

20℃および38℃環境下におけるスランプ経時変化および凝結特性 の比較に基づく暑中コンクリートのフレッシュ性状推定評価

○三本 巖*1 高松 裕一*2 白石 篤雄*3 川島 靖*4 伊藤 司*5

要旨：本実験は、首都圏で代表的な骨材3種を使用している生コンクリート工場の夏期修正配合を用いて、20℃環境下の室内試し練りによって「日本建築学会近畿支部 暑中コンクリート工事における対策マニュアル2018」（以下、暑中コンマニュアルと称す）¹⁾に示すスランプの経時変化および凝結特性を確認した。その結果、一部の凝結特性において判断基準を満足しないものもあったが、他配合はスランプの経時変化も含め、すべて満足することを確認した。また、同配合を用いた38℃環境下での室内試し練りを行った結果、全配合において20℃環境下での凝結特性を満足することを確認した。

キーワード：暑中コンクリート、コンクリート温度、スランプ経時変化、凝結特性、貫入抵抗値

1. はじめに

近年の地球温暖化に伴う気温上昇等により、暑中期に納入する際の荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超えることが顕在化しつつある。JIS A 5308²⁾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、JASS 5³⁾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」によって制約されているのが現状である。また、JASS 5の「荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超える場合に備えて、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く」に対し、暑中コンマニュアルでは、適用条件の一つに「荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超えるような環境下でのスランプの経時変化や貫入抵抗値等のデータを有していること。」とあるが、各生コンクリート工場がこれらのデータを有することは皆無に等しい。このため、暑中コンマニュアルでは、35℃を超える環境下の性状を確保するための手順として、20℃環境下におけるスランプの経時変化および凝結特性の判断の目安を示している。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の暑中コンクリート検討ワーキンググループでは、首都圏で代表的な骨材3種を使用している生コンクリート工場（以下、プラントA,B,Cと称す）を選定し、各工場の夏期修正標準配合（以下、配合と称す）に対して暑中コンマニュアルの手順を適用し、20℃環境下の判断基準を満足するかどうかの検証を行った。また、酷暑環境（室内環境温度38℃）での試し練りを併せて実施し、スランプの経時変化および貫入抵抗値の確認を行い、貫入抵抗値については、室内環境温度20℃との関係を確認した。

2. 実験概要

本実験における要因と水準を表-1に示す。実験は室内環境温度20℃および38℃での恒温室で実

*1 内山アドバンス *2 東京コンクリート *3 玉川生コンクリート協同組合
*4 クマコン熊谷 *5 全国生コンクリート工業組合連合会

施した。なお、練混ぜには強制練りパン型ミキサを用い、1バッチの練混ぜ量は40Lとした。実験に使用した材料を表-2に、配合を表-3に示す。使用材料および配合はプラント A,B,C で標準化しているものとし、混和剤添加率は練混ぜ直後の目標スランブを満足するように調整した。また、20°C環境下での実験では、プラント B および C の呼び方 30 18 20N について、練混ぜ直後のスランブが目標値の下限側となるように混和剤添加率を調整した配合も実施した。試験項目および判断基準を表-4に示す。

表-1 要因と水準

要因	水準
粗骨材種類	石灰岩碎石(海送品), 石灰岩碎石(内陸品), 砂岩碎石
呼び強度	30, 36
スランブ	18cm, 21cm
室内環境温度	20°C, 38°C

表-2 使用材料

工場	材料名	種類(産地又は製造会社)	品質
プラント A	セメント	C: 普通ポルトランドセメント(T社)	密度 3.16g/cm ³
	水	W: 上水道水(千葉県船橋市)	密度 1.00g/cm ³
	細骨材	S1: 石灰岩砕砂(栃木県佐野市)	表乾密度 2.66g/cm ³
		S2: 山砂(千葉県市原市)	表乾密度 2.60g/cm ³
	粗骨材	G1: 石灰岩碎石 2005(栃木県佐野市)	表乾密度 2.70g/cm ³
混和剤	AD: 高性能 AE 減水剤遅延形	—	
プラント B	セメント	C: 普通ポルトランドセメント(S社)	密度 3.15 g/cm ³
	水	W: 上水道水(千葉県船橋市)	密度 1.00g/cm ³
	細骨材	S1: 山砂(千葉県君津市)	表乾密度 2.60 g/cm ³
		S2: 石灰岩砕砂(高知県吾川郡)	表乾密度 2.66 g/cm ³
	粗骨材	G1: 石灰岩碎石 2005(高知県吾川郡)	表乾密度 2.70 g/cm ³
混和剤	AD: 高性能 AE 減水剤遅延形	—	
プラント C	セメント	C: 普通ポルトランドセメント(U社)	密度 3.16 g/cm ³
	水	W: 上水道水(千葉県船橋市)	密度 1.00g/cm ³
	細骨材	S1: 山砂(千葉県富津市)	表乾密度 2.58 g/cm ³
		S2: 砂岩砕砂(東京都八王子市)	表乾密度 2.64 g/cm ³
		S3: 砂岩砕砂(東京都八王子市)	表乾密度 2.64 g/cm ³
	粗骨材	G1: 砂岩碎石 2010(東京都八王子市)	表乾密度 2.66 g/cm ³
		G2: 砂岩碎石 1505(東京都八王子市)	表乾密度 2.66 g/cm ³
混和剤	AD: 高性能 AE 減水剤遅延形	—	

表-3 実験配合

工場	呼び方	目標スランブ(cm)	単位量(kg/m ³)								AD 添加率*1	
			W	C	S1	S2	S3	G1	G2	20°C*2	38°C*2	
プラント A	30 18 20N	21.0±1.0	170	343	335	501	—	967	—	0.95	1.20	
	30 21 20N	23.0±1.0	175	353	336	503	—	943	—	0.90	1.30	
	36 18 20N	21.0±1.0	170	395	314	470	—	975	—	0.85	1.25	
	36 21 20N	23.0±1.0	175	407	319	478	—	940	—	0.90	1.25	
プラント B	30 18 20N	21.0±1.0	175	343	512	351	—	923	—	0.85	0.90	
	30 18 20N	20.0*3	175	343	512	351	—	923	—	0.65	—	
	30 21 20N	23.0±1.0	175	343	538	367	—	880	—	1.05	1.05	
	36 18 20N	21.0±1.0	175	393	481	330	—	934	—	0.75	0.80	
プラント C	36 21 20N	23.0±1.0	175	393	507	346	—	891	—	0.95	0.95	
	30 18 20N	20.0±1.0	175	319	133	514	239	455	455	1.00	1.15	
プラント C	30 18 20N	19.0*3	175	319	133	514	239	455	455	0.85	—	
	30 21 20N	23.0±1.0	175	319	140	542	252	431	431	1.15	1.25	
	36 18 20N	20.0±1.0	170	341	132	511	238	455	455	1.05	1.20	
	36 21 20N	23.0±1.0	175	351	136	526	245	431	431	1.15	1.30	

*1: セメント質量に対する質量添加率(%) *2: 室内環境温度

*3: 練混ぜ直後のスランブ目標値を下限側に設定

表-4 試験項目と判断基準

試験項目	試験方法	判断基準
スランブ	JIS A 1101	練混ぜ直後は表-3 目標スランブによる。室内環境温度 20°Cは経時 60 分後のスランブ低下量を 6cm 以下。
空気量	JIS A 1128	練混ぜ直後 5.0±1.5%とする。経時 30 および 60 分後は実測値とする。
コンクリート温度	JIS A 1156*1	室内環境温度 20°Cは 20.0±2.0°Cとする。室内環境温度 38°Cは実測値とする。
凝結時間	JIS A 1147	室内環境温度 20°Cは貫入抵抗値 0.5N/mm ² に到達した時間に 0.65 を乗じた結果が 3.5 時間以上。

*1: 測定結果は小数点以下 1 けたで表記。

3. 結果および考察

3. 1 室内環境温度 20°Cにおける試験結果

(1) 基本性状

基本性状の試験結果を表-5に示す。スランプ、空気量およびコンクリート温度は判断基準を満足した。練混ぜ直後のスランプと経時 60 分後のスランプ変化量の関係を図-1に示す。プラント B の呼び方 30 18 20N で練混ぜ直後の目標値が下限側の場合、スランプ低下量が比較的大きい結果もあったが、全ての配合において経時 60 分後のスランプ低下量は 6cm 以下で判断基準を満足した。また、混和剤添加率と経時 60 分後のスランプ変化量の関係を図-2に示す。暑中コンマニユアルに混和剤の使用量が少なかった場合、スランプの保持性能が十分確保できない可能性があるとの記載があるが、今回の実験結果でも同様の原因と考えられる結果となった。

表-5 基本性状の試験結果(室内環境温度 20°Cの場合)

工場	呼び方	練混ぜ直後			経時 30 分後			経時 60 分後		
		スランプ (cm)	空気量 (%)	CT*2 (°C)	スランプ (cm)	空気量 (%)	CT*2 (°C)	スランプ (cm)	空気量 (%)	CT*2 (°C)
プラ ン ト A	30 18 20N	22.0	4.5	21.2	21.5	4.6	20.2	20.5	4.6	20.0
	30 21 20N	22.5	4.5	20.5	22.5	4.4	20.9	21.0	4.5	21.2
	36 18 20N	21.0	4.8	20.5	21.5	4.8	21.0	21.5	4.8	20.1
	36 21 20N	23.5	4.3	20.5	24.0	4.0	20.5	23.5	4.1	20.0
プラ ン ト B	30 18 20N	21.5	6.5	19.4	22.0	5.7	19.4	21.5	5.9	19.4
	30 18 20N*1	20.0	5.7	20.0	19.5	5.0	20.0	15.5	4.8	19.8
	30 21 20N	23.0	4.0	19.5	23.5	3.9	19.8	22.5	4.1	19.6
	36 18 20N	22.0	5.5	20.0	22.5	5.0	19.7	21.5	4.8	19.4
プラ ン ト C	30 18 20N	23.0	4.8	19.5	23.5	4.9	19.8	23.0	5.1	19.6
	30 18 20N*1	21.0	4.7	20.0	21.0	4.5	20.0	20.0	4.3	19.8
	30 21 20N	19.0	4.9	20.0	21.0	4.8	20.0	19.0	4.6	19.9
	36 18 20N	22.0	5.1	20.0	21.5	4.8	19.7	20.5	4.9	19.6
C	36 18 20N	20.0	4.4	20.2	21.5	4.3	20.2	20.5	4.4	19.9
	36 21 20N	22.0	4.0	20.0	23.5	3.9	19.7	22.0	3.9	19.4

*1：練混ぜ直後のスランプが目標値下限の配合

*2：コンクリート温度

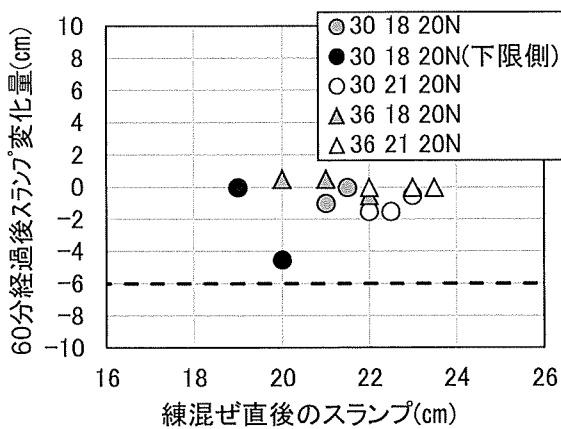


図-1 練混ぜ直後のスランプと 60 分経過後のスランプ変化量の関係

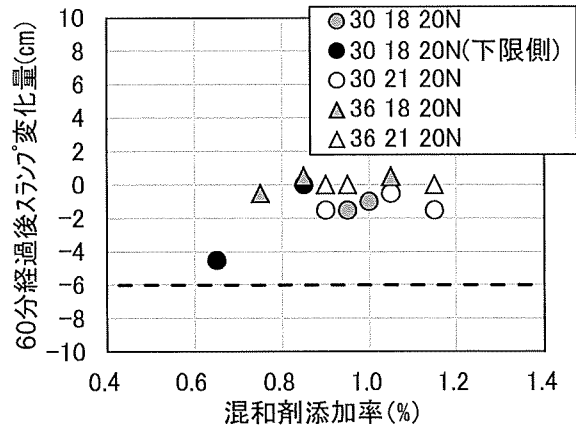


図-2 混和剤添加率と 60 分経過後のスランプ変化量の関係

(2) 凝結特性

混和剤添加率と貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間の関係を図-3 に示す。この結果、正の相関が得られ、混和剤添加率が大きいと 0.5N/mm² 到達時間が遅くなる傾向を示した。

また、JASS 5 におけるコールドジョイントが生じないための打重ね許容の目安は、一般の場合、貫入抵抗試験による貫入抵抗値が 0.5N/mm² になるときとしており、これに到達する時間が暑中期の場合、運搬時間の限度を 90 分、打重ね時間の限度を 120 分とした合計 210 分（3 時間 30 分）以上であれば、コールドジョイントを防止できると考えられる。また、暑中コンマニユアルでは、20℃環境下での貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間(T₂₀)に対して、コンクリート温度が 38℃になった場合の 0.5N/mm² 到達時間(T₃₈)を式(1)により推定できるとしている。

$$T_{38} = 0.65 \times T_{20} \tag{1}$$

式(1)による T₃₈ 到達時間結果を表-6 に示す。呼び方 30 18 20N に、3 時間 30 分を満足しない結果があったが、それ以外の配合については判断基準の 3 時間 30 分以上であることを確認した。

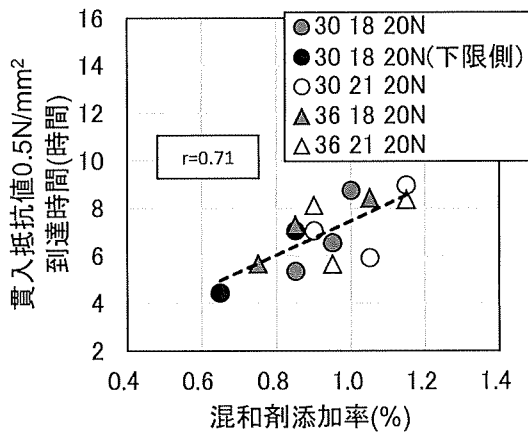


図-3 混和剤添加率と貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間の関係

表-6 貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間結果

工場	呼び方	T ₂₀	T ₃₈
プラント A	30 18 20N	6:34	4:16
	30 21 20N	7:04	4:35
	36 18 20N	7:19	4:45
	36 21 20N	8:08	5:17
プラント B	30 18 20N	5:22	3:29
	30 18 20N *1	4:27	2:53
	30 21 20N	5:56	3:51
	36 18 20N	5:41	3:41
プラント C	36 21 20N	5:40	3:41
	30 18 20N	8:47	5:42
	30 18 20N *1	7:04	4:35
	30 21 20N	9:00	5:51
	36 18 20N	8:27	5:29
	36 21 20N	8:23	5:26

注) 単位は (時間 : 分)

*1 : 練混ぜ直後のスランプが目標値下限の配合

3. 2 室内環境温度 38℃における試験結果

(1) 基本性状

基本性状の試験結果を表-7 に示す。スランプ、空気量およびコンクリート温度は判断基準を満足した。練混ぜ直後のスランプと経時 60 分後のスランプ変化量の関係を図-4 に示す。また、混和剤添加率と経時 60 分後のスランプ変化量の関係を図-5 に示す。室内環境温度が 38℃の場合において、室内環境温度 20℃の場合と比較して、スランプ低下量は大きくなる結果となった。

(2) 凝結特性

室内環境温度 38℃における凝結試験（貫入抵抗値 0.5N/mm² の到達時間）結果を表-8 に示す。この結果、貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間は、すべての配合において打重ねによるコールドジョイント発生防止時間の範囲内である 3 時間 30 分（3.5 時間）以上であることが確認できた。

また、混和剤添加率と貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間の関係を図-6 に示すが、室内環境温度 20℃の場合と同様に混和剤添加率が大きくなるにつれ、貫入抵抗到達時間は長くなる傾向となった。

表-7 基本性状の試験結果（室内環境温度 38°Cの場合）

工場	呼び方	練混ぜ直後			経時 30 分後			経時 60 分後		
		スランプ ¹ (cm)	空気量 (%)	CT ^{*1} (°C)	スランプ ¹ (cm)	空気量 (%)	CT ^{*1} (°C)	スランプ ¹ (cm)	空気量 (%)	CT ^{*1} (°C)
プラ ント A	30 18 20N	21.0	4.8	35.2	20.5	4.7	35.2	18.0	5.0	35.1
	30 21 20N	23.0	4.1	35.1	22.5	4.1	35.1	21.5	4.5	35.2
	36 18 20N	22.0	4.8	35.1	22.0	4.9	35.3	20.5	5.0	35.1
	36 21 20N	23.5	4.5	35.2	23.0	4.8	35.1	21.5	4.7	35.2
プラ ント B	30 18 20N	22.0	5.5	35.0	21.0	5.0	35.0	14.0	5.0	35.2
	30 21 20N	23.0	6.2	35.3	21.5	6.5	35.2	18.0	6.1	35.2
	36 18 20N	22.0	6.0	35.0	21.0	4.9	35.0	20.0	4.5	35.3
	36 21 20N	23.0	6.5	35.0	21.5	5.3	35.2	20.5	4.7	35.2
プラ ント C	30 18 20N	21.0	6.4	35.1	21.0	6.2	35.1	19.0	6.3	35.0
	30 21 20N	22.0	5.8	35.2	22.0	6.2	35.1	20.0	6.2	35.1
	36 18 20N	21.0	5.1	35.1	21.0	5.5	35.1	19.0	6.2	35.1
	36 21 20N	23.0	4.5	35.2	23.0	4.2	35.1	22.5	4.5	35.1

*1：コンクリート温度

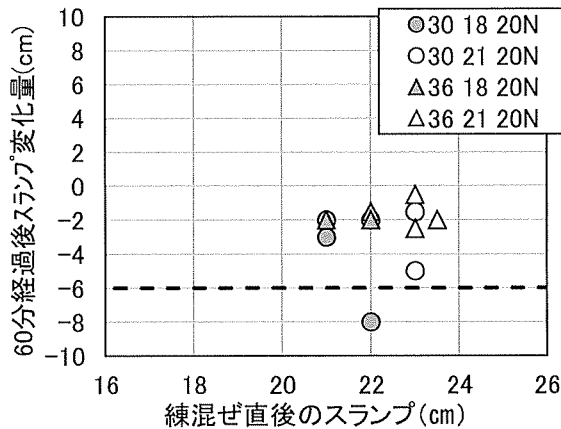


図-4 練混ぜ直後のスランプと 60 分経過後のスランプ変化量の関係

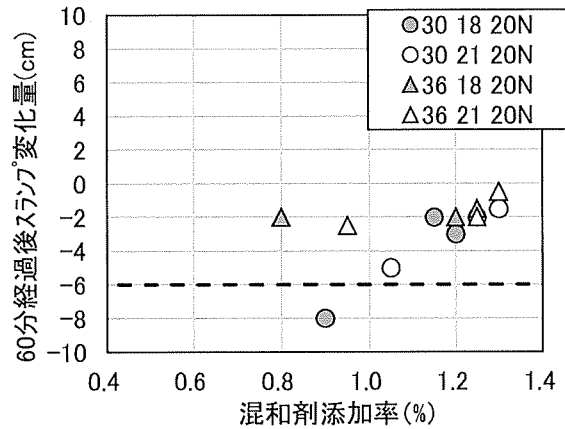


図-5 混和剤添加率と 60 分経過後のスランプ変化量の関係

3. 3 室内環境温度 20°Cと 38°Cにおける試験結果の複合検討（凝結特性）

室内環境温度 20°Cと 38°Cの場合における貫入抵抗値が 0.5N/mm²に達する時間を表-8に示す。室内環境温度 20°Cに対して 38°Cの凝結時間の比率の平均値は 0.71 であり、暑中コンマニュアルでは、20°C環境下での貫入抵抗値 0.5N/mm²到達時間(T₂₀)に対して、コンクリート温度が 38°Cになった場合の 0.5N/mm²到達時間(T₃₈)を式(1)として採用した 0.65 よりも若干大きい値となった。また、図-7に室内環境温度 20°Cと 38°Cの貫入抵抗値 0.5N/mm²到達時間の関係を示すが、室内環境温度 38°Cの凝結時間は暑中コンマニュアル

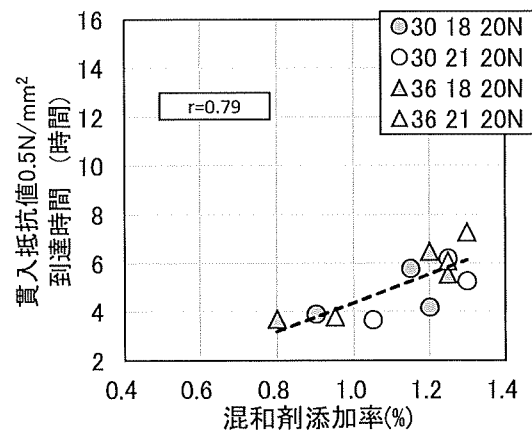


図-6 混和剤添加率と貫入抵抗値 0.5N/mm²到達時間の関係

に示す式(1)によって計算される値と同じか大きい値を示していることが確認された。

表-8 貫入抵抗値 0.5 N/mm²に達する時間

工場	呼び方	凝結時間 (時間)		38°C /20°C
		20°C	38°C	
プラント A	30 18 20N	6.57	4.20	0.64
	30 21 20N	7.07	5.27	0.75
	36 18 20N	7.32	5.55	0.76
	36 21 20N	8.13	6.10	0.75
プラント B	30 18 20N	5.37	3.92	0.73
	30 21 20N	5.93	3.68	0.62
	36 18 20N	5.68	3.70	0.65
	36 21 20N	5.67	3.80	0.67
プラント C	30 18 20N	8.78	5.78	0.66
	30 21 20N	9.00	6.22	0.69
	36 18 20N	8.45	6.48	0.77
	36 21 20N	8.38	7.28	0.87
		平均		0.71

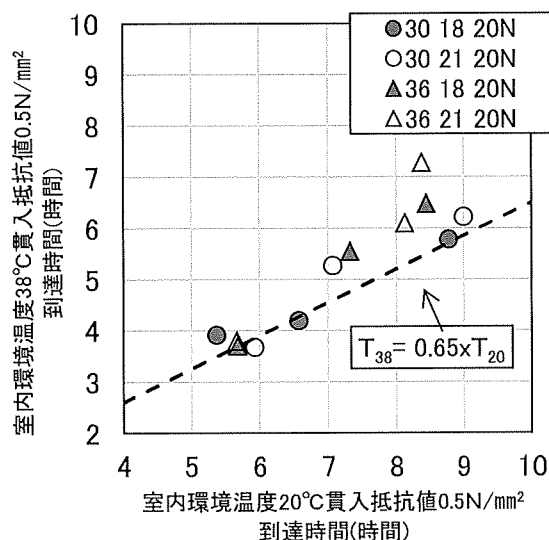


図-7 室内環境温度 20°Cと 38°Cの貫入抵抗値 0.5 N/mm²到達時間の関係

4. まとめ

本実験で得られた知見について以下に示す。

4. 1 スランプの経時変化

室内環境温度 20°Cで実施した場合、暑中コンマニユアルに示されている静置状態で 60 分経過後のスランプ低下量が 6cm 以下に対し、本実験において、すべての配合で条件を満足する結果を得た。しかし、呼び方 30 18 20N の配合で練混ぜ直後の目標値が下限側の場合に、スランプの低下量が大きくなる結果があった。また、室内環境温度 38°Cで実施した場合は、20°C環境下に対し混和剤の添加量が増えたにもかかわらず経時 60 分後のスランプ低下量が大きくなる傾向となった。

4. 2 凝結特性

室内環境温度 20°Cで実施した場合、暑中コンマニユアルに示されている貫入抵抗値 0.5N/mm²に達した時間に 0.65 倍した時間が 38°C環境下のコンクリートの凝結時間である 3 時間 30 分以上に対し、本実験において、呼び方 30 18 20N の配合で条件を満足しない結果があった。しかし、室内環境温度 38°Cで実施した場合に、全ての配合において貫入抵抗値 0.5N/mm²到達する時間が 3 時間 30 分以上を満足したため、酷暑期の打重ねにも対応できると判断する。

謝辞：本実験にあたり、晴海小野田レミコン 諏訪氏、上陽レミコン 新井氏、東京地区生コンクリート協同組合 田中氏、東京都生コンクリート工業組合 松田氏・大嶋氏に懇切丁寧なご指導を頂いた。また、本実験に参加した生コンクリート工場、混和剤メーカー各社、全国生コンクリート工業組合連合会中央技術研究所および八洋コンサルタントの方々にも多大な協力を頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会近畿支部：暑中コンクリート工事における対策マニュアル 2018, 2019.3
- 2) 日本規格協会：JIS A 5308 「レディーミクストコンクリート」 2019, 2019.3
- 3) 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 2018, 2018.7