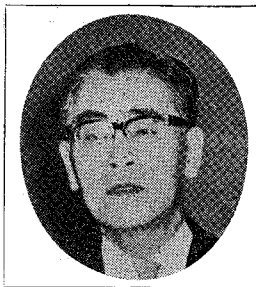


## 下水汚泥の処理・処分の現状と問題点

寺 島 重 雄\*



<講演する寺島博士>

### 1. はしがき

下水汚泥は1次または2次沈殿池の下水から分離した固形物であり、その処理と処分は、汚泥の含水量が大であるのでその量が多いこと、有機物の含有量が大であるので腐敗性が強いな

どの理由で、もっとも厄介な仕事になっている。

下水汚泥の処理・処分の目的は次の通りである。

- ① 有機物を比較的安定な物質に分解すること、
- ② 水分を除いて容積を減少させること、
- ③ 病原菌を消滅あるいは制御すること、
- ④ 運転費を軽減するため汚泥ガスなどの副産物を利用すること。

わが国では、今後、下水道の整備とともに、下水汚泥の発生量も莫大な量に達し、その汚泥の性質もしだいに処理・処分が困難になる傾向にあるので、これが対策を確立する必要があると思われる。

幸い、建設省が土木学会に委託して、この問題について調査研究することになったので、その調査資料を借用して、その一端について触れることにする。

### 2. 下水汚泥の処理・処分および利用法

汚泥の処理・処分および利用法には次のものがある。

- ① 汚泥の濃縮（重力法、浮上法、遠心分離法）
- ② 乾燥床
- ③ ラグーン
- ④ 汚泥の消化（嫌気性、好気性）
- ⑤ 汚泥の調整（水洗、凝集、熱処理）
- ⑥ 汚泥の機械脱水（真空濾過、加圧濾過、遠心分離）

\*正会員 工博 北海道大学教授 工学部衛生工学科

- ⑦ 汚泥の加熱乾燥
- ⑧ 汚泥の燃焼（多段炉、フラッシュドライヤー、流動床噴霧法、湿式酸化法）
- ⑨ 汚泥の地上、地下処分（埋立、ラグーン、廃坑）
- ⑩ 汚泥の海洋処分（管路輸送、はしけ運搬）
- ⑪ 汚泥の利用（汚泥ガス、土壤改良材、堆肥、飼料）  
これらの選択には次の諸点を考慮すべきである。
- ⑫ 用地
- ⑬ 気 候
- ⑭ 下水処理方法とその規模
- ⑮ 汚泥の性質（生汚泥、消化汚泥）
- ⑯ 建設費と維持費
- ⑰ 土壤改良材などの利用の可能性
- ⑱ 海洋処分の可否
- ⑲ 住宅地域との接近度（大気汚染、臭気）

表-1 下水汚泥の処理・処分方法

記号	処 理 方 法	箇所数	処 分 方 法				計	
			海洋	埋立	土改	その他		
①	無 処 理	8	1	3	—	4	8	
②	乾 燥 床	7		7		1	8	
③	脱 水 機	9		8	2		10	
④	脱 水 機—焼 却	2			2		2	
⑤	好 気 性 消 化	8	1	1		6	8	
⑥	好 気 消 化—乾 燥 床	4		4			4	
⑦	好 気 消 化—脱 水 機	5		5			5	
⑧	嫌 気 性 消 化	6	3	1		2	6	
⑨	嫌 気 消 化—乾 燥 床	25	1	18	7	4	30	
⑩	嫌 気 消 化—脱 水 機	53	3	41	19	5	68	
⑪	嫌 気 消 化—脱 水—焼 却	8		7	2		9	
計			135	9	95	32	22	158

わが国における下水汚泥の処理・処分の現状は表-1の通りである。昭和 42 年度現在で、下水処理場の総数 142 のうち、なんらかの汚泥処理を行なっているのは 127 である。嫌気性消化を行なうもの 92 ヶ所 (74%)、そのうち嫌気性消化-機械脱水を行なうもの 53 ヶ所 (45%) で、総汚泥量の 85% に達する。好気性消化を行なうものは小規模のものに限られている。

汚泥の処分方法は、埋立が95ヵ所(62%)、土壌改良材などに利用するもの32ヵ所(20%)、海洋処分9ヵ所(6%)となっている。その他は場内埋立、他の処理場への移送、ラグーンである。

豊橋市では下水汚泥をし尿とともに消化槽に入れ、消化汚泥を脱水後、加熱乾燥して土壌改良材として販売しているが、需要に追いつけぬ状況である。

横浜市では、湿式酸化法をも採用して運転しているが、運転技術もむずかしく、有機物の分解も十分でないといわれている。札幌市では生汚泥を消化せずに脱水して焼却法を採用しているが、汚泥の調整に費用がかかるようである。

大都市およびその周辺都市では、埋立処分には限界があり、今後の下水汚泥の処理・処分対策として、下水汚泥を多段炉や回転炉で焼却して、その灰をそのまま、あるいは加工して道路の路盤材料、アスファルトコンクリートのフィラー、れんが、軽量骨材にする研究を大阪市と川崎市で行なっている。

東京都では、将来に備え、下水汚泥を管路または船舶によって輸送して海洋処分することの可否を検討している。

汚泥発生量は表-2に示す通り、2300万m<sup>3</sup>/年で、処理下水量24億m<sup>3</sup>/年の約1%にあたる。しかも、その割合が活性汚泥法による場合に大きい。これは、大規模下水道がこの方法を採用していることと、合流式下水道でもあるので、汚水のみならず雨水の流入に伴う浮遊物を相当量含んでいるものと考えられるからである。

一般に、下水汚泥の発生量は次の式で算定される。

汚泥量(m<sup>3</sup>/日) = 1日平均汚水量(m<sup>3</sup>/日)

$$\times \frac{\text{下水中のSS(ppm)}}{1000000} \\ \times \frac{100}{100 - \text{含水率}(\%)} \times \text{SSの除去率}$$

東京都の実績では、処理下水量3600万m<sup>3</sup>/月(100%)に対し、発生汚泥量359000m<sup>3</sup>/月(0.98%)、濃縮汚泥量107000m<sup>3</sup>/月(0.3%)、消化汚泥量53000m<sup>3</sup>/月(0.14%)、脱水汚泥量4500m<sup>3</sup>/月(0.012%)で、含水率はそれぞれ98%、93%、95%、73%となっている。

アメリカでは、嫌気性消化-乾燥床がもっとも普及している。臨海都市では嫌気性消化を行なって、管路輸送による埋立地域が海洋に処分するのがもっとも安い方法となっている。これに次ぐのが、はしけ運搬による処分

表-2 下水処理方法別の汚泥発生量

区 分	活性汚泥	散水濾床	簡易処理その他	計
下水処理場数	84	36	22	142
処理人口(1000人)A	8379	1663	1210	10752
下水量(100万m <sup>3</sup> /年)B	1987	179	205	2371
汚泥量(1000m <sup>3</sup> /年)C	21223	736	968	22927
汚水量(m <sup>3</sup> /人/年)B/A	237	154	169	221
汚泥量(m <sup>3</sup> /人/年)C/A	2.53	0.13	0.14	2.13
汚泥量(%)C/B	1.07	0.41	0.47	0.97

表-3 処理方法別の経済比較

項 目 処理方法	汚泥量(m <sup>3</sup> /日)		維持費 (1000円/m <sup>3</sup> /年)	償却費 (1000円/m <sup>3</sup> /年)	経 費 (1000円/m <sup>3</sup> /年)
	処理前	処理後			
濃 縮 - 脱 水	10	0.5	150	43	193
	1000	50.0	47	4	51
濃 縮 - 嫌 消 - 乾 燥	10	0.1	28	56	84
	100	1.0	8	18	26
嫌 消 - 脱 水	10	0.5	180	110	290
	100	5.0	58	38	96
	1000	50.0	20	12	32
	10	0.2	200	87	287
濃 縮 - 嫌 消 - 脱 水	100	2.0	57	28	85
	1000	20.0	24	9	33
濃 縮 - 脱 水 - 焼 却	1000	6.0	62	7	69
濃 縮 - 嫌 消 - 脱 水 - 焼 却	100	0.6	74	33	107
	1000	6.0	41	11	52

である。乾燥汚泥の販売は特別のところを除いてはうまく行なわれていないようである。

傾向としては、地価と労務費の高騰から機械脱水を採用する都市が増加し、汚泥焼却法も急速に普及しつつあること、大規模の処理場では嫌気性消化せずに生汚泥の焼却に変わりつつある。機械脱水では、真空濾過から遠心分離にかわり、汚泥の調整では無機剤からポリマーにかわりつつある。小規模処理場では、液状消化汚泥の地上処分が普及しつつある。臨海都市では全般的に消化汚泥の海洋処分が考慮されており、一般的に汚泥の堆肥化は減少している。

### 3. 下水汚泥の処理・処分経費

汚泥処理施設が下水処理場の建設費に占める割合は17~60%であり、減価償却費と維持費の割合は脱水まで行なう処理方法では1:2~3となっている。わが国における経費の一部を示したものが表-3である。一般的な処理方法である濃縮-嫌気性消化-機械脱水の例では、10m<sup>3</sup>/日の規模で287000円/m<sup>3</sup>/年、100m<sup>3</sup>/日の規模で85000円/m<sup>3</sup>/年、1000m<sup>3</sup>/日の規模で33000円/m<sup>3</sup>/年となっている。

イギリスとアメリカの例を参考にあげれば表-4~6の通りである。

表一4 イギリス住宅・自治省による経済比較

汚泥の処理・処分方法	円/固形物・t
生混合汚泥のラグーン	1100
消化混合汚泥の液状散布	2900
生・1次汚泥のはしけによる海洋投棄	3100
消化混合汚泥の乾燥床(含水率 65%)	3200
液状生汚泥の埋立	3700
生混合汚泥の乾燥床(含水率 65%)	3700
生・1次汚泥の加圧濾過(含水率 60%)	4100
2次汚泥の加圧濾過と加熱乾燥	6900
消化混合汚泥の乾燥床(含水率 15%)と造粒・袋詰め	8030
生・1次汚泥からのグリース回収	11500
消化1次汚泥の加圧濾過・加熱乾燥(含水率 35%)と造粒・ばら売り	12000

表一5 ボルチモア, ワシントン, フィラデルフィアによる経済比較

処 分 法 方	円/固形物・t	
	範 囲	平 均
加 熱 乾 燥		18000
湿 式 燃 焼	14 000 ~ 20 000	15 000
多段炉・流動床炉での焼却	4 000 ~ 18 000	11 000
脱 水 汚 泥 の 埋 立	4 000 ~ 18 000	9 000
土 壤 改 良 材 (脱 水 汚 泥)	4 000 ~ 18 000	9 000
土 壤 改 良 材 (液 状 汚 泥)	8 000 ~ 18 000	5 500
ラ グ ー ン	2 000 ~ 9 000	4 500
はしけによる海洋投棄	2 000 ~ 9 000	4 500
管路による海中放流		4 000

注: ① 消化, 脱水などの準備費を含む。  
 ② 土壤改良材は売却収入を差引かない費用である。

表一6 ボルチモア, ワシントン, フィラデルフィアによる経済比較

処 理 方 法	円/固形物・t	
	範 囲	平 均
濃 縮 重 力 法	600 ~ 1 800	—
濃 縮 浮 上 法	2 200 ~ 5 500	—
濃 縮 遠 心 分 離 法	1 100 ~ 7 300	—
脱 水 真 空 濾 過 法	2 900 ~ 18 000	5 500
脱 水 遠 心 分 離 法	1 800 ~ 13 000	4 400
脱 水 乾 燥 床	1 100 ~ 7 300	—
嫌 気 性 消 化	1 400 ~ 6 600	—
水 洗	700 ~ 1 800	—
ラ グ ー ン 処 理	400 ~ 1 800	700
埋 立	400 ~ 1 800	—
管 路 輸 送	—	1 800

汚泥の処理・処分は地域的な状況が影響するので、ある都市では最良の方法であっても他の都市ではそうであるとは限らない。処理経費も天候, 物理的環境, 美観, 処理系統の複雑さとその効率, 汚泥の特性, 立地上や運転上の因子が影響する。これらの経済比較も特定地域の特定状況下のもとで算出させたものであるという限界があり, 算出過程や表現方法に統一性を欠くこともあるので, 参考にとどめるべきである。

わが国での実績は, 建設省の定めた様式に従い, 単価, 積算方法に基準をおいて集計されたものであるが, 各都市の独特の作業報告から換算して記入されていることと, 下水量, 汚泥量にはかなりの推定値が含まれてお

り, しかも含水率の測定が, 必ずしも正確を期し得られないこと, また施設が設計値どおりに量質とも運転されていないこともあり, 経費の算定にも相当の開きが出ているものと想像される。また処理費と処分費をそれぞれ調査して, 全体としての経費を比較する必要がある。

#### 4. 下水汚泥の処分と利用の問題点

##### (1) 下水汚泥の海洋処分

島国でしかも臨海都市の多いわが国では, 下水汚泥を海洋処分することができれば, 経済的な方法となる。東京都では昭和 48 年には下水量は 515 万 m<sup>3</sup>/日に達する予定であるから, 汚泥量はその 1% として 51 500 m<sup>3</sup>/日, 濃縮汚泥量で 20 000 m<sup>3</sup>/日, 脱水汚泥量にして 2 000 m<sup>3</sup>/日, 焼却灰にしても 350 m<sup>3</sup>/日となり, これに対する埋立用地の取得が困難であり, 交通事情からも運搬が不可能と考えられ, 100 km 遠方の海域に処分することの可否について検討している。

しかしながら, 下水の放流, し尿の海域処分が無計画に行なわれ, 水質汚濁の原因となり, 問題を生じた先例からみても十分な調査研究を重ねてから実行に移す必要がある。

##### a) 輸送方法

管路または船舶, 路線の選定, 建設, 維持, 安全性, 中継ポンプ場, 船舶の構造, 容量, 数, 積み込みと投棄の方法, 岸壁, 航路, 貯留施設。

##### b) 汚泥の性状

液状, 脱水, 焼却, 消化の必要性。

##### c) 水棲生物におよぼす影響

病原菌, 寄生虫卵, 汚泥の種類とその性状との関係, 飼料源。

##### d) 処分点の選定

潮流, 水深, 希釈, 拡散, 沈降。

##### e) 経 費

##### (2) 土壤改良材あるいは飼料としての利用

下水汚泥は窒素, 燐, 加里の含有量は少ないから化学肥料とは比較にならないが, 有機資材としての効果は農業関係者にも認識されはじめているから, 中小都市で周辺にこれを利用できる農地があれば, 農業試験場の協力を得て, 有効利用をはかりながら汚泥の処分法として積極的に検討すべきである。

- ㊸ 土壤改良材としての効用, 作物の種類, 施用量
- ㊹ 製品としての均一性, 肥効分, 含水率, 寄生虫卵の消滅度, 阻害物質の有無
- ㊺ 汚泥施用の機械化

④ 汚泥の性状（消化の必要性、液状、脱水、乾燥の程度）

◎ 加工費と売価

水産生物またはその飼料生物などの飼料としての適否は水産試験場との協同研究によらねばならない。

（3）骨材、フィラーとしての利用

海洋処分や土壌改良材、飼料としての利用には、重金属その他の毒物が流入する工業地域の下水処理場の汚泥については応用できないから、これらは焼却して路盤材料、骨材として検討すべきである。

## 5. 下水汚泥処理の問題点

下水汚泥処理方法には単位施設の組合せによって幾多の方法が存在する。これらの施設それぞれに改善を要する点があり、その組合せにも十分な検討を要する問題点がある。

（1）下水と固形物の分離法の改良 沈殿池、活性汚泥の凝集沈殿性、1次沈殿池におけるポリマーの使用。

（2）濃縮法の改良 機械脱水を行なわないでも焼却ができる程度のものが理想的である。

（3）嫌気性消化法の改良 安定性のある方法、濃度の小なる脱離液がでるもの、合成洗剤の影響、寄生虫卵の減少、高温消化の研究。

（4）機械脱水法の改良 簡単に効果のある機械脱水法の開発、凝集剤の開発、熱処理による汚泥調整法。

（5）燃焼法の開発 噴霧法、湿式酸化法の検討、

スクリーンかす、うきかす、などの燃焼もあわせ考慮すること。

（6）濃縮槽と消化槽の脱離液、濾液、分離液、水洗した液などの分離処理する方法 これらの脱離液が生物処理施設に返送されると、微細な固形物で過負荷となり、これが全体の処理効率を低下させ、ひいては放流水の水質を悪化させる。

（7）汚泥の特性 生汚泥、消化汚泥、脱水汚泥などの物理的、化学的、生物的特性を解明する。

（8）防臭、大気汚染の防止

（9）管理の科学的手法の開発 操作人の経験とか個々の工夫によって運転されている現状を改良するため計測方法の改良と整備。

## 6. むすび

狭い国土で、しかも量が増加してくる下水汚泥の処理・処分には、立地条件に応じ、経済性はもちろん管理の容易な方策を、公害防止を考慮して確立しなければならない。

このためには、公共団体が協力して、地域全体の汚泥の処理・処分を検討すべきである。

また、下水汚泥の処理を簡単にするために、濃縮、消化、水洗、凝集、脱水、焼却などの処理段階の数をなるべく少なくする必要がある。そのうえ、労力費の占める割合が大きいから、労力の有効利用のはかれる処理方法の設計も大切である。

## 土木学会誌“合本ファイル”

土木学会誌を整理していただくために合本ファイル販売しております。1ファイルで半年分（6冊）とじることができます。ご希望の会員は代金に送料を添えお申込み下さい。下記のとおりなるべく一括した方が送料が安くなります。

記

体裁 B5判・薄グリーン・クロス装、ピン挿入式  
（株・テッサーの製造による）

定価 150円

送料 1部 100円 17部まで 200円  
8部まで 160円 26部まで 240円

申込先 土木学会（東京都新宿区四谷1丁目  
・振替東京 16828）

