

角形鋼管柱・梁接合部の強度ならびに 変形性能に関する実験的研究

金多 潔・甲津 功夫・林 文賢

EXPERIMENTAL STUDY ON STRENGTH AND DEFORMATION CAPACITY OF BEAM-TO-COLUMN CONNECTION

By Kiyoshi KANETA, Isao KOHZU and Wen-Chen LIN

Synopsis

In this paper, a newly developed forged diaphragm is proposed to improve the fabricating procedure in the steel panel zone such as grooving and scalloping when the column of rectangular hollow section are connected to the beam of wide flange section in the moment resisting steel frame.

Initially, mechanical property of the diaphragm was decided to develop the sufficient ductility performance by suitable heat treatment after forging and the specific groove shape was also decided to insure the good weldability in the connection, through the experimental investigation.

Secondary, the subassembly test using the forged diaphragm was performed to assess the load carrying and the energy dissipating capacities of the connection in the weak beam-strong column type structure in the event of earthquake.

This research shows that sufficient strength, ductility and stiffness of the connection can be exhibited in the proposed beam to column connecting method, even in the highly seismic regions.

1. 序

現在、建設されている鋼構造建築物では、柱梁等の直線形要素からなるラーメン構造が一般的であり、特に角形鋼管を柱材として使用することが多い。柱と梁の接合部を剛とするラーメン構造の場合、梁フランジの応力を円滑に伝達する為に、ダイアフラムまたスチフナーリングを角形鋼管柱に溶接する。通常の場合、梁の上下フランジのレベルに梁フランジと同等以上の板厚のダイアフラムが配されていれば、耐力、剛性とも十分な仕口が得られるとされている。設計においては、仕口部を十分に検討することなく、慣用のディテールが採用されることが多い。しかし、通しダイアフラムを有する仕口部において、ダイアフラムとコアの本溶接を行う場合には、溶接熱によってダイアフラムが変形することがある。ダイアフラムの端部が変形した場合は、溶接の反対側をガス加熱することによって、歪を矯正するのが一般的である。そのためダイアフラムの突出部分は相当な熱サイクルを受けており、脆性破壊を呈することも考えられる¹⁾。更に、通しダイアフラムと梁フランジとの溶接欠陥をなくすために、梁ウェブにスカラップを取る 것이一般的であり、スカ

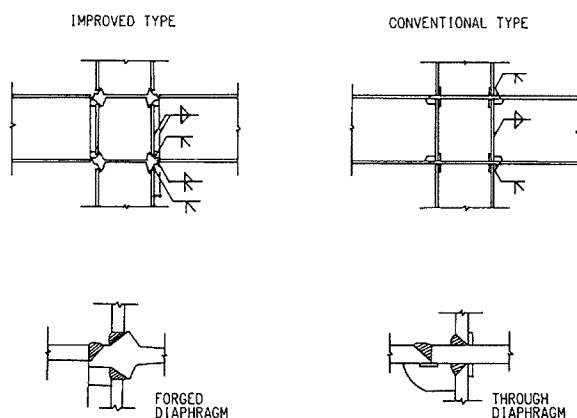


Fig. 1. Details of beam-to-column connections

ラップの半径は通常 25 mm～35 mm とされている。しかし、スカラップの存在により、梁から柱への応力伝達が滑らかに行われなく、スカラップがあることより梁端部の応力分布は大きく乱れ、梁ウェブの曲げ応力の負担が小さくなる^{2)～8)}。

以上のような現状の柱梁溶接接合部の力学的特性や溶接施工性、ならびに信頼性を改善する一つの方策として、Fig. 1 と Photo 1, 2, 3 に示すような鍛造ダイアフラムを用いた接合法を提案する。

鍛造ダイアフラムは、予めダイアフラム自身に開先を鍛造成形することにより、在来タイプの通しダイアフラムを用いた溶接接合部における柱梁母材の開先加工及びスカラップ加工を省略し、溶接接合部における加工数を低減することを目的として提案するものである。

本研究は次の3段階から構成されている。即ち、第一に、鍛造ダイアフラムに要求される強度、変形性能を確保する目的で、製作工程中における熱処理の必要性和溶接施工性と溶接部の力学的性能確保のための適正な開先形状を定めるための実験的研究である。

第二に、この鍛造ダイアフラムを有する梁降伏先行型の柱梁接合部の力学的性能を在来タイプの鋼板ダイアフラムを用いた接合部の力学的性能と比較し、その耐力、変形性能が改善されることを確認する目的で単純梁形式の接合部試験体を用いて繰返し載荷実験を行った結果について述べている。

第三に、鍛造ダイアフラムをより軽くするために鍛

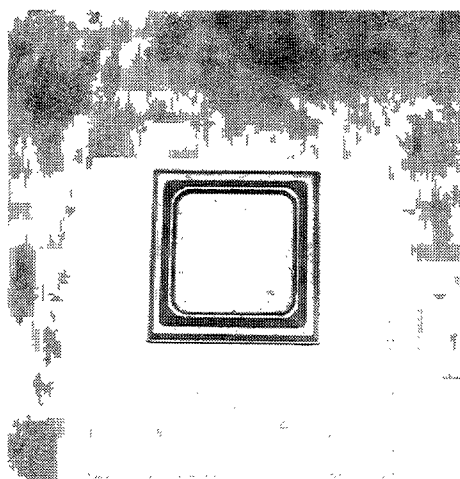


Photo 1. Forged diaphragm (plan)

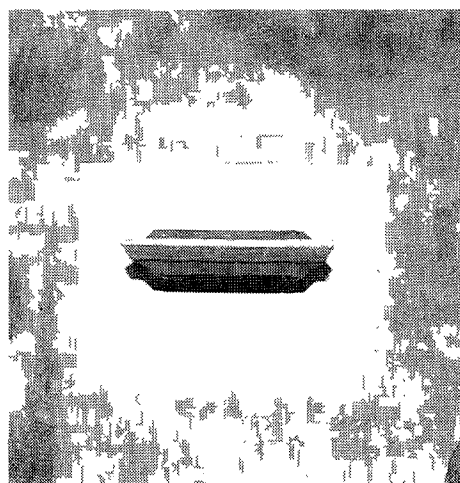


Photo 2. Forged diaphragm (side)



Photo 3. Forged diaphragm in panel zone section

造ダイアフラムの中央に大きさの違う穴をあけ、これらを有する柱梁十字形接合部の試験体を用いて載荷実験を行い、接合部の力学的特性について言及している。

2. 鍛造ダイアフラム素材とその突合せ溶接接合部の力学的性能評価実験

2.1 実験目的

本実験では鍛造ダイアフラムの製作中における熱処理の必要性について調べることで、鍛造ダイアフラムの最適開先形状の決定と突合せ溶接接合部の力学的性質を把握することを目的としている。

2.2 実験概要及び実験結果と鍛造ダイアフラムの製作概要

(1) 実験概要と実験結果

鍛造ダイアフラムの製作中における熱処理の必要性について調べるために熱処理した試験片と熱処理しなかった試験片の二種類を製作した。試験片の形状、寸法を Fig. 2 に示す。使用した鋼材は SM 50A である。鍛造ダイアフラムの熱処理は焼き入れ温度を 920℃、焼き戻し温度を 600℃ とする条件で行った。

熱処理の有無によるダイアフラムの力学的性質を知るために静的引張試験とローラー曲げ試験を実施した。実験結果を Fig. 3 と Table 1 に示す。Fig. 3 からわかるように熱処理した試験片の引張試験結果はダイアフラム素材の SM 50A 鋼のそれによく似ていて、靱性に富んでいることがわかる。これに対して、熱処理しなかった試験片の結果は、耐力が増大するが、変形性能が劣ることがわかる。以上の結果から製作中における熱処理の必要性が明らかとなった。

次に鍛造ダイアフラムの最適な開先形状の決定を行うために、開先角度を一般的に使用されている 35° と

Table 1. Mechanical properties of forged diaphragms

SPEC NO.	ELONGATION %	REDUCTION OF AREA %	YIELD STRENGTH kgf/mm ²	MAXIMUM STRESS kgf/mm ²
Y1	24	57	32.25	53.06
Y2	23	57	31.27	52.12
Y3	26	53	34.06	54.31
N1	18	52	53.94	65.70
N2	28	57	40.22	58.11
N3	10	51	44.76	59.19

Y : heat treated

N : as forged

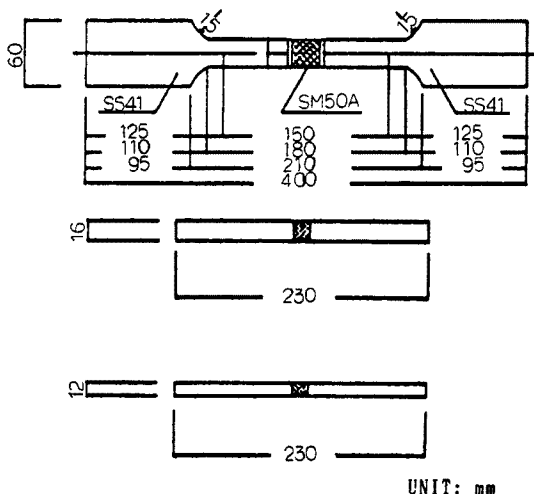


Fig. 2. Test specimens of single bevel butt welded joints

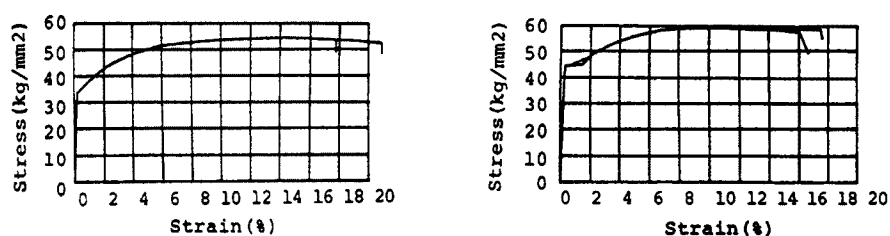


Fig. 3. Effect of heat treatment on stress-strain relation of forged diaphragm

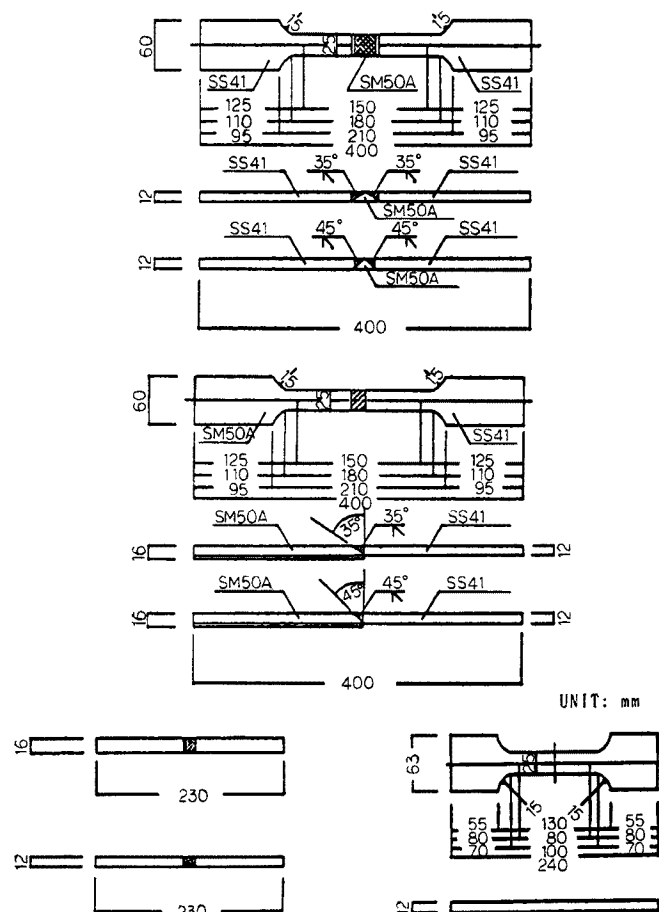


Fig. 4. Test specimens of single bevel butt welded joints

Table 2. Mechanical properties of butt welded joints

SPEC NO.	ELONGATION %	REDUCTION OF AREA %	YIELD STRENGTH kgf/mm ²	MAXIMUM STRESS kgf/mm ²
SBA	14	57	28.03	42.77
SBB	22	58	28.56	42.79
CBA	13	59	27.99	42.34
CBB	16	59	26.80	41.22
SUA	18	57	28.18	44.02
SUB	18	59	28.61	42.48
CUA	17	53	28.35	43.50
CUB	16	57	28.25	42.77

SBA : S : solid wire, B : both sides,

A : groove angle is 35°

SBB : S : solid wire, B : both sides,

B : groove angle is 45°

CBA : C : composite wire, B : both sides,

A : groove angle is 35°

CBB : C : composite wire, B : both sides,

B : groove angle is 45°

SUA : S : solid wire, U : single side,

A : groove angle is 35°

SUB : S : solid wire, U : single side,

B : groove angle is 45°

CUA : C : composite wire, U : single side,

A : groove angle is 35°

CUB : C : composite wire, U : single side,

B : groove angle is 45°

45°の二種類にしぼって実験を行った。溶接ワイヤーはソリッドワイヤーと複合ワイヤーを使用して、その溶接施工性についても調べた。試験は静的引張試験とローラー曲げ試験によって行った。試験片と試験結果をFig. 4とTable 2に示す。Table 2に示すように、開先角度や溶接ワイヤーの違いによって接合部の力学的性質に大きな違いは見られないため、本研究では溶接入熱量の少ない開先角度35°の継手形状を採用することにし、ワイヤーについては、上述の2種類を採用することとした。実験の結果に基づいて鍛造ダイアフラムを製作し、その基本形をFig. 5に示す。

(2) 鍛造ダイアフラムの形状

提案している鍛造ダイアフラムの基本形をFig. 5及びPhoto 1, 2, 3に示す。

(3) 鍛造ダイアフラムを有する接合部の加工手順：

(a) パネルゾーン部分：

①切断、②裏あて材の取り付け、③鍛造ダイアフラムの取り付け、④仮付け、⑤接合部ブロック組立本溶接。

(b) ブラケット部分：

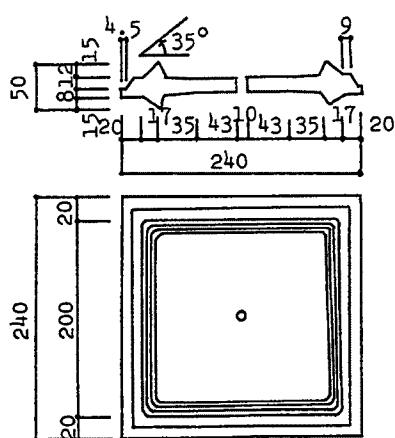


Fig. 5. Overview of forged diaphragm
(UNIT: mm)

変化はなく、簡単に鍛造ダイアフラム工法を採用できる。

- ④管理者が現場で開先形状検査する必要がない。
- ⑤現場施工箇所を低減することによって経済性を高める。

3. 単純梁形接合部の載荷実験

3.1 実験目的

通しダイアフラム（在来タイプ）を有する柱梁接合部試験体と鍛造ダイアフラム（改良タイプ）を有する柱梁接合部試験体に繰返し曲げを加えた実験を行った。この実験の目的は異なる梁端部の形状を持つ柱梁接合部の静的履歴挙動および破壊特性に関する資料を得ること、また実験結果を従来タイプと比較することによって、梁端部の断面欠損および不連続断面が梁端部の挙動に及ぼす影響を明らかにすることである。

3.2 試験体の種類：

[A] 在来タイプ

試験体番号はA-1で、その形状、寸法をFig. 6-Aに示す。スカラップはすべて半径30 mmの半円とし、その仕上げは特に指定せず、現実の柱梁溶接接合部の許容加工精度程度とした。フランジ突合せ溶接部分の超音波探傷検査を行い、有害な欠陥が存在しないことを確認した。なお、使用された鋼材は梁としてSS 41の圧延H形鋼、柱部材としてSTKR 41の角形鋼管、通しダイアフラムとしてSM 50A鋼板などである。梁端部は梁フランジにスカラップをとって裏当て金を用いて突合せ溶接を施し、梁ウェブは隅肉溶接でそれぞれ短柱（□-200×200×9）に溶接接合された。従来、エンドタブは梁フランジの突合せ溶接を完全なものにする目的で使用されており、構造設計の時にはこの断面増分は考慮されていない。しかし、この増分は接合部の耐力や靱性に影響を与えると思われる。また、エンドタブを添えることによって、梁フランジの変形が拘束され、スカラップ止端部の歪集中が緩和されることも考えられる。本試験体ではエンドタブを梁端部に隅肉溶接で取り付け、上に述べたようなエンドタブの力学的な効果を調べることも目的としている。製作された試験体は1体である。

[B] 改良タイプ

改良タイプの試験体番号はB-1～G-1である。Fig. 6-Bに接合部の詳細を示すように梁部材としてH-200×100×5.5×8を開先をとらずに直角に切断した後、フランジは鍛造ダイアフラムと突合せ溶接し、ウェブと短柱（□-200×200×9）は巾20 mmの鋼板を介して隅肉溶接で取り付けたものである。鍛造ダイアフラムの製作工程における熱処理の必要性についての再確認のために、熱処理した鍛造ダイアフラムと熱処理しなかった鍛造ダイアフラムの試験体を製作した。更に溶接施工法の適用性について調べるために溶接ワイ

- ①圧延H形鋼の切断、②穴あけ、③エンドタブの取り付け、④接合部ブロック組立本溶接。

(c) 柱部分：

- ①切断、②柱脚加工、③裏あて材の取り付け、④柱と接合部ブロック組立本溶接。

鍛造ダイアフラムの鍛造方法は型打ちによって行い、素材を切断後に上型と下型の間にいれ、エアータイプハンマーで打撃して、金型に彫り込んである形状に加工する方法である⁹⁾。

(4) 鍛造ダイアフラムの特徴：

- ①梁と柱の開先加工を不要である。
- ②スカラップ加工が必要としない。
- ③在来工法（通しダイアフラムを使用する工法、以下在来タイプと称する）と比べて溶接方法などに

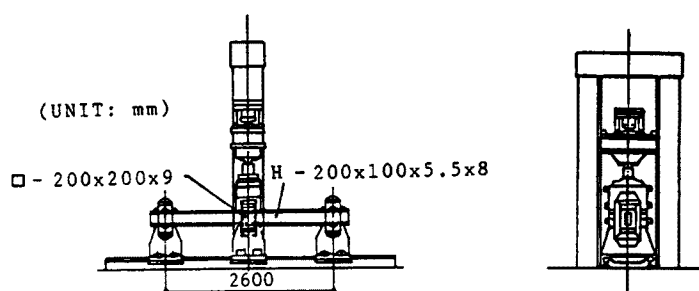


Fig. 7. Test set-up of simple beam type specimen

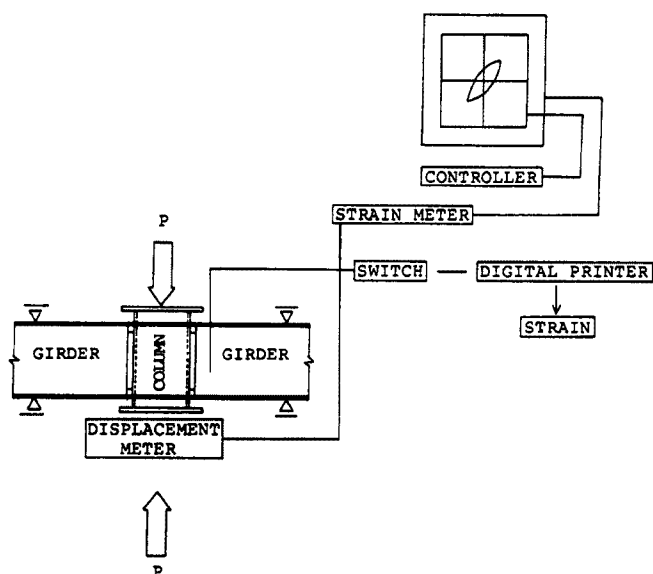


Fig. 8. Block diagram of measurement system

Table 4. Magnitudes of deflection amplitudes (UNIT : cm)

AMPLITUDE	+0.9	+1.8	+2.4	+3.0
AMPLITUDE	-0.9	-1.8	-2.4	-3.0

位振幅が一定で平均変位のない、いわゆる完全両振り状態で行い、試験体が梁端部フランジ部で亀裂が発生し、最大耐力が低下するまで繰返した。採用された設定変位振幅を Table 4 に示す。設定変位振幅で3サイクル繰返し、その後変位を漸増させる方法を採用した。

3.4 実験結果

在来タイプ (A-1) の亀裂はフランジのスカラップ端また梁端フランジ溶接部で発生し、亀裂が徐々にフランジ断面方向に進展して破断にいたった。破壊状態の模様を Fig. 9 に示す。梁端フランジ部におけるこのような破壊の特徴は既に筆者らによって行われた³⁾ H 形鋼柱梁溶接接合部の繰返し載荷実験時に観察されたものと同様であり、スカラップによるフランジ歪の集中に起因するものと考えられる。

改良タイプ (B-1~G-1) の亀裂は、エンドタブ溶接接合部で発生し、亀裂が徐々にフランジ断面方向に進展して破断にいたった。しかし、エンドタブを添えることによって、梁フランジの変形が拘束される、即ち、エンドタブはフランジの溶接施工性を向上させるのみだけではなく、フランジ応力の一部も負担しているものと推察される。亀裂の発生状況を Fig. 10 に示す。Fig. 11 は在来タイプ (点線部分) と改良タイプ (直線部分) の荷重—変位曲線図の一例である。Fig. 12 は在来タイプと改良タイプの反転点における荷重の比較図である。Fig. 11 と Fig. 12 からわかるように鍛造ダイアフラムを有する H 形梁角形鋼管柱接合部は、安定な

(Length $\times$ width: Such as $5.8 \times 0.4w$)
(UNIT: mm)

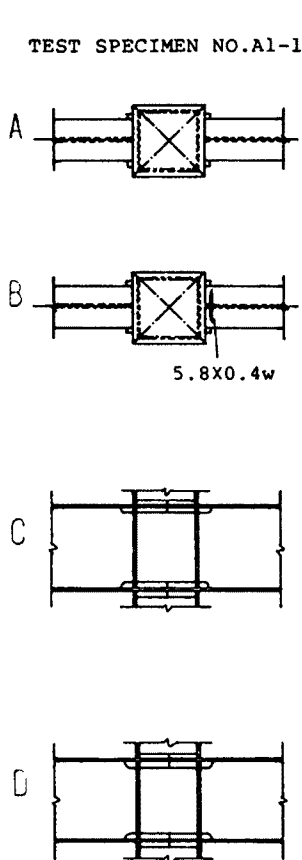


Fig. 9. Fracture pattern (conventional type)

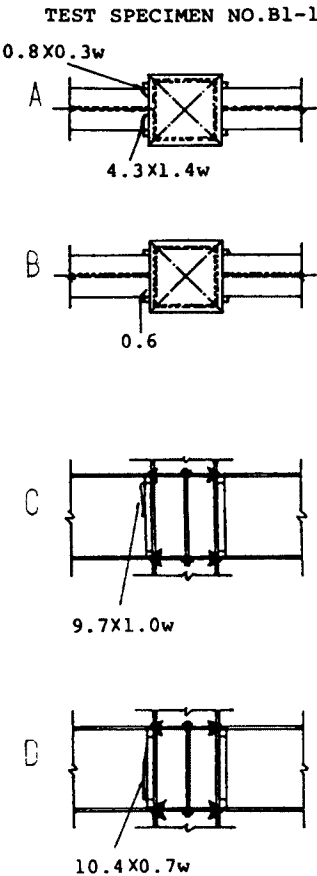


Fig. 10. Fracture pattern (improved type)

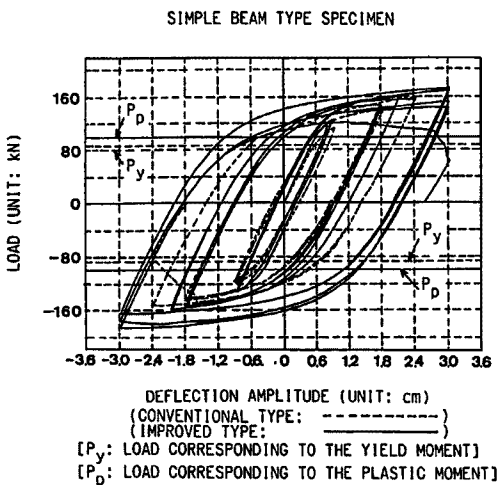


Fig. 11. Load-deflection relations

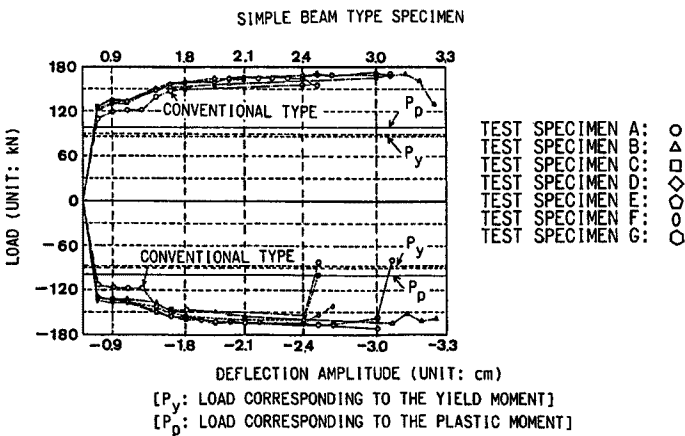


Fig. 12. Envelope of reversed points

復元力特性を有するとともに良好なエネルギー吸収能力を有していることが観察される²⁾。

4. 柱梁十字形接合部の載荷実験

4.1 実験目的

本研究では、角形鋼管柱とH形鋼梁からなる現実の柱梁接合部を対象としているが、特に鍛造ダイアフラム板中央に円孔を施すことによって、仕口全体の軽量化を図った接合部の力学的特性を把握することを目的としている。

このため、本研究の第一段階では、ダイアフラムの応力伝達の可能な円孔の最大径を求めるための実験を行い、次に、この最大径以下の種々の径の円孔を有する鍛造ダイアフラムを含む十字形柱梁接合部の繰返し載荷実験を行った。

試験体はいずれも梁降伏先行型とし、現実の架構の地震時応力に相当する応力が各部に生ずるような載荷とした。

4.2 試験体の種類

(1) 円孔を有する鋼板

Fig. 13 に記載しているものは、鍛造ダイアフラムを軽くするために想定したダイアフラムの試験片である。試験片の中央部（正方形の中央部に穴をあけた部分）はダイアフラムに、試験片のつかみ部は梁のフランジに対応させている。鋼種はSS41である。試験片のリストはTable 5 に示してある。円孔の大きさと板の厚みとの関係について調べるためにダイアフラムの厚みは4.5 mm と9.0 mm の二種類にした。

(2) 十字形接合部

試験体は、下記の2種類であり、その形状、寸法はFig. 14 に示す。

[A] 在来タイプ：梁：H-250×125×6×9

柱：□-250×250×12

スカラップあり

(試験体番号はD-N-0, D-N-0 試験体番号の記号の意味はD：ダイアフラム, N：在来タイプ, 0：穴の径は0 mm)

[B] 改良タイプ：梁：H-250×125×6×9

柱：□-250×250×12

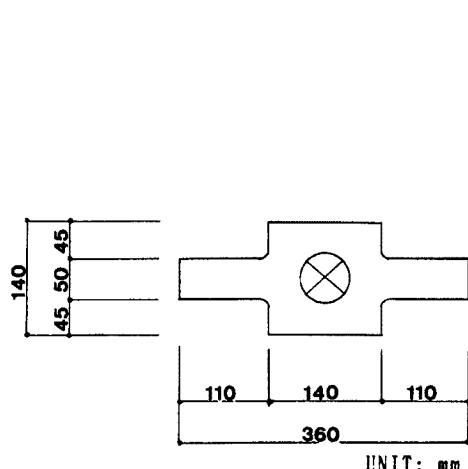


Fig. 13. Test specimens of diaphragm plate with circular hole

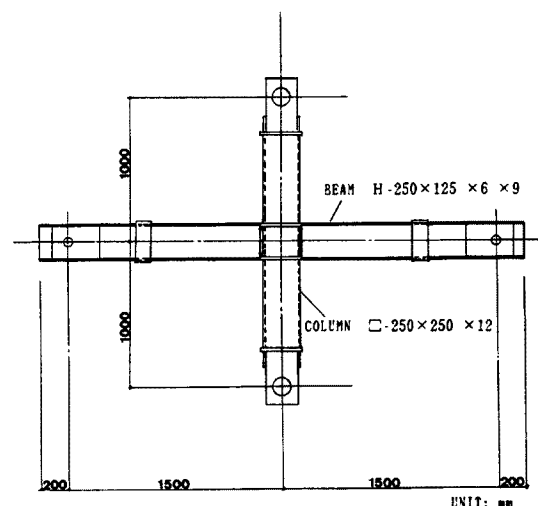


Fig. 14. Beam column subassembly

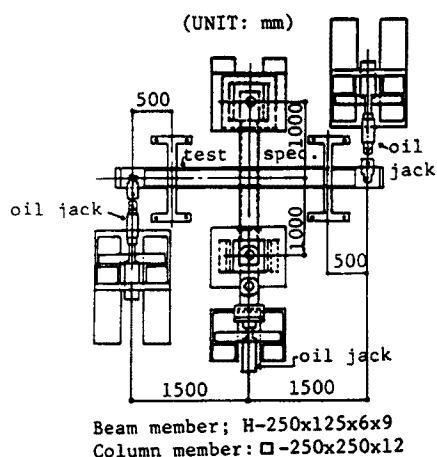


Fig. 15. Overall view of test set-up for beam column subassembly

スカラップなし

(試験体番号: D-S-0, D-S-125, D-S-150, D-S-175 等がある。D-S-125 試験体番号の記号意味は D: ダイアフラム, S: 改良タイプ, 125: 穴の径は 125 mm)

4.3 試験方法および測定項目

(1) 円孔を有する鋼板

載荷は試験片の長軸方向に引張荷重を加え、測定した荷重と歪はスイッチボックスを通してデジタルプリンターで出力した。

(2) 十字形接合部

載荷装置を Fig. 15 に示す。載荷装置は 100 t 構造物試験機を用いて、柱に一定軸力 ($N=54.84 \text{ tf} (=537.80 \text{ kN})=0.2 N_y$, N_y : 公称降伏軸力) を加え、柱の反曲点位置をピン・ローラーまたはピン支持した状態で、油圧ジャッキを用いて梁の反曲点位置を変位制御で加力する方法で行った。実験時の各設定変位の繰返し数は 3 サイクルとした。

なお、パネルゾーンに固定したボルトに変位計を設置し、パネルゾーンの変形を測定することにした。また、歪の測定は梁端部、柱端部、パネルゾーン部分においてそれぞれ歪ゲージを用いて行った。

4.4 実験結果

(1) 円孔を有する鋼板

試験の結果は Table 5 に示してある。表からわかるように円孔の直径に対して板の厚みが小さく、かつダイアフラムの円孔の直径がダイアフラム巾の 0.5 倍以下の場合には引張最大荷重の違いは顕著ではない。円孔の直径がダイアフラム巾の 0.6 倍以上になると耐力の低下が著しい。板厚が 9 mm の場合には円孔の直径がダイアフラム巾の 0.8 倍までは引張最大の違いは顕著ではなく、試験片の破断部は梁フランジ相当部で生じた。しかし、円形の直径が 0.9 倍の場合、試験体の破断は梁フランジ相当部の R から円孔に沿って破断にいたった。以上の結果からダイアフラムの巾の 0.8 倍以下の円孔直径を有するダイアフラムであれば梁フランジの引張最大荷重以上の耐力を有することがわかる。

(2) 十字形接合部実験

在来タイプ (D-N-0) の亀裂は梁フランジ溶接端部で発生し、亀裂が徐々にフランジ溶接止端部の断面方向に進展して破断にいたった。亀裂の発生伝播の様態を Photo 4 に示す。スカラップ部の断面欠損により、梁端部から角形鋼管への応力伝達が滑らかに行われなかったことがわかる。

改良タイプ (D-S-0~D-S-175) では、エンドタブ溶接接合部で亀裂が発生するが、亀裂の進展は非常に緩

Table 5. Diameters of circular holes and the monotonically tensile test results

THICKNESS (mm)	4.5				9.0		
THE DIAMETER OF CIRCULAR HOLE (cm)	0	3	4	5	0	6	7
	7	8	9	—	8	9	—
MAXIMUM LOAD (t)	9.7	9.7	9.7	9.6	19.8	20.2	20.1
	9.2	6.5	3.2	—	20.0	17.8	—



Photo 4 Fractured connection (conventional type)

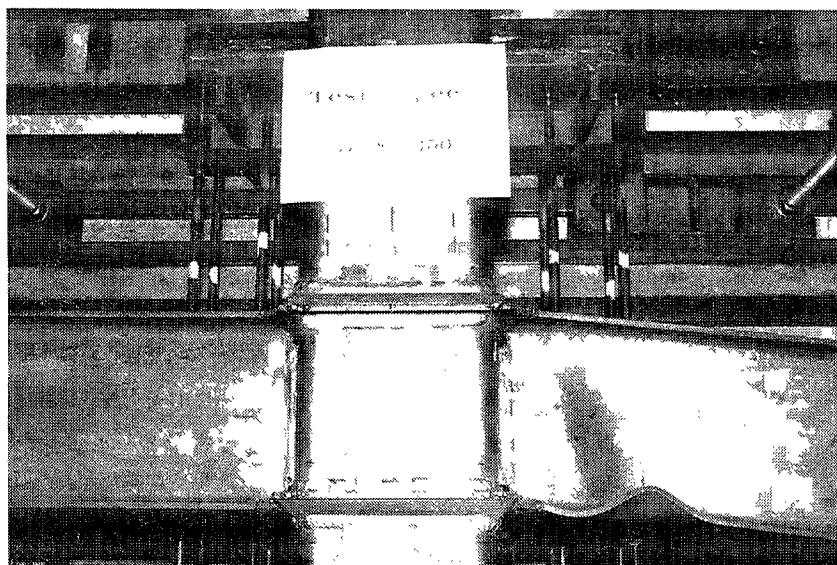


Photo 5. Fractured connection (improved type)

慢であり、フランジの局部座屈発生と共に耐力の低下が観察された。また、梁端部近傍のウェブ部分でも、フランジの局部座屈を生ずることが観察された。試験体の破壊状況を **Photo 5** に示す。**Fig. 16** は在来タイプ（点線部分）と改良タイプ（直線部分）の荷重 変位曲線図の一例である。また、各反転点における荷重の比較を **Fig. 17** に示す。図からわかるように改良タイプの最大および最小荷重（各繰返し設定変位の反転点における荷重）は在来タイプ試験体の最大荷重および最小荷重と比べて遙に高い。改良タイプの各試験体の最大耐力は顕著な差があまりないが、鍛造ダイアフラムの中央部の円孔が大きいと、終局耐力は若干低くなることがわかる。各試験体パネルゾーンの歪分布を知るために、パネルゾーンの主要な位置に貼付した 3 軸ゲージより求めた主歪の大きさとその方向の一例を **Fig. 18** に示す。試験体が強柱・弱梁タイプのために、パネルゾーンでの応力集中と歪が小さく、パネルゾーンのせん断および曲げ変形が十分小さいものと考えられ

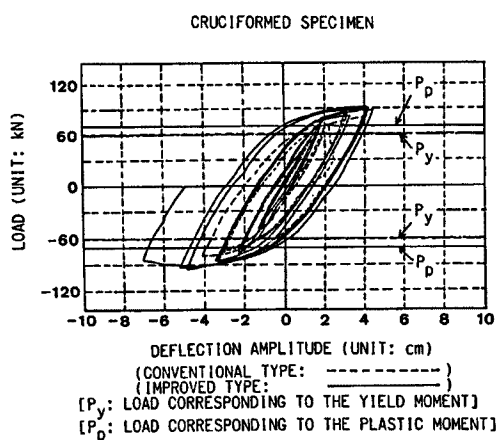


Fig. 16. Load-deflection relations

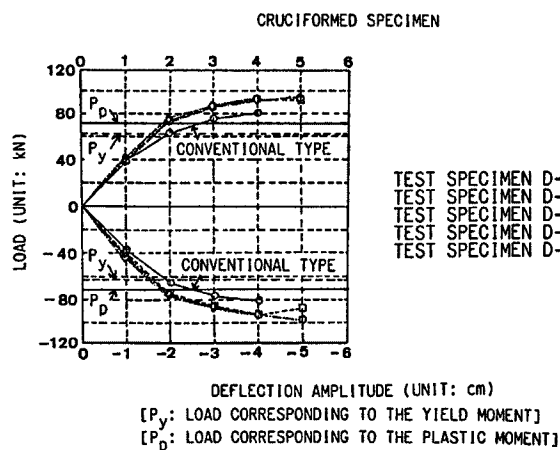


Fig. 17. Envelope of reversed points

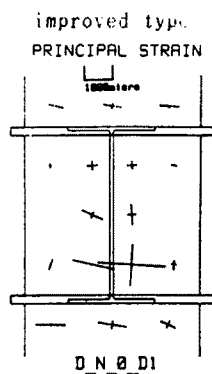
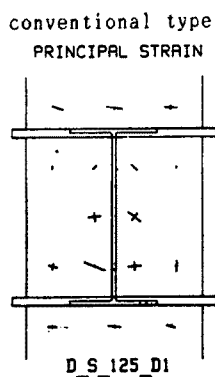


Fig. 18. Principal strain distribution

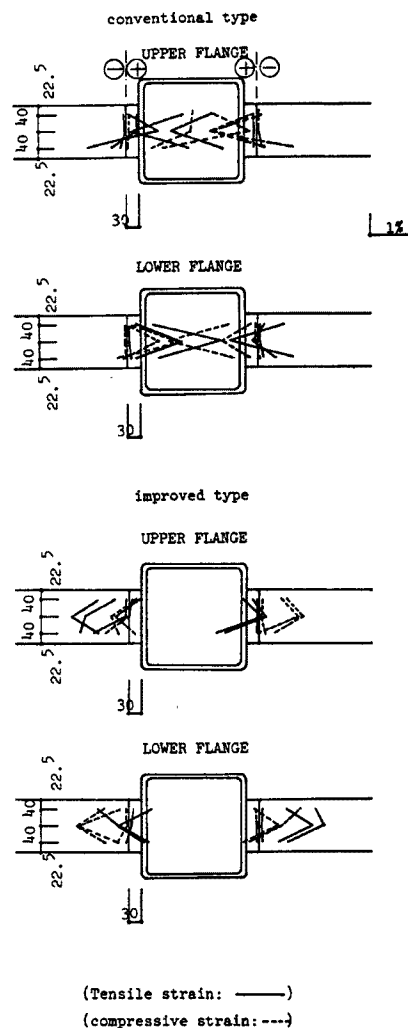


Fig. 19. Strain distribution of beam flange

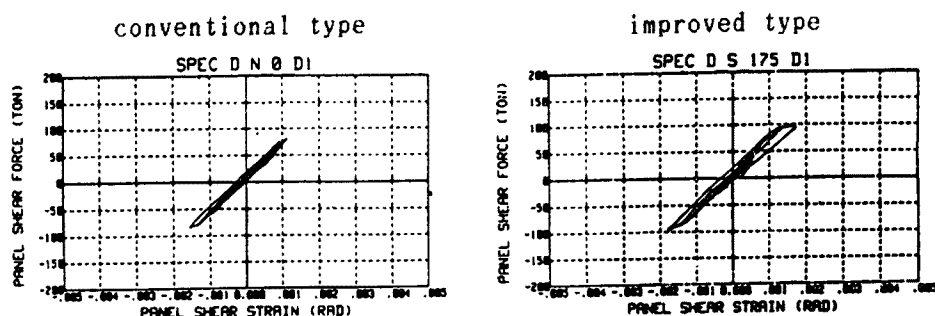


Fig. 20. Relationship of the panel shear strain-panel shear force

Table 6 Comparison with experimental and calculated results of bending strength

Specimen No.	Mmax	Mw	Mws	Mp	Mps	Mfu	Mw	Mws	Mmax	Mmax
	(t·m)						Mp	Mps	Mp	Mps
D-N-0	11.76	2.67	1.30	10.38	9.01	11.18	0.26	0.14	1.13	1.31
D-S-0	14.26	2.67	1.99	10.38	9.70	11.18	0.26	0.21	1.37	1.47
D-S-125	13.56	2.67	1.99	10.38	9.70	11.18	0.26	0.21	1.32	1.40
D-S-150	13.47	2.67	1.99	10.38	9.70	11.18	0.26	0.21	1.30	1.39
D-S-175	13.84	2.67	1.99	10.38	9.70	11.18	0.26	0.21	1.33	1.43

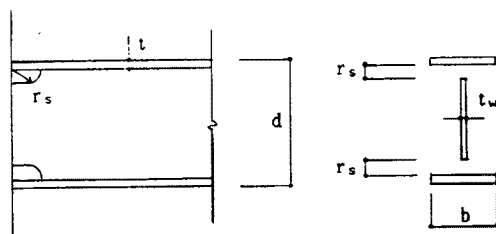


Fig. 21. Beam section

る。Fig. 19 は梁フランジの歪分布図であり、同図からわかるように在来タイプの場合、フランジのスカラップ底に大きな歪集中が生じることがわかる。改良タイプの場合、梁ウェブ部分の欠損が小さいため、梁フランジの歪の集中が緩和されることが確認された。Fig. 20 はパネルのせん断力-せん断歪関係の一例である。図からわかるように在来タイプと改良タイプのパネルのせん断力-せん断歪関係は見掛け上あまり変わらないことがわかる。

スカラップの有無と仕口ディテールの違いによる梁端曲げ強度の計算値と実験結果の比較について、appendix に記す。

Appendix

十字形接合部の試験体の梁端部の曲げ耐力評価を実験結果と計算値の比較によって行う。梁の曲げ耐力の計算値は下記の式より求める⁵⁾：(Fig. 21 を参照)

$$M_f = bt\sigma_{yf}(d-t) \quad (1)$$

$$M_w = t_w(d-2t)^2\sigma_{yw}/4 \quad (2)$$

$$M_{ws} = t_w(d-2t-2r_s)^2\sigma_{yw}/4 \quad (3)$$

$$M_p = M_f + M_w \quad (4)$$

$$M_{ps} = M_f + M_{ws} \quad (5)$$

$$M_{fu} = bt\sigma_{uf}(d-t) \quad (6)$$

ここで、

- M_f : フランジ部分の全塑性モーメント
 M_w : ウェブ全断面の全塑性モーメント
 M_{ws} : スカラップの断面欠損を考慮したウェブ部分の全塑性モーメント
 M_p : 梁全断面の全塑性モーメント
 M_{ps} : スカラップ部の断面欠損を考慮した梁断面の全塑性モーメント
 M_{fu} : 梁フランジの最大曲げ強度
 σ_{yf} : 梁フランジ材の降伏点
 σ_{yw} : 梁ウェブ材の降伏点
 σ_{uf} : 梁フランジ材の引張強度
 M_{max} : 実験最大耐力

梁耐力の実験値と計算値を **Table 6** に示す。表からわかるように梁端部の曲げ耐力はスカラップの存在が深く関係を持っているものと考えられる。スカラップを有する試験体（在来タイプ）の耐力はスカラップなしの試験体より劣ることがわかる。

6. 結論

鍛造ダイアフラムを有する柱梁仕口接合部に関する載荷実験を行った。実験結果を要約すると以下のようになる。

本研究で提案した鍛造ダイアフラムを有する梁降伏先行形柱梁仕口部の繰返し載荷実験結果から、従来工法の溶接部で観察される梁端スカラップの存在による梁曲げ耐力の低下や早期の亀裂発生や破壊が改善される。中央の開口部の大きさがダイアフラム巾の0.6倍までの鍛造ダイアフラムでは、特に仕口部の耐力、変形性能に影響を与えることはない。

参 考 文 献

- 1) 社団法人鋼材倶楽部鉄骨構造接合部標準化委員会編：鉄骨構造標準接合部 SCSS(II) PP. 76～86.
- 2) 林文賢，金多潔，甲津功夫，杉山廣司：鍛造ダイアフラムを有する鋼構造柱・梁接合部の力学的評価に関する実験研究 日本建築学会大会梗概集，構造 C，PP.953～954，1986.
- 3) 甲津功夫：鋼構造柱梁溶接接合部の低サイクル疲労特性に関する研究 博士学位論文 1983年11月.
- 4) 立山英二，井上一朗，杉本正三，松村弘道：通しダイアフラム形式で角形鋼管柱に接合される H 形断面梁の耐力と変形性能に関する研究 日本建築学会構造系論文報告集 No. 389，PP. 109～121，1988.
- 5) 田淵基嗣，坂本真一，金谷弘，藤原勝義，上場輝康：角形鋼管柱に接合される H 形鋼はり端部の曲げ耐力の評価 日本建築学会構造系論文報告集 No. 389，PP. 122～131，1988.
- 6) 日本建築学会：鋼管構造設計施工指針同解説.
- 7) 日本建築学会：鋼構造設計規準.
- 8) 日本建築学会：鋼構造塑性設計指針.
- 9) 黒滝忠茂：よくわかる鍛造・熱処理作業法，理工学社出版，1983.