### 論文 PRC 部材の曲げひび割れ幅に及ぼすプレストレスの影響

北野 勇一\*1・古賀 裕久\*2・竹内 祐樹\*3・渡辺 博志\*4

要旨: PRC 部材の曲げひび割れ幅算定式の精度について検証するため,載荷実験を行い,テンションスティフニングの効果を考慮したひび割れ幅算定式と比較した。その結果,プレストレス力を増し,鉄筋量を減じた PRC 部材では,ひび割れ幅がひび割れ幅算定式による算定値よりも大きくなった。プレストレスが導入されている供試体で実測された最大ひび割れ幅は,既往のひび割れ幅算定結果との比率を求めると,プレストレスによる下縁圧縮応力との間に線形的な関係が認められた。

キーワード: PRC 構造, ひび割れ幅, プレストレス, テンションスティフニング

#### 1. はじめに

PRC 構造は、プレストレスと鉄筋で補強されたコンク リート構造であり、この両者の量を調節することにより、 ひび割れの発生を許容しつつ、ひび割れ幅を制御するこ とを目指した構造である。

筆者らは、プレストレスを変化させた小型の PRC 梁供 試体を用い、静的な曲げ載荷試験を実施した。その結果、 各供試体の最大ひび割れ幅は、鉄筋の最大応力が把握で きれば、既往の曲げひび割れ幅算定式から得られる算定 値と概ね一致することを確認した<sup>1)</sup>。一方、プレストレ ス力を増した PRC 部材ほど死荷重相当の荷重作用時の ひび割れ幅を過大に評価すると考えられること、鉄筋応 力の分布性状に関しては RC 部材と PRC 部材で異なる可 能性があることなどが分かった。すなわち、曲げひび割 れ幅の算定結果を確実にするためには、引張鉄筋に作用 する引張応力について、詳細に把握する必要があると考 えられた。本稿では、既往の曲げひび割れ幅算定に関す る再整理を行うとともに、これまでに報告した実験結果 を基にしてプレストレスが異なる場合の曲げひび割れ 幅算定手法について検討を行った。

#### 2. 曲げひび割れ幅算定に関する再整理

#### 2.1 既往の曲げひび割れ幅算定式

ひび割れ幅wは、コンクリート標準示方書の方法<sup>2)</sup>によると、式(1)(以下、コン示式)により算出できる。

$$w = 1.1k_1k_2k_3 \left\{ 4c + 0.7(c_s - \phi) \right\} \left( \frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right)$$
(1)

ここに,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ : 鉄筋の付着性状やコンクリートの品 質, 鉄筋段数を考慮するための係数, c: かぶり (mm),  $c_s$ : 鋼材の中心間隔 (mm),  $\phi$ : 鋼材の径 (mm),  $\sigma_{se}$ : 鋼材位置のコンクリート応力度が 0 の状態からの鉄筋応 力度の増加量 (N/mm<sup>2</sup>),  $E_s$ : 鉄筋の弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>), *ε*'<sub>csd</sub>: コンクリートの収縮およびクリープ等を考慮する ための数値。

一方, コン示式を定めた根拠となる角田の研究<sup>3)</sup>では, 鉄筋位置における最大ひび割れ幅 w<sub>max</sub>を式(2)(以下,角 田式)により計算できるとしている。

$$w_{\max} = \left(\frac{\sigma_s}{E_s} - \frac{\sigma_{cm}}{E_s p_e} - \varepsilon_{\varphi}\right) l_{\max}$$
(2)

ここに、 $\sigma_s$ : ひび割れ位置の鉄筋応力、 $\sigma_{cm}$ : ひび割 れ間の付着による鉄筋応力の減少量をコンクリート有効 断面  $A_e$ の平均引張応力に換算したもので、一時的な荷重 に対して  $0.4\sigma_{ct}$ , 持続荷重に対して 0, 頻繁に荷重繰返 しを受ける場合には、活荷重載荷時に対して  $0.2\sigma_{ct}$ , 死 荷重下に対して $-0.2\sigma_{ct}$ ,  $p_e$ : 有効鉄筋比= $A_s/A_e$ ,  $A_e$ : 付 着によって引張力を受け持つコンクリート有効断面積で あり、鉄筋とその重心の一致するコンクリート断面積、  $l_{max}$ : 最大ひび割れ間隔 =  $3.72c + 0.67e_s$ , c: かぶり,  $e_s$ : 鉄筋のあき、 $\epsilon_{\phi}$ : クリープ、収縮等によって生じた鉄 筋とコンクリートとの間の弾性ひずみ差。

両式を比べると鉄筋応力の取り方に大きな違いがあり, 角田式ではコンクリートの付着による拘束作用を考慮し た平均鉄筋応力 $\sigma_{sm}$  (= $\sigma_s - \sigma_{cm}/p_e$ )を用いるのに対し, コン示式では RC 断面計算で得られる鉄筋応力( $\sigma_{se}$ )を用 いている。また、コン示式は、式の簡素化を目的として、 最大ひび割れ間隔を算出する際のかぶり *c* にかかる係 数を割増しているので、コン示式を用いるとひび割れ幅 を少し大きめに評価する可能性がある。

なお、両式とも、鉄筋とひび割れ間のコンクリートとの主に付着によって定まる最大ひび割れ間隔 *I*<sub>max</sub> に達した状態(以下,定常状態)を算定の前提としている。 2.2 テンションスティフニングのモデル化

これまで、曲げひび割れ幅の算定において、プレスト レスが導入されている場合とそうでない場合とでは、そ

\*1 川田建設(株) 技術部技術課 (正会員) \*2 独立行政法人土木研究所 技術推進本部構造物マネジメント技術チーム 主任研究員 (正会員) \*3 独立行政法人土木研究所 技術推進本部構造物マネジメント技術チーム 交流研究員 (正会員) \*4 独立行政法人土木研究所 技術推進本部構造物マネジメント技術チーム 主席研究員 工博 (正会員) の扱いに明確な差を設けていないのが一般であった。しかし、プレストレス力を増し鉄筋量を減じた PRC 部材ほど、平均鉄筋応力が RC 断面計算で得られる応力(σ<sub>se</sub>)より小さくなる可能性がある。この要因を以下に挙げる。

- 要因1: 有効鉄筋比 p<sub>e</sub>を小さくするほど,ひび割れ間 におけるコンクリートが分担する引張力の割 合が高まり,引張鉄筋応力の減少量σ<sub>cm</sub>/p<sub>e</sub>もこ れに併せて増大する。
- 要因 2: 引張鉄筋の発生応力が小さい場合,中立軸が 低く,かつ,ひび割れが十分に開口していない ため,ひび割れ断面における引張域コンクリー トの抵抗が大きい。

これらの要因は、いずれもテンションスティフニング 効果の詳細に関わる事項である。すなわち、PRC 部材の ひび割れ幅算定精度の向上を目的とした場合、ひび割れ 幅算定式の中にテンションスティフニングを表現する 項を導入する必要があると考える。そこで、曲げひび割 れ幅算定式としてコン示式に角田式の係数を取り入れ た式(3)を用い、テンションスティフニングの効果を考慮 する方法として、以下の2つの理論を用いて検証する。

$$w = 1.0k_2 \left\{ 3.72c + 0.67(c_s - \phi) \right\} \left( \frac{\sigma_{sm}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right)$$
(3)

- 理論 1:式(2)中の( σ<sub>s</sub> σ<sub>cm</sub>/ p<sub>e</sub>) として示されるように、ひび割れ間のコンクリートの引張負担から算定する方法(以下、角田理論)
- 理論 2:式(4)に示されるように、ひび割れ後に鉄筋が 負担する応力を作用力の増加とともに便宜的 に漸減させる方法<sup>4)</sup>(以下,EU2 理論)

$$\sigma_{sm} = \sigma_s \left\{ 1 - \beta_1 \beta_2 \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right\}$$
(4)

ここに、 $\beta_1$ :鉄筋の付着特性を表す係数で、付着の良 い鉄筋の場合は $\beta_1$ =1.0、 $\beta_2$ :荷重の性質を表す係数で、 初載荷でかつ短期荷重の場合は $\beta_2$ =1.0、 $\sigma_{sr}$ : コンクリ ートが引張強度 $\sigma_{cr}$ に達した時の鉄筋応力。

# 3. PRC 部材の鉄筋応力と曲げひび割れ幅に関する検討 3.1 実験方法

実験に用いた供試体は、外形寸法や配筋位置が同一で あり、パーシャルプレストレス比えを概ね0%、30%、60% となるように各1体ずつ作製した(表-1,図-1)。各 供試体とも曲げモーメント*M*=55.0kNmが作用する状態 (以下、2M<sub>d</sub>と称す)で計算上の鉄筋応力が200N/mm<sup>2</sup> になるようにプレストレス力と鉄筋量を設定した。また、 2M<sub>d</sub>の半分の*M*=27.5kNmが作用する状態(以下、1M<sub>d</sub> と称す)では、全断面を有効として算出した仮想引張応 力度が供試体PRC0で4.8N/mm<sup>2</sup>、PRC30で3.5N/mm<sup>2</sup>、

表-1 供試体諸元

	PC	導入力	引張	$p_{\rm e}$	λ*
供試体	鋼材	(kN)	<ul> <li>引張</li> <li>鉄筋</li> <li>3@D22</li> <li>3@D19</li> </ul>	(%)	(%)
PRC0	_	0	3@D22	4.30	0
PRC30	<b>2-</b> φ 9.2	80	3@D19	3.18	34
PRC60	2 <b>-</b> $\phi$ 13	159	3@D16	2.12	57

\* $\lambda = A_p \cdot f_{py} / (A_p \cdot f_{py} + A_s \cdot f_{sy}) \times 100$ から算出される。ただし、 $A_p : PC$ 鋼材の断面積(mm<sup>2</sup>)、 $f_{py} : PC$ 鋼材の降伏点強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $A_s : 鉄筋の断面積(mm<sup>2</sup>), f_{sy} : 鉄筋の降伏点強度(N/mm<sup>2</sup>)である。$ 





図-1 供試体の形状寸法

表-2 コンクリートの材料試験結果

試験材齢	圧縮強度	弾性係数	引張強度
(日)	$(N/mm^2)$	$(kN/mm^2)$	$(N/mm^2)$
28	39.7	28.6	3.22

表-3 鋼材の材料特性値

鋼材の種類		降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弹性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	リラクセー ション(%)
PC	φ 9.2	1262	200	2.85
鋼材	φ13	1055	201	3.00
	D22	386	186	—
鉄筋	D19	379	185	_
	D16	365	188	—

PRC60 で 2.1N/ mm<sup>2</sup>となる。このとき,供試体 PRC0, PPRC30 では曲げひび割れが発生し,供試体 PRC60 では 曲げひび割れが発生しない。

使用したコンクリートは,水セメント比 49%,早強ポ ルトランドセメント 302kg/m<sup>3</sup>,粗骨材の最大寸法 25mm であり,スランプ 8cm,空気量 4.5%で施工した。PC 鋼 材は SBPR930/1030 (B種1号),鉄筋は SD345 の規格品 を用いた。コンクリートおよび鋼材の材料試験結果を表 -2,表-3 に示す。供試体は,コンクリート打設後,材 齢4日より乾燥を開始し,材齢 10日でプレストレスを 導入した後,材齢 26~27日の間に載荷試験を行った。 このため、式(3)中の $\epsilon'_{csd}$ は0とした。

載荷試験は、1M<sub>d</sub>までの載荷除荷を行った後、鉄筋応 力の最大値が 100, 150, 200N/mm<sup>2</sup>となった時点でそれ ぞれ 1M<sub>d</sub> まで除荷し, 段階的に曲げモーメントを 2M<sub>d</sub> まで漸増させた(図-2)。載荷中には、荷重、鉄筋ひず み(引張鉄筋の中央1本に対し10測点), πゲージによ るひび割れ幅(スターラップ直下の部材引張縁の中央に 4 測点)を測定した。ここで、鉄筋に貼り付けたひずみ ゲージは、ゲージ保護用の防水テープで覆った。この保 護の範囲は,鉄筋の付着挙動への影響が少なくなるよう, 鉄筋の長手方向に 20mm, 周長方向に 10mm 程度とした。 3.2 実験結果

初載荷部に着目し、各供試体の曲げモーメントと鉄筋 応力(10測点の平均値 $\sigma_{save}$ と最大値 $\sigma_{smax}$ )の関係を図 -3 に示す。図には、部材の全断面を有効として算定し た結果(以下, σsl 理論)やコンクリートの引張域を無 視して算定した結果(以下, σs2理論)と,角田理論お よび EU2 理論によって算定した結果を併せて示した。こ こで、これらの算出は、3.1節で示した断面寸法および 材料特性値を用いることにし、鉄筋応力については載荷 直前を原点にとり,曲げひび割れ幅については,設計上 のデコンプレッションモーメントを原点にとった。また, プレストレスの減少量の計算に当たっては,鉄筋拘束の 影響は無視した。ただし、供試体と同一形状で作製した

無筋コンクリートの材齢 28 日における収縮ひずみは概 ね 100 μ 程度であり、鉄筋拘束により生じるコンクリー ト引張縁の応力度を土木学会の方法 のにより算出すると, 供試体 PRC0 で 0.45N/mm<sup>2</sup>,供試体 PRC60 で 0.33N/mm<sup>2</sup> となった。EU2 理論のように曲げひび割れ発生荷重に着 目する場合には,検証精度を確保する観点より無視でき ない。したがって、実際の計算に用いた引張強度は表-2中の値より低減した 2.8N/mm<sup>2</sup>を用いることにした。

測定された最大鉄筋応力( $\sigma_{smax}$ )は各供試体とも,発 生応力が低い範囲では σ s2 理論より小さかったが, 150N/mm<sup>2</sup> 程度以上に達すると σ s2 理論の値に漸近した。 一方,平均鉄筋応力( σ<sub>save</sub>)は、いずれの供試体におい ても発生応力によらず曲げひび割れ発生直後からσs2 理論とほぼ並行しながら増大し、テンションスティフニ ングの効果を考慮した角田理論に近い挙動を示した。

初載荷部

繰返し載荷部

200

150

100

2Md

1Md

曲げモーメントM



次に、曲げモーメントと曲げひび割れ幅(4 測点の最 大値を補正して鉄筋位置におけるひび割れ幅とした値  $w_{exp}$ )との関係を図-4 に示す。測定された初載荷時の 曲げひび割れ幅は、角田理論やEU2 理論を用いて算定し た値に近い値を示した。しかし、プレストレスを増すほ ど、 $\sigma$  s2 理論を用いて算定された値に近づく傾向があり、 この点では、いずれの供試体でも $\sigma$  s2 理論を用いて算定 した値に近似した鉄筋応力の最大値( $\sigma_{smax}$ )とは、傾向 が異なった。

#### 3.3 PRC 部材の曲げひび割れ間の付着性状について

最大荷重時(2M<sub>d</sub>)では、いずれの供試体でも、等曲 げモーメント区間に9~10本の曲げひび割れが生じ、最 大ひび割れ間隔と平均ひび割れ間隔の比率は約1.4であ った<sup>1)</sup>。これより、プレストレスがひび割れ間の付着性 状に及ぼす影響は小さいかったものと考えられる。

## 4. PRC 部材のテンションスティフニングの評価 4.1 テンションスティフニングの評価手法

テンションスティフニングの全効果( $\sigma_{sa}$ )は、手塚 らの研究<sup>5)</sup>によると、式(5)に示されるように、ひび割れ 間のコンクリートと鉄筋との付着による効果( $\sigma_{sb}$ ,式 (6)、および、ひび割れ位置の引張域コンクリートの応 力負担による効果( $\sigma_{sc}$ ,式(7))を分離して考えるのが 適当と考えられる(**図**-5)。

$$\sigma_{sa} = \sigma_{sb} + \sigma_{sc} \tag{5}$$

 $\alpha$ 

(7)

$$\sigma_{sb} = \sigma_{s\,\max} - \sigma_{save} \tag{6}$$

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s2} - \sigma_{s\max}$$

なお、今回実測された最大鉄筋応力位置とひび割れ位 置は、外観上、ほぼ 20mm 以内の距離にあった。

以降,各供試体の最大曲げひび割れ幅が観測された区 間を対象とし,σ<sub>sb</sub>およびσ<sub>sc</sub>を算定し,検討を進める。 **4.2 初載荷時のテンションスティフニング効果** 

図-3 を基に、鉄筋拘束により低減したコンクリート の引張強度  $\sigma_{et}$ に対するテンションスティフニング効果  $\sigma_{em}$  (= $\sigma_{sa}$ ,  $\sigma_{sb}$ および $\sigma_{sc}$ の各々の値に有効鉄筋比  $p_e$ を乗じた値)の比率を算出した結果を図-6に示す。

テンションスティフニングの全効果  $\sigma_{sa}$ は、ひび割れ 発生 (図中の  $M_c$ ) からしばらくの間は導入プレストレス 力の少ない供試体ほど大きかった。しかし、曲げモーメ ントが  $2M_d$ に近くなると、各供試体とも $\sigma_{cm}/\sigma_{ct}=0.4$ に 漸近するようになった。

ー方, テンションスティフニングの効果を分離した結果に着目すると, ひび割れ間の効果 $\sigma_{sb}$ はひび割れ発生時より次第に増加し,  $2M_d$ に達するまでに各供試体とも次第に $\sigma_{cm}/\sigma_{ct}=0.4$ に漸近した。この漸近し始める時点の最大鉄筋応力は概ね 150N/mm<sup>2</sup> であった。また, ひび割れ位置の効果 $\sigma_{sc}$ は, 載荷後しばらくは増加したが,



図-6 初載荷におけるテンションスティフニングの
 全効果(σ<sub>sa</sub>)とその分担(σ<sub>sb</sub>, σ<sub>sc</sub>)

曲げモーメントが  $2M_d$ に近くなると,各供試体とも次第 に  $\sigma_{cm}/\sigma_{ct}=0$  に漸近した。

以上から,鉄筋応力が小さいとひび割れ位置のテンシ ョンスティフニング効果が支配的となり,その程度はプ レストレス力や鉄筋量により異なるが,鉄筋応力が 150N/mm<sup>2</sup>に達すると,ほぼ消失するようである。一方, 鉄筋応力が 150N/mm<sup>2</sup>を超えてからは,ひび割れ間のテ ンションスティフニング効果が支配的になり,プレスト レス力や鉄筋量にかかわらず,概ね一定値(角田が提唱 している一時的な荷重に対する σ cm の値に概ね一致)と なるようである。また, σ sc の寄与が 0 に収束しひび割 れ位置での引張域のコンクリートの寄与が小さくなっ ていることから,いずれの供試体でも,ひび割れが定常 状態に達していたと考えられる。

#### 4.3 繰返し載荷時のテンションスティフニング効果

実際の PRC 部材では変動荷重を繰返し受けるため, 初 載荷時よりもひび割れ幅が増加するおそれがある。また, 変動荷重の大きさにより、ひび割れ幅の増加量が異なる ことも予想される。そこで,ここでは,繰返し載荷部(図 -2 参照)に着目し、曲げモーメントを 1M<sub>d</sub>とした時点 の σ cm の変化を検討した。その結果を図-7 に示す。

テンションスティフニングの全効果σ。は、最大履歴 応力が増大するほど小さくなり、2Mdを受けた後にはい ずれの供試体でも $\sigma_{cm}/\sigma_{ct}=0$ 程度になった。

一方, テンションスティフニングの効果を分離した結 果に着目すると,ひび割れ間の効果σ μ は最大履歴応力 が異なっても、ほぼ  $\sigma_{cm}/\sigma_{ct}$  =0.2 の一定値となった。こ のことから、1M<sub>d</sub>時に着目すると、ひび割れ間コンクリ ートと鉄筋との付着性状は概ね変化していないものと 判断される。また、ひび割れ位置の効果 $\sigma_{ss}$ は、全効果  $\sigma_{sa}$ の傾向と同様となり、2 $M_d$ の履歴応力を受けた後に は、各供試体とも $\sigma_{cm}/\sigma_{ct}$ =-0.2 に漸近した。この値は、 繰返し載荷に伴う鉄筋の残留引張応力を反映している と考えられ、式(2)中の死荷重下に対する  $\sigma_{cm}$ の値に概ね 一致した。

以上より, テンションスティフニングの効果に及ぼす 荷重繰返しの影響は、最大履歴応力による依存性が高い ことがわかった。特に、鉄筋応力が 150N/mm<sup>2</sup>を超える 荷重を受ける場合には、わずかな繰返し数により、ひび 割れ位置のテンションスティフニング効果( osc) が速 やかに消失した。

#### 5. プレストレスがひび割れ幅に及ぼす影響

 $0.00 \quad 0.05 \quad 0.10 \quad 0.15 \quad 0.20 \quad 0.25$ 

最大曲げひび割れ幅w(mm)

#### 5.1 プレストレスの影響評価手法

0



0

最大曲げひび割れ幅w(mm) 図-8 鉄筋応力と最大ひび割れ幅の関係

000 005 010 015 020 025

を増し,鉄筋量を減じた PRC 部材では,ひび割れ間を含 めた鉄筋の平均応力が把握できた場合でも、ひび割れ幅 を精度良く推定できない可能性がある。一方,式(3)の各 項について実験結果より検証した結果、定常状態におけ るひび割れ間隔やテンションスティフニング効果につ いては、プレストレスの違いによる影響は認められなか った。そこで、PRC部材のひび割れ幅は、式(3)中にプレ ストレスに関する項を加えた式(8)で示されるものと考 えた。

$$w = 1.0 k_2 k_n \left\{ 3.72 c + 0.67 (c_s - \phi) \right\} \left( \frac{\sigma_{sm}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right)$$
(8)

ここに、k<sub>n</sub>:プレストレスがひび割れ幅に及ぼす影響 を表す係数。



図-7 鉄筋の最大履歴応力と1M<sub>d</sub>除荷時の テンションスティフニング効果の関係



#### 5.2 プレストレスの効果

繰返し載荷部を含めた鉄筋応力と最大曲げひび割れ 幅の関係を図-8 に示す。実測値は鉄筋の平均応力( $\sigma$ save)と最大応力( $\sigma$  smax)を用い,ひび割れ幅算定式は 式(3)による算定結果を示した。これより,各供試体とも, 鉄筋応力の最大値,平均値とも最大ひび割れ幅と概ね線 形的な相関関係が見られた。したがって,引張鉄筋の最 大応力でも平均応力であっても,その応力履歴が把握で きれば,ひび割れ幅を推定することができ,繰返し載荷 によって鉄筋の残留引張応力が生じた場合でも,この残 留応力を把握できればひび割れ幅を推定することがで きるものと考えられる。一方,ひび割れ幅は平均鉄筋応 力を反映すると考えられることから,実測された鉄筋の 平均応力( $\sigma$  save)に着目すると,プレストレス力を増し た PRC 部材ほど,ひび割れ幅算定値と実測値が乖離する 傾向が確認された。

図-8中の平均鉄筋応力( $\sigma_{save}$ )と最大ひび割れ幅の 関係を線形近似した結果と、式(3)による算定値との比率 を算出した結果を図-9に示す。ここで、プレストレス の影響評価として、図の横軸には下縁圧縮応力を用いる ことにした。これより、RC部材である供試体 PRC0が式 (3)によるひび割れ幅算定値の0.88倍(本来であれば1.0 倍となる)と小さくなったものの、プレストレスによる 下縁圧縮応力の増大にしたがい、係数 $k_n$ が線形的に増 大していることがわかる。この理由として、プレストレ ス自体が何かしらの影響を与えているほかに、鉄筋径の 影響が表れているなどが考えられる。

いずれにしても、今回の実験の範囲では、パラメータ 数が少なく、プレストレスがひび割れ幅に及ぼす影響を 表す係数 k<sub>n</sub>の原因までは特定できなかった。この点に ついては、プレストレス力と鉄筋の配置あるいは部材寸 法を変化させた他の PRC 部材でも同様な傾向を示すか を検証していく必要があり、今後の課題としたい。

#### 6. まとめ

本研究を通じ、以下の結論が得られた。

- (1) ひび割れ幅を算定するために用いる平均鉄筋応力は、 プレストレス力にかかわらず、ひび割れ間のコンク リート引張負担を考慮した方法(角田理論)に近似 する傾向であった。一方、ひび割れ幅を角田理論に よるテンションスティフニングの効果を考慮して算 出すると、プレストレス力を増し、鉄筋量を減じた PRC部材ほど、実験結果より小さく算定された。
- (2) テンションスティフニング効果のうち、ひび割れ間の効果は、プレストレス力による影響が認められな



図-9 プレストレスがひび割れ幅に及ぼす影響

かった。一方, ひび割れ位置の効果は, ひび割れ発 生からしばらくの間, 有効鉄筋比 peの大きい供試体 ほどその効果が増大した。しかしながら, いったん ひび割れが定常状態に達する程度の荷重を受けると, ひび割れ位置のテンションスティフニング効果は消 失した。

(3) PRC 部材の最大ひび割れ幅は、既往のひび割れ幅算 定結果との比率を求めると、プレストレスによる下 縁圧縮応力との間に線形的な関係が認められた。し たがって、PRC 部材の曲げひび割れ幅算定にあった っては、既往のひび割れ幅算定式にプレストレスに 関する係数を考慮することで精度良く評価できる可 能性があると考えられる。

#### 参考文献

- 青山 尚,渡辺博志,古賀裕久,北野勇一:プレス トレストコンクリート部材の曲げひび割れ幅算定 に関する実験的検討,PC技術協会第16回シンポジ ウム論文集,pp.129-134,2007.10
- 2) 土木学会:2002 年制定コンクリート標準示方書[構 造性能照査編], pp.100-102, 2002.3
- 3) 角田与史雄:鉄筋コンクリートの最大ひび割れ幅, コンクリートジャーナル, Vol.8, No.9, pp.1-10, 1970.9
- Eurocode 2, Design of Concrete Structures Part 1: General Rules and Rules for Buildings, European Prestandard, ENV 1992-1, pp.171-174, 1991
- 5) 手塚正道,佐藤良一,落合 勝,阿部 司,伊藤秀 敏:高強度コンクリートを用いた PRC 部材の時間依 存性変形に関する研究,土木学会論文集, No.767/V-64, pp.99-114, 2004.8
- 5) 土木学会:2002 年制定コンクリート標準示方書[構 造性能照査編], pp.153-160,2002.3