

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560575

研究課題名(和文)CFRPの変形・耐荷メカニズム解明に向けた材料と構造の統合的アプローチ

研究課題名(英文)Integrated approach to understanding the deformation and load bearing mechanisms of CFRP material and structure

研究代表者

松本 高志(Matsumoto, Takashi)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40301121

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：積層材料であるCFRPの材料設計の自由度は大きく、積層構成に応じて構造部材の変形・耐荷挙動も大きく変化する。ゆえにCFRPの部材設計手法の確立においては、積層複合材料の特性と部材中での負荷状態と損傷形態の双方を把握する必要がある。本研究では、材料と構造の統合的なアプローチにより、(1)材料試験値の適用範囲の検討、(2)構造解析用の材料特性値の検討、(3)構造部材の変形・耐荷機構の解明、(4)構造部材の変形・耐荷挙動の解析手法の構築、(5)構造部材性能の観点からの最適積層構成の検討、により、CFRP構造部材の変形・耐荷挙動の力学的メカニズムの解明を行った。

研究成果の概要(英文)：Freedom of CFRP material design as a laminate composite is wide, and deformation and strength characteristics of structural members change widely according to its laminate structure. Therefore, in order to establish the design method of a CFRP structural member, it is necessary to understand loading effects and damage states of a structural member. Under the integrated approach of material and structure, this research includes the following five topics: (1) applicable range of material test values, (2) material characteristic values for structural analysis, (3) deformation and strength mechanisms of a structural member, (4) analysis method on the deformation and strength of a structural member, (5) optimal laminate structure for structural performance. Throughout these topics, deformation and strength mechanisms of CFRP structural members is examined and clarified.

研究分野：工学

キーワード：CFRP 曲げ部材 積層構成 画像計測 変形機構 耐荷機構

1. 研究開始当初の背景

CFRP (炭素繊維補強プラスチック) は、その高強度性、軽量性、高耐食性を利点として、航空宇宙産業、自動車、スポーツ製品などで用いられている。社会基盤用途においても、安全性と耐久性を確保できる構造材料として有望であるが、社会基盤用途における大型構造物を前提とした CFRP 構造部材の設計法はまだ合理的に確立されていない。CFRP は積層複合材料であるため、繊維の量と配向を変化させることができるが、CFRP の任意の材料設計に対して、変位や耐力を算定する手法が確立されてはいない。これにより、異方性を踏まえた変位の算定や、破壊や座屈により決まる耐力の算定などに道筋がついておらず、構造部材の分析と設計、材料と構造の最適化において、主として実験によっている状況である。

2. 研究の目的

本研究では、CFRP 構造部材の変形・耐荷挙動の力学的メカニズムの解明を、材料と構造の統合的アプローチにより行うことを目的とする。積層材料である CFRP の材料設計の自由度は大きく、積層構成に応じて構造部材の変形・耐荷挙動も大きく変化する。ゆえに CFRP の部材設計手法の確立においては、積層複合材料の特性と部材中での負荷状態と損傷形態の双方を把握する必要がある。本研究では、材料要素実験、構造部材実験、画像計測、複合材料理論、有限要素解析を用いた統合的なアプローチにより、力学的メカニズムの解明を行う。

3. 研究の方法

本研究では次の 5 項目を実施することで研究目的を達成する。

- (1)CFRP 材料試験値の適用範囲の検討
- (2)CFRP 構造解析用の材料特性値の検討
- (3)CFRP 構造部材の変形・耐荷機構の解明
- (4)CFRP 構造部材の変形・耐荷挙動の解析手法の構築
- (5)CFRP 構造部材性能の観点からの最適積層構成の検討

4. 研究成果

(1)CFRP 材料試験値の適用範囲の検討
小規模試験体の材料試験値は構造物での材料特性と異なる。材料試験の結果を積層理論により算定した弾性係数と比較し、対角方向に単層板を有する擬似等方性の場合では、実際よりも小さく弾性係数が計測される傾向があることを明らかにした。

(2)CFRP 構造解析用の材料特性値の検討
構造解析に用いる材料特性値を、材料試験値から合理的に得る方法を考案した。

(3)CFRP 構造部材の変形・耐荷機構の解明
異なる終局形態の実験を行い、画像計測と合

わせて、変形・耐荷機構の解明を行った。図 1 はせん断ひずみの分布を示している。せん断支間側のウェブ中央高さ付近に大きなせん断ひずみが生じている。ここより、載荷板端部に連なってせん断ひずみの大きい領域が広がっている。また、図 2 は Tsai-Wu の破壊指標値の分布を示している。指標値が示す破壊起点は概ね実験結果と一致しており、破壊直前の画像解析から予測できる可能性があることを示している。

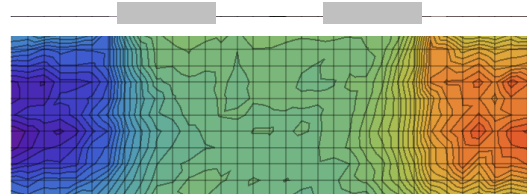


図 1 せん断ひずみ分布図

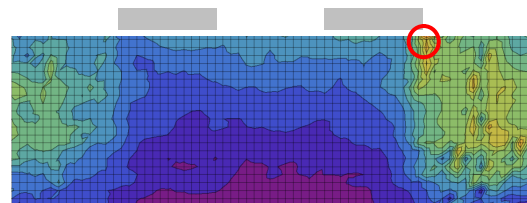


図 2 破壊指標値分布図

(4)CFRP 構造部材の変形・耐荷挙動の解析手法の構築

実験で観察された変形・耐荷挙動を再現できる有限要素解析手法と簡易推定式の構築を行った。載荷板の端部近くで破壊指標値の局所的集中を確認し、圧縮応力と面内・面外せん断応力が卓越的であり、これらの組み合わせにより破壊指標値が大きくなっていることを明らかにした(図 3)。これは画像解析の結果とも一致している。

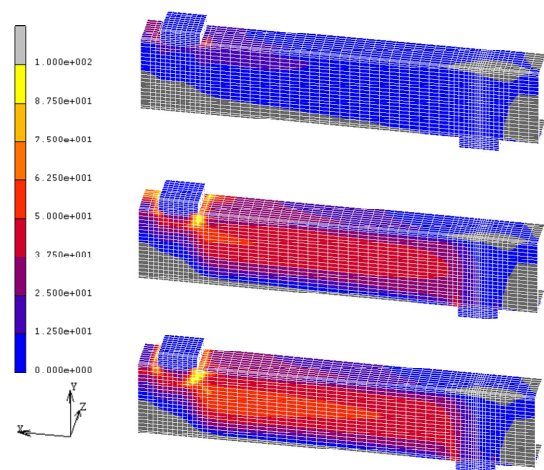


図 3 FEM 解析結果

(5)CFRP 構造部材性能の観点からの最適積層構成の検討

構築した解析手法を用いて、最適な断面構成と中詰め材の効果について検討した。図 4 と 5 は、梁軸方向と梁周方向の繊維量を変える共に、中詰めコンクリートの強度を変え、さらに曲げ軸力比を変えた場合の、破壊荷重とたわみの実験値と推定値である。ここでは、圧縮フランジにおいて卓越的な圧縮とせん断を用いて、Tsai-Wu の破壊規準により、簡易な破壊荷重の推定式を構築した。また、せん断変形を考慮するために、Timoshenko 梁の理論を用いて、簡易なたわみの推定式を構築した。いずれにおいても、広範なケースの結果を概ね再現している。

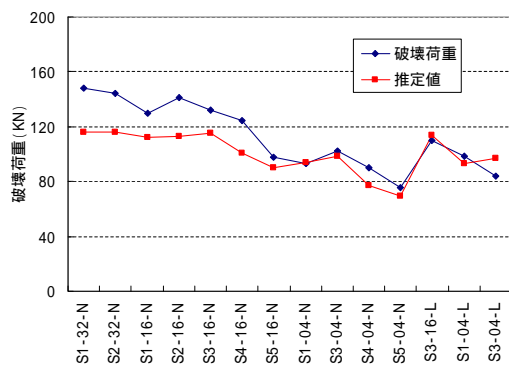


図 4 破壊荷重の実験値と推定値

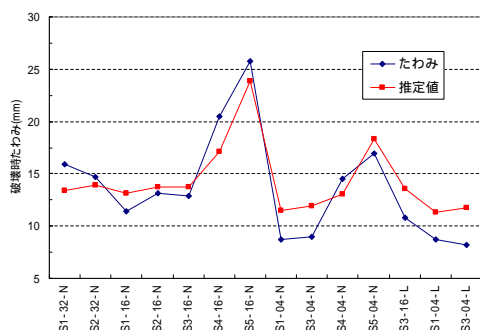


図 5 たわみの実験値と推定値

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

松本高志・何興文・林川俊郎, 画像解析の高密度化による箱形断面 CFRP 梁の損傷挙動の検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 査読有, Vol. 70, 2014, I_909-I_919

松本高志・三重野嵩之・櫻庭浩樹, 単層板破壊を考慮した CFRP 箱形断面梁の耐荷力と変形の検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 査読有, Vol. 69, 2013, I_653-I_664

松本高志・岡松広忠・櫻庭浩樹, 積層構成の異なる箱形断面 CFRP 梁における曲げ挙動の画像解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 査読有, Vol. 68, 2012, I_691-I_702

櫻庭浩樹・松本高志・堀本歴・林川俊郎,

VaRTM 成形による箱形断面 CFRP 梁の曲げ挙動に及ぼす積層構成の影響, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 58A, 2012, 946-958

[学会発表](計18件)

細目貴之・松本高志・林川俊郎・何興文, GFRP 梁部材中の材料特性と材料試験値の関係の検討, 土木学会北海道支部論文報告集, 2015年01月31日~2015年02月01日, 室蘭工科大学(北海道)

小林周史・松本高志・林川俊郎・何興文, GFRP 製箱形断面梁の曲げ破壊の画像解析, 土木学会北海道支部論文報告集, 2015年01月31日~2015年02月01日, 室蘭工科大学(北海道)

築館雪花・松本高志・林川俊郎・何興文, せん断スパン長の異なる CFRP 梁の曲げ破壊の画像解析, 土木学会北海道支部論文報告集, 2015年01月31日~2015年02月01日, 室蘭工科大学(北海道)

横山朋弘・松本高志・林川俊郎・何興文, 画像解析による積層構成の異なる CFRP 梁の曲げ破壊機構の検討, 土木学会北海道支部論文報告集, 2015年01月31日~2015年02月01日, 室蘭工科大学(北海道)

松本高志・三重野嵩之・櫻庭浩樹, せん断スパン長の異なる箱形断面 CFRP 梁の単層板破壊に基づく解析, 第5回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 2014年11月12日~2014年11月13日, 土木学会(東京)

谷内湧・北根安雄・中村一史・西崎到・松本高志・三ツ木幸子, GFRP 溝形成部材の圧縮耐力について, 第5回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 2014年11月12日~2014年11月13日, 土木学会(東京)

Takashi Matsumoto, Investigation on the mechanics of CFRP structural members, Conference for Civil Engineering Research Network 2014 (ConCERN2014) jointly held with 7th ASEAN Civil Engineering Conference(ACEC), 2014年11月04日~2014年11月05日, バンドン工科大学(インドネシア)

Takashi Matsumoto, Toshiro Hayashikawa, and Xingwen He, Study on the damage processes of CFRP box beams with the use of image analysis, 10th Japanese German Bridge Symposium, 2014年09月16日~2014年09月19日, ミュンヘン工科大学(ドイツ)

松本高志・何興文・林川俊郎, 画像解析の高密度化による箱形断面 CFRP 梁の損傷挙動の検討, 第17回応用力学シンポジウム講演概要集, 2014年05月10日~2014年05月11日, 琉球大学(沖縄)

倉井翔平・松本高志・林川俊郎・何興文, 異なるせん断スパン長の CFRP 梁における破壊メカニズムの画像解析による検討, 土木学会北海道支部論文報告集, 2014年02月01日~2014年02月02日, 札幌コンベンションセンター(北海道)

境俊宏・松本高志・林川俊郎・何興文，デジタル画像解析による変位計測精度向上の検討，土木学会北海道支部論文報告集，2014年02月01日～2014年02月02日，札幌コンベンションセンター（北海道）

林浩毅・松本高志・林川俊郎・何興文，高密度化による画像解析の精度向上の検討，土木学会北海道支部論文報告集，2014年02月01日～2014年02月02日，札幌コンベンションセンター（北海道）

竹津宗平・松本高志・林川俊郎・何興文，GFRP 梁の断面寸法が曲げ特性に及ぼす影響の検討，土木学会北海道支部論文報告集，2014年02月01日～2014年02月02日，札幌コンベンションセンター（北海道）

三重野嵩之，単層板の破壊を考慮したCFRP 梁の耐荷力と変形に関する検討，土木学会北海道支部論文報告集，2013年02月02日～2013年02月03日，函館高専（北海道）

榎本洸太郎，せん断スパン長が異なる箱形断面 CFRP 梁の曲げ耐力の検討，土木学会北海道支部論文報告集，2013年02月02日～2013年02月03日，函館高専（北海道）

松本高志，台形断面 CFRP 桁の曲げ挙動に関する有限要素解析，第4回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集，2012年11月01日～2012年11月02日，土木学会本部（東京都）

櫻庭浩樹，箱形断面 CFRP 梁の破壊機構に関する検討，第4回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集，2012年11月01日～2012年11月02日，土木学会本部（東京都）

櫻庭浩樹，材料破壊規準に基づいた箱形断面 CFRP 梁の耐荷力算定，年次学術講演会講演概要集，2012年09月05日～2012年09月07日，名古屋大学（愛知）

6．研究組織

(1)研究代表者

松本 高志 (MATSUMOTO TAKASHI)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40301121