

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04238

研究課題名（和文）FRP部材の高度利用による鋼構造物の補修・補強技術の開発

研究課題名（英文）Development of advanced strengthening technique for steel structures using externally bonded FRP members

研究代表者

中村 一史（Nakamura, Hitoshi）

東京都立大学・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） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：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、本研究は、軽量で、耐久性にも優れるFRPを用いた、既設鋼構造物の補修・補強方法を提案するものである。未硬化の強化繊維を施工現場に持ち込み、VaRTM（真空含浸工法）と呼ばれる成形技術で、強化繊維に樹脂を含浸・接着することで、FRP部材の高度利用による既設鋼構造物の補修・補強技術の開発を目的としている。本研究では、(1)鋼部材との接着接合部の強度、耐久性を検討するとともに、(2)FRP部材の積層構成・断面剛性を実験的・解析的に検討して、補修・補強が必要とされる鋼部材に対して、効率的な接着接合、FRP部材の適切な積層構成・配置を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

FRP部材を用いた接着工法は、孔明け等が不要で、施工が簡便であるため、種々の既設鋼構造物の補修・補強に適用できると考えられるが、接着接合部のはく離や長期耐久性に対する懸念やFRPの効果的な配置が課題であった。本研究の成果より、複合応力を考慮した接着強度、接着接合部のクリープ特性、疲労耐久性が定量的に示されたこと、また、補修・補強が必要な鋼部材に対するFRP部材の積層・断面構成の配置の考え方が示されたことから、FRP部材の高度利用とその普及に貢献するものと考えている。

研究成果の概要（英文）：In response to the demand for efficient maintenance and management of infrastructures, this study proposes a repair and strengthening method for existing steel structures using FRP, which is lightweight and has excellent durability. The objective of this study is to develop the repair and strengthening techniques for existing steel structures utilizing advanced FRP members by bringing fibers to the construction site and impregnating and bonding resin to the reinforcing fibers using a molding technique called VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding Method). In this study, (1) the strength and durability of adhesive joints with steel members were investigated, and (2) the stacking configuration and cross-sectional stiffness of FRP members were experimentally and analytically investigated. Furthermore, efficient adhesive bonding and optimal installation of FRP members are shown for steel members required for repair and strengthening.

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 FRP部材 鋼構造物 接着接合 耐久性

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

繊維強化プラスチック（FRP）は、鋼に比べ比重が約 1/5 と軽量で、環境作用に対する耐久性にも優れ、社会基盤施設の再生・再構築のための革新的構造材料として注目されている。特に、炭素繊維を強化材とする CFRP は、高弾性・高強度であること、現場でのハンドリングに優れることから、鋼構造物の補修、補強に適用されている。一般に、FRP 接着工法で使用される材料は、シートまたは帯板の CFRP であり、帯板を積層した場合でも最大板厚は約 10mm である。鋼構造物の補修・補強では、主に剛性を上げて、発生応力を低減することが要求されるため、高剛性の CFRP を平面的に接着する方法は、必ずしも効率的とはいえない。

FRP は、種々の成形方法によって、圧延形鋼のように、様々な断面形状の構造部材とすることが可能である。これらの部材は、歩道橋、水門扉、検査路などに適用されている。さらに、橋梁構造物に適用するハイブリッド FRP 桁が開発され、その実用性が示されている。ハイブリッド FRP 桁とは、曲げ剛性への寄与が大きいフランジ部に高弾性の炭素繊維を、それ以外には比較的安価なガラス繊維を配置した I 形断面桁である。このように、FRP は軽量で耐久性の高い土木構造用の部材として標準的な設計法も策定され、実績を積みつつあるが、CFRP の比率が大きい、補修・補強の用途では、合理的な FRP 部材の設計法は示されていない。

一方、航空・機械分野で多用されている、VaRTM（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、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、液状樹脂を注入・含浸して硬化させ、FRP を成形する技術である。申請者らは、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、研究開発を行ってきた（図-1）。先行研究では、断面欠損した鋼桁端部の補修、溶接接合部の疲労対策を対象に、VaRTM による CFRP の成形・接着を行って、複雑な溶接接合部にも炭素繊維シートが柔軟に追従し、強固に接着されること、性能の回復・向上があることを確認している。VaRTM を応用した補修・補強の開発により、現場で任意形状の FRP 部材の施工が可能となった。例えば、既設構造物に FRP 補剛材を設置することができ、補修・補強の自由度が飛躍的に向上した。しかしながら、立体的な FRP 部材を補修・補強に適用すると、はく離が生じやすくなり、接着接合の設計が極めて重要となる。接着接合部をモデル化した構造実験を行う必要があり、簡便で標準的な試験法が求められている。

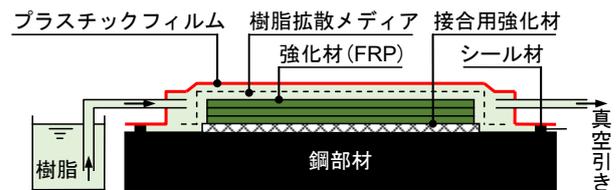


図-1 真空含浸工法による成形・接合の概念図

## 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、本研究は、軽量で、耐久性にも優れる FRP を用いた、既設鋼構造物の補修・補強方法を提案するものである。未硬化の強化繊維を施工現場に持ち込み、VaRTM（真空含浸工法）と呼ばれる成形技術で、強化繊維に樹脂を含浸・接着することで、FRP 部材の高度利用による既設鋼構造物の補修・補強技術の開発を目的としたもので、次の観点から研究開発を行った。

### (1) 鋼部材との接着接合部の強度、耐久性に関する検討

構造実験によらず、複合作用の影響を考慮した標準的な接着強度の評価方法を検討する。また、接着接合部の持続荷重に対するクリープ、繰返し荷重による疲労を実験的に検討する。

### (2) 補修・補強に必要な CFRP 部材の積層構成・断面剛性の検討と鋼部材への適用性の検証

鋼部材の補修・補強の用途に、CFRP 部材を効率的に活用するために、最適な積層構成を検討する。特に、CFRP 部材が荷重を分担するために必要な強化繊維の配向方向を検討する。さらに、効率的な接着接合、FRP 部材の適切な積層構成・配置を適用して、鋼部材への適用性を検証する。

## 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。2021年度より、(1) 鋼部材との接着接合部の強度、耐久性に関する検討に着手したが、高サイクル疲労試験および長期クリープ試験を実施することから、その後も継続して検討を実施した。2022年度より、(2) 補修・補強に必要な CFRP 部材の積層構成・断面剛性の検討と鋼部材への適用性の検証を行った。以下に、研究の方法を示す。

### (1) 鋼部材との接着接合部の強度、耐久性に関する検討

#### ① 複合応力を考慮した接着強度の評価

接着接合部に支配的なせん断応力、垂直応力の複合応力を考慮するために、ねじりと引張を同時に載荷できる装置（現有設備）と円筒形断面の接着継手試験体（図-2）を用いて検討を行う。せん断応力、垂直応力の組み合わせ

をパラメータとして破壊包絡線による評価を試みた。

### ②接着接合部のクリープ特性の評価

接着接合部のクリープ特性を検討するための载荷装置の開発を行った。重錘 15kN を持続荷重として最大 10 倍 (150kN 相当) まで载荷可能な装置を作製した (図-3)。試験体は突き合わせ継手形式とし、持続荷重、試験温度をパラメータとして経過時間に対する促進試験を行った。

### ③接着接合部の疲労耐久性の評価

振動型疲労試験機 (現有設備) を用いて、当て板を接着した鋼に、繰返し曲げ応力を作用させることで、当て板端部からのはく離寿命、はく離進展特性を検討した (図-4)。実験では、当て板 (鋼板, CFRP)、接着剤の種類、応力範囲、作用力の種類 (既往の研究との比較) をパラメータとして、接着接合部の疲労耐久性の評価を行った。

## (2) 補修・補強に必要な CFRP 部材の積層構成・断面剛性の検討と鋼部材への適用性の検証

### ①面内・面外ガセット溶接接合部から発生した疲労き裂の CFRP 接着による補修

鋼構造の一般的な溶接接合部として、面内・面外ガセット溶接接合部を対象とし、溶接継手試験体を用いた疲労試験を行った。一定の疲労き裂長さに対して、当初の疲労等級相当の疲労寿命が得られるような補修条件で、必要な CFRP の積層数を実験的に検討した。

### ②せん断を受ける鋼桁ウェブの CFRP 接着による補強

過年度に実施された鋼桁ウェブに対するせん断载荷実験の結果を参照して、CFRP 接着による補強効果を明らかにするため、解析的な検討を行った。さらに、実験結果を簡便に評価する手法を検討するため、CFRP 接着・定着板の有無をパラメータとして検討を行った。

### ③円形鋼製橋脚の炭素繊維シート接着による耐震補強

過年度に実施された繰返し载荷実験の結果を参照して、より精緻な評価を行うためのモデル化の手法を構築して、炭素繊維シートの範囲、配向、積層数をパラメトリックに検討し、最適な設計法の検討を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 鋼部材との接着接合部の強度、耐久性に関する検討

#### ①複合応力を考慮した接着強度の評価

図-5 に、エポキシ樹脂接着剤 E258R の破壊時におけるせん断応力と垂直応力の関係を示す。主応力で評価される式 (2) では、全試験結果の平均と標準偏差から求めた。その結果、ほぼ 95%信頼区間に収まることが確かめられた。また、複合応力では、引張側の垂直応力の割合が大きいほど、ばらつきが大きくなることがわかる。破壊包絡線は、実験値との相関係数が高いことが示され、この試験方法による接着強度の評価は妥当であるといえた。

#### ②接着接合部のクリープ特性の評価

図-6 に、クリープコンプライアンスとクリープ破壊の時間を両対数グラフにプロットし、既往研究のマスターカー

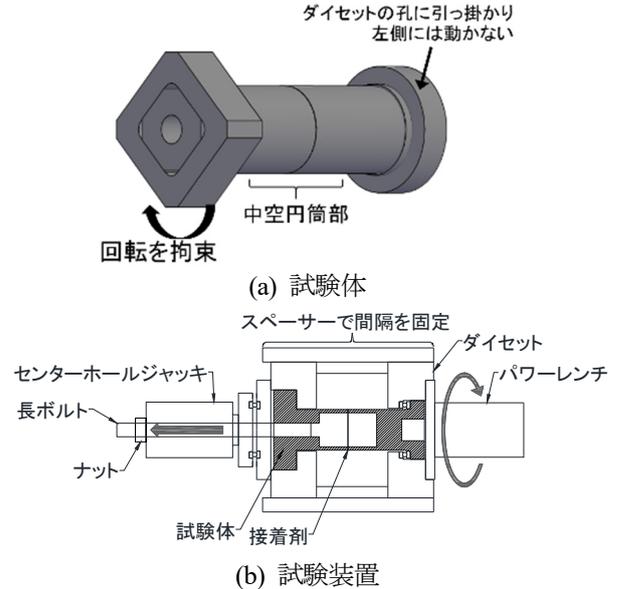
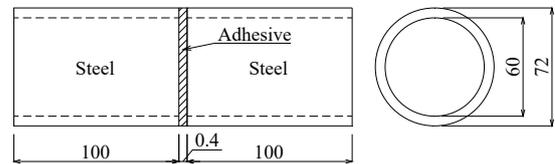
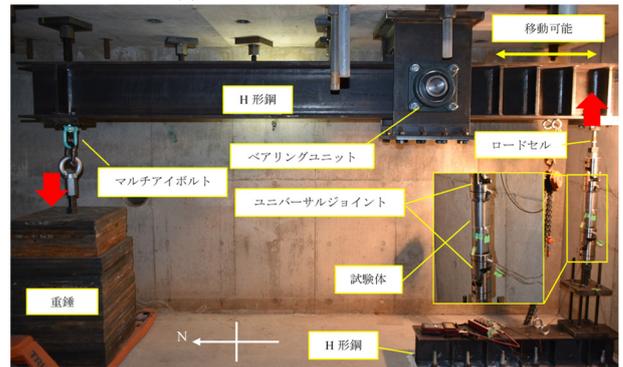


図-2 複合応力を考慮した試験装置の概略図

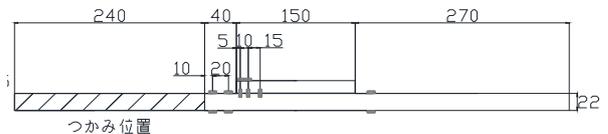


(a) 試験体 (単位: mm)

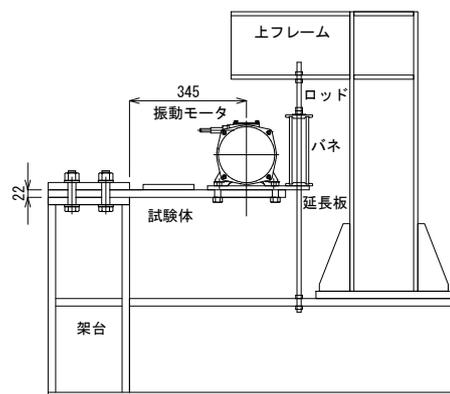


(a) 持続荷重の载荷装置

図-3 開発したクリープ試験の载荷装置の概要



(a) 試験体 (単位: mm)



(b) 振動型疲労試験機のセットアップ

図-4 接着接合部の疲労試験の概要

ブと比較した結果を示す。図より、長寿命領域の実験データが少ないものの、既往研究のマスターカーブに対してよく一致することがわかる。今後も実験を継続して、より低荷重、長寿命の領域での検討を行う必要がある。

### ③接着接合部の疲労耐久性の評価

図-7に、本研究における曲げ疲労試験の結果と、既往の引張疲労試験の結果を比較した図を示す。図より、一部の試験体（エポキシ樹脂接着剤 E250\_DPT）でややばらつきが見られるものの、ほぼすべてのデータが信頼区間に収まり、類似の傾向が得られたことから、接着剤、接着方法、当て板に関わらず、一つの実験式で接着接合部のはく離に対する疲労特性を評価できることが確かめられた。

E250\_DPT にばらつきが見られた原因としては、破壊形式が試験体により異なっていたことが考えられた。

## (2) 補修・補強に必要な CFRP 部材の積層構成・断面剛性の検討と鋼部材への適用性の検討

### ①面内・面外ガセット溶接接合部から発生した疲労き裂の CFRP 接着による補修

面外ガセット溶接継手試験体による検討結果として、図-8に、試験体と CFRP の接着範囲を示す。ここでは、米国船級協会（ABS）の定める水中の面外ガセット継手の疲労強度曲線を参照して、応力範囲 $\Delta\sigma_{sm}=119.8\text{MPa}$ において、き裂長さ $a_p$ が35~60mmまで進展する際のき裂進展寿命 $N_{p35-60}$ が、CFシートを積層接着することで疲労強度等級を満足することを補修による延命化の目標とした。事前にき裂進展解析を行って、必要なCFシートの積層数を検討した結果、 $\Delta\sigma_{sm}=119.8\text{MPa}$ では5層と設計された。図-9に、き裂長さ $a$ と繰返し回数 $N_{p35-60}$ の関係を示す。図より、設計されたCFシート5層を適用することで、目標とする疲労寿命まで延命化を図ることができることが示された。

次に、面内ガセット溶接継手試験体による検討結果として、図-10に、試験体と CFRP の接着範囲を示す。同様に、ABS の定める水中の面内ガセット継手の疲労強度曲線を参照し、き裂長さ20~40mmの進展寿命が、継手の疲労強度を満足するように、応力範囲 $\Delta\sigma_{sm}=118.3, 100, 54.9\text{MPa}$ において、必要な CFRP の数量を、溶接残留応力の影響を考慮したき裂進展解析より設計した。その結果、CFシートの積層数は4層となった。図-11に、面内ガセット溶接継手試験体による S-N 線図を示す。図より、検討した全ての応力範囲において、概ねき裂進展寿命 $N_{p20-40}$ （き裂長さ20~40mmの進展寿命）を満足することが確かめられた。

### ②せん断を受ける鋼桁ウェブの CFRP 接着による補強

図-12に示す無補強供試体（S1）の解析モデルに対して、図-13のように、CFシートを2層接着したモデル（S2）、S2の端部を定着板とボルトで固定したモデル（S3）について、接着の有無、CFRPの破壊の有無をパラメトリックに検討した。一例として、図-14に、S2シリーズの荷重-変位関係を示す。図より、ウェブのせん断座屈挙動を捉えることはできたものの、はく離が考慮されないため、最大荷重は高く評価された。接着を考慮しない解析では、最大荷重（実験値）を安全側に評価できることから、簡便なモデル化が可能であるといえた。

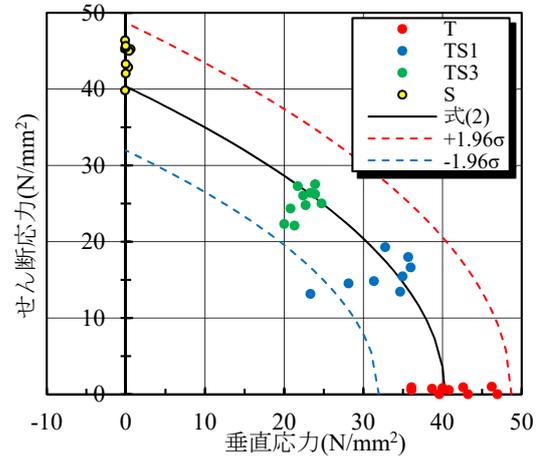


図-5 せん断応力とせん断ひずみの関係

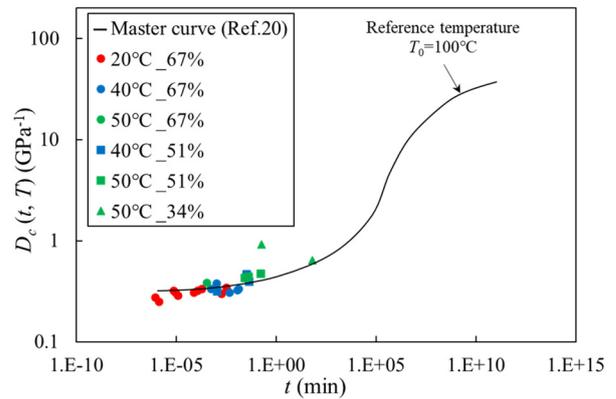


図-6 クリープコンプライアンスと時間の関係

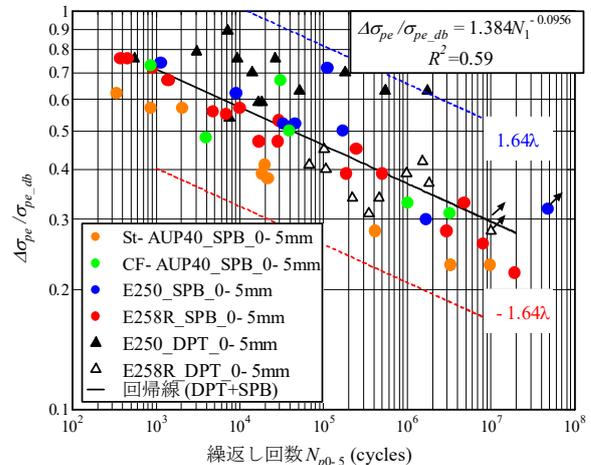


図-7 はく離長さ0~5mmの繰返し回数と応力比の関係

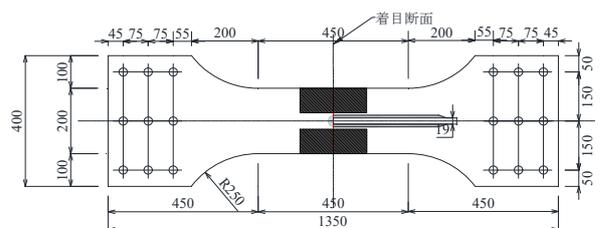


図-8 面外ガセット溶接継手試験体と CFRP の接着範囲 (単位: mm)

### ③円形鋼製橋脚の炭素繊維シート接着による耐震補強

円形鋼製橋脚の小型試験体における実験結果を精緻に評価できる解析モデルを構築した後、炭素繊維シートの積層数、配向、範囲をFEM解析により、パラメトリックに検討した(図-15)。漸増繰り返し载荷による荷重-変位関係を包絡線により整理した。その結果、図-15より、エネルギー吸収に効果的な炭素繊維シートの配向は±30〜±45°であることが確かめられた。今後は、実構造物への適用性を検証する予定である。

### (3) まとめ

以上のことから、FRP部材を鋼部材の補修・補強へ高度に利用する上で、その接着接合部における強度、耐久性を明らかにすることができた。また、鋼部材に対する補修・補強効果を実験的、解析的に検討した結果、それぞれの損傷、補強目的と各作用に対して、適切なCFRPの配向、積層構成の設計の考え方が示された。

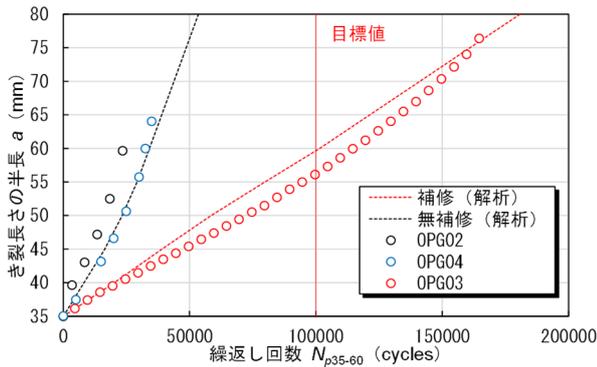


図-9 面外ガセット溶接継手試験体によるき裂長さ  $a$  と繰返し回数  $N_{p35-60}$  の関係 ( $\Delta\sigma_{sn}=119.8\text{MPa}$ )

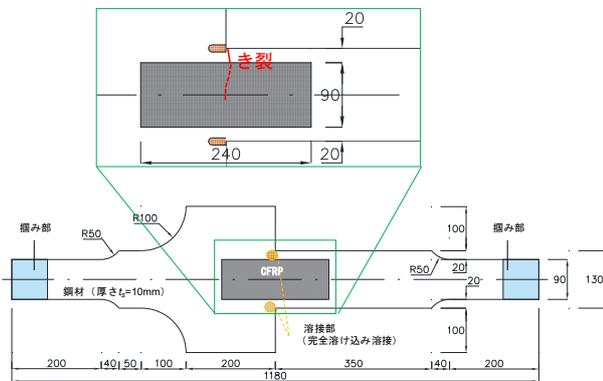


図-10 面内ガセット溶接継手試験体とCFRPの接着範囲 (単位: mm)

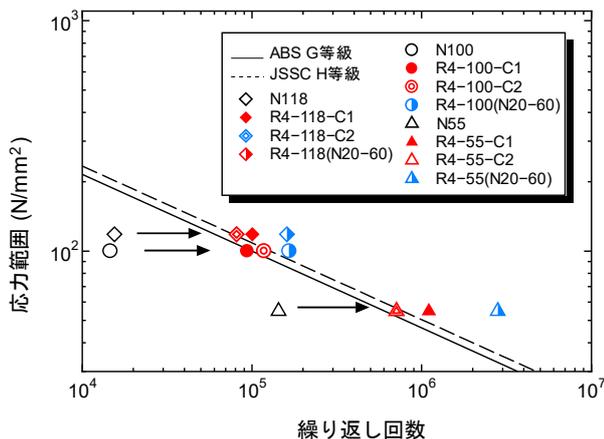


図-11 面内ガセット溶接継手試験体による S-N 線図

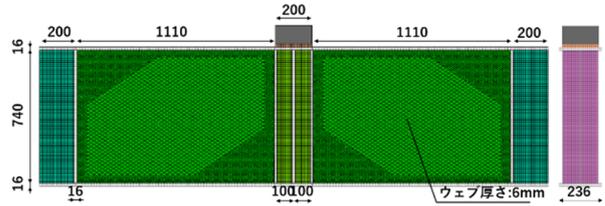


図-12 実験供試体 (S1) の解析モデル (mm)

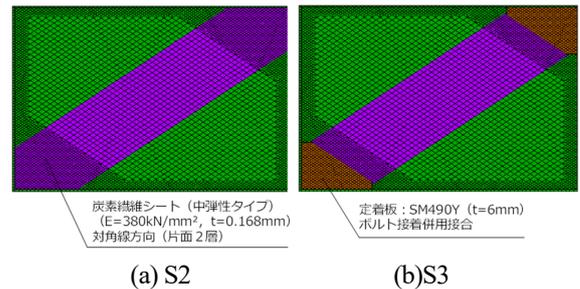


図-13 右腹板に着目した補強試験体の解析モデル

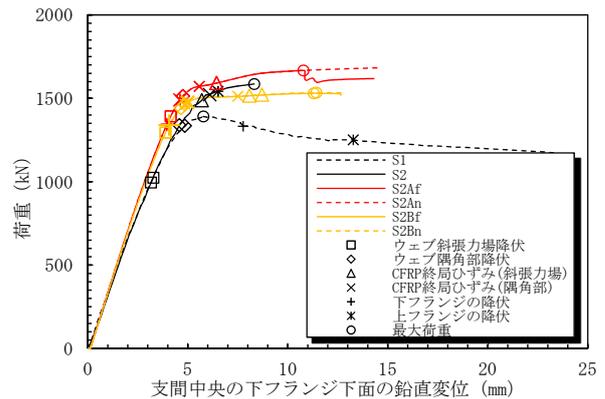


図-14 S2 シリーズの荷重-変位関係

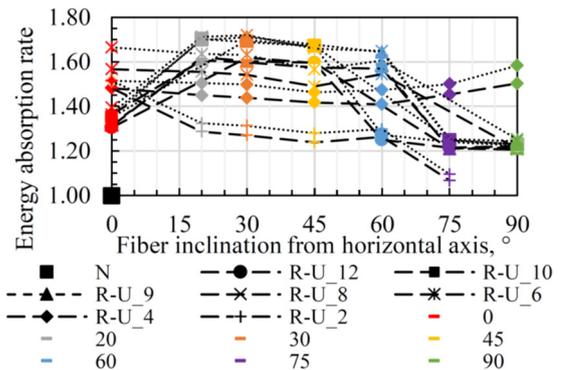
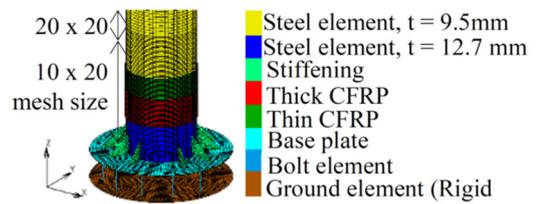


図-15 円形鋼製橋脚モデルと解析結果の一例

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 清野久美子, 中村一史, タイウィサル, 堀井久一	4. 巻 第77回
2. 論文標題 複合応力が作用する接着接合部の強度のばらつきの改善と評価について	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会, 年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 1-285
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 Visal Thay, Kumiko Kiyono, Hitoshi Nakamura, Hisakazu Horii	4. 巻 第77回
2. 論文標題 EVALUATION OF TENSILE CREEP LIFETIME OF ADHESIVELY BONDED JOINTS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会, 年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 1-286
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 高橋京祐, 中村一史, タイウィサル, 堀井久一	4. 巻 第77回
2. 論文標題 板曲げを受ける接着接合部の疲労耐久性に関する実験的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会, 年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 1-287
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 俣野厚志, 中村一史, タイウィサル, 松井孝洋	4. 巻 第77回
2. 論文標題 溶接残留応力と接着副資材の有無がCFRP 接着補修された溶接継手のき裂進展速度に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会, 年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 1-288
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 Atsushi Matano, Hitoshi Nakamura, Visal Thay, Takehiko Tsubokawa, Takehiro Matsui	4. 巻 2022
2. 論文標題 Repair effect of externally bonded CFRP on propagation life of fatigue cracks initiated at in-plane welded gusset joints	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IABSE Symposium Prague 2022	6. 最初と最後の頁 8pages
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 Kumiko Kiyono, Thay Visal, Hitoshi Nakamura, Hisakazu Horii	4. 巻 2022
2. 論文標題 Fabrication and its evaluation of testing device considering combined stress of bonded joints	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IABSE Symposium Prague 2022	6. 最初と最後の頁 8pages
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 清野久美子, 中村一史, タイウィサル, 堀井久一	4. 巻 第9回
2. 論文標題 複合応力を受ける接着接合部における静的強度のばらつき改善と評価について	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 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 1-8
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 保野厚志, 中村一史, タイウィサル, 松井孝洋	4. 巻 第9回
2. 論文標題 CFRP接着補修におけるはく離が疲労き裂の進展速度に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 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 34-41
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 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 高橋京祐, 中村一史, タイウィサル, 堀井久一	4. 巻 第9回
2. 論文標題 接着接合部の曲げ疲労強度に関する実験的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 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 48-57
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 清野久美子, 中村一史, タイウィサル, 堀井久一	4. 巻 69A
2. 論文標題 複合応力下における接着強度の評価のための簡易な試験装置の製作とその適用検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会, 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 625-636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.69A.625	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 清野久美子, タイウィサル, 中村一史, 堀井久一	4. 巻 第14回
2. 論文標題 複合応力を受ける接着接合部の静的強度の評価に関する実験的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会, 複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 5-1-5-8
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 Visal Thay, Kumiko Kiyono, Hitoshi Nakamura, Hisakazu Horii	4. 巻 第14回
2. 論文標題 Experimental study on tensile creep behavior of butt-bonded joints	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会, 複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 14-1-14-5
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 林駿佑, 中村一史, タイウィサル, 坪川毅彦, 松井孝洋	4. 巻 第14回
2. 論文標題 面外ガセット溶接継手から発生した疲労き裂のCFRP接着による補修効果に関する実験的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会, 複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 17-1-17-9
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 俣野厚志, 中村一史, タイウィサル, 坪川毅彦, 松井孝洋	4. 巻 第14回
2. 論文標題 面内ガセット溶接継手から発生した疲労き裂のCFRP接着による補修効果に関する実験的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会, 複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 18-1-18-8
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4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 俣野厚志, 中村一史, タイウィサル, 坪川毅彦, 松井孝洋
2. 発表標題 面内ガセット溶接継手から発生した疲労き裂のCFRP接着による補修効果と溶接残留応力によるき裂進展特性の検討
3. 学会等名 土木学会, 第76回年次学術講演会講演概要集, I-280
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林駿佑, 中村一史, タイウィサル, 坪川毅彦, 松井孝洋
2. 発表標題 面外ガセット溶接継手から発生した疲労き裂のCFRP接着による進展寿命の遅延効果の検証
3. 学会等名 土木学会, 第76回年次学術講演会講演概要集, I-281
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清野久美子, タイウィサル, 中村一史, 堀井久一
2. 発表標題 接着接合部の複合応力を考慮した試験装置の作製とその評価
3. 学会等名 土木学会, 第76回年次学術講演会講演概要集, I-307
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 タイウィサル, 清野久美子, 中村一史, 堀井久一
2. 発表標題 接着接合部の引張クリープ特性に関する実験的研究
3. 学会等名 土木学会, 第76回年次学術講演会講演概要集, I-308
4. 発表年 2021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