

論文

[2154] 組紐状アラミド連続繊維筋を用いた PPC 梁の長期載荷実験

谷垣 正治^{#1} 岡本 直^{#2} 松原 澄行^{#3} 蓮尾 孝一^{#4}

1. はじめに

連続繊維筋で補強したコンクリート部材を実構造物に適用して行くためには、使用状態荷重下での長期間にわたる性状を把握しておくことが重要である。一般に連続繊維筋は、鉄筋に比較して高強度であるが、弾性率が低いので、これを用いたRC部材では、強度は高くなるもののたわみやひびわれ幅といった使用性能上の問題がある。これらの問題を解決する手段として、パーシャルプレストレスの利用が有望である。筆者らは、組紐状アラミド連続繊維筋で補強したPPC (Partially Prestressed Concrete) 梁の長期的なたわみならびに曲げひびわれ性状を把握する目的で、長期載荷実験 [1], [2] を20,000時間以上実施している。本報告では、ひずみ分布とたわみの時間変化などのたわみ性状と、曲げひびわれ性状および曲げひびわれ幅の算定方法について述べる。

表-1 組紐状アラミド連続繊維筋の諸元

繊維筋名称	断面積 (mm ²)	弾性係数 (kg/cm ²)	平均引張耐力 (kg)	伸び率 (%)
K128S	90	0.58	13,300	2.0
K192(S)	135	}	20,500	}
K256(S)	180	0.62×10 ⁶	25,400	2.3

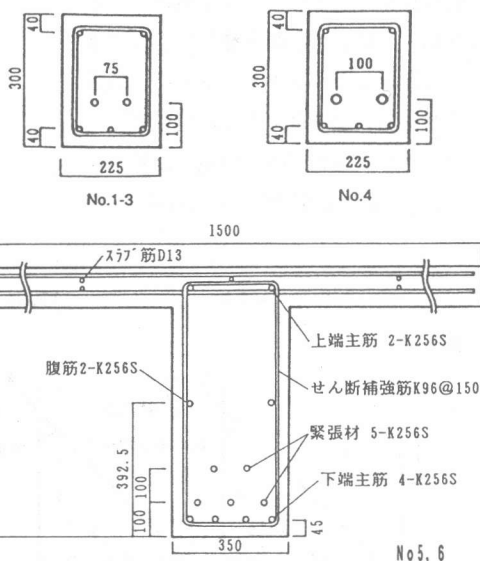


図-1 試験体の断面

2. 実験方法

2.1 試験体

ここで用いた3種類の組紐状アラミド連続繊維筋 (以下、繊維筋と称す) の諸元値を表-1に示す。繊維筋名称の末尾のSは、組紐状表面に珪砂が接着されていることを表している。表-2に示すように、長期載荷試験体は全部で6体あり、すべてプレストレストコンクリート梁で、主筋、緊張材ともに繊維筋が用いられている。各試験体の断面を図-1に示す。試験体No. 1~4は、梁幅22.5cm、梁せい30cm、長さ360cmの縮小試験体である。試験体No. 5および6は梁幅35cm、梁せい80cmのT型断面で長さ1000cmの実大試験体である。No. 1~3はプレテンション、No. 4~6はポストテンション方式でプレストレスが導入

表-2 試験体一覧

試験体 No	主筋	緊張材		載荷荷重
		種類	有効張力* (t)	
1	3-K128S	2-K192S	5.0	2.9t (1.0Pcr)
2			3.8t (1.0Pcr)	
3		2-K192	10.0	5.7t (1.5Pcr)
4			3.8t (1.0Pcr)	
5	4-K256S	5-K256	50.0	1.42t/m (0.67Pcr)
6			28.0	1.42t/m (1.0Pcr)

* プレストレス有効率を0.8と仮定 Pcr: 初ひびわれ発生荷重

表-3 コンクリートの特性

試験体 No	セメント	水セメント比 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)		弾性係数 (kg/cm ²)
			プレストレス導入時	載荷時	
1~4	早強	38.5	384	415	3.05×10 ⁵
5, 6	普通	45.5	440	455	3.50×10 ⁵

- #1 三井建設(株) 技術開発本部 技術研究所 主任研究員 工博 (正会員)
- #2 三井建設(株) 技術開発本部 技術開発推進部 主席研究員 工修 (正会員)
- #3 三井建設(株) 技術開発本部 技術研究所 主任研究員 工修 (正会員)
- #4 三井建設(株) 技術開発本部 技術開発推進部 (正会員)

されている。プレストレス有効率を0.8として梁下端の圧縮応力度を算定すると、No. 1が 15kg/cm^2 、No. 2, 3, 4が 30kg/cm^2 、No. 5が 49kg/cm^2 、No. 6が 22kg/cm^2 である。試験体を用いたコンクリートの特性を表-3に示す。

2.2 荷重方法

荷重方法を図-2に示す。試験体No. 1~4は、バネとローラーを用いた2点集中荷重、No. 5, 6は、コンクリート製品を用いた等分布荷重である。荷重荷重の初びわれ荷重に対する比は、No. 1, 2, 4, 6が1.0倍、No. 3が1.5倍、No. 5が0.67倍である。

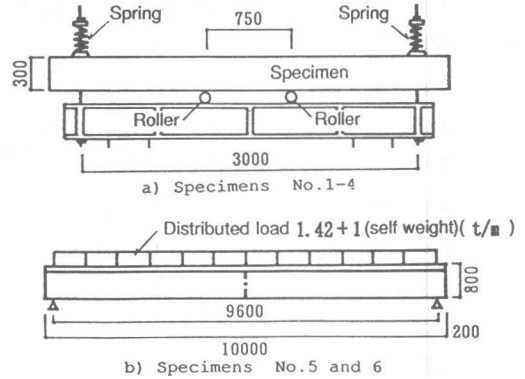


図-2 荷重方法

3. 断面ひずみ分布とたわみ性状

3.1 断面ひずみ分布の時間変化

試験体No. 1~3の梁中央断面のひずみ分布を図-3に示す。図中●印は、ひずみゲージで測定したコンクリート表面、緊張材および主筋のひずみである。図中実線は、コンクリートの引張を無視した断面について、(1)式で任意時刻 t での曲率 ϕ_t を

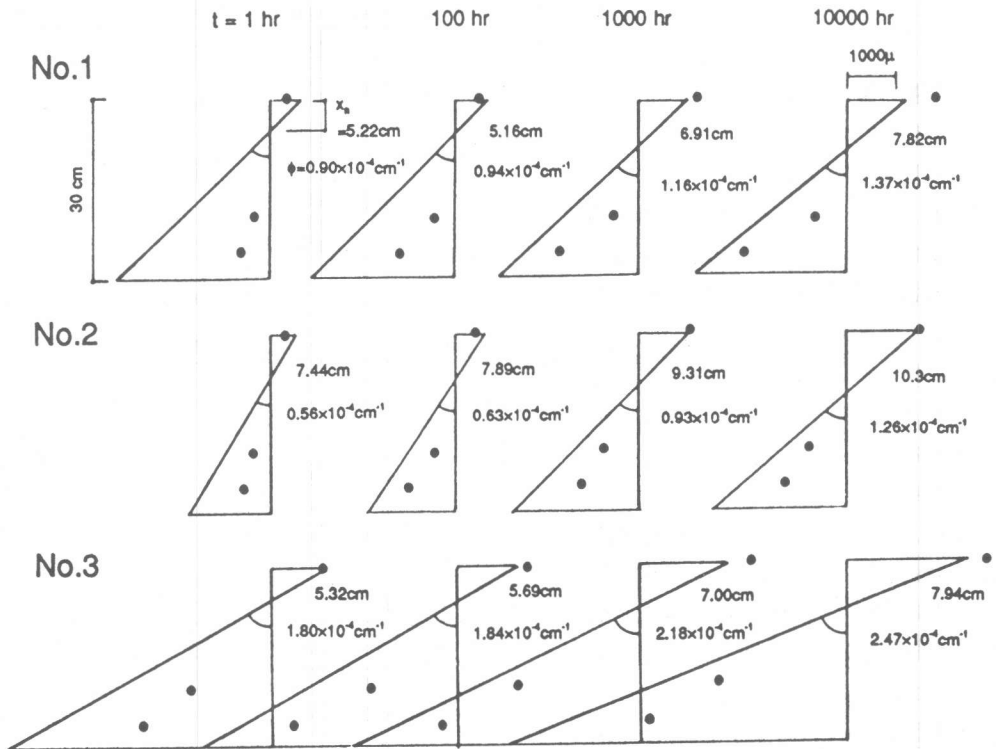


図-3 断面ひずみ分布の時間変化

● 実験
— 計算

求めた計算値である [3]。

$$\phi_t = \phi_{cr,t} + \phi_{sh,t} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\phi_{cr,t} = M_L / E_t I \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$E_t = E_c / (1 + \psi_t) \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\phi_{sh,t} = \epsilon_{sh,t} b x_1^2 / 2I \quad \text{-----} \quad (4)$$

$\phi_{cr,t}$: コンクリートのクリープを考慮した曲率

$\phi_{sh,t}$: コンクリートの乾燥収縮による曲率増分

M_L : 作用荷重, I : ひびわれ断面の断面 2 次モーメント

E_c : コンクリートのヤング率, ψ_t : コンクリートのクリープ係数

$\epsilon_{sh,t}$: コンクリートの乾燥収縮ひずみ, b : はり幅, x_1 : 中立軸位置

$$\psi_t = \alpha \cdot 0.75T / (1.5 + 0.25T) \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$\epsilon_{sh} = 1.25 \times 10^{-4} \psi_t \quad \text{-----} \quad (6)$$

$\alpha = 1.0$ (普通セメント)

0.7 (早強セメント)

T : 時間 (週)

計算値は、コンクリートの引張協力効果を見逃しているため、緊張材および主筋のひずみを大きく評価している。しかし、時間の経過とともに実験値と計算値の差は小さくなっている。

3.2 時間とたわみの関係

図-4 に、各試験体の梁中央のたわみの経時変化を示す。図中の実線は、(1)式で得られる曲率を材軸方向に積分することによって求めた計算値である。No. 1~4 は、たわみの増加がほぼ終了し安定した

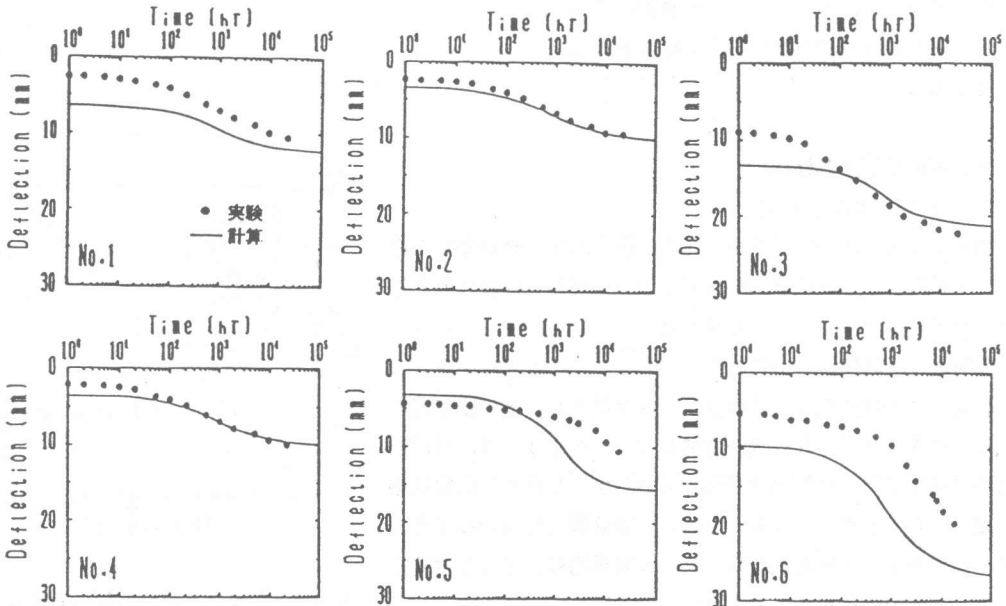


図-4 梁中央たわみの時間変化

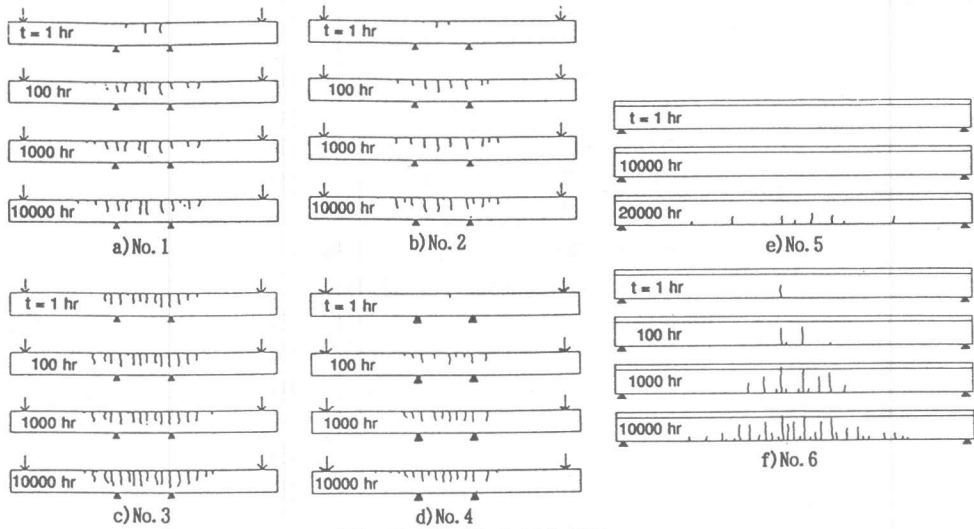


図-5 ひびわれ発生状況

状態にある。No. 1と2およびNo. 5と6を比較すると、プレストレスによるたわみの抑制効果が顕著である。計算値は、No. 1, 3の初期段階ならびにNo. 5, 6で、たわみを過大評価している。これは、計算値がコンクリートの引張協力効果を無視しているためである。なお、No. 5の初期段階ではひびわれが発生していないため、計算値と実験値がほぼ一致している。以上より、この計算方法を用いて長期たわみを安全側に推定し得るものと考えられる。

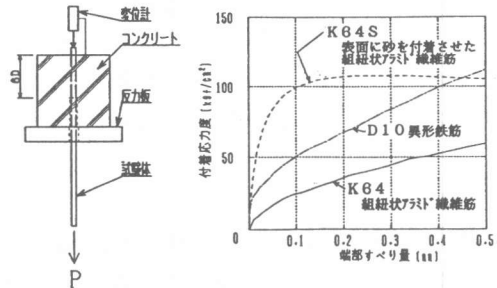


図-6 付着応力とすべり量

4. 曲げひびわれ性状

4.1 ひびわれ発生状況

図-5に各試験体のひびわれ発生状況を示す。ひびわれの有無は目視により、ひびわれ幅は梁側面の主筋高さ位置に取り付けたパイ型変位計によって測定した。

載荷終了1時間後までに、No. 1, 2, 4, 6では1~3本、No. 3では多数本の曲げひびわれが発生し、その後時間の経過とともにひびわれ本数が増加した。No. 3では、100時間経過以後ひびわれ間隔は変化しておらず、ひびわれ定常状態に達していると考えられる。ひびわれは分散してはいており、珪砂を接着させた組紐状アラミド繊維筋は、十分な付着性能を持っていると考えられる(図-6参照)。

No. 5では、約20,000時間経過後に初めてひびわれの発生が

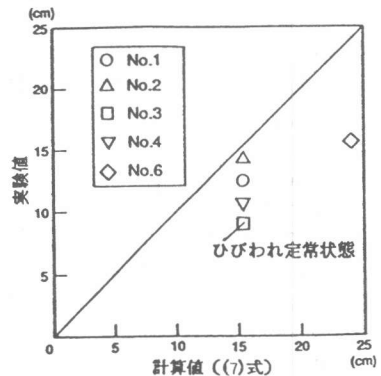


図-7 平均ひびわれ間隔の実験値と計算値((7)式)の比較(10000時間経過後)

目視で確認された。

4.2 平均ひびわれ間隔 (l_{11})

図-7に、No. 5を除く各試験体の10,000時間経過後の平均ひびわれ間隔の実験値と(7)式による計算値を比較して示す。(7)式は、異形鉄筋を用いた場合のひびわれ定常状態の平均ひびわれ間隔推定式[6]である。

$$l_{11} = 2(c + 0.1s) + 0.1d/p_s \quad \text{----- (7)}$$

$$l_{11} = 2(c + 0.1s) + 0.05d/p_s \quad \text{----- (8)}$$

(記号は、図-8参照)

ひびわれ定常状態に達しているNo. 3では、(7)式は、ひびわれ間隔を過大に評価している。これは、異形鉄筋と繊維筋の付着特性の差(図-6)によるものと考えられる。これまでに筆者らが行った組紐状アラミド繊維筋を用いた梁の静的曲げ試験[7]によれば、(7)式第2項の係数は、主筋の平均ひずみ ϵ_{11} の関数として $1.0 / (7.17 \times 10^3 \epsilon_{11} + 0.28)$ で表される。常時荷重時の主筋の応力度を 1500 kg/cm^2 ($\epsilon_{11} = 2500 \mu$) 程度とすると、この係数はおよそ0.05となる。そこで、(7)式第2項の付着特性に関わる係数0.1を0.05に置き換えた(8)式を設定し、これと実験値を比較した。その結果を図-9に示す。試験体No. 1, 2, 4は、ひびわれ定常状態に達していないが、図-9から判断すると、 P_{cr} 以上の長期載荷状態における平均ひびわれ間隔の推定式として(8)式を用いることができるものと考えられる。

4.3 平均ひびわれ幅 (w_{11})

図-10に、平均ひびわれ幅 w_{11} の実験値と計算値を比較して示す。計算値は、(9)式に示すように、平均ひびわれ間隔 l_{11} と補強筋の平均ひずみ ϵ_{11} の積によって求めた。 l_{11} は(8)式で、 ϵ_{11} は(10)式[5]によって求めた。

$$w_{11} = l_{11} \cdot \epsilon_{11} \quad \text{----- (9)}$$

$$\epsilon_{11} = \epsilon_{s2} - 0.38 \epsilon_{sr2} + \epsilon_{c1} \quad \text{----- (10)}$$

$\epsilon_{s2}, \epsilon_{sr2}$: (図-11参照)

$\epsilon_{c1} < \epsilon_{sr2}$ のとき $\epsilon_{s2} = \epsilon_{sr2}$

ϵ_{c1} : 乾燥収縮ひずみ ($= -2.0 \times 10^{-4}$)

(10)式第2項の $0.38 \epsilon_{sr2}$ は、長期載荷状態におけるコンクリートの引張協力効果による補強筋ひずみの減少量を表している。図-10を見ると、実験値と計算値は概ね一致しており、

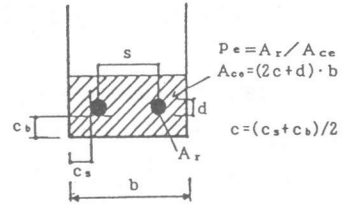


図-8 (7), (8)式の記号の説明

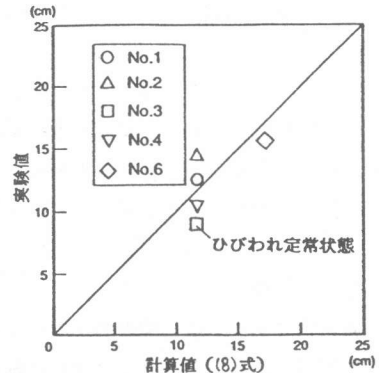


図-9 平均ひびわれ間隔の実験値と計算値(8)式の比較 (10000時間経過後)

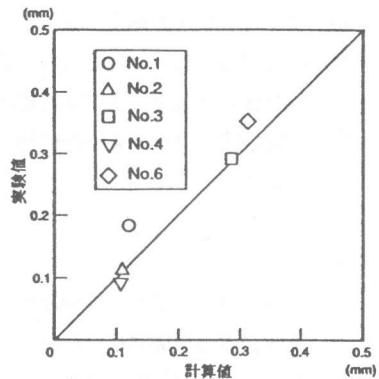


図-10 平均ひびわれ幅の実験値と計算値の比較

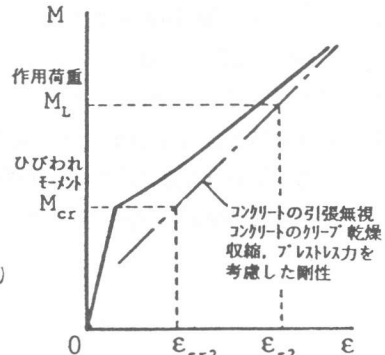


図-11 曲げモーメントと主筋ひずみの関係

(9), (10)式を用いて w_{\max} を評価できるものと考えられる。

4.4 平均ひびわれ幅と最大ひびわれ幅 (w_{\max}) の関係

各試験体の平均ひびわれ幅と最大ひびわれ幅 w_{\max} の関係を図-12に示す。図中の実線は、(11)式の関係を示している。これは、異形鉄筋について提案されている関係式[6]である。

$$w_{\max} = 1.5 \cdot w_{av} \quad \text{----- (11)}$$

図-10より、繊維筋を用いた場合でも、(11)式で最大ひびわれ幅を推定できると考えられる。また、静的曲げ試験[7]の結果からも(11)式が成り立っており、(11)式の関係は短時間載荷、長期載荷にかかわらず成り立つものと考えられる。

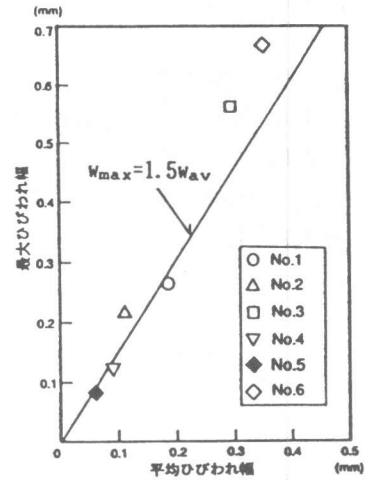


図-12 平均ひびわれ幅と最大ひびわれ幅の関係
(10000時間経過後, No. 5のみ20000時間経過後)

5. まとめ

組紐状アラミド連続繊維筋を用いたP P C梁の長期載荷状態でのたわみ性状、および曲げひびわれ性状を把握し、長期たわみとひびわれ幅の算定手法について検討した。その結果を以下に示す。

- (1) 時間の経過とともに、コンクリートの引張協力効果が低下する現象が見られた。
- (2) プレストレスを導入することによる長期たわみの抑制効果が顕著であった。
- (3) ここで示した計算方法(1)～(6)式で、長期たわみを安全側に推定することができる。
- (4) 初ひびわれ荷重以上の長期載荷を受ける場合、平均ひびわれ間隔は、(8)式で推定できる。
- (5) 異形鉄筋を用いた場合と同様、平均ひびわれ幅は(9), (10)式で、最大ひびわれ幅は(11)式で推定できる。

<参考文献>

- 1) 岡本 直, 他: アラミド繊維による組紐状棒材の研究 (その9. P P C梁の長期載荷性状) 日本建築学会大会梗概集C, pp. 153-154, 1989
- 2) 岡田 映子, 他: アラミド繊維による組紐状棒材の研究 (その11. P P C梁の曲げ性状IV: 実大梁の曲げ破壊試験および長期載荷試験), 日本建築学会大会梗概集C, pp. 989-990, 1990
- 3) 武田 寿一, 他: 拘束スラブの長期たわみに関する研究, コンクリート工学, vol. 23, No. 1, 1985
- 4) CEB-FIP: CEB-FIP Model Code 1978
- 5) CEB-FIP: CEB-FIP Model Code 1990
- 6) 日本建築学会: プレストレスト鉄筋コンクリート (Ⅲ種P C) 構造設計・施工指針・同説, 1986
- 7) 谷垣 正治, 他: 組紐状高強度繊維補強材を用いたコンクリート梁の曲げひびわれ性状, 日本建築学会構造系論文報告集, 第426号, pp. 37-46, 1991