

I-45

ひび割れRCはりのための簡略モデル

岐阜大学 学生員 矢野圭一
岐阜大学 学生員 塩谷浩英
岐阜大学 正 員 藤井文夫

1. はじめに RC構造物のFEM解析の最終目標は、ただ単に材料レベルに留まることなく、構造レベルでの非線形挙動を追跡することである。しかし、構造レベルにおける非線形挙動は材料レベルにおける数多くの非線形要因を積分した結果であり、解析結果は個々の材料現象に対するモデル化を総合して得られるものである。

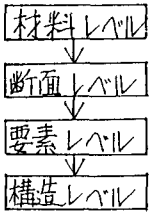


図1 理論展開 による理論展開を行ない、逐次積分をくり返すことによりRCはりの非線形解析を試みてみた。

2. 材料レベル 材料レベルにおいて、単調増加する静的載荷の下での鉄筋コンクリートの非線形挙動の主な原因を列挙するとつぎのようになり、それぞれについてモデル化を試みた。

[1]コンクリートの圧縮側の応力-ひずみ曲線 解析的取扱いは比較的容易な、つぎのような Smith 式を採用する。 $\sigma(\epsilon) = \epsilon E_i e^{(-\epsilon/\epsilon_s)}$ 式(1) ここで E_i : 初期弾性係数 ϵ_s : 圧縮強度時のひずみ (図2)。

[2]コンクリートの引張側の応力-ひずみ曲線 コンクリートの引張ひび割れと Tension stiffening を考慮して引張側にも便宜的に Smith 式を適用する (図2)。

[3]鉄筋の応力-ひずみ曲線 鉄筋の降伏を考慮して、完全弾塑性性とする。

[1]と[2]によるコンクリートの応力-ひずみ曲線は図2のようになる。時間依存性の現象は今回は無視する。

3. 断面レベル ひび割れRCはり断面では一般に重心軸、中立軸、中央軸、そして標準軸の4者が異なり、これらを明確に区別しないと理論上の混乱を招くことになる。RCはり断面においては、重心軸と中立軸の位置は、逐次移動する。これらの位置を追跡し、RCはりの力学的挙動との関係を明確にすることも本研究の関心のひとつで、本研究では、解析対象として図3のような長方形断面を考えた。標準軸として中央軸をとり、平面保持の仮定を設けて、中立軸の位置を求める。つぎに断面を中立軸を境にして圧縮側と引張側に分けて面積分

$$N(\epsilon, \kappa) = \int_A \sigma dA \quad \text{式(2)}$$

$$M(\epsilon, \kappa) = \int_A \sigma y dA \quad \text{式(3)}$$

(N : 軸応力 M : 標準軸回りの曲げモーメント)
(ϵ : 標準軸の軸方向ひずみ κ : 曲率)

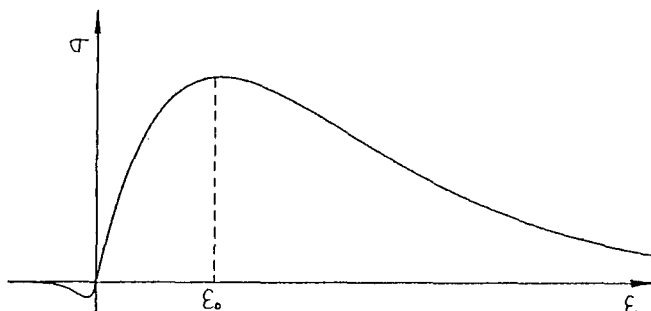


図2 応力-ひずみ曲線

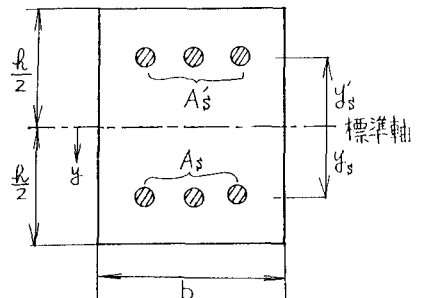


図3 RC断面

によりRC断面の断面構成式を求める。

求められた断面力 $N(\varepsilon, \kappa)$ と $M(\varepsilon, \kappa)$ は断面変形 (ε, κ) によるきわめて複雑な関係となり、曲げ変形と軸方向変形との連成作用を示すことになる。

したが、て、ひび割れRC断面の挙動は単に曲げのみとして扱うことはできず、常に軸方向変形の存在を考慮しなければならない。断面の軸方向変形が拘束されている場合 $(\varepsilon=0)$ の断面構成式 $N(\kappa)$ 、 $M(\kappa)$ は容易に求まる。この場合、曲げモーメント以外に、実用上無視することのできない軸方向力 $N(\kappa)$ が発生する。これを具体的な例題について示したのが図4で、各RC断面とも、曲げ変形にの増大に伴ない、軸力が大きく変貌するのがわかる。

現実の断面拘束は $\varepsilon=0$ よりも $N=0$ に近い場合が多く、これについては、断面構成式を

$$\begin{pmatrix} dN \\ dM \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \partial N / \partial \varepsilon & \partial N / \partial \kappa \\ \partial M / \partial \varepsilon & \partial M / \partial \kappa \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\varepsilon \\ d\kappa \end{Bmatrix} \quad \text{式(4)}$$

の増分形に直し、 $dN=0$ の条件から

$$dM = \left\{ -\frac{(\partial N / \partial \kappa)(\partial M / \partial \varepsilon)}{(\partial N / \partial \varepsilon)} + \frac{\partial M}{\partial \kappa} \right\} d\kappa \quad \text{式(5)}$$

を導き反復計算から曲げモーメント-曲率関係を求めなければならない。この結果については既存の理論値(坂の図解法・梅村のe関数法)との比較を行なってどれほどの精度が得られるか調べてみた(図5)。

解析結果の数値と両者の数値とは、実用上ほとんど一致していることから、この簡略モデルはかなりの信頼度があるものとわかる。

4. 要素レベル FEM解析のために要素剛性マトリックスは、構成方程式である式(4)を基本とする。

部材の任意断面のひずみ ε と曲率 κ を両端の変位で表し、ひずみエネルギーにCastigliano定理を用いて部材剛性マトリックスを導いた。

5. 構造レベル FEMによる非線形解析用のプログラムを作成し、RCはり計算を行なった。ここでの理論解析・計算結果と考察は、講演当日に報告する予定である。

6. あとがき 以上、本研究の結果から、Smith式を用いた簡略モデルはかなりの信頼度があることがわかったが、今後は汎用性をもたすために、複鉄筋断面やT形断面などへの適用についても検討を重ねていく予定である。

参考文献

- [1] Ngo, D., A.C. Scordelis: Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams. ACI J., Vol. 64, No. 3, March 1967, pp. 152-163
- [2] F. Fujii: Principal Direction of Membrane Action in Cracked Rectangular RC Slabs Proc. of ICE Part 2, 1981, 71, pp. 1061-1068
- [3] RC構造の有限要素解析に関するコロキウム論文集、日本コンクリート工学協会 昭和59年12月12日

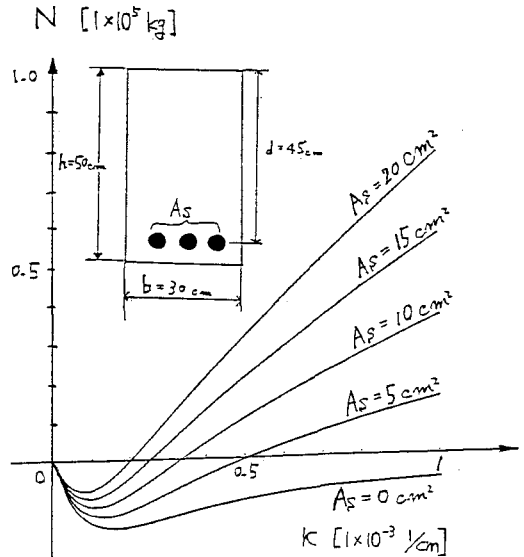


図4 軸力-曲率関係 ($\varepsilon=0$)

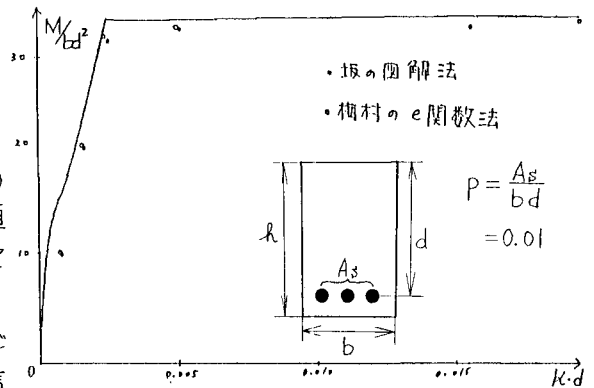


図5 他の理論値との比較