

SUS埋設型枠を有する柱を想定した部材の曲げ挙動に関する解析

宇都宮大学 学生員 ○櫻井拓也 正会員 藤倉修一
正会員 Nguyen Minh Hai フェロー会員 中島章典

1. はじめに

コンクリート施工における型枠脱型作業を不要とするプレキャスト型枠（埋設型枠）が開発され、急速施工や高耐久化といった観点から注目を浴びている。多くが短繊維を補強材¹⁾として用いているが、型枠中に補強筋などが無いため、型枠の引張抵抗力が比較的小さい。そこで、腐食に強く、かぶりを最小にすることができるステンレス鉄筋（以下SUS鉄筋）を補強材として用いた埋設型枠（以下SUS埋設型枠）が開発され、既存の埋設型枠に無いじん性に富んだ挙動を示すことが明らかになっている²⁾。著者らは、このSUS埋設型枠を新設矩形柱構造物に用いることを想定し、SUS埋設型枠を有する部材への曲げ載荷試験を行い、埋設型枠が耐荷性能にどのように影響を及ぼすかを確認した³⁾。本研究では非線形有限要素解析プログラムによるその実験の再現を試み、SUS埋設型枠がどのように耐荷性能に影響するのかをFEM解析によって明らかにすることを目的とした。

2. 解析モデル

載荷試験および解析に用いた供試体および埋設型枠の詳細図を図-1および図-2にそれぞれ示す。解析には三次元非線形FEM解析プログラムDIANA10.2⁴⁾を用いた。コンクリートおよびモルタルにはソリッド要素を用いた。試験結果から、すべての供試体で、供試体上縁が圧壊し終局状態となったため、帯鉄筋およびSUS埋設型枠中の幅方向のSUS鉄筋の影響は小さいと考えモデル化は行わないとした。主鉄筋およびSUS鉄筋には埋め込み鉄筋要素を用いた。供試体の異種材料間および部材間には界面ばね要素により接合条件を与えた。支点位置に載荷試験と同様に単純支持の条件を与え、載荷位置の幅方向に等分布線荷重を与えた。

(1) 材料構成則

コンクリートおよびモルタルには回転ひび割れモデルを用いた。構成則には、コンクリート標準示方書⁵⁾を参考にしたモデルを用いた。主鉄筋およびSUS鉄筋の構成則には完全弾塑性モデルを用いた。

(2) 異種材料間の接合条件および解析ケース

異種材料および部材間には、応力-変位関係で表される界面ばね要素を設置し、応力伝達条件を与えた。コンクリート-SUS埋設型枠間には、曲げ載荷試験よりコンクリートとSUS埋設型枠のずれが微小であったことから線形ばねとし、ばね剛性にはコンクリートの弾性係数およびせん断弾性係数の値を用いた。SUS埋設型枠間の応力伝達条件には次の2種類の界面を想定した。界面1では埋設型枠間で応力が伝達されない状態を考え、法線方向およびせん断方向のばね剛性をゼロとし、この場合をGapと呼ぶ。界面2では、埋設型枠同士が完全に接触している状態を考え、引張応力は伝達しないが圧縮応力およびせん断応力は伝達するとし、ばね剛性にモルタルの弾性係数およびせん断弾性係数を用いた。この場合をContact1と呼ぶ。

3. 解析結果および考察

本研究の解析では、RC供試体、TB供試体、SS供試体の再現解析を行ったが、ここではTB供試体のみ結果を示

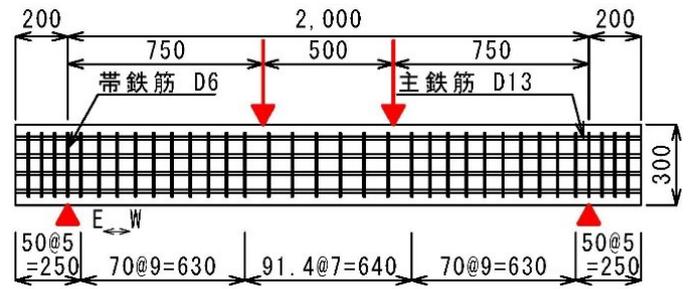


図-1-a 供試体側面図

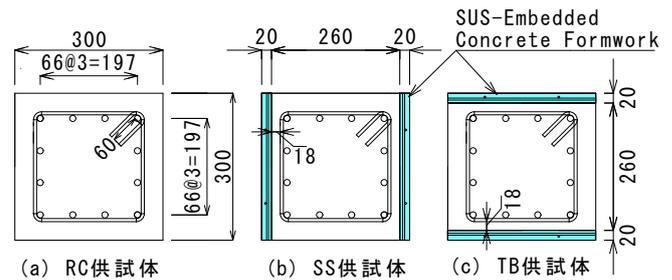


図-1-b 供試体断面図

図-1 供試体

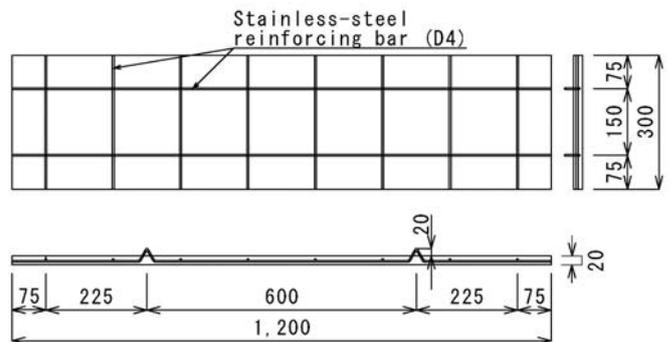


図-2 SUS埋設型枠

す。なお、RC供試体およびSS供試体の曲げ挙動も概ね再現できていることを確認している。

(1) 荷重-中央変位関係

TB供試体の実験結果および解析結果を図-3に示す。左側は全体図、右側は変位10mmまでを拡大した図である。解析ではコンクリートまたはモルタル要素がひずみ0.35%に達した時を終局荷重とした。TB-GapおよびTB-Contact1の荷重-中央変位関係において75kN付近の傾きが減少する荷重、つまり曲げひび割れ発生荷重は同程度であり、実験結果とよく一致する。また、実験では確認できないが、解析ではSUS鉄筋降伏時でも傾きが減少している。主鉄筋降伏荷重は、Contact1の方がGapよりも大きく、実験結果に近い。終局荷重については、Gapの方が実験値に近い結果となった。実験時には圧縮側の埋設型枠間に最大で1mm程度の隙間が生じており、その一部がセメントペーストで充填されていた。これにより、175kN付近まではある程度圧縮応力は伝達されContact1と近い結果となったが、

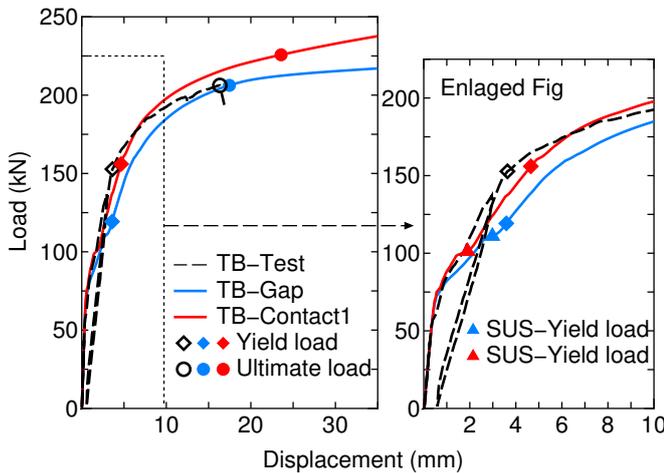


図-3 TB 供試体荷重-中央変位



図-4-a 曲げ試験時



図-4-b 解析ケース TB-Contact1

図-4 TB 供試体終局荷重時ひび割れ状況比較

それ以降はセメントペーストは圧壊し、応力は完全に伝達されず、実験値の終局荷重は Gap に近い結果になったと考えられる。

(2) ひび割れ状況

TB 供試体の載荷試験終局時のひび割れ図および解析における終局時のひび割れ図を図-4 に示す。図-4-b は要素の長さ当たりのひび割れ幅の割合を表し、その大きさを色および長さで表している。中央で大きいひび割れが生じ、発生間隔は 200mm 程度であり、実験時のひび割れの発生状況と比較すると、概ね再現できていることが確認できる。

(3) SUS 鉄筋の曲げ挙動への寄与

載荷試験では SUS 鉄筋ひずみの計測を行っておらず、SUS 鉄筋の曲げ引張抵抗への寄与が明らかになっていない。そこで SUS 鉄筋の曲げ引張抵抗への寄与を調べるために、解析ケース RC および TB-Contact1 の、SUS 鉄筋および主鉄筋の応力を確認した。

荷重 50kN 時および 140kN 時の、主鉄筋および SUS 鉄筋の、長手方向の応力分布を図-5 に示す。横軸はスパン中央からの着目要素までの距離を表し、縦軸は主鉄筋要素または SUS 鉄筋の軸方向の応力である。図-5-a に示す荷重 50kN 時では、RC は曲げひび割れ発生直後であり、TB-Contact1 は曲げひび割れ発生直前である。SUS 鉄筋の応力はスパン中央に近づく程負担する応力が大きい。SUS 鉄筋はより供試体下縁に近い主鉄筋よりも若干大きい応力を負担している。100mm 位置付近で RC の主鉄筋の応力が大きく出ているが、これはスパン中央付近で曲げひび割れが発生したためである。

図-5-b に示す荷重 140kN 時では、RC および TB-

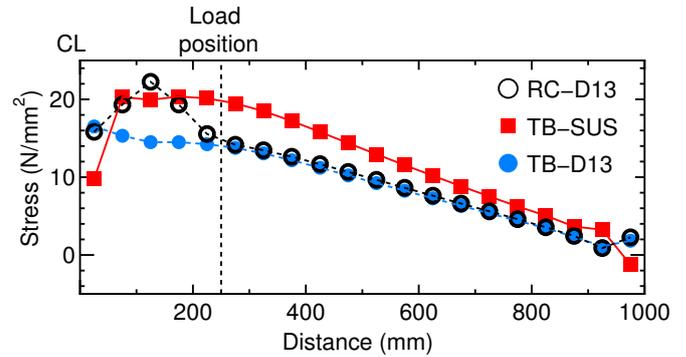


図-5-a 荷重 50kN 時

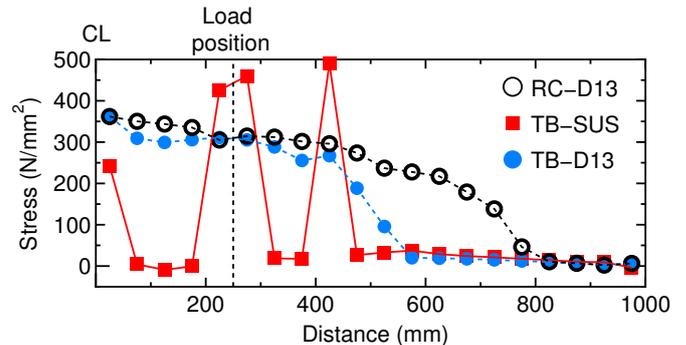


図-5-b 荷重 140kN 時

図-5 TB 供試体主局荷重時ひび割れ状況比較

Contact1 は主鉄筋降伏直前である。全体的に TB-Contact1 は RC よりも主鉄筋の応力が小さい。特に 500mm から 750mm の範囲で差が大きい。これは、この範囲で RC は曲げひび割れが発生しているのに対して、TB-Contact1 では曲げひび割れが生じていないためである。また、SUS 鉄筋にスパイク状の大きな応力が生じている。これは、曲げひび割れが生じることによるもので、図-4-b に示した、ひび割れ位置とほぼ一致する。これより、SUS 埋設型枠はひび割れを抑制し、ひび割れが発生するまで SUS 鉄筋は引張力を負担し、主鉄筋に生じる応力のある程度低減させる効果があると言える。

4. まとめ

SUS 埋設型枠を有する柱を想定した部材に対して FEM 解析を行い、解析は載荷試験の曲げ挙動を概ね再現することができた。その結果から得られた知見を以下に示す。

- (1) SUS 埋設型枠を有する部材では、埋設型枠間の圧縮応力が伝達することによって、圧縮応力が伝達しない時よりも降伏荷重および終局荷重が大きくなる。
- (2) 埋設型枠中の SUS 鉄筋は、曲げひび割れが生じるまで、部材に生じる曲げ引張力を一部受け持ち、その結果、主鉄筋の応力のある程度低減させ、曲げ耐力向上につながる。

参考文献

- 1) 松林卓, 坂口伸也, 原夏生, 三島徹也: ビニロンファイバー混入コンクリート製埋設型枠の構造性能に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.757-762, 2004.6.
- 2) 篠田佳男, 清宮理, 河野一徳, 佃有射: ステンレス鉄筋使用埋設型枠の耐荷性能に関する基礎的研究, 土木学会第 65 回学術年次講演会, V-651, pp.1301-1302, 2010.9.
- 3) 藤倉修一, 小島侑城, Nguyen Minh Hai, 河野一徳: SUS 鉄筋補強埋設型枠を有する柱を想定した梁部材の耐荷性能実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.1111-1116, 2019.7.
- 4) Nonlinear Analysis User's Manual (10.2), TNO Building and Construction Research.
- 5) 土木学会: コンクリート標準示方書【設計編】, 2017.