

報告 フレッシュおよび硬化コンクリートの特性への FNS 混合率の影響

中澤 隆雄*¹・甲賀 哲義*²・菊村 忠由*³

要旨:電炉水砕フェロニッケルスラグ(FNS5)の細骨材への混合率を0, 50 および 100 % として、目標スランブを 8cm と 18cm とした 2 つの配合について、フレッシュコンクリートの性質や、硬化時の圧縮強度を検討した結果、スランブロスと FNS 混合率 50 % と 100 % ではさほど差はないこと、運搬時間が 0 ~ 30 分の間において、空気量は FNS 混合率にかかわらずかなり減少し単位容積質量の変化に対応すること、ブリーディング量はスランブや FNS 混合率が大きいほど大きくなること、水セメント比が同じであれば FNS 混合率の相違や運搬時間の差の圧縮強度への影響はほとんどないことなどが確認された。

キーワード: FNS, スランブ, ブリーディング, 空気量, 単位容積質量, 圧縮強度

1. はじめに

FNS を細骨材として用いたコンクリートの品質についてこれまで多くの研究成果^{1)~4)}が報告されており、また 1997 年 8 月には JISA5011-2⁵⁾として規格が改訂されるとともに、土木学会や建築学会でも施工指針等が制定あるいは改訂されたことによって^{6), 7)}, レディーミクストコンクリートへの使用の機運が大いに高まってきている。一般にレディーミクストコンクリートは、運搬車によって製造工場から工事現場に輸送される。そこで今回の実験では、目標スランブを 8cm と 18cm の 2 種類とした配合において、細骨材として用いる FNS の混合率を 0%, 50% および 100% としたときのフレッシュコンクリートのスランブ、空気量やブリーディング量、材齢 7 日、28 日および 91 日での圧縮強度を測定し、運搬時間や FNS の混合率の相違がこれらの性質に及ぼす影響について検討したものである。

2. コンクリートの示方配合

今回の実験で用いた示方配合を表-1に示

す。粗骨材最大寸法はいずれの配合でも 20mm で一定とし、目標空気量も 4.5% で一定とした。セメントは、目標スランブ 8cm の配合では高炉セメント B 種 (密度 3.05g/cm³) を、目標スランブ 18cm の配合では普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm³) を用いた。また水セメント比はすべて 55% で一定とし、細骨材率 s/a は目標スランブ 8cm の配合では 46%, 目標スランブ 18cm の配合では 47.6% とした。陸砂は宮崎県木城町産 (密度 2.61g/cm³, FM:2.52), 砕砂は大分県津久見産の石灰砕砂 (密度 2.69g/cm³, FM:2.67), FNS は株式会社日向製錬所製電炉水砕砂の FNS5 (表乾密度 3.01g/cm³, FM:2.60, 吸水率 0.847%) である。細骨材としての FNS の混合率は 0% (目標スランブ 8cm : 配合 1-1, 目標スランブ 18cm : 配合 2-1), 50% (目標スランブ 8cm : 配合 1-2, 目標スランブ 18cm : 配合 2-2) および 100% (目標スランブ 8cm : 配合 1-3, 目標スランブ 18cm : 配合 2-3) の 3 種類とした。なお、0.15mm ふるい通過百分率は FNS 混合率が 0% のときは 8%, 50% のときは 9%, 100% のときは 9% であった。粗骨

*1 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 工博 (正会員)

*2 (株)日向製錬所

*3 宮崎県生コンクリート工業組合共同試験場 (正会員)

表-1 示方配合

配合番号	Gmax (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	スランブ (cm)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
						W	C	FNS	陸砂	砕砂	粗骨材	AE減水剤
1-1	20	55	4.5	8	46.0	153	279	0	512	353	1006	0.698
1-2						153	279	494	0	439	1006	0.698
1-3						153	279	985	0	0	1006	0.698
2-1	20	55	4.5	18	47.6	181	329	0	499	345	920	0.823
2-2						181	329	482	0	428	920	0.823
2-3						181	329	961	0	0	920	0.823

材は日向市平岩産砕石 2005 (密度 2.69g/cm³, FM:6.65) を用いた。なお, AE 減水剤は標準型 (I 種) を使用した。

3. フレッシュコンクリートの品質

3.1 運搬時間によるスランブの変化

図-1に目標スランブ 8cm の配合のレディーミクストコンクリートを工場で製造した後, 120分までの運搬時間の経過に伴うスランブの変化を示す。スランブロスが FNS 混合率 0%とした場合が最も大きく, FNS 混合率 50%および 100%の場合, 混合率の相違による影響はあまり認められず, ほぼ同様の傾向を示している。これに対して, 目標スランブ 18cm の場合では図-2に示すように, 運搬時間 30分までのスランブ

ロスが FNS 混合率 0%と 50%の場合に顕著に生じており, 30分以降では FNS 混合率 0%の場合ほとんどスランブロスが生じなかったのに対し, FNS 混合率 50%の場合に最も顕著なスランブロスが生じている。また, FNS 混合率 100%の場合には, スランブロスはさほど生じていないことがわかる。これらのことから FNS 混合率が高い場合にはスランブロスが小さくなると考えられる。

3.2 運搬時間による空気量の変化

図-3には目標スランブ 8cm のコンクリートの運搬時間の経過に伴う空気量の変化の測定結果を示す。運搬時間 30分までは FNS 混合率の相違にかかわらず, 同じような傾向で空気量は低下しているが, 30分以降では, FNS 混合率

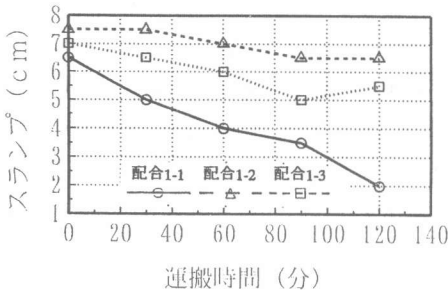


図-1 運搬時間によるスランブの変化 (配合 1-1 ~ 1-3)

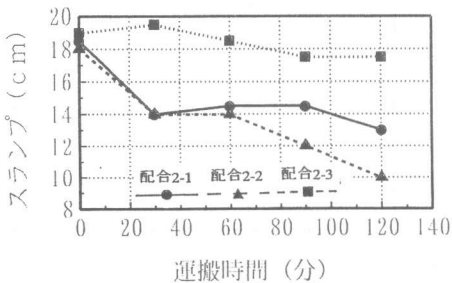


図-2 運搬時間によるスランブの変化 (配合 2-1 ~ 2-3)

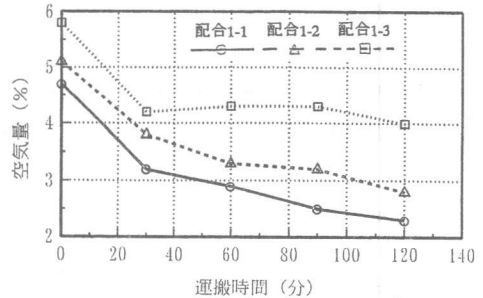


図-3 運搬時間による空気量の変化 (配合 1-1 ~ 1-3)

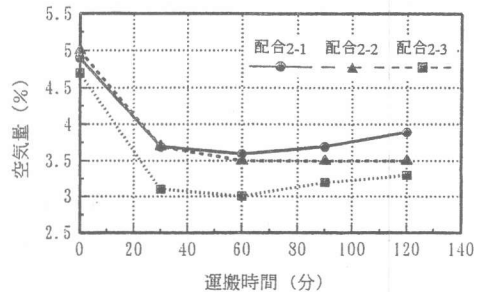


図-4 運搬時間による空気量の変化 (配合 2-1 ~ 2-3)

100%の場合に空気量の低下はほとんど生じていない。これに対して、FNSの混合率が0%と50%では空気量の低下する時間的割合は緩やかになっている。目標スランブ18cmの配合のコンクリートでは、図-4に示すように、運搬時間30分まではすべてのFNS混合率でかなりの速度で空気量が低下しているのに対して、30分以降では空気量の低下は認められず、逆に空気量が增大している状況が認められる。従来から、コンクリート練混ぜ時に巻き込まれた空気が攪拌によって急速に抜けることが指摘されているように、今回の実験においても運搬時間30分後における空気量の低下が大きいのは同じ理由によるものと思われる。

3.3 運搬時間による単位容積質量の変化

図-5には、目標スランブ8cmのコンクリートの運搬時間の経過に伴う単位容積質量の変化を示す。図-3に示した空気量の低下の傾向に対応して、運搬時間30分まではいずれのFNS混合率の場合でも単位容積質量は同様な増大傾向を示しており、その後は緩やかな増大傾向となっている。また、単位容積質量はFNS混合率の大きい順に大きな値を示している。

図-6には、目標スランブ18cmのコンクリートの運搬時間の経過に伴う単位容積質量の変化を示す。やはり図-4に示した空気量の低下の傾向に対応して、運搬時間30分まではいずれのFNSの混合率の場合でも単位容積質量は同様な増大傾向を示しているが、30分以降で

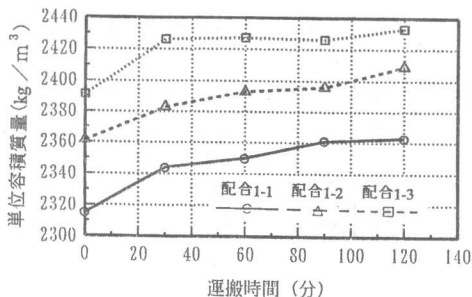


図-5 運搬時間による単位容積質量の変化 (配合1-1～1-3)

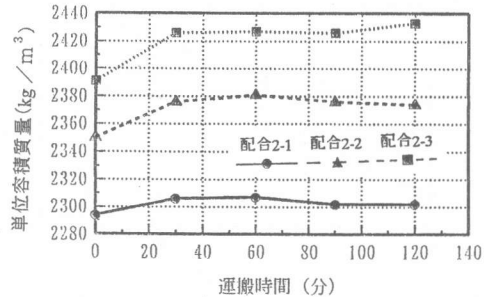


図-6 運搬時間による単位容積質量の変化 (配合2-1～2-3)

は空気量がかえって増大していることに対応して単位容積質量は減少傾向にあることがわかる。なお、単位容積質量はFNS混合率の大きい順に大きな値を示していることは目標スランブ8cmのコンクリートの場合と同様である。

3.4 コンクリートの温度変化

図-7には、目標スランブ8cmのコンクリートの運搬時間の経過に伴うコンクリート温度の変化を示す。コンクリート温度はこの間各配合で4.3～5.2℃上昇しているが、FNS混合率の相違はコンクリートの温度上昇傾向にはほとんど影響を与えないことがわかる。

図-8には、目標スランブ18cmのコンクリートの運搬時間の経過に伴うコンクリート温度の変化を示す。この場合には各配合で2.5～4.0℃上昇しているが、FNS混合率の相違はやはりコンクリートの温度上昇傾向にはほとんど影響を与えていない。

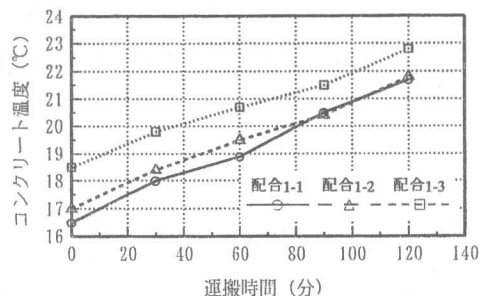


図-7 運搬時間内でのコンクリート温度変化 (配合1-1～1-3)

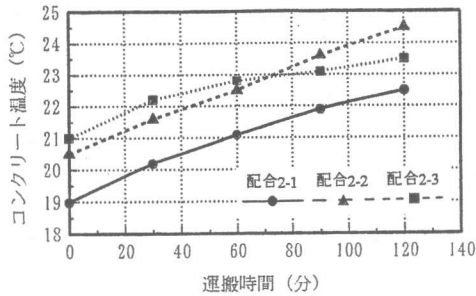


図-8 運搬時間内でのコンクリート温度変化
(配合 2-1 ~ 2-3)

3.5 運搬時間によるブリーディング量の変化

図-9には、目標スランブ 8cm のコンクリートの練混ぜ直後からのブリーディング量の経時変化を示す。FNS 混合率 100%の場合にはブリーディング量がきわめて多くなることがわかる。また、ブリーディングが収束するのに要する時間も 360 分とかなり長くなっている。また、図-10には目標スランブ 18cm のコンクリートの練混ぜ直後からのブリーディング量の経時変化を示す。この場合も FNS 混合率 100%の場合にはブリーディング量がきわめて多くなっている。このようにブリーディング量が多いのは、用いた FNS の 0.15mm ふるい通過量が、土木学会の施工指針⁶⁾ の上限値と比較して 9%と少ないことによるものと思われる。スランブの相違がブリーディング量に及ぼす影響については、FNS 混合率を 100%とした場合は、スランブ 18cm のコンクリートの方がスランブ 8cm のコンクリートの 2 倍以上の値を示しているものの、FNS 混合率が 0%や 50%の場合にはスランブの相違によるブリーディング量は、スランブが大きいコンクリートの方が大きくはなっていないがその差はあまりないことがわかる。また、ブリーディングが収束する時間は、スランブ 18cm のコンクリートの方が短くなっている。

図-11および図-12には、目標スランブ 8cm および 18cm のコンクリートを 60 分運搬した後に測定を開始したブリーディング量の経時変化を示す。また、図-13および図-14には、目標スランブ 8cm および 18cm のコンクリート

を 120 分運搬した後に測定を開始したブリーディング量の経時変化を示している。ブリーディング量は FNS 混合率 100%の場合に最も多くなることはいずれの運搬時間でも同じである。

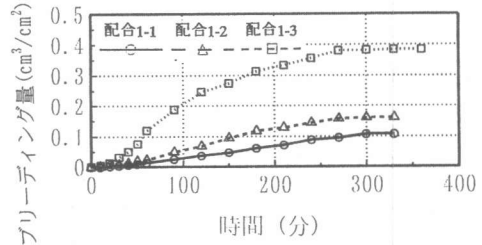


図-9 ブリーディング量の経時変化
(配合 1-1 ~ 1-3, 工場出荷時)

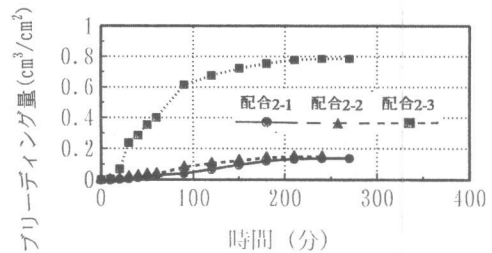


図-10 ブリーディング量の経時変化
(配合 2-1 ~ 2-3, 工場出荷時)

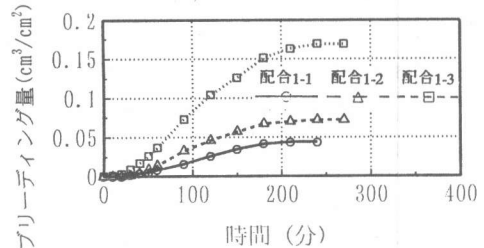


図-11 ブリーディング量の経時変化
(配合 1-1 ~ 1-3, 60分運搬後)

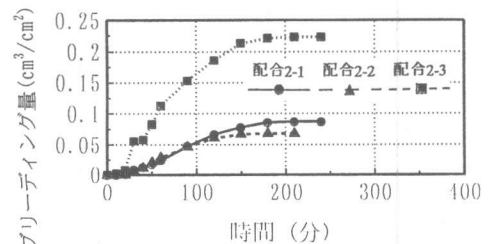


図-12 ブリーディング量の経時変化
(配合 2-1 ~ 2-3, 60分運搬後)

図-15および図-16には、運搬時間が最終のブリーディング量に及ぼす影響を示す。いずれの配合でも FNS の混合率が大きいほどブリーディング量は大きいこと、運搬時間が長くなるほどブリーディング量は小さくなることわかる。また、工場出荷時ではスランプが大きい配合ほどブリーディング量が多いが、60分および120分の運搬時間の場合には、スランプの差異がブリーディング量に及ぼす影響はほとんどない結果が得られた。

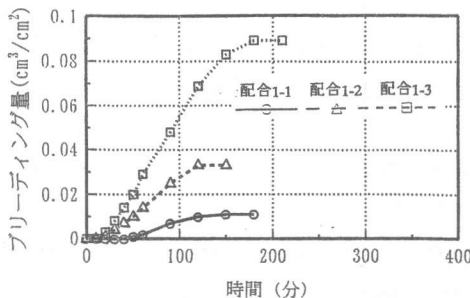


図-13 ブリーディング量の経時変化 (配合1-1～1-3, 120分運搬後)

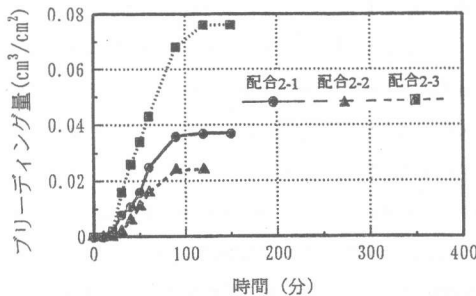


図-14 ブリーディング量の経時変化 (配合2-1～2-3, 120分運搬後)

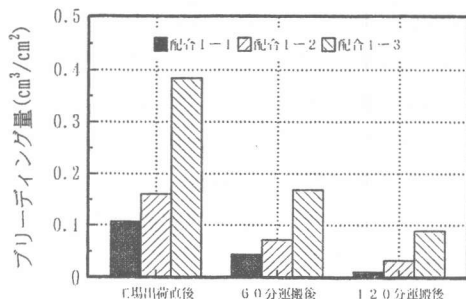


図-15 運搬時間の最終ブリーディング量への影響 (配合1-1～1-3)

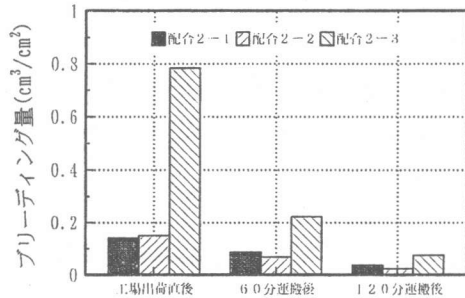


図-16 運搬時間の最終ブリーディング量への影響 (配合2-1～2-3)

4. 硬化コンクリートの圧縮強度

図-17および図-18には、工場出荷時のコンクリートで円柱供試体(直径10cm,高さ20cm)を作製し、水温20℃の水槽で養生した目標スランプ8cmおよび18cmの配合に対して材齢7日、28日および91日で圧縮試験を行った結果を示す。また、図-19および図-20には、工場を出発して60分間運搬した時点で円柱供試体を作製し、同じく水温20℃の水槽で養生した目標スランプ8cmおよび18cmの配合

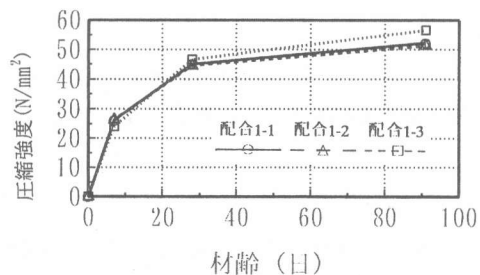


図-17 圧縮強度と材齢の関係 (工場出荷時作製供試体, 配合1-1～1-3)

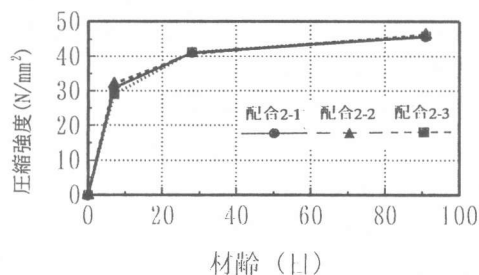


図-18 圧縮強度と材齢の関係 (工場出荷時作製供試体, 配合2-1～2-3)

に対して材齢 7 日, 28 日および 91 日で圧縮試験を行った結果を示す。これらの図から, FNS 混合率の相違ならびに運搬時間の差は, 各材齢における圧縮強度に影響をあまり与えないことがわかる。

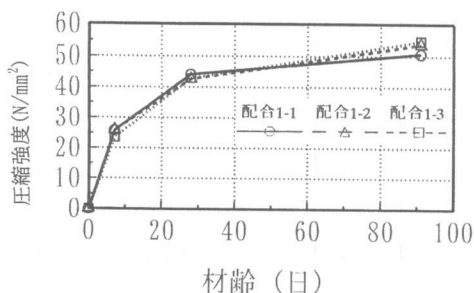


図-19 圧縮強度と材齢の関係

(60分運搬後作製供試体, 配合1-1 ~ 1-3)

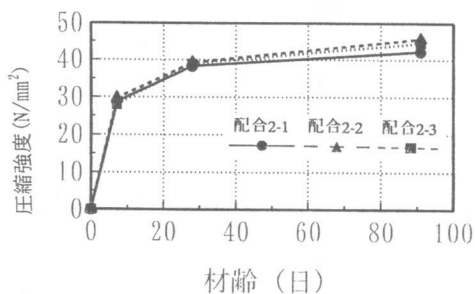


図-20 圧縮強度と材齢の関係

(60分運搬後作製供試体, 配合2-1 ~ 2-3)

5. まとめ

スランブの異なる2つの配合において, 細骨材へのFNS混合率を0, 50および100%としたときのフレッシュコンクリートの性質や運搬時間による品質の変化ならびに硬化コンクリートの圧縮強度に関する実験から得られた結果を要約すると次のとおりである。

(1) スランブロスにFNS混合率が0%の場合に最大となり, 50%と100%の両混合率の間にはさほど差異は生じない。

(2) 運搬時間0~30分の間で, 空気量はFNS混合率にかかわらずかなり低下する。

(3) スランブが8cmと比較的小さい場合, 運搬時間30分以降の空気量の低下は緩やかで

あるが, スランブが18cmと比較的大きい場合には, 運搬時間30分以降で逆に空気量は増大する。

(4) 単位容積質量の変化は空気量の変化に対応する。

(5) ブリーディング量はスランブが大きなコンクリートほど大きく, またFNS混合率が大きいほど大きくなる。

(6) 運搬時間が経過するに伴ってブリーディング量は少なくなる。

(7) 水セメント比が一定であれば, スランブやFNS混合率の相違および運搬時間の差は圧縮強度にほとんど影響を及ぼさない。

参考文献

- 梶原敏孝, 横山昌寛: フェロニッケルスラグ細骨材, コンクリート工学 Vol.34, No.7, pp.31~33, 1996.7
- フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートのブリーディング特性に及ぼす諸要因の影響に関する研究-コンクリート温度, 微粒分量, FNS混合率の影響, 日本鉱業協会, 1997.6
- M.Shoya, K.Togawa, K.Kokubu: On Properties of Freshly Mixed and Hardend Concrete with Ferro-Nickel Slag Fine Aggregate, 1997 International Conference on Engineering Materials, pp.759~774, Ottawa Canada, 1997.6
- S.Nagataki, F.Tomosawa, T.Kajiwara, M.Yokoyama: Properties of Nonferrous Metal Slag Used as Aggregate for Concrete, 1997 International Conference on Engineering Materials, pp.733~743, Ottawa Canada, 1997.6
- 日本工業規格 JIS A 5011-2 (コンクリート用スラグ骨材-第2部): フェロニッケルスラグ骨材, 日本規格協会, 1997.8
- フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, 土木学会, 1998.2
- フェロニッケルスラグ細骨材を用いるコンクリートの設計施工指針・同解説, 日本建築学会, 1998.2