

石炭ガス化スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートの諸物性に関する検討

日本大学工学部 学生会員 ○相内 豪太 正会員 前島 拓 フェロー 岩城 一郎
 東北大学 非会員 加納純也 非会員 面 政也 社会環境イノベーション(株) 非会員 畑中 貢

1. はじめに

近年、カーボンニュートラル社会の実現に向けたクリーンコール技術として、石炭ガス化複合発電(以下、IGCC)が注目されており、現在全国で3基が稼働中である。このIGCCから副生される石炭ガス化スラグ(以下、CGS)は、JIS A 5011-5にコンクリート用スラグ骨材として制定されるなど、実構造物への利用に向けた検討が進められている¹⁾。他方、高炉スラグなどは細骨材としての利用だけでなく、微粉末化することでセメントの代替や混和材としての利用がなされている。本研究ではCGSのさらなる用途拡大を目的とし、福島県勿来IGCC発電所から排出されるCGSを微粉化し、この微粉末(以下、CGS微粉末)を混和材として用いたコンクリートのフレッシュ性状、強度発現性、および耐久性について実験的に検討した。



写真-1 CGS微粉末
(左: 粉碎前 右: 粉碎後)

表-1 コンクリートの配合

ID	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤(C×%)		Slump (cm)	Air (%)
				W	C	CGS	S	G	AE減水剤	助剤		
N	50.0	50.0	46.0	170	340	0	823	988	1.0	0.002	11.0	5.5
外割20%	50.0	42.0			340	68	792	948	0.8	0.005	13.0	5.9
内割20%	62.0	50.0			273	68	819	979	0.8	0.003	14.5	5.8
内割40%	83.0	50.0			204	136	814	1085	0.6	0.010	11.0	5.5

2. 実験概要

表-1にコンクリートの配合を示す。表より、水セメント比50%の普通コンクリート(N)を基準とし、これにCGS微粉末をセメントの質量に対して外割で20%置換した配合、および内割で20%、40%置換した配合の計4条件とした。なお、本検討ではCGS微粉末はCGSを100°Cの乾燥炉にて24時間以上乾燥させた後、ボールミル粉碎機を用いて試験的に微粉化(写真-1)したものを使用した(中粒径40 μ m程度)。コンクリートのフレッシュ性状は、目標スランブを12 \pm 2.5cm、目標空気量を5.0~6.0%として混和剤にて調整したが、いずれの配合も混和剤の大幅な増減なく所定のフレッシュ性状を満足した。試験項目は、フレッシュコンクリートではスランブ試験、空気量試験、ブリーディング試験、凝結時間試験であり、硬化コンクリートに対しては圧縮強度試験、ASTM C672法による凍結融解試験、および反応性粗骨材を用いたアルカリシリカ反応(ASR)試験、40°C環境で3%NaClを供試体上面に182日間湛水させる塩分浸透促進試験である。なお、凍結融解試験は凍結防止剤散布下を想定し、3%NaCl水溶液を試験媒体とした。

3. 実験結果及び概要

図-1にブリーディング試験結果を示す。図より、CGS微粉末を混和した配合はいずれもNよりもブリーディング率が高い結果であったが、これは本研究に用いた細骨材(砕砂)の吸水率1.52%に対して、CGSは0.22%と保水性が低いことが要因と考えられる。また、外割20%と内割20%で比較すると、外割置換した配合でブリーディング率が低い傾向にあることから、CGS微粉末を外割置換することによってブリーディングを抑制し得ることが示唆された。図-2に凝結時間試験の結果を示す。図より、始発時間は置換率および置換方法による大きな差異はなく、終結時間はN、外割20%、内割配合の

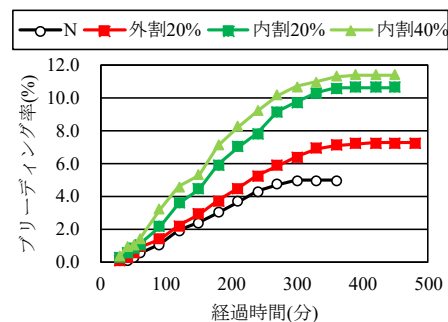


図-1 ブリーディング試験

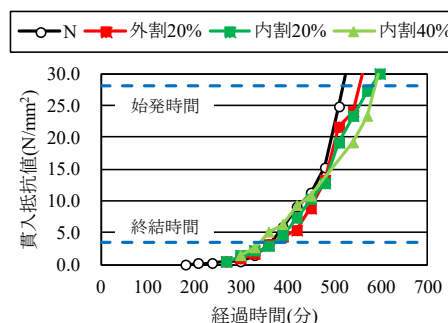


図-2 凝結時間試験

キーワード 石炭ガス化スラグ微粉末, CGS, 強度発現性, 耐久性

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 日本大学工学部土木工学科 TEL024-956-8721

順に遅くなる傾向であったが、コンクリートの凝結を著しく阻害する程ではない。図-3に圧縮強度試験結果を示す。図より、内割置換した配合では材齢7, 28日ではいずれもNより圧縮強度が低い結果であった。しかし、その後の強度増進はCGS微粉末を混和した条件で明らかに大きく、材齢91日以降では内割20%はNと同程度以上の強度を示し、内割40%でも365日でNと同程度の圧縮強度まで強度増進した。一方、外割20%は材齢7日時点でNと同程度以上の強度を示し、以降いずれの材齢においてもNよりも高い圧縮強度であった。このことから、CGS微粉末がコンクリートの長期強度増進に寄与する材料であること、また、外割置換とすることで若材齢から普通コンクリートと同等以上の強度発現が得られることが示された。

図-4に凍結融解試験結果を示す。図より、CGS微粉末を混和した配合はいずれもNよりスケーリングが大きい結果であった。特に、CGS微粉末を内割40%置換した配合については、50サイクル時点のスケーリング量が 1.0kg/m^2 を超えており、凍結融解抵抗性の低下が顕著であった。これは、ブリーディングの増加によるコンクリート表面の脆弱化や試験開始時(材齢14日)の圧縮強度が低かったことなどが要因と考えられる。一方、置換率20%の配合では、置換方法に関わらず50サイクル時点のスケーリング量が 0.5kg/m^2 程度であった。以上のことからCGS微粉末の置換率が20%程度であれば、耐凍害性を著しく低下させることはないものと考えられる。図-5にASR試験結果を示す。図より、促進28日以降に全条件で膨張が確認され、それ以降は測定終了(365日)までN、置換率20%、内割40%の順に膨張が抑制される結果であった。これは、CGSそのものの反応により生成する水和物の効果でASRが抑制されたものと推察され、混和量の増加に伴いASRを抑制する結果であった。図-6に塩分浸透試験結果を示す。図より、CGS微粉末を用いた配合はいずれも10mm以深でほとんど塩化物イオン濃度が浸透しておらず、明らかに遮塩性が向上する結果であり、特にCGS微粉末を外割で20%置換することでコンクリートの塩分浸透抵抗性が著しく向上する結果であった。

4. まとめ

本研究ではCGS微粉末を混和材として用いたコンクリートのフレッシュ性状、強度発現性および耐久性を評価した。その結果、CGS微粉末を混和した場合においても普通コンクリートと同様の配合設計が可能であることを明らかとした。フレッシュ性状からは、CGS微粉末の混和によるブリーディングの増大、および凝結時間に若干の遅延がみられたものの、外割20%置換した配合では普通コンクリートと遜色ないフレッシュ性状が得られることを確認した。また、CGS微粉末がコンクリートの長期強度発現性に寄与する材料であることを示し、CGS微粉末の置換率を20%とした上で所定の空気量を確保することで、所要の耐凍害性を有すること、塩分浸透抵抗性が向上することを明らかとした。ASR試験では、CGS微粉末の混和量に応じてASRによるコンクリートの膨張を抑制し得ることを明らかとした。今後は、CGS微粉末がコンクリートの強度発現やASR抑制に寄与する化学的メカニズムについて検討を進めるとともに、CGS微粉末の置換率を含めた最適な配合を検討し、実構造物への適用に向けた準備を進める予定である。

参考文献 1)NEDO：クリーンコール技術開発/石炭利用環境対策事業/石炭利用環境対策推進事業 2020.3

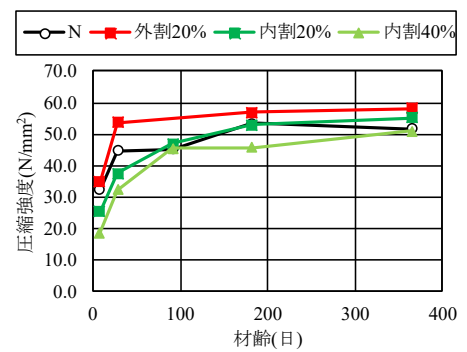


図-3 圧縮強度試験

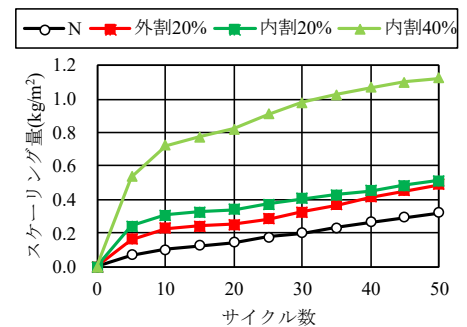


図-4 凍結融解試験

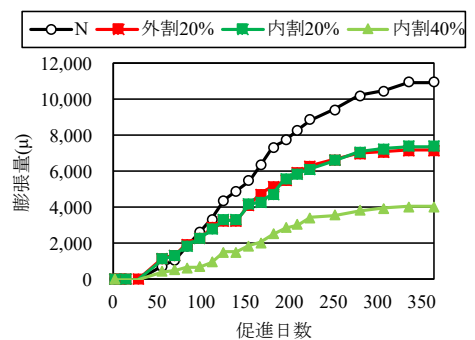


図-5 ASR試験

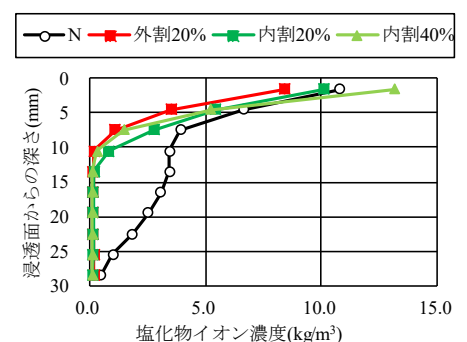


図-6 塩分浸透促進試験