

寒中コンクリートの表面品質を向上させる 養生方法の工夫

(一社)北海道土木施工管理技士会

西江建設株式会社

課長代理

福田 幸士郎[○]

土木本部長

小原 得 誘

課長

一ノ渡 祐 二

1. はじめに

本工事は、帯広市と音更町を結ぶ重要路線に位置する中島橋（L=499.1m）の橋台新設工事である。

最低気温が連日 -20°C 近くまで下がる厳冬期の工事となるため、寒中コンクリートとして所要の期間、防寒養生を行う必要があった。本工事では、コンクリートの品質向上を目的に、ジェットヒーターによる給熱とボイラーで発生させた蒸気を組み合わせた給熱・蒸気養生を行い、中性化進行に対する抵抗性など耐久性を向上させたコンクリート構造物を施工した。

本稿では、本現場で実施した蒸気養生の施工管理方法と、表面品質の評価方法について述べる。

工事概要

- (1) 工 事 名：川西芽室音更線防 B328改良工事
（中島橋 A 1 橋台工）
- (2) 発 注 者：北海道十勝総合振興局 帯広建設
管理部
- (3) 工事場所：北海道帯広市
- (4) 工 期：平成27年9月18日～
平成28年3月22日
- (5) 工事内容：箱式橋台1基
コンクリート打設 $V=604\text{m}^3$ 、
防寒囲い 縦15m×横15m×高さ12m

2. 現場における問題点

蒸気養生は底版部の周囲下端に設置した配管から蒸気（蒸発量 253L/h ）を発生させ、防寒囲い内の相対湿度を上昇させる事で行うが、高さのある養生環境であるため、温度・湿度分布にムラが発生する。

計画した養生環境（ 10°C 7日間 + 0°C 2日間：相対湿度90%以上）を確実に確保するため、熱供給量や蒸気発生量を必要に応じて調節できる計測管理体制を構築する必要があった。

そこで、市販の温・湿度計を使用し、温度・湿度分布を計測管理するとともに、蒸気によるコンクリート表層部の含水量変化を把握するため、湿度センサー^{*1}を埋め込んだ供試体による内部湿度

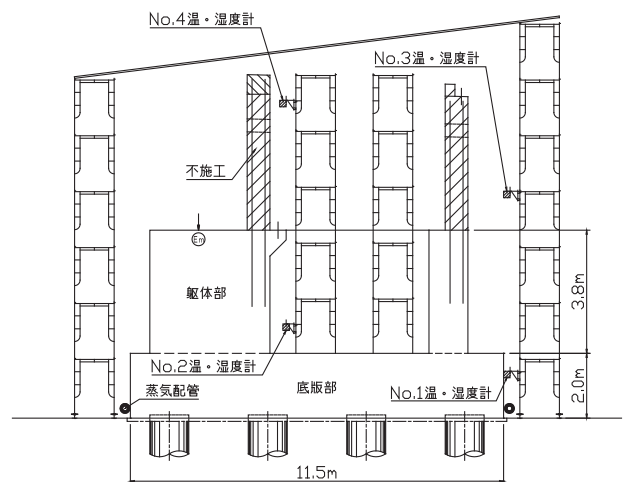


図-1 温・湿度計設置図

計測管理を行った。

また、蒸気養生がコンクリート表面品質に与える影響に加え、表面品質を評価する方法が不明であったため、耐久性（中性化）に着目し、吸水試験^{*2}及び細孔径分布測定を選定し確認した。

3. 工夫・改善点と適用結果

3-1 計測管理体制

(1) 防寒囲い内の湿度管理

温・湿度計（図-1）と供試体を設置し、湿度変化を把握することで蒸気発生量の管理を行った。なお、温度管理については、施工前の熱量計算を基にした給熱により計画養生温度を確保できており、既往の施工管理で問題となる事象は認められなかった。

供試体（図-2）は底版部側面を想定して製作し、防水・透湿処理を行った湿度センサー^{*1}を表面から1cmの深さに埋設することで、コンクリート表層部に現れる相対湿度変化を測定した。

また、供試体は比較のため、養生水の散布を行う散水養生環境（蒸気は不使用、囲い内温度条件は両環境とも同様）にも置き、計測を行った（表-1）。

(2) 計測結果

蒸気・散水養生環境とコンクリート表層部（供試体）で計測した相対湿度変化を図-3に示す。

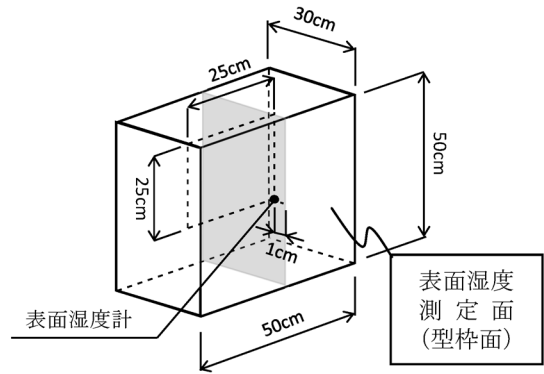


図-2 湿度センサー埋設供試体

表-1 供試体一覧表

項目	供試体A	供試体B	供試体C
養生環境	蒸気養生	散水養生	散水養生
型 枠	3日目脱型	3日目脱型	残置

※注記）供試体は底版部コンクリートを使用し、同日に打設。

以下に、測定により明らかになった事項を述べる。

- ①蒸気養生期間中は、No. 2及びNo. 4温・湿度計が同様の相対湿度変化を示しており、日中を除き、防寒囲い内がムラ無く湿潤状態にあることがわかる（日中は、躯体部型枠・鉄筋組立作業等の安全確保のため、蒸気発生は停止）。
- ②蒸気発生停止のため防寒囲い内の相対湿度が低下しても、供試体Aの相対湿度は90%以上を記録しており、養生期間+7日間（合計14日間）は継続して湿潤状態にあることがわかる。

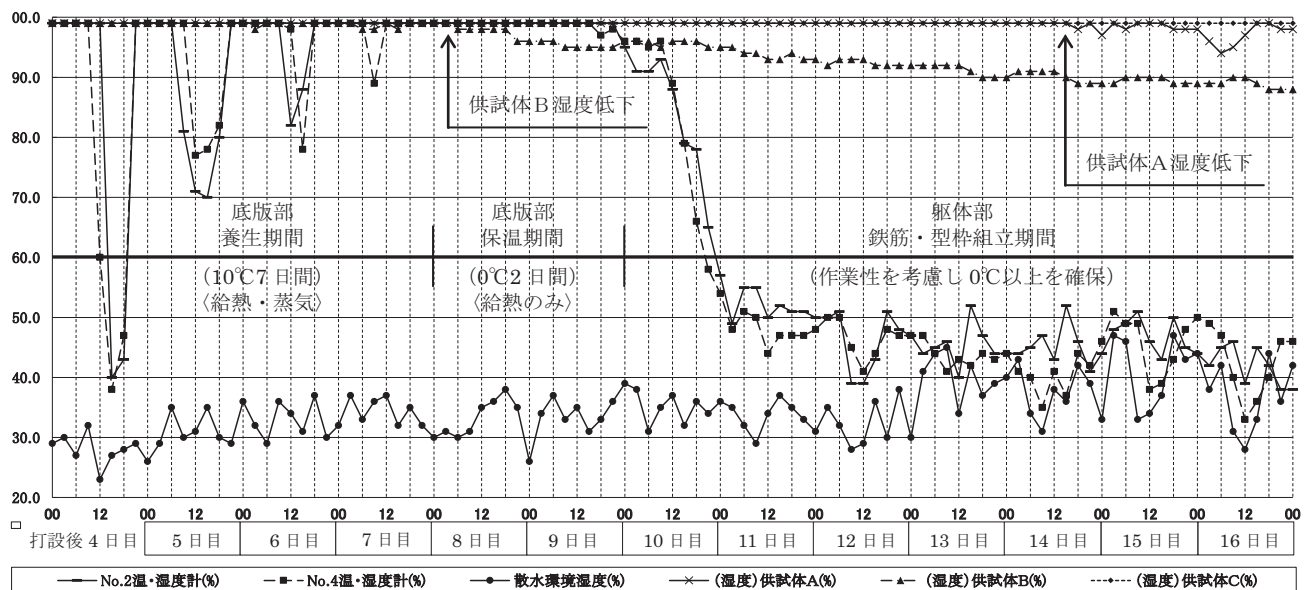


図-3 防寒囲い内及びコンクリート表層部（供試体）の相対湿度変化

③供試体Aは養生終了後、相対湿度が50%以下に低下する4日目から表面湿度が低下し、供試体Bは型枠脱型後5日目から表面湿度が低下していた。これから、周囲環境が乾燥状態にある場合、5日程度で表層部に乾燥の影響が及び始めることがわかる。

④供試体Cは、90%以上の相対湿度を継続して示しており、型枠が高い保水性能を持ち、長期間湿潤状態を維持することがわかる。

⑤温・湿度計(図-1)及び湿度センサー^{*1}を使用することで、熱供給量・蒸気発生量管理を可能とする計測管理体制を構築できたと評価できる。

3-2 コンクリート表面の品質評価

(1) 吸水試験^{*2}

吸水試験とは、養生条件や配合の違いによりコンクリート表面の吸水率が異なることを利用した試験方法である。

15cm×15cm×15cmの供試体(打設後3日目脱型)を2個製作し、供試体A～Cと同様に蒸気・散水養生環境でそれぞれ別に養生した後、円柱供試体(φ100×50mm:材齢25日)を各々2個採取する。吸水面以外をエポキシ樹脂でコーティングし、吸水面が水中下2mm位置となるよう蒸留水中に静置し、吸水させた。

円柱供試体表面の含水状態が、養生環境により異なることから、初期状態を合わせるため、はじ

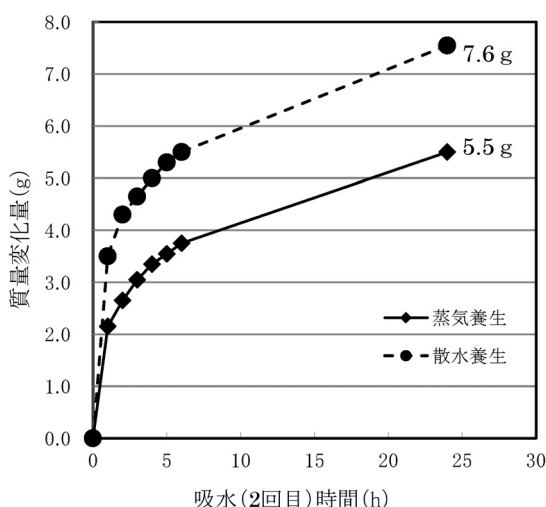


図-4 吸水(2回目)における質量変化

めに20℃恒温室で24時間吸水を実施(1回目)した後、20℃相対湿度60%の環境で24時間乾燥を行い、次に行う24時間吸水(2回目)で現れる質量変化から、表層品質の違いを評価した。

図-4に吸水(2回目)時の平均質量変化を示す。

24時間吸水量の質量変化は、蒸気養生で平均5.5g、散水養生で平均7.6gとなり、蒸気養生の吸水量は散水養生に対し70%程度まで低減した。これから、蒸気養生により、コンクリート表面が緻密になり表面品質が向上したと評価できる。

(2) 細孔径分布測定

蒸気養生により、コンクリート表面の緻密さがどの程度向上したかを確認するため、水銀圧入法により細孔径分布測定を行った。

なお、供試体(寸法、採取方法・個数)及び養生方法は、吸水試験と同様である。

細孔径の測定は、15cm×15cm×15cm供試体の表層部5mm(型枠面)から試料を採取して行った。

図-5及び図-6に細孔径分布図及び累積細孔径分布図を、表-2に細孔径区間毎の細孔量を示す。

図-5の細孔径分布図の点線で囲んだ部分に示す通り、細孔径分布のピーク値が散水養生の100nm～1000nm(1μm)区間から、蒸気養生の10nm～100nm区間にシフトしていることがわかる。

これから、蒸気養生を行ったコンクリート表面では、粗大な細孔径の細孔径容積が減少し、緻密な

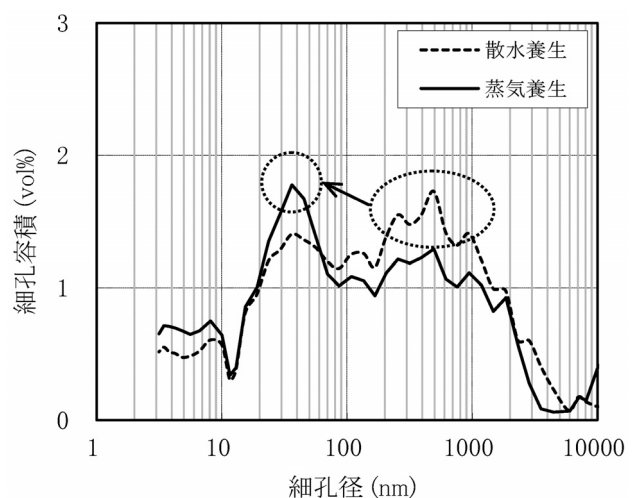


図-5 細孔径分布図

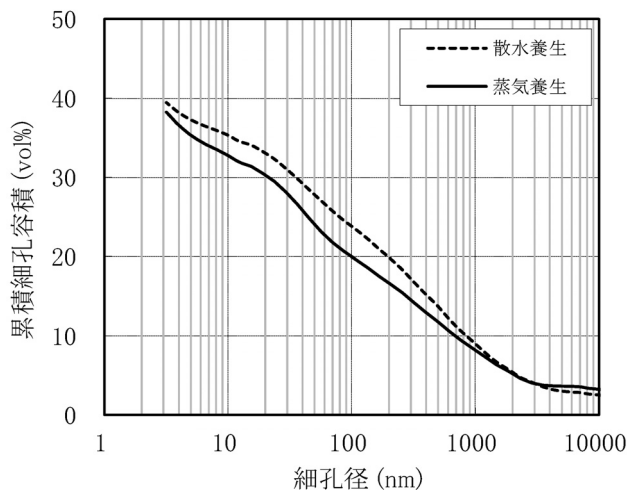


図-6 累積細孔容積分布図

表-2 細孔径区間毎の細孔量 (cc/g)

細孔径区間	蒸気養生	散水養生	蒸気/散水
3nm~40nm	0.0903	0.0726	1.243
40nm~120μm	0.1888	0.2078	0.909

コンクリート表面になったことがわかる。

図-6の累積細孔容積分布図では、3nm~1μm区間における蒸気養生のグラフが、散水養生を常に下回っていることから、蒸気養生は特定の細孔径では無く、全体的に影響してコンクリート表面を緻密にし、表面品質を向上させていると評価できる。

(3) 中性化進行に対する抵抗性評価

既往の研究^{*3}において、中性化進行に支配的な影響を及ぼすのは40nm以上の細孔量であり、養生期間や養生方法などの養生条件に関係無く、中性化深さは40nm以上の細孔量と直線関係にあると報告されている。

40nmを基準に蒸気養生と散水養生の細孔量の比較を行うと、表-2の細孔径区間毎の細孔量に示す通り、小さい細孔径を示す40nm以下の細孔量は約1.2倍に増加し、反対に40nm以上の細孔量は約0.9倍に減少する。

これから、蒸気養生を行ったコンクリート表面は、中性化進行に対する抵抗性が1割程度向上すると評価できる。

4. おわりに

蒸気養生は、コンクリート構造物全体をムラ無く湿潤状態に保ち水和反応を促進させることで、コンクリート品質を向上させるために当社が考え、工事に取り入れた施工方法である。

蒸気養生はコンクリート表面が緻密になり、中性化に対する抵抗性が向上することに加え、外部環境から取り込む水分量が減少することで、耐凍害性の向上についても期待できることから、コンクリートの耐久性向上に寄与する養生方法であると考えられる。

なお、蒸気養生の採用にあたっては、大量の清水を消費することから、流量の多い河川に近接した現場であることに加え、清水確保のため沈砂池を設け、そこから取水する必要があることや、蒸気発生用のボイラー用の灯油(22.1L/h)が別に必要となり、本現場においては通常の給熱養生と比較して20%程度のコスト増になる等の施工上の留意点を持つことから、注意を要する。

最後に、施工及び品質評価試験の実施に関してご助言、ご指導頂いた関係各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- ※1 桂修、高分子湿度センサーを用いたコンクリート中の相対湿度測定その1センサーの測定精度、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1207-1208、2005. 9
- ※2 島多昭典、性能規定に対応したコンクリート構造物の施工品質管理・検査に関する研究(2)、国立研究開発法人土木研究所、平成26年度プロジェクト研究・重点研究報告書
- ※3 郭度連、養生条件によるコンクリートの組織変化と中性化を支配する細孔径の評価、土木学会論文集No.718、V-57、pp.59-68、2002.11