

令和 6 年 9 月 18 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05825

研究課題名（和文）鋼矢板水路の腐食実態の非破壊同定に基づく寿命評価法の開発

研究課題名（英文）Development of Lifetime Assessment Method based on Nondestructive Identification of Corrosion Conditions in Steel Sheet Pile Canals

研究代表者

鈴木 哲也（Suzuki, Tetsuya）

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30434103

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：鋼矢板とは、金属製の建設材料である。農業分野では、軟弱地盤地帯において水路護岸として多用されているが、腐食の急速な進行により耐力低下が問題となっている。腐食が進行すると孔食が発生し、座屈破壊に至る。本研究では、農業用鋼矢板水路を対象に、適切な保全対策に資する鋼矢板護岸の精緻な腐食実態の評価とそれに基づく寿命評価法の開発を目的とした。研究期間は、令和3年度から令和5年度の3力年間である。3つの研究課題から、腐食実態を考慮した鋼矢板護岸の新たな寿命評価法を開発し、安全かつ効果的な農業用鋼矢板水路の保全対策を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的背景と研究実施の意義は、設置環境の影響を受けて急速に進む鋼矢板護岸の早期劣化実態の解明と保全対策を具体的に考慮した精緻な寿命評価を如何にして実現するかにある。農業農村工学分野では、鋼矢板護岸の長寿命化対策を進めているが、材料科学的観点からの腐食実態の詳細評価やそれに基づく非破壊検査法の確立、寿命評価など、未解決の技術課題が数多く残されている。本申請課題では、腐食実態を考慮した鋼矢板護岸の新たな寿命評価法を開発し、安全かつ効果的な農業用鋼矢板水路の保全対策を提案するものである。

研究成果の概要（英文）：The steel sheet pile is a construction material made of metal. In the agricultural field, steel sheet piles are widely used as canal revetments in areas with soft soil, but the rapid progression of corrosion has caused a loss of bearing capacity. The rapid progression of corrosion causes pitting corrosion (section loss), which leads to buckling failure. The purpose of this study is to develop a lifetime evaluation method for steel sheet pile revetments for agricultural canals, based on a precise evaluation of the actual corrosion condition, which will contribute to appropriate maintenance measures. The research period is set to three years, from fiscal year 2021 to 2023. Based on these three research subjects, a new lifetime evaluation method for steel sheet pile revetments is developed considering the actual corrosion condition, and a safe and effective conservation measure for agricultural steel sheet pile canals is proposed.

研究分野：農業農村工学

キーワード：鋼矢板水路 腐食劣化 非破壊検査 機械学習・深層学習 寿命評価 空間統計モデル

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

鋼矢板(こうやいた)とは金属製の建設材料である。農業分野では、軟弱地盤地帯において水路護岸として多用されているが、腐食(サビ)の急速な進行により耐力低下が問題となっている(写真-1)。腐食が進行すると孔食(断面欠損)が発生し、座屈破壊に至る。これは地盤と鋼矢板との相互作用による力学問題である(図-1)。農業用水の安定的な運用を考慮した場合、鋼矢板水路の適切な保全管理法の確立が急務な技術的課題となっている。



(a) 孔食からの背面土の吸出し



(b) 鋼矢板護岸の座屈による矢板頭部の傾斜

2. 研究の目的

本課題では、農業用鋼矢板水路を対象に適切な保全対策に資する鋼矢板護岸の精緻な腐食実態の評価とそれに基づく寿命評価法の開発を目的とした。

3. 研究の方法

3つの研究課題を令和3年度から令和5年度の3カ年間に実施した。本課題では、鋼矢板護岸の腐食劣化機構の解明(研究課題【1】)を踏まえて、機械学習を援用した非破壊状態評価法を提案する(研究課題【2】)。研究課題【1】と【2】から鋼矢板護岸の寿命評価法の開発を試みた(研究課題【3】)。これら3つの研究課題から、腐食実態を考慮した鋼矢板護岸の新たな寿命評価法を開発し、安全かつ効果的な農業用鋼矢板水路の保全対策を提案した。

4. 研究成果

農業用排水路における鋼矢板材の極度な腐食問題は、農業インフラに加えて、港湾や河川構造物の維持管理に研究成果を応用することが可能である(図-2)。類似研究は国内外においてほとんどなく、本研究成果が今後の研究展開に関する有用な指針になるものと考えられる。研究成果の一例を図-2~図-5に示す。これらは、BIM/CIMに代表される基盤施設のデジタル化と本研究で構築した鋼矢板に関する非破壊状態評価法は密接に関連し、深層学習手法の適用など開発技術の今後の拡張が期待できる。

鋼矢板護岸では、営農の灌漑・非灌漑や降雨による水位変動の影響を最も受ける干満帯において、腐食が卓越し、板厚減少が集中する傾向にある。水位変動の激しい位置での腐食の顕在化は港湾構造物においても同様であり、港湾分野では集中腐食と呼ばれている。図-2より、腐食が進行すると鋼矢板を貫通する孔食が顕在化する。このとき、孔食からの背面土の吸出し(写真-1(a))や座屈による矢板頭部の傾斜(写真-1(b))が起こる場合がある。腐食孔による吸出しは護岸の安定性の低下を促進させることが報告されている。図-2に示すような護岸の座屈の過程では、断面性能の低下により曲げに伴い鋼矢板が圧縮に耐え切れず座屈を引き起こしている可能性が考えられる。加えて、腐食孔への応力集中が伴うことで、終局限界状態へ至る経過が促進されるものと推察される。北海道のような寒冷地では、土圧の外力に加え、積雪、雪庇および凍上の影響の可能性が報告されている。鋼製部材の座屈について、H鋼における数値解析による力学挙動の評価は報告されているが、鋼矢板護岸については報告がほとんど見られないのが現状である。地震や津波のような災害による護岸の倒壊への影響が検討されているように、腐食起源の座屈について鋼矢板と地盤の複合構造物としての解析的検討を行っていく必要がある。

本研究では、将来的に赤外線サーモグラフィより得られる熱画像を用いて温度情報から面

写真-1 鋼矢板護岸の腐食による背面土への影響

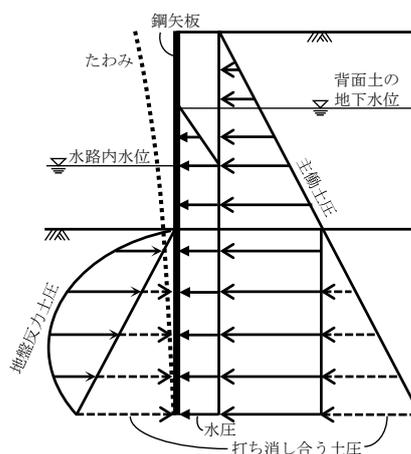


図-1 鋼矢板護岸に作用する地盤に起因した外力

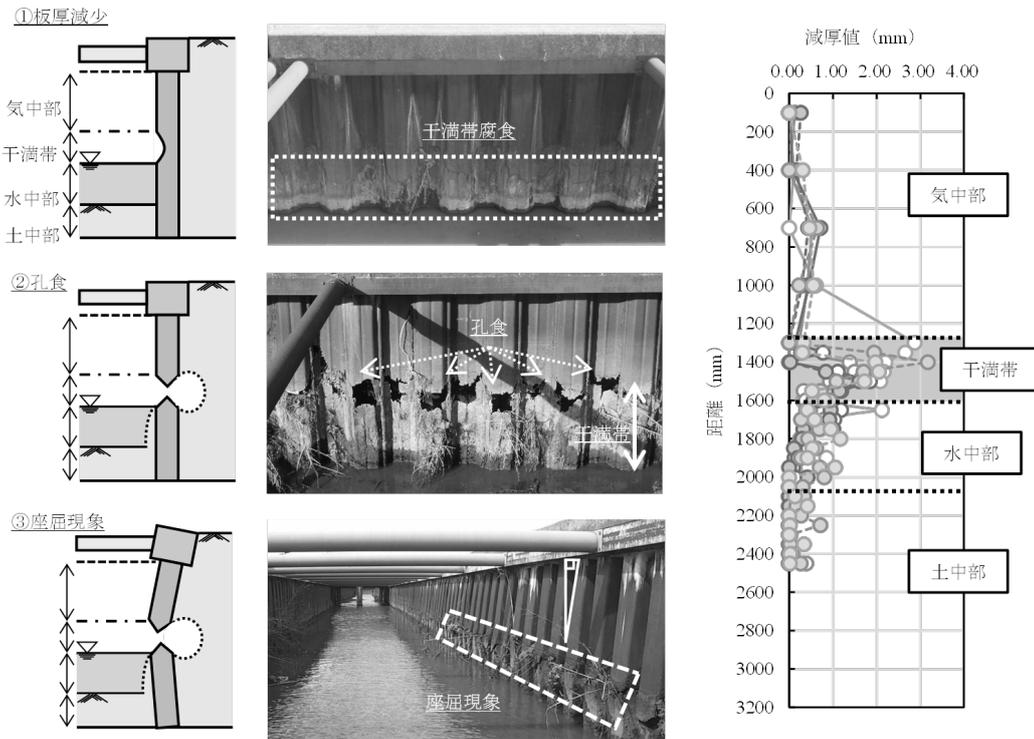


図-2 農業用鋼矢板護岸の座屈機構

的な鋼矢板厚の推定を目指す技術に資する方法として、デジタル画像を用いた既設鋼矢板護岸における腐食領域の自動検出を試みた。なお、ここでの腐食領域は気中部と干満帯を指し、目視による表面状態からその領域を定める。新潟県亀田郷の農業用排水路における鋼矢板護岸の可視画像および熱画像を取得した。デジタルカメラは DSC-WX800 (Sony), 赤外線サーモグラフィカメラは R300SR (日本アビオニクス) を使用した。可視画像と熱画像のサイズはそれぞれ $4,896 \times 3,672 \text{ pixel}$ と $320 \times 240 \text{ pixel}$ とした。画像解析による腐食領域の自動検出の解析フローを図-3 に示す。可視画像の色情報および熱画像の温度情報を組み合わせた解析のために、両画像の重ね合わせを適用する。可視画像と熱画像に対して、画像中の画素値が急変する場所を捉えるために Canny のエッジ検出を行い、熱画像のエッジ画像をテンプレートとしたテンプレートマッチングにより最適な位置を算出する。これは、可視画像と熱画像の位置を恣意的に合わせるのではなく、エッジ画像同士の相違が最も小さいところに合わせることを意味する。特定位置において色情報と温度情報を与えることが可能となる。なお、熱画像の撮影範囲と可視画像の撮影範囲の一部の大きさを同じにするために熱画像のリサイズを行う。次に、可視画像の HSV 空間の色情報に対してスーパーピクセル分割を行う。スーパーピクセル分割では、色情報の類似しているピクセル群を小領域にまとめる。小領域ごとの RGB 色空間の 3 色, HSV 色空間の 3 色, $L^a \cdot b^*$ 色空間の 3 色および熱画像による温度の 10 種類の情報を用いて、主成分分析で求めた第 1~3 主成分に対して k-means 法により、類似の特徴となる領域に分類する。

検討の結果、スーパーピクセルによる領域分割の結果を図-4 に示す。対象の形状に沿ってセル分割がなされていることが確認できる。なお、スーパーピクセル分割の解析は HSV 色空間に適用されているが、解析結果は RGB 画像上に表示している。各小領域における色情

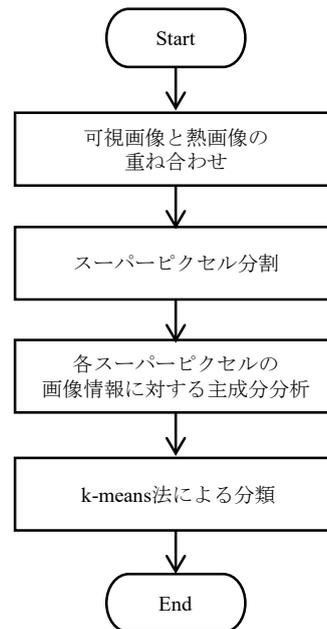


図-3 腐食領域の自動検出の解析フロー (提案手法)

報・温度情報に対して主成分分析を行い、主成分を軸とする空間で k-means 法により分類し、分類結果の画像表示を図-5 に示す。図-5 では、分類結果の 8 項目にそれぞれ対応する色と名称を割り当てて示している。気中部と干満帯では異なる項目の色となっており、非接触で腐食領域を分類できることが確認された。鋼矢板以外の代表的なノイズである植生も分類できることが確認された。今後は、腐食領域に応じた、鋼矢板厚の推定を検討する。

本研究では、腐食が顕在化する既設鋼矢板護岸の調査結果をもとに、腐食実態を踏まえた非破壊状態評価法を開発した。腐食実態については、座屈が顕在化する護岸では変形だけでなく、その背面土の吸出しといった地盤への影響が見られることを提示した。画像解析による腐食領域の自動検出では、一連の解析法により、鋼矢板の気中部および干満帯の腐食領域だけでなく解析上のノイズとなる植生および日陰の検出も確認された。温度情報による鋼矢板厚評価を現在検討しており、将来的には可視画像による腐食領域の検出と赤外線計測での熱画像より得られる鋼矢板の温度情報を組み合わせ、非破壊・非接触での板厚推定法を目指す。



図-4 スーパーピクセルによる領域分割

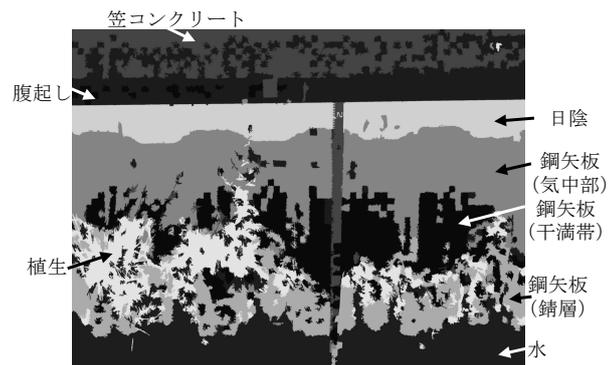


図-5 提案手法による腐食領域の自動検出事例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 鈴木哲也, 萩原大生, 島本由麻	4. 巻 90-1
2. 論文標題 画像診断による補修工を施した鋼矢板水路の再劣化実態の検出	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農業農村工学会誌	6. 最初と最後の頁 27-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 鈴木哲也, 長崎文博, 小林秀一	4. 巻 314
2. 論文標題 鋼矢板水路に施工したパネル被覆工法の変状に関する実態調査	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 _19- _28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11408/jsidre.90.11_19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 萩原大生, 島本由麻, 鈴木哲也, 阿部幸夫, 大高範寛, 原田剛男, 藤本雄充, 川邊翔平, 金森拓也	4. 巻 315
2. 論文標題 1次元熱伝導解析を適用した腐食鋼矢板の板厚推定に資する鋼材供試体での実験的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 _239- _250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11408/jsidre.90.1_239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 島本由麻, 萩原大生, 鈴木哲也, 阿部幸夫, 大高範寛, 原田剛男, 藤本雄充	4. 巻 71-7
2. 論文標題 デジタル画像の機械学習を用いた鋼矢板護岸における板厚評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 631-636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.71.631	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hagaiwara, T., Shimamoto, Y. and Suzuki, T.	4. 巻 8
2. 論文標題 Non-Contact Detection of Degradation of in-Service Steel Sheet Piles due to Buckling Phenomena by using Digital Image Analysis with Hough Transform	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers Built Environment	6. 最初と最後の頁 948232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2022.948232	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鈴木哲也, 長崎文博, 小林秀一	4. 巻 90-12
2. 論文標題 産学官連携によるパネル被覆工法の開発と補修効果の検証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農業農村工学会誌	6. 最初と最後の頁 7-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 萩原大生, 島本由麻, 鈴木哲也	4. 巻 89 (1)
2. 論文標題 デジタル画像のハフ変換による切梁式鋼矢板護岸の変形検出	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 _1- _9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11408/jsidre.89.l_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鈴木哲也, 島本由麻	4. 巻 31 (3)
2. 論文標題 補修工を施した農業インフラの再劣化実態に関する調査研究 鋼矢板護岸を事例として	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 開発学研究	6. 最初と最後の頁 66-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 萩原大生, 石神暁郎, 長島繁男, 大久保天, 鈴木哲也
2. 発表標題 ハフ変換を適用した自立式鋼矢板護岸における座屈の非接触検出
3. 学会等名 令和4年度農業農村工学会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田剛男, 阿部幸夫, 大高範寛, 藤本雄充, 鈴木哲也, 萩原大生, 島本由麻
2. 発表標題 3次元画像解析による曲げ応力場に発生する鋼矢板開孔部の応力集中の同定
3. 学会等名 令和4年度農業農村工学会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横堀聖佳, 萩原大生, 島本由麻, 鈴木哲也
2. 発表標題 空間統計モデルを用いた農業用鋼矢板における腐食実態の解明
3. 学会等名 令和4年度農業農村工学会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seika Yokobori, Taiki Hagiwara, Yuma Shimamoto and Tetsuya Suzuki
2. 発表標題 Estimation of Corrosion Distribution in Service Steel Sheet Pile by Spatial Statistics with the Kriging Method
3. 学会等名 PAWEES 2022 International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Norihiko Otaka, Yuji Fujimoto, Yukio Abe, Takeo Harada, Isamu Asano and Tetsuya Suzuki
2. 発表標題 Development of Newly High-Performance Steel Sheet Pile for Construction of Irrigation and Drainage Infrastructure
3. 学会等名 PAWEES 2022 International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taiki Hagiwara, Yuma Shimamoto, Tetsuya Suzuki, Yukio Abe and Takeo Harada
2. 発表標題 Bending characteristics of extreme-corroded steel sheet pile by acoustic emission and digital image correlation parameters
3. 学会等名 PAWEES 2022 International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taiki Hagiwara, Yuma Shimamoto, Tetsuya Suzuki, Yukio Abe and Takeo Harada
2. 発表標題 Evaluation of Bending Characteristics in Corroded Steel Sheet Pile due to Different Thickness by Acoustic Emission with DIC Method
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Experimental Mechanics for Students and Young Researches 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田剛男, 阿部幸夫, 大高範寛, 藤本雄充, 鈴木哲也, 萩原大生, 島本由麻
2. 発表標題 腐食鋼矢板護岸の腐食実態を考慮した力学特性評価に関する研究
3. 学会等名 令和3年度農業農村工学会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長崎文博, 小林秀一, 鈴木哲也
2. 発表標題 パネル被覆工法に発生したしみ出し変状の実態調査
3. 学会等名 令和3年度農業農村工学会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩原大生, 島本由麻, 鈴木哲也
2. 発表標題 デジタル画像を用いた鋼矢板の腐食実態と座屈現象の検出
3. 学会等名 令和3年度農業農村工学会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩原大生, 島本由麻, 鈴木哲也, 阿部幸夫, 原田剛男, 浅野勇, 森充広, 川邊翔平, 金森拓也
2. 発表標題 鋼矢板を模擬した鋼材供試体における熱伝導解析
3. 学会等名 令和3年度農業農村工学会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩原大生, 島本由麻, 鈴木哲也
2. 発表標題 ハフ変換を用いた腐食鋼矢板護岸における損傷実態の非接触評価
3. 学会等名 土木学会第24回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋原大生, 石神暁郎, 島本由麻, 鈴木哲也
2. 発表標題 画像解析手法のハフ変換を適用した鋼矢板護岸における座屈現象の検出
3. 学会等名 第33 回信頼性シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taiki Hagiwara, Akio Ishigami, Yuma Shimamoto and Tetsuya Suzuki
2. 発表標題 Detection of Corroded Condition in Agricultural Steel Sheet Pile Canals by using Image Analysis
3. 学会等名 TAIWAN PAWEES 2021 International Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taiki Hagiwara, Yuma Shimamoto and Tetsuya Suzuki
2. 発表標題 Evaluation of Heat Conduction Caused by Corrosion in Service Agricultural Steel Sheet Pile Canal
3. 学会等名 ISFAE2021NIIIGATA
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 鈴木哲也・浅野勇編著	4. 発行年 2022年
2. 出版社 (株)養賢堂	5. 総ページ数 227
3. 書名 農業用鋼矢板水路の機能診と対策～非破壊検査と新たな材料開発～	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 板厚推定装置、板厚推定方法及びプログラム	発明者 鈴木哲也	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-127607	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	阿部 由麻 (島本由麻) (Abe Yuma) (70826601)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・助教 (12605)	

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			
トルコ	エーゲ大学工学部			