

V-25 フェロニッケルスラグ砂と天然砂を混合使用したコンクリートの凍結融解抵抗性

八戸工業大学 正員 庄谷 征美
 太平洋金属八戸工場 鍋谷 裕
 八戸工業大学 学員 ○ 徳橋 一樹

1. まえがき

本報告は、フェロニッケルメーカー3社で製造されたあり姿のものも含めた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の問題点について検討したものである。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、粒調スラグであっても天然砂との混合によって品質改善を期待できる。本研究は、この点からフェロニッケルスラグ砂と天然砂を混合使用したコンクリートの品質の内、特に凍結融解抵抗性について種々の観点から検討したものである。

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剤ビソソルを使用した。粗骨材は最大寸法20mmの大船渡産石灰石碎石を用いた。細骨材として用いた天然砂、フェロニッケルスラグ砂の種類及び物理的性質を表-1、表-2に示す。本研究で検討したスラグの混合比は表-2のように容積割合で8割、6割を主

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）
H ₁ H ₂ K S Y	風砕 風砕（破砕） 乾砕 電気炉水砕 キルン水砕	5mm～0.3mm粒度（在り姿） 標準粒度 標準粒度 -1.2mm粒度（在り姿）	太平洋金属 太平洋金属 太平洋金属 住友金属 日本冶金
R H R Y R	川砂 河川砂 川砂	標準粒度（K S混合用） 細目砂（H ₁ 混合用） 粗目砂（Y混合用）	静岡県大井川産 青森県三沢産 京都府釜川産

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、表-3に示されるように空気量を変化させた。

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規格のA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法）と、硬化後のコンクリートについては、気泡組織の観察（ASTM法）も実施した。なお、凍結融解試験における耐久性指数D F値は下記式による。

$$D F = \frac{P \times N}{M} \times 100 (\%)$$

P：Nサイクルのときの相対動弾性係数

N：相対動弾性係数が60%に落ちるときの凍結融解サイクル数

M：300サイクル

3. 実験結果及び考察

スラグ砂を混合使用したコンクリートの凍結融解抵抗性について、結果を列記すれば以下のようである。

（1）図-1～3には相対動弾性係数とサイクル数の関係を示した。水セメント比65%空気量5%の場合、天然砂（R, Y R, 及びH R）を使用したコンクリートでは、いずれも相対動弾性係数Pは70%以上と良好な結果を示した。これに対し風砕スラグ使用コンクリート（H₂単味、及び混合

表-2 骨材の物理的性質

細骨材	比重	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/l)	実容積率 (%)	粗粒率 (F.M)	骨材自身						
						凍結融解サイクル数						
						1) 5-12(mm)			2) 1.2-0.3(mm)			
						50	100	150	50	100	150	
天	R	2.63	0.73	1.67	63.9	2.63						
天	HR	2.71	1.03	1.67	62.4	1.22						
砂	YR	2.56	0.95	1.65	65.2	3.10	13.6	15.1	15.7	2.29	2.55	3.00
ス	H ₁	2.86	1.77	1.79	63.6	4.00	2.81	2.87	2.90	0.01	0.01	0.45
ラ	H ₂	3.05	1.13	2.05	68.2	2.51	0.36	0.44	0.48	0.19	0.21	0.25
グ	K	3.08	0.50	1.51	48.7	2.32	3.61	9.03	13.2	7.08	8.08	8.44
砂	S	2.90	0.31	1.87	62.5	3.31	10.8	10.8		0.56	0.64	
Y	Y	3.08	0.00	1.83	59.2	1.73				8.25	8.27	8.45
粗骨材		2.73	0.40	1.62	59.8	6.52	1) 0.03mm通過量		2) 0.15mm通過量			
スラグ組合せ (1 m 単)						5H ₁ -4R(2.90) 5H ₁ -9R(2.70) 8K-2R(2.36) 8Y-2R(1.97) 6Y-4R(2.22) 8K-2R(2.36) 8Y-4R(2.43)						

表-3 凍結融解試験条件

種類	配合	W/C=4.5%					W/C=5.5%				
		3%	4%	5%	6%	7%	3%	4%	5%	6%	7%
風砕砂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂Y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₁ H ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₁ H ₂ K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₁ H ₂ S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₁ H ₂ Y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₁ K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₁ S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₁ Y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₂ K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₂ S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂H ₂ Y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂K S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂K Y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂S Y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂Y H ₁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂Y H ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂Y K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂Y S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
風砕砂Y Y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

※ ○ 未検出データ △ 試験中

6 H₁ - 4 H R の例) 使用の場合に認められるように、天然砂の混合により耐久性は向上するものの、十分な耐久性が確保出来ないことがわかった。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 % 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 P は 60 % となるのが認められた。

(2) 表 - 4 に凍結融解試験結果の一覧を示した。図 - 4 に示されるように、耐久性指数 D F 値は空気量の増加とともに増大する傾向に有るが、ある種のスラグでは連行空気量だけでは、耐久性を向上させるのに限度が有ることを示す。図 - 5 より W/C = 55 % の場合、気泡間隔係数 $\bar{L}$ が 250 μm 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 μm 程度以下でも耐久的とならない結果を示した。

(3) 空気量の増大や $\bar{L}$ の減少によって十分な耐久性を確保出来ないケースが認められたため、他に影響する因子としてブリージング量との関係を調べた。図 - 6 より、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 cc/cm^2 以下に抑えうれば十分な凍結融解抵抗性が得られる可能性が指摘され、現在、この関係を検討中である。

表 - 4 凍結融解試験結果一覧

TYPF	プレzzoコンクリート						硬化コンクリート					
	W/C	W	s/a	AFM	ブリージング量	AIR	AIR	式(2)計算値	D F	凍結融解変化	f _{cu}	f _{cu}
(%)	(%)	(kg/m ³)	(%)	(kg/m ³)	(cc/cm ²)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)
(P L)	55	195	48.8	—	0.260	1.4	1.8	692	1.3	—	290	—
R (A-3)	55	185	47.2	60.5	0.236	2.5	2.6	301	85.5	1.82	268	—
(A-5)	55	175	45.5	110.0	0.251	4.8	4.2	139	83.1	0.60	277	—
(A-5)	55	175	47.5	87.4	0.238	4.2	4.0	127	91.9	2.11	191	—
HR (A-5)	65	182	42.0	84.0	0.408	4.5	—	—	70.0	4.15	163	—
YR (A-5)	65	170	49.0	52.4	0.250	5.0	—	—	82.2	4.41	215	—
(P L)	55	190	52.5	—	0.268	1.8	2.2	566	1.4	—	253	—
H ₂ (A-3)	55	181	51.0	49.4	0.271	3.5	3.6	248	24.4	3.18	245	—
(A-5)	55	168	49.5	107.5	0.220	5.5	4.4	175	92.8	1.43	125	—
(A-5)	65	168	51.5	83.9	0.510	5.8	5.9	181	12.8	3.69	161	—
6H1 (P L)	55	177	57.6	—	0.474	1.5	1.8	597	0.5	—	270	—
-4HR (A-3)	55	170	56.6	46.4	0.332	3.7	2.6	250	68.4	2.68	243	—
(A-5)	55	158	54.6	84.6	0.289	5.2	4.4	241	91.7	0.42	399	—
(A-5)	65	158	56.6	71.7	0.317	4.4	3.5	204	40.0	2.90	203	—
5H1 (A-5)	55	168	52.5	87.4	0.372	5.2	4.4	218	92.8	0.65	256	—
-5HR	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HR (P L)	55	198	47.8	—	0.680	0.9	0.8	968	2.0	—	254	—
-2R (A-3)	55	192	46.0	68.3	0.385	2.5	2.7	209	84.3	1.10	225	—
(A-5)	55	185	44.8	115.2	0.467	4.0	4.6	118	102	0.09	249	—
(A-5)	65	195	46.8	95.5	0.456	4.3	3.8	201	80.2	1.31	171	—
HR (A-5)	55	181	43.0	85.2	0.500	4.8	3.6	141	100	0.20	295	—
HR	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HR (P L)	55	202	53.5	—	0.625	1.0	1.7	637	1.0	—	269	—
-2R (A-3)	55	195	52.0	35.1	0.517	3.2	2.1	198	25.8	2.28	268	—
(A-5)	55	182	50.5	98.6	0.424	5.1	4.4	219	82.2	0.51	203	—
(A-5)	65	182	52.5	58.9	0.584	5.4	4.2	275	20.6	4.10	145	—
HR (A-5)	55	195	40.1	98.7	0.487	5.0	4.2	207	75.7	0.65	270	—
HR	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HR (P L)	55	220	49.5	—	0.625	1.5	2.1	555	2.0	—	284	—
-2R (A-3)	55	214	48.5	38.9	0.510	2.6	2.6	380	41.8	1.22	293	—
(A-5)	55	200	48.5	86.6	0.580	4.9	4.3	204	87.5	0.50	310	—
(A-5)	65	198	48.5	58.6	0.704	4.4	4.1	190	25.2	2.41	159	—
HR (A-5)	55	190	46.0	84.6	0.478	5.1	4.8	175	91.5	0.70	348	—
HR	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 100 サイクルにおける重量減少率
① Machine 用エアメーターによるプレzzoコンクリートの空気量
② リニアトランスミット法測定による硬化コンクリートの空気量

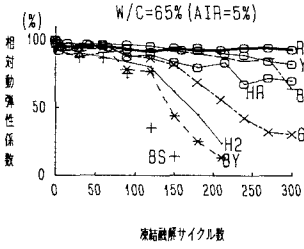


図 - 1 相対動弾性係数～凍結融解サイクル数

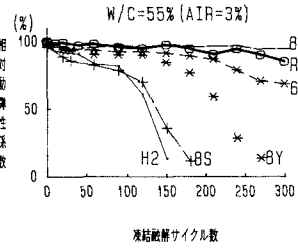


図 - 2 相対動弾性係数～凍結融解サイクル数

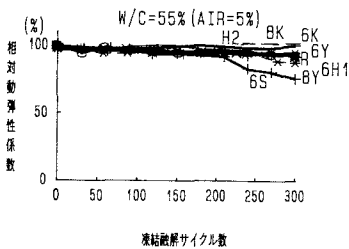


図 - 3 相対動弾性係数～凍結融解サイクル数

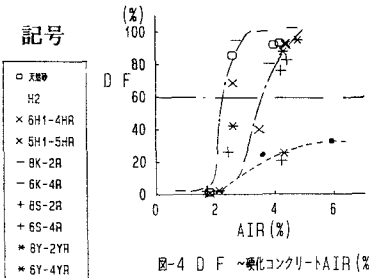


図 - 4 D F ～硬化コンクリート AIR (%)

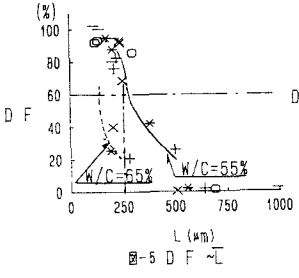


図 - 5 D F ～ $\bar{L}$

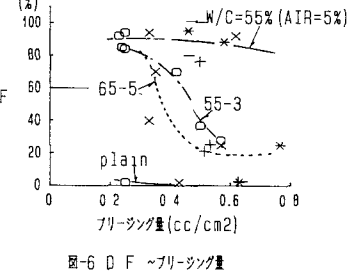


図 - 6 D F ～ブリージング量