

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01509

研究課題名（和文）TRC部材の構造設計法の体系化と高性能部材の開発

研究課題名（英文）Systematization of Structural Design of TRC members and Development of High Performance Members

研究代表者

國枝 稔 (Kunieda, Minoru)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：60303509

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではネット状の炭素繊維補強材を用いたコンクリート部材（Textile Reinforced Concrete，以下TRC部材）の実用化に向けて必要な、部材の引張試験方法（主に補強材とコンクリートとの付着試験方法）の提案、TRC部材に必要な構造細目（例えば重ね継手長）の評価方法と構造部材に必要な重ね継手長さの提案、今後期待されるリサイクル炭素繊維の引張試験により、コンクリート用補強材としての利用の可能性を実験的に検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

TRC部材は、炭素繊維補強材の高い力学特性や耐腐食性を利用していることから、鉄筋等の腐食に伴う耐久性の低下を懸念することなく高性能な部材の設計ができるメリットがある。一方で、現時点での課題として、インフラに使用する場合の重ね継手長、繊維補強コンクリートなどとの複合化、コストなどが挙げられる。TRC部材における引張試験や付着試験により、今後様々な補強材についても検討が可能であること、提案された重ね継手長とすることで力学特性が担保できること、リサイクル炭素繊維の試験結果により当該繊維の利用の可能性が促され、今後コストの課題が解決されることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study proposed evaluation method of tensile strength of TRC(Textile Reinforced Concrete) members includes bond strength test, structural detail of TRC members includes lap splice length, and presents test results of tensile strength of recycled carbon fiber itself. Regarding evaluation method of mechanical properties of TRC members, bond strength test method using thin plate made of TRC was proposed. For structural detail, lap splice length in TRC members was determined to ensure structural design of TRC members. Finally, tensile test results of recycled carbon fiber, which was collected by CFRP in automobile industry, were obtained, and it was confirmed that the recycle carbon fiber had enough tensile strength. These obtained knowledges will contribute the use of TRC members in not only new construction phase but also repair/strengthening phase.

研究分野：建設材料

キーワード：炭素繊維 付着試験 構造細目 リサイクル炭素繊維

1. 研究開始当初の背景

炭素繊維などの連続繊維をネット状に加工し、セメント系材料の補強材に用いた Textile Reinforced Concrete (以下 TRC と呼ぶ) は、一般的な鉄筋コンクリートと比較して高強度化、高耐久化、軽量化など、様々な優位性を有している。労働者人口が減少しているコンクリート工学の分野において必要不可欠な技術となり得る。

日本においては、土木学会「連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」が平成8年に制定されている。一般に棒状やグリッド状の連続繊維補強材が対象であり、本研究で対象とするフレキシブルなネット状の連続繊維は適用の範囲外である。言い換えれば、ネット状の連続繊維を用いた TRC に関して、設計方法、試験方法、かぶりの設定方法、定着の考え方などの構造細目、あるいは耐久性の考え方など、ほとんどが明らかになっておらず、それらの設計法に資するデータの蓄積を行う必要がある。

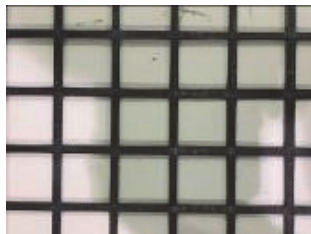
最近の自動車産業や航空機産業における炭素繊維の利用率の増加は目ざましく、一方でそこでの廃材である炭素繊維の利活用について検討が行われている。ここでは、自動車や航空機分野において使用され、熱処理により取り出された長繊維状のリサイクル炭素繊維をコンクリート用補強材としての利用することを最終目標とする。熱処理により取り出された炭素繊維の強度は、加熱温度にもよるが、バージン材と比較して95%程度となることが知られている。TRCの補強材として利用する場合であれば、この程度の低下を許容して使用することは十分に可能であることから、補強材の試験方法、部材の試験方法を確立する必要がある。また熱処理により炭素繊維の表面が変化(やや劣化)することも知られているが、セメントマトリクスとの付着改善に貢献する可能性など、TRCに使用する際の詳細な検討も必要である。

2. 研究の目的

本研究では、主に以下の点を明らかにすることを目的とする。

(1) ネット状連続繊維および TRC 部材の評価に必要な試験方法の確立

本研究で対象とするネット状連続繊維補強材は、日本で一般的に普及しているグリッド状連続繊維とは異なる。図-1に示すように日本で使用されている補強材は交点が剛結されており(X-Y軸が連動)、付着機構も引張力に対して直角に配置されている補強材の機械的な付着が期待できる。一方、欧米で使用されている補強材は、ロール状に丸めることもでき、X-Y軸の補強材が独立しており(両者は紐で編まれている)機械的な付着が期待できない。



(a) X-Y軸が連動しているグリッド状補強材(日本)



(b) X-Y軸が独立しているネット状補強材(欧米)

図-1 ネット状連続繊維補強材の例

ここでは、当該補強材の引張試験、付着試験、TRC部材の引張試験方法を確立する。また、短繊維補強セメント複合材料(FRCC)との複合により、高靱性で高強度な部材の開発を行う。TRC部材では、高強度な炭素繊維補強材が脆性的に破壊するため、終局破壊時の挙動が極めて脆性的である。FRCCとの複合により、部材を高靱性化する方法について検討する。

(2) TRC 部材の構造細目

塩化物イオンの侵入など、耐久性上のかぶりの設定ではなく、力学的に必要なかぶりの設定方法、ネットどうしを継手により接合する場合の考え方、定着長の考え方を実験的に整理し、設計式を提案する。

(3) TRC 部材に用いるリサイクル連続繊維の評価

リサイクル炭素繊維を用いた連続繊維補強材を開発し、引張試験等により性能を確認する。

3. 研究の方法

(1) 炭素繊維とマトリクスの付着試験方法の開発

TRC部材の性能評価を行うにあたり、炭素繊維とマトリクスとの付着を適切に評価する必要がある。ここでは、ネット状の炭素繊維を対象とした付着試験方法を提案した。

本研究で使用したネット状炭素繊維の概形を図-2に、諸元を表-1に示す。X軸、Y軸の炭素繊維は糸で結合されており、主方向の炭素繊維の断面積は 1.91mm^2 である。

提案した付着試験方法を図-3 に示す. ここでは, 埋込み長を変化させた実験によりその妥当性の検討を行った. 実験では, 埋込み長を 25mm から 200mm まで変化させた. 対象としたマトリクスとして, 高強度モルタル, 普通強度モルタルおよび高靱性モルタルとした. 各マトリクスの力学特性を表-2 に示す.

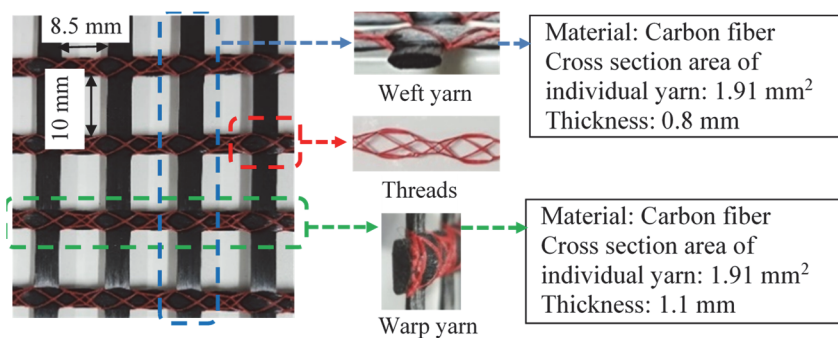


図-2 使用したネット状炭素繊維

表-1 炭素繊維の諸元 (主引張方向)

断面積 (mm ²)	ヤーン距離 (mm)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
1.91	12.5	1700	140-200×10 ³

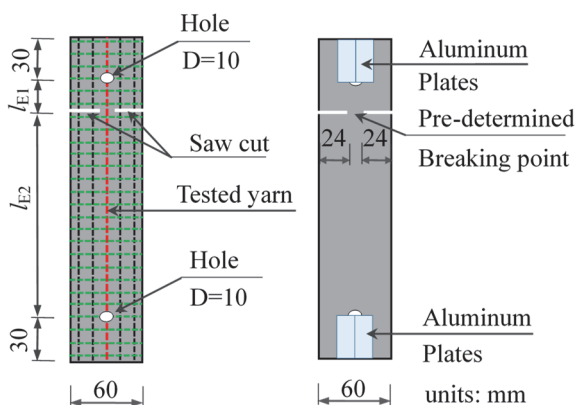


図-3 提案した付着試験用供試体

表-2 使用したマトリクスの種類と特性の例

力学特性	高強度モルタル	普通強度モルタル	高靱性モルタル
圧縮強度 (N/mm ²)	75.3	36.5	40.5
引張強度 (N/mm ²)	7.8	3.6	4.2

(2)TRC 部材の構造細目

ここでは, 一軸引張応力下および曲げ応力下における重ね継手長を明らかにすることを目的として, 実験的な検討を行った. 引張試験用として図-4 に示すように 80mm×900mm×20mm の板状の供試体を作製し, 重ね継手長を 50mm, 100mm, 200mm, 300mm と変化させた. また, 曲げ試験用として, 図-5 に示すように 200mm×1200mm×50mm の板状の供試体を作製し, 同じく重ね継手長を 50mm, 100mm, 200mm, 300mm と変化させた.

(3)TRC 部材に用いるリサイクル連続繊維の評価

ここでは, 自動車分野で用いられる CFRP を焼成して取り出した炭素繊維 (図-6 参照) の引張強度試験を実施した. バージン材のように繊維本数などの測定は困難であるため, 取り出されたヤーン状の繊維を用いて評価を行った. また, 比較のために先の評価で用いたネット状炭素繊維のヤーンを取り出し, 同様に引張試験を行った. 引張試験は, 長さ 300mm の炭素繊維の両端 100mm をアルミパイプと膨張材を用いてグリップ部を作製し, 検長 100mm の引張試験とした. 図-7 に試験後の試験体を示す.

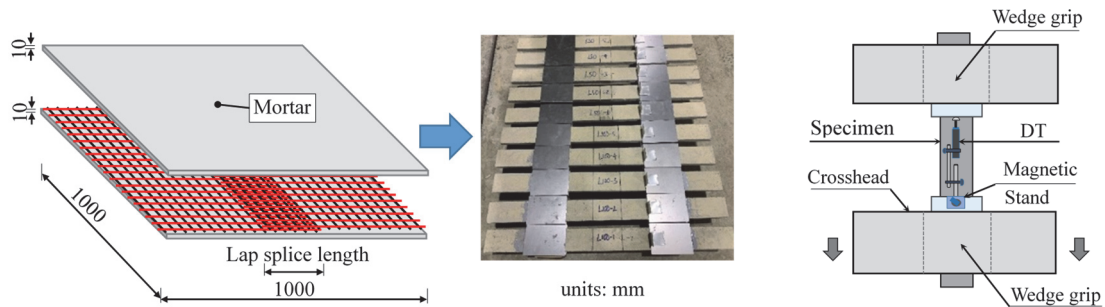


図-4 引張供試体の作製方法と引張試験方法

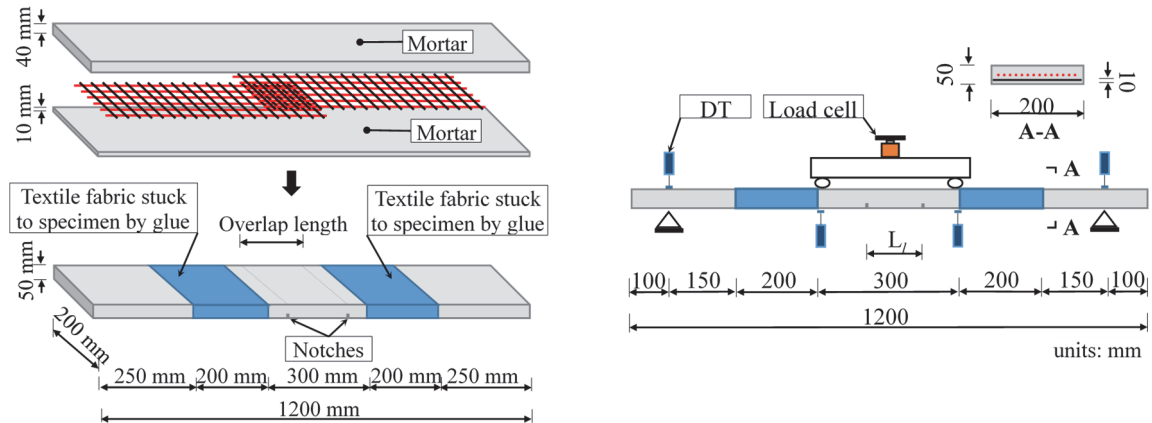


図-5 曲げ供試体の作製方法と曲げ試験方法

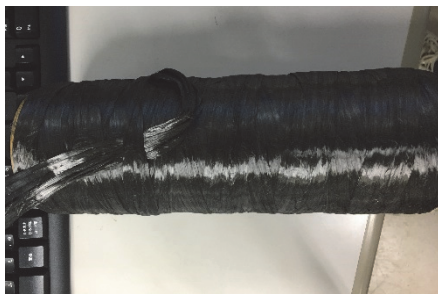


図-6 取り出されたリサイクル炭素繊維



図-7 引張試験後の状況

4. 研究成果

(1) 炭素繊維とマトリクスの付着試験方法の開発

図-8 に、高強度モルタル、普通強度モルタルおよび高靱性モルタルの引張荷重-ひび割れ幅関係をそれぞれ示す。いずれの材料についても、埋込み長が大きくなるほど引張荷重が大きくなっており、また最大荷重を生じた時のひび割れ幅の値が大きくなっている。これは、引抜きに伴って生じる摩擦付着力の影響が大きいことを示しており、マトリクスの強度が高いほど、その影響が大きいことが分かった。また、高靱性モルタルの付着強度は普通強度モルタルと同程度であり、マトリクスの靱性が付着強度に及ぼす影響はなかった。

(2) TRC 部材の構造細目

図-9 および図-10 に、引張応力下および曲げ応力下における重ね継手長 300mm と規準供試体の荷重-変位曲線をそれぞれ示す。図によれば、重ね継手長 300mm を確保すれば規準供試体と同等の力学性能が確保できることが明らかになった。すなわち、構造物内で長さ 300mm の重ね継手により構造部材として接合可能であることを明らかにした。

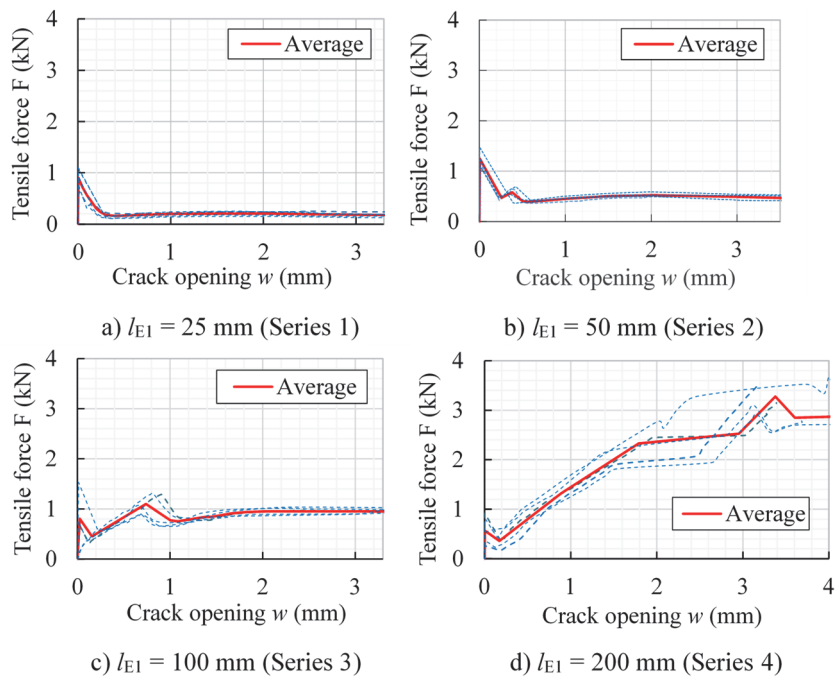


図-8 高強度モルタルの付着試験結果

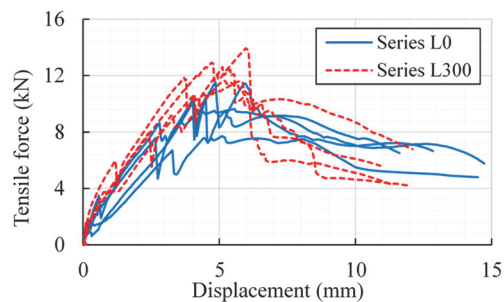


図-9 重ね継手長 300mm と規準供試体との比較 (引張試験)

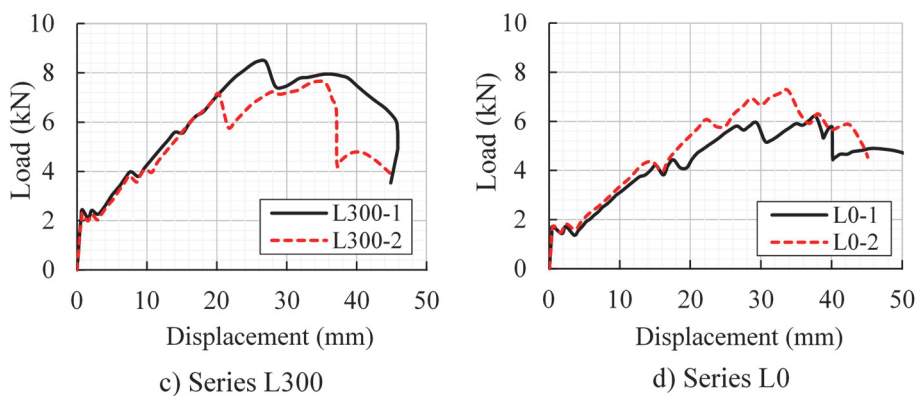


図-10 重ね継手長 300mm と規準供試体との比較 (曲げ試験)

(3) リサイクル連続繊維の評価

リサイクル繊維の引張強度の平均値 (26 本) は 9,070N, 変動係数は 0.19 であり, 比較のためのバージン材の引張強度の平均値 (28 本) は 3,922N, 変動係数は 0.09 であった. 引張強度の直接の比較はできないものの, リサイクル繊維の強度のばらつきはバージン材に比べて大きいことが分かった. このばらつきの大きさを考慮すれば, セメント系材料の補強材として利用できる可能性が示された.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5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 S.M Bui and M. Kunieda	4. 巻 41
2. 論文標題 Evaluation of pull-out behavior of textile reinforced concrete	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the Japan Concrete Institute	6. 最初と最後の頁 401-406
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 S.M Bui and M. Kunieda	4. 巻 19
2. 論文標題 Failure behavior of textile reinforced concrete beams subjected with lap-splice	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the concrete structure scenarios	6. 最初と最後の頁 331-336
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 BUI SI MUOI, MINORU KUNIEDA	4. 巻 H30
2. 論文標題 PULL-OUT TEST TO DETERMINE BOND BEHAVIOR OF TEXTILE REINFORCED CONCRETE	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 H30年度土木学会中部支部研究発表会	6. 最初と最後の頁 455-456
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 BUI SI MUOI, MINORU KUNIEDA	4. 巻 42
2. 論文標題 Anchorage length in Textile Reinforced Concrete beams subjected to bending moment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceeding of the Japan Concrete Institute	6. 最初と最後の頁 1105-1110
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 BUI SI MUOI, MINORU KUNIEDA	4. 巻 20
2. 論文標題 Lap Splice Length of Textile Reinforced SHCC subjected to Uniaxial Tensile Forces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceeding of the Concrete Structure Scenarios	6. 最初と最後の頁 383-388
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 BUI SI MUOI, MINORU KUNIEDA	4. 巻 SP-345
2. 論文標題 Experimental Approach to Determine Lap Splice Length of Textile Reinforced Concrete Members Subjected to Tensile Force	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials, Analysis, Structural Design and Applications of Textile Reinforced Concrete/Fabric Reinforced Cementitious Matrix	6. 最初と最後の頁 59-68
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 2件)

1. 発表者名 S.M. Bui and M. Kunieda
2. 発表標題 Experimental approach to determine lap splice length of textile reinforced concrete members subjected to tensile force
3. 学会等名 American Concrete Institute Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 B.S. Muoi, H. Ando, M. Kunieda, S.C. Lim & S. Terada
2. 発表標題 Flexural failure behavior of textile reinforced concrete
3. 学会等名 IABMAS conference (国際学会)
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
---------	---------