

[19] フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの耐凍害性

正会員 ○小 林 正 几 (法政大学工学部)

正会員 田 中 弘 (法政大学工学部)

正会員 高 橋 幸 一 (法政大学工学部)

前 原 泰 史 (法政大学工学部)

1. まえがき

最近のわが国では骨材資源の枯渇に伴う問題がますます深刻化してきたため、未利用資源を有効に活用して、この問題に対処することが緊急を要する課題となっている。フェロニッケルの製造時に副産されるフェロニッケルスラグは年間で産出量は200万ton程に過ぎないが、一部が製鉄原料、路盤等に利用されているほかは、大半が埋立柱材その他として廃棄されているため細骨材としての資源化に深い関心が寄せられている。とくにこのフェロニッケルスラグ細骨材に関しては、製練所の立地条件にてらし、普通細骨材の賦存量に乏しい地域で副産されるものであるため、活用に対する地域的なニーズはきわめて大きいといわれている。しかし、この種の細骨材についての開発研究は比較的最近に始められたものであるため、広汎な実用化をはかるうえでは解明すべき問題点を多く残していると考えられる。すなわち、品質の実態についてはこれまでの研究報告資料によりかなり明らかにされており、^{1) 2) 3)} また使用実績に関しても10年程度にわたる道路、工事等でのコンクリート施設における良好な結果からみて、一般のコンクリート工事に利用しえる見透しはかなり高いものと思われるが、しかし耐久性等基礎的な検討事項に関しては未解明のまま問題が残されている。

本報告は、フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの耐久性について検討するため、わが国の製練所で生産された代表的な7種のを対象として、コンクリートの凍結融解試験ならびに気泡組織に関する試験を行った結果を示し、一般のAEコンクリートとして用いる場合の問題点について論じようとするものである。

2. 使用材料および試験方法

2.1 フェロニッケル細骨材

実験に用いたフェロニッケルスラグ細骨材は徐冷のもの1種および、急冷のもの6種である。急冷のものは風砕処理および水砕処理によって生産されたもので、それぞれ1種および5種である。これらは原材料を破砕加工あるいはふるい分けによって粒度調整し、粒度が概ね標準粒度に合致するようにしたものである。これらの品質

表1 実験に用いたフェロニッケルスラグ細骨材の品質

細骨材		比 重		吸水率	洗い試験損失	単位容積重量	実積率	粒 度								
								粗粒率	ふるいを通過するものの百分率							
区分	名称	表 乾	絶 乾	%	%	kg/l	%		10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
徐冷	乾砕	A	3.11	3.09	1.02	17.3	1.947	63.2	1.94	100	100	94	84	60	42	27
	風砕	B	3.05	3.01	1.57	0.4	2.039	67.9	2.60	100	100	98	83	42	15	2
急冷	電気	C	2.85	2.84	0.28	6.6	1.969	69.3	2.39	100	100	89	82	47	29	15
		D	2.87	2.85	0.62	5.1	1.900	66.6	2.62	100	98	89	69	47	27	9
		E	3.01	2.98	0.78	6.5	2.047	68.5	2.60	100	100	100	83	34	15	8
		F	2.73	2.72	0.68	5.6	1.672	61.7	2.47	100	99	94	74	46	27	13
	水砕	G	3.08	2.06	0.43	2.8	1.871	61.0	2.12	100	100	97	87	61	35	12
川 砂	R	2.59	2.49	2.89	2.8	1.688	67.1	2.60	100	100	88	72	47	20	6	

試験の結果は表1に示すようであった。

2. 2 セメント，骨材および A E 剤

実験に使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。骨材は一般のコンクリート工事に用いられる清浄・堅硬な良質なもので，粗骨材は岩瀬産の砕石（比重2.63，吸水率0.80%），また比較のため使用した細骨材は鬼怒川産の川砂である。（表1）A E 剤にはレジン系の高品質のものを使用した。

2. 3 コンクリートの配合および試験方法

実験に用いたコンクリートは一般の工事におけるものを想定し，粗骨材最大寸法を25mm，水セメント比を55%，またスランプを7~9cmとし，単位水量および細骨材率は試験の対象としたコンクリートのワーカビリティが同じくなるよう試的に定めた。空気量は4.5~5.5%とした。コンクリートの配合は表2に示すようであった。

フレッシュコンクリートの空気量はローリング法によって測定した。硬化コンクリートの気泡組織はシリンダ供試体を入念に切断して平滑に仕上げた研磨面について光学顕微鏡を用いて視察測定した。コンクリートの凍結融解試験は20℃の水中養生を行った10×10×40cmのはり供試体の周囲に水をめぐらし，-18~4.5℃の範囲で1サイクルを約3時間とした促進試験によって行った。なお，フェロニッケルスラグ細骨材の品質特性について詳しく検討するため，1.2~0.6mmのサイズのものについて水銀圧入式ポロシメーターにより，粒子の細孔径分布の測定を行った。

3. フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの気泡組織

3. 1 エントラップドエアの量および気泡間隔係数

フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートのエントラップドエアについて試験した結果は表2に示すようであった。これによれば，エントラップドエアの量は種類によっていくぶん相違するが，高炉スラグ細骨材にみられるように著しく大きくなるものはなく，川砂の場合と大差ないことが認められた。すなわち，風砕砂では2.5%を示し，いくぶん大きい傾向にあるが，水砕砂および乾砕砂では1.1~1.5%の範囲にあり，川砂の1.4%とくらべほとんどかわりはなかった。

図1は細骨材中の1.2~0.6mmのサイズの量とエントラップドエアの量との関係について試験した結果を示したものであるが，これによれば粒子の表面が比較的起状の多い高炉スラグ細骨材の水砕砂では中砂部分が多い場合，エントラップドエアの量が相当に増加する傾向にあるが，フェロニッケルスラグ細骨材では，一般の川砂や砕砂の場合とほとんどかわらないことが認められる。

フェロニッケルスラグ細骨材の粒子表面を光学顕微鏡によって観察した結果によれば，起状の程度は一般の川砂等と類似した状態にあり，空気泡のとりこみによるエントラップドエアの増加はおもに中砂部分の割合によって影響を受けるものと考えられる。したがって，フェロニッケルスラグ細骨材においては，製造の過程で中砂部分がとくに過量とならないように注意するのであれば，

表2 実験に用いたコンクリートの配合および気泡組織

細骨材		コンクリート				気泡組織			
区分	名称	W	S/a	A E 剤	空気量	空気量	比表面積	気泡間隔係数	
		kg/m ³	%	g/m ³	%	%	cm ² /cm ³	μm	
徐冷	乾砕	A	190	30	110	4.93	4.52	272	194
			207	34	—	1.36	1.33	133	707
急冷	風砕	B	140	36	35	4.93	4.80	152	298
			170	41	—	2.55	2.41	86	769
	電気	C	169	37	72	5.19	5.00	264	181
			190	42	—	2.04	1.96	116	657
	水砕	D	175	37	75	5.36	5.37	256	187
			200	40	—	1.15	1.15	129	763
	溶鉄	E	160	37	50	5.27	5.19	228	201
			184	41	—	2.12	2.11	111	659
	回転	F	181	35	65	5.61	5.45	266	178
			210	39	—	1.50	1.74	122	689
川砂	R	G	175	35.5	92	5.36	5.34	254	186
			194	40	—	1.19	1.11	133	738
			166	37	63	4.85	4.46	209	239
			186	41	—	1.44	1.41	170	513

エントラップドエアが過大となることによる強度、耐久性への悪影響はほとんどないものと考えられる。

エントラップドエアの気泡間隔係数については、657~769 μm の範囲であり、川砂の場合の513 μm と同様いずれも相当に大きい値を示した。なお、エントラップドエアの量が多すぎる風砕砂では気泡間隔係数も最大値を示していることが認められた。

3.2 AEコンクリートの気泡間隔係数

フェロニッケルスラグ細骨材を用い、空気量を5%程度としたコンクリートの気泡間隔係数について測定した結果は表2に示すようであった。

試験の結果によれば、いずれもAE剤の使用によって微細なエントレインドエアが多数連行され、一般にすすめられている程度に

空気量を増加させるのであれば、十分な気泡間隔係数がえられる傾向にあることが認められた。すなわち、水砕砂および乾砕砂では178~201 μm の範囲にあり、川砂の場合の239 μm とくらべて、むしろ小さい値となっていることが示された。しかし、風砕砂を用いた場合においては298 μm に達し、幾分大きいことが認められた。

したがって、水砕砂および乾砕砂では、コンクリートに対して凍結融解に対する抵抗性を十分に付与させるに必要と考えられる250 μm 程度の気泡間隔係数を十分満足させているものと思われる。しかし、風砕砂に関しては製造過程での粒度改良等による影響について不明であるので断定的なことはいえないが、所要の凍結融解に対する抵抗性をえるため、空気量は一般にすすめられている値よりある程度増加させる必要があるように思われる。

4. フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性

4.1 凍結融解に対する抵抗性と気泡間隔係数との関連性

7種のフェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートについて、凍結融解試験を行った結果は表3に示すようであった。凍結融解試験開始時の材令は、14日、6月および1年の3種とした。これによれば、凍結融解に対する抵抗性はフェロニッケルスラグ細骨材の種類によっていくぶん相違することが示された。すなわち、300サイクル後の動弾性係数百分率は試験開始の材令をいずれとした場合もおおむね同程度の値を示すが、たとえば材令を6月とした場合、水砕砂および乾砕砂では82~89%であって、川砂の場合の89%とくらべていくぶん小さい傾向にはあるものの大差ない値となっているのに対し、風砕砂においては62%に過ぎない。

AE剤を用いない場合の凍結融解試験の結果によれば当然のことではあるが、著しく劣化することが示された。

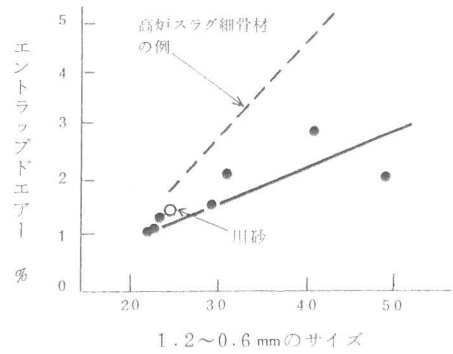


図1 エントラップドエアの量と砂中の1.2~0.6 mmのサイズの量との関係

表3 フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解試験結果

細骨材		名称	動弾性係数百分率												
			材令 14 日				材令 6 月				材令 1 年				
処理方法	加		0	100	200	300 サイクル	0	100	200	300 サイクル	0	100	200	300 サイクル	
徐冷	乾砂	A	100	93	92	88	100	89	87	82	100	89	85	84	
		B	100	76	60	63	100	83	78	62	100	83	73	60	
急冷	水砂	電気	C	100	91	88	85	100	88	86	84	100	90	88	86
		D	100	94	93	86	100	92	91	89	100	92	90	89	
		E	100	93	91	86	100	89	87	85	100	88	86	85	
		塔鉄	F	100	95	95	91	100	91	89	86	100	91	89	86
		回転	G	100	92	89	78	100	88	86	84	100	91	89	88
		川砂	R	100	93	93	91	100	93	91	89	100	93	92	92

なお300サイクルについて求めた耐久性指数は、川砂で47%であるのにくらべてかなり小さく、8~29%であった。

耐久性指数と気泡間隔係数との関係を示す図2によれば、気泡間隔係数を増加させるに伴い耐久性指数は著しく低下するが、一般のコンクリートの場合と同様に、フェロニッケルスラグ細骨材においても気泡間隔係数を250 μ m程度にするのであれば、十分な耐凍害性はえられるものと考えられる。

4.2 凍結融解に対する抵抗性と細骨材粒子の細孔組織の関係

この種の細骨材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性について詳しく検討するため、細骨材粒子の細孔径分布について測定した結果によれば、全細孔量と耐久性指数との間にはとくに相関性はないが、比較的大きい細孔径、とくに140,000 \AA 程度以上の細孔量が多いほど、耐久性指数は小さくなる傾向にあることが認められた。(図3)実験検討を継続中であり、明確なことはいえないが、図2にみられるように気泡間隔係数を同じくしても川砂にくらべて凍結融解に対する抵抗性がいくぶん小さく表われるのは、細骨材粒子の構造に由来するものと思われる。

4.3 凍結融解に対する抵抗性と細骨材率との関係

配合条件の相違が凍結融解に対する抵抗性に及ぼす影響について検討するため、細骨材率を著しく高め、通常の値より13%まで大きくした場合について試験を行った。これによれば、A Eコンクリートの耐久性指数は川砂ではほとんど影響を受けないが、フェロニッケルスラグ細骨材の場合には細骨材率の増大に伴って耐久性指数は相当に低下することが認められた。すなわち、細骨材率を最適とされる値より5%大きくすることにより、Eの水砕砂では耐久性指数が86%から63%に、またBの風砕砂では63%から20%に低下した。その原因としては、ブリージングが比較的大きいことも考えられるが、上述のような粒子構造の特質によるものと思われる。したがって、配合設計にあたっては細骨材率は可能な限り小さくするのがよいといえる。

5. 結論

実験の範囲内より次のことがいえると思われる。すなわち、フェロニッケルスラグ細骨材はコンクリート強度の長期安定性について、なお検討すべき問題点を残してはいるが、製造にあたって粒度分布を標準範囲内におさめ、細骨材率を適切に定めて用いるのであれば、凍結融解に対する抵抗性は一般の場合と同様、気泡間隔係数によって支配され、所要の耐久性を付与することは十分可能であると思われる。

本研究は日本鉄業協会の依頼により土木学会スラグ小委員会の研究として行ったものであり、謝意を表します。

参考文献

- 1) 沼沢秀夫, 飛坂基夫, "フェロニッケルスラグのコンクリート用細骨材への利用に関する基礎的実験" 建材実験情報 1, 1982年, pp.7~14
- 2) 秋山 淳, 山本泰彦, "コンクリートにおけるフェロニッケルスラグの利用に関する基礎研究," 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集第5部, 昭和58年9月, pp.161~162
- 3) 星野富夫, 魚本健人, "フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの強度とポロシティー," 土木学会第11回関東支部年次研究発表会講演概要集, 昭和58年1月, pp.147~148

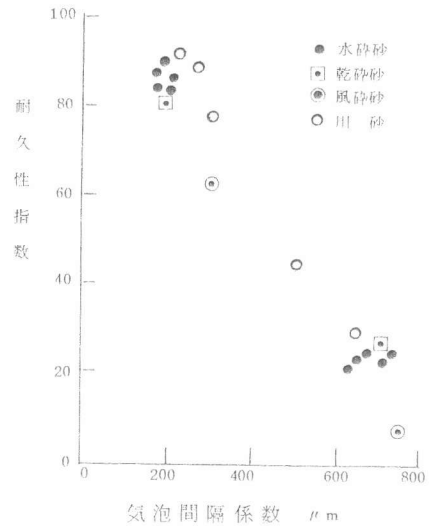


図2 気泡間隔係数と耐久性指数との関係

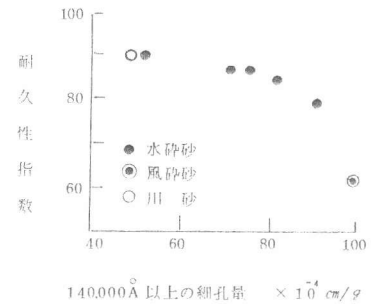


図3 細孔量と耐久性指数との関係