# [163]　RCばりのじん性に及ぼすかぶり厚と引張鉄筋比の影響

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）
　　荘　恵文（日本大学大学院）

## 1．まえがき

鉄筋コンクリートばりの曲げ実験では、圧縮側のコンクリートの圧縮破壊により最大耐力に達し、圧縮破壊の拡大、被りコンクリートの剝落により、耐力が低下する。この耐力の低下は、複筋比$\gamma$、横補強筋量、引張鉄筋量により異なることは、既往の研究により解っている。[1),2)]

本研究では、複筋比$\gamma$を約0.4とし、横補強筋の間隔を一定にして、引張鉄筋比ptと圧縮縁から圧縮鉄筋重心までの距離dcをそれぞれ3種類変化させ、それらの最大耐力Muと圧縮破壊による耐力低下後の耐力Mucならびにじん性に及ぼす影響を比較すると共に、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、また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、Mu、Mucを求める計算方法を検討したものである。

## 2．実験概要

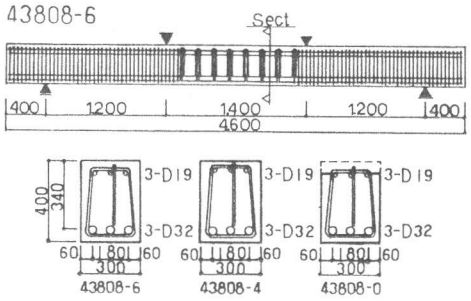
### 2.1　実験計画

試験体は9体計画した。主筋は、圧縮鉄筋にD19（SD30）を使用し、複筋比$\gamma$がおよそ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ptを変化させるために、主筋の本数を2本、3本、4本とした。

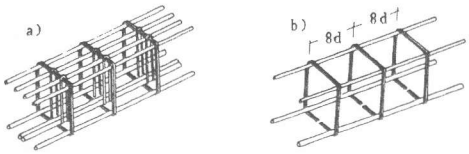
圧縮縁から圧縮鉄筋重心までの距離dcは、6cm、4cm、0cmと変化させた。

主筋を2本とし、dcを6cmとしたものを42808-6、dcを4cmとしたものを42808-4、dcを0cmとしたものを42808-0とした。同様に主筋を3本にしたものでは、43808-6、43808-4、43808-0とし、主筋を4本にしたものでは、44808-6、44808-4、44808-0とした。

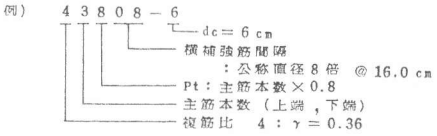
試験スパン内における横補強筋はD10（SD30）を使用し、




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 | 試験体形状 断面 b (cm) | D (cm) | d (cm) | せん断スパン (cm) | 主筋 上端筋 配筋 | 降伏応力度 σy (kg/cm²) | 断面積 ∑ac (cm²) | 鉄筋比 Pc (%) | 下端筋 配筋 | 降伏応力度 σy (kg/cm²) | 断面積 ∑at (cm²) | 鉄筋比 Pt (%) | 有効複筋比 γe | あばら筋（試験スパン内） 配筋 | 間隔 S (cm) | 降伏応力度 σy (kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 44808-6 | 30 | 40 | 34 | 120 | 4-D19 | 3420 | 11.46 | 1.12 | 4-D32 | 3670 | 31.77 | 3.11 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |
| 43808-6 | 30 | 40 | 34 | 120 | 3-D19 | 3420 | 8.60 | 0.84 | 3-D32 | 3670 | 23.83 | 2.34 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |
| 42808-6 | 30 | 40 | 34 | 120 | 2-D19 | 3420 | 5.73 | 0.56 | 2-D32 | 3670 | 15.88 | 1.56 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |
| 44808-4 | 30 | 40 | 34 | 120 | 4-D19 | 3420 | 11.46 | 1.12 | 4-D32 | 3670 | 31.77 | 3.11 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |
| 43808-4 | 30 | 40 | 34 | 120 | 3-D19 | 3420 | 8.60 | 0.84 | 3-D32 | 3670 | 23.83 | 2.34 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |
| 42808-4 | 30 | 40 | 34 | 120 | 2-D19 | 3420 | 5.73 | 0.56 | 2-D32 | 3670 | 15.88 | 1.56 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |
| 44808-0 | 30 | 35 | 29 | 120 | 4-D19 | 3420 | 11.46 | 1.32 | 4-D32 | 3670 | 31.77 | 3.65 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |
| 43808-0 | 30 | 35 | 29 | 120 | 3-D19 | 3420 | 8.60 | 0.99 | 3-D32 | 3670 | 23.83 | 2.74 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |
| 42808-0 | 30 | 35 | 29 | 120 | 2-D19 | 3420 | 5.73 | 0.66 | 2-D32 | 3670 | 15.88 | 1.83 | 0.34 | 4-D10 | 16.0 | 3928 |

図－2 a)に示すように、横補強筋の間隔は圧縮鉄筋の公称直径の8倍で、2本ずつ配筋した。さらに主筋が3本、4本の場合、図－2b)に示すように、内側の鉄筋に対して、U字型の補強筋を加えた。

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、部材の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、曲率を求めるために、図－3に示すようなゲージホルダを作成し、圧縮縁におけるひずみと引張鉄筋位置でのひずみを測定した。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

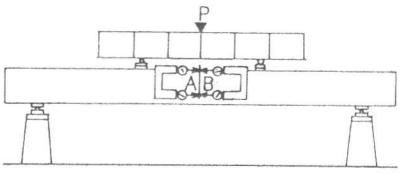
実験結果一覧を表－2に、荷重－曲率曲線を図－4、5、6に示す。

3.1　荷重－曲率関係

主筋2本の試験体についてみると、dcが6cmの42808-6では、部材降伏後、2.4 $1/\rho_y$まで耐力は上昇し、その後4.7 $1/\rho_y$にかけて、8.5%程の耐力低下がみられ、14 $1/\rho_y$で圧縮鉄筋の座屈により著しい耐力の低下がみられた。dcが4cmの42808-4では、部材降伏後、3 $1/\rho_y$まで耐力は上昇し、その後4%程度の耐力低下がみられ、12 $1/\rho_y$で著しい耐力低下がみられた。また、dcが0cmの42808-0は、部材降伏後、8 $1/\rho_y$まで耐力は徐々に上昇し、その後11 $1/\rho_y$で著しい耐力の低下がみられた。

主筋3本の試験体についてみると、dcが6cmの43808-6では、部材降伏後、2.6 $1/\rho_y$でコンクリートの圧縮破壊により、9%程の耐力低下がみられ、その後6.5 $1/\rho_y$で著しい耐力低下がみられた。dcが4cmの43808-4では、部材降伏後、1.4 $1/\rho_y$まで耐力は徐々に上昇し、3.8 $1/\rho_y$で5%程の耐力の低下がみられ、その後7.6 $1/\rho_y$で著しい耐力の低下がみられた。dcが0cmの43808-0では、部材降伏後、耐力はほぼ一定になっており、6.4 $1/\rho_y$で圧縮鉄筋の座屈により著しい耐力の低下がみられた。

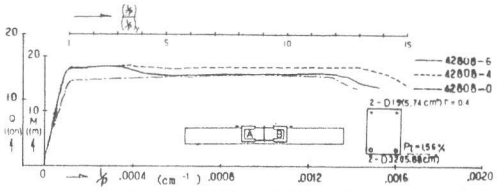
主筋4本の試験体についてみると、dcが6cmの44808-6は、部材降伏後、1.7 $1/\rho_y$でコンクリートの圧縮破壊により11%程の耐力低下がみられ、その後6.5 $1/\rho_y$で耐力の低下がみられた。dcが4cmの44808-4では、部材降伏後、2.2 $1/\rho_y$で圧縮破壊により3%程の耐力低下がみられ、その後6.1 $1/\rho_y$で著しい耐力の低下がみられた。dcが0cmの44808



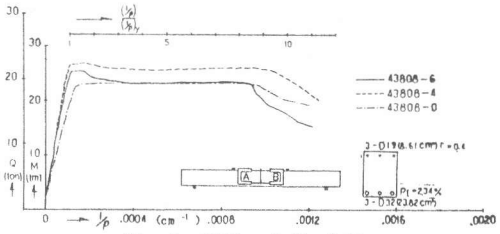

図－3　加力・測定方法

表－2　実験結果一覧

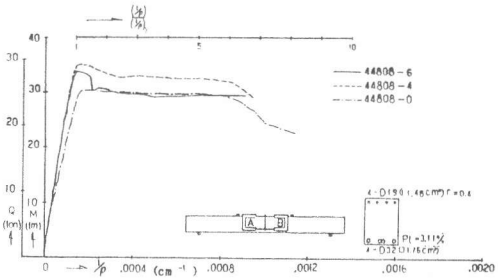
| 試験体名 | テストピース圧縮強度 (Fc kg/cm²) | 実験値 降伏時 My (t.m) 1/ρy*10 (cm⁻¹) | 実験値 最大耐力 Mu (t.m) 1/ρu*10 (cm⁻¹) | 実験値 耐力低下 Muc (t.m) 1/ρuc*10 (cm⁻¹) | 実験値 耐力低下 Muc4 (t.m) 1/ρuc4*10 (cm⁻¹) |
|---|---|---|---|---|---|
| 44808-6 | 223 | 33.60<br>1.45 | 33.60<br>1.45 | 30.06<br>2.62 | 29.10<br>29.60 |
| 43808-6 | 223 | 25.26<br>1.69 | 25.26<br>1.69 | 24.18<br>2.70 | 22.62<br>12.60 |
| 42808-6 | 276 | 17.76<br>1.18 | 18.03<br>3.03 | 16.68<br>5.76 | 16.59<br>14.80 |
| 44808-4 | 275 | 34.86<br>1.63 | 34.86<br>1.88 | 32.58<br>3.36 | 31.62<br>8.99 |
| 43808-4 | 275 | 26.52<br>1.64 | 26.62<br>2.28 | 25.71<br>3.71 | 25.32<br>10.40 |
| 42808-4 | 276 | 17.58<br>1.43 | 18.18<br>4.99 | 17.52<br>6.80 | 17.88<br>15.60 |
| 44808-0 | 272 | 30.12<br>1.88 | 30.18<br>2.65 | 29.52<br>6.48 | 29.10<br>9.02 |
| 43808-0 | 272 | 22.68<br>1.53 | 23.07<br>5.03 | 22.89<br>5.56 | 22.62<br>10.40 |
| 42808-0 | 245 | 15.36<br>1.26 | 16.50<br>11.24 | | 16.02<br>17.70 |



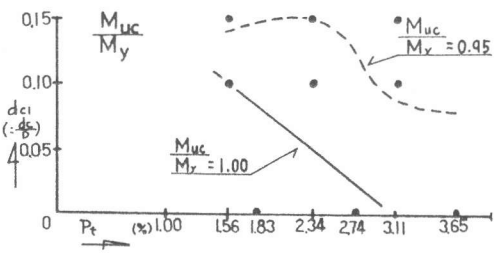

図－4　荷重－曲率　曲線




図－5　荷重－曲率　曲線




図－6　荷重－曲率　曲線




図－7　耐力低下率

-0 では、部材降伏後、耐力は徐々に低下し、6.21/$\rho_y$で圧縮鉄筋の座屈により著しい耐力の低下がみられた。

各々の試験体について述べてきたが、主筋の本数、圧縮縁から圧縮鉄筋重心までの距離dc の影響について、圧縮側コンクリートの圧縮破壊による耐力低下を比較すると図－7のようになる。主筋の本数が多い（引張鉄筋比 pt が大きい）程、また圧縮縁から圧縮鉄筋重心までの距離 dc が大きい程、コンクリートの圧縮破壊による耐力の低下は大きいようである。

dc が6cmの試験体と dc が0cmの試験体についてみると、dc が6cmの試験体がコンクリートの圧縮破壊により耐力を失なった後の耐力が、dc が0cmの試験体の耐力とほぼ一致することが確かめられた。これは、最大耐力Mu と耐力低下後の耐力Mucの差は、圧縮側コンクリートの負担力であり、圧縮側被りコンクリートを失なった dc が6cmの試験体と、dcが0cmの試験体は、断面がほぼ等しくなるものと思われる。

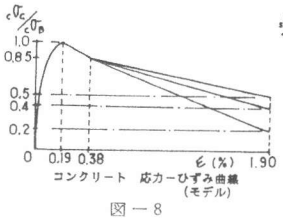
## 4．終局耐力の検討

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

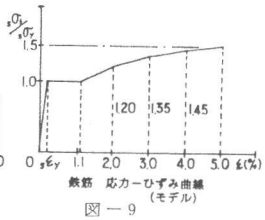
コンクリートの応力－ひずみ曲線を図－8に示すように仮定する。圧縮側の被りコンクリートは、ひずみ0.19％まで放物線とし、0.19％で最大値としてシリンダー強度 $_c\sigma_B$の 1.0倍をとり、ひずみ0.38％で圧縮破壊し、0.38％で最大値の0.85と仮定する。また、被りコンクリートを失なった圧縮側のコンクリートの応力－ひずみ曲線は、横補強筋・U字型補強筋により拘束されるため変形能は向上するものと考え、既往の実験[3]におけるコアコンクリートの横補強筋の断面積比より、図－8のように仮定する。ひずみ 0.38％から1.90％まで直線として、ひずみが1.90％において主筋が2本の場合は、最大値の0.2倍、3本の場合は0.4倍、4本の場合は0.5倍とした。

次に、鉄筋の応力－ひずみ曲線を鉄筋の引張試験より得られた曲線を基に、図－9に示すように、降伏後、ひずみ1.1％からひずみ硬化が始まり、ひずみ5.0％で降伏応力度の1.5倍になるものと仮定する。

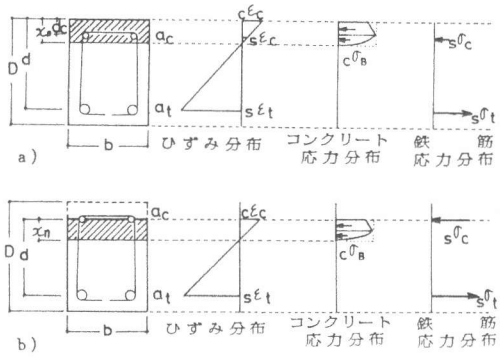
以上の仮定に基づいて、図－10 a)に示すように、圧縮側の被りコンクリートが有効に働いているものとして、圧縮縁ひずみ $_c\epsilon_c$が0.38％になるまでのモーメント－曲率関係と最大曲げモーメント Mu を算出する。その後、被りコンクリートがなくなり、図－10 b)に示すように、圧縮鉄筋の重心をコンクリートの縁ひずみと考え、縁ひずみ $_c\epsilon_c$が0.38％から



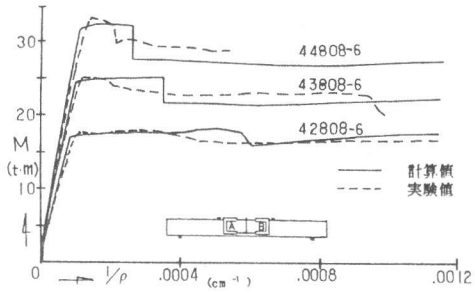
図－8



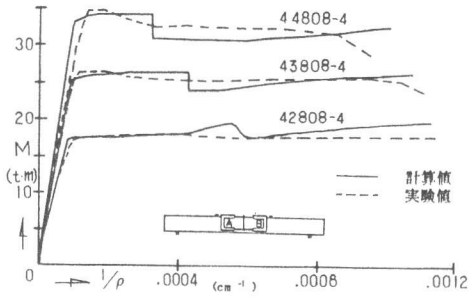
図－9



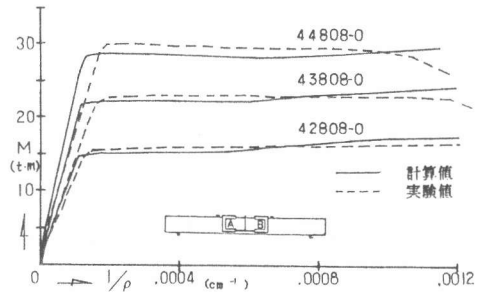
図－10 ひずみ 応力分布



図－11 モーメント－曲率 曲線



図－12 モーメント－曲率 曲線



図－13 モーメント－曲率 曲線

1.90 %までのモーメント－曲率関係を算出する。

算出されたモーメントと曲率を実験値と比較すると、図－11、12、13 のようになる。図－3の左右2組の変位計より求められた曲率の平均したものを破線で表わし、計算により求められた値を実線で表わした。

被りコンクリートのないものと仮定したdc が0cmの試験体についてみると、実験値と同じ傾向を示しており、主筋が2本の 42808-0 では耐力は徐々に上昇しており、4本の 44808-0 ではやや低下している。また、dc が6cmの試験体では、コンクリートの圧縮破壊による耐力低下後の耐力も、実験値と同様にdc が0cmの試験体の耐力とほぼ一致している。dc が4cmの試験体においても、最大耐力および耐力低下後の耐力の計算値は、実験と同じ傾向を示している。

表－3は、各試験体の最大耐力 Mu、耐力低下後の耐力 Muc と圧縮側縁ひずみ $c\varepsilon_c$ を 0.38 %，0.57 %，1.14 %としたときの耐力 Muc1，Muc2を求めたものである。各試験体の exM／Mをみると、ほとんど 0.95 から1.05 となっており、実験値の方が計算値より若干高い値になっている。

## 5。まとめ

鉄筋コンクリートばりの純曲げによる曲げ実験では、複筋比 $\gamma$ が0.4位の場合では、引張鉄筋比 pt が大きくなるにつれじん性は低くなる傾向にあるが、圧縮縁から圧縮鉄筋重心までの距離 dc の影響については、次のことが得られた。

圧縮側コンクリートの圧縮破壊により、被りコンクリートのなくなった後の耐力 Muc は、被りコンクリートがないと仮定した dc が 0 cm の試験体の耐力とほぼ一致した。

dc が大きい程、被りコンクリートの剝落による耐力低下の割合は大きくなる。

圧縮側コンクリートが圧縮破壊する前の最大耐力 Mu と被りコンクリートがなくなった後の耐力 Muc 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－ひずみ曲線のモデルを与えて計算することにより、実験値に近い値を得ることができた。

表 － 3　計算結果一覧

| 試験体名 | | | 42808-0 | 43808-0 | 44808-0 | 42808-4 | 43808-4 | 44808-4 | 42808-6 | 43808-6 | 44808-6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 実験値 | | ex. M u (t·m) | 16.50 | 23.07 | 30.18 | 18.18 | 26.64 | 34.86 | 18.03 | 25.26 | 33.60 |
| | | ex. 1/ρu ＊10⁻⁴ (cm⁻¹) | 11.20 | 5.02 | 2.05 | 4.99 | 2.28 | 1.88 | 3.03 | 1.69 | 1.45 |
| | | ex. cεc (%) | 1.80 | 0.77 | 0.39 | 0.35 | 0.31 | 0.25 | 0.27 | 0.24 | 0.24 |
| | | ex. M uc (t·m) | 16.10 | 22.90 | 29.50 | 17.70 | 25.60 | 32.40 | 16.40 | 22.90 | 29.20 |
| | | ex. 1/ρuc ＊10⁻⁴ (cm⁻¹) | 5.82 | 2.38 | 5.81 | 6.80 | 3.71 | 3.36 | 5.76 | 2.70 | 2.62 |
| | | ex. cεc (%) | 0.78 | 0.39 | 0.96 | 0.48 | 0.47 | 0.44 | 0.36 | 0.23 | 0.32 |
| cεc = 0.57 % | | ex. M uc1 (t·m) | 16.11 | 22.89 | 29.58 | 17.70 | 25.59 | 32.58 | 16.41 | 22.92 | 29.46 |
| | | ex. 1/ρuc1 ＊10⁻⁴ (cm⁻¹) | 7.73 | 5.50 | 4.78 | 7.63 | 4.34 | 5.20 | 7.47 | 5.88 | 5.40 |
| cεc = 1.14 % | | ex. M uc2 (t·m) | 16.44 | 22.92 | 29.40 | 17.79 | 25.70 | 32.16 | 16.71 | 23.10 | 29.22 |
| | | ex. 1/ρuc2 ＊10⁻⁴ (cm⁻¹) | 10.54 | 6.40 | 7.60 | 10.50 | 8.62 | 7.79 | 11.60 | 11.26 | 9.29 |
| 全断面 | | M u (t·m) | 15.23 | 22.28 | 28.72 | 17.70 | 26.37 | 34.19 | 17.70 | 25.22 | 32.50 |
| | | 1/ρu ＊10⁻⁴ (cm⁻¹) | 3.88 | 2.87 | 2.15 | 3.53 | 3.17 | 2.18 | 3.53 | 3.29 | 1.76 |
| | | cεc (%) | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.28 | 0.29 | 0.27 | 0.28 | 0.36 | 0.27 |
| | | ex. Mu／Mu | 1.08 | 1.04 | 1.05 | 1.03 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.00 | 1.03 |
| 圧縮側被りコンクリートなし | cεc 0.38% | M uc (t·m) | 15.44 | 22.22 | 28.61 | 17.42 | 23.99 | 30.99 | 15.95 | 21.72 | 27.73 |
| | | 1/ρuc ＊10⁻⁴ (cm⁻¹) | 5.59 | 4.25 | 3.19 | 5.90 | 4.30 | 3.22 | 6.04 | 3.49 | 2.61 |
| | | sεt (%) | 1.19 | 0.81 | 0.51 | 1.39 | 0.91 | 0.59 | 1.31 | 0.60 | 0.35 |
| | | ex. Muc／Muc | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.07 | 1.05 | 1.03 | 1.05 | 1.05 |
| | cεc 0.57% | M uc1 (t·m) | 16.34 | 22.40 | 28.38 | 18.58 | 24.59 | 30.76 | 16.97 | 21.55 | 27.44 |
| | | 1/ρuc1 ＊10⁻⁴ (cm⁻¹) | 7.55 | 6.27 | 4.85 | 7.92 | 6.15 | 4.90 | 8.12 | 5.28 | 3.97 |
| | | sεt (%) | 1.57 | 1.19 | 0.79 | 1.80 | 1.28 | 0.90 | 1.70 | 0.91 | 0.54 |
| | | ex. Muc／Muc1 | 0.99 | 1.02 | 1.04 | 0.95 | 1.04 | 1.06 | 0.97 | 1.06 | 1.07 |
| | cεc 1.14% | M uc2 (t·m) | 17.34 | 23.75 | 28.69 | 19.81 | 26.24 | 31.69 | 18.06 | 22.03 | 26.84 |
| | | 1/ρuc2 ＊10⁻⁴ (cm⁻¹) | 11.77 | 10.14 | 8.74 | 12.38 | 9.90 | 8.53 | 12.70 | 9.07 | 7.66 |
| | | sεt (%) | 2.15 | 1.70 | 1.30 | 2.57 | 1.83 | 1.42 | 2.42 | 1.40 | 1.00 |
| | | ex. Muc／Muc2 | 0.95 | 0.97 | 1.02 | 0.90 | 0.98 | 1.01 | 0.93 | 1.05 | 1.09 |


参考文献

1) 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 7月，pp. 569-572

2) 矢代他；鉄筋コンクリートばりのじん性に及ぼす引張鉄筋比と横補強筋の影響，日本大学生産工学部第17回学術講演会，1984年11月，pp. 1- 4

3) 仲田他；鉄筋コンクリート柱における横補強筋の効果に関する実験的研究，日本大学生産工学部建築工学科卒業研究概要集，1985年 3月，pp. 61- 62