

# 旋回機構付プロペラ式水中攪拌装置 に関する研究

## 1. 研究の背景と目的

わが国の下水道処理人口普及率は、平成15年度末で66.7%であり、特に人口100万人以上の大都市では98%に達している。しかしながら、高度処理の処理人口普及率は、平成15年度末で12.2%であり、高度処理の普及が下水道事業の重要な施策の一つに挙げられている。

高度処理の処理方式としては、処理の経済性あるいは既存処理施設の有効利用という観点から、循環式硝化脱窒法、嫌気無酸素好気法および嫌気好気活性汚泥法が主流となっている。

これらの処理方式における嫌気タンク・無酸素タンクの攪拌装置には、水中攪拌式曝気装置が主に採用されているが、効率的な維持管理のため、装置台数の削減、消費動力の低減、装置質量の軽減が課題となっている。

本研究で対象とする旋回機構付プロペラ式水中攪拌装置（以降、本装置とする）は、軽量な水中ミキサーに旋回機構を付加した嫌気タンク・無酸素タンク用攪拌装置であり、従来機種と比較して、必要動力の低減、装置質量の軽減が期待できる。

本研究では、実タンク試験から得られたデータを基に、タンク形状、設置箇所別の攪拌動力密度をシミュレーションにより決定し、本装置の特徴、機能、経済性および維持管理性などを明確にした上で設計手法を確立するとともに、技術資料としてとりまとめて本技術の普及に資することを目的とした。

## 2. 研究体制

本研究は、財団法人下水道新技術推進機構と、以下の3社との共同研究体制により実施した。

- ・JFE エンジニアリング株式会社
- ・日立プラント建設株式会社
- ・前澤工業株式会社

## 3. 装置概要

### 3.1 攪拌イメージ

本装置による攪拌イメージを図-1に示す。本装置は、水中ミキサーを反応タンク内で往復旋回させることにより、水中ミキサーから発生する流れをタンクの全域に十分に作用させることができるため、固定式の場合と比較して1台で攪拌できる範囲が拡大できる。

### 3.2 構造

本装置の構造図を図-2に示す。

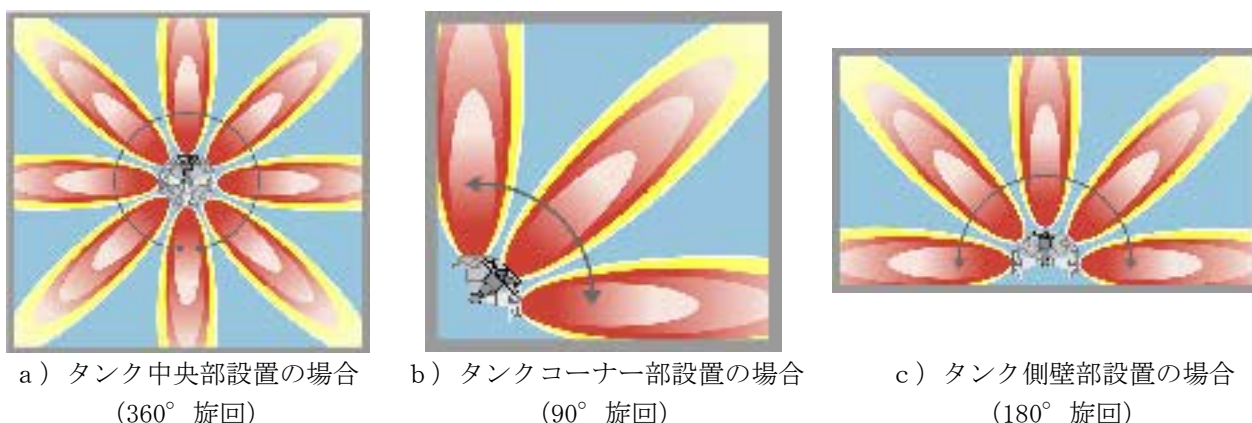
本装置で使用している水中ミキサーは、従来から汚水着水井や汚泥貯留タンクの攪拌用に採用実績のある水中ミキサーと同仕様のものであり、質量は約16~220kgと軽量である。

水中ミキサーの吊上支柱と平行に一体構造となった旋回支柱は、反応タンク長手方向中央の側壁部、または反応タンク中央部等に垂直に設置される。水中ミキサーは、吊上支柱をガイドとして容易に脱着が可能であり、運転中はタンク底部に位置する。水

中ミキサの旋回は、旋回駆動装置で旋回支柱を回転させることにより行われる。

なお、旋回角速度が0.2~4.0deg/sec と非常に低

速であることから、旋回駆動装置の動力は、0.2kW以下と非常に小さい。



a) タンク中央部設置の場合 (360° 旋回)

b) タンクコーナー部設置の場合 (90° 旋回)

c) タンク側壁部設置の場合 (180° 旋回)

図-1 本装置による攪拌イメージ

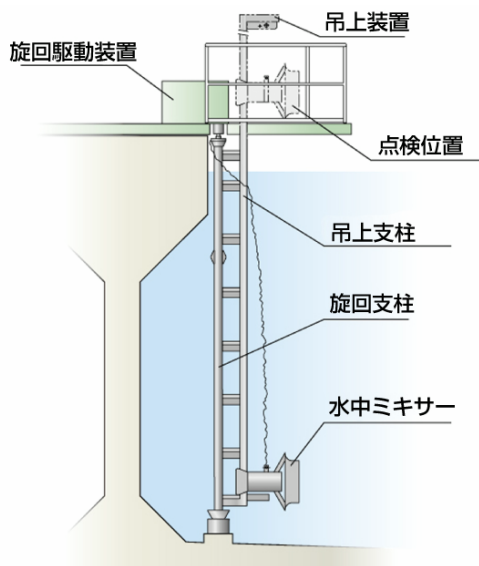


図-2 本装置の構造図

(測定機器；電磁式三次元流速計 (アレックス電子製 ACM300))

※実水槽において、MLSS が均一に分布していることを確認済み

- ・攪拌動力密度 5.0W/m<sup>3</sup>
- ・設置場所 タンク側壁部
- ・旋回角速度 2.0deg/sec

(2) シミュレーション試験

本研究で最終的にタンク形状・設置場所別の攪拌動力密度を設定するにあたっては、シミュレーション解析によった。そこで、実タンク試験との適合性を検証した。

試験条件を下記に示す。なお、下記以外の条件については、実タンク試験と同様とした。

(試験条件)

- ・プログラム 汎用熱流体解析ソフト FLUENT5.5
- 乱流モデル：Standard k-ε
- ・判定基準 実タンク試験の底部平均流速に対して、シミュレーション解析結果が±20%以内であること

#### 4. 研究内容

本研究は、実タンク試験とシミュレーション試験の2種類で構成した。

(1) 実タンク試験

本装置の攪拌性能を把握するため、数種類の実タンク試験を行った。試験条件の一例を下記に示す。

(試験条件例)

- ・タンク寸法 巾5m×長10m×水深10m (縦横比1:2, 容量500m<sup>3</sup>)
- ・底部平均流速 0.1m/s以上\*を目標とする

#### 5. 研究結果

(1) 実タンク試験

流速測定箇所を図-3に、測定結果を表-1に示す。

すべての測定点において、底部平均流速0.1m/sec以上が得られた。

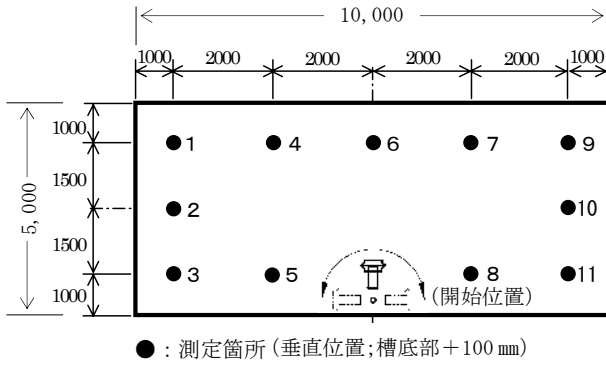


図-3 流速測定箇所 (平面位置)

表-1 実タンク試験流速測定結果

測定点	1	2	3	4	5	6
平均流速 (m/s)	0.199	0.180	0.168	0.149	0.129	0.142
測定点	7	8	9	10	11	
平均流速 (m/s)	0.161	0.130	0.174	0.179	0.160	

(2) シミュレーション試験

実タンク試験で得られた結果について、シミュレーション試験を行い、適合性を検証した。

図-3の測定点全てについて、実タンク試験とシミュレーション試験の流速の波形を比較した。解析結果の一例を図-4に、平均流速の一覧を表-2に示す。

実タンク試験とシミュレーション試験の波形は概ね一致した。また、全ての測定点において、シミュレーション解析結果は実タンク試験結果の±20%以内であった。

以上の結果から、シミュレーション試験の適合性は高いと判断し、タンク形状・設定場所別の攪拌動力密度の検討にあたっては、全てシミュレーション試験によることとした。

(3) タンク形状・設置場所別の攪拌動力密度

シミュレーション解析により求めた、タンク形状・設置場所別の攪拌動力密度を表-3に示す。

攪拌動力密度はタンク形状ごとに異なるが、3.0~6.0W/m<sup>3</sup>であり、従来機種(水中攪拌式曝気装置; 6.0~10.0W/m<sup>3</sup>)と比較して1/2程度に低減できることが分かった。

(4) 既存機種との比較

本装置と既存機種(水中攪拌式曝気装置)の、経済性などの比較例を表-4に示す。

本装置は、従来機種と比較して、装置台数、動力ともに1/2程度であり、電力費の大幅な削減が期待できる。また、装置質量は1/5以下であるため、施工・維持管理も容易である。

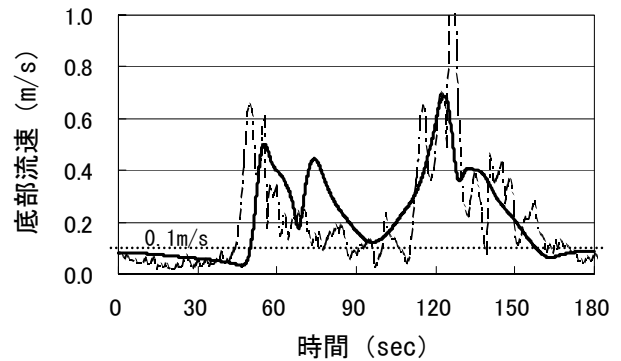


図-4 実タンク試験とシミュレーション試験の適合性検証結果 (測定点; 1)

----- 実タンク試験  
 ——— シミュレーション試験

表-2 実タンク試験とシミュレーション試験の底部平均流速一覧表

測定点	1	2	3	4	5	6
実タンク (m/s)	0.199	0.180	0.168	0.149	0.129	0.142
シミュレーション (m/s)	0.203	0.175	0.200	0.156	0.128	0.133
乖離* (%)	+2.01	-2.78	+19.0	+4.70	-0.78	-6.34
測定点	7	8	9	10	11	
実タンク (m/s)	0.161	0.130	0.174	0.179	0.160	
シミュレーション (m/s)	0.168	0.126	0.186	0.190	0.165	
乖離 (%)	+4.35	-3.08	+6.90	+6.15	+3.13	

\*乖離 (%) = (シミュレーション-実タンク) / 実タンク × 100

表-3 タンク形状・設置場所別の攪拌動力密度

側壁部またはコーナー部設置の場合 (W/m <sup>3</sup> )			
縦横比	1:1.2以下 <sup>※1</sup>	1:1.5以下 <sup>※1</sup>	1:4以下
水深 5 m	3.5	4.0	5.0
水深10m	3.0	3.5	4.0
中央部設置の場合 (W/m <sup>3</sup> )			
縦横比	1:1.2以下	1:1.5以下	1:4以下
水深 5 m	3.5	4.5	6.0 <sup>※2</sup>
水深10m	3.5	4.0	5.0

※1：コーナー部設置。他は側壁部設置。

※2：水深5m，縦横比1：4以下の場合は，タンクの長さを32m以下とする。

表-4 攪拌装置比較表

	電動機動力	電力費 (千円/年)	装置質量 (kg/台)
水中攪拌式 曝気装置	7.5kW×2台	1,367	1,100
本装置	7.7kW×1台 (内0.2kWは 旋回動力)	702	200

## 〔注 記〕

1. タンク寸法 巾8m×長18m×深10m  
(タンク容量 1,440m<sup>3</sup>)
2. 設置場所 本装置 側壁部  
水中攪拌式曝気装置 中央部
3. 攪拌動力密度  
本装置 4 W/m<sup>3</sup>  
水中攪拌式曝気装置 8 W/m<sup>3</sup>
4. 電力費算出条件 負荷率 80%  
稼働率 100%  
単 価 13円/kWh

## 6. 技術資料の構成

本研究では、嫌気タンク・無酸素タンクなどの攪

拌装置として旋回機構付プロペラ式水中攪拌装置に着目し、実タンク試験とシミュレーション結果から、本装置の特徴、機能、経済性および維持管理性などについて整理し、技術資料としてとりまとめた。

本技術資料の構成を以下に示す。

- [本 編]
- 第1章 総 則
    - 第1節 基本事項
    - 第2節 用語の定義
  - 第2章 装置の概要
    - 第1節 原理と構造
    - 第2節 特徴
    - 第3節 導入効果
  - 第3章 装置の設計
    - 第1節 設計手法
    - 第2節 工事区分
  - 第4章 施工・試運転
    - 第1節 施工
    - 第2節 試運転
  - 第5章 維持管理
    - 第1節 保守・点検

## 〔資料編〕

1. 実タンク試験による攪拌動力密度の把握
2. 実タンク試験とシミュレーション解析との適合性検証
3. シミュレーション解析による攪拌動力密度の設定
4. シミュレーション解析による梁・柱の影響評価
5. 既納入処理場の稼働状況
6. モデル設計
7. 従来型攪拌装置との比較における装置選定計算
8. 特記仕様書
9. 納入実績
10. 問い合わせ先

## ●この研究を行ったのは

研究第二部長 高橋 隆一  
研究第二部主任研究員 小枝 正人  
研究第二部研究員 仲元寺宣明

## ●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長 高橋 隆一  
研究第二部主任研究員 関 一  
研究第二部研究員 仲元寺宣明