

連続繊維シートで補強されたRC部材の付着割裂強度
(その1. キャンティレバー型付着試験体の場合)

豊橋技術科学大学大学院 学生員 ○岡村晃輝
豊橋技術科学大学 正会員 角 徹三
豊橋技術科学大学大学院 小幡有香
豊橋技術科学大学大学院 学生員 山崎敬子

1. はじめに
連続繊維シート巻き付けによるRC部材のせん断破壊抑止効果についてはこれまでに多くの実験がなされ強度式も提案されているが、同じ脆性破壊である付着割裂破壊抑止効果については、実験も少なく早急な解明が望まれている。本研究では、RCはり材の一部をモデル化したキャンティレバー型で試験鉄筋が2本および4本ある付着試験を実施し、主としてサイドスプリット型破壊の付着性状と連続繊維の付着強度増大効果を明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要
2.1 試験体
図-1に試験体の配筋詳細を示す。形状は全試験体共通であり、上下に試験筋を配し順次引抜き試験を行い、一体の試験体から2つのデータを得た。付着長さは荷重側から300mmまでとし、鉄筋に直交する反力が試験筋を拘束するのを防ぐために、自由端から100mmの部分では鉄筋外周に鋼管を配置して付着をカットしている。試験体腹部には、せん断破壊防止に十分な鉄筋を配した。試験鉄筋を直接拘束する横補強筋としては2-φ6@150($p_{ws}=0.186\%$)を配した。断面の寸法と試験筋の配置決定については、藤井・森田式²⁾に従えばサイドスプリット型の付着破壊が先行するよう留意されている。

2.2 使用材料の性質
(1)コンクリート：使用したコンクリートの特性を表-1に示す。粗骨材には最大粒径20mm、目標スランブ15cm、目標強度24N/mm²とした配合表を同図(a)に示す。打設時期を3期に分けたため同一配合にもかかわらず有意の強度差が生じた。各シリーズの力学特性を同図(b)に示す。
(2)鉄筋：使用した鉄筋の力学的特性を表-2に示す。試験筋はD19とD25の2種類としたが、両者とも付着割裂破壊前に降伏が生じないよう高強度筋($\sigma_{sy} \geq 700\text{N/mm}^2$)を使用している。
(3)連続繊維シート：本実験では主として炭素繊維シートを対象としたが、比較としてアラミド繊維も一部使用した。これらの特性を表-3に、シートの巻き付け要領を図-2に示す。

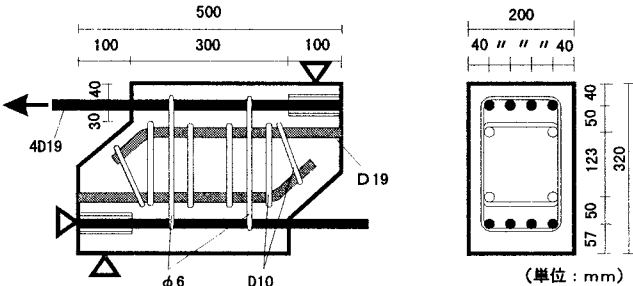


図-1 試験体図

表-1 使用コンクリートの特性
(a) 配合表

W/C (%)	S/A (%)	セメント	水	細骨材	粗骨材
63.0	47.0	278	175	852	986

(b) 力学特性

	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	割線弾性係数 (N/mm ²)
1 シリーズ	29.4	2.70	2.47×10^4
2 シリーズ	24.5	1.65	2.09×10^4
3 シリーズ	27.0	2.43	2.01×10^4

表-2 使用鉄筋の力学特性

	引張強度 (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
D25 (主筋)	889	703	1.92×10^5
D19 (主筋)	840	720	2.00×10^5
φ6 (1 シリーズ)	397	272	1.97×10^5
φ6 (2 シリーズ)	414	277	1.73×10^5
φ6 (3 シリーズ)	410	269	1.71×10^5

表-3 連続繊維シートの力学特性

	炭素繊維シート	アラミド繊維シート
繊維目付 (gr/m ²)	300	415
繊維比重 (gr/m ³)	1.80	1.45
設計厚さ (mm)	0.167	0.286
引張強度 (N/mm ²)	3400	2000
引張弾性率 (N/mm ²)	2.30×10^5	1.18×10^5
破断伸度 (%)	1.5	1.8

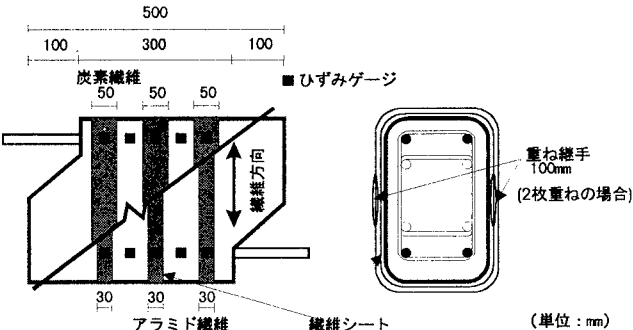


図-2 繊維シート貼付要領

2.3 実験変数

実験変数は、シート補強の有無およびその量(p_{wf} = 0.08%, 0.168%, 0.25%, 0.32%)と種類(炭素繊維、アラミド繊維)とした。次に試験鉄筋の径(D19とD25)と本数(2本と4本)を設定した。最後に、試験鉄筋の断面内での位置として、側面かぶりを一定とし、鉛直かぶり(C_v)を40, 57, 72mmに設定し、鉄筋位置がシートの拘束効果に与える影響を調べた。

3. 実験結果

3.1 付着強度

実験結果の一覧を表-4に示す。付着強度 $\tau_{u,exp}$ は最大荷重を P_{max} として次式で定義する。

$$\tau_{u,exp} = P_{max} / (L \cdot \phi \cdot N) \quad (N/mm^2)$$

但し、L: 付着長さ、 ϕ : 周長、N: 試験筋本数

3.2 ひびわれ状況および破壊モード

計算上では、すべてサイドスプリット破壊であるが、水平かぶりと鉛直かぶりの等しい試験体などではコーナースプリットあるいはコーナーとサイドの複合破壊したものもある。

シート補強無しと有りの違いがひびわれ、破壊モードおよび付着強度にどう影響するかを図-3を用いて説明する。(a)では、シート巻き付けによって破壊モードがコーナー破壊からサイド破壊に移行しているが、26%の強度増加がみられる。(b)では、(a)よりも鉄筋のかぶり深さが大きく設定されているが、破壊モードは両者ともサイドである。しかし、シート補強無しのひびわれ面が単純であるのに対し、シート補強を行うと、最初のひびわれ後もシートの拘束が保持され、側面に細かい多数のひびわれが発生した。強度増加は18%となり(a)よりも落ちる。(c)は(a)、(b)とは異なり鉄筋が4本並んだ場合である。ひびわれと破壊モードは(b)と同様であるが、強度増加は44%と3つのなかで最も大きい。この傾向は、部材主筋群を外周する横補強筋の補強効果は主筋本数が多いほど低下するという周知の傾向と全く逆であり、部材全体を外から巻くことの拘束効果の優位性を示すものとして注目に値する。

4. まとめ

- (1) 補強率 p_{wf} = 0.168%のもとでシート補強による付着強度増大率は20 ~ 40%の範囲となった。
- (2) 付着強度増大効果は試験鉄筋2本の場合よりもむしろ4本の場合の方が顕著である。

参考文献: 1) 片岡隆広他: シート状連続繊維によりせん断補強されたRC柱の構造性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 18, No. 2, pp. 1463-1468, 1996、2) 森田司郎他: 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究-第1報 付着割裂破壊を支配する要因についての実験結果-、日本建築学会論文集報告集、第319, 昭和57年9月

表-4 試験結果一覧

シリーズ	試験体番号	試験体名	打設位置	連続繊維シート		試験鉄筋			実験結果				
				種類	補強率 p_{wf} (%)	公称径 (mm)	本数	鉛直かぶり C_v (mm)	付着強度 (N/mm^2) $\tau_{u,exp}$	破壊モード *1			
1	1	C00-2D19-40	T	C	0.00	19	2	40	4.16	C			
	2	C00-2D19-57	B					57	6.02	S			
	3	C16-2D19-40	T		0.16		2	40	5.27	CS			
	4	C16-2D19-57	B					57	7.11	S			
	5	C00-4D19-40	T		0.00		4	40	2.08	S			
	6	C00-4D19-57	B					57	3.00	S			
	7	C16-4D19-40	T		0.16		4	40	3.20	S			
	8	C16-4D19-57	B					57	4.31	S			
	9	C25-4D19-40	T		0.25		4	40	2.78	S			
	10	C25-4D19-57	B					57	3.78	S			
2	11	C00-2D19-72	T	C	0.00	25	2	72	4.65	S			
	12	C00-2D25-57	B					57	4.31	S			
	13	C16-2D19-72	T		0.16	19	72	5.50	S				
	14	C16-2D25-57	B				57	5.33	S				
	15	C00-2D25-40T	T		0.00	25	2	40	2.55	S			
	16	C00-2D25-40B	B					40	4.02	CS			
	17	C16-2D25-40T	T		0.16		2	40	4.33	S			
	18	C16-2D25-40B	B					40	4.90	S			
	19	A16-2D19-40	T		0.16		2	40	4.41	C			
	20	A16-2D19-57	B					57	5.64	S			
3	21	C00-2D19-40-1	T	C	0.00	19	4	*2	*2	*2			
	22	C00-4D19-40-1	B					2.47	Sh	Sh			
	23	C00-2D19-40-2	T					3.92	Sh	Sh			
	24	C00-4D19-40-2	B					2.58	S	S			
	25	C00-2D19-40-3	T					3.69	C	C			
	26	C00-4D19-40-3	B					2.67	Sh	Sh			
	27	C00-2D19-40-4	T					4.28	CS	CS			
	28	C00-4D19-40-4	B					3.03	S	S			
	29	C08-2D19-40	T		0.08		2	4.36	CS	CS			
	30	C08-4D19-40	B					3.24	CS	CS			
	31	C16-2D19-40	T		0.16		2	4.44	S	S			
	32	C16-4D19-40	B					3.22	C	C			
	33	C25-2D19-40	T		0.25		4	4.50	CS	CS			
	34	C25-4D19-40	B					3.75	S	S			
	35	C32-2D19-40	T		0.32		2	5.08	S	S			
	36	C32-4D19-40	B					3.79	*3	*3			
	37	A08-2D19-40	T		A		0.08	2	4.53	C	C		
	38	A08-4D19-40	B						2.89	S	S		
	39	A16-2D19-40	T						0.16	2	4.14	C	C
	40	A16-4D19-40	B								3.00	S	S

*1: C…コーナースプリット破壊、S…サイドスプリット破壊、Sh…せん断破壊、*2: 計測不能、*3: 試験領域外で破壊

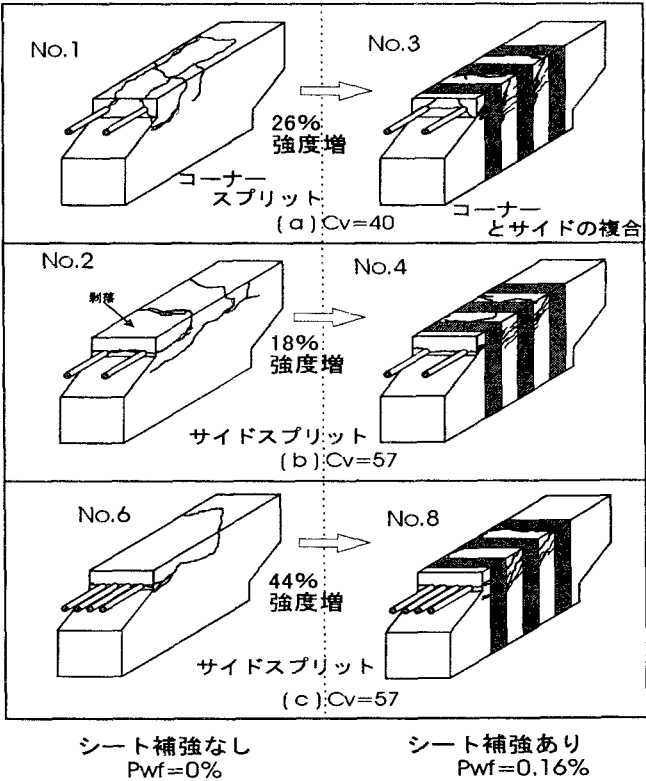


図-3 付着割裂ひびわれと破壊状況