

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-

DEVELOPMENT OF A BEAM-TO-COLUMN CONNECTION WITHOUT STEEL DIAPHRAGM - KH COLUMN JOINT SYSTEM -

岡田 幸児* 吉村 鉄也** 田村 眞一郎***
Koji Okada Tetsuya Yoshimura Shinichiro Tamura

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柱（以下コラム柱）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であるが、ダイアフラムを貫通させるため、柱を切断する必要がある。しかし、フロア構成や意匠の関係で柱に取り付く梁のサイズやレベルが異なる場合、ダイアフラムの近接により柱梁接合部が構成出来ないケースもある。

KH コラムジョイント工法では、ノンダイアフラム接合金物を採用することで、上記の問題を解決することを目指し、開発を行ったものである。本稿では、その開発経緯や基本思想を含め、本工法を紹介する。

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、冷間成形角形鋼管（コラム）を柱とし、H 形断面部材を梁に用いたコラム-H 構造骨組の接合部パネル部分に対し、溶接組み立て増厚鋼管を用いることによりダイアフラムを省略する工法である。図-1 に従来工法と KHC の比較図を示す。図-1(a) のような柱・梁の組み合わせでは、従来工法では 4 枚のダイアフラムと短いコラムで構成され、溶接によるひずみや変形により製作難度が高い形状となる。また、ダイアフラム近接により超音波探傷試験の実施出来ないケースでは梁取り付けレベルの調整や梁せいの変更などにより、ダイアフラム位置を調整する必要が生じる。このような形状に対し、KHC を採用することで図-1(b) のように梁を変更することなく、複雑なパネル部を構成することを可能としている。

3. 設計思想

従来工法では、コラム柱-梁接合部は通しダイアフラム形式となり、ダイアフラムを介して梁フランジの曲げ応力を接合部へ滑らかに伝達する。一方 KHC では、「梁フ

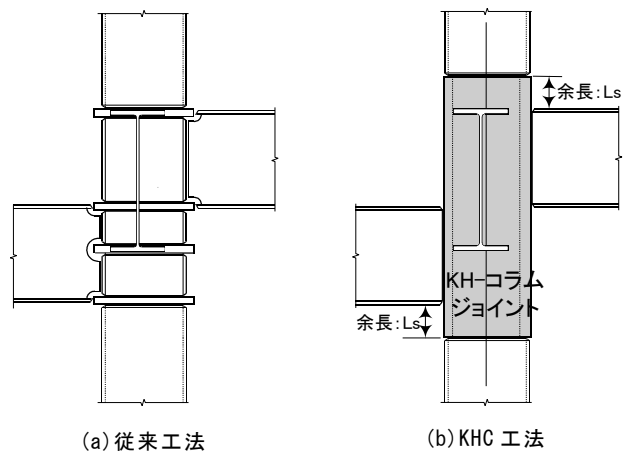


図-1 従来工法と KHC 工法の比較

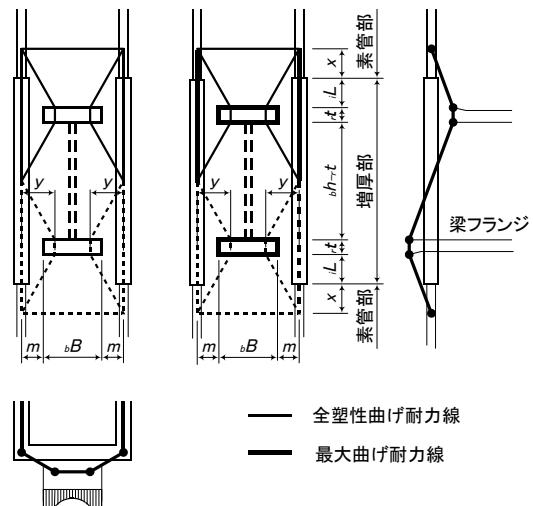


図-2 KHC 壁面の降伏メカニズム

ランジから作用する応力を KHC 鋼管壁の面外曲げ剛性により、接合部へ伝達する」として設計を行っている。この時に梁から伝達される梁端モーメントは、降伏線理論を用いて算定を行っている。図-2 に KHC 壁面の降伏メカニズムを示す。また、KHC は「従来工法からの置き換え」をコンセプトとしているので、通常の通しダイアフラム形式でのフレームの架構設計を適用させるため、

* 技術本部 技術研究室 **製造本部 富津工場 生産技術部 技術課
***鉄構営業本部 鉄構営業部

KHC を用いた場合の架構剛性は、従来の通しダイアフラムを用いた場合と同等以上を確保するようにしている。

図-3 に従来工法と KHC 置き換え後の剛性比を示す。この図から梁せいとコラム幅の比率が変化をしても、パネル部の剛性比は 1 以上を概ね確保しており、当初設計と同等以上の剛性を確保していることが確認出来る。

3.1 接合部としての構造特性

KHC の耐力計算では、保有耐力接合の考え方に基づき、梁が先に崩壊するように設定している。その計算式は、日本建築学会「鋼構造物設計指針¹⁾」掲載の千葉大/森田研究室による耐力式²⁾を用いており、以下の条件を満たすことを KHC の適用条件としている。

$$\begin{aligned}
 jM_p &\geq bM_p \\
 jM_u &\geq \alpha_1 \times bM_p \\
 jM_{u2} &\geq \alpha_2 \times bM_p
 \end{aligned}$$

ここに、

- bM_p : 梁の全塑性曲げモーメント
- jM_p : KHC 局部曲げ全塑性耐力
- jM_u : KHC 局部曲げ最大耐力 (一方向)
- jM_{u2} : KHC 局部曲げ最大耐力 (二方向)
- α_1, α_2 : 接合部係数

図-4 に KHC の降伏曲げ耐力の考え方を示す。KHC の降伏曲げ耐力は、KHC の接線剛性が初期剛性の 1/3 となった場合の降伏曲げ耐力 $jM_{y(1/3)}$ と 0.15% オフセットした場合の降伏曲げ耐力 $jM_{y(0.15\%)}$ および柱梁接合部の全塑性耐力 jM_p の関係から、KHC 局部曲げ全塑性耐力 jM_p の 85% と考える事ができる。構造の崩壊形状を梁崩壊とするには、接合される梁よりも先に KHC 部分が先行して降伏しないようする必要がある。そこで、梁の短期許容曲げ耐力 bM_a は KHC 局部曲げ全塑性耐力 jM_p の 85% 以下とするように定めている。この規定により、一部のサイズの大きい梁で許容曲げ耐力が、本来の梁の降伏耐力 bM_y より小さくなるケースがある。

3.2 梁端の接合係数

柱梁接合部が剛接合部である場合、その梁端は地震時のエネルギーを吸収する要素として期待されている。そのため、設計において梁端接合部は、材料強度のばらつきやひずみ硬化による応力上昇を考慮した割増係数 (接合部係数) が設定されている。KHC では、接合される梁が最大曲げ耐力に達した場合でも、KHC に発生する局部残留変形量を 1% 以下とするため、学会指針の端部接合係数を 0.93 で除した値を接合部係数として定めている (表-1)。また、2 方向 (斜め 45°) からの载荷については、作用する力が $\sqrt{2}$ 倍となることから、吸収エネルギー

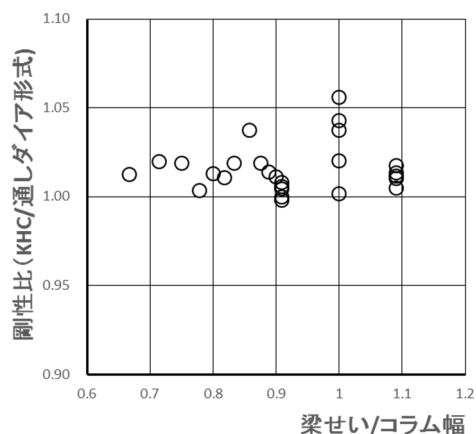


図-3 パネル部の剛性比

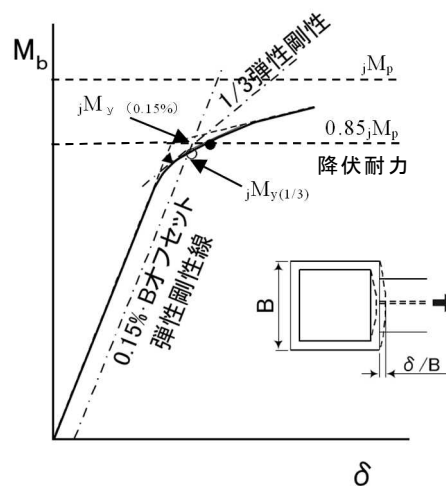


図-4 KHC 降伏曲げ耐力の考え方

表-1 梁端の接合係数

梁の鋼種	学会指針 α	α_1 (1方向)	α_2 (2方向)
SS400	1.40	1.50	1.30
SM490	1.35	1.45	1.25
SN400B,C	1.30	1.40	1.20
SN490B,C	1.25	1.35	1.15
		$\alpha/0.93$	$\alpha/1.2 \times 1.1$

の比率を考慮し、1 方向の場合と同程度となるよう、別途係数を定めている。

4. 構造実験

KHC を開発するに当たり、基本的な挙動を明らかにするため、構造実験および FEM 解析を実施している³⁾。構造実験で使用した試験体形状を図-5 に示す。試験体は梁を偏心させたものと、増厚部の板厚を変更したものととして計 3 体製作した。表-2 に試験体一覧表を示す。断面形状および寸法としては、柱部材には角形鋼管 \square -250x250(BCR295) を用い、梁部材には H 形鋼 H-350x175x7x11(SN490B) を使用している。KHC 部に当たる組み立て増厚鋼管部は PL-22(SN490C) を基準として構

成している。実験の結果、どの試験体においても、組立増厚鋼管-梁フランジの接合部における損傷であり、コラム柱-組立増厚鋼管の接合部および組立増厚鋼管部に損傷は認められなかった。この実験結果をもとに、FEMを実施し、板厚やディテールを検討することで KHC の構築を行った。

5. 製品概要

構造実験や各種 FEM 解析を経て、平成 25 年 9 月に第 3 者機関による建築基準法に基づく性能評価を受けた。その後、平成 28 年 11 月に適用サイズを 550 から 600 まで拡大し、評価を再取得している。表-3 に製品一覧を示す。KHC は各コラム径に対し 1 種類のみとし、□300~600 まで、7 種類を用意している。板厚は幅の 1/9 程度の厚肉断面で構成されており、最大長さは 2,000mm までとしている。梁は KHC に対し、余長を確保していればどのレベルにも取り付けが可能となっている。表-4 に KHC が適用可能なコラム柱サイズおよび材質を示す。材質的は SN490 級まで対応しており、板厚についてはコラムのコーナーR が KHC の角溶接部に収まる範囲に設定しているため、BCP と BCR で適用範囲が若干異なっている。表-5 に梁の適用可能サイズおよび材質を示す。材質は SN490 級まで対応しており、梁サイズの基本的な適用範囲としては、梁成は 900mm 以下且つ柱幅の 2 倍以下までとし、梁幅は 400mm 以下までとしている。具体的な梁の使用可否については、別途作成された一覧表から使用可否の判断を行う。

5.1 適用事例

KHC への梁の取り付けは、偏心や各方向の傾斜などにも対応しており、自由度の高いものとなっている。以下に適用事例について述べる。

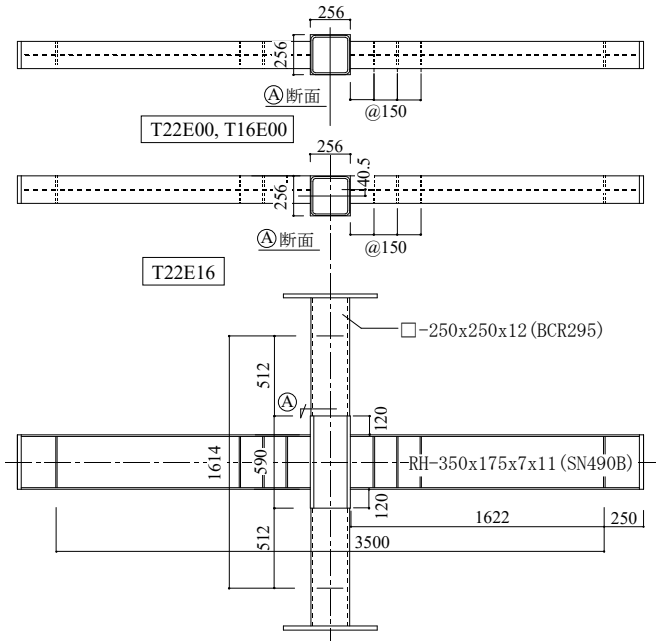


図-5 試験体形状

表-2 試験体一覧

単位：mm

試験体	柱部材	梁部材	増厚部(mm)		偏心量 (mm)
			外径	板厚	
T22E00	□-250x250 x12	H-350x175 x7x11	256	22	0.0
T22E16					40.5
T16E00					0.0

表-3 KHC 製品一覧

呼称	断面寸法 (mm)	必要余長 (mm)	
KHC300	306x306x35	100	
KHC350	356x356x40		
KHC400	406x406x45	150	
KHC450	456x456x50		
KHC500	506x506x55	200	
KHC550	556x556x60		
KHC600	606x606x65		

表-4 KHC 適用範囲 (柱)

KHコラムジョイント	適用コラムサイズ		
	BCR295,TSC295	BCP235, BCP325,BCP325T	STKR400,STKR490
KHC300	□300 x 300 x 6~19	□300 x 300 x 9~19	□300 x 300 x 6~12
KHC350	□350 x 350 x 9~22	□350 x 350 x 9~22	□350 x 350 x 9~12
KHC400	□400 x 400 x 9~25	□400 x 400 x 9~25	-
KHC450	□450 x 450 x 9~25	□450 x 450 x 9~28	
KHC500	□500 x 500 x 9~25	□500 x 500 x 9~28	
KHC550	□550 x 550 x 12~25	□550 x 550 x 9~28	
KHC600	-	□600 x 600 x 12~32	
	-	-	

表-5 KHC 適用範囲 (梁)

部材の種類	鋼種	適用サイズ制限
・ロール圧延 H形鋼 ・溶接組立て H形断面	SS400	・梁成900mm且つ柱幅の2倍以下、梁幅400mm以下。 ・「KH-コラムジョイント工法の設計・施工指針」の接合部の保有耐力確保の制限に適合したもの。
	SM490A,B,C	
	SN400B,C	
	SN490B,C	

(1)梁の偏心，コラムRとの干渉

図-6 のようにコラム柱に対して梁が偏心している場合もしくは梁幅が広い場合，通しダイアであれば問題ないが梁段差の関係で内ダイアとなる場合がある．このような場合は，コラムR部への溶接制限やスカラップのため，構成が不可能となるが，KHC を適用することにより問題を解決することが可能となる．

(2)梁取り付け方向

図-7 に梁の方向に対する適用例を示す．KHC に取り付く梁は，水平・鉛直とも 45° の角度まで取り付けることが可能であり，角度を付けたことによる KHC のサイズアップ等は不要となっている．このような事例は屋根勾配への対応や意匠の関係から，梁方向が変わる場合に用いられる．この場合の制限としては，梁が KHC のいずれか1面に収まっていることが条件となる．

(3)斜め切断

KHC は梁の上下端に決まった余長が必要となるが，それを満足していれば KHC を斜め切断して使用することも可能となっている．図-8 に適用事例を示す．このように折れ柱や天井勾配などにより柱上端を斜め切断しなければならない場合にも対応が可能となっている．

5.2 適用手順

図-9 に適用フローを示す．KHC 工法は「従来工法からの置き換え」をコンセプトとしているため，KHC を採用するに当たり構造的な再計算を行う必要は無い．具体的な梁の適用については，対応一覧表を用意している．また，対応一覧表に無い梁（例えば BH）であっても，別途照査式による適用可否の確認が可能となっている．

6. おわりに

KHC にて採用したノンダイアフラム工法は，鉄骨建設協会「建築鉄骨標準ディテール（2010 年版）」に作りやすい鉄骨として紹介されている．また日本鋼構造協会から発刊された「鉄骨造建築物接合部ディテールの設計資料集」にもノンダイアフラム工法が簡便で安全な接合工法として掲載されたことから，KHC についても今後認知度が増加すると予測される．2017 年初より KHC の販売を本格的に開始してから，確実に採用が増加している．今後の展開としては，製作・販売体制のライン化や顧客要望への対応など，更なる開発の推進を考えている．

参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針（第3版），2012.3.
- 2) Koji Morita, Noboru Yamamoto, Kazumasa Ebato: Analysis on the Strength of Unstiffened Beam Flange to RHS Column Connections based on the Combined Yield Line Model, Tubular

Structures, The Third International Symposium, Elsevier Applied Science, pp.164-171, 1989

- 3) 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

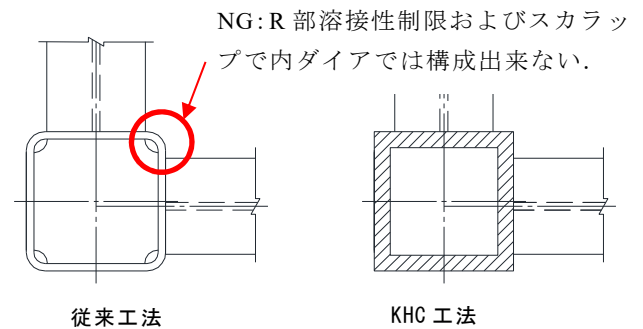


図-6 KHC 梁偏心への対応

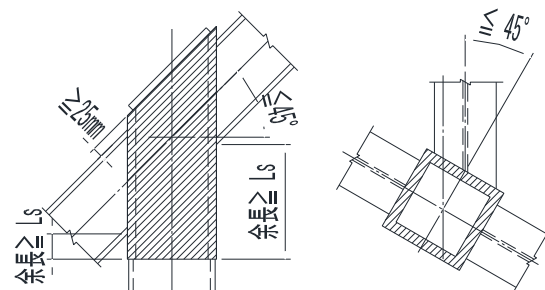


図-7 KHC 梁方向への対応

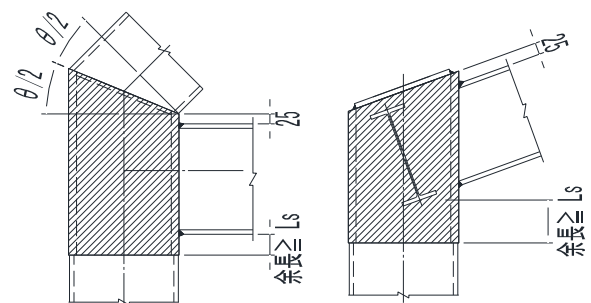


図-8 KHC 斜め切断への対応

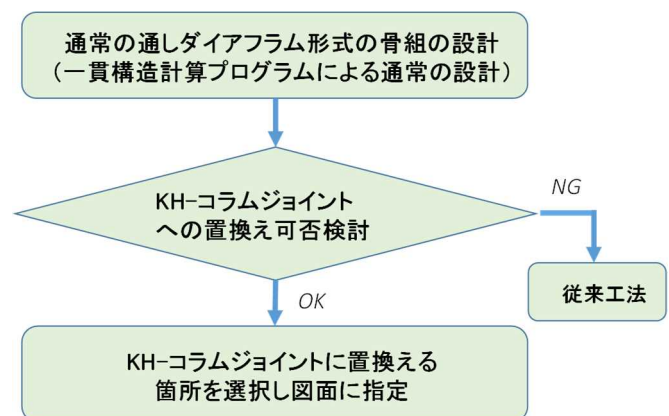


図-9 KHC 適用フロー