

論文 プレストレスト繊維シートを用いたRC桁のせん断補強について

出雲 健司^{*1}・佐伯 昇^{*2}・堀口 敬^{*3}・志村 和紀^{*4}

要旨: 本研究はRC桁のウェブに2方向のアラミド繊維あるいは炭素繊維の連続繊維シートを接着し、シートの有無、シートに与えたプレストレス力の有無によるせん断補強効果を検討した。実験の結果、シートのみ接着した桁は繊維の違いによらずに耐力の増加が見られた。一方、シートにプレストレス力を与えて接着した桁には補強効果の違いが現れ、適切な量のプレストレス力を与えた桁は耐力が増加したが、導入量がシートの付着力に対して大きくなった場合、逆に耐力が低下した。

キーワード: 連続繊維シート, プレストレス力, RC桁, せん断補強, 主鉄筋量

1. はじめに

近年、劣化したコンクリート構造物などを連続繊維シートによって補強し、構造物自体の安全性の向上を図ろうとする研究が盛んに行われている。本研究では2方向連続繊維シートをRC桁のウェブのみに接着してせん断補強効果を検討した。また、コンクリートの圧縮強度、せん断補強筋量一定の条件下で、連続繊維シートの軸引張方向にプレストレス力を与え、その効果も同時に検討した。

また、既往の研究[1]では桁の底面にシートを接着し、プレストレスを軸引張方向に与えて、曲げ補強を目的としているが、本研究では桁の側面に接着したシートにプレストレスを

え、せん断補強を目的としている。

2. 実験概要

2.1 使用した連続繊維シート

本研究で使用した炭素繊維シート(以下、CFS)とアラミド繊維シート(以下、AFS)の物性値を表1に示す。シリーズ別に使用シートが分かれているが、各シートは桁に対しての軸方向、軸直角方向にそれぞれ1:1の割合で繊維が入っている2方向連続繊維シートである。また、使用したプライマーと接着剤はともにエポキシ系樹脂である。

2.2 桁の形状

実際に使用した桁の形状ならびにひずみゲ

表1 シートの物性値

シリーズ 繊維の種類	96		97	
	CFS	AFS	CFS	AFS
目付量(縦:横)(g/m ³)	200:200	200:200	300:300	235:235
比重	1.79	1.39	1.80	1.39
厚さ(mm)	0.112	0.144	0.167	0.169
引張強度(N/mm ²)	3879	2493	3115	2134
引張弾性率(kN/mm ²)	242	86	222	73
破断伸度(%)	2.1	3.1	1.6	3.3

*1 北海道大学大学院 工学研究科土木工学専攻 工修(正会員)

*2 北海道大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 工博(正会員)

*3 北海道大学大学院助教授 工学研究科社会基盤工学専攻 工博(正会員)

*4 北海道大学大学院助手 工学研究科社会基盤工学専攻 工修(正会員)

$$V_{cd} = 0.20\beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_{nt} \cdot \sqrt[3]{f_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2)$$

ここで、 $\beta_d = \sqrt[3]{1/d}$ 、 d :有効高さ(m)

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_w}, \quad p_w = A_s/(b_w d)$$

A_s :主鉄筋の断面積(mm²)

b_w :ウェブの幅(mm)

$$\beta_{nt} = \sqrt{1 + \sigma'_{nd}/f_{id}}$$

σ'_{nd} :軸方向による平均圧縮応力(N/mm²)

f_{id} :コンクリートの引張強度(N/mm²)

f_c :コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

$$V_{sd} = \frac{A_{sw} \cdot \sigma_{sy} \cdot z}{s \cdot \tan \alpha_n} \quad (3)$$

ここで、 A_{sw} :スターラップの断面積(mm²)

σ_{sy} :スターラップの降伏強度(N/mm²)

s :スターラップの間隔(mm)

$z = d/1.15$ 、 d :有効高さ(mm)

α_n :斜めひび割れ角度[3]

$$V_{ped} = P_{ed} \cdot \sin \alpha_p \quad (4)$$

ここで、 P_{ed} :プレストレス量(N/mm²)

α_p :軸方向緊張材が部材軸となす角度

(シートによる面的効果を見出し、ここでは0°としている)

$$V_{jd} = (3.4f_c^{2/3} + 69.0) \cdot E_f \cdot S_f \cdot t_f \times 10^{-6} \quad (\text{AFS})(5a)$$

$$V_{jd} = (3.8f_c^{2/3} + 15.2) \cdot E_f \cdot S_f \cdot t_f \times 10^{-6} \quad (\text{CFS})(5b)$$

ここで、 f_c はコンクリートの圧縮強度(N/mm²)

E_f :シートの引張弾性率(kN/mm²)

b_f :シートの幅(mm)

t_f :シートの厚さ(mm)

上式は先の論文[4]より、連続繊維シートをコンクリートに接着した一軸引張試験により求めた式で、図2に示される直角三角形をシート剥離時のせん断耐力に対するシートの有効付着面積 S_f としており、次式(6)で示される。

$$S_f = \frac{h_f^2}{8 \tan \alpha} \quad (6)$$

ここで、 h_f :シートの高さ(mm)

α :せん断ひび割れ角度

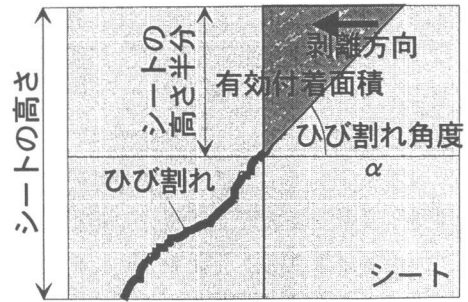


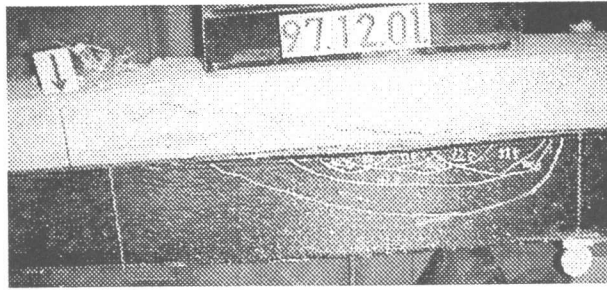
図2 有効付着面積の概略図

4. 実験結果と考察

図3(a)(b)に97-C-0と97-A-15のシート剥離後せん断破壊した状況を示す。また、図3(c)(d)にそれぞれの桁のひび割れ図とシートが剥離した部分を重ねた図を示す。シートに描かれている線はシートが剥離していった様子を示しており、シートを指で叩くことによってシートの剥離しているかどうかを確認している。この図に示されるように、シートにプレストレスを導入するしないに関わらず、斜めひび割れが発生した付近のシート上縁がまず剥がれ出し、剥離がシートの高さ半分に至ったときに最大荷重を迎え、その後せん断破壊した。他の桁もほぼ同様な破壊パターンを示したが、97-C-0、97-C-10は他の桁が1カ所から剥離が発生したのに対し、2カ所から剥離が発生した。なお、シートを貼っていない96-N-0、97-N-0はせん断破壊した。

桁の算定と実験の結果を表3に示す。曲げ耐力の算定は先の論文[5]に基づいて算定を行い、剥離せん断耐力とはシート剥離後せん断破壊する場合の耐力で、せん断耐力とはシートが剥離せずに破断した場合の耐力を示している。

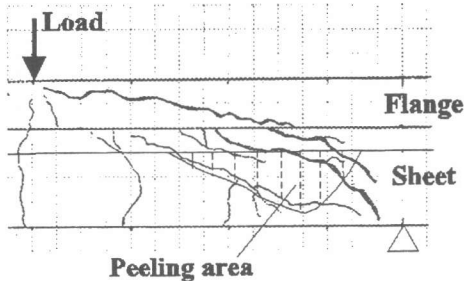
この表に示されるように、シートを貼ることにより、両シリーズ、繊維の違いによらずに、耐力の増加がみられた。96シリーズではシートに一枚につき15kNのプレストレスを導入した場合は導入していない桁に比べて耐力が増加したが、96-A-25のようにより大きなプレストレスを導入した場合と97シリーズでは下



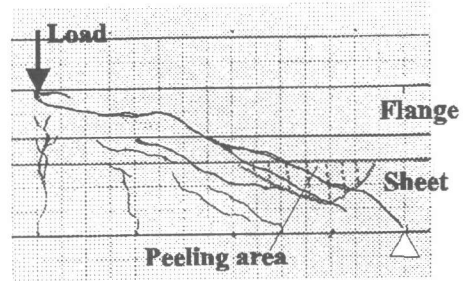
(a) 97-C-0



(b) 97-A-10



(c) 97-C-0



(d) 97-A-10

図3 97-C-0のシート剥離後のせん断破壊状況写真とひび割れ図

がる結果が出てきた。

図4にシートに貼ったロゼットゲージの軸直角方向のひずみを示す。この図はいずれも最初にシートが剥離した場所に近いゲージの軸直角方向のひずみを比較している。シートが剥離したと考えられる地点は、ひずみが最大になり、その後ひずみが急激に減少した地点と思われる。このことから、96シリーズでは96-A-25が、97シリーズでは97-A-10、97-C-10が、プレストレス力を与えなかったシートを接着した桁より早く剥離していることを示している。これは図に示していない97シリーズのAFSにも同様な傾向を示している。プレストレス力がシートの付着力に対して大きい場合、シートが早く

剥離すると思われる。また、表3よりせん断ひび割れ角度がシート補強していない97-N-0と比べて大きくなっている。したがって、これらのことからシートにプレストレスを導入した96-A-25、97-A-10、97-C-10の耐力がシート補強していない桁より耐力が低下し、96-A-15、96-C-15ではほぼ算定通り耐力が増加したものと思われる。

表3のシート、プレストレス力による耐力の増加は耐力が増加した桁ではほぼ評価できたが、耐力が下がった桁に対しては評価できなかった。また、97-C-0は評価ができなかった。これはシートの増加分を算定する式が剥離が1カ所から発生する場合の算定式なので、97-C-0

表3 算定と実験の結果

供試体	f_c (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	a_n	計算値(kN)				
				曲げ耐力	剥離せん断耐力	せん断耐力	$\Delta P_{f,cal}$	$\Delta P_{v,cal}$
96-N-0	46.4	4.03	27.0	254	197	197	-	-
96-C-0	52.0	4.12	31.1	296	202	428	14.9	-
96-C-15	40.3	1.98	31.4	291	211	429	13.0	20.1
96-A-0	60.3	3.21	29.2	281	212	427	13.1	-
96-A-15	42.5	2.90	29.3	278	212	428	11.9	14.4
96-A-25	49.3	3.34	29.6	332	258	427	14.0	25.6
97-N-0	42.6	2.71	24.0	545	-	249	-	-
97-A-0	43.5	2.78	26.1	575	255	611	15.7	-
97-A-10	49.3	2.79	26.1	590	276	634	16.3	13.6
97-C-0	40.7	2.57	29.2	579	247	678	22.5	-
97-C-10	45.7	2.58	29.2	595	268	702	23.8	14.6

供試体	実験値(kN)			破壊パターン
	最大荷重	$\Delta P_{f,exp}$	$\Delta P_{v,exp}$	
96-N-0	294	-	-	S
96-C-0	307	13	-	P
96-C-15	328	13	21	P
96-A-0	305	11	-	P
96-A-15	327	11	22	P
96-A-25	282	11	-23	S
97-N-0	409	-	-	P
97-A-0	428	19	-	P
97-A-10	387	19	-41	P
97-C-0	413	4	-	P
97-C-10	356	4	-57	P

ここで、 $\Delta P_{f,cal}$ ：シートによる耐力の増加分（計算値）

$\Delta P_{v,cal}$ ：プレストレス力による耐力の増加分（計算値）

$\Delta P_{f,exp}$ ：シートによる耐力の増加分（実験値）

$\Delta P_{v,exp}$ ：プレストレス力による耐力の増加分（実験値）

S：せん断破壊，P：シート剥離後せん断破壊

のような複数の箇所から剥離する場合は何らかの軽減が必要ではないと思われる。

図5に各桁ごとのスターラップのひずみ（ゲージS2）を示す。96シリーズでは、96-N-0と比較すると、シートを接着した場合、同一荷重下でひずみが低減されており、特に96-C-15はスターラップの降伏荷重も上昇させている。97シリーズでは、97-N-0と比較して、97-A-0、97-C-0はシートが応力を分担してスターラップのひずみを軽減しているが、97-A-10、97-C-10では逆に同一荷重におけるスターラップのひずみが増加する結果となっており、シートが早く剥離し、ひび割れ角度が無補強のものに比べて大きくなったので、スターラップの負担が大き

くなったものと思われる。

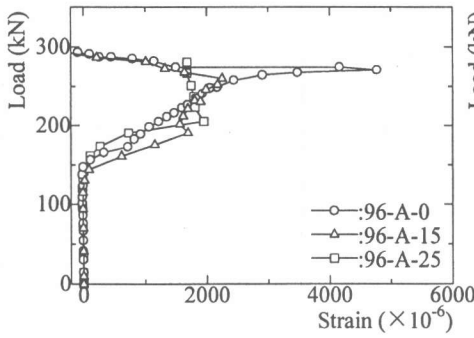
5. まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

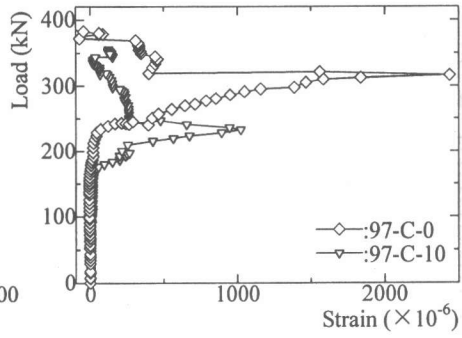
(1) シートを桁のウェブに貼ることにより繊維の種類に関わらず、せん断耐力の増加が期待できると思われる。

(2) 適切なプレストレス力を導入した場合は耐力が上がるが、導入量がシートの付着力に対して大きくなりすぎると逆にシートが早く剥離してしまうために補強効果が期待できなくなると思われる。

(3) シートの剥離が複数の箇所から発生した場合、一カ所から発生した場合と比べて、シー



(ゲージ：R 4 の軸直角)



(ゲージ：R 1 の軸直角)

図4 最初に剥離が発生した位置付近のシートのひずみ

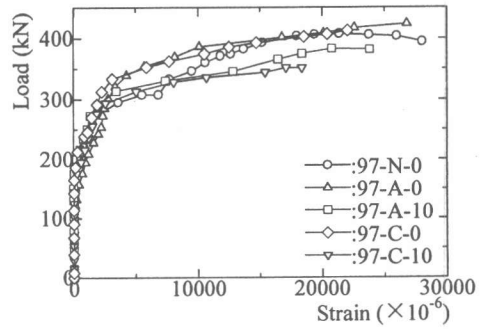
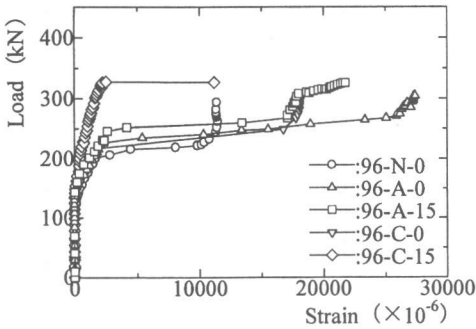


図5 スターラップのひずみ (ゲージ：S 2)

トの補強効果が低下すると思われる。

[謝辞]

本研究に際し、ご助力を得たショーボンド建設(株)の江口和雄氏、日本高圧コンクリート(株)の秦滋康氏および山田幹郎君(北海道大学工学部)に深謝いたします。

参考文献

[1]Meier, U., Deuring, M., Meier, H. and Schwegler G. 1992. Strengthening of Structures with CFRP Laminates, Research and Application in Switzerland, Canadian Society of Civil Engineering, pp. 243-251
 [2]出雲健司, 浅水俊博, 佐伯昇, 志村和紀:

テンションシートを用いたP R C部材のせん断補強効果, コンクリート工学論文報告集第19巻第2号, pp.1557-1562, 1997

[3]佐伯昇, 高田宣之, 藤田嘉夫:ねじり荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の耐力, 土木学会論文集, 第390号, V-8, pp.123-130, 1988.2

[4]出雲健司, 浅水俊博, 佐伯昇, 志村和紀:アラミドおよび炭素連続繊維シートの付着挙動, コンクリート工学論文集, Vol.9, No.2, 1988(投稿中)

[5]甄曉青, 佐伯昇, 秦滋康:連続繊維シートによるP R C桁の補強効果について, セメント・コンクリート工学論文集, No.50, pp.340-345, 1996