

論文 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的研究

藤倉 修一*1・櫻井 拓也*2・Nguyen Minh Hai*3

要旨：ステンレス鉄筋と高強度モルタルから成る SUS 埋設型枠を有する鉄筋コンクリート部材の耐荷性能を明らかにするために、過年度に柱を想定した矩形断面部材の曲げ載荷試験を行った。本研究では、3次元非線形有限要素解析を行い、載荷試験で得られた部材の曲げ挙動を再現するとともに、SUS 埋設型枠が部材の曲げ挙動に及ぼす影響を検討した。その結果、本研究で実施した解析は試験結果をよく再現できており、SUS 埋設型枠間の継目における応力伝達の条件やステンレス鉄筋による曲げ挙動への寄与を明らかにした。

キーワード：ステンレス鉄筋，高強度モルタル，埋設型枠，柱部材，3次元非線形有限要素解析

1. はじめに

コンクリート構造物の急速施工や高耐久化の観点から、コンクリート打設後の型枠脱型作業を不要とするプレキャスト型枠（以下、埋設型枠と呼ぶ）を用いる工法がある。これまで開発されてきた埋設型枠^{1),2)}は短繊維で補強したコンクリートやモルタルを使用したものが多いが、型枠中に補強筋などが無いため型枠の引張抵抗が比較的小さい。そこで、近年では埋設型枠の補強材として腐食に強いステンレス鉄筋（以下、SUS鉄筋と呼ぶ）を用い、型枠に生じるひび割れを抑制する SUS 鉄筋補強埋設型枠（以下、SUS 埋設型枠と呼ぶ）が開発されている³⁾。この SUS 埋設型枠を鉄筋コンクリート（以下、RC 呼ぶ）部材に用いることで、RC 部材の構造性能および耐久性能の向上が期待される。

河野らは、SUS 埋設型枠が通常の短繊維補強埋設型枠にはない、じん性を有することを確認している³⁾。また、立石らは、SUS 埋設型枠を RC 梁の一部に用いた載荷実験や既設の RC 柱を SUS 埋設型枠で補強した柱に対する正負交番載荷実験も行っている⁴⁾。さらに、著者らは SUS 埋設型枠を新設の矩形柱部材に用いることを想定し、載荷方向と平行な 2 面または垂直な 2 面に SUS 埋設型枠を配置した梁部材の曲げ挙動も実験的に確認している⁵⁾。しかし、これらの研究は全体的な挙動を実験的に検討したものであり、埋設型枠間の継目における応力の伝達条件や埋設型枠中の SUS 鉄筋が部材の曲げ挙動へ及ぼす影響は必ずしも確認できていない。そのため、埋設型枠を配置した梁や柱部材の曲げ耐力などが確認されたものの、そのメカニズムは十分に把握されていない。

そこで本研究では、著者ら⁵⁾が行った SUS 埋設型枠を有する供試体への載荷試験に対して、3次元非線形有限要素解析（以下、FEM 解析と呼ぶ）を行い、試験結果を

再現するとともに、埋設型枠間の継目における応力の伝達条件や SUS 鉄筋が部材の曲げ挙動に及ぼす影響を検討した。また、実際の矩形柱部材では SUS 埋設型枠は 4 面に用いられるため、矩形断面の 4 面に SUS 埋設型枠を配置した部材を対象とした FEM 解析も行い、通常の RC 部材の曲げ挙動との違いについて検討した。

2. 載荷試験および解析概要

2.1 載荷試験概要

(1) 載荷試験供試体

過年度に行った載荷試験⁵⁾の供試体および載荷状況を図-1 に示す。供試体に用いたコンクリート、鉄筋、埋設型枠の高強度モルタルおよび SUS 鉄筋の材料特性を表-1 に示す。通常の RC 供試体、載荷方向に対して垂直な面に SUS 埋設型枠を配置した供試体（TB 供試体：Top-Bottom）、載荷方向に対して平行な面に SUS 埋設型枠を配置した供試体（SS 供試体：Side-Side）の 3 体を用いた。載荷方向に平行な 2 面と垂直な 2 面では、曲げを受けた場合に耐荷機構が異なるので、TB 供試体と SS 供試体で比較を行っている。供試体の全長は 2400mm、載荷スパンは 2000mm、供試体の断面は 300×300mm である。主鉄筋には D13 (SD295A) 異形鉄筋を使用し、帯鉄筋には D6 (SD295A) 異形鉄筋をせん断スパンでは 70mm 間隔で配置し、等モーメント区間には 91.4mm 間隔で配置した。

供試体に用いた SUS 埋設型枠を図-2 に示す。SUS 埋設型枠には高強度モルタルを用い、寸法は 1200×300×20mm である。埋設型枠の中には、150mm 間隔で格子状に D4-SUS 鉄筋を厚さの中心位置に配置しており、SUS 鉄筋の外縁から埋設型枠の外縁までの距離（かぶり）は 6mm である。さらに、コンクリート部分と埋設

*1 宇都宮大学准教 地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 Ph.D. (正会員)

*2 宇都宮大学 地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科

*3 宇都宮大学助教 地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 博(工)

表一 材料特性 (単位: N/mm²)

材料定数	RC	TB	SS	
コンクリート	圧縮強度 f_c	41.4	44.3	47.7
	引張強度 f_t	3.42	3.92	3.65
	弾性係数 E_c	3.33×10^4	3.14×10^4	3.06×10^4
モルタル	圧縮強度 f_m	---	106.6	110.1
	引張強度 f_{mt}	---	14.1	12.7
	弾性係数 E_m	---	4.09×10^4	
鉄筋 SUSD4	降伏強度 f_{sy}	---	490	
	弾性係数 E_s	---	1.96×10^5	
鉄筋 D13	降伏強度 f_{sy}	362		
	弾性係数 E_s	2.05×10^5		

型枠の一体性を確保するために、長手方向の SUS 鉄筋にトラス筋となるよう曲げ加工を施し、後打ちコンクリートと接する面には目粗し処理を行った。載荷試験供試体の長手方向の1面において2枚の埋設型枠を使用したため、供試体の中央部に埋設型枠間の継目が存在している。この継目では機械的接合などの処理は行っていない。その結果、最大で1mm程度の隙間が生じており、この一部に内部コンクリートを打設した時のモルタル成分がしみ出して充填されていた。なお、後述の解析では、この継目における接触条件を解析の1つのパラメータとした。

(2) 載荷試験方法

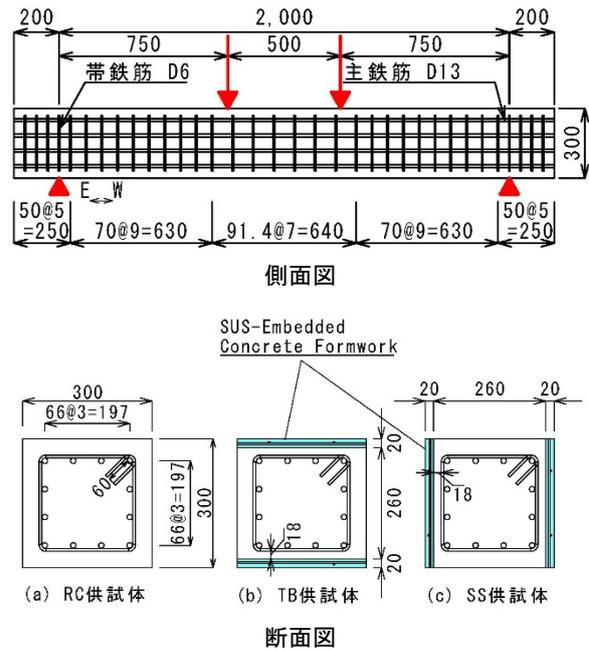
載荷試験は、図一に示すように、スパン中央から左右250mm位置で2点載荷曲げ試験を行った。主な測定項目は支間中央のたわみ、コンクリートのひび割れ幅、軸方向鉄筋および帯鉄筋のひずみである。

2.2 解析概要

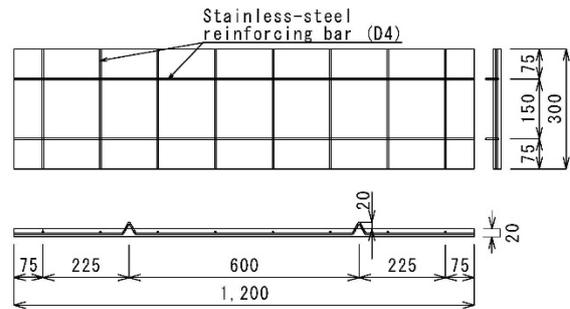
(1) 解析方法

本研究の解析では、3次元有限要素解析汎用ソフト DIANA10.2⁹⁾を使用した。図一に示す3体の載荷試験供試体と同じ諸元を設定した解析モデルを作成した。さらに載荷試験は行っていないが、矩形断面の4面にSUS埋設型枠を配置した場合の供試体(以下、4S供試体と呼ぶ)のモデルも作成した。なお4S供試体には表一に示したTB供試体と同じ材料特性を用いた。

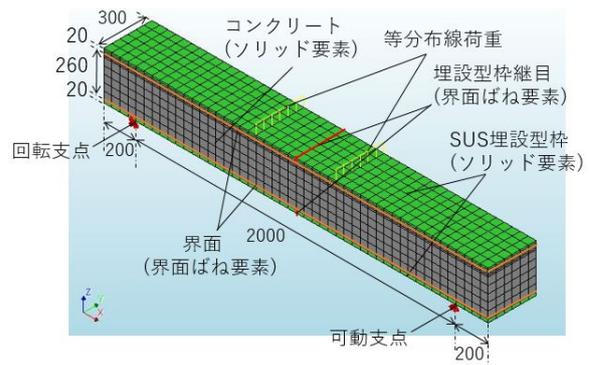
図三に一例として、TB供試体の解析モデルを示す。モデル化については、供試体のコンクリートおよび埋設型枠のモルタルにはソリッド要素を用い、要素サイズは50mmとした。また、主鉄筋と埋設型枠中の長手方向のSUS鉄筋には、周囲コンクリートやモルタルと共有節点を有するトラス要素(埋め込み鉄筋要素)を用いた。また、載荷試験では、各供試体の主鉄筋が降伏した後に、支間中央付近上面のコンクリートやモルタルが圧壊して終局状態に至った。そこで、供試体の破壊形式は曲げ破壊であったため、供試体中の帯鉄筋および埋設型枠中の幅方向に配置したSUS鉄筋の影響は小さいと考え、こ



図一 供試体詳細図 (単位: mm)



図二 SUS埋設型枠詳細図 (単位: mm)



図三 解析モデル図 (TB供試体, 単位: mm)

れらの鉄筋はモデル化しないこととした。供試体の載荷試験の状況と同様に、解析モデルの支持条件は単純支持とし、2箇所の載荷位置幅方向に等分布線荷重を荷重増分法で与えた。

(2) 材料構成則

コンクリートおよびSUS埋設型枠のモルタルには分布ひび割れモデルを用い、応力ひずみ関係は、土木学会のコンクリート標準示方書⁷⁾を参考にして、図四(a)

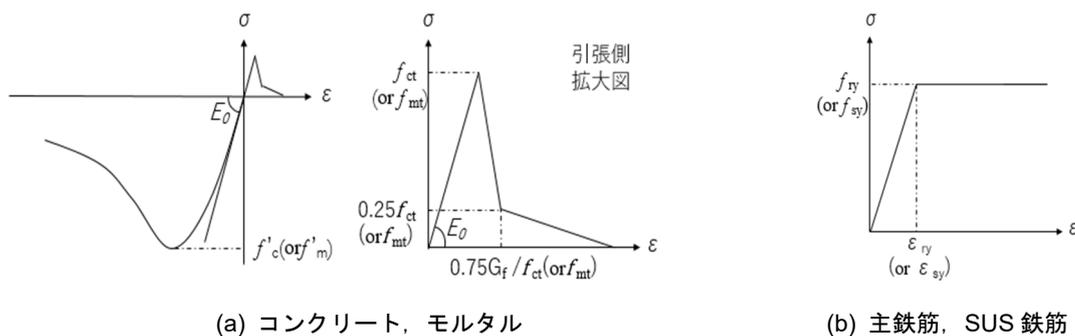


図-4 本解析の各材料の構成側

に示す圧縮と引張の軟化領域を考慮できるモデルとした。図-4(a)におけるコンクリートあるいはモルタルの各諸元には表-1に示した値を用いた。圧縮強度 f'_c 時のひずみは0.2%である。図-4(a)右側に引張側拡大図を示す。コンクリートの引張破壊エネルギー G_f (N/mm)は式(1)による値とした。

$$G_f = 10(d^{1/3}_{max})f'^{1/3}_{max} \quad (1)$$

ここに、 d_{max} ：粗骨材最大寸法 (=25mm)、 f'_{max} ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm²) である。なお、埋設型枠のモルタルの引張破壊エネルギーは厳密にはコンクリートの引張破壊エネルギーと違うが、この値を変えて解析を行ったところ、解析結果に大きな影響を与えないことを確認したため、ここではモルタルの引張破壊エネルギーの値にコンクリートと同じ値を用いた。

主鉄筋およびSUS鉄筋は図-4(b)に示す弾塑性モデルを用いた。

(3) 異種材料・部材間の応力伝達条件と解析ケース

本研究で行った解析ケースを表-2に示す。埋設型枠を有するRC部材には、後打ちコンクリートと埋設型枠間の界面および埋設型枠間の継目が存在する。解析では、これらの界面および継目に、法線方向とせん断方向のばね要素（以下、界面ばね要素と呼ぶ）を複数配置した。この界面ばね要素は、異種材料や部材間の界面の法線方向およびせん断方向における応力-相対変位関係を設定することによって、異種材料・部材間の応力伝達を模擬するものである。

まず、埋設型枠と後打ちコンクリート間の界面ばね要素に関しては、載荷試験において、コンクリートと埋設型枠間のせん断方向のずれ変位と法線方向の開き変位を計測した結果、両材料間に生じたずれ変位や開き変位はほとんど生じていないことが確認された。そのため、本解析では、TB、SSおよび4S供試体の解析モデルにおいてコンクリート-埋設型枠間の界面ばね要素を線形ばねとし、法線方向とせん断方向に対するばねの剛性は、それぞれ表-1に示したコンクリートの弾性係数とそれに対応するせん断弾性係数の値を用いた。

表-2 解析ケース

供試体モデル	解析ケース
RC 供試体	RC
TB 供試体	Gap, Contact1
SS 供試体	Gap, Contact1
4S 供試体	Gap, Contact1, Contact2

次に、SUS埋設型枠間の継目における応力伝達条件として、以下の3種類の界面を想定した。界面1は埋設型枠間で力が伝達しない状態を考えた。モデルでは、埋設型枠間の法線方向とせん断方向のばね剛性をゼロとして、この場合をGapと呼ぶ。界面2では、型枠同士が完全に接している状態を考え、引張応力は伝達しないが、圧縮応力とせん断応力は伝達するとした。この場合、界面ばね要素の法線方向とせん断方向に線形ばねを用いて、ばね剛性にはそれぞれモルタルの弾性係数およびせん断弾性係数の値を用いた。この界面2の場合をContact1と呼ぶ。さらに、界面3では界面2の伝達条件に加えて、SUS埋設型枠間に添え鉄筋などを配置することを想定して、引張応力も伝達するとした。この場合の解析モデルでは篠田らの研究⁸⁾を参考に継目部に添え筋として、長さ300mmのD4-SUS鉄筋を想定した埋め込み鉄筋要素を配置し、この場合をContact2と呼ぶ。

3. 解析結果および考察

3.1 載荷試験結果との比較

(1) 荷重-中央変位関係と破壊状況

載荷試験および解析で得られたRC供試体、SS供試体、TB供試体の荷重-中央変位関係を図-5(a)~(c)に示し、それぞれの全体図において中央変位を10mmまで示した拡大図を右側に示す。それぞれの図中の黒破線は実験値、実線は解析値を表し、線の色で解析ケースを区別している。載荷試験ではいずれの供試体においても曲げひび割れ発生後に主鉄筋が降伏し、供試体上縁のコンクリートまたはモルタルが圧壊し終局に至った。また、各供試体の主鉄筋降伏荷重および終局荷重の実験値と解析値を

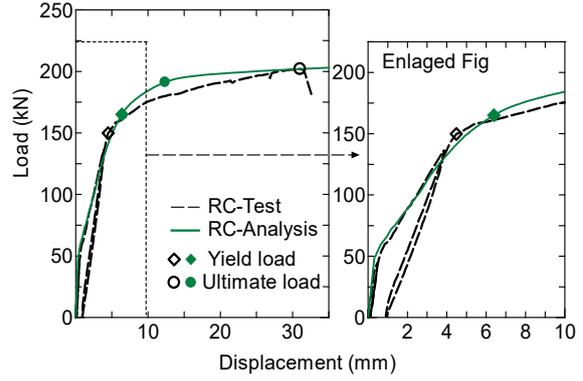
表-3 実験値と解析値の比較 (単位: kN)

供試体	解析 ケース	降伏荷重		終局荷重	
		実験	解析	実験	解析
RC	RC	150	169	202	191
TB	Gap	153	119	206	206
	Contact1		156		226
SS	Gap	155	155	214	205
	Contact1		171		207
4S	Gap	---	123	---	210
	Contact1		143		246
	Contact2		176		246

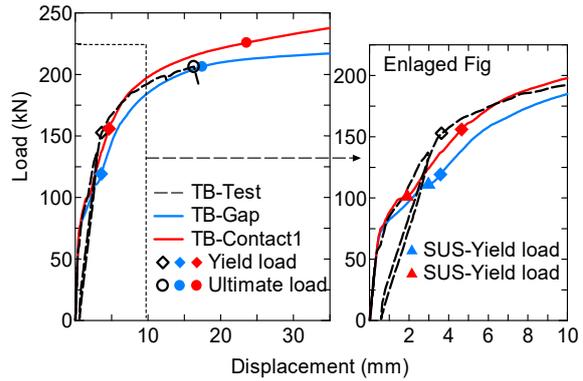
表-3 に示す。ここで、実験値の主鉄筋降伏荷重は計測した主鉄筋の支間中央位置のひずみの平均値が降伏ひずみに達した時の荷重であり、終局荷重は載荷試験の最大荷重である。これに対して、解析値の主鉄筋降伏荷重も主鉄筋の支間中央位置のひずみの平均値が降伏ひずみに達した時の荷重であるが、終局荷重はコンクリートあるいはモルタル要素が圧壊ひずみに達した時の荷重である。なお、解析でのコンクリートおよびモルタルの圧壊ひずみを 0.35% とした。

まず、RC 供試体の荷重-中央変位関係について確認する。図-5(a)において、荷重が 150kN 程度までは、実験値と解析値はよく一致しており、拡大図から両者とも荷重が 50kN 程度で荷重-中央変位関係の傾きが減少し始めている。これは、支間中央付近下縁のコンクリートが引張強度に達し、曲げひび割れが生じたためである。実験、解析ともにスパン中央の主鉄筋が降伏後に再び傾きが減少し始め、上縁のコンクリートが圧壊し終局に至った。終局荷重および終局変位が解析値よりも実験値の方が大きい結果となった。これは解析ではある要素が想定した圧壊ひずみ 0.35% に達した時を圧壊としているのに対して、実験では上縁コンクリートのある領域において圧壊が生じているためである。

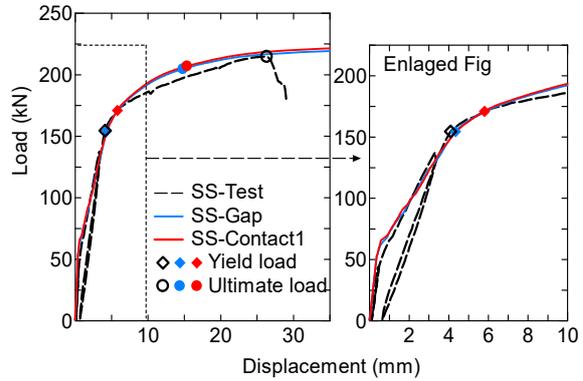
次に、図-5(b)で埋設型枠を上下に有する TB 供試体の結果について確認する。図-5(b)の拡大図には SUS 鉄筋降伏時を三角で示した。図-5(b)の拡大図より、解析ケース TB-Gap と TB-Contact1 で得られた荷重-中央変位関係の傾きが減少し始める荷重、つまり曲げひび割れ発生荷重は 65kN 程度であり、実験値とほぼ一致している。圧縮側の埋設型枠間で力が伝達される TB-Contact1 は TB-Gap よりも主鉄筋降伏荷重および終局荷重が大きく、175kN 付近まで実験値と概ね一致している。しかしながら、終局荷重については TB-Contact1 よりも TB-Gap の方が実験値に近い。終局荷重では、TB-Gap においてはモルタルの埋設型枠間で圧縮応力が伝達しないので、コ



(a) RC 供試体



(b) TB 供試体



(c) SS 供試体

図-5 荷重-中央変位関係の実験値と解析値の比較

ンクリート上縁が圧壊ひずみに達しているのに対して、TB-Contact1 ではモルタル上縁が圧壊ひずみに達している。実験時には埋設型枠間に最大で 1mm 程度の隙間が確認され、終局荷重時には圧縮側の埋設型枠間で応力が完全に伝達されず、Gap モデルに近かったと推察される。最後に、埋設型枠を両サイドに有する SS 供試体について確認する。図-5(c)に示す解析ケース SS-Gap および SS-Contact1 は実験より得られた荷重-中央変位関係とよく一致している。SS 供試体についても、実験時に埋設型枠間に最大で 1mm 程度の隙間が存在したが、埋設型枠は両サイドに配置されているため、曲げによる圧縮応力の伝達にはあまり影響しなかったと考えられる。また、終局荷重および終局変位は解析値よりも実験値の方が

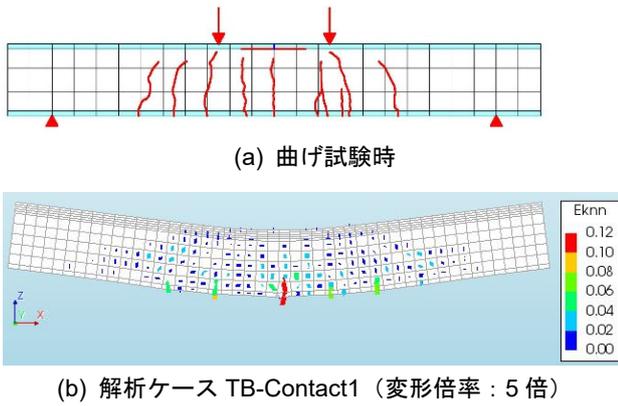


図-6 TB 供試体の終局荷重時ひび割れ状況比較

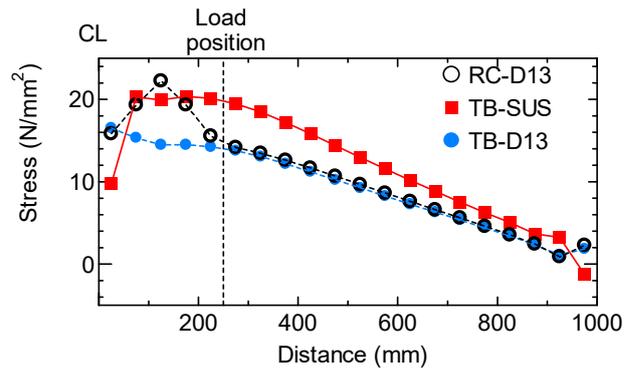
大きいですが、これも RC 供試体の場合と同じ理由であると考えられる。

(2) ひび割れ状況

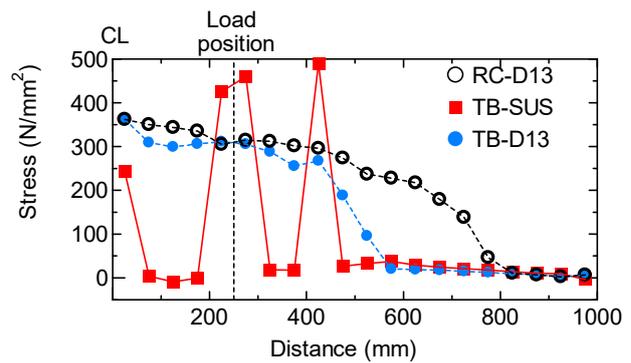
載荷試験の終局荷重時における TB 供試体のひび割れ状況を図-6(a)に示し、解析ケース TB-Contact1 の終局荷重時のひび割れ状況を変形図とあわせて図-6(b)に示す。図-6(b)は要素の長さ当たりのひび割れ幅の割合を示し、その大きさを色および長さで示している。図-6(b)より、スパン中央で大きいひび割れが生じ、コンターにおける水色までが目視で確認できるひび割れであるとすると、発生間隔は 200mm 程度であり、実験終局時のひび割れ状況を概ね再現できていることが確認できる。なお、RC 供試体と SS 供試体のひび割れ状況も解析で概ね再現できていることを確認している。

(3) 軸方向の主鉄筋と SUS 鉄筋の応力分布

SUS 埋設型枠を部材に配置することによって、SUS 鉄筋が部材の曲げ引張力を一部受け持つため、引張側の主鉄筋のひずみを低減させる効果があると推測される。しかし、載荷試験ではひずみを計測しなかったため SUS 鉄筋のひずみ挙動を確認できず、この効果は明確になっていない。そこで、SUS 鉄筋の曲げ引張抵抗への寄与を調べるために、SUS 鉄筋および主鉄筋の応力を FEM 解析により確認する。図-7 は表-2 に示す解析ケース RC、TB-Contact1 から得られた各供試体の主鉄筋と SUS 鉄筋の長手方向の応力分布を示す。横軸はスパン中央から着目要素までの距離、縦軸は主鉄筋要素あるいは SUS 鉄筋要素の軸方向の応力である。主鉄筋の応力を丸、SUS 鉄筋の応力を四角で示し、RC 供試体の主鉄筋を黒、TB 供試体の主鉄筋を青、SUS 鉄筋を赤で示す。主鉄筋の応力は下側中央 2 本の平均値である。図-7(a)は荷重が 50kN 時であり、RC では曲げひび割れ発生直後、TB-Contact1 では曲げひび割れ発生直前の状態である。ひび割れ発生は、コンクリートやモルタルの下縁が引張強度に達した時としている。図-7(b)は荷重が 140kN 時であり、両者とも主鉄筋降伏直前の状態である。



(a) 載荷荷重 50kN 時



(b) 載荷荷重 140kN 時

図-7 支点距離の各鉄筋応力

図-7(a)に示す 50kN 時より、SUS 鉄筋は支点から中央に近づく程負担する応力が大きくなっている。300 から 1000mm の範囲では各位置で TB-Contact1 の主鉄筋の応力は RC とほとんど同じである。0 から 300mm の間では RC の方が主鉄筋の応力が大きいですが、これは RC では曲げひび割れがスパン中央付近で発生したためである。SUS 鉄筋はより供試体下縁に近いので、主鉄筋よりも若干大きな応力を負担している。図-7(b)に示す荷重 140kN 時では、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 の範囲で差は大きい。これは、この範囲で RC で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発生していないためである。また、0 から 500mm の間に、SUS 鉄筋にスパイク状の大きな応力が生じている。これは、ひび割れが生じることによるもので、図-6(b)に示した、ひび割れ位置とほぼ一致する。さらに、同区間のひび割れが生じていない主鉄筋の応力は RC 供試体よりも TB 供試体の方が若干小さい。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。

3.2 部材 4 面に SUS 埋設型枠を配置した場合

載荷試験では部材 4 面に埋設型枠を配置した場合の実験は行わなかったが、実際の矩形断面柱では 4 面に埋設

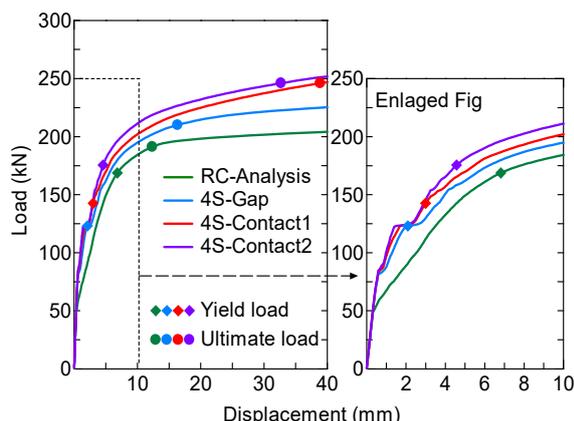


図-8 4S 供試体荷重-中央変位関係

型枠を配置する。そこで解析的に本ケースを検証するために SUS 埋設型枠を部材の 4 面に配置した 4S 供試体に対する解析を行った。埋設型枠同士の接合条件として 4S-Gap, 4S-Contact1 に加えて、解析ケースのところで述べた埋設型枠間で引張応力を伝達するケースとして 4S-Contact2 の解析を行った。なお、4 面に配置した型枠どうしの長手方向の接合は剛とした。

4S 供試体の各解析ケースで得られた荷重-中央変位関係を図-8 に示し、比較のために RC 供試体の解析結果もあわせて示す。荷重が 125kN 程度までは 4S 供試体の各解析ケースの荷重-中央変位関係はほぼ一致している。75kN 付近で傾きが減少するが、これは曲げひび割れによるものであり、RC 供試体の 50kN よりも 50%程大きい。さらに 125kN 付近で傾きに変化するが、これは下縁における埋設型枠の SUS 鉄筋が降伏したためである。4S-Gap と 4S-Contact1 を比較すると表-3 より降伏荷重は 16%、終局荷重は 17%、4S-Contact1 の方が大きく、埋設型枠間の圧縮応力伝達効果を表している。また、4S-Contact1 と 4S-Contact2 を同様に比較すると、4S-Contact2 の方が 23%降伏荷重は大きい、終局荷重は同程度であり、埋設型枠間に鉄筋を配置し引張力を負担しても、終局荷重にはそれほど影響しない結果であった。これは、降伏荷重は鉄筋の降伏で決まるのに対して、終局荷重はコンクリートの圧壊で決まるため、4S-Contact2 で用いた継目部の D4-SUS 鉄筋による終局荷重への影響よりも降伏荷重への影響が大きいからである。

4. まとめ

SUS 埋設型枠を有する柱を想定した RC 供試体に対して 3 次元非線形 FEM 解析を行い、本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) 載荷時に圧縮面に位置する SUS 埋設型枠では、埋設型枠間の圧縮応力を伝達することによって、通常の

RC と比べて降伏および終局荷重が大きくなる。

- (2) 部材の引張側に配置する埋設型枠中の SUS 鉄筋は部材に生じる曲げ引張力を一部受け持つことによって、主鉄筋の応力のある程度低減させ、その結果、通常の RC と比べて曲げ耐力向上につながる。
- (3) SUS 埋設型枠を RC 部材に用いることによって、ひび割れが発生するまで SUS 鉄筋は引張力を負担し、通常の RC 部材に比べて、ひび割れ発生荷重を大きくすることができる。
- (4) 埋設型枠間で引張応力を伝達させる場合は、伝達させない場合と比べて、継目部に加えた鉄筋の影響が終局荷重に対するよりも降伏荷重への影響が大きいため、降伏荷重は大きくなるが、終局荷重は同程度であった。

謝辞

本研究に関しては中島章典教授（宇都宮大学）には様々なアドバイスをいただいた。ここに記して謝意を表します。

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) 牧隆輝, 田中敏嗣, 阿部忠, 木田哲量: RPC 製埋設型枠を用いた RC はりの載荷試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.289-294, 2005.6.
- 3) 河野一徳, 篠田佳男, 安同祥, 清宮理: ステンレス鉄筋を補強材とした PCa 埋設型枠の開発, 土木学会第 66 回年次学術講演会, V-458, pp.915-916, 2011.9.
- 4) 立石和也, 篠田佳男, 大嶋義隆, 二羽淳一郎: ステンレス鉄筋使用パネルと PC ストランド併用による RC 柱のじん性補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.1381-1386, 2015.7.
- 5) 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.
- 6) Nolinear Analysis User's Manual (10.2), TNO Building and Construction Research.
- 7) 土木学会: コンクリート標準示方書【設計編】, 2018.3.
- 8) 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 回年次学術講演会, V-651, pp.1301-1302, 2010.9.