

冷温水の通水による温度ひび割れ抑制工法

鹿島建設(株) 正会員 ○青山達彦 正会員 柳井修司 正会員 渡邊有寿
鹿島建設(株) 正会員 山中大明 正会員 山本 徹

1. はじめに

マスコンクリートの温度ひび割れ抑制工法の一つであるパイプクーリングは、これまで多くの構造物に適用され、ひび割れ抑制に貢献している¹⁾。著者らは、冷水に加え温水を通水することで、より高いひび割れ抑制効果が得られる工法を開発し、中空断面橋脚に適用した。本報では、解析によるその効果の検証結果について報告する。

2. 工法の基本概念

本工法の基本概念を図-1に示す。本工法は、躯体内に設置したパイプに冷温水を通水して、コンクリートの水和熱による躯体温度の上昇と、その後の放熱による温度降下を制御する工法であり、手順は以下のとおりである。まず、①冷水を用いたクーリングで、躯体温度の最高温度を低減(ピークカット)する。次に、本工法の特徴である②温水を用いたヒーティングで、最高温度到達後の放熱による躯体温度の下降を緩やかにし(徐冷)、強度発現が十分でない若材齢時の体積変化(収縮)を抑える。さらに、③ヒーティングの継続によって次リフトを施工するまで前リフトの躯体温度を保ち、新旧リフト間の温度差すなわち熱変形挙動の差を極力小さくする。これらの手順を適切なタイミングで実施することで、従来のパイプクーリングよりも効果的に内部拘束および外部拘束ひび割れを抑制できると期待される。

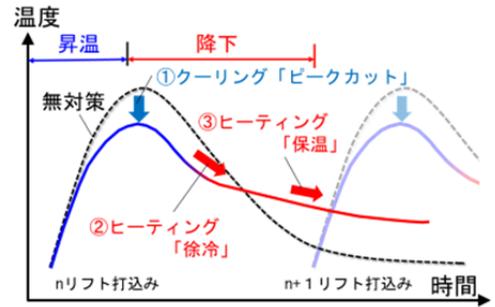


図-1 本工法の基本概念

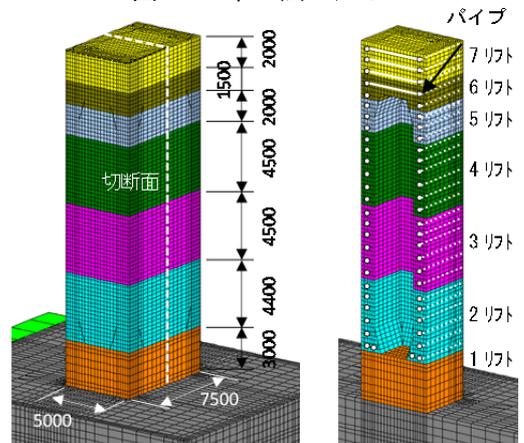


図-2 解析モデルとパイプレイアウト

3. 温度応力解析による温度ひび割れ抑制効果の検証

(1) 解析概要

本工法を適用した中空断面橋脚に対し、事前に温度応力解析によって温度ひび割れの抑制効果を検証した。解析モデルおよびパイプレイアウトを図-2に示す。なお、通水温度の移流拡散を考慮するために全断面モデルで解析を実施した。解析条件の一覧を表-1に示す。断熱温度上昇式は、現地条件を考慮するために、実施工で用いる予定のコンクリートの簡易断熱試験²⁾を行って同定した。また、圧縮強度の発現は、簡易断熱試験と同じ条件で養生した供試体(写真-1)の強度と積算温度の関係式で整理した。その他の解析条件は、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」に従って設

表-1 解析条件

断熱温度上昇式 (°C)	$T(t) = K \times (1 - \exp(-\alpha(t - t_0)^\beta))$ $K = 55.0, \alpha = 1.88, \beta = 1.00, t_0 = 0.05$ セメント種: 普通, 単位セメント量: 388kg/m ³
比熱 (J/g°C)	1.15
熱伝導率 (W/m°C)	2.7
線膨張係数 (1/°C)	10×10^{-6}
圧縮強度 (N/mm ²)	図-3
ヤング係数 (kN/mm ²)*	$f_t(t_e) = 0.165 \times f'_c(t_e)^{0.85}$
引張強度 (N/mm ²)*	$f_t(t_e) = 6100 \times f'_c(t_e)^{0.45}$
ポアソン比	0.2
自己収縮 (μ)	$\epsilon_{sh}(t_e) = \epsilon_{sh,\infty} * \beta_{sh}(t_e)$
乾燥収縮 (μ)	非考慮

*強度試験の実測値を用いて補正

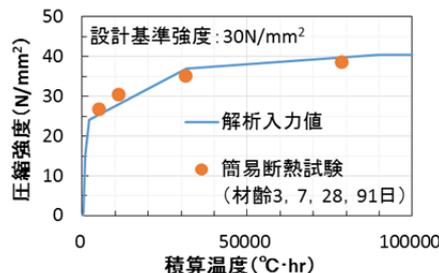


図-3 積算温度と圧縮強度

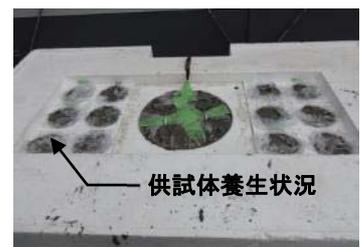


写真-1 簡易断熱試験状況

キーワード 温度ひび割れ, パイプクーリング, 冷温水, 中空断面橋脚

連絡先 〒182-0025 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所土木材料グループ TEL042-489-6752

定した。クーリングおよびヒーティングの通水条件は表-2 に示すように設定した。本報では、従来工法であるパイプクーリングに対する本工法の優位性を検証するために、クーリングまたはヒーティングを個別に適用したケースについても検証した。この際、クーリング、ヒーティングの通水条件は表-2 と同様とした。

(2) 解析結果

解析結果の一例として、3, 4 リフトの温度履歴を図-4 に示す。温度履歴の着目点は、図に示すとおりである。対策なし(破線)と比較して①クーリングによって、最高温度を6.9℃ピークカットできた。

また、②および③のヒーティングによって、温度降下時の勾配を緩やかにでき(徐冷)、打込みから11日経過時点で、対策なしと比較して12.7℃保温できている。さらに、4 リフト目の最高温度到達時には、①'4 リフトのピークカットの効果も加わり、リフト間の最大温度差を43.7℃から29.4℃に低減できる結果となった。表-3 に4 リフト目と、最も本工法の効果が得られた5 リフト目のひび割れ指数および発生確率の結果を示す。4 リフト目において、対策なしの場合、ひび割れ発生確率が62%であるのに対し、クーリングのみで34%、ヒーティングのみで52%に改善できる。さらに、これらを併用した本工法を適用すると、確率は28%まで改善できた。また、5 リフト目において、対策なしの場合、発生確率93%であるのに対し、本工法の適用によって40%まで改善でき、本工法の高い温度ひび割れ抑制効果が確認できた。

(3) 実施工における効果の確認

前述の事前解析検討と同様の通水条件を設定し、実施工に本工法を適用した。3 リフトと4 リフトの躯体温度測定結果と対策なし(解析値)の比較を図-5 に示す。温度測定点は図に併記するとおりである。対策なしと比較して、冷温水の通水によって基本概念どおりに躯体温度を制御することができた。また、目視によるひび割れ調査の結果、実構造物においてもひび割れは確認されておらず、本工法を適用することによって事前解析の結果どおり、十分なひび割れ抑制効果が得られたと考えられる。

4. おわりに

冷温水を通水する温度ひび割れ抑制工法の効果を、中空断面橋脚を対象とした事前解析によって検証した結果、従来工法のパイプクーリングよりも高い温度ひび割れ抑制効果が得られることが分かった。実施工においても、基本概念どおりに躯体温度を制御することができ、想定どおりのひび割れ抑制効果が得られた。

参考文献

- 1) 温品達也：橋梁下部工におけるパイプクーリング工法の諸検討，土木学会第68回年次学術講演会，2013，pp.43-44
- 2) 竹内直也：簡易断熱容易を用いたコンクリートの物性評価に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，2011，pp1295-1300

表-2 通水条件

	通水温度(サブライ)	通水期間	パイプ設置間隔	表面熱伝達率
クーリング*	10℃	打込み開始から、最高温度到達後、10時間後まで	500~750(mm)	175(W/m ² ℃)
ヒーティング*	50℃	クーリング*停止から次リフト打込みまで*		

*期間が開く場合は、中断し、2日前から再開

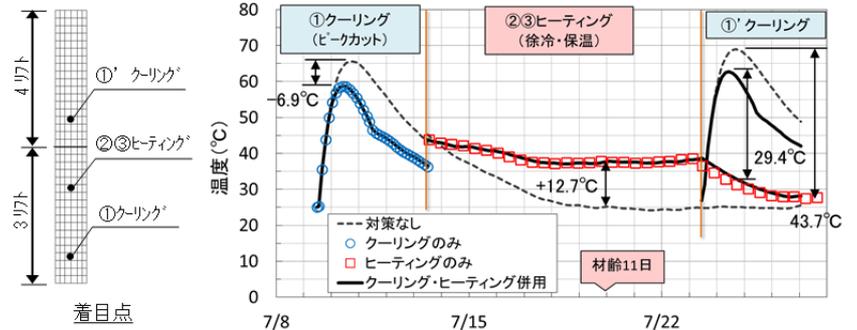


図-4 解析結果における温度履歴(3, 4リフト)

表-3 ひび割れ指数と発生確率(4, 5リフト)

		ひび割れ指数と発生確率			
		対策なし	クーリング* ヒーティング*	クーリング* のみ	ヒーティング* のみ
指数	4リフト	0.93 (±0)	1.19 (+0.26)	1.13 (+0.20)	0.99 (+0.06)
	5リフト	0.73 (±0)	1.08 (+0.35)	0.90 (+0.17)	0.85 (+0.12)
確率	4リフト	62% (±0)	28% (-34%)	34% (-28%)	52% (-10%)
	5リフト	93% (±0)	40% (-53%)	67% (-26%)	75% (-18%)

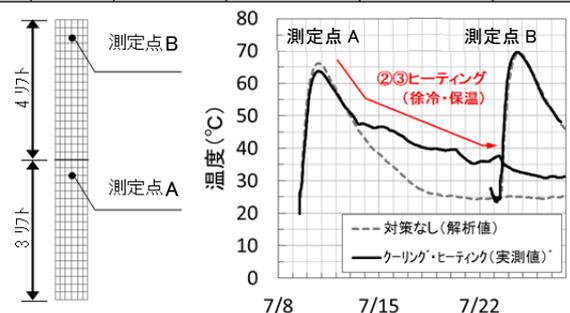


図-5 実施工における温度測定結果