

下水汚泥焼却灰と高炉スラグ微粉末を混和剤とした混合モルタルの圧縮強度と耐海水性

日大生産工(院) ○齊藤 育己 日大生産工 鶴澤 正美

1. 緒言

下水汚泥焼却灰(以下 SA と略記)とは、下水処理の際に下水処理施設の反応タンク、沈殿池から発生する下水汚泥を減容化させるために焼却処理してできた灰である。国内の産業廃棄物排出量は年間約 3.8 億 t であり、下水汚泥が 2~3 割を占めている¹⁾。SA の利用用途は大きく 3 つあり、①建築材料としての利用、②緑農地での利用、③エネルギー分野での利用がある²⁾。しかし、資源として有効利用ができていないのはごく一部であり、約 3 割が埋め立て処分されている³⁾。そのため、SA の資源としての価値を高め、利用用途の拡大および利用量の増大を促進させることが重要である。また、SA にはセメント材料としての特徴に SA 中のシリカ成分と、セメントの水和反応で生じた水酸化カルシウムが、ポゾラン反応を起こすことにより、ケイ酸カルシウム水和物を生成し、圧縮強度を増進させる可能性をもつことがある、

高炉スラグ(以下 BFS と略記)とは、高炉での鉄鉄製造の際に鉄鉱石から分離した副生成物である。BFS には、セメント材料としての特徴として潜在水硬性がある。潜在水硬性とは、セメントの水和反応により生じた水酸化カルシウムなどのアルカリ性物質や石膏が刺激剤となり硬化することで強度増進する効果を持つ性質である。国内の BFS の年間生成量は約 21,650 千 t であり、セメント分野での利用量が約 8 割を占めている⁴⁾。しかし、国内の高炉の減少に伴い、BFS の生産量も減少傾向にある。そのため、BFS の特性に類似した代替材料の開発が重要である。

筆者らの研究チームは、セメント混和剤としての活用が有効である SA と BFS を高付価値なセメント混和剤にする手法を研究している。これまでの成果として、ボールミル混合法による高活性化処理を SA や BFS に行ってきた。これは広口試薬瓶に材料とセラミックスボールを加え、回転架台を使用し混合することで混和剤を粉砕、微粒子化し反応性を向上させることを目的としている。本研究では、BFS 添加モ

ルタルにおける、SA の BFS 置換でのボールミル混合有・無の圧縮強度、耐海水性等の機能比較による最適配合量についての検討を行った。

2. 実験方法

使用材料は普通ポルトランドセメント(C: 度 $3.16\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)、下水汚泥焼却灰(SA: 密度 $2.60\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)、BFS(エスメント、石膏無し)、水道水(W)、標準砂(S: セメント協会強さ試験用)、飽和水酸化カルシウム溶液(関東化学、特級を溶解)である。供試体の作成は、JIS R 5201 に準拠し行った。練り混ぜには JIS モルタルミキサーを使用し、型枠は $40\times 40\times 160\text{mm}$ の角柱型とした。供試体の作成後 20°C 、60%R.H.の恒湿室で 24 時間の前置養生し、脱型を行った。その後、28 日間 20°C で水中養生した。SA と BFS は、セメント質量比 20%の割合で外割置換し、内訳はそれぞれ 25、50、75、100%とした。SA・BFS 添加モルタルの配合を表 1 に示す。ボールミル混合条件は、福永ら⁵⁾のジルコニアボールにおける SA の最適混合条件で行い、添加する混和材の質量に対して①飽和水酸化カルシウム溶液 40%、②水量 180%、③砂量 60%に固定し、回転数 40rpm、混合時間は 1 時間とした。ボールミル混合条件を表 2 に示す。また、圧縮強度試験は JIS R 5201 附属書 C に準拠し行った。

表1. 混和材添加モルタルの配合表

| BFS置換率 (%) | W | C | SA | BFS | S | Ca(OH) ₂ |
|------------|-----|-----|------|------|------|---------------------|
| JIS | 225 | 450 | 0 | 0 | 1350 | 0 |
| 0 | 189 | 450 | 0 | 90 | 1290 | 36 |
| 25 | 189 | 450 | 67.5 | 22.5 | 1290 | 36 |
| 50 | 189 | 450 | 45 | 45 | 1290 | 36 |
| 75 | 189 | 450 | 22.5 | 67.5 | 1290 | 36 |
| 100 | 189 | 450 | 90 | 0 | 1290 | 36 |

表2. ボールミル混合条件

| BFS含有量 (%) | SA (g) | BFS (g) | Ca(OH) ₂ (g) | W (g) | S (g) |
|------------|--------|---------|-------------------------|-------|-------|
| 0 | 90 | 0 | 36 | 162 | 54 |
| 25 | 67.5 | 22.5 | 36 | 162 | 54 |
| 50 | 45 | 45 | 36 | 162 | 54 |
| 75 | 22.5 | 67.5 | 36 | 162 | 54 |
| 100 | 0 | 90 | 36 | 162 | 54 |

Compressive Strength and Seawater Resistance of Mixed Mortar with Sewage Sludge Incineration Ash and Blast Furnace Slag Fine Powder as Admixture

Ikumi SAITO, Masami UZAWA

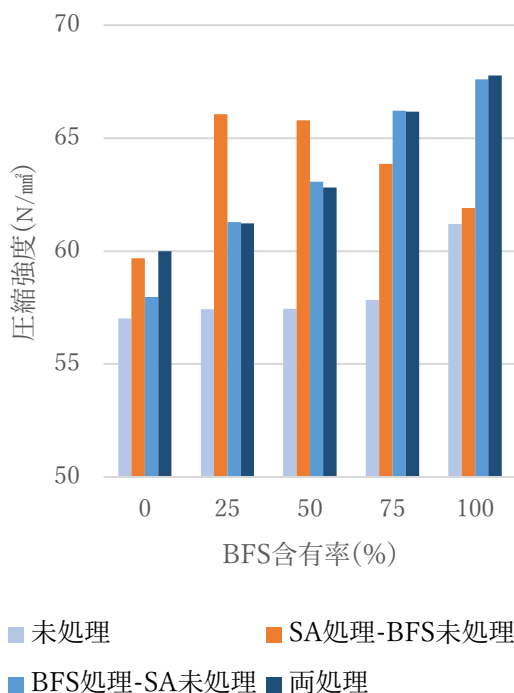


図1. 圧縮強度結果

供試体は6本ずつ測定し、その平均を測定値とした。

3. 実験結果

SAとBFSを混和材とした混合モルタルの両未処理、SA処理-BFS未処理、BFS処理-SA未処理、両処理の圧縮強度を図1に示す。ボールミル混合による高活性化処理をしたことにより、SA・BFS添加モルタルはともに未処理よりも高い圧縮強度になるという結果が得られた。

未処理、BFS処理-SA未処理、両処理におけるモルタルの圧縮強度は、BFSの添加量が多くなるにつれて高い圧縮強度になるという結果が得られた。それに対して、SA処理-BFS未処理における圧縮強度は、BFS含有率25%で最も高い圧縮強度になり、BFSの添加量が増えるにつれて圧縮強度が減少する傾向が得られた。これは、SAのポズラン反応によって生成された水酸化カルシウムが、未処理のBFSの刺激剤となることで潜在水硬性が生じ、強度増進したと考えられる。SA処理-BFS未処理におけるBFS含有率25%の圧縮強度は、両処理におけるBFS含有率100%と同程度である。これらの結果から、セメント材料としてSAをBFSの代替材料で利用する場合、ボールミル混合による高活性化処理において、SA処理-BFS未処理でBFS含有率25%が最適である。

4. 今後の展望

SAのセメント分野における、BFSの代替材料としてのさらなる用途展開のため、SAとBFSの混合モルタルの耐海水性についての検討を行う。⁶⁾圧縮強度結果と合わせて、塩分浸透深さとの関係性についての検討を行う予定である。耐海水性試験は、JSCE-G572-2013⁷⁾を参考にし、養生が終了した供試体の底面以外をエポキシ樹脂で覆い、十分に硬化させた後、塩化ナトリウム濃度10%、20°Cの人工海水に28日間浸漬する。その後、供試体を簡易軽量携帯型コンクリートカッターで乾式割裂し、断面に0.1mol/Lの硝酸銀溶液を噴霧して、塩分浸透深さを計測する。

5. 結言

- 1) ボールミル混合による高活性化処理は、SAとBFSによる混合モルタルにおいても有効である。
- 2) SAとBFSによる混合モルタルの最適配合は、SA処理-BFS未処理でBFS含有率25%である。
- 3) 今後は、SAとBFSの混合モルタルの耐海水性についての検討も行う。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局 下水道部, 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン-平成29年度版-, pp.1-4, (2018)
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部, 下水汚泥広域利用検討マニュアル, p.4-6, (2019)
- 3) 鶴田ほか, コンクリート工学年次論文集, 31, No.1, pp.1897-1902, (2009)
- 4) 鐵鋼スラグ統計年報 Iron and Steel Slag, 鐵鋼スラグ協会, p.3, (2021)
- 5) 福永ほか, 高活性化下水汚泥焼却灰を用いたモルタルの圧縮強度発現に及ぼす諸条件の影響, J.Soc.Inorg.Mater, p.210-216, (2022)
- 6) 福永ほか, 養生条件の違いによる高活性化下水汚泥焼却灰を用いたモルタルの圧縮強度と耐海水性, Journal of the Society of Inorganic Materials, p.330-335
- 7) コンクリート委員会・規準関連小委員会, 土木学会論文集, 767, 11-16 (2003)