

# 温度ひび割れを抑制する躯体コンクリートの温度制御技術 －「クール&ヒート工法<sup>®</sup>」の定量評価－

## A Method of Controlling Concrete Temperature to Prevent Thermal Cracks － A Quantitative Evaluation of the Cool & Heat Method －

高木 英知 芦澤 良一 柳井 修司<sup>1)</sup>  
横関 康祐<sup>1)</sup> 塚本 優<sup>2)</sup> 関 春彦<sup>1)</sup>

### 要 約

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下降に応じて部材内に配置した埋設管に冷水あるいは温水を通水し、コンクリート温度を制御する「クール&ヒート工法<sup>®</sup>」を開発した。本工法は、これまでに解析的検討や実構造物への適用によってその効果を確認しているが、同一条件下で本工法の有無による違いを直接的に比較した事例はない。本報では、クール&ヒート工法の有無を要因として実大規模の試験体を作製し、効果を定量的に評価した。その結果、クール&ヒート工法の適用により、実大規模の試験体でひび割れを抑制できることを確認するとともに、冷水及び温水によるコンクリート温度の制御によって施工完了時に残留するコンクリートひずみ及び鉄筋ひずみを比較・評価し、温度ひび割れ抑制のあり方について考察した。

### 目 次

- I. はじめに
- II. クール&ヒート工法の基本概念
- III. 実験概要
- IV. 実験結果
- V. おわりに

#### I. はじめに

コンクリート構造物の品質を確保・向上するためには、施工時に生じる有害なひび割れを抑制することが必要である。特に、マスコンクリートに生じる温度ひび割れは部材を貫通して発生するケースが多く、コンクリート構造物の耐久性や水密性を低下させる原因となる。このため、実施工においては、温度ひび割れの抑制に向けた温度上昇量や外部拘束の低減、ひび割れ幅の制御などを目的として、材料、配合及び施工の観点から様々な対策が採られている。その一つとして、パイプクーリングが挙げられる。パイプクーリングは、部材中にあらかじめ設置した埋設管に冷水を通すことでコンクリートの温度上昇量を低減し、温度ひび割れの発生を抑制する方

法である。これに対して、コンクリートの温度上昇時に冷水を通すだけでなく、温度降下時に温水に切り替えて徐冷・保温することで、コンクリート構造物の温度をコントロールして温度ひび割れの抑制効果を高めた「クール&ヒート工法<sup>®</sup>」を開発した<sup>1)</sup>。本工法については、これまでに解析的な検討や実構造物への適用によって、その効果を検証してきた。しかしながら、同一条件下で本工法の有無による違いを直接的に比較した事例はない。そこで、本研究では、クール&ヒート工法の有無を要因としてボックスカルバートの底版と中壁を模擬した実大規模の試験体を作製し、ひび割れ抑制効果について定量的に比較した。

#### II. クール&ヒート工法の基本概念

クール&ヒート工法の基本概念を Fig.1 に示す。本工法は、①クーリング（ピークカット）、②ヒーティング（徐冷）及び③ヒーティング（保温）の三つの過程で構成される。それぞれの過程を以下に概説する。

##### ① クーリング（ピークカット）

コンクリートの打込み時から埋設管に冷水を循環させる

1) 土木管理本部 Civil Engineering Management Division

2) 横浜支店 Yokohama Branch

**キーワード:** 温度ひび割れ, 温度制御, パイプクーリング, ヒーティング, 温度応力解析, ひずみ  
**Keywords:** thermal crack, thermal control, cooling, heating, thermal stress analysis, strain

ことで、セメントの水和熱に起因する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。これにより、内部拘束応力や外部拘束応力を抑制する。

② ヒーティング（徐冷）

コンクリートが最高温度に到達した後、循環させる水の給水を停止する。あるいは、温水による給熱を行う。放熱に伴うコンクリートの温度降下を緩やかにすることで急激な収縮変形を抑制し、引張強度の小さい若材齢時に生じる外部拘束応力を緩和する。

③ ヒーティング（保温）

前過程に引き続き、次リフト（n+1 リフト）のコンクリート温度が最高温度に到達するまで当該リフト（同 n リフト）の給温を継続し、コンクリート温度を高く保つことで n+1 リフト打込み後のリフト間の温度差、すなわち温度変形量の差を小さくする。さらに、n リフトのヒーティングを n+1 リフトと同程度の温度となる時点で停止し、両リフトの温度収縮挙動を近づけ、同時に変形させることで、n+1 リフトに生じる外部拘束応力を緩和する。

以上のように、本工法は 1 系統の埋設管に対してクーリングだけでなくヒーティングを行うことでコンクリート構造物の温度を積極的にコントロールして温度ひび割れを抑制することに特長を有する。

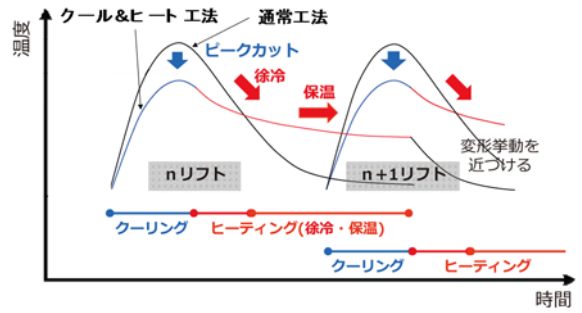


Fig. 1 クール&ヒート工法の基本概念 (Concept of “Cool & Heat System”)

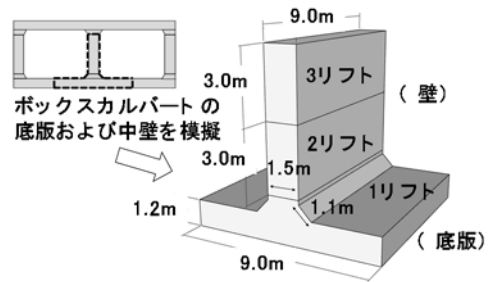


Fig. 2 試験体の概要 (Outline of Wall-like Structure)

III. 実験概要

1. 試験体の概要

Fig.2 に試験体の形状と寸法を示す。試験体は、ボックスカルバートの底版及び中壁を模擬したものである。底版の寸法は厚さ 1.2m、幅 9.0m、延長 9.0m であり、高さ 0.8m のハンチを設けた。また、壁の寸法は厚さ 1.5m、高さ 6.0m、延長 9.0m とした。鉄筋は全て SD345 を使用し、主筋及び配筋筋にはそれぞれ D32 及び D16 を 250mm 間隔で配置した（鉄筋比  $p=0.11\%$ ）。

Table 1 及び Table 2 に、コンクリートの使用材料及び配合をそれぞれ示す。使用したコンクリートは、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。目標スランブは  $12.0 \pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量は  $4.5 \pm 1.5\%$  とした。この試験体を 2 体作製し、1 体はクール&ヒート工法を適用せず（以下、Case A とする）、残り 1 体にはクール&ヒート工法を適用した（以下、Case B とする）。

2. 事前の温度応力解析

本工法を適用するにあたり、クール&ヒート工法のこれまでの実績に基づき目標ひび割れ指数として 1.45 を満足するように埋設管の配置、通水温度、流量及び通水期間を設定し、それらの妥当性を事前の温度応力解析により確認した。

(1) クーリング及びヒーティングの仕様

Fig.3 に埋設管の配置を示す。埋設管は、鉄筋と干渉しないように底版及びハンチでは鉛直方向に 500~600mm の間

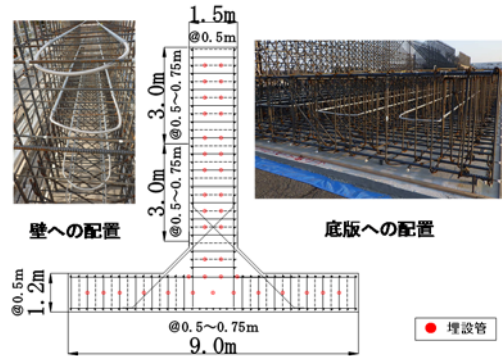


Fig. 3 埋設管の配置状況（断面図） (Placement of Buried Pipe)

Table 1 使用材料 (Materials Used for Concrete)

材料	記号	摘要
水	W	地下水
セメント	C	高炉セメント B 種、密度：3.04g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	砕砂、表乾密度：2.63g/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
粗骨材	G	砕石、表乾密度：2.65g/cm <sup>3</sup> 、実積率：59.0%
AE 減水剤	Ad	リグニンスルホン酸塩（標準形）

Table 2 コンクリートの配合 (Mix Proportion of Concrete)

W/C (%)	スランブ (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

隔, 水平方向に 500~750mm の間隔で, 壁では鉛直方向に 500~750mm の間隔, 水平方向に 500mm の間隔でせん断補強筋の位置に合わせて配置した。冷水及び温水の設定温度はそれぞれ 10℃及び 35℃とし, 流量については 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, ピークカット後の温度の再上昇を回避するために, 最高温度に到達してから 12 時間が経過するまで行うこととした。また, ヒーティングの通水は, クーリングの停止後, 試験体の温度がヒーティングの設定温度である 35℃まで降下してから開始した。その後, 3 リフト目のコンクリート温度が 35℃になった時点で, 2 日間で全てのリフトの水温を 35℃から 30℃まで順次降下させて終了するものとした。

(2) 解析の入力条件

ASTEAMACCS を用いて 3 次元有限要素法による温度応力解析を行った。コンクリートの熱特性や強度特性は, コンクリート標準示方書 [設計編]<sup>2)</sup>に基づき設定した。また, 外気温は気象庁の過去 3 年間の日平均気温を用い, コンクリートの打込み温度は日平均気温に 5.0℃加えた値を用いた。埋設管の表面熱伝達率は, 田邊らの算定式<sup>3)</sup>より算出した 782W/m<sup>2</sup>℃を用いた。

(3) 解析結果

Fig.4 に, 解析より得られたコンクリートの温度履歴を示す。Case B の最高温度は, 打込み後のクーリングにより 1 リフト目で 35.7℃, 2 リフト目で 41.8℃, 3 リフト目で 44.3℃となり, Case A に比べて 15℃程度低減した。また, 想定通りクーリング停止に伴う温度の再上昇はほとんどない解析結果となった。その後, 試験体の温度が 35℃へ降下しヒーティングへ切り替えることでコンクリート温度を概ね 30℃に保持している。最後に, 各リフトのヒーティングを同時に停止することで, 試験体全体のコンクリート温度が概ね同じように降下することを確認した。また, Fig.5 に最小ひび割れ指数の結果を示す。クール&ヒート工法を適用した Case B では Case A と比較し, 1 リフト目では 0.64 から 2.04, 2 リフト目では 0.76 から 1.73, 3 リフト目では 0.98 から 1.50 へ改善する結果となった。以上より, 埋設管の配置, 通水温度, 流量及び通水期間の妥当性を確認できたものと考え, この仕様を本実験に適用することとした。

3. 試験体の施工方法

(1) クーリング及びヒーティングに関する設備

水の循環設備の概要を Photo 1 に示す。クーリング及びヒーティングに用いる冷水及び温水の温度調整には, それぞれ 67.0kW 級のチラーユニット及び 5.0kW 級の温度調整機能付きの投込みヒーターを用いた。また, 製造した水は, それぞれ保温性のある 0.5m<sup>3</sup>のタンクに貯水し, ハイウォッシャーによって循環させた。また, 埋設管には, 取扱いが容易で表面熱伝達率の高い, 内径 Φ20mm の炭素鋼管 (SGP

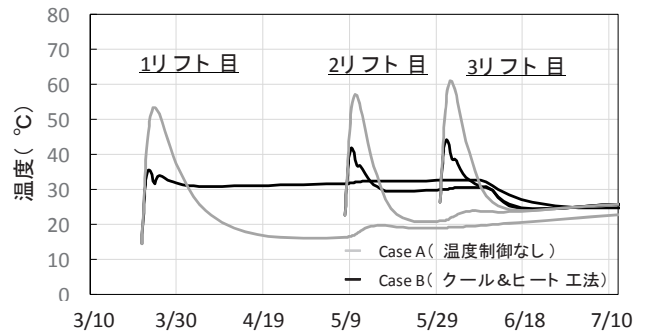


Fig. 4 コンクリートの温度履歴 (事前解析) (Concrete Temperature History)

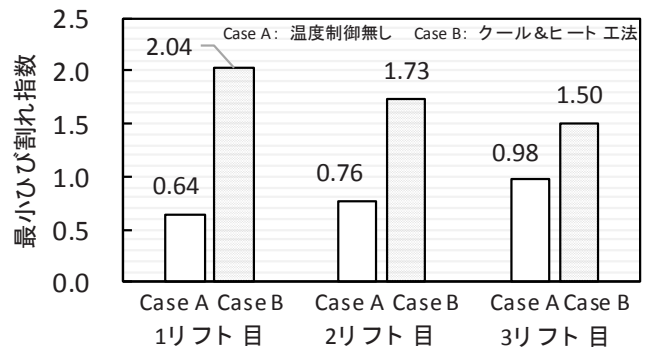


Fig. 5 最小ひび割れ指数 (Minimum Crack Index)

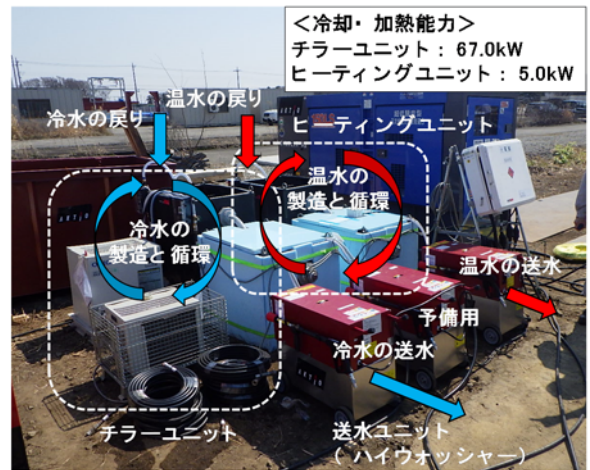


Photo 1 水の循環設備の概要 (Water Circulation System Outline)

Table 3 施工日とコンクリートの打込み温度 (Construction Date and Concrete Placement Temperature)

リフト No.	施工日	高さ (m)	日平均気温(℃)	打込み温度(℃)
1	3月22日	1.2	17.8	23.9
2	5月8日	3.0	16.3	23.5
3	5月30日	3.0	21.4	26.7

管)を用いた。

(2) コンクリートの打込み, 締固め, 脱枠

試験体の構築は, Table 3 に示すように3月から5月にかけて底版及び壁を3リフトに分けて施工した。コンクリートは, Photo 2 に示すようにポンプ車を用い, 底版では1層あたりの高さを20~50cmとした3層で, 壁では1層あたりの高さを50cmとした6層で打ち込んだ。締固めには, Φ50mmのバイブレータを用いた。あと追いの締固めとしてΦ40mmのバイブレータを主筋の内側に, Φ30mmのバイブレータをかぶりに挿入し締め固めた。締固め時間は1箇所あたり約10秒とし, 挿入間隔は60cmとした。型枠には木製型枠を用い, 材齢7日で脱枠した。

4. 計測項目

本実験では, 底版には熱電対のみを, 壁には熱電対, 埋設型コンクリートひずみ計及び鉄筋ひずみ計を設置した。Fig.6 に計測器の配置図を示す。熱電対は, 各リフトのうち事前解析で最も温度が高くなった断面中心とかぶり(表面から80mmの位置)に設置した。埋設型コンクリートひずみ計は, 事前の温度応力解析において, 壁の応力が最大となったリフト下端から高さ0.55mとなる断面中心に設置した。鉄筋ひずみ計は, 試験体の延長9.0mを4等分する位置の断面中心及



Photo 2 コンクリートの打込み状況  
(Concrete Placement Situation)

びかぶりに設置した。また, 脱枠から1回/日の頻度で, 目視によりひび割れの有無を観察し, ひび割れが発生した場合にはひび割れの位置, 幅及び長さを記録するものとした。

IV. 実験結果

1. ひび割れの発生状況

Case A では Fig.7 に示すように, 2リフト目及び3リフト目においてコンクリートの打込みから12日後に温度ひび割れの発生を確認した。2リフト目では, 試験体の延長9.0mを4等分するように3本のひび割れが鉛直方向に確認された。最大ひび割れ幅は0.25mmであり, ひび割れ長さは2400~2660mmであった。また, 3リフト目では, 試験体の延長9.0mのうち中心に1本とそのひび割れと試験体端部の中間に1本のひび割れが鉛直方向に確認された。最大ひび割れ幅は0.10mmであり, ひび割れ長さは1890~2400mmであった。3リフト目の方がひび割れの本数が少なく幅も小さい傾向にあるのは, 2リフト目と比べて拘束が小さいためと考えられる。一方で, 「クール&ヒート工法」を適用したCase Bでは, いずれのリフトにおいても温度ひび割れは全く認められなかった。ここで, ひび割れの総長さ及びひび割れ幅の積(ひび

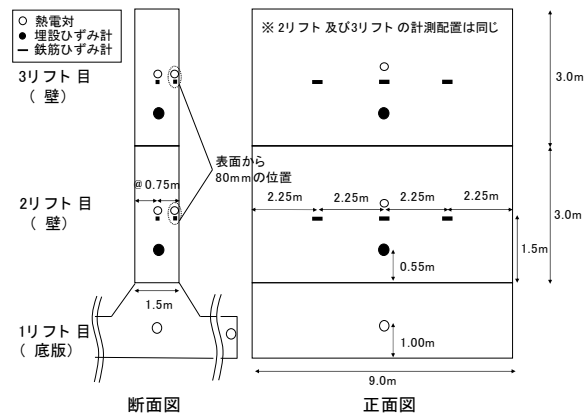


Fig. 6 計測工の配置図  
(Measurer Layout)

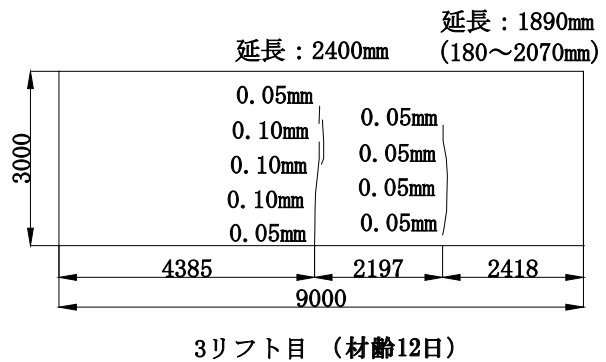
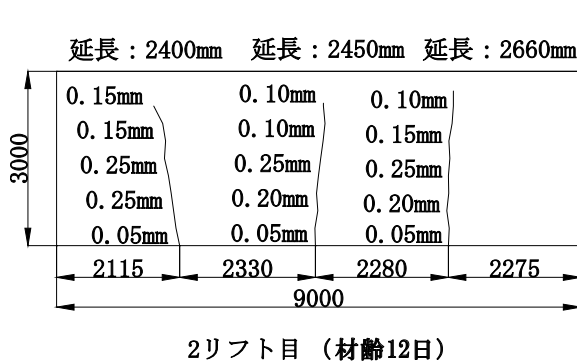


Fig. 7 Case Aにおけるひび割れの発生状況  
(Occurrence of Cracks in Concrete)

割れ面積)をひび割れ観察面の面積で除したものをひび割れ密度( $\text{mm}^2/\text{m}^2$ )と定義し Fig.8 に示す。Case A では2リフト目で  $226.7\text{mm}^2/\text{m}^2$ , 3リフト目で  $45.2\text{mm}^2/\text{m}^2$  となる一方で, Case B ではひび割れが生じていないためひび割れ密度は  $0.0\text{mm}^2/\text{m}^2$  となり, 高いひび割れ防止効果があることが確認された。なお, 覆工コンクリートのひび割れ密度の程度により, 補修・補強を行うかどうかを判定する区分をランクⅠ～Ⅲで評価した事例<sup>4)</sup>を参照すると, Case A の2リフト目ではランクⅡとなり, 3リフト目では最も健全側の評価となるランクⅢに該当する。また, 同事例では, ランクⅡ及びⅢの区分は, 補修・補強は行わず, ひび割れの進展を定期的に監視する必要があるという評価としている。

## 2. 温度履歴

### (1) 通水温度

クーリング時の送水温度の平均は, 1リフト目(底版)で  $16.8^\circ\text{C}$ , 2リフト目(壁)で  $10.5^\circ\text{C}$ , 3リフト目(壁)で  $13.0^\circ\text{C}$  であった。1リフト目の底版では, 断面寸法が壁に比べて大きいことから, チラーによる冷水の製造能力が不足し, 冷水の温度が設定温度の  $10^\circ\text{C}$  よりやや高くなったことが考えられる。一方で, 2リフト目及び3リフト目では概ね  $10^\circ\text{C}$  に制御できた。また, 試験体内を循環してユニットの貯水タンクに戻ってきた水温の平均は, 1リフト目で  $21.5^\circ\text{C}$ , 2リフト目で  $17.0^\circ\text{C}$ , 3リフト目で  $19.7^\circ\text{C}$  と, 循環により  $6.0^\circ\text{C}$  程度高くなっており, 躯体からの除熱が確認された。

ヒーティング時の送水温度の平均は, 1リフト目で  $34.6^\circ\text{C}$ , 2リフト目で  $37.2^\circ\text{C}$ , 3リフト目で  $36.1^\circ\text{C}$  であり, 概ね設定温度の  $35^\circ\text{C}$  に制御できた。また, 試験体内を循環してユニットの貯水タンクに戻ってきた水温の平均は, 1リフト目で  $33.7^\circ\text{C}$ , 2リフト目で  $36.1^\circ\text{C}$ , 3リフト目で  $34.6^\circ\text{C}$  であり, 循環により  $1.2^\circ\text{C}$  程度低いことから躯体への給熱が確認された。

### (2) コンクリートの温度履歴

Fig.9 及び Table 4 に, 各リフトにおける断面中心の温度履歴を示す。Case A の最高温度は, 1リフト目で  $59.0^\circ\text{C}$ , 2リフト目で  $64.5^\circ\text{C}$ , 3リフト目で  $75.1^\circ\text{C}$  となった。一方で, Case B の最高温度はクーリングにより1リフト目で  $42.4^\circ\text{C}$ , 2リフト目で  $40.8^\circ\text{C}$ , 3リフト目で  $50.5^\circ\text{C}$  となり, Fig.10 に示すように, 最高温度には Case A に比べて  $16.6\sim 24.6^\circ\text{C}$  の大幅な低減が認められた。また, Case B では, クーリングによって最高温度が低減することにより, ヒーティング開始までの温度低下の速度が Case A よりも緩やかになり, その降下速度は Case A の  $4.8^\circ\text{C}/\text{日}$  程度から  $2.0^\circ\text{C}/\text{日}$  程度と半減する傾向にあった。

Fig.11 に断面中心とかぶりにおける内外温度差の最大値を示す。同図より, Case A の内外温度差は, 1リフト目で  $23.4^\circ\text{C}$ , 2リフト目で  $18.1^\circ\text{C}$ , 3リフト目で  $22.6^\circ\text{C}$  であるのに対して, Case B では, 1リフト目で  $8.0^\circ\text{C}$ , 2リフト目で  $10.6^\circ\text{C}$ , 3リ

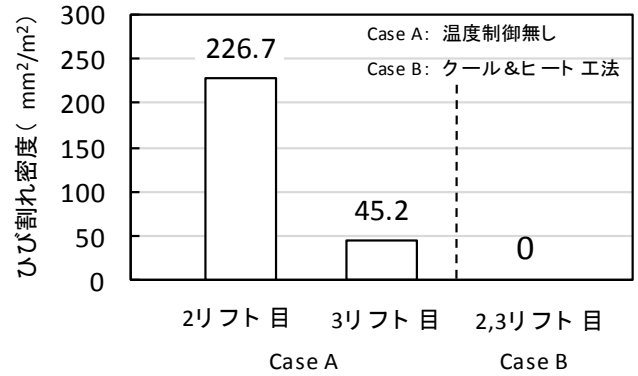


Fig. 8 ひび割れ密度  
(Crack Density of Concrete)

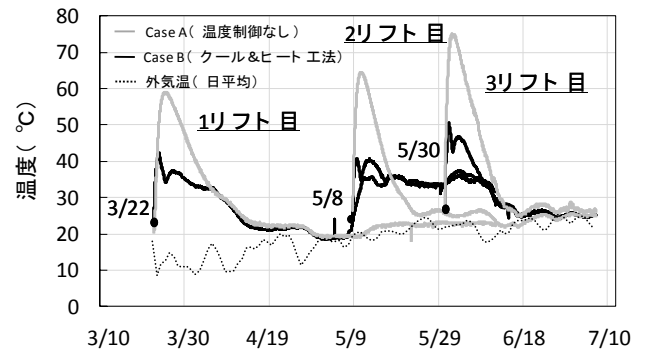


Fig. 9 コンクリートの温度履歴 (実測値)

(Concrete Temperature History)

Table 4 コンクリートの最高温度  
(Maximum Temperature of Concrete)

Case	A	B
最高温度 (°C)		
1リフト目 (底版)	59.0 (53.5)	42.4 (35.7)
2リフト目 (壁)	64.5 (57.3)	40.8 (41.8)
3リフト目 (壁)	75.1 (61.2)	50.5 (44.3)

※ ( ) は事前解析値

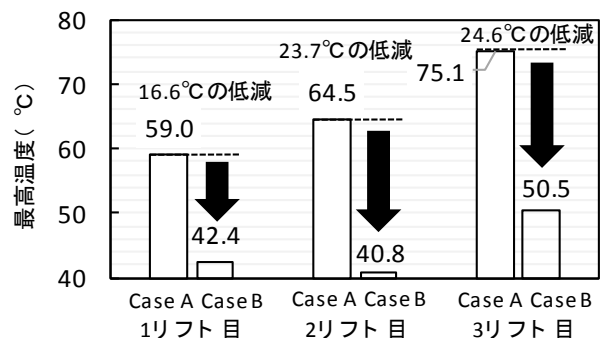


Fig. 10 最高温度の低減効果  
(Maximum Temperature Reduction Effect of Concrete)

フト目で 10.1℃と Case A に比べて内外温度差が小さく、クーリングを行うことで表面ひび割れ抑制の目安となる 15℃以下<sup>9)</sup>の内外温度差とすることができた。これはクーリングによって断面中心の最高温度が低減されたことによる。このことからクーリングは、初期の内外温度差に起因する内部拘束の緩和に有効であるものと考えられる。

Fig.9 に示す Case B の温度履歴のように、1 リフト目の底版では、2 リフト目の打込みまで 7 週間程度空いたため、一度ヒーティングのための通水を停止し、2 リフト目の打込み前日に再度ヒーティングを開始した。その後、1 リフト目ではコンクリート温度が 30℃程度に保持されていることが確認された。2 リフト目及び 3 リフト目においても、最高温度から 35℃へ降下した後、ヒーティングによりコンクリート温度が 30℃程度に保持されていることが確認された。全リフトの温度が 30℃程度であることを確認した後ヒーティングを停止し、全リフトのコンクリート温度が同時に外気温まで降下することを確認した。一方、同図中の Case A では、各リフトにおいて最高温度に到達した後、外気温にそれぞれ漸近した。Table 4 に示すように、これら実測した温度履歴と事前の温度応力解析による温度履歴を比較すると、Case A 及び Case B ともに実測した最高温度の方が数℃高くなる傾向にあったが、概ね解析の温度履歴と合っていると考えられる結果であった。

3. ひずみ履歴

(1) コンクリートのひずみ

Fig.12 にコンクリートの全ひずみの履歴を温度履歴と併記して示す。Case A では、2 リフト目及び 3 リフト目において、コンクリートの温度上昇に伴い膨張側へひずみが推移し、その後、温度降下に伴い各リフトともそれぞれ収縮側へ推移した。また、収縮側へ推移する過程で急激なひずみの低下が確認された。これは、ひび割れの発生によるものと考えられる。ここで、同図に示す①から④は、順番にクーリング期間、クーリング停止後の徐冷期間、コンクリートの保温期間、試験体全体の徐冷期間を表したものである。Case B の 2 リフト目及び 3 リフト目のひずみは、①のクーリング期間で打込みと同時に膨張側へ推移し、②の徐冷期間で Case A に比べて緩やかに収縮側へ推移する。その後、2 リフト目では、③の保温期間でひずみの降下が収まり、④の試験体全体の温度を同時に降下させることにより、2 リフト目及び 3 リフト目のひずみが同じ勾配で降下した。

ここで、膨張側のピークから Case A でひび割れが発生した材齢までのひずみ変化量に着目すると Case A では、2 リフト目で 108μ、3 リフト目で 221μ、Case B では、2 リフト目で 66μ、3 リフト目で 150μ となり、ひずみの変化量は Case B では Case A の 3/5 程度に低減したことが確認できた。

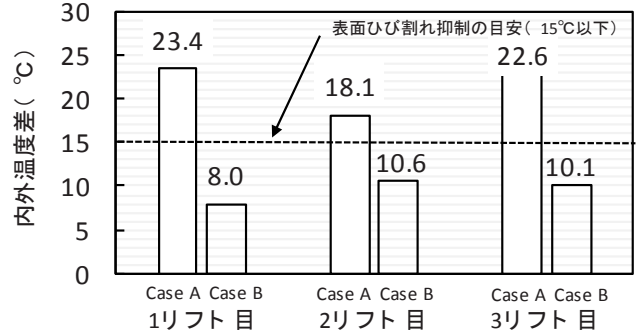


Fig. 11 内外温度差の低減効果  
(Temperature Difference Between Inside and Outside of Concrete)

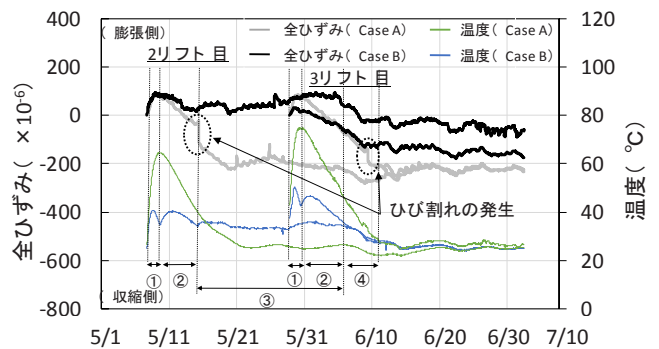


Fig. 12 コンクリートの全ひずみの履歴  
(温度履歴を併記)  
(Strain History of Concrete)

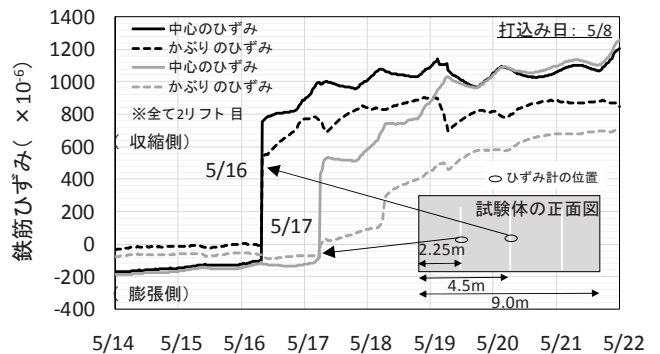


Fig. 13 Case A における鉄筋ひずみの履歴  
(Case A of Rebar Strain History)

(2) 鉄筋のひずみ

Fig.13 に、Case A の 2 リフト目に設置した鉄筋ひずみ計の計測結果を示す。同図より、材齢 8 日に試験体の延長方向中央における断面中心及びかぶりの鉄筋ひずみが同時に収縮側に大きく推移した。これは、試験体の延長方向中央に貫通ひび割れが生じたことによるものと考えられる。その後、材齢 9 日に試験体の延長方向 1/4 の位置において、断面中心の鉄筋ひずみが急激に収縮側へ移行した。ただし、かぶりの鉄

筋ひずみの増加はわずかであり、その後2日程度をかけて漸増した。これは、断面中心でひび割れが生じた後に、やや遅れて表面までひび割れが到達することを示唆しているものと考えられる。この傾向は、3リフト目でも同様であった。一方で、Case Bでは、2リフト目及び3リフト目において鉄筋ひずみはほとんど発生せず、Fig.14に示すように急激なひずみの変化も確認できなかった。前述したコンクリートひずみの履歴と同様に鉄筋ひずみからもひび割れが発生していないことが確認された。

また、ひび割れ発生後に鉄筋に作用する鉄筋の残留応力を鉄筋の引張試験で取得した荷重とひずみの関係と鉄筋ひずみから算出した。Fig.15に、鉄筋の残留応力を示す。Case Aでは、温度ひび割れの発生に伴う残留応力が2リフト目で227.2N/mm<sup>2</sup>、3リフト目で103.6N/mm<sup>2</sup>となった。これは、SD345の降伏値の65.6%及び30.0%に相当する。一方で、Case Bでは、2リフト目で13.9N/mm<sup>2</sup>、3リフト目で9.1N/mm<sup>2</sup>となり、Case Aの1割にも満たない。本実験では、クール&ヒート工法によりひび割れを抑制することで、鉄筋に発生する残留応力が大幅に低減されることを確認した。このように、ひび割れを抑制することで、ひび割れからの劣化因子の浸入を防ぐだけでなく、施工時に生じる残留応力の低減に寄与することができる。このことは、供用開始後に生じる外力に対して所定の耐荷性能の確保に繋がると言える。すなわち、耐久性及び構造的の両方の観点から構造物の長寿命化に資するものと考えられる。

## V. おわりに

本報では、実大規模の試験体を用いて、クール&ヒート工法の効果を評価した。その結果、以下の項目を確認した。

- ① 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が、適用した試験体ではひび割れが発生せず、本工法の高いひび割れ抑制効果を確認した。
- ② クーリング及びヒーティングにより、コンクリートひずみの変化量が低減することを確認した。
- ③ 同工法は鉄筋に発生する応力を大幅に低減させる効果があることを確認した。

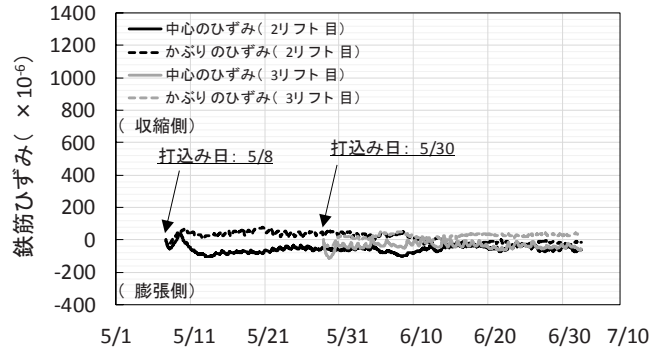


Fig. 14 Case Bにおける鉄筋ひずみの履歴  
(Case B of Rebar Strain History)

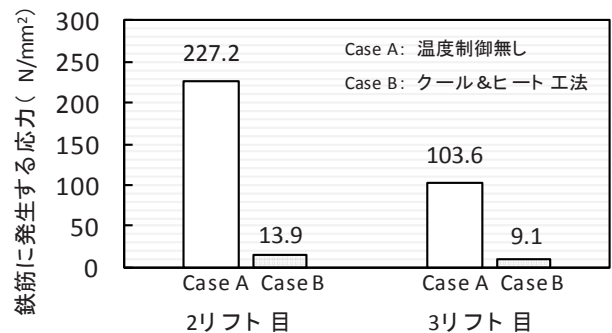


Fig. 15 鉄筋に発生する引張応力  
(Stress Generated in Rebar)

## 参考文献

- 1) 青山達彦ほか；温度ひび割れを抑制するコンクリートの温度制御技術-「クール&ヒート工法<sup>TM</sup>」の開発と現場適用-，鹿島建設技術研究所年報，第64号，2016.11.
- 2) 土木学会；コンクリート標準示方書[設計編]，2017.3，pp.332-336.
- 3) 田邊忠顕ほか；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，1984.3.
- 4) 伊藤幸恒ほか；トンネル覆工コンクリートのひび割れ変状とその点検評価，土木学会論文集，No.714，2002.9，pp.233-238.
- 5) 日本コンクリート工学会；コンクリートのひび割れ制御指針，2016.11，pp.96-97.

**A Method of Controlling Concrete Temperature to Prevent Thermal Cracks**  
**—A Quantitative Evaluation of the Cool & Heat Method —**

*Hidetomo Takagi, Ryoichi Ashizawa, Shuji Yanai,  
Kosuke Yokozeki, Yu Tsukamoto and Haruhiko Seki*

As a measure to suppress temperature cracking, the Cool & Heat Method can be used to control the concrete temperature by passing cold water or hot water through a pipe buried in the concrete as the concrete temperature rises or falls. The effect of this method has been confirmed by analytical studies and by application to actual structures, but there has been no direct verification of the effect of the method under the same conditions. In this study, large-scale test specimens using the method were produced, and the effects were compared quantitatively. As a result, it was confirmed experimentally that the method can prevent cracking in a full-scale specimen, and that the strain and rebar strain of concrete can be drastically reduced by controlling the concrete temperature with cold and hot water.