

温水循環式給熱養生方法を用いた寒中コンクリートの実大養生実験

北見工業大学 正会員 ○崔 希燮 井上真澄 元木冨 非会員 Magsarjav Ganbayar
エクセン(株) 非会員 斉藤能雄 井上和 日本高圧コンクリート(株) 正会員 中村雅樹

1. はじめに

一般に寒中施工では、養生上屋内にてコンクリート構造体周囲を断熱防水シートなどで覆い、ジェットヒーターによって内部空間を加熱する方法が主流である。しかし、このような方法は、熱効率が低く、燃焼ガス(CO、CO₂)の発生による労働環境の汚染やコンクリートの強度発現と耐久性にも悪影響を及ぼす可能性が指摘されている¹⁾。著者らは、既存給熱養生方法の問題点の改善・補完とともに、寒中施工におけるコンクリート構造体の効率的な品質確保を目的として温水循環式ヒーターを用いた省エネ型給熱養生システムの開発に取り組んできた。図-1に本研究で提案する給熱養生システムの概要を示す。これまで室内実験により温水ホースの設置間隔や内部溶液温度、外部環境条件、断熱シートの被覆条件などをパラメータとした実験を行い、コンクリートの温度履歴や強度発現性を明らかにしてきた²⁾。本研究では、温水循環式給熱養生技術の実用化を目指し、実環境下にてRC床版模擬試験体を対象とした給熱養生実験を行い、コンクリートの温度履歴や強度発現性について既存給熱養生方法との比較検証を行った。

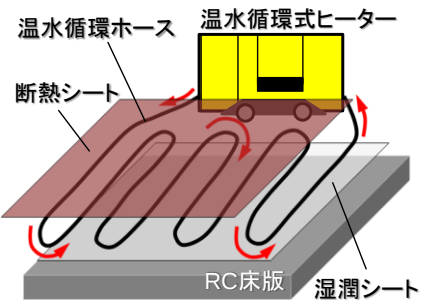


図-1 温水循環式給熱養生概念図

2. 実験概要

実環境における温水循環式給熱養生システムの養生効果を評価するため、図-2のようなRC床版模擬試験体(3000×2000×300mm)を用いて、実大養生実験を行った。測定項目は、試験体の打設直後からの温度履歴と圧縮強度の経時変化とし、ジェットヒーターを用いた既存給熱養生との比較を行った。実験場所は北見工業大学の屋外試験場とし、給熱養生期間は2017年11月27日～2017年12月11日の14日間とした。

コンクリートの養生温度は、初期凍害防止のため、いずれのケースでも打設直後から1日目までは「日本建築学会 JASS5」を参考³⁾に、10℃に設定し養生した。その後、ジェットヒーターの場合は実際の寒中施工における上屋内の管理温度を参考にして10℃に設定した。温水循環ヒーターの場合は、2日目より温水ホースをコンクリート試験体の打設面に30cm間隔で10本設置(図-2参照)した。その後、試験体の表面部で20±1℃、

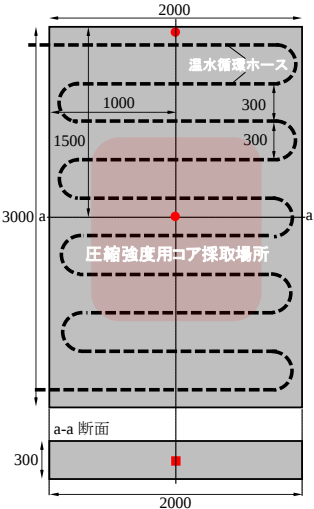


図-2 試験体概要

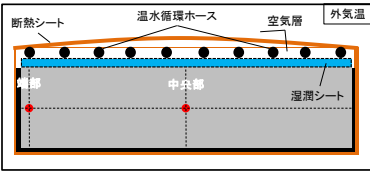


図-3 試験体の養生条件および温度測定位置

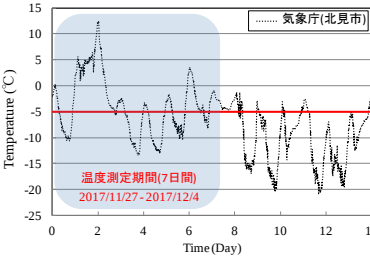


図-4 北海道北見市の外気温⁴⁾

表-1 実験要因

試験体		測点略号	ホース内部溶液温度	評価項目
ジェットヒーター		中央部	—	温度履歴 圧縮強度
		端部		
温水循環 ヒーター	ホース有	中央部	60℃	
		端部		
	ホース無	中央部	—	
		端部		

中央部および下端部で20℃×8割以上を目標温度として、ホース内部溶液温度を60℃に設定し、ホース表面と型枠材表面に断熱シートを単層で被覆した。また、ホース表面と試験体の間には湿潤シートを設置した(図-3参照)²⁾。コンクリート温度の測定は、図-3のように試験体の中央部や端部の2箇所(いずれも打設面から150mmの位置)に熱電対を埋め込み、データロガーを用いて経時計測を行った。試験体は、設計基準強度24MPa(スランプ8cm、G_{max}=20mm、W/C=52%)の一般配合を用いて作製し、材齢1、3、7、14日で各ケースの試験体中央部付近(図-2の赤枠部)からコアを採取し、圧縮強度を測定した。表-1に実験要因を、図-4に現場試験期間中の北海道北見市の外気温⁴⁾を示す。

キーワード 温水循環式ヒーター、給熱養生、寒中施工、温度履歴、強度発現

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165番地 北見工業大学工学部地域未来デザイン工学科 TEL0157-26-9474

3. 実験結果および考察

図-5～図-6に各養生ケースにおける材齢7日までの温度履歴を示す。図-5のジェットヒーター(JH)で打設直後から養生終了まで給熱養生した場合、打設直後より水和熱の影響によりコンクリート温度が上昇し材齢0.5日付近で温度ピーク(約25℃)を迎え、その後徐々に温度が降下するものの、材齢4日以降は15℃程度を推移することを確認した。一方、図-6の温水ホース(HH)を設置した場合、打設直後から材齢1日までの簡易養生下(10℃)では、水和熱の影響によりコンクリート温度が上昇し

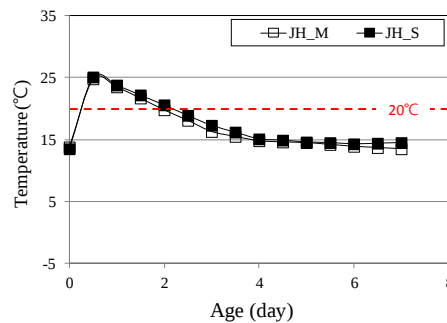


図-5 温度変化(JH)

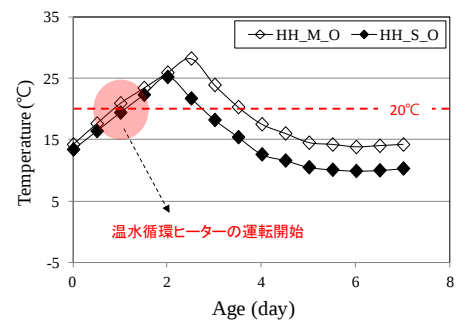


図-6 温度変化(HH)

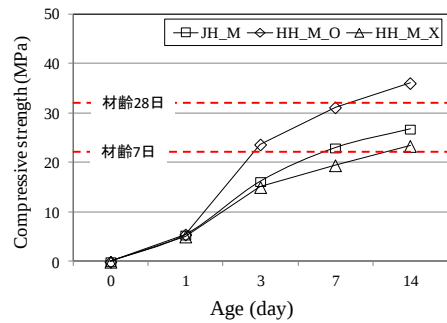


図-7 圧縮強度

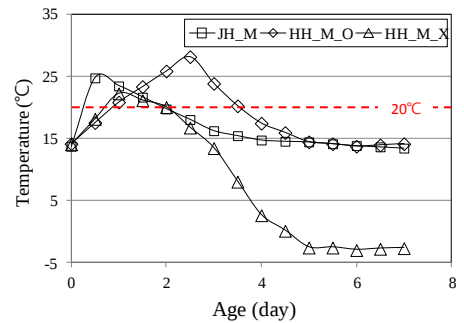


図-8 温度変化

た。その後、材齢1日を経過した時点より温水ホースによる給熱養生を開始した結果、材齢1日以降も温度は上昇し、材齢2日で温度ピーク(約28℃)に達した。その後徐々に温度は降下するが、材齢5日を経過すると15℃程度に安定することを確認した。次に温度測定位置で比較すると、ジェットヒーターの場合には、試験体の中央部と端部で同様の温度履歴を示した。しかし、温水ホースを設置した場合には、温度ピーク以降の履歴において試験体端部の温度履歴が中央部よりも5℃程度低くなった。本実験では、当初想定した気象条件(最高気温+5℃、最低気温-5℃)を踏まえた2次元温度解析²⁾に基づき、試験体を被覆する断熱シートの層数(本実験では単層被覆)を決定した。しかし、実際の外気温は変動が大きく、特に材齢3日以降は図-4に示すように最低気温が-13℃程度まで下がったこともあり、断熱シートによる保温効果が十分に得られなかったことが端部と中央部の温度差に繋がったものと考えられる。本実験で対象としたRC床版のように打設面からの給熱を行う場合には、断熱シートの被覆層数を増やして保温効果を高める必要があると考えられる。

図-7に各養生ケースの圧縮強度の経時変化を示す。図中には標準水中養生したサンプルの材齢7日および28日強度も示した。材齢3日以降の強度に着目すると、温水ホースにより給熱養生した場合、ジェットヒーターの場合よりも強度発現が良好であり、材齢7日時点では標準養生したサンプルの材齢28日強度と同程度の値を示した。図-8に各養生ケースの試験体中央部における温度履歴を比較した。温水ホースによる給熱開始以降から材齢5日付近に至る期間において、温水ホースを設置した場合の方がジェットヒーターよりも高い温度履歴を受けており、これが材齢3日以降の強度発現に影響を及ぼしたと考えられる。

4. まとめ

日平均気温が-5℃を下回るような厳冬期の実環境下において、温水循環ホースをコンクリート表面に設置して給熱養生することにより効果的なコンクリートの温度管理とともに良好な強度増進が確認された。本給熱養生システムは、寒中施工におけるコンクリートの効率的な品質管理に寄与する新たな給熱養生技術として実用の可能性を有すると考えられる。

参考文献

- 1) Chet Grochowski : Cold Weather Concreting with Hydronic Heaters, Concrete International (ACI), pp.51-55, 2000.4
- 2) 元木 冨, 崔希燮, 井上真澄, 山下 哲, 岡田包儀, 齊藤能雄, 井上和, 福地新一: 温水循環式給熱養生方法を利用した寒中コンクリートの品質確保に関する研究, 寒地技術論文・報告集, Vol.33, pp.59-64, 2017.11
- 3) 建築工事標準仕様書・同解説(JASS5)鉄筋コンクリート工事, 日本建築学会, 1997
- 4) 気象庁(Japan Meteorological Agency) HP, <http://www.jma.go.jp>