

帯鉄筋補強されたコンクリートの補強効果と断面形状の関係について

近畿大学理工学部 正員 ○ 柳 下文夫  
近畿大学理工学部 正員 水 野 俊一

1. まえがき 鉄筋コンクリート部材の曲げ強度(終局)算定にあたり、一般に“コンクリートの圧縮縁ひずみがある終局値  $\epsilon_{cu}$  に達したとき部材は破壊する”という基本仮定がなされる。この仮定において、土木学会では工学的な実用的判断から  $\epsilon_{cu}=0.0035$  という一定値を常用している。一方、Rüsch は計算により  $\epsilon_{cu}$  に対して断面形状の影響が著しいことを指摘している。そこで本研究では、帯鉄筋量を変化させた種々の断面形状を有するコンクリート柱体に偏心圧縮荷重を与えることにより、曲げ圧縮域の応力状態を実験的に再現し、帯鉄筋の補強効果を通して断面の終局特性に関する基礎的資料を収集したものである。

2. 実験概要 図-1 に試験体の形状および加力・測定方法を示す。試験体はコ型の間中部(試験区間)を4種類の形状に変化させ、それぞれの形状に対して帯鉄筋( $\phi 6\text{mm}$ ,  $\epsilon_s=2600\text{kg/cm}^2$ )を容積比  $p''=0\%\cdot 1\%\cdot 2\%\cdot 3\%$  の4種類の割合でかぶり1cmで配筋した。コンクリートは設計基準強度  $200\text{kg/cm}^2$ ・設計スランプ  $15\text{cm}$  とし、その配合を表-1 に示す。コンクリートの打設は仮想中立軸面に対して縦打ちとし、48時間後に脱型し、試験材令28日間空中養生した。加力は、2台のジャッキによる偏心曲げ圧縮単調荷荷で、PC鋼棒を介した副ジャッキにより仮想中立軸面のひずみが絶えず零になるよう連続制御した。試験区間の変位はカンチレバ型ひずみゲージ変換式変位計( $\pm 2.5\text{mm}$ ,  $2000\mu/\text{mm}$ )を用いて測定し、帯鉄筋の軸方向ひずみは、ひずみゲージを貼付し測定した。

3. 解析方法 部材の破壊に対する真の安全性は、応力軸のみならず、変形軸も含めた特性が考慮されて初めてより正しく評価される。この意味から断面のもつ変形能力が極めて重要になり、その終局域の限界点を定義する必要がある。本項では、単筋ばり断面のみならず複筋ばりにもその理論が拡張されているストレスブロックの形状係数比( $k_2/k_1k_3$ )が最小の時を限界点と定め、試験体の諸特性を考

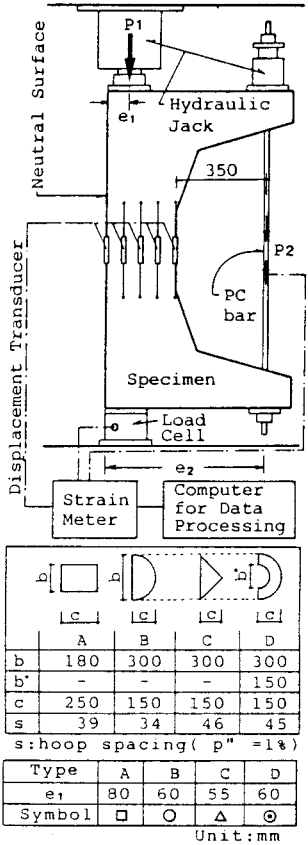


図-1 試験体の形状と加力方法

表-1 コンクリートの配合

| Water-Cement Ratio (by weight) | Slump (cm) | s/a by Volume (%) | Quantities per cubic meter of concrete |        |                  |                       |
|--------------------------------|------------|-------------------|----------------------------------------|--------|------------------|-----------------------|
|                                |            |                   | Water                                  | Cement | Aggregate Coarse | Aggregate Medium sand |
| 73                             | 15         | 49                | 182                                    | 250    | 284              | 925                   |

算する。そこで以下の3つの方法により形状係数を求める。(1)各計測ステップの軸力の和( $P_1+P_2$ )と偏心距離から直接

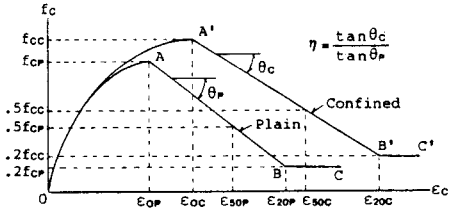


図-2 帯鉄筋補強されたコンクリートの応力-ひずみ曲線

Region 0~A(A')

$$f_c = \frac{(\alpha \cdot f_{c0} \cdot \beta)}{1 + (\alpha - 1) \cdot \beta}$$

in which  $\beta = 1.5(E_c/E_o^*) - 0.5(E_c/E_o^*)$   
 $E_o^* = (1.3 + 0.006 \cdot f_{c0}) \cdot 10^{-3}$   
 $E_{c0} = E_o^* \cdot (1 + \gamma \cdot p'')$

Region A(A')~B(B')

$$f_c = f_{c0} \cdot \left[ 1 - \frac{0.5(E_c - E_o^*)}{E_{s0}^* - E_o^*} \right]$$

in which  $E_{s0}^* = 1.2(0.3 + 0.0021 \cdot f_{c0}) / (f_{c0} - 90)$   
 $E_{s0c} = E_{c0} + f_{c0} \cdot (E_{s0}^* - E_{c0}) / (\eta \cdot f_{c0})$

Region B(B')~C(C')

$$f_c = 0.2 \cdot f_{c0}^*$$

4. 実験結果と考察 表-2にテストピースによる圧縮試験結果と解析に用いた形状定数の一部を示す。帯鉄筋による横方向の拘束効果のために $\sigma - \epsilon$ 関係の形状および軸方向の強度が変化することは、最近のじん性の改善に着目した多くの実

表-2 コンクリートの圧縮試験結果

|   | (kg/cm <sup>2</sup> ) |     |     |     |          |         |
|---|-----------------------|-----|-----|-----|----------|---------|
|   | 1                     | 2   | 3   | 4   | $\alpha$ | $\beta$ |
| A | 180                   | 210 | 217 | 225 | 2.1      | 30      |
| B | 180                   | 185 | 218 | 210 | 1.4      | 35      |
| C | 219                   | 170 | 190 | 201 | 1.0      | 45      |
| D | 233                   | 205 | 195 | 200 | 1.4      | 35      |

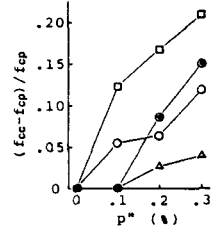


図-3  $p''$ と強度増分の関係

験的研究により明らかにされつつある。図-3および図-4は実験結果を逆解析することにより得られた各断面の圧縮強度の増加の比率と応力軟化域の負勾配の変化を示したものである。圧縮強度の増加率は断面形状により大きく異なることが明白に示された。例えば、長方形断面の2軸曲げのように、圧縮域が三角形になる場合、強度増加はほとんど期待できないことがわかる。さらに、半円形断面の比率は長方形断面のほぼ1/2程度の値であった。この傾向は一軸圧縮試験の結果と全く相反するものであり、さらに研究を要するポイントの一つであると思われる。また、負勾配の変化を見ると、若干のばらつき(試験体B-4は最終破壊状況から判断すると斜め載荷になってしまった)はあるものの、三角形断面を除きほぼ同様な傾向を示し、 $p''=1\%$ 程度の帯鉄筋量に対しても大きな効果があることがわかった。次に、解析方法(3)から求めた終局限界ひずみ $\epsilon_{cu}$ の値を図-5に示す。同図から、帯鉄筋の増量に伴い $\epsilon_{cu}$ は著しく変化し、土木学会の常用する値を大きく上回ることが明らかになった。

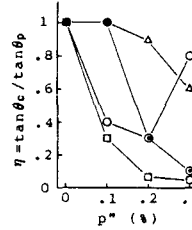


図-4  $p''$ と負勾配の関係

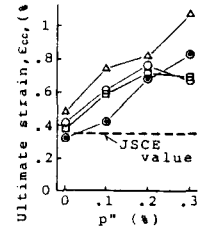


図-5  $p''$ と終局ひずみの関係

図-6は上記解析方法(1)~(3)により求めた各断面の圧縮縁ひずみが限界点に達した時のストレスブロックの形状係数を示したものであり、コンクリートの平均応力度をテストピースの圧縮強度で除した値、すなわち形状係数 $k_1k_3$ において、実験結果と解析方法(3)から求めた値の間にはほぼ同様な傾向が見られた。しかし、 $\epsilon_{cu}=0.0035$ と規定している土木学会の方法から求めた値はACI規準で用いられている値を全体的に下回った。合力の作用位置を示す係数 $k_2$ の値は、長方形断面のものを除き実験値と解析値の間に大きな差が生じた。最後に、解析方法の適合性を検証したのが、図-7に示す実験による総軸力と解析による総合力の比較である。この図から、解析方法(3)の有効性がある程度確認された。

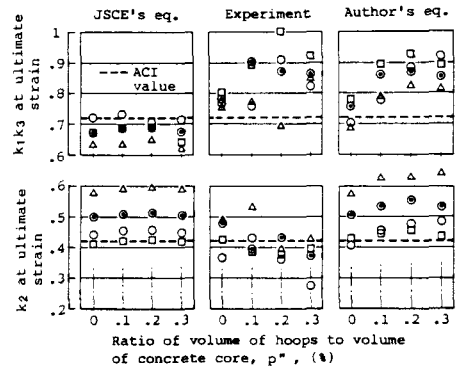


図-6  $p''$ と形状係数 $k_2, k_1k_3$ の関係

5. むすび 補強筋の横補強効果については今だ定説が得られていないのが現状であるが、今後、主要な断面構成要因(特に、コンクリート強度、中立軸深さ、主筋の存在など)をパラメータとした実験・解析を行うと共に、一軸圧縮試験結果との違いを説明する必要性がある。

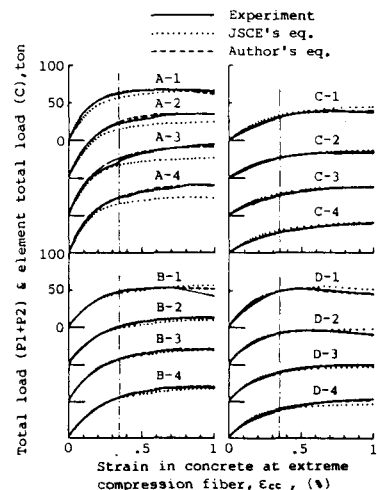


図-7 総軸力(実験)と総合力(解析)の関係