

(技術資料)

KB コラムにおける隅肉溶接部の設計方法

芳賀純子・窪田憲夫

鉄鋼部門・厚板商品技術部

KB Column Fillet Weld Design Technology

Junko Haga・Norio Kubota

KB column consists of a column made of a circular steel pipe and a diaphragm made of steel plate. These components are joined by fillet welding. The design technology for KB column fillet welding, however, has not yet become popular. In this paper, the original design technology at Kobe Steel for fillet welding, and the results of experiments carried out to verify the appropriateness of this design and structural safety are reported on.

まえばき = 1990 年代後半に入り、鉄筋コンクリート造・鉄骨鉄筋コンクリート造・鉄骨造に次ぐ第 4 の構造形式として、鋼管内部に高強度のコンクリートを充填した構造 (CFT : Concrete-filled steel tube) の採用が急激に拡大してきた。この要因としては、建設省 (現国土交通省) の指導により 1996 年に「新都市ハウジング協会」が設立され、それまでに開発・確立した CFT 関連技術を一般化したこと、CFT 構造は、剛性・強度・耐震性・耐火性などのあらゆる面で優れた特性を発揮し、建設コストの低減を可能にすること、型枠が不要なため工期短縮につながり施工性も良好なこと、が上げられる。

このような状況の中、当社は、主として CFT 構造に使われるダイアフラム付き円形鋼管柱「KB コラム」(当社ブランド名)を開発し、2000 年にコラム事業に参入した。

KB コラムでは、外ダイアフラム形式のリングダイアフラム (以下、外リングと略す) を用い、外リングと鋼管の接合には隅肉溶接を採用している。この場合の隅肉溶接による「構造方法」は一般化していなかったため、KB コラムの開発に当たって当社独自の設計方法を考案し、その妥当性・構造安全性を実験的に検証した。

1. KB コラムの概要

1.1 製造方法

KB コラムは、厚板を使用したプレスバンド鋼管と厚板から切り出した外リングを準備し、外リングを柱梁接合部の所定の位置にはめ込み、隅肉溶接で取付け製造する (図 1 参照)。

1.2 使用鋼材の材質

KB コラムは、3 種類の強度級をメニュー化している。

1) 鋼管の材質

鋼管の材質を表 1 に示す。

2) 外リングの材質

外リングの材質を表 2 に示す。

1.3 設計方法及び適用範囲

外リングの設計は、日本建築学会「鋼管構造設計施工指針・同解説」に準拠し、この中で示された一般式を用いて行う。KB コラムの適用範囲を、表 3 に示す¹⁾。

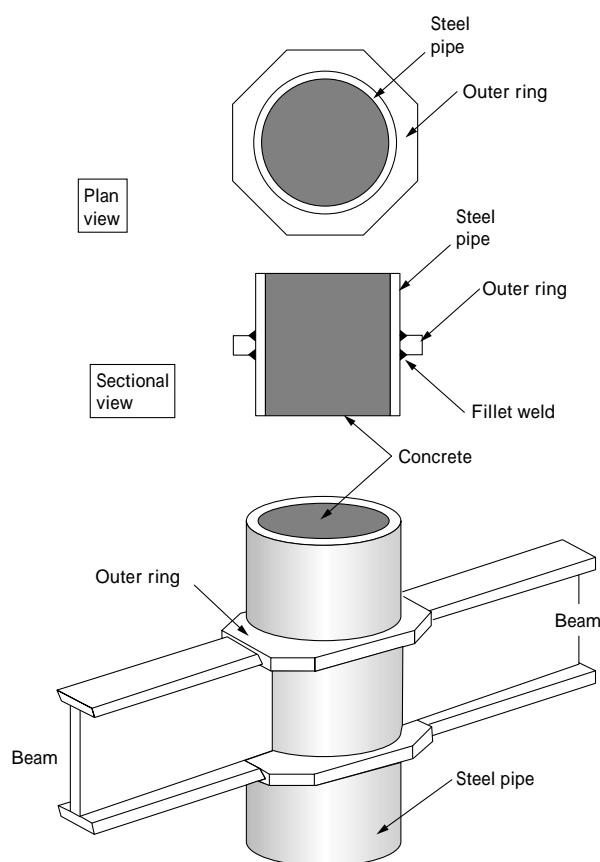


図 1 KB コラム模式図

Fig. 1 KB column schematic drawing

表 1 鋼管の材質 (プレスバンド)

Table 1 Steel pipe material (press bend)

Strength	Material
400N/mm ² class	STK400, STKN400B, C SM400A ~ C, SN400B, C
490N/mm ² class	STK490, STKN490B, C SM490A ~ C, SN490B, C KCL-A325B, C*
520N/mm ² class	SM520B, C KCL-A355B, C*

*TMCP steel for building structure (t > 40mm)

表2 外リングの材質
Table 2 Outer ring material

Strength	Material
400N/mm ² class	SN400B, C
490N/mm ² class	SN490B, C KCL-A325B, C*
520N/mm ² class	SM520B, C KCL-A355B, C*

*TMCP steel for building structure (t > 40mm)

2. 隅肉溶接部の設計方法

2.1 隅肉溶接採用の趣旨

柱 - 梁間の応力伝達を外リングによって行い、外リングと鋼管柱の接合を溶接接合で行う構造方法においては、所要の力学的性能を確実に備えた隅肉溶接の採用が可能である。外リングを用いたコラムの場合、一般に外リングの板厚が大きくなる場合が多く、完全溶込溶接とする場合に比べて、隅肉溶接とした方が経済性において圧倒的に優位であり、溶接による入熱量が少なく材質劣化や熱歪みの恐れもほとんど無い。

2.2 設計方針

- 1) 柱鋼管と外リングの隅肉溶接部は、溶接部の降伏を梁フランジの降伏より先行させず、また必要な保有耐力を有するよう設計する。
- 2) 溶接部の有効範囲は、梁フランジからの応力が外リングを介して広がるとし、図2に示す幅 $Bf + 2Hs'$ (角度 $\frac{\pi}{2}$) の範囲とする。なお、全周を一樣に溶接するが、安全側の評価として有効溶接範囲以外の溶接は無視する。
- 3) 溶接部の耐力評価は、日本建築学会「鋼構造限界状態設計指針・同解説」(1998年)に示される斜方溶接継目の耐力式を採用する。すなわち、側面隅肉溶接部耐力を基準 1.0 に、前面隅肉部を 1.4、斜方隅肉部を $1 + 0.4\cos\theta$ として算定する²⁾。
- 4) 設計のど厚の決定は有効溶接範囲において、溶接部の短期許容耐力が必要降伏耐力以上となるように、かつ溶接部の最大耐力が必要最大耐力以上となるように行う。

2.3 算定式 (図2, 図3 参照)

短期許容耐力に対する設計

$$wP_y \leq P_{y, req}$$

$P_{y, req}$: 梁断面から決まる必要降伏耐力 (kN)

$$P_{y, req} = M_y / H_b$$

wP_y : 溶接部の梁フランジ材軸方向の短期許容耐力 (kN)

表3 適用範囲
Table 3 Application range

Column classification		Concrete-filled steel tube	Steel tube
Column	Dia.-to-thickness ratio	20 D/t 50	15 D/t 55
Beam	Beam width-to-dia. ratio	0.25 Bf/D 0.75	Bf/D 1
Outer ring	Thickness	ts 100mm	ts 100mm
	Extrusion width	hs/D 0.3	—

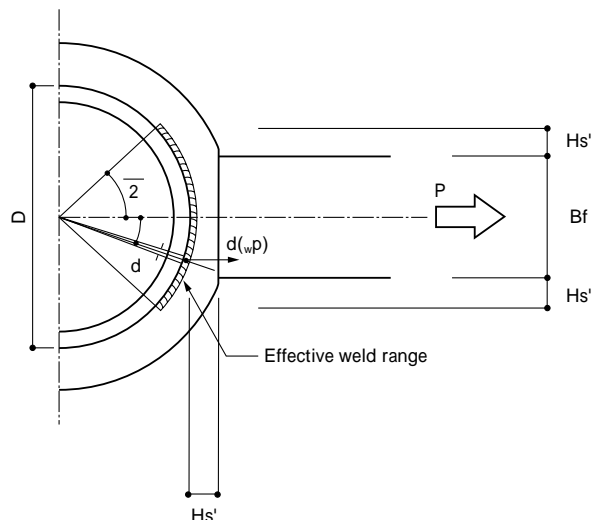
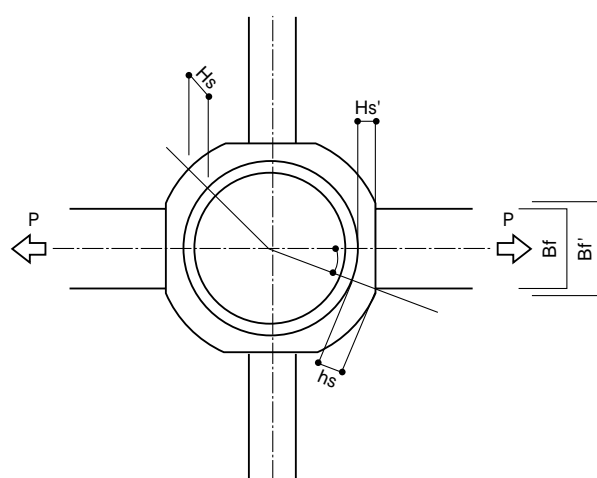


図2 隅肉溶接部の有効溶接範囲図
Fig. 2 Fillet weld effective weld range



Bf : Beam flange width
Bf' : Straight cut width
Hs : Outer ring max. extrusion width
Hs' : Outer ring min. extrusion width
hs : Extrusion width at the possible fracture section

図3 柱梁接合部平面図
Fig. 3 Column-beam joint plan view

$$wP_y = 2a \left[\frac{\pi}{2} q(\theta) \right] \frac{F_y}{3} \frac{D}{2} d$$

$$\left(= 2a \cdot D \left(\frac{\pi}{2} + 0.4 \sin \frac{\pi}{2} \right) \frac{F_y}{3} : q(\theta) = 1 + 0.4 \cos \theta \right)$$

(θ: 図2 参照)

a: 溶接のど厚: $a = (1/2) \times (cm)$

S: 溶接サイズ (cm) (図4参照)

F_y : 柱鋼管と外リングの「許容応力度の基準強度(F_y 値)」の小さいほうの値 (kN/cm²)

：有効溶接範囲 (rad) ($\text{rad} = 180^\circ$)

D : 鋼管の外径 (cm)

${}_bM_y$: 梁端部の降伏曲げ耐力 (ウェブ考慮) (kN・m)

H_b : 梁フランジの中心間距離 (m)

最大耐力に対する設計

$${}_wP_u \leq {}_{req}P_u$$

${}_{req}P_u$: 梁断面から決まる必要最大耐力 (kN)

$${}_{req}P_u = {}_bM_u / H_b$$

${}_wP_u$: 溶接部の梁フランジ材軸方向の最大耐力 (kN)

$${}_wP_u = 2a \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} q \left(\frac{F_u}{3} \frac{D}{2} d \right) d\alpha$$

$$\left(= 2a \cdot D \left(\frac{1}{2} + 0.4 \sin \frac{\alpha}{2} \right) \frac{F_u}{3} \right)$$

a : 溶接のど厚 : $a = (1/2)S$ (cm)

S : 溶接サイズ (cm) (図4参照)

F_u : 柱鋼管と外リングの「材料強度の基準強度」の小さいほうの値 (kN/cm²)

：有効溶接範囲 (rad) ($\text{rad} = 180^\circ$)

D : 鋼管の外径 (cm)

${}_bM_u$: 梁端部の全塑性モーメント (ウェブ考慮) に S_F 倍した値 (kN・m)

S_F : 安全率 (SM490 級鋼材では 1.2, SS400 級鋼材では 1.3)³⁾

H_b : 梁フランジの中心間距離 (m)

3. 外リング接合部の実験

3.1 単調引張実験⁴⁾⁷⁾⁸⁾

3.1.1 目的

梁幅比が 0.75 の場合有効溶接範囲が最大となり、適用梁幅比内で最も溶接部の耐力が不利になると考えられ

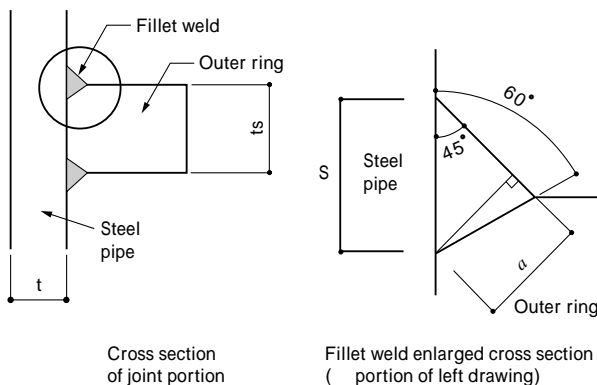


図4 隅肉溶接接合部拡大断面図
Fig. 4 Fillet weld enlarged sectional view

る。この場合、のど厚の違いが耐力の変化及び破壊モードに及ぼす影響を確認する。併せて、接合部周辺の歪み分布を確認する。

3.1.2 試験体

隅肉溶接ののど厚 a は H-350 × 225 × 7 × 11 の梁材を想定し、本設計方法を用いた算定結果より $a = 5.2\text{mm}$ を基準とする。なお、中空鋼管より CFT の方が厳しい実験条件となるため、CFT の実験を行い代表させる (充填コンクリート; $F_c = 36\text{N/mm}^2$)。表4に単調引張実験系列を、図5に試験体を示す。

3.1.3 载荷要領

静的な引張荷重を、フランジ (つかみ金物) の軸心方向左右対称に、最大耐力が確認できるまで加える。

3.1.4 実験結果

表5に単調引張実験結果を、図6に荷重と変位量の関係を、写真1に隅肉溶接部の破断状況を示す。

1) いずれの試験体においても、計算上の必要降伏耐力時までは、ほぼ弾性となっている。また、その荷重変位量関係は3体ともほぼ同じで、隅肉溶接部ののど厚に依存していない。

2) いずれの試験体においても、破壊形式は隅肉溶接部の破断であるが、隅肉溶接ののど厚が大きくなるにつれて最大耐力は大きくなり、3体とも必要最大耐力を上回っている。

3) 本設計方法によって設計した試験体 (C-5) は、必要最大耐力に対して 1.68 倍の安全率を有している。

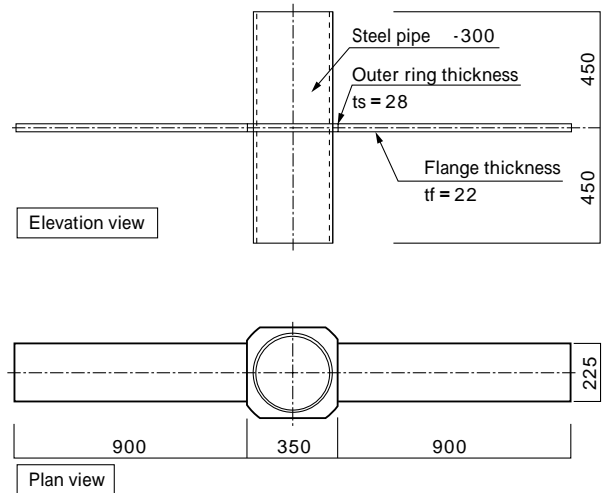


図5 単調引張試験体
Fig. 5 Monotonous tensile test specimen

表4 単調引張実験系列
Table 4 Monotonous tensile test specifications

Specimen symbol	Pipe size (mm)	Beam flange Bf × t (mm)	Outer ring specifications (mm) Bf' × Hs' × Hs × hs × ts	Throat thickness a (mm)	
				Planned	Measured
C-2	-300 × 9 (L = 900) (STKN490B)	225 × 22 (SN490B)	255 × 25 × 66.5 × 58.0 × 28 (SN490C)	2.5	2.4
C-5				5.2	5.2
C-8				7.5	7.4

表 5 単調引張実験結果

Table 5 Monotonous tensile test results

Specimen symbol	Test results			Calculated value (based on measured value) (tonf)				Safety factor for required proof strength $\frac{ex P_u}{req P_u}$
				Fillet weld proof strength		Outer ring proof strength		
	Proportional limit proof strength (tonf)	Max. proof strength (tonf)	Fracture position	Short time allowable strength	Max. proof strength	Short time allowable strength	Max. proof strength	
C-2	86.5	148.3	Fractured at fillet weld between outer ring and pipe	42	64	117	177	1.35
C-5		184.4		91	138			1.68
C-8		227.1		130	196			2.06

Note) Required proof strength for assumed beam cross section (H-350 × 225 × 7 × 11, SN490B)
 : Short time allowable proof strength ; 91 tonf, Max. proof strength ; 110 tonf (= $req P_u$)

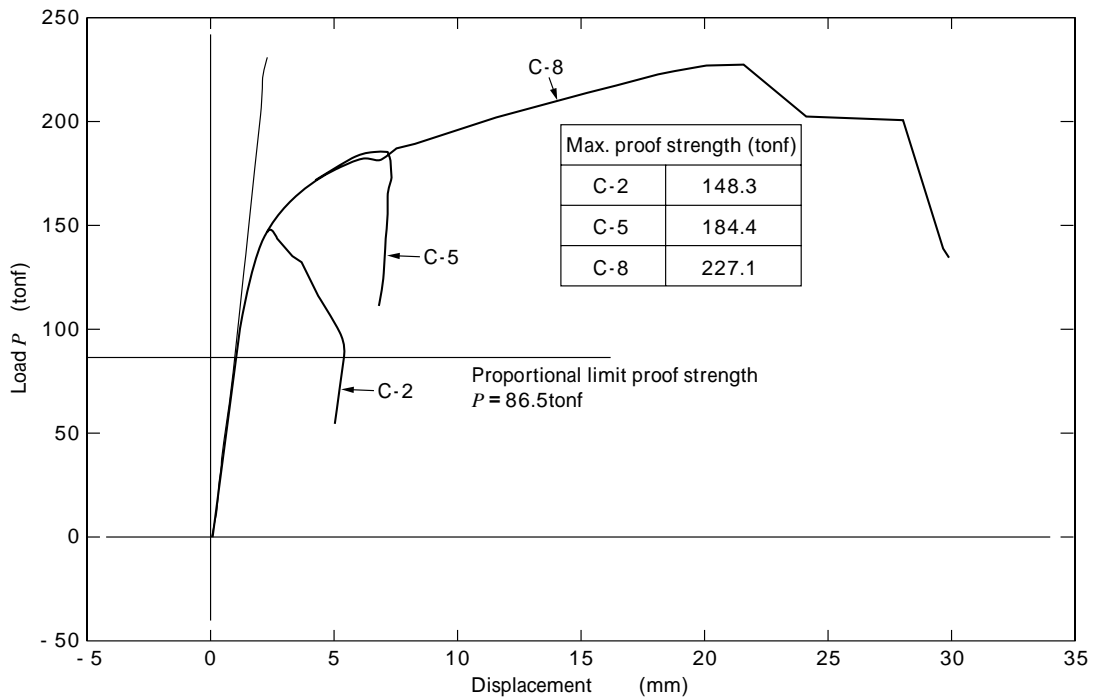


図 6 単調引張実験の荷重と変位置の関係

Fig. 6 Relationship between load and displacement in monotonous tensile test

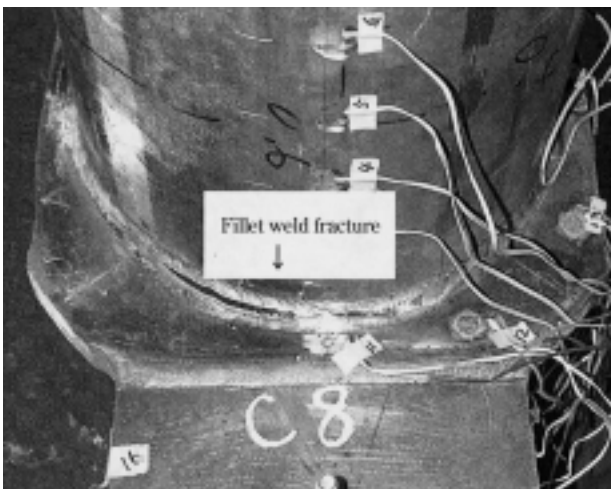


写真 1 隅肉溶接部の破断状況 (C-8)

Photo 1 Fillet weld fracture aspect (C-8)

3.2 十字形架構繰返し載荷実験⁵⁾⁶⁾

3.2.1 目的

レベル2地震^{注)}時相当の逆対称繰返し荷重下においても、隅肉溶接部が接合部全体の耐力を規定せず、この部分に破壊モードが形成されないことを確認する。

3.2.2 試験体

本設計方法に基づいて製作された、1/2モデルの十字形部分架構を用いる。なお、CFTの実験とする(充填コンクリート; $F_c = 36N/mm^2$)。表6に繰返し載荷実験の試験体寸法を、図7に試験体図を、写真2に実験状況を示す。

3.2.3 載荷要領

柱には150 (tonf)の軸力(軸力比0.4程度)を導入する。

また梁には、層間変形角:1/1000, 1/500, 1/250, 1/200,

脚注) 兵庫県南部地震のように1000~2000年に一度発生するような設計で想定する最大級の地震

表 6 十字形架構繰返し載荷試験体
Table 6 Cross frame cyclic loading test specimen

Pipe size (mm)	Beam (mm)	Outer ring specifications (mm) Bf' × Hs' × Hs × hs × ts	Throat thickness <i>a</i> (mm)	
			Planned	Measured
-300 × 9 (STKN490B)	350 × 150 × 9 × 12 (SN490B)	180 × 25 × 46.8 × 40.4 × 28 (SN490C)	6.3	6.0

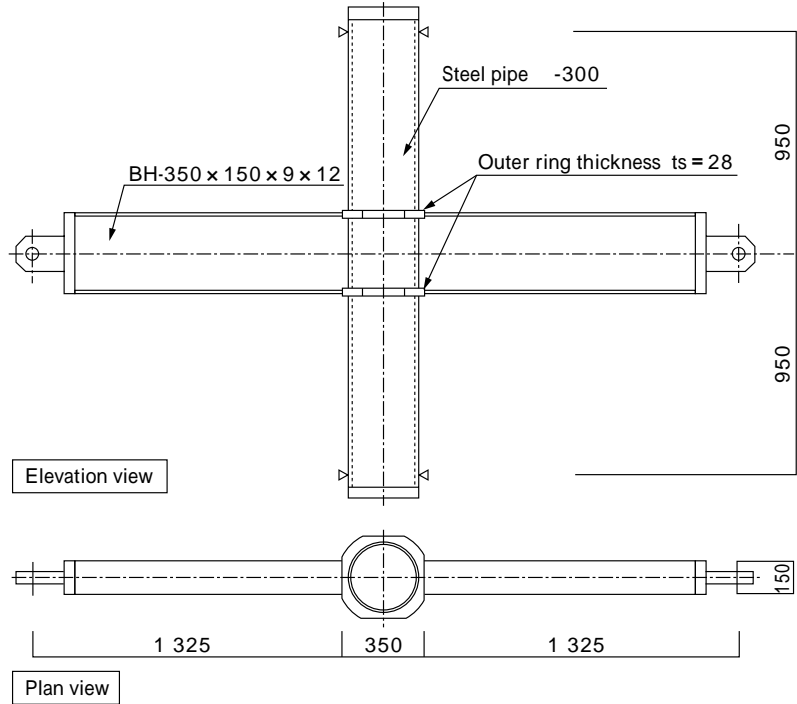


図 7 十字形架構繰返し載荷試験体
Fig. 7 Cross frame cyclic loading test specimen

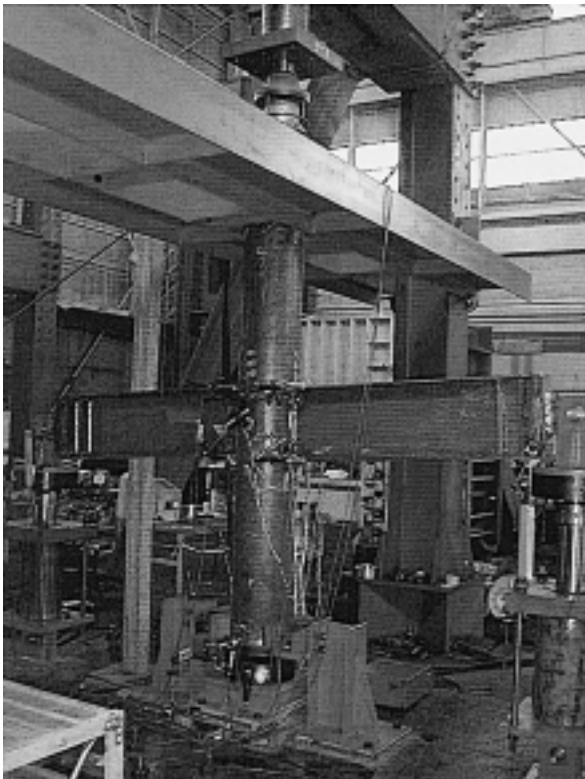


写真 2 繰返し載荷実験の状況
Photo 2 Cyclic loading test aspect

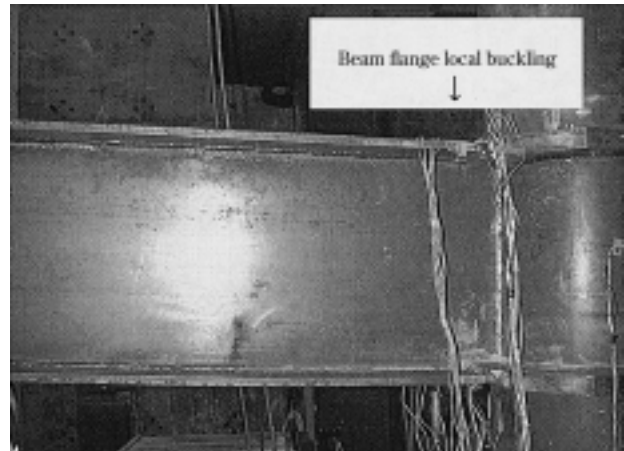


写真 3 実験終了時の試験体変形状況
Photo 3 Specimen deformation condition after test

3.2.4 実験結果

写真 3 に実験終了時の試験体変形状況を、図 8 に荷重と層間変形角の関係を示す。

- 1) 必要降伏耐力時までには、ほぼ弾性挙動を示した。
- 2) 必要最大耐力 (28.0tf) の 1.2 倍の荷重を加えて載荷を行ったが、隅肉溶接部は、実験終了まで健全であり、圧縮側の梁フランジの局部座屈により実験を終了した。

3.3 実験総合考察

一連の実験によって、本設計方法に基づいて設計された隅肉接合部の耐力は、接合部の必要耐力を十分上回り、また地震時においても梁が必要な塑性変形能力を発揮するまで隅肉溶接部は、健全であることが検証され

1/150, 1/120, 1/100, 1/60, 1/50, 1/40, 1/30 を目標に制御した静的な正負交番繰返し載荷を行い、層間変形角：1/50 以降は同一振幅を 2 回繰返す。

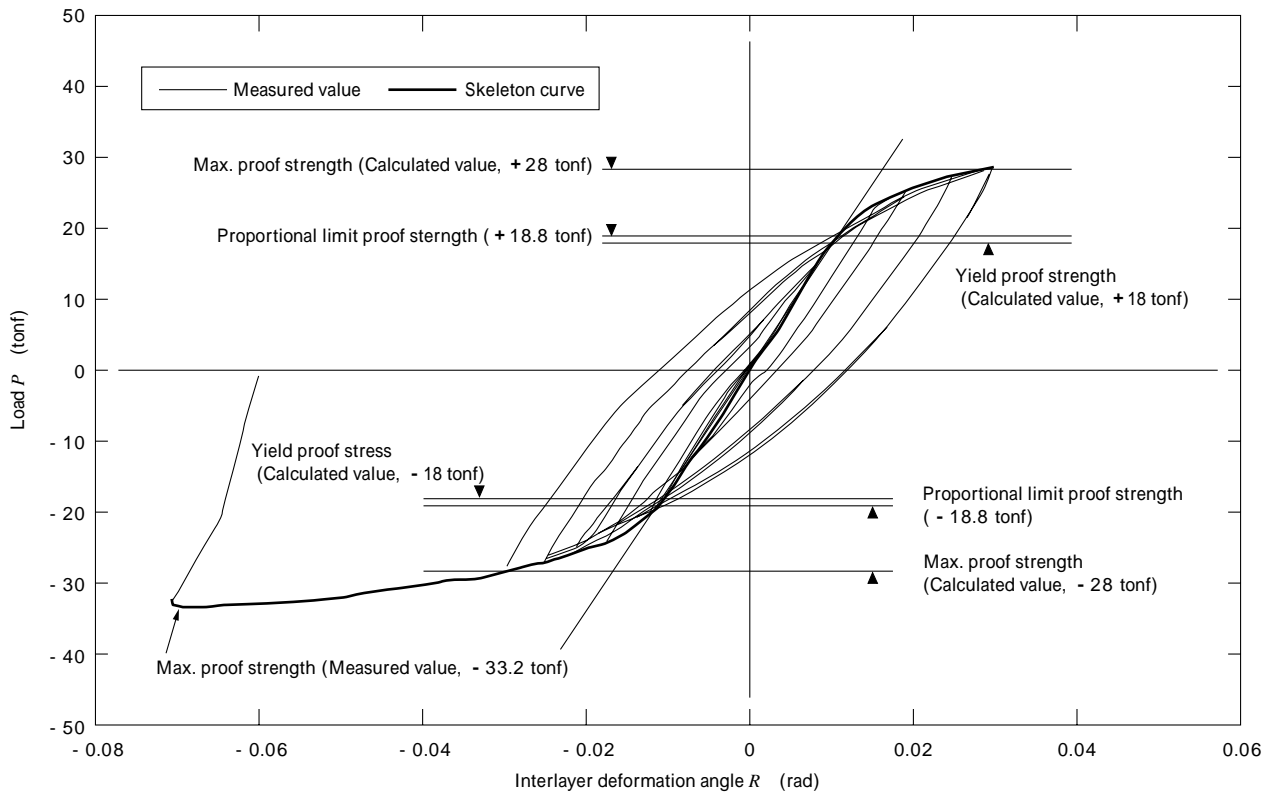


図8 繰返し載荷実験の荷重と層間変形角の関係
 Fig. 8 Relationship between load and interlayer deformation angle in cyclic loading test

た。

本設計方法は、設計・施工における様々な不確定要因を考慮した上で、妥当な構造安全性を有したものと判断できる。

むすび= この独自設計方法は、建築確認申請時の構造審査で公的機関による妥当性の評価を求められたため、^(財)日本建築総合試験所の「性能証明」を取得している。

現在、KB コラムの更なる拡販のため、590N 級のメニユ拡大を目指し、実験及び「性能証明」の変更申請を推進中である。

参考文献

- 1) 日本建築学会「鋼管構造設計施工指針・同解説」(1990) p.113, 122.
- 2) 日本建築学会「鋼構造限界状態設計指針・同解説」(1998) p.221.
- 3) 日本建築センター「建築構造規定」(1997) p.295.
- 4) 太田秀彦ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集，No.21842 (1992) p.1857.
- 5) 水谷直木ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集，No.21843 (1992) p.1859.
- 6) 山口種美ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集，No.22300 (1995) p.599.
- 7) 森田耕次ほか：鋼構造論文集，第5巻，第18号 (1998) p.81.
- 8) 志村保美ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集，No.22253 (1998) p.503.