

令和元年6月13日現在

機関番号：32704

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06475

研究課題名(和文)連続繊維ロープによるRC部材の機能回復を目指した補強方法の提案

研究課題名(英文) Aiming at the proposition of functional recovery method for RC member by using Continuous Fibre Rope

研究代表者

出雲 淳一 (Izumo, Junichi)

関東学院大学・理工学部・教授

研究者番号：50183166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：高性能連続繊維をロープ状にして、鉄筋コンクリート(RC)の補強材として用い、従来の工法に比べて容易に、RCの機能を回復させることができる手法を提案することを目的に本研究を実施した。せん断損傷を受けたRCはり連続繊維ロープで補強することにより、せん断耐力を回復させることができることを実験により明らかにし、連続繊維ロープを巻付けてせん断区間を補強する場合の補強効果を定量化することができた。さらに、連続繊維ロープの端部定着方法、吹付け工法を併用してロープを保護した場合の補強効果を実験により明らかにすることができ、連続繊維ロープによるRCの補強方法の実用化に大きな成果と考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに築造された膨大なコンクリート構造物が、今後急激なスピードで老朽化していくことが予想されており、コンクリート構造物を長寿命化させる技術は必要不可欠と考えられる。本研究結果から、従来の補強工法に比べて、安価で施工期間も短縮でき、耐久性も高い新しいコンクリートの補強方法を提案することができた。その社会的意義は大きいと考えている。また、連続繊維をロープ状にして、樹脂を用いることなく、コンクリート用の補強材として利用するという手法はこれまでになかった発想である。連続繊維ロープのコンクリート構造物の補強工法への適用がコンクリート工学への発展に繋がると期待している。

研究成果の概要(英文)：Continuous Fibre Rope (CFR) is characterized by a light weight, high strength and no corrosion compared with steel, therefore the application is easier than the conventional restoring method. This study has been done in order to propose the functional restoring method for a shear damaged concrete beam. The pre-shear-damaged concrete beams wound with CFR have been tested and verified to have a sufficient shear resistance. Then, the shear reinforcing effectiveness of CFR for the damaged concrete has been quantified. Furthermore, to clarify the anchored strength of CFR with stainless bands, the test has been done by the newly developed test setup. And the reinforcing effectiveness of CFR covered with sprayed mortar also has been confirmed. Through this study, the restoring method of CFR applied for the damaged concrete has been verified. Consequently, it could be contributed to the restoring concrete design, when CFR is applied for the shear damaged concrete.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：連続繊維ロープ 機能回復 せん断補強 高耐久性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 高性能連続繊維は、従来、炭素繊維やアラミド繊維を樹脂で硬化させてロッドやシート状に成形して、コンクリート用補強材料として用いられてきたが、予め工場で製品化されて使用するために、現場での施工性が悪く、一般に高価な補強材料となっていた。そのような欠点を解消するために、炭素繊維やアラミド繊維によるロッドやシートよりも後発の高性能連続繊維ローブが開発された。高性能連続繊維ローブは、連続繊維ロッドやシートのようにエポキシ樹脂を用いずに連続繊維をローブ状に撚って加工したもので、ロッドやシートに比べ安価で、しかも軽量で、可撓性もあり、建設現場での取り扱いも容易という特徴がある。この連続繊維ローブの特徴を活かした新しいコンクリート用の補強工法の可能性が期待されるが、連続繊維ローブを補強材として用いる研究は、国内外を通して、ほとんど行われていなかったのが現状である。

(2) 最近では、これまで築造された膨大な社会資本を限られた予算で、如何に効率的に維持管理を実施していくかということが大きな課題となっている。補修・補強の際の補強材として、鋼材に代わって、腐食しない、施工性に優れた高性能連続繊維ローブを導入することが可能になれば、コンクリート構造物の高耐久化が図られ、ライフサイクルコストの低減に大きく貢献すると考えられる。このような背景の下に、連続繊維ローブを用いた新しいコンクリート構造物の補強方法の開発は意義のあることと考えている。

### 2. 研究の目的

(1) 我が国のコンクリート構造物は、震災や老朽化により、機能が低下するリスクに曝されている。これまで築造された膨大なコンクリート構造物を限られた予算で効率的に維持管理していくためには、従来の方法よりも、工法の省力化・コスト縮減が図られ、高耐久化が推進できるような工法を新しい発想で構築していく必要があると考えている。

(2) 高性能連続繊維ローブは、エポキシ樹脂を用いずに、コンクリートの外周に巻き付けて端部を定着するだけで、大きな補強効果が得られることを、研究代表者はこれまでの研究で明らかにしている。高性能連続繊維ローブを用いた補強工法が確立されれば、コンクリート構造物の長期的な機能の維持のみならず、施工が容易であるために、災害などにおける2次的被害を抑制したり、応急復旧などにも効果を発揮することが期待される。

(3) 本研究では、損傷したコンクリートに対して連続繊維ローブを巻き付けて補強した場合の補強効果を定式化し、補強設計のための資料を提供する。また、連続繊維ローブを巻き付けて端部定着した場合の定着強度を評価するとともに、吹付モルタルによる表面被覆が連続繊維ローブに与える影響について明らかにする。さらに、補強後の連続繊維ローブの長期的な張力変化を検討するために、連続繊維ローブに長期間における応力変化について考察する。

### 3. 研究の方法

(1) せん断破壊型のRCはり供試体を製作し、せん断補強筋が降伏する荷重レベルを設定して初期載荷を行った後、せん断区間に連続繊維ローブを巻付けて再載荷試験を実施した。再載荷後、連続繊維ローブの補強効果によって、せん断破壊を防ぎ、曲げ破壊型に移行できるように必要なローブの補強量を巻き付け間隔を変化させて実験を行う。せん断補強筋が無い場合、およびせん断補強筋がある場合に、連続繊維ローブを適用した場合のせん断耐荷機構を明らかにして、その定式化を行った。

(2) 連続繊維ローブの長期的な保護のために、RC部材を連続繊維ローブで補強したのち、吹付モルタルで表面保護を施した場合の補強効果について、実験により検証を行った。

(3) 連続繊維ローブをコンクリートに巻き付けて、コンクリート端部に定着させる場合の定着強度を明らかにするための実験を実施した。実験では、連続繊維ローブがコンクリートに定着される部位をモデル化した実験方法を新たに考案して載荷試験を行った。コンクリートブロックを2体製作して、この2体のコンクリートブロックの間に油圧ジャッキとロードセルを設置して、コンクリートブロックに連続繊維ローブで巻付けた後、油圧ジャッキによりコンクリートブロック間を押し広げることにより、連続繊維ローブの定着部の引張強度と伸び性能を評価した。

(4) 連続繊維ローブの供用時における長期的な張力変化を明らかにするために、リラクゼーション試験を実施した。連続繊維ローブを長期的に緊張した状態にして、緊張力の経時変化をデータロガーにより、継続的に測定し、データの蓄積を図った。計測では、まず連続繊維ローブの緊張および定着を可能にするための緊張方法を検討し、定着治具を製作した。その後、内部に鋼製シースを配置したコンクリートはり供試体を製作し、クリープ・乾燥収縮が連続繊維ローブの緊張力の変化に与える影響を少なくするために約3ヶ月間気中養生を行った後、連続繊維ローブに引張強度の約50%の緊張力を与えて、約4ヶ月間張力変化を測定して、緊張力の経

時変化を測定した。1体はシーズ内をグラウトで充填させないアンボンドタイプ、もう1体はノンブリージングタイプの超低粘性高性能グラウトでシーズ内を充填したボンドタイプの2種類とした。

#### 4. 研究成果

(1) せん断補強筋を有していないRCはりに対し、連続繊維ロープの異なる2つのタイプ(アラミド繊維ロープ、およびビニロン繊維ロープ)の補強材を配置した場合のせん断耐力は、図-1に示すような力学モデルを考え、連続繊維ロープが均等にせん断耐力を受け持つ仮定することにより、せん断耐力は式(1)で定式化された。式(1)で算定されるせん断耐力は、実験結果とほぼ一致することが確認された。(図-2参照)

$$V_u = 2T_f h(\sin \alpha - \cos \alpha) / s \quad (1)$$

ここに、 $V_u$ はせん断耐力(kN)、 $T_f$ は連続繊維ロープ1本の当たりの引張強度(kN)、 $h$ ははり高さ(mm)、 $s$ は連続繊維ロープ間隔(mm)、 $\alpha$ は連続繊維ロープが軸方向となす角度(rad)である。

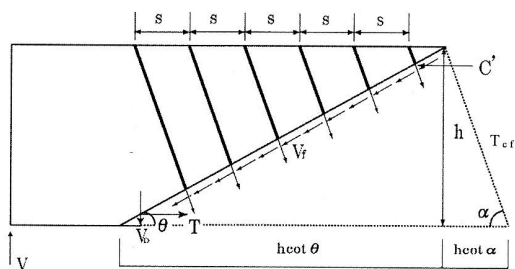


図-1 せん断耐荷機構モデル

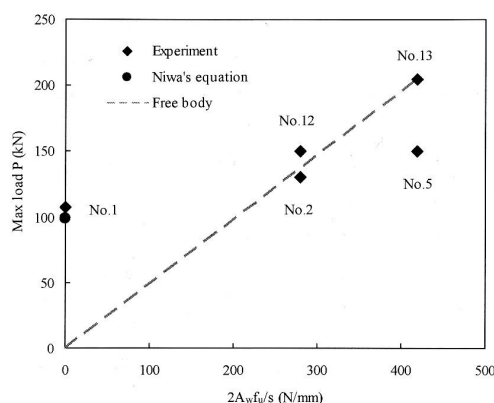


図-2 実験結果と計算結果の比較

(2) せん断補強筋を有するRCはりに対し、せん断補強筋と連続繊維ロープの異なる2つのタイプ(アラミド繊維ロープ、およびビニロン繊維ロープ)の補強材を配置した場合、前項で導出した式(1)を基本として、式(2)でせん断耐力を表すことにした。これは、終局時には連続繊維ロープの伸びが大きいために、ひび割れが拡大し、コンクリートの付着力が低下するために、せん断補強筋による引張抵抗力も減少することが明らかになったためである。図-3は、低減係数  $\beta P_s$  を導入した方が、実験結果を安全側に評価することができることを示している。

$$V_u = V_f + \beta V_s \quad (2)$$

ここに、 $V_f$ は、連続繊維ロープによるせん断耐力、 $V_s$ はせん断補強筋によるせん断耐力、 $\beta$ は終局時におけるせん断補強筋による抵抗力が減少する影響を考慮する係数である。

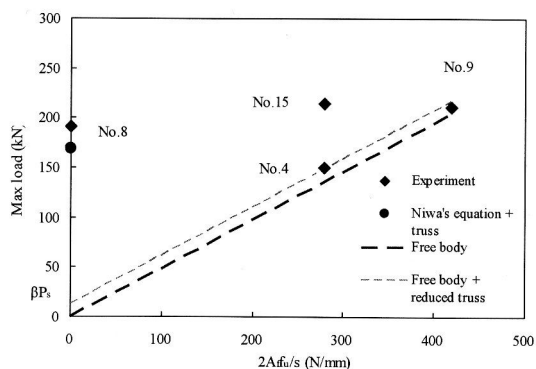


図-3 実験結果と計算結果との比較

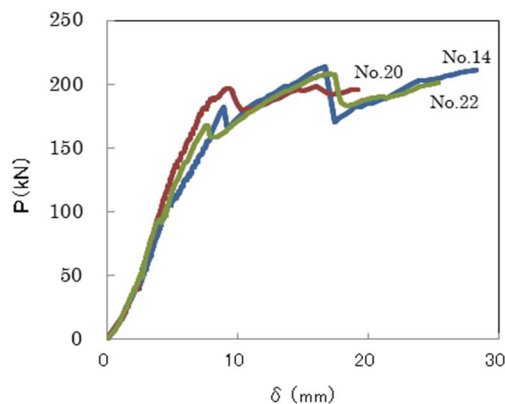


図-4 荷重たわみ曲線の比較

(3) 吹付けモルタル工法と連続繊維ロープによる補強とを併用した場合の補強効果を検証するために、連続繊維ロープで巻き付けた場合とロープで巻き付けさらに吹付モルタルを施した場合の載荷試験を実施して耐荷力の比較検討を行った。試験結果からは、吹付モルタルを施すことにより、斜めひび割れが発生した位置においてロープが破断し、ロープの応力集中が起こるために若干耐力が低下する傾向にあるが、連続繊維ロープの補強効果を阻害するものではないことが明らかとなった。(図-4 参照)

(4) 連続繊維ロープをコンクリート端部で定着する場合、定着強度が十分でない場合には、連続繊維ロープによる補強効果が十分に得られない。連続繊維ロープをコンクリート端部に巻付けてロープを束ね、ステンレス製バンドで締付けて固定することによる定着強度を実験により確認した。定着強度は、ロープをバンドで締め付けたことによる引張抵抗力と隅角部におけるロープとコンクリートとの摩擦力から成る。この2種類の抵抗力から成る定着強度をロープの種類(アラミド繊維ロープとビニロン繊維ロープ)とステンレスバンドの締付け箇所数を実験パラメータとして、定式化することができた。

(5) 連続繊維ロープ(アラミド繊維)自体の長期的な張力の変化を明らかにするために、リラクゼーション試験を実施した。連続繊維ロープをコンクリートはりに緊張定着した状態にして、緊張力の減少量を定量的に評価した。これらの供試体に対して、連続繊維ロープの緊張定着後、4ヶ月に渡る緊張力の経時変化を定着部と供試体端部の間に配置したロードセルにより測定した。今回の実験結果からは、2体の供試体において、緊張後4ヶ月間までの緊張力の減少は、緊張後およそ1週間以内に終了し、最終的にはアンボンドの場合およびグラウトを充填した場合いずれの場合も15%程度の緊張力の低下が確認された。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計4件)

関島謙蔵、出雲淳一：ビニロン繊維ロープでせん断補強した鉄筋コンクリートはりのせん断耐力評価、関東学院大学工学総合研究所報(第45号) 査読有り、pp.11-19、2017年3月

テブシンジャラガラ ジャバハ、関島謙蔵、出雲淳一：連続繊維ロープを巻付けたRCはりにモルタルを吹付けた場合のせん断挙動、第26回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、プレストレストコンクリート工学会、査読有り、CD-ROM、2017年10月

関島謙蔵、出雲淳一：せん断補強筋を有する鉄筋コンクリートはりにビニロン繊維ロープを巻付けた際のせん断挙動、関東学院大学工学総合研究所報(第46号) 査読有り、pp.9-18、2018年3月

関島謙蔵、出雲淳一：多数本のせん断補強筋を有する鉄筋コンクリートはりにビニロン繊維ロープを巻付けた際のせん断挙動、関東学院大学工学総合研究所報(第47号) 査読有り、pp.17-26、2019年3月

### 〔学会発表〕(計0件)

### 〔図書〕(計0件)

### 〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：

国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6．研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：関島謙蔵

ローマ字氏名：Sekijima Kenzo

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。