

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：12501
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2010～2012
課題番号：22760059
研究課題名（和文）数理工学を駆使した簡便で高精度・高効率な新しい構造物健全性評価システムの研究開発
研究課題名（英文）Efficiency Improvement of the Ultrasonic Inspection with an Optimization Method
研究代表者
渡辺 知規（WATANABE TOMONORI）
千葉大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50323431

研究成果の概要（和文）：本研究では、近年、構造物健全性評価システムの根幹をなす非破壊検査の中でも重要な技術のひとつとなっている超音波探傷の高精度化や高効率化などについて数理的な検討を行った。そのひとつとして、探査点の選定方法と探査手順を工夫し、最適化の方法を応用した探査方法を提案した。さらに、実際に探傷実験を行うことにより、本研究にて提案した探査方法の有効性について検討した。主たる結果として、本研究での探査方法の有効性だけでなく種々の探査上の特徴を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

A new mathematical approach for the ultrasonic inspection by employing the optimization method has been proposed in order to improve the efficiency of ultrasonic inspection based on the wave propagation visualization technique. The main idea of this study is to focus on two issues, that is, how to select the searching points in inspection and how to determine the route to visit all the searching points. The validity and properties of the new method have been numerically and experimentally investigated by comparing with the conventional one. As a result, it is shown that the efficiency of the ultrasonic inspection is significantly improved by the new method. Moreover, based on the obtained results, some conditions for improving the inspection efficiency are demonstrated, which should be appropriately chosen by inspectors. Finally, the obtained results indicate that the proposed new method in the present study has the advantages in the efficiency of the ultrasonic inspection in practical applications.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
2011 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：アルゴリズム，応用数学，数理工学，機械材料・材料力学，超音波探傷

1. 研究開始当初の背景

近年，構造物健全性評価システムの根幹を

なす非破壊検査法は、安心・安全への関心のいっそうの高まりともあいまって、非常に重要な技術となっている。とりわけ、非破壊検査法のひとつである超音波探傷法は、高い精度と信頼性をもち、検査装置の簡便さなどの理由から経年劣化した構造物に対する信頼性評価に広く用いられるとともに、活発に研究もなされている。特に、近年では、新たな超音波探傷法として、発振レーザー走査法を用いた画期的な技術が開発されている。この技術は、超音波の伝播挙動の可視化など、従来の典型的な超音波探傷法と比べ、種々の顕著な特徴を有したものとなっており、様々な面での有効性が報告されている。

現在、一般に、超音波探傷法では、検査範囲の狭さに起因して検査に時間を要する等の問題が知られている。実際に、典型的な超音波探傷法では、欠陥の探査は、探触子を手動で走査させ、それによって得た信号波形を解析することによって行われている。したがって、このような方法は、検査作業に時間や労力などのコストを要するものとなっており、加えて、欠陥の見逃しや誤認識などへとつながる要因を含んだものとなっている。このような問題点に対し、近年開発された発振レーザー走査法は、探触子ではなく、レーザービームを走査するという革新的な技術となっており、超音波の伝播挙動の可視化を可能にすることによって大きな成果をあげている。しかしながら、このように極めて優れた発振レーザー走査法においても、その探傷方法が、格子上のレーザー照射点を走査することによる波形列の取り込みによって行われるため、この波形列の取り込み過程に、時間やデータ量などを少なからず要することが報告されている。

以上のことから、簡便で高効率、高精度な超音波探傷を目指した研究を行うことは非常に重要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、簡便で高効率、高精度な超音波探傷を、数理工学を駆使することにより実現することである。その一環として、具体的には、超音波探傷の中でも近年注目されている発振レーザー走査法を代表例とし、探査点の選定方法と探査手順を工夫し、最適化の方法を応用した探査方法を提案し、有効性を検討する。

3. 研究の方法

まず、超音波探傷における効率を定義したうえで、効率改善のために、これまでの研究には無い全く新しい試みとして、数理的観点から、従来の超音波探傷法における探査点の選定方法と探査手順に着目をする。具体的には、数理的なアイデアと手法にもとづいて、

異なる探査点の選定方法と探査手順のもとの効率的な新しい探傷方法について検討を行い、高効率化のための適切な探査方法を明らかにする。なお、検討にあたっては、最適化の方法として、代表的な組合せ最適化問題のひとつである巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem, TSP) を応用する。

さらに、上記の検討結果にもとづき、実際に、代表的な超音波探傷法として発振レーザー走査法を例にとり、超音波探傷実験を行い、本研究での数理的観点からの新しい探傷方法の有効性や特徴を明らかにする。

このように、本研究では、数値解析と実験を通して、数理的なアプローチによって、簡便で高効率、高精度な超音波探傷法の検討を行い、さらには、有効性や信頼性の向上など、超音波探傷法の発展につながる知見を得る。

4. 研究成果

本研究にて得られた主たる結果を以下に示す。

- (1) 超音波探傷の高効率化のためのひとつの方法として、探査点の選定方法と探査手順に着目することの有効性を明らかにした。特に、本研究の実験においては、格子点を探査点に採用する従来の方法では、総探査点数の約 50%まで探査点数を減少させても損傷を判定できる。さらに、ランダムに与えた点を探査点に採用する方法でも損傷の検出を行うことができ、損傷の判定は、探査点数を総探査点数の約 75%にまで減少させても可能となる。
- (2) 実際に、数値解析と探傷実験を行い、現在の典型的な超音波探傷法には、高効率化のための適切な探査点の位置と数および探査手順が存在することを明らかにした。特に、格子点を探査点に採用する従来の方法であっても、探査点数を適切に選択することによって効率の改善が可能であり、従来の探査手順を用いる場合には、大幅な効率の改善が可能な効果的な探査点数が存在する。また、ランダムに与えた点を探査点に採用する場合には、探査手順に TSP を応用し、適切な探査点数を選択することで 80% 以上の改善率を得ることができる。
- (3) 探査点の位置と数および探査手順の組み合わせによって得られる探査方法のそれぞれについての特徴を明らかにした。特に、適切に効率を改善するためには、探査点の位置の選定方法の決定には、探査手順を組み合わせる必要がある。したがって、格子点を探査点に採用する従来の方法であっても、探査手順に TSP を用いることで効率改善が可能

となる。実際に、図1に探査点が格子点である場合(図1(a))の代表例を示す。この図のとおり、従来の素朴にたどる方法(図1(b))よりもTSPを用いた方法(図1(c))の方が探査点をたどる総距離が短くなっていることがわかる。また、図2から効率も改善されていることがわかる。

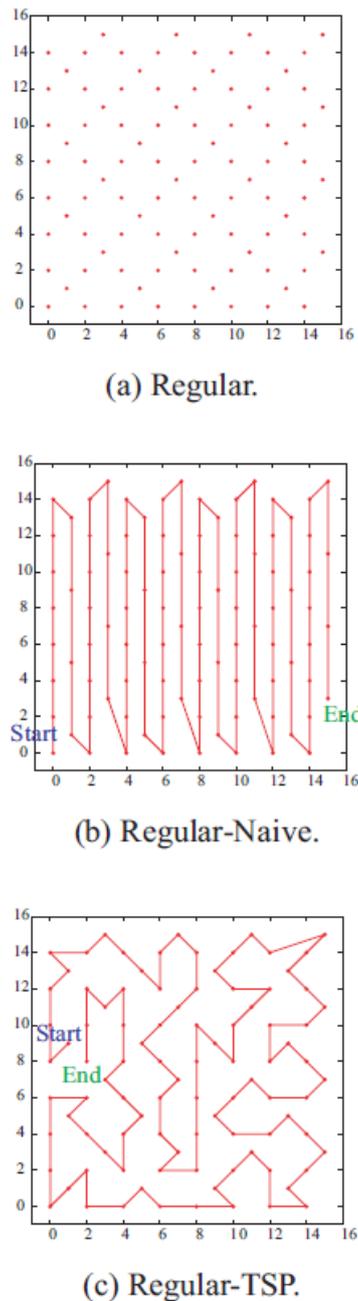


図1 探査点を格子点にした場合の探査経路

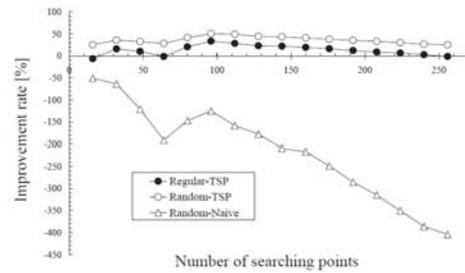


図2 探査点数と効率の改善率との関係

以上のような本研究の結果は、単に、超音波探傷の効率化に役立つというだけでなく、超音波探傷法の有効性や信頼性の向上にも有用な知見を与えることができるものと考えられる。たとえば、実際の超音波探傷法では、検査対象の形状は、決して単純なものばかりではなく、格子状に探査点をとることが難しい場合も少なくない。このように探査点の位置が問題となる場合、本研究での結果は超音波探傷法の有効性を高めるために役立つものと考えられる。また、背景欄でも述べたとおり、発振レーザー走査法は、欠陥の誤認識や見逃しの防止にも優れた機能を発揮する技術である。このような革新的な技術をもとに、さらなる信頼性の向上のために、簡便化や自動化を想定する場合にも、本研究にて提示した手法と結果は有用であると考えられる。上述のとおり、本研究の特徴のひとつは、たとえば、図1(c)の経路のように、数理的アプローチによって、決して自明ではなく、容易に想到することができない結果を得ているということにある。したがって、このような際立つ特徴を含む本研究の結果は、超音波探傷法の有効性や信頼性の向上をはじめ、今後の超音波探傷の発展に少なからず寄与できるものと考えられる。

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5件)

- (1) 渡辺知規, 庄司直幸, 胡寧: “最適化法を応用した超音波探傷の高効率化”, 日本機械学会論文集 C 編, 78, 1984-1994, (2012), 査読有, <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ikaic/-char/ja/>
- (2) 服部智行, 渡辺知規, 胡寧, 劉瑤璐: “超音波伝播の可視化技術を用いた新たな簡易信号処理による損傷領域評価”, 日本機械学会論文集 A 編, 78, 1506-1517, (2012), 査読有,

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ikaia/-char/ja/>

- (3) Tomonori WATANABE, N. HU: “A Theoretical Analysis for the SH Wave in a Thin Plate”, Journal of Environment and Engineering, 6, 478-489, (2011), 査読有, <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jee>
- (4) 渡辺知規: “脈波伝播解析への応用に向けたセルオートマトンの有効性の検討”, 日本機械学会論文集 B 編, 76, 1811-1818, (2010), 査読有, <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ikaib/-char/ja/>
- (5) 渡辺知規: “連続体のモデル化に用いる粒子集団が有するレオロジー特性の数理的解析”, 日本機械学会論文集 B 編, 76, 2050-2057, (2010), 査読有, <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ikaib/-char/ja/>

[学会発表] (計 6 件)

- (1) 渡辺知規, 庄司直幸, 郷田理羽, 胡寧: “複合材料積層板の超音波探傷への最適化法の応用”, 日本機械学会第 20 回機械材料・材料加工技術講演会, 2012 年 12 月 1 日, 大阪工業大学大宮キャンパス (大阪府)
- (2) 庄司直幸, 渡辺知規, 郷田理羽, 胡寧, 福永久雄, 跡部哲士: “CFRP 積層板の損傷画像化における新たな損傷解析方法の提案”, 日本複合材料学会第 37 回複合材料シンポジウム, 2012 年 10 月 18 日, 名古屋市中小企業振興会館 (愛知県)
- (3) 渡辺知規, 胡寧: “材料非線形性を有する平板を伝わる SH 波の伝播特性”, 日本機械学会関東支部山梨講演会, 2011 年 10 月 22 日, 山梨大学 (山梨県)
- (4) 渡辺知規, 胡寧: “薄板材料を長距離伝播する SH 波の数理的解析”, 日本機械学会九州支部宮崎講演会, 2011 年 9 月 30 日, 宮崎大学 (宮崎県)
- (5) 庄司直幸, 渡辺知規, 胡寧: “超音波探傷の効率改善に向けた探査方法の提案”, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会, 2011 年 9 月 16 日, 帝京大学 (栃木県)
- (6) 渡辺知規, 胡寧: “長距離伝播可能な SH 波の数理的検討”, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会, 2011 年 9 月 16 日, 帝京大学 (栃木県)

[その他]

ホームページ等

<http://www.eng.chiba-u.ac.jp/outProfile.tsv?no=1092>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 知規 (WATANABE TOMONORI)

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 50323431