

# 報告 暑中期におけるコンクリートの品質確認試験結果

白石 篤雄\*1・三本 巖\*2・高松 裕一\*3・川島 靖\*4

**要旨:** 全国生コンクリート工業組合連合会関東1区地区本部技術委員会は、年々懸念される荷卸し時のコンクリート温度35℃超えを受け、暑中コンクリート検討ワーキンググループを立ち上げ、2012年度から3年間、実機練りによる練上り温度35℃以下と35℃超えのコンクリートについて、フレッシュ性状および硬化性状に関する比較検討を行った。この結果、いずれの年も35℃以下と35℃超えコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状の結果に有意な差は見られないことが確認された。しかし、供試体作製から所定の養生開始までの初期養生温度は35℃以下と35℃超えコンクリートの圧縮強度に影響を与えることが明らかとなった。

**キーワード:** 暑中コンクリート, コンクリート温度, 初期養生, 圧縮強度, 分散分析, フレッシュ性状, 硬化性状

## 1. はじめに

近年の地球温暖化に伴う夏期の気温上昇およびコンクリートの高強度化等の影響を受け、暑中期に納入する荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超えるケースが先々顕在化することが想定される。

JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」では、コンクリート温度は購入者と生産者との協議事項であるが、「日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009」(以下、JASS 5 と称す)で規定する「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」が適用されているのが現状である。そのため、生コンクリート工場(以下、生コン工場と称す)は荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超えないよう材料温度の上昇を抑制するなど対策を講じているが、外気温の上昇に伴うコンクリート温度上昇を制御することはとても困難である。

そこで、全国生コンクリート工業組合連合会関東1区地区本部技術委員会では暑中コンクリート検討ワーキンググループを立ち上げ、2012年度から3年間、日平均気温の平年値が25℃を超えるJASS 5での暑中コンクリートの適用期間において、現在適用されている35℃以下のコンクリート(本稿では、荷卸し時の想定温度が32~35℃)と35℃を超えるコンクリート(本稿では荷卸し時の温度が37~38℃)との比較をするために、コンクリートのフレッシュ性状、硬化性状および供試体の作製から標準養生開始までの養生(以下、初期養生と称す)条件(初期養生の温度および期間)が圧縮強度に与える影響を確認するために、実機試験を行った。

## 2. 概要

### 2.1 実施場所および実施時期

実機試験は、東京の湾岸地区に立地する生コン工場で行い、実施時期は2012年8月7日(以下、実機①と称す)、2013年8月5日(以下、実機②と称す)および2014年8月6日(以下、実機③と称す)で、天候はいずれも晴れであった。

### 2.2 使用材料と配(調)合

実機試験に使用した材料を表-1に示す。練上り温度35℃以下のコンクリート(以下、35℃以下コンクリート、図および表では35℃以下と称す)は、表-1の材料を使用し、練上り温度35℃超えのコンクリート(以下、35℃超えコンクリート、図および表では35℃超と称す)は、表-1に示す材料で、練上り温度をできるだけ上げるために、水は温水約50℃、セメントは試験当日にセメント工場から直送したものを使用した。次に、コンクリートの配(調)合を表-2に示す。東京地区で建築の躯体工事において使用される一般的な配(調)合を選択し、35℃以下コンクリート、35℃超えコンクリートとも化学混和

表-1 使用材料

材料名(記号)	種類(品質および主成分)
セメント (C)	普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm <sup>3</sup> )
水 (W)	工業用水
細骨材	(S1) 山砂: 千葉県市原市 (表乾密度 2.60g/cm <sup>3</sup> )
	(S2) 砕砂: 栃木県佐野市 (表乾密度 2.66g/cm <sup>3</sup> )
粗骨材 (G)	砕石: 栃木県佐野市 (表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup> )
化学混和剤 (AD)	高性能 AE 減水剤遅延形 (密度 1.08 g/cm <sup>3</sup> , ポリカルボン酸コポリマー)

\*1 玉川生コンクリート協同組合 (正会員)

\*2 (株)内山アドバンス 技術本部

\*3 東京コンクリート (株)砂町工場

\*4 クマコン熊谷 (株)大宮工場

表-2 コンクリートの配(調)合(36-18-20N)

コンクリート 温度の区分	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					添加率(C×wt%)		
			W	C	S1	S2	G	AD		
								実機①	実機②	実機③
35℃以下	46.5	46.7	170	366	492	329	964	1.20	1.35	1.35
35℃超								1.40	1.50	1.50

表-3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	概要
スランプ	JIS A 1101	経時変化試験 (練混ぜ直後から 120 分まで 30 分おきに試料採取後、試験を実施)
空気量	JIS A 1128	
コンクリート温度	JIS A 1156	
ブリーディング <sup>※1</sup>	JIS A 1123	試験箇所：20℃屋内・常温の屋外 <sup>※3</sup>
凝結時間 <sup>※1</sup>	JIS A 1147	
圧縮強度 <sup>※2</sup>	JIS A 1108	供試体の種類は、標準養生、簡易断熱養生、模擬柱(コア供試体)とし、表-4 による
静弾性係数 <sup>※2</sup>	JIS A 1149	材齢：28 日(標準養生)
長さ変化率 <sup>※2</sup>	JIS A 1129-2	測定材齢：基長測定後 1,2,3,4,8,13,26 週
促進中性化 <sup>※2</sup>	JIS A 1153	測定材齢：前養生後 1,4,8,13,26 週
凍結融解 <sup>※2</sup>	JIS A 1148	測定時期：30 サイクル毎,300 サイクルまで

※1：練混ぜ 60 分後に試料を採取し、試験を実施した。

※2：練混ぜ 60 分後に試料を採取し、供試体を作製した。

※3：実機②と実機③で実施した。

表-4 圧縮強度供試体の種類、初期養生方法および試験材齢

養生の区分	初期養生		養生方法	圧縮強度試験材齢				実施 時期
	保管場所 (環境条件・温度)	保管期間		7 日	28 日	56 日	91 日	
標準 A	屋内 (20℃)	24 時間	標準養生	○	○	○	○	実機① 実機② 実機③
標準 B	屋内 (30℃)	24 時間						
標準 B'	屋内 (30℃)	48 時間						
標準 C	屋外 (日陰・常温)	24 時間						
簡易断熱	JASS 5 T-606 による		-	○	○	○	○	実機①
模擬柱(コア供試体)	JASS 5 T-605 による(材齢 91 日まで屋外曝露・ 部材寸法 1000×1000×1000mm)							

剤を除く単位量は同一とした。化学混和剤の添加量は、練混ぜ開始から荷卸しまでの時間を 60 分と想定し、運搬時間によるスランプ低下を考慮し、荷卸し時の品質を満足するように表-2 に示す添加率とした。練混ぜには生コン工場の 3.0m<sup>3</sup> 強制練りミキサ(水平 2 軸形)を用い、1 バッチの練混ぜ量は 2m<sup>3</sup> とした。全ての材料投入後 45 秒間練混ぜ、2 バッチ合わせて 4m<sup>3</sup> とし、アジテータ車に積込後、各試験開始時間までドラムを低速回転しながら、生コン工場内の直射日光が当たる場所で待機させた。

### 2.3 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-3 に示す。JIS A 5308 の製品検査および JASS 5 (受入時の検査および構造体コンクリート強度の検査)<sup>1)</sup> では、圧縮強度の試験に用いる標準養生供試体について、初期養生の取り扱い方法が異なる。そこで、初期養生の違いが強度発現に及ぼす影響を確認するため、条件を表-4 に示すとおり、24 時間 20℃の屋内で保管した供試体(以下、標準 A と称す)、24 時

間 30℃の屋内で保管した供試体(以下、標準 B と称す)、打設日の翌日が休日の場合を想定し、48 時間 30℃の屋内で保管した供試体(以下、標準 B' と称す)および屋外の日陰・常温(3 年間の実機試験において、供試体作成後 24 時間の最高気温は 34.7~36.9℃、最低気温は 24.8~28.4℃、平均気温は 28.8~31.5℃)で保管した供試体(以下、標準 C と称す)とした。なお、各試験の試料採取は JIS A 1115 (フレッシュコンクリートの試料採取方法)で行った。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 フレッシュコンクリートの性状

##### (1) コンクリート温度

コンクリート温度の経時変化を図-1 に示す。荷卸しを想定した経時 60 分で、35℃以下コンクリートは 33~34℃、35℃超えコンクリートは 37~38℃であった。いずれのコンクリートおよび時期においても、経過時間によりコンクリート温度は上昇する結果であった。

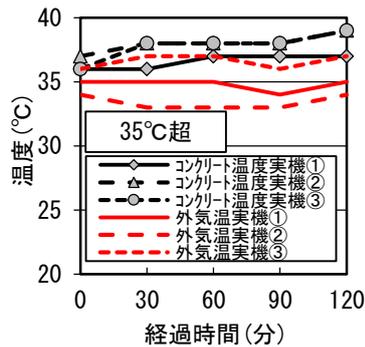
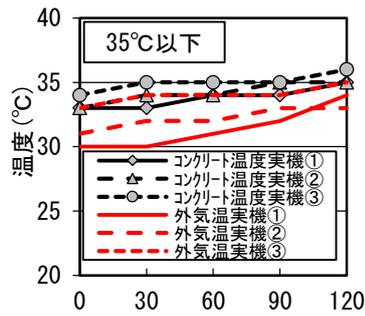


図-1 コンクリート温度の経時変化

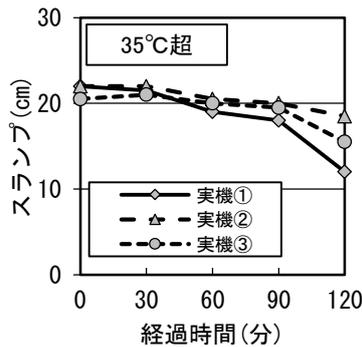
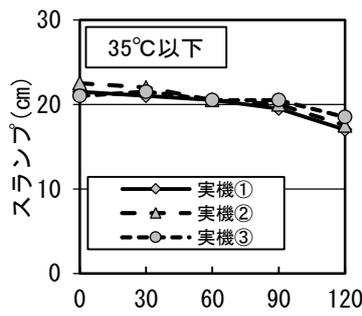


図-2 スラップの経時変化

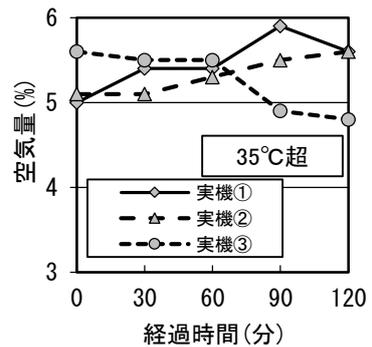
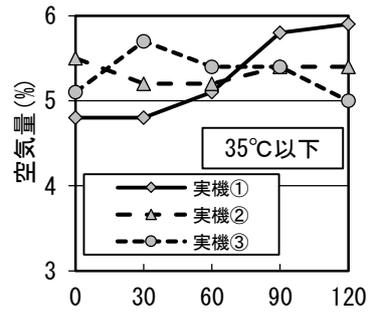


図-3 空気量の経時変化

(2) スラップ

スラップの経時変化を図-2 に示す。35°C以下コンクリートは、いずれの時期においても概ね緩やかに低下し、経時120分でも規格値18.0±2.5cmを満足する結果となった。35°C超えコンクリートは、いずれの時期においても経時90分までは概ね緩やかに低下し、規格値18.0±2.5cmを満足する結果となったが、経時90分を超えてからスラップの低下が大きく、実機①の経時120分では規格値から外れる結果となった。これは、実機①では、実機②および実機③と比較して、化学混和剤の添加量が少なかったためと考えられる。

(3) 空気量

空気量の経時変化を図-3 に示す。空気量は、経過時間により若干のばらつきがあるものの、いずれのコンクリートおよび時期においても、経時120分でも規格値4.5±1.5%を満足した。

(4) 凝結時間

コンクリートの凝結試験の結果を表-5 に示す。実機②のみコンクリート温度の違いによる凝結時間の差が見受けられた。実機③と比較して、試験環境または混和剤の添加量が同じであったにも関わらず、差が見受けられたが、原因の特定には至っていない。

(5) ブリーディング

ブリーディング試験結果を表-6 に示す。日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設

計・施工指針(案)・同解説」において収縮ひび割れ制御から規定された0.3cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>以下<sup>2)</sup>を満足し、35°C以下コンクリートより35°C超えコンクリートの方が、ブリーディング量は小さかった。ただし、3年間の測定において採取された水量は、最大でも約7mLと微量であったため、実験結果の再現性を検討する必要があると考えられる。よって、屋内と屋外の違いあるいは、採取時期の違いに対するブリーディングの傾向を本実験結果から判断するには早計である。

表-5 コンクリート凝結試験の結果 単位(時間-分)

	実機①		実機②		実機③	
	35°C以下	35°C超	35°C以下	35°C超	35°C以下	35°C超
始発	5-58	6-05	6-16 (4-37)	7-27 (5-10)	8-53 (4-53)	8-40 (4-53)
終結	8-03	8-00	7-56 (5-34)	9-20 (6-20)	11-03 (5-33)	11-12 (5-47)

注:( )内は屋外での結果

表-6 ブリーディング試験の結果 単位(cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>)

実機①		実機②		実機③	
35°C以下	35°C超	35°C以下	35°C超	35°C以下	35°C超
0.0055	0.0035	0.0039 (0.0089)	0.0038 (0.0029)	0.0120 (0.0145)	0.0020 (0.0020)

注:( )内は屋外での結果

### 3.2 硬化コンクリートの性状

#### (1) 圧縮強度

##### a. 練上り温度の影響

標準 A における 35°C以下コンクリートおよび 35°C超えコンクリートの圧縮強度の関係を図-4 に示す。この結果、35°C以下コンクリートに対し、いずれの時期も材齢 7 日における強度で 35°C超えコンクリートの方が高めの傾向が見られるものの、全ての材齢において、概ね±5%の範囲内であった。

##### b. 初期養生温度の影響

35°C以下コンクリートおよび 35°C超えコンクリートにおける初期養生の環境温度の違いによる圧縮強度について、標準 A に対する強度比を図-5 および図-6 に示す。この結果、初期養生温度が異なる場合では、35°C超えコンクリートも 35°C以下コンクリート同様、標準 A に対し標準 B では 1~5%程度、標準 C では 6~12%程度低下する傾向が見られた。この原因として、標準 B では屋内の平均環境温度が約 30°Cの高温で初期養生を行ったこと、標準 C では屋外の平均環境温度が約 30°Cおよび初期養生期間中の最高温度が 35~37°Cであったためと考えられる。これより、初期養生期間中に高温履歴を受けると強度が低下する傾向にあることが確認された。

##### c. 初期養生期間の影響

35°C以下コンクリートおよび 35°C超えコンクリートについて、初期養生期間を 30°Cの屋内で 24 時間（標準 B）あるいは 48 時間（標準 B'）とした場合の圧縮強度の比較を図-7 に示す。この結果、JIS A 5308 または JASS 5 における管理用供試体の養生条件の範囲では、初期養生期間の違いによる圧縮強度への影響は見られなかった。

##### d. 分散分析の結果

35°C以下コンクリートおよび 35°C超えコンクリートについて、コンクリート温度と初期養生温度・期間に対する圧縮強度の分散分析（繰り返しのある二元配置法）を行った結果を表-7 および表-8 に示す。この結果、有意水準 5%においてコンクリート温度ならびに初期養生の期間の違いによる強度に有意な差は見られなかったが、初期養生の環境温度の違いによる強度に有意な差が見られた。

##### e. 構造体強度補正值

材齢 28 日における標準 A の圧縮強度、材齢 91 日における簡易断熱養生および模擬柱（コア供試体）圧縮強度から求めた構造体強度補正值（以下、 $_{28}S_{91}$  と称す）を図-8 に示す。この結果、いずれの時期およびコンクリートにおいて、JASS 5 暑中期間における  $_{28}S_{91}$  の 6N/mm<sup>2</sup> 以下りを満足した。

#### (2) 静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-9 に示す。この結

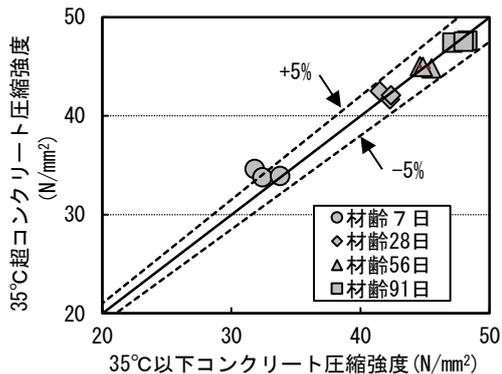


図-4 練上り温度の違いによる圧縮強度の関係

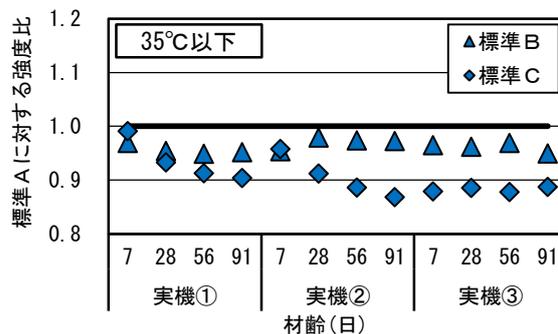


図-5 初期養生の環境温度の違いによる圧縮強度に及ぼす影響（35°C以下コンクリート）

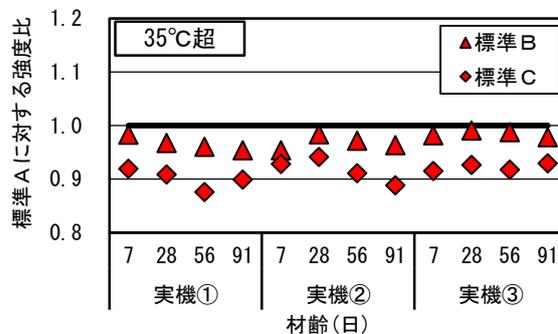


図-6 初期養生の環境温度の違いによる圧縮強度に及ぼす影響（35°C超えコンクリート）

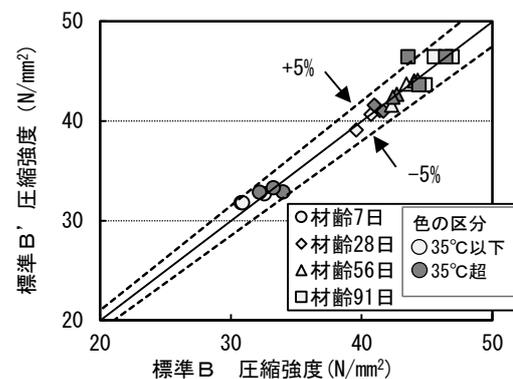


図-7 初期養生期間の違いが圧縮強度に及ぼす影響

表-7 分散分析の結果（コンクリート温度と初期養生温度）

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比
A：コンクリート温度	0.98	1	0.98	3.084
B：初期養生温度	37.72	2	18.86	59.355*
A × B	0.42	2	0.21	0.666
誤差	3.81	12	0.32	—
計	42.94	17	—	—

\*は有意となったもの

果、静弾性係数は、コンクリート温度の違いによる明確な差は見られず、いずれの時期およびコンクリートにおいても、JASS 5 (3.1) 式<sup>1)</sup>で計算される値の80%以上を満足する結果となった。

### (3) 長さ変化率

乾燥期間と長さ変化率の関係を図-10に示す。この結果、35℃超えコンクリートの方が35℃以下コンクリートと比較して、若干大きい傾向を示したが、いずれの時期およびコンクリートにおいても、JASS 5に規定されている長さ変化率 $8 \times 10^{-4}$ 以下<sup>1)</sup>を満足する結果となった。

### (4) 中性化

促進中性化試験の結果を図-11に示す。この結果、中性化深さにコンクリート温度の違いによる明確な差は、見られなかった。また、いずれの時期およびコンクリートにおいても、JASS 5 (解3.1) 式<sup>1)</sup>および日本建築学会の「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」<sup>3)</sup>から求めた中性化深さは、JASS 5に規定された超長期(計画供用期間200年)における最小かぶり厚さを満足した。よって、35℃超えコンクリートの中性化に対する耐久性は、35℃以下コンクリートと同等と考える。

### (5) 凍結融解

35℃以下コンクリートおよび35℃超えコンクリートの凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係を図-12に示す。コンクリート温度の違いが凍結融解試験300サイクルにおける相対動弾性係数に及ぼす影響は見られなかった。

## 4. まとめ

暑中期に想定される荷卸し時のコンクリート温度35℃超えおよび35℃以下について、フレッシュ性状および硬化性状を比較した結果、本実機で用いた配(調)合および条件の範囲内で以下のことが明らかとなった。

### 4.1 フレッシュコンクリートの性状

- (1) コンクリート温度は、いずれの時期およびコンクリートにおいても、時間の経過に伴い上昇する結果であった。
- (2) スランプは、35℃以下コンクリートの場合、練混ぜ

表-8 分散分析の結果（コンクリート温度と初期養生期間）

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比
A：コンクリート温度	2.34	1	2.34	4.275
B：初期養生期間	0.02	1	0.02	0.038
A × B	0.10	1	0.10	0.184
誤差	4.38	8	0.55	—
計	6.8425	11	—	—

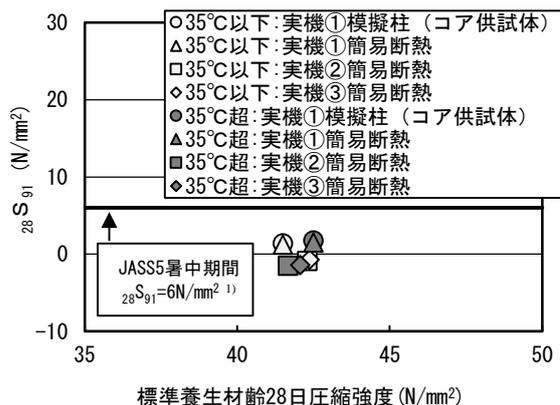


図-8 標準養生材齢28日圧縮強度と $_{28}S_{91}$ の関係

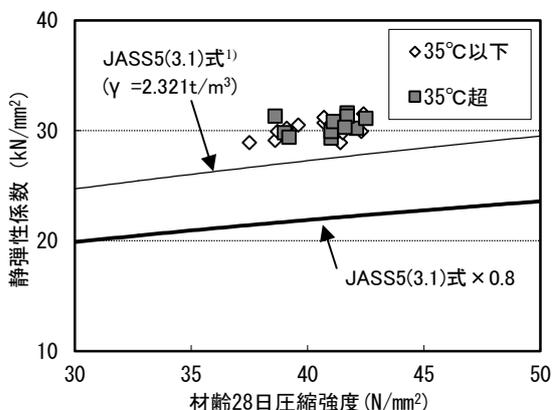


図-9 圧縮強度と静弾性係数の関係

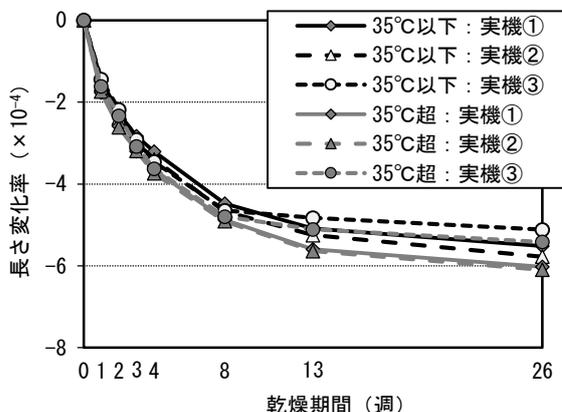


図-10 乾燥期間と長さ変化率の関係

後から経時 120 分まで緩やかに低下し、規格値  $18.0 \pm 2.5 \text{cm}$  を満足した。35°C 超えコンクリートの場合、経時 90 分を超えてスランブの低下が大きく、規格値を外れる結果もあったが、打込み終了までの時間限度である 90 分までは、35°C を超えたコンクリートでも、適切な混和剤の選定・使用量の設定により、スランブを保持できることが実機試験で実証できた。

- (3) 空気量は、いずれの時期およびコンクリートにおいても、練混ぜ後から経時 120 分まで若干のばらつきはあるものの規格値  $4.5 \pm 1.5\%$  を満足した。
- (4) 凝結時間は、ほぼ同等の結果であったが、実機②のみ差が見受けられた。
- (5) ブリーディング量は、いずれも微量で 35°C 以下コンクリートより 35°C 超えコンクリートの方が、小さかった。

#### 4.2 硬化コンクリートの性状

- (1) 圧縮強度は、いずれの時期も材齢 7 日はコンクリート温度の高い方が大きい結果を示したが、材齢が進むにつれ、その差は小さくなった。
- (2) 供試体作製から標準養生開始までの初期養生について、初期養生温度が高いと強度は低くなる傾向となったが、初期養生期間の違いによる強度への影響は見られなかった。
- (3) コンクリートの構造体強度補正值は、いずれのコンクリートも JASS 5 に示されている暑中期間における  $28S_{91}$  の  $6 \text{N/mm}^2$  以下であった。
- (4) 静弾性係数は、いずれの時期およびコンクリートにおいても、コンクリート温度の違いによる差はなく、JASS 5 (3.1) 式で計算される値の 80% 以上を満足した。
- (5) コンクリートの長さ変化率は、いずれの時期およびコンクリート温度も JASS 5 に規定される  $8 \times 10^{-4}$  以下を満足したが、コンクリート温度が高い方が若干大きくなる結果を示した。
- (6) コンクリートの中性化は、いずれの時期もコンクリート温度の違いによる影響は見られなかった。
- (7) コンクリートの凍結融解は、いずれの時期もコンクリート温度の違いによる凍結融解試験 300 サイクルにおける相対動弾性係数に差は見られなかった。また、いずれのコンクリートも相対動弾性係数は 60% 以上であり、凍結融解に対する耐久性は満足できるものと考えられる。

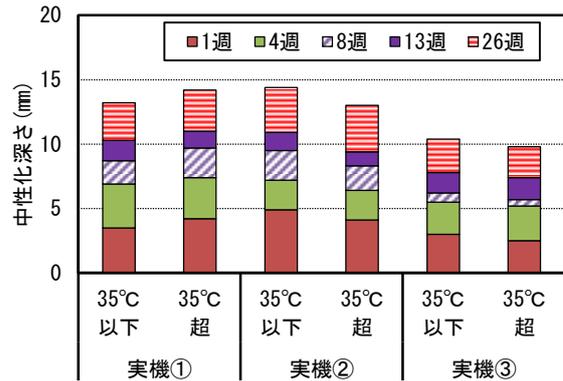


図-11 促進中性化試験の結果

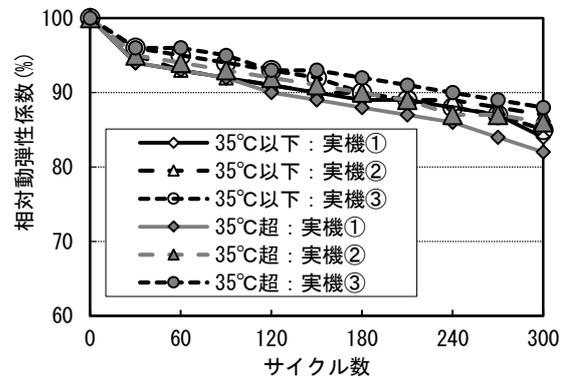


図-12 凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係

#### 謝辞

本試験にあたり、東京エスオーシー株式会社 伊藤様、東京都生コンクリート工業組合技術部 浜松様、金子様、松田様に懇切丁寧なご指導を頂きました。また、東京コンクリート株式会社 砂町工場、東陽コンサルタント株式会社に多大なご協力をいただきました。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 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009, 2009.2
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, pp.106-109, 2006.2
- 3) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説, pp.86-88, 1991.7