

# [142] 鉄筋コンクリートばりのじん性におよぼす補強筋の効果

正会員 ○柳 沼 善 明 (日本大学理工学部)  
 正会員 関 慎 吾 (日本大学理工学部)  
 正会員 北 田 勇 輔 (日本大学理工学部)

## 1. まえがき

近年、鉄筋コンクリートばり(以下RCばりと略)の変形性能に関する研究がさかんに行われている。RCばりの変形性能を向上させる方法として、補強筋(スターラップや圧縮側鉄筋など)を配筋する方法<sup>1~4)</sup>あるいは繊維補強コンクリートを用いる方法<sup>5)</sup>などが報告されている。

一方、空間ならびに材料の使用量の制約さらには高強度コンクリートの使用などから、小さな断面で大きな耐力を得ようとするRCばりの提案もあり<sup>6)</sup>、RCばりの断面に比較しておのずと鉄筋量が多くなる可能性がある。鉄筋量の多いRCばりは脆性的な破壊をするため、鉄筋量の多いRCばりを採用することはじん性を向上させるための補強方法を十分に検討しなければならないと考えられる。

そこで、本報告は補強筋を用いたRCばりの静的曲げ破壊実験を行い、RCばりのじん性におよぼす補強筋の補強効果について調べることを主な目的とした。RCばりのじん性評価は、最大曲げモーメントを超えてからの曲げモーメントの降下領域に着目して行った。補強筋にはスターラップ(クローズドタイプ)と圧縮側鉄筋とを用いた。なお、著者らは補強筋としてスターラップのみを使用した場合の補強効果について既に報告<sup>4)</sup>したので、本報告では補強筋にスターラップと圧縮側鉄筋とを併用した場合の補強効果を付け加えて報告する。

## 2. 供試体および実験方法

用いた供試体は、幅15cm、有効高さ20cm、スパン300cmの長方形断面を持つRCばりで、その種類を示せば表-1のようである。各RCばりは圧縮側鉄筋の有無により二つのシリーズに大別される。RCばりの補強方法は、①補強筋なし(補強方法1)、②スターラップのみを配筋(補強方法2)、③圧縮側鉄筋のみを配筋(補強方法3)、④圧縮側鉄筋とスターラップとを併用して配筋(補強方法4)の四通りから構成される。

用いた鉄筋はすべて異形鉄筋で、材質はすべてSD35であった。スターラップに用いた鉄筋径はφD10mmで、RCばりの載荷点内を表-1に示すような間隔にそれぞれ配筋して補強した。また、すべてのRCばりは図-1に示すように、せん断スパン内にもスターラップを10cm間隔に配筋した。なお、すべてのRCばりはこの配筋でせん断破壊を生じなかった。

用いたコンクリートの示方配合を示せば表-2のようである。RCばりの作製は各シリーズごとに行い、それぞれの配合は同一である。RCばりの破壊実験時におけるコンクリートの圧縮強度は、シリーズA、Bでそれぞれ214、241kgf/cm<sup>2</sup>であった。

実験はRCばりの静的曲げ破壊実験から成り、荷重の載荷方法は二点載荷である。加力には油圧ジャッキを用い、ロードセルにより荷重を検出した。RCばりは各荷重ごとに、たわみ、ひずみ、ひびわれの状況などを測定

表-1 供試体の概要

シリーズ	タイプ	主 鉄 筋		圧 縮 側 鉄 筋		載荷点内のスターラップ間隔 s (cm)	供試体 の 数
		p (例)	使用鉄筋	p (例)	使用鉄筋		
A	AS	1.29	D22-1	--	--	60, 40, 20, 15, 10, 7.5, 5	7
	BS	2.65	D32-1	--	--	60, 10	5
	CS	3.80	D38-1	--	--	60, 40, 20, 15, 10, 7.5, 5	7
B	CA	3.80	D38-1	0.845	D13-2	60, 40, 30, 20, 10	5
	CB	3.80	D38-1	2.58	D22-2	60, 40, 30, 20, 10	5

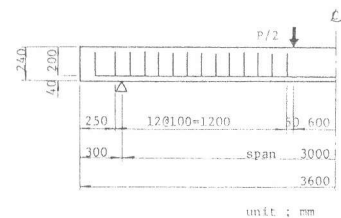


図-1 RCばりの配筋図

表-2 コンクリートの示方配合

W/C (例)	S/a (例)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )				
		Water	Cement	Sand	Gravel	Admixture
7.15	4.56	157	220	865	1045	0.550

し、載荷荷重を漸次増加させてRCばりを静的に曲げ破壊させた。RCばりの載荷実験中は、ロードセルとスパン中央部の変位計とを動ひずみ測定器を通してXYレコーダーに荷重-たわみ曲線を描かせた。

### 3. 実験結果と考察

3-1 曲げモーメントと曲率との関係 曲げモーメント $M$ と曲率 $\phi$ との関係を示せば、それぞれ図-2, 3, 4のようである。スターラップのみで補強されたRCばりにおいて、スターラップ間隔 $s$ が $M-\phi$ 関係におよぼす影響を示せば図-2, 3のようである。同一な主鉄筋量を持つRCばり(タイプAS)の場合、図-2から降伏時の曲げモーメント $M_y$ と降伏時の曲率 $\phi_y$ とにおよぼすスターラップ間隔の影響はあまりなく、RCばりの降伏以降の $M-\phi$ 関係においてスターラップ間隔のおよぼす影響が顕著に表われ、スターラップ間隔を密にすれば曲げモーメントの低下は緩やかになり大きな延性を持つ傾向にあった。

次に主鉄筋量を変化させたRCばりの場合、図-3から主鉄筋量が大なるRCばりにおいてもスターラップ間隔を十分密にすれば降下領域における曲げモーメントの低下は緩やかになり、RCばりの破壊形式は脆性的な破壊から延性的な破壊となった。Chan<sup>7)</sup>によれば、横方向にのみ補強筋が配筋された供試体の偏心載荷を行いコンクリートの終局ひずみがかかなり増大することを報告していることから、スターラップを密に配筋したRCばりにおいては終局ひずみの増大とともにスターラップによりコンクリートが三軸的に抱束されて大きな延性が得られたものと考えられる。

次に、主鉄筋量の大なるRCばりにおいて、補強筋として圧縮側鉄筋とスターラップとを併用して用いた場合の $M-\phi$ 関係を示せば図-4のようである。図-4によれば、補強筋のないRCばりは脆性的な破壊を示すが、補強方法4により補強されたRCばりは最大曲げモーメント $M_{max}$ の増大とともに大きな回転能力が得られ延性的な破壊となった。 $M_{max}$ の増大は、補強方法1の場合 $M_{max}$ 時において主鉄筋が降伏以前の状態であったが、補強方法4の場合圧縮側鉄筋により主鉄筋の受け持つ引張力が増加したためと考えられる。以上により、鉄筋量の大なるRCばりにおいては、補強方法4により十分密な間隔にスターラップを配筋すればかなり大きな延性を持つことができるものと思われる。

3-2 曲率からの検討  $q$ が $\phi_{0.85} / \phi_y$ におよぼす影響を示せば図-5のようである。ここに、 $p$ は鉄筋比、 $\sigma_{sy}$ は鉄筋の降伏点応力度、 $\sigma_{cy}$ はコンクリートの圧縮強度である。また、 $\phi_y$ はRCばりの降伏時の曲率あるいは最大曲げモーメント $M_{max}$ 時の曲率であり、 $\phi_{0.85}$ は曲げモーメントが $M_{max}$ を超えてから $0.85 M_{max}$ まで低下したときの曲率である。図-5によれば、 $q$ が小さくなれば $\phi_{0.85} / \phi_y$ が大きくなり、さらにスターラップ間隔 $s$ を密にすれば $\phi_{0.85} / \phi_y$ は増加する傾向にある。しかし、 $q$ が約0.675の場合 $s$ を密にしても $\phi_{0.85} / \phi_y$ はほぼ一定値を示し、スターラップのみによる補強効果は小さい。

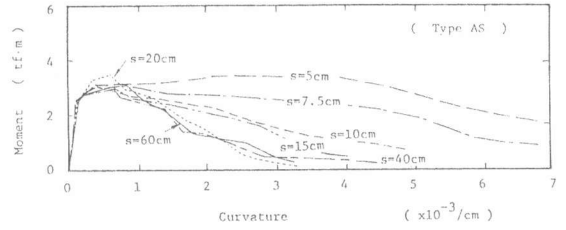


図-2  $M-\phi$ 関係(スターラップ間隔がおよぼす影響)

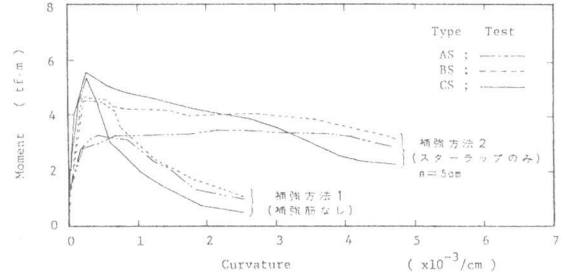


図-3  $M-\phi$ 関係(主鉄筋量がおよぼす影響)

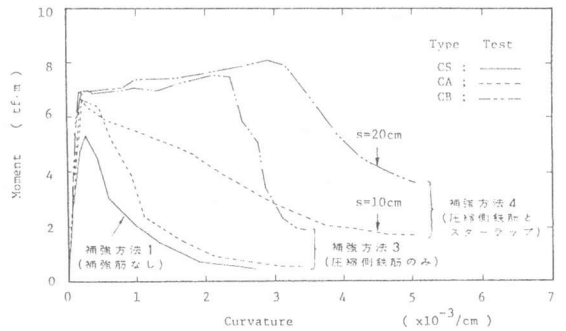


図-4  $M-\phi$ 関係(圧縮側鉄筋量がおよぼす影響)

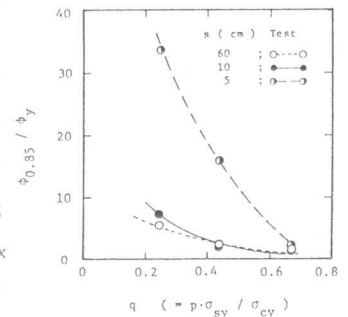


図-5 主鉄筋量が $\phi_{0.85} / \phi_y$ におよぼす影響

次に、スターラップ間隔が  $\phi_{0.85} / \phi_y$  におよぼす影響を示せば図-6 のようである。図-6によれば、スターラップ間隔が  $\phi_{0.85} / \phi_y$  におよぼす補強効果率は各タイプとも  $s/d$  が 0.5 以上の場合スターラップによる補強効果は見られず、 $s/d$  が 0.5 以下になるとその補強効果が表われてくる。

さらに、圧縮側鉄筋が  $\phi_{0.85} / \phi_y$  におよぼす影響を示せば図-7 のようである。図-7によれば、主鉄筋量の異なる RC ばかりにおいて、補強筋に圧縮側鉄筋のみを使用した場合は圧縮側鉄筋比  $p'$  を大きくすればその補強効果は顕著に表われた。さらに、圧縮側鉄筋とスターラップとを併用した補強方法 4 の場合においては、 $s/d$  を小さくすれば補強効果がさらに増大した。

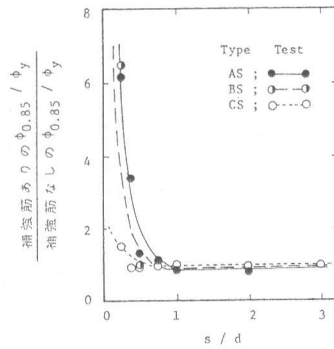


図-6 スターラップ間隔が  $\phi_{0.85} / \phi_y$  におよぼす補強効果率

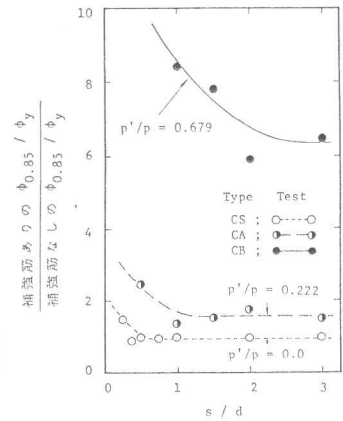


図-7 圧縮側鉄筋が  $\phi_{0.85} / \phi_y$  におよぼす補強効果率

次に、 $\phi_{0.85} / \phi_y$  の実験式を最小自乗法により求めれば式(1)のようである。

$$\frac{\phi_{0.85}}{\phi_y} = (-51500q + 34900) \times \left\{ 8.25 \left( \frac{q'}{q} \right)^2 + 1.00 \right\} \times \left( p'' \sqrt{\frac{b''}{s}} \right)^2 + \frac{0.701}{q - 0.102} \times \left\{ 9.24 \left( \frac{q'}{q} \right)^2 + 1.00 \right\} \dots (1)$$

ここに、 $q = p \cdot \sigma_{sy} / \sigma_{cy}$ 、 $q' = p' \cdot \sigma_{sy}' / \sigma_{cy}$  で、 $p$  は補強鉄筋の体積鉄筋比、 $b''$  はスターラップの最小幅、 $s$  はスターラップの間隔、 $p$ 、 $p'$  はそれぞれ引張側、圧縮側鉄筋比、 $\sigma_{sy}$ 、 $\sigma_{sy}'$  はそれぞれ引張側、圧縮側鉄筋の降伏点応力度である。 $\phi_{0.85} / \phi_y$  の実測値と式(1)による計算値とを比較すれば、図-8 のようになる。計算値/実測値の平均値は 0.951 (偏差 0.19) となり、実測値と計算値とは良く一致するものと思われる。

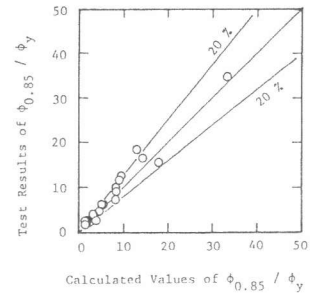


図-8 実測値と計算値との比較

3-3 降下勾配からの検討 曲げモーメントが最大曲げモーメント  $M_{max}$  を超えてからの降下する割合を曲げモーメントと曲率との関係から降下勾配  $\theta$  として求め検討した。降下勾配  $\theta_{0.85}$  は、式(2)で求めた。

$$\theta_{0.85} = \tan^{-1} \left( \frac{M_{max} - M_{0.85}}{\phi_{0.85} - \phi_{max}} \right) \dots (2)$$

スターラップ間隔が降下勾配におよぼす影響を示せば図-9 のようである。図-9によれば、タイプ AS、BS においてはスターラップ間隔が密になれば降下勾配  $\theta_{0.85}$  が小さくなり、その補強効果が表われてくる。しかし、タイプ CS においてはタイプ AS、BS と比較して全体的に  $\theta_{0.85}$  が大となり最大曲げモーメント  $M_{max}$  に達したのちの曲げモーメントの降下が急であることを示している。したがって、鉄筋量の異なる RC ばかりにおいてはスターラップのみによる補強方法では曲げモーメントの降下領域において曲げモーメントの急激な低下を抑制することに対してあまり有効ではないものと考えられる。次に、鉄筋量の異なる RC ばかりにおいて、圧縮側鉄筋が降下勾配におよぼす影響を示せば図-

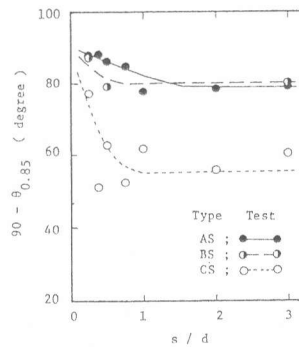


図-9 スターラップ間隔が降下勾配におよぼす影響

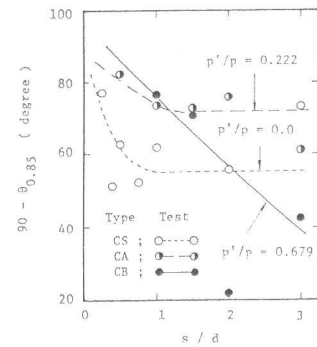


図-10 圧縮側鉄筋が降下勾配におよぼす影響

1.0 のようである。図-10によれば、タイプCAとタイプCSとを比較すれば、タイプCAの降下勾配  $\theta_{0.85}$  はタイプCSと比較して全体的に小さな値を示している。しかし、タイプCBでは  $s/d$  が大なるとき降下勾配  $\theta_{0.85}$  もまた大となる傾向にあり、曲げモーメントの降下領域における曲げモーメントの低下が大きくなり急激に破壊する傾向にあることを示している。これは、圧縮側鉄筋量を多くすることは圧縮側鉄筋の受け持つ圧縮力が大となり、コンクリートの圧潰により圧縮側鉄筋が座屈し受け持たれる圧縮力が急激に減少するためであると考えられる。したがって、圧縮側鉄筋を用いて補強するRCばりは圧縮側鉄筋の座屈により急激な破壊となるため、スターラップを密に配筋し座屈を防止することが必要であると思われる。

3-4 圧縮側鉄筋の座屈 圧縮側鉄筋径  $D$  が  $\phi_{0.85} / \phi_y$  におよぼす影響を示せば図-11のようである。図-11によれば  $s/D$  が約1.5以上においては  $\phi_{0.85} / \phi_y$  におよぼす補強効果は少なくほぼ一定であるが、 $s/D$  が約1.5以下になるとその補強効果が表われてくる。矢代ら<sup>3)</sup>によれば、圧縮側鉄筋の座屈を防止するには  $s/D$  が6以下であると報告している。一方、学会による  $s/D$  の規定は、土木学会ではりの場合1.5以下、柱の場合1.2以下と規定し、建築学会で柱の場合8以下となるように規定されている。したがって、各学会の使用鉄筋径に基づいた規定の配筋方法を用いれば、圧縮側鉄筋の座屈防止に有効であると思われる。

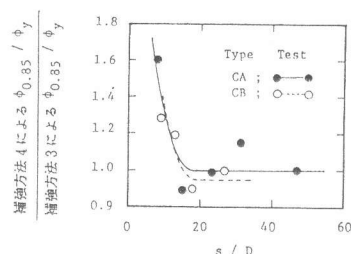


図-11 圧縮側鉄筋径が  $\phi_{0.85} / \phi_y$  におよぼす影響

### 3-5 最大曲げモーメントにおよぼす影響

スターラップ間隔が  $M_{max}$  におよぼす補強効果率を示せば図-12のようである。図-12によれば、スターラップ間隔が  $M_{max}$  におよぼす影響は全体的に小さく、 $s/d$  が小さくなると補強効果率はわずかに大きくなる。次に、主鉄筋量の大なるRCばりにおいて圧縮側鉄筋が  $M_{max}$  におよぼす補強効果率を示せば図-13のようである。図-13によれば、圧縮側鉄筋量が増加すれば  $M_{max}$

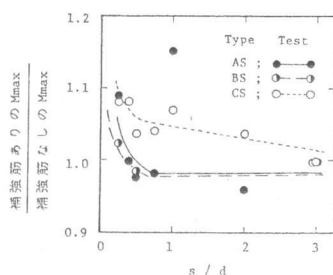


図-12 スターラップ間隔が  $M_{max}$  におよぼす補強効果率

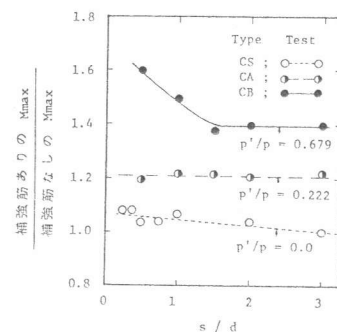


図-13 圧縮側鉄筋が  $M_{max}$  におよぼす補強効果率

も増大し、タイプCBにおいては  $s/d$  を小さくすれば  $M_{max}$  が増大する傾向にあった。圧縮側鉄筋による補強方法は3-1で述べたように  $M_{max}$  を増加させるのに効果的であるが、 $M_{max}$  の増加はRCばりのせん断破壊の可能性が大となるため、せん断破壊をも考慮した補強方法の配慮が必要であると思われる。

## 4. あとがき

RCばりのじん性を向上させる補強方法としては圧縮側鉄筋とスターラップとを併用する方法が極めて効果的である。圧縮側鉄筋の座屈を考慮すれば、スターラップ間隔は座屈を防止する方法に配筋することが必要であると思われる。最後に、本実験を実施するにあたり玉野信幸君(当時日本大学大学院生)の協力に感謝致します。

### <参考文献>

- 1) J.A.Blume, et al.: 超高層鉄筋コンクリート建築の耐震設計, 日本セメント協会, pp.94~148, 昭和48年
- 2) R.Park, T.Paulay: Reinforced Concrete Structure, Wiley-Interscience Publication, pp.221~236, 1975
- 3) 矢代, 清水: 鉄筋コンクリートばりのじん性に及ぼす圧縮鉄筋と横補強筋の効果, 第5回コンクリート工学年講, pp.337~340, 1983
- 4) 柳沼, 関, 北田: 鉄筋コンクリートばりの  $M-\phi$  関係におよぼす補強筋の効果について, 土木学会全国大会第V部, pp.37~38, 1983
- 5) 小柳 他: 高性能な鋼繊維補強コンクリートと鉄筋コンクリートはりへの利用, 第5回コンクリート工学年講, pp.329~332, 1983
- 6) 原田: 過剰鉄筋量コンクリート梁の強度特性に関する研究, 電力土木, No.171, pp.84~94, 昭和56年
- 7) W.W.L.Chan: The Ultimate Strength and Deformation of Plastic Hinges in Reinforced Concrete Frameworks, Magazine of Concrete Research, Vol.7, No.21, pp.121~132, 1955