

液体窒素および鉛直パイプクーリングを併用した温度ひび割れ対策

東急建設株式会社 正会員 ○鳥井 陽介 榊原 将
東急建設株式会社 正会員 早川 健司 村田 和哉

1. はじめに

本稿で対象とする構造物は、最大土被り 10m 程度、最大内空 25m² 程度の地下通路ボックスカルバートである。図 1 に示すように対象断面は、歩道橋橋脚の荷重を支持するため、厚さ約 3m の底版および頂版、厚さ 1.2m の側壁を有するマスコンクリート構造物¹⁾であり、温度ひび割れの発生が懸念された。ここでは、厚さ約 3m の底版コンクリートの温度ひび割れ対策として実施した液体窒素によるコンクリートのプレクーリングおよび鉛直パイプクーリングの内容とその効果について報告する。



図 1 対象部材断面

2. コンクリートの配合および打設条件

対象部材におけるコンクリートのセメント種類は高炉セメント B 種であり、設計基準強度は 30N/mm²、単位セメント量は 346kg/m³ である。対象構造物が都市部幹線道路下に位置するため、コンクリートの打設は道路規制の行える夜間施工となった。また、コンクリートの打設時期が夏季であることから、暑中コンクリートとして打設計画を行った。

3. 温度応力解析に基づいた施工計画

底版コンクリートの内部拘束ひび割れの検討として、構造物の形状、配合、境界条件等を考慮した温度応力解析を行い、その結果に基づいて温度ひび割れ対策を計画した。

温度応力解析の結果、対策を行わない場合、部材中心の最高温度は 83℃、内外の温度差は 43℃程度となり、内外の温度差による内部拘束ひび割れの発生が予想された。内部拘束ひび割れは、内外の温度差の影響が支配的であるため、コンクリート内部を直接冷却できるパイプクーリングを用いることで、部材中心温度を 71℃程に低下でき、内部拘束ひび割れに対して有効となることを確認した。また、コンクリートの打設温度を抑えることができた場合、内外部ともに最高温度を下げることができ、温度ひび割れの抑制に働くことを確認した。

これらの結果から、温度ひび割れ対策として、パイプクーリングとコンクリートのプレクーリングの併用を選定した。また、対策の実施に当たり、温度応力解析結果を参考にコンクリートの打設温度 25℃以下、部材内外部の温度差が 30℃以下となることを目標として、プレクーリングおよびパイプクーリングを実施した。

4. 温度ひび割れ対策

4. 1 材料のプレクーリング

材料のプレクーリングには、液体窒素を用いたコンクリートのプレクーリングを選定し、図 2 に示すように架台上から液体窒素の噴射ノズルを直接アジテータ車内に差し込み、噴射、攪拌することで材料を冷却した。液体窒素をアジテータ車内に噴射する際には、写真 1 に示すように大量の白煙が発生する。そのため、冷却用のヤードを確保できない場合には、白煙を処理するための熱交換設備等が不可欠であった。今回は、コンクリートの打設現場内に白煙の処理設備を設置できるスペースがなく、冷却が困難と判断し、コンクリートプラントのヤード内にて冷却する計画とした。

なお、冷却によるコンクリートの凍結やアジテータ車内における温度の不均一性がないことを確認するために、赤外線カメラを用いて、

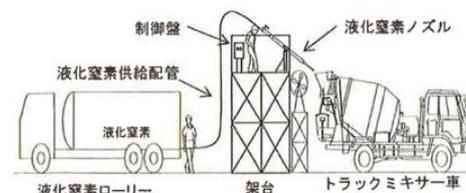


図 2 プレクーリング概要図

キーワード マスコンクリート、温度応力、プレクーリング、液体窒素、鉛直パイプクーリング

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 東急建設株式会社 土木技術設計部 Tel:03-5466-5322

荷卸し時のコンクリート温度を全数計測するものとした(写真2)。

コンクリート 1m³を 1℃冷却するのに必要な液体窒素は 12~15kg であり、練り上がり温度が 28~30℃のコンクリートを 25℃以下で出荷するためには 4~5 分の冷却が必要となった。コンクリート温度は、アジテータ車内に熱電対を直接挿入して計測した。

コンクリートプラントから現場への運搬時間は 50 分から 1 時間 20 分程であり、運搬時間が長い場合、最大 3℃の温度上昇を確認した。当日は、夜間打設にも関わらず外気温が 30℃程となったが、プレクーリングを用いることで外気温の影響を抑え、安定した温度のコンクリートを打設することができた。

4. 2 パイプクーリング

パイプクーリングには、送水管を水平方向に配置する場合と、鉛直方向に配置する場合があります。一般的に水平方向の場合は送水延長が長くなることから、鉛直方向のパイプクーリングの方が冷却効果に優れている。今回は、図3に示すように1系統の長さを 6.5m 程度の鉛直パイプクーリングを用い、図4に示すように 800mm 間隔で 24 系統配置した。パイプクーリングの実施状況を写真2に示す。

送水管には 1 インチの亜鉛メッキ鋼管を用い、冷却水は約 22℃の地下水を用いた。給水は 2 インチの水ポンプにより、各々の送水管へ 3.0L/min の流量で給水した。なお、排水時の温度上昇は 2℃程度であった。また、冷却水はコンクリートに接することなく、給排水されるため地下水と同様の処理を行った。コンクリートの養生については、別途養生水を用意し養生シートと併せて使用した。

パイプクーリングの実施期間は、コンクリート温度が最大となるまでの打設完了後 3 日間とし、パイプクーリング完了後は、鉄筋のかぶり浅の送水管を撤去し、送水管内部を無収縮モルタルで充填した。この際、かぶり範囲の送水管の撤去を容易にするために、かぶり範囲の送水管を発泡スチロールで養生した。

5. 温度ひび割れ対策の効果

コンクリート打設時に、コンクリート温度、外気温、冷却水温度の計測を行い、温度ひび割れ対策の効果を確認した。この結果、運搬による打設温度の上昇に伴い、部材中心における最高温度が計画時より 3℃程上昇し、70℃となったものの、内外部の温度差は 30℃であり、今回の対策による十分なひび割れの抑制効果が確認された。

6. おわりに

対象構造物は、厚さ約 3m の底版を有し、温度ひび割れが生じる可能性が高いと推測されたため、液体窒素によるコンクリートのプレクーリングおよび鉛直パイプクーリングを用いて温度ひび割れの抑制を図った。その結果、温度ひび割れの発生は確認されておらず、コンクリートの品質向上に寄与することができた。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編 (2012 年制定)



写真1 液体窒素冷却状況

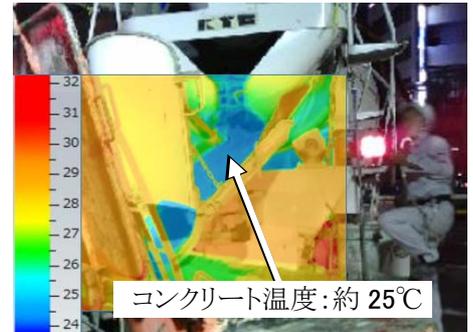


写真2 赤外線カメラ温度計測状況

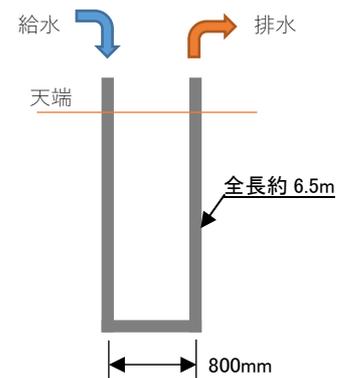


図3 送水管断面図

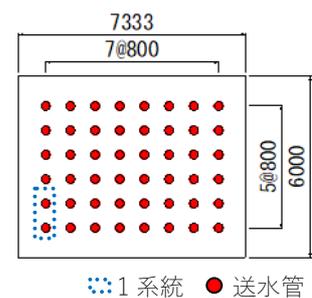


図4 送水管配置平面図



写真3 パイプクーリング実施状況