

205 気泡流中の強い衝撃波現象に関する研究

A Study of Large-Amplitude Shock Wave Phenomena in Air-Bubble/ Water Mixtures

○正 大谷 清伸 (室蘭工大院) 正 杉山 弘 (室蘭工大)
正 溝端 一秀 (室蘭工大) 学 小笠原 久敏 (室蘭工大院)

Kiyonobu OHTANI, Hiromu SUGIYAMA, Kazuhide MIZOBATA and Hisatoshi OGASAWARA

Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto, Muroran, Hokkaido, 050-8585

The large-amplitude shock wave propagation phenomena in air-bubbles / water mixtures were investigated using a two-phase shock tube. Effect of incident shock wave strength on shock wave pressure characteristics in mixtures and the precursor of shock wave are analyzed. It was found that the large-amplitude shock waves have high-frequency oscillation components and the precursor.

Key Words: Bubbly Liquid, Shock Tube, Large-Amplitude Shock Wave, Precursor of Shock Wave.

1. まえがき

気泡液体中を伝播する衝撃波現象は、気液二相流中の水撃現象、高压容器からの液体の放出現象、火山における水蒸気爆発、混相媒体による衝撃波強さの低減等に関連して重要である。これまで比較的強い衝撃波構造（入射圧力ステップ0.1MPa以上）に関しては、Beylich [1]、吉永・中野[2]、著者ら[3]によって研究されている。しかし、衝撃波波頭背後の不規則な圧力振動波形の発生原因や、衝撃波が到達する前に発生するプリカーサ現象などについて、未だ未解明な点が多い。

本研究では、気液二相衝撃波管を使用し、比較的強い衝撃波が伝播する際の圧力波の挙動、衝撃波波頭背後の圧力振動、衝撃波のプリカーサ現象について、圧力測定と圧力振動の時間周波数解析により調べる。

2. 実験装置と実験方法

Fig.1 に示すように実験装置は、高压室、低压室から成る気液二相衝撃波管、気泡発生装置、圧力測定装置系から構成される。実験方法は、次のようである。まず二相衝撃波管に設定水位まで試験水を注入し、気泡発生装置を用い

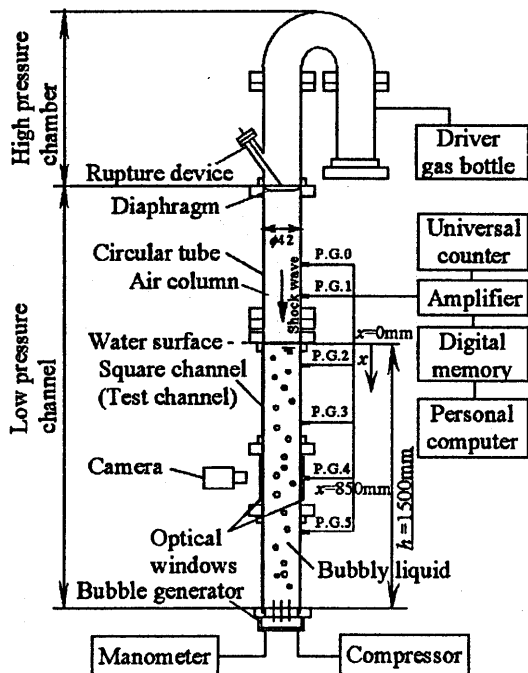


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

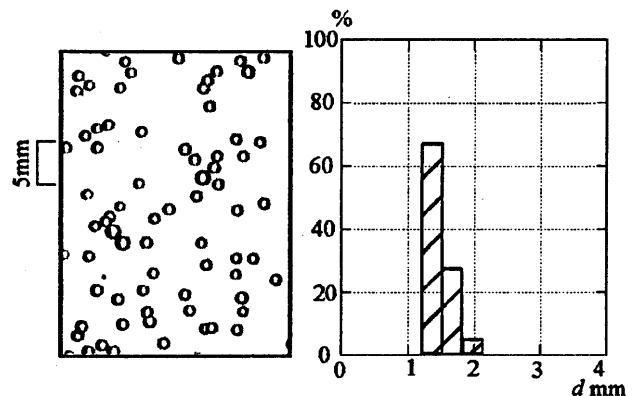


Fig.2 Photograph of air bubbles and distribution of bubble diameters in the bubbly liquid. ($\alpha_g=0.2\%$)

て気泡を発生させる。次に高压室に駆動気体を充填し、隔膜を電磁撃針を用いて破膜し、衝撃波を発生させる。衝撃波が気泡流中へ入射する際の圧力変動を高周波数応答性を持つ半導体圧力変換器 (Fig.1 の P.G.0-P.G.5) を用いて測定する。実験で使用した液相媒体はグリセリン 80%水溶液で、設定水位 $h=1500\text{mm}$ 、気相媒体は空気である。Fig.2 に初期状態の気泡群の写真と気泡直径の分布図を示す。ボイド率は、水面から $x=850\text{mm}$ の位置で撮影したこのような気泡の影写真より求めた。

3. 実験結果と考察

3.1 気泡流中を伝播する比較的強い衝撃波の特性

Fig.3(a), (b)に、気泡を含む液体中を比較的強い衝撃波が伝播する際の圧力の時間変化を示す。図の左側に、二相衝撃波管の模式図と圧力変換器を設置した水面からの位置を示す。実験条件は、ボイド率 $\alpha_g=0.2\%$ 、入射圧力ステップ ($\Delta P = P_1 - P_0$) は 0.17、0.27MPa である。

Fig.3 (a)の入射圧力ステップ $\Delta P = 0.17\text{MPa}$ の強い衝撃波の場合、気中の圧力は、入射衝撃波および水面からの反射衝撃波により、ステップ的に上昇した後、緩やかに上昇し、ほぼ一定の値を示す。気泡流中の圧力は、衝撃波の入射により急激に立ち上がり、激しい不規則振動が観察され、 $x=590\text{mm}$ の位置まで不規則に振動し、 $x=850\text{mm}$ の位置では減衰して、比較的弱い衝撃波の場合に見られるような規則的な圧力振動していることがわかる。また、衝撃波のプリカーサの圧力振動が弱いながら、 $x=590\text{mm}$ までの測定

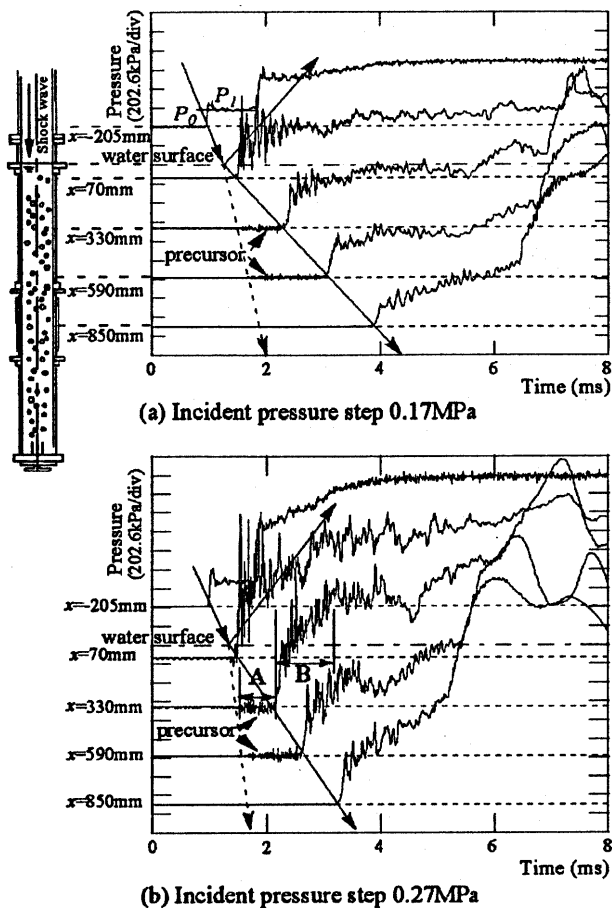


Fig.3 Shock wave pressure histories in air-bubbles/ water mixtures. ($\alpha_0=0.2\%$)

位置において、衝撃波が伝わる直前で観察される。

Fig.3 (b)の入射圧力ステップ $\Delta P = 0.27\text{MPa}$ のさらに強い衝撃波の場合、気泡流中の圧力は、 $\Delta P = 0.17\text{MPa}$ の場合に比べ、さらに激しく不規則に振動し、水面から離れた、 $x=850\text{mm}$ の位置においても不規則に振動していることがわかる。この比較的強い衝撃波が気泡を含む液体中を伝播する際に起こる衝撃波背後の激しい圧力振動の原因としては、衝撃波入射に伴う気泡の変形・崩壊との関連が考えられる[3]。入射圧力ステップが大きい場合、プリカーサの圧力振動の振幅が大きくなることが観察される。

3.2 気泡流中の衝撃波圧力振動の周波数特性

Fig.4(a), (b)に、気泡流中の強い衝撃波圧力振動の時間周波数解析結果を示す。時間周波数解析は、ガボール変換(短時間フーリエ変換)を用いており、図中の明るい部分に各時刻におけるパワースペクトルのピークがあることを示している。解析を行った圧力振動は、Fig.3(b)の $x=330\text{mm}$ の位置における衝撃波のプリカーサの圧力振動(A)、衝撃波背後の圧力振動(B)である。

Fig.4 (a)より、衝撃波のプリカーサの圧力振動は、25kHz以上の高周波数領域であり、特に30~35kHz付近の成分が大きいことがわかる。

Fig.4 (b)より、衝撃波背後の圧力振動は、周波数が低い領域から15kHz~45kHzの高周波数領域までの広い範囲の

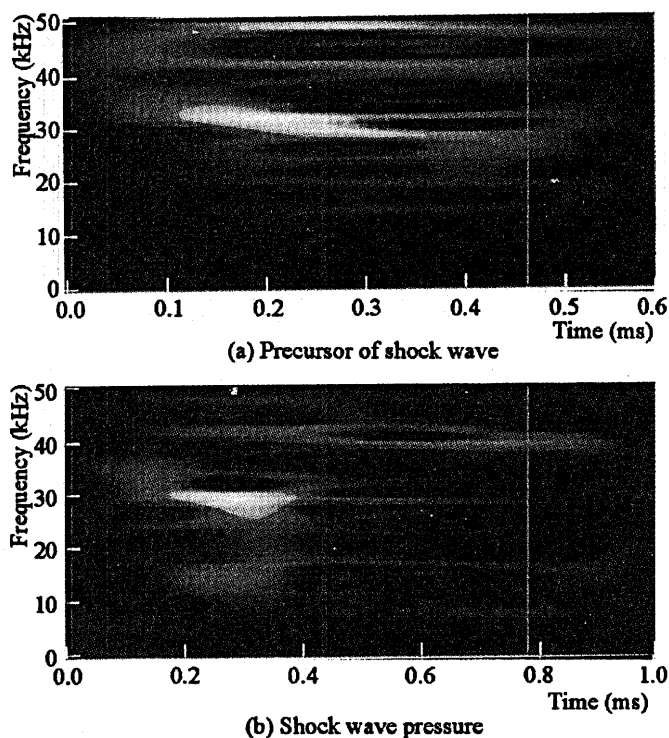


Fig.4 Results of joint time-frequency analysis of the pressure histories. ($\Delta P=0.27\text{MPa}$, $\alpha_0=0.2\%$, $x=330\text{mm}$)

振動成分が含まれており、特に、30kHz付近の振動成分が大きいことがわかる。これは3.1節で述べたように、衝撃波入射により気泡の変形・崩壊が起こったため発生した高周波成分であると考えられる。

以上の結果より、衝撃波の伝播に先立って、衝撃波のプリカーサの高周波数の圧力振動が伝播していることがわかる。これは、気泡流中を伝播する圧力波の分散性のために、気泡の固有振動数よりはるかに高い領域の圧力波が、液体の圧縮性により、ほぼ液体単相の速度で伝播するためであると思われる[4]。

4. あとがき

気液二相衝撃波管を用い、気泡液体中を比較的強い衝撃波が伝播する際の圧力波の挙動、衝撃波波頭背後の圧力振動、衝撃波のプリカーサの圧力特性を実験的に調べた。

参考文献

- [1] A. E. Beylich, Pressure Waves in Bubbly Liquids, Proc. of IUTAM Symp. on Waves in Liquid/ Gas and Liquid/ Vapor Two-Phase Systems, Kyoto, Japan, (1994), pp.1-20.
- [2] 吉永・中野, 気泡流体中における衝撃波波頭後方での不規則波列の振る舞い, 日本流体力学会年会講演会講演論文集, (1999), pp.123-124.
- [3] 大谷・杉山・溝端, 気泡を含む液体中を伝播する強い衝撃波と気泡崩壊, 日本機械学会論文集 (B編), 68巻 670号, (2002-6), pp.46-52.
- [4] 沼田・亀田, 気泡を含む液体中を伝わる圧力波の直接数値解析, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, No.98-15, (1998), pp.131-132.