

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：52501

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14998

研究課題名（和文）水中鋼構造部材のダイバーレス非接触肉厚測定のための装置小型化と調査システムの構築

研究課題名（英文）Development of diver-less Non-contact Ultrasonic Thickness Measurement Method by miniaturization of ultrasonic transducer and contracting remote measurement system

研究代表者

虻川 和紀（ABUKAWA, Kazuki）

木更津工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：50756731

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、申請者らがこれまでに開発を進めてきた超音波非接触式肉厚測定装置（非接触方式）の改良をし、ダイバーレス測定が可能な正確に効率よく安価で客観的に計測する有効な技術開発を目標に研究を行った。まず超音波非接触式肉厚測定装置のセンサー部の小型化の検討を行い、検討した小型センサーを水中ロボットに搭載して室内実験を行った。結果、錆びた鋼板でも、概ね3°程度の傾きであれば測定可能であった。また、ROVに搭載した遠隔計測でも今後治具の改良や操作性の向上などの課題があるが、小型化検討時と同様の計測結果が取得できており、遠隔計測が可能であると示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来方式である超音波厚み計を用いた接触式肉厚測定に代わる点検手法が開発・検討されているが、人がセンサー部を持ちダイバーレス測定が可能な正確に効率よく安価で客観的に計測する有効な技術は未だない。本研究により、今まで施設を停止して点検しなければならなかった、もしくは点検できなかった危険水域での鋼構造部材の肉厚測定が可能となり、水中鋼構造物の維持管理技術の向上が期待できる。また、本研究により開発した技術を以前開発した既開発装置にフィードバックすることにより、さらなる港湾係留施設の維持管理技術の向上が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, to develop a diver less ultrasonic non-contact wall thickness measurement method, we miniaturized the underwater sensor unit and experiments with the sensor mounted on an ROV. At the result, even with rusted steel plates, a tilt of approximately 3° could be measured. Although there are issues to be addressed in the future, such as improvement of the jig and operability of the ROV, the same measurement results were obtained as in the case of the miniaturization study, suggesting that remote measurement is feasible.

研究分野：水中音響技術，非破壊検査

キーワード：超音波 非破壊検査 厚み計測 鋼構造物 水中ロボット

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

鋼構造部材の肉厚測定手段は、超音波厚み計の探触子を鋼材に接触させて残存肉厚を測定する方法が一般的であり、港湾利用の制約を伴う機器を使用した点検調査はあまり行われて来なかった。この手法は、測定面に付着している貝などを除去し産廃処理する必要があるため、多くの時間と費用を要し、測定点を多くとることができないという問題点があった。そこで従来方式である超音波厚み計を用いた接触式肉厚測定に代わる点検手法が開発・検討されているが、人がセンサー部を持ちダイバーレス測定が可能な正確に効率よく安価で客観的に計測する有効な技術は未だない。

2. 研究の目的

申請者はこれまでに、超音波非接触式肉厚測定装置（非接触方式）の開発を進めてきた。開発した装置を用いて、実構造物において肉厚及び作業時間を測定し、非接触方式の測定精度および作業効率を確認した結果では、非接触方式と従来方式の誤差は約-6%以内、作業効率では従来方式より約1/4、測定費用は約1/5となった。非接触方式を活用することで、鋼構造部材の状態を短期間で安価に把握することが可能となるため、調査が施設利用に与える影響の低減に寄与すると考えられる結果となった。しかし、以下の問題点が浮上した。

- (1) センサー部が大きく、重いため水中での取り回しが難しい
- (2) 取得した波形からの肉厚算出過程で解析設定が煩雑、解析アルゴリズムの改良が必要
- (3) 路線長の長い河川や潜水土が入れない危険水域では、活用しにくい。

これらの問題を解決するために、超音波非接触式肉厚測定装置のセンサー部の小型化を実施することにより、潜水土に頼らない測定システムの検討を行った。本研究において、以下の2点に示すように小型化・測定システムの検討までを進める。

- (1) 超音波非接触式肉厚測定装置センサー部の小型化
- (2) 淡水域・危険水域での測定システムの検討

3. 研究の方法

- (1) 超音波非接触式肉厚測定装置センサー部の小型化

センサー部の小型化検討では、φ1in.、φ0.75in.、φ1.5in.の平面型トランスデューサー(OLYMPUS 大口径水浸探触子 1MHz, 2.25MHz)を用いて下記の3項目について室内実験にて検討を行った。

① 計測距離の検討

本検討では、送受波器と鋼板の距離が測定精度に及ぼす影響を検討するため、異なる厚みの鋼板を対象とし測定距離を変え、最適な計測距離を検討した。Fig.1に実験系を示す。計測対象の鋼板は錆のない鋼板(SS400)を6mmから16mmまで1mm厚刻みの計11枚とした。鋼板は図に示すように、タンク内底面に治具を用いて設置し、鋼板と垂直になるように送受波器をXステージに取り付けた。測定箇所は鋼板の中心とし、計測距離は20mm~200mmまで20mmずつ変化させ測定した。

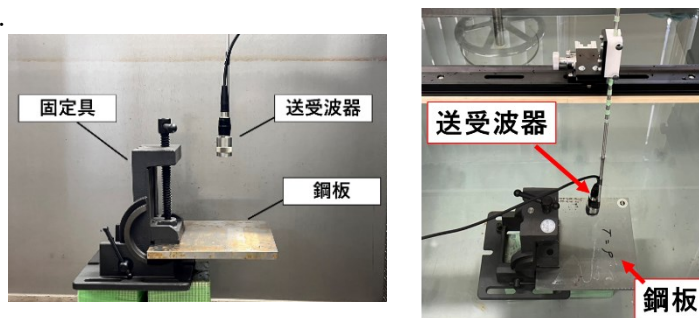


Fig.1 実験系

② 鋼板厚の精度検証

本検討では、①で使用した実験系及び鋼板を用いて、各厚みの測定精度について検証した。測定距離は①の結果より100mmとした。また、送受波器と鋼板の正対の他に、角度がついたときの誤差の検討するために、治具により正対状態から1°ずつ変更し、厚みの測定が出来なくなるまで測定した(Fig.2)。

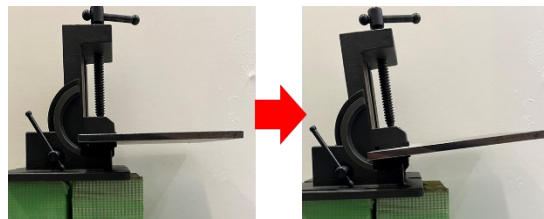


Fig.2 角度変化時の様子

③ 錆鋼板を対象とした検証

本検討では、②と同様の実験系及び計測方法を使用して、錆びた鋼板を対象として正対および角度を付けた測定を行った。錆びた鋼板は、もとの厚みが9mmと12mmであり、海水に浸し錆びさせた。計測箇所はFig.3に示すように中央・四方の角の5点とした。錆状況は、Fig.3に示す。

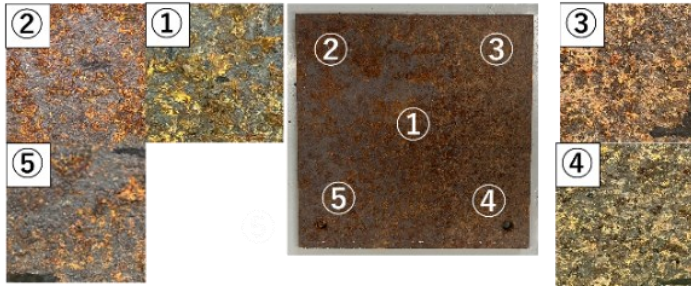


Fig. 3 錆びた鋼板の測定箇所および錆状況

(2) 淡水域・危険水域での測定システムの検討

人が近づけない水域での調査を可能とするために、水中ロボット (ROV) を使用した測定システムの検討を行った。検討した測定システムを Fig. 4 に示す。測定システムは、水中ロボット (QYSEA 社 FIFISH V6 EXPERT) の下部に $\phi 1in.$ の送受波器を取り付けている。当校所有の水路に 12mm の錆びた鋼板を垂直に立てて固定し、測定システムを鋼板から 100mm 程度の距離となるように近づけて測定を行った。



Fig. 4 測定システム

4. 研究成果

(1) 超音波非接触式肉厚測定装置センサー部の小型化

ここでは、1in. の送受波器を用いて厚み 12mm の鋼板 (錆を含む) を計測した結果を載せる。測定距離を変更したときの結果を Fig. 4 に示す。1MHz では、測定距離が大きくなるにつれ測定値が大きくなり測定距離 100mm 程度から測定値は一定となった。誤差は、1MHz で -0.7% が最大であった。2.25MHz では、測定値は一定であった。また、測定距離が遠くなるにつれて多重反射波は小さくなった。これらの結果より測定距離は 100mm 程度が適していると考えられた。

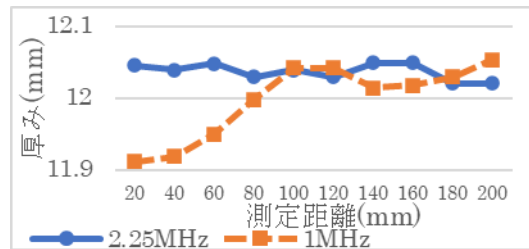


Fig. 5 測定距離別の計測結果

異なる厚みの鋼板で検証をした結果、2.25MHz では 6mm、1MHz では 7mm まで計測可能であった。1MHz で 6mm の鋼板が計測不可能であったのは周波数の分解能が低いことが考えられる。Fig. 5 に 12mm の鋼板の 1MHz での計測波形を示す。「12mm 0° 健全な鋼板」と「12mm 0° 錆①」の波形を比較すると錆によって音圧が小さくなっていることがわかる。計測角を変更したときの 12mm の錆びた鋼板で実験した結果、2.25MHz では①③で 2°、②④⑤で 3° まで、1MHz では①③⑤で 2°、②で 1°、④で 3° まで計測可能であった。角度が大きくなるにつれ多重反射の間隔が狭くなり危険側に誤差が大きくなった。また、多重反射の音圧が小さくなりノイズとの区別ができなくなったため測定不可能に至った。Fig. 5 を見ると健全な鋼板では角度を変更しても 2° 程度であれば音圧の減少は生じなかったが錆びた鋼板ではノイズと多重反射の区別が困難になるほど音圧が減少している。これは錆の凹凸によって放出した音が散乱し、受波器に到達しないことが原因だと考えられる。

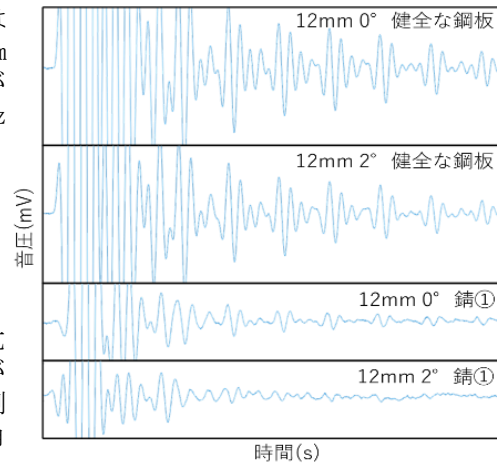


Fig. 6 1MHz における測定結果

(2) 淡水域・危険水域での測定システムの検討

測定システムを用いて計測している様子を Fig. 7 に示す。測定システムによる計測では、鋼板と正対させることが難しく、水中ロボットに 100mm の脚を付け改良したが操作性が低下した。チャンピオンデータでは、Fig. 6 の錆①と同様の結果が得られている。今後、水中ロボットを用いた計測では、治具の改良や操作性の向上をおこなえば、今まで施設を停止して点検しなければならなかった、もしくは点検できなかった危険水域での鋼構造部材の肉厚測定が可能となり、水中鋼構造物の維持管理技術の向上が期待できる。また、本研究により開発した技術を以前開発した既開発装置にフィードバックすることにより、さらなる港湾係留施設の維持管理技術の向上が期待できる。



Fig. 7 ROV 搭載による測定の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kazuki Abukawa, Tomoo Satoh, Sayuri Matsumoto
2. 発表標題 Experimental evaluation of non-contact ultrasonic thickness gauging method using compact transducer for underwater steel structure
3. 学会等名 Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江澤梨々香, 虻川和紀, 佐藤智夫, 松本さゆり
2. 発表標題 非接触式超音波肉厚測定装置の河川鋼構造物厚み測定への応用の基礎的な検討
3. 学会等名 海洋音響学会2023年度研究発表会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------