

[162] 複鉄筋コンクリートばりの変形能力に関する研究

正会員 ○柳 沼 善 明 (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

鉄筋コンクリートばり(以下RCばりと略)の変形能力に関する研究がさかんに行われ、変形能力を向上させる方法が各種提案されている。変形能力の向上には、スターラップを密に配筋する方法^{1~3)}や圧縮側鉄筋を配筋する方法^{4, 5)}あるいは繊維補強コンクリートを用いる方法⁶⁾などが有効である。特に、主鉄筋量の多いRCばりで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⁷⁾。

本報告は主鉄筋量と圧縮側鉄筋量とを変化させた複鉄筋ばりの静的曲げ破壊実験を行い、RCばりの変形能力におよぼす圧縮側鉄筋の影響について調べることを主な目的とした。さらに、補強筋(圧縮側鉄筋とスターラップ)を用いたRCばりにおいて曲げモーメントMと曲率φとの関係を破壊に至るまで非弾性解析を試み、実測値と解析値との比較検討を行った。

2. 供試体および実験方法

用いた供試体は、幅 $b = 15\text{ cm}$ 、有効高さ $d = 20\text{ cm}$ 、スパン $l = 280\text{ cm}$ の長方形断面を持つRCばりで、供試体の概要を表-1に示した。RCばりは、荷重点内の曲げ区間をスターラップで補強しない供試体(タイプA)と補強した供試体(タイプB)とに大別される。スターラップの補強効果は⁷⁾、 $s/d < 1.0$ でじん性率ならびにフォーリングブランチ領域での耐力低下の抑制に効果があることから、タイプBの曲げ区間内の配筋は $s/d = 0.5$ となるようにスターラップ間隔 s を定めた。

用いた鉄筋は異形鉄筋で、材質はSD30であった。スターラップに用いた鉄筋はφD10mmで、図-1に示すように10cm間隔に配筋した。用いた鉄筋の引張試験結果を表-2に示した。また、用いたコンクリートの示方配合を表-3に、RCばりの曲げ破壊実験時におけるコンクリートの力学的性質を表-4に示した。

実験はRCばりの静的曲げ破壊実験から成り、荷重の荷重方法は二点荷重である。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し、荷重荷重を漸次増加させて静的に曲げ破壊させた。RCばりの曲率の測定には、曲げ区間内のはり側面に取り付けられた上下2ヶ所の標点間を高感度変位計(精度 $1/500\text{ mm}$)を用いて行った。なお、上下2ヶ所の標点はそれぞれ 20 cm 間隔で、主鉄筋および圧

表-1 供試体の概要

No.	主 鉄 筋		圧 縮 側 鉄 筋	
	p (%)	使用鉄筋	p' (%)	使用鉄筋
1	0.845	D13-2	0.845	D13-2
2	1.324	D16-2	0.845	D13-2
3	2.580	D22-2	0.845	D13-2
4	3.378	D25-2	0.845	D13-2
5	1.324	D16-2	1.324	D16-2
6	2.580	D22-2	2.580	D22-2
7	3.378	D25-2	3.378	D25-2

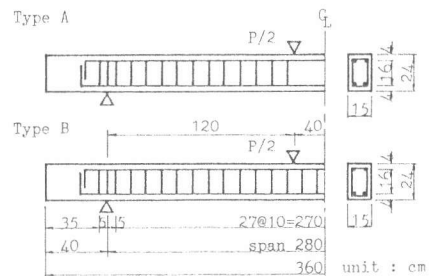


図-1 供試体の配筋図

表-2 鉄筋の引張試験結果

種 別	降伏点応力度 kgf/mm ²	引張強度 kgf/mm ²	伸 び %	弾性係数 ×10 ⁴ kgf/mm ²
D10	3.7	5.1	1.8	1.69
D13	3.8	5.4	2.0	1.92
D16	3.8	5.7	1.9	1.95
D22	3.8	5.6	2.1	1.93
D25	3.6	5.6	1.7	1.84

表-4 コンクリートの力学的性質

圧 縮 強 度 kgf/cm ²	割 裂 強 度 kgf/cm ²	曲 げ 強 度 kgf/cm ²
208	17.5	24.0

表-3 コンクリートの示方配合

W/C %	S/a %	Unit weight (kg/m ³)				
		Water	Cement	Sand	Gravel	Admixture
64.0	44.7	158	247	850	1064	0.618

縮側鉄筋の配筋位置にそれぞれ取り付けた。

3. 実験結果と考察

3-1 曲げモーメントと曲率との関係

主鉄筋量を変化させたタイプAにおいて、圧縮側鉄筋量 A_s' と主鉄筋量 A_s とを同一にした場合の $M-\phi$ 関係を図-2に示した。図-2によれば、各RCはりともはり上縁コンクリートの圧潰後 M が低下し、その後 ϕ が増加するに伴い M も徐々に増加する傾向にあった。さらに、 M が最大となった後に圧縮側鉄筋の座屈により M が急激に低下して破壊した。特に、A-7では降伏後曲げ区間に塑性ヒンジが形成され大きな変形能力が得られ、最大曲げモーメントが降伏時の曲げモーメントの約1.24倍となり、RCはりの破壊形式はせん断破壊であった。他のすべてのRCはりは曲げ破壊であった。

次に、 A_s を変化させ A_s' を一定にした場合の $M-\phi$ 関係を図-3に示した。図-3によれば、 A_s が多くなると変形能力が低下する傾向にあった。 A_s の少ないRCはり(A-2)では、はり上縁コンクリートの圧潰により M がわずかに低下し、その後もほぼ一定の M を保ちながら ϕ が増大した。さらに、 ϕ が増大すれば主鉄筋のひずみ硬化により M が増加する傾向にあり、圧縮側鉄筋の座屈に伴いRCはりが破壊した。

A_s の多いRCはり(A-3, A-4)では、圧潰により M が低下し、その後 M は増加せずに圧縮側鉄筋の座屈に伴い急激にRCはりが破壊した。次に、タイプAとタイプBとを比較すれば、 A_s が少なく A_s'/A_s が大きいRCはり(B-2)ではスターラップの拘束効果により変形能力が向上した。しかし、 A_s が多く A_s'/A_s の小さなRCはり(B-4)ではスターラップの使用は変形能力の向上にあまり効果を示さなかったが、フォーリングブランチ領域における M の低下を抑制するには効果があった。タイプBによる変形能力の向上は、スターラップによりコンクリートが三軸的に拘束されたためと、スターラップにより圧縮側鉄筋の座屈を抑制したためであると考えられる。また、B-1では大きな変形能力が得られ、主鉄筋の破断によりRCはりが破壊した。したがって、 A_s の少ないRCはりの場合変形能力向上のために圧縮側鉄筋量の増加とスターラップを密に配筋することは、主鉄筋の破断によりRCはりが破壊する可能性があるため、DIN 1045⁸⁾などで規定されているような主鉄筋の引張ひずみの制限を変形能力に考慮する必要があると思われる。

3-2 じん性率と最大曲げモーメント

じん性率と q , q' との関係を図-4に示した。ここに、じん性率は ϕ_{max}/ϕ_y で、 ϕ_{max} は最大曲げモーメント時の曲率、 ϕ_y は降伏時の曲率である。また、 $q (= p \cdot \sigma_{sy} / \sigma_{cy})$, $q' (= p' \cdot \sigma_{sy}' / \sigma_{cy})$ であり、主鉄筋および圧縮側鉄筋のそれぞれ p と p' は鉄筋比、 σ_{sy} と σ_{sy}' は鉄筋の降伏点応力度であり、 σ_{cy} はコンクリートの圧縮強度である。図-4によれば、 q が小さくなればじん性率が大きくなる傾向にあった。また、同一な q を持つRCはりの場合 q' を大きくすればじん性率もまた大きくなる傾向にあ

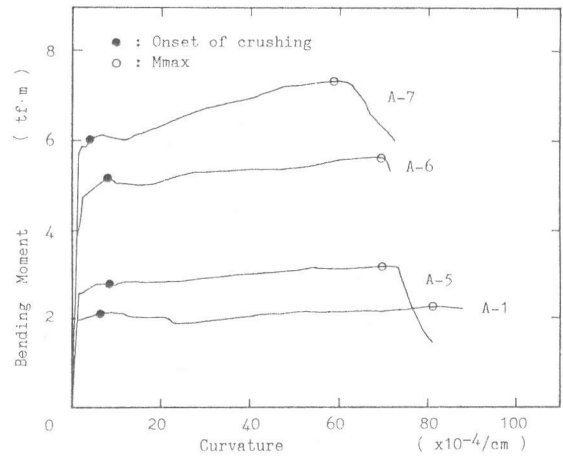


図-2 $M-\phi$ 関係 ($A_s'/A_s = 1$)

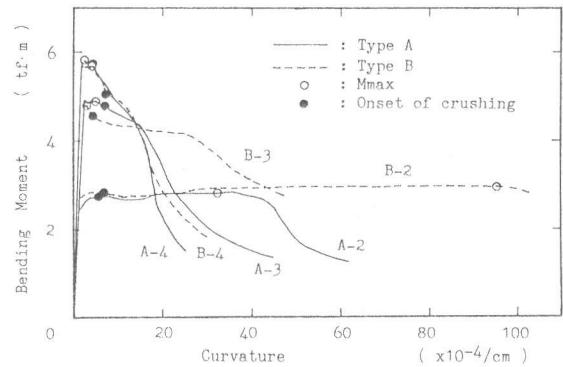


図-3 $M-\phi$ 関係 (A_s' 一定)

った。タイプAとタイプBとのじん性率を比較すれば、 A_s が多いRCばかりで $A_{s'}/A_s=1$ の場合タイプBのじん性率は約1.87倍の増加となった。

次に、 M_{max}/M_y と $A_{s'}/A_s$ との関係を図-5に示した。ここに、 M_{max} は最大曲げモーメント、 M_y は降伏時の曲げモーメントである。図-5によれば、 $A_{s'}/A_s$ が大きくなれば M_{max}/M_y も大きくなる傾向にあった。Parkによれば³⁾、単鉄筋ばりの場合 $M_{max}/M_y \leq 1.06$ になると報告している。複鉄筋ばりの場合、図-5から $A_{s'}/A_s=1$ で M_{max}/M_y の平均値は約1.20となり、単鉄筋ばりと比較して M_{max} の増加が大となった。次に、RCばりのひびわれ状況を図-6に示した。図-6によれば、 M_{max} の増加に伴い斜引張ひびわれが進展しRCばかりがせん断破壊したことを示している。以上により、圧縮側鉄筋を持つRCばかりは M_{max}/M_y が大となりせん断破壊の可能性が増すため、せん断破壊をも考慮した補強筋の配慮が必要であると思われる。

3-3 実測値と解析値との比較

RCばかりの非弾性解析に用いた仮定は次の通りである。1) 平面保持、2) コンクリートの引張抵抗は無視、3) 圧縮を受けるコンクリートの応力とひずみとの関係にひずみ軟化を考慮、4) 鉄筋はひずみ硬化を考慮、5) 圧縮側鉄筋は座屈を考慮した。

圧縮を受けるコンクリートの応力とひずみとの関係は、Sheikhによる応力とひずみとの関係⁹⁾を参考として図-7のように仮定した。

また、圧縮側鉄筋については両端滑節の長柱の限界荷重 P_{sb} ($=\pi^2 \cdot E \cdot I / \ell^2$)¹⁰⁾を圧縮ひずみ $\epsilon_{sb'}$ に換算し、 $\epsilon_{sb'}$ で圧縮側鉄筋は座屈し、座屈後は圧縮力を受け持たないとした。ここに、 ℓ はスターラップの間隔とし、 E 、 I はそれぞれ圧縮側鉄筋の弾性係数と断面2次モーメントである。

$M-\phi$ 関係において実測値と解析値との比較を図-8に示した。図-8によれば、解析値はRCばかりの降伏時ならびに降伏以降の $M-\phi$ 関係を良く表示できるものと思われる。タイプBの $M-\phi$ 関係についても同様に解析値は実測値と良く一致した。しかし、タイプAで $A_{s'}/A_s=1$ の場合、 A_s が大になれば ϕ_{max} が実測値よりも小さく算出される傾向にあった。ここに、 M_{max} と ϕ_{max} とは圧縮側鉄筋の座屈時として算出した。

次に、降伏時の M_y と ϕ_y との実測値と解析値との比較をそれぞれ図-9、図-10に示した。また、最大曲げモーメント時の M_{max} と ϕ_{max} との実測値と解析値との比較をそれぞれ図-11、図-12に示した。図-9、図-11によれば、 M_y と M_{max} との解析値は実測値と良く一致しているものと思われる。また、図-10、図-12によれば、 ϕ_y の解析値は実測値と良く一致したが、 ϕ_{max} の解析値はばらつきが大きくあまり一致するとは言えなかった。次に、はり上縁コンクリートが圧潰し始

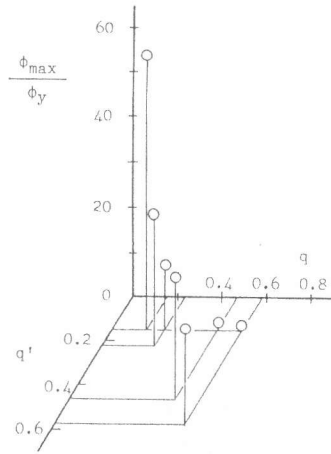


図-4 じん性率と q 、 q' との関係

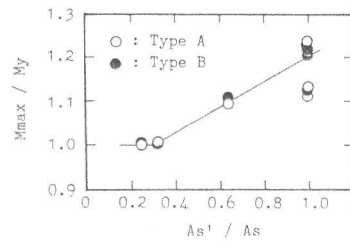


図-5 M_{max}/M_y におよぼす $A_{s'}/A_s$ の影響

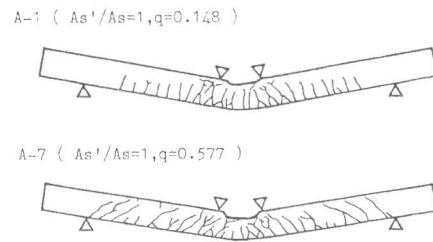


図-6 ひびわれ状況

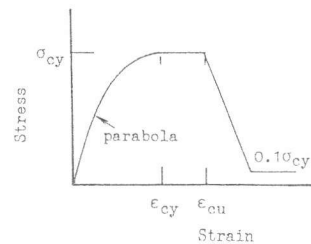


図-7 コンクリートの応力とひずみとの関係

める点の曲げモーメント M_u と曲率 ϕ_u との実測値と解析値とを比較すれば、 M_u ならびに ϕ_u の $calc/test$ の平均値はそれぞれ 0.960 と 0.961 となり良く一致しているものと思われる。ここに、 M_u と ϕ_u とは上縁コンクリートが終局ひずみ（ここでは ϵ_{cu} の値を 3500×10^{-6} ）に達した時として算出した。

4. あとがき

RC ばりの変形能力におよぼす圧縮側鉄筋ならびにスターラップの影響を検討した結果得られた結論は次の通りである。

(1) $M-\phi$ 関係において、 $A_{s'}$ が一定の場合 A_s が大きくなれば変形能力が小さくなった。しかし、 $A_{s'}$ を大きくすれば変形能力が大きくなり、さらにスターラップを併用すれば大きな変形能力が得られた。

(2) $A_{s'}/A_s$ が大きい場合、 A_s が小さくなると主鉄筋の破断により RC ばりが破壊したため、主鉄筋破断の可能性がある RC ばりの変形能力は主鉄筋の引張ひずみの制限を考慮する必要があると思われる。

(3) 圧縮側鉄筋を用いて変形能力を向上させる場合、 $A_{s'}/A_s$ が大きい RC ばりでは M_{max}/M_y が約 1.20 となった。

(4) 実測値と解析値とを比較すれば、定量的に M_y 、 M_u 、 M_{max} 、 ϕ_y 、 ϕ_u はそれぞれ良く一致したが、 ϕ_{max} はばらつきが多くあまり良く一致するとは言えなかった。 $M-\phi$ 関係の解析において、定性的には実測値の傾向を良く表示できるものと思われる。

最後に、本研究を行うにあたり日本大学理工学部 関 慎吾博士より御指導を賜り深く感謝致します。

<参考文献>

- 1) W.G. Corley: Rotation Capacity of Reinforced Concrete Beams, Proc. of ASCE, pp.121~146, 1966.
- 2) E.G. Nawy, et al.: Rectangular Spiral Binders Effect on Plastic Hinges Rotation Capacity in Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, pp.1001~1010, 1968.
- 3) R.Park & T.Paulay: Reinforced Concrete Structures, Wiley-Interscience Publication, pp.203~236, 1975.
- 4) 矢代, 清水: 鉄筋コンクリートばりのじん性及び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.
- 5) 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部門, pp.37~38, 1983.
- 6) 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.
- 7) 柳沼, 関, 北田: 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, 第6回コンクリート工学年講, pp.565~568, 1984.
- 8) DIN 1045: Beton-Kalender, 1979.
- 9) S.A. Sheikh: A Comparative Study of Confinement Models, ACI Journal, pp.296~306, 1982.
- 10) S.Timoshenk & D.H.Young: 材料力学要論, コロナ社, pp.272~273, 1969.

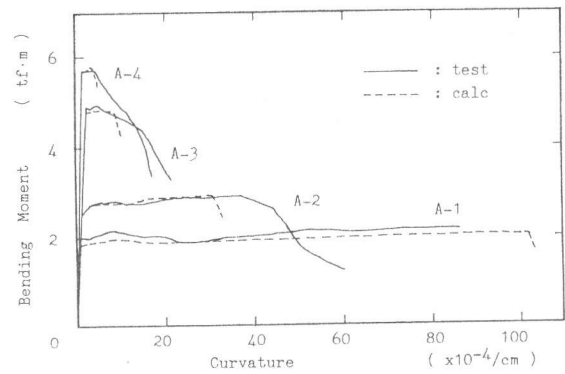


図-8 $M-\phi$ 関係 (実測値と解析値との比較)

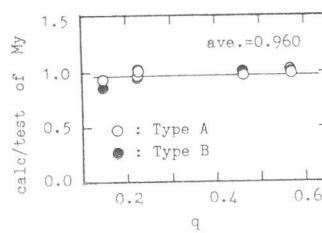


図-9 M_y の $calc/test$

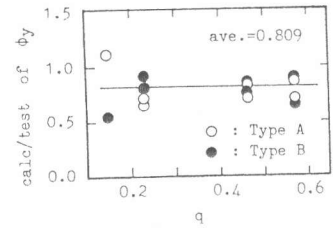


図-10 ϕ_y の $calc/test$

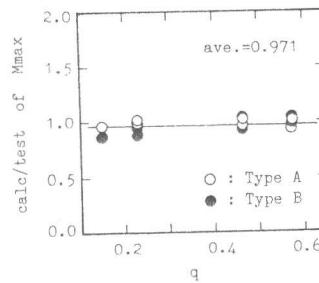


図-11 M_{max} の $calc/test$

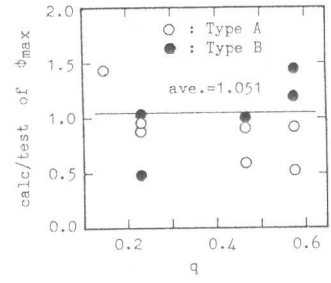


図-12 ϕ_{max} の $calc/test$