

# 炭素繊維シートを用いた鋼部材の部分補修に関する実験的研究

建設構造研究室 木村正吾

指導教官 長井正嗣

岩崎英治

## 1. はじめに

劣化した鋼構造物の補修・補強対策として、供用中の制約条件の下で効果的な工法が強く求められている。このような中、軽量の補修・補強材料として炭素繊維シートを利用することが注目を浴びており、多方面において適用化のための技術開発が進められている状況にある。

現在、コンクリート構造物の補強には炭素繊維の活用が盛んであるが、鋼構造物へ適用された事例は少なく、接着強度、補強効果や耐久性などについて不明確な点がある。また、設計手法についても、炭素繊維シート接着補強評価法など明確に確立されていない。

本研究では炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強の実用化を目指して、設計・施工指針の作成に向けた基礎的な実験データを得ることを目的とする。そのため、炭素繊維で複合材化された鋼部材の力学的挙動を把握するため、下記の項目に着目した実験を行う。

### 炭素繊維シート補強部材の力学的特性把握

補強量(シート積層数)、補強範囲(シート長さ)の影響を確認する。

### 適用性能の確認

断面欠損した鋼部材に対する補修効果の確認を行う。

### 既設構造物への施工を考慮した接着方法

接着部の下地状態の影響及び、接着長さとの補強効果の関係を確認する。

## 2. 炭素繊維シートの特性

炭素繊維シートは、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer)を構成する材料であり、炭素繊維シート中に含浸接着樹脂が繊維間を結合しながら硬化したものがCFRPとなる。厳密には、鋼材と一体となった複合材として機能するのは、鋼材表面に接着して硬化したCFRPである。炭素繊維は軽量、高強度、高弾性、高耐食性などの優れた特性を持つ高性能無機繊維である。炭素繊維シート(写真 2.1)は、繊維目付け量の違い(200~600g/m<sup>2</sup>)と、材料特性の違い(高強度型~高弾性型)がある。表 2.1に炭素繊維シートの材料特性を示す。



写真 2.1 炭素繊維シート

表 2.1 炭素繊維シートの材料特性

	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
高強度型	3400	245
中弾性型	2900~2400	390~450
高弾性型	1900	540~640
鋼	400~570	200

### 3. 引張試験

#### 3.1 試験概要

##### シート積層数の影響確認試験

鋼板応力の低下と CFRP の接着枚数の関係および, CFRP の剥離荷重を明確にし, CFRP による補強効果の関係を解明する.

##### 断面欠損した供試体による補修効果の確認実験

断面欠損を模擬した孔開き鋼板に対して, CFRP を接着補強し, その補修効果を確認する.

##### 部分接着の影響確認試験

補修・補強箇所において, 所要の性能を発揮し得る, 必要最低限の接着長さを算出するため, CFRP 接着長と補強効果を解明する.

#### 3.2 供試体パラメータ

図 -3.1 に供試体寸法図, 表 -3.1 に供試体材料特性および寸法, 表 -3.2 に試験パラメータを示す.

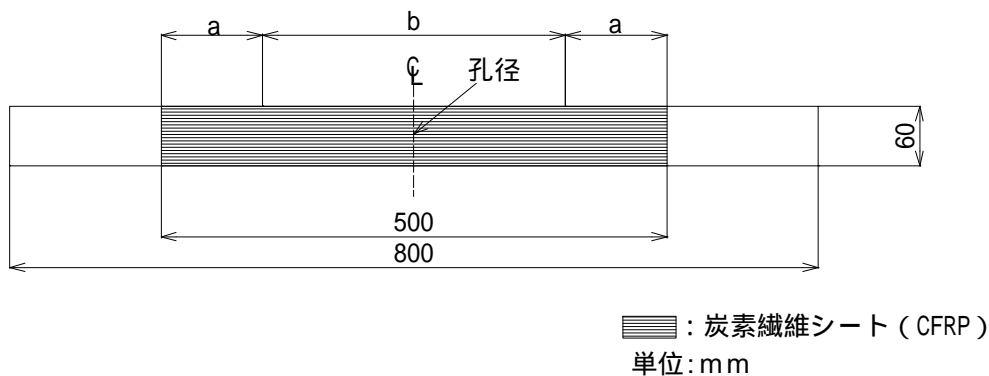


図 -3.1 供試体寸法図

表 -3.1 供試体材料特性および寸法

鋼材	
材質:	SS400
鋼材のヤング係数:	$E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$
鋼材の板厚:	$t_s = 9 \text{ mm}$
鋼材の幅:	$B_s = 60 \text{ mm}$
鋼材の断面積:	$A_s = 540 \text{ mm}^2$
鋼材の長さ:	$L_s = 800 \text{ mm}$
CFRP	
材質:	高弾性型
繊維目付:	$300 \text{ g/m}^2$
CFRPのヤング係数:	$E_{cf} = 640 \text{ kN/mm}^2$
CFRPの設計厚さ:	$t_{cf} = 0.143 \text{ mm}$
CFRPの幅:	$B_{cf} = 60 \text{ mm}$
CFRPの長さ:	$L_{cf} = 500 \text{ mm}$

表 -3.2 試験パラメータ

	ケース名	シート積層数	孔径 (mm)	接着長a (mm)
シート積層数の影響	3L	片面3層	-	250
	5L	片面5層	-	250
	7L	片面7層	-	250
	10L	片面10層	-	250
断面欠損した供試体による補修効果	6H	片面3層	6	250
	12H	片面3層	12	250
	24H	片面3層	24	250
部分接着の影響	10F	片面3層	-	200
	30F	片面3層	-	100
	36F	片面3層	-	70
	46F	片面3層	-	20

プライマー・接着剤: エポキシ樹脂 (2液混合・常温硬化型)

### 3.3 試験結果

引張試験結果を示す.同じ鋼板から切り出した同寸法の無補強供試体の降伏点 $P_y=156\text{KN}$ (実験値)を基準とし,荷重比 $P/P_y$ で結果を評価した.

#### シート積層数の影響確認試験

図-3.2に鋼材の荷重-ひずみ関係,図-3.3にCFRPの剥離荷重の分布図を示す.

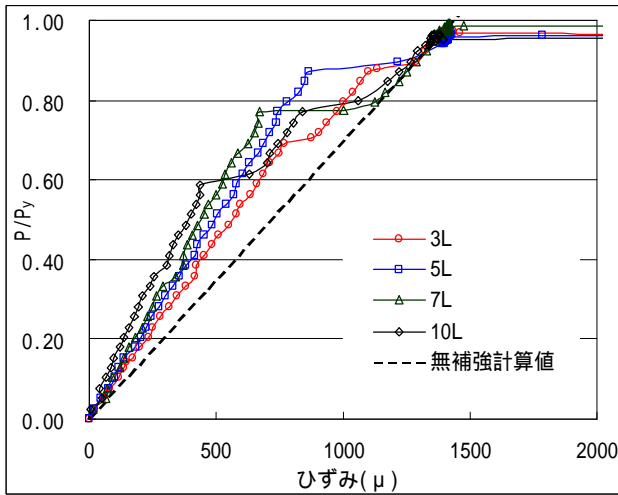


図-3.2 鋼材の荷重-ひずみ関係(積層数)

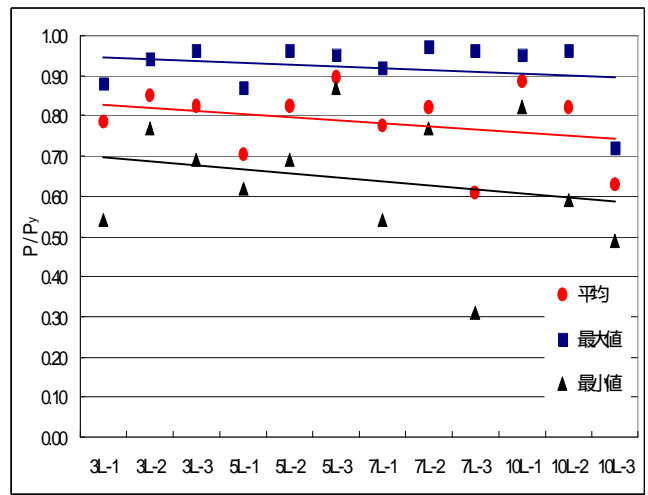


図-3.3 CFRPの剥離荷重分布図(積層数)

#### 断面欠損した供試体による補修効果の確認実験

図-3.3にCFRP中央部の荷重-ひずみ関係を示す.  $P/P_y=0.3$ までは,断面欠損率によらず,一定の補強効果が得られることがわかる.

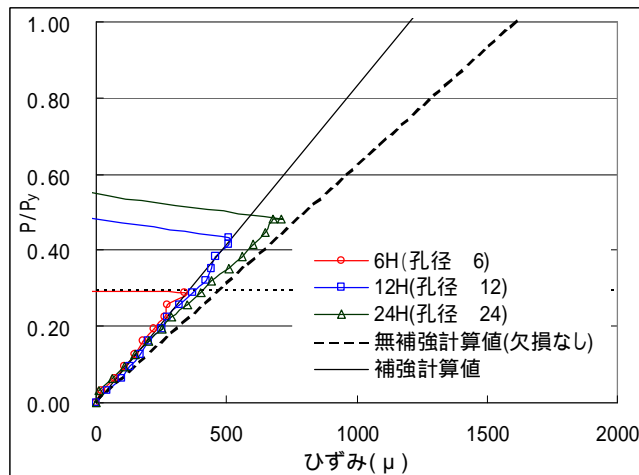


図-3.4 CFRP中央部の荷重-ひずみ関係(断面欠損)

### 部分接着の影響確認試験

図 3.4に鋼材の荷重-ひずみ関係を示す.CFRPの接着長さによらず,補強効果が得られる.

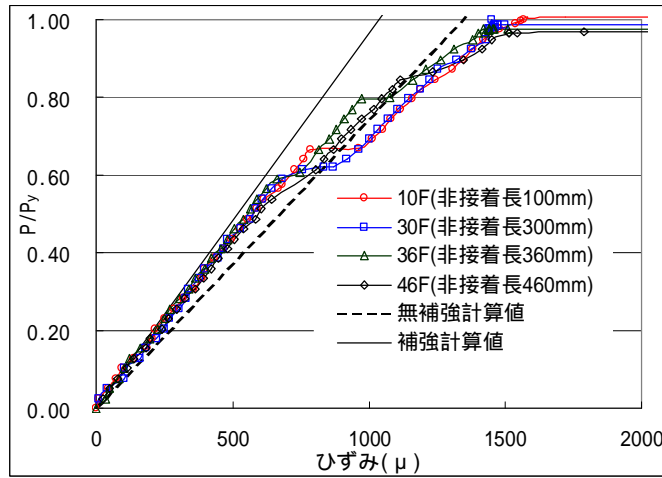


図 3.4 CFRP中央部の荷重-ひずみ関係(部分接着)

### その他の実験結果の考察

結果のばらつきの要因として, 接着樹脂の施工においては,樹脂の使用量で管理がなされるため,厚さのばらつきを生じさせてしまう.施工時の樹脂の厚さを均一にすることで,剥離荷重のばらつきを抑えることができると考えられる.

## 4 曲げ試験

### 4.1 試験概要

CFRP による梁の補強効果と補強範囲の関係を明確にするため, 上フランジまたは下フランジに CFRP を接着補強し, 所要の補強効果を得るための必要補強範囲を検証する.

### 4.2 供試体パラメータ

表 4.1に試験パラメータ,図 4.1に供試体寸法図を示す.

表 4.1 試験パラメータ

ケース名	補強箇所	補強長 (mm)
3-1	下フランジ	2000
3-2		1000
3-3		500
3-4	上フランジ	2000
3-5		1000
3-6		500

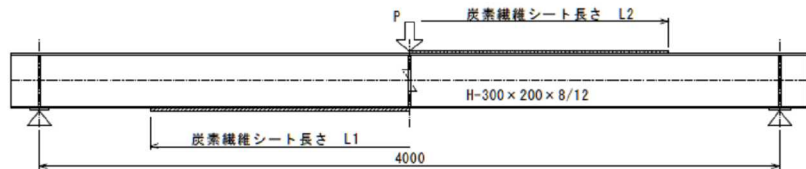


図 4.1 供試体寸法図

### 4.3 試験結果

曲げ試験結果を示す。無補強梁断面の最外縁が曲げ応力で降伏する際の中央集中荷重を $P_y$ とし、荷重比 $P/P_y$ で結果の評価した。

#### 荷重比-ひずみ関係

図 4.2, 図 4.3に下フランジ補強ケースの下フランジ上面における荷重比-ひずみ関係, 図-4.4, 図-4.5に上フランジ補強ケースの上フランジ下面における荷重比-ひずみ関係を示す。

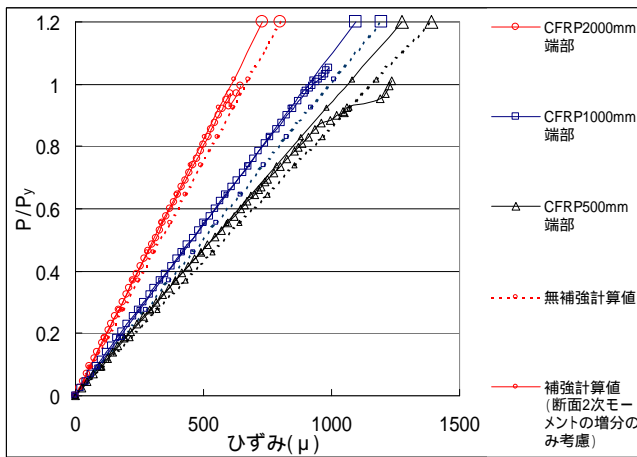


図 4.2 荷重比-ひずみ関係(下フランジ)  
[CFRP端部より100mm位置]

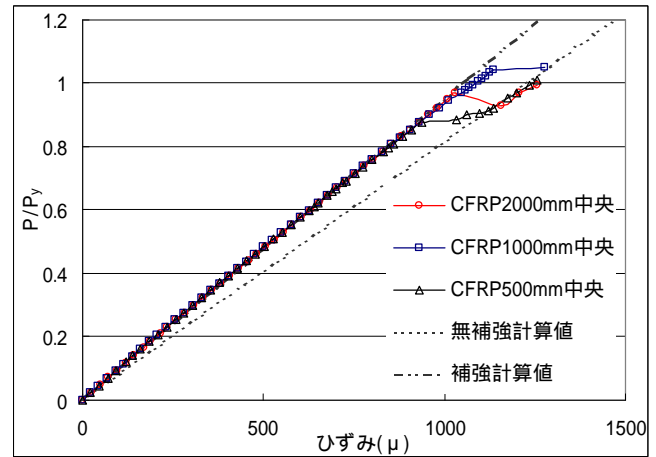


図 4.3 荷重比-ひずみ関係(下フランジ中央)  
[CFRP中央より140mm位置]

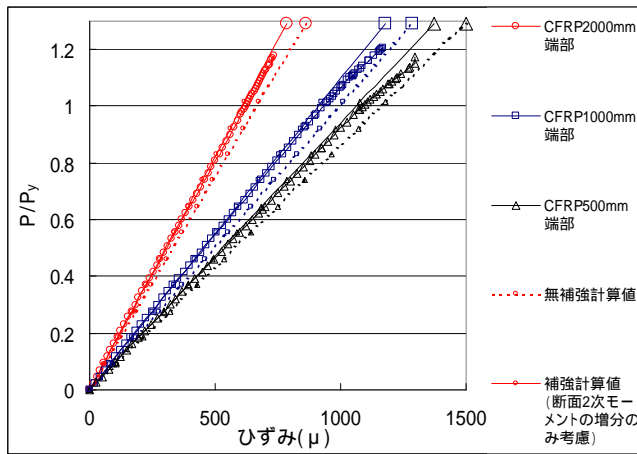


図 4.4 荷重比-ひずみ関係(上フランジ端部)  
[CFRP端部より100mm位置]

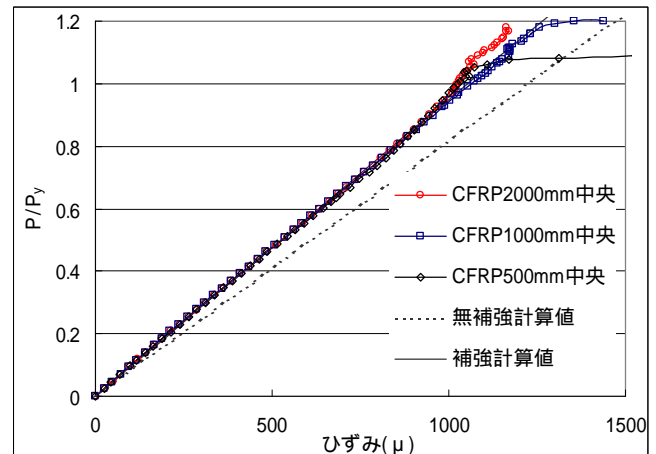


図 4.5 荷重比-ひずみ関係(上フランジ中央)  
[CFRP中央より140mm位置]

## 剥離荷重分布

図 4.6にCFRPの剥離荷重の分布図を示す.

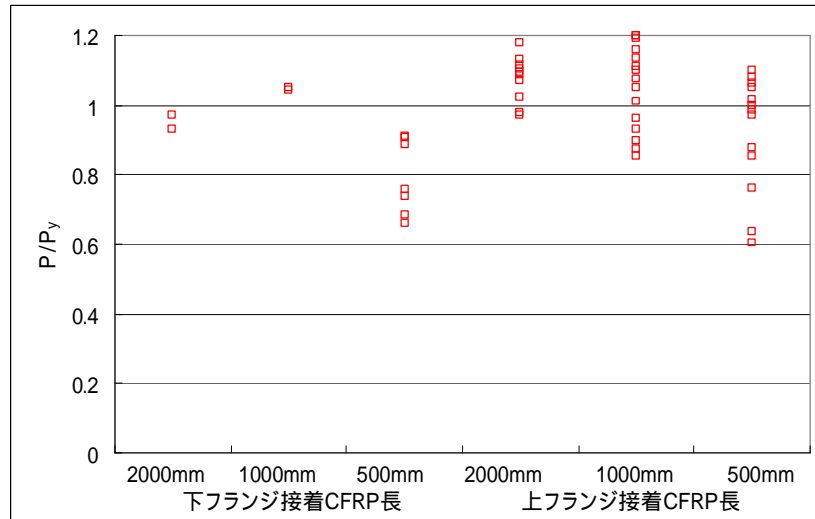


図 4.6 CFRP の剥離荷重分布図

### 考察

- ・ 端部はCFRPが薄いので, 中立軸位置には影響しないと仮定した計算値と一致する.
- ・ 引張試験のように補強計算値から無補強計算値へ一度に移行しない.
- ・ 载荷にあわせ, 徐々にシート全体ですべりが生じている.

## 4. まとめ

### 炭素繊維シート補強部材の力学的特性把握

- ・ CFRP 剥離が発生するまでは, 積層数に応じた補強効果が得られる.
- ・ CFRP 剥離が発生するまでは, 補強範囲の長さが変わっても, 補強効果が得られる.
- ・ 積層数が増えるにしたがって剥離しやすい傾向にある.
- ・ CFRP の補強長さが短くなるにつれて, 剥離しやすい傾向にある.

### 適用性能の確認

- ・ 断面欠損への補強効果は, 断面欠損率によらず, 一定である.

### 既設構造物への施工を考慮した接着方法

- ・ 部分接着を行う場合, 端部周辺のみを入念にケレンすることでも効果が高いと考えられる. その他の範囲は, 簡易なケレンとすることで, 現場での作業を軽減することが可能となる.