

論文 はり貫通形式 RCS 接合部の応力伝達におよぼすふさぎ板の効果

前田 安美^{*1}・馬場 望^{*2}・西村泰志^{*3}

要旨：本研究は、最も基本的な接合部形式の一つである S 梁が 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、本実験の範囲では、ふさぎ板の板厚が大きいほど、接合部の最大耐力および内部パネルと外部パネルとの間に生じるねじり耐力が増大すること、また、そのねじり力によってトラス機構が形成されることでふさぎ板に生じる引張力もふさぎ板の板厚が大きいほど、増大することが示された。さらに、ふさぎ板の板厚が大きいほど、主筋の付着強度が増大することが明らかにされた。

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

これまで、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 梁 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、各研究機関によって数多くの有益な実験データが蓄積されてきた。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。

既報¹⁾では、最も基本的な接合部形式の一つである S 梁が 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、内部パネルから外部パネルへの応力伝達に及ぼすふさぎ板の効果をふさぎ板の板厚を 3.2 mm として実験的に検討した。本報は、既報¹⁾に引き続き、ふさぎ板の板厚を 2.3 mm とした実験を行い、RCS 接合部の内部パネルから外部パネルへの応力伝達に及ぼす

ふさぎ板の効果が板厚の違いによってどのように影響されるのかを明らかにしようとするものである。

2. 応力伝達機構の一考察

図-1 は直交梁のない RCS 接合部の内部パネルから外部パネルへの応力伝達に及ぼすふさぎ板の効果を示したものである。内部パネルから外部パネルへの応力伝達には、鉄骨梁上下面に生じる水平圧縮束²⁾によるものと内部パネルと外部パネルとの間に生じるねじりによるものがある。延長支圧プレート（以下、E-FBP という）等のシアーキーによって、鉄骨梁上下面に引き

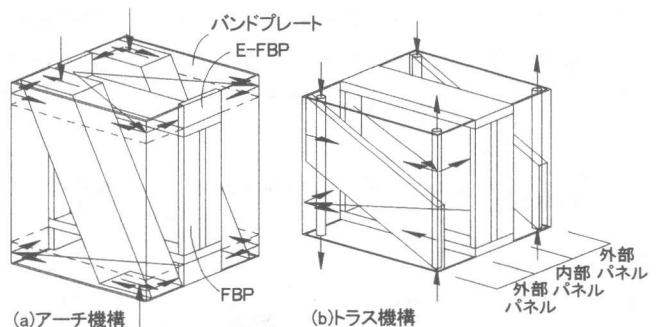


図-1 応力伝達におよぼすふさぎ板の影響

*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)

起こされる水平圧縮束に作用する圧縮力は、鉄骨梁上下面に集中的に配置したせん断補強筋あるいはバンドプレートの引張力によって外部パネルに伝達され、図-1(a)に示すアーチ機構を形成して外力に抵抗すると考えられる。なお、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、FBPという)を鉄骨梁上下面に延長した鋼板である。既往の研究によって³⁾、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の効果は小さいことが明らかにされている。また、バンドプレートは、鉄骨梁上下面のコンクリートを拘束する働きを有することは、既往の研究⁴⁾で指摘されている通りである。一方、内部パネルと外部パネルとの間のねじりモーメントは、図-1(b)に示すように、FBPの内面に作用する圧縮力が外部パネルに向かう力(内部パネルと外部パネルとの間に生じるねじりモーメントを偶力に置換したことに対応する)となり、ふさぎ板の引張力によって外部パネルに伝達され、外部パネルではトラス機構を形成して外力に抵抗すると考えられる。従って、ふさぎ板は外部パネルにトラス機構を形成するための引張力を伝達する働きを有していると推察され、せん断抵抗要素としての働きは小さいと考えられる。なお、図-1(a)および(b)に示したように、コンクリート圧縮束に作用する圧縮力の梁材軸方向成分はバンドプレートあるいはふさぎ板の引張力によって抵抗するが、この成分が引張力にうまく伝達されない場合は、ふさぎ板側面を押し広げようとする働きが生ずる。

なお、バンドプレートとふさぎ板を有するディテールは図-1(a)および(b)の機構が混在すると考えられる。

従って、図-1に示されたこれらの抵抗機構を形成するための引張力を伝達するふさぎ板の板厚は応力伝達の効率に大きく影響することが推察される。

3. 実験計画

図-2は前述の応力伝達の効果を検討するために計画された実験の概要を示す。計画された試験体は、応力伝達の各要素の影響を検討するために、スリットを設けたものが2体、スリットがないものが2体の計4体である。鉄骨梁上下面と柱コンクリートが接触しないように30mmのスリットを設けたTR-CP23試験体は、鉄骨梁上下面に生ずる水平圧縮束の影響を除去して内部パネルと外部パネルとの間のねじりによる応力伝達の影響を明らかにしようとしたものである。内部パネルと外部パネルとの間に3mmのスリットを設けたBR-CP23試験体は、内部パネルと外部パネルとの間のねじりの影響を除去し、鉄骨梁上下面に生ずる水平圧縮束による応力伝達の影響を明らかにしようとしたものである。また、PF-CP23試験体はスリットは設けられていない。従って、この試験体は、TR-CP23およびBR-CP23試験体の両者の影響を調べることができる。BP-CP23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効果を明らかにできる。

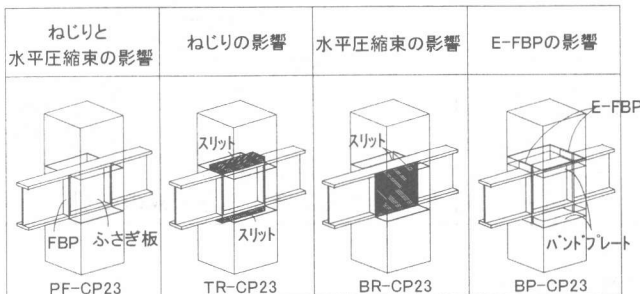


図-2 実験計画

図-3は試験体の形状寸法、配筋および断面詳細を示す。計画された4体の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る。既報ではふさぎ板の板厚を3.2mm(CP32シリーズ)としたが、本実験では、ふさぎ板の板厚は2.3mm(CP23シ

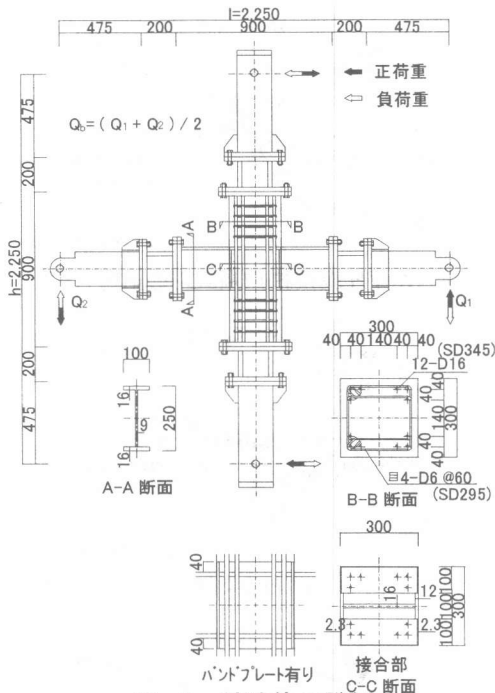


図-3 試験体の詳細

リーズ)としている。なお、ふさがぎ板の板厚2.3mmは、実大の建物をほぼ1/3にモデル化したことに対応する。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。

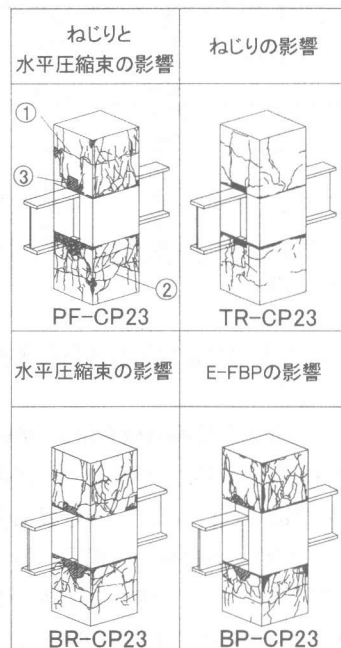
4. 実験結果とその考察

図-4は各試験体の最終破壊状況を示す。各試験体とも、部材角0.01rad.までに柱材に曲げひび割れが生じた。また、PF-CP23、TR-CP23およびBR-CP23試験体は、0.02rad.までに写真-1に示すように、外部パネルのふさがぎ板側面が面外方向に曲げ変形した。なお、BP-CP23試験体では、バンドプレートに面外方向の変形が確認された。TR-CP23試験体では、コンクリートのひび割れの進展はあまり見られない。これは、鉄骨梁上下面にスリットが設けられているので、柱コンクリートの支圧力の影響が除去されているためである。BR-CP23、PF-CP23

表-1 使用材料の力学的性質

材料	応力度		備考	
	σ_y	σ_u		
鉄骨	PL2.3	201	324	-
	PL9	419	523	1
	PL12	289	437	2
		285	446	1
	PL16	257	413	2
		280	450	3
鉄筋	D6	303	509	-
	D16	419	580	-
材料	応力度		備考	
	F_c	F_t		
コンクリート	29.8	2.57	-	

備考 1:PF-CP23 および BP-CP23 試験体
2:TR-CP23 および BR-CP23
3:BP-CP23 試験体の E-FBP



①曲げひび割れ②せん断ひび割れ③支圧ひび割れ

図-4 最終破壊状況

およびBP-CP23試験体は、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、変形の増大に伴って柱コンクリートの圧壊領域が拡大した。また、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。なお、CP32シリーズとCP23シリーズのひび割れ性状に違いは見られなかったが、ふさがぎ板側面の面外方向の変形はCP32シリーズよりもCP23シリーズの方が大き

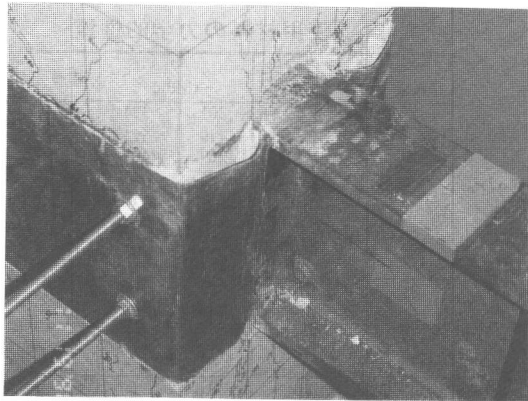


写真-1 ふさぎ板の変形

表-2 ひび割れ発生荷重および最大荷重

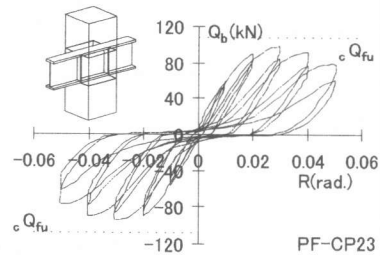
試験体	① [*] (kN)	② (kN)	③ (kN)	最大荷重 (kN)
PF-CP23	27.3 (21.3)**	83.7 (80.0)	83.7 (67.7)	94.1 (91.4)
TR-CP23	28.9 (33.2)	32.4 (38.7)	-	55.9 (52.2)
BR-CP23	26.5 (27.9)	64.9 (65.8)	51.7 (62.6)	82.2 (81.4)
BP-CP23	30.2 (20.9)	114 (112)	105 (103)	113 (112)

*) ①②③ : 図-4 に示すひび割れ

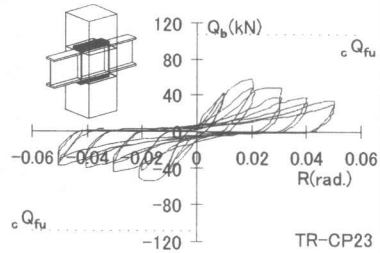
**) () : 負荷重

い。表-2 に代表的なひび割れ発生荷重および最大荷重を示す。

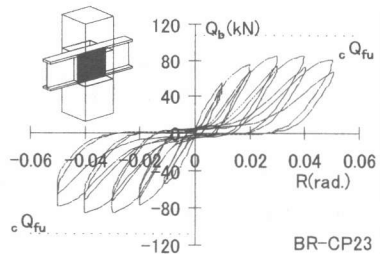
図-5 は各試験体の履歴曲線を示す。縦軸ははり両端に負荷された荷重の平均値 Q_b 、横軸は相対変位角 R である。 Q_{fu} は、一般化累加強度理論⁹⁾ によって求められた柱の終局曲げ耐力である。各試験体とも、すべりを伴ったエネルギー吸収能力の小さい逆S字形の履歴曲線を示している。TR-CP23 試験体は 0.02 rad. で最大耐力を發揮した後、若干耐力低下が見られた。これは、内部パネルと外部パネルとの間のねじり破壊によるものと推察される。PF-CP23 試験体は、0.03 rad. で最大耐力を發揮した後、TR-CP23 試験体と同様、若干耐力低下が見られた。両試験体の最大耐力發揮後の低下する耐力の絶対値は TR-CP23 試験体とほぼ等しいことから、最大耐力發揮後の耐力低下は、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。なお、BP-CP23 試験体の最大耐力は、柱の終局曲



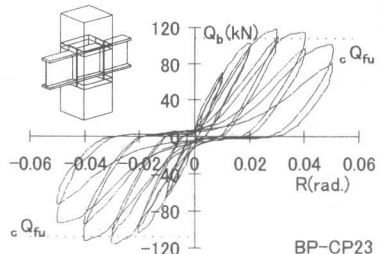
水平圧縮束およびねじりの影響



ねじりの影響



水平圧縮束の影響



E-FBP の影響

図-5 履歴曲線

げ耐力を上回っているが、最大耐力發揮後の低下する耐力の絶対値が TR-CP23 試験体とほぼ等しいことから、柱の曲げ耐力發揮後、接合部の内部パネルと外部パネルとの間のねじり破壊が生じたものと推察される。ねじり破壊が生じたことは、実験後にふさぎ板を取り外して調べると、内部パネルと外部パネルとの間に隙間が生じていたことで確認できた。一方、BR-CP23 試

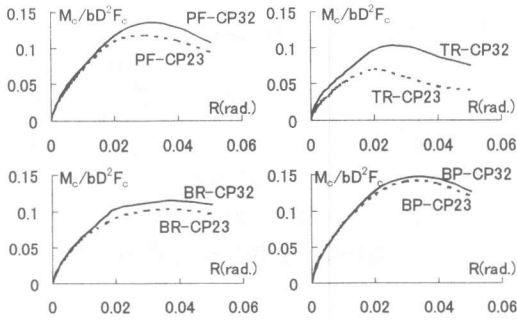


図-6 履歴曲線の包絡線

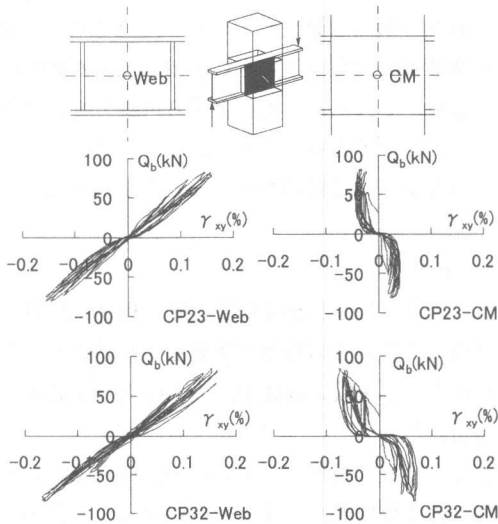


図-7 鉄骨ウェブおよびふさぎ板のひずみ状況

験体は 0.04 rad. で最大耐力を發揮し、最大耐力發揮後の耐力低下は小さい。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ものの、この試験体は、外部パネルと内部パネルの間に隙間が設けられているため、耐力低下に関して、外部パネルの影響が含まれていないためであると推察される。

5. ふさぎ板厚の影響

図-6 は既報¹⁾で示された、ふさぎ板の板厚が 3.2 mm の試験体 4 体 (CP32 シリーズ) およびふさぎ板の板厚が 2.3 mm の試験体 4 体 (CP23 シリーズ) の履歴曲線の包絡線を示したものである。縦軸ははり両端に負荷された荷重の平均

値 Q_b を部材接合端の柱断面の抵抗モーメント M_c に置換し、コンクリートの圧縮強度 F_c で無次元化した値、横軸は相対変位角 R である。CP23 シリーズに対する CP32 シリーズの比は、1.03 ~ 1.45 となり、ふさぎ板の板厚が大きい方が接合部の耐力が増大することがわかる。特に、ねじりの影響を調べるための TR シリーズ試験体の比が最大の 1.45 となったことから、ふさぎ板の板厚が大きい方が、内部パネルと外部パネルとの間のねじり耐力が増大すると考えられる。

図-7 は BR シリーズ試験体の鉄骨ウェブとふさぎ板の荷重-せん断ひずみ度曲線を示す。縦軸ははり両端に負荷された荷重の平均値 Q_b 、横軸は鉄骨ウェブ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 γ_{xy} である。ふさぎ板のせん断ひずみは、鉄骨ウェブと逆向きに生じている。この現象は BR シリーズ試験体に限らず、他の試験体にも観察された。ふさぎ板は曲げに対する抵抗力が非常に小さく、今回の実験でも観察されたようにふさぎ板側面が面外方向に変形する。これは接合部の変形に伴って、ふさぎ板側面が外部パネルのコンクリートと接触し、第 2 章で述べられたように、面外方向に押し広げられようとする力が働くことによって生ずるものと考えられる。この力が、ふさぎ板に対して鉄骨ウェブと逆向きのせん断力を与えることになり、上述のように、ふさぎ板のせん断ひずみが鉄骨ウェブと逆向きに生じたと考えられる。

図-8 は正載荷時の相対変位角 0.03rad. における各試験体のふさぎ板の主応力を示したものである。全体的にふさぎ板には水平方向の引張力が生じている。これは、図-1 で示したトラス機構に対応しているものと考えられ、ふさぎ板はせん断抵抗要素としての働きは小さいことがわかる。なお、ねじりの影響を調べるための TR シリーズ試験体では、主応力の大きさが TR-CP23 試験体より TR-CP32 試験体の方が大きくなっている。これは、ふさぎ板の板厚が大きい方が、内部パネルと外部パネルとの間のねじり

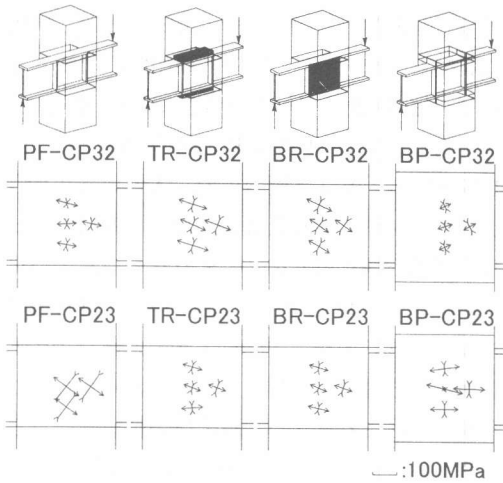


図-8 ふさぎ板の主応力

力が増大し、それに伴い、トラス機構を形成するためのFBP内面から外部パネルに向かう力が大きくなるために、ふさぎ板が負担する引張力が増大するためと考えられる。PFシリーズ試験体ではTRシリーズ試験体と同様に、PF-CP23試験体よりもPF-CP32試験体の方が大きなねじり力が働いたために、トラス機構によってふさぎ板に生じる引張力が大きくなったと考えられる。一方、ねじり力を除去したBRシリーズ試験体のふさぎ板に引張力が生じているのは、前述のように、外部パネルのコンクリートがふさぎ板側面を押し広げようとするため、その力がふさぎ板正面に伝達されて、トラス機構を形成するためと考えられる。

図-9はPF-CP32試験体、PF-CP23試験体および既往の研究²⁾で行われたふさぎ板の代わりにせん断補強筋を使用した試験体の正載荷時の各振幅における最大耐力時の主筋の付着応力度を示したものである。縦軸は図に示す位置に貼付されたひずみゲージから得られた主筋の付着応力度 τ_a をコンクリートの圧縮強度 F_c で無次元化した値、横軸は相対変位角 R である。この3体の見かけ上のせん断補強筋比をふさぎ板とせん断補強筋の断面比により求めると、PF-CP32試験体は2.65%、PF-CP23試験体は1.90%、PF-53試験体は0.53%である。変形の増大に伴

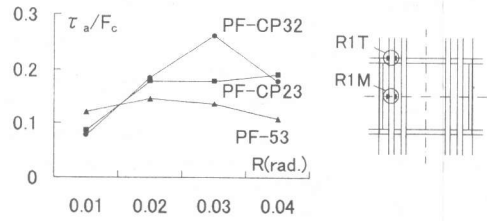


図-9 主筋の付着応力

い、PF-CP32、PF-CP23、PF-53の順に主筋の付着力が大きくなっている。このことから、見かけのせん断補強筋比を大きくするためには、せん断補強筋よりもふさぎ板を用いる方が効果的となり、それによって、主筋の付着力を増大させることができる。また、ふさぎ板の板厚が大きい方がその効果が增大することがわかる。

6. 結語

ふさぎ板を有するはり貫通形式RCS柱はり接合部のふさぎ板の板厚の影響を実験的に検討した結果、本実験の範囲で、以下のような結論が得られた。

- 1) ふさぎ板の板厚が大きいほど、接合部の最大耐力および内部パネルと外部パネルとの間のねじり耐力は増大する。
- 2) 内部パネルと外部パネルとの間のねじり力によってトラス機構が形成され、ふさぎ板には引張力が働き、その力はふさぎ板の板厚が大きいほど増大する。
- 3) ふさぎ板の板厚が大きいほど主筋の付着力を増大させる働きは大きい。

参考文献

- 1) 馬場 望, 西村泰志: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.787-792, 1998
- 2) 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
- 3) 馬場 望, 西村泰志他: 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
- 4) 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
- 5) 若林他: 新建築学大系 42 合成構造の設計, 範国社, pp.103-104, 1995.10