

論文 暑中期におけるコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度に関する検討

宮野 和樹^{*1}・梶田 秀幸^{*2}・舟橋 政司^{*3}・梶田 佳寛^{*4}

要旨: 暑中期のコンクリートの諸性状を把握するため、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートについて、35℃を超える範囲までコンクリート温度を変化させ、コンクリートのフレッシュ性状、凝結時間、温度履歴、圧縮強度に及ぼす影響を検討した。その結果、コンクリート温度が35℃を超え40℃程度までの場合、適切なフレッシュコンクリートの流動性を得られるように高性能 AE 減水剤の添加量を確保することにより、コンクリートのフレッシュ性状、凝結時間、圧縮強度は、コンクリート温度35℃以下の場合と同程度となった。

キーワード: 暑中期、コンクリート温度、フレッシュコンクリート、凝結時間、温度履歴、圧縮強度

1. はじめに

暑中期におけるコンクリート工事では、気温が高いことや日射の影響でコンクリート温度が高くなり、スランブ・空気量は時間経過に伴う変化が大きく、所要の値が得られにくくなる。また、凝結・硬化が早められ、初期材齢の強度発現は促進されるが、長期材齢での強度増進は少なくなる¹⁾。このように暑中期に施工されるコンクリートは、フレッシュコンクリートも硬化コンクリートも高温による影響を受けやすい。近年の地球温暖化、都市部のヒートアイランド現象等により、以前に比べて夏季の外気温が高くなっている²⁾。これに伴い、荷卸し時点でのコンクリート温度が35℃を超えていると考えられる場合が増加している。

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 2009¹⁾ (以下、JASS 5-2009 と略記する) では、荷卸し時のコンクリート温度は原則として35℃以下とされ、荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超える場合でも、事前に、工事監理者とコンクリートの品質変化に対する対策を講じておけば、打込みが可能となっている。

また、土木学会 2012 年制定 コンクリート標準示方書 [施工編]³⁾ では、打込み時のコンクリート温度の上限は、35℃以下を標準とし、コンクリート温度が35℃を超える場合には、コンクリートが所要の品質を確保できることを確かめれば、打込みが可能となっている。

以上より、コンクリート温度が35℃を超えた場合に施工を実施するには、35℃を超えた場合のコンクリートの諸性状を把握する必要がある。コンクリート温度が35℃を超えた場合のコンクリートの諸性状に関する検討は、

近年報告されている^{4)~8)}が、実機実験におけるフレッシュコンクリートの性状や実際の構造物と同程度の温度履歴を受けたコンクリートのコア強度に関する報告は少ないのが現状である。

そこで、普通ポルトランドセメントを用いた一般強度のコンクリートおよび高強度コンクリートについて、室内実験および実機実験にて、35℃を超える範囲までコンクリート温度を変化させ、コンクリートのフレッシュ性状、凝結時間、温度履歴、圧縮強度に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 室内実験および実機実験の概要

室内実験と実機実験によって検討を実施した。いずれの実験も調合管理強度¹⁾ (以下、Fm と略記する、調合管理強度は呼び強度に相当する) 27, 42, 57N/mm² のコンクリートを対象とした。

室内実験は3日に分けて行い、目標練上がり温度を20, 30, 40℃の3水準として、同一日の目標練上がり温度を一定とし、各々の日でFmを変化させ実施した。

実機実験も3日に分けて行い、同一日のFmを一定にし、練混ぜ条件をa(9:00~10:00 頃: 目標荷卸し温度32℃), b(11:00~12:00 頃: 目標荷卸し温度35℃), c(13:30~14:30 頃: 目標荷卸し温度38℃), の3水準とした。

2.2 使用材料および調合

使用材料を表-1に示す。室内実験、実機実験ともに実機実験を実施するレディーミクストコンクリート工場 of 材料を用いた。高性能 AE 減水剤は、室内実験の目標練上がり温度20℃のみ標準形を使用し、それ以外は遅延

*1 前田建設工業 (株) 技術研究所 主任研究員 博士 (工学) (正会員)

*2 前田建設工業 (株) 技術研究所材料研究室 室長 (正会員)

*3 前田建設工業 (株) 技術研究所 副所長 博士 (工学) (正会員)

*4 日本大学 理工学部建築学科 特任教授 工博 (正会員)

表-1 使用材料

材料	記号	種類・特性・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 ³)
細骨材	S1	硬質砂岩砕砂(表乾密度2.68g/cm ³ , 吸水率1.45%, F.M.3.00, 混合割合50%)
	S2	山砂(表乾密度2.60g/cm ³ , 吸水率1.28%, F.M.1.60, 混合割合20%)
	S3	石灰石砕砂(表乾密度2.67g/cm ³ , 吸水率0.71%, F.M.2.90, 混合割合30%)
粗骨材	G	硬質砂岩砕石(表乾密度2.69g/cm ³ , 吸水率0.71%, 実積率60.0%)
混和剤	SP	高性能AE減水剤標準形 (ポリカルボン酸エーテル系) 高性能AE減水剤遅延形 (ポリカルボン酸エーテル系)
水	W	上水道水 地下水 (実機実験の条件a)

表-2 調合

調合名	調合管理強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
				W	C	S1	S2	S3	G
Fm27	27	57.7	52.7	173	300	482	193	288	874
Fm42	42	42.7	49.7	175	410	430	172	257	880
Fm57	57	31.6	46.4	175	554	374	150	224	872

形を使用した。

調合を表-2に、室内実験の条件を表-3に、実機実験の条件を表-4に示す。調合は、室内実験、実機実験ともに同一とし、目標スランブ・スランブフローおよび空気量は、練上がり時と荷卸し時の違い、コンクリートの目標温度の違いにより変化させた。

2.3 練混ぜ時の温度条件および練混ぜ方法

室内実験では、目標練上がり温度を満足するために、骨材は前日から室内に保管し、室温、水温およびセメント温度は表-5のように調整した。室内実験の練混ぜは、容量50リットルの二軸強制練りミキサを用いて、1回の練混ぜ量を35リットルとし、必要回数練混ぜた。練混ぜ順序は、細骨材、粗骨材、水および混和剤を投入し練混ぜた後セメントを投入し練混ぜ、300秒静置し、さらに30秒間練混ぜた後に排出した。

実機実験では、目標荷卸し温度を満足するために、水温を表-6のように調整し、セメント温度は、条件aにおいては常温のセメント(30~35℃程度)を、条件b, cにおいてはセメント工場から直送した高温のセメント(いずれも到着時の温度は65℃程度)を用いた。実機実験の練混ぜは、容量3m³の二軸強制練りミキサを用いて、2m³のコンクリートを製造し、トラックアジテータ車に積み込んだ。

2.4 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-7に、小型ブロック試験体の概要を図-1に、柱模擬試験体の概要を図-2に示す。室内実験のフレッシュコンクリート試験は排出直後に実施し、試験後に供試体および小型ブロック試験体

表-3 室内実験の条件(練上がり時目標)

試料名	調合管理強度 (N/mm ²)	コンクリート 温度(℃)	スランブ・スランブ フロー(cm)	空気量 ^{*4} (%)
Fm27-20	27	20	19.0 ^{*1}	5.0
Fm27-30		30	20.0 ^{*1}	
Fm27-40		40		
Fm42-20	42	20	22.0 ^{*2}	5.0
Fm42-30		30	23.0 ^{*2}	
Fm42-40		40		
Fm57-20	57	20	55.0 ^{*3}	4.5
Fm57-30		30		
Fm57-40		40		

*1: 目標値±2.5cmを許容差とする *2: 目標値±2.0cmを許容差とする *3: 目標値±10.0cmを許容差とする *4: 目標値±1.5%を許容差とする

表-4 実機実験の条件(荷卸し時目標)

試料名	調合管理強度 (N/mm ²)	練混ぜ 条件	コンクリート 温度(℃)	スランブ・スランブ フロー(cm)	空気量 ^{*4} (%)
Fm27a	27	a	32	18.0 ^{*1}	4.5
Fm27b		b	35		
Fm27c		c	38		
Fm42a	42	a	32	21.0 ^{*2}	4.5
Fm42b		b	35		
Fm42c		c	38		
Fm57a	57	a	32	55.0 ^{*3}	4.5
Fm57b		b	35		
Fm57c		c	38		

*1: 目標値±2.5cmを許容差とする *2: 目標値±2.0cmを許容差とする *3: 目標値±10.0cmを許容差とする *4: 目標値±1.5%を許容差とする

表-5 室内実験の温度条件

試料名	室温 (℃)	材料温度(℃)	
		水	セメント
Fm27-20	23~24	9	24
Fm27-30	26~28	31~32	60~67
Fm27-40	33~34	64~68	72
Fm42-20	23~24	5	24
Fm42-30	28~29	32	54~59
Fm42-40	32	58	69
Fm57-20	24	5	24
Fm57-30	25~28	15	60
Fm57-40	33	58~61	70

表-6 実機実験の水温

試料名	水温(℃)
Fm27a	25
Fm27b	40
Fm27c	65
Fm42a	25
Fm42b	70
Fm42c	65
Fm57a	25
Fm57b	65
Fm57c	60

を作製した。実機実験の凝結時間以外のフレッシュコンクリート試験は、練上がり直後、練混ぜから30, 60, 90分に実施した。凝結時間測定用の試料採取、圧縮強度試

表-7 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法・測定方法		試験実施の有無	
				室内	実機
フレッシュ コンクリート	スランプ	JIS A 1101		○	○
	スランプフロー	JIS A 1150		○	○
	空気量	JIS A 1128		○	○
	コンクリート温度	JIS A 1156		○	○
	凝結時間	JIS A 1147		—	○
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108	標準養生供試体	○	○
			小型ブロック試験体 ^{*1} (コア)	○	—
			柱模擬試験体 ^{*2} (コア)	—	○
			簡易断熱養生 ^{*3} 供試体	—	○

*1：試験体概要は図-1参照 *2：試験体概要は図-2参照 *3：簡易断熱養生はJASS 5 T-606:2005による

験用の供試体作製，柱模擬試験体の作製は，練混ぜから60分後のフレッシュコンクリート試験後に実施した。標準養生供試体は，作製直後に水分逸散防止のため上面を封かんし，供試体作製から30分以内に型枠ごと型枠高さの4/5程度まで標準養生水槽に浸漬し，脱型まで20±2℃の環境で養生した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

室内実験の練上がり時のコンクリート温度は目標値±3℃以内であった。また，練上がり時のスランプは20.0～22.0cm，スランプフローは52.3～60.0cm，空気量は，3.6～5.9%となり，すべて目標の範囲内であった。

実機実験の荷卸し時のコンクリート温度は，Fm27が32.0～36.0℃，Fm42が34.0～40.0℃，Fm57が36.0～41.5℃となった。実機実験のコンクリート温度および外気温の経時変化を図-3に示す。コンクリート温度と外気温の経時による上昇，下降の傾向がほぼ同様であり，コンクリート温度は外気温の影響を受けると考えられる。

荷卸し時のコンクリート温度と高性能 AE 減水剤の添加量の関係を図-4に示す。同一 Fm の場合，供試体採取時のコンクリート温度が高くなると高性能 AE 減水剤の添加量が多くなる傾向がみられた。これより，同程度のスランプまたはスランプフローを得るための高性能 AE 減水剤の添加量は，コンクリート温度が高くなると多くする必要があるといえる。

実機実験のスランプまたはスランプフローの経時変化を図-5に示す。経過時間60分のスランプ・スランプフローは，Fm27c以外は目標の範囲内となった。Fm27cは，供試体および試験体の作製が可能であると判断し，高性能 AE 減水剤の後添加を実施せずに作製を行った。なお，経過時間90分のフレッシュコンクリート試験終了後に高性能 AE 減水剤の後添加を実施したところ，スランプが18.0cmとなった。これより，スランプロスが大きい場合，高性能 AE 減水剤の後添加により調整が可能であるといえる。スランプロスまたはスランプフローロス

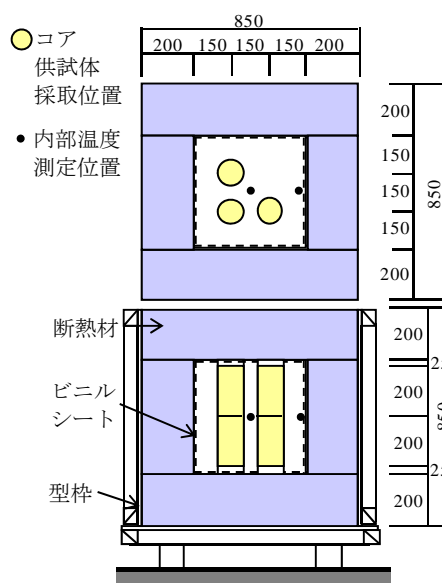


図-1 小型ブロック試験体の概要

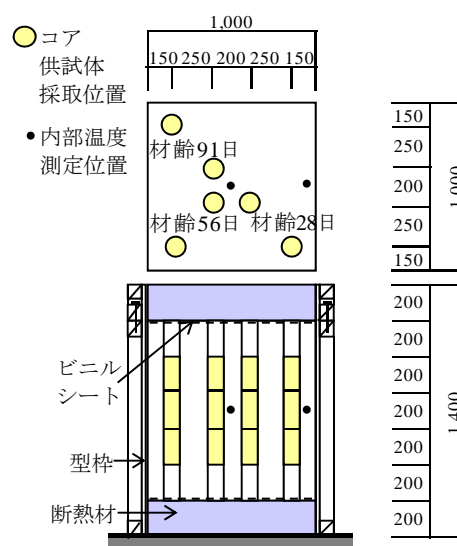


図-2 柱模擬試験体の概要

は，Fm27はコンクリート温度が高くなると大きくなる傾向がみられ，Fm42およびFm57はコンクリート温度による傾向の違いはみられなかった。Fm27は高性能 AE 減水剤の添加量が少ないため，コンクリート温度によるスランプロスの差が生じたと考えられる。

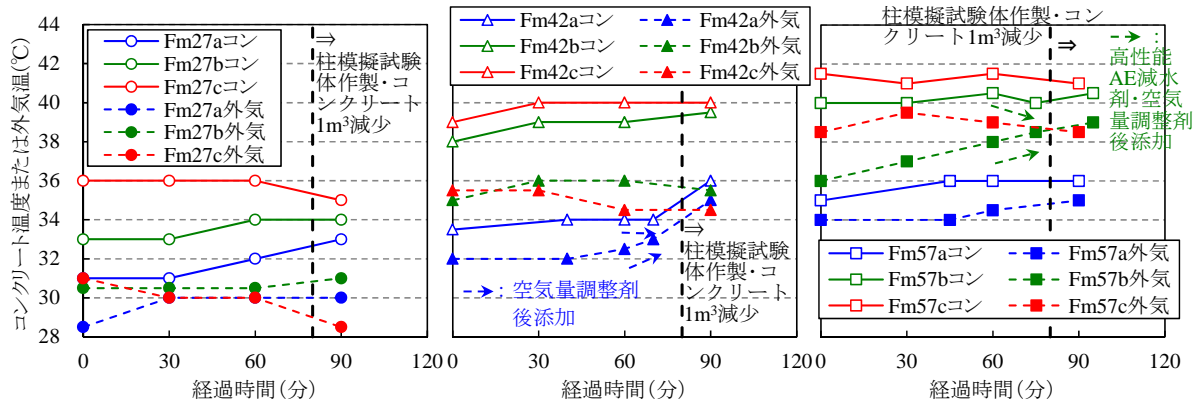


図-3 実機実験のコンクリート温度および外気温の経時変化

実機実験の空気量の経時変化を図-6に示す。経過時間60分の空気量は、Fm42a, Fm57b以外は目標の範囲内となった。Fm42aおよびFm57bは空気量調整剤の後添加により空気量が目標の範囲内となった。これより、空気量の変化が大きい場合、空気量調整剤の後添加により調整が可能であるといえる。空気量の経時変化は、Fm27は経時30分で増加し、その後減少する傾向がみられた。Fm42およびFm57は経時により増加する傾向がみられた。Fm42およびFm57は、フレッシュコンクリート試験の試料採取のために、トラックアジテータ車のドラムを高速回転させた際に空気を巻き込み、空気量が増加したと考えられる。Fm27も同様にドラムを高速回転させたが、経時60分以降のスランプロスが大きく、空気を巻き込みにくくなり、傾向が異なると考えられる。

3.2 凝結時間

JASS 5-2009では、注水後の打重ね許容時間の目安として、貫入抵抗値が、打放しなどの重要な部材で0.1N/mm²、一般の場合で0.5N/mm²、内部振動その他適当な処理をするときで1.0N/mm²となる時間を参考としており¹⁾、今回は、これらの貫入抵抗値となる時間を測定した。高性能AE減水剤の添加量と貫入抵抗値0.5N/mm²となる注水からの時間の関係を図-7に、荷卸し時のコンクリート温度と貫入抵抗値0.5N/mm²となる

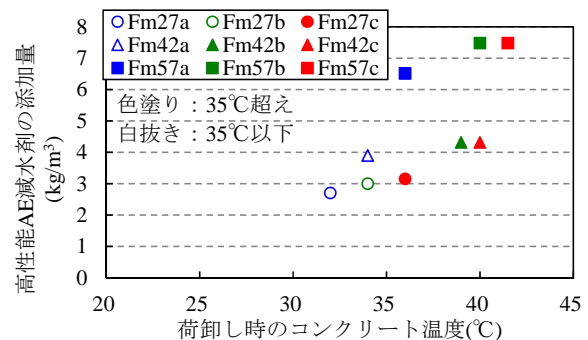


図-4 荷卸し時のコンクリート温度と高性能AE減水剤の添加量の関係

注水からの時間の関係を図-8に示す。高性能AE減水剤の添加量が多いと貫入抵抗値0.5N/mm²となる注水からの時間は長くなった。また、荷卸し時のコンクリート温度が高いと貫入抵抗値0.5N/mm²となる注水からの時間は長くなった。一般的に、コンクリート温度が高いと凝結時間は短くなるといわれている⁹⁾が、逆の傾向となった。これは、貫入抵抗値0.1, 1.0N/mm²も同様の傾向となり、コンクリート温度が高い場合、高性能AE減水剤の添加量を多くしたためと考えられる。ある貫入抵抗値となる注水からの時間は、コンクリート温度より高性能AE減水剤の添加量の影響が大きいといえる。コンクリート温度が高くなると予想される場合、スランプまたはスランプロスを確保するために、高性能AE減水剤

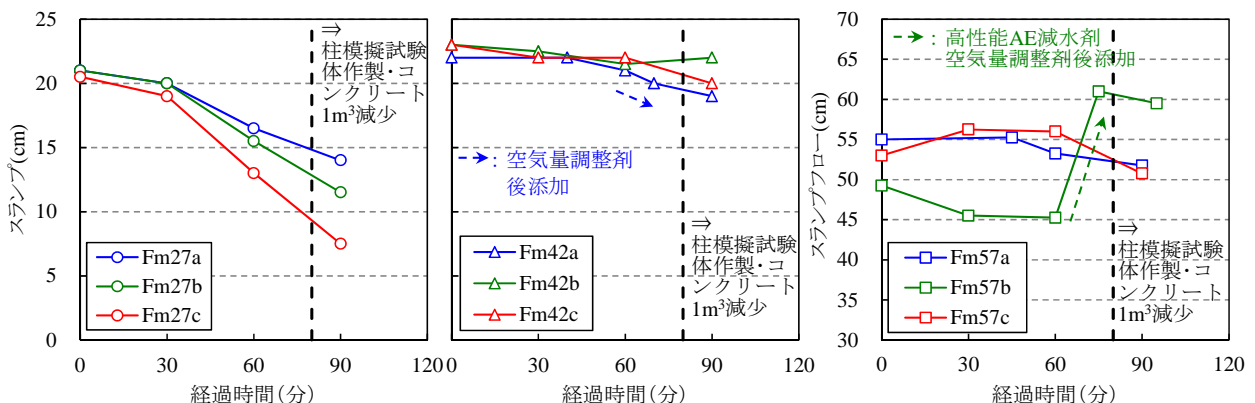


図-5 実機実験のスランプまたはスランプロスの経時変化

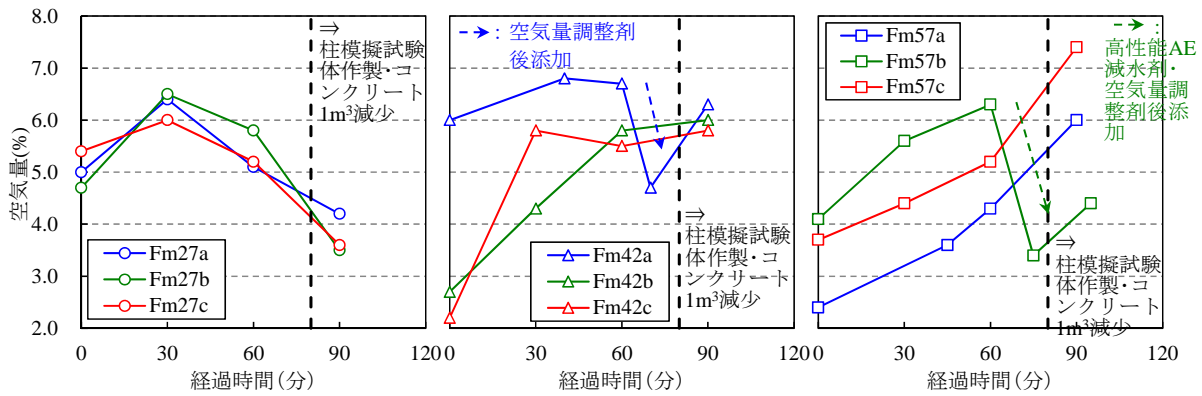


図-6 実機実験の空気量の経時変化

の添加量を多くしており、このことが、後述するコンクリートの練混ぜから打込み終了までの限度時間とコンクリートの打重ね時間間隔の目安を加算した所要の凝結時間の確保に効果的であったと考えられる。

JASS 5-2009 では、外気温が 25℃ 以上の場合、コンクリートの練混ぜから打込み終了までの限度が 90 分、コンクリートの打重ね時間間隔の目安は 120 分¹⁾で、あわせて 210 分 (3 時間 30 分) となり、一般の場合、貫入抵抗値 0.5N/mm² となる注水からの時間が 3 時間 30 分以上であれば、コールドジョイントの発生を防止することができると考えられる。図-7 および図-8 より、荷卸し時のコンクリート温度が貫入抵抗値 0.5N/mm² となる注水からの時間は、コンクリート温度が 35℃ を超える場合、35℃ 以下の場合のいずれにおいても、高性能 AE 減水剤の添加量が少ない場合に、3 時間 30 分以下となっている。外気温が高い場合にスランプまたはスランプフローを確保するために、適切な高性能 AE 減水剤の添加量とすることが所要の凝結時間の確保に効果的であると考えられる。

3.3 コンクリートの温度履歴

Fm42N/mm² のコンクリートの温度履歴を図-9 に示す。最高温度は、小型ブロック試験体中心 > 柱模擬試験体中心 > 簡易断熱養生供試体の傾向となった。また、高温の継続時間は、小型ブロック試験体 > 柱模擬試験体 = 簡易断熱養生供試体の傾向となった。これらの傾向は、Fm27, 57N/mm² の場合も同様であった。

3.4 圧縮強度

試験体作製時のコンクリート温度と標準養生供試体および試験体コアの圧縮強度の関係を図-10 に示す。ここで、試験体コアとは、小型ブロック試験体のコアおよび柱模擬試験体のコアのことで、圧縮強度は 6 本のコア供試体の平均とした。いずれの Fm においても、材齢 28 日標準養生供試体強度および材齢 91 日コア強度は、供試体採取時のコンクリート温度にかかわらず、養生が同一であれば同程度の値となった。また、₂₈S₉₁ 値は、同一 Fm の場合、一部を除いて、コンクリート温度に関わらず同

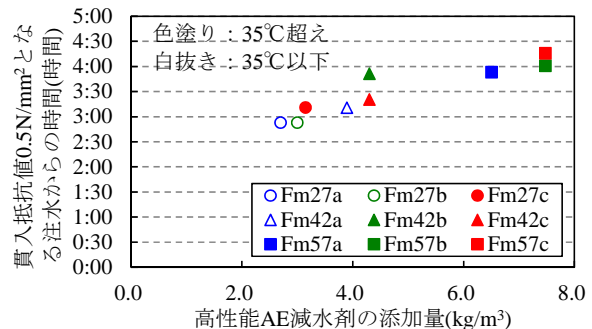


図-7 高性能 AE 減水剤の添加量と貫入抵抗値 0.5N/mm² となる注水からの時間の関係

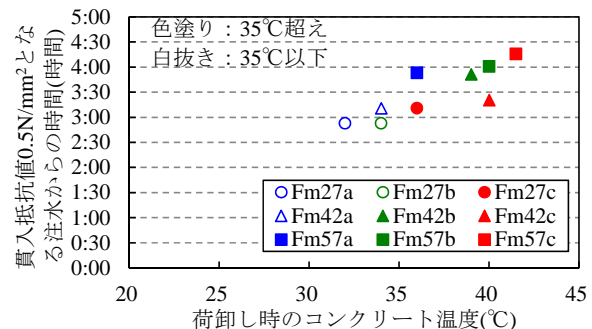


図-8 荷卸し時のコンクリート温度と貫入抵抗値 0.5N/mm² となる注水からの時間の関係

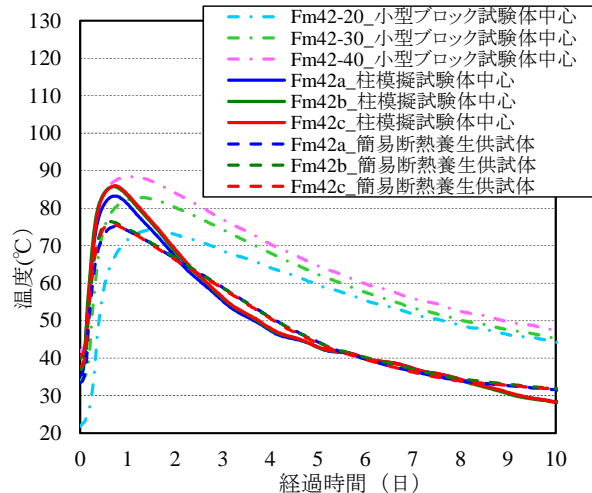


図-9 Fm42N/mm² のコンクリートの温度履歴

程度の値となった。

簡易断熱養生供試体と柱模擬試験体コアの圧縮強度

の関係を図-11に示す。簡易断熱養生供試体の圧縮強度を柱模擬試験体コアの圧縮強度で除した値は、コンクリート温度が35℃以下の場合、平均0.98に、コンクリート温度が35℃を超えた場合、平均1.05になった。35℃を超えた場合の簡易断熱養生供試体と柱模擬試験体の圧縮強度の関係については、データ数が少ないため今後のデータの蓄積が必要と考えられる。

4. まとめ

普通ポルトランドセメントを用いた一般強度のコンクリートおよび高強度コンクリートについて、室内実験および実機実験にて、35℃を超える範囲までコンクリート温度を変化させ、コンクリートのフレッシュ性状、凝結時間、温度履歴、圧縮強度に及ぼす影響を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 適切な高性能AE減水剤の添加量が確保されていると、コンクリート温度が35℃を超える場合と35℃以下の場合のスランプロスまたはスランプフローは同程度である。
- コンクリート温度が高温となる場合、適切な高性能AE減水剤の添加量を確保することが、所要の凝結時間の確保に効果的である。
- コンクリート温度が35℃を超える場合と35℃以下の場合の圧縮強度は、標準養生供試体、柱模擬試験体コアともに、養生が同一であれば、同程度である。

以上より、コンクリート温度が通常の場合と比較し、35℃を超え40℃程度までの場合、適切なフレッシュコンクリートの流動性を得られるように高性能AE減水剤の添加量を確保することにより、コンクリートのフレッシュ性状、凝結時間、圧縮強度に大きな影響は生じないと考えられる。ただし、フレッシュコンクリートの温度が高温であることから、硬化過程のコンクリートの最高温度は、通常より高温となる。そのため、実工事においては、部材の温度応力に関する検討が必要と考えられる。

謝辞

本検討の実験に関して、関東宇部コンクリート工業(株)、宇部興産(株)、BASF ジャパン(株)のご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 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
- 谷口秀明, 坂田昇, 河野広隆：土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕における暑中コンクリートのあり方, コンクリート工学, Vol.51, No.5, pp.378-383, 2013.5
- 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書〔施

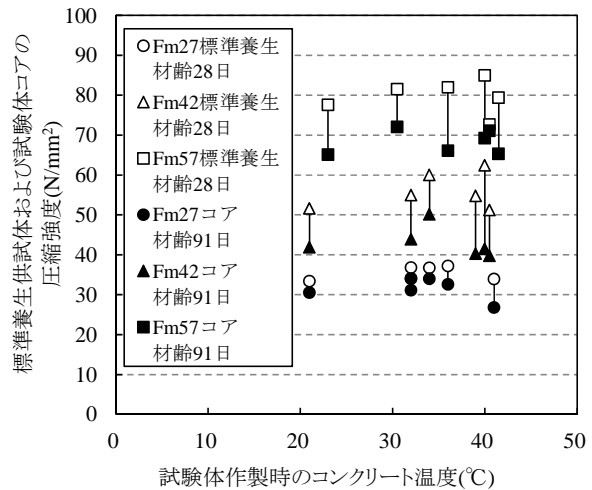


図-10 試験体作製時のコンクリート温度と標準養生供試体および試験体コアの圧縮強度の関係

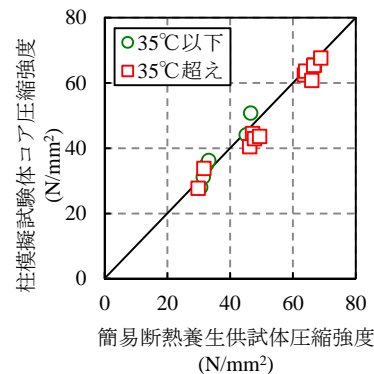


図-11 簡易断熱養生供試体と柱模擬試験体コアの圧縮強度の関係

工編]

- 西田朗, 森田武, 太田達見：暑中環境における高強度コンクリートの諸性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1111-1116, 2005
- 高木翔太ほか：暑中コンクリート工事における品質管理に関する研究 実大試験体による検討 1~2, 日本建築学会学術講演慷慨集(北陸), A-1, pp.853-856, 2010.9
- 穴沢雅明ほか：暑中コンクリートの品質確保に関する実験的研究 その7~10, 日本建築学会大会学術講演慷慨集(北海道), A-1, pp.615-622, 2013.8
- 立山創一ほか：暑中コンクリートの品質に関する実験 その1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), A-1, pp.657-662, 2012.9
- 中里剛, 中山英明：各種セメントを用いたコンクリートの暑中期における強度発現に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.337-342, 2013
- 仕入豊和, 地濃茂雄：コンクリートの凝結・効果におよぼす温度条件(20~90℃)の影響—プロクター貫入抵抗値の経時変化からの考察—, 日本建築学会論文報告集, No.313, PP.1-11, 1982.3