

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：33907

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04243

研究課題名（和文）腐食損傷した鋼橋部材の初期不整に関する変動性状予測法の開発

研究課題名（英文）Development of variability prediction method for initial imperfections of corrosion-damaged steel bridge members

研究代表者

宮崎 靖大（Miyazaki, Yasuhiro）

大同大学・工学部・准教授

研究者番号：50583051

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）：本研究の成果は、研究テーマ着想時の1枚の突合せ溶接した鋼板の腐食損傷に伴う初期たわみの変化の定量的な分析から、本研究で実施した溶接組立したI形および箱形断面部材の実際の腐食に伴う初期たわみおよび残留応力の変化を実験により明らかにしたことである。これにより、断面を構成する板の拘束が少ないI形断面部材のフランジでは、腐食前後の初期たわみの変化がI形断面の腹板および箱形断面部材よりも大きくなることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土木鋼構造物の腐食損傷に伴う変形は、実構造部材の性能に十分な影響を及ぼすレベルであることも考えられ、変形とともに接合部位での残留応力の変化が想定できる。腐食損傷による残留応力および初期たわみの変化は、鋼橋の強度特性に影響を及ぼすため、これらを定量的に予測する手法の提案が維持管理における性能照査に必要不可欠である。

本研究では、厚板で構成される鋼構造部材の腐食過程における溶接残留応力および初期たわみの変動を実験により詳細に明らかにした。これらの結果は、前述の腐食損傷した鋼構造部材の残存強度特性を調べる際に活用でき、腐食損傷レベルに応じた耐荷力評価および補修方法の提案に直結できる。

研究成果の概要（英文）：The outcome of this study is that, from the quantitative analysis of the change in initial imperfection due to corrosion damage of a single butt-welded steel plate at the time the research theme was conceived, the change in initial deflection and residual stress due to actual corrosion of the welded and assembled I- and box-shaped section members in this study was clarified by experiment. It was found that the change in initial deflection before and after corrosion was greater in the flanges of I-section members, where the plates constituting the cross section are less constrained, than in the I-section bellies and box section members.

研究分野：工学

キーワード：初期たわみ 残留応力 腐食 溶接組立 鋼部材 複合サイクル試験

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国の橋梁は、スパン 2m 以上の橋梁が約 72 万橋存在し、この内の 52%が 10 年後、供用期間 50 年を経過する。炭素鋼で構成される鋼橋は、長期間供用による損傷の最たる要因が腐食であることが報告されている[①]。鋼橋の腐食は、雨水や塵埃が堆積しやすい部位、床版や伸縮装置の損傷による漏水部にて多く発生している。このような腐食損傷した鋼橋について、現行の道路橋示方書[②]に基づく要求性能に対してどの程度の性能を有しているかを定量的に判断することは、ほぼ不可能である。また、橋梁点検結果に基づく橋梁全体システムとして最適な修繕方法の選別は困難を極める。これらを解決するためには、腐食損傷した鋼橋が有する性能の定量的評価法およびこの評価に基づく最適補修法を明確にする必要がある。

2. 研究の目的

現在、我が国で供用されている橋梁の約半数は、10 年後に供用期間 50 年を経過するため、橋の長寿命化に向けた研究が数多く行われている[例えば、③,④]。長期間自然環境下で供用される鋼構造物の一般的な損傷は腐食である。鋼構造物の腐食は、構造物の位置する環境や構造物を構成する部材により大きく変化するため、鋼橋の腐食損傷事例が多様に存在する。また、鋼橋の腐食は、死荷重および活荷重の作用下での経時変化により進行するため、これらの影響が腐食性状に及ぼす可能性も否めない。このような実環境下の腐食損傷を考慮した残留応力および初期たわみの変化を、実験および解析を用いて詳細に調べた研究例は国内外を通して見当たらない。

そこで本研究は、SM490Y 製の板厚 12mm の板部材を溶接組立てした供試体を用いて、試験前の健全状態および複合サイクル試験による実際の腐食を発生させた状態の溶接残留応力と初期たわみを測定し、その変化を詳細に明らかにする。また、これらの実験を有限要素解析により再現し、パラメトリック解析を行うことで、腐食損傷に伴う溶接残留応力および初期たわみの変化を定量的に予測する手法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 本研究は、板厚 12mm、幅 2m および長さ 1.6m の SM490Y の板から、図 1 に示す溶接組立てした中空正方形断面および十字形断面の柱を各 2 体製作する。各形状の 1 体目の供試体は健全状態として、その残留応力および初期たわみを明らかにし、2 体目は複合サイクル試験による促進腐食試験を行う。

(2) 残留応力は、ゲージ長 200mm のコンタクトストレインゲージを用いて、供試体断面を短冊状に機械的切断する方法により計測して明らかにする。初期たわみは、図 2 に示す供試体を構成する板を 9×9 のマス目上に区切り、その格子点上を変位計による面外たわみの計測にて明らかにする。

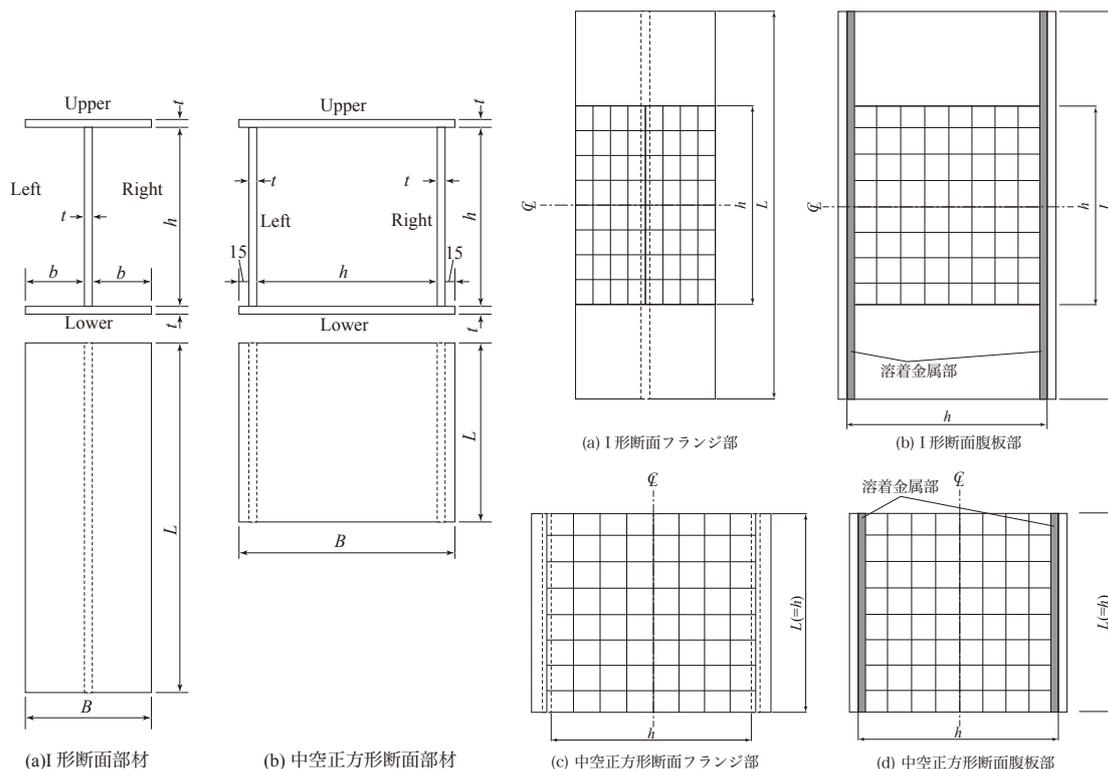
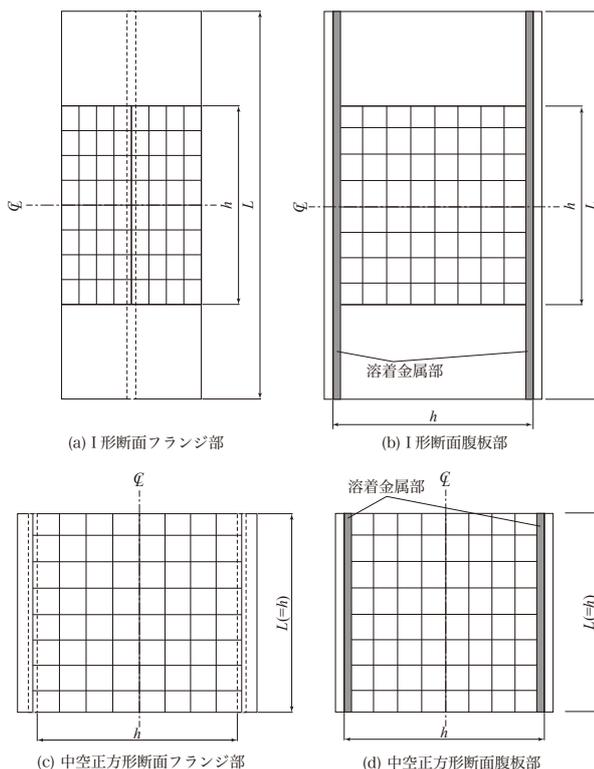


図 1 対象供試体形状

図 2 初期たわみの測定位置



(3) 複合サイクル試験は、複合サイクル試験機 (Q-Lab 社製 QFOG CCT-1100) を用いて、JASO M609 に準拠した促進腐食試験を 1440 時間実施する。その後、腐食損傷した供試体の残留応力および初期たわみを、健全供試体と同様に明らかにする。また、供試体に用いる SM490Y 材から圧延方向および圧延直角方向の引張試験片を各 3 体切り出し、引張試験により材料特性を明らかにする。そして、単一材料の腐食性状を明らかにするため、同形状の引張試験片 6 体の複合サイクル試験を行う。

(4) 本研究では、供試体を解析モデルに置換した非線形有限要素法を用いた解析を主として実施する。まず、健全状態および腐食損傷した供試体を対象に、溶接による入熱を考慮した温度場と構造物の変形を考慮する応力場が連成するマルチフィジクス条件下での複合非線形有限要素解析を実施し、実験による残留応力および初期たわみの再現を行う。これは、汎用非線形有限要素解析ソフト MARC を用いて実施する。腐食損傷した解析モデルについては、腐食性状を忠実にモデル化する手法や全体の板厚減少量を考慮してモデル化する手法を検討して明らかにする。

(5) 実験結果との妥当性が確認できた解析モデルを用いて、SM490Y 製供試体と断面寸法が異なる柱のパラメトリック解析を行い、健全状態および腐食損傷状態での残留応力および初期たわみの変動性状を定量的に明らかにする。そして、パラメトリック解析した数多くの結果を精査して、腐食損傷に伴う SM490Y 製部材の残留応力および初期たわみの変動性状予測モデルを構築する。

#### 4. 研究成果

(1) 対象供試体の複合サイクル試験による腐食外観については、複合サイクル試験機への設置面と平行となる板の上面には、水分等が継続して停留しやすい環境であるため、引張試験片の平行部および I 形断面部材の上フランジの腐食がその他の結果に比べて激しい腐食となることを明らかにした。また、中空正方形断面部材では、供試体の断面を構成する全ての板において、同様の腐食性状であることを確認した。これらのことから、地面と水平となる部位では、その他の設置条件となる断面を構成する板に比べて腐食環境が厳しくなることを明らかにした。

(2) 実施した複合サイクル試験による試験体の腐食量のばらつきは、引張試験片において、変動係数は 1.96%であることを明らかにした。

(3) 本研究で実施した複合サイクル試験による腐食に伴う引張試験片の断面残存率は、質量変化に基づく評価で約 92.9%、マイクロスコープの平均腐食深さに基づく評価で約 93.9%となることを明らかにした。

(4) 引張強度特性について、腐食がある試験片の降伏応力および引張強度は、腐食無しの結果に比べて、平均で約 1.026 および約 0.979 倍となることを明らかにした。一方、伸びについては、腐食損傷状態の引張試験片が、腐食が無い試験片の約 80%であることを明らかにした。

(5) 腐食損傷に伴う初期たわみの変動については、供試体断面を構成する板の周辺の拘束が周辺単純支持板より少ない自由突出板 (I 形断面部材のフランジ部) が、腐食損傷に伴う最大初期たわみが大きく生じることを明らかにした。また、腐食損傷に伴う初期たわみモードの変化は、自由突出板が周辺単純支持板 (I 形断面部材の腹板部および中空正方形断面部材を構成する板) に比べて同等以上に発現することを明らかにした。

(6) 腐食損傷に伴う残留応力の変動については、腐食損傷した供試体の残留応力測定結果にばらつきが大きくなることが見られたものの、およその傾向として、腐食の有無による残留応力の大きさおよび分布状況に明確な変化が見られなかった。

(7) 本研究で得られた実際の腐食に伴う初期不整の変化を実験的に調べた成果を活用することで、腐食損傷状態の鋼構造部材の残存耐荷力を調べるのが可能となる。また、これらを数値計算で再現する手法が確立されることにより、種々の腐食状態である部材の強度評価法の開発に結びつけることが可能となる。

(8) 今後は、本研究成果に加えてより多くの試験結果を蓄積することで、腐食した鋼構造物の残存強度を予測評価する手法の開発が期待できる。

(9) 有限要素法を用いた熱応力解析による実験の再現性およびそれに続くパラメトリック解析による溶接構造部材の腐食損傷に伴う初期不整の変化の定量的な評価については、改めて研究環境の整備を行い着手する。

#### <引用文献>

① 国土交通省道路局、道路メンテナンス年報、2019。

- ② 日本道路協会, 道路橋示方書 (II 鋼橋・鋼部材編)・同解説, 2017.
- ③ 後藤芳顯ら, 腐食などの体積欠損による鋼構造物の残留応力・残留たわみの変化の解析と圧縮板の残存耐荷力評価, 構造工学論文集 A, Vol. 51A, pp. 127-138, 2005.
- ④ 臼倉誠ら, 腐食損傷を有する鋼 I 桁端部の耐力推定方法に関する一検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.73, No.3, pp.560-578, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岡村実咲, 宮崎靖大
2. 発表標題 板厚12mmのSM490Yを溶接組立した部材の初期たわみに関する実験的研究
3. 学会等名 第39回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会
4. 発表年 2022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
---------	---------