段差を有する柱はり接合部の力学的性状に関する実験報告

左右のはりせいが等しい場合の試験体

ANEXPERIMENTAL REPORT ON ELASTO-PLASTICS BEHAVIORS
OF BEAM-TO-COLUMN CONNECTIONS WITH AN OFFSET
IN RIGHT AND LEFT BEAM POSITIONS

Test specimens with right and left beam of same depth

今井 兼久*, 吉田 幸弘**, 西條 誠***, 渡辺 富雄****, 平野 道勝*****
*Kanehisa IMAI, Yukihiro YOSHIDA, Makoto SAIJO, Tomio WATANABE
and Michikatsu HIRANO*

Four kinds of beam-to-column test specimens made of built-up H-shaped beams differing from one another in an offset amount in right and left beam positions on a column, were subjected to monotonic loading tests to establish the correlation between such an offset amount and the elasto-plastic behaviors of the beam-to-column connections.

Keywords : *experiment, steel structure, beam-to-column connections*
実験, 鋼構造物, 柱はり接合部

1. 序

地震荷重を受ける鋼構造骨組の柱はり接合部に関する研究は、従来から数多く行われてきており、研究成果が柱はり接合部の設計に反映されている^{1),2)}。

柱はり接合部の研究は十字型あるいはT字型の2次元モデルを対象としたものがほとんどである。現実の鋼構造建築物では、建物の使用上の要求により柱の左右のはりに段差を設けることがある。左右のはりに段差のある柱はり接合部に関連する研究としては次のようなものがある。中尾ら^{3),4)}は左右のはりせいが異なるH形鋼強軸交叉型柱はり接合部に関して、その弾塑性挙動、エネルギー吸収能力等がはりせいに段差のないものとどのように異なるかを実験的に検討するとともに、柱はり接合部の復元力特性に与えるはりせい比（小さいはりに対する大きいはりせいの割合）の影響について検討している。また、柱はり接合部に与える鉄筋コンクリートスラブの影響を、左右のはりせいの異なる評価モデルを用いて検討している⁵⁾。万木ら⁶⁾は左右のはりせいが異なる柱はり接合部の力学的挙動の検討を、水平スチフナ形状、溶接方法を変えた試験体を用いて行っている。立山⁷⁾は角

形鋼管柱・H形鋼はり接合部スカラップ近傍の応力集中に関する検討を左右のはりせいの異なる試験体を用いて行っている。

はりに段差を有する柱はり試験体を用いた実験的研究は筆者が調査した範囲では上記のみであり、はり段差を有する柱はり接合部の設計法に関する研究の発表はあまり行われていない。また、該当する規準もないため、はり段差を有する柱はり接合部の設計は、はり段差のない柱はり接合部設計法をもとにした設計者の工学的判断にゆだねられているのが現状である。

本実験では、はり段差を有する柱はり接合部の力学的性状の基礎的研究を目的として、はり段差をパラメータとしたH形鋼強軸交叉型柱はり供試体の単調載荷実験を実施した。本報はその実験結果をまとめたものである。また、はり段差を有する柱はり接合部のパネル降伏荷重推定法を検討し、さらに日本建築学会鋼構造設計規準解説に示される柱はり接合部設計式をはり段差を有する柱はり接合部へ適用する場合のパラメータ評価法に関する検討を行った。

* 三井造船
** 三井造船
*** 三井造船
**** 三井造船
***** 東京理科大学 教授・工博

Mitsui Engineering & Shipbuilding
Mitsui Engineering & Shipbuilding
Mitsui Engineering & Shipbuilding
Mitsui Engineering & Shipbuilding
Prof., Science University of Tokyo, Dr. Eng.

2. はり段差を有する柱はり接合部設計上の問題点

鋼構造の柱はり接合部の設計には、日本建築学会鋼構造設計規準解説に示される設計式が通常適用される。これは次式で示される。

$$\frac{{}_bM_1 + {}_bM_2}{V_e} \leq \tau_a \quad (1)$$

$$\tau_a = 2.0 f_s \quad (2)$$

ここで、 ${}_bM_1, {}_bM_2$ ：短期荷重時にはり材端に作用する曲げモーメント

V_e ：柱の断面形状に応じた接合部有効体積

τ_a ：許容せん断応力度

f_s ：鋼材の長期許容せん断応力度

式(1)の左辺は、柱はり接合部に作用する平均せん断応力度 τ を表す。 τ_a は $\tau = \tau_y$ (降伏せん断応力度) となるとき荷重の1.33倍を柱はり接合部の実質的降伏荷重と考え、 $\tau_a = 1.33 \tau_y = 1.33 \times 1.5 f_s = 2.0 f_s$ としたものである。これをはり段差を有するH形鋼強軸交叉型柱はり接合部に適用しようとする次の問題点が生ずる。

(1) はり段差のない場合、 V_e は柱フランジ、水平スチフナ中心線で囲まれるパネル体積である。はり段差のある場合、パネルは複数個に仕切られるが、この時、 V_e の範囲はどのように考えるべきか。

(2) 許容せん断応力度 τ_a には、はり段差のない柱はり接合部の試験結果に基づいた係数1.33が含まれており、はり段差を有する柱はり接合部の設計に際しては確認が必要である。

はり段差を有する柱はり接合部の合理的な設計を行うためには、はり段差の有無による柱はり接合部の力学的性状の相違を把握し、式(1)を適用する上での上記(1)、(2)の問題点を解決する必要がある。

3. 実験概要

3.1 供試体

実験の対象とする供試体の形状を図-1に、名称および寸法を表-1に示す。A-0はパネル降伏比が0.3で弱パネル型に属する。A-0を基準としてはりに段差をつけた場合の力学的性状を検討できるように配慮した。本供試体は左右のはり断面形状が等しいので等断面はり供

表-1 供試体名称および寸法

(単位：mm)

供試体名	h	l _c	素材番号		
			F	W	P
A-0	0	1000	②	①	①
A-100	100	950	②	①	①
A-150	150	925	②	①	①
A-300	300	850	②	①	①

F：はり、柱フランジ W：はり、柱ウェブ P：パネル

図-1 供試体

表-2 素材の機械的性質

(SS41)

素材番号	t (mm)	E (t/cnf)	ν	σ_y (t/cnf)	σ_u (t/cnf)	$\epsilon_y (\times 10^{-6})$	$\epsilon_{st} (%)$	ϵ_u
①	9	2100	0.28	2.61	4.27	1240	2.3	0.25
②	12	2150	0.28	2.87	4.54	1330	2.6	0.27

(a) 载荷図

(b) 測定図

図-2 実験装置

試体と呼ぶことにする。また、柱はり接合部の柱フランジと水平スチフナで仕切られた3つのパネルのうち両端をパネル1、中心をパネル2と呼ぶことにする。供試体は柱通し型とした。表—1に示す供試体名称中の数値ははり段差を表す。A-0は通常のはり段差なしの供試体、A-300ははりせいだけの段差のある供試体である。上下の柱材端、左右のはり材端それぞれのはり理論としての応力度分布が同じになるように同一形状の柱、はり材を用い、加力点間距離と反力点間距離も同じとした。

また、本実験ははり段差と柱はり接合部の力学的挙動の関連について検討することを目的とした。

溶接による残留応力の影響を除去するため供試体に焼鈍処理を施した。使用鋼材の機械的性質を表—2に示す。

3.2 実験装置、実験方法

実験装置の概要を図—2に示す。供試体を実験定盤上に水平にセットし、柱端を単純支持して油圧ジャッキ2台(100t、最大ストローク154mm)ではり先端に逆対称荷重を作用させた。実験目的上、荷重をステップ状に増分する方法でジャッキストロークの限界まで、単調載荷実験を実施した。各ステップでの荷重と全体変形(ダイヤルゲージ)、パネルひずみ(3軸ひずみゲージ、各パネルに9点ずつ貼付)および柱、はり材端のひずみ分布(1軸ひずみゲージ)を計測した。

4. パネル降伏荷重推定法

はり段差を有する柱はり接合部まわりの力の伝達機構を図—3に示すようなフランジ軸力による集中荷重で仮定する。はり材端のフランジ軸力のうち引張り側を F_{b1} 、圧縮側を F_{b2} とし、 F_{b2} が水平スチフナを通して反対側のはりウェブに作用する力を F_w とする。 F_w と F_{b2} の比を $\alpha (=F_w/F_{b2})$ とすると、はり材に作用する力とモーメントの釣合いから F_{b1} 、 F_{b2} 、 F_w は次式のように荷重 P と α の関数で表される。

$$F_{b1} = \frac{(1+\alpha)l_b}{H_b+ah} P \quad (3)$$

$$F_{b2} = \frac{l_b}{H_b+ah} P \quad (4)$$

$$F_w = \frac{\alpha l_b}{H_b+ah} P \quad (5)$$

これらの力からパネル1、2に作用するせん断力が分かるので、パネル1、2のせん断ひずみ γ_{p1} 、 γ_{p2} も次式のように荷重 P と α の関数で表される。

$$\gamma_{p1} = \left\{ \frac{(1+\alpha)l_b}{H_b+ah} - \frac{L_b}{L_c} \right\} \frac{P}{GH_c t_p} \quad (6)$$

$$\gamma_{p2} = \left(\frac{2l_b}{H_b+ah} - \frac{L_b}{L_c} \right) \frac{P}{GH_c t_p} \quad (7)$$

ここで L_b 、 L_c は加力点間距離、反力点間距離であり、 G はせん断弾性係数である。

パネルをせん断場と考え、パネルとはりウェブの変形を図—4のように仮定する。パネルのせん断ばね定数を k_{p1} 、 k_{p2} とすると、

$$k_{p1} = \frac{GH_c t_p}{h} \quad (8)$$

$$k_{p2} = \frac{GH_c t_p}{H_b - h} \quad (9)$$

パネル1、2のせん断ひずみの差による水平スチフナの変位 δ_p は次のように表される。

$$\delta_p = \frac{F_{b2} - F_w}{k_{p1} + k_{p2}} \quad (10)$$

水平スチフナからはりウェブに作用する力 F_w に対応するウェブのばね定数を k_w とするとウェブの凹み δ_w は F_w/k_w となり、 $\delta_p = \delta_w$ の関係から F_{b2} と F_w の比である α は次式で表される。

$$\alpha = \frac{k_w}{k_{p1} + k_{p2} + k_w} \quad (11)$$

k_w を図—4に示す境界のもとで解析的に求めるのはとても困難なので、図—5に示すようにウェブの板厚に等しい半無限板に水平スチフナからはりウェブに作用する力 F_w が水平スチフナの板厚幅で等分布荷重として作用するときのひずみ分布⁸⁾から、次の仮定のもとに便宜

図—3 接合部まわりの力の伝達機構

図—4 パネルとはりウェブの変形

的に求める。

- (1) 加力点位置におけるひずみに比べはり長さ l_b だけ離れた位置でのひずみは十分小さく無視できる。
- (2) 加力方向に直角な方向の境界（フランジ）の影響は無視する。
- (3) パネル2が降伏するまではりウェブの加力点近傍は弾性状態を保つものとする。

x 方向のひずみ分布を破線内の範囲で積分し、これを幅 t_f で割ったものを荷重作用辺の変位とし、これと荷重の比を k_w とすると、次式で与えられる。

$$k_w = \frac{\pi E t_w}{2 \{1 - \ln(t_f/l_b)\} - \nu} \quad (12)$$

ここで、 π ：円周率、 E ：縦弾性係数、 ν ：ポアソン比である。

本モデルではパネル1, 2の板厚が等しいのでせん断力の大きいパネル2が先に降伏する。パネル2降伏荷重は式(7)の γ_{p2} に $\gamma_y = \sigma_y/\sqrt{3} G$ を代入してえられる。

$$p_2 P_y = \frac{\sigma_y H_c t_p / \sqrt{3}}{\frac{2 l_b}{H_b + a h} - \frac{L_b}{L_c}} \quad (13)$$

パネル2が降伏すると α を式(11)で求めることはできない。そこで図-6に示すようにパネル2はパネル1が降伏するまでひずみ硬化しないと仮定する。パネル2

図-5 ウェブばね定数の仮定

図-6 パネルのせん断応力度

のせん断応力度 τ_{p2} は

$$\tau_{p2} = \left(\frac{2 l_b}{H_b + a h} - \frac{L_b}{L_c} \right) \frac{P}{H_c t_p} \quad (14)$$

と表されるが、降伏後は $\sigma_y/\sqrt{3}$ で一定となるので α は次のように荷重 P の関数で与えられる。

$$\alpha = \frac{2 P l_b}{h \left(\frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} H_c t_p + \frac{L_b}{L_c} P \right)} - \frac{H_b}{h} \quad (15)$$

(a) A-0

(b) A-100

(c) A-150

(d) A-300

写真-1 柱はり接合部の変形状況

図-7 荷重-加力点変位

この α を式 (6) に代入してまとめるとパネル 1 降伏荷重 ${}_1P_y$ は次式で与えられる。

$${}_1P_y = \frac{\sigma_y V_p / \sqrt{3}}{2 l_b - (H_b + h) L_b / L_c} \quad (16)$$

ここで V_p は柱はり接合部パネルの全体積 $(H_b + h) H_c t_p$ である。この式から柱はり接合部パネルの体積が同じ場合、はり段差 h が大きいほどパネル 1 降伏荷重も大きくなる事が分かる。

5. 実験結果および考察

実験後の供試体の柱はり接合部の変形の様子を写真—

図—8 パネルの主ひずみ分布

1 に示す。

5.1 荷重-加力点変位

図—7 に荷重-加力点変位曲線を示す。図中の逆三角形は供試体のパネル降伏時 (A-100, 150 ではパネル 1 降伏時) とはり材端フランジ表面降伏時を示す。この図から弾性域における加力点位置での剛性ならびに供試体の実質的降伏荷重 (剛性が急激に低下する荷重) ははり段差が増加するほど大きくなり、A-0 および A-300 はその下限および上限を与えることが分かる。

5.2 柱はり接合部のひずみ

5.2.1 主ひずみ分布

本実験では供試体の各パネルに 9 点づつ 3 軸ひずみゲージを貼付してパネルのひずみを計測した。これから求めた最大主ひずみ, 最小主ひずみの分布の一例として,

図—9 荷重-パネルせん断ひずみ (パネル降伏前)

各パネル降伏時のものを図-8に示す。これから各パネルともほぼ純せん断的に降伏していることが分かる。

5.2.2 荷重-パネルせん断ひずみ

パネル1降伏前の $P-\gamma$ 曲線を図-9に示す。この図の横軸はパネルに貼付した9点の3軸ひずみゲージから求められる最大せん断ひずみの平均値である。A-100, 150ではパネル2が降伏せん断ひずみ γ_y に達したあとパネル1の傾きが変化している。これはパネル2が降伏するとそれ以降の荷重増分を負担できなくなり、パネル1に作用するせん断力が増加するからである。

図中の実線は4章で述べたパネル降伏荷重推定法による計算値で、式(6)、(7)から得られたものである。A-0は式(7)において $h=0$ 、A-300は式(6)において $h=H_b$ として得られたものである。実験値と計算値はよく一致している。

また、パネルせん断ひずみが $\sigma_y/\sqrt{3}G$ に達したときのパネル降伏荷重の実験値と計算値を比較したものを表-3に示す。実験値と計算値はよく一致しており、パネル降伏荷重推定法が妥当であることが分かった。

図-10はパネル1降伏後の $P-\gamma$ 曲線であり、パネル4隅の変位から求めたものである。

5.3 はり材端ひずみ

5.3.1 フランジひずみ

表-3 パネル降伏荷重の実験値と計算値の比較

供試体	パネル2 $\frac{P_2 P_y^{ex}}{P_2 P_y^{cal}}$	パネル1 $\frac{P_1 P_y^{ex}}{P_1 P_y^{cal}}$
A-0	1.02	—
A-100	0.96	0.99
A-150	0.96	0.95
A-300	—	0.92

図-10 荷重-パネルせん断ひずみ (パネル1降伏後)

フランジひずみの一例として、図-11にA-0のはり材端フランジ表面の材軸方向ひずみ(表側3点、裏側3点)と荷重の関係を示す。フランジ表面のひずみは同一面において一様でなく、特にパネル降伏後その差は著しくなる。この傾向は他の供試体についても同様に現れている。

柱、はりのフランジ部は曲げに伴うひずみが最も大きく、さらに全断面積の中でフランジ部断面積が占める割合が大きいことから、柱はり接合部の力学的挙動を検討するうえでフランジ部の平均的なひずみをどう扱うかが重要な問題になってくる。

そこでフランジ表、裏のひずみに対して3種類の方法で平均ひずみを仮定した。これらのひずみとウェブのひずみを合わせて応力度分布に換算し、これから求められるはり材端の曲げモーメントを荷重換算した結果と実際の荷重の関係を図-12に示す。両端2点のひずみの平均値を用いた場合が実験値に最も一致していることが分かる。この傾向は他の供試体についても同様であるので、以後の計算ではフランジ材端のひずみとして両端2点のひずみの平均値を用いた。

図-11 はり材端フランジひずみ分布 (A-0)

図-12 荷重(計算値)に及ぼすフランジ表面平均ひずみの影響 (A-0)

5.3.2 S形状ひずみ分布

はり材端における材軸方向ひずみ分布の荷重増加に伴う変化を図-13に示す。A-0ではパネルが降伏すると従来からよく知られるS形状ひずみ分布がウェブ中心線に関して逆対称に現れてくる。パネルが降伏するとひずみ硬化ひずみに達するまでパネルは荷重増分を負担できないため、柱はりフランジ交叉部近傍の局部変形がS形状のひずみ分布を生じさせると考えられている⁹⁾。A-100, 150ではパネル2が降伏すると水平スチフナを介してウェブに力が直接作用するため水平スチフナ位置

図-13 はり材端ひずみ分布

付近でのひずみが急速に進行し、ウェブ中心線に関して逆対称とはならない変形S形状のひずみ分布となる。A-300ではパネルが降伏してもA-0ほど顕著なS形状とはならない。

上下のフランジ表面ひずみの絶対値を比べるとA-0では上下の値が等しいが、A-100, 150, 300では上フランジの方が下フランジより大きい。特にA-100, 150ではこの差が大きい。A-100, 150ではパネルが降伏すると水平スチフナを介してウェブに力が作用するため、ウェブの水平スチフナ位置付近において圧縮側のひずみが増加する。はり全体では軸力がないため、この圧縮側のひずみとバランスするために上フランジの引張ひずみの方が下フランジの圧縮ひずみより急速に進行すると考えられる。

5.4 柱はり接合部における力の釣合い

仲ら⁹⁾の提案したはり段差のない場合の柱はり接合部まわりにおける力の釣合いモデルを本実験結果に応用した結果について述べる。

このモデルは、まずはり材端のひずみ分布を応力度分布に換算し、図-14に示すようにはり断面をウェブ中心位置で2つのT型断面に分割する。次にそれぞれのT型断面について曲げモーメント M_{11} , M_{12} と軸力 N_1 , N_2 を求める。はりには軸力が作用していないと仮定すると、 N_1 と N_2 は絶対値が等しく符号が逆の値となる。この絶対値を N とし、 M_{11} と M_{12} の和を M_t (局部曲げモーメント) とする。さらにはり断面を分割するまえの全断面についての曲げモーメントを M_t とすると次式が成り立つ。

図-14 はり材端ひずみの分割

$$M_t = M_l + N \cdot d \quad (17)$$

ここで、 d は2つのT型断面の図心間距離である。 M_t は本来荷重 P によりはり材端に作用する曲げモーメント $P \cdot l_b$ に等しい量である。

軸力 N はパネルにせん断力として作用する力と考えられる。パネルには左右のはりからモーメント $N \cdot d$ が作用するので、パネルが分担するモーメント M^* は $2 N \cdot d$ に等しいと仮定できる。したがって式 (17) から M_l と $M^*/2$ の和は $P \cdot l_b$ に等しいと考えられる。

柱フランジ、水平スチフナの中心線で囲まれた部分を柱はり接合部のせん断応力度分布範囲と考え、 M^* を次式のように定義する。

$$M^* = 2 h \tau_{p1} + (H_b - h) \tau_{p2} H_c t_p \quad (18)$$

ここで τ_{p1} 、 τ_{p2} はパネル1、2の平均せん断応力度、 t_p はパネルの板厚である。A-0では $h=0$ 、A-300では h

$= H_b$ である。

A-0~300について M_t 、 M_l 、 $M^*/2$ 、 $M_l + M^*/2$ を計算した結果を図-15に示す。横軸ははり材端曲げモーメント $P \cdot l_b$ である。破線で示す $M^*/2$ の M_y^* は式 (18) に降伏せん断応力度 τ_y を代入して得られる計算値であ

表-4 実験結果のまとめ

(単位: t)

供試体名	実験値				計算値	
	パネル降伏荷重 パネル2 $P_2 P_y$	はり材端 フランジ 表面降伏 荷重 $P_1 P_y$	実質的 降伏荷重 $e P_y$		P_y	$\frac{e P_y}{P_y}$
A-0	6.6	—	7.6	6.6	5.6	1.18
A-100	6.7	9.3	9.4	9.3	7.6	1.22
A-150	7.2	10.3	10.6	10.6	8.6	1.23
A-300	—	15.3	14.9	14.9	11.5	1.30

図-15 局部曲げモーメントとパネルが分担するモーメント

る。 $eP_y \cdot l_b$ ははり材端フランジ表面降伏荷重 eP_y をはり材端における曲げモーメントに換算したものである。各供試体とも $M_1 + M^*/2$ は $P \cdot l_b$ にほぼ一致しており、このモデルははり段差を有する柱はり接合部にも適用可能であることが分かった。

5.5 実験結果のまとめ

パネル降伏荷重、はり材端フランジ表面降伏荷重、実質的降伏荷重を表—4に示す。各降伏荷重ははり段差が増加するほど大きくなることが分かる。また、A-100, 150, 300 のパネル1とはり材端フランジ表面はほぼ同時に降伏し、これらの降伏が供試体の実質的な降伏となることが分かる。

6. 実験結果より得られた接合部設計式の一考察

日本建築学会鋼構造設計規準解説に示される柱はり接合部設計式中の許容応力度には、2章で述べたように実験に基づく係数1.33が含まれている。この係数は供試体の剛性が急激に低下するときの荷重である実質的降伏荷重 eP_y と計算により求めたパネル降伏荷重 P_y との比 eP_y/P_y である。H形断面強軸交又型柱はり接合部の場合 P_y は次式で定義される。

$$P_y = \frac{\tau_y V_e}{2 l_b} \dots\dots\dots (19)$$

ここで、 τ_y ：降伏せん断応力度、 V_e ：柱フランジ、水平スチフナ中心線で囲まれる接合部パネルの体積である。

実験結果で報告したように、はり段差を有する柱はり供試体では、荷重の増加に伴いパネル2がまず降伏する。さらに荷重を増加するとパネル1が降伏し、その直後、実質的降伏荷重になる（パネル全体積の降伏後、実質的降伏荷重になる）。したがって、はり段差のない柱はり接合部設計式との対応を考えた場合、パネル有効体積 V_e としてパネル全体積を考えることが妥当であることが分かる。

接合部設計式と同様に、A-100, 150, 300 に対して柱フランジ、水平スチフナ中心線で囲まれるパネル全体積を評価して求めた。 eP_y/P_y を、表—4に示す。これによれば、段差のない場合の係数1.33より若干小さく、1.2～1.3程度となる。

7. 結

はり段差をパラメータとする十字形柱はり供試体の単調載荷実験を実施し、その力学的挙動の考察と日本建築

学会鋼構造設計規準解説に示される柱はり接合部設計式の適用性について検討を行った。その結果、本実験に用いた供試体について次の結論が得られた。

- (1) はり段差の増加に伴い柱はり接合部の実質的な降伏荷重は増加する。
- (2) 本報で示したパネル降伏荷重推定法は、はり段差を有する柱はり接合部に対して有効である。
- (3) はり段差を有する場合は、パネルが複数に仕切られる。この場合の V_e は、柱フランジ、水平スチフナ中心線で囲まれるパネル全体積を考えれば良いことが分かった。その場合の係数は、1.2～1.3程度であった。

参考文献

- 1) 加藤 勉：水平力を受ける剛接ラーメンの柱梁接合部(パネルゾーン)の設計式について、JSSC, Vol.5, No.40, pp40～44, 1969年
- 2) 日本建築学会：鋼構造設計規準解説, pp.78～81, 昭和63年1月
- 3) 中尾雅躬, 小佐野宏：左右のはりせいの異なるH形鋼強軸交又型柱はり接合部に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.97～100, 昭和59年度
- 4) 小佐野宏, 中尾雅躬：左右の梁せいが異なるH形鋼強軸交又型柱梁接合部に関する研究—その2：梁せい比が復元力特性に与える影響について—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.1195～1196, 1989年10月
- 5) 中尾雅躬, 小佐野宏：鋼構造柱はり接合部に与える鉄筋コンクリートスラブの影響に関する研究—その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) pp.953～954, 昭和63年10月
- 6) 万木 宏, 梅澤宣雄, 土井康生, 福知保長：段差を有する柱・梁仕口部の耐力実験(その1.実験計画と実験結果, その2.解析および実験値), 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.1199～1202, 1989年10月
- 7) 立山英三：角形鋼管柱・H形鋼はり接合部スカラップ近傍の応力集中に関する実験的研究(光弾性実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.965～966, 昭和63年10月
- 8) 木村 孟：土の応力伝播, 土質工学基礎叢書5, 鹿島出版会, pp.72～77, 昭和53年
- 9) 仲 威雄, 中尾雅躬, 小佐野宏：鋼構造柱はり接合部と柱はり材端の塑性域における相互影響—その1：柱はり接合部まわりにおける力の釣合いとひずみ分布のモデル化—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.1297～1298, 昭和55年9月

(1990年10月26日原稿受理, 1991年5月1日採用決定)