

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 6 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420134

研究課題名(和文) 空隙媒体による水中爆発環境の緩和効果の解明

研究課題名(英文) Attenuation effect of underwater explosion by porous media

研究代表者

北川 一敬 (Kazutaka, Kitagawa)

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：自然災害、爆発事故によって生じる衝撃波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。本研究は、水中爆発で発生した衝撃波、水流ジェット、爆発生成ガス運動を可変空隙媒体によって抑制し、過剰圧、衝撃力の減衰と物体損傷規模の縮小にかかる軽減効果の解明である。本研究期間で得られた結果は、空隙フォームを設置した場合、水流ジェットと二次衝撃波の過剰圧の最大値が99%まで減衰される。空隙フォームではポリウレタンフォームの弾性変形の影響によって、剛体壁と逆向き(下向き)の水流ジェットが発生する。

研究成果の概要(英文)：Collision of underwater explosion and any shape body is one of the research topics related to attenuate the shock environment in any structures for disaster prevention from from strong explosion hazards. This study is the attenuation and reduction effect of underwater explosion, bubble pulsation and bubble jet flow near the complex boundaries. A gas bubble is producing by the explosive. It is expanding the ellipsoid shape by effect of moving boundary of foam. At contraction phase, a gas bubble is moving to downward and bubble jet flow is generating apart from a foam surface by weak downward flow. Time histories of total stress (sum of contact stress of foam skeleton, gas pressure and hydraulic pressure) in foam is demonstrated a stress which is smaller than that due to the rigid wall. Total stress in foam attenuated up to 99 % of peak dynamic pressure in rigid wall. Attenuation of underwater explosion could attenuate and mitigate by using porous compressible foam.

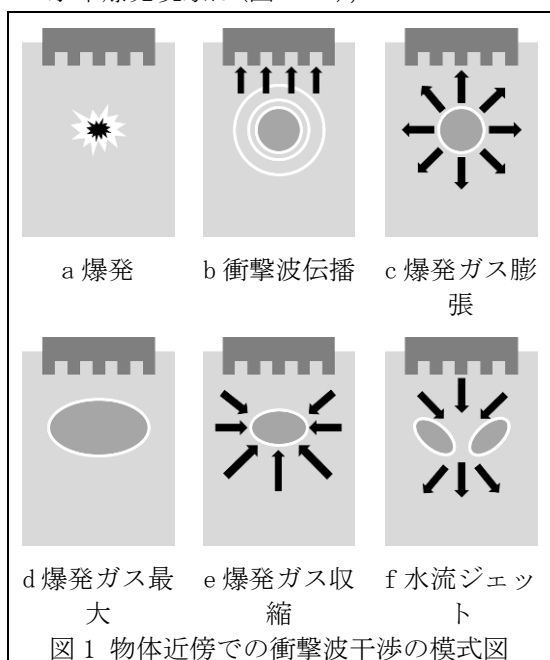
研究分野：熱流体力学

キーワード：水中爆発の減衰 爆発環境緩和技術 水中爆発の軽減 水中衝撃波 衝撃波

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、水中爆発で発生する気泡運動の数値解析、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や物体近傍の爆発ガスの挙動も調査されつつある。特に、今後は近接から遠距離爆発に至る水中爆発環境の研究は注目されている。

水中爆発現象は(図 1a-f)、



- ① 衝撃波、爆発ガスの発生(a)
- ② 水中衝撃波の水中伝播(b)
- ③ 衝撃波の水面反射(b)
- ④ 爆発ガスの膨張、収縮(c, d, e)
- ⑤ 爆発ガス最小時に発生する衝撃波(f)
- ⑥ 爆発ガス収縮時に発生する水流(水流ジェット)(f) がある。

物体が①から⑥の影響を受けると、次のような現象を生じる。

- I. 衝撃波により急激な加速度が生じる。
- II. 爆発ガスが膨張・収縮の運動をする。
- III. 水流ジェットの強い水流により物体に急激な外力が加わる(図 1-f, 水の慣性力が最大となる)。

特に、被害の程度は薬量、爆薬位置、寸法、剛性、質量が関係し、物体損傷の被害規模は、爆発源からの距離に応じて異なる。近接($z < 0.4\text{m/kg}^{1/3}$)・中距離爆発の場合、構造体の影響(境界影響)を受けるので、①から⑥と I から III の考慮が必要である。爆発が離れている場合(遠距離爆発、換算距離 $z > 5.6\text{m/kg}^{1/3}$)、①、②、③、⑤、I を考慮すればよい。

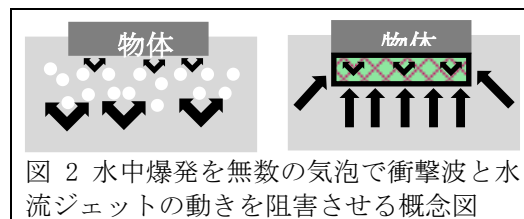
実スケールの爆発現象のデータは、予測できなかった水中爆発の衝撃干渉と緩和法の特性に関する多くの情報を提供するために非常に重要である。しかし、現状では、水中爆発の衝撃干渉問題と緩和法の検証のための計測データが不足している。さらに、野外実験により大規模爆発現象を再現する事は、費用、実験場所、安全性の面から容易でない。

本研究で実施する微小爆薬実験での爆発伝播を精査して大規模爆発を評価すること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。

2. 研究の目的

衝撃波の減衰法・緩和法の信頼性を向上するためには、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、水中爆発の衝撃干渉問題と爆発環境の緩和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によって生じる被害規模の縮小への処理技術へ適用することを最終的な目的とする。気体衝撃波の減衰法に、物体表面に凹凸や空隙のある媒体を取り付けて、衝撃波の反射回折の干渉を利用する方法がある。水中爆発でも、気体衝撃波の減衰法を参考に、物体表面に複雑な気泡構造を持つ媒体を取り付けることで、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て、爆発ガスの運動の抑制により、水中衝撃波や水流ジェットの慣性力を減衰・緩和できるのではないかとの着想に至った(図 2)。

物体表面に取り付けた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、爆発ガス運動の抑制により、物体に加わる過剰圧、衝撃力を軽減させて、物体損傷規模の縮小にかかる緩和効果を解明し、緩和法を開発する。



3. 研究の方法

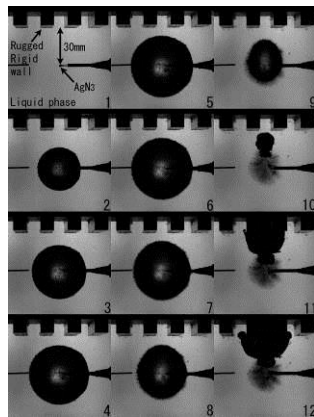
水中爆発の軽減手法の導出に向けた研究要素を以下の 5 つに分類し、平成 25 年度から平成 27 年度の 3 ヶ年で研究を実施した。

- (1) フォームと水中衝撃波・水流ジェットの衝突干渉の特徴の評価
- (2) 物体にかかるインパルス緩和効果の評価
- (3) 水流ジェットと衝撃波の衝撃圧減衰手法の確立
- (4) 数値解析との比較・検証

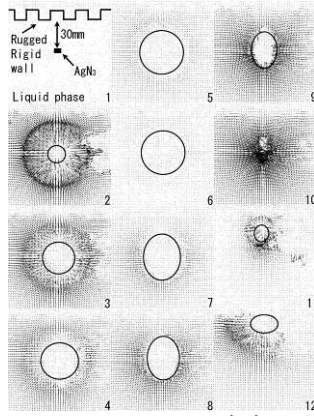
(5) 空隙媒体を用いた水中爆発環境の衝撃圧減衰法と水流ジェットのインパルス緩和法の確立

4. 研究成果

図 3a と図 3b は爆薬を凹凸剛体壁面(凹凸形状のアルミニウム)から下方 30mm の位置で起爆させた時に発生した爆発ガスの変形挙動の 2 次元変形の可視化と爆発ガス周辺流れ場の速度分布を示す. No. 1 は経過時刻 0ms, 時間間隔は $dt = 0.53ms$ である. 速度は, 膨張方向が正, 収縮方向が負で表す.



a 爆発ガスの挙動 ($\Delta t = 0.5ms$)

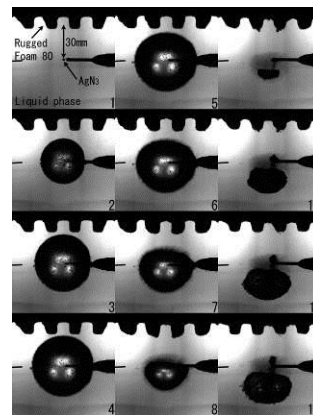


b 爆発ガス周りの速度分布

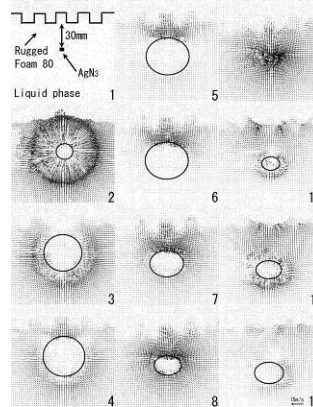
図 3 凹凸剛体壁と水中爆発の干渉

図 3a より, 爆薬が起爆し, No. 2 から No. 6 の間に爆発ガスは真球状に膨張する. No. 7 から No. 10 ではガス内部が負圧となり収縮し, この時剛体壁表面で反射した圧縮波が爆発ガスの上面に衝突し, 爆発ガス上面の収縮速度が遅くなる. No. 11 から No. 12 では爆発ガスが再膨張し, 爆発ガス収縮時に発生する水流ジェットによって上部の壁面に衝突する.

図 3b より, No. 2 以降, 爆発ガスが発生し, これにより急速に爆発ガス上下左右境界面付近の速度が上がる (+13m/s). No. 3 から No. 5 では爆発ガスが最大になるにつれて水の速度は減少し, No. 6 ではほぼ静止している. No. 7 以降, 下左右面付近の流れが起爆部方向に発生する. No. 9 では爆発ガス下左右面付近の速度は約 -4m/s となり No. 10 では約 -12m/s まで上昇する. No. 11 では上向き速度 +5m/s 水流ジェットが発生し, No. 12 以降上部の凹凸壁面に衝突する.



a 爆発ガスの挙動 ($\Delta t = 0.5ms$)



b 爆発ガス周りの速度分布

図 4 凹凸フォームと水中爆発の干渉

図 4a と図 4b は爆薬を凹凸可変形物体面(凹凸形状ポリウレタンフォーム: Foam80)から下方 30mm の位置で起爆させた時に発生した爆発ガスの変形挙動の 2 次元変形の可視化と爆発ガス周辺流れ場の速度分布を示す.

No. 1 は経過時刻 0ms, 時間間隔は $dt = 0.53ms$ である. 図 4a より, 図 3a と同様に, No. 2 から No. 4 間に爆発ガスは真球状に膨張, No. 5 ではフォーム表面で反射した膨張波が爆発ガスの上面と衝突干渉し, 上面から収縮が始める. No. 6 から No. 8 では爆発ガス内部が負圧となり, 更に収縮する. No. 9 から No. 12 では爆発ガスが再膨張し, 爆発ガス収縮時に発生する水流ジェットによって膨張収縮運動をしながら下方に移動することが凹凸剛体壁との違いである. 図 4b より, No. 2 以降, 爆発ガスの膨張と上下左右境界面付近の速度が上がり (+13m/s), 図 3b と同様の傾向を示す. No. 3 から No. 5 では爆発ガスが最大になるにつれて水の速度は減少していく. No. 4 では爆発ガスと上面付近に下向きの速度約 -5m/s が発生し, No. 5 では約 -7m/s まで速度が増加する. No. 6 で静止していた下左右面付近の流れが起爆部方向に発生する. No. 7 では爆発ガス上面付近の速度が約 -7m/s となり, No. 8 から No. 9 では下向きの速度 +5m/s の水流ジェットが発生する. No. 10 以降再膨張, 再収縮を行いながら, 下方に移動する.

図 5 は各種形状材質の入射衝撃波の最大過剰圧・応力の関係を示す. 入射衝撃波及びバブルパルスの過剰圧の場合, 凹凸剛体壁より

も凹凸空隙フォームでは90から99%減衰し、従って、水中爆発の減衰と軽減が行われた。また、各形状により最大過剰圧が異なり形状による減衰効果の違いが確認できた。

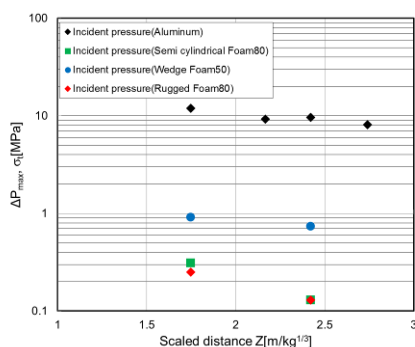


図5 最大圧力と換算距離の関係

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①北川一敬, 野村達也, 大谷清伸, 阿部淳, Attenuation of underwater explosion propagating through porous compressible foam, Science and Technology of Energetic Materials, 2015, Vol. 76, No. 6, 127-132

[学会発表] (計 15 件)

- ①北川一敬, 長廣大樹, 大谷清伸, 小西康郁, 阿部淳, Attenuation and reduction of underwater explosion by porous materials, The Fifteenth International Symposium on Advanced Fluid Information, 2015
- ②北川一敬, 野村達也, 大谷清伸, 阿部淳, Attenuation of underwater explosion propagating through porous compressible foam, The 5th International Symposium on Energetic Materials and their Applications, 2014
- ③北川一敬, 大谷清伸, 阿部淳, Attenuation and reduction of underwater explosion by porous materials(2nd report), The Fourteenth International Symposium on Advanced Fluid Information, 2014
- ④北川一敬, 阿部淳, The Behavior of Micro Explosive Charge Underwater Explosion near the Rigid Wall, Seventh International Symposium on Scale modeling, 2013
- ⑤北川一敬, 阿部淳, 大谷清伸, Interaction between underwater explosion and porous foam layer, 29th International Symposium on Shock Waves, 2014

[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 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

大谷 清伸 (OHTANI, Kiyonobu)
東北大学・流体科学研究所・助教
研究者番号 : 80536748

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :

(4) 研究協力者

阿部 淳 (ABE, Atsushi)・伊藤忠テクノソリューションズ
長廣 大樹 (NAGAIRO, Daiki)・愛知工業大学大学院・博士前期課程
野村 達也 (NOMURA, Tatsuya)・愛知工業大学大学院・博士前期課程