

長方形 CFT 柱－梁接合部通しダイアフラムに関する実験的研究

日大生産工(院) ○大石 琴 日大生産工 藤本 利昭
日大生産工(院) 堀 紗友梨

1. まえがき

これまで、コンクリート充填鋼管(Concrete Filled Steel Tube, 以下CFTと略記)柱は、円形断面、正方形断面が多く用いられていたが、近年、長方形断面の適用事例も認められるようになった。

長方形CFT柱を用いた場合、梁の応力を伝達するダイアフラムの形状も長方形となる。そのCFT柱のダイアフラムには鋼管にコンクリートを充填するための充填孔が必要である。長方形ダイアフラムに円形孔、正方形孔を用いた場合、充填孔の側面幅が短辺と長辺方向で異なり、応力の伝達に偏りが生じることが考えられる。そこで、長方形ダイアフラムに長方形孔を用いることで応力伝達が良好になると考えた。しかしながら、「コンクリート充填鋼管構造設計施工指針」¹⁾(以下CFT指針とする)の柱梁接合部ダイアフラムは円形孔が対象とされていることから、本研究では、楕円形孔と長方形孔の構造型状を把握するため、通しダイアフラムを対象に引張実験を行った。

2. 実験概要

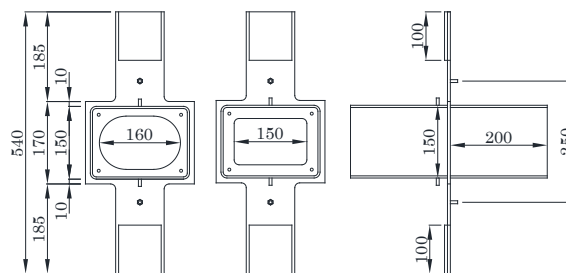
2.1 試験体概要

表1に試験体一覧、図1に試験体詳細を示す。

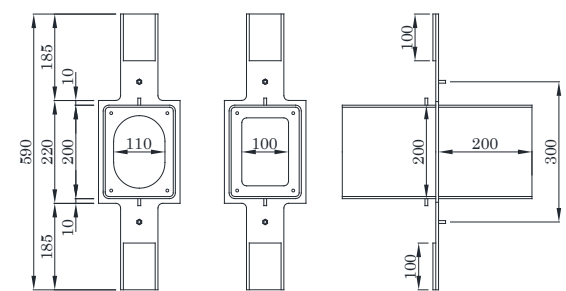
CFT柱梁接合部には梁の圧縮力、引張力が作用するが、圧縮側梁フランジは、柱の充填コンクリートによって拘束を受けるため、CFTダイアフラムの局部変形は引張側フランジに生じると考えられる²⁾。したがって、試験体形状は梁フランジとダイアフラムを模擬したプレートに柱鋼管を溶接接合し、コンクリートを充填したCFT試験体としている。また、ダイアフラムの形状・大きさは統一し、充填孔の形状を楕円形孔(C)、長方形孔(R)、梁フランジをダイアフラムの長辺側に取り付けたもの(200)と短辺側に取り付けたもの(150)とした計4体の試験体を行った。なお、ダイアフラムの充填孔の大きさはダイアフラムの破壊過程が確認できるよう何れの試験体も開口率50%に設定し、梁フランジとダイアフラムは一枚の鋼板から一体で切り出して製作した。

表1 試験体一覧

鋼管の 大きさ	開口率	充填孔の形状	
		楕円形孔(C)	長方形孔(R)
長辺	200	200C	200R
短辺	150	150C	150R
開口率		50%	50%



(a) 200試験体



(b) 150試験体

図1 試験体詳細

表2 鋼材の材料試験結果

	板厚 t (mm)	降伏強度 σ_s (N/mm ²)	引張強度 σ_u (N/mm ²)	ヤング係数 E_s (kN/mm ²)	伸び率 ϵ (%)
STKR400	4.30	385	456	205	37
SS400	5.85	300	470		41

表3 充填コンクリートの調合

	W/C(%)	単位質量(kg/m ³)				
		セメント	水	細骨材		粗骨材
				山砂	砕砂	
普通コンクリート	62	315	195	489	335	900
						6号砕石
						混和剤
						3.3

表4 充填コンクリートの材料試験結果

	設計基準 強度 F_c (N/mm ²)	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ヤング係数 E_c (kN/mm ²)	圧縮強度 時ひずみ ϵ (%)	材齢 (日)
普通コンクリート	30	31.2	28.3	0.20	77

Experimental Study on Through Diaphragm connections
to Rectangular CFT columns

Koto OISHI, Toshiaki FUJIMOTO and Sayuri HORI

表2に鋼材の材料試験結果を示す。試験体の柱鋼管には一般構造用角形鋼管STKR400を使用し、梁フランジおよびダイアフラムの鋼板にはSS400材を使用した。

また、充填コンクリートには表3に示すように普通ポルトランドセメントを使用し、設計基準強度を30N/mm²、スランプ18cm、粗骨材の粒径を13mm以下とした。表4に実験時の充填コンクリートの材料試験結果を示す。

2.2 実験方法

実験は、試験体の梁フランジ部分を試験機に固定させ、耐力低下が確認されるまで2000kN万能試験機により単調加力で行った。試験体には、梁フランジ及びダイアフラムの変形を測定するため計4か所に変位計を取り付けた。変位計測は図2に示すように変位計①、②は鋼管(ダイアフラム)部分の変形を測定し、③、④は鋼管部分を含む梁フランジ(全体)部分の変形を測定した。また、図3に示す位置に試験体各部のひずみ(応力)分布を確認するため一軸および三軸ゲージを貼付している。

3. 実験結果

3.1 荷重－変位関係

図4に実験で得られた引張荷重とダイアフラム部分の変位(実線)および全体の変位(破線)を示す。なお、鋼管部分の変位は20mmまでの結果を示している。

ダイアフラム部分の変位と全体の変位を見ると、図4より、充填孔形状にかかわらず、梁フランジが鋼管の短辺側に取り付く150の試験体では、ダイアフラム部分の変形よりも全体の変形が進んでいた。これに対して、梁フランジが鋼管部分の長辺側に取り付く200の試験体では両者の変形の差はわずかであった。これは、梁フランジが鋼管の長辺側に取り付いた場合よりも短辺側に取り付く方が、ダイアフラムの応力伝達が良好となり、鋼管の面外変形が小さくなるためだと考えられる。充填孔形状が異なる試験体で比較すると、長方形孔よりも楕円形孔の方が、剛性・耐力が高く、充填孔形状が同じ場合は、200よりも150の試験体の方が剛性・耐力は高くなっていた。

3.2 接合部局部の破壊過程

図5に縦軸を実験より得られた引張荷重、横軸をダイアフラム部分の変位とした荷重－変位関係を、図3に示す各部のひずみゲージの値が降伏ひずみに達した点と併せて示す。なお、ダイアフラムの変位は30mmまでの結果を示している。また、表5には図5中に示した各試験体の降伏点の荷重一覧を示す。

図5より、すべての試験体においてダイアフラム部分は隅部Bが先に降伏しており、楕円形孔試験体では主軸 ε_y (引張)が、長方形孔試験体ではせん断ひずみ γ_y が先に降伏していた。これは、楕円形孔に比べて長方形孔の隅部の幅が狭いことからせん断ひずみが卓越したと考えられる。

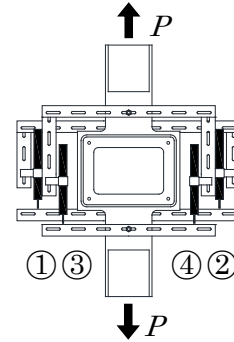


図2 変位計の設置位置

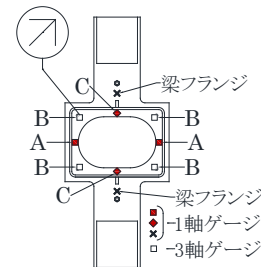
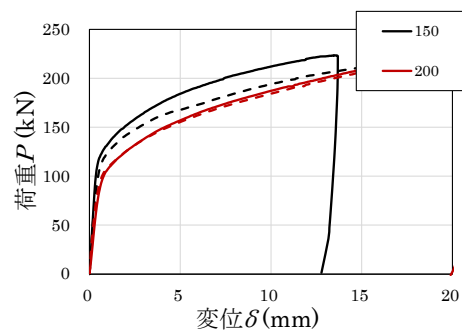
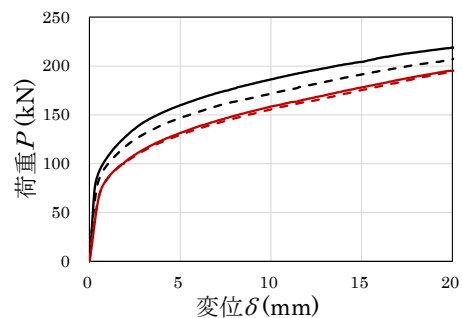


図3 ひずみゲージ位置



(a) 楕円形孔試験体



(b) 長方形孔試験体

図4 荷重－変位関係

次に、充填孔形状が同じ試験体に着目すると、図5(a)(b)の楕円形孔試験体において、隅部Bの次に、150Cでは梁フランジが降伏しており200Cでは側面A、梁フランジ、充填孔と梁フランジの間Cの順番で降伏していた。

一方で、図5(c)(d)の長方形孔試験体においては、引張の方向に関わらず隅部Bの次に、充填孔と梁フランジの間Cが降伏していた。これらより、長方形孔の方が、隅部Bの幅が狭いことから、楕円形孔に比べせん断ひずみが大きくなり、充填孔と梁フランジの間Cが隅部Bの次に降伏したと考えられる。表5より充填孔形状が同じ試験体で比較すると長方形孔、楕円形孔ともにダイアフラム部分の降伏荷重は200の試験体よりも150の試験体の方が高くなっていた。これは、梁フランジが長辺側に取付く場合よりも短辺側の方がダイアフラムの応力伝達が良好になるとからだと考えられる。

4. 接合部局部の耐力の検討

CFT指針²⁾の柱梁接合部局部の耐力評価式は円形孔を対象としており、正方形孔に関しては、「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」³⁾(以下SRC規準とする)において内ダイアフラム形式の正方形孔の式が提示されている。

ここでは、楕円形孔試験体に関しては、CFT指針の耐力評価式を、長方形孔試験体に関しては、SRC規準の耐力評価式を準用した結果を用いて実験結果と比較を行った。図6(a)(b)にCFT指針の耐力評価式より求めた計算耐力と楕円形孔試験体の実験結果を示し、図6(c)(d)にSRC規準の耐力評価式より求めた計算耐力と長方形孔試験体の実験結果を示す。なお、図5に示した柱梁接合部局部の降伏点も併せてプロットしている。また、表6にはダイアフラムの評価式による計算結果と梁フランジの計算耐力とCFT指針の耐力評価式を準用した長方形孔試験体の結果を示している。

表5 実験荷重一覧

		〈単位：kN〉			
		150C	200C	150R	200R
ダイアフラム 降伏荷重	ε_y (A)	—	115.7	—	—
	ε_y (B)	100.9	86.4	66.0	52.7
	γ_y (B)	103.0	94.8	56.2	48.5
	ε_y (C)	—	223.8	158.0	200.6
梁フランジ降伏荷重		173.6	223.6	166.0	225.9
最大荷重		223.8	233.0	222.2	237.2

※：“—”は降伏ひずみに達していない点を表す。

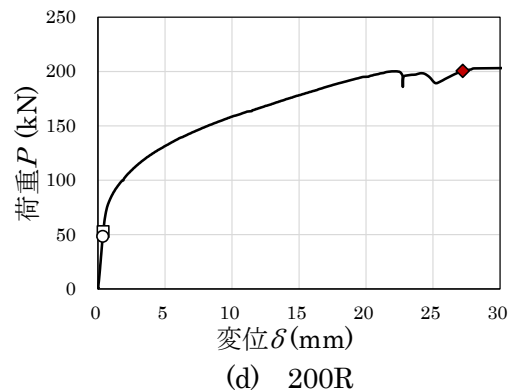
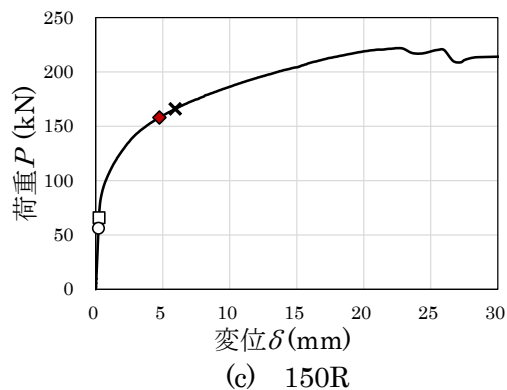
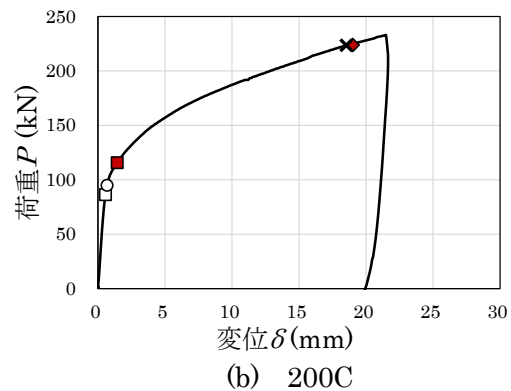
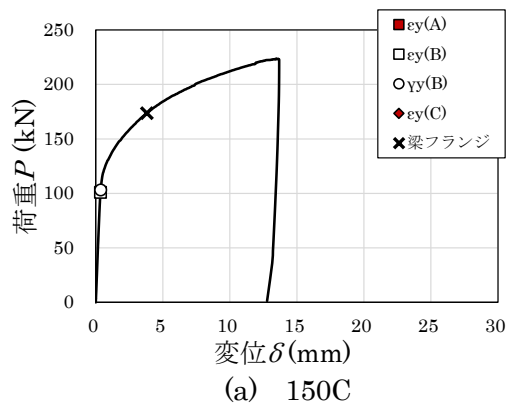


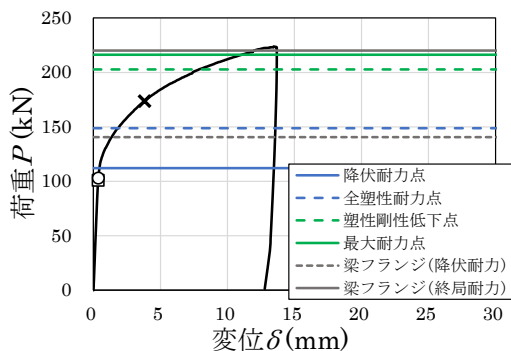
図5 接合部局部の破壊過程

図6(a)(b)より、楕円形孔試験体ではダイアフラムの隅部の降伏荷重は、CFT指針の降伏耐力と近い値を示している。また、CFT指針の全塑性耐力点で実験より得られた剛性の傾きが緩やかになった。図6(c)(d)より、長方形孔試験体においてSRC規準の塑性耐力はダイアフラムの隅部の降伏荷重を下回っていた。また、実験より得られた耐力曲線の傾きが緩やかになった点も下回っていた。

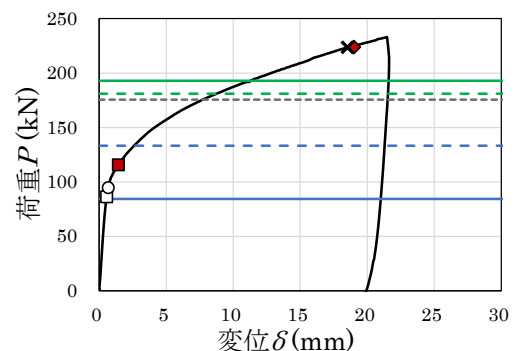
これらより、CFT指針の全塑性耐力点は概ね剛性低下点を評価していると考えられるが、SRC規準による塑性耐力は耐力曲線の傾きが緩やかになった点を下回っていたことから、長方形孔のダイアフラムにおいては検討の必要があると考えられる。

表6 耐力評価式による計算値

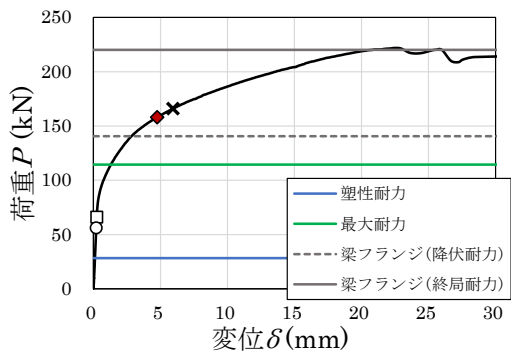
			(単位：kN)			
試験体			150C	200C	150R	200R
ダイア フラム	CFT 指針	降伏耐力点	112.1	84.3	73.1	45.3
		全塑性耐力点	148.7	133.3	109.7	94.3
		塑性剛性低下点	202.7	181.0	146.0	124.3
		最大耐力点	216.2	192.9	155.1	131.8
	SRC 規準	塑性耐力	—	—	28.2	26.4
		最大耐力	—	—	114.3	103.1
梁フランジ		降伏耐力	140.5	175.6	140.5	175.6
		終局耐力	220.1	275.1	220.1	275.1



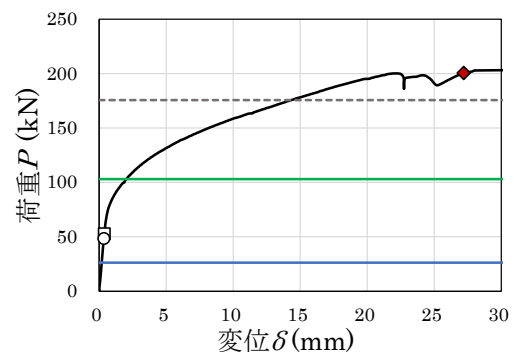
(a) 150C



(b) 200C



(c) 150R



(d) 200R

図6 各部耐力の耐力評価式との比較

5. まとめ

長方形CFT柱－梁接合部通しダイアフラムの引張実験により以下の知見が得られた。

- 充填孔形状が異なる場合、長方形孔よりも楕円形孔の方が、剛性・耐力が高く、充填孔形状が同じ場合、ダイアフラムの長辺側よりも短辺側に梁を取り付けた方が、剛性・耐力が高い。
- ダイアフラムの降伏は充填孔の形状や引張方向に関わらず、隅部が先に降伏した。
- CFT指針による全塑性耐力点と塑性耐力点は概ね剛性低下点を評価しており、SRC規準による塑性耐力は検討の必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会:コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，第2版，pp.88-91，2008
- 2) 河野昭彦，松井千秋，村井望，コンクリート充填角形鋼管柱とH形鋼梁のダイアフラム補強型接合部の局所変形に対する荷重－変位関係モデル，鋼構造論文集，第5巻第17号，pp.93-104，1998
- 3) 日本建築学会:鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，pp.219-221，2001