

V-3 フェロニッケルスラグのコンクリート用細骨材としての利用に関する2, 3の検討

八戸工業大学 学員 ○佐藤 真吾
八戸工業大学 正員 庄谷 征美
八戸高専 正員 菅原 隆

1. ま え が き

近年、我が国の骨材資源の枯渇化に伴い、未利用資源を有効に活用し対処することが必要になってきている。フェロニッケル製造時に副産されるフェロニッケルスラグは、この観点から有望視されている資源である。現在、年間生産量約200万tのうち大半が埋め立て材料等に廃棄されているが、日本工業協会では、主にコンクリート用細骨材としての適性に着目し、JIS化の方向で検討をすすめている。本報告は、フェロニッケルメーカー3社より在り姿のフェロニッケルスラグを入手したので、これらスラグのコンクリート用細骨材としての適用性に関して、基礎検討を行った結果を述べるものである。

2. 実験概要

1) 使用スラグ細骨材： 用いたスラグ細骨材は徐冷1種、急冷3種、急冷破碎1種であり、表-1に基準及び混合用天然砂、粗骨材に用いた石灰石（最大寸法20mm）も含めそれらの品質を示す。これよりスラグ細骨材の比重は2.8～3.1の範囲にあり、吸水率は0.3～1.8%程度、実積率は50%～70%弱まで幅広い値を示している。スラグ細骨材は在り姿のものであるため、粗粒率が2～4程度になっており、使用に際しては天然砂との混合を必要とするものが大半と考えられる。色調は白味を帯びたもの（K）、茶褐色（H₁, H₂）、緑色を帯びている（S）など産状により変わる。粒形では、H₁は球状、K針状などの特徴がある。

2) 試験計画： 表-2にモルタルとコンクリートの試験概要を示す。表中では試験に用いられた水セメント比及び、試験項目が示されている。モルタルでは基準砂（R）使用、w/c=55%、s/c=3の条件で得られたフロー値（205mm）となるように各スラグモルタルの単位水量を試験で決定した。コンクリートでは、スランブ8cm、air5%となるように単位水量と最適s/aを試的に決定し、以後の試験を行った。なお、セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。

3. 実験結果

1) モルタル試験： 表-3にフロー205mmの得られる単位水量を示す。単位水量比（基準砂R使用に対する）は84～118%と幅広く変化する。表から、H₁を除いてスラグ使用は単位水量を増加させることが分かる。特に乾砕（K）でこの傾向が著しく、これは粒形の悪さが影響したものと考えられる。図-1には、圧縮強度に及ぼすYスラグ混合率の影響の一例を示したが、単味使用、すなわち混合比1.0に比べ、天然砂との混合により強度面で改善されており、この例ではスラグ6割混合で最大となった。次に図-2ではセメント水比と28日圧縮強度（f'28）の関係例を示す。これよりスラグ混合率が6割の

表-1 使用骨材成績表

細骨材		比 重	吸水率 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率 (F.M)
天然砂	R	2.63	0.73	1.67	63.9	2.50
	HR	2.71	1.03	1.67	62.4	1.22
	Y	2.56	0.95	1.65	65.2	2.90
スラグ細骨材	H ₁	2.86	1.77	1.79	63.6	4.00
	H ₂	3.05	1.13	2.06	68.2	2.91
	K	3.01	0.50	1.51	48.7	2.32
	S	2.99	0.31	1.87	62.6	3.05
	Y	3.08	0.60	1.83	59.2	1.73
粗骨材		2.73	0.40	1.62	59.8	6.62
備考						
R - 基準砂		HR - 細目砂		YR - 粗目砂		
H ₁ - 風砕		H ₂ - 風砕 - 粉砕後		K - 乾砕		
S - 電気炉水砕		Y - キルン水砕				

表-2 モルタル、コンクリートの試験計画

モ ル タ ル			コ ン ク リ ー ト		
水セメント比 (%)	スラグ 混合比	試験項目	水セメント比 (%)	スラグ 混合比	試験項目
45	100	配合試験	40	100	配合試験
55	80	(単位水量)	55	80	(単位水量)
65	70	圧縮、曲げ試験	70	60	最適s/a
	60	乾燥収縮 弾塑性係数 乾燥収縮		(50)	圧縮、引張試験 弾塑性係数 乾燥収縮

場合であつても強度と c/w は直線関係にあるといえるが、 H_1 スラグのように低水セメント比になると強度が頭打ちになり相関が低下する例も認められる。また圧縮強度は全般に基準砂使用モルタルに比べ、 $w/c=55\%$ より少なる場合小さくなる傾向にある。これは主にスラグ細骨材の強さと関係したものであろう。図-3は曲げ強度が風砕スラグ(H_1 , H_2)では若干低下傾向があるが、他のスラグでは基準砂と大きな差はないことを示す。表-4より乾燥収縮は70~110%強と変化しているが、全般に風砕(H_1)スラグが小さく、乾砕(K)等が大きくなった。これは単位水量比に大きく関係すると考えられる。

2) コンクリート試験: 表-5よりコンクリートの単位水量比は風砕(H_1)使用の場合以外は最大123%程度と増加している。また、最適 s/a は43~54%と基準砂コンクリートより幾分大きくなった。同一 air 量を得る AE 剤量は、全般にスラグ使用で少なくなる。これはエントラップトエアーの増加によるのではないと思われる。7日圧縮強度は基準砂に比べ87%~135%となり幾分混合により改善されている。

4. むすび

我が国で副産されるフェロニッケルスラグを材料として、基礎的検討を行った結果天然砂との混合使用や、粒形の改善を必要とするもの、強度面で幾分問題となるスラグ種類もあるものの全般的にはコンクリート用細骨材として十分利用可能と考えられる。

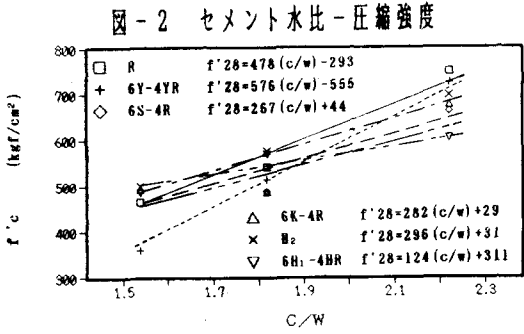


表-4 乾燥収縮

	乾燥収縮 ($\times 10^{-4}$)			重量変化率 (%)		
	10日	30日	60日	10日	30日	60日
R	72	109	121	2.64	3.96	4.52
H ₁	38	81	73	3.04	4.57	5.18
H ₂	53	84	100	2.78	4.21	4.86
6H ₁ -4HR	37	54	69	2.71	3.75	4.61
K	71	110	130	2.82	4.72	5.15
6K-4R	78	116	131	2.83	4.38	5.04
S	59	85	105	2.31	3.74	4.39
6S-4R	61	90	106	2.40	3.80	4.39
Y	64	100	118	2.62	4.10	4.80
6Y-4YR	81	117	134	2.71	4.46	5.18

表-3 所要単位水量

	種 類	単位水量 (kg)	単位水量比 (%)	S/C (%)
天然砂	R	263	100	3
	HR	320	122	4
	YR	260	99	3.6
スラグ	H1	240	91	4.2
	H2	276	104	3.3
	6H1-4HR	220	84	4.8
	7H1-3HR	220	84	4.8
	8H1-4HR	220	84	4.8
	K	310	118	2.5
	6K-4R	296	113	2.9
	7K-3R	301	114	2.8
	8K-2R	300	114	2.7
	S	280	106	3.2
	6S-4R	261	99	3.7
	7S-3R	267	102	3.5
	8S-2R	275	105	3.3
	Y	310	118	2.6
	6Y-4YR	297	113	2.9
	7Y-3YR	301	114	2.8
	8Y-2YR	300	114	2.7

図-1 混合率-圧縮強度

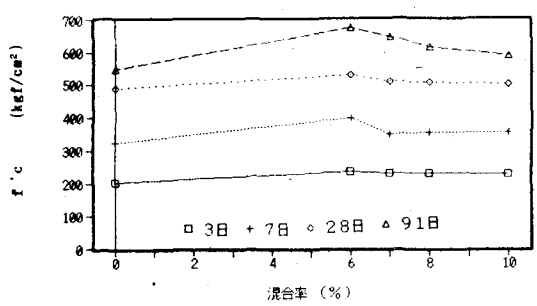


図-3 圧縮-曲げ強度比

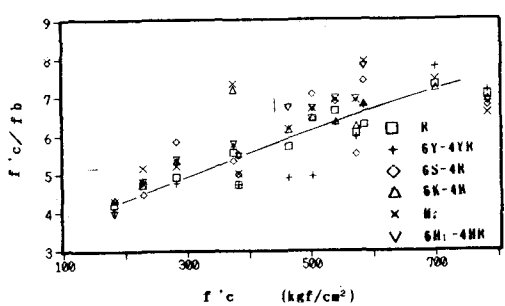


表-5 コンクリートの配合及び試験結果

種別	単位水量 (kg)	単位水量比 (%)	s/a (%)	AE剤 (%)	f'7 (kg/cm²)	E7 (kg/cm²)	f'28 (kg/cm²)
R	163	-	46.5	0.0345	235	2.48×10^6	21.9
H ₁	174	107	49.5	0.0355	277	2.39×10^6	23.4
6Y-2YR	200	123	46.5	0.0238	258	2.83×10^6	22.2
6Y-4YR	190	117	48.0	0.0245	318	3.27×10^6	26.4
6K-2R	196	120	44.8	0.0345	225	2.16×10^6	25.9
6K-4R	191	117	43.0	0.0285	259	2.13×10^6	19.8
8S-2R	182	112	50.5	0.0298	269	2.85×10^6	23.9
6S-4R	178	109	43.3	0.0274	205	2.78×10^6	20.7
6H1-4HR	158	97	54.6	0.0225	268	3.33×10^6	19.3
5H1-5HR	168	103	52.5	0.0208	215	3.15×10^6	19.3