

配筋を合理化したSRC造ト字形柱梁接合部の実験研究

Experimental Study on SRC Exterior Beam-Column Joint with Rationalized Reinforcement

内井 栄二* 中澤 敏樹* 井上 重信*
山内 豊英* 佐藤 尚隆*²

要 旨

前報までに、「SRC構造の特性を考慮した配筋」¹⁾の具体案として、柱梁接合部における横補強筋を、無溶接かつ梁端鉄骨ウェブを貫通しないで割筋（以下、接合部拘束筋と称す）で構成する施工省力化工法について紹介し、その十字形柱梁接合部が十分な構造性能を持つことを報告した。²⁾これらに引き続き、今回、接合部拘束筋を用いたト字形（隅）柱梁接合部試験体の構造実験を行った。その結果、本工法を採用する場合の柱梁接合部せん断耐力はSRC規準に準じて評価できることがわかった。

キーワード：SRC構造／隅柱／ト字形柱梁接合部／接合部拘束筋／せん断耐力／梁筋定着強度／側方剥離強度

1. はじめに

筆者らの開発したSRC造柱梁接合部の配筋合理化工法は、分割された接合部拘束筋の末端に45° 折り曲げフックを設け、これらを柱鉄骨フランジ面と直交梁により形成されるコアコンクリート内に埋め込むことを特徴とし、鉄骨ウェブに貫通孔を設けず、横補強筋を溶接しないことで施工の省力化を可能とするものである。

既報²⁾にて紹介した十字形柱梁接合部の実験に関しては、梁筋通しであるため、せん断力の伝達メカニズムは比較的明快であったが、配筋合理化を施したト字形柱梁接合部に関しては、既往文献での紹介例も非常に少なく、特に隅柱を想定した実験は見られない。そこで、本工法によって配筋されたSRC造柱梁接合部のうち、せん断余裕度（梁降伏に対し）が一般的に大きくなるト字形柱梁接合部での梁筋定着とせん断抵抗機構の関係および梁拘束の無い外面での梁筋による側面剥離破壊に注目して、実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

実験の計画にあたっては、一般的な断面のSRC造ト字形柱梁接合部を想定し、破壊形式は梁降伏先行（接合部せん断余裕度を小さく設定）とした。試験体は、柱梁接合部に非閉鎖の接合部拘束筋を用いた試験体の1体である。試験体の形状は、図-1に示すように、加力方向の梁を柱に偏心させて取り付け、この柱梁接合部の非偏心側に直交梁を（外部側に偏心させて）接続したものである。直交梁による接合部のせん断耐力に及ぼす影響を小

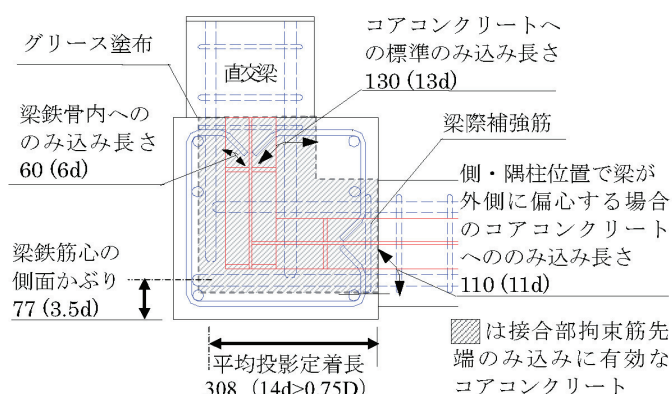


図-1 接合部断面形状および規定値寸法

表-1 試験体諸元

柱 400 × 400	鉄骨	RH200×100×5.5×8+CT150×100×5.5×8
	主筋	6-D22
	帯筋	D10□@100
梁 250 × 400	鉄骨	RH200×100×5.5×8
	主筋	2/2-D22（上下共）
	肋筋	D10□@100
接合部拘束筋		D10G+L@120（2段）：P _{jw} =0.12%

さくするために、直交梁と柱面の界面にグリースを塗布したポリフィルムを挟み込むことで縁切りを行うとともに、直交梁には鉄骨を内蔵させないこととした。また、接合部拘束筋ののみ込み長さは、過去の実験により規定したコンクリートの調合強度（28N/mm²）に対する最小値（図示）を確保した。梁の第1スターラップは接合部拘束筋に接して配し、柱梁接合部のコア部分を補強する梁際補強筋とした。なお、加力梁の梁筋投影定着長は「SRC造配筋指針」¹⁾に拠り柱せいの3／4倍以上とした。

試験体諸元一覧を表-1に、材料試験結果を表-2に、

*構造研究グループ

*²技術本部建築技術部

試験体形状および配筋の概要を図-2に示す。また、終局耐力計算値を表-3に示す。側面剥離破壊の計算値は、接合部拘束筋による耐力の上昇を見込み、「靱性保証指針」³⁾式にて求め、せん断耐力計算値は、接合部拘束筋は考慮せず、加力方向に平行な柱フランジの寄与（全塑性モーメント）を考慮し、「SRC規準」により求めた。

2.2 加力概要

試験体は上下柱の反曲点に相当する位置をピン支持し、

表-2 材料試験結果

(a) コンクリートの材料試験結果

最大粗骨材	σ_B (N/mm ²)	σ_B 時歪度 ($\times 10^3$)	$E_c \times 10^4$ (N/mm ²)	σ_{ct} (N/mm ²)
15mm	28.1	2.05	2.24	2.76

(b) 鋼材の材料試験結果

種類	使用部位	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏歪み度 ($\times 10^3 \mu$)	ヤング係数 ($\times 10^5$ N/mm ²)
PL-8	フランジ	293	1.54	1.90
PL-5.5	ウェブ・PZ	323	1.68	1.92
D22	柱・梁	394	2.21	1.77
D10	柱・梁・PZ	369	1.96	1.89

表-3 終局耐力計算値

梁曲 耐力	柱梁接合部せん断耐力					側面剥離耐力		
	パネルモーメント成分				(梁)	余裕度	(梁)	余裕度
gQmu	cjMu	hjMu	sjMu	jMu	$\frac{gQju}{gQmu}$	gQau	$\frac{gQau}{gQmu}$	
173	164	0	41	205	232	1.34	193	1.11

gQmu：梁終局曲げ耐力時の梁せん断力（SRC規準）
gQau：定着梁筋の側面剥離破壊計算値での梁せん断力（接合部拘束筋の拘束を考慮し、靱性保証指針にて算出）
gQju：接合部終局せん断耐力時の梁せん断力（SRC規準）
 $gQju = gMju / l_o$ 、 $gMju = (jMu) \cdot (h / h_o)$ 、 l_o ：梁の内法スパン
h：階高、 h_o ：柱の内法高さ、 $jMu = cjMu + hjMu + sjMu$
cjMu, hjMu, sjMu：コンクリート、帯筋、鉄骨負担分
hjMuには接合部拘束筋のせん断抵抗を考慮しない。
sjMuには加力方向に平行な柱フランジのせん断抵抗（全塑性モーメント $2 \cdot fMp \times 2$ 枚）を加算した。

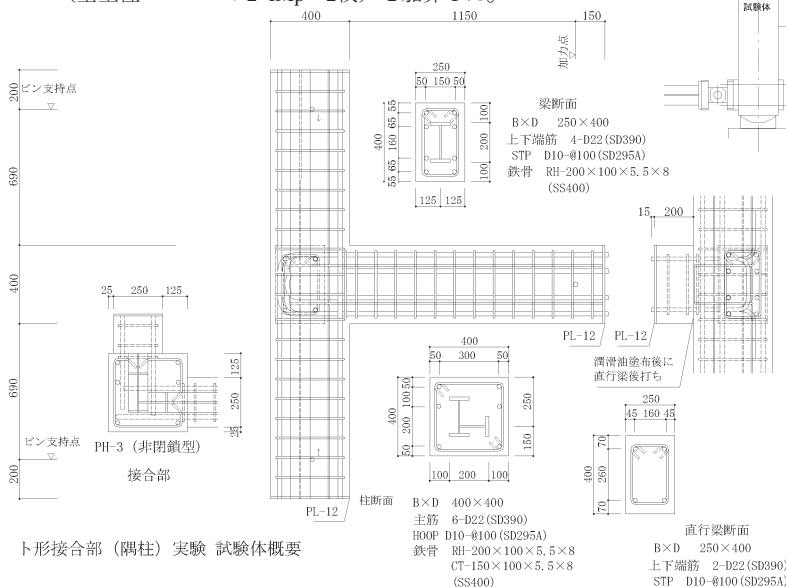


図-2 試験体概要

柱頭に $0.1bD\sigma_B$ （450kN）の一定軸力を加えた状態で、梁反曲点位置に取り付けた押し引きジャッキを用いて加力した。変形制御は梁側の押し引きジャッキの鉛直変位から求める層間変形角Rに基づいて行った。層間変形角は、柱頭および柱脚のピン支持中心点を結んだ線に対する梁加力点の傾きと定義した。載荷パスは図-3に示すように、所定の変形を正負各2～3回ずつ繰返すこととした。柱と梁の部材角、その他の回転や変形量は変位計にて、鉄骨および鉄筋は歪ゲージを貼り付けて計測した。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

写真-1に破壊性状を、図-4に梁せん断力 Qg —層間変形角R 関係を、表-4に実験結果一覧を示す。試験体は、①梁曲げひび割れ後にせん断ひび割れ→②接合部のせん断ひび割れ→③梁フランジ、梁主筋降伏→④ウェブパネルのせん断降伏→⑤一部接合部拘束筋の引張降伏の現象が順次発生し、側面剥離破壊計算値を大きく超えて、 $R = 20 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時には、ほぼ終局せん断耐力計算値であるピーク（231kN）に達した。それ以降、⑥梁主筋の接合部内折曲げ起点位置での引張降伏→⑦直交梁なし側の柱直交フランジせん断降伏が生じ、耐力低下を伴いながら直行梁なし側の接合部正面のひび割れが進展した。 $R = 30 \times 10^{-3} \text{rad}$ にてかぶりコンクリートの部分的圧壊、 $R = 40 \times 10^{-3} \text{rad}$ での耐力は $0.8gQ_{max}$ 程度となり、接合部

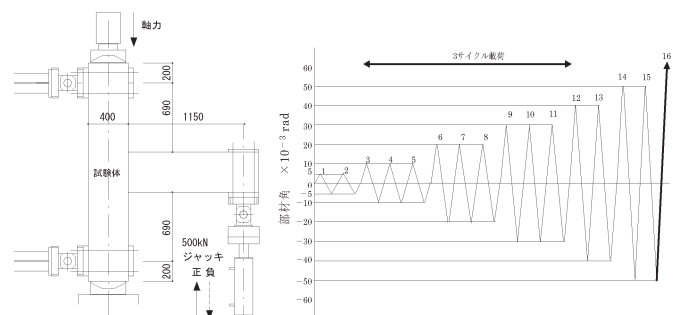
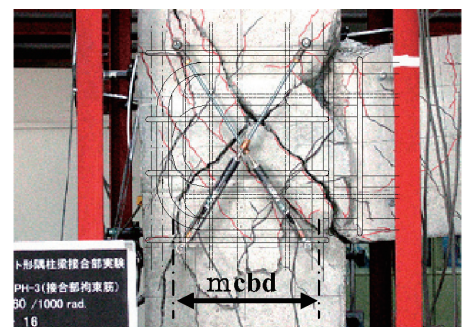


図-3 載荷パス



【 $R = 60 \times 10^{-3} \text{rad}$ 】

写真-1 試験体破壊状況（最終）

正面の孕み出しも増大して、梁主筋の側面剥離の兆候が見られた。なお、接合部の主だったせん断ひび割れは、梁通し配筋となる十字形柱梁接合部試験体と異なり、写真－１に示すような梁端部と梁主筋折曲げ定着部の範囲に集中しており、ト字形柱梁接合部でのコンクリートパネル体積は、折曲げ梁筋の定着投影範囲が有効と判断される。この折曲げ梁筋定着と加力梁側柱主筋の距離 m_{cbd} （写真記載）を採用し、接合部終局せん断耐力 gQ_{ju} を補正した場合、13kN減となり219kNとなる。

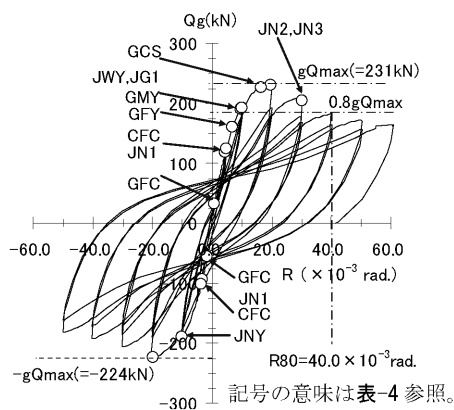
試験体の最終破壊モードは、梁主筋の側面剥離破壊と、これに伴う接合部梁偏心側の部分的なせん断破壊の複合であったと判断される。

3.2 接合部ウェブパネル、柱フランジのせん断歪み

接合部鉄骨ウェブパネルおよび加力方向に平行な柱梁接合部内柱フランジのせん断歪みの推移を、図－５に示す。ウェブパネルは短期許容せん断力（ $Q_g=180\text{kN}$ ）を超える $R=10\times 10^{-3}\text{rad}$ でせん断降伏歪に達し、柱フランジは最大耐力以降の $R=30\times 10^{-3}\text{rad}$ でせん断降伏歪に達した。以降、両者のせん断歪はほぼ同様に推移し、柱フランジは柱梁接合部のせん断抵抗に寄与したと判断できる。

3.3 柱、梁および柱梁接合部の変形成分比

柱梁接合部の変形成分比の推移を図－６に示す。層間変形角 R に占める変形成分比の割合は、最大耐力に達す



図－４ $Q_g - R$ 関係

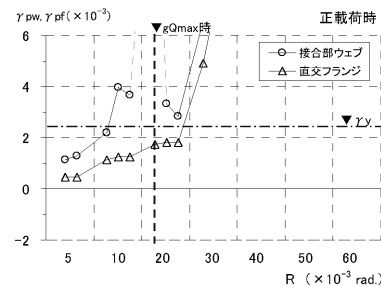
表－４ 実験結果一覧（単位： $\times 10^{-3}\text{rad}$ ）

観 察 事 象	$R \times 10^{-3}\text{rad}$
梁曲げひび割れ（GFC）	0.7
接合部正面せん断ひび割れ（JN1）	4.4
梁フランジ引張降伏（GFY）	7.0
梁主筋引張降伏（GMY）	9.5
接合部直交梁あり側せん断ひび割れ（JG1）	10.0
ウェブパネルせん断降伏（JWY）	10.0
接合部正面の拘束筋降伏（JNY）	-10.0
梁主筋接合部内定着折曲げ部起点部降伏	-20.4
接合部内柱直交フランジせん断降伏	28.7
接合部正面かぶりコンクリート圧壊（JN2）	30.0

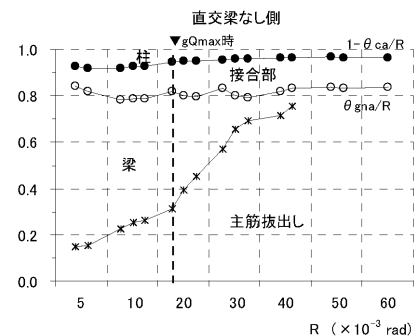
るまでは梁の変形が大部分であったが、 $R=20\times 10^{-3}\text{rad}$ の履歴荷重サイクルより梁端目開き（主筋拔出し）分が増大したことがわかる。

3.4 梁端目開き量

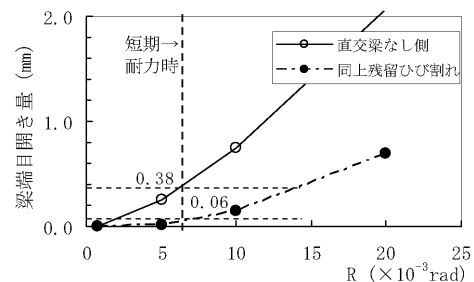
層間変形角 R と梁端目開き（主筋拔出し）量の関係を図－７に、「SRC規準」による梁の許容曲げ耐力時の目開きを、直線補完により求めた結果を表－５に示す。長期曲げ耐力時の梁端目開き量は0.10mm、残留0.00mm、短期曲げ耐力時の梁端目開き量は0.38mm、残留0.06mmとなり、使用限界状態での目標値（1／2 模型試験体で



図－５ ウェブおよび柱フランジのせん断歪度の推移



図－６ 層間変形角の成分割合



図－７ 梁端目開き量の推移

表－５ 梁曲げ許容耐力時における梁端目開き量

試験体の状態	Q_g (kN)	$R \times 10^{-3}$ (rad)	目開き幅 (mm)
梁曲げひび割れ発生時（実験値）	33	0.7	—
長期曲げ耐力時	84	2.8	0.10 (0.00)
短期曲げ耐力時	156	6.5	0.38 (0.06)
$R=5\times 10^{-3}$ (rad) 所定変形角時	128	5.0	0.25
$R=10\times 10^{-3}$ (rad) 所定変形角時	193	10.0	0.75

（ ）内の数値は残留目開き量を表す

曲げによる梁の残留ひび割れ幅0.1mm)を満足した。また、折り曲げ梁筋は梁鉄骨フランジおよび主筋が降伏する直前まで、接合部内に良好に定着されていた。

3.5 接合部拘束筋の歪み

正加力時における所定変形角ごとの接合部拘束筋の歪みを図-8に示す。直交梁のない試験体正面の接合部拘束筋(PH4,7)は、せん断面においては閉鎖された状態であり、前シリーズの試験体同様に、ウェブ降伏($R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$)から最大耐力時($R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$)にかけて引張降伏歪に達した。これ以降、梁筋折曲げ定着部付近の引張降伏歪→柱フランジのせん断降伏($R=30 \times 10^{-3} \text{rad}$)に伴い、接合部拘束筋の引張歪みも増大し続けた。これらのことから、隅柱外面に配置された接合部拘束筋は、梁筋折曲げ部を拘束することで側面剥離に対する支圧効果を高め、せん断抵抗にも幾分か寄与したと考えられる。

加力梁の材端部に取り付いた試験体側面の接合部拘束筋(PH1,5)は最大耐力まで引張歪が増大し、PH1はほぼ引張降伏歪に達していたが、接合部～梁端部のコンクリート損傷が進展したため、以降の引張歪の増大はみられなかった。また、直交梁側の接合部拘束筋(PH2,6,3)は試験終了段階まで引張歪(拘束効果)が増大し続け、降伏歪の $1/2 \sim 2/3$ 程度に達しており、全ての接合部拘束筋は最大耐力後も接合部コンクリートを有効に拘束したと考えられる。

4. まとめ

本実験により、以下の知見が得られた。

- (1) 本工法によって配筋されたSRC造ト字形柱梁接合部

(側柱、隅柱位置)のせん断耐力は「SRC規準」に準じる評価式によって評価できる。

- (2) 本工法によって配筋されるSRC造ト字形柱梁接合部に、梁鉄骨を跨がない梁筋の側面剥離定着耐力は、「靱性保証指針」³⁾式によって評価できる。また、「SRC造配筋指針」¹⁾に拠り梁筋の投影定着長さを柱せいりの $3/4$ 倍以上確保することで接合部拘束筋による側面剥離定着耐力の上昇が図れる。

- (3) 柱梁接合部のせん断耐力に関して、①取付き状態(鉄骨形状や偏心)を考慮した柱フランジのせん断抵抗、②せん断力伝達の圧縮ストラット形成範囲(例えば、本実験でのコンクリートパネルは、両柱主筋間ではなく、梁の定着鉄筋折り曲げ部と対面の柱主筋中心間距離で形成される)、③閉鎖状態となる面での接合部拘束筋のせん断強度への寄与などを考慮することでより合理的な評価が可能となる。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説，2005
- 2) 内井他：配筋を合理化したSRC柱梁接合部の実験的研究，浅沼組技術研究所報No.17，pp.9～14，2005
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999

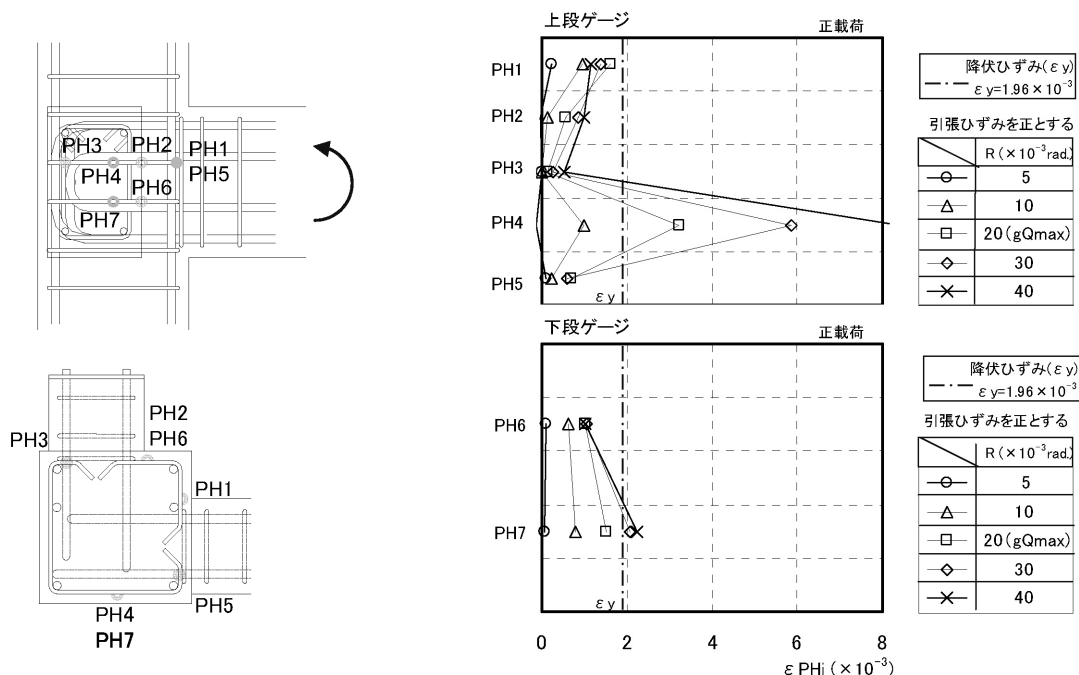


図-8 層間変形角－接合部横補強筋または接合部拘束筋の歪み関係