

## 微生物処理を目的とした水撃発生装置の圧力特性について

日大生産工（研究員）○濱田 龍寿 日大生産工 遠藤 茂勝  
(株)ワイアンドケイ企画 清水 康史

### 1. はじめに

生活排水や産業排水の流入による水質悪化によって淡水域での藻類の異常発生が問題となってきた。この現象は富栄養化のために生じる藻類の異常繁殖で、飲料水への混入や、発生域での悪臭、景観の悪化などといった様々な現象が顕在化している。このような水面に繁殖する藻類は一般にアオコと呼ばれるもので貯水池やダム湖の水面を濃緑色に覆う現象で、将来的に危惧される水不足を考えると水資源確保のためにも回収処理は緊急課題である。一方これらの課題の根本的な解決策はきわめて困難な課題である。

このようなアオコ現象を起こす藻類として知られているのが *Microcystis* などである。藍藻は生体特性として光合成を行うため、水面に集積して厚いマットを形成することから水面を覆ってしまう。このような藻類の処理のために殺藻処理技術が種々試みられている。

物理的な処理方法としては超音波照射、高電圧パルス照射、キャビテーション処理、また化学的処理方法としてオゾン処理、凝集剤散布など検討されているが、いずれの処理法においても、処理量、コスト面、環境影響等の面で問題が残されている。著者らは環境影響、処理能力、コスト面や処理対策の普及などの面を考慮した場合、圧力の利用が最も処理効果が期待できると考えた。

圧力は物理力であり化学的な処理と比較して環境影響が少ない。また、物理力の中でも圧力は液体中を均一に伝わる性質があり均等で確実な処理が期待でき、また液体輸送管路内で連続的に処理が可能であるため処理能力の拡大や大規模化が容易に計られると考えられる。コスト面においては、圧力処理の場合は空気圧縮機や水中ポンプなどの汎用性のある機械が利用可能であるため、専用の機械を製作することなく安価に対応できる。藍藻および微生物の圧力処理についてはいくつかの研究が報告されており、細菌の圧力処理では

きわめて高圧（200MPa～500MPa）であるが、圧力を加圧減圧させる場合の単位時間当たりの変化率が大きく、繰返し加圧減圧を行うことが、処理効果を高くすることが確認されている。著者らはこれまでに藍藻の圧力処理について検討を行ってきたが、同圧力を作用させる場合でも、加圧減圧速度が大きく、繰返し加圧減圧を行う場合、細胞破壊の程度が大きくなることを確認している。また、水撃圧を作用させる手段として、上流側からの流入水のみで作動する水撃ポンプを用いることで、微生物の圧力処理が可能であることが確認できた<sup>1)</sup>。水撃ポンプは本来揚水を目的としたポンプであるため、揚水効率の向上を目的とした研究はいくつか行われているが、揚水を行わない場合の装置特性に関する研究は少ない<sup>2)</sup>。そのため、微生物処理を目的とした、すなわち揚水を行わない場合の水撃発生装置の設備規模を決定するための基礎資料がほとんどないのが現状である。本研究は微生物処理を目的とした水撃処理装置の設計手法の確立を目的とした検討を行うもので、本論文では実験的に水撃発生装置の圧力特性について検討をおこなった。

### 2. 実機概要

水撃発生装置の水理特性を把握するために、装置作動中の水撃ポンプ内の圧力の計測を行った。

実験に使用した水撃発生装置を図-1に示す。供給タンクとして直径30cm、長さ4mの塩ビ管を直立に設置し、供給タンクと直角方向に直径5cmの導水管を設置し内径100mmの水撃ポンプを接続した。水撃ポンプに接続する圧力タンクは1ℓのものを使用した。設備条件を変化させそれぞれのケースで水撃ポンプを作動させ、水撃ポンプ内の圧力は圧力計にてPCに取り込んで計測した。

実験条件を表-1に示す。水頭差は、0.5から3.0mの間を0.5m間隔とした6ケース、排水弁傾斜角度につ

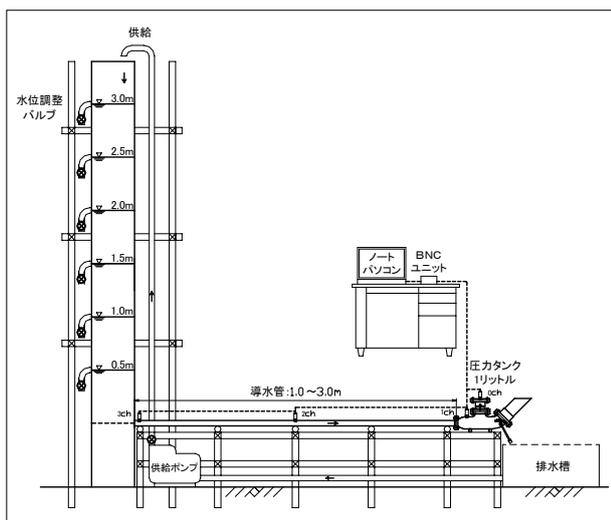


図-1 実験装置概要図

表-1 実験条件

項目	ケース数	ケース内容
供給水頭 (m)	6	0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0
排水弁傾斜角度 (°)	4	5,18,31,47
導水管長 (m)	3	1.0,2.0,3.0

いては最小角度5から最大角度47°の間を等間隔で4ケース、導水管長は1, 2, 3mの3ケースとした。

実験に使用した水撃ポンプの詳細図を示したものが図-2である。

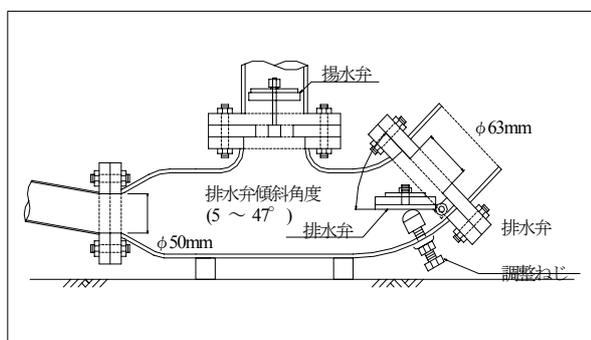


図-2 水撃ポンプ断面図

水撃ポンプは排水弁および揚水弁の二つの弁を有しており、揚水弁上部に圧力タンクが接続されている。上流からの流水によって排水弁および揚水弁が連続的に開閉しポンプ内に水撃圧を連続的に発生させながら圧力タンクを加圧させ圧力タンクに接続された揚水管から流水の一部を供給水頭以上に揚水することができる特徴をもっている。排水弁は自重によって転倒するように45°傾斜した形で閉鎖されるようにしてある。本実験では揚水を行わないため揚水管を設置していない。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 水撃ポンプ内の弁の運動メカニズム

連続作動中の水撃ポンプ内の圧力の時系列の一例を示したものが図-3である。横軸に時間、縦軸に圧力を示している。水撃ポンプ内では一定周期で連続的に水撃

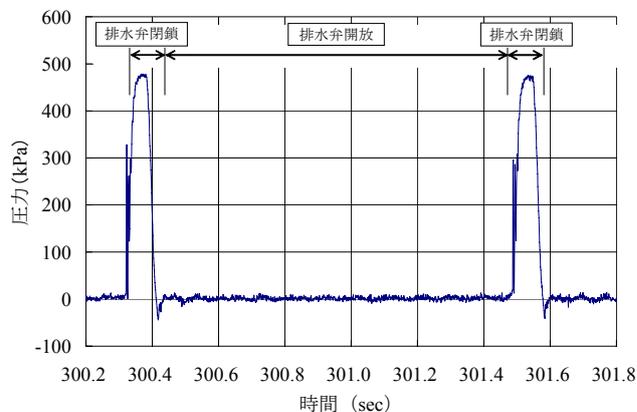


図-3 ポンプ内の圧力波形の一例

圧が発生していることが認められる。上流からの流入水によって排水弁が閉鎖すると水撃圧が発生しポンプ内に圧力が伝達される。圧力伝達による減圧後、排水弁は自重および管内の負圧によって開放され、再び排水口から流入水が排水される。水撃発生装置はこの動作を連続的に繰り返している。理論的には上流からの流水が続く限り半永久的に作動し続ける。

排水弁傾斜角度の異なる条件のポンプ内の圧力波形を示したものが、図-4, 5である。供給水頭1.5m、導水管長3.0mで排水弁傾斜角度が47°の場合と18°の場合である。横軸に時間を縦軸に圧力を示したものであり、一定周期で連続的に水撃圧を発生している様子をそれぞれ確認できる。供給水頭、導水管長が同じでも排水弁傾斜角度の違いによって発生する水撃圧の大きさおよび弁の開閉周期が異なっていることが確認できる。水撃圧の大きさについては、0°の場合約0.85MPaに対して42°の場合は約0.35MPaであり、水撃圧の周期については3秒間に発する水撃圧の回数は2回に対して4回である。管路内にある排水弁は流体にとって抵抗となり排水弁の傾斜角度によって抵抗の大きさである抗力は変化し、さらに、排水弁を閉じさせるために流水が弁に当たる面積も変化する。このように供給水頭、導水管長が同一条件の場合でも排水弁の傾斜角度の違いによって、発生する水撃圧力および開閉周期は変化してくる。さらに、供給水頭、導水管長を変化させると管路内の流水状況も変化するため、

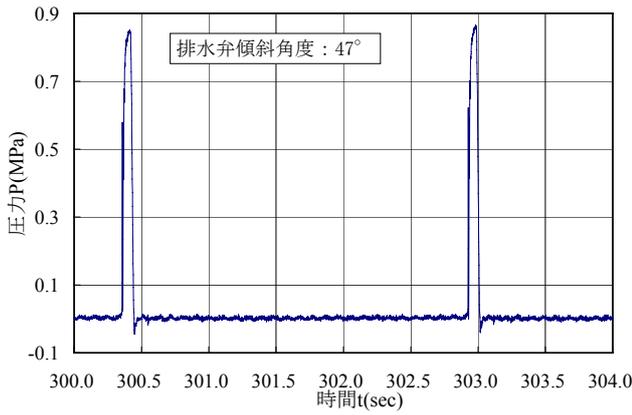


図-4 圧力時系列 (47°)

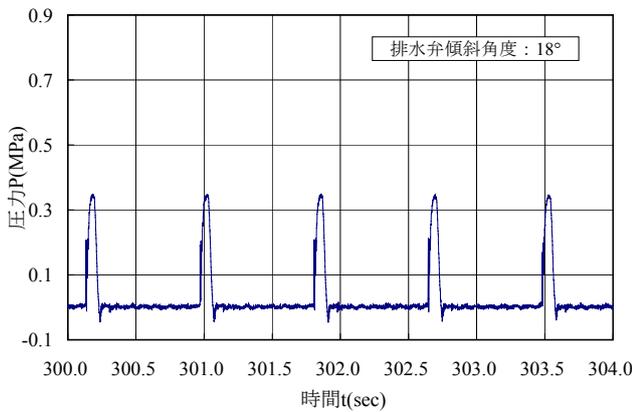


図-5 圧力時系列 (18°)

発生する水撃圧の大きさに複雑に影響する。供給水頭、排水弁傾斜角度、導水管長の違いが発生する水撃圧の大きさに及ぼす影響を把握するために各実験ケースごとに発生する水撃圧の大きさを算出し検討を行う。

## (2) 水撃発生装置の作動特性

実験条件によって連続作動するケースと作動しないケースがあった。実験結果を一覧表にまとめたものが表-2である。実験条件に対して作動したものおよびしなかったものをそれぞれ、○、×、△で示している。○は連続作動したケースで、×、△は連続作動しなかったケースである。×は始動時に弁を強制的に開放させて、弁を可動状態にさせても弁が閉鎖しなかったケースである。△は始動時に弁を強制的に開放させ、弁を可動状態にさせると弁は流水によって閉鎖するが、その後、弁は倒れ開放せず閉鎖したままのケースである。

導水管長が 1.0m の場合は、すべてのケースで連続作動しなかった。(θ = 31° × H = 0.5m) (θ = 47° ×

表-2 実験結果 (作動比較)

		排水弁傾斜角度 (°)			
		5	18	31	47
水頭差 (m)	0.5	○	○	×	×
	1.0	△	○	○	×
	1.5	△	○	○	○
	2.0	△	○	○	○
	2.5	△	△	○	○
	3.0	△	△	○	○
L=2.0m					
		排水弁傾斜角度 (°)			
		5	18	31	47
水頭差 (m)	0.5	△	○	×	×
	1.0	△	○	○	×
	1.5	△	△	○	○
	2.0	△	△	○	○
	2.5	△	△	△	○
	3.0	△	△	△	○
L=1.0m					
		排水弁傾斜角度 (°)			
		5	18	31	47
水頭差 (m)	0.5	△	△	×	×
	1.0	△	△	△	△
	1.5	△	△	△	△
	2.0	△	△	△	△
	2.5	△	△	△	△
	3.0	△	△	△	△

○：連続稼動

△：連続稼動しない (排水弁が開かない)

×：連続稼動しない (排水弁が閉じない)

H=0.5m) は弁が閉じなかったケースで、その他は弁が開かなかったケースである。弁が閉じなかったケースについては導水管長 2.0m, 3.0m も共通してこの条件では弁が閉じていない。これは、排水弁の抗力が大きいため、管路内の流速が弁を閉じさせるまでに至らなかったもので弁が閉鎖しなかったものと考えられる。ここで、導水管長 2.0, 3.0m で (θ = 47° × H = 1.0m) の場合も×となり、排水弁が閉じていない。このことから、導水管長が 1.0m の場合のときは水頭差が 1.0m でも排水弁が閉じる流速になるが、導水管長が 2.0, 3.0m になると流速が小さくなり弁が閉じるまでの流速が発生しないことがわかる。よって導水管が長くなるにつれて流速が小さくなるのがわかる。

つぎに導水管長 3.0m の時 (θ = 5° × H = 0.5m) (θ = 18° × H = 1.5m) (θ = 18° × H = 2.0m) (θ = 31° × H = 2.5m) (θ = 31° × H = 3.0m) については連続作動したが導水管長が 2.0m になると排水弁が開かず連続作動しなかった。これらのことから、弁が転倒しよう

とする転倒モーメントに対して発生する水撃圧がある一定以上大きくなるか、導水管が短くなることによる反射波の影響によって弁が転倒できず開かなくなったと考えられる。

効率的な供給水頭と導水管長の関係は、供給水頭と導水管長との比率が8倍で導水管の勾配が7度程度であるといわれているが、導水管勾配がなく、供給水頭3.0mに対して導水管長が2.0mの場合でも稼働することが確認できた。

### (3) 水撃発生装置の運動限界条件

揚水を行わない水撃発生装置の流動特性について、実験から得られた結果をもとに供給水頭、排水弁傾斜角度、導水管長の変化に対する水撃圧の大きさについて検討する。

導水管長3mの場合の供給水頭に対して水撃圧を示したものが図-6である。横軸に供給水頭、縦軸に水撃

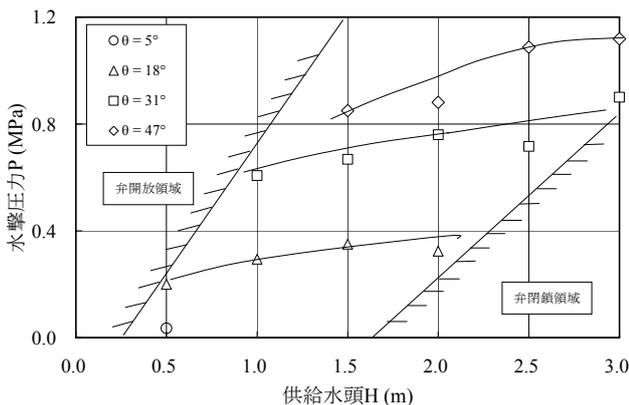


図-6 供給水頭—水撃圧力 (導水管長L=3.0m)

示している。水頭差が大きくなると流速は大きくなるため、弁閉鎖時に発生する水撃圧の大きさは大きくなる傾向を示している。弁角度によるが、ある一定の供給水位以下の場合だと弁は開放したままで連続作動せず、ある一定以上の供給水位の場合、弁は転倒開放せず連続作動しない。このことから、連続作動領域と弁開放領域、弁閉鎖領域にエリア分けすることができこの図から作動可能領域とそのときの発生水撃圧の大きさを類推することが可能である。水撃圧の大きさは供給水頭よりも排水弁の傾斜角度の影響を大きく受けていることが確認できる。

導水管長2mの場合の供給水頭に対して水撃圧を示したものが図-7である。横軸に供給水頭、縦軸に水撃圧を示している。導水管長3mの場合と同様にエリア分

けを行った。導水管長について比較した場合3.0mと2.0mでは、弁開放領域に変化はないが、導水管長3mの場合、弁閉鎖領域が小さく連続作動領域が大きい。

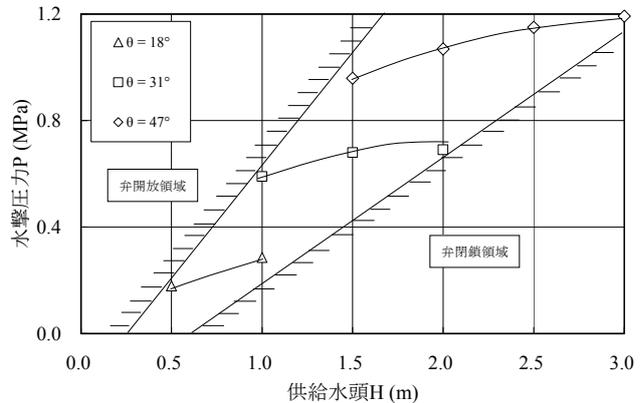


図-7 供給水頭—水撃圧力 (導水管長L=2.0m)

これは、導水管長2.0mのほうが3.0mと比較して流速が大きく水撃圧の大きさは大きくなり、さらに発生した水撃圧が導水管を伝播して供給タンク壁面に達し戻ってくる反射波が排水弁の自重と負圧による転倒に対して影響するため、弁が転倒開放できない領域が大きくなったためであると考えられる。水撃圧の大きさは導水管長がL=3.0mの場合と同様に供給水頭よりも排水弁の傾斜角度の影響を大きく受けていることが確認できる。

## 4. まとめ

微生物処理を目的とした場合の水撃発生装置の圧力特性を把握するために、実験的に検討を行った。本論文の主要な結果をまとめると以下のように要約される。

水撃発生装置を作動させるためには、稼働限界が存在し、導水管長を一定以上短くすると稼働しないことが確認できた。供給水頭についても稼働限界が存在し稼働には一定上の高さは必要であるが、ある一定以上高くすると稼働しなくなることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 濱田龍寿, 遠藤茂勝, 清水康史; 藍藻破碎に対する水撃圧の応用について, 土木学会水工学論文集, vol.54, PP.1495~1500, 2010
- 2) 鏡研一, 出井努, 牛山泉; 水撃ポンプ製作ガイドブック, 株式会社パワー社, 1-24, 1999.