

北海道大学 正 堺 孝司

同 正 角田 与史雄

同 正 能町 純雄

1. まえがき

RC部材のひびわれ発生後の変形を取り扱う場合、引張領域のコンクリートの残存曲げ抵抗および鉄筋との付着作用による鉄筋周囲のコンクリートの引張抵抗の影響がかなりあることが知られている。RC部材の剛性に対する引張領域のコンクリートの寄与を考慮する方法は、大別して二つに分けることができる。その一つは、引張領域のコンクリートの応力状態を仮定するか、またはそれを鉄筋の剛性に置換して考え、鉄筋応力-平均ひずみ曲線を仮定するかして、力のつり合い条件より理論的に曲げ剛性を算定する方法で、Rao あるいはCEB-FIPのモデルコードなどに見られる。著者らもこの方法について若干の検討を試みてきた。この方法は曲率だけでなくひずみも計算することができ、また軸力を伴う場合にも適用可能である。他の一つは、ひびわれ発生前の状態(状態Ⅰ)および引張領域のコンクリートを無視した状態(状態Ⅱ)の理論値を用いて過渡状態の曲げ剛性を直接与える方法で、ACIのBuilding Codeに採用されているBransonの方法などがある。この方法は、理論的根拠があいまいとなる難点はあるが、実際の計算は簡単であり、実用性に富んでいると言える。

本研究は、単純曲げに対して提案されたBransonの方法を、曲げと軸力の組み合わせを受ける場合にも適用しようとする拡張する方法について述べるとともに、二、三の実験結果との比較を行うものである。

2. Branson式の拡張

ひびわれ発生前および引張領域のコンクリートを無視するときの曲げ剛性を $E_c I_g$ 、 $E_c I_{cr}$ とするとき、ひびわれ発生曲げモーメント M_{cr} を越える任意の曲げモーメント M に対する曲げ剛性 $E_c I_{eff}$ の算定式として、Branson は次式を提案している。

$$I_{eff} = \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^m I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^m \right] I_{cr} \quad (1)$$

上式は、鉄筋応力の計算値 σ_s を用いて次式に置き換えても単純曲げに対しては等価である。従って、

$$I_{eff} = \left(\frac{\sigma_{s,cr}}{\sigma_s} \right)^m I_g + \left[1 - \left(\frac{\sigma_{s,cr}}{\sigma_s} \right)^m \right] I_{cr} \quad (2)$$

軸力を伴う場合には M の値を一義的に定義することはできないが、上式のような置き換えをすることにより、一般性を失うことなく、軸力のある場合への拡張が可能となる。

ところで、 I_g は軸力 N の有無に関係なく一定値をとるが、 I_{cr} は M/Nd の値に依存する。すなわち軸力偏心量が与えられれば慣用の方法により中立軸の位置が求まるが、 N が存在するときには中立軸と重心とが一致しないので、まず圧縮領域と引張鉄筋とからなる換算断面の重心位置を求め(図.1のA-A)、そのまわりの断面二次モーメントを

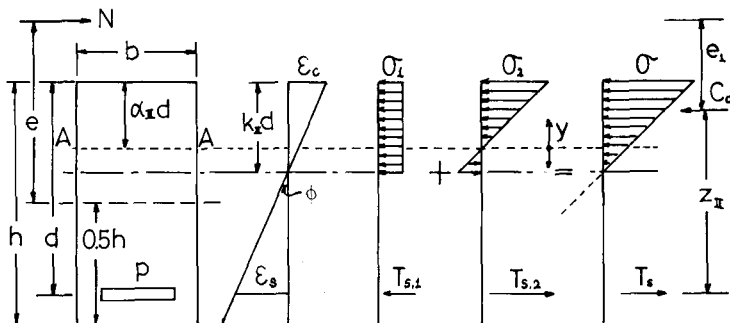


図.1 応力、ひずみ分布 (状態Ⅱ)

とれば、それが軸力を伴う場合の I_{cr} となるのである。例えば図. 2 に示すように、重心位置および中立軸位置をそれぞれ α_{II} および k_{II} で表わせば、 I_{cr} は次式となる。

$$I_{cr} = \left[\frac{k_{II}^3}{12} + k_{II} (\alpha_{II} - 0.5k_{II})^2 + np(1 - \alpha_{II})^2 \right] bd^3 \quad (3)$$

I_{cr} と I_g がわかれば、このときの有効断面二次モーメント I_{eff} は (2) 式より求めることができ、曲率は

$$\phi = \frac{M_{AA,eff}}{E_c I_{eff}} \quad (4)$$

ここに、 $M_{AA,eff}$ は有効断面の重心まわりのモーメントを表わす。ところで状態Ⅰおよび状態Ⅱの換算断面の重心位置は理論的に求められるが、有効断面の重心位置は Branson 式では与えられていない。そこで著者ら

は、引張領域のコンクリートの応力状態を仮定する場合の換算断面の重心と断面二次モーメントとの関係について検討を行なった結果、有効断面の重心位置に対しても (2) 式と同形の過渡曲線を仮定することで実用上十分であることがわかった。従って、圧縮縁からの距離をそれぞれの状態において αd とおき、有効断面の重心位置を次式で表わす。

$$\alpha_{eff} = \left(\frac{\sigma_{s,cr}}{\sigma_s} \right)^{m'} \alpha_I + \left[1 - \left(\frac{\sigma_{s,cr}}{\sigma_s} \right)^{m'} \right] \alpha_{II} \quad (5)$$

上式の m' は必ずしも m とは等しくはないが、実用上は $m' = m$ とおいても十分である。また、上記のように重心位置の過渡曲線を追加することにより、不連続を生じることなく状態Ⅰから状態Ⅱへ移行できるという Branson 式の利点を、軸力が存在する場合にも保持することができる。

3. 数値計算例および実験結果との比較

RC部材が曲げと軸力を受ける状態は、偏心軸力を受ける場合と力学的に等価であるので、ここでは偏心軸力を作用させることとし、偏心量は一定とした。

図. 2 は、RC部材に偏心軸力が作用する場合の断面中央における曲げモーメントと曲率の関係の数値計算例を示したものであり、軸力作用位置の断面中央からの距離 e の増加に対する剛性の増加程度および m の影響をみることができる。

本研究で示した方法の適用性を検討するために、15・30・300cmの部材にアームをつけた供試体を作製し、偏心軸力を作用させる実験を行なった。図. 3 は、実験結果とそれに対応する数値計算結果とを示すものであり、両者はほぼ妥当な関係にあると言える。なお、数値計算におけるひびわれモーメントは実験によるものを $m=3$ で計算したが、ひびわれモーメントの定義

の方法によっては、 $m=4$ が適当であるかもしれない。この問題は多くの実験結果に対して総合的に判断されるべきものであり、本研究では、Branson の式を軸力を伴う場合にも拡張できるということを示すに止める。(参考文献：J. ACI, JUNE 1978, p229: Alabama Highway Research Report NO 7, 1963)

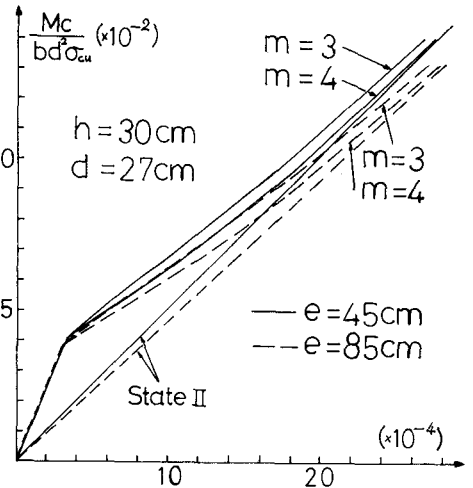


図. 2 作用軸力位置のモーメント・曲率関係に及ぼす影響

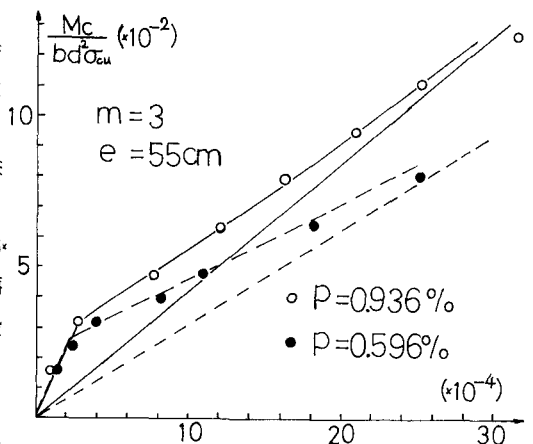


図. 3 実験結果とそれに対応する数値計算結果