

鉄筋間隙通過におけるコンクリートの材料分離が品質に及ぼす影響

オリエンタル白石(株)	正会員	○中村 敏之
千葉工業大学	正会員 博士 (工学)	橋本紳一郎
オリエンタル白石(株)	正会員 博士 (工学)	吉村 徹
福岡大学大学院		市山 大輝

Abstract : The segregation resistance of concrete is different on the mix proportion, which is the performance for filling the concrete into the mold by passing between the reinforcing bars. And this is one factor which has an influence on the quality of the concrete structure. In the paper, the relation between the segregation resistance of concrete caused by the mix proportion and the quality of the concrete after passing between the reinforcing bars was checked by test method of interstitial pass-ability about the concrete used for the bridge. As a result, when the segregation resistance of concrete was low, it increases in bleeding after passing between the reinforcing bar, the compressive strength and static modulus of elasticity fell.

Key words : Segregation resistance , Bleeding , Compressive strength , Static modulus of elasticity

1. はじめに

プレストレストコンクリート (以下, PC) 構造物は, 強度の高いコンクリートが適用されることが多いため, 一般のコンクリート構造物と比較して耐久性が高いと言われる。しかし, 構造条件や施工条件などに対して適切な施工性能を有した配合のコンクリートを選定し, かつ, 適切な施工を行わなければ, 所定の品質が得られずに, 求められる耐久性が低下することとなる。とくに, 施工時の振動締固めによる鉄筋間隙通過の過程におけるコンクリートの変化は, コンクリートの性能や品質に影響し, これにはコンクリートの施工性能のひとつである材料分離抵抗性が大きく関わると考えられる。材料分離抵抗性の低いコンクリートは鉄筋間隙通過を経てかぶりに材料分離したコンクリートが充填されるリスクがあり, それによってかぶりコンクリートの品質が低下することが予想される。

そのような背景から, これまでに筆者らは, 「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方法 (案) (JSCE-F 701-2016)」¹⁾ (以下, 間隙通過性試験) を用いて, 振動条件下の鉄筋間隙通過に対する配合間の相対的な材料分離抵抗性を定量的に評価してきた²⁾³⁾。しかし, 現状, 間隙通過性試験はあくまで相対的な評価手法であり, 材料分離抵抗性の指標値である粗骨材量比率 (鉄筋間隙通過前の単位粗骨材量に対する鉄筋間隙通過後の単位粗骨材量の比) が何%以上であればコンクリートの品質が確保できるかが明確に判断できていない。コンクリートの有する材料分離抵抗性と鉄筋間を通過したコンクリートの品質との関係性が把握できれば, 間隙通過性試験を活用して品質を考慮したコンクリートの配合選定が可能となると考えられる。

そこで, 本稿では, 一般のコンクリート構造物に使用される強度レベルのコンクリートと PC 構造物に使用される強度レベルのコンクリートを対象に, それぞれについて材料分離抵抗性の異なる 3 配合を設定して, 間隙通過性試験による鉄筋間隙通過前および鉄筋間隙通過後の試料を用いてブリーディング量, 圧縮強度および静弾性係数を測定し, それらを比較することにより, 材料分離抵抗性と品質の関係を確認した。

2. 試験概要

2.1 配合水準および試験方法

試験に用いるコンクリートは、一般のコンクリート構造物を対象とした水セメント比 50%の配合（以下、W/C50）と PC 構造物を対象とした水セメント比 40%の配合（以下、W/C40）の 2 種類とした。いずれも目標スランブを $12 \pm 1\text{cm}$ 、目標空気量を $4.5 \pm 0.5\%$ とした。各配合において、材料分離抵抗性の違いによる品質を比較するため、単位セメント量と細骨材率を変えて、間隙通過性試験の B 室（図-1）の粗骨材量比率が 70~80%（試験体 No.1）、80~90%（試験体 No.2）、90~100%（試験体 No.3）の範囲となる 3 水準の配合を設定した。試験方法は、前述の B 室の粗骨材量比率、スランブおよび空気量の条件を満たす配合を試し練りで決定し、各水準について、練混ぜ後の試料、つまり、間隙通過性試験を実施する前の試料（以下、試料 O）と間隙通過性試験を実施した後の B 室から採取した試料（以下、試料 B）を用いて、ブリーディング試験、圧縮強度試験、静弾性係数試験を実施し、試料 O に対する試料 B の各測定値を比較した。

2.2 使用材料

表-1 に使用材料を示す。セメントは W/C50 では普通ポルトランドセメント、W/C40 では早強ポルトランドセメントを使用した。細骨材および粗骨材はいずれも同じ砕砂・砕石を使用した。混和剤は W/C50 では AE 減水剤、W/C40 では高性能 AE 減水剤を使用し、所定のスランブとなるよう添加量を調整した。また、空気量の調整にはいずれも AE 剤を使用した。コンクリートの練混ぜは温度 20°C 、相対湿度 60% の室内で、強制練りミキサを使用し、各配合で 35 リットル練り混ぜた。

2.3 試料の採取方法

試料 B の採取方法は、図-1 に示すように、間隙通過性試験後のボックス形容器の B 室上部から 110mm（190~300mm の間隙通過速度の測定範囲）の高さまでの試料（約 3 リットル）とした。採取した試料はバットに移し、軽く切り返してから各試験に応じた供試体を作製した（写真-1）。また、試料 O は練混ぜ後のコンクリートから採取し、試料 B と同様に供試体を作製した。

2.4 試験方法

(1) スランブ、空気量

試料 O を用いて、JIS A 1101 および JIS A 1128 に準じて、スランブおよび空気量を測定した。

表-1 使用材料

水	上水道水	密度 (g/cm^3)	1.00	
セメント	普通ポルトランドセメント (W/C50)	密度 (g/cm^3)	3.16	
		比表面積 (cm^2/g)	3350	
	早強ポルトランドセメント (W/C40)	密度 (g/cm^3)	3.14	
		比表面積 (cm^2/g)	4500	
細骨材	砕砂 (茨城県桜川産硬質砂岩)	表乾密度 (g/cm^3)	2.64	
		吸水率 (%)	1.03	
		実積率 (%)	55.8	
		粗粒率	2.90	
粗骨材	砕石 (茨城県桜川産硬質砂岩)	最大寸法 (mm)	20	
		表乾密度 (g/cm^3)	2.66	
		吸水率 (%)	0.39	
		実積率 (%)	61.2	
混和剤	AE減水剤 (W/C50)	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体		
				高性能AE減水剤 (W/C40)
	AE剤		アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤	

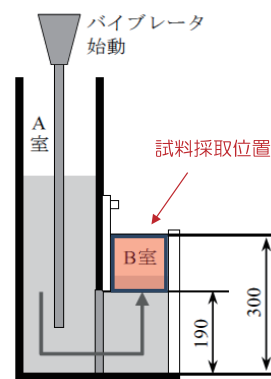


図-1 間隙通過性試験の B 室試料の採取位置



写真-1 試料の採取方法

(2) 粗骨材量比率, 間隙通過速度

試料Oを用いて, 間隙通過性試験に準じて, B室の粗骨材量比率および間隙通過速度を測定した。

(3) 単位スランプフロー変化量

単位スランプフロー変化量は, 土木学会のコンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341委員会)第2期委員会報告書⁴⁾で提案される「フレッシュコンクリートのタンピング試験方法(試案)」(以下, タンピング試験)で測定した。タンピング試験はスランプ試験終了後の試料(試料O)を用い, 図-2に示すように, 質量1.2kgの木製棒を平板の四隅に順次落下させることでコンクリートへ打撃による振動を与え, タンピング8回ごとに32回までのスランプフローを測定した。タンピング回数とスランプフローの関係から, 単位スランプフロー変化量(mm/回)を算出した。

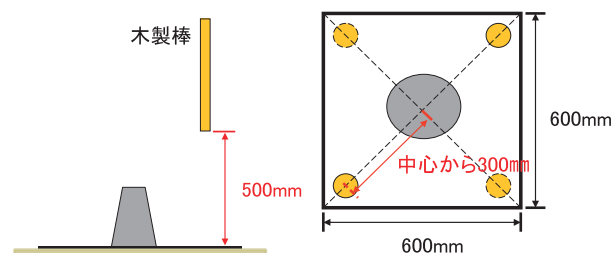


図-2 タンピング試験方法



写真-2 簡易ブリーディング試験

(4) ブリーディング量

ブリーディング量は参考文献⁵⁾で提案される簡易ブリーディング試験で測定した。写真-2に示すように, 0.3mmのふるいを底板とした塩化ビニル管(内径125mm, 高さ160mm)の容器(約2リットル)に高さ150mmまで試料を2層に分けて突き棒で詰め, 上面を軽く均した後, 直径120mmのプラスチック板を敷き, その上に重量5kgの重りを載せた。その30分後のふるいからメスシリンダーに抽出された水と試料上面に生じたブリーディングを合わせてブリーディング量とした。練混ぜおよび間隙通過性試験は各配合(6水準)でそれぞれ2回実施し, 各回から試料Oおよび試料Bをそれぞれ1体採取した。

(5) 圧縮強度, 静弾性係数

測定はJIS A 1108およびJIS A 1149に準じたが, B室から採取する試料が3リットルであり, かつ, 3本1組を1回の練混ぜおよび間隙通過性試験から採取するために, 供試体の形状は $\phi 50 \times 100$ とした。練混ぜおよび間隙通過性試験は各配合(6水準)でそれぞれ1回実施し, 各回から試料Oおよび試料Bをそれぞれ3体採取した。供試体成型後は標準養生を行い, W/C50では材齢28日に, W/C40では材齢7日に圧縮強度および静弾性係数を測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 配合の決定およびフレッシュ性状

表-2にスランプ, 空気量およびB室の粗骨材量比率の3つの条件を満足した配合を示す。図-3~5にそれぞれB室の粗骨材量比率, 間隙通過速度, 単位スランプフロー変化量の測定結果を示す。なお, W/C50においてはブリーディング試験と強度試験の試験時期が異なり, 同一材料であるが, 異なるバッチを用いたため, それぞれ表記した。B室の粗骨材量比率は, W/C50ではNo.1が78.6%と73.5%, No.2が86.7%と87.2%, No.3が94.5%と92.8%, W/C40ではNo.1が79.6%, No.2が85.0%, No.3が92.6%であり, これまでの知見と同様に, 単位セメント量が多く, 細骨材率が大きいほど, B室の粗骨材量比率が大きくなり, B室の粗骨材量比率が大きいほど, 間隙通過速度と単位スランプフロー変化量も大きくなるという相対的な関係を示した。また, 写真-3に示すように, スランプ形状においても, No.1はスランプが直立しており, 一方, No.2, No.3は順に良好なスランプ形状を示している。このよ

表-2 配合およびフレッシュ性状

配合名	配合No	配 合								フレッシュ性状		
		水セメント比	細骨材率	混和剤添加率	単位量					スランブ	空気量	練上がり温度
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤			
%	%	C×mass%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	cm	%	℃	
W/C50	No.1	50	40	1.4	155	310	741	1120	4.34	12.0(11.0)	4.5(4.1)	22.0(21.0)
	No.2		45	0.9	165	330	814	1003	2.97	12.0(12.0)	4.2(5.1)	22.5(21.0)
	No.3		50	0.6	175	350	883	890	2.10	12.5(11.0)	4.3(4.6)	23.0(20.5)
W/C40	No.1	40	35	0.825	145	363	639	1201	2.99	12.5	4.4	21.0
	No.2		40	0.90	150	375	721	1094	3.38	12.5	4.7	23.0
	No.3		45	0.95	160	400	790	977	3.80	10.5	4.9	22.0

※ 強度試験とブリーディング試験は試験時期が異なる, ()内はブリーディング試験時

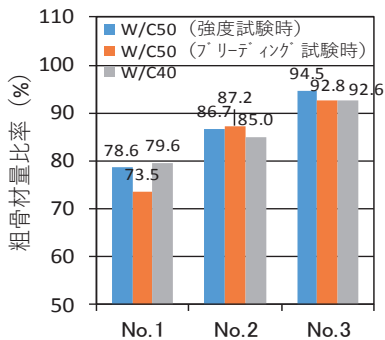


図-3 B室の粗骨材量比率

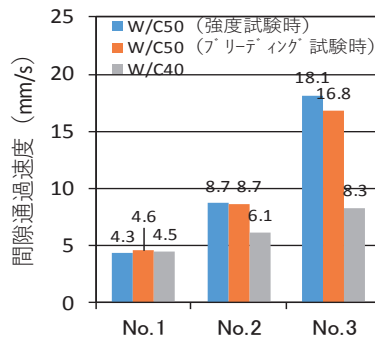


図-4 間隙通過速度

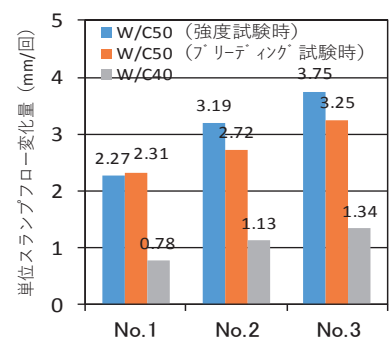


図-5 単位スランブフロー変化量

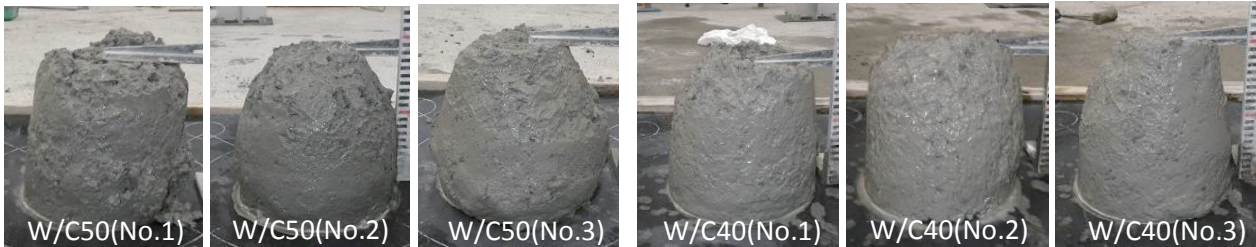


写真-3 スランブ性状

うに目視評価においても材料分離抵抗性はB室の粗骨材量比率と相対的な関係にあることを確認した。

3.2 ブリーディング量

図-6, 7にB室の粗骨材量比率とブリーディング量の関係を示す。ここに、ブリーディング量比は試料Oに対する試料Bの比と定義した。No.2とNo.3については、W/C50では若干の差が見られるものの、試料Oと試料Bは概ね同等な値を示しているが、No.1では、W/C50, W/C40のいずれの場合も、No.2およびNo.3と比較して大きな差が生じており、鉄筋間隙通過を経た試料Bは試料Oに対し、W/C50では約3倍、W/C40では約2倍のブリーディングが生じている。これは振動条件下の鉄筋間隙通過による粗骨材の分離のみならず、水の分離も生じていると推察され、かつ、試料Bでは単位粗骨材量の減少により、見掛けの単位水量が増加していること（たとえば、W/C50のNo.1では試料Oの単位水量155kg/m³に対し、単位粗骨材量のみが78.6%まで減少していると仮定すると、単位水量は171kg/m³に相当する）により、試料Bのブリーディングが増加したと考えられる。また、前述のように、W/C50よりもW/C40の方がブリーディング量比が小さくなったが、これは水セメント比が小さいほど、単位水量が少なく、単位セメント量が多いことに起因して、鉄筋間隙通過によるブリーディングの増加が小さくなったと考えられる。

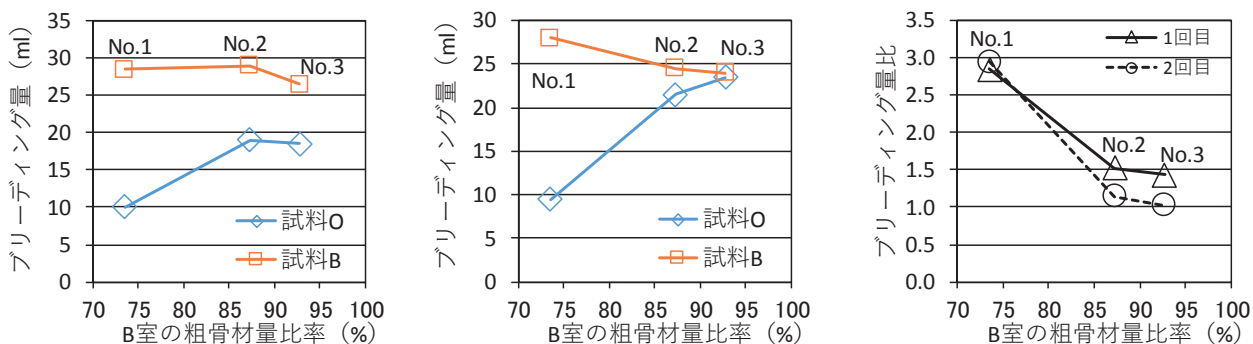


図-6 B室の粗骨材量比率とブリーディング量およびブリーディング量比 (W/C50)

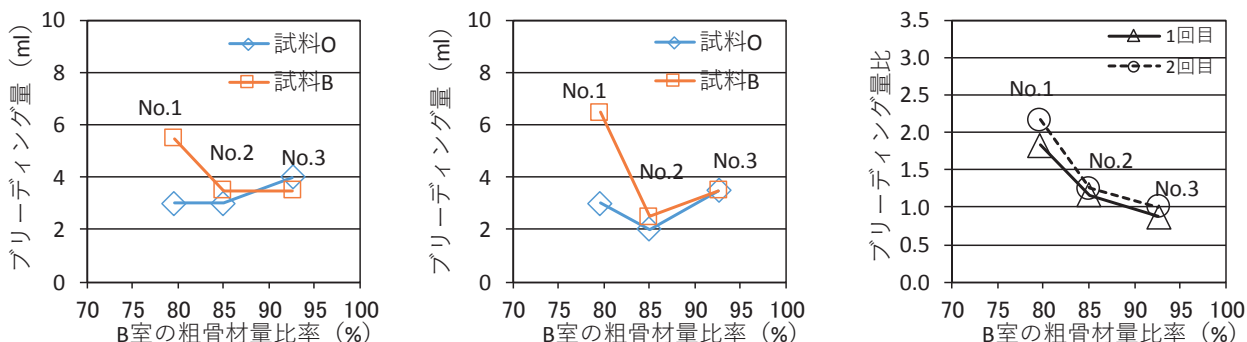


図-7 B室の粗骨材量比率とブリーディング量およびブリーディング量比 (W/C40)

このことから、間隙通過性試験で得られるB室の粗骨材量比率が小さいほどブリーディングが多く生じる可能性があり、とくにB室の粗骨材量比率が85%程度以下となると急激にブリーディング比が大きくなることから、この変化に品質確保に対するB室の粗骨材量比率の試験結果の定量的判断ができる可能性があると考えられ、本試験の範囲では、B室の粗骨材量比率が85%以上のコンクリートを選定することで、定量的に品質低下のリスク低減に対する判断ができると考えられる。

3.3 圧縮強度、静弾性係数

図-8, 9に B 室の粗骨材量比率と圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。ここに、強度比は圧縮強度と静弾性係数のそれぞれにおける試料 O に対する試料 B の比と定義した。W/C50 では、試料 O が No.1, No.2, No.3 の順に圧縮強度が大きくなったが、参考文献⁶⁾による、コンクリートの単位容積に対する骨材の体積比が 0.4~0.8%の間ではこれが大きいほど圧縮強度などは増加する、という事象に起因していると考えられる。本試験の配合では 0.6~0.7%程度の範囲であり、No.1, No.2, No.3 の順に体積比が大きいことから、その順に圧縮強度が大きくなったと推察される。また、試料 B は試料 O と比較して、圧縮強度は全体的に低下しており、圧縮強度、静弾性係数ともに No.1 が大きく低下している。一方、W/C40 では、圧縮強度はほぼ同等であり、静弾性係数は No.2 および No.3 はほぼ同等であるが、No.1 は低下している。この傾向を圧縮強度、静弾性係数のそれぞれの観点から整理すると、圧縮強度はブリーディング量比が大きい W/C50 の方が W/C40 より低下が大きく、静弾性係数は B 室の粗骨材量比率が小さい No.1 の方が No.2 および No.3 より低下が大きい。つまり、鉄筋間隙通過を経たコンクリートの圧縮強度は、同時に生じるブリーディング量の増加が大きいほど低下する傾向にあり、静弾性係数は、同時に生じる単位粗骨材量の減少が大きい (B 室の粗骨材量比率が小さい) ほど低下する傾向にあると考えられる。したがって、一般的なコンクリートでは、B 室の粗骨材量比率が小さい場合には、鉄筋間隙通過により圧縮強度、静弾性係数ともに低下する傾向にあり、PC 構造物のように水セメント比の小さいコンクリートでは、鉄筋間隙通過によるブリーディングの増加が少ないため、圧縮強度に与える影響は少なく、単位粗骨材量の減少により静弾性係数が低下する傾向にあると考えられる。

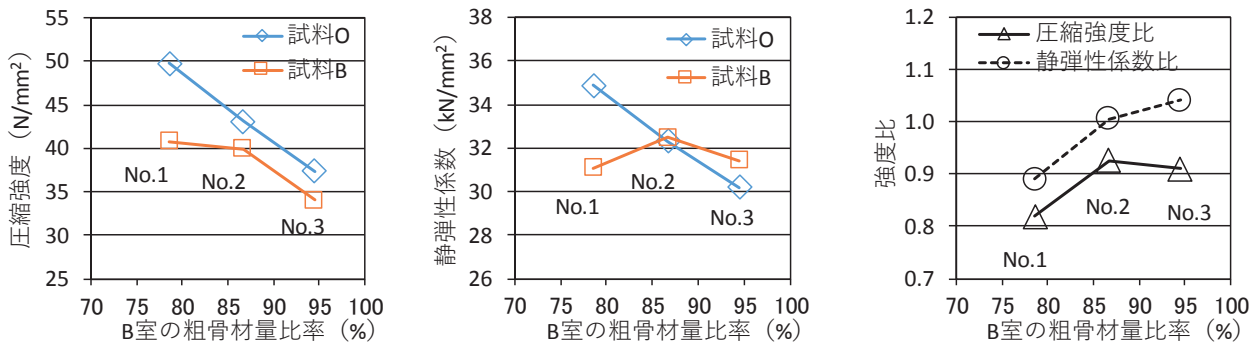


図-8 B室の粗骨材量比率と圧縮強度・静弾性係数および強度比 (W/C50)

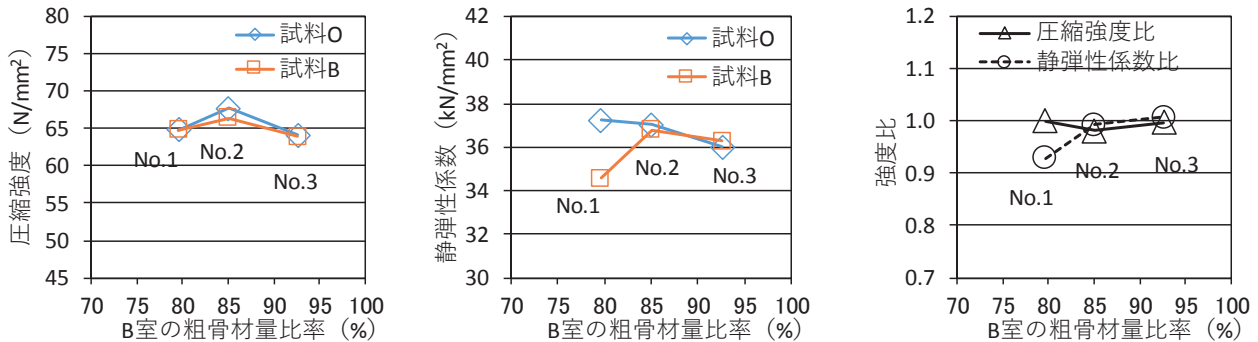


図-9 B室の粗骨材量比率と圧縮強度・静弾性係数および各強度比 (W/C40)

4. まとめ

鉄筋間隙通過におけるコンクリートの材料分離抵抗性と品質の関係について、間隙通過性試験を用いて検討を行った結果、本稿の範囲においては、以下の知見が得られた。

- 1) 材料分離抵抗性の指標となる粗骨材量比率が小さいコンクリートほど振動締固めにおける鉄筋間隙通過により、ブリーディングが増加し、圧縮強度および静弾性係数が低下する傾向にあることを定量的に判断できることがわかった。
- 2) B室の粗骨材量比率が85%程度以下となると急激なブリーディングの増加、圧縮強度および静弾性係数の低下が見られたことから、大幅な品質低下のリスクを低減するためには、それ以上の材料分離抵抗性を有するコンクリートを選定することが望ましいと考えられる。
- 3) 今後の課題として、品質が低下しない明確なB室の粗骨材量比率の閾値を設定する必要がある。それが確立できれば、配合選定時において間隙通過性試験を活用することで、コンクリート構造物の品質の確保が期待できると考えられる。

参考文献

- 1) (社)土木学会：施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針，2016.6
- 2) 中村，橋本，佐伯，北野：水セメント比および細骨材率が振動条件下におけるコンクリートの充填性に及ぼす影響，日本コンクリート工学会，年次論文集，第38巻，pp1383-1388，2016.7
- 3) 中村，橋本，吉村，北野：PC部材を対象としたコンクリートの施工性能評価，日本コンクリート工学会，年次論文集，第39巻，pp1207-1212，2017.7
- 4) (社)土木学会：コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会（341委員会）第2期委員会報告書，2013.11
- 5) 古賀：簡易ブリーディング試験による材料分離抵抗性の評価，土木学会，第71回年次学術講演会概要集，V-307，pp613-614，2016.9
- 6) A.M.Neville，三浦尚訳：ネビルのコンクリートバイブル，技報堂出版，pp364-366，2004