

自動制御による コンクリートひび割れ制御システムの開発

みらい建設工業株式会社 技術本部 技術部 石原 慎太郎

コンクリート構造物は、長期間にわたって要求される性能を発揮しなくてはならず、そのためには品質の高いコンクリートを施工する必要がある。コンクリートの品質を確保するには、コンクリート打設時から養生終了時までの初期段階で発生する「ひび割れ」を抑制することが重要である。本稿では、品質の高いコンクリート構造物を施工するため、寒中コンクリート、マスコンクリートにおける初期段階の養生を確実に管理できる「コンクリートひび割れ制御システム」について紹介する。

1. はじめに

コンクリート工事では、所定の品質を満足するために、養生時にさまざまな管理を行っている。マスコンクリートのひび割れ制御対策として行うパイプクーリングは、コンクリート内に冷却用の水を通すことで、コンクリート内部の温度上昇を抑えて表面と内部との温度差を抑制する。

しかし、硬化時の発熱がピークを過ぎコンクリート温度が低下する状態では、パイプクーリングによる冷却によってコンクリートの急激な温度降下を招き温度応力を高めるおそれがあるため、適正な時期に通水を停止することが必要であった。また、養生温度や湿度などの養生管理は、コンクリート工事を担当している職員が24時間体制で状況を確認する必要があるなど、職員の勤務体制に課題があった。

このような課題を解決するため、コンクリートの温

度履歴より自動でパイプクーリングの通水を停止できるシステムと、コンクリート養生温度・湿度を自動で一定の状態に保てるシステムとを併せた「コンクリートひび割れ制御システム」を開発した。

2. コンクリートひび割れ制御システム概要

「コンクリートひび割れ制御システム」は、コンクリート打設から養生終了まで「外気温」「養生内温度・湿度」「コンクリート内部の温度」「パイプクーリングの水温・流量」を測定して、データは無線LANを利用して事務所内でリアルタイムに常時確認する。同時にそのデータから給熱養生装置や通水装置、加湿器を遠隔操作し、マスコンクリートの施工や日平均気温が4℃以下になると予想される寒中コンクリートの施工に用いることができる(図-1)。

本システムの利用で、コンクリート温度は事前に実

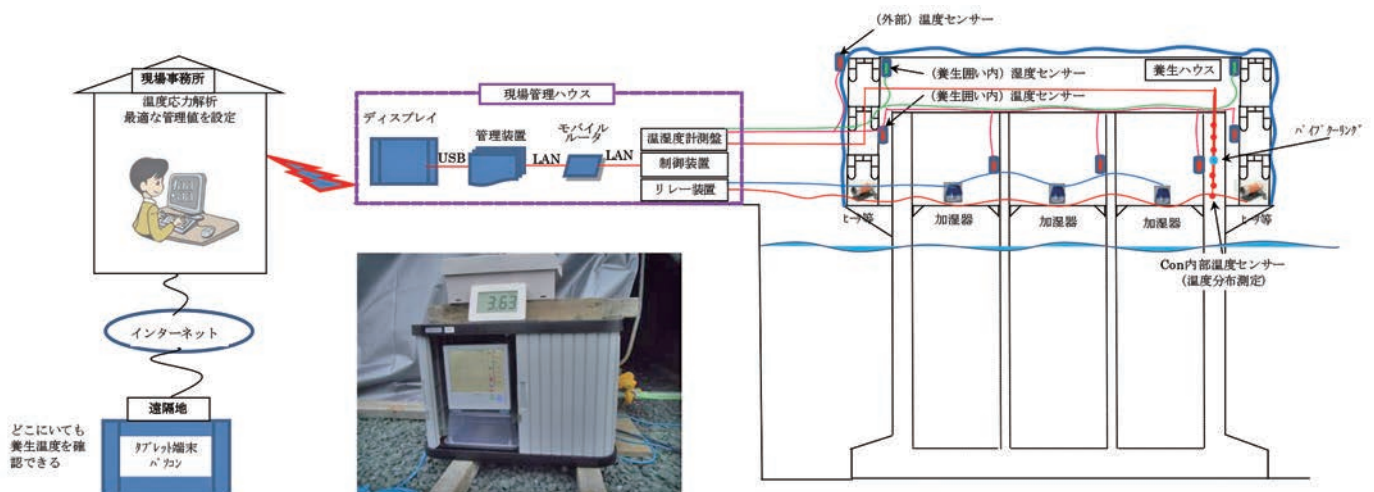


図-1 コンクリートひび割れ制御システムの概要図

施した温度応力解析の結果と比較し、事前の解析値と測定温度との差を基準値内となるように管理できる（事前解析と測定値の温度差は5℃以内が目標）。

また、パイプクーリングは「コンクリートの最高温度の6時間後に通水を自動停止できるソフト」で温度降下を緩やかにすることでひび割れを抑制できる。寒中コンクリートでは、あらかじめ養生温度を設定（例：5～15℃）し、測定した「養生温度」により給熱養生の装置（例：ヒーター）のスイッチを自動的に「ON」「OFF」できることで、常時設定した養生温度を保持できる。

3. コンクリートひび割れ制御システムの実証実験

コンクリートひび割れ制御システムの効果を確認するため、日平均気温が4℃以下となる2016年2月23～26日、青森県八戸市で実証実験を行った（写真-1）。

実証試験では、長さ1.8m×幅1.2m×高さ1.2mの方塊ブロックを9個（3個×3ケース分（図-2））にコンクリートを打設し、打設後は養生シートを設置してジェットヒーターの給熱養生とパイプクーリングを開



写真-1 実証実験での養生状況全景

始し、「外気温」「養生温度・湿度」「コンクリート内部温度」の測定（写真-2）、「養生温度・湿度の確保」「パイプクーリングの効果及び通水停止」などのシステム管理装置（写真-3）による制御状況を確認した。



写真-2 コンクリート内部の温度測定用熱電対

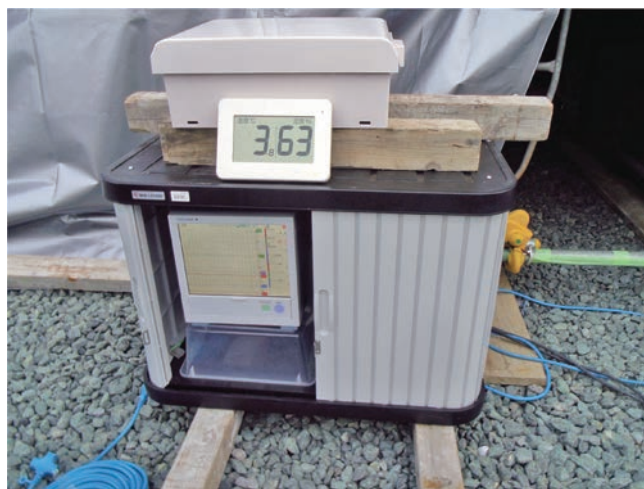


写真-3 現場に設置した管理装置

4. 実証実験の結果

実証実験から以下のことが確認できた。

- ・壁より400mmの位置（パイプクーリングより200mm）でのコンクリート最高温度はクーリングを行わないCase1では34～37℃であったが、クーリングで冷却したCase2,3は29～31℃と低くなった（図-3）。

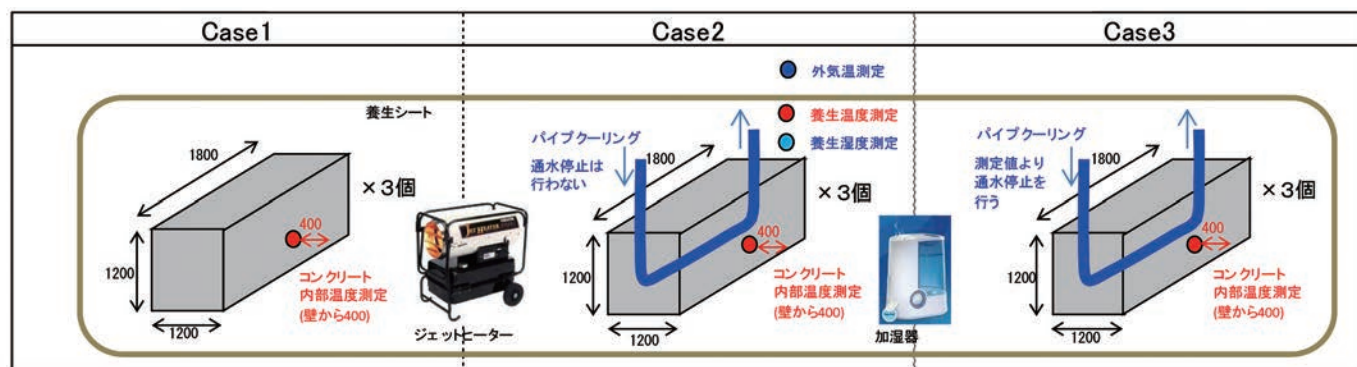


図-2 実証実験のケース

- ・パイプクーリングの通水は、Case2のように通水を継続すると1日で5～7℃コンクリート温度が降下したが、ソフトにより通水を停止したCase3ではコンクリート温度の降下は緩やかになった(図-3)。
- ・実証実験期間中は、外気温が4℃を下回る気象条件であったが、ジェットヒーターを制御して養生温度を常時5～15℃に保つことができた(図-3)。また、加湿器を制御し湿度も以上を維持できた。
- ・施工場所と離れた現場事務所において無線LANで測定値をリアルタイムで受信・把握でき、必要に応じて遠隔操作でパイプクーリングの通水、ジェットヒーターを操作した(写真-4・5)。



写真-5 事務所からの遠隔操作



写真-4 事務所と現場との無線LANアンテナ

5. 本システム導入による効果

- ・マスコンクリートのひび割れ対策として行うパイプクーリングのコンクリート温度上昇抑制効果を確認できた。また、パイプクーリングを自動制御で通水を停止することで、温度降下が緩やかになるように制御をできた。
- ・寒中コンクリートの養生時、今までは24時間体制で数時間ごとに養生状態、ジェットヒーター等の機器の稼働等を確認するため職員が現場へ出向き確認

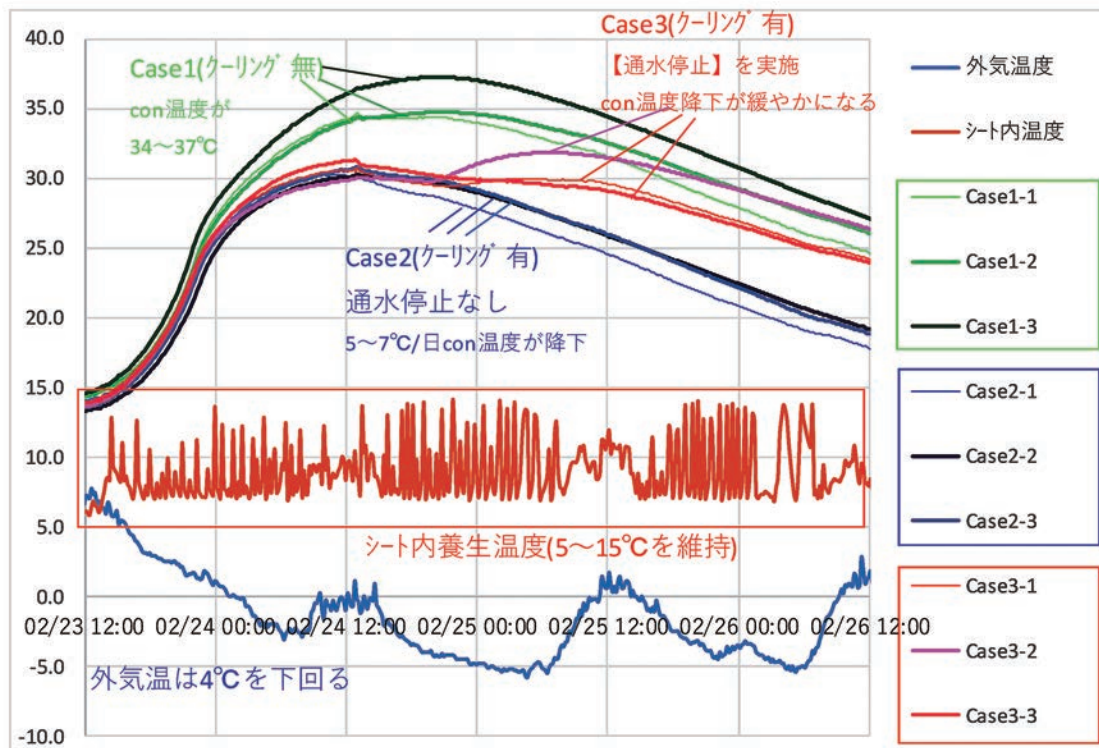


図-3 実証実験での測定結果

を行っていたが、事務所で養生状態や機器の稼働等を集中管理できるため、職員の負担が軽減できた。

- ・寒中コンクリートの給熱養生を自動化でき、必要以上にジェットヒーターで給熱しなかったことから、稼働時間は養生時間全体の1/10程度で、燃料消費が大きく改善した(写真-6)。



写真-6 燃料消費が改善したジェットヒーター

6. 本技術の適用条件

①自然条件

- ・外気温-10℃の場合、管理装置を暖房等により養生する必要あり。

②現場条件

- ・AC100Vの電源が必要。現場と管理事務所を無線LANで接続する場合、伝送距離は遮蔽無しで6km以内。

③技術提供可能地域

- ・技術提供可能地域については制限なし。

7. 本技術の適用範囲

①適用可能な範囲

- ・コンクリート工事全般

②特に効果の高い適用範囲

- ・マスコンクリート対策としてパイプクーリングを使用した工事の管理
- ・寒中コンクリートの養生管理
- ・防波堤上部工等の海上遠隔地の養生管理

③適用できない範囲

- ・コンクリート内部にセンサー(熱電対)を設置できないコンクリート工事では、パイプクーリングの自動制御ON、OFFはできない。

④適用にあたり、関係する基準およびその引用元

- ・コンクリート標準示方書 2012年制定(規準編、設計編、施工編)(土木学会)
- ・コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-(日本コンクリート工学会)

8. まとめ

- ・コンクリートの施工は、打設後の養生状態で品質が左右されるため職員に多くの手間がかかっていたが、ノートパソコンによる自動運転に変えたことにより管理担当者の24時間管理体制を緩和し省力化が図れた。養生温度に異常があった場合には現場に出向き処置を行うが、通常の定期的な巡回見回りは不要となった。
- ・自動制御運転により、給熱装置のスイッチを自動的に「ON」「OFF」して、養生温度設定値内(例:5~15℃)を効果的に管理できるようになり、CO₂排出量が削減できる。
- ・リアルタイムなコンクリート内部温度の実測値による自動運転に変えたことにより、パイプクーリングはコンクリートの最高温度計測後の任意に設定した適正な温度履歴の時間で自動停止できる。
- ・パイプクーリングは、コンクリート内に冷却水を通水させることで、コンクリート温度上昇を抑えてコンクリート表面と内部との温度差を抑制するが、硬化時の発熱がピークを過ぎてコンクリート温度が低下する状態では、過冷却によってコンクリートの急激な温度降下を招き温度応力を高めるおそれがあったが、本技術により温度応力解析値と実際の測定温度との差を基準値内となるように管理でき、温度降下を緩やかにしてひび割れ発生を抑制できる。
- ・事務所からの遠隔操作が可能となり、夜間見回り不要、一酸化炭素中毒の危険性排除など安全性が向上した。

9. その他

- ・新技術名称:コンクリートひび割れ制御システム
NETIS登録番号:THK-160002-A
- ・特許:コンクリートひび割れ制御システム
(特願 2016-163222)