石粉および石炭灰を有効利用した高強度コンクリートに関する基礎的研究

日本興業（株）　正会員　○田村　陽典
香川大学工学部　正会員　長谷川修一
香川大学工学部　正会員　山中　稔
日本興業（株）　正会員　山地　功二

1. はじめに

香川県は全国に知られた良質な石材産地であり，石材加工業も盛んな地域である．石材加工の際に発生する石粉は香川県内で年間約 4000 t にのぼっている．この石材加工石粉（以下，石粉）はほとんどが埋立処分されているが，最終処分場の埋立処分容量の減少に伴い埋立処分も困難となってきている．また，廃棄処理には年間数百万円かかる石材店もあり，石粉を廃棄物としてではなく有価な原材料として活用するために技術開発が期待されている[1)]．そこで本研究では，石粉とフライアッシュを混入したモルタルおよびコンクリートの強度・耐久性試験を実施し，石粉およびフライアッシュを細骨材として使用したコンクリートの基礎的物性について検討した．

2. 試験概要

2.1 試験ケースおよび配合

表－1，**表－2** および**表－3** にモルタルおよびコンクリートの配合表を示す．石粉およびフライアッシュ（FA）の影響を明確にするため，単位セメント量および単位水量を一定としている．ブランク配合を基本として，そのときの S/C 質量比 1.5(コンクリート配合については 1.9 としている)のセメント量及び単位水量を全配合に展開した．なお，石粉については細骨材置換としており，石粉の密度はコンクリート用細骨材の試験方法に準拠して行った．

石粉は凝集剤に有機系高分子材 A，ポリ塩化アルミニウム系 B の 2 種類を用いたものと凝集剤を使用していない乾粉 C を使用した．試験ケースについて，**表－1** ではブランクと石粉（A，B）0，5，10%×フライアッシュⅠ種 0，10%の計 9 ケースとし，**表－2** ではブランクと石粉 A0，10，20，30，40%×フライアッシュⅠ種 0，10，20%の計 13 ケース，**表－3** ではブランクと石粉（A，C）0，10%×フライアッシュⅠ種 0，20%の計 5 ケースとした．

表－1 モルタル配合(1)

（単位：kg/m³）

配合記号*	W/C (%)	S/C容積比	S/C質量比	セメント C 密度 3.16	水 W 1.00	石粉 有機系高分子材 A 2.00	石粉 ポリ塩化アルミニウム系 B 2.00	フライアッシュ Ⅰ種 S3 2.40	山砂 S5 2.58	高性能減水剤 C×(%)	高性能減水剤 使用量
ブランク	35	1.84	1.50	801	280	0	0	0	1202	0.80	6.41
05-00-00			1.48			59	0	0	1126		
10-00-00			1.46			117	0	0	1051		
00-05-00			1.48			0	59	0	1126		
00-10-00			1.46			0	117	0	1051		
05-00-10			1.47			59	0	118	1000		
10-00-10			1.45			116	0	116	928		
00-05-10			1.47			0	59	118	1000		
00-10-10			1.45			0	116	116	928		

*)A 置換率(%)－B 置換率(%)－FA 置換率(%)

表－2　モルタル配合(2)

（単位：kg/m³）

配合記号*	W/C (%)	S/C容積比	S/C質量比	セメント C 密度 3.16	水 W 1.00	石粉 有機系高分子材 A 2.00	石粉 ポリ塩化アルミニウム系 B 2.00	フライアッシュ Ⅰ種 S3 2.40	山砂 S5 2.58	高性能減水剤 C×(%)	高性能減水剤 使用量
ブランク	35	1.84	1.50	801	280	0	0	0	1202	0.80	6.41
10-00-00			1.46			117	0	0	1051		
10-00-10			1.45			116	0	116	928		
10-00-20			1.44			115	0	230	806		
20-00-00			1.42			227	0	0	909		
20-00-10			1.41			226	0	113	790		
20-00-20			1.40			224	0	224	672		
30-00-00			1.38			332	0	0	774		
30-00-10			1.37			329	0	110	659		
30-00-20			1.36			327	0	218	545		
40-00-00			1.34			431	0	0	646		
40-00-10			1.34			428	0	107	535		
40-00-20			1.33			425	0	213	425		

*)A 置換率(%)－B 置換率(%)－FA 置換率(%)

表－3　コンクリート配合

（単位：kg/m³）

配合記号	W/C (%)	S/C容積比	S/C質量比	s/a	セメント C 密度 3.16	水 W 1.00	石粉 有機系高分子材 A 2.00	石粉 凝集剤無し C 2.10	フライアッシュ Ⅰ種 S3 2.40	山砂 S5 2.58	砕石2005 G 2.58	高性能減水剤 粉体×(%)	高性能減水剤 使用量
ブランク	38	2.33	1.90	49.7	450	171	0	0	0	855	865	0.80	3.60
C10-FA00			1.86				0	84	0	752	865		4.27
C10-FA20			1.83				0	82	165	577	865		5.58
A10-FA00			1.85				83	0	0	748	865		4.26
A10-FA20			1.82				82	0	164	573	865		5.57

2.2 試験項目および試験方法

強度試験については圧縮強度試験を所定の材齢において実施した．

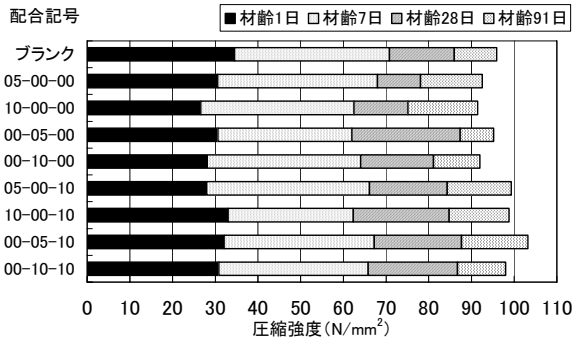
キーワード　石材加工石粉，フライアッシュ，圧縮強度，耐久性試験
連絡先　〒769-2101　香川県さぬき市志度 4614-13　日本興業（株）生産部　品質管理　ＴＥＬ087-894-2017

耐久性試験は JIS 原案に基づき耐酸性試験（5%硫酸水溶液浸漬），耐硫酸塩試験（10%硫酸ナトリウム水溶液浸漬）を実施した（コンクリート供試体のみ）．所定の材齢において動弾性係数を測定し，相対動弾性係数による評価を行った．

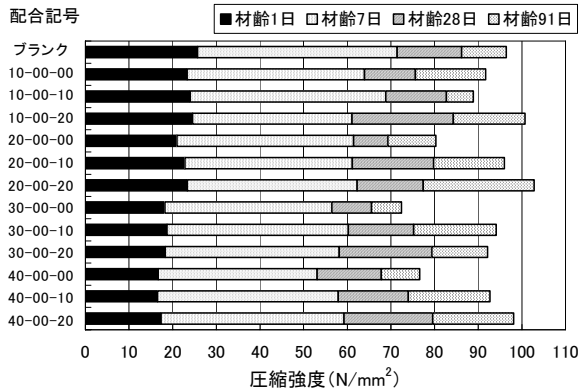
3. 試験結果および考察

図－1，図－2 および**図－3** に圧縮強度試験結果を示す。基本的に石粉混入量の増加に伴い，圧縮強度は小さくなる傾向にあり，材齢 91 日においても石粉による強度改善効果は確認できなかった．ポゾラン反応は，可溶性シリカと水酸化カルシウムが反応し不溶性で硬化するシリカ質化合物を生成する反応であるが[2)]，本研究では石粉のシリカ溶出量が不十分であったと思われる．その要因としては，石粉は pH が高いほどシリカ溶出量が多いことが知られており[3)]，本研究では供試体中のアルカリ濃度が低かったためにポゾラン反応が進行しなかったと思われる．しかし，フライアッシュ混入量の増加に伴い顕著に強度改善されており，石粉とフライアッシュの併用により，材齢 28，91 日においてブランクの強度を逆転または同程度の強度が得られている．また，凝集剤の差異および使用の有無による圧縮強度への影響は確認されなかった．

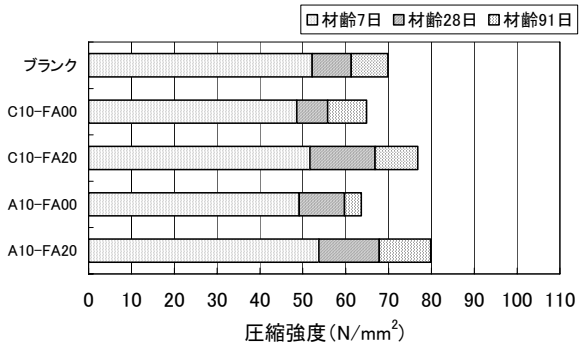
図－4 に相対動弾性係数の経時変化（5%硫酸溶液浸漬）を示す. 耐久性試験については耐酸性, 耐硫酸塩試験ともに石粉, フライアッシュの混入による外観上の差異は見られなかった. 耐酸性試験において, 相対動弾性係数は石粉の混入により値は小さくなっているが, フライアッシュの混入により改善されている．耐硫酸塩試験において，相対動弾性係数は耐酸性試験と同様の傾向を示していた．



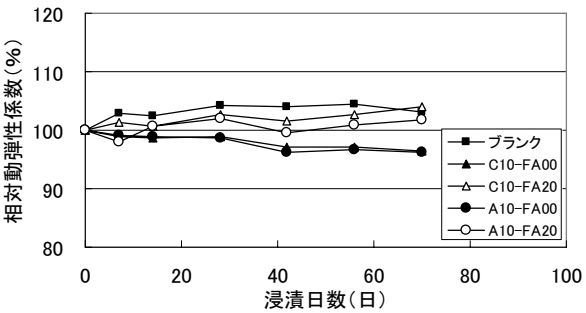
図－1　圧縮強度試験結果　モルタル(1)



図－2　圧縮強度試験結果　モルタル(2)



図－3　圧縮強度試験結果　コンクリート



図－4　相対動弾性係数の経時変化
（5%硫酸溶液）

4. まとめ

本研究より，石粉とフライアッシュを併用することで石粉のコンクリートへの有効利用は可能であると思われる．今後は，石粉の改質方法の検討を行い，機能性を有する材料の開発を進めていく予定である．

謝辞：本研究は，平成 20 年度奥村組建設環境技術助成基金により支援を受けて行われたものである．また，（株）四国総合研究所にはフライアッシュに関して助言，材料提供して頂いた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

1) 長谷川・石塚・山中・西村 : 石材副産物である石粉の基本特性と有効利用, 平成 19 年度研究発表会発表論文集, 日本応用地質学会中国四国支部，pp17-22，2007

2) 山本・金津：フライアッシュのポゾラン反応に伴う組織緻密化と強度発現メカニズムの実験的考察，土木学会論文集 E，pp52-65，2007

3) 三好：稲と石粉のケイ素溶出特性に関する基礎的研究，香川大学工学部卒業論文，37p，2009