

報告

[1028] 碎石粉を用いた高流動コンクリートの品質に関する実験的研究

黒島 毅*1・浦野英男*2・田村 博*3・大橋正治*4

1. はじめに

碎石・砕砂を生産する際、副産物として産出される碎石粉の有効利用に関する研究の成果として、コンクリートの製造時に碎石粉を適切量混入することにより、硬化後のコンクリートにアルカリ骨材反応抑制効果があること[1]、圧縮強度が増加すること[2]があげられ、さらに実施工へ向けての研究を進めている。

一方、最近では高性能A E減水剤で流動性を付与した高流動コンクリートの研究が盛んに行われ、締固めなしで打設できるコンクリートの施工例も増加してきた。そこで両者の長所を生かすべく、資源の有効利用ができる碎石粉使用コンクリートを、締固め作業の省力ができる高流動コンクリートにすることが可能かどうか製造を行い、その硬化後の品質について検討を行った。

本報は、碎石粉を混入したコンクリートを、高流動コンクリートとした場合の硬化後のコンクリートの品質について実験を行い、その結果をまとめたものである。

2. 実験概要

単位水量を185・175kg/m³、水セメント比を、60・55・50%、碎石粉の混入量を、220・250・280kg/m³と変化させた配合の高流動コンクリートを製造し、その硬化後のコンクリートについて、圧縮強度試験、乾燥収縮試験、凍結融解作用に対する抵抗性試験、促進中性化試験、細孔径分布の測定、気泡間隔係数の測定を行った。

2. 1 使用材料

表-1 に使用材料を示す。セメントは普通ポルトランドセメントを、細骨材には海砂と砕砂の混合砂を用い、混和剤はナフタリン系の高性能A E減水剤1 銘柄と空気量調整用の補助A E剤を使用した。混入する碎石粉には、碎石・砕砂を生産する際、空気を吹き付けて収集する乾燥状微粉のうち、砂岩質碎石粉(DR-4) [3]を使用した。

表-1 使用材料

使用材料	種 類
セメント	普通ポルトランドセメント (比重:3.15)
細骨材	混合砂 (表乾比重:2.56, 吸水率:1.53%, F.M.:2.68)
粗骨材	碎石 (表乾比重:2.60, 吸水率:0.99%, F.M.:7.19)
混和剤	高性能A E減水剤 (ナフタリン系)
碎石粉	砂岩質碎石粉 (DR-4, 比重:2.72)

2. 2 コンクリートの配合

コンクリートの配合は、単位水量、水セメント比、碎石粉の混入量をそれぞれ変化させて組合わせたものとし、高性能A E減水剤で高流動コンクリートとして製造し、硬化後のコンクリートの実験に必要な供試体を作製した。コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの性状を、表-2 に示す。

* 1 (株) 松村組技術研究所 (正会員)

* 2 (株) 松村組技術研究所

* 3 (財) 日本建築総合試験所 材料試験室 室長 (正会員)

* 4 (財) 日本建築総合試験所 材料試験室 (正会員)

表-2 コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの性状

配合 記号	水 比 W/C(%)	水微粒 分比 W/P(%)	細骨 材率 s/a(%)	単位量(kg/m ³)					混和剤の使用量			スラン プ ^{#3} 量 (cm)	空気 量 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	コンク リートの 温度 (°C)	
				水 量 W	セメント 量 C	細骨材 量 S	粗骨材 量 G	砕石粉 量 F	高性能AE減水剤							
									(P%)	(C%)	(kg/m ³)					
185-60-220	60	35.0	50.4	308	185	336	771	775	220	2.0	3.43	10.6	65×65	5.1	2.24	23.4
185-60-250		33.1	49.5				744		250	2.0	3.62	11.2	57×58	3.6	2.28	22.3
185-60-280		31.4	48.5				716		280	2.0	3.82	11.8	65×67	4.8	2.25	22.6
185-55-220	55	33.3	49.7	336	185	336	751	775	220	2.0	3.31	11.1	66×65	5.0	2.24	22.3
185-55-250		31.6	48.7				721		250	2.0	3.49	11.7	63×65	3.9	2.28	22.3
185-55-280		30.0	47.8				695		280	2.0	3.66	12.3	64×64	4.5	2.26	23.2
185-50-220	50	31.4	48.8	370	185	370	723	775	220	2.0	3.19	11.8	69×68	4.3	2.27	22.1
185-50-250		29.8	47.7				694		250	2.0	3.35	12.4	65×62	3.7	2.29	22.7
185-50-280		28.5	46.8				668		280	2.0	3.51	13.0	62×61	2.9	2.31	22.4
175-60-220	60	34.2	51.6	292	175	292	811	775	220	2.3	4.03	11.8	59×59	5.5	2.24	23.8
175-60-250		32.3	50.7				783		250	2.3	4.27	12.5	61×61	5.0	2.26	23.6
175-60-280		30.6	49.8				755		280	2.3	4.51	13.1	60×59	4.6	2.27	23.8
175-55-250	55	30.8	50.0	318	175	318	761	775	250	2.3	4.11	13.1	57×57	4.2	2.28	22.6
175-50-250	50	29.2	49.2	350	175	350	735	775	250	2.3	3.94	13.8	60×59	3.5	2.30	22.6

#1 (単位水量)-(W/C)-(単位砕石粉量)を示す

#2 P=C+F (セメントと砕石粉の総量)

#3 : 注水15分後

2. 3 実験方法

表-3 に実験方法一覧を示す。

表-3 実験方法一覧

試験項目	試験内容
圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮試験方法 (材令: 7日、28日)
乾燥収縮率	JIS A 1129 モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法
凍結融解作用に対する抵抗性	JIS A 6204 附属書 2 コンクリートの凍結融解試験方法
促進中性化	温度40°C、相対湿度40%、炭酸ガス(CO ₂)濃度10%
細孔径分布	水銀圧入法
気泡間隔係数	面積比法 (蛍光塗料埋設による画像処理)

3. 実験結果および考察

3. 1 圧縮強度

図-1の圧縮強度試験結果より、材令7日、28日では、砕石粉の使用量が多くなれば圧縮強度が増加する傾向がある。185-60-250と、185-55-250の圧縮強度が高いのは空気量が他より小さいことが影響していると思われる。また、単位水量による明確な差は見られなかった。

図-2は圧縮強度と静弾性係

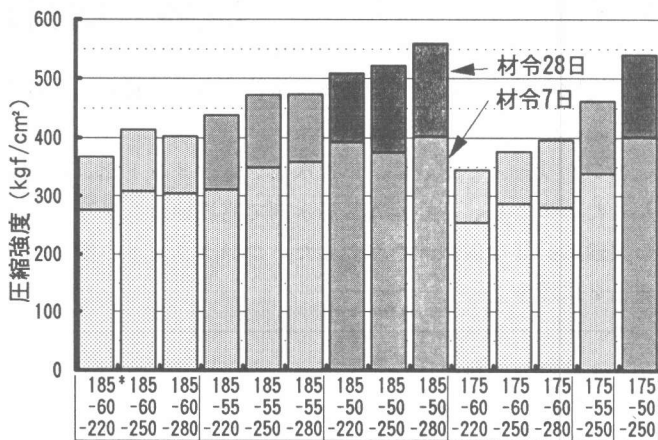


図-1 圧縮強度試験結果

* (単位水量)
-(W/C)
-(単位砕石粉量)

数の関係を示したもので、日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算基準に示されている式

$$(E = 2.1 \times 10^5 (\gamma / 2.3)^{1.5} \times \sqrt{F_c / 200} \quad (\gamma = 2.3)) \text{ とほぼ一致している。}$$

3. 2 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験結果を水セメント比、単位水量別に示したものが図-3、13週における砕石粉

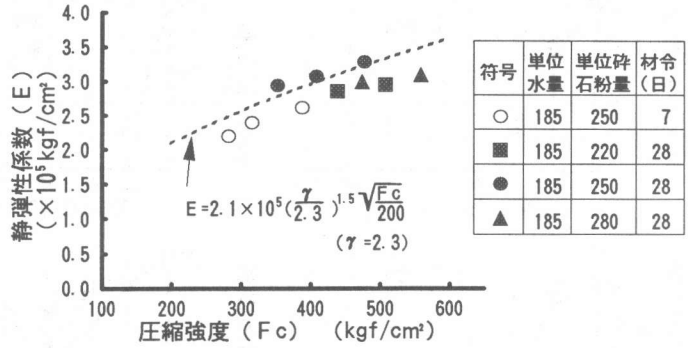


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係

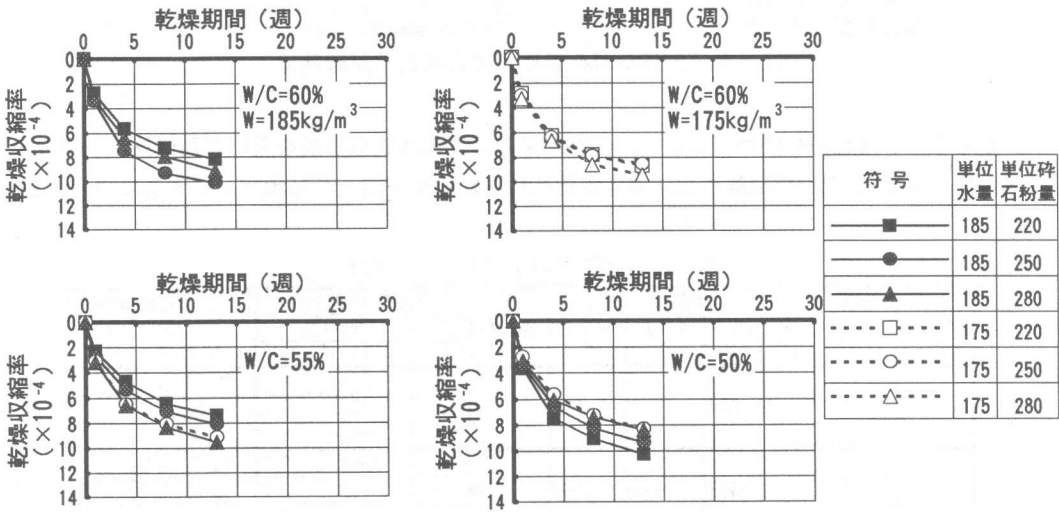


図-3 乾燥収縮試験結果

量と乾燥収縮率の関係を示したものが図-4である。これらの図によれば水セメント比が50%の場合は砕石粉量が多いほど乾燥収縮率が小さい傾向にあるが、55%の場合には逆となり、明確な傾向は見られなかった。また単位水量による明確な差も認められなかった。

3. 3 凍結融解作用に対する抵抗性
凍結融解作用に対する抵抗性試験結果を図-5に水セメント比、単位水量別に示した。同図によれば、水セメント比が小さいほど、凍結融解サイクル回数による相対動弾性係数の低下が少ない。また水セメント比が60%

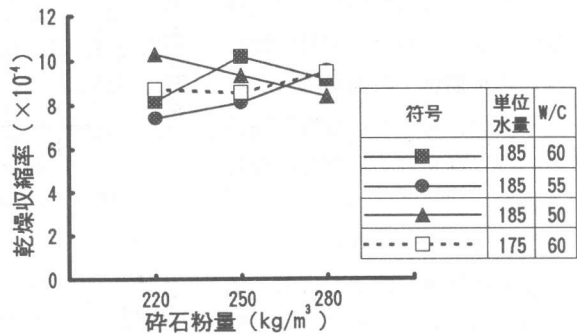


図-4 13週における砕石粉量と乾燥収縮率の関係

%では、単位水量175kg/m³は、185kg/m³に比べて相対動弾性係数は早期に低下したが、水セメント比が55%、50%では逆になっている。

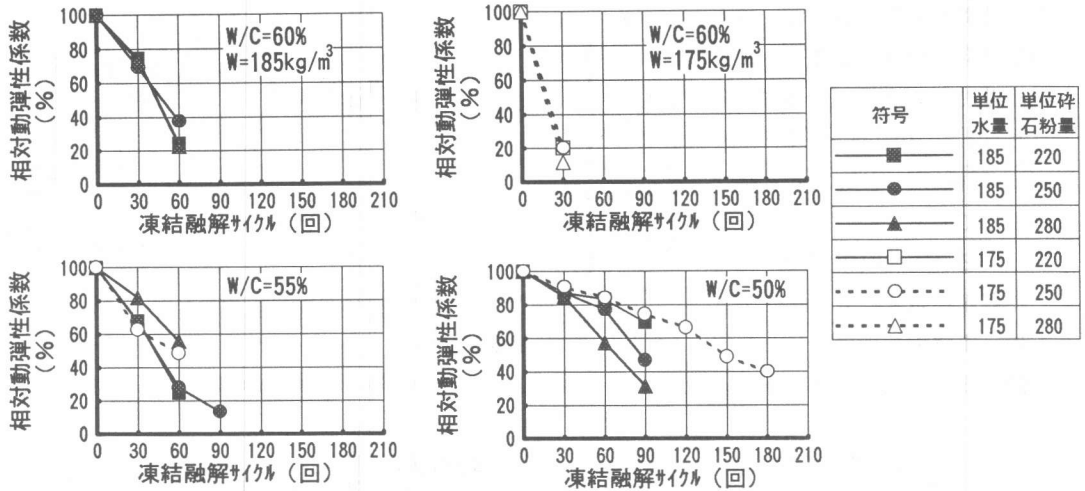


図-5 凍結融解作用に対する抵抗性試験結果

参考までに、砕石粉を使用しないで、各種銘柄の高性能AE減水剤を用いた高強度コンクリート（表-4 参照）の凍結融解作用に対する抵抗性試験結果を図-6に示す。いずれの場合も相対

表-4 高強度コンクリートの配合

水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単位量(kg/m ³)					高性能AE減水剤		スランジ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	砕石粉 F	銘柄	使用量				
								(C%)				(kg/m ³)
30	39.0	175	583	595	988	0	A	1.90	11.1	20.0	4.2	23
							B	1.65	9.6	21.5	4.6	21
							C	1.50	8.7	19.5	4.3	24
40	43.0	175	438	775	994	0	A	1.55	9.0	19.0	3.9	21
							B	1.47	8.6	18.0	3.8	22
							C	0.85	5.0	18.5	4.6	21

動弾性係数の低下が比較的大きかった。凍結融解作用に対する抵抗性試験における相対動弾性係数の早期低下に関しては、図-6の例もあり、使用材料あるいは、混和剤の影響等、今後の検討を要する。

3.4 促進中性化

促進中性化試験結果は図-7のとおりであり、中性化速度は、一般に言われているように水セメント比が小さいほど遅くなる傾向が認められる。また、砕石粉を用いた高流動コンクリートと、砕石粉を使用していない呼

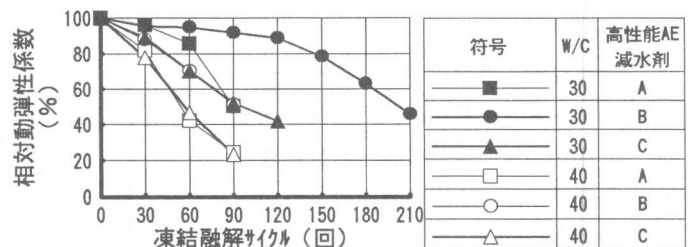


図-6 高性能AE減水剤を用いた高強度コンクリートの凍結融解作用に対する抵抗性試験結果

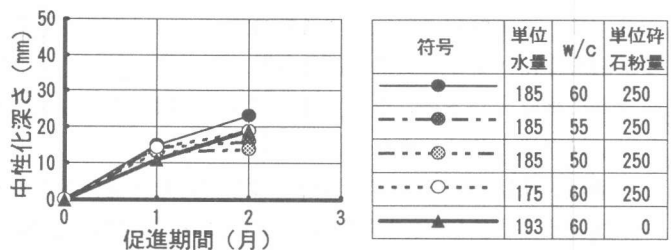


図-7 促進中性化試験結果

び名240-18-20N（単位水量:193kg/m³、W/C:55%）の普通コンクリートとは、ほぼ同じ中性化深さを示した。

3.5 細孔径分布の測定

細孔径分布の測定結果は図-8に示すとおりである。

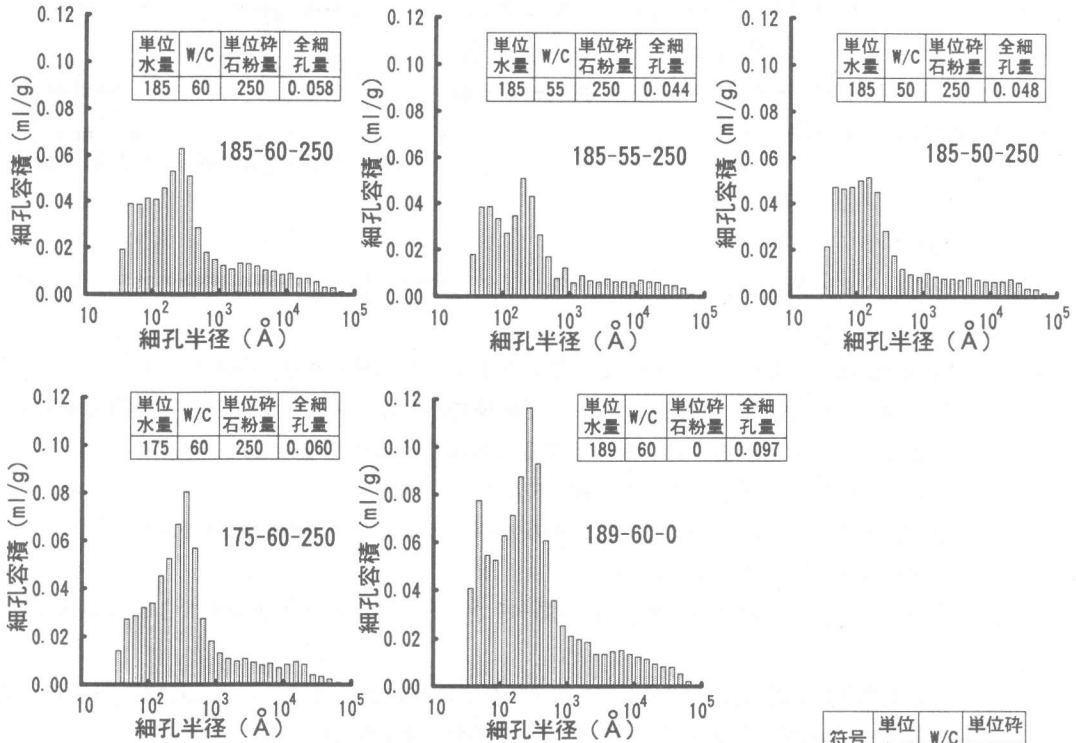


図-8 細孔径分布の測定結果

単位水量185kg/m³では、水セメント比が小さいほど全細孔量が小さくなる傾向にあるが、単位水量185kg/m³と175kg/m³との明確な差は認められなかった。189-60-0は比較のための試料で、単位水量189kg/m³、水セメント比60%、砕石粉未混入の普通コンクリート（呼び名:210-18-20N）である。全細孔量は砕石粉を混入したコンクリートに比べ大きな値を示している。図-9は全細孔量と圧縮強度の関係を示したものだが、全細孔量の少ないものほど圧縮強度が高い傾向にあることがわかる。砕石粉を用いた高流動コンクリートと同じ水セメント比の普通コンクリートとを比較した場合、砕石粉を用いた高流動コンクリートの圧縮強度が大きくなる要因の一つとして、砕石粉を混入することによりブリージング水が極端に減少し、50~1000Å程度の毛細管空隙量が少なくなったことが考えられる。

符号	単位水量	W/C	単位砕石粉量
●	185	60	250
●	185	55	250
⊗	185	50	250
○	175	60	250
■	189	60	0

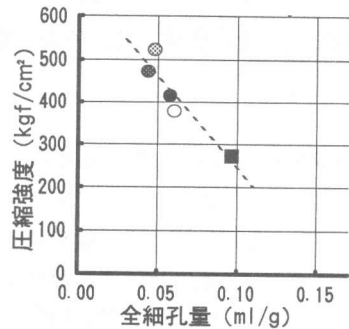


図-9 全細孔量と圧縮強度の関係

3. 6 気泡間隔係数の測定

測定には10×10×40cmの供試体を用い、コンクリート打設面に水平な断面（供試体の高さの半分の位置）と、垂直な断面で行った。図-10は気泡間隔係数の測定結果であるが、垂直断面に比べて水平断面の気泡間隔係数はやや大きくなる傾向にあるものの、概ね、耐凍害性に優れていると言われてきた200μm以下であった。これは、図-5の凍結融解作用に対する抵抗性試験結果と相反するもので、今後の検討を要する。

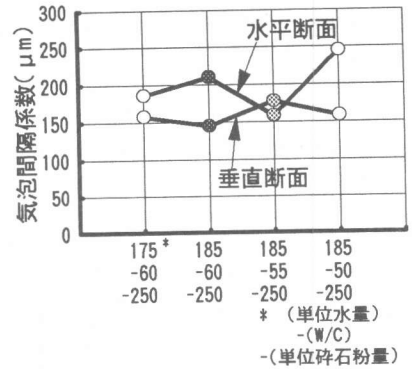


図-10 気泡間隔係数の測定結果

4. まとめ

砕石粉を用いた高流動コンクリートの硬化後の品質について行った今回の実験の結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 圧縮強度は、水セメント比が同じ一般コンクリート（単位水量189kg/m³、水セメント比60%、砕石粉未混入）に比較して、約1.5倍の値を示した。また、圧縮強度と静弾性係数の関係は日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算基準に示されている式（ $E = 2.1 \times 10^5 \times (\gamma / 2.3)^{1.5} \sqrt{f_c} / 200$ ）にほぼ一致していた。
- (2) 圧縮強度が高くなる要因として、砕石粉を用いることにより全細孔量が減少し、コンクリートが緻密化したことが考えられる。
- (3) 乾燥収縮率は、乾燥期間3か月時では一般コンクリートと同等かやや大きくなる傾向となった。
- (4) 気泡間隔係数は概ね200μm以下であったが、凍結融解作用に対する抵抗性試験において相対動弾性係数の低下は顕著であった。今後の検討を要する。
- (5) 促進中性化試験（期間2か月）での中性化深さは、一般コンクリートと同等であった。今後、砕石粉を用いた高流動コンクリートの実機による製造および施工実験等を行い、さらに研究を進めていきたい。

最後に、本実験を行うにあたりご協力いただいた大阪兵庫生コンクリート工業組合、近畿砕石協同組合、王水産業（株）の関係各位に深く感謝いたします。

- 参考文献 1) 田村 博・高橋利一・五十嵐千津雄：砕石粉のコンクリートへの有効利用に関する研究、コンクリート工学年次講演論文集、Vol. 13, No. 1, pp57~62、1991
- 2) 田村 博・高橋利一・大橋正治：砕石粉が高性能AE減水剤使用コンクリートの性能に及ぼす影響に関する実験、コンクリート工学年次講演論文集、Vol. 14, No. 1, pp223~228、1992
- 3) 田村 博・高橋利一・永山 勝・五十嵐千津雄：砕石粉の品質評価に関する実験的研究その1~4、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp577~584、1992. 8