

# 炭素繊維貼付けによる既存部材の補強に関する研究（その1）

——シート状炭素繊維補強材の基礎的試験——

岡野素之 木村耕三  
小嶋克朗

## A Study on Strengthening with Carbon Fiber of Existing Reinforced Concrete Structure (Part 1)

——Fundamental Tests of Sheet-shaped Carbon Fiber Reinforced Plastics——

Motoyuki Okano Kohzo Kimura  
Yoshiro Kobatake

### Abstract

A strengthening method using carbon fiber has been developed and used on existing reinforced concrete chimneys. In order to investigate the fundamental performance of the method, four tests were carried out about the strength and adhesion of sheet-shaped carbon fiber reinforced plastics (CFRP), and the following results were obtained: ① For appraising the strength of CFRP, in case of a single ply, the suitable shape of pieces for tension tests are width of 10 to 15 mm and length 6 to 10 times width. ② The length of fixing CFRP to concrete required is at least 20 cm. ③ The length of a lapped joint of CFRP is at least 10 cm. ④ Although the strength of adhesion of concrete is lowered slightly by accelerated artificial exposure, there is no special problem about structural behavior.

### 概要

既存部材のコンクリート表面に炭素繊維を樹脂で貼付けて補強する工法を開発し、既に鉄筋コンクリート煙突の耐震補強に採用してきた。本工法の基礎的性能を把握するため、シート状炭素繊維補強材の強度と貼付け面の性能に着目し、4項目の試験を実施した。試験の結果、次のことがわかった。① 重ね層数1層の場合、引張試験片は、幅は10～15 mm、長さは幅の6～10倍の形状・寸法ならば補強材の強度を評価できる。② 補強材とコンクリートとの定着長さは20 cm以上必要である。③ 補強材相互の重ね継手長さは10 cm以上必要である。④ 補強材とコンクリートとの接着面の強度は促進暴露によりやや低下するが、構造的に特に問題はない。

## 1. 序

炭素繊維の『軽量、高強度、高耐久性』等の優れた特長を生かし、既存鉄筋コンクリート部材の表面に炭素繊維を樹脂で貼付けて補強する工法を開発してきた<sup>1)</sup>。これは既に鉄筋コンクリート煙突の耐震補強に於て実績があり、橋脚の補強にも応用されようとしている。

本工法は、新素材である炭素繊維に樹脂を含浸させてコンクリート表面に接着し補強材とするため、補強材の強度、補強材とコンクリートとの接着力、及び耐久性等の基礎的性能を把握する必要がある。

本報告は、補強材の強度と貼付け面の性能に着目して実施した以下の4項目の基礎的試験について、概要と結果に検討を加えたものである。

- ① 補強材の引張強度試験
- ② 補強材のコンクリートへの定着長さ試験
- ③ 補強材相互の重ね継手長さ試験
- ④ 補強材とコンクリートとの接着面の促進暴露試験

## 2. シート状炭素繊維補強材

シート状炭素繊維補強材（以下補強材と呼ぶ）とは、炭素繊維を1方向に引きそろえて並べ、未硬化の樹脂でシート状に成形した材料（以下UDプリプレグと呼ぶ）に別の樹脂を含浸・硬化させたものである。

UDプリプレグには、石炭ピッチを原料とする炭素繊維（直径7 $\mu$ 、密度1.8 g/cm<sup>3</sup>）が単位面積（m<sup>2</sup>）当たり175 gf使用されており、これは炭素繊維の厚みに換算すると0.097 mmに相当する。

## 3. 補強材の引張強度試験

### 3.1 試験の概要

試験片の形状・寸法及び層数の強度への影響を把握し試験方法を検討するために、これらを変化させ引張試験を実施した。

試験片は合計48種類、各種類3体で、パラメーターは次の通りである。

- ① 幅 : B = 5, 10, 15, 20, 25 mm
- ② 長さ : L = B × (6, 7.5, 10, 15, 30)
- ③ 重ね層数 : n = 1, 2, 3 層

試験片は、UD プリプレグに常温硬化型のエポキシ樹脂を含浸・硬化させた後、加力と繊維の方向を合わせ所定の形状・寸法に切断し、新しく考案した鋼製の治具に図-1 に示すように接着剤で固定した。なお重ね層数が複数の試験片は樹脂を含浸させた後、各層の繊維方向をそろえ重ね合わせた。

試験はアムスラー型万能試験機を使用した。加力速度は補強材のひずみで管理し 100 μ/sec 程度とした。

### 3.2 試験結果とその検討

代表的な破断状況と応力-ひずみ関係を、写真-1 と図-2 にそれぞれ示す。なお応力度の評価は炭素繊維の実断面積で行なった。各試験片とも、加力に従いひずみが増加し約 12,000~15,000 μ で破断し、ばらばらに飛散した。応力とひずみは原点から破断までほぼ直線関係にあり、この種の高強度繊維特有の性質を示した。

引張強度と幅の関係を、重ね層数毎に分けて図-3 に示す。これより2層の場合は強度への幅の影響は顕著ではないが、1層の場合は 20 mm, 3層の場合は 15 mm 以上幅が広がると強度が低下する傾向にあることがわかる。また重ね層数の強度への影響は明瞭ではなく、更に検討が必要と考えられる。

引張強度と長さの関係を、幅毎に分けて図-4 に示す。全体に試験片が長くなると強度が低下する傾向があり、B=5, 15 mm では L=15B から、B=10, 20, 25 mm では L=10B からそれぞれ強度が低下する。

このような結果には、形状・寸法の違いが、試験片の製作上の精度に影響したことも考えられる。

以上の結果から、重ね層数1層の場合、幅は 10~15 mm, 長さは幅の 6~10倍の範囲にすれば、補強材の強度を評価できると考えられる。

## 4. 補強材のコンクリートへの定着長さ試験

### 4.1 試験の概要

補強材の強度を、コンクリートへ伝達させるのに必要

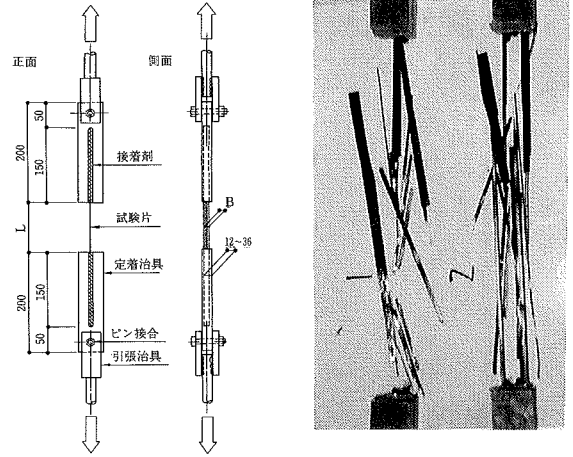


図-1 引張試験片と治具 写真-1 破断状況の例

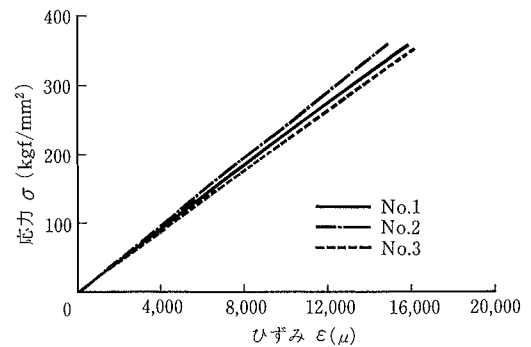


図-2 応力-ひずみ関係の例

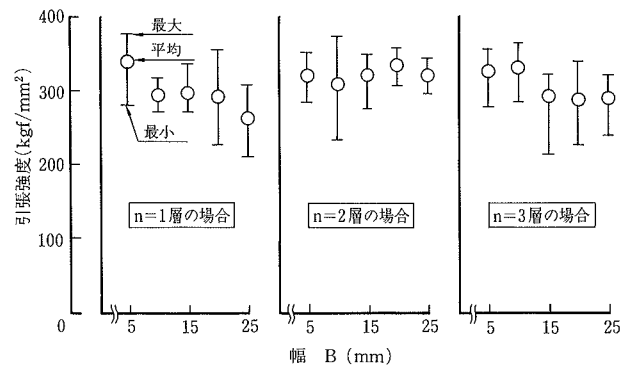


図-3 引張強度と幅の関係

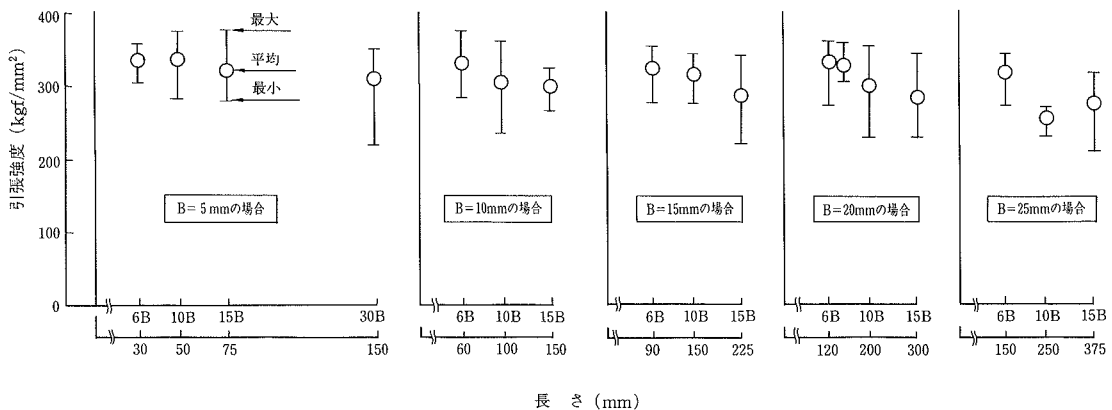


図-4 引張強度と長さの関係

な定着長さを把握するため、表面に補強材を貼付けたコンクリートブロックを用い接着力試験を実施した。

パラメーターは補強材とコンクリートの接着長さ ( $L_b=4, 10, 20$  cm の3種類) で、試験体は各2体とした。

試験体の形状・寸法を図-5に示す。試験体は、断面  $100 \times 100$  mm、長さ 400 mm で、中央には試験時にひびわれを発生させるためノッチを設けた。

接着面は型枠 (化粧合板) 面で、コンクリート表面が十分乾燥した状態でプライマーを2回塗布した。翌日樹脂を使用して、補強材 (1層) を試験体の両面 (ノッチの無い面) に貼付けた。

コンクリートは生コンを使用した。試験時の圧縮強度は  $306 \text{ kgf/cm}^2$ 、引張強度は  $22.4 \text{ kgf/cm}^2$  であった。

試験はアムスラー型万能試験機 (200 tf) を使用し、試験体に埋め込んだ鉄筋を引張って行なった。

#### 4.2 試験結果とその検討

破壊状況の例を写真-2に示す。破壊状況は次の3種類に分かれた。 $L_b=4$  cm ではコンクリートの割裂で、 $L_b=10$  cm では接着面の剝離で破壊しており、補強材はほとんど破断しなかった。これに対して  $L_b=20$  cm では補強材が破断して破壊した。

試験結果の一覧を表-1に示す。最大荷重は付着長さが長いほど大きく、補強材が破断した付着長さ 20 cm の試験体では平均  $1,520 \text{ kgf}$  であった。

以上から、定着長さは 20 cm 以上あれば接着面での剝離を防ぐことができると考えられる。

### 5. 補強材相互の重ね継手長さ試験

#### 5.1 試験の概要

補強材の強度を相互に伝達するために必要な重ね継手長さを把握するため、表面に補強材を貼付けたコンクリートブロックに、さらに補強材を重ねて貼付け、接着力試験を実施した。

パラメーターは、補強材相互の重ね長さ ( $L_j=4, 10, 16$  cm の3種類) で、試験体は各2体とした。

試験体の形状・寸法を図-6に示す。試験体は、前述4章の試験と同一のコンクリートブロックを使用し、試験体の両側 (ノッチのある面) に補強材を貼付けた後、ノッチの両側にわたって試験部分に相当する補強材を貼付けた。その他の試験方法は前述4.1節と同様である。

#### 5.2 試験結果とその検討

破壊状況の例を写真-3に示す。破壊状況は次の2種類に分かれた。 $L_j=4$  cm では補強材重ね部分の剝離により破壊したのに対し、 $L_j=10$  及び 16 cm では、ノッチ部分での補強材の破断により破壊した。

試験結果の一覧を表-2に示す。最大荷重は、剝離により破壊した  $L_j=4$  cm の場合だけが他に比較し小さかった。 $L_j=10$  及び 16 cm では、両者はほぼ同じ荷重 (約  $1,700 \text{ kgf}$ ) で補強材が破断し、重ね長さの影響がないことが分かる。

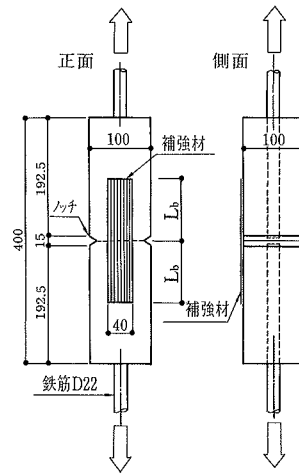


図-5 試験体の形状・寸法 (定着長さ)

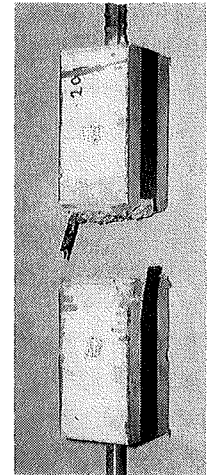


写真-2 破壊状況の例 (定着長さ)

表-1 試験結果の一覧 (定着長さ)

接着長さ (cm)	最大荷重*1 (kgf)	平均付着応力度*2 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊状況
4	1,120	35.0	コンクリート割裂
10	1,390	17.4	補強材剝離
20	1,520	—	補強材破断

注) \*1. 2体の平均値。\*2. 最大荷重を付着面積(2面)で除した値

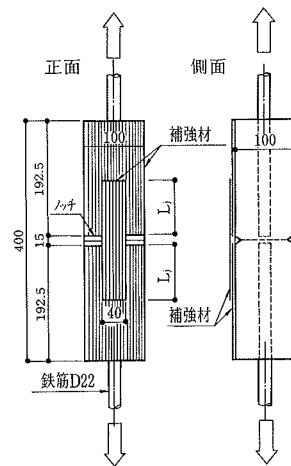


図-6 試験体の形状・寸法 (重ね継手長さ)

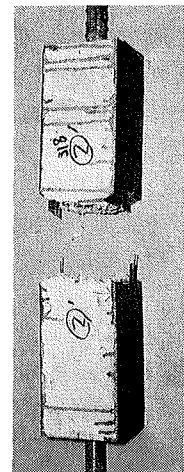


写真-3 破壊状況の例 (重ね継手長さ)

表-2 試験結果の一覧 (重ね継手長さ)

重ね長さ (cm)	最大荷重*1 (kgf)	平均付着応力度*2 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊状況
4	1,200	37.5	補強材剝離
10	1,680	—	補強材破断
16	1,660	—	補強材破断

注) は表-1と同じ

以上から、重ね継手長さは10 cm 以上あれば接着面での剥離を防ぐことができると考えられる。

## 6. 補強材とコンクリートとの接着面の促進暴露試験

### 6.1 試験の概要

補強材とコンクリートとの接着面の耐久性能を把握するために、表面に補強材を貼付けたコンクリートブロックを使用し、促進暴露後、接着力試験を実施した。

試験のパラメーターは、促進暴露時間（0～4,000 hr の5種類）で、試験体は各3体とした。

試験体の形状・寸法を図-7に示す。試験体は、断面40×40 mm、長さ100 mmのブロックを2体つぎ合せた形式である。つき合せ部の側面（片側）には補強材を貼付け（25×25 mm、1層）しており、ブロック相互は補強材だけで連続している。

促進暴露はJIS A1415によりサンシャインカーボンタイプのウェザロメーターで実施した。コンクリートの圧縮強度は暴露終了時で597 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

試験は、新しく考案した鋼製治具でアムスラー型万能試験機を使用し実施した、試験状況を写真-4に示す。

### 6.2 試験結果とその検討

破壊状況の例を写真-5に示す。破壊状況は大きく2種類に分かれた。暴露なしの3体と暴露2千時間の内1体は、補強材にコンクリートの表面が付着したまま剥離したのに対し、その他は樹脂の接着面で剥離している。

最大荷重と促進暴露時間の関係を図-8に示す。最大荷重は、補強材にコンクリートの表面が付着して剥離した試験体は平均407 kgfで、その他の平均342 kgfに比較して大きかった。全体に、最大荷重は促進暴露によりやや低下する傾向が見られ、暴露なしの試験体に比較し、暴露1,000～4,000時間では平均で10～18%低下した。

以上の結果から促進暴露により劣化は見られるが強度で多少劣化する程度で、安全率の取り方等で十分対応でき、構造的に特に問題はないと考えられる。

## 7. まとめ

炭素繊維補強材の強度と貼付け面の性能について基礎的試験を実施した結果次のことが分かった。

- ① 引張強度は、重ね層数1層の場合、幅は10～15 mm、長さは幅の6～10倍の試験片を用いて評価できる。
- ② 補強材とコンクリートとの定着長さは20 cm 以上必要である。
- ③ 補強材相互の重ね継手長さは10 cm 以上必要である。
- ④ 接着面の強度は、促進暴露によりやや低下する傾向はあるが構造的に特に問題はない。

## 謝 辞

この研究は、三菱化成(株)との共同で実施したものであり、UD プリプレグ、樹脂の提供並びに促進暴露を実施して頂きました関係各位に感謝の意を表します。

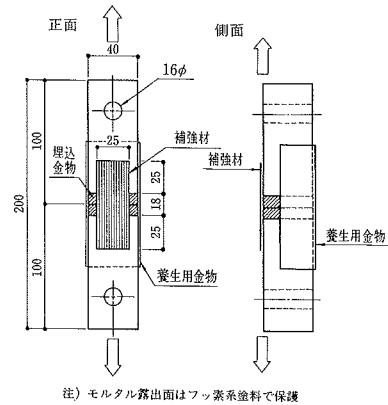


図-7 試験体の形状・寸法（促進暴露）

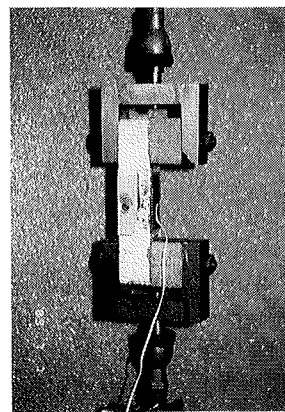


写真-4 試験状況（促進暴露）

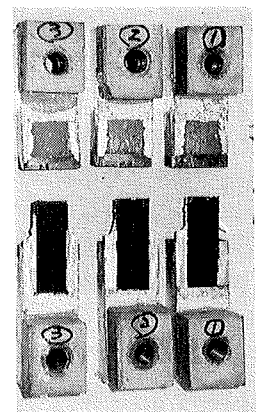


写真-5 破壊状況の例（促進暴露）

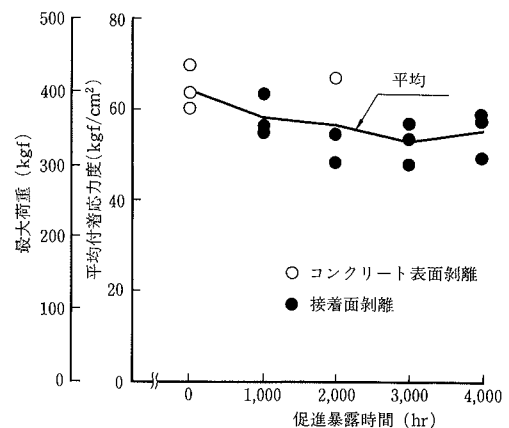


図-8 最大荷重と促進暴露時間の関係

## 参考文献

- 1) 木村, 小島, 吉崎, 野村: 炭素繊維による既存煙突の耐震補強工法の開発(その1) 円筒試験体による曲げ補強効果の検討と施工試験, 大林組研究所報, No. 37, p. 73～79, (1988)