

# 論文 配合・材料条件が増粘剤一液タイプ高性能 AE 減水剤を用いた中・高流動コンクリートの性状に及ぼす影響

小林竜平\*1・橋本紳一郎\*2・根本浩史\*3・齊藤和秀\*4

**要旨:** 本研究では、配合条件および細骨材の種類を因子として増粘剤一液タイプ高性能 AE 減水剤を用いた中・高流動コンクリートのスランプフローおよび分離性状に与える影響を確認した。その結果、良好な状態が得られる最大スランプフローは余剰ペースト量が多くなるのに従い大きくなる傾向が認められた。また同一の配合条件では増粘剤一液タイプ高性能 AE 減水剤を用いることで、通常の高性能 AE 減水剤よりも大きな値が得られた。しかし、配合・材料条件により混和剤使用量が多くなる場合では、増粘剤の作用が混和剤の分散性よりも卓越してスランプフローの頭打ちが起きるケースが確認された。

**キーワード:** 高流動コンクリート, 増粘剤一液タイプ高性能 AE 減水剤, フレッシュ性状, 頭打ち

## 1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の耐震設計の見直しに伴う鉄筋の高密度化や技能労働者不足などにより現場打ちコンクリートの施工不良や生産性の低下が懸念されている。このような背景の中、国土交通省では「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」<sup>1)</sup>を制定し、鋼材量や配筋等の構造条件と打込み、締固め等の作業条件から、「コンクリートに特別な流動性能が必要と判断された場合、あるいは使用することにより現場打ちコンクリート工事の実産性が著しく向上すると判断された場合には、高流動コンクリートを選定してよい」ことが示された。また、2019年3月に改正された JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)<sup>2)</sup>では、現場打ちコンクリートの生産性向上を目的として普通コンクリートにスランプフローコンクリートが追加された。

中・高流動コンクリートの材料分離抵抗性を確保する方法として単位粉体量を増加する粉体系と増粘剤による増粘剤系に大別されるが、粉体系の場合はコスト高や粉体を貯蔵するサイロなどの設備上の制約が発生する。一方、増粘剤系の場合は粉体系と比較して粉体量が少ないことが特徴であるが、粉体増粘剤の投入手間が課題であった。この課題に対応すべく混和剤メーカー各社は増粘剤を一液化した高性能 AE 減水剤を開発し、比較的低セメント量の普通強度域において経済的な中・高流動コンクリートの製造<sup>3)</sup>を可能とした。

しかし、増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤(以下、VSP という。)を用いて中・高流動コンクリートの配合検討を行う場合の課題として、材料条件や配合条件によっては最適な配合を得ることが困難になるケースがみられ

る。具体的には、増粘剤が混和剤に含有されているがゆえに、スランプフローを大きくするために混和剤の使用量を増加したが、同時に増粘剤も増加するためにコンクリートの粘性が増加し、スランプフローが大きくできず、目標のスランプフローが得られないケースである。なおこのような現象が生じる要因は詳細にはわかっていない。

そこで本研究では、VSP を用いた中・高流動コンクリートの最適な配合設計手法を確立することを最終目的とし、まずは単位水量、単位セメント量、単位粗骨材容積などの配合条件および細骨材の種類が VSP を用いた中・高流動コンクリートのスランプフローおよび分離性状に与える影響を把握することを目的として検討した。

## 2. 実験概要

実験は陸砂(S1)を用いたシリーズ1と砕砂(S2)を用いたシリーズ2として行った。シリーズ1では単位セメント量、単位水量、単位粗骨材容積を因子とした配合条件が高性能 AE 減水剤(以下、SP という。)および VSP を用いた中・高流動コンクリートのスランプフローおよび分離性状に与える影響について検討した。シリーズ2についてはシリーズ1の結果を受けて砕砂を用いてその一部の水準について検討した。

### 2.1 実験の因子と水準

配合条件の因子と水準を表-1に示す。実験の因子は単位セメント量、単位水量、単位粗骨材容積、混和剤の種類とした。単位セメント量の標準値は、最近の VSP 適用実績が多い中・高流動コンクリートの単位セメント量が 300~400kg/m<sup>3</sup>であるため、中心値の 350 kg/m<sup>3</sup>とした。

単位水量の標準値は、陸砂を用いた条件において、単位

\*1 竹本油脂(株) 第三事業部営業統括部営業技術グループ マネージャー (正会員)

\*2 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 准教授 博士(工学) (正会員)

\*3 清水建設(株) 土木技術本部基盤技術部コンクリートグループ グループ長 修士(工学) (正会員)

\*4 竹本油脂(株) 第三事業部研究開発部 グループリーダー 博士(工学) (正会員)

セメント量を 350kg/m<sup>3</sup>、SP を標準的な使用量とした場合に JIS A 5308 の普通コンクリートのスランブの最大値である 21cm が得られる単位水量とし、事前に確認した結果、今回の材料条件では、単位水量 170kg/m<sup>3</sup>であった。単位粗骨材容積の標準値は、高流動コンクリートの配合設計・施工指針（2012 年版）<sup>4)</sup>の増粘剤系高流動コンクリートの自己充填性ランク 2 の標準値 300~330 L/m<sup>3</sup>を参考とし、中心値の 315L/m<sup>3</sup>とした。

## 2.2 使用材料

使用材料を表-2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は一般的な陸砂と砕砂、砕石を用いて試験した。混和剤は SP と VSP を用いた。

## 2.3 試験条件

コンクリートの試験条件を表-3 に示す。実験は混和剤使用量を変化させて混和剤使用量とスランブフローの関係を確認した。混和剤使用量は、使用量を増加してもスランブフローが増大しない頭打ちの範囲まで実施した。また分離がなく良好な状態のコンクリートが得られるスランブフローの最大値を確認した。練混ぜ方法は強制練りパン型ミキサを用いたが、VSP を用いたコンクリートでは後伸びが確認されたため、練混ぜ後にミキサ内で 5 分静置を行い、排出後にフレッシュ状態の測定を行った。

## 2.4 配合

コンクリートの配合を表-4 に示す。単位セメント量、単位水量、単位粗骨材容積を変動因子とした 10 配合について検討した。なお、記号は単位水量-単位セメント量-単位粗骨材容積\_細骨材種類を表す。

## 2.5 試験項目

試験項目を表-5 に示す。コンクリートの状態の判定は、練上がったコンクリートを練り舟上で切返しを行った後に目視とハンドリングにより、粗骨材の沈降や混和剤の過剰添加によるノロ状物の浮き（以下、ノロ浮きという。）の有無により判断した。判定は経験年数 5 年以上のコンクリート技術者 5 人で行い、コンクリートに粗骨材の沈降やノロ浮きがないもの（7~9 点）、粗骨材の沈降もしくはノロ浮きがわずかに見られたもの（4~6 点）、粗骨材の沈降やノロ浮きが顕著に見られたもの（1~3 点）と 9 段階で評価した。集計した評価の平均値を用いて、5 点以上のものを良好○、4 点未満のものを分離×と判定した。

表-1 因子と水準

因子	水準	
	シリーズ 1	シリーズ 2
単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	300, (350), 400	(350), 400
単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	160, (170), 180	(170), 180
単位粗骨材容積 (L/m <sup>3</sup> )	300, (315), 330	(315)
混和剤種類	SP, VSP	SP, VSP

( )内は各条件の標準値

表-2 使用材料

材料	記号	種類および物理的性質
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S1	陸砂(表乾密度 2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:2.58%, F.M.:2.79, 微粒分量:1.20%, 実積率 66.9%)
	S2	砕砂(表乾密度 2.64g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:1.63%, F.M.:2.62, 微粒分量:4.24%, 実積率 65.0%)
粗骨材	G	砕石(表乾密度 2.66g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.72%, F.M.:6.70, 実積率:60%)
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤
	VSP	高性能 AE 減水剤 (増粘剤一液タイプ)

表-3 試験条件

項目	詳細
目標スランブフロー	500mm 程度から混和剤使用量を増加させてフローの頭打ちまで確認
目標空気量	4.5±1.5%
コンクリート温度	20°C
使用ミキサ	強制練りパン型ミキサ (55L)
練混ぜ方法	1/2S+C+1/2S+G→空練り 10 秒→W→90 秒→(5 分静置→30 秒)→排出 ( )内は VSP のみ
練混ぜ量	30L

表-4 各シリーズのコンクリートの配合

シリーズ	記号	W/C (%)	単位量 (上段 kg/m <sup>3</sup> , 下段 L/m <sup>3</sup> )				混和剤 (C×%)	
			W	C	S	G	SP	VSP
1	170-350	48.6	170	350	926	838	0.85~1.25	-
	-315_S1		170	111	359	315	-	0.75~1.40
	170-300	56.7	170	300	968	838	0.70~1.30	-
	-315_S1		170	95	375	315	-	0.95~1.55
	170-400	42.5	170	400	885	838	0.70~1.15	-
	-315_S1		170	127	343	315	-	0.65~1.40
	160-350	45.7	160	350	952	838	1.00~1.55	-
	-315_S1		160	111	369	315	-	1.10~2.00
	180-350	51.4	180	350	900	838	0.50~1.00	-
	-315_S1		180	111	349	315	-	0.60~1.25
170-350	48.6	170	350	965	798	-	-	
-300_S1		170	111	374	300	-	0.95~1.60	
170-350	48.6	170	350	888	878	-	-	
-330_S1		170	111	444	330	-	0.75~1.40	
2	170-350	48.6	170	350	948	838	1.05~2.25	-
	-315_S2		170	111	359	315	-	1.50~4.50
	180-350	51.4	180	350	921	838	1.05~1.65	-
	-315_S2		180	111	349	315	-	1.50~3.50
	170-400	42.5	170	400	906	838	1.00~1.80	-
-315_S2	170		127	343	315	-	1.50~4.50	

注：混和剤は水の一部とした。

表-5 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランブフロー	JIS A 1150
空気量	JIS A 1128
コンクリートの状態の判定	練り舟で、目視とハンドリングにより判定。

### 3. シリーズ1 (陸砂を用いた検討)

#### 3.1 実験結果

##### (1) SP と VSP の比較

170-350-315\_S1 の配合条件で混和剤使用量とスランブフローの関係を図-1 に示す。SP を用いた場合、使用量 C×1%までは使用量の増加に伴いスランブフローは増加するが、C×1%を超えた辺りから使用量を増加してもスランブフローの増加は見られない。コンクリートの状態はスランブフローが 560mm を超えた辺りから粗骨材の沈降や混和剤の過剰添加によるノロ浮きが見られた。

一方、VSP を用いた場合、SP と同等のスランブフローとするのに必要な使用量は 2 割程度多くなった。VSP を用いた場合においても、SP と同様に混和剤使用量の増加に伴いスランブフローは徐々に増加し、620mm 程度までは粗骨材の沈降等はなく良好なコンクリートが得られた。さらに混和剤使用量を増加した場合には SP と同様に粗骨材の沈降等の分離現象が見られた。

##### (2) 各因子の影響

各因子における混和剤使用量とスランブフローの関係を図-2 に示す。単位セメント量、単位水量、単位粗骨材容積を変化させた場合、いずれの変動因子においてもコンクリート中のセメントペースト容積およびモルタルの容積割合が高くなる配合ほど、つまり単位セメント量、単位水量が多いほど、単位粗骨材容積が少ないほど、同等のスランブフローを得るために必要な混和剤使用量が少なくなった。また、頭打ちしたスランブフローの値が

大きくなる傾向であった。

各試験条件において、頭打ちしたスランブフローの値は SP と VSP でほぼ同等の値であった。しかし、SP では VSP よりも小さなスランブフローから材料分離が生じ、混和剤使用量の増加に伴い分離状態でスランブフローが増加した。またスランブフローが頭打ちした時のコンクリートの状態は、160-350-315\_S1 で VSP を用いた配合を除けば、いずれも分離を伴うが、160-350-315\_S1 で VSP を用いた条件のみスランブフローが頭打ちした場合においても分離を伴わず、VSP 中のポリカルボン酸系化合物の分散性能よりも増粘成分の作用が卓越して頭打ちが発生した。

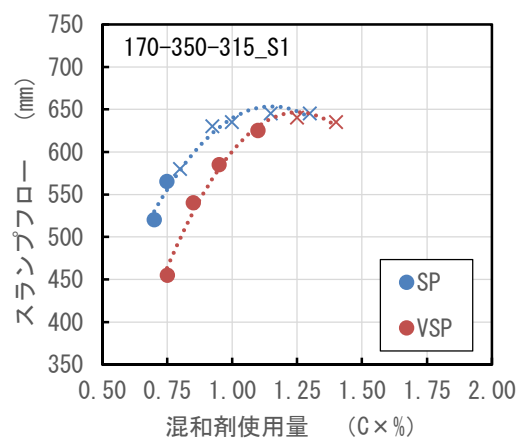


図-1 混和剤使用量とスランブフローの関係

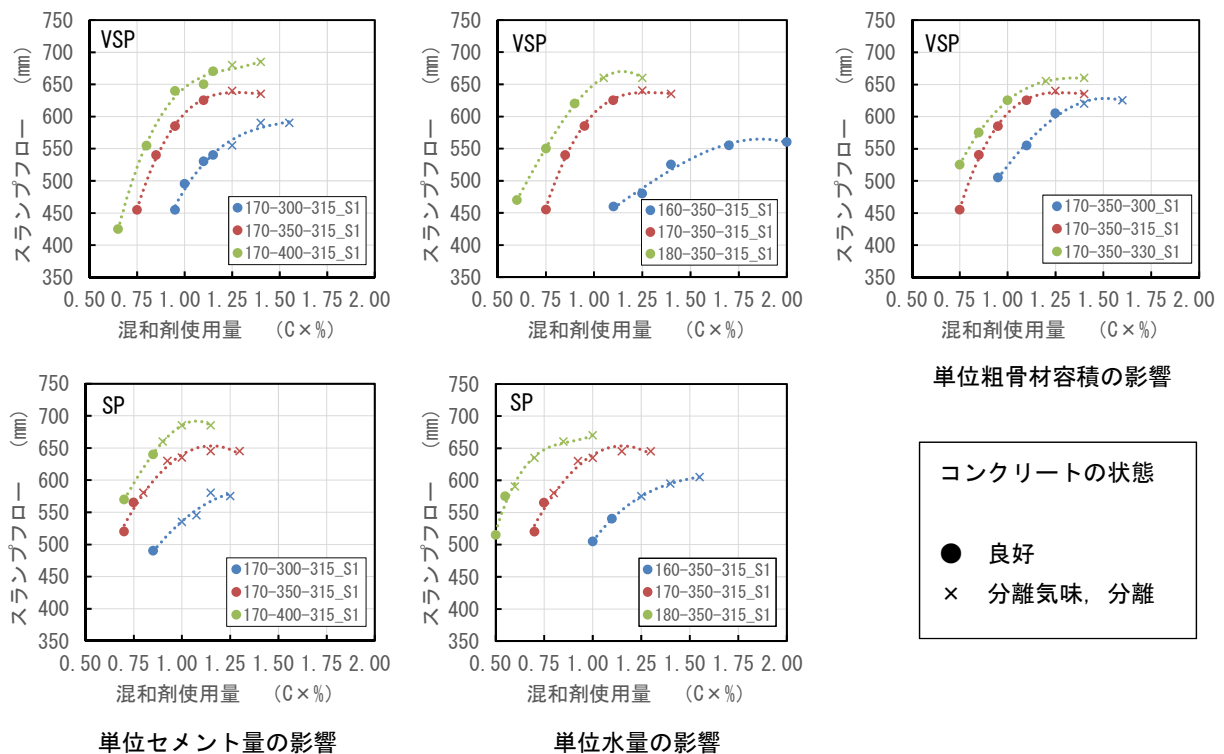


図-2 各因子の混和剤使用量とスランブフローの関係

### 3.2 考察

#### (1) 良好な状態が得られる最大スランブフロー

図-3 に各条件と良好な状態が得られる最大スランブフローの関係、表-6 に VSP の使用量を示す。

単位セメント量の影響については、単位セメント量が多い条件の方が、良好な状態が得られる最大スランブフローは大きくなる傾向であり、単位セメント量  $100\text{kg/m}^3$  で、良好な状態が得られる最大スランブフローは  $130\sim 150\text{mm}$  程度大きくなる。これは単位セメント量が増加することによってコンクリートの流動性に寄与するセメントペースト量が増加したことおよび単位水量を固定としたため水セメント比が低下し、セメントペーストの粘性が増し、分離抵抗性が向上したことが原因と考えられる。VSP と SP の比較では、単位セメント量  $300\sim 400\text{kg/m}^3$  の範囲では、VSP の方が SP よりも良好な状態が得られる最大スランブフローが  $50\text{mm}$  程度大きい傾向にあるが、その差は単位セメント量  $400\text{kg/m}^3$  では若干小さい。これは水セメント比が低下したことにより、セメントペーストの粘性が増加し、VSP による粘性付与効果の影響が相対的に小さくなったことによると考えられる。

単位水量の影響については、まず SP を用いた場合には、良好な状態が得られる最大スランブフローは、単位水量が多い場合の方がわずかに大きくなる傾向であった

が、単位セメント量の影響と比較するとその影響は小さい。これは単位水量を増加した場合、セメントペースト量の増加はスランブフローを大きくする方向へ働くが、同時に水セメント比が増大するので、セメントペーストの粘性は低下し、それに伴いセメントペーストの分離抵抗性が低下することによって、良好な状態が得られる最大スランブフローへの影響は小さくなったと考えられる。続いて VSP の場合では、単位水量  $170, 180\text{kg/m}^3$  については  $50\text{mm}$  程度大きな値が得られたが、単位水量  $160\text{kg/m}^3$  の条件では SP とほとんど変わらない結果であった。これは、単位水量  $160\text{kg/m}^3$  の条件はシリーズ 1 で検討した 7 配合の中で混和剤の分散性が最も高く要求される配合であり、VSP 中のポリカルボン酸系化合物の分散性能よりも増粘成分の作用が卓越したことにより、VSP の分散性が SP よりも相対的に低下したことによるものと考えられる。

単位粗骨材容積の影響については、単位セメント量、単位水量を変化させた場合の影響度合いに比べて今回設定した粗骨材容積の範囲では、その影響度合いは小さい結果となった。良好な状態が得られる最大スランブフローとしては、単位粗骨材容積が多いほど、つまりモルタル中の細骨材の量が少ないほど、わずかに大きくなる傾向であった。

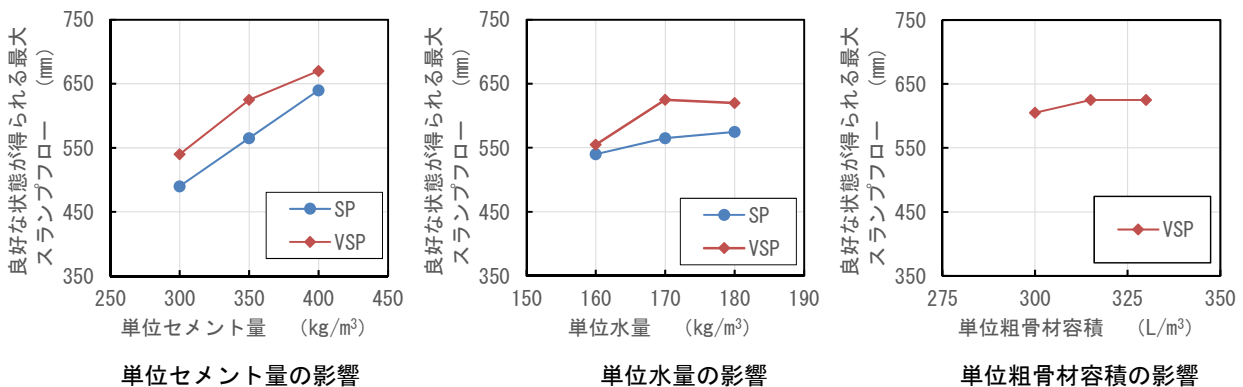


図-3 各条件と良好な状態が得られる最大スランブフローの関係

表-6 良好な状態が得られる最大スランブフロー時の VSP の使用量

種別	記号	混和剤種類	W/C (%)	セメントペースト量 (L/m³)	混和剤使用量		
					(C×%)	(kg/m³)	
単位セメント量 (kg/m³)	300	170-300-315_S1	VSP	56.7	265	1.15	3.450
	350	170-350-315_S1	VSP	48.6	281	1.10	3.850
	400	170-400-315_S1	VSP	42.5	297	1.15	4.600
単位水量 (kg/m³)	160	160-350-315_S1	VSP	45.7	271	1.70	5.950
	170	170-350-315_S1	VSP	48.6	281	1.10	3.850
	180	180-350-315_S1	VSP	51.4	291	0.90	3.150
単位粗骨材容積 (L/m³)	300	170-350-300_S1	VSP	48.6	281	1.25	4.375
	315	170-350-315_S1	VSP	48.6	281	1.10	3.850
	330	170-350-330_S1	VSP	48.6	281	1.00	3.500

(2) 余剰ペースト量と最大スランブフローの関係

これまでの検討で各配合において得られる最大スランブフローはコンクリート中の単位水量や単位セメント量の容積つまりセメントペースト量の容積が多い場合に大きくなることがわかった。そこで、コンクリート中のペースト容積から細骨材空隙容積を引いた余剰ペースト量を式(1)で定義し、各配合で得られた頭打ち時のスランブフローおよび良好な状態が得られる最大スランブフローとの関係性を考察した。

$$\text{余剰ペースト量} = P_v - (S_v / S_p \times 100 - S_v) \quad (1)$$

$P_v$ : ペースト容積 (L/m<sup>3</sup>)

$S_v$ : 細骨材容積 (L/m<sup>3</sup>)

$S_p$ : 細骨材実積率 (%)

図-4 に余剰ペースト量と分離を伴い頭打ちした時のスランブフローの関係を示す。頭打ち時のスランブフローは、余剰ペースト量が多くなるのに従い大きくなる傾向であり、SPとVSPで差は認められなかった。

図-5 に余剰ペースト量と良好な状態が得られる最大スランブフローの関係を示す。良好な状態が得られる最大スランブフローは余剰ペースト量が多くなるのに従い大きくなる傾向であった。また、同一の余剰ペースト量の場合、良好な状態が得られる最大スランブフローは、VSPの方がSPより50mm程度大きい値となる傾向であり、同等の最大スランブフローを得るために必要な余剰ペースト量は、VSPではSPよりも約20L/m<sup>3</sup>少ない傾向であった。したがって、陸砂の場合では混和剤種類と余剰ペースト量、つまり単位セメント量、単位水量、細骨材実積率の値により、良好な状態の得られる最大スランブフローの値はおおよそ決定すると考えられる。

図-6 に混和剤使用量とスランブフローの関係を示す。砕砂を用いたすべての配合条件において、SPは分離を伴いスランブフローが頭打ちしたのに対して、VSPは分離を伴わずにスランブフローが頭打ちした。スランブフロー600mmを得るために必要な混和剤使用量を170-350-315の配合で陸砂の場合と比較すれば、SPで約1.7%必要となり、陸砂の場合の約1%に対して大幅に増加する傾向であった。VSPもSPと同様に混和剤使用量は陸砂の場合に対して増加し、高い値となった。

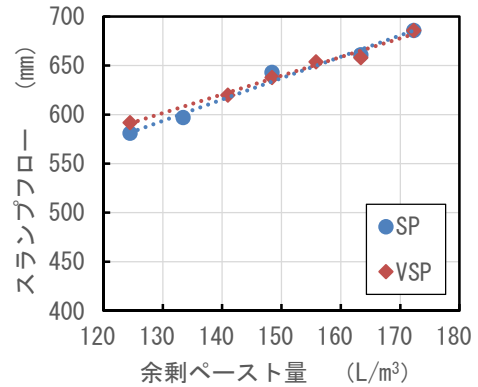


図-4 余剰ペースト量と頭打ち時のスランブフロー

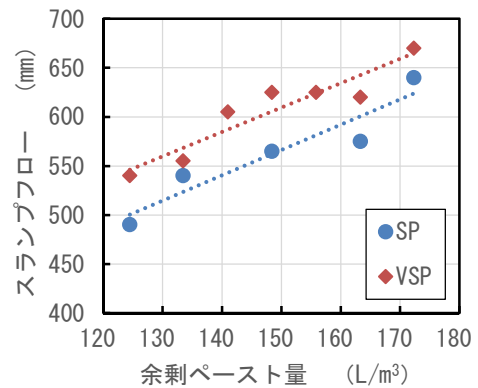


図-5 余剰ペースト量と良好な状態が得られる最大スランブフロー

4. シリーズ2 (砕砂を用いた検討)

4.1 実験結果

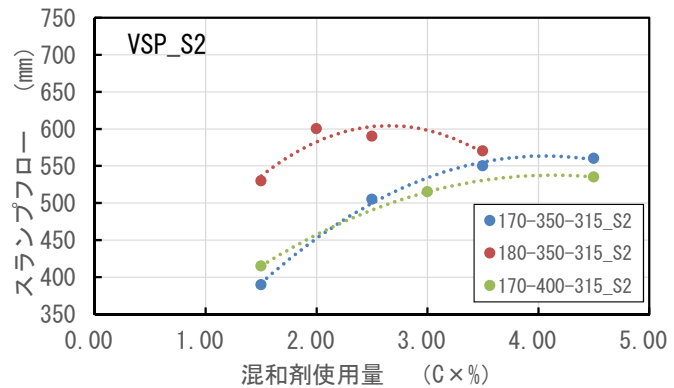
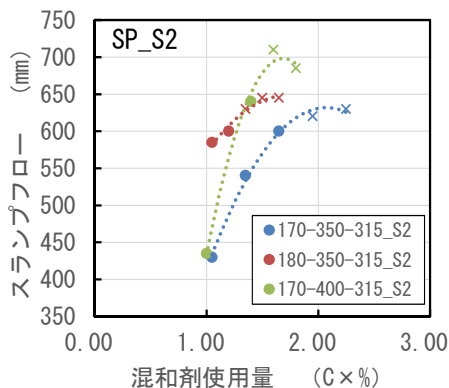


図-6 混和剤使用量とスランブフローの関係

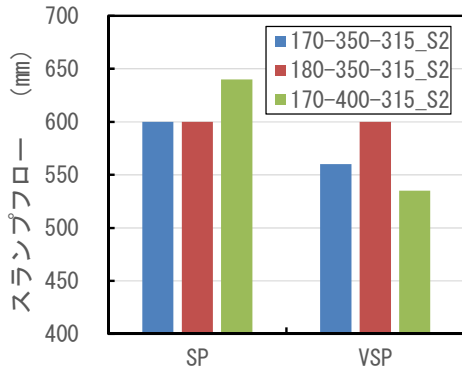


図-7 良好な状態が得られる最大スランプフロー

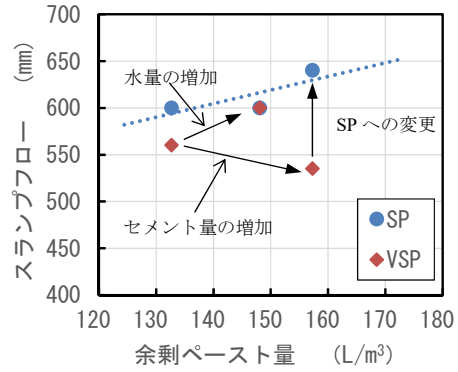


図-8 余剰ペースト量と良好な状態が得られる最大スランプフロー

#### 4.2 考察

図-7 に良好な状態が得られる最大スランプフローを示す。SP の良好な状態が得られる最大スランプフローは、170-350-315\_S2 と 180-350-315\_S2 では変化しないが、単位セメント量を増加した 170-400-315\_S2 では 50mm 程度増加した。これは、水セメント比の低下によってセメントペーストの粘性が増加し、分離抵抗性が増加したことによると考えられる。

VSP の良好な状態が得られる最大スランプフローは、単位水量を増加した場合には 50mm 程度増加したが、単位セメント量を増加した場合には、逆に若干低下した。VSP は、170-350-315\_S2 の配合で既に増粘剤の作用が分散性よりも卓越してスランプフローの頭打ちが発生したが、単位水量を増加すれば VSP に求められる分散性が緩和されるため良好な状態が得られる最大スランプフローが増大した。逆に単位セメント量を増加した場合には、170-350-315\_S2 よりもさらに高い分散性が混和剤に求められるため、より小さなスランプフローで頭打ちしたと考えられる。

図-8 に余剰ペースト量と良好な状態が得られる最大スランプフローの関係を示す。SP では陸砂の場合と同様に余剰ペースト量が多くなるのに従い、良好な状態が得られる最大スランプフローは大きくなる傾向が認められる。一方、VSP では増粘剤の作用が混和剤の分散性よりも卓越してスランプフローの頭打ちが起きている場合においては、余剰ペースト量が増加しても最大スランプフローが大きくなる傾向は認められない。

VSP 特有の分離を伴わないスランプフローの頭打ち現象は、シリーズ 1 の陸砂の場合は 1 ケース(160-350-315\_S1)のみで発生したが、砕砂を用いたシリーズ 2 では、検討したすべての試験ケースにおいて発生した。これは、同一スランプを得るのに必要な単位水量は、陸砂に比べて砕砂の方がかなり増加すること、つまり砕砂の方が VSP に高い分散力が必要になるのに対して使用した VSP の分散力が不足したためと考えられる。

なお、VSP 特有の分離を伴わないスランプフローの頭打ち現象が発生した場合に、良好な状態のスランプフローを増大させるためには、混和剤に求められる分散性を緩和させる方向に配合修正（単位水量の増加）が必要となる。また、単位セメント量が一定以上である場合には、増粘成分は不要となるため、混和剤を VSP から SP への変更等が必要と考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では、配合条件および細骨材の種類が VSP を用いた中・高流動コンクリートのスランプフローおよび分離性状に与える影響を把握することを目的として実験を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 同一の配合条件では、VSP を用いることで良好な状態が得られる最大スランプフローは SP よりも大きくなる。
- (2) 余剰ペースト量が多くなるのに従い、良好な状態が得られる最大スランプフローは大きくなる。また同等の最大スランプフローを得るのに必要な余剰ペースト量は、VSP では SP よりも約 20L/m<sup>3</sup> 少ない。
- (3) VSP は混和剤使用量が多くなる配合・材料条件において、増粘剤の作用が分散性よりも卓越してスランプフローの頭打ちが起きるケースがある。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン，流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会，平成 29 年 3 月
- 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) 尾田健太：増粘剤一液タイプの化学混和剤，コンクリート工学，Vol.57，No.1，pp.4-7，2019.1
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針，2012.6