

軽質炭酸カルシウム含有 3 成分系モルタルのレオロジー特性に関する一考察  
・ G I 基金事業『CUCO』開発成果 ・

(株)フローリック      正会員      ○平野 修也      西 祐宜      非会員      秋山 五郎      清水 寛太  
鹿島建設(株)      正会員      向 俊成      取違 剛      閑田 徹志

1. はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に 2 兆円規模の「グリーンイノベーション(GI) 基金」が造成され、筆者らもコンソーシアム「CUCO（Carbon Utilized COncrete）」の一員として研究開発を進めている。CUCO の製造・施工における適用性を検討する上で、事前に CUCO の基材となるモルタルのレオロジー特性を検討する必要がある。本研究では、CCU 材料である軽質炭酸カルシウム(EC)を普通ポルトランドセメント(OPC) および高炉スラグ微粉末(BFS)と併用した 3 成分系モルタルのレオロジー試験を行い、その考察について整理した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料およびモルタル配合

表-1 に使用材料、表-2 にモルタル配合を示す。粉体(P)に OPC, BFS, EC および重質炭酸カルシウム(CC)を用いた。W/P=30%で OPC 単味の N, 高炉セメント C 種相当の 370 を設計した。370 の BFS 量を固定し、EC を OPC 質量の 2 割および 1 割で置換した 271EC および 172EC を設計した。両配合は EC の含水率を考慮して単位水量を減じた。CC 配合は EC 配合と同様に設計した。高性能 AE 減水剤(SP)は標準的な SP-S, 高炉スラグ高含有向けの SP-B, 高分散ポリマー試作品を含有した SP-H を用いた。なお、消泡剤により空気量 1.0%前後になるように調整した。

2. 2 コンシステンシー試験およびレオロジー試験

ミニスランプフロー試験によりコンシステンシーを評価した。経時変化を含めたミニスランプフロー(MSF)の最大値が 325±25mm となるように SP の固形分添加率[P×wt.%]を調整した。レオロジー試験は、十字羽根回転粘度計<sup>1)</sup>を用いて、MSF 試験後のモルタル試料を対象に実施した。レオロジー試験の詳細は、文献 1)を参照されたい。

3. レオロジー特性の評価方法

文献 1)を参照して、回転粘度計によりヒステリシスループ（図-1）を測定し、上昇曲線と下降曲線で囲まれた面積 $S_T$ によりチクソトロピー性を評価し、下降曲線の Bingham 近似によって降伏値 $\tau_y$ および塑性粘度 $\eta$ を導出した。

4. 実験結果および考察

4. 1 コンシステンシーおよびレオロジー特性の経時変化

図-2 に経過時間と MSF 値の関係を示す。以降の図中凡例記号は「配合名\_SP 種類:固形分添加率」で共通とした。370 は SP-S では保持性が不足したため、SP-B を用いて経時 120 分まで保持性を確保した。271EC および 172EC は 370 と同量の BFS を含有するため SP-B を用いたが、172EC では初期分散性が不足し、経時 30 分で MSF 値が増加

| 表-1 使用材料                                                 |      |                                        |
|----------------------------------------------------------|------|----------------------------------------|
| 種類                                                       | 記号   | 概要、物性値                                 |
| 水                                                        | W    | 上水道水                                   |
| セメント                                                     | C    | OPC $\rho$ :3.16g/cm <sup>3</sup>      |
| 高炉スラグ微粉末                                                 | BFS  | 石膏含有 $\rho$ :2.89g/cm <sup>3</sup>     |
| 軽質炭酸カルシウム                                                | EC   | $\rho$ :2.46g/cm <sup>3</sup> 含水率:3.8% |
| 重質炭酸カルシウム                                                | CC   | $\rho$ :2.71g/cm <sup>3</sup>          |
| 細骨材                                                      | S    | 山砂 表乾密度:2.56g/cm <sup>3</sup>          |
| 高性能 AE 減水剤 (SP)                                          | SP-S | JIS A 6204 (PCE)                       |
|                                                          | SP-B | JIS A 6204 (PCE+LSA)                   |
|                                                          | SP-H | 試作品 (PCE 試作品+LSA)                      |
| 消泡剤                                                      | DF   | ポリアルキレングリコール誘導体                        |
| * PCE : ポリカルボン酸エーテル系化合物, LSA : リグニルスルホン酸塩<br>$\rho$ : 密度 |      |                                        |

| 表-2 モルタル配合                                                                                                   |         | 単位量 (g/L) |     |     |     |     |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|-----|-----|-----|-----|------|
| 配合名                                                                                                          | W/P (%) | 単位量 (g/L) |     |     |     |     |      |
|                                                                                                              |         | W         | C   | BFS | EC  | CC  | S    |
| N                                                                                                            |         | 272       | 919 | -   | -   | -   | 1088 |
| 370                                                                                                          |         | 272       | 276 | -   | -   | -   | 1039 |
| 271EC                                                                                                        | 30      | 268       | 184 | -   | 96  | -   | 1017 |
| 172EC                                                                                                        |         | 265       | 92  | 644 | 191 | -   | 996  |
| 271CC                                                                                                        |         | 272       | 184 | -   | -   | 92  | 1026 |
| 172CC                                                                                                        |         | 272       | 92  | -   | -   | 184 | 1014 |
| [練り量]1.6L [練混ぜ手順]S/2+C+S/2→低速 10s→W+SP+DF→低速 30s→掻き落とし→高速 90s→静置 300s→低速 30s→試験<br>* CUCO のマトリクスモルタルとして配合を設計 |         |           |     |     |     |     |      |

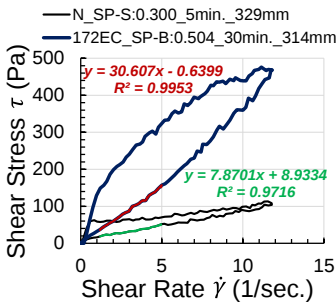


図-1 ヒステリシスループ (例)

キーワード CUCO, 軽質炭酸カルシウム, フレッシュモルタル, レオロジー定数, チクソトロピー  
連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 33-1 (株)フローリック コンクリート研究所 TEL 029-877-1945

した。そこで、高分散ポリマーを適用した SP-H を使用し、MSF の経時安定性確保に努めた。

図-3 に経過時間と  $\tau_y$  の関係を示す。図-2 の MSF 値の経時的減少に伴って、 $\tau_y$  は概ね増加傾向を示した。一方、172EC は高粘性流体特有の硬化型の流動曲線を示したことが影響し、経時 30 分以降の  $\tau_y$  は負の値を示した。

図-4 に経過時間と  $\eta$  の関係、図-5 に経過時間と  $S_T$  の関係を示す。 $\eta$  と  $S_T$  共に概ね経時的増加傾向を示したが、 $S_T$  の方が配合ごとの相違が表れた。また、172EC の  $\eta$  と  $S_T$  は、271EC に比べて大きな値を示し、EC 増量による塑性粘度とチクソトロピーの大幅な増加が確認された。一方、図-5 によると SP-B に比べて SP-H の方が  $S_T$  は低くなり、高分散ポリマーの適用が EC 由来のチクソトロピー増加を抑制するのに有効であることが示唆された。

## 4. 2 同一コンシステンシーにおけるレオロジー特性

前節のデータを整理し、同一 MSF 値における  $\tau_y$ 、 $\eta$  および  $S_T$  の関係を考察する。以降の図中プロット近傍の値は練上りからの経過時間を表す。図-6 より 172EC を除く配合は、MSF 値と  $\tau_y$  の関係を一元的に表せる可能性がある。

図-7 および図-8 における MSF300~325mm の範囲に着目すると、EC によって  $\eta$  および  $S_T$  が増加した一方、CC 配合では  $S_T$  が 370 を下回る結果となり、重質炭酸カルシウムの適用によりモルタルのチクソトロピーは低減した。

## 4. 3 BET 比表面積とチクソトロピー性の関係

粉体の BET 比表面積 [ $\text{m}^2/\text{g}$ ] (OPC:0.584, BFS:1.196, EC:3.567, CC:1.353) からモルタル 1L 当たりの BET 比表面積  $P_{\text{BET}}$  [ $\text{m}^2/\text{L}$ ] を試算し、 $S_T$  との関係性を考察した。各配合の  $S_T$  は前述した目標 MSF の最大値に対応するものとした。図-9 より N (SP-S)、370、CC 配合の  $S_T$  は同等であるが、EC 配合では  $P_{\text{BET}}$  の増加により  $S_T$  は大幅に増加した。文献 2) によると EC の粒度は CC に比べて粒子系分布が単粒に近く、凸状の突起が凝集して空隙の多い凝集体を形成する。これにより SP 添加量増加も相まって、EC ではチクソトロピーが大幅に増加したものと推察する。

## 5. まとめ

CCU 材料である軽質炭酸カルシウムを用いた場合、モルタルの塑性粘度とチクソトロピーは大幅に増加した。

**謝辞：** 本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21014) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

## 参考文献

- 1) 秋山五郎, 平野修也, 西祐宜, 友寄篤: コンクリート用火山ガラス微粉末を用いたフレッシュモルタルのレオロジー特性に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.166-171, 2022.7
- 2) 八木利之, 佐々木猛, 田口翔也, 向俊成, 吉田祐麻, 関健吾, 取達剛, 渡邊賢三, 坂井吾郎, 坂田昇: コンクリートスラッジから生成した軽質炭酸カルシウム微粉末の諸物性, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-520, 2022.9

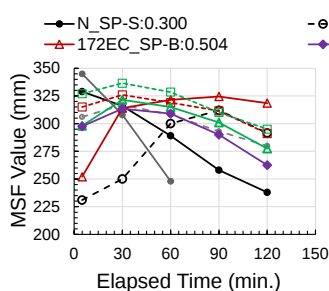


図-2 経過時間と MSF 値の関係

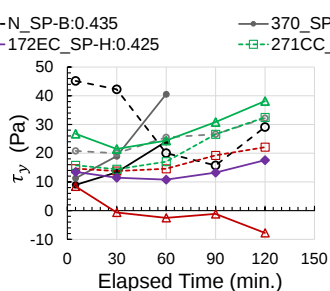


図-3 経過時間と  $\tau_y$  の関係

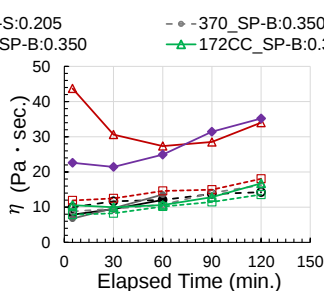


図-4 経過時間と  $\eta$  の関係

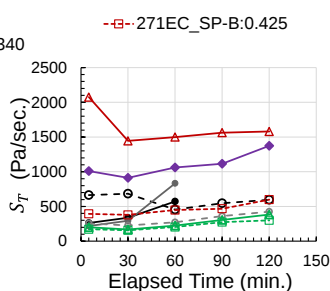


図-5 経過時間と  $S_T$  の関係

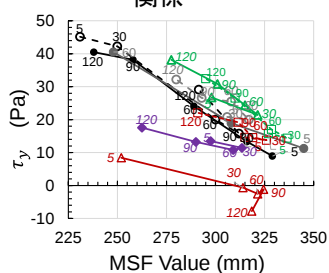


図-6 MSF 値と  $\tau_y$  の関係 (経時変化の影響を含む)

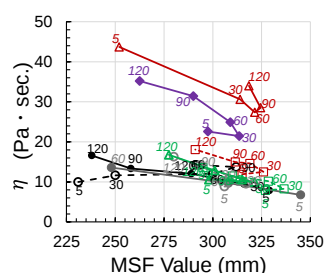


図-7 MSF 値と  $\eta$  の関係 (経時変化の影響を含む)

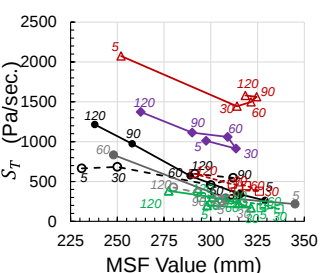


図-8 MSF 値と  $S_T$  の関係 (経時変化の影響を含む)

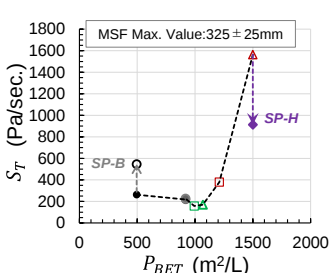


図-9  $P_{\text{BET}}$  と  $S_T$  の関係 (MSF: 325 ± 25mm)