

## 各種センサ等によるコンクリート工事における品質管理の高度化技術の開発（その4）

児玉（株） 正会員 ○山本 秀之 正会員 西島 茂行  
 東京大学大学院工学系研究科 正会員 野口 貴文 正会員 北垣 亮馬  
 日本国土開発（株） 正会員 山内 匡

## 1. 目的

寒冷地では地域経済の発展に直結する冬季建設工事の合理化が求められている。このため寒中コンクリートの養生対策としてこれまで様々な提案がされているが、中でも上屋を設けて内部の空間をジェットヒータ等で加熱する加熱養生が広く行なわれているものの、仮設が必要、精緻な温度管理が困難、部分加熱による温度ひび割れの問題など、解決すべき課題を数多く抱えている。筆者らは既に、養生中のコンクリートの品質管理を行なうスマートセンサ型枠システム<sup>1) 2)</sup>を開発しているが、今回寒中コンクリート対策としてスマートセンサにより温度制御が可能な加熱養生用型枠システムの構築の為の第一段階として、ヒータ付き型枠を試作し、環境試験槽内で0℃、-5℃の環境温度にて打設・養生試験を実施し、加温効果についての試験検証を行なった。

## 2. 試験概要

## 2-1) 試験用型枠仕様

- 1) 使用部材：樹脂型枠(GFPP)、パネルヒータ(DC24V、20W)、伝熱板(黄銅、600×300×t1.0mm)、断熱材(発泡PE)、スマートセンサ(以降、'SS')
- 2) 構成：型枠面板部にネジ留めされた伝熱板の裏面にパネルヒータを取付け、ヒータの熱を伝熱板を介して直にコンクリートに伝える構造とした。型枠裏面には、保温効果を高める為に全面に発泡PE製の断熱材を装填した。SSを裏面に取付け、本試験条件下で強度推定を行なうものとした。
- 3) 供試体：底面にパネルヒータ付型枠を配置し、側面4面を断熱材で囲み断熱状態とし、天面はブルーシートで養生した(図-2a、図-2c)。内寸は、W600×D300×200mmとした。
- 4) 温度測定点：型枠内面の周囲4隅と中央部の計5か所で、上中下の3点ずつ計15点に熱電対を配置して、コンクリート内の温度を計測した(図-2b)。「上」はコンクリート天面から5mm下の地点、「中」は型枠面から100mm上の中央地点、「下」は型枠上面から5mm上の地点である。

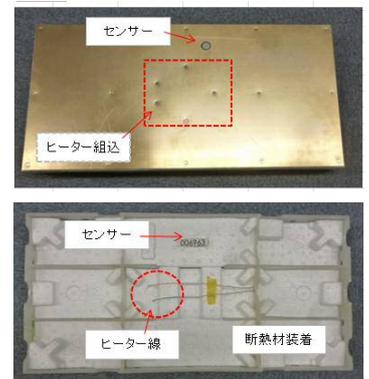


図-1 ヒータ付型枠外観

## 2-2) 試験条件

- 1) 環境試験槽の設定温度は0℃と-5℃、ヒータ設定温度は30℃と40℃とした。
- 2) コンクリート配合は24-18-20Nとし、試験期間は7日間とした。
- 3) ①標準養生試験体、②コア供試体(6か所コア抜き)、③現場(環境試験槽内)養生試験体の3種類について、材齢7日圧縮強度を確認した。

## 2-3) 評価項目

試験実施の結果から、①コンクリート内各部の温度、②内外温度差、③各養生条件での圧縮強度、④SSによる強度推定値、⑤消費電力量の各項目について評価を行なうものとした。

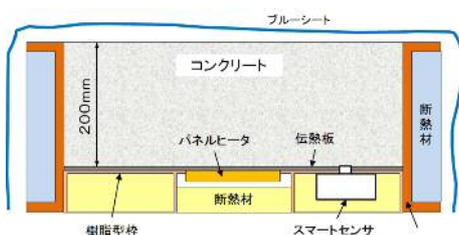


図-2a 供試体の構造

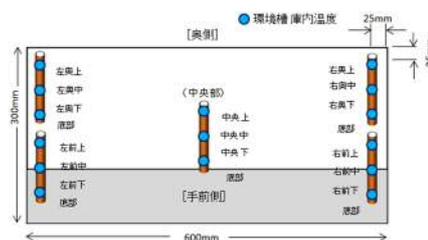


図-2b 熱電対(●)の配置

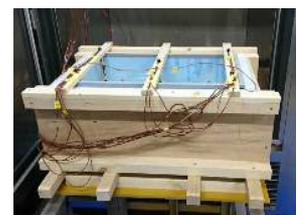


図-2c 供試体の外観

キーワード 寒中コンクリート、加熱養生、ヒータ、熱源、低温環境  
 連絡先 〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜2丁目1番22号SRPセンタービル607-A号室 TEL092-822-3801

### 3. 試験結果

#### 3-1) コンクリート内部温度

15か所の測定点のグラフを図-3 および図-4 に示す。グラフから、最低温度と最高温度は表-1 の結果が得られた。最低温度は型枠隅部の天面に当たる測定点[右前上]、最高温度はヒータの真上に当たる[中央下]となった。同一サンプリング時点における測定点 [中央下] と [右前上] の温度差を求め、その最大値を表-1 中に示す。

#### 3-2) 圧縮強度

標準養生試験体、供試体、現場養生試験体の3点について圧縮強度試験を実施したところ、表-2 に示す結果が得られた。また、SSでの温度推定値は0℃、-5℃共に表-2 の結果となった。

#### 3-3) 消費電力量

-5℃の実験においてヒータへの供給電流をモニターして総消費電力量を求めたところ打設後2日間で約0.8kWhであった。これを型枠サイズ600×1800mmに換算すると型枠1枚当たり2.4kWh/枚・日となる。

### 4. 考察

表-1 に示すように、0℃環境下ではコンクリートの最低温度は3.7℃なので、日本建築学会 JASS 5 の標準仕様書に示される養生温度の2℃は満足するが、土木学会の標準示方書の寒中コンクリートで示される5℃は下回る。但し、コンクリート内の最大温度差は14.4℃に留まることから、10℃程度ヒータ温度を上げることが出来るため、0℃環境下においても最低温度5℃に保つことは十分可能と思われる。

表-2 に示すように、圧縮強度は0℃、-5℃の何れの環境下でも標準養生試験体の半分程度であるが、現場養生の場合に対して約2倍程度出しており、加熱養生の効果が認められる。また、SSでの強度推定値がコア抜き供試体の強度を上回っているが、これはSSが伝熱板の直下にある為だが、今後実験を重ねて実強度との相関を取り、補正を加えることが必要と思われる。

本方式と従来式のジェットヒータによる加熱養生の場合で、必要なエネルギー量を試算比較すると、本方式の場合が100kW弱、ジェットヒータ方式では約8倍の816kWhとなり、電気代を25円/kWh、灯油代を85円/Lとして試算すると、本方式ではジェットヒータの約1/9となり、ランニングコスト的にメリットが得られそうである。

### 5. まとめ

今回、予想以上の結果が得られ実用化の可能性が高まった。今後実用化に向けて、追試験の実施と共に設計仕様の最適化、コストダウンを進めてスマートセンサを用いた加熱養生用型枠システムの完成を目指したい。

#### 参考文献

- 1) 野口ほか：“スマートセンサ型枠システムを利用したコンクリートの養生・品質管理システムの開発”，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol. 67, 2012
- 2) 野口ほか：“スマートセンサ型枠システムの無線ネットワーク化による現場管理・温度分布・推定強度分布の可視化”，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol. 67, 2012

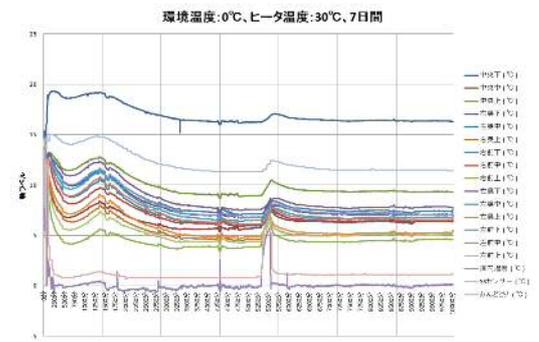


図-3 各部温度グラフ(0℃)

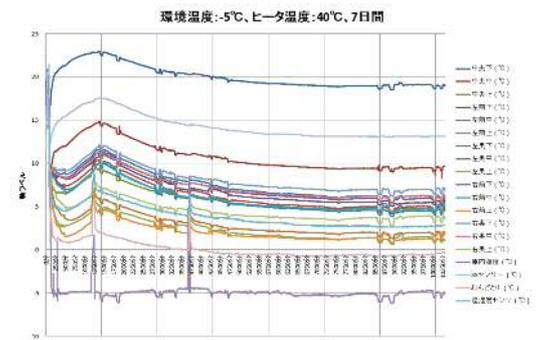


図-4 各部温度グラフ(-5℃)

表-1 コンクリートの最低最高温度

環境温度	最低温度(℃)	最高温度(℃)	最大温度差(℃)
0℃	3.7(右前上)	19.3(中央下)	14.4
-5℃	1.3(右前上)	22.9(中央下)	20.2

表-2 コンクリートの強度

環境温度	試験対象	強度(N/mm <sup>2</sup> )			SSでの推定強度(N/mm <sup>2</sup> )
		最高	最低	平均	
0℃	標準養生	-	-	23.1	15.5
	供試体	13.9	12.5	13.2	
	現場養生	-	-	6.7	
-5℃	標準養生	-	-	22.5	15.4
	供試体	10.7	12.8	11.3	
	現場養生	-	-	不可	