

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14523 号
------	---------------

氏 名 福嶋 岳

論 文 題 目

Modulation and moderation of shock wave front by unsteady
interaction with grid turbulence
(格子乱流との非定常干渉による衝撃波面の変調と緩和)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	佐宗 章弘
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	辻 義之
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	長田 孝二
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	杵淵 紀世志
委員	横浜国立大学	工学研究院	准教授	北村 圭一

論文審査の結果の要旨

福嶋岳君提出の論文「Modulation and moderation of shock wave front by unsteady interaction with grid turbulence (格子乱流との非定常干渉による衝撃波面の変調と緩和)」は、衝撃波が格子乱流中を伝播していく系において、衝撃波マッハ数、乱流マッハ数、衝撃波と乱流の干渉距離が衝撃波背後の圧力場および波面の変形および消失現象に及ぼす影響を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、衝撃波が関連する航空宇宙工学の諸問題を例示し、次世代航空機開発において、流れ場と干渉した衝撃波と流れ場の非定常的な干渉がもたらす変調現象の理解が重要であることを記している。衝撃波と流れ場の非定常干渉の基礎的な系として衝撃波-乱流干渉を挙げ、過去に行われた研究を整理し、それらの課題についてまとめている。衝撃波が関連する問題を解決するには、乱流による衝撃波面の変形や消失現象をより現実に近い系で検証することが必要であることを述べており、乱流中を伝播していく衝撃波面の変調や消失現象を実験によって評価・理解することを本研究の目的として記している。

第2章では、衝撃波管による衝撃波-格子乱流干渉実験に向けた基礎研究として、衝撃波管作動における衝撃波形成特性を明らかにしている。高圧気体と低圧気体を隔てるセロファン隔膜の破断過程を高速度撮影する系を構築し、隔膜の開口過程と衝撃波形成との関連を調査した。セロファン隔膜の破断は一定応力を超えると隔膜破断時に複数の花卉が形成され、花卉を形成するき裂伝播速度は、圧力差や湿度、実験装置寸法に依らずほぼ一定であることを示した。また形成される花卉数は破断前に作用する応力のみの関数で表されることを示した。セロファン隔膜の開口運動を解析することで衝撃波形成との関連を調査し、衝撃波伝播方向の投影断面開口度20%に満たない初期開口過程のみが衝撃波形成に影響を与えていることを示した。これらの成果は、圧力差が小さい状態で隔膜を開口させる必要がある低圧作動の衝撃波管実験において、特に重要な知見である。

第3章では、平面衝撃波と格子乱流の干渉実験を、試験部に対して左右から衝撃波および対向流を形成することができ対向衝撃波管によって実施した。光学可視化法によって格子乱流中を伝播する衝撃波を可視化することで、衝撃波マッハ数、乱流マッハ数、衝撃波と乱流の干渉距離が、衝撃波の横投影光学可視化画像に及ぼす影響を評価した。衝撃波マッハ数が比較的低く、乱流マッハ数が比較的高い条件では、シュリーレン可視化画像上で衝撃波が部分的に消失する現象が見られ、数値解析による先行研究において衝撃波面の「崩壊」と分類されている、衝撃波面連続性が局所的に失われる現象を確認した。この衝撃波面の「崩壊」が発生する条件については、直接数値計算による先行研究で提唱されている指標をいずれも満たしており、数値計算研究で得られている指標の妥当性を実証した重要な成果となった。さらに、衝撃波の「崩壊」条件を満たしていても、実験では格子乱流の積分スケールの20-50倍程度の干渉距離を経なければ衝撃波面の「崩壊」には至らず、衝撃波の波面状態に対し非定常性を表すパラメータである干渉距離が大きな影響を与えていることを明らかにした。

第4章では、衝撃波面の「消失」現象についてシュリーレン光学可視化法による実験実証およびリーマン問題の解に基づいた解析を実施している。乱流マッハ数0.025の格子乱流に対し、衝撃波マッハ数が1.013以下の衝撃波は乱流中を伝播していくにつれてシュリーレン可視化画像上においてコントラストが次第に低下していき、乱流の積分スケールの20倍程度進行した後は衝撃波面が消失した。この実験結果は、乱流との干渉による衝撃波面の「消失」を実験で確認した初の成果となった。一次元の系で衝撃波と速度場の干渉をリーマン問題に基づいて定式化し、多次元系に拡張することで、乱流中を伝播する衝撃波面が「消失」する指標を、伝播距離に関する条件とともに、衝撃波マッハ数、乱流マッハ数の関数として提唱した。導出した指標と実験結果の比較を行った結果、良い一致が確認された。このように、本研究にて衝撃波「消失」の発生基準を、初めて実験結果に基づいて提唱することとなった。

第5章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、衝撃波形成特性を明らかにした実験系を使用し、衝撃波と格子乱流の干渉実験を行うことで、衝撃波マッハ数、乱流マッハ数、衝撃波と乱流の干渉距離が衝撃波面の変形および消失に及ぼす影響を明らかにしている。これらの評価方法並びに得られた結果は、超音速旅客機が引き起こす衝撃波による騒音問題の理解や、流れ場による衝撃波の積極的な低減手法を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である福嶋岳君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。