

二次元有限要素法による分水槽の分配検討

中日本建設コンサルタント株式会社 ○足立 康祐 中根 進

実施設の 3 段階ステップ流入式硝化脱窒法の分水槽の流況を二次元有限要素法と三次元有限要素法、三次元格子ボルツマン法で数値解析し、分配割合を検討した。

新設・増設時に堰高の調整無く均等分配を図る構造として、整流壁付分水槽に着目し、二次元有限要素法で分配割合の検討を行った。

整流壁付分水槽は、実施設の配置を考慮して、整流壁への流入方向をいくつか想定した上で、整流壁を 1～3 枚と変え検討した結果、流入方向のうち整流壁に接する方向では 1 枚でも有効、整流壁の正面の片寄った方向からは 2～3 枚が有効であることを明らかにした。

Key Words : 均等分配、分水槽、格子ボルツマン法、有限要素法

1. はじめに

下水処理場の水処理施設では複数池への汚水、返送汚泥の分配が必要となり、想定した通りに分配されていない事例がしばしば見受けられ、均等あるいは適切な量の分配に苦慮している。筆者らは水路による最初沈殿池への均等分配に対する検討も行っているが、本稿では、最初沈殿池から反応槽への分水について、3 段階ステップ流入式硝化脱窒法の各段の脱窒槽に分配する分水槽に着目して、実施設の流況を把握し、新設・増設時に堰高の調整無く均等分配を図る構造として、整流壁付分水槽について二次元有限要素法の数値解析で水理的な検討を行った。数値解析には、有限要素法の流れの偏微分方程式を解くフリーソフトである Freefem++ver. 3.29²⁾ を使った。

2. 分水槽の概要と数値解析

2.1 解析施設と現地流況調査

解析対象とした施設は、ある浄化センターの 3 段階ステップ流入式硝化脱窒法の分水槽であり、処理能力日最大汚水量 10,200 m³/日の施設である。各脱窒槽への汚水の分配は、均等分配することを想定して建設されている。しかし、目視でも流れに偏りがあることが分かっており、均等分配調整に苦慮していることもあり、数値解析で解明することとした。

(1) 分水槽平面配置と各部寸法

数値計算を行うモデルとなる最初沈殿池(以下初沈と略記する) 2 池から反応槽 1 池への流入水路の平面モデルを図-1 に示す。

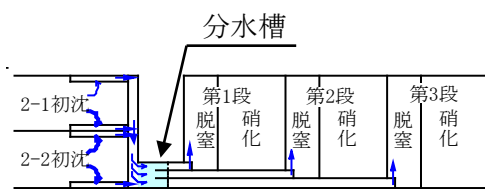


図-1 分水槽の平面配置例

分水槽(共通水路と流入水路部)の各部平面寸法と数値計算モデルを図-2 に示す。あわせ

て解析に使用する有限要素法のメッシュの分割状況を示す。なお、初沈 2-2 池出口の阻流壁は、初沈流出水を第 3 段水路に直接流入しないことに配慮したもので水面下約 10cm 没し、水路底からは 50cm 隙間のある構造となっている。

(2) 分配割合の現地調査

公社により運転中の分配割合を現地で調査した。この際の流入水量は 12,000 m³/日であり、各段の堰天端高と水面高から正面越流の式を使って越流量を求め、分配割合とした。調査結果は、第 1 段：第 2 段：第 3 段＝0.25：0.31：0.44 であった。第 1 段への流入割合が最も小さく、第 3 段への流入割合が最も大きい結果であった。すでに運転中であり、現地では各段水槽の MLSS が一定になるように堰を調整していることであり、必ずしも物理的な流量割合ではなく、運転管理上の流量割合であると思われる。

2.2 二次元有限要素法による数値解析

数値解析では、図-2 の計算モデルでは、阻流壁下の 50cm 隙間を再現できず、現地調査での分配割合にならなかった。現地調査での分配割合になるよう初沈 2-1 池分の流入は共通水路から流入しているものとし、動粘性係数 ν と阻流壁下の 50cm 隙間を二次元で考慮するため、その長さを数値解析のパラメータに反映させた。

現地調査時の分配割合と合わせたこのモデルを使い現地における分配を検討できるようにした。流入量別(時間最大、調査時、最低流量)の数値計算解析結果を表-1 に示し、一例として最低流量時 6,000 m³/日の流速ベクトルを図-3 に示す。このモデルを使った現場での改善策は文献¹⁾ に示す。

2.3 三次元による数値解析

2.3.1 三次元有限要素法

二次元による数値解析は、初沈流出水路出口の阻流壁の長さを変え、現地で観察した流量分配になるように調整したものである。

そこで、実施設の阻流壁を考慮できるように三次元モ

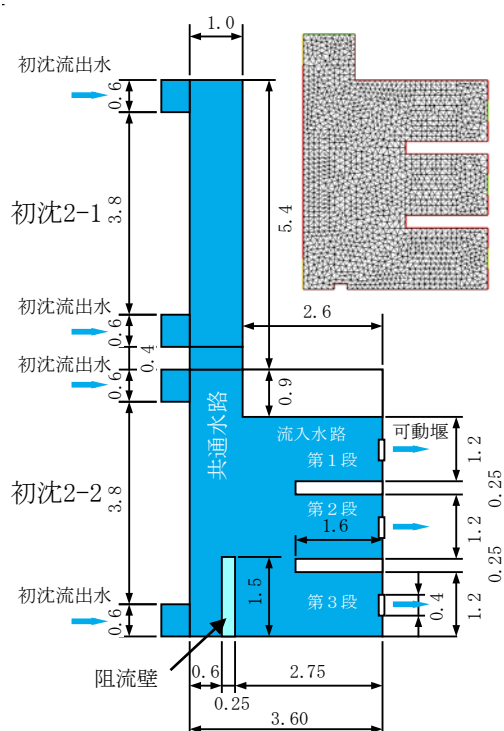


図-2 分水槽の各部寸法とメッシュ

表-1 流入量別数値計算結果

	分配割合			
	反応槽1池 流量	12,000 m ³ /sec	6,000 m ³ /sec	公社 調査
第1段	0.194	0.139	0.069	0.25
第2段	0.26	0.26	0.26	0.31
第3段	0.33	0.33	0.33	0.44

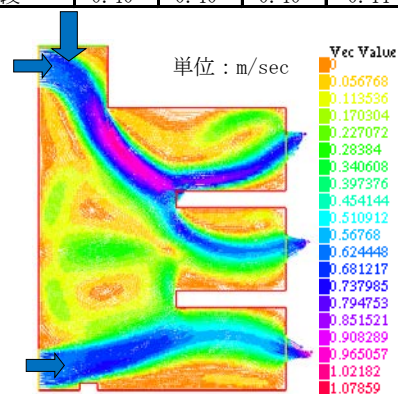


図-3 分水槽の流速ベクトル
(6,000 m³/日)

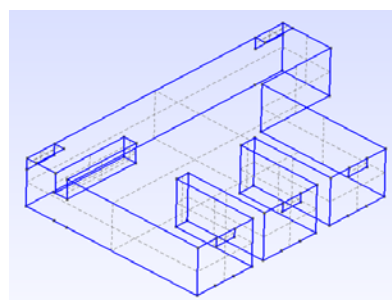


図-4 分水槽の三次元モデル

デル(図-4)による有限要素法を使って、時間最大汚水量 16,800 m³/日の条件で数値解析した。分水槽内の流線を図-5に示し、分配割合を表-2に示す。

表-2 三次元有限要素法による分配割合

ステップ 水路名	流量 ×0.0057 m3/sec	分配割合
ステップ 1	11.2	0.33
ステップ 2	11.5	0.34
ステップ 3	11.3	0.33
計	34.0	1.00

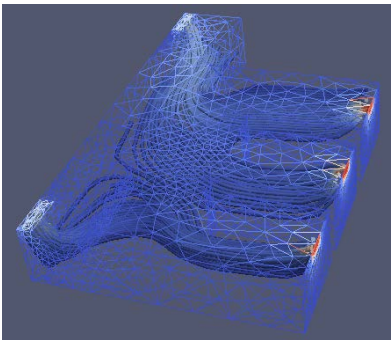


図-5 分水槽の流線

2.3.2 三次元格子ボルツマン法

上記の有限要素法は、堰を越流する際の水面変動を扱っていないため、有限要素法による分配割合を確認するため、自由水面の変動を取り扱える三次元の格子ボルツマン法を使ってさらに解析を行なった。分水槽のモデルと分水状況を図-6に示す。分水槽のモデルには、越流後の越流量を把握するために計量水槽を設けた。

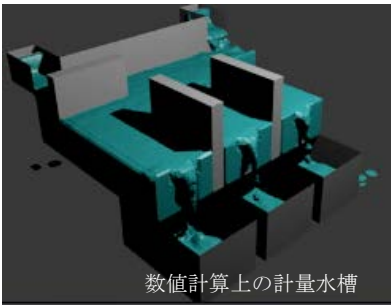


図-6 分水槽の分水状況

流れが定常になったと思われる時間発展 $t = 170 \sim t = 200$ の間 ($\Delta t = 30$) における計量水槽内の水位変化(図-7)から各ステップ水路への流量比を算定すると、表-3となった。格子ボルツマン法による解析でも、ほぼ均等の分配となった。現地では、運転管理上、各段の MLSS 濃度を均等にするよう可動堰の高さを調整しているの、調査時流量は、物理量でなく、生物反応を含んだ間接量であり、3次元の有限要素法、格子ボルツマン法の結果と異なっていることが考えられる。

表-3 格子ボルツマン法による分配割合

ステップ 水路名	分配割合
第1段	0.33
第2段	0.32
第3段	0.35
計	1.00

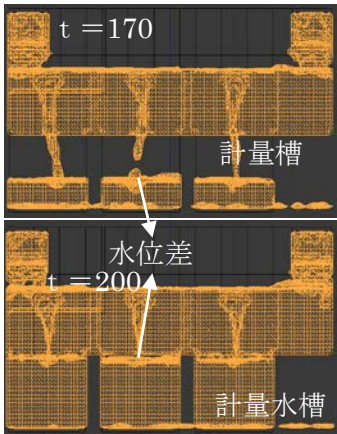


図-7 時間発展 $t = 170, 200$ から計算

3. 整流壁付分水槽の提案・検討

3.1 分水槽の分類

実施設における分水槽の配置は、一例として前掲図-1に示す平面位置にある。分水槽は、一般的に管廊の上部に設置され、流入方向が水路、管廊に降る階段、搬入口や明かりとりなどから制約される。分水槽を流入方向から図-8のように分類する。均等配分のため、分水槽には図-2の阻流壁ではなく丸孔付を想定した整流壁を提案し、その水理的な検討をする。

3.2 数値解析による整流壁付分水槽の分配割合

(1) 整流壁に対する流入方向

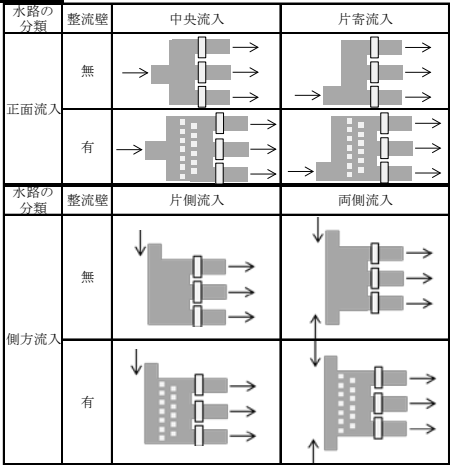


図-8 分水槽の流入方向の分類

整流壁付分水槽の平面位置として、共通水路(初沈流出水路)との接続と反応槽の休止などを考慮した整流壁付分水槽への流入方向の 2 ケースについて検討する。

1) 正面流入：整流壁の正面から流入させる

流入口的位置は、水路配置などを考慮して、整流壁に対して中央と片寄の 2 ケースについて検討する。

2) 側方流入：整流壁の側方から流入させるように整流壁付分水槽を設ける。ここでは側方流入と言う。流入方向は、片側流入と反応槽の休止を考慮して両側から流入する 2 ケース検討する。

3) 整流壁の枚数

整流壁には汚水中の夾雑物の付着や整流壁の間の夾雑物の滞留などが懸念され、維持管理上、枚数は少ない方がよいと思われるため、1～3 枚について整流効果を検討する。

3.3 整流壁付分水槽の解析モデルと解析結果

整流壁付分配槽の解析モデル(分配槽の各部寸法)を図-9 のように設定した。

数値計算上の動粘性係数 ν は、有限要素の大きさ、計算ピッチを考慮して $\nu = 1/1000 \text{ m}^2/\text{sec}$ とした。また流入幅を 1.0 m とし、流入流速 1.0 m/sec を与えた。

計算結果の流速の単位は m/sec であるが、レイノルズ数 Re が同じであれば、代表長さ(流入口)、流入速度、動粘性係数 ν を変えても流れの様子は変化しない。

3.3.1 正面流入(中央)の場合

初沈流出から整流壁の正面に流入する場合(図-8 上)を想定し、整流壁を 1 枚～3 枚に変えて検討する。解析した分水槽内の水流のベクトル図の一例(整流壁 1 枚)を図-10 に示す。整流壁 1～3 枚の分水槽出口からの流速から流量を算定し、整流壁枚数に対する分配割合として図-11 に示す。

整流壁枚数によらず No. 2 の分水槽出口の分配割合が大となる。しかし、整流壁が 2、3 枚になるに従い、流入口 1 m に対して分水槽幅 5.0 m と広いにもかかわらず各分水槽出口へはほぼ均等に分配できる。

3.3.2 正面流入(片寄)の場合

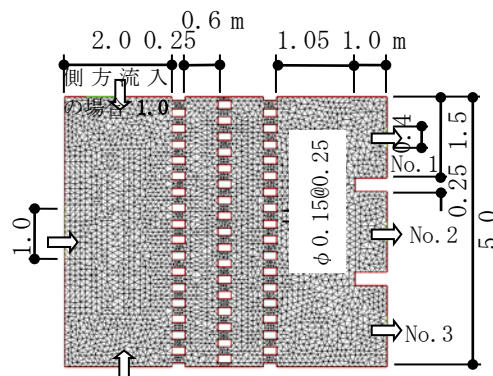


図-9 分水槽解析モデルとメッシュ

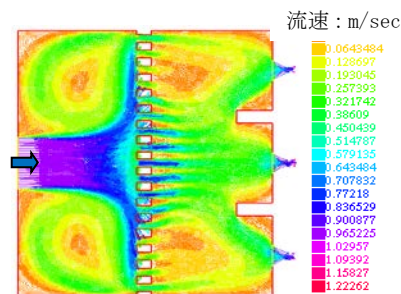


図-10 正面流入(中央：整流壁 1 枚)の流速ベクトル

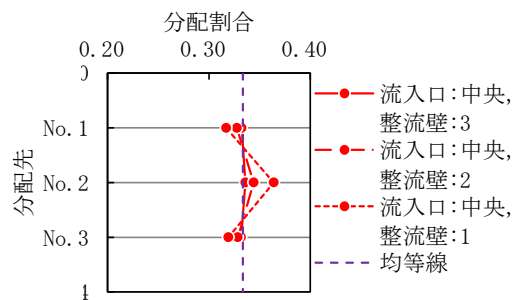


図-11 正面流入(中央)の整流壁枚数と分配割合

整流壁の正面から流入するが、実施設を考慮して整流壁に対して片寄った流入を想定した解析を行なった。

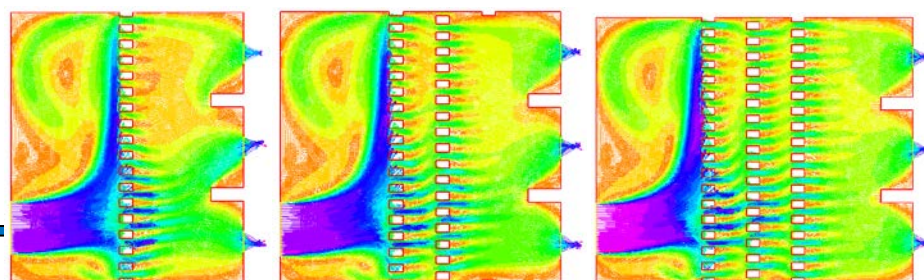


図-12 正面流入(片寄：整流壁 1～3 枚)の流速ベクトル

図-12に整流壁 1～3 枚に対する流速ベクトルを示す。また整流壁枚数に対する各出口からの分配割合を図-13に示す。

片寄った流入口付近に近い分水槽出口からの分配量が最も多くなる。整流壁が 1 枚の場合が最も分配割合が不均等となる。整流壁が 2 枚、3 枚となると少しずつ均等に近づく。

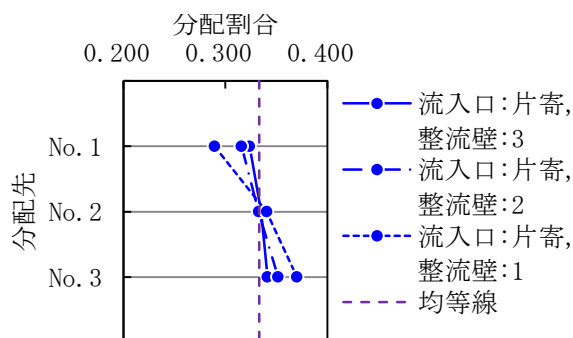


図-13 正面流入(片寄)の整流壁枚数と分配割合

3.3.3 側方流入(片側)の場合

整流壁に沿って側方の片側から流入する場合(図-8 下)を解析した結果を流速ベクトルの一例として整流壁枚数 2 枚を図-14に示す。

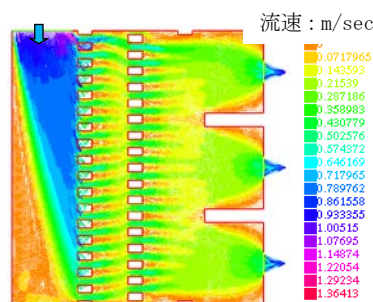


図-14 側方流入(片側：整流壁 2 枚)の流速ベクトル

側方の片側からの流入は、図-15に示すように整流壁の枚数によらず分配割合はほぼ一定であった。

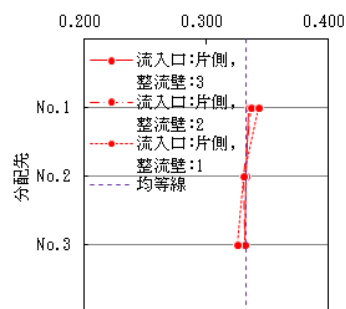


図-15 側方流入(片側)の整流壁枚数と分配割合

3.3.4 側方流入(両側)の場合

反応槽の休止を考慮して 1 つの分水槽の両側から流入することを想定した。流量は反応槽 1 槽の処理量と

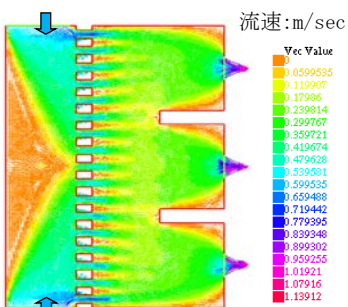


図-16 側方流入(両側：整流壁 1 枚)の流速ベクトル

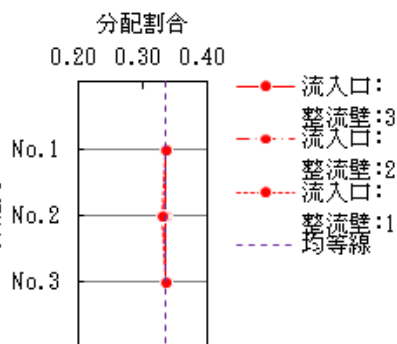


図-17 側方流入(両側)の整流壁枚数と分配割合

し、解析上、分岐後の水量を正面流入と同じとするため、分水槽入口からの流速を各々 0.5 m/sec とする。解析した結果を流速ベクトルとして図-16に示す。両側からの側方流入は、片側からの流入より、整流壁の枚数によらず、図-17に示すように均等な分配ができている。

3.3.5 正面流入(中央と片寄)および側方流入(片側と両側)のまとめ

各出口に対する分配割合で、最小分配割合に対する最大分配割合と最小分配割合の差を次式で算出する。

$$\text{差}(\%) = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\min}} \times 100$$

ここに、 $V_{\min}$ ：出口の最小分配割合

$V_{\max}$ ：出口の最大分配割合

各流入方向の最小分配割合に対する差を表-4、図-18 に示す。側方流入させる方が正面流入させる方より均等分配しやすく、かつ整流壁が 1 枚であってもその差は概ね 5 % 以下になる。正面流入させる場合、差を概ね 5 % 以下に抑えるためには、整流壁を 2 枚以上設ける必要がある。

表-4 流入方向および整流壁枚数と最小分配割合に対する差

流入方向		整流壁		
		3 枚	2 枚	1 枚
正面流入	中央	1.3%	5.1%	14.8%
	片寄	5.5%	11.3%	27.9%
側方流入	片側	0.7%	1.7%	5.3%
	両側	0.1%	0.9%	1.5%

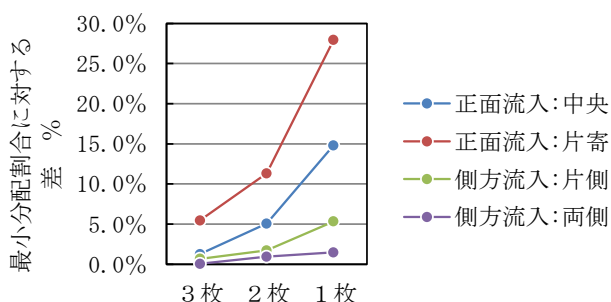


図-18 流入方向および整流壁枚数と最小分配割合に対する差

4. まとめ

実施設の分水槽について現地調査や二次元、三次元数値解析により、分配割合を新設・増設時に堰高の調整無く均等分配を図る構造として、整流壁付分水槽を二次元有限要素法で検討した。分水槽による均等分配には、整流壁を設けることが有効である。整流壁の正面から流入させる場合には、整流壁は有効であるものの、分配割合の差を概ね 5 % 以下に抑えるためには、2 枚以上必要であった。さらに、片寄流入がある場合には、3 枚必要であることが明らかになった。整流壁に接する方向から流入させる場合には、片側からでも両側からでも流入方向を問わず 1 枚から有効であることが明らかになった。

本稿では整流壁やその枚数による損失水頭については触れていないが、設置にあたっては考慮する必要がある。

本稿は、(公財)愛知水と緑の公社との平成 27 年度共同研究においてとりまとめた中で分水槽に関する研究に対して実施設の分水槽の三次元解析を追加したものである。発表の機会を与えていただいた公益財団法人 愛知水と緑の公社に感謝します。

【参考文献】

- 1) (公財)愛知水と緑の公社 藁科 亮, 愛知県尾張建設事務所 有我 清隆, 中日本建設コンサルティング(株) 中根 進: 多段ステップ流入式硝化脱窒法における均等流入に配慮した流路構造 第 52 回下水道研究発表会講演集 N-6-1-3
- 2) 大塚 厚二, 高石 武史: 有限要素法で学ぶ現象と数理—FreeFem++数理思考プログラミング 2014 年 2 月 15 日 共立出版