

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560184

研究課題名（和文） 非一様複雑構造媒体による爆風環境の緩和効果

研究課題名（英文） Attenuation effect of blast pressure by porous complex mediums

研究代表者

北川 一敬（KITAGAWA KAZUTAKA）

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50278230

研究成果の概要（和文）：爆発事故，自然災害における衝撃波の被害は甚大であり，被害予測と対策は重大な安全管理項目である．また複雑構造を有する弾性体や非線形挙動を持つ媒体との衝撃波衝突干渉に関連して，砂，フォーム，ガラスビーズと高粘度流体による衝撃波の緩和効果や衝撃波が生体に及ぼす影響等工学医学応用を目的とした研究が行われている．本研究では，上記の衝撃波干渉問題に関連した一連の研究を行い，衝撃波・爆風環境の圧力緩和効果について調べた．本研究で得られた結果を要約すると以下ようになる．砂中を通過する爆風圧は，ステップ的な圧力上昇は確認できなかった．プラスト波は砂のランダムに配置された 3 次元の分布から非定常抵抗を受け，圧縮波へ減衰する．フォーム中を通過する爆風圧は，空気中と比較すると最大過剰圧は 90[%]以上減衰し，ステップ的な圧力上昇は確認できない．また，最大過剰圧の減衰効果は砂及びガラスビーズと比べて 1 番良いことがわかった．シリコンオイルの過剰圧は水中の過剰圧より低く，シリコンオイル中でのインパルスは水中のインパルスより高くなった．また，動粘度の増加によってインパルスの値も増大している．これは正の圧力伝播の周期が水に比べ長くなるためである．ガス球はシリコンオイルの粘度が高くなるにつれて，ガス球の動きが液体の粘性によって阻害されるが，膨張収縮を繰り返す．シリコンオイル中のガス球の直径は，動粘度が高いほど小さくなり，膨張収縮周期は短くなっている．爆薬で発生する衝撃力は一定であり，ガス球の形成が流体の動粘度の増大により，大きな非定常抵抗となりガス球の膨張が抑えられたと考えられる．

研究成果の概要（英文）：

Pressure attenuation effect of blast wave through porous layers and high visco-elastic material are one of the important re-search topics related to safety assessment and prevention from explosion hazards. Part of projects regarding shock wave and blast wave motions in complex multi-phase media investigated the attenuation of strong shock pressure in sand layer, polyurethane foam and glass beads. Peak overpressures in complex particle layer decrease quickly than that in air, as the blast wave is degenerated into compression waves due to its interaction with three-dimensional porosity distribution. Pressure attenuation caused in present complex media are about 90 % of the peak overpressure value in air. In the case of interaction between underwater shock wave and high visco-elastic fluid, the diameter of gas bubble and contractile cycle depend on the fluid kinetic viscosity and strength of underwater shock pressure. Peak overpressure in silicon oils decrease to about 40 ~ 54% of the incident peak overpressure in water. Impulse of silicon oils increase in accord with the kinetic viscosity ratio.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：圧縮・非圧縮性流体

1. 研究開始当初の背景

衝撃波と空隙のある柔軟弾性体との衝突干渉の研究は、衝撃波・爆風と可変形物体、粉体やスペーデブリ等の高速移動体との衝突干渉、Ho-YAG レーザで発生した衝撃波による脳血栓の破壊等、工学・医学応用に対する必要性が高まって来ている。また、爆発事故等によって生じる被害予測と対策は重要な安全管理項目である。しかし、大規模爆発で発生する爆風を野外実験により大規模爆風伝播を模擬する事は不可能かつ容易でない。一方、空気中の爆風伝播には一定の相似則があり、同様に非一様複雑構造媒体中の爆風・強い圧縮波伝播にも相似則が期待でき、微小爆薬の起爆で発生する爆風伝播を精査して大規模爆発を評価する事は有効な方法である。特に、フォーム、網、砂等の三次元的に空隙を持つ空間を伝播する衝撃波の減衰過程及び爆風環境緩和は、二次元配列の空隙のある媒体を過ぎる衝撃波干渉及び粘弾性流体の圧力伝播特性、ガス球の挙動の問題とは異なる。本研究代表者は、複雑媒体中の衝撃波現象を解明する研究の一環として、フォーム中を過ぎる衝撃波の減衰を調査している。以上の事から、本研究助成では、各種媒体と用いて、爆風・衝撃波の減衰及び緩和効果について調べる。

2. 研究の目的

本研究は、爆風が非一様複雑構造媒体(砂、ポリウレタンフォーム)及び高粘度流体による非正常抵抗、幾何学的構造と空隙率の影響による圧力減衰と緩和過程の基本的特徴を調べる事である。従って、爆発現象、地震波及び体内中の衝撃波伝播と非一様複雑構造媒体の組み合わせによる爆風・衝撃波環境の緩和効果を工学・医学応用する際の極めて有用な研究成果が得られると考えられる。

3. 研究の方法

非一様複雑構造媒体として、ポリウレタンフォーム、砂及び高粘度流体を取り上げた。衝撃波をショックチューブ低圧部固定端に設置したポリウレタンフォームに衝突干渉させた。その時の底面圧力(応力)の変動をピエゾ圧電型トランスデューザで測定を行った。Fig.3 は縦型衝撃波管底部に設置したポリウレタンフォーム状態を示す。フォームの設置法は三種類の方法で設置し、衝撃圧の減衰効果を調べた。管固定端面のみ固着させた状態(Non fixed foam)、管固定端面と管周辺面で固着させた状態(Fixed foam[1])、管周辺で固定し管端面との間に空間を設けた状態(Fixed foam[2])を示す。Fixed foam[2]で設けられた空間は10[mm]である。過剰圧力計測で使用した爆薬は直径1.5[mm]、高さ1.5[mm]の円柱型、薬量約10[mg]、密度約3770[kg/m³]のアジ化銀ペレット(昭和金属工業(株)製)である。爆薬は直径1.1[mm]のプラスチック製の光ファイバの端面を#1600の紙やすりで磨き、アルファ・シアノアクリレート系接着剤で固定した。起爆は光ファイバの他端からNd:YAGレーザ(EKSPLA社製、パルス出力:61.5[mJ]、波長:532[nm])を照射し、つるし発破法を用い起爆した。過剰圧測定はMullar社製の水圧力センサ(Platte-Gauge)を使用した。測定開始のトリガはレーザと同期させた。実験の媒体として信越シリコン社製のシリコンオイルを用いた。今回の実験では爆発時に発生するガスの挙動をハイスピドカメラにより直接撮影した。水とシリコンオイルは爆風槽の約80[%](約2.4l)まで入れた。ハイスピドカメラはPhotron社製のFASTCAM SA5を

使用した。撮影速度 50,000[fps]、シャッタースピード 1/151,000[s]で撮影を行った。カメラレンズは、Nikon 社製、 $f=55$ [mm]、 $F=2.8$ の接写レンズを使用した。ガス球の撮影は可視化窓前面から行った。トレ-シングペ-パを爆風槽背面に設置し、500[W]ハロゲン球をバックライトとし、後方からの光量を可視化部全面に均等に照らす事が可能である。更に、可視化窓前面から2個の500[W]ハロゲン球を設置する事で、上記の撮影条件が可能である。

4. 研究成果

本研究は、衝撃波・爆風が非一様複雑構造媒体の非正常抵抗、幾何学的構造と空隙率の影響による圧力減衰と緩和過程の基本的特徴を調べる事である。本研究成果は、爆発現象、地震波及び体内中の衝撃波伝播と非一様複雑構造媒体の組み合わせによる爆風・衝撃環境の緩和効果を工学・医学応用する際、極めて有用である。

我々の研究室では、平成13年から衝撃波と柔軟弾性体の衝突干渉問題の基礎研究を続けて来たが、本研究助成により、固体及び液体の複雑媒体を用いた衝撃波・爆風環境の緩和効果と衝突干渉の違いを調べている。今回得られた研究結果として、

(1) Non fixed foamではフォ-ム前縁部が自由端であり、空気中を伝播してきた衝撃波が衝突することでフォ-ムの圧縮波が管底部まで伝播し、固定端で圧縮波として反射し、自由端で膨張波として反射する。その慣性力によってRigid wallより高い応力上昇が観測される。

(2) Fixed foam[1]では管周囲で固着しているためNon fixed foamの様な応力上昇はせず、Rigid wallに比べ応力は緩やかに上昇している。Fixed foam[2]では、Fixed foam[1]と同様に圧力は緩やかに上昇している。Fixed foam[2]は、固定端との間に空間を設けたため、フォ-ムの慣性力が伝わらない。Fixed foam[2]状態で設置する事で衝撃波の緩和効果が一番高いことが確認された。

(3) フォ-ム中を通過する爆風圧は、空気中と比較すると最大過剰圧は90[%]以上減衰し、ステップ的な圧力上昇は確認できない。これは、フォ-ム中を伝播するプラスト波はフォ-ムの3次元的な空隙構造によって非正常抵抗を受け、換算距離の増加に伴い圧縮波に減衰する。爆心からの換算距離が増加すると第一波の圧力の立ち上がりは緩やかな勾配となり、フォ-ムによる過剰圧の減衰は、換算距離 $0.8 < Z < 1.1$ [$m/kg^{1/3}$]の範囲で約95[%]の減衰となった。

(4) 砂中を通過する爆風圧は、ステップ的な圧力上昇は確認できなかった。プラスト波は砂のランダムに配置された3次元の分布から非正常抵抗を受け、圧縮波へ減速する。過剰圧の減衰率は空気の過剰圧と比較して、換算距離 $Z < 0.7$ [$m/kg^{1/3}$]の範囲では約5%減衰し、換算距離 $Z > 0.8$ [$m/kg^{1/3}$]の範囲で約60%の最大過剰圧の減衰が確認できた。 $Z < 0.7$ [$m/kg^{1/3}$]では特に、ガス圧と応力を計測しているため、砂が衝撃波から加わった非正常力の効果が大きいことを示している。

(5) ガラスビ-ズを通過する爆風圧は、ステップ的な圧力上昇が確認できず、フォ-ム及び砂と比べて過剰圧を示した。過剰圧は換算距離 $0.9 < Z < 1.1$ [$m/kg^{1/3}$]の範囲で空気中の過剰圧よりも増大した。砂同様に、衝撃波から加わった非正常力の効果が大きい。換算距離 $1.4 < Z < 1.8$ [$m/kg^{1/3}$]の範囲で過剰圧はガラスビ-ズの非正常抵抗により急激に減衰した。

(6) ポリウレタンフォ-ムによるプラスト波の過剰圧の減衰は、砂及びガラスビ-ズと比べて1番良いことがわかり、爆風環境減衰効果が一番高く、爆発物の処理などはポリウレタンフォ-ム中で行うと効率的に処理する事が可能である。

(7) シリコンオイルと水中では第一波の衝撃圧の圧力波の伝播に15~20[μs]の差異が見られ、最大過剰圧も水中では約8[MPa]に対し、シリコンオイル中では約4[MPa]となった。

(8) シリコンオイル中でのインパルスは水中のインパルスより高くなった。また、動粘度の増加によって、正の圧力伝播の周期が水に比べ長くなるためインパルス値も増大する。

(9) シリコンオイル中のガス球の直径は、動粘度が高いほど小さくなり、膨張収縮周期は短くなっている。爆薬で発生する衝撃力は一定であり、ガス球の形成が流体の動粘度の増大により、大きな非正常抵抗となりガス球の膨張が抑えられた。

本研究は以上のように独特な観点と学術的な特色を持ち、特に、爆発現象、地震波及び体内中の衝撃波伝播構造、爆風・衝撃波環境の緩和効果等、今後の工学・医学応用する際の極めて有用な研究成果を与え、以降の研究開発の発展に格段に寄与できる知見を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

K. Kitagawa, K. Endo, M. Yasuhara

Pressure attenuation effect of strong

shock pressure in porous complex media,
Proceedings of 6th Int. Sympo. on Scale
Modeling (ISSM-6), Paper No. 2-06 (2009)

K. Endo, K. Kitagawa, M. Yasuhara

Diffusion effect of blast pressure in
porous complex media, Proceedings of 39th
AIAA Fluid Dynamics Conference, Paper No.
AIAA 2009-3569 (2009)

K. Kitagawa, K. Takayama, M. Yasuhara

Attenuation properties of blast wave
through porous layer, Proceedings of 26th
Int. Symp. on Shock Waves, Vol. 1, pp.
73-78 (2007)

〔学会発表〕(計5件)

遠藤賢一, 北川一敬, 田中康恵, 保原充,
高粘度流体中におけるガス球の変形挙動,
平成 21 年度衝撃波シンポジウム講演論文集
(2010 年 3 月)

遠藤賢一, 北川一敬, 保原充, 空隙媒体
を通過する衝撃波の伝播, 日本流体力学会
年会 2009 講演論文集 (2009 年 9 月)

遠藤賢一, 北川一敬, 田中康恵, 保原充,
高粘度流体中での爆発圧力の伝播, 平成 20
年度衝撃波シンポジウム講演論文集, pp.
315-316 (2009 年 3 月)

遠藤賢一, 北川一敬, 保原充, 空隙媒体
を通過する衝撃波の伝播, 日本流体力学会
年会 2008 講演論文集 (2008 年 9 月)

遠藤賢一, 北川一敬, 保原充, 空隙フォ
- ム中における爆風の減衰効果, 平成 19 年
度衝撃波シンポジウム講演論文集, pp.
181-184 (2008 年 3 月)

〔その他〕

ホームページ等

<http://aitech.ac.jp/~kitagawa>

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・准教授

研究者番号: 50278230