

一般廃棄物焼却灰の開水路分級における焼却灰粒子の沈降速度の検討

九州大学 学生会員 ○今中亮、正会員 小宮 哲平、フェロー会員 島岡 隆行

1. はじめに

海面埋立地では、廃棄物が海水中に没し、埋立地の安定化に長時間を要することが問題となっている。海面処分される廃棄物の多くを占める一般廃棄物焼却灰では、粒径が小さいほど汚濁成分を多く含むことが判明している¹⁾。細粒子区分（粒径 0.425 mm 以下）を除去して海面処分を行なうことで、持ち込まれる汚濁負荷が低減し、埋立地の早期安定化が期待される。前田ら²⁾は細粒子区分を効率よく除去する方法として開水路分級に着目し、開水路分級実証実験を行い、焼却灰の沈降特性及び細粒子区分の除去特性を把握した。小宮ら³⁾は、開水路分級実証実験における焼却灰の挙動を再現可能な数値モデルを構築した。著者ら⁴⁾は実用規模の開水路の水路条件を提案し、その検証実験を行った。その結果、焼却灰の沈降速度は想定よりも速いと推定された。本研究では実用を想定した開水路における焼却灰の沈降速度について検討した。

2. 実用を想定した開水路分級実証実験

実験では実用を想定した開水路の水理学的縮尺模型水路を用いた。図 1 に実験で用いた開水路の水路条件を示す。分級部とは水の流れにより焼却灰を粗い粒子と細粒子区分に分離させる部分であり、貯留部とは堆積していく焼却灰を貯留する場所を指す。所定の流量で海面処分場の保有水（比重 1.014g/cm³）を流し、分級部の上流端の水面から焼却灰を投入した。実験の詳細については別報⁵⁾を参照されたい。

水路条件の設計の際、細粒子区分の中で最も沈降速度が速い粒径 0.425 mm の焼却灰粒子の運動に着目し、この粒子が流出する限界となる水理条件とした。その際、沈降速度を過去の実験結果から得られた推定値である 5.0 cm/s³⁾と設定したが、実験結果から推定された沈降速度は 7.1 cm/s であった。沈降速度が増加した要因として、実用を想定した実験においては深さのある貯留部が存在することの影響が考えられる。具体的には、a) 貯留部で形成される渦の影響を受けて分級部に下向きの水の流れが生じたこと、b) エネルギー損失により流下方向に進むにつれて分級部の断面平均流速の低下が生じ、見かけ上沈降速度が増加したとことが考えられる。また、水路条件の検討の際に行なった粒径 0.425 mm の焼却灰粒子の数値シミュレーションにおいて、沈降速度に影響を及ぼす粒子の球形度として過去の実験結果から推定された 0.64³⁾を採用したが、c) 球形度が採用値と異なっていたことも要因として考えられる。

3. 研究方法

(1) シミュレーションによる実験における水の流れ

の再現 実験における水の流れを再現可能な乱流の数値シミュレーションモデルを構築し、分級部の断面平均流速や下向きの水の流れを調べた。図 2 に条件を示す。数値シミュレーションでは COMSOL Multiphysics 6.1 を用いた。

(2) 球形度の実測 球形度は「粒子の最大投影面と同じ面積を持つ円の直径÷粒子の最大投影面を囲む最小円の直径」⁶⁾で近似的に求めることができる。レーザー顕微鏡（OLS4500）を用いて粒子の投影図を取得し、画像解析により投影面積および投影面を囲む最小円の直径を求め、球形度を実測した。この工程を粒径 0.25~0.425mm で 30 回、0.425~0.85mm で 25 回行い、それぞれの平均値を計算し

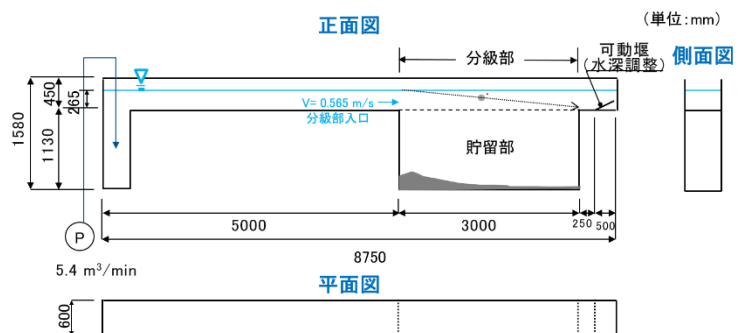


図 1 実用を想定した実験の開水路の水路条件

支配方程式: Navier-Stokes 方程式
 水深: 実測値
 流入口: 流速 0.535m/s
 流出口: 大気開放条件 p=0pa
 壁: 等価砂粗度高さ ksp=0.005
 水表面: すべり面

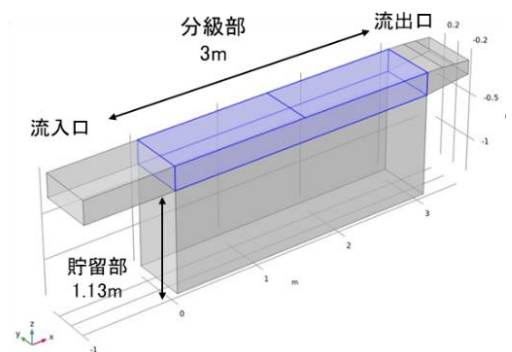


図 2 水の流れの数値シミュレーション条件

た。そして対象としている粒径 0.425mm の球形度については、0.25～0.425mm と 0.425～0.85mm の球形度の平均値を採用した。

(3) 球形度の実測値を基にした粒子移動の数値シミュレーション (1) の水の流れのシミュレーションを基に(2)の球形度の実測値を用いて粒子移動の数値シミュレーションを行った。設計では細粒子区分の最大粒径である 0.425mm が流出する限界としたが、実験装置での水の流れと実測した球形度を用いた場合でも流出する限界であったか調べた。

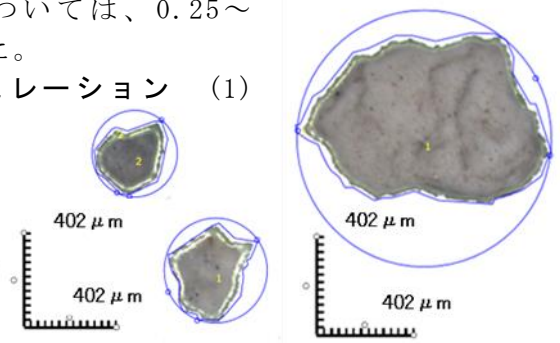


図3 球形度の測定

(左:粒径 0.25~0.425mm 右:粒径 0.425~0.85mm)

表1 球形度の測定結果

粒径 (mm)	0.25~0.425	0.425~0.85	0.425
球形度平均 (-)	0.793	0.757	0.775

4. 結果および考察

(1) 分級部における水の流れ 図2の青い部分で実際に粒子が分級されるため、その部分の断面平均流速および下方向の流速を調べた。結果として断面平均流速が 0.525m/s, 下方向の流速が 0.069cm/s であった。実証実験の際に想定した値は、断面平均流速は 0.565m/s, 下方向の流速は 0cm/s であったが、結果と比較すると下方向の流速は粒子の沈降速度から見て無視できるものであったが、断面平均流速の低下が結果に影響を及ぼしたと考えられる。

(2) 球形度の実測 図3に球形度の測定の様子、表1に球形度の測定結果を示す。粒径 0.425mm の焼却灰粒子の球形度は 0.775 と算出された。これは設計時に想定していた 0.64 よりも大きな値であった。球形度が大きいほど粒子の沈降速度は速くなる。球形度が想定よりも大きかったことが、沈降速度の増加をもたらした一因と考えられた。

(3) 粒子移動シミュレーション 図4に球形度の実測結果を踏まえて、粒径 0.425mm の粒子移動シミュレーションを行った結果を示す。水の流れや球形度の影響を受け、対象の粒径が流出しなくなっていることが明らかとなった。また、球形度を元の 0.64 に変えてシミュレーションを行った場合は、粒子が流出したため、水の流れの影響よりも球形度が沈降速度に与えた影響が大きいと考えられた。

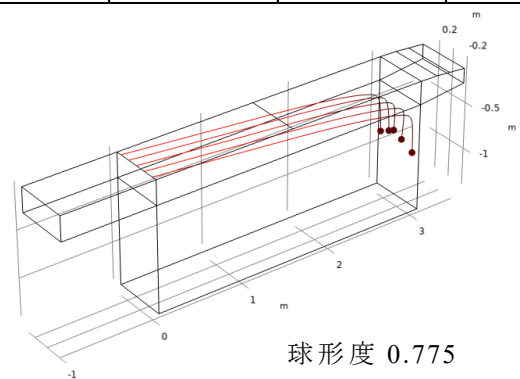


図4 粒子移動の数値シミュレーション結果

5. まとめ

沈降速度が増加した要因は、断面平均流速の低下、および球形度が想定よりも高かったことであることが示された。また、球形度が与える影響が大きいと考えられることから、焼却灰の球形度は灰によって変わるものではあるが、そのおおよその値を実測し把握した上で、流出の境界を検討する必要がある。さらに他の粒径区分においても、粒径は大きい球形度が小さいため流出する、あるいはその逆のことも起こりうるため、各粒径区分における流出する割合を考慮することで、より効率よく分級が可能になると考えられる。

[参考文献] 1) 大西一馬ら: 都市ごみ焼却灰の分級処理による海面処分場の早期安定化に関する研究, 土木学会論文集 G(環境), 72 巻, 7 号, pp.III_333-III_340, 2016. 2) 前田拓磨ら: 海面処分場の早期安定化のための都市ごみ焼却灰の開水路分級技術の開発に関する研究, 土木学会論文集 G(環境), 74 巻, 7 号, pp.III_325-III_332, 2018. 3) 小宮哲平ら: 海面埋立地の早期安定化のための焼却灰の開水路分級技術に関する研究, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.31, pp.189-200, 2020. 4) 今中亮ら: 一般廃棄物焼却灰の開水路分級のための実規模開水路の水路条件の検討, 令和2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2021. 5) 今中亮ら: 一般廃棄物焼却灰の開水路分級における実用規模を想定した水路及び投入条件の妥当性の検討, 第32回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, pp.391-392, 2021. 6) 三輪茂雄: 粉粒体工学, p.72, 1972.