

マスコンクリート対策用パイプクーリングの自動制御に関する性能確認試験

三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部 正会員 ○原 勝哉
三井住友建設(株) 技術本部 技術研究所 正会員 樋口 正典
三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部 正会員 村尾 光則
三井住友建設(株) 技術本部 技術研究所 正会員 基 哲義

1. はじめに

セメントの水和発熱に起因する温度ひび割れの発生が懸念されるコンクリート構造物に対しては、事前に照査を行い、適切な対策を講じる必要がある。ここでは、パイプクーリングに着目し、省人化・高品質化の観点からパイプクーリングを自動制御することを試みた。すなわち、打込み後のコンクリート温度をもとにパイプクーリングの水温を自動制御するものである。本稿では自動制御装置の性能確認試験に加え、パイプクーリングの温度解析において重要となる、パイプ壁面での熱伝達率の計測を行った。

2. 自動制御装置概要

図-1 に自動制御装置の概要図を示す。本装置は、躯体コンクリートにおける代表的な温度を計測し、その温度が設計時に想定された温度（事前解析結果より設定）を上回らないように、パイプクーリングの水温を自動制御する装置である。具体的には、自動制御装置にて低温水と常温水を混合して通水温度を完全自動制御するものである。コンクリート温度が制御温度を超えると低温水が混合され通水温度を低下させる。冷却が進み、制御温度を下回ると常温水を循環させることで過冷却を防止する。循環したクーリング水は、常温水槽に全て戻しオーバーフローした水が低温水槽に入る経路としている。

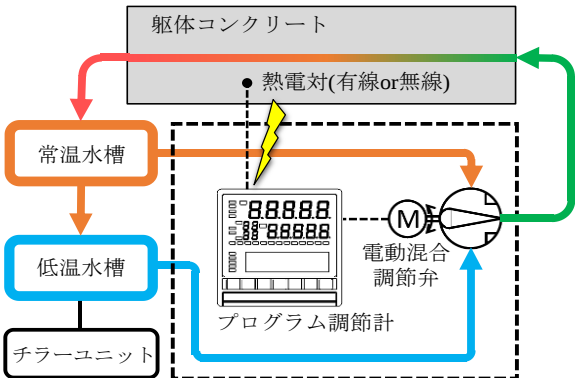


図-1 自動制御装置概要

3. 試験概要

1) 水冷試験

試験は図-2 に示すような供試体（376×376×1400mm）を用いた。断熱材は発泡スチロールを、パイプは外径 38.1mm、内径 34.9mm の電縫鋼管を使用した。試験はパイプ中に水を流す水冷試験を行った。温度計測位置は、図-2 に示すように、パイプ表面、型枠の内壁面、内壁面から 100mm の中間位置の 3 点とした。表-1 に配合を、表-2 にパイプクーリングの冷却条件を示す。パイプ壁面での熱伝達率は試験結果を用い逆解析により求めた。

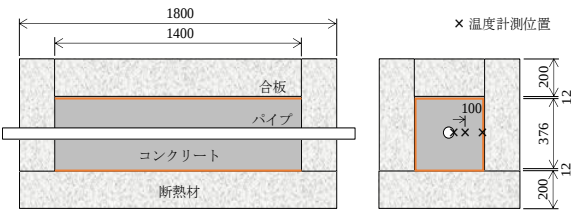


図-2 供試体概要

表-1 配合

呼び強度	スランプ (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)	
						セメント(早強)	水
40	12	20	47.4	45.9	4.5	353	167

表-2 パイプクーリングの冷却条件（水冷試験）

	設定温度(実温度)	設定流速(実流速)
水冷試験	25℃(平均 25.8℃)	26.1cm/s(平均 26.1cm/s)

2) 自動制御装置の性能確認試験

性能確認試験には、図-2 の供試体を使用し同一の計測位置で温度を計測した。制御対象位置は内壁面とし設定温度は前述のパイプクーリング試験より決定した。低温水の温度は 10℃、常温水は外気温相当、冷却水の流量は 150l/min に設定した。計測温度履歴より装置の性能について検証した。

キーワード パイプクーリング，自動制御，熱伝達率，マスコンクリート

連絡先 〒104-0051 東京都中央区佃二丁目 1 番 6 号 三井住友建設(株) 土木本部土木設計部 TEL 03-4582-3063

4. 試験結果

1) 水冷試験結果

水冷試験における熱伝達率の推定結果を図-3 に示す。図中の実線は、田辺らが提案する熱伝達率と流速の関係¹⁾である。逆解析におけるコンクリートの発熱特性には、断熱温度上昇特性式²⁾と岸らが提案する複合水和発熱モデル³⁾を用いた。パイプ壁面での熱伝達率の逆解析値は、断熱温度上昇式を用いた場合で $337\text{W/m}^2\text{C}$ 、複合水和発熱モデルを用いた場合で $159\text{W/m}^2\text{C}$ と推定され、複合水和発熱モデルを用いた方が小さい値を示した。これは、複合水和発熱モデルが温度依存性を考慮したもので、放熱に伴う温度低下に対応しているためと考えられる。また、田辺の式との比較では、複合水和発熱モデルを用いた方が比較的近い値を示した。図-4 に計測値と解析値の温度履歴を示すが、田辺の式から得られる熱伝達率を用いた場合との差は小さくピーク温度で $2\sim 3\text{C}$ の差である。このことから、温度解析に使用するパイプと水の境界の熱伝達率には、田辺の式を適用し、発熱特性に複合水和発熱モデルを適用することで解析精度の向上が期待できる。

2) 自動制御装置の性能確認試験結果

供試体の温度計測結果を図-5 に示す。図中の赤線は内壁面における設定温度で、この温度をもとに通水温度の制御を行う。計測結果より、内壁面での温度が設定温度を上回ると通水温度（パイプ表面温度）が低下し、設定温度を下回ると通水温度が上昇していることがわかる。このことから、装置は正常に作動しており、自動制御の可能性が確認できる。一方、設定温度を超えた段階で通水温度が下がるため、実際の温度は設定温度よりも少し高くなることがわかる。そのため、設定温度は目標温度よりも小さく設定する必要がある。その程度については、諸条件によって異なると考えられるが、 -5C 程度と考える。なお、今回の試験では、前述の水冷試験での計測値（図-4）から 5C を差し引いた値を設定値としている。

5. まとめ

今回得られた知見を以下に示す。

- 1) 躯体コンクリートにおける代表的な温度を計測し、その温度が設計時に想定された温度を上回らないように、パイプクーリングの水温を自動制御する装置を試作し、その性能確認試験を行った結果、装置は正常に動作し、自動制御の可能性が確認された。
- 2) パイプクーリングにおける解析精度の向上を目的として、パイプ壁面での熱伝達率について試験を行った結果、パイプと水の境界の熱伝達率については田辺の式¹⁾を、コンクリートの発熱特性には複合水和発熱モデル³⁾を適用することで解析精度の向上が期待できる。

参考文献

- 1) 田辺忠顕, 山川秀次, 渡辺 朗: パイプクーリングにおける管壁面の熱伝達率の決定ならびに冷却効果の解析, 土木学会論文報告集, 第 343 号, pp.171-179, 1984.3
- 2) 土木学会: 2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 2012
- 3) 岸利治, 前川宏一: ポルトランドセメントの複合水和発熱モデル, 土木学会論文集, No.526, V-29, pp.97-109, 1995.11

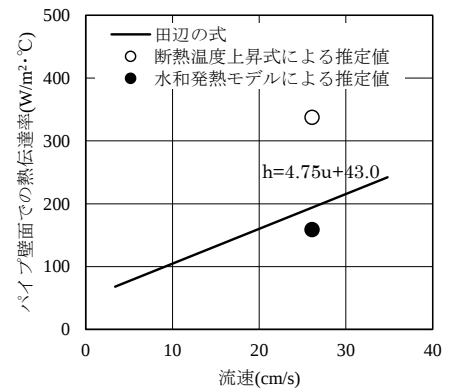


図-3 熱伝達率の推定結果（水冷試験）

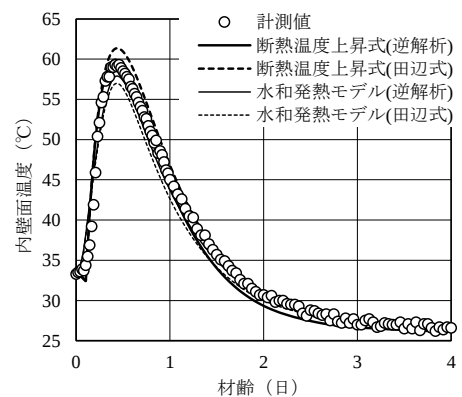


図-4 計測値と解析値の比較（水冷試験）

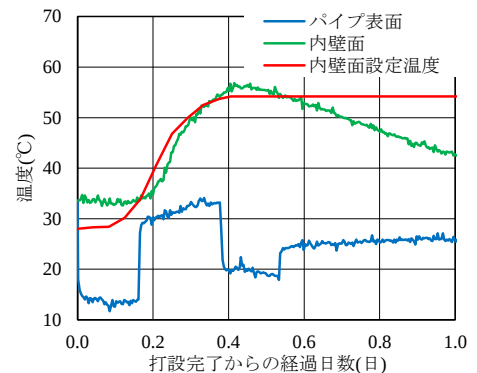


図-5 供試体温度計測結果（性能確認試験）