

配管の流れ場における流体の分配調整

中日本建設コンサルタント株式会社 ○山本 洋一 中根 進
 公益財団法人愛知水と緑の公社 丸山 司
 愛知県尾張建設事務所 有我 清隆

1 はじめに

水処理施設では反応槽各系列への送気、多段ステップの硝化槽へ送気、返送汚泥の各反応槽への分配など、配管の流れ場による流体の分配調整の必要な箇所が多数ある。現場では手動および電動バルブによって流体の分配調整を行っているが、分配が適正に実現できていない事例がある。バルブ調整によって分配調整に努めるが、開度に対する流量の感度が微妙で非常に難しいため、管理を容易にするため、バルブ調整を必要としない配管設計が求められる。本稿では、空気配管に絞り、硝化脱窒法を採用している実施設の配管 2 例の分配割合を調査し、数値計算(定圧法、管網計算)による分配調整値を示し、分配調整の適正化や効果を数値計算で事前に検討することにより、管理、設計に反映させたいと考えている。

2 実施設における風量管理の状況

2.1 機械式水中攪拌機による二段ステップ流入式反応槽の風量調査

二段ステップ流入式硝化脱窒法の反応槽には、散気装置に機械式水中攪拌機が 3 基設置されている(図-1)。その内 2 基(前段、後段と略記する)を使って風量調査を行った。

第 1 回調査:ライザー管の元弁を全開とし、風量を 20, 28, 34 Nm³/min と変化させた時の前段、後段の分配比率

第 2 回調査:最大 44 Nm³/min までの風量で前段、後段の分配比率が均等となる元弁開度を調査

第 3 回調査:元弁の開度調整による前段、後段の分配比率の変化

各段の風量は、前段、後段のライザー管に設置してあるフローメータで測定し、この読み値から分配比率を算定した。第 1 回、第 2 回調査時のデータを図-2 に示す。第 1 回調査時の前段、後段元弁を全開とした場合には、前段と後段の分配比率は、いずれの送気量に対しても前段が多くなり、概ね 0.57 : 0.43 となった。

前段、後段の分配比率が均等になるよう元弁の開度を変えて第 2 回調査を行ったが、いずれの送気量に対しても前段元バルブの開度が 50% のとき、均等となった(図-2)。さらに前段元バルブの開度を絞ると図-3 の開度と分配比率の関係が得られた。前段 0.57 と後段 0.43 のわずかに不均一な空気量を均等にするためには、前段元バルブの開度を 50% も絞る必要があった。開度 50% 以下の絞りに対しては、開度と分配比率が線形を示している。全体としては、バルブ開度と分配比率は非線形であり、開度調整による分配を難しくしている。

この反応槽では、1 槽毎に D0 計と風量調節弁が配置されていることや元弁が 2 つしかないことから、元

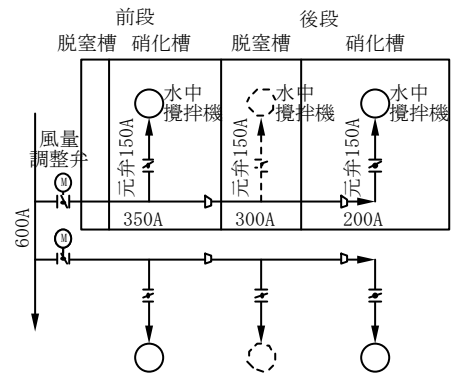


図-1 二段ステップ空気配管系統図

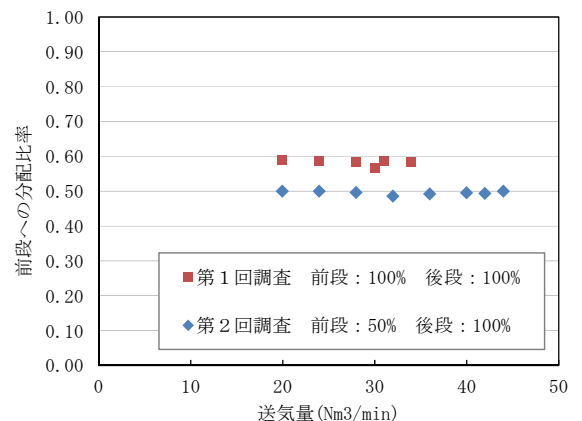


図-2 元弁開度と前段、後段の分配比率

バルブの開度調整で風量の管理が可能である。しかし、処理場によっては、1つの風量調節弁で複数の反応槽を制御し、かつ元弁の数が多くなる場合もあり、バルブによる風量分配管理の難易度は大幅に上昇する。

2.2 超微細気泡式散気装置によるステップ流入式3段硝化脱窒法の風量調査

三段ステップ流入式硝化脱窒法の反応槽では、超微細気泡式散気装置が設置されている。三段ステップの反応槽は、2槽あり、その2槽を1つの風量調節弁で制御している。片側の1槽(図-4)では、ヘッダー管およびライザー管元バルブの開度を全て100%としていた。もう片側は、各好気槽のDO測定により、空気量のバランスを確認したところ、一段目、二段目に風量が多く分配される傾向があった。そのため、ライザー管2本の元バルブ開度を一段目44%、二段目44%、三段目100%にして、各段の風量の均等分配が概ね確保された。

3 数値計算による二段ステップ流入式反応槽の分配比率

3.1 定圧法

図-5の前段、後段のライザー管元バルブを全開とした場合に、攪拌機からヘッダー管●印のまでの圧力損失を常圧気体として計算し、散気水深5mを加え、前段からと後段からの圧力が同値となるようトライアル計算で各段の空気量を計算した。

3.2 計算結果

計算結果を図-6に示すが、前段への分配比率は0.51でわずかに前段の方が多くなった。現場調査結果を併せて図-6に示すが、現場の前段分配比率0.57とは差が生じた。今回の定圧法では、ライザー管、ヘッダー管の異形管(レジュサー、エルゴ、丁字管など)の損失を考慮していないことなどが差の一因と考えられる。

4 数値計算によるステップ流入式3段硝化脱窒法の分配比率

4.1 空気の管網計算

ほぼ大気圧の気体を常圧気体といい、脱臭ダクトなどの低圧では非圧縮性流体として取り扱っているが、本稿の管網計算では、一般気体の圧縮性流体として取り扱う。

計算に使用する管摩擦係数 λ と気体定数を下に示す。

管摩擦係数	λ	0.018	—
気体定数	R	287.03	J/(kgK)
絶対温度	T	353.15	K 送気温度 80℃
基準密度	ρ_N	1.288228	kg/m ³

ライザー管風量などを未知数、送風機風量、吐出圧を既知量として管網全体の「総管路損失動力最小化の原理」¹⁾を使い、未知数を算出する方法を採用した。

元弁の形式は、バタフライ弁であり、その流量特性(バルブ容量係数 C_v)は、文献²⁾p.17の特性曲線を使用した。

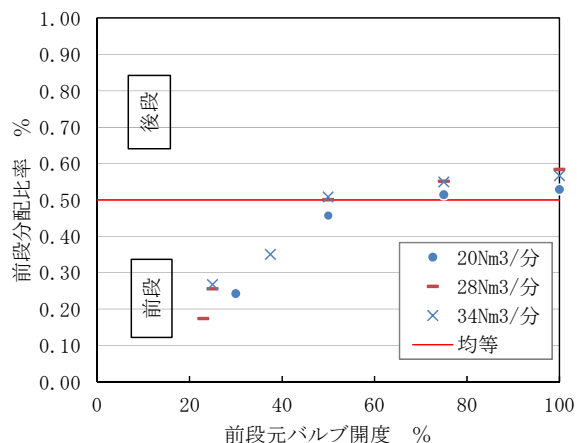


図-3 前段元弁開度と分配比率の関係

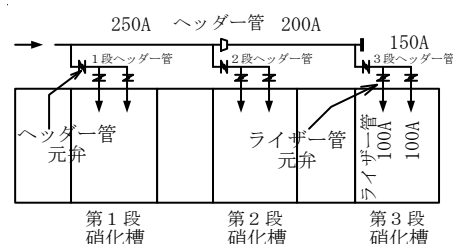


図-4 ステップ流入式3段硝化脱窒法の概略配管系統図

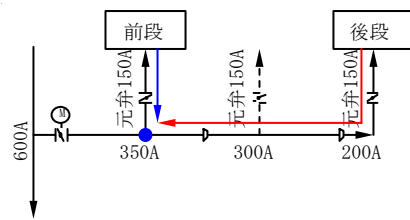


図-5 定圧法による分配空気量の計算方法

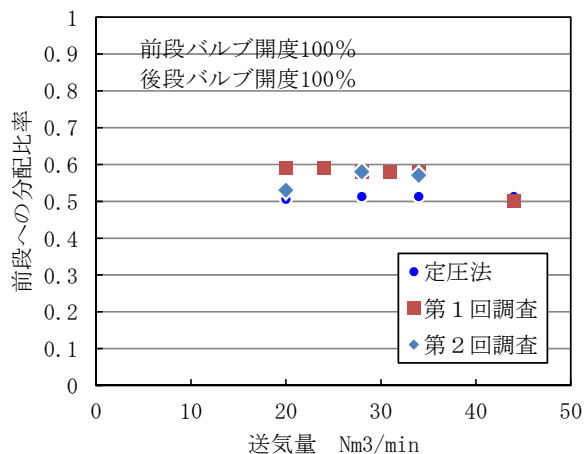


図-6 定圧法による計算値と調査値の比較

4.2 数値計算モデル

反応槽 1 槽に対して各段硝化槽へ空気が均等分配されているか検討できるようにモデル化する。図-4に示したが硝化槽各段に送気するため、ヘッダー管があり、さらに各段硝化槽の 2 本のライザー管に送気分配するため各段用のヘッダー管がある。現地では、各段の風量分配調整はヘッダー管の元弁で調整せず、ライザー管についている元弁(6 個)を操作していたが、数値計算では、ライザー管間での風量の差を見るためヘッダー管の元弁で調整するモデルとした。

4.3 計算結果

吹込水深圧 0.051 MPa、送気風量 1.491 m³/sec(日最大程度)を送風機と連動させ可変とし、ヘッダー管の元弁全開時と開度調整した各硝化槽への吹込量を計算する。

(1) 各段ヘッダー管元弁全開時の空気量

元弁全開時の各段への吹込空気量は、図-7 となった。割合は下の通りであった。

第 1 段硝化槽 0.37 > 第 2 段硝化槽 > 0.33 第 3 段硝化槽 0.30

この結果から、第 1 段の元弁を絞れば、均等化が図れるものと考えられた。

(2) 各段ヘッダー管元弁開度による空気量の均等化

第 3 段硝化槽への吹込空気が大であるため、均等化を図るため、各硝化槽のヘッダー管の元弁を調整する数値シミュレーションを行った。その結果、第 1 段と 2 段目の元弁の開度を 12%と 17%と絞り込むことにより、均等な風量となった(図-8)。均等化の調整には、第 1 段だけでなく 2 段目の開度も絞る必要があることが判り、実施設を再現できた。しかし、数値計算の元弁開度は非常に小さく、何度も計算を繰り返して求めざるを得なかった。バルブ開度が実施設 44%と大きく異なったのは、数値計算では送風機からライザー管までの管路に対して異形管の損失を省いてあるため、ヘッダー管における圧力が実施設より高いことが考えられる。

5 まとめ

実施設の 2 例に対して現地で風量調査を行い、各施設の数値計算(定圧法、管網計算)による風量の分配調整値を示し、バルブ開度による分配調整に対して、数値計算でもある程度再現できることが明らかになった。

今後、分配調整の適正化や効果を数値計算で事前に示すことにより、実施設のバルブ操作量などの管理や配管設計に反映させたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 坂東 修 著：Excel で解く配管とポンプの流れ (株)工業調査会
- 2) 北村裕一編著：CONTROL VALVE HANDBOOK JPP センター 昭和 51 年 11 月 1 日

【問い合わせ先】 中日本建設コンサルタント(株) 水工技術本部 中根 進 TEL052-232-6055 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp

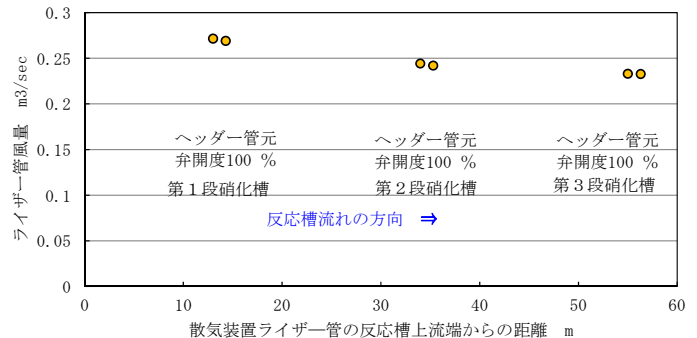


図-7 各段硝化槽ライザー管の風量(弁全開時)

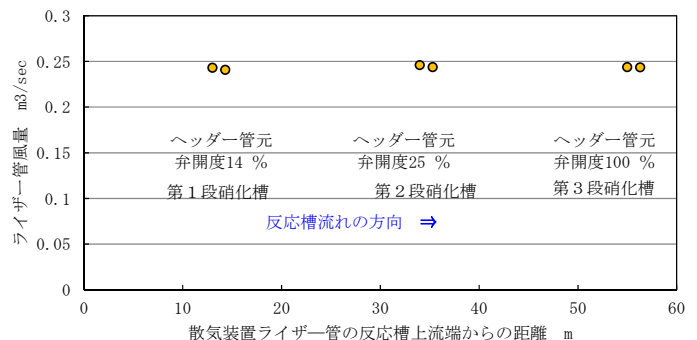


図-8 各段硝化槽ライザー管の風量(弁調整時)