

報告 ポンプ圧送中におけるコンクリートのプレクーリング手法の実施工への適用性について

羽瀨 貴士*1・守分 敦郎*2・西川 正夫*1・秋葉 泰男*1

要旨：周囲を二重管としたコンクリート圧送管の外周部に低温の冷却水を通水することにより、圧送中のコンクリートから熱を奪い打設温度を低下させる新しいプレクーリング手法を実施工に適用した。コンクリートの冷却温度幅や打設温度は目標値を満足し、構造物の温度応力によるひび割れを抑制でき、本手法が温度ひび割れ制御対策として実施工への十分な適用性を有することが確認された。

キーワード：プレクーリング、ポンプ圧送、マスコンクリート、温度ひび割れ

1. はじめに

コンクリートのプレクーリングはマスコンクリートの温度ひび割れ制御対策として有効とされており[1]、今後はさらにその重要性が増すものと考えられる。筆者らは、打設現場におけるポンプ圧送中に比較的簡易な冷却設備を用いてコンクリートから熱を奪うプレクーリング手法を新たに開発し、実機レベルでの効果を確認してきた[2]。ここでは、本プレクーリング手法を温度ひび割れが懸念される実構造物に適用した結果について報告する。

2. 施工概要

2.1 構造概要及びコンクリートの配合

施工対象構造物の概要を図-1に示す。本構造物は地盤上に打設される厚さ1.3mの底版と、底版上に打設される厚さ1~1.7m、延長17~33m程度の壁状構造物である。コンクリート打設は夏期に行われたため、特に壁部に温度ひび割れが懸念された。従って、プレクーリングを適用することとなった。本構造物に用いたコンクリートの材料及び配合を表-1,2に示す。壁部のコンクリート打設は、底版コンクリートの打設後9日目に実施した。

2.2 プレクーリング計画

プレクーリング計画の立案に先立ち、断面形状の変化はないものとして壁部についてFEMによる温度応力解析を行った。解析定数等はコンクリート標準示方書等を参考にした。その結果、無対策の場

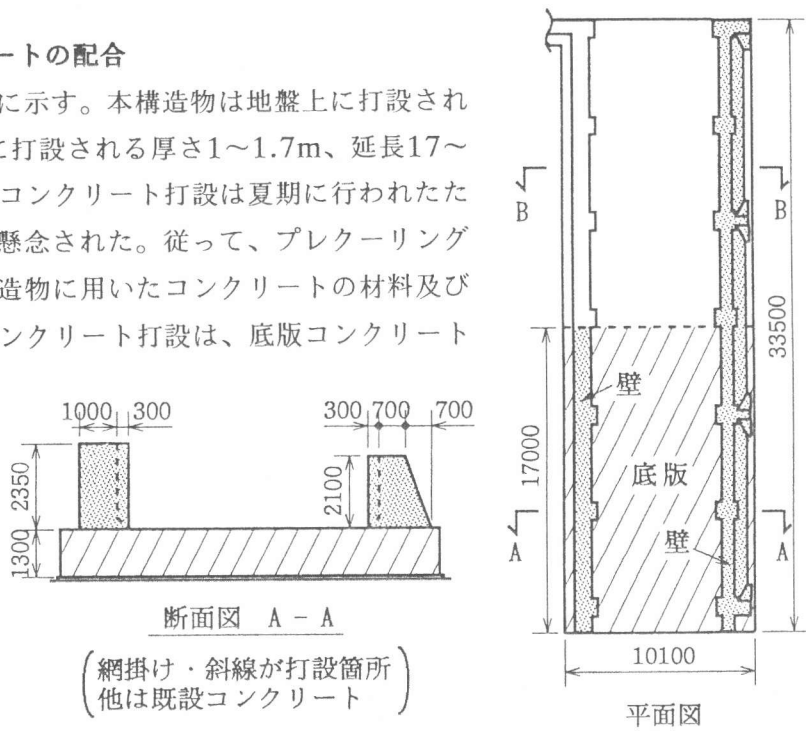


図-1 施工対象構造物

*1 東亜建設工業(株)技術研究所 材料・構造研究室研究員 (正会員)

*2 東亜建設工業(株)技術研究所 材料・構造研究室長 (正会員)

表-1 コンクリートの配合

| 呼び強度 (kgf/cm ²) | 粗骨材の 最大寸法 (mm) | スランブ の範囲 (cm) | 空気量 の範囲 (%) | 水セメ ント比 (%) | 細骨 材率 (%) | 単用量(kg/m ³) | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|----------|-----|-----|-----|------------|----------|
| | | | | | | 水 | セメ ント | 川砂 | 川砂利 | 碎石 | A E 減水剤 | 流動化 剤 |
| 210 | 25 | 18(12*)±2.5 | 4.5±1.5 | 59.9 | 47.4 | 162 | 271 | 871 | 592 | 394 | 2.89 | 0.8 |

* ベースコンクリートの値

合には温度ひび割れ指数は0.88となり、これを1.2以上とするためには打設温度を7℃以上低下させて25℃以下とする必要のあることが推測された。

プレケーリングは、コンクリート圧送管の周囲を二重管とし、コ

ンクリート圧送時にその外周部に低温の冷却水を循環させることにより熱を奪うものである。プレケーリングは図-2に示す冷却設備を用い、図-3に示す方法により圧送中のコンクリートを冷却した。冷却後は、コンクリートを200m程度離れた打設位置までアジテータ車により運搬した。

冷却設備は、コンクリート温度を32℃から23℃以下まで9℃以上冷却できるように配慮した。コンクリートの圧送速度は壁部の打設工程から30m³/hr程度であり、コンクリート圧送管は4B管を使用した。冷却水の循環流量の設定及び熱交換に関するデータは既往の実機試験結果[2]を参考にし、式(1)～(3)により表される二重管部の熱通過率[3]、冷却効率を用いて設備の設計を行った。なお、冷却水は実機試験と同様に安価で凝固点の低い塩化カルシウム水溶液を用いた。

表-2 コンクリートの使用材料

| | | |
|------|-----------------------|---------------------------------|
| セメント | 普通ポルトランドセメント, 比重 3.16 | |
| 細骨材 | 川砂 | 神流川水系上里付近産, 表乾比重 2.60, 粗粒率 2.87 |
| 粗骨材 | 川砂利 | 神流川水系上里付近産, 表乾比重 2.63, 粗粒率 6.96 |
| | 碎石 | 皆野産碎石2005, 表乾比重 2.68, 粗粒率 6.64 |
| 混和剤 | A E減水剤 | A E減水剤遅延形(1種), 比重 1.103 |
| | 流動化剤 | 流動化剤遅延型, 比重 1.12 |

$$K_C = \frac{\Phi_C}{(L \times \phi) \times (T_{C-m} - T_{W-m})} = \frac{Q_C \times \gamma_C \times \rho_C \times \Delta T_C}{(L \times \phi) \times (T_{C-m} - T_{W-m})} \quad (1)$$

$$\Phi_W = Q_W \times \gamma_W \times \rho_W \times \Delta T_W \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\Phi_C}{\Phi_W} \times 100 \quad (3)$$

ここで、 K_C : 二重管部の熱通過率(kcal/m²・hr・℃)、 η : 二重管部の冷却効率(%)

Φ_C 及び Φ_W : コンクリート及び冷却水の熱交換量(kcal/hr)

Q_C 及び Q_W : コンクリート及び冷却水の流量(m³/hr)

γ_C 及び γ_W : コンクリート及び冷却水の単位体積重量($\gamma_C=2294, \gamma_W=1280\text{kg/m}^3$)

ρ_C 及び ρ_W : コンクリート及び冷却水の比熱($\rho_C=0.25, \rho_W=0.66\text{kcal/kg} \cdot \text{℃}$)

ΔT_C 及び ΔT_W : コンクリート及び冷却水の温度変化量(℃)

T_{C-m} 及び T_{W-m} : 二重管部でのコンクリート及び冷却水の平均温度(℃)

L : 二重管部の長さ(m)

ϕ : コンクリート圧送部の外周長(m)

ここに示した条件では、プレケーリングによりコンクリートから奪うべき熱量 Φ_C は式(1)より約155,000kcal/hrとなる。実機試験で冷却

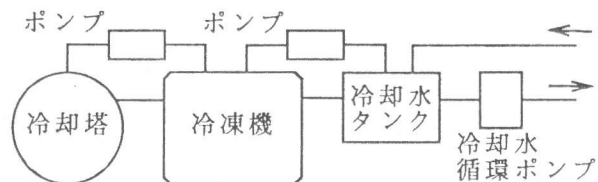


図-2 冷却設備の概要

3. プレクーリングの効果

3.1 プレクーリングによる温度変化

冷却水の二重管部における温度変化を図-6に、その時のプレクーリングの前後におけるコンクリート温度の変化を図-7に示す。プレクーリングの施工開始前に冷却水温度を -20°C 近くまで低下させておいたため

施工開始直後は比較的低温の冷却水が循環したが、コンクリートの熱負荷が冷凍機能力を上回ったために徐々に上昇した。その結果、二重管入口部での冷却水温度はほぼ 0°C 以下で推移した。場合により冷却水温度が直前の冷却時よりも大きく低下したが、これは冷却が連続的に行われず冷却水タンク内の温度が低下したためである。

また、コンクリート温度は冷却水温度等の影響により若干変動しているが、冷却直後までに $7\sim 13^{\circ}\text{C}$ 程度低下しており、打設直前においても目標値の 25°C 以下を満足できた。

これらのことは、適切な冷却設備の設計により目標値に対して安定したプレクーリングを実施できたことを示している。

運搬中におけるコンクリートの温度変化に関して、冷却直後までの温度低下量と打設時までの温度低下量の関係を図-8に示す。この図では、冷却直後までの温度低下量が大きいほど運搬中（冷却直後から打設時まで）の温度上昇量が大きくなる傾向が見られた。

次に、コンクリート圧送速度と二重管部における温度低下量の関係を図-9に示す。この図には今回使用した設備において推定される曲線も合わせ

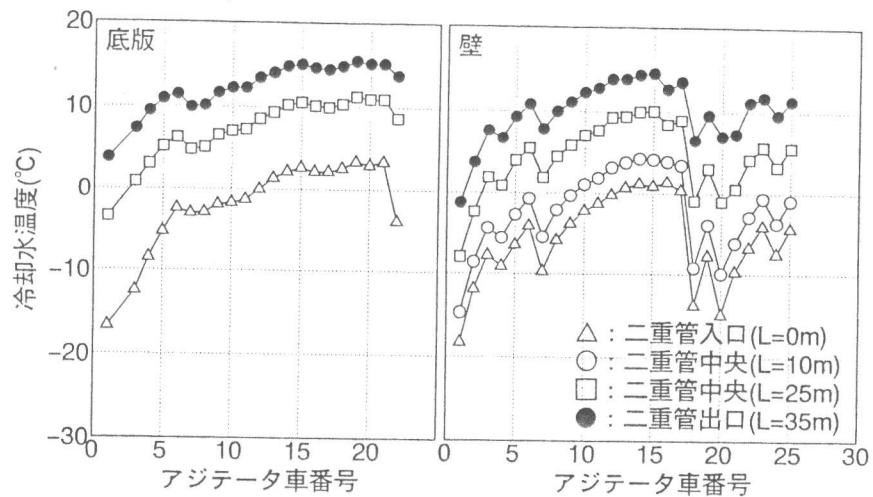


図-6 プレクーリングによる冷却水の二重管部における温度変化

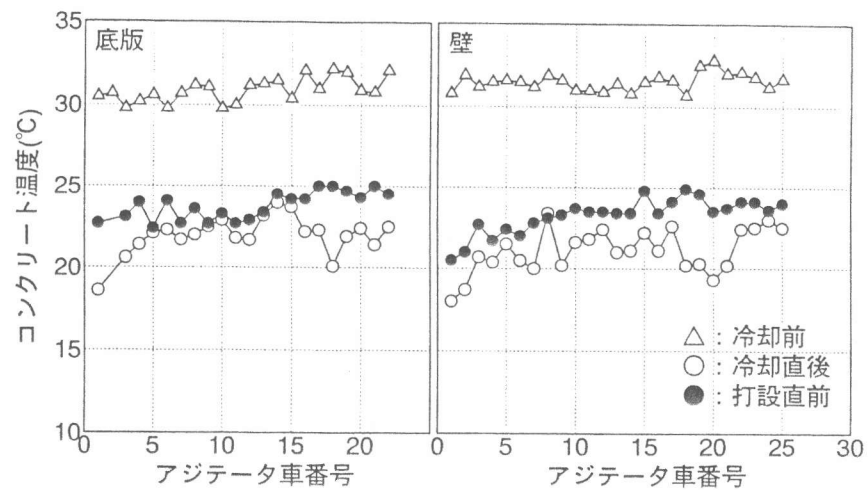


図-7 プレクーリングによるコンクリートの温度変化

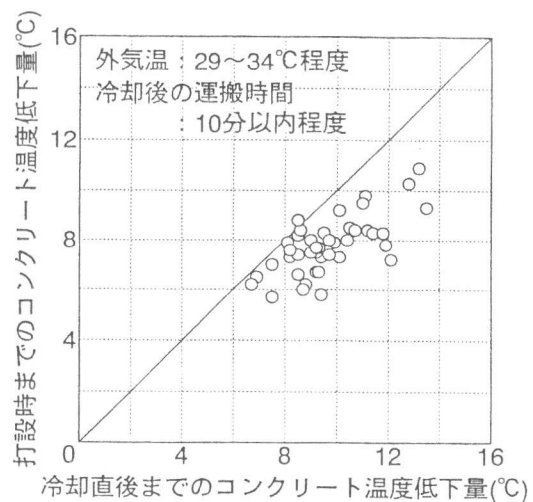


図-8 コンクリートの温度低下量

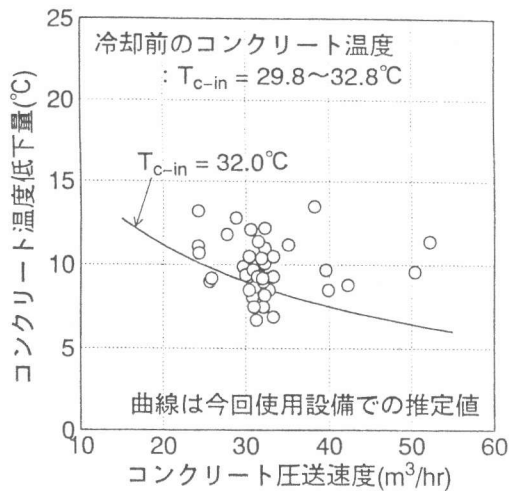


図-9 圧送速度と温度低下量の関係

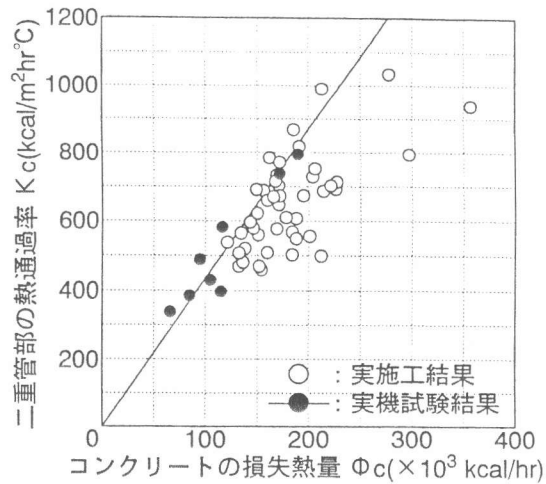


図-10 実施工での二重管部の熱通過率

て示した。この曲線は式(1)~(3)と図-4中に示した式に設計上考慮した値を代入することにより導かれる推定値である。実際にはコンクリート圧送速度が若干設計値(30m³/hr)からずれる場合もあるが、コンクリートの温度低下量は全体としてはこの曲線よりも大きくなる傾向を示した。

3.2 プレクーリングの効率

今回の施工において得られたコンクリートの損失熱量と二重管部の熱通過率の関係を図-10に示す。この図には設備設計時に考慮した関係(図-4参照)も合わせて示した。二重管部の熱通過率は式(1)を用いて実測値から求めたものであり、同一損失熱量

に対して設備設計時に考慮した直線よりも小さくなる傾向にあった。これはコンクリートと冷却水の平均温度差が設計値よりも大きくなる傾向にあったためであり、このことが図-9においてコンクリート温度低下量が推定された曲線よりも大きくなった要因のひとつと考えられる。

コンクリートの損失熱量と冷却水の取得熱量の比で表した冷却効率は、コンクリートの損失熱量との関係において図-11のようになり、ばらつきはあるものの70%程度以上の値(平均値は87%)であった。設計時に考慮した80%を下回るものもあったが、全体としてはほぼ実機試験における値(70%~90%程度)と同様の値を示した。なお、コンクリートの損失熱量が150~200×10³kcal/hr程度以上において冷却効率の値のばらつきが大きくなり100%の値を示す場合もあったが、これは損失熱量が比較的大きな場合には冷却直後のコンクリート中のモルタルと粗骨材の温度差も大きく、測定時点で全体の温度が十分均一になっていなかったためと考えられる。

3.3 コンクリートの品質

コンクリート温度とスランプ、空気量、圧縮強度の関係を図-12に示す。この結果、プレクーリングの前後においてこれらはほぼ同程度の値を示しており、実機試験と同様に、本プレクーリング手法がコンクリートのフレッシュ時及び硬化後の品質には影響を与えないことが確認された。

壁部に設置した熱電対及びひずみ計より得られたコンクリート温度及び発生応力(有効ひずみの実測値×土木学会コンクリート標準示方書に示される有効弾性係数)の経時変化を図-13,14

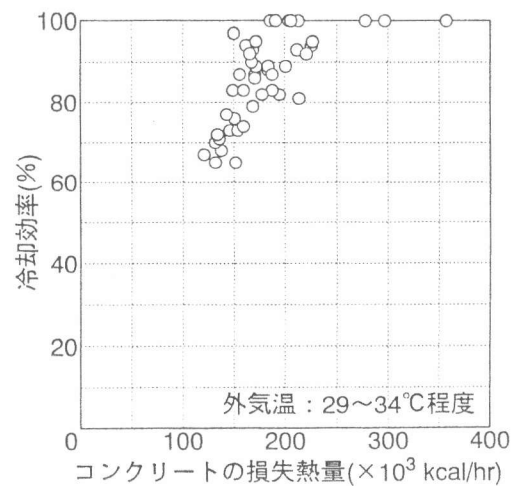


図-11 冷却効率

に示す。壁部の型枠は材齢5日において脱枠されており、コンクリートの硬化発熱時の最高温度は事前解析値よりも若干高い値となっているようである。一方、コンクリートの発生応力は事前解析値とはほぼ同様の傾向を示しており、引張強度よりも小さい値であったことが推測された。材齢14日における目視観測の結果、温度応力のみによると思われるひび割れは全く見られず、壁の断面形状が変化した位置に幅0.1mm程度のひび割れが1本確認された。このひび割れについては応力集中の影響を大きく受けたものと思われる。この結果、本手法によるプレクーリングの適用が壁状構造物の温度応力を低減し、温度ひび割れの抑制に効果を示したものと考えられる。

4. まとめ

打設現場におけるポンプ圧送中に圧送管の外周部からコンクリートの熱を奪うプレクーリング手法を温度ひび割れの懸念される構造物の施工に適用し、以下の結果を得た。

- (1) 実機試験の結果を基に冷却設備の設計を行いプレクーリングを実施した結果、目標としたコンクリート温度低下量及び打設温度を満足した。
- (2) 冷却設備の設計を適切に行った結果、実施工での打設において目標値に対して安定したプレクーリングを実施できた。
- (3) 温度以外のコンクリートの品質は、本プレクーリング手法によりほとんど影響を受けないことが確認された。
- (4) 本プレクーリング手法の適用により、発生が懸念された構造物の温度ひび割れを抑制することができた。

参考文献

- 1) 長滝重義・小野 定：コンクリートのプレクーリングの現状、コンクリート工学、Vol.29、No.29、pp.5-19、1991.12
- 2) 羽瀨貴士・守分敦郎・西川正夫・秋葉泰男：ポンプ圧送中におけるコンクリートのプレクーリング手法に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.1335-1340、1994.6
- 3) 瀬下 裕・藤井雅雄：コンパクト熱交換器、日刊工業新聞社、1992

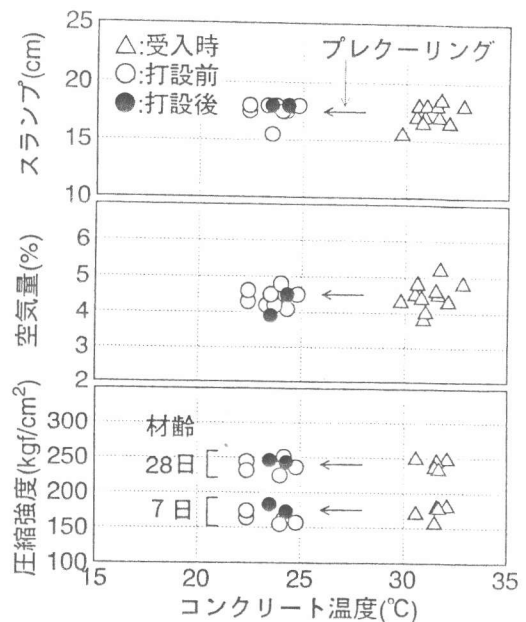


図-12 プレクーリングによる品質の変化

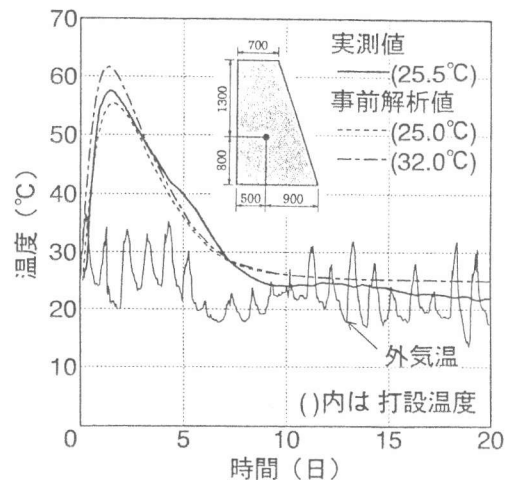


図-13 コンクリート温度の経時変化

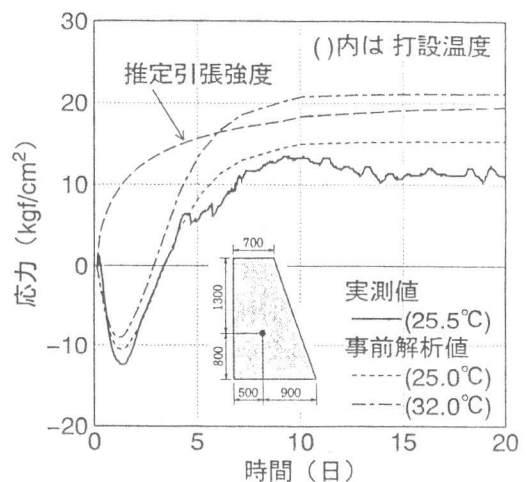


図-14 コンクリート応力の経時変化