

石炭ガス化スラグを 100%細骨材置換したコンクリートの性能評価

東京パワーテクノロジー 正会員 ○辻 光俊
 東洋大学 正会員 横関康祐 学生会員 辻将樹 馬場海人
 日本コンクリート技術 正会員 篠田佳男

1. はじめに

現在、我が国において国内発電量の約7割を火力発電が占めており、CO₂排出が問題視されている。その中で、石炭火力発電を高効率化した石炭ガス化複合発電（IGCC）が注目されている。IGCCは高い発電効率とCO₂排出量の低減が確認されている一方、副産物として石炭ガス化スラグ（CGS）が発生する。このCGSの利用を推進すべく、土木学会は2023年6月に石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針を発刊した。しかしながら、本指針でのCGS使用割合は50%までが推奨されていること、CGSは天然骨材に比べて比重が大きく、微粒分が少ないことから、材料分離によるブリーディングの増加が懸念されている。以上より、本研究ではCGSを細骨材として100%置換し、性能改善のためフライアッシュ（FA）を混和したコンクリートのフレッシュ性状、力学的性状および耐久性の評価を行った。

2. 実験①

2.1 材料・配合

表-1に試験ケースを示す。標準配合の細骨材に用いた山砂（掛川産、密度2.58g/cm³）に対し、細骨材全量をCGS（福島産、密度2.91g/cm³）とした配合を比較した。なお、フレッシュ性状の改善策として、単位セメント量の質量比で0%、20%、30%をFAにより内・外割置換した。以降、配合名称を（CGS置換率、FA内割置換率、FA外割置換率）の順で示す。セメントは普通ポルトランドセメント（密度3.15g/cm³）、粗骨材は砂岩碎石（密度2.67g/cm³）、混和剤として高機能AE減水剤を使用した。

2.2 フレッシュ性状

表-2にフレッシュ性状試験結果を示す。すべての配合で概ね良好なフレッシュ性状が得られた。また、CGSを100%使用するとブリーディングが3倍以上増加したが、FAを使用することにより抑制できることが分

表-1 試験ケース

配合	スランプ SL	空気量 Air	W/B	s/a	単位水量
(0,0,0)	12± 2.5cm	4.5± 1.5%	55%	44.8%	170kg/m ³
(100,0,0)				47.0%	165kg/m ³
(100,20,20)					
(100,30,30)					

表-2 フレッシュ性状

配合	SL(cm)	Air(%)	コンス テンシー	CT(°C)	Br.(%)
(0,0,0)	12.0	4.8	良好	19	3.1
(100,0,0)	11.5	4.1	分離	19	10.1
(100,20,20)	13.5	3.9	良好	20	5.9
(100,30,30)	11.0	5.2	良好	21	4.7

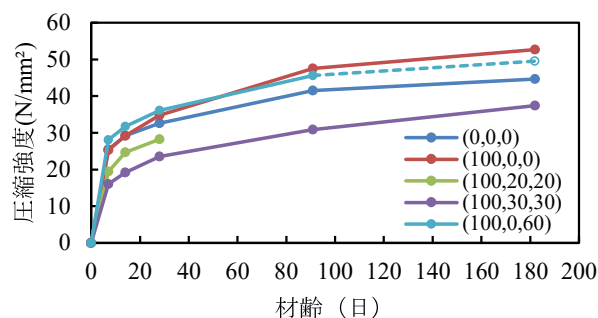


図-1 圧縮強度試験結果

かった。ただし、内外30%置換(100,30,30)では標準のブリーディングを下回することはできなかった。

2.3 力学性状

図-1に圧縮強度試験結果を示す。材齢28日以降CGSによる強度増加が見られた。CGSの骨材界面でポゾラン反応が生じ、遷移帯の緻密化が進むことで強度が増加したと考えられる¹⁾。一方、FAを内割混和した場合、標準ケースまでは強度回復ができず、より長い養生期間が必要であると考えられる。

2.4 耐久性

表-3に材齢28日での電気泳動試験結果を示す。CGSは標準配合に比べて拡散係数が小さく、塩害に対する抵抗性が高いこと。また、(100,30,30)は(100,0,0)と比べて拡散係数が大きくなることを確認した。これはFA内割によるコンクリートの緻密化が未だ充分でないことが推測される。

キーワード：石炭ガス化スラグ フライアッシュ ブリーディング 電気泳動

連絡先：〒135-0061 東京都江東区豊洲5-5-13 東京パワーテクノロジー（株） E-mail: tsuji-mitsutoshi@tokyo-pt.co.jp

3. 実験②

3.1 配合の再検討

実験①では、標準配合と同等のブリーディング率3%未満を満たすコンクリートを製造できなかった。そのため、良好なコンシステンシーかつ適切なブリーディング率が得られる CGS 配合を選定すべく、モルタルで配合検討を行い、その後、良好な配合条件でコンクリート試験を行った。表-4 にモルタルの試験ケースを示す。FA の外割置換率を 20, 30, 60% とし試験を行った。

3.2 モルタルのフレッシュ性状

表-5 にモルタルのフレッシュ性状試験結果を示す。標準配合(0,0,0)の簡易ブリーディング率を下回った配合は(100,0,60)のみとなった。また、(100,0,60)の配合条件で、混和剤を用いて標準配合(0,0,0)と同一フローに調整した結果、簡易ブリーディング率を 1% に抑制しつつ、コンシステンシーの改善を図ることができた。

以上の結果から、(100,0,60)を最適配合に選定し、モルタルの条件を参考にコンクリート試験を行った。

3.3 コンクリートのフレッシュ性状

モルタル試験を基にした(100,0,60)の配合条件とフレッシュ性状試験結果を表-6 に示す。良好なコンシステンシーで標準配合(0,0,0)のブリーディング率を下回ることができた。図-3 に W/P とブリーディング率との相関を示す。両者には高い相関が確認された。この関係によれば、W/P を 38%以下とすることによって、標準配合と同等のブリーディングを得られると考えられる。

3.4 力学性状

図-1 の圧縮強度試験結果より、(100,0,60)の圧縮強度は標準配合より高く、FA 無添加の(100,0,0)と同等の強度が得られた。図-4 に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。CGS を使用すると標準配合に比べて同一強度における静弾性係数が大きくなることが分かった。一方、コンクリート標準示方書 [設計編] の静弾性係数式と比較すると、標準配合(0,0,0)が示方書式よりもやや小さく、CGS を 100%置換した配合では、標準配合より大きく示方書式と同等であることを確認した。

4. まとめ

細骨材に CGS を 100%使用することにより、1)ブリーディングが増加する、2)長期強度が増進する、3)静弾性係数が増加する、4)塩害抵抗性が高くなる。一方、FA の併用は、5)外割置換 60%により、強度低下が生

表-3 拡散係数 (材齢 28 日)

引用	配合	実効拡散係数
電気泳動試験	(100,0,0)	1.16cm ² /年
	(100,30,30)	1.58cm ² /年
コンクリート標準示方書	(0,0,0)	3.72cm ² /年

表-4 モルタル試験ケース

配合	W/B	S/C	目標フロー	Air
(0,0,0)	55%	3.0	160±10mm	未調整
(100,0,0)		3.5		
(100,0,20)			-	
(100,0,30)				
(100,0,60)				
(100,0,60)			160±10mm	

表-5 モルタルのフレッシュ性状

配合	AD (B×%)	7φ (mm)	Air (%)	コンシステンシー	CT (°C)	簡易 Br. (%)
(0,0,0)	-	158	1.9	良好	22	2.3
(100,0,0)		158	1.8	分離	19	4.2
(100,0,20)		155	1.9	分離	19	3.6
(100,0,30)		153	1.7	分離	18	3.0
(100,0,60)		115	1.5	玉状	18	1.1
(100,0,60)	0.7	154	1.8	良好	19	1.0

表-6 コンクリートの配合条件とフレッシュ性状

目標 SL	目標 air	W/B	s/a	単位水量
12±2.5cm	4.5±1.5%	55%	54.8%	165kg/m ³
実測 SL	実測 air	コンシステンシー	CT	Br.
11.0cm	3.8%	良好	19°C	1.1%

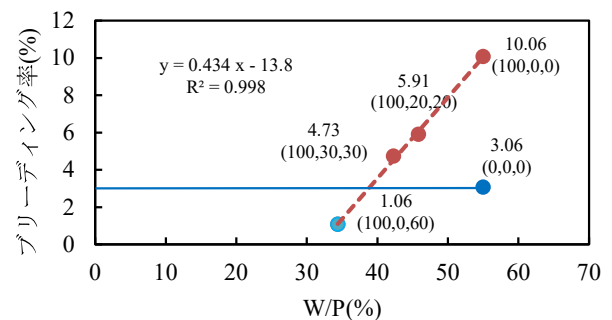


図-3 W/P とブリーディング率の関係

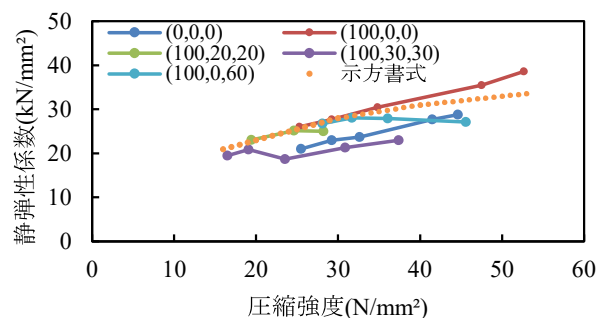


図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係

じず、ブリーディングが抑制された良好なコンシステンシーが得られることを確認した。

参考文献

- 1) 松浦忠孝他：石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの基礎的性質に関する検討、Cement Science and Concrete Technology、2021年75巻1号 p.210-217