

鉛直パイプクーリングの模擬供試体実験と実施工への適用

飛島建設 土木事業本部 正会員 ○佐藤 友厚
 飛島建設 土木事業本部 正会員 寺澤 正人
 飛島建設 関東土木事業部 越後 卓也

1. はじめに

コンクリートの温度ひび割れ対策のひとつであるパイプクーリングは、躯体内に設置したクーリングパイプに冷却水を送水して水和発熱による温度上昇を抑制し、ひび割れの軽減を図るものである。従来はスラブ等を対象に連続するクーリングパイプを水平に配置する方法が一般的であった。これに対して、鉛直パイプクーリングは躯体内に複数本のクーリングパイプを鉛直に設置するものである。本法は躯体内のクーリングパイプ長が短く熱交換効率が良いためクーリング水冷却用の特別な設備が不要で、比較的管理が容易なため主に壁状構造物の温度ひび割れ対策法として近年その適用事例¹⁾が増えている。しかし、適用に際しては事前に温度応力解析による効果の確認などが必要であるが、クーリングの作用を解析に考慮する方法に関する調査研究事例は少ない。筆者らは模擬供試体実験を通じて、クーリングの作用を解析に考慮する方法を検討した上で、実施工に本法を適用し、鉛直パイプクーリングの温度ひび割れ抑制効果の有効性を確認した。

2. 模擬試験体実験

ここでは、W1000×B1000×H880mmのコンクリート中央にクーリングパイプ(金属製内径60mm)を鉛直に設置した模擬供試体と、パイプを設置しない模擬供試体を用いて、打設直後からのコンクリート温度の計測を実施し、得られた計測結果をもとに鉛直パイプクーリングの作用を温度解析に加味する方法を検討した。

2-1 供試体および温度計測法概要

実験に用いた供試体を図-1に示す。供試体作製には普通ポルトランドセメントを用いたC=350kg/m³,W/C=50.8%のコンクリートを使用した。コンクリートの温度計測は材齢14日まで供試体奥行半断面上の図-1に示す点において、熱電対を用いて10分ピッチで実施した。また、同時に冷却水温と外気温を計測した。

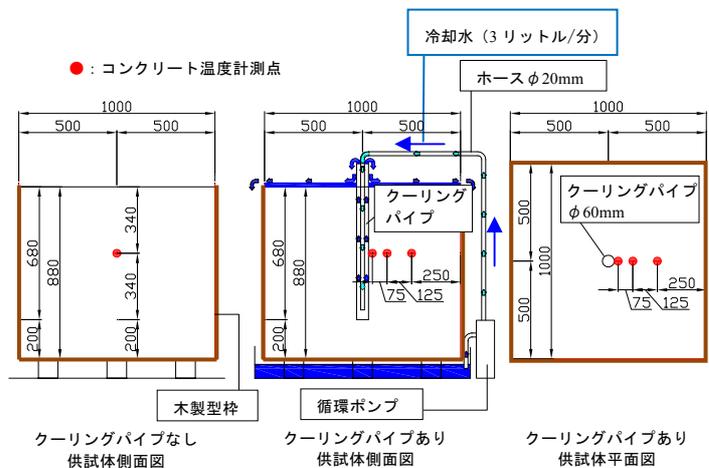


図-1 模擬供試体概要図

2-2 クーリング方法概要

クーリング方法は、図-1に示すように鉛直に設置したクーリングパイプに水道用ホースをパイプ下方まで挿入し、冷却水(水道水)を循環させ、3リットル/分で送水する方法によった。なお、クーリング実施期間はコンクリート上面の表面仕上げ後(材齢5時間)から材齢7日までとした。

2-3 クーリング作用の温度解析への考慮方法検討の概要

クーリングの作用は、クーリングパイプ表面位置に設置する熱伝達境界要素の熱伝達率で考慮するものとし、コンクリート温度の計測値と解析結果が一致するように、熱伝達率を変更して解析を繰り返し、その値を同定することとした。温度解析は3次元FEM非定常熱伝導解析によるものとし、解析上のクーリングパイプ形状は図-2に示すように、実際のクーリングパイプ径60mmと同じ辺長60mmの正方形とした。コンクリートの断熱温度上昇曲線は、JCI指針²⁾に示される曲線式を基本として、パイプクーリングを実施しない供試

キーワード 鉛直パイプクーリング, マスコンクリート, 温度ひび割れ対策, 温度応力解析

連絡先 〒102-8332 東京都千代田区三番町2番地 TEL 03-5214-7092

体での断面中心温度計測値と解析値が一致するように終局断熱温度上昇値を定めた。なお、解析に使用したその他の熱定数には JCI 指針に示される一般値の平均値を採用した。

2-4 検討結果

図-3に温度計測結果と同等したクーリングパイプの熱伝達率を用いて求めた解析結果の比較を示し、図-4に同等した熱伝達率を示す。温度計測結果ではクーリングを実施した場合のコンクリート温度は、実施しない場合に比較して低い値となっており、実施した鉛直パイプクーリングの冷却効果が確認された。また、計測結果と解析結果は良い一致性を示しており、同等した熱伝達率を用いれば、鉛直パイプクーリングを実施した場合のコンクリートの発熱挙動を良好にシミュレートすることが可能であると判断された。

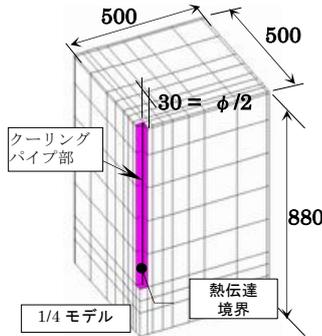


図-2 解析モデル図

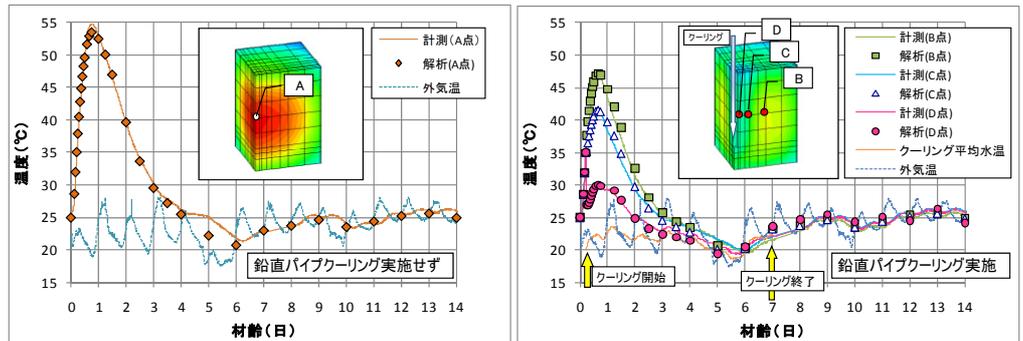


図-3 温度計測結果と同等した熱伝達率を使用した解析結果の比較図

3. 実施工における適用

模擬試験体実験における検討結果を受けて、鉛直パイプクーリングを実施工に適用し、施工に際し実施したコンクリート温度計測の結果等をもとにその効果を確認した。

3-1 適用構造物および施工概要

適用した構造物は、初秋に施工される厚さ 1.0m リフト高さ 1.6m の水処理施設の外壁であり、高炉 B 種セメントを用いた $C=314\text{kg/m}^3, W/C=53.6\%$ のコンクリートを打設に使用した。温度ひび割れ抑制策は鉛直パイプクーリングとひび割れ誘発目地(間隔 5.0m 断面欠損率約 40%)設置の併用策とした。クーリングパイプ($\phi 60\text{mm}$)は壁軸線上に 1.0m 間隔で配置し、冷却水には地下水と濁水処理した回収水の混合水を循環使用して、3 リットル/分の送水量にてクーリングを実施した。

3-2 効果の確認結果

コンクリート温度の計測値と解析値の比較を図-5 に示すが、同等した熱伝達率を用いて求めた解析値は良好に実際の発熱挙動を表現していると判断された。また、本解析結果をもとに予測した最小ひび割れ指数(外部拘束)は 1.48 とクーリングを実施しない場合の値 0.81 に比較して大幅に改善されることが確認された。さらに、厳冬期にひび割れ観察を行ったが、誘発目地にはひび割れが生じているものの、その他の部位においては、ひび割れ発生が無いことが確認され、鉛直パイプクーリングの温度ひび割れ抑制効果の有効性が確認された。

4. まとめ

模擬供試体による試験と実施工への適用を通じて、鉛直パイプクーリングの有効性を確認した。本法をより確実な施工法とするために、今後も研究および技術の改良を継続したいと考えている。

参考文献

- 1) 例えば 西井康雄：パイプクーリングによるひび割れ抑制の取り組みについて、北陸地方整備局平成 21 年度管内事業研究会，2009
- 2) 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 2008,2008.11

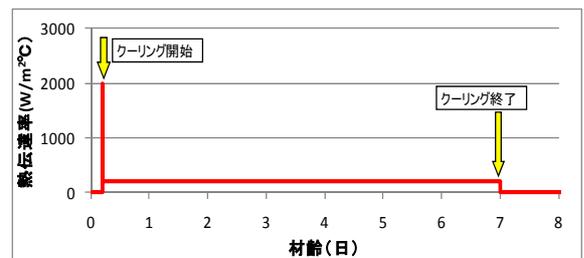


図-4 同等したクーリングパイプの熱伝達率

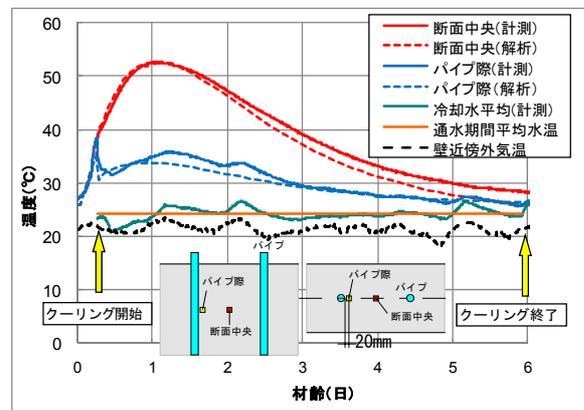


図-5 温度計測結果と解析値の比較図