

石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの骨材種類がフレッシュ性状に与える影響に関する検討

千葉工業大学

学生会員

学生会員

学生会員

正会員

○加納 龍斗

三井 駿輔

渡邊 大河

橋本 紳一郎

東京電力 HD

清水建設

東海大学

日本大学

正会員

正会員

正会員

正会員

松浦 忠孝

御領園 悠司

伊達 重之

子田 康弘

1. はじめに

近年、石炭火力発電よりCO<sub>2</sub>排出量の削減を可能とする石炭ガス化複合発電(以降IGCC)の利用が進んでいる。一方、発電時に石炭ガス化スラグ(以降CGS)は年間約数万トン副生され、埋立て地不足、処理費用などの問題が挙げられており、CGSの有効活用が求められている。

また、環境保全の観点から、天然骨材に対する人工骨材(砕砂・碎石)の使用量が増加しているが、品質管理が困難であり、供給量にも限りがある。

以上から、コンクリートへのCGSの利用が期待されている。それに対し、既往の研究<sup>1)</sup>ではコンクリートのフレッシュ性状におけるCGS置換率と配合条件の関係に関して報告されているが、骨材が基礎性状に及ぼす影響に関しては明確化されていない。そこで、本研究では、骨材の品質や種類に着目し、CGSを用いたコンクリートとモルタルでフレッシュ性状に与える骨材の影響を検討した。

2. コンクリートの評価試験

2.1 実験概要

使用材料を表-1に示す。本実験では粗粒率が高く、実積率の低い砕砂・碎石、砕砂・碎石と比較して粗粒率、実積率の高い山砂・石灰石を用いた。

次に、コンクリートの配合を表-2に示す。本研究では、CGS置換率は細骨材の絶対容積に対するCGSの割合とし、配合No.1を基準に配合No.2はCGS置換率30%、配合No.3はCGS置換率50%で検討を行った。また、配合No.4~9では使用骨材を変更し、配合No.7~9では単位セメント量を減じて検討を行った。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。

評価試験は、スランブ・空気量試験(JIS A 1101・JIS A 1128)を行った後、加振ボックス充填試験(土木学会規準:JSCE-F 701-2018の試験方法(案))、ブリーディング試験(JIS A 1123)を実施した。

2.2 実験結果及び考察

表-3にフレッシュ性状試験の結果を示す。すべての配合において目標値を満足したためその他の試験を実施した。

図-1に加振ボックス充填試験の結果を示す。山砂を用いた配合では、単位セメント量、CGS置換率に関わらず、粗骨材量比率が高く、間隙通過速度が速いの

表-1 使用材料

| 使用材料 | 物性  |                                                                                                    |
|------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | C   | 普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm <sup>3</sup>                                                              |
| 練混ぜ水 | W   | 上水道水                                                                                               |
| 細骨材  | S1  | 砕砂、東京都八王子市 表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup><br>吸水率:1.79%, 粗粒率:2.99, 実積率:55.9%                            |
|      | S2  | 山砂、千葉県富津市 表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup><br>吸水率:2.23%, 粗粒率:2.54, 実積率:64.0%                             |
|      | CGS | 石炭ガス化スラグ、勿来IGCC 発電所産<br>表乾密度:2.79g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.29%<br>炭素含有率:0.08%, 粗粒率:2.66, 実積率:69.7% |
| 粗骨材  | G1  | 硬質砂岩碎石 2005, 東京都八王子市<br>表乾密度:2.64g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.68%<br>粗粒率:6.59, 実積率:59.4%              |
|      | G2  | 石灰岩碎石 2005, 高知県吾川群<br>表乾密度:2.70g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.75%<br>粗粒率:6.59, 実積率:61.0%                |

表-2 コンクリートの配合

| 配合 No. | W/C (%) | s/a (%) | 置換率 (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |     |      |
|--------|---------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|        |         |         |         | C                       | W   | S1  | S2  | CGS | G1  | G2   |
| 1      | 50      | 47      | 0       | 330                     | 165 | 835 | -   | -   | 952 | -    |
| 2      |         |         | 30      |                         |     | 584 | -   | 268 |     |      |
| 3      |         |         | 50      |                         |     | 417 | -   | 446 |     |      |
| 4      | 50      | 47      | 0       | 330                     | 165 | -   | 834 | -   | -   | 973  |
| 5      |         |         | 30      |                         |     | -   | 584 | 268 |     |      |
| 6      |         |         | 50      |                         |     | -   | 417 | 446 |     |      |
| 7      | 50      | 47      | 0       | 280                     | 140 | -   | 885 | -   | -   | 1032 |
| 8      |         |         | 30      |                         |     | -   | 619 | 284 |     |      |
| 9      |         |         | 50      |                         |     | -   | 442 | 473 |     |      |

表-3 コンクリートの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      | 13.5      | 5.0±1.0   | 4.9     |
| 2      |             | 12.5      |           | 5.1     |
| 3      |             | 12.0      |           | 4.9     |
| 4      | 12±2.5      | 13.0      | 5.0±1.0   | 6.0     |
| 5      |             | 12.5      |           | 4.8     |
| 6      |             | 13.5      |           | 5.3     |
| 7      | 12±2.5      | 12.5      | 5.0±1.0   | 5.8     |
| 8      |             | 11.5      |           | 4.8     |
| 9      |             | 12.0      |           | 4.3     |

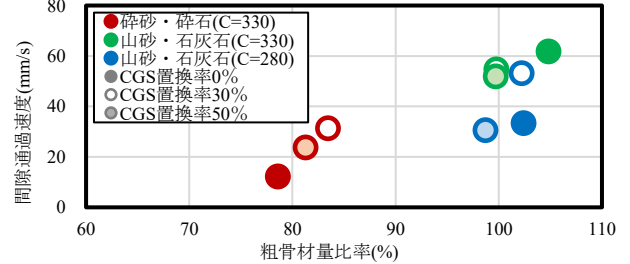


図-1 加振ボックス充填試験結果

に対して、砕砂を用いた配合では、CGS置換率50%まで、間隙通過速度及び粗骨材量比率が改善する傾向が見られ、CGS置換率30%が最も有効であった。

図-2にブリーディング試験結果をCGS置換率0%に対する比率で示す。砕砂を用いた配合ではCGS置換率30%まではブリーディング量が同程度であったが、CGS置換率50%まで置換すると、ブリーディング量の

キーワード 石炭ガス化スラグ細骨材, スラグ置換率, フレッシュ性状, 材料分離抵抗性, 流動性  
連絡先 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学 TEL:047-478-0445

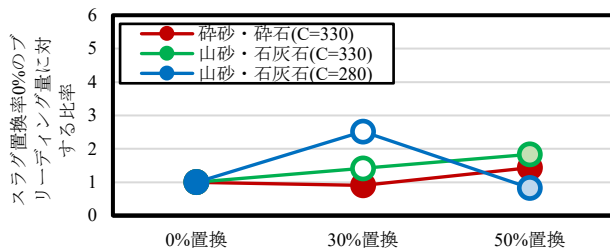


図-2 ブリーディング試験結果

増大が見られた。また、山砂を用いた配合では、単位セメント量による差異がみられ、単位セメント量が280kg/m<sup>3</sup>では、CGS置換率30%が最も変化率が大きくなったが、単位セメント量が330kg/m<sup>3</sup>では、CGS置換率の増加により、変化率は増大する傾向にあった。

### 3. モルタルの評価試験

#### 3.1 実施概要

使用材料は、コンクリートの配合と同様の材料(表-1)を用いた。次に、モルタルの配合を表-4に示す。コンクリートの配合を基に、配合No.1'~No.9'とした。目標モルタルフローはすべての配合において12.5±2.5cmに設定し、目標空気量は7.5±1.5%とした。評価試験は、基礎性状試験であるモルタルフロー・空気量試験(JIS R 5201・JIS A 1128)を行った。その後、羽根沈入試験<sup>2)</sup>、ブリーディング試験を行い、骨材の影響要因について検証した。また、ブリーディング試験では2L容器を用いて(JIS A 1123)を参考に試験を実施した。

#### 3.2 実験結果及び考察

表-5にモルタルの評価試験の結果を示す。羽根沈入試験静置時の塑性粘度は、単位セメント量が516kg/m<sup>3</sup>(配合No.1'~No.6')では、使用骨材やCGS置換率に関係なく、塑性粘度の値は同等であった。また、加振時では静置時の塑性粘度を保持した上で降伏値が減少した。そのため、CGS置換率の上昇に伴い、材料分離抵抗性を損なうことなく、モルタルの流動性が向上する傾向が確認できた。これは、CGSの実積率が砕砂や山砂と比べて高く、吸水率は低いため、CGSの使用量の増加により流動性が改善したことが考えられる。

#### 3.3 コンクリートとモルタルの性状比較

図-3に加振時の降伏値とコンクリートの間隙通過速度との関係を示す。砕砂を用いた配合と山砂を用いた配合の双方においてCGS置換率30%まで流動性の改善が見られた。しかし、CGS置換率50%ではすべての配合において、間隙通過速度が低下していることから、降伏値の低下によりモルタルが先行し、充填性に影響を与えたと考えられる。

図-4にコンクリートとモルタルのブリーディング量の関係を示す。山砂を用いた配合では、どの置換率においてもコンクリートとモルタルのブリーディング量は同程度であった。一方で、砕砂を用いた配合ではCGS置換率30%までは山砂を用いた配合と同様の傾向が見られたが、CGS置換率50%ではコンクリートのブリーディング量が突出したことから、モルタル

表-4 モルタルの配合

| 配合No. | W/C (%) | s/c (%) | 置換率 (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |      |      |     |
|-------|---------|---------|---------|-------------------------|-----|------|------|-----|
|       |         |         |         | C                       | W   | S1   | S2   | CGS |
| 1'    | 50      | 2.53    | 0       | 516                     | 258 | 1306 | —    | —   |
| 2'    |         | 2.58    | 30      |                         |     | 914  |      | 419 |
| 3'    |         | 2.62    | 50      |                         |     | 653  |      | 698 |
| 4'    | 50      | 2.53    | 0       | 516                     | 258 | —    | 1305 | —   |
| 5'    |         | 2.58    | 30      |                         |     |      | 913  | 418 |
| 6'    |         | 2.62    | 50      |                         |     |      | 652  | 697 |
| 7'    | 50      | 3.15    | 0       | 454                     | 227 | —    | 1431 | —   |
| 8'    |         | 3.22    | 30      |                         |     |      | 1002 | 459 |
| 9'    |         | 3.26    | 50      |                         |     |      | 716  | 765 |

表-5 モルタルの評価試験結果

| 配合No. | フロー<br>練り直 (cm) | フロー<br>15打 (cm) | 空気量<br>(%) | 羽根沈入試験<br>静置 |                | 羽根沈入試験<br>加振 |                |
|-------|-----------------|-----------------|------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
|       |                 |                 |            | 降伏値<br>(Pa)  | 塑性粘度<br>(Pa·s) | 降伏値<br>(Pa)  | 塑性粘度<br>(Pa·s) |
| 1'    | 13.7            | 21.9            | 7.3        | 234          | 5              | 166          | 5              |
| 2'    | 13.4            | 21.9            | 6.3        | 309          | 5              | 283          | 3              |
| 3'    | 14.6            | 20.9            | 8.3        | 230          | 4              | 105          | 6              |
| 4'    | 12.4            | 20.5            | 7.8        | 168          | 8              | 110          | 8              |
| 5'    | 13.2            | 21.9            | 8.2        | 188          | 5              | 107          | 6              |
| 6'    | 12.6            | 21.0            | 6.7        | 162          | 7              | 43           | 7              |
| 7'    | 10.7            | 15.2            | 7.9        | 911          | 32             | 696          | 30             |
| 8'    | 11.5            | 17.4            | 8.5        | 172          | 30             | 174          | 38             |
| 9'    | 13.2            | 21.6            | 8.8        | 317          | 34             | 153          | 22             |

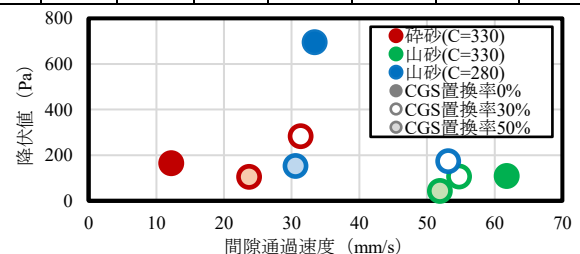


図-3 加振時の降伏値とコンクリートの間隙通過速度の関係

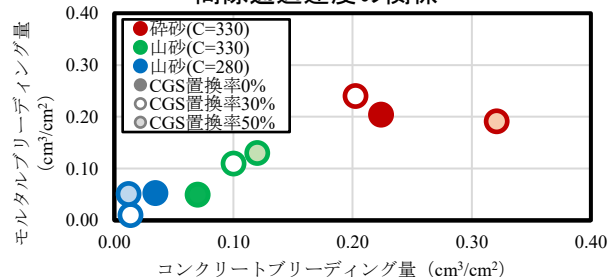


図-4 コンクリートとモルタルのブリーディング量の関係

の性状が起因したと考えられる。

以上から、CGS置換を行うことでモルタルの流動性がCGS置換率30%までは改善が確認された。骨材の物理的性質の影響を比較すると、粒形が粗い細骨材を用いた場合にCGSを多く置換することは、流動性や材料分離抵抗性に与える影響が大きい。

### 4. まとめ

本検討では、CGS置換率30%まではモルタルの性状は向上するが、粒形が粗い細骨材にCGSを50%以上置換することで、モルタルにおける流動性や材料分離抵抗性はコンクリートの性状に与える影響が大きいことが示唆された。

### 参考文献

- 1) 渡邊大河, 橋本紳一郎, 御領園悠司, 松浦忠孝: 石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートのフレッシュ性状に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1
- 2) 室賀陽一郎, 伊達重之, 大須賀哲夫: モルタルの粘性評価試験装置の開発, 土木学会第55回年次学術講演会, V-406, pp.814-815, 2000.9