C107

水を封入したアルミニウム容器内の衝撃波挙動について

佐々木 俊昭[○] (神戸大院), 阿部 晃久 (神戸大院), 三村 治夫 (神戸大)

Study on Behavior of Shock Waves in Sealed Aluminum Containers with Water

Toshiaki Sasaki, Akihisa Abe and Haruo Mimura

ABSTRACT

This paper reports the study on behavior phenomenon of shock waves in water sealed with an aluminum container numerically and experimentally. In the numerical study, the propagation of shock waves in the container is calculated by LS-DYNA using the Johnson-Cook model and the Tait equation. We observe the propagation phenomena of shock waves generated in water part of the container by elastic-plastic deformation of aluminum using the schlieren method. From these results, we examine the complicated propagation of shock waves in the target container.

Keywords: Shock waves, Aluminum container, Schlieren method, Numerical simulation

1. 緒 論

近年、船舶における各港湾間でのバラスト排水において有害な微生物の移動による海洋生態系破壊問題が、「海の環境保全」に関する解決すべき大きな課題となっている⁽¹⁾。現在、著者らは新しいバラスト水殺菌処理技術開発のため、バラスト水に含まれる海洋細菌に衝撃圧力を与え、それらの耐衝撃性について研究を行っている。海洋生物に作用させる衝撃圧力は、一段式ガス銃で加速された飛翔体を海洋細菌浮遊液を封入したアルミニウム容器に衝突させ、発生させる。本方法により、容器内に数百 MPa レベルの衝撃圧力を発生させることができ、安定した試料海水の回収が可能である。本実験における菌体浮遊液中の不活性効果については、第一波衝撃波による急峻な正の圧力変動やその背後に現れる負圧力が密接に関係していると考えられているが、細菌の不活性化メカニズム等未だ明らかにされていない⁽²⁾。本研究では、容器内に生じる複雑な衝撃波挙動についてより詳細に理解するため、LS-DYNA による数値シミュレーション、および、シュリーレン法による可視化実験を試みる。

2. 実 験

容器内の試料液中に衝撃波を発生させるため一段式ガス銃（トライエンジニアリング社製）を使用した。ガス銃の口径は 40mm、砲身長は 2m である。飛翔体は、直径 40mm、長さ 40mm で ABS 樹脂材料から作製した。可視化実験のための標的容器は、2 枚の亚克力板（40mm×40mm×5mm）と 40mm×40mm の板の中央を長方形（縦 15mm×横 20mm）にくり抜かれた厚さ 5mm のアルミニウム板一枚を用いて作製した。封入水量は 1.4ml である。飛翔体前面に直径 38mm、厚さ 1mm のアルミニウム板を貼り付け、標的容器に衝突させることにより水中に衝撃波を発生させる。可視化方法はシュリーレン法を用いた。可視化光源には、ナノパルスライト及びランプハウス（㈱菅原研究所、NP-2, NPL-18）、発光遅延装置としてパルスジェネレータ（㈱菅原研究所、FG-310）を使用した。光学系は 4 枚の光学レンズ、ピンホール、ナイフエッジから構成され、カメラは最大有効画素 12.4 メガピクセルのレンズ交換式一眼レフレックスタイプデジタルカメラ（Nikon, D2x）を使用した。可視化光源のトリガは、標的容器の衝突面にピンセンサを配置して行った。

3. 数値計算

数値計算は、固体と液体中に生じる動的挙動を同時に扱える汎用非線形動的構造ソフト LS-DYNA ((株) CRC ソリューションズ) を用いて行った。アルミニウム材料に対して Johnson-Cook 弾塑性モデル⁽³⁾を用いた。Johnson-Cook 弾塑性モデルは次式で与えられる。

$$\sigma_y = (A+B \overline{\varepsilon_p}^n) (1+C \ln \varepsilon^*) (1-T^{*m})$$

式中の記号は以下の通りである。

σ_y : 相当降伏応力

A, B, C, n, m : 材料定数

$\overline{\varepsilon_p}$: 相当塑性ひずみ

$\varepsilon^* = \overline{\varepsilon_p} / \varepsilon_0$: $\varepsilon_0 = 1s^{-1}$ に対する無次元相当塑性ひずみ速度

$T^* = (T - T_{room}) / (T_{melt} - T_{room})$: 無次元温度

一方、水の状態方程式は以下に示す Tait 式を用いた。

$$P = \alpha \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\beta - 1 \right]$$

P はゲージ圧力、 ρ は密度、 α , β は定数である。

4. 結果と考察

図 1 に海洋細菌の不活性効果の調査実験で使った容器内の波動現象の計算結果を示す。図は円柱型容器の対称軸から上半分の断面に対する圧力分布を示している。

図 1 は、衝突面(左端)から発生したアルミニウム中の衝撃波が、封入された水部周りを回折し、対称軸上で反射した時刻の圧力分布図である。アルミニウム材料中の衝撃波伝播速度は、海水より約 3 倍早いのでアルミニウム中の衝撃波が先行する。一方、海水中の衝撃波はほぼ平面を保ち、水部中央辺りに達している。

Fig.1 Computational pressure contours in a target container.

図 2 にシュリーレン法を用いて撮影した標的容器中央部での可視化写真を示す。写真の左側面で発生した衝撃波は、右方向に進行する。水の圧縮率が低いので、シュリーレン像は非常に不鮮明である。

Fig.2 A schlieren photograph of a shock wave in the target container

図 1 のシミュレーション結果から対称軸に沿う方向の圧力変化は、衝撃波面背後の圧縮状態から波面へ向かって圧力が上昇し、波面前方で圧力が減少することが示されている。密度においても同様の変化が生じていると考えられることから、シュリーレン写真上では、水中衝撃波進行方向に明から暗の光の変化が記録されることが考えられる。以上より、図 2 中の白丸内が衝撃波面の像であると推測した。

5. まとめ

本研究では、アルミニウム容器に封入された水中に生じる衝撃波伝播現象について LS-DYNA による数値計算とシュリーレン法による可視化計測を試みた。数値シミュレーションから容器内の詳細な波動現象を得る事が出来た。今後、数値計算結果と比較可能な可視化データの収集を行い、容器内の衝撃波挙動について検討を行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究補助金(基盤 C-18560768) から支援を受けた。ここに付記し心より謝意を表す。

参考文献

- (1) 石田廣史 (研究代表者), “船舶バラスト排水が及ぼす海洋環境影響とその処理技術の開発に関する研究”, 研究成果報告書, (2004)
- (2) 河崎英樹, “海洋ビブリオ属細菌の衝撃殺菌における圧力波形効果”, 神戸大学修士学位論文, (2006)
- (3) W. K. Rule, et al, “A revised form the Johnson-Cook strength model”, (1998), pp.609-624