報告

[1028] 砕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

砕石・砕砂を生産する際、副産物として産出される砕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砕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、最近は高性能AE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砕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、砕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%、砕石粉の混入量を、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 AE減水剤1銘柄と空気量調整用の 補助AE剤を使用した。混入する砕 石粉には、砕石・砕砂を生産する際、

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	砕石 (表乾比重:2.60,吸水率:0.99%,F.M.:7.19)
混和剤	高性能AE減水剤(ナフタリン系)
砕石粉	砂岩質砕石粉(DR-4,比重:2.72)

空気を吹き付けて収集する乾燥状微粉のうち、砂岩質砕石粉(DR-4)[3]を使用した。

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、砕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AE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)

TIA #1	水ゼ	水微粒	細骨		Ì	单位量(kg/m3)			混和剤の使用量			スランフ ・	空気	単位容	コンクリー
配合	ハ比	分比	材率	水セント細骨			粗骨材砕石制		高性能AE减水剂			70- ^{*3}	I	積質量	⊦温度
86.7	W/C(%)	₩/P(%)	s/a(%)	w	С	S	G	F	(P * %)	(C * %)	(kg/m3)	(cm)	(%)	(kg/1)	(°C)
185-60-220		35. 0	50. 4		771		220	2. 0	3. 43	10. 6	65 × 65	5.1	2. 24	23. 4	
185-60-250	60	33. 1	49. 5		308	744	775	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		33. 3	49. 7	7 751	220	2. 0	3. 31	11. 1	66 × 65	5. 0	2. 24	22. 3			
185-55-250	55	31.6	48. 7	185	336	721	775	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		31. 4	48. 8		7:	723		220	2. 0	3. 19	11. 8	69 × 68	4. 3	2. 27	22.1
185-50-250	50	29.8	47.7		370	694	775	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		34. 2	51.6			811		220	2. 3	4. 03	11. 8	59 × 59	5.5	2. 24	23.8
175-60-250	60	32. 3	50.7		292	783	775	250	2.3	4. 27	12. 5	61 × 61	5. 0	2. 26	23. 6
175-60-280		30. 6	49.8	175	75	755		280	2.3	4. 51	13. 1	60 × 59	4. 6	2. 27	23. 8
175-55-250	55	30.8	50. 0	3	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	735	775	250	2.3	3. 94	13. 8	60 × 59	3. 5	2. 30	22. 6

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

*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℃、相対湿度40%、炭酸ガス(CO₂)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





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



図-4 13週における砕石粉量と乾燥収縮率の関係

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 %では、単位水量175kg/m⁸は、185kg/m⁸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。



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 く表-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

水ゼ	細骨	単位量(kg/m3)						性能AE	咸水剤		空気	コンクリー
ント比 W/C(%)	材率 s/a(%)	¥₹	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	砕石粉 F	銘柄	使 (C*%)	用量 (kg/m3)	(cm)	量 (%)	⊦温度 (℃)
30	39. 0	0 5 175 0	583	595	988	0	A B	1. 90 1. 65	11. 1 9. 6	20. 0 21. 5	<u>4. 2</u> 4. 6	23 21
							C A	1. 50 1. 55	8. 7 9. 0	19. 5 19. 0	4.3 3.9	24 21
40	43. 0		438	775	994	0	B	1. 47 0. 85	8. 6 5. 0	18. 0 18. 5	3.8 4.6	22 21

表-4 高強度コンクリートの配合

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



び名240-18-20N(単位水量:193kg/m³、₩/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。



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



図-9 全細孔量と圧縮強度の関係

少し、50~1000A程度の毛細管空隙量が少なくなったことが考えられる。

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200 μ m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。



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=2.1×10⁵× (γ/2.3)^{1.5}√Fc/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200 µ m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