

(58) コンクリート系構造物の補強を目的とした 連続繊維シート定着金物の開発

中村 洋行¹・上田 正生²・高橋 茂治³・鈴木 英之⁴・浅野 芳伸⁵
・藤本 効⁶・加藤 貴久⁷・福山 洋⁸

¹コンステック 技術統括本部 (〒108-0075 東京都港区港南2-12-27)

E-mail: h-nakamura@constec.co.jp

²工博 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: ueda1@eng.hokudai.ac.jp

³川口テクノソリューション 設計部 (〒332-0028 埼玉県川口市宮町18-19)

E-mail: takahashi@kawatec.co.jp

⁴博士(工学) 安藤建設 技術研究所 (〒356-0058 埼玉県ふじみ野市大井中央1-19-61)

E-mail: suzuki-hideyuki@ando-corp.co.jp

⁵奥村組 営業本部 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)

E-mail: yoshinobu.asano@okumuragumi.jp

⁶博士(工学) ベターリビング 筑波建築試験センター (〒305-0802 茨城県つくば市立原2)

E-mail: fujimoto@tbtl.org

⁷三菱化学産資 炭素繊維事業部 (〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-8-2 6F)

E-mail: 5208737@cc.m-kagaku.co.jp

⁸工博 建築研究所 構造研究グループ (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)

E-mail: fukuyama@kenken.go.jp

コンクリート系構造物の補強に炭素繊維シート等の連続繊維シートを使用することがある。特に部材のせん断補強に用いる場合は、矩形あるいは円形断面の部材に連続繊維シートを閉鎖型に巻き付けることで、その効果を発揮する。しかし実際の構造物にはスラブや壁が付くことがあり、閉鎖型に巻き付けることは困難である。筆者らは、巻き付け補強が困難な部材を対象として、施工が容易でかつ品質のばらつきが少ないという特徴を有する、連続繊維シート定着金物を開発した。定着金物には、シートの引張力をボルトのせん断力を介してコンクリートへ伝達させるタイプと、同じくボルトの引張力を介してコンクリートへ伝達させるタイプの二種類がある。本論では定着金物の紹介と適用例、定着金物の性能について報告する。

Key Words : carbon fiber sheets, reinforced concrete, anchorage device, seismic strengthening

1. はじめに

既存のコンクリート系建築物を補強する際に使用する材料の一つとして、連続繊維をシート状あるいはプレート状に成形されたものが使われている。この中で炭素繊維は鋼材と同等以上の弾性係数でありながら、引張強度が高く、軽量で扱いやすいという特長を有する。その特長を生かして、今日までに多くの耐震補強やリニューアルに伴うコンクリート構造物の補強に利用されてきた。

特に矩形あるいは円形断面の部材に対して、閉鎖型に巻き付けることで、コンクリートに対するせん断補強、および拘束による軸圧縮性能の向上が図られる。そのため独立柱の耐震補強では施工性の良さから炭素繊維等の連続繊維シートが使われることが多い。

一方で、実際の梁にはスラブ、柱には袖壁や耐震壁が付くことがあり、このような場合は閉鎖型に巻き付けることは困難であるため、多くの実施例では、独自の定着方法によって閉鎖型あるいは擬似閉鎖型としている。炭

素繊維シート（以下 CF シート）は、その端部が確実に躯体へ定着されることで、十分な補強効果を発揮する。

筆者らは、閉鎖型の巻き付け補強が困難な部材を対象として、施工が容易でかつ品質のばらつきが少ないという特徴を有する定着方法を利用した、CF シートの定着金物を開発した。本報ではその定着性能を引張試験により確認し、さらに適用例として、一度損傷を受けた実大スケールの梁のせん断補強に、この定着金物と CF シートを使用し、加力実験によってそのせん断補強効果を確認したので報告する。

2. コンクリートへのCFシートの定着

(1) 従来の技術

コンクリート表面に CF シートを接着する際は下地処理が重要である。コンクリート表面をケレン掛けし、プライマーを塗布後にエポキシ樹脂を含浸させながら CF シートを貼り付ける。例えば、スラブの曲げ補強ではその接着性を生かして、補強対象箇所の外側に余長をとり、余長部分の付着力で CF シートの定着を確保している。適切な施工がなされれば、貼り付け面に対して引張力を作用させた時の破壊面は CF シートとコンクリートの接着面ではなく、コンクリート内部での引張破壊となり、十分な接着性能を有する。しかし、実際に現場で施工するときには、施工姿勢や施工環境も様々であり、必ずしも実験室で試験用に作成された下地処理や貼り付け工事と同等の施工品質を確保できない可能性がある。また、作業員の習熟度によっても付着強度の差異が出る恐れがある。よって設計で用いる付着強度は、多くの実験結果によって確認された値に、不確定要素によるばらつきを考慮した安全率を乗じることが多い。

炭素繊維を束ねて貫通孔に通し、反対側の炭素繊維と接着することで連続させる工法がある¹⁾。これは、炭素繊維同士が連続しているので、炭素繊維を重ね合わせる長さや孔を通す際の絞り込み角度に無理がなければ力の流れが明快であり、閉鎖型に巻き付け補強した場合と同

等な効果が得られるとされている。貫通孔を介して連続させる場合はよいが、貫通していないコンクリートの定着穴に差し込んで樹脂で固める場合²⁾は、その部分に十分な定着性能を持たせるための施工計画、および管理が重要である。これらの従来の技術は、CF シートとコンクリートの付着力、あるいはコンクリート穴への定着力が十分に確保されている必要がある。

一方で金物等を介して機械的に CF シートを躯体へ定着する方法がある³⁾⁴⁾。図 1 に金物を介して CF シートをコンクリートに定着する例を示す。これらは、金物を介してボルトのせん断力あるいはボルトの引張力によりコンクリートに定着している。図 1a はコンクリートと平鋼の間に CF シートを挟み、ボルトで縫っているが、CF シートと鋼材間には付着力もしくはボルトの締め付けによる摩擦力で応力伝達される。この方法の多くは、実験によりその性能を検証しているが、付着力や摩擦力に対する設計は明確ではない。

図 1b は L 形金物を介してボルトの引張力で伝達する例である。この場合、A 点を支点とするてこ作用により、ボルトに生じる引張力 T_{bo} は CF シートの引張力 T_{cf} の b/a 倍となるため、CF シートの引張耐力よりもボルトの引張耐力を大きくする必要がある。また、L 形金物の出隅部は CF シートの破断を避けるために面取りされている必要がある。

(2) 定着金物の開発

筆者らは、CF シートの引張力を確実にコンクリートへ伝達させることを目的とし、図 2 に示す定着金物を開発した。定着金物は、シートの引張力をボルトのせん断力を介してコンクリートへ伝達させるタイプ A と、同じくボルトの引張力を介してコンクリートへ伝達させるタイプ B の二種類がある。タイプ A は炭素繊維プレート（以下 CF プレート）を押さえるための溝加工が施されており、互いに直交する CF シートと CF プレートを同時に躯体に定着させることが可能である。

図 3 に本定着金物を使用した CF シートのコンクリートへの定着方法を示す。両タイプとも金物内面側とコンクリート躯体で CF シートを押さえるとともに、シートの余長部分を折り返し、金物外面側に接着することで、CF シートの定着を確保している。図 1a に示した

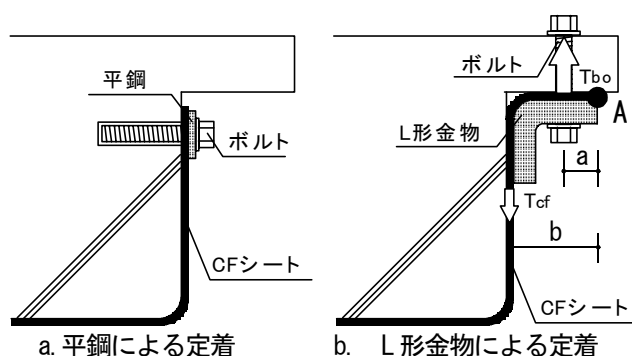


図1 従来の金物を用いたCFシートの定着

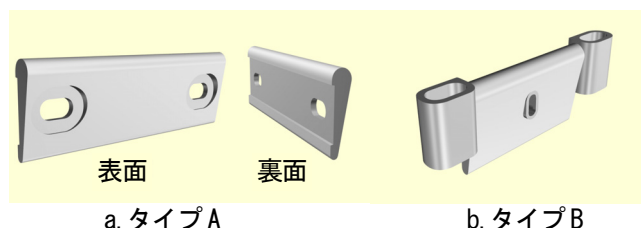


図2 提案された定着金物

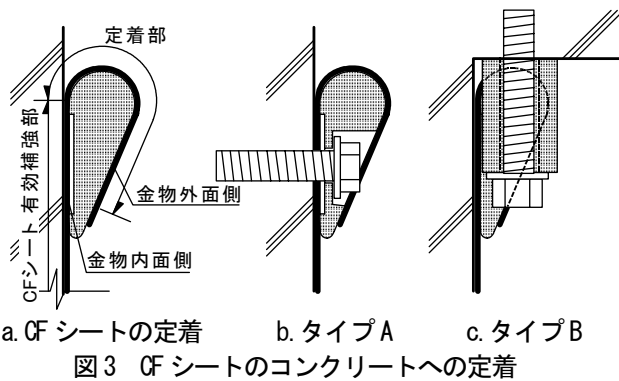


図 3 CF シートのコンクリートへの定着

定着方法だと、CF シートを平鋼で部材の側面に押さえているので、CF シートによる補強部分と CF シートの定着部分が同一となり、その評価法が曖昧である。本定着金物では、図 3a に示すように CF シートの定着部分は円弧の開始部分からであり、CF シートが補強に有効な部分と定着部分が明確に分かれていることが特徴である。

またタイプ A では、CF シートの引張力はボルトのせん断抵抗を介してコンクリートに伝達され、タイプ B ではボルトの引張抵抗でコンクリートに伝達される。つまり本定着金物は、CF シートの定着を金物内で終結させているため、CF シートの補強上有効な引張強度は、シートの設計用引張強度とボルトの設計用強度の小さい方で決定される。よって本工法はコンクリートと CF シート間の付着や定着に依存する工法と比較して、施工環境や人為的要素による強度の差異が出にくいという特徴を有する。

(3) 適用例

図 4 に本定着金物を使用した建築構造物の補強例を示す。本定着金物は CF シートを閉鎖型に巻きつけられない部材を補強する際の端部定着に使用できる。ここに示したのは、スラブ付き梁のせん断補強、袖壁付き柱のせん断補強、既存梁のあと抜き開孔の補強、スラブの曲げ補強である。この他にも耐震壁の補強、壁や床の開孔補強にも使用可能である。

図 5 に土木構造物への適用例を示す。これは柱型が付いた壁式橋脚のせん断補強に適用した例である。この他に、巻き付け補強が困難な橋梁等の補強にも使用可能である。

3. 定着金物の必要曲げ半径と定着長さの検証

本定着金物は、炭素繊維の端部を折り返し、定着金物の側面に炭素繊維の定着部を設けていることを特徴としている。従来、CF シートは隅角部で急激に折り曲げると引張強度が低下するとされており、コンクリート躯体



図 4 本定着金物を使用した補強例(建築物)

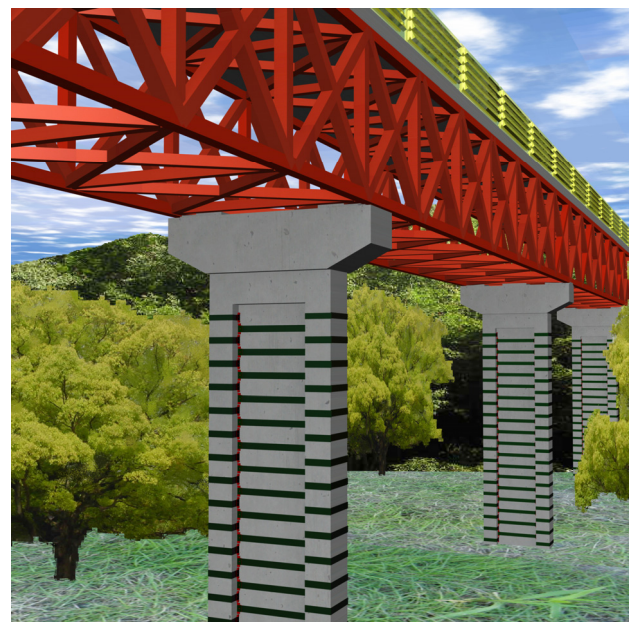


図 5 本定着金物を使用した補強例(橋脚)

に接着する際は躯体の隅角部を円弧状に面取りし、その影響を緩和させている。本定着金物は鋳鋼でできており、図 3a に示すように曲面を含む金物外面側で、CF シートの定着を確保している。このように、CF シートを 180° 以上折り返して鋳鋼に貼り付けたときの必要定着長さや曲線部分の必要曲げ半径を明らかにする必要がある。そこで、実際にこの定着金物を使用し、折り返し部分の曲げ半径と折り返し部分の必要定着長さを検証するための引張試験を行った。

(1) 定着金物を使用した引張試験

図 6 に引張試験片の形状を示す。試験片は上下に定着金物を設け、それぞれの定着金物を 50mm または 25mm 幅の CF シートで連結し、上下に引っ張ることによってその強度と破断位置を確認した。試験片一覧を表 1 に示す。試験の要因は定着金物の曲げ半径と CF シートの層数、および定着金物内面の接着の有無とし、各要因に対して 3 本の試験片を用意した。曲げ半径の影響を調べる試験で

は、曲げ半径が異なる定着金物を試験片の上下に設け、CFシートの破断箇所を調べた。使用したCFシートは目付量が 300g/m^2 、厚さ 0.167mm 、保証引張強度が 3400N/mm^2 である。

(2) 加力方法

図7に加力装置図を示す。加力装置は2本のH形鋼とそれを端部で連結するピン、および押し広げる油圧ジャッキで構成されている。図7に示すようにピンと反対側の端部に試験片をボルトで固定し、上下鉄骨間に挟んだ油圧ジャッキで押し広げることで、試験片に引張力を作用させた。加力は一方向単調載荷とした。試験片に作用する引張力は式(1)から算出される。

$$T_{cf} = P_j \cdot L_j / L_{cf} \quad (1)$$

ここで、 T_{cf} : 試験片に作用する引張力(N)、 P_j : 油圧ジャッキの荷重(N)、 L_j : ピンからジャッキの芯までの距離(mm)、 L_{cf} : ピンから試験片までの距離(mm)である。本実験では $L_j = 650\text{mm}$ 、 $L_{cf} = 850\text{mm}$ であるので、 $T_{cf} = 0.765 \cdot P_j$ となる。

(3) 試験結果

表1に引張試験結果の一覧を示す。表中の引張強度は各々3本の平均値とした。引張強度は多少のばらつきがあるものの、CFシートが2層までの試験片は直線部で破断しており、曲げ半径による影響は見られなかった。また、3層の試験片は曲線の開始部分での破断が認められたが、その引張強度は保証引張強度の 3400N/mm^2 以上であった。金物内面側の接着の有無は定着性能に影響がなかった。

図8に既往の引張試験結果^{5),6)}との比較を示す。定着金物の定着部にCFシートを接着している本工法による結果は、既往の試験結果を上回る定着性能を示しており、曲げ半径が10mm以上であれば、CFシート2層までは直線部で破断することが確認され、同じく3層まではその強度が保証引張強度以上であった。

4. 構造実験による検証

(1) 試験体

本定着金物とCFシートによる補強効果を確認するために実大スケールの梁試験体による加力実験を実施した。図9に試験体の形状を示す。ここでは、一度加力してせん断破壊した梁のひび割れをエポキシ樹脂で補修し、本定着金物を用いて梁側面に定着したCFシートによってせん断補強した。

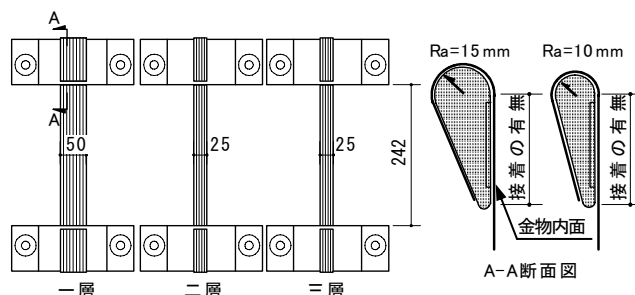


図6 引張試験片の形状図

表1 引張試験片および試験結果の一覧

試験片 記号	要因				試験結果	
	層数	幅 $w_{cf}(\text{mm})$	断面積 $A_{cf}(\text{mm}^2)$	R部曲げ 半径 $R(\text{mm})$	金物内側 の接着	引張強度 (N/mm^2)
S10B	1	50	8.35	10	有り	4050
S10N	1	50	8.35	10	無し	3616
S15B	1	50	8.35	15	有り	4284
S15N	1	50	8.35	15	無し	4808
W10B	2	25	8.35	10	有り	4437
W10N	2	25	8.35	10	無し	3958
W15B	2	25	8.35	15	有り	3943
W15N	2	25	8.35	15	無し	4263
T10B	3	25	12.5	10	有り	3859
T10N	3	25	12.5	10	無し	3969

*T10Bの破断位置は直線部1本R部2本

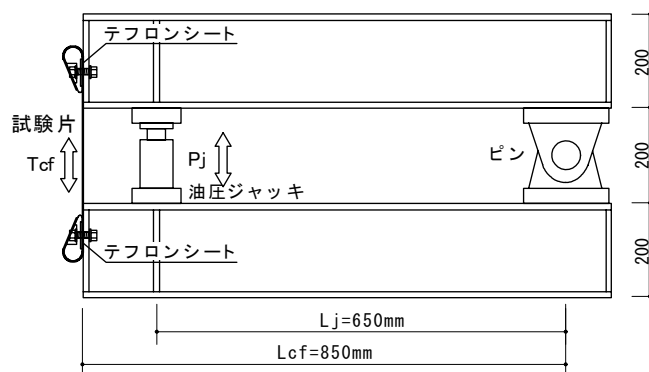


図7 引張試験の加力装置

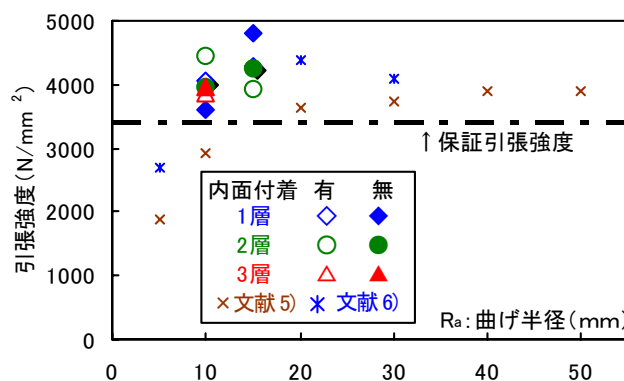


図8 面取り半径と引張強度の関係

まず、せん断破壊が先行するように配筋された試験体に、正負交番繰り返しによる逆対称曲げモーメントを載荷した。写真1に補修前の試験体の最終破壊状況を示す。最大耐力時の部材変形角は $1/200\text{rad}$ であり、その後 $1/100\text{rad}$ まで載荷した。最終加力までの間に肋筋が数本切断したような音が発生し、最大ひび割れ幅は約 7mm

であった。加力終了後に、主なひび割れにエポキシ樹脂を低圧注入した(写真 2)。CF シート等による補強は図 9 に示すように、梁側面のスラブを想定した部分の下側に、樹脂アンカー、全ネジボルト、および連続繊維定着金物を介して CF シートを U 字形に貼り付けた。また、材軸方向には定着ボルトが通る孔を設けた炭素繊維プレート(以下、CF プレート)を貼り付けており、それを連続繊維定着金物で押さえている。この材軸方向の CF プレートは、陽な形でせん断耐力への寄与を期待されていないが、定着ボルト付近へ伸展するひび割れの抑制、およびスラブ下でのトラス機構の形成に効果があると考えている。

(2) 実験結果

図 10 にせん断力-部材変形角関係を示す。エポキシ樹脂によるひび割れの補修、および CF シートによる補強によって剛性が回復し、せん断耐力が増加した。写真 3 に補修補強試験体の最終破壊状況を示す。1/100rad.に至るまでの間、CF シート間にせん断ひび割れが徐々に伸展したが大きく開くことはなく、CF シートによるせん断補強が有効であったと考えられる。最大耐力付近で上端主筋の周りに付着割裂ひび割れが伸展し、1/100rad.の正負載荷後に CF シートによる補強がされていない上端主筋の周りが付着割裂破壊して耐力低下した。

(3) 定着性能の妥当性

図 11 に CF シートのひずみ分布を示す。CF シートのひずみが 7000μ に達しているが、この時点で定着金物部での CF シートの剥離や破断は見られず、樹脂アンカーや定着ボルトの抜け出しも確認されていない。よって、本定着金物によって定着された CF シートは、設計で用いる 0.7%ひずみ時までその定着性能が確保されていると考えられる。今回の補修補強試験体は、定着ボルトの周囲を CF プレートと連続繊維定着金物で押さえ、CF シ

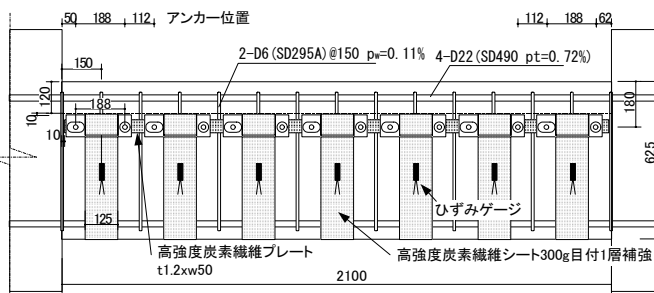


図 9 補強試験体の形状

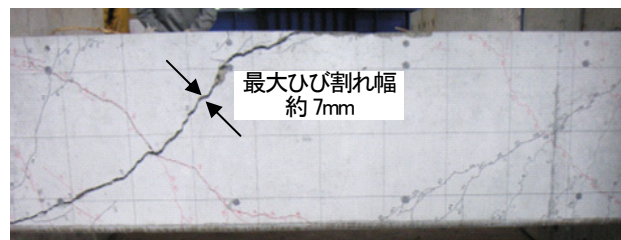


写真 1 補修前の試験体(最大変形角 1/100rad.)



写真 2 ひび割れ補修, 樹脂アンカー施工後

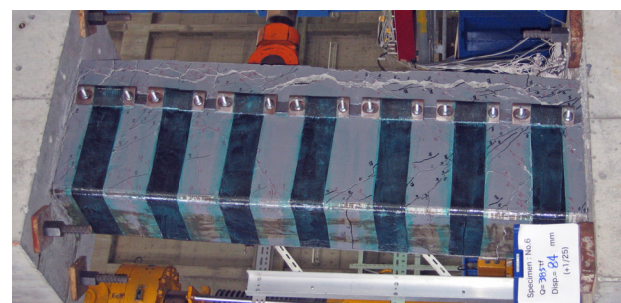


写真 3 補修, 補強試験体の最終破壊状況

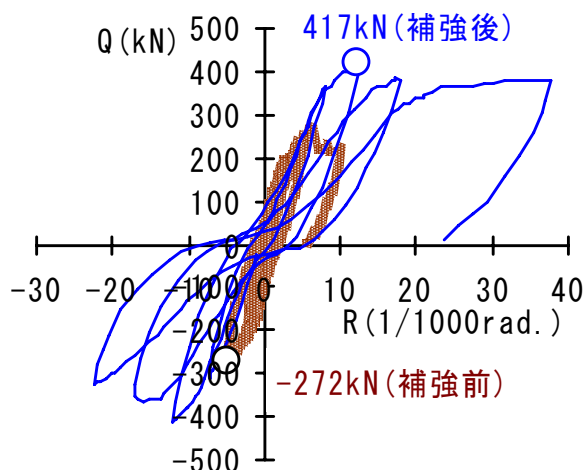


図 10 せん断力(Q)-部材変形角(R)関係

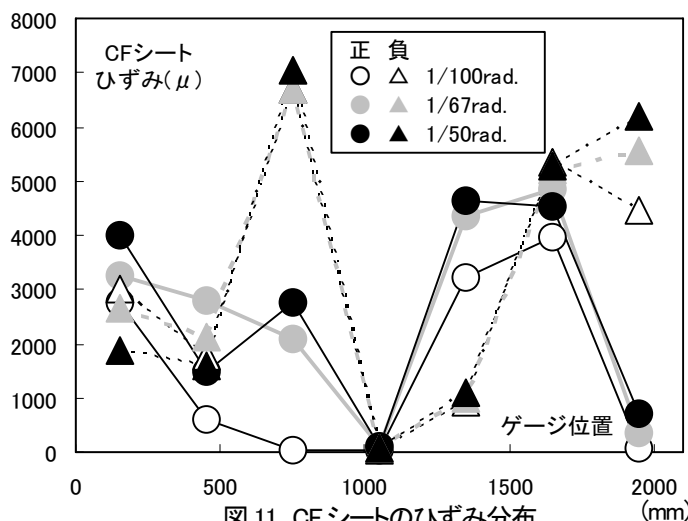


図 11 CF シートのひずみ分布

ートを梁の側面と下面へ U 字形に巻き付け補強している。この方法により、CF シートで補強されていない上端主筋付近の付着割裂破壊までは、せん断補強が有効であったと考えられる。

この他にも筆者等は、本定着金物とCFシートを使用した工法の一つとして、図4に示した既存梁の開孔補強工法を提案しており、実験により補強効果を確認し、耐力評価式を提案している⁷⁾。既存梁の開孔補強工法については、(財)ベターリビング一般技術規準適合性評定 CBL RC009-07を取得している。

5. まとめ

- (1) コンクリート系構造物の補強に使用するCFシートを確実に躯体へ定着する定着金物を開発した。本定着金物によればCFシートの引張力を、ボルトのせん断強度あるいは引張強度を介して明確に躯体へ伝達させることが可能である。本報では実験により定着金物の形状の妥当性を確認した。また、実大梁部材において、せん断補強に有効であることを確認した。
- (2) 本定着金物を使用したCFシートの引張試験では、2層以下の試験片がCFシートの直線部で破断し、3層では曲線の開始部分で破断した。その引張荷重はすべて保証引張強度を上回っており、定着金物の曲げ半径10mmと金物背面の約100mmの定着長の妥当性が確認された。
- (3) 梁側面に本定着金物で定着されたCFシートは7000 μ ひずみまでは、その定着が確保されていることが実験結果より明らかとなった。よって本工法によって定着されたCFシートのせん断補強用設計強度は0.7%

ひずみ時の応力度とする事ができる。

参考文献

- 1) 矢部喜堂, 森田司郎, 松崎育弘他28名: 壁付きRC柱の新しい耐震補強工法(CFアンカー)の開発 (その1~8), 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2, pp21~36, 1999.9
- 2) 塚越英夫, 神野靖夫, 池谷純一, 矢部喜堂: 炭素繊維シートとCFアンカーにより補強されたRC梁の構造的な性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2, pp65-66, 1999.9
- 3) 藤田直人, 永井仁, 有留義朗, 金久保利之, 松井雅明: CFRPシートを用いた既存T型RC梁の耐震補強に関する研究 (その1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2, pp183~186, 1998.9
- 4) 福山洋, 本橋健司, 藤本効, 中村洋行, 石橋久義, 浅野芳伸, 鈴木英之: 連続繊維シートにより補強された柱部材の諸要因による影響, 連続繊維補強コンクリートに関するシンポジウム論文集JCI-C43, 日本コンクリート工学協会, pp133-140, 1998.5
- 5) CFRLネサンス協会: リペラーク技術データ集, 1998.12
- 6) 鉄道総合技術研究所地下鉄炭素研究会: 炭素繊維シートによる地下鉄RC柱の耐震補強設計・施工指針, 山海堂, 1997.8
- 7) 中村洋行, 鈴木英之, 上田正生, 福山洋: 連続繊維シートと鋼管により開孔補強された既存梁のせん断耐力評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.1627-1632, 2007

DEVELOPMENT OF ANCHORAGE DEVICE FOR CONTINUOUS FIBER SHEETS WITH THE INTENTION OF STRENGTHENING FOR CONCRETE CONSTRUCTION

Hiroyuki NAKAMURA, Masaiki UEDA, Shigeharu TAKAHASHI, Hideyuki SUZUKI, Yoshinobu ASANO, Isao FUJIMOTO, Takahisa KATOH and Hiroshi FUKUYAMA

It is urgently necessary to promote seismic strengthening for reinforced concrete construction. Carbon fiber sheet is a useful material as shear reinforcement of the members which have closed section, like circular and rectangular column. However, the slab or the wall is attached to structural frames, like columns and beams. So the anchorage devices used for fixing carbon fiber sheets to concrete member for seismic strengthening was developed. Anchorage capacity due to both the shape and the bond length of the anchorage devices was investigated and defined by the tension tests of CF sheet with the anchorage devices. In this paper application examples for building and civil engineering were introduced.