407 管内を伝ばする膨張波の回転楕円面での反射

Reflection on Ellipsoid Surface of Propagates Expansion Wave in Tube

○学 津野田 篤史 (北九州高専 学)

正 安信 強 (北九州高専) 正 檜村 秀男 (北九州高専)

Atsushi TSUNODA, Tsuyoshi YASUNOBU and Hideo KASHIMURA

Kitakyushu National College of Technology, 5-20-1, Sii, Kokura-minami-ku, Kitakyusyu, 802-0985, JAPAN.

Key Words : Compressible Flow, Unsteady Flow, Expansion Wave, Shock Tube, Focusing

1. はじめに

波動の伝ばや反射を利用した微小な流量制御や局所的な圧力制御は工業的にも重要であり、例えば、衝撃波の収束を利用した結石の破壊⁽¹⁾や伝ば衝撃波を利用した微小生物の殺菌⁽²⁾などの利用例があるが、いずれも衝撃波の伝ばを利用している。一方、膨張波の反射を利用すれば局所的な低圧力領域の生成が可能であり、例えば水中での気泡の生成などへの応用が考えられるが、膨張波のような流れ場内に圧力が局所的に低い領域を形成する圧力波の反射と伝ば特性は解明されておらず、特に水中を伝ばする圧力波の反射過程や反射波の伝ば特性は、衝撃波の反射のように十分な研究がなされていない。

そこで本研究では、水中における膨張波の回転楕円面での反射現象を解明することを目的とし、流れ場や楕円面先端での圧力変動の特徴、圧力変動に及ぼす影響について実験的に調査を行った。

2. 実験装置および実験方法

本研究では、Fig.1 に示すような衝撃波管を応用した実験装置を使用し、直径 50mm、長さ 1m の高圧室の管端に回転楕円面と、比較のための平面壁を取り付け、高さ 450mm まで水を充填させる。そして隔膜を破膜して高圧室内に膨張波を伝ばさせ、管端および管側面における圧力変化を測定した。本研究では、回転楕円面の深さを a 、管の半径を R 、膨張波による圧力減少を Δp_e 、曲面の深さ a を管の半径 R との比 a/R を曲率と定義する。

また、本実験では、圧力波伝ば管の初期圧力 p_4 と低圧室の初期圧力 p_1 との圧力比 p_4/p_1 を 2.5, 4, 5, 6 と変化させ、曲率 a/R が 1, 2 の 2 種類の回転楕円面と平面壁($a/R=0$)を用いて実験を行った。

3. 実験結果と考察

本研究で得られた管端における圧力波形の一例を Fig.2 に示す。中の実線 a は空気中の圧力波形、実線 b は水中における圧力波形である。

どちらの実験条件も衝撃波管の初期圧力比 $p_4/p_1=2.5$ 、曲率 $a/R=0$ である。空気中での圧力波形において、点 A は膨張波の波頭、点 B は膨張波の波尾を示している。本研究では、膨張波の波頭から波尾までの圧力減少量すなわち膨張波の強さ Δp_e を図のように定義する。また、波頭 A から波尾 B に達するまでにかかる時間をもとに膨張波の長さ L を計測する。

一方、水中での圧力波形では、基本的な圧力波形は空気中の波形と同じであるが、波尾通過後にさらに圧力の低下が確認される。これは衝撃波および膨張波が水面と圧力波伝ば管端を反射して伝ばを繰り返しているためであると考えられる。

Fig.3 は管端において、初期圧力比 $p_4/p_1=2.5$ 、曲率 $a/R=0.2$ で測定した水中での圧力波形である。特に $a/R=2$ での結果において波尾の位置が下流部に移動している。すなわち、膨張波の長さが増加していることがわかる。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Typical pressure waveform ($p_4/p_1=2.5$ $a/R=0$)

Fig.3 Typical pressure waveform ($p_4/p_1=2.5$ $a/R=0.2$)

Fig.4 は水中および空気中における膨張波の長さ L と初期圧力比 p_4/p_1 との関係を示している。図より水中では初期圧力比 p_4/p_1 およびに曲率 a/R の増加に伴い、膨張波の長さ L が増加することがわかる。よって、水中において膨張波の長さは初期圧力比と曲率ともに依存し、初期圧力比と曲率の増加に伴い、膨張波の長さは増加すると考えられる。また、本実験下では、膨張波の長さは初期圧力比による変化が曲率による変化よりも大きく、水中では膨張波の長さは曲率よりも初期圧力比に依存する傾向を示している。

次に長さ L については、空気中よりも水中の場合の方が長くなっていることが確認できる。これは、膨張波が圧力波伝ば管端および液面で反射を行い、水中を繰り返し伝ばしたためと考えられる。

水中および空気中における膨張波の強さ Δp_e と初期圧力比 p_4/p_1 との関係を Fig.5 を示す。図より、初期圧力比 p_4/p_1 と曲率 a/R の増加に伴い、膨張波の強さ Δp_e が増加していることがわかる。また、膨張波の長さと同様に、曲率よりも初期圧力比に依存する傾向が見られる。以上のことから、水中において膨張波の強さは初期圧力比と曲率に依存し、初期圧力比と曲率の増加に伴い、膨張波の強さは増加すると考えられる。

最後に膨張波の強さ Δp_e については、膨張波の強さが空気中よりも水中の方が強いことがわかる。これは、膨張波が管端、および液面で反射し、水中を繰り返し伝ばしたことが原因と考えられる。

Fig.4 Relation between Length of expansion wave and relation to initial pressure ratio

Fig.5 Relation between Strength of expansion wave and relation to initial pressure ratio

4. 結論

本研究では、水中における膨張波の回転楕円面との反射について、主として水深が膨張波の強さ、膨張波の長さに及ぼす影響について実験的研究を行った。以下にその結論を述べる。

- (1) 水中における膨張波の長さおよび強さは、曲率および初期圧力比の増加に伴い増加する。また、曲率よりも初期圧力比に強く依存する
- (2) 膨張波は、衝撃波と同様に圧力波伝ば管端と水面をくり返し伝ばする。そのために、膨張波の長さおよび強さは空気中よりも増加する。

参考文献

- (1) K., Takayama, Shock Wave Handbook, Springer Feararc Tokyo, (1995), p.928-938.
- (2) 藤原 和人, 松尾 日出男, 廣江 哲幸, 浅川 牧夫, 微生物細胞の動的破壊に関する研究, 実用産業情報(1998), p.14-p16.