

石炭ガス化スラグ細骨材を用いたフレッシュコンクリートの基礎的研究

千葉工業大学 学生会員 ○加納 龍斗
 学生会員 池田 信義
 学生会員 渡邊 大河
 正会員 橋本 紳一郎

清水建設 正会員 御領園 悠司
 東京電力ホールディングス 正会員 松浦 忠孝
 東海大学 正会員 伊達 重之
 日本大学 正会員 子田 康弘

1. はじめに

近年では、脱炭素化の動きから、CO₂排出量の削減を可能とする石炭ガス化複合発電（以降 IGCC とする）の利用が進められている。一方で、発電時に石炭ガス化スラグ（以降 CGS とする）が副生され、CGS の処理費用が掛かることや埋立て地不足などの問題があり、CGS を有効活用する方法が求められている。それに加えて、天然骨材の採取規制、砂利資源の枯渇によりコンクリート用骨材の供給量が低下している。以上のことから、CGS の利用が期待されているのに対し、既往の研究¹⁾では、圧送性の確保が可能なが報告されているが、施工性に対する基礎性状は明確化されていないのが現状である。そこで、本研究では、CGS をコンクリート材料として活用することを目的に、細骨材の一部を CGS に置換した場合における基礎性状の把握及び CGS 置換率と配合条件との関係について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合条件

使用材料は、C:普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)、S1:砂岩砕砂(表乾密度:2.61g/cm³,F.M:2.99)、S2:山砂(表乾密度:2.61g/cm³,F.M:2.60)、CGS:石炭ガス化スラグ(表乾密度:2.79g/cm³,F.M:2.66)、G1:硬質砂岩砕石(表乾密度:2.64g/cm³,実積率:59.4%)、G2:石灰岩砕石(表乾密度:2.70g/cm³,実積率:61.0%)を用いた。また、混和剤は、単位粉体量が 300kg/m³ 以下では高性能 AE 減水剤、単位粉体量が 300kg/m³ 以上では AE 減水剤を用いた。

次にコンクリートの配合条件を表-1に示す。CGS 置換率は、細骨材の絶対容積における割合とし、配合 No.1~8 では、砂岩砕砂・硬質砂岩砕石による単位粉体量や単位水量による影響の検討を行った。また、配合 No.9~11 では、使用材料を山砂・石灰岩砕石にした場合の単位粉体量、単位水量による影響の検討を行った。

目標スランブはすべての配合において、12±2.5cm に設定し、目標空気量は 5.0±1.0%とした。

2.2 試験項目

フレッシュ性状の試験項目としてスランブ試験、空気量試験、ブリーディング試験はそれぞれ、JIS A 1101、JIS A 1128、JIS A 1123 に準拠して行った。また、加振ボックス充填試験は土木学会基準：JSCE-F 701-2018 の試験方法（案）を参考にして行い、実施工を想定した模擬型枠を用いた充填試験、ブリーディング試験を実施した。

表-1 配合表

配合 No.	W/C (%)	s/a (%)	置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)						
				C	W	S1	S2	CGS	G1	G2
1	50	47	0	295	148	870	-	-	992	-
30			609			-	279			
50			435			-	465			
4	50	47	0	330	165	835	-	-	952	-
30			584			-	268			
50			417			-	446			
7	44.7	47	0	330	148	856	-	-	977	-
30			599			-	275			
50			-			-	-			
9	50	47	0	280	140	-	885	-	-	1032
30			-			619	284			
50			-			442	473			



写真-1 模擬型枠を用いた試験の状況

(左:打ち込み状況, 右:ブリーディング水採取位置)

表-2 フレッシュ性状試験結果

配合 No.	目標スランブ (cm)	スランブ (cm)	目標空気量 (%)	空気量 (%)
1	12±2.5	10	5±1.0	5.2
2		11.5		5.3
3		14		5.8
4	12±2.5	13.5	5±1.0	4.9
5		12.5		5.1
6		12		4.9
7	12±2.5	11.5	5±1.0	5.3
8		13.0		6.0
9		12.5		5.8
10	12±2.5	11.5	5±1.0	4.8
11		12		4.3

模擬型枠を用いた試験の充填状況を写真-1に示す。

はじめに、型枠内に充填試験のみ鉄筋障害を設置し、充填試験、ブリーディング試験ともにポンプの筒先を想定した 5B 管を据えて、透明枠と反対側の側壁上部から 60L の試料を打ち込んだ。次に、パイプレータ（径:φ45、周波数:200Hz）を型枠中央に型枠底面からの高さ 100mm の位置に挿入し、透明壁正面の 10cm、20cm 充填完了までの加振時間を計測した。また、充填試験では加振後の試料を用いて洗い分析を行い、粗骨材残存率を算出した。最後に、ブリーディング試験では、ブリーディング水の採取位置は写真-1の赤丸で行い、採取穴は突き棒を用いて 2cm 程度の深さとし、ブリーディング採取時間は JIS A 1123 を参考にした。

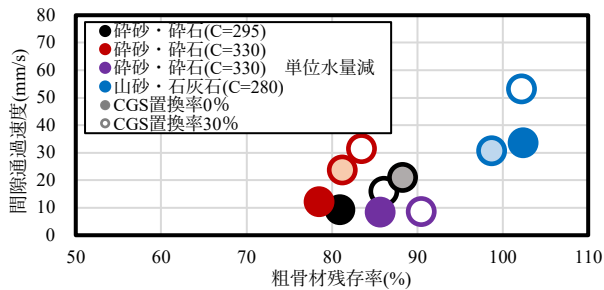


図-1 加振ボックス充填試験結果

3. 結果及び考察

表-2 にフレッシュ性状試験を示す. スランプ, 空気量試験ともに目標値を満足したため各種試験を行った.

図-1 に加振ボックス充填試験の結果を示す. 砂岩砕砂・硬質砂岩砕石を使用した単位粉体量の少ない配合では, CGS 置換率が多くなるほど充填性が改善されることが確認できた. 一方で, 単位水量減の配合では充填性の改善は見られなかったが, その他の単位粉体量の多い配合では, CGS を置換することで有効に働く結果となった. また, 山砂・石灰岩砕石を用いた配合では, CGS 置換率 0%での充填性が高いことから CGS を置換することによる影響があまり見られなかった. 以上のことから, CGS を置換することにより, 骨材種類や単位粉体量などの違いはあるが, 概ね充填性は改善された.

図-2, 3 にブリーディング試験の結果を示す. ブリーディング量は, 単位粉体量が少ない配合では CGS を置換することで初期発生量が大きくなり, 山砂・石灰岩砕石の配合でも同様の傾向が見られた. 一方で, 単位水量減を含めた単位粉体量が多い配合では, CGS 置換率 30%までは CGS 置換率 0%と概ね同程度であった. また, ブリーディング率は使用材料に限らず, 単位粉体量が少ない配合では, CGS 置換率 30%の場合はブリーディング率が最も高い結果となった. しかし, 単位水量減を含めた単位粉体量が多い配合では, CGS 置換率 30%までは CGS 置換率 0%と同程度であることから, 単位粉体量を増加させることで, CGS 置換率 0%と同様に扱えると考えられる.

図-4, 5 に充填試験, ブリーディング試験の結果を 図-6 に示す. 充填試験の結果から, CGS 置換率 30% が各充填高さにおける締固め時間に有効であることが確認され, 粗骨材残存率に関しては, 鉄筋内部(上部)の粗骨材残存率が高くなる傾向になった. しかし, その値は非常に高い材料分離抵抗性を有しているため, 十分な充填性を確保できていると考えられる. また, ブリーディング試験では, JIS ブリーディング試験の結果と同様に, CGS 置換率 0%と比較し, CGS 置換率 30%の方がブリーディング率が高くなることが確認できた. 以上の結果から, ブリーディングの抑制, 材料分離抵抗性を考慮すると, 単位粉体量を 300kg/m³以上確保することが有効であると考えられる.

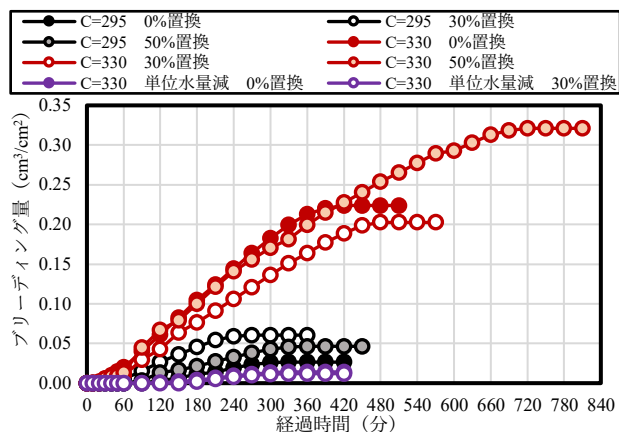


図-2 ブリーディング試験の結果

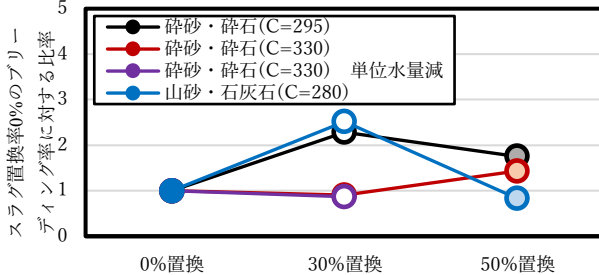


図-3 CGS 置換率 0%に対する比率

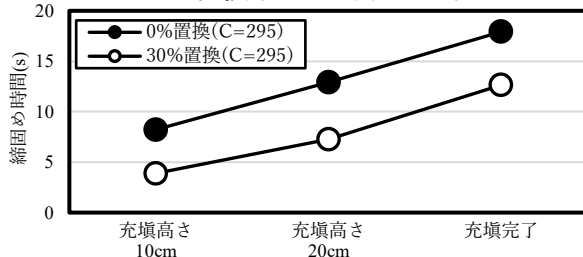


図-4 模擬型枠での充填試験結果

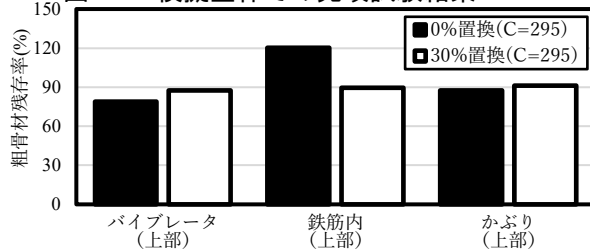


図-5 模擬型枠での粗骨材残存率

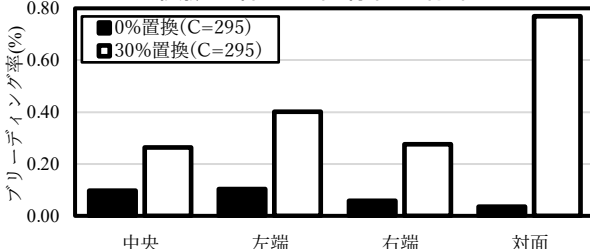


図-6 模擬型枠でのブリーディング試験結果

4. まとめ

本試験結果から, 骨材の種類や単位粉体量の影響を考慮した場合は, CGS 置換率 30%が最も有効だと考えられる. また, 模擬型枠内でのブリーディング試験の結果から, 単位粉体量を 300kg/m³以上の確保が有効であることが示唆された.

参考文献

1) 松浦忠孝, 木村博, 橋本紳一郎:石炭ガススラグ細骨材を用いたコンクリートのフレッシュ性状の経時変化と圧送性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 43, No. 1, 2021