

大林組技研 正会員 岡野 素之
大林組技研 勝俣 英雄

1. まえがき

高強度で軽量の炭素繊維を用い、既存鉄筋コンクリート部材を補強する工法を検討してきた。せん断補強の方法は、炭素繊維を部材の全周囲に帯鉄筋と同一方向に配置し、帯鉄筋とともにせん断力に抵抗するものである。今回、はりの曲げせん断実験によりせん断補強効果を検討した。着目点は補強する炭素繊維の形態（シート状とストランド状）による比較と、帯鉄筋がない場合のせん断補強効果である。

2. 実験概要

試験体の一覧を表-1に、試験体の形状・寸法と配筋を図-1に、またコンクリートと補強筋の性質を表-2、3にそれぞれ示す。試験体は、断面が高さ40cm、幅40cmで長さ2.6mの鉄筋コンクリートはり合計2体である。なお表-1では、比較のため、同一形状寸法で実施した安藤らの研究成果¹⁾からNo.1、3および5試験体を併記した（以下同じ）。No.1、5試験体は帯鉄筋のみであり、No.3試験体は、No.1試験体に、No.5試験体とせん断補強筋量がほぼ同じになるように炭素繊維シートを1層貼付けている。No.6試験体は帯鉄筋はなく炭素繊維シート1層のみで補強し、No.7試験体はNo.3試験体と炭素繊維が同量になるように炭素繊維ストランドを8mmピッチで2回巻付けて補強した。炭素繊維は形態により、繊維の素線の本数をストランド（本実験では12000本収束した束：12kを使用）と呼び、ストランドを一方向かつ平面状に敷き並べ（本実験では幅1cmあたり12k 5本を使用）横方向にガラス繊維で編んだものをシートと呼んでいる。施工時はエポキシ樹脂を含浸させてコンクリート表面に接着する。

加力は単純支持の1方向繰り返し荷重とした。

3. 実験結果と考察

3-1 破壊性状

両試験体は、せん断ひび割れ発生の後、No.6試験体は炭素繊維シートが破断し、No.7試験体は帯鉄筋降伏後、炭素繊維ストランドが破断して荷重が急激に低下し破壊した。

3-2 変位性状

せん断力とはり中央のたわみの関係を包絡線で図-2に示す。No.6、7試験体の最大荷重付近までの勾配はNo.1、3および5試験体に比較して緩やかな傾向があるが、コンクリートのヤング係数の違いによるものと考えられる。炭素繊維の形

表-1 試験体の一覧

試験体 No.	せん断補強筋				合計 Σ (pw+aw)
	帯鉄筋 ps 構成	ps+asy	pci 構成	pc+acf	
1*	0.106% D6@15cm	3.77	なし	—	3.77
3*	—	—	0.058% シート	9.47	13.2
5*	0.357% D10@10cm	12.9	なし	—	12.9
6	なし	—	0.058% シート	9.47	9.47
7	0.106% D6@15cm	3.77	0.058% ストランド	10.8	14.6

*参考文献1)による

表-3 補強筋の性質

種類	諸元	降伏強度 asy (kgf/cm ²)	破断強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 ×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 (PAN系)	シート 1層	—	acf=24,700*	2.40*
	ストランド 12k	—	acf=28,100*	2.38*

*：炭素繊維素材自身の断面積で計算

(シート：1.15mm²/cm/ply、ストランド：0.46mm²/12k1本)

表-2 コンクリートの性質

設計基準強度	粗骨材最大寸法	スランプ
210 kgf/cm ²	20 mm	8 cm
項目	試験体 No.1,3,5	No.6,7
圧縮強度 (kgf/cm ²)	306	318
ヤング係数 (kgf/cm ²)	2.89×10 ⁵	2.52×10 ⁵
引張強度 (kgf/cm ²)	30.9	31.5

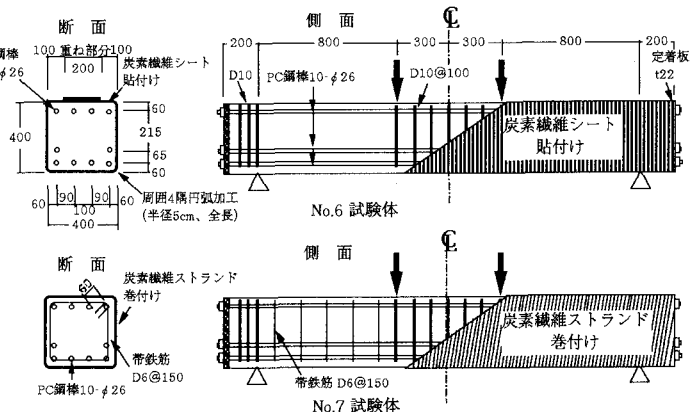


図-1 試験体の形状・寸法と配筋

態で比較すると、シート（No.3）とストランド（No.7）は同様な変位性状を示し、顕著な差異は見られない。また炭素繊維シートのみで補強されたNo.6試験体もNo.3、7試験体と同様な性状を示している。

3-3 ひずみ性状

No.7試験体におけるせん断補強筋のひずみ分布を図-3(1)、(2)にそれぞれ示す。同図は各荷重段階における、せん断区間のひずみの部材軸方向の分布を示している。炭素繊維シート、帯鉄筋とも荷重が $Q=21.08\text{tf}$ からひずみが増加しており共同してせん断力に抵抗していることがわかる。また炭素繊維ストランドのひずみは全体的に増加していくが、帯鉄筋のひずみは局部的に大きく増加している。これはせん断ひびわれ位置付近で帯鉄筋が降伏したためと考えられる。

3-4 強度

最大せん断力と計算値の比較を表-4に示す。計算値は、基本的に小島らの研究成果²⁾にしたがい炭素繊維の強度を2/3で評価した。建築学会指針式で計算した場合、実験値の計算値に対する比はNo.6試験体で0.90、No.7試験体で1.07であり、実験値をNo.1、3および5試験体と同様に評価できた。また炭素繊維シートの全強度を適用して計算すると、No.6試験体は実験値が計算値の0.80倍で低かった。一方、道路橋示方書式、土木学会式で計算した場合、実験値は計算値の1.94～2.39倍であり、設計値はシート、ストランドともに、また炭素繊維シートのみで補強した場合も大きな余裕があることがわかる。

4. まとめ

炭素繊維によるせん断補強効果を把握するため、はりの曲げせん断実験を実施した結果次のことがわかった。

(1) 炭素繊維のシート貼付けとストランド巻付けでせん断補強効果に関し顕著な差はなく、荷重に対して炭素繊維と帯鉄筋は共同して作用し、せん断耐力は炭素繊維と帯鉄筋筋の和を用いた建築学会指針式で評価できる。また炭素繊維シートのみで補強した場合も、道路橋示方書、土木学会の式を用いて一般の帯鉄筋を用いたはりと同様に十分な余裕を持って設計できる。

(2) 炭素繊維シートのみでせん断補強した場合、帯鉄筋がある場合と比較して補強効果が低下する傾向があるが、建築学会指針式で実用上計算できる。

[参考文献]

- 1) 安藤、前田、緒方、岡野、小島「炭素繊維によるせん断補強効果に関する研究」、平成6年9月、土木学会第49回年次学術講演会、第V部門
- 2) 小島、勝俣、田中「炭素繊維の巻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

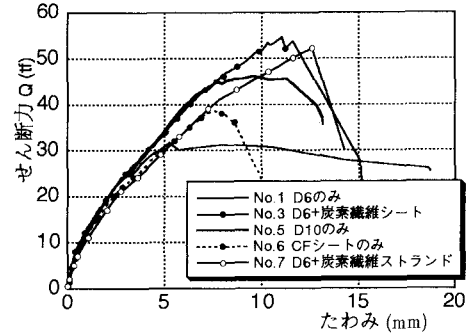


図-2 せん断力-たわみ関係

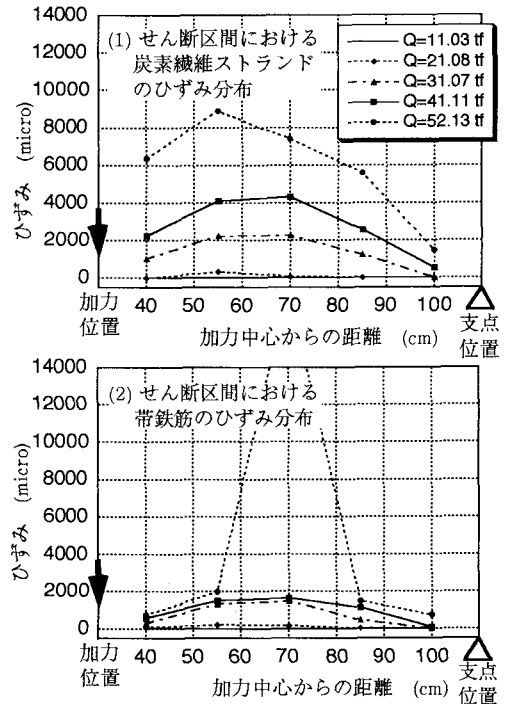


図-3 せん断補強筋のひずみ分布 (No.7)

表-4 最大せん断力と計算値の比較

試験体 No.	最大せん断力 実験値 (tf)	建築学会指針式 ¹⁾		道路橋示方書式 ²⁾		土木学会式 ³⁾	
		計算値 (tf)	実/計	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
3	54.6	46.4 (51.7)	1.18 (1.06)	20.4	2.68	23.5	2.32
5	46.7	46.1	1.01	19.9	2.35	23.1	2.02
6	38.7	43.1 (48.4)	0.90 (0.80)	16.2	2.39	19.9	1.94
7	52.2	48.7 (54.8)	1.07 (0.95)	21.8	2.39	24.9	2.10

- 1) 鉄筋コンクリート建造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 [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。