

コンクリート床版を対象とした 温水循環式給熱養生における最適温度設定方法の提案

Proposal of the optimum temperature setting for energy-saving heat curing systems to target the concrete slab

北見工業大学 工学部 社会環境工学科
北見工業大学 工学部 地域未来デザイン工学科
北見工業大学 工学部 地域未来デザイン工学科
エクセン(株)
エクセン(株)
日本高压コンクリート(株)

○学生員 小原総基 (Soki Obara)
正 員 崔 希燮 (Heesup Choi)
正 員 井上真澄 (Masuni Inoue)
非会員 斎藤能雄 (Yosio Saitou)
非会員 井上 和 (Wataru Inoue)
正 員 中村雅樹 (Masaki Nakamura)

1. はじめに

寒中コンクリート施工では、凝結硬化の初期にコンクリート中で水分が凍結することにより生じる初期凍害と低温によるコンクリートの強度発現の遅れが問題となっている^{1, 2)}。そのため打設後のコンクリートは強度が養生上屋^{養生上屋}5N/mm²となるまで初期養生を行うことが土木学会コンクリート標準示方書および日本建築学会 JASS5 で推奨されている^{1, 2)}。一般に寒中施工では、図-1 のように、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能に悪影響を及ぼす可能性が指摘されている³⁾。そこで著者らは上記の問題点を改善・補完するとともに、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た新規の給熱養生方式として温水循環式エアヒーターを用いた給熱養生を提案および現場適用性の多角的な評価に取り組んでいる⁴⁾。

本研究で提案する養生システムの概要を図-2 に示す。温水循環式エアヒーターは、専用ユニットに搭載された簡易ボイラーで温水を作り出し、専用の循環ポンプを用いてホースへ温水を供給する装置である。この温水ホースをコンクリート打設面あるいは型枠外部に設置することで、コンクリート構造体を直接的に給熱するものである。本システムは、寒中コンクリートの品質管理における初期凍害の防止および早期脱型のための初期強度発現の確保に寄与すると同時に、適切な温湿度環境を維持することで良質かつ経済的な寒中コンクリート施工の実現が期待される。

本システムのコンクリート床版への適用を想定した場合、コンクリート打設面に温水ホースを設置して一面から給熱する方法が考えられる。しかし、床版厚によってはコンクリート床版の上面と下面で温度差が大きくなることで熱効率が低下し、コンクリート床版の全域に対する給熱が不足し、結果としてコンクリートの強度発現に悪影響を及ぼす恐れがある。したがって、本システムを用いて床版打設面からの給熱養生を適用するにあたっては、床版全域に対する均等な給熱を行う観点から、床版厚と床版内部の温度履歴の関係を明らかにする必要がある。

本研究では、低温環境下におけるコンクリート床版を対象とした温水循環式給熱養生の適用を想定して、温水ホースの温度設定や床版厚の違いが床版内部の温度履歴に及ぼす影響について2次元温度解析を用いた検討を行

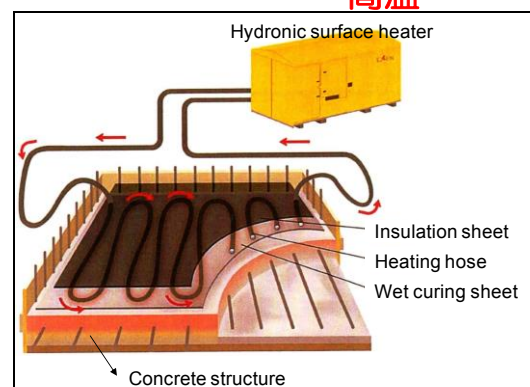
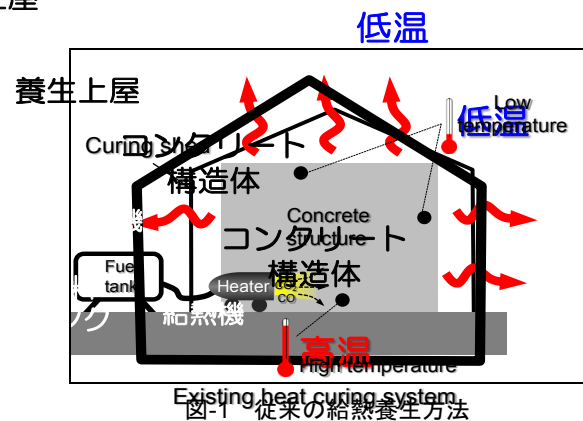


図-2 温水循環式の給熱養生方法⁵⁾

2. 2次元温度解析

2.1 概要

低温環境下においてコンクリート床版を対象として温水循環式給熱養生を行った場合の床版内部の温度履歴を明らかにするため、コンクリート床版の厚み、外気温、温水ホースの温度設定等をパラメータとして解析的検討を行った。解析には、既往文献で妥当性を検証した「電磁解析ソフト」を使用し⁵⁾、有限要素法による2次元温度解析を行った。実験の流れを図-3 に示す。

表-1 解析因子

床版厚	外気温 (一定)	ホース間隔	断熱シート	温水ヒーター設定温度	コンクリート温度
150mm	0℃, -5℃, -10℃	300mm	1層, 2層	40℃, 50℃, 60℃, 70℃, 80℃	上面, 下面
200mm					
300mm					

表-2 解析条件 (材料物性値)

区分	熱伝導率(λ) W/mk	熱容量(C) J/m ³ k	比熱 (c) J/kgk	密度 (ρ) kg/m ³	寸法 mm	素材
コンクリート ⁶⁾	2.6	2.520E+06	1.05E+03	2400		
温水循環ホース	0.15	2.280E+06	1.90E+03	1200	外径 25.0, 内径 15.9	ポリウレタンゴム
湿潤シート	0.61	4.160E+06	4.18E+03	997	厚み 3.0	湿潤 100%の水の物性仮定
断熱シート ⁷⁾	0.01623	1.820E+04	7.60E+02	24	厚み 3.0	フォームポリスチレン
空気	0.0241	1.301E+03	1.01E+03	1		
型枠	0.16	7.90E+05	1.30E+03	608	厚み 50.0	ラワン材

2.2 解析因子および条件

表-1 に本温度解析の解析因子を、表-2 に温度解析に用いた解析条件 (物性値) を、図-4 と図-5 にコンクリート床版を模擬した解析モデルの概要を示す。厳冬期の施工を想定して、外気温は 0℃、-5℃、-10℃の 3 ケースとした。

図-4 と図-5 にコンクリート床版を模擬した解析モデルを示す。解析対象とする床版寸法は 900×600mm とし、床版厚は「道路橋示方書」⁸⁾を参考にして 150mm、200mm、300mm の 3 水準とした。試験体打設面に設置する温水ホースの設置間隔は、既報告を参考に 300mm とした⁴⁾。また、本システムを用いた給熱養生における熱効率性を確保する上で温水ホースと型枠材表面を断熱シートで被覆することが有効であることから、断熱シートの積層数を 2 水準(1 層と 2 層)設定した。温水ホースの内部溶液温度は、40℃、50℃、60℃、70℃、80℃とし、解析期間は 14 日間として解析を行った。

床版内部の温度測点は、図-4 と図-5 に示すように床版の解析モデル中央部の上面 (Upper) と下面 (Lower) とした。なお、上面の測点は床版上面から 10mm の位置で、下面の測点は床版下面から 10mm の位置で測定した。

コンクリートの目標養生温度は、「土木学会コンクリート標準示方書」¹⁾および「日本建築学会 JASS 5」²⁾を参考にして、床版上面で 20±1℃、床版下面では 20℃×(-30%)に設定した。この目標温度を満足することで、標準水中養生(20±1℃)と同等の強度発現が得られることが確認されている⁹⁾。また、床版打設面と温水ホースの間には、給熱による乾燥を防ぐため、日本建築学会「寒中コンクリート施工指針」¹⁰⁾を参考にして湿潤シートの挿入条件を追加した。

3. 結果および考察

図-6～図-14 にコンクリート床版厚と外気温毎に温度解析結果を示す。温水ホースの温度とコンクリート床版温度の関係に基づき、コンクリートの目標管理温度範囲

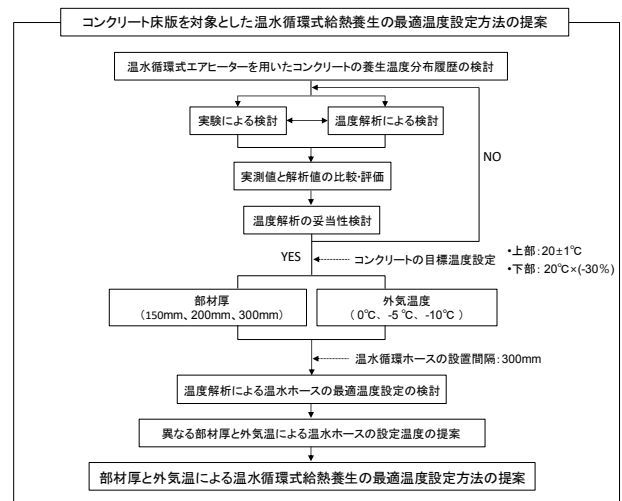


図-3 実験の流れ

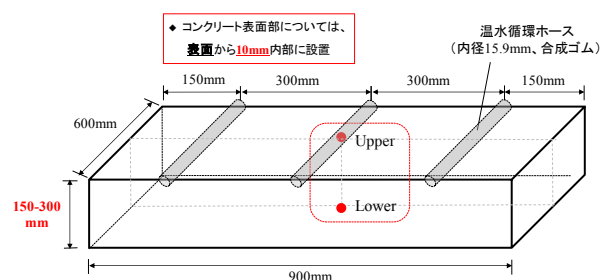


図-4 コンクリート床版を模擬した解析モデル

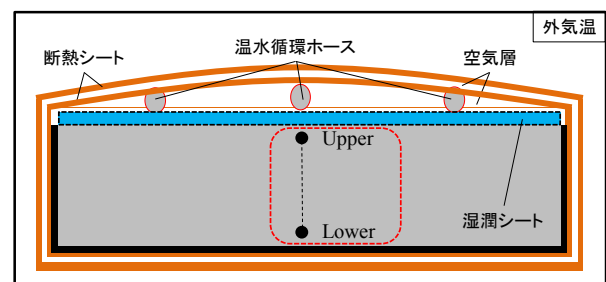


図-5 解析モデルの平面図

(床版上面で $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、床版下面では $20^\circ\text{C} \times -30\%$: グレー色の温度範囲)を満足する温水ホースの温度および断熱シートの積層数を設定することで、本システムを用いた適切な給熱養生と品質管理が可能になると考えられる。

解析結果によると、床版厚や外気温に関わらず断熱シートの積層数が増加するほど熱損失が小さくなることが確認できた。また、外気温が -5°C 以下で床版厚が 300mm の場合や外気温が -10°C では部材厚に関わらず断熱シートが1層の被覆であると床版の上面と下面の温度差が大きく目標養生温度を満足できていない。この場合

には、断熱シートを2層被覆する必要がある。さらに、 -10°C 以下の厳しい気象条件や床版厚が 300mm を超える条件においては、断熱シートの被覆層数を増やす、あるいは温水ホースを床版の上面と下面の両面に設置するなどの適切な対策が必要であると考えられる。

なお、以上の解析結果は、 $900 \times 600\text{mm}$ 寸法の試験体を対象として2次元温度解析を行った結果であり、部材の寸法の違いや実際の適用条件などによっては、床版内部の温度履歴に若干の差異が発生する可能性があることに留意が必要である。

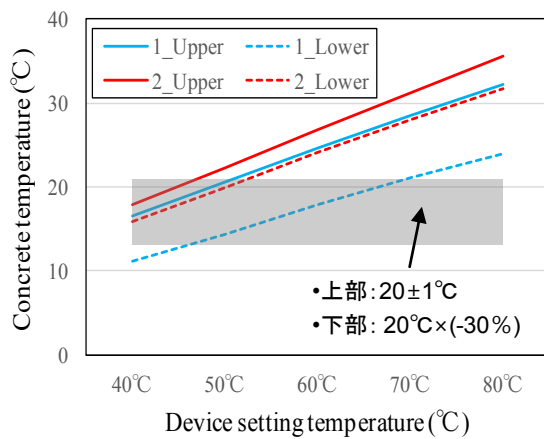


図-6 外気温: 0°C (床版厚_150mm)

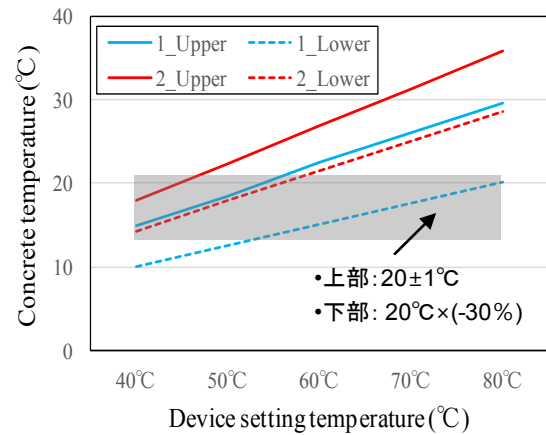


図-9 外気温: 0°C (床版厚_200mm)

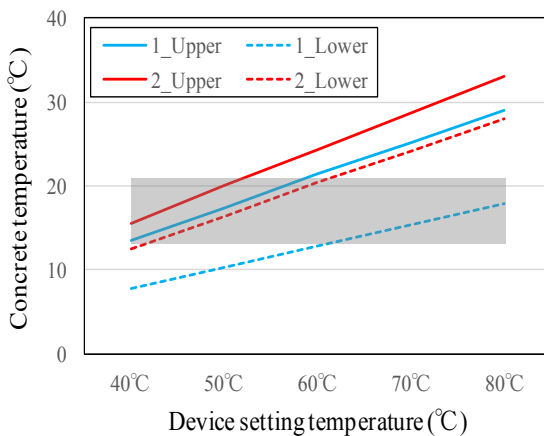


図-7 外気温: -5°C (床版厚_150mm)

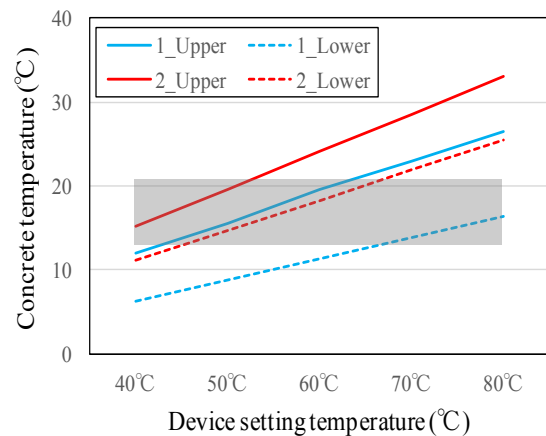


図-10 外気温: -5°C (床版厚_200mm)

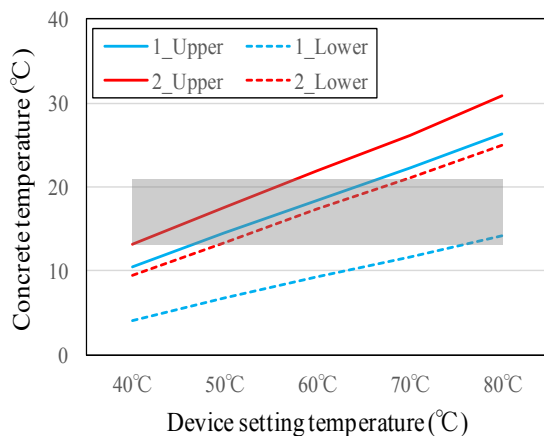


図-8 外気温: -10°C (床版厚_150mm)

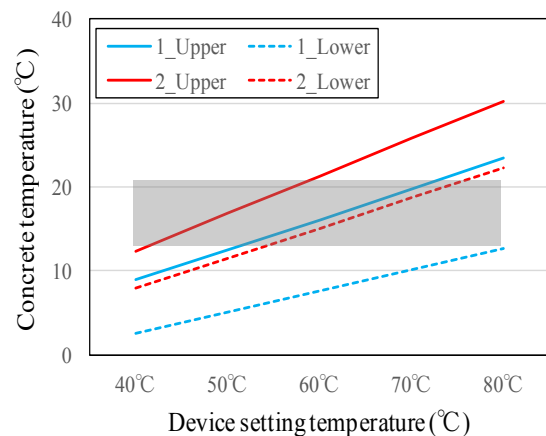


図-11 外気温: -10°C (床版厚_200mm)

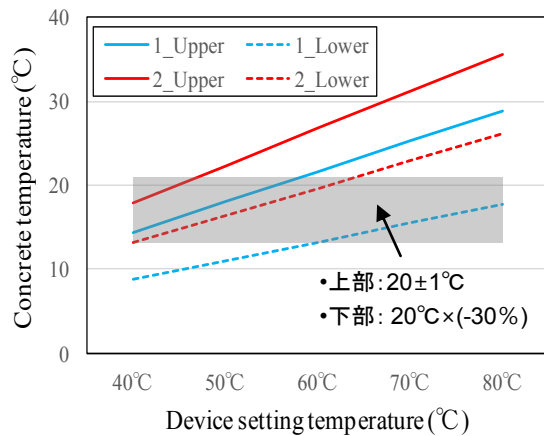


図-12 外気温: 0°C (床版厚_300mm)

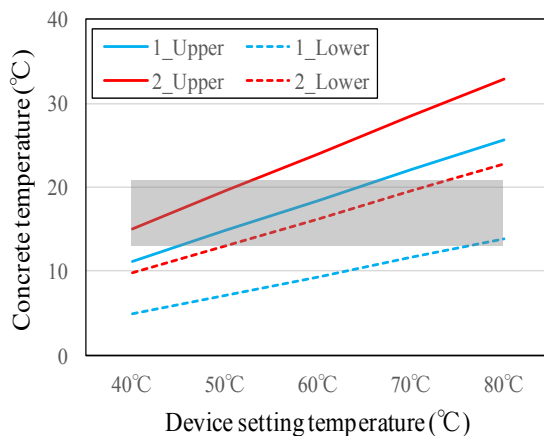


図-13 外気温: -5°C (床版厚_300mm)

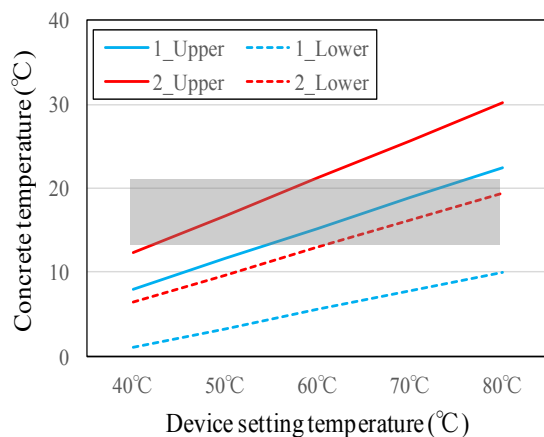


図-14 外気温: -10°C (床版厚_300mm)

4. まとめ

本研究では、低温環境下におけるコンクリート床版を対象とした温水循環式給熱養生の適用を想定して、温水ホースの温度設定や床版厚の違いが床版内部の温度履歴に及ぼす影響について2次元温度解析を用いた検討を行った。以下に本研究の範囲で得られた知見を示す。

1) コンクリート床版厚と外気温毎に、温水ホースの温度とコンクリート床版温度の関係を明らかにした。これに基づき、コンクリートの目標温度範囲を満足する温水ホースの温度および断熱シートの積層数を設定することで、本システムを用いた適切な給熱養生と品質管理が可能になると考えられる。

2) -10°C以下の厳しい気象条件や床版厚が300mmを超える条件では、断熱シートの被覆層数を増やし、温水ホースを部材の上面と下面の両面に設置するなどの適切な対策が必要である。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書：土木学会，1991
- 2) 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
- 3) Chet Grochoski : Cold Weather Concreting with Hydronic Heaters, Concrete International (ACI), pp.51-55, 2000.4
- 4) 元木冨，崔希燮，井上真澄，山下哲，岡田包儀，斉藤能雄，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
- 5) 元木冨，崔希燮，井上真澄，岡田包儀，関田舜，福地新一，省エネ型給熱養生方式による寒中コンクリートの養生温度制御に関する一考察，寒地技術シンポジウム論文集，Vol.1, pp.1-6, 2016
- 6) コンクリート標準示方書(施工編)：土木学会，2013
- 7) 菊地シート工業株式会社 HP, www.kikuchi-sheet.co.jp
- 8) 道路橋示方書・同解説 コンクリート橋・コンクリート部材編：日本道路協会，2017
- 9) 山下哲，崔希燮，井上真澄，元木冨，岡田包儀，斉藤能雄，井上和，福地新一：省エネ型給熱養生方式を用いた低温環境モルタルの強度発現特性に関する実験的考察，土木学会北海道支部論文報告集，E-27, 2018.1
- 10) 寒中コンクリート施工指針・同解説：日本建築学会，2010