

八戸工業大学 学生員 ○原田 強
 八戸工業大学 正会員 阿波 稔
 八戸工業大学 正会員 庄谷 征美
 太平洋セメント(株) 正会員 徳橋 一樹

1. まえがき

近年、コンクリートの施工性の改善を主目的とした自己充てん型高流動コンクリートが開発され、すでに実構造物に使用されている。一方、資源のリサイクル、有効利用といった観点から、産業副産物をコンクリート用材料として積極的に利用するための研究が鋭意進められている。この研究の一環として非鉄金属スラグを利用した代替骨材の研究が進展している。また、良質なコンクリート用骨材の入手が次第に困難になりつつある情勢を考慮すると、スラグ細骨材などをコンクリート構造物に使用する機会は今後益々増加するものと予想される。以上のような社会的背景のもと、本研究は、JIS A 5011 に規格化されている、高炉スラグ細骨材、フェロニッケルスラグ細骨材および銅スラグ細骨材を用いた粉体系高流動コンクリートのフレッシュ性状を調べることを目的としたものである。

2. 使用材料および実験方法

2-1 使用材料：セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。スラグ細骨材は、比重 2.67、F.M2.35 の高炉スラグ細骨材(BFS 細骨材と略す)、比重 2.97、F.M.2.48 のフェロニッケルスラグ細骨材(FNS 細骨材と略す)および比重 3.63、F.M.2.20 の銅スラグ細骨材(CUS 細骨材と略す)を用いた。さらに、比較用および混合用に 2 種類の天然砂(NS-1:比重 2.65、F.M.2.57、NS-2:比重 2.67、F.M3.06)を用いた。粗骨材は、最大寸法 20 mm、比重 2.64 の硬質砂岩砕石を使用した。粉体系混和材としては、比重 2.70、比表面積 5700 cm²/g の石灰石微粉末を用いた。また、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤と、天然樹脂酸塩を主成分とする 2 種類の AE 剤(AE-1、AE-2)を使用した。

2-2 実験方法：コンクリートの細骨材絶対容積に対するスラグ細骨材の混合率は、0%、50%および 100%である。フレッシュコンクリートの自己充てん性能は、スランブフロー試験、漏斗を用いた流下試験、空気量、充てん装置を用いた間げき通過性試験(ボックス型容器、障害 R1)により評価した。スランブフローは 700±50 mm、V 型漏斗流下時間 10~20 秒程度、空気量は 4%±1 を目標とした。そして、ブリーディング試験、凝結試験を行った。さらに、二重円筒型回転粘度計を用いてコンクリートのレオロジー試験を実施し、降伏値と塑性粘度を測定した。

3. 実験結果

3-1 配合特性および自己充てん性の評価：表-1 は、目標スランブフロー、V 型漏斗流下時間および空気量がほぼ満足された配合例を示したものである。これより、FNS 混合率が増加すると、単位水量は減少する結果を

表-1 配合一覧および自己充てん性の評価

配合名	記号	Gmax (mm)	W/P (%)	W/C (%)	単位 粗骨材 絶対容積 (m ³ /m ³)	単 位 量 (kg/m ³)										充てん高さ (障害R1) (mm)
						水 W	セメント C	石灰石 微粉末 L	細 骨 材				粗骨材 G	混和剤		
									NS	FNS	CUS	BFS		高性能 AE減水剤	AE剤 (g/m ³)	
Control-①	□	20	86	55	0.274	165	300	260	880 ^{※3}	—	—	—	740	6.44	224 ^{※5}	300
FNS-50	△				0.276	160	291	252	448 ^{※3}	502	—	—	746	6.24	1195 ^{※5}	300
FNS-100	○				0.280	155	282	245	—	1017	—	—	756	6.06	1318 ^{※6}	340
CUS-50	▲		0.273		167	304	243	442 ^{※3}	—	606	—	737	6.29	11 ^{※6}	340	
CUS-100	●		0.270		170	309	247	—	—	1199	—	730	6.39	25 ^{※6}	340	
Control-②	■		73		73	0.239	165	300	353	882 ^{※4}	—	—	—	631	6.53	1690 ^{※6}
BFS-50	◆	0.236		168		305	359	435 ^{※4}	—	—	435	623	6.65	1990 ^{※6}	330	
BFS-100	●	0.233		171		311	366	—	—	—	860	616	6.77	2030 ^{※6}	335	

※3: NS-1

※4: NS-2

※5: AE-1

※6: AE-2

示した。これは FNS 細骨材の粒子形状が球形に近いためであると考えられる。一方、BFS、CUS 細骨材の場合は、スラグ混合率が増加すると単位水量は増加する傾向となった。これは、用いたスラグ細骨材中に、0.15 mm 以下の微粒細骨材が多く含まれていることや、スラグの粒子形状が角張っていることなどが影響しているものと考えられる。また、間げき通過性試験の結果は、いずれの条件の場合にも充てん高さ 300 mm 以上が得られており、全ての配合において土木学会高流動コンクリート施工指針に示されている自己充てん性のランク 1 に相当することが認められた。

3-2 フレッシュコンクリートの特性:

(1) ブリーディング性状および凝結性状:石灰石微粉末がブリーディングを抑制し、スラグ混合率が 0%、50%、100%と増加しても、スラグの種類によらずブリーディングはほとんど見られなかった。また、FNS 細骨材を用いた場合の凝結速度は、速くなる傾向を示し、逆に BFS 細骨材および CUS 細骨材を用いた場合には、その混合率の増加にともない凝結速度は遅れる傾向を示した。これらの理由として単位水量や各スラグ細骨材中の化学成分の影響によるものと考えられる。

(2) レオロジー特性:表-2 は、コンクリートの降伏値と塑性粘度との関係を示したものである。BFS 細骨材および CUS 細骨材を用いた場合は、FNS 細骨材を用いた場合と比べスラグ混合率の増加にともない降伏値および塑性粘度ともに低下する傾向を示した。

図-1 は、コンクリートの単位水量と降伏値および塑性粘度との関係を示したものである。この図に見られるように、単位水量の増加にともない、降伏値および塑性粘度は直線的に減少する傾向を示した。

図-2 は、コンクリートの単位容積質量と降伏値および塑性粘度との関係を示したものである。この図に示されるように、FNS 細骨材および CUS 細骨材を用いたコンクリートでは単位容積質量の増加に伴い、降伏値および塑性粘度は減少する傾向が見られた。一方 BFS 細骨材を用いた場合は、単位容積質量の変化が小さく、単位体積質量の影響を受けていないのが分かる。これらの結果より、降伏値および塑性粘度に差が生じたのは、FNS 細骨材、CUS 細骨材を用いた場合にはコンクリート単位水量や単位容積質量の影響、BFS 細骨材を用いた場合には単位水量の影響が主要因はないかと考えられる。

4. まとめ

各種スラグ細骨材を用いた粉体系高流動コンクリートの間げき通過性試験(障害 R1)を行った。その結果、スラグ細骨材の種類やその混合率によらず、全ての配合において 300mm 以上の充てん高さを示し、十分な自己充てん性が認められた。また、BFS 細骨材および、CUS 細骨材を用いたコンクリートの降伏値や塑性粘度は、FNS 細骨材を用いた場合と比べ低下する傾向を示した。それはそれらスラグ細骨材の混合によるコンクリートの単位水量や単位容積質量の影響が主要因ではないかと考えられる。

謝辞:この研究にあたり、新日鉄(株)君津製鉄所の関係者に御協力を頂きました。ここに謝意を表します。

表-2 コンクリートの降伏値と塑性粘度

配合名	降伏値 (Pa)	塑性粘度 (Pa・sec)
Control-①	12.50	35.71
FNS-50	23.39	41.32
FNS-100	12.92	58.82
CUS-50	6.00	34.97
CUS-100	5.14	31.06
Control-②	9.74	40.98
BFS-50	1.41	39.22
BFS-100	0.20	27.62

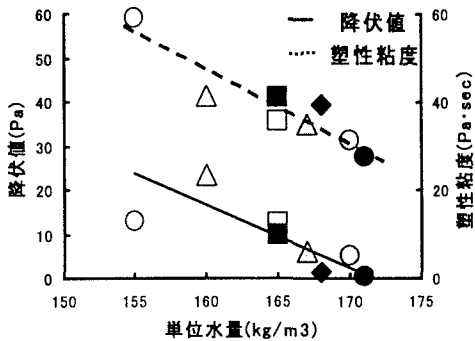


図-1 単位水量と降伏値、塑性粘度との関係

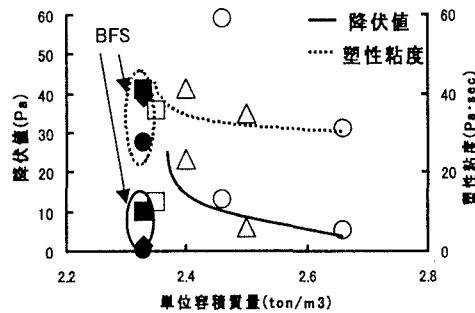


図-2 単位体積質量と降伏値、塑性粘度との関係