

渦輪を利用した液中にある隙間洗浄装置の検討

函館工業高等専門学校 ○古川邦大 剣地利昭, 本村真治, 山田誠, 近藤司

要 旨

液体中で物体表面の異物を除去する際、噴流を当てる方法がある。噴流は噴出後に減衰するため、異物に近づく必要がある。それに比べ間欠噴流で生じる渦輪は、渦の自己誘起作用で遠くまで進行し、さらに物体に衝突すると渦の崩壊に伴い局所的な高速流が発生する。本研究ではこの特徴を利用し、離れた位置の壺状の隙間内を洗浄する装置を検討する。実験では可視化用に透明な壺状の模型をアクリルによって製作し、マイクロバブルの渦輪発生装置で実験を行った。

1. 研究目的

養殖網の水中洗浄や切削加工された部品の洗浄・バリ取りでは高速噴流が使われている。高速噴流は噴出後にエネルギーが拡散し減衰するため、洗浄効果を得るために噴出口をできる限り洗浄面に近づける必要がある。また入口が狭く奥で広がる壺のような形状では噴流が奥や入口裏側に届かず、十分な洗浄ができないため、ノズルの小型化やロボットアームでノズルを奥に差し込むなどして洗浄面に近づく工夫が必要であった。

本研究ではこの解決のために、間欠噴流により生じる渦輪に注目した。渦輪は一定量の流体を円に近い噴出口から間欠的に噴出すると、渦がドーナツ状に生じ、その渦の回転により形状を維持したままより遠くまで崩壊せずに流体を運ぶことができる。さらに渦輪が平面に衝突する[1]と平面上で広がり、その時に渦の回転が加速し高速の流れが生じる特徴がある。

本研究ではこの渦輪の特性を活かし、通常では難しい壺状の物体内部を洗浄できる装置の開発を目指す。

本報告では円筒の壺状の隙間模型を作成し、それに衝突する渦輪の挙動を調べ、装置開発の可能性を調査した。

2. 実験装置

2.1 渦輪発生水槽

本研究の実験は図1に示す渦輪発生水槽を用いて行った。この水槽は外形600 mm × 300 mm、深さ600 mmで、可視化のため厚さ10 mmの透明アクリル板を用いている。内部は吸込み部、マイクロバブル貯蔵部、観測部に分かれており、マイクロバブル貯蔵部と観測部の間は厚さ2 mmのステンレス板で作られた直径30 mmのオリフィスで繋がれている。ポンプにより吸引部から水を吸い上げ加圧された水がマイクロバブル発生ノズルを通してマイクロバブル貯蔵部に流れる。このマイクロバブルは可視化トレーサとして使用した。渦輪を発生させる手順としては、まず水槽一杯に水を張り、上からアクリルの蓋を乗せ観測部を密閉する。その後貯蔵部が白濁するまでマイクロバブルを発生

させ、図1左上の観測部にあるピストンを引き上げることで観測部の容積が減少し、その分の流体が貯蔵部から渦輪となって流入する。[2]

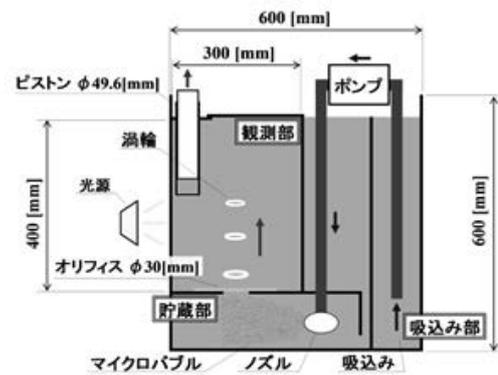


図1 渦輪発生水槽

2.2 可視化用模型

今回の実験では可視化のため図2にある壺状の模型を厚さ5 mmの透明アクリル板を重ねて製作した。下段には壺の入り口となる直径 $\Phi D=50, 60, 70, 110$ mmの4種類の穴が開いた板を用意し、中段の板は内部の壁面と隙間の役割を果たすため、直径110 mmの穴を空け、高さ h を5 mmから25 mmの範囲で調節できるようにした。最上段の板は洗浄面となる。実験は下段の板をオリフィスから100 mmの位置に固定して行った。

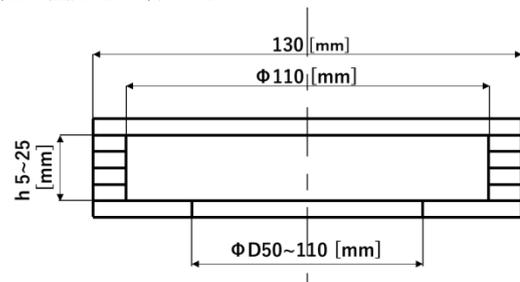


図2 可視化用模型

3. 実験

可視化実験はデジタルカメラ 2 台を用いて 640×480 ピクセル, 120fps で画像を取得した。

3.1 実験方法

水槽内のステンレス板のオリフィスの真上に可視化用模型の中心が来るように設置し、水槽内を密閉した後、撮影を開始すると同時に渦輪を発生させその動きを観察した。

まず入口の穴の大きさによって渦輪の広がり方が変わるかを確かめるため、隙間高さ h を 20 mm で一定にしたまま下段の穴径 ΦD を変え実験を行った。次に隙間高さ h の影響を比較するため、調べるため $\Phi D=70$ mm で固定し h を 10, 15, 20 mm の範囲で実験を行った。

3.2 実験結果・考察

図 3 に発生した渦輪が下から上に直進していく様子を示す。写真下部に見える白い部分が渦輪である。渦輪の中心にある白い線が回転している渦の中心である渦核であり、この渦核が周りの細かい気泡を巻き込んで進んでいく様子が確認できた。渦輪の大きさはおよそ 50 mm である。

図 4 は渦輪が板に衝突し崩壊する様子を動画から 1/12 秒毎に切り出して拡大し、並べて示している。模型入口径 $\Phi D=70$ mm で隙間高さ $h=20$ mm の時の写真である。渦輪が衝突し少し跳ね返った後、広がりつつ渦を巻きながら崩壊する様子が確認できた。同様に $\Phi D=50, 60$ mm の場合でも穴の縁にぶつかりはしたものの衝突することが確認できた。また衝突後に渦輪径が広がり高速流が発生するという内藤ら[2]の論文と同じ動きが見られた。画像から広がった渦輪の径を計測すると約 60 mm であった。入口径が 70 mm であったのでその裏側まで広がる様子を見ることはできなかった。

次に隙間高さの影響を考察する。得られた画像から計測した渦輪の大きさを図 5 に示す。横軸が隙間高さで、縦軸が渦輪の大きさである。隙間高さを小さくすると渦輪がつぶれ奥まで広がると予想していたが、隙間高さ h を小さくしても渦が隙間に入り込むことはなかった。結果は逆に隙間が狭くなるほど広がりが小さくなるという傾向となった。これは隙間が小さくなることにより隙間内の流体が排出されず流体の逃げ道がなくなるためであると考えられる。そのため隙間に流体を入れるためには今以上に大きなエネルギーで渦輪を発生させる必要があると考えられる。

4. 結言

本研究では渦輪を液中にある隙間の洗浄に利用可能であるかを検証するため渦輪発生水槽と可視化用模型を用いて実験を行った。その結果以下の結論を得た。

- (1) 渦輪の衝突とその後の動きに関して他の研究[1]と一致する結果が得られ、その挙動を確認した。
- (2) 壺状の物体における隙間高さとして渦輪の広がり方の関係を明らかにした。

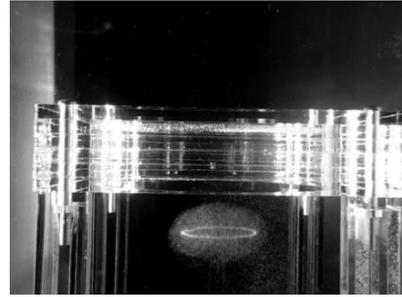


図 3 発生した渦輪の様子

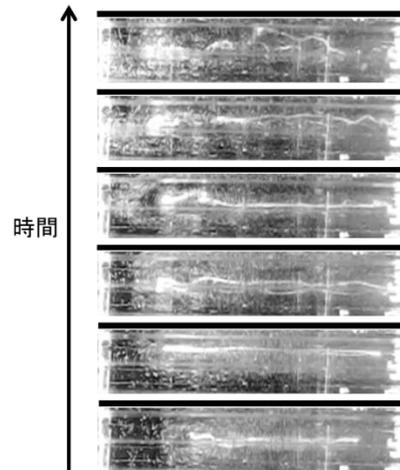


図 4 渦輪が衝突する様子

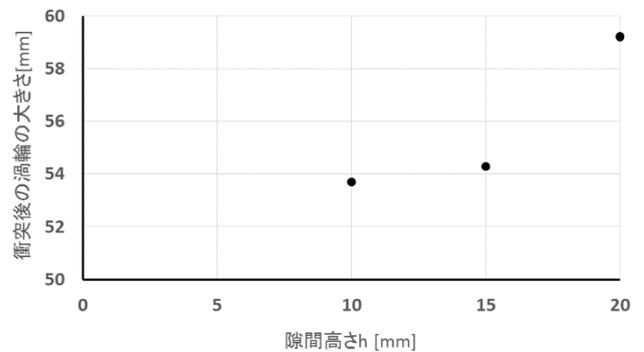


図 5 隙間の大きさと渦輪の広がり方の関係

これらの結果から、隙間距離、穴径、および、渦輪の強さをパラメータとした実験を通して、渦輪による洗浄が可能となる寸法を見出すことを今後の課題とする。

参考文献

- [1] 内藤隆, 田畑修, 村瀬英寿, 平板に衝突する渦輪の実験, ながれ Vol. 16, 68-76, (1997)
- [2] 剣地利昭, 吉田敦, マイクロバブルを可視化トレーサに用いた渦輪に現れる周方向波に関する研究, 函館工業高等専門学校紀要 47, 13-18, 2013