

東京大学生産技術研究所 正会員 ○ 魚本 健人
同 上 正会員 星野 富夫

1. は し が き

フェロニッケルスラグは、主にステンレス鋼材の原料として用いられるフェロニッケル製造時に副産されるスラグで、我が国では年間 200 万トン～250 万トン産出されている。フェロニッケルスラグは、従来製鉄原料としても利用されているが、多くは埋立材料として使用されているのが現状である。しかし、フェロニッケルスラグの成分としては、 SiO_2 、 MgO_2 、 Fe などが主であって、鉱物学的にも安定していると言われている。そこで、この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をはかることができれば、資源の有効利用という点からも意義あるものと言えよう。本研究は、このような観点から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を目的として、コンクリート強度に及ぼす影響について実験的な検討を加えたものである。

2. 実験概要

表-1 フェロニッケルスラグ細骨材の品質

実験に使用したフェロニッケルスラグ細骨材は、表-1に示すような 炉の種類、冷却方法、粉砕方法の異なる計 7 種類のスラグを、土木学会基準に相当するよう粒度調整したもののである。なお、比較のための大井川産の川砂も使用した。

この表からも明らかなように、フェロニッケルスラグ細骨材は川砂に比べ、比重が大きく、単位体積重量も大きい。

フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリート強度を調べるため、粗骨材は全て秋夕面神産の砕石(最大寸法 20mm)とした。コンクリートの配合は、水セメント比を 40%、55%、70% の 3 種類とし、スランプが 9 ± 2 cm となるように定めた。供試体は打設後水中養生 (20℃) 及び空中養生 (水中養生 1 週間後、20℃、50% R.H. の空气中で養生) を施した。

細骨材としての品質の比較を行うため、破碎性状及び細骨材率の圧縮強度に及ぼす影響についても検討を加えた。

3. 実験結果と考察

フェロニッケルスラグ細骨材を用いた場合の強度を表-2にまとめて示す。この表からも明らかなように、圧縮強度に関しては材料 1 週では大井川産の川砂を用いた場合と同等程度の強度が得られているが、材料 4 週では 50～100% 低い強度となる場合がある。引張強度の場合も圧縮強度とはほぼ同じ傾向を示しているが、水セメント比が小さい配合のコンクリートではかなり小さな強度となる場合もある。しかし、曲げ強度に関しては大井川産の川砂を用いた場合と同等であり、より高い強度となるものも多い。これは、図-1に示す圧縮強度 (σ_c) と圧縮強度に相対する曲げ強度の比 (σ_b/σ_c) との関係

No	製造場所	炉	冷却法	粉砕法	比重	FM	吸水率 (%)	単位 (kg/m ³)
1	伊達	電気	保冷	乾研	3.09	2.18	1.06	1824
2	八戸	電気	急冷	風研	3.06	2.57	1.80	1999
3	富山	電気	急冷	水研	2.87	2.53	0.12	1862
4	橋立	回転	急冷	水研	3.10	2.51	0.65	1862
5	佐賀関	溶鋼	急冷	水研	2.74	2.55	0.69	1574
6	佐賀関	電気	急冷	水研	2.87	2.68	0.69	1828
7	日向	電気	急冷	水研	3.01	2.67	1.09	1988
川砂	大井川	—	—	—	2.64	2.94	0.96	1534

表-2 コンクリートの強度

	水セメント比 (%)	圧縮強度 (MPa)			曲げ強度 (MPa)			引張強度 (MPa)		
		1w	4w	4w	1w	4w	4w	1w	4w	4w
NO1	40	399	536	547	56.2	66.8	30.0	34.0		
	55	294	413	436	48.4	61.4	24.3	37.9		
	70	178	274	287	38.4	52.3	18.7	29.6		
NO2	40	408	531	599	65.4	69.0	34.8	41.1		
	55	240	325	351	43.8	51.7	19.8	28.2		
	70	152	236	247	33.8	42.3	15.3	26.3		
NO3	40	363	474	526	57.6	62.2	25.9	31.7		
	55	218	318	351	37.2	47.0	17.9	22.7		
	70	140	226	241	26.2	39.1	13.6	21.9		
NO4	40	410	548	586	70.7	77.4	34.8	38.5		
	55	268	388	410	50.6	61.4	30.3	38.9		
	70	191	298	306	33.3	52.3	20.8	27.6		
NO5	40	398	489	538	62.6	69.8	33.0	36.7		
	55	236	320	355	45.1	54.2	22.6	30.2		
	70	142	210	239	31.1	40.4	18.2	25.8		
NO6	40	396	517	559	56.6	62.8	32.3	40.6		
	55	290	381	414	48.9	58.2	28.5	37.6		
	70	168	236	266	35.3	45.4	15.6	24.1		
NO7	40	394	532	567	59.8	72.5	33.6	37.0		
	55	252	392	397	49.5	56.8	26.7	32.0		
	70	146	245	250	33.5	42.8	16.9	25.8		
大井川	40	421	589	604	68.8	71.2	35.0	45.1		
	55	275	428	421	44.5	56.6	24.3	36.6		
	70	155	279	269	32.8	46.5	15.9	27.0		

を調べると明らかである。即ち、同じ圧縮強度の場合、フェロニッケルスラグ細骨材を用いた方が高い曲げ強度となっている。この原因は必ずしも明らかでないため、今後さらに化学的な検討が必要であると考えられる。

フェロニッケルスラグを細骨材として用いた場合の圧縮強度とヤング率との関係は図-2に示す通りである。この図から明らかとなるように、大井川産川砂を用いた場合に比べより高いヤング率が得られている。これは、フェロニッケルスラグの比重が川砂に比べ大きく、より密実な品質であるためと考えられる。

フェロニッケルスラグ細骨材の品質を評価し、圧縮強度との関係を調べるため種々の検討を行った。その結果、内径91mm、高さ82mmの鋼製円筒容器($t=19\text{mm}$)にフェロニッケルスラグを3層に積み、14tonまで載荷し、載荷前及び載荷後の0.3mm以下の割合を比較する方法で評価することを試みた。その結果を図-3に示す。この図では多少バラツキは大きいが、圧縮強度とほぼ良い対応を示している。即ち、載荷によって破砕される割合の少ないものほど圧縮強度は高い傾向にあり、破砕される割合の多いものほど圧縮強度は低い。この違いはフェロニッケルスラグの製造条件によるものと考えられるが、さらに検討が必要であろう。

フェロニッケルスラグを用いた場合に、川砂を用いた場合と大きく異なる点はブリージングが多いことである。そこで、1例として表-1のNo2(風砕)を取り上げ、分割練り混ぜ方法を採用した。その結果を図-4に示す。この図から明らかとなるように分割練り混ぜ方法で W/C を約10%とするとブリージングは若干減少するが、川砂ほどではない。また、細骨材率を大きく変化させ圧縮強度を調べた結果、図-5に示すように S/A が50%程度の時に最大強度を示した。これらのことから、本実験で行ったように、コンシステンシーのみから細骨材率を定めただけよりも、やや大きな値を選定する方法が必要であると思われる。特にこのNo2の細骨材は、微粒分までほぼ珪砂であり、他と比べて表面積が小さいことから、

上記のように分割練り混ぜ方法でも効果が小さかったものと思われる。

4. あとがき

本研究は土木学会スラグ小委員会の調査の一部として実施したものである。

図-4 分割練り混ぜ時のブリージング経時変化

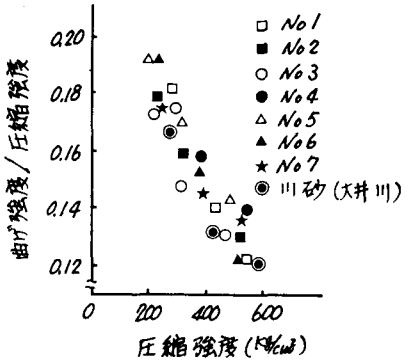
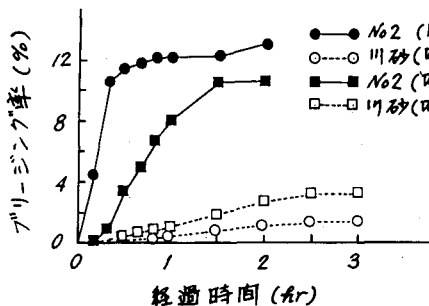


図-1 σ_c と (σ_b/σ_c) との関係

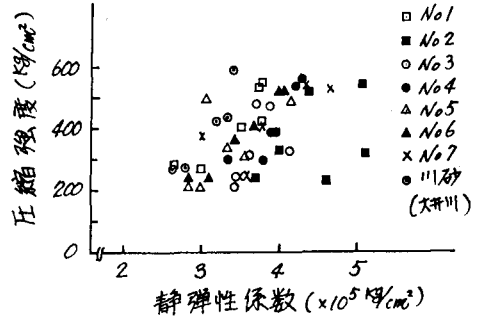


図-2 圧縮強度と静弾性係数との関係

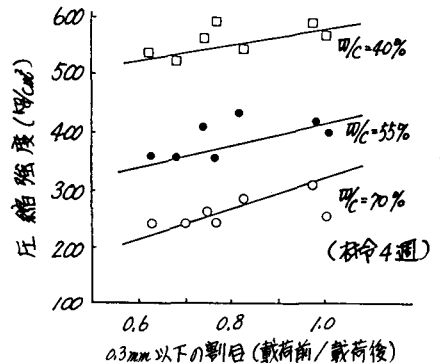


図-3 破砕割合と圧縮強度との関係

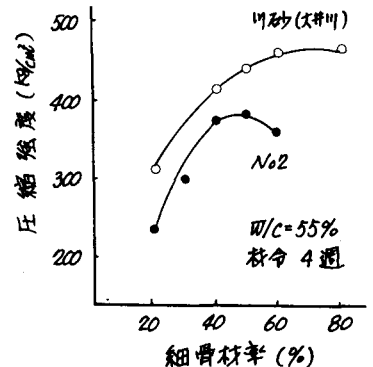


図-5 S/A と圧縮強度との関係