

京都大学 学生員 山本 貴士 正員 服部 篤史

京都大学 正員 宮川 豊章 正員 藤井 学

1.はじめに 本研究では、種々の連続繊維スパイラル筋および連続繊維シートを用いた横拘束コンクリートを曲げ部材へ適用し、各種連続繊維スパイラル筋の横拘束筋種類（引張強度、弾性係数）、横拘束筋体積比 ρ_s が靱性に与える影響を検討するとともに、同一繊維重量比 ρ_w （単位部材長さあたりの繊維重量）で用いた場合の連続繊維スパイラル筋と連続繊維シートの横拘束効果を比較した。

2.実験概要 供試体はいずれも幅×高さ×長さ=10cm×20cm×160cmのRCはり（主筋2-D16）を用いた。主筋比は2.26%で、圧縮側コンクリートの耐荷性状を検討するため、釣合鉄筋比の60.4%（ $f_c=34.6$ MPa）、30.3%（ $f_c=61.5$ MPa）と比較的大きい場合も設定した。供試体一覧と各種横拘束筋の形状および機械的性質をそれぞれ表1、表2に示す。供試体の断面は図1に示す通りで、連続繊維スパイラル筋配置の供試体は横拘束区間を70cmとし、他の区間はせん断補強のため間隔10cmで配置した。連続繊維シートは、全区間はりの軸方向に沿った中心線間隔10cmおよび15cmで配置した（コンクリート中のせん断補強筋なし）。せん断補強筋比 ρ_w を表1中に示す。

これらの供試体に対し、曲げスパン30cmの1方向対称2点繰返し載荷を最大荷重 P_m の80%（終局時と定義する）になるまで行った。

3.試験結果および考察 A:各種連続繊維スパイラル筋の横拘束効果の比較 図2、図3にそれぞれ、 P_m 、変位靱性率 μ に与える横拘束筋種類および ρ_s の影響を示す。また、図4に無次元化消散エネルギー E_d/I の累積挙動の一例を示す。図2に示すように、 P_m に与える横拘束筋種類の影響は計算値の1.0～1.2倍と少なく、また ρ_s の影響も小さかった。一方、図3に示すように、 $\rho_s=2.21\%$ の供試体では、全ての横拘束筋でほぼ $\mu \geq 10$ となっており、特に炭

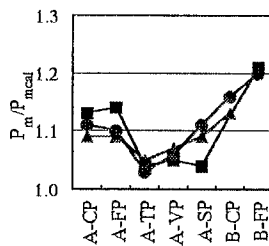


図2 P_m に与える横拘束筋種類および ρ_s の影響

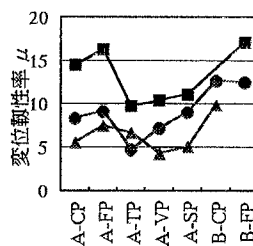


図3 μ に与える横拘束筋種類および ρ_s の影響

表1 供試体一覧

供試体名	f_{ck}	横拘束筋種類	$\rho_s(\%)$	$\rho_s(\%)^*$	$\rho_w(g/cm)$	$\rho_w(\%)^{**}$
A-CP-1	34.6 MPa	炭素繊維スパイラル筋	2.21	1.11	2.89	0.565
A-CP-2		炭素繊維スパイラル筋	1.35	0.681	1.75	
A-CP-3		炭素繊維スパイラル筋	0.893	0.450	1.17	
A-FP-1		アラミド繊維Fスパイラル筋	2.21	1.15	2.43	
A-FP-2		アラミド繊維Fスパイラル筋	1.50	0.780	1.62	
A-FP-3		アラミド繊維Fスパイラル筋	0.885	0.461	0.962	
A-TP-1		アラミド繊維Tスパイラル筋	2.21	1.44	2.88	
A-TP-2		アラミド繊維Tスパイラル筋	1.50	0.974	1.95	
A-TP-3		アラミド繊維Tスパイラル筋	0.885	0.576	1.15	
A-VP-1		ビニロン繊維Vスパイラル筋	2.21	1.59	2.98	
A-VP-2		ビニロン繊維Vスパイラル筋	1.50	1.08	2.02	
A-VP-3		ビニロン繊維Vスパイラル筋	0.885	0.637	1.19	
A-SP-1	61.5 MPa	丸鋼フープ筋	2.21	—	—	0.565
A-SP-2		丸鋼フープ筋	1.50	—	—	
A-SP-3		丸鋼フープ筋	0.885	—	—	
A-CH-1		炭素繊維シート	—	0.487	1.75	0.338
A-CH-2		炭素繊維シート	—	0.325	1.17	0.225
A-FH-1		アラミド繊維シート	—	0.837	2.43	0.579
A-FH-2		アラミド繊維シート	—	0.558	1.62	0.386
B-CP-1		炭素繊維スパイラル筋	1.35	0.681	1.75	0.565
B-CP-2		炭素繊維スパイラル筋	0.893	0.450	1.17	
B-FP-1		アラミド繊維Fスパイラル筋	2.21	1.15	2.43	
B-FP-2		アラミド繊維Fスパイラル筋	1.50	0.780	1.62	
B-CH-1		炭素繊維シート	—	0.487	1.75	0.338
B-CH-2		炭素繊維シート	—	0.325	1.17	0.225
B-FH-1		アラミド繊維シート	—	0.837	2.43	0.579
B-FH-2		アラミド繊維シート	—	0.558	1.62	0.386

* : 繊維体積比 ρ_s =断面1周分の繊維体積/コアコンクリート体積** : せん断補強筋比 $\rho_w=A_s/(b \cdot s)$

s : せん断補強筋配置間隔

b : 断面幅

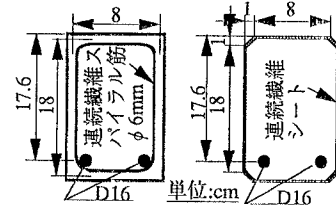
A_s : 間隔s内のせん断補強筋の断面積（シートは繊維断面積）

図1 供試体断面

表2 各種横拘束筋の形状および機械的性質

横拘束筋の種類	形状	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm ²)*	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	伸び (%)***
炭素繊維スパイラル筋	組紐	6.00	28.3	2570	152	1.7
アラミド繊維Fスパイラル筋				1600	63.7	2.5
アラミド繊維Tスパイラル筋				1760	52.9	3.3
ビニロン繊維Vスパイラル筋				794	36.3	2.2
炭素繊維シート	模造	100mm	16.9	4060	252	1.6
アラミド繊維Fシート	模造	100mm	28.9	2130	129	1.6
丸鋼フープ筋	丸棒	6.00	28.3	409 (383**)	181	22

* : 連続繊維シートは繊維断面積

** : 降伏荷重 *** : 引張強度/弾性係数より求めた値

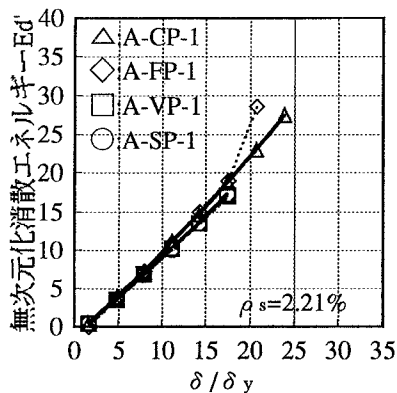
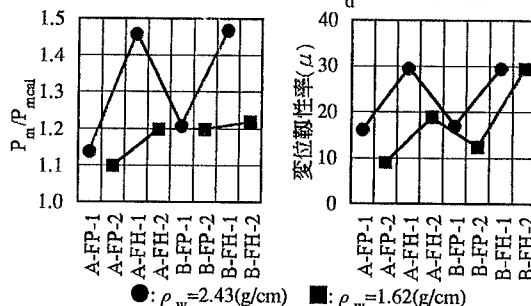
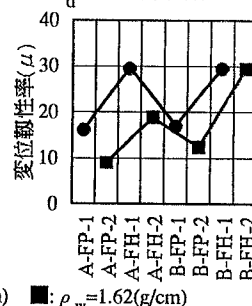
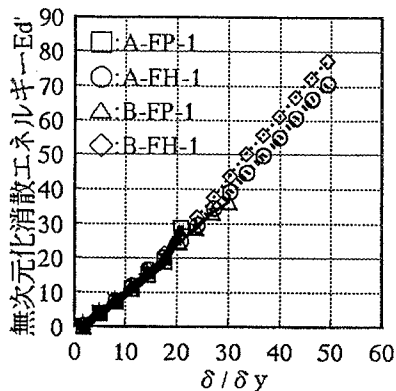
素繊維、アラミド繊維Fスパイラル筋では大きな塑性変形能が得られた。それ以下の ρ_s では、横拘束筋種類による差はあまり見られなかった。また、 ρ_s の増加に伴い μ が増加する傾向が見られ、中でも炭素繊維、アラミド繊維Fスパイラル筋で顕著に増加した。このことから、横拘束筋の配置はある程度以上の ρ_s で、特に炭素繊維、アラミド繊維Fスパイラル筋を用いれば大きな塑性変形能が得られることがわかる。図4に示すように、たわみが小さい間は E_d はたわみに比例する形で増大しており、その領域では荷重が低下せず、各載荷ループが安定した形状を保っていることがわかる。また横拘束筋種類によらず傾きがほぼ同じであることは、コンクリート強度が同じものでは $P_{ycal} \cdot \delta_{ycal}$ が同一となるため、各載荷ループで横拘束筋種類によらず荷重がほぼ同様であることを示しており、図2での結果と一致している。

B:連続繊維スパイラル筋と連続繊維シートの横束効果の比較 図5、図6にそれぞれ P_m 、 μ に与える横拘束筋種類および ρ_w の影響を示す。図5、図6に示すように連続繊維シートの方が P_m の増加および塑性変形能の改善は顕著であった。これは、シートはコンクリートの表面に設置されているため有効拘束領域が大きく、かつコンクリートの圧潰、剥落による横拘束領域の減少が小さく抑えられたためであると考えられる。また、連続繊維シートを構成する1本、1本の繊維が極めて密な配置間隔で配されていると考えれば、同じ ρ_s の場合は細径の横拘束筋を用いる方が靱性が改善されるという従来の考えに一致する。さらに、図7に示すように、 E_d の累積挙動では、連続繊維シートの供試体は、 $50\delta_y$ 付近までエネルギーの消散能は衰えず、ほぼ直線的な累積挙動を示した。しかし、特にシートを全面に配置した供試体では剥落によるコアコンクリートの体積の減少がほとんどなく、部材のエネルギー消散能が低下する要因としては、主筋の破断、横拘束筋またせん断補強筋としての連続繊維シートの破断が考えられるが、これらは急激な耐力低下を伴うため、これらによる破壊の発生時期を明らかにしておく必要があるものと考えられる。

4.まとめ A:横拘束筋種類および横拘束筋体積比 ρ_s が最大荷重 P_m に与える影響は少ない。また、炭素繊維およびアラミド繊維Fスパイラル筋を横拘束筋体積比 ρ_s を大きくして配すると、他より大きな塑性変形能が得られる。

B:同一の繊維重量比 ρ_w で用いた場合、連続繊維シートの方が最大荷重 P_m の増加が大きく、塑性変形能がより改善される。しかし、耐力低下の原因となる主筋の破断、連続繊維シートの破断は急激であるため、その終局時を明確に把握する必要がある。

参考文献[1] 井上 晋、宮川 豊章、藤井 学：パーシャリープレストレストコンクリートはり部材の正負交番荷重下の消散エネルギーと損傷評価、土木学会論文集No.496/V-24、pp.61～70、1994.8

図4 E_d の累積挙動図5 P_m に与える横拘束筋種類および ρ_w の影響図6 μ に与える横拘束筋種類および ρ_w の影響図7 E_d の累積挙動