# (50) 柱RC・梁Sとする梁貫通形式L字形およびT字形 柱梁接合部の破壊性状

岡本 宗一郎<sup>1</sup>· 堀江 耕平<sup>2</sup>· 西村 泰志<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 大阪工業大学大学院 博士前期課程 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5丁目16-1) E-mail:souichirou\_com@yahoo.co.jp

 <sup>2</sup>正会員 和田建築技術研究所(〒655-0016大阪市北区菅原町9-16天神橋R&Tビル) E-mail:tojitozi@yahoo.co.jp
 <sup>3</sup>正会員 大阪工業大学 教授・工博(〒535-8585大阪市旭区大宮5丁目16-1) E-mail: nishimura@archi.oit.ac.jp

既往の十字形柱梁接合部の研究により、S部材からRC部材への応力伝達は鉄骨フランジ上下面に形成される水平圧縮束に生じる圧縮力と内部パネルと外部パネルとの間のねじりモーメントの2つが存在することが明らかにされているが、T字形およびL字形柱梁接合部では、その片方にS部材あるいはRC部材がないため、鉄骨フランジ上面での応力伝達は期待することができないなどの問題がある。このような観点から、本研究は梁貫通形式T字形およびL字形柱梁接合部の応力伝達機構および抵抗機構を実験的に検討している。また、S部材からRC部材への応力伝達ならびに抵抗機構に基づく耐力評価式を提案し、計算値によって実験値をほぼ評価できることを示している。

*Key Words*: Steel beam – Reinforced concrete column joint, Through beam type, Evaluation method of strength, L-shaped beam-column joints, T-shaped beam-column joints

## 1. 序

柱RC,梁Sとする梁貫通形式柱梁接合部において,既 往の著者らの十字形柱梁接合部の研究<sup>1)</sup>により,S部材 からRC部材への応力伝達機構および抵抗機構に基づく 耐力評価法が提案されている。この耐力評価法では,柱 梁接合部は,図1に示すように,鉄骨フランジ幅内の内 部パネルと外側の外部パネルによって構成されるものと 考え,柱梁接合部の終局耐力は内部パネルと外部パネル のそれぞれの終局耐力を累加することで評価できるもの としている。なお,内部パネルから外部パネルへの応力 伝達は,鉄骨フランジ上下面に形成される水平圧縮束に 作用する圧縮力Cによってなされるものと,内部パネル と外部パネルとの間のねじりモーメントM<sub>T</sub>によってな されるものの2つが存在することが明らかにされている。

しかしながら、L字形および T字形柱梁接合部に関しては、耐力評価法が構築されるまでには至っていない。

本研究はL字形およびT字形柱梁接合部の破壊性状を 実験的に検討し、十字形柱梁接合部の考えを応用するこ とにより、L字形およびT字形の耐力評価法を提案する ことを目的とする。 図2に試験体の形状寸法および配筋詳細を示す。試験体は、柱梁が所定の寸法となるようにしたT字形および L字形部分骨組である。いずれの試験体とも、形状寸法、 RC柱の配筋およびS梁のディティールは同じである。



図1 内部パネルから外部パネルへの応力伝達

2. 実験計画



図2 試験体の形状寸法,配筋詳細

各試験体,柱断面は300×300mm,主筋はD16を隅角部 に3本ずつ,計12本配筋した。せん断補強筋はD6を使用 し,80mm間隔(pw=0.26%)でそれぞれ配筋した。主筋の 定着は,厚さ12mmのL字形の定着板に溶接することに よって行った。なお,柱頭部にはD6の柱頭補強筋が配 置されている。S梁主材の公称寸法はBH - 250×100×9×16 である。鉄骨ウェブパネル厚は16mmとした。支圧板厚 は12mmである。

試験体は図3に示すように,内部パネルと外部パネル との間に3mmのスリットを設けることにより,ねじり モーメントを除去し支圧力による応力伝達の影響を調べ るTB,LB試験体,鉄骨フランジ上下面に25mmのスリ ットを設けることにより,支圧力の影響を除去しねじり モーメントによる応力伝達の影響を調べるTMT,LMT 試験体,支圧力およびねじりモーメントによる応力伝達 の影響を調べるTN,LN試験体の計6体が計画された。 表1に試験体一覧を示す。

実験は T字形部分骨組では梁両端を単純支持し,図2 の矢印によって示すように,柱端に正負漸増繰り返し載 荷を行った。また,L字形部分骨組では柱端をピン支持







し,梁端からピン支点方向に正負漸増繰り返し載荷を行った。

表2に使用材料の力学的特性を示す。

3. 破壊性状

図4に最終破壊状況を示す。T字形およびL字形による ひび割れ性状の大きな相異は見られなかった。

ねじりモーメントによる応力伝達の影響を調べる TMT,LMT試験体では,接合部正面にせん断ひび割れ, 柱側面に曲げひび割れが発生し,図5(a)に示すように, 最大耐力発揮後内部パネルと外部パネルとの境界面にね

じりによって分断される状況が観察された。

支圧力による応力伝達の影響を調べるTB,LB試験体では,接合部正面および柱面にはひび割れは観察されず, 図5(b)に示すように,フランジ上面のコンクリートが パンチングシヤによって破壊された。

支圧力およびねじりモーメントによる応力伝達の影響 を調べるTN,LN試験体では,TMT,LMT試験体および TB,LB試験体それぞれの破壊状況を重ね合わせたもの に近い状況になっている。

すなわち,ねじりモーメントによる応力伝達の影響を 調べるTMT,LMT試験体では,接合部正面にせん断ひ び割れが発生し,コンクリート圧縮束が形成されたと考 えられるひび割れ状況が観察されたことから,内部パネ

試験体名		RC柱			S梁		接合部		
		h (mm)	断面	피장	l (mm)	断面	せん断補強筋	ウェブ厚	支圧板
			$B_c \times D_c (\mathrm{mm})$	自己月刀				$t_p$ (mm)	厚 $t_b$ (mm)
T字形	TN	1125 300	300 × 300	主筋 12-D16 せん断補強筋 D6@80 (pw=0.26) 1125		2250			
	TMT				2250		D6@80 (p <sub>w</sub> =0.26) 16		12
	TB					II 250, 100, 0, 10			
L 字形	LN					н - 230×100×9×10		12	
	LMT								
	LB								

表1 試験体一覧

	使田林料		降伏応力度	引張強度	ヤング係数	備考 <sup>)</sup>	
	使用材料		$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	ウェブパネル	t=16mm	265	434	2.03×10 <sup>5</sup>		
	フランジ	t=16mm	265	434	2.03×10 <sup>5</sup>	1	
	支圧板	t=12mm	298	465	1.82×10 <sup>5</sup>		
鉄骨	ウェブパネル	t=16mm	272	419	1.97×10 <sup>5</sup>		
(SS400)	フランジ	t=16mm	272	419	1.97×10 <sup>5</sup>	2	
	支圧板	t=12mm	276	410	1.99×10 <sup>5</sup>		
	ウェブ	t=9mm	324	456	2.02×10 <sup>5</sup>	1.2	
	定着板	t=12mm	274	417	2.08×10 <sup>5</sup>	1,2	
鉄筋	主筋	D16	336	522	1.82×10 <sup>5</sup>	1.2	
(SD295) せん断補強筋 D		D6	442	513	$1.85 \times 10^{5}$	1,2	
	使田林料		圧縮強度	割裂強度	ヤング係数	備考 <sup>)</sup>	
	使用初科		$\sigma_B (\text{N/mm}^2)$	$F_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )		
コンクリート 外部			31.5	2.92	2.25×10 <sup>4</sup>	1,2	
	779-1	内部	24.9	2.61	2.20×10 <sup>4</sup>	2	
) 1:TN, TMT, LN, LMT試験体 2:TB·LB試験体							

表2 使用材料の力学的特性

ルから外部パネルへの応力伝達はねじりモーメントによってなされるものが支配的であると考えられる。

表3に代表的なひび割れ発生荷重を示す。なお,表中の番号,,,は図4に示す番号と対応している。

#### 4. 履歴性状

図6に各試験体の荷重変形関係を示す。縦軸はRC柱材 に作用するせん断力Q(kN),横軸は層間変形角R(rad.)であ



図4 最終破壊状況



(a) ねじりによる内部パネルと外部パネルとの分断

る。また,図中の 印は最大荷重を表している。各試験 体ともエネルギー消費能力の小さな逆S字形の履歴性状 を示している。

ねじりモーメントによる応力伝達の影響を調べる TMT,LMT試験体は最大耐力発揮後急激に耐力が低下 している。これは,破壊状況で示されたよう内部パネル と外部パネルとの間のコンクリートがねじり破壊したた めである。なお,最大耐力発揮後,荷重が残存している。 残存する耐力は,骨材のかみ合い作用およびせん断補強 筋が引張を受けることによって内部パネルと外部パネル との境界面に圧縮力が作用し,摩擦力が作用するためと 考えられる。

支圧力による応力伝達の影響を調べるTB試験体では, ねじりモーメントによる応力伝達の影響を調べるTMT 試験体と比較すると最大耐力発揮後の耐力の低下は若干 緩やかになる。LB試験体は,TB試験体と比較して最大 耐力発揮後の耐力低下は著しく,層間変形角0.02rad.に 達した時点でフランジ上面コンクリートのパンチングシ ヤ破壊が顕著になった。その後の載荷では,RC柱とS梁

表3 ひび割れ発生荷重

試験体名		ひび割れ①	ひび割れ②	ひび割れ③	最大荷重
		$P_{di}(kN)$	$P_p(kN)$	$P_b(kN)$	$P_{max}(kN)$
T 字 形	TN	44.6	58.9	58.9	67.1
	118	(-52.1)	(-52.1)	(-60.7)	(-63.8)
	TMT	46.5	46.5	42.6	52.8
		(-43.8)	(-45.6)	-	(-47.0)
	TB	-	19.4	16.2	22.1
		-	(-10.3)	(-10.3)	(-19.7)
	LN	50.7	72.6	76.6	76.7
	LIN	(-38.1)	(-38.1)	(-59.2)	(-59.5)
L	імт	54.3	59.9	59.4	59.9
于形	LIVII	(-47.9)	(-38.7)	(-45.6)	(-47.9)
	ID	-	21.2	24.4	25.0
	LD	-	(-11.6)	(-11.6)	(-13.0)

( ):負荷重



(b) パンチングシヤ破壊

図5 特徴的な破壊状況

がそれぞれ独立した挙動を示し,著しい耐力低下が生じたため層間変形角が0.03rad.に達した時点で載荷を中止した。

支圧力およびねじりモーメントによる応力伝達の影響 を調べる TN, LN 試験体の履歴曲線は,ねじりモーメ ントによる応力伝達の影響を調べる TMT, LMT 試験体 および支圧力による応力伝達の影響を調べるTB,LB試 験体それぞれの履歴曲線を重ね合わせたものに近似した 履歴性状を示した。

なお,T字形およびL字形による履歴性状の大きな差 異は見られないが,L字形はT字形と比べて若干脆性的 である。







図6 荷重変形関係

# 5. 応力伝達機構および抵抗機構に基づく耐力評 価法

図7に、破壊状況から考えられた内部パネルの抵抗機構および外部パネルの抵抗機構を示す。

内部パネルの耐力はパンチングシア耐力によって決定 されることから、図 7(a)に示すように、既往の研究<sup>1</sup>に 基づいて支圧力が 0.3・D<sub>c</sub>・bの領域に作用するとして、フ ランジからの支圧力が角度 γ で拡散したときの投影面積 *A*<sub>p</sub>を用いて評価する。

外部パネルの耐力は接合部に圧縮力のみに抵抗するコ ンクリート圧縮束が形成されると考えることによって評 価する。図7(b)に示すように、圧縮束に作用する圧縮 力の鉛直成分は定着板の支圧力によって、水平成分はね じりモーメントを内部パネルと外部パネルとの間で偶力 に置換した力T<sub>a</sub>によって抵抗すると考える。

上記の考えから柱梁接合部の耐力<sub>p</sub>Mは、内部パネルの耐力<sub>M</sub>および外部パネルの耐力<sub>o</sub>Mから、

$${}_{p}M = {}_{i}M + {}_{o}M \tag{1}$$

と評価する。

ここで、内部パネルの耐力」Mは、

$$_{i}M = Q_{p} \cdot 0.7D_{c} \tag{2}$$

$$Q_p = A_p \cdot \sqrt{F_c} \tag{3}$$

$$A_p = 2 \cdot h_c \cdot \tan \gamma \cdot 0.3 D_c \tag{4}$$

外部パネルの耐力。Mは内部パネルと外部パネルとの 間のねじり耐力。M<sub>T</sub>とコンクリート圧縮束の耐力。M<sub>a</sub>によって,

$$_{o}M = \min\left\{_{o}M_{T},_{o}M_{a}\right\}$$
(5)

と評価する。

$$\sigma_{o}M_{T} = \left(0.26 + 3.22 \cdot p_{w} \cdot \sigma_{y} \cdot \frac{B_{c}}{D_{c}} \cdot \frac{1}{F_{c}}\right) \frac{sd^{2}(3D_{c} - sd)F_{c}}{6}$$
(6)

$$_{o}M_{a} = T_{R} \cdot j \tag{7}$$

 $T_R$ は圧縮束の圧縮耐力 $T_P$ と主筋の降伏耐力 $T_y$ および定着板の支圧耐力 $T_s$ によって、

$$T_R = \min(T_y, T_b, T_p) \tag{8}$$

と評価する。

ここで,

$$T_p = k \cdot D_c \cdot \sin^2 \alpha (B_c - b) F_c \tag{9}$$

$$T_y = \sigma_y \cdot a_t \tag{10}$$

$$T_b = \lambda \cdot F_c \cdot a_p \tag{11}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{j}{\sqrt{j^2 + \left({}_s d - \frac{kD_c}{2}\right)^2}}$$
(12)

$$j = D_c - {}_r d - \frac{k D_c}{2}$$
(13)

式(9)はkの関数であるから, *k=*0~(D<sub>c</sub> - ,d) / D<sub>c</sub>の値を代入することによって求められる。

a<sub>p</sub>:引張側主筋の定着金物の面積の総和 (mm<sup>2</sup>)

a<sub>t</sub> :引張側主筋断面積 (mm<sup>2</sup>)



(a) 内部パネルの抵抗機構



#### 図7 抵抗機構

- 。b : フランジ幅 (mm)
- Bc : 柱幅 (mm)
- D<sub>c</sub>: 柱せい (mm)
- sd :鉄骨せい (mm)
- ,d : 引張側主筋の柱面から引張主筋中心間距離 (mm)
- $F_c$ :コンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- j : 応力重心間距離 (mm)
- *p<sub>w</sub>*: せん断補強筋比 (N/mm<sup>2</sup>)
- α : 圧縮束と梁材軸とのなす角
- σ<sub>ν</sub>:主筋の降伏応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- "σ<sub>ν</sub>: せん断補強筋の降伏応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- λ : 支圧効果係数で, 0.958 とする。

図8に接合部形状によるねじり耐力とせん断補強筋比の関係を示す。縦軸はねじり耐力*M<sub>T</sub>*,横軸はせん断補強筋比*p<sub>w</sub>*に関する量である。実線は既往の十字形柱梁

接合部の実験により得られたの実験値に基づいて求められたねじり耐力式(式(6)), および 印はT字形および L字形の実験値である。なお,T字形およびL字形試験体 のねじり耐力M<sub>T</sub>は,TMTおよびLMT試験体の最大荷重 を梁端から柱梁接合部の中心までの距離で乗じて求めた ものである。

十字形接合部のねじり耐力式は,T字形およびL字形 接合部のねじり耐力を若干大きく評価する傾向がみられ るが,十字形接合部のねじり耐力式を適用できることが わかる。なお,支圧効果係数 λはひずみゲージより求 められた主筋の引張力に基づいて求められた値である。

6. 耐力評価法の妥当性

図9は提案された耐力評価法の妥当性を検討したもの である。図中の印は正荷重時の実験値, \_\_\_\_\_ は内部



#### 図8 ねじり耐力とせん断補強筋比の関係

#### 表4 計算値と実験値の対比

試験体々	実験値	内部パネルの耐力	外部パネルの耐力	計算値	実験値/計算値
武家 平石	$M_{exp} (kN \cdot m)$	$_{i}M(\mathbf{kN}\cdot\mathbf{m})$	$_{o}M\left( \mathrm{kN}\cdot\mathrm{m} ight)$	$_{p}M(kN\cdot m)$	$M_{exp}/_p M$
TN	76.0 (71.8)	23.5	51.0	74.5	1.02 (0.96)
TMT	59.4 (52.9)	0	53.0	53.0	1.12 (1.00)
TB	25.4 (22.2)	24.3	0	24.3	1.05 (0.91)
LN	87.3 (66.9)	25.3	61.4	86.7	1.01 (0.78)
LMT	67.4 (53.9)	0	59.9	59.9	1.13 (0.90)
LB	28.1 (14.6)	25.4	0	25.4	1.11 (0.58)

( ):負荷重



パネルの耐力, \_\_\_\_ は外部パネルの耐力を表している。 横軸は試験体名,縦軸は接合部回りのモーメントM(kN・ m)である。

正荷重時の実験値 $M_{eqv}$ と計算値Mとの比 $M_{eqv}/p$ Mの平均 値,標準偏差および変動係数は 1.07,0.0483 および 4.51%となり,実験値を計算値によって評価できること がわかる。しかしながら,負荷重時の実験値 $M_{eqv}$ と計算 値pMとの比 $M_{eqv}/pM$ の平均値は,T字形では0.96,L字形 では0.75と,計算値は実験値を過大評価する傾向にあ る。特に,LB試験体はこの傾向が著しい。これは,く り返し載荷におけるフランジ上面のパンチングシヤ耐力 の評価が影響している。この点については,今後の検討 課題である。 7. 結語

- 支圧力およびねじりモーメントの影響を受ける試験 体の破壊状況は,支圧力およびねじりモーメントの影響をそれぞれ独立に検討した試験体の破壊状況を重ね 合わせたものに近い。
- フランジ上面の支圧力の影響は大きくなく,内部 パネルから外部パネルへの応力伝達はねじりモーメン トによってなされるものが支配的である。
- 3) L字形試験体は,T字形試験体と比べ若干脆性的な 履歴性状を示す。
- 4) 柱 RC・梁 S とする L 字形および T 字形柱梁接合部の内部パネルから外部パネルへの応力伝達機構および 抵抗機構に基づく耐力評価式が提案され,計算値によって実験値をほぼ評価できることが示された。

謝辞

本研究を行うにあたり元大阪工業大学卒研生「明 瀬克典,須田真由両氏の多大なるご協力を頂いた。こ こに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

 西村泰志,堀江耕平:柱RC・梁Sとする梁貫通形 式内部柱梁接合部の耐力評価に関する研究,日本建築 学会構造系論文集 第75巻 第654号,pp.1557-1565, 2010.8

Seismic performance on corner and exterior steel beam - reinforced concrete column joint

### Soichiro OKAMOTO, Kohei HORIE and Yasushi NISHIMURA

Based on stress transferring mechanism and resistance mechanism, the strength design formulae of through beam type corner and exterior S beam-RC column joints were proposed. It was assumed that beam - column joints were composed of inner and outer panel, and the ultimate strength of beam - column joints was obtained by superposition of the ultimate strength of both panels. In the inner panel, the punching shear failure of concrete on the top flanges of the embedded steel beam was caused by prying action. On the other hand, outer panel was considered to be resisted by the arch mechanism. Particularly, arch mechanism was considered to be composed of concrete struts based on the failure pattern of the joints. Predictions were shown to be in good agreement with the test results.