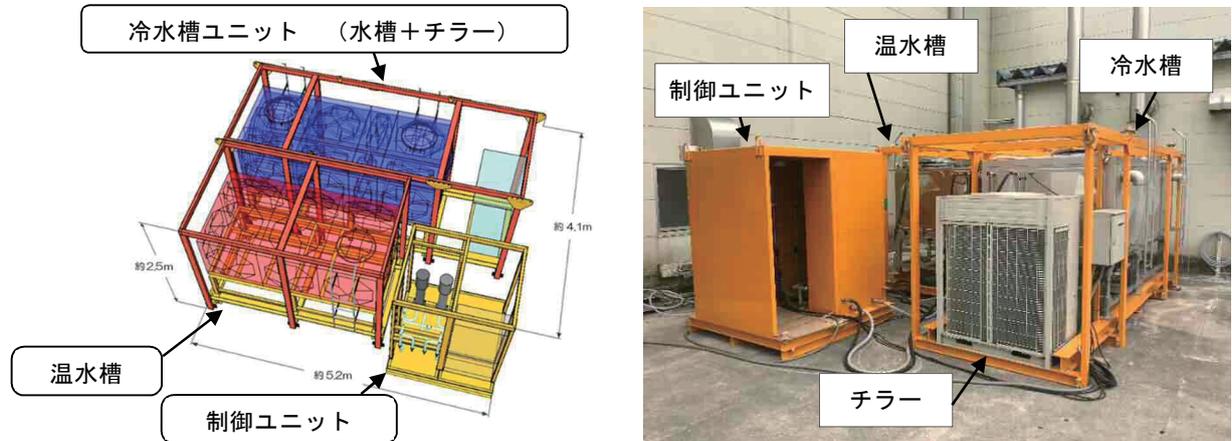


図-3 熱分配方式パイプクリーニングシステム

4. システムの動作確認

4. 1 確認試験

事前の温度解析から得られた2系統の冷却水温度履歴とコンクリートの表層と中心部の温度履歴をシステムへインプットし、それを基に2系統で独立した冷却水温度管理を行うことができるとともに、コンクリートの実測値が解析値よりも高くなったときに冷却水温度に適切な温度補正 (3℃に設定) がかかることを確認するため、開発した熱分配方式パイプクリーニングシステムの供試体を用いた3日間のクーリング試験を実施した。

(1) 試験供試体

供試体は、幅450mm×高さ900mm×長さ1400mmの寸法とした (図-4右)。

供試体の内部に温度差が生じるように供試体の下側半分を厚さ $t = 100\text{mm}$ の発泡スチロールで覆い (図-4左)、供試体上部に躯体の表層部、下部に躯体の中心部を再現した。

(2) 冷却水の温度設定

コンクリート温度が低くなる供試体上部の通水管には30℃の冷却水、コンクリート温度が高くなる供試体下部の通水管には20℃の冷却水を養生期間を通じて通水した。

(3) コンクリート温度監視位置

基準とするコンクリート温度 (解析結果から抽出してシステムへインプットするコンクリートの温度履歴) の監視位置はクーリングパイプの中心から100mm離れた位置とした (図-5)。

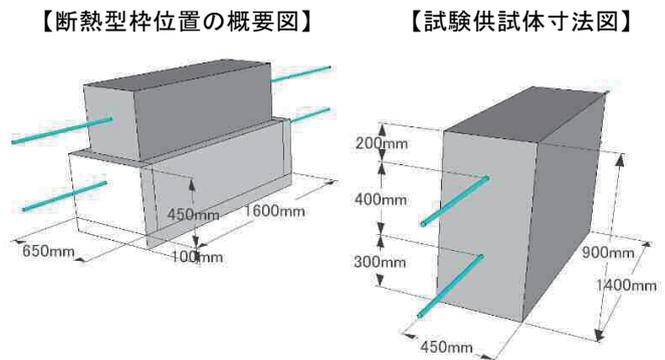


図-4 試験供試体寸法図

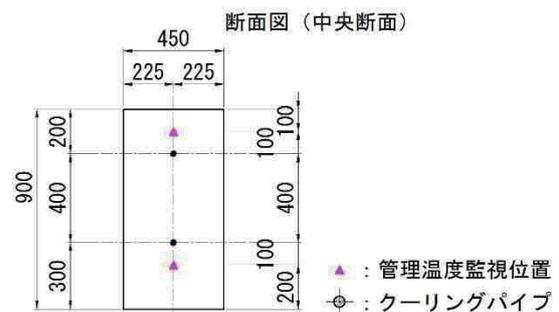


図-5 コンクリート温度の監視位置

4. 2 試験結果

供試体を用いた確認試験の結果、コンクリート温度の実測値が解析値を上回ったときに冷却水温度が自動で補正されることでコンクリート温度が解析結果の温度履歴に精度良く一致した。試験で得られたコンクリート温度と冷却水温度の関係を図-6に示す。

コンクリート温度の実測値(実線)、事前の解析値(一点鎖線)および冷却水温度の関係に着目したとき、コンクリート温度の実測値が解析値よりも低い場合の冷却水温度は、設定温度(中心部20℃、表層部30℃)による通水を精度良く再現できた。一方、実測値が解析値よりも高くなる場合は、冷却水温度に補正がかかり設定値よりも温度を下げた通水を行った。中心部の温度に着目したとき、図中の矢印で示した4/18のAM0:00から4/18のPM6:00の間に補正がかかることで冷却水温度が低くなっていることが確認できる。この結果、コンクリート温度が解析値に精度良く一致する結果となった。

なお、クーリングを開始したしばらくの間、コンクリートの実測値と解析値に大きな差が生じた。これは、コンクリートの凝結開始と解析の温度上昇開始のタイミングを一致できていないことが原因と考えられる。より精度を高めるためには、コンクリート温度が上昇するタイミングを把握して温度管理を開始することが必要と考える。

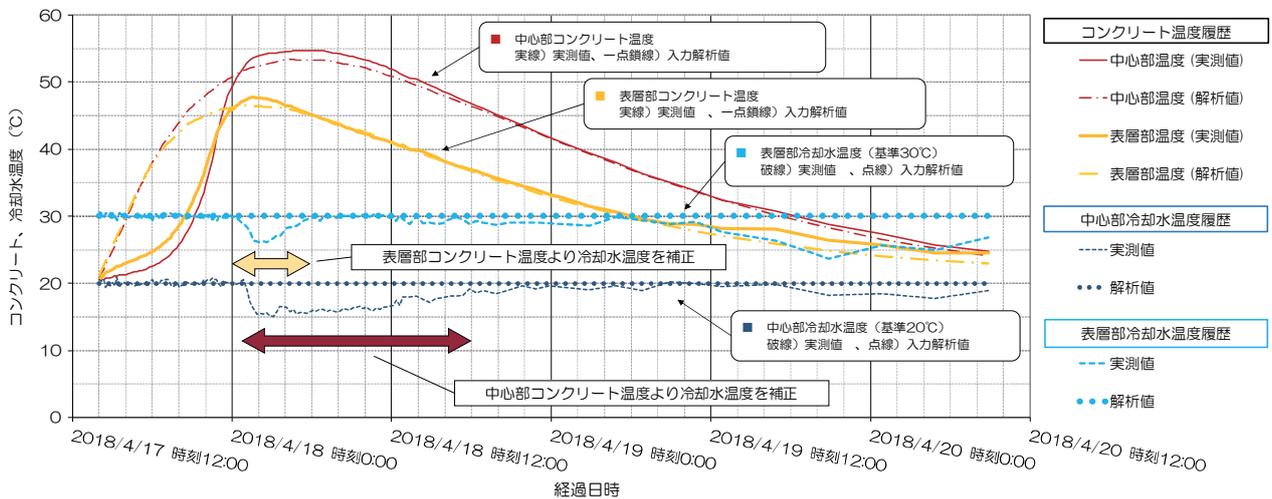


図-6 コンクリート温度の基準位置

5. おわりに

熱分配方式パイプクーリングの効果確認で実施した温度解析結果から、通常のパイプクーリングよりも温度ひび割れを抑制できることが確認できた。さらに、熱分配方式パイプクーリングを実現するために開発したシステムは、供試体による確認試験で事前の温度解析で得たコンクリート温度履歴を精度良く再現することができた。

今後、供試体試験で得られたデータの分析を行うとともに、実施工においてシステムの適用性と効果を確認する予定である。