

521 気泡を含む液体中を伝播する強い衝撃波に関する研究

A Study of Large-amplitude Shock Wave Propagation in Liquids Containing Gas Bubbles

○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 佐々木 悠二 (室蘭工大院)

Kiyonobu OHTANI, Hiromu SUGIYAMA, Kazuhide MIZOBATA and Yuji SASAKI
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. Behavior of the bubbles collapsing behind large-amplitude shock wave are also detected by high-speed photography. 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、高圧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（入射圧カステップ 0.1MPa 以上）に関しては、Beylich [1]、吉永 [2] ら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、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、衝撃波のプリカーサ現象、気泡群の変形、崩壊過程に関して実験により詳細に調べる。

2. 実験装置と実験方法

Fig.1 に示すように実験装置は、高圧室、低圧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て気泡を発生させる。次に高圧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半導体小型圧力変換器 (Fig.1 の P.G.0~P.G.5) を用いて測定するとともに、衝撃波が作用した際の気泡群の挙動を高速ビデオカメラを用いて調べる。ボイド率は、水面から $x=850\text{mm}$ の位置で撮影した気泡の影写真より求める。

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.2(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 $\alpha_0=0.1\%$ 、入射圧カステップ ($\Delta P = P_1 - P_0$) は 0.16, 0.24MPa である。

図(a)の入射圧カステップ $\Delta P = 0.16\text{MPa}$ 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、その後減衰しているのがわかる。また、衝撃波のプリカーサの圧力振動が弱いながら水面近くの測定位置において、衝撃波が伝わる直前で観察される。

図(b)の入射圧カステップ $\Delta P = 0.24\text{MPa}$ のさらに強い衝撃波の場合、気泡流中の圧力は、 $\Delta P = 0.16\text{MPa}$ 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。入射圧カ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のが観察される。

Fig.3 に、衝撃波のプリカーサの圧力振動を周波数解析したものを示す。高周波応答特性を持つ圧力センサを用いた、水面から $x=330\text{mm}$ 、 590mm の測定位置におけるプリカーサの $5\mu\text{s}$ 間隔の圧力データを周波数解析している。液相はグリセリン 80%水溶液、ボイド率 $\alpha_0=0.1\%$ 、入射圧カステップ $\Delta P = 0.24\text{MPa}$ である。

図より 25~35kHz の高周波数領域にパワースペクトルのピークが現れていることがわかる。

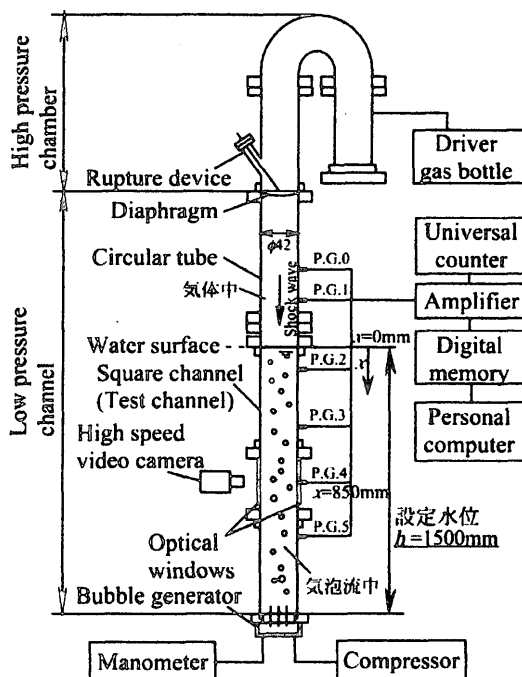


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

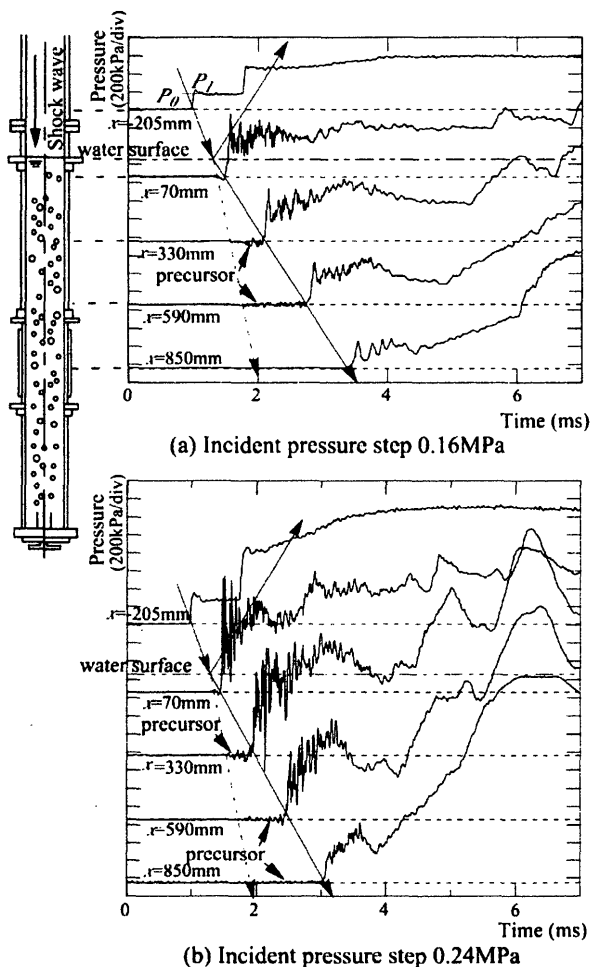


Fig.2 Shock wave pressure histories in air-bubbles/water mixtures. ($\alpha_0=0.1\%$)

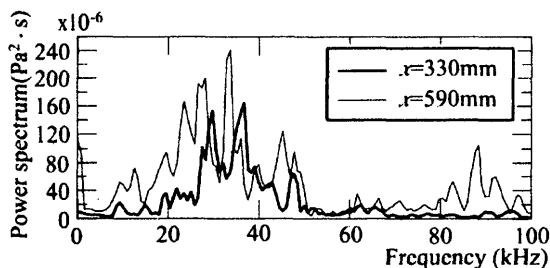


Fig.3 Power spectrum of precursor of shock wave. ($\Delta P=0.24\text{MPa}$, $\alpha_0=0.1\%$)

3.2 強い衝撃波による気泡群の変形と崩壊

Fig.4 に、比較的強い衝撃波（入射圧力ステップ $\Delta P=0.14\text{MPa}$ ）をボイド率 $\alpha_0=0.5\%$ の気泡を含む液体中に作用させた場合の、気泡群の挙動を示す高速度ビデオ写真と同時測定した壁面圧力振動波形を示す。高速度写真の測定位置は水面から下方 $x=850\text{mm}$ で、圧力変換器が設置されている壁面近傍の範囲を、撮影速度 9000 コマ/s、シャッター速度 500ns で撮影した。圧力波形上に示された①～⑫の時刻は各写真①～⑫の撮影時刻と対応している。

図の高速度写真より、比較的強い衝撃波波頭通過後に、気泡は変形、マイクロジェットを発生、引き続いて大きく変形、崩壊し、その後多数の微細な気泡に分裂していくことが分かる。

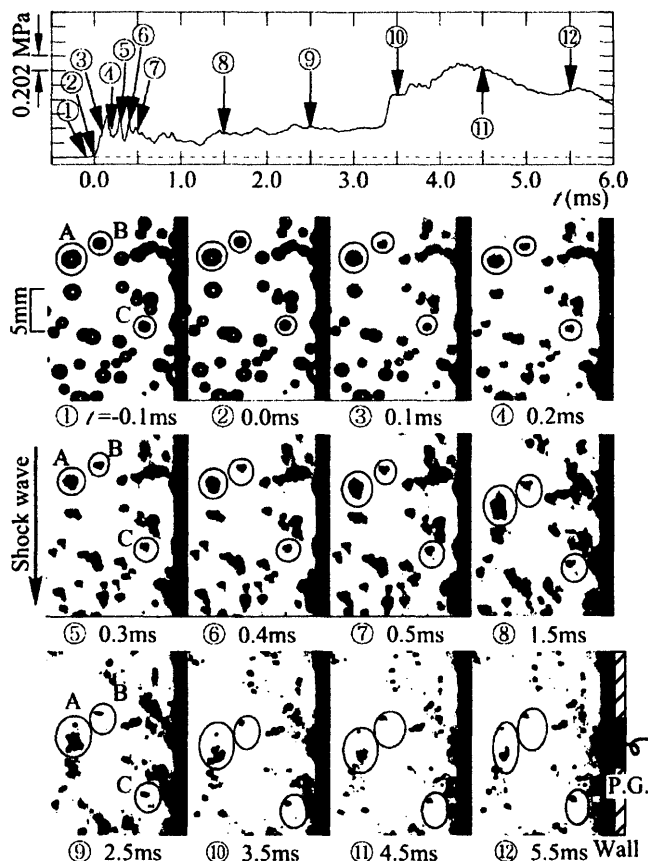


Fig.4 Sequential photographs of air bubbles collapsing at shock arrival in the bubbly liquid. ($\Delta P=0.14\text{MPa}$, $\alpha_0=0.5\%$)

また、高速度写真と同時測定した圧力振動波形の比較より、気泡液体中の強い衝撃波背後に現れる不規則な激しい圧力振動は、気泡の変形、マイクロジェットの発生、気泡形状の大きな変形、崩壊と密接に関連していると考えられる。

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、衝撃波の圧力プリカーサの特性に関し実験的に調べた。気泡液体中に比較的強い衝撃波が入射すると、衝撃波波頭背後の圧力は、激しく不規則に振動すること、衝撃波が到達する前に、高周波振動するプリカーサが発生することが分かった。また、高速度ビデオ写真より、比較的強い衝撃波を作用させた場合の気泡群の挙動が明らかになった。

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.