

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§ 16 計画の手順

本技術の導入計画にあたっては、導入対象の下水処理場の現状および課題等を把握した上で、設計計算や設備計画の検討を行い、その結果に基づいた導入効果の検証を行う。

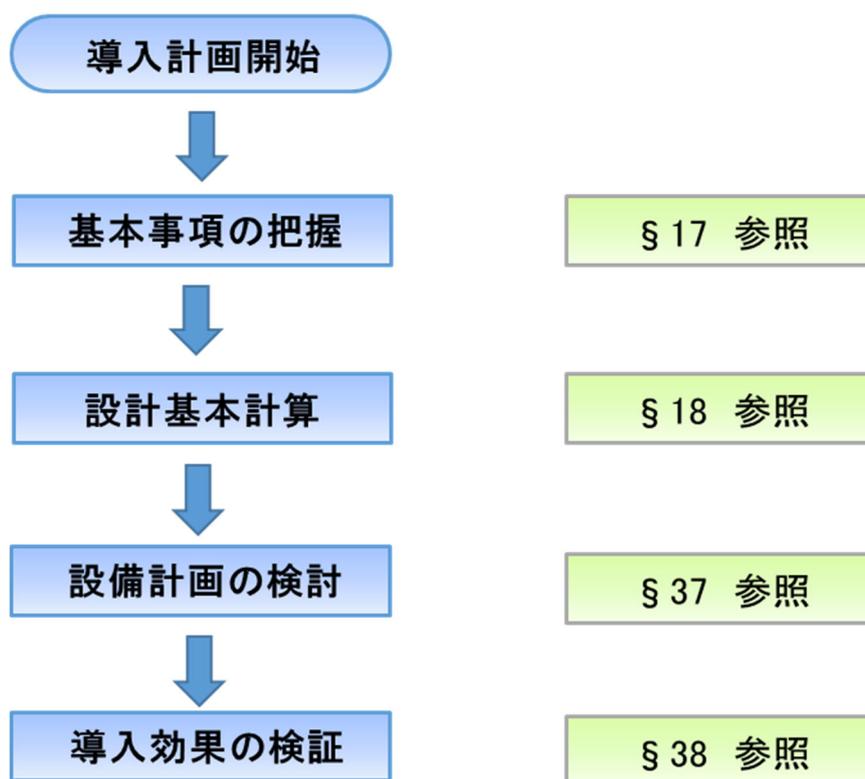


図 4-1 導入手順

【解説】

導入計画にあたっては、対象となる下水処理場の基本事項を検討した後、水処理施設の容量計算を行う。続いて施設計画の検討を実施し、導入効果の検証を行う。

本手順は、既存施設への導入を前提としているが、新規増設の場合もこれに準じて計画する。

なお、容量計算にあたっては設計指針を参考にするとともに、他の実績や既存施設の運転実績等を踏まえるものとする。

§ 17 基本事項の把握

本技術の計画、設計に必要な情報を入手し、基本事項を定める。

(1) 水量（日最大、日平均、日間変動、年間変動）

現在の季節変動を含む流入汚水量と、各下水道計画に基づく将来予測

(2) 設計水質、水温

導入にあたって求められる水質

(3) 水質基準、規制値

計画放流水質とその他規制値

(4) 施設の仕様

反応タンク、最終沈殿池、送風機等

【解説】

本技術導入の計画・設計にあたって必要な情報は以下の通りである。

(1) 水量（日最大、日平均、日間変動、年間変動）

設計水量として冬季日最大汚水量を基本とすることから、冬季日最大汚水量を把握する。また、日間変動、年間変動は、本システムの安定運転に必要な情報である。また、流入汚水量や日間変動、年間変動の将来予測は設備の設計や維持管理計画に必要な情報である。

(2) 設計水質、水温

設計に必要な水質項目は BOD、SS、T-N、T-P であるが、溶解性 BOD も把握することが望ましい。生物処理は水温の影響を受けるため、年間の水温変化を把握し、最低水温となる月の平均値に注意する。

(3) 水質基準、規制値

計画放流水質とその他の下水処理施設に関連する規制事項を確認する。

(4) 既存施設

既存水処理施設の寸法、供用開始後の経過年数、水処理設備の経過年数、長寿命化計画、耐震化の有無等を確認し、これらについても従来技術による更新と本技術導入の場合とを比較、考慮する。

§ 18 設計基本計算

把握した基本情報をもとに基本設計値を計算する。

【解 説】

単槽型硝化脱窒プロセスの設計フローを図 4-2 に示す。設計条件および MLSS 濃度の設定条件から反応タンク、各ゾーンの容量計算を行う。その後、目標窒素除去量を満たすかどうか確認を行い、放流水窒素濃度が条件から外れる場合は BOD-SS 負荷の見直しを行う。りんの除去量については A2O 法と同様に余剰汚泥量と余剰汚泥のりん含有率からりん除去量を求めるが、放流水りん濃度が条件から外れる場合は凝集剤の添加を検討する。

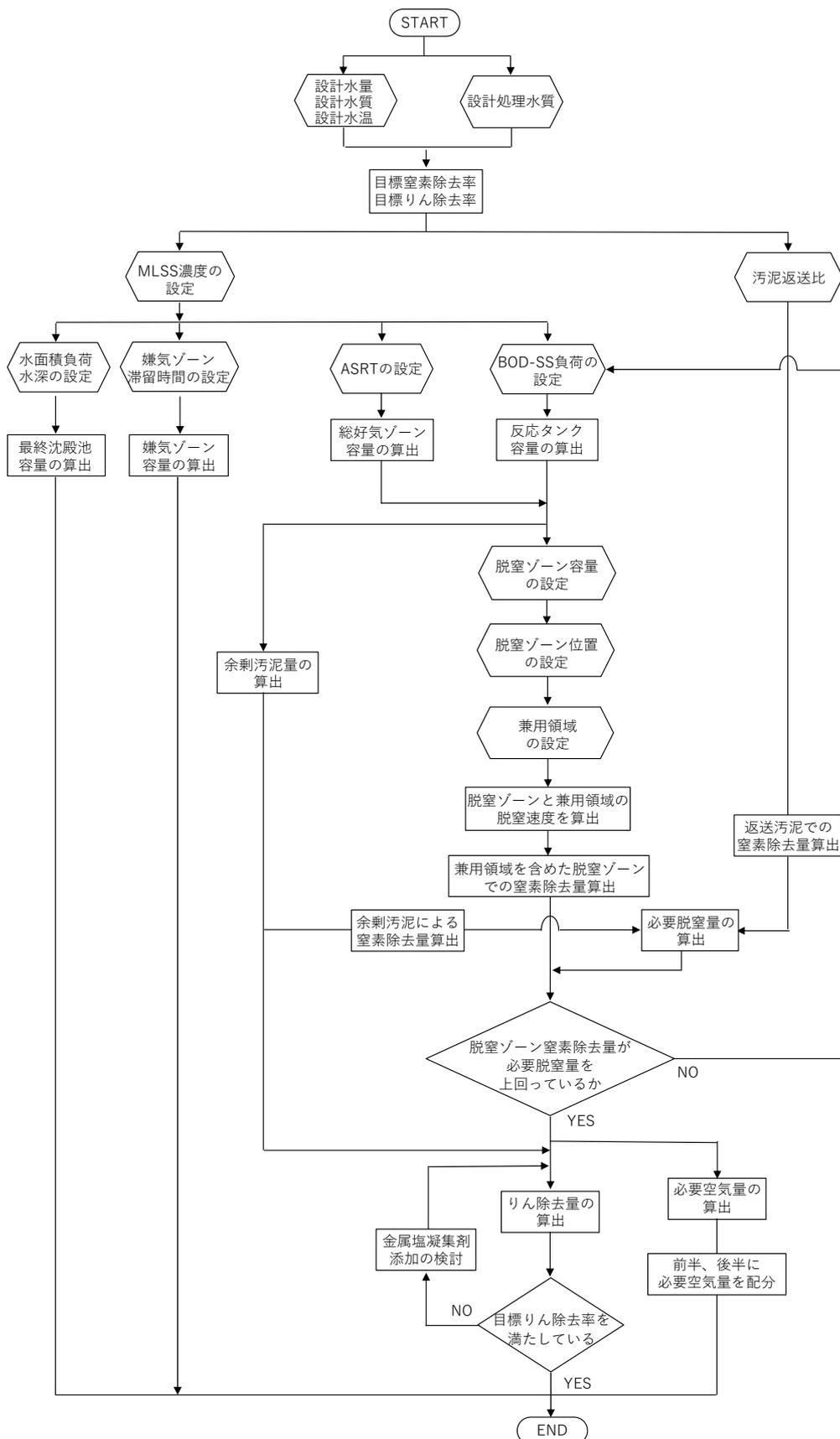


図 4-2 施設容量計算の流れ

§ 19 設計水量、設計水質、設計水温

設計水量、設計水温および設計流入水質は、次の各項を考慮して定める。

- (1) 設計水量は、反応タンクについては冬期計画1日最大汚水量を標準とする。最初沈殿池および最終沈殿池については計画1日最大汚水量とする。
- (2) 設計水温は、反応タンク流入水温の月間平均の最低値を標準とする。
- (3) 設計流入水質は、冬期の流入水のBOD、全窒素、SS、溶解性BOD、全りん濃度を設定する。

【解説】

本法の容量計算結果は、設計流入水質、設計処理水質および設計水量等の設定により大きく変化することから、その設定に当たっては慎重を期さなければならない。特に、設計流入水質と実態の流入水質にかい離があると設計処理水質を満たせない場合があるので注意する。また、設計流入水質によっては、余剰汚泥の引抜きによる窒素除去と返送汚泥による脱窒で必要窒素除去量の大半を除去することが可能とする容量計算結果となる場合があるので注意する。

(1) ~ (3) について

設計水量および設計水質は、設計指針の「第6章 第7節IV. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 137」を参考に決定する。

また、本法において硝化速度および脱窒速度は、水温低下の影響を受ける。このため、設計水温を反応タンク流入水温の月間平均の最低値に定めて設計計算を行う。

§ 20 最初沈殿池

- (1) 水面積負荷は、計画1日最大汚水量に対して $25\sim 70\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ の範囲内であることを標準とする。
- (2) 有効水深は $2.5\sim 4.0\text{m}$ を標準とする。
- (3) バイパス水路を設けることが望ましい。
- (4) 最初沈殿池汚泥を反応タンクへ供給できるようにしておくことが望ましい。

【解説】

本法の最初沈殿池は、設計指針の「第6章 第7節 I-1-1. 最初沈殿池」を参考に決定する。

(1) について

基本的には、以下の理由から、水面積負荷は分流式では $35\sim 70\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 、合流式では $25\sim 50\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ を標準とするが、脱窒に必要な水素供与体を確保するために $25\sim 70\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ の範囲内である程度高く設定することが望ましい。

分流式：SS 除去率が高くなると、反応タンク流入水の BOD-SS 比が上昇し、バルキングの原因となったり、活性汚泥の SVI が高くなり、処理水質の悪化を招くおそれもあるので水面積負荷は $35\sim 70\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ を標準とする。

合流式：雨天時の処理を考慮して水面積負荷は $25\sim 50\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ を標準とする。

(2) について

池が浅すぎると水流や汚泥かき寄せ機等によって底部に堆積した汚泥を巻き上げたり、温度、風等の外気影響を大きく受けて沈殿効果が減少するので、有効水深は $2.5\sim 4.0\text{m}$ を標準とする。

沈殿時間は、分流式下水道では計画1日最大汚水量に対して1.5時間程度とし、合流式下水道においては3.0時間とすれば雨天時計画汚水量に対して30分以上の沈殿時間を確保することが可能とされている。

(3)、(4) について

降雨時や通水初期には脱窒に必要な水素供与体（有機物）が少ないことが考えられるので、最初沈殿池をバイパスするための水路および最初沈殿池汚泥を反応タンクに供給する配管の設置を検討する。

また、コストを考慮し、脱窒に必要な水素供与体を確保するためにも、これらの水路や設備の検討は十分行うこと。ただし、スカムなどが反応タンクに流入すると、水中かくはん装置等の故障の原因となるため、スクリーン又は破碎機の設置等を検討する。

§ 21 汚泥返送比

汚泥返送比は、設計水量に対して 50%程度とする。

【解 説】

返送汚泥率は、設計指針の「第 6 章 第 7 節 I - 1 - 2. 標準活性汚泥法等 § 6. 7. 13」を参考に決定する。

通常運転時の汚泥返送比は 50%程度である。汚泥返送比をこれより大きくすると、嫌気ゾーンへの NO_x-N、DO の持込みにより、嫌気状態に影響を及ぼし、りん除去が阻害されるおそれがある。しかし、汚泥の沈降性が悪化し返送汚泥濃度が低くなった場合でも、必要な MLSS 濃度の維持を可能にするため、設計水量（夏期）に対してポンプ容量は 100%程度の容量とすることが望ましい。

§ 22 MLSS 濃度

MLSS 濃度は 2,000～3,000mg/L を基準とし、最終沈殿池における固液分離が確保される条件において、可能な範囲で高めに定める。

【解 説】

本法の MLSS 濃度は、設計指針の「第 6 章 第 7 節IV. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 138」と同様に 2,000～3,000mg/L を基準とするが、反応タンク内での硝化速度と脱窒速度を高くするため最終沈殿池の水面積負荷条件や流入水質の窒素濃度による条件などを勘案しつつ、可能な限り高めに定める。

§ 23 必要 ASRT

必要 ASRT は、設計水温の条件下で硝化細菌を系内に保持できる日数以上に定める。

【解 説】

必要 ASRT は、設計指針（2019 年度版）の「第 6 章 第 7 節IV. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 140」を参考に設計する。

必要 ASRT は次式で算出する。

$$\theta_{XA} = 20.65 \exp(-0.0639T) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

θ_{XA} : ASRT(日)

T : 設計水温(°C)

ただし、設計水温は反応タンク流入水温の月間平均値の最低値を標準とする。

§ 24 BOD-SS 負荷

BOD-SS 負荷は嫌気ゾーンを含まない反応タンク容量を対象とする。

【解 説】

BOD-SS 負荷は、下式により表される。

なお、求めた BOD-SS 負荷は、脱窒速度の算出に用いる。

$$L_{BOD/X} = \frac{C_{BOD,in} \cdot Q_{in}}{V \cdot X} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

$L_{BOD/X}$: BOD-SS 負荷(kgBOD/(kgMLSS・日))

$C_{BOD,in}$: 反応タンク流入 BOD(mg/L)

Q_{in} : 反応タンク流入水量(m³/日)

V : 反応タンク容量(m³)

注) 嫌気ゾーン容量は、BOD-SS 負荷計算時の容量に含めないこと

X : MLSS 濃度(mg/L)

§ 25 嫌気ゾーン容量

嫌気ゾーン容量は、滞留時間 τ_{AN} を1～2時間程度確保できるものとする。

【解説】

嫌気ゾーン容量は、設計指針の「第6章 第7節Ⅲ. 嫌気好気活性汚泥法 § 6. 7. 126」を参考に設計する。

また、嫌気ゾーン容量は、BOD-SS 負荷計算時の容量に含めない。

$$V_{AN} = \frac{Q_{in} \times \tau_{AN}}{24} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

Q_{in} : 冬季における計画1日最大流入水量(m³/日)

τ_{AN} : 嫌気ゾーン滞留時間(hr)

§ 26 総好気ゾーン容量

本法の好気ゾーン滞留時間 τ_A および好気ゾーン容量 V_A をそれぞれ算出する。

【解 説】

総好気ゾーン容量は、設計指針の「第6章 第7節Ⅱ. 循環式硝化脱窒法等 § 6. 7. 85(2)」を参考に設計する。

ASRT(θ_{XA})は、式(4)のように示される。

$$\begin{aligned} \theta_{XA} &= V_A \cdot X / (Q_W \cdot X_W + (Q_{in} - Q_W) \cdot C_{SS,G}) \\ &= Q_{in} \cdot \tau_A \cdot X / (Q_W \cdot X_W + (Q_{in} - Q_W) \cdot C_{SS,G}) \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

式(4)を式(5)に代入して好気ゾーン滞留時間 τ_A (日)は、以下により求められる。

$$\tau_A = \frac{\theta_{XA} \cdot (a \cdot C_{S-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in})}{(1 + c \cdot \theta_{XA}) \cdot X} \dots\dots\dots (5)$$

好気ゾーン容量 V_A (m^3)の算出は式(6)による。

$$V_A = Q_{in} \times \tau_A = Q_{in} \times \frac{\theta_{XA} \cdot (a \cdot C_{S-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in})}{(1 + c \cdot \theta_{XA}) \cdot X} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、

- Q_{in} : 反応タンク流入水量(m^3 /日)
- X : MLSS 濃度(mg/L)
- $C_{S-BOD,in}$: 反応タンク流入水溶解性 BOD 濃度(mg/L)
- $C_{SS,in}$: 反応タンク流入水 SS 濃度(mg/L)
- τ_A : 好気ゾーン滞留時間(日)
- V_A : 好気ゾーン容量(m^3)
- θ_{XA} : ASRT(日) : 「§ 23 必要 ASRT」参照
- a : S-BOD (溶解性 BOD) に対する汚泥転換率(gMLSS/gS-BOD)
- b : SS に対する汚泥転換率(gMLSS/gSS)
- c : 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数(1/日)

§ 27 反応タンク容量

本法の反応タンク容量を算出する。

【解 説】

反応タンク容量は、設計指針の「第6章 第7節Ⅳ. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 141(2)」を参考に設計する。

反応タンク容量 V_{DN+A} (好気ゾーン容量と脱窒ゾーン容量の和) は、BOD-SS 負荷の関数として下式により表される。

$$V_{DN+A} = \frac{C_{BOD,in} \cdot Q_{in}}{L_{BOD/X} \cdot X} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、

V_{DN+A} : 反応タンク容量(m³)

$C_{BOD,in}$: 流入水 BOD 濃度(mg/L)

Q_{in} : 流入水量(m³/日)

$L_{BOD/X}$: BOD-SS 負荷(kgBOD/(kgMLSS・日))

嫌気ゾーン容量は、BOD-SS 負荷計算時の容量に含めない。

X : MLSS 濃度(mg/L)

§ 28 脱窒ゾーン容量の設定

本法の脱窒ゾーン容量を算出する。

【解 説】

脱窒ゾーン容量は、設計指針の「第6章 第7節IV. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 141(2)」を参考に設計する。

脱窒ゾーン容量は、反応タンク容量から好気ゾーン容量を差し引くことで下式により表される。

$$V_{DN} = V_{DN+A} - V_A \cdots \cdots \cdots (8)$$

ここで、

V_{DN+A} : 反応タンク容量(m³)

V_A : 好気ゾーン容量(m³)

V_{DN} : 脱窒ゾーン容量(m³)

§ 29 脱窒ゾーン位置の設定

本法の脱窒ゾーン位置を設定する。

【解説】

本法における好気ゾーンと脱窒ゾーンの位置関係の概念図を図 4-3 に示す。好気ゾーンは、脱窒ゾーンを挟んで設置し、前半好気ゾーンと後半好気ゾーンの容量が等量とすることを基本とする。

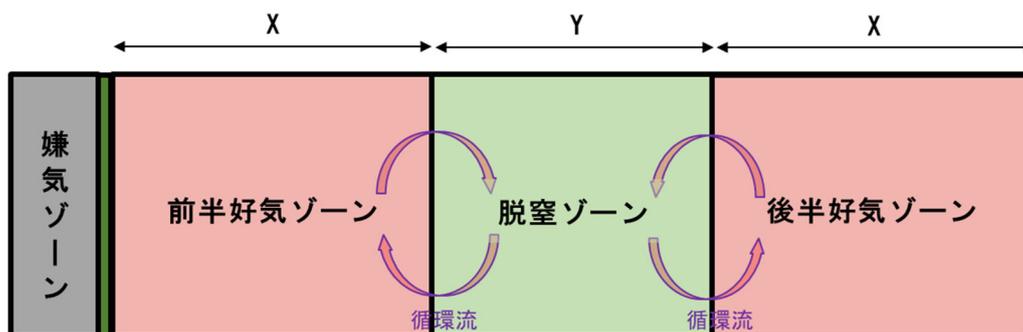


図 4-3 好気ゾーンと脱窒ゾーンの位置関係の概念図

§ 30 兼用領域の設定

本法の兼用領域（硝化と脱窒の両方が進行する領域）を設定する。

【解 説】

実証において、図 4-4 に示すように脱窒ゾーンと好気ゾーンの境界部において強い循環流が形成され、その結果、脱窒ゾーンと隣接する好気ゾーンに低 DO 領域が形成されることを確認した。また、脱窒ゾーンと隣接する好気ゾーンで阻流壁で囲まれる位置まで DO が 0.2~0.5mg/L であったことを確認しており、循環流が形成される近傍の阻流壁までの範囲は、低 DO となり、硝化と脱窒の両方が進行する兼用領域と設定した。

実証においては、脱窒ゾーンと好気ゾーンの境界から阻流壁までの範囲 5m までは循環流が形成され、その範囲に阻流壁がある場合は、阻流壁までの範囲を兼用領域と設定した。また、CFD (Computational Fluid Dynamics) 解析で阻流壁がない条件で流体解析を行ったところ、循環流と DO 分布の傾向が、阻流壁のある場合と同様の傾向を示すことを確認した。そのため、実証結果をふまえ、兼用領域は阻流壁の有無に関わらず上流側、下流側とも兼用領域と脱窒ゾーンの比率を 1:2 と設定した。

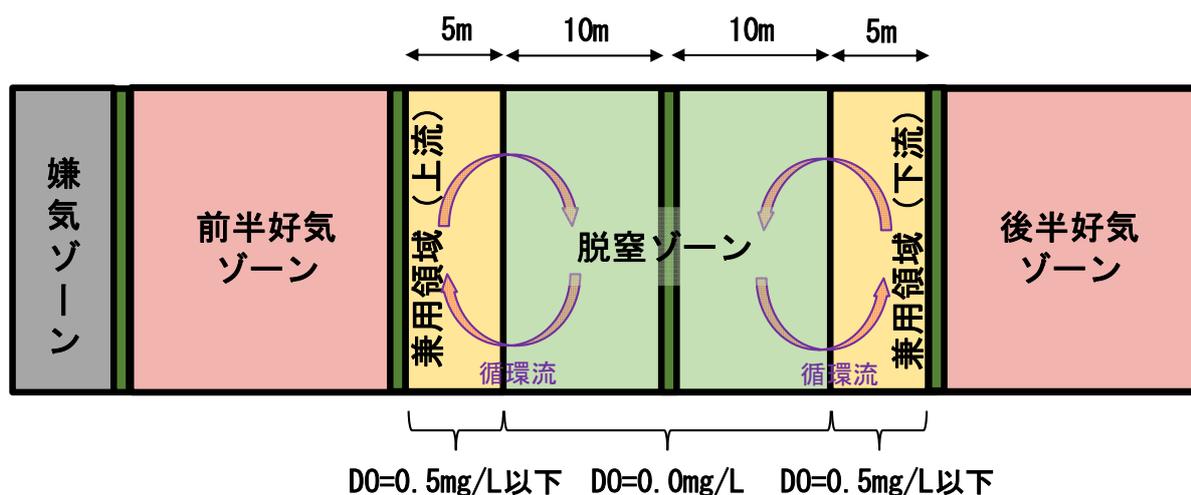


図 4-4 兼用領域の概念図（成瀬クリーンセンター1系）

§ 31 脱窒ゾーンと兼用領域の脱窒速度を算出
 本法の脱窒ゾーンと兼用領域の脱窒速度を算出する。

【解 説】

兼用領域においては、DO=0.5mg/L と仮定し、脱窒速度を以下の補正式（式(9)）によって補正する。脱窒速度の補正例を表に示す。脱窒ゾーン内（DO=0mg/L とみなす）では脱窒速度は DO による阻害を受けないが、兼用領域では阻害を受けるため、脱窒ゾーンよりも脱窒速度は小さくなる。

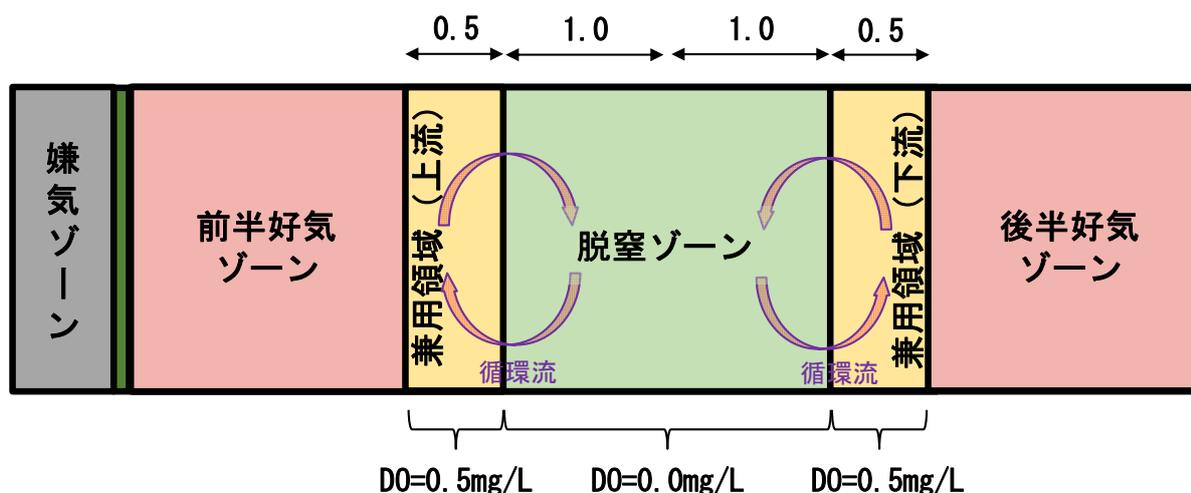


図 4-5 兼用領域の概念図

$$\text{脱窒速度における DO の補正定数} = \frac{KO_2}{DO + KO_2} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、

KO_2 : 脱窒速度における DO の補正定数⁴⁾ (mg/L) 0.2

DO : DO(mg/L)

表 4-1 兼用領域における脱窒速度の補正例

| | DO | 脱窒速度補正定数 | 脱窒速度（補正後） |
|----------|------|----------|----------------|
| | mg/L | - | mgN/(gMLSS・hr) |
| 兼用領域（上流） | 0.5 | 0.29 | 0.26 |
| 脱窒ゾーン | 0.0 | 1.00 | 0.91 |
| 兼用領域（下流） | 0.5 | 0.29 | 0.26 |

§ 32 兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量を算出

本法の兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量を算出する。

【解 説】

脱窒ゾーンおよび兼用領域における脱窒速度から、脱窒による窒素除去量を算出する。

$$\text{脱窒ゾーンの脱窒量} = \frac{K_{DN} \cdot V_{DN} \text{の実HRT} \cdot X \cdot (Q_{in} + Q_r)}{1,000} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、

- K_{DN} : 脱窒ゾーンの脱窒速度定数(mgN/(gMLSS・hr))
- X : MLSS(g)
- Q_{in} : 冬季における計画 1 日最大流入水量(m³/d)
- Q_r : 返送汚泥量(m³/d)
- V_{DN} の実HRT : 式(11)により計算

$$V_{DN} \text{の実HRT} = \frac{V_{DN} \times 24}{Q_{in} + Q_r} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで、

- V_{DN} : 脱窒ゾーン容積(m³)
- Q_{in} : 冬季における計画 1 日最大流入水量(m³/d)
- Q_r : 返送汚泥量(m³/d)

$$\text{兼用領域の脱窒量} = \frac{K_{DN} \cdot V_{DN-d} \text{の実HRT} \cdot X \cdot (Q_{in} + Q_r)}{1,000} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで、

- K_{DN-d} : 兼用領域の脱窒速度定数(mgN/(gMLSS・hr))
- X : MLSS(g)
- Q_{in} : 冬季における計画 1 日最大流入水量(m³/d)
- Q_r : 返送汚泥量(m³/d)
- V_{DN-d} の実HRT : 式(13)により計算

$$V_{DN-d} \text{の実HRT} = \frac{V_{DN-d} \times 24}{Q_{in} + Q_r} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ここで、

- V_{DN-d} : 兼用領域容積(m³)
- Q_{in} : 冬季における計画 1 日最大流入水量(m³/d)

Q_r : 返送汚泥量(m³/d)

本法における脱窒速度定数の水温補正は、式(14)により算出する。

$$K_{DN} = C_A \times L_{BOD/X} + \gamma \dots\dots\dots (14)$$

ここで、

- K_{DN} : 脱窒速度定数(mgN/(gMLSS・hr))
- C_A : 温度補正係数=0.1008exp(0.1167 × T)
- $L_{BOD/X}$: BOD-SS 負荷(kgBOD/(kgMLSS・日))
- γ : 切片=0.8
- T : 反応タンク流入水温(°C)

式(14)により反応タンク流入水温 (15°C) における脱窒速度定数を算出し、BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係を整理したものを図 4-6 に示す。参考に、設計指針の「第 6 章 第 7 節 II. 循環式硝化脱窒法 § 6. 7. 86」から引用した BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係 ($y=7.7x+0.6$) を示す。本法では、設計指針から引用した式のように BOD-SS 負荷の増加と共に脱窒速度が顕著に増加するわけではなく、ほぼ横ばいである。この理由は、本法では A2O 法と異なり脱窒ゾーンの前段に前半好気ゾーンがあるため、そこである程度の BOD 酸化が行われるためである。本例においては、脱窒速度定数を、図 4-6 中の予測式 ($y=0.58x+0.8$) を基に、設定した BOD-SS 負荷に相当する値を用いる。

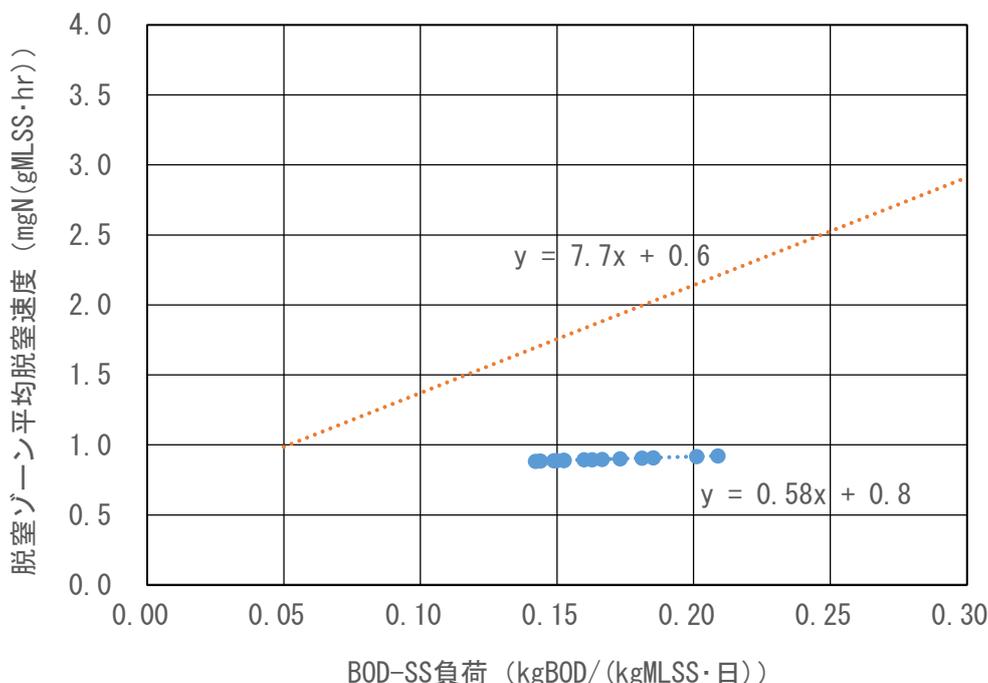


図 4-6 BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係の例 (水温 15°C)

§ 33 兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量が必要脱窒量を上回っているか確認

本法の兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量が必要脱窒量を上回っているかを確認する。

【解説】

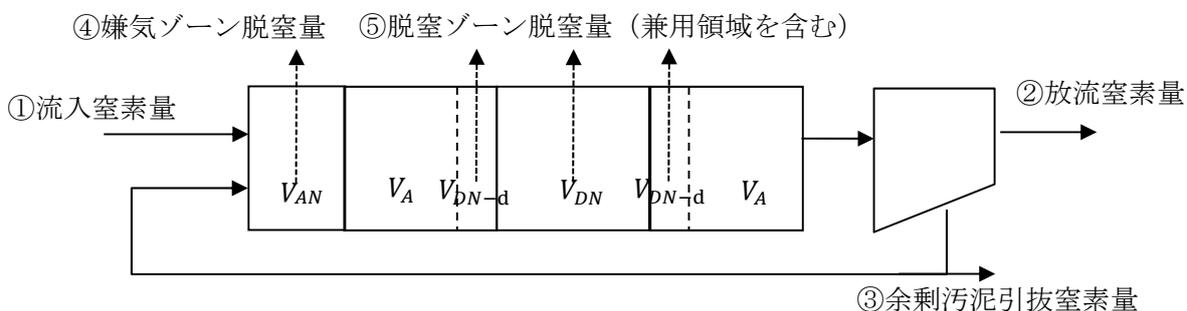
脱窒ゾーン及び兼用領域における脱窒量が、必要脱窒量を上回っているかどうかを確認する。本法における窒素収支は、以下のように表すことができる。

$$L_{TN,in} - L_{TN,W} - L_{NOX,AN} - L_{NOX,DN} = L_{TN,eff} \quad \dots\dots\dots (15)$$

ここで、

- $L_{TN,in}$: 反応タンク流入窒素量(kgN/日)
- $L_{TN,eff}$: 放流窒素量(kgN/日)
- $L_{TN,W}$: 余剰汚泥引抜窒素量(kgN/日)
- $L_{NOX,AN}$: 嫌気ゾーン脱窒量(kgN/日)
- $L_{NOX,DN}$: 脱窒ゾーン (兼用領域を含む) 脱窒量(kgN/日)

本法における窒素収支は下図のとおりであり、窒素除去は余剰汚泥の引き抜き (③)、嫌気ゾーンにおける脱窒 (④)、反応タンクの脱窒ゾーン (兼用領域を含む) における脱窒 (⑤) により行われる。



よって、脱窒ゾーン (兼用領域を含む) における必要脱窒量は、以下の式により算出できる。

$$\text{必要脱窒ゾーン脱窒量 (必要 } L_{NOX,DN}) = ① - ② - ③ - ④$$

ただし、

$$① L_{TN,in} = \frac{Q_{in} \cdot C_{TN,in}}{1,000} \quad \dots\dots\dots (16)$$

ここで、

- Q_{in} : 反応タンク流入水量(m³/日)
- $C_{TN,in}$: 反応タンク流入T-N濃度(mg/L)

$$\textcircled{2} L_{TN,eff} = \frac{Q_{in} \cdot C_{TN,eff}}{1,000} \dots\dots\dots (17)$$

ここで、

$C_{TNN,eff}$: 放流水T-N濃度(mg/L) … 設計処理水質

$$\textcircled{3} L_{TN,W} = \frac{Q_{in} \cdot (a \cdot C_{S-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in} - c \cdot X \cdot \tau_A) \cdot N_X}{1,000} \dots\dots\dots (18)$$

ここに、

- N_X : 汚泥窒素含有率(kgN/kgMLSS)
- Q_{in} : 反応タンク流入水量(m³/日)
- X : MLSS 濃度(mg/L)
- $C_{S-BOD,in}$: 反応タンク流入水溶解性 BOD(mg/L)
- $C_{SS,in}$: 反応タンク流入水 SS 濃度(mg/L)
- τ_A : 好気ゾーン滞留時間(日)
- a : S-BOD (溶解性 BOD) に対する汚泥転換率(gMLSS/gS-BOD)
- b : SS に対する汚泥転換率(gMLSS/gSS)
- c : 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数(1/日)

$$\textcircled{4} \text{ 嫌気ゾーン脱窒量 } L_{NOX,AN} = Rr \cdot Q_{in} \cdot C_{NOX,eff} \dots\dots\dots(19)$$

ここに、

- Rr : 汚泥返送比(-)
- $C_{NOX,eff}$: 放流水NO_x-N濃度(mg/L)

返送汚泥中の NO_x-N 濃度は、最終沈殿池での脱窒量ゼロとみなして放流水中の NO_x-N 濃度と同一とする。

また、反応タンク流入水中の NO_x-N は、一般的にゼロとして扱え、この条件では嫌気ゾーンにおける脱窒量は、上記の式により算出することができる。なお、嫌気ゾーンには有機物が十分に存在するため、流入した NO_x-N はすべて脱窒されるものとして計算する。

§ 34 リン除去量の算出

本法のリン除去量は、余剰汚泥量と汚泥のリン含有率により算出する。

【解 説】

(1) リン除去と SRT の関係

生物学的リン除去法において除去されるリンは、活性汚泥に蓄積されるため、系外には、最終的に余剰汚泥として引き抜かれることになる。すなわち、このことは、活性汚泥中のリン含有率が高く、余剰汚泥量が多いほどプロセスのリン除去率は高くなり、本法における平均的な汚泥中のリン含有率がわかればリン除去量は SRT から推定することができる（設計指針の「第6章 第7節Ⅲ. 嫌気好気活性汚泥法 § 6. 7. 127」から引用）。

(2) 活性汚泥中のリン含有率とリン除去量

生物学的リン除去プロセスにおける余剰汚泥中のリン含有率は、実施設においては、図 4-7(設計指針の「第6章 第7節Ⅳ. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 144」から引用)、図 4-8 (本技術実証結果) に示すように、顕著な傾向を示していない。したがって、リン含有率は、2~4%の範囲で設定することが望ましい。

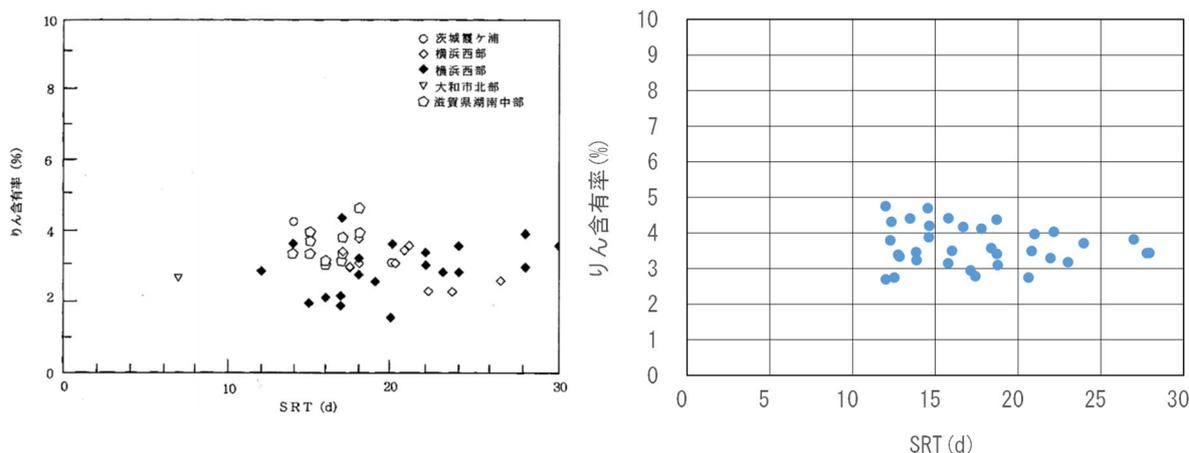


図 4-7 嫌気無酸素好気法における SRT と余剰汚泥中のリン含有率の関係 (左図)
(設計指針 (2019 年度版) 図 6. 7. 99 引用)

図 4-8 SRT と余剰汚泥中のリン含有率の関係 (実証結果 右図)

生物学的りん除去プロセスで除去される全りん濃度は、汚泥生成量と余剰汚泥のりん含有率で決定される。りん除去に関する計算は、設計指針の「第6章 第7節Ⅲ. 嫌気好気活性汚泥法 §6. 7. 127」から引用した式(20)で求める。

$$\Delta C_{TP} = P_x \cdot (a \cdot C_{s-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in} - c \cdot \tau_A \cdot X) \dots\dots\dots (20)$$

ここに、

- ΔC_{TP} : 除去全りん濃度 (mg/L)
- P_x : りん含有率(gP/gMLSS)
- $C_{s-BOD,in}$: 反応タンク流入水溶解性 BOD (mg/L)
- $C_{SS,in}$: 反応タンク流入水 SS 濃度 (mg/L)
- τ_A : 好気タンク滞留時間 (d)
- X : MLSS 濃度 (mg/L)
- a : S-BOD に対する汚泥転換率(gMLSS/g S-BOD)
- b : SS に対する汚泥転換率(gMLSS / g SS)
- c : 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数 (1 / d)

処理水の全りん濃度 $C_{TP,eff}$ (mg/L) は設計指針の「第6章 第7節. 嫌気好気活性汚泥法 §6. 7. 127」から引用した式(21)で示される。

$$C_{TP,eff} = C_{TP,in} - \Delta C_{TP} \dots\dots\dots (21)$$

ここに、

- $C_{TP,in}$: 反応タンク流入水中の全りん濃度 (mg/L)

§ 35 必要風量の算出

必要風量は、流入水質や水量を考慮して求める必要酸素量に基づいて、エアレーション装置の酸素移動効率から適正に求める。

(1) 必要酸素量の算出

必要酸素量は、有機物 (BOD) の酸化、硝化および活性汚泥微生物の内生呼吸に必要な酸素量に加えて溶存酸素維持のために必要な酸素量も考慮する。

(2) 必要酸素量の前半・後半への配分

(3) 必要風量の算出 (前半・後半別)

【解 説】

(1) について

必要酸素量 (OR : Oxygen Requirement) は、次式で与えられる (設計指針の「第 6 章 参考. 1 I.3 (9) 必要酸素量」から引用)。

$$\text{必要酸素量 (OR)} = D_B + D_N + D_E + D_O$$

ここに、

- | | |
|-------|--|
| D_B | : 有機物の酸化に必要な酸素量 (kgO ₂ /d) ① |
| D_N | : 硝化反応に必要な酸素量 (kgO ₂ /d) ② |
| D_E | : 内生呼吸に必要な酸素量 (kgO ₂ /d) ③ |
| D_O | : 溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量 (kgO ₂ /d) ④ |

以降に①～④の 4 種の必要酸素量を算出する方法を示す。

① 有機物の酸化に必要な酸素量 D_B (kgO₂/d)

有機物酸化に必要な酸素量 D_B は BOD 除去量に係数 A を乗じて算出するが、脱窒により消費される BOD 量を減じて計算する。 D_B は式(22)により求められる。

$$D_B = \{ (C_{BOD,in} - C_{BOD,eff}) \cdot Q_{in} \times 10^{-3} - (L_{NOX,AN} + L_{NOX,DN}) \cdot K \} \cdot A \dots\dots\dots (22)$$

ここに、

- $C_{BOD,in}$: 反応タンク流入水 BOD (mg/L)
- $C_{BOD,eff}$: 処理水 BOD (mg/L)
- Q_{in} : 反応タンク流入水量 (m³/d)
- $L_{NOX,AN}$: 嫌気ゾーン NO_x-N 負荷量 (kgN/d)
- $L_{NOX,DN}$: 脱窒ゾーン (兼用領域含む) 脱窒量 (kgN/d)
- K : 脱窒により消費される BOD 量 (kgBOD/kgN) : 2.0
- A : 除去 BOD 当たりに必要な酸素量 (kgO₂/kgBOD) : 0.5~0.7

ここで、 $L_{NOX,AN}$ および $L_{NOX,DN}$ は下式により求めることができる。

$$L_{NOX,AN} = C_{NOx,eff} \cdot Q_r \times 10^{-3} \dots\dots\dots (23)$$

$$L_{NOX,DN} = (C_{TN,in} - C_{TN,eff}) \cdot Q_{in} \times 10^{-3} - L_{NOX,AN} - Q_w \cdot X_w \cdot N_x \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (24)$$

ここに、

- Q_r : 返送汚泥量 (m³/d)
- Q_{in} : 反応タンク流入水量 (m³/d)
- Q_w : 余剰汚泥量 (m³/d)
- $C_{NOx,eff}$: 返送汚泥 NO_x-N 濃度 (mg/L)
- $C_{TN,in}$: 反応タンク流入水窒素濃度 (mg/L)
- $C_{TN,eff}$: 放流水窒素濃度 (mg/L)
- N_x : 余剰汚泥中窒素濃度率 (-)
- X_w : 余剰汚泥の平均 SS 濃度 (mg/L)

② 硝化反応に必要な酸素量 D_N (kgO₂/d)

硝化反応に必要な酸素量 D_N は、硝化される窒素量に係数 C を乗じて算出する。

設計指針では、「硝化される窒素量は、ケルダール窒素の除去量から余剰汚泥に転換した窒素量を差し引いて、式(25)により算出する」としている。

$$D_N = C(\text{kgO}_2/\text{kgN}) \times \text{硝化した K}_j\text{-N 量}(\text{kgN}/\text{d}) \dots\dots\dots (25)$$

ここに、

C : 硝化反応に伴い消費される酸素量 (kgO₂/kgN) : 4.57

硝化した K_j-N 量 : (流入水 K_j-N 量) - (流出水 K_j-N 量)
 - (余剰汚泥に転換された K_j-N 量)

$$\text{流入水 K}_j\text{-N 量} = Q_{in} \cdot C_{KN,in} \times 10^{-3}$$

$$\text{流出水 K}_j\text{-N 量} = Q_{in} \cdot C_{KN,eff} \times 10^{-3}$$

$$\text{余剰汚泥に転換された K}_j\text{-N 量} = Q_{in} \cdot X_X \cdot N_X \times 10^{-3}$$

ここに、

単位余剰汚泥量 X_X : $a \cdot C_{S-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in} - c \cdot \tau_A \cdot X$ (mg/L)

$C_{KN,in}$: 流入水 K_j-N 濃度 (mg/L)

$C_{KN,eff}$: 流出水 K_j-N 濃度 (mg/L)

N_X : 余剰汚泥窒素含有率 (-)

③ 内生呼吸に必要な酸素量 D_E (kgO₂/d)

内生呼吸に必要な酸素量 D_E は、反応タンク内の微生物量 (MLVSS 量) に係数 B を乗じて、式(26)により算出する。

内生呼吸の算出にあたっては、好気ゾーンに対して算出する。

$$D_E = B \cdot V_A \cdot MLVSS \dots\dots\dots (26)$$

ここに、

B : 単位 MLVSS 当たりの内生呼吸による酸素消費量
 (kgO₂/kgMLVSS/d) : 0.05~0.15

V_A : 好気ゾーン容量 (m³)

$MLVSS$: 活性汚泥有機性微生物 (MLSS 中の強熱減量) (kg/m³)

④ 溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量 D_0 (kgO₂/d)

溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量 D_0 は、溶存酸素濃度に流量を乗じて算出する。DOは反応タンク末端における一般的な値を設定する。本法では硝化がちょうど完了するような風量となり、DOは原理的にA2O法に比べて下がるが、設計上は1.5 mg/Lとする。

$$D_0 = C_{O,A} \cdot (Q_{in} + Q_r) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (27)$$

ここに、

$C_{O,A}$: 反応タンク末端の溶存酸素濃度(mg/L)

なお、採水調査日におけるDOの日平均値は表4-2の範囲であった。

表4-2 採水調査日におけるDOの日平均値

| | 成瀬クリーンセンター |
|---------------|------------|
| DOの日平均値(mg/L) | 0.3 ~ 0.8 |

(2) について

以上の方法で求めた必要酸素量を前半・後半別に割り振る方法を以下に示す。

本法では、§29で述べた通り、好気ゾーンを等分して前半好気ゾーン、後半好気ゾーンとするため、必要酸素量も等分することを基本とし、前半好気ゾーン、後半好気ゾーンに振り分ける。

(3) について

必要風量は必要酸素量を基にして、エアレーション装置の酸素移動効率から前半・後半別に求める。なお、必要風量の合計値が既設送風機設備の供給可能な風量を上回る場合、設計指針の「第6章 第7節 §6.7.23～§6.7.29」を参考に送風機の増設を検討する。

必要風量の算出に用いるエアレーション装置の酸素移動効率は、1気圧で溶存酸素が存在しない清水状態における性能であるため、下水処理における必要酸素量をいったん式(28)により清水状態での酸素供給量(SOTR: Standard Oxygen Transfer Requirement)に換算し、酸素移動効率から必要風量を、式(30)により求める。

$$SOTR = \frac{OR \cdot C_{S1} \cdot \gamma}{1.024^{T_2-T_1} \cdot \alpha(\beta \cdot C_{S2} \cdot \gamma - C_0)} \times \frac{101.3}{P} \dots\dots\dots (28)$$

ここに、

- SOTR : $T_1^\circ\text{C}$ における清水状態での酸素供給量(kgO₂/d)
- OR : 反応タンク1池の $T_2^\circ\text{C}$ における1日当たりの必要酸素量(kgO₂/d)
- T_1 : エアレーション装置性能の前提となる清水温度(°C)
- T_2 : 混合液の水温(°C)
- C_{S1} : 清水 $T_1^\circ\text{C}$ での飽和酸素濃度(mg/L)
- C_{S2} : 清水 $T_2^\circ\text{C}$ での飽和酸素濃度(mg/L)
- C_0 : 混合液のDO濃度(mg/L)
- α : 総括酸素移動容量係数 K_{La} の補正係数
(清水での K_{La} に対する混合液での K_{La} の比)
低負荷法では0.93、高負荷法では0.83
- β : 飽和酸素濃度の補正係数
(清水での飽和酸素濃度に対する混合液での飽和酸素濃度の比)
低負荷法では0.97、高負荷法では0.95
- γ : 散気水深による飽和酸素濃度の補正係数
- P : 処理場における大気圧(kPa)

$$\gamma = \frac{1}{2} \times \left(\frac{10.332 + h}{10.332} + 1 \right) \dots\dots\dots (29)$$

- h : 散気水深(m)

$$G_s = \frac{SOTR}{E_A \cdot \rho \cdot O_W} \times 100 \times \frac{273 + T_2}{273} \times \frac{1}{1440} \dots\dots\dots (30)$$

ここに、

- G_s : 必要風量(Nm³/min)
- E_A : 酸素移動効率(%)
- ρ : 空気密度(1.293kg 空気/Nm³)
- O_W : 空气中酸素含有重量(0.232kgO₂/kg 空気)

§ 36 最終沈殿池

最終沈殿池は、次の各項を考慮して定める。

- (1) 水面積負荷は、計画1日最大汚水量に対して $15\sim 25\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 程度に設定することが望ましい。
- (2) 有効水深 $3.5\sim 4\text{m}$ 程度とする。
- (3) 池にはスカム除去装置を設ける。
- (4) 返送汚泥ポンプの容量は、設計水量に対して 100%とする。

【解説】

本法の最終沈殿池は、設計指針の「第6章 第7節Ⅱ-1-3. 最終沈殿池」を参考に決定する。

(1)、(2) について

本法は、反応タンクで硝化と脱窒を効率的に行うために標準活性汚泥法に比べて MLSS 濃度を高くした運転を行う必要がある。また、SVI も高いため最終沈殿池において汚泥界面が高くなり、流出しやすい特徴がある。処理水の SS 濃度をできるだけ低く抑えるため、水面積負荷は $15\sim 25\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 程度と低く設定することが望ましい。また、固液分離を確実にを行うため、有効水深は $3.5\sim 4\text{m}$ 程度とし、汚泥界面を考慮して余裕を持たせることが望ましい。

(3) について

最終沈殿池で発生した、スカムの流出による水質の悪化等を防止するためにスカム除去装置を設置するものとする。

(4) について

通常運転時の汚泥返送比は 50%程度である。しかし、汚泥の沈降性が悪化し返送汚泥濃度が低くなった場合でも、必要な MLSS 濃度の維持を可能にするため、設計水量（夏期）に対して 100%程度の容量とすることが望ましい。

§ 37 設備計画の検討

① 設備計画の見直し

【解 説】

① 設備計画の見直し

技術導入に伴い既存の水処理施設に関する計算書および設備状況をもとに改造を含む設備計画の見直しを行う。具体的には、標準活性汚泥法からの改築の際に反応タンク数の増設が想定されるが、その際に最終沈殿池の数が適切かどうか等について検討を行う。

§ 38 導入効果の検証

施設設計を実施後、導入検討段階に行った概略効果（事業性）に対し、想定通りの導入効果が得られるかどうかの検証を実施する。

【解説】

導入検討段階では、本技術と A2O 法を比較し、概略の導入効果を算出した（§ 14 導入効果の検討 参照）。

ここではより精度の高い条件設定による施設計画に基づいて導入効果の再検討を行う。本技術の導入における建設費、維持管理費を算出し、導入検討段階で期待していた効果が得られるか検証する。

第2節 設備設計

§ 39 本技術の設備設計の考え方

第1節にて容量等を設定した設備において、設計に必要な各機器を用いて、本技術の導入目的に合わせ、設備の設計を行う。

【解説】

第4章第1節にて容量等を設定した設備において、設計に必要な各機器を用いて、本技術の導入目的に合わせ、設備の設計を行う。設備設計は、本技術を導入する目的（標準法からの高度処理化、既設高度処理施設の改築、統廃合に伴う能力増強）に応じて行う。

§ 40 設備設計

前項に示した設備および機器のうち、設計値を有するものについて説明する。

- ①制御用水質センサー（NO_x-N 計、NH₄-N 計）
- ②風量調節弁、送風系統二条化
- ③散気装置
- ④嫌気ゾーン用隔壁
- ⑤統合演算制御システム
- ⑥負荷変動追従型送風ユニット

【解 説】

① 制御用水質センサー（NO_x-N 計、NH₄-N 計）

NO_x-N 計および NH₄-N 計を連続計測する水質センサーを選定する。計測周期に関しては、5 分以内であれば、許容する。NO_x-N 計は UV 式のものが一般的であるが、機種は問わない。また、NO_x-N 計によっては、NO₂-N と NO₃-N を分けて計測出来るものも存在するが、NO_x-N として計測が可能であれば、NO₂-N と NO₃-N を個別に計測する必要はない。NH₄-N 計は表 4-3、4-4 の通り、隔膜式、電極式が存在するが、機種は問わない。

表 4-3 NO_x-N 計の例

| | | |
|-------------------------|--|-----------------|
| 計測方式 | 210nm UV 吸光度法 (サンプリング式) | UV 吸収計測方式 |
| 計測レンジ | 0.1~50.0 (mg/L) | 0.0~10.0 (mg/L) |
| 計測周期 | 15 秒 | — |
| 設置方法 | バイパスパネル(流通)型 | 水中浸漬型 |
| 洗浄方法 | 検出窓をワイパー洗浄 | エア洗浄+超音波洗浄 |
| 精度 | 計測値±3% または 0.5mg/L | — |
| 電源 | AC100~240V (±10%)、 50/60Hz | AC100~240V |
| 電源 (ろ過サンプリング装置) | AC115 (AC230V) ±10%、 50/60z | |
| 消耗備品 | ワイパー、ワイパーモーター、 シールセット、光源ランプ、 計測ウィンドウ、 フィルターセット、 Oリング、バイパスパネル | — |
| 消耗備品 (ろ過サンプリング装置) | ローラーポンプチューブ、 エアフィルタ、 ポンプカートリッジ・ローラー、 接続チューブ、 フィルターモジュール、 コンプレッサ | |
| 消耗品交換頻度 | 6ヶ月毎 (ワイパー) 1年毎 (シール、 ワイパーシャフトシール) | — |
| 消耗品交換頻度 (ろ過サンプリング装置) | 3ヶ月毎 (ローラーポンプ チューブ、エアフィルタ) 1年毎 (コンプレッサエア フィルタ、接続チューブ、 ポンプカートリッジ・ローラー、 フィルターモジュール) 2年毎 (コンプレッサ) | |
| 校正頻度 | — | — |

表 4-4 NH₄-N 計の例①

| 計測方式 | 隔膜式ガス選択性電極式 (サンプリング式) | イオン電極式 |
|-------------------------|---|----------------------|
| 計測レンジ | 0.05~20.0(mg/L) | 0.2~20.0(mg/L) |
| 計測周期 | 5分 | 連続計測 |
| 設置方法 | 専用スタンド | 水中浸漬型 |
| 洗浄方法 | 洗浄液による自動洗浄 | エアー洗浄 |
| 精度 | 標準液にて計測値の3%+0.05mg/L | 標準液にて計測値の+5%+0.2mg/L |
| 電源 | AC100~240V(±10%)、50/60Hz | AC100~240V、50/60Hz |
| 電源 (ろ過サンプリング装置) | AC115(AC230V)±10%、50/60z | |
| 消耗備品 | 試薬、標準液、洗浄液、電解液、 エアフィルタパッド、 エアーポンプヘッド | 電極カートリッジ |
| 消耗備品 (ろ過サンプリング装置) | ローラーポンプチューブ、 エアフィルタ、ポンプカートリッジ・ ローラー、接続チューブ、 フィルターモジュール、コンプレッサ | |
| 消耗品 交換頻度 | 3ヶ月毎(試薬、標準液、洗浄液、 電解液) 6ヶ月毎(エアフィルタパッド) 12ヶ月毎(エアーポンプヘッド、試薬ポン プ、洗浄ポンプ) | 6ヶ月毎 |
| 消耗品交換頻度 (ろ過サンプリング装置) | 3ヶ月毎(ローラーポンプチューブ、 エアフィルタ) 1年毎(コンプレッサエアフィルタ、 接続チューブ、ポンプカートリッジ・ ローラー、フィルターモジュール) 2年毎(コンプレッサ) | |
| 校正頻度 | — | 毎月校正(状況により2週間毎) |

表 4-5 NH₄-N 計の例②

| 計測方式 | イオン電極式 | イオン電極式 |
|---------------------------------|-------------------------------------|---|
| 計測レンジ | 0.1~30.0(mg/L) | 0.00~10.00(mg/L) |
| 計測周期 | 常時計測 | 連続計測 |
| 設置方法 | 水中浸漬型 | 水中浸漬型 |
| 洗浄方法 | エア-洗浄 | 超音波洗浄 |
| 精度 | 計測値±5% または±0.2mg/L | 標準液にて計測値の3%±digit または 0.2mg/L±1digit |
| 電源 | AC100~240V±10%、50/60Hz | AC100~240V(±10%)、50/60Hz |
| 電源 (ろ過サンプリ ング装置) | | |
| 消耗備品 | アンモニア電極、カリウム電極、 参照電極、エア-洗浄用フィルター | アンモニウムイオンチップ、 カリウムイオンチップ、比較チップ 参照電極、エア-洗浄用フィルター |
| 消耗備品 (ろ過サンプリ ング装置) | | |
| 消耗品 交換頻度 | 3ヶ月毎(電極) 1年毎(エア-洗浄用フィルター) | 6ヶ月毎(イオンチップ、 液絡キャップ) 1年毎(比較チップ) |
| 消耗品 交換頻度 (ろ過サンプリ ング装置) | | |
| 校正頻度 | 毎月校正(状況により2週間毎) | 2週間毎(サンプルアジャスト) |

② 風量調節弁、送風系統二条化

風量調節弁は、電動操作式と電油操作式が存在する。本技術においては、最適な風量を反応タンクへ供給するため調節弁の開閉頻度が高くなる傾向にあるため、耐久性の面から電油操作式が推奨される。

また、本技術は反応タンクへの風量を、前半と後半別々に演算し送風するため、送風系統を二条化する必要がある（図2-4）。

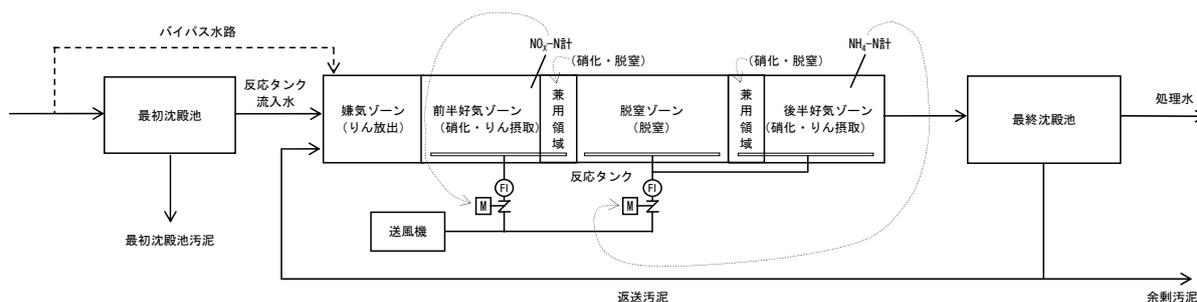


図2-4 単槽型硝化脱窒プロセスの概略フローシート（再掲）

③ 散気装置

散気装置は、省エネの観点から微細気泡散気装置が推奨されるが、機種は問わない。

④ 嫌気ゾーン用隔壁

本技術では、嫌気ゾーンにおける嫌気性確保の観点から、嫌気ゾーン出口に隔壁を設ける。

⑤ 統合演算制御システム

監視制御システムと通信するため、設置場所や配線ルート等を事前に確認する。

⑥ 負荷変動追従型送風ユニット

圧力一定制御を実施可能な送風機設備に対し、送風機設備コントローラを経由して統合演算制御システムが通信することで、負荷変動追従型送風ユニットとして機能する。よって、送風機設備の新設・既設は問わない。

§ 41 留意事項

設備設計、設置上の留意事項、ならびに維持管理にもかかる留意事項を説明する。

- ①既設阻流壁の設置パターン別の水質センサーとゾーン位置の設定
- ②防泡設備の設置
- ③送風機の風量および圧力の制御範囲

【解 説】

① 既設阻流壁の設置パターン別の水質センサーとゾーン位置の設定

既設阻流壁の設置パターンによって、水質センサーとゾーン位置を考慮する。阻流壁の設置パターンは大きく分けて図 4-9 のように分類される。阻流壁の位置により兼用領域が小さくなる場合や、パターン 3 のように兼用領域が発生しない場合は、脱窒量が減少することから滞留時間を調整する等の検討が必要になる。

また、NO_x-N 計は上流側の兼用領域よりも手前に設置する。NH₄-N 計はセンサーの精度の観点から 1mg/L 以上の濃度を計測出来るよう、反応タンク末端よりもやや上流側に設置することが推奨される。水質センサーの目標値の決め方の概念図を図 4-10 に示す。NO_x-N 計の目標値は導入後の試運転期間等で、実体に合せて変更していくのが好ましい。

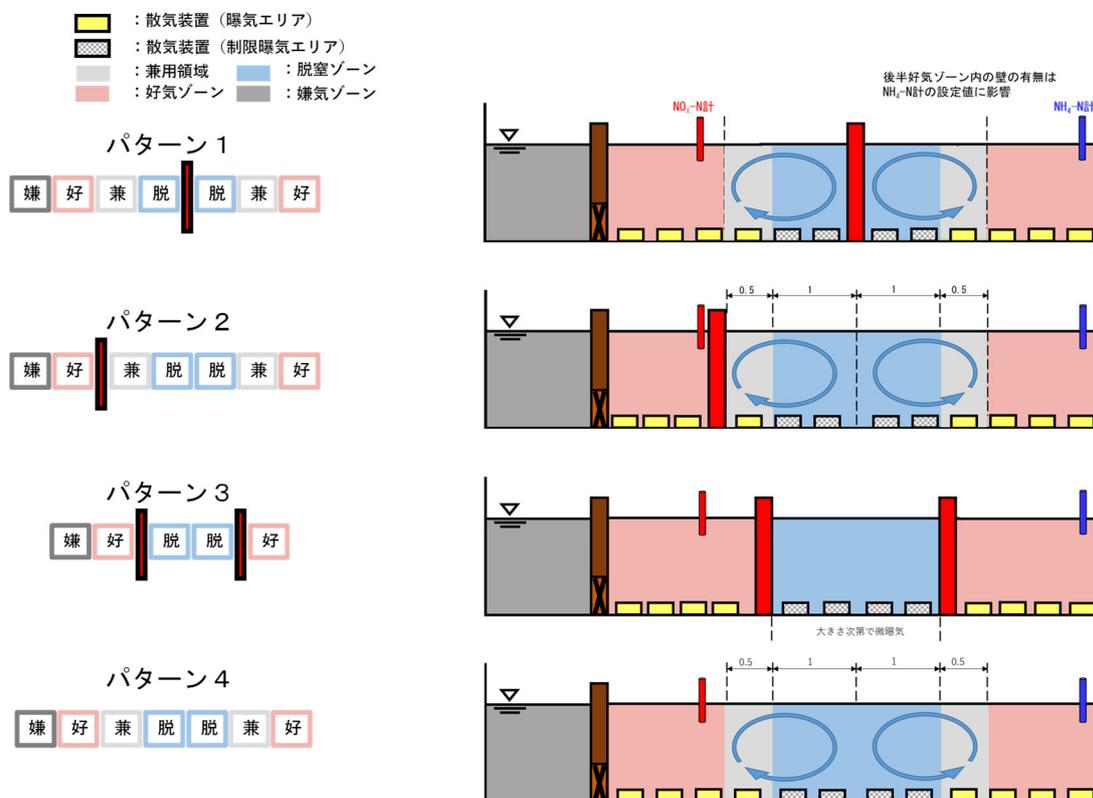


図 4-9 阻流壁と脱窒ゾーンの位置関係による類型

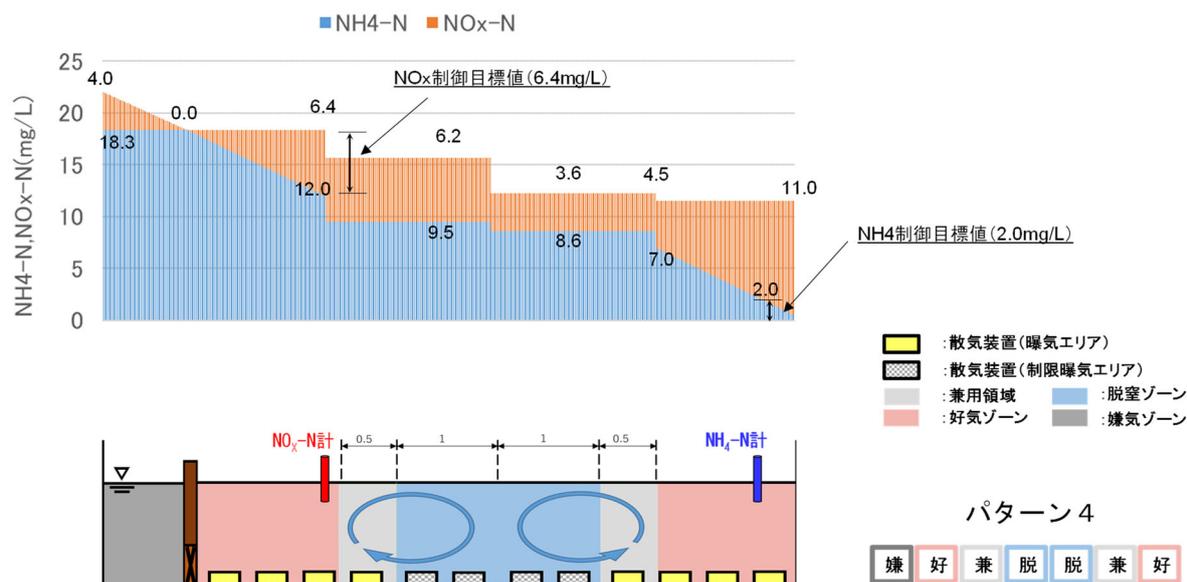


図 4-10 センサー目標値の決め方の概念図

②防泡設備の設置

脱窒ゾーンはスカムが溜まり易いため、防泡設備を設ける。

③送風機設備の風量および圧力の制御範囲

送風機設備の風量および圧力の制御範囲が十分に広いことが、風量制御および圧力可変制御の性能発揮において有利である。