

繰り返し曲げを受けるRC部材の力学的特性に関する解析的研究

東北大学 学 ○伊藤 洋
東北大学 学 佐藤 潤一
東北大学 正 鈴木 基行

1. はじめに

本研究は地震時のRC部材の変形量および曲げにより生じるひびわれ幅を解析的に評価する手法を提案しようとするものである。ひびわれが生じた部材は同時に鉄筋のすべりも生じるため、鉄筋とコンクリートの一体性を前提とする従来のはり理論では解析できない。本研究では鉄筋の付着作用を取り入れさらにひびわれ面の幾何学的状態を考慮したモデルを提案し解析を行った。解析対象部材は正負交番曲げを受けるRC複鉄筋はりである。

2. 解析方法

RC部材は複合材であるから解析には次のように構成材料ごとの取扱いを要する。

- ① 上下鉄筋の部材軸方向に沿った応力分布
- ② 上下鉄筋の部材軸方向に沿った付着応力分布
- ③ コンクリートの応力分布

このうち①、②については鉄筋を線と見なすことにより一次元表現が可能だが、③は部材軸及び有効高さ方向に広がりをもつ二次元の量なので扱いが難しい。そこで次の仮定を設ける。

- (1) 任意断面で平面保持が成り立つ。
- (2) コンクリートひずみを図-1のように分解する。

これにより一次元的かつ上下の鉄筋からの応力伝達を分離独立して扱うことができる。ここで図-2のように部材の座標をとり、以下の関数を定義して数学問題に帰着させる。

$\varepsilon_{cu}(x)$ 、 $N_{cu}(x)$: 上鉄筋位置のコンクリートのひずみ
および応力の合力

$\varepsilon_{ci}(x)$ 、 $N_{ci}(x)$: 下鉄筋位置のコンクリートのひずみ
および応力の合力

$\varepsilon_{su}(x)$ 、 $N_{su}(x)$: 上鉄筋のひずみおよび応力の合力

$\varepsilon_{si}(x)$ 、 $N_{si}(x)$: 下鉄筋のひずみおよび応力の合力

$S_u(x)$ 、 $\tau_u(x)$: 上鉄筋のすべりおよび付着応力の合力

$S_i(x)$ 、 $\tau_i(x)$: 下鉄筋のすべりおよび付着応力の合力

このうち、 ε - N 、 S - τ は一対一に対応するので互いに従属関数である。ここでは鉄筋の ε - N 関係にはバイリニアモデル、コンクリートの ε - N 関係にはパラボラーモノリニアモデル、鉄筋の S - τ 関係にはトリリニアモデルを用いる。ここで図-3に示すように鉄筋-コンクリート間の力学的平衡および幾何学的条件より、各関数間には次の構成則がなりたつ。

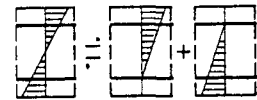


図-1 ひずみ分布のモデル化

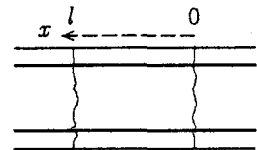


図-2 部材の座標

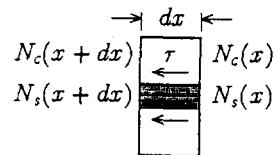
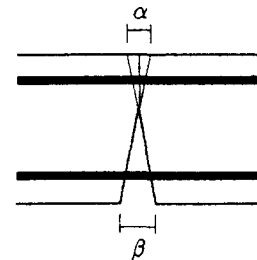


図-3 鉄筋付近の応力状態



$$\alpha = 2 \int_0^l \varepsilon_c(x) dx$$

$$\beta = 2S(0)$$

図-4 ひびわれ面のモデル化

$$\begin{aligned}\frac{d}{dx}N_{su} &= -T_u & \frac{d}{dx}N_{si} &= -T_i \\ \frac{d}{dx}N_{cu} &= -\frac{d}{dx}N_{su} & \frac{d}{dx}N_{ci} &= -\frac{d}{dx}N_{si} \\ \frac{d}{dx}S_u &= \frac{d}{dx}\varepsilon_{cu} - \frac{d}{dx}\varepsilon_{su} & \frac{d}{dx}S_i &= \frac{d}{dx}\varepsilon_{ci} - \frac{d}{dx}\varepsilon_{si}\end{aligned}$$

これは6元連立1次微分方程式であるから6個境界条件が必要である。
そこで次の仮定を行う。

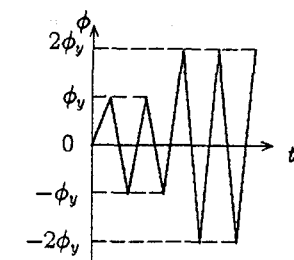


図-5 入力曲率波

- (1)開いたひびわれ面ではコンクリート応力はゼロである。
- (2)閉じたひびわれ面では鉄筋のすべりはゼロである。
- (3)上下の鉄筋ひずみの差を有効高さで除した値を断面曲率とする。
- (4)ひびわれ面の幾何状態を図-4のようにモデル化する。

上の仮定より部材の軸力を f とすると

$$f = f(\varepsilon_{cu}(x), \varepsilon_{ci}(x), S_u(0), S_i(0))$$

と表現できる。これらより次の境界条件が得られる。

$$N_{cu}(0) = 0 \quad \text{and} \quad N_{cu}(l) = 0$$

$$S_u(0) = 0 \quad \text{and} \quad S_u(l) = 0$$

$$N_{ci}(0) = 0 \quad \text{and} \quad N_{ci}(l) = 0$$

$$S_i(0) = 0 \quad \text{and} \quad S_i(l) = 0$$

$$f(\varepsilon_{cu}(x), \varepsilon_{ci}(x), S_u(0), S_i(0)) = 0$$

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

よって解は一意に定まるはずである。本手法では微分方程式を4重ループの差分計算により解いた。

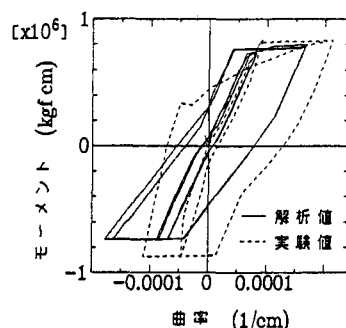


図-6 曲率-モーメント

3. 解析結果

解析モデルは軸方向主鉄筋3@D16 ($\sigma_s = 3800 \text{ kgf/cm}^2$) 高さ400mm、幅200mm、かぶり40mmの複鉄筋はりである。コンクリートは強度が308 kgf/cm² のものを用いた。入力曲率は図-5に示す正負交番波である。実験値との比較を図-6に示す。こ

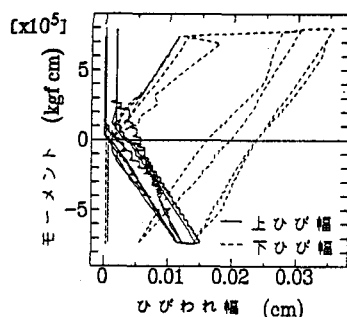


図-7 ひびわれ幅-モーメント

れより1φについてはおおむね一致しているものの、2φでは実験値とのずれがはなはだ大きい。ただし今回は実験データがこの一つしか得られなかったため、本解析手法の妥当性は判断しかねる。部材上下のひびわれ幅についても実験データが入手できなかったため、解析結果を図-7に示すにとどめる。

4. まとめ

今回は実験データの不足により解析値の評価はできなかったが、部材の変形量、ひびわれ幅およびひびわれ間隔を理論的に求める足がかりを得たことにより、部材レベルの変形性能評価手法の確立へ可能性が示されたといえよう。しかし地震を受けたRC部材の変形性の検討を実際的设计に取り入れるためには、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。今後は計算アルゴリズムの改良による解析の高速化および諸仮定の再検討により解析モデルをより実際の部材の機構に近づけることが課題である。