

報告 砕石粉使用高流動コンクリートの硬化性状

木村芳幹*1・寺田早苗*2・関口賢二*3・田村 博*4

要旨：本報は、砕石粉を用いた高流動コンクリートに関する一連の研究のうち、硬化性状について述べたものである。砕石粉および混和剤の種類、粉体量等を要因とした高流動コンクリートならびに砕石粉を用いない同一水セメント比の高減水コンクリート試験練りを行い、両者の硬化性状を比較検討した。その結果、砕石粉を用いた高流動コンクリートの中性化に対する抵抗性は優れており、圧縮強度、引張強度、静弾性係数及び凍結融解抵抗性は、砕石粉を用いない高減水コンクリートとほぼ同等であること認した。しかし、乾燥収縮率はやや大きくなる傾向にあった。

キーワード：高流動コンクリート、砕石粉、圧縮強度、静弾性係数、耐久性

1. はじめに

コンクリートの骨材として砕石、砕砂の使用量が增大しているにもかかわらず、そのある砕石粉はそのほとんどが有効活用されずに廃棄されている。しかし、砕石粉がコンクリート用混和材料として利用が可能であることが確認されており〔1〕、砕石粉を用いた高流動コンクリートについての報告〔2〕もある。本報では、砕石粉および混和剤の種類、粉体量等とした合計180 調合の実験結果のうち、96調合〔3〕の硬化コンクリートの性状について

2. 実験概要

本実験では、砕石粉を用いた高流動コンクリート（以下高流動コンクリート）と砕石粉を用いない高減水コンクリート（以下比較コンクリート）の硬化性状について比較検討する。高流動コンクリートの目標性能は、高流動コンクリートでは注水10分後のスランプフロー65cm、比較コンクリートでは練り混ぜ直後のスランプ18±1cmとし、それぞれ空気量4.5±1%

2. 1 使用材料

コンクリートの使用材料を表1に、使用した砕石粉の品質〔4〕を表2に示す。砕石粉には乾燥状集塵粉を3種類（記号：DR-1、DR-4、DU-13）、混和剤にはポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を4種類（記号：M、R、T、P）用いた。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 3製造会社の等量混合、比重:3.15、ブレン値:3340cm ²
細骨材	山砂 静岡県小笠産、絶乾比重:2.58、吸水率:1.67%、F.M.
粗骨材	砕石 兵庫県宝塚産、絶乾比重:2.62、吸水率:0.76%、F.M.
砕石粉	乾燥状集塵粉 記号:DR-1, DR-4およびDU-13
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 記号:M, R, TおよびP

*1 (株)新井組技術研究部(正会員)

*2 近畿砕石協同組合 技術委員長

*3 大阪兵庫生コンクリート工業組合 技術委員長

*4 (財)日本建築総合試験所 材料試験室 室長(正会員)

2. 2 調合

計画調合を表3に示す。高流動コンクリートの調合の要因と水準は、水セメント比を45、50%、単位水量を170、180kg/m³、水粉体量比(W/(C+F))を30、32、34%に

設定した。高性能AE減水剤の使用量は、フレッシュコンクリートの目標性能が得られる量とした。コンクリートは、試験室内(温度20℃±2℃)で強制攪拌式ミキサ(容量:50l)を用い、練り混ぜ量を40lとして高流動コンクリートでは150秒間、比較コンクリートでは120秒間練り混ぜた。なお、すべてのコンクリートの練り上り温度は20±3℃の範囲内であった。

2. 3 試験方法

試験方法を表4に示す。

表2 砕石粉の品質

種類	産地	岩質	比重	比表面積 (cm ² /g)	砂当量	好シブル吸着量 (mg/g)
DR-1	京都府宝山産	硬質砂岩	2.73	1920	68.7	3.6
DR-4	大阪府高槻産	硬質砂岩	2.72	1500	70.5	5.0
DU-13	兵庫県宝塚産	石英斑岩	2.67	4500	76.0	4.8

表3 計画調合

コンクリートの種類	水セメント比 W/C (%)	単位水量 W (kg/m ³)	水粉体量比 W/(C+F) (%)	セメント量 C (kg/m ³)	砕石粉量 F (kg/m ³)	総粉末量 (C+F) (kg/m ³)	細骨材率 s/a (%)	粗骨材かさ容積 (l/m ³)	[注] 試験項目
高流動 コンクリート	45	170	32	378	153	531	47.8	540	●○◇
		180	32	400	163	563	45.9		●○◇
	50	170	30	340	227	567	46.4		○
			32		191	531	47.6		●◇◎△
		34	160	500	48.6	○			
		180	30	360	240	600	44.5		○◇
			32		203	563	45.8		●◇◎△
		34	169	529	46.9	○◇			
高減水 コンクリート	45	170	—	378	0	378	47.8	589	●○◇
		180	—	400	0	400	45.9	595	●○◇
	50	170	—	340	0	340	47.6	602	●◇◎△
		180	—	360	0	360	45.8	608	●◇◎△

[注] 試験項目欄の記号は、以下の項目を示す。

- ：圧縮強度試験(材齢：1日、7日、28日)
- ：上記の圧縮強度試験と静弾性係数(材齢：28日)および引張強度試験(材齢：28日)
- ◇：乾燥収縮試験(乾燥期間：26週)
- ◎：凍結融解に対する抵抗性試験(300サイクル)
- △：促進中性化試験(促進期間：26週)

表4 試験方法

試験項目	試験方法	供試体寸法 (mm)	養生方法	試験材齢
圧縮強度	JIS A 1108	φ100×200	材齢1日まで試験室で養生、型枠脱型後標準養生	1, 7, 28日
引張強度	JIS A 1113	φ100×200	同上	28日
静弾性係数	JIS原案 (コンプレッサ法)	φ100×200	圧縮強度供試体を併用	28日
凍結融解抵抗性	JIS A 6204 (附属書2)	100×100×400	材齢1日まで試験室で養生、型枠脱型後14日まで標準養生、以降試験装置内で養生	30サイクル間隔で300サイクルまで
乾燥収縮	JIS A 1129	100×100×400	材齢1日まで試験室で養生、脱型後7日まで標準養生、以降20±1℃ 60±5%R.H.の乾燥室内で養生	乾燥材齢 1, 4, 8, 13, 26週
促進中性化	高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説 付1	100×100×400	材齢1日まで試験室で養生、脱型後4週まで標準養生、8週まで20±2℃ 60±5%R.H.の乾燥室内で保存、EPOXY樹脂によるシールの後20±2℃ 60±5%R.H.、CO ₂ 濃度5±0.2%の槽内で養生	促進材齢 1, 4, 8, 13, 26週

3. 実験結果

実験結果の一覧を表5に示す。

3. 1 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を図1～図4に示す。高流動コンクリートの比較コンクリートに対する材1、7、28日の圧縮強度の平均値は、W/C=45%では0.84、1.14、1.12、同じくW/C=50%では、0.76、1.15、1.13であった。高流動コンクリートの材齢1日の圧縮強度がやや低いのは、混和の使用量が多いことによる凝結時間の遅れによるものと推察される。一方、材齢7日および28日の圧縮強度は、比較コンクリートと同等以上となった。今回の実験の範囲では、砕石粉および和剤の種類が圧縮強度に及ぼす影響には明確な差異は認められず、また図5に示した砕石粉量圧縮強度関係より砕石粉の使用量が圧縮強度に及ぼす影響も明確ではなかった。

表5 実験結果の一覧

試験項目		圧縮強度				引張強度		静弾性係数		長さ変化率		相対動弾性係数		中性化深
単位		(kgf/cm ²)				(kgf/cm ²)		(×10 ⁵ kgf/cm ²)		(×10 ⁻⁴)		(%)		(mm)
材齢		1日		28日		28日		28日		26週		300サイクル		26週
W/C	W	W/(C+F)	AV.	σ	AV.	σ	AV.	σ	AV.	σ	AV.	σ	AV.	σ
45	170	—	118	12.9	525	35.0	41	0.7	3.50	0.10	6.80	0.78	—	—
		32	101	26.7	592	38.8	45	4.9	3.59	0.14	8.22	0.79	—	—
	180	—	119	13.1	523	32.8	42	4.9	3.61	0.04	7.01	0.74	—	—
		32	98	24.2	583	35.2	46	4.4	3.56	0.14	8.63	1.36	—	—
50	170	—	93	18.5	457	31.6	38	3.2	3.38	0.08	7.04	0.18	94.8	5.2
		32	68	23.2	507	35.8	40	3.3	3.39	0.18	8.85	1.35	89.2	6.5
	180	—	92	15.8	458	28.4	38	2.1	3.36	0.08	7.47	0.30	92.3	6.4
		32	70	18.7	513	29.4	41	2.7	3.36	0.14	9.03	0.83	88.3	6.9

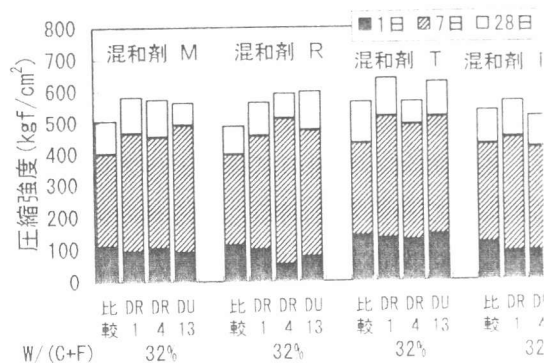
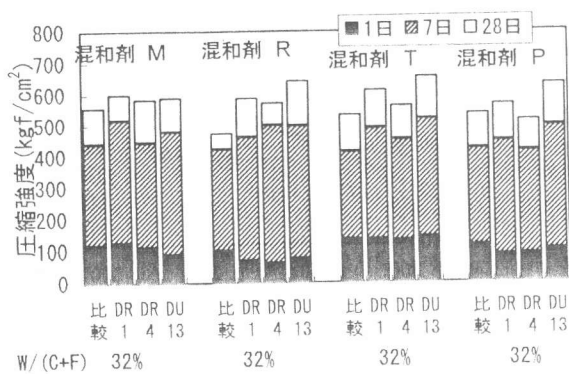


図1 圧縮強度試験結果 (W/C=45%:W=170kg/m³)

図2 圧縮強度試験結果 (W/C=45%:W=180kg/m³)

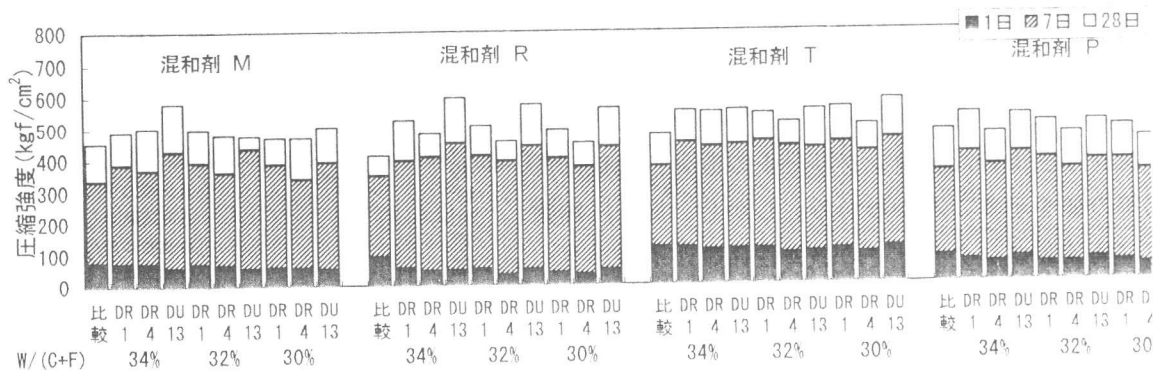


図3 圧縮強度試験結果 (W/C=50%:W=170kg/m³)

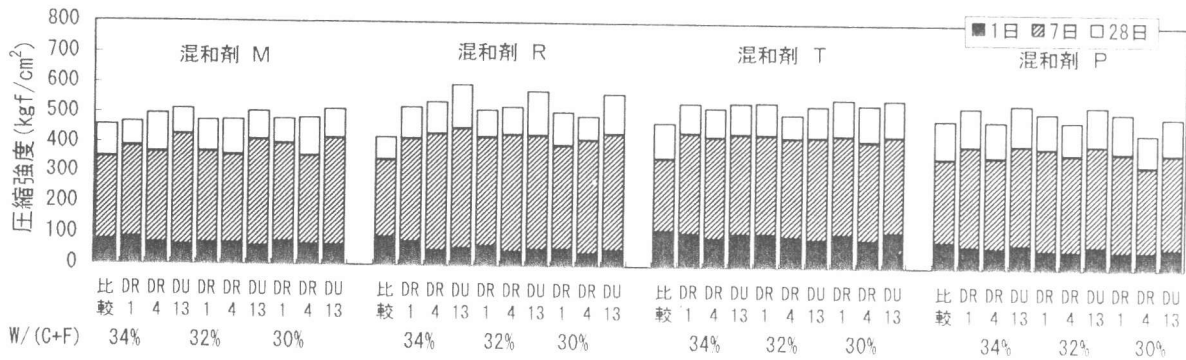


図4 圧縮強度試験結果 (W/C=50% : W=180kg/m³)

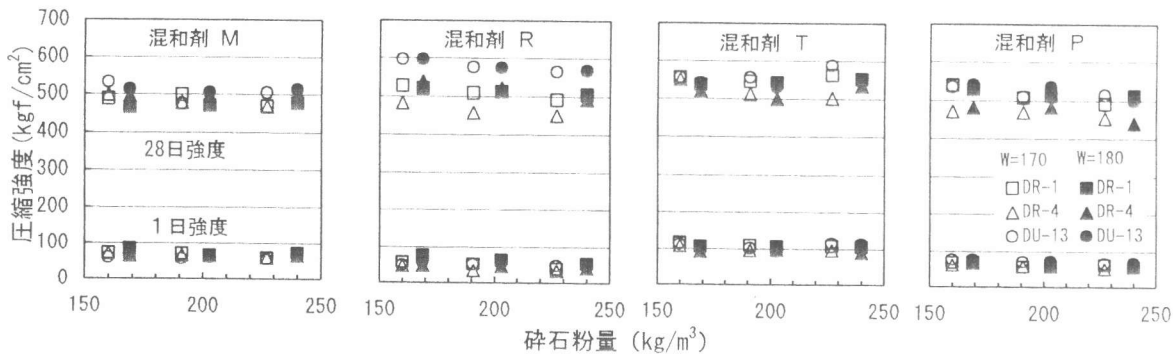


図5 砕石粉量－圧縮強度関係 (W/C=50%)

3. 2 引張強度試験結果

圧縮強度(σ_c)－引張強度(σ_t)関係を図6に示す。同図には、引張強度の圧縮強度に対する比を1/10、1/13とした式および既往の高強度コンクリートの式 [5] を示した。今回の試験における両者の関係は、混和剤および砕石粉の種類による傾向の違いは認められず、既往の関係式をやや上回った。また、 σ_c/σ_t の平均値は、高流動コンクリートで12.8、比較コンクリートで12.6であり、ほぼ同等であった。

3. 3 静弾性係数

圧縮強度－静弾性係数関係を図7に示す。同図には、建築学会RC規準式、 $\gamma=2.4$ とした友澤・野口式 [6] を示した。図7より、両者の関係は建築学会RC規準式とほぼ一致し、表5より同一水セメント比では高流動コンクリートと比較コンクリートの静弾性係数はほぼ同等の値を示すことがわかる。しかし、同一圧縮強度では高流動コンクリートの静弾性係数がやや小さくなる傾向が認められた。これは、高流動コンクリートの粗骨材かさ容積が比較コンクリートより少ないことによるものと考えられる。

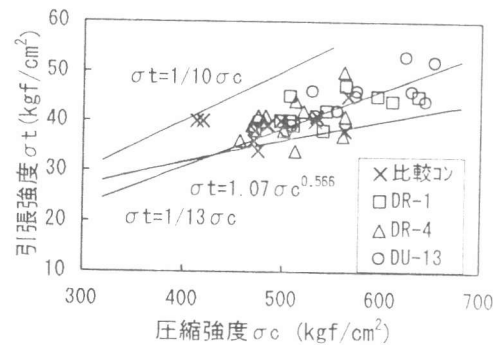


図6 圧縮強度－引張強度関係

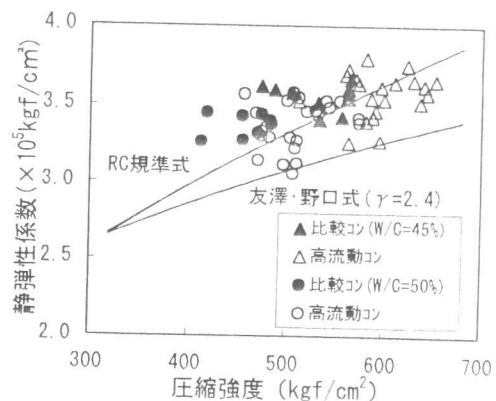


図7 圧縮強度－静弾性係数関係

3. 4 乾燥収縮試験結果

W/C=45%、W=170kg/m³とした調合の乾燥収縮試験結果を図8に、砕石粉の種類別に乾燥期間26週における長さ変化率を図9に示す。これらより、高流動コンクリートの長さ変化率は比較コンクリートよりもやや大きくなる傾向が認められた。また、表5より今回の実験の範囲では、単水量が長さ変化率に及ぼす影響は明確ではなく、乾燥期間26週における高流動コンクリートの、比較コンクリートに対する長さ変化率の比の平均値は1.23であった。

3. 5 凍結融解試験結果

凍結融解試験結果を図10に示す。高流動コンクリートの300サイクルでの相対動弾性係数は~97%であり、比較コンクリートでは85~101%であった。高流動コンクリート、比較コンクリートとも単位水量による凍結融解抵抗性の差は認められなかった。また、混和剤の種類については、多少のばらつきはあるものの、明確な違いは認められなかった。

図11に空気量 - 300サイクルにおける相対動弾性係数関係を示す。今回の実験範囲内では、気量が相対動弾性係数に与える影響は明確でなく、高流動コンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、所定の空気量があれば確保できることがわかる。

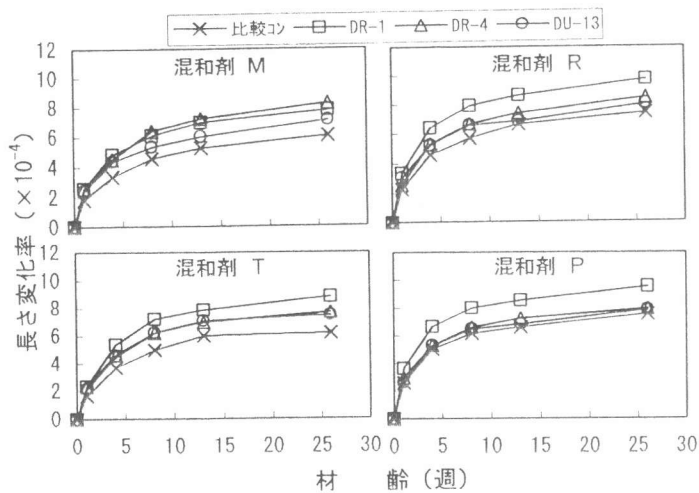


図8 乾燥収縮試験結果 (W/C=45%、W=170kg/m³)

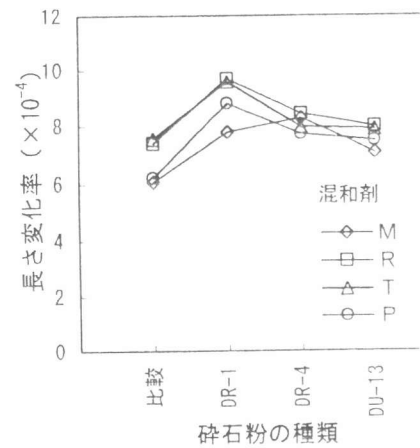


図9 砕石粉の種類 - 長さ変化率関係 (W/C=45%、W=170kg/m³)

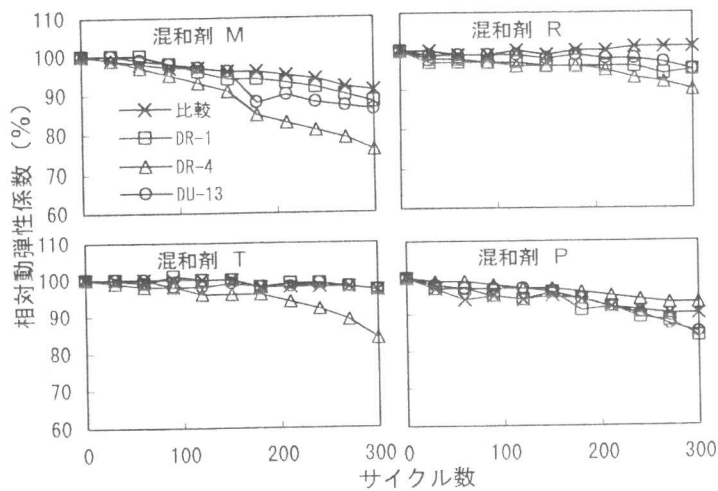


図10 凍結融解試験結果 (W/C=50%、W=170kg/m³)

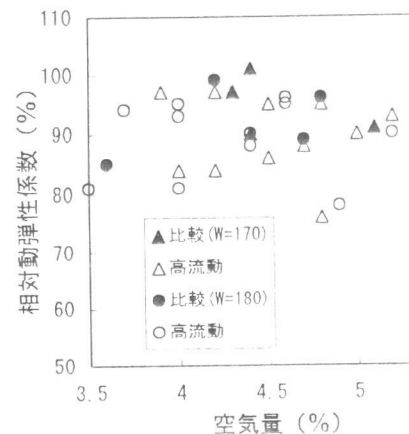


図11 空気量 - 相対動弾性係数関係 (W/C=50%)

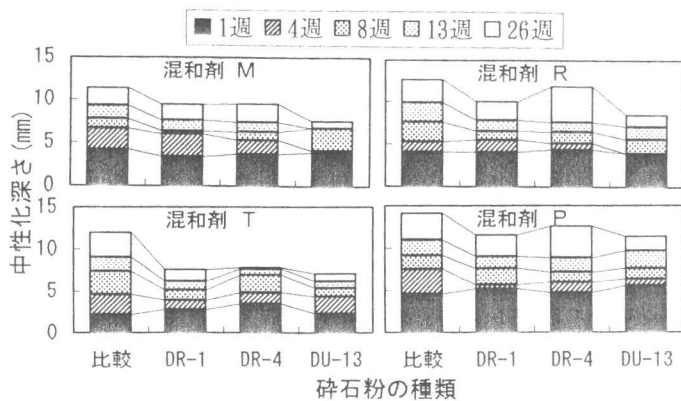


図12 中性化試験結果 (W/C=50%, W=170kg/m³)

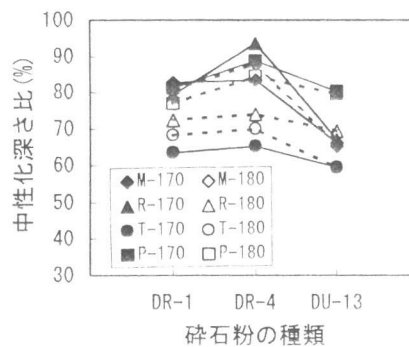


図13 砕石粉の種類—中性化深さ関係 (W/C=50%)

3. 6 中性化試験結果

W=170kg/m³とした調合の中性化試験結果を図12に示す。また、砕石粉を使用したコンクリートの促進材齢26週の中性化深さについて、比較コンクリートの同一材齢の中性化深さに対する割合で、砕石粉の種類別に図13に示す。

図13より、高流動コンクリートの中性化深さの割合は、比較コンクリートに対して59~93%の範囲にあり、いずれの砕石粉を使用した場合にも100%以下となった。今回の実験では、高流動コンクリートの中性化に対する抵抗性は、比較コンクリートよりも優れていた。また、単位水量による中性化に対する抵抗性の差異は認められなかった。

4. まとめ

砕石粉を使用した高流動コンクリートの硬化性状について以下のことを確認した。

- 1) 材齢7日、28日の圧縮強度は、比較コンクリートと同等以上となる。今回の実験の範囲では、砕石粉量が圧縮強度に及ぼす影響については認められない。
- 2) 引張強度および静弾性係数は、比較コンクリートとほぼ同等の性能を持つ。
- 3) 乾燥収縮率は、比較コンクリートよりもやや大きくなる。
- 4) 凍結融解に対する抵抗性は、所定の空気量があれば比較コンクリートとほぼ同等である。
- 5) 中性化に対する抵抗性は、比較コンクリートよりも優れている。

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論文報告集、Vol. 13、No. 1 pp. 57-62、1991. 6
- 2) 田村博、大橋正治、黒島毅、浦野英男：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、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 1 pp. 173-182、1993. 6
- 3) 大橋正治、寺田早苗、関口賢二、浦野英男：砕石粉使用高流動コンクリートのフレッシュ性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16、No. 1 pp. 113-118、1994. 6
- 4) 西川勝浩、田村博、大橋正治：砕石粉の品質規準について、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp. 41-42、1994. 7
- 5) 友澤史紀、野口貴文、小野山貫造：高強度・超高強度コンクリートの基礎的力学特性に関する調査、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、pp. 497-498、1990. 9
- 6) 建設省総合開発プロジェクト：平成4年度 NEW RC 研究開発概要報告書、(財)国土開発技術センター、pp. 3-1-54~3-1-55、1993. 3