

もみ殻灰を活性フィラーとしたジオポリマーの材料特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○伊東 奈月      九州工業大学大学院 正会員 合田 寛基  
AGC エスアイテック株式会社 非会員 井上 真樹

1. はじめに

ジオポリマー(GP)の主要な材料であるフライアッシュ(FA)は、将来的な石炭火力発電の再編成に伴い、供給量減少が懸念される。SDGs に関心が寄せられる中、FA に代わる材料として、もみ殻灰(RHA)が注目されている。再生可能エネルギーである「もみ殻燃料」の製造過程で発生する RHA は、非晶質シリカ(SiO<sub>2</sub>)を多く含むため、GP の活性フィラーへの適用が期待される。

海外の研究では、RHA をシリカ源の添加剤として、活性フィラー中の RHA 混和率(RHA/P)を 35%程度で使用的した場合、GP の構造の緻密化・高強度化がみられることが報告されている。一方、RHA を GP の「主たる活性フィラー」とした研究は極めて少ない。RHA は FA や高炉スラグ微粉末(BFS)と比較して、アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)が極端に不足している(表-1)。また、比表面積が大きく多孔質であり、吸水率が高くなることで溶液粉体比が増加する等、GP への適用に課題を有する。

本研究は、RHA を GP の主たる活性フィラーとして使用することを目的として、RHA/P を変化させた GP モルタルを対象に、強度特性について検討した。また、RHA に不足するアルミナを補填する一方策として、アルミン酸ソーダに着目し、GP モルタルの強度特性に基づいてアルミナ添加の有効性を評価した。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

表-2 に使用材料、表-3 に溶液の成分、表-4 に配合例を示す。アルカリ溶液(AS)は、2 種類のケイ酸アルカリ溶液(ASI, ASII)、アルミン酸ソーダと苛性ソーダの混合液(SA)、苛性ソーダ(SH)を使用した。活性フィラーは FA, BFS, RHA を使用し、活性フィラー中の BFS 混和率(BFS/P)を 0%, 30%とした。RHA/P は、BFS/P=0% の ASI モルタルで 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%の 6 水準、BFS/P=30%の ASI モルタルで 0%, 10%, 30%, 50%, 70%の 5 水準、ASII, SA, SH モルタル(BFS/P=0%)で 100%のみとした。溶液粉体比(AS/P)については、打込

表-1 各粉体の化学成分 (%)

|     | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | K <sub>2</sub> O |
|-----|------------------|--------------------------------|-------|------------------|
| FA  | 60.78            | 21.92                          | 2.98  | 1.14             |
| BFS | 34.74            | 13.95                          | 43.70 | 0.29             |
| RHA | 88.21            | 0.26                           | 0.49  | 2.21             |

表-2 使用材料

| 使用材料     | 記号  | 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 備考      |
|----------|-----|------------------------|---------|
| フライアッシュ  | FA  | 2.26                   | FAII 種  |
| 高炉スラグ微粉末 | BFS | 2.91                   | 石こう無    |
| もみ殻灰     | RHA | 2.20                   | 3min 粉砕 |
| 細骨材      | S   | 2.56                   | 海砂      |

表-3 各溶液の化学成分 (%)

|      | SiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> O | A/W   |
|------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|-------|
| ASI  | 15.78            | 14.36             | 0.00                           | 69.86            | 0.119 |
| ASII | 22.32            | 18.40             | 0.00                           | 59.28            | 0.180 |
| SA   | 0.00             | 20.58             | 13.00                          | 66.42            | 0.180 |
| SH   | 0.00             | 23.66             | 0.00                           | 76.34            | 0.180 |

表-4 配合例

| モルタル<br>種類        | AS/P<br>(%) | AS                | FA  | BFS | RHA | S    |
|-------------------|-------------|-------------------|-----|-----|-----|------|
|                   |             | kg/m <sup>3</sup> |     |     |     |      |
| 0-ASI(BFS/P=0%)   | 58          | 345               | 595 | 0   | 0   | 1190 |
| 50-ASI(BFS/P=30%) | 83          | 449               | 108 | 162 | 270 | 1082 |
| 100-ASII          | 115         | 554               | 0   | 0   | 482 | 963  |
| 100-SA            | 108         | 535               | 0   | 0   | 496 | 991  |

みに適した流動性を確保するため、ASI は、RHA/P=0% で AS/P=58%とし、RHA/P+10%ごとに AS/P+5%とした。ASII は AS/P=115%, SA, SH は AS/P=108%とした。

2.2 供試体作製方法と養生方法

ホバート型ミキサ(容量 2L)で、モルタルを作製した。最初に、FA と RHA を入れて 30 秒空練りし、AS を投入して 1 分攪拌した。その後、S を投入して 30 秒攪拌、搔落し後、さらに 1 分攪拌した。供試体は円柱供試体(φ 50×100mm)とし、封緘処理を行った。

養生方法は、プログラム式恒温機を使用した加温養生(最高温度 70℃、保持時間 12 時間)とした。圧縮強度試験は JIS R5201 に準拠(材齢は 1 日)した。

キーワード ジオポリマー、もみ殻灰、アルカリ溶液、シリカ、アルミナ、アルミン酸ソーダ  
連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 TEL 093-884-3122

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 もみ殻灰質量置換率による圧縮強度の変化

ASI を使用したモルタルの試験結果から、RHA/P による強度特性への影響を検討した。図-1 に結果を示す。BFS/P=30%の場合、RHA/P=0%~30%では RHA/P の増加に伴い強度は減少しており、RHA/P>30%での強度は一定となった。BFS/P=0%では、RHA/P=0%~20%で強度が顕著に低下し、RHA/P=20%で最小値を示した。RHA/P>20%では、RHA/P の増加に伴い圧縮強度も増加した。RHA/P=100%の強度は RHA/P=0%(FA/P=100%)と比較して約 80%を示した。

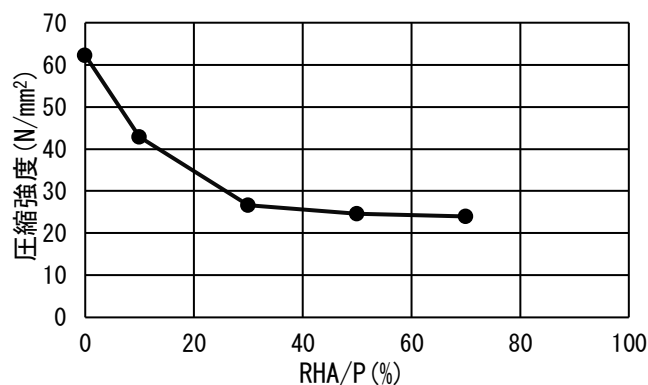
本実験より、RHA は GP の活性フィラーとしての適用可能性を有する。しかし、発現強度は不十分である。また、RHA を FA および BFS と併用した場合、それぞれの硬化体形成を阻害すると考えられるが、詳細なメカニズムについては更なる検討を要する。現時点で、RHA は GP の活性フィラーとして単独利用することが妥当であり、圧縮強度が 20N/mm<sup>2</sup> 前後である点、吸水性、吸着力の高い炭素を多く含有する点などの特徴を活かせる建材への適用が望ましいと考えられる。

#### 3.2 アルミン酸ソーダの効果

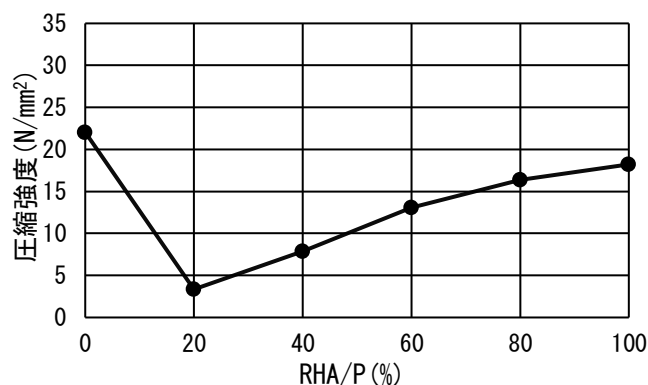
まず、ケイ酸アルカリ溶液とアルミン酸ソーダの併用を検討したが、混合時にシリカ由来の白色の沈殿物が発生した。本研究で使用したアルカリ水比(A/W)のケイ酸アルカリ溶液とアルミン酸ソーダの併用は不可能であることが示された。したがって、アルミン酸ソーダをもみ殻灰 GP のアルミナ源として用いる際には不凝固対策が必要である。そこで本研究では、アルミン酸ソーダと苛性ソーダの混合液を使用した。

各溶液を使用した RHA/P=100%のモルタルから、アルミン酸ソーダによる圧縮強度の変化について評価した。図-2 に結果を示す。SA と SH を使用した場合を比較すると、SA の方が高強度となった。一方、SA は ASII に比べ強度が小さくなった。SA と ASI を比較すると、SA の方が高強度となったが、ASI はアルカリ水比(A/W)が 0.11 のため、SA と同 A/W である A/W=0.18 の溶液であれば、より高強度になると考えられる。

SA モルタルは SH モルタルよりも高強度となり、アルミナ量増加による強度増加の効果がみられる。一方、ケイ酸アルカリ溶液を使用したモルタルより低強度となる。すなわち、RHA に不足するアルミナをアルミン酸ソーダで補填することにより、ケイ酸アルカリ溶液



(a) BFS/P=30%



(b) BFS/P=0%

図-1 RHA 混和率と圧縮強度

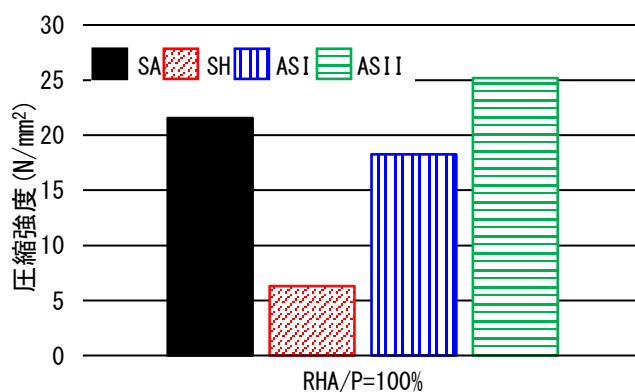


図-2 各溶液を使用した GP モルタルの圧縮強度

には及ばないものの、強度増加の可能性を有する。

今後、もみ殻灰 GP の実現に向け、施工性、強度特性に関する課題に対し、適宜、材料特性の向上を図りつつ、Si が多く Al が少ないこと、多孔質で吸水性が高いこと等、もみ殻が有する特徴を活かした配合設計方法の検討を行う。

### 4. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1) RHA は発現強度に課題を有するものの、GP の活性フィラーとしての適用可能性を有する。また、FA や BFS との併用よりも単独使用が望ましい。
- (2) アルミン酸ソーダによるアルミナの補填により、圧縮強度が増加する可能性を有する。