

## 冷温水の通水による温度ひび割れ抑制工法に関する効果の定量評価

鹿島建設(株) 正会員 ○高木英知 芦澤良一 関 春彦 柳井修司 東洋大学 正会員 横関康祐

## 1. はじめに

温度ひび割れを抑制する対策として、躯体コンクリートの温度上昇や温度降下に応じて部材内に配置した通水管に冷水あるいは温水を通し、クーリングとヒーティングによって躯体温度を制御する「冷・温水通水工法」<sup>1)</sup>が挙げられる。本報では、実大規模の試験体を用いて本工法の効果を定量的に評価した結果について示す。

## 2. 冷・温水通水工法の基本概念

冷・温水通水工法の基本概念を図-1に示す。本工法は、①通水管に冷水を通すことで、コンクリートの温度上昇を抑制し、最高温度を低下させる。②コンクリートが最高温度に到達した後、冷水の通水を停止または温水による給熱を行いコンクリートの温度降下を緩やかにして急激な収縮変形を抑制する。③温水の通水により次リフトとの温度変形量の差を小さくしておき、その後、先行および後行リフトの通水停止により両リフト間の収縮挙動を近づけ後行リフトに生じる外部拘束を緩和する。以上のように、本工法はコンクリート構造物の温度を積極的にコントロールすることでひび割れを抑制するものである。

## 3. 実験概要

## 3.1 試験体の概要

図-2に試験体の形状と寸法、通水管および各計測器の配置を示す。底版部は厚さ1.2m、幅9.0m、壁部は厚さ1.5m、高さ6.0m、いずれも延長は9.0mである。これらを表-1に示す実績で構築した。鉄筋については、主筋および配筋にそれぞれD32およびD16を250mm間隔で配置した(鉄筋比  $p=0.11\%$ )。通水管は、内径 $\Phi 20\text{mm}$ の炭素鋼鋼管(SGP管)を用い、事前の温度応力解析に基づき、コンクリート躯体の温度の制御可能な配置間隔、および鉄筋との干渉を考慮して、鉛直方向に500~750mm、水平方向に500~750mmの間隔で配置した。計測器については、熱電対および有効応力計を各リフトの底面からそれぞれ0.55mおよび1.5m、かつ断面および延長方向に等分となる位置に配置した。コンクリートの配合は、表-2に示すように高炉セメントB種を用いた水セメント比52.2%のものとした。本実験では、試験体を2体作製し、1体は本工法を適用せず(以下、Case Nとする)、残り1体に本工法を適用した(以下、Case CHとする)。

## 3.2 クーリングおよびヒーティングの仕様

冷水および温水の設定温度はそれぞれ10°Cおよび35°Cとし、流量は25L/分とした。クーリングは、コンクリートの打込み時から開始し、最高温度に到達してから12時間が経過するまで行った。また、ヒーティングは、クーリングの停止後、試験体の温度が35°Cまで降下してから開始し、3リフトのコンクリート温度が35°Cになるまで続けた。その後、2日間で底版を含む全てのリフトの水温を35°Cから30°Cまで順次降下させて通水を終了した。

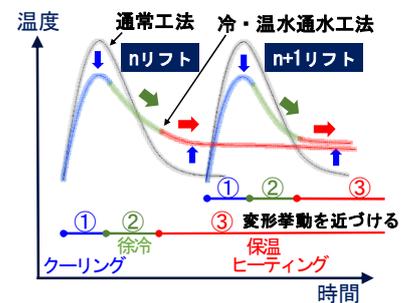


図-1 冷・温水通水工法の基本概念

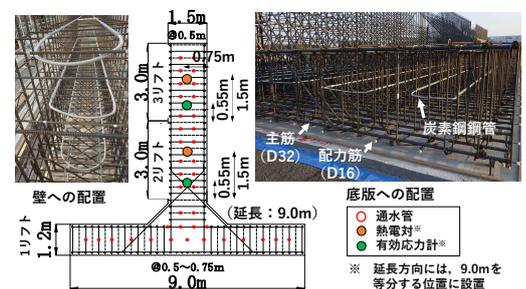


図-2 試験体の概要(断面図)

表-1 打込み日と外気およびコンクリート温度

リフト No.	打込み日	高さ (m)	日平均気温(°C)	打込み温度(°C)
1	3月22日	1.2	17.8	19.0~23.9
2	5月8日	3.0	16.3	23.5~25.8
3	5月30日	3.0	21.4	26.7~28.6

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S1	S2	G	Ad
52.2	12.0	4.5	168	322	546	293	960	3.22

W:地下水, C:高炉セメントB種(密度:3.04g/cm<sup>3</sup>, 比表面積:3750 cm<sup>2</sup>/g), S1:砕砂(表乾密度:2.64g/cm<sup>3</sup>, 粗粒率:3.10), S2:山砂(表乾密度:2.59g/cm<sup>3</sup>, 粗粒率:1.70), G:碎石2005(表乾密度:2.66g/cm<sup>3</sup>, 実積率:59.0%), Ad:AE減水剤(リグニンスルホン酸塩)

キーワード 温度ひび割れ, 温度制御, パイプクーリング, パイプヒーティング, 温度応力, 発生応力

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6748

## 4. 実験結果

### 4.1 ひび割れの発生状況

図-3 に示すように、Case N では材齢 12 日で、2 リフトおよび 3 リフトにおいて部材を貫通するひび割れを確認した。これらは、2 リフトおよび 3 リフトにおいて、

それぞれ 3 本および 2 本確認され、最大ひび割れ幅は 2 リフトおよび 3 リフトにおいて、それぞれ 0.25mm および 0.1mm であった。その後、2 リフトでは材齢 215 日において、最大ひび割れ幅は 0.30mm となり、3 リフト目では材齢 193 日において確認した際には、ひび割れが新たに 1 本発生し、最大ひび割れ幅は 0.30mm となった。これは、乾燥や外気温の低下による影響が考えられる。一方で、本工法を適用した Case CH では、いずれのリフトにおいても温度ひび割れは認められず、高いひび割れ抑制効果があることが確認された。

### 4.2 コンクリートの温度履歴

図-4 に各リフトにおける断面中心の温度履歴を示す。Case N の最高温度は 1 リフトで 59.0°C、2 リフトで 64.5°C、3 リフトで 75.1°C となった。一方で、Case CH の最高温度はクーリングにより 1 リフトで 42.4°C、2 リフトで 40.8°C、3 リフトで 50.5°C となり、Case N に比べて最高温度が 16.6~24.6°C 大幅に低減した。その後、Case N では各リフトでコン

クリート温度が外気温まで降下するのに対して、Case CH では 3 リフトの打込み後に、各リフトのヒーティングを停止することにより、コンクリート温度が 30°C 程度から外気温まで全リフト同時に降下した。

### 4.3 コンクリートの発生応力

図-5 に 2 リフトおよび 3 リフトにおける断面中心の発生応力の履歴を示す。Case N では、引張側へ応力が推移する過程でひび割れの発生を捉えており、このときの発生応力は、2 リフトで 1.51N/mm<sup>2</sup>、3 リフトで 2.06N/mm<sup>2</sup> であり、材齢はそれぞれ 8 日および 12 日であった。このときの引張強度をコンクリート標準示方書に示される引張強度の算定式と有効材齢を考慮した圧縮強度より算出した場合、それぞれ 2.23N/mm<sup>2</sup>、2.24N/mm<sup>2</sup> となり、引張応力が引張強度より小さい範囲でひび割れが発生している結果となった。これは、引張強度の推定精度のうち、高温履歴を受けた高炉セメントの強度発現の特性による影響などが要因として考えられる。一方、Case CH では、コンクリートの温度上昇に伴い圧縮側へ応力が推移し、その後、外気温の上昇に伴い概ね圧縮側の 0.5N/mm<sup>2</sup> 付近を推移し、10 月から翌年の 3 月では外気温の降下に伴い引張側の 1.0N/mm<sup>2</sup> 付近を推移している。これらの傾向から、以降の発生応力は外気温の上昇に伴い、再度、圧縮側へ推移すると推察されることから、以後のひび割れ発生の可能性は低いものと考えられる。

## 5. まとめ

本報では、実大規模の試験体を用いて、冷・温水通水工法の効果を評価した。その結果、本工法を適用していない試験体では、ひび割れが発生した。一方で、本工法を適用した試験体では躯体の温度コントロールにより有害な応力の発生を抑制し、ひび割れが発生しない結果となり本工法の高いひび割れ抑制効果を確認した。

**参考文献** 1) 青山 ほか：冷温水の通水による温度ひび割れ抑制工法，土木学会第 71 回年次講演概要集，2016。



図-3 Case Nにおけるひび割れの発生状況（正面図）

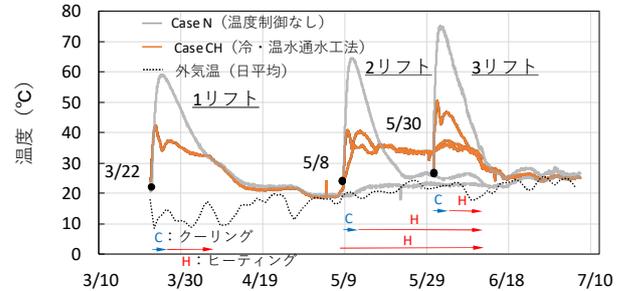


図-4 コンクリートの温度履歴

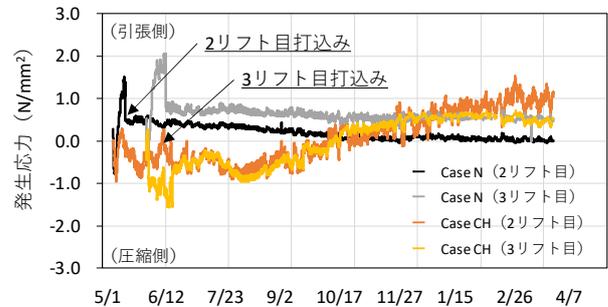


図-5 コンクリートの発生応力の履歴