

足利工業大学 正会員 ○黒井登起雄

足利工業大学 正会員 松村 仁夫

1. まえがき

近年良質のコンクリート用普通細骨材が少なくなり、各種産業副産物のコンクリート用細骨材への有効利用の研究が盛んに行われている。本研究は、普通細骨材の粒度、比重および塩化物含有量の調整に有効で、最近規準化されたフェロニッケルスラグ細骨材（以下 FNS細骨材）を用いたコンクリートの塩害および中性化に対する耐久性に関する資料を得ることを目的とし、コンクリートのブリーディング性状、強度、電気的特性、塩化物イオンの浸透性、鉄筋の防食性および中性化性能などを実験的に検討した。

2. 実験の概要

2.1 使用材料及び配合 細骨材は、表 1に示した製造方法の異なる 5 種類の FNS細骨材およびそれぞれの混合相手の 4 種類の普通細骨材を用いた。比較用細骨材は大井川産川砂（記号；OR）とした。セメントは、普通ポルトランドセメント（比重；3.16）、粗骨材は、石灰石砕石（最大寸法；20mm、比重；2.70、吸水率；0.31%、粗粒率；6.86）を用いた。混和剤は、AE減水剤およびAE剤を用いた。配合は、W/C = 0.55および0.60の2水準で、スランプ = 10 ± 1 cm、空気量 = 5 ± 1 %のコンクリートとW/C = 0.45、0.55および0.65の3水準のモルタルとした。FNS混合率（容積百分率）は、50%を主体にした。コンクリートの配合およびフレッシュ状態の性質は表 2に示した。

2.2 実験方法 (1) 練混ぜ及びフレッシュコンクリート

（モルタル）の試験 練混ぜは、100ℓのパン型強制式ミキサ（コンクリート）および改良ホバート型ミキサ（モルタル）によって行った。細骨材の表面水率は2～3%に管理した。フレッシュコンクリートおよびモルタルの試験は、スランプ（モルタルの場合はフロー）試験、空気量試験（圧力方法、モルタルの場合は重量方法）、単位容積質量試験およびブリーディング試験（コンクリートのみ）を行った。単位容積質量は、空気量試験の際に質量測定によって求めた。

(2) 圧縮強度試験 供試体は、φ10×20cmおよびφ5×10cm円柱形とし、各水準3個とした。試験は、JIS A 1108 に従って、試験材齢28日（20 ± 3 °C水中養生）で行った。

(3) 電気抵抗試験 供試体は、相対する面に真鍮板（0.2cm）を接着した一辺が10cmの立方体とし、試験は、交流電流（電流50mA、周波数1および5kHz）を真鍮板電極を介して接続し、電圧を測定して行った。電源は精密電力増幅器（㈱NF回路設計 福岡製）を、また、周波数変換器はRC発振器（菊水電子工業㈱製）を用いた。試験材齢は、7日、28日、56日、90日、180日および365日とした。供試体は1配合3個とした。

(4) 塩化物イオンの浸透性状および鉄筋の防食性能試験 浸透性試験用供試体は、10×10×40cm＜縦打ち＞および4×4×16cm＜横打ち＞角柱形とした。また、防食性能供試体は、φ10×20cmおよびφ5×10cm円柱の中心軸方向にφ9mmみがき丸棒鋼（長さ10cmおよび5cm）を埋設する形状とした。それぞれの供試体は、養生期間中に角柱の場合長手方向の4面、円柱の場合両端面をエポキシ樹脂でシールした。供試体は、材齢

表1 使用細骨材の種類と物理的性質

フェロニッケルスラグ細骨材					普通細骨材				
記号	種類	表乾 比重	吸水 率%	粗粒 率%	記号	種類	表乾 比重	吸水 率%	粗粒 率%
A	キルン水砕	3.14	0.38	1.72	AR	円山砂	2.58	2.24	3.19
B'	電炉風砕	2.89	1.22	4.15	B'R	三沢産洗砂	2.65	1.73	2.18
B	電炉風砕	2.95	2.20	2.49					
C	電炉後冷砕	3.05	1.21	2.90	OR	大井川産川砂	2.62	1.46	2.67
D	電炉水砕	2.83	0.73	3.94	OR	長浜町産海砂	2.60	1.41	1.84

表2 コンクリートの配合および諸性質

細骨材の種類	混合率%	W/C	s/a	単位水量 kg/m³	混和剤 Adm. C × %	スランプ cm	空気量 %	単位容積質量 kg/m³	ブリーディング量 cm³/cm²
OR	0	55	45	173	0.2 0.020	11.0	4.5	2307	0.147
	"	60	46	170	" "	9.4	5.1	2282	0.424
A+AR	50	55	42	185	0.2 0.030	10.7	4.7	2407	0.233
	"	60	43	185	" "	10.0	5.0	2405	0.282
B'+B'R	50	55	50	172	0.2 0.020	9.2	4.2	2460	0.213
	"	60	51	172	" "	9.1	3.9	2468	0.254
B	100	55	41	165	0.2 0.020	9.1	3.9	2502	0.282
	"	60	22	163	" "	10.2	4.8	2477	0.532
C+OR	50	55	42	179	0.2 0.025	9.7	3.3	2382	0.258
	"	60	43	181	" "	11.0	4.7	2307	0.297
D+DR	50	55	48	174	0.2 0.025	9.3	5.7	2414	0.172
	"	60	49	174	" "	9.5	5.2	2375	0.254

28日水中養生後に塩化物イオン濃度2%の塩水中に浸漬した。浸漬期間は、28日、56日、90日、180日および365日とした。塩化物イオンの浸透深さは、供試体の長手方向に割裂したのち、割裂面に0.1N硝酸銀溶液を噴霧し、変色域を測定して求めた。防食性能は、埋設鉄筋のさび量によって判定し、さび量は、酸洗い処理後の質量測定から求めた。

(5) 中性化試験 供試体は、 $10 \times 10 \times 40$ cm角柱<縦打ち>の中心長手方向に $\phi 9$ mmみがき丸棒鋼(長さ40cm)を埋設する形状とし、養生期間中に中央(長さ20cm)で切断し、両端面をエポキシ樹脂でシールした。試験は、材齢28日に促進中性化試験槽(温度 40°C 、湿度60%RH、 CO_2 濃度10%)に放置して行った。放置期間は、1、2および3ヶ月とし、中性化深さは、鉄筋の軸方向で割裂したのち、割裂面にフェノールフタレインアルコール1%溶液を噴霧し、発色点までの深さを測定して求めた。また、腐食状況は、目視観察によって行った。供試体数は3個とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 ブリーディングおよび単位容積質量 表2より、 $W/C=55\%$ および60%のときFNS細骨材コンクリートのブリーディング量は、それぞれ $0.172 \sim 0.282 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 、および $0.254 \sim 0.532 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ あり、混合率50%でも、普通コンクリートの1.8倍以下の範囲で、若干多くなる。しかし、100%の場合、ブリーディング量はかなり大きくなる。また、ブリーディング終了時間は、普通骨材コンクリートより2～3時間長く、単位容積質量も、3～8%増大する。

3.2 圧縮強度 $A+AR$ 、 $C+OR$ および $D+DR$ の混合率50%のFNS細骨材コンクリートの圧縮強度は、普通骨材コンクリートの $0.81 \sim 0.93$ ($W/C=55\%$)および $0.77 \sim 1.05$ ($W/C=60\%$)で、同等か若干小さくなる。また、混合率100%にした場合も、15～20%程度小さくなる。

3.3 電気抵抗 FNS細骨材コンクリートの電気抵抗率は、 $W/C=55$ 、60%とも普通骨材コンクリートと同等か若干大きくなる傾向が認められる。とくに、Bの場合1.5～1.7倍にもなる。また、材齢に伴う電気抵抗率の増加率も普通骨材コンクリートより大きくなる傾向にある。

3.4 塩化物イオンの浸透性状および鉄筋の防食性能 FNS細骨材モルタルの塩化物イオン浸透深さは、FNS細骨材の種類および浸透期間によって変化するが、普通骨材モルタルとほぼ同等であり、 W/C が大きくなるに従って大きくなる。また、コンクリートの塩化物イオン浸透性の結果を図1(平均値)に示す。図より、FNS細骨材の場合の浸透深さは、普通細骨材の場合より大きくなることもあるが、同等と考えてよい。また、期間365日の浸透深さは、 $W/C=55\%$ で18～34mm、 $W/C=60\%$ で24～29mmと W/C の変化に伴う違いはほとんど認められないが、 $W/C=55\%$ の方がFNS細骨材の種類の影響が大きいようである。その時の鉄筋の腐食は、ほとんど認められない。したがって、鋼材を保護する性能は、普通骨材コンクリートと同じであると考えてよい。

3.5 中性化性能 モルタルの促進中性化試験結果を図2に示す。図より、FNS細骨材モルタルの放置3ヶ月の中性化深さは、 $W/C=45\%$ で12～14mm、 $W/C=65\%$ で19～27mmと W/C が小さいとブリーディングの影響をほとんど受けず、普通細骨材モルタルと同等である。しかし、 W/C が大きくなると、細骨材の種類の違いによるブリーディングの影響が顕著となり、普通細骨材モルタルより若干低下する。なお、その時の腐食は、中性化が鉄筋付近まで達しないため、ほとんど認められない。

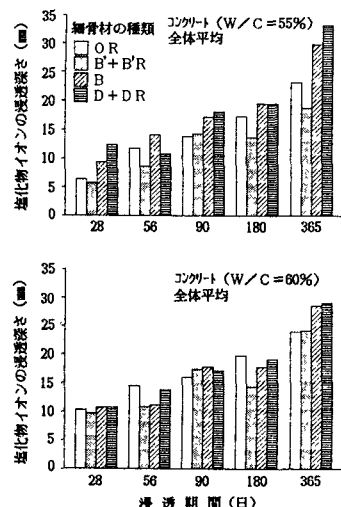


図1 浸透深さ測定結果

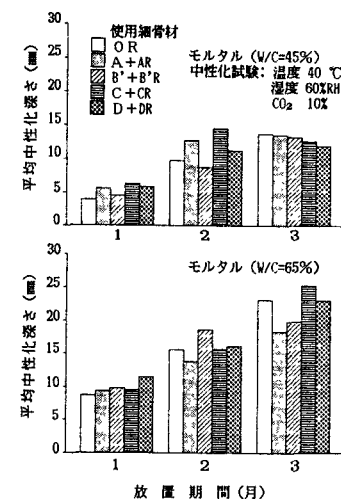


図2 促進中性化試験結果