

V-467

炭素繊維によるせん断補強効果に関する研究

日本道路公団（正会員） 安藤 博文、前田 良文、緒方 紀夫
（株）大林組（正会員） 岡野 素之、小島 克朗

1. まえがき

既存鉄筋コンクリート橋脚のコンクリート表面にシート状の炭素繊維（以下、炭素繊維シートと呼ぶ）を樹脂で貼付けて耐震補強する工法を検討してきた。今回、炭素繊維シートを部材軸直角方向に全周面にわたって貼付けた場合のせん断補強効果を把握することを目的とし、梁による曲げせん断実験を実施した。本報告は同実験の概要と結果について述べたものである。

2. 実験内容

2.1 試験体

試験体の一覧を Table.1 に、形状寸法を Fig.1 に示す。試験体は通常の RC 梁（No.1）を基本として、帯鉄筋量を変えた 2 体（No.4,5）と、炭素繊維シートを帯鉄筋方向に全周貼り付けて補強した梁 2 体（No.2,3）である。No.4,5 試験体は、次式で示すせん断補強筋比と強度の積（ $P_w \cdot \sigma_{wy}$ ）をせん断補強量の指標とし、これが No.2,3 試験体と同じになるように帯鉄筋を配置した。

$$P_w \cdot \sigma_{wy} = p_s \cdot \sigma_{sy} + \frac{2}{3} \cdot p_{cf} \cdot \sigma_{cf}$$

p_s, p_{cf} ; 帯鉄筋、炭素繊維の補強筋比

σ_{sy}, σ_{cf} ; 帯鉄筋降伏強度、炭素繊維シートの破断強度

この式で炭素繊維の強度を 2/3 に低減して評価しているのは、これまでの研究¹⁾によりコンクリート部材に貼付けた炭素繊維シートの強度は材料試験強度より低くなる傾向にあることによる。

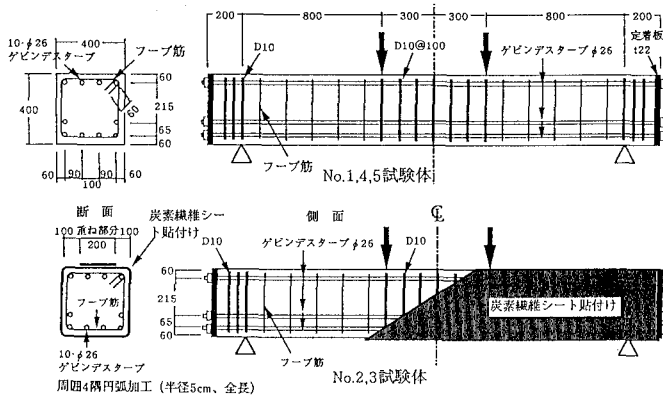


Fig. 1: 試験体の形状寸法

Table. 1: 試験体一覧

No.	せん断補強筋				合計 Σ (pw·owy)
	フープ筋		炭素繊維シート		
	ps 構成	ps・osy	pcf 構成	pc・ ocl	
1			無補強	—	3.77
2	0.106% D6@15cm	3.77	0.029% 0.5層	4.79	8.56
3			0.058% 1層	9.47	13.2
4	0.237% D10@15cm	8.58	無補強	—	8.58
5	0.357% D10@10cm	12.9			12.9

Table. 2: 材料試験結果

設計基準強度 (kgf/cm^2)	粗骨材最大寸法 (mm)	スランブ (cm)
210	20	8
材令		
項目	28日	試験時
圧縮強度 (kgf/cm^2)	282	306
ヤング係数 (kgf/cm^2)	3.01×10^5	2.89×10^5
引張強度 (kgf/cm^2)	29.1	30.9

種類	諸元	降伏強度 σ_{sy} (kgf/cm^2)	破断強度 (kgf/cm^2)	ヤング係数 $\times 10^6$ (kgf/cm^2)
鉄筋	D6	3,555	4,900	2.12
	D10 SD345	3,619	5,327	1.96
PC鋼棒 φ26 B種1号		10,240	11,490	2.06
炭素繊維 シート (PAN系)	0.5層	—	$\sigma_{cf} = 25,000^*$	2.64*
	1層	—	$\sigma_{cf} = 24,700^*$	2.40*

*: 炭素繊維素材自身の断面積 ($1.15 \text{ mm}^2 / \text{cm} \cdot \text{ply}$) で計算

3. 実験結果と考察

No.1,4,5 試験体はせん断ひび割れ発生後帯鉄筋が降伏し、せん断ひび割れが大きく開き終局となった。それに対して炭素繊維シートで補強した No.2,3 試験体は、せん断ひび割れ発生は明確ではなく、帯鉄筋降伏後、炭素繊維シートが破断して終局となった。

Fig.2 にせん断力とはり中央のたわみの関係を示す。No.1,2,3 を比較すると、炭素繊維シートの補強量はほぼ比例してせん断耐力が増加しているといえる。 $p_w \cdot \sigma_{wy}$ をほぼ等しくした試験体同士を比較してみると、No.2 試験体と No.4 試験体については勾配、最大耐力ともに非常に良く一致しているといえる。また、No.3 試験体と No.5 試験体については、No.5 試験体の最大耐力が若干低い値となった。しかし、No.5 試験体の実験値と計算値がほぼ一致していることから、No.3 試験体（炭素繊維 1 層）の耐力が予想以上あったと見るべき

であろう。帯鉄筋は、配置されている区間に作用するせん断力全てを一本の鉄筋で受け持つのに対して、炭素繊維シートはコンクリートに対して「面」として作用するため、コンクリートのひびわれを効率的に拘束し、終局を遅らせたものと考えられる。

No.3 試験体におけるせん断力と帯鉄筋及び炭素繊維シートの代表的なひずみの関係を Fig.3 に示す。これによると、鉄筋降伏前のある程度の荷重になると炭素繊維シートと帯鉄筋にひずみが発生し、荷重を負担していることがわかる。せん断補強が帯鉄筋のみの No.4,5 試験体についても同様の挙動が現れていることから、炭素繊維シートは帯鉄筋とほぼ同様の挙動を示すといえる。また、材料試験結果による炭素繊維シートの破断ひずみは 10030μ であり、この測点では全強の 9 割程度を発揮している。

最大せん断耐力の実験値と計算値の比較を Table.3 に示す。炭素繊維シートについては、強度の低減率を $2/3$ としたが、強度の低減を行わずに建築学会指針式を用いて計算した値のほうが 1.01, 1.06 とより実験値に整合した。道路橋示方書式、土木学会式で計算した場合、計算値は実験値に対して大きな余裕があることがわかる。

本実験における各試験体の最大せん断耐力とせん断補強量の関係を Fig.4 に示す。炭素繊維シートの強度の低減を行わずに $P_w \cdot \sigma_y$ を算出し、Fig.4 上に No.2*, No.3* として表示した。全ての試験体はこの実験の範囲内において、せん断補強量とせん断耐力は線形の関係にあり、炭素繊維シートによるせん断補強は鉄筋と同等に評価して良いといえる。

4.まとめ

炭素繊維シート貼り付けによる鉄筋コンクリート梁の曲げせん断試験の結果、以下のことがわかった。

1. 炭素繊維シートを貼付けて補強した梁は炭素繊維シートの破断により破壊し、素材の破断ひずみの 9 割以上の引張性能を発揮する。
2. 炭素繊維シートで補強を行った部材のせん断耐力は、炭素繊維シートを帯鉄筋と同様に評価することで算出できる。

現在、JH 試験研究所橋梁研究室では、今回の実験及び既往の実験結果の集大成として、炭素繊維による RC 橋脚の耐震補強設計・施工要領を作成中である。

参考文献

- 1) 小島克朗、勝俣英雄、田中常雄、「炭素繊維の巻き付けによる既存鉄筋コンクリート部材の耐震補強」、1989 年 6 月、JCI 年次論文報告集、11-1

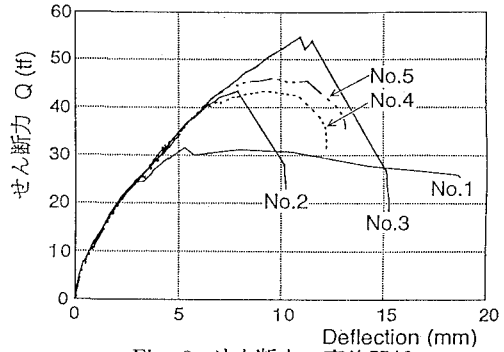


Fig. 2: せん断力-変位関係

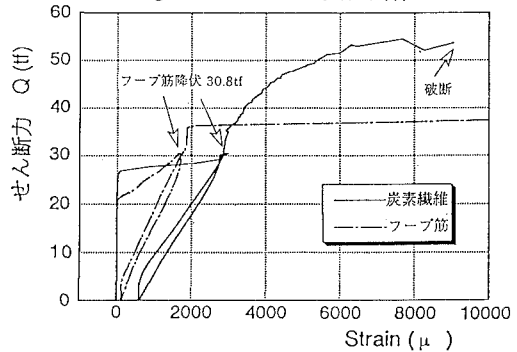


Fig. 3: せん断力-鉄筋・炭素繊維ひずみ関係

Table. 3: 試験結果と計算値の比較

試験体 No.	最大 せん断力		建築学会指針式 ¹⁾ 実/計	道路橋示方書式 ²⁾ 実/計		土木学会式 ³⁾ 実/計	
	実験値 (tf)	計算値 (tf)		計算値 (tf)	実/計	計算値 (tf)	実/計
1	31.7	35.8	0.89	9.9	3.20	14.4	2.20
2	44.5	41.2 (43.9)	1.08 (1.01)	15.2	2.93	19.0	2.34
3	54.6	46.4 (51.7)	1.18 (1.06)	20.4	2.68	23.5	2.32
4	44.3	41.2	1.07	15.2	2.91	19.0	2.33
5	46.7	46.1	1.00	19.9	2.35	23.1	2.02

1) 鉄筋コンクリート建築物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990、日本建築学会
2) 道路橋示方書・同解説Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ、平成2年、日本道路協会
3) コンクリート標準示方書年[平成3年版]設計編、土木学会
炭素繊維シートの強度を $2/3$ に評価して計算。ただし() 内のみ全強度を適用。

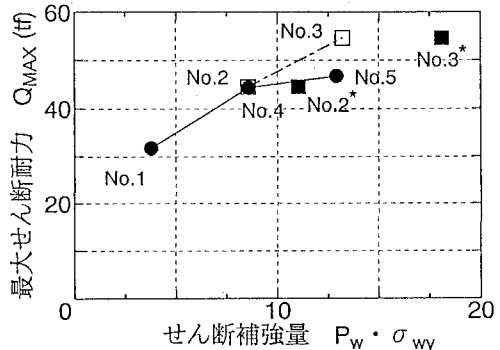


Fig. 4: 最大せん断耐力-補強量関係