

論文 打込みから養生までの温度の違いが硬化コンクリートの品質に及ぼす影響

關 裕司^{*1}・三本 巖^{*2}・女屋 英明^{*3}・斉藤 丈士^{*4}

要旨: 暑中コンクリートにおいては高温によりコンクリートの品質が低下する場合のあることが知られているが、打込みから養生までのいずれの取扱い時期における高温がコンクリートの品質に影響を及ぼしているかは不明である。このため、練上りのコンクリート温度、打込みから脱型までの初期における養生温度ならびに脱型から試験に供するまでの養生方法および温度を変化させて実験を行い、硬化コンクリートの品質を調べた。この結果、圧縮強度は打込みから脱型までの初期における養生温度が高い場合に低下する傾向にあることを明らかにした。

キーワード: 暑中コンクリート, 練上り温度, 初期養生温度, 養生温度, 圧縮強度

1. はじめに

暑中コンクリート工事においては、荷卸し時のコンクリート温度が高いと種々の不具合を生じやすくなることがよく知られており、2003年版JASS5においては、荷卸し時のコンクリート温度は35℃以下とされていた¹⁾。この温度は、コンクリートの練上り温度が一般に平均気温より5℃高くなることや輸送中におけるコンクリート温度の上昇量が2~4℃であることから、平均気温が25℃の場合に対応する荷卸し時のコンクリート温度が32~34℃となることを根拠として決められたとされている¹⁾。しかし、実際には、荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超えることが各地域で確認されている²⁾ことや、近年は暑中期における気温が徐々に高くなっている³⁾ことなどを受けて、2009年版JASS5では、暑中コンクリート工事の荷卸し時のコンクリート温度は、「原則として35℃以下とする」ことに改められた⁴⁾。これによって、荷卸し時に35℃を超えるコンクリートも一部で受入れができるようになる可能性がある。しかしながら、荷卸し時のコンクリート温度が35℃を境にして、コンクリートの品質が急激に変化しないことを示すデータ⁵⁾は極めて少ない。また一方で、荷卸し・打込みから養生・脱型などの各取扱い時期のいずれにおいて高温がコンクリートの品質に顕著な影響を与えるのかは不明な部分がある。

そこで、本研究は、打込みから養生までのいずれの時期におけるコンクリート温度の違いが、コンクリートの品質に影響を及ぼすかを明らかにするために実験的検討を行ったものである。ここでは、練上りのコンクリート温度ならびに採取したコンクリートの打込みから脱型までの各時期におけるコンクリート温度を変化させたとき

の、硬化コンクリートの品質の違いについて検討した結果を述べる。

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験に使用した材料は、セメントが普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントおよび低熱ポルトランドセメント、練混ぜ水が上水道水、細骨材が千葉県富津産の山砂、粗骨材が高知県鳥形山産の石灰砕石2005である。なお、化学混和剤にはポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤と変性ロジン酸化合物系の AE 剤を用いた。使用材料の概要を表-1に示す。なお、以下の図表において、セメントの種類は表-1に示した記号で表している。

2.2 コンクリートの配合(調合)

コンクリートの配合(調合)条件は、普通ポルトランドセメントを用いたレディーミクストコンクリートの実績を参考として、水セメント比を呼び強度42に相当する39.5%とし、スランブは18±1.5cm、空気量は4.5±1.0%とした。なお、高性能AE減水剤には、目標練上り温度が20℃の場合には標準形、40℃の場合には遅延形を用いた。また、練上りのコンクリート温度は、材料の温度および実験室の気温により調整し、練上りのスランブおよび空気量は、高性能AE減水剤およびAE剤の使用量により配合(調合)条件を満足するように調整した。コンクリートの配合(調合)を表-2に示す。

2.3 実験の変化要因と水準

実験の変化要因は、それぞれコンクリートの製造から打込みおよび養生までの各段階を想定して、練上り(供

*1 (株)内山アドバンス 中央技術研究所 修士(工学) (正会員)

*2 (株)内山アドバンス 技術部 (非会員)

*3 内山城南コンクリート工業(株) (非会員)

*4 (株)内山アドバンス 中央技術研究所 博士(工学) (正会員)

表－1 使用材料の概要

使用材料	種類	概要
セメント	普通ポルトランドセメント(N)	密度：3.16g/cm ³
	中庸熱ポルトランドセメント(M)	密度：3.21g/cm ³
	低熱ポルトランドセメント(L)	密度：3.22g/cm ³
細骨材	砂（千葉県富津産 山砂）	表乾密度：2.61 g/cm ³ ，吸水率：2.61%，粗粒率 2.58
粗骨材	砕石 2005（高知県鳥形山産 石灰石）	表乾密度：2.71 g/cm ³ ，吸水率：0.76%，実積率 61.0%
練混ぜ水	上水道水	千葉県浦安市
化学混和剤	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系
	AE 剤	変性ロジン酸化合物系

表－2 コンクリートの配合（調合）

セメントの種類	水セメント比 (%)	かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)				スランプ (cm)	空気量 (%)
			セメント	水	細骨材	粗骨材		
N	39.5	0.597	420	166	762	986	18±1.5	4.5±1.0
M	39.5	0.597	420	166	767	986		
L	39.5	0.597	413	163	783	986		

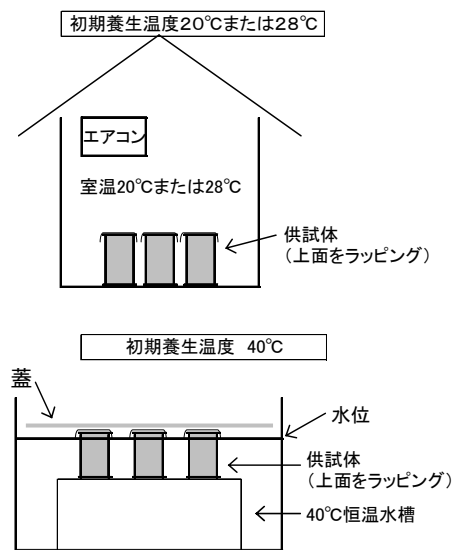
表－3 実験の変化要因および水準とその想定状況

変化要因	水準	想定状況
練上り温度 (打込み時の温度)	20℃	標準期の打込み時におけるコンクリート温度
	40℃	夏期の打込み時におけるコンクリート温度
初期養生温度 (打込みから脱型までの環境温度)	20℃	標準期または打込み直後に室内に移設する
	28℃	夏期において打込み後、現場内に保管する
	40℃	著しく気温が高くコンクリート温度が降下しない
養生温度 (脱型後の養生方法およびその温度)	20℃水中	標準養生
	20℃封かん	標準期の封かん養生
	28℃封かん	夏期の封かん養生

試体採取時のフレッシュコンクリート温度（以下、練上り温度と称する）、供試体の打込みから脱型まで（24時間）の環境温度（以下、初期養生温度と称する）および脱型から試験に供するまでの供試体の養生方法とその温度（以下、養生温度と称する）とした。実験の変化要因および水準とその想定状況を表－3に、初期養生方法の概要を図－1に示す。

2.4 試験項目と方法

試験項目は、フレッシュコンクリートについてスランプ（スランプフロー）、空気量およびコンクリート温度、硬化コンクリートについて圧縮強度、静弾性係数および長さ変化率（ただし、長さ変化率は普通ポルトランドセメントを用いた場合のみ測定）とし、各JIS試験方法に準じて試験を行った。なお、長さ変化率試験に用いる供試体は、脱型後から材齢7日まで20℃または28℃の水中で養



図－1 初期養生方法の概要

表-4 実験の変化要因と硬化コンクリートにおける試験項目の組合せ

セメントの種類	練上り温度	養生方法		硬化コンクリートにおける試験項目							
		初期養生温度	養生温度	圧縮強度				静弾性係数		長さ変化率	
				3日	7日	28日	56日	28日	56日		
N	20℃	20℃	20℃水中	○	○	○	○	○	○	○	○ ^{*1}
			20℃封かん	—	—	○	○	○	○	○	—
			28℃封かん	—	—	○	○	○	○	○	—
	40℃	20℃	20℃水中	○	○	○	○	○	○	○	○ ^{*1}
			28℃	20℃水中	○	○	○	○	○	○	○ ^{*2}
			40℃	20℃水中	○	○	○	○	○	○	○ ^{*2}
M・L	20℃	20℃	20℃水中	○	○	○	○	○	○	○	—
			20℃封かん	—	—	○	○	○	○	○	—
			28℃封かん	—	—	○	○	○	○	○	—
	40℃	20℃	20℃水中	○	○	○	○	○	○	○	—
			28℃	20℃水中	○	○	○	○	○	○	—
			40℃	20℃水中	○	○	○	○	○	○	—

*1：脱型後材齢7日までの養生は20℃水中とした。

*2：脱型後材齢7日までの養生は28℃水中とした。

生を行った。また、長さ変化率試験における環境条件は温度20±2℃、相対湿度60±5%とし、材齢7日に基長を測定した後に試験を開始し、測定は乾燥期間1, 4, 8, 13および26週において行った。実験の変化要因と硬化コンクリートにおける試験項目の組合せを表-4に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-5に示す。フレッシュコンクリートの品質は、いずれの配合（調合）においても化学混和剤の使用量を調整することによって配合（調合）条件を満足した。また、練上り温度は、目標練上り温度±2℃以内であった。

3.2 圧縮強度

(1) 練上り温度の影響

初期養生温度が20℃、養生温度が20℃水中の場合について、練上り温度ごとの圧縮強度を図-2に示す。いずれのセメント種類においても、すべての材齢で練上り温度20℃よりも練上り温度40℃の方が圧縮強度は大きくなった。この差は、普通ポルトランドセメントを用いた場合には材齢にかかわらずあまり大きくなく、中庸熟ポルトランドセメントを用いた場合には材齢にかかわらずやや大きく、低熟ポルトランドセメントを用いた場合には材齢28日以降にやや大きかった。これより、練上り温度の違いが圧縮強度に及ぼす影響は、比較的強度発現の緩やかなセメント組成化合物であるビーライト(C₂S)の含有量⁹⁾と関係している可能性がある。

表-5 フレッシュコンクリートの試験結果

セメントの種類	目標練上り温度	高性能AE減水剤添加率(C×wt%)	スランブ(cm)	スランブフロー(cm)	空気量(%)	CT* (°C)
N	20℃	0.90	18.5	32×31	4.7	20
	40℃	0.85	18.5	33×32	4.4	38
M	20℃	0.60	18.0	32×30	5.0	21
	40℃	0.60	19.0	33×32	4.5	39
L	20℃	0.60	18.5	34×33	5.0	21
	40℃	0.65	19.5	34×33	4.6	39

CT*：コンクリート温度

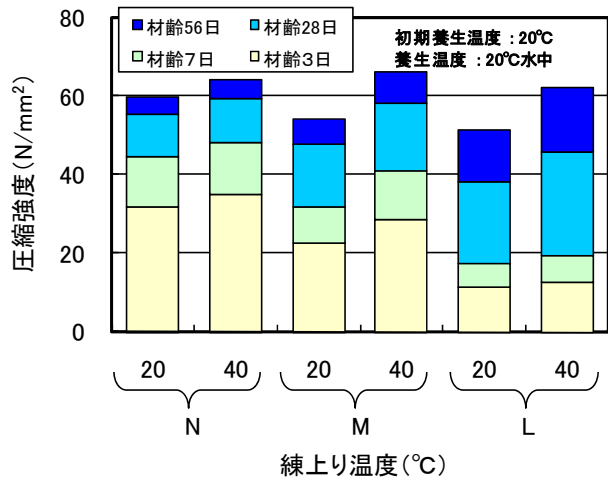


図-2 練上り温度ごとの圧縮強度

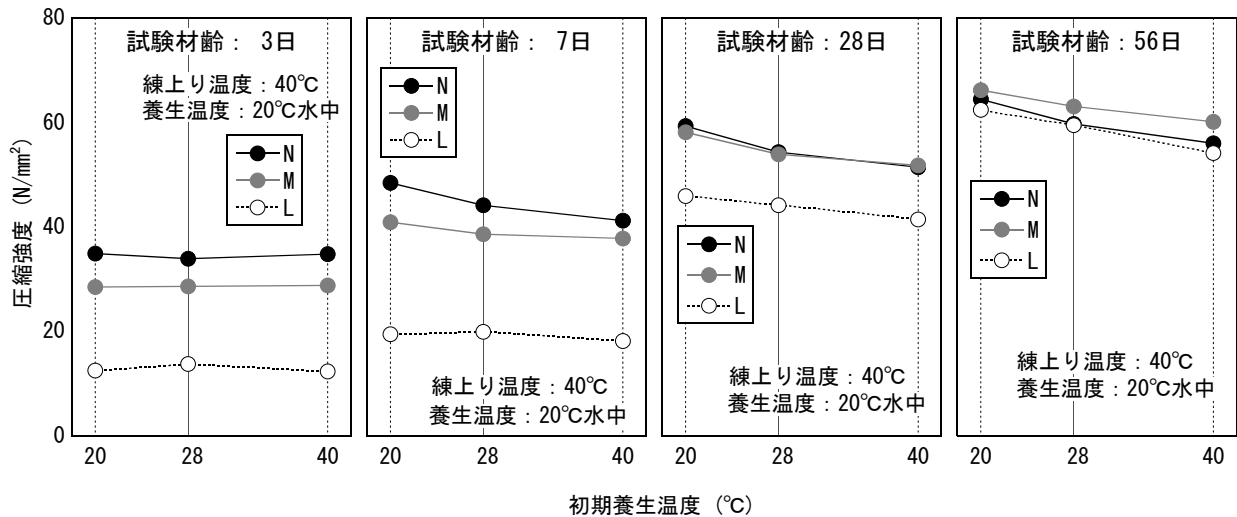


図-3 初期養生温度と圧縮強度の関係

(2) 初期養生温度の影響

練上り温度が40°C、養生温度が20°C水中の場合について、各材齢における初期養生温度と圧縮強度の関係を図-3に示す。材齢3日では、いずれの種類のセメントを用いた場合においても初期養生温度が圧縮強度に及ぼす影響は明確ではなかった。材齢7日では、普通ポルトランドセメントおよび中庸熱ポルトランドセメントを用いた場合に初期養生温度が高いほど圧縮強度が低くなる傾向となった。また、材齢28日および材齢56日では、いずれの種類のセメントを用いた場合においても初期養生温度が高いほど圧縮強度が低くなる傾向となった。これより、初期養生温度は圧縮強度に影響を及ぼし、その影響は、強度発現の速いセメントを用いるほど早く現れると考えられる。

(3) 養生温度の影響

練上り温度が20°C、初期養生温度が20°C、養生方法が封かん養生の場合について、養生温度ごとの圧縮強度を図-4に示す。圧縮強度は、セメントの種類および材齢にかかわらず、養生温度が20°Cよりも28°Cの方が大きくなった。また、その差は普通ポルトランドを用いた場合に小さく、中庸熱ポルトランドセメントおよび低熱ポルトランドセメントを用いた場合に材齢28日において大きかった。セメント種類によって養生温度の違いによる圧縮強度の差の程度が異なることは、セメントの含有する組成化合物の水和反応速度ならびにその含有量の違い⁹⁾に起因していると考えられる。

3.3 静弾性係数

練上り温度ならびに初期養生温度ごとの圧縮強度と静弾性係数の関係を図-5に、養生温度ごとの圧縮強度と静弾性係数の関係を図-6に示す。ただし、既往の文献⁷⁾において、セメント種類の違いは静弾性係数にあまり

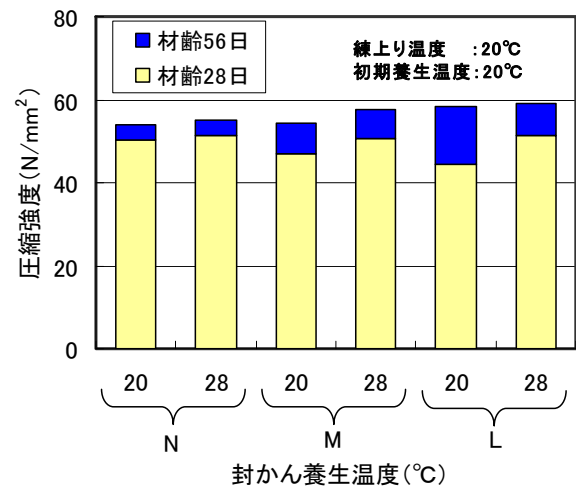


図-4 養生温度ごとの圧縮強度

り影響しないとされており、また、この傾向は本実験の結果においても同様であった。このため、ここではセメント種類については区別していない。この結果において、静弾性係数は、練上り温度、初期養生温度および養生温度の違いによる明確な傾向は見られず、全体に圧縮強度と静弾性係数の関係はJASS5式⁸⁾に近似していた。本実験の結果は、一般的なコンクリートにおける圧縮強度および静弾性係数の関係と同様であり、打込みから養生までの各取扱い時期における温度の違いは、静弾性係数に直接の影響を及ぼしていないと考えられる。

3.4 長さ変化率

(1) 練上り温度の影響

普通ポルトランドセメントを用いた場合における初期養生温度が20°Cの場合の、練上り温度ごとの乾燥期間と長さ変化率の関係を図-7に、練上り温度ごとの質量減少率と長さ変化率の関係を図-8に示す。図-7の図中には、日本建築学会の指針に示される推定式⁹⁾に本実験

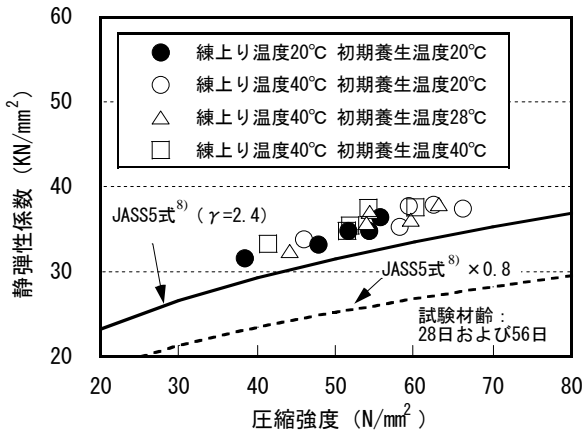


図-5 練上り温度ならびに初期養生温度ごとの圧縮強度と静弾性係数の関係

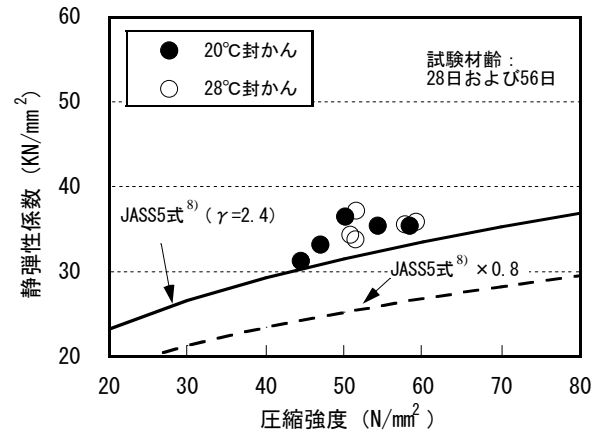


図-6 養生温度ごとの圧縮強度と静弾性係数の関係

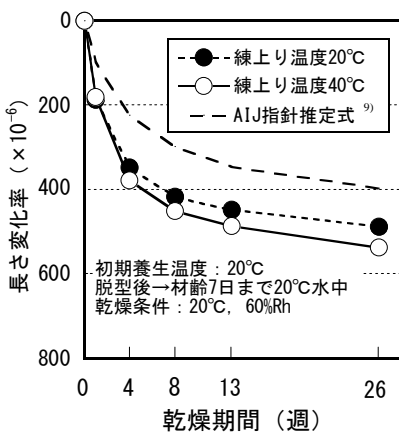


図-7 練上り温度ごとの乾燥期間と長さ変化率の関係

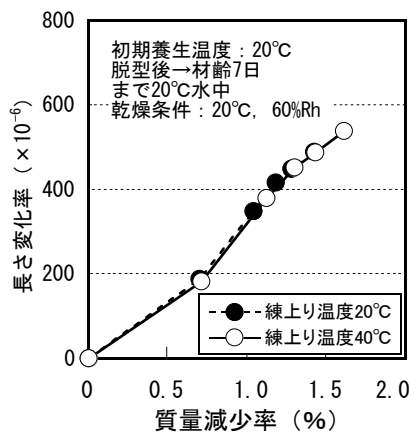


図-8 練上り温度ごとの質量減少率と長さ変化率の関係

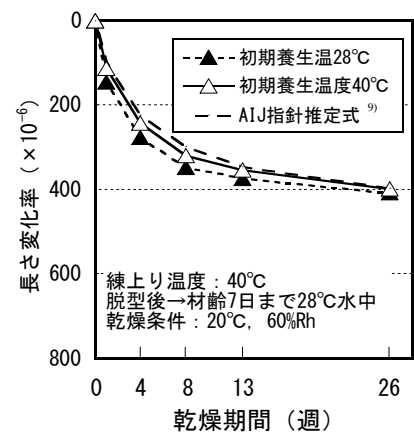


図-9 初期養生温度ごとの乾燥期間と長さ変化率の関係

の条件を当てはめた値を併記している。長さ変化率は、練上り温度20°Cの場合よりも40°Cの場合の方が若干大きく、その差は乾燥期間4週から生じ、乾燥期間が長くなるほど大きくなる傾向にあった。この原因は現時点では不明であるが、練上り温度が異なっても質量減少率と長さ変化率の関係がほぼ同等であることから、供試体内部における水分の移動に影響するコンクリートの内部組織の緻密さに何らかの差があったものと考えられる。

(2) 初期養生温度の影響

練上り温度40°Cの場合の初期養生温度ごとの乾燥期間と長さ変化率の関係を図-9に示す。乾燥材齢26週における長さ変化率は、初期養生温度が異なってもほぼ同等であり、いずれも日本建築学会の指針に示される推定式⁹⁾による推定値と同等であった。また、この値は、上述の練上り温度の影響を検討した場合（脱型から乾燥開始までの養生条件を20°C水中とした供試体）と比較して全体に小さかった。これは、本実験に用いた供試体の脱型から乾燥開始までの養生方法を28°C水中としたことにより、試験開始時における供試体コンクリートの強度が20°C水中で養生した場合よりも高くなっていたことが影響していると考えられる。

4. まとめ

打込みから養生までのいずれの時期における温度の違いがコンクリートの品質に影響を及ぼすかを明らかにするために、打込みから養生までの各時期におけるコンクリート温度を変化要因として実験を行い、硬化コンクリートの品質を調べた。この結果、次の知見を得た。

- (1) セメントの種類および材齢にかかわらず、練上り温度の高い方が圧縮強度は大きくなる傾向を示した。この差は、普通ポルトランドセメントを用いた場合には材齢にかかわらずあまり大きくなく、中庸熱ポルトランドセメントを用いた場合には材齢にかかわらずやや大きく、低熱ポルトランドセメントを用いた場合には材齢28日以降でやや大きかった。
- (2) セメントの種類にかかわらず、材齢28日以降における圧縮強度は、初期養生温度が高いほど低くなる傾向を示した。
- (3) セメントの種類にかかわらず、封かん養生した場合の圧縮強度は、養生温度の高い方が大きかった。
- (4) 練上り温度、初期養生温度および養生温度の違いが静弾性係数に及ぼす影響に明確な傾向は見られず、全体に圧縮強度と静弾性係数の関係はJASS5式に近

表-6 各取扱い時期における 35℃を超えるコンクリート温度が硬化コンクリートの品質に及ぼす影響

取扱い時期 (温度)	圧縮強度			圧縮強度 に対する 静弾性係数	長さ変化率
	材齢 3 日	材齢 7 日	材齢 28 日 以降		
打込み (練上り温度)	N, M : ◎ L : ○	N, M : ◎ L : ○	◎	○	N : △
脱型前 (初期養生温度)	○	N, M : △ L : ○	△	○	N : ○
脱型後～試験前 (養生温度)	—	—	◎	○	—

◎ : 温度が高いと品質が若干向上した。

○ : 温度は品質にあまり影響しなかった。

△ : 温度が高いと品質が若干低下した。

似していた。

- (5) 普通ポルトランドセメントを用いた場合の長さ変化率は、練上り温度の高い方が若干大きくなった。

以上の結果より、打込みから養生までの各取扱い時期における35℃を超えるコンクリート温度が硬化コンクリートの品質に及ぼす影響は表-6に示すようであり、圧縮強度は、打込みから脱型までの初期養生温度が高い場合に低下するが、いずれの取扱い時期においても、コンクリート温度が35℃を境にしてコンクリートの品質が急激に変化する傾向は見られなかった。したがって、構造体コンクリートの強度を供試体により管理する場合には、供試体の初期養生温度を構造体に近似させることにより誤差を小さくすることが可能と考えられる。

今後は、躯体の脱型時期を精度良く把握するために、温度が低い場合の若材齢コンクリートについて同様の検討を行う必要がある。

謝辞

本研究にあたり、清水建設株式会社 生産技術本部建築技術部 称原様、菅野様、東京建築第二事業部 中村様ならびに株式会社内山アドバンス中央技術研究所 白鳥所長より懇切丁寧なご指導を頂きました。また、実験に際して、BASFポゾリス株式会社よりご協力を頂きました。ここに付記して感謝の意を表します。

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2003, pp.370~371, 2003.2
- 2) 吉兼亨：暑中環境におけるコンクリート工事の諸問題と対策, 1989年度日本建築学会大会材料施工部門研究協議会参考資料, 1989.10
- 3) 松田拓：コンクリート受入検査の課題と今後の展望 -コンクリート温度の管理について-, 日本建築学会パネルディスカッション「現状のコンクリート品質管理はこれでよいのか」, pp.46~54, 2009.3
- 4) 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2009, p.60, 2009.2
- 5) 地濃茂雄, 仕入豊和：コンクリートの強度発現におよぼす温度履歴条件 (20~90℃) の影響, 日本建築学会論文報告集, 第337号, pp.9~14, 1984.3
- 6) セメント協会：セメントの常識, p.14, 2002.3
- 7) 友澤史紀, 野口貴文, 小野山貴造：高強度・超高強度コンクリートの基礎的力学特性に関する調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.497~498, 1990.10
- 8) 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2009, p.185, 2009.2
- 9) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひびわれ制御設計・施工指針 (案) ・同解説, p.53, 2006.2