

# 超高強度コンクリートの流動性 改善に向けた対策の検討

—モルタルを用いた基礎的検討—

# STUDY ON MEASURES TO IMPROVE FLUIDITY OF ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE

— Fundamental study using mortar —

鶴見淳也 — \* 1 高橋祐一 — \* 2  
松沢友弘 — \* 3 猪瀬 亮 — \* 4

Junya TSURUMI — \* 1 Yuichi TAKAHASHI — \* 2  
Tomohiro MATSUZAWA — \* 3 Ryo INOSE — \* 4

キーワード：

超高強度コンクリート, シリカフェーム, 比表面積, 流動性

Keywords:

Ultra high strength concrete, Silica fume, Specific surface area, Fluidity

Silica fume mixed cement and silica fume as admixture are used for the binder of ultra high strength concrete. In the examination so far, it was confirmed that specific surface area of binder influences. In this study, as a measure to improve fluidity, we focused on limestone fine powder and fly ash2 species, and conducted experiment using mortar as fundamental study. As a result, fluidity was improved by using limestone fine powder or fly ash type2 in inner split. Furthermore, it was confirmed that some formulations using fly ash2 species could secure compressive strength equivalent to that of base mortar.

## 1. はじめに

近年、コンクリートの超高強度化が進んでおり、地上 50 階を超える超高層鉄筋コンクリート造建物の下層部の柱には、設計基準強度（以下、 $F_c$  とする） $200\text{N}/\text{mm}^2$  の超高強度コンクリートが使用された事例が報告されている<sup>1), 2)</sup>。 $F_c 200\text{N}/\text{mm}^2$  級の超高強度コンクリートの結合材には、ベースとなるポルトランドセメントにシリカフェームをプレミックスしたシリカフェーム混合セメントが用いられており、さらには適切なワーカビリティを確保することを目的にセメントにプレミックスされているシリカフェームよりも粒径の粗いシリカフェームを混和材として結合材の一部に使用している<sup>1), 2)</sup>。このような超高強度コンクリートは水結合材比が非常に小さく、材料中に占める結合材の割合が大きいため、その物性は結合材の影響を大きく受けると考えられる。松井らの研究<sup>3)</sup>では、低熱ポルトランドセメントと比表面積が異なる 4 種類のシリカフェームを用いた  $W/B=16\%$  のモルタルによる検討を行い、シリカフェームを窒素ガス吸着による BET 法で測定した比表面積（以下、BET 比表面積）が、モルタルの各物性に及ぼす影響が大きいと報告されている。筆者らはこの研究を参考に、 $W/B=12.5\%$  の超高強度コンクリートを対象に、結合材の BET 比表面積とスランブフローの関係を確認したところ、比表面積の大きい結合材を使用すると流動性が大きく低下する傾向を確認した<sup>4)</sup>。流動性が低下したコンクリートは、化学混和剤の添加量を増やすことで、流動性を改善できると思われるが、凝結遅延、硬化への影響を考慮すると過度に多くすることはできない。流動性を改善する方法として、兵頭らの研究<sup>5)</sup>で、 $W/B=13, 16\%$  の超高強

度コンクリートに対し、平均粒径  $0.75\mu\text{m}$  程度に微粒子化した石灰石粉末を混和して検討を行っている。その結果、シリカフェームを混和したコンクリートと比較して、石灰石粉末を混和したコンクリートのスランブフローが大きくなると報告されている。また、松田らの研究<sup>6)</sup>では、 $W/B=12.0\%$  のコンクリートにおいて、結合材をセメント+シリカフェームの 2 成分とするよりも、セメント+シリカフェーム+フライアッシュの 3 成分とする方が、高い流動性が得られると報告されている。

そこで本研究では、石灰石微粉末、またはフライアッシュ II 種を使用し、 $F_c 200\text{N}/\text{mm}^2$  級の超高強度コンクリートの流動性を改善することを目的とした基礎的検討として、モルタルを使用し、それぞれの混入方法および混入量を変化させた実験により、その効果を確認した。本報では、その結果について報告する。

## 2. 実験概要

本研究では、モルタルを使用した流動性改善を確認する前の予備実験として、過去の検討<sup>4)</sup>でコンクリートに使用した材料と同一の材料をモルタルに使用し、コンクリートとモルタルのスランブフローの関係性について確認した。流動性改善については、複数の石灰石微粉末（以下、LSP）およびフライアッシュ II 種（以下、FA）を用いた実験により確認した。

### 2.1 予備実験

予備実験では、筆者らが実施した過去の検討<sup>4)</sup>において、コンクリートのスランブフローが、大、中（2 調合）および小となった調

<sup>1)</sup> 五洋建設(株)技術研究所建築技術開発部 係員

(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

<sup>2)</sup> 五洋建設(株)技術研究所建築技術開発部 担当部長・博士 (工学)

<sup>3)</sup> (株)フローリック海外事業本部海外事業部 担当課長

<sup>4)</sup> (株)フローリック技術本部コンクリート研究所 研究員

<sup>1)</sup> Engineer, Building Construction Engineering R&D Division, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd.

<sup>2)</sup> Senior Manager, Building Construction Engineering R&D Division, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd, Dr. Eng.

<sup>3)</sup> Chief Manager, Overseas Dept., Overseas Division, FLOWRIC Co., Ltd.

<sup>4)</sup> Researcher, Concrete Research Laboratory, Technical Division, FLOWRIC Co., Ltd.

表1 使用材料

名称	記号	銘柄・産地	物性
セメント	SC	シリカフェウム混合セメント(4種類)	BET比表面積： 2.83m <sup>2</sup> /g～3.25m <sup>2</sup> /g
		SSC1	LC 低熱ポルトランドセメント(3種類)
	SF1 フェロシリコン系シリカフェウム		BET比表面積：15.71m <sup>2</sup> /g
	SSC2	LC 低熱ポルトランドセメント(3種類)	BET比表面積： 1.52m <sup>2</sup> /g～1.57m <sup>2</sup> /g
		SF2 フェロシリコン系シリカフェウム	BET比表面積：20.87m <sup>2</sup> /g
	混和材	SF3	電融ジルコニア系シリカフェウム
LSP1		石灰石微粉末	BET比表面積：2.30m <sup>2</sup> /g 平均粒径：MA <sup>*1</sup> =1.78μm
LSP2			BET比表面積：1.95m <sup>2</sup> /g 平均粒径：MA <sup>*1</sup> =2.22μm
LSP3			BET比表面積：1.25m <sup>2</sup> /g 平均粒径：MA <sup>*1</sup> =2.80μm
LSP4			BET比表面積：1.27m <sup>2</sup> /g 平均粒径：MA <sup>*1</sup> =3.67μm
LSP5			BET比表面積：0.73m <sup>2</sup> /g 平均粒径：MA <sup>*1</sup> =7.33μm
FA1		フライアッシュⅡ種	BET比表面積：1.42m <sup>2</sup> /g
FA2			BET比表面積：3.57m <sup>2</sup> /g
FA3			BET比表面積：2.17m <sup>2</sup> /g
FA4			BET比表面積：0.90m <sup>2</sup> /g
普通細骨材	S	砕砂／茨城県桜川市産	表乾密度：2.58g/cm <sup>3</sup> 吸水率：1.66%
化学混和剤	SP	高性能減水剤	ポリカルボン酸系
	SR	収縮低減剤	グリコールエーテル系誘導体
	—	消泡剤	ポリオキシアルキレンアルキルエーテル

\*1 面積平均粒径

合を選定し、同一の材料にてモルタルを練り混ぜて、コンクリートのスランブフローとの関係性を確認した。また、結合材の比表面積とモルタルのスランブフローとの関係性についても確認した。

## 2.2 LSPによる流動性改善効果確認実験

LSPを用いた流動性改善効果および強度性状に及ぼす影響を確認する実験では、まず、平均粒径の異なる5種類のLSPを外割で75kg/m<sup>3</sup>使用した調査にて、流動性改善の効果を確認した。その後、一部のLSPを使用し、混入方法を内割として、混入量を変化させてその効果を確認した。また、結合材とみなせないLSPを内割で使用しているため、水結合材比が大きくなることから、強度性状に及ぼす影響を確認する目的で、圧縮強度試験(40℃水中養生材齢28日)を実施した。

## 2.3 FAによる流動性改善効果確認実験

FAを用いた流動性改善効果については、まず、同一銘柄のFAを使用して、混入量が及ぼす影響を確認した。その後、FAの銘柄の違いによる影響について確認した。さらに、FAは結合材の一部として考えられるが、Fc200N/mm<sup>2</sup>級の超高強度コンクリートの強度発現に対する影響を確認するため、圧縮強度試験(40℃水中養生材齢28日)を実施した。

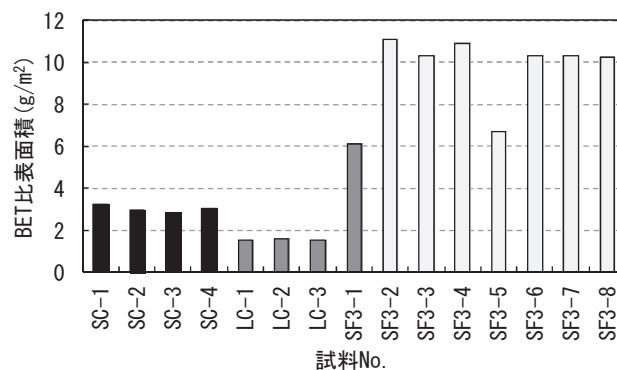


図1 結合材の BET 比表面積測定結果

## 2.4 使用材料

本実験に使用した材料を表1に示す。セメントには、市販のシリカフェウム混合セメント(以下、SC)並びに、市販のSCを模擬して低熱ポルトランドセメント(以下、LC)とシリカフェウムを組み合わせた模擬シリカフェウム混合セメント(以下、SSC)を設定した。また、SSCにおいて、LCと組み合わせるシリカフェウムには、BET比表面積の異なるSF1およびSF2の2種を用いるものとし、各組合せをSSC1およびSSC2とした。なお、LCとSF1またはSF2の混合割合は、質量比で9:1とした。また、混和材として使用したシリカフェウム(以下、SF3)は、SF1およびSF2よりもBET比表面積の小さいものとした。なお、SC、LCおよびSF3については、製造ロット(製造時期)の異なる、SCは4種(SC-1～4)、LCは3種(LC-1～3)、SF3は8種(SF3-1～8)をそれぞれ同一品種として用いた。ロット毎のBET比表面積の測定結果を図1に示す。流動性改善の検討に使用した石灰石微粉末は、粒径の異なる5種類(LSP1～LSP5)、フライアッシュⅡ種は、銘柄の異なる4種類(FA1～FA4)を使用した。

## 2.5 調査

### (1) 予備実験

予備実験の調査を表2に、セメントおよびシリカフェウムの組合せおよびそれぞれの結合材のBET比表面積を表3に示す。調査No.1-1～No.1-4はモルタル、No.1-5～No.1-8は過去の検討におけるコンクリートの調査を示しており、各調査は結合材の組合せのみ変化させた。ここで、モルタルの調査は、表2に示すコンクリートの調査から粗骨材を除いたものとした(以降の各検討についても同様)。なお、全ての調査で、混和材として使用したシリカフェウムはSF3とし、その量は結合材の10%(質量比)とした。

### (2) LSPによる流動性改善効果確認実験

本実験におけるLSPを用いたモルタルの調査を表4に、各調査に使用したセメント、シリカフェウムおよび石灰石微粉末の組合せを表5に示す。セメントは、調査No.2-1～No.2-7にSSC1、No.2-8～No.2-11にSSC2、No.2-12～No.2-14にSCをそれぞれ使用した。このうち、調査No.2-1、No.2-8およびNo.2-12は、LSPを使用していない比較用のベースモルタルとし、結合材のBET比表面積はそれぞれ、3.7204m<sup>2</sup>/g、4.1607m<sup>2</sup>/g、4.0272m<sup>2</sup>/gとした。調査No.2-2はLSP1～LSP4を、No.2-9はLSP5をそれぞれ外割で75kg/m<sup>3</sup>混入した調査とした。調査No.2-3～No.2-7、No.2-13およびNo.2-14はLSP3を、No.2-10およびNo.2-11はLSP5をそれぞれ内割で使用し、混入

表2 調合（予備実験）

調合 No.	結合材 BET 比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	SC	SF3	S	G	SR
モルタル	1-1	3.2577	204	1575	176	463	—	15
	1-2	4.0272						
	1-3	3.5839						
	1-4	3.5811						
コンクリート	1-5	3.2577	140	1080	120	317	824	10
	1-6	4.0272						
	1-7	3.5839						
	1-8	3.5811						

※ 高性能減水剤は B×1.9%（固形分は補正），消泡剤は B×0.01% で一定とした。

表3 使用したセメントとシリカフェュームの組合せ（予備実験）

調合 No.		C	SF	結合材比表面積 (m <sup>2</sup> /g)
モルタル	コンクリート			
1-1	1-5	SC-2	SF3-1	3.2577
1-2	1-6	SC-1	SF3-2	4.0272
1-3	1-7	SC-3	SF3-3	3.5839
1-4	1-8	SC-4	SF3-4   SF3-5	3.5811

表4 調合（LSP による流動性改善効果確認実験）

調合 No.	W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )										LSP 混入量*1 (kg/m <sup>3</sup> )
		W	SC	SSC1		SSC2		SF3	LSP	S	SR	
				LC	SF1	LC	SF2					
2-1	12.5	204	—	1418	157	—	—	176	—	463	—	—
2-2												
2-3	12.7	204	—	1385	154	—	—	176	36	459	15	25(内)
2-4	13.0			1352	151							71
2-5	13.3	204	—	1319	148	—	—	176	111	448	15	75(内)
2-6	13.6			1286	144							146
2-7	14.3	204	—	1221	135	—	—	176	217	440	15	150(内)
2-8	12.5			—	—							1418
2-9		111	357			75(外)						
2-10	13.3	204	—	1319	148	—	—	176	111	448	15	75(内)
2-11	14.3			1221	135							217
2-12	12.5	204	—	1575	—	—	—	176	—	463	15	—
2-13	13.3			1464	—							11
2-14	14.3	204	—	1336	—	—	—	176	217	440	15	150(内)

\*1 ( ) は混合方法を示す。また、混入量は、細骨材置換（外割）および結合材置換（内割）で使用し、値はコンクリートとした場合の混入量を示している。なお、内割とした場合の水粉体比は、12.5%で一定とした。

※ 高性能減水剤は B×1.9%（固形分は補正），消泡剤は B×0.01% で一定とした。

量を 25kg/m<sup>3</sup>～150kg/m<sup>3</sup> と変化させた。なお、全ての調合で、混和材として使用したシリカフェュームは SF3 とし、その量は結合材の 10%（質量比）とした。

(3) FA による流動性改善効果確認実験

本実験における FA を用いたモルタルの調合を表 6 に、FA を用いた結合材一覧を表 7 に示す。セメントは、調合 No. 3-1～No. 3-4 に

表5 使用したセメント・シリカフェューム・石灰石微粉末の組合せ（LSP による流動性改善効果確認実験）

調合 No.	C	SF	LSP
2-1	SSC1 (LC-2+SF1)	SF3-3	—
2-2			LSP1
			LSP2
			LSP3
2-3～2-7	SSC2 (LC-3+SF2)	SF3-6	LSP4
2-8			LSP3
2-9～2-11	SC-1	SF3-2	—
2-12			LSP5
2-13～2-14			LSP3

表6 調合（FA による流動性改善効果確認実験）

調合 No.	W/B (%)	W	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								FA 混入量*1 (kg/m <sup>3</sup> )		
			SSC1		SSC2		SF3	FA	S	SR			
			LC	SF1	LC	SF2							
3-1	12.5	204	—	—	1418	157	176	—	463	15	—		
3-2					1339	149						88	436
3-3					1260	140						174	403
3-4					1103	122						352	346
3-5	12.5	204	1418	157	—	—	176	—	463	15	—		
3-6												1103	122

\*1 値はコンクリートとした場合の混入量を示している。  
 ※ 高性能減水剤は B×1.9%（固形分は補正），消泡剤は B×0.01% で一定とした。

表7 使用したセメント・シリカフェューム・フライアッシュの組合せ（FA による流動性改善効果確認実験）

調合 No.	C	SF	FA
3-1	SSC2 (LC-3+SF2)	SF3-6	—
3-2～3-4			FA1
3-5	SSC2 (LC-1+LC-2+SF2)	SF3-7 +SF3-8	—
3-6			FA1
			FA2
			FA3
			FA4

SSC2 を、調合 No. 3-5 および No. 3-6 に SSC1 を使用した。このうち、調合 No. 3-1 と No. 3-5 は、FA を使用していない比較用のベースモルタルとし、結合材の BET 比表面積はそれぞれ 4.1607 m<sup>2</sup>/g, 4.1641 m<sup>2</sup>/g とした。調合 No. 3-2～No. 3-4 は、FA1 を内割で使用し、混入量を 60kg/m<sup>3</sup>～240kg/m<sup>3</sup> と変化させた調合とした。No. 3-6 は、FA1～FA4 を使用し、内割で 240kg/m<sup>3</sup> 混入した調合とした。なお、全ての調合で、混和材として使用したシリカフェュームは SF3 とし、その量は結合材の 10%（質量比）とした。

2.6 練混ぜ

練混ぜは、図 2 に示す手順で行った。モルタルの状態にて 420 秒

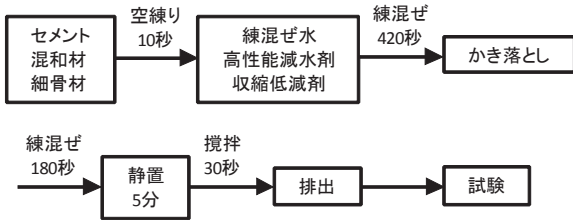


図2 練混ぜ手順

表8 試験項目および試験方法

対象	試験項目	試験方法	備考
フレッシュモルタル	モルタルスランブフロー	JIS A 1171 準拠*1	25cm 到達時間
	空気量	JIS A 1116 準拠	—
	モルタル温度	JIS A 1156	—
硬化モルタル	圧縮強度 (40℃水中養生)	JIS A 1108	材齢 28 日 (一部の調査のみ)

\*1 JIS A 1171 に規定されているスランブ試験と同様の方法にて実施し、そのフローを測定値とした。

間練り混ぜ後、コンクリートとして製造する場合の粗骨材投入後の時間を考慮し、さらに180秒間練混ぜを行った。しかし、FAを用いた一部の調査では、この時間で練り混ぜることができなかったため、練混ぜが完了するまで時間を延長した。

## 2.7 試験項目

試験項目および試験方法を表8に示す。

## 3. モルタルとコンクリートのスランブフローの関係性 (予備実験)

モルタルとコンクリートのフレッシュの試験結果を表9に、モルタルとコンクリートのスランブフローの関係を図3に示す。モルタルにおいても、コンクリートと同様に結合材の比表面積が大きいほど、スランブフローが小さくなる傾向がみられた。また、モルタルとコンクリートのスランブフローの間には、線形的な関係がみられることから、モルタルの実験より得られた結果から、コンクリートの傾向が推察できると考えられる。

## 4. LSPによる流動性改善効果

### 4.1 外割で使用した場合の流動性改善効果

LSPを外割で使用したモルタルのフレッシュ試験結果を表10に、LSPの粒径とスランブフローの関係を図4に示す。SSC1を用いてLSPを外割で使用した調査のスランブフローは、LSPの粒径が大きくなるほど、大きくなる傾向にあるものの、いずれの調査もベースモルタルのスランブフローよりも小さくなった。一方、セメントの種類が異なるが、SSC2を用いて、LSP1~LSP4よりも粒径の大きいLSP5を外割で使用した場合でも、ベースモルタルよりもスランブフローが小さくなった。したがって、本実験で対象とした粒径のLSPを外割で使用しても、流動性を改善する効果は確認できなかった。

### 4.2 内割で使用した場合の流動性改善効果

LSPを内割で使用したモルタルのフレッシュ試験結果を表11に、LSPの混入量とスランブフローの関係を図5に示す。LSPを内割で使用したいずれの調査についても、ベースモルタルに対して流動性の

表9 フレッシュ性状試験結果 (予備実験)

調査 No.	スランブフロー (cm×cm)		フロータイム (秒)			空気量 (%)	温度 (℃)
	平均	25 cm 到達	50 cm 到達	停止	25 cm 到達		
1-1	46.1×45.4	45.8	3.6	—	300	3.0	23
1-2	14.4×13.9	14.2	—	—	28.3	3.0	28
1-3	39.7×39.0	39.4	7.9	—	300	1.5	25
1-4	32.5×32.4	32.5	17.7	—	300	2.1	26
1-5	82.9×80.4	81.7	—	7.6	300	1.5	22
1-6	47.0×46.5	46.8	—	—	—	2.5	26
1-7	77.4×76.5	77.0	—	9.0	270	1.8	23
1-8	69.9×69.5	69.7	—	11.7	300	1.8	23

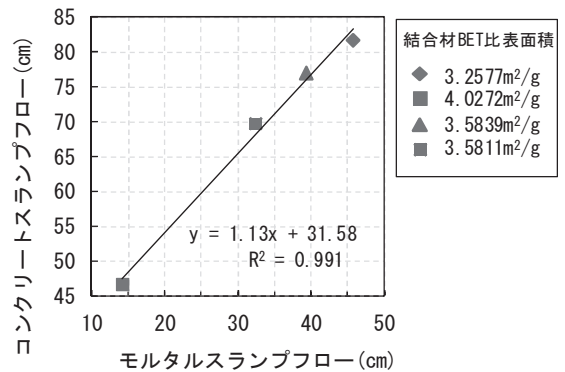


図3 モルタルとコンクリートのスランブフローの関係

表10 フレッシュ性状試験結果 (LSP・外割)

調査 No.	LSP 種類	混入量 (kg/m³)	スランブフロー (cm×cm)		フロータイム (秒)		温度 (℃)
			平均	25 cm 到達	停止	25 cm 到達	
2-1	—	—	35.9×35.8	35.9	8.6	225	24
2-2	LSP1	75(外)	28.7×28.1	28.4	21.7	135	27
	LSP2		30.6×30.6	30.6	14.1	148	27
	LSP3		33.1×32.6	32.9	13.3	219	27
	LSP4		33.3×32.8	33.1	13.4	229	27
2-8	—	—	30.3×29.7	30.0	28.3	204	27
2-9	LSP5	75(外)	26.7×26.5	26.6	108	149	29

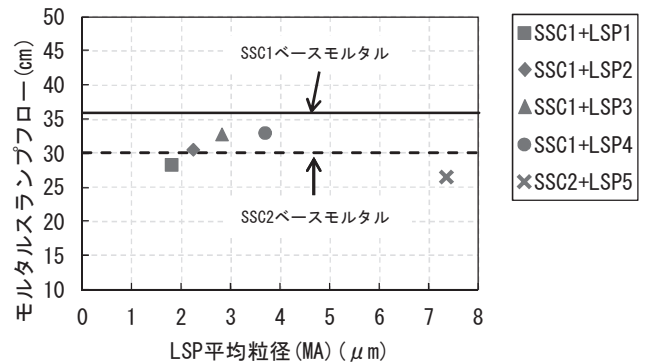


図4 LSPの粒径とスランブフローの関係 (外割 75kg/m³)

表 11 フレッシュ性状試験結果 (LSP・内割)

調査 No.	LSP 種類	混入量 (kg/m <sup>3</sup> )	スランブフロー (cm×cm)		フロータイム (秒)		温度 (°C)
			平均	25 cm 到達	停止		
2-1	—	—	35.9×35.8	35.9	8.6	225	24
2-3	LSP3	25 (内)	37.2×36.5	36.9	8.2	251	27
2-4		50 (内)	38.1×38.1	38.1	7.1	296	27
2-5		75 (内)	40.1×39.3	39.7	5.8	251	27
2-6		100 (内)	37.9×37.6	37.8	5.8	291	27
2-7		150 (内)	39.7×39.5	39.6	5.1	234	26
2-8	—	—	30.3×29.7	30.0	28.3	204	27
2-10	LSP5	75 (内)	34.2×33.4	33.8	15.7	175	28
2-11		150 (内)	36.5×36.3	36.4	13.0	175	28
2-12	—	—	14.4×13.9	14.2	—	28.3	28
2-13	LSP3	75 (内)	24.5×24.1	24.3	—	47.0	29
2-14		150 (内)	27.7×27.7	27.7	39.0	116	26

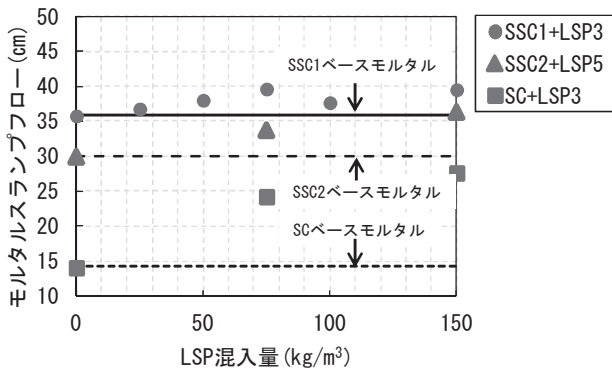


図 5 LSP の混入量とスランブフローの関係 (内割)

改善効果がみられた。セメントを SSC1 とした調査に対しては、75kg/m<sup>3</sup>までは混入量に応じて大きくなる傾向にあった。また、セメントを SSC2 および SC とした調査に対しては、単位量 75kg/m<sup>3</sup>および 150kg/m<sup>3</sup>のいずれも、改善の効果が得られた。したがって、LSP を内割で使用することで、流動性改善の効果が得られることが確認された。また、ベースとなるモルタルのスランブフローの大きさに応じて、適切な混入量が異なると考えられる。

#### 4.3 内割で使用した場合の圧縮強度への影響

LSP の混入量と圧縮強度の関係を図 6 に示す。ばらつきはあるものの、LSP を混入したモルタルの圧縮強度は、ベースモルタルと比較して小さくなる傾向にあった。また、セメントを SC とした調査においても、混入量が増えるにつれて圧縮強度が小さくなる傾向にあった。したがって、LSP を内割で使用する場合、流動性は改善するものの、水結合材比が大きくなり、圧縮強度が低下することから、対策としては不十分と考えられる。

### 5. FA による流動性改善効果

#### 5.1 混入量を変化させた場合の流動性改善効果

FA1 を内割で使用したモルタルのフレッシュ試験結果を表 12 に、FA1 の混入量とスランブフローの関係を図 7 に示す。FA1 を内割で使

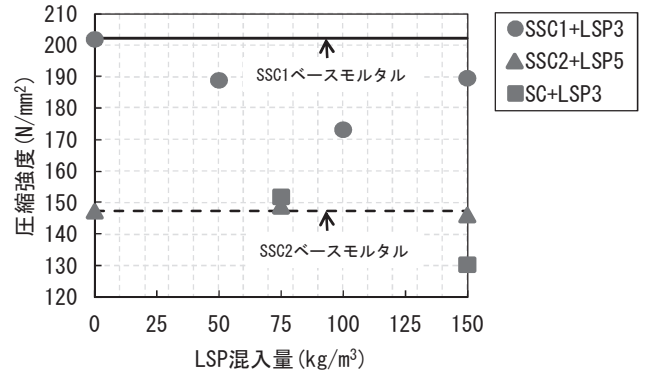


図 6 LSP の混入量と圧縮強度の関係 (内割)

表 12 フレッシュ性状試験結果 (FA・内割)

調査 No.	FA 種類	混入量 (kg/m <sup>3</sup> )	スランブフロー (cm×cm)		フロータイム (秒)		温度 (°C)
			平均	25 cm 到達	停止		
3-1	—	—	32.4×32.3	32.4	31.0	300	26
3-2	FA1	60	34.6×34.2	34.4	20.4	300	28
3-3		120	36.2×36.1	36.2	14.4	300	27
3-4		240	38.9×38.3	38.6	9.3	300	28

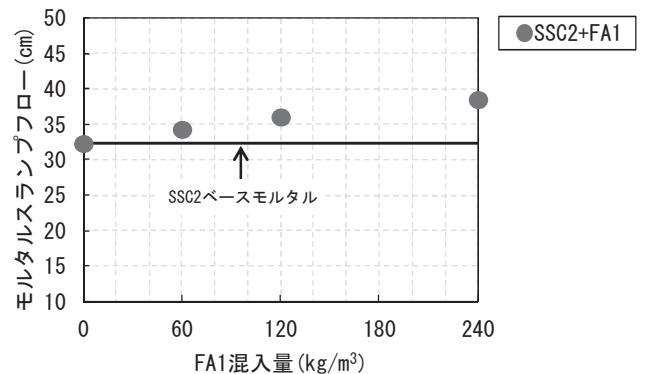


図 7 FA の混入量とスランブフローの関係 (内割)

用した調査のスランブフローは、混入量が多くなるほど、ベースモルタルのスランブフローよりも大きくなる傾向にあった。したがって、FA1 を内割で 60kg/m<sup>3</sup>~240kg/m<sup>3</sup> 使用することは、流動性改善の対策として有効と考えられる。

#### 5.2 銘柄を変化させた場合の流動性改善効果

FA を内割で混入量を 240kg/m<sup>3</sup>として銘柄を変化させたモルタルのフレッシュ試験結果を表 13 に、スランブフローの試験結果を図 8 に示す。ここで、FA1 および FA4 を使用した調査では、ベースモルタルと比較して練り上がるまでの時間が 200 秒長くなり、FA3 を使用した調査については練り混ぜることができなかった。スランブフローについては、FA3 を除き、流動性が改善したものの、FA1 の改善効果が最も高かった。この差について、シリカフェーム混合セメントやシリカフェームと同様に BET 比表面積を指標としてみると、最も効果があった FA1 よりも FA4 の BET 比表面積の方が小さい。また、FA2 よりも BET 比表面積が小さい FA3 では、練り混ぜること

表 13 フレッシュ性状試験結果 (FA・内割)

調合 No.	FA 種類	混入量 (kg/m <sup>3</sup> )	スランプフロー (cm×cm)		フロータイム		温度 (°C)
			平均	25 cm 到達	停止 (秒)		
3-5	—	—	29.8×29.3	29.6	31.7	300	26
3-6	FA1	240	39.6×39.0	39.3	36.5	300	27
	FA2		33.0×32.3	32.7	52.5	300	27
	FA3*1		—	—	—	—	—
	FA4		36.9×36.0	36.5	28.8	300	27

\*1 3-6 の FA1 および FA4 では、3-5 と比較して、練り混ぜ時間が 200 秒長くなり、FA3 では、14 分まで攪拌を続けたが、練り混ぜることができなかった。

ができていないことから、BET 比表面積を指標として FA を選定することは難しいと考えられる。したがって FA を内割で使用することで流動性は改善されるものの、銘柄によりその効果には差がある。また、FA を選定する方法として、BET 比表面積以外の指標について、引き続き検討が必要である。

### 5.3 FA の混入量による圧縮強度への影響

FA1 の混入量と圧縮強度の関係を図 9 に示す。FA1 の混入量と圧縮強度の間には、明確な傾向は認められなかった。しかし、混入量 120kg/m<sup>3</sup> の調合では、ベースモルタルよりも圧縮強度が上回っていることから、コンクリートに FA を混入した場合でも、ベースコンクリートと同等の圧縮強度が確保できる可能性が示された。したがって、今後、コンクリートの圧縮強度に対して、FA の混入が及ぼす影響について確認する予定である。

## 6. まとめ

本研究では、Fc200N/mm<sup>2</sup>級の超高強度コンクリートを対象として、LSP および FA II による流動性改善効果の確認を目的とし、モルタルを使用した基礎的な検討を行った。その結果、本研究の範囲内にて、以下の知見が得られた。

- 1) LSP を内割で混入することで、流動性が改善した。しかし、LSP の適切な混入量は、ベースとなるモルタルのスランプフローの大きさに応じて、異なると考えられる。
- 2) LSP を内割で使用する場合、流動性は改善するものの、水結合材比が大きくなり、圧縮強度が低下することから、対策としては不十分と考えられる。
- 3) FA を内割で使用することで流動性は改善されるものの、銘柄によって差がみられた。また、FA を選定する方法として、シリカフェーム混合セメントやシリカフェームで用いている BET 比表面積とは別の指標について検討が必要である。
- 4) コンクリートに FA を混入した場合でも、ベースコンクリートと同等の圧縮強度が確保できる可能性が示された。

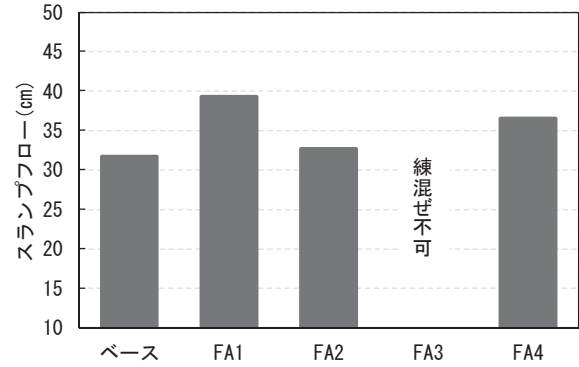


図 8 FA の銘柄によるスランプフローの影響 (内割 240kg/m<sup>3</sup>)

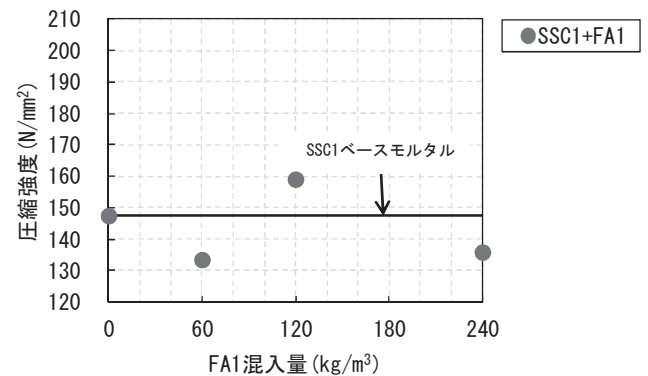


図 9 FA の混入量と圧縮強度の関係 (内割)

今後は、流動性の改善効果ならびにベースコンクリートと同等の圧縮強度を得ることが示された FA を用いて、本研究で対象とした BET 比表面積以外の指標である粒径や粒度分布をはじめとした物理的性質、化学組成や未燃カーボンなどの化学的性質を考慮して、引き続き検討を行っていく。

### 参考文献

- 1) 井戸康浩, 梅本宗宏, 右田周平, 諏訪一広: Fc200N/mm<sup>2</sup> 超高強度コンクリートの製造品質に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol. 36, No. 1, pp. 1456~1461, 2014. 7
- 2) 宮野一樹, 梶田秀幸, 太田健司: 設計基準強度 200N/mm<sup>2</sup>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, コンクリート工学年次論文集, vol. 39, No. 1, pp. 1309~1314, 2017. 7
- 3) 松井淳, 中村秀三, シリカフェームの BET 比表面積が超高強度コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), pp. 489~450, 2004. 8
- 4) 高橋祐一, 松沢友弘, 霧見淳也, 猪瀬亮: 結合材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. 7
- 5) 兵頭彦次, 塚田和久, 山田和夫, 粉碎による微粒子化した石灰石粉末およびシリカフェームを用いた超高強度コンクリートの性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 2, pp. 85~90, 2008. 2
- 6) 松田拓, 細骨材の違いが超高強度コンクリートの性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 1, pp. 1117~1122, 2015. 1

[2019年1月29日原稿受理 2019年4月5日採用決定]