

V-54 繰り返し曲げ・せん断を受けるRC部材の荷重－変位関係に関する研究

東北大学○学生員 市川賀寿男

東北大学 学生員 綿貫 正明

東北大学 正会員 鈴木 基行

1. はじめに

宮城県沖地震の際、RCラーメン高架橋の柱や中層ばりにおいて、曲げせん断破壊が生じ大きな社会問題となった。このため、曲げ・せん断を受けるRC部材の荷重－変位関係を解析的に評価する手法を確立することが重要となってきた。従来、RC部材における荷重－変位関係の評価は、主として曲げ理論によって行われてきたが、この手法は斜めひびわれの発生や進展がみられる部材の変位算定に適用することには問題があると思われる。そこで、本研究では曲げモーメントおよびせん断力を同時に受け、斜めひびわれが発生するRC部材における荷重－変位関係を合理的に評価できるモデルを提案することを目的とした。

2. 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次放物線、その後の下降域は直線で表した。また除荷時の応力勾配は初期弾性勾配とする。鉄筋の応力－ひずみ関係は、ひずみ硬化を考慮したTri-linearで表し、降伏以降の繰り返しはRambert-Osgoodモデルを用いた。

3. 部材のモデル化

本解析では、曲げモーメントおよびせん断力を同時に受け、斜めひびわれの発生が予想されるRC部材を対象としている。斜めひびわれの発生後、次第にそのひびわれの幅が広がると、部材はひびわれ先端を中心に回転変形すると考え¹⁾、図-1のようなモデル化を行った。せん断力伝達因子としては、せん断補強筋の引張力および圧縮側のコンクリートによる分担せん断力を考慮した。ここで、せん断補強筋の引張力 Q_w は、せん断補強筋ひずみ ϵ_w が斜めひびわれの発生までは0であること、およびひびわれ角度がおおむね45度であることを考慮すれば以下のように表すことができる。

$$Q_w = \rho_w \cdot b \cdot d_o \cdot \sigma_w \quad \epsilon_w = (\epsilon_{st2} - \epsilon_{st20}) / 2$$

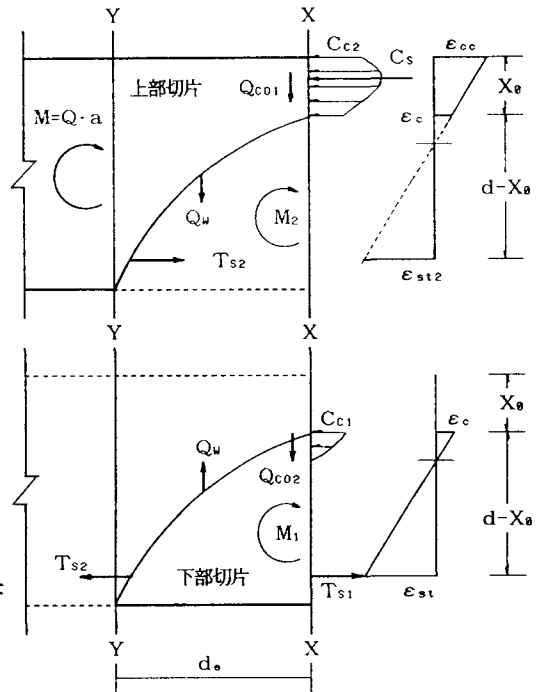
 ρ_w : せん断補強筋比 b : 断面幅

 ϵ_{st20} : 斜めひびわれ発生時の引張主鉄筋ひずみ

 $\sigma_w = f(\epsilon_w)$: 鉄筋の応力－ひずみ関係

なお、引張主鉄筋やせん断補強筋のダウエル作用および斜めひびわれ面におけるせん断抵抗力は無視した。

4. 算定手法



- ϵ_c : X-X断面の上部切片と下部切片の境界点のコンクリートのひずみ
- ϵ_{cc} : コンクリートの圧縮縁ひずみ
- ϵ_{st} : X-X断面における引張鉄筋のひずみ
- ϵ_{st2} : 斜めひびわれ面の引張鉄筋のひずみ
- C_{c1} : 下部切片のコンクリートの圧縮応力
- C_{c2} : 上部切片のコンクリートの圧縮応力
- C_s : 圧縮鉄筋応力
- T_{s1} : X-X断面の引張鉄筋応力
- T_{s2} : 斜めひびわれ面の引張鉄筋応力
- Q_{c01} : 上部切片のコンクリートの分担せん断力
- Q_{c02} : 下部切片のコンクリートの分担せん断力
- M_1 : 下部切片の曲げモーメント
- M_2 : 上部切片の曲げモーメント

図-1 斜めひびわれ周辺の応力およびひずみ分布

斜めひびわれが発生するまでは、曲げモーメントー曲率関係の解析を部材全長に渡って行い、荷重ー変位関係を求める。そして、斜めひびわれ発生後は、上部切片および下部切片についてそれぞれ得られるひずみの適合条件、材軸方向の力のつりあい条件およびモーメントのつりあい条件の計6個の条件式を解くことによって任意の荷重に対する変位が求められる。ところが、上部切片においては平面保持の仮定が成り立たず、それに代わるひずみの適合条件が必要となる。以下、この条件を求める。

区間 d_o の範囲内における上部切片のコンクリートの平均曲率を積分して得られる付加回転角 $\Delta\theta_1$ は、以下のように表される。

$$\Delta\theta_1 = \frac{\phi_f + (\epsilon_{cc} - \epsilon_c) / X_0}{2} \cdot d_o$$

ここで、 ϕ_f は図-1の断面Y-Yにおける曲率であり、曲げ解析により求めることができる。また、引張主鉄筋の伸び量による付加回転角 $\Delta\theta_2$ は、区間 d_o の鉄筋ひずみを2次曲線分布と仮定することによって求められる。

$$\Delta\theta_2 = \frac{(\epsilon_{st} + 2\epsilon_{st2}) \cdot d_o}{3(d - X_0)}$$

$\Delta\theta_1$ と $\Delta\theta_2$ が等しいとすることにより、上部切片のひずみ適合条件式が導かれる。

また、力のつりあい条件式において、コンクリートの圧縮力は応力分布の積分で表されるが、除荷時においては応力分布形がコンクリートの応力ーひずみ関係の包絡線とは異なってくる。そこで、図-2のようなモデル化を行い、包絡線を応力減少量に応じ、比例的に変化させた曲線を用いることによって、除荷時の荷重ー変位関係の算定を行った。この算定フローを図-3に示す。

さらに、繰り返し載荷時における負側載荷は、ひびわれが閉じるとき、すなわち ϵ_{st2} が0になった時点でモデルを反転させて解析を行った。

5. 解析結果および考察

以上述べた荷重ー変位関係評価方法について、実験結果との比較検討を行った。図-4は中層ばりを想定した供試体の実験結果との比較である。実験値と解析値は正側ではよく一致しているが、負側では必ずしも一致していない。これは荷重と変位が一致している正側で内部応力状態が異なっているものと考えられ、それが負側に影響したものと思われる。応力状態が異なるのは、鉄筋とコンクリートの付着特性を十分に表現できていないためであり、今後の研究課題である。

<参考文献>

1) 広沢雅也：鉄筋コンクリート部材の強度と靱性，建築研究報告N076，pp104，1977

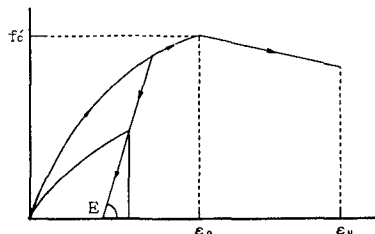


図-2 コンクリートの応力分布形

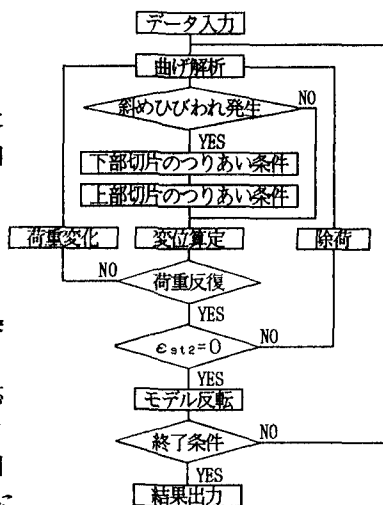


図-3 算定フローチャート

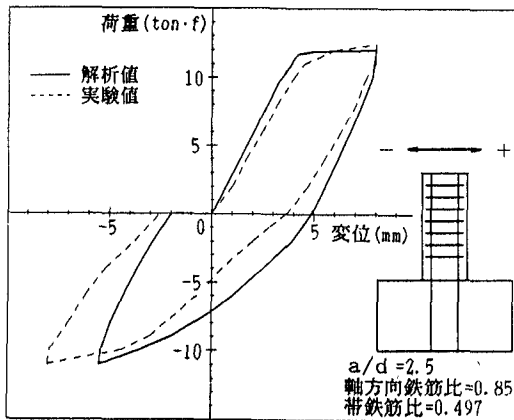


図-4 RC部材の荷重ー変位関係