

# 藻類処理への水撃圧の応用について

日大生産工（院）○濱田 龍寿 日大生産工（院）山田 泰正  
日大生産工 遠藤 茂勝

## 1. はじめに

地球規模の温暖化の進行と相まって主として春から夏にかけて、その繁殖がピークとなる淡水域での藻類の異常発生が問題となってきた。この現象は水資源確保のためのダムや貯水池においては湖沼等の閉鎖性水域において、富栄養化のために生じる藻類の異常繁殖で、水道水への混入や、発生域での悪臭、景観などといった様々な現象が社会問題化している。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。これらの課題の根本的な解決策は、富栄養化した水質の改善が望まれるが既に汚染が進行している現時点では生態系をも含む物質循環系にも及んでいる事から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代表的な藻類として知られているのが藍藻のなかでも *Microcystis* などである。水中に浮遊するのでプランクトンでもあり、光合成をして生活するので植物プランクトンとしても議論される。また、藍藻は浮上性が強いので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。アオコを構成する藍藻は細胞内にガス胞を持っていることから、それに着目して、そのガス胞を破壊して浮沈能力を失わせ、活動を抑制しようとする試みなどがある。ガス胞を破壊して沈降させる物理的な処理方法として超音波照射、高電圧パル

ス照射、キャビテーション処理が、また化学的処理方法としてオゾン処理、殺藻剤散布、凝集剤散布が試みられてきた。また、バキューム車や清掃船による直接回収なども検討されている。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<sup>2)</sup>。このような現状から環境影響にも配慮し、処理能力、コスト面や処理対策の普及などの面を考慮し藍藻の生命活動に致命的な効果をもたらすガス胞の破碎に最もその効果が期待できる圧力の利用が処理に適していると考えて検討を行った。一般に液体中での圧力の伝達は均等で、その上衝撃圧の伝達速度は極めて速い。一方アオコは水中に存在して生活していることをから、圧力伝達といった水中での物理現象の応用が藍藻など水中微生物に均等で確実な処理を実現し処理能力の拡大や大規模化が容易に計れると考えられる。本研究は圧力を利用した効率的な藍藻の処理方法について検討するもので、著者らは現在までに圧力を藍藻に作用させる場合、圧力速度や繰り返し回数、水撃圧の応用が藍藻処理に影響することを確認している。本論では藍藻の圧力処理に水撃圧を応用した場合の処理効果の評価を行うため、実験的に検討を行った。

## 2. 実験装置および方法

加圧や減圧によるガス胞や細胞自体の破壊の様子を調べるために加圧処理の方法として静圧的な加圧方法と動圧的な加圧に対する検討を行った。

(1) 加圧処理について

加圧処理実験では、比較的ゆるやかな圧力変化に対して藍藻がどのような反応を示すかを調べることを目的に、加圧中の可視化が可能な装置として、通常土質試験に用いられる三軸圧縮試験装置を用いておこなった。三軸圧縮試験装置は図-1 に示す装置である。セル内にアオコ水 500ml を入れたビーカーを置き圧縮空気を供給し、ビーカーの水面から静圧的な加圧を行った。単位時間当りの圧力変化を供給空気量で制御した。各タイプごとに圧力増加の割合をほぼ一定としてピーク圧を変化させ加圧処理実験を行った。加圧波形としては図-2 に示すように 3 種類の圧力波形とした。いずれの圧力波形も処理圧力値を設定してピークまで加圧し、同じ圧力速度で減圧する TYPE-A、ピーク圧力までの時間を 1/10 とした場合の TYPE-B、TYPE-C はピーク圧力まで瞬時に加圧し、その後瞬時に減圧する圧力波形で、衝撃的な圧力波形といえる。TYPE-C の場合は給排気弁の径の影響で加圧に 6~7 秒、減圧に 6~9 秒を要した。

(2) 水撃処理について

流体の流れを瞬時に止めることによって発生する水撃圧を用いた処理についての検討を行った。実験に用いた水撃加圧装置（水撃ポンプ）を示したものが図-4 である。供給ヘッドは 3.0m で導水管長は 3.0m である。上流からの流下のみで連続的に水撃圧を発生させ水撃ポンプは作動し藍藻は水撃ポンプ内で水撃圧を受け排出される。水撃ポンプで発生し

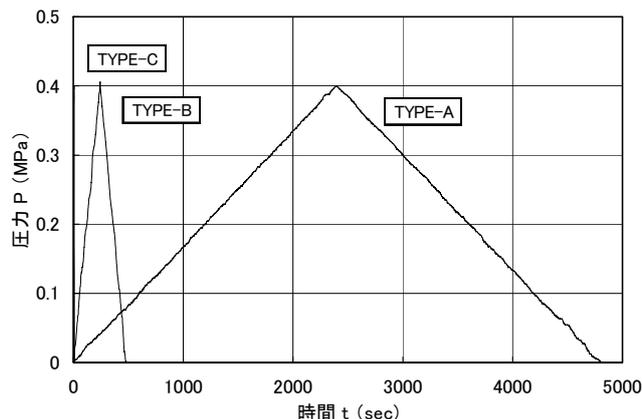


図-2 セル内圧力波形

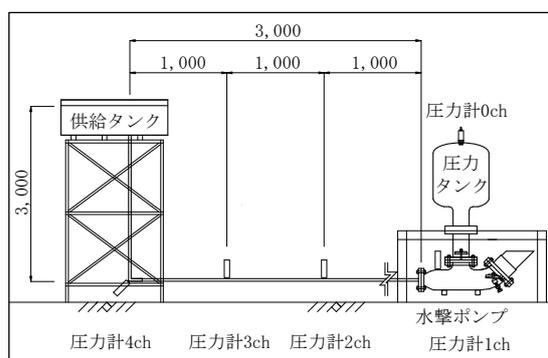


図-3 水撃実験装置

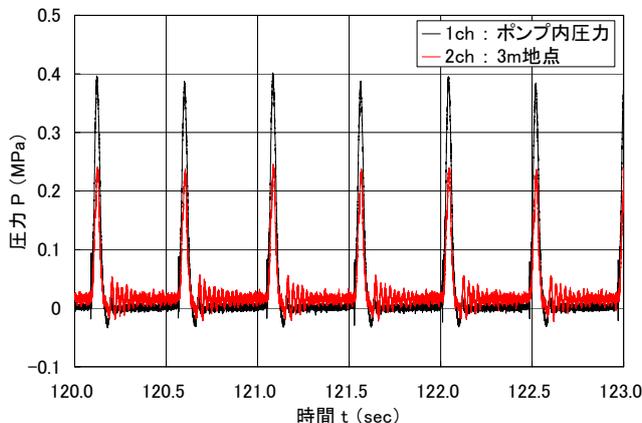


図-4 水撃ポンプによる圧力波形

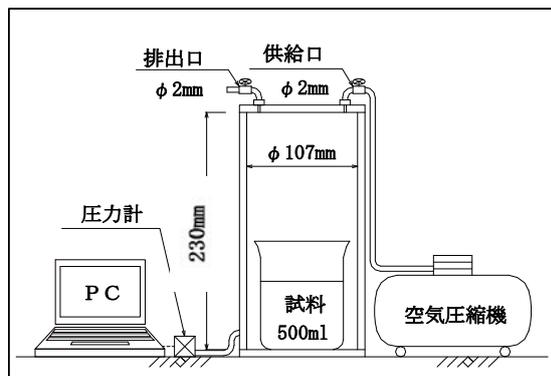


図-1 加圧実験装置

表-1 実験条件

		圧力速度	処理圧力 (MPa)				
			0.38	0.40	0.42	0.44	0.60
加圧処理	A	加圧速度 $\times 10^{-4}$ MPa/sec	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
		減圧速度 $\times 10^{-4}$ MPa/sec	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
	B	加圧速度 $\times 10^{-3}$ MPa/sec	1.69	1.67	1.70	1.67	1.68
		減圧速度 $\times 10^{-3}$ MPa/sec	1.67	1.71	1.67	1.70	1.69
	C	加圧速度 $\times 10^{-2}$ MPa/sec	8.26	8.29	7.65	7.94	8.51
		減圧速度 $\times 10^{-2}$ MPa/sec	6.33	8.90	8.42	8.81	9.93
水撃処理	加圧速度 $\times 10^1$ MPa/sec	1.80	1.15	2.93	2.23	4.56	
	減圧速度 $\times 10^1$ MPa/sec	1.15	0.73	1.16	1.33	1.97	

た水撃圧の圧力波形の 1 例を示したものが図-4 である。図に示した圧力波形は水撃ポンプ内での圧力と導水管内のポンプから 3.0m 地点の圧力波形を重ねて示したものである。横軸に時間をとって縦軸に圧力を示したものである。水撃ポンプ内で 0.40MPa、導水管内の 3.0m 地点では 0.24MPa 程度の圧力となっていることがわかる。水撃ポンプ内で一定周期で連続的に水撃圧が発生していることが確認でき、配管内にも圧力が伝播している様子が確認できる。水撃圧が 0.40MPa まで加圧するのに要する時間は 0.034 秒、0.00MPa まで減圧するのに要する時間は 0.059 秒であり、この間水撃ポンプの排水弁は閉じており、それ以外の時間は藍藻は排出される。このときの水撃圧の圧力速度は 11.5MPa/sec であり、減

圧速度は 7.29MPa/sec であった。各タイプの圧力ごとの加圧、減圧の条件は表-1 に示すとおりである。ピーク圧力の設定は、これまでの研究でアオコ細胞が破壊し沈降するといわれる 0.4MPa を中心にその近傍の圧力を設定し、アオコの沈降状況を確認した。

### 3. 実験結果および考察

加圧処理および水撃処理後 24 時間経過後の写真を示したものが写真-1 である。この結果によれば、いずれの圧力速度でも処理圧力が 0.38MPa では変化がなくこの圧力以下ではアオコの沈降が起きないが、0.40MPa ではわずかに沈降がみられる。そして、0.42MPa では全てすべての条件で明確な沈降が認められた。この圧力になると、いずれの圧力速度

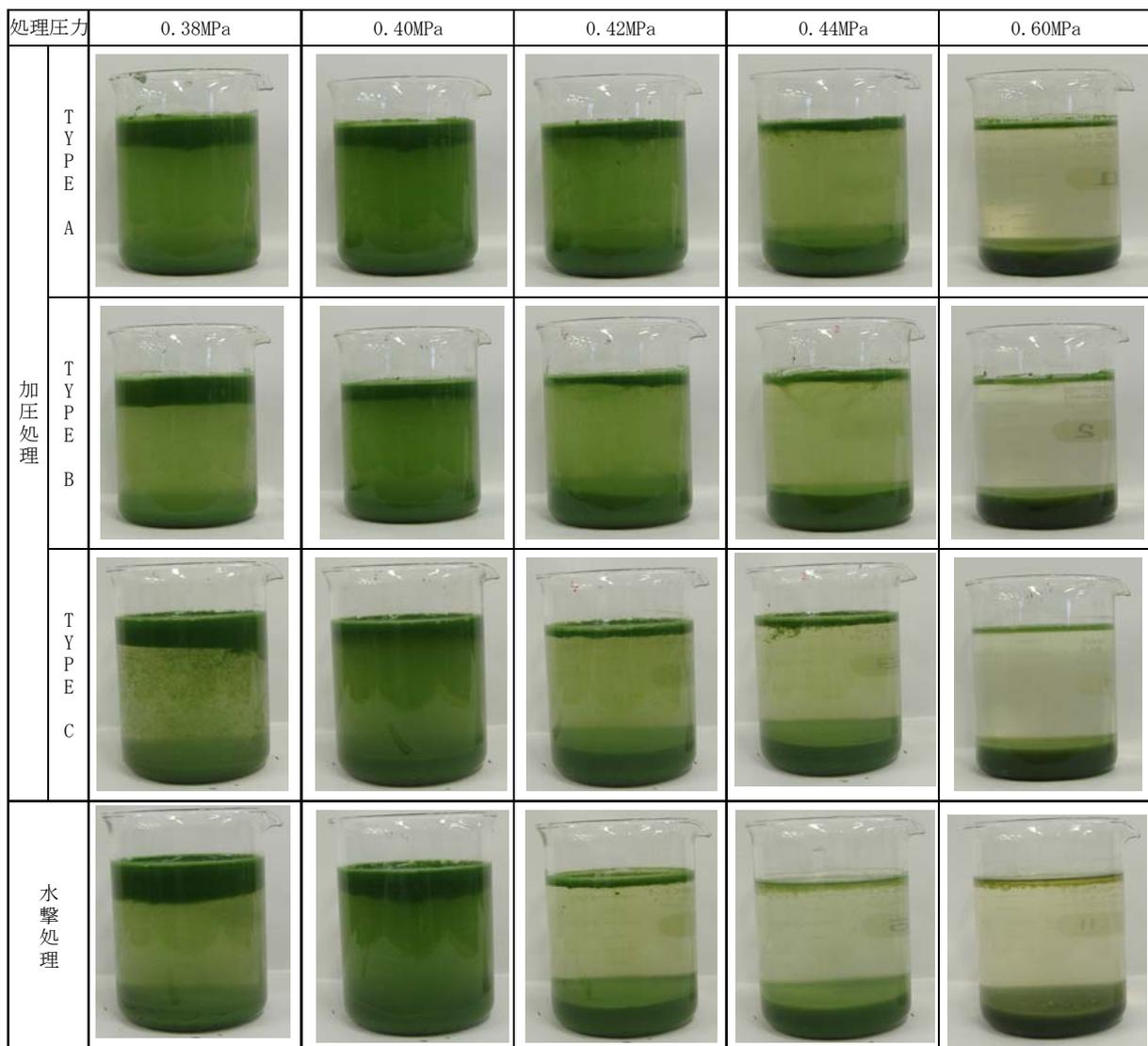


写真-1 圧力速度の効果

でもビーカー内は徐々に沈降が進行する。処理圧力が 0.44MPa になると、試料の大部分が圧力速度にかかわらず濃緑色に変化し沈降することがわかる。しかし、まだ水面に浮遊して残されているものも認められる。そして、その割合は圧力速度の緩い TYPE-A が最も多く、順次圧力速度が大きくなると少なくなり最も圧力速度の大きい水撃処理の場合が浮遊量が最も少ないことがわかる。TYPE-A～C までの沈降の結果では、まだ浮遊して残っているのが認められるが、水撃処理ではほぼ全てのアオコが処理されたと考えられる。水面付近に残されて浮遊している藍藻の容積から沈降量を間接的に評価し、沈降比率をまとめたものが図-5 である。横軸に圧力速度、縦軸に沈降比率をとり、全ての処理圧力条件を示している。0.42MPa 以上の圧力の場合、圧力速度の増加にともない沈降比率は増加し、水撃処理（圧力速度約  $10^1$ MPa/sec）では 100% となった。今回実験に使用した試料の場合は 0.40MPa から 0.42MPa 付近が沈降の限界圧力と考えられそれ以上の圧力では圧力速度の増加にともなって、沈降比率が増加することが確認できる。しかし、アオコの沈降には圧力波形だけでなく処理圧力値も重要であることがわかる。水撃処理はアオコの破壊に効果があり、アオコの処理には衝撃的な加圧方法が有効であることが明らかとなった。これらの実験の結果から沈降比率を増加させる条件としてはある一定圧力以上の圧力で圧力速度が大きいほど効果が期待されることが明らかとなった。

写真-2 は藍藻の光学顕微鏡写真である。(a) は未処理、(b)(c)は 0.4MPa、0.6MPa で水撃処理したもの、(d)はカバーガラス上から 0.6MPa の圧力で藍藻を押しつぶしたものである。(b)(c)の写真から処理圧力値の増加にともない細胞内の内容物の溶出の程度が大きくなり、写真の濃度が薄くなることを確認できる。(d)は内容物が溶出し細胞内の濃度は薄くなるが細胞周辺に水がないため、内容物が分散できず周辺にとどまっている様子を確認することが

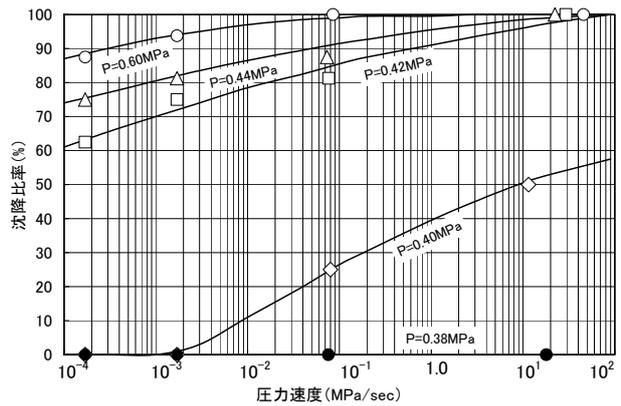


図-5 圧力速度対する沈降比率

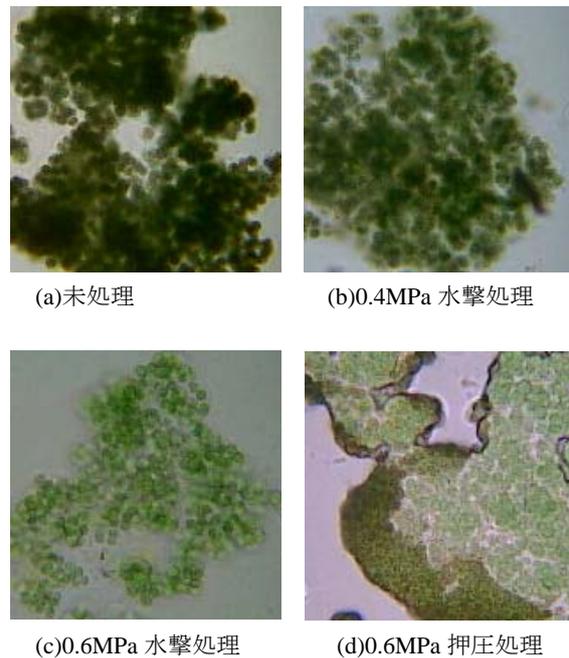


写真-2 光学顕微鏡写真

できる。顕微鏡確認の結果から、処理後目視でビーカー内で濃緑色に変化することが確認できた藍藻は細胞内の内容物が水に溶出したためと考えられる。

#### 4. まとめ

藍藻の圧力処理において圧力速度に着目して処理効果を評価すると、静圧と比較して圧力速度の速い水撃圧が同圧力値を作用させる場合でも沈降比率が高く処理効果が高いことが確認できた。処理圧力値および圧力速度によって処理後の浮遊容積に差異が認められ、浮遊容積を処理効果の評価に利用することができた。