

側方鉄筋を有する T 型 RC 梁の曲げ耐荷挙動に関する数値解析的検討

室蘭工業大学大学院 学生会員 ○朱 柯
三井住友建設(株) フェロー 三上 浩

室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光
室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人

1. はじめに

圧縮側フランジ部のコンクリートが拘束効果を受ける T 型 RC 梁の耐荷性状を適切に評価可能な解析手法を確立することを目的として、断面分割法および三次元弾塑性解析を行い、別途実施した静的 3 点曲げ試験結果と比較することにより、それらの適用性に関する検討を行った。

断面分割法に適用する各材料の応力-ひずみ関係に関しては、1) 土木学会コンクリート標準示方書に基づく場合(ケース 1) 他、2) 三次元弾塑性解析結果を参考にして、応力-ひずみ関係を修正した場合(ケース 2) の 2 種類について検討を行った。本数値解析は、構造解析用汎用プログラム DIANA9.3 を用いて行った。

2. 試験体概要

図-1 には、本研究で対象とした試験体の形状寸法および配筋状況を示している。軸方向鉄筋およびスターラップには D10 を使い、100 mm 間隔で格子状に配置している。また、フランジ部には D10 の軸方向鉄筋を計 10 本配置し、それらを D6 の横拘束筋を用いて閉合させている。なお、軸方向鉄筋は RC 梁の端部に設置した厚さ 9 mm の鋼板に溶接定着している。コンクリートの圧縮強度は $f'_c = 28.8 \text{ MPa}$ 、主鉄筋の降伏強度は、D10 で $f_y = 376 \text{ MPa}$ 、D6 で $f_y = 295 \text{ MPa}$ である。

3. 解析概要

3.1 三次元弾塑性解析

図-2 には、解析に用いた要素分割状況を示している。解析モデルは、対称性を考慮した 1/4 モデルとし、コンクリートは 8 節点固体要素を用いてモデル化している。軸方向鉄筋およびスターラップは、埋め込み鉄筋要素を用いてモデル化している。解析は荷重点部鋼板要素の上面の節点に強制変位を与えることにより実施した。

図-3 には、三次元弾塑性解析に用いたコンクリートの応力-ひずみ関係を示している。降伏の判定には Drucker-Prager の降伏条件を適用しており、内部摩擦角を

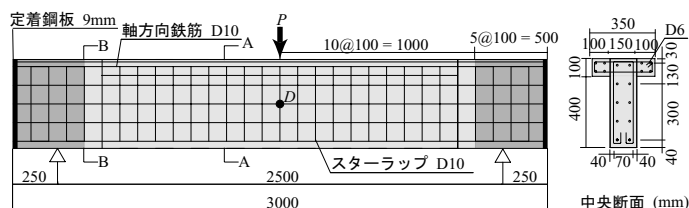


図-1 試験体の形状寸法および配筋状況

30° としている。鉄筋要素およびスターラップ要素には、塑性硬化係数を考慮した弾塑性体モデルを適用した。本研究では、弾性係数 $E_s (= 200 \text{ GPa})$ の 1% と仮定している。降伏は von Mises の降伏条件に従うものとした。

3.2 断面分割法

本研究では、(1) 示方書に準拠して鉄筋を完全弾塑性体と仮定し、上縁コンクリートのひずみが終局圧縮ひずみ $3,500 \mu$ に達するまでとした場合(ケース 1) および (2) 後述の FEM 解析結果に基づき、上縁コンクリートの終局圧縮ひずみを $10,000 \mu$ とし、かつ鉄筋に塑性硬化係数 ($H' = 0.01E_s$) を考慮した場合(ケース 2) の 2 種類について検討している。図-4 には両ケースで仮定したコンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ関係を示している。なお、コンクリートの引張側に関しては、引張軟化挙動は考慮していない。また、梁断面の高さ方向の断面分割は 5 mm 間隔 (100 分割) とした。

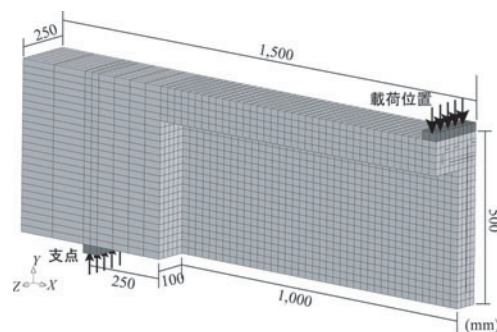


図-2 要素分割状況

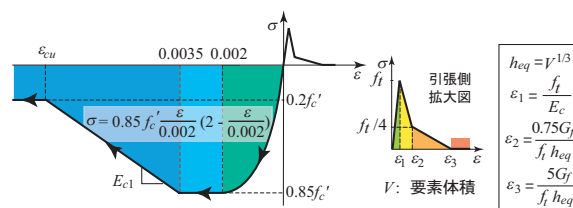


図-3 コンクリート材料構成則 (三次元弾塑性解析)

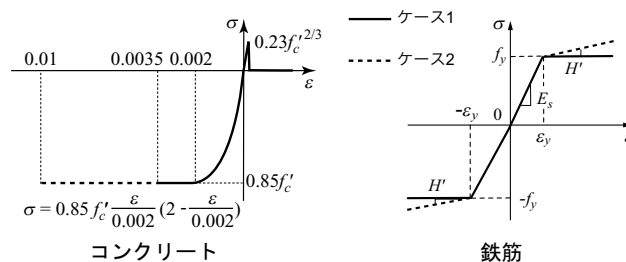


図-4 材料構成則 (断面分割法)

キーワード：T 型 RC 梁，耐荷性状，拘束効果，断面分割法，有限要素法

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 工学研究科 くらし環境系領域 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

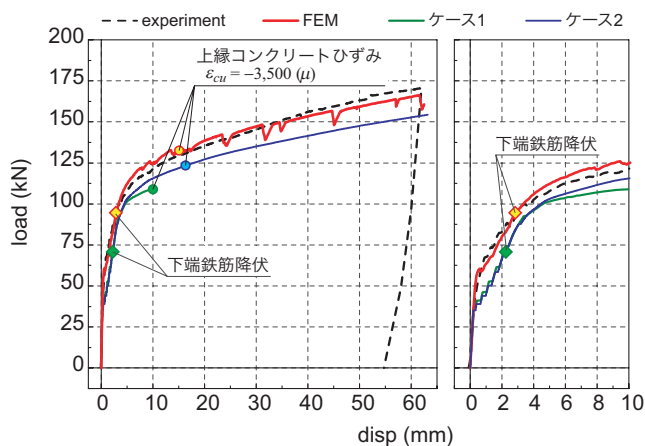


図-5 荷重-変位関係

4. 結果および考察

4.1 耐荷性状

図-5には、実験結果より得られた荷重-変位関係を、有限要素法および断面分割法による数値解析結果と比較して示している。実験結果から、载荷初期にコンクリートのひび割れ発生に伴い剛性が低下していることが分かる。また、変位が3 mm程度において、鉄筋の降伏により再び剛性勾配が緩やかに減少している。最終的には、上縁コンクリートに圧壊が生じたため実験を終了している。

FEMによる解析結果を見ると、実験結果にほぼ対応して剛性勾配が変化していることが分かる。また、鉄筋降伏直後における荷重が実験結果よりも若干大きく示されているものの、降伏後の剛性勾配や最大荷重値等も含めた荷重-変位関係は精度よく再現できていることが分かる。

断面分割法による計算結果に着目すると、両ケースとも、初期剛性低下時の荷重が実験結果およびFEMによる数値解析結果よりも若干小さく評価されている。また、ケース1では、変位5 mm程度から剛性が小さくなり、約10 mm程度で上縁コンクリートが終局圧縮ひずみ3,500 μ に到達し、計算を終了している。一方、ケース2の場合には、荷重を実験結果よりも小さく評価しているものの、鉄筋降伏後の剛性勾配、および実験終局時の変位は実験結果とほぼ対応していることが分かる。これより、コンクリートの終局圧縮ひずみを適切に設定したケース2の場合は、断面分割法を用いて、T型RC梁の耐荷性状を概ね推定できるものと考えられる。

4.2 破壊性状

図-6には、各変位段階における実験状況およびFEM解析結果によるコンクリートの軸方向ひずみ分布図を示している。図-6(a)より、剛性勾配が緩やかに低下する時点($\delta = 5.1$ mm)を見ると、実験結果では梁中央部に曲げひび割れが明瞭に発生していることが分かる。数値解析結果では梁中央部から支点方向の範囲に複数のひび割れ開口程度のひずみが発生していることが分かる。

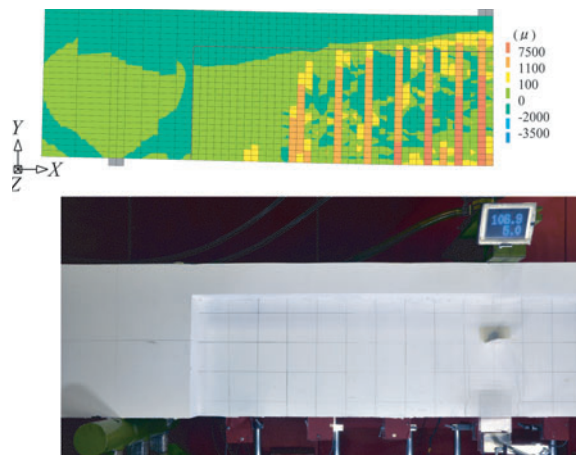
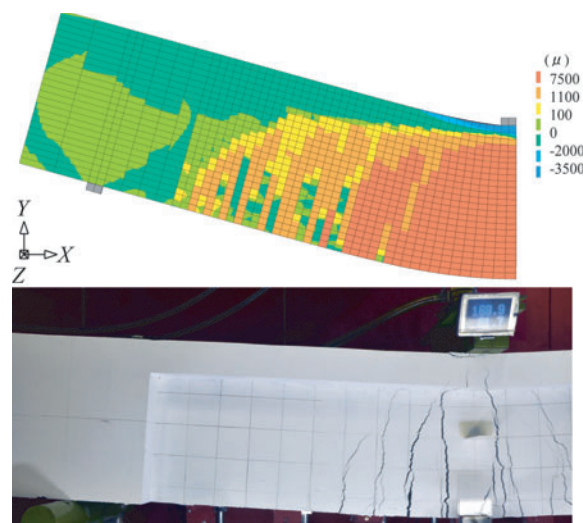
(a) 変位 $\delta = 5.1$ mm(b) 変位 $\delta = 62$ mm (実験終局時)

図-6 FEM解析によるひずみ分布と実験結果の比較

図-6(b)より、実験終局時($\delta = 62$ mm)に着目すると、実験結果では梁中央部に発生した曲げひび割れが大きく開口するとともに、载荷点直下のコンクリート上縁に圧壊によるひび割れが生じている。数値解析結果においても、ひび割れ開口程度のひずみが実験結果のひび割れ領域とほぼ等しい領域に分布している。さらに、圧壊を示す10,000 μ 程度のひずみが生じていることから、数値解析結果はコンクリート上縁の圧壊状況をほぼ再現しているものと考えられる。

5. まとめ

- 鉄筋の塑性硬化を考慮し、かつコンクリートの終局圧縮ひずみを適切に設定する場合には、断面分割法を用いることによってT型RC梁の耐荷性状を概ね推定できる。
- コンクリートに分布ひび割れを適用し、かつ鉄筋を埋め込み鉄筋要素でモデル化した有限要素解析は、実験結果の荷重-変位関係および破壊性状を精度よく再現できる。