

V-36 炭素繊維シートをアンカー定着したRCはりのせん断性状について

北海道大学工学部 学生員 江尻 雄一
 北海道大学工学部 正員 佐藤 靖彦
 北海道大学工学部 正員 上田 多門
 東燃(株) 正員 小林 朗

1.はじめに

近年、コンクリート構造物の補強方法として炭素繊維シート（以下、「CFS」）による接着工法が注目されている。CFSで補強された構造物の破壊はCFSとコンクリートの付着が切れることによって生じる事が多く、この付着切れを防ぐためにCFSをアンカー定着することが考えられる。

そこで本研究では、CFSをアンカー定着したRCはりのせん断補強を取り上げ、アンカーによる定着補強の有無をパラメータとしたRCはりのせん断載荷試験を行い、CFSをアンカー定着した場合のせん断補強効果を実験的に明らかにする。

2. 実験概要

本研究で用いたCFSは一方向補強繊維シートである。また本研究で使用した鉄筋及びCFSの力学的特性値を表1に示す。

本実験において合計3体のT桁はり供試体のせん断載荷試験が行われた。実験供試体の諸元を図1及び表2に示す。全供試体はスターラップで補強されているが、左右のスペンでせん断補強筋比が異なる（表2参照）。供試体S1は、せん断補強筋としてスターラップのみ有するものである。供試体S2およびS3は、ウェブ部（上フランジ直下まで）にCFSが側面及び下面に貼り付けられている。供試体S3では、CFSがフラットプレートを紹介アンカー定着されている（図3参照）。なお、アンカープレートとCFS間も樹脂により接着されている。ボルトには直径10mmの金属拡張式アンカーを用い、100mm間隔でコンクリートに打ち込まれた。また、フラットプレートは幅50mm、厚さ10mmである。

本実験の測定項目は、CFS及びスターラップのひずみ、スペン中央点の変位である。スターラップに貼り付けたひずみゲージの位置を図1に、CFSに貼り付けたひずみゲージの位置を図2に示す。また、コンクリートの目標強度は29.4MPaであり、実際の値は表2に示すものである。

表1 鉄筋及びCFSの力学的特性値

	種類	断面積 (mm ²)	ヤング係数 (GPa)	降伏強度 (MPa)	厚さ (mm)
鉄筋	D6	0.3167	183	387	—
	D10	0.7133	191	385	—
	D25	5.067	192	396	—
CFS	FTS-C1-20	— — —	230	— — —	0.11

Experiment Study On Shear Behavior Of RC Beams Anchored Carbon Fiber Sheet

By Yuuichi EJIRI, Yasuhiko SATOH, Tamon UEDA, Akira KOBAYASHI

表2 実験供試体の諸元

供試体	f'_c (MPa)	P_s (%)	p_w		CFS	ボルト	終局せん断 耐力 (kN)	破壊形式
			LEFT	RIGHT				
S 1	25.9	3.28	0.35	0.79	-----	-----	199	せん断破壊
S 2	35.7	3.28	0.35	0.79	有	-----	223	シート剥離
S 3	35.3	3.28	0.35	0.79	有	有	264	シート剥離

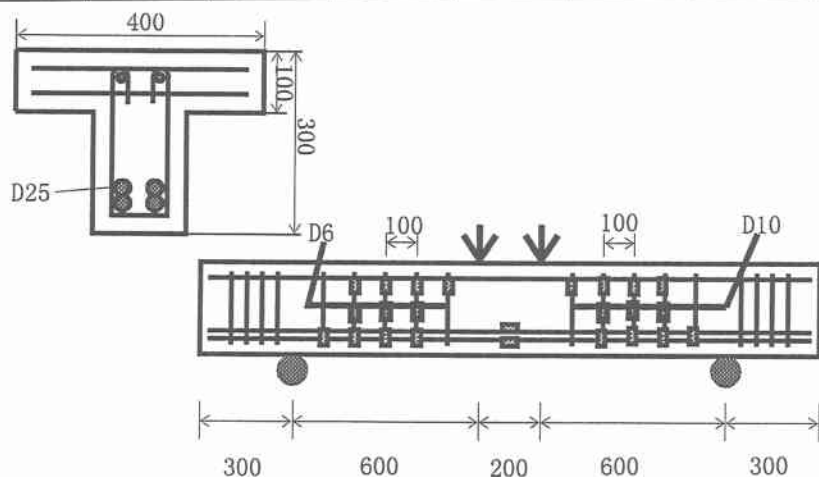


図1 実験供試体

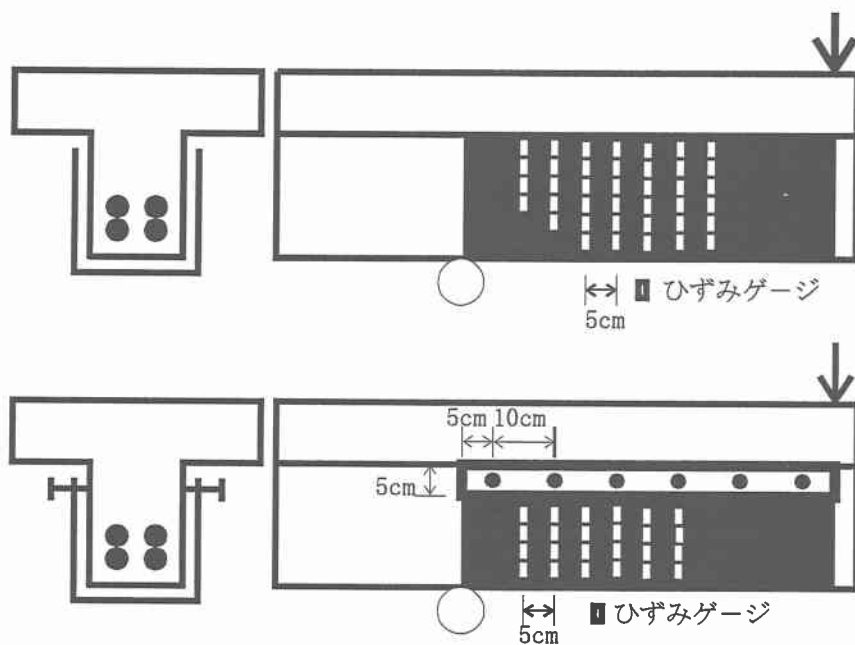


図2 CFSの貼付及びアンカーの固定方法

3.実験結果及び考察

3.1 終局せん断耐力及び破壊形式

各供試体の終局せん断耐力と破壊形式を表2に示す。

① 供試体S1（スターラップ）

スターラップが降伏後も荷重は大きく増加し最終的に199kNでせん断破壊を起こした。破壊後のひび割れ性状を図4に示す。

② 供試体S2（CFSのみ）

CFSをせん断スパンの側面と底面にU字に貼り付けた供試体S2の破壊後のCFSの剥離性状を図5に示す。供試体S2は、せん断力か約200kNでせん断スパン中央部と載荷点との間の上フランジ直下のC

F Sが剥離を起こし、その後も荷重が増加し、最終的に223kNで図5に示すような斜めひび割れより上側の3角形の領域でCFSが剥離すると同時に、斜めひび割れが圧縮域を貫通するせん断破壊を起こした。供試体S1と比べると47kNの耐力向上が見られた。

③ 供試体S3（アンカー定着）

CFSをせん断スパンの側面と底面にU字に貼り付け、その上からプレートを通じてアンカー定着した供試体S3の破壊後の剥離性状を図6に示す。供試体S2において最初の剥離が観察された200kN時にもCFSの剥離は観察されず、最終的にせん断力264kNでCFS剥離後のせん断破壊に至っている。供試体S1と比べると75kN、供試体S2と比べると41.5kNと大幅な耐力向上が見られた。すなわち、アンカー定着することによりCFSの剥離を遅らせることができたのである。先に、CFSの剥離は図4のようにプレートの真下で剥離が生じていたことを述べたが、さらに、図6のAの位置のボルトが曲がっていた。よって、CFSとコンクリート間で剥離が起こった後、それまで受け持っていた引張力をアンカーが受け持っていたものと推察される。

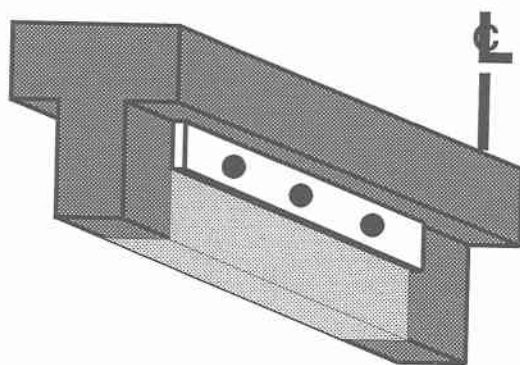


図3 アンカーの使用図

3.2 荷重と変位との関係

図7は、荷重とはり中央部の変位との関係を示す。終局耐力が大きなものほど剛性が大きいことが明らかである。斜めひび割れ後の変形の増加は、斜めひび割れの進展・ひび割れ幅の拡大に伴うせん断変形の増加に起因するものと考えられる。よって、CFSで補強することにより、斜めひび割れの成長を抑制する効果があり、特に、アンカー定着することによりよりその効果が大きいことが明らかである。

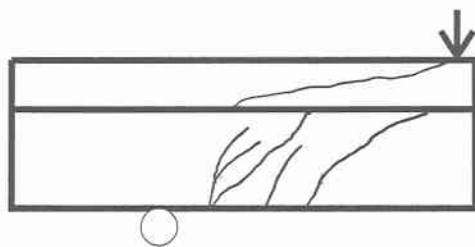


図4 S1供試体ひび割れ図

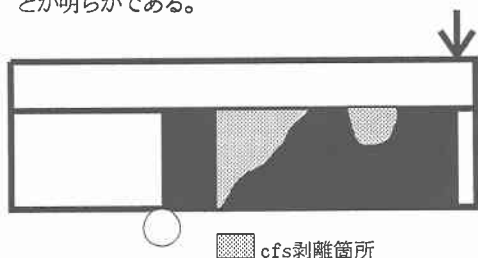


図6 S2供試体剥離図

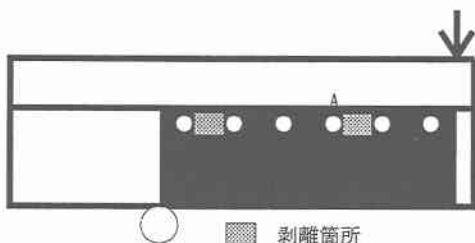


図5 S3供試体剥離図

3.3 分担せん断力の変化についての比較

(1) 供試体 S1 (スターラップのみ)

図8は、左右のせん断スパンにおける供試体 S1 の作用せん断力と分担せん断力との関係を示す。スターラップが受け持つせん断力 V_s は、破壊に支配的であった斜めひび割れ内の歪みゲージの平均値に、表1に示すヤング係数を掛け合わせて応力を算出し、その値に斜めひび割れを跨いでいたと思われるスターラップの本数を掛け合わせるにより求めた。なお、スターラップ降伏後は、降伏応力で一定として計算している。

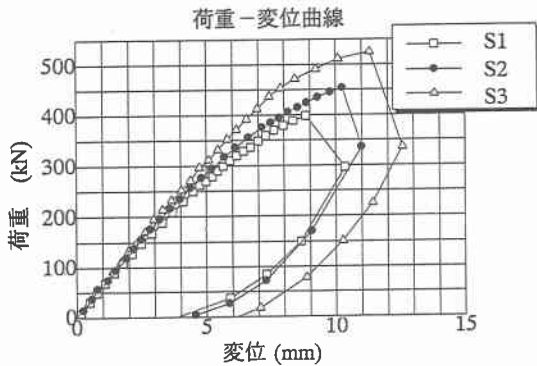


図7 荷重-変位曲線

スターラップが受け持つせん断力 V_s は、作用せん断力が 60kN 付近から増加し始めることが明らかである。せん断補強筋比が 0.35% の場合、作用せん断力が 140kN 付近でスターラップが降伏し、その後、スターラップ以外が受け持つせん断力 (V_c) が大きく増加し、 V_c が受け持つせん断力が約 120kN 付近で破壊に至っている。

本実験供試体の諸元を用い、そのせん断耐力を二羽式¹⁾により求めると約 40kN となる。本実験結果におけるせん断補強筋が降伏するまでのスターラップ以外が受け持つせん断力はその値の約 1.5、破壊時には約 3 倍である。すなわち、矩形はりの実験結果に基づいて構築された二羽式を、T 桁はりのせん断耐力を評価することには無理があるものと思われる。

(2) 供試体 S2 及び S3

図9は、供試体 S2 の作用せん断力と分担せん断力との関係を、図10は、供試体 S3 の作用せん断力と分担せん断力との関係を示す。 V_s はスターラップが受け持つせん断力を、 V_{CRS} は、CFS が受け持つせん断力を示している。スターラップが受け持つせん断力 V_s 及び CFS が受け持つせん断力 V_{CRS} は、破壊に支配的であった斜めひび割れ内の歪みゲージの値に、表1に示すヤング係数を掛け合わせて応力を算出し、斜めひび割れを跨いでいたと思われる補強材の面積を掛け合わせるにより求めた。なお、図の(a)は、せん断補強筋比が 0.35% の場合、(b)はせん断補強筋比が 0.79% の場合を示している。供試体 S2 及び S3 ともに、作用せん断力が 90kN 付近から V_s 、 V_{CRS} が増加し始めている。その後、両供試体ともに作用せん断力が 120kN で V_c が受け持つせん断力が 60 から 80kN で概ね一定となっている。せん断補強筋比が 0.35% の場合、供試体 S2 においては、スターラップは作用せん断力

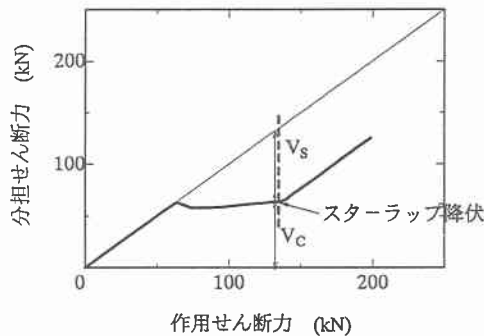


図8-(a) 分担せん断力の変化 (無補強、D 6 区間)

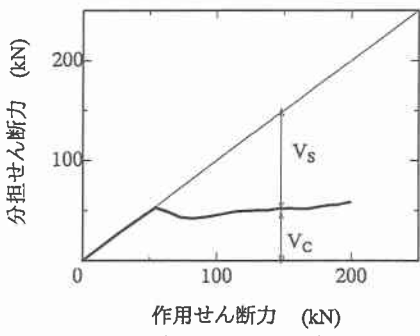


図8-(b) 分担せん断力の変化 (無補強、D 10 区間)

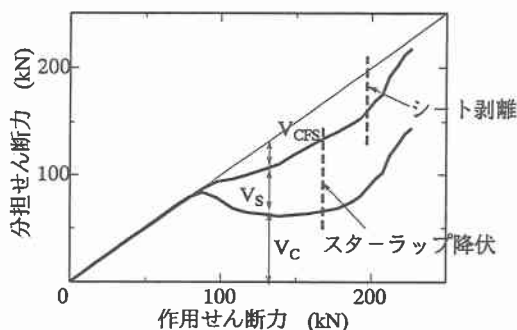


図 9-(a) 分担せん断力の変化（シートのみ,D6区間）

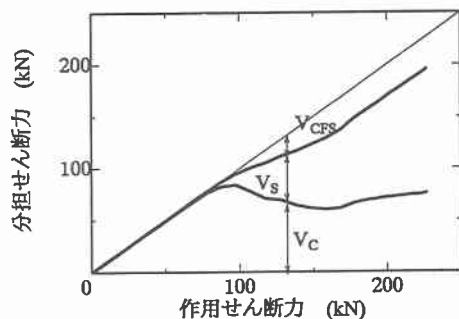


図 9-(b) 分担せん断力の変化（シートのみ,D10区間）

か約 180kN で、供試体 S3 においては約 200kN でスターラップが降伏しており、両スパンともにその後 V_c が受け持つせん断力が大きく増加している。CFS を貼り付けていない供試体 S1 のスターラップ降伏時の作用せん断力は、約 140kN であり、CFS により補強することでスターラップの降伏が遅れることが明らかである。

せん断補強筋比が 0.35% であるスパンに対して、アンカー定着していない供試体 S2 においては、スターラップが降伏した後、作用せん断力が 200kN 付近まで V_{cfs} が増加しているが、その後減少に転じている。これは、スターラップが降伏してそれまでスターラップが受け持っていたせん断力を CFS が譲り受けたが、CFS がその定着強度に達し剥離に至ったためである。これに対してアンカー定着した供試体 S3 においては、スターラップが降伏する作用せん断力の大きさは、供試体 S2 と大差ないが、降伏後の V_{cfs} が受け持つせん断力の変化は異なる。すなわち、作用せん断力が 240kN 付近まで V_{cfs} が受け持つせん断力が増加し、その後減少に転じている。これは、CFS の剥離によるものであるが、剥離発生荷重が供試体 S2 よりも大きくなったのである。ゆえに、ボルトをつけることによって高い作用せん断力に対しても V_{cfs} を発揮させることができ、 V_c を急激に増加するのを防ぐことができるのが分かった。これに対して供試体 S2 及び供試体 S3 のせん断補強筋比が 0.79% であるスパンにおいては、せん断補強筋は降伏せず、 V_{cfs} の負担が少なく剥離が発生しなかった。その結果、 V_c は大きく増加せず、このスパンでは破壊に至らなかったものと考えることができる。

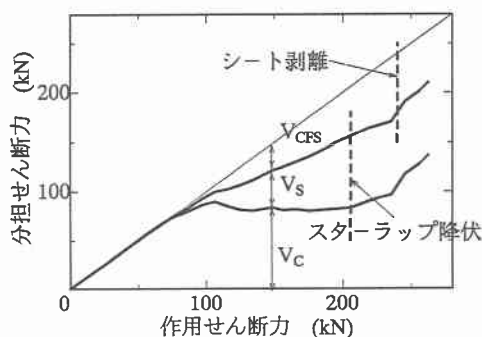


図 10-(a) 分担せん断力の変化（ボルト使用,D6区間）

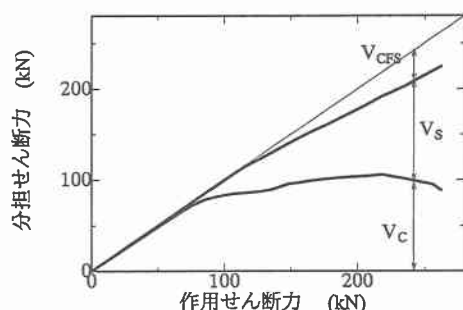


図 10-(b) 分担せん断力の変化（ボルト ,D10区間）

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) CFS をはりの側面に貼り付け、せん断補強することにより、スターラップが降伏する時の荷重を増加させることができる。
- (2) 本実験で用いた T 桁はりのように、側面全域に貼り付けることができない場合も CFS によるせん断補強効果は期待できる。
- (3) CFS をフラットプレートを介しアンカー定着した場合のせん断耐力は、ただ貼り付けた場合よりも大きくなる。これは、アンカー定着することにより CFS の剥離強度が増加することに起因する。

謝辞：本研究を進めるにあたり多大なる御援助、御指導をしていただいた北海道大学助手 佐藤靖彦氏、同大学大学院 浅野靖幸氏、同大学技官 木村勉氏、他の皆さんにこの紙面を借りて厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 二羽淳一郎他、せん断補強筋を用いない R C はりのせん断強度式の再評価、土木学会論文集、Vol.372、pp.167～176、1986 年