

正会員 依田新彦 同 〇横室 隆 同 納見忠雄(足利工業大学)

1. はじめに

本報告は昭和50~52年に製造された17種類の高炉スラグ砕石を用いたコンクリートの基本的性質について取りまとめたものである

2. 使用材料

a. セメント
普通ポルトランドセメント(C社製品)

b. 17種類の高炉スラグ砕石

表2参照

c. 比較用川砂利
川砂利 最大寸法 25mm (鬼怒川産)

d. 細骨材

- ①川砂(鬼怒川産)
- ②水砕砂b(K社製品)
- ③水砕砂d(N社製品)
- ④除冷砂e(M社製品)

e. 水

水道水(足利市)

f. 表面活性剤

AE剤 VL(YA社製品)

g. 使用材料の品質

表1~5に示す

3. 高炉スラグ砕石の水中浸せき試験

実際にはあり得ないが、研究の目的である製鉄所の高炉スラグを電気炉で再溶解しスケーラを添加して試作したFe₂O₃ 4.89%およびB₂O₃ %の高炉スラグ砕石についてJIS A 5011(コンクリート用高炉スラグ粗骨材)の5.3水中浸せきを行ったところ、前者は14日間水中に浸せきしてもき裂、分解、泥状化、粉化の現象は認められなかったが、

表2 17種類の高炉スラグ砕石の品質 (注)17種類の高炉スラグ砕石はJIS A 5011の化学成分の規定値を満足している

製鉄所	冷却水	NO	見掛比重		吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/l)	実積率 (%)	洗試験による水分 (%)	最大寸法 (mm)	ふるいを通るものの重量百分率 (%)							骨材に関する試験の級		
			絶乾	表乾						40	30	25	20	15	10	5			
ピット方式	A	工業用水	1	2.36	2.43	2.79	1.46	61.9	3.80	0.01	25	100	100	100	89	60	17	2	Ⅱ級
	B	工業用水	2	2.37	2.43	2.67	1.42	59.9	0.50	0.00	20	100	100	100	90	59	20	3	Ⅱ級
	C	工業用水	3	2.37	2.43	2.67	1.45	61.2	0.10	0.01	25	100	100	100	82	58	28	1	Ⅱ級
		工業用水	4	2.49	2.56	2.71	1.41	56.6	0.40	0.01	20	100	100	100	100	52	26	1	Ⅱ級
	D	工業用水	5	2.34	2.43	3.96	1.42	60.7	1.20	0.01	25	100	100	100	77	47	8	3	Ⅱ級
		工業用水	6	2.45	2.54	3.79	1.47	60.0	1.35	0.01	25	100	100	97	79	51	14	2	Ⅱ級
	E	工業用水	7	2.41	2.51	3.96	1.50	62.2	3.90	0.01	25	100	100	100	84	53	30	1	Ⅱ級
	F	工業用水	8	2.48	2.54	2.62	1.47	59.3	1.40	0.00	25	100	100	100	75	49	11	3	Ⅱ級
		工業用水	9	2.52	2.58	2.54	1.44	57.1	1.90	0.00	30	100	100	88	63	45	13	2	-
		工業用水	10	2.45	2.52	2.65	1.45	59.2	1.65	0.00	25	100	100	98	72	46	13	2	Ⅱ級
畑方式	G	工業用水	11	2.59	2.64	2.10	1.53	59.1	1.50	0.00	25	100	100	100	68	45	12	1	Ⅱ級
	H	工業用水	12	2.70	2.76	2.14	1.50	55.6	0.40	0.01	25	100	100	100	78	54	6	3	Ⅱ級
	I	工業用水	13	2.51	2.58	2.96	1.51	60.2	2.40	0.01	25	100	100	100	89	55	24	2	Ⅱ級
	J	工業用水	14	2.39	2.46	3.14	1.36	56.9	2.40	0.01	25	100	100	100	75	59	15	3	Ⅱ級
	K	工業用水	15	2.29	2.38	3.93	1.38	60.3	1.90	0.00	25	100	100	100	78	52	25	1	Ⅱ級
		工業用水	16	2.29	2.38	4.07	1.33	58.1	2.10	0.01	20	100	100	100	95	60	38	2	Ⅱ級
		海水	17	2.29	2.38	4.01	1.31	57.2	2.00	0.54	20	100	100	100	97	59	35	1	Ⅱ級

表3 川砂利の品質

種類	見掛比重		吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/l)	実積率 (%)	洗試験による水分 (%)	最大寸法 (mm)	ふるいを通るものの重量百分率 (%)							骨材に関する試験の級	
	絶乾	表乾						40	30	25	20	15	10	5		
川砂利25	2.56	2.61	1.80	1.58	61.7	0.06	0.00	25	100	100	100	89	77	49	2	Ⅱ級

表4 細骨材の品質

種類	見掛比重		吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/l)	実積率 (%)	洗試験による水分 (%)	最大寸法 (f.m)	ふるいを通るものの重量百分率 (%)							骨材に関する試験の級
	絶乾	表乾						5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
川砂	2.52	2.57	1.90	1.72	68.3	2.2	0.00	2.44	100	91	77	55	27	6	Ⅱ級
水砕砂b	2.74	2.81	2.50	1.64	59.9	2.3	0.00	2.79	100	96	72	34	14	5	(Ⅱ級) N=相乾
水砕砂d	2.51	2.57	2.43	1.53	61.0	1.7	0.00	2.95	100	92	66	30	12	5	(Ⅱ級) N=相乾
除冷砂e	2.67	2.80	4.80	1.96	70.0	7.1	0.01	2.47	98	90	71	51	33	10	(Ⅱ級) N=相乾

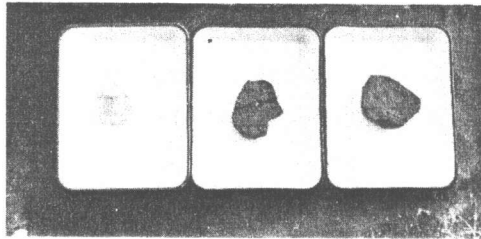
表1 使用セメントの品質(製造会社報告)

ig. loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total				
0.6	0.0	22.2	5.2	3.1	65.0	1.3	1.7	99.1				
%	%	%	%	%	%	%	%	%				
比重	凝結				安定性	曲げ強さ (kg/cm ²)						
	フレン水量 (cm ³ /g)	始発 (時分)	終結 (時分)	70-		3日			7日			
3.15	3140	27.6	2-39	3-46	良	258	35	52	72	148	243	416

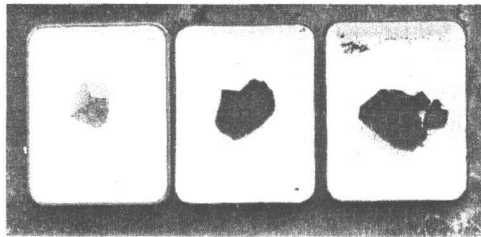
後者では水中浸せき1日間で前述の現象が認められた
(写真1~3参照)。

表5 水質(足利市保健所報告)

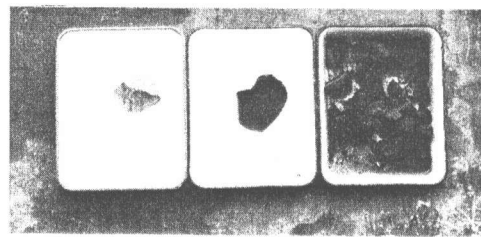
項目	水質
色度	5度以下
濁度	2度以下
水素イオン濃度(pH)	7.0 ppm
蒸発残留物	310 ppm
塩素イオン	14.5 ppm
過マンガン酸カリウム消費量	0.30 ppm



T. Fe 0.5% (比較用) T. Fe 4.89% T. Fe 8.03%
写真1 水中浸せき直前の高炉スラグ砕石



T. Fe 0.5% (比較用) T. Fe 4.89% T. Fe 8.03%
写真2 水中浸せき1日間後の高炉スラグ砕石



T. Fe 0.5% (比較用) T. Fe 4.89% T. Fe 8.03%
写真3 水中浸せき14日間後の高炉スラグ砕石

表6 実験の項目と方法

実験項目	実験方法
ワーカビリティー	スランプ試験におけるコンクリートの状態から判定した。
スランプ	JIS A 1101 (コンクリートのスランプ試験方法) による。
空気量	JIS A 1108 (おだ固まりのコンクリートの空気量の圧力による試験方法) (空気室圧力方法) による。
圧縮強度	10φ×20cmの金属製の型枠を用い JIS A 113B (試験室におけるコンクリートの作り方) による供試体を作り、圧縮強度の測定は JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験法) による。なおミキサは容量50ℓの強制を用い、材令は7, 28, 91, 365日とした。
静弾性係数	圧縮強度試験時にコンプレッソメーターを用いて歪を測定し最大荷重時の点の静弾性係数を求めた。
中性化深さ	10×10×40cmの金属製の型枠を用い JIS A 113Bによる供試体を作り、材令3日と20℃, 80%の恒温槽に放置した。その後材令7日および水中養生し、28日および屋内に放置し、その後は屋外に放置し材令365日において一部を切断し、その面にフェルツグラインアルコール溶液を噴霧した。中性化深さの測定はmm単位のスケールを用いた。
コンクリート中の鉄筋のさびの発生	中性化深さを測定する供試体中に二本の13φの2かき鉄筋を埋込み(かぶり厚さおよび3cm)、材令365日において中性化深さの測定も含めて供試体の一部をダイヤモンドカッターで切断し、その部分の鉄筋のさびの発生の状態を調べた。

4. 17種類の高炉スラグ砕石を用いたコンクリートについて

4.1 緒言

水セメント比65%, スランプ21±1cm を目標とした高炉スラグ砕石コンクリートの基本的性質を究明した。なお、比較のためにリ砂利を用いた場合についておぼた。

4.2 実験の項目と方法

表6に示す

4.3 実験結果

表7および図1~3に示す

4.4 結果の検討

水セメント比65%, スランプ21±1cm, 空気量4~6%の高炉スラグ砕石コンクリートの基本的性質について検討した結果、おおよそ次のことがいえよう。

(1) ワーカビリティー

スランプしたコンクリートの形やタンピングしたと

表 7 コンクリートの実験結果

粗骨材	No.	細骨材	水セメント比 (%)	スラング (cm)	(1) 空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)			粗骨材の容積 (m ³ /m ³)	ワーカビリティ	圧縮強度 (kg/cm ²)				静弾性係数 (kg/cm ²)				中性化深さ (mm)			鉄筋の腐びの発生
								セメント	(2) 細骨材	(2) 粗骨材			7日	28日	91日	365日	7日	28日	91日	365日	材令 365日			
																					最大	平均	最小	
A	1	川砂	65	20.0	5.0	42.2	199	306	696	891	0.610	良	116	223	269	351	1.93	2.30	2.77	3.37	8	5	2	さびは認められなかった
B	2	川砂	65	20.0	4.0	45.0	199	306	753	866	0.610	良	132	243	326	380	2.19	2.50	2.98	3.25	8	6	3	さびは認められなかった
C	3	川砂	65	21.0	3.9	43.9	199	306	753	885	0.610	良	130	258	317	332	2.09	2.89	3.19	3.38	7	5	2	さびは認められなかった
	4	川砂	65	22.0	5.9	48.6	201	309	736	822	0.583	良	127	216	308	365	2.03	2.60	3.21	3.45	6	4	2	さびは認められなかった
D	5	川砂	65	22.0	4.5	44.3	199	306	736	858	0.604	良	119	219	308	315	2.12	2.68	3.25	3.47	6	4	2	さびは認められなかった
	6	徐冷砂 e	65	20.5	6.0	50.2	194	298	873	795	0.541	良	119	226	291	334	2.04	2.64	3.12	3.36	6	4	2	さびは認められなかった
E	7	川砂	65	22.0	4.0	45.3	199	306	759	875	0.583	良	157	271	335	358	2.32	2.90	3.21	3.43	6	5	3	さびは認められなかった
F	8	川砂	65	22.0	5.0	47.1	199	306	776	857	0.533	良	150	232	329	370	2.50	2.96	3.41	3.67	6	4	2	さびは認められなかった
	9	川砂	65	21.5	4.0	45.8	193	297	776	919	0.638	良	104	209	279	352	2.17	2.80	3.01	3.60	6	4	2	さびは認められなかった
	10	水砕砂 b	65	21.5	4.5	48.7	195	300	888	835	0.576	良	117	205	271	369	2.00	2.83	3.26	3.61	6	4	2	さびは認められなかった
G	11	川砂	65	22.0	4.5	49.3	199	306	819	892	0.583	良	109	208	288	367	2.20	2.90	3.09	3.21	6	4	2	さびは認められなかった
H	12	川砂	65	22.0	4.8	50.6	199	306	837	875	0.583	良	112	229	286	371	2.10	2.83	3.36	3.59	6	4	2	さびは認められなかった
I	13	川砂	65	22.0	5.8	42.6	199	306	693	932	0.617	良	112	213	277	359	2.09	2.67	3.19	3.42	5	4	1	さびは認められなかった
J	14	川砂	65	22.0	4.6	45.9	199	306	761	850	0.625	良	125	243	268	347	2.23	2.79	2.90	3.37	5	4	1	さびは認められなかった
K	15	川砂	65	21.5	5.8	42.9	199	306	698	846	0.613	良	130	241	303	351	1.97	2.60	2.81	3.29	5	4	2	さびは認められなかった
	16	川砂	65	22.0	5.8	45.8	188	289	764	821	0.617	良	101	231	247	339	1.82	2.43	2.70	2.92	7	5	2	さびは認められなかった
	17	川砂	65	21.5	6.0	40.9	188	289	804	781	0.596	良	109	219	269	349	1.84	2.53	2.86	3.09	7	5	2	さびは認められなかった
川砂利	18	川砂	65	22.0	4.3	40.9	190	292	696	1018	0.644	良	105	228	285	350	2.19	2.72	2.97	3.51	6	4	1	さびは認められなかった
	19	水砕砂 d	65	21.0	5.9	42.4	194	298	695	965	0.611	良	116	206	258	342	2.20	2.80	2.95	3.39	6	4	2	さびは認められなかった

(注) (1) 骨材の修正係数と差引いた値 (2) 絶乾状態

きのくすれ方を観察した結果、いずれの場合も、おおむね良好であった。

(2) 圧縮強度

① 高炉スラグ砕石の絶乾比重と圧縮強度
本実験に用いた高炉スラグ砕石の絶乾比重は2.29~2.70である。これを用いたコンクリートの材令7, 28, 91, 365日のいずれの場合も絶乾比重が大きいほど圧縮強度はやや高い傾向にある(図1参照)。

② 材令と圧縮強度

高炉スラグ砕石コンクリートの圧縮強度は、川砂・川砂利・AEコンクリートと比して初期強度がやや高い傾向にある(図2参照)。

(3) 静弾性係数

高炉スラグ砕石コンクリートの気乾単位容積重量は本実験の場合2.00~2.17であるが、静弾性係数は日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準に用いられているコンクリートの圧縮強度-静弾性係数の関

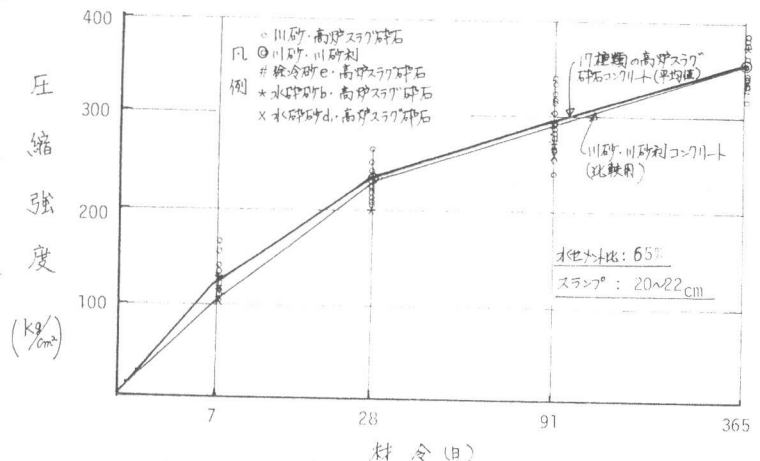


図2 17種類の高炉スラグ砕石コンクリートの材令と圧縮強度の関係

係式を満足する傾向にある(図3参照)

(4) 中性化深さ

材令365日にて屋外に暴露した高炉スラグ砕石コンクリートの中性化深さは最大, 平均, 最小とも比較用の川砂・川砂利AEコンクリートと比して同程度である。

(5) コンクリート中の鉄筋のさびの発生

溶融高炉スラグの冷却水として工業用水を使用した場合の高炉スラグ砕石を用いたコンクリート中の、サび鉄筋には材令365日現在においてさびの発生は認められなかったが、海水を使用した場合には、サび鉄筋の下端にさびの発生が認められた。

5. おわりに

水セメント比65%、スランプ21cmの高炉スラグ砕石コンクリートの圧縮強度、静弾性係数、中性化深さ、コンクリート中の鉄筋のさびの発生について究明した結果、溶融高炉スラグの冷却に工業用水を使用した16種類の高炉スラグ砕石を用いたコンクリートは比較用の川砂・川砂利・AEコンクリートと同様に扱うことができることを確認し、溶融高炉スラグの冷却に海水を使用した場合、圧縮強度、静弾性係数、中性化深さには悪影響をおよぼさないが、コンクリート中の鉄筋にはさびが発生するおそれがあることを確認した。

(謝辞)

本研究の一部は財建材試験センターコンクリート用高炉スラグ骨材標準化委員会の研究の一環として行ったものである。試料をご提供下さった各社および水中浸せき試験のためにFe₂O₃含有量の高い高炉スラグを試作して下さい、た新日鉄基礎研究所の佐々木 稔博士に対し深甚の謝意を表す。

また、本実験には本号化学研究室の萩原俊夫助手および当研究室の大平光洋君をはじめ、本号卒業生の小野寺 健、沢沢義文、新居俊夫、柏崎高幸、柳田泰則5君らの協力を得たことを付記して謝意を表す。

(参考文献)

- 1) 依田彰彦：分離粉砕方式による高炉セメントを用いた建築用コンクリートの性質に関する実験的研究，昭和46年11月
- 2) 依田彰彦：需要サイドからみた鉄鋼スラグの有効利用，鉄鋼界誌，昭和53年6月～7月
- 3) 依田彰彦・森田晴美・新井一彦：鉄滓を骨材としたコンクリートについて，日本建築学会関東支部研究発表会，1966年
- 4) 依田彰彦・吉田弥智・飛坂基夫：高炉スラグ粗骨材の一般的性質に関する調査試験，(財)建材試験センターコンクリート用高炉スラグ骨材標準化委員会，昭和51年9月
- 5) 依田彰彦・磯室 隆：高炉スラグ砕砂を用いたコンクリ

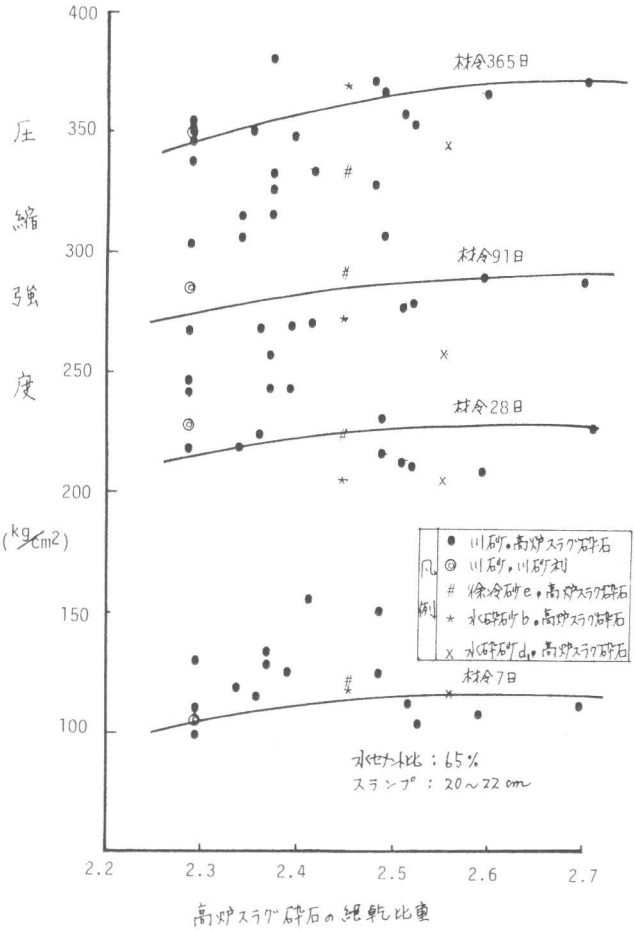


図1 高炉スラグ砕石の絶対比重とそれを用いたコンクリートの圧縮強度との関係

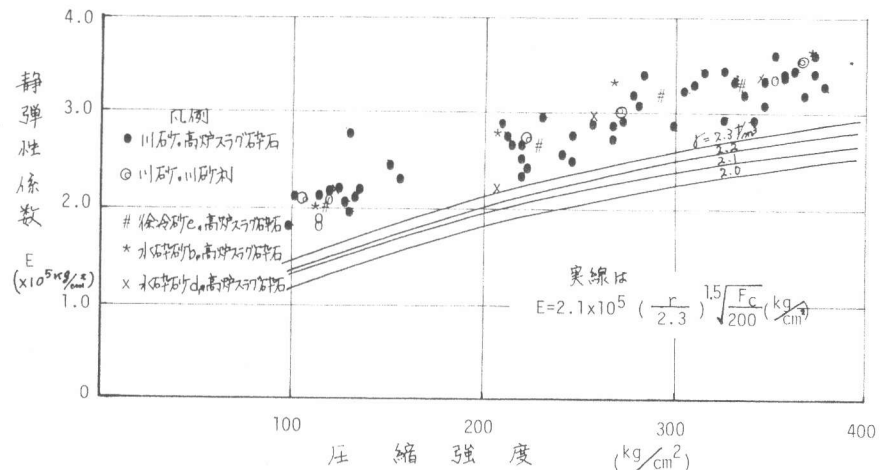


図3 17種類の高炉スラグ砕石コンクリートの圧縮強度と静弾性係数との関係

- の基本的性質について，日本建築学会学術講演梗概集(北海道)，昭和53年9月
- 6) 日本建築学会編：高炉スラグ砕石コンクリートの施工指針案・同解説，昭和54年2月
 - 7) 粗骨材研究委員会：コンクリート用高炉スラグ粗骨材JIS原案・同解説，(財)建材試験センターコンクリート用高炉スラグ骨材標準化研究委員会，昭和51年9月