

中小都市における下水汚泥処理 ・利用システムに関する調査

1. はじめに

中小都市における下水処理施設の建設が進む中で、そこで発生する下水汚泥の処理処分の方法が大きな課題となっている。中小規模の下水処理施設は大規模下水処理施設と同様の、多数の維持管理技術者を確保する事は困難であり、汚泥発生量が少ないので汚泥の有効利用を図る事も難しい。この為、いくつかの処理場の汚泥を集めて、一ヶ所で処理する集約処理が必要となっている。

汚泥の処理法や有効利用方法には種々のものがあるが、これらは主として大都市の処理場向けに開発されてきた技術であるため、エネルギーを大量に消費したり、維持管理に高度な技術を要するものも含まれており、中小市町村の汚泥処理・有効利用システムにそのまま採用することには、エネルギー消費面、維持管理面において、技術的問題が多い。

本調査は、中小都市の汚泥処理システムに関して、最終的には有効利用を行うことを前提に、経済性、エネルギー回収等の面から最適なシステムを開発するための必要な技術的課題の抽出整理を行う事を目的とした。調査検討に当たり、技術的課題の抽出をより具体的なものとするため、モデルケースを用いて、種々の処理方式についてケーススタディーを行い、経済性、維持管理、省エネルギー性等の評価を行った。

本調査は、建設省土木研究所が（財）下水道新技術推進機構に委託し調査を行った内容の報告である。

2. 調査内容

2.1 調査の方法

中小都市のモデルとして、I県の3市町村を選定し、汚泥処理・利用システムのケーススタディーを行い、この検討結果から、汚泥の集約処理に関する中小都市での技術的課題の抽出・整理を行った。

2.2 モデルケースの調査フロー

モデル市町村を対象に、各々単独で汚泥処理・利用を行う場合と、汚泥を集約し嫌気性消化により有機物のエネルギー回収を行う場合で、経済性、省エネルギー性の面から、集約処理の効果が現れるために必要とされる汚泥量の検討を行う。また、汚泥の集約処理に伴い、汚泥処理からの返流負荷が集約基地に集中することによる水処理施設からの放流水質に与える影響について検討する。

調査のフローを図1に示す。

2.3 前提条件の整理

2.3.1 対象処理場

モデルとした処理場は、I県西部に位置する隣接したK市、S町、G村の3市町村の下水を処理する処理場である。

2.3.2 対象輸送・処理システム

汚泥の輸送・処理システムは汚泥の輸送形態（濃縮汚泥・脱水汚泥）や輸送汚泥量、輸送距離、地形条件等により大きく左右される。本調査では、発生

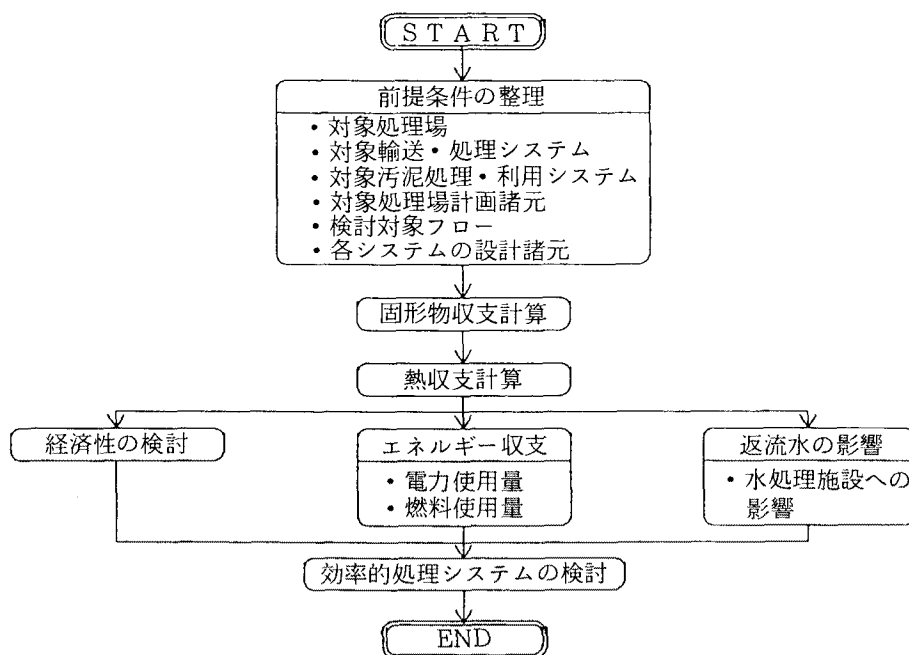


図-1 モデルケースの調査フロー

汚泥量が比較的多いことから濃縮汚泥のタンクローリー輸送方式と引抜汚泥の管路輸送を対象とした。

2.3.3 対象汚泥処理・利用システム

対象とする汚泥の処理・利用システムとして、濃縮方法（重力濃縮・遠心濃縮）と、嫌気性消化工程の有無との組み合わせで数種類のシステムを設定した。濃縮工程については、単独汚泥処理の場合には重力濃縮とし、集約汚泥処理の場合には、汚泥輸送に伴う濃縮性の悪化が懸念されることから機械濃縮（遠心濃縮）を採用するものとした。

嫌気性消化工程は、重力濃縮した比較的低濃度の汚泥を中温消化する従来法と、機械濃縮した比較的高濃度の汚泥を高温消化する高効率消化法との2方法について検討した。高効率消化法は、消化槽容積の減少、熱効率の向上、返流水の減少、建設費の低減等を図ることができるため、経済性の検討やエネルギー収支の検討に際しては、これらの相違点を考慮した。

汚泥の有効利用方法は、郊外型都市という地域特性を考慮し、乾燥汚泥を緑農地還元する方式とした。

乾燥熱源には嫌気性消化工程で発生する消化ガスを用い、乾燥設備から排熱を利用して消化槽を加熱する方式とした。なお、発生エネルギーが不足する場合と汚泥消化工程を用いないケースについては、補助燃料を使用するものとした。

2.3.4 対象処理場の計画諸元

(1) 計画流入水量

対象処理場の計画流入水量は「I県広域汚泥処

理に関する調査」等に基づき【現状】，【過渡期】，【最終】の3段階に分け表1に示すとおり設定した。

表-1 流入水質及び総合除去率

項目	K 浄化 センター	S 水処理 センター	G 環境 浄化 センター	計
計画処理 処理水量 (m ³ /日)	現状 8,000	4,000	1,300	13,300
	過渡期 40,000	20,000	4,000	64,000
	最終 80,000	80,000	8,000	168,000
各処理場間の距離				

(2) 各処理場間距離

集約処理する場合の集約処理基地は、処理水量が最大であるK浄化センターとした。各処理場間の距離は、K-S間5.3km、K-G間10.0kmである。

(3) 計画流入水質及び水処理総合除去率

計画流入水質、水処理施設での総合SS除去率等については、最近の

下水処理場の処理実績（平成6年版 下水道施設設計指針と解説（案）改訂時のアンケート調査による処理実績値）を基に表2のように設定した。

表-2 対象処理場の計画諸元

水質 項目	流入水質 (mg/l)	総合 除去率 (%)
SS	150	97
BOD	170	96
COD	85	90
T-N	30	55
T-P	4.0	80

2.3.5 検討対象フロー

汚泥の輸送システムと処理・利用システムに着目して、検討対象フローを抽出し、表3及び表4に示す8ケースの検討対象フローを設定した。

表-3 検討対象フロー

ケース別	単独集約別		消化有無		輸送形態	汚泥処理利用フロー					
	単独	集約	有	無		濃縮	脱水	乾燥	濃縮	脱水	乾燥
ケース1	○			○		○					
ケース2	○		○	○		G	○	K	S	○	
ケース3		○		○	タンクローリー						
ケース4		○		○	送泥管		●				
ケース5		○	○		タンクローリー					○	
ケース6		○	○		送泥管					●	
ケース7		○	○		送泥管					●	
ケース8		○	○		タンクローリー送泥管併用					●	

注：汚泥処理・利用フローの項目で●印は、濃縮工程で遠心濃縮を採用するもの。

表-4 検討汚泥処理・利用システム(1)

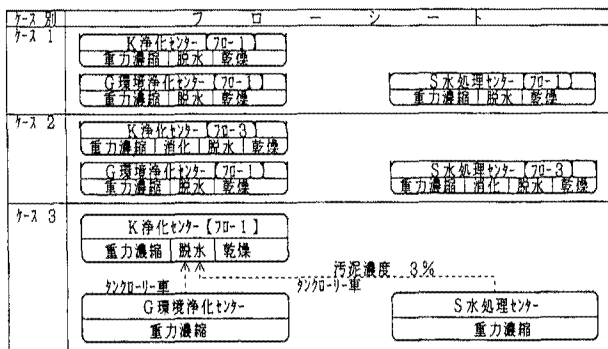
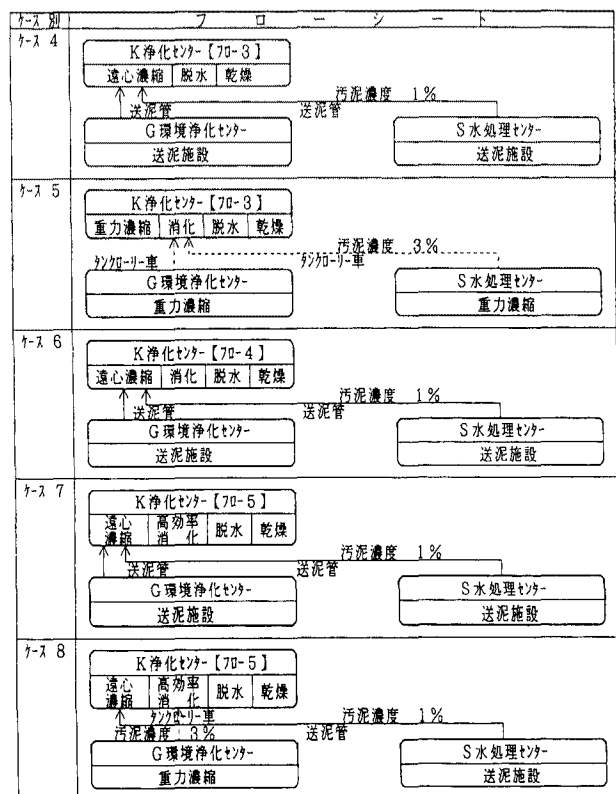


表-4 検討汚泥処理・利用システム(2)



2.3.6 各システムの設計諸元

(1) 汚泥性状等

検討に用いる汚泥の含水率・固形物回収率等の設計諸元は、「下水道施設設計指針と解説」(日本下水道協会, 1984年版)や文献値等を基に設定した。

(2) 各設備条件

濃縮設備, 消化設備, 脱水設備, 乾燥設備等に関する各設備の設計条件は, 各種設計基準, 設計指針値等に基づき設定した。

乾燥設備は汚泥を緑農地還元するため, 汚泥の水分を20%程度まで乾燥させるものとした。

2.3.7 ケース別固形物収支計算

収支計算の条件に基づき, ケース別に固形物に関する収支計算を行い, 主要な施設に係わる計画汚泥量及び固形物量を算出した。なお, 収支計算に当たっては計算結果に与える影響の少ない, ろ布洗浄水等は計算に取り込まなかった。

2.3.8 費用比較の考え方

費用は, 「下水汚泥処理総合計画策定マニュアル」(平成3年, 日本下水道協会)に示されている費用関数を基に算出した。

乾燥機については, マニュアルに費用関数がないことから, 「汚泥嫌気性消化の省エネルギー効果に関する調査」(平成6年3月, 建設省土木研究所)に示されている費用関数を採用した。

マニュアルの費用関数式は, 汚泥処理系の発生汚泥量を基準量としていることから, 高効率消化法(高温高濃度消化法)等については, マニュアルの費用関数をそのまま採用することはできないため, 発生汚泥量に補正率を乗じるものとした。

2.3.9 エネルギー収支の検討方法

(1) 消費電力量の算出方法

各汚泥処理工程別の消費電力量は, 処理汚泥量(固形物量)に文献値に基づく汚泥量(固形物量)当たりの消費電力量を乗じて求めた。

(2) 熱収支計算方法

燃料には消化ガスを優先的に使用するものとし, 消化槽の加温には乾燥排ガスクラバー温排水及び消化ガスを利用することとした。

また, 乾燥設備に関して, 含水率20%まで乾燥するために必要な重油使用量についても算出した。

2.3.10 汚泥の集約処理が放流水の水質に与える影響

(1) 検討内容

汚泥の集約処理が各処理場の放流水の水質に与える影響について検討を行う。

汚泥の集約処理は、どのような形態をとっても、単独処理の場合と比較して、汚泥の集約先での汚泥処理プロセスから水処理系へ返送される返流水負荷が増加することになる。大量の汚濁負荷がそのまま水処理施設へ返送された場合、汚濁負荷量が水処理施設の処理能力を越えてしまい、結果的に放流水質の悪化を招く可能性が考えられる。

逆に、汚泥を送る側の集約元の水処理施設では、返流水負荷が低減される分、水処理施設の負荷が削減されるため、放流水質の向上が期待できる。

本項では、汚泥の集約処理が放流水の水質に与える影響について、集約先と集約元を含めた総合的な見地から検討を行うこととした。

(2) 返流水質の設定

各汚泥処理プロセス（遠心濃縮、脱水、乾燥）ごとの返流水のBOD、COD、T-N、T-Pの値は、文献値を基に設定値を決定した。

SSについては物質収支計算結果より得られる各汚泥処理プロセスごとの水質とした。

(3) 計算方法

各水質項目毎の放流水質は、処理場流入負荷量に各汚泥処理施設から返送される返流水負荷を加えた水処理施設への総流入負荷量が、水処理施設において、同程度（同じ除去率）に除去されるものとして放流水質を算出した。

3. 調査結果のまとめ

「汚泥処理・利用システムの調査・課題」では、I県西部の3市町村をモデルとして選定し、経済性、省エネルギー性、返流負荷集中の影響等の観点から比較を行い、以下の結論を得た。

3.1 経済性

(1) 濃縮・脱水の処理も含めた輸送システム全体の費用としては、G環境浄化センターからは濃縮汚泥（3%）をタンクローリー車により輸送し、S水処理センターからは引抜汚泥（1%）を管路輸送する案が最も割安であった。

(2) K浄化センターで汚泥を集約処理し、「遠心濃縮→高効率消化→脱水→乾燥→緑農地還元」する案（ケース7、8）が、輸送及び処理のトータル費用で最も割安であった。

3.2 エネルギー収支

(1) 各ケース別に汚泥処理プロセスで使用する消費電力、消化ガス量、重油使用量等を1次エネルギー

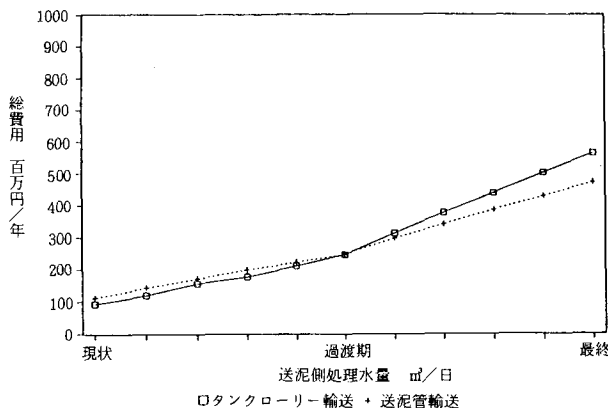


図-2 汚泥輸送に係わる費用比較結果（S-K間）

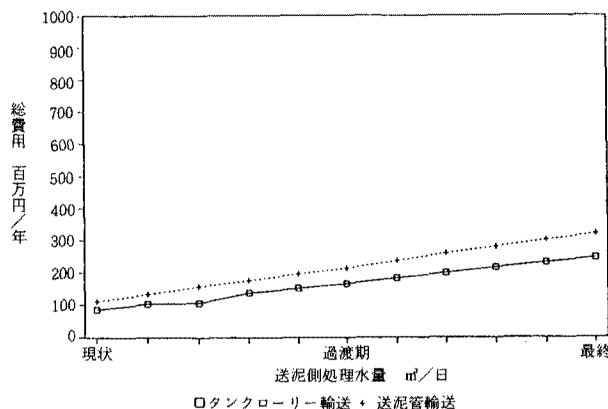


図-3 汚泥輸送に係わる費用比較結果（G-K間）

表-5 汚泥輸送・処理システムの費用比較結果

	ケース別費用 (百万円/年)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
現状	230	256	161	198	161	209	204	184	
過渡期	469	418	417	421	410	413	396	375	
最終計	865	837	980	818	905	745	704	697	
内訳	輸送	0	0	278	80	278	80	80	71
	濃縮	47	47	48	131	48	129	129	131
	消化	0	186	0	0	140	127	127	127
	脱水	407	287	330	316	216	207	185	185
	電気乾燥	91	91	42	41	41	41	41	41

換算 (Kcal/日) して比較した結果、K浄化センターで汚泥を集約し、「遠心濃縮→(高濃度)消化→脱水→乾燥→緑農地還元」する案（ケース6、7、8）が最も省エネルギー効果が高かった。

(2) 消化工程を導入した時に、総消費エネルギーのうち消化ガスとして回収できるエネルギー量の割合は、単独処理の場合が約58%であるのに対し集約処理の場合には70%を越える回収率となり、

集約処理によりエネルギー回収率を高めることが可能なことが確かめられた。

3.3 汚泥集約による逆流負荷増加による放流水質への影響

- (1) 集約処理場 (K) における返流水による負荷の増加と処理水質の悪化は、送泥側処理場 (S, G) の返流水負荷の軽減と相殺され、地域全体としての放流負荷はほとんど変わらない。
- (2) 集約処理場 (K) において返流水処理と高度処理を行えば 送泥側処理場 (S, G) で特に高度処理を行わなくても、地域全体としての放流負荷が削減できる。

表-6 各ケース別放流水質計算結果 (最終計画)

水質	処理場	ケース別放流水質 (mg/l)							
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8
BOD	K	8.2	8.2	8.2	9.6	8.2	9.5	9.5	9.4
	S	8.2	8.2	8.2	6.8	8.2	6.8	6.8	6.8
	G	8.3	8.3	8.1	6.8	8.1	6.8	6.8	8.1
SS	K	5.6	5.5	5.9	6.1	5.6	5.8	5.8	5.7
	S	5.6	5.5	5.2	4.5	5.2	4.5	4.5	4.5
	G	5.6	5.6	5.2	4.5	5.2	4.5	4.5	5.2
COD	K	12.1	12.0	12.1	11.1	12.1	11.1	11.1	11.0
	S	12.1	12.0	11.9	8.5	11.9	8.5	8.5	8.5
	G	12.0	12.0	11.9	8.5	11.9	8.5	8.5	11.9
T-N	K	16.9	17.9	17.5	18.3	19.6	19.2	19.1	19.0
	S	16.9	17.9	16.2	13.5	16.2	13.5	13.5	13.5
	G	16.9	16.9	16.3	13.5	16.3	13.5	13.5	16.3
T-P	K	1.2	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2
	S	1.2	1.2	1.1	0.8	1.1	0.8	0.8	0.8
	G	1.1	1.1	1.1	0.8	1.1	0.8	0.8	1.1

4. 汚泥の集約処理に関する技術的課題

汚泥処理に関する従来技術を基本として、ケーススタディを行った。この中で、中小規模の処理施設に適した技術が開発されれば、さらに効率的な汚泥

集約処理が可能となる可能性があり、これら多くの課題の中から抽出整理を行い、重要と思われるものについて以下に示す。

(1) 安価な汚泥管路輸送方法

従来技術の管路輸送システムでは、管径が小さい場合には、管路の建設費は管径にはほとんど影響されず、輸送距離だけで決定される。管路輸送費の低減を図るためには、中小都市の設置環境に合わせた安価な管材材料、施工方法を用いる技術の確立が望まれる。

(2) 簡易な汚泥濃縮システム

汚泥の腐敗を起こさない濃縮方法と輸送方法の開発が必要である。

(3) 高効率嫌気性消化システム

エネルギー回収と緑農地還元を目的とした衛生的安全性を達成するための消化方法の開発が必要である。また、高温消化法では、エネルギー効率を高めるため、効率的攪拌方法、保温効果の高い保温方法等の開発が必要である。

(4) 返流水負荷低減技術

汚泥濃度を高めて処理することにより脱離液は小量で高濃度の廃液となるので、廃液燃焼法などの小量高濃度廃液に適した処理方式を適用する研究・開発が必要である。

(5) 乾燥システム

ボイラー技師が不要であるなど、維持管理の容易な乾燥システムの開発が必要である。また、緑農地還元のため、病原菌、寄生虫等にたいする衛生的安全性、雑草種子、緑農地還元後の腐敗速度等の農学的安全性、悪臭、取扱いなどの散布のための取扱い上の問題点を考慮する必要があるが、これらの点に関する検証が十分でないので今後の調査研究が必要である。

● この調査に関する問い合わせは

建設省土木研究所下水道部

汚泥研究室長

渡部 春樹

研究員

松原 誠

(財) 下水道新技術推進機構

研究第一部長

佐藤 和明

研究第一部主任研究員

伊藤 久明

研究第一研究員

深尾 忠司