

各種粗骨材を用いた低水セメント比コンクリートのフレッシュ性状に関する実験的研究

Experimental Study on Properties of Fresh for Low Water-Cement ratio Concrete with Various Coarse Aggregate

松村光太郎, 南部正樹*

Kotaro MATSUMURA, Masaki NANBU

1. はじめに

近年, 性能規定化に伴い, コンクリートに用いられる骨材が多様化している。特に, 粗骨材は, 1991 年に施行された「再生資源の利用の促進に関する法律」に伴い多種多様化し, その様々な粗骨材の中で, 環境問題の観点から, コンクリート廃材(コンクリートがら)をコンクリート用粗骨材として再利用することが, 循環型の再利用として注目されている¹⁾。

その一方で, 鉄筋コンクリート造建築物の劣化が社会問題となり, 対策の1つとして, コンクリートを高強度化することが挙げられ²⁾, また, 建築物としての高耐久化, 高性能化, そして高機能化の観点から, 超高強度コンクリートも開発が進められている³⁾。

この2つの観点から, 現在, 多種多様な粗骨材を用いた高強度, 超高強度コンクリートの性能を知ることが急務となっている。

そこで, 本研究では, 多種多様化している粗骨材の中から循環型環境問題を考慮された再生粗骨材, 高強度コンクリートに対応している碎石, そして従来からある川砂利の3種類を選択し, それぞれの粗骨材を用いた低水セメント比コンクリートにおけるフレッシュ性状を把握することを目的とする。なお, 低水セメント比コンクリートとは, 高強度コンクリートおよび超高強度コンクリートの両者を含んだコンクリートのことである。

2. 実験方法

2. 1 使用材料および調合

本研究で用いた骨材の性状を表-1に示す。本研究に用いた粗骨材は, 川砂利, 碎石, 再生粗骨材の3種類とした。なお, 川砂利は鬼怒川産川砂利, 碎石は金丸産安山岩系碎石を使用した。また, 再生粗骨材のベースコンクリートは, 本校の授業「建築実験(平成12~13年度)」で作製したコンク

リート試験体を, 粗粉碎機によって粉碎し, 粒度を調節した上で使用した。

コンクリートの調合表を表-2に示す。本研究では, 粗骨材の違いによるフレッシュ性状の相違を把握することを目的としているため, 細骨材(鬼怒川産川砂), セメント(普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm^3 , 太平洋セメント(株)製), 高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系, 密度: $1.00\sim 1.10\text{g/cm}^3$, 花王(株)製)は同一材料とした。また, 調合において, 単位粗骨材かさ容積を一定($0.62\text{m}^3/\text{m}^3$)とし, 目標空気量(4.5%)と単位水量(165kg/m^3)も一定とした。水セメント比は, 低水セメント比域として, 現場施工の実用性の下限とされている23%²⁾と, 高強度としての設計基準強度の最低値である 36N/mm^2 を表現する40%³⁾, そして, セメント水比で両者の中間となる30%の3水準とした。なお, 調合名のCは碎石, Nは川砂利, Rは再生粗骨材を示し, 数値は水セメント比を示す。

表-1 骨材の性状

骨材データ	密度(g/cm^3)		吸水率 (%)	単位容積 質量(kg/m^3)	実積率 (%)	粗粒率
	表乾	絶乾				
碎石	2.65	2.63	0.94%	1.58	60.2%	6.71
川砂利	2.61	2.56	2.00%	1.66	64.8%	6.76
再生粗骨材	2.49	2.39	3.98%	1.38	57.6%	6.45
細骨材	2.60	2.55	1.87%	1.60	63.0%	2.46

表-2 コンクリートの調合表

調合名	単位水量 (kg/m^3)	水セメント 比 (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m^3/m^3)	目標空気量 (%)	混和剤添 加量 (%)
C-23	165	23.0%	0.62	4.5%	1.8%
C-30	165	30.0%	0.62	4.5%	1.2%
C-40	165	40.0%	0.62	4.5%	0.8%
N-23	165	23.0%	0.62	4.5%	1.8%
N-30	165	30.0%	0.62	4.5%	1.2%
N-40	165	40.0%	0.62	4.5%	0.8%
R-23	165	23.0%	0.62	4.5%	1.8%
R-30	165	30.0%	0.62	4.5%	1.2%
R-40	165	40.0%	0.62	4.5%	0.8%

注: 混和剤添加量は, セメント質量に対する混入量である。

2. 2 実験項目

コンクリートのフレッシュ性状として、以下に示す項目について、打込み直後に測定を行った。なお、スランプフロー試験、コンクリート温度測定試験および鉄筋間通過性試験は、経時変化を把握するため、打込み後45分、90分にも、それぞれ測定を行った。

(1)スランプフロー試験

スランプフロー試験は、JASS 5T-503「スランプフロー試験方法」におけるB法に準じて行った。なお、スランプフローとは、スランプ試験(JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」)を行う際に発生するコンクリートの広がりのことである⁴⁾。

(2)空気量および単位容積質量測定試験

空気量は、JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法)」およびJIS A 1116「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法」に準じて行った。なお、容器の容量は7.0ℓとした。

(3)コンクリート温度測定試験

コンクリート温度測定試験は、アルコール棒温度計を用いてコンクリート温度を測定した。

(4)鉄筋間通過性試験

鉄筋間通過性試験とは、図-1に示す木製容器(内法寸法:270×100×400mm)に、前面の開口部を閉じた状態で上端までコンクリートを打込み、その後開口部を開放し、コンクリートの落ち込み量を測定し、自由落下による鉄筋間の通過量を把握する実験方法である。開口部の鉄筋間隔は、60mm(鉄筋3本)、45mm(鉄筋4本)、36mm(鉄筋5本)の3種類とした。

(5)材料分離判定

材料分離判定は、練混ぜ直後のフレッシュコンクリートを、目視により分離しているかどうかを判断した。材料分離の程度は、まったく分離していない状態「◎」、普通の状態「○」、やや分離している「△」、完全に分離している「×」の4段階とした。

なお、分離とは、打込み中または打込み後において、フレッシュコンクリートの構成材料の分布が不均一になる現象である。

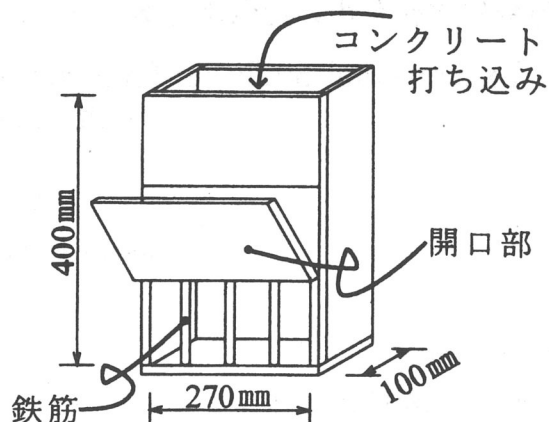


図-1 鉄筋間通過性試験装置

3. 実験結果および考察

打込み直後におけるフレッシュコンクリートのスランプフロー、空気量、練り上がり温度および分離判定の測定結果を表-3に示す。水セメント比40%のコンクリートは、分離傾向にあり、特に川砂利を用いたコンクリートは、顕著であった。これは、水セメント比40%のコンクリートは、単位セメント量が 413kg/m^3 と、他の調査と比較して格段に少なく、粉体量が不足していたと考えられる。特に、川砂利を用いたコンクリートは、一般的にワーカビリティに優れていると言われていたため、高性能AE減水剤の減水効果が多大に影響したと考えられる。この対策としては、石粉を混入するか、比表面積の大きなセメント(早強ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメント等)を用いるなどの対策を必要とする。ただし、全調査において、目標空気量を下回っており、比表面積の大きなセメントを利用した場合、より一層、空気量が低下する可能性があり、AE効果の高い混和剤を利用するなどの別対策が必要となるだろう。

表-3 練混ぜ直後のフレッシュ性状

調査名	スランプフロー(cm)	空気量(%)		練り上がり温度	分離判定
		圧力法	計算法		
C-23	67.5	1.0%	0.9%	27.0	◎
C-30	69.0	0.8%	0.2%	28.0	◎
C-40	57.7	3.4%	2.6%	27.0	○
N-23	67.3	1.2%	0.7%	29.0	◎
N-30	79.0	0.8%	1.6%	26.5	○
N-40	74.5	0.7%	0.2%	25.0	△
R-23	63.0	1.7%	2.6%	24.3	◎
R-30	75.0	0.5%	1.3%	25.0	◎
R-40	61.5	3.7%	4.1%	20.0	○

各種粗骨材を用いた低水セメント比コンクリートのフレッシュ性状に関する実験的研究

スランプフロー試験の結果を図-2に示す。水セメント比40%のコンクリート以外は、90分経過後まで、スランプフローの経時変化はそれほど見られなかった。これは、混和剤として、スランプ保持性能を持った高性能AE減水剤を用いたためと考えられる5)。しかしながら、水セメント比40%のコンクリートは、全骨材種類について45分経過時点でスランプフローの低下が見られた。また、碎石を用いた水セメント比30%のコンクリートについては、90分経過時点でスランプフローの低下が見られた。これは、水セメント比40%の場合、他の水セメント比の調査と比較して単位セメント量が小さく、混和剤添加量も少ないため、スランプ保持性能の効果が悪くなったと考えられる。また、碎石を用いた水セメント比30%のコンクリートは、打ち込んだ日の実験室室温が38.0℃と高く、室温の影響を受けて、スランプフローの低下が早くなったと考えられる。

コンクリート温度の測定結果を図-3に示す。コンクリート温度測定の結果、全調査とも、打込み後90分までは、水和反応が始まったと思われるような上昇は見られなかった。なお、若干の温度上昇が見られるが、これは、実験室の室温に応じて上昇したものだと思われる。

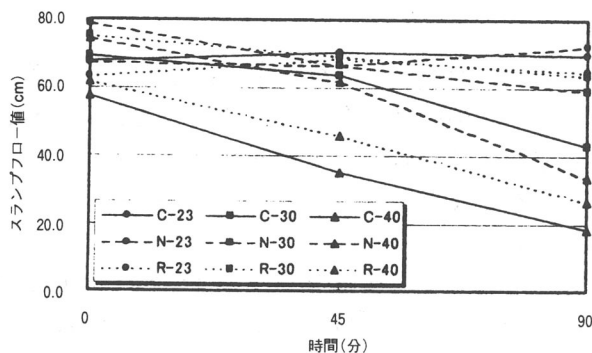


図-2 スランプフローの経時変化

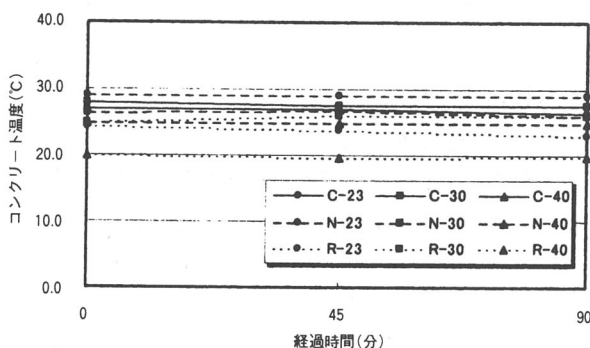


図-3 コンクリート温度の経時変化

鉄筋通過性実験の結果を、図-4に示す。全骨材とも、通過率は鉄筋間隔に比例し、鉄筋間隔が広いほど通過率がよい結果となった。

川砂利の場合は、鉄筋間隔60mmの場合において、スランプフローと同等な経時変化が見られた。しかし、碎石、再生粗骨材の場合は、一義的な傾向が無く、直後よりも、45分後、90分後の方が、流出量の多い場合もあった。これは、川砂利が粒形がよく、フレッシュコンクリート内部において均等に配列されるのに対し、碎石、再生粗骨材は粒形が悪く、粗骨材の配列にばらつきがあるため、粗骨材同士の閉塞が発生しやすく、鉄筋間隔通過に悪影響を及ぼすからだと思われる。なお、鉄筋間隔45mm、36mmの場合は、全体的に通過率が悪いものの、川砂利が最も通過率がよい結果となり、碎石、再生粗骨材は差が見られなかった。

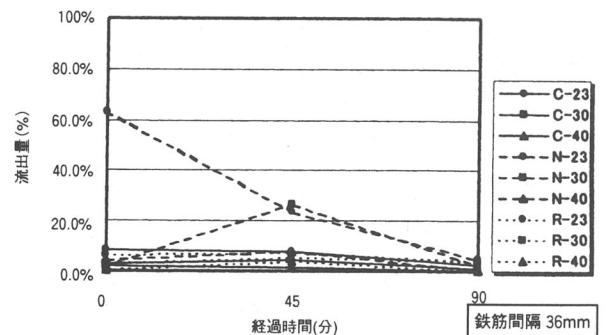
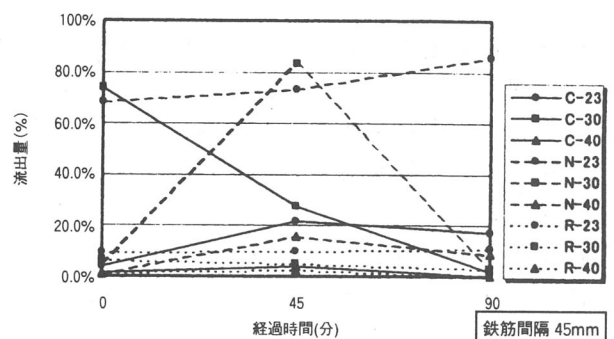
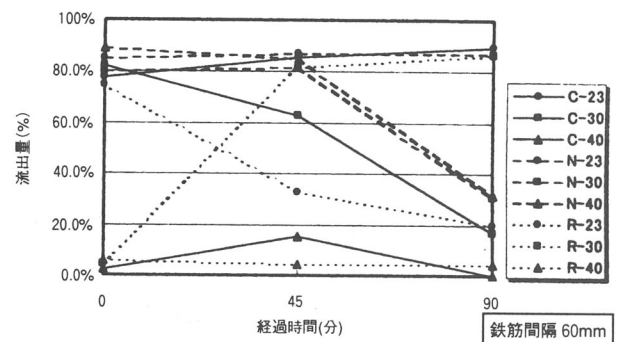


図-4 鉄筋間通過性試験結果の経時変化

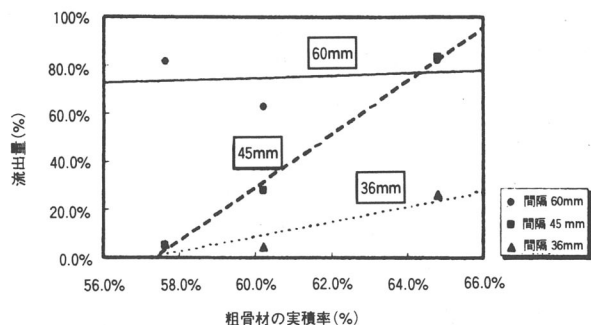


図-5 実積率と流出量との関係(45分後)

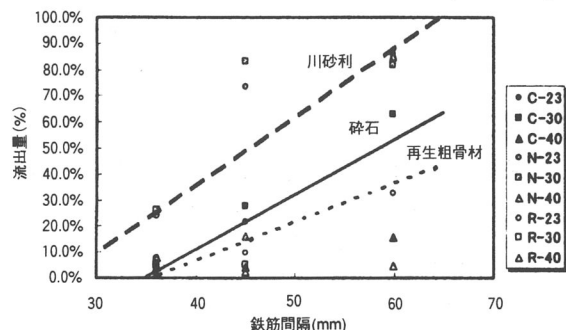


図-6 鉄筋間隔と流出量との関係(45分後)

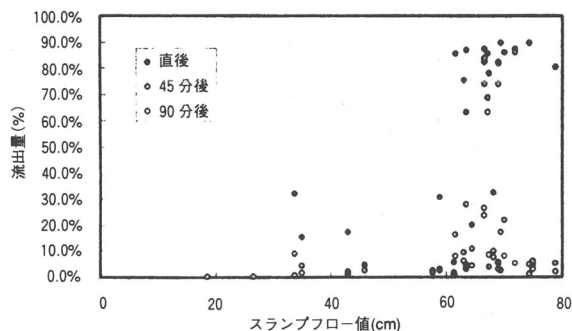


図-7 スランプフローと流出量との関係

粗骨材の実積率と流出量との関係を図-5に示す。鉄筋間隔により差は見られたが、実積率が低くなると、流出量も悪くなる傾向にあった。これは、粗骨材の粒形が悪くなると、実積率も悪くなる傾向にあるからだと考えられる。

鉄筋間隔と流出量との関係を図-6に示す。鉄筋間隔が狭くなるほど、流出量も少なくなる傾向にあった。粗骨材の違いによる差は、鉄筋間隔に関係なく、川砂利の流出量が最も多く、碎石と碎石粗骨材とはほとんど同じ流出量となった。このことから、再生粗骨材は、碎石と同等のワーカビリティを得ることができると考えられる。また、鉄筋間隔 60mmでは、50%以上の流出があるのに対して、45mmを下回ると、ほとんど流出しなかった。このことより、鉄筋間隔の狭い建築用低水セメント比コンクリートの場合には、粗骨材に関係なく、自然落下だけでは鉄筋間を通過しないため、パイプレータの利用が望ましいと思われる。

スランプフローと流出量との関係を図-7に示す。スランプフローと鉄筋間通過性試験の結果とに相関はなく、低水セメント比コンクリートにおいては、スランプフロー試験だけでワーカビリティを判断するのは困難だと思われる。したがって、鉄筋間通過性試験など、スランプ試験とは別の流動性を把握できる試験を併せて行うことが望ましいと思われる。

4. まとめ

碎石、再生粗骨材、川砂利の3種類を用いた低水セメント比コンクリートのフレッシュ性能を表す試験結果より、次に示すことが明らかとなった。

- 1) 施工性の観点から、低水セメント比域においても、再生粗骨材は、碎石と同等のワーカビリティを得ることができる。
- 2) 川砂利は、従来のコンクリート(普通強度)と同様に、碎石と比較してワーカビリティは良好である。しかしながら、高性能 AE 減水剤を利用する場合は、分離に対する対策が必要となる。
- 3) スランプフローと鉄筋間通過性試験との一義的な関係はなく、低水セメント比コンクリートにおいては、スランプフローだけで施工性を判断するのは困難であると思われ、他の流動性試験を併せて判断すべきだと考えられる。

謝辞

本研究において、本校5年生砂庭悠道氏、藤原聡氏には実験の助力を得た。また、物質工学科吉田裕志教授には貴重な実験器具を譲り受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会, 建物の LCA 指針(案)~地球温暖化防止のための LCCO₂ を中心として~, 1999
- 2) 日本建築学会, 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案), 1991
- 3) 日本建築学会, 高強度コンクリートの技術の現状, 1991
- 4) 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), 1997
- 5) 日本建築学会, 高性能 AE 減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針・同解説, 1992

* 新潟大学工学部 技官 nanbu@eng.niigata-u.ac.jp

〔受理年月日 2001年9月28日〕