

V-471

炭素繊維シートによるRCはりのせん断補強効果に関する実験的研究

立命館大学大学院 学生員 〇東野幸史
立命館大学工学部 正会員 高木宣章

立命館大学工学部 正会員 児島孝之
ドービー建設工業（株）正会員 濱田 譲
静岡県 正会員 加藤博文

1. はじめに

本研究は、炭素繊維シートの補強量、弾性係数を要因として、せん断に対する補強効果を定量的に把握することを目的とし、鉄筋コンクリートはりの載荷試験を実施した。また一部の供試体は、スターラップが降伏する程度まで損傷を与えた後に炭素繊維シート補強を施し、健全な部材との比較を行った。

2. 実験概要

供試体の名称および要因を表-1に示す。No.1～No.10供試体は、スターラップの有無、炭素繊維シートのタイプおよび目付量を組み合わせ、せん断補強量を変化させた。No.11およびNo.12供試体は、損傷コンクリートを想定して、スターラップが降伏する程度まで損傷を与えた後にシート補強を施した。実験で使用した炭素繊維シートの力学的特性を表-2に示す。炭素繊維シートの接着にはエポキシ樹脂系接着剤を使用し、全面巻き付け補強を施した。コンクリートの圧縮強度はシート接着時において 260kgf/cm^2 、載荷試験時において 310kgf/cm^2 であった。供試体は寸法が $15 \times 24 \times 200\text{cm}$ の鉄筋コンクリートはりで、有効高さは 20cm とし、コーナー部に半径 1cm の面取りを設けた。全ての供試体がせん断破壊するように、引張鋼材として異形PC鋼棒（ゲビンデスターφ23）を2本、圧縮鉄筋としてD10(SD345)を2本配置した。異形PC鋼棒は緊張せず、定着板により供試体端部に定着させた。供試体は1週間散水養生を行い、シートの接着は材令28日から実施した。代表的な供試体の補強状況および載荷条件を図-1に示す。載荷条件は、支点間距離 160cm 、曲げスパン 80cm の2点集中単調曲げ載荷とし、せん断スパン有効高さ比(a/d)は 2.0 とした。

に、引張鋼材として異形PC鋼棒（ゲビンデスターφ23）を2本、圧縮鉄筋としてD10(SD345)を2本配置した。異形PC鋼棒は緊張せず、定着板により供試体端部に定着させた。供試体は1週間散水養生を行い、シートの接着は材令28日から実施した。代表的な供試体の補強状況および載荷条件を図-1に示す。載荷条件は、支点間距離 160cm 、曲げスパン 80cm の2点集中単調曲げ載荷とし、せん断スパン有効高さ比(a/d)は 2.0 とした。

3. 実験結果および考察

表-3に曲げ破壊荷重およびせん断破壊荷重の理論値と、実験により得られた供試体の最大荷重および破壊形式を示す。無補強のNo.1供試体およびスターラップのみで補強したNo.2供試体に比較して、せん断補強材として炭素繊維シートで補強したNo.4、No.8供試体、およびスターラップと炭素繊維シートで補強したNo.5、No.9供試体の最大荷重は増加していることから、スターラップの有無に関わらず炭素繊維シートはせん断補強材として有効に作用していると考えられる。スターラップが降伏する程度まで損傷を与えた後、シート補強を施したNo.11およびNo.12供試体の最大荷重は、同

表-1 供試体の名称および要因

No.	要 因	供試体名	スターラップ ^o タイプ	炭素繊維シート ^o タイプ	目付量 (kgf/cm^2)	$p_w \cdot \sigma_w^*$ (kgf/cm^2)
1		N	—	—	—	0.00
2	比較用	N10	D6@10cm	—	—	14.78
3		N5	D6@5cm	—	—	29.56
4		N-E100	—	高弾性	100g/m ²	18.43
5		N10-E100	D6@10cm	高弾性	100g/m ²	33.21
6	シート	N-E200	—	高弾性	200g/m ²	36.86
7	の	N10-E200	D6@10cm	高弾性	200g/m ²	51.64
8	補強量	N-H100	—	高強度	100g/m ²	27.83
9		N10-H100	D6@10cm	高強度	100g/m ²	42.61
10		N-H200	—	高強度	200g/m ²	55.67
11	損傷	C10-E100	D6@10cm	高弾性	100g/m ²	33.21
12	はり	C10-H100	D6@10cm	高強度	100g/m ²	42.61

*: 次式 $p_w \cdot \sigma_w = p_s \cdot \sigma_s + p_{er} \cdot \sigma_{er}$ より求める

$p_s = 2A_s / b_w \cdot s$ $p_{er} = 2b_{er} / b_w$

A_s : スターラップ 1本当たりの断面積 s : スターラップの間隔

b_w : はり断面幅 b_{er} : 炭素繊維シートの設計厚さ

σ_s : スターラップの降伏強度 σ_{er} : 炭素繊維シートの引張強度

表-2 炭素繊維シートの力学的特性

タイプ	目付量 (g/m^2)	比重	設計厚さ (mm)	引張強度 (kgf/cm^2)	弾性係数 (kgf/cm^2)
高弾性	100	1.84	0.0543	25600	4.42×10^6
	200	1.84	0.1086	(43000)	(4.45×10^6)
高強度	100	1.80	0.0556	37500	2.50×10^6
	200	1.80	0.1111	(50000)	(2.35×10^6)

(ϕ) 内の数値は炭素繊維単体の数値

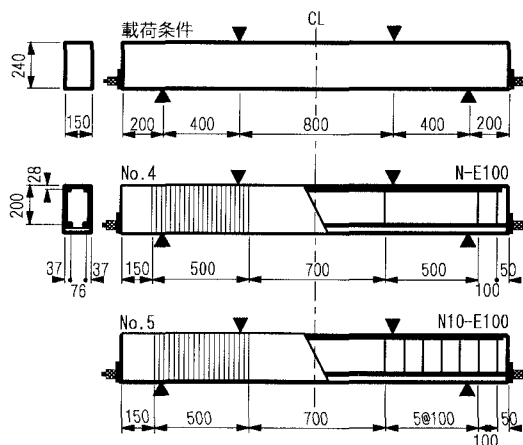


図-1 供試体の補強状況および載荷条件

じ補強量であるNo.5およびNo.9供試体と同程度の値を示した。スターラップが降伏する程度まで損傷を与えた部材にせん断補強材として炭素繊維シートを巻き付けた場合、健全な部材に補強した場合と同等の効果が得られるものと考えられる。図-2にせん断破壊荷重とせん断補強量の関係を示す。理論値はシートの低減係数を考慮せず、せん断補強量をパラメータとして算出している。スターラップ、シートあるいは両方による補強に関わらず、せん断補強量の増加に伴いせん断耐力は増加している。したがって、せん断耐力は、スターラップと同様にせん断補強量で評価できるものと考えられる。

図-3にNo.2、No.4、No.5、No.8およびNo.9供試体の荷重とスターラップおよび炭素繊維シートひずみの関係を示す。炭素繊維シートとスターラップの両方で補強したNo.5とNo.9供試体のスターラップひずみは、同一荷重においてスターラップのみで補強したNo.2供試体よりも小さくなっていることから、シート補強によってせん断力に対するスターラップの負担が軽減しているのが分かる。その軽減の割合は、高弾性タイプのシートで補強したNo.5の供試体の方が、高強度タイプのシートで補強したNo.9の供試体よりも大きくなっていることから、シートの弾性係数はスターラップの負担力軽減に影響を及ぼすものと考えられる。

図-4にNo.5およびNo.11供試体の荷重とたわみの関係を示す。No.11供試体は、損傷を与えた21tfまでは炭素繊維シートによる補強がないため、No.5の供試体に比べてせん断変形量が幾分大きくなっている。しかし、シート補強後に再載荷した時の21tf以降のたわみの挙動は、No.5供試体の挙動に類似している。したがって、スターラップが降伏する程度の損傷を受けたコンクリート部材に炭素繊維シートを巻き付けて補強することにより、部材の変形性状は改善され、シート補強後の部材の挙動は健全な部材に補強した場合の挙動と同等のものになると考えられる。

4. まとめ

(1) せん断補強材として炭素繊維シートを巻き付けることにより、せん断耐力は増加する。炭素繊維シートとスターラップを併用した場合、スターラップのせん断力に対する負担は軽減され、その軽減割合はシートの弾性係数の影響を受ける。

(2) スターラップが降伏する程度の損傷を受けたコンクリート部材に、炭素繊維シートを巻き付けて補強すると、シートのせん断補強効果は、健全な部材に補強したときと同等の評価をすることができる。

表-3 実験結果および計算耐力

No.	供試体名	理論値(tf) P_{vu}	実験結果(tf) P_u	破壊形式	実験値 理論値
1	N	11.50	12.98	せん断圧縮	1.13
2	N10	19.21	25.25	せん断圧縮	1.31
3	N5	26.92	32.95	せん断圧縮*	1.22
4	N-E100	21.11	31.90	せん断圧縮*	1.51
5	N10-E100	28.82	33.76	せん断圧縮*	1.17
6	N-E200	30.73	33.01	せん断引張*	1.07
7	N10-E200	38.44	41.10	せん断圧縮*	1.07
8	N-H100	26.02	29.75	せん断圧縮*	1.14
9	N10-H100	33.73	33.81	せん断圧縮*	1.00
10	N-H200	40.54	35.75	曲げ圧縮	0.87
11	C10-E100	28.82	34.50	せん断圧縮*	1.20
12	C10-H100	33.73	35.65	せん断圧縮*	1.06

P_{mu} : 曲げ破壊荷重 P_{vu} : せん断破壊荷重 P_u : 最大荷重

*: 炭素繊維シートの破断により破壊した供試体

理論値 $P_{vu} = 2V$

$V = V_c + V_w$

$V_c = 0.94\beta_d\beta_v(f'_c)^{1/3}\{0.75+1.4/(a/d)\}bwd$

$V_w = (p_w\sigma_w)b_wz$

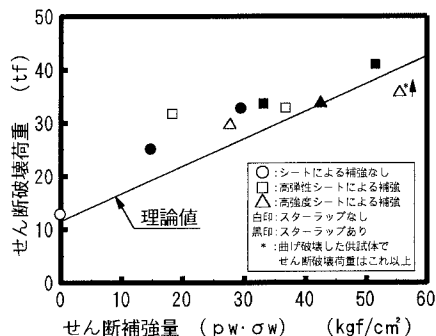


図-2 せん断破壊荷重とせん断補強量の関係

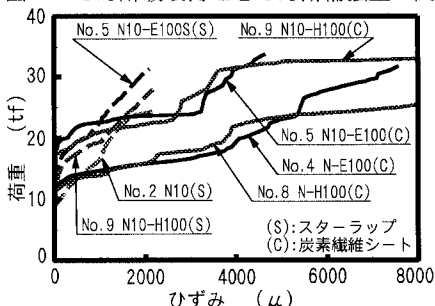


図-3 荷重とひずみの関係

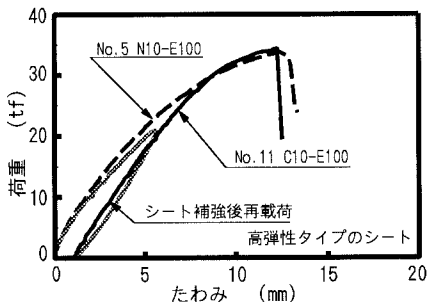


図-4 荷重とたわみの関係