

埋設型パイプヒーティング工法によるコンクリートの給熱養生効果に関する基礎的検討

北見工業大学大学院 学生会員 ○小原総基
 北見工業大学 正会員 井上真澄 崔希燮
 エクセン(株) 正会員 斉藤能雄 井上和

1. はじめに

寒中施工における経済的かつクリーンな養生方法として温水循環式ヒーターを用いた給熱養生方法がある。著者らは、これまで RC 床版を対象として打込み面に温水ホースを設置して温度管理することで良好な強度発現が得られるとともに、従来のジェットヒーターを用いた給熱養生と比較して、経済的な給熱養生ができることを確認している¹⁾。一方で部材厚が大きくなると、一面からの給熱ではコンクリート部材の均等な温度管理に限界があり²⁾、部材厚を有する構造体への適用に課題がある。

そこで本研究では、部材厚を有する構造体への汎用化を目的として、温水ホースを躯体内部に埋設してコンクリートを給熱する方法(埋設型パイプヒーティング工法)について基礎的検討を行った。

図-1 に本工法の概念図を示す。温水ホースを埋設したコンクリート試験体を対象として、低温環境下で給熱した場合の温度分布履歴や強度発現性について検討を行った。

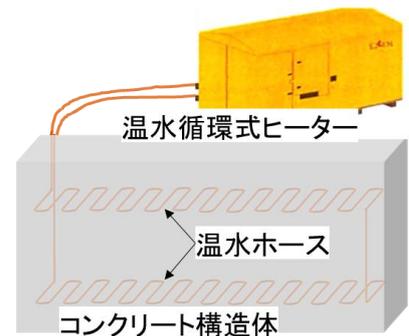


図-1 埋設型パイプヒーティング工法

2. 実験概要

表-1 に実験条件および因子を示す。外気温条件は、厳冬期の施工を想定した -5°C と -15°C に加え、 20°C 一定養生を加えた3ケースとした。図-2 に示すように試験体(300×200×300mm)の中央に温水ホース(内径:25.0mm, 外径:34.0mm, ポリウレタンゴム製)を1本埋設した。養生温度は、温水ホース近傍のB点で $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ を目標値に設定し^{3,4)}、2次元温度解析に基づいてホース内部溶液温度は外気温 -5°C の場合に 40°C 、外気温 -15°C の場合には 50°C とした。いずれのケースも熱効率性を向上させるため、型枠表面に断熱シートを2重に設置した。

試験体温度は、図-2 に示す位置(A～C点)に熱電対を埋め込み、打込み直後から材齢7日までの経時変化を測定した。材齢7日試験体からコア(φ75×100mm)を採取して圧縮強度試験を行った。また、同コアよりTG-DTAとMIP測定に使用する試料を採取した。

材料管理と練混ぜは、コンクリート標準示方書を参考に 5°C とし³⁾、打込み終了後から所定外気

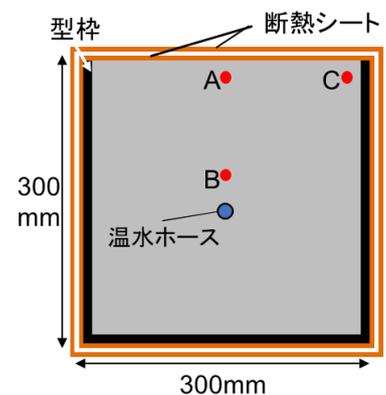


図-2 試験体概要

表-1 実験条件および因子

| 試験体種類 | 略号 | 外気温 | 温水ホース内部溶液温度 | 断熱シート | 測定項目 | 測定期間 |
|-----------|-------|-------|-------------|-------|-------------------------------|------|
| -5°Cホース有 | HO-5 | -5°C | 40°C | 2層 | 温度履歴 圧縮強度 MIP TG-DTA | 7日 |
| -5°Cホース無 | HX-5 | | — | | | |
| -15°Cホース有 | HO-15 | -15°C | 50°C | | | |
| -15°Cホース無 | HX-15 | | — | | | |
| 20°C一定 | N20 | 20°C | — | — | | |

材齢7日まで 20°C で養生を行った。

キーワード 温水循環式ヒーター, 給熱養生, 寒中施工, 強度発現, TG-DTA

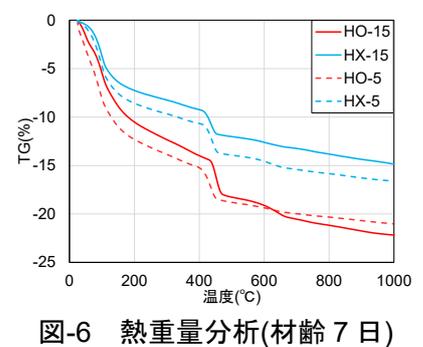
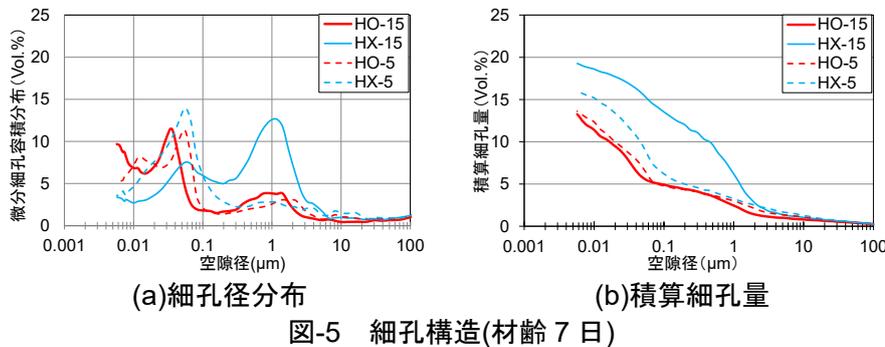
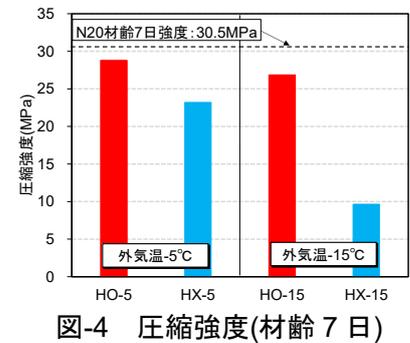
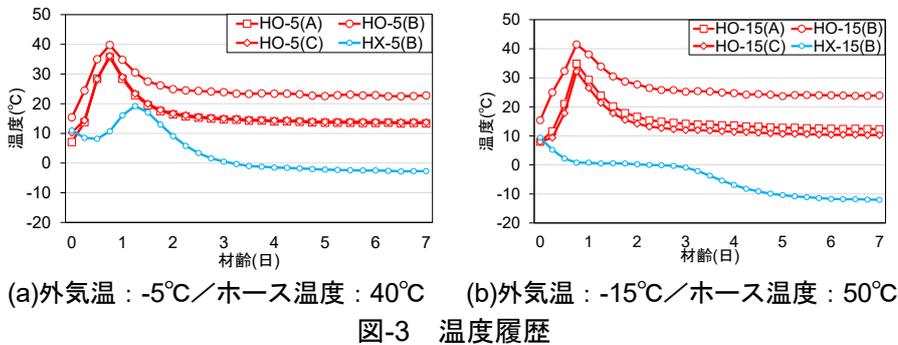
連絡先 〒090-8507 北見市公園町165番地 北見工業大学工学部社会環境系 TEL: 0157-26-9513

3. 実験結果

図-3 に打込み直後からの試験体の温度履歴を示す。外気温-5°Cと-15°Cで温水ホースを埋設したケースでは、いずれのケースにおいても水和熱と温水ホースによる給熱の影響により材齢 1 日程度で温度ピークを迎えた後次第に低下し、材齢 3 日から 4 日程度で安定した。図-4 に材齢 7 日の圧縮強度を比較する。温水ホースを設置した場合、外気温-5°Cでは温水ホース無に対して約 1.2 倍、外気温 15°Cでは温水ホース無に対して約 2.8 倍の強度が得られた。温水ホースを埋設することにより低温環境下においても温度管理が可能となり良好な強度発現が得られたと考えられる。

図-5 に材齢 7 日における細孔構造(MIP)の結果を示す。累積細孔量に着目すると、いずれの外気温においても温水ホースを埋設したケースの方が相対的に細孔量が少なくなった。特に外気温が-15°Cの場合、HX-15 の細孔分布では 10~0.1 μm の範囲に分布しているが、HO-15 では 0.1~0.01 μm の範囲に分布しており、温水ホースを用いた給熱により水和が進行し、硬化体組織の緻密化につながったと考えられる。

図-6 に材齢 7 日における熱重量分析の結果を示す。いずれの外気温においても温水ホースを設置したケースの方がセメントとの水和反応による結合水の重量変化率が大きくなっており、温水ホースを用いた給熱により低温環境下においても水和反応が確実に進行したものと考えられる。



4. まとめ

低温環境下において温水ホースをコンクリート躯体内に埋設することで効果的な温度管理とともにコンクリートの良好な強度発現が確認された。また、水和物の生成量の増加による硬化体組織の緻密化が確認され、これにより強度増進につながったものと考えられる。

参考文献

- 1)小原総基, 井上真澄, 崔希燮, 斉藤能雄: 温水循環式給熱養生方法を用いたコンクリートの強度発現特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1265-1270, 2019.6
- 2)小原総基, 崔希燮, 井上真澄, 斉藤能雄, 井上和, 中村雅樹: コンクリート床版を対象とした温水循環式給熱養生方法における最適温度設定方法の提案, 土木学会北海道支部論文報告集, E-19, 2019.1
- 3)土木学会: コンクリート標準示方書(施工編), 2018
- 4)日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説(JASS5)鉄筋コンクリート工事, 2018