

報告 設計基準強度 200N/mm² 級の超高強度コンクリートの実用化に関する実験的検討

宮野 和樹^{*1}・梶田 秀幸^{*2}・太田 健司^{*3}

要旨：設計基準強度 200N/mm² 級の超高強度コンクリートの実用化を目的に、室内における供試体および小型試験体を用いた基礎的性状の検討、ならびに、実機バッチャープラントにおける製造および実大規模の試験体の作製による、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの性状の検討を実施した。その結果、設定した材料・調合・製造方法とすることにより、水結合材比 14.0～11.5%の範囲で、すべての季節において、適切な流動性と材料分離抵抗性を有し、所要の空気量となるコンクリートが得られた。また、実大規模の試験体に断熱型枠と所定の加熱養生を実施することにより 200N/mm² 以上の圧縮強度が得られた。

キーワード：200N/mm²、超高強度コンクリート、実機実験、加熱養生

1. はじめに

近年、設計基準強度（以下、 F_c と略記）200N/mm² 以上の超高強度コンクリートが開発され^{1)~4)}、超高層建築物の下部の柱や開放的な空間を確保するための細径の鉄筋コンクリート柱等への適用が報告されている^{5)~7)}。 F_c 200N/mm² 以上の超高強度コンクリートの実用化のためには、材料・調合の選定により適切な流動性や所要の空気量となるフレッシュコンクリートを得られること、実機バッチャープラントにおける製造およびトラックアジテータ車による運搬が可能であること、材料・調合・養生方法の選定により構造体コンクリートの圧縮強度が200N/mm² 以上となること、調合設計方法および強度管理方法が設定できること、等が必要と考えられる。

そこで本研究では、 F_c 200N/mm² 級の超高強度コンクリートの実用化を目的に、室内における供試体および小型試験体を用いた基礎的性状の検討、ならびに、レディーミクストコンクリート工場の実機バッチャープラントにおける製造および実大規模の試験体の作製による、フレッシュコンクリートの性状、硬化コンクリートの性状について検討した。

2. 室内実験による基礎的性状の検討

2.1 実験概要

(1) 要因と水準、使用材料、調合

室内実験の要因と水準を表-1 に、供試体の養生方法における高温養生方法を図-1 に、小型ブロック試験体の概要を図-2 に示す。実験シリーズ1 では、水結合材比がフレッシュコンクリートの性状および圧縮強度へ及ぼす影響、供試体の養生方法が圧縮強度へ及ぼす影響を

表-1 室内実験の要因と水準

実験シリーズ	要因	水準
1	水結合材比(%)	14.0, 13.0, 12.5, 12.0, 11.5
	供試体の養生方法	・標準養生 ・高温養生A ^{*1}
2	シリカフェュームの置換率 ^{*2} (%)	0, 5, 10
	供試体および試験体の養生方法	・高温養生B ^{*1} ・40℃温水養生 ・小型ブロック試験体 ^{*3} による断熱養生

*1：高温養生方法は図-1 に示す

*2：シリカフェューム混合セメントと置換

*3：概要を図-2 に示す

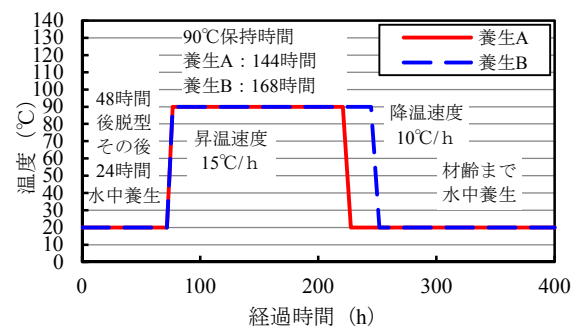


図-1 高温養生方法

検討した。実験シリーズ2 では、シリカフェュームを別添し、置換率を変化させた場合のフレッシュコンクリートの性状および圧縮強度への影響、供試体の養生方法が圧縮強度へ及ぼす影響を検討した。また、構造体コンクリートへ適用する際の養生方法の検討のために、6面を断熱した450mm×450mm×450mmの小型ブロック試験体にて、試験体の温度履歴および圧縮強度を確認した。

室内実験の使用材料を表-2 に示す。 F_c 200N/mm² 以上

*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 研究員 修士（工学）（正会員）

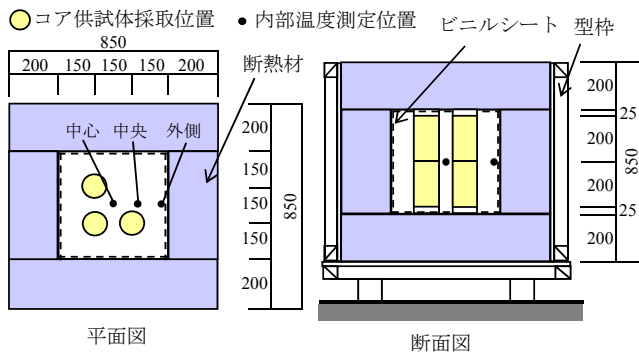


図-2 小型ブロック試験体の概要

表-2 室内実験の使用材料

材料	種類	記号	種類・特性・主成分
セメント	シリカフェウム 混合セメント	C	密度: 3.08g/cm ³
細骨材	硬質砂岩砕砂	S	表乾密度: 実験A 2.58g/cm ³ 実験B 2.55g/cm ³
粗骨材	硬質砂岩碎石	G	表乾密度: 実験A 2.64g/cm ³ 実験B 2.66g/cm ³
水	上水道水	W	—
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系
混和材	シリカフェウム	SF	密度: 2.25g/cm ³ 比表面積 7.2m ² /g
	鋼繊維	Sfb	密度: 7.85g/cm ³ φ 0.62 × 30mm

表-3 室内実験の調査

実験 シリー ーズ	調査 No.	W/B ^{*1} (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	シリカ フェウムの 置換率(%)	単位量(kg/m ³)					使用量 (kg/m ³)	添加率 (B ^{*1} ×%)
						W	C	SF	S	G		
1	1-1	14.0	36.8	0.50	0	155	1107	0	452	794	0	1.5
	1-2	13.0	32.8				1192		379			1.7
	1-3	12.5	30.3				1240		338			1.8
	1-4	12.0	27.6				1292		297			1.9
	1-5	11.5	24.2				1348		248			2.1
2	2-1	12.5	31.0	0.50	0	155	1240	0	342	794	39	2.2
	2-2		29.9		5		1178	62	324			2.2
	2-3		28.7		10		1116	124	306			2.2

*1: Bは結合材（セメント、シリカフェウム）の記号である、*2: 外割で使用、

表-4 室内実験の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	
			シリーズ1	シリーズ2
フレッシュ コンク リート	スランブフロー	JIS A 1150	○	○
	500mmフロー到達時間	JIS A 1150 附属書JA	○	○
	空気量	JIS A 1128	○	○
	コンクリート温度	JIS A 1156	○	○
硬化 コンク リート	試験体の内部温度	T型熱電対により測定	—	○ ^{*1}
	圧縮強度	JIS A 1108	○	—
		標準養生供試体	○	○
		高温養生供試体 ^{*2}	○	○
		40℃温水養生供試体	—	○
		小型ブロック試験体(コア)	—	○ ^{*3}

*1: 小型ブロック試験体を測定、*2: シリーズ1は高温養生A、シリーズ2は高温養生Bである なお、同一条件の場合の高温養生AとBによる強度発現は同程度であることを事前に確認している、*3: 調査No.2-3のみ実施

表-5 室内実験のモルタルの練混ぜ時間
およびフレッシュコンクリート試験結果

調査 No.	モルタル の練混ぜ 時間(s)	スランブ フロー (cm)	500mm フロー到達 時間(s)	空気 量 (%)	コンク リート 温度(℃)
1-1	180	65.5	10.9	1.7	25
1-2	180	73.5	10.9	1.8	25
1-3	240	72.5	12.1	1.5	26
1-4	300	71.0	14.8	2.0	26
1-5	360	73.0	16.0	1.6	26
2-1	240	65.0	38.4	1.5	23
2-2	150	70.0	14.0	1.4	23
2-3	120	72.5	10.3	0.7	22

の超高強度コンクリートに関する既往の文献^{1)~8)}および事前の室内実験による材料選定の検討結果から、セメント、骨材、混和剤を選定した。また、実験シリーズ2では、フレッシュ時のコンクリートの粘性抑制および硬化時の強度確保のために、シリカフェウム混合セメントとは別にシリカフェウムを使用した。さらに、破壊時の爆裂防止および自己収縮抑制のために鋼繊維を外割で使用した。

室内実験の調査を表-3に示す。実験シリーズ2において、シリカフェウムは、シリカフェウム混合セメントと置換し、鋼繊維は0.5vol%となる39kg/m³を外割で使用した。

(2) 練混ぜ方法

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リットルとして実施した。

練混ぜ方法はモルタル先練りとし、順序は、細骨材、結合材を投入し15秒、水、混和剤を投入し120~360秒練り混ぜ、かき落とし後、粗骨材を投入し120秒間練り混ぜた。その後、300秒静置し、さらに30秒間練混ぜた後に排出した。鋼繊維を使用する際は、300秒静置時に投

入し、静置後の練混ぜ時間は、鋼繊維を使用しない場合と同様とした。水、混和剤投入後の練混ぜ時間は、調合により上記の範囲内で変化させ、目視によりモルタルの粘性を判断し設定した。

(3) 試験項目および試験方法

室内実験の試験項目および試験方法を表-4 に示す。フレッシュコンクリート試験はコンクリート排出直後に実施し、フレッシュコンクリートの目標値を満足した場合、供試体および試験体を作製した。室内実験におけるフレッシュコンクリートの目標値は、スランプフローが70±5cm、空気量が2.0%以下とした。

2.2 実験結果および考察

(1) 練混ぜ時間およびフレッシュコンクリートの性状
室内実験のモルタルの練混ぜ時間およびフレッシュコンクリート試験結果を表-5 に示す。スランプフローは 65.0～73.5cm、空気量は 0.7～2.0%となり、すべて目標の範囲内であった。また、目視によりコンクリートの分離や粗骨材・鋼繊維の偏りは確認されなかった。

シリーズ1において、W/B が小さくなるほど、モルタルの練混ぜ時間および 500mm フロー到達時間は長くなった。W/B が小さくなることによりコンクリートの粘性が増大したためと考えられる。

シリーズ2において、シリカフュームの置換率が大きくなるほど、モルタルの練混ぜ時間および 500mm フロー到達時間は短くなった。シリーズ2では、鋼繊維を外割で 39kg/m³ 使用したため、W/B12.5%で 500mm フロー到達時間が 38.4 秒と長くなったが、シリカフュームの置換により粘性を低減することができた。

(2) 小型ブロック試験体のコンクリート温度履歴
小型ブロック試験体のコンクリート温度履歴を図-3 に示す。試験体中心における最高温度は 73.5℃となり、中心と外側の温度差は-0.4～0.8℃であった。200mm の断熱材にて養生することにより、試験体周囲の温度の影響を受けにくく、コンクリートの水和熱によりコンクリート温度を上昇させることが可能であることが確認できた。

(3) 圧縮強度

シリーズ1 の圧縮強度試験結果を図-4 に示す。図では養生条件ごとに結合材水比と圧縮強度の関係を示した。標準養生は、材齢 28 日で 180N/mm² 程度、材齢 91 日で 200N/mm² 程度となり、結合材水比と圧縮強度に明確な傾向はみられなかった。高温養生 A は、すべての W/B および材齢において 200N/mm² 以上となり、結合材水比が大きくなると圧縮強度が高くなる傾向がみられた。高温養生を実施した供試体の圧縮強度を用いることにより、結合材水比と圧縮強度の関係による調合設計の可能性があると考えられる。

シリーズ2 の圧縮強度試験結果を図-5 に示す。高温

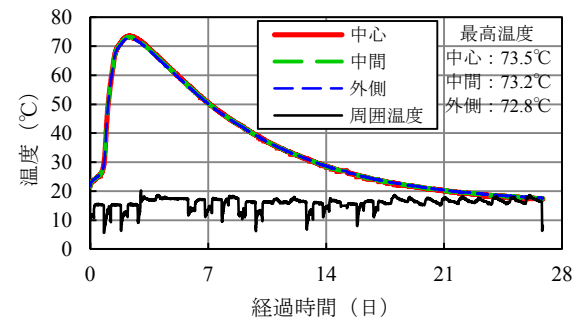


図-3 小型ブロック試験体のコンクリート温度履歴

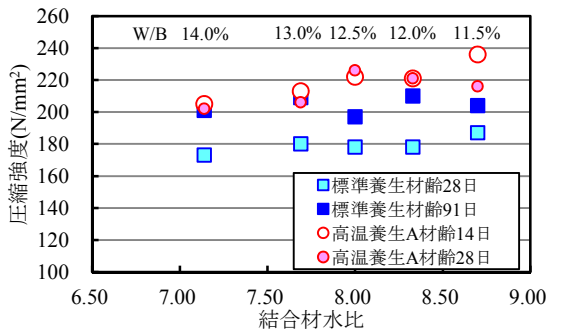


図-4 シリーズ1の圧縮強度試験結果

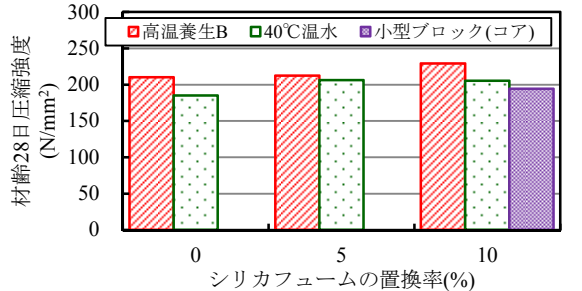


図-5 シリーズ2の圧縮強度試験結果

表-6 実機実験の要因と水準	
要因	水準
水結合材比(%)	14.0, 12.5, 11.5
実験実施時期	冬期, 標準期, 夏期

表-7 実機実験の使用材料			
材料	種類	記号	種類・特性・主成分
セメント	シリカフューム	C	密度3.07g/cm ³
	混合セメント		
細骨材	硬質砂岩砕砂	S	表乾密度2.59g/cm ³
粗骨材	硬質砂岩砕石	G	表乾密度2.64g/cm ³
水	上水道水	W	—
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系
	収縮低減剤	Sr	ポリエーテル系
混和材	シリカフューム	SF	密度2.25g/cm ³ 比表面積6.6～11.0m ² /g
	鋼繊維	Sfb	密度7.85g/cm ³ φ0.62×30mm

養生 B、40℃温水養生ともに、シリカフュームの置換率が0%より、5 または 10%とするほうが圧縮強度は大きくなった。また、40℃温水養生より高温養生 B が圧縮強度は大きくなる傾向がみられた。結合材にシリカフューム

表－8 実機実験の調合

W/B ^{*1} (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	シリカ フュームの 置換率(%)	単位量(kg/m ³)					使用量 (kg/m ³)	
				W	C	SF	S	G	Sfb ^{*2}	Sr ^{*3}
14.0	40.0	0.45	10	155	996	111	479	734	79	10
12.5	33.5				1116	124	363			
11.5	27.0				1213	135	267			

*1: Bは結合材(セメント, シリカフューム)の記号, *2: 外割で使用, *3: 水の一部として使用

表－9 実機実験の試験項目および試験方法

試験項目		試験方法・測定方法	
フレッシュ コンク リート	スランプフロー	JIS A 1150	
	500mmフロー到達時間	JIS A 1150 附属書JA	
	空気量	JIS A 1128	
	コンクリート温度	JIS A 1156	
	単位水量	モルタルエアメーター法 ^{*1}	
	塩化物量	JASS 5T-502	
硬化 コンク リート	試験体の内部温度 ^{*2}	T型熱電対により測定	
	圧縮強度	JIS A 1108	標準養生供試体
			40℃温水養生供試体
			模擬柱試験体(コア) ^{*3}

*1: 文献10)の方法により鋼繊維投入前の試料にて実施, *2: 模擬柱試験体にて測定, *3: 図－6に概要を示す

を使用した場合, 材齢初期に高温履歴を受けると反応が促進し, 良好な強度発現性を得られる⁹⁾と言われており, 同様の結果となった。さらに, 小型ブロック試験体のコア強度は194N/mm²となり, 200N/mm²に近い圧縮強度となった。断熱した小型ブロック試験体により, 水和熱による材齢初期の高温履歴を得ることが可能なことから, 200N/mm²近い圧縮強度になったと考えられる。

3. 実機実験による構造体コンクリートの性状の検討

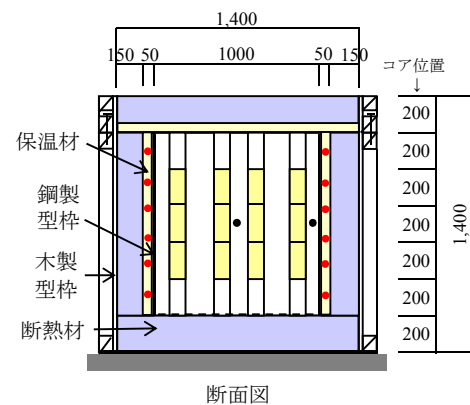
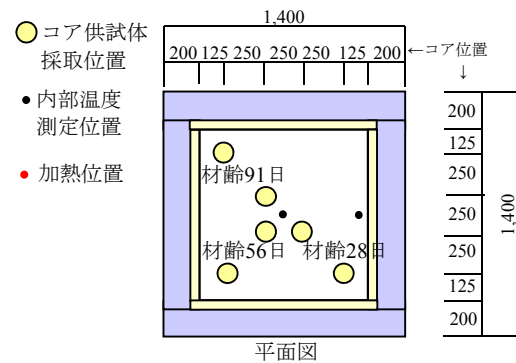
3.1 実験概要

(1) 要因と水準, 使用材料, 調合

実機実験の要因と水準を表－6に示す。実験では, レディーミクストコンクリート工場の実機バッチャープラントにてコンクリートを製造し, 実部材レベルの試験体を作製することにより, 各要因がフレッシュコンクリートの性状, コンクリートの養生温度, 圧縮強度に及ぼす影響を検討した。

実機実験の使用材料を表－7に示す。材料は室内実験と同様とした。ただし, 室内実験の材料に追加して, 自己収縮低減のため, 収縮低減剤を使用した。

実機実験の調合を表－8に示す。調合はいずれの実験実施時期においても同一とした。シリカフュームはシリカフューム混合セメントと10%置換し, 鋼繊維は1.0vol%となる79kg/m³を外割で使用し, 収縮低減剤は水の一部として10kg/m³を使用した。ただし, 高性能減水剤は, 目標のフレッシュコンクリートの性状が得られるよう, 実験実施時期により添加率を結合材の質量に対して1.45～1.90%の範囲で変化させた。



図－6 模擬柱試験体の概要

(2) 練混ぜ方法

練混ぜは, 容量 5m³ の二軸強制練りミキサを用いて, 1 回の練混ぜ量を 1.5m³ として実施した。練混ぜ方法はモルタル先練りとし, 順序は, 細骨材, 水, セメント, シリカフュームを投入し 360～450 秒練混ぜ, 粗骨材を投入し 180 秒練り混ぜた後にトラックアジテータ車に排出した。モルタルの練混ぜ時間は, 調合および時期により上記の範囲内で変化させ, ミキサの動力負荷により判断

し設定した。鋼繊維は、トラックアジテータ車にコンクリート積載後に、必要量を3分割して投入・練混ぜを実施した。

(3) 試験項目および試験方法

実機実験の試験項目および試験方法を表-9に示す。フレッシュコンクリート試験は、練り上り時、荷卸し時に実施し、荷卸し時のフレッシュコンクリートの目標値を満足した場合、試験体および供試体を作製した。実機実験におけるフレッシュコンクリートの目標値は、スランプフローが60～75cm、空気量が2.0%以下とした。

模擬柱試験体の概要を図-6に示す。模擬柱試験体は、超高層鉄筋コンクリート造建築物の柱で一般的と考えられる1000×1000mmの断面寸法とし、無筋とした。また、側面4面にケーブル状電気ヒーターを用いて加熱可能とした鋼製型枠を使用し、所定の温度となるように制御した。鋼製型枠の外側および上下面は、200mmの断熱材および保温材を用いて6面を断熱した。鋼板型枠の温度設定は、事前の室内および実大規模の実験により決定し、96時間以上、試験体中心部の温度が80℃以上となるように実施した。

供試体および試験体の作製は、荷卸し後に実施した。なお、コンクリートの運搬時間は80～90分程度であった。

圧縮強度試験は、標準養生供試体および40℃温水養生供試体については4本の平均を、コア供試体については図-6に示す箇所の6本の平均を用いた。

3.2 実験結果および考察

(1) フレッシュコンクリートの性状

実機実験の荷卸し時のフレッシュコンクリート試験結果を表-10に示す。荷卸し時のスランプフローは60.5～75.0cm、空気量は0.9～1.9%となり、すべて目標の範囲内であった。コンクリート温度は、冬期に12～13℃、標準期に22～23℃、夏期に32℃となった。500mmフロー到達時間は、室内試験と比較すると大きくなったが、試験体作製時のコンクリートの打込みに問題は生じなかった。以上より、各時期において、荷卸し時に所要のフレッシュコンクリートの性状を得られるコンクリートの製造が可能と考えられる。

(2) コンクリートの温度履歴

模擬柱試験体の最高温度とその時間を表-11に示す。W/B12.5%の試験体中心部の最高温度は、冬期が92.9℃、標準期が85.9℃、夏期が95.4℃となった。また、すべての実施時期およびW/Bの中心部と端部の温度差は、0.5～9.8℃となり大きな差はみられなかった。模擬柱試験体の温度履歴の一例として、W/B12.5%の温度履歴を図-7に示す。すべての実施時期において、あらかじめ設定した試験体中心部の温度を所定時間確保できた。これは、W/Bが異なる場合も同様であった。以上より、本実験の

表-10 実機実験のフレッシュコンクリート試験結果

時期	W/B (%)	スランプフロー (cm)	500mmフロー到達時間 (s)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	単位水量 (kg/m³)	塩化物量 (kg/m³)
冬期	14.0	70.0	23.7	1.5	12	148.2	0.07
	12.5	67.0	27.2	1.8	12	151.4	0.08
	11.5	67.0	42.3	1.9	13	154.2	0.06
標準期	14.0	63.0	15.1	1.3	23	155.1	0.03
	12.5	63.0	22.2	1.6	23	153.6	0.05
	11.5	60.5	29.1	1.6	22	155.1	0.04
夏期	14.0	69.0	13.3	0.9	32	158.5	0.04
	12.5	69.0	14.5	1.1	32	157.4	0.04
	11.5	75.0	9.9	1.0	32	165.8	0.02

表-11 模擬柱試験体の最高温度とその時間

W/B (%)	測定位置	実験実施時期					
		冬期		標準期		夏期	
		温度 (°C)	時間 (h)	温度 (°C)	時間 (h)	温度 (°C)	時間 (h)
14.0	中心	88.7	76.5	85.1	63.6	94.3	75.0
	端部	88.2	77.7	83.5	58.6	91.8	75.0
12.5	中心	92.9	76.5	85.9	67.7	95.4	78.7
	端部	91.3	79.6	82.6	75.2	92.7	78.2
11.5	中心	94.1	79.3	85.2	66.7	105.2	77.7
	端部	92.2	78.6	82.0	66.7	95.4	76.2

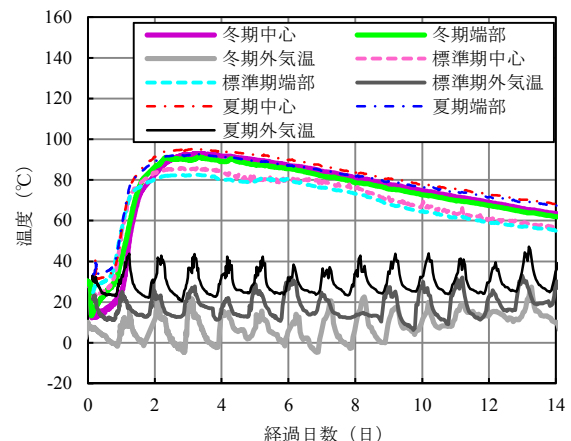


図-7 模擬柱試験体の温度履歴 (W/B12.5%)

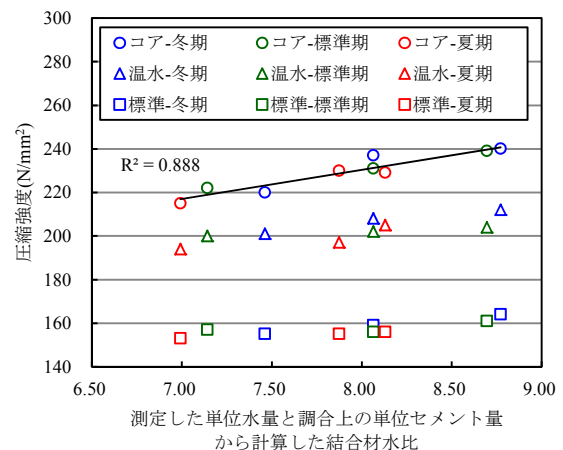


図-8 結合材水比と材齢28日の圧縮強度の関係

模擬柱試験体の仕様により、あらかじめ設定した試験体中心部の温度を所定の時間確保することが可能と考えられる。

(3) 圧縮強度

圧縮強度試験結果は、材齢 91 日において、コア供試体は $220\sim 248\text{N/mm}^2$ 、温水養生供試体は $206\sim 217\text{N/mm}^2$ 、標準養生供試体は $178\sim 195\text{N/mm}^2$ となった。本実験の仕様による模擬柱試験体にて、材齢 91 日に 200N/mm^2 を得ることが可能であった。また、材齢 91 日の圧縮強度の各 W/B における変動係数は 5%以下となり、ばらつきは小さく、実験実施時期によるコア供試体の圧縮強度は同程度となった。以上より、本実験の W/B の範囲および模擬柱試験体の仕様により、すべての季節において、 200N/mm^2 以上の構造体コンクリート強度が得られると考えられる。

結合材水比と材齢 28 日の圧縮強度の関係を図-8に示す。ここで、結合材水比は、単位水量試験にて測定した単位水量と調合上の単位セメント量から算出した値を用いた。図より、測定した単位水量と調合上の単位セメント量から算出した結合材水比と圧縮強度には、一定の関係がみられた。測定した単位水量と調合上の単位セメント量から算出した結合材水比と圧縮強度の関係による $\text{Fc}200\text{N/mm}^2$ 級の超高強度コンクリートの調合設計の可能性が示唆された。

4. まとめ

設計基準強度 200N/mm^2 級の超高強度コンクリートの実用化を目的に、室内実験および実機実験を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 設定した材料・調合・製造方法とすることにより、水結合材比 $14.0\sim 11.5\%$ の範囲で、すべての季節において、適切な流動性と材料分離抵抗性があり、かつ、所要の空気量となるコンクリートが得られた。
- (2) 設定した材料・調合・製造方法のコンクリートを用いて作製した実大規模の試験体に断熱型枠を使用し、所定の加熱養生を実施することにより、水結合材比 $14.0\sim 11.5\%$ の範囲で、すべての季節において、 200N/mm^2 以上の圧縮強度が得られた。
- (3) 測定した単位水量と調合上の単位セメント量から算出した結合材水比と圧縮強度の関係による、設計基準強度 200N/mm^2 級の超高強度コンクリートの調合設計の可能性が示唆された。

謝辞

本研究の実験に関して、晴海小野田レミコン（株）、竹本油脂（株）にご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 渡邊悟士，黒岩秀介，陣内浩，山本佳城，並木哲，寺内利恵子： $\text{Fc}200\text{N/mm}^2$ の超高強度コンクリートの実用化に関する研究，大成建設技術センター報，第 42 号，pp.03-1-03-6，2009
- 2) 小島正朗，三井健郎，辻大二郎，鴉越元紀： $\text{Fc}200\text{N/mm}^2$ 超高性能コンクリートの開発 その 1～3，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），A-1 材料施工，pp.1087-1092，2008.9
- 3) 蓮尾孝一，松田拓，河上浩司： 200N/mm^2 級超高強度コンクリートの構造体強度および力学特性評価に関する検討，三井住友建設技術研究開発報告，第 7 号，pp.113-120，2009
- 4) 井戸康浩，梅本宗宏，端直人： 200N/mm^2 級超高強度コンクリートの構造体コンクリートに関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.1249-1254，2013
- 5) 梅本宗宏，端直人，井戸康浩，右田周平： $\text{Fc}200\text{N/mm}^2$ 超高強度コンクリートの現場適用 その 1～4，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），材料施工，pp.95-102，2014.9
- 6) 太田貴士，山本佳城，今井和正，清水良広，村松晃次：設計基準強度 300N/mm^2 の超高強度コンクリートの実用化 その 1～2，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），材料施工，pp.103-106，2014.9
- 7) 三井健郎，小島正朗，米澤敏男，菅田昌宏，三橋博三：設計基準強度 $150\sim 200\text{N/mm}^2$ 超高強度繊維補強コンクリートの開発と実建物への適用，日本建築学会技術報告集，Vol.16，No.32，pp.21-26，2010.2
- 8) 松田拓，本田和也，蓮尾浩一，野口貴文：シリカフュームとフライアッシュを併用した超高強度コンクリートに関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1462-1467，2014
- 9) 石中正人，中山英明，鳴瀬浩康：シリカフューム混合セメントにおける加熱養生時の強度発現性に及ぼす最高温度の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp.91-96，2008
- 10) 杉山英佑，梶田秀幸，宮野和樹：モルタル試料を用いた単位容積質量法による超高強度コンクリートの単位水量管理，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.1115-1120，2006