

## 論文 低粉体系の高流動コンクリートの調合条件に関する研究

土屋 直子\*1・鹿毛 忠継\*2・小泉 信一\*3

**要旨**：本研究は、低粉体系（高水セメント比・普通強度）の増粘剤含有高性能 AE 減水剤（一液タイプ）を使用した高流動コンクリートの標準化に必要な調合条件を検討した。調合条件は、目標とするスランプフロー値を設定し、単位セメント量、単位粗骨材かさ容積、単位水量および化学混和剤の種類・銘柄を変化させ、間隙通過性および流動性への影響により評価した。その結果、単位セメント量が  $350 \text{ kg/m}^3$  未満の場合、単位粗骨材かさ容積が  $0.575 \text{ m}^3/\text{m}^3$  以上の場合および単位水量が  $165 \text{ kg/m}^3$  と少ない場合に間隙通過性が低下すること、単位水量と間隙通過性の関係は、化学混和剤の種類によりその傾向が異なることが明らかとなった。

**キーワード**：増粘剤含有高性能 AE 減水剤、単位セメント量、単位粗骨材かさ容積、単位水量、間隙通過性

## 1. はじめに

スランプフロー40cm から 60cm を目標としたコンクリート、すなわち高流動コンクリートの打設量については、近年、増加傾向にあり、いわゆるトンネル覆工コンクリートとして使用される中流動コンクリートも含め、免震基礎や鋼管充填コンクリート（CFT）など締固め作業が困難な部位・部材あるいは過密配筋対策、作業省人化・効率化のための使用実績が増加している。

特に、水セメント比（W/C）が大きい領域、すなわち粉体量が少ない普通強度の領域においても、スランプフローが 50cm から 60cm を目標とした流動性を有するコンクリートの使用も望まれており、このような場合に、流動性と材料分離抵抗性を確保するために増粘剤含有高性能 AE 減水剤（一液タイプ）（以降 VSP）を使用されることも増加している。平成 30 年 1 月には JIS A 1159（コンクリートの J リングフロー試験方法）<sup>1)</sup>、JIS A 1160（増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用した高流動コンクリートのワーカビリティの評価基準）<sup>2)</sup>がそれぞれ制定され、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）においても、呼び強度 27～45、スランプフロー45～60cm のコンクリートが追加される予定である。しかし、現在のところ、VSP を使用した高流動コンクリートの調合決定のための標準的な調合条件が整備されているとはいえない。

本研究では、VSP を使用した高流動コンクリートを対象とし、建築分野で使用する際の調合決定のための標準的な調合条件の検討のため、間隙通過性および流動性に関する実験を行った。検討した調合条件は、目標とするスランプフローに対する単位セメント量、単位粗骨材かさ容積、単位水量、化学混和剤の種類および銘柄である。

## 2. 実験の内容

## 2.1 実験シリーズ

実験シリーズは 3 つであり、各実験の要因と水準が、間隙通過性および流動性に及ぼす影響を検討した。

## (1) 実験 1（単位セメント量の影響）

実験の要因は、目標とするスランプフロー（以下 SF）と単位セメント量であり、SF は、425、500、600 および 700mm の 4 水準、単位セメント量は 300、325、350、375 および  $400 \text{ kg/m}^3$  の 5 水準を設定した。なお、実験 1 の単位粗骨材かさ容積 ( $0.525 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) と単位水量 ( $180 \text{ kg/m}^3$ ) は一定、S/a は 50.0% (SF425, C300)～52.4% (SF700, C400) の範囲である。実験の組合せを表-1 に示す。

日本建築学会「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針（案）」<sup>3)</sup>によれば、目標 SF55～65cm の高流動コンクリートの単位粗骨材かさ容積は  $0.500 \sim 0.550 \text{ m}^3/\text{m}^3$  の範囲（標準値は  $0.525 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ）、単位水量の標準値は原則として  $175 \text{ kg/m}^3$  以下（分離低減剤系の高流動コンクリートでは  $185 \text{ kg/m}^3$  以下）としている。

単位セメント量については、使用する骨材の品質、目標とする SF や自己充填性の要否で異なるが、従来の粉体系で  $500 \sim 600 \text{ kg/m}^3$ 、増粘剤系で  $350 \sim 450 \text{ kg/m}^3$  とされている<sup>4)</sup>。また、高性能 AE 減水剤（以下 SP）を使用するコンクリートの単位セメント量の最小値  $290 \text{ kg/m}^3$  を踏まえ<sup>5)</sup>、SF に応じた単位セメント量を上記の設定とした。なお、一部の水準については圧縮強度試験を実施して W/C と強度の関係の確認を行った。

## (2) 実験 2（単位粗骨材かさ容積の影響）

実験の要因は、目標とする SF と単位粗骨材かさ容積であり、SF500、600mm において、それぞれ 2 水準の単位セメント量を設定し、単位粗骨材かさ容積を 0.475、0.500、0.525、0.550 および  $0.575 \text{ m}^3/\text{m}^3$  の 5 水準とした。

\*1 国土技術政策総合研究所 建築研究部 材料・部材基準研究室 主任研究官 博士（工）（正会員）

\*2 国立研究開発法人建築研究所 材料グループ グループ長 Ph.D.（正会員）

\*3 BASF ジャパン（株）建設化学品事業部 博士（工）（正会員）

なお、実験2の単位水量(180kg/m<sup>3</sup>)は一定、S/aは54.1%(SF500,C325)～45.3%(SF600,C400)の範囲である。実験の組合せを表-2に示す。

SPを使用するW/C40%の高流動コンクリートの単位粗骨材かさ容積の標準的な使用範囲は、0.510～0.600m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>(SFが50cm～65cmの場合)である<sup>5)</sup>。一般的に、単位粗骨材量を大きくすると細骨材率が小さくなり、流動性は増大するが粗骨材の分離が生じやすくなる。一方、VSPを用いた高流動コンクリートは、モルタルの粘性が増加するため、粗骨材の材料分離抵抗性が向上する効果が見込めるものの、従来の高強度領域で低水セメント比等の高流動コンクリートと比較して、一般に粉体量が小さい。従って、粉体量が少ない場合、単位粗骨材かさ容積が同じでも、粉体量が多い場合と比べ粗骨材の材料分離が生じやすいことが懸念される。

### (3) 実験3(単位水量の影響)

実験の要因は、目標とするSFと単位水量であり、SFごとに単位セメント量を設定し、単位水量を165, 170, 175, 180および185kg/m<sup>3</sup>の5水準とした。なお、実験3の単位粗骨材かさ容積(0.525m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)は一定、S/aは49.7%(SF700,C400)～52.3%(SF600,C350)の範囲である。実験の組合せを表-3に示す。これらの単位水量は、建築で使用されるコンクリートにおける標準的な単位水量の範囲であり<sup>5)</sup>、単位粗骨材かさ容積の値は、実験1および2の結果に基づき選定した。

## 2.2 使用材料

表-4に使用材料の品質、表-5に使用した骨材の品質を示す。骨材は、何れも表乾状態のものを用いた。化学混和剤は、VSPとSPを用いた。なお、実験1では、実験当時市販されている7銘柄のVSPを用い、実験2および3では、VSPおよびSPの両方について、1つの銘柄を選定して検討した。

## 2.3 練混ぜおよび試験方法

### (1) 練混ぜ方法

練混ぜは、55Lパン型強制練りミキサを用い、練混ぜ時間は、1/2細骨材+セメント+1/2細骨材で空練り10秒、水+化学混和剤の投入後は、VSPを用いた場合では60秒、SPを用いた場合では30秒とし、粗骨材投入後90秒、40L/バッチとした。化学混和剤の使用量は、SF±25mm程度となるように調整して使用した。また、空気量は4.5%±1.0%を目標とした。

### (2) 試験方法

すべての実験において、フレッシュコンクリートの試験は、スランプフロー試験(JIS A 1150 準拠)、Jリングフロー試験(JIS A 1159 準拠)および空気量試験(JIS A 1128 準拠)を実施し、SF、Jリングフロー(SF<sub>J</sub>)、500mmフロー到達時間(T<sub>500</sub>)、Jリングフロー流動時間(T<sub>500J</sub>)、

表-1 目標SFと単位セメント量(実験1)

目標SF mm	単位セメント量C kg/m <sup>3</sup>				
	300	325	350	375	400
425	○*	—	—	—	—
500	○	○*	○	—	—
600	○	○	○*	○	○
700	—	—	○	—	○*
W/C (%)	60.0	55.3	51.4	—	45.0
推定強度** (N/mm <sup>2</sup> )	29.2	32.9	36.5	—	43.0

※圧縮強度試験の実施

※※: σ<sub>28</sub> = -12.51+25.08C/W

表-2 目標SFと単位粗骨材かさ容積(実験2)

目標SF mm	単位C量 kg/m <sup>3</sup>	単位粗骨材かさ容積 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>				
		0.475	0.500	0.525	0.550	0.575
500	325	—	○	○	○	—
	350	○	○	○	○	○
600	375	—	○	○	○	—
	400	○	○	○	○	○

表-3 目標SFと単位水量(実験3)

目標SF mm	単位C量 kg/m <sup>3</sup>	単位水量W kg/m <sup>3</sup>				
		165	170	175	180	185
375	275	—	○	—	—	○
425	300	—	○	—	—	○
500	325	—	○	—	—	○
600	350	○	○	○	○	○
700	400	—	○	—	—	○

表-4 使用材料の品質

種類	品質	
使用材料	セメント	普通ポルトランドセメント (3社混合, 密度3.16g/cm <sup>3</sup> )
	粗骨材	砕石(G <sub>max</sub> :20mm) 2013:1305等量混合(質量比)
	細骨材	陸砂(大井川水系)
	化学混和剤	増粘剤含有高性能AE減水剤(一液タイプ)(VSP)および高性能AE減水剤(SP)

表-5 骨材の品質

物性	細骨材	粗骨材	
		2013	1305
表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.58	2.64	2.64
絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.53	2.63	2.62
吸水率(%)	2.02	0.69	0.75
単位容積質量(kg/L)	1.71	1.62	
実績率(%)	67.4	61.7	
微粒分量(%)	1.8	2.2	2.0
安定性(%)	1	—	—
0.15mm以下(%)	8	—	—
粗粒率(F.M.)	2.68	—	—
粘土塊量(%)	0.19	—	—
有機不純物	淡い	—	—

空気量, および J リングフロー後のリング中心部・周辺部の高さの測定を行った。これらから JIS A 1160 に示される間隙通過性の評価指標である PJ 値および B 値等を得た<sup>2)</sup>。J リングフロー試験に用いた治具 (J リング) は, JIS A 1159 に示されている標準型を用いた。試験は, 原則, 練混ぜ終了+排出直後に SF および標準型治具による J リングフロー試験を実施した。なお, 材料分離抵抗性については, SF 試験および J リングフロー試験において, 目視による確認を行ったが, 明確な材料分離と判定されるものは無かった。また, 実験 1 のいくつかの水準については, 標準養生による圧縮強度試験を実施し, 強度の確認を行った。

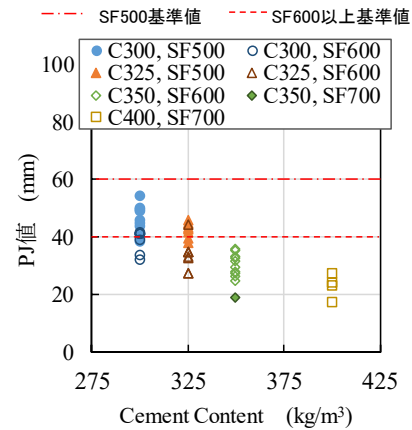


図-1 単位セメント量ごとの PJ 値の結果

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 単位セメント量の影響 (実験 1)

##### (1) PJ 値

図-1 に VSP7 銘柄を用いた場合の PJ 値を単位セメント量ごとに示す。図中の赤線は, SF 試験と J リングフロー試験を行った場合の間隙通過性の判定基準<sup>2)</sup>であり, 目標 SF が 500mm (許容差±75mm) では PJ 値 60mm, 目標 SF が 600mm (許容差±100mm) では PJ 値 40mm と示されている。図より, 全体的な傾向としては, 単位セメント量が大きくなるにつれて, PJ 値は小さくなることがわかり, これは目標 SF が同じ場合でも同様の傾向である。また, 同じ単位セメント量において, 目標 SF が 500mm の場合は, 600mm と比較して, PJ 値が大きくなる傾向にある。すなわち, 目標 SF に応じて, 良好な間隙通過性を得るために必要な粉体量があることがわかる。なお, 目標 SF が 500mm の場合, PJ 値に基づく間隙通過性は, すべての試験結果において判定基準を満足したが, 目標 SF600mm で単位セメント量が 325kg/m³ の場合, 一部の VSP では, 判定基準を上回る結果となり, VSP の銘柄によって, 必要な粉体量が若干異なることがわかる。次に, 目標 SF が 700mm の場合は, VSP の使用量を増加させても SF は増大せず, 目標 SF を得ることができなかったが, 一方で材料分離の傾向が明確に確認できる場合も少なかった。これは, 目標 SF に対して粉体量が少ないことが原因と考えられるが, 加えて VSP の粘性による特徴であるとも考えられる。

##### (2) B 値

図-2 に VSP7 銘柄を用いた場合の B 値の結果を単位セメント量ごとに示す。目標 SF が 500mm で単位セメント量が 325kg/m³ の場合, 間隙通過性の評価基準<sup>2)</sup>である B 値 75mm を上回るものが一部確認されたが, 全体の傾向としては, 単位セメント量が少ない場合に, B 値は大きくなる。また, PJ 値と比較すると, VSP の銘柄の違いによって, B 値はかなり異なることがわかる。

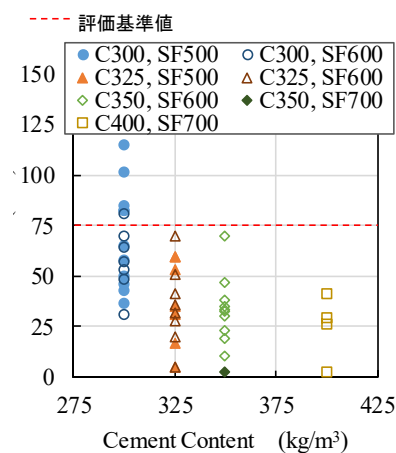


図-2 単位セメント量ごとの B 値の結果

##### (3) T<sub>500</sub> および T<sub>500J</sub>

すべての試験結果で, 500mm フロー到達時間 (T<sub>500</sub>) は 1.9~6.3 秒, J リングフロー流動時間 (T<sub>500J</sub>) は 2.8~7.5 秒であり, とともに流動性の評価基準である 10 秒以下<sup>2)</sup>を満足した。

##### (4) まとめ

B 値は PJ 値と比較すると VSP の種類によるバラツキも大きい, 単位セメント量が 350kg/m³ 未満の場合には, PJ 値および B 値とも間隙通過性の評価基準<sup>2)</sup>を上回る場合が散見される。単位セメント量が大きくなるにつれて PJ 値および B 値は小さくなり, 目標 SF に対して粉体量が少ないと目標 SF を得ることが難しい場合もみられ, 間隙通過性の良否には, 必要な単位セメント量の確保が重要であることがわかった。

#### 3.2 単位粗骨材かさ容積の影響 (実験 2)

##### (1) PJ 値

図-3 に VSP を用いた場合の単位粗骨材かさ容積ごとの PJ 値の結果を示す。単位粗骨材かさ容積が 0.500 m³/m³ の場合に PJ 値が最小となり, それ以上の範囲においては単位粗骨材かさ容積の増加につれて PJ 値が大きくなる

ことがわかる。また、単位粗骨材かさ容積が  $0.575 \text{ m}^3/\text{m}^3$  の場合に評価基準を上回ることが多くなり、 $0.525 \text{ m}^3/\text{m}^3$  を超えてくると評価基準値以下ではあるが評価基準値に近い値となっており、全体的に単位粗骨材かさ容積が大きいほどPJ値が大きくなることわかる。

図-4 に SP を用いた場合の単位粗骨材かさ容積ごとのPJ値の結果を示す。VSPと同様に、単位粗骨材かさ容積が大きいほど、PJ値が大きくなる値を示すことがわかる。ただし、SPの場合は、目標SF600mmで単位セメント量  $375 \text{ kg}/\text{m}^3$  および  $400 \text{ kg}/\text{m}^3$  の場合は、単位粗骨材かさ容積が  $0.550 \text{ m}^3/\text{m}^3$  以上でPJ値が評価基準を上回る結果となった。

(2) B値

図-5 に VSP を用いた場合の単位粗骨材かさ容積ごとのB値の結果を示す。VSPを用いた場合、単位粗骨材かさ容積が  $0.500 \text{ m}^3/\text{m}^3$  あるいは  $0.525 \text{ m}^3/\text{m}^3$  のときにB値は最小となり、それ以上の範囲においては単位粗骨材かさ容積の増加にともないB値は大きくなり、PJ値と同じ傾向を示した。特に単位セメント量が小さく、かつ単位粗骨材かさ容積が  $0.575 \text{ m}^3/\text{m}^3$  など大きい場合には評価基準を上回る場合が確認された。

図-6 に SP を用いた場合の単位粗骨材かさ容積ごとのB値の結果を示す。目標SFが600mmのときは、単位粗骨材かさ容積が  $0.500 \text{ m}^3/\text{m}^3$  あるいは  $0.525 \text{ m}^3/\text{m}^3$  のときにB値は最小となり、それ以上の範囲においては単位粗骨材かさ容積の増加にともないB値は大きくなり、VSPを用いた場合と同じ傾向であった。特に目標SFが大きいにもかかわらず、単位セメント量が小さく、かつ単位粗骨材かさ容積が大きい場合には評価基準を上回る場合が確認された。一方、目標SF500mmの場合は、単位粗骨材かさ容積による明確な影響は確認されなかった。

(3)  $T_{500}$  および  $T_{500J}$

VSPを用いた場合、500mmフロー到達時間 ( $T_{500}$ ) は2.1~5.5秒、Jリングフロー流動時間 ( $T_{500J}$ ) は5.0~8.5秒であり、いずれもJIS A 1160の評価基準を満足し、流動性は良好であった。一方、SPを用いた場合、500mmフロー到達時間 ( $T_{500}$ ) は1.7~6.0秒、Jリングフロー流動時間 ( $T_{500J}$ ) は8.6~13.0秒であり、JIS A 1160の評価基準である10秒を超える水準が見られた。10秒を超えた水準は、(目標SF600mm,  $W180 \text{ g}/\text{m}^3$ ,  $C375 \text{ g}/\text{m}^3$ ,  $G0.525\%$ )

(目標SF600mm,  $W180 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $C375 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $G0.550\%$ )

(目標SF600mm,  $W180 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $C400 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $G0.575\%$ )

の3水準であり、SPを用いた場合、目標SFが大きく、単位セメント量大きい場合には、単位粗骨材かさ容積を小さくしないと、流動停止までに時間を要する傾向がみられる。また、これらの評価基準値を満足しない場合、PJ値やB値の評価基準値も満足しなかった。

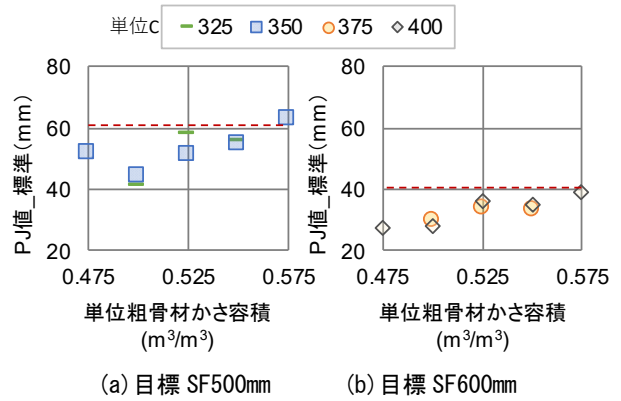


図-3 単位粗骨材かさ容積ごとのPJ値 (VSP)

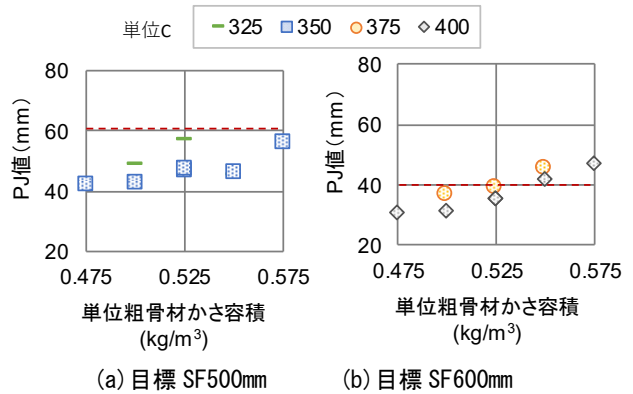


図-4 単位粗骨材かさ容積ごとのPJ値 (SP)

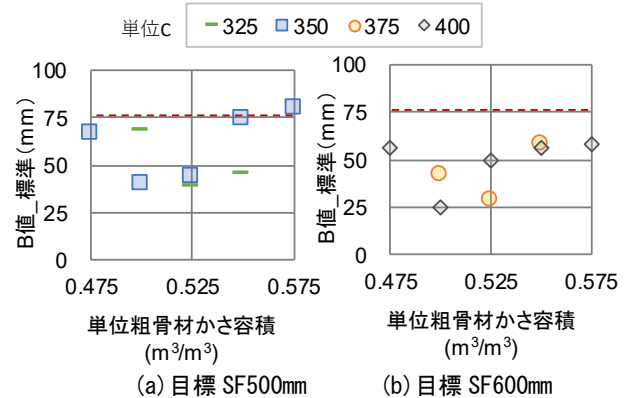


図-5 単位粗骨材かさ容積ごとのB値 (VSP)

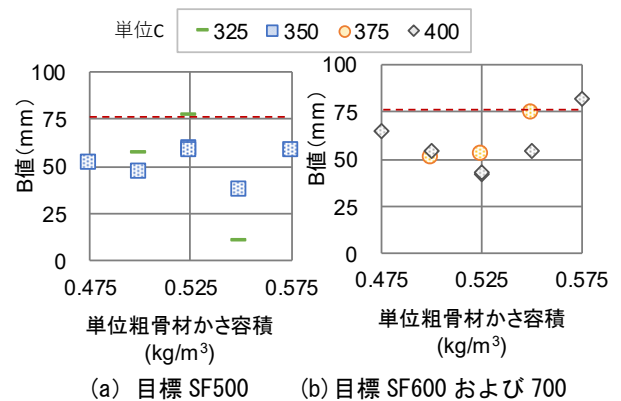


図-6 単位粗骨材かさ容積ごとのB値 (SP)

#### (4) まとめ

本研究における材料および調合条件の範囲では、単位粗骨材かさ容積が  $0.500 \sim 0.525 \text{ m}^3/\text{m}^3$  で間隙通過性が良好となり、特に単位粗骨材かさ容積が  $0.575 \text{ m}^3/\text{m}^3$  の場合には、粗骨材がアーチングなどによりバーで閉塞され、間隙通過性が低下した。これは粉体量あるいはモルタル量に対して粗骨材量が大きいことが要因であり、SPを使用した場合には、さらに粘性が不足するため、この傾向が顕著であったと考えられる。すなわち、骨材の品質（表面積、密度等）によっても異なると考えられるが、一般的な粉体量の多い高強度コンクリートで用いる単位粗骨材かさ容積と比較して、良好な間隙通過性を得るには、同等以下の粗骨材量とする必要があるといえる。

### 3.3 単位水量の影響（実験 3）

#### (1) PJ 値

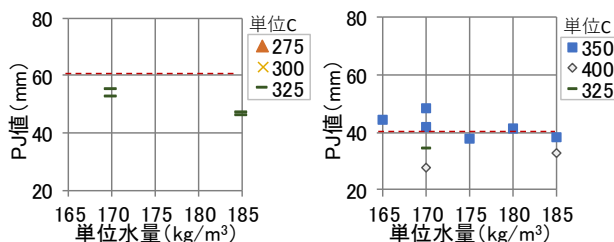
図-7にVSPを使用した場合の単位水量とPJ値の関係を、図-8にSPを使用した場合の単位水量とPJ値の関係を示す。なお、同じ水準で2つのデータのプロットがあるものは実験を2回実施したものである。また、目標SF500mmの結果において凡例に記載はあるものの、図中に表現されていない水準は、コンクリートがリング外側までフローせず、PJ値の測定が不可だったものである。図より、VSPおよびSPのいずれの場合も、目標SFが600mm以上において、単位水量が  $165 \text{ kg}/\text{m}^3$  の場合には、評価基準値を上回った。これは、単位水量が少ないためにセメントペースト量が少なくなり、相対的に骨材量が多くなったことが原因と考えられる。

次にVSPを用いた場合、単位水量によるPJ値の差異は大きくはないが、全体的には単位水量が大きいほどPJ値が小さくなる傾向となる。しかし、目標SFが700mmである単位セメント量が  $400 \text{ kg}/\text{m}^3$  の場合には、単位水量が大きいほどPJ値が大きくなった。

一方、SPを用いた場合には、VSPとは逆の傾向で、単位水量が大きくなるほどPJ値が大きくなった。特に、単位セメント量が小さくかつ単位水量が大きい場合には、PJ値が評価基準値を上回った。また、実験1シリーズで評価基準を満足した単位セメント量が  $350 \text{ kg}/\text{m}^3$  の場合でも、目標SFが600mm以上の場合には単位水量  $170 \text{ kg}/\text{m}^3$  以上で評価基準値を上回る結果となった。

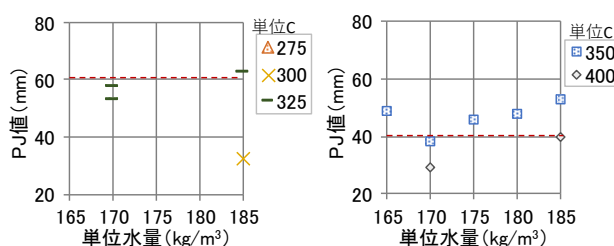
#### (2) B 値

図-9にVSPを使用した場合の単位水量とB値の関係を、図-10にSPを使用した場合の単位水量とB値の関係を示す。VSPを用いた場合、単位水量が  $185 \text{ kg}/\text{m}^3$  の一部の結果を除いて、単位水量が大きいほどB値が小さくなり、評価基準値をほぼ満足した。一方、SPを用いた場合、単位水量の増加に連れてB値は変化しない、あるいは増加する傾向となった。また、目標SFが375～



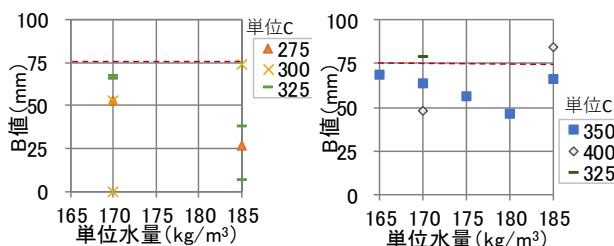
(a) 目標 SF500 (b) 目標 SF600 および 700

図-7 単位水量とPJ値の関係 VSP使用



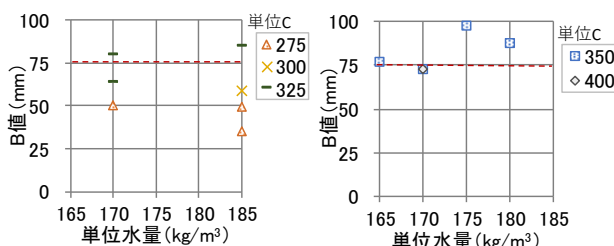
(a) 目標 425 および SF500 (b) 目標 SF600 および 700

図-8 単位水量とPJ値の関係 SP使用



(a) 目標 375~SF500 (b) 目標 SF600 および 700

図-9 単位水量とB値の関係 VSP使用



(a) 目標 SF375~500 (b) 目標 SF600 および 700

図-10 単位水量とB値の関係 SP使用

500mm の場合は、単位セメント量大きいほど B 値が大きく、単位セメント量が  $325 \text{ kg}/\text{m}^3$  の場合には、評価基準値を若干上回る結果となり、目標SFが600mm以上の場合は、PJ値と同様に単位水量が  $170 \text{ kg}/\text{m}^3$  以上で評価基準値を上回る結果となった。

#### (3) $T_{500}$ および $T_{500J}$

SPを用いた場合、500mmフロー到達時間 ( $T_{500}$ ) は2.5



から 8.5 秒, J リングフロー流動時間 ( $T_{500r}$ ) は 4.3~12.1 秒であった。JIS A 1160 による評価基準では, J リングフロー流動時間 ( $T_{500r}$ ) は 10 秒 以内とされており, この基準を超えた水準は目標 SF600, W170,C350 の水準のみであった。VSP を用いた場合, 500mm フロー到達時間 ( $T_{500}$ ) は 2.3 から 8.0 秒, J リングフロー流動時間 ( $T_{500r}$ ) は 4.36~13.1 秒であった。リングフロー流動時間 ( $T_{500r}$ ) が 10 秒を超えた水準は, 目標 SF600, W170,C350 の水準のみであった。

#### (4) まとめ

全体的な傾向としては, VSP を用いた場合には単位水量の増加にともない PJ 値および B 値ともに減少する傾向となった。一方, SP を用いた場合には, VSP とは逆の傾向となり, で単位水量の増加にともない PJ 値および B 値が増加した。これは, それぞれの化学混和剤の特徴が現れたものと考えられる。また, VSP および SP 使用のいずれにかかわらず, 目標 SF が 600mm と大きく, 単位水量が  $165\text{kg/m}^3$  と少ない場合には, 骨材量に対するセメントペースト量の不足により, 間隙通過性が低下したと考えられる。

#### 3.5 強度試験の結果 (実験 1)

図-11 に強度試験結果 (標準養生, 材齢 28 日) を示す。圧縮強度は, 空気量により補正した値 (空気量 1%につき圧縮強度 5%を増減させた) を, 図中の線は, レディーミクストコンクリート工場の調査による水セメント比算定式<sup>9)</sup>を示している。VSP の銘柄による若干の強度の違いは確認されるが, 平均値から 10%内外の範囲であり, 前述の算定式から推定した圧縮強度の 1.2 倍程度であった。

#### 4. まとめ

本研究では, VSP を使用した高流動コンクリートの建築分野での使用を想定した調合条件を検討するために, 目標とする SF における, 1) 単位セメント量の影響, 2) 単位粗骨材かさ容積の影響, 3) 単位水量の影響, および 4) 化学混和剤の種類・銘柄の影響, について, コンクリートの間隙通過性および流動性に関する実験を行った。得られた知見を下記に示す。

- 1) VSP を用いた場合, 単位粗骨材かさ容積を  $0.525\text{ m}^3/\text{m}^3$ , 単位水量  $180\text{ kg/m}^3$  とした条件において, 単位セメント量が  $350\text{ kg/m}^3$  未満の場合には, 間隙通過性が低下する。
- 2) SP を用いた場合には, 目標 SF が 600mm 以上で単位セメント量が  $350\text{ kg/m}^3$  の場合, 単位水量  $170\text{ kg/m}^3$  以上では, 間隙通過性が低下する。
- 3) B 値は, VSP の銘柄の違いによる差が大きい。
- 4) 単位水量  $180\text{ kg/m}^3$  の場合, 単位粗骨材かさ容積が

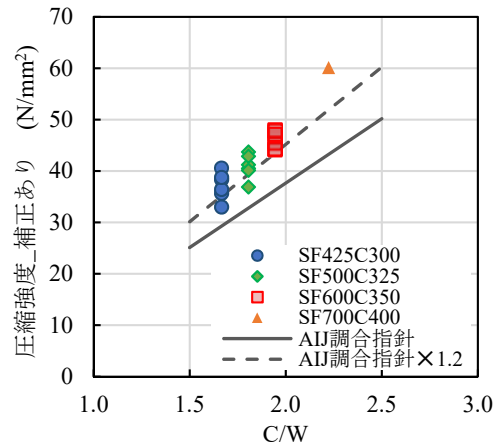


図-11 強度試験結果 (標準養生, 材齢 28 日)

$0.500\sim 0.525\text{ m}^3/\text{m}^3$  での使用で間隙通過性が良好となり, 単位粗骨材かさ容積が  $0.575\text{ m}^3/\text{m}^3$  の場合, 粉体量あるいはモルタル量に対して粗骨材量が大きくなるために間隙通過性が低下した。

- 5) 目標 SF が 600mm と大きく, 単位水量が  $165\text{ kg/m}^3$  と少ない場合には, 骨材量に対するセメントペースト量の不足により, 間隙通過性が低下する。
- 6) 骨材量に対してセメントペースト量 (単位セメント量あるいは単位水量) が少ない場合に, 化学混和剤の種類に関わらず間隙通過性が低下する。ただし, SP を使用する場合には, セメントペーストの粘性の不足, あるいは骨材量に対してセメントペースト量が多い場合にも間隙通過性が低下する。
- 7) VSP の銘柄による若干の強度の違いは確認されたが, 一般のコンクリートと同等以上の強度発現を確認できた。

#### 参考文献

- 1) JIS A 1159:2018 (コンクリートの J リングフロー試験方法)
- 2) JIS A 1160:2018 (増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用した高流動コンクリートのワーカビリティの評価基準)
- 3) 日本建築学会: 高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針 (案)・同解説, pp.69~89, 1997.1
- 4) 土木学会: 高流動コンクリートの配合設計・施工指針, 2012
- 5) 日本建築学会: コンクリートの調合設計指針・同解説, pp.190~191, 2015.2

謝辞 コンクリート用材料の準備と実験の実施において, 日本建築学会・高流動コンクリート研究小委員会 (評価法 WG), コンクリート用化学混和剤協会, 太平洋セメント, 宇部三菱セメント, 住友大阪セメントのご協力を得ました。