

# 球状化した電気炉酸化スラグのコンクリート用 細骨材としての適用性について

UTILIZATION OF SPHERED ELECTRIC ARC FURNACE OXIDIZING SLAG  
AS FINE AGGREGATE FOR CEMENT CONCRETE

森野 奎二\*・中尾 仁二\*\*・洲上 栄治\*\*・榊原 健司\*\*  
by Keiji MORINO, Hitoji NAKAO, Eiji FUCHIGAMI  
and Kenji SAKAKIBARA

## 1. はじめに

わが国の製鉄のうち、電気炉による粗鋼生産比率が年々増加している。これにともない電気炉から排出される製鋼スラグも年々増加し、1990年は約416万tと推定され、このうち約233万tが酸化スラグで183万tが還元スラグとみられている<sup>1)</sup>。

現在、電気炉スラグは約75%が何らかの形で利用されているものの残りは埋め立て地などに投棄されている。利用されている分も付加価値の低い土木用、道路用として逆有償の形で用いられている例が多く、有効に利用されているとは言い難い。従って付加価値の高いスラグ製品の開発が電気炉製鋼の課題の一つとなっている。

このうち、コンクリート用骨材については、天然資源の開発・確保の困難さから将来の骨材不足が言われており、有望製品の一つに挙げられる。ところが製鋼スラグには遊離石灰分を含むものが多く、コンクリート用骨材として不適当とされている。しかし、近年電気炉製鋼法は設備の改善がなされ、また操業方法もかなり変わってきており、遊離石灰、遊離マグネシアについては減少の方向である。その理由として、次のことが挙げられる。

(1) 炉外精錬により電気炉での石灰使用量が低減し、かつそのほとんどが溶解初期に添加され、酸素富化操業もあって、遊離石灰及び遊離マグネシアは残りにくい状況になっている。

(2) 最近普及しつつある炉底出鋼の場合は、さらに進んで炉中でのスラグそのもののリサイクルを行う結果、遊離石灰、遊離マグネシアがスラグ中に入りにくくなっている。

そこで筆者らは、電気炉酸化スラグをコンクリート用細骨材として利用することを試みた。その中でも本報告は、その付加価値を高めるために球状化された電気炉酸化風砕スラグについて検討したものである。

元精錬期に生成する還元スラグとに分けられる。本研究では前者の酸化スラグを既に実用化されている下記の方法で球状化したものを使用した。その設備の概要を図2に示す。電気炉より排出される溶融状態の酸化スラグを高速回転する羽根付きドラムに注入し、はじき飛ばされたスラグは表面張力により球状化し、ミストスプレーによって急冷され球状のまま固化する。これを10mmのふるいにかけて、ふるい下を製品とする。以下、これを粒化スラグと称する。

## 2. 2 粒化スラグ細骨材の特徴

### 2. 2. 1 形状・粒度分布

粒化スラグには粒径2.5mm以上のものの中にやや角張ったものが見られるが、写真1に示すように、ほとんどのものが球形である。図2のホッパーから採取した試料の粒度分布は図3のように細骨材粒度規格の範囲内にあり、細骨材として十分適用可能である。

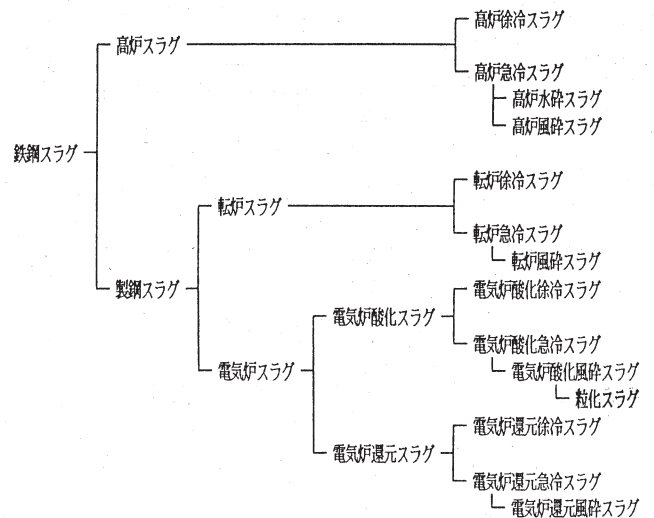


図1 鉄鋼スラグの分類

## 2. 球状化した電気炉酸化スラグについて

### 2. 1 製造方法

鉄鋼スラグの分類を図1に示す。電気炉スラグはその発生過程により、酸化精錬期に生成する酸化スラグと還

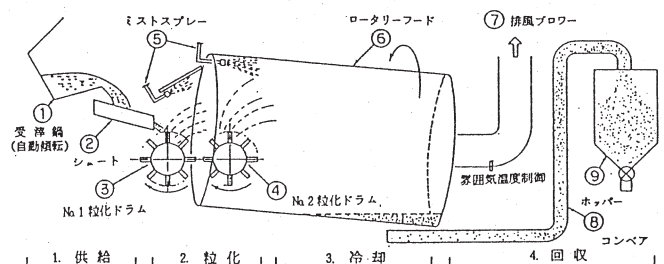


図2 球状化設備概要

\*) 愛知工業大学工学部 土木工学科 教授 (〒470-03 愛知県豊田市八草町八千草1247)

\*\* ) 中部鋼鉄株式会社 (〒454 名古屋市中川区小碓通5-1)

2.2.2 化学組成

粒化スラグの化学組成の測定結果を表1に示す。またf.CaO(遊離石灰)とf.MgO(遊離マグネシア)については別個に精密分析を行いその結果(本実験に使用したもののNo.22)を表2に示す。表にはf.CaO、f.MgOはほとんど含まれていない。これは生石灰の投入時期が早いので、Caなどがスラグの構成物質にほとんど全部取り込まれたからであると考えられる。

2.2.3 比重・吸水率

粒化スラグの比重・吸水率などの測定結果を表3に示す。粒化スラグの絶乾比重は3.27~3.69で、平均値3.52(n=22)、標準偏差0.10である。粒化スラグの比重は含有鉄分に支配され、一般骨材よりかなり大きい。粒化スラグの比重とT.Fe値(Fe分を単体として、Fe値に換算したもの)との関係を図4に示す。比重とT.Fe値とは正の相関関係がみられる。スラグは副産物であるので成分等のばらつきに起因する比重のばらつきが懸念されるが、T.Fe値20~45%の範囲に対して絶乾比重 $3.5 \pm 0.2$ 程度となっている。なお、粒化スラグは比重が大きく表面が平滑なため細骨材の表乾状態の判定方法(JIS A1109 細骨材の比重及び吸水率試験方法)が川砂等に較べてはるかにむつかしい。そこで誤差の影響を極力排除するため本実験では、主として絶乾比重を用いることにした。

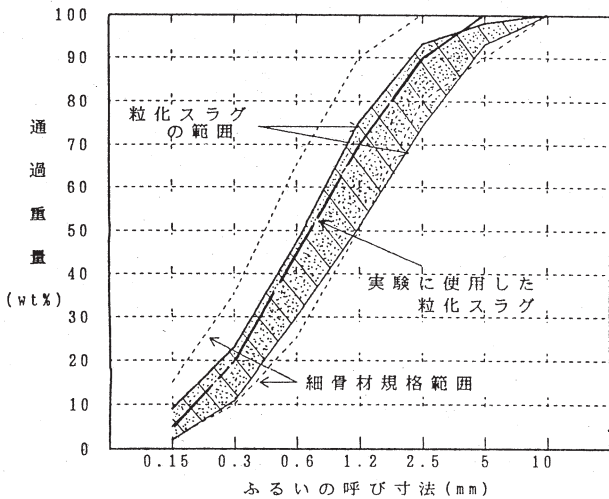


図3 粒化スラグの粒度分布

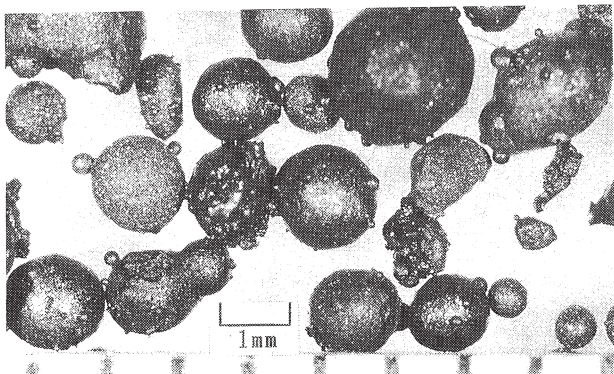


写真1 粒化スラグの実体顕微鏡写真

表1 粒化スラグの化学組成の分布

No.	化学成分 (%)												
	CaO	SiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	T.Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Total
1	22.99	12.98	5.26	4.70	19.40	26.49	33.61	3.75	1.88	0.30	0.362	0.051	98.16
2	19.91	13.82	6.07	7.24	19.76	17.49	27.59	10.98	1.91	0.61	0.230	0.010	98.02
3	20.61	13.20	5.49	5.55	16.81	22.37	28.71	11.75	1.94	0.40	0.325	0.044	98.49
4	17.72	13.58	6.12	3.97	28.17	16.40	33.37	9.18	2.09	0.39	0.341	0.049	98.01
5	22.24	13.54	6.87	6.06	17.10	19.07	26.63	9.57	2.28	0.70	0.335	0.024	97.79
6	20.28	11.00	5.54	3.95	13.00	33.27	33.38	8.08	2.48	0.50	0.347	0.018	98.46
7	25.39	13.96	6.04	5.53	14.37	13.42	20.56	13.11	1.95	0.57	0.393	0.023	97.74
8	19.31	11.34	5.23	4.48	16.45	30.81	34.34	7.07	2.36	0.44	0.346	0.084	97.92
9	17.73	11.38	5.62	3.67	20.41	28.98	36.13	6.35	2.02	0.52	0.364	0.022	97.07
10	15.34	10.16	4.36	2.93	21.84	36.94	42.81	4.06	1.27	0.29	0.258	0.012	97.46
11	22.99	16.28	6.45	5.25	15.95	16.30	23.80	11.56	1.95	0.42	0.198	0.037	97.38
12	22.28	12.68	4.99	5.41	13.72	29.22	31.10	6.31	1.58	0.34	0.400	0.058	96.93
13	23.95	16.90	6.43	4.36	18.47	15.47	25.18	8.48	1.65	0.44	0.457	0.032	96.64
14	18.84	11.56	4.97	6.00	24.64	22.92	35.18	7.31	1.47	0.29	0.305	0.034	98.34
15	21.19	21.86	6.53	7.41	17.82	9.88	20.76	10.71	2.02	0.57	0.304	0.011	98.30
16	14.17	10.52	5.74	2.93	27.30	29.75	42.03	5.65	1.81	0.31	0.280	0.048	98.51
17	19.15	11.16	4.86	2.61	21.05	29.79	37.20	5.83	1.93	0.31	0.472	0.025	97.19
18	20.00	11.26	5.87	3.19	24.00	23.73	35.25	6.73	1.66	0.30	0.411	0.014	97.16
19	15.64	8.92	4.61	2.04	31.54	28.21	44.25	4.89	1.91	0.25	0.310	0.041	98.36
20	19.46	14.08	6.62	3.51	18.68	17.74	26.93	15.21	2.08	0.34	0.314	0.011	98.04
21	19.61	15.76	6.08	5.40	17.82	17.94	26.40	11.70	3.03	0.50	0.284	0.011	98.14
22	10.97	8.20	4.69	4.29	14.37	44.69	42.42	6.76	2.05	0.45	0.330	0.008	96.81
平均値	19.53	12.92	5.66	4.57	19.67	24.13	30.26	8.40	1.97	0.42	0.332	0.030	97.77
最大値	25.39	21.86	6.87	7.41	31.54	44.69	44.25	15.21	3.03	0.70	0.472	0.084	98.51
最小値	10.97	8.20	4.36	2.04	13.00	9.88	20.56	4.06	1.27	0.25	0.198	0.008	96.64
標準偏差	3.38	2.99	0.72	1.44	4.91	8.50	9.42	3.08	0.37	0.12	0.065	0.020	0.59

表2 実験に使用した粒化スラグの化学組成 (%)

CaO	SiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
10.97	8.20	4.69	4.29	14.37	44.69	6.76
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	SO <sub>3</sub>	残り
2.05	0.45	0.02	0.13	<0.01	0.02	3.36
f.CaO	f.MgO	T.Fe				
0.05	<0.01	42.4				

表3 粒化スラグの物理的性質の分布

No.	絶乾比重	表乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (ton/m <sup>3</sup> )	実積率 (%)	粗粒率
1	3.54	3.72	2.94	2.55	72.0	2.93
2	3.52	3.61	1.73	2.43	69.0	3.22
3	3.42	3.56	1.22	2.38	69.6	3.01
4	3.54	3.69	1.34	2.41	68.1	3.02
5	3.38	3.64	1.48	2.36	69.8	3.33
6	3.60	3.75	0.73	2.44	67.8	2.92
7	3.41	3.44	0.92	2.33	68.3	3.06
8	3.43	3.52	2.29	2.31	67.3	3.04
9	3.67	3.78	0.94	2.47	67.3	3.07
10	3.54	3.79	1.24	2.39	67.5	2.89
11	3.42	3.46	0.66	2.34	68.4	2.96
12	3.65	3.78	1.14	2.46	67.4	2.84
13	3.48	3.54	1.27	2.33	67.0	3.04
14	3.55	3.73	1.44	2.48	69.9	3.03
15	3.27	3.34	1.00	2.28	69.7	3.39
16	3.69	3.80	1.19	2.57	69.6	2.87
17	3.59	3.77	1.27	2.44	68.0	2.83
18	3.58	3.74	1.59	2.60	72.6	3.08
19	3.64	3.86	0.67	2.59	71.2	3.11
20	3.53	3.64	0.97	2.24	63.5	3.29
21	3.54	3.58	1.02	2.42	68.4	3.17
22	3.46	3.51	1.48	2.34	67.6	2.55
平均値	3.52	3.65	1.30	2.42	68.6	3.03
最大値	3.69	3.80	2.94	2.60	72.6	3.39
最小値	3.27	3.34	0.66	2.24	63.5	2.55
標準偏差	0.10	0.14	0.52	0.10	1.9	0.19

2.2.4 溶出試験

有害物質の溶出試験結果を表4に示す。試験は環境庁告示第13号「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」に定められた方法に従った。いずれの値も分析精度以下であり規格値よりはるかに小さい値となっており、問題ないといえる。

2.2.5 X線回折分析

X線回折分析結果を図5に示す。主要な構成物質はマグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)とウスタイト(FeO)である。

2.2.6 硬さ試験

ビッカース硬さの測定結果を表5に示す。測定方法は粒化スラグの中から粒径2mm程度のもを選び出し、樹脂で固め、切断面に粒化スラグが現れるように切断した。その切断面を研磨して試験片とした。この試験片に荷重0.2kgfでダイヤモンド圧子を打ち込み、硬さ(ビッカース硬さ)を測定した。表には、モース硬さ標準鉱物のビッカース硬さとモース硬さも示した。

この表から、粒化スラグのモース硬さは6程度で正長石と同じ硬さであり、様々な鉱物によって構成される天然の骨材より硬めであることがわかる。なお、粒化スラグの60%近くが酸化鉄(表1)であるので、酸化鉄鉱物と比較するとマグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)、ヘマタイト(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)のモース硬さはそれぞれ5.5および6.5であり、粒化スラグの硬さとほぼ一致しているともいえる。

3. 実験方法

3.1 水浸膨張試験

製鋼スラグは、転炉スラグと同様にスラグ中の遊離石灰(F.CaO)の水和反応などによって膨張し粉化することがあるといわれており、粒化スラグをコンクリート用細骨材として利用するためには、この水和膨張性を明らかにする必要がある。そこで、80℃水浸膨張試験(JIS A 5015 道路用鉄鋼スラグ 付属書2 鉄鋼スラグの水浸膨張試験方法)を行った。試料は、製造1週間後の粒化スラグを使用した。

3.2 アルカリシリカ反応性試験

粒化スラグをコンクリート用骨材として利用するためには、アルカリシリカ反応性の有無を確認する必要がある。試験は、JIS A 5308 レディーミクストコンクリート 付属書8 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルバー法)で行った。粒化スラグの他に、天然骨材として天然珪砂、大井川川砂を使用し比較した。使用した細骨材の比重等の値を表6に示す。

3.3 モルタル強度試験

3.3.1 強度試験I 一水セメント比一定

粒化スラグを細骨材としてモルタルを製し、曲げお

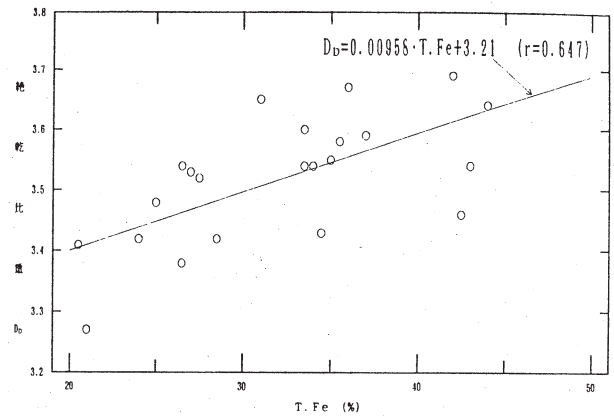


図4 粒化スラグの絶乾比重とT. Feとの関係

表4 粒化スラグの溶出試験結果

対象	粒化スラグ	規制値
アルキル水銀化合物 (mg/L)	ND *	検出されないこと
水銀又はその化合物 (mg/L)	<0.0005	0.005
カドミウム又はその化合物 (mg/L)	<0.005	0.3
鉛又はその化合物 (mg/L)	<0.02	3.0
有機リン化合物 (mg/L)	<0.1	1
六価クロム化合物 (mg/L)	<0.04	1.5
ひ素又はその化合物 (mg/L)	<0.01	1.5
シアン化合物 (mg/L)	<0.1	1

\* ND : Not Detected (検出限界以下)

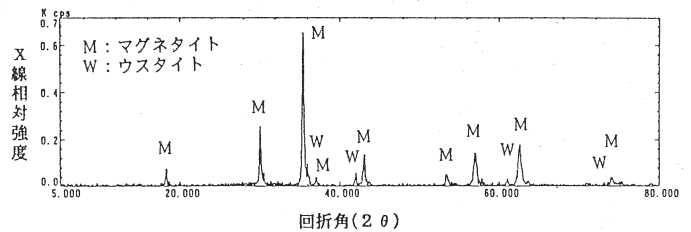


図5 X線回折図

表5 硬さ試験結果および比較値

試料	モース硬さ標準鉱物										方鉄石 (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	ヘマ鉄石 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
	粒化スラグ	方解石	螢石	燐灰石	正長石	石英	黄玉	アザム	ダイヤモント			
ビッカース硬さ	755	109	189	536	795	1120	1427	2060	10060	—	—	
モース硬さ	—	3	4	5	6	7	8	9	10	5.5	6.5	

標準試料のデータは産業工学ハンドブックによる。

表6 細骨材の比重および吸水率

細骨材種類	絶乾比重	表乾比重	吸水率(%)	産地
粒化スラグ	3.46	3.51	1.48	愛知県
天然珪砂	2.61	2.63	0.83	愛知県
大井川川砂	2.58	2.61	1.24	静岡県
石灰石	2.69	2.70	0.22	三重県



よび圧縮強度を測定した。実験では粒化スラグの他に表6に示す2種の天然骨材を比較のために使用し、それぞれの粒度を同一に調整した(図3の細骨材規格範囲の中央の粒度)。セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.16)を使用し、水セメント比0.5、砂セメント比(細骨材/セメント)を容積比で4.0とした。比重の異なる3種類の骨材とセメントペーストとの関係がすべて一定になるように容積配合とした。モルタルの配合を表7に示す。供試体寸法は4×4×16cmとした。

3.3.2 強度試験Ⅱ -フロー値一定-

水セメント比一定の強度試験Ⅰでは、粒化スラグを使用したモルタルで高い流動性が得られ、天然骨材使用モルタルと大きな相違がみられた(粒化スラグ210、大井川112、珪砂106mm)。そこで流動性が一定になるように使用水量を調整してモルタル供試体を作製した。配合は砂セメント容積比を4.0、6.0、8.0の3種類とし、フロー値(JIS R 5201 セメントの物理試験方法)が180±10mmとなるような水量とした。所定のフロー値が得られたモルタルの配合を表8に示す。

3.3.3 強度試験Ⅲ -重量モルタル-

粒化スラグは比重が大きいため、重量コンクリートとしての利用が考えられる。そこで単位容積質量が大きくなる配合でモルタルを作製し、質量、曲げおよび圧縮強度を測定した。モルタルの単位容積質量を大きくするためには、単位水量を減少させることが効果的であるから減水剤(スルホン酸塩系促進型減水剤)を使用した。このモルタルの配合を表9に示す。

3.3.4 モルタルの微視的観察

強度試験用供試体から片の長さ7~10mm、厚さ2~5mmの試料を採取し、白金(Pt)イオンによるコーティングを行い走査電子顕微鏡によって観察した。観察は骨材とセメントペーストの境界部分を中心に行った。

4. 実験結果および考察

4.1 水浸膨張試験結果

80℃水浸膨張試験の結果、膨張は全く観察されなかった。このことは化学組成表(表2)からもわかるようにf.CaOやf.MgOをほとんど含んでいないためである。この結果から水和膨張性の物質は粒化スラグ中にはほとんど含まれていないといえる。

4.2 アルカリシリカ反応性試験結果

粒化スラグおよび比較のために使用した天然骨材のアルカリシリカ反応性試験結果を図6に示す。図では非反応性骨材である石灰岩などとほぼ同じ膨張挙動を示しており、材齢6ヵ月で0.01%程度である。従って、粒化スラグのアルカリシリカ反応性は無害であると判定できる。

表7 モルタルの配合 (W/C 一定の場合)

細骨材種類	砂セメント比 S/C (体積比)	水セメント比 W/C	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )		
			水	セメント	細骨材
粒化スラグ	4.0	0.5	240	480	2134
天然珪砂	4.0	0.5	240	480	1599
大井川川砂	4.0	0.5	240	480	1587

表8 モルタルの配合 (フロー値 一定の場合)

細骨材種類	砂セメント比 S/C (体積比)	水セメント比 W/C	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )		
			水	セメント	細骨材
粒化スラグ	4.0	0.43	214	497	2208
	6.0	0.63	221	351	2342
	8.0	0.84	228	271	2409
天然珪砂	4.0	0.65	291	448	1491
	6.0	0.92	293	319	1593
	8.0	1.25	305	244	1625
大井川川砂	4.0	0.61	278	456	1507
	6.0	0.90	289	321	1591
	8.0	1.27	308	243	1605

表9 モルタルの配合 (重量モルタル用)

No.	砂セメント比 S/C (体積比)	水セメント比 W/C	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )			
			水	セメント	細骨材	混和剤
1	5.5	0.4	175	438	2409	8.6
2	6.0	0.3	129	430	2580	8.5
3	6.0	0.5	198	396	2375	7.8
4	7.5	0.6	197	328	2456	6.4

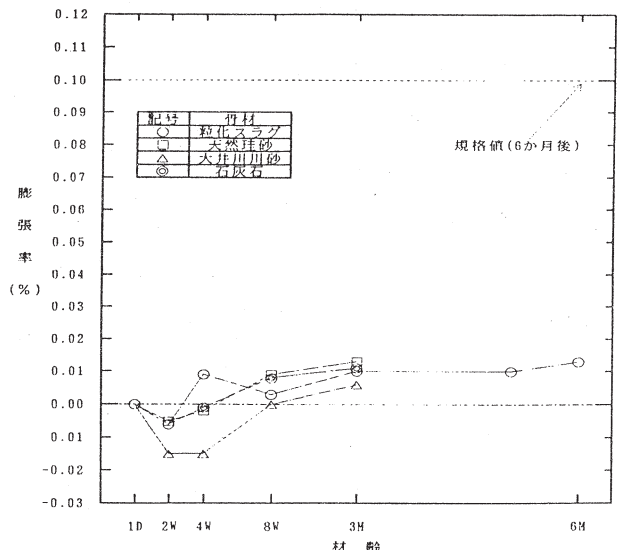


図6 アルカリシリカ反応性試験結果

4.3 モルタル強度試験結果

4.3.1 強度試験Iの結果 -水セメント比一定-

水セメント比0.5、砂セメント容積比4.0のモルタルの曲げおよび圧縮強度試験結果を図7 (a)、7 (b)に示す。曲げ、圧縮強度図ともに同じ傾向がみられ、粒化スラグモルタルは大井川川砂使用の場合と同程度の強度発現である。珪砂モルタルよりも相当高い強度を示し、材齢7日以降では、その差が拡大している。

近年、良質な天然のコンクリート用細骨材が不足している中で、大井川産の川砂は最も良質な骨材の一つであるといわれている。粒化スラグモルタルはこの砂の使用の場合と同程度の強度発現を示していることから、細骨材として強度上問題のないものであるということが出来る。

粒化スラグは写真1に示したように球状で平滑なために骨材とセメントペーストの界面で破壊されやすく、あまり高い強度は期待できないのではないかとされた。しかし、写真2 (a) ~写真4 (b) に示すようにセメントペーストと粒化スラグ骨材の界面では骨材表面に種々の形態のセメント水和物が付着しており、破壊はセメントペースト側で起こっている。界面の水和物についてもCa(OH)<sub>2</sub>だけではなくC-S-H(珪酸カルシウム水和物)もみられる。このような状態は骨材とペーストの付着が良好であることを物語っており、モルタル強度の発現に寄与していると思われる。一方、天然珪砂使用モルタルにおいては3日強度までは粒化スラグや大井川川砂モルタルと同程度の強度発現であるが、その後の強度の伸びは少ない。写真5 (a) に材齢28日の珪砂モルタル供試体の破断面にみられる骨材粒のうちの石英粒表面を、

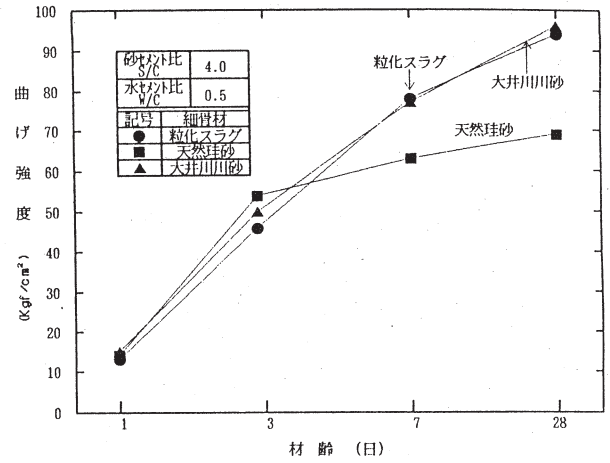


図7 (a) モルタルの曲げ強度試験結果 (I: 配合一定)

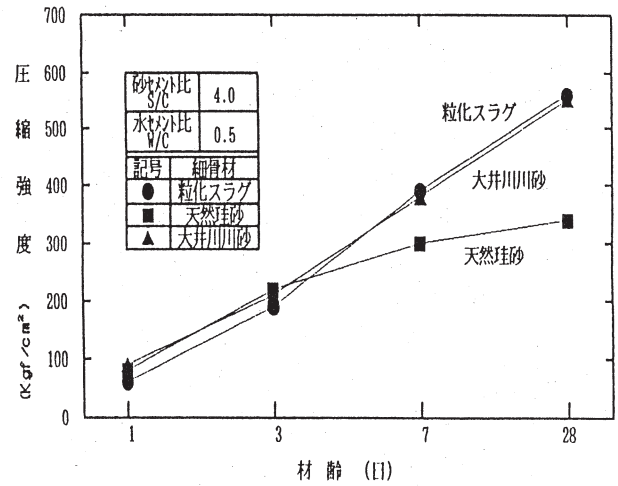
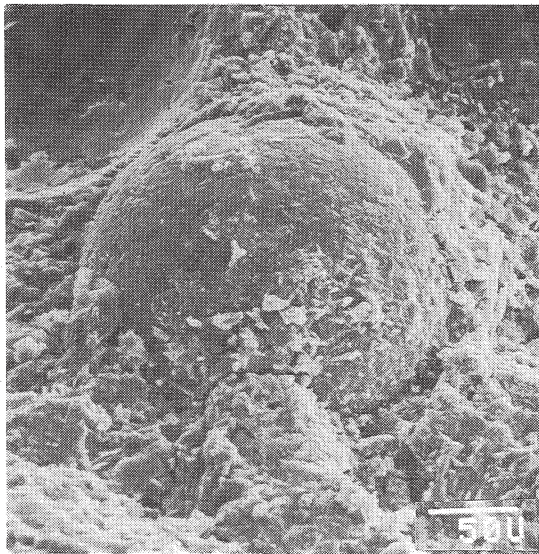
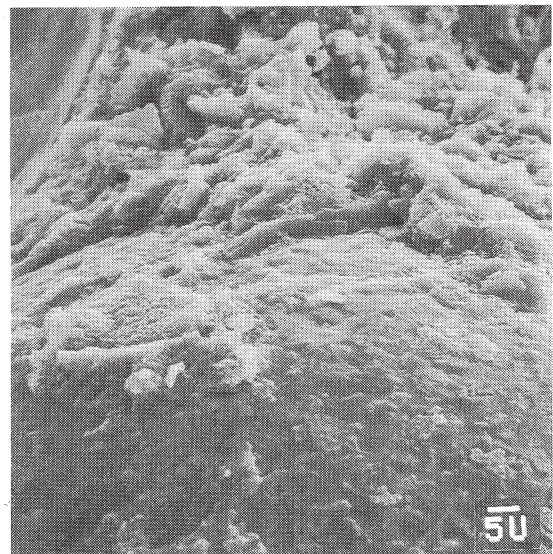


図7 (b) モルタルの圧縮強度試験結果 (I: 配合一定)



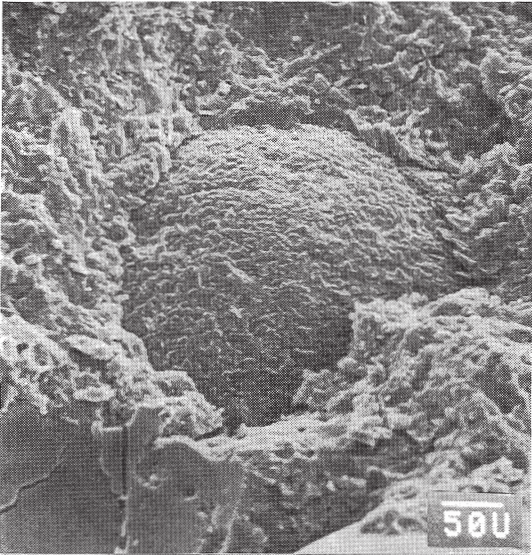
2 (a) 粒化スラグ骨材表面と周囲のセメントペースト



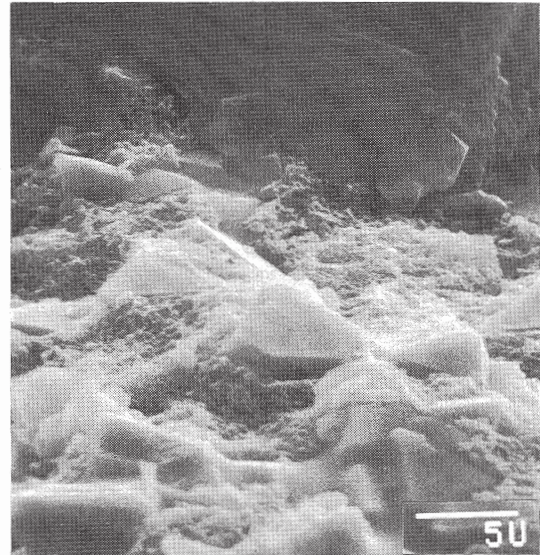
2 (b) 2 (a) 中央上部の拡大

写真2 粒化スラグ骨材-セメントペースト界面の走査電子顕微鏡写真。 材齢28日モルタル



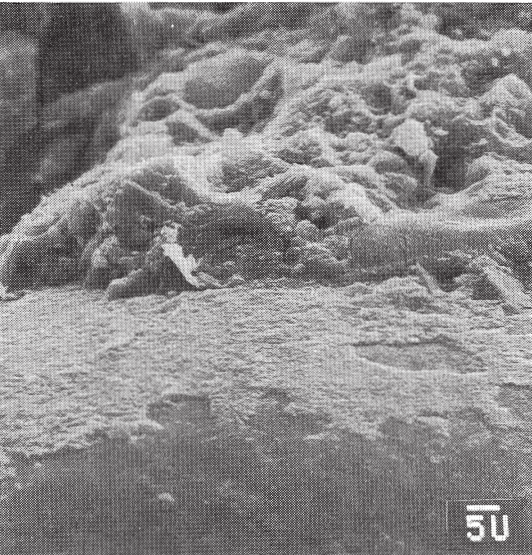


3 (a) 粒化スラグ骨材表面と周囲のセメントペースト

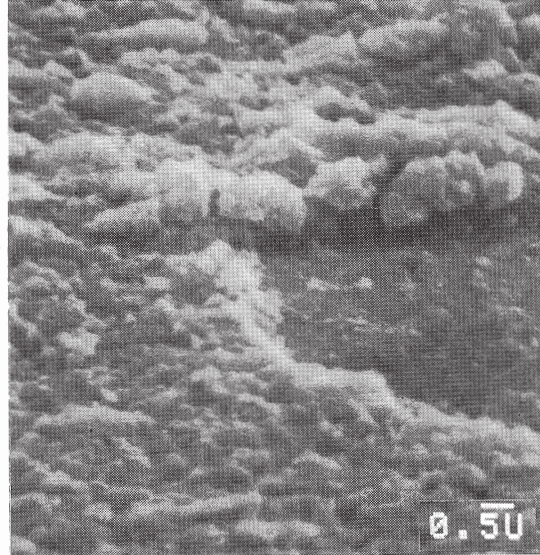


3 (b) 3 (a) 中央上部の拡大

写真3 粒化スラグ骨材-セメントペースト界面の走査電子顕微鏡写真。 材齢28日モルタル

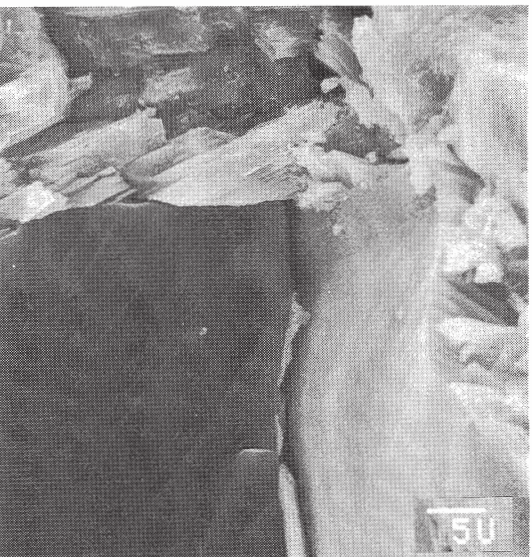


4 (a) 粒化スラグ骨材表面と周囲のセメントペースト

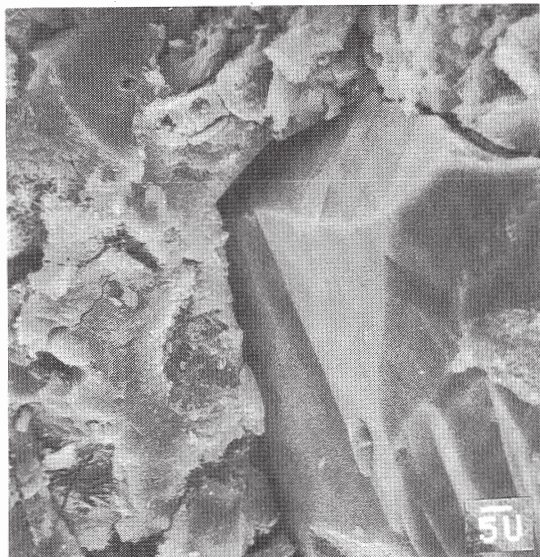


4 (b) 4 (a) 中央右側の拡大

写真4 粒化スラグ骨材-セメントペースト界面の走査電子顕微鏡写真。 材齢28日モルタル



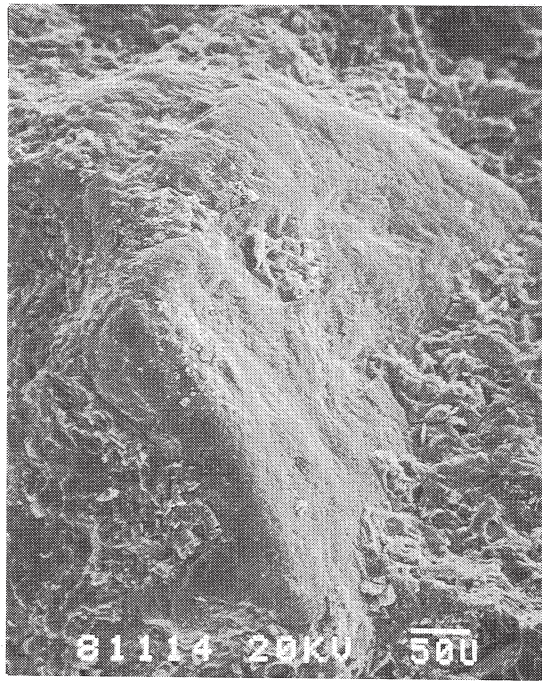
5 (a) 石英表面とセメントペースト



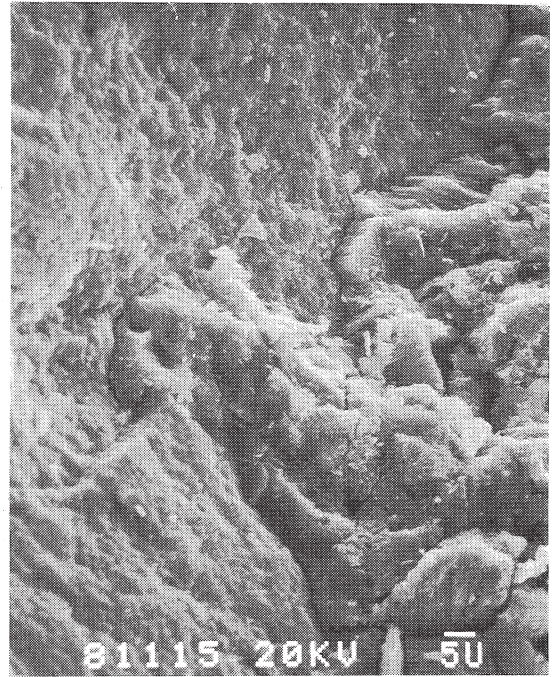
5 (b) 長石表面とセメントペースト

写真5 天然珪砂骨材-セメントペースト界面の走査電子顕微鏡写真。 材齢28日モルタル





6 (a) 大井川川砂骨材表面と周囲のセメントペースト



6 (b) 6 (a) 中央右側の拡大

写真6 大井川川砂骨材-セメントペースト界面の走査電子顕微鏡写真。 材齢28日モルタル

写真5 (b) に長石粒を示す。いずれの面も平滑で、骨材表面にはセメントペーストがほとんど付着していない。これらの鉱物自体の強度は十分に高いのでモルタル強度の伸びが少ないのは、骨材とセメントペーストとの付着が悪いためであるといえる。写真6 (a)、6 (b) の大井川川砂使用モルタルにおいては粒化スラグと同様に骨材表面がセメント水和物によって覆われており、骨材とセメントペーストとの付着はよい状態を呈している。この砂は砂岩や頁岩などの岩石の細粒によって構成されており、骨材表面は平滑ではないので付着がよいようである。

4. 3. 2 強度試験Ⅱの結果 -フロー値一定-

3種の骨材を使用して、それぞれのフロー値を一定にしたモルタルの曲げおよび圧縮強度試験結果を図8 (a)、8 (b) に示す。図中 (詳細には表8参照) のフロー値一定に要する水量をみると粒化スラグでは両天然骨材の水セメント比の70%弱でよいことがわかる。従って、その強度は、粒化スラグモルタルでは大井川川砂の場合よりも曲げ強度の材齢7日で約1.5倍、同28日で1.2~1.4倍であり、圧縮強度では材齢7日で1.8~2.0倍、同28日で1.5~1.7倍となっている。珪砂ではその差が更に拡大している。

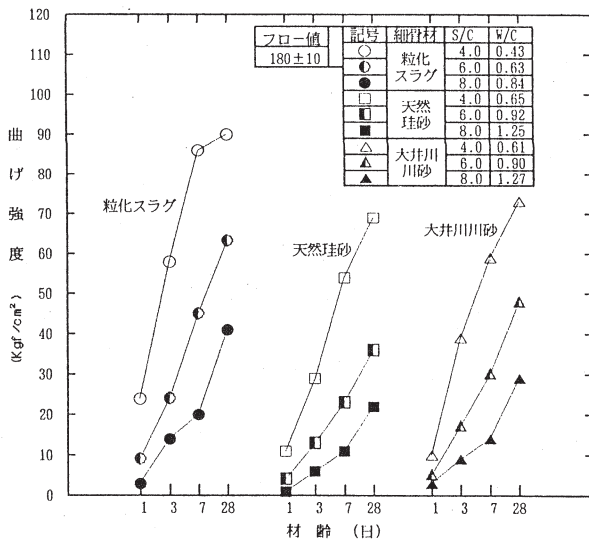


図8 (b) モルタルの圧縮強度試験結果 (Ⅱ: フロー値一定)

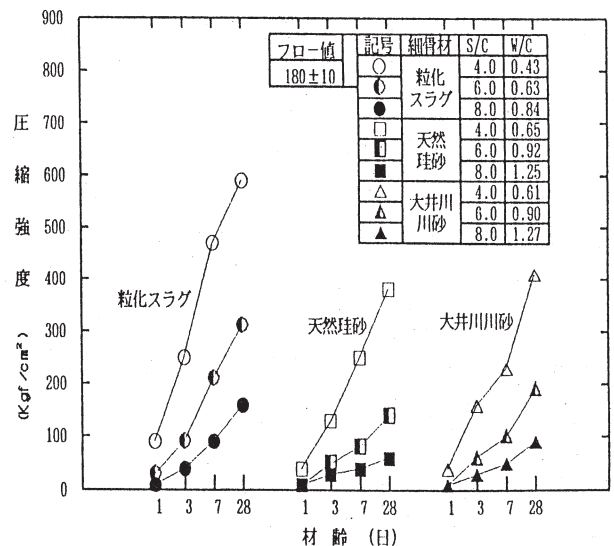


図8 (a) モルタルの曲げ強度試験結果 (Ⅱ: フロー値一定)

上記の結果から粒化スラグを使用すると高流動、高強度コンクリートが得られると考えられる。実際、既に、本研究に使用した粒化スラグやその他の球状化製鋼スラグを超流動コンクリート用細骨材として利用した研究が報告され、良好な結果が示されている<sup>2)</sup>。これらのことから、粒化スラグは産業副産物といえども最近盛んに研究されている高級・高性能なコンクリートへの適用についても、その可能性のあることが認められる。

4.3.3 強度試験Ⅲの結果 - 重量モルタル -

単位容積質量 3t/m<sup>3</sup>を超えるモルタルを作製し、その結果を図9 (a)、9 (b)に示す。図にはモルタルの実測単位容積質量も併記しているが、3.05~3.16t/m<sup>3</sup>を示している。強度においても、すべての配合において材齢28日で約400kgf/cm<sup>2</sup>以上を示し、また図7の珪砂を用いたとき (S/C=4.0、W/C=0.5)より大きい強度が得られている。これらの結果は、重量コンクリートブロックへの適用の可能性を示すものである。

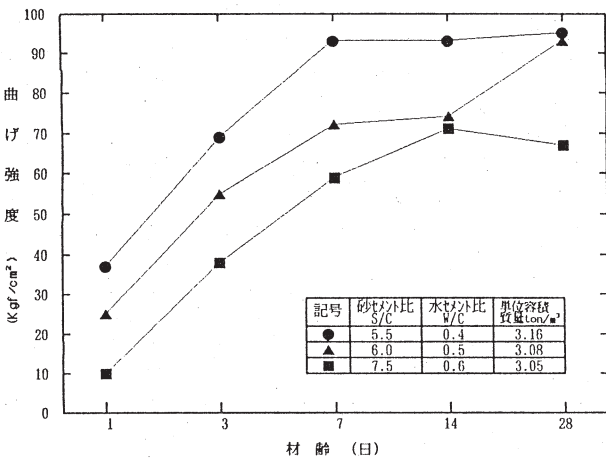


図9 (a)モルタルの曲げ強度試験結果(Ⅲ：重量モルタル)

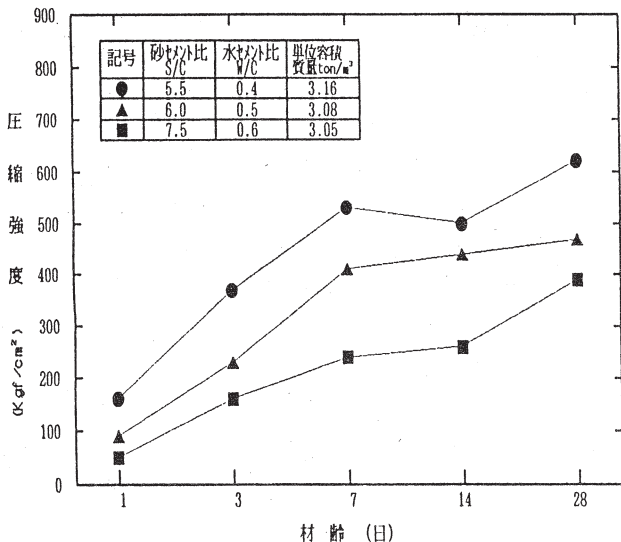


図9 (b)モルタルの圧縮強度試験結果(Ⅲ：重量モルタル)

5. まとめ

球状化した電気炉酸化風砕スラグ (粒化スラグ) をコンクリート用細骨材として活用するために行った研究の結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 粒化スラグの主な鉱物は、マグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)とウスタイト(FeO)であり、従来の電気炉酸化スラグと比較してCaO成分が少なく、遊離石灰(f.CaO)をほとんど含んでいない。また、水浸膨張試験結果からも水和による膨張、崩壊は起こらないといえる。また、有害物質の溶出も認められない。

(2) 球状化設備によって製造した粒化スラグの粒度分布は、土木・建築両学会の細骨材粒度規格の範囲内である。比重は3.5±0.2程度と大きく、これは成分中のT.Fe値と正の相関がみられる。形状は球形であり、実績率は68±4程度と極めて大きい。

(3) 粒化スラグのSiO<sub>2</sub>値は8%程度であり、また、アルカリシリカ反応性試験結果からもアルカリシリカ反応性の膨張は認められない。

(4) 粒化スラグモルタルでは、骨材粒子表面が平滑であるにも関わらず骨材とセメントペースト間の付着が良く、モルタル強度が高く、材齢の経過による強度の増加も良好である。

(5) 粒化スラグモルタルは、天然骨材モルタルと比べて高い流動性を示す。また、流動性を同じにするならば、高い強度が得られる。従って、粒化スラグを高流動コンクリートあるいは高強度コンクリート用の細骨材として利用しても、他の骨材よりも良好な結果が得られる可能性が高い。

(6) 骨材比重が大きいため単位容積質量3t/m<sup>3</sup>を超えるモルタルが容易に得られ、重量コンクリートへの適用が考えられる。

(7) 粒化スラグは天然の骨材と比較して硬度が高いため、これを使用したコンクリートの耐摩耗性は高いことが予想される。

あとがき

本研究で取り扱った問題は、基礎的なものに留まっているが、目下、富配合から貧配合までの多数のモルタルや普通コンクリートから高強度コンクリートまでの実験を実施中である。また、実構造物における試験施工も計画中である。

[参考文献]

- 1) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼業のスラグ等の発生及び利用・埋立状況報告書 (1990)
- 2) 肥後桂介、出光隆、山崎竹博：球状化した製鋼スラグのコンクリート用骨材としての利用に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp.161-166 (1993)