

論文 はり貫通形式 RCS 柱梁接合部の応力伝達におよぼす直交梁要素の影響

城 憲典^{*1}・馬場 望^{*2}・西村泰志^{*3}

要旨:本研究は、S 梁が RC 柱を貫通する最も基本的な接合部形式で、直交梁を有するディテールに着目して、柱梁接合部の内部パネルから外部パネルへの応力伝達におよぼす直交梁の効果を、直交梁を構成する要素に分解した 4 体の試験体を用いて実験的に検討した。その結果、直交ウェブおよび FBP は応力伝達に関して、大きな影響を有することが示された。また、内部パネルの応力は、直交要素を介して外部パネルに直接伝達され、外部パネルではトラス機構を形成して外力に抵抗することが示された。

キーワード: RCS 接合部、はり貫通形式、直交梁、応力伝達機構

1. 序

柱は鉄筋コンクリート（以下、RC と呼ぶ）造、梁は鉄骨（以下、S と呼ぶ）造で構成された柱梁接合部に関して、数多くの実験的研究が行われているが内部パネルから外部パネルへの応力伝達機構におよぼす直交梁の効果は明らかにされていない¹⁾。このような観点から本研究は、直交梁の効果を直交梁を構成するフランジ、ウェブおよび FBP に分解した直交要素を有する試験体を用いて、実験的に検討するものである。

2. 実験計画

図-1 は直交梁の効果を明らかにするために計画された試験体の概要を示す。計画された試験体は、S 梁フランジ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 25 mm のスリットを設けることによって、鉄骨フランジ幅内の内部パネルの支圧抵抗が除去されている。また、内部パネルとそれより外側の外部パネルとの間のねじりモーメントによる応力伝達の影響を除去するために、それらの間に 3 mm のスリットが設けられている。なお、図-1 に示すように鉄骨フランジの幅内を内部パネル、内部パネルより外側の鉄筋コンクリート部分を外部パネルと称

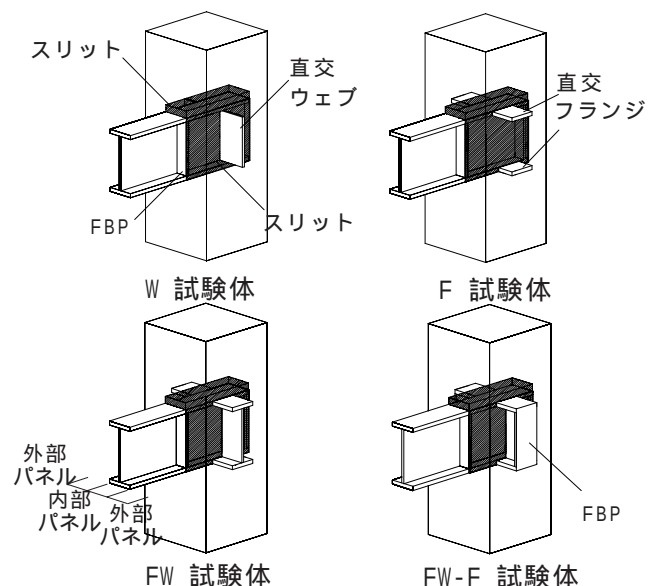


図-1 試験体概要

する。その上で、直交梁の効果を明確にするために、直交梁の構成要素をそれぞれ取り出した計 4 体の試験体が計画された。W 試験体は、直交ウェブのみで構成された試験体である。この試験体では、直交ウェブが応力伝達におよぼす影響を明らかにしようとしたものである。F 試験体は、直交フランジのみで構成された試験体で、直交フランジが応力伝達におよぼす影響を調べるこ

^{*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 工学部建築学科 講師 工博 (正会員)

^{*3} 大阪工業大学 工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

とができる。FW 試験体は、F 試験体と W 試験体を組合わせたものである。また、FW-F 試験体は、FW 試験体の直交梁端部に FBP を設けて、応力伝達におよぼす FBP の効果を明らかにしようとしたものである。

図 - 2 に試験体の形状寸法、配筋および断面詳細を示す。試験体は、交換可能な鉄骨の補助ビームを取り付けることによって、所定の寸法となるようにしたト字形部分骨組であり、実大の $1/3$ 程度の模型を想定している。いずれの試験体とも、形状寸法、RC 柱の配筋および S 梁のディテールは同じである。柱断面は 300×300 mm、柱主筋は D16 (SD295) を各隅角部に 3 本、計 12 本配筋した。柱のせん断補強筋は 4-D6 (SD295) を 60 mm 間隔に配筋した。S 梁の公称寸法は、BH - $250 \times 100 \times 9 \times 16$ とした。接合部では、内部要素のせん断破壊が部材の破壊に先行しないように、鉄骨ウェブパネルを PL16 とした。また、FBP は PL12 とした。なお、直交梁要素の形状、寸法および板厚等は S 梁と同じである。接合部のせん断補強筋は 4-D6 (SD295) を 40 mm 間隔に配筋した。なお、柱梁接合部のせん断補強筋をコの字にして内部パネルと外部パネルを接続していないのは、せん断補強筋の応力伝達の効果を除去するためである。

実験は、柱両端をピン支点とし、梁端に正負 2 回の逆対称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。

表 - 1 に使用材料の力学的特性を示す。

3. ひび割れ状況

図 - 3 に各試験体の層間変形角 $R = 0.01\text{rad}$ 、および 0.03rad 、時の破壊状況を示す。各試験体とも 0.01rad で柱側面に曲げひび割れ、ついで接合部パネル面にせん断ひび割れが生じた。W 試験体では、接合部パネル面に生じたせん断ひび割れが直交ウェブに沿って進展した。また、 0.03rad の時点で新たなせん断ひび割れの発生はほとんど観察されなかった。F 試験体では、直交梁の上下のフランジ間にせん断ひび割れが生じた。FW 試験体では、せん断ひび割れが直交

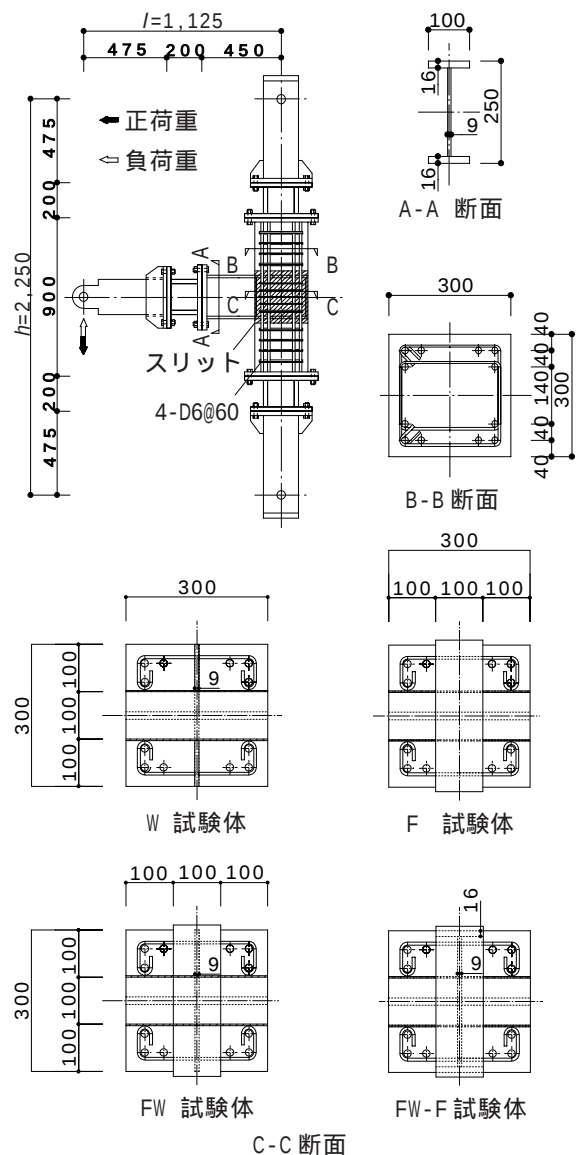


図 - 2 試験体の形状寸法および断面寸法

表 - 1 使用材料の力学的特性

材料	応力度	σ_y	σ_u	E_s
		降伏応力度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
鉄骨	PL9	261	425	1.98×10^5
	PL12	281	439	2.06×10^5
	PL16	261	423	2.04×10^5
主筋	D16	352	529	1.81×10^5
	帯筋	D6	403	515
材料	応力度	F_c	F_t	E_c
		圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
コンクリート		29	2.41	2.52×10^4

表 - 2 ひび割れ発生荷重および最大荷重

試験体名	3)		3)		3)		最大耐力	
	$Q_{cr}^{1)}$ (kN)	$R^{2)}$ (rad.)	$Q_{fl}^{1)}$ (kN)	$R^{2)}$ (rad.)	$Q_{dt}^{1)}$ (kN)	$R^{2)}$ (rad.)	Q_{max} (kN)	R (rad.)
W 試験体	14.42	0.01	14.42	0.01	16.3	0.01	22.36	0.04
F 試験体	16.77	0.00	32.80	0.01	31.5	0.01	55.31	0.03
FW 試験体	26.67	0.00	26.67	0.00	36.3	0.01	60.61	0.02
FW_F 試験体	33.10	0.00	36.48	0.00	41.3	0.01	69.87	0.02

1) ひび割れ発生時の荷重(kN)

2) ひび割れ発生時の層間変形角(rad.)

3) , および は図 -3 の各ひび割れに対応する。

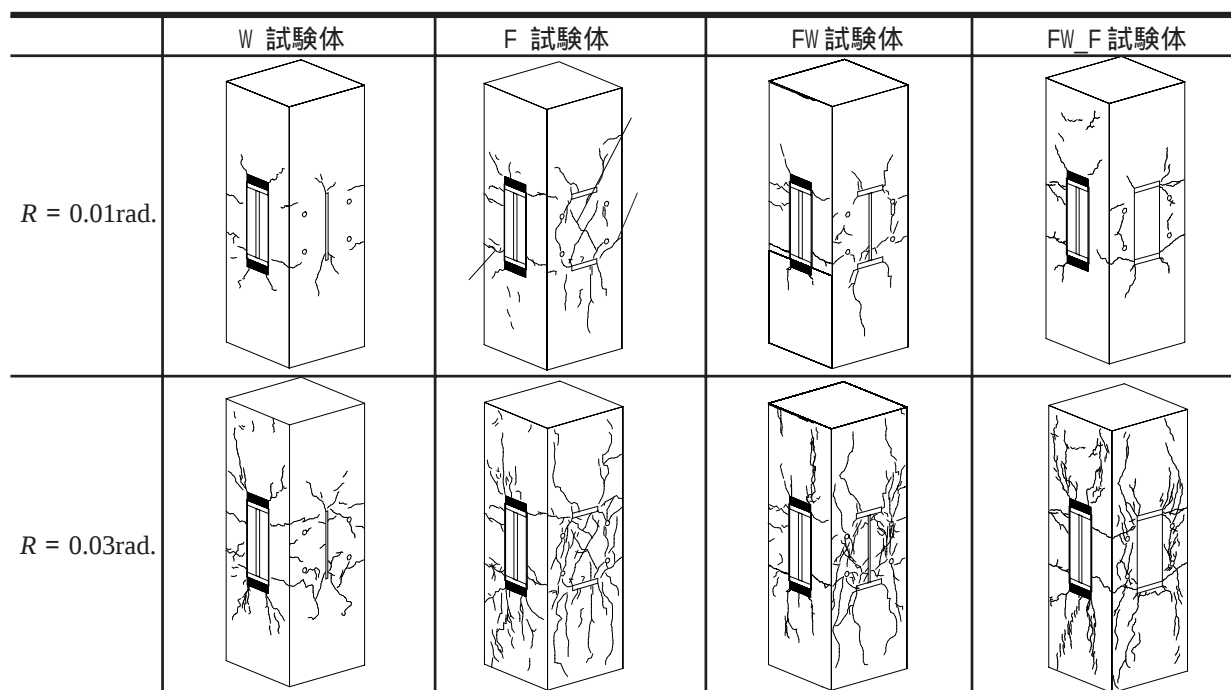


図 - 3 ひび割れ進展状況

梁両側の接合部コンクリートで観察された。FW - F 試験体では ,FW 試験体と比べて ,全体的にひび割れは顕著であり ,主筋に沿ってひび割れが進展した。なお ,各試験体とも , 0.03rad. から 0.05rad. にかけては ,変形の増大に伴ってひび割れは進展するのみであった。

表 - 2 に各試験体のひび割れ発生荷重と最大荷重およびそのときの層間変形角を示す。F 試験体 , W 試験体 , FW 試験体 , FW-F 試験体の順に ,ひび割れ発生荷重および最大荷重が大きくなっている。

4. 履歴性状

図 - 4 に各試験体の履歴曲線を示す。縦軸は梁

端部に負荷した荷重 Q ,横軸は梁部材端部の変形 (δ_B) より求められた層間変形角 $R (= \delta_B / l, l$: 梁端部から柱材軸までの距離)である。F 試験体 , FW 試験体および FW_F 試験体は ,すべりを伴ったエネルギー吸収能力の小さな逆 S 字形の履歴性状を示しているが , W 試験体はエネルギー吸収能力の大きな紡錘形に近い履歴性状を示している。

図 - 5 に各試験体の層間変形角 0.01rad. , 0.03rad. および 0.05rad. 時の固有ループを示す。縦軸は各振幅で負荷した荷重 Q をその振幅の最大荷重 Q_{max} で無次元化した値 Q/Q_{max} ,横軸は各振幅の層間変形角 R をその振幅の最大層間変形

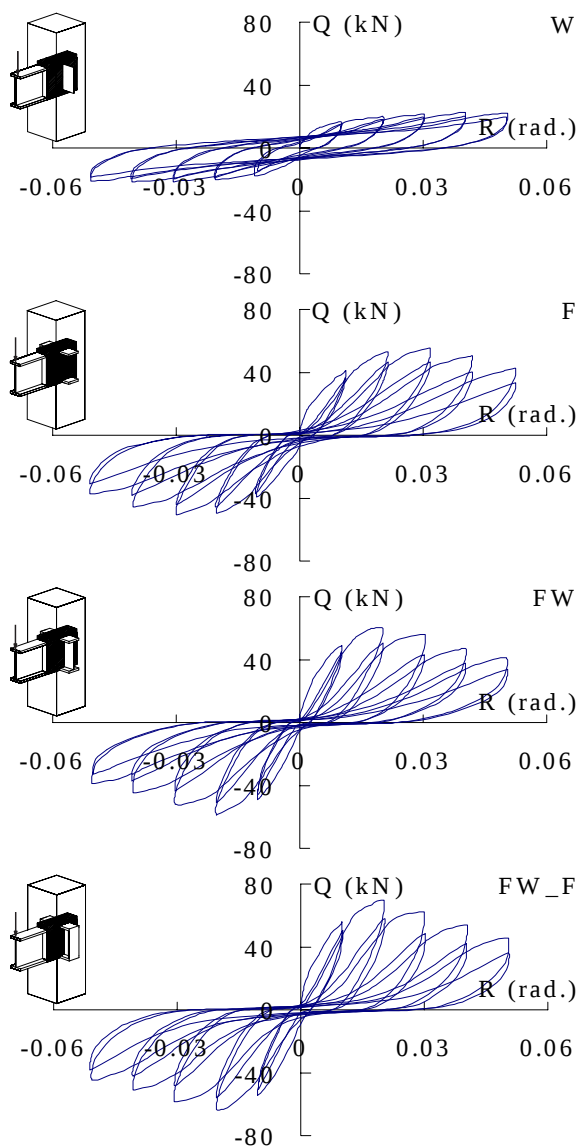


図 - 4 履歴曲線

角 R_{max} で無次元化した値 R/R_{max} である。層間変形角 $0.01rad.$ 時には、各試験体ともすべり現象はあまり見られずほぼ紡錘形の履歴性状を示している。しかしながら、層間変形角が $0.03rad.$ および $0.05rad.$ では、W 試験体は紡錘形に近い形状を保っているが、残りの試験体ではすべりを伴う逆 S 字形の履歴性状に移行している。これは繰返し載荷に伴って埋め込まれた直交梁に接するコンクリートが徐々に支圧破壊されるためと推察される。

図 - 6 に W 試験体の直交ウェブの上端部と中央部に貼付されたゲージの軸ひずみ推移状況を示す。縦軸は梁端部に負荷した荷重 Q 、横軸は軸ひずみ ε であり、図中の ε_y は直交ウェブの降

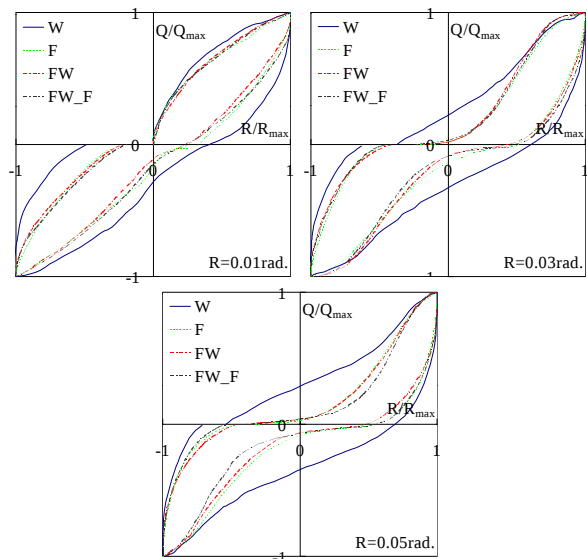


図 - 5 固有ループ

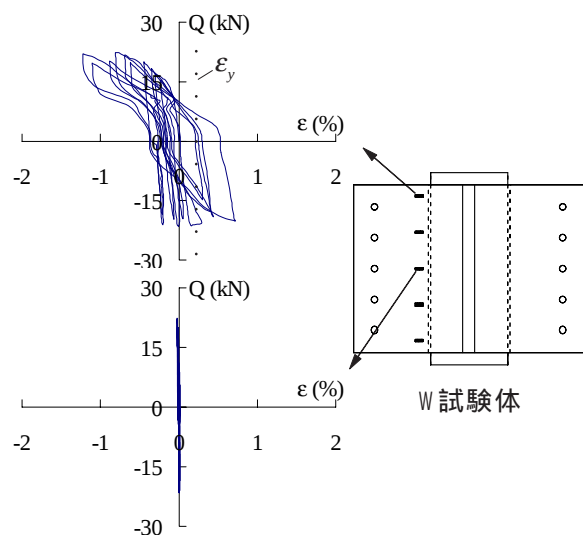


図 - 6 直交ウェブのひずみ状況

伏ひずみを示している。図 - 6 より直交ウェブ上下端部が降伏していることから直交ウェブは外部パネルのコンクリートによって定着され、抜け出しが生じないことが推測される。このことが、W 試験体では耐力低下が見られず、すべり現象の伴わない紡錘形の履歴性状を示した一因と考えられる。

図 - 7 に各試験体の履歴曲線の正荷重時における包絡線を示す。縦軸は梁端部に負荷した荷重 Q 、横軸は梁部材端部の変形より求められた層間変形角 R である。FW-F 試験体の最大荷重が FW 試験体よりも、大きいことから、FBP は抵抗要素として有効に作用していると推察される。FW 試験体と FW_F 試験体は最大耐力を発揮す

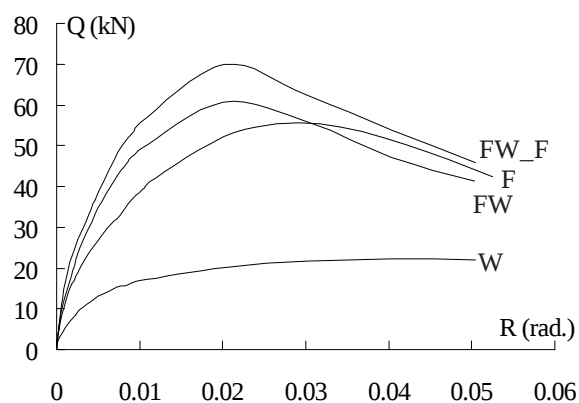


図 - 7 履歴曲線の包絡線

る変形量がほぼ同じであるが、F 試験体はFW試験体やFW_F試験体と比較すると大きい。F 試験体、FW 試験体およびFW_F 試験体は最大耐力以後変形の増大に伴って、耐力低下が見られる。これらの試験体の耐力低下率はほぼ等しい。しかしながら、W 試験体は最大耐力発揮後の耐力低下は見られない。これらのことから、F 試験体とW 試験体を単純累加すると、耐力は異なるもののFW 試験体やFW_F 試験体とほぼ同じ包絡線の形状となる。このことから、直交梁の応力伝達効果を増大させるためには、直交ウェブが大きな影響を有していることがわかる。

5. ひずみ分布状況

図 - 8 は、各試験体の層間変形角 0.02rad. 時の直交ウェブおよびフランジの曲率分布を示す。表 - 3 は、これらの曲率分布から求められた層間変形角 0.02rad. 時の直交フランジに作用する曲げモーメントの値を示す。FW 試験体およびFW_F 試験体に比べ W 試験体の直交ウェブの曲率は大きい。FW 試験体では、直交ウェブが直交フランジによって拘束されていることにより、直交ウェブの曲率が小さくなっているが、直交フランジの曲率は大幅に増大している。このことから、直交ウェブを配置することによって、直交梁は外部パネルのコンクリートに定着され、抜け出しを生じさせにくくする働きを有することが推測される。また、FW_F 試験体ではFW 試験体の直交梁端部に FBP がつくことにより、直交ウェブには顕著な相違は見られないが、直交フラ

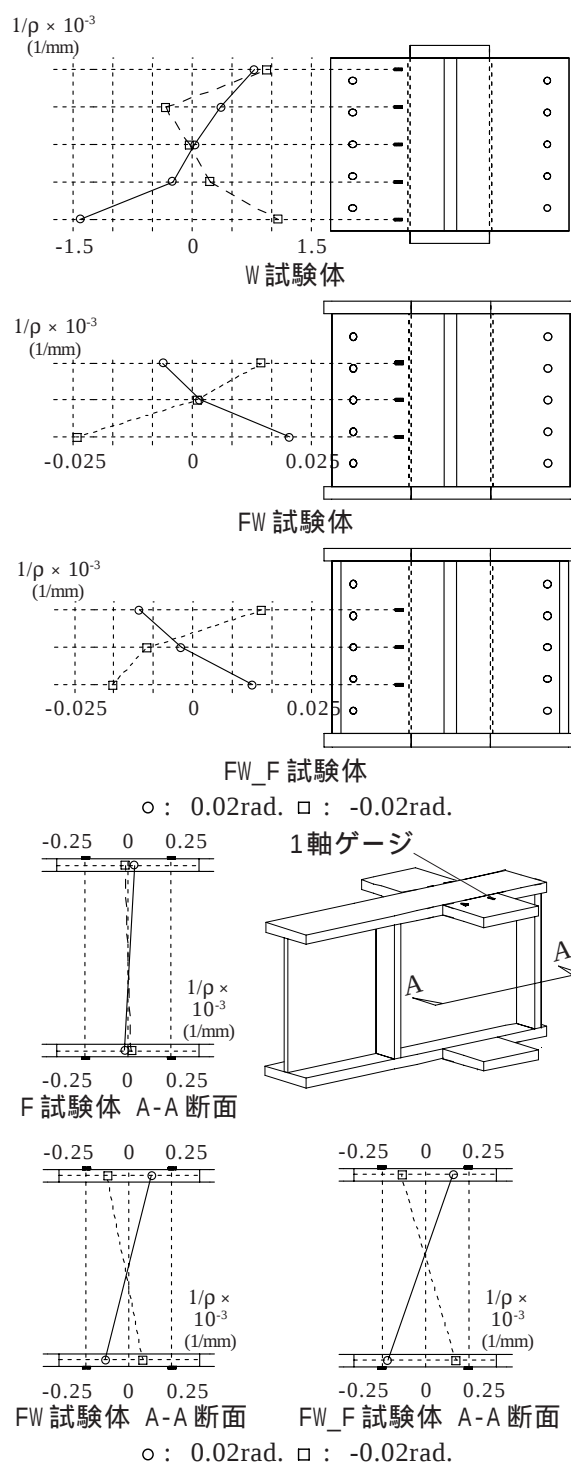


図 - 8 直交ウェブおよびフランジの曲率分布

表 - 3 直交フランジにおけるモーメント

	上フランジ (kN・m)	下フランジ (kN・m)
F 試験体	11.3 (-8.59)	-5.90 (6.35)
FW 試験体	38.5 (-37.2)	-41.0 (23.9)
FW_F 試験体	47.8 (-40.2)	-64.0 (53.2)

() : 負荷荷時の値

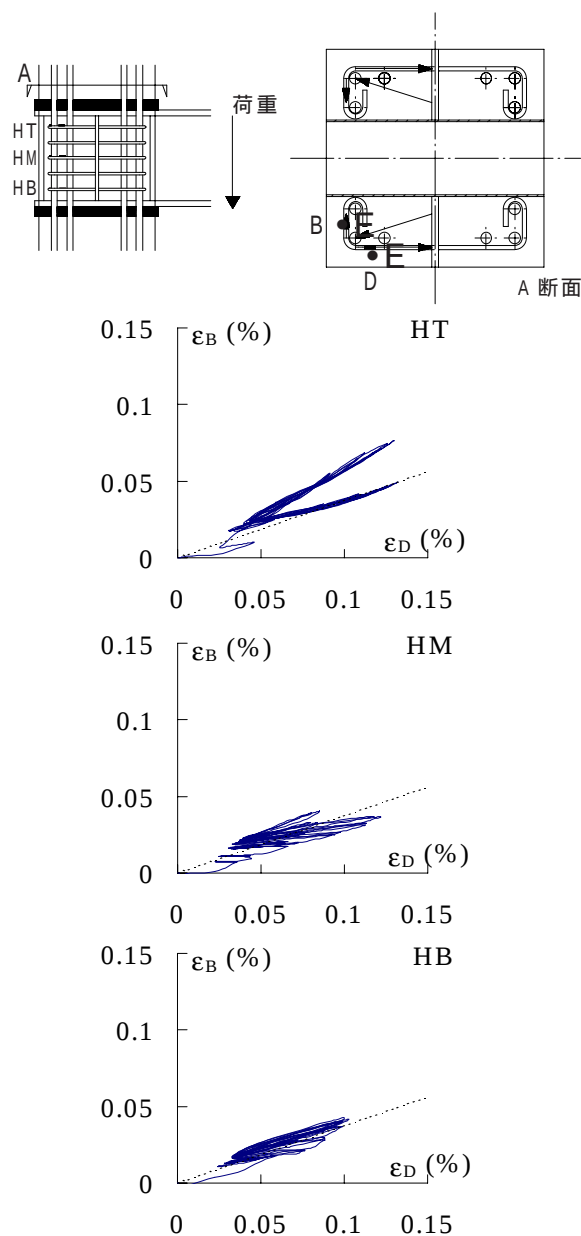


図 - 9 せん断補強筋のひずみ状況

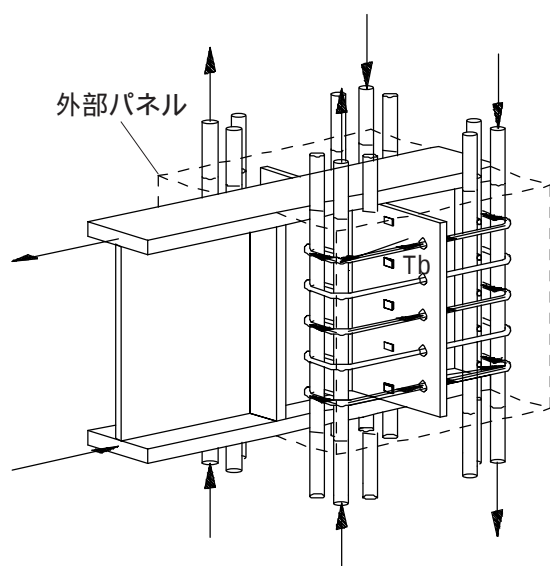


図 - 10 直交梁による応力伝達

ンジの曲率が大きくなっている。これは、直交梁端部の FBP がコンクリートを拘束していることを示しているものと考えられる。

図 - 9 は、接合部に配置されたせん断補強筋に貼付されたゲージ (B 点および D 点) から得られた軸ひずみ分布を示す。縦軸は B 点の軸ひずみ、横軸は D 点の軸ひずみである。図中の点線は直交梁によって引き起こされる圧縮力の作用線の方向を示している。ひずみは、想定された作用線上にほぼ沿ったひずみ分布状況を示している。

7. 応力伝達機構の考察

図 - 10 は図 - 9 に示されたせん断補強筋のひずみ状況に基づいて考えられた W 試験体の応力伝達機構を示す。梁が荷重を受けることに伴って、内部パネルに作用する応力は、直交ウェブに伝達され、直交ウェブに作用する圧縮力は反作用として柱の隅角部に向かう力となり、この力に対して、せん断補強筋に引張力が作用し、外部パネルにトラス機構を形成して外力に抵抗することが推察される。

8. 結語

梁貫通形式柱梁接合部に関して、内部パネルから外部パネルへの応力伝達におよぼす直交梁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) 直交梁は、その構成要素にかかわらず、抵抗要素としての効果がある。
- 2) 直交梁の構成要素が増加していくにつれて最大耐力も増加し、特に、構成要素として直交ウェブが取り付くことによって応力伝達の効果を増大させることができる。
- 3) 柱梁接合部における直交梁の応力伝達に関して、直交梁に接するコンクリートの支圧力によって応力が伝達される。また、その支圧力は、外部パネルにトラス機構を形成して抵抗することが示された。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート柱・鉄骨梁混合構造の設計と施工，2001年