

酷暑期における超高強度コンクリートの各種性状に関する基礎検討

STUDY ON PROPERTIES OF ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE IN EXTREMELY HOT SEASON

高橋祐一 *1 李 曉赫 *2

Yuichi TAKAHASHI *1 Xiaohu LI *2

キーワード:

酷暑期, 超高強度コンクリート, フレッシュコンクリート, 圧縮強度, 凝結性状

Keywords:

Extremely hot season, Ultra high strength concrete, Fresh concrete, Compressive strength, Setting time

In this study, an experimental study is carried out to confirm time dependent change of fresh concrete, setting time and compressive strength of ultra-high strength concrete exceeding 35°C. As the result, it is confirmed that the fresh properties of concrete using chemical admixture properly was stability. And, it is confirmed that concrete could secure the prescribed compressive strength. Additionally, it is suggested that the time to reach the respective penetration resistance value could be estimated from concrete temperature and chemical admixture usage.

1. はじめに

近年の温暖化や都市型の気候の影響で暑中期間が長期化し、かつ過酷な状況になっており、今後もこの傾向が継続するといわれている¹⁾。暑中期間では、コンクリート温度が高くなってしまい、その影響で、フレッシュコンクリートは、スランプ（フロー）や空気量の低下が大きくなる傾向にある。また、凝結が促進され、コールドジョイントが発生しやすくなる。さらに、硬化コンクリートでは、初期強度は大きくなるものの、長期的には強度の伸びが小さくなるといった問題が起きやすい。

一方、地上30階を超えるような超高層鉄筋コンクリート造建築物では、設計基準強度（以下、Fc）100N/mm²以上の超高強度コンクリートが使用されることが多い。このような超高強度コンクリートは、単位セメント量が多いことや練混ぜ時間が長いことから、一般のコンクリートと比較して、練上がり温度が高くなりやすい。そのため、超高強度コンクリートの場合、日平均気温の日別平滑値が28°Cを超えるような期間では、練上がり温度が35°Cを超え、荷卸し時にはさらに高温になることが懸念される。

しかし、Fc80N/mm²以下の高強度コンクリートについては、35°Cを超えた場合のフレッシュコンクリートの経時変化や凝結性状、硬化コンクリートの強度に関する報告^{例えば1), 2)}があるものの、Fc100N/mm²以上の超高強度コンクリートを対象とした報告は少ない。

そこで、本検討では、コンクリート温度が35°Cを超えるFc100~Fc150N/mm²の超高強度コンクリートを対象として、フレッシュコンクリートの経時変化と圧縮強度を確認する実機実験と主に凝結性状を確認する室内実験を実施した。本報ではその結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用した材料を表1に示す。セメントはシリカフェーム混合セメントを使用した。化学混和剤は高性能AE減水剤、高性能減水剤および収縮低減型の高性能減水剤を使用した。コンクリートの調合を表2に示す。水セメント比は、Fc100N/mm²、120N/mm²および

表1 使用材料

	種類・産地	記号	物性・主成分
セメント	シリカフェーム混合セメント	C	密度: 3.04g/cm ³
練混ぜ水 ^{*1}	工業用水/上水道水	W	—
細骨材 ^{*2}	砕砂/栃木県鹿沼市	S1	表乾密度: 2.62g/cm ³
	山砂/千葉県市原市	S2	表乾密度: 2.60g/cm ³
粗骨材	砕石2005/栃木県鹿沼市	G	表乾密度: 2.64g/cm ³
化学混和剤	高性能AE減水剤(標準形)	SP1	ポリカルボン酸系化合物
	高性能減水剤	SP2	ポリカルボン酸系化合物
	収縮低減型高性能減水剤	SP3	ポリカルボン酸系化合物 グリコールエーテル系誘導体

*1 実機実験/室内実験 *2 砕砂: 山砂=70:30 (質量比)

表2 調合

調合名 ^{*1}	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					SP ^{*2} (C×%)	SP種類
			W	C	S1	S2	G		
W/C20	20.0	42.4	160	800	432	184	845	1.35/1.55 1.30	SP1
W/C17	17.0	37.2	160	942	348	148	845	1.10/1.25 1.10	SP2
W/C13	13.0	22.8	160	1231	174	74	845	1.80/1.75 1.80・1.50	SP3

*1 調合名: 水セメント比

*2 上段: 実機実験(夏期)/実機実験(標準期) 下段: 室内実験

¹⁾ 五洋建設株式会社技術開発部 専門部長・博士(工学)
 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

²⁾ 五洋建設株式会社技術開発部 係員・博士(工学)

¹⁾ Senior Manager, Building Construction Engineering R&D Division, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd., Dr.Eng.

²⁾ Engineer, Building Construction Engineering R&D Division, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd., Dr.Eng.

表3 実験条件および練混ぜ概要

	調合名	SP 使用量	練混ぜ 方法	練混ぜ量	練混ぜ時間 ^{*1}
実機実験 (夏期)	W/C20	C×1.35%	モルタル 先行	1.5m ³ ×2	120秒+90秒
	W/C17	C×1.10%			210秒+150秒
	W/C13	C×1.80%			420秒+210秒
実機実験 (標準期)	W/C20	C×1.55%	モルタル 先行	1.5m ³ ×2	120秒+90秒
	W/C17	C×1.25%			210秒+150秒
	W/C13	C×1.75%			420秒+210秒
室内実験 (環境温度 20℃)	W/C20	C×1.30%	モルタル 先行	40L	120秒+120秒
	W/C17	C×1.10%			210秒+150秒
	W/C13	C×1.80% C×1.50%			420秒+210秒
室内実験 (環境温度 30℃)	W/C20	C×1.10%	モルタル 先行	40L	120秒+120秒
	W/C13	C×1.80%			420秒+210秒
室内実験 (環境温度 40℃)	W/C20	C×1.30%	モルタル 先行	30L×2	120秒+120秒
	W/C17	C×1.10%			210秒+150秒
	W/C13	C×1.80% C×1.50%			420秒+210秒

*1 モルタル練混ぜ時間+コンクリート練混ぜ時間

表4 試験項目および試験方法

対象	試験項目	試験方法	試験実施 ^{*1}	
			実機	室内
フレッシュ コンクリート	スランプフロー	JIS A 1101	○	○
	空気量	JIS A 1128	○	○
	温度	JIS A 1156	○	○
	凝結時間	JIS A 1147	—	○
硬化 コンクリート	圧縮強度 (標準養生)	JIS A 1108	○	—
	圧縮強度 (模擬柱試験体コア)	JIS A 1107	○	—

*1 ○：実施 —：実施しない

150N/mm²を想定し、それぞれ20%、17%および13%とした。目標スランプフロー(許容差)は、水セメント比20%と17%が60cm(±10cm)、13%が70cm(±10cm)とし、目標空気量(許容差)は、2.0%(3.0%以下)とし、管理値内に収まるように化学混和剤の使用量を調整した。

2.2 実験条件と練混ぜ方法

実験条件および練混ぜの概要を表3に示す。実機実験は、夏期を令和元年7月31日(W/C17・W/C13)および8月1日(W/C20)に、標準期を令和2年10月7日(W/C17・W/C13)および10月9日(W/C20)に実施した。練混ぜは、容量2.75m³の強制二軸練りミキサを使用しモルタル先行方式で実施した。練混ぜ量は1バッチ1.5m³とし、2バッチ練り混ぜてトラックアジテータで混合した。室内実験は、環境温度を20℃、30℃および40℃に設定した恒温室内にて実施した。また、使用する材料は練混ぜの数日前から恒温室内にて保管した。練混ぜは容量60Lの強制二軸練りミキサを使用し、実機実験と同様にモルタル先行方式で実施した。練混ぜ量は、環境温度20℃および30℃で40L、40℃で30L×2バッチとした。なお、室内実験における化学混和剤の使用量は、化学混和剤の使用量が及ばず影響を除外するため、各環境温度で一定とした。ただし、W/C13については使用量の影響を確認するため、C×1.80%から1.50%に減じたケースを設定した。なお、W/C13の20℃と40℃のケースは、結果の妥当性を確認するため、それぞれ2回ずつ実施した。

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4に、模擬柱試験体の模式図を図1に示す。フレッシュコンクリートの試験は、実機実験では練混ぜ直

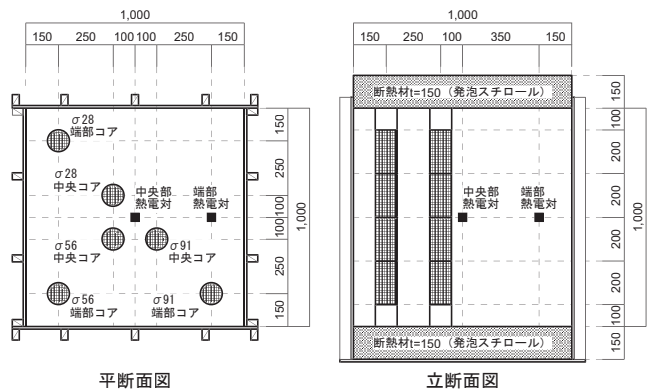


図1 模擬柱試験体模式図

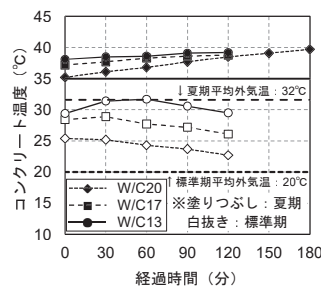


図2 コンクリート温度の経時変化

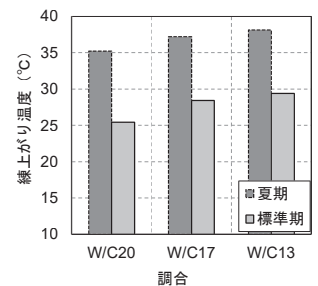


図3 各調合の打込み時期別の練上がり温度

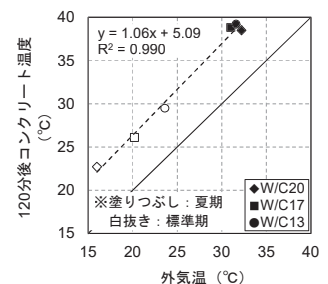
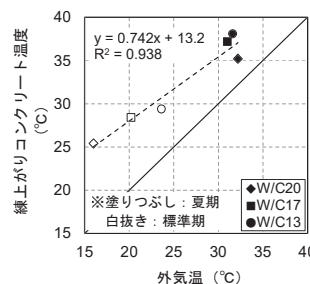


図4 外気温と練上がりおよび120分後のコンクリート温度の関係

後とそれ以降は30分ごとに経時120分まで(夏期のW/C20は180分まで)実施し、室内実験では練混ぜ後5分静置して30秒攪拌後に排出して実施した。実機実験における圧縮強度試験用の標準養生供試体および模擬柱試験体は、経時60分で採取した。

3. 実機実験結果および考察

3.1 コンクリート温度

実機実験におけるコンクリート温度の経時変化を図2に示す。なお、図中には実機実験中の平均外気温を示している。夏期のコンクリート温度は、練上がり直後で35.2℃~38.2℃、経時120分後で38.5℃~39.2℃で、練上がり直後から35℃を超える結果であった。各調合の打込み時期別の練上がり温度をみると(図3)、調合が異なるため一概には言えないが、水セメント比が小さく練混ぜ時間が長いほどコンクリート温度が高くなる傾向にあり、標準期よりも夏期の方が10℃程度高くなった。外気温と練上がり温度および120分後の温度の関係をみると(図4)、練上がり温度は標準期の方が外気温

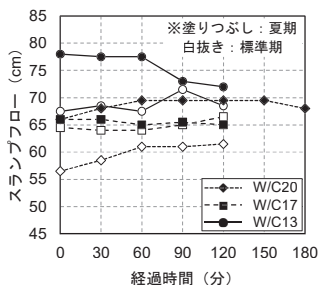


図5 スランプフローの経時変化

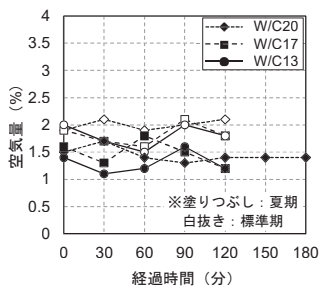


図6 空気量の経時変化

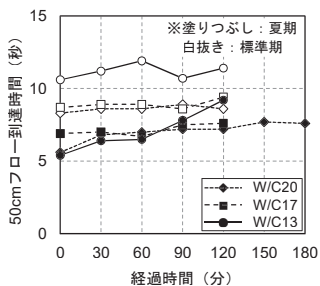


図7 50cmフロア到達時間の経時変化

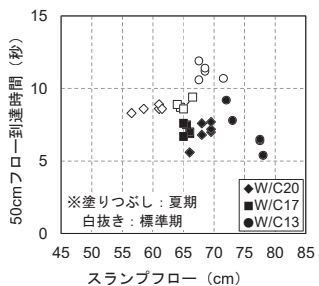


図8 スランプフローと50cmフロア到達時間の関係

表5 模擬柱試験体の温度測定結果

		打込み温度 (°C)		最高温度 (°C)		最高温度到達時間 (h:m)		温度上昇量 (°C)	
		夏期	標準期	夏期	標準期	夏期	標準期	夏期	標準期
W/C20	中央	36.8	24.3	92.0	71.7	21:55	26:09	55.2	47.4
	端部			83.4	64.0	18:45	25:09	46.6	39.7
W/C17	中央	38.3	27.7	91.7	79.0	20:18	23:25	53.4	51.3
	端部			79.6	71.9	17:58	21:45	41.3	44.2
W/C13	中央	38.6	31.7	97.3	86.2	35:07	29:00	58.7	54.5
	端部			81.2	69.2	29:07	24:40	42.6	37.5

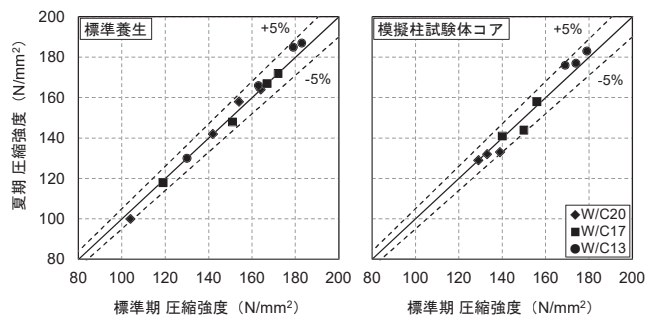


図9 標準期と夏期における標準養生および模擬柱試験体コア強度の比較

との差が大きくなっているものの、120分後では5°C程度となり、時期や割合に関わらず同程度であった。これらのことから、夏期のコンクリート温度は、標準期と比較して、練上りの温度と外気温との差は小さいものの、高温の状態を保持してしまうことが確認できる。

スランプフローの経時変化を図5に、空気量の経時変化を図6に示す。荷卸し時を想定した経時60分、その他の時間についても、スランプフローおよび空気量ともに管理値内に収まった。とくに経時180分まで確認した夏期のW/C20では、スランプフローおよび空気量ともに大きな変化もなく概ね同程度の値で推移した。夏期と標準期のスランプフローを比較すると、化学混和剤の使用量はW/C13を除いて夏期の方が少ないものの、各割合とも標準期よりも夏期の方が大きくなっている。50cmフロア到達時間の経時変化を図7に、スランプフローと50cmフロア到達時間の関係を図8に示す。これらを見ると、50cmフロア到達時間は、同一割合において夏期の方が早く、また、同程度のスランプフローにおいても夏期の方が早くなっていることが確認できる。これらのことから、コンクリート温度が高い夏期における粘性の方が標準期よりも小さいことが推察される。

以上のことから、Fc100~Fc150N/mm²の超高強度コンクリートの場合、コンクリート温度が35°Cを超えるような酷暑期においても、化学混和剤の使用量が一定量以上の場合、スランプフローや空気量の大きな低下もなく安定したフレッシュ性状を保持できると考えられる。

3.2 模擬柱試験体の温度変化

模擬柱試験体の温度測定結果を表5に示す。模擬柱試験体の最高温度および温度上昇量は、中央、端部ともに夏期の方が大きくなっており、打込み温度が高いほど温度が上昇しやすいことが確認できる。また、最高温度に到達する時間は、W/C20およびW/C17で夏期の方が早く、W/C13では逆に遅い結果となっており、化学混和剤の

表6 フレッシュコンクリート試験結果 (室内実験)

割合名 ^{*1}	環境温度 (°C)	スランプフロー (cm)		フロータイム (秒)		空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
		平均	50cm到達	50cm到達	停止		
W/C20-C×1.3	20	68.4×67.8	68.0	5.9	68.9	1.1	23.8
	30	63.5×62.5	63.0	7.4	53.7	1.0	30.6
	40	68.2×67.9	68.0	4.8	44.9	1.1	38.0
W/C17-C×1.1	20	70.6×68.7	69.5	6.0	79.0	1.2	24.9
	40	69.8×68.7	69.5	4.9	53.0	0.8	39.4
W/C13-C×1.8	20	78.0×77.4	77.5	7.7	180 ^{*2}	1.7	26.8
		81.0×80.5	81.0	8.1	180 ^{*2}	1.0	26.4
	30	78.5×77.5	78.0	8.2	180 ^{*2}	1.5	31.6
		79.1×78.8	79.0	6.0	180 ^{*2}	1.1	40.1
40	81.0×76.7	79.0	7.3	180 ^{*2}	1.8	40.8	
	20	72.1×71.7	72.0	12.1	180 ^{*2}	1.5	27.4
40	70.3×68.9	69.5	11.6	180 ^{*2}	1.6	40.1	

*1 割合名：水セメント比-化学混和剤添加量 (%)
*2 180秒で停止したものとして測定した。

使用量が少ないほど早くなる傾向にあった。

3.3 圧縮強度

標準期と夏期における標準養生圧縮強度および模擬柱試験体のコア強度の比較を図9に示す。標準養生および模擬柱試験体ともに、標準期に採取したコンクリートに対し±5%の範囲内に収まっており、大きな差はみられなかった。したがって、35°Cを超えたコンクリートであっても、標準養生および模擬柱試験体から採取したコア供試体ともに所要の圧縮強度が確保できることが確認された。

4. 室内実験結果および考察

4.1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果を表6に示す。また、各環境温度におけるW/C13のスランプフローの状態を写真1に示す。スラ

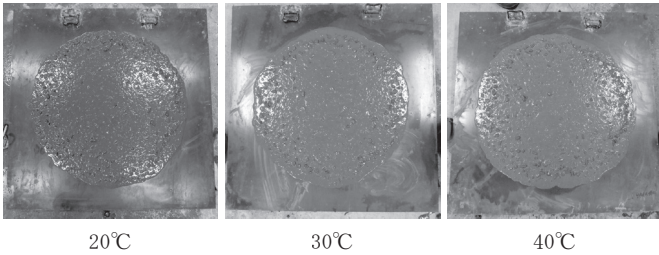


写真1 各環境温度におけるW/C13のスランブフロー

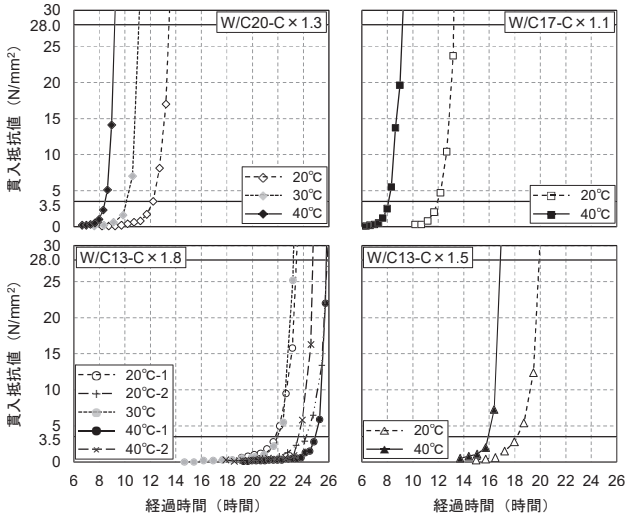


図10 凝結時間試験結果

ンブフローと空気量はいずれも管理値内に収まった。また、コンクリート温度は、環境温度 20°C で 23.8°C～27.4°C, 30°C で 30.6°C～31.6°C, 40°C で 38.0～40.8°C となった。環境温度が及ぼすスランブフローへの影響をみると、30°C でやや小さくなるものの、20°C と 40°C ではほぼ同程度であった。これは、実機実験と少し異なる傾向であった。この理由として、室内実験では、同一ロットのセメントおよび骨材を使用しているのに対し、実機実験ではそれぞれロットが異なっていたため、使用材料の差がスランブフローに影響を及ぼした^{例えは3)}ことが考えられるが明確ではない。一方、50cm フロー到達時間については、20°C よりも 40°C の方が早い結果となっており、実機実験と同様に 40°C の粘性の方が小さくなる傾向がみられた。ただし、30°C では最も遅い結果となっており、さらなる検討が必要と思われる。

4.2 凝結性状

(1) 始発時間・終結時間

凝結時間試験の結果を図10に、各調合の始発時間と凝結時間を図11に示す。ここで、始発時間と終結時間は、指数関数による近似式で算定すると、実験結果との乖離が大きかったため、始発までを指数関数による近似式により、始発以降は直線補間により算定した。なお、W/C13の20°Cと40°Cのケースは2回の結果の平均値を示している(以下、同様とする)。始発時間および終結時間は、W/C20とW/C17ではほぼ同程度、W/C13-C×1.8およびW/C13-C×1.5では、他の2調合より大きく遅れる結果であった。また、環境温度の影響をみると、W/C13-C×1.8を除いて環境温度が高いほど短くなる傾向にあった。

コンクリートの練上がり温度と始発時間および終結時間の関係を

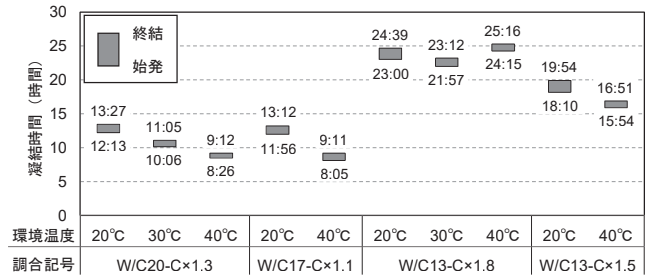


図11 各調合の始発時間と終結時間

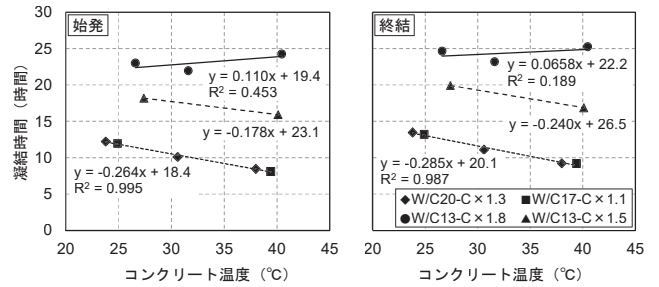


図12 コンクリートの練上がり温度と始発・終結時間の関係

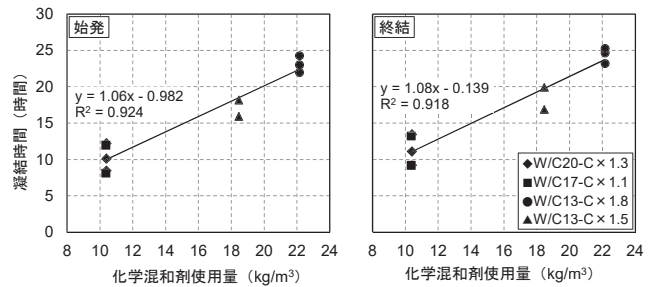


図13 化学混和剤使用量と始発・終結時間の関係

図12に示す。全体としては明確な傾向がみられないものの、W/C20とW/C17を併せてみた場合、コンクリートの温度が高いほど、始発時間および終結時間もともに早くなる傾向にあり、W/C13-C×1.3でも同様の傾向がみられた。しかし、W/C13-C×1.8では明確な傾向になく、環境温度40°Cのケースが最も遅い結果であった。

化学混和剤使用量と始発時間および終結時間の関係を図13に示す。化学混和剤の使用量が多いほど、始発時間および終結時間もともに遅くなる傾向がみられた。

(2) 打重ね許容時間

日本建築学会の「建築工事標準仕様書・解説 JASS 5 コンクリート工事⁴⁾」では、注水後の打重ね時間の目安の参考として、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となる時間を示している。コンクリート温度および化学混和剤使用量と打重ね時間の目安である各貫入抵抗値に到達する時間との関係を図14に示す。コンクリート温度との関係では、始発時間や終結時間と同様にW/C20-C×1.3とW/C17-C×1.1、W/C13-C×1.5では、コンクリート温度が高いほど各貫入抵抗値に到達する時間が早くなった。W/C13-C×1.8では、40°C程度の場合に、他の温度よりも遅くなる結果であった。一方、化学混和剤使用量との関係をみると、使用量が

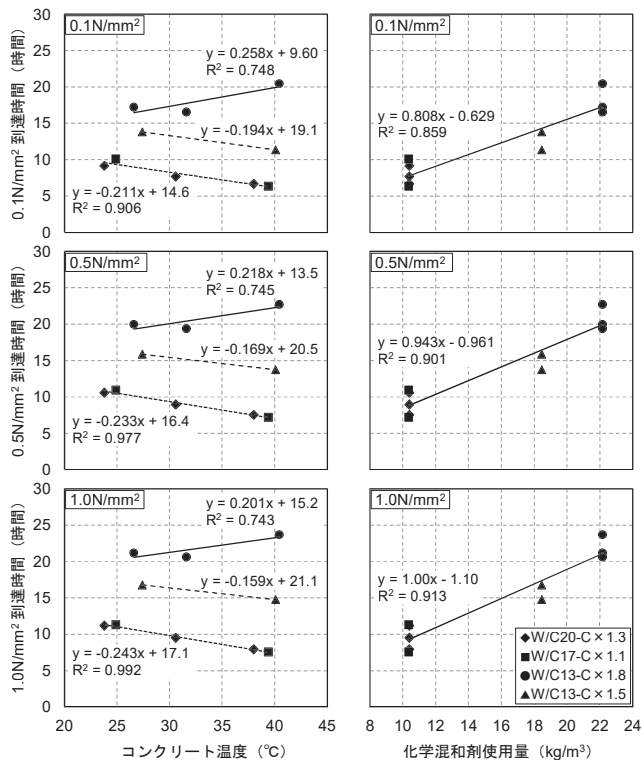


図 14 コンクリート温度および化学混和剤使用量と各貫入抵抗値に到達する時間の関係

多くなるほど各貫入抵抗値に到達する時間が遅くなる傾向がみられており、始発時間および終結時間と同様であった。以上より、各貫入抵抗値に到達する時間は、化学混和剤の使用量が多いほど遅くなり、同程度の化学混和剤使用量の場合、コンクリート温度が高いほど短くなると思われる。ただし、W/C13-C×1.8のようにある使用量以上となるとコンクリート温度の影響を受けにくくなると推察される。

また、日本建築学会の「高強度コンクリート施工指針・同解説⁵⁾」では、外気温が 25°C 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時間の限度は原則 120 分とされており、打重ね時間間隔の限度を 120 分と仮定すると、合わせて 240 分 (4 時間) となる。前述の各貫入抵抗値に到達する時間が、この時間以上となっていれば、コールドジョイントの発生を抑制できると考えられる。本実験の結果において、一般の場合の 0.5N/mm² に到達するのが最も早い調査は、環境温度 40°C における W/C17-C×1.1 で、最も化学混和剤の使用量が少ない調査であった。しかし、その時間は 6 時間 20 分で、4 時間以上を十分に確保できている。したがって、Fc100N/mm² 以上の超高強度コンクリートを酷暑期に使用した場合であっても、適切な化学混和剤の使用量とすることで、コールドジョイントの発生を抑制できると考えられる。

(3) 環境温度 20°C と 40°C の凝結時間の関係

日本建築学会の「暑中コンクリートの施工指針・同解説⁶⁾」(以下、暑中コン指針)には、呼び強度 24~45 を対象とした実験結果から設定した 20°C 環境下と 38°C 環境下における貫入抵抗値 0.5N/mm² に到達する時間の関係式として、下式が示されている。

$$T_{38} = 0.65 \times T_{20} \quad \dots (1)$$

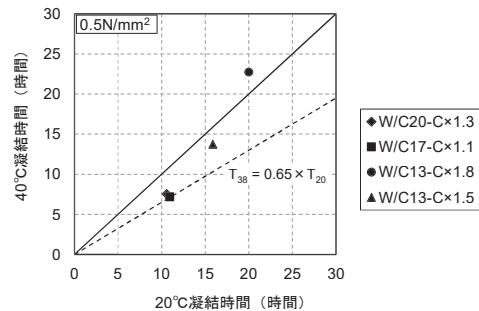


図 15 環境温度 20°C と 40°C における貫入抵抗値 0.5N/mm² に到達する時間の関係

表 7 重回帰分析結果

貫入抵抗値 T_p (N/mm ²)	α	β	γ	R^{*1}
0.1	-0.0996	0.824	2.34	0.937
0.5	-0.116	0.962	2.48	0.959
1.0	-0.122	1.02	2.55	0.965
始発 (3.5)	-0.160	1.08	3.79	0.977
終結 (28.0)	-0.195	1.11	5.66	0.980

*1 重相関係数

ここに、 T_{38} : 38°C の環境下で貫入抵抗値が 0.5N/mm² になる時間
 T_{20} : 20°C の環境下で貫入抵抗値が 0.5N/mm² になる時間
 そこで、本実験で対象とした Fc100N/mm² 以上の超高強度コンクリートについて同様の検討を試みた。結果を図 15 に示す。W/C20-C×1.3 と W/C17-C×1.1 は、暑中コン指針に示されている関係式とほぼ同様の関係であったものの、W/C13-C×1.8 と W/C13-C×1.5 は、それぞれ 0.86 倍、1.14 倍となり傾向が異なっていた。したがって、Fc100N/mm² 以上の超高強度コンクリートへの適用については、本実験の結果に加えて、さらなるデータを蓄積した上で判断する必要がある。

5. 凝結時間の定式化

本実験における凝結時間試験の結果をみると、図 14 に示す通り、各貫入抵抗値に到達する時間は、コンクリート温度および化学混和剤の使用量の影響を受けていることが確認できる。そこで、各貫入抵抗値に到達する時間を目的変数、コンクリート温度および化学混和剤使用量を説明変数として、式(2)による重回帰分析を行い、定式化を試みた。

$$T_p = \alpha CT + \beta W_{SP} + \gamma \quad \dots (2)$$

ここに、 T_p : 各貫入抵抗値に到達する時間 (時間)

CT : コンクリート温度 (°C)

W_{SP} : 化学混和剤使用量 (kg/m³)

α, β, γ : 係数

重回帰分析の結果を表 7 に示す。また、各貫入抵抗値に到達する時間の本実験における測定値と表 7 の結果を式(2)に入れて求めた計算値との関係を図 16 に示す。各貫入抵抗値に到達する時間の測定値と計算値は、W/C13-C×1.8 において測定値の方が大きいものの、他はほぼ同程度となっており、式(2)の精度は高いと思われる。今後はさらなるデータの蓄積を図り、精度を向上させていきたい。

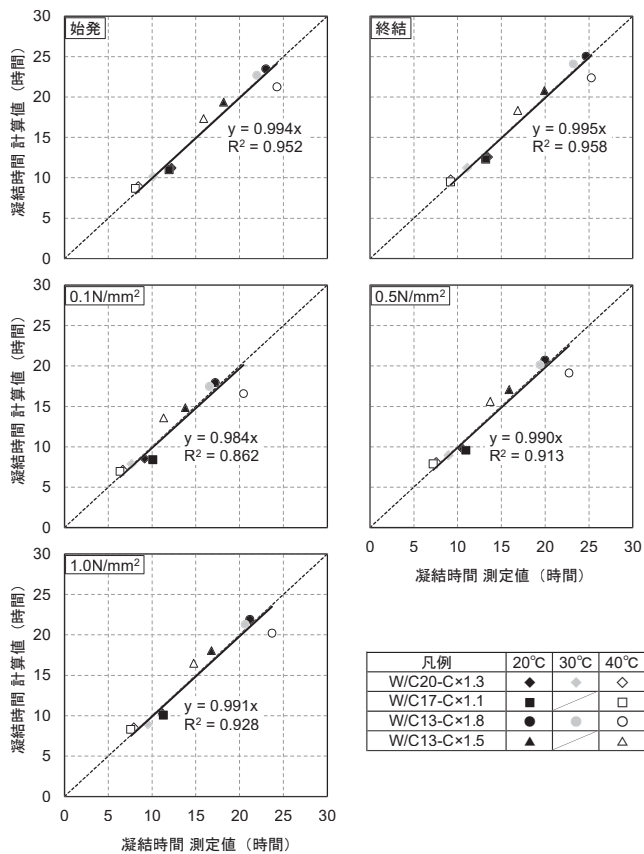


図 16 各貫入抵抗値に達する時間の測定値と計算値の比較

6. まとめ

本検討では、コンクリート温度が 35℃を超える Fc100～Fc150N/mm² の超高強度コンクリートについて、フレッシュコンクリートの経時変化と圧縮強度を確認する実機実験と主に凝結性状を確認する室内実験を実施した。本検討の範囲で得られた知見を以下に示す。

1) フレッシュ性状は、酷暑期であっても化学混和剤の使用量を一定

量以上とすることで、スランプフローや空気量の大きな低下もなく、安定した状態を保持することができる。

- 2) 圧縮強度は、酷暑期であっても、標準養生および模擬柱試験体から採取したコア供試体ともに標準期と大きな差はみられず、所要の圧縮強度を確保することができる。
- 3) 各貫入抵抗値に到達する時間は、コンクリート温度および化学混和剤使用量の影響を受けており、コンクリート温度が高いほど早く、化学混和剤使用量が多くなるほど遅くなる。ただし、ある使用量以上になると、コンクリート温度の影響を受けにくくなる。
- 4) 超高強度コンクリートを酷暑期に使用した場合でも、適切な化学混和剤の使用量とすることで、コールドジョイントの発生を抑制することが可能である。
- 5) 超高強度コンクリートの各貫入抵抗値に到達する時間は、コンクリート温度と化学混和剤の使用量から推定できる可能性が示唆された。

謝辞

本実験の実施にあたり、東京コンクリート(株)砂町工場、(株)フローリック、太平洋セメント(株)の各位に多大なるご協力をいただきました。各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 宮野和樹, 梶田秀幸, 舟橋政司, 梶田佳寛: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 1, pp. 1411～1416, 2015
- 2) 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
- 3) 高橋祐一, 松沢友弘, 轟見淳也, 猪瀬亮: 結合材の比表面積が超高強度コンクリートのワーカビリティに及ぼす影響に関する基礎検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 40, No. 1, pp. 1209～1214, 2018
- 4) 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. 7
- 5) 日本建築学会: 高強度コンクリート施工指針・同解説, 2013. 11
- 6) 日本建築学会: 暑中コンクリートの施工指針・同解説, 2019. 7

[2021年1月26日原稿受理 2021年4月2日採用決定]