却	設	備	実	施	例
焼却炉サイズ [mφ]×基	電力消費量 [kW・h]	補助燃料 [kg/hr]		廃ガス処理	備 考
1.5×1	30	43.2		サイクロン+スクラバー	1次空気を予熱器: 25 m ² →450°C
2.1×1		120		サイクロン+スクラバー	1次空気を予熱器: 50 m ² →450°C
1.22×1	—	—		スクラバーのみ	
1.3×1	—	—		サイクロン+スクラバー	焼却物: 5種類混焼
1.3×1	50	40		サイクロン+スクラバー	
1.8×1	90	オイルのみ 80 廃プラスチック混焼 25		サイクロン+スクラバー	1次空気を予熱器: 87 m ² →450°C 廃プラスチックを補助燃料とする
2.7×1	150	150		サイクロン+電気集塵器	
1.145×1	—	25.5		サイクロン+スクラバー	1次空気を予熱器 白煙防止用 2次熱交換器
0.810×1	37	20		サイクロン+スクラバー	1次空気を予熱器 白煙防止用 2次熱交換器
4.1×1	300	0		サイクロン+電気集塵器	1次空気を予熱器 2次温水回収
2.7×1		110		サイクロン+スクラバー	1次空気を予熱器 2次白煙防止用熱交 灰造粒 設備
1.2×1	35	20		サイクロン+スクラバー	1次空気を予熱器 22 m ² →450°C
1.8×1		無し		ガス水冷塔 +バグフィルター	焼却物: 有機廃液, 無機汚泥

引用文献

- 1) 野中八郎:「下水処理プラントの設計」
- 2) 戸田一郎:「凍結による汚泥の脱水」水処理技術, Vol. 13, No.5, 1972
- 3) 永松定祐:「有価物回収・脱水装置について」都市と廃棄物, Vol.

1, No.3

- 4) 土木学会:「下水汚泥の処理処分および利用に関する研究」報告書
- 5) 柿本脩三:「下水汚泥の熱処理」工業用水技術懇話会技術資料, No. 19, 1972
- 6) 国井大蔵:「流動化法」
- 7) 玉井孝生:「廃水処理設備汚泥の流動焼却炉」公害防止産業, Vol. 2, No.2

スラッジの処理, 処分と回収再利用技術*

花 田 健 一**

は し が き

産業の急速な発展と人口の都市集中にともなって, 公共用水域の水質汚濁が急激にすすみ, 生活環境の悪化が大きな社会問題となりその対策がいそがれている。

廃水処理の過程において, 廃水中の汚染物質が濃縮されたスラッジが大量に排出される。産業規模の拡大, 生活水準の向上により, 工場廃水, 都市下水の量の増加と処理の高度化にともない, 発生するスラッジの量も著しく増加しており, その処理, 処分が重要な課題となっている。処理対象となるスラッジの質や量は, 原水の種類, 処理方法により千差万別であるが, 毒性物質とくに重金属類を含有するものや, 腐敗悪臭の原因となる有機性スラッジなど早急に対策の確立が望まれている。

海洋投棄や海岸地域への埋立てなどの処分方法は, 重金属類の溶出, 拡散による魚貝類に対する被害のおそれがあり, 処分に際して十分の注意が必要である。スラッジは元来無機質または有機質の懸濁物が高い濃度で懸濁している懸濁液であり, 無機質からなるものは一般に濃縮脱水して容積と重量を縮減して取り扱いを容易にして, 埋立てなどの処分をする。有機質のものは, 二次公害の発生を防止するための焼却などによる無害化, 安定化がすすめられている。また有用物質の回収と有効利用など資源化がはかられている。ここでは, スラッジの処理, 処分と回収利用について概要を述べることにする。

1. スラッジ処理技術の動向

1.1 スラッジの濃縮, 脱水

廃水処理工程から排出されるスラッジは, 投棄, 埋立

* 昭和48年3月19日受理

** Ken-ichi Hanada 公害資源研究所

てまたは利用するに際して、濃縮脱水により、その容積を小さくし取扱いを容易にする。また燃焼処理を行なう場合にはその熱効率を高めることになる。

スラッジの脱水には減圧濾過装置のオリバーフィルター、ベルトフィルターが一般に使用されている。この場合脱水ケーキの水分が 68~72%位であるので、現在の傾向として燃焼処理が多く採用される場合には、さらにケーキ水分を少なくして焼却に必要な補助燃料を節約することが経済的になる。ケーキ水分を低くするために加圧濾過装置のフィルタープレスが採用されてきた。濾過圧力は減圧濾過方式に比較して高く、2~8 kg/cm² であり、脱水されたケーキの含水率は 55~65% であり、減圧濾過より污泥ケーキの含水率も少ないのがその特徴であるが、濾過に要する時間は長くなる。その処理能力を向上するために污泥の排出を自動化したものやダイヤフラム機構を取り入れ、供給、脱水、剝離の三工程でサイクルを形成する堅型フィルタープレスが開発されている。

遠心脱水には、円錐形、円筒形またはその複合形などがあり、スラリーは入口から投入され、回転数 2,000~4,000 rpm で回転させ、スラリーの固液分離と脱水を同時に行なう機構である。最近では高分子凝集剤を添加し、遠心分離の効率を増大した構造の分離機が実用化されている。毛細管現象を利用した加圧フィルターは、多孔性の濾材の上にスラッジを供給して上方から機械的に圧縮して脱水するもので、濾材としてフェルトなどを用い、上にのせたスラッジを毛細管作用によって水分を取り去り、ある程度濃縮して流動性を失わせて圧搾し、さらに水分をおし出してケーキとする方式である。この装置は真空ポンプなどを使用しないので、機構的に簡単であり、活性污泥のような圧縮性ケーキの濾過脱水に効果的である。

湿式造粒脱水法は、スラッジに凝集剤を添加して凝集させたフロックを小さな粒状に固めて、脱水性のよいスラッジにする方法である。すなわち水中で生成したフロックに適当な回転運動を与えて、フロックを球形に丸めるものである。造粒方式としては、造粒槽方式と回転円筒方式がある。造粒槽方式では、槽の下部からスラッジを槽内に送り、高分子凝集剤を添加してインペラで回転を与えると、スラッジはベレットに成長するので、上部からベレットスラリーとして取出し脱水機にかける。スラッジはベレットになっているので、簡単な脱水装置で固液分離ができる。

回転円筒式では、シックナーからのスラッジに、高分子凝集剤を添加して、回転円筒造粒脱水機に流入させる。スラッジと高分子凝集剤は混合され回転ドラムに流入すると、回転ドラム粒部でベレット状の塊となるが、円筒がやや傾斜をしているので、出口の方に流水、その間脱水が行なわれる。

アクアベレット法によるスラッジの処理は装置が簡単で、円筒と駆動装置以外は必要でないこと、高速で回転する部分がなく、汙布や金網を使用しないので目詰りがなく、運転中の洗浄水も必要でない。流入スラッジ濃度の変動に対して安定幅が大きい。装置の始動、停止がきわめて容易である。消費電力が小さい。騒音がほとんど発生しないなどの特徴がある。

1・2 スラッジ焼却処理

スラッジの焼却処理は灰化減量により容積と重量を縮減して、処分場所への運搬費の低減、埋立て場所の有効利用をはかるとともに、灰化により二次公害防止のための無害化を目標として今後広く普及するものと考えられる。したがって、脱水処理後の埋め立てより費用はかさんでも、焼却処理が主体になる傾向にある。焼却処理のプロセスは、濃縮、脱水、乾燥、焼却となるが、湿式酸化法のように脱水、乾燥工程がなく直接焼却を行なう場合もある。現在、一般に採用されている焼却装置として、多段炉、回転炉、流動層炉、湿式酸化法などがあり、運転管理の容易さや経済性から堅型多段炉、回転炉などが数多く採用されている。

堅型多段炉は、硫化鉱のばい焼炉として古くから使用されたもので、直立円筒形炉のなかに、4~12 段の炉床があり、污泥ケーキは上部より供給される。中心軸の回転により、ケーキをかきまぜながら、交互の段で内方および外方に材料をおくり、上段から下段に落下させる。中段に助燃用バーナーがあり、灰は炉底から取出される。乾燥面積が小さく、乾燥時間が任意に調整できるが構造が比較的複雑である。多段炉の熱効率は 40~50%、重油補給量は 20~30 l/t、燃焼温度は 750~1,000°C で排ガスは炉頂から排出される。

回転炉は、セメント製造の煅焼に用いられてきた形のものでスラッジの焼却にも使用されている。回転炉は污泥焼却のときは回転乾燥装置に接続して使用される。污泥は炉端から供給され、円筒の回転と傾斜によって移送され、その間に燃焼部分からの燃焼ガスと向流接触して乾燥、燃焼が行なわれる。炉端にバーナが取付けられ、重油の補助燃料を燃焼する。重油の助燃料による燃焼ガスと投入ケーキの燃焼ガスは乾燥のための熱風となる。助燃料の使用量を増加し、炉内の燃焼温度を 1,200°C 位まで上げて、灰をクリンカとして取出す方法を採用すると、灰化減量よりさらに容積の減少になり、また成形して人工骨材の製造にも利用できるが、処理費はかなり高くなる。

流動層燃焼法は高温の砂を流動媒として用いた炉内に被処理物を投入して燃焼させる燃焼法である。流動層は熱の移動速度が大きく、燃焼時間が短く、層温度が均一であるなどの長所があり、また炉の構造も比較的簡単である。流動層の層温度が 1,000°C 以下の比較的低い温

度で処理するので、酸化窒素の発生が少なく、燃焼による二次公害の発生が少ない燃焼法といえる。試験炉による実験では、層温度 500°~600°C で水分 70% のケーキを 300~400 kg/m²・h の燃焼率で燃焼することが可能である。この燃焼率は他の燃焼方式に比較してかなり高率である。水分の多いケーキのときは、油を用いて助燃するか、空気と排ガスとの熱交換を行なって、予熱された空気を層に送入する方法を併用する。また、油、塩ビとの混合燃焼も将来考慮される。

湿式酸化法は排水中の有機物を濃縮脱水せずに、そのままの状態、高温、高圧のもとで空気を用いて酸化分解する方法である。汚泥を、温度 200°~300°C、圧力 50~15気圧にして、一定時間反応塔に滞留させて、酸化分解する。この方式は設備費および運転費が他の方法に比べて高い欠点があるが、密閉容器内における処理であるので、臭気公害がない。酸化液中の未酸化固形物の分離およびその処分が容易であるなどの利点があり、し尿、下水および産業廃水の汚泥処理に用いられる。

2. スラッジの最終処分と回収再利用

2・1 有機性スラッジ

有機性スラッジの最終処分としては、脱水、乾燥、焼却処理が無害化するための処分法として行なわれている。回収利用の方法として、乾燥して肥料とすることができ、化学肥料が安価に入手できる現在では、特定の地域での利用しか期待できない。醸造工程からの濃厚排水を蒸発乾燥させて、家畜の飼料として加工する実例も 1, 2 あるがまだ経済的に難点がある。

下水スラッジは有機スラッジの代表的なものであるが、これを肥料として農業利用することについて米国では長期間にわたり調査研究が行なわれている。処理場の近郊に試験農場を設け、スラッジを安全に散布するための方法、頻度、間隔と畑作物の生育の関係、土地に大量に散布することによる地下水の水質に与える影響、スラッジ中の重金属、溶解性物質、有機化合物が土壌の汚染に及ぼす影響を与えるかについての試験が続けられている。ハノーバー下水処理場の調査結果では、とうもろこしを植えた畑地に液状消化スラッジをパイプで導き、畑の溝に 1 回につき 1.3 cm、0.7 cm の厚さで流し込み、2~3 日で乾燥するので、数日後に再びスラッジを流し込む方法をとった。散布した場合は全生長期間を通じて葉の色つや、穂の数や大きさが散布しないものに比べてはるかに優れていた。スラッジの散布と収穫量との関係は別表のように散布したものが優れた結果を示している。

散布方法としては、畝および溝への直接散布のほか、スプリンクラーによる散布などがなされるが、試験に栽培した各種の作物について、いずれもスラッジを十分に

1 回のスラッジの 散布厚さ	スラッジの 散 布 量	とうもろこし収穫量 (エーカー当り)
0	0	33t
1/4 in (0.7 cm)	8.6t	60t
1/2 in (1.3 cm)	17.0t	63t

摂取して収穫量が増加した調査結果が得られている。

2・2 無機性スラッジ

粘土などを主体とする無機性スラッジは、腐敗、悪臭などの被害の発生がなく、一般に埋立て、路面材などの利用が行なわれている。しかし工場排水からのスラッジには有害物質とくに重金属類を含むものがあり、これらを直接埋立て、海洋投棄する場合には、重金属類の溶出について十分な注意が必要である。スラッジからの微量の有害物質の回収あるいは無害化の方法が確立されていない現状から、有害物質の流出を防ぐためにはコンクリート固化法またはプラスチックなどによる完全な被覆などによって、ある程度高価でも二次公害を起こさない処分法を用いる必要がある。

無機性スラッジを焼結して人工軽量骨材に利用する方法は技術的にはかなり広く開発されてきたが、経済性の面で一部製造されているにすぎないが、川砂利の不足が深刻化している現状では、今後広く実用化されるものと思われる。人工軽量骨材の製造原料としては、焼結温度が低く、焼結温度範囲が広く、発泡性に富み軽量化が容易であることが必要である。一例として、メキシコスラッジを原料とした場合では、スラッジと膨張性負岩とを混合し、球形に造粒し、熱風乾燥の上、400°~1,200°C の温度で焼成して軽量骨材が得られる。また、黒鉱の選鉱廃滓を原料とした場合では、200 メッシュに粉碎したものに 15% 程度の水分を加えペレタイザーで約 15 mm の直径の球に成形し 200°~250°C で乾燥し、さらに 1,150°C 前後で焼成すると、比重 1.3、圧縮 225 kg/cm² の製品が得られた。

あとがき

スラッジの処理、処分と再利用について現状と動向を述べたが、対象となるスラッジの質、量、性状は多種多様であり、それぞれの立地条件により最適の方法が検討されなければならない。その処理技術の開発をすすめる、スラッジの無害化、安定化をはかり、でき得る限り自然の循環サイクルに組み入れることが必要である。また、再利用が可能なものはその有効利用法をすすめる、資源としての活用をはかるべきである。