

正会員 坂井正美 (日本鋼管)

同 〇宮本正友 (同上)

1. はじめに

建設業界をはじめとして各産業において資源の有効利用・リサイクリングが検討されている。現在、土木・建築用材料として高炉スラグはJIS化され、一般に広く利用されている。一方、転炉スラグは従来、風化崩壊が生じ、利用先が極めて限られ、埋め立て用等に利用されているに過ぎない。しかしながら、近年この分野での研究開発が急速に進み、風化崩壊を防止する技術が実用化されつつある。その研究成果の一つとして、製鋼熔融スラグを急空冷却した球状のスラグ(以下転炉風砕スラグと呼ぶ)の開発を行ない、今回、このスラグのコンクリート用細骨材としての利用可能性について検討を加えたので、ここに報告する。

2. 試験の内容

試験は1) 風砕スラグの骨材としての物理的性質の試験、2) 風砕スラグを用いたモルタル(以下風砕モルタルと略記)およびコンクリート(以下風砕コンクリートと略記)の諸性質について天然砂を用いたモルタル(以下普通モルタルと略記)およびコンクリート(以下普通コンクリートと略記)との比較試験を行なった。(ここでは風砕スラグと天然砂の差異を明確にするため、モルタルを主に行なった。)

3. 試験材料

3.1 使用材料

今回の試験には下記の材料を使用した。

- a セメント 普通ポルトランドセメント(日本セメント)
- b 粗骨材 相模川産川砂利
- c 細骨材 ① 転炉風砕スラグ(粒径3mm以下について、JASS 5のI級粒度標準範囲に入っているように粒度調整を行なったもの(以下未破碎と略記))(写真1参照。)
- ② 転炉風砕スラグ(破碎により標準粒度範囲に入っているようにしたもの(以下破碎と略記))
- ③ 木更津産天然砂

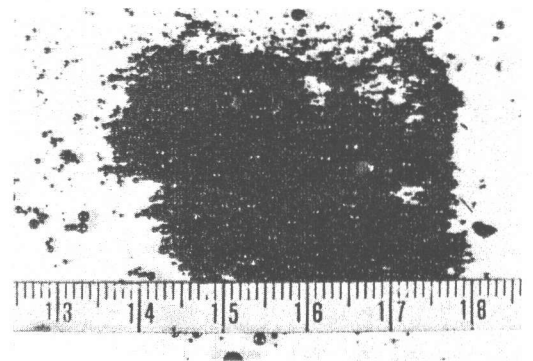


写真1 転炉風砕スラグの外観

3.2 材料の性状

使用した骨材の物理的性質を表1に示す。

表1 骨材の物理的性質

骨材の種類	最大寸法 (mm)	表乾比重	絶乾比重	単位容積重量 (kg/m³)	実績率 (%)	吸水率 (%)	粗粒率
粗骨材	25	2.65	2.62	1.690	64.5	1.2	6.70
細骨材	① 未破碎	2.5	3.42	2.260	66.1	0.5	2.77
	② 破碎	1.2	3.61	2.287	63.4	0.3	2.31
	③ 砂	2.5	2.63	1.750	67.6	1.5	2.68

転炉風砕スラグの化学分析を表2に示す。

表 2. 風砕スラッグの化学分析 (%)

P. H. = 1.1 ~ 1.2

T-Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	メタルFe	SiO <sub>2</sub>	T-CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	T-S	P	フリ-CaO
14.9 ~24.9	0.14 ~3.02	16.28 ~34.85	0 ~5.98	7.4 ~11.4	43.7 ~46.5	0.51 ~0.70	3.44 ~5.85	0.97 ~1.67	5.92 ~7.74	0.056 ~0.075	0.83 ~1.09	0.67 ~3.19

4. 調合

4.1 モルタルの調合

表 3. モルタルの調合

モルタルの調合については表 3 に示すように、細骨材の種類を 3 種（風砕スラッグ（未破碎、破碎）、天然砂）、W/C を 2 種（40%、50%）にそれぞれ変化させた。調合条件は（1）セメント：細骨材 = 1：2（重量比）、（2）モルタル

試験体記号	細骨材種別	細骨材の最大寸法 (mm)	水-セメント比 (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )			調合条件
				水	セメント	細骨材	
M	天然砂	2.5	50	312	624	1247	(1)、(2)
N	風砕(未破碎)	2.5	40	304	760	1520	(1)
O	" ( " )	2.5	50	353	706	1412	(1)
P	" ( " )	2.5	50	312	624	1639	(2)
Q	" (破碎)	1.2	40	311	779	1557	(1)
R	" ( " )	1.2	50	360	720	1440	(1)
S	" ( " )	1.2	50	312	624	1730	(2)

を構成する各材料の容積を試験体どうして同一、の 2 種であった。

4.2 コンクリートの調合

表 4. コンクリートの調合

調合条件としてコンクリートの各構成材料の容積を同一とした。（表 4 に示す。）

試験体記号	細骨材種別	粗骨材の最大寸法 (mm)	水-セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
C	天然砂	2.5	49	36.5	188	384	650	1132
D	風砕(未破碎)	2.5	49	36.5	188	384	848	1132
E	" (破碎)	2.5	49	36.5	188	384	896	1132

5. 試験

各種性質について、風砕スラッグと天然砂とを比較するため、表 5 に示す試験を行なった。

表 5. モルタル及びコンクリートの試験内容

試験種別	モルタル	コンクリート
・まだ固まらない時の性質	・ワーカビリティの試験 [フロー試験] (JIS R 5201) ・空気量の測定 (JIS A 1128)	・ワーカビリティの試験 [スランプ試験] (JIS A 1101) ・空気量の測定 (JIS A 1128)
・凝結硬化期の性質	・ブリージング試験 (JIS A 1123) ・単位容積重量の測定	・ブリージング試験 (JIS A 1123) ・単位容積重量の測定
・力学的性質	・圧縮試験 (JIS A 1108) ・静弾性係数の測定 (ASTM C 469-65) ・引張試験 (JIS A 1123) ・曲げ試験 (曲げ後圧縮)	・圧縮試験 (JIS A 1108) ・静弾性係数の測定 (ASTM C 469-65) ・引張試験 (JIS A 1113) ・曲げ試験 (JIS A 1106)
・耐久性能	・乾燥収縮量の測定 ・自然曝露試験	・乾燥収縮量の測定 ・自然曝露試験
・熱的性質	・熱伝導率の測定 ・熱膨張率の測定	・熱伝導率の測定

6. 試験結果

6.1 まだ固まらない時の性質

フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの性質を表6、表7に示す。

表6 フレッシュモルタルの性質

試験体記号	フロー	空気量(%)	ブリージング率(%)	単位容積重(kg/m <sup>3</sup> )
M	183	3.40	0.33	2,143
N	197	1.90	—	2,700
O	229	2.20	—	2,712
P	198	2.50	—	—
Q	198	2.35	3.43	2,629
R	235	3.95	6.19	2,638
S	185	2.65	1.35	2,641

表7 フレッシュコンクリートの性質

試験体記号	スランプ(cm)	空気量(%)	ブリージング率(%)	単位容積重(kg/m <sup>3</sup> )
C	9.4	0.23	0.03	2,377
D	12.2	2.71	2.61	2,645
E	17.7	1.85	4.60	2,629

### 6.2 力学的性質

モルタルおよびコンクリートの各種強度と材令との関係を図1、図2に示す。

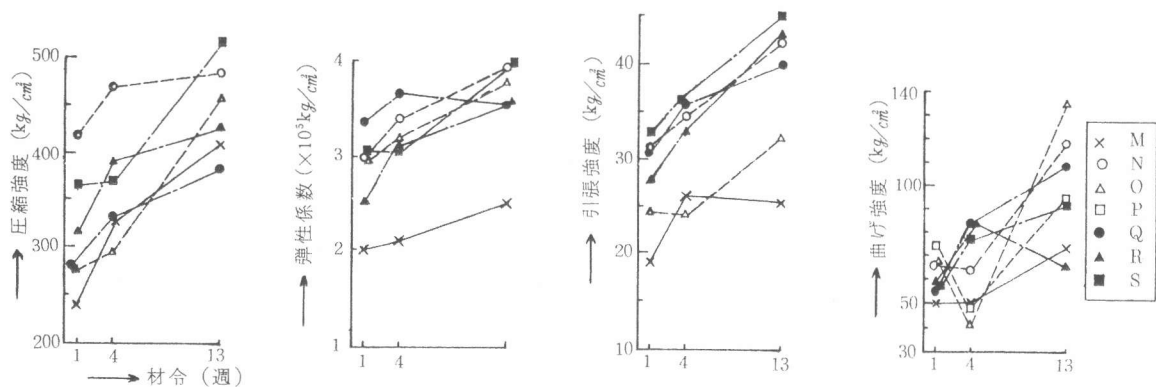


図1 各種強度と材令の関係(モルタル)

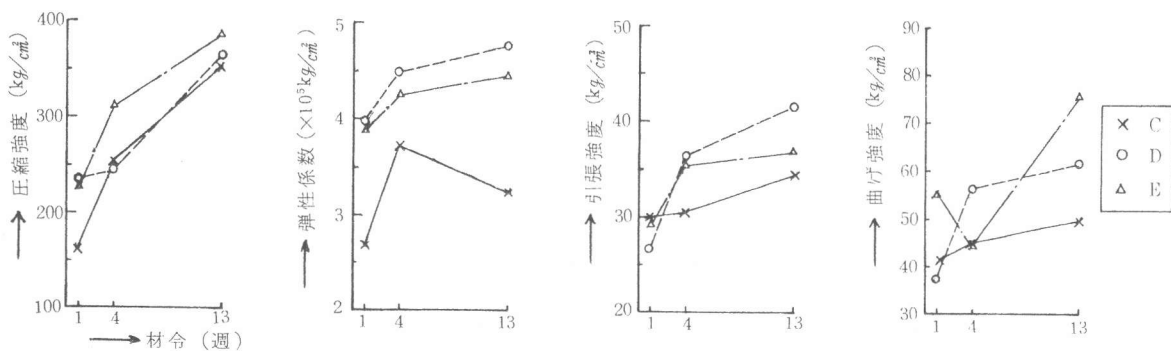


図2 各種強度と材令の関係(コンクリート)

### 6.3 熱的性質

熱伝導率および熱膨張率の測定結果を表8に示す。

## 7. 考察

### 7.1 まだ固まらない時の性質

風砕モルタルおよびコンクリートは、1) 流動性に関して普通モルタルおよびコンクリートより良好であった。(これは風砕スラグの粒が球径であることによる。)

2) ブリージング率に関して普通モルタルおよびコンクリートよりも多い。(これは風砕スラグ自体の吸水効果が少ないことによる。) 3) 単位容積重量に関して普通

表8 熱的性質の試験結果

試験体記号	熱伝導率 (Kca/m·h·°C)	熱伝導率比 (天然砂に対して)	熱膨張率 (×10 <sup>-5</sup> /°C)	熱膨張率比 (天然砂に対して)
M	0.74	1.00	1.81	1.00
O	0.45	0.61	1.94	1.07
S	0.52	0.70	1.65	0.91
C	0.90	1.00	/	/
D	1.05	1.17	/	/
E	0.94	1.04	/	/

但し、熱伝導率の測定温度範囲は 40°C~90°C

熱膨張率の測定温度範囲は 35°C~80°C

モルタルおよびコンクリートより約3割多い。(重量構造物への適用が考えられる。)

### 7.2 力学的性質

1) 圧縮強度、静弾性係数に関しては、風砕モルタルが普通モルタルより増加するが、その破壊性状は非常に脆性的であった。2) 曲げ、引張強度に関しては、風砕モルタルと普通モルタルとではあまり差異がない。3) 風砕コンクリートは各種強度とも普通コンクリートと同程度であった。

### 7.3 熱的性質

1) 熱伝導率に関しては、風砕モルタルが普通モルタルより小さくなり、断熱性が発揮される。(これはスラグの内部に水分がほとんど含まれていないためである。)コンクリートの場合はほとんど変化がない。(これは細骨材のコンクリート中に占める容積比率が $\frac{1}{4}$ 程度であるため、影響が現われないことによる。)2) モルタルの熱膨張率は風砕スラグを混入してもほとんど変化がない。

### 7.4 耐久性能

1) 乾燥収縮量に関しては、風砕モルタルおよびコンクリートが普通モルタルおよびコンクリートより小さくなる。(これは風砕スラグが膨張性をもっていることによる。)2) 現在も、自然曝露試験を実施中であるが、現在までの所(材令半年経過)、発錆、風化等の兆候は見られない。

### 7.5 ベースト量(セメント+水)の減少効果

以上の結果および考察より判断すると、風砕スラグを用いた場合、天然砂のものと同フロー、同強度を有するモルタルを得るのに、大巾に単位セメント量、単位水量を減少することができる。(図3、表9にその確認試験の結果を参考に示す。)従って、性能の優れた(無収縮、ノンブリージング等)、経済的なモルタルの製造が可能となる。

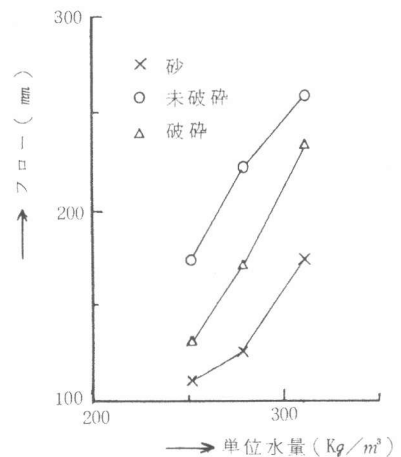


図3. 単位水量とフローとの関係 (モルタル)

表9. モルタルによる確認試験結果

試験体記号	細骨材種別	単位重量 (Kg/m³)			容積比 (水:セメント:細骨材) (内はペーストの割合)	フロー	単位容積重量 (Kg/m³)	圧縮強度 (Kg/cm²)	
		水	セメント	細骨材				7日	28日
A-1	天然砂	312	624	1247		174	2,141	255	353
A-2	風砕(未破砕)	312	624	1622	1:2:4	258	2,634	263	323
A-3	〃(破砕)	312	624	1712	(43%)	233	2,642	289	407
B-1	天然砂	278	557	1390		126	2,225	231	356
B-2	風砕(未破砕)	278	557	1808	1:2:5	222	2,754	258	365
B-3	〃(破砕)	278	557	1908	(38%)	172	2,717	254	405
C-1	天然砂	251	502	1506		110	2,095	132	212
C-2	風砕(未破砕)	251	502	1960	1:2:6	173	2,747	246	363
C-3	〃(破砕)	251	502	2069	(33%)	131	2,742	253	395

## 8. まとめ

資源の有効利用という観点から転炉スラグをコンクリート用細骨材に利用できるか検討を加えた。今回の結果から考えると、品質管理、実験上のバラツキ等について今後、改良を加える必要もあるが、流動性の優れたコンクリート用細骨材として十分利用することが可能であると考えられる。

### 〔参考文献〕

- 1) 成松、水上他：“ドロマイト操業時における転炉スラグの風化防止対策”、鉄と鋼、'78、S605
- 2) 近藤、坂他：“コンクリート工学ハンドブック”、朝倉書店 その他