

# 径の異なる角形鋼管を接合するJFEの異幅仕口工法SHIBORAN-NEO<sup>®</sup>の開発

Development of Different Sized Box Column Joint “SHIBORAN-NEO<sup>®</sup>”

永山 光\*1、金城 陽介\*2、大庭 諒介\*3、森岡 宙光\*4

## 1. 工法の概要

柱に角形鋼管を用いる建築物において、上下階で柱径が切り替わる接合部では、四角錐台状の部材であるテーパ管をパネル材として用いて上下柱を接合することが一般的である。テーパ管は上下柱と断面を揃えて接合できるため応力伝達がスムーズであるが、①上下ダイアフラムに接合されるパネル端部の開先加工および溶接の自動化が困難であり、②梁ウェブ端をテーパに合わせ斜めに切断する必要があり、柱梁接合部における鉄骨製作の負荷が大きい。鉄骨加工従事者の減少が今後も続き、深刻な人手不足が生じることが予想される鉄骨業界において、自動化が容易で鉄骨製作を合理化できる工法の開発が求められる。

このような需要に応えるために、JFEスチールは図-1に示すJFEの異幅仕口工法SHIBORAN-NEO<sup>®</sup> (GBRC性能証明 第22-26号)を開発した。本工法はパネルにテーパ管の代わりに直管を用い、上ダイアフラムを増厚してダイアフラムの面外曲げ耐力・剛性を確保するこ

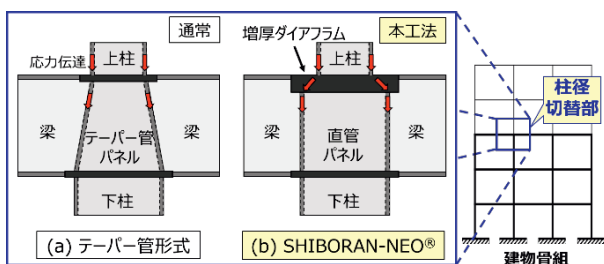


図-1 工法の概要

とで径の異なる角形鋼管を接合する工法である。パネルを直管としたことで、上下ダイアフラムに接合するパネル端部の開先加工を上下柱端と同一仕様にでき、パネル-ダイアフラム間溶接を自動化できるほか、梁ウェブ端の斜め加工が不要になることで鉄骨製作を省力化できる。

## 2. 適用範囲

本工法が対象とする建築物の構造種別は、鉄骨造、または鉄骨造と鉄筋コンクリート造、その他の構造とを併用する混合構造である。図-2に示すように、上下柱芯が揃う偏心なし形式の他、1辺のみ上下柱の外面が揃う1方向偏心形式、2辺の外面が揃う2方向偏心形式に対応している。なお、上柱の軸力比は0.7以下とする規定を設けている。

表-1に対象とする柱材の規格を、表-2にダイアフラム材の規格を示す。柱材としては設計基準強度385N/mm<sup>2</sup>までのJFEスチール(株)製の冷間ロール成形角形鋼管(ロールコラム)および(株)セイケイ製の冷間プレス成形角形鋼管(プレスコラム)を対象としている。ダイアフラム材としては設計基準強度385N/mm<sup>2</sup>までのJFEスチール(株)製の厚鋼板を対象としている。

表-3に柱径の組合せの適用範囲を示す。表中の太線枠内が適用範囲を表しており、上柱径は250~550mmに対して下柱径は300~700mmであり、径差50mm~150mmに対応している。上柱材はJFEスチール(株)製のロールコラムのみとし、下柱材はJFEスチール(株)製のロールコラムまたは(株)セイケイ製のプレスコラ

\*1 NAGAYAMA Hikaru : JFEスチール(株) 建材センター 建材技術部 建築技術室  
 \*2 KANESHIRO Yosuke : JFEスチール(株) 建材センター 建材技術部 建築技術室  
 \*3 OBA Ryosuke : JFEスチール(株) インフラ建材研究部  
 \*4 MORIOKA Hiromitsu : JFEスチール(株) インフラ建材研究部

ムとしている。柱材の板厚については6~50mm、ダイアフラム材の板厚については6~100mmとしている。

図-3にその他構造規定を示す。(a)はブレースに関する規定であり、上柱底部と上ダイアフラムの接合部にブレースが取り付け接合部には適用できない。(b)は上柱底部と上ダイアフラムの接合部の補強に関する規定であり、上柱底部に補強板を取り付けるような補強は行っていない。(c)は上ダイアフラムに設ける孔に関する規定であり、CFT柱や溶融亜鉛めっき用の大径孔を設けてはならないが、空気孔等の小径孔であれば可能である。

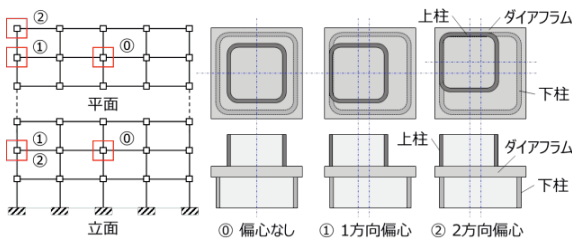


図-2 偏心形式

表-1 対象とする柱材の規格

	規格	製造者
大臣認定材	建築構造用冷間ロール成形 角形鋼管 BCR295	JFEスチール(株)
	建築構造用厚肉冷間ロール成形 角形鋼管 JBRCR295	
	建築構造用熱間成形継目無 角形鋼管 BSH325	
	建築構造用高強度冷間ロール成形 角形鋼管 JBRCR385	
	建築構造用冷間プレス成形角形鋼管 BCP235, BCP235C, BCP 325, BCP325C	(株)セイケイ
	建築構造用高性能冷間プレス成形 角形鋼管 BCP325T	
	建築構造用高性能冷間プレス成形 角形鋼管 G325TF	
	550N/mm <sup>2</sup> 冷間プレス成形 角形鋼管 G385B, G385C	
	建築構造用高性能550N/mm <sup>2</sup> 冷間 プレス成形角形鋼管 G385T, G385TF	

表-2 対象とするダイアフラム材の規格

	規格	製造者
JIS規格材	建築構造用圧延鋼材 SN400C, SN490C (JIS G 3136)	JFEスチール(株)
日本鉄鋼 連盟規格材	建築構造用520N/mm <sup>2</sup> 鋼材 SM520B-SNC	
大臣認定材	建築構造用490N/mm <sup>2</sup> TMCP鋼材 HBL325C	
	建築構造用520N/mm <sup>2</sup> TMCP鋼材 HBL355C	
	建築構造用550N/mm <sup>2</sup> TMCP鋼材 HBL385C	

表-3 対象とする柱径の組合せ

		ロールコラム							
		上柱	250	300	350	400	450	500	550
ロール コラム	下柱	300	●	●	●	●	●	●	●
		350	●	●	●	●	●	●	●
		400	●	●	●	●	●	●	●
		450	●	●	●	●	●	●	●
		500	●	●	●	●	●	●	●
プレス コラム		550	●	●	●	●	●	●	●
		600	●	●	●	●	●	●	●
	650	●	●	●	●	●	●	●	
	700	●	●	●	●	●	●	●	

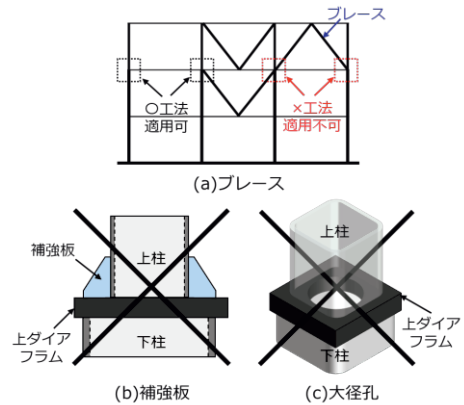


図-3 その他構造規定

### 3. ダイアフラムの設計フロー

本工法では上ダイアフラムを増厚することによって上柱—上ダイアフラム仕口部の耐力と剛性を確保しており、適切なダイアフラム板厚の設計法が必要である。図-4にダイアフラムの設計フローを示す。設計フローは①耐力条件の確認と②剛性条件の確認の2ステップで構成されている。実際の検討では、設計者から受領した階高・スパンや部材鋼種・断面寸法などの設計情報をもとに、JFEスチールが設計フローに従って必要なダイアフラム板厚を計算し、設計者が確認するという流れで行う。耐力条件の確認では、仮定したダイアフラム板厚  $t_d$  に対して、

$$d \sigma_y \cdot t_d / \sqrt{3} \geq_{cu} \sigma_y \cdot t_{cu} \dots\dots\dots (1)$$

$$M_{yd} \geq \alpha \cdot M_{pc} \dots\dots\dots (2)$$

$d \sigma_y$  : 上ダイアフラムの降伏点

$t_d$  : 上ダイアフラムの板厚

$cu \sigma_y$  : 上柱の降伏点

$t_{cu}$  : 上柱の板厚

$M_{yd}$  : 上ダイアフラムの耐力

$\alpha$  : 安全率

$M_{pc}$  : 上柱の全塑性耐力

の2式をとともに満たすことを確認する。式(1)はパンチングシャーによる降伏が生じないための条件式<sup>1)</sup>である。式(2)は上ダイアフラムが面外曲げ降伏を生じないための条件式であり、ダイアフラム耐力 $M_{yd}$ が上柱全塑性耐力 $M_{pc}$ に安全率 $\alpha$ を乗じた値以上であることを確認する。この $M_{yd}$ については、降伏線理論を用いた本工法の独自の設計式によって求めた値である。

耐力条件の確認後は式(3)により骨組剛性の確認を行う。

$$K_{Fi} \geq K_{Ft} \dots\dots\dots (3)$$

$K_{Fi}$  : 本工法による骨組剛性

$K_{Ft}$  : テーパー管による骨組剛性

$K_{Fi}$ はSHIBORAN-NEO<sup>®</sup>を適用した場合の骨組剛性、 $K_{Ft}$ はテーパー管を用いた場合の骨組剛性である。 $K_{Fi}$ は柱、梁、パネルの変形を足し合せて層間変形を求め、 $K_{Ft}$ は上記で求めた層間変形にダイアフラムの面外曲げ変形による層間変形を合算して求める。式(3)で用いるダイアフラム面外曲げ剛性 $K_d$ については、剛体-ばねモデル<sup>2)</sup>を適用した独自の設計式を構築している。

先述の式(1)~式(3)を満たせば、本工法による骨組がテーパー管による骨組と同等以上の耐力および剛性を保有すると判定され、SHIBORAN-NEO<sup>®</sup>を適用した上柱-上ダイアフラム仕口は剛接合として扱うことができる。この仕様であればテーパー管骨組と置換えが可能である。

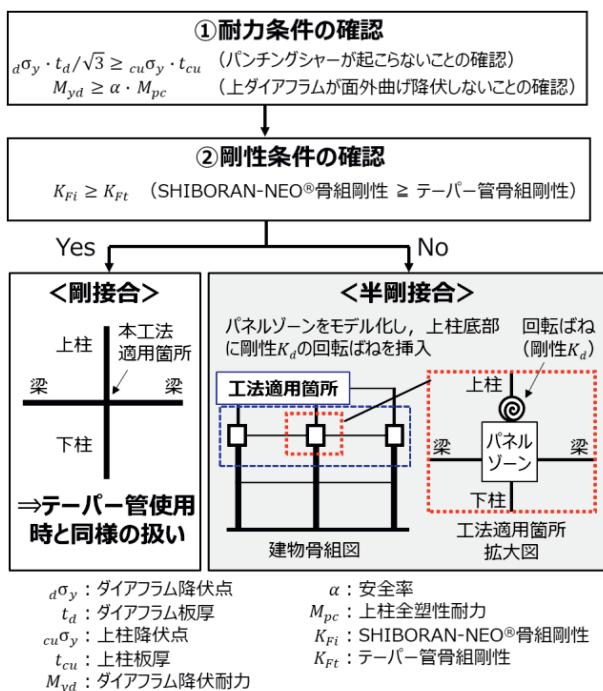


図-4 ダイアフラム板厚設計フロー

なお、式(3)を満たさなくても式(1)、(2)が満たされていれば上柱-上ダイアフラム仕口を半剛接合として適用することも可能である。この場合、接合部のパネルゾーンをモデル化し、ダイアフラムの面外変形を考慮して、上ダイアフラムに接合される上柱端部にばね剛性 $K_d$ を有する回転ばねを挿入する必要がある。

4. 十字形骨組実験

SHIBORAN-NEO<sup>®</sup>を適用した十字形骨組の繰返し载荷実験の概要および結果を示す。図-5に十字形骨組の概要を示す。上柱は□-250×16 (BCR295)、下柱は□-400×16 (BCR295)、上ダイアフラムは板厚50mmのHBL325C、梁はH-550×250×12×22 (SN490B)であり、上下柱の径差は150mmである。試験体の梁はブラケット形式とし、高力ボルト継手で梁治具と接合した。载荷は梁治具に取り付けた载荷ジャッキで強制変位を与えることで行った(柱軸力の载荷なし)。载荷方法は上柱が全塑性耐力に到達する時点の層間変形角を $R_p$ として、 $\pm 0.5 R_p$ で1サイクル弾性载荷してから、 $\pm 2R_p$ 、 $\pm 4R_p$ 、 $\pm 6R_p$ で順次2サイクルずつ载荷した。

図-6に実験から得られたジャッキ荷重-骨組層間変形角関係を示す。試験体は $\pm 6R_p$ の2回目を終えても荷重が低下せず、限界変位まで片押しして終了した。上柱が先行降伏しており、上ダイアフラムは弾性を保持した。図-5中の青線は上柱が全塑性耐力に達する時点のジャッキ荷重の計算値であり、骨組の最大荷重は上柱全塑性時の荷重を十分上回っている。また、骨組は $\pm 6R_p$ の2サイクル目まで荷重が低下せず安定した履歴を示しており、十分な塑性変形性能を示している。

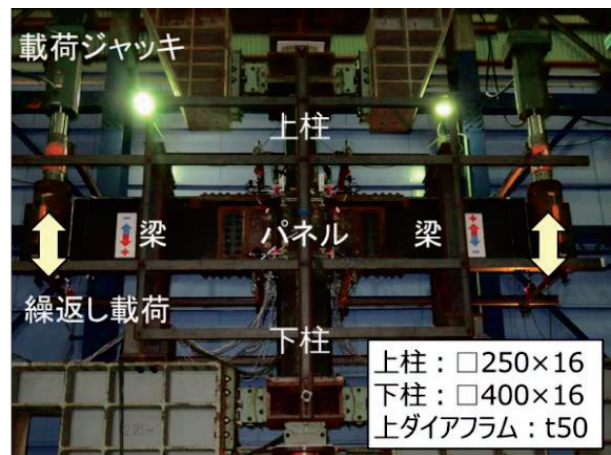


図-5 十字形骨組の概要

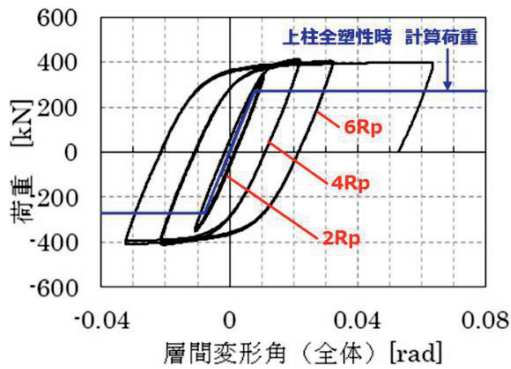


図-6 荷重一層間変形角関係

### 5. FEM解析とダイアフラム耐力・剛性設計式

前述の通り、本工法による上ダイアフラムの設計では、ダイアフラムの面外曲げ耐力と剛性に関する独自の設計式を用いる。ここではダイアフラム面外曲げ耐力・剛性について、設計式に基づく計算値をFEM解析による結果と比較し、設計式の精度を検証する。

図-7に解析の概要を示す。解析モデルは上柱、上ダイアフラム、下柱を取り出した部分要素モデルである。解析パラメータは、柱鋼種、ダイアフラム鋼種、上下柱径差、ダイアフラム厚、柱の偏心形式、軸力比である。上柱に軸力を作用させた後、柱頂点に水平強制変位を与えて載荷した。

図-8にダイアフラムの面外曲げ耐力と剛性について、

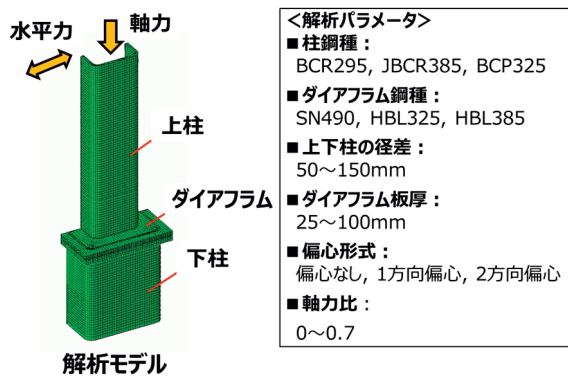


図-7 解析概要

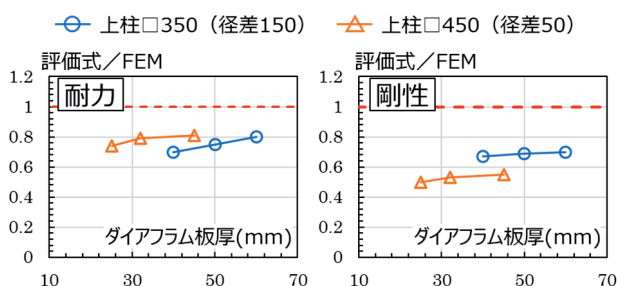


図-8 設計式とFEM解析の比較

設計式に基づく計算値と解析値の比較を示す。ここでは偏心なし、軸力なしの結果を代表例として示す。縦軸は設計式/解析値、横軸はダイアフラム板厚を示す。耐力、剛性ともに設計式/解析値が1を下回っており、安全側の評価であることが分かる。

### 6. まとめ

上下階で径の異なる角形鋼管柱を接合する場合に、パネルにテーパ管の代わりに直管を用い、上ダイアフラムを増厚することで接合するJFEの異幅仕口工法SHIBORAN-NEO®を開発した。本工法により柱径の異なる柱梁接合部の鉄骨製作を省力化できる。本工法の上柱—上ダイアフラム仕口部は、パンチングシャーおよびダイアフラム面外曲げ耐力に関する条件を満たし、本工法による骨組剛性がテーパ管による骨組剛性以上であれば、本工法の上柱—上ダイアフラム仕口部を剛接合として扱うことができる。十字形骨組の繰返し載荷実験を実施し、±6Rpの2サイクル目まで骨組の耐力は低下せず、十分な塑性変形性能を確認できた。増厚ダイアフラムの面外曲げ耐力と剛性について、独自の設計式に基づく計算値をFEM解析による結果と比較し、設計式は解析値に対して安全側の評価であることを確認した。鉄骨加工従事者の減少により、深刻な人手不足が懸念される鉄骨業界において、本工法が解決策の一つとなれば幸いである。

#### 【参考文献】

- 1) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2021
- 2) 川井忠彦，近藤一夫『新しい離散化モデルによる板の曲げ崩壊解析』日本造船学会論文集，142号，p190-196，1977

#### 【執筆者】



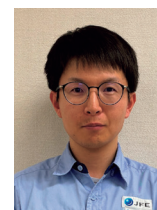
\*1 永山 光  
(NAGAYAMA Hikaru)



\*2 金城 陽介  
(KANESHIRO Yosuke)



\*3 大庭 諒介  
(OBA Ryosuke)



\*4 森岡 宙光  
(MORIOKA Hiromitsu)