

令和元年6月21日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06093

研究課題名(和文) 空隙媒体による爆発環境の軽減と圧力減衰効果の解明

研究課題名(英文) Reduction effect of explosion hazard and investigation of pressure attenuation of underwater explosion by porous complex mediums

研究代表者

北川 一敬 (KITAGAWA, Kazutaka)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：50278230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、水中爆発で生じる被害規模の縮小と軽減法の技術応用を目的とする。水中爆発時の衝撃波、水流ジェット、爆発ガス膨張収縮運動の抑制から、物体への衝撃減衰促進と損傷規模の縮小にかかる減衰・軽減効果の解明と手法を開発する。衝撃波圧抑制は、半円F50>凹凸F13>凹凸F80、凹凸F50>半円F80である。水流ジェット抑制は、凹凸F50>凹凸F13>半円F50>凹凸F80>半円F80である。弾性体後部応力抑制は、半円F50>半円F80の順番で効果的、可変空隙媒体の密度が高いほど過剰圧・応力が減衰した。これは、フォーム骨格固体の非正常抵抗により圧力減衰が誘発され、効率的に水中爆発減衰が行える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

衝撃波の減衰法・緩和法の信頼性を向上のために、予測・実証・検証のサイクルで実行していくシステムが必要である。現状では、水中爆発の衝撃干渉問題と爆発環境の減衰効果の検証と実証のための計測データが不足している。本研究では、衝撃波と気泡振動の減衰特性を考慮した音響インピーダンスを持つ気泡構造の複雑媒体で、水中爆発時の衝撃圧減衰、爆発ガスの気泡膨張収縮の抑制と水流ジェットの軽減による衝撃環境の減衰法の確立を目的としている。

研究結果より、衝撃波の直接波、二次衝撃波、水流ジェットの各成分に分けて、種々の空隙媒体の利用により、水中爆発減衰の有効な手段を確立した。

研究成果の概要(英文)：Interaction between underwater explosion and complex media is the research topics related to injure the strong force loading in structures for undersea operation and underwater works from explosion hazards. Attenuation and reduction performance depend on structural shape, compression strength, porosity, porous structure and acoustic impedance. The research is predicting for the pressure and impulse attenuation of underwater explosion environment. Porous compressible material will be able to disperse the pressure, inertia, momentum and impulse of shock loading, bubble pulse, and bubble jet of underwater explosion. Results show that porous semicircle wall shows good performance with attenuation of underwater explosion environment.

研究分野：流体力学

キーワード：爆発環境減衰技術 水中衝撃波 環境問題

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自然災害、火山噴火、爆発事故、テロによって生じる衝撃波と爆風からの被害は甚大であり、被害予測、対策、減災と損傷規模縮小は重要な安全管理項目である。水中衝撃波の研究は、1950年代から始まり、現在、水中衝撃波の理工医学利用や海底掘削技術への技術応用、高速圧力計測技術の確立、燃料タンク内で発生した爆発の過剰圧減衰効果の調査研究がされている。また、物体近傍の爆発ガスの挙動を粒子画像流速測定法により水中爆発周りの速度分布の直接取得や水中爆発で発生する気泡運動の数値解析など、近接から遠距離爆発に至る水中爆発環境時の気泡運動の詳細な物理現象の解明を目的とした学術研究もされつつある。

大規模爆発現象のデータは、予測できなかった水中爆発の衝撃干渉と減衰・軽減法の特性に關する多くの情報を提供するために非常に重要である。しかし、現状では、水中爆発の衝撃干渉問題と減衰・軽減法の検証の実験と解析の比較検証データが不足している。本研究で実施する微小爆発実験での爆発現象を精査して大規模爆発の評価は有効な手段であり、データ取得と蓄積に必要な方法でないかと考える。水中爆発も、気体衝撃波の減衰法を参考に、媒質の音響インピーダンスと吸音特性を考慮し、形状と気泡構造の媒体を取り付け、衝撃波・水流ジェットの屈折、回折、崩壊、気泡発生を促し、物体への応力波を通さないようにする。さらに、爆発ガスの気相部分を物体表面から遠ざけ、爆発ガスの運動抑制により、水中衝撃波の減衰と水流ジェットの慣性力の軽減ができるのではないかとこの着想に至った。

2. 研究の目的

衝撃波の減衰法・軽減法の信頼性向上には、予測・実証・検証のサイクルで実行していくシステムが必要であり、現状では、物体と水中爆発の衝撃干渉問題と爆発環境の減衰・軽減効果の検証のための計測データが不足している。そのため、本研究では、自然災害、海底火山の災害発生時の減災と水中爆発で生じる被害規模の縮小と軽減への技術応用を最終的な目的とし、物体表面に取り付けた凹凸や楔形の複雑構造を持つ空隙媒体によって、水中爆発時の衝撃波、水流ジェット、爆発ガス膨張収縮運動の抑制により、物体に加わる過剰圧減衰と衝撃力を含む運動エネルギーを軽減させて、物体損傷規模の縮小にかかる減衰・軽減効果の解明と手法を開発する。

3. 研究の方法

水中爆発の軽減手法の導出に向けた研究内容を以下に分類し、平成 28 年度から平成 30 年度の 3 ヶ年で研究を実施した。

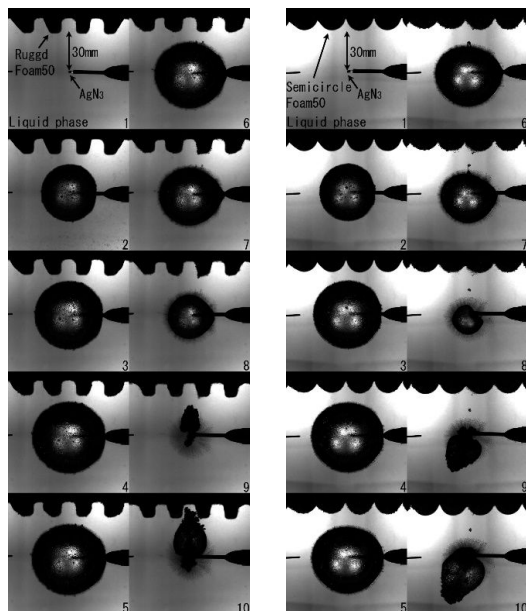
- (1) フォームと水中衝撃波・爆発ガス・水流ジェットの衝突干渉の特徴の評価
- (2) 水流ジェットの運動エネルギー軽減効果の評価
- (3) 衝撃圧減衰と水流ジェットの軽減法の導出
- (4) 数値解析との比較・検証
- (5) 空隙媒体を用いた水中爆発環境の衝撃圧減衰と水流ジェットの軽減法の確立

4. 研究成果

図 1(a)と図 1(b)は可変形空隙媒体面から下方 30mm で水中爆破した場合、爆発生成ガスの変形挙動を示す。図 1(a)は凹凸形壁面、図 1(b)は半円形壁面の 2 次元変形の可視化である。各図の時間間隔は $\Delta t = 0.60\text{ms}$ である。No.1 は爆薬が起爆時 0ms, No.2~No.4 爆発生成ガス膨張過程, No.5~No.9 は収縮過程である。図 1(a)では、可変形凹凸形フォーム境界面からの反射膨張波に伴ってキャビテーションが発生する。爆発生成ガスは均等に膨張, No.4 で最大となった。No.5 では、上半球から収縮, 下半球は膨張する。No.6 では、上半球の収縮が速く, No.7 から下半球の収縮が始まる。収縮速度は上半球 7.1m/s, 下半球 10.1m/s となった。No.9 では爆発生成ガスが最小面積となり, 下半球が爆発生成ガス中心方向に貫入し媒体の方向(起爆部上方向)に水流ジェットが発生する。図 1(b)の No.5 では半円形表面での反射膨張波と上半球の爆発生成ガスと干渉し収縮がはじまる。No.6 以降, 下半球も収縮をはじめ全周で収縮を始める。収縮速度は上半球 4.8m/s, 下半球 3.0m/s となった。No.7 以降, 収縮速度は上半球 13.8m/s, 下半球 13.2m/s となり, 爆発生成ガスは上下非対称, 左右対称の横長楕円状となった。No.8 で爆発生成ガス最小となり, 内部は高圧, 高密度となり, 二次衝撃波が発生する。No.9 以降, は再膨張の過程となり, 爆発生成ガスは再膨張をしながら上部の半円形壁面と反対方向(下方)に移動する。よって, 半円形壁面が圧縮される。

図 2 は入射衝撃波, 図 3 はパルスパルス最大の換算過剰圧値, 図 4 は入射衝撃波の弾性体後端の最大過剰応力値を示す。入射衝撃波の過剰圧抑制には, 半円 Foam50 > 凹凸 Foam13 > 凹凸 Foam80, 凹凸 Foam50 > 半円 Foam80, 水流ジェット抑制には, 凹凸 Foam50 > 凹凸 Foam13 > 半円 Foam50 > 凹凸 Foam80 > 半円 Foam80 弾性体後端の過剰応力抑制には, 半円 Foam50 > 半円 Foam80 の順番で効果的であり, 可変空隙媒体の密度が高いほど最大過剰圧・応力が減衰した。これは, フォーム骨格固体の非正常抵抗により圧力減衰が誘発される。

従って, 衝撃波の直接波, 二次衝撃波, 水流ジェットの各成分に分けて, 種々の空隙媒体の利用により, 水中爆発の減衰に係る有効な手段を確立した。



(a) Rugged wall (b) Semicircle wall

図 1 爆発生成ガスの可視化

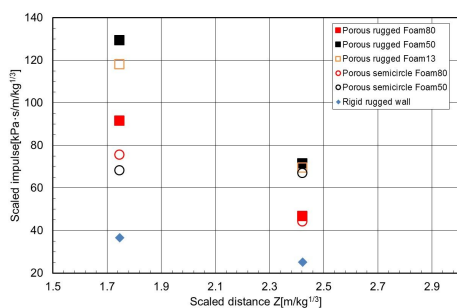


図 3 バブルパルスの最大換算過剰圧の関係

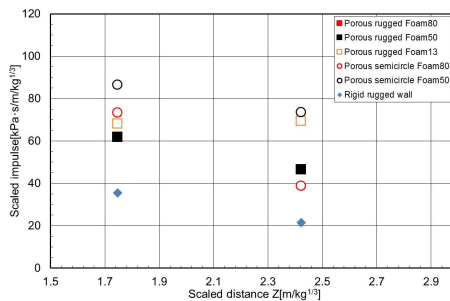


図 2 入射衝撃波の最大換算過剰圧の関係

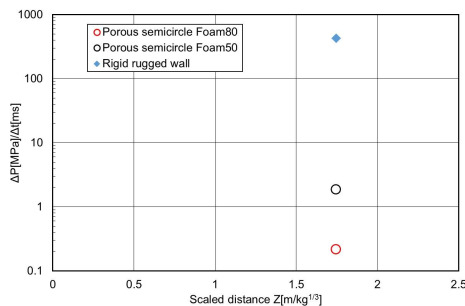


図 4 弾性体後端の最大換算応力値の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

北川 一敬, 大谷 清伸, Visualization of Flow Field Around the Underwater Explosion, 18th International Symposium on Flow Visualization, 2018, 053a

北川 一敬, 長廣 大樹, 大谷 清伸, 小西 康郁, Attenuation and Reduction Effect of Underwater Explosion by Porous Materials, The 15th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2018), OS18: The Seventeenth International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2018) IFS Collaborative Research Forum, 2018

北川 一敬, 長廣 大樹, 大谷 清伸, 阿部 淳, Collision of underwater explosion with compressible porous wall, 31st International Symposium on Shock Waves, 2017

北川 一敬, 長廣 大樹, 大谷 清伸, Experimental investigation of washing effect for textile using the underwater explosion, The 6th International Symposium on Energetic Materials and their Applications, 2017

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：大谷清伸

ローマ字氏名：(OHTANI, kiyonobu)

所属研究機関名：東北大学

部局名：流体科学研究所

職名：特任准教授

研究者番号（8桁）：80536748

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。