

V-53

RC部材の荷重-変位関係に関する解析的研究

東北大学 学生員 ○張 一泳

東北大学 学生員 綿貫正明

東北大学 正会員 尾坂芳夫

1. まえがき

曲げを受けるRC部材の荷重-変位関係は、一般的に曲げモーメント-曲率関係を求め、この関係を部材全長にわたる断面に適用することにより算定されている。この解析法における曲げモーメント-曲率関係は、曲げひびわれの発生断面に対するものであり、部材全体をひびわれ断面として扱っていることになる。しかし、実際のRC部材において、曲げひびわれにはさまれた区間では、鉄筋とコンクリートとの付着作用により、コンクリートは引張応力を受け持つため、ひびわれ発生断面ほどの剛性低下は生じないことが知られている¹⁾。そこで、本研究ではRC部材の曲げ変位の評価を実用的で、さらに鉄筋とコンクリートとの付着特性を直接的に取り扱うことができる算定方法を提案することを目的としている。

2. 曲げモーメント-等価曲率関係

図-1に示すように、実際のはりの部材軸に沿う曲率分布はひびわれ発生により波状となり、この曲率分布を正しく評価できれば、曲げ変位は曲率の2重積分であることから正確な曲げ変位が求められる。

(1) 平均曲げひびわれ間隔の算定

曲げ部材のひびわれ定常状態に至る過程において、コンクリート強度のばらつきを考慮しなければ、部材の軸方向の鉄筋ひずみ分布を用いることによって、平均ひびわれ間隔(a)を求めることができる。すなわち、鉄筋ひずみ分布の差は鉄筋とコンクリートとの付着応力の作用によるものであり、その長さ a は鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係から求めることができるとされる。ここで、付着応力-すべり-ひずみ関係は、鉄筋の降伏後も適用可能である島ら²⁾の付着応力-すべり-ひずみ関係(1式)を用いた。

$$\tau/f_c = 0.73(\ln(1+5s))^3 / (1 + e_s \times 10^5) \quad (1)$$

ここで、 τ :付着応力、 f_c :コンクリート圧縮強度、 e_s :鉄筋ひずみ、 $s=1000S/D$ 、 S :すべり量、 D :鉄筋直径
ところで、式(1)より付着応力を求めるには、鉄筋のひずみ分布を知る必要がある。ここでは、鉄筋のひずみの分布を簡単な関数式(2式)で近似し、鉄筋上の任意の点のひずみとすべり量を求められるようにした。

$$e_s = (e_{s1} - e_{s0})(x/a)^2 + e_{s0} \quad (2)$$

$$T_0 = (e_{s1} - e_{s0})E_s \pi D^2 / 4 \quad (3)$$

ここで、 x :ひびわれ断面から鉄筋軸方向の任意点までの長さ、 e_{s0} :ひびわれ発生直前の鉄筋ひずみ、 e_{s1} :ひびわれ発生直後の鉄筋ひずみ、 T_0 :ひびわれ間の鉄筋に作用する付着応力の合力、 E_s :鉄筋のヤング率
曲げモーメント-曲率関係の解析で e_{s0} と e_{s1} が求められ、鉄筋軸方向のつりあい条件から必要である付着応力の合力が求められるので、その合力を発生させる付着長、すなわち平均曲げひびわれ間隔 a を収束計算(収束条件は、式(2)から鉄筋のひずみとすべり量を求め、式(1)の積分による付着応力の合力に式(3)の T_0 が、十分に近いくとすると)から求めることができる。

(2) 曲率分布の算定

曲率を断面におけるひずみ分布が平面保持によって直線で表されるときとの勾配であると仮定した(式(4))。

$$\phi = (e_s - e_c) / d \quad (4)$$

ここで、 ϕ :任意点の曲率、 e_s :引張鉄筋のひずみ、 e_c :コンクリート圧縮縁のひずみ、 d :断面の有効高さ。

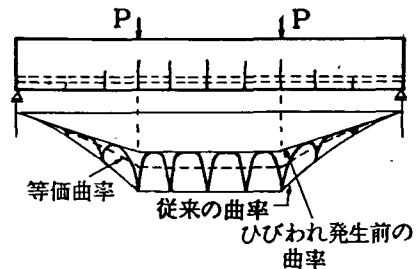


図-1 曲げ部材の曲率分布

①引張鉄筋のひずみ分布は、前述した平均曲げひびわれ間隔の計算方法と同様の考え方で求められる。鉄筋の付着長 ℓ_0 は、曲げひびわれ間隔 a の半分として与えられ、すべり量が0である区間中央の鉄筋のひずみ ϵ_{s0} を設定すれば、 $\epsilon_{s0} \neq \epsilon_{s1}$ の条件のもとで、 ϵ_{s1} を変動させることにより（付着応力の合力と鉄筋にかかる引張力との力のつり合いを収束条件とする）、降伏進展長さおよびひびわれ断面における鉄筋ひずみ ϵ_{s1} が求められ、曲げモーメント-曲率解析から ϵ_{s1} に対応する曲げモーメントが得られる。すなわち、曲げモーメントと引張鉄筋のひずみ分布の関係が得られる。この場合においても、鉄筋のひずみ分布を精度よく表現する関数が必要となり、ここでは、鉄筋の降伏に至るまでのひずみ分布 ϵ_s を以下の式により表現した。

$$\epsilon_s = (S1 - S2) (x / \ell_0)^4 + 2S1 (S1 - S2) (x / \ell_0)^2 + \epsilon_{s0} \quad (5)$$

ここで、 $S1 = \sqrt{(\epsilon_{sy}' - \epsilon_{s0})}$ 、 $S2 = \sqrt{(\epsilon_{sy}' - \epsilon_{s1})}$ 、 $\epsilon_{sy}' = (256\epsilon_{sy} - 49\epsilon_{s0}) / 207$ 、 ϵ_{sy} : 鉄筋の降伏ひずみ
非ひびわれ区間内の鉄筋ひずみは、弾性域には式(5)を適用し、降伏ひずみから曲げひびわれ発生断面における鉄筋のひずみまでを直線で近似することにした。

②コンクリート圧縮縁のひずみ分布は、曲げひびわれに挟まれた区間の中央の断面が前述の条件を満たして平面保持を回復していると考えられる断面に曲げモーメント-曲率解析を行い、コンクリート圧縮縁のひずみを求め、曲げひびわれ発生断面のコンクリート圧縮縁のひずみと直線補間し、コンクリート圧縮縁のひずみ分布とした。

(3) 等価曲率および材料のモデル化

等価曲率は、曲げひびわれに挟まれた区間の個数に依らないことから、平均ひびわれ間隔の1区間の曲率分布の面積平均で与えられる（図-1）。変位はその等価曲率を部材全長に対し、2重積分することによって求められる。コンクリートの圧縮側の応力-ひずみ関係は、梅村のe関数式により表し、引張側の応力-ひずみ関係は、線形弾性とし、コンクリートの引張限界ひずみを 100μ とした。鉄筋の応力-ひずみ関係のモデルは、ひずみ降伏点およびひずみ硬化開始点を直線で結ぶ近似モデルを用いた。

3. 解析結果および考察

図-2は、曲げはり供試体³⁾（断面高さ40cm、幅20cm、スパン432cm、せん断スパン比3.5、鉄筋比1.61%）の曲げモーメント-曲率関係（曲率は、曲げ区間の変位分布より差分法を用いて求めており、平均曲率に相当する）の一例であり、図-3は荷重-変位関係の一例である。これらの図より、本研究で提案された曲げモーメント-等価曲率関係は、はりの曲げ区間における平均的曲げモーメント-曲率関係に相当することがわかる。また、従来の曲げモーメント-曲率関係に基づき計算された荷重-変位関係より、本研究で提案された曲げモーメント-等価曲率関係に基づき計算された荷重-変位関係の方が実験値との適合性はよく、従来の算定法では表現しえなかった降伏点付近の耐力の上昇もよく表現していると思われる。

参考文献

- 1) 角田与史雄：曲げを受けるコンクリート部材のひびわれとたわみに関する研究の現状，土木学会論文集，第384号，pp. 21-32，1987年8月，
- 2) 島 弘・周 礼良ほか：マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係，土木学会論文集，第378号，pp. 165-174，1987年2月，
- 3) 張 一泳：RC部材の荷重-変位関係に関する解析的研究，東北大学博士論文，1991年

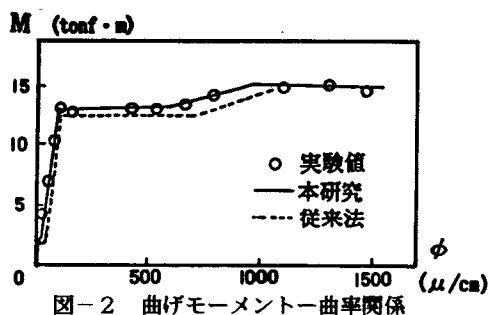


図-2 曲げモーメント-曲率関係

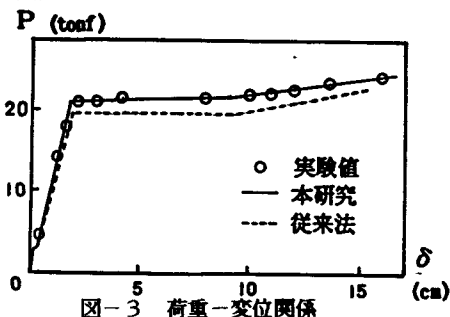


図-3 荷重-変位関係