

# 下水汚泥の油温減圧式乾燥技術 の実用化研究

## 1. 研究の目的

下水汚泥は、全国で257万 $\text{m}^3$ /年（平成6年度末）発生しており、そのうち約4割が埋め立て処分されているのが、現状である。しかし、最近では環境問題や住民感情等から、埋め立て処分地の確保が困難となっており、近い将来、処分の行き詰まりが懸念される。平成7年度の都市計画審議会答申でも下水汚泥の有効利用がうたわれており、今後ますます、汚泥の減容化、資源化等を進めていかなければならない。

このような状況の中、福岡県流域下水道御笠川浄化センターにおいては、汚泥熔融炉を導入する一方、下水汚泥の油温減圧式乾燥技術の実用化研究に取り組むこととなった。

本研究は、御笠川浄化センターの汚泥を用いて処理実験を実施して基礎データを収集し、本技術のシステムとしての適用性の評価および検討を行うとともに、本技術で得られた乾燥汚泥の資源化に関する検討を行うことを目的としたものである。

本研究は、平成8年度、1ヵ年新技術活用モデル事業として福岡県と財団法人下水道新技術推進機構が共同で実施したものである。

## 2. 研究内容

油温減圧式乾燥技術は、脱水汚泥を媒体油と混合加熱し、油温減圧式乾燥装置で減圧しながら加熱・乾燥させた後、遠心分離器により汚泥と油に分離するものである。図-1に実験に用いた装置の処理フローを示す。

平成8年度、ほぼ1年間を通じた乾燥・資源化実験を行い、各種成分分析等から、本技術のシステムの評価およびセメント資源化、肥料化条件の検討を行い、運転諸元、設計諸元について検討した。

本研究の主な研究内容は以下の通りである。

### (1) 実験調査内容

- ① 油温減圧式乾燥実験
  - a. 汚泥性状実験
  - b. 臭気調査
  - c. 排水調査
- ② 乾燥汚泥の資源化調査
  - a. セメント資源化実験
  - b. 特殊肥料としての有害物質および成分調査

### (2) 検討内容

- ① 油温減圧式乾燥技術の評価
- ② セメント資源化に関する検討
- ③ 油温減圧式乾燥技術の経済性の評価
- ④ 運転諸元、設計諸元の検討

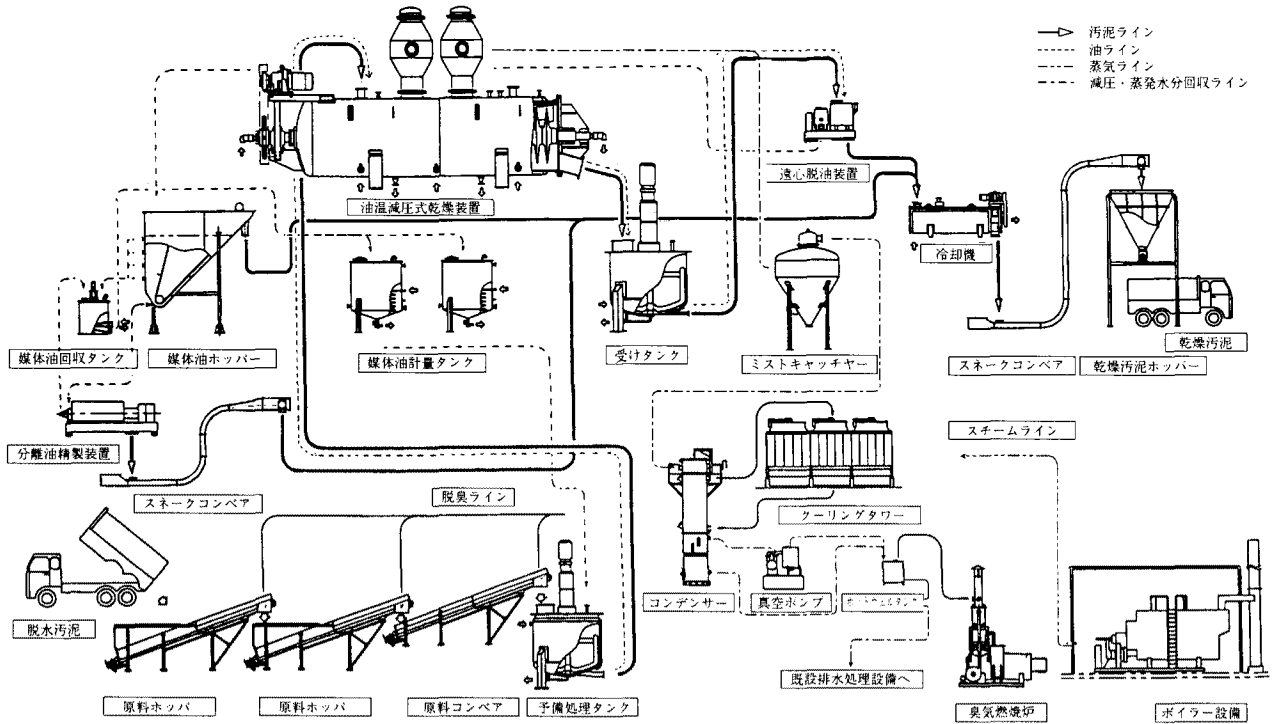


図-1 実験装置処理フロー

### 3. 研究成果

#### 3.1 汚泥性状実験

##### 3.1.1 条件変更による乾燥汚泥性状変化

御笠川浄化センターの混合脱水汚泥（初沈消化汚泥と余剰汚泥の混合）を用い、油の混合比、乾燥時間、遠心分離器の脱油条件を表-1のように変えて運転し、乾燥汚泥の経済性やハンドリングに影響を与える油分および含水率を調べた。

この結果、油の混合比および乾燥時間の大小、また、スラリー供給量、遠心分離器のメッシュの大小による乾燥汚泥の油分、含水率の違いは認められなかった。

ただし、分離器へのスラリー供給量、分離器の回転数は乾燥汚泥の油分に影響を与えるので所定の数値に決め、基本運転諸元として表-2のように決定した。なお、

表-1 運転条件

Run	脱水汚泥		汚泥：油 ( )は 油/汚泥	乾燥時間	脱油条件			運転条件
	量 t/バッチ	質			スラリー 供給量 m <sup>3</sup> /分	メッシュ 幅 mm	回転数 rpm	
1	5	混合	5:3 (0.6)	絶乾まで	0.026	0.1	2,700	初期運転
2	〃	〃	〃	〃	0.037	〃	〃	脱油条件変更
3	〃	〃	〃	〃	0.022	〃	〃	〃
4	〃	〃	〃	短い(60分)	0.026	〃	〃	乾燥条件変更
5	〃	〃	〃	長い(80分)	〃	〃	〃	〃
6	〃	〃	〃	絶乾まで	〃	0.2	〃	脱油条件変更
7	〃	〃	〃	〃	〃	0.3	〃	〃
8	〃	〃	〃	〃	〃	0.1	2,860	〃
9	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2,560	〃
10	〃	〃	5:2.5 (0.5)	〃	〃	〃	2,700	混合比率変更
11	〃	〃	5:3.5 (0.7)	〃	〃	〃	〃	〃
12	4	〃	4:4 (1.0)	〃	〃	〃	〃	〃
13	5	〃	5:3 (0.6)	〃	0.022	0.1	2,100	脱油条件変更
14	〃	〃	〃	〃	0.055	〃	〃	〃
15	〃	〃	〃	〃	0.060	〃	〃	〃
16	〃	〃	〃	〃	0.100	〃	〃	〃
17	〃	〃	〃	〃	0.022	〃	2,400	〃
18	〃	〃	〃	〃	0.055	〃	〃	〃
19	〃	〃	〃	〃	0.060	〃	〃	基本運転
20	〃	〃	〃	〃	0.100	〃	〃	脱油条件変更
21	〃	〃	〃	〃	0.022	〃	800	〃
22	〃	未消化	2:2 (1.0)	〃	0.060	〃	2,400	脱水汚泥変更
23	〃	消化	5:3 (0.6)	〃	〃	〃	〃	〃

\* Run13以下は大型の脱油装置に変更  
〃は上と同一を表す

処理時間の短縮を意図として、乾燥開始は汚泥が乾燥装置へ移送されると同時に減圧を開始するものとした。

表-2 基本運転条件

装置および処理工程	基本運転諸元	
脱水汚泥搬入量	5t/バッチ (3バッチ/日で15t/日)	
ボイラー	5,000kg/hrにて一定	
真空ポンプ	6m <sup>3</sup> /分にて一定	
予備処理	原料コンベア 媒体油投入量	一定運転 (50Aにて約20分) 3m <sup>3</sup> (汚泥5tに対して) オイル計量タンク2基 (A, B) からバッチ毎に交互に使用し、不足分を補充する
	予備処理時間	以下の2条件を満たした時点で終了 攪拌: 電流15Aまで低下し、安定するまで 加熱: 80~90℃
乾燥	乾燥装置への移送	予備処理終了後直ちに開始 (最大減圧にて約30分) 移送終了は乾燥装置の内圧が0mmHg
	乾燥装置 乾燥開始時期	移送前内温: 120~140℃ 移送終了後、直ちに加熱と同時に減圧開始 蒸気の供給: 一定供給 真空ポンプ: 一定減圧 (バルブ全開)
	乾燥時間 (終了タイミング)	内温とガス温が逆転した時点 (約100℃にて終了)
受けタンク	乾燥終了後直ちに移送	
脱油	脱油開始時期	移送終了後直ちに開始
	スラリーポンプ 遠心分離装置	供給量: 0.06m <sup>3</sup> /分 (0.022~0.11m <sup>3</sup> /分で調節可能) 処理量: 固形物としてMAX2,000kg/hr (供給量0.06m <sup>3</sup> /分では約700kg/hr) 回転数: 2,400rpm (1,300G) メッシュ: 0.1
冷却	冷却装置	乾燥汚泥の温度を約40℃以下にして、ポッパへ貯留する

\* は実験により選定した運転条件  
脱油条件については新規の遠心分離装置の運転開始初期に選定実験を行い (脱油条件変更実験) を決定した。

### 3.1.2 汚泥詳細実験

#### (1) 各種汚泥処理実験

御笠川浄化センターの混合汚泥、同浄化センターの消化汚泥、多々良川浄化センターおよび宝満川浄化センターの未消化汚泥について実験を行った。実験結果を表-3に示す。

脱水汚泥の含水率は2カ所の未消化汚泥が76%, 御笠川浄化センターの混合汚泥、消化汚泥は82%, 79%とほぼ同等であった。強熱減量は、未消化、混合、消化と汚泥の消化の程度が進むにつれて、87%から、66%と減っており、妥当な数値を示した。

乾燥汚泥については、汚泥の種類による含水率、強熱減量、乾燥時間に目立った相違はみられなかった。ただし、油分は混合汚泥が27%と最も低く、消化汚泥は未消化汚泥より同等かやや低いという結果となった。結論として原料汚泥の消化の程度による乾燥汚

泥の性状の違いは本実験では明確には現れなかった。

表-3 各種汚泥処理実験結果

	脱水汚泥		乾燥汚泥				実験数 (回)
	含水率 (%)	強熱減量 (%)	含水率 (%)	強熱減量 (%)	油分 (%)	乾燥時間 (%)	
御笠川・混合汚泥	82	71	4	81	27	70	152
御笠川・消化汚泥	79	66	3	79	36	46	8
多々良川・未消化汚泥	76	77	3	-	36	65	5
宝満川・未消化汚泥	76	87	1	-	43	77	6

#### (2) その他の実験

脱水汚泥と処理後の乾燥汚泥について、SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Cl, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の組成分析を行った結果、含有量の大きな変化は見られず、本処理によって主な組成の変動はないものと考えられる。

また、乾燥前後の重金属、Cr, Zn, Cd, Pb, Cu, Hg, Asも組成成分と同様、乾燥による含有量の変化は見受けられない。

さらに乾燥汚泥の溶出試験を行い、埋め立て基準に係る判定基準値および土壌の汚染に係る環境基準値と比較した。その結果、埋め立ての基準値は、いずれの項目についても低濃度であり、基準値を下回ったが、土壌の環境基準については、PbとT-CNが一部基準値を上回る結果となった。

### 3.2 臭気調査

#### 3.2.1 乾燥装置周辺およびセメント工場ストックヤード周辺の臭気調査

乾燥装置周辺およびストックヤード周辺での臭気調査結果においては悪臭規制物質であるアンモニア、アセトアルデヒド、ノルマル酪酸等が検出されているものの、その濃度は低く、福岡県における悪臭防止対策の規制基準値以下であった。

しかし、乾燥汚泥には30%程度の廃食油が含まれており、油特有の臭いが強いことから、乾燥汚泥から発する臭気に含まれている原因成分を定量的に同定することとした。

#### 3.2.2 乾燥汚泥の臭気調査

乾燥汚泥を200ℓの容器に入れ、室内に開放状態で放置し、容器中の汚泥臭気を、0日、1日、7日、14日、35日と経日的にサンプリングし、悪臭規制物質22項目について臭気の測定を行った。その結果、7日目と14日目に臭気濃度のピークが見られ、7日目ではイソ吉

草酸、イソブタノール、14日目ではノルマルブチルアルデヒド、ノルマルバレルアルデヒド、イソバレルアルデヒド等のアルデヒド類の臭気強度が高いことが分かった。

また、他の物質の臭気強度が3~4の間にあるものの、上記3つのアルデヒド類は臭気強度5を上回っており、これらが本乾燥汚泥特有の臭気の原因となっていると考えられる。

### 3.2.3 臭気に対する設備の改善策

臭気の問題としては、油温減圧式乾燥汚泥特有の油の臭気が対象となり、これ自体の臭気を低下させることは難しいことから、設備面での対応が現在のところ最善であるといえる。したがって、これらの改善策として設備の密閉構造化が現実的な方策である。これについては作業者が直接汚泥と接する箇所である乾燥装置、汚泥ホッパー、凝縮水冷却塔のみを建屋に入れるのが費用面、維持管理面から有利といえる。

## 3.3 排水対策

本実験装置において蒸発した水分は凝縮水として排出されるが、この水質は有機物等の濃度が比較的高く、その処理が問題となる。したがって、その水質、水量を測定し、対応策を検討した。

### 3.3.1 排水調査

採水場所はホットウェルタンクの入り口で、排水時間中のコンポジットサンプリングを行った。排水性状を表-4に示す。

これらから、BOD、COD、T-N、n-ヘキサン抽出物が高いことが分かる。

### 3.3.2 排水による水処理系への影響

排水を水処理系へ戻した時の影響を調査するため、宗像処理場の流入水、最初沈殿池の流入水および流出水、処理水の水質を測定した。調査時期は平成8年4月から12月まで約9ヵ月間で、この間、処理水質に与える影響は見られなかった。

また、排水が水処理施設に与える負荷を概算すると、BOD負荷量およびT-N負荷量はそれぞれ流入負荷量の約2%であり、本測定結果からも影響の度合いが少ないことが裏付けられた。通常の場合、排水量は処理場の流入量に比較して少ないため、このように希釈効果が期待できると考えられる。

表-4 排水性状

項目	内容
外 観	粘性低く、やや刺激臭有り、黒灰色の微細浮遊物含む
pH	9.0~9.7 (弱アルカリ性)
SS	10~30mg/ℓ
BOD	1,600~4,200mg/ℓ
COD	240~1,200mg/ℓ
T-N	530~1,600mg/ℓ
T-P	0.2mg/ℓ 以下
n-ヘキサン抽出物	10~300mg/ℓ
重金属	Pb, Hg低濃度、他は検出下限値以下
水量	日排出量7~9m <sup>3</sup> /日 (約4m <sup>3</sup> /原汚泥5t)

## 3.4 セメント資源化

乾燥汚泥のセメント製造における助燃材としての適用性を検討した。乾燥汚泥の発熱量は5,000~5,500kcal/kg (サンプル数6)、平均5,170kcal/kg (原料である脱水汚泥は3,350kcal/kg)であった。ただし、助燃材として使用する際の問題点は乾燥汚泥の発熱量とセメント中のリン酸および塩素イオンの含有量である。発熱量が高すぎると炉を傷める危険性があり、また、セメント中にリン含有量が多いと、コンクリートの強度低下、凝結速度の低下等が生じるといわれている。そこでセメント工場において乾燥汚泥量を増加させた実験を行い、セメント製品の品質、操作上の問題点を整理した。

### 3.4.1 乾燥汚泥投入量増加実験

通常の投入量は2t/日であるが、キルン内の温度変化等、運転状況に異常がないことを確認しながら、最大24t/日まで増加させた。この結果、Aセメント工場での現有施設としては1.0t/hrの投入は十分に可能であることがわかった。

### 3.4.2 セメント性能実験

- ① セメント主成分の変化は乾燥汚泥の投入量を増加させても見受けられなかった。
- ② リン酸濃度は投入開始より徐々に増加し、わずかながら乾燥汚泥の影響がみられたが、塩素イオンは変化がみられなかった。いずれにしろ製品に影響を与える濃度ではなかった。
- ③ 供試体による圧縮強度、曲げ強度は投入量増加とともにやや低下し、また、凝結時間はやや長くなる傾向がみられたが規格の範囲内であ

った。

したがって、最終的なセメント製品としての品質には特に影響を与えなかった。

### 3.5 肥効成分分析

本乾燥汚泥を特殊肥料として有効利用するためには、肥料取締法の規制を受けることになり、法に定められた基準に適合するよう適正な品質管理を行わなければならない。本調査では乾燥汚泥について特殊肥料の有害物質許容限度の定めのある12項目および肥効成分について分析し、肥料としての利用の可能性を検討した。

#### 3.5.1 分析結果

肥料取締法基準値および汚泥肥料の推奨基準値と比較すると溶出試験結果および含有量については各項目とも基準値を下回っており、特に問題はなかった。ただし、推奨基準項目の炭素濃度（C）に比べ、窒素分（N）が低いため、CN比（C/N）が規準の10を越える結果となった。

#### 3.5.2 肥料利用に関する検討

CN比が12となっているが、これは油分に由来する炭素分が多いため、今後単独で肥料として利用するためには、油分を下げるか、または他の肥料とのブレンドによる使用が考えられる。

### 3.6 経済性の検討

本技術を焼却、溶融と経済比較した。条件としては建設費、維持管理費等の費用算出は脱水工程以降とし、施設規模は60t/日とした。

建設費、維持管理費および建設費を各設備の償却年数により年間経費に換算し、維持管理費と合計した総合維持管理費をそれぞれ算出し、それらの比較を図2～4に示す。

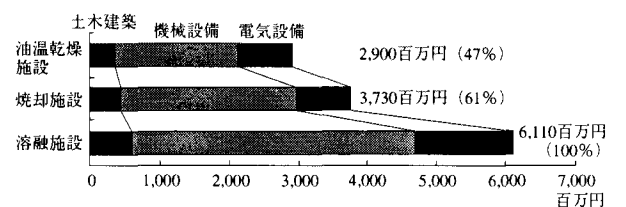


図2 建設費の比較

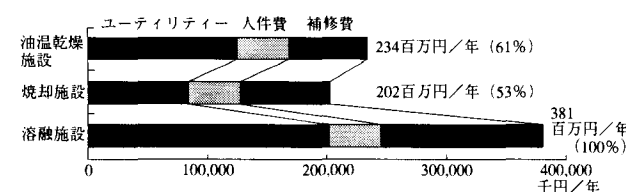
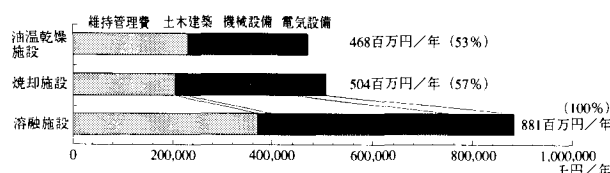


図3 維持管理費の比較



注) 図2～4はいずれも、60t/日、24h運転。

図4 総合維持管理費の比較

建設費の比較では油温乾燥設備は焼却設備の78%であるが、維持管理費は116%と高くなった。総合維持管理費では油温減圧式乾燥施設は、焼却施設の93%、溶融施設の53%となった。

なお、乾燥汚泥受け入れ先がセメント工場なのかあるいは肥料なのか等によって受け入れ費用が異なり、総費用が大きく変わってくることは言うまでもない。

### 3.7 設計上および維持管理上の留意事項

油温減圧式乾燥設備を御笠川浄化センターへ設置する場合の設計上の留意点をまとめた。その主な点は以下の通りである。

- (1) 原料汚泥は消化脱水汚泥とし、媒体油は動植物廃油とする。
- (2) 原料汚泥性状の種類によって乾燥汚泥性状に違いがみられ、今後、御笠川浄化センターで対象となる消化汚泥の場合、含水率1～6%、油分30～40%である。
- (3) 運転操作は自動運転を基本とし、遠隔操作が可能な設備とする。
- (4) 原料汚泥と媒体油の混合比率は、消化汚泥で1：0.6～0.8を標準とする。
- (5) 臭気には十分な対策が必要で、特に乾燥装置内の真空ラインからの排気は脱臭が必要である。また、乾燥汚泥はアルデヒド類の臭気が発生するので周辺環境によって脱臭対策が必要である。
- (6) 乾燥汚泥はセメント製造における助燃材あるいは肥料として利用することができる。
- (7) 乾燥汚泥の貯留はダンプトラック等による搬出が容易にできるよう屋根付のホッパー方式とする。また、本乾燥汚泥は油分の高い有機物であるので、酸化や発酵等により汚泥の内部温度が上昇する可能性があるため、長時間、多量の堆積を避けることが望ましい。
- (8) 本施設からは有機分および窒素分を多く含んだ排水が発生するので、水処理施設への負荷を検討する必要がある。また、排水の温度が高く、蒸発しやすい成分が含まれていることから、返送管のルー

ト、マンホール、開口部等からの臭気発生に留意する必要がある。

- (9) 本装置の運転・維持管理上の留意事項を以下に示す。
- ① 原料の脱水汚泥性状は、媒体油の混合比率や乾燥汚泥の性状に大きな影響を与えるので、含水率、強熱減量、乾燥汚泥では油分を毎日測定する。
  - ② 乾燥装置は減圧によって汚泥移動を行っているため、配管、容器等の破損には十分注意を払う。
  - ③ 点検の際は高温となっている箇所（予備処理タンク、乾燥装置周辺）や酸欠状態となる可能性のある箇所（ホッパー、オイルタンク等）に十分注意する。
  - ④ 乾燥装置は第二種圧力容器の場合、法令点検の義務はないが、1年に1回程度の点検および容器内の清掃を行うことが望ましい。

## 4. まとめ

- (1) 油温減圧式乾燥実験について今回の実験において、原料となる脱水汚泥の種類、運転条件を変えて

実験を行い、これらによる乾燥汚泥の性状を概ね把握することができた。

臭気調査では、臭気成分と濃度から、対策を検討し、排水調査では、御笠川浄化センターにおいて、水処理施設への返流が処理水水質へ影響を与えないことが分かった。

- (2) 資源化調査乾燥汚泥の持つ発熱量あるいは含有成分から、セメント製造における助燃剤として、また、肥効成分分析から肥料として利用できることが分かった。
- (3) 経済性の評価  
油温減圧式乾燥設備と焼却設備および溶融設備との経済比較を行った。総合維持管理費では油温設備は焼却設備よりやや安価という結果となったが、乾燥汚泥の受け入れ費用によって経済性は大きく変わってくる。
- (4) 設計上および維持管理上の留意事項の検討  
油温減圧式乾燥設備を御笠川浄化センターへ設置する場合の設計上の留意点をまとめた。

本調査研究では油温減圧式乾燥技術を実験装置を用いて約1年実験を行った。今後は御笠川浄化センターへ設置される実証設備において本技術の性能評価が必要である。

---

●この研究に関する問い合わせは

研究第一部長	山根	昭
研究第一部主任研究員	関根	富明
研究第一部主任研究員	井上	茂治