

# 論文 ふさぎ板を有するはり貫通形式 RCS 接合部の応力伝達機構に関する実験的研究

馬場 望 \*\*・西村泰志 \*\*

**要旨**：本研究は、最も基本的な接合部形式の一つである S はりが RC 柱を貫通する形式で、ふさぎ板を有する接合部ディテールに着目して、ふさぎ板の効果を実験的に検討した。その結果、直交梁がない場合、ふさぎ板はせん断抵抗要素としての働きは小さく、内部パネルから外部パネルへの応力伝達の効果は、延長支圧プレートおよびバンドプレートを設けることによって向上することが示された。また、直交梁を有する場合、直交梁に配置された FBP はせん断抵抗要素としての働きを有することおよびふさぎ板は接合部コンクリートの拘束および主筋の付着力を増大させる働きを有することが示された。

**キーワード**：RCS 接合部、はり貫通形式、ふさぎ板、応力伝達機構

## 1. 序

現在、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）造で構成されたハイブリッド構造（以下、RCS 構造という）の研究・開発が精力的に進められており、RCS 構造の柱はり接合部に関して、多種多様のディテールが提案されている。しかしながら、未だ柱はり接合部の合理的な設計法が確立されるに至っていない。これは、S 部分から RC 部分への応力伝達機構が明らかにされていないためであり、合理的な設計法を確立するためには、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。

本研究は、最も基本的な接合部形式の一つである S はりが RC 柱を貫通する形式で、ふさぎ板を有するディテールに着目して、ふさぎ板の効果を実験的に検討する。

## 2. 応力伝達機構の一考察

Fig. 1 は内部パネルから外部パネルへの応力伝達におよぼすふさぎ板、延長支圧プレート（以下、E-FBP という）およびバンドプレートの効果を示したものである。ここに、E-FBP は柱側面位置の鉄骨フランジ間に設けられた鋼板（以下、

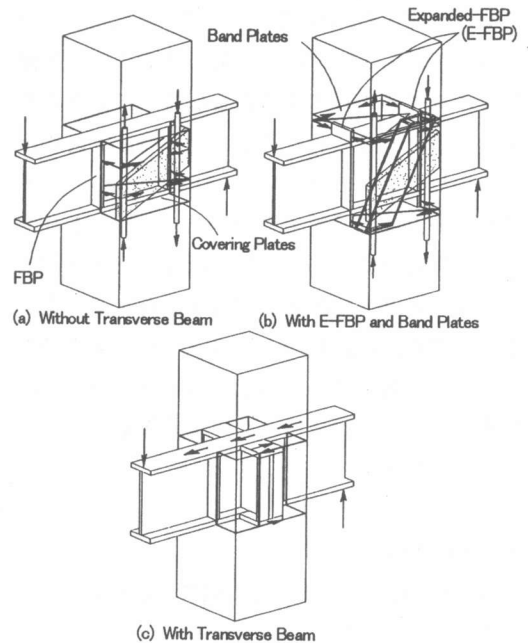


Fig. 1 Effects of covering plates on stress transferring mechanism

FBP という)を鉄骨梁上下面に延長した鋼板である。既往の研究により<sup>2)</sup>、鉄骨梁上下面に補強筋が配置されていなければ、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<sup>3)</sup>の効果は小さいことが明らかにされている。このこと

\* 大阪工業大学大学院博士後期課程 工修 (正会員)

\*\* 大阪工業大学助教授 工学部建築学科 工博 (正会員)



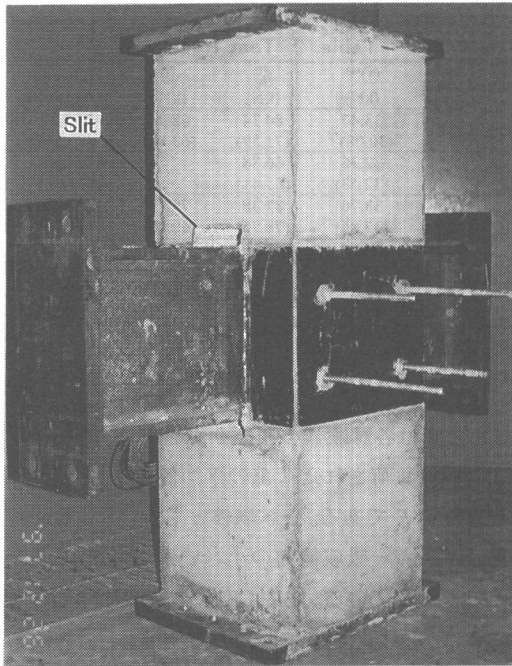


Fig. 4 Gaps provided between both top and bottom steel flange and concrete of column

Table. 1 Mechanical Properties of Materials

Material		Stress	$\sigma_y$	$\sigma_u$	note
			(MPa)		
Steel	PL3.2		356.9	445.6	-
	PL9		435.4	543.5	1
	PL12		300.8	454.8	2
			296.7	464.0	1
			267.2	429.3	2
			290.6	468.0	3
			267.2	437.5	1
PL16		271.2	438.5	2	
Reinforcing Bars	D6		326.3	513.9	-
	D16		357.9	550.6	-
Material		Stress	$F_c$	$F_t$	note
			(MPa)		
Concrete			29.2	2.32	-

note 1 : Values used for specimen PF-CP32 and BP-CP32  
 2 : Values used for specimen TR-CP32, BR-CP32 and TRT-CP32  
 3 : Values used for E-FBP (specimen BP-CP32)  
 $F_c$  : Compressive strength  
 $F_t$  : Splitting strength  
 $\sigma_y$  : Yield stress  
 $\sigma_u$  : Maximum stress

トは設けられていない。したがって、この試験体は、TR-CP32 および BR-CP32 試験体の両者の影響を調べることができる。BP-CP32 試験体は、柱はり接合部の柱頭柱脚に E-FBP およびバンドプレートが設けられている。この試験体によっ

て、E-FBP およびバンドプレートによる水平圧縮束の影響を調べることができる。TRT-CP32 試験体は、直交梁による応力伝達におよぼすふさぎ板の影響を明らかにしようとしたものである。この試験体では、主鉄骨梁上下面と柱コンクリートが接触しないようにそれらの間にスリットが設けられている。

Fig. 3 は試験体の形状寸法、配筋詳細および断面を示す。試験体は計 5 体計画されたが、いずれの試験体とも形状寸法、RC 柱の配筋および S はりのディテールは同じである。Fig. 4 に、一例として、鉄骨梁上下面と柱コンクリートとの間に設けられたスリットの状況を示す。Table. 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 回の漸増繰返し载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

Fig. 5 は各試験体の最終破壊状況を示す。各試験体とも、相対変位角 0.01 rad. までに柱材に曲げひび割れが生じた。TR-CP32 試験体では、柱側面でふさぎ板の面外方向の膨らみが観察されたが、柱コンクリートとふさぎ板の境界で、コンクリートの剥落および変形の増大に伴うひび割れの進展はあまり見られない。BR-CP32 試験体では、鉄骨梁上下面の柱コンクリートの支圧破壊が顕著であり、鉄骨梁上下面と柱コンクリートとの境界に隙間が観察された。また、TR-CP32 試験体と同じように、柱側面でふさぎ板の面外方向の膨らみが観察された。一方、スリットをもたない PF-CP32 および BP-CP32 試験体では、BR-CP32 試験体に類似したひび割れ状況を呈しているが、柱コンクリートとふさぎ板の境界でのコンクリートの剥落はより顕著であった。しかしながら、柱側面のふさぎ板の面外方向の膨らみはほとんど見られない。鉄骨梁上下面に接する柱コンクリートの支圧破壊が支配的な BR-CP32, PF-CP32 および BP-CP32 試験体は、変形の増大に伴って柱コンクリートの圧壊領域が

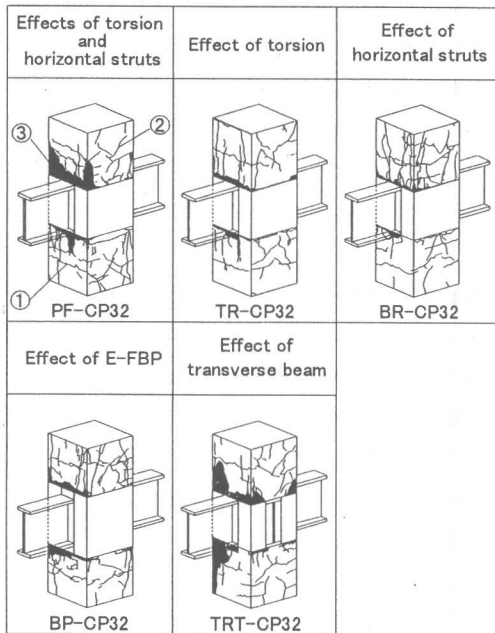


Fig. 5 Crack observations after test

拡大した。直交梁を有する TRT-CP32 試験体でも、柱コンクリートとふさぎ板の境界でのコンクリートの剥落は顕著であり、直交梁フランジと柱コンクリートとの間に隙間が観察された。Table. 2 に代表的なひび割れ発生荷重および最大荷重を示す。

Specimen	①** (kN)	② (kN)	③ (kN)	Maximum Load (kN)
PF-CP32	33.47 (30.08)*	84.34 (71.39)	68.94 (63.84)	100.17 (96.64)
TR-CP32	32.36 (32.53)	66.88 (65.41)	-	74.80 (71.42)
BR-CP32	33.76 (37.85)	82.38 (78.75)	79.73 (60.02)	85.02 (84.80)
BP-CP32	35.75 (31.26)	91.30 (90.81)	93.95 (83.45)	107.53 (105.91)
TRT-CP32	28.02 (27.46)	81.42 (83.70)	-	92.08 (90.69)

\*) ( ): Negative Load

\*\*\*) ①②③ : Cracking Pattern as Shown in Fig. 5

Fig. 6 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  $Q_b$ 、横軸は相対変位角  $R$  である。各試験体とも、すべりを伴ったエネルギー吸収能力の小さい逆 S 字型の履歴曲線を示している。BR-CP32 試験体を除く各試験体は、0.03 rad. で最大耐力を発揮し、最大耐力発揮後、若干耐力低下が見られる。TR-CP32 試験体の最大耐力発揮後の耐力低下は、内部パネルと外部パネルとの間のねじり破壊によるものと推察される。PF-CP32, BP-CP32 および TRT-CP32 試験体の最大耐力は、一般化累加理論で求められた RC 柱の終局曲げ耐力を上回っているが、各試験体とも、最大耐力発揮後の耐力低下率が TR-CP32 試験体とほぼ等しいことから、最大

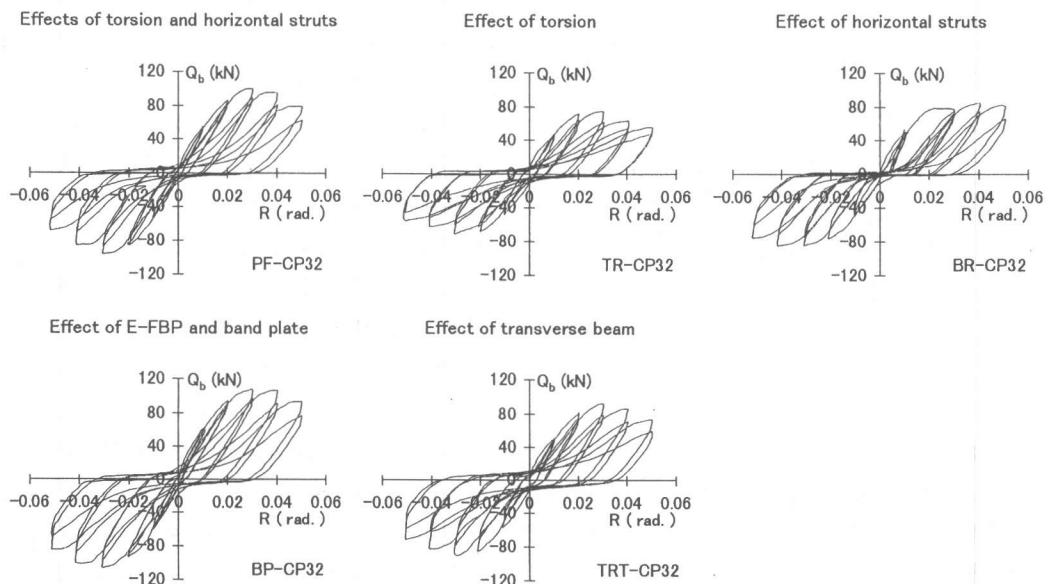


Fig. 6 Hysteresis loops

耐力発揮後の耐力低下は、内部パネルと外部パネルとの間のねじり破壊によるものと推察される。一方、BR-CP32 試験体は 0.04 rad. で最大耐力を発揮し、最大耐力発揮後の耐力低下がほとんど観察されない。これは、鉄骨梁上下面に接する柱コンクリートの支圧力によって耐力が決定されているためと推察される。

Fig. 7 は各試験体の履歴曲線の正載荷時における包絡線を示す。TRT-CP32 試験体の最大耐力は、TR-CP32 試験体の最大耐力よりも 20kN 程度大きく、直交梁の影響は大きいことがわかる。また、BR-CP32 試験体および TR-CP32 試験体の最大耐力は、鉄骨梁上下面に接する柱コンクリートの支圧力と内部パネルと外部パネルとの間のねじり力に対応し、BR-CP32 試験体の最大耐力は、TR-CP32 試験体の最大耐力よりも 10kN 程度大きい。しかしながら、筆者らの既往の研究<sup>2)</sup>によって示されたふさぎ板のない場合の実験結果と比較すると小さくなっている。このことから、接合部がふさぎ板を有する場合、ふさぎ板は接合部のコンクリートを拘束することによって、内部パネルと外部パネルとの間のねじり耐力を増大させる働きを有することが考えられる。

### 5. ふさぎ板およびバンドプレートのひずみ分布

Fig. 8 は TRT-CP32 試験体の直交梁に配置された FBP およびふさぎ板の荷重 - せん断ひずみ曲線を示す。縦軸ははり両端に負荷された荷

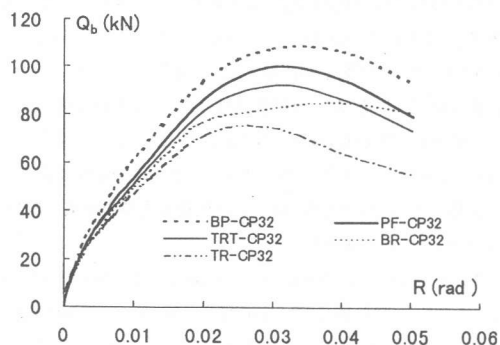


Fig. 7 Envelope curves for hysteresis loops

重の平均値  $Q_b$ , 横軸は FBP およびふさぎ板に貼付されたロゼットゲージから得られたせん断ひずみ度  $\gamma_{xy}$  である。FBP とふさぎ板の板厚を考慮すると、ふさぎ板と比較して FBP のせん断ひずみ度は大きいと考えられる。これより、直交梁に配置された FBP は、直接せん断抵抗要素として働くことがわかる。

Fig. 9 は BP-CP32 試験体のふさぎ板およびバンドプレートのはり材軸方向の荷重 - ひずみ曲線を示す。縦軸ははり両端に負荷された荷重の平均値  $Q_b$ , 横軸は軸ひずみ度  $\epsilon$  である。ふさぎ板と比較して、バンドプレートの引張ひずみ度は大きい。

Fig. 10 はバンドプレートのひずみ度状況を示

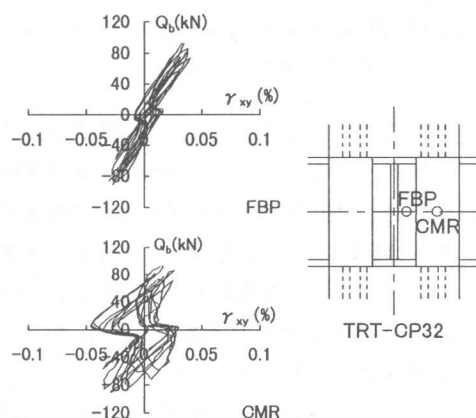


Fig. 8 Shear strain distributions of TRT-CP32 specimen

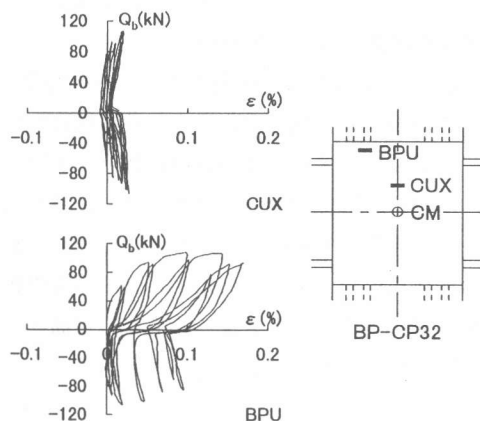


Fig. 9 Axial strain distributions of BR-CP32 specimen

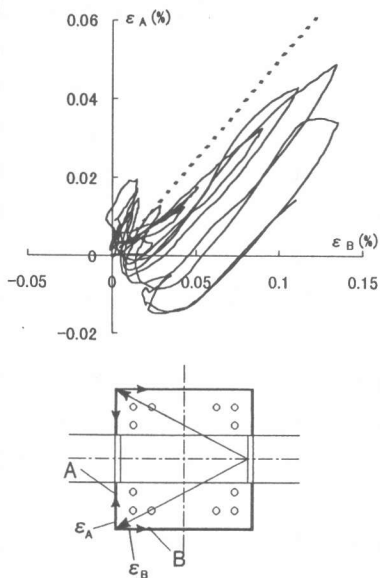


Fig. 10 Strain distributions of band plates between point A and B

す。縦軸は A 点のひずみ度  $\varepsilon_A$ 、横軸は B 点のひずみ度  $\varepsilon_B$  である。図中の点線は、水平圧縮に作用する圧縮力がバンドプレートに伝達され、その引張力によって A 点および B 点に生ずると考えられるひずみ度分布を示したものである。実験から求められたひずみ度分布は、想定されたひずみ度分布状況を示している。このことから、ふさぎ板は、鉄骨梁上下面に生ずる水平圧縮束の圧縮力を引張力によって外部パネルに伝達する働きをもつが、鉄骨梁上下面に E-FBP およびバンドプレートを設けることによって、その働きは増大することがわかる。

Fig. 11 は正載荷時の各振幅における最大耐力時の主筋のひずみ度分布を示す。各振幅において、圧縮側のひずみ度は引張側に移行しているが、最大耐力時までには付着劣化はほとんど見られない。筆者らの既往の研究<sup>2)</sup>によって示されたふさぎ板のない場合と比較すると、ふさぎ板は接合部コンクリートをよく拘束し、主筋の付着力を高めることがわかる。

## 6. 結語

ふさぎ板を有するはり貫通形式 RCS 柱はり接

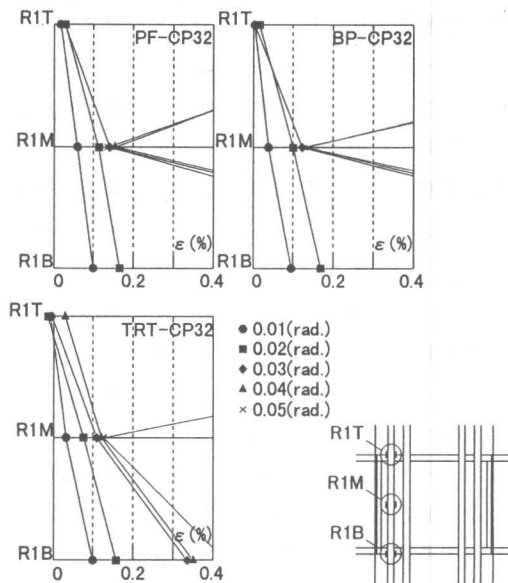


Fig. 11 Strain distributions of longitudinal reinforcing bars

合部のふさぎ板の働きを実験的に検討した結果、以下のような結論が得られた。

- 1) 直交梁がない場合、ふさぎ板はせん断抵抗要素としての働きは小さい。内部パネルから外部パネルへの応力伝達の効果は、ふさぎ板によって若干向上するが、その働きは E-FBP およびバンドプレートを設けることによって向上する。
- 2) 直交梁を有する場合、直交梁に配置された FBP は、せん断抵抗要素としての働きを有する。
- 3) ふさぎ板は、接合部コンクリートの拘束および主筋の付着力を増大させる働きを有する。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会 構造委員会 鉄骨鉄筋コンクリート構造運営委員会 混合構造小委員会：柱 RC 梁 S とする混合構造の柱梁接合部の力学的挙動に関するシンポジウム，1994.12
- 2) 鳥井拓三，馬場 望，西村泰志他：ハイブリッド構造に関する日米共同構造実験研究 (RCS-26)・(RCS-27) 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機構に関する一実験 (その 3)・(その 4)，日本建築学会学術講演梗概集，pp. 1061-1064，1997.9
- 3) Tauqir M. Sheikh, Gregory G. Deierlein et.al. : Beam-Column Moment Connections for Composite Frames Part 1, Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 11, pp.2858-2876, November, 1989