

令和 3 年 4 月 12 日現在

機関番号：35409

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04335

研究課題名(和文)炭素繊維束で端部定着された炭素繊維格子板のせん断特性の評価に関する研究

研究課題名(英文) Shear Strengthening with Carbon Fiber Grid Plate Fixed by Carbon Fiber Bundle and PCM

研究代表者

宮内 克之 (Miyuchi, Katsuyuki)

福山大学・工学部・教授

研究者番号：80368779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：炭素繊維格子板(CFG板)の端部を炭素繊維束で固定し、PCMを乾式で吹き付ける定着方法でせん断補強されたRCはり部材の単調載荷試験を行い、炭素繊維束を用いたCFG板の定着方法の可能性を検討した。その結果、提案工法はCFG板端部の定着方法として極めて効果的であり、定着に必要な炭素繊維束の繊維量はCFG板縦筋の引張耐力に相当する引張耐力を有する繊維量で十分であること、PCMの圧縮強度は50 N/mm²程度以上で十分であることを示した。また、提案する定着方法によってせん断補強されたRC棒部材の斜め引張破壊耐力は、既存の式にCFG板縦筋が負担するせん断耐力を加えた式で評価できることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CFG板を定着するための独創的な手法を提案している。さらに、提案する定着方法によってせん断補強されたRC棒部材の斜め引張破壊耐力が、既存の耐力評価式に補強用CFG板縦筋が負担するせん断耐力を加えた式で評価できることが確認され、補強設計式を提案している。また、提案工法は補強用CFG板の固定にポリマーセメントモルタルの乾式吹付け工法および炭素繊維束を使用していることから耐久性が極めて高い。これにより、水門・樋門、道路橋など、特に水環境にある既存鉄筋コンクリート構造物の補強(耐震補強)が加速度的に進み、強靱な国土の形成に貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The shear characteristics of RC beam specimens strengthened with carbon fiber grid plates fixed at their edges by carbon fiber bundles were investigated in terms of the tensile strength of the carbon fiber bundles and the compressive strength of PCM. As a result, strengthening with the proposed method was found to be very effective for shear strengthening of existing RC members. Further, it was established that the carbon fiber bundles used for edge anchoring should have tensile strength at least 1.0 times the tensile strength of the tendons of the carbon fiber grid plate used for shear reinforcement. It was also established that PCM with compressive strength of 50 N/mm² or more should be used. Finally, the formula proposed for the estimation of shear capacity of the strengthened beams was verified to be valid.

研究分野：既設コンクリート構造物の補強

キーワード：炭素繊維 炭素繊維格子板 せん断補強 せん断耐力 乾式吹付け ポリマーセメントモルタル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

炭素繊維格子板（炭素繊維を樹脂で格子状に成形したもの、以下、CFG 板と記述）をポリマーセメントモルタル（PCM）等と組み合わせた補強方法は、施工性、耐久性等の観点から、その有用性が極めて高いことが認知されている。

CFG 板を既存鉄筋コンクリート（RC）構造物の補強に用いる場合には、以下の3点に関して、補強設計に利用できる根拠を明確にしておく必要がある。

- (1) 積層使用の可能性：CFG 板を複数枚重ねて使用することの可能性
- (2) 継手の力学的特性と破壊安全性：CFG 板どうしを繋ぎ合わせて使用することの安全性
- (3) 端部定着：CFG 板を既存コンクリートに固定する方法の検討

これらのうち、CFG 板の積層使用の可能性および継手の破壊安全性に関しては既に論文として公表済である（引用文献 ~ ）。したがって、残された主な課題は端部定着の問題である。

2. 研究の目的

CFG 板と PCM を組み合わせた補強方法は、その有用性が極めて高いにもかかわらず、この方法が実施工に受け入れられない理由の一つに CFG 板端部の定着の問題がある。本研究は、この点を解決しようとするものであり、その手法は極めて簡単かつ施工性に優れたものである。すなわち、定着用炭素繊維を束にしたもの（以下、炭素繊維束と記述）の一端を CFG 板の格点に結束し、他端を既存コンクリートに開けた孔に樹脂で固定するという、まったく新しくかつ独創的な手法である（図1参照）。この手法の提案と力学的特性の解明および設計手法の確立が本研究の目的である。

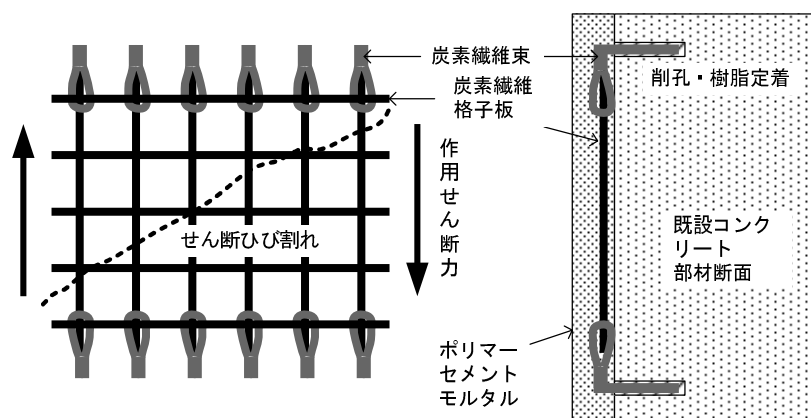


図1 CFG 板端部定着のイメージ

本研究は、CFG 板をせん断補強筋として用いた場合の、以下に示す3点に関して検討した。

- (1) CFG 板端部定着を確保するために炭素繊維束を用いた定着方法の提案と、その力学的特性を明らかにする。
- (2) 補強設計において CFG 板が負担するせん断耐力を算定するうえで必要な安全率、設計耐力、細目等を明らかにする。
- (3) 炭素繊維束を用いた CFG 板の端部定着方法およびその設計手法を確立する。

その際問題となる主な点は、以下である。

定着に必要な炭素繊維量の評価（CFG 板のせん断耐力との関係において）

補強用吹付け材の付着力（強度）の影響の検討（影響がある場合はその影響の評価）

補強設計式の提案

補強設計の検討段階に必要なシミュレーション（例えば、FEM：有限要素解析）に用いる CFG 板のモデルの提案

3. 研究の方法

(1) 補強用吹付け材の付着力（強度）の影響の検討

提案するせん断補強方法は、既存部材と補強部分の一体性を吹付け材と既存コンクリートとの付着力で確保している。また、補強材である CFG 板の定着は、吹付け材の付着力と本研究で提案する CFG 板端部の定着で保証しようとしている。したがって、吹付け材と既存コンクリートとの付着力（強度）の影響を受けるものと考えられる。過去の実験においては、吹付け材として圧縮強度が 70 N/mm^2 程度の PCM を使用してきた。

本研究においては、圧縮強度が 50 N/mm^2 程度の PCM を使用して補強した試験体（図 2 参照）によるせん断破壊試験を行い、次の項目に関して明らかにする。

吹付け材の圧縮強度の影響の有無を確認する。

影響がある場合には、その程度を定量的に明らかにするとともに、設計式への反映方法について検討する。

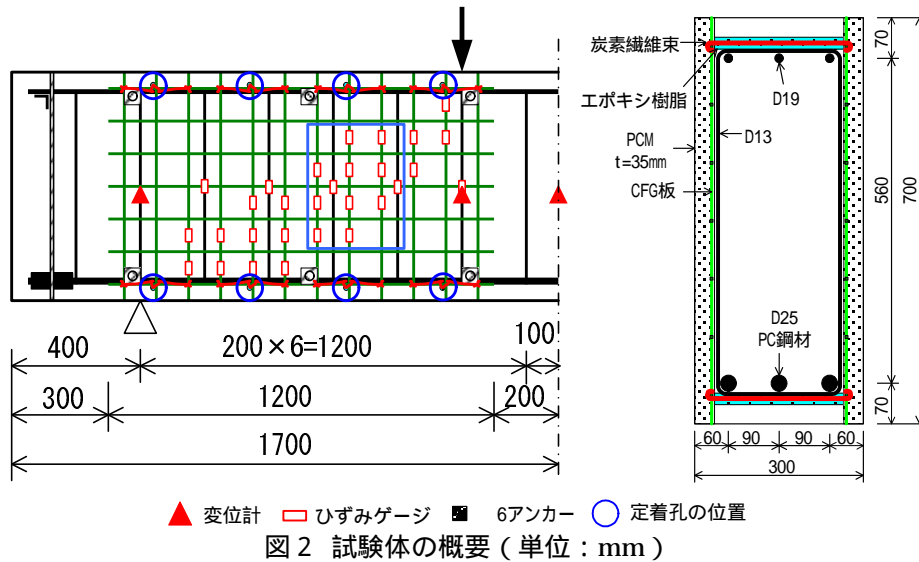


図 2 試験体の概要（単位：mm）

(2) 補強設計の設計式の提案

一般に、炭素繊維で補強された RC 部材のせん断耐力は、以下の式(1)で表される(引用文献)。本研究では、式(1)中に示す補強用 CFG 板が負担するせん断耐力 V_{gu} を算定する式(2)において、定着用炭素繊維で格子板の格子を結束することによる、補強用 CFG 板の格子の強度の減少あるいは結束による応力集中等による定着用炭素繊維束の強度低下を、補強用 CFG 板の強度の有効係数 K_g の形で評価式に取り入れようとするものである。RC はり試験体を用いたせん断破壊試験より得られた知見を整理し、炭素繊維束を用いた CFG 板の端部定着による補強（せん断補強）設計手法を確立する。すなわち、せん断耐力を算定する式(2)において、定着用炭素繊維で格子板の格子を結束することによる、格子板の格子の強度の減少あるいは結束による応力集中等による定着用炭素繊維束の強度低下を評価する有効係数 K_g の値を明示する。

$$V_u = V_{cu} + V_{sy} + V_{gu} \quad (1)$$

ここに V_u : せん断耐力 (N)

V_{cu} : コンクリート系材料が負担するせん断耐力 (N)

V_{sy} : 既設帯鉄筋が負担するせん断耐力 (N)

$$V_{gu} = \frac{2A_g \times f_g \times \alpha \times K_g \times z}{s_g} \quad (2)$$

ここに V_{gu} : 補強用 CFG 板が負担する終局せん断耐力 (N)

f_g : 補強用 CFG 板縦筋の引張強度 (N/mm^2)

K_g : 補強用 CFG 板縦筋の強度の有効係数

α : 補強用 CFG 板縦筋の引張強度の安全率

(3) FEM 解析に用いる CFG 板のモデルの提案

一般的に補強設計の検討段階では、対象構造物の条件を考え、様々な可能性を考慮し、最終的に最もよい補強方法が決定される。その際、FEM などのシミュレーションにより、補強方法を絞り込むことも行われる。このような設計段階における種々の検討を可能にするためには、本研究で提案する補強方法に関しても、解析用モデルを提案しておくことは極めて重要である。そこで、提案方法でせん断補強された RC 部材の力学的挙動を FEM により解析する際に用いる CFG 板のモデル化について解析的に検討する。

検討をとおして、シミュレーションに必要な CFG 板のモデルを提案し、モデルの妥当性に関して検討する。

4. 研究成果

CFG 板の端部を炭素繊維束で固定し、PCM を乾式で吹き付ける定着方法でせん断補強された RC 部材に関して、提案工法の有効性に関して検討した。また、提案工法によってせん断補強された RC 部材のせん断耐力の計算式について検討した。本研究により明らかとなったことは、以下のとおりである。

- (1) 提案工法によりせん断補強された試験体は、破壊に至るまで定着用炭素繊維束の損傷あるいは破断は確認されておらず、提案する定着方法はせん断補強用 CFG 板端部の定着方法として効果的であるものと考えられる。
- (2) CFG 板の定着に必要な炭素繊維束の繊維量は、CFG 板縦筋の引張耐力に相当する引張耐力を有する繊維量で十分であるものと考えられる。
- (3) 圧縮強度が 50 N/mm^2 程度以上の PCM を用いれば、せん断補強用 CFG 板の性能が確実に発揮できているものと考えられる。
- (4) せん断耐力の実験値は土木学会コンクリート標準示方書（引用文献）あるいは道路橋示方書（引用文献）に準じて算定した設計せん断耐力を大きく上回る結果となった。したがって、提案工法によってせん断補強された RC 棒部材の斜め引張破壊耐力は、既存の計算式に CFG 板縦筋が負担するせん断耐力を表す前出の式(2)を加えた計算式で評価が可能である。

< 引用文献 >

MECHANICAL BEHAVIOUR OF RC BEAMS STRENGTHENED WITH LAMINATED PLATES OF CARBON FIBRE GRID AND POLYMER CEMENT MORTAR, Katsuyuki Miyauchi, Hiroyuki Shimoeda, Akira Kobayashi, Proceedings (DVD) of fib Symposium Copenhagen 2015, 2015.5

比較的大きい断面を有す炭素繊維グリッドの重ね継手の力学的特性, 宮内 克之, 下枝 博之, 小林 朗, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.1153-1158, 2014.7

Mechanical Properties of Lap Splices of Carbon Fiber Grid in New Strengthening Method, Katsuyuki MIYAUCHI, Hiroyuki SHIMOEDA, Akira KOBAYASHI, Proceedings (DVD) of 11th International Symposium on Fiber Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures, Guimarães, Portugal, 2013.6

Mechanical Behaviour of Laminated Carbon Fibre Grid with a Large Cross-sectional Area in New Strengthening Method, Katsuyuki MIYAUCHI, Hiroyuki SHIMOEDA, Akira KOBAYASHI, Proceedings (DVD) of IABSE CONFERENCE ROTTERDAM 2013, 2013.5
炭素繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針, 土木学会コンクリートライブラリー101, p.23, 2001.7

(社)土木学会: 2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編: 標準], 2017

(社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 コンクリート橋編, 平成24年3月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 0件）

1. 著者名 宮内 克之、下枝 博之、小林 朗	4. 巻 32
2. 論文標題 炭素繊維格子板の端部を炭素繊維束で定着するせん断補強方法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コンクリート工学論文集	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3151/crt.32.1	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 宮内 克之、下枝 博之、小林 朗	4. 巻 41
2. 論文標題 圧縮強度が50N/mm ² 級のPCMと炭素繊維格子板を用いたせん断補強効果について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 901-906
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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮内 克之、下枝 博之、小林 朗
2. 発表標題 端部定着されたCFG板とPCMを用いてせん断補強された棒部材のせん断耐力式について
3. 学会等名 土木学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮内 克之、下枝 博之、小林 朗
2. 発表標題 PCMの圧縮強度がCFG板を用いたせん断補強効果に及ぼす影響について
3. 学会等名 土木学会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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