

直交梁をもつ半剛接鋼骨組の研究 (その1 実験計画および実験結果)

正会員 ○ 海原広幸¹, 同 山成 實², 同 小川厚治³.

同 黒羽啓明⁴, 同 藤田芳治¹

1.はじめに これまでに行われてきたラーメン骨組実験の多くは平面架構を対象としてきた。これらの研究からは骨組の挙動を調べる上で多くの知見を得ることができたことは周知である。しかしながら実際の建物は三次元的構造物であり、骨組の多くの部分は二次元問題として抽象化することで十分説明できるものの、例えば梁が2軸対称に接合されない隅柱部分においては、平面問題で実際の挙動を説明するには無理があると考えられる。

本研究ではラーメン骨組内の隅柱部分に焦点を当て、直交梁の存在が柱梁接合部の最終挙動におよぼす影響を調べる手始めとして2つの形式の異なる柱梁接合部をもつ隅柱部分骨組の加力実験の概要およびそれらの結果について述べる。モーメント抵抗骨組で柱梁接合部が柔らかくあるいは弱い場合、接合部にエネルギー吸収が集中し易くなるが、接合部のもつ耐力上昇率および硬化係数の高さから接合部が降伏した後でも柱梁部材はやがて降伏し主部材のエネルギー吸収がなされることを考慮すると、接合部の損傷を上手に制御することでより合理的な接合部設計が可能となると考える。

2. 実験概要

2.1 実験装置 実験は図1に示すような直交する2つの梁自由端に等荷重を与え、それらに比例して柱の一自由端に軸力を作用させる繰返し加力実験である。実験骨組は建物の隅柱部分から取出したことを想定することで、骨組の転倒モーメントによる柱軸力変動を考慮した結果である。また、本実験では剛床の条件は満たされないが、骨組の構面を維持することで装置の安定を確保した。

梁自由端および柱自由端には複動式油圧ジャッキを用い、繰返し水平力下の骨組の応力状態を実現した。

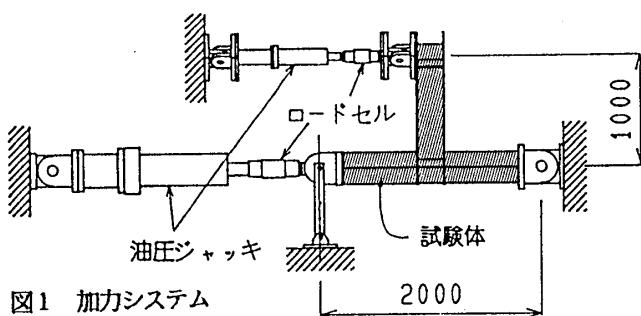


図1 加力システム

2.2 試験体 試験体は表1に示す2体の試験体である。外ダイアフラム接合部試験体は1989年に行った同じ接合形式をもつ平面骨組^[1]のコフォーマンス・テストのために製作した。この試験体では、直交梁の存在により接合部には平面骨組の場合に比べて応力状態は複雑になることで、接合部耐力および変形性能がどのように影響を受けるかを調べる。

一方、内ダイアフラム接合部試験体は、新しい製作の試みの試験体である。すなわち、柱材は一般にダイアフラムの上面(あるいは下面)で継がれるものであるが、継目を接合部パネルの途中に置くものとし、柱の接合前に鋼管内にダイアフラムを梁フランジ位置に挿入した内ダイアフラム接合部としたことが第一点である。第二点は、接合部内的一部のダイアフラムを省くことである。実在の骨組では互いに直交する梁のせいが異なるのが一般的である。2本の梁せい寸法の差が少ない場合には、それぞれの梁フランジ位置でダイアフラムを設けることは工作上の困難が増し、むしろ製作時に接合部に欠陥が生じ得ることも考えられる。近接するダイアフラム設置を避けることで、接合部は剛接合を満足できなくなる反面、製作上の省力化に貢献できることが、この試験体の接合部形式の改善案である。

図2は試験体骨組の製作寸法および接合部詳細である。2体の試験体は、共に階高2.0m、スパン長2.83mの比較的柱間が小さいプランをもつ約1/2スケールのラーメン骨組を想定し、水平荷重下における骨組の隅柱部の柱および梁反曲点で取出した部分骨組である。

外ダイアフラム試験体(CFRE)は文献[1]の製作条件を一致させたものであり、特に文献[2]の接合部詳細と異なり、外ダイアフラムは一枚の鋼板からアイトレーサにより切出し、ダイアフラム入り隅部の不連続を排除した。

表1 骨組試験体

名称	部材断面(mm)	接合部形式
CFRE	柱 □-200x200x6	外ダイアフラム
	梁1 H-250x125x6x9	
	梁2 同上	
	ダイアフラム PL-9	
CFRI	柱 □-200x200x6	内ダイアフラム
	梁1 H-250x125x6x9	
	梁2 H-200x100x5.5x8	
	ダイアフラム PL-9	

1 熊本大学大学院生, 2 同助手・工修, 3 同助教授・工博, 4 同教授・工博

内ダイアフラム試験体(CFRI)では、互いに直交する梁の上フランジ位置を一致させ、下フランジは 50mm の段差をもち、せいの低い梁の下フランジ位置には内ダイアフラムを設けない詳細をもつ。結果としてこの試験体は弾性状態から比較的柔らかい仕口をもつ。梁の段差が大きい場合はそれぞれのフランジ位置にダイアフラムを設けるのは常識である。逆に段差が僅少である場合はむしろ一枚のダイアフラムを割愛する方が工作上の納まりから妥当な設計であると考えることができる。

以上の2体の試験体は接合部が早期に降伏するか、もしくは初期剛性が低い半剛接鋼骨組の例であり、必ずしも現実的なプロポーションをもつものではないが、接合部の変形挙動が骨組全体に対する影響を調べるために十分供し得る設計であり、むしろ接合部の強度および剛性を大きく低下させて設計することで、接合部が骨組のエネルギー吸収要素としての役割を果たし得るものかを調べるのには適当であろう。当然これらの接合部は、保有耐力接合の条件^[3]を満たしていない。

2.3 素材の機械的性質 試験体を構成する部材の素材試験結果を表2と表3に示す。钢管は SM490 の正方形角形钢管とし、試験片は骨組試験体の柱に対応させた2本の定尺長さの材料からそれぞれ採取した。钢管断面の平板部および角部から試験片を4本ずつ採取し引張試験を行うと同時に外径の3倍の長さをもつ両端部を平行に機械仕上げした

短柱圧縮試験各1本を行った。梁材は SS400 のH形鋼を用いた。すべての梁材のフランジおよびウェブからそれぞれ4本および3本ずつのJIS 1号試験片を採取し引張試験を行った。ダイアフラムには厚さ 9mm の圧延鋼板を用いた。直交する梁フランジ力により鋼板には圧延方向(ロール方向)とそれに直交する方向に変形を強いられる。素材試験片はそれぞれの方向について採取し、引張試験を行った。

2.4 測定 実験における測定は、荷重変換器、変位計およびひずみゲージによった。変位計は骨組の変形を捉えるよう各所に設置し、ひずみゲージは接合部近傍の柱および梁断面に材軸方向および周方向に貼付した。また2面の接合部パネル中央点には直交3軸ロゼットゲージを貼付した。

2つの梁自由端変位の平均値を制御変数とし、変位が完全に止まった時点で静的ひずみ測定器によりこれらのデータを計測しパーソナルコンピュータの記憶媒体に収録した。

2.5 載荷プログラム 載荷は漸増変位振幅の交番繰返しによった。弾性限内で±1.0tonf の馴らし運転を行った後に、変位振幅を骨組の変形角にして±1/100, ±1/50, ±1/25, ±1/10 と増加させて、各々1サイクルずつ載荷した。

3. 実験結果

3.1 荷重-変形関係

3.1.1 外ダイアフラム試験体(CFRE) 外ダイアフラム試験体の実験結果を図3に示す。図3の縦軸は2つの梁自由端のジャッキ荷重(P)、横軸は梁自由端の変位の平均値(δ)

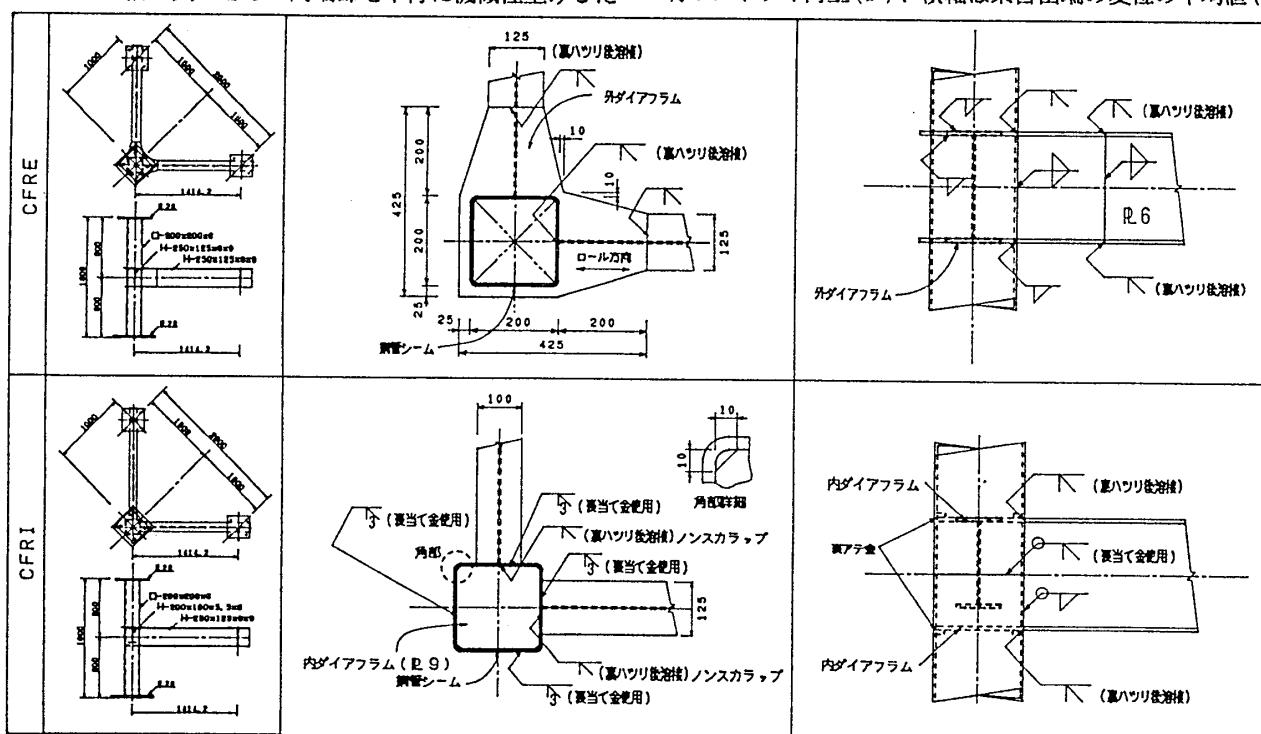


図2 接合部詳細

である。同図中には実験中に観察によって記録された現象を記号によって記してある。記号B, LおよびCはそれぞれダイアフラムの局部座屈、接合部の局部変形およびキレツを意味し、それらの記号に続く数字は現象の発生あるいは発見の順序を意味する。

外ダイアフラム試験体の荷重-変形図に見られる安定した履歴曲線は、1989年の平面骨組の実験結果^[1]と同様に骨組の変形角にして1/25まで耐力劣化を呈することなく健全な挙動を示した。変形角1/25を超えると、この試験体では2つの梁フランジ力により仕口部の局部変形が顕著となり、钢管断面は糸巻き型の形状に変形した。局部変形は、ダイアフラムの局部座屈発生後梁フランジ力が梁幅中央に集中することでさらに顕著となることが観察された。

実験の最終段階の変形角が+1/10に達した後の逆載荷に入ると直ちに钢管角部の内部から亀裂が钢管板を貫通する亀裂が発生した。写真1はそのキレツ発生直後の様子である。このキレツ発生は前述した圧縮梁フランジ力によって钢管断面が変形した状態から逆載荷に伴う梁フランジ力が引張力に転じて钢管断面は膨らむ方向の変形が始まり钢管角部の内壁からキレツが始まったものと説明できる。

3.1.2 内ダイアフラム試験体(CFRI) 内ダイアフラム試験体の実験結果を図4に示す。この試験体ではせいの低い梁の下フランジ位置に内ダイアフラムを設けなかったことにより、実験当初から仕口の局部変形が目視観察された。局部変形は梁フランジ力が柱のフランジに作用して生じる面外変形であり、この変形が仕口部の回転変形として現れる。ただし、この試験体ではCFRE試験体のように梁の上

表2 梁および鋼板の機械的性質

断面(mm)	採取位置	σ_y	σ_u	E	e
		tf/cm ²	%		
H-250x125 x6x9	フランジ	2.982	4.581	2071	26.1
	ウェブ	3.348	4.720	2076	27.7
H-200x100 x5.5x8	フランジ	3.184	4.671	2108	28.1
	ウェブ	3.364	4.763	2057	26.3
PL-9 (外ダイアフラム)	ロール方向	2.819	4.431	2137	31.3
	直交方向	2.847	4.343	2162	30.7
PL-9 (内ダイアフラム)	ロール方向	2.799	4.081	2113	30.9
	直交方向	2.867	4.083	2141	32.0

表3 柱の機械的性質

断面(mm)	採取位置	引張試験				圧縮試験		
		σ_y	σ_u	E	e	$c\sigma_y$	σ_m	E
		tf/cm ²	%			tf/cm ²		
□-200x200x6 (CFRE)	平板部*	4.275	5.248	2103	25.3	4.046	4.222	2067
	角部	5.593	6.049	—	—			
	シーム部	6.275	6.666	2157	10.0			
□-200x200x6 (CFRI)	平板部*	4.110	5.222	2107	26.3	4.119	4.159	2102
	角部	5.672	6.056	—	—			
	シーム部	6.233	6.688	2112	10.0			

* 平板部はシーム部を除く

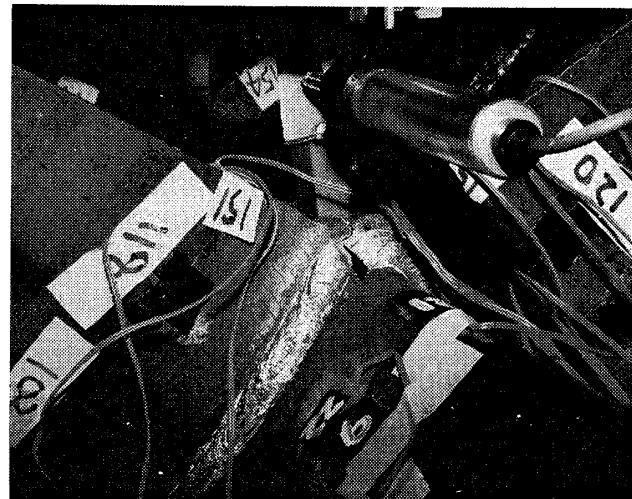


写真1 CFRE骨組の接合部破壊状況

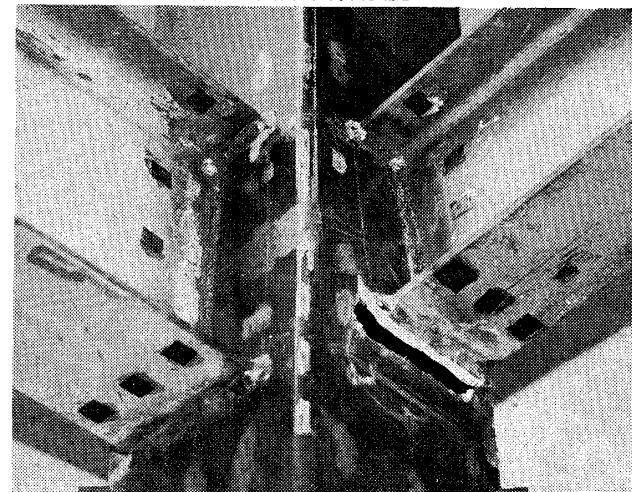


写真2 CFRI骨組の接合部破壊状況

下フランジの接合条件が同じではないので回転変形のみならず軸方向変形も生じる。

図4に見られる逆S字曲線は、内ダイアフラムを省いた梁フランジ位置の局部変形が一方向に十分大きく生じた後に骨組が逆載荷を受ける際に、局部変形が反対方向に生じようとするのに対して柱フランジが既に大きく面外変形しているので柱フランジが妨げる効果が働き、しばらく除荷時の剛性を保つが、やがて柱フランジも逆載荷に抗しきれず飛移現象ともいえる反対側への変形が急激に生じることで描かれた。この現象は繰返し載荷によって生まれるものであり、一方向載荷実験では得られないものである。

前節のCFRE試験体と同様であるが骨組の変形角が±1/50の変位振幅までは接合部の著しい損傷は見られず、仕口のみの変形が骨組の変形を支配していることが特徴的である。2.2節で述べたように試験体のプロポーションに比べて2つの梁せいの寸法差(50mm)が大きいために局部

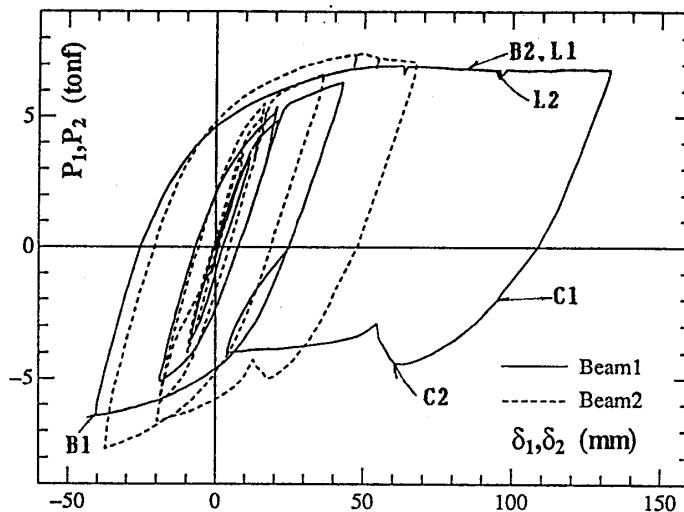


図3 CFRE実験結果

CFRE 観察記録

- B1:外ダイアフラム入り隅部付近で局部座屈確認
- B2:外ダイアフラム入り隅部付近で局部座屈確認
- L1:柱フランジの面外変形(凹)が顕著
- L2:柱フランジの面外変形(凸)が顕著
- C1:外ダイアフラム入り隅部で鋼管角部の内壁からキレツ発生後開口
- C2:外ダイアフラム入り隅部で鋼管角部のキレツが柱材軸方向に急激に進展

CFRI 観察記録

- L1:内ダイアフラムがない梁フランジに接する钢管フランジが凸に面外変形
- C1:内ダイアフラムがない梁フランジと钢管との溶接ビード部に Hair Crack
- L2:内ダイアフラムがない梁フランジに接する钢管フランジの面外変形が顕著
- L3:内ダイアフラムがない梁フランジに接する钢管フランジの面外変形が凸から凹へ移転したため剛性低下
- L4:内ダイアフラムがない梁フランジに接する钢管フランジの面外変形が凹から凸へ移転したため剛性低下
- C2:内ダイアフラムがない梁フランジ溶接部の钢管側仕端部で一気にキレツ貫通のため破断

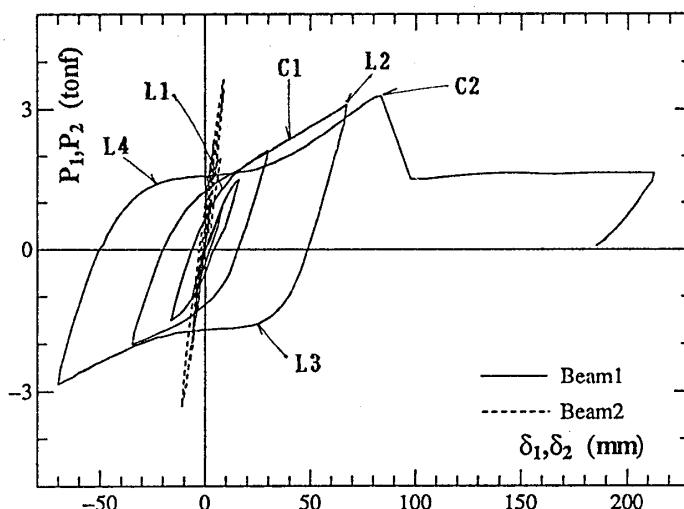


図4 CFRI実験結果

変形が強調された嫌いがあるように考えられる。

この試験体の実験結果のもう一つの特徴は写真2に示すように、損傷が下フランジ部周りの一箇所に限られていることである。従ってこのタイプの接合部設計を行うための設計パラメータは比較的簡潔に表現できるものと予想される。接合部の損傷は柱フランジの面外変形と梁フランジ溶接部止端部で起こることがこの実験で明かとなった。

4. おわりに 2種類の接合形式の角形钢管柱・H形鋼梁部分骨組の繰返し加力実験を各1体ずつ行った結果を要約すると以下のようになる。

- (1) いずれの接合部も完全剛接を満足するものではないが、大变形域に亘る繰返し外乱に対して接合部は早期に破断することなく良好な弾塑性履歴性状を示した。
- (2) 外ダイアフラム試験体は平面骨組の実験結果と同様に直交梁の存在にも拘らず十分な変形性能を示した。接合部の破壊形式は、直交梁フランジ力により钢管角部からキレツが生じた。

(3) 内ダイアフラム試験体はダイアフラムを設けない梁フランジ位置で局部変形が実験の早期から生じ、骨組剛性を低下させたが、仕口の降伏後も骨組は健全な履歴挙動を示した。この種の仕口の接合形式では、仕口の局部変形が大きくなるにつれて履歴曲線は逆S字曲線を描くことが確認できた。

謝辞 試験体製作にあたり角形钢管を日鐵建材工業(株)から提供頂いた。また、本実験を行うにあたり熊本大学工学部建築学科4年生 井上 誠 君の協力を得た。ここに感謝の意を表します。

- 参考文献**
- [1] 山成實, 渡辺純仁, 小川厚治, 黒羽啓明:接合部降伏型の角形钢管柱ラーメン骨組の弾塑性挙動に関する実験的研究(その1), (その2), 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第8号, 平成2年, pp. 157-164
 - [2] 日本建築学会:钢管構造設計施工指針・同解説(1990)
 - [3] 日本建築学会:建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990)