

KH コラムジョイント工法の評定更新に向けた 適用範囲の拡大について

EXAMINATION ON WIDE USING KH COLUMN JOINT SYSTEM FOR RENEWAL RATING

岡田 幸児* 吉村 鉄也** 内山 廉** 阿部 聖治*** 武田 美里***
Koji Okada Tetsuya Yoshimura Ren Uchiyama Seiji Abe Misato Takeda

1. はじめに

鉄骨造建築の骨組み構造において、柱に冷間成形角形鋼管（以下コラムとする）を用いた場合、柱梁接合部は通常、通しダイアフラム形式となる。この形式は、応力伝達メカニズムは明快だが、ダイアフラムにより柱が分断されるためダイアフラム毎に溶接が発生する。フロア構成や意匠の関係で梁段差が発生した場合、構造が複雑となり溶接量が増加する他、場合によっては構成自体が難しくなる場合がある。このような問題を解決するため、ノンダイアフラム接合金物を採用した KH コラムジョイント工法を開発し、2014 年より販売を開始した^{1),2)}。

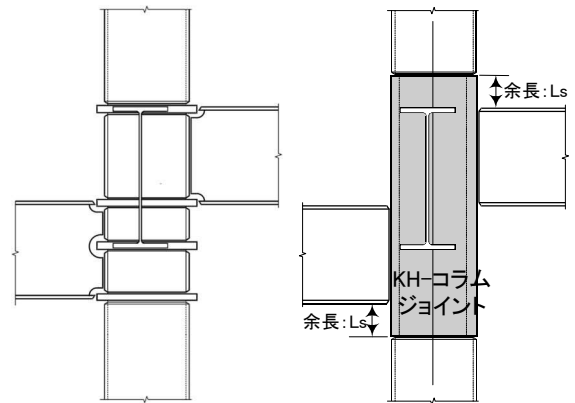
KH コラムジョイントは、2016 年の評定更新を経て順調に売り上げを伸ばし、物件数で 100 件を超えるまでになっている。本稿では 2021 年 11 月に評定更新を迎えるのに合わせ、KHC の更なる拡大を目指し、各種検討を行った内容を紹介する。

2. KH コラムジョイント工法の概要

KH コラムジョイント工法（以下、KHC とする）は、骨組みとしてコラムを柱に使い、梁に H 形断面部材を用いた鋼構造の柱梁接合部（パネル部分）に対し、溶接組立増厚鋼管である KHC を用いることによってダイアフラムを省略する工法である。これにより、従来であれば製作難易度が高い形状であっても、容易に構成が可能となる。図-1 に従来工法と KHC の比較を示す。従来工法では、ダイアフラム枚数も多く製作に時間を要する構造であったが、KHC を採用することで製作しやすい簡便な構造となる。また、KHC はコラム径 300~600mm まで 50mm ピッチで 7 種類を販売している。

3. 評定更新予定内容

KHC はこれまで販売を行う中で、客先から多くの要望をいただいていた。今回の評定更新に合わせ、客先からの要望に出来るだけ対応する他、より使いやすくするため、各種検討を行った。以降に今回の評定で更新を予定している項目を述べる。



(a) 従来工法 (b) KHC

図-1 従来工法と KHC の比較

3.1 KHC300 板厚および余長の変更

これまでコラム径 300mm に対応する KHC300 は板厚を 35mm、余長を 100mm とした場合の適用範囲の一覧表を用意してきた。しかし、実際は納期および板のマーケティングサイズの関係から、余長は 100mm のままとし板厚を 36mm とし製作を行っていたため、過剰品質となっていた。これは、一定の性能を得るための必要余長と板厚はトレードオフの関係にあるためである。そこで、板厚を 36mm とした場合の必要余長を再計算し、適用可能な梁について再検証を行った。表-1 に変更前後の使用可能梁の対比表の一部を示し、変更となった箇所を着色で示す。検討の結果、余長を 60mm とした場合に一部の梁で条件付きとなり、詳細な照査が必要となった。しかし、この一覧表はコラムを FC ランクで強度および板厚が最小とした場合の一覧表であり、コラムの条件変更と余長の延長により使用が可能となるため、変更前と適用範囲はほぼ変わらない。

3.2 適用コラムサイズの拡大

KHC は、コラムの角 R 部が KHC の角部の溶接範囲に納まることを前提に、コラムの適用範囲を定めている。しかし、近年 JFE スチール(株)が生産する従来の建築構造

*技術開発本部 技術研究部 **品質管理部 技術課

***鉄構営業部 鉄構営業課

表-1 KHC300 板厚と余長の変更

梁サイズ		梁鋼種	KHC300(T=35mm,L=100mm)				KHC300(T=36mm,L=60mm)			
			SS400	SN400	SM490	SN490	SS400	SN400	SM490	SN490
外 法	H- 450 x 200 x 9.0 x 12		○	○	○	○	○	○	○	○
	H- 450 x 200 x 9.0 x 16		○	○	○	○	○	○	○	○
	H- 450 x 200 x 9.0 x 19		○	○	-	○	○	○	-	-
	H- 450 x 200 x 9.0 x 22		○	○	-	-	○	○	-	-
	H- 450 x 200 x 12.0 x 19		○	○	-	-	○	○	-	-
	H- 450 x 200 x 12.0 x 22		○	○	-	-	○	○	-	-
	H- 450 x 200 x 12.0 x 25		-	○	-	-	-	○	-	-

○：使用可能 -：条件付きで使用可能

用冷間ロール成形角形鋼管[BCR]の範囲を超えた板厚の JFE コラム BCR[JBCR]が大臣認定品として販売されていることから、適用可否について確認を行った。KHC はコラム柱より全幅で 6mm 大きい構造となっており、コラム柱は板厚分内側に入り込むため、角部ではコラム柱の R が KHC 板厚内 50mm に収まらない場合がある。図-2 に代表例として JBCR450×28 と KHC450 の位置関係を確認した結果を示す。BCR450 の最大板厚は 25mm であったが、JBCR を適用し板厚が 28mm となってもコラム R 部は KHC 断面内に収まっており、適用可能となった。表-2 に旧規定と JBCR も採用可能とした新规定の全サイズの一覧を示す。

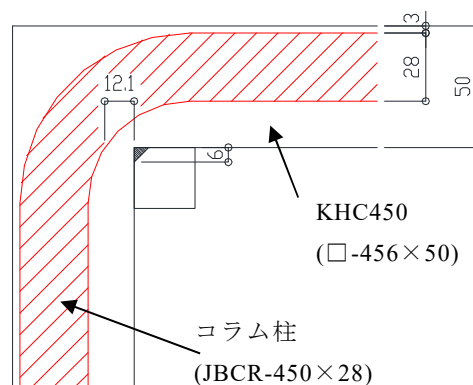


図-2 JBCR450×28 と KHC450 の取り合い (適用範囲内)

3.3 全長の緩和

KHC の製作最大長は 2,000mm としていたが、これは高さ 900mm の梁を使用したコア部に大きな段差がある場合を想定していた。しかし、客先から 2,000mm を超える箇所にも適用したいとの要望があり、最大製作長の緩和を検討した。実際に KHC を採用する場合は、従来工法として設計した構造物に対し、KHC を置き換える手法を取るため、当初の設計計算が正しくパネル部を評価していれば KHC の長さに制約は発生しないことから KHC の製作最大長を 2,500mm とした。図-3 に 2,000mm を超えて KHC を採用する事例を示す。この事例は、客先から打診があったがその時点での使用規定長 2,000mm を超えるため、適用を断念した事例である。

3.4 角溶接溶け込み深さの変更

これまで KHC の角溶接の溶け込み深さは、KHC300～550 は 6mm 以上とし、KHC600 は 0mm 以上としてきた。これはコラムのコーナー R 部が KHC の角溶接の溶け込み部の範囲に収まるようにするためであった。今回、コラムの適用範囲の拡大に合わせ、コラムコーナー R 部と BOX 角部の関係を再確認し、必要溶け込み深さを整理した。表-3 に各コラムの最大板厚時のコラム R と角溶接部のラップ長を示す。ここで、BCP は建築構造用冷間プレ

表-2 適用可能コラムサイズ

	コラム板厚(mm)	
	旧規定 BCR	新规定 BCR,JBCR
KHC300	6～19	6～22
KHC350	9～22	9～25
KHC450	9～25	9～28
KHC500	9～25	9～28
KHC550	12～25	12～28

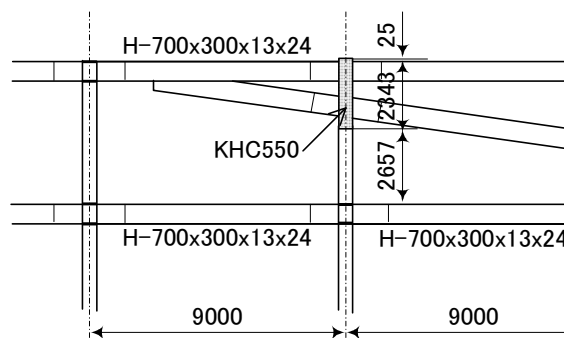


図-3 2,000mm 超の適用事例 (スロープ部) ス成型角形鋼管を示している。また、表中でマイナスの値となっている箇所は、コーナー R 部が角溶接とラップ

表-3 コラムRと角溶接のラップ

	ラップ長(mm)	
	BCP	JBCR
KHC300	-0.2	-2.6
KHC350	2.3	-2.0
KHC400	2.7	-10.9
KHC450	3.1	-12.1
KHC500	-6.8	-20.0
KHC550	-3.1	-26.9
KHC600	0.7	

せず離れている距離を示している。再整理の結果、表-4に示す通り、KHC300～450までの標準溶け込み深さを6mmとし、KHC500～600までの標準溶け込み深さを3mmとした。また、それぞれに限界溶け込み深さを設け、限界溶け込み深さ以上であれば、裏板に対する隅肉補強溶接により一体化することで使用可能とした。

3.5 梁の鉛直傾斜の緩和

KHCは、これまで工場等の屋根をイメージし、鉛直勾配の傾斜を45°までとしていたが、意匠性の高い建物、例えば教会のチャペルなどの建物にも対応するため、鉛直傾斜を60°まで拡大した場合の応力変形状態を確認するFEM解析を実施した。図-4(a)に基本モデルを示し、(b)に鉛直傾斜60°の载荷条件を示す。また、(c)には塑性域までを考慮した応力ひずみ関係(マルチリニアモデル)を示す。FEM解析はMidas(立体弾塑性有限変位解析)を使用し、ソリッド要素を用いて計算を行った。図-5に梁の勾配毎に比較したPL-δグラフを示す。ここでLは柱芯から载荷点までの距離(L=3,000mm)としており、δは両端のδ1およびδ2の平均値としている。いずれの勾配のモデルにおいても梁の降伏モーメントMyまではほぼ直線性が保たれている。また、傾斜が大きくなるに従い変形量が抑えられており、見かけ剛性が大きくなっている傾向がみられることから、梁の鉛直傾斜が60°でも使用可能とできることが確認された。

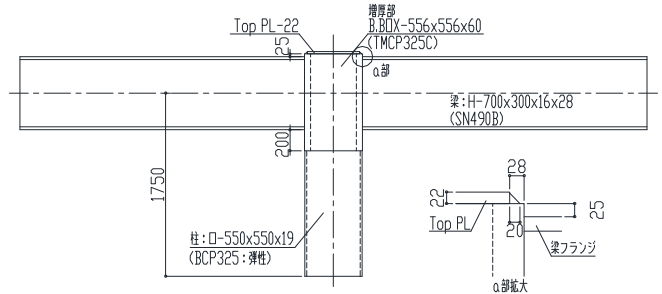
3.6 柱頭部 内ダイアフラムの検討

これまで、KHCに内ダイアフラムを用いて最上階(最下階)の余長を短縮する場合は、内ダイアフラムの板厚を在来工法と同厚程度とし、詳細な検討は行ってこなかった。しかし、より条件の厳しいトッププレートタイプより、内ダイアフラムタイプの板厚が厚くなるのは不経済なため、FEM解析により内ダイアフラムについて検討を行い、適正なダイアフラム厚およびスカラップ形状について整理を行った。図-6(a)にKHC450の場合の内ダイアモデルを示し、(b)に比較のため、最小余長(150mm)を設けた内ダイアフラムを入れないモデルを示す。また、FEM解析時の载荷条件および変形位置は(c)に示す通りである。この解析においても、応力ひずみ関係にマルチ

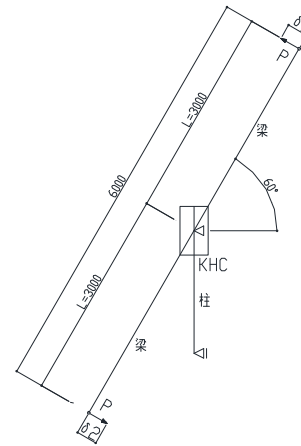
表-4 KHC標準溶け込み深さ

	標準溶け込み深さ(mm)	
	旧規定	新規定
KHC300	≧6	≧6 (≧3)
KHC350		
KHC400		
KHC450		
KHC500		≧3 (≧0)
KHC550		
KHC600	≧0	

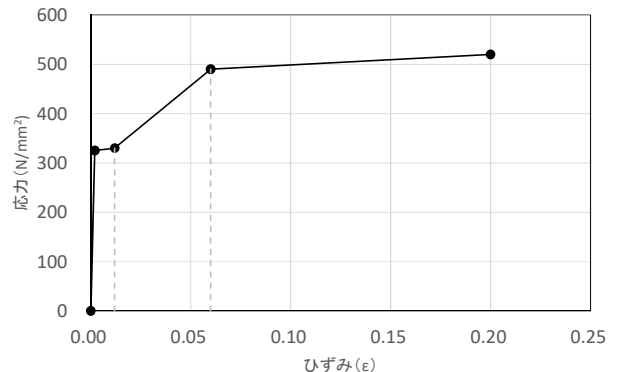
*括弧内は限界値を示す。



(a) 基本モデル



(b) 鉛直傾斜 60°モデル



(c) マルチリニアモデル

図-4. 鉛直傾斜の解析モデル

リニアモデルを用い、塑性域まで考慮している。図-7(a)に全体変形を示し、(b)にKHCの面外方向の局部変形のグラフを示す。まず、全体変形では内ダイア有り、無し

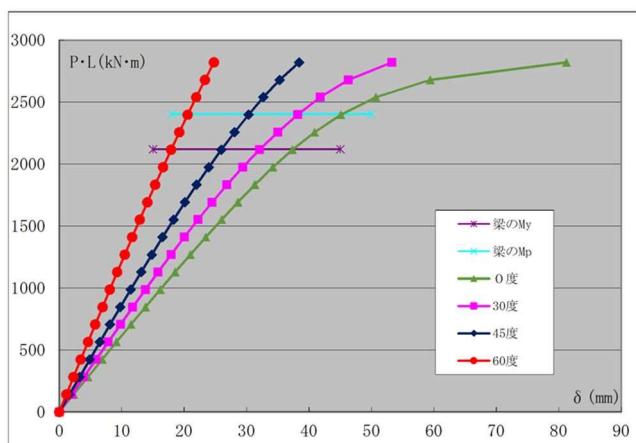


図-5 PL- δ 曲線

のモデルで曲線はほぼ一致しており、内ダイアフラムを設けることで余長を短くしても通常と同じ変形性能が確保されている。一方、局部変形に着目すると、内ダイア入りのモデルは内ダイア無しの対比モデルと比較して変形量が抑えられており、内ダイアフラムの効果が局部変形の減少に大きく寄与している。図-8は、荷重が梁の全塑性応力(bMp)相当時の応力コンター図である。スカラップ周辺で $470N/mm^2$ 前後の応力集中がみられるが局部的であり、全体でみれば降伏応力以下に収まっていると判定できる。KHC450 の場合、内ダイアフラムとして 19mm あれば通常余長の場合と同程度の性能を確保できることが判った。また、KHC500 以上については KHC600 で同様の解析を行い、内ダイアフラム板厚 22mm で同様の結果を得られたことから、KHC300~450 を 19mm, KH500~600 を 22mm の内ダイアフラムとした。

3.7 耐震ブレース接合

コラム柱の構造物は、ブレース取り合いを設けるような構造は少ないため、KHC でも適用範囲外としてきた。しかし、ブレース接合部はダイアフラムが多く段差が発生しやすいことや客先からの要望も多かったため、ブレース部に適用を行うことが出来ないか検討を行った。図-9 に終局時のブレースの取り付け接合部周りに作用する力のつり合い状態を示す。ここでは、ブレース架構に支配的な軸力による影響を確認するため、ブレース座屈により発生する可能性のある曲げについては無視している。図より、KHC 壁面に作用する曲げは梁により発生する曲げと逆方向となるため、ブレース軸力により KHC に曲げ破壊は発生しない。また、せん断力については同符号となるが、KHC の板厚は一般部に比べ十分厚く、応力伝達は十分可能である。このことから、実際の適用に当たっては KHC の長さをダンパー部の梁とガセットプレートを含む接合部全体を含む長さとし、その両端に内ダイアフラムを装着するとした。これはブレース座屈等

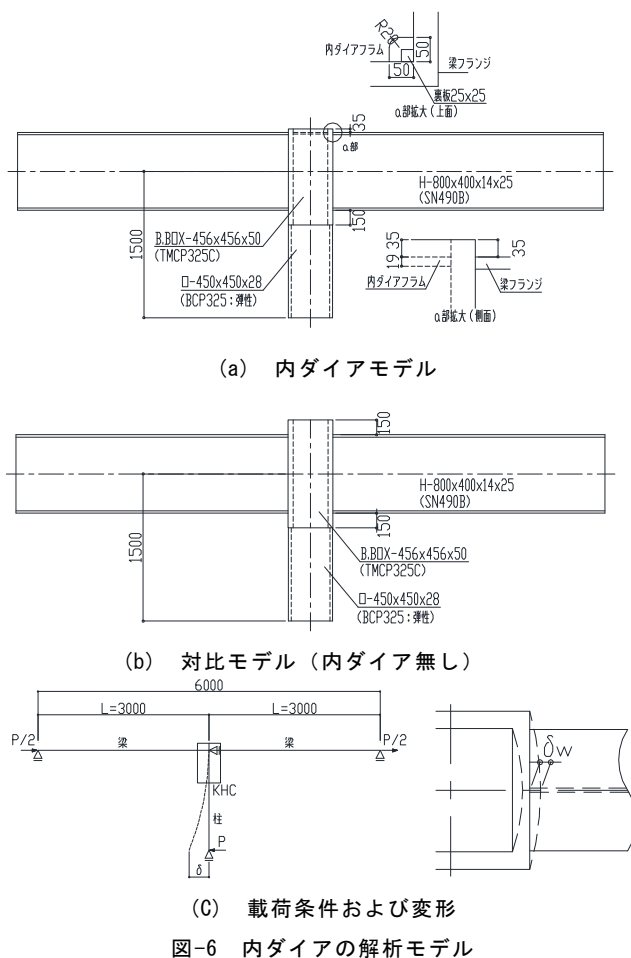
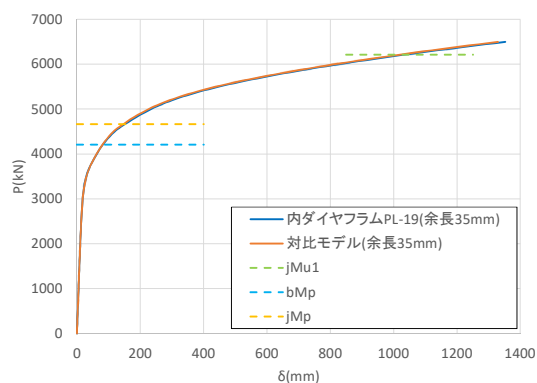
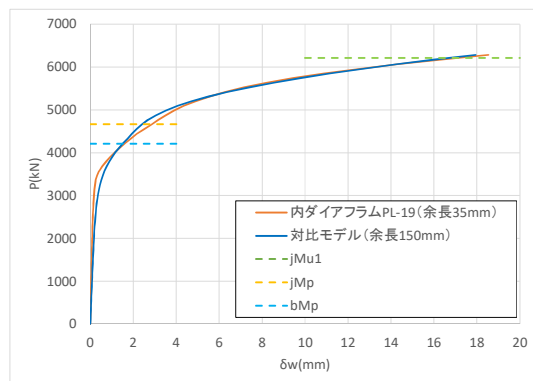


図-6 内ダイアの解析モデル



(a) P- δ 曲線 (全体変形)



(b) P- δw 曲線 (局部変形)

図-7 内ダイア解析結果

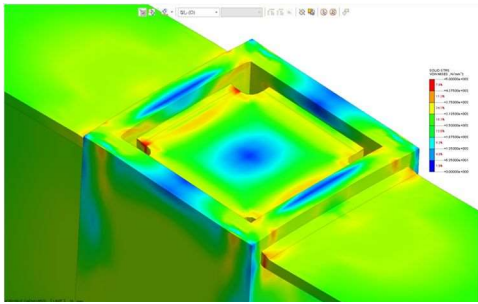


図-8 応力コンター図

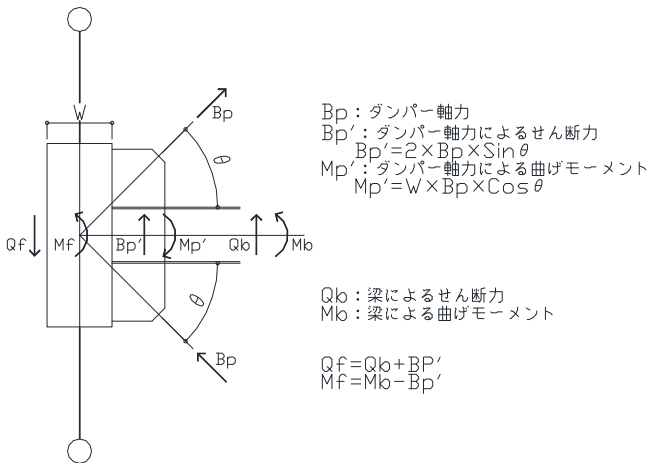


図-9 ブレース周りの終局応力状態

により発生する2次断面力も考慮するためである。図-10にKHCをダンパー部に適用した場合の事例を示す。

3.8 異径接合

鉄骨構造では、階が上部へ行くほど必要な板厚が薄くなり、柱の径も小さくすることが可能となる。従来は柱径を変更する場合は、十分に厚いダイアフラムを間に挟むか、レジャーサーを間に挟むことで対応している。しかし、KHCでは板厚が厚いことから、コラム柱の径を1サイズ下げてもKHC断面内に収まるケースがあるため、構造上異径接合が可能なケースがある。そこで、具体的に可能な異径接合について検討を行った。

(1) KHC板厚内に収まる場合

KHCは従来工法の設計を行い構造が成立した上で、KHCに格点を置き換えることを基本としている。この考えは、コラム柱のサイズが変わっても同様であり、異径接合でも同じ設計となる。したがって、異径接合の場合でも取り合うコラム柱の断面がKHCの角溶接の溶け込みを考慮した範囲に収まっていれば良い。表-5にKHCとコラムの許容差の一覧を示し、図-11にKHC断面確認例を示す。実線は、規格値通りのコラムの場合を示し、点線にはコラムが許容誤差範囲で最小となった場合を示している。また、KHCにも寸法許容差があるため、図では条件の一番厳しくなるプラス側の最大許容差となった場合を

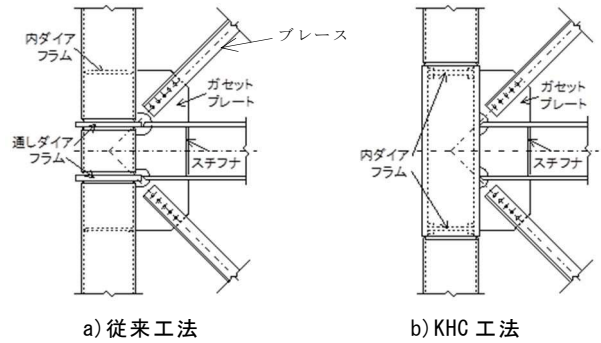


図-10 ブレース部適用例

表-5 KHCとコラムの辺およびコーナーR寸法

製品	辺の長さの許容誤差	コーナーR	
		標準値	許容値
KHC	±3mm	-	-
BCR,JBCR	±1.0%∧±3mm	2.5t	±0.5t
BCP	t ≤ 19mm	3.5t	±0.5t
	t > 19mm		±0.4t

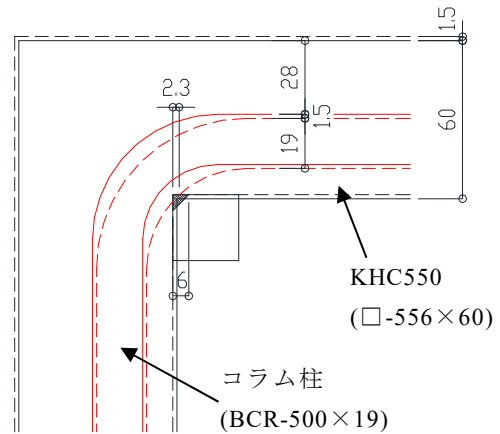


図-11 異径接合確認例(適用範囲内)

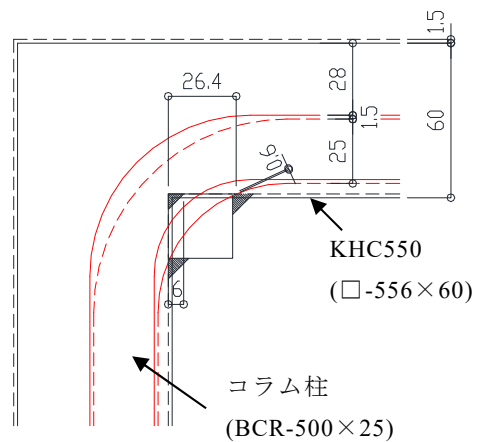


図-12 異径接合確認例(隅肉補強)

点線で示している。図のように公差を考慮してもKHCの断面内に収まるケースについては、KHCの補強等を行わなくても異形サイズの接合が可能となる。

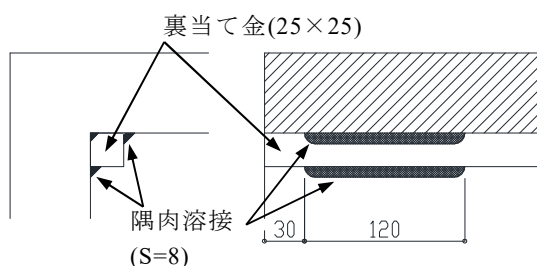


図-13 補強要領(裏当ての一体化)

(2) KHC 板厚内に収まらない場合

KHC 上の異径サイズのコラムの板厚が厚い場合、KHC 断面に対しコラムの R 部が溶け込み範囲を超える場合がある。実際の構造物を考慮すると、断面の急変を考慮し異径サイズの板厚は厚いケースが多いと考えられる。そこで、KHC の角溶接に補強隅肉を追加し KHC と裏板を一体化することで適用範囲を拡大した。図-12 に断面確認例を示し図-13 に補強要領を示す。裏板に補強隅肉を追加することで裏板と KHC が一体化して挙動することは実験により確認を行っており、十分な効果期待できる³⁾。また、その範囲は国土交通省告示第 1464 号の突き合わせの食い違いの許容量を参考にして、裏板の角から $t/10$ までとして適用範囲を定めた⁴⁾。

4. おわりに

また、KHC の採用事例は設計時のスペックインを中心に増加しており、引き合いも多くなっている。今回の評定更新を契機に、さらなる拡大を目指し、動画での PR を始めている他、引き合い増加を念頭に生産ラインの拡大整備を合わせて進めている。最後に、本稿執筆時点では評定審査中であり、次回評定に全て反映できるかは調整中であることを追記しておく。

参考文献

- 1) 吉村鉄也, 横山幸夫, 中村武士: ノンダイアフラム形式柱梁接合部の力学的性状, 駒井ハルテック技報, Vol.1,pp.46-51,2011.12
- 2) 岡田幸児, 吉村鉄也, 田村眞一郎: ノンダイアフラム形式柱梁接合-KH コラムジョイント工法の開発-, 駒井ハルテック技報, Vol.7,pp31-34,2017.12
- 3) 駒井ハルテック: KH コラムジョイント評定報告書 資料-4 菱形モデルによる角溶接部の引張曲げ実験, 2016.11.16
- 4) 国土交通省: 告示 1464 号 鉄骨造の継手又は仕口の構造方法を定める件, 2000.5.31