

下水汚泥焼却灰中のリンによる凝結遅延とその対策

日大生産工(院) ○衣袋 雄太 日大生産工 鶴澤 正美

1 緒言

下水汚泥焼却灰とは下水処理の沈澱池や反応タンクに発生した汚泥を焼却したものである。産業廃棄物排出量は年間3.8億トンであり、下水汚泥はその約2割を占める¹⁾。下水汚泥のリサイクル率は2010年で78%であったが、東日本大震災の影響でリサイクル率が55%まで低下した²⁾。現在はリサイクル率が回復傾向ではあるものの資源としても利用はごく一部に限られている。汚泥処分費には下水道維持管理費の約9% (約450億円) を占めるまでになっている³⁾。そのため、下水汚泥を資源として有効利用するための開発により製品としての価値を高めることが重要である。下水汚泥焼却灰の主な用途としてスラグ化によりコンクリート骨材や道路の路盤材として、またブロック、レンガなどの建築資材での再利用も行われている²⁾。さらに下水汚泥を利用したバイオマス発電などの研究も行われている²⁾。

本研究では下水汚泥焼却灰の主成分であるシリカ成分に着目した混和材としての利用を検討した。シリカ成分はセメントの硬化反応である水和の際にカルシウムと再結合することによりポズラン反応を生じる。この際生じたケイ酸カルシウム水和物はコンクリートの強度増進効果を持たため、有望な未利用資源の一つである。しかし下水汚泥焼却灰にはリン成分が多量に含まれる。リン成分はセメントの硬化に悪影響を与えることが分かっている。すなわちセメントが水和反応する際にリン成分がセメントの主成分であるAliteやBeliteと反応し、水和を遅延させる凝結遅延現象が生じることが一般に知られている。そのため、コンクリートの混和材としては2~3%程度の添加率にとどまっているのが現状であり、大量使用可能な技術開発が望まれている。コンクリート混和材成分としての使用が可能となれば、下水汚泥焼却灰の利用率の向上、埋め立て処分費の低減、コンクリート製品のエコ認証、高強度化など、産業的にも波及効果が大きな成果につながる基礎技術であると考えている。凝結遅延を解消する独自技術の開発が急務となるため、これを本研究の目的とした。

2 実験方法および測定方法

これまでの研究で20℃での飽和石灰水溶液による攪拌処理で一定の効果が得られている⁴⁾。今回は温度条件65℃としてリンの溶出量について検討を行った。この温度は二次製品工場の蒸気養生槽内での処理を想定している。

2.1 65℃における攪拌処理

これまで20℃の温度条件で飽和石灰水溶液による処理を行ってきた⁴⁾。今回は阻害防止効果を向上させる策として、温度条件を65℃に変えて処理を行った。処理を行った下水汚泥焼却灰は粉末X線回折(XRD)による分析を行った。粉末X線回折の測定条件はCuK α 線で走査範囲5~60°, 走査速度2°/minとした。分析後、セメント混和材として用いて凝結時間試験を行った。表-1にJIS R 5201に準拠したモルタルの凝結時間試験用の配合を示す。下水汚泥焼却灰はセメントの質量比で10%とし、標準砂と置換した。供試体の練り混ぜ手順はJIS R 5201に準拠した。飽和石灰水溶液による処理方法は、下水汚泥焼却灰と、下水汚泥焼却灰の質量の10倍の飽和石灰水溶液をホットスターラーで攪拌した。使用材料は上水道水(W)、普通ポルトランドセメント(C:密度3.16g・cm⁻³)、下水汚泥焼却灰(SA:密度2.6g・cm⁻³)、標準砂(セメント協会強さ試験用)、飽和石灰水溶液(Ca(OH)₂, 関東化学 鹿1級を溶解)である。ろ紙はADVANCE No.2を使用した。

2.2 モリブテンプルー法を用いた比色分析

本実験はモリブテンプルー法を用いた比色分析による水中のリンの分析方法に従った⁵⁾。温度条件を変えた影響と最適な温度条件を探るため各温度条件でリンの溶出量を測定した。今回は20℃, 40℃, 65℃, 80℃の温度条件別に30gの下水汚泥焼却灰を3時間攪拌処理し、ろ過後1000gの蒸留水で十分に洗浄した。この洗浄液を使用してリンの溶出量を確認した。使用した試薬は、ビス[(+)-タルトート]二アンチモン(III)酸二カリウム三水和物、七モリブテン酸アンモニウム四水和物と硫酸である。

Study on Setting Delay of Concrete by Phosphorus in Sewage Sludge Burned Ash Powder and its Countermeasure

Yuta IBUKURO, Masami UZAWA

表 1 凝結時間試験の配合表

W/C (%)	SA content(%)	(kg/m ²)			
		W	C	SA	Standard sand
50	10	225	450	45	1305

3 実験結果および検討

図1に65℃、20℃で処理を行ったものと未処理の下水汚泥焼却灰のXRD結果を示した。図2に未処理の回折面積を1とした積分値の比較を行ったグラフを示した。ここではリン酸化合物のピーク強度が強い28.0°、31.3°、34.8°に着目した。減少量の合計値を比較すると65℃処理の減少量が大きかった。これより、高温処理の方が結晶性のリン酸化合物の不溶化反応が起こりやすくなることで凝結遅延を改善する効果があると推定した。しかし、その後の凝結時間試験では凝結時間の数値にばらつきがみられた。攪拌処理後に下水汚泥焼却灰を洗浄した洗浄液の分析結果を図3に示した。飽和水酸化カルシウム溶液による攪拌処理において高温で処理を行うほどリンの溶出にばらつきが大きくなる結果となった。この原因について考察すると、実験中に水分を含むと膨らむような現象が見られた。仮説ではあるが、下水汚泥焼却灰の攪拌温度を上昇させるとカルシウム成分とリン成分が反応し生成物がゲル化する性質があり、さらに温度上昇によりその反応が再現性なく起こると予想した。より詳細な検討が必要であるが、現段階では加温処理はあまり適切ではない可能性が高いと考えている。以上の結果から攪拌処理における温度条件は低温の方が良く、混和材として使用しても安定した凝結時間の結果が得られことが分かった。しかし飽和水酸化カルシウム溶液による攪拌処理だけでは凝結遅延効果抑制に限界があるため、実用化を視野に入れた新たな処理方法の検討が必要である。現在考えているのは、酸性のアルミニウム化合物による処理によりリン化合物を固定化する方策である。さらに、凝結遅延現象がコンクリートの初期強度に与える影響についても今後検討を進めていく予定である。

4 まとめ

- 1) 処理温度を 65℃とした場合の結果は再現性が低く適切な処理方法ではない可能性がある。
- 2) 下水汚泥焼却灰の攪拌処理においては高温よりも低温状態の攪拌処理の方が安定した処理効果を得ることができる。
- 3) 飽和水酸化カルシウム水溶液のみの攪拌処理では改善効果に限界であり新たな処理の試みを検討する必要がある。

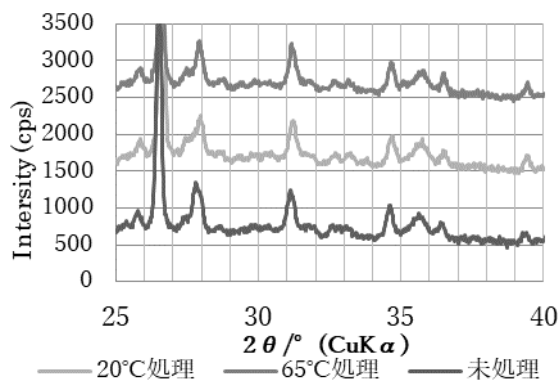


図1 Ca(OH)₂処理後の粉末X線回折結果

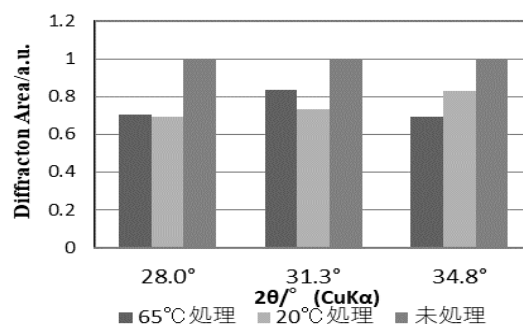


図2 図1のピーク強度比較

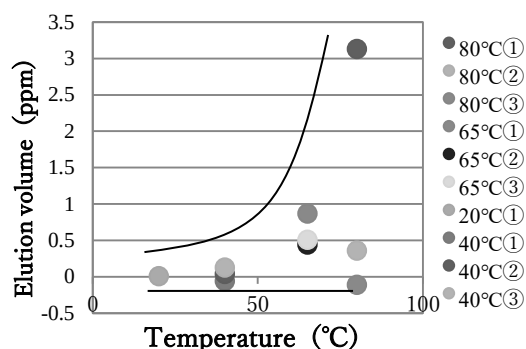


図3 温度別リンの比色分析結果

参考文献

- 1) 環境省 廃棄物・リサイクル対策、産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 pp.16-20 (2012)
- 2) 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 pp.3-4, pp.12-35 (2018)
- 3) 日本下水道施設管理業協会、第4回下水道のこと業運営のあり方に関する検討会、資料4
- 4) 伊藤遼哉、下水汚泥焼却灰中のリンによるコンクリートの凝結遅延とその対策に関する研究、平成29年度 修士論文概要集 日本大学大学院生産工学研究科、pp.5-8
- 5) 日本分析化学学会北海道支部 編、「水の分析」第4版、化学同人、p.269 (1994)