

V - 422

正負交番曲げを受けるRCはり部材の変位解析

東北大学 学 ○伊藤 洋
 東北大学 学 大橋 岳
 (株)東京電力 正 佐藤 潤一
 建設省 正 鈴木 基行

1. はじめに

現在RC構造の設計は主に部材の強度で照査が行われている。しかしより合理的な設計のためには部材の使用性あるいは変形性についての詳細な検討が必要である。本研究は正負交番曲げを受ける部材の変形を解析的に評価する手法を確立することを目的とした。すなわち正負交番曲げを受ける複鉄筋RCはり部材を対象とし（図-1）その変形量とひびわれ幅を解析した。

2. 解析理論

比較的大きな荷重を受けた部材には複雑な形状のひびわれが発生し、これが解析を困難にしている。そこでひびわれの形状を図-2のようにモデル化する。さらにこのひびわれを等間隔とみなして一つのひびわれ間隔について解析を行い、その結果を曲げ区間全体に周期的に適用する。本研究ではRC部材を鉄筋とコンクリートの複合材として捕え、材料レベルからの理論構築を試みた。まず部材軸に沿って座標を取り各材料の力学的状態を関数として定義する（図-3）。変形量とひびわれ幅はこれらの関数がわかれば簡単な計算により求められる。これを数学問題として考え部材の構成則を方程式として与えることにより関数を解く。鉄筋とコンクリートの間に成り立つ構成則としては(1)鉄筋とコンクリートの間に成り立つ力学的構成則、(2)鉄筋の応力と付着応力に関する力学的構成則および(3)鉄筋とコンクリートのひずみとすべりに関する幾何学構成則の3つが挙げられる。これは部材の上部と下部の両方についていえるため、構成則の数は全部で6つである。これを方程式にすると次のようになる。



図-1 解析対象の供試体

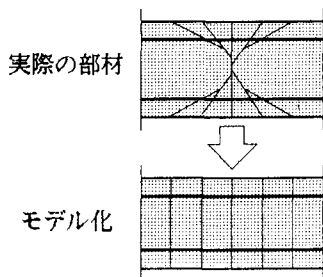


図-2 ひびわれのモデル化

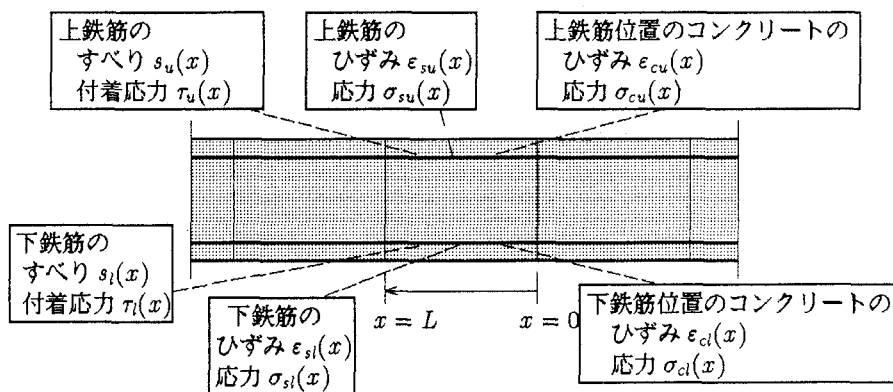


図-3 部材の力学的状態の数学的取扱

$$D \frac{d}{dx} \sigma_{su} = -4\tau_u \quad D \frac{d}{dx} \sigma_{si} = -4\tau_i \quad 2(a+c)^2 b \frac{d}{dx} \sigma_{cu} = -\pi n a R^2 \frac{d}{dx} \sigma_{su}$$

$$2(a+c)^2 b \frac{d}{dx} \sigma_{ci} = -\pi n a R^2 \frac{d}{dx} \sigma_{si} \quad \frac{d}{dx} s_u = \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{su} \quad \frac{d}{dx} s_i = \varepsilon_{ci} - \varepsilon_{si}$$

（D：主鉄筋直径 a：主鉄筋間隔 c：かぶり b：部材幅 n：主鉄筋本数）

これらは6元連立1次微分方程式であるから6個微分方程式が必要である。境界条件は部材の断面の状態がクリティカルに変化する位置すなわちひびわれ面で得られる。具体的にはひびわれが開いている場合はひびわれに面したコンクリートの応力をゼロし、ひびわれが閉じている場合はひびわれ位置の鉄筋のすべり量をゼロとする。またこれらのほかに部材の軸力のつりあい（=0）と载荷を制御しているひびわれ面の断面曲率も境界条件になる。なお部材の軸力は先の関数群の関数として、断面曲率は上下鉄筋のひずみ差を上下鉄筋間隔で除した値としてあらわす。これらの境界条件を式で表すとつぎのようになる。

$$\sigma_{cu}(0) = 0 \text{ and } \sigma_{cu}(L) = 0$$

$$\text{or}$$

$$s_u(0) = 0 \text{ and } s_u(L) = 0$$

$$\sigma_{ci}(0) = 0 \text{ and } \sigma_{ci}(L) = 0$$

$$\text{or}$$

$$s_i(0) = 0 \text{ and } s_i(L) = 0$$

$$f(\varepsilon_{cu}(x), \varepsilon_{ci}(x), s_u(0), s_i(0)) = 0$$

$$(\varepsilon_{si} - \varepsilon_{su}) / d = \phi$$

なお材料の力学特性モデルとしては鉄筋の応力-ひずみ関係はトリリニア、鉄筋の付着応力すべり関係はバイリニア、コンクリートの応力ひずみ関係はパラボラリニアにモデル化した。

3. 解析結果

解析モデルは軸方向主鉄筋3@D16（ $\sigma_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$ ）高さ400mm、幅200mm、かぶり40mmである。コンクリートの圧縮強度は34.1 kgf/cm^2 である。入力するひびわれ面の断面曲率は振幅 $1\delta_y$ と $2\delta_y$ のものを1サイクルずつ与えた。なお変形量は曲げ区間の長さによって違うので、ここでは代わりに平均曲率を求めた。それが図-4である。解析値と実験値を比べてみると解析値は軌跡がやや角張った形になる傾向があるものの比較的よく実験値を再現している。

またひびわれ幅については今回は実験データが入手できなかったため、解析結果のみを図-5に示す。これを見ると $1\delta_y$ のサイクルでは1度生じたひびわれも除荷により閉じるが、 $2\delta_y$ のサイクルになって部材が塑性域に入るとひびわれが急増し除荷後も残留ひびわれとして残る事が示されている。

4. まとめ

今回は適切な実験データが不足していたため本解析手法の妥当性を確認する事は出来なかったが、部材の変形量およびひびわれ幅を理論的に求める足がかりを得た事により部材の使用限界状態の具体的な検討を耐震設計に導入する可能性が示されたといえるであろう。しかし実用化のためには解析の精度、信頼性および計算スピードの向上が不可欠である。今後はひびわれ形状等の仮定の見直しによる精度の向上および計算アルゴリズムの改良による解析の高速化が課題である。

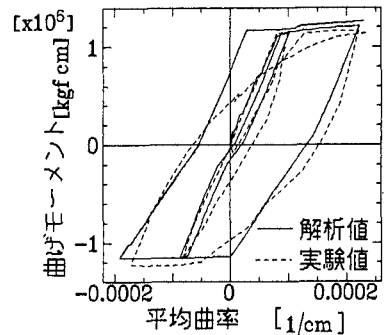


図-4 平均曲率-曲げモーメント

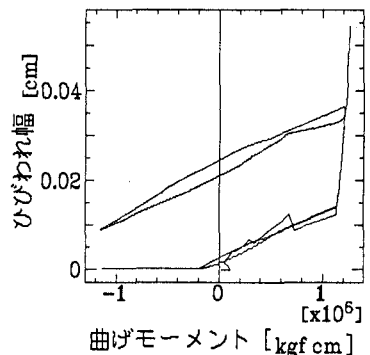


図-5 曲げモーメント-ひびわれ幅