

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04788

研究課題名（和文）先端複合材料を応用した軽量・強靱な合成構造の力学特性の解明と設計法の構築

研究課題名（英文）Mechanical behavior and design method of light-weight and ductile hybrid structure using composite material

研究代表者

松本 幸大（Matsumoto, Yukihiro）

豊橋技術科学大学・次世代半導体・センサ科学研究所・教授

研究者番号：00435447

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：座屈により最大耐力を迎える鋼構造部材・部位を対象として、FRP材を用いた非接着補剛法の力学モデルを構築するとともに力学実験を行うことを通して、耐力向上法と設計法を確立した。具体的には山形鋼部材に対してFRP材の補剛長さや厚さを変数とした圧縮試験を行い、その効果を検証した。設計法では、最大耐力は重ね梁の線形座屈耐力、座屈後挙動についても塑性ヒンジを仮定した力学モデルを提案し、実験挙動を概ね再現できることを明らかとした。成果は、既存構造物にも容易に適用可能であり、軽量で迅速な補強法として実装が期待できる手法が確立できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は長尺部材で構成される空間屋根構造や鉄塔等の工作物の補強法として成果の波及効果が期待でき、軽量で強靱な合成構造の実現に向けて意義のある研究成果であると考え。特に、地震被害対策や供用中の外力・使用条件変更などによる荷重増加に容易に対応できる手法であり、実装の期待も高いと考える。また、設計法や力学モデルの提案では、本研究で対象としたFRP材を用いた補剛法に限らず応用が可能であることから、既存構造物に対する圧縮耐力向上法と設計法に関する各術的発展が期待できると考える。

研究成果の概要（英文）：This research targeted the structural steel members having slender shapes. The unbonded strengthening method and its design method using FRP material were proposed. Then, the strengthening effects were confirmed through the axial compression tests using angle steel members. The adopted experimental parameter was the strengthening length and thickness of the FRP restrainer. It was demonstrated that the compression capacity could be calculated by the linear buckling load by the double beam mechanical model, and post-buckling behavior could be estimated by the plastic hinge structural model. This research results will potentially apply as the actual retrofit because the proposed method can easily be used for existing steel structures.

研究分野：建設構造工学

キーワード：複合材料 鋼構造 補強 座屈

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年発生した熊本地震等の大規模地震において、立体骨組構造の座屈や破断、柱脚部の座屈被害が多数報告されている。こうした被害は、人的被害や経済的被害の他、避難所としての使用を期待される構造物では早期復興の大きな妨げとなる。また、構造物の地震被害に伴う耐震性能の大幅な低下は、繰り返し襲来する余震において倒壊の危険性も危惧され、より簡便で信頼性の高い補強法が求められている。この課題解決に適合する材料として、軽量かつ高強度で耐久性・既存構造物への適用性に優れた繊維強化複合材料(FRP)が挙げられ、中でも炭素繊維を用いたCFRPが注目されている。CFRPを用いた構造材の力学特性・成形法に関しては、航空機等への応用を念頭とした複合材料学会や機械学会において材料性能評価や接合強度に関する研究が盛んに行われている。また、建設分野においては、鋼や鉄筋コンクリート構造の補強を目的とした性能評価や接合強度に関する研究が行われており、補強材や補修材として注目されている。

CFRPを用いて既存鋼構造物の補強を行う場合、接着材による接着接合で応力伝達を行い既存部材に作用する応力を低減することで補強効果を得る手法が用いられている。一方で接着接合は剥離と共に耐力が急激に低下し、脆性的な破壊挙動が生じること、接着面の表面処理や施工条件・環境が強度に及ぼす影響が大きいなど、想定外の自然外力に対しても安全安心な構造物が求められる社会的要求を鑑みても問題点がある。そこで、CFRPを用いた非接着補剛法を適用することで接着補強の問題点を解消し、鋼構造部材の耐力上昇に寄与する補強法を提案した。

2. 研究の目的

これまで接着接合により応力伝達を行うことで補強効果を発揮できていたFRP材料に対して、本研究は、部材の力学特性と座屈変形、破壊モードに着目し、接着接合強度に依存しなくとも補強性能を発揮できる合成構造の提案と力学特性分析を行うことを目的としている。そこで、座屈により最大耐力を迎える鋼構造部材・部位を対象として、FRP材を用いた非接着補剛法の力学モデルを構築するとともに力学実験を行うことを通して、軽量で強靱な合成構造の実現に向けた研究成果に繋げることを目的とした。

3. 研究の方法

図1に示すような山形鋼部材に対して、部分的にCFRP材を補剛材として取り付け、圧縮試験を行う事で補剛効果の検証を行った。CFRP材の成形法は、図2に示すように被補剛材の表面にクリアランスなく設置でき、また既存の建設構造部材へも現場成形として適用が容易な真空樹脂含浸成形法を応用した。真空樹脂含浸成形法は、航空機分野などで用いられてきた高品質な成形法であり、建設分野への応用、また、現場での成形法にも応用できる方法として代表者らが研究を進めている手法である。図3に示すように両端にナイフエッジを取り付けた両端ピン支持条件による圧縮試験を行った。試験変数は、補剛長さおよびCFRP材の厚さとした。力学性能評価については、図4の力学モデルに示すように、最大耐力を評価する方法として重ね梁の線形座屈耐力と既存の鋼構造設計規準による方法を援用し、最大耐力到達後の挙動については塑性ヒンジを仮定した釣り合い条件によって推定する手法を考案し、実験との比較を行った。

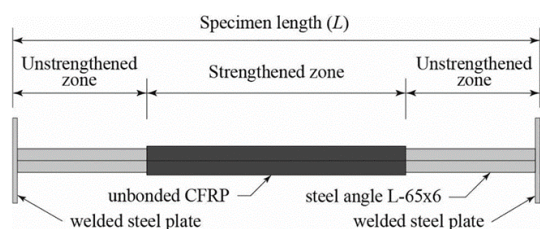


図1 山形鋼へのCFRP補剛

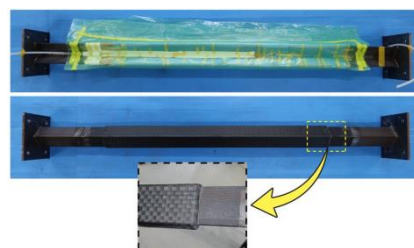


図2 真空樹脂含浸成形法による補剛

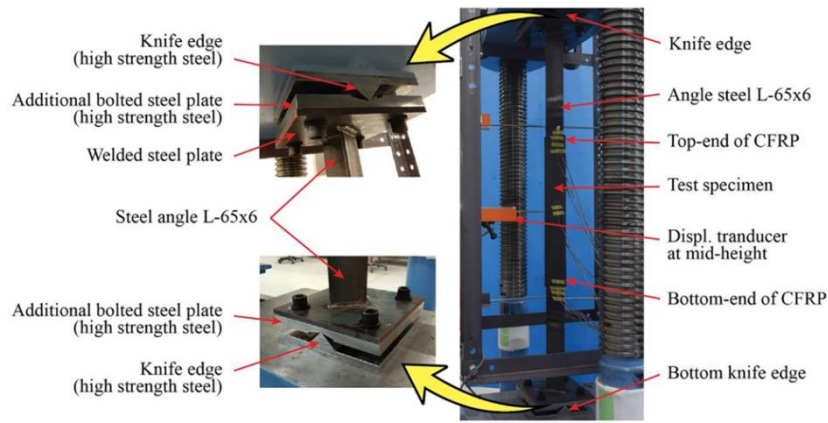
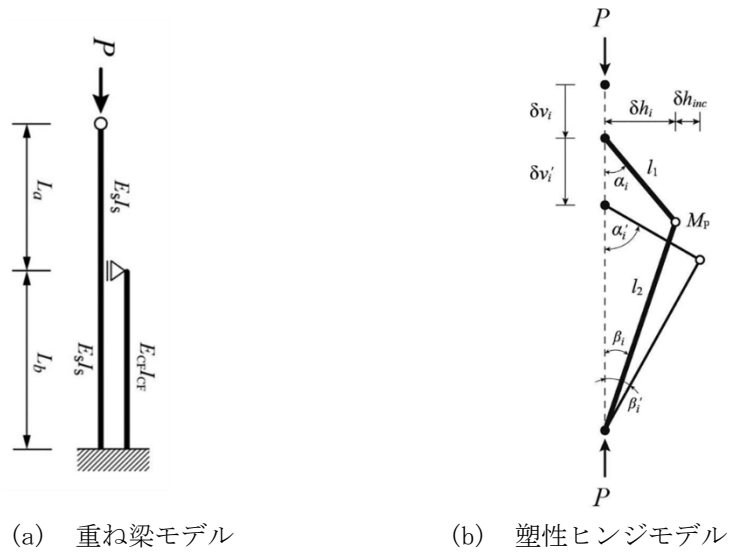


図3 圧縮試験方法の概要



(a) 重ね梁モデル

(b) 塑性ヒンジモデル

図4 力学挙動評価のための力学モデル

4. 研究成果

試験より得られた座屈モードを図5に示す。補剛により座屈による塑性ヒンジが形成される点が変わることが確認でき、CFRP材が補剛効果を発揮できている。実施した各試験体の最大耐力を図4に示した最大耐力評価法と比較したものを図6に示す。図6より、最大耐力はCFRP材の補剛効果により向上で来ているとともに、その耐力評価法とも対応しており、提案した手法により補剛設計ができることを明らかとした。

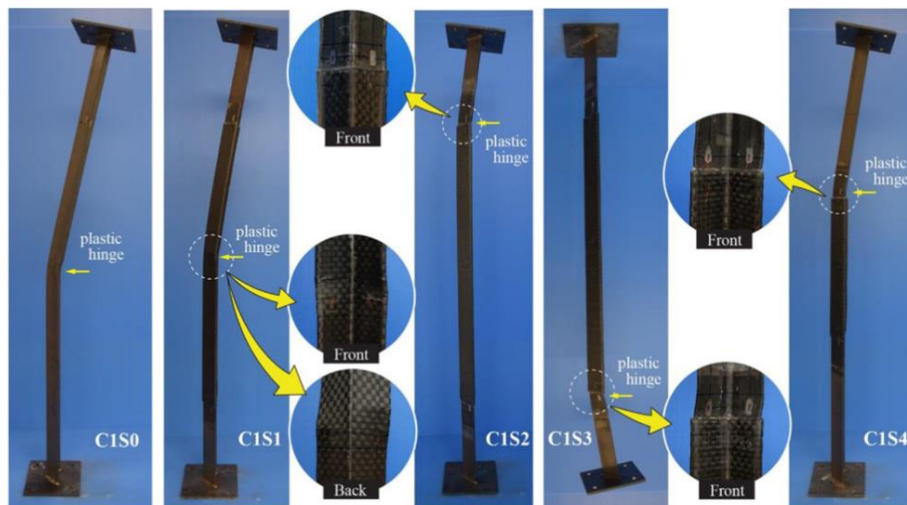


図5 座屈モードの例

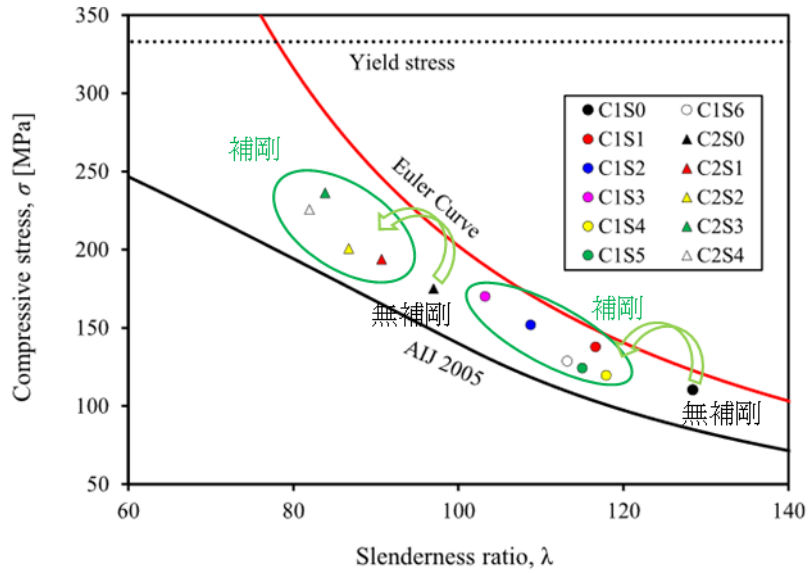


図6 実験から得られた補剛効果と設計式との対応

図7に実験より得られた荷重-変位関係と、図4に示した最大耐力到達後の挙動をプロットしたものを示す。最大耐力到達後は緩やかに耐力低下が生じるが、その様子が力学モデルにより概ね推定できており、本研究で提案した補剛法を用いた部材の耐力・弾塑性荷重変形関係が精度よく推定できることが明らかとなった。

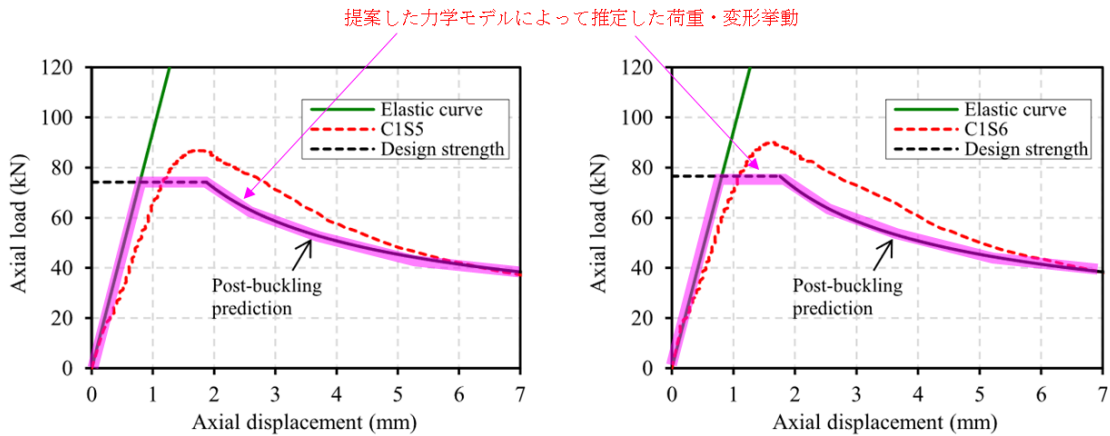


図7 最大耐力到達後の力学挙動と力学モデルによる推定結果

以上より、既存構造物にも容易に適用可能なCFRP材を用いた補剛による圧縮耐力向上法と、その設計法を確立することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fengky Satria Yoresta, Phan Viet Nhut, Daiki Nakamoto, Yukihiro Matsumoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Experimental Investigation on the Buckling Capacity of Angle Steel Strengthened at Both Legs Using VaRTM-Processed Unbonded CFRP Laminates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 2216 ~ 2216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym13132216	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 中本大暉, 三枝玄希, 松本幸大	4. 巻 14
2. 論文標題 FRP材によって非接着補剛した鋼板の圧縮挙動の分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第14回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演概要集	6. 最初と最後の頁 16-1 ~ 16-8
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 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 Fengky Satria Yoresta, Phan Viet Nhut, Yukihiro Matsumoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Finite Element Analysis of Axial Compression Steel Members Strengthened with Unbonded CFRP Laminates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 3540 ~ 3540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma13163540	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 Fengky Satria Yoresta, Koemhong Heng, Phan Viet Nhut, Daiki Nakamoto, Yukihiro Matsumoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Strengthening angle steel using unbonded CFRP laminates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第8回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集	6. 最初と最後の頁 70-76
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 中本大暉, 三枝玄希, 松本幸大	4. 巻 -
2. 論文標題 FRP材を用いた非接着補剛による鋼板の圧縮耐力向上に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第8回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集	6. 最初と最後の頁 62-69
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 Daiki Nakamoto, Genki Mieda, Yukihiro Matsumoto	4. 巻 28
2. 論文標題 BUCKLING CONTROL METHOD USING UNBONDED FRP FOR STEEL PLATE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 691 ~ 696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.28.691	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 Fengky Satria Yoresta, Phan Viet Nhut, Daiki Nakamoto, Yukihiro Matsumoto	4. 巻 41
2. 論文標題 Enhancing buckling capacity of angle steel using unbonded CFRP laminates processed by Vacuum-assisted Resin Transfer Molding (VaRTM)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Structures	6. 最初と最後の頁 173 ~ 189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.istruc.2022.05.011	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3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 松本幸大, 中本大暉, 三枝玄希
2. 発表標題 FRPを用いた非接着補剛法による鋼板の座屈補剛効果
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中本大暉, 松本幸大, 三枝玄希
2. 発表標題 FRP材を用いた非接着補剛による鋼板の圧縮耐力向上に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fengky Satria Yoresta, Yukihiro Matsumoto
2. 発表標題 Numerical study on unbonded CFRP strengthened SHS steel subjected to compressive load
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Read&Researchmap http://researchmap.jp/read0145091/ ORCID https://orcid.org/0000-0002-5935-6576 scopus https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=50561809000 publons https://publons.com/researcher/2972471/yukihiro-matsumoto/ google scholar https://scholar.google.com/citations?user=OKLS5GEAAAAJ 教員紹介 https://www.tut.ac.jp/university/faculty/ace/656.html researchmap https://researchmap.jp/read0145091/ ORCID https://orcid.org/0000-0002-5935-6576 publons https://publons.com/researcher/2972471/yukihiro-matsumoto/ EurekaAlert! https://www.eurekaalert.org/pub_releases/2020-04/tuot-ass040920.php

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
---------	---------