

# 寒冷期に施工するマスコンクリートの強度管理方法の基礎的研究

## STUDY ON STRENGTH SIMULATION SYSTEM FOR MASS CONCRETE STRUCTURES IN COLD WEATHER

劉 宏 涛\*, 桑原隆司\*\*, 浜 幸雄\*\*\*

*Koto RYU, Takashi KUWAHARA and Yukio HAMA*

This paper presents a simple strength simulation system newly investigated by the authors for mass concrete structures in cold weather.

The system greatly simplifies the strength simulation of mass concrete structures. The aim of the research leading to this system was to create a simple and rational method of accurately predicting and determining certain properties of concrete in actual structures without resorting to full-scale modeling or complicated numerical analysis.

Experimental test on mass concrete structures in cold weather was carried out in Sapporo and analytical study by a computer was also carried out to verify system's effectiveness. The good results obtained in the experimental test and in the analytical study established efficiency in predicting the strength of mass concrete structures in cold weather.

**Keywords:** Cold weather concreting; Mass concrete; Temperature history; Strength development; Simple insulate-cure; Strength control.

寒中コンクリート, マスコンクリート, 温度履歴, 強度発現, 簡易断熱養生, 強度管理

### 1. はじめに

実施工されるコンクリート構造物の構造体コンクリート強度は、現場水中養生、現場封かん養生または標準養生を行った供試体の強度試験に基づき直接または間接的に推定される<sup>1)</sup>。しかし、寒冷な時期に施工する部材断面が比較的大きいマスコンクリート構造体では、寒冷な環境による影響と、コンクリート水和熱による温度上昇による影響が重なり合うため、上記養生を行った供試体の強度試験結果から、直接または間接的に構造体コンクリート強度を推定することは、困難な場合が多い。

このように複雑な温度環境下にあるコンクリート構造物の強度を合理的に管理する方法として、桑原・洪らは実施工コンクリート構造物の実際の温度履歴に追従する温度条件を供試体に与える方法(温度追従養生)を、国内・外で提案している<sup>2)~5)</sup>。また、日本建築学会「寒中コンクリート施工指針・同解説」の11.1では、「構造体コンクリートの強度を厳密に管理する必要がある場合は、強度管理のための供試体の養生を原則として温度追従養生とする。」としている<sup>6)</sup>。ここで、「温度追従養生」は、技術的には優れた方法であるが、管理に際して温度追従のための装置が必要となるため、中小規模の建設現場や開発途上国などでは、使用が困難な場合も多い。このため、本研究では、中小規模の建設現場や開発途上国などで

寒中マスコンクリートなどの強度を合理かつ経済的に管理できる方法として、温度追従養生の代わりに複数の保温箱を重ね合わせて断熱性を調整した簡易断熱養生箱を用いて、実施工コンクリート構造物の実際の温度履歴に近似する温度条件を供試体に与えて、強度管理を行う方法について、実験・検討を行った。また、合わせて、壁状の寒中マスコンクリートの性質に関しても、2、3の検討を行った。

### 2. 寒冷期に施工するマスコンクリートの温度・強度管理方法の検討

#### 2.1 寒冷期に施工するマスコンクリートの施工・管理上の問題点

寒冷な時期に施工するマスコンクリート(以下、寒中マスコンクリートと略称する)では、水和熱による温度上昇が大きいため、外気温は低温であるが、コンクリート部材温度は、外気温よりもかなり高い温度を保持する。この実際に履歴するコンクリート温度を予測、管理することによって、低い外気温下で強度が確保できるように上乗せする安全率(予想平均気温による強度の補正值)を大幅に低減することが可能となる。

また、若材齢時におけるマスコンクリート部材の水和熱による温度上昇は、初期凍害防止のための養生に利用することができ、寒中コンクリートとしての養生の程度を低減できる。これらのことから、寒中マスコンクリートの温度・強度特性を適切に予測・管理すること

\* 北海道大学大学院工学研究科材料性能学分野 院生・工修

\*\* 北海学園大学工学部建設学科 教授・工博

\*\*\* 北海道大学大学院工学研究科材料性能学分野 助手・工博

Graduate School, Div. Building Materials, Graduate School of Hokkaido Univ., M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Hokkai-Gakuen Univ., Dr. Eng.

Research Assoc., Div. Building Materials, Graduate School of Hokkaido Univ., Dr. Eng.

により、寒中マスコンクリート工事費のコストダウンと、工期の短縮を図ることが可能となる。

ここで、寒中マスコンクリートを合理的、経済的に管理するためには、供試体の養生は、現行の現場封かん養生供試体等によるのではなく、実際のコンクリート構造物の温度履歴・強度発現性状を的確に把握できる方法を用いる必要がある。

## 2.2 寒中マスコンクリートの温度・強度管理方法の提案

### (1) 提案する管理方法の基本概念

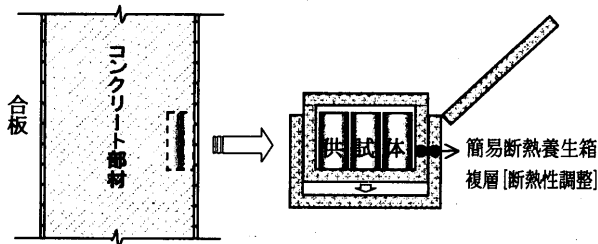


図-2.1 管理システムの概要

一般に使用される円柱状コンクリート供試体は、直径が 10cm で、高さが 20cm であり、その体積に比べて表面積が大きく、セメントの水和熱が、供試体表面から外部に放出される。一方、体積の大きいマスコンクリート部材では、水和熱が部材内に蓄積して、部材が高温状態になる。ここで、封かん状態の円柱状供試体を気密性、断熱性の良い断熱箱の中に置くと、養生箱の断熱養生効果によって、水和熱が断熱箱内に蓄積して、供試体の温度が上昇し、強度の増進も速やかに進む。その結果、断熱箱内の円柱供試体は、マスコンクリート部材と類似した温度履歴・強度発現を示すことが予想される。このため、本研究では、複数の保温箱を重ね合わせて断熱性を調整した簡易断熱養生箱の中に置いた封かん状態の供試体で、断面の大きい寒中マスコンクリート部材の温度・強度を予測させる方法について提案し、検討することとした。研究の概念図を図-2.1 に示す。

### (2) 簡易断熱養生箱の概要

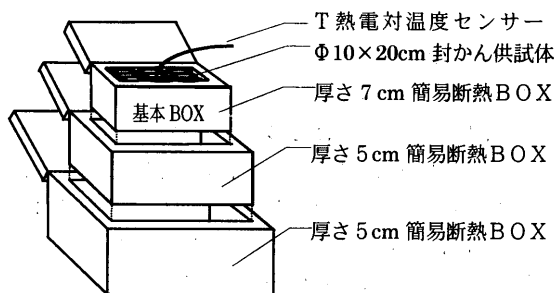


図-2.2 寒中マスコン強度管理用簡易断熱養生箱

市販の断熱材（発泡ポリスチレン）と専用の接着剤を用いて、直方体の断熱箱を作った。断熱箱の断熱性を変化させるために、箱のサイズは 3 種類用意し、小さいサイズの箱を一段大きいサイズの箱に入れることによって、異なる厚さの箱ができるようにした。なお、一番小さいサイズの箱を基本の箱とし、その容量は、圧縮強度試験に必要な供試体の本数によって決めることとした。本実験では、直

径 100mm で、高さ 200mm の供試体 9 本(3 本×3 材齢分)を入れる箱を基本の箱とし、厚さ 7cm、12cm、17cm の三つの簡易断熱養生箱に組み立てて使用した。

簡易断熱養生箱の概念図を図-2.2 に示す。

## 3. 簡易断熱養生箱を用いた温度・強度管理方法の実験

### 3.1 実験の概要

簡易断熱養生箱内に置かれた封かん養生コンクリート供試体の温度履歴・強度発現と、壁状寒中マスコンクリート部材の温度履歴・強度発現の相関性を検討する目的で実験を行った。実験では、普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比 50%、単位セメント量 300kg/m<sup>3</sup>、目標空気量 5% で、スランブが 15cm 程度の一般的な調査のコンクリートを作り、簡易断熱養生箱を用いて 2 回の実験を行った。1 回目の実験(以下実験ケース I)は、低温環境の恒温槽用いた屋内実験で、2 回目の実験(以下実験ケース II)は、冬期の屋外(札幌市)実験である。

### 3.2 実験計画及び方法

#### (1) 使用材料

使用したセメントは、試験成績表(表-3.1)に示した普通ポルトランドセメントで、骨材は、川砂利、海砂を使用し(骨材試験成績を表-3.2 に示す)、混和剤は AE 剤である。使用したコンクリートの調査を表-3.3 に示す。

表-3.1 使用したセメントの試験成績(普通ポルトランドセメント)

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝結(t-mm)			圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			水和熱(J/g)	
		水量(%)	始発	終発	3日	7日	28日	7日	28日
3.16	3,320	27.5	2-15	3-20	28.6	42.6	60.4	328	382

表-3.2 使用した骨材の試験結果

種類	産地	最大寸法	吸水率	表比重	絶乾比重	粗粒率	単位容積質量(絶乾)
細骨材	福川産海砂	5mm	1.25%	2.69	2.66	2.54	1.77kg/l
粗骨材	静内川産	25mm	1.14%	2.75	2.72	6.83	1.74kg/l

表-3.3 コンクリート調合表

W/C (%)	目標スランブ(cm)	目標空気量(%)	細骨材率(%)	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )	重量			混和剤(cc/m <sup>3</sup> )
					セメント(kg/m <sup>3</sup> )	砂(kg/m <sup>3</sup> )	砂利(kg/m <sup>3</sup> )	
50	15	5	36.8	150	300	673	1,236	450

#### (2) 実験計画

2 回の実験計画概要を表-3.4 に示す。

表-3.4 実験計画表

実験ケース	セメント種類	実験場所	環境温度(°C)	管理材令(日)	W/C (%)	セメント量(kg/m <sup>3</sup> )	養生条件		
							簡易断熱	現場封かん	標準水中
I	普通ポルトランド	恒温槽内	0.0	28	50	300	7cm厚BOX 12cm厚BOX	○	○
II	普通ポルトランド	冬期屋外(札幌)	予想平均約0.4	28	50	300	7cm厚BOX 12cm厚BOX 17cm厚BOX	○	○

#### (3) 実験方法

実験ケース I では、恒温槽を 0°C 程度の低温を設定、実験ケース II では、予想平均外気温は 0.4°C の温度条件で、練り上がりコンクリートを供試体枠に入れ、封かん状態で断熱材の厚さ 7cm、12cm、17cm の

三つのサイズの簡易断熱養生箱の中に密封させ実験を行った。

なお、各簡易断熱養生箱に置かれた供試体及び現場封かん供試体の中心に温度センサー(T タイプ熱電対)端子を埋設し、コンクリート打込み後、実験終了までの温度及び外気温を自記式温度記録計で記録した。また、材齢 3 日、7 日、28 日に簡易断熱養生箱内の供試体を 3 本ずつ取り出して圧縮強度試験を行った。供試体の上面は、試験の直前に研磨で処理した。コンクリートの練り上がり温度は、いずれの場合も約 10℃であった。

3.3 実験結果及び考察

各簡易断熱養生箱内と現場封かん養生した供試体の温度経時変化を、図-3.1 (恒温槽実験)と図-3.2 (屋外実験)に示す。図-3.1と図-3.2によると、簡易断熱養生箱内の供試体は材齢 1.5~2 日で、両実験とも最高温度に到達し、実験ケースIでは、厚さ 7cm、12cm の簡易断熱養生箱内の供試体では最高温度が、それぞれ 14.0℃と 15.9℃となった。実験ケースIIでは、厚さ 7cm、12cm、17cm の簡易断熱養生箱内供試体の最高温度は、それぞれ 13.5℃、15.7℃と 16.5℃となった。簡易断熱養生箱が厚いほど、温度上昇量が大きい。また、材齢 6~7 日以降、環境温度に近づいていく。一方、断熱養生箱に入れない現場封かん養生供試体の温度履歴は、コンクリート打込み後すぐ温度が下がり、1~2 日で、環境温度と等しくなっており、簡易断熱養生箱内封かん状態の供試体の温度履歴と全く異なり、環境温度の影響を大きく受けている。

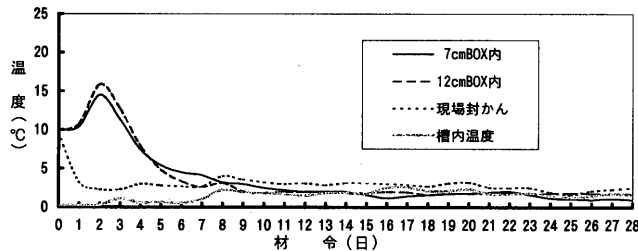


図-3.1 実験ケースIの各養生条件下の供試体の温度履歴

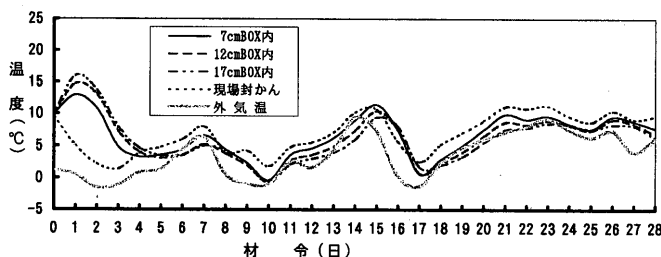


図-3.2 実験ケースIIの各養生条件下の供試体の温度履歴

注：図-3.1と図-3.2の温度履歴は、10分間隔の測定値に基づき、描いている。

なお、実験ケースIと実験ケースIIの材齢 3 日、7 日、28 日の圧縮強度を調べた結果を表-3.5に示す。試験結果によると、簡易断熱養生箱が厚い方が、箱の中で養生した供試体の強度が高い。また、現場封かん養生した供試体の材齢 3 日、7 日、28 日の強度発現性状によると、環境温度が 0℃に近い寒冷の条件でも、初期凍害を受けないことが分かる。

また、材齢 3 日、7 日の若材齢時の圧縮強度は、断熱養生箱で封かん養生した供試体のほうが現場封かん養生した供試体より高い値

を示すが、材齢 28 日では、その関係が逆転して、現場封かん養生した供試体の強度が高くなった。これは、初期凍害を受けないコンクリートでは、コンクリート部材の温度履歴が低いほど初期強度は低い、長期にわたる強度増進は大きいことによるものと判断される。なお、実験ケースIでは、若材齢時の強度に注目すると、現場封かん養生した供試体では、材齢 3 日で 4.1N/mm<sup>2</sup>程度の強度を示す場合でも、簡易断熱養生箱で封かん養生した各供試体では、材齢 3 日で、いずれも寒中コンクリートにおける初期養生の目安となる 5.0N/mm<sup>2</sup>を超える強度を示している。実験ケースIIでは、7 日間の平均外気温が 1.6℃の場合に、現場封かん養生と簡易断熱養生箱で封かん養生した供試体とも、材齢 3 日で寒中コンクリートにおける初期養生の目安とする 5.0N/mm<sup>2</sup>を超える強度を示した。

表-3.5 各種供試体の圧縮強度試験結果

実験ケース	断熱材厚 (cm)	簡易断熱養生			現場封かん養生			標準水中養生		
		3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日
I	7	6.3	9.8	18.0	4.1	9.3	20.9	8.6	17.9	25.7
	12	7.4	11.7	18.9						
II	7	9.7	15.1	30.2	6.3	15.5	32.3	14.1	23.1	33.9
	12	10.8	16.4	29.5						
	17	11.1	16.1	29.0						

4. 寒中マスコンクリート温度・強度解析結果と実験結果の比較

4.1 解析の目的

3 では、簡易断熱養生箱を用いた封かん養生供試体の温度履歴・強度発現について、断熱箱の厚さや養生方法等を変えて実験を行った。実験結果から得られた各供試体の温度履歴・強度発現は、マスコンクリート部材の温度・強度特性と類似していることが確認できた。

このため、両者の関係を検討するため、寒中マスコンクリートの温度履歴・強度発現を的確に予測できる解析プログラムを利用して、3 の実験と同じ材料、養生等の条件下におけるコンクリート部材の温度・強度解析を行い、その結果と実験結果を対比させることとした。

使用したプログラムは、コンクリート工事計画・施工管理用プログラム<sup>7)</sup>で、F.E.Mによる温度解析と積算温度方式による強度予測プログラムが含まれている。

4.2 コンクリートの温度・強度解析の概要

(1) 温度解析の概要

コンクリート温度履歴を解析する手法としては、Glover 法、Carlson 法、Schmidt 法、差分法、F.E.M 法等の様々な手法があるが、中でも、有限要素法 (F.E.M) による解析が一般にコンクリート温度を精度よく予測できるとされている。このため、本研究では、二次元非定常熱伝導方程式を有限要素法を用いて、プログラム化した解析手法<sup>7)</sup>を用いて、寒中マスコンクリート部材の温度履歴の解析を行った。なお、二次元非定常熱伝導方程式の一般式は、次のように与えられる<sup>8)</sup>。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{cx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_{cy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q(t) = C_p \rho_c \frac{\partial T}{\partial t} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 T : 温度 (°C)  
 λ<sub>cx</sub>, λ<sub>cy</sub> : x, y 方向の熱伝導率 (W/m・K)  
 Q : 発熱率 (W/m<sup>3</sup>)

$C_c$ : 比熱 (J/kg·K)

$\rho_c$ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>)

(2) 強度解析の概要

積算温度方式に基づくコンクリート部材の強度予測では、温度解析結果を用いて積算温度と強度の関数関係を利用して、コンクリート強度の予測を行う<sup>9)10)</sup>。

積算温度は、下記の式に基づき算定する。

$$M = \sum_{z=1}^n (\theta_z + 10) + C \dots\dots\dots (2)$$

$$C = -25 + 1.25\theta_1 \text{ (普通ポルトランドセメントの場合)} \dots\dots (3)$$

ただし、  
 $M$ : 積算温度 (<sup>0</sup>D·D)  
 $\theta_z$ : 日平均気温 (°C)  
 $C$ : 初期温度補正項  
 $\theta_1$ : 初期材齢時の温度 (°C)

積算温度と強度の関数関係は、一般に、ロジスティック曲線で近似するが、高強度コンクリートを対象とする場合、ゴンベルツ曲線で近似する。

強度増進過程をロジスティック曲線で表現する場合には(4)式を使用し、ゴンベルツ曲線で表現する場合には(5)式となる。

$$F_c = \frac{F_\infty}{1 + \exp(-K \log M + m)} \dots\dots\dots (4)$$

$$F_c = F_\infty \exp\left\{-a \left(\frac{1}{M}\right)^b\right\} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $F_\infty$ : 最終強度 (N/mm<sup>2</sup>) (時間が無限大の時の圧縮強度)

$M$ : 積算温度 (<sup>0</sup>D·D)

$K, m, a, b$ : 定数

解析では、各実験時と同じ材料、養生等の条件を設定し、F.E.Mによる温度解析と積算温度方式による強度予測プログラムを用いて、寒中マスコンクリート構造物の温度解析、強度予測を行い、実験結果と比較した。(屋外で行った実験ケースIIでは、初期凍害防止を検討対象としたことなどから、材齢1週間までのコンクリート部材と供試体の温度・強度について、比較・検討を行った。)

なお、寒中マスコンクリートでは、部材表面温度が内部よりも低温となり、初期の強度発現も遅れることから、施工時には部材表面の温度・強度を管理することとした。コンクリート部材の表面温度とは、表面から10mm内部に入った位置の温度解析値で、表面部強度とは、表面温度を解析した位置における強度の解析値である。

4.3 温度解析・強度予測の結果と実験結果の比較・検討

実験時の材料、養生などの条件と同じ条件を設定して、壁状コンクリート部材の厚さを、500mmから2,000mmまで50mmずつ変化させて、温度解析と強度予測を行った。なお、壁の型枠は、合板とし、材齢3日で取り外すこととした。

F.E.Mによる温度解析を行った結果によると、厚さ650mm、900mmと1,150mmのコンクリート部材表面の温度履歴は、それぞれ厚さ7cm、12cm、17cmの簡易断熱養生箱内に置かれた供試体の

温度履歴に類似している。なお、実験ケースIでは、部材中心温度は、厚さ650mmの部材で20.2°C、900mmの部材で25°Cであった。実験ケースIIでは、厚さ650mm部材で19.9°C、900mm部材で23.9°C、1,150mm部材で28.3°Cであった。

温度履歴の実験結果と解析結果の比較を、図-4.1(実験ケースI)と、図-4.2(実験ケースII)に示す。

なお、簡易断熱養生箱内の封かん養生供試体の温度は、材齢2日以降、部材表面の解析温度より低目に履歴するが、これは、初期材齢時の強度管理上、安全側で管理することになるので、実用上の問題はない。

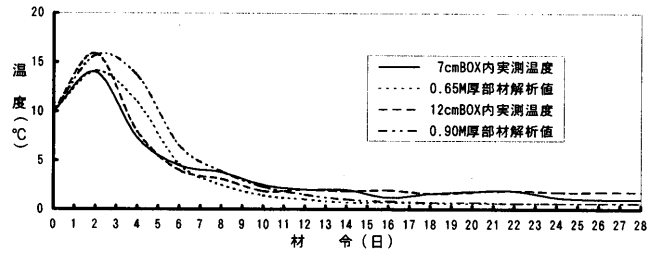


図-4.1 ケースIにおける部材表面温度解析値と断熱養生箱内供試体温度の比較

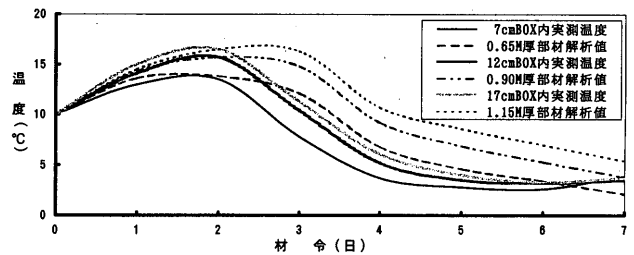


図-4.2 ケースIIにおける部材表面温度解析値と簡易断熱養生箱内供試体温度の比較

注: 図-4.1と図-4.2の温度履歴の解析値と実測値とも日平均値に基づき、描いている。

また、壁部材の温度解析結果を利用した強度発現予測を行った結果によると、厚さ650mm、900mmと1,150mmのコンクリート部材若材齢時の表面部強度解析値は、それぞれ厚さ7cm、12cmと17cmの簡易断熱養生箱内に置かれた供試体の強度試験結果と良好な相関性を持っている。

強度発現の実験結果と解析結果の比較を、実験ケースIと実験ケースIIを合わせて図-4.3に示す。

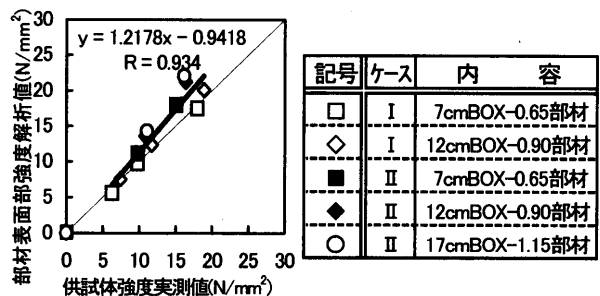


図-4.3 部材表面部圧縮強度解析値と簡易断熱養生箱内供試体強度の比較

これらの結果から、本実験研究の範囲では、寒冷期に施工するマスコンクリート構造物の温度・強度を適当な厚さに調整した簡易断熱養生箱内で養生したコンクリート供試体によって、予測・管理す

ることは可能と考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、中小規模の建設現場や開発途上国などで寒中マスコンクリートの強度を合理的かつ簡便に管理できる方法として簡易断熱養生箱を用いて強度管理を行う方法を提案し、実験・検討を行った。また、合わせて、壁状の寒中マスコンクリートの性質についても、2、3の検討を行った。

本研究の範囲で得られた主要な結論は、以下の通りである。

### (1) 簡易断熱養生箱を用いた寒中マスコンクリートの強度管理方法について

寒冷期に施工する普通ポルトランドセメントを使用したマスコンクリート構造物の強度は、簡易断熱養生箱内に置かれた封かん養生供試体によって、適切に予測・管理できる可能性が確認された。

### (2) 寒中マスコンクリートの強度性状について

平均環境温度 0°C程度の寒冷時に施工する寒中マスコンクリートでは、セメントの水和反応による温度上昇が生じ、材齢 2 日程度で最高温度に達し、その後、温度下降し、材齢一週間程度で、環境温度に近づく。コンクリート強度発現も、水和熱による温度上昇の影響を受け、若材齢時に急速に増加するため、水和熱による影響を受けない現場封かん養生供試体とは全く異なる挙動を示す。本研究の範囲では、材齢 3 日における簡易断熱養生箱内供試体の強度は現場封かん養生供試体よりも 2.2~4.8N/mm<sup>2</sup> 程度大きい強度を示した。

### (3) 寒中マスコンクリートの初期養生について

普通ポルトランドセメントを使用した単位セメント量 300kg/m<sup>3</sup>程度の壁状マスコンクリートを、平均外温度 0°C程度の寒冷時に施工する場合、型枠を 3 日間程度存置することによって、初期凍害を防ぐことができる。これは、寒中マスコンクリートでは、水和熱によって強度発現が促進され、初期凍害防止に必要な圧縮強度が早期に得られることによる。

なお、本研究では、検討モデルを壁状マスコンクリート構造物としており、実験数も少ないので、本研究で得られた知見を汎用的に利用するためには、今後、マスコンクリート部材の形状・寸法や、セメントの種類などによる影響の検討を行う必要がある。

## 謝 辞

本研究を行うに際して、故 鎌田英治北海道大学教授より貴重なご助言、ご指導を戴いた。先生のご冥福を、心より祈念致します。

また、本研究をまとめるに際して、洪 悦郎北海道大学名誉教授より貴重なご指導を戴き、実験の遂行に際しては、北海学園大学工学部材料実験室 菊池 守氏の多大なご協力を戴いた。

ここに、謹んで謝意を表します。

最後に、本研究費の一部は、文部省学術フロンティア推進拠点研究費によった。

付記して、謝意を表します。

## <参 考 文 献>

- 1) 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，1997.1
- 2) Takashi Kuwahara and Yoshiro Koh: Computerized Thermal and Strength Simulation System for Concrete Structures, *ACI Materials Journal*, Vol.92, No.2, 117-125, ACI, 1995.3-4
- 3) Takashi Kuwahara Yoshiro Koh and Akira Nishida: A Computerized Quality Control System for Concrete Structures, 15th Conference on Our World in Concrete & Structures, Vol. IX, 181-186, ACI Singapore Chapter et. al, 1990.8
- 4) 桑原隆司，安齋俊哉，森永繁：マスコンクリートの強度管理方法と装置の研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.9, No.2, 79-884, 1987
- 5) 桑原隆司，森永繁：マスコンクリートの強度管理方法について，セメント技術年報，No.38, 317-320, 190-193, 1984.2
- 6) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説，129-133, 1998.2
- 7) 洪 悦郎監修，鎌田英治，桂 修，岡田武二，桑原隆司，西田 朗：コンクリート工事施工支援システム・マニュアル，清水建設，1994
- 8) 小野 定，長田晴道：温度解析方法に関する既往の研究成果について，コンクリート工学協会，マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集，35~44, 1982.8
- 9) 桑原隆司，阿部道彦，鎌田英治，他：コンクリート技術教本，彰国社，132~149, 1996
- 10) 浜 幸雄，洪 悦郎，鎌田英治，田畑雅幸：積算温度と圧縮強度増進の関係のロジスティック曲線による近似，日本建築学会大会学術講演梗概集，235~236, 1985.10

(2000年5月29日原稿受理，2000年10月31日採用決定)