

## 運転実績を踏まえた施設設計諸元の評価及び施設規模検討事例

株式会社 NJS ○酒井重宏・井上和久

これまでの下水道施設設計は、設計指針に示されている設計諸元値を採用した計画 (Plan) を起点とした新設・増設が行われてきた。一方で、従来の設計諸元では、一時的な処理能力不足のための増設や過大な施設設計による工事費等の増大が懸念されている。

本事例では、過年度の処理場運転実績から処理能力に影響を与える各設計諸元値を評価 (Check) するとともに、評価後の設計諸元値を用いた施設増設計画の見直し事例について報告する。また、通常の運転管理記録では、不足するデータも存在するため、十分な評価を行うために、事前に蓄積すべきデータ等の検討時の留意点について報告する。

*Key Words* : 事業計画、標準活性汚泥法、CAPD、

### 1. はじめに

「下水道施設設計・設計指針と解説-2019 年版-」(以下、設計指針という。)の改定では、既存の各々の施設の維持管理情報等に基づき、顕在化している課題の要因が計画値や設計基準にある場合には、適切に計画値を見直すとともに、設計基準を参考にしつつ、現場条件に応じた適切な設計を行うことが求められている。

本事例では、既存の中規模処理場における維持管理情報 (運転実績等) に基づいた水処理プロセスの設計諸元の評価・設定及び施設規模検討の事例について考察すると同時に、検討実施時の留意点等について報告するものである。

### 2. 検討対象施設の概要及び課題

#### 2.1 概要

本事例の処理場は、表-1 に示す標準活性汚泥法の A 下水処理場である。当該処理場は、供用開始から約 35 年が経過し、面整備率は約 80%、水洗化率は約 97%に達している。

今後の整備に伴い令和 5 年度までは汚水量が増加する見込みであり、事業計画では、1 池を増設する予定であった。一方で、実績流入水量は、既設処理能力に対して余裕がある状態である。

また、雨天日は、晴天日の 1.25 倍の流入水量が発生するが、既設処理能力の範囲内であり、水面積負荷や HRT を調整することで処理を行っている。

表-1 A 下水処理場概要

処理場名	A 下水処理場	
使用開始年月日	昭和59年4月	
処理下水	分流汚水	
処理方式	標準活性汚泥法	
放流先	海域	
汚泥処理	濃縮→脱水	
池数(既設/事業計画)	4池/5池	
既設処理能力	最初沈殿池	54,600 m <sup>3</sup> /日
	反応タンク	40,100 m <sup>3</sup> /日
	最終沈殿池	37,800 m <sup>3</sup> /日
計画1日最大汚水量	全体計画値 (R18年度目標)	33,500 m <sup>3</sup> /日
	事業計画値 (R5年度目標)	38,400 m <sup>3</sup> /日
実績日最大流入水量	晴天日のみ	27,604 m <sup>3</sup> /日
	雨天日含む	34,487 m <sup>3</sup> /日

## 2.2 課題

当該処理場における主な課題は、以下のとおりである。

- 最終沈殿池の処理能力は、37,800m<sup>3</sup>/日であり、事業計画の計画 1 日最大汚水量の 38,400m<sup>3</sup>/日に対して処理能力が 600m<sup>3</sup>/日不足する。
- 人口減少に伴い計画汚水量が減少するため、一時的な処理能力不足に対する水処理施設の増設が過剰投資となる恐れがある。

## 3. 検討フロー及び検討概要

### 3.1 検討フロー

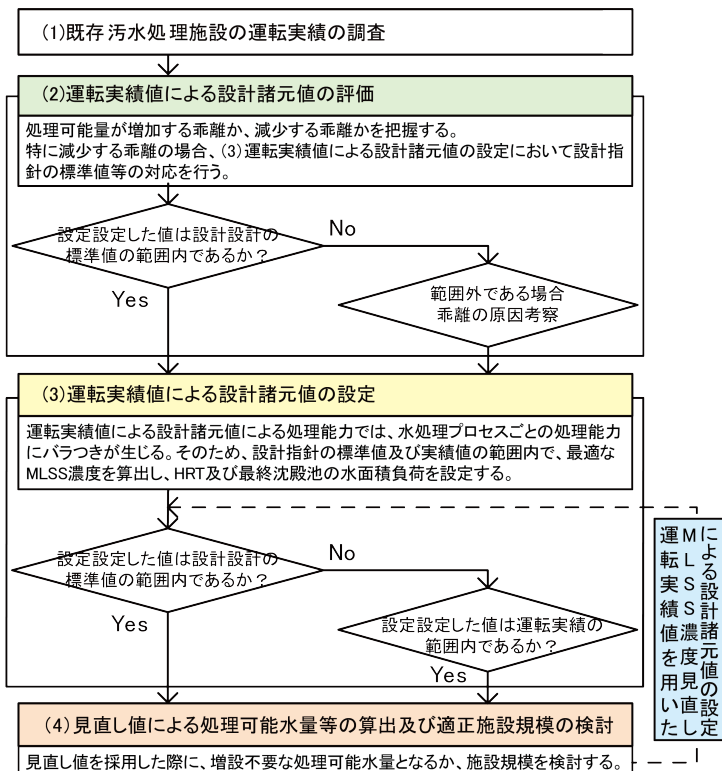
本事例における設計諸元の評価・設定及び施設規模検討は、設計指針に記載されている水処理施設の処理能力評価フロー（図-1）を参考に行った。

### 3.2 検討概要及び方針

各検討項目は、表-2 に示す検討概要及び方針に従って実施した。本事例では、全体計画・事業計画へ反映することを目的とするため、運転実績の水質データは、晴天日のみを抽出し、評価を行った。

### 4. 運転実績の調査

A 下水処理場の運転実績値は、表-2 に示すとおり、日間変動が 1.3 で設計指針値の下限値で変動が安定しており、流入 BOD 及び SS も事業計画値と概ね一致している。一方で、流域別下水道整備総合計画や総量規制等はないものの、放流 BOD 及び SS は、2.5mg/L 及び 2.0mg/L で良好な放流水質となっており、余剰能力を活用し、放流水質の向上を図っている。



出典：下水道施設計画・設計指針と解説-2019年版-後編、公益社団法人日本下水道協会 P.18、加筆

図-1 水処理施設の施設規模検討フロー

表-2 運転実績及び計画値

項目	流入水量 (晴天日)	日間 変動比	BOD		SS		最初沈殿池		反応 タンク	最終沈 殿池	流入水温	
	日最大 (m <sup>3</sup> /日)	-	流入 (mg/L)	放流 (mg/L)	流入 (mg/L)	放流 (mg/L)	BOD 除去率 (%)	SS 除去率 (%)	MLSS (mg/L)	流出水 C-BOD (mg/L)	夏季 (°C)	冬季 (°C)
実績値 (5ヶ年実績)	27,604	1.3	210.0	2.5	200.0	2.0	50.0	81.0	2,300	2.5	26.0	19.0
全体計画値	33,500	1.8	220.0	15.0	200.0	10.0	30.0	50.0	1,800	-	-	-
事業計画値	38,400	1.8	220.0	15.0	200.0	10.0	30.0	50.0	1,800	-	-	-
設計指針値	-	1.3~ 1.8	-	10~15	-	-	30.0~ 50.0	40.0~ 60.0	1,500~ 2,000	-	-	-

■ : 設計指針値範囲外の実績値

## 5. 運転実績値による設計諸元値の評価

### 5.1 評価項目及び設計諸元値算出手法

運転実績値による設計諸元値の評価は、水処理のうち主要なプロセスである最初沈殿池、反応タンク及び最終沈殿池に対して、表-3 に示す項目及び手法で実施した。

表-3 主な設計諸元の評価項目

水処理プロセス	評価項目		
	実績値	実績値より算出	
		項目	算出方法
最初沈殿池	BOD除去率 SS除去率	水面積 負荷	実績日最大流入水量 $m^3/d$ +総水面積 $m^2$ により算出
反応タンク	MLSS濃度	HRT	SRTとC-BODの関係式(P.286, P.373) $\theta_x = 91.46 \cdot Y^{-1.927} \times \sigma$ SRTと流入水質、MLSS濃度を考慮したHRTの計算式(設計指針P.61) $HRT = \frac{\theta_x}{\theta_x \cdot (a \cdot C_s - BOD_{in} + b \cdot C_{ss,in})}$ 一般的な計算方法である容量÷処理量=HRTの計算ではなく、MLSS濃度、流出C-BOD及びBOD・SS除去率の計算値により算出
最終沈殿池	流出水 C-BOD	水面積 負荷	活性汚泥の性状を考慮した最終沈殿池水面積負荷の計算式(設計指針P.95) $OR = \frac{1.78 \times 10^7 \times X^{-1.46} \times T^{0.853} \times (SVI)^{-0.804}}{r}$ 一般的な計算方法である実績日最大流入水量 $m^3/d$ +総水面積 $m^2$ による算出ではなく、MLSS濃度、冬季水温、SVIからの計算値により算出

### 5.2 評価結果

設計指針との比較評価では、表-4 に示すとおり、BOD 除去率及び最終沈殿池の水面積負荷を除く各設計諸元は、設計指針の標準値から乖離する結果となった。また、最初沈殿池の水面積負荷及び反応タンクの HRT、MLSS 濃度は、実績流入水量に対して余裕を有しているため、設計指針の標準値の範囲外となった。なお、最終沈殿池の水面積負荷算出に必要な日間変動は、実績値に基づき 1.3 として計算を行った。

表-4 運転実績値による設計諸元値の評価及び考察

項目		単位	設計指針の標準値	全体計画	事業計画	実績値 (H28~R2)	実績値の評価 (設計指針の標準値)	設計指針の標準値と実績値乖離の考察
最初沈殿池	水面積負荷	① $m^3/m^2 \cdot d$	35.0 ~ 70.0	50.0	50.0	25.3	× 範囲外	最初沈殿池は、表-1より、既設処理能力が54,600 $m^3$ /日であり、実績流入水量27,604 $m^3$ /日の約2倍の処理能力を有しているため、実績水面積負荷が25.3 $m^3/m^2 \cdot d$ で低くなり、設計指針の標準値を上回るSS除去率となっている。
	BOD除去率	② %	30.0 ~ 50.0	30.0	30.0	50.0	○ 範囲内	
	SS除去率	③ %	40.0 ~ 60.0	50.0	50.0	81.0	× 範囲外	
反応タンク	MLSS濃度	④ mg/L	1,500 ~ 2,000	1,800	1,800	2,300	× 範囲外	反応タンクは、表-1より、既設処理能力が40,100 $m^3$ /日であり、実績流入水量27,604 $m^3$ /日の約1.45倍の処理能力を有しているため、HRTも8.2hrで長時間運転となっている。また、汚泥発生量を削減するため、実績MLSS濃度は、設計指針の標準値を上回る2,300mg/Lとなっている。
	HRT	⑤ h	6.0 ~ 8.0	7.0	7.0	8.2	× 範囲外	
最終沈殿池	流出水 C-BOD	⑥ mg/L	5.0	-	-	2.5	-	処理能力に余裕があるため、C-BOD自体の除去が進んでいるものと推定される。
	水面積負荷	⑦ $m^3/m^2 \cdot d$	20.0 ~ 30.0	25.0	25.0	26.3	○ 範囲内	

※流出水C-BODは、設計指針の標準値ではない。計算例の参考値。  
 ※網掛け：設計指針の標準値を上回る実績値。塗りつぶし：設計指針の標準値等を下回る実績値。

なお、最初沈殿池の水面積負荷と BOD 除去率、SS 除去率は、図-2 に示すとおり、各水面積負荷での変動は見られず、余剰処理能力を活用しながら、BOD 除去率が 50%、SS 除去率が 81%程度で高い除去率を示している。

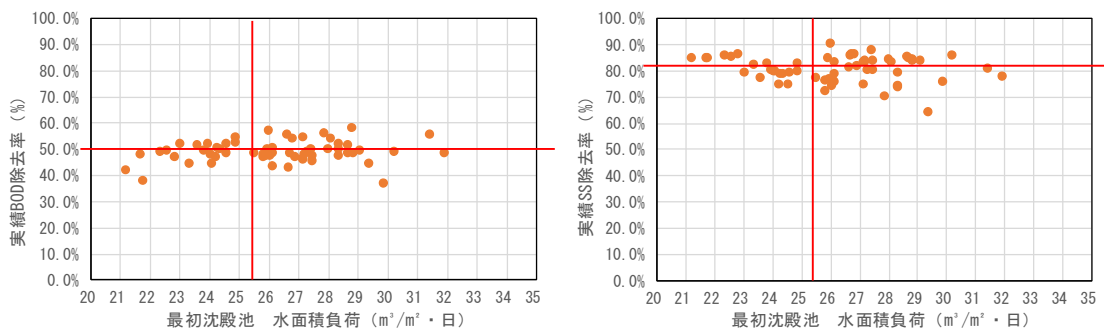


図-2 最初沈殿池水面積負荷と BOD 除去率、SS 除去率

6. 運転実績値による設計諸元値の設定

運転実績値による設計諸元値の設定では、表-4 の実績値の評価及び考察を踏まえ、表-5 に示すとおり設計諸元の見直し値の設定を行った。

1) 最初沈殿池-水面積負荷

最初沈殿池の水面積負荷は、運転実績値が  $25.3\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  で設計指針の標準値の  $50.0\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  を下回り、処理能力が減少するため、運転実績値による設計諸元値ではなく、設計指針の標準値の中間値を採用した。

2) 反応タンク-HRT、最終沈殿池-水面積負荷

反応タンクの HRT 及び最終沈殿池の水面積負荷は、MLSS 濃度実績値が  $2,300\text{mg/L}$  で設計指針の標準値を上回っていることから、「設計指針 P.65」に記載されている最終沈殿池の処理能力と最適な MLSS 濃度の関係性に基づき設定した。

MLSS 濃度が上昇することで、反応タンク処理能力が減少し、最終沈殿池の処理能力が上昇する関係性を利用し、反応タンクと最終沈殿池の処理能力が図-2 に示すように交差する箇所を最適処理能力とするものである。

本事例では、表-5 及び図-3 に示す反応タンクと最終沈殿池の最適処理能力より、MLSS 濃度が  $1,800 \sim 2,300\text{mg/L}$  の範囲内で事業計画汚水量である  $38,400\text{m}^3/\text{日}$  に対応可能であるが、MLSS 濃度を運転実績範囲内であり反応タンクと最終沈殿池の処理能力が大きくなる  $2,100\text{mg/L}$  と設定し、反応タンクの HRT 及び最終沈殿池の水面積負荷は、それぞれ  $6.0\text{hr}$ 、 $30.0\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$  とした。なお、反応タンクの必要 HRT 算出に必要な水質項目である c-BOD は、運転実績値の平均値が  $2.5\text{mg/L}$  であるが、最大値が  $4.9\text{mg/L}$  であることを踏まえ、 $5.0\text{mg/L}$  とした。

表-5 MLSS 濃度による処理能力計算表

項目	MLSS濃度 (mg/L)	MLSS濃度 (mg/L)						備考
		1,800	1,900	2,000	2,100	2,200	2,300	
反応タンク	既存容量 (m³)	11,707						-
	必要HRT (d)	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	-
	処理可能水量 (m³/日)	38,646	40,792	42,939	45,086	47,233	49,380	①②
最終沈殿池	既存水面積 (m²)	1,512						-
	水面積負荷 (m³/m²·d)	37.65	34.79	32.28	30.06	28.09	26.32	-
	処理可能水量 (m³/日)	56,922	52,601	48,806	45,450	42,466	39,797	④⑤

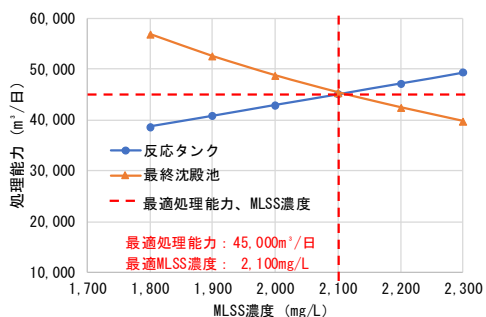


図-3 MLSS 濃度による最適処理能力

表-6 運転実績を踏まえた見直し値の設定

項目	設計諸元の見直し値の設定
最初沈殿池 水面積負荷 SS除去率	水面積負荷及びSS除去率ともに設計指針の中間値 $50.0\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{日}$ を採用
反応タンク MLSS濃度 HRT	MLSS濃度は、反応タンクと最終沈殿池の最適処理可能量から運転実績値の範囲内である $2,100\text{mg/L}$ を採用 MLSS濃度による計算HRTは、設計指針の標準値の範囲内の $6.0\text{hr}$ を採用
最終沈殿池 流出水C-BOD	実績最大値である $4.9\text{mg/L}$ の近似値として $5.0\text{mg/L}$ を採用 また、MLSS濃度等による計算から水面積負荷として $30.0\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{日}$ を採用

## 7. 処理可能水量等の算出及び適正施設規模検討

### 7.1 処理可能水量等の算出結果及び考察

各諸元（事業計画値、実績値、見直し設定値）に基づく処理可能水量と計画 1 日最大汚水量（事業計画）の比較検討結果を表-7 に示す。見直し設定値の処理可能水量は、既設で $45,400\text{m}^3/\text{日}$ となり、増設せずに 4 池で事業計画の計画 1 日最大汚水量を処理可能となった。

表-7 運転実績及び見直し設定値による処理可能量の算出及び施設規模検討

諸元値		単位	事業計画値		実績値 (H28~R2)		見直し設定値	
池数			既設	事業計画	既設	事業計画	既設	
MLSS濃度			1,800	1,800	2,300	2,300	2,100	
日間変動			1.8	1.8	1.3	1.3	1.3	
処理可能水量計算結果	最初沈殿池	池数	池	4	5	4	5	4
		総水面積	$\text{m}^2$	1,092	1,365	1,092	1,365	1,092
		水面積負荷	$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$	50.0	50.0	25.3	25.3	50.0
		処理可能水量	$\text{m}^3/\text{日}$	54,600	68,300	27,600	34,500	54,600
	反応タンク	池数	池	4	5	4	5	4
		容量	$\text{m}^3$	11,707	14,634	11,707	14,634	11,707
		HRT	hr	7.0	7.0	8.2	8.2	6.0
		処理可能水量	$\text{m}^3/\text{日}$	40,100	50,200	34,300	42,800	46,800
	最終沈殿池	池数	池	4	5	4	5	4
		総水面積	$\text{m}^2$	1,512	1,890	1,512	1,890	1,512
		水面積負荷	$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$	25.0	25.0	26.3	27.3	30.0
		処理可能水量	$\text{m}^3/\text{日}$	37,800	47,300	39,800	51,600	45,400
	処理可能水量	$\text{m}^3/\text{d}$	37,800	47,300	27,600	34,500	45,400	
計画1日最大汚水量 (事業計画)		$\text{m}^3/\text{d}$	38,400					
実績日大流入水量		$\text{m}^3/\text{d}$	27,604					
考 察			既設では、最終沈殿池の処理能力が不足するため、最終沈殿池について1池増設が必要である。		実績流入水量に対して既設処理能力に余裕があるため、最初沈殿池の水面積負荷及び反応タンクのHRTが設計指針の標準値と比較して過小な値となっている。そのため、実績値に基づく設計諸元値は、実績流入水量 $27,604\text{m}^3/\text{日}$ に対応した処理可能水量となったことが推察される。		MLSS濃度をファクターとしたHRT及び水面積負荷を設定することで、反応タンクと最終沈殿池の最適処理能力を設定した。結果として、増設することなく、計画1日最大汚水量に対応することが可能である。	
施設規模検討結果		—	—	△	×	×	○	

※○：既存施設で処理可能、△：増設した場合処理可能、×：増設した場合でも処理不可能



## 7.2 まとめ

表-7 を踏まえた事業計画における計画 1 日最大汚水量である 38,400m<sup>3</sup>/日を満足する水面積負荷及び HRT を整理すると表-8 に示すとおりとなる。

表-8 計画 1 日最大汚水量を満足する諸元値

項目		見直し前	見直し後
計画1日最大汚水量	m <sup>3</sup> /日	37,800	38,400
最初沈殿池 水面積負荷	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・d	50.0	35.2
HRT	hr	7.0	7.3
最終沈殿池 水面積負荷	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・d	25.0	25.4

## 8. 検討にあたっての課題と想定される対応方法

以下に、検討を行って判明した課題と課題に対して想定される対応方法を示す。

### 1) 運転状況の事前把握

処理能力に対して実績流入水量に余裕がある場合、運転実績を踏まえた設計諸元を採用すると、処理能力を過少に設定してしまう恐れがある。そのため、検討実施前に処理水質も含め運転状況を把握する必要がある。

### 2) 水質試験頻度

本事例での水質試験は、月 2 回実施をしている結果を使用している。そのため、降雨の影響を考慮した連続的な運転実績の評価・分析等が困難である。そのため、検討実施前に一定期間連日水質試験を行い、データを確保する必要がある。

### 3) 流出水 C-BOD 採水箇所

流出水 C-BOD は、採水場所によって結果が変わる恐れがある。本検討では放流水 C-BOD を使用したが、検討実施前に最終沈殿池の流出水での水質試験を実施する等データを確保する必要がある。

### 4) 実運転による妥当性確認

本検討で設定した設計諸元値を採用した場合、既存施設で計画 1 日最大汚水量に対応可能であるが、各水処理プロセスを通した見直し設計諸元での運転実績がない。そのため、実運転による影響確認後、見直し設計諸元を事業計画への反映する必要がある。

また、水処理に係る設計諸元値を見直すことで、汚泥性状や発生汚泥量変化による汚泥処理への影響にも留意する必要がある。

## 9. おわりに

運転実績等を踏まえた設計諸元値を見直すことにより、既存処理施設で人口減少下における面整備に伴う一時的な計画 1 日最大汚水量の増加に対応することが可能となり、増設に伴う事業費縮減を図ることが可能となった。

一方、今後、他事例においても、改築・増設時に同様の検討が必要となることが想定される。通常の水質試験では十分な評価が困難であるため、事前に運転実績のデータを収集しておくことが重要である。