

京都大学 学生員○堀井 義浩 正員 服部 篤史
正員 井上 晋 宮川 豊章 藤井 学

1. はじめに 連続繊維スパイラル筋で横拘束したコンクリートの耐荷挙動については、鋼材による横拘束コンクリートに対する応力-ひずみモデルが適用できない等、不明な点が多い。また、矩形スパイラルのように曲げ成形した際の隅角部への応力集中が大きな弱点になる問題がある。さらに、この連続繊維横拘束コンクリートを連続繊維P Cはり部材の曲げ圧縮部に適用し、その塑性変形能の改善を試みる場合、合理的な補強方法を明らかにしておく必要がある。本研究では、アラミド繊維スパイラル筋で横拘束したコンクリート短柱の一軸圧縮試験を行い、その耐荷挙動に関する考察を行うとともに、アラミド繊維スパイラル筋で曲げ圧縮部を横拘束した連続繊維P Cはり部材の塑性変形能の効率的な改善を解析的に検討した。

2. 実験概要 供試体形状、寸法を図1に示す。また、以下のような項目を試験要因とした。なお、載荷方法は静的な一方向単調載荷とし、かぶりの影響をなくすために全ての供試体においてかぶりは無しとした。

(1) 供試体形状

円柱供試体 ($\phi 150 \times 300\text{mm}$) および角柱供試体 ($150 \times 150 \times 300\text{mm}$) の2種類

(2) コンクリート強度

$f_{cd} = 40\text{MPa}$ および 60MPa の2種類

(3) 横拘束筋種類および径

アラミド繊維スパイラル筋 $\phi 3\text{mm}$ 、 $\phi 4\text{mm}$ および $\phi 6\text{mm}$ の3種類

普通強度端部突き合わせ溶接型丸鋼フープ (300N/mm^2 級) $\phi 6\text{mm}$

高強度端部突き合わせ溶接型丸鋼フープ (900N/mm^2 級) $\phi 6\text{mm}$

(4) 横拘束筋体積比

$\rho_s = 0.4\%$ 、 0.8% 、 1.6% および 2.4% の4種類

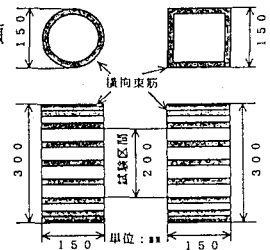


図1 供試体形状、寸法

3. 実験結果および考察 いずれの供試体も高さ方向中央部200mmの試験区間内で破壊が進行し、アラミド繊維スパイラル筋を用いた、円柱供試体ではほぼ全供試体で、角柱供試体では $0.8\% \leq \rho_s \leq 1.6\%$ のものの隅角部でそれぞれスパイラル筋が破断した。本実験で得られた応力-ひずみ曲線の一例を図2に示す。(ここで、RL: $f_{cd} = 40\text{MPa}$ の角柱供試体, F6: $\phi 6\text{mm}$ のアラミド繊維スパイラル筋, So: 普通鋼材フープ, N: 無拘束コンクリート, C: $\rho_s = 1.6\%$, D: $\rho_s = 2.4\%$)

本実験では、配筋によっては無拘束時より最大応力 (f_{cc}) が低くなる傾向が見られ、その原因として、断面内に配置したアラミド繊維スパイラル筋が繊維直角方向の応力を負担しにくく、断面の欠損となることが考えられる。また、最大応力時ひずみ (ϵ_{cc}) は、鋼材によるものと比較しても顕著な差は見られなかった。

f_{cc} 以降における耐荷性状を表す指標として、応力降下勾配 θ を用いた。 θ は、応力-ひずみ曲線において f_{cc} 点からほぼ直線的に降下すると見なせる範囲で決定したものである。本実験では、同じ ρ_s で ϕ を変化させた場合、すなわち配置間隔を変化させた場合では θ に顕著な影響は見られず、同じ ϕ での ρ_s による影響についても、 ρ_s が増えれば θ の絶対値が小さく靱性が増加する傾向にあるものの、 θ が横拘束効果を表現できているとは言い切れない。

これは応力-ひずみ曲線を見ると、アラミド繊維スパイラル筋による横拘束効果は ϵ_{cc} 直後よりむしろ $2 \sim 4 \epsilon_{cc}$ 付近以降で現れている。この理由として鋼材フープ筋は f_{cc} 付近で降伏してしまい、それ以降に

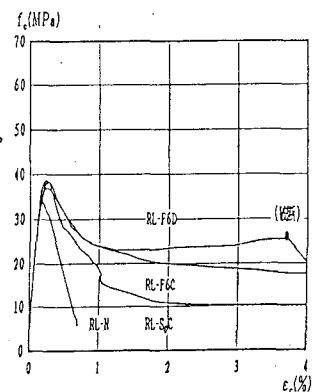


図2 得られた応力-ひずみ曲線の一例

Yoshihiro HORII, Atsushi HATTORI, Susumu INOUE, Toyoaki MIYAGAWA and Manabu FUJII

は負担応力が上昇しないのに対し、アラミド繊維スパイラル筋は f_{ce} 後も負担応力が直線的に伸び続けるためであると考えられる。すなわち、 θ では $2 \sim 4 \varepsilon_{ce}$ 程度以降でのアラミド繊維スパイラル筋特有の応力保持効果の評価ができていないといえ、この指標がアラミド繊維横拘束コンクリートの靱性改善の程度を示すには適当でないと考えられる。

部材の靱性を評価するには、その終局状態を明らかにしておくことが必要となる。コンクリート部材の場合、特に曲げ圧縮破壊となる連続繊維PCはり部材においては部材としての終局は構成材料であるコンクリートそのものの終局時と深く関わっている。そこでアラミド繊維横拘束コンクリートの終局ひずみを、

①応力が最大値から80%に減少したときのひずみ (ε_{us})

②平均圧縮応力が最大となるときひずみ ($\varepsilon_{k1k3max}$)

③横拘束筋の破断したときのひずみ (ε_{ur})

の3つの方法で評価し、比較してみることにした。これらのひずみ値を表1に示す。

破断時ひずみは、ほとんどの供試体において他の2つの終局ひずみ値よりもかなり大きな値となっている。これらの値でアラミド繊維横拘束コンクリートの終局状態を示す場合、 ε_{us} や ε_{ur} よりも大きいひずみレベルでアラミド繊維の横拘束効果が発揮されることを考慮すると、終局ひずみを横拘束筋の破断時ひずみと定義するのが適当であると考えられる。また、すべての供試体において $\varepsilon_{us} \div \varepsilon_{k1k3max}$ となっており、アラミド繊維スパイラル筋を $\rho_s \geq 1.6\%$ で配置した円柱供試体においては、 ε_{ur} もこれらとほぼ等しい値となる。この条件の供試体は靱性に富んだ圧縮挙動を示す反面、横拘束筋の破断による非常に脆性的な破壊を呈するものであり、 ε_{us} の段階では応力に余裕があり、安全側に設定したものであると考えられることから、この場合には ε_{us} で終局とすることは、安全面から見てもその後の余裕の点で十分な配慮が必要であると考えられる。一方、横拘束筋が破断するまでの横拘束コンクリートのひずみエネルギーの増加分を横拘束筋が負担したものとし、そこから破断時の横拘束筋の負担応力を推定した結果、 $f_{cd} = 40\text{MPa}$ の場合には $r/\phi \geq 6.7$ の範囲ではアラミド繊維補強材の平均引張強度の0.8程度以上となり、直線材の引張強度をほぼ発揮していると考えられる。

本実験から得られた応力-ひずみ関係を用いてアラミド繊維スパイラル筋で曲げ圧縮部を横拘束したアラミド繊維PCはり部材の曲げ解析を行った結果、同じ ρ_s 、 ϕ の普通鋼材を用いたものと比較すると、曲げモーメント-曲率曲線において、曲率が0.2程度まででは両者にあまり差が見られない。しかし、それ以降の応力保持はアラミド繊維スパイラル筋の横拘束効果が明らかに現れているといえ、適当なコンクリート強度、プレストレス導入率を与え、圧縮側コンクリートのひずみを大きくできるようにすれば、アラミド繊維スパイラル筋を有効に利用することが可能であることが明らかになった。

4. まとめ 本研究で得られたアラミド繊維スパイラル筋による横拘束効果を以下にまとめる。

- (1) f_{ce} は、アラミド繊維スパイラル筋が軸荷重に対して断面欠損となるために無拘束時より小さくなる場合がある。
- (2) θ は、アラミド繊維横拘束コンクリートの応力保持を表すには適当でないと考えられる。
- (3) アラミド繊維横拘束コンクリートの終局ひずみは、横拘束筋の破断時ひずみ ε_{ur} とするのが適当であると考えられる。

表1 終局ひずみ

No	供試体名	破断時 ひずみ (μ)	0.8 f_{ce} 時ひずみ (μ)	最大平均 圧縮応力時 ひずみ(μ)
1	CH-N	—	*	*
2	CH-F4A	14148	3965	4800
3	CH-F4B	18388	3248	5400
4	CH-F4C	13025	12803	12725
5	CL-N	—	4302	4350
6	CL-F4A	(21581)	3829	3925
7	CL-F4B	22211	7558	6825
8	CL-F4C	24908	25728	23550
9	CL-F6C	32085	32830	29725
10	CL-F8D	31830	33208	32250
11	RE-N	—	*	*
12	RE-F4A	*	4034	4200
13	RE-F4B	*	4708	4650
14	RE-F4C	21350	2711	2950
15	RE-F6C	32898	4519	4675
16	RE-F8D	39273	8712	8400
17	RE-S&C	*	5657	5700
18	RL-N	—	3339	3450
19	RL-F3A	14770	3144	3300
20	RL-F3B	13387	4491	4475
21	RL-F4A	*	3827	3725
22	RL-F4B	9008	3234	3300
23	RL-F4C	12010	4711	4650
24	RL-F6C	*	5061	4925
25	RL-F8D	(37120)	8443	5150
26	RL-S&C	*	5171	5000

* : 横拘束筋破断せず

— : 数値無し

() : 同じ要因の供試体の一方のみが破断