

# V-271 フェロニッケルスラグ砂を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性

八戸工業大学土木工学科 正員 庄谷 征美  
 八戸工業大学土木工学科 正員 杉田 修一  
 秋田大学大学院 学員 ○ 徳橋 一樹

## 1. まえがき

各種フェロニッケルスラグ砂をコンクリート用細骨材として利用する上で、アルカリ骨材反応や凍結融解抵抗性に劣る点などが指摘されている。一般にあり姿のスラグは粒度上の問題から天然砂等との混合使用が望ましく、また標準粒度のスラグであっても天然砂との混合によって骨材品質を高め、結果的にコンクリート品質の改善が期待できる。以上より本研究は、スラグコンクリートの凍結融解抵抗性改善の可能性について、スラグ混合比や配合、材料分離特性などの観点から検討を加えたものである。

## 2. 実験方法

2-1 使用材料及び配合：セメントはS社製普通ポルトランドセメントを用い、混和剤としてはAE剤ヴィンソルを使用した。粗骨材は最大寸法20mmの大船渡産石灰石砕石を用いた。細骨材として用いた天然砂、フェロニッケルスラグ砂の物理的性質及び凍結融解損失量を表-1、表-2に示す。本研究で検討したスラグの混合比は表-1のように容積割合で8割、6割を主としたが、一部5割も検討した。水セメント比は45、55、65%の3種類とし、空気量をブレンから5%程度と数段階に変化させた。なお、配合は最適s/a値を用い、スランプ8cm、所定空気量が得られるよう試的に単位水量、AE剤量を定めた。

2-2 試験条件及び方法：凍結融解試験には、10×10×40cm角柱供試体を用い、ASTM C666A法(水中凍結水中融解方式)によって材令14日より開始した。凍結融解試験の組合せは表-3に示したが、供試体作製と同時にブリージング試験(JIS A1123)、硬化後のコンクリートについては、リニアトラバース方式による気泡組織の観察(ASTM 0457-82 a)も実施した。なお、凍結融解試験では30サイクル毎に一次共鳴振動数と重量変化率を測定し、終了を300サイクルとした。

表-1 フェロニッケルスラグの種類と組合せ

記号	種類	粒度	産地(製造社)
A	キルン水砕	~1.2mm粒度(在り姿)	日本冶金
B'	風砕	5mm~0.3mm粒度(在り姿)	太平洋金属
B	風砕(破砕)	標準粒度	太平洋金属
C	乾砕	標準粒度	太平洋金属
D	電気炉水砕	標準粒度	住友金属
R	川砂	標準粒度(C、D混合用)	静岡県大井川産
A	川砂	粗目砂(A混合用)	京都府並川産
B	河口砂	細目砂(B混合用)	青森県三沢産

表-2 骨材の物理的性質

細骨材	比重	吸水率 (%)	単位容積 (kg/l)	実積率 (%)	積率率 (F.N.)	細骨材の凍結融解抵抗性						
						1) 5~1.2(mm)		2) 1.2~0.3(mm)				
						凍結融解損失率						
						50	100	150	50	100	150	
天	R	2.63	0.73	1.67	83.9	2.63	18.4	19.9	20.2	13.0	13.7	14.6
然	AR	2.56	0.95	1.05	65.2	3.10	13.6	15.1	15.7	2.29	2.55	3.00
砂	BR	2.71	1.03	1.67	62.4	1.22	-	-	-	12.1	12.2	12.3
ス	A	3.08	0.60	1.83	59.2	1.73	-	-	-	0.25	0.27	0.45
ラ	B'	2.86	1.77	1.79	63.6	4.00	2.81	2.87	2.90	0.01	0.01	0.46
グ	B	3.05	1.13	2.06	69.2	2.51	0.35	0.44	0.49	0.19	0.21	0.25
砂	C	3.09	0.50	1.51	48.7	2.32	3.61	9.03	13.2	7.68	8.00	8.41
	D	2.89	0.31	1.87	62.8	3.31	10.8	10.9	11.0	0.55	0.64	0.72
粗骨材		2.73	0.40	1.62	59.8	6.62	11.0	0.50mm通過率	2) 0.15mm通過率			
スラグ組合せ (f.m.割)					A <sub>10</sub> (1.97) B <sub>10</sub> (2.70) D <sub>10</sub> (3.18)	A <sub>20</sub> (2.22) C <sub>20</sub> (2.38) D <sub>20</sub> (3.05)	B' <sub>20</sub> (2.90) C <sub>20</sub> (2.44)					

表-3 凍結融解試験結果一覧

TYPE	フレッシュコンクリート						硬化コンクリート					
	W/C (%)	W (kg/cm <sup>3</sup> )	s/a (%)	AE剤 (g/cm <sup>3</sup> )	ブリージング 量 (cc/cm <sup>3</sup> )	AIR ① (%)	AIR ② (%)	気泡間隔 係数 L(μm)	D.F. (%)	重量* (kg/cm <sup>3</sup> )	f'c (14days)(kgf/cm <sup>2</sup> )	
R (P.L.)	55	195	48.6	-	0.280	1.4	1.8	692	1.3	-	290	
A (A-3)	55	185	47.2	5	0.236	2.6	2.6	301	85.5	1.82	358	
A (A-5)	55	175	45.5	110.0	0.251	4.8	4.2	139	93.1	0.60	277	
B (A-5)	55	175	47.5	67.4	0.238	4.2	4.0	127	91.9	2.13	191	
AR (A-5)	65	182	49.0	52.4	0.500	5.0	-	-	82.2	4.41	215	
BR (A-5)	65	182	42.0	84.0	0.409	4.0	-	-	80.0	4.15	163	
A80 (P.L.)	55	220	49.5	-	0.625	1.5	2.1	555	2.0	-	284	
A (A-3)	55	214	48.5	38.9	0.510	2.6	2.6	390	41.8	1.22	283	
A (A-5)	55	200	46.5	86.5	0.580	4.9	4.3	204	87.5	0.50	310	
B (A-5)	55	196	48.5	58.8	0.764	4.4	4.3	190	25.5	2.41	159	
A60 (A-5)	65	190	46.0	84.6	0.459	5.0	4.3	-	175	94.5	0.70	
B (A-5)	65	189	48.0	78.6	0.768	5.6	-	-	83.4	0.70	348	
B (P.L.)	55	190	52.5	-	0.768	1.8	2.2	566	1.4	-	253	
A (A-3)	45	182	49.0	72.7	0.285	5.0	-	-	91.3	-	411	
A (A-5)	55	191	51.0	49.4	0.571	3.5	3.6	248	24.4	3.18	345	
A (A-5)	55	175	51.3	82.7	0.723	4.5	4.4	175	92.8	1.43	309	
B (A-5)	55	168	49.5	107.5	0.620	5.5	4.4	175	92.8	1.43	325	
B (A-5)	65	168	51.5	83.9	0.510	5.8	5.9	161	32.8	3.60	161	
A'60 (P.L.)	55	177	57.6	-	0.434	1.5	1.8	507	0.6	-	270	
A (A-3)	55	170	56.8	46.4	0.332	3.7	2.6	250	68.4	0.42	243	
A (A-5)	55	158	56.6	64.6	0.288	5.2	4.4	241	91.7	0.82	308	
B (A-5)	65	158	56.6	71.7	0.630	4.4	3.5	204	40.0	2.90	203	
B'50 (A-5)	65	168	52.5	63.4	0.332	5.2	4.4	-	238	92.9	0.65	
B (A-5)	65	168	54.5	59.3	0.613	4.5	4.5	-	71.9	-	256	
C80 (P.L.)	55	198	47.8	-	0.680	0.9	0.8	988	0.0	-	254	
A (A-3)	55	182	46.9	69.3	0.355	2.5	2.7	298	94.3	1.10	295	
A (A-5)	55	185	44.8	116.2	0.467	4.8	4.6	116	102.0	0.99	249	
B (A-5)	65	185	46.8	95.5	0.466	4.3	3.8	201	80.2	1.31	171	
C60 (A-5)	55	181	43.0	95.2	0.500	4.0	3.6	141	100	2.20	295	
D80 (P.L.)	45	202	53.5	-	0.625	1.6	1.7	637	1.6	-	269	
A (A-3)	45	196	50.5	52.3	0.462	3.3	3.3	496	90.5	2.28	390	
A (A-5)	55	192	52.0	35.5	0.533	3.2	2.4	496	90.5	2.28	365	
A (A-5)	55	188	51.2	68.4	0.642	4.8	4.8	479	82.7	-	238	
B (A-5)	65	182	46.9	98.6	0.524	5.1	4.4	275	87.7	0.51	263	
B (A-5)	65	182	52.5	58.9	0.504	5.4	4.2	275	26.6	4.10	144	
D60 (A-3)	55	189	44.8	44.7	0.701	3.1	-	-	57.0	-	258	
A (A-5)	55	178	49.0	88.7	0.579	5.0	4.2	-	207	90.0	0.65	
B (A-5)	65	189	48.0	78.6	0.768	5.6	-	-	91.9	-	163	

\* 100サイクルにおける重量減少率

① Washington型エアメーターによるフレッシュコンクリートの空気量

② リニアトラバース式実体顕微鏡による硬化コンクリートの空気量

3. 実験結果及び考察

(1) 水セメント比65%空気量5%の場合、天然砂を使用したコンクリートではいずれも耐久的であった。これに対し、スラグ使用では乾砕Cを除いて著しく劣化が進行した。W/C=55%の場合空気量3%程度では必ずしも耐久的ではなく、5%程度まで空気量を高めればスラグ種別、混合条件にもかかわらず相対動弾性係数は60%以上確保できることが認められた(図1~図3)。

(2) 天然砂の混合割合が増すとD.F.値は増加傾向にあるが、乾砕Cを除き本研究のスラグ混合比の範囲では、十分に耐久性を確保できないケースが認められた。スラグ混合比を5割以下とすれば水セメント比によらず耐久的な結果が得られる可能性がある(表-3、図-4)。

(3) 耐久性指数D.F.値は空気量の増加とともに増加する傾向に有るが、B, A80, D80のケースでは空気量の増加だけでは耐久性を向上させるのに限度が有ることを示す。W/C=55%の場合、気泡間隔係数 $\bar{L}$ が250 $\mu\text{m}$ 程度以下であれば耐久性を確保できるが、W/C=65%では $\bar{L}$ が200 $\mu\text{m}$ 程度以下でも耐久的とならない結果を示した(図-5、図-6)。

(4) スラグ骨材自体の凍結融解抵抗性は天然砂と同等以上であり、劣化の直接の原因とならないことが分かった(表-2)。

(5) 空気量の増大や $\bar{L}$ の減少によっても、十分な耐久性を確保出来ないケースが認められたために、他に影響する因子として材料分離の影響を取り上げ、その指標として、ブリージング量との関係を調べた。ブリージング量の増加に伴いD.F.値は減少傾向に有り、水セメント比及び、空気量によってその影響度は異なっている。これより、ブリージング量を0.3 $\text{cc}/\text{cm}^2$ 程度以下に抑えうれば、3%以上の空気連行によって水セメント比によらず十分な凍結融解抵抗性が得られる可能性が指摘される(図-7、表-3)。

4. まとめ

スラグを天然砂と混合することにより凍結融解抵抗性の改善を期待できるが、スラグ混合比6割以上ではその効果は少ないこと、水セメント比、連行空気量を適切に選定し、ブリージング量を抑制することによって効果的に改善を図れる可能性が示された。

参考文献

秋山 山本: コンクリート用細骨材としてのフェロニッケルスラグの利用  
土木学会論文集 第366号V-4 pp103~112 1986年

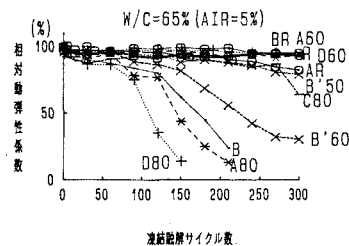


図-1 相対動弾性係数~凍結融解サイクル数

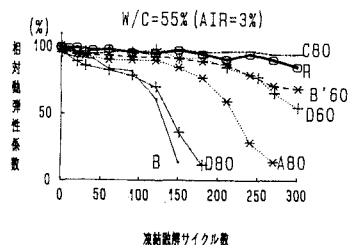


図-2 相対動弾性係数~凍結融解サイクル数

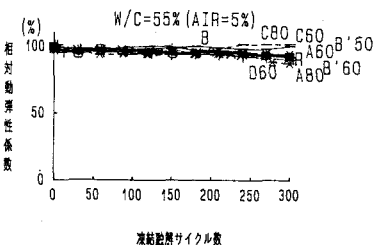


図-3 相対動弾性係数~凍結融解サイクル数

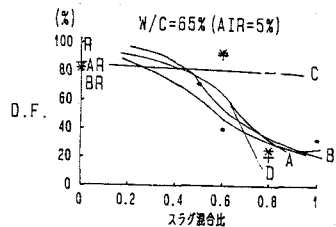


図-4 D.F.~スラグ混合比

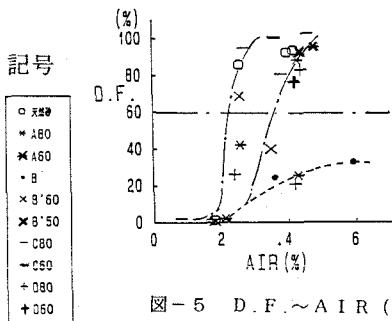


図-5 D.F.~AIR (%)

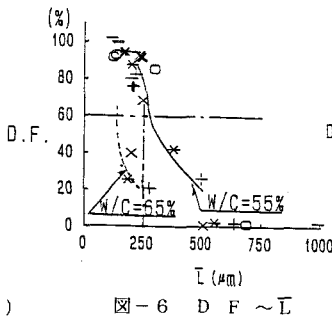


図-6 D.F.~ $\bar{L}$

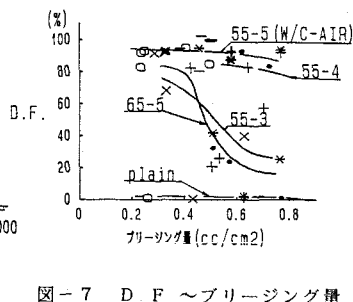


図-7 D.F.~ブリージング量