

温水循環式ヒーターにより給熱養生したコンクリートの強度発現特性

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 崔 希燮 井上 真澄
 エクセン(株) 正会員 斉藤 能雄 井上 和 日本高圧コンクリート(株) 正会員 吉岡 憲一

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念図を示す。これまで温水循環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要因とした実験と解析を行い、コンクリートの最適な養生条件を検討してきた²⁾。

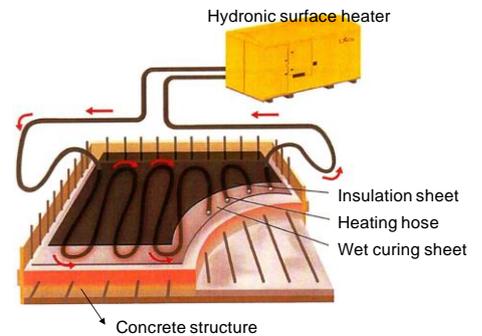


図-1 温水循環式給熱養生概念図

本研究では低温環境下において温水循環ホースにより給熱養生したコンクリートの強度発現特性を明らかにすることを目的として、コンクリートの温度履歴や圧縮強度とともに、水和生成物の量的変化について検討を行った。

2. 実験概要

表-1 に実験条件および因子を、図-2 に低温実験室の温度設定条件を示す。寒中施工を想定し、打込み直後から24時間は「日本建築学会 JASS5」³⁾を参考に10°Cに設定した。その後厳冬期の外気温を想定して-10°Cに設定し、給熱養生の有無による比較とともに、打込み直後から20°Cで恒温養生した場合とも比較した。

試験体は、図-3を示すような断熱材(スタイロフォーム)にφ10×20cmのモールドを所定の位置に挿入した試験体を作製し、打込み後材齢1日で温水循環ホースをコンクリート試験体の表面中央部に設置した。コンクリートの養生温度は、試験体の表面部で20±1°C³⁾、下端部で20×80%以上を目標²⁾とし、外気温-10°Cを想定した温度解析により、温水循環ホースの内部溶液温度を70°Cと設定した。また、いずれのケースも熱効率性を向上させるためホース表面と型枠材表面に断熱シートを2層で被覆するとともに、「寒中コンクリート施工指針」⁴⁾に準じてホース表面と試験体の間に湿潤シートを設置した。コンクリートの配合は、設計基準強度24MPa(スランプ8cm, G_{max}=20mm, W/C=52%)の一般配合を用いた。コンクリート温度は試験体中央部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。表-1に示す各評価項目は、材齢1, 3, 7, 28日に測定した。

表-1 実験要因

試験体	記号	温水循環ホース 内部溶液温度	測定項目	測定材齢
20°C一定	20_C	—	温度履歴 圧縮強度 TG-DTA	1, 3, 7, 28日
(-)10°C_ホース有	(-)10_O	70°C		
(-)10°C_ホース無	(-)10_X	—		

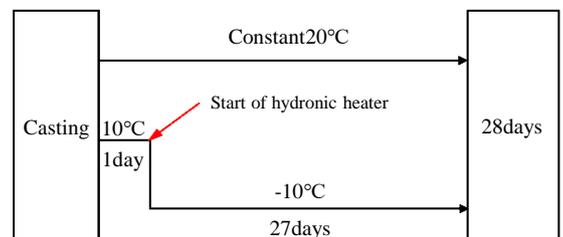


図-2 低温実験室の温度設定

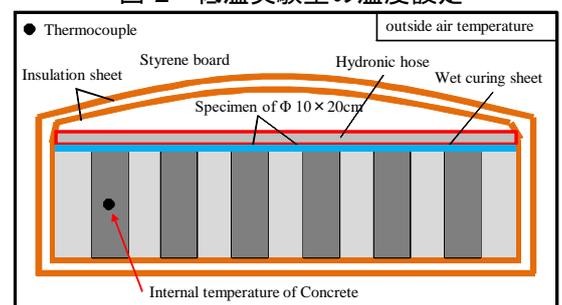


図-3 試験体の概要

3. 実験結果および考察

図-4に温度履歴を示す。20°C一定で養生した20_Cでは、打込み直後より水和熱の影響により温度が上昇し、材

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地域未来デザイン工学科 TEL : 0157-26-9513

齢 1 日で温度がピークに達し、その後徐々に低下し材齢 3 日以降は 20°C 程度を推移した。また温水循環ホースを設置した(-)10_O では、材齢 1 日が経過した時点で温水循環ホースを設置するため、材齢 3 日でピーク温度(約 24°C)に達した。その後、温度は徐々に低下し、材齢 10 日以降では 16°C 程度を推移した。一方、温水循環ホースを設置していない(-)10_X は、材齢 1 日までは(-)10_O と同様の傾向を示すものの材齢 1 日以降は低温環境下に曝されるため温度が急激に低下した。

図-5 に圧縮強度の経時変化を示す。(-)10_O では、材齢を経るごとに強度が増進し材齢 28 日には 36.2 N/mm²を示した。20_C では材齢 28 日強度が 32.9 N/mm²であり、-10°Cの低温環境下においても温水循環ホースで給熱することにより 20°C恒温養生と同等以上の強度発現が得られた。一方(-)10_X は材齢 28 日で 9.41 N/mm²であり、材齢 3 日以降の強度増進が小さい。これは、コンクリート中の水分が凍結してセメントと反応する水量が急減することにより水和反応が低下し、強度発現が低下したものと考えられる。図-6 に圧縮強度と積算温度の相関関係を示す。コンクリートの積算温度と圧縮強度の関係は、全てのケースを含めて概ね線型的な関係を示すことを確認した。

次に本システムにより給熱養生を行ったコンクリート試験体の水和生成物の量的変化を把握するため、熱重量-示差熱分析方法(TG-DTA)を用いて各ケースにおける Ca(OH)₂および C-S-H ゲルの生成量を算出した⁵⁾。図-7 にその結果を示す。(-)10_O では、Ca(OH)₂および C-S-H ゲルの生成量はそれぞれ材齢 1 日で 17.1%、1.7%、材齢 28 日で 27.8%、7.5%と材齢を経るごとに生成量が増加しており、低温環境下においても温水循環ホースの設置によりコンクリートの水和が円滑に進行していたものと推定される。特に(-)10_O の材齢 28 日における C-S-H ゲルの生成量は、20_C(7.3%)とほぼ同等な生成量を示した。一方(-)10_X は材齢 1 日で Ca(OH)₂ : 17.1%、C-S-H ゲル : 1.7%、28 日でそれぞれ 19.6%、1.91%と材齢 1 日以降の水和物の生成量の増進が小さい。これは、上述したように水の凍結によりセメントと反応する水の量が減少し、水和がほとんど進行していないため生成量が増進しなかったものと考えられる。

4. まとめ

-10°Cの低温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、水和生成物の生成量の増加が確認され、これにより強度増進にもつながったものと考えられる。

参考文献

- 1)Chet Grochoski : 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)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
- 4)日本建築学会 : 寒中コンクリート施工指針・同解説, 2010
- 5)R.Vedalakhshmi, et al: Quantification of hydrated cement products of blended cements in low and medium strength concrete Using TG and DTA, Termochimica Acta, Vol.407, pp.49-60, 2003

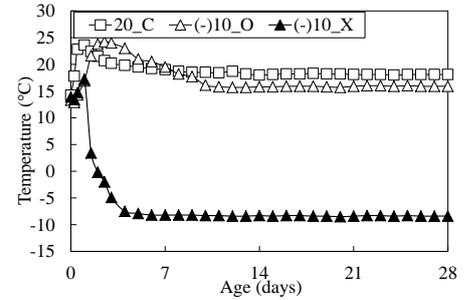


図-4 コンクリートの温度履歴

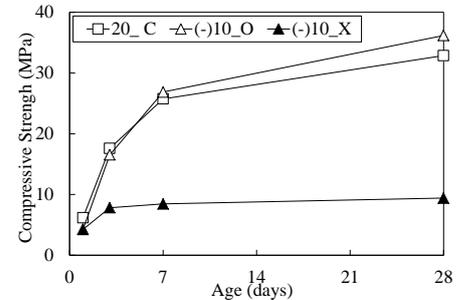


図-5 圧縮強度

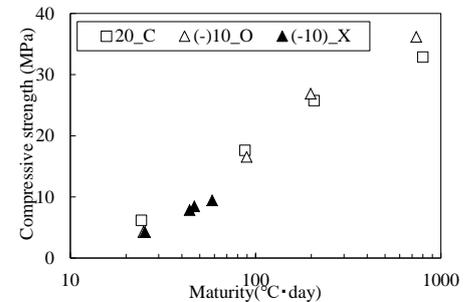


図-6 積算温度と圧縮強度の関係

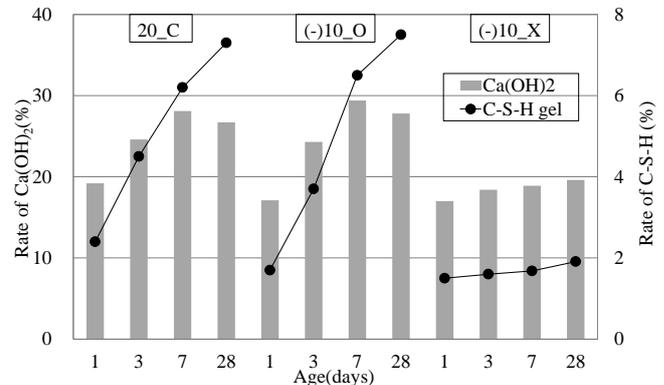


図-7 水和生成物の生成量の経時変化