

偏向部を有する炭素繊維プレート緊張材に関する実験的研究

ドーピー建設工業 (株) 正会員 ○佐藤 信也  
 ドーピー建設工業 (株) 正会員 安森 浩  
 日鉄コンポジット (株) 工修 小林 朗  
 日鉄コンポジット (株) 工修 立石 晶洋

1. はじめに

供用年数が数十年を経過した橋梁は、近年の交通量の増加ならびに車両の大型化にともなう耐力の不足、厳しい気象条件等による劣化および損傷が発生し、補強を必要とする事例が増加している。このような情勢のなか、既設コンクリート構造物の補強工法として、炭素繊維プレートの材料特性を最大限に利用したプレハブ式の炭素繊維プレート緊張材を用いた補強工法（以下アウトプレート工法）が開発され<sup>1),2)</sup>、実橋での試験施工により主桁の耐力性や剛性の向上効果が実証されている<sup>3),4)</sup>。

本工法では、炭素繊維プレートをコンクリート表面に密着させるために、アウトプレートの端部において、定着体部分のコンクリート表面のはつりを必要としていた。既設コンクリート構造によっては、必要な深さのコンクリートをはつることが困難な場合もあるため、筆者らは炭素繊維プレートを偏向させ、定着体をコンクリート外側に配置する偏向構造を考案した<sup>3)</sup>。本試験では、中間定着体により炭素繊維プレートを偏向させたうえで、プレートが破断するまでプレストレスを導入し、終局挙動および偏向に対する安全性の確認を行った。

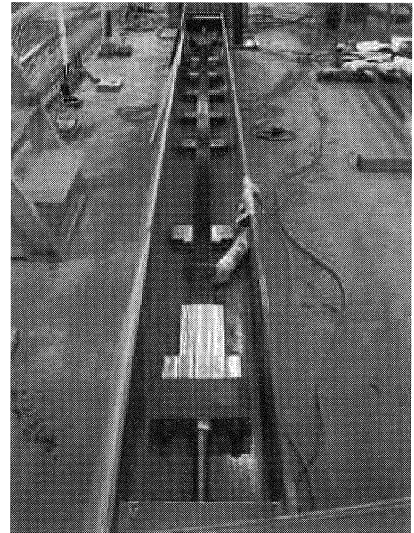


写真-1 試験装置

表-1 試験体の種類

CASE-No.	偏向角度 $\theta$ (度)	偏向区間長 L (mm)
CASE-1-1 CASE-1-2 CASE-1-3	0.0	-----
CASE-2-1 CASE-2-2 CASE-2-3	5.7	500

2. 試験概要

2. 1 試験体

写真-1、図-1 に示す H 型鋼(400×400×6000)を母材とする試験装置に、炭素繊維プレート(L=4700mm)を設置し、H 型鋼端部の定着部から、緊張ジャッキによりプレストレスを導入した。

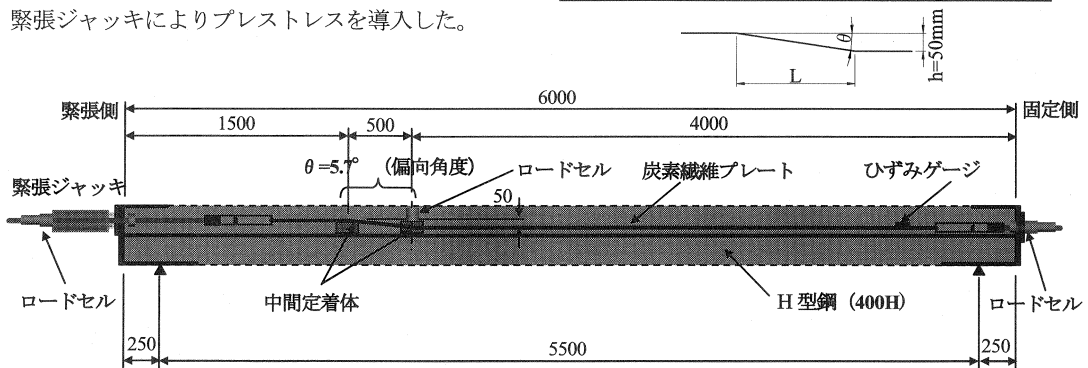


図-1 試験装置の概要

本試験は、表-1 に示すとおり、偏向部の有無が終局耐力におよぼす影響を把握するため、炭素繊維プレートを直線配置して偏向角度を 0 度とした場合 (CASE-1) と、中間定着体により炭素繊維プレートに 5.7 度の偏向角を与えた場合 (CASE-2) について、各 3 体の試験体に対して実施した。

図-1 は、偏向角度が 5.7 度の場合を示しており、偏向する中間定着体の間隔は 500mm としているが、これは、実橋において配置が可能な最小間隔である。

2. 2 炭素繊維プレートの物性

図-2 に示すとおり、本試験に用いた炭素繊維プレートは、現在使用している 4) 2mm×50 mm の炭素繊維プレートと比較して 1.5 倍の耐力を有する 2mm×75 mm のプレートを使用した。炭素繊維プレートの物性を表-2 に示す。

写真-2 に示す偏向部において、炭素繊維プレートと接する鋼板のエッジは、曲線形状の面取りを行い、さらにテフロン板 (厚さ 1mm) を挟むことにより、偏向角度による摩擦の影響を解消した。

2. 3 計測項目

計測は、①緊張側、固定側の緊張力 (ロードセル)、②緊張側、固定側の伸び量 (変位計)、③固定側の炭素繊維プレートのひずみ (ひずみゲージ)、④中間定着体の鉛直力 (ロードセル) について、実施した。これらの項目は、緊張側のロードセルの荷重値を基準として、5kN ピッチで計測を行った。

3. 試験結果と考察

3. 1 耐力の比較

1) 炭素繊維プレート破断時の張力

各試験ケースについて、炭素繊維プレートの破断時のロードセルの荷重値を表-3 に示す。

炭素繊維プレート破断時の張力は、偏向角度の有無に関係なく、想定する引張耐力を超えて破断した。CASE-1 (偏向角度 0 度) と CASE-2 (偏向角度 5.7 度) の平均張力を比較した場合、CASE-2 (偏向角度 5.7 度) の方が、緊張側で 1.8%、固定側で 2.5% と僅かながら小さい値であった。この結果から、炭素繊維プレート偏向具により偏向角度を与えても、偏向角度が 5.7 度までの範囲であれば、偏向部の有無が破断時の張力におよぼす影響が小さいことを確認した。

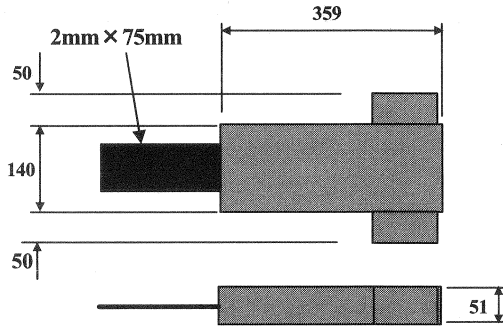


図-2 炭素繊維プレート緊張材

表-2 炭素繊維プレートの物性

公称厚	mm	2.0
公称幅	mm	75.0
引張耐力	kN	360
ヤング係数	N/mm <sup>2</sup>	1.62 × 10 <sup>5</sup>

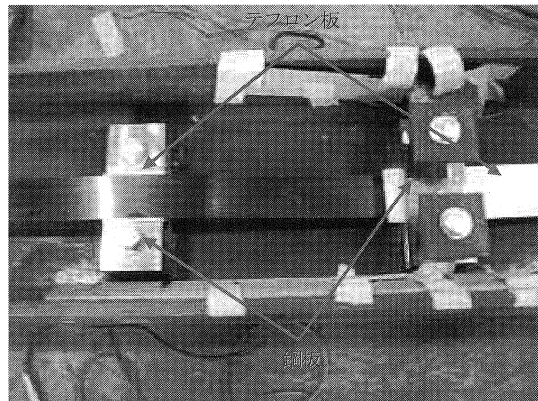


写真-2 偏向部 (中間定着体)

表-3 破断時の張力

CASE No.	偏向角度 (度)	終局張力		
		緊張側 (kN)	固定側 (kN)	張力比*1 (%)
CASE-1-1	0.0	390.59	387.83	0.993
CASE-1-2		371.59	367.58	0.989
CASE-1-3		411.52	403.22	0.980
平均		391.23	386.21	0.987
CASE-2-1	5.7	406.20	398.52	0.981
CASE-2-2		371.11	364.66	0.983
CASE-2-3		376.10	367.09	0.976
平均		384.47	376.76	0.980

\*1: 固定側/緊張側

2) 緊張側と固定側の張力比較

表-3の各試験ケースにおいて、破断時における緊張側と固定側の張力を比較した場合、固定側の張力が、緊張側より0.7%~2.4%の範囲で小さく、CASE-2(偏向角度5.7度)の方がCASE-1(偏向角度0度)より若干小さい傾向を示した。この要因として、緊張ジャッキの機械的損失や偏向による炭素繊維プレートと中間定着体間の摩擦損失が考えられるが、現状の緊張管理で十分吸収可能な量であることを確認した。なお、現状の炭素繊維プレート緊張材の緊張は、電動ポンプのマノメーター示度と伸び量により管理し、限界値は±10%である。

3. 2 荷重と伸び量の関係

緊張側のロードセルの荷重と変位計による伸び量の関係を図-3に示す。各試験ケースの荷重と伸び量は、CASE-2のごく初期を除いて、初期荷重から破断荷重まで直線的な関係であった。また、CASE-1(偏向角度0度)とCASE-2(偏向角度5.7度)を比較した場合も荷重と伸び量の関係はほぼ等しかった。

したがって、偏向部の有無に関係なく、炭素繊維プレート緊張材は、初期荷重から破断荷重まで、荷重と伸び量は直線的な関係を示すとともに、この傾きから炭素繊維プレートのヤング係数(物性値)も妥当であることを確認した。

3. 3 炭素繊維プレートのひずみ

各試験ケースの破断時のひずみについて、固定側における炭素繊維プレートのひずみゲージとロードセルの比較を表-4に示す。ロードセルによるひずみは、ロードセルの計測値に炭素繊維プレート(物性値)のヤング係数と断面積を考慮して算出した。

ロードセルとひずみゲージによる値は、偏向部の有無にかかわらず、ほぼ一致しているが、ひずみゲージの値がロードセルの値より若干大きい傾向である。特に、CASE-2-2(偏向角度5.7度)では、ひずみゲージの値の方が8.0%と大きいことから、破断時に炭素繊維プレートが偏向具の影響を受け、ひずみ分布の偏りが生じていたものと考えられる。

一方、CASE-2(偏向角度5.7度)では、偏向部付近の炭素繊維プレートにもひずみゲージを設けており、その計測結果を表-5に示す。固定側と偏向部付近のひずみの差

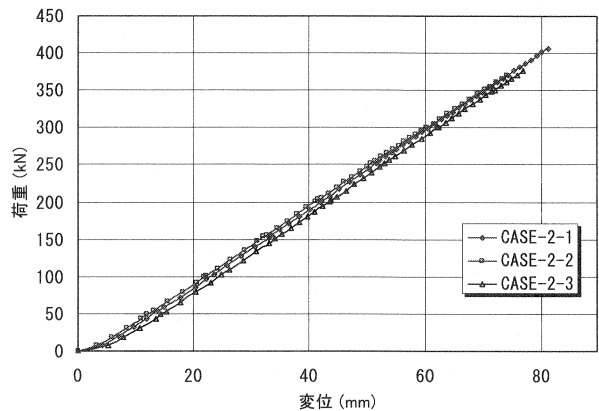
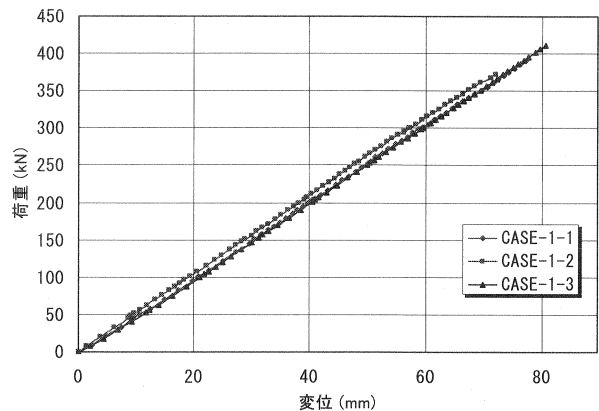


図-3 荷重と伸び量

表-4 炭素繊維プレートのひずみ

CASE No.	ひずみゲージ(炭素繊維プレート)			ロードセル*1	ひずみ比*2
	上面中央 (μ)	下面中央 (μ)	平均 (μ)	固定側 (μ)	
CASE-1-1	15793	15315	15554	15960	0.975
CASE-1-2	15214	15185	15200	15127	1.005
CASE-1-3	17362	16624	16993	16593	1.024
CASE-2-1	16402	16670	16536	16400	1.008
CASE-2-2	16099	16311	16205	15007	1.080
CASE-2-3	15495	15629	15562	15107	1.030

\*1: ロードセルによるひずみは、固定側の値に断面積(150mm<sup>2</sup>)とヤング係数(1.62×10<sup>5</sup>N/mm<sup>2</sup>)を考慮して算出。

\*2: ひずみゲージ値/ロードセル値

は、1.0%以内であった。したがって、炭素繊維プレート内の破断までの終局挙動において、CASE-2-2 (偏向角度 5.7 度) では偏向部が影響したことが想定されるが、基本的に偏向部の有無は影響せず、炭素繊維プレート内のひずみ分布が、ほぼ一様であることが判った。

3. 4 偏向部の引張力

図-4 に示す鉛直方向の引張力について、表-6 中の計測値は炭素繊維プレートの破断時に中間定着体に発生した引張力であり、解析値は偏向角度による破断時のプレストレスの分力である。計測値と解析値の引張力を比較すると、CASE-2-1 と CASE-2-3 では、極めて一致している。したがって、偏向部における中間定着体の設計では、鉛直方向の引張力を偏向角度によるプレストレスの分力で評価することで、十分安全であることを確認した。

4. まとめ

本試験は、炭素繊維プレートにプレストレスを導入した場合、偏向部の有無が終局挙動におよぼす影響について確認した。以下に試験で得られた知見をまとめる。

- (1) 炭素繊維プレートにプレストレスを導入した場合、偏向角度が 5.7 度までの範囲であれば、偏向部の有無が終局耐力におよぼす影響は小さい。
- (2) 破断時における固定側と緊張側の張力差は、偏向部を設けた試験体の方が若干大きく、偏向角度による摩擦損失が想定されるが、現状の緊張管理で十分吸収できる量であることを確認した。
- (3) 炭素繊維プレートの荷重と変位の関係は、偏向部の有無に関係なく、初期荷重から破断荷重まで、物性値のヤング係数とほぼ一致した直線的な挙動を示す。
- (4) 炭素繊維プレートの破断までの終局挙動において、偏向部の影響は極めて小さく、炭素繊維プレート内のひずみ分布は破断に至るまでほぼ一様である。
- (5) 偏向部の中間定着体の設計において、偏向部により発生する鉛直方向の引張力は、偏向角度によるプレストレスの分力で評価すれば、十分安全である。

参考文献

- 1) 濱田譲, 井上真澄, 小林朗, 高木宣章, 児島孝之: 緊張した炭素繊維プレートによる既設コンクリート部材の補強に関する研究, 土木学会論文集, NO. 711/V-56, pp. 27-44, 2002. 8
- 2) 安森浩, 高橋輝光, 濱田譲, 小林朗: 炭素繊維プレート緊張システムの開発, 第 12 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, pp. 609-612, 2003. 10
- 3) 鳥屋隆志, 藤田真実, 安森 浩, 小林 朗: 炭素繊維プレート緊張工法における定着部と偏向構造の確認試験および実橋載荷試験, プレストレストコンクリート技術協会第 13 回シンポジウム論文集 pp. 473-476, 2004. 10
- 4) 坂本弘視, 藤田真実, 高橋秀樹, 鹿田泰史: 炭素繊維プレート緊張工法による調布高架橋 (都計 213 橋) の補強, プレストレストコンクリート技術協会第 13 回シンポジウム論文集 pp. 477-480, 2004. 10

表-5 炭素繊維プレートのひずみ

CASE No.	ひずみゲージ(炭素繊維プレート)		ひずみ比*1 (%)
	固定側 ( $\mu$ )	偏向部付近 ( $\mu$ )	
CASE-2-1	16536	16599	0.996
CASE-2-2	16205	破断前に断線	-----
CASE-2-3	15562	15575	0.999

\*1: 固定側 / 偏向部付近

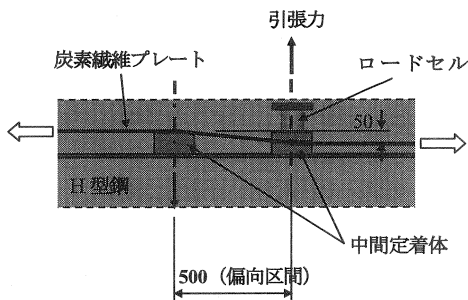


図-4 引張力の発生

表-6 偏向部 (中間定着体) の引張力

CASE No.	計測値			解析値*1 (kN)
	L側 (kN)	R側 (kN)	平均 (kN)	
CASE-2-1	21.45	19.47	20.46	20.24
CASE-2-2	10.89	13.53	12.21	18.49
CASE-2-3	18.55	18.15	18.35	18.74

\*1:  $Pd = 2P \times \sin(\theta/2)$