

論文 シリカフェーム置換率を変えた超高強度コンクリートの強度発現

小出 貴夫*1・安本 礼持*2・金塚 美喜男*3・伊藤 司*4

要旨：低熱・中庸熱ポルトランドセメントおよびスラリー化したシリカフェームを結合材として用いた超高強度コンクリートのフレッシュ性状および強度発現性を実験的に検討した。室内試験の結果、水結合材比 14～18%の領域においてシリカフェームの置換率を 10～15%に設定することにより、フレッシュコンクリートの過剰な粘性増加を抑制し、かつ 150～200N/mm²の圧縮強度を有するコンクリートの製造が可能であることを確認した。また、実機プラントにおいて、ベースセメントの種類を変えた実験を行い、ベースセメントの種類ごとに設計基準強度の上限および構造体コンクリート強度の管理材齢について検討した。

キーワード：シリカフェーム, スラリー, 低熱・中庸熱ポルトランドセメント, 超高強度コンクリート

1. はじめに

圧縮強度 100N/mm²を超える超高強度コンクリートの製造にはセメントの一部をシリカフェーム（以下、SF と略記）に置換した結合材を使用するのが一般的であり、約 5～15%の範囲で一定の SF 置換率が採用されている^{1),2),3)}。これまで筆者らは結合材に低熱ポルトランドセメント（以下、LC と略記）およびスラリー化した SF を用いて設計基準強度 150N/mm²までの超高強度コンクリートを製造している^{4),5)}。SF をスラリー化して使用する場合、レディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場と略記）においてセメントの品種を自由に選択でき、さらにセメントに対する SF の置換率も自由に設定できる利点がある。しかしながら、SF スラリーを使用した設計基準強度 150N/mm²級（調合強度 170～180N/mm²程度）の超高強度コンクリートに関して、ベースセメントの種類を変えた場合の強度発現に関する知見は少ない。

そこで本研究では、SF スラリーを用いてコンクリートを練り混ぜた場合に選択可能となる SF 置換率およびベースセメントの種類が、コンクリートのフレッシュ性状および強度発現に及ぼす影響について検討を行った。

2. 試験概要

2.1 試験項目

シリーズ 1 では、SF 置換率がコンクリートのフレッシュ性状および強度発現に及ぼす影響を室内試験により検討した。SF 置換率は、筆者らが以前行った LC を用いた超高強度モルタル試験において、SF 置換率 20%では、フレッシュ状態の粘性が極めて高く、練混ぜが困難であったという知見⁶⁾より 5～15%に設定し、水結合材比（以下、W/B と略記）を 14～30%とした。スランプフロー試験、空気量試験、圧縮強度試験を行った。

シリーズ 2 では、シリーズ 1 の結果から決定した SF の置換率を採用し、実機プラントにおいてセメントの種類を変えた場合のフレッシュ性状の経時変化および圧縮強度について比較検討した。圧縮強度については、標準養生供試体、簡易断熱養生供試体および 1m³ 模擬柱から採取したコア供試体について試験を行った。

2.2 使用材料および調合

使用材料を表-1 に示す。結合材のベースとなるセメントはシリーズ 1 では C₂S 量が 55%の LC を 1 種類、シリーズ 2 では C₂S 量が 55%および 47%の LC を 2 種類、

表-1 使用材料

材料	シリーズ	種類	密度※ (g/cm ³)	適合するJIS, その他の物性等	記号
セメント	1および2	低熱ポルトランドセメント A	3.24	JIS R 5210, 比表面積=3400cm ² /g, C ₂ S=55%	LC1
	2	低熱ポルトランドセメント B	3.22	JIS R 5210, 比表面積=3380cm ² /g, C ₂ S=47%	LC2
		中庸熱ポルトランドセメント	3.21	JIS R 5210, 比表面積=3350cm ² /g, C ₂ S=39%	MC
混和材	1および2	ノルウェー産シリカフェーム	2.20	JIS A 6207, 比表面積=17.9m ² /g, SiO ₂ =94%, 60%スラリーに調整	SF
細骨材	1および2	高知県島形山産石灰岩砕砂	2.66	JIS A 5005, F.M.=3.40, 吸水率=1.1%, 容積比=70%混合	S1
		千葉県富津産陸砂	2.59	JIS A 5308附属書1, F.M.=2.10, 吸水率=2.2%, 容積比=30%混合	
	2	茨城県桜川産硬質砂岩砕砂	2.57	JIS A 5005, F.M.=2.97, 吸水率=1.5%	S2
粗骨材	1および2	茨城県桜川産硬質砂岩砕砂2005	2.65	JIS A 5005, 実積率=61%, F.M.=6.40, 吸水率=0.7%	G
化学混和剤	1および2	高性能減水剤	1.08	JIS A 6204 高性能減水剤 標準型 I 種, ポリカルボン酸系	SP
		消泡剤	0.98	ポリオキシアルキレンアルキルエーテル系	NonAE

※骨材の密度は「表乾密度」である。

*1 住友大阪セメント（株） セメント・コンクリート研究所（正会員）

*2 住友大阪セメント（株） 東京支店 修士（工学）

*3 東京エスオーシー（株） 専務取締役（正会員）

*4 東京エスオーシー（株） 芝浦工場

C₂S量が39%の中庸熟ポルトランドセメント（以下、MCと略記）の計3種類とした。SFはノルウェー産1種類を使用し、上水道水およびオキシカルボン酸系分散剤（SF×0.17%）を加えて固形分率60%（密度1.49g/cm³）のスラリーに調製した。細骨材はシリーズ1では石灰岩砕砂および陸砂を容積比で7対3の割合で混合したものを使用した。シリーズ2ではシリーズ1で使用した混合砂および硬質砂岩砕砂の2種類を使用した。粗骨材はシリーズ1、2ともに硬質砂岩砕砂を使用した。化学混和剤はシリーズ1、2ともにポリカルボン酸系の高性能減水剤（以下、SPと略記）および消泡剤を使用した。

シリーズ1の調合を表-2に示す。コンクリートのW/Bは30%、24%、18%、16%、14%の5水準、SFの置換率はLCに対して5%、10%、15%の3水準とし、W/B=30%、24%についてはSF無置換の場合も練り混ぜた。単位水量を150kg/m³、単位粗骨材量を827kg/m³、目標空気量を2.0%以下一定とした。目標スランブフローを72.5±7.5cm、SPの添加量は結合材に対して0.95~2.2%とし、消泡剤の添加量は結合材に対して0.02%一定とした。化学混和剤は固形分も含め練混ぜ水の一部とみなした。

シリーズ2の調合を表-3に示す。コンクリートのW/Bは、LC1の場合は30~14%の4水準、LC2およびMCの

場合は18~14%の3水準とした。SFの置換率は、SFスラリーを使用した実機試験においては、SFスラリーから供給される水量と骨材表面水の含量が単位水量を超えないように決定する必要があるため、10%および12%の2水準とした。その他の条件はシリーズ1と同様とした。

2.3 試験方法

シリーズ1において、コンクリートの練混ぜは20℃の恒温下で容量100Lの二軸強制練りミキサを使用し、ミキサ性能に余裕を持たせるため1バッチの練混ぜ量を40Lとした。粗骨材、セメント、細骨材の順でミキサに投入して10秒間空練りを行い、次にSFスラリーと練混ぜ水を投入して20秒間練り混ぜ、最後に化学混和剤を加えて150~900秒間練り混ぜた後、300秒間静置し30秒間練り混ぜてから排出した。練混ぜ時間はミキサ内のフレッシュ状態を目視で確認しながら調整した。排出後直ちにコンクリートの温度、スランブフロー（JIS A 1150）、空気量（JIS A 1128）を測定した。圧縮強度試験は、φ100mm×h200mmの円柱供試体を用いて供試体の両端面を研磨し、JIS A 1108に従って行った。供試体の養生は、標準養生および図-1に示す簡易断熱養生箱を用いた簡易断熱養生とした。圧縮強度の試験材齢は標準養生では7日、28日、56日、91日とし、簡易断熱養生では28日、

表-2 シリーズ1(室内試験)のコンクリート調合およびフレッシュ性状

W/B (%)	B/W	SF 置換率 (B×%)	s/a (%)	調合						練混ぜ							
				単位量(kg/m ³)						SP 添加量 (B×%)	練混ぜ 時間 (sec)	スランブフロー				Air (%)	温度 (°C)
				W	B(結合材)			S1	G			50cm通過 (sec)	停止 (sec)	フロー (平均cm)			
30	3.33	0	53.8	150	500	—	961	827	1.05	160	5.6	62	73	1.1	19		
		5	53.6	150	475	25	951	827	1.05	180	5.3	64	70	1.3	19		
		10	53.3	150	450	50	940	827	1.05	180	3.7	44	66	1.7	19		
		15	53.1	150	425	75	932	827	1.05	180	4.5	29	61	1.4	19		
24	4.17	0	51.0	150	625	—	859	827	0.95	295	11	37	59	1.4	21		
		5	50.7	150	594	31	847	827	1.00	240	6.4	39	65	1.1	21		
		10	50.3	150	563	62	835	827	1.00	240	5.9	28	59	1.8	20		
		15	50.0	150	531	94	823	827	1.05	240	6.7	35	58	1.7	21		
18	5.56	5	44.9	150	792	42	672	827	1.00	390	14	126	83	0.8	20		
		10	44.3	150	751	83	655	827	1.10	330	14	>180	82	1.7	18		
		15	43.7	150	709	125	640	827	1.40	270	8.2	>180	79	0.6	19		
16	6.25	5	41.5	150	891	47	584	827	1.30	450	24	>180	82	0.6	23		
		10	40.8	150	844	94	568	827	1.50	450	9.2	139	83	0.9	22		
		15	40.0	150	797	141	549	827	1.60	450	6.5	127	82	0.9	22		
14	7.14	5	36.5	150	1018	54	474	827	1.70	930	40	>180	71	1.3	23		
		10	35.4	150	965	107	452	827	2.00	750	14	>180	80	1.0	23		
		15	34.4	150	911	161	433	827	2.20	750	11	>180	76	0.9	24		

表-3 シリーズ2(実機試験)のコンクリート調合およびフレッシュ性状

結合材 構成	W/B (%)	s/a (%)	調合								練混ぜ							
			単位量(kg/m ³)								SP 添加量 (B×%)	練混ぜ 時間 (sec)	スランブフロー				Air (%)	温度 (°C)
			W	B(結合材)				S1	S2	G			50cm通過 (sec)	停止 (sec)	フロー (平均cm)			
LC1 90% SF 10%	30	53.3	150	450	—	—	50	940	—	827	1.65	120	4.6	46	71	1.0	25	
	24	50.3	150	563	—	—	62	835	—	827	1.55	180	7.3	45	65	1.1	24	
	18	44.3	150	751	—	—	83	655	—	827	1.18	210	11	65	61	1.4	26	
	14	35.4	150	965	—	—	107	452	—	827	1.90	420	14	>180	78	1.0	31	
LC2 88% SF 12%	18	44.1	150	—	734	—	100	—	632	827	1.40	240	6.0	112	79	0.5	30	
	16	40.5	150	—	825	—	113	—	545	827	1.75	300	7.2	135	82	0.9	31	
	14	34.7	150	—	944	—	129	—	427	827	2.10	420	12	>180	78	1.4	30	
MC 88% SF 12%	18	43.9	150	—	—	733	100	—	627	827	1.45	270	8.8	61	69	1.0	32	
	16	40.2	150	—	—	825	113	—	540	827	1.80	420	7.5	117	80	1.0	31	
	14	34.6	150	—	—	943	129	—	424	827	2.10	360	12	140	75	1.3	34	

56日、91日とした。また、簡易断熱養生では熱電対を用いて養生中のコンクリート温度を測定した。

シリーズ2において、コンクリートの練混ぜは2007年11月に結合材としてLC1（SF置換率10%）を、2008年8月にLC2およびMC（SF置換率12%）を用いて行った。生コン工場の容量6m³の二軸強制練りミキサを使用し、ミキサ性能に余裕を持たせるため1バッチの練混ぜ量を1.5m³とし、2バッチを連続して練り混ぜ、アジテータ車に積み込んだ。練混ぜは全材料を投入した後、ミキサの負荷電力値が安定するまで120～420秒間練り混ぜた。排出から120分後まで30分おきにコンクリートの温度、スランブフロー、空気量を測定した。練上り60分後にφ100mm×h200mm円柱供試体および図-2に示す上下に断熱材を施した1m³模擬柱を作製した。φ100mm×h200mm円柱供試体は、標準養生および図-1に示す簡易断熱養生箱を用いた簡易断熱養生とした。1m³模擬柱の型枠（化粧合板）は材齢28日まで存置し、脱型後は屋外で暴露した。圧縮強度の試験材齢は標準養生供試体の場合7日、28日、56日、91日とし、1m³模擬柱から採取したコア供試体および簡易断熱養生供試体では材齢28日、56日、91日とした。また、模擬柱および簡易断熱養生については熱電対を用いて養生中のコンクリート温度を測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 シリーズ1（室内試験）

フレッシュ性状を表-2に示す。W/B=30%ではSP添加量を一定としたため、SF置換率の増大に伴ってフロー値は低下したが50cmフロー通過時間はSF置換率の増大に伴って短くなる傾向にあった。W/B=24%では目標フローを得るためにSF置換率の増大に従ってSP添加量も増やす必要があった。50cmフロー通過時間はSF置換率の増大に伴って短くなる傾向にあった。SF無置換の場合は、W/B=30%ではSFを置換した場合より練混ぜ時間が短くてすみ、フロー値が大きかった。W/B=24%ではSFを置換した場合より練混ぜ時間を約1分間長くする必要があ

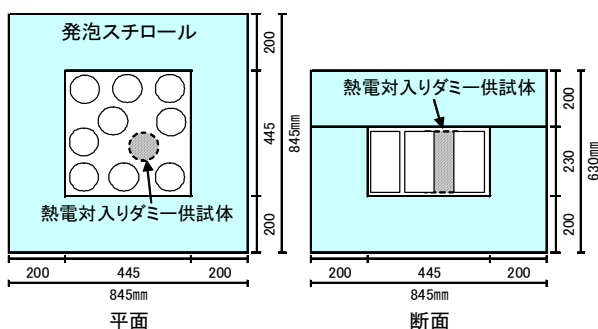


図-1 簡易断熱養生箱

り、50cmフロー通過時間が約4～5秒間長くなった。

W/B=18%以下では、W/B=24%の結果と同様に目標フローを得るためにSF置換率の増大に従ってSP添加量も増やす必要があった。またフロー値は同程度であるが、50cmフロー通過時間は、SF置換率の増大に伴い短くなる傾向にあった。SF置換率5%の場合は、W/Bが小さいほど50cmフロー通過時間が長くなる等、コンクリートの粘性が高くなった。SF置換率10%の場合はSF置換率5%より50cmフロー通過時間が大幅に短くなる等、粘性が低くなった。SF置換率15%の場合はW/B=16～14%では置換率10%よりもさらに50cmフロー通過時間が短く（粘性が低く）なった。なお、練混ぜ時間はW/Bが小さくなるに伴って長くする必要が生じ、同一W/BにおいてはSF置換率の減少に伴って長くなる傾向にあった。空気量はW/BやSF置換量が異なっても差は少なく、全て目標量である2.0%以下であった。温度は、W/Bが小さいほど、また練混ぜ時間に比例し高くなる傾向にあった。

簡易断熱養生の温度測定結果の一例としてSF置換率10%の結果を図-3に示す。最高温度はW/B=30%で48℃、24%で55℃、18%で57℃、16%で60℃、14%で67℃とW/Bが小さいほど高い温度履歴を受けていた。なお、SF置換率が異なっても温度履歴はほぼ同様であった。

圧縮強度の結果を図-4に示す。標準養生した場合の圧縮強度は、材齢28日以降ではほとんどのW/BにおいてSF置換率の増大に伴って高くなった。特にW/B=16%以下ではSF置換率を5%から10%に増やした時の強度の伸びが大きかった。一方、SF置換率を10%から15%に増やした時の強度の伸びは小さかった。標準養生した材齢7日強度は、W/B=14%を除いてSF置換率の増大に伴ってやや低くなった。これはSFスラリーに使用したオキシカルボン酸系分散剤による水和遅延の影響と考えられる。

簡易断熱養生した場合の圧縮強度は、W/B=24%以上では、SF置換率5%の強度はSF無置換よりも低く、SF置換率10～15%ではSF無置換より高くなった。W/B=18%以下では、いずれの材齢においてもSF置換率の増大に

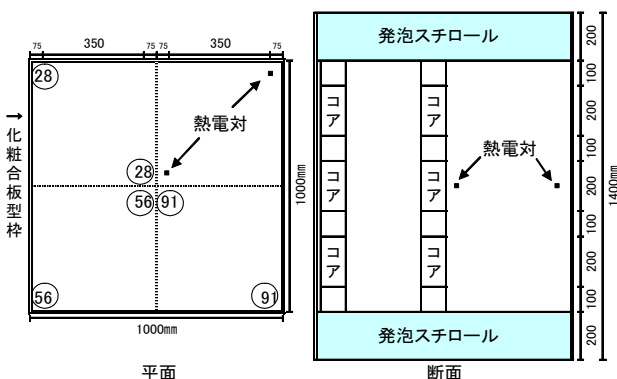


図-2 1m³模擬柱およびコア採取位置

伴って強度が高くなった。またいずれの W/B においても簡易断熱養生した場合はベースセメントに LC1 を使用したにも関わらず、材齢 28 日までに材齢 91 日の約 88~100%の強度が発現しており、材齢 56 日以降の強度の増加量は 0~10N/mm² と小さかった。

SF 置換率を変えた場合の結合材水比（以下、B/W と略記）と圧縮強度の関係を図-5 に示す。標準養生および簡易断熱養生の双方において、SF 置換率の増大に伴って強度が増大し、また B/W が大きくなるほど SF 置換率 5%と置換率 10、15%との強度差が顕著であった。シリーズ 1 の中で、最も高い強度が得られた調合は、B/W=7.14（W/B=14%）の SF 置換率 15%の調合であり、材齢 91 日における標準養生強度 203N/mm²、簡易断熱養生強度 201N/mm² を得た。

以上の結果から W/B=14~18%，SF 置換率を 10~15% に設定することにより、フレッシュ状態における過剰な粘性増加を抑制し、かつ 150~200N/mm² の圧縮強度を有するコンクリートの製造が可能であることを確認した。

3.2 シリーズ 2（実機試験）

実機ミキサによる練混ぜ直後のフレッシュ性状を表-3 に、練混ぜ後 120 分までのフレッシュ性状の経時変化を図-6 に示す。SF 添加量および練混ぜ時間は同一 W/B において、SF 置換率の増大に伴って増える傾向にあった。スランプフロー値は、W/B とベースセメントの

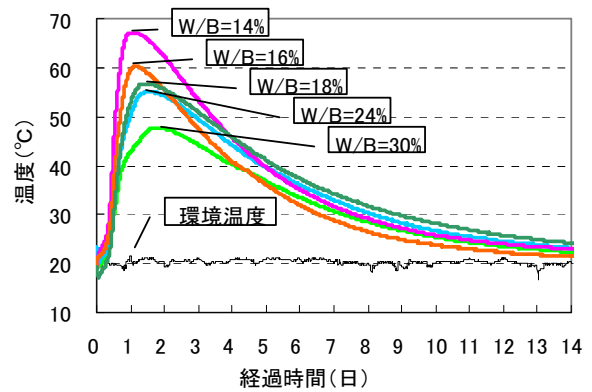


図-3 簡易断熱養生の温度履歴の一例(SF 置換率 10%)

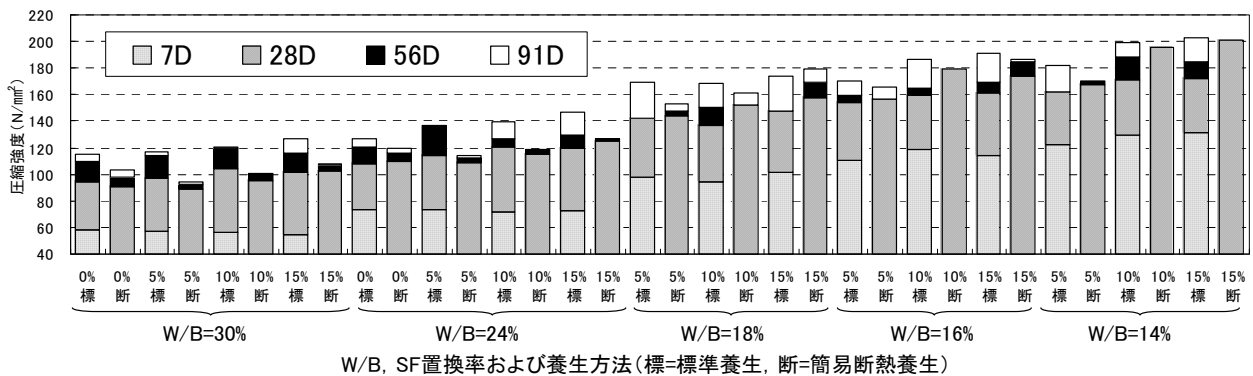


図-4 W/B および SF 置換率を変えたコンクリートの圧縮強度(シリーズ 1)

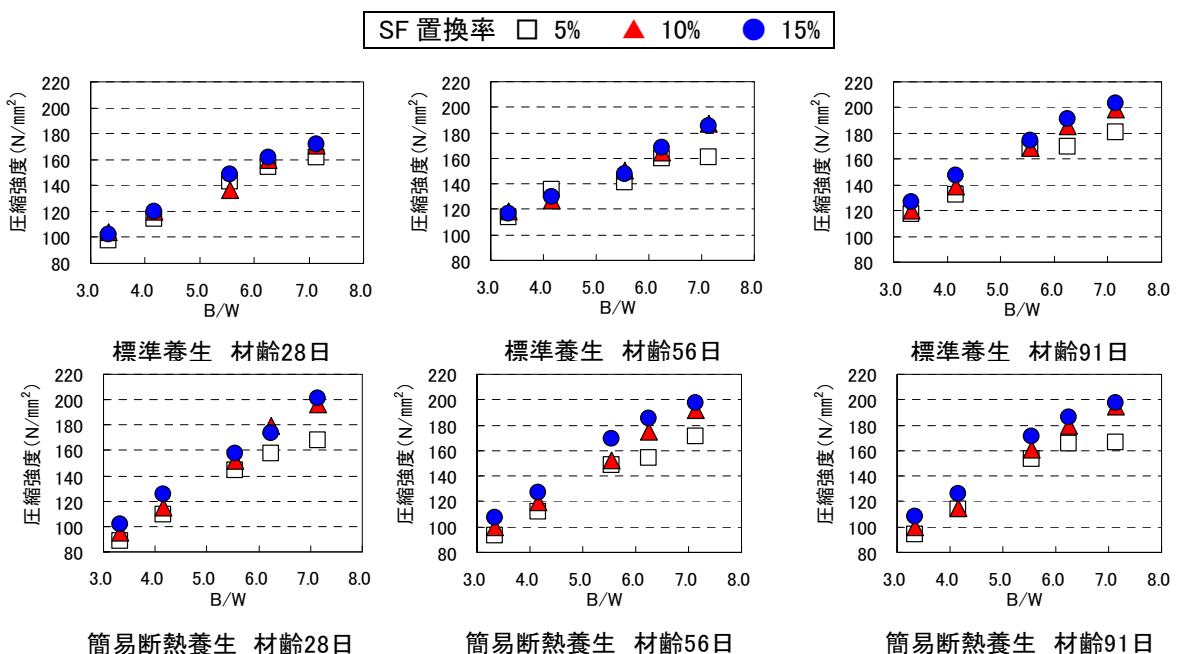


図-5 SF 置換率を変えた場合の B/W と圧縮強度の関係 (シリーズ 1)

種類に関わらず、経時に伴い徐々に低下した。同様に50cmフロー通過時間も経時に伴い徐々に増大した。また、ベースセメントにLC2とMCを用いた場合のフレッシュ性状を比較すると、SP添加量が同一のW/B=14%においてLC2とMCの粘性は、ほぼ同等であった。また、練混ぜ前の材料温度は同等であったが練上り温度は、MCの方が約4℃高かった。これはMCのC₂S含有量が少ない影響と考えられる。空気量は、経時に伴いやや増大傾向にあったが、W/Bやセメントの種類の違いによる差は、少なく全て2.0%未満であった。温度は、W/Bが小さいほど、また練混ぜ時間に比例して高くなる傾向にあった。

標準養生および簡易断熱養生したコンクリートの強度を図-7に、1m³模擬柱の中心部および端部から採取したコア強度を図-8に、簡易断熱養生および1m³模擬柱の温度測定結果を表-4に示す。ベースセメントがLC1の場合、シリーズ1とほぼ同様の結果であり、簡易断熱養生の場合、材齢28日までに材齢91日の約90%の強度が発現し、材齢56日以降の強度の増加量は小さかった。また、全てのW/Bにおいて標準養生91日強度の方が、簡易断熱養生91日強度より高かった。ベース

セメントがLC2およびMCの場合は、LC1とほぼ同様の傾向であった。なおW/B=14%では、ベースセメントの種類に関係なく簡易断熱養生28日強度は標準養生28日強度を上回った。コア供試体は、最高温度の高いものほど強度が高い傾向にあった。またW/B=18%および14%において、LC2およびMCを用いた場合は、LC1を用いた場合より強度が高かった。また、LC1を用いた場合は、中心部の方が端部より若干強度が高かった。一方、LC2およびMCを用いた場合は、端部の方が中心部より若干強度が高い傾向にあった。ベースセメントの種類によって最高温度や強度発現が異なるのは、打込み時期、SF置換率、C₂S量の相違の影響が大きいと考えられる。

表-4に示すように1m³模擬柱および簡易断熱養生の最高温度はW/Bが小さいほど、またベースセメントのC₂S量が少ないほど温度が高かった。同一調合においては、1m³模擬柱の方が簡易断熱養生より約10℃高かった。

標準養生m日(m=28, 56, 91)強度と1m³模擬柱の中心部コア91日強度の強度差(以下、mS₉₁値と記す)の算出結果を表-4に示す。28S₉₁値および56S₉₁値は、W/Bが小さいほど、または最高温度が高いほど低くなっ

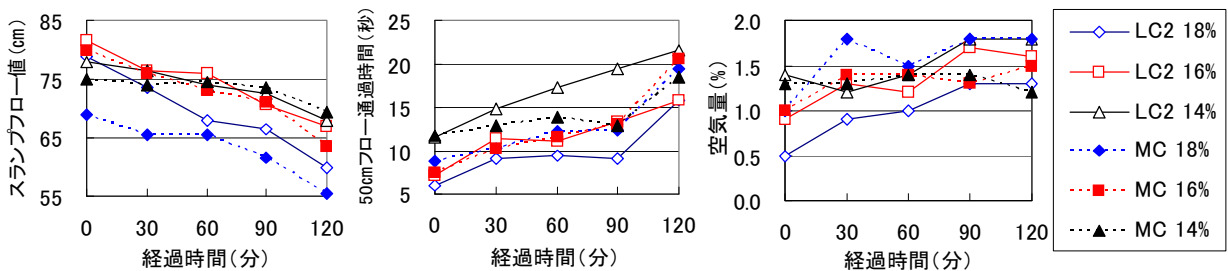


図-6 実機試験におけるフレッシュ性状の経時変化(結合材:LC2 88% + SF 12%およびMC 88% + SF 12%の場合)

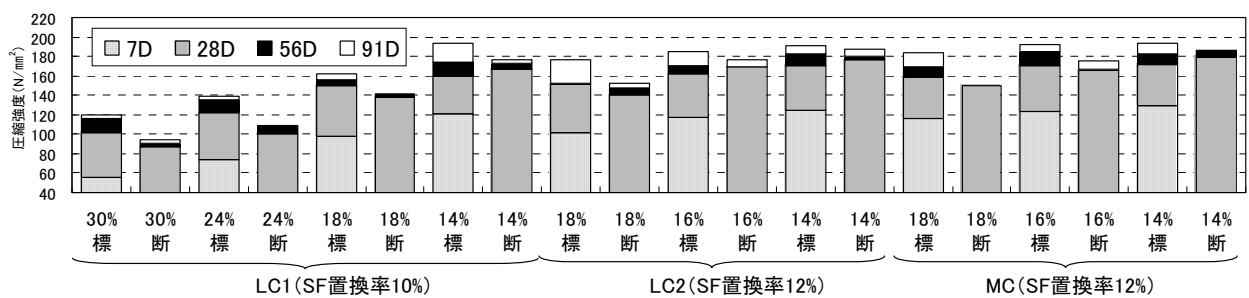


図-7 標準養生および簡易断熱養生したコンクリートの圧縮強度(標=標準養生, 断=簡易断熱養生)

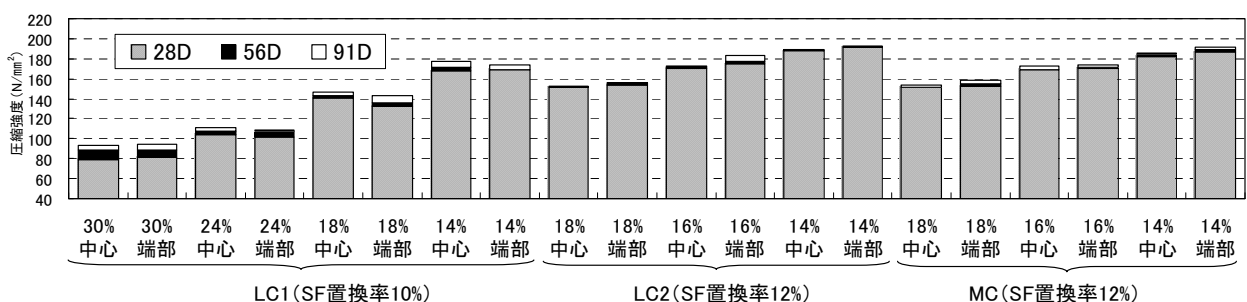


図-8 1m³模擬柱コアの圧縮強度

表-4 温度測定結果およびmS₉₁値算出結果(コア中心強度使用), 設計基準強度の上限値(変動係数=6%と仮定)

結合材種類	W/B (%)	温度測定結果						圧縮強度 (N/mm ²)				mS ₉₁ 値 (N/mm ²)			設計基準強度の上限値(N/mm ²)	
		1m ³ 模擬柱(中心部)			簡易断熱養生			標準養生			構造体コア	28S ₉₁	56S ₉₁	91S ₉₁	管理材齢	
		最高温度(°C)	上昇量(°C)	到達時間(h)	最高温度(°C)	上昇量(°C)	到達時間(h)	28日	56日	91日	91日				28日	56日
LC1 90% SF 10%	30	47	23	32	43	17	34	101	116	120	93	8	23	27	81	79
	24	54	31	33	47	19	34	122	135	139	111	11	24	28	96	95
	18	66	41	26	66	42	30	150	156	162	146	4	10	16	128	127
	14	75	42	22	67	43	26	160	174	194	177	-17	-3	17	141	153
LC2 88% SF 12%	18	76	42	14	67	36	19	151	152	176	152	-1	0	24	133	134
	16	80	43	13	69	37	12	162	171	185	173	-11	-2	12	143	150
	14	83	48	15	72	39	12	171	182	191	189	-18	-7	2	150	160
MC 88% SF 12%	18	82	50	14	73	41	14	158	169	184	154	4	15	30	135	134
	16	85	53	14	72	40	15	171	185	192	173	-2	12	19	150	151
	14	86	53	15	75	43	15	172	183	193	186	-14	-3	7	151	161

た。特に W/B=14%において、いずれの結合材を用いても全て負の値を示した。

設計基準強度の上限値は、日本建築学会の調合強度式⁷⁾を変形した式(1)および式(2)から算出できる。なお、JASS 5 では、mS₉₁ 値に負の値は認められていない。

$$F_C \leq_m F - m S_n - K \sigma_1 \quad (1)$$

$$F_C \leq_m F / \alpha - m S_n - 3 \sigma_1 / \alpha \quad (2)$$

ここに、 F_C : 設計基準強度 (N/mm²)

$_m F$: 調合強度 (N/mm²)

$m S_n$: 構造体強度補正值 (N/mm²)

K : 構造体補正強度に対する正規偏差 (N/mm²)

σ_1 : 管理用供試体圧縮強度の標準偏差 (N/mm²)

α : 構造体補正強度に対して許容される最小値と構造体強度との比

ただし、 F_C が80N/mm²以上の場合、 $K=2.0$, $\alpha=0.9$ とする。

実機プラントにおける超高強度コンクリートの製造実績から圧縮強度の変動係数を 6%と仮定して標準偏差 (σ_1) を算出し、さらに、式(1)および式(2)より算出した管理材齢 28 日および 56 日における設計基準強度の上限値を表-4 に示す。設計基準強度 150N/mm² を得るためには、結合材に LC1 (SF 置換率 10%) を用いた場合は W/B=14%で管理材齢を 56 日とした場合であった。一方、LC2 および MC (SF 置換率 12%) を用いた場合は W/B=14%で管理材齢を 28 日とした場合であった。LC1 を用いた場合に管理材齢が 56 日と長くなったのは、コンクリートの打ち込み時期が 11 月の低温期のため 1m³ 模擬柱の中心部コア 91 日強度が低くなった影響および結合材の C₂S 量が多く、SF 置換率が 10%と少ないため、標準養生 28 日強度が低く抑えられた影響と考えられる。

4. まとめ

SF スラリーを用いた超高強度コンクリートにおいて、SF 置換率とベースセメントの種類を変えて強度発現を検討した結果、得られた知見は以下のとおりであった。

(1) 室内試験にて W/B=14~18%, SF 置換率を 10~15%とすることにより、フレッシュコンクリート

の過剰な粘性増加を抑制し、かつ 150~200N/mm² の圧縮強度を有するコンクリートの製造が可能であることを確認した。

(2) 実機試験にて、ベースセメントを LC1 とした場合は、管理材齢 56 日、ベースセメントを LC2 および MC とした場合は、管理材齢 28 日でそれぞれ設計基準強度 150N/mm² を得る調合が得られた。

謝辞

本実験の実施にあたり多大なご協力を頂きました竹本油脂(株)、竹本技研(株)の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：シリカフェームを用いたコンクリートの設計施工指針(案)、コンクリートライブラリー第 80 号, pp.5-17, pp.69, 1995.10
- 2) 日本建築学会：シリカフェームを用いたコンクリートの調合設計・施工ガイドライン, pp.35, pp.64, 1996.11
- 3) 加藤弘義ほか：高ビーライト系セメントとシリカフェームを使用した高強度コンクリートの諸特性、セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.364-369, 1997.12
- 4) 金塚美喜男ほか：シリカフェーム混入率を変化させたコンクリートのフレッシュ性状及び強度、並びに製造システムについて、第 13 回生コン技術大会研究発表論文集, pp.123-128, 2005.4
- 5) 小出貴夫ほか：150N/mm² 級超高強度コンクリート用シリカフェームスラリー、セメント・コンクリート論文集, No.60, pp.455-461, 2007.2
- 6) 小出貴夫ほか：種類の異なるシリカ質微粉末を用いた超高強度モルタルの性状、第 61 回セメント技術大会講演要旨, Vol.61, pp.192-193, 2007.5
- 7) 日本建築学会：高強度コンクリート施工指針(案)・同解説, pp.8-9, 2005.1