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

九州大学工学部　学生会員　○今中亮、正会員　小宮 哲平、ﾌｪﾛｰ会員　島岡 隆行
中電技術コンサルタント(株)　正会員　渡辺 修士、竹本 誠
中央開発(株)　前田 直也
五洋建設(株)　正会員　鵜飼 亮行、正会員　加島 史浩

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については、粒径が小さなものほど汚濁成分を多く含むことが知られており[1)]、細粒子区分（粒径 0.425 mm 以下と定義）を除去して海面処分することで、海面埋立地の早期安定化が期待される。前田ら[2),3)]は細粒子区分を効率的に除去する方法として、粒径による沈降速度の違いを利用し、粗粒子区分（粒径 d>0.425 mm）を開水路底面に堆積させ、細粒子区分を開水路からの流出水ともに流出させて分級する開水路分級に着目し、開水路分級実証実験を実施し、さらに焼却灰粒子の移動を再現可能な数値モデルを構築した。本研究では、実際の海面処分場において焼却灰の埋立前処理として開水路分級を実施する際に使用する実規模開水路の水路条件を明らかにすることを目的に、机上検討で提案された水路条件[4)]を基に数値シミュレーションにより検討した。

２．研究方法

(1) 机上検討により提案された実規模開水路の水路条件

図 1 に、机上検討[4)]（焼却灰搬入量　210 t/日、開水路設置数 6 基と想定）で提案された実規模開水路の水路条件を示す。「流入部」では投入された焼却灰が水路底面に堆積することなく分級部に流入するように流速は速く（水路幅を狭く）、「分級部」では水路底面に堆積した焼却灰が再浮上させることがない遅い流速に（水路幅を広く）設定されている。分級部のうち、水深 60　cm 以浅を焼却灰が沈降する「沈降部」、水深 60 cm 以深を沈降した焼却灰を貯留する貯留部」と称す。

(2) 数値シミュレーション

前田ら[3)]が構築したモデルを用い、図 1 の開水路における水の流れ（乱流）および焼却灰粒子の移動の数値シミュレーションを行った。乱流（定常解）についてはレイノルズ平均ナビエ-ストークス方程式を支配方程式とし、乱流モデルとして k-ε モデルを適用した。焼却灰粒子の移動（非定常解）については粒子の運動方程式を支配方程式とし、力としては重力、浮力、抗力の 3 つを考慮した。粒径および粒子密度は実測値を採用した。抗力係数として、粒子の球形度を考慮することができる Haider-Levnspiel モデルを適用した。粒子移動の初期条件は、初期位置を焼却灰投入地点の水面、初速をゼロと設定した。

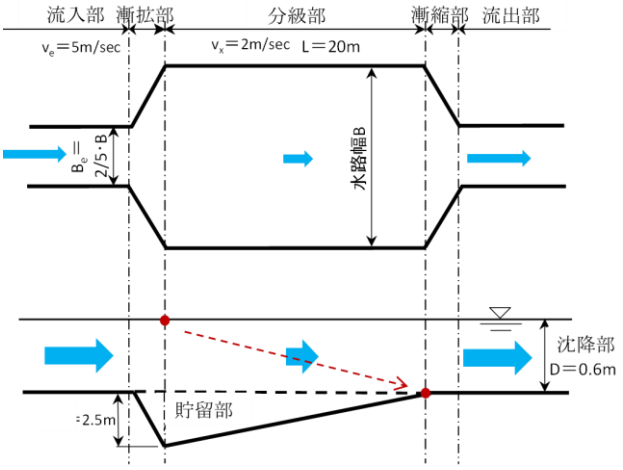

図 1　机上検討で提案された実規模開水路

図 2 に水路の形状および乱流解析の境界条件を示す。流入部および流出部の水深は 60 cm、同水路幅は 100 cm である。水路形状については、漸拡部の拡大角（0° は拡大なし、90° は急拡を指す。）および沈降部の設計流速をパラメータとした。ここで沈降部の設計流速とは、「投入部の断面平均流速×投入部の水路幅／沈降部の水路幅」で求まる沈降部における開水路分級設計上の断面平均流速であり、投入部の流量が一定の場合、沈降部の水路幅により変化するものである。

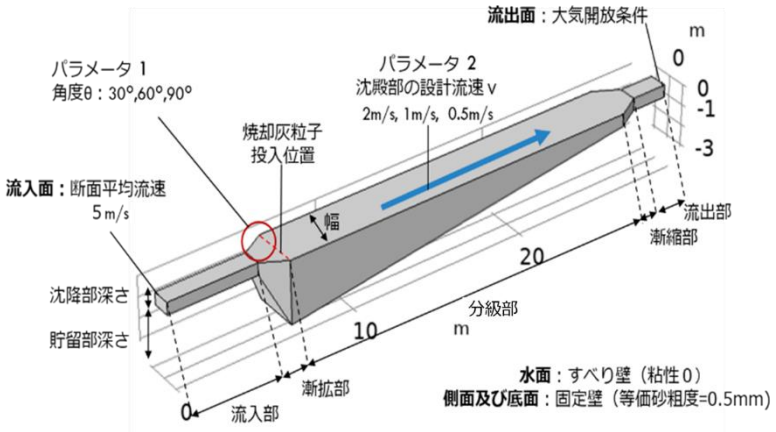

図 2　数値シミュレーションの条件およびパラメータ

３．結果および考察

図 3 に拡大角 30°、設計流速 1 または 2 m/s の場合の流線および速度分布を示す。設計流速 1 m/s の場合、沈降部においては水路幅中央付近でのみ速い流れが形成された。流入部と沈降部で水路幅の変化が大きいと、分級部において水路幅方向で均一な水の流れが形成されない。そのため、焼却灰の挙動が不均質となり、分級には不適な水路条件と考えられた。また、水路幅の変化が小さい設計においても流速 2 m/s の場合においても、沈降部の上流端から約 10 m の区間においては水路幅方向で不均一な水の流れが形成された。開水路分級においては流入部と沈降部で水路幅を変化させない水路が適すると考えるので、・・・。

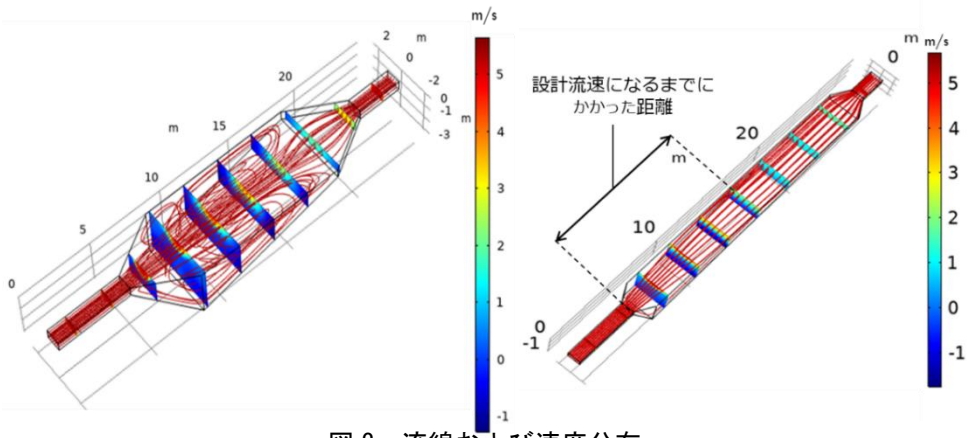

図 3　流線および速度分布

（左：拡大角 30°，設計流速 1 m/s、右：拡大角 30°，設計流速 2 m/s）

図 4 に分級部の底面（貯留部）に傾斜がある場合（拡大角 30°、漸縮なし、設計流速 2 m/s）とない場合（拡大角 0°、漸縮なし、設計流速 2 m/s）の粒径 0.425 mm の焼却灰粒子（細粒子区分の中で粒径が最も大きく、沈降速度が最も速い）の軌跡を示す。分級部の底面に傾斜がある場合、細粒子区分が開水路から流出せずに貯留部に沈降堆積することが確認された。この原因は、貯留部に発生する大きな渦の上端部が底面の傾斜の影響で分級部に張り出しており、沈降部の焼却灰が渦に巻き込まれたためである。分級部部の底面に傾斜がない場合では、細粒子区分の大部分が開水路から流出することが確認された。

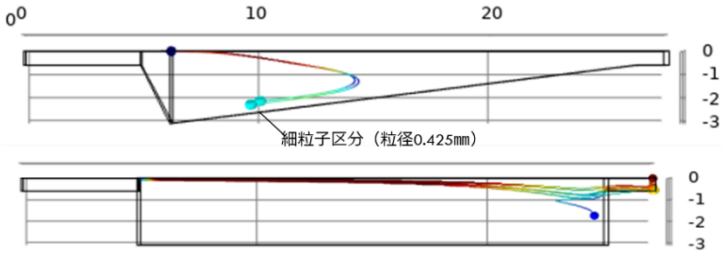

図 4　粒径 0.425 mm の焼却灰粒子の軌跡

（上：貯留部の底面に傾斜あり、下：同なし）

図 5 に本研究での検討結果を踏まえて提案する実規模開水路の水路条件を示す。上記の検討を踏まえ、流入部、分級部、流出部の水路幅は一様とし、かつ分級部の底面に傾斜はないものとした。なお、分級部長さは図 1 の 20 m から 24 m に変更した。机上検討時には粒径 0.425 mm の沈降速度を、粒形を球体と仮定してアレンの式から導出された 6.0 cm/s と設定していたが、前田らが実施した開水路分級実証実験 [3] において粒径 0.425 mm の焼却灰粒子の沈降速度は 5.0 cm/s であることが示されたため、後者の実測値 5.0 cm/s を採用したためである。また、貯留部深さは図 1 の 2.5 m から 4.5 m に変更した。机上検討時から開水路分級の一回当たりの処理量および水路幅の見直しを行ったためである。

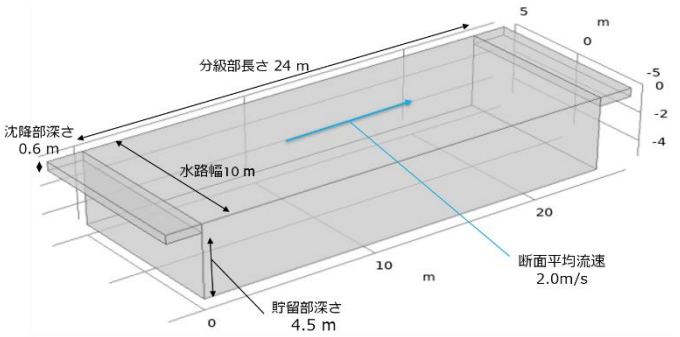

図 5　本研究で提案する実規模開水路の水路条件

４．まとめ

開水路分級における開水路の適切な条件として、①分級部において水路幅方向で均一な水流を得るために、流入部、分級部、流出部の水路幅を一様にすること、②分級部底部に形成される渦が沈降部に張出し、沈降部における焼却灰の沈降に影響を及ぼさないように、分級部の底面は傾斜がないものにすることが示された。今後、本研究で提案する開水路条件を検証するための開水路分級実証実験を行う予定である。

[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）前田拓磨：一般廃棄物焼却灰の開水路分級技術の開発に関する研究，九州大学修士論文，pp. 44-96，2020. 4）島岡隆行ら：開水路（沈降水路）における焼却灰の分級について（細粒子除去），平成 28 年度環境保全対策調査報告書.