

論文

[1039] フェロニッケルスラグを細骨材として用いたコンクリートの性質

横室 隆<sup>\*1</sup>・依田彰彦<sup>\*2</sup>

1. はじめに

フェロニッケルスラグ (以下FNSとも呼ぶ) は、ステンレス鋼、ニッケル合金等の原料であるフェロニッケルを生産する際に副産され、その量は年間200万トに達するといわれている。

本実験研究はFNS60%と鬼怒川産40%を質量混合したものを細骨材として、高性能AE減水剤及びAE減水剤を用いたW/C 60、50、40%、スランプ 18±2.5cm、空気量 4.0~5.5%のコンクリートの基本的性質を知ることがを目的として実施したものである。

2. 使用材料

(1) セメント：普通ポルトランドセメント (M社製品)

(2) 細骨材

- a. FNS : キルン水砕砂 (N社製品) 記号A  
           電炉風砕砂 (T社製品) 記号B  
           電炉徐冷砕砂 (T社製品) 記号C  
           電炉水砕砂 (S社製品) 記号D

b. 混合用砂：鬼怒川砂 記号E

(3) 粗骨材：鬼怒川砂利

(4) 混和剤

- a. 主成分が特殊スルホン酸カルボキシル基含有くし型水溶性高分子化合物の高性能AE減水剤 (Z社製品) 記号I
- b. 主成分がリグニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体のAE減水剤 (X社製品) 記号II

(5) 水：飲料水 ((社)栃木県薬剤師会検査センター判定)

(6) 主な使用材料の品質：表-1~3に示す。

表-1 使用セメントの品質

化学成分 (%)				比重	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝結		圧縮強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )		
MgO	SO <sub>3</sub>	ig. loss	Cl <sup>-</sup>			始発	終結	3日	7日	28日
						(h-min)				
1.7	2.0	1.6	0.006	3.16	3260	2-17	3-51	156	257	428

3. コンクリートの実験の項目と方法

(1) ブリージング量：JIS A 1123によった。

\*1 足利工業大学助教授 工学部建築学科 (正会員)  
 \*2 足利工業大学教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

表-2 FNS(A~D)及び川砂(E)単独の品質

種類	主な化学成分(%)						絶乾 比重	吸水率 (%)	単位 容重 (kg/l)	F. M.
	SiO <sub>2</sub>	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ni				
A	53.4	5.4	2.5	5.1	29.7	0.25	2.85	1.2	1.83	1.94
B	51.7	(7.1)	2.2	1.6	32.3	(0.1)	2.86	2.5	1.98	2.81
C	53.8	(3.7)	2.2	1.3	32.6	(0.1)	2.87	2.3	2.00	2.04
D	51.6	7.7	1.6	0.4	33.4	(0.1)	2.84	1.4	1.76	3.94
E	90.7	(1.1)	2.6	0.9	0.1	-	2.50	2.4	1.60	2.80

【注】( )内は FeO 及び NiO として示した。

表-3 使用細骨材の品質

種類	混合割合 %[wt]		絶乾 比重	吸 水 率 (%)	単 位 容 質 (kg/l)	ふるいを通るものの質量百分率(%)						F. M.
	FNS	川砂				ふるい目(mm)						
						5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
A <sub>60</sub>	60 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(3)</sup>	2.67	1.7	1.83	100	80	67	46	25	10	2.72
B <sub>60</sub>	60 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>	2.64	2.4	1.81	100	92	63	30	12	4	2.99
C <sub>60</sub>	60 <sup>(2)</sup>	40 <sup>(1)</sup>	2.65	2.3	1.72	100	86	60	36	16	4	2.98
D <sub>60</sub>	60 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(4)</sup>	2.69	1.9	1.80	100	85	54	40	18	6	2.97
E <sub>100</sub>	0	100 <sup>(5)</sup>	2.50	2.4	1.60	100	92	67	41	15	5	2.80

【注】(1)搬入されたままの状態(2)0.15mm以上のもの(3)搬入されたままの状態13.3%と2.5mm以上のもの26.7%(4)0.6mm以下のもの(5)搬入されたままの状態66.7%と2.5mm以下のもの33.3%

- (2) 圧縮強度：JIS A 1132によって直径 10cm、高さ 20cmの供試体を作り、標準養生を施し、JIS A 1108によって材令 7、28、91、365日の圧縮強度を測定した。
- (3) 引張強度：上記(2)と同じように作り、標準養生した直径10cm、高さ20cmの供試体についてJIS A 1113によって材令28日の引張強度を測定した。
- (4) 静弾性係数：上記(2)の圧縮強度測定時にコンプレッソメーターを用いて圧縮歪を測定し、最大圧縮強度の1/3における静弾性係数を算出した。
- (5) 長さ変化率：上記(2)と同じように作った供試体(10×10×40cm)を用いて、JIS A 1129によった。長さはコンパレーターを用いて測定し、乾燥による収縮率を算出した。なお、基長は材令 7日とした。
- (6) 中性化深さ
- 促進法：JIS A 1132によって10×10×20cmの供試体を作り、材令 7日まで標準養生を施し、さらに材令28日まで温度20℃・湿度80%の恒温室に放置し、材令28日から温度40℃・湿度60%・CO<sub>2</sub>濃度10%の促進槽に2カ月間(屋外自然暴露の15~20年相当)<sup>1)</sup>及び4カ月間(屋外自然暴露の35~40年相当)<sup>1)</sup>放置した場合の平均中性化深さをフェノールフタレイン法によって測定した。
  - 屋外自然暴露法：上記(6) a. と同様に作った供試体を材令28日から足利市内(温度 -1.1~33.9℃、湿度35~100%)に2年間放置した場合の平均中性化深さをフェノールフタレイン法によって測定した。

(7) 凍結融解作用に対する抵抗性：ASTM C 666 A によった。

#### 4. 実験結果と検討

図-1～12に示し、以下に検討する。

##### 4.1 混合使用細骨材の品質

搬入されたままの状態のFNSは表2に示した通り、F.M.が銘柄によってかなり異なるので、本実験研究では、1.はじめに において述べたようにFNSを60%、川砂を40%を混合使用することにした(表-3)。

その混合使用したいずれの細骨材も表-3に示した通りJASS 5において提唱している粒度範囲を満足した。なお、F.M.は2.72～2.99の範囲である。また、それらの絶乾比重は2.64～2.69、吸水率は1.71～2.45%、単位容積重量は1.72～1.83kg/l(棒突法)である。

##### 4.2 コンクリートの性質

骨材は表乾状態としたものを、ミキサは容量 100ℓの強制攪拌型を、用いJISに準じてコンクリートを練り混ぜた。フレッシュコンクリートのワーカビリティはスランプ試験の際にスランプしたコンクリートの形状や、これをタッピングしたときのくずれ方から判断した結果、いずれのコンクリートのワーカビリティも良好で、スランプは16.5～19.5cm、空気量は4.3～5.5%の値を得た。

##### (1) ブリージング量

ブリージング量は、図-1～2に示した通り、旧JASS 5で提唱している0.5cc/cm<sup>2</sup>以下<sup>2)</sup>をすべてが満足している。傾向を細かく見ると次のようなことがいえる。

- ①細骨材別ではFNSを用いたいずれのコンクリートも比較用の川砂(E<sub>100</sub>)コンクリートより多く、中でもW/C60%の『A<sub>60</sub>』が最も多いことが目立っている。
- ②W/C別ではW/Cの小さいものほど明らかに少ない。
- ③混和剤別では高性能AE減水剤の方がAE減水剤より少ない。

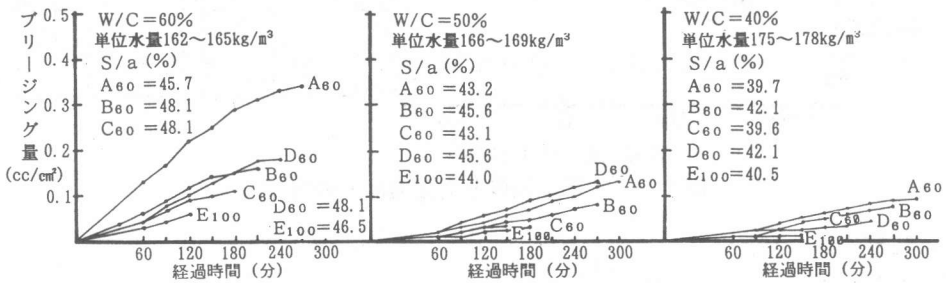


図-1 ブリージング量 (高性能AE減水剤)

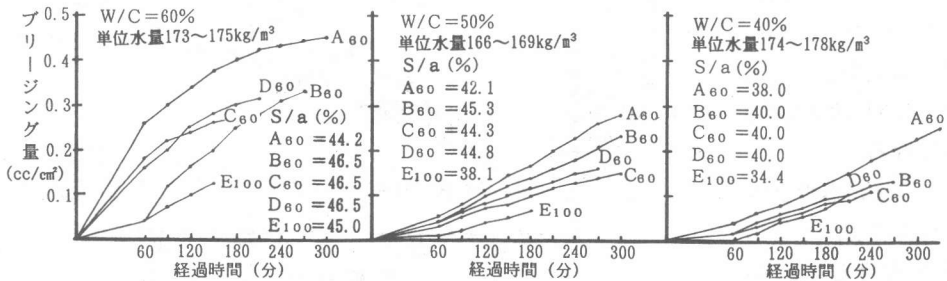


図-2 ブリージング量 (AE減水剤)

(2) 圧縮強度

圧縮強度は図-3に示した通りで、FNSを用いたいずれのコンクリートも同一W/Cであれば、例外は多少あるが比較用の川砂(E<sub>100</sub>)コンクリートと同程度であるといえよう。図示していないが、A<sub>60</sub>、B<sub>60</sub>、C<sub>60</sub>、D<sub>60</sub>のFNSを用いたコンクリートの材令28日圧縮強度(F<sub>28</sub>)とセメント水比(C/W)との関係(平均値)を求めると

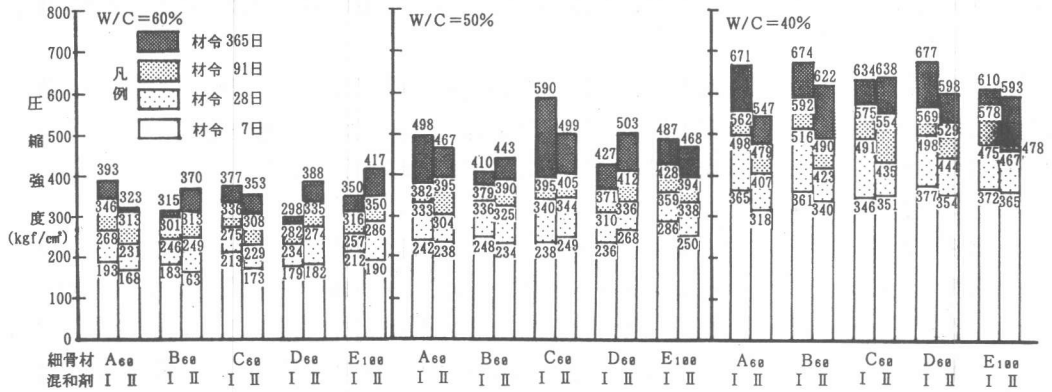


図-3 圧縮強度

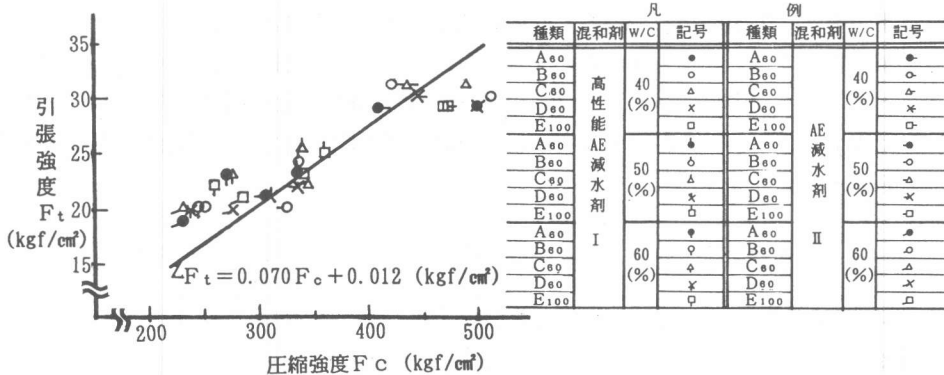


図-4 圧縮強度と引張強度との関係

$F_{28} = 255 C/W - 173$  kgf/cm<sup>2</sup>のようになる。また、材令7日圧縮強度(F<sub>7</sub>)からF<sub>28</sub>を推定する式を求めると  $F_{28} = 1.3 F_7$  kgf/cm<sup>2</sup>のようになる。なお、各圧縮強度3本のバラツキを示す標準偏差を求めると川砂(E<sub>100</sub>)コンクリート

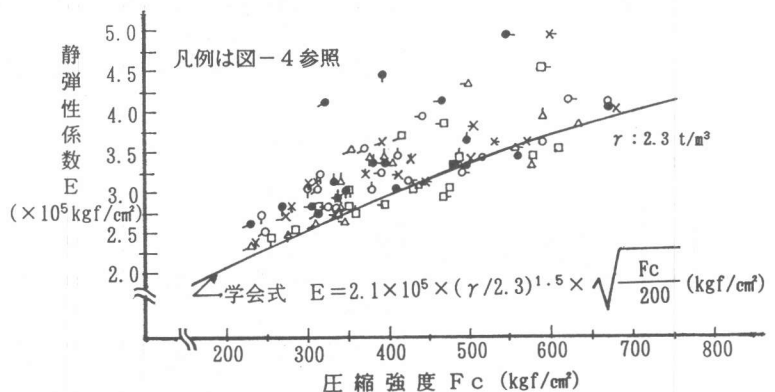


図-5 圧縮強度と静弾性係数との関係

が14.1kgf/cm<sup>2</sup>以下に対しFNSを用いたコンクリートは銘柄による差が認められず17.6kgf/cm<sup>2</sup>以下で、後者が若干大きい。

### (3) 引張強度

引張強度は圧縮強度との関係を図-4に示した通りで7%程度である。

### (4) 静弾性係数

静弾性係数は、図-5に示した通りで日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説で提唱している式を総数120点のうち107点(89%)が同じか、上廻るので、FNSを用いたコンクリートは同式を用いてよいといえよう。

### (5) 長さ変化率

長さ変化率は、図-6~8に示した通りで、旧JASS 5において提唱している乾燥182日間で $8 \times 10^{-4}$ 以下<sup>2)</sup>を満足している。傾向は次のようである。

①細骨材別ではFNSを用いたいずれのコンクリートも比較用の川砂(E<sub>100</sub>)コンクリートよりMgO及びFe含有量が多いためか(表-2参照)若干小さめで、中でも『D<sub>60</sub>』が最も小さい。②同じ条件のコンクリートのW/C別では差を認め難い。③混和剤別で

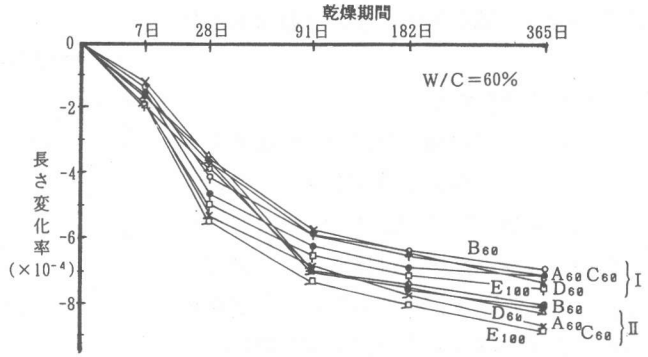


図-6 長さ変化率 (W/C 60%)

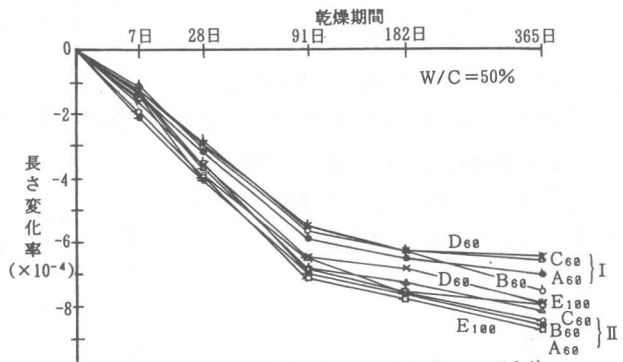


図-7 長さ変化率 (W/C 50%)

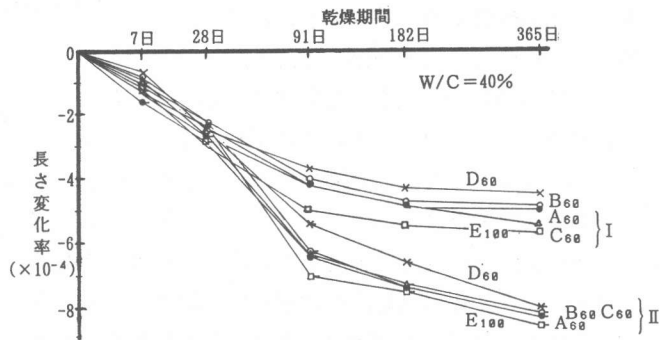


図-8 長さ変化率 (W/C 40%)

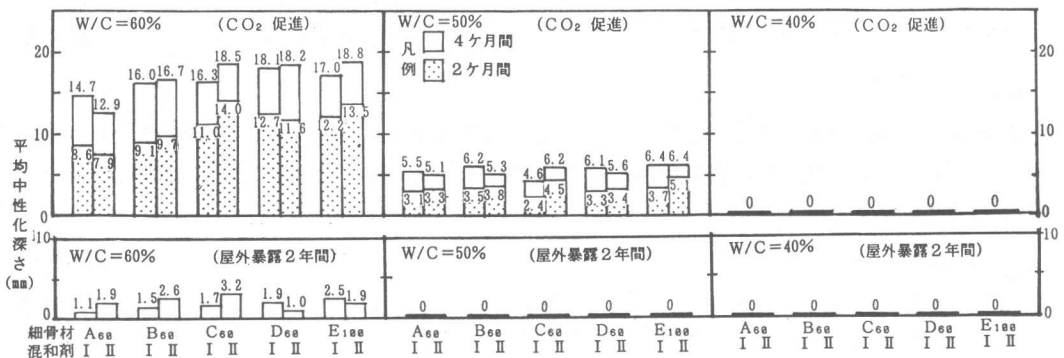


図-9 平均中性化深さ

は高性能A E減水剤の方がA E減水剤より小さい。

#### (6) 中性化深さ

中性化深さは図-9に示した通りでW/Cが大きいものほど平均中性化深さは大きい。細骨材別では促進試験の場合、FNSを用いたコンクリートは比較用の川砂(E100)コンクリートより小さいことが認められたが屋外暴露での傾向は認め難い。

#### (7) 凍結融解作用に対する抵抗性

試験結果は図-10~12に示した通りで、いずれのコンクリートも旧JASS 5で提唱している300サイクルで70%以上<sup>2)</sup>を大きく満足している(図-10~11)。また、ブリージング量との関係を見ると懸念するほどではないが、傾向としてブリージング量が多い方が相対動弾性係数は若干小さくなるようである(図-12)。

### 5. 結論

FNSを細骨材として60%混合したコンクリートの性質について究明した結果、結論として次のようなことがいえよう。

(1) 川砂を40%混合してもブリージング量が多くなるので、施工時には試し練り

を行い必要によっては混合率を増やすなど目標値を下廻ることを確認する。

(2) 圧縮強度は川砂コンクリートと同程度として考えてよい。

(3) 引張強度は圧縮強度の7%程度、静弾性係数は日本建築学会の提唱式が使用できる。

(4) 長さ変化率(乾燥収縮率)は川砂コンクリートより若干小さい。

(5) 中性化深さは川砂コンクリートと同程度以下である。

(6) 凍結融解作用に対する抵抗性は川砂コンクリートと遜色ない。

(7) 以上(1)~(7)を総じるとFNSはブリージング量を配慮すれば川砂と同等に扱える。

### 謝辞

本実験研究は、日本鉱業協会コンクリート用フェロニッケルスラグ細骨材研究委員会における研究の一環として実施した。また実験には中国浙江工学院の楊 楊講師の絶大な協力を得た。付記して謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 依田彰彦ほか：分離粉碎方式による高炉セメントを用いたコンクリートの性質に関する研究、建築研究報告 No.63、1984. 2
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・解説(JASS 5)、1975. 1

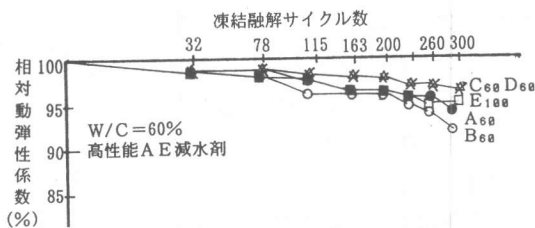


図-10 サイクル数と相対動弾性係数との関係 (高性能A E減水剤)

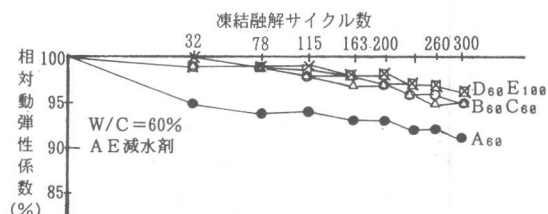


図-11 サイクル数と相対動弾性係数との関係 (A E減水剤)

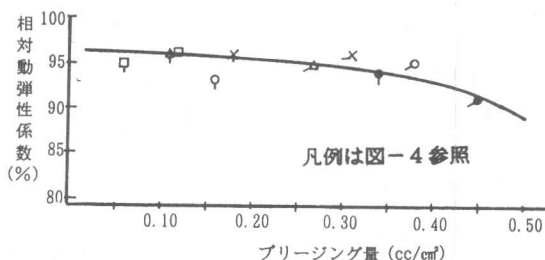


図-12 ブリージング量と相対動弾性係数との関係