

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06538

研究課題名(和文)炭素繊維シートの真空含浸接着による溶接接合部の疲労強度向上に関する研究

研究課題名(英文)Improvement of fatigue strength in welded joints by externally bonded carbon fiber sheets using VaRTM technique

研究代表者

中村 一史(Nakamura, Hitoshi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：70264596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：既設鋼橋の疲労損傷は、都市部の高架橋で多発しており、その対策が急務となっている。本研究課題は、予防保全型の疲労対策として、真空含浸工法により炭素繊維シートを疲労き裂の発生前の溶接継手部に接着して補修する新工法を提案するものであり、その妥当性、有用性を実験・解析により検証を行ったものである。最終的には、既設鋼橋への実用化を視野に入れ、予防保全型の疲労対策としてCFRP接着による補強設計法を構築することを目指したものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案工法は、接着接合を基本としているため、当て板のボルト接合や溶接接合と比べて、母材への孔明けによる欠損や残留応力が生じないこと、母材への影響が極めて小さいことから、疲労対策としては有利であり、本研究の成果から補強効果が示されたため、溶接接合部の種々のディテールへの応用も十分に期待できる。

研究成果の概要(英文)：Fatigue damages have been frequently reported on urban steel bridges and their countermeasures are urgently required. As a preventive maintenance against fatigue damage, this study proposes a new repair method using externally bonded carbon fiber sheets using by the vacuum assisted resin transfer molding before initiation of fatigue cracks, and the validity and usefulness have been verified by experiments and analysis. Finally, for practical use to existing steel bridges, the strengthening design method using externally bonded CFRP will be established.

研究分野：土木工学

キーワード：構造工学・地震工学 構造・機能材料 維持管理工学 補修・補強 疲労対策 CFRP 溶接継手 疲労強度

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

### 1. 研究開始当初の背景

疲労き裂は溶接継手部から発生することが多いため、既存の対策工法には、溶接接合部のグラインダ仕上げによる溶接ビードの止端形状の改善やピーニングによる圧縮残留応力の付与などがある。FRP 接着による溶接継手部の疲労強度の向上を目的とした研究開発は、国内外でも検討事例は極めて少ないが、繊維シートを溶接ビード部に単純に接着しただけでは、有意な延命効果が得られないことも知られている。これは、溶接ビードの形状が複雑であり、繊維シートが溶接ビードに完全に密着しておらず、接着状態にばらつきがあることがその要因として考えられ、学術的には、FRP 接着による補修効果が定量的に説明されていない。

一方、航空・機械分野で多用されている、真空含浸工法は、任意の大型 FRP 構造物を高品質に成形できる特徴がある。真空含浸工法とは、炭素繊維に代表される強化材をプラスチックフィルムで封入して真空吸引した後に、液状樹脂を注入・含浸させて硬化させ、FRP を成形する技術である(図-1)。申請者は、この工法を鋼構造物の補修・補強に応用することを提案し、研究開発を進めている。先行研究では、断面欠損した、複雑な形状である鋼桁端部の補修を対象に、真空含浸工法による CFRP の成形・接着を試みた。その結果、フランジ、ウェブおよび垂直補剛材からなる三面の溶接接合部にも炭素繊維(CF)シートが柔軟に追従し、強固に接着されること、また、十分な性能回復の効果があることを確認している。

本研究の着想は、本工法を簡便かつ効果的な疲労対策として溶接接合部の応力低減のために適用することであり、本工法では、真空減圧により一定の大気圧で CF シートを密着させるため、均一かつ安定した施工が可能となると考えている。

### 2. 研究の目的

社会基盤構造物の効率的な維持管理が求められている中で、予防保全型の対策が推奨されている。既設鋼橋の疲労損傷は、都市部の高架橋で多発しており、その対策が急務となっている。申請者は、軽量で現場での取り扱いに優れた炭素繊維強化樹脂(以下、CFRP)板を疲労き裂の補修に適用することを提案し、その延命効果を明らかにしてきた。本研究課題は、予防保全型の疲労対策として、真空含浸工法により CF シートを疲労き裂の発生前の溶接継手部に接着して補修する新工法を提案するものであり、その妥当性、有用性を実験・解析により検証することを目的としたものである。さらに、既設鋼橋への実用化を視野に入れ、予防保全型の疲労対策として CFRP 接着による補強設計法を構築することを目的としたものである。

### 3. 研究の方法

研究期間は、長期間に渡る疲労試験も含まれることから、3年間とした。平成29年度から、(1) 画像情報を用いた溶接止端形状のモデル化と CFRP 接着による応力低減効果の検討、および(2) CFRP 接着された溶接継手部の疲労耐久性の評価に着手し、高サイクル疲労試験を実施するため、平成30年度以降も継続して行った。以下に、研究の方法を示す。

#### (1) 画像情報を用いた溶接止端形状のモデル化と CFRP 接着による応力の低減効果の検討

対象とする試験体は、一般的な鋼桁橋で多用されている溶接継手として、面外ガセット溶接継手、荷重非伝達型十字溶接継手(図-2)とした。それぞれの溶接止端部の疲労強度向上を目的として、CFRP 接着による補強を行って、その効果を解析的、実験的に検証した。

はじめに解析的な検討を行って、CFRP 接着による応力低減の効果を検討した。まず、現有の電気油圧式サーボ型疲労試験機(動的容量200kN)に適合する、溶接継手試験体を設計・製作し、止端形状が構造的な応力集中に影響を及ぼすこと、試験体で止端形状が異なること

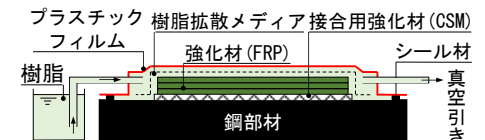
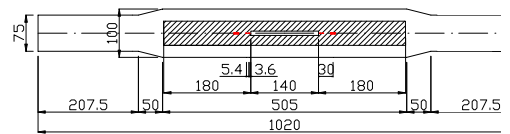
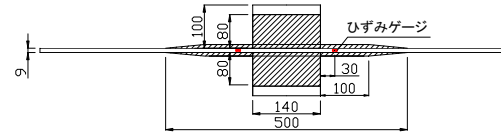


図-1 真空含浸工法による成形・接合の概念図

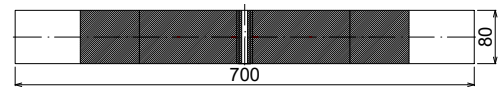


(a) 平面図

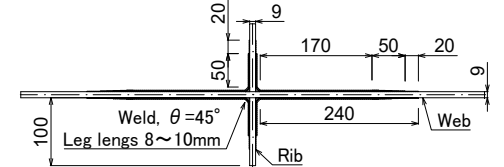


(b) 側面図

①面外ガセット溶接継手



(a) 平面図



(b) 側面図

②荷重非伝達型十字溶接継手

図-2 試験体の概要

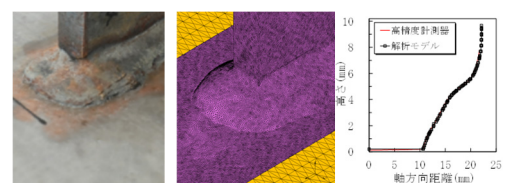


図-3 画像情報による立体解析モデルの作成 (面外ガセット溶接継手試験体の例)

から、全ての試験体について精緻な三次元計測を行い、FEM 解析モデルを作成して検討を行った。

モデル化にあたっては、高解像度の画素情報を得るため、デジタル一眼レフカメラ（現有機）、単焦点マクロレンズを用いて、精緻な立体モデルを作成した。画像情報から立体形状へのモデリングについては、汎用の画像解析ソフトウェアを適用した。これは、種々の角度から撮影された複数枚の画像情報を元に高解像度の立体画像を作成し、オートメッシングにより半自動的に3Dモデリングを行うものである。図-3 (a), (b)に、画像情報からの変換による作成例を示す。なお、モデル化の精度については、三次元レーザー形状計測システムを用いて立体的な計測を行って、比較することで検証した (図-3 (c))。また、解析モデルの妥当性は、静的引張試験を行って実験値と比較することで検証した。

続いて、真空含浸工法によりCFシートを止端部に密着して接着し、静的引張試験により、止端部の応力集中の低減効果を把握した (図-4)。さらに、CFシートを接着した試験体のFEM解析モデルを作成するために、止端部を切断し、CFシートと止端部の接着状態を、顕微鏡で詳細に計測した。特に、ビード表面の凹凸とCFシートのすき間に存在するエポキシ樹脂接着剤の形状や厚さが応力集中に大きな影響を及ぼすと考えられるため、止端形状が異なる複数の試験体を用いて計測を実施した。これらの計測結果に基づいてFEM解析モデルを作成し (図-5)、CFシートによる力の伝達機構・荷重分担を明確にして、溶接止端部の応力集中の低減効果を明らかにするとともに、CFシートの積層数をFEM解析でパラメトリックに検討して、応力低減の限界値や、疲労限となる可能性を示す。

## (2) CFRP 接着された溶接継手部の疲労耐久性の評価

前項目で検討した、静的引張試験とFEM解析の結果を踏まえて、無補強試験体とCFシート接着試験体 (補強試験体) を対象に、応力比を一定 ( $R=0.1$ ) として、応力範囲を変化させた疲労試験を行った。

補強試験体においては、CFシートの積層数をパラメータとして、複数の試験体を用いて疲労試験を行い、疲労強度等級との対応関係を明確にする。さらに、き裂進展の破壊面を観察するために、ビーチマークを導入して、CFRP補強に伴うき裂の発生および進展のメカニズムを明らかにした。特に、疲労き裂が発生した後も、CFシートが荷重の一部を負担するため、き裂進展の低減効果 (補修効果) も十分にあると考えられた。そこで、FEM解析により応力拡大係数を算定し、線形破壊力学に基づいた、き裂進展解析を行い、CFシート接着による延命効果を検証するとともに、疲労寿命の推定を試みた。

## 4. 研究成果

得られた研究成果として、2つの検討項目に対して、2つの異なる溶接継手で検討を行った結果を以下に示す。

### (1) 画像情報を用いた溶接止端形状のモデル化とCFRP接着による応力の低減効果の検討

#### ①面外ガセット溶接継手試験体

引張荷重を100kN (公称引張応力:  $\sigma_{ST}=111.1$  MPa) として静的引張試験を行った。試験体は、長手方向に対して面外へわずかに初期たわみを有していたため、同断面における2つの溶接止端部で得た実験値を平均し、それを解析値と比較した。図-6に、鋼板表面の軸方向の応力分布を示す。溶接止端から端部方向の約10mmの範囲を示している。図より、補強の有無にかかわらず、溶接止端部から3.6mm (0.4t) と9mm (1.0t) の応力は実験値と解析値ではほぼ一致した。また、補強効果については、ホットスポット応力が実験では28.8%の低減に対し、解析では25.3%であった。さらに、解析結果による止端部応力は、ホットスポット応力よりもかなり高くなるのがわかる。表-1に、溶接止端近傍の応力集中係数の比較を示す。応力集中係数は、ホットスポ

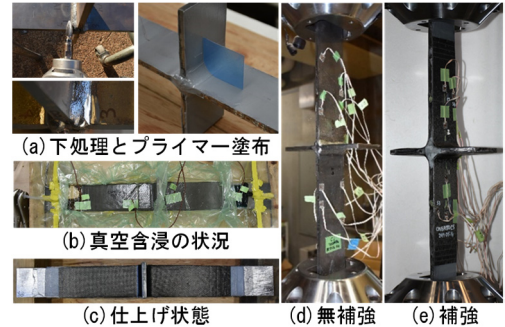


図-4 CFシートの接着手順とセットアップ (荷重非伝達型十字溶接継手試験体の例)

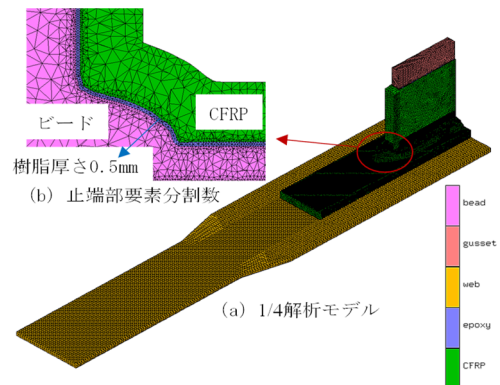


図-5 作成したFEM解析モデル (面外ガセット溶接継手試験体の例)

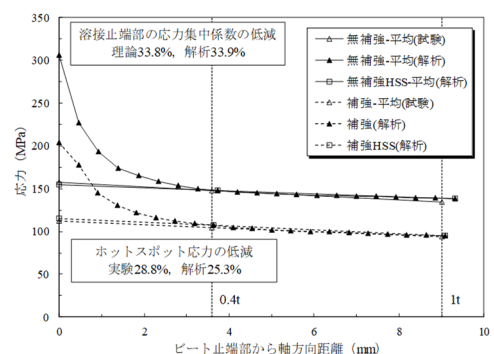


図-6 溶接止端から軸方向への応力分布 (①面外ガセット溶接継手試験体)

表-1 溶接止端近傍の応力集中係数の比較 (①面外ガセット溶接継手試験体)

比較項目	補強 R	無補強 N	R/N (%)
HSS (実験値)	1.01	1.42	71.1
HSS (解析値)	1.04	1.39	74.8
止端部応力 (解析値)	1.83	2.75	66.0

ット応力 (HSS), 止端部応力を, 公称引張応力 ( $\sigma_{sn}=111.1\text{MPa}$ ) で除して算出している. なお, 止端部応力は, 溶接止端位置の軸方向応力を解析結果より算出したものである. 表より, 実験および解析で算出したホットスポット応力の応力集中係数は同程度であること, また, 溶接止端部の応力集中係数 (解析値) は 33.9% 低減し, CF シートの剛性比に基づく応力低減率  $\xi_0$  (33.8%) とほぼ一致することがわかった. したがって, 積層 CF シート接着によるホットスポット応力の低減効果は, CF シートの剛性比に基づく応力低減率  $\xi_0$  で評価できるといえた. なお, 止端部応力は, 要素寸法の妥当性が示されていないため, 解析の精度を今後検証する必要があるが, 応力低減率  $\xi_0$  よりさらに低下する傾向が見られた.

### ②荷重非伝達型十字溶接継手試験体

公称応力をパラメータとして, 静的引張試験を行った. 応力の参照位置は, 溶接止端からできるだけ近い箇所として, 止端から 1mm の位置, 止端部の構造的な応力集中の影響を受けない箇所として, 止端部から 86mm 離れた位置とした. 試験体は 6 体であり, 公称応力は 150MPa~255MPa とした.

図-7 に, 実験と全ての試験体モデルから得られた応力  $S_{EXP}$  および  $S_{FEM}$  の比較を示す. 各位置における実験値と FEM 値は,  $\pm 5\%$  の範囲でばらつきがみられるものの, 比較的よい一致を示すことがわかる. ここで, 止端部の影響を受けない 86mm の位置における理論値を基準とした応力低減の差異は, 実験の平均値が 3.26%, FE 解析の平均値が 0.82% であり, ほぼ一致することから, CF シート接着による補強効果は理論通りであるといえた.

さらに, 図表を略したが, CF シートを積層接着した場合, 引張応力を受ける時の溶接止端部の応力集中係数の簡便な推定式を提案し, その妥当性を検証している.

## (2) CFRP 接着された溶接継手部の疲労耐久性の評価

### ①面外ガゼット溶接継手試験体

表-2 に, 疲労試験のシリーズと試験条件を示す. 試験シリーズにおいて, 公称応力範囲  $\Delta\sigma_{sn}$  をパラメータとして, 無補強, 補強の試験体の疲労試験を行った. 理論計算により 33.8% の CF シート接着による応力低減を目標とし, 23 層の CF シートを VaRTM で成形接着した補強試験体を準備した. 鋼板の公称応力範囲は, 疲労試験機の容量を考慮して, 無補強の試験体では, 100, 120, 150, 180MPa の 4 ケース, 補強の試験体では, 120, 150, 180MPa の 3 ケースとした.

図-8 に, 公称応力範囲  $\Delta\sigma_{sn}$  と試験開始から破断までの繰返し回数  $N_f$  の関係を示す. CF シートを 23 層接着した場合, 高い応力範囲の  $\Delta\sigma_{sn}=180\text{MPa}$  では, 繰返し回数は, 無補強試験体で 22 万回, 補強試験体で 817 万回となり, 疲労寿命が大きく (約 37 倍) 改善されること,  $\Delta\sigma_{sn}=150\text{MPa}$  以下では, 繰返し回数 1,000 万回までは疲労破壊しないことが確かめられた.

図-9 に, ホットスポット応力範囲  $\Delta\sigma_{HSS}$  と試験開始からき裂発生までの繰返し回数  $N_i$  の関係をそれぞれ示す. 図より, 試験開始からき裂発生までの繰返し回数  $N_i$  で整理した場合でも, 試験開始から破断までの繰返し回数  $N_f$  で整理した場合と同様な傾向が見られ, 補強試験体は, ホットスポット応力範囲での評価が困難であることがわかる. これは, 図-9 より, 疲労破壊した補強試験体の  $\Delta\sigma_{HSS}$  は 163.8MPa であり, 疲労限となった補強試験体では 156.3MPa であった. 疲労破壊した補強試験体の  $\Delta\sigma_{HSS}$  は疲労限に極めて近いことから, き裂の発生寿命  $N_i$  のばらつきにより, 評価ができなかったと考えられた.

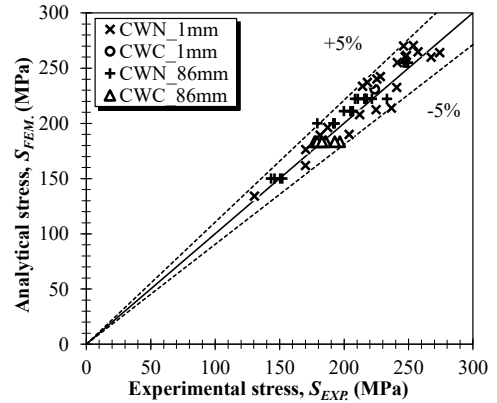


図-7 応力の実験値と FEM 値との比較 (②荷重非伝達型十字溶接継手試験体)

表-2 疲労試験のシリーズと試験条件 (①面外ガゼット溶接継手試験体)

試験体	公称応力範囲 $\Delta\sigma_{sn}$ (MPa)	応力比 $R$	载荷速度 $f$ (Hz)	試験体数
無補強	100, 120, 150, 180	0.1	10	4
補強	120, 150, 180	0.1	10	3

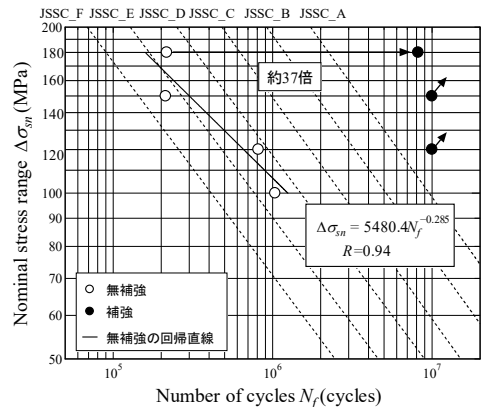


図-8  $\Delta\sigma_{sn}$  と  $N_f$  の関係 (①面外ガゼット溶接継手試験体)

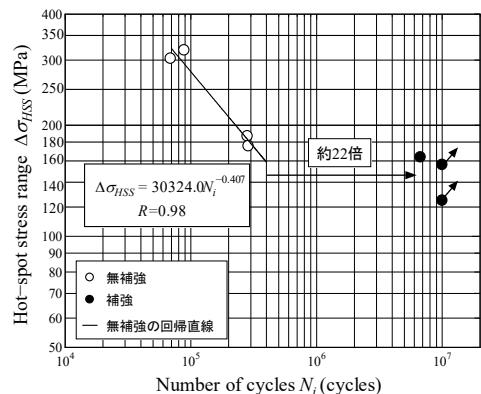


図-9  $\Delta\sigma_{HSS}$  と  $N_i$  の関係 (①面外ガゼット溶接継手試験体)

## ②荷重非伝達型十字溶接継手試験体

疲労試験における公称応力範囲 $\Delta\sigma_{sn}$ は、端部はく離の载荷限界値を考慮して、無補強試験体 (CWN) では150MPa~230MPaの5ケース、補強試験体 (CWC) では180MPa~230MPaの3ケースとした。応力比は、全ケースで0.1、载荷速度は、10Hzおよび15Hzとした。

図-10に、公称応力範囲 $\Delta\sigma_{sn}$ と破断までの繰返し回数 ( $N_f$ ) の関係を示す。疲労強度に着目すると、補強試験体は、公称応力範囲が180MPaでも繰返し回数が1000万回まで疲労破壊しないことが確認できた。疲労寿命に着目し無補強と補強試験体の繰返し回数を比較すると、公称応力範囲が200MPaでは、それぞれ約57万回および約255万回となり疲労寿命は約5倍、公称応力範囲が230MPaでは、それぞれ約40万回および約496万回となり疲労寿命は約12倍になることが確認できた。

図-11に、試験開始からき裂長さ1mmまでの初期寿命 ( $N_i$ )、き裂長さ1mmから破断までのき裂進展寿命 ( $N_p$ ) について、それぞれ公称応力範囲 $\Delta\sigma_{sn}$ との関係を示す。き裂進展寿命  $N_p$  は、各試験体のビーチマーク、線形破壊力学に基づいた応力拡大係数の平均値の外挿とそのき裂進展解析により求めた。図より、き裂進展寿命は、CFシート接着の有無に関わらず同じであり、補強効果がないといえた。一方、初期寿命  $N_i$  は、止端部の応力低減の効果だけでなく、き裂長さが十分小さい場合、CFシートの接着によって、表面き裂が閉口するため、延命効果が高くなると予想された。なお、初期寿命  $N_i$  のばらつきは、止端部の応力集中によるものと考えられた。

### (3) まとめ

以上のことから、溶接継手の止端部近傍に、炭素繊維シートを真空含浸工法により積層接着すれば、応力低減による疲労強度の向上とき裂発生の初期段階の疲労寿命の延命化が可能であることが確かめられた。また、面外ガゼット溶接継手では、初期段階の疲労寿命だけでなく、き裂の進展寿命の延命にも有効であることが示唆された。

今後、疲労試験データの蓄積と解析による定量的な評価を行うとともに、種々のディテールに対する疲労試験を実施することで、炭素繊維シート接着による溶接継手の補強設計法を構築したい。

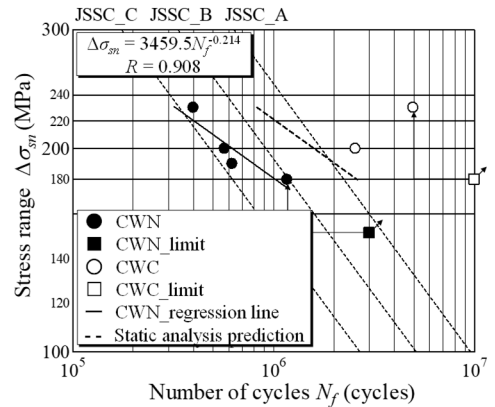


図-10  $\Delta\sigma_{sn}$ と $N_f$ の関係  
(②荷重非伝達型十字溶接継手試験体)

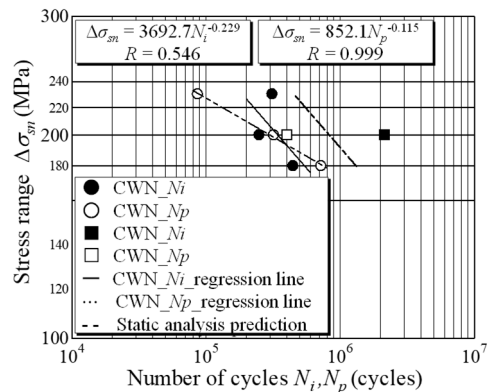


図-11  $\Delta\sigma_{sn}$ と $N_i, N_p$ の関係  
(②荷重非伝達型十字溶接継手試験体)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Visal Thay, Takumi Ozawa, Hitoshi Nakamura, Takahiro Matsui	4. 巻 13
2. 論文標題 Permanent Repair of Fatigue Cracks of Welded Gusset Joints by Externally Bonded Carbon Fiber Sheets Using VARTM Technique	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JSCE, The 13th Symposium on Research and Application of Hybrid and Composite Structures	6. 最初と最後の頁 268-276
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 無
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 小沢拓弥, タイウィサル, 中村一史, 松井孝洋	4. 巻 13
2. 論文標題 炭素繊維シートの真空含浸接着による十字溶接継手の疲労強度向上に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第13回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 土木学会	6. 最初と最後の頁 277-285
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 無
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 Visal Thay, Takumi Ozawa, Hitoshi Nakamura, Takahiro Matsui	4. 巻 27
2. 論文標題 Analytical Study on Permanent Repair of Fatigue Cracks Initiated at Welded Gusset Joints by Externally Bonded Carbon Fiber Sheets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JSSC, Proc. of Constructional Steel	6. 最初と最後の頁 793-800
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 無
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 タイウィサル, 小沢拓弥, 譚暢, 中村一史, 松井孝洋	4. 巻 27
2. 論文標題 積層した炭素繊維シートのVARTM成形・接着による面外ガセット溶接継手の疲労耐久性の向上	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本鋼構造協会, 鋼構造論文集	6. 最初と最後の頁 29-41
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 小沢拓弥, タイウィサル, 中村一史, 松井孝洋	4. 巻 27
2. 論文標題 炭素繊維シートが積層接着された十字溶接継手止端部の応力集中係数の推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本鋼構造協会, 鋼構造論文集	6. 最初と最後の頁 89-98
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 オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Visal Thay, Takumi Ozawa, Hitoshi Nakamura, Takahiro Matsui	4. 巻 27
2. 論文標題 Analytical Study on Permanent Repair of Fatigue Cracks Initiated at Welded Gusset Joints by Externally Bonded Carbon Fiber Sheets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JSSC, Proc. of Constructional Steel	6. 最初と最後の頁 793-800
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 無
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 タイウィサル, 中村一史, 林帆, 堀井久一	4. 巻 Vol.74, No.5
2. 論文標題 当て板がエポキシ樹脂で接着された鋼板の接着接合部の疲労強度の評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 11_56-11_66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejsee.74.11_56">https://doi.org/10.2208/jscejsee.74.11_56</a>	査読の有無 無
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 小沢拓弥, タイウィサル, 中村一史, 松井孝洋	4. 巻 第7回
2. 論文標題 炭素繊維シートの真空含浸接着によるリブ十字溶接継手の補強に関する基礎的研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会, 第7回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム	6. 最初と最後の頁 96-102
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 無
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 タイウイサル, 小沢拓弥, 譚暢, 中村一史, 松井孝洋	4. 巻 第7回
2. 論文標題 積層した炭素繊維シートのVaRTM成形・接着による面外ガセット溶接継手の疲労耐久性の向上	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会, 第7回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム	6. 最初と最後の頁 103-109
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 無
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 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 V. Thay, C. Tan, H. Nakamura, T. Matsui and F. Lin
2. 発表標題 Improvement of fatigue durability in welded gusset joints by CF sheets using VaRTM technique
3. 学会等名 The 9th International Conference on Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites in Civil Engineering, CICE2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 タイウイサル, 譚暢, 中村一史, 松井孝洋
2. 発表標題 炭素繊維シートの真空含浸・積層接着による面外ガセット溶接継手の疲労耐久性の向上
3. 学会等名 土木学会, 第73回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Visal Thay, Hitoshi Nakamura, Hisakazu Horii
2. 発表標題 Evaluation of static and fatigue strength of adhesively bonded joints
3. 学会等名 土木学会, 第72回年次学術講演会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 譚暢, タイウイサル, 中村一史, 松井孝洋
2. 発表標題 炭素繊維シートの真空含浸接着による面外ガセット溶接継手止端部の応力集中の低減効果
3. 学会等名 土木学会, 第44回関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 タイウイサル, 譚暢, 中村一史, 松井孝洋
2. 発表標題 炭素繊維シートの真空含浸接着による面外ガセット溶接継手の疲労強度向上に関する研究
3. 学会等名 土木学会, 第44回関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小沢拓弥, タイウイサル, 中村一史, 松井孝洋
2. 発表標題 炭素繊維シートの真空含浸による非荷重伝達型十字溶接継手の補強について
3. 学会等名 土木学会, 第74年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Visal Thay, Takumi Ozawa, Hitoshi Nakamura, Takahiro Matsui
2. 発表標題 Analytical study on permanent repair of fatigue cracks of welded gusset joints by externally bonded carbon fiber sheets
3. 学会等名 Proc. of the 74th Annual Conference of JSCE, CS2-042
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Visal Thay, Hitoshi Nakamura, Hisakazu Horri
2. 発表標題 Evaluation of static and fatigue strength of adhesively bonded joints between steel plates and patch plates using epoxy resin adhesive
3. 学会等名 12th Pacific Structural Steel Conference (PSSC), Tokyo, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Ozawa, Visal Thay, Hitoshi Nakamura, Takahiro Matsui, Mutsumi Miyagawa
2. 発表標題 Strengthening of Cruciform Welded Joints by Externally Bonded Carbon Fiber Sheets Using VARTM Technique
3. 学会等名 The Seventh Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS2019), IIFC (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Visal Thay, Takumi Ozawa, Hitoshi Nakamura, Takahiro Matsui
2. 発表標題 Repair of Fatigue Cracks of Welded Gusset Joints by Externally Bonded Carbon Fiber Sheets Using VARTM Technique
3. 学会等名 The Seventh Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS2019), IIFC (国際学会)
4. 発表年 2019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