

各種スラグ細骨材を使用したモルタルのブリーディング

DB-12249 永田 剛志

1. はじめに

近年、天然資源の保護や廃棄物の再資源化といった環境に配慮した取り組みが行われていて、スラグ骨材や再生骨材などがコンクリートに使用されてきている。一般にスラグ細骨材を使用したコンクリートはブリーディングが多くなるとされているが、その詳細についてはまだ十分に明らかになっていない。本研究ではスラグ細骨材の諸特性を調べ、それらが混合砂の場合も含めモルタルのブリーディングに及ぼす影響を把握し、スラグ細骨材の適切な使用方法を提案するための資料を作成する。

2. 実験計画

本研究では、細骨材に陸砂、砕砂、標準砂、フェロニッケルスラグ 2 種類(記号: HS、OS)、銅スラグ 2 種類(記号: MS、SS)、高炉スラグ(記号: BFS)、電気炉酸化スラグ(記号: EFS)、ごみ熔融スラグ(GS)を粗粒率 2.7 (OS は 1.2 mm 以下の規格なので粗粒率 2.0 設定。比較対象として標準砂を使用)に調整したものを使用する。混合砂は 0.6 mm を境として HS、陸砂、砕砂を混合する。(頭文字を大・小の順で並べ記号とする: H 砕、H 陸、砕 H、陸 H)調整前の骨材試験結果を表 1 に実験の範囲を表 2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを 3 銘柄混合したものを使用し、水は水道水を使用し混和剤は使用しない。

3. 試験方法

一般に骨材の粒子形状などの特性を把握する試験として JIS A 1104(骨材の単位容積質量及び実積率試験)があるが、この試験だけでは骨材の表面性状など把握できない部分が存在すると考え、JIS に記載されている試験方法に加え、実積率・比表面積の試験も行った¹⁾。モルタルの試験項目は、フロー試験 (JIS R 5201)、単位容積質量、練り上がり温度、ブリーディング試験を行った。ブリーディング試験では JIS A 1123 では、最初の 1 時間は浮水を 10 分毎に計測しその後は 30 分毎に計測していくことになっている。しかし、30 分毎でもブリーディング量に差がないことが確認されているため 30 分毎に浮水を計測した。

表 1 骨材試験結果

細骨材	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量	粗粒率	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)
陸砂	2.59	2.54	1.83	1.25	2.77	1.70	66.9
砕砂	2.66	2.64	1.05	3.17	3.03	1.70	64.4
標準砂	2.61	2.60	0.54	0.31	2.41	1.76	67.7
HS	3.02	2.96	1.95	2.72	2.45	1.90	64.1
OS	3.08	3.07	0.32	5.41	1.47	1.87	60.9
SS	3.56	3.56	0.63	2.70	2.75	2.27	63.9
MS	3.53	3.53	0.14	0.35	2.98	2.05	58
BFS	2.73	2.66	2.49	2.68	2.43	1.48	55.7
EFS	3.40	3.39	0.11	0.18	2.86	2.23	65.5
GS	2.77	2.73	1.27	3.06	2.69	1.92	70.3

表 2 実験の範囲

実験 No.	細骨材の種類	混合用細骨材	粗粒率	微粒分 0.15 mm 以下 (%)	水セメント比 (%)	目標フロ一値 (mm)	
1	陸砂	なし	2.7	0	45	200	
						240	
						55	200
							240
						65	200
							240
	HS	なし	2.0	0	45	200	
						240	
						55	200
							240
						65	200
							240
1	MS	なし	2.7	0	45	200	
						240	
						55	200
							240
						65	200
							240
	BFS	なし	2.0	0	45	200	
						240	
						55	200
							240
						65	200
							240

4. 検討方法

モルタルのブリーディング量 (cm³/cm²) が実用的な範囲では、単位水量 W (kg/m³) および水セメント比 w/c (%) と直線関係にあるとして次式が与えられると考え、実験定数 β および γ が細骨材の種類によらずほぼ一定とみなして細骨材ごとに α を求めることとした。

$$\text{ブリーディング量} = \alpha (W - \beta) (w/c - \gamma) \dots \text{式 1}$$

5. 試験結果

5.1 骨材試験

骨材試験の追加で行った実積率、比表面積では、粒度調整後の骨材を使用し、同一粒度で細骨材の表面性状を比較してみる。図 3 の試験結果をみると、天然砂の実積率は標準砂と EFS 以外ではほぼ変わらない結果となった。標準砂と EFS は見た目から見ても丸いものが多く入っていた為、形がよく実積率が高い値を出したと考えられる。

比表面積については、当初の予想ではスラグ細骨材が高い値を示すと思われたが、実験の結果は大きな差がでたのは OS のみだった。

5.2 調合

調合を表 3 に示す。モルタルの単位水量は天然砂を使用し

た場合とスラグ細骨材を使用した場合とでは、大きな差は見られなかったが、後者の方がやや多めになるものが多かった。単位水量が増加した BFS は、実積率が一番小さいことから形が悪くフロー値が出にくく、これに対して単位水量が最も少なかった EFS は丸いのでフロー値が大きくなったものと思われる。

単位容積質量では、天然砂に比べスラグ細骨材の方が骨材自体の密度が重く、スラグ細骨材を使用したモルタルの単位容積質量が増加した。

5.3 ブリーディング試験

実験No.1の結果を図1に示す。過去の実験²⁾と同様、水セメント比や単位水量が増えるにつれブリーディング量が増加した。全ての結果で陸砂よりHSの方がブリーディング量が小さい結果となった。

表3 実積率・比表面積の測定結果

骨材種類	陸砂	砕砂	標準砂	HS	OS	MS	SS	BFS	EFS	GS	標準砂II
実積率(%)	61.9%	59.5%	65.1%	59.9%	53.5%	56.5%	59.3%	50.8%	63.7%	59.0%	65.3%
比表面積(cm ² /cm ³)	193.7	209.0	181.3	174.0	343.0	223.4	196.5	173.5	167.5	194.6	255.0

表4 モルタルのフレッシュ性状

細骨材	W/C	単位水量(L)	フロー(mm)	単位容積質量(g/cm ³)	空気量	温度(°C)	細骨材	混合砂	単位水量(L)	W/C	フロー(mm)	単位容積質量(g/cm ³)	空気量	温度(°C)	
									W/C	フロー(mm)	単位容積質量(g/cm ³)	空気量	温度(°C)		
陸砂	45%	306	213	2.21	-0.6%	19.0	なし	陸	301	55%	192	2.20	1.7%	18.5	
		325	233	2.20	0.9%	18.5			335	55%	229	2.22	-1.2%	18.0	
		276	276	2.10	2.17	3.5%			16.5	276	55%	210	2.17	3.5%	16.5
		296	209	2.19	1.0%	19.0			306	55%	240	2.22	-0.5%	17.0	
		320	237	2.20	-0.7%	17.5			291	55%	205	2.65	3.0%	18.5	
		306	236	2.67	1.0%	18.0			306	55%	236	2.67	1.0%	18.0	
	55%	306	206	2.18	0.1%	18.0			256	55%	200	2.65	3.2%	15.5	
		325	238	2.18	-0.9%	18.0			276	55%	242	2.67	0.5%	15.5	
		301	210	2.40	1.2%	19.5			276	55%	161	2.27	3.1%	19.0	
		320	230	2.42	-0.9%	19.5			315	55%	214	2.29	-0.7%	17.0	
		304	211	2.40	1.0%	19.0			330	55%	183	2.36	1.4%	20.0	
		323	242	2.40	-0.6%	19.5			355	55%	232	2.35	-0.3%	19.5	
65%	306	195	2.35	2.7%	19.0	276	55%	198	2.15	4.5%	19.0				
	325	230	2.38	0.0%	20.0	315	55%	240	2.23	-1.4%	19.5				
	284	203	2.63	3.5%	19.5	301	55%	205	2.30	2.5%	18.5				
	308	231	2.62	1.3%	19.0	330	55%	243	2.32	-0.8%	17.5				
	286	197	2.60	5.0%	19.0	306	55%	210	2.30	1.8%	18.0				
	310	233	2.61	1.9%	19.0	330	55%	242	2.32	-0.7%	19.0				
HS	310	233	2.61	1.9%	19.0	306	55%	205	2.26	2.0%	19.5				
	299	204	2.58	4.8%	18.5	330	55%	243	2.27	0.1%	17.5				
	318	244	2.61	1.7%	19.0	301	55%	188	2.28	3.1%	19.5				
	315	190	2.18	4.1%	20.5	325	55%	233	2.29	-0.5%	20.5				
	355	235	2.20	0.5%	20.0	315	55%	199	2.18	8.9%	18.5				
	335	205	2.12	4.8%	19.0	345	55%	239	2.19	6.2%	18.0				
MS	315	190	2.18	4.1%	20.5	296	55%	211	2.39	1.8%	19.0				
	335	205	2.12	4.8%	19.0	320	55%	239	2.41	-0.8%	19.0				
	360	242	2.17	1.0%	19.5	266	55%	208	2.59	-3.9%	19.0				
	335	181	2.09	5.6%	19.0	296	55%	240	2.59	-6.4%	18.0				
	365	243	2.14	1.1%	19.0	340	55%	210	2.12	9.9%	18.0				
	370	237	2.15	6.4%	19.0	BFS+									

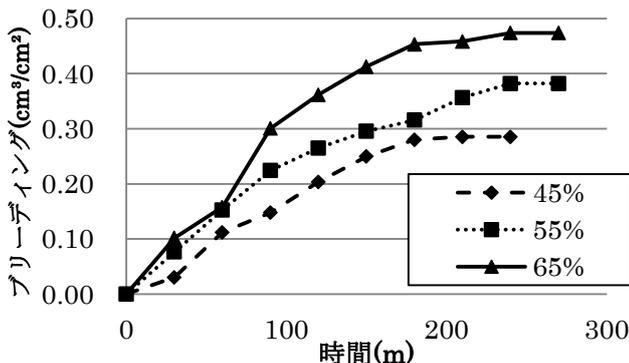


図1 実験No.1の結果 a)水セメント比による比較

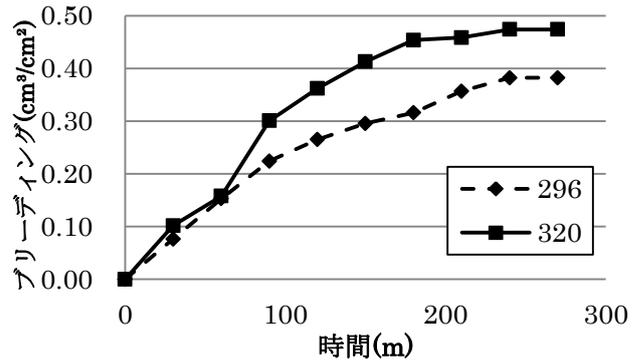
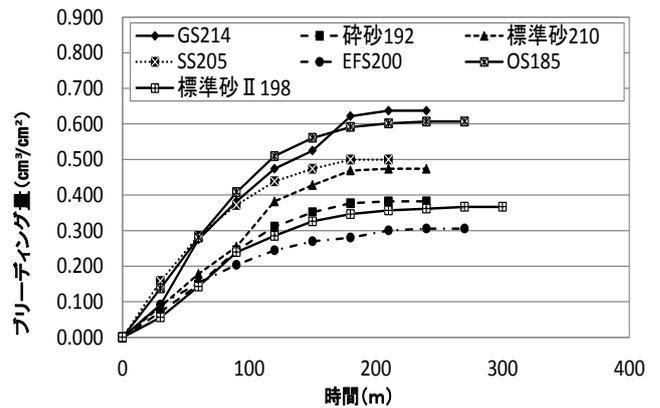
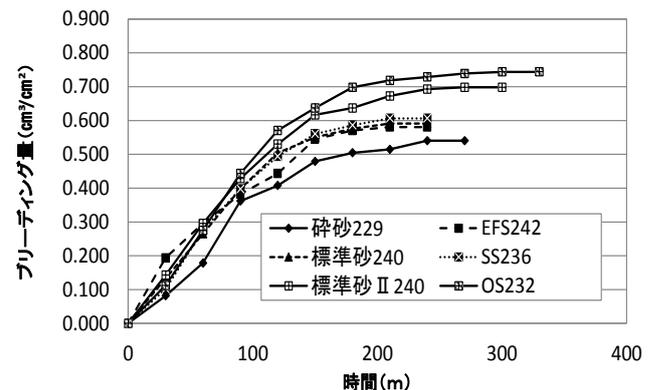


図1 実験No.1の結果 b)単位水量による比較

実験No.2の結果を図2に示す。実験2では単位水量の増加と共にブリーディング量が増加し、細骨材の種類ごとのブリーディング量の差が小さくなった。予想では、天然砂がブリーディング量が小さくなると思われたが、EFSが最も小さい結果となった。これは単位水量が少なかったため、ブリーディング量が少なくなったと思われる。OSと標準砂IIとの比較では、OSが大きい値をだした。



a) フロー値 200mm



b) フロー値 240mm

図2 実験N02の結果

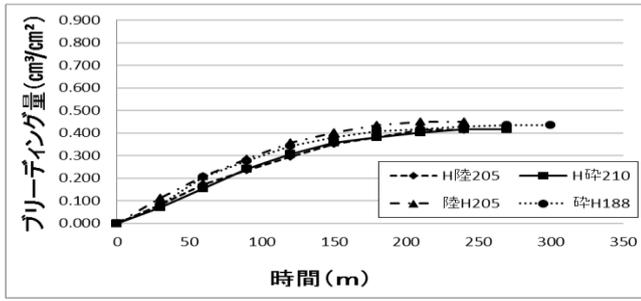
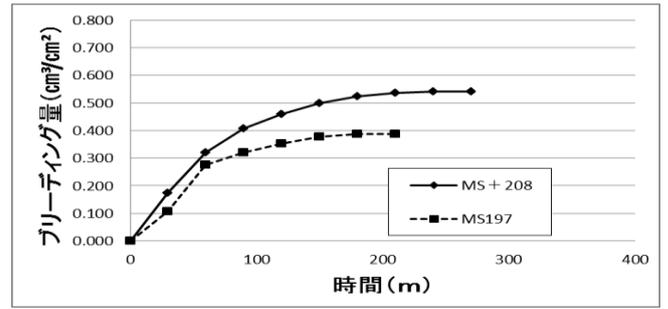
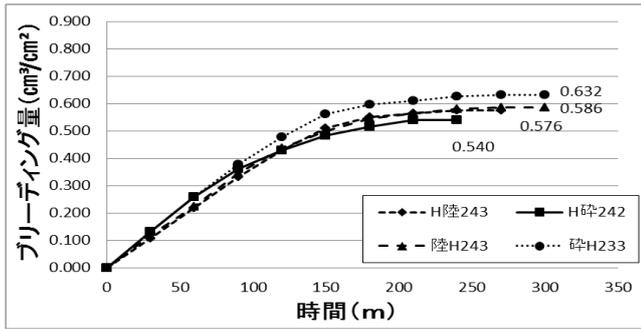


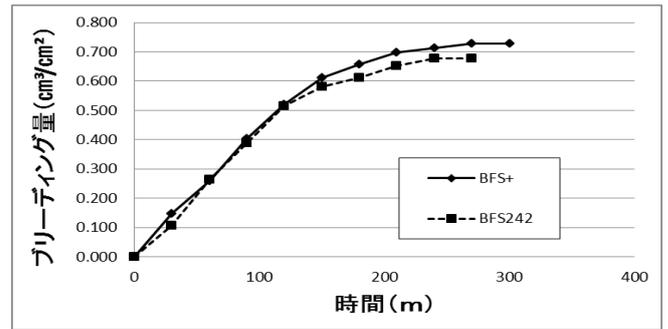
図3 実験No.3 a) フロー値 200 mm



e) MS+ フロー値 200 mm



b) フロー値 240 mm



d) BFS フロー値 240 mm

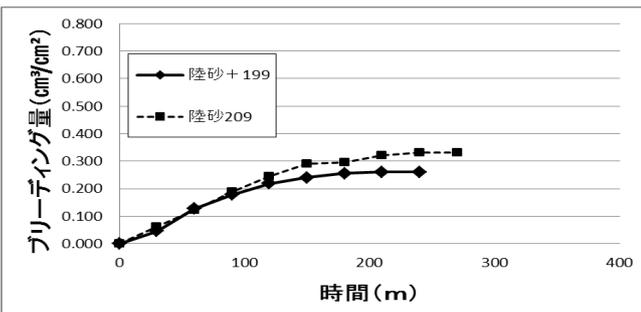
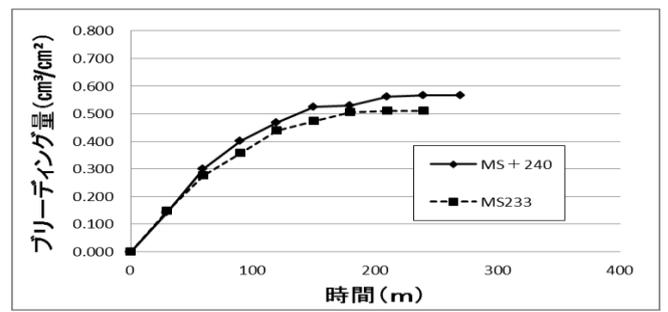
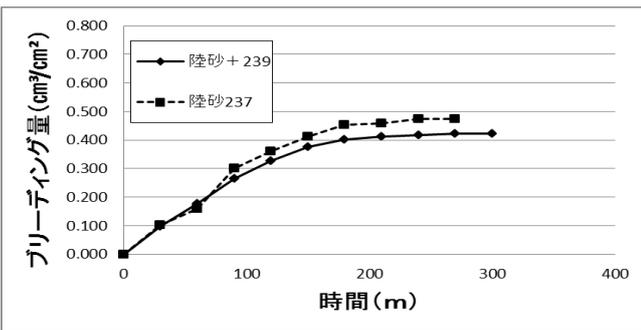


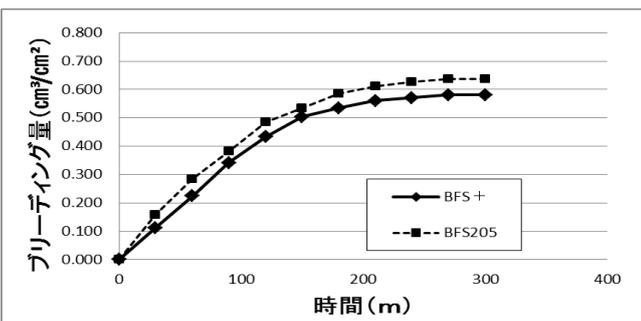
図4 実験No.4 a) 陸砂+ フロー値 200 mm



f) MS+ フロー値 240 mm



b) 陸砂+ フロー値 240 mm



c) BFS+ フロー値 200

実験No.3の結果を図3に示す。実験3では、細骨材の粒度の大小のいずれがブリーディング量への影響が大きいかを調べる実験である。目標フロー値200 mmでは、ほとんど差は見られなかった。しかし、目標フロー値240 mmでは、大きな差はないが、碎H、陸H、H碎、H陸の順番でブリーディング量が減少していたが、その差は極めて小さい。今回の結果ではブリーディングに及ぼす粒度の影響は明瞭なことが言えなかった。

実験No.4の結果を図4に示す。実験No.4では、微粒分のブリーディング量への影響を調べる。微粒分を混ぜた細骨材のブリーディング量は、陸砂とBFSの目標フロー200 mmでは減少したが、MSとHSでは微粒分を混ぜていない細骨材のブリーディング量より増加した。また、BFSでも、単位水量を増やした場合に微粒分を混ぜていないものよりブリーディング量が増加する結果となった。

6. α の算出

今回の実験から得たブリーディング量の結果を検査方法の式1に当てはめてみる。実験定数は、過去の仲摩の実験から求められた値、 $\beta = 194$ 、 $\gamma = 23.2$ とする⁴⁾。その結果、図6の α の値が得られた。この α の値は、単位水量

と水セメント比の影響を除いたときのブリーディング量の出やすさを表しており、ブリーディング量の少なかった陸砂やHSは約 1.05×10^{-4} 、ブリーディング量の多かったGSや標準砂は約 1.8×10^{-4} というように、ブリーディングが出やすいほど大きくなる。

また、ブリーディング量が小さいが α の値が大きかったEFSは骨材の実積率や単位水量の影響が大きかったと思われる。

7. α との相関性

本研究で算出した α と、骨材試験の結果から相関性を見つける事により、骨材試験の結果からブリーディング量を求めることができる。今回の実験では、吸水率との相関がみられた。相関性の結果を図7に示す。

8. まとめ

今回の実験の結果は次のようにまとめられる。

- (1) 細骨材の表面性状・形状はモルタルの単位水量に影響し、比表面積が増加するにつれ単位水量も増加、実積率が減少するにつれ増加する。
- (2) 細骨材の混合の影響については、明瞭なことがわからなかった。
- (3) 微粒分は、天然砂のブリーディング量を減少することができたがスラグ細骨材の場合は、逆に増加する傾向にあった。ただし、単位水量によっては減少する場合もある。
- (4) 各種細骨材の α の値は、吸水率との相関性が見られた。

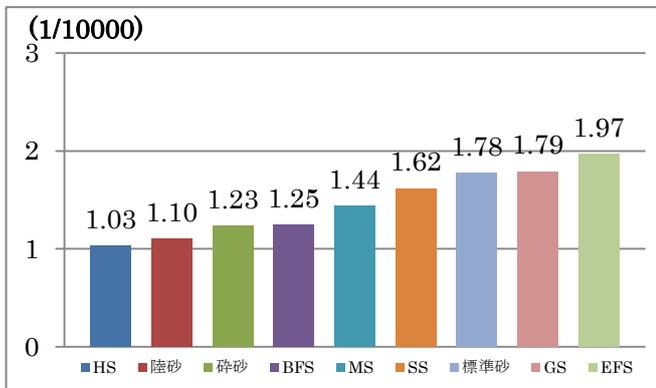


図5 α の値

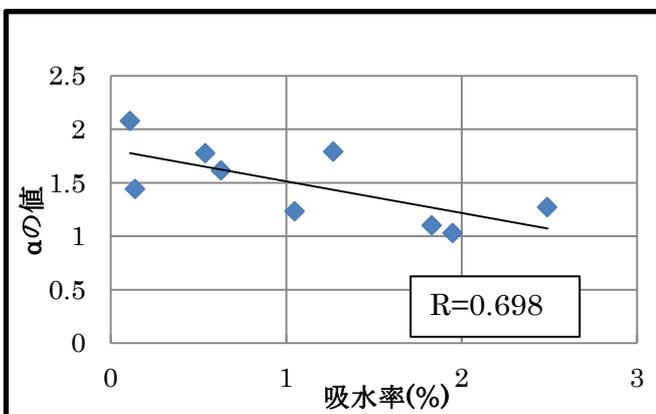
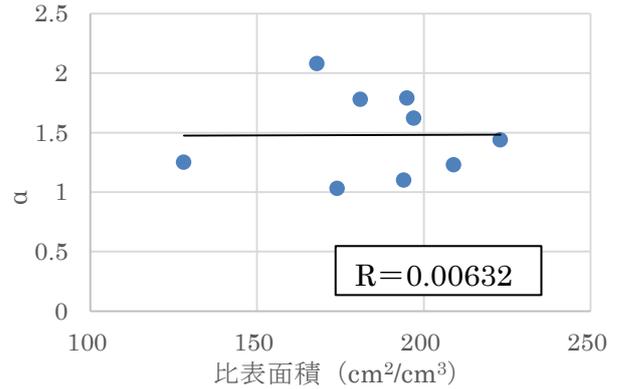
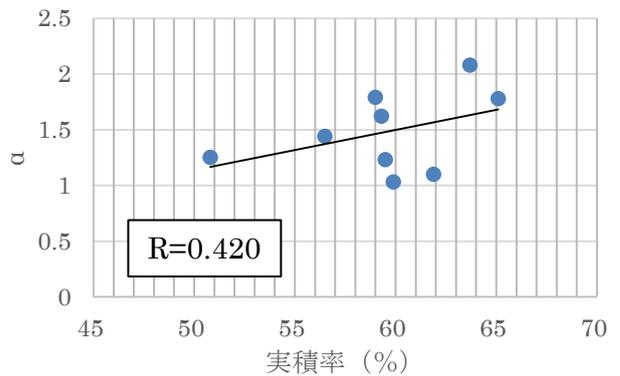


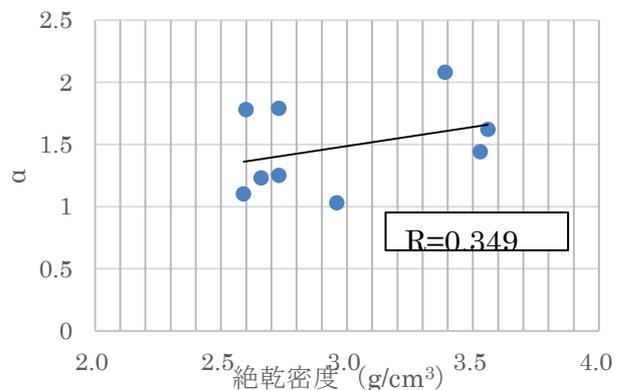
図6 a) α と吸水率



b) α と比表面積



c) α と実積率



d) α と絶対乾密度

参考文献

- 1) 古川 雄太 他：ペースト膜厚理論を応用した各種細骨材を用いたモルタルの流動性の予測, 学術講演梗概集, A-1, 材料施工, 613-614, 2008.07
- 2) 木谷 悠太 他：再生細骨材を使用したコンクリートのブリーディングの評価 日本建築学会関東支部研究報告集 85(I), 33-36, 2015.03
- 3) 仲摩 論 他：コンクリートのブリーディングに及ぼす各種要因の影響に関する実験, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.41-44, 2014.2