

論文 梁貫通形式から柱貫通形式へ接合部ディテールが変化する RCS 柱梁接合部の力学的特性に関する実験的研究

馬場 望 *1・西村泰志 *2

要旨: RCS 構造柱梁接合部の接合部形式が梁貫通形式から柱貫通形式へ変化する場合の破壊性状を実験的に検討した結果, 1) 梁貫通形式から柱貫通形式へ変化するにつれて, 鉄骨フランジ上下面のコンクリートの圧壊荷重, 接合部パネルのせん断ひび割れ発生荷重および内部要素と外部要素間のねじれによる応力伝達の効果は小さくなる, 2) 接合部の最大耐力は, 接合部内の鉄骨フランジの面積と接合部パネルの鉄骨ウェブの強さに大きく影響される等の知見が得られた。

キーワード: RCS 構造柱梁接合部, 接合部形式, 破壊性状, 応力伝達機構

1. 序

鉄筋コンクリート (以下, RC という) 柱と鉄骨 (以下, S という) 梁で構成された混合構造 (以下, RCS 構造という) の柱梁接合部に関して, S 梁から RC 柱への応力を合理的に伝達させるための接合部ディテールに関する研究開発が精力的に行われ, 現在では実際の建物に適用されているものも多い。しかしながら, 未だ合理的な設計法を確立するには至っておらず, 合理的な設計法を確立するためには, S 部分から RC 部分への応力伝達機構を解明する必要がある。

RCS 構造柱梁接合部の接合部形式は, 図-1 に示すように, S 梁の鉄骨フランジおよびウェブがともにそのままの形で柱梁接合部を貫通する梁貫通形式と, S 梁のフランジが柱梁接合部内を貫通しないことを原則とする柱貫通形式に区分される。本研究は, 接合部形式が梁貫通形式から柱貫通形式へと変化する接合部ディテールに着目して, その破壊性状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 構造の十字形骨組における梁の曲げモーメントを示す。柱の中心から半分の部分の力の釣合を考えると, RCS 構造の柱梁接合

部は, 鉄骨フランジ幅内の内部要素において, S 梁が逆対称荷重 Q_b を受けることに伴って, 鉄骨フランジ上下面にてこの機構に基づいて生じる支圧力 C および鉄骨ウェブのせん断力 W の大きさ

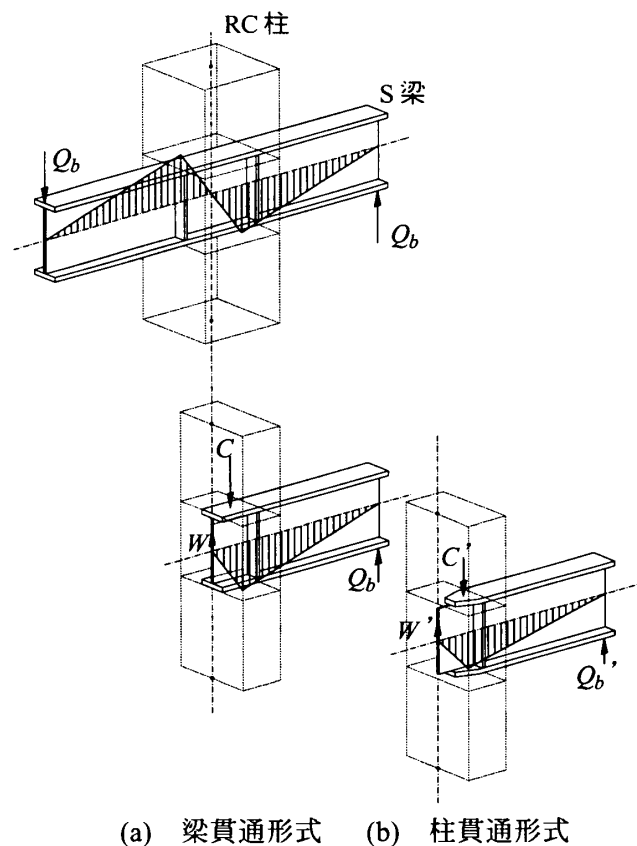


図-1 梁の曲げモーメント図

*1 大阪工業大学 工学部建築学科講師 工博 (正会員)

*2 大阪工業大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

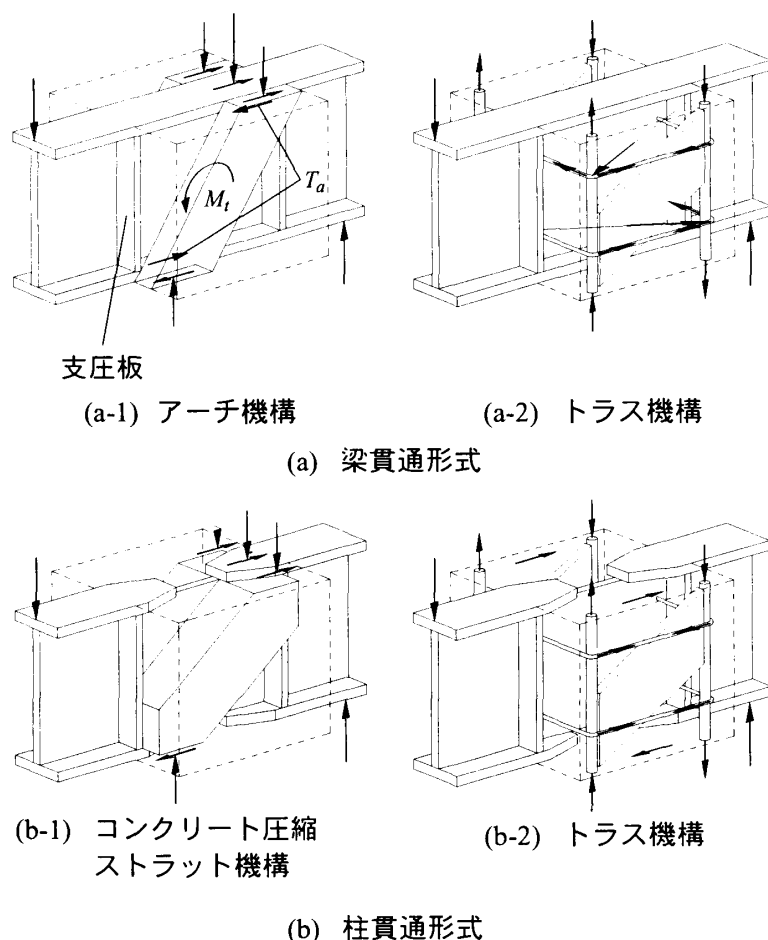


図-2 柱梁接合部の応力伝達機構

に影響されることが考えられる。したがって、柱貫通形式の接合部では、梁貫通形式と比較して鉄骨フランジの支圧面積が小さいため、コンクリートの支圧力 C' は小さくなり、梁端に作用する荷重 Q_b も小さくなると推察される。また、接合部の中央部は鉄骨ウェブのみで接合されるため、コンクリートの支圧力 C' は鉄骨ウェブの剛性および耐力に依存すると考えられる。

図-2 は RCS 構造の柱梁接合部の応力伝達機構を模式的に示したものである。なお、ここで取り扱う接合部ディテールは、最も基本的な観点から、RC 柱表面の S 梁が取り付け部分の鉄骨フランジ間に支圧板が設けられているのみであり、RC 部分はせん断補強筋のみ配置されている単純なディテールである。

梁貫通形式の場合、内部要素より外側の外部要素において、図-2 (a-1) に示すように、柱圧縮力およびせん断力による鉄骨フランジ幅より外

側の外部要素の回転は、内部要素と外部要素との間のねじりモーメント M_t (一对の偶力 T_a に置換したことに対応する) によって拘束され、外部要素では、図-2 (a-1) および (a-2) に示すように、アーチ機構およびトラス機構を形成してせん断抵抗すると考えられる¹⁾。一方、柱貫通形式の場合、S 梁フランジが接合部を貫通しないために内部要素と外部要素との境界が明瞭でなく、鉄骨フランジおよび支圧板によって内部要素のコンクリートを十分に拘束することができないことから、ねじりモーメント M_t による応力伝達の効果は小さくなることが考えられる。したがって、図-2 に示すように、コンクリート圧縮ストラットおよびトラス機構を形成して外力に対してせん断抵抗すると考えられる。

3. 実験計画

図-3 は計画された接合部詳細および実験変数を示す。柱梁接合部のディテールは、支圧板および柱梁接合部にせん断補強筋が配置される最も単純な補強要素のみで構成されている。実験変数は、接合部ディテールおよび鉄骨ウェブの板厚 w_f (PL6 および PL16) であり、それらを組合せた計 6 体の試験体が計画された。BC-0 および BC-0S 試験体は梁貫通形式である。一方、BC-25 および BC-25S 試験体は鉄骨フランジを中央部で $x = 25 \text{ mm}$ 、BC-100 および BC-100S 試験体は $x = 100 \text{ mm}$ 切り取り、三角スチフナ状として柱貫通形式へと変化させた。なお、柱梁接合部のせん断補強筋比 p_w は、いずれの試験体とも 0.53 (%) である。

図-4 は計画された試験体の形状寸法、配筋詳細および断面を示す。試験体は補助ビームを取り付けることによって所定の形状寸法となるようにし、実大の 1/3 程度の模型を想定している。

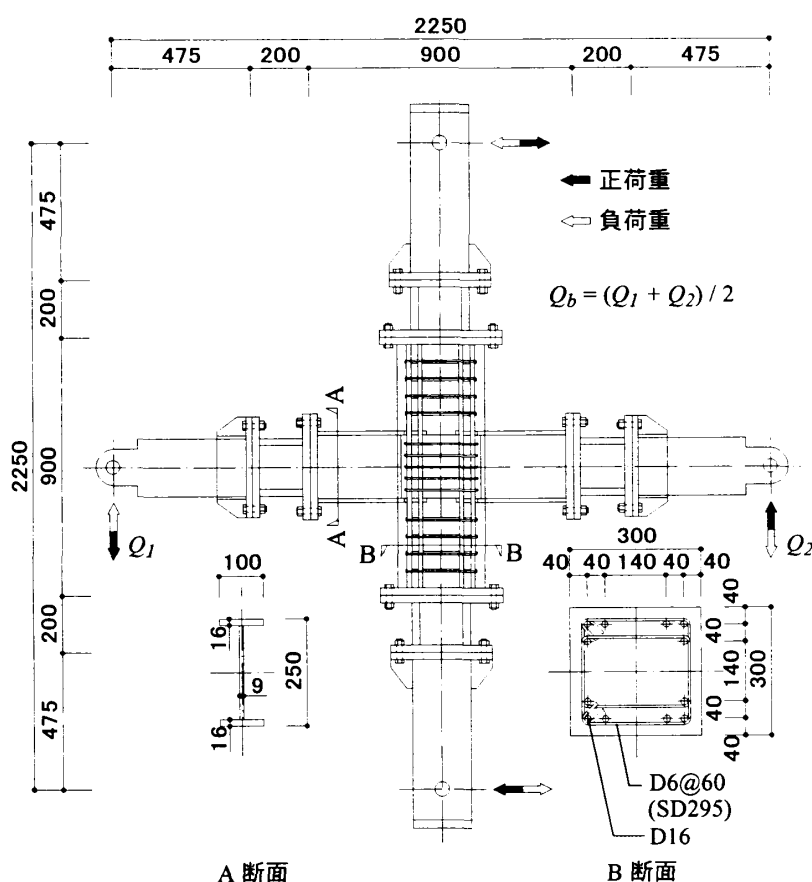


表-1 使用材料の力学的特性

材料	応力度	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	備考 ^{*)}
鉄骨	PL6	298	402	3
	PL9	263	425	1
		419	523	2
	PL12	399	522	3
		307	472	1
		286	446	2
		267	401	3
	PL16	267	434	1
		261	421	2
		255	382	3
鉄筋	D16	352	527	1
		344	522	2
		353	530	3
	D6	351	505	1
		314	494	2
		407	515	3
コンクリート	F_c	F_t	備考 ^{*)}	
	(N/mm ²)			
	27.0	2.36		
	28.5	2.81		
		27.7	2.41	3

σ_y : 鋼材の降伏応力度
 σ_u : 鋼材の引張強度
 F_c : コンクリートの圧縮強度
 F_t : コンクリートの割裂強度
 *) 1: BC-25, 100 試験体
 2: BC-0 試験体
 3: BC-0S, 25S および 100S 試験体

計画されたいずれの試験体とも、部材の破壊が接合部の破壊に先行しないように設計されている。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、梁両端に正負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

4.1 ひび割れおよび破壊状況

図-5 は代表的な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、次いで接合部パネルにせん断ひび割れが観察された。せん断ひび割れは、変形の増大に伴って、接合部パネル中央から上下の柱に進展した。また、相対変位角 0.02 rad. まで

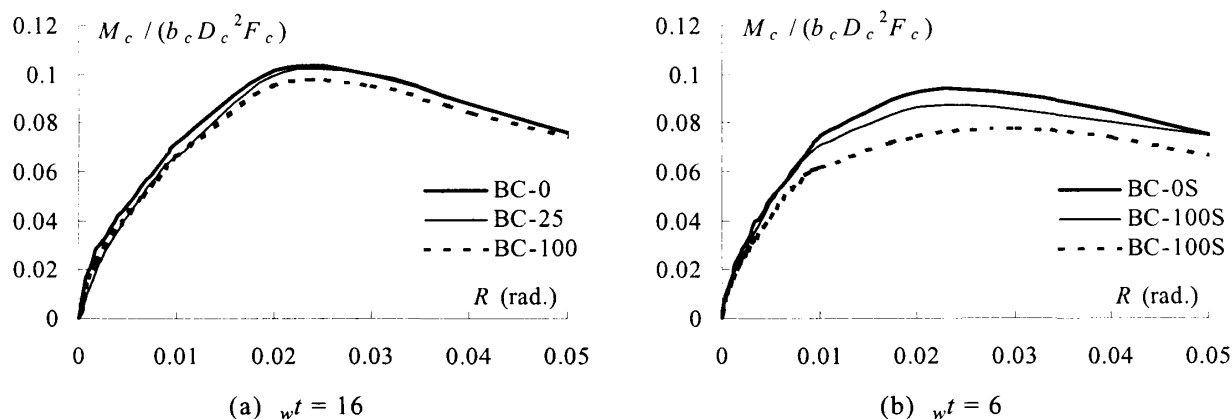


図-6 包絡線

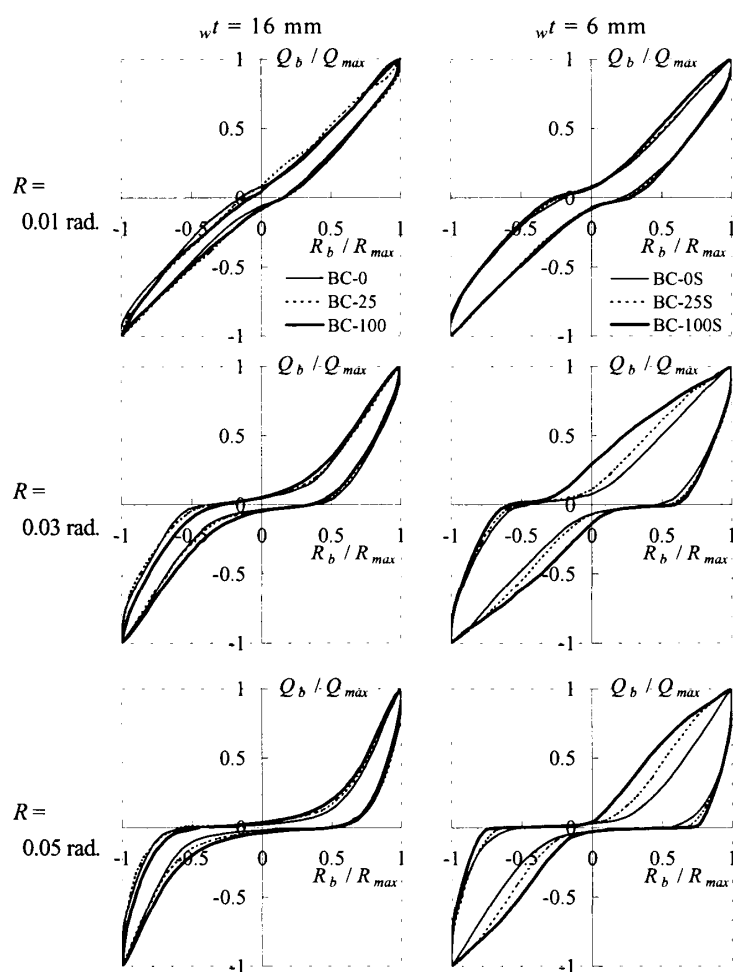


図-7 固有ループ

に、最大耐力は支圧耐力と内部要素と外部要素との間のねじり耐力の累加によってほぼ決定されたものと考えられる。また、最大耐力以後の耐力低下は、前述の破壊状況の考察からねじり破壊によるものと推察される。一方、鉄骨ウェブの板厚が小さい試験体では、梁貫通形式から柱貫

通形式に変化するにつれて最大耐力は小さくなっている。いずれの試験体とも、比較的早期に鉄骨ウェブパネルのせん断降伏が認められたが、柱貫通形式の場合、接合部の中央部は鉄骨ウェブのみによって接合されているため、鉄骨梁の剛体としての挙動が損なわれ、鉄骨フランジとコンクリートとの支圧面積が減少したものと考えられる。なお、各試験体とも最大耐力発揮後の耐力低下が見られたが、梁貫通形式から柱貫通形式に変化するにつれてその低下率は小さくなっている。また、鉄骨ウェブの板厚に着目すると、接合部形式にかかわらず、鉄骨ウェブの板厚が小さくなると最大耐力は低下していることから、接合部の最大耐力は、鉄骨ウェブの剛性および耐力に大きく影響されることが推察される。なお、鉄骨ウェブの板厚が小さくなると、最大耐力発揮後の耐力低下率も小さくなることわかる。

図-7 に相対変位角 0.01 rad. , 0.03 rad. および 0.05 rad. における各試験体の固有ループを示す。縦軸は梁両端部に負荷された荷重の平均値 Q_b をその相対変位角での最大荷重 Q_{max} で無次元化した値 Q_b / Q_{max} , 横軸は梁材端部の変形より求められた相対変位角 R をその最大相対変位角 R_{max} で無次元化した値 R / R_{max} である。鉄骨ウェブ

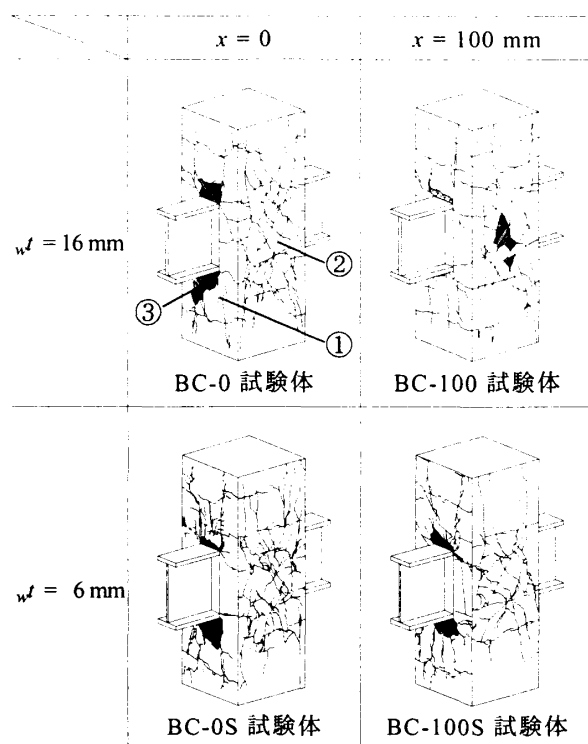


図-5 最終破壊状況

表-2 ひび割れ発生荷重および最大荷重

試験体名	① ^{*)} (kN)	② (kN)	③ (kN)	最大荷重 (kN)
BC-0	38.4	65.1	68.4	73.2
BC-25	22.1	45.6	66.1	73.3
BC-100	41.9	46.3	52.2	72.6
BC-0S	52.4	44.3	55.4	68.3
BC-25S	50.0	40.0	47.3	63.5
BC-100S	44.6	30.9	40.2	57.0

*) 図-5 に示す各ひび割れ発生荷重

に鉄骨フランジ上下に接する柱コンクリートの圧壊が観察された。鉄骨ウェブの板厚が大きい場合、梁貫通形式から柱貫通形式へと変化するにつれて、鉄骨フランジ上下面の支圧破壊の程度は小さくなっている。これは、梁貫通形式から柱貫通形式へと変化するにつれて鉄骨梁の剛性は小さくなるため、内部要素に作用する柱圧縮力が小さくなったためと考えられる。しかしながら、鉄骨ウェブの板厚が小さい場合、梁貫通形式から柱貫通形式へと変化するにつれて、支圧破壊の程度は大きくなっている。これは、鉄骨フランジの中央部分が切断されている柱貫通形式では、鉄骨ウェブの板厚が小さいと鉄骨ウェブが伸び出し、左右の梁が一体となって作用し

ない。このことから、鉄骨梁の剛性が大きい梁貫通形式より鉄骨梁の変位量は大きくなり、コンクリートの圧壊の程度が顕著になったと考えられる。また、梁貫通形式と比較して柱貫通形式の接合部パネルのせん断ひび割れは、そのひび割れ本数は少ないもののひび割れ幅は大きくなった。このことから、梁貫通形式から柱貫通形式へと変化するにつれて、接合部コンクリートパネルの抵抗機構が変化していることが推察される。また、鉄骨ウェブの板厚が小さくなることによっても、同様の傾向が見られた。なお、鉄骨ウェブの板厚が大きい試験体は、接合部形式にかかわらず、最大耐力発揮後、内部要素と外部要素がねじりにより完全に分離しているのが確認された。

表-2 に正載荷時における代表的なひび割れ発生荷重および最大荷重を示す。梁貫通形式から柱貫通形式に変化するにつれて、コンクリートの圧壊荷重および接合部コンクリートパネルのせん断ひび割れ発生荷重は小さくなっている。このことから、コンクリートの局部支圧応力および接合部コンクリートパネルへの入力せん断力が増大しているものと考えられる。また、鉄骨ウェブの板厚が小さくなることによっても同様の傾向が見られる。

4.2 履歴性状

図-6 は各試験体の正載荷時における履歴曲線の包絡線を示す。縦軸は梁両端に負荷された荷重の平均値 Q_b を柱の部材接合端の抵抗モーメントに置換し、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。鉄骨ウェブの板厚が大きい試験体において、初期剛性および最大耐力に若干差がみられるものの、接合部形式による顕著な相違は認められない。筆者らの既往の研究¹⁾により、梁貫通形式の場合、最大耐力は鉄骨フランジ上下面の支圧耐力と内部要素と外部要素との間のねじり耐力の累加によって評価でき、最大耐力以後の耐力低下はねじり破壊によるものであることが示されている。したがって、柱貫通形式においても同様

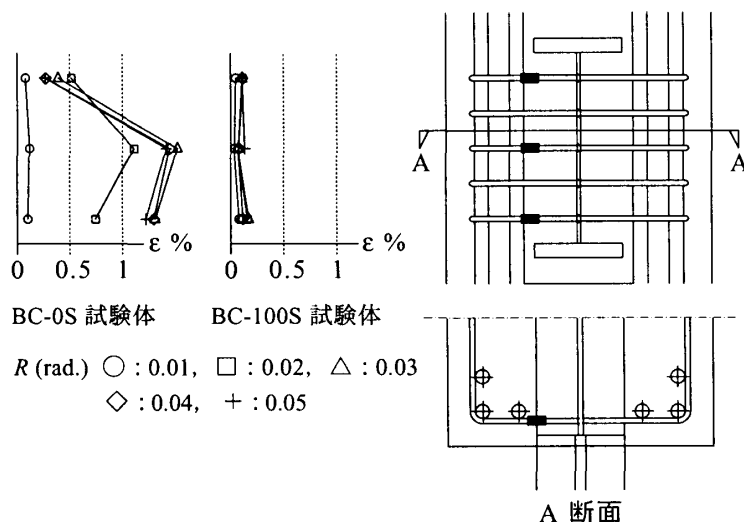


図-8 せん断補強筋の軸ひずみ度分布

の板厚が大きい試験体において、若干ばらつきが見られるものの、各変位振幅において接合部形式による顕著な相違は認められない。一方、鉄骨ウェブの板厚が小さい試験体において、相対変位角 0.01rad. 時の固有ループでは、接合部形式による相違は見られない。しかしながら、変形の増大に伴って、BC-0S 試験体および BC-25S 試験体はすべり量が増大し、逆 S 字形の固有ループを描いている。BC-100S 試験体は他の 2 体と同じように荷重 0 付近ではすべり量が増大しているものの、荷重が作用すると紡錘形のような膨らんだ固有ループを描いている。これは、柱貫通形式の接合部が鉄骨フランジとコンクリートとの支圧耐力ではなく、内部要素の鉄骨ウェブパネルのせん断耐力によって外力に抵抗しているためと推察される。これらのことから、接合部の耐力は、梁貫通形式では鉄骨フランジとコンクリートとの支圧耐力が、柱貫通形式では内部要素の鉄骨ウェブパネルのせん断耐力が支配的であったと考えられる。

4.3 ひずみ分布

図-8 は、鉄骨ウェブの板厚が小さい試験体に関して、正載荷時の各振幅における最大耐力時の接合部側面のせん断補強筋の軸ひずみ分布を示す。BC-0S 試験体では、相対変位角 0.02 rad. で S 梁全せいにわたってせん断補強筋の引張ひずみ度が急激に増大し、引張降伏している。これ

は、既往の研究から、内部要素と外部要素との間のねじりに抵抗したことを示している¹⁾。一方、BC-100S 試験体では、せん断補強筋の軸ひずみ分布にほとんど変化が見られない。このことから、柱貫通形式の場合、内部要素と外部要素との境界が明瞭でないことから、鉄骨フランジと支圧板によって内部要素のコンクリートを十分に拘束することができず、内部要素と外部要素との間のねじりによる

応力伝達の効果は小さくなると考えられる。しかしながら、鉄骨ウェブの板厚が大きい試験体では、接合部形式にかかわらず、変形の増大に伴ってせん断補強筋の軸ひずみは増大して引張降伏していたことから、柱貫通形式では、鉄骨ウェブの剛性および耐力がねじりによる応力伝達に影響をおよぼすと考えられる。

5. 結論

RCS 構造柱梁接合部の接合部形式が梁貫通形式から柱貫通形式へ変化する場合の破壊性状を実験的に検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 鉄骨ウェブの板厚が大きい場合、梁貫通形式から柱貫通形式に変化したことによる履歴性状および最大耐力の相違はほとんど認められない。
- 2) 鉄骨ウェブの板厚が小さい場合、梁貫通形式から柱貫通形式へ変化するにつれて最大耐力は小さくなる。
- 3) 梁貫通形式から柱貫通形式へ変化するにつれて、鉄骨フランジ上下面のコンクリートの圧壊荷重および接合部パネルのせん断ひび割れ発生荷重は小さくなる。
- 4) 接合部の最大耐力は、接合部内の鉄骨フランジの面積と接合部パネルの鉄骨ウェブの強さに大きく影響される。
- 5) 梁貫通形式から柱貫通形式に変化するにつれて、内部要素と外部要素との間のねじれによる応力伝達の効果は小さくなる。

参考文献 1) 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