

# 論文 梁貫通形式 RCS 柱梁接合部の応力伝達におよぼす直交梁ウェブの板厚の影響

城 憲典<sup>\*1</sup>・馬場 望<sup>\*2</sup>・西村 泰志<sup>\*3</sup>

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，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要素のウェブの効果を，直交梁ウェブの板厚および接合部パネルのせん断補強筋比を実験変数とした 5 体の試験体を用いて実験的に検討した。その結果，直交梁ウェブは最大耐力に関して，せん断補強筋比の影響はほとんど見られないが，板厚は大きな影響を有することが示された。さらに，内部パネルの応力は，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，直交梁ウェブ，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 RC 梁 S 混合構造の柱梁接合部(以下，RCS 接合部という)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<sup>1)</sup>。このような観点から，既報<sup>2)</sup>では直交梁の構成要素を分解し，構成要素の組み合わせを実験変数とした実験を行った結果，直交梁ウェブが応力伝達に大きな影響を及ぼすことが明らかにされた。本研究は，直交梁の構成要素としてウェブの効果を明確にするために，直交梁ウェブの板厚および接合部パネルにおけるせん断補強筋比の効果を実験変数とした 5 体の試験体を用いて，実験的に検討するものである。

## 2. 実験計画

図 - 1 に直交梁ウェブ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。また，表 - 1 に実験変数を示す。実験変数が板厚の場合，接合部パネルのせん断補強筋比を 0.5% とし，直交梁ウェブの板厚を 4.5mm(W4.5 試験体)，

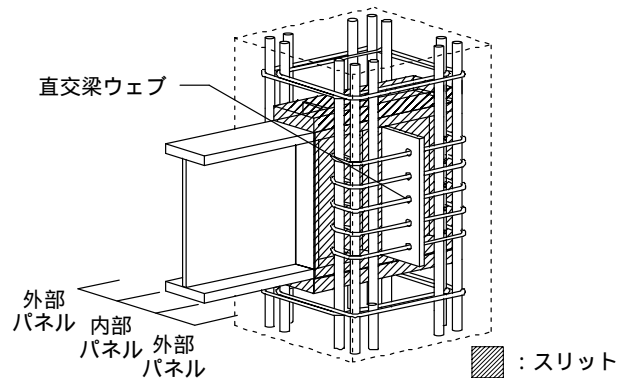


図 - 1 試験体概要

表 - 1 実験変数

		直交梁ウェブの板厚 $t_w$ (mm) の影響		
		4.5	9	16
せん断補強筋比 $P_w$ (%) の影響	0		Pw=0試験体	
	0.5	W4.5試験体	W9試験体	W16試験体
	1.0		Pw=1試験体	

\*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)

9mm(W9 試験体)および 16mm(W16 試験体)とした試験体が計画された。また、実験変数がせん断補強筋比の場合、直交梁ウェブの板厚を 9mm とし、接合部パネルのせん断補強筋比を 0% (Pw=0 試験体), 0.5% (W9 試験体: 実験変数が板厚の試験体と同じもの) および 1.0% (Pw=1 試験体) とした試験体が計画された。試験体は S 梁フランジ上下面と RC 柱が接触しないように、それらの間に 25mm のスリットを設けることによって、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効果を除去するために、それらの間に 3mm のスリットが設けられている。これらにより、S 梁の応力は直接直交梁に伝達させることができる。なお、図 - 1 に示すように、S 梁フランジ幅内を内部パネル、内部パネルより外側の RC 部分を外部パネルと称する。

図 - 2 に試験体の形状寸法、図 - 3 に RC 柱および接合部の詳細を示す。試験体は、交換可能な鉄骨補助ビームを取り付けることによって、柱梁が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

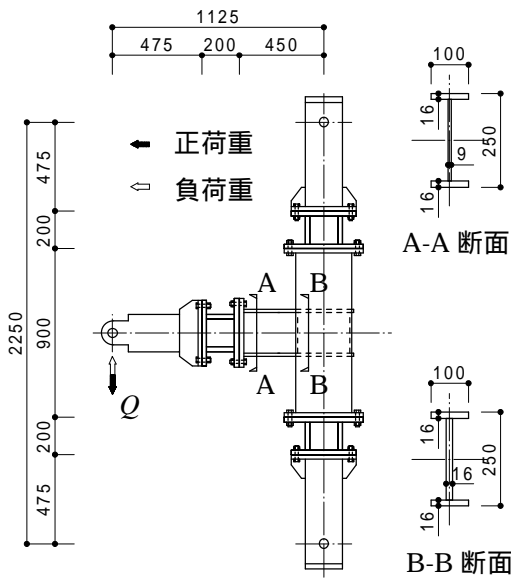


図 - 2 試験体の形状寸法

表 - 2 使用材料の力学的特性

材料	応力度		$E_s$ ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	備考	
	降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
鉄骨	PL4.5	316	412	$2.01 \times 10^5$	1
	PL9	261	425	$1.98 \times 10^5$	2
	PL12	266	416	$2.08 \times 10^5$	1
	PL16	281	439	$2.06 \times 10^5$	2
		252	404	$2.06 \times 10^5$	1
		261	423	$2.04 \times 10^5$	2
主筋	D16	352	529	$1.81 \times 10^5$	2
		349	517	$1.82 \times 10^5$	1
	せん断補強筋	D6	403	515	$1.79 \times 10^5$
		388	508	$1.66 \times 10^5$	1
材料	応力度		$E_c$ ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	備考	
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
コンクリート		$F_c$	$F_t$		
	28.7	2.45	$2.45 \times 10^4$	2	
	28.1	2.58	$2.30 \times 10^4$	1	

備考 1: W4.5 試験体, W16 試験体, Pw=0 試験体, Pw=1 試験体  
2: W9 試験体

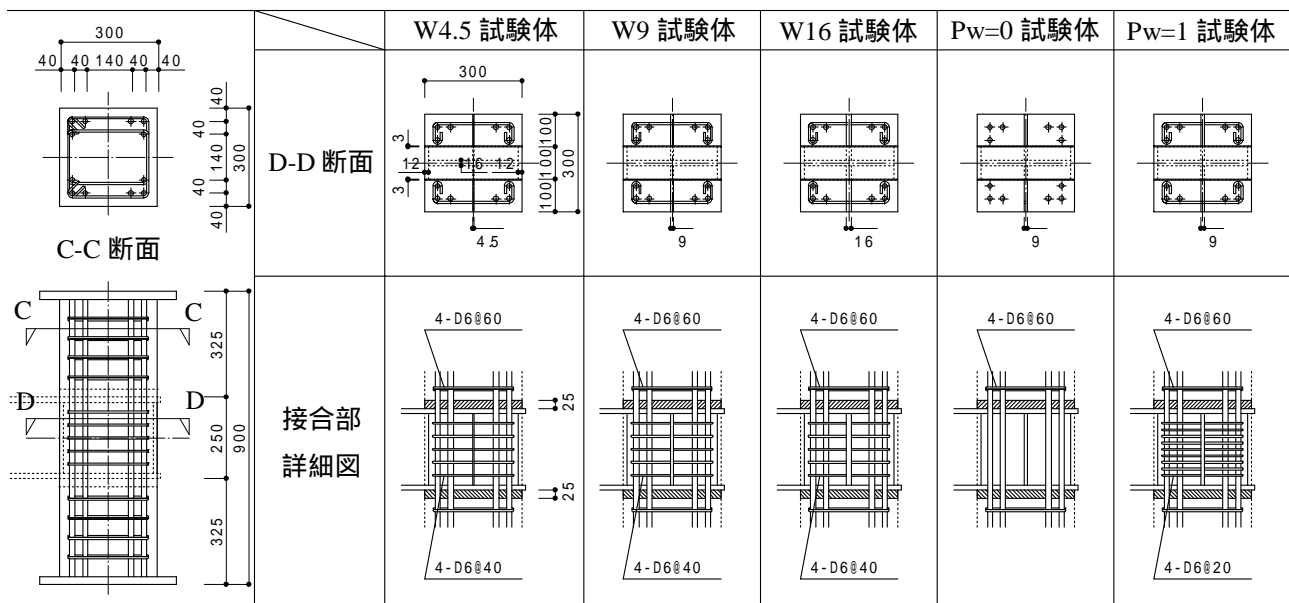


図 - 3 RC 柱および接合部の詳細

表 - 3 ひび割れ発生荷重および最大荷重

試験体名	柱				接合部パネル		最大荷重	
	曲げひび割れ <sup>1)</sup>		せん断ひび割れ		せん断ひび割れ			
	Q (kN) <sup>2)</sup>	R (rad.) <sup>3)</sup>	Q (kN)	R (rad.)	Q (kN)	R (rad.)	Q <sub>max</sub> (kN)	R (rad.)
W4.5試験体	-10.3	-0.010	-10.1	-0.013	-10.3	-0.010	15.6	0.030
W9試験体	14.4	0.006	14.4	0.006	-15.7	-0.008	22.4	0.040
W16試験体	21.3	0.007	19.1	0.006	22.8	0.010	32.1	0.040
Pw=0試験体	12.8	0.004	12.8	0.004	12.8	0.004	21.3	0.030
Pw=1試験体	14.4	0.007	16.2	0.010	-15.6	-0.009	21.5	0.040

1) Q, R および R は図 - 3 の各ひび割れに対応する。

2) ひび割れ発生時の荷重 (kN)

3) ひび割れ発生時の層間変形角 (rad.)

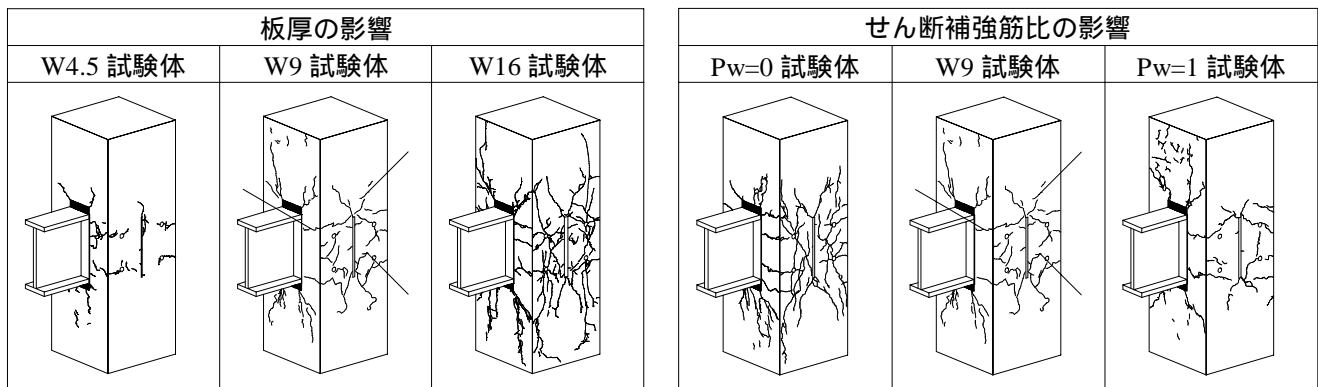


図 - 4 最終破壊状況

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  $b \times D = 300 \times 300 \text{mm}$ ，柱主筋は D16(SD295)を各隅角部に 3 本ずつ計 12 本配筋した。柱のせん断補強筋は 4-D6(SD295)を 60mm 間隔に配筋した。S 梁の公称寸法は，BH-250  $\times$  100  $\times$  9  $\times$  16 である。接合部においては，内部パネルのせん断破壊が部材の破壊に先行しないように，鉄骨ウェブパネル厚を PL16 とした。また，接合部パネルにおけるせん断補強筋比が 0.5% の試験体は D6(SD295)を 40mm 間隔に，1% の試験体は D6(SD295)を 20mm 間隔に配筋した。なお，接合部パネル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，せん断補強筋による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。

表 - 2 に使用材料の力学的特性を示す。

### 3. ひび割れ状況

図 - 4 に各試験体の最終破壊状況を示す。各試験体とも 0.02rad.までに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直交梁ウェブに沿って生じた。実験変数が板厚の場合は，板厚が厚くなるにつれてひび割れは全体的に顕著になった。W16 試験体では接合部パネル面のせん断ひび割れが柱部まで進展し，その後主筋に沿って生じた。また，直交梁ウェブ上部および下部に若干の支圧破壊が見られた。実験変数がせん断補強筋比の場合は，せん断補強筋比が小さくなるにつれてひび割れは全体的に顕著になり，Pw=0 試験体は接合部パネル面のせん断ひび割れが柱部まで進展した。

表 - 3 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。Pw=0 試験体は他の試験体に比べ，～ のひび割れ発生荷重時の層間変形角が小さい。このことより，接合部パネルのせん断補強筋比はひび割れ状況に大きな影響を及ぼすことが推察される。

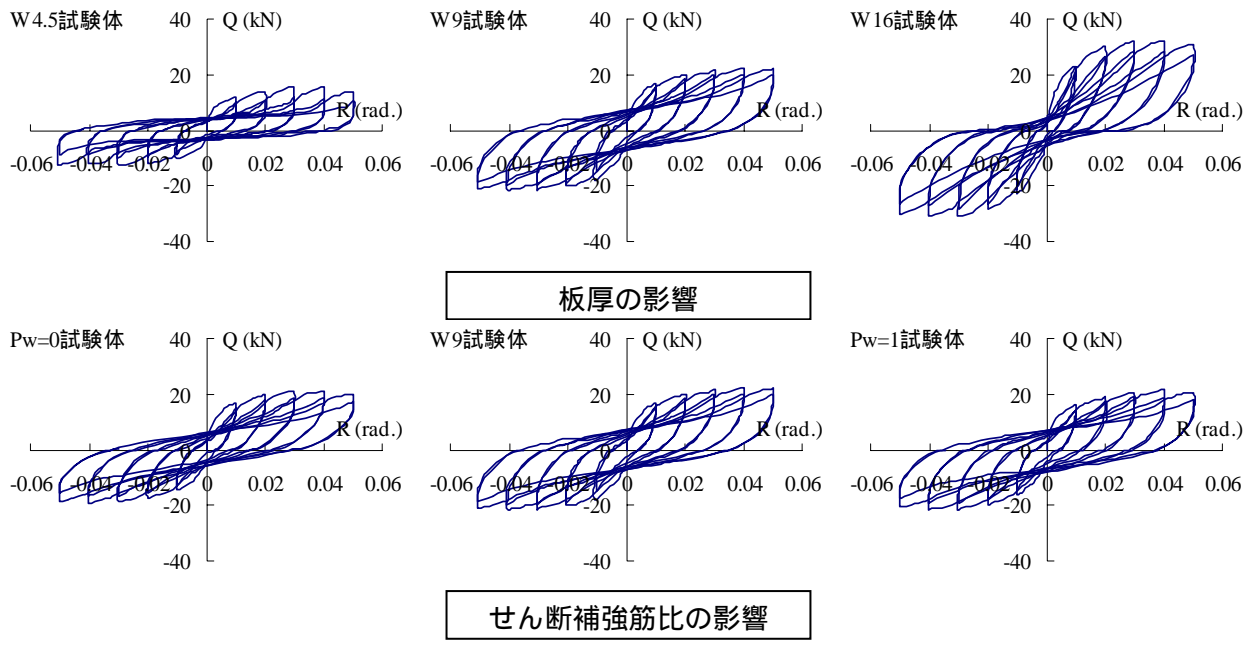


図 - 5 履歴曲線

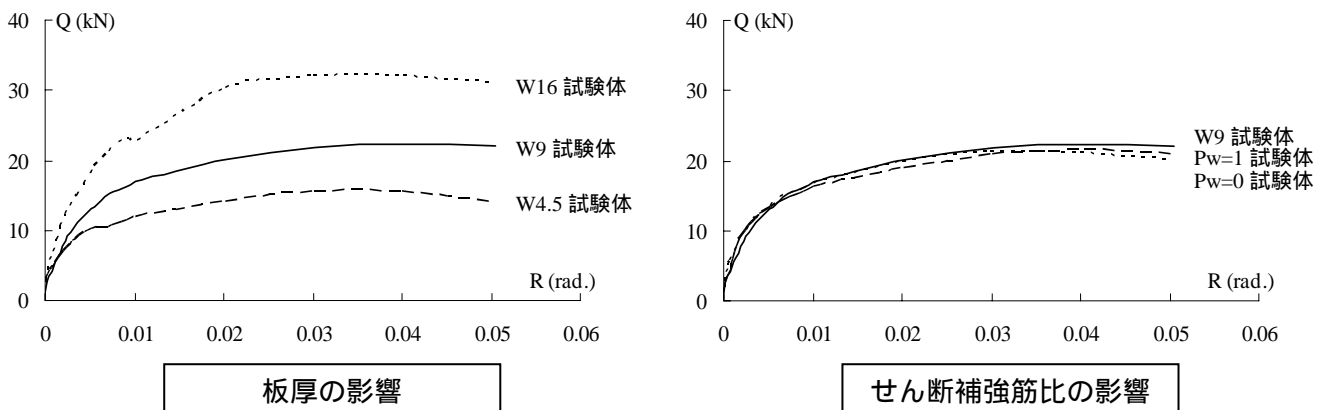


図 - 6 包絡線

#### 4. 履歴性状

図 - 5 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  $(\delta_B)$  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。実験変数が板厚の場合，W4.5 試験体は載荷すると，一定の荷重で変形が進行し，大変形時になると荷重が増大する履歴性状を示している。W9 試験体および W16 試験体は変形の増大に伴って，荷重も増大している。W9 試験体に比べ，W16 試験体は残留変形が小さく，若干すべりを伴う逆 S 字形の履歴性状を示している。このすべりは W16 試験体の直交梁ウェブ上端部および下端部において直交梁ウェブに接するコンクリートが圧壊破壊

し，コンクリートのはく離によって隙間が生じたためであると考えられ，隙間が生じることにより，直交梁ウェブとそれに接するコンクリートが接触するまで外力に抵抗しないためと推察される。次に，実験変数がせん断補強筋比の場合では，W9 試験体と Pw=1 試験体に比べ，Pw=0 試験体は若干エネルギー吸収能力の小さい履歴性状を示している。

図 - 6 に各試験体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。実験変数が板厚の場合，最大耐力は W16 試験体が最も大きく，W4.5 試験体が最も小さい値を示しており，直交梁ウェブの板厚が厚

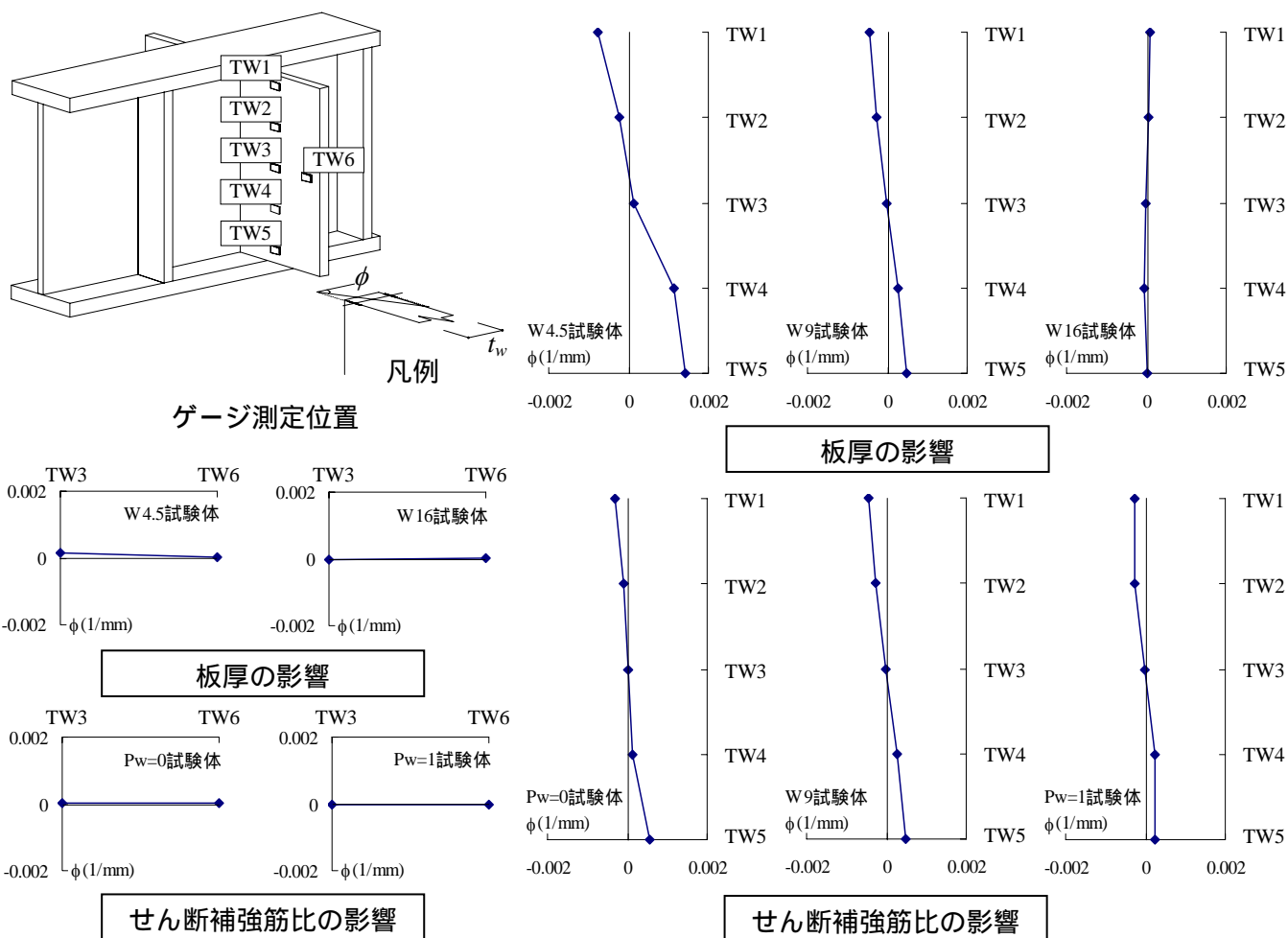


図 - 7 直交梁ウェブの曲率分布

いほうが抵抗機構として有効に作用すると考えられる。なお、板厚が厚くなると、最大耐力発揮時の層間変形角が大きくなる傾向にある。一方、実験変数がせん断補強筋比の場合、最大耐力に顕著な相違は見られず、せん断補強筋比の影響が小さいと考えられる。なお、せん断補強筋比が大きくなると、最大耐力発揮時の層間変形角が大きくなる傾向にある。これらのことより、板厚およびせん断補強筋比は最大耐力発揮時の層間変形角に影響をおよぼすと考えられる。

図 - 7 は、層間変形角 0.03rad.時における各試験体の TW1 ~ TW6 の位置の直交梁ウェブ両面に貼付されたゲージより得られた曲率分布を示す。TW1 ~ TW5 の位置の曲率分布より全試験体とも TW3 の位置の曲率がほぼゼロに近いことより、TW3 の位置を中心に直交梁ウェブ端部が変形すると考えられる。実験変数が板厚の場合について比較すると、W16 試験体、W9 試験体、W4.5

試験体の順に曲率が大きくなっている。既報の研究<sup>2)</sup>より直交梁ウェブが外部パネルのコンクリートによって定着され、抜け出しを生じさせないことが明らかにされているので直交梁ウェブは板厚が薄いと、内部パネルと外部パネルの境界近傍で曲げ抵抗すると考えられる。実験変数がせん断補強筋比の場合では、各試験体ともほぼ同じ曲率分布を示している。TW3 と TW6 の曲率分布を見ると、それぞれの位置での曲率は各試験体ともゼロに近い値を示しており、顕著な相違は見られない。これより、直交梁ウェブは TW3 と TW6 を結ぶ直線を変形していることが推察される。

図 - 8 は、W9 試験体の接合部に配置されたせん断補強筋(B 点および D 点)の軸ひずみ分布を示す。縦軸は B 点の軸ひずみ $\epsilon_B$ 、横軸は D 点の軸ひずみ $\epsilon_D$ である。図中の点線は直交梁ウェブによって引き起こされると考えられる圧縮力の

作用線の方向を示している。ひずみ分布は点線上に分布していることから、ほぼ想定された作用線方向に圧縮力が作用していることがわかる。

### 5. 応力伝達機構の考察

図 - 9 は上述のひずみ分布に基づいて考えられた応力伝達機構を示す。S 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、直交梁ウェブに伝達され、直交梁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  $C_w$  となる。この力に対して、せん断補強筋に引張力  $T$  が生じ、その結果、外部パネルのコンクリートには斜め方向に圧縮束が形成され、トラス機構を形成して外力に抵抗すると推察される。

### 6. 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ウェブ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) 接合部パネルのせん断補強筋比はひび割れ性状に大きな影響をおよぼす。
- 2) 直交梁ウェブの板厚が大きい程、最大耐力は上昇するが、接合部パネルのせん断補強筋比が最大耐力におよぼす影響は少ない。
- 3) 直交梁ウェブは直交梁材軸を中心に変形している。
- 4) 柱梁接合部における直交梁ウェブの応力伝達に関して、直交梁ウェブに接するコンクリートの支圧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させる働きを有している。

### 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
- 2) 城 憲典，馬場 望，西村泰志：梁貫通形式 RCS 柱梁接合部の応力伝達におよぼす直交梁要素の影響，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.25，No.2，pp.1663～1668，2003

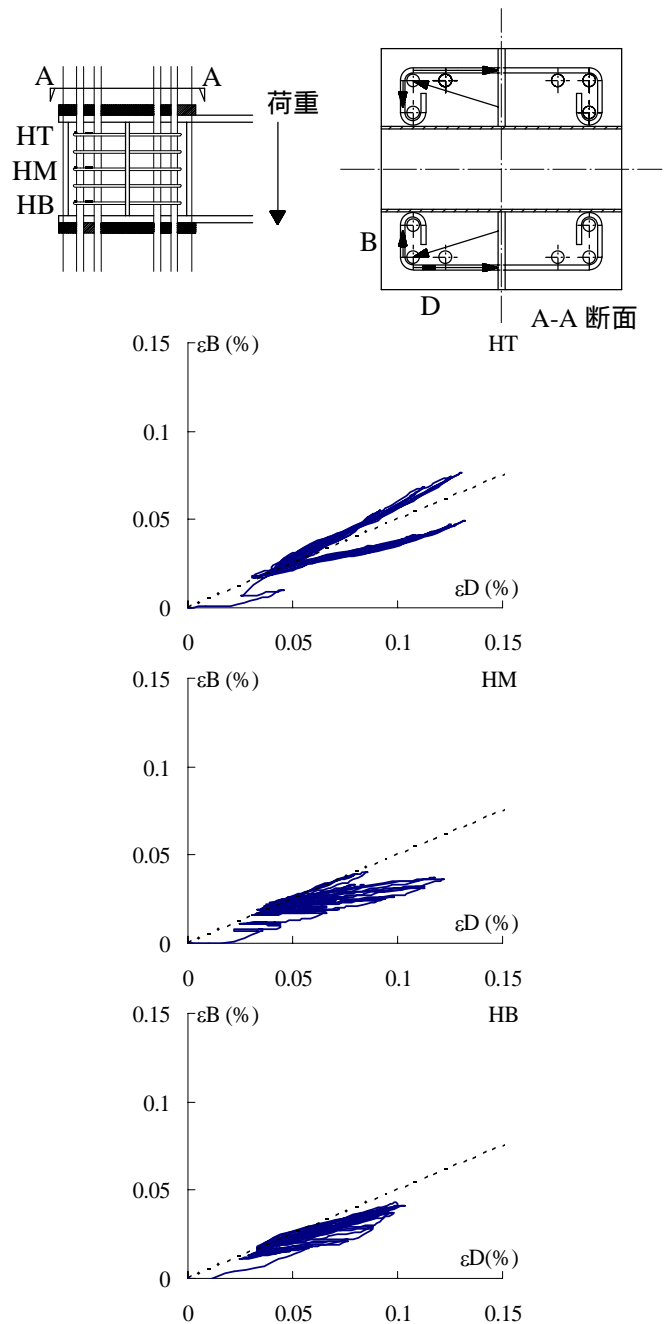


図 - 8 W9 試験体のせん断補強筋の軸ひずみ

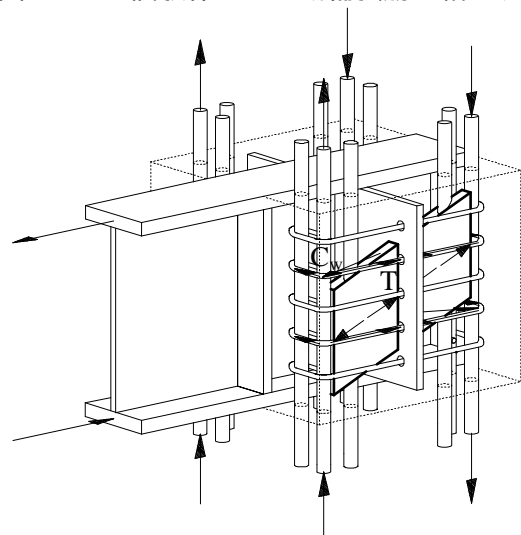


図 - 9 応力伝達機構