

暑中コンクリートの品質に関する実験

共研フォーラム「暑中コン35研究会」結果概要

立山 創一*

Experimental Study on Quality of Concrete in Hot Weather

Summary results of “Hot Weather Concrete 35” joint research forum

by Sohichi TATEYAMA

Abstract

The influence of concrete temperatures exceeding 35°C on the property of fresh concrete, the strength correction value and the durability were investigated by both laboratory tests and using real machines on site. As a result, the following phenomena were confirmed. The property of fresh concrete is controlled by the increase of chemical admixture. The strength correction value for regulating temperature is below 6N/mm² as defined in the present JASS5. Also it was confirmed that there was no significant influence in terms of durability.

要 旨

暑中コンクリートにおいて、コンクリート温度が 35°C を超えた場合のフレッシュ性状、強度補正值、および耐久性に関して、どのような影響を及ぼすかを、室内試験および実機実験を行って調査を実施した。その結果、フレッシュ性状の変化に関しては化学混和剤の増量によって対応が可能であること、強度補正值 S 値に関しては、今回の調査の範囲では、現行 JASS5 にある夏期の S 値の 6N/mm² で収まること、中性化および表面の透気性に関しても大きな影響がないことが確認された。

キーワード：暑中コンクリート／コンクリート温度／強度補正值／室内試験／実機実験

1. はじめに

近年、温暖化の影響により夏期における気温が 35°C を超える日が多くなってきている。このような状況下で運搬されるコンクリートは、運搬中のアジテータ車ドラムへの直射日光の影響などによって、コンクリート温度が上昇する。このため、JASS5 や公共建築工事標準仕様書で規定されている「コンクリート温度、原則 35°C 以下」を逸脱する可能性が高くなってきている。

そこで、夏期におけるコンクリートの性状に関して、コンクリート温度が 35°C を超えた範囲までの調査をすることとした。今回は暑中期の強度補正值、フレッシュコンクリートの経時変化および中性化を主とした

耐久性への影響を把握することを目的とした。

なお、本調査は共同研究のプラットフォームである共研フォーラムに参加する、安藤建設、大木建設、大本組、奥村組、鴻池組、五洋建設、銭高組、大日本土木、東亜建設工業、東急建設、東洋建設、戸田建設、飛島建設、西松建設、NIPPO、間組、長谷工コーポレーションおよびピーエス三菱 18 社により実施したものである。

2. 実験概要

2.1 実験実施時期および実施地区

調査は、室内において実施した「室内試験」および

* 技術研究所材料施工研究室

実機における影響を調査した「実機実験」からなっている。

実施時期は、実機実験が 2011 年の 8 月（35℃超：実験①）および 9 月（35℃以下：実験②）であり、室内試験は 2011 年の 11 月および 2012 年 1 月に実施した。実機実験は、東京の湾岸地区に立地する工場で行った。

2.2 試験項目

室内試験および実機実験における試験項目を表 1 に示す。標準養生供試体として、JASS5-2009 年版で規定される一般的な標準養生方法「供試体成形後、脱型時まで乾燥しないように 20±3℃の環境で保存した供試体」（以下、標準 A）によるものと、同 JASS5 の構造体コンクリート強度の検査時の、上記の養生が困難な場合に適用できる養生方法「供試体成形後、翌日までは 10～30℃で、日光および風が直接当たらない箇所で保存した供試体」（以下、標準 B）によるものと、打設日の翌日が休日となった場合を想定した養生方法「48 時間 10～30℃で、日光および風が直接当たらない箇所で保存した供試体」（以下、標準 C）の圧縮強度を比較した。室内試験において練上り温度 38℃の標準 B のみ脱型時までの保存温度を 30℃とし、他は全て 20℃の環境で保存した。実機実験では、標準 B と C は日陰の外気での養生とした。

実機実験①では、35℃超のコンクリート製造をより確実にするために、温水（45℃程度）および実験日当日に工場から直送した高温のセメント（53℃程度）を使用した。

2.3 使用材料および割合

表 2 に使用材料を、表 3 に割合を示す。室内試験、実機実験ともに同じ材料および割合である。

2.4 模擬試験体および簡易断熱養生方法

図 1, 2 に、実機実験における柱および床の模擬試験体を、図 3 に簡易断熱養生方法を示す。

2.5 杭コンクリートの経時変化

場所打ちコンクリート杭用コンクリートの夏期（35℃を超えたケースも含む）における経時変化を調べる目的で、AE 減水剤および高性能 AE 減水剤使用の 2 種類の杭割合について室内試験を実施した。

夏期の杭割合は、スランプ保持性を考慮して高性能 AE 減水剤が使用されることが多いが、経験的に AE 減水剤を使用した、単位水量が 200kg/m³ の割合の性状

表 1 試験項目

実施箇所	条件*1	試験項目
室内試験	38℃ 20℃	・練り上がり直後のスランプ、空気量、コンクリート温度、凝結時間試験 ・標準養生 A, B および簡易断熱養生供試体圧縮強度 ・簡易断熱養生槽内温度 ・促進中性化試験および透気性試験
実機実験	35℃超 35℃以下	・フレッシュ性状の経時変化、凝結時間試験 ・標準養生 A, B, C, 簡易断熱養生供試体圧縮強度、模擬試験体コア圧縮強度 ・柱および床の模擬試験体、簡易断熱養生槽内温度 ・透気性試験

*1：コンクリート温度

表 2 使用材料

材料	銘柄（産地）・品質
セメント	普通ポルトランドセメント：密度：3.16g/cm ³
細骨材	山砂（万田野産）：砕砂（戸高産）=70：30， 密度：2.61g/cm ³ ，吸水率：1.99%，粗粒率：2.64
粗骨材	石灰砕石（峯朗産）：密度：2.70g/cm ³ ，吸水率：0.61%，実積率：61.3%
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸塩系化合物（遅延形）

表 3 割合

スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 C×%
			W	C	S	G	
18	52.6	49.5	170	323	882	932	各試験結果に記載
18	45.0	48.0	170	378	835	932	
21	38.1	46.5	170	459	773	915	

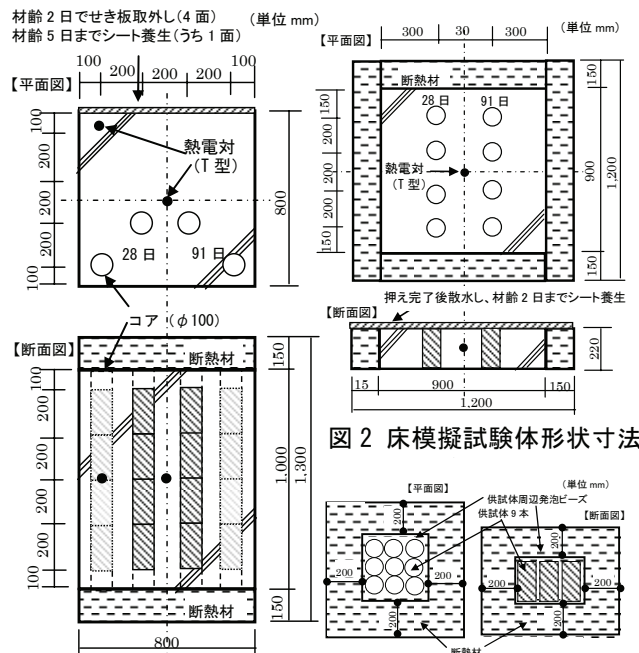


図 1 柱模擬試験体形状寸法

図 3 簡易断熱養生方法

も大きな遜色はないため、これらの性状を確認したものである。

コンクリートの練上がり温度は 30℃および 38℃の 2 水準とした。セメントは高炉セメント B 種（密度:3.04g/cm³）を用い、そのほかの使用材料は、表 2 と同じであるが、高機能タイプの AE 減水剤はポリカルボン酸系化合物とリグニンスルホン酸塩および変性ポリオールの遅延形を使用した。調査を表 4 に示す。

3. 室内試験結果

3.1 フレッシュコンクリート試験

練上り時に測定したフレッシュコンクリートの試験結果を表 5 に示す。全ての調合でスランブ及び空気量は所要の値を満足した。また目標練上り温度 20℃での実測温度は 21~21.5℃, 38℃では 38~39℃の範囲にあった。

表 4 杭調査

スランブ ^o (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 C×%
			W	C	S	G	
21	48.4	45.5	200	413	739	907	0.8(AE)
21	48.4	49.0	175	362	848	907	0.8(SP)

表 5 フレッシュコンクリート試験結果

呼び名	目標練上り温度	バッチ No	SP (C×%)	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度(℃)
W/C52.6	20℃	①	0.75	19.5	36.0×34.5	4.7	21.0
		②		19.5	36.0×35.0	4.7	21.5
	38℃	①	0.80	18.5	32.5×32.5	5.3	38.0
		②		18.5	32.5×31.0	5.5	38.5
W/C45.0	20℃	①	0.75	20.5	38.5×37.5	5.4	21.5
		②		20.5	39.5×38.0	5.4	21.5
	38℃	①	0.80	20.0	34.0×33.5	4.9	39.0
		②		20.0	32.5×31.0	5.5	38.5
W/C38.1	20℃	①	0.80	22.5	41.5×40.0	4.4	21.5
		②		22.5	41.5×41.5	4.8	21.0
	38℃	①	0.90	22.5	41.5×40.0	4.6	38.5
		②		22.5	40.0×39.5	4.9	39.0

SP:高性能AE減水剤, 20℃:標準形, 38℃:遅延形

3.2 凝結時間試験

凝結時間試験は、コンクリートを練混ぜた 20℃及び 40℃の室内で実施した。試験結果を表 6 に示す。

表 6 のように、練上り温度 20℃と 38℃とを比較すると、38℃の方が始発で 1~2 時間、終結で 1.5~3 時間程度早く、その傾向は水セメント比が大きいほど顕著であった。レディーミクストコンクリート工場では、練上りから荷卸し時までのスランブ低下を見込んでコンクリートを製造するため、高性能 AE 減水剤の使用量が多くなることから、始発や終結時間は本結果よりも遅くなると推察される。しかしながら、練上り温度が高温の場合には凝結が早くなることに対する留意が必要であることを示唆する結果であり、今後もデータを蓄積する必要があると考えられる。

表 6 凝結試験結果

	W/C52.6		W/C45.0		W/C38.1	
	20℃	38℃	20℃	38℃	20℃	38℃
始発 (hr-min)	5-00	2-50	5-20	3-20	5-40	4-40
終結 (hr-min)	6-40	3-40	6-50	4-10	7-10	5-40

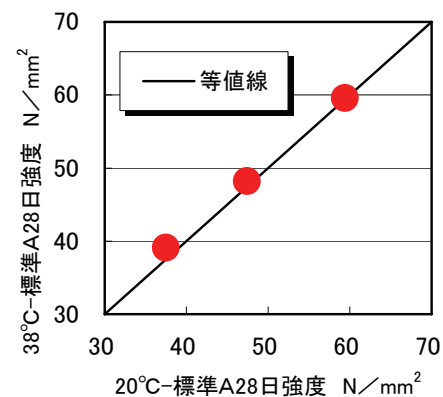


図 4 練上り温度による標準養生強度の比較

3.3 標準養生供試体強度

標準養生供試体は標準 A と標準 B について圧縮強度試験を実施した。ここで、練上り温度 38℃の標準 B のみ脱型時までの保存温度を 30℃とし、他は全て 20℃環境で保存した。

図 4 に練上り温度 20℃と 38℃の標準 A 供試体の材齢 28 日強度を示す。このように練上り温度が異なっても圧縮強度に差異が生じることは無かった。図 5 は練上り温度 38℃における標準 A と標準 B の材齢 28 日強度を比較したものである。標準 B の圧縮強度は標準 A に比して 6~8%程度の範囲で小さな値を

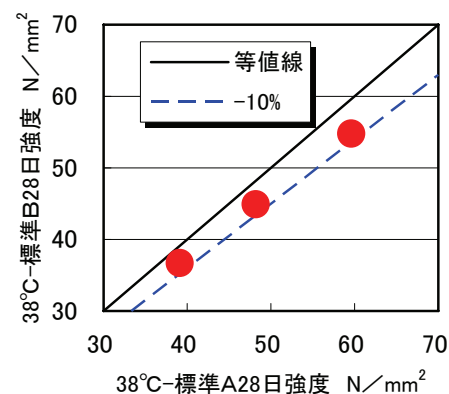


図 5 標準 A, 標準 B の圧縮強度の比較

示し、その傾向は圧縮強度が大きいほど顕著であった。

本実験の範囲では練上り温度が高温になっても標準養生強度が低下することはなかったが、供試体を脱型するまでの保存温度によって材齢 28 日強度は異なり、暑中期のように脱型までの保存が高温になる場合には圧縮強度が小さな値を示す傾向にあることがわかった。

3.4 簡易断熱養生供試体圧縮強度

図 6 に練上り温度 20℃と 38℃の簡易断熱養生強度の関係を示す。ここで、練上り温度 20℃は 20℃の室内、練上り温度 38℃は 30℃の室内にそれぞれ設置した簡易断熱養生槽内で供試体を 7 日間養生し、その後、強度試験実施時まで 20℃及び 30℃室内で封かん養生した。簡易断熱養生供試体の最高温度は調合によって異なるが、練上り温度 20℃で 49～59℃、38℃では 64～74℃にあった。簡易断熱養生強度は練上り温度 20℃に比して 38℃の方が小さく、その差異は材齢 28 日より 91 日で大きくなる傾向にあった。また、この強度差は圧縮強度の大小に関わらず、概ね同程度であった。

図 7 に標準 A28 日強度と簡易断熱養生 91 日強度から算出した $_{28}S_{91}$ を示す。また日本建築学会近畿支部らが実施した外気温 32～35℃の環境下での実機試験^[1]における簡易断熱養生強度から算定した $_{28}S_{91}$ も併せて示す。今回得られた練上り温度 38℃の $_{28}S_{91}$ は 4～9N/mm² で文献[1]と同程度であった。

図 8 に簡易断熱養生 91 日強度を 1.173 で除した値を設計基準強度とした場合の $_{28}S_{91}$ を示す。設計基準強度 36N/mm² 以下の範囲において、練上り温度 20℃、38℃共に JASS5 に示される標準期及び暑中期の $_{28}S_{91}$ である 3N/mm²、6N/mm² を下回った。このように今回の実験の範囲では、練上り温度が高温になると簡易断熱養生強度は低下するが、38℃程度以下であれば JASS5 に示される $_{28}S_{91}$ を適用できると思われる。

3.5 透気性（トレント法）試験

透気性試験用供試体は、測定面に化粧合板を設置してコンクリートを打込み、表 7 の養生を経た後に測定した。

材齢 91 日の測定結果を図 9 に示す。なお、試験時のコンクリート含水率は 5.6～7.9%であった。透気係数の全てが $0.15 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下であり、水セメント比が同一であれば練上り温度 38℃の方が 20℃よりも小さな値を示した。また、CO₂ 濃度 5% で促進中性化試験を行い、促進期間 23 週での中性化深さは W/C=52.6%

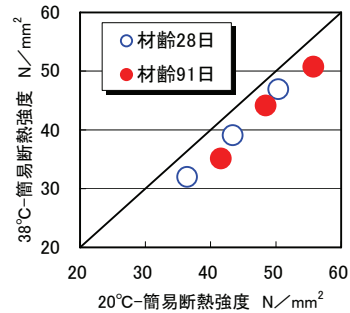


図 6 練上り温度による簡易断熱養生強度の比較

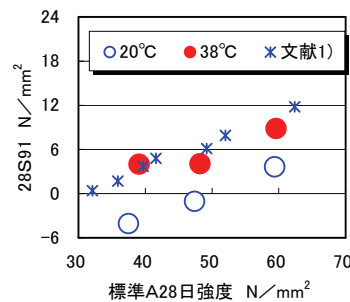


図 7 標準 A28 日強度と $_{28}S_{91}$ の関係

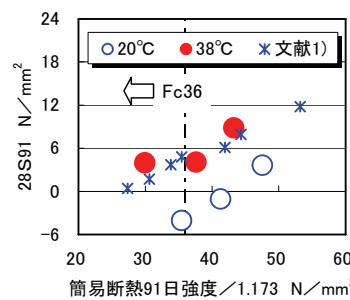


図 8 設計基準強度と $_{28}S_{91}$ の関係

表 7 透気性試験供試体の養生方法

練上り温度	養生方法
20℃	20℃24hr→脱型→20℃水中養生27day→20℃気乾養生
38℃	30℃24hr→脱型→30℃水中養生27day→20℃気乾養生

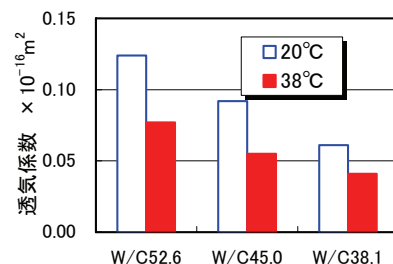


図 9 透気性試験結果（材齢 91 日）

の練上り温度 20℃が 10.0mm, 38℃が 8.5mm, W/C=45.0%の練上り温度 20℃が 5.0mm, 38℃が 1.5mm, その他は中性化していない。

これらから、練上り温度が 38℃程度であっても表層部の緻密性や中性化抵抗性に特段の問題は生じないと考える。

3.6 杭コンクリートのスランプ経時変化試験

場所打ちコンクリート杭に使用することを想定して、呼び強度 30, スランプ 21cm で高性能 AE 減水剤遅延形を用いた単位水量が 175kg/m³ のコンクリートと、高機能タイプ AE 減水剤遅延形を用いた単位水量が 200kg/m³ のコンクリートの経過時間に伴うスランプ低下量を相対的に比較した。なお試験は、練上り温度を 38℃ (環境温度 40℃) 及び 30℃ (環境温度 30℃) とし、静置した状態で実施した。

結果を図 10 に示す。図中の SP は高性能 AE 減水剤, AE は AE 減水剤である。練上り温度 38℃では、60 分経過時までスランプは徐々に低下し 90 分で比較的大きく低下した。練上り温度 30℃では 90 分後まで徐々に低下したが、低下量は 38℃に比較して小さく、練上り温度が高温であるほどスランプロスが大きくなる傾向を示した。一方、高性能 AE 減水剤と AE 減水剤とで経過時間に伴うスランプ変化量に大きな差異は認められなかった。

暑中期に場所打ちコンクリート杭へ使用するコンクリートでもスランプ保持性の観点から高性能 AE 減水剤の使用を前提とすることも少なくないが、今回の結果では状況によっては AE 減水剤が対応可能であることが示された。

4. 実機実験

4.1 フレッシュコンクリート性状

(1) コンクリート温度

図 11 に示すように、コンクリート温度は 60 分経過時で、実験①が 35~37℃, 実験②は 30~32℃である。アジテータトラックは日射を受ける場所で待機したため、経時とともにコンクリート温度が上昇する傾向にある。

(2) スランプ

図 12 に示すように、実験①の W/C52.6%, W/C45.0% のコンクリートは、90 分以降のスランプロスが大きい。これは、練上りのコンクリート温度が高い実験①の方が実験②と比較して高性能 AE 減水剤 (遅延形) の使用量が少なかった (実験①C×1.05~1.2%, 実験②C×1.4

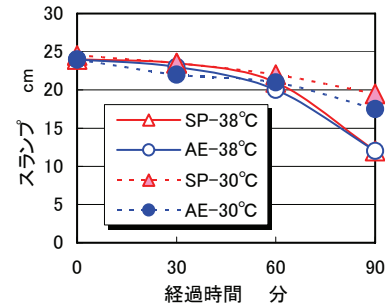


図 10 杭コンクリートのスランプ経時変化試験結果

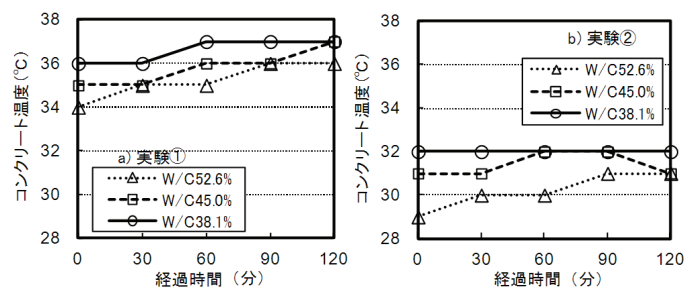


図 11 コンクリート温度の経時変化

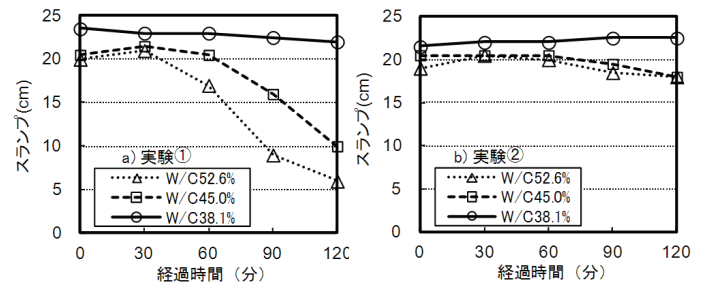


図 12 スランプ経時変化

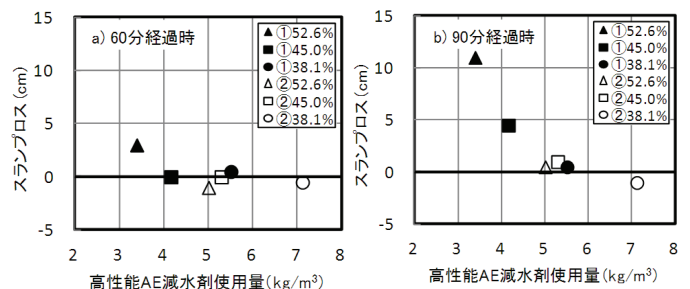


図 13 高性能 AE 減水剤使用量とスランプロスの関係

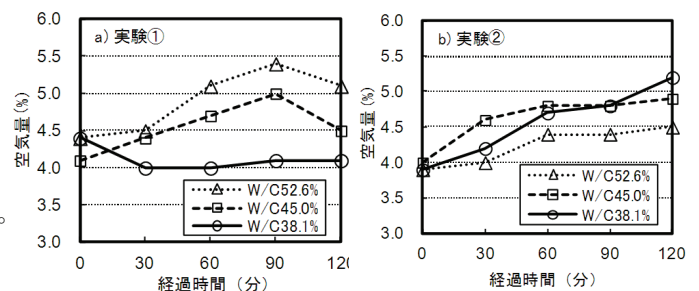


図 14 空気量の経時変化

～1.55%) ことが影響していると考えられる。図 13 に示すように、使用量が多いほどスランプロスは小さくなる傾向がある。

(3) 空気量

図 14 に空気量の経時変化を示す。空気量は経時により増える傾向を示したが、これは試料採取のたびにアジテータトラックのドラムを高速回転させたため、空気を巻き込んだ可能性がある。

(4) 凝結時間（貫入抵抗値）

凝結時間試験はコンクリート舗装された屋外ヤードで実施し、試験中の温度は表 8 に示すとおりである。図 15 に凝結時間試験結果を示すが、コンクリート温度や気温の高い実験①の方が凝結が速くなっている。これは、スランプの経時変化と同様、高性能 AE 減水剤の使用量が大きく影響していると考えられる。

JASS5 では、コールドジョイントを生じさせないための注水後の打重ね許容時間の目安として、打放しなどの重要な部材では貫入抵抗値 0.1N/mm^2 、一般の部材で 0.5N/mm^2 の時の時間を参考にしている。図 16 は、高性能 AE 減水剤の使用量と各貫入抵抗値の時の時間との関係を示したものであるが、今回の実験の範囲では、練上り温度が 35°C を超えても貫入抵抗値が 0.5N/mm^2 に達する時間は 3 時間以上である。したがって、運搬時間を 1 時間程度とすると、一般部材においては JASS5 に示されている打重ね時間間隔（外気温 25°C 以上の場合 120 分）を目安に対応できると考える。一方、貫入抵抗値 0.1N/mm^2 においては、高性能 AE 減水剤の使用量が少ない割合では注水から 3 時間以下の場合があるため、打放しなどの重要な部材の場合は 120 分より短くする等の対策が必要となる。

(5) 圧縮強度

① 模擬試験体コンクリート最高温度

表 9 に試験体打込み時（練上り後 60 分）のフレッシュ試験結果と各試験体の最高温度を示す。実験①と実験②では、コンクリートの打込み温度が $4\sim 5^\circ\text{C}$ 違うが、柱模擬試験体中心の最高温度も $4.5\sim 5.3^\circ\text{C}$ の差がある。

② 簡易断熱養生供試体圧縮強度とコア圧縮強度

図 17 に示すように、実験①のコア圧縮強度（中央部と端部の平均）は、材齢 28 日の床部材の一部が簡易断熱養生供試体の圧縮強度より低い値を示しているが、その他のコアはすべて簡易断熱と同程度以上である。

③ 標準 A と標準 B の圧縮強度

図 18 は標準 A と、標準 B の圧縮強度を比較したものであるが、両者の差は、実験②では 10% 以内である

表 8 凝結時間試験中の温度

実験	採取時コンクリート温度(°C)	注水から 5 時間の気温(°C)	5 時間から 11 時間の気温(°C)
①	34～36	30.2～33.7	26.8～31.5
②	29～32	28.1～30.2	24.6～28.1

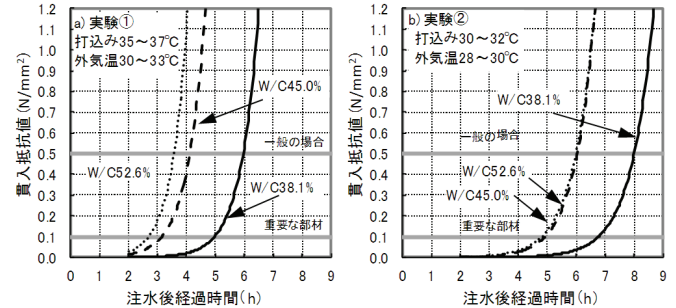


図 15 凝結時間試験結果

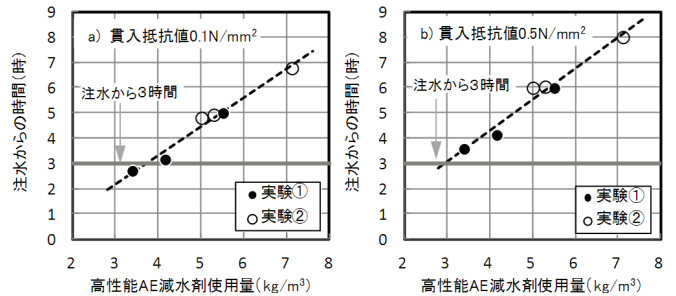


図 16 高性能 AE 減水剤使用量と貫入抵抗値

表 9 模擬試験体打込み時試験結果

実験	種類	打込み時試験結果(練上り後 60 分)				最高温度(°C)		
		スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度(°C)	外気温(°C)	模擬柱(中心)	模擬床	簡易断熱
①	W/C52.6%	17.0	5.1	35	33.2	65.1	52.3	63.4
	W/C45.0%	20.5	4.7	36	32.1	71.1	57.2	66.1
	W/C38.1%	23.0	4.0	37	33.7	79.9	58.5	74.3
②	W/C52.6%	20.0	4.4	30	29.1	60.6	49.4	-
	W/C45.0%	20.5	4.8	32	29.6	66.1	52.3	-
	W/C38.1%	22.0	4.7	32	29.8	75.2	60.8	-

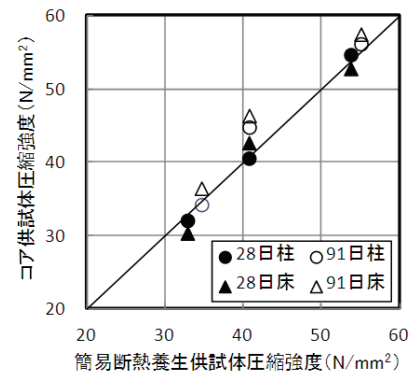


図 17 簡易断熱供試体強度とコア強度

が、温度の高い実験①では最大 14% となった。

④ 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$)

図 19 に標準 A 供試体 28 日強度から算出した構造体

強度補正值($_{28}S_{91}$)を示すが、91日コア圧縮強度が 45N/mm^2 程度以下であれば、JASS5の暑中期間における $_{28}S_{91}$ は 6N/mm^2 以下である。設計基準強度(F_c)を 36N/mm^2 以下とした場合、ばらつきを考慮して 1.73σ ($\sigma=0.1F_c$)を割増しても 42.2N/mm^2 以下となり、打込み温度が 35°C をやや超えても $_{28}S_{91}=6\text{N/mm}^2$ で問題ないを考える。

(6) 透気性

柱模擬試験体の材齢2日でせき板を取り外した面(2日間湿潤養生)とせき板取り外し後散水し材齢5日までシート養生した面(5日間湿潤養生)において、トレント法による透気係数を測定した。

その結果(材齢12週時)を図20に示すが、実験①と実験②では5日間湿潤養生面の透気係数に差はあるが、2日間湿潤養生面でも最大 $0.25 \times 10^{-16}\text{m}^2$ であり、全体的にRILEM TC 189-NEC^[2]のB (Very Good : $0.01 \sim 0.1 \times 10^{-16}\text{m}^2$) ~ C (Fair : $0.1 \sim 1 \times 10^{-16}\text{m}^2$) の範囲であることから耐久性上問題ないレベルである。

5. まとめ

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 室内試験と実機実験の結果から、強度補正值 S 値は、概ね JASS5 と同程度であると考えられる。設計基準強度が 36N/mm^2 を超える高強度領域では、JASS5 の高強度コンクリートにある S 値の標準値と同程度であった。

(2) 実機実験における結果では、高性能 AE 減水剤の添加量が少ないと 90 分以降のスランプロスが大きくなる傾向を示した。このことから、夏期の高温時にスランプロスを低減するためには、高性能 AE 減水剤の添加量を増やすことで改善できるものと考えられる。

(3) 凝結時間は、前項同様に高性能 AE 減水剤の添加量が少ない調査では早くなったが、打重ね時間間隔は、貫入抵抗値から、一般部材においては JASS5 に示されている打重ね時間間隔を目安に対応できると考えられる。

(4) 室内試験の結果では、 38°C のコンクリートと 20°C のコンクリートにおける促進中性化および透気性試験の結果に大きな差は認められなかった。

(5) 杭調合の単位水量が 200kg/m^3 の AE 減水剤調合と高性能 AE 減水剤を使用した調査においては、経時変化に伴うスランプロスに大きな差異は認められなかった。

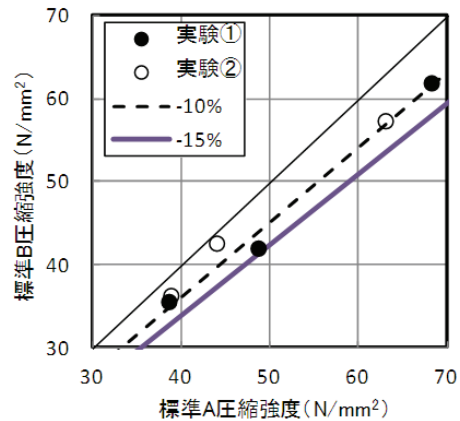


図 18 標準 A と標準 B の強度の関係

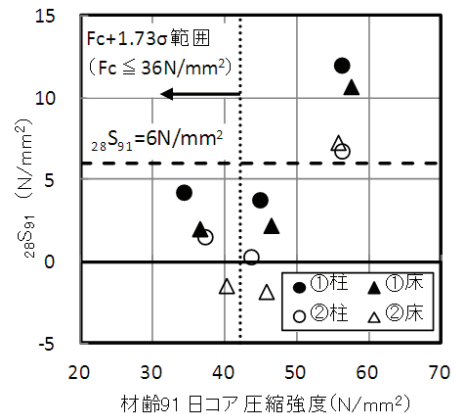


図 19 材齢 91 日コア強度と $_{28}S_{91}$ の関係

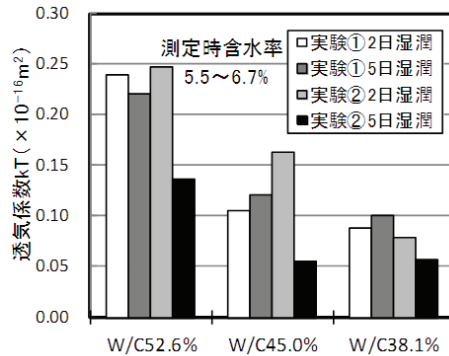


図 20 透気係数測定結果

参考文献

[1]大阪広域生コンクリート共同組合での技術的課題への最近の取組み, 日本建築学会近畿支部・大阪広域生コンクリート協同組合, 2011年7月
 [2]State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee Cover, LIREM, May, 2007, 189-NEC: 'Non-Destructive Evaluation of the Concrete'

