

論文 高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす骨材の形状・寸法の影響

岩井信彰^{*1}・梶田佳寛^{*2}・阿部道彦^{*3}

要旨：高流動コンクリートの調合設計において、フレッシュコンクリートの性質が骨材の形状や寸法から受ける影響を考慮する必要がある。本研究は、細骨材の粗粒率および粗骨材の形状の違いが高流動コンクリートの流動性ならびに間隙通過性に及ぼす影響を実験的に検討したものである。細骨材の粗粒率が小さくなることでスランプフロー速度は低下し、間隙通過性は向上する。また、これらの性質は粗骨材の角ばりの影響を大きく受け、間隙通過性は容積係数で補正したかさ容積で評価できることが判った。

キーワード：高流動コンクリート、スランプフロー速度、間隙通過性、容積係数

1. はじめに

高流動コンクリートは高い流動性と優れた材料分離抵抗性を有するために、振動締固めを行わなくても鉄筋間を通過し型枠の中に密実に充填できるといった特徴を有する。この特性を確保するために、調合設計では単位粉体量を増やすかあるいは分離低減剤を使用し、同時に単位粗骨材量を減少させるといった操作がなされている。高流動コンクリートのフレッシュ性状は、一般にはスランプフロー試験におけるコンクリートの状態、スランプフロー速度および間隙通過性試験によって評価されることが多い。しかし、これらのフレッシュコンクリートの指標は一般のコンクリートに比べて骨材の形状や寸法の影響を大きく受ける可能性がある。本研究では、細骨材の粗粒率および粗骨材の形状がフレッシュコンクリートの流動性ならびに間隙通過性に及ぼす影響を実験的に検討したものである。

2. 実験計画

2.1 使用材料

実験の使用材料を表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメントおよび高ビーライト系の低熱ポルトランドセメントを用いた。粗骨材は最大寸法が20mmの川砂利および4種類の碎石を、細骨材は最大寸法が5mmおよび2.5mmの川砂を用いた。高性能A E減水剤はポリカルボン酸系の標準タイプのものを、分離低減剤は水溶性セルロースエーテル系のものをを用いた。

2.2 コンクリートの調合の要因と水準

コンクリートの調合の要因と水準を表-2に示す。コンクリートのスランプフローは 65 ± 5 cmを、空気量は 4.5 ± 1.5 %を目標とし、高性能A E減水剤の使用量を調整した。粗骨材は鬼怒川産砂利、岩瀬産硬質砂岩碎石および青梅産硬質砂岩碎石を使用した。水セメント比が30~40%の場合にはセメントのみでコンクリートの粘性を確保し、45%以上の場合には水溶性セルロースエーテル系の分離低減剤を併用することとした。

*1 (株)新井組技術研究部研究員(正会員)

*2 宇都宮大学教授 工学部建設学科, 工博(正会員)

*3 建設省建築研究所第2研究部無機材料研究室室長, 工博(正会員)

2.3 試験項目および試験方法

粗骨材の形状指標の定義を表－3および図－1に示す。骨材粒子の形状指標は様々なものが提案されている[1][2]が、粒子の径と質量から比較的容易に測定できる方形率、薄片率、容積係数および実積率を選定した。粗骨材の方形率や容積係数などの測定方法は、粗骨材をふるい分けして、ふるいの目の寸法が10、13および15mmのふるいにとどまる粗骨材粒子をそれぞれ30個を分取して、長径、中径、短径、表乾重量および水中重量を測定して求めた。なお、平均値を求めるに際して粒度分布によって加重平均を行った。

フレッシュコンクリートの試験の項目および方法を表－4に、間隙通過性の試験装置を図－2に示す。なお、フレッシュコンクリートの試験は、練混ぜ直後に行った。

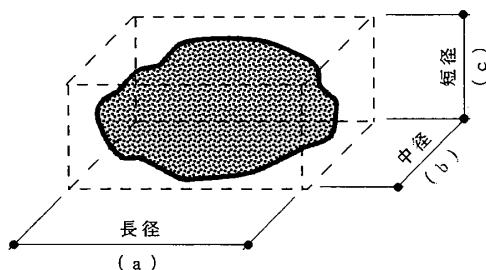
表－1 使用材料

材料	記号	種 類	特性・主成分
セメント	N	普通ポルトランド	比表面積=3420cm ² /g $\rho=3.16$, 3社等量混合
	L	低熱ポルトランド	比表面積=4180cm ² /g $\rho=3.20$, C ₂ S=46%
細骨材	S _s	鬼怒川産川砂	5mm, $\rho=2.57$, p=2.07
	S _{2.5}	鬼怒川産川砂	2.5mm, $\rho=2.57$, p=1.96
粗骨材	R	鬼怒川産川砂利	$\rho=2.54$, p=1.84
	Co	青梅産硬質砂岩碎石	$\rho=2.62$, p=0.53
	CI	岩瀬産硬質砂岩碎石	$\rho=2.63$, p=0.57
	Ct	筑波産硬質砂岩碎石	$\rho=2.68$, p=0.61
	Ck	笠間産硬質砂岩碎石	$\rho=2.63$, p=0.72
混和剤	SP	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
	Vc	分離低減剤	水溶性セルロースエーテル系 2%水溶液粘度=10000cP

[注] ρ : 絶対比重, p: 骨材の吸水率(%)

表－3 粗骨材の形状指標の定義 [1]

形状指標	定 義
実 積 率	JIS A 1104 による
方 形 率	各粒子の(長径/中径)の平均値
薄 片 率	各粒子の(中径/短径)の平均値
容積係数	各粒子の(体積/(長径×中径×短径))の平均値



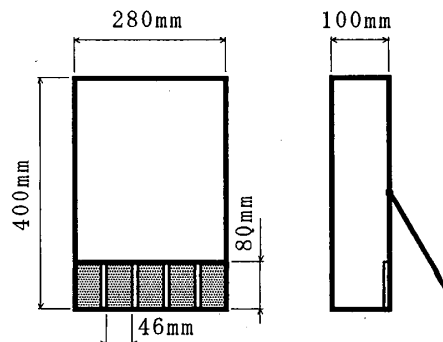
図－1 粗骨材の形状指標の定義

表－2 コンクリートの調合の要因と水準

要 因	水準数あるいは範囲
セメントの種類	2種類
水セメント比	30, 35, 40, 45, 50, 55 %
分離低減剤使用量	W×0.25% (W/C=50%)
細骨材の粗粒率	2.48, 2.87
粗骨材の種類	3種類
単位粗骨材かさ容積	0.43～0.56 m ³ /m ³
単 位 水 量	150～205 kg/m ³

表－4 フレッシュ試験の項目および方法

試験項目	試 験 方 法
スランブフロー	スランブ試験後のコンクリートの広がり測定(突き数: 3層各5回)
スランブフロー速度	スランブフローが50cmに達するまでの平均広がり速度を測定
空 気 量	JIS A 1128 による(突き数: 3層各10回)
材料分離抵抗性	スランブフロー試験時のコンクリートの状態を分離、良好、粘性大の3段階に目視観察で判定
間隙通過性	鉄筋間通過性試験装置を通過するコンクリート量、粗骨材量を測定



図－2 間隙通過性の試験装置 [3]

3. 実験結果および考察

3.1 骨材の形状指標

細骨材および粗骨材の粒度分布を図-3に、骨材の形状指標を表-5に示す。

細骨材 S_5 と $S_{2.5}$ とを比べると0.15mmふるいの通過率には大きな差はないが、0.3~2.5mmふるいの通過率には5~15%の差があり、粗粒率で0.4の差となっている。骨材の粒径は実積率ではほとんど差はないが、粒形判定実積率では1.6%の差があり、 S_5 の方が若干粒形が悪いと考えられる。しかし、 S_5 と $S_{2.5}$ とは産地が同じであり、同一粒度分布にふるい分けて水セメント比35%、細骨材セメント比1.77でモルタルを練り混ぜ、Jロート流下試験を行ったところ、ほぼ同じ流下時間であったことから、両者の粒形の違いはそれほど大きくないと判断された。

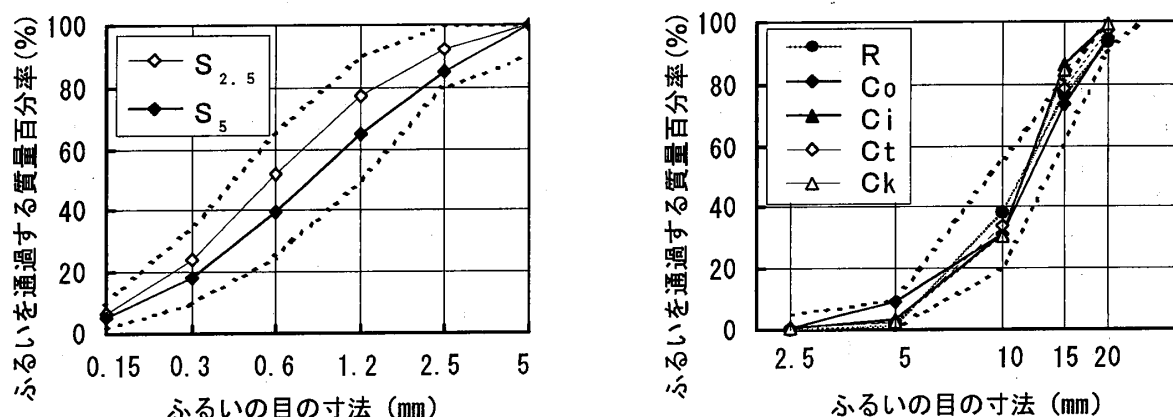


図-3 骨材の粒度分布

表-5 骨材の形状指標

		粗粒率	実積率	粒形判定実積率	方形率	薄片率	容積係数
細骨材	S_5	2.87	66.5	57.9	—	—	—
	$S_{2.5}$	2.48	66.2	59.5	—	—	—
粗骨材	R	6.65	66.3	65.9	1.36	1.55	0.496
	Co	6.65	61.4	60.0	1.37	1.35	0.420
	Ci	6.65	58.3	58.1	1.52	1.62	0.399
	Ct	6.65	60.2	59.4	1.43	1.58	0.417
	Ck	6.65	60.3	58.6	1.37	1.90	0.395

粗骨材の粒度分布には、若干の差があるが粗粒率はいずれも同じ値であった。粗骨材の形状を分類するために図-4にZinggの図を示す。同図より、青梅碎石(Co)は球状で最も形状がよく、鬼怒川砂利(R)や笠間碎石(Ck)は円盤状で、共に形状はやや悪いと読みとれる。また、岩瀬碎石(Ci)はより細長く葉状で、今回の粗骨材の中では最も形が悪いと言える。流動しているコンクリートが鉄筋等の障害物にあって、粗骨材は回転して鉄筋間を通過しようとするが、針状や葉状の

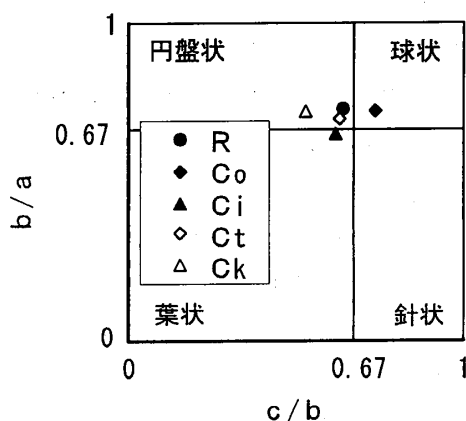


図-4 Zinggの図

粗骨材では鉄筋間を通過しようとするときにアーチングが発生しやすく、そのために間隙通過性が低下すると考えられる。

実積率と方形率の関係を図-5に示す。葉状や針状の骨材ほど方形率は大きい、実積率と方形率とはあまり関係がないことが分かる。

粒形判定実積率と容積係数の関係を図-6に示す。粒形判定実積率が大きくなるほど容積係数は大きくなる傾向にあり、粒形判定実積率と容積係数とはほぼ直線関係にある。骨材の角ばりの程度は、一般に単粒度の骨材の空隙率を基に計算されており、粒形判定実積率と関係が深い。そのため、容積係数も骨材の角ばりの程度と大いに関係することが考えられる。

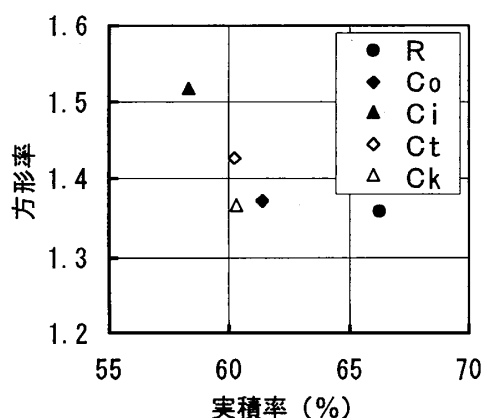


図-5 実積率と方形率の関係

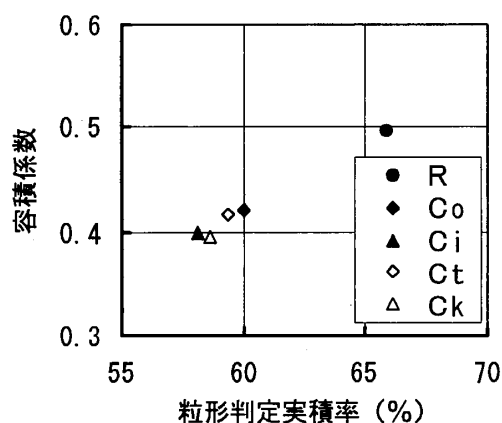


図-6 粒形判定実積率と容積係数の関係

3.2 細骨材の粗粒率および粗骨材の形状がスランプフロー速度に及ぼす影響

水セメント比や単位水量などを変化させて細骨材 $S_{2.5}$ を用いた場合のスランプフロー速度に対する細骨材 $S_{2.5}$ を用いた場合のスランプフロー速度の比を図-7に示す。 S_5 に対する $S_{2.5}$ のスランプフロー速度の比は、多少の例外はあるが水セメント比が大きくなるにつれて小さくなっており、水セメント比が30~35%でほぼ1であるが、水セメント比が50%以上になると0.8程度となっている。なお、水セメント比が45%で単位粗骨材かさ容積が $0.50\text{m}^3/\text{m}^3$ の場合は、 $S_{2.5}$ が分離気味であったためスランプフロー速度の比が大きくなっている。水セメント比が小さい場合にはスランプフロー速度に及ぼすセメントの影響が大きく、細骨材の粒形や粒度分布の影響は小さいが、水セメント比が大きくなると細骨材の影響が大きくなると考えられる。 S_5 と $S_{2.5}$ では粒形は $S_{2.5}$ の方がやや良いものの、粗粒率で0.4の差があり、同じスランプフローとするのに高性能AE減水剤の使用量は $S_{2.5}$ の方が約0.3%多かったことから細骨材の粗粒率はスランプフローに影響を及ぼしていると考えられる。

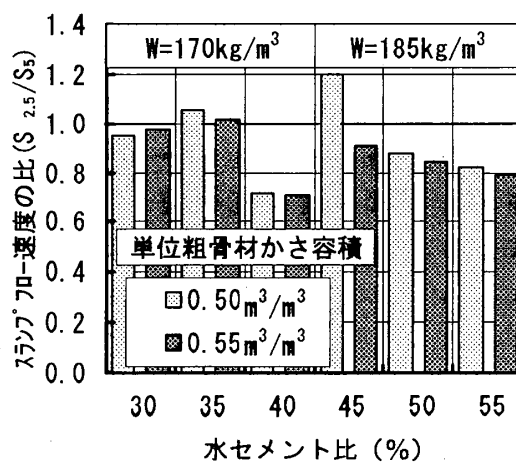


図-7 水セメント比とスランプフロー速度の比の関係

細骨材セメント比を1.5～2.7の範囲として川砂利(R)または碎石(Co、Ci)を用いた場合の単位水量とスランプフロー速度の関係を図-8に示す。川砂利(R)を用いた場合のスランプフロー速度は、碎石(Co、Ci)を用いた場合に比べて1.3～1.5倍になった。碎石(Co、Ci)の違いによるスランプフロー速度には差は認められなかったことから、スランプフロー速度に及ぼす粗骨材の形状の影響は、方形率や薄片率よりも、容積係数の方が大きいと考えられる。

3.3 細骨材の粗粒率および粗骨材の形状がコンクリートの間隙通過性に及ぼす影響

コンクリートの間隙通過率と粗骨材の間隙通過率の関係を図-9に示す。粗骨材の通過率は、コンクリートに比べて若干少ないが、ほぼ1対1の関係にあり、間隙通過率はコンクリートの間隙通過率で代表することができると考えられる。

粗骨材の種類を変えた場合の単位粗骨材かさ容積とコンクリートの間隙通過率の関係を図-10に示す。川砂利を用いた場合の間隙通過率は粗骨材量の増加とともに緩やかに低下しているが、碎石を用いた場合には急激に低下している。水セメント比50%の場合は、35%の場合に比べて間隙通過率が低く、特に細骨材セメント比が大きくなるとスランプフローは50cm程度となりコンクリートの間隙通過率も低くなった。碎石の種類の違いによる間隙通過率の差はほとんどなかった。このことからコンクリートの間隙通過率は、骨材の角ばりの程度によって左右されるものと考えられる。

図-10の単位粗骨材かさ容積を容積係数で補正した補正単位粗骨材かさ容積と間隙通過率の関係を図-11に示す。図中の曲線は、水セメント比ごとに各補正単位粗骨材かさ容積における間隙通過率のほぼ中央値をなめらかに結んだものである。ここで、補正単位粗骨材かさ容積は以下の式で求めた。

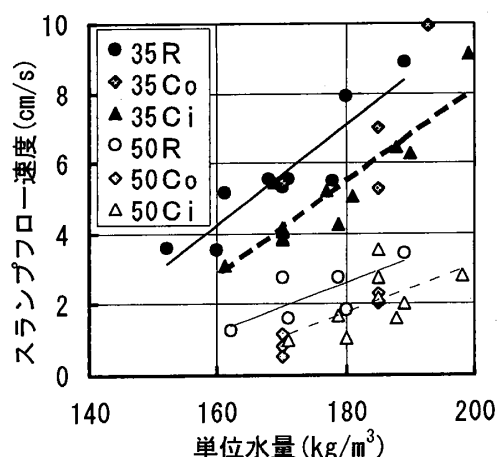


図-8 単位水量とスランプフロー速度の関係

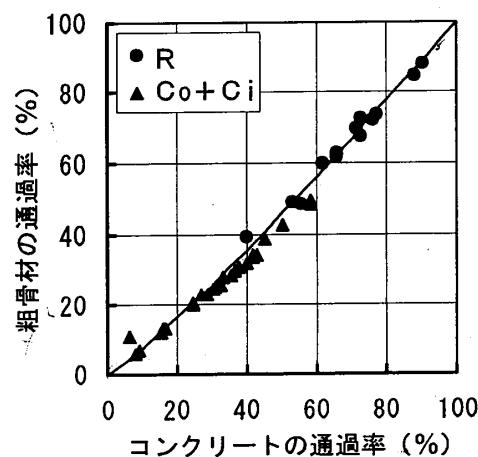


図-9 コンクリートの間隙通過率と粗骨材の間隙通過率の関係

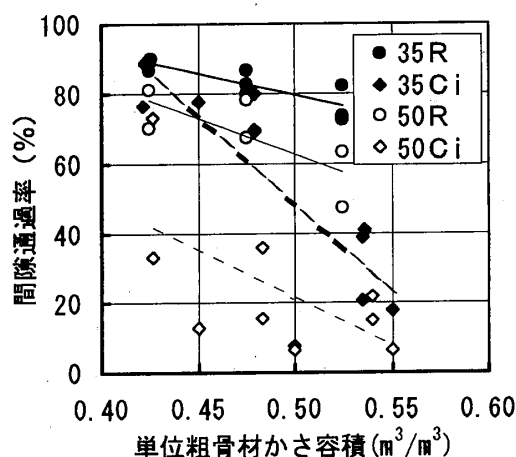


図-10 単位粗骨材かさ容積とコンクリートの間隙通過率の関係

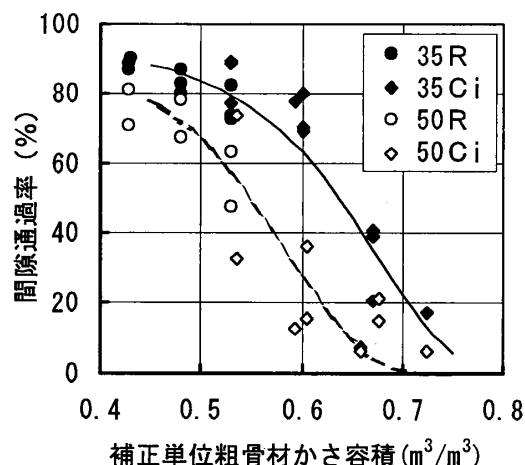


図-11 補正単位粗骨材かさ容積と
間隙通過率の関係（粗骨材粒形の影響）

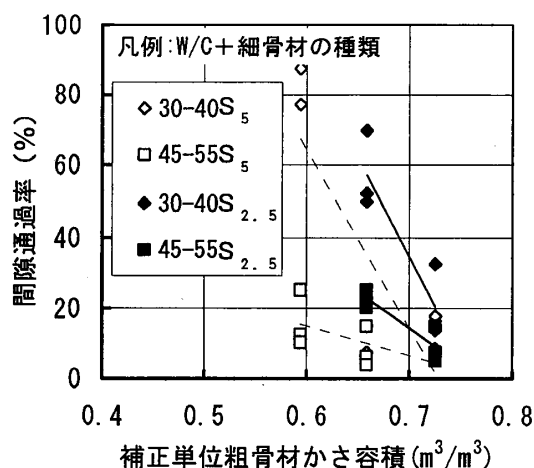


図-12 補正単位粗骨材かさ容積と
間隙通過率の関係（細骨材の影響）

$$\text{補正単位粗骨材かさ容積} = \text{単位粗骨材かさ容積} \times \frac{\text{川砂利の容積係数}}{\text{粗骨材の容積係数}} \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

図-11より容積係数の比によって粗骨材量を補正するとコンクリートの間隙通過性をうまく表現できることが分かる。同図より、水セメント比が35%の場合には、50%の場合に比べて補正単位粗骨材かさ容積を約0.10 m³/m³だけ多くしても同じ間隙通過率が得られることが読みとれる。

細骨材の粗粒率を変えた場合の単位粗骨材かさ容積と間隙通過率の関係を図-12に示す。同図より、細骨材の粗粒率が小さくなることで間隙通過率が改善されることが分かる。今回の実験では、粗粒率の0.4の違いが、補正単位粗骨材かさ容積での約0.05 m³/m³の違いに相当することが分かった。

4. まとめ

実験の結果まとめると以下のようなものである。

- 1) 容積係数は骨材の角ばりの程度をよく表しており、粒形判定実積率と相関関係が認められる。
- 2) スランプフロー速度は、細骨材の粗粒率が大いほど、粗骨材の容積係数が大いほど速くなる。
- 3) 鉄筋間通過性試験でのコンクリートの間隙通過性は、通過したコンクリート量で評価できる。
- 4) 高流動コンクリートの間隙通過性は、単位粗骨材かさ容積を容積係数で補正した補正単位粗骨材かさ容積でよく表現できる。
- 5) 高流動コンクリートの間隙通過性は、粗骨材が同じ場合には粗骨材量に支配されるが、水セメント比および細骨材の粗粒率によっても変化する。

〔謝辞〕 本研究に際し、東京大学の野口貴文氏、建設省建築研究所の鹿毛忠継主任研究員、杉山中央研究員、前田弘美技官および部外研究員の松本範義氏らの協力を頂きました。

〔参考文献〕

- 〔1〕岡田 清, 六車 熙: コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, pp. 99-100, 1981. 11
- 〔2〕柳田 力: 碎石および碎石コンクリート, コンクリート・ジャーナル, 第7巻, 9号, pp. 45-54, 1969. 9
- 〔3〕野口貴文, 友澤史紀, 呉 相均: 高流動コンクリートの間隙通過性に関するレオロジー的考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17, No. 1, pp. 23-28, 1995. 6