

論文 高炉スラグ細骨材とフライアッシュを使用したコンクリートの性質

吉澤 千秋*1・峯 秀和*2・石川 嘉崇*3・阿部 道彦*4

要旨: 高炉スラグ細骨材の補填材に混和材のフライアッシュを組み合わせるにより、高炉スラグ細骨材を高配合したコンクリートの性状の改善を図ることを試みた。その結果、水セメント比が55%の配合において細骨材中の高炉スラグ細骨材を50,75,100vol.%配合にフライアッシュを15%補填することにより、コンクリートの単位水量が大きく低減し、ブリーディング量が低減すると共にプラスティシティーも改善した。またフライアッシュを用いない配合と比べ、圧縮強度が増加し、乾燥収縮、中性化速度係数が低減することができた。さらに空気量の調整を適切に行うことで凍結融解抵抗性に問題がないことを確認した。

キーワード: 高炉スラグ細骨材, フライアッシュ, ブリーディング, 耐久性, 乾燥収縮, 凍結融解

1. はじめに

鉄鋼スラグやフライアッシュ等の産業副産物をいかに有効利用できるかについては、循環型社会を構築する上での大きな課題のひとつである。著者らの研究では、高炉スラグ細骨材の中目(粗粒率2.55程度)を用いる場合、W/Cが50%以上のコンクリートの配合では、微粒が少なく、材料分離が生じやすいため、細骨材中の高炉スラグ細骨材の配合比は、混合する相手の細骨材にもよるが、30~50vol.%が限界であると考えられる^{1),2)}。一方、超高強度コンクリートでは、単位セメント量が多いためセメントペーストの量が増える。その結果、高炉スラグ細骨材の角張った粒形の影響を緩和すると共に粘性が高まることにより、ブリーディングを抑制することから、高炉スラグ細骨材100vol.%の配合でも可能である^{3),4)}。そこで、細骨材の補填材として、フライアッシュ等の粉体の混和材で細骨材の粒度分布を補完することにより、一般に多く使用されているW/Cが50~60%のコンクリートでも高炉スラグ細骨材の混合比を高めることが可能であると考えられる。本研究は、高炉スラグ細骨材の補填材としてフライアッシュを用いることにより、高炉スラグ細骨材の配合比を高めたコンクリートのフレッシュ性状や強度、耐久性について検討した。その結果を報告する。

高炉スラグ細骨材と砕砂の配合比を50, 75, 100vol.%とした。また、粗骨材は砕石2013, 砕石1305を50%:50%(質量比)の割合で混合し使用した。高炉スラグ細骨材の粒度分布を図-1に示す。空気量の調整は、AE助材と消泡剤を組み合わせで行った。

表-1 使用材料

種類	記号	産地・性質・成分
セメント	C	3社の普通ポルトランドセメントを等量混合(密度3.16g/cm ³ , ブレーン値3,300cm ² /g)
混和材	FA	舞鶴産フライアッシュ JIS II 種品, (密度2.25g/cm ³ , ブレーン値3,640 cm ² /g)
細骨材	BFS	福山産高炉スラグ細骨材(区分 BFS5, 表乾密度2.73g/cm ³ , 吸水率0.83%, F.M.2.56)
	S	兵庫県家島産砕砂(湿式製造), (表乾密度2.69 g/cm ³ , 吸水率2.37%)
粗骨材	G1 G2	兵庫県家島産 砕石2013(G1)を50mass%と砕石1305(G2)を50mass%の混合(砕石2013, 記号G1, 表乾密度2.62 g/cm ³ , 吸水率0.73%および 砕石1305, 記号G2, 表乾密度2.63 g/cm ³ , 吸水率0.87%)
AE減水剤		ポリカルボン酸ポリエーテルポリマーと変性ポリオール系
AE助剤		ラウリル酸イミダゾリン誘導体
消泡剤		ポリオキシアルキレンアルキルエーテル系

2. 実験概要

2.1 使用材料

各使用材料の産地、成分、物性を表-1に示す。高炉スラグ細骨材は「JIS A 5011-1 コンクリート用スラグ骨材 第1部: 高炉スラグ骨材」に適合するものを使用した。

2.2 試験方法

コンクリートの練混ぜは、JIS A 1138「試験室におけるコンクリートの作り方」に準じて実施した。ミキサは、

*1 JFE ミネラル(株)製鉄関連事業部 参与 技術サービス部長 博(工) (正会員)

*2 (株)関電パワーテック 環境事業部環境営業グループ 技術課長 (正会員)

*3 電源開発(株)茅ヶ崎研究所 上席研究員・立命館大学客員教授 博(工) (正会員)

*4 工学院大学建築学部 教授 工博 (正会員)

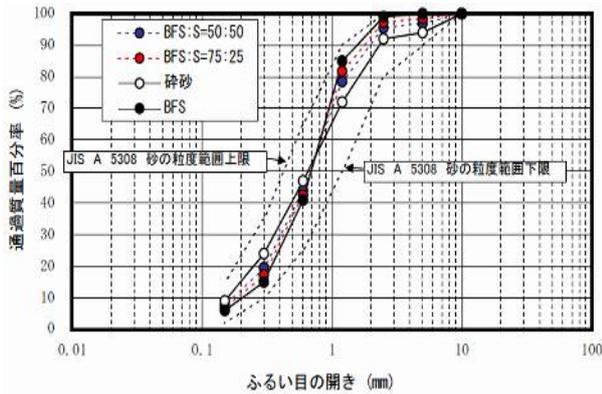


図-1 細骨材の粒度分布

60 リットル強制二軸を使用した。練混ぜ方法はセメント、骨材、混和材を投入し、30 秒空練りしてから、混和剤を含む水を投入し、60 秒間練混ぜた後排出した。試験方法を表-2 に示す。

表-2 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
フレッシュ性 状	スランブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝 結	JIS A 1147
強 度	供試体の作製	JIS A 1132
	圧縮強度	JIS A 1108
耐久性	促進中性化	JIS A 1152 JIS A 1153
	乾燥収縮	JIS A 1129-3
	凍結融解	JIS A 1148 A 法
	気泡間隔係数	リニアトラバース法

(1) 高炉スラグ細骨材に混和する補填材の最適添加率の把握

水セメント比 55%，目標スランブ 15±1.5cm，空気量 4.5±1.5%，高炉スラグ細骨材の細骨材中の配合比は 3 水準(50, 75, 100 vol.%) およびフライアッシュ補填率(高炉スラグ細骨材の体積に対するフライアッシュの置換率をフライアッシュ補填率と定義する)を 5 水準(0, 5, 10, 15, 20vol.%) 変化させた計 15 ケースについてコンクリートの練混ぜ試験を行い、高炉スラグ細骨材の配合比ごとの最適フライアッシュ補填率を把握した。試験はスランブおよび空気量、ブリーディング量の測定を行った。単位水量は、フライアッシュ無添加で細骨材中の高炉スラグ細骨材の配合比は 3 水準(50, 75, 100 vol.%) の条件で、それぞれの目標スランブが 15±1.5cm になるように定め、その他のフライアッシュを補填した配合も同一単

位水量で実施した。

(2) フライアッシュを補填した高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの諸試験

上記(1)の試験結果より選定した最適フライアッシュ補填率の配合でコンクリートのフレッシュ性状および硬化コンクリートの強度特性、耐久性を評価した。試験条件は、水セメント比55%，目標スランブ15±1.5cm，目標空気量4.5±1.5%，高炉スラグ細骨材の配合比は50, 75, 100vol.%の条件で(1)で選定した最適フライアッシュ補填率を適用した。試験はフレッシュ性状試験として、スランブ、空気量、ブリーディング、凝結硬化速度、強度特性として圧縮強度(材齢7, 28, 91, 182, 365日)、耐久性試験として乾燥収縮、促進中性化、凍結融解(A法 最長300サイクル)、気泡間隔係数(材齢28日以降リニアトラバース法)の測定を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 高炉スラグ細骨材に混和する補填材の最適添加量の把握

水セメント比一定の条件下で、高炉スラグ細骨材の配合比およびフライアッシュ補填率を変化させてコンクリートの練混ぜ試験を行い、高炉スラグ細骨材の配合比ごとの最適フライアッシュ補填率を把握した。配合を表-3 に示す。

(1) フレッシュ性状

高炉スラグ細骨材の補填材としてフライアッシュを用いたコンクリートのフレッシュ性状を表-4に、フライアッシュ補填率とスランブの関係を図-2に示す。いずれの高炉スラグ細骨材の配合比においてもフライアッシュ補填率の増加に伴い、スランブは大きくなるが、フライアッシュ補填率20%付近では小さくなる傾向が見られる。また、目視による観察結果では、フライアッシュを添加するとプラスティシティーが大きく向上しているが、フライアッシュ補填率20%は粘性が増大する。したがって、本試験の W/C=55%の配合では、プラスティシティーも改善され、スランブが最も大きくなる補填率として、いずれの高炉スラグ細骨材の配合比においてもフライアッシュの補填率は15%とし、これを最適補填率とした。なお、ブリーディング量は高炉スラグ細骨材 100 vol.%, フライアッシュ補填率15%の条件では、日本建築学会の目標値3.0%を超えているが、スランブが21.0cmと大きいいため、単位水量を低減させることにより、ブリーディングが抑えられると考えられた。

(2) ブリーディング量

ブリーディング試験結果を図-3 に示す。高炉スラグ細骨材の配合比 100vol.%のブリーディング量は約 0.8cm³/cm²と最も多く、砕砂と高炉スラグ細骨材の配合

表-3 コンクリートの配合

配合 No.	W/C (%)	BFS+FA S+BFS+FA Vol1 (%)	FA補填率 Vol1 (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						AE減水剤 (kg)	AE助剤 (kg)	消泡剤 (kg)	
						W	C	FA	BFS	S	G1				G2
BFS50+FA0	55.0	50	0	4.5	45.0	175	318	0	417	411	490	490	3.182	0.0048	0.0016
BFS50+FA5	55.0	50	5	4.5	45.0	175	318	17	396	411	490	490	3.182	0.0157	0.0016
BFS50+FA10	55.0	50	10	4.5	45.0	175	318	34	376	411	490	490	3.182	0.0263	0.0016
BFS50+FA15	55.0	50	15	4.5	45.0	175	318	52	355	411	490	490	3.182	0.0373	0.0016
BFS50+FA20	55.0	50	20	4.5	45.0	175	318	69	334	411	490	490	3.182	0.0373	0.0016
BFS75+FA0	55.0	75	0	4.5	45.0	175	318	0	626	206	490	490	3.182	0.0056	0.0016
BFS75+FA5	55.0	75	5	4.5	45.0	175	318	26	595	206	490	490	3.182	0.0180	0.0016
BFS75+FA10	55.0	75	10	4.5	45.0	175	318	52	563	206	490	490	3.182	0.0320	0.0016
BFS75+FA15	55.0	75	15	4.5	45.0	175	318	77	532	206	490	490	3.182	0.0453	0.0016
BFS75+FA20	55.0	75	20	4.5	45.0	175	318	103	501	206	490	490	3.182	0.0593	0.0016
BFS100+FA0	55.0	100	0	4.5	45.0	182	331	0	821	0	482	482	3.309	0.0066	0.0017
BFS100+FA5	55.0	100	5	4.5	45.0	182	331	34	780	0	482	482	3.309	0.0252	0.0017
BFS100+FA10	55.0	100	10	4.5	45.0	182	331	68	739	0	482	482	3.309	0.0456	0.0017
BFS100+FA15	55.0	100	15	4.5	45.0	182	331	101	698	0	482	482	3.309	0.0654	0.0017
BFS100+FA20	55.0	100	20	4.5	45.0	182	331	135	657	0	482	482	3.309	0.0858	0.0017

表-4 コンクリートのフレッシュ性状

配合 No.	W/C (%)	BFS+FA S+BFS+FA Vol1 (%)	FA補填率 Vol1 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
BFS50+FA0	55.0	50	0	14.0	4.4
BFS50+FA5	55.0	50	5	16.5	5.2
BFS50+FA10	55.0	50	10	17.5	4.9
BFS50+FA15	55.0	50	15	19.5	4.8
BFS50+FA20	55.0	50	20	16.0	4.0
BFS75+FA0	55.0	75	0	15.0	5.0
BFS75+FA5	55.0	75	5	16.0	4.9
BFS75+FA10	55.0	75	10	18.5	4.7
BFS75+FA15	55.0	75	15	20.0	4.8
BFS75+FA20	55.0	75	20	19.0	4.8
BFS100+FA0	55.0	100	0	15.0	5.5
BFS100+FA5	55.0	100	5	19.0	5.4
BFS100+FA10	55.0	100	10	20.0	5.0
BFS100+FA15	55.0	100	15	21.0	4.7
BFS100+FA20	55.0	100	20	21.0	4.8

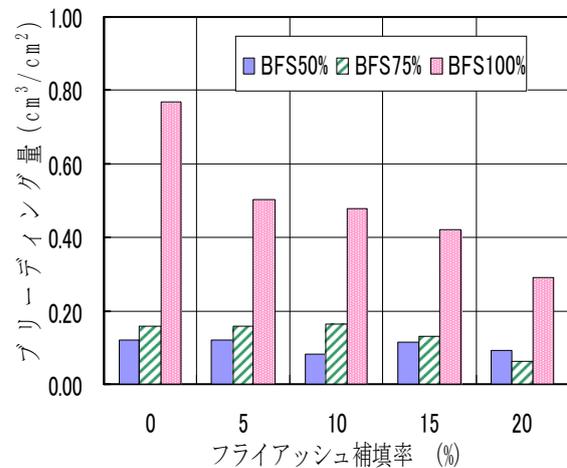


図-3 ブリーディング試験結果

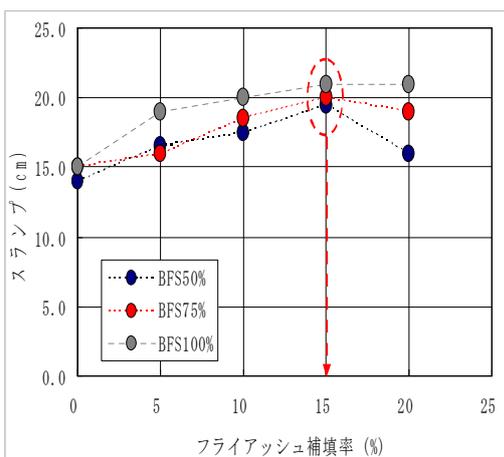


図-2 フライアッシュ補填率とスランプの関係

比で高炉スラグ細骨材が増加するほど、ブリーディング量は増加する傾向にある。高炉スラグ細骨材の配合比100vol.%のブリーディング量が多くなる原因は、高炉スラグ細骨材がガラス質であることに加え、単位水量が多

いことに起因していると考えられる。また、高炉スラグ細骨材の配合比100vol.%は、フライアッシュの補填率を増加させるほどブリーディング量が低減し、補填率20%では耐久性鉄筋コンクリートの品質目標値0.3 cm³/cm²を下回る値を得た。ブリーディング量の低減には高炉スラグ細骨材の補填材として補填したフライアッシュが寄与していると考えられる。

3.2 フライアッシュを補填した高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの性状

3.1 より選定した最適フライアッシュ補填率15%の配合でコンクリートのフレッシュ性状および硬化コンクリートの強度、耐久性を評価した。なお、配合修正にあたっては、表-3 に示した配合を基に「コンクリート標準示方書」および「フライアッシュを細骨材補填混和材として用いたコンクリートの施工指針(案)」に準拠し、補正を行った。配合を表-5 に示す。

(1) フレッシュ性状

表-5 の配合で練混ぜを行い、所要の初期性状(スランプ15±1.5cm, 空気量4.5±1.5%)が得られることを確認し

表-5 コンクリート試験の配合

調合 No.	W/C (%)	BFS+FA S+BFS+FA Vol (%)	FA補填率 Vol (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						減水剤	AE助剤	消泡剤	
						W	C	FA	BFS	S	G1				G2
BFS50+FA0	55	50	0	4.5	45.0	175	318	0	417	411	490	490	3.182	0.0028	0.0016
BFS50+FA15	55	50	15	4.5	43.0	165	300	50	347	402	520	520	3.000	0.0210	0.0015
BFS75+FA15	55	75	15	4.5	43.0	165	300	76	520	201	520	520	3.000	0.0254	0.0015
BFS100+FA15	55	100	15	4.5	43.0	169	307	100	687	0	515	515	3.073	0.0368	0.0015

表-6 フレッシュ性状

調合 No.	W/C (%)	BFS+FA S+BFS+FA Vol (%)	FA補填率 Vol (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
BFS50+FA0	55	50	0	13.5	5.7	19.1
BFS50+FA15	55	50	15	13.5	4.6	20.1
BFS75+FA15	55	75	15	16.5	4.9	20.1
BFS100+FA15	55	100	15	15.0	5.5	20.0

た。その結果を表-6 に示す。表-5 および表-6 より、スランプ 15cm 程度となる単位水量は、高炉スラグ細骨材の配合比 50, 75vol.%の場合で 165kg/m³、高炉スラグ細骨材の配合比 100vol.%の場合で 169kg/m³であり、フライアッシュを補填しない場合に比べ 10~13kg/m³ 程度低減され、フライアッシュを高炉スラグ細骨材の補填材として用いることにより、単位水量は大きく低減することが確認された。

(2) ブリーディング量

最適フライアッシュ補填率の配合でのブリーディング試験結果を図-4 に示す。ブリーディングは、4~7時間程度で収束している。高炉スラグ細骨材の配合比が高いほど最終ブリーディング量が増大する傾向が見られるが、いずれも 0.2cm³/cm² 以下の値であり、日本建築学会が示す高耐久性鉄筋コンクリートの品質目標 0.3 cm³/cm² 以下の値を下回る結果である。高炉スラグ細骨材の配合比 100vol.%にフライアッシュを 15%補填した配合のブリーディング量は、3.1 で実施したブリーディング量の 1/2 程度に減少している。これは、フライアッシュを補填することにより、水結合材比が低下したことに起因していると考えられる。

(3) 凝結時間

最適フライアッシュ補填率の配合でのプロクター貫入抵抗試験結果を図-5 に示す。凝結特性は、高炉スラグ細骨材の配合比 50vol.%の場合、フライアッシュ補填の有無に係らず、ほぼ同程度の結果である。ただし高炉スラグ細骨材の配合比が増加するに伴い、凝結時間は遅延する傾向を示し、高炉スラグ細骨材の配合比 75vol.%で 1 時間程度、高炉スラグ細骨材配合比 100vol.%で 2 時間 30 分程度、遅延している。これは、高炉スラグ細骨材の製造時に添加しているポリアクリル酸系の固結防止剤がセメントの水和を遅延させていることに起因していると考えられる⁵⁾。

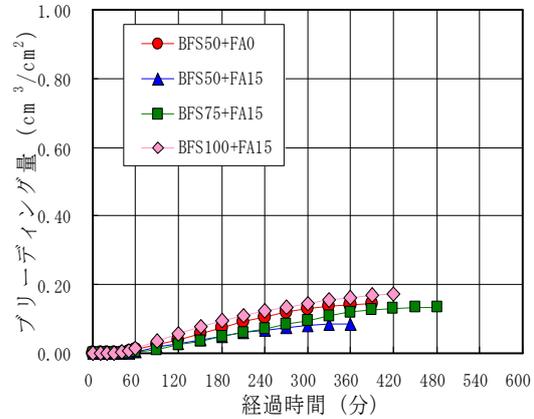


図-4 ブリーディング試験結果

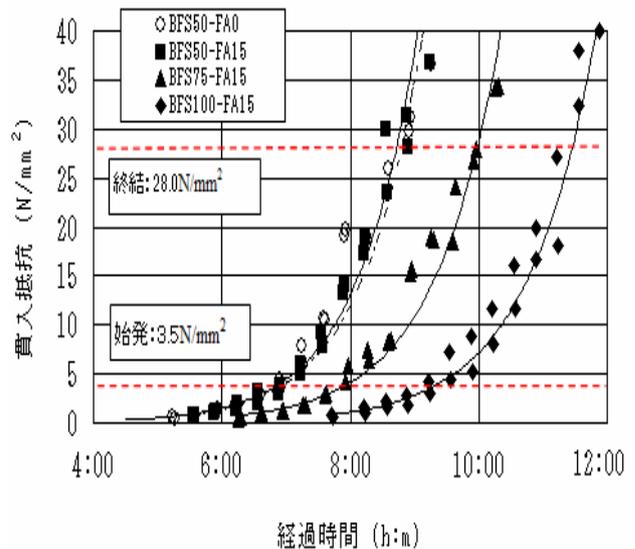


図-5 プロクター貫入抵抗試験結果

(4) 圧縮強度

最適フライアッシュ補填率の配合での圧縮強度試験結果を図-6 に示す。各配合とも材齢 7 日から材齢 28 日まででは、ほぼ同程度の強度発現性を示している。また、材齢 91 日ではフライアッシュを補填した配合の強度増進が大きくなっており、材齢 182 日ではフライアッシュを補填したすべての配合がほぼ同等の圧縮強度を示した。フライアッシュは結合材の一部とみなせるため、水結合材比が低下したこと、すなわちフライアッシュのポズラン反応による水和物の生成が強度の増加に寄与したものと考えられる。

(5) 中性化抵抗性

最適フライアッシュ補填率の配合での 26 週における

促進中性化試験結果を図-7に示す。促進期間26週では、高炉スラグ細骨材の配合比 50vol.%の場合には、フライアッシュ補填の有無に係らずほぼ同程度の値である。また、高炉スラグ細骨材の配合比が高いほど、中性化速度係数が小さい傾向が見られる。これは、材齢の経過に伴い、高炉スラグ細骨材の界面での水和物の生成やフライアッシュとのポズラン反応により、骨材界面やペースト組織が緻密になり、透気性が低下したためと推察される⁶⁾。

(6) 乾燥収縮

最適フライアッシュ補填率の配合での乾燥収縮試験結果を図-8に示す。乾燥期間365日では、高炉スラグ細骨材の配合比が高いほど長さ変化率が小さくなる傾向が見られる。これは、フライアッシュの補填により単位水量が低減されたことおよび高炉スラグ細骨材の吸水率が小さいため、乾燥水分量(質量減水率)が小さいこと、高炉スラグ細骨材の界面における水和物が生成したこと、セメントの水和と共に生成するCa(OH)₂がフライアッシュとのポズラン反応により水和物を生成し、これらが組織を緻密化させたことに起因すると考えられる^{6),7)}。

(7) 凍結融解抵抗性

表-5と同条件の最適フライアッシュ補填率の配合で再度、練混ぜし、凍結融解試験を行った。また、凍結融解試験結果を図-9に示す。細骨材の補填材としてフライアッシュを15%補填した配合は、いずれの配合も補填しない配合と比較して、大きい凍結融解抵抗性を示している。一般に高炉スラグ細骨材を用いるとその粒形が角張っているため、エントラップトエアが生じやすい¹⁾。一方、フライアッシュを使用したコンクリートは、フライアッシュを使用しないコンクリートと比較して、空気量が少なくなるため、AE助剤が多く使用される傾向にある。これは、フライアッシュに混入されている未燃カーボンがAE助剤を吸着することに起因していると考えられる。AE助剤は、微細なエントレインドエアを混入させ、凍結融解抵抗性に寄与していると考えられる。今回の実験において高炉スラグ細骨材にフライアッシュ無補填の配合(BFS50-FA0)は、表-5に示すように消泡剤の添加量がフライアッシュを補填した配合とほぼ同程度で練混ぜたため、AE助剤が極めて少ない添加量で所要の設計空気量が混入された。その結果、相対動弾性係数は低い値となった。これは、AE助剤量の添加量が少ないため、良質なエントレインドエアが確保されていなかったことによるものと考えられる⁸⁾。

(8) 気泡間隔係数

気泡間隔係数の測定結果を表-7に、気泡個数の分布を図-10に示す。高炉スラグ細骨材の配合比50vol.%でフライアッシュ無補填の配合の気泡間隔係数は429μmである。一方、細骨材にフライアッシュを補填した配合

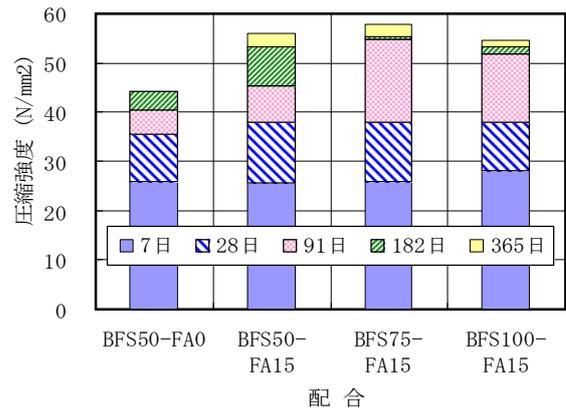


図-6 圧縮強度試験結果

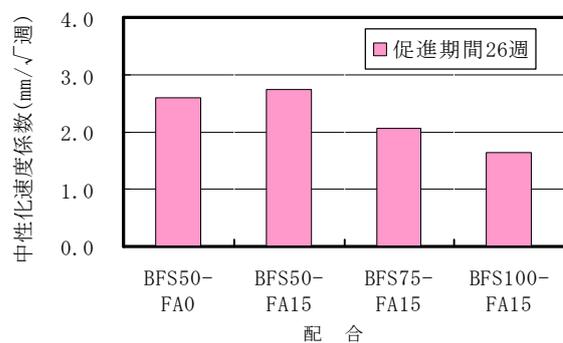


図-7 促進中性化試験結果

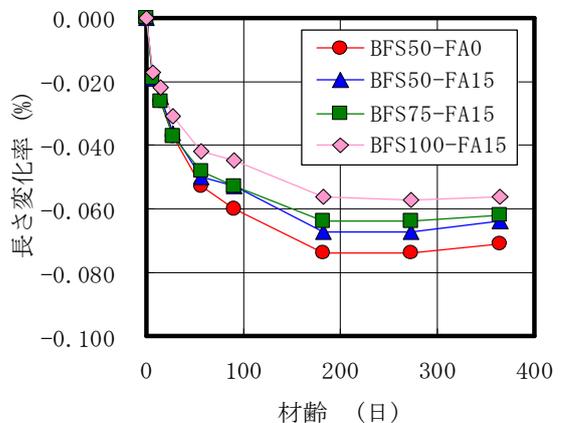


図-8 乾燥収縮試験結果

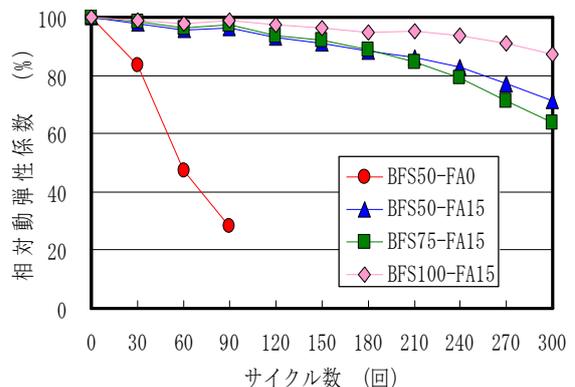


図-9 凍結融解試験結果

では、いずれの配合も気泡間隔係数は小さくなり、概ね360 μ m程度以下の範囲にある。図-10の気泡個数の分布より、高炉スラグ細骨材にフライアッシュを補填した配合では0.05~0.20mmの微細な気泡が著しく多くなっている。これより、高炉スラグ細骨材にフライアッシュを補填した場合は、所要の空気量を確保するためのAE助剤使用量を多くする必要があり、このことが微細で良好な気泡を混入させた。特に高炉スラグ細骨材の配合比100 vol.%, フライアッシュ補填率15%の配合では、フレッシュコンクリートの空気量を保持し、気泡間隔係数を小さくした。その結果、凍結融解抵抗性が改善されたものと考えられる。

表-7 気泡間隔係数測定結果

配合	気泡個数	気泡間隔係数 (μ m)	空気量(%)		耐久性指数
			フレッシュ時	硬化後	
BFS50-FA0	266	429	4.8	3.0	9
BFS50-FA15	372	300	5.3	3.0	71
BFS75-FA15	310	361	4.4	3.2	64
BFS100-FA15	435	312	4.7	4.5	88

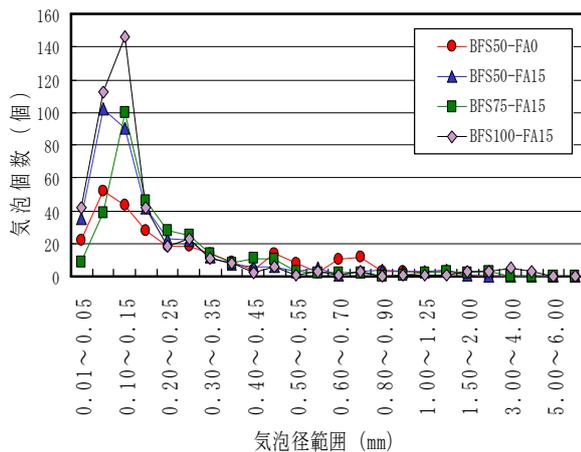


図-10 気泡径範囲と気泡個数の関係

4. まとめ

4.1 フレッシュコンクリート

本研究では、W/C=55%の配合において、高炉スラグ細骨材 50,75,100vol.%配合に細骨材の補填材としてフライアッシュを15%補填することにより、単位水量およびブリーディング量が大きく低減し、さらにプラスティシティーも大きく改善された。

4.2 硬化コンクリート

(1) 圧縮強度

各配合とも材齢28日まではほぼ同程度の強度発現性を示している。また、材齢91日ではフライアッシュを補填した配合の強度増進が大きくなっており、材齢182日ではフライアッシュを補填したすべての配合がほぼ同等の圧縮強度を示した。これらはフライアッシュによるポ

ゾラン反応が強度に寄与したものと考えられる。

(2) 中性化抵抗性

促進期間26週では、高炉スラグ細骨材の配合比50vol.%の場合、フライアッシュ補填の有無に係らず、ほぼ同程度の値である。また、高炉スラグ細骨材の配合比が高いほど、中性化速度係数が小さい傾向が見られる。

(3) 乾燥収縮

材齢180日において、細骨材の補填材としてフライアッシュ15%を補填した配合は、いずれの配合もフライアッシュを補填しない配合と比較して、小さい長さ変化率を示している。

(4) 凍結融解抵抗性

細骨材の補填材としてフライアッシュを15%補填した配合はいずれの配合も補填しない配合と比較して、大きい凍結融解抵抗性を示している。

(5) 気泡間隔係数

細骨材の補填材としてフライアッシュを15%補填した配合はいずれの配合も補填しない配合と比較して、気泡間隔係数は小さくなり、300~361 μ mであった。

謝辞

本研究の実施にあたり、骨材の調達には扶和産業(株)の今浦氏にご協力を賜りました。感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉澤千秋：高炉スラグ細骨材の現状と課題，コンクリートテクノ，Vol.24，No.12，pp.29-34，2005.12
- 2) 綾野克紀，松永久宏，吉澤千秋，細谷多慶：鉄鋼スラグ骨材を用いたコンクリートの現状・問題点とその方向性(中国地方)，コンクリート工学，Vol.48，No1，pp.57-61，2010.1
- 3) 齊藤和秀，木之下光男，伊原俊樹，吉澤千秋：高炉スラグ細骨材を使用した耐久性コンクリートの性質，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No1，pp.139-144，2009.6
- 4) 吉澤千秋，齊藤和秀，木之下光男，露木尚光：粗粒高炉スラグ細骨材を使用した高強度コンクリートの特性，土木学会第66回年次学術講演会，V-522，pp.10431-1044，2011.8
- 5) 光藤浩之，吉澤千秋，高橋智雄，木之下光男：高炉スラグ細骨材の固結防止技術，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.87-92，2004.6
- 6) 中村好裕，吉田亮，齊藤和秀，吉澤千秋：高炉スラグ細骨材の粒径がセメント硬化体の各種物性に与える影響，土木学会第68回年次学術講演会，V-581，pp.1101-1102，2013.8
- 7) 齊藤和秀，吉澤千秋，木之下光男，小林竜平，露木尚光，吉田亮：高炉スラグ細骨材と高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの特性，土木学会第67回年次学術講演会，V-520，pp.1039-1040，2012.8
- 8) 齊藤和秀，吉澤千秋，吉田亮，梅原秀哲：収縮低減剤と高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの性質，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No1，pp.439-444，2013.6