

論文 鋼-コンクリート複合構造接合部の耐荷機構に関する研究

杉山孝雄*1・Mochammad AFIFUDDIN*2・町田篤彦*3・佐藤徹*4

要旨：鋼桁の、スチフナー等で囲まれる空間にRC柱から延長した主鉄筋を貫通させ、コンクリートを充填することでRC橋脚と鋼桁とを一体化させた複合構造接合部の力学的性状、耐荷性能等を明らかとすることを目的として、2体の実験供試体への載荷試験を行なった。その結果、主鉄筋あるいはRC柱の支圧作用によって接合部内に伝えられた荷重が接合部内コンクリート、鋼桁に伝達されるメカニズムが明らかにされるとともに、スチフナーに設けたスタッドが鋼桁との荷重伝達に及ぼす影響が解明され、この種の構造における接合部設計法を確立する上での基礎資料を得た。

キーワード：スタッド、スチフナー、接合部、複合構造、耐荷機構

1. はじめに

鋼桁を、支承を介することなくRC橋脚に剛結すれば、ラーメン構造としての挙動を示すことから鋼桁の断面力低減が期待できるとともに、メンテナンスフリーになるという利点が生じる。また上部工の軽量化に伴って耐震性に優れた構造が期待できる。しかしこの種の接合構造に関して既に実用化された例が報告されてはいるものの、荷重伝達機構の解明、耐荷性能などは十分に明らかにされていないのが現状である。そこで、この種の構造で最も簡易な接合構造を有する供試体を製作して静的載荷試験を行い、RC柱から鋼桁への荷重の伝達メカニズム、接合部内部材の挙動等について解明するとともに、合理的な接合部設計を行う上での基礎資料を得ることを試みた。

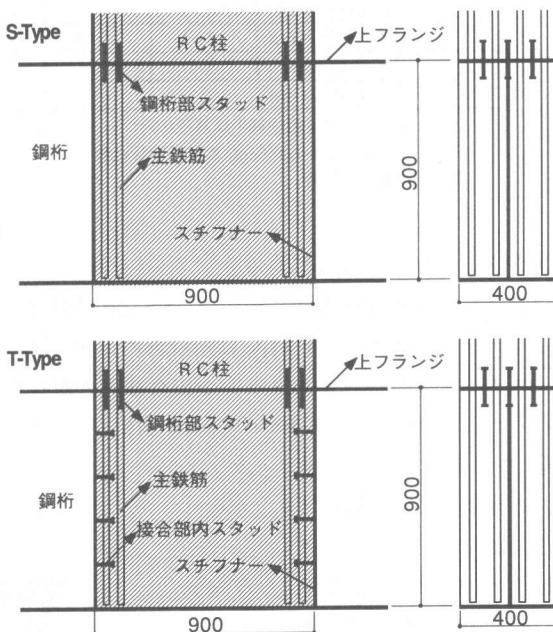


図-1 接合部詳細図 (単位: mm)

2. 実験概要

実験のために作成した供試体は、鋼桁にスチフナーを設置するとともにRC柱より延長した主鉄筋を鋼桁下フランジにあけた孔を貫通させ、鋼桁の上下フランジ、ウェブ、およびスチフナーと呼ばれるふさぎ板で囲まれる空間に充填したコンクリートに定着させることで鋼桁とRC柱と

*1 埼玉大学大学院 (現、日本道路公団)、工修 (正会員)

*2 埼玉大学大学院 理工学研究科生産科学専攻、工修 (正会員)

*3 埼玉大学教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)

*4 (株)宮地鐵工所 技術開発部技術開発課

を一体化させた混合形式の複合構造を、接合部を中心としてT字形に取り出したものである。RC柱から鋼桁への荷重の伝達は基本的に曲げモーメント（軸方向力の偶力）とせん断に分類できるが、本実験供試体は主鉄筋とRC柱からの直接的な支圧によって曲げモーメントを伝え、接合部とRC柱の間の鋼桁フランジに設けたスタッドと、主鉄筋およびコンクリートの摩擦効果によってせ

表-1 材料特性

鉄筋	降伏強度 (Kgf/cm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性係数 ($\times 10^6$ Kgf/cm ²)
SD845 D13	3786	2320	1.63
SD845 D25	3973	2171	1.83
鋼桁	降伏強度 (Kgf/cm ²)	引張強度 (Kgf/cm ²)	伸び (%)
フランジ部	3021	4587	29
ウェブ部	3072	4689	30
スタッド	降伏強度 (Kgf/cm ²)	降伏ひずみ (μ)	引張強度 (Kgf/cm ²)
軸径13mm ×長さ80mm	4520	2300	5318
コンクリート強度	打設 1回目 (Kgf/cm ²)	打設 2回目 (Kgf/cm ²)	打設 3回目 (Kgf/cm ²)
S-Type	337.4	313.9	261.0
T-Type	328.9	341.2	338.8

表-2 荷重試験結果

		P_{sy1}	P_{sy2}	P_y	P_{max}	P_{cal}	P_{sy1}/P_{cal}
S-Type	荷重荷重(tf)	76.0	84.0	88.0	93.3	83.5	0.910
	水平変位(mm)	13.7	15.9	17.4	25.2	—	—
T-Type	荷重荷重(tf)	75.0	86.2	88.8	90.7	83.5	0.898
	水平変位(mm)	13.9	16.9	18.7	22.7	—	—

P_{sy1} : 上フランジ位置内側主鉄筋降伏時

P_{max} : 最大荷重載荷時

P_{sy2} : 上フランジから190mm位置主鉄筋降伏時

P_{cal} : 弾性計算による主鉄筋降伏荷重

P_y : 供試体降伏時

ん断を伝える構造となっている。

供試体接合部の詳細を図-1 に示す。S-Type は接合部内コンクリートと鋼桁との間に特別な補強をしないタイプであり、T-Type は接合部内スチフナーにスタッドを設けたタイプである。T-Type は、スチフナーに設けたスタッドが接合部内の耐荷性能に及ぼす影響を解明することを目的としている。RC柱は断面が400×900mm 鋼桁から載荷点までの高さが1400mmであり、D25 主鉄筋8本を中心間隔60mmで2列に、それぞれ圧縮、引張となる側に配置した。引張鉄筋比は1.2%である。帯鉄筋はD13を100mm間隔で配置したが、載荷点と接合部近傍は特に50mm間隔で配置した。鋼桁は、上下フランジ（寸法：200×3500mm）、ウェブ（寸法：900×3500mm）で構成されるI型断面を基本としており、フランジの接合部とRC柱との間に位置する部分は、RC

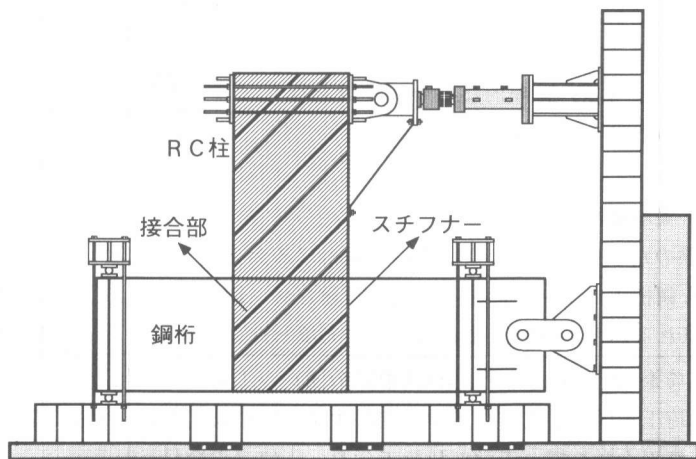


図-2 荷重装置図

柱の寸法に合わせて幅を 400mm に拡げてある。鋼部材の板厚は全て 9mm である。またスタッドとして軸径 13mm、長さ 80mm の頭付きスタッドを使用した。表-1 に各部材の材料特性を示す。

コンクリートには呼び強度 306kgf/cm²、スランプ 12cm、粗骨材の最大寸法 20mm の生コンを用い、接合部は普通コンクリートとしたが、RC 柱部には供試体の重量を抑える目的で軽量コンクリートを使用した。供試

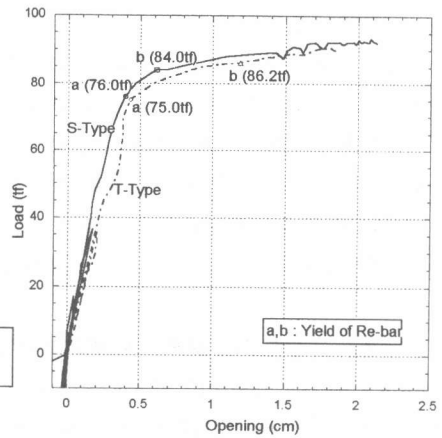
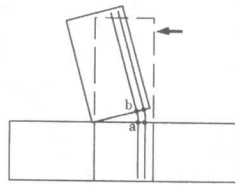


図-3 荷重-接合面開口量関係と主鉄筋降伏荷重

体は横にねかせ、3回に分けて打設をおこなった。1回目に片側接合部を打設し、2日後に供試体を反転、さらに2日後に第2回目として逆側接合部と、第3回目のRC柱部を打設する方法を採用した。

供試体は通常の構造とは上下逆に逆T字形に設置し、RC柱頭部に載荷をするとともに各部に設置したひずみゲージ、変位計のデータを計測した。本稿ではこのような設置の状態を基準として供試体の位置を説明することとする。載荷はアクチュエーターのヘッドが伸びる方向を正載荷、縮む方向を負載荷とし、ひびれ発生荷重の半分、ひび割れ発生荷重、主鉄筋許容応力、主鉄筋降伏応力までそれぞれ負方向、正方向交互に載荷した。載荷装置を図-2に示す。

3. 実験結果

3.1 耐力および破壊性状

表-2に載荷試験の結果を示す。両供試体とも 10.0tf 前後から RC 柱の接合部付近より発生する水平方向ひび割れは、載荷の進行につれて長さ、発生場所がともに拡がっていくものの、後述のように主鉄筋を介して接合部内に応力が伝達されるとともに、フランジに設けたスタッドと主鉄筋がせん断に対して抵抗することから、この位置で致命的な破壊がおこることはなかった。図-3に載荷によって RC 柱と鋼桁間の引張側で発生する口開き量を、鋼桁上

外側主鉄筋 付着応力分布 (T-Type)

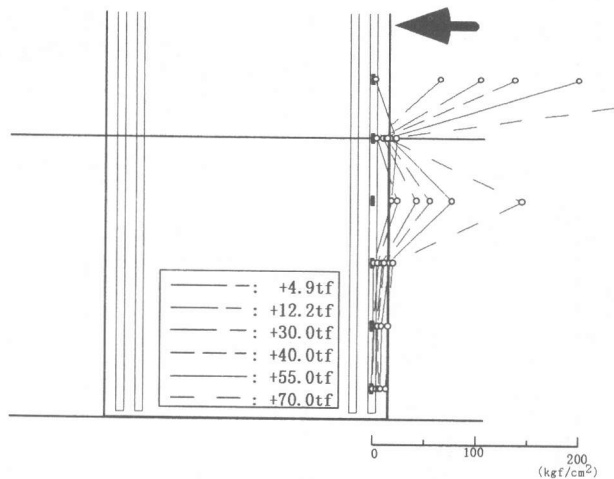


図-4 主鉄筋の付着応力分布の一例

フランジ位置 (図の左に示す付図での a 点)、鋼桁上フランジから 190mm 位置 (同、b 点) 主鉄筋の降伏荷重と併せて示すが、a 点が降伏に至るまで供試体の剛性は保たれている。接合部でも RC 橋脚が耐荷力を失うまで大きな損傷を生じることはなかった。S-Type では 84.0tf、T-Type では 86.2tf で b 点の主鉄筋が降伏したのち耐力の増加は見られなくなったが、それ以降もすぐに

耐力が低下することはなく、その後接合部内の主鉄筋の定着破壊により主鉄筋の抜け出しが発生し、接合部内コンクリートに斜めひび割れが現れたあと供試体の耐力は低下した。以上の結果から接合部内主鉄筋の定着が確保できる範囲では供試体の剛性は保たれることが示され、本供試体の接合形式の妥当性を確認した。

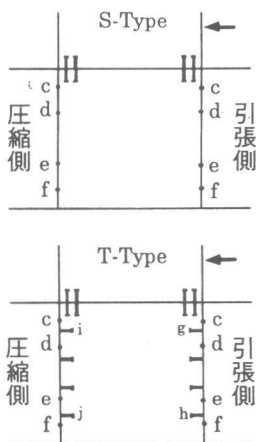
3.2 RC柱から鋼桁への荷重の伝達

図-4 に鳥らの方法^[1]を用いてひずみ分布曲線の傾きから求めた主鉄筋の付着応力分布を示す。接合部内上方では大きな付着が発生し、下にいくにつれて減少している。引張力はこの付着応力によって接合部内コンクリートへ

伝えられると考えられ、特に接合部内上方で顕著に引張荷重が伝達されていることがうかがえる。

図-5 に示すのは、接合部内に位置する主鉄筋の付着応力度を積分し、定着長で割ることで求めた平均付着応力度と荷重

との関係である。図中にはコンクリート標準示方書で主鉄筋の定着長を求める際に用いる設計付着強度と、主鉄筋の鋼桁上フランジ位置での降伏荷重とを記した。



主鉄筋に付着劣化が生じることなく、安定して引

張力が接合部に伝達されるためには、実験値が主鉄筋の降伏荷重と設計付着強度との交点と原

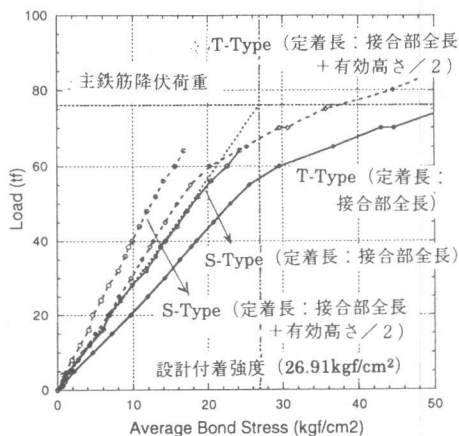


図-5 主鉄筋の定着長を変化させた場合の平均付着応力の変化

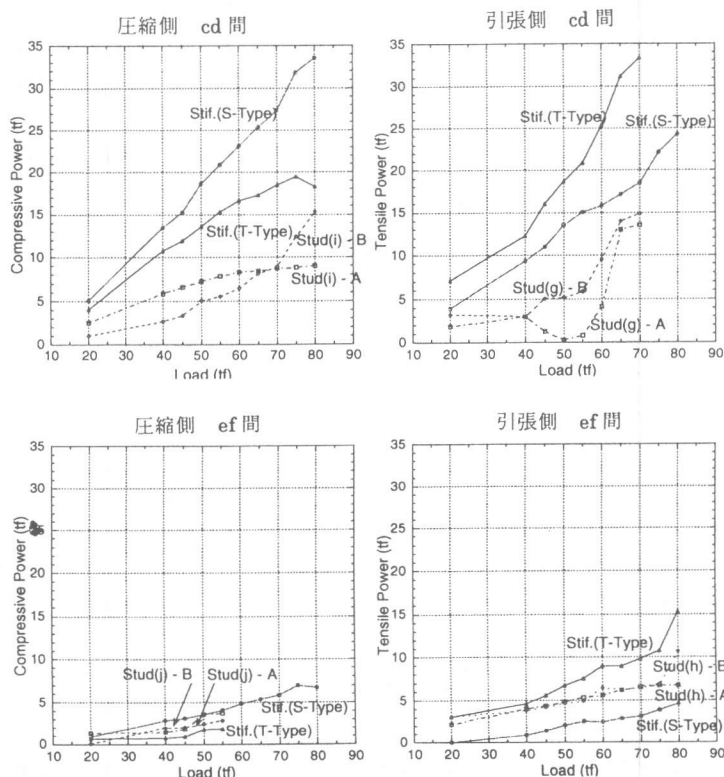


図-6 スチフナー、スタッドの荷重分布曲線

点とを結んだ直線よりも上の安全側に位置する必要がある。主鉄筋の定着長を接合部内の全長を有効として計算した場合を実線で示すが、S-Type ではほぼ直線上に位置しているのに対して、T-Type では接合部内コンクリートが拘束されることで主鉄筋の付着応力は大きくなったために危険側に位置しており、荷が進むと定着破壊が発生する恐れのあることが示されている。実際に、T-Type では接合部内コンクリートに荷の最終段階近くで縦ひび割れが発生した。接合部に応力が伝達されても主鉄筋の定着が不十分であると耐荷性能を発揮することができない。そこで主鉄筋の定着長を有効高さの半分だけ増加させた場合の平均付着応力を求め、点線分布で示した。すると T-Type でも 60.0tf 近くまでは安全側に位置する分布に変化することから、主鉄筋の定着長はコンクリート標準示方書の算定値よりも有効高さの半分以上は大きくとる必要があると考えられる。

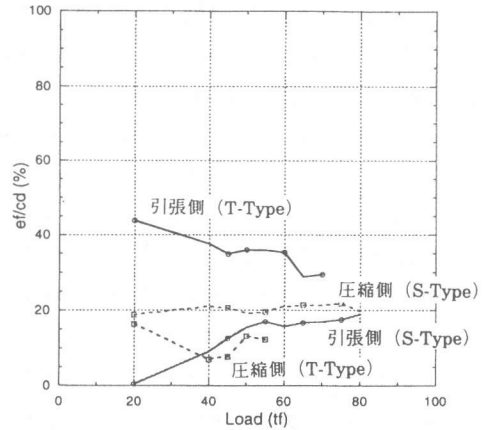


図-7 スチフナーが受ける力の上側に対する下側の比

3.3 スタッドが鋼桁の受ける力に及ぼす影響

スチフナーの受けているひずみ分布を供試体間で比較すると、圧縮側では S-Type が大きく、引張側では逆に T-Type の方が大きな値を示していた。両者の相違はスチフナーに設置したスタッドの有無であるため、このスタッドがスチフナーの受ける力に及ぼす影響を検討した。図-6に示すのは、正荷重時にスチフナーの上側（図の左に示す付図の cd 間）、下側（同、ef 間）が受ける力と、T-Type のみ設置したその近傍のスタッドが受ける力とを引張側、圧縮側それぞれについて求めたものである。スチフナー

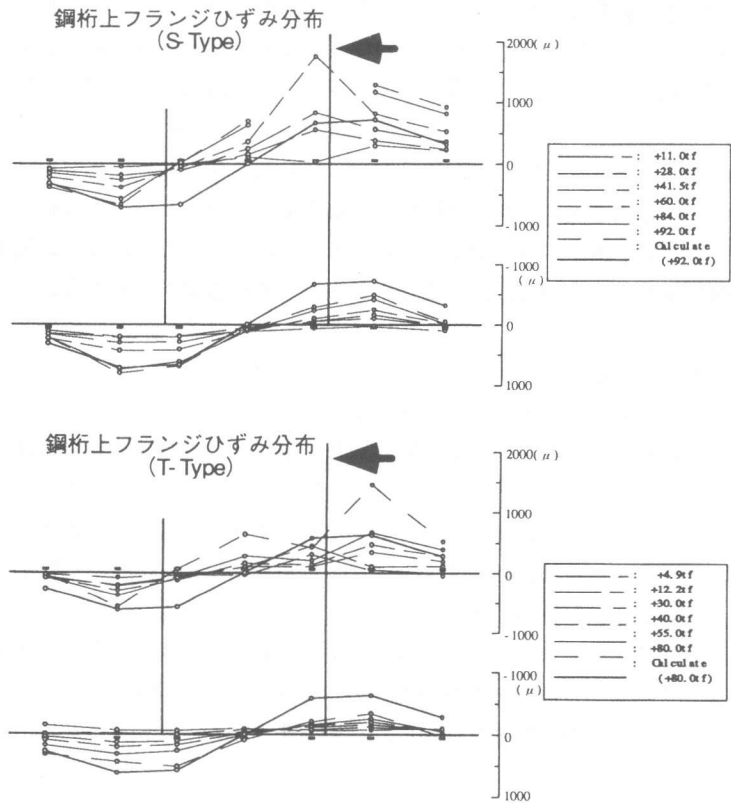


図-8 鋼桁上フランジのひずみ分布

の受ける力は、c、d 点（あるいは e、f 点）の平均ひずみから求めている。またスタッドの受け

る力は、**T-Type**における **cd** 間 (**ef** 間) のひずみ差に弾性係数、スタッドの断面積をかけたものとする方法 (図中で **A** と示す) と、**cd** 間 (**ef** 間) の平均ひずみの供試体間の差に弾性係数等をかけたものとする方法 (同、**B** と示す) の2つの方法から求めた。図に示されるように両結果はおおよそ一致しており、スチフナーが受ける力の差分をスタッドが受けていると考えてよいと思われる。このことから、圧縮側スチフナーにスタッドを設けるとスタッドを介して接合部内コンクリートへ圧縮力が分散されるためスチフナーの受ける圧縮力は減少し、引張側スチフナーにスタッドを設けると接合部内コンクリートの引張力がスチフナーに伝達されることからスチフナーの受ける引張力は大きな値を示すと考えられ、この位置のスタッドは接合部内コンクリートとスチフナー間の荷重伝達に影響を与えていることがわかった。

ここでスチフナーに設けたスタッドの設置位置による効果の程度を見るため、図-7に示すように、スチフナーの **cd** 間が受ける力に対する **ef** 間の比を求めた。例外的に **T-Type** の引張側で載荷の初期段階に **ef** 間が **cd** 間の **40%** を示しているものの、その他では概ね **10~20%** の値であり、下側では上側と比べてスチフナーの受ける力の割合が小さいとが示されている。このことから、スチフナーに設けるスタッドは上側に設けるものほど接合部内コンクリートとスチフナー間の応力の伝達に効果的な働きをすると考えられる。

3. 4 接合部内での荷重の釣り合い

図-8は鋼桁上フランジにおけるひずみ分布曲線を、図中の最終載荷荷重時の弾性計算による結果とともに示したものである。**T-Type** では弾性計算と実験値がおおよそ一致しているのに対して **S-Type** では接合部内引張側の値が計算値よりも2倍以上大きな値を受けており、この位置で降伏していることが示されている。前節に記したように、スチフナーにスタッドを設けることで接合部内に伝達された引張力がスチフナーに分散されるが、図-8に示されるように、スタッドを設けなかった **S-Type** では、主鉄筋から接合部内コンクリートに伝達された引張力によって鋼桁上フランジは下側から力を受けていると考えられる。このことより、鋼桁上フランジの板厚は接合部内で発生するこの力に耐えられるよう設計する必要があると考えられる。

4. まとめ

以上の実験結果から以下の結論が得られた。

1. 鋼桁上フランジ位置主鉄筋が降伏に至るまで供試体の剛性は保たれるとともに接合面も剛結と考えてよい挙動を示し、今回の接合の接合形式の妥当性が示された。
2. 主鉄筋の定着長は、平均付着応力が安全側になるよう確保する必要がある。
3. スチフナーに設けるスタッドは、圧縮側ではスチフナーの応力が接合部内コンクリートへ分散させ、引張側では接合部内コンクリートの応力がスチフナーに伝える働きを持つ。
4. スチフナーにスタッドを設けないと、鋼桁上フランジに応力が集中する恐れがある。
5. スチフナーは上側の方が大きいひずみを受けており、スチフナーに設けるスタッドは上のものほど応力の伝達に効果的な役割を果たす。

参考文献

- [1] 高弘、周礼良、岡村甫：マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力一すべり-ひずみ関係、土木学会論文集、第378号 / V-6、pp.165-174、(社)土木学会、1987.2