

藍藻の圧力処理における圧力速度の効果に関する検討

日大生産工（院） ○野崎 久寛
日大生産工 遠藤 茂勝

1. はじめに

都市化による産業排水・生活排水の増加が引き金となり、世界規模で水域の富栄養化が問題になっている。ダム湖、湖沼等ではリンや窒素が増加することで、これらを栄養源とする水生微生物が大量発生する。夏期になると淡水域では「アオコ」現象が発生する。アオコは有毒で悪臭を放ち、景観も悪くなるなど環境へ与える影響が大きい。浄水施設の整っていない時代や国では、飲料水への混入が見られるなど社会問題へと発展し、アオコによる被害は100年以上も前から報告されている。現在は動物への影響はほとんど報告されていないが、水の富栄養化によるアオコの発生量は過去とは比べ物にならないほど深刻化している。

アオコの処理には、物理的方法として高電圧パルス照射キャビテーション処理、超音波照射などがあり、化学的処理方法としてはオゾン処理、凝集剤散布などが検討されているが、環境への影響、コストなどを考慮すると効果的な方法はまだ確立されていない。

そこで本研究では、加圧中の可視化および、圧力の変化をコントロールできる三軸圧縮試験装置と、極めて短い時間に衝撃力を発生させることのできる水撃ポンプを用いて、アオコの処理について検討したが、圧力作用の違いがアオコを形成する微生物にどれほどの影響を与えるかに着目した。

2. アオコを形成する微生物

アオコとは、ダム湖や湖沼で藍藻類が大量発生し、水面に集積し水面が緑色に呈する現象をいい、特定の藍藻類の種名でない。アオコ現象の原因生物は、シアノバクテリア（藍藻）に属していることが多い。藍藻の中で有毒アオコをつくる代表的なものは、ミクロシステス属であるとされ、肝臓毒をつくり動物

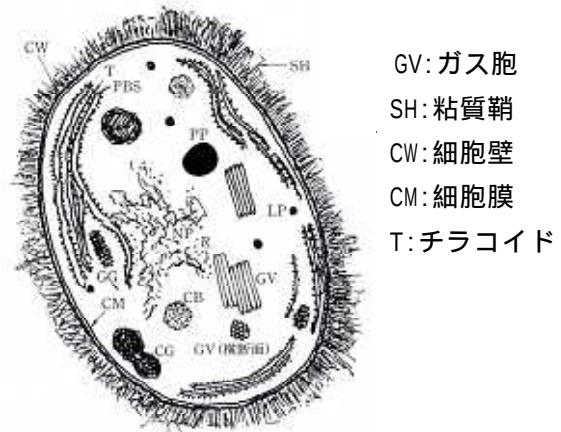


Fig.1 藍藻の細胞模式図（文献1より）
に被害を与える。藍藻細胞を光学顕微鏡で観察したものをFig.1に示す。藍藻はガス胞をもち、ガス胞を浮き袋のかわりに利用して水面へと浮上しアオコを形成するが、同時に光合成も行ふ。よって、藍藻は、光合成を行う一方、夜間や水温の低い時期になると水底に沈むことから、植物と生物の両方に属しているといわれている。しかし、浮上能力を持つガス胞は衝撃力をかけると潰れ、不活性化させられることがわかっている。

3. 実験装置および方法

本研究では、三軸圧縮試験装置で、時間をかけてゆっくりと加圧していく方法（静的加圧）と、水撃ポンプを使用し、瞬時に細胞に圧力を加える方法（動的加圧）の2種の方法で実験をおこなった。

3.1 三軸圧縮試験装置による静的加圧

この実験では、土質実験で使用する三軸圧縮試験装置（Fig.2）を用いて、藍藻を含んだ水500mlを入れたビーカーに圧縮空気を送り込み加圧した。

Table.1に示すように、圧力のかけ方は3つのパターンに分けた。TYPE-Aはゆっくりと時間をかけて最大圧力まで加圧し、同じ時間をかけて減圧する。TYPE-BはTYPE-Aと同じ圧力を加えるが、最大加圧までの時間をTYPE-Aの

1/10に短縮したもの、TYPE-Cは最大圧力まで瞬時に加圧した直後に瞬時に減圧したものである。最大圧力値の決定は、藍藻が沈降し始めるのは圧力が0.3Mpa以上であることが既往の研究結果でわかっているため、それを参考に0.3、0.35、0.40、0.45、0.50、0.55Mpaを処理圧力とし、実験条件とした。

3.2 水撃ポンプによる動的加圧

水中では衝撃的な圧力伝達速度が極めて速いことを考えると、水中の微生物には急激な圧力変化のほうが藍藻細胞におよぼす影響は大きいと期待できる。

水撃ポンプは高所から低所に水を供給することで作動する無動力ポンプである。このポンプは弁の開閉により、急激な圧力変化を瞬時に発生させることができ、供給ヘッドが一定でも弁の操作角度によって処理圧力も変化させることができることからこの装置を選択した。

本実験では0.35Mpa～0.40Mpaで0.01Mpa区切りの圧力が出るよう、それぞれ弁の動作角度を調節した。また、0.35Mpaおよび0.40Mpaの圧力作用時間をTable.1の下段に示す。

(動的加圧の作用時間においては、静的加圧との時間比較ができるものが0.35Mpaおよび0.40Mpaしかないため、比較できないものは表示していない。)

Table.1とTable.2を比較してわかるように、同じ処理圧力でも加圧・減圧速度と作用時間は極端に違う。例えば、静的加圧で最も速度の速いTYPE-Cの0.35Mpaでの圧力作用時間は14.47秒であるのに対し、動的加圧の場合、同圧力で0.098秒と、三軸圧縮試験装置では出すことのできない処理速度を水撃ポンプは発生させることができる。このように各圧力速度の差が、藍藻細胞にどのように影響してくるかに着目した。

4. 実験結果および考察

4.1 静的加圧処理結果について

3ケース (TYPE-A, B, C) の圧力波形を作用させたアオコの処理後の結果を示したものが

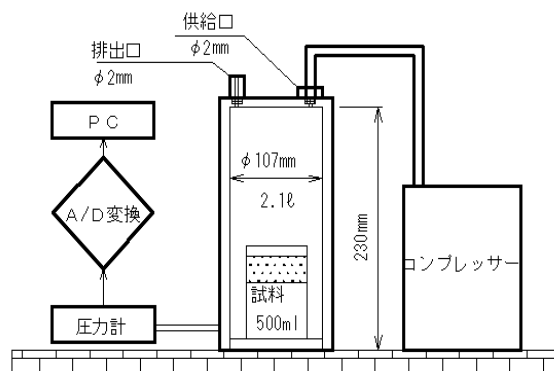


Fig.2 静的加圧試験装置（概略図）

Table.1 圧力別加圧時間（静的・動的）

		最大压力(Mpa)	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
压力作用時間 (s)	TYPE	A	3592.81	4191.77	4790.42	5373.18	5988.02	6586.83
		B	358.60	412.98	472.31	537.36	591.74	552.70
		C	12.36	14.47	14.39	13.44	14.41	14.96
		水撃	—	0.098	0.106	—	—	—

Table.2 圧力速度（静的・動的）

最大圧力 (Mpa)		0.35	0.40
TYPE-C	弁角度 (°)	-	-
	圧力速度 (Mpa)	0.05	0.06
水撃	弁角度 (°)	79.90	83.70
	圧力速度 (Mpa)	7.45	8.40

Fig.3であり、処理後から24時間経過したものである。この結果から、どのTYPE も0.30Mpaではほとんど藍藻の沈降が見られない。このことから、これ以下の圧力では効果が得られないことがわかる。0.35Mpaではすべての条件でわずかながら沈降が確認でき、0.40Mpaではすべての条件で沈降が確認できる。全体的に緑色に呈しているのは浮力を失い、中間層で浮遊しているものがあるためである。さらに圧力を0.55Mpaまで上昇させると、さらに沈降量は増す。このことから、処理圧力の上昇と沈降量は比例関係で増加していくことがわかる。

次に、圧力速度の面から考察する。Fig.4に示すように、同圧力（ここでは0.50Mpa）のTYPE別の沈降割合をみると、圧力速度の

最も速いTYPE - Cが最も多く沈降し、次いでTYPE-B、TYPE-Aとなっている。これは、処理最大圧力値が同じでも、圧力速度が速いほど処理効果が増し、藍藻細胞の不活性化が効率的にできることを示している。

4.2 動的加圧処理結果について

次に、極めて短い時間で衝撃力が得られる動的加圧処理と、静的加圧処理で最も効果のあったTYPE-Cで処理したアオコの沈降率をFig.5に示す。この結果から、0.35Mpaの場合、TYPE-Cでは約22%しか処理できなかったが、動的加圧処理の0.35Mpaでは約33%に上昇する。さらに、最大圧力が0.40Mpaの場合になると、水撃処理では92%近くまで沈降率が上昇する。つまり、このグラフからも、圧力変化の時間が短くなるほど効果的であることが確認できると同時に、水撃処理の有効性が認められる。

次に、処理された細胞を見てみる。電子顕微鏡で観察した処理前の藍藻細胞を Fig.6、静的加圧（0.40Mpa）によって破碎された細胞を Fig.7、動的加圧（0.40Mpa）によって破碎された細胞を Fig.8 に示す。

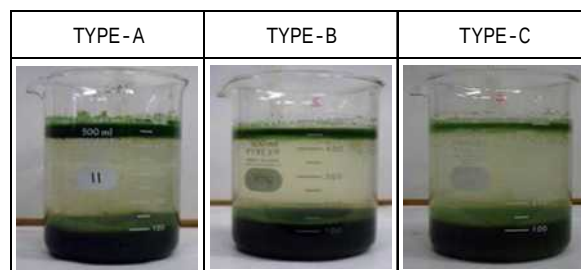


Fig.4 TYPE 別沈降状況（0.5Mpa 時）

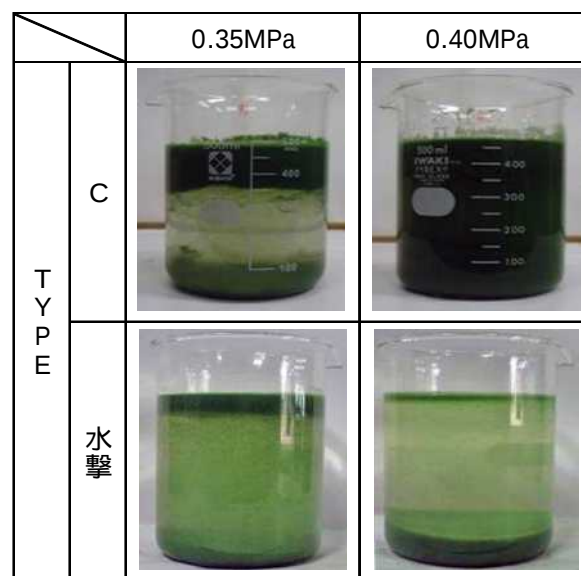


Fig.5 水撃処理と TYPE-C の沈降状況

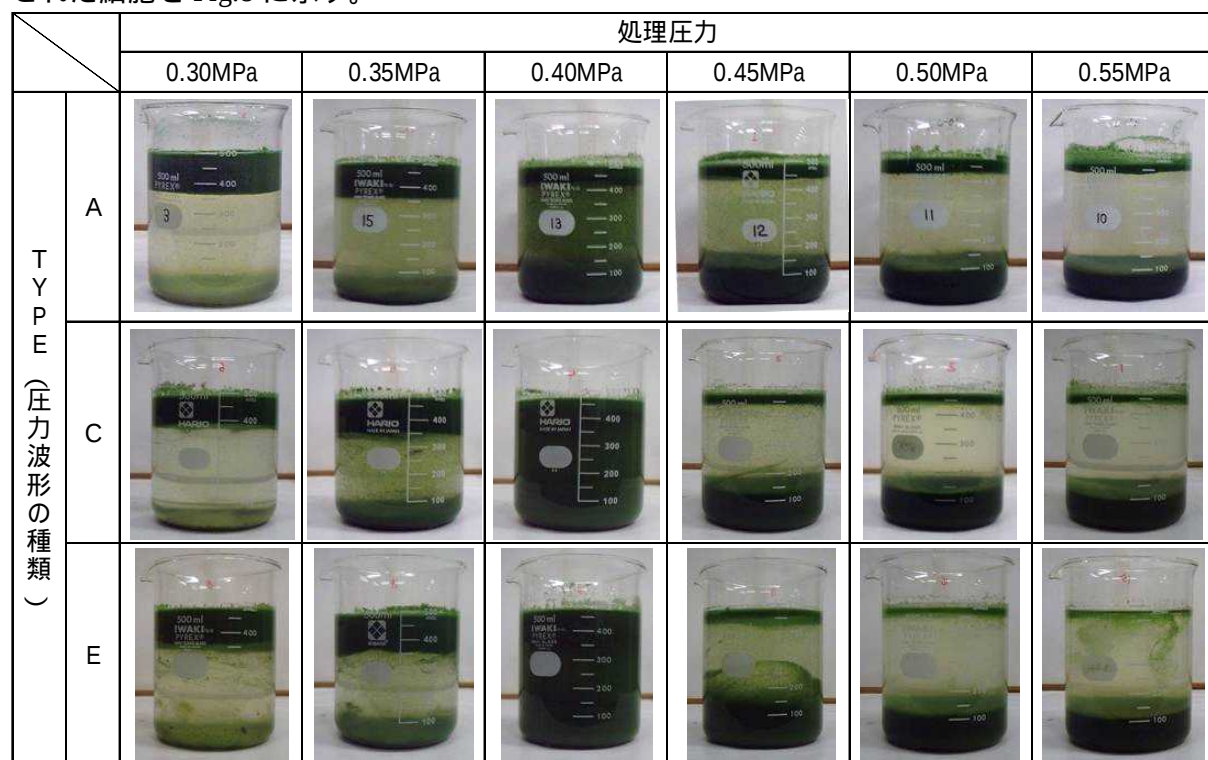


Fig.3 圧力波形と圧力値による処理効果

Fig.6 から、処理前の細胞は球形で鎖状構造を成しているのがわかる。一方、Fig.7 は、TYPE-C の圧力波形を 0.40Mpa で 1 回作用させたときの様子である。細胞は変形して楕円形になり、しわや陥没が見られ、圧力の影響を受けた様子が確認できるが、すべての細胞に効果が現れているわけではなく、配列もまだしっかりと確認でき、十分に破碎できているとはいえない。

しかし、動的加圧によって処理された個々の細胞 (Fig.8) は球が破裂したような状態になり、完全に原型を失い、鎖状構造すら確認できないほど破碎されていることがわかる。

Fig.7、Fig.8を比較してわかるように、同圧力でも圧力速度の増加は、処理量を増加させるだけでなく、細胞の破碎度合いにも影響してくることが確認できる。また、水撃処理は個々の細胞を直接破碎できる作用をもつことから効果的な処理法である。

5. まとめ

- 1) 藍藻細胞を破碎し、不活性化させるには、最低0.35Mpa程度の圧力が必要である。圧力が上昇するにつれ、処理効果は比例して大きくなる。
- 2) 藍藻の不活性化には圧力値以外に圧力速度も関係し、速度を上昇させることでも処理効果は大きくなる。
- 3) 圧力速度が増すほど低圧力での破碎が可能になり、処理量も増加する。つまり、急激な圧力変化は藍藻細胞に与える影響が大きい。
- 4) 圧力速度の増加は、処理量を増加させるだけでなく、個々の細胞の破碎度合いにも効果が現れる。
- 5) 水撃ポンプは流体の流下のみをエネルギー源として動作することから、低コストで環境に優しい装置であるといえる。そのうえ衝撃力が大きく、急激な圧力変化を生み出すことができることから藍藻の大量処理に有効である。

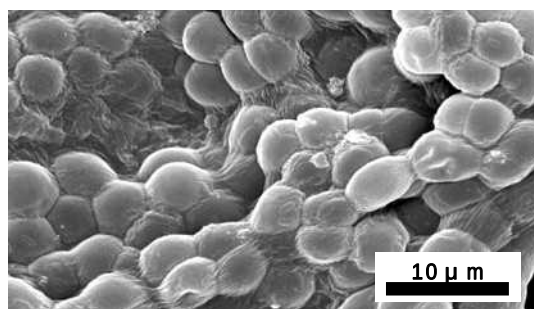


Fig.6 処理前の細胞

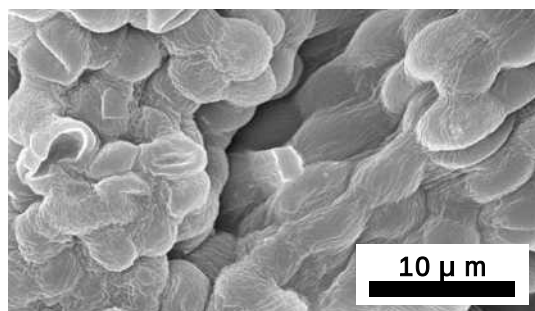


Fig.7 加圧処理後の細胞(TYPE-C - 0.40Mpa)

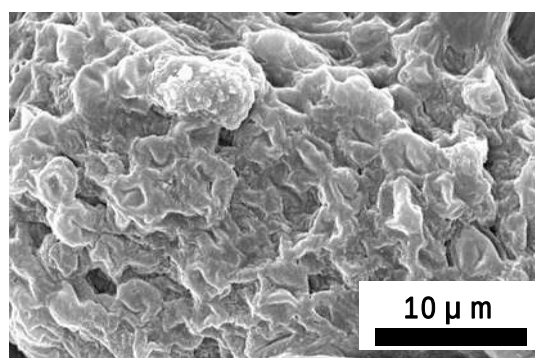


Fig.8 水撃処理後の細胞 (0.40Mpa)

参考文献

- 1) 渡辺真理代,原田健一,藤木博太：アオコその出現と毒素，東京大学出版会,PP1-2 1999
- 2) 濱田龍寿,遠藤茂勝：藍藻の圧力処理における水撃圧の応用について,環境技術学会誌，Vol.37 No.9，2008，PP660
- 3) 諏訪 守,白土正美,須田敦志,武田 宏：圧力処理による植物プランクトンの増殖抑制試験，土木学会第 47 回年次学術講演会，1992,PP982-983
- 4) 彼谷邦光：環境のなかの毒 - アオコの毒とダイオキシン - ,裳華房，PP16-51