

下水汚泥消化タンクの改築・修繕 に関する研究

1. 研究目的

下水汚泥消化は、汚泥の減量化および安定化を図るとともに汚泥から発生するメタンを用いてエネルギーに転換できるプロセスであり、また、実績も多く有することから地域全体のバイオマスの効率的な利活用を進める上で、有効な技術である。

消化タンクは、厳しい環境下で運転されており、安定性能を維持するためには定期的な改築・修繕が必要となる。また、消化タンクは予備系統を有しないことが多いため短時間で改築・修繕を完了する必要がある。しかしながら、現状では消化タンクの改築・修繕の実施にともなう留意点や施工手順は明確にされていない。

本研究は、下水汚泥を対象とした嫌気性消化タンクの改築・修繕にともなう調査・診断、計画、設計、施工などに係わる技術的事項や手順を技術資料として取りまとめることを目的とする。

2. 研究体制

本研究は、(財)下水道新技術推進機構、アタカ大機(株)、(株)石垣、荏原環境エンジニアリング(株)、(株)クボタ、JFE エンジニアリング(株)、(株)西原環境テクノロジー、月島機械(株)、(株)NGK水環境システムズ、(株)日立プラントテクノロジー、三菱化工機(株)の計11者で実施した。

3. 研究内容

3.1 適用範囲

本研究は、嫌気性消化タンクを対象として、調査・診断、計画、設計、施工、消化タンクの機能維持を行う場合に適用する。

図表のデータは、消化タンクを有する自治体へのアンケート結果と参加メーカーの実績をもとに作成した。

改築・修繕の流れを図-1に示す。

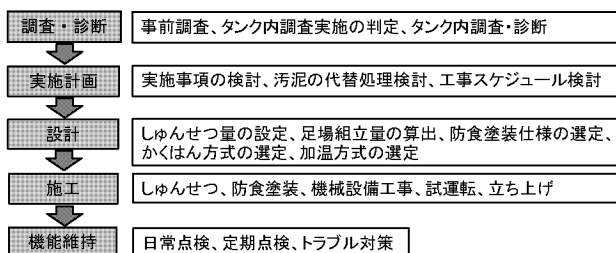


図-1 改築・修繕の流れ

3.2 調査・診断

消化タンク施設の調査は、事前調査によって概略状況を把握したのちにタンク内調査および診断を実施する。

消化タンク内の調査にあたっては、消化運転を休止し、タンク内のしゅんせつが必要となる。このため、消化タンク内の調査の実施を①タンク内の異常の有無、②稼動年数の2点で判定する。タンク内に異常がない場合でも稼動年数が10年を超えない時

期にタンク内の調査を実施する。

各自治体へのアンケート結果によるしゅんせつ間隔を図-2に示す。しゅんせつは、前回のしゅんせつからおおよそ10年以内実施することが多く、しゅんせつ後にはタンク内の調査が行われている。

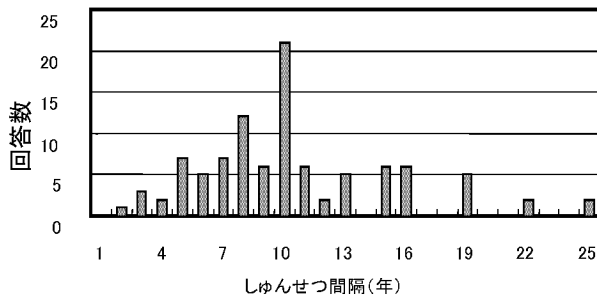


図-2 しゅんせつ間隔

3.3 改築・修繕計画

消化タンクの改築・修繕は、長い期間を必要とすることから効率的に工事を行うための改築・修繕計画を、以下の手順で策定する。

- ①実施事項の検討
- ②工事期間中の濃縮汚泥の処理
- ③スケジュールの検討

3.3.1 実施事項の検討

消化タンクの改築・修繕の項目は、大別するとしゅんせつ後に行う防食塗装工事、かくはん装置工事、加温装置工事の3つがあり、タンクの診断結果により実施事項を決定する。

3.3.2 工事期間中の濃縮汚泥の処理

消化タンクの改築修繕工事期間中は、工事対象消化タンクが休止となるため、濃縮汚泥の代替処理方法は、次の3方法から選択する。

- ①工事対象外タンクに投入
- ②既設脱水設備で処理
- ③既設脱水設備と仮設脱水設備の併用

3.3.3 スケジュールの検討

消化タンクの改築・修繕に関連する各工程の工事日数および全体工事日数を算出する。以下に各作業の日数の目安（消化タンク1槽当たりの日数）を示す。

(1) しゅんせつ工事日数

しゅんせつにおける作業項目に対する日数の目安を表-1に示す。

(2) 防食塗装工事日数

防食塗装工事における作業項目に対する日数の目安を表-2に示す。

表-1 しゅんせつにおける作業項目に対する日数の目安

作業項目	実稼働日数(日)
①仮設準備	30
②消化ガスの発生停止	15
③タンク内窒素置換, ガスドーム等の取り外し	5
④タンク内残存汚泥の脱水	20
⑤側壁マンホール取り外し, タンク内換気	3
⑥スカムおよび砂のしゅんせつ	A
⑦タンク内清掃・点検	3
合計日数	76+A

注) しゅんせつの日数(A)は、10^{m3} ダンパー車3台で産業廃棄物処分先までに1日2往復で処理量60^{m3}/日を運搬すると仮定。(端数は1日とする)処理量の決定は、3.4項の設計による。
日数(A日)=(スカム量+砂量)÷60 ^{m3}/日

表-2 防食塗装工事における作業項目に対する日数の目安

作業項目	実稼働日数(日)
①タンク内足場組立	B
②既設防食塗装の事前調査	2
③防食塗装	C
④完了検査	10
合計日数	12+B+C

注) 日数(B)および(C)は、表-3、表-4に示す日数を用いる。

表-3 足場組立の日数(B)の目安

タンク容量 (m ³)	1000	2000	4000	6000
足場組立日数(日)	6	10	22	33

注) 4人/日で作業した場合の日数を示す。

表-4 タンク内防食塗装(C)の日数の目安

タンク容量 (m ³)	1000	2000	4000	6000
防食塗装日数(日)	24	34	50	66

注) ・7人(世話役1人+作業員6人)/日で作業した場合の日数を示す。
・食塗装の工法は、塗布型ライニング工法によるものとする。

(3) 機械設備工事の工事日数検討

機械設備工事における作業項目に対する日数の目安を表-5に示す。

表-5 機械設備工事における作業項目に対する日数の目安

作業項目	実働稼働日数 (日)
①既設機器, 配管, 基礎の撤去	10
②新設機器, 配管, 基礎の設置	75
③タンク内足場の解体・撤去	D
合計	85+D

注) 日数 (D) は, 表-6に示す日数より算出する。

表-6 足場解体の日数 (D) の目安

タンク容量 (m ³)	1000	2000	4000	6000
足場解体日数(日)	4	7	15	23

注) 4人/日で作業した場合の日数を示す。

(4) 全体工事日数

しゅんせつ, 防食塗装工事, 機械設備工事を実施する場合の工事日数を例として示す。

1) 検討条件

- ・消化タンク容量 : 4,000m³
- ・スカムしゅんせつ量 : 300m³
- ・砂しゅんせつ量 : 760m³

2) 全体工事日数

全体工事日数を表-7に示す。現場施工で約1年間必要となる。

表-7 全体工事日数

工事項目	実稼働日数(日)
①しゅんせつ	94
②防食塗装工事	84
③機械設備工事	100
④試運転	14
合計日数	292

3.4 設計

消化タンクの改築・修繕を行う際の設計は, ①しゅんせつ量の設定, ②防食塗装仕様の選定, ③消化タンク内足場の算出, ④かくはん方式の選定, ⑤加温方式の選定の手順で行う。

3.4.1 しゅんせつ量の設定

しゅんせつ量は, しゅんせつ実績がある場合は前回実績のしゅんせつ量をもとに決定できるが, 実績

のない場合は, アンケート結果より検証した次に示すしゅんせつ量を標準とする。

(1) スカムのしゅんせつ量

消化タンク容量とスカムのしゅんせつ量の関係を図-3に示す。

これよりスカムのしゅんせつ量は, 消化タンク容量の10%程度かつ最大300m³程度と設定する。

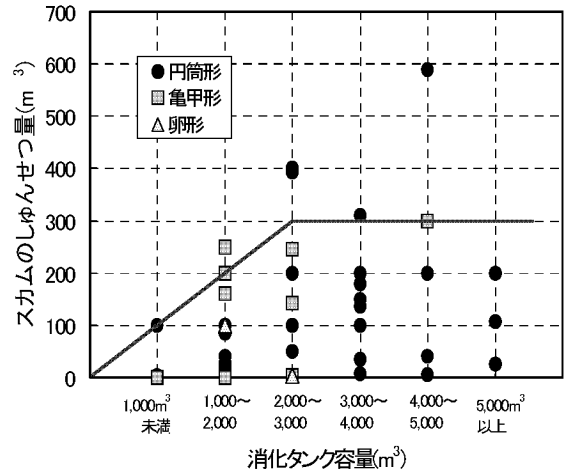


図-3 消化タンク容量とスカムのしゅんせつ量の関係

(2) 砂のしゅんせつ量

かくはん方式および濃縮汚泥濃度と砂のしゅんせつ量比率の関係を図-4に示す。

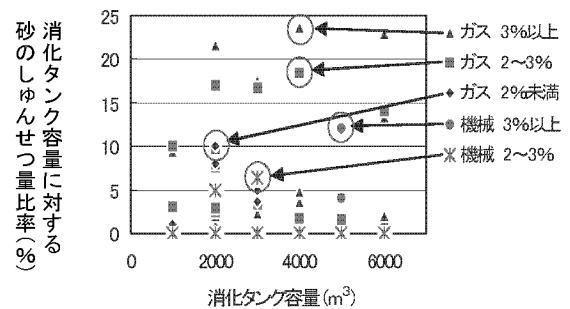


図-4 かくはん方式および濃縮汚泥濃度と砂のしゅんせつ量比率の関係

かくはん方式および濃縮汚泥濃度ごとの砂のしゅんせつ量比率の最大値をみると, ガスカくはん方式が大きく, 機械かくはん方式が小さくなる傾向にある。また, しゅんせつ量比率の最大値は, 濃縮汚泥濃度が高いほど大きくなる。

かくはん方式および濃縮汚泥濃度ごとの砂のしゅんせつ量比率にはバラツキが見られ, 妥当な値を設定することは困難であるため, それぞれの分類にお

ける最大値をしゅんせつ量の目安とする。砂のしゅんせつ量の目安を表-8に示す。

表-8 砂のしゅんせつ量の目安

単位：消化タンク容量に対する比率(%)

濃縮汚泥濃度	2%未満	2~3%	3%以上
ガスかくはん方式	10	19	24
機械かくはん方式	—	7	12

3.4.2 防食塗装仕様の選定

消化タンクの防食塗装の仕様は、「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術および防食技術指針・同マニュアル平成14年版」(日本下水道事業団)に基づき、気相部をD1種、液相部をA種とする。

3.4.3 消化タンク内足場の算出

防食塗装および機器の改築・修繕を行う場合は、タンク内の空間部全てに仮設足場を組み立て、タンク底部で足場を固定する。足場数量の単位は空m³とし、消化タンクと同じ容量とする。防食塗装および機器の改築・修繕を行う場合の足場例を図-5に示す。

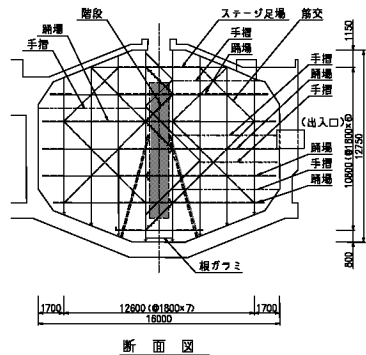
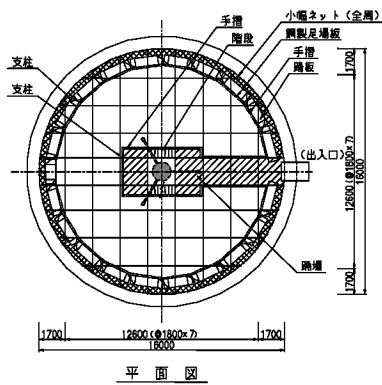


図-5 防食塗装および機器の改築・修繕を行う場合の足場例

3.4.4 かくはん方式の選定

躯体状況や経済性等を考慮し、かくはん方式を選定する。かくはん方式は、ガスかくはん式と機械かくはん式に大別される。

(1) ガスかくはん方式

ガスかくはん方式は、ガスドームから吸引した消化ガスをガスかくはんブロワによって加圧して、タンク内に設置した吹込み管で底部付近にガスを吹込み、エアリフト効果によって汚泥をかくはんするものである。ガスかくはん方式の概略図を図-6に示す。

ガスかくはんの特徴は、①消化タンク内に可動部がないので故障が少ない、②機械濃縮の導入等による濃縮濃度の上昇にともない、かくはん力に影響が出やすい、③機械かくはん方式に比べ設備費が安価になる傾向がある、である。

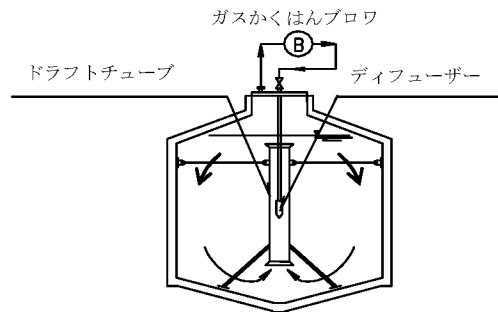


図-7 機械かくはん方式の概略図

(2) 機械かくはん方式

機械かくはん方式は、スクリーやプロペラによって、タンク内をかくはんするものである。

種類として、ドラフトチューブを用いるスクリー式かくはん機と水中プロペラ式かくはん機、ドラフトチューブを用いないインペラ式かくはん機がある。機械かくはん方式の概略図を図-7に示す。

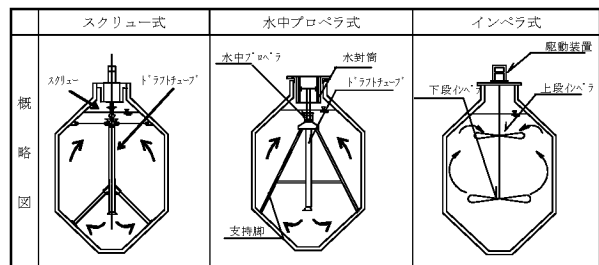


図-7 機械かくはん方式の概略図

以下にスクリー式、水中プロペラ式、インペラ式かくはん機の特徴を示す。

- ①スクリー式かくはん機
 - ・消化タンク頂部に設置するスクリー式かくはん機と消化タンク中央部に設置するドラフトチューブから構成される
 - ・スカム層が形成しにくい
 - ・消化タンク頂部にかかる荷重が大きい
- ②水中プロペラ式かくはん機
 - ・消化タンク頂部に荷重がかからないため、ガスかくはん方式から変更しやすい
 - ・砂の堆積防止効果がある
 - ・スカム層が形成しにくい
- ③インペラ式かくはん機
 - ・大型のかくはん羽根を比較的低速で回転させることで、消化タンク内全体をかくはんする
 - ・低速回転のため、動力は比較的小さい

(3) かくはん方式の比較

消化タンク内の流動シミュレーションを行い、機械かくはん方式とガスかくはん方式のかくはん状況を比較した。シミュレーション条件を表-9に、シミュレーション結果を図-8に示す。流速は、黒→灰→白の順に速いことを示す。

表-9 シミュレーション計算条件

シミュレーションソフト		FLUENT
消化タンク	形状	円筒形
	容量	2000m ³
	寸法	径φ16.2m 水深10.7m
汚泥性状	粘度	200cP(汚泥濃度3%に相当)
	比重	1.05
ガスかくはんブロウ	能力	5.0m ³ /分 18.5kW
	運転方法	上向流
機械かくはん水中プロペラ式	能力	667m ³ /時 5.6kW (Max1200m ³ /時)
	かくはん回数	8回/日
	運転方法	下向流

機械かくはん方式は、かくはん領域が広範囲であり、タンク中心部から壁に沿って上昇流が生じ汚泥や砂が堆積しにくい。他方、ガスかくはんはタンク上部の液面付近では流速が速くなるが、タンク中央部から底部における流速が0.05m/秒以下であり、汚泥や砂の堆積が予想される。

機械かくはん方式の動力と、ガスかくはんのブロウ動力を比較した結果を表-10に示す。機械かくはんは、ガスかくはんと比較して動力が1/10~1/3

程度になり、効率の良いかくはん方式であることがわかる。

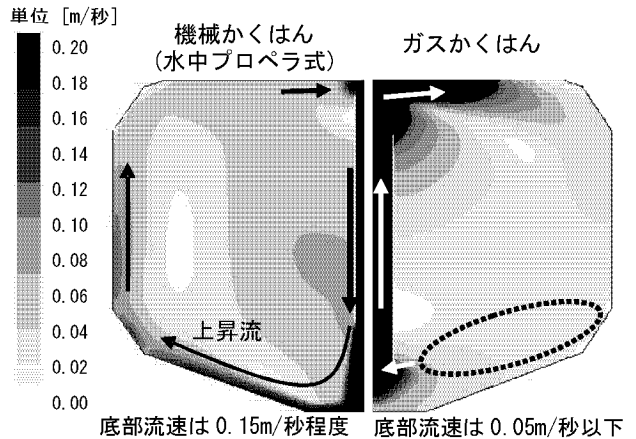


図-8 シミュレーション結果

表-10 ガスかくはんブロウと機械かくはんの電動機の動力比較

	ガスかくはん	機械かくはん		
		スクリー式	水中プロペラ式	インペラ式
電動機(kW)	37	18.5	10.0	3.7

(比較条件)

- ・消化タンク容量：4,000m³
- ・消化タンク形状：亀甲形
- ・ガスかくはん強度：0.45m³/分・m
- ・給電周波数：50Hz

(4) 機械かくはん方式への変更時の留意点

かくはん方式を機械かくはん方式へ変更するにあたっては、機械かくはん機を設置する既設消化タンクの躯体強度が、かくはん機の運転荷重に対して十分な強度を有することを確認する。

3.5 施工

施工計画の立案、全体施工手順を示すと共に、しゅんせつ、防食塗装工事、機械設備工事の施工手順を整理した。

試運転の手順および留意事項を以下に示す。

(1) 水漏れ試験

消化タンク内の通常運転範囲の最高水位まで処理水または砂ろ過水を注入した後、24時間放置し水位低下の有無を調べる。判定基準は、24時間後における水位低下量が5mm以下であることとする。

(2) 機器単体運転状況確認

機器の給油状態の確認を行った後、機器を単体で作動させ、回転方向の確認および異音、振動、発熱の確認を行う。

(3) 機器連動運転状況確認

機器を連動運転させて、動作状態の確認を行う。

(4) 安全弁作動試験

仮設空気圧縮機を用いて消化タンク内部を昇圧し、安全弁が設定圧力で作動することを確認する。

(5) 発泡試験

仮設空気圧縮機を用いて消化タンク内部を 4.5～5.0kPa に昇圧し、タンク内部と外部の差圧によって生じる気体の漏れを試験面に塗布した発泡液の泡の形状変化によって検知する。

(6) 気密試験

仮設空気圧縮機を用いて消化タンク内部を 4.5 kPa に昇圧し、4 時間後の圧力変動量を測定する。圧力の測定機器はマンメータとし、温度による圧力への影響を補正するために消化タンク内気相部の温度を同時に測定する。

判定基準は、4 時間後の消化タンク内部の圧力変動量が試験開始時の圧力の±10%以内であることとする。

(7) 窒素置換

気密試験が完了した後の消化タンクの気相部は空気であめられている。この状態で消化運転を開始すると空気と消化ガス中のメタンが混合し、爆発を起こす可能性がある。このため、酸素濃度が 10v/v% 以下になるまで窒素ガスを封入し、消化タンク内を窒素ガスで置換する。

(8) ガスホルダとの連通

酸素濃度が 10v/v% 以下であることを確認した後、ガスホルダとの接続バルブを開放する。

3.6 機能維持

消化タンクの機能維持を行うために、管理項目、日常点検、定期点検、トラブル項目と対策例を整理した。

4. 技術資料の構成

技術資料は、本編と資料編から構成される。各編の内容は以下のとおりである。

第1章 総則

第1節 目的

第2節 計画的な改築・修繕の必要性

第3節 適用範囲および対象施設

第2章 調査・診断

第1節 調査・診断の手順

第2節 調査計画の立案

第3節 調査

第4節 タンク内調査・診断

第3章 改築・修繕計画

第1節 改築・修繕計画の手順

第2節 実施事項の検討

第3節 工事期間中の濃縮汚泥の処理

第4節 スケジュールの検討

第4章 設計

第1節 設計の目的と手順

第2節 しゅんせつ量の設定

第3節 防食塗装仕様の選定

第4節 消化タンク内足場の算出

第5節 かくはん方式の選定

第6節 加温方式の選定

第5章 施工

第1節 施工計画の立案

第2節 全体施工手順

第3節 しゅんせつ

第4節 防食塗装工事

第5節 機械設備工事

第6節 試運転・消化立ち上げ

第7節 施工管理

第8節 安全対策

第6章 機能維持

第1節 管理項目

第2節 日常点検

第3節 定期点検

第4節 トラブル項目

資料編

1. 消化の原理

2. トレーサ試験方法

3. 消化タンク改築工事事例

4. タンク内窒素置換要領

5. 間接加温方式の容量計算例

6. 硫化水素の有害性に関する資料

7. 関連法規

8. アンケート調査結果

9. 問い合わせ先

5. まとめ

本研究において、嫌気性消化タンクの改築・修繕にともなう調査・診断、計画、設計、施工および機

能維持に係わる技術的事項や手順を整理した。本研究における研究成果は、「汚泥消化タンクの改築・修繕技術資料」として取りまとめている。今後、本技

術資料が下水汚泥消化タンクの改築・修繕事業を行っていく上での一助となれば幸いである。

●研究担当者

研究第二部長
研究第二部総括主任研究員
研究第二部総括主任研究員
研究第二部研究員

松浦 將行
目黒 享
関 一
山本 白

●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長
研究第二部副部長
研究第二部主任研究員
研究第二部主任研究員

松島 修
目黒 享
吉田 秀潔
三浦 明久