

V-53 付着を考慮したRC曲げ部材の変位解析

東北大学○学生員 小林 将司

東北大学 学生員 佐藤 潤一

東北大学 学生員 市川賀寿男

1. はじめに

近年、RC構造物における設計は、その使用状態だけでなく終局限界状態をも考慮したものに変わってきている。また、材料の高強度化により部材断面形状は縮小されてきており部材の変形性状について十分に検討を行なう必要がある。このため、耐力評価のみならず荷重－変位関係として現れる変形特性を精度よく把握することが重要となってきた。RC曲げ部材の変位算定法として従来の曲げモーメント－曲率解析による方法は、ひびわれ間の鉄筋とコンクリートとの付着の影響がもたらす引張部コンクリートの寄与および部材の降伏耐力の上昇などを表現できないといった問題がある。そこで本研究では、ひびわれ発生後のRC曲げ部材の鉄筋とコンクリートとの付着特性を考慮した荷重－変位関係の算定手法を提案することを目的とした。

2. $M-\phi$ 関係の解析

(1) 材料特性のモデル化

コンクリートの応力－ひずみ関係は、最大応力に達するまでは2次曲線を、その後の下降域においては実用性を考慮して直線を採用した。引張側は引張限界ひずみを0.01%とし、線形弾性とした。鉄筋の応力－ひずみ関係はひずみ硬化域を考慮して、3直線でモデル化した。

(2) 算定手法

$M-\phi$ 解析では、断面は平面保持の仮定が成立し、作用外力は軸力と曲げモーメントのみとした。図1に示すように、高さ h 、幅 b の断面において、コンクリート面を n 層に分割して任意の層を i 、鉄筋層は m 層あり、任意の層を j とする。応力、ひずみおよび軸力は、引張を正、圧縮を負とし、曲げモーメントは断面上部が圧縮される方を正とする。断面の曲率 ϕ はひずみ分布の勾配であるから、第 i 層のコンクリートのひずみ ϵ_{ci} および第 m 層の鉄筋のひずみ ϵ_{sj} はそれぞれ

$$\epsilon_{ci} = \phi Z_{ci} + \epsilon_{cc} \quad (1)$$

$$\epsilon_{sj} = \phi Z_{sj} + \epsilon_{cc} \quad (2)$$

となる。そのときの軸力 N および曲げモーメント M は軸力の作用する位置を z_N とし、力の釣合条件よりそれぞれ以下のように書ける。

$$N = b \int_0^h f_c(\epsilon_{ci}) dz + \sum_{j=1}^m f_s(\epsilon_{sj}) A_{sj} \quad (3)$$

$$M = b \int_0^h f_c(\epsilon_{ci}) Z_{ci} dz + \sum_{j=1}^m f_s(\epsilon_{sj}) Z_{sj} A_{sj} - N \cdot z_N \quad (4)$$

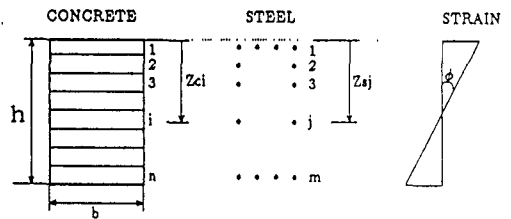


図1 RC部材の断面

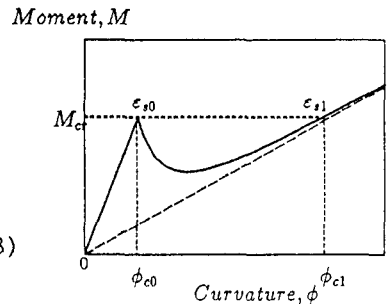


図2 ひびわれ発生時の $M-\phi$ 曲線

これらの式より、断面の曲率と圧縮縁ひずみが与えられれば、そのようなひずみ分布を生じさせる軸力と曲げモーメントが計算でき、断面に作用する軸力があらかじめ与えられれば、軸力の値を収束条件として、断面の圧縮縁ひずみを変動させることにより、任意の曲率に対応する曲げモーメントを求めることができる。

3. 荷重-変位関係の算定

(1) 平均ひびわれ間隔

2. より得られた $M-\phi$ 関係のひびわれ発生時の様子を図2に示す。ここに、 M_{or} はひびわれ発生モーメント、 ϕ_{o0} はひびわれ発生直前の曲率、このときの引張鉄筋のひずみが ϵ_{s0} 、 ϕ_{o1} はひびわれ発生直後の曲率、このときの引張鉄筋のひずみが ϵ_{s1} である。 M が M_{or} に達すると、ある断面にひびわれが発生し、その断面の曲率は一瞬にして ϕ_{o0} から ϕ_{o1} に変化する。この断面から x だけ離れた断面の曲率は ϕ_{o0} のままであり、鉄筋のひずみは ϵ_{s0} である。この2つの断面では鉄筋のひずみが異なるため、作用する力は異なっているが、この間 x では鉄筋とコンクリートとの付着作用により軸鉄筋方向の力は釣合っていて、その付着力は、鉄筋径を D 、鉄筋のヤング係数を E_s とすると

$$T_0 = (\epsilon_{s1} - \epsilon_{s0}) E_s \pi D^2 / 4 \quad (5)$$

で表わされる。一方、島ら¹⁾の付着応力-すべり-ひずみ関係式を用いれば、鉄筋のひずみ分布が分かれば付着応力が求められる。この付着応力による力が T_0 と等しくなるようなひびわれ間隔 x を平均ひびわれ間隔 L とする。本研究による解析値と実験結果との比較を図3に示す。

(2) 曲率分布の算定

RC曲げ部材において、平均ひびわれ間隔ごとにひびわれが発生すると仮定すれば、部材全体の曲率分布はひびわれ間の曲率分布の繰り返して形成され、部材全体の曲率分布を求めるには、ひびわれ間の曲率分布を求めればよい。ここではひびわれ間の曲率 ϕ を引張鉄筋のひずみ ϵ_s とコンクリートの圧縮縁ひずみ ϵ_c から以下のように定義する。

$$\phi = (\epsilon_s - \epsilon_c) / d \quad (6)$$

ここに、 d は断面の有効高さである。ここで鉄筋のひずみ分布は3. と同様の考えにより求められる。鉄筋の付着長を平均ひびわれ間隔の半分とすると、 ϵ_{s0} が決まれば力の釣合いより ϵ_{s1} を求めることができる。したがって、 $M-\phi$ 解析から ϵ_{s1} に対応する曲げモーメントが求められ、ひびわれ間の曲率分布がわかる。これを変換することにより変位算定用曲率が求められ、これを2重積分して荷重-変位関係を求める。

4. 解析結果及び考察

以上述べた方法で、荷重-変位関係を算定し実験結果と比較してその有効性を確認した。図4は荷重-変位曲線の比較で、実線が解析値で黒丸が実験値である。これによると、解析値と実験値は非常によい対応を示しており、本解析方法をRC曲げ部材の鉄筋とコンクリートの付着の影響を考慮した較荷重-変位関係算定に用いることは十分可能であると思われる。

5. まとめ

RC曲げ部材において、鉄筋とコンクリートとの付着特性から、鉄筋のひずみ分布のモデル化によって平均ひびわれ間隔の算定が可能になった。また $M-\phi$ 関係に平均ひびわれ間隔を用いることによって、ひびわれ発生後のコンクリートの寄与を考慮することができた。さらにRC曲げ部材において、鉄筋とコンクリートとの付着の影響を考慮した荷重-変位関係の算定が可能になった。

〈参考文献〉 1) 島 弘・周 礼良・岡村 甫：マッシブ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，pp165-174，1987. 2

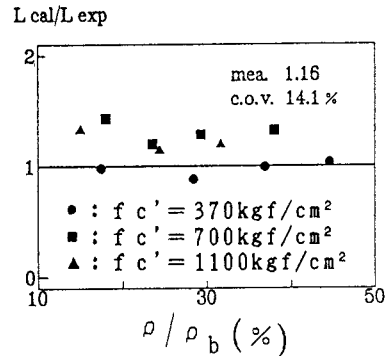


図3 平均ひびわれの間隔の比較

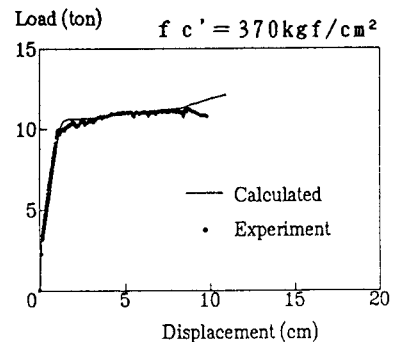


図4 荷重-変位関係の比較