

フリーメッシュ法による鉄筋コンクリート棒の引張破壊解析

琉球大学 学生会員 ○入部 綱清・琉球大学 正会員 富山 潤
 琉球大学 正会員 伊良波 繁雄・琉球大学 学生会員 松原 仁
 東京大学 矢川元基

1. はじめに

フリーメッシュ法(FMM)は、入力データとして節点情報のみで良く、有限要素法(FEM)などに比較し、モデル作成に要する労力を大きく削減でき、また、節点ベースの解析手法であるため並列計算に適していることからコンクリートの破壊解析分野においても有力な解析手法の一つだと考えられる。

筆者らは、FMM を無筋コンクリートの引張破壊の解析に適用し良好な結果を得た¹⁾。しかし、FMMは鉄筋コンクリートのようにコンクリート、鉄筋などの複合要素を必要とするような問題の解析は困難であった。そこで本研究では、FMM を鉄筋コンクリートの引張破壊解析へ適用することを試みた。

2. フリーメッシュ法

FMM は、図-1 に示すように領域内の各節点ごと(中心節点または着目節点)に、その付近の他の節点(衛星節点)と中心節点から、一時的に仮想三角形要素(局所要素)を生成し、これらの要素剛性マトリックスから中心節点に寄与する成分を求め、全体剛性マトリックスを生成する手法で、要素生成から計算までをシームレスに行うことができる。これらの処理を節点ごとに行うことから並列分散処理に適している。

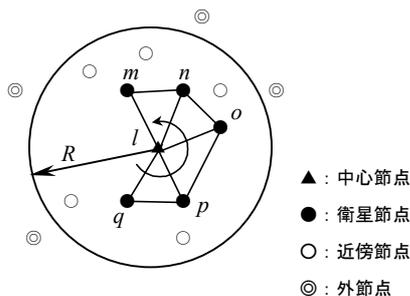


図-1 衛星節点とローカル要素

3. 鉄筋要素(トラス要素)配置法

ここでは、FMM 解析を鉄筋コンクリートの破壊解析へ適用するために、鉄筋要素(トラス要素)を配置する方法を示す。

FMM は、入力データとして節点情報のみで良く、この利点を損なわないように鉄筋要素として鉄筋の先端である始点、終点の座標を入力するだけで、自動的に鉄筋要素を作成する。具体的には、中心節点周りの局所要素作成の際に、鉄

筋データとして与えた始点、終点座標からなる直線が、局所要素と交わるかどうかを判定し、交わった場合に、その交点を構成節点とする鉄筋要素を作成するだけである(図-2)。

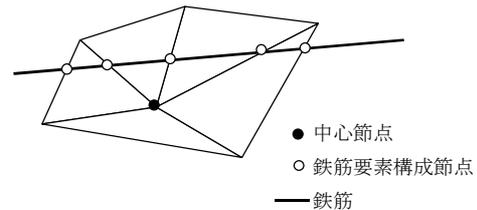


図-2 鉄筋要素の配置

4. 鉄筋とコンクリートの構成則

4.1 コンクリートの構成則

コンクリートのひび割れモデルとして、分布ひび割れモデルを採用した。構成モデルとして、式(1)を採用した。また、ひび割れは、コンクリートの最大引張主応力が引張強度に達した後、主引張ひずみが、その限界ひずみ(ここでは、引張ひずみの2倍値)に達したときに最大引張主応力と直交する方向に生じるとした²⁾(図-3 参照)。

$$\sigma_t / f_t = (\varepsilon_m / \varepsilon_t)^c \quad (1)$$

ここで、 σ_t はひび割れ直交引張応力、 f_t は引張強度、 ε_t はひび割れ直交ひずみ、 ε_m はひび割れ発生ひずみ、 c は付着特性を示す係数である。 c の値は、鉄筋配置からゾーニングを行い、RC Zone では $c=0.4$ 、Plain Zone では $c=2.0$ とした。ゾーニングの選定は解析例で述べる。なお、今回示す解析例が引張問題であるため、圧縮に対しては完全弾性を仮定した。

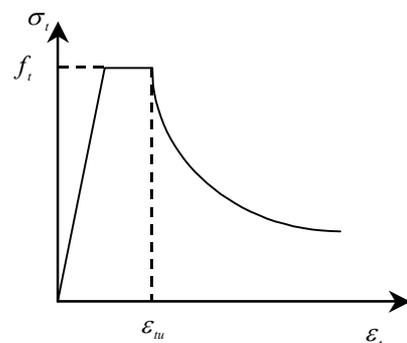


図-3 コンクリートの平均応力-平均ひずみ関係

キーワード フリーメッシュ法、鉄筋コンクリート、引張硬化、分布ひび割れモデル

連絡先 〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 098-895-8649

4.2 鉄筋の構成則

鉄筋の構成モデルとして、図-4 に示すひずみ硬化を考慮したモデルを採用した。なお、解析では、コンクリートと鉄筋の付着は完全付着とした。

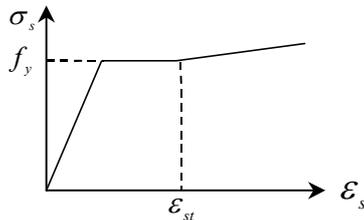


図-4 鉄筋の構成モデル

5. 数値解析例

本解析法の検討を行うために、玉井ら³⁾のコンクリート棒に埋め込んだ鉄筋の引張試験を対象に解析を行った。図-5 に試験体の寸法および荷重条件を示す。

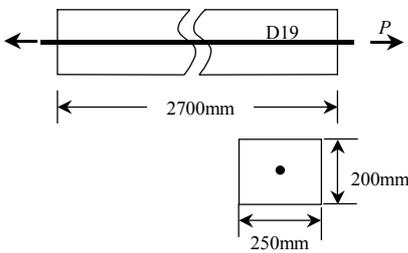


図-5 試験体概要

コンクリート、鉄筋の材料特性をそれぞれ表-1, 2 に示す。

表-1 コンクリートの材料特性

弾性係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	鉄筋比 (%)
31.50	25	2.6	0.6

なお、コンクリートの引張強度は、Koenig ら⁴⁾が提案している式を用いて圧縮強度より推定している。

表-2 鉄筋の材料特性(SD50)

鉄筋径 (mm)	弾性係数 (GPa)	降伏強度 (MPa)
19.5	190	350

鉄筋の構成則はひずみ硬化を考慮し、ひずみ硬化開始ひずみを 1.65%、ひずみ硬化率を 3.7GPa とした³⁾。

解析モデルを図-6 に示す。今回の解析では、ひび割れ5本仮定(解析モデルの左側より、450mm, 900mm, 1350mm, 1800mm, 2250mm の位置)した。また、本解析におけるゾーニングの選定は、試験的に試験体の高さ方向を三等分し、鉄筋の位置する領域を RC Zone とし、その他の領域を Plain Zone とした。

次に解析結果を示す。図-7 に鉄筋の平均応力と平均ひずみの関係を示す。ここで、平均ひずみとは供試体の伸びから求めたものである。また、図-8 に鉄筋の軸方向の応力とひずみの分布を示す

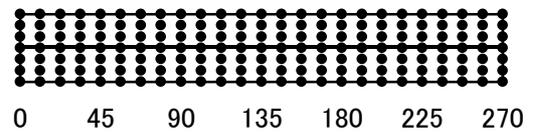


図-6 解析モデル(175 節点)

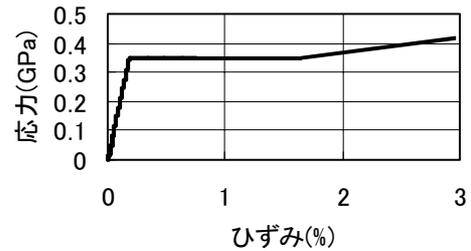


図-7 鉄筋の平均応力—ひずみ関係

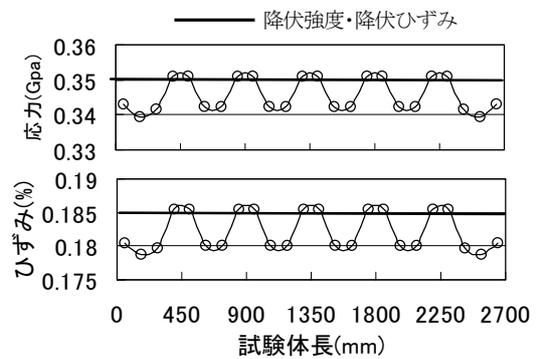


図-8 鉄筋の応力分布およびひずみ分布

今回の結果から、FMM 解析に鉄筋要素(トラス要素)を考慮に入れた解析が可能であることが分かった。しかし、ひび割れ位置の鉄筋とそうでない鉄筋の応力、ひずみの差がさほど現れなかった。これは今後検討する課題である。

6. まとめ

今回の解析結果より、FMM 解析により鉄筋コンクリートの破壊解析に適用可能であることが示された。

参考文献:

- 1) 富山潤, ほか:フリーメッシュ法によるコンクリートの引張破壊挙動の解析, コンクリート工学論文集, Vol.11, No.1, pp.29-38, 2000
- 2) 岡村甫, 前川宏一:鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991
- 3) 玉井真一, 島弘, 出雲淳一, 岡村甫:一軸引張部材における鉄筋の降伏以後の平均応力—平均ひずみ関係, No.378, V-6, 1987.2
- 4) Koenig,A.,M and A.R.Ingraffea, :Mixed-mod rack propagation in mortar and concrete, Report No.81-13, Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, New York,1982