

FEM 解析による RC 曲げ部材鉄筋応力の評価

オリエンタル建設株式会社 正会員 ○余 国雄
 日本道路公団 非会員 大城壮司
 オリエンタル建設株式会社 正会員 阿部浩幸
 オリエンタル建設株式会社 正会員 武知 勉

1. はじめに

RC 構造物のひび割れ幅を正確に計算し、制御することは重要なことである。FEM 解析によるひび割れ幅を求める方法として、ひび割れ間隔の解析結果を実験結果と合うように適切な鉄筋とコンクリートの付着関係を使用して解析を行い、解析により求められた要素のひずみと等価長さとの積としてひび割れ幅を直接計算する方法がある。しかし、FEM 解析による実構造物の設計において、多くの場合は解析モデルが大規模なものとなるため、解析上の簡便性を考慮して、鉄筋とコンクリートは完全付着として扱われている。この解析により求められた鉄筋応力から、ひび割れ幅と鉄筋応力の関係に従い¹⁾、ひび割れ幅を求めることは有効な方法と思われる。しかし、RC 曲げ部材の鉄筋応力について FEM 解析による評価した報告は極めて少ない。ここでは、最大鉄筋応力に着目した RC はりの曲げ載荷実験について報告し、FEM 解析において構成則、要素寸法が最大鉄筋応力におよぼす影響を検討する。

2. 実験概要および実験結果

図-1 に供試体の形状および寸法を示す。主鉄筋は 2 本 D25 である。鉄筋の最大ひずみを計測するために、スパン中央の 320mm 範囲に、コンクリートと鉄筋の付着を損なわないように鉄筋縦リブに断面約 $2 \times 2\text{mm}$ の溝を設け、そこに 20mm 間隔でひずみゲージを貼付した。コンクリートは圧縮強度が 55.3 N/mm^2 、引張強度が 3.64 N/mm^2 、ヤング率が 33. 2kN/mm^2 である。鉄筋の降伏強度は 370 N/mm^2 である。実験は単調載荷とした。

実験後、コンクリートの引張応力とひび割れ幅の関係を求めるために、JCI の標準 3 点曲げ実験を実施した。結果を図-2 に示す。図中の破線は 3 点曲げ実験結果を、実線は 1/4 モデルを示している。両結果は概ね一致していることから、以下の解析ではコンクリート構成則として、1/4 モデルを用いる。図-3 は実験における各荷重段階の鉄筋ひずみ分布である。実験結果は波状になっていることから、最大鉄筋ひずみが得られたと言える。

3. 解析モデルおよび構成則

鉄筋応力およびひび割れ間隔に対して解

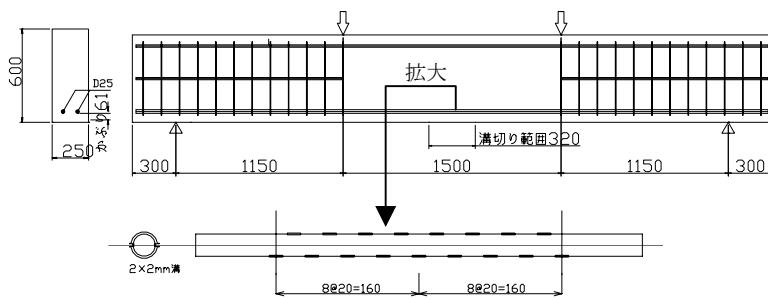


図-1 供試体寸法と鉄筋ひずみ計測用ゲージ

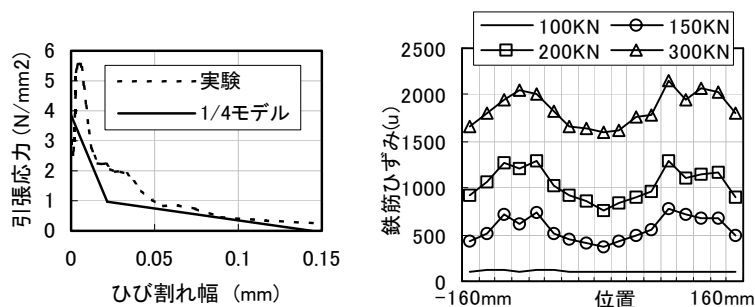


図-2 引張応力とひび割れ幅関係

図-3 鉄筋ひずみ分布図

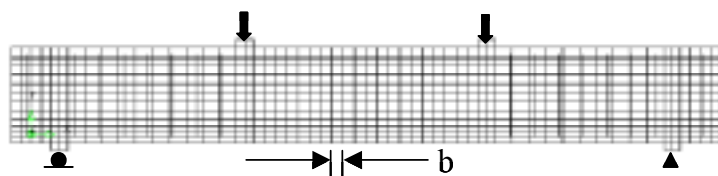


図-4 メッシュ図 (Mesh 1)

(Mesh 1: $b=70\text{mm}$, Mesh 2: $b=140\text{mm}$, Mesh 3: $b=234\text{mm}$)

キーワード：ひび割れ幅、鉄筋応力、完全付着、有限要素法

連絡先：〒102-0093 東京都千代田区平河町 2-1-1 オリエンタル建設(株) TEL 03-3261-1176

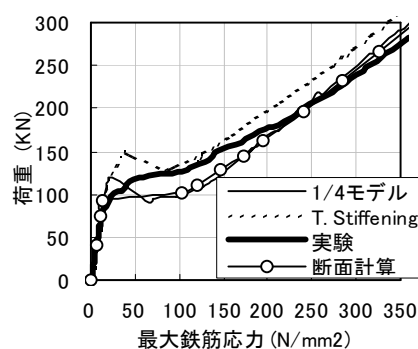
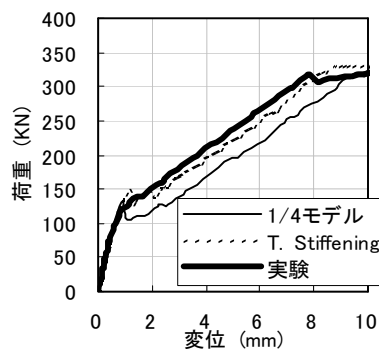
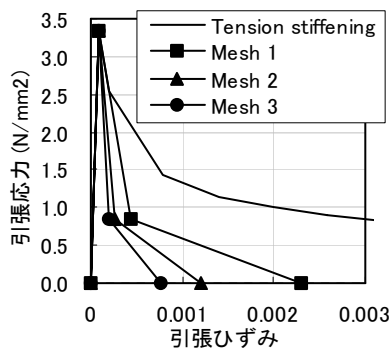


図-5 引張応力とひずみ関係 図-6 荷重と変位関係(Mesh 1) 図-7 荷重と最大鉄筋応力関係(Mesh 1)

析での要素寸法の影響を検討するため、図-4に示すように、等曲げ区間内要素軸方向の長さ b を変化させて解析を行った。Mesh 1, 2, 3 の要素長さ b は、それぞれ 70mm (1400mm 区間を 20 分割)、140mm (1400mm 区間を 10 分割)、234mm (1400mm 区間を 6 分割) とした。鉄筋応力に対してコンクリート構成則の影響を検討するため、図-5 のように tension stiffening を考慮するモデルと 1/4 モデルを用いて解析を行った。

4. コンクリート構成則の影響

Mesh 1 における荷重とスパン中央鉛直変位との関係を図-6 に示す。ひび割れ発生から鉄筋降伏まで、Tension stiffening モデルを用いた解析結果は概ね実験値と一致し、1/4 モデルを用いた場合、変位は実験値より大きくなっている。一方、図-7 に荷重と最大鉄筋応力との関係を示す。図中○で記されている点は断面解析による結果である。断面解析の際、引張応力と引張ひずみとの関係を求めるために使われた等価長さはひび割れ定常状態になるときの最大ひび割れ間隔の計測値 ($l_{max} = w_{max}/e_m$, e_m は鉄筋の平均ひずみ) とした。ひび割れ発生後において、Tension stiffening モデルによる最大鉄筋応力は、1/4 モデルより 50N/mm^2 程度小さい。また、実験結果に対しても、過小評価する結果となった。これは、Tension stiffening モデルが部材全体の平均的な挙動を評価するモデルであるためと考えられる。1/4 モデルによる FEM 解析および断面解析は、ひび割れ断面でのコンクリート応力状態を評価できており、解析結果は実験結果と概ね一致している。

5. 要素寸法の影響

図-5 に示す 1/4 モデルを用い、異なる要素寸法での荷重と最大鉄筋応力の関係の解析結果を図-8 に示す。図-9 は Mesh 1 における最大鉄筋応力が 200N/mm^2 になるときの軸方向のひずみ分布である。図-9 から分かるように、鉄筋が配置されている位置での要素のひずみは局所化が生じてないが、それ以外の位置でコンクリート要素のひずみは局所化が生じており、応力がほぼ 0 になった。このため、図-8 のように、最大鉄筋応力が約 150N/mm^2 以上になると、いずれの要素寸法においても最大鉄筋応力はほぼ同じ結果となった。

6. 結論

以上の 2 次元 FEM 解析及び断面解析の検討により、Tension Stiffening を考慮しないモデルを用い、鉄筋とコンクリートを完全付着とする方法は、最大鉄筋応力を正しく評価できると考えられる。本検討での供試体において、ひび割れ定常状態の範囲では、要素の分割を変えても、最大鉄筋応力は変わらなかった。また、ひび割れ間隔と要素寸法の関係は解析上見られなかった。

参考文献

- 1) 角田 与史雄：鉄筋コンクリートの最大ひび割れ幅，コンクリート・ジャーナル，Vol. 8, No. 9, Sept. 1970, pp. 1～10.

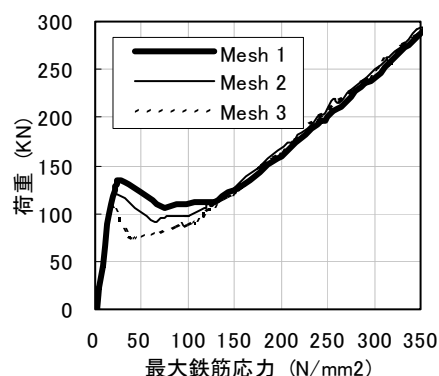


図-8 荷重と最大鉄筋応力関係

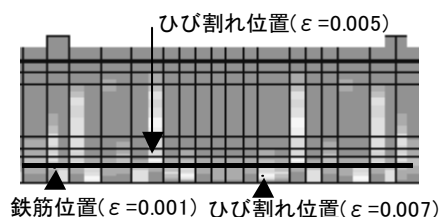


図-9 梁軸ひずみ分布図 (Mesh 1)