

# 論文 フレッシュコンクリートの充填性の評価試験に関する一考察

西村 和朗\*1・森田 浩史\*2・片平 博\*3・加藤佳孝\*4

**要旨：**JSCE 368 委員会「コンクリートの打込みに関わる品質の定量的評価に関する研究小委員会」のもと、振動締め固めの影響を把握する目的に実施した充填性に関する 3 つの試験の結果を比較・考察した。加えて、簡易に粘性を評価できる鋼球引き上げ試験も実施し、他の試験との関連性を整理した。結果、JSCE-F 702 に準じた試験で 20 秒締め固めた際に、粗骨材が殆ど沈降している、または、殆ど沈降していない配合は、JSCE-F 701 に準じた試験で得られる間隙通過速度が小さかった。また、10 秒締め固めた際に粗骨材沈降の程度が概ね同等の 2 つの配合で間隙通過速度が異なったのは、粗骨材の扁平度が影響している可能性が考えられた。

**キーワード：**フレッシュコンクリート、振動締め固め、流動性、材料分離抵抗性、間隙通過、粘性

## 1. はじめに

設計で定めたコンクリート構造物の性能を満足するためには、施工条件に対してフレッシュコンクリートの品質が満足している必要がある。ここで、コンクリート標準示方書〔施工編〕では、フレッシュコンクリートの品質の一つである充填性は、流動性と材料分離抵抗性の相互のバランスによって定まるとされている。これは、コンクリートの流動性を高めることで、材料分離抵抗性が低くなりやすいことを示している。現在、施工の省力化・合理化の観点においても、流動性が高いコンクリートの積極的な活用が求められており、充填性の判定方法がより重視されつつある。これに対し、現状のコンクリート標準示方書〔施工編〕の枠組みでは、普通コンクリート、高流動コンクリート（自己充填、締め固めを必要とする高流動）および流動化コンクリートが個別にまとめられており、構造条件や施工条件に応じた適切なコンクリートの選択については、体系的に示すまでは至っていない。これらを体系的に示すには、流動性の異なるコンクリートの振動締め固めを伴う打込みに関わる品質（締め

めのしやすさ、材料分離抵抗性、充填性等）の評価を統一的に行えるようにすることが重要である。

以上の観点から、JSCE 368 委員会「コンクリートの打込みに関わる品質の定量的評価に関する研究小委員会」の取組みの一環として、振動締め固めの影響を把握する目的で、スランブで管理するコンクリートに対して、種々の試験を実施した。本研究は、その一部の試験結果について纏めた。また、充填性に影響すると予想されるコンクリートの粘性を簡易に評価できる鋼球引き上げ試験<sup>2)</sup>を行い、振動締め固めの影響との相関性を調べ、その試験方法の特性について検討した。

## 2. 試験概要

試験は、似た目標スランブや呼び強度に対して異なる材料・配合を用いた場合の充填性試験の違いを検証するために、試験地 A および B の 2 ヶ所で実施した。試験地 A では生コン工場で製造されたコンクリートを用い、試験地 B では試験地 A の結果を踏まえて試験室で製造されたコンクリートを用いた。なお、生コン工場から試験地 A までの運搬時間は 30 分以内である。

表-1 試験一覧および実施状況

測定項目	関連規格・文献		試験地 A	試験地 B
スランブ	JIS A 1101		○	○
スランブフロー	JIS A 1150		○	○
空気量	JIS A 1128		○	○
コンクリート温度	JIS A 1156		○	×
環境温度	-		○	×
500 および 600mm フローまでの加振時間	NEXCO JHS 733		○	○
間隙通過速度	JSCE-F 701		○	○
粗骨材量比率	JSCE-F 702 (0, 5, 10, 20 秒で実施)	基準法 (表-2 参照)	○	○
		繰返し法 (表-2 参照)	○	×
		簡易法 (表-2 参照)	○	×
引上げ荷重	既往の研究 <sup>2)</sup>		×	○

\*1 東京理科大学 創域理工学部社会基盤工学科 助教 博士 (工学) (正会員)

\*2 東洋建設(株) 総合技術研究所 上席研究員 (正会員)

\*3 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 特任研究員 (正会員)

\*4 東京理科大学 創域理工学部社会基盤工学科 教授 博士 (工学) (正会員)

表-2 粗骨材沈降試験の手順

名称	使用総試料量※	粗骨材量を測定する試料
基準法	20.0L×4水準=80.0L	JSCE-F 702に準拠。(上層から5kg分の試料を対象)
繰返し法	20.0L+2.3L×3水準=26.9L	JSCE-F 702に準拠して採取後に、練り舟で10回以上繰返して、再度JSCE-F 702に準拠して採取。0秒→5秒→10秒→20秒の順で実施。
簡易法	5.5L×4水準=22.0L	φ15×30cmの型枠へ打込み、JSCE-F 702と同様のバイブレータと挿入深さで締め後、上層から10cm分の試料を採取。

※「基準法」の試験採取量を20.0L、「繰返し法」の上層部からの採取量を2.3L(=5kg)、「簡易法」の試験採取量を5.5Lとして計算した。

表-3 コンクリート配合(試験地A)

No.	配合	W/C	s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								単位量(%/C)		
		(%)	(%)	W	C1	C2	S1	S2	G1	G2	Ad1	Ad2	Ad3	
1	27-12-20H	48.6	40.9	170	350	—	356	356	531	531	1.00	—	—	
2	27-21-20N	52.0	44.9	182	—	350	384	382	489	486	1.00	—	0.70	
3	27-21-20N	52.9	47.1	175	—	331	410	410	410	478	—	0.95	0.20	
W: 地下水 C1: 早強ポルトランドセメント (密度 3.14 g/cm <sup>3</sup> ) C2: 普通ポルトランドセメント (密度 3.16 g/cm <sup>3</sup> ) S1: 茨城県行方市(石神)産陸砂 (表乾密度 2.58 g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 2.67) S2: 茨城県行方市(麻生)産陸砂 (表乾密度 2.58 g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 2.68)							G1: 茨城県つくば市産砕石 (表乾密度 2.67 g/cm <sup>3</sup> 実積率 60.0%) G2: 茨城県石岡市産砕石 (表乾密度 2.67 g/cm <sup>3</sup> 実積率 60.0%) Ad1: AE 減水剤 標準形 I 種 Ad2: 高性能 AE 減水剤 標準形 I 種 Ad3: 流動保持剤							

表-4 コンクリートの配合(試験地B)

No.	配合	W/B	s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )										単位量(%/C)		
		(%)	(%)	W	C1	C2	BS	S1	S2	S3	G1	G2	Ad1	Ad2	Ad3	
A	24-18-20BC 相当	50.0	49.0	175	70	-	280	661	207	-	901	-	1.0	-	0.2	
B	36-21-20N 相当	50.0	45.0	160	320	-	-	637	200	-	1018	-	0.5	-	-	
C	30-21-20BB 相当	45.5	48.0	175	-	385	-	-	-	827	-	910	-	1.1	0.3	
W: 上水道水 C1: 普通ポルトランドセメント (密度 3.16 g/cm <sup>3</sup> ) C2: 高炉セメント B 種 (密度 3.04 g/cm <sup>3</sup> ) BS: 高炉スラグ微粉末 (密度 2.91 g/cm <sup>3</sup> ) S1: 東京都西多摩郡産砕石 (表乾密度 2.69 g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 2.98) S2: 千葉県君津市産山砂 (表乾密度 2.53 g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 1.48)							S3: 混合砂 (表乾密度 2.64 g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 2.68) G1: 東京都西多摩郡産砕石 (表乾密度 2.67 g/cm <sup>3</sup> 実積率 62.2%) G2: 砕石 (表乾密度 2.70 g/cm <sup>3</sup> 実積率 58.0%) Ad1: 高性能 AE 減水剤 標準形 I 種 Ad2: AE 減水剤 標準形 I 種 Ad3: 流動保持剤									

試験一覧および実施状況を表-1に示す。コンクリートのフレッシュ試験は、スランプ試験、スランプフロー試験および空気量試験はJISに準拠して実施した。また、振動締め込みの影響を把握する目的で、加振変形試験、ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験(以降、間隙通過性試験)および加振を行ったコンクリートの粗骨材量試験方法(以降、粗骨材沈降試験)をそれぞれNEXCO JHS 733、JSCE-F 701<sup>3)</sup>およびJSCE-F 702<sup>3)</sup>に準拠して実施した。また、既往の研究<sup>2)</sup>を参考に鋼球引き上げ試験を実施した。

加振変形試験は、NEXCO JHS 733に準拠した装置を用いて、スランプコーンを引き上げてスランプおよびスランプフローを測定した後、速やかに加振し、500mmフロアまでの加振時間を測定した。

粗骨材沈降試験の加振時間は0、5、10、20秒の4水準を基準とし、試験地Bで練り量を減らすことを目的に、同一の試料を繰り返して使用する方法を繰返し法、容器を小さくして試料量を減らした方法を簡易法と定義して基準の試験と同時にを行った。粗骨材沈降試験の手順を表-2に示す。これらの試験方法は試験地Aのみで実施した。

鋼球引き上げ試験は、鋼球(質量:510g、直径:4.76cm)をコンクリート中に10cmの深さに沈め、鉛直方向に約3秒間でゆっくり引上げるときの最大荷重を測定した。測定回数は7回とし、異常値を除く平均値を試験結果として整理した。なお、鋼球引き上げ試験は試験地Bのみで実施した。

コンクリートの材料・配合を表-3および表-4に示

表-5 試験結果一覧 (試験地 A)

名称	スランブ (cm)	スランブ フロー (mm)	Air (%)	C.T. (°C)	500mm フロー までの加振時間 (s)	間隙通過速度 (mm/s)	B 室の粗骨材量比率 (%)
1	9.0	-	4.5	25.0	60.4	43	99
2	22.0	410	5.3	25.0	6.2	9.3	81
3	21.5	375	4.7	25.0	12.2	21	98

表-6 粗骨材沈降試験の結果 (試験地 A)

名称 (配合)	条件	粗骨材量比率(%)			
		0 秒	5 秒	10 秒	20 秒
1 (27-12-20H)	基準法	87	82	77	58
	練返し法	88	89	89	83
	簡易法	86	75	71	60
2 (27-21-20N)	基準法	103	60	21	4
	練返し法	101	92	79	79
	簡易法	96	69	41	38
3 (27-21-20N)	基準法	108	79	62	47
	練返し法	104	96	85	86
	簡易法	103	102	80	80

す。試験地 A の目標スランブは、現地到着で  $12.0 \pm 2.5\text{cm}$  および  $21.0 \pm 1.0\text{cm}$  とし、目標空気量は  $4.5 \pm 1.5\%$  とした。また、試験地 B の目標スランブは、 $18.0 \pm 2.5\text{cm}$  および  $21.0 \pm 1.0\text{cm}$  とした。なお、No.1 の配合は、早強ポルトランドセメントの使用により、試験開始時のスランブは  $9.0\text{cm}$  であった。また、配合 C は限られた材料を用いて実施したため製造量が  $40\text{L}$  のみであり、粗骨材沈降試験は 0 秒および 10 秒のみ実施した。

### 3. 試験結果

#### 3.1 試験地 A

試験結果 (試験地 A) を表-5 に示す。また、表-2 に従って実施した粗骨材沈降試験の結果を表-6 に、比較した結果を図-1 に示す。ここで、粗骨材割合は振動締め時間 0s の粗骨材量比率を 100% とした時の各振動締め時間の粗骨材量比率の割合と定義した。ここでは、粗骨材沈降試験について考察し、その他試験の考察は、その後実施した試験地 B での結果を併せて後述する。

粗骨材沈降試験の結果より、基準法の粗骨材量割合と比較して、簡易法および練返し法の粗骨材割合は大きくなる傾向を示した。これは、簡易法は容器寸法が小さく粗骨材が噛み合いやすく沈降しにくいこと、練返し法は試験時に容器内の試料を上面から  $5\text{kg}$  採取するため、容器内の試料はモルタル分が減少していることから、試料

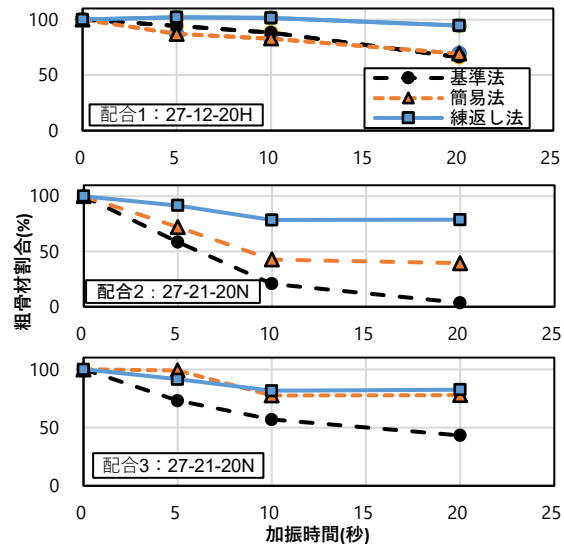


図-1 方法による粗骨材割合の違い

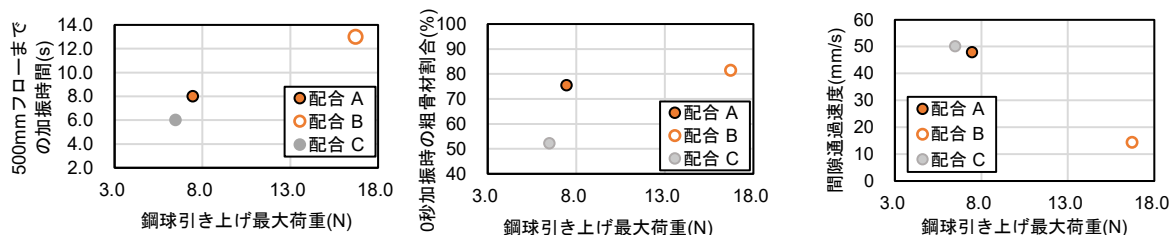
全体のコンクリートの単位粗骨材量が増加したこと、加えて、他の方法と異なって練返しや試料採取の繰り返し作業による試験時間の増加によってスランブが低下したこと等が要因と考えられる。ここで、材料分離の評価方法として、各方法から得られる数値に違いがあったとしても、例えば、加振を与えても低下しにくい配合、加振初期から急激に低下する配合、ある程度の加振時間で急激に低下する配合など、加振時間に対する粗骨材量割合の応答が基準法と同様であれば、配合ごとの材料分離の評価方法として適用可能であると考えられる。

基準法では、配合 1 は加振時間の増加に伴い線形的に粗骨材割合が低下した。配合 2 は加振時間に伴う粗骨材割合の低下が大きく、10 秒加振時には約 8 割の粗骨材が沈降し、「締めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針 (案) 3) の観点だと材料分離しやすい配合と判断される。配合 3 は、配合 1 と比較して、0~10 秒では加振時間の増加に伴い粗骨材割合が大きい配合 2 より小さく、また、10~20 秒では低下量が減少した。

これに対し、簡易法では、配合 1 は加振時間の増加に伴い線形的に粗骨材割合が低下し、配合 2 は加振時間に伴う粗骨材割合の低下が大きく 10 秒加振時には約 6 割の粗骨材が沈降し、配合 3 は 0 秒と 5 秒加振時の粗骨材

表-7 試験結果一覧 (試験地 B)

名称	スランブ (cm)	スランブ フロー (mm)	Air (%)	500mm フローまでの 加振時間 (s)	間隙通過速度 (mm/s)	B 室の粗骨材量比率 (%)	引上げ荷重 (N)
A	19.0	330	3.6	8.0	48	101	7.5
B	20.0	340	2.1	13.0	14	81	16.7
C	20.0	335	6.6	6.0	50	94	6.5



a) 500mm までのフロー到達時間      b) 10 秒加振時の粗骨材割合      c) 間隙通過速度

図-2 鋼球引き上げ荷重との関係性

割合の低下量が殆どないが 10 秒では配合 1 より配合 3 の粗骨材割合が小さくなり、10 秒と 20 秒で粗骨材割合の変化はなかった。よって、基準法と同様に、配合 2 が材料分離しやすく、配合 1 と配合 3 は材料分離しにくくなった。ただし、配合 1 と配合 3 の粗骨材量比率の大小関係は、基準法と簡易法で異なった。

一方、練返し法では、配合 1 はいずれの加振時間でも粗骨材割合が概ね同等であり、配合 2 と配合 3 は 0~10 秒加振時の粗骨材割合が低下し 10 秒と 20 秒の加振時の粗骨材割合は概ね同等であった。また、いずれの配合でも基準法や簡易法より粗骨材量割合が高く、配合の違いが明確に表れていなかった。これは、前述のとおり、試験を繰り返していく際に試料中のモルタル分が減少したことで材料分離し難くなったことや試験途中でスランブロスが生じたこと（試験終了時の配合 1 のスランブ：5.5cm）が要因であると考えられる。

以上から、簡易法は、基準法に似た傾向は示すものの、完全に一致した評価にはならなかった。ただし、サンプル数が少ないことから、今後さらなる検討が必要である。

### 3.2 試験地 B

試験結果（試験地 B）を表-7 および表-8 に示す。試験地 A および B で共通で実施した試験に関する考察は、知見を、4. 考察にて纏める。

スランブおよびスランブフローの結果は 3 配合ともにほぼ同等であったが、鋼球引き上げ試験結果では、鋼球引き上げ最大荷重が、配合 B>A>C の順となった。そのため、鋼球引き上げ試験では、スランブまたはスランブフローでは表現できないフレッシュ性状を評価できる可

表-8 粗骨材沈降試験の結果 (試験地 B)

名称 (配合)	粗骨材量比率(%)			
	0 秒	5 秒	10 秒	20 秒
A (24-18-20BC 相当)	92	78	75	51
B (36-21-20N 相当)	86	88	82	74
C (30-21-20BB 相当)	97	-	52	-

能性が考えられる。そこで、鋼球引き上げ最大荷重とその他の試験の関係性を整理する。鋼球引き上げ最大荷重と 500mm フローまでの加振時間、10 秒加振時の粗骨材割合および間隙通過速度の関係を図-2 に示す。ここで、鋼球引き上げ試験が、スランブとの関連性が高いと認識されている降伏応力以外の粘性の影響を受ける場合、鋼球引き上げ荷重の増加に伴い、間隙通過速度は小さくなり、500mm フローまでの加振時間は大きくなり、10 秒加振時の粗骨材割合も大きくなると想定される。この想定に対し、10 秒加振時の粗骨材割合を除き、想定と同様の傾向を示した。以上から、鋼球引き上げ試験は、スランブ試験と併せて評価することで、500mm フローまでの加振時間や間隙通過速度と似た評価ができる可能性がある。ただし、サンプル数が少ないため、今後検証していく必要がある。

### 4. 考察

加振変形試験を加振時の流動性の評価試験、粗骨材沈

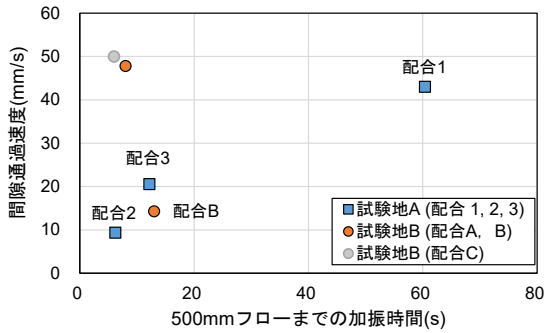


図-3 500mm フローまでの加振時間と間隙通過速度の関係

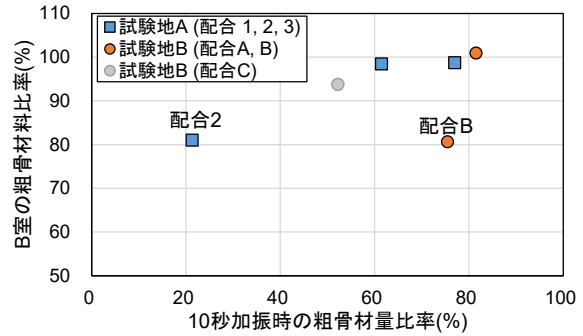


図-4 粗骨材沈降試験とB室の粗骨材量比率の関係

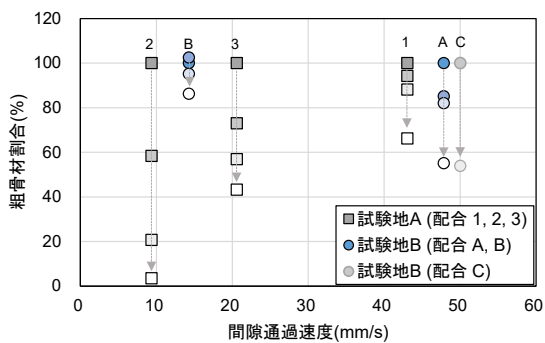
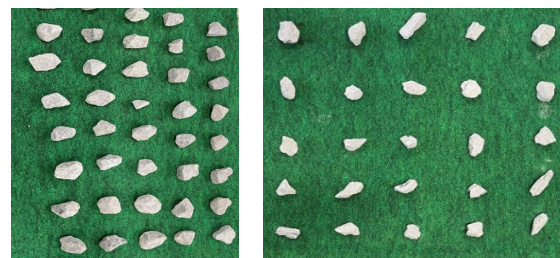


図-5 間隙通過速度と粗骨材割合の関係

降試験を加振時の材料分離抵抗性の評価試験，間隙通過性試験を加振時の流動性および材料分離抵抗性（間隙通過に伴う材料分離含む）の複合試験として整理した。表-5～8 より，500mm フローまでの加振時間を参考にすると，加振時の流動性は，配合  $C \geq 2 > A > 3 \geq B > 1$  の順となった。また，粗骨材沈降試験の加振時間 10s の粗骨材量比率を参考にすると，加振時の材料分離抵抗性は，配合  $B > 1 \geq A > 3 > C > 2$  の順となった。

500mm フローまでの加振時間と間隙通過速度の関係を図-3 に示す。ここで，間隙通過性試験時に材料分離が生じていない場合は，500mm フローまでの加振時間の増加に伴い間隙通過速度は小さくなると想定される。しかし，本研究では，予想と異なる結果となった。これは，加振変形試験と間隙通過性試験ではコンクリートに対する加振に伴う流動特性が配合によって異なったことが要因であったと推察される。なお，配合 1 はスランプが小さいため，加振変形試験によって広がることのできるスランプフローが他の配合より小さく，500mm フローまでの加振時間も他の配合より長くなったことが考えられる。また，間隙通過性試験の開始時にスランプが小さい配合ほど A 室から B 室へ排出される量が少なくなる傾向があり，加振の影響を受けるコンクリートの量が多くなったことで，間隙通過速度が大きくなった可能性がある。



a) 配合 3 の使用粗骨材 b) 配合 C の使用粗骨材  
写真-1 粗骨材の外観

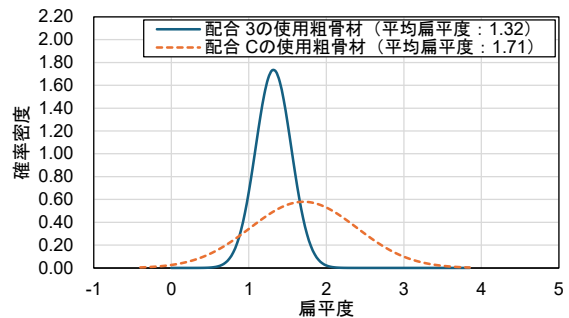


図-6 粗骨材の扁平度の正規分布の確率密度

ただし，本検討の範囲においては明らかとならなかったため，今後の課題とする。他の配合の粗骨材沈降試験結果や B 室の粗骨材量比率を比較すると，配合 2 の材料分離抵抗性は小さかった。このため，間隙通過速度が小さくなったと考えられる。配合 1，配合 2 を除く配合は，前述で述べたとおり，500mm フローまでの加振時間の増加に伴い間隙通過速度は小さくなる傾向を示した。

粗骨材沈降試験の 10 秒加振時の粗骨材量比率と B 室の粗骨材量比率の関係を図-4 に示す。他の配合と比較して配合 2 および配合 B の B 室の粗骨材量比率は小さいが，いずれの配合でも 80%以上の結果となっており，B 室の粗骨材量比率からは材料分離が生じていないと考えられる。一方，粗骨材沈降試験による粗骨材量比率が 40%以上の際にフレッシュコンクリートの品質を満足するとされており<sup>3)</sup>，これを参考にすると，配合 2 は材料

分離が生じている可能性が考えられる。

間隙通過速度と粗骨材割合の関係を図-5に示す。なお、図中の矢印は、振動締固め時間による粗骨材割合の変化を表しており、凡例の色が薄くなるにつれて振動締固め時間が長い結果を表している。まず、間隙通過速度の小さい配合(配合2,B)に着目する。配合Bは、振動締固め時間が増加しても粗骨材割合の変化は小さかった。これは、単位水量が他の配合と比べて小さいことから、コンクリート中のモルタルおよびコンクリートの粘性が大きくなったことで流動速度および充填速度が小さくなったと考える。一方、配合2は、振動締固め時間の増加に伴い粗骨材割合が低下する傾向を示した。これは、前述しているように、振動締固めによってモルタルと粗骨材が分離している可能性があることから、間隙通過試験時でも同様の現象が生じたことが推察される。この結果、鉄筋間隙通過時にモルタルと粗骨材が一体として通過できなかったことや、試験装置の下部に粗骨材が蓄積したことで鉄筋間隙の閉塞につながり、充填速度が小さくなったと考えられる。

続いて、粗骨材沈下試験の10秒加振時の粗骨材割合が概ね同等である配合3および配合Cの違いに着目した。これらのコンクリートに使用された粗骨材は、扁平度が大きく異なっていた(写真-1参照)。このため、無作為に採取した100粒の粗骨材に対して扁平度および正規分布の確率密度を確認した。扁平度の正規分布の確率密度を図-6に示す。配合3と比較して、配合Cに使用された粗骨材の平均扁平度は大きく、また、最大確率密度も小さかった。既往の研究<sup>4)</sup>を参考にすると、扁平度の大きい粗骨材を使用すると間隙通過速度が小さくなるのに対し、本研究の結果は異なる傾向を示した。一般的に、扁平度の大きい骨材を使用する場合、コンクリートの流動方向に対して粗骨材の長辺方向が平行となる場合は、鉄筋間隙を通過しやすいが、粗骨材の長辺方向が垂直となる場合は、鉄筋間隙を通過できずに閉塞する可能性が大きくなると考えられる。既往の文献<sup>4)</sup>の基本配合のスランブフローが425mmであるのに対して、配合Cのスランブフローが335mmであることから、コンクリートの粘性の違いが影響したものと考えられる。以上から、扁平度の高い骨材を使用すると同等の粗骨材量比率を有したコンクリートでも、スランブまたはスランブフローによっては間隙通過速度が変動することが考えられる。

## 5. まとめ

本研究で得られた知見をまとめると次のようになる。

- 1) コンクリートの製造量を減らすことを目的に、JSCE

F-702の簡易な試験方法を提案・比較した。提案した試験の粗骨材量比率の低下の程度および時間は、JSCE F-702の結果と似た傾向はあったが完全に一致しなかった。

- 2) 鋼球引き上げ試験は、スランブが同等の範囲では、500mmフローまでの加振時間や間隙通過速度と同様な評価ができる可能性がある。
- 3) 加振時の流動性の指標として、500mmフローまでの加振時間と間隙通過速度が線形関係となると想定したが、本試験では異なる傾向となった。
- 4) 加振時の材料分離の指標として、10秒加振時の粗骨材量比率とB室の粗骨材量比率を比較した。いずれの配合もB室の粗骨材量比率は大きく低下していなかったが、10秒加振時の粗骨材量比率は大きく低下した配合が確認された。
- 5) JSCE-F 702に準じた試験で20秒締め固めた際に、粗骨材が殆ど沈降している、または、殆ど沈降していない配合は、JSCE-F 701に準じた試験で得られる間隙通過速度が小さかった。
- 6) JSCE-F 702に準じた試験で10秒締め固めた際に、粗骨材沈降の程度が概ね同等の2つの配合は、間隙通過速度が異なった。これは粗骨材の扁平度が影響している可能性がある。

## 謝辞

本研究は、JSCE 368委員会「コンクリートの打込みに関わる品質の定量的評価に関する研究小委員会」のもと、東京理科大学および東洋建設で実施したものである。研究を助力いただいた委員会に感謝させていただきます。

## 参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学会：施工の確実性を判定するためのコンクリートの試験方法とその適用性に関する研究報告書，2009.7
- 2) 片平博，櫻庭浩樹，陣内真央，古賀裕久：コンクリートの粘性を評価するための鋼球引き上げ試験，令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会，V-683，2024
- 3) (社)土木学会：コンクリートライブラリー161，締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針(案)，2023.2
- 4) 高橋駿人，吉田新，加藤佳孝，鈴木将充：配合条件が締固めを必要とする高流動コンクリートの間隙通過速度と粗骨材量比率に与える影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.76，No.1，pp.419-426，2022