

論文審査の結果の要旨

氏名：大 隅 歩

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：強力空中超音波を利用したコンクリートの火害計測技術に関する研究

審査委員：（主査） 教授 伊藤 洋一

（副査） 教授 小野 隆 教授 三浦 光

教授 梅村 靖弘

火災にあった耐火建築資材の火害状況を把握することは、火災の出火原因の特定や建物の再使用の可否、さらにそれに伴う補修規模を決める上で極めて重要である。現在使用されている耐火建築物の火害に関する調査方法には、鉄筋コンクリート造の建物の再使用を判定するために使用される熱・火害による劣化の診断がある。これについては、すでに種々の物理的、化学的診断法が開発・研究されており、体系化されている。また、その他の手段として接触方式の超音波探触子を用いて超音波伝播速度を測定することで、コンクリートの強度およびヤング率を計測する方法や、コンクリートの焼成温度と X 線分析結果の関係を基にコンクリートの受熱温度を推定する方法もある。

このように調査方法は多岐に渡るが、精度の高いのは破壊検査に限定されているのが現状である。しかし、この調査方法ではコンクリート壁の一部を破壊して行うため、実施には制限が伴う上に多大な時間と労力を必要とすることが問題となっている。そのため、簡便かつ非破壊による精度の高い検査方法の出現が望まれている。

このような状況の下、申請論文ではコンクリートの火害を非接触・非破壊で精度よく簡便に計測する手法の開発とその計測システムを構築することを目的に研究がなされ、その成果が纏め上げられている。

申請論文の最も評価すべき点は、新たな手法として強い非線形性を有する強力空中集束超音波とレーザドップラ振動計を用いた計測技術を考案したことである。この手法を実現するために、申請者は固体物体に強力超音波を照射した場合の振動特性について検討し、照射音波と同じ周波数成分の振動を非接触で物体表面に発生できることを示し、そのときの音波と振動の関係を明らかにした。さらに、火災現場を想定したコンクリート試料に対して本計測手法による基礎検討を行い、火害の計測が可能であることを明らかにした。また、これらの研究成果を基に、火災現場で実用可能となる非接触・非破壊方式の火害計測システムを構築し、実際の火災現場での実験を通して、本計測手法および計測システムが有効であることを実証した。

申請論文は7章で構成されている。

まず、第1章「緒言」では本研究の背景と目的、火害の診断と動向について述べられており、非接触・非破壊による火害計測の重要性を示唆している。

第2章「計測原理と非線形空中超音波の発生」では、強力空中超音波を用いたコンクリート火害を判定するための非接触かつ非破壊で行う新たな手法を提案し、その計測原理を明らかにしている。提案手法では非線形空中超音波を利用することから、そのための音源として現在最も実用と考えられる点集束空中超音波音源について、実践での可動性も含めた各種の特性を多面的かつ詳細に検討を行い、実用できる音源を選定している。この検討は、本計測手法を実用システムとして完成させる上で極めて重要な成果であると考えられる。

第3章「非線形空中超音波による固体物の非接触励振と振動特性」では、非線形空中超音波による固体物体の非接触励振について詳細な検討がなされ、これまで検討されていない各種の事項についての多くの知見が示されている。また、物体表面の振動を計測する際、レーザドップラ振動計の計測用レーザ光が強力音波より影響を受

けることを明らかにし、そのための対策方法も開発している。

第4章「コンクリートの火害計測の実験」では、提案する計測手法を火災現場を想定したコンクリート試料に対して、火害計測のための詳細な検討を行っている。まず、高温加熱の有無によりコンクリートの振動特性に明らかな違いがあることを明らかにした。また、非線形超音波の照射により得られた複数周波数の振動特性において、特に高調波成分で顕著な変化が見られる事を突き止めた。さらに、振動速度の基本周波数成分と高調波成分の割合を表わすひずみ率を用いた評価方法が、火害判定に有用であることを明らかにしている。

第5章「火害計測システムの構築」では、火災現場に対応できるよう、計測機材のコンパクト化および現場での計測の単純化、効率化を目指した実用可能なシステムの構築について詳細な検討が行われている。

火災現場での機動性を高めるには、ハンドリング可能なサイズまで装置を小型化することが必要不可欠であり、音源の改良をも含めた装置のコンパクト化を実現している。また、現場における計測作業の操作性および計測結果の処理と判定を直ちに行えるよう、専用のプログラムを開発するなど現場で実用できる機動性に優れた計測システムが構築されている。これらは、本計測システムを火災現場で実用するためにはいずれも必要不可欠な事項であり、申請者はこれを見事に実現している。

第6章「模擬火災現場における検証実験」では、実際の集合住宅の一部に火災を発生させ、対象となるコンクリート壁に対して開発した計測システムによる火害判定を実施した結果について纏められている。まず、火災現場の劣悪な環境下においても、本計測システムは問題なく動作することが確認されている。また、対象壁全面に設置したセンサで得た計測結果より、火災にあったコンクリート壁面の温度履歴は各部位によってその特性が大きく異なること、さらにこれと対応する本手法の計測結果には相関関係があることを見出している。これにより、本研究で提案した計測手法が火害の判定に有用であることを明らかにしている。

第7章「結言」では、本研究で得られた成果を纏めている。また、本研究で提案した計測手法が、他の分野においても応用できる可能性があることを示唆し、併せて今後の研究の展望が述べられている。

耐火建築物の火害の程度を精度よく非破壊で計測する技術の出現が待望される中、申請者の研究は、コンクリートの火害を非接触・非破壊で精度よく簡便に計測する、これまでに例を見ない全く新たな手法の開発とその計測システムの構築を実現した。本研究が提案する方法の最大の特徴は、音圧レベル 160 dB 以上の極めて強力な空中集束超音波を使用していることである。音波が強力であるため固体物を容易に非接触で励振することが可能であり、被測定物と音源の位置関係に自由度がある。しかも、この音波は強い非線形性を有し、駆動周波数に加えて整数次の高調波音波が発生するため、対象物表面に複数周波数の振動を同時に発生させることができる。この効果を利用することで計測の精度を高めている。音波の周波数は 20 kHz~50 kHz であり、人間の可聴範囲外であるからほぼ無騒音で実用することができるため、使用する場所や時間に制限がないことも大きな特徴になっている。さらに、本計測手法を実際の火災現場に適用し、その有効性を実証したことも貴重な成果であり、大いに評価できる。

以上の研究成果は他に類を見ない極めて独創的なものであり、また社会への貢献も大である。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成26年2月13日