

[153] 異種構造部材で構成される十字形柱はり接合部の終局耐力

正会員 南 宏一 (大阪工業大学工学部)
 正会員 西村泰志 (大阪工業大学工学部)
 正会員 ○植岡豊博 (大阪工業大学大学院)
 正会員 若林 實 (日本建築総合試験所)

1. 序

既報では、柱が鉄骨鉄筋コンクリート(以下SRCという)はりが純鉄骨(以下Sという)で構成されたト字形部分骨組を用いて実験を行ない実験結果に基づいて柱はり接合部の応力伝達機構を明らかにし、累加強度理論に基づく耐力評価法を提案した。本報は、既報の耐力評価法が、十字形部分骨組においても応用できるものであるかを実験的に明らかにし、既往のト字形部分骨組の実験結果を用いてその妥当性を検討するものである。

2. 応力伝達機構に関する一考察

図1は、既報で提案されたト字形部分骨組の応力伝達機構に基づいて求められた十字形部分骨組の応力伝達機構を、各部材の自由体によって示したものである。図1(a)は、鉄筋コンクリート(以下RCという)の柱にSのはりが接合された場合で、RCの柱に埋め込まれた鉄骨部分のてこ作用に基づいて上下の柱材に応力が伝達されることを示す。この機構は、鉄骨フランジ上下面のコンクリートの強度を支圧強度の考えに基づくところに一つの特徴がある。なお本報では鉄骨部材に作用する力系をてこ作用と称する。図1(b)は、Sの柱にSのはりが接合された場合を示す。柱がSRCの場合、図1(a)(b)の両者の機構が同時に作用すると考えられる。

3. 実験計画

図1(b)に示された柱はりともSの場合の応力伝達機構については従来の鉄骨の接合部パネルの取り扱いと同様であり、その応力伝達機構はほぼ明らかにされている。そこで本実験は、特に図1(a)に示された場合の応力伝達機構を明らかにするために、図2に示されるような柱RC、はりSで構成される十字形部分骨組の試験体を用いた実験が計画された。試験体の設計では、柱材とはり材がほぼ同時に純曲げ強度に達する様に設計された。実験変数は、柱材に負荷される軸力で柱の圧縮強度Noの0, 20%の2種類、計2体が計画された。なお各試験体ともその形状寸法および断面構成は同一である。実験は十字形部分骨組の柱材の両端を回転支点とし、所定の一定軸力を負荷したのち、はり部材両端部に正負の漸増くり返し荷重を負荷するものである。表1に使用材料の力学的特性を示す。

4. 実験結果

図3に、各試験体の履歴曲線を示す。縦軸は、はり部材端部に負荷された荷重P、横軸は、はり部材端部の変形より求められた骨組としての部材

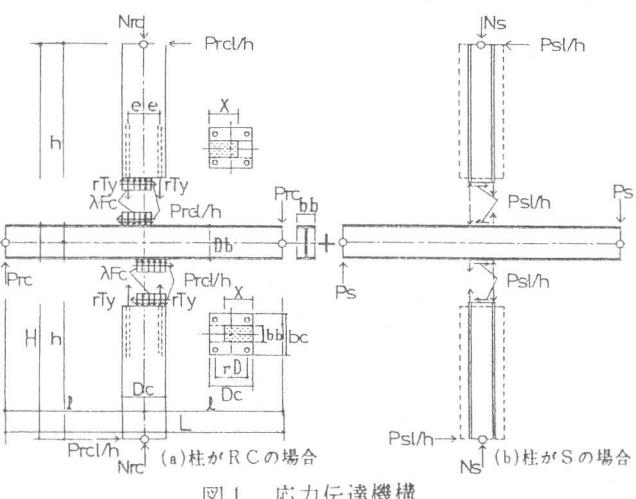


図1. 応力伝達機構

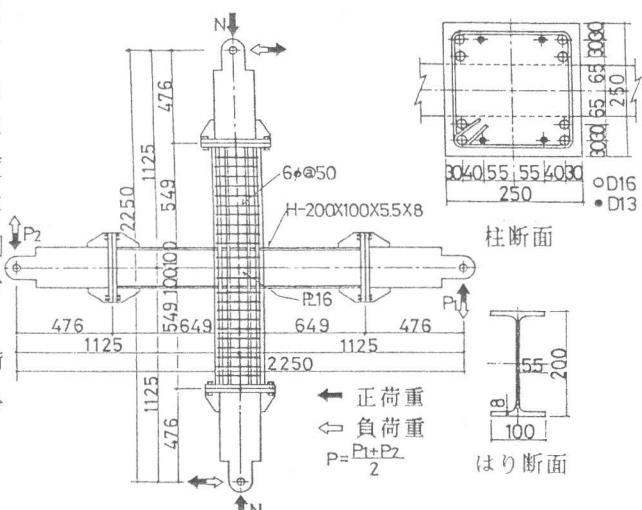


図2. 試験体の形状寸法および断面

角Rを示す。図中のbPは、はり部材の曲げ強度から決定された荷重である。各試験体ともエネルギー吸収能力の非常に小さな逆S字形の履歴性状を示す。実験から求められた各試験体の最大耐力は、はりの曲げ耐力に対してW00Nで60%、W02Nで75%程度であり、軸力が作用するW02Nは、軸力が作用していないW00Nに較べて最大耐力後の強度劣化が著しい。図3に各試験体の破壊状況を示す。ひび割れの発生過程は、各試験体とも柱に曲げひび割れ、ついで接合部パネルに斜張力ひび割れが発生した。この曲げひび割れおよび斜張力ひび割れ発生荷重を表1に示す。最大耐力以後の曲げひび割れおよび斜張力ひび割れ

は、W02Nに較べてW00Nの方が広範囲に分布しているのが観察される。また、その斜張力ひび割れは、上下の柱へと進展し圧縮場の構成を示すひび割れ状況を呈する。各試験体の最大耐力以後の強度劣化は、埋め込まれた鉄骨フランジに接する柱材のコンクリート部分の圧壊等がその一因と考えられ、その破壊状況は後述するコンクリートブロックの支圧実験によって観察された破壊状況と類似している。なおW02Nでは主筋の付着割れによるコンクリートのはく落も観察された。このように接合部パネルのひび割れおよびその周辺のコンクリートの圧壊が顕著であるにもかかわらず、図4で示されるように接合部パネルのせん断変形によって生じる骨組としての部材角Rpは、はり部材端部の変形より求められた骨組としての部材角Rに対して占める割合が大きくない。図5は、W02Nについて、最大耐力時の柱はり接合部における主筋の歪分布を示す。主筋には、付着力の存在を示す歪勾配が認められ、この場合の平均付着応力度は(0.07~0.13)F_c程度であった。このことから、柱主筋が引張のみに作用すると前述の応力伝達機構に若干の修正が必要と考えられる。

5. 耐力評価法に関する一考察

表1. 使用材料の力学的特性および実験結果

試験体	鉄骨				鉄筋				コンクリート F _c (tf/cm ²)	ひび割れ荷重 P _{fl.} P _{cr.} (tf)	最大はりの曲げ 荷重 P _{max} (tf)	はりの強度 bP P _{theo} (tf)	* ² bP P _{theo} (tf)	
	H	σ _y	σ _{max}	ε _u	σ _y	σ _{max}	ε _u	R _P (rad)						
W00N	5.5	3.74	4.52	0.201	6φ	1.85	2.94	0.290	0.292	1.92 (2.16)(1.49)(4.03)	2.72 (1.49)(4.03)	4.22 (4.03)	* ¹ (0.599) 6.73	0.627 (0.955) 4.22
	8	3.25	4.32	0.259	D13	3.67	5.35	0.148		3.30 (4.28)(4.64)	3.30 (4.64)	5.15 (4.94)	0.765 (0.734) 1.22	
W02N	16	2.69	4.43	0.304	D16	3.85	5.66	0.189						

*¹ 負荷重 *²m = min(e_m, b_m, b_m)

図1に示された応力伝達機構を有する部分骨組の耐力 $t m$ は、(1)部材の強さ m と(2)接合パネルの強さ $p m$ より、 $t m = \min(m, p m)$ の条件によって決定される。前述の実験結果にも示された様に本実験では、各試験体の耐力が接合部パネルの破壊によって決定されていないと考えられるので、部材の強さで耐力が決定される場合にのみ着目して、その耐力評価法を示す。部材に基づく強さ m は、はりの曲げ強さ $b m$ 、柱の曲げ強さ $c m$ および R C 柱に埋め込まれた鉄骨部分でのてこ作用による曲げ強さ $r c m$ により、 $m = \min(b m, c m, r c m)$ の条件によって決定される。はりおよび柱の全塑性モーメントは容易に決定される。一方、R C 柱に埋め込まれた鉄骨でのてこ作用による曲げ耐力は、埋め込まれた鉄骨フランジ上下面に作用する曲げ圧縮力が、部材接合端における柱断面に反作用として働くので、てこ作用に対する耐力は鉄骨フランジ上下面の柱断面の強さに置換して考えることができ、この場合の耐力は、曲げ圧縮力に対するコンクリートの強さと、上下の柱材を拘束する柱主筋の耐力によって表現することができる。まずコンクリート部分の耐力算定にあたって、局部支圧係数 λ の値をどの程度評価するかが非常に大きな要因となる。図6は、 $25cm \times 25cm \times 37.5cm$ のコンクリートブロックを用いて求められたコンクリートの耐力線を示す。縦軸は無次元化軸力 n 、横軸は無次元化抵抗モーメント m を示す。 m_1 および m_2 は、はり鉄骨フランジ上下面に作用する無次元化抵抗モーメントである。図中の○—○は、無筋コンクリートブロック、□—□は、本実験で計画された試験体と同様の間隔で補強筋が配されたコンクリートブロックの各々の実験値から求められた耐力線である。実線および破線は、各々 $\lambda = 2.0$ および $\lambda = 1.5$ とした時のコンクリートの耐力線である。低軸力下では、部分的に $\lambda = 2.0$ の耐力線に近づくが総体的に見ると $\lambda = 1.5$ の耐力線にほぼ一致する。また $X = 25cm$ の結果を除いて帶筋による支圧強度の増大はあまりみられない。既報のト字形においては、埋め込まれた鉄骨によって、はり鉄骨フランジ上下面のコンクリートが三次元の一方向偏心長方形載荷される影響を考慮し、局部支圧係数 $\lambda = 2.0$ を採用したが、十字形の場合は、すべて縁載荷となる為にト字形の場合と比較して若干小さい $\lambda = 1.5$ をとる考え方である。次に主筋の耐力は、前述の実験結果からも明らかな様に、柱はり接合部において主筋の付着力を考慮する必要がある。本報では、この付着力の効果を文献(2)に基づいて、接合部パネルの一方に作用する引張力 T および他方に作用する圧縮力 C との合力に対して一定の付着力 X が作用するものとして、その効果を考慮するものとする。

上述の考察に基づいて求められたモデル化された耐力線を図7に示す。縦軸は無次元化軸力 n 、横軸の m_1 および m_2 は、各々はり部材下面および上面の部材接合端における無次元化抵抗モーメントである。図中の $belc$ は埋め込まれたはりのてこ作用によるコンクリートの耐力線、 $belr$ は付着を考慮した主筋の耐力線、 $belrc$ は $belc$ と $belr$ を累加して求められた R C 柱に埋め込まれた鉄骨のてこ作用による耐力線、 $b1b$ および $c1rc$ は、はりおよび柱断面の耐力線である。これらの耐力線を用いて任意の軸力に対して、 $cm = bem_1 + bem_2$ 、 $bm = bm_1 + bm_2$ 、 $cm = cm_1 + cm_2$ によって求められる。

6. 耐力評価法の妥当性

表1に本試験体について、上述の耐力評価法に基づいて求められた解析値と実験値との対応を示す。なお計算では、 $\lambda = 1.5$ 、主筋の付着応力度は $0.1F_c$ とした。解析値は、実験値とよく一致しており本耐力評価法の妥当性が示されるものと考えられる。なお図3の eP は上述の評価法によって求められた荷重である。表2は本耐力評価法の妥当性を更に検討する為に選定された既往の実験結果である。実験データの選定にあたっては、(1)柱 S R C、R C あるいは S C、はり S で構成される十字形部分骨組であること、(2)最大耐力が接合部パネルの強さによって決定されない試験体であること、(3)鉄骨断面が H 形鋼の試験

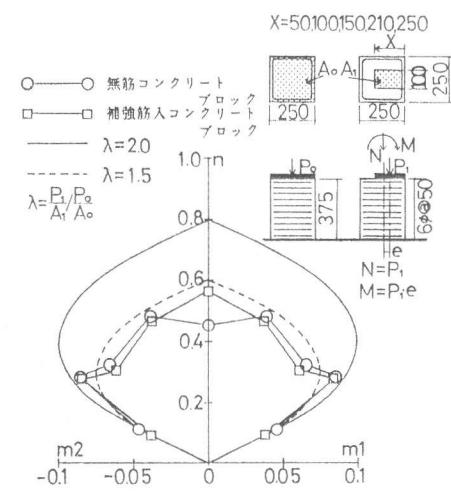


図6. 支圧実験

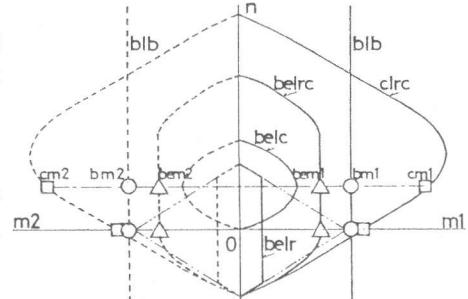


図7. 耐力の算定

表2.既往の実験結果^{3),4)}

No.	文獻 no.	試験体名	構成 部材	H (mm)	L (mm)	柱 (mm)			はり (mm)			材料強度(t/cm ²)			実験 値(N) 軸力	P _{max} 解析 値(P _{theo})	P _{max}											
						D _c	b _c	鉄骨寸法	rD ₁	鉄筋	rD ₂	鉄筋	D _b	b _b	鉄骨寸法	c _{ay}	s _{ay}	s _{sw}	r _{ay}	F _c								
1		No.1	柱	1575	2450	450	225		238	4-D13	3594-D13					H-30010094.5				3.32	2.59	3.38	0.29	0	10.5	7.34	1.36	
2		No.1(N)	R C																	35.4	13.6	10.4	1.35	0	9.0	7.34	1.23	
3		No.2	I																	8.3	8.3	8.3	1.20	0	12.0	7.34	1.63	
4		No.3	S																	15.0	9.5	7.34	1.29	0	9.0	7.34	1.23	
5		No.4																	12.7	10.4	1.22		35.4	8.8	7.34	1.19		
6		No.4(N)																	9.0	9.0	7.34	1.23	0	8.4	7.34	1.14		
7		No.5																	13.4	13.4	10.4	1.29	35.4	12.9	7.34	1.24		
8		No.5(N)																										
9		F 1	柱	1350	2750	450	200	H-30010056								4104-D13	300175	H-2501001238	3.92	3.92	3.44	3.81	3.77	0.312	70	26.0	21.6	1.20
10		F 2	SRC														"					3.89	0.380	140	25.5	24.1	1.06	
11		F 3	I														H-25010069	"				3.83	0.374	70	24.1	22.4	1.07	
12		F 4	はり														SC	"				3.85	0.384	140	23.6	23.0	1.03	
13		F 5															H-200100612	"				3.71			23.0		1.00	
14		F 6															H-3009064.5	3104-D16				2.48			D16-419	23.5	22.5	
15		F 7															H-25010066	"				3.57			D13372	0.341	1.04	
16		R 1	柱	2700														4-D19	4-D19				3.80	0.241	70	16.8	10.3	1.24
17		R 2	R C	"													はり	"				3.95	0.343	70	15.5	14.6	1.06	
			S C																									

記号) H:柱長さ(反曲点間距離), L:はり長さ(載荷点間距離), D_c:柱せい, b_c:柱幅, rD₁, rD₂:主筋間隔

D_b:はりせい, b_b:はり幅, c_fσ_y:柱フランジ降伏応力度, c_wσ_y:柱ウェブ降伏応力度, s_fσ_y:はりフランジ降伏応力度, s_wσ_y:はりウェブ降伏応力度, r_fσ_y:柱鉄筋降伏応力度, F_c:コンクリート圧縮応力度, N:軸力, P_{max}:実験値, P_{theo}:解析値

体であること。(4)実験変数、試験体寸法、使用材料の力学的特性

および実験結果が明確に示されている試験体であることの条件を満たす計17本の試験体が選定された。図8は実験値P_{max}と解析値P_{theo}との対応を示したものである。なお計算にあたって、柱材に埋め込まれた鉄骨部分のてこ作用に対する耐力の決定は、柱がSRCあるいはSCの場合、はり鉄骨に接続される柱の鉄骨断面の耐力線cIsを、上述のbelrcに更に累加することによって求められた。またこれらの計算にあたってλ=1.5、主筋の付着応力度は、0.1F_cとした。F1～R2の試験体に対してばらつきはあるものの計算値は実験値をよく評価しているのに対して、N O.1～N O.5(N)の試験体に対して実験値は計算値に対してほぼ1.2～1.4倍となる。この実験は、RC柱に埋め込まれた鉄骨のフランジの表面に鉄筋を溶接する、あるいは柱はり接合部に柱の材軸方向に補強筋を配置することによって柱はり接合部における補強効果を目的に行なわれたものである。この為に実験値は解析値よりも大きめの値が得られたものと考えられるが、総体的に見ると本耐力評価法によって実験値をよく説明できると考えられる。

7. 結語

柱SRC、はりSで構成されるト字形部分骨組に対して提案された応力伝達機構に基づく耐力評価法は局部支圧係数および柱はり接合部における主筋の付着力を考慮することによって十字形骨組に対しても応用できることが示された。また、修正された耐力評価法が本実験結果および、既往の柱SRCおよびRCで構成される十字形部分骨組の実験値を良く説明できることが示された。

参考文献

- 若林・南・西村:軸力を受ける柱SRCはりSで構成されるト字形骨組の柱はり接合部の終局強度, 第6回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1984年6月, PP.669～672
- 若林・中村・松田:柱はり接合部を貫通する部材主筋の付着破壊と接合部耐力に関する実験的研究, 京都大学防災研究所年報第21号B-1, 1975年4月, PP.171～184
- 清水・多田・吉田:鉄骨鉄筋コンクリートの補強効果について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1970年9月, PP.741～742
- WAKABAYASHI, NAKAMURA, MORINO: An Experiment of Steel Reinforced Concrete Cruciform Frames, the Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Volume23, December, 1973, PP.74～110

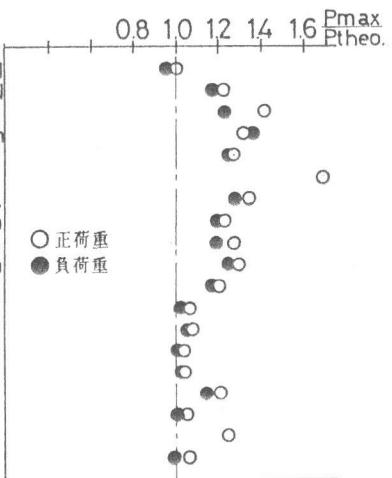


図8. 実験値と解析値との対応