

論文 初期の温度履歴が長期材齢におけるコンクリートの物性に及ぼす影響

守分敦郎^{*1}・福手勤^{*2}・鈴木康範^{*3}・濱田秀則^{*4}

要旨: マスコンクリートのように、初期に温度履歴を受けたコンクリートの長期材齢の物性値を検討するために、人為的に温度履歴を与えたモルタル、コンクリートおよび一辺1.0mのブロックによって確認した。初期の温度履歴は、圧縮強度、塩化物イオン浸透性、細孔構造に影響を与え、その影響は材齢6.5年経過しても十分には回復されないことが確認された。

キーワード: マスコンクリート、温度履歴、圧縮強度、塩化物イオン、細孔構造

1.はじめに

マスコンクリートや高強度コンクリートなどでは、硬化時の水和熱がコンクリートの力学特性に影響を及ぼすことが知られている。筆者らは、モルタルおよびコンクリート供試体に人為的に温度履歴を与えて、材齢91日までの圧縮強度の増加特性、塩化物イオン浸透性、中性化深さなどを検討してきた^{1), 2)}。さらに、コンクリートブロックからコアを採取して、水和熱による温度履歴がコンクリートの物性値に及ぼす影響についても検討してきた³⁾。しかし、これらの実験では初期の温度履歴がどの程度の材齢まで影響を及ぼすか明確になっていなかった。

本論は、人為的に温度履歴を与えた、材齢6.5年のモルタル供試体と材齢5.5年のコンクリート供試体、および材齢4.5年のコア供試体の実験により、長期材齢における温度履歴の影響を確認した。

2. 実験方法

本実験は、3シリーズから構成されている。第1シリーズは、Φ50×100mmの簡易鋼製型枠にモルタルを打込み、表面を鉄板とシリコーンによって封緘した後、マスコンクリートの温度変化を模擬した温度履歴を環境試

験機によって与えた。このシリーズでは普通ポルトランドセメント(以下NPC)、高炉セメントB種(以下BB)、低発熱型高炉セメント(以下LBB)の三種類のセメントを用いた。それぞれのセメントの化学成分を表-1に、各セメントの発熱特性を考慮に入れた温度履歴のパターンを

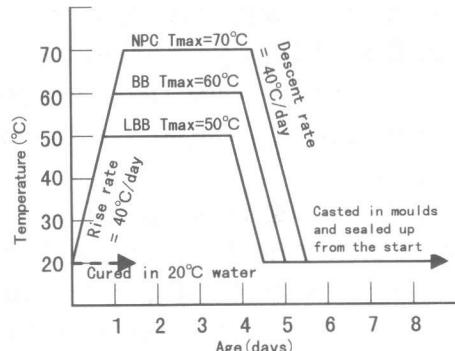


図-1 人為的に与えた温度履歴のパターン

表-1 使用したセメントの化学組成

Type of cement	Chemical composition (%)							Total	
	ig. loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		
NPC	1.0	0.4	21.8	5.8	2.6	63.4	1.5	2.2	98.7
BB	1.3	0.5	25.6	9.0	1.7	55.8	2.6	2.1	98.6
LBB	0.2	0.0	29.8	9.3	2.1	51.3	3.4	1.6	97.6

- * 1 東亜建設工業(株) 技術研究所 材料・構造研究室室長 工博 (正会員)
- * 2 運輸省港湾技術研究所 計画設計基準部 部長 工博 (正会員)
- * 3 住友大阪セメント(株) 関東技術センター 所長 工博 (正会員)
- * 4 運輸省港湾技術研究所 構造部・材料研究室 室長 工博 (正会員)

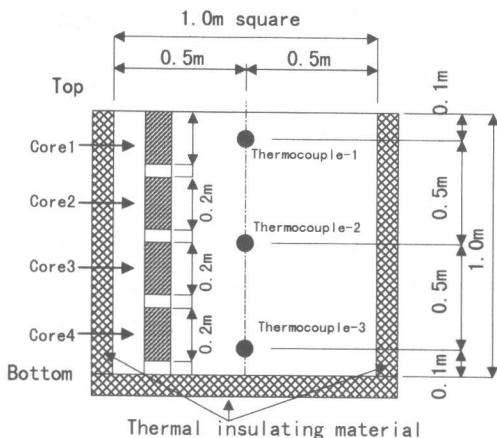


図-2 ブロック供試体の概要

図-1 に示す。詳細な実験条件については文献 1) を参照されたい。

第 2 シリーズは、上記三種類のセメントを用いた水セメント比 55% のコンクリートを $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の簡易鋼製型枠に打込み、第 1 シリーズと同様な条件で封緘後に温度履歴を与えた。詳細な実験条件は文献 2) を参照されたい。

これら 2 つのシリーズの供試体は、温度履歴を与えた後、20°C の室内に封緘したまま気中養生を行った。

第 3 シリーズは、図-2 に示すように $1.0 \times 1.0 \times 1.0\text{m}$ の供試体の外側を、上面を残して厚さ 100mm の発泡スチロールで囲み、その中に BB を使用した W/C=55% のコンクリートを打込んだ。養生は、打設後 3 日間表面を養生マットで覆って散水した。この実験は、実際のマスコンクリートの温度履歴を模擬するために行ったものである。供試体は、熱電対によって温度変化を計測し、シリーズ 1, 2 で人为的に与えた温度履歴と比較した。ブロックは養生後屋外に暴露し、所定材齢に達した段階でコアを採取し整形後に各試験に供した。ただし、材齢 6.5 年の供試体は、打設して約 1 年間屋外に暴露されたブロック供試体から $\phi 100\text{mm}$ のコアを採取し、所定の長さに切断して 20°C の水中に浸漬した。

これらの作業の過程で、コア採取から水中浸漬まで 5 ヶ月ほど 20°C, RH=60% の室内に置か

れたが、その後の数年間の水中養生により、この間の乾燥の影響は小さいものと考えられる。

なお、いずれのシリーズにおいても 20°C の水中で養生(標準養生)を行った供試体を作成し、設計基準強度や基本的な物性値の相違を比較した。

コンクリートの配合や詳細な試験方法については文献 3) を参照されたい。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度とヤング係数

モルタル供試体の材齢 6.5 年までの圧縮強度を図-3～図-5 に示す。いずれのセメントにおいても、初期に温度履歴を受けることにより、材齢 7 日では標準養生よりも高い強度を示してい

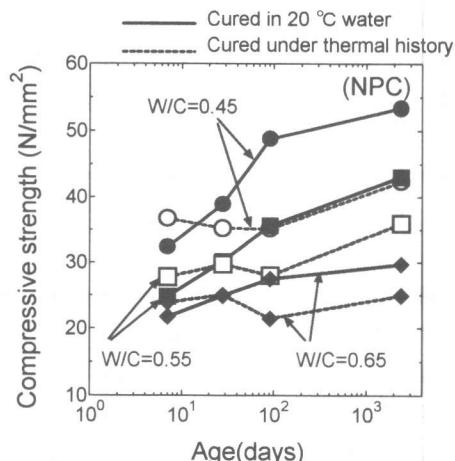


図-3 モルタルの圧縮強度 (NPC)

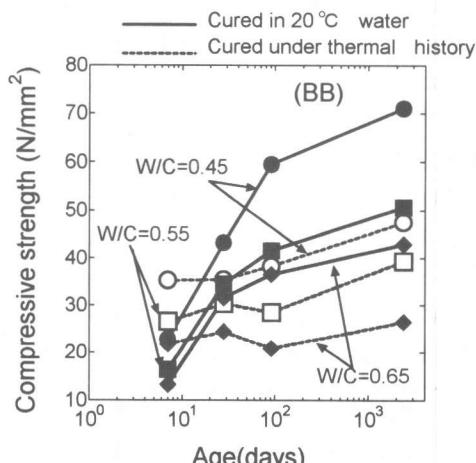


図-4 モルタルの圧縮強度 (BB)

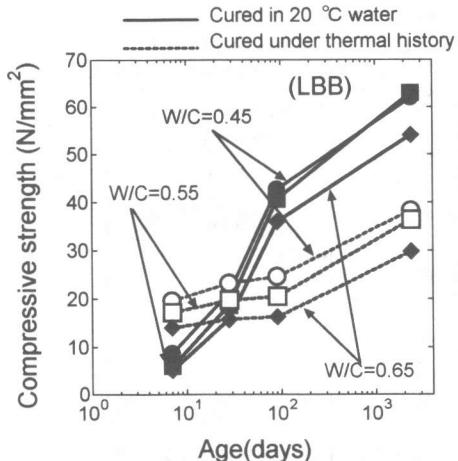


図-5 モルタルの圧縮強度 (LBB)

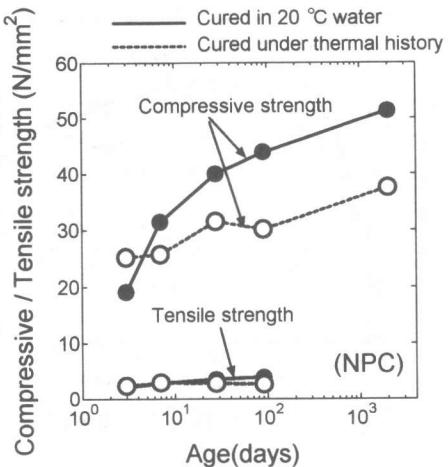


図-6 コンクリートの圧縮強度 (NPC)

るが、その後の増加が小さいことがわかる。

材齢が進むにしたがって温度履歴を受けた供試体の圧縮強度も徐々ではあるが増加しており、NPC および BB 供試体の大部分が、材齢 6.5 年の段階で設計基準強度（材齢 28 日の標準養生供試体の圧縮強度）を上回っている。しかし、LBB 供試体の場合は、設計基準強度を材齢 91 日に設定する場合が多く、この場合には温度履歴を受けた供試体は材齢 6.5 年経過しても設計基準強度に達していないことがわかる。

温度履歴を与えたコンクリート供試体の材齢 5.5 年までの傾向は、図-6～図-8 に示すようにモルタル供試体と同様であり、温度履歴を受けることにより、圧縮強度および引張強度の増加が小さく、結果的には材齢 28 日で得られる強度と同程度であった。

BB を用いたブロック供試体のコンクリートは、図-9 に示す温度履歴を示した。中心部では、温度上昇量が約 30°C、上昇速度が 20°C/day 程度であり、シリーズ 1, 2 の BB のケースよりも若干穏やかな履歴を示している。材齢 4.5 年までのコア供試体の圧縮強度の変化を図-10 に示す。ばらつきは見られるものの、ブロック表面付近から採取したコアの圧縮強度の増加が少なく、ブロックの下部にいくにしたがって圧縮強度が標準養生供試体に近づく傾向が確認された。これは、コンクリートの上載圧やブリーデ

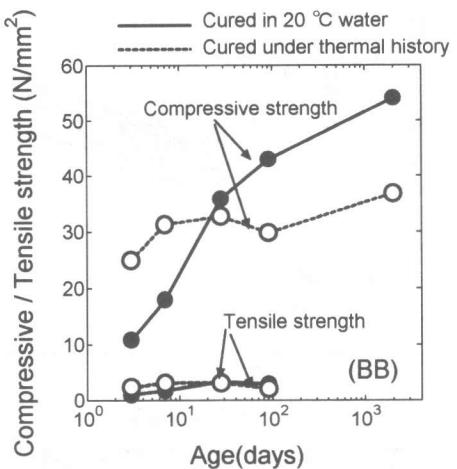


図-7 コンクリートの圧縮強度 (BB)

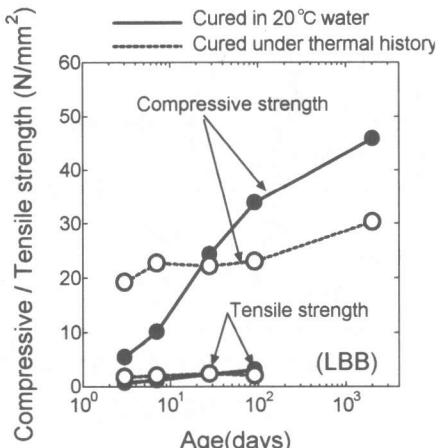


図-8 コンクリートの圧縮強度 (LBB)

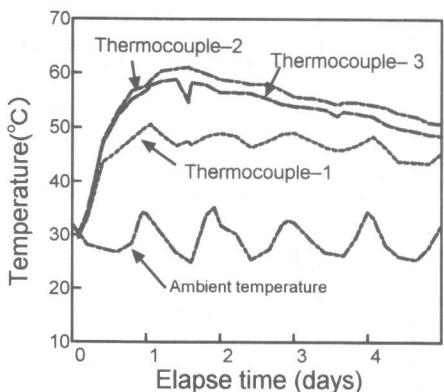


図-9 ブロック供試体の温度変化

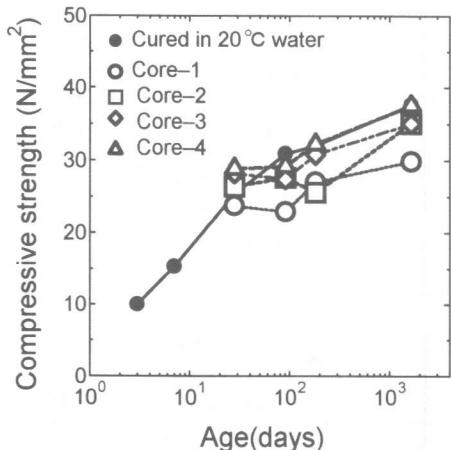


図-10 ブロック供試体の圧縮強度

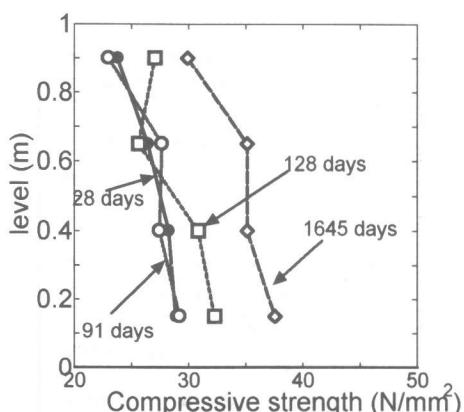


図-11 高さ方向の圧縮強度

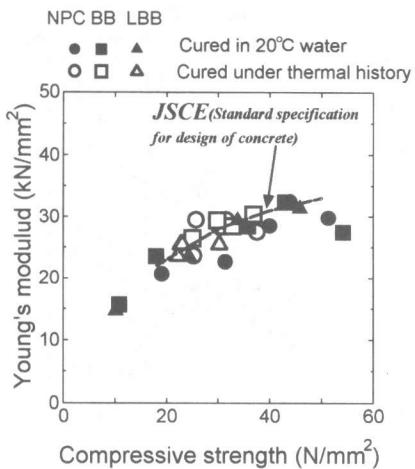


図-12 圧縮強度とヤング係数の関係
(コンクリート供試体)

イングの影響なども推測され、その傾向は図-11からも確認できる。

しかし、表面付近のコンクリートの強度発現特性や、さらには長期材齢において安定的に期待できる圧縮強度が水中養生供試体の材齢28日程度の値であることなど、温度履歴を与えたモルタル供試体などと同様な傾向を示している。

コンクリート供試体の圧縮強度とヤング係数の関係を図-12に示す。この関係には温度履歴の影響が見られず、土木学会のコンクリート標準示方書に示された値と良く一致している。

3.2 塩水浸漬試験

塩分浸透深さは、所定の材齢で供試体を海水中に浸漬し、2ヶ月後に割裂して断面に、0.1N硝酸銀溶液と0.1%フルオレセインナトリウム水溶液を噴霧し、蛍光を発した部分を測定した。

モルタル供試体における、温度履歴が塩化物イオン浸透深さに及ぼす影響を図-13～図-15に示す。いずれのセメントの場合も、標準養生供試体の材齢6.5年では塩化物イオン浸透深さが非常に小さい。一方、温度履歴を受けた場合には、材齢の進行に伴って若干小さくなっているが、6.5年後においても温度履歴の影響が残っていることがわかる。

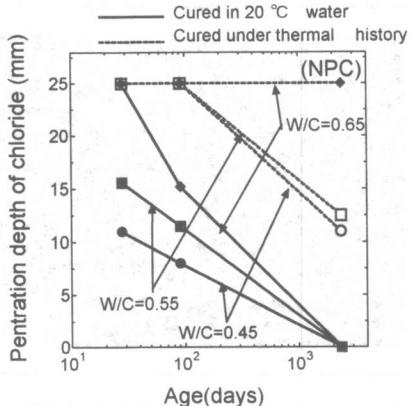


図-13 モルタルの塩化物イオン浸透深さ(NPC)

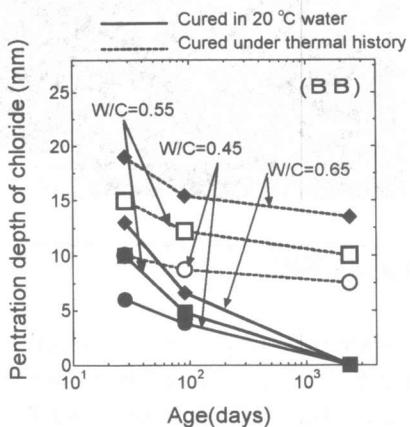


図-14 モルタルの塩化物イオン浸透深さ(BB)

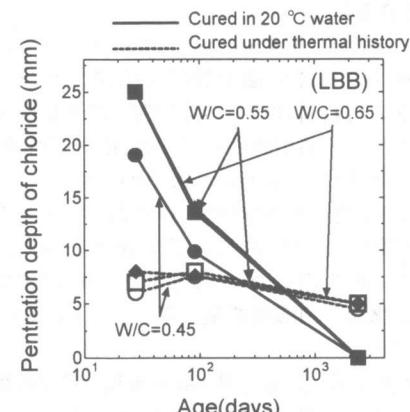


図-15 モルタルの塩化物イオン浸透深さ(LBB)

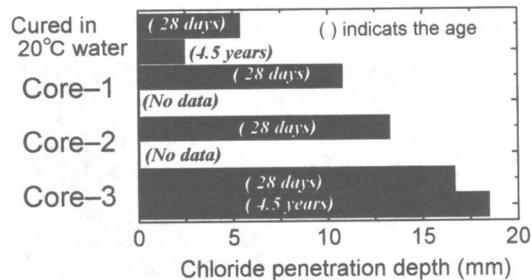


図-16 ブロックの塩化物イオン浸透深さ(BB)

温度履歴を受けた NPC のモルタルは標準養生供試体に比較して浸透深さが大きく、水セメント比の影響によって大きく異なっていることがわかる。BB の場合も水セメント比と塩化物イオン浸透深さには相関関係が認められる。しかし、水セメント比 55% の BB の塩化物イオン浸透深さは NPC の 45% よりも小さくなっていることから、スラグの効果が考えられる。

LBB の場合には、温度履歴を受けても塩化物イオン浸透深さが他のセメントに比較して小さく、水セメント比の影響も小さい。しかし、温度履歴を受けていない標準養生供試体において、若材齢での塩化物イオン浸透深さが大きくなっている。これは、初期の水和反応が十分進んでいなかったことが原因の一つと想定される。

ブロック供試体の試験結果を図-16 に示す。各層の塩化物イオンの浸透深さは、圧縮強度の場合と異なり、コアの位置が深くなるにしたがって大きくなり、いずれの値も標準養生供試体に比較して大きい。さらに、材齢 4.5 年でもコア供試体の塩分浸透深さは低下していない。この傾向はモルタル供試体の場合と同様であり、長期にわたる温度履歴の影響が確認された。

3.3 細孔構造

BB を用いたモルタル供試体の材齢 91 日と材齢 6.5 年における SEM 観察の結果を図-17 に示す。

標準養生供試体の場合は、材齢 91 日からカルシウムシリケート水和物が全体に見られ、材齢 6.5 年では緻密な組織を作っている。一方、

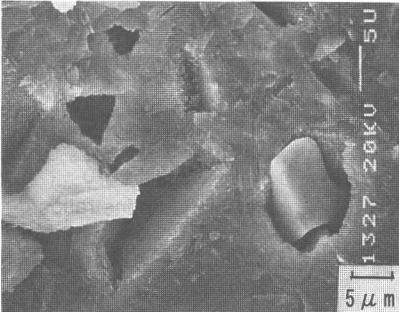
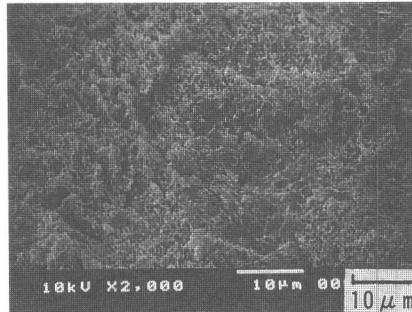
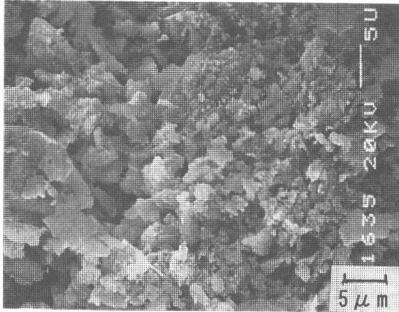
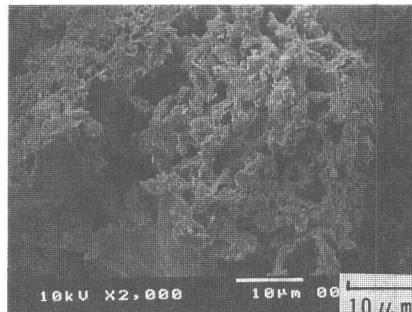
	材齢 91 日	材齢 6.5 年
標準養生		
温度履歴		

図-17 モルタル(BB)の細孔構造(SEM 写真)

温度履歴を受けたモルタルの場合、材例 91 日では粒状の水和物が多数見られ、材齢が進むと、これらの表面を覆うようにカルシウムシリケート水和物など生成しているようである。しかし、この段階でも多数の空隙が見られ、組織が粗であることがわかる。

4. 結論

本研究の範囲で以下のことが確認された。

1. 初期に温度履歴を受けると、長期強度の増進が小さくなる。
2. 材齢 6.5 年までの試験結果では、温度履歴を受けた供試体の圧縮強度は、標準養生供試体の材齢 28 日で得られる値に近い。
3. 塩化物イオンの浸透深さは、温度履歴を受けると大きくなり、材齢が進んでもその影響は残る。これは、初期の水和生成物の形態が長期材齢においても影響を及ぼすことが原因と考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、東亜建設工業(株)秋葉泰男氏ならびに住友大阪セメント(株)湯子卓子氏には、実験・分析において多大なご協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 福手勤・守分教郎・鈴木康範：マスコンクリートとしての温度履歴を受けたコンクリートの材料特性-主に耐久性に着目したモルタルによる基礎実験-, 港湾技術研究所報告, Vol. 32, No. 2, pp. 251-269, 1993. 6
- 2) 秋葉泰男・竹村英樹・福手勤・守分教郎：若材齢において温度履歴を受けるコンクリートの耐久性について, 土木学会第 48 回年次学術講演会講演概要集, 第 5 部, pp. 200-201, 1993. 9
- 3) 秋葉泰男・大塚昭男・武村英樹・守分教郎：温度応力対策を施したマスコンクリートの力学特性と耐久性に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 1, pp. 971-976, 1994. 6