

論文 はり貫通形式 RCS 接合部の水平圧縮束による応力伝達の効果

前田 安美 ^{*1}・馬場 望 ^{*2}・西村泰志 ^{*3}

要旨 : 本研究は、はり貫通形式 RCS 接合部に関して、鉄骨フランジ上下面に形成される水平圧縮束によってなされる内部パネルから外部パネルへの応力伝達の効果を実験的に検討した。その結果、E-FBP は水平圧縮束を形成させる働きを有し、水平圧縮束に作用する力は鉄骨フランジ上下面に集中的に配置されたせん断補強筋の引張力によって外部パネルに伝達され、その引張力は外部パネルにアーチ機構を形成するのに大きく寄与することが示された。

キーワード : RCS 接合部, はり貫通形式, 水平圧縮束, 応力伝達機構

1. 序

柱は鉄筋コンクリート（以下、RC という）造、はりは鉄骨（以下、S という）造で構成された柱 RC はり S 混合構造の柱はり接合部（以下、RCS 接合部という）に関して、合理的な設計法を確立するためには、S 部分から RC 部分、特に内部パネルから外部パネルへの応力伝達機構を実験的および理論的に明らかにする必要がある。

直交梁のないはり貫通形式 RCS 接合部の内部パネルから外部パネルへの応力伝達は、内部パネルと外部パネルとの間のねじりモーメントによるものと Deierlein ら¹⁾が提唱しているように、鉄骨フランジ上下面に形成される水平圧縮束によってなされるものがあることが既往の研究によって明らかにされている。ねじりモーメントによってなされる応力伝達については、既往の著者らの実験的および解析的研究²⁾により、その妥当性が示されている。しかしながら、水平圧縮束による応力伝達機構については未だ不明な点が多い。

本報は、鉄骨フランジ上下面に形成される水平圧縮束によってなされる内部パネルから外部パネルへの応力伝達の効果を実験的に検討する

ものである。

2. 応力伝達機構の一考察

図-1 は、RCS 接合部の水平圧縮束による内部パネルから外部パネルへの応力伝達機構を示す。はりが逆対称荷重を受けることに伴って、図-1(a) に示すように、内部パネルでは鉄骨フランジ上下面のてこ機構に基づく支圧力が生じる。一方、鉄骨フランジ上下面の支圧力によって生じる摩擦力 C_E は、鉄骨フランジ上下面に集中的にせん断補強筋が配置されているならば、せん断補強筋の引張力 T_b によって外部パネルに伝達され、外部パネルでは、図-1(b-1) および (b-2) に示すように、2つの抵抗機構を形成して外力に抵抗すると考えられる。図-1(b-1) は、柱からの圧縮力およびせん断力による外部パネルの回転がせん断補強筋の引張力 T_b によって拘束され、外部パネルではアーチ機構が形成されることを示している。また、図-1(b-2) では、引張力 T_b は、外部パネルにトラス機構を形成させる働きを有することを示している。

3. 実験計画

図-2 は計画された試験体の接合部詳細を示す。前述の水平圧縮束による応力伝達の効果を

*1 大阪工業大学大学院博士前期課程 (正会員)

*2 大阪工業大学大学院博士後期課程 工修 (正会員)

*3 大阪工業大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

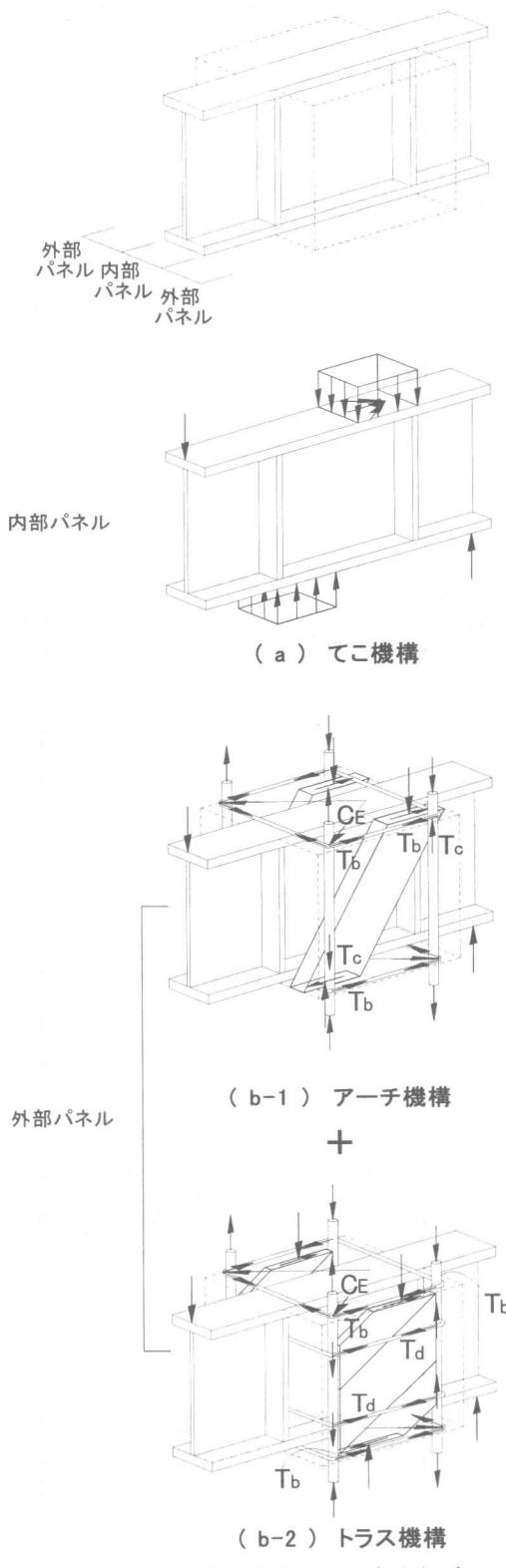


図-1 水平圧縮束による応力伝達

検討するために、計5体の試験体が製作された。F-1試験体を除く各試験体とも図-3に示すように、内部パネルと外部パネルとの間に幅3mmのスリットを設けることによって、内部パネルから外部パネルへの応力伝達に及ぼすねじりモーメントの影響が除去されている。また、水平圧縮束による応力伝達の効果を助長させるために、いずれの試験体とも鉄骨フランジ上下面に延長支圧プレート(E-FBP)が設けられている。これは、摩擦力による応力伝達の効果に加えて、梁の逆対称荷重に伴って、E-FBPの内面に作用する圧縮力の反力をによって水平圧縮束が明快に形成されることを意図したものである。

B-1試験体は、図-1(b-1), (b-2)におけるアーチおよびトラス機構の釣合を成立させる接合部内の主筋の付着力の影響を調べるものであり、接合部内の主筋の付着力は除去されている。BC-1試験体では、接合部内にせん断補強筋が設けられていない。したがって、この試験体では、トラス機構を成立させる接合部のせん断補強筋の影響を調べることができる。CD-1試験体は、鉄骨フランジ上下面に図-2に示すようなせん断補強筋が配置されるため、水平圧縮束が充分に形成されないことをねらった試験体である。BCD-1試験体は、アーチ機構およびトラス機構の両者の影響を調べるものである。F-1試験体は、図-4に示すように、接合部コンクリートを除去することによって、鉄骨フランジ上下面のてこ機構におよぼすE-FBPの影響を加味したコンクリートの支圧強度を調べることができる。なお、この試験体では、鉄骨フランジ上下面にせん断補強筋は設けられていない。

図-5に試験体の形状寸法および鉄骨詳細を示す。いずれの試験体とも形状寸法、RC柱の配筋およびS梁のディテールは同じであり、内部パネルがせん断破壊しないように設計されている。なお、接合部のせん断補強筋をコの字形にして、外部パネルとの間を接続していないのは、内部パネルと外部パネルとの間のねじり

	B-1試験体	BC-1試験体	BCD-1試験体	CD-1試験体	F-1試験体
b-b断面					
鉄骨フランジ 上下面のせん断補強筋	4-D10	4-D10	4-D10	4-D10	なし
c-c断面					
*接合部内の 主筋の付着除去					*図-4 参照
主筋 12-D16, P_g=2.65% 柱帶筋 2-D6@107.5 P_w=0.20%	接合部の せん断補強筋 2-D6@40 P_w=0.53%	なし	2-D6@40 P_w=0.53%	2-D6@40 P_w=0.53%	なし

図-2 RC柱および接合部の詳細

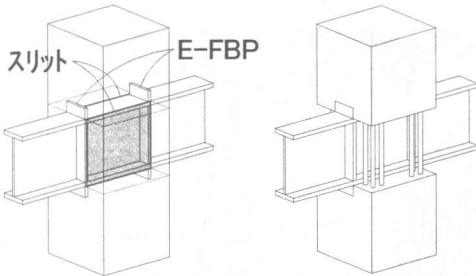


図-3 スリットの状況 図-4 F-1 試験体

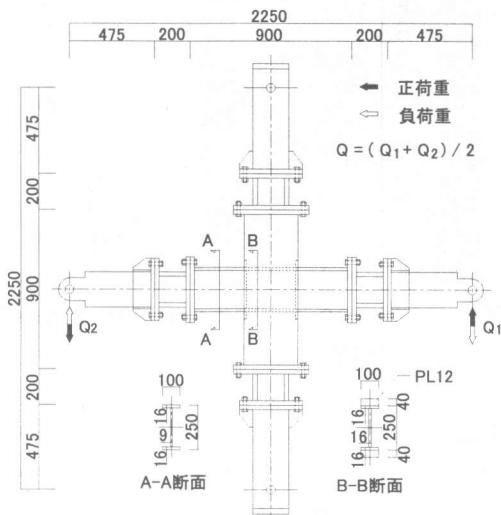


図-5 試験体の形状寸法

モーメントの影響を除去するためである。表-1に使用材料の力学的特性を示す。

実験は柱両端をピン支点とし、はり両端に正負2回の漸増繰り返し載荷を行うものである。なお、柱材に軸力は負荷されていない。

4. 実験結果とその考察

図-6は各試験体の最終破壊状況を示す。各試験体とも、主筋の付着破壊や柱全体にせん断ひび割れが観察された。特に、写真-1に示すように、E-FBP周辺の圧壊は著しく、鉄骨梁の逆対称荷重に伴って、E-FBPが柱コンクリートにめり込むことによって、支圧領域が柱高さ方向に拡大し、著しいコンクリートの剥落が観察された。

各試験体の柱はり接合部に生じたせん断ひび割れに着目すると、B-1試験体およびBC-1試験体では、柱材軸とせん断ひび割れとのなす角度が小さい。一方、CD-1試験体では大きい。また、BCD-1試験体については、両者の影響を含むひび割れ状況が観察された。表-2に各試験体の代表的なひび割れ発生荷重および最大荷重を示す。

図-7は各試験体の履歴曲線を示す。縦軸ははり両端に負荷された荷重の平均値 Q_b 、横軸は

表 - 1 使用材料の力学的性質

材料	強度	σ_y	σ_u	備考
		(MPa)		
鉄骨	PL9	419	523	1
		289	437	2
	PL12	285	446	1
		257	413	2
		357	529	3
PL16	333	533	4	
	257	421	1	
	261	422	2	
RC 柱	D16	358	537	-
	D6	340	519	-
鉄筋 接合部	D10	343	495	-
	D6	350	516	5
		357	541	6
材料	強度	F_c	F_t	備考
		(MPa)		
コンクリート		28.3	2.61	5
		22.7	2.52	6

備考 1 : BCD-1 および CD-1 試験体
 2 : B-1, BC-1 および F-1 試験体
 3 : E-FBP (F-1 試験体を除く)
 4 : F-1 試験体の E-FBP
 5 : BCD-1, CD-1, B-1 および BC-1 試験体
 6 : F-1 試験体

相対変位角 R である。いずれの試験体とも、すべりを伴った逆 S 字形の履歴曲線を示している。また、すべての試験体において、最大耐力発揮後の耐力低下が見られた。既往の筆者らの E-FBP をもたない試験体に関する実験結果²⁾では、内部パネルと外部パネルとの間のねじりモーメントが除去された試験体では、てこ機構に基づく柱コンクリートの局部支圧破壊によって耐力が決定されるため、耐力低下がほとんど見られなかったことから、本実験で見られた耐力低下は、鉄骨フランジ上下面に取り付けられた E-FBP の影響によるものと考えられる。

図-8 に各試験体の最大耐力を部材接合端の柱断面の抵抗モーメントに置換し、 bD^2F_c で無次元化した値を示す。B-1試験体およびBC-1試験体はそれぞれ、図-1(b-2) に示されたようにトラス機構を形成させる要因となる主筋の付着力および接合部のせん断補強筋を除去しているので、BCD-1 試験体との耐力差 (a) および (b) には、水平圧縮束によって形成されるトラス機構が負担する耐力の影響が含まれると考えられる。CD-1 試験体は、水平圧縮束が充分に形成

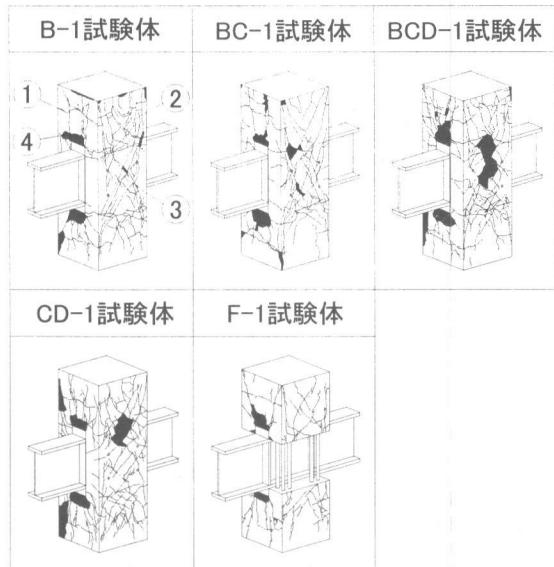


図 - 6 最終破壊状況



写真 - 1 BCD-1 試験体の E-FBP 周辺の破壊状況

されないことをねらった試験体であるので、図-1(b-1), (b-2) に示されたように、鉄骨フランジ上下面に集中的に配置されたせん断補強筋の引張力 T_b によって伝達される水平圧縮束に

表 - 2 ひび割れ発生荷重および最大荷重

試験体名	正負	曲げひび割れ	せん断ひび割れ (kN)	コンクリートの 圧壊④(kN)	最大荷重 (kN)
		①*(kN)	柱部分②		
B-1	正荷重	35.7	76.1	76.1	77.0
	負荷重	-46.9	-46.9	-68.2	-73.5
BC-1	正荷重	33.1	73.1	51.2	73.1
	負荷重	-43.1	-68.6	-43.1	-68.7
BCD-1	正荷重	43.4	78.4	53.9	82.7
	負荷重	-36.7	-56.7	-52.4	-78.8
CD-1	正荷重	32.0	54.7	40.1	64.6
	負荷重	-44.2	-53.8	-44.2	-62.8
F-1	正荷重	29.4	39.3	-	44.8
	負荷重	-31.0	-30.8	-	-40.4

*) ①②③④ : 図-6 に示すひび割れ

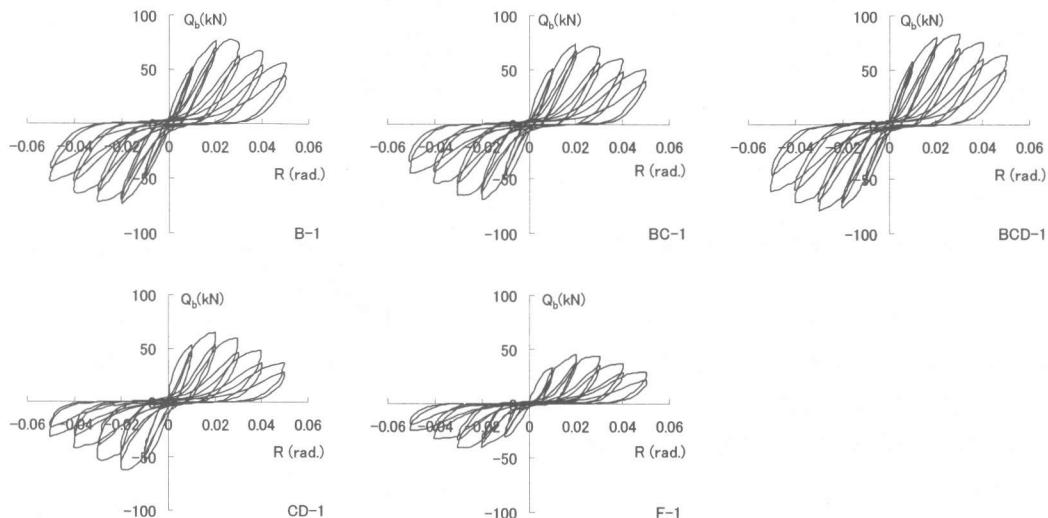


図 - 7 履歴曲線

よるアーチおよびトラス機構が形成されない。したがって、BCD-1 試験体との耐力差 (c) は、水平圧縮束によるアーチおよびトラス機構の耐力を示し、その効果は大きく、せん断補強筋の引張力 T_b は外部パネルへの応力伝達に大きな役割を果たしていることがわかる。また、CD-1 試験体と外部パネルのコンクリートを除去した F-1 試験体との耐力差 (d) は、外部パネルのコンクリートによる効果であると考えられる。

図-9 は、鉄骨フランジ上下面に集中的に配置されたせん断補強筋に貼付したひずみゲージ (B 点および D 点) から得られたひずみ分布を示す。縦軸は B 点のひずみ、横軸は D 点のひ

ずみである。図中の点線および一点鎖線は、E-FBP および摩擦力によって引き起こされると仮定した水平圧縮束に生ずる圧縮力の作用線の方向を示している。なお、摩擦力は鉄骨フランジ上下面の半分の面積に生じると仮定している。得られたひずみ分布は、荷重が小さい範囲では、ほぼ想定された E-FBP による作用線に沿ったひずみ状況を示しているが、荷重の増大に伴って、勾配が大きくなり、摩擦力による作用線に沿った分布状況に移行している。これは、荷重が小さい間は、E-FBP の機械的な引っかかりによって水平圧縮束に生じる圧縮力 C_E は、鉄骨フランジ上下面に集中的に配置されるせん

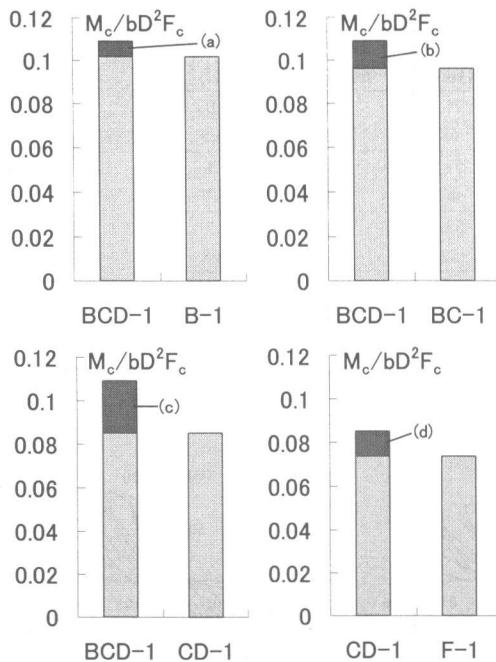


図-8 各試験体の最大耐力の比較

断補強筋の引張力によって外部パネルに伝達されるが、荷重の増大に伴って、鉄骨フランジ上下面のてこ機構に基づく支圧力によって生じる摩擦力の影響が増大するためではないかと推察される。

5. 結語

はり貫通形式 RCS 接合部に関して、鉄骨フランジ上下面に形成される水平圧縮束によってなされる内部パネルから外部パネルへの応力伝達の効果を実験的に検討した結果、次のような結論が得られた。

- 1) 水平圧縮束に作用する力は鉄骨フランジ上下面に集中的に配置されたせん断補強筋の引張力によって外部パネルに伝達され、その引張力は外部パネルにアーチ機構およびトラス機構を形成するのに大きく寄与する。
- 2) E-FBP は水平圧縮束を形成させる働きを有する。しかしながら、鉄骨フランジ上下面のてこ機構に基づく支圧力が増大するにつれて、その支圧力によって生じる摩擦力が水平圧縮束に与える影響は大きくなる。

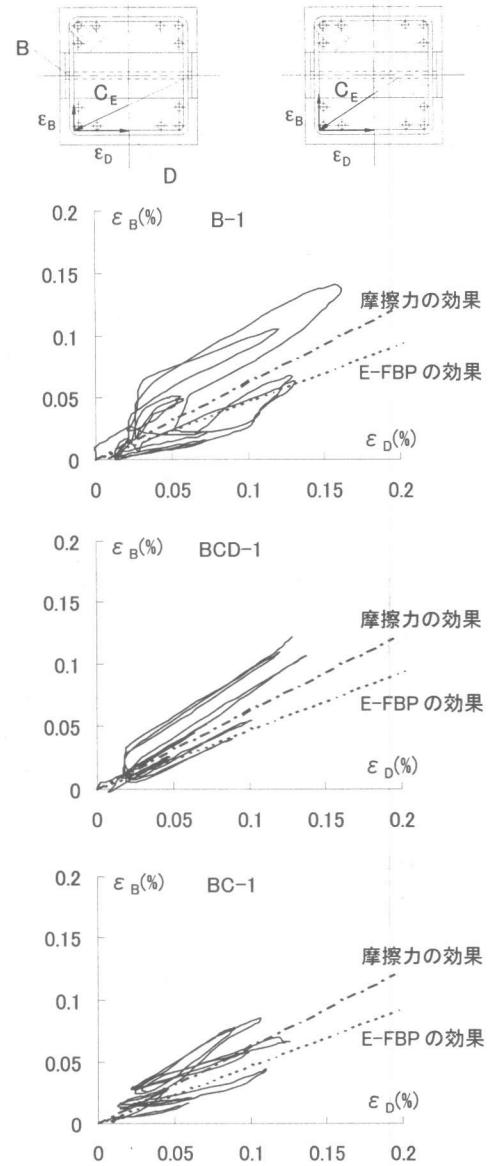


図-9 鉄骨フランジ上下面のせん断補強筋のひずみ状況

参考文献

- 1)Tauqir M. Sheikh, Gregory G. Deierlein, Joseph A. Yura, and James O. Jirsa: Beam-Column Moment Connections for Composite Frames Part 1, Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 11, pp.2858-2876, November, 1989
- 2)馬場 望, 烏井拓三, 西村泰志: 柱 RC・はり S とするはり貫通形式内部柱はり接合部の内部パネルから外部パネルへの応力伝達, 日本建築学会構造系論文集 第 513 号, pp.173-180, 1998.11