異径角形鋼管柱梁接合部に関する実験的研究

小 原	〔 泉	佐々	木	聡	
佐々	木康人	田	啓	祥	
吉田	文久*1	西	拓	馬 *1	1
曹	水 *1 水水	田原	健	- *]	l

概 要

鉄骨造に用いる角形鋼管柱において、上下階の柱径を変化させることにより、柱の断面を合理的に設計することが多い。その 際、柱梁接合部にはテーパー管を多用している。テーパー管は上階柱からの応力伝達が円滑だが、製作難易度が高い。一 方、柱梁接合部の上部ダイアフラムで接合部パネルと上階柱を接合する方法があり、上階柱の応力は通しダイアフラムの面外 曲げ抵抗を介して接合部に伝達される。この方法は製作が容易である。既往の研究では柱径差が100mmまでの柱梁接合部を 対象とし、耐力および剛性の評価が行われている。

本研究では、既往の研究の適用範囲を拡大した、上下階柱の径差が150mmの異径柱梁接合部について、2種類の構造実験 を行った。その結果、耐力は既往の算定法により算出した耐力を上回り、剛性は既往の算定法に概ね対応することを確認した。

Experimental Study on Beam-to-Column Joint with Unequal Width of Columns

Abstract

In steel structures using square steel tubular columns, the upper and lower story columns are given different external diameters to adjust the cross-sectional performance. In this case, tapered steel tubes are often used in beam-to-column joints. While it is clear that tapered steel tubes stress transfer, they are difficult to fabricate. The previous study proposed the method where beam-to-column joints with unequal column width use thick diaphragms and straight joint panels. The joint panel and the upper story column are connected by this diaphragm, and the stress of the upper story column is transmitted to the joint due to the out-of-plane bending resistance. This method is easy to fabricate. In a previous study, the strength and stiffness of the beam-to-column joint with a difference in diameter of up to 100mm was evaluated.

This paper details the results of two types of structural tests for beam-column joints with unequal column width of 150mm. As a result, it was confirmed that the strength of this joint exceeded that measured with the previous method, and that its stiffness can be evaluated with the previous method.

柱梁接合部、角形鋼管、 キーワード: ダイアフラム

*1 大和ハウス工業

-79-

§1. はじめに

鉄骨造に用いる角形鋼管柱において、上下階の柱径 を変化させることにより、柱の断面を合理的に設計するこ とが多い。その際、柱梁接合部にはテーパー管を多用し ている。テーパー管は上階柱からの応力伝達が円滑だが、 製作難易度が高い。一方、図1に示すように柱梁接合部 の上部ダイアフラムで接合部パネルと上階柱を接続する 方法がある。この方法は製作が容易であるが、上階柱の 応力は通しダイアフラムの面外曲げ抵抗を介して接合部 に伝達されるため、その耐力と剛性を確保する板厚の設 計が課題である。これまでに吉田ら^{1),2)}は上下階柱径差が 100mm までの異径角形鋼管柱梁接合部を対象とした検 討を行っている。その中では、ダイアフラムの耐力を図



図2 耐力および剛性モデル(一方向偏心)

2(a)に示す曲げ降伏機構を想定した降伏線理論による面 外曲げ耐力およびパンチングシャー耐力の最小値として 算出している。また、ダイアフラムの剛性は図 2(b)に示す ようなダイアフラムを回転バネで連結された多角形要素に 分割し、各要素を剛体とした剛体-バネモデルによる曲げ 変形と各要素のせん断変形から算出している。

本研究では、異径角形鋼管柱梁接合部について、上 下階柱の径差を最大 150mm に拡大し、柱材として普通 鋼および高強度鋼管を用いた、2 種類の構造実験を行い、 その剛性および耐力について考察する。

§2. T字形接合部実験

2.1 実験概要

表1に試験体一覧、図3に実験装置、図4に試験体 形状(No.1~11)、表 2 に使用鋼材の力学的性質を示す。 試験体は柱-接合部パネル部分モデルとし、実験変数 は、柱径、柱鋼種、柱の径差、小径柱の柱位置、ダイアフ ラム板厚とした。試験体はNo.1~11の試験体は小径柱が □-250×250×16、柱長さが 1700mm であり、No.12~15 の試験体は小径柱が□-400×400×19、柱長さが 3000mmである。柱径差はNo.1が50mm、No.2が100mm、 No.3~15 が 150mm である。No.12~15 は柱および接合 部パネルを建築構造用 550N/mm² 冷間プレス成形角形 鋼管(以下 BCP385 とする)とした。載荷は載荷点の変位 制御とし、ダイアフラムフェイス位置からの載荷点までの 距離(No.1~11:1950mm、No.12~15:3250mm)に対し、変 形角 θ が 1/400 で 1 回、1/200、1/100、1/50、1/33、1/20、 1/15、1/10 でそれぞれ2回の正負交番漸増繰返し載荷を 行った。No.5,8,11,15 は既往の評価法 ¹⁾によるダイアフラ ムの降伏耐力が、柱の降伏耐力を上回るように、ダイアフ

圭1	封驗休-	_ 暫
111	可以阅史 1/4	一見

			小径柱			接合	部パネ	ル	柱の		ダ	イアフラム		
No.	径 (mm)	板厚 (mm)	長さ (m)	鋼種	径 (mm)	板厚 (mm)	長さ (m)	鋼種	径差 (mm)	柱形式	板厚	鋼種		
1	250	16	17	DCD205	300	16	0.25	BCR295	50	心合わせ	19	SN490C		
2	230	10	1./	BCK295	350	16	0.35	BCR295	100	心合わせ	19	SN490C		
3											19	SN490C		
4										心合わせ	28	SN490C		
5											55	TM CP325C		
6			1.7								19	SN490C		
7	250	16		1.7	1.7	1.7	BCR295	400	16	0.35	BCR295	150	一方向偏心	28
8											60	TM CP325C		
9											19	SN490C		
10										二方向偏心	28	SN490C		
11											75	TM CP325C		
12										心合わせ	32	TM CP385C		
13	400	19	3.0	BCP385	550	25	0.5	BCP385	150	一方向偏心	32	TM CP385C		
14										二方向偏心	32	TMCP385C		
15	400	19	3.0	BCP385	550	25	0.5	BCP385	150	心合わせ	70	TMCP385C		

ラムの板厚を設定した。

2.2 実験結果

表3に実験結果一覧、図5に荷重-変形関係(No.3~14)を示す。縦軸は柱せん断力、横軸は柱およびダイアフラムの変形を含む変形角である。実験結果の降伏耐力は初期剛性の1/3接線剛性、全塑性耐力は初期剛性の1/6接線剛性³⁾となる荷重とした。表3の降伏耐力及び全塑性耐力の計算値のうち最小のものを赤字で示す。

No.1~3 は柱径差が異なる試験体である。柱径差が 50mmの No.1 は柱の曲げ降伏の後にダイアフラムが降 伏し、柱の局部座屈が発生した。柱径差が100,150mmの No.2,3 では変形角1/100で柱とダイアフラムの曲げ降伏 が発生した。その後、ダイアフラムの面外曲げが進展し、 耐力が低下した。柱径差が大きくなるほど、降伏耐力、全 塑性耐力の実験値は低下した。

No.3~5 は心合わせ、No.6~8 は一方向偏心でダイアフ ラムの板厚が異なる。ダイアフラムの板厚が 19mm の No.3,6 では変形角 1/100 で柱とダイアフラムの降伏が発 生した。板厚が 28mm の No.4,7 では柱の曲げ降伏が先 行したが、ダイアフラムの面外曲げが進展し、耐力低下が 生じた。板厚の最も厚い No.5,8 では、1/100 の載荷で柱 が曲げ降伏し、その後 1/15 の載荷で局部座屈が発生し た。ダイアフラムに目立った変化は見られなかった。



No.9~11 は二方向偏心でダイアフラムの板厚が異なる 試験体である。ダイアフラムが薄い No.9,10 ではダイアフ ラムの曲げ降伏の後に、柱の曲げ降伏が生じた。1/33 の 載荷でダイアフラムに延性亀裂が生じ、その後柱角部に も延性亀裂が生じた。板厚が厚い No.11 では、1/100 の載 荷での柱の曲げ降伏後、1/20 で柱の局部座屈が生じた。 ダイアフラムに目立った変化は見られなかった。

降伏耐力は3体とも計算値を上回るが、全塑性耐力は No.9のみ計算値を僅かに下回った。これは二方向偏心 の場合、ダイアフラムの板厚が薄いことにより、柱の中立 軸が柱心から離れ、既往の評価法¹⁾²⁾の想定とは異なるた めと考えられる。



(a)心合わせ (b)一方向偏心 (c)二方向偏心図4 試験体形状(No.1~11)

表2 使用鋼材の力学的性質

		加工手	降伏点	引張強さ	降伏比	破断伸び
	可法	刘利大里	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(%)
	□-250x250x16	BCR295	404	477	84.7	25
	□-300x300x14	BCR295	384	467	82.2	24
	□-350x350x15	BCR295	407	478	85.1	23
	□-400x400x16	BCR295	383	434	88.2	28
	PL-19	SN490C	359	531	67.6	25
	PL-28	SN490C	372	515	72.2	29
	PL-55	TMCP325C	413	555	74.4	34
	PL-60	TMCP325C	399	547	72.9	34
	PL-75	TMCP325C	386	537	71.9	36
	□-400x400x19	BCP385	452	593	76.2	23
8	□-550x550x25	BCP385	477	621	76.8	23
	PL-32	TMCP385C	451	608	74.2	23
	PL-70	TMCP386C	416	575	72.3	33

表3	実験結果-	-覧
1XD	天歌和木	見

	初期剛性(kNm/rad)				降位	犬耐力(kN)	•		終后	局耐力(kN)			
No.	中殿店	判管店	実験値/ 計算値	宝脸店	計算値		実験値/	中聆应	計算値		実験値/	破壊モード	
	夫帜他	訂 昇他		夫ਆ他	柱	ダイアフラム	計算値	夫缺恒	柱	ダイアフラム	計算値		
1	30694	34201	0.90	263	206	162	1.62	290	250	239	1.21	柱局部座屈	
2	24590	21779	1.13	184	206	87	2.11	212	250	129	1.64	ダイアフラム曲げ破壊	
3	19009	12913	1.47	111	206	62	1.79	139	250	92	1.51	ダイアフラム曲げ破壊	
4	24899	22205	1.12	212	206	110	1.93	250	250	165	1.52	ダイアフラム曲げ破壊	
5	30261	33648	0.90	272	206	381	1.32	293	250	562	1.17	柱局部座屈	
6	18911	10202	1.85	108	206	67	1.61	130	250	100	1.30	ダイアフラム曲げ破壊	
7	23913	19322	1.24	190	206	117	1.62	223	250	172	1.30	ダイアフラム曲げ破壊	
8	32087	33439	0.96	282	206	346	1.37	300	250	465	1.20	柱局部座屈	
9	18276	9058	2.02	141	145	111	1.27	156	236	159	0.98	柱角部延性亀裂・ダイアフラム曲げ破壊	
10	21996	18056	1.22	190	145	137	1.39	216	236	207	1.04	柱角部延性亀裂・ダイアフラム曲げ破壊	
11	35241	34811	1.01	253	145	381	1.74	281	236	620	1.19	柱局部座屈	
12	90545	85821	1.06	463	455	290	1.60	538	542	432	1.25	ダイアフラム曲げ破壊	
13	73608	76069	0.97	418	455	291	1.44	495	542	426	1.16	ダイアフラム曲げ破壊	
14	74327	71837	1.03	358	322	342	1.11	429	511	543	0.84	柱角部延性亀裂・ダイアフラム曲げ破壊	
15	105348	104813	1.01	520	455	864	1.14	598	542 1276		1.10	柱局部座尾	

No.12~15 は小径柱の柱径を 400mm、柱および接合部 パネルを高強度鋼管とした試験体である。No.12~14 は 柱位置が異なり、No.15 はダイアフラムの板厚が厚く、心 合わせの試験体である。No.12 は変形角 1/100 で柱の曲 げ降伏が発生し、No.13,14 は変形角 1/100 で柱とダイア フラムの曲げ降伏が発生した。No.12,13 ではダイアフラム の亀裂進展により耐力が低下したが、No.14 ではダイアフ ラムと柱角部に延性亀裂が生じた。ダイアフラムの板厚が 厚い No.15 ではダイアフラムに目立った変化は見られな かった。心合わせの No.12、一方向偏心の No.13 は降伏 耐力および全塑性耐力ともに実験値が計算値を上回る。 二方向偏心の No.14 は、No.9 と同様の現象により、全塑 性耐力が計算値を下回った。

表 3 に示すように初期剛性の実験値と計算値の比は





			小径柱		接合部パネル				柱の		ダイアフラム		既往の		
No.	径	板厚	長さ	網話	径	板厚	長さ	编種	径差	柱形式	板圓	细쥼	算定式による	その他	
	(mm)	(mm)	(m)	到四十里	(mm)	(mm)	(m)	制动力要	(mm)		10/-	判例有重	破壊モード		
16								LIDCD265		心合わせ	60		上柱	梁:H-588x300x12x20(SN490)	
17	300	16	1.2	UBCR365	450	16	0.6	UBCK505	150	一方向偏心	70	TM CP325C	上柱	大径柱:□-450x450x16(UBCR365)	
18								SN490C		心合わせ	60		上柱	No.18の接合部パネルは溶接組立	

0.90~2.02 であり、計算値はダイアフラムの板厚増加による剛性増加の傾向を概ね捉えている。降伏耐力の実験 値は、全ての試験体において計算値を上回っており、特 にダイアフラムの板厚が薄い、心合わせおよび一方向偏 心の試験体で大きい。全塑性耐力の実験値と計算値の 比はダイアフラムの板厚の薄い試験体でばらつきが大き く、二方向偏心では、計算値を下回る試験体があった。

§3. 十字形部分架構実験

3.1 実験概要

図6に実験装置、図7に試験体、表4に試験体一覧、 表5に使用鋼材の力学的性質を示す。試験は十字形部 分架構とし、実験変数は小径柱の柱位置(心合わせ、一 方向偏心)、接合部パネルの製作方法(鋼管、溶接組立) とした。既往の評価法¹によるダイアフラムの降伏耐力が、

	÷ • • • • • • • • •		* * * 1 = >		
	山田主手	降伏点	引張強さ	降伏比	破断伸び
「」」	训牲	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(%)	(%)
□-300x300x16	UBCR365	492	547	89.9	18
□-450x450x16	UBCR365	479	534	89.7	21
□-450x450x19	BCP325	362	532	68.0	28
H-ウェブ	SN490C	451	575	78.4	23
H-フランジ	SN490C	361	541	66.7	27
PL-16	SN490C	379	532	71.2	28
PL-60	TMCP325C	405	549	73.8	33
PI 70	TMCP325C	376	532	70.7	36

表5 使用鋼材の力学的性質

柱の降伏耐力を上回るように、ダイアフラムの板厚を設定 した。

載荷は柱に軸力(0.3Ny、Ny:小径柱の降伏耐力)を載 荷した後、変位制御により全体変形角 θ が 1/400 で 1 回、 1/200、1/100、1/50、1/33 でそれぞれ 2 回の正負交番漸 増繰返し載荷を行った。

3.2 実験結果

表 6 に実験結果一覧、図 8 に荷重変形関係を示す。 縦軸は軸力による P-Δ 効果を考慮したダイアフラムフェイ ス位置の曲げモーメント、横軸は柱、ダイアフラム、接合 部パネルおよび梁の変形を含む全体変形角である。実 験結果の降伏耐力と全塑性耐力は2.2節と同様の方法で 算出した。No.17 の試験体は柱位置が一方向偏心である ため、軸力導入時に 50kNm ほどの初期荷重が生じてお り、降伏曲げモーメントおよび全塑性曲げモーメントの実 験値にはこれを考慮した。

いずれの試験体も全体変形角 1/50 で小径柱に局部座 屈が発生し、その後最大耐力に到った。全体変形角 1/33 の載荷終了までにダイアフラム、接合部パネル、梁には 目立った変化は見られなかった。No.16,17 の柱位置が心 合わせと一方向偏心、また No.16,17 の接合部パネルに 角形鋼管を用いたものと、溶接組立角形鋼管を用いた

表6	実験結果一覧	台記	
10	天歌和木 見	t	1

			降伏曲げ	モーメント(kNm)			全塑性曲げモーメント(kNm)							
No.	実験値			計算値			実験値/ 計算値	計算値					実験値/	破壊モード	
		小径柱	ダイアフラム	パネル	大径柱	梁		天歌他	小径柱	ダイアフラム	パネル	大径柱	粱	計算値	
16	941	520	1038	1683	1417	1404	1.81	1051	711	1632	1944	1896	1570	1.48	柱局部座屈
17	929	520	837	1683	1417	1404	1.79	1027	711	1332	1944	1896	1570	1.44	柱局部座屈
18	915	520	1038	1739	1417	1404	1.76	1023	711	1632	2003	1896	1570	1.44	柱局部座屈

フジタ技術研究報告 第53号



No.18の試験体では、実験結果に明確な差異は見られない。いずれの試験体でも、降伏耐力及び全塑性耐力の実験値は計算値を上回った。実験値と計算値の比は2章に示すT字形接合部実験より、大きくなる傾向がある。

表7に初期剛性一覧を示す。実験値は全体変形角 1/400時の正載荷側の割線剛性である。計算値は部材毎 の変形割合を示す。実験値と計算値の比は1.12~1.15で あり、既往の評価法²)により概ね剛性を評価できる。

§4. まとめ

異径角形鋼管柱梁接合部について、上下階柱の径差 を150mmとし、柱材に高強度鋼管を用いて、T字形接合 部実験および十字形部分架構実験を行い、力学的特性 及び破壊状況について確認した。得られた知見を以下に 示す。

- ダイアフラム板厚が十分に厚い場合、ダイアフラムの変形は小さく、接合部は十分な剛性および耐力を有することを確認した。
- 2) 上下階柱径差150mm、高強度鋼管を用いた場合においても、その耐力は既往の算定法により算出した耐力を上回り、剛性は既往の算定法に概ね対応することを確認した。
- 接合部パネルを溶接組立とした場合でも、角形鋼 管と明確な差は見られなかった。

参考文献

- 吉田文久、西拓馬、山本義徳:異径角形鋼管柱梁接 合部の耐力評価に関する研究、鋼構造年次論文報告 集、日本鋼構造協会、第19巻、pp.95-100、2011.11
- 2) 吉田文久、西拓馬: 異幅柱接合部におけるダイアフラ ムの面外曲げ剛性、鋼構造年次論文報告集、日本鋼 構造協会、第24 巻、pp.740-746、2016.11
- 3) 立山英二、井上一朗、杉本正三、松村弘道:通しダイ ヤフラム形式で角形鋼管柱に接合されるH形断面はり の耐力と変形性能に関する研究、日本建築学会構造 系論文報告集、日本建築学会、第389号、pp.109-121、1988.7
- 西拓馬、田原健一、吉田文久、曹森、佐々木聡、佐々 木康人:異幅接合形式柱梁接合部に関する実験的研 究 柱径差150mmの場合、日本建築学会大会学術講 演梗概集(九州)、日本建築学会、pp.1265-1266、 2016.8
- 5) 曹淼、西拓馬、吉田文久、田啓祥、小原泉、佐々木康 人:異径角形鋼管柱梁接合部に関する実験的研究 その1~3、日本建築学会大会学術講演梗概集(中 国)、日本建築学会、pp.761-766、2017.8



ひとこと

この異径角形鋼管柱梁接合部は 複雑になりがちな接合部をシンプ ルにするものです。今後は技術の 普及に努めていきます。