

[120] RC ばりにおける横補強筋の配筋方法の靱性に及ぼす影響

正会員 矢代 秀雄 (日本大学生産工学部)
 正会員 ○清水 庸介 (日本大学生産工学部)

1. まえがき

鉄筋コンクリートばりの曲げ実験では、最大耐力後、圧縮側コンクリートの圧縮破壊および被りコンクリートの剥落により耐力が低下する。この耐力の低下は、複筋比 γ 、横補強筋量、引張鉄筋量、被り厚などにより異なることが既往の研究でわかっている。¹⁾

本報告では、複筋比 γ を約 0.4として、横補強筋の量および間隔、引張鉄筋量、横補強筋のかけ方をそれぞれ変化させ、それらの最大耐力 M_u と圧縮破壊による耐力低下後の耐力 M_{uc} ならびにじん性に及ぼす影響を比較検討する。また、コンクリートの応力-ひずみ曲線(モデル)を、配筋による拘束効果により変化させると共に、硬化域を考慮した鉄筋の応力-ひずみ曲線(モデル)を与えて、 M_u 、 M_{uc} を計算により求める方法を検討し、設計資料を得ようとするものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

試験体はすべて断面を $b = 30\text{cm}$, $D = 40\text{cm}$, $d_c = d_t = 6\text{cm}$ として、主筋には圧縮鉄筋に D19 (SD30) を使用し、複筋比 γ が約 0.4となるように引張鉄筋に D32 (SD30) を使用した。

引張鉄筋比 p_t については、主筋の本数を 2本、4本と変化させた。横補強筋については D10 (SD30) を使用し、横補強筋比 p_w [$p_w = a_w / (b \cdot x)$, a_w : 1組の横補強筋断面積, b : はり幅, x : 横補強筋の間隔] を 1.19%, 0.59% と変化させた。横補強筋の間隔については、 $8d$, $4d$ (d : 圧縮鉄筋の公称直径) 間隔とし、横補強筋のかけ方を図-2 に示すように 4種類変化させた。

試験体は10体計画し、形状及び詳細は、図-1、表-1 に示す。

試験体名の左側最初の数字は、主筋の本数を表している。2,3 番目の数字は、横補強筋のかけ方で、02は図-2中の a) を表しており、同様に 04は b) を、22

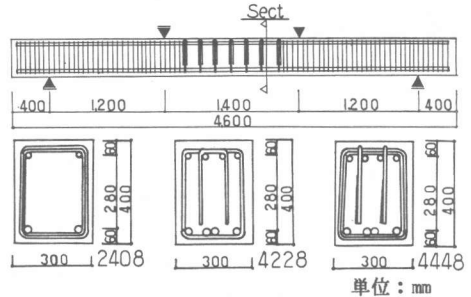


図-1 試験体形状

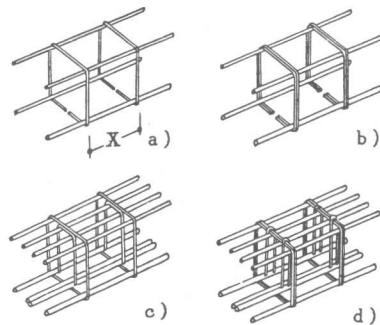


図-2 横補強筋

表-1 試験体詳細一覧

試験体名	主筋								横補強筋			
	配筋	上端筋			下端筋			(試験スパン内)				
		降伏応力度	断面積	鉄筋比	配筋	降伏応力度	断面積	鉄筋比	配筋	間隔	横補強筋比	降伏応力度
		σ_y	Σa_c	P_c	σ_y	Σa_t	P_t	X				
kg/cm^2	cm^2	%	kg/cm^2	cm^2	%	cm	%	kg/cm^2				
4224	4-D19	3469	11.46	1.12	4-D32	3274	31.77	3.11	2-D10	8.0	1.19	3900
4204	4-D19	3473	11.46	1.12	4-D32	3274	31.77	3.11	2-D10	8.0	0.59	3900
4448	4-D19	3462	11.46	1.12	4-D32	3274	31.77	3.11	4-D10	16.0	1.19	3900
4408	4-D19	3469	11.46	1.12	4-D32	3274	31.77	3.11	4-D10	16.0	0.59	3900
4228	4-D19	3469	11.46	1.12	4-D32	3274	31.77	3.11	2-D10	16.0	0.59	3900
2404	2-D19	3483	5.73	0.56	2-D32	3281	15.88	1.56	4-D10	8.0	1.19	3900
2204	2-D19	3483	5.73	0.56	2-D32	3281	15.88	1.56	2-D10	8.0	0.59	3900
2448	2-D19	3455	5.73	0.56	2-D32	3268	15.88	1.56	4-D10	16.0	1.19	3900
2408	2-D19	3462	5.73	0.56	2-D32	3268	15.88	1.56	4-D10	16.0	0.59	3900
2228	2-D19	3455	5.73	0.56	2-D32	3274	15.88	1.56	2-D10	16.0	0.59	3900

は c) を、4 4 は d) を表している。最後の数字は、横補強筋の間隔で、圧縮鉄筋の公称直径の倍数で表している。

2.2 加力方法および測定方法

加力は、図-3 に示すように 2 点集中単調加力とし、部材降伏後は加力点における変位により制御し、耐力の著しい低下がみられるまで加力を行なった。

測定は、中央と加力点におけるたわみの他に、図-3 に示すようなゲージホルダを作製し曲率を求めた。また、ストレインゲージにより、主筋・横補強筋・コンクリートのひずみも測定した。

3. 実験結果

実験結果の一覧を表-2 に、モーメント-変形曲線を図-8 ~ 12 に示す。

全試験体の最大耐力後の耐力低下を比較するために、縦軸は耐力 (M) から各々の最大耐力 (Mu) を減じ、その値を最大耐力で除して求め、横軸は加力点と中央の相対変形量 (δ) を各々の降伏時の変形量 (δy) で除して規準化した $(M - Mu) / Mu - \delta / \delta y$ 曲線を図-4, 5 に示す。

主筋が 4 本の場合、降伏たわみの 1.5 ~ 3 倍のたわみ量のときに最大耐力に達するが、2 本の場合は 3 ~ 6 倍のときに最大耐力に達する。

横補強筋量による影響についてみると、主筋が 4 本で横補強筋量が多い 4 4 4 8 と 4 2 2 4 は、最大耐力後の低下率は 8% とほぼ等しい。横補強筋量が少ない 4 2 2 8, 4 4 0 8, 4 2 0 4 の低下率は、9%, 9%, 10% とほぼ等しく、横補強筋量が多い試験体に比べ低下率が大きく、その差がみられる。主筋が 2 本で横補強筋量が多い 2 4 4 8 と 2 4 0 4 は、最大耐力後の低下率は 2%, 5% であり、間隔が広くても副横補強筋のある 2 4 4 8 の方が低下率が小さい。また、横補強筋量が少ない 2 2 2 8, 2 2 0 4, 2 4 0 8 の低下率は、5%, 7%, 7% であり、横補強筋の間隔に余り関係がなく、副横補強筋のある 2 2 2 8 の低下率が小さい。

横補強筋の間隔による影響についてみると、主筋が 4 本の場合、 $\delta / \delta y$ が 10 を過ぎると間隔の影響がみられ、間隔が 4d の試験体は耐力が徐々に上昇しているが、8d の試験体では横補強筋量の多い 4 4 4 8 を除き、耐力の上昇は余りみられない。主筋が 2 本の場合には、主筋が 4 本の場合と異なり、全試験体共に 10 $\delta / \delta y$ を越えても耐力が徐々に上昇する傾向がみられた。

横補強筋のかけ方による影響についてみると、主筋が 4 本の場合、横補強筋量の同じ 4 2 2 8 と 4 4 0 8 では、最大耐力後の低下率には余り差はみられないが、4 2 2 8 の方が被りコンクリートがなくなった後の耐力に安定性がみられた。主筋が 2 本の場合、2 2 2 8 と 2 4 0 8 では、最大耐力後の低下率は 5%, 7% で、2 2 2 8 の耐力低下の方が少なく、安定している。

主筋の本数による影響についてみると、最大耐力後の低

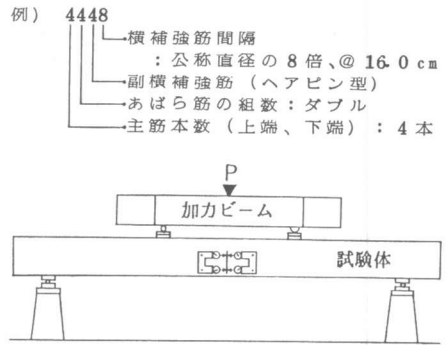


図-3 加力・測定方法

表-2 実験結果一覧

試験体名	実験値				略算値 Muca1 (tm)
	シフト強度 kg/cm ²	降伏時 My (tm)	最大耐力 Mu (tm)	耐力低下 Muc (tm)	
	c0B	My	Mu	Muc	
4224	276	30.60	30.60	28.32	31.83
4204	284	30.00	30.84	29.10	31.83
4448	289	30.00	30.60	28.08	31.83
4408	295	30.00	30.42	28.20	31.83
4228	296	30.60	31.08	28.38	31.83
2404	304	15.60	16.56	15.75	15.94
2204	284	16.02	16.41	15.99	15.94
2448	303	15.81	16.08	15.90	15.88
2408	293	15.60	16.26	15.45	15.91
2228	285	15.60	16.11	15.45	15.91

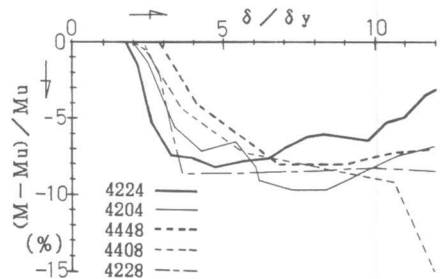


図-4 降伏後の耐力変化
(主筋4本の場合)

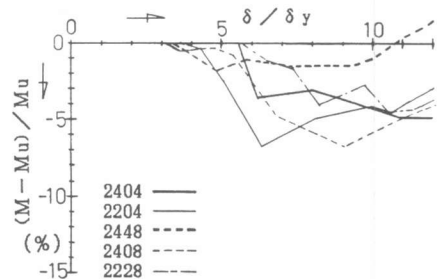


図-5 降伏後の耐力変化
(主筋2本の場合)

下率の最小値を主筋の本数で除し、1本当たりとして考えると、主筋が4本の4448と4224は2%、4228と4408は約2.3%、4204は2.5%となる。主筋が2本の2448は1%、2228と2404は2.5%、2408と2204は3.5%となり、横補強筋量が多い場合には、主筋の本数が多い方が低下率は大きい。横補強筋量が少ない場合には、あばら筋がシングル、若しくは副横補強筋がない試験体では、主筋が4本の試験体の方が、2本の試験体よりも耐力の低下率が少なくなっており、若干ではあるが主筋による拘束の影響がみられる。なお、本報告では、はり幅 ($b=30\text{cm}$) が一定であるが、主筋1本が圧縮側コンクリートの幅に及ぼす影響として $b/(\sum d)$ が考えられ、主筋が4本の試験体では3.95、2本の試験体では7.9となっている。

4. 終局耐力の検討

最大耐力 M_u とコンクリートの圧縮破壊による耐力低下後の耐力 M_{uc} の算出について検討する。

コンクリートの応力-ひずみ曲線は、被りコンクリートと横補強筋によって拘束されているコンクリートに分けて考える。被りコンクリートの応力-ひずみ曲線は、図-6 b) に示すように、ひずみ 0.19%までは放物線とし、0.19%で最大値としてシリンダ強度 $c\sigma_B$ の1.0倍をとり、0.38%で強度はないものと仮定する。横補強筋に拘束されているコンクリートは、変形能が向上するものと考え、ひずみ 0.19%までは被りコンクリートと同様に放物線とし、その後、主筋の及ぼす拘束効果を考慮し、ひずみ 0.38%、0.76%、1.90%において、その応力度を変化させ、既往の実験より図-6 a) に示すように仮定する。

鉄筋の応力-ひずみ曲線は、鉄筋の引張実験より得られた曲線を基に、図-6 c) に示すように、降伏後ひずみ 1.2% からひずみ硬化が始まり、5.0%で降伏応力度の1.45倍になるものと仮定する。

以上の仮定に基づいて、図-7 a) に示すように、圧縮側のコンクリートがすべて有効に働いているものとして、圧縮縁ひずみ $c\epsilon_c$ が 0.38%になるまでのモーメント-曲率関係と最大耐力 M_u を算出する。その後被りコンクリートがなくなり、主筋が2本の試験体では、図-7 b) に示すように圧縮鉄筋の重心をコンクリートの縁と考え、また主筋が4本の試験体では、横補強筋の内側即ち被りコンクリートを1cm残した位置をコンクリートの縁と考え、 $c\epsilon_c$ が 0.38%から 1.90%までのモーメント-曲率関係を算出する。横軸に純曲げスパンのたわみ $\delta 2 - (\delta 1 + \delta 3)/2$ を、縦軸にモーメント M をとり、算出された値をプロットすると図-8 ~ 12の破線のようになり、実験値(実線)とほぼ同じ傾向が得られている。

横補強筋量の影響についてみると、図-8 ~ 12に示すように、主筋が4本の場合には大きな差は余りみられないが、

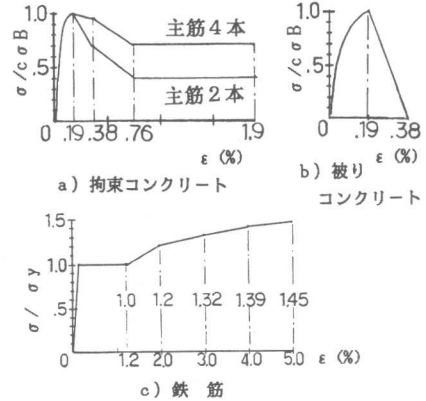


図-6 応力-ひずみ曲線

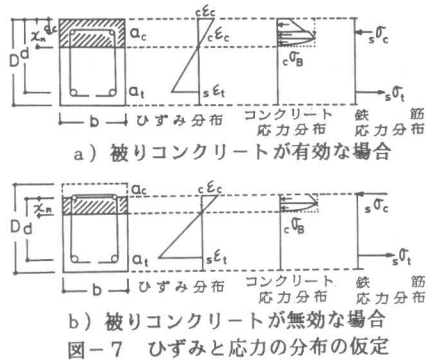


図-7 ひずみと応力の分布の仮定

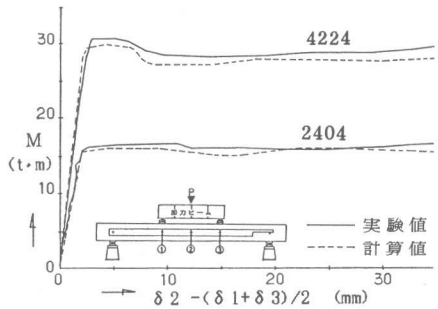


図-8 モーメント-変形曲線 ($p_w=1.19\%$ の場合)

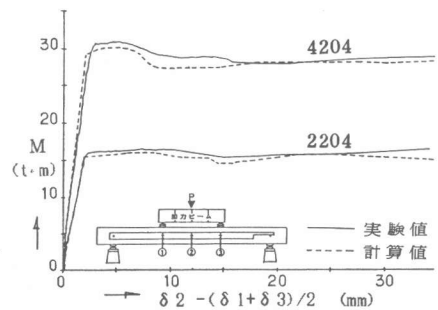


図-9 モーメント-変形曲線 ($p_w=0.59\%$ の場合)

横補強筋の間隔が狭い4224は、実験値が計算値を上まわっており、横補強筋による効果がうかがえる。主筋が2本の場合には余り差はみられないが、横補強筋量が多く、間隔が狭い2404は、安定して計算値を上まわっている。

横補強筋の間隔の影響についてみると、図-8～12に示すように、主筋が4本の場合は大変形時になると4d間隔の試験体は計算値を上まわっているのに対して、8d間隔の試験体は横補強筋量の多い試験体も下まわっており、コンクリートの応力-ひずみ曲線を間隔が狭いときには高く、広いときには低く仮定しなければならないと思われる。主筋が2本の場合には余り差がみられない。

横補強筋のかけ方の影響についてみると、図-11と12に示すように横補強筋量と間隔の同じ4228と4408、2228と2408と比較すると、4228は最大耐力時で計算値よりも大きい、4408は計算値とほぼ等しく、圧縮破壊後も4228は安定しているが、4408は徐々に耐力は低下しており、ひずみが大きくなったときにコンクリートの応力-ひずみ曲線を、横補強筋のかけ方により変化させる必要があると思われる。2228と2408では余り差はみられない。

主筋の影響については、本報告では主筋本数による拘束効果を比較するために、コンクリートの応力-ひずみ曲線(モデル)を変化させ、さらに被りコンクリートの剥落する厚さを変化させて、実験値と対応したことにより主筋の及ぼす影響が比較的大きいと思われる。

5. まとめ

鉄筋コンクリートばりの曲げ実験では、複筋比 γ が0.4位の場合、引張鉄筋比 p_t が大きくなるにつれじん性は低くなる傾向にあるが、じん性に及ぼす横補強筋の配筋方法の影響については、次のことが得られた。

横補強筋の配筋方法の影響は、引張鉄筋比 p_t が大きいときに特にみられ、横補強筋量が多い方がじん性は高くなるが、その場合、横補強筋の配筋方法のじん性に及ぼす影響がみられる。間隔が広いと変形が小さいときには余り差

はみられないが、大変形した際にじん性が低下する傾向がみられた。かけ方については、横補強筋量と同じ場合、コア内に副横補強筋として分けて配筋することにより、じん性を向上させることができると思われる。

終局耐力を配筋による拘束を考慮したコンクリートの応力-ひずみ曲線と、硬化域を考慮した鉄筋の応力-ひずみ曲線より算定する際には、横補強筋量だけではなく、その配筋方法も考慮する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 矢代他；RCばりのじん性に及ぼすかぶり厚と引張鉄筋比の影響，第7回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1985年5月，pp. 649-652
- 2) 矢代他；鉄筋コンクリートばりの強度とじん性に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），1985年10月，pp. 473-474
- 3) 矢代他；RCばりのじん性に及ぼす横補強筋の効果と引張鉄筋比の影響，第6回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1984年5月，pp. 569-572

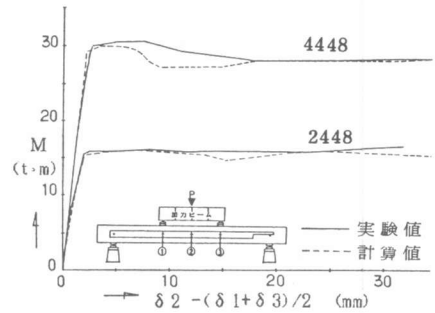


図-10 モーメント-変形曲線
($p_w=1.19\%$ の場合)

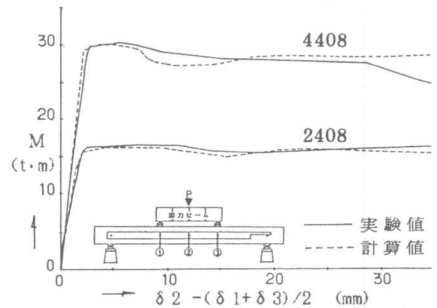


図-11 モーメント-変形曲線
($p_w=0.59\%$ の場合)

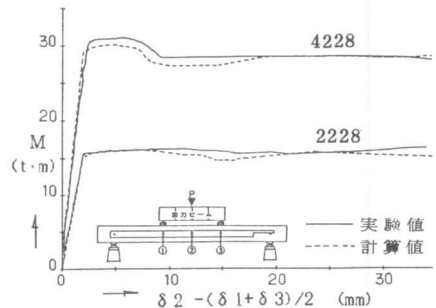


図-12 モーメント-変形曲線
($p_w=0.59\%$ の場合)