

PC部材を対象としたコンクリートの振動条件下における配合特性の検討

福岡大学 ○杉田 菜々望

福岡大学 工博 橋本 紳一郎

オリエンタル白石㈱ 正会員 中村 敏之

オリエンタル白石㈱ 正会員 工博 吉村 徹

Abstract: Past research reported that ordinary concrete shows different fresh properties, when given vibration, depending on mix conditions or materials used even under the same slump condition. Our research therefore focused on the mix proportion of concrete used in prestressed concrete members and ordinary concrete under the same slump condition, conducted two tests that give simple vibration instead of slump and studied fresh property of concrete. The study revealed that mix used in prestressed concrete members excels the other in filling property and that workability will be improved by increasing the fine aggregate ratio when the same water-cement ratio is applied. The research also examined the influence of the type of fine aggregate and coarse aggregate used in concrete on fresh property of concrete when same mix proportion is applied.

Key words: box- shaped filling test, tamping test, passability through concrete, segregation resistance

1. はじめに

コンクリート工事における初期欠陥などの不具合のリスクを低減させるためには、使用するコンクリートが対象の打込み箇所に対して、適切な充填性を有する必要がある。適切な性能を有したコンクリートを使用しないと、たとえ初期欠陥が生じなくても、例えば、材料分離したコンクリートがかぶり部に充填されれば、硬化後の耐久性が低下する可能性がある。フレッシュコンクリートのコンシステンシーの評価で一般に用いられる試験はスランプ試験であるが、コンクリート標準示方書施工編¹⁾の施工標準では、実際の型枠への打込みには振動機による締固めによるとしており、その振動条件に対しては、スランプ試験では定量的に評価することは難しい。振動条件下における充填性に関わるフレッシュコンクリートの性能として、間隙通過性、材料分離抵抗性、変形性などが挙げられるが、いずれも骨材の種類や粒度・粒径、化学混和剤の種類、細骨材率、水セメント比や単位セメント量などの使用材料や配合条件によって左右されるため、同一スランプのコンクリートであっても、それらは同一ではない。また、定量的に評価する有効な試験方法は確立されていない。したがって、これらの性能を定量的に、かつ簡易な方法で実施できる試験の評価指標が確立されることが望まれる。このような背景から、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) 委員会報告書²⁾³⁾」(以下、341 委員会報告書)では、振動条件下における同一スランプを有するコンクリートの間隙通過性や材料分離抵抗性、変形性を定量的な指標をもって評価する2つの試験方法が提案された。本稿では、これらの試験方法を活用し、水セメント比や細骨材率、単位水量の増減などの配合条件や使用材料の違いが、同一スランプにおける振動条件下でのコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響について検討を行った。

表-1 使用骨材の物理的性質

区分	記号	種類	物性	
A	SA	砕砂	表乾密度(g/cm ³)	2.63
			吸水率(%)	0.84
			実積率(%)	55.5
			粗粒率	2.85
	GA	碎石	微粒分量(%)	2.3
			最大寸法(mm)	20
			表乾密度(g/cm ³)	2.66
			吸水率(%)	0.41
B	SB	海砂	実積率(%)	61.2
			粗粒率	6.74
			表乾密度(g/cm ³)	2.58
			吸水率(%)	0.96
	GB	碎石	実積率(%)	60.1
			粗粒率	2.81
			微粒分量(%)	2.7
			最大寸法(mm)	20
			表乾密度(g/cm ³)	2.8
			吸水率(%)	0.95
			実積率(%)	59.4
			粗粒率	6.54

表-2 コンクリート配合

配合グループ	記号	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						Ad C × %	フレッシュ性状	
				W	C	SA	SB	GA	GB		スランブ (cm)	空気量 (%)
1	A-55-38	55	38	153	278	714	—	1177	—	C × 0.6	7.0	3.7
	A-55-43		43	157	285	801		1073			7.0	4.3
	A-55-48		48	163	296	881		966			7.0	5.0
	A-55-53		53	165	300	969		869			7.5	5.4
2	A-47-38	47.5	38	155	326	696	—	1149	—	C × 0.6	7.0	4.0
	A-47-43		43	159	335	780		1046			7.5	4.5
	A-47-48		48	165	347	859		941			7.0	4.9
	A-47-53		53	169	356	939		842			7.5	5.4
3	A-40-38	40	38	160	400	668	—	1102	—	C × 0.6	7.0	3.8
	A-40-43		43	164	410	748		1003			7.0	4.1
	A-40-48		48	167	418	828		907			8.0	4.1
	A-40-53		53	170	425	907		813			7.5	4.4
4	B-38-159	40	38	159	398	—	675	—	C × 1.1	1150	9.0	4.7
	B-43-162		43	162	405		737			1049	8.5	3.9
	B-48-165		48	165	413		816			949	8.0	4.0
	B-53-169		53	169	423		891			849	7.0	4.9
5	B-38-160	40	38	160	400	—	655	—	C × 0.7	1147	7.0	4.7
	B-43-170		43	170	425		721			1026	8.0	5.1
	B-48-173		48	173	433		798			929	8.5	5.0
	B-53-184		53	184	460		855			814	7.5	5.5
6	B-43-166	40	43	166	415	—	729	—	1038	0.9	8.5	5.5

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16 g/cm³)を使用し、練り混ぜ水については水道水を使用した。細骨材は砕砂と海砂を使用し、粗骨材は2種類の砕石を使用した。表-1 に使用した骨材の物理的性質を示す。混和剤はリグニンスルホン酸系 AE 減水剤を使用した。

2.2 配合条件

表-2 に配合とスランブおよび空気量の測定結果を示す。骨材 A を使用し、水セメント比と細骨材率を変化させた 12 水準の配合と、骨材 B を使用し同一水セメント比で細骨材率を変化させた 4 水準の配合と、骨材 B を使用した配合の単位水量を増減させた 5 水準の計 21 配合とした。また今回は、同一スランブにおいて水セメント比一定、混和剤の添加率を一定とし、細骨材率を変化させることでセメントペースト量の違いによる検討を行うため、同一水セメント比では混和剤の添加量を一定とした。

2.3 試験方法

2.3.1 間隙通過性, 材料分離抵抗性の評価試験

間隙通過性および材料分離抵抗性は、341 委員会報告書において提案される加振ボックス充填試験に準じた方法で評価した。図-1 に試験装置を示す。試験容器は「JSCE-F511 高流動コンクリートの充填試験方法(案)」で使用されるボックス形容器を用

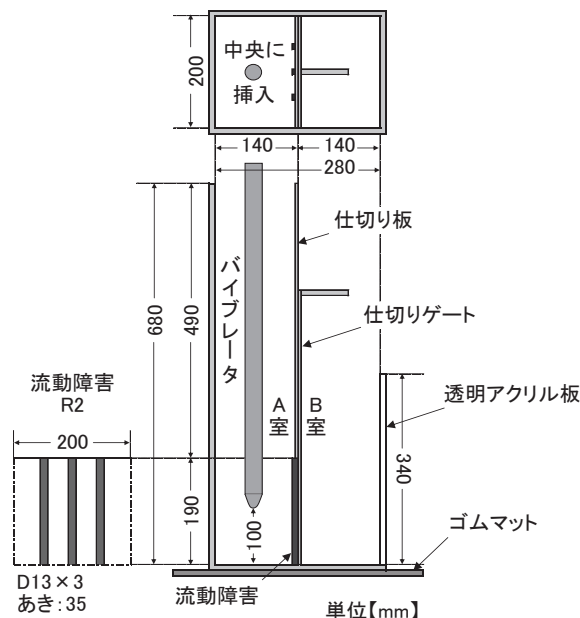


図-1 加振ボックス充填試験装置

$$V_{pass} = \frac{110}{t_{300} - t_{190}} \quad (1)$$

ここに、 V_{pass} : 間隙通過速度 (mm/s)

t_{300} : 300mm 到達時間 (s)

t_{190} : 190mm 到達時間 (s)

$$\delta_B = \frac{G_B}{G_0} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 δ_B : 粗骨材量変化率 (%)

G_B : B 室の単位粗骨材量 (kg/m³)

G_0 : 配合における単位粗骨材量 (kg/m³)

い、障害 R2 を用いた。バイブレータは振動体の呼び径 28mm、振動数 240Hz の手持形振動機を使用した。ボックス型容器は防振性のあるゴムマットに静置し、試料を容器の A 室に 3 層に分けて詰めた。試料を詰める際には各層を詰める度に仕切り板の面板方向へ容器を 3 回揺らして、試料の上面が水平になるようにした。試料を上面まで詰めた後、上面を軽く均し、A 室中央にバイブレータの先端と容器底面との間隔が 100 mm となる位置までバイブレータを挿入した。仕切りゲートを引き上げ、バイブレータを始動し、試料が A 室から障害 R2 を通過し、B 室正面における高さ 190 mm および 300mm に到達した時間を目視においてストップウォッチで 0.01 秒単位まで測定した。300mm まで到達した後にバイブレータを停止し、B 室の上面から 2 リットルの試料を採取し、JIS A 1112 に準じて単位粗骨材量を求めた。間隙通過性の評価指標を式(1)に、材料分離抵抗性評価指標を式(2)に示す。間隙通過性の指標は、B 室の高さで 190mm から 300mm の一定距離 (=110mm) を、試料が障害 R2 の通過に要した時間 (s) で除した間隙通過速度 (mm/s) とした。材料分離抵抗性の指標は、300mm 到達後の B 室上面の試料、つまり、障害 R2 を通過して最も先端に到達した試料の単位骨材量 (kg/m³) を配合における単位粗骨材 (kg/m³) で除した値を粗骨材量変化率 (%) とした。この試験は一配合に対して一回実験を行う。

2.3.2 変形性の評価試験

変形性は、341 委員会報告書において提案されるタンピング試験に準じた方法で評価した。図-2 に試験の概略を示す。試験はスランプ試験終了後の試料を用いて行った。スランプ試験における平板は、試験前に厚さ 2cm で敷き詰めた細骨材の上に水平に設置している。スランプを測定後 JIS A 1101 に準じてスランプフローを測定した。スランプおよびスランプフローを測定後、質量 1.2kg の木製棒を 500mm の高さから、平板の中心から頂点方向に 300mm 離れた四隅に右回りで順次、落下させ打撃による振動を与えた。平板を 8 回 (2 周) 叩くごとにスランプフローを測定し、これを 32 回 (8 周) まで行い、そのときの試料の状態を目視で観察した。変形性の評価指標を式(3)に示す。変形性の指標は、打撃 1 回に対するスランプフローの増加量 (mm) とし単位スランプフロー変化量 (mm/回) とした。また、この試験は一配合に対して一回行う。

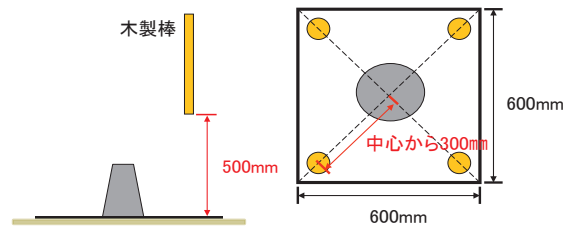


図-2 タンピング試験方法

$$K_{sf} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i S_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n S_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3)$$

ここに、 K_{sf} : 単位スランプフロー変化量 (mm/回)
 n : 測定した回数 (回)
 x_i : i 回目の測定時における タンピング回数 (回)
 S_i : i 回目の測定時における スランプフロー (mm)

3. 試験結果および考察

3.1 配合条件の違いによる影響

図-3 に配合グループ 1, 2, 3 の間隙通過速度と細骨材率の関係、図-4 に粗骨材量変化率と細骨材率の関係、図-5 間隙通過速度と粗骨材量変化率の関係を示す。図-3 よりいずれの水セメント比においても、細骨材率の増加にともない間隙通過速度は大きくなった。また、同じ細骨材率では、水セメント比が小さいほうが間隙通過速度は速くなった。図-4 より水セメント比 47.5% および 40% では、細骨材率の増加にともない粗骨材量変化率は大きくなっ

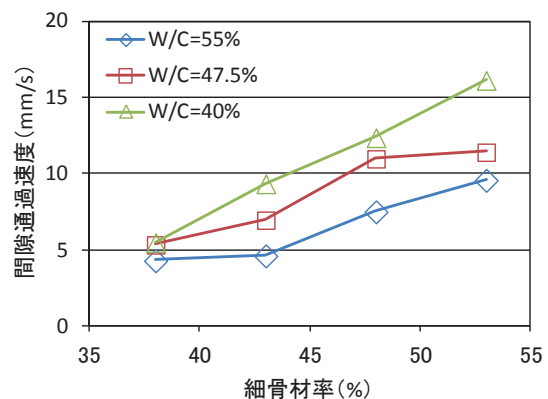


図-3 間隙通過速度と細骨材率の関係

た。水セメント比 55%では、細骨材率 38%から 43%に増加させると粗骨材量変化率は小さくなったが、細骨材率 43%より増加させると粗骨材量変化率は大きくなった。同じ細骨材率では、水セメントが小さいほうが粗骨材変化率は大きくなった。また、間隙通過速度が速くなるにつれ、粗骨材量変化率は大きくなること分かる。このことから、本試験の範囲では、試験によって得られた間隙通過速度と粗骨材量変化率の関係には高い相関性があり、間隙通過速度が良好なほど、材料分離抵抗性も良好となった。これは、水セメント比が小さい配合は単位セメント量が多くなり、かつ、細骨材率が増加することで、単位セメント量が多くなることから間隙通過速度、材料分離抵抗性が向上したと考えられる。このことから、水セメント比の小さい配合は他の水セメント比の高い配合と同じ性状を得る場合に、細骨材率を低くすることができる。

図-6 に配合グループ 1, 2, 3 の単位スランプフロー変化量と細骨材率の関係、図-7 に各細骨材率ごとの単位セメント量と単位スランプフロー変化量の関係を示す。いずれの水セメント比においても、細骨材率の増加にともない単位スランプフロー変化量は大きくなった。しかしながら、同じ細骨材率では、細骨材率が小さい場合には水セメントが小さいほうが単位スランプフロー変化量は大きい。また、細骨材率が大きい場合には水セメント比が大きいほうが単位スランプフロー変化量は大きくなっている。また、細骨材率が小さい 38%の配合は単位セメント量の増加にともない、単位スランプフロー変化量は大きくなるが、細骨材率の大きい 53%の配合は単位セメント量の増加にともない、単位スランプフローは小さくなっている。一方で、細骨材率 43%の配合と 48%の配合は、単位セメント量が増加で粘性が高くなっていて、細骨材が増加することでより粘性が高くなり変形性が小さくなったと考えられる。

以上のように水セメント比や細骨材率の違いにより各配合の特性は異なる。また、単位セメント量が多い配合ほど細骨材率を低くしても十分な充填性を得られると推測される。一般に、単位セメント量の多い配合は温度ひび割れや収縮量などが懸念されるため、品質に対してはできるだけ単位セメント量を低減するこ

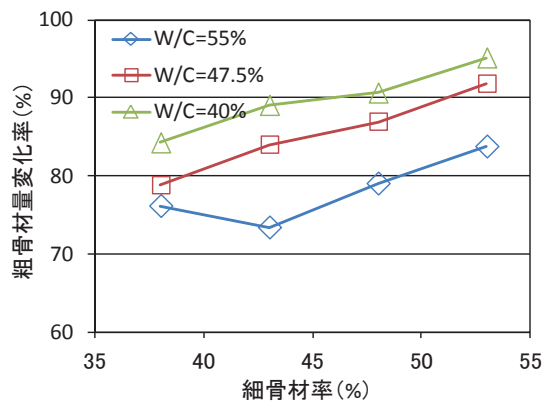


図-4 粗骨材量変化率と細骨材率の関係

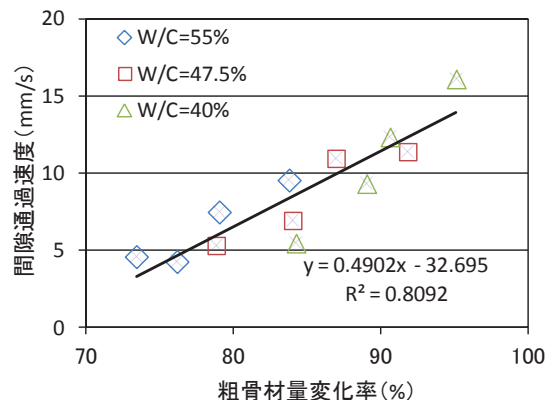


図-5 間隙通過性と粗骨材量変化率の関係

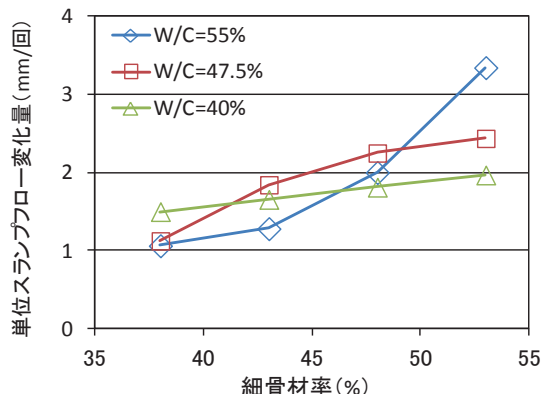


図-6 単位スランプフロー変化量と細骨材率の関係

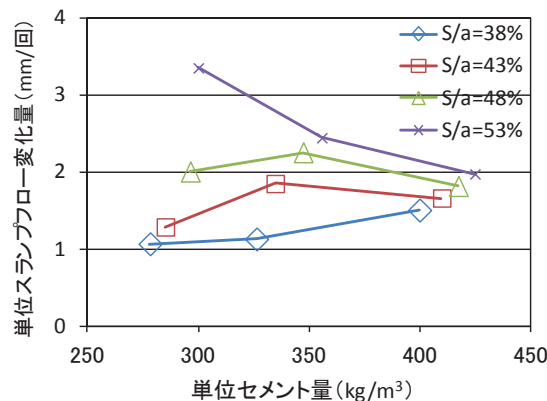


図-7 単位スランプフロー変化量と単位セメントの関係

とが望ましい。したがって、充填が可能な範囲を定量的に把握することで、それに準じて細骨材率を低減することで単位セメント量の低減となり品質が向上しました経済的な配合設計が可能となる。

3.2 使用材料の違いによる影響

図-8 に配合グループ 3, 4 の使用材料ごとの細骨材率と間隙通過速度の関係, 図-9 に使用材料ごとの細骨材率と粗骨材量変化率の関係を示す。骨材 B を使用したコンクリートは, 骨材 A を使用したコンクリートに比べ細骨材率 38, 43, 48% の間隙通過速度が遅くなり, 粗骨材量変化率も小さくなった。また, 341 委員会報告等では, 実構造を模擬した試験体との比較から決定した間隙通過速度のしきい値を 5mm/s としており, 5mm/s を下回ると充填性は低下することが明らかとなっている。また粗骨材変化量に関しては 50% を下回ると充填性は低下する。表-1 に示されるように骨材 B は, 骨材 A に比べ粗骨材の粗粒率が低く, また実積率も低い。これは, 骨材 B は骨材 A に比べ粒形が悪く, 粒度の細かい骨材であることを示している。このことから, 粒形が悪く, コンクリートの流動性が低下し, かつ, 粒度が細かく粗骨材が鉄筋障害の間で噛み合い, コンクリートの充填を妨げたため間隙通過速度が骨材 A を使用したコンクリートに比べ遅く, 粗骨材量変化率も小さくなったと考えられる。しかし, 細骨材率 53% では骨材 B を使用したコンクリートの間隙通過速度は速く, 粗骨材量変化率も大きくなっている。これは, 単位粗骨材量の減少にともない, 鉄筋障害での粗骨材同士の噛み合いが生じず, また細骨材率が高くなることで単位水量の増加にともない, 単位セメント量が増加したため間隙通過性, 材料分離抵抗性が向上したと考えられる。

図-10 に配合グループ 3, 4 の使用材料ごとの単位スランブフロー変化量と細骨材率の関係を示す。骨材 A を使用したコンクリートは細骨材率の増加にともない単位スランブフロー変化量は大きくなっている。しかし, 骨材 B を使用したコンクリートは細骨材率 48% が高く 43% が小さい値を示している。これは先述のように, 単位スランブフロー変化量は, 単位セメント量と細骨材率の影響を受けたと考えられる。しかし, 図-8, 図-9 から細骨材率 48% は間隙通過性, 材料分離抵抗性は小さい値を示している。

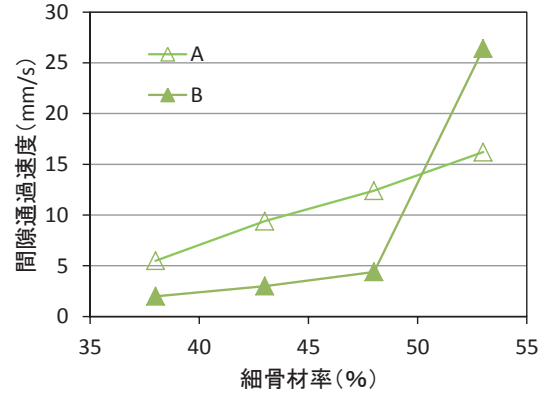


図-8 間隙通過速度と細骨材率の関係

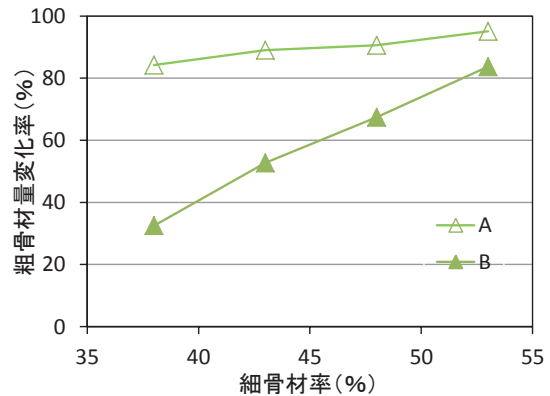


図-9 粗骨材変化率と細骨材率の関係

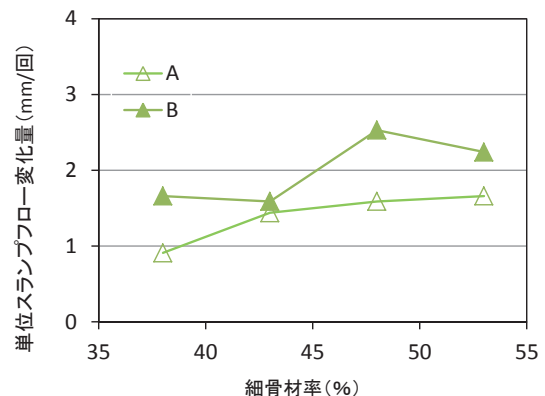


図-10 単位スランブフロー変化量と細骨材率の関係

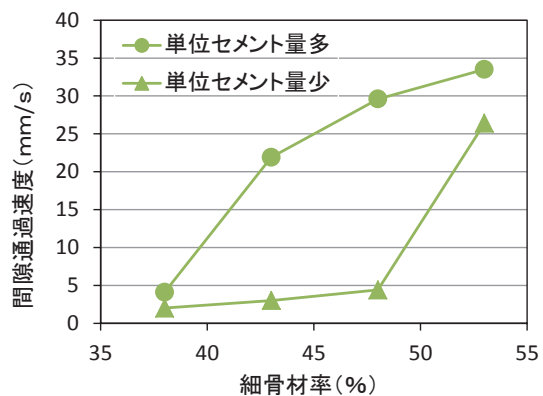


図-11 間隙通過速度と細骨材率の関係

このことから骨材Bは骨材Aに比べ粗粒率が低くなっていることから、加振ボックス充填試験では単位セメント量や細骨材率の影響よりも骨材の物理的性質が影響しているとわかる。

図-11 に配合グループ 4, 5 の単位水量を増減させた細骨材率と間隙通過速度の関係, 図-12 に粗骨材量変化率と細骨材率の関係を示す。単位セメント量が多い配合では、細骨材率 43% で間隙通過速度が速くなっている。単位セメント量が少ない配合では細骨材率 53% で速くなっている。表-2 に示す配合では、単位セメント量が多い細骨材率 43% のときと単位セメント量が少ない配合の細骨材率 53% のときの単位セメント量が同等である。このことから、今回使用した骨材 B は、細骨材率の影響よりも単位セメント量が間隙通過性に影響を与えていると考えられる。粗骨材量変化率について、細骨材率の増加にともない粗骨材変化率は大きくなる傾向はこれまでと同様である。しかし細骨材率 38% に関しては単位水量が 1kg/m^3 しか変わらないが、粗骨材変化率に大きな差が生じている。これは、細骨材率が低く、粗骨材の物理的性質による影響を大きく受けたため

1kg/m^3 をわずかな差でも違いが生じたと考えられる。図-13-の配合グループ 4, 5, 6 の細骨材率ごとの間隙通過速度と単位水量との関係を示す。単位水量を 170kg/m^3 まで増加すると間隙通過速度が速くなることが分かった。このことから、粒形や粒度など骨材の物理的性質を考慮することで使用骨材に合わせた配合の選定ができる。

5. まとめ

配合条件、使用材料を変化させた同一スランプのコンクリートの振動条件下の充填性を実験的に評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 同一スランプにおいて、細骨材率の増加や水セメント比の低減によって、間隙通過性や材料分離抵抗性が向上する。
- (2) 単位スランプフロー変化量は、水セメント比が小さく、細骨材率が大きい場合は変形性は小さくなる。
- (3) 細骨材率の低減による充填性の向上は、水セメント比が小さいコンクリートほど効果が大きいため、水セメント比の小さい配合は水セメント比の大きい配合と同じ性状を得る場合に、細骨材率を低くすることができる。
- (4) 同一スランプでも、粒径や粒度がコンクリートの充填性に影響を与えることがある。

参考文献

- 1) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書[施工編]，2013。3
- 2) 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) 委員会報告書，2011。5
- 3) 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
- 4) 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 (案)，2007。3

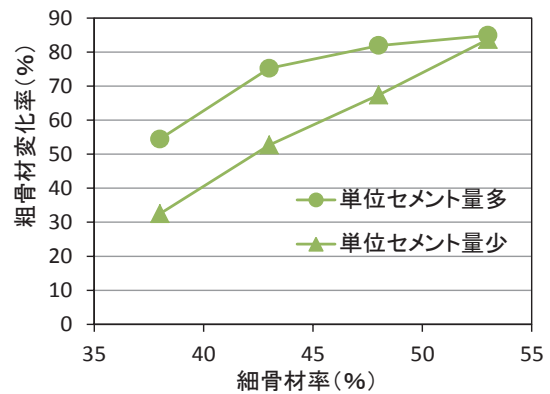


図-12 粗骨材量変化率と細骨材率の関係

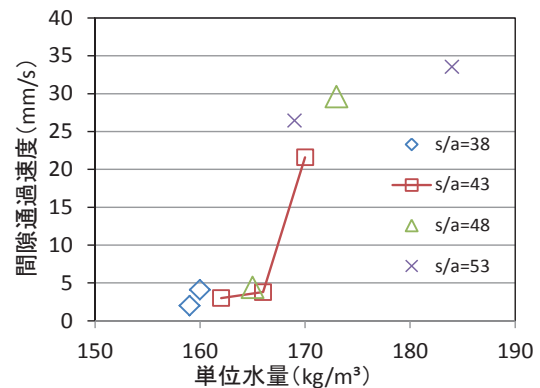


図-13 間隙通過速度と単位水量の関係