

梁スカラップを有しない柱梁溶接接合部の力学的性状

坂本真一 (技術研究所)	井手 齊 (設計本部)
矢部喜堂 (技術研究所)	多賀雅泰 (設計本部)
倉持 貢 (技術研究所)	越田和憲 (建築本部)

§ 1. はじめに

一般の鋼構造物の柱梁接合部の梁端部は、激震時に応力の最危険断面となる。通常この梁端部には、梁フランジとウェブの交差部に生じやすい溶接欠陥を避けるためにスカラップが設けられる。しかし、スカラップの存在は応力の最危険断面である梁端部に断面欠損を生じさせることになり、力学的観点から判断すると望ましいものではない。事実、数回の繰返し荷重に対して、早期に亀裂が進展して破壊に至った実験例が報告されている²⁾³⁾。また、設計において梁端の全塑性耐力を算定する際においても、梁スカラップによる断面欠損が存在するために梁ウェブ全断面が無視される場合が多く、梁部材の性能を有効に利用できない。

これらの問題を解決するためには、梁スカラップを設けずに梁フランジの突合せ溶接を行なう方法（以下、ノンスカラップ工法）が考えられる。スカラップを無くすことで、スカラップの加工およびスカラップ部の回し溶接が省略できる等の施工の省力化が可能となり、また力学的性状も向上することが期待できる。一方では、溶接欠陥が生じやすくなるという欠点もあり、これによる力学的性状への影響を調査しておく必要がある。特に、溶接施工においてパス間温度が高い場合は継手強度が低くなることが指摘されており⁴⁾、溶接欠陥の存在により梁端の早期破壊が危惧される。

これまでに、ノンスカラップ工法に関する研究としては、田中・榎本・泉の研究²⁾、田淵・坂本・金谷・藤原・上場³⁾⁵⁾の研究、立山・井上・杉本・松村⁶⁾の研究がある。しかし、実験例が少なく、柱梁接合部の力学的性状に及ぼす種々の影響について明らかにされるまでには至っていない。

本研究では、十字形柱梁接合部の試験体を用いた3点曲げ形式の荷重実験および有限要素法解析（以下、FEM解析）を行ない、梁スカラップを含めた梁端の溶接接合部詳細、および種々の溶接施工条件の差異が梁端の力学

的性状に及ぼす影響を明らかにするものである。

§ 2. 実験概要

2.1 実験パラメータ

梁端の耐力に影響を与える因子として、接合部を構成する各部材の形状および寸法、梁スカラップを含めた溶接接合部詳細、使用鋼材および溶接部の材料特性、溶接欠陥の有無および大きさ等が考えられる。本研究ではその中から、①梁部材の鋼種および成形方法、②梁スカラップの有無、③接合部パネル内柱フランジの幅厚比、④梁フランジ突合せ溶接時のパス間温度、⑤溶接欠陥の有無および大きさに着目した。

実験は、目的に応じて3つのシリーズに分けて行っており、各実験において設定したパラメータは以下のとおりである。

実験シリーズⅠ-1では、高炉材による溶接組立H形鋼梁を用いて、

- ①スカラップの有無
- ②接合部パネル内柱フランジの幅厚比
- ③溶接欠陥の有無

の影響を調査している。

実験シリーズⅡでは、高炉材による外法一定圧延H形鋼梁を用いて、

- ①スカラップの有無
- ②溶接欠陥の有無

の影響を調査している。

実験シリーズⅢでは、電炉材による溶接組立H形鋼梁を用いて、

- ①スカラップの有無
- ②溶接欠陥の有無および大きさ
- ③パス間温度の違い

の影響を調査している。

上記の実験シリーズは、工場溶接接合形式（ブラケット

トタイプ)を対象としている。実験シリーズI-2においては、ウェブをボルト接合とした現場溶接接合形式(ウェブボルトタイプ)を対象として、梁スカラップを設けない場合の力学的性状を調査している。

2.2 試験体

表-1に、設定した実験パラメータと試験体との関係を示す。試験体は十字形柱梁接合部であり、試験体の形状寸法を図-1に、溶接接合部詳細を図-2に示す。

・梁: 梁は、実験Iでは溶接組立H形鋼BH-500×200×16×25を、実験IIでは外法一定圧延H形鋼RH-500×253×12×22を、実験IIIでは電炉材を用いた溶接組立H形鋼BH-500×200×16×25を使用し、全試験体とも梁

長さ(柱表面から支点までの距離)は180cmである。

・梁スカラップ: スカラップを有する試験体は、スカラ

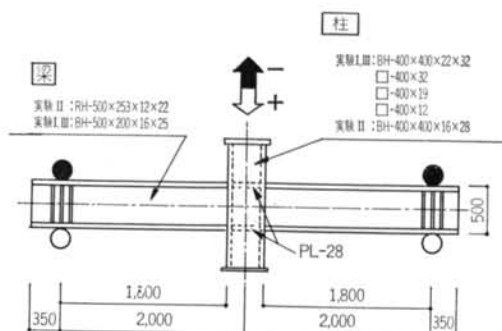
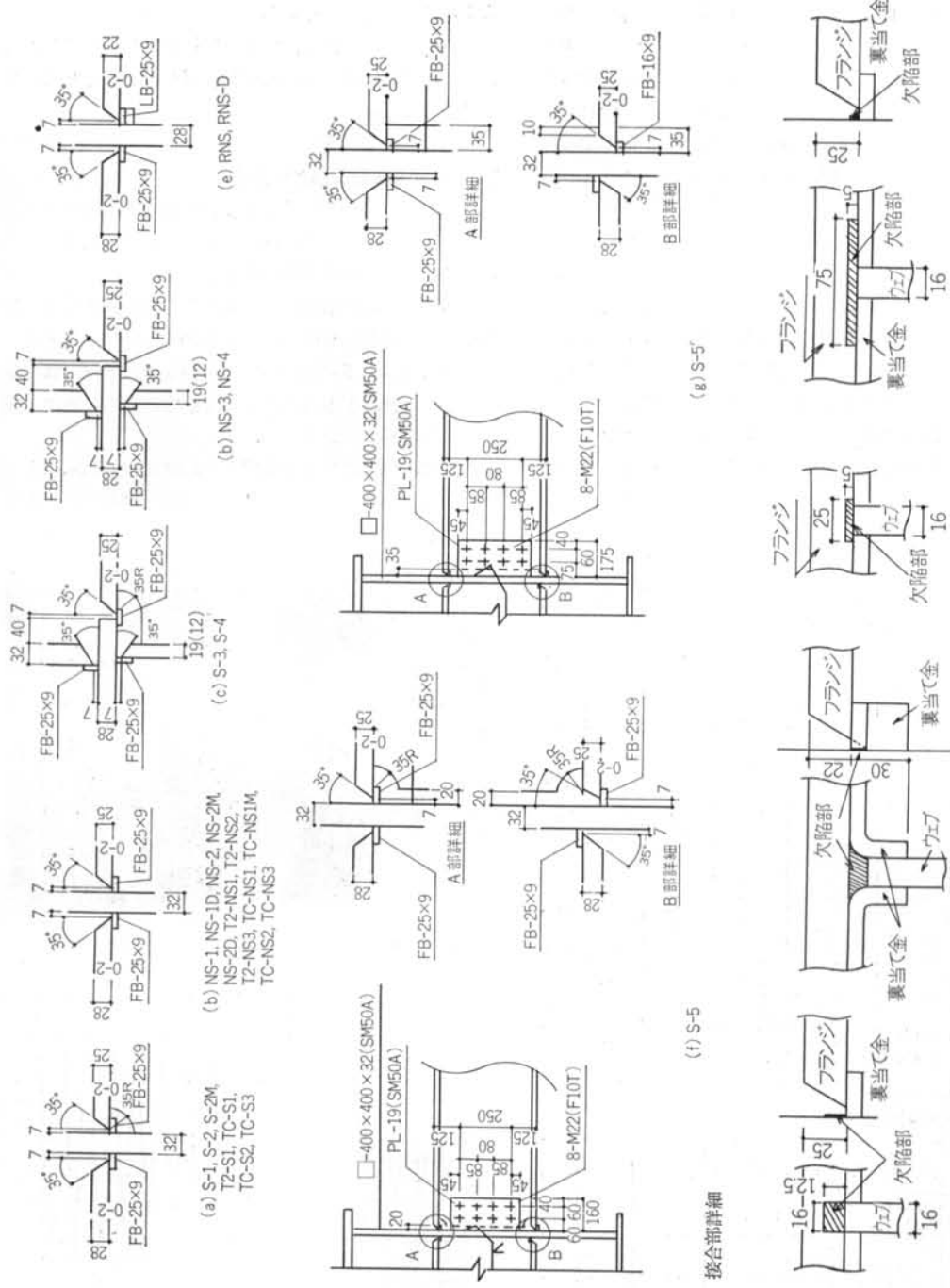


図-1 試験体の形状寸法

シリーズ	試験体	梁	梁スカラップ	接合部パネル内柱断面 (柱フランジ幅厚比)	バ ス 間 度 温 度	溶接欠陥	加力方法				
I-1	S-1	高炉材 BH-500×200 ×16×25*1	有 (R=35mm)	BH-400×400×22×32	200℃	無	繰返し				
	S-2			□-400×32 (12.5)				単調			
	S-2M			□-400×19 (21.1)							
	S-3			□-400×12 (33.3)							
	S-4		無	BH-400×400×22×32		無	繰返し				
	NS-1			BH-400×400×22×32		欠陥①	単調				
	NS-1D					無					
	NS-2					欠陥①					
	NS-2M					無					
	NS-2D					欠陥①	繰返し				
	NS-3					□-400×19 (21.1)		無			
	NS-4					□-400×12 (33.3)		無			
I-2	S-5 *3	有(R=35mm)	□-400×32 (12.5)		200℃	無		繰返し			
S-5' *3	ストレートカット	□-400×32 (12.5)									
II	RS	高炉材 RH-500×253 ×12×22*2	有(R=35mm)	BH-400×400×16×28	200℃	無	繰返し				
	RNS		無					欠陥②			
	RNS-D										
III	T2-S1	電炉材 BH-500×200 ×16×25*1	有 (R=35mm)	BH-400×400×22×32	200℃	無	繰返し				
	TC-S1							連続	欠陥③		
	TC-S2									200℃	欠陥④
	TC-S3										
	T2-NS1		無		欠陥③						
	T2-NS2					200℃	欠陥④				
	T2-NS3							繰返し			
	TC-NS1								連続	無	
	TC-NS1M		単調								
	TC-NS2				欠陥③						
	TC-NS3					欠陥④					

*1) 溶接組立材, *2) 外法一定圧延H形鋼, *3) ウェブボルトタイプ

表-1 実験パラメータと試験体



(a) S-1, S-2, S-2M, T2-S1, TC-S1, TC-S2, TC-S3

(b) NS-1, NS-1D, NS-2, NS-2M, NS-2D, T2-NS1, T2-NS2, T2-NS3, TC-NS1, TC-NS1M, TC-NS2, TC-NS3

(c) S-3, S-4

(d) NS-3, NS-4

(e) RNS, RNS-D

(f) S-5

(g) S-5'

(h) S-5

(i) S-5

(j) S-5

図一 2 接合部詳細

(a) 欠陥①(NS-1D, NS-2D)

(b) 欠陥②(RNS-D)

(c) 欠陥③(TC-NS2, T2-NS2)

(d) 欠陥④(TC-NS3, T2-NS3)

図一 3 溶接欠陥

トップ半径 R が35mmの大きさのものを設け、平板状の裏当て金を用いて溶接を行なった。一方、スカラップの無い試験体は、裏当て金をウェブの両側から挟み込む方法により溶接施工を行なった。裏当て金は、梁が溶接組立H形鋼の場合は平板状のもの(図-2(b), 図-3(a)参照)を、梁が圧延H形鋼の場合はフィレット部に密着するようなアール部を持つ裏当て金(図-2(e), 図-3(b)参照)を使用している。また、実験I-2における現場溶接接合形式の試験体S-5'は、スカラップを設けずウェブをストレートカットしたものである(図-2(d)参照)。

●柱: 柱は、H形鋼柱の場合、実験Iと実験IIIではBH-400×400×22×23の形状寸法のもの、実験IIではBH-400×400×16×23の形状寸法のものを使用した。実験Iで箱形断面柱の場合は、寸法形状が□-400×400×32のものを使用しているが、通しダイアフラム形式とした試験体は、接合部パネル内のみ板厚を小さくして□-400×400×19(S-3, NS-3)および□-400×400×12(S-4, NS-4)の形状寸法の溶接組立箱形断面を使用して、パネル内柱フランジ幅厚比を変化させた(図-2(c), (d)参照)。

●バス間温度: 実験IIIでは、梁フランジ突合せ溶接時のバス間温度を200℃に管理した場合と連続溶接した場合を設定して試験体を作製した。

●溶接欠陥: 梁フランジ突合せ溶接部に、初層部分の溶

シリーズ	使用鋼板	使用部位	σ_y (t/cm ²)	σ_u (t/cm ²)	σ_y/σ_u	El. (%)
I	高炉材 SM50A	柱フランジ	3.53	5.37	0.66	32.6
		柱フランジ	3.49	5.46	0.64	27.6
		柱フランジ	3.58	5.27	0.70	25.6
		梁フランジ	3.50	5.41	0.65	28.9
		梁ウェブ	3.79	5.51	0.69	25.6
II	高炉材 SM50A	柱フランジ	3.42	5.32	0.64	29.2
		梁フランジ	3.70	5.30	0.70	28.0
		梁ウェブ	4.20	5.46	0.77	22.7
III	電炉材 SM50A	柱フランジ	3.75	5.61	0.67	28.1
		梁フランジ	3.40	5.47	0.62	29.8
		梁ウェブ	3.91	5.69	0.69	27.3

表-2 使用鋼材の機械的性質

シリーズ	溶接金属	バス間 温度半	σ_y (t/cm ²)	σ_u (t/cm ²)	σ_y/σ_u	El. (%)
I	CO ₂ 半自動溶接 YGW11 1.4φ	200℃	5.07	5.65	0.90	31.7
		連続	3.42	4.97	0.69	38.4
III	CO ₂ 半自動溶接 YGW11 1.4φ	200℃	4.60	5.60	0.82	32.9

表-3 溶接金属の機械的性質

込み不良を想定して4種類の人工欠陥を設けた。図-3に溶接欠陥の位置および形状寸法を示す。これらの溶接欠陥は、本溶接前に梁フランジ開先内に2mmの鋼板を挿入することによって作製した。

各実験シリーズ毎に使用した鋼材および梁フランジ突合せ溶接部の溶接金属の機械的性質を、それぞれ表-2と表-3に示す。

2.3 加力方法および測定方法

加力は、写真-1に示すように梁端部上下をテフロン支承により単純支持し、柱頭に鉛直荷重を加えることで単調載荷および正負交番の繰返し載荷を行なった。繰返し加力の場合は、梁全断面有効として得られる全塑性耐力時の曲げ変形計算値 $c\delta_{PM}$ を基準に、 $3c\delta_{PM}$ で20回、 $4c\delta_{PM}$ で3回、 $5c\delta_{PM}$ で2回、 $6c\delta_{PM}$ で2回正負交番に載荷した後、1方向に加力して破壊に至らした。図-4に加力パターンを示す。

計測は、荷重点および支持点の鉛直変位と回転角をゲージ型変位計で、梁端部のひずみは箔ひずみゲージを用いて測定した。

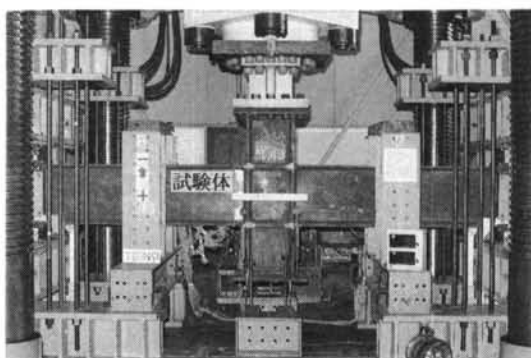


写真-1 加力装置

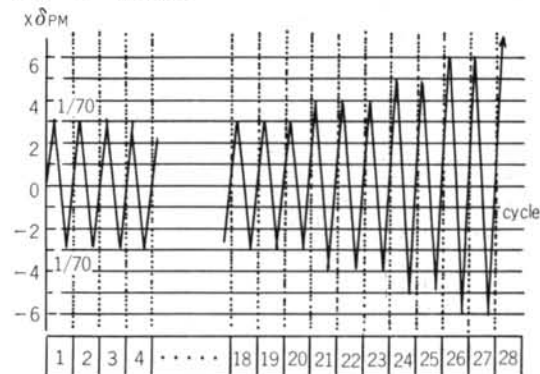


図-4 加力パターン

§ 3. 実験結果および考察

図-5に荷重-変形関係を示す。全試験体とも、荷重-変形関係は紡錘形の復元力特性を示し、計算による全塑性耐力を越える高応力状態で破壊した。

実験結果の一覧を表-4に示す。表中、 eP_p および $e\delta_p$ はそれぞれ計算による全塑性耐力と全塑性耐力時の変形量を示しており、スカラップを有する場合はスカラップによる断面欠損を考慮した値となっている。また、 eP_p は図-6に示すように、実験により得られる全体変形が $e\delta_p$ に達したときの荷重を示している。

3.1 破壊性状

試験体の破壊形式は、以下に示すように分類できる。図-7に亀裂発生位置を示す。

- Type I : 梁フランジ母材で破断した試験体

梁フランジ内側のスカラップ端部の回し溶接部に生じた亀裂（以下、亀裂⑤）がサイクル毎に進展した。最終的には、亀裂⑤がフランジ板厚・板幅方向に瞬時に進展して、急激な荷重低下とともに梁

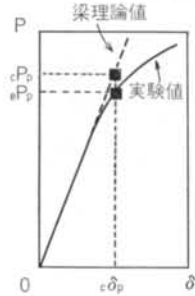


図-6 全塑性耐力 eP_p

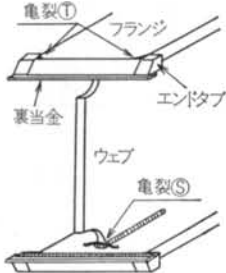


図-7 亀裂発生位置

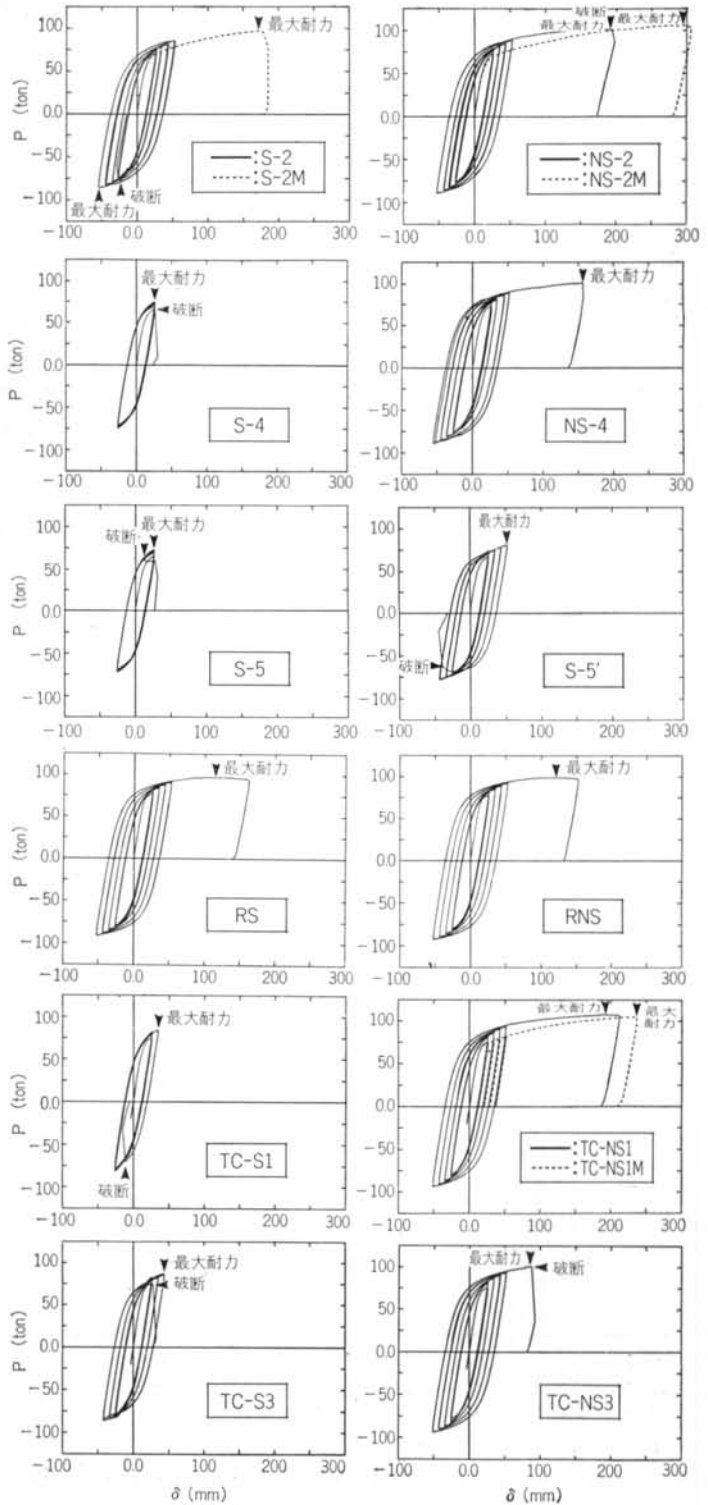


図-5 荷重-変形関係

フランジ母材が破断した(写真-2(a)). 板厚および板幅方向にくびれは認められず, 破断面は大部分がぜい性破面であった(写真-2(b)).

- Type II: 梁フランジ溶接部で破断した試験体
梁フランジ外端溶接止端部に生じた亀裂(以下, 亀裂①)が進展して, フランジ突合せ溶接部が破断した(写真-2(c)). この形式で破壊した試験体は, 最終的に梁フランジの局部座屈波が目視できたもの(Type II-1)と, 座屈現象が確認できなかったもの(Type II-2)に分けられる.
- Type III: 梁の局部座屈により破壊した試験体
初期において亀裂①が観察されたが, ほとんど進展せず, 最終的には梁フランジの局部座屈が顕著となり荷重

が緩やかに低下したもの(Type III-1)と, 亀裂②がサイクル毎に進展したが, 最終的には梁フランジの局部座屈が顕著となり荷重が緩やかに低下したもの(Type III-2)に分けられる. Type III-2で破壊したのはRS1体のみである.

3.2 初期剛性および全塑性耐力

図-8に, 実験による全塑性耐力 eP_p と初期剛性 eK の関係を示す. 図中の値は実験I-1と実験IIIに関するものであり, ○印は柱がH形断面で梁スカラップを有する試験体を, □印は柱がH形断面で梁スカラップが無い試験体を, ●印は柱が箱形断面で梁スカラップを有する試験体を, ■印は柱が箱形断面で梁スカラップが無い試

シリーズ	試験体	計 算 値			実 験 値						α	$\bar{\eta}$
		eP_p (ton)	$e\delta_p$ (mm)	eK (t/mm)	eP_p (ton)	eP_u (ton)	$e\delta_u$ (mm)	eK (t/mm)	破 壊 サイクル	破壊形式 タイプ		
I-1	S-1	58.3	10.60	5.50	50.7	-85.5	-45.0	5.52	+25	I	1.47	89.5
	S-2				50.2	85.6	-54.6	5.18	-27	I	1.46	109.3
	S-2M				50.0	97.2	171.6	5.26	-	I	1.66	31.4
	S-3				48.9	77.5	32.3	5.06	+23	I	1.33	77.4
	S-4				48.0	75.3	25.9	5.25	+16	I	1.29	47.8
	NS-1	63.2	10.29	6.15	52.5	100.9	185.5	5.42	+28⇒	III-1	1.60	128.6
	NS-1D				51.0	105.9	241.1	5.21	+28⇒	III-1	1.68	130.0
	NS-2				50.0	101.5	180.2	5.09	+28⇒	II-1	1.61	116.6
	NS-2M				47.0	106.3	292.8	5.00	-	III-1	1.68	50.0
	NS-2D				49.9	101.9	224.8	5.21	+28⇒	III-1	1.61	119.6
NS-3	50.7	104.7	197.9	5.54	+28⇒	III-1	1.66	128.1				
NS-4	50.2	101.3	156.7	5.47	+28⇒	II-1	1.60	117.6				
I-2	S-5	56.8	10.41	5.46	49.0	73.7	26.2	5.07	+14	I	1.30	43.1
	S-5'				49.7	81.5	52.2	5.03	-26	I	1.43	101.6
II	RS	65.1	11.81	5.51	59.3	97.3	118.0	5.66	+28⇒	III-2	1.49	115.7
	RNS	69.3	11.34	6.11	57.5	99.0	120.4	5.61	+28⇒	III-1	1.43	107.9
	RNS-D				57.7	99.8	124.7	5.63	+28⇒	III-1	1.44	108.4
III	T2-S1	57.4	10.43	5.50	51.3	86.3	42.9	5.55	-25	I	1.50	89.4
	TC-S1				51.4	84.3	34.2	5.66	-21	I	1.47	63.8
	TC-S2				53.3	85.4	34.2	5.75	-21	I	1.49	66.4
	TC-S3				53.0	87.3	43.4	5.69	+26	I	1.52	94.7
	T2-NS1	62.5	10.16	6.15	53.1	105.2	194.4	5.63	+28⇒	III-1	1.69	127.4
	T2-NS2				53.8	105.7	171.8	5.67	+28⇒	III-1	1.69	128.0
	T2-NS3				52.7	105.9	173.6	5.65	+28⇒	III-1	1.70	127.2
	TC-NS1				52.4	107.9	191.8	5.71	+28⇒	III-1	1.73	125.6
	TC-NS1M				52.5	105.4	236.7	5.56	-	III-1	1.68	19.5
	TC-NS2				53.7	103.9	149.1	5.76	+28⇒	II-2	1.66	120.5
TC-NS3	54.9	100.9	85.4	5.75	+28⇒	II-2	1.62	115.0				

⇒:最終的に, 一方向に加力して破壊に至らしめたことを表わしている

eP_p : 全塑性耐力計算値 $e\delta_p$: eP_p 時の変形 eK : 初期剛性計算値

eP_p : 全塑性耐力実験値 eP_u : 最大耐力実験値 eK : 初期剛性実験値 $e\delta_u$: 荷重低下時の変形

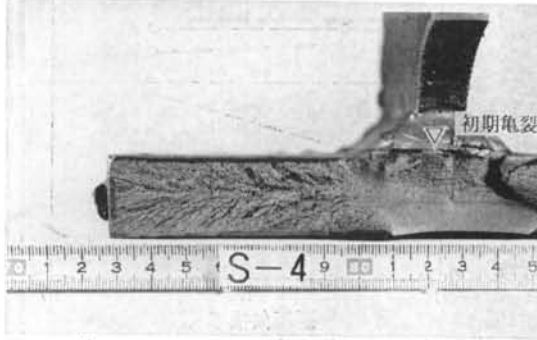
α : $=eP_u/eP_p$ $\bar{\eta}$: $W/(2W_p)/2$

(W : 荷重低下時までの総エネルギー量, eW_p : $eP_p \times e\delta_{PM}/2$, $e\delta_{PM}$: eP_p 時の曲げ変形計算値)

表-4 実験結果の一覧



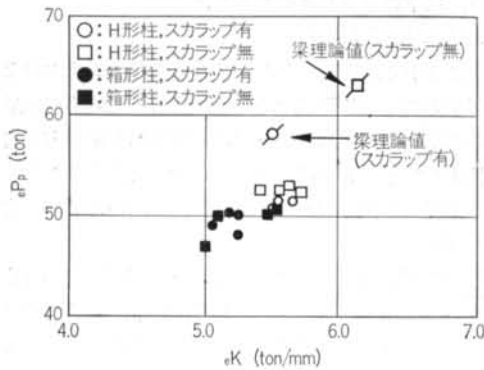
写真一2(a) 破壊状況 (Type I)



写真一2(b) 破面 (Type I)



写真一2(c) 破壊状況 (Type II-2)



図一8 $eP_p - eK$ 関係

験体を示したものである。

図から、柱がH形断面の場合は、柱が箱形断面の場合に比べて初期の剛性および耐力ともにわずかに高くなっている。これは、箱形断面の場合、梁ウェブが取りつく柱フランジの面外剛性がH形断面の場合に比べて低いためと考えられる。

また、梁スカラップの有無による初期の剛性および耐力の差はほとんど無く、本実験の範囲内では溶接接合部詳細の差異が初期の剛性および耐力に与える影響は小さいといえる。

なお、各試験体とも実験による全塑性耐力が梁理論により求められる全塑性耐力に比べて小さくなっているのは、溶接による残留応力の影響と思われる。

3.3 最大耐力および変形能力

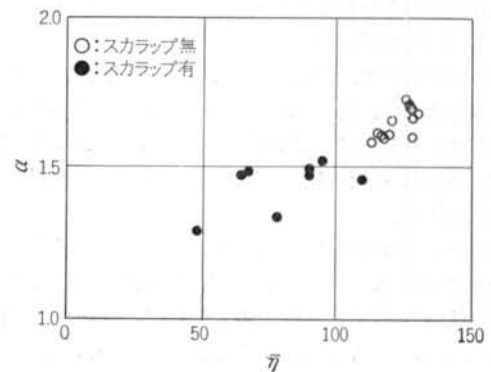
3.3.1 梁スカラップの有無の影響

図一9に、実験I-1と実験IIIの試験体について、実験における最大耐力 eP_u を全塑性耐力 eP_p で除した値 α と平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}$ の関係を示す。 eP_p は、スカラップを有するものについては、スカラップによる断面欠損を考慮した値で無次元化している。すべての試験体の α 値の範囲は $\alpha > 1.2$ であり、スカラップの有無にかかわらず保有耐力接合の条件を満足している。

スカラップの無い試験体の α および $\bar{\eta}$ の範囲は、 $\alpha = 1.60 \sim 1.73$, $\bar{\eta} \approx 115 \sim 130$ であるのに対して、スカラップを有する試験体の α および $\bar{\eta}$ の範囲は、 $\alpha = 1.29 \sim 1.52$, $\bar{\eta} \approx 50 \sim 110$ であることから、スカラップの無い試験体はスカラップを有する試験体と比較すると、最大耐力および変形能力の面で優れている。また、スカラップの無い場合には、最大耐力および変形能力のばらつきが小さい。

3.3.2 接合部パネル内柱フランジの幅厚比の影響

図一10に、 α と接合部パネル内柱フランジの幅厚比



図一9 $\alpha - \bar{\eta}$ 関係

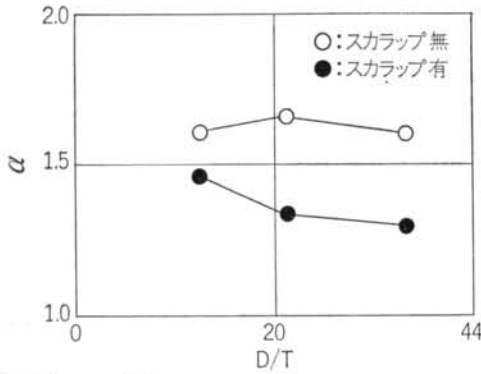


図-10 $\alpha - D/T$

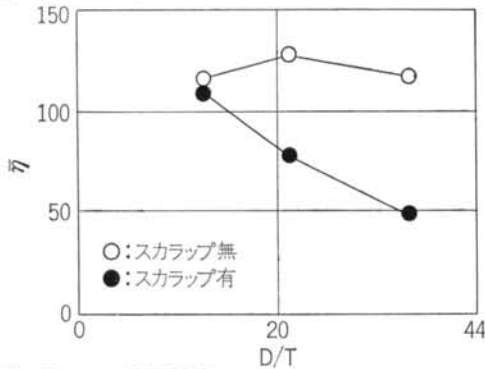


図-11 $\bar{\alpha} - D/T$ 関係

D/T の関係を、図-11に $\bar{\alpha}$ と D/T の関係を示す。

スカラップを有する試験体は、 D/T が大きくなると α および $\bar{\alpha}$ は小さくなる傾向を示すが、スカラップの無い場合は D/T が大きくなっても、 α および $\bar{\alpha}$ ともにほぼ同じ値を示している。

また、柱がH形断面の試験体 S-1 の α および $\bar{\alpha}$ の値は $\alpha = 1.47$ 、 $\bar{\alpha} = 89.5$ であり、柱が箱形断面で D/T が 12.5 の試験体 S-2 の α および $\bar{\alpha}$ とほぼ同じ値である。同様に、NS-1 と NS-2 を比較しても、両試験体の α および $\bar{\alpha}$ の値に違いは認められないことから、 D/T が 12.5 程度であればH形断面柱の場合と同程度の最大耐力および変形能力を有することが分かる。

3.3.3 溶接欠陥とパス間温度の影響

実験Ⅲにおいて、溶接欠陥の大きさを変化させた試験体を対象として、図-12および図-13に梁フランジの断面欠損率と α および $\bar{\alpha}$ との関係を示す。ここで、断面欠損率とは梁フランジの断面積に対する溶接欠陥の占める割合である。

スカラップの無い試験体でパス間温度を 200℃ に管理した場合(図中、○印)は、断面欠損率が 7.5% 程度のもでも α および $\bar{\alpha}$ の値は低下せず、ほぼ同一の値を示している。一方、連続溶接とした場合(図中、□印)は、断面欠損率の増加にともない α および $\bar{\alpha}$ の値はわ

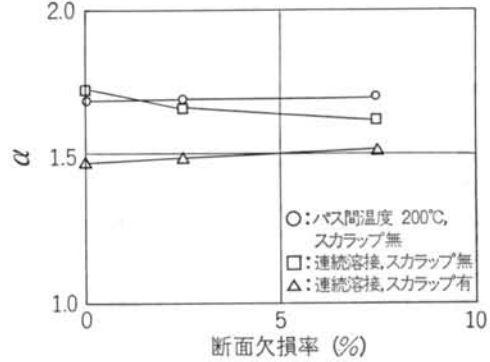


図-12 α と断面欠損率の関係

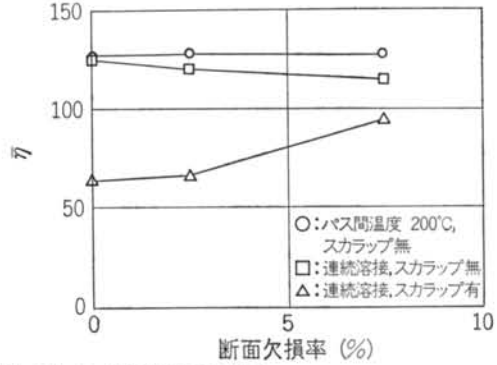


図-13 $\bar{\alpha}$ と断面欠損率の関係

ずかに低下する傾向にある。

また、実験Ⅰにおいて、柱がH形鋼で欠陥が無いNS-1と欠陥を有するNS-1D、および箱形断面柱で欠陥が無いNS-2と欠陥を有するNS-2Dの最大耐力および変形能力を、スカラップを有するS-1、S-2と併せて比較すると、最大耐力および変形能力ともに以下に示すような関係がある。

$$S-1 < NS-1D \approx NS-1$$

$$S-2 < NS-2D \approx NS-2$$

同様に実験Ⅱにおいて、欠陥の無いRNSと欠陥を有するRNS-Dをスカラップを有するRSと併せて比較すると、以下のような関係がある。

$$RS \approx RNS-D \approx RNS$$

このことから、初層部分の溶込み不良が最大耐力および変形能力に対する影響は小さく、むしろ実験Ⅰの結果に見られるように、スカラップによる断面欠損の方が力学的性能を低下させる要因となりやすいことが分かる。

3.3.4 高炉材を用いた場合と電炉材を用いた場合の比較

電炉材を用いた実験ⅢのT2-S1と高炉材を用いた実験Ⅰ-1のS-1の最大耐力および変形能力を比較すると、梁スカラップを有する場合、表-4からも分かるようにその差はほとんど無い。梁スカラップが無い場合に

についても同様に、電炉材を用いた実験Ⅲの T2-NS1 と高炉材を用いた実験Ⅰ-1 の NS-1 の最大耐力および変形能力に差はない。

このことから、電炉材と溶接金属の機械的性質が本実験で使用した条件の範囲内であれば、電炉材を用いた場合においても、高炉材を用いた場合と同程度の力学的性能を確保できるものと考えられる。

3.3.5 現場溶接接合形式の性状

実験Ⅰ-2 において、スカラップを設けずにウェブをストレートカットした試験体 S-5' と、従来のスカラップを有する試験体 S-5 を比較すると、S-5 が $\alpha=1.30$, $\bar{\eta}=43.1$ であるのに対して、S-5' と $\alpha=1.43$, $\bar{\eta}=101.6$ であり、耐力の面で1割、変形能力の面で2倍以上力学的性能が向上した。スカラップを設けずにウェブをストレートカットする方法は、従来のスカラップを設けて溶接を行なう方法と同じ要領で施工でき、かつスカラップの加工が省略できるという利点がある。

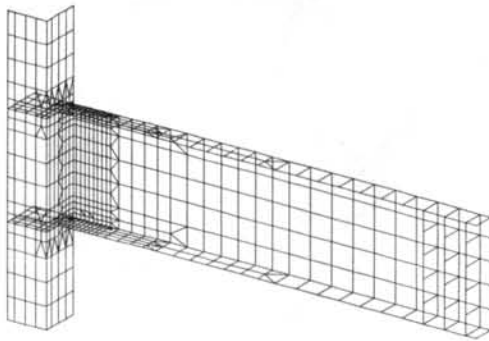


図-14 FEM 解析モデル

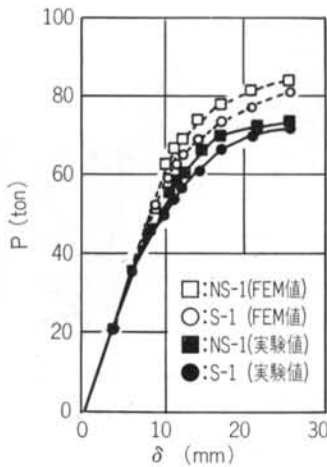
3.4 梁端部のひずみ

梁スカラップの有無および接合部パネル内柱フランジの幅厚比 D/T の変化が梁端部のひずみ性状に及ぼす影響を調査するために FEM 解析を行なった。解析モデルを図-14に示す。解析は、平面シェル要素を用いた三次元非線形解析である。

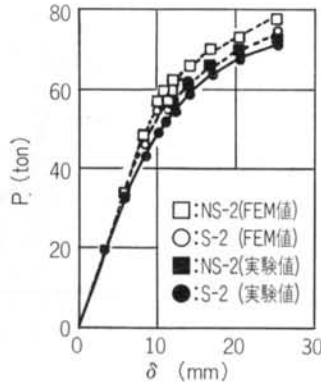
図-15に、実験Ⅰにおける S-1 と NS-1, S-2 と NS-2, S-4 と NS-4 の計6体についての+1 サイクル時の荷重-変形関係を、FEM 解析結果と併せて示す。図中、●印は実験値、○印は FEM 解析結果である。FEM 解析による荷重-変形関係は実験結果を多少上回っているが、ほぼ実験結果を追跡できているといえる。この結果を基に、図-16に弾性域、 $e\delta_{PM}$ 時、 $3e\delta_{PM}$ 時の梁フランジおよびウェブの曲げひずみ分布を示す。図中、○印は FEM 値を、●印は実験値を示しており、柱表面から50mm離れた位置の値である。

図から、スカラップを有する試験体は、スカラップの無い試験体に比べて弾性域にある段階から、ウェブのスカラップ近傍およびフランジ内面中央のひずみが乱れており、 $3e\delta_p$ 時には実験値も FEM 値も、フランジ内面中央近傍の値がフランジ外面中央の値よりも大きくなっていることが分かる。このことは、スカラップを有する試験体が、梁フランジ内側のスカラップ先端部に亀裂が生じたことと対応している。

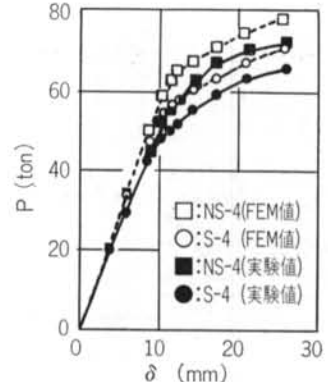
また、スカラップを有する場合は、柱がH形断面である S-1 と、柱が箱形断面で D/t が12.5の S-2 および D/t が33.3の S-4 を比較すると、 D/t が大きくなるに従っ



(a) S-1, NS-1

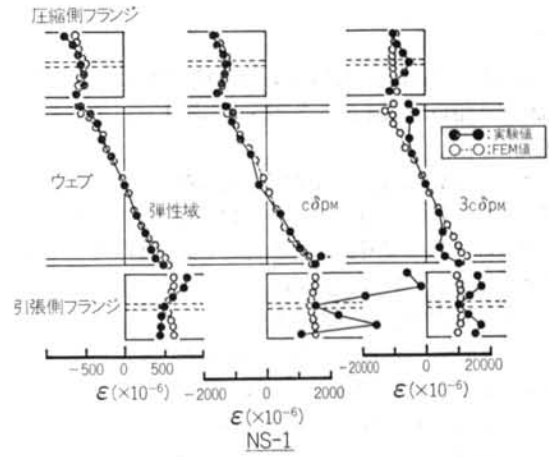
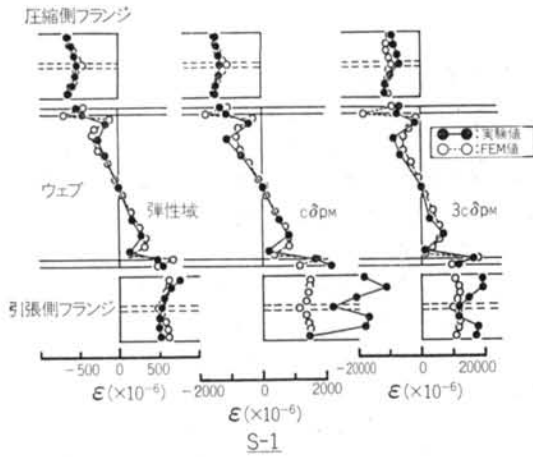


(b) S-2, NS-2

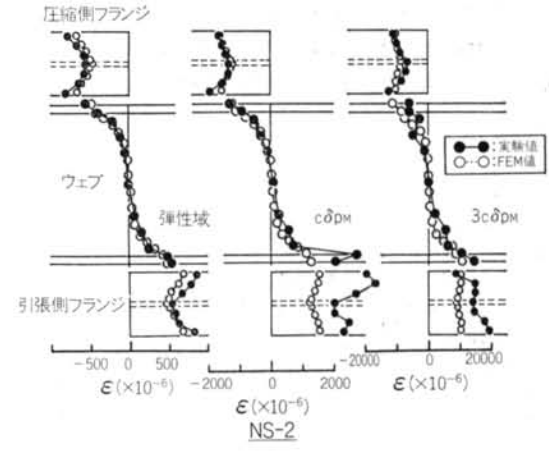
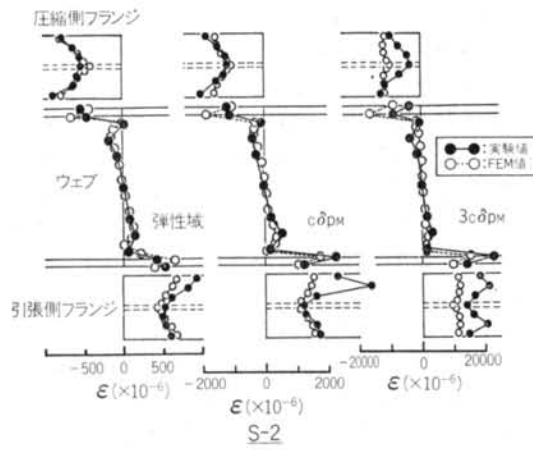


(c) S-4, NS-4

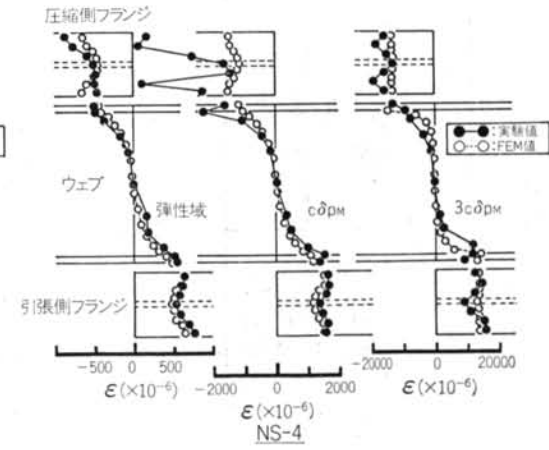
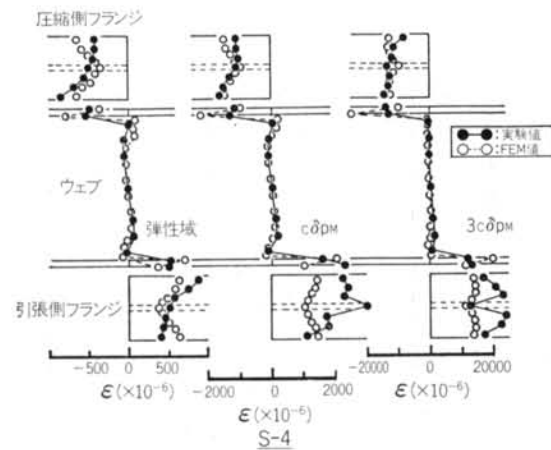
図-15 +1 サイクル時における荷重-変形関係



(a) H形断面柱の場合



(b) 箱形断面柱(D/T=12.5)の場合



(c) 箱形断面柱(D/T=33.3)の場合

図-16 梁端のひずみ分布

ウェブの曲げひずみ量は小さくなっている。このことから、スカラップを有する場合は梁ウェブが取りつく柱フランジの面外剛性が低下するにつれて、ウェブの負担する曲げ応力も小さくなっていることが分かる。一方、スカラップの無い場合は D/T が大きくなってもウェブの曲げひずみ量はそれほど低下せず、ほぼ梁理論に基づくひずみ分布に近い性状を示している。

§ 4. まとめ

梁スカラップの有無に着目した十字形柱梁溶接接合部の3点曲げ形式の繰返し荷重実験を行なった結果は、以下のように要約される。

(1)全試験体とも、計算による全塑性耐力の1.2倍以上の荷重で破壊した。破壊形式は、梁スカラップを有する試験体は、梁フランジ側スカラップ端部に生じた亀裂が急激に進展してフランジ母材が破断した。一方、梁スカラップの無い試験体は十分な変形能力を示した後に、梁フランジの局部座屈あるいは梁フランジ突合わせ溶接部の破断により荷重が低下した。

(2)初期の剛性および全塑性耐力は、柱がH形断面の場合は柱が箱形断面の場合に比べて1割弱高くなる。また、梁スカラップの有無による初期剛性および全塑性耐力の差はほとんど無く、溶接接合部詳細の変化が初期剛性および全塑性耐力に与える影響は小さい。

(3)しかし、最大耐力および変形能力の面では梁スカラップの有無が与える影響は大きく、スカラップが無い場合はスカラップを有するものに比べて最大耐力で1.1~1.3倍程度、平均累積塑性変形倍率で1.5~2.0倍程度の性能となる。

(4)スカラップを有する試験体は、接合部パネル内柱フランジの幅厚比が大きくなると最大耐力および変形能力は小さくなる傾向を示す。一方、スカラップの無い場合は、柱断面の形状寸法や接合部詳細の変化によらず最大耐力および変形能力のばらつきは小さい。

(5)本実験で、梁フランジ突合せ溶接部の初層部分に人工的に設けた溶込み不良が、最大耐力および変形能力に与える影響は小さい。

(6)電炉材を用いた場合と高炉材を用いた場合を比較した結果、最大耐力および変形能力に差異は認められなかった。

以上のことから、梁スカラップを無くすことで、鉄骨製作工程におけるスカラップの加工およびスカラップ部の回し溶接が省略でき、施工の省力化が図れる。また、梁端の力学的性能も向上することが明らかになった。

謝辞 本研究に当たり、信州大学中込忠男教授にご指導を頂きました。また試験体製作に当たり、(株)東京鉄骨橋梁製作所の中村賢造氏、(株)片山鉄工所の青木敏三氏、川岸工業(株)の金本秀雄氏のご協力を得ました。ここに、深く感謝致します。

<参考文献>

- 1) 矢部, 坂本, 倉持, 井手, 多賀, 越田: “はりスカラップを有しない柱はり溶接接合部の力学的性状(その1), (その2)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1990年) pp. 1593~1596
- 2) 田中, 榎本, 泉: “スカラップを必要としない特殊裏当て金を用いたはり端溶接部の耐力に関する実験” 日本建築学会大会学術講演梗概集(昭和57年) pp. 1779~1780
- 3) 坂本, 金谷, 田淵: “通シダイヤフラム補剛による角形鋼管柱・H形はり接合部の弾塑性性状—はりスカラップの効果—” 日本建築学会近畿支部研究報告集(昭和61年) pp. 465~468
- 4) 横山, 中込, 矢部, 金本: “鋼構造溶接接合部の力学的性能(その1), (その2)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1989年) pp. 1263~1266
- 5) 田淵, 坂本, 金谷, 藤原, 上場: “角形鋼管柱に接合されるH形鋼はりの端部の曲げ耐力の評価” 日本建築学会構造系論文報告集 第389号(昭和63年) pp. 122~131
- 6) 立山, 井上, 杉本, 松村: “通シダイヤフラム形式で角形鋼管柱に接合されるH形断面はりの耐力と変形能力に関する研究” 日本建築学会構造系論文報告集 第389号(昭和63年) pp. 109~121

