

現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕口ディテールに関する実験的研究

その1 仕口ディテールと施工方法

正会員	○中村洋一 ^{*1}	同	中込忠男 ^{*2}
同	曾田五月也 ^{*3}	同	金子洋文 ^{*4}
同	堤成一郎 ^{*5}	同	中澤好道 ^{*6}
同	廣重隆明 ^{*7}	同	藤田哲也 ^{*8}

現場接合方式 現場ノンスカラップ 破壊性状
変形能力

1.はじめに

ノンブラケット方式の柱梁接合部は、工事現場で梁ウェブを高力ボルト摩擦接合、梁フランジを完全溶込み溶接接合する混用接合が一般的である。工事現場で梁フランジを溶接する場合、施工性から下向溶接での施工になるため、下フランジは内開先となる。そのため、梁ウェブが邪魔板となり、上フランジと同様なノンスカラップのディテールにできない。また、柱梁接合部の梁端仕口部の応力は、スカラップ工法においてスカラップ底に最も集中する。そこで本研究は、ノンブラケット方式の梁端現場溶接部のスカラップ工法に対し、力学的に改善する方法を実験的に明らかにし、ディテールを提案することを目的とする。

2.実験概要

2.1 実験パラメータ及び試験体形状

試験体形状・寸法を図1に示す。表1に溶接施工試験に用いたスカラップ部ディテール一覧を、図2～7にその形状を示す。試験体は柱梁溶接接合部をモデル化した実大ト型試験体として梁部材 BH-600×250×16×28、柱部材 □-400×400×25、通しダイアフラムには PL-36 を用いた。現場溶接接合形式は、通常上フランジの開先を外開先、下フランジを内開先とするが、下フランジに着目し、上下フランジ共に内開先とした。一般のスカラップ形状は JASS6 で推奨されている $r=35\text{mm}$ のスカラップ底に $r=10\text{mm}$ の R を設けた複合円型スカラップとした。梁フランジと通しダイアフラムの接合には YGW18、 $\phi 1.4\text{mm}$ を用いて、下向き姿勢で行う完全溶込み溶接接合とした。エンドタブはスチールタブを用いた。ボルト接合方式を用いた梁ウェブはシェアプレート (PL-16) で高力ボルト摩擦接合とした。高力ボルトは、M22 のトルシア形高力ボルト (S10T) を用いた。ウェブ溶接接合形式は、柱に溶接接合された裏当て金用プレート (PL-12) を高力ボルト摩擦接合とした。梁ウェブには 35° 開先を施し溶接した。なお、仮ボルトは M20 のトルシア形高力ボルト (S10T) を 4 本とし、そのまま残した。

2.2 接合部ディテール

S_S 試験体は、図2に示すような複合円型のスカラップ

表1 試験体パラメーター一覧

試験体名	ウェブ接合形式	スカラップ形状	ディテール	人工欠陥位置
S_S	ボルト接合	複合円型	-	-
S_SP40		複合円型	鋼片-40×30×40 フランジ溶接部まで隅肉溶接	-
S_SP55		複合円型	鋼片-40×37×55 ダイアフラムまで隅肉溶接	-
S_MF		ミニスカラップ	肉盛溶接による積層、充填溶接	初層側
S_ML		ミニスカラップ	肉盛溶接による積層、充填溶接	表層側
S_MLW	溶接接合	ミニスカラップ	肉盛溶接による積層、充填溶接	表層側

S_S: Site_Scallop
S_SP40: Site_scallop steel piece 40mm
S_SP55: Site_scallop steel piece 55mm
S_MF: Site_Mini scallop First layer defect
S_ML: Site_Mini scallop Last layer defect
S_MLW: Site_Mini scallop Last layer defect Welding web

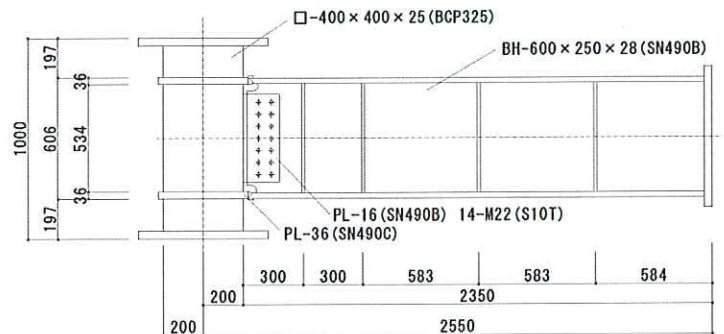


図1 試験体形状・寸法

表2 ミルシートによる機械的性質及び化学成分

鋼材		機械的性質					
		降伏点 (N/mm)	引張強さ (N/mm)	降伏比 (%)	伸び (%)	シャルピー (J)	
SN490B	梁ウェブ	371	531	70	24	231	
	梁フランジ	389	528	74	27	302	
BCP325	柱	379	518	73	31	205	
SN490C	ダイアフラム	403	534	75	31	228	

鋼材		化学成分(%)												
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	T.N	Ceq	
		×100	×1000										×1000	×100
SN490B	梁ウェブ	16	27	138	14	4	2	6	1	1	0		42	
	梁フランジ	16	33	143	9	2	1	4	0		0	4	42	
BCP325	柱	18	19	129	12	3	1	1	0		0		41	
SN490C	ダイアフラム	15	39	140	12	4	1	1	0	2	0		40	

とした。図3の S_SP40 試験体、図4の S_SP55 試験体は梁フランジ溶接後にスカラップ部に鋼片を挿入したものである。S_SP40 試験体の複合円型 $r=35$ スカラップは従来の標準的な形状である。S_SP55 試験体はスカラップ径を $r=42$ とした。S_SP40 試験体はスカラップ部に鋼片を挿入することにより地震時等に破壊の起点となりうるフィレット底の応力集中を緩和することを目的としたもので

ある。S_SP55 試験体は S_SP40 試験体の鋼片よりさらにダイアフラム部まで伸ばしたものであり、ダイアフラム側になめらかに応力を伝達せる事を目的としたものである。図 5 の S_MF 試験体、図 6 の S_ML 試験体は開先の初層側及び表層側に人工欠陥を挿入し、梁フランジ溶接後スカラップ径 $r=13$ 部分を充填溶接したものである。人工欠陥は、高さ 10mm 幅 40mm とし、奥行きを開先に合わせたボリュームのフラックスを設置した。この両試験体はスカラップ径を小径とすることにより、鋼片の挿入はせずに溶接を充填した。なお、開先部の溶接と同種の溶接ワイヤを使用した。図 7 の S_ML_W 試験体は S_ML 試験体と同様に表層側に人工欠陥を挿入し、ミニスカラップ部を充填溶接後、シェアプレートに裏当て金とし、ウェブ部を立向きにて溶接接合したものである。S_ML_W 試験体はスカラップを充填溶接し、ウェブを連続的に溶接することで、ノンスカラップ形式としたものである。

2.3 溶接施工条件

溶接条件の設定値を表 3 に示す。また、柱梁溶接部における実施工時の溶接施工記録を表 4 に示す。柱梁溶接部の溶接施工条件を統一する観点から開先角度 35° 、ルート間隔 $7.0 \pm 0.1\text{mm}$ とした。溶接完了後の外観検査の評価については鉄骨精度測定指針：2014（建築学会）により行った。溶接技能者は現場溶接にも精通した AW 検定有資格者とした。溶接条件の設定に当たり、実際の工事現場溶接では工場溶接に比べ、作業環境や建方状況、人員等、様々な要因により溶接入熱量に大きなばらつきが予想される。そこで当該溶接施工条件の設定については、溶接入熱量を出来る限り高めに施工した。

3. まとめ

その 1 では、試験体パラメータ、梁端接合部のディテール、及び溶接施工方法を示した。

表 3 溶接条件設定値

溶接部	鋼種	規格	入熱量(kJ/cm)	パス間温度(°C)
柱(コラム)	SN490B	YGW18 1.2φ	≤30	≤250
梁	SN490B	YGW18 1.4φ	≤40	≤350
	SN490B	S502H	≤45	-
梁(ウェブ)立向	SN490B	T49JOT1-ICA-UH5 1.2φ	≤30	≤250

表 4 溶接施工記録

試験体名	平均入熱	最大入熱	積層法	パス間温度
S_S	26.6kJ/cm	36.3kJ/cm	8層12パス	348°C
S_SP40	26.9kJ/cm	37.9kJ/cm	8層12パス	346°C
S_SP55	26.3kJ/cm	39.2kJ/cm	8層12パス	350°C
S_MF	25.3kJ/cm	39.3kJ/cm	8層12パス	346°C
S_ML	25.5kJ/cm	43.6kJ/cm	8層12パス	349°C
S_ML_W	24.7kJ/cm	38.7kJ/cm	8層12パス	342°C

※表 4 に示すパス間温度は各試験体の 4 溶接線の最高温度を示す。

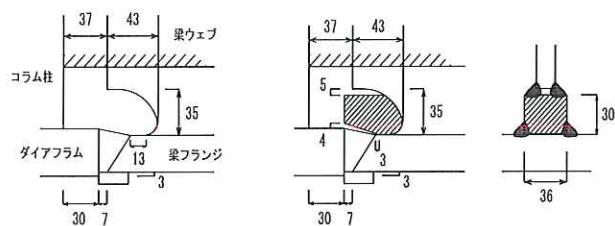


図 2 S_S 試験体詳細図

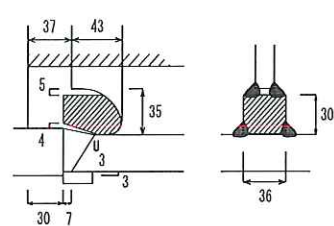


図 3 S_SP40 試験体詳細図

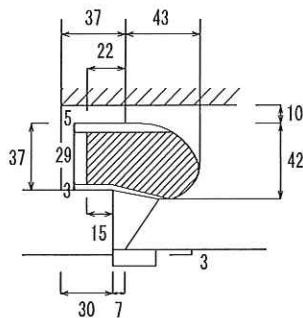


図 4 S_SP55 試験体詳細図

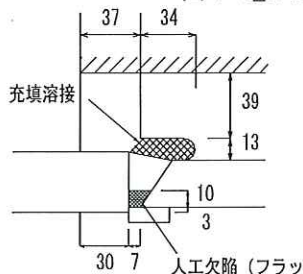
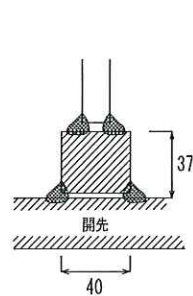


図 5 S_MF 試験体詳細図

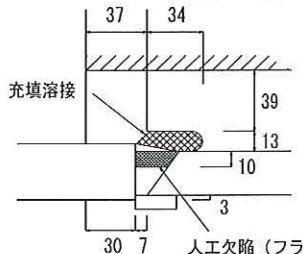
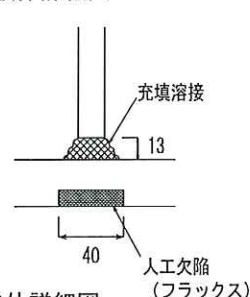


図 6 S_ML 試験体詳細図

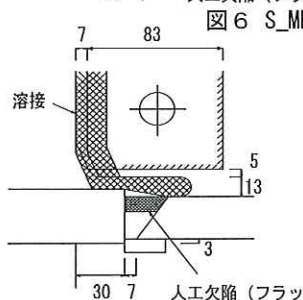
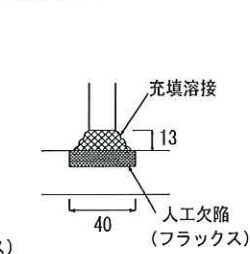
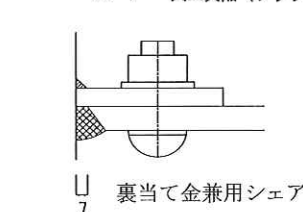
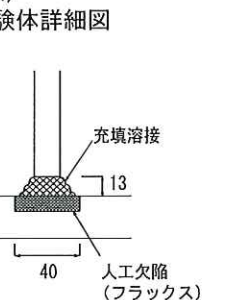


図 7 S_ML_W 試験体詳細図



裏当て金兼用シェアプレート溶接部

*1 永井製作所
*3 早稲田大学 教授(工博)
*5 大阪大学 准教授(工博)
*7 竹中工務店

*2 信州大学 名誉教授(工博)
*4 信州大学 教授(工博)
*6 ヤマネ鉄工建設
*8 日本設計 博士(工学)

*1 Nagai Steel Works Corp.
*3 Waseda Univ. Prof., Dr.Eng.
*5 Osaka Univ. Assoc.Prof., Dr.Eng.
*7 Takenaka Corp.

*2 Shinshu Univ. Prof.emeritus, Dr.Eng.
*4 Shinshu Univ. Prof., Dr.Eng.
*6 Yamane Corp.
*8 Nihon Sekkei Inc., Dr.Eng.

きな欠陥が入っているにも関わらず十分な変形性能をもつ結果になった。

3.2 耐力と変形性能

表 1 に実験結果一覧を示す。図 4 にスケルトン曲線算出方法を示す。繰返し曲げを受ける鋼部材の $P-\delta$ 曲線において、最大耐力を迎える以前の部分について、それまでに鋼部材が発揮した最大耐力を上回る負荷領域に相当するスケルトン曲線部分をつなぎ合わせた。本研究は、変形能力の指標としてスケルトン曲線から算出する累積塑性変形倍率 η_s 、耐力の指標として耐力上昇率 α を用いた。

累積塑性変形倍率 η_s に関して、S_SP40 試験体は S_S 試験体よりも低い値となった。S_SP55 試験体は最大荷重

911kN、累積塑性倍率 7.52 と十分な変形能力を示した。S_MF、S_ML 試験体は S_S 試験体と同等以上の値を示した。S_ML_W 試験体は 9.40 と十分な変形能力を示した。

4. まとめ

1. スカラップ部に鋼片を挿入しダイヤフラムまで隅肉溶接した S_SP55 試験体は、十分な変形能力を示した。
2. 溶接部の表層側に人工欠陥を入れミニスカラップ部を充填溶接しウェブを溶接接合した S_ML_W 試験体は今回もっとも耐力及び変形能力が高いものとなった。
3. 今回最も早く破断したものはスカラップ部に短い鋼片を挿入した S_SP40 試験体で、応力集中源があったため早期破断した。

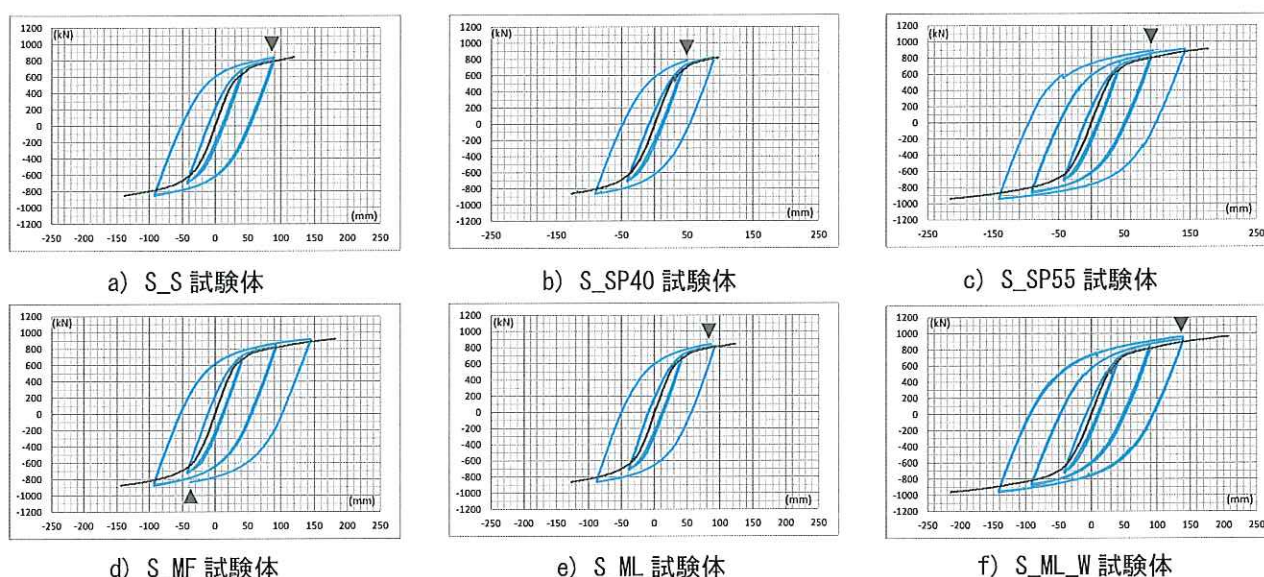


図 3 荷重 (kN) - 梁変位関係 (mm) 及びスケルトン曲

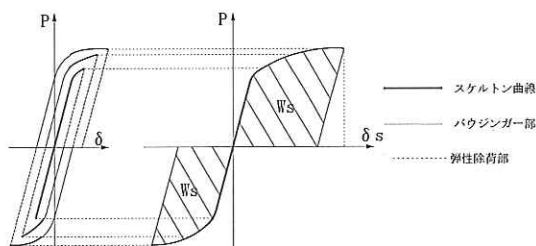


図 4 スケルトン曲線算出模

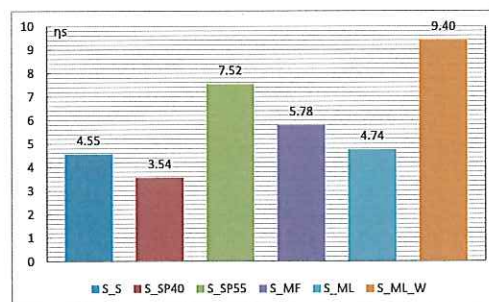


図 5 η_s 一覧

表 1 実験結果一覧

$I_c \delta_p = 25.92$

試験体名	加力方向	cP_{max} (kN)	$c\delta_{max}$ (mm)	W_s (kN*mm)	α	η_s	終局時期
S_S	+	843	90.2	76727.63	1.30	4.55	+65_1
	-	-851	-92.2	90080.62	1.31	5.34	
S_SP40	+	821	80.9	59623.98	1.26	3.54	+45_2
	-	-859	-90.2	82941.52	1.32	4.92	
S_SP55	+	911	142.6	126777.99	1.40	7.52	+65_2
	-	-937	-140.7	160878.07	1.44	9.54	
S_MF	+	921	144.4	134859.47	1.42	7.99	+65_1
	-	-875	-92.9	97451.41	1.34	5.78	
S_ML	+	844	91.9	79948.30	1.30	4.74	+45_2
	-	-861	-88.3	83846.84	1.32	4.97	
S_ML_W	+	960	139.7	158500.50	1.48	9.40	+85_1
	-	-959	-141.5	163807.40	1.47	9.71	

P : 全塑性耐力 (計算値) δ_p : 全塑性耐力時の変形量 (計算値)
 P_{max} : 最大荷重 (実験値) δ_{max} : 梁部材の最大変位 (実験値)
 δ_{max} : スケルトン曲線による最大変位
 W_s : スケルトン曲線による吸収エネルギー
 α : 耐力上昇率 ($= P_{max} / P$) η_s : 累積塑性変形倍率
 $(= W_s / (P \times \delta_p))$

*1 信州大学 大学院
 *3 早稲田大学 教授(工博)
 *5 大阪大学 准教授(工博)
 *7 ヤマネ鉄工建設

*2 信州大学 名誉教授(工博)
 *4 信州大学 教授(工博)
 *6 アークリエイト 博士(工学)
 *8 永井製作所 博士(工学)

*1 Shinshu Univ.
 *3 Waseda Univ. Prof., Dr.Eng.
 *5 Osaka Univ. Assoc.Prof., Dr.Eng.
 *7 Yamane Corp.

*2 Shinshu Univ. Prof.emeritus, Dr.Eng.
 *4 Shinshu Univ. Prof., Dr.Eng.
 *6 Arccreate Co., Dr.Eng.
 *8 Nagai Steel Works Corp., Dr.Eng.

現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕口ディテールに関する実験的研究

その3 破壊性状

正会員	○増田開*1	同	中込忠男*2
同	曾田五月也*3	同	金子洋文*4
同	堤成一郎*5	同	的場耕*6
同	嶋徹*7	同	鈴木励一*8

現場溶接接合方式 現場ノンスカラップ 破壊性状
塑性変形能力

1.はじめに

その3では、各試験体の破壊性状及び歪分布を述べる。

2. 破壊性状

図1に各試験体のフランジ破面写真を示し、写真中に赤丸で亀裂の起点を示す。破面観察よりS_S試験体ではスカラップ底から両端のエンドタブへ亀裂が進展している。S_SP40試験体では隅肉溶接のビード止端部からエンドタブへ亀裂が進展している。欠陥を設けたS_MF試験体及びS_ML試験体では両者とも欠陥のフランジ内部側から亀裂が発生している。また、S_MF試験体では上下のミニスカラップの埋戻し溶接とウェブの交差部にも亀裂が入っていた。S_SP55試験体及びS_ML_W試験体では両者とも柱に向かって右側のエンドタブから反対側のエンドタブへ亀裂が進展していた。

3. 歪分布

図2にフランジ外側及び内側のゲージ貼付位置を示す。図3にフランジ外側の幅方向歪分布、図4にフランジ外側の材軸方向歪分布を示す。また、図5にフランジ内側の48変形時の幅方向歪分布及び材軸方向歪分布を示す。以下、各試験体の歪分布について言及する。

・S_S (在来)

フランジ幅方向歪分ではフランジ外側で最大4[%]、フランジ内側で最大5.8[%]の歪が生じている。一方、材軸方向歪分布では、フランジ外側及び内側で、歪分布の勾配が他試験体よりきつくなっており歪集中が顕著になっていることが確認できる。従って、スカラップ底に過大な歪集中が生じ亀裂が発生し破壊に至ったと考えられる。

・S_SP40 (短鋼片挿入)

フランジ内側幅方向ではスカラップ底近傍の歪がS_S試験体よりも1.2[%]低減されている。また、フランジ外側及び内側の材軸方向で分布の勾配が緩やかで歪の分散が確認できる。図6の3軸ゲージ貼付位置で算出した最大主歪の推移(図7)では、最大1.2[%]の歪が発生している。これはS_S試験体ではスカラップの断面欠損のために応力が伝達されないのに対しS_SP40試験体では鋼片を挿入したことで応力の伝達がなされスカラップ底への歪集中が緩和されているためだと考えられる。以上よりスカラップ



a) S_S (在来型)



b) S_SP40 (短鋼片挿入)



c) S_SP55 (長鋼片挿入)



d) S_MF (ミニスカラップ/初層欠陥)

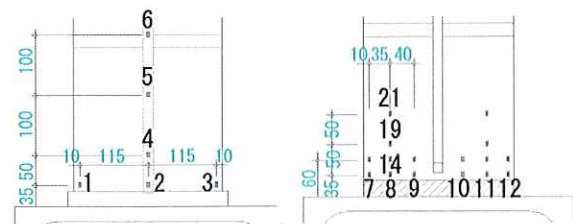


e) S_ML (ミニスカラップ/表層欠陥)



f) S_ML_W (ミニスカラップ/表層欠陥/ウェブ溶接)

図1 フランジ破面写真と亀裂発生箇所



a) フランジ外側面

b) フランジ内側面

図2 ゲージ貼付位置

底への歪集中は改善されたものの、隅肉ビード止端部に局部的に応力が集中したことで亀裂が発生し早期破断したと考えられる。

・S_SP55 (長鋼片挿入)

フランジ内側外側、幅方向材軸方向で S_SP40 試験体と比較してほぼ同様の歪分布となりスカラップ底への歪集中が緩和されていることが確認できる。主歪では最大 2.4[%]と S_SP40 試験体より大きい値の歪が発生しており、歪の分散も確認できる。以上よりスカラップ底からエンドタブへ破壊の起点が遷移したものと考えられる。また長鋼片としダイヤフラムまで隅肉ビードを伸ばしたことで S_SP40 試験体のような局所的な応力集中を避けることができ、ビード止端部からの早期破断を避けることができたと考えられる。

・S_MF (ミニスカラップ、初層側に欠陥)

フランジ内側幅方向のスカラップ近傍で S_S 試験体から 1.5[%]の歪が低減されており、スカラップ底への歪集中が緩和されている。これにより、欠陥が起点となり破壊に至ったものの S_S 試験体と比較して変形性能が向上した。

・S_ML (ミニスカラップ、表層側に欠陥)

フランジ内側幅方向スカラップ底近傍で S_S 試験体から 2[%]の歪を低減したものの、その他のゲージ貼付位置及びフランジ外側幅方向スカラップ近傍で S_S 試験体と比較して過大な歪が生じている。これにより欠陥を起点とし早期破断を引き起こしたと考えられる。また、表層に欠陥が生じることで歪集中がより顕著なものになると考えられる。

・S_ML_W (ミニスカラップ表層に欠陥、ウェブ溶接)

フランジ外側幅方向歪分布では最大で 1.8[%]と S_S 試験体と比較して、スカラップ底の歪が低減されている。従ってスカラップ底よりもエンドタブの歪が大きくなり破壊の起点もエンドタブへ遷移したと考えられる。また、欠陥挿入による歪集中の影響も見られなかった。

4. まとめ

1. 鋼片を挿入するディテールとすることで在来型の S_S 試験体と比較してスカラップ底の歪集中が緩和された。短鋼片を挿入した S_SP40 試験体では局所的な応力により止端部から早期破断したのに対し、長鋼片を挿入した S_SP55 試験体では隅肉ビードをダイヤフラムまで伸ばしたことで止端部からの破壊を防ぎ、エンドタブからの破壊に移行した。
2. 表層に欠陥を設けウェブを溶接とした S_ML_W 試験体では S_S 試験体と比較してスカラップ底の歪が低減された。また欠陥挿入によるスカラップ底近傍への歪集中も見られず、エンドタブより破壊に至った。

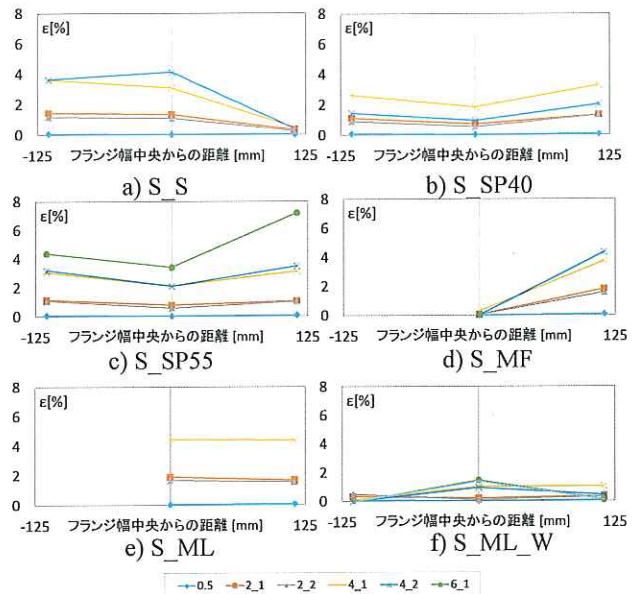


図3 フランジ外側幅方向歪分布 gauge1,2,3

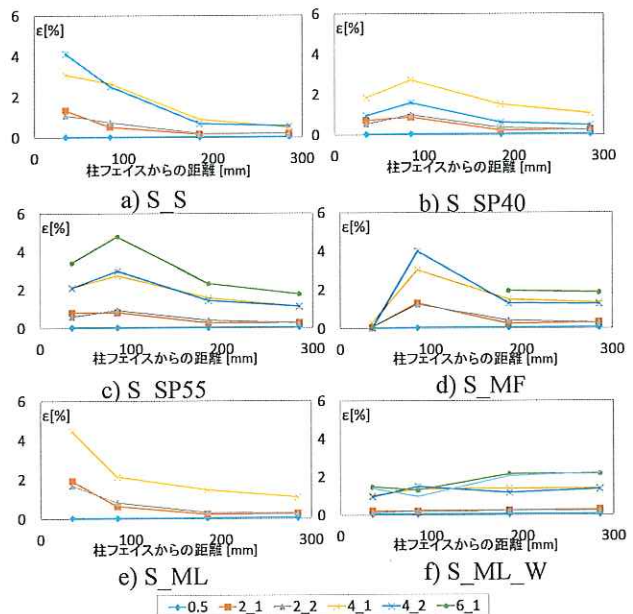


図4 フランジ外側材軸方向歪分布 Gauge2,4,5,6

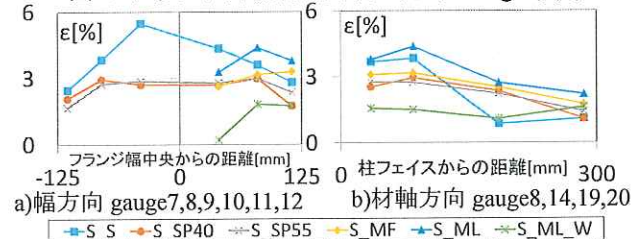


図5 フランジ内側 4δ 変形時歪分布

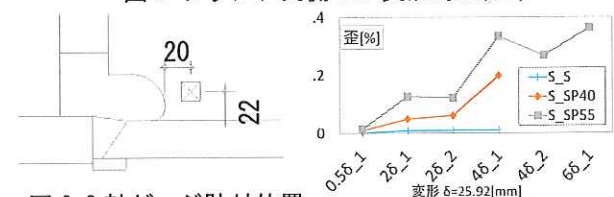


図6 3軸ゲージ貼付位置

図7 主歪推移

*1 早稲田大学 大学院
*2 信州大学 名誉教授(工博)
*3 早稲田大学 教授(工博)
*4 信州大学 教授(工博)
*5 大阪大学 准教授(工博)
*6 角藤 博士(工学)
*7 戸田建設 博士(工学)
*8 神戸製鋼 博士(工学)

*1 Waseda Univ.
*2 Shinshu Univ.Prof.emeritus,Dr.Eng.
*3 Waseda Univ.Prof.,Dr.Eng.
*4 Shinshu Univ.Prof.,Dr.Eng.
*5 Osaka Univ. Assoc.Prof.,Dr.Eng.
*6 Kakuto Corp.,Dr.Eng.
*7 Toda Corp.,Dr.Eng.
*8 Kobe steel, Ltd.,Dr.Eng.

表 3 シャルピー衝撃試験結果

試験体採取位置		$vT_e(^{\circ}C)$	$vT_s(^{\circ}C)$	$vE_0(J)$	$vE_{char}(J)$	$vB_0(\%)$
ダイヤフラム	母材	-27.5	-21.4	234	299	12.4
	HAZ	-93.3	-92.0	279	279	0
RH梁	フランジ母材	-7.0	-0.7	139	233	47.7
	フランジHAZ	-38.9	-35.3	278	292	2.1
	フィレット(0mm)	-0.8	5.4	119	249	57.8
	フィレット(5mm)	-0.9	7.1	98	228	62.1
	フィレット(13mm)	30.5	34.9	16	175	98.2
	溶接金属	-47.6	-31.2	181	199	10.8

vT_e : エネルギー遷移温度 vT_s : 破面遷移温度 vE_0 : 0℃吸収エネルギー

vE_{char} : 上部棚吸収エネルギー vB_0 : 0℃脆性破面率

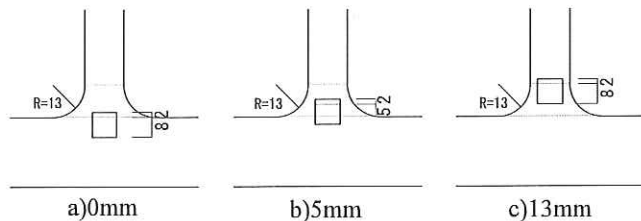


図 3 シャルピー試験片フィレット部採取位置

2.2 接合部ディテール

RS 試験体、RS_W 試験体は図 4、図 5 に示すような複合円型のスカラップとし、RS_W 試験体はシアプレート（シエ）を裏当て金とし、ウェブを溶接接合した。図 6 の RS_P80 試験体、図 7 の RS_P80_W 試験体は梁フランジ溶接後にスカラップ部に鋼片を挿入し、隅肉溶接を柱部まで施した。RS_P80 試験体はスカラップ部に鋼片を挿入することにより地震時等に破壊の起点となりうるスカラップ底の応力集中を緩和することを目的としたものである。さらに RS_P80_W 試験体は、RS_W 試験体と同様にウェブを溶接接合とすることで擬似的なノンスカラップとした。図 8 の RS_F5 試験体、図 9 の RS_F13 試験体は RS 試験体と同様のスカラップ形状を使用している。従来、ウェブにスカラップを設ける際にフィレット部を残さないように削り取るのが一般的である。本試験ではスカラップによる応力集中を緩和させるためフィレット部をそれぞれ 5mm と 13mm 残してスカラップを設けた。RS_F13 は、フィレット部を残すことによって生じる開先も溶接し、溶接止端部の応力集中を軽減する形状とした。

2.3 溶接施工条件

柱梁溶接部における実施工時の溶接施工記録を表 4 に示す。柱梁溶接部の溶接施工条件を統一する観点から開先角度 35° のレ形開先、ルート間隔 7.0±0.1mm とした。

3. まとめ

その 4 では、試験体パラメータ、梁端接合部のディテール、及び溶接施工方法を示した。

参考文献: 1) 現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕口ディテールに

関する実験的研究 その 1~3, 日本建築学会大会 2015. 9

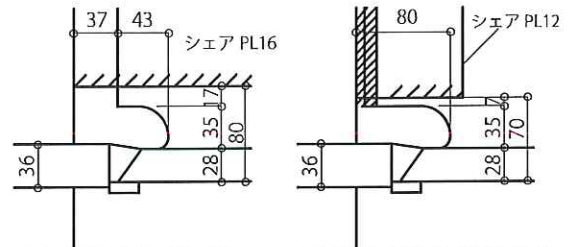


図 4 RS 試験体詳細図

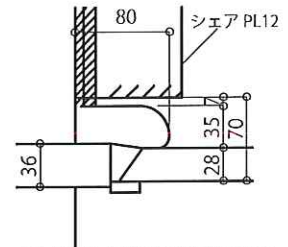


図 5 RS_W 試験体詳細図

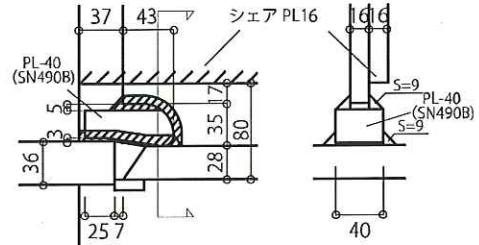


図 6 RS_P80 試験体詳細図

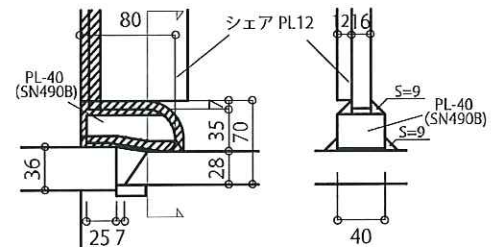


図 7 RS_P80_W 試験体詳細図

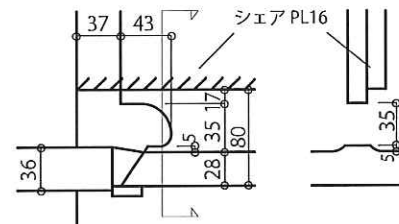


図 8 RS_F5 試験体詳細図

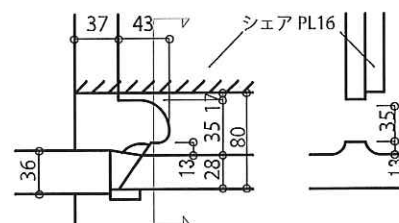


図 9 RS_F13 試験体詳細図

表 4 溶接施工記録

試験体名	平均入熱 [kJ/cm]	最大入熱 [kJ/cm]	積層法 上フランジ	積層法 下フランジ	パス間温度 [℃]
RS	23.6	34.6	8層13パス	8層13パス	345
RS_W	24.5	42.7	7層11パス	7層11パス	349
RS_P80	25.2	41.9	8層13パス	8層13パス	346
RS_P80_W	23.7	43	8層13パス	8層13パス	344
RS_F5	23	39.6	8層13パス	8層13パス	348
RS_F13	24.5	41	8層13パス	8層13パス	345

※表 4 に示すパス間温度は各試験体の 4 溶接線の最高温度を示す。

- *1 角藤 博士(工学)
- *2 信州大学 名誉教授(工博)
- *3 早稲田大学 教授(工博)
- *4 信州大学 教授(工博)
- *5 大阪大学 准教授(博士(工学))
- *6 元信州大学 大学院
- *7 元早稲田大学 大学院
- *8 日本設計 博士(工学)
- *9 永井製作所 博士(工学)
- *10 アクトエーションハート 博士(工学)

- *1 Kakuto Corp., Dr.Eng.
- *2 Shinshu Univ. Prof.emeritus, Dr.Eng.
- *3 Waseda Univ. Prof., Dr.Eng.
- *4 Shinshu Univ. Prof., Dr.Eng.
- *5 Osaka Univ. Assoc.Prof., Dr.Eng.
- *6 Shinshu Univ.
- *7 Waseda Univ.
- *8 Nihon Sekkei Inc., Dr.Eng.
- *9 Nagai Steel Works Corp., Dr.Eng.
- *10 Action Creation Heart Corp. Dr.Eng.

現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕口ディテールに関する実験的研究

その5 ロール H の変形性能

正会員	○巻島淳*1	同	中込忠男*2
同	曾田五月也*3	同	金子洋文*4
同	堤成一郎*5	同	増田開*6
同	藤田哲也*7	同	的場耕*8

現場溶接接合形式 現場ノンスカラップ 最大耐力
塑性変形能力

1. はじめに

その5では、各試験体の実験結果を述べる。

2. 荷重方法

荷重は図1のように柱両端をピン支持とし、梁自由端にピン支持でアクチュエータを取り付け、荷重速度 0.2mm/sec で荷重を行った。荷重振幅は図2に示すように、スカラップのウェブ断面欠損を無視した梁端部の全塑性モーメント時の弾性変形量 ϵ_p を基準に $0.5\epsilon_p$ を1サイクル、それ以外各振幅2サイクルずつ $8\epsilon_p$ まで正負に繰り返し荷重した後、それ以降は図1に示す+側方向に試験機のストローク限界まで荷重とした。アクチュエータの変形量からパネルゾーンの変形量を差し引いたものを梁端変位とした。試験体設定温度を-10℃に設定した。図1の斜線部に示す、柱表面から梁長手方向に800mmまでの部分と柱の1/2までのパネルゾーンを-10℃に冷却し30分保持した後荷重を行い、荷重中も設定温度を保持した。

3. 実験結果

3.1 荷重—変位関係

図3に各試験体の荷重—梁変位関係を示す。破断のような大きな音を伴い、荷重が1割低下した場合をポップインと定義し、荷重中にポップインが生じた場合は、実際の地震動であると破壊の恐れがあるため、その時点を経合部の性能として評価するが、接合部が破断するまで図2の繰り返し荷重を行った。図3の▼は破断点及びポップインを示す。ポップイン後の荷重については点線で、荷重低下を▽で示す。

・RS (在来)

$4\epsilon_p$ 回目+方向荷重中、ポップインが生じ荷重が約1割低下した。さらに荷重し、 $8\epsilon_p$ の1回目+方向荷重時、前サイクルの荷重を更新後、上フランジが破断した。

・RS_W (在来ウェブ溶接)

$4\epsilon_p$ 回目+方向荷重中、ポップインが生じ荷重が約1割低下した。さらに荷重し、 $6\epsilon_p$ 回目-方向荷重時前サイクルの荷重を更新後、下フランジが破断した。

・RS P80 (鋼片挿入)

$6\epsilon_p$ 回目+方向荷重時に前サイクルのピーク荷重に達する前に上フランジが破断した。

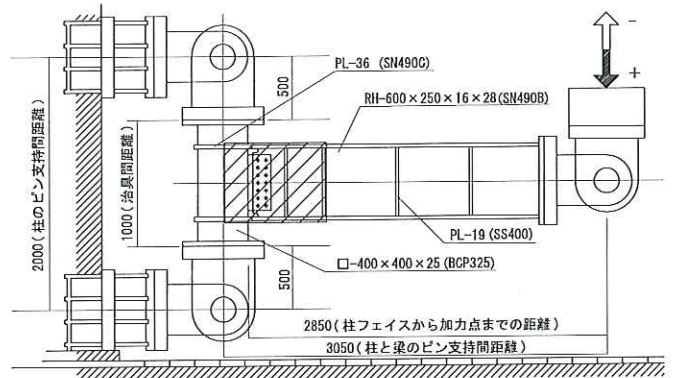


図1 試験体設置状況

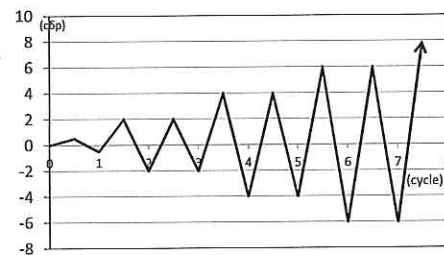


図2 荷重振幅

・RS P80 W (鋼片挿入ウェブ溶接)

RS、RS_Wと同様に $4\epsilon_p$ 回目+方向荷重時にポップインが生じ荷重が約1割低下した。さらに荷重し、 $8\epsilon_p$ 回目+方向荷重時、前サイクルの荷重を更新する前に上フランジが破断した。

・RS F5 (フィレット残し 5mm)

$6\epsilon_p$ 回目+方向荷重時に前サイクルと同様の変位で上フランジが破断した。

・RS F13 (フィレット残し 13mm)

$6\epsilon_p$ 回目-方向荷重時に前サイクルのピークを超える前に下フランジが破断した。

3.2 耐力と変形性能

表1に実験結果一覧を示す。図4にスケルトン曲線算出方法を示す。本研究は、変形能力の指標としてスケルトン曲線から算出する累積塑性変形倍率 η_s 、耐力の指標

として耐力上昇率 α を用いた。

図 5 にそれぞれの試験体の破断側の累積塑性変形倍率 η_s を示す。ポップインが起きた試験体については、フランジ破断時の η_s についても示す。ポップインが起きた RS、RS_W、RS_P80_W 試験体は、 η_s が 2 前後と低い値となった。RS_P80 試験体は最大荷重 930kN、累積塑性変形倍率 7.1 と十分な変形能力を示した。また、フィレットを残した RS_F5、RS_F13 試験体は、累積塑性変形倍率 7.8 及び 7.7 と高い変形能力を示した。

4. まとめ

1. ポップインが起きた試験体は、実際の地震動であるところで壊れる恐れがあるため、その時点で壊れたものとみなした。
2. フィレット部を残した RS_F5、RS_F13 試験体は、両試験体とも高い変形能力を示した。
3. 鋼片を挿入し柱まで隅肉溶接を施した RS_P80 試験体は、耐力がもっとも高く、累積塑性変形倍率は 7.1 と十分な変形能力を示した。

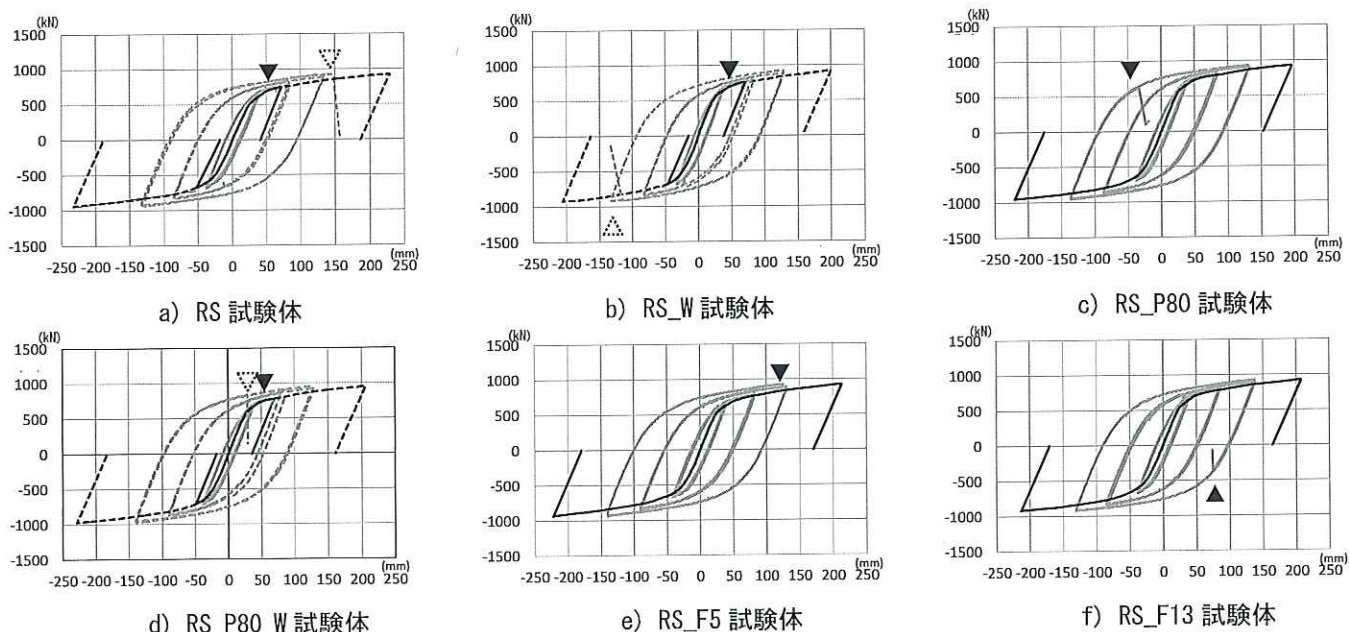


図 3 荷重-梁変位関係及びスケルトン曲線

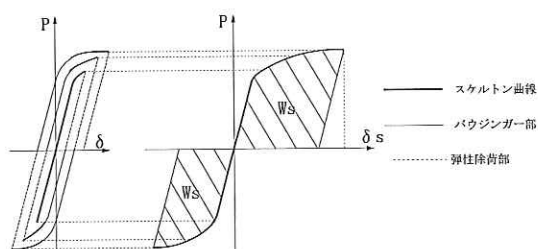


図 4 スケルトン曲線算出模式図

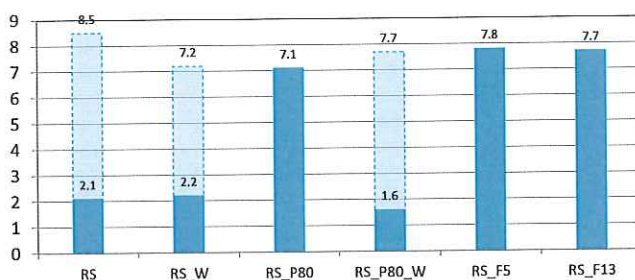


図 5 η_s 一覧

表 1 実験結果一覧

試験体名	加力方向	ePmax (kN)	eδ max (mm)	δ smax (mm)	Ws (kN・mm)	α	η s	終局時期
RS	+	749	63.1	72.4	37720	1.08	1.5	4.1
	-	676	37.9	52.7	23426	0.97	0.7	
RS_W	+	764	63.8	70.9	38780	1.10	1.5	4.1
	-	680	32.8	46.9	20705	0.98	0.6	
RS_P80	+	930	131.0	196.3	147417	1.34	7.1	6.2
	-	949	135.3	220.4	168282	1.37	8.3	
RS_P80_W	+	780	128.4	205.8	158089	1.12	1.4	4.1
	-	713	138	228.4	179464	1.02	0.6	
RS_F5	+	922	130.9	213.5	157999	1.33	7.8	6.2
	-	931	139.8	222.9	163762	1.34	8.1	
RS_F13	+	924	138.5	207.6	154529	1.33	7.6	6.2
	-	918	131.0	213.5	156628	1.32	7.7	

P_c : 全塑性耐力 (計算値) δ_p : 全塑性耐力時の変形量 (計算値)
 $P_{c \max}$: 最大荷重 (実験値) $\delta_{c \max}$: 梁部材の最大変位 (実験値)
 $\delta_{c \max}$: スケルトン曲線による最大変位
 W_s : スケルトン曲線による吸収エネルギー
 α : 耐力上昇率 ($=P_{c \max} / P_c$) η_s : 累積塑性変形倍率
 $(=W_s / (P_c \times \delta_p))$

*1 元信州大学 大学院
 *3 早稲田大学 教授(工博)
 *5 大阪大学 准教授(博士(工学))
 *7 日本設計 博士(工学)

*2 信州大学 名誉教授(工博)
 *4 信州大学 教授(工博)
 *6 元早稲田大学 大学院
 *8 角藤 博士(工学)

*1 Shinshu Univ.
 *3 Waseda Univ. Prof., Dr.Eng.
 *5 Osaka Univ. Assoc.Prof., Dr.Eng.
 *7 Nihon Sekkei Inc., Dr.Eng.

*2 Shinshu Univ. Prof.emeritus, Dr.Eng.
 *4 Shinshu Univ. Prof., Dr.Eng.
 *6 Waseda Univ.
 *8 Kakuto Corp., Dr.Eng.

現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕口ディテールに関する実験的研究

その 6 ロール H の破壊性状及び歪分布

正会員	○増田開 ^{*1}	同	中込忠男 ^{*2}
同	曾田五月也 ^{*3}	同	金子洋文 ^{*4}
同	堤成一郎 ^{*5}	同	巻島淳 ^{*6}
同	藤田哲也 ^{*7}	同	的場耕 ^{*8}
同	西沢淳 ^{*8}		

現場ノンスカラップ 破壊性状 歪分布
脆性破壊

1.はじめに

その 6 では各試験体の破壊性状、歪分布に関して述べる。

2. 破壊性状

写真 1~3 に、ポップインが生じた RS、RS_W、RS_P80_W 試験体の柱とウェブ接合部の破壊性状の写真を示し、写真中に丸印で亀裂の起点を示す。それぞれの破面を観察すると赤丸部分を起点とした脆性破面が確認され、ポップインが生じたことが推定される。また载荷中、大きな音がした後に当該試験体全てで面外変形が生じた。

図 1 に全試験体のフランジ全断面破断時の破壊性状を示す。図には破壊の進展経路(破線:延性破壊、実線:脆性破壊)を示し、加えて、破面の亀裂スケッチを示す。RS、RS_W 両試験体では柱-ウェブ接合部のポップイン後、梁幅方向で偏心が生じ、図 1(a)(b)破面スケッチのように片一方のエンドタブ側熱影響部に 10[mm]程度の広範囲な延性亀裂が生じたものと考えられる。終局では RS 試験体で延性亀裂部及びスカラップ底から、RS_W 試験体で延性亀裂部から、それぞれフランジ全断面破断に至った。RS_P80 試験体ではフィレット表面とウェブの交点付近(以降 K ゾーンと呼称)を起点とし、脆性破壊した。破壊の進展経路として、まず鋼片とウェブの隅肉溶接部が図 1(c)図中破線のように延性亀裂が進展し、フィレット部まで到達、次にせん断による延性亀裂が 10[mm]程度進展した後、フランジ全断面破断に至った。RS_P80_W 試験体では、ポップイン後、RS_P80 試験体と同様の破壊性状となった。RS_F5 試験体では亀裂の起点はエンドタブであった。载荷中、スカラップ底からウェブに約 45[mm]程度のせん断による延性亀裂が進展していた(図 7)。スカラップを 5[mm]移動したことで、亀裂がフランジよりもウェブへ進展しやすくなったものと考えられる。RS_F13 試験体では亀裂の起点はせん断による延性亀裂(図 1(f)図中破線)の先端であった。RS_F5 試験体と比較して起点がウェブ側であったことを踏まえると、スカラップ底が K ゾーンと重なる位置にある場合、亀裂ウェブに逃げずに、フランジに進展しフランジ全断面破断に至る可能性がある。



a) 破壊性状 b) シア PL 側破面 c) 柱側破面
写真 1 RS 試験体の柱-シア PL 接合部の破壊性状



a) 破壊性状 b) ウェブ側破面 c) 柱側破面
写真 2 RS_W 試験体の柱-ウェブ接合部の破壊性状



a) 破壊性状 b) web 側破面 c) 柱側破面
写真 3 RS_P80_W 試験体の柱-ウェブ接合部の破壊性状

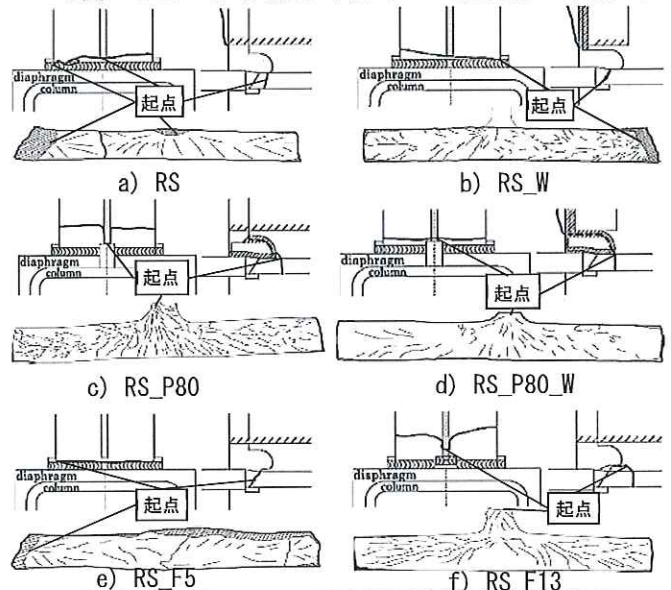


図 1 各試験体のフランジ全断面破断時の破壊性状

Experimental Study on Beam-End Joint Details of Welded Beam-To-Column Joints on Site

MASUDA Kai, NAKAGOMI Tadao, SODA Satsuya,
KANEKO Hirofumi, TSUTSUMI Seiichiro, MAKISIMA Jun,
FUJITA Tetsuya, MATOBA Ko, NISIZAWA Jun,

3. 歪分布

3.1. ボルト接合形式と溶接接合形式の比較

図 2 にフランジ外側及び内側のゲージ貼付位置を示す。図 3(a)の RS、RS_W 試験体の幅方向歪分布の比較を見ると、フランジの外側内側によらずウェブを溶接接合とした RS_W 試験体の方が分布全体で歪が小さくなっている。図 3(b)の材軸方向では柱フェイスから 180[mm]までの範囲でその傾向が確認できる。これらの結果からウェブを溶接接合とした場合にはフランジの曲げ応力の負担率が低くなるのではないかと考えられる。

3.2. 鋼片挿入ディテールの歪性状

図 4(a)(c)分布全体及び図 4(e)柱フェイスから 180[mm]までの範囲では在来ディテールと比較し歪値が低減されていることが分かる。また、図 5 をみるとゲージ 9,11 ともに、在来ディテールと比較し荷重に対して歪が生じにくくなっていることが分かる。各試験体の主歪を比較すると、鋼片が応力を伝達していることが確認できた(図 8)。

3.3. フィレット残しディテールの歪性状

図 4(b)(d)(f)の歪分布を見ると、RS_F5、RS_F13 試験体は在来ディテールの RS 試験体と同様の分布及び歪値であった。また、図 5 の荷重歪関係でも RS 試験体と同様の歪推移であった。従って、フィレット残しディテールとすることで歪性状に与える影響は少ないと考えられる。一方、ウェブに逃げた延性亀裂(図 7)によって、ウェブに歪が生じ(図 8、RS_F5 試験体)、スカラップ底の応力集中が緩和され、そこを起点とした破断を回避したと考えられる。

4. まとめ

ウェブ溶接接合形式は、高力ボルト摩擦接合形式よりもフランジの曲げ応力負担率が小さいと考えられる。鋼片挿入ディテールでは、スカラップ底歪値の低減効果によりスカラップ底からのフランジ破断を防いだ。フィレット残しディテールでは歪性状に影響は見られないものの、スカラップを 5[mm]移動することでスカラップ底からの亀裂がウェブに逃げ、スカラップを起点としたフランジ全断面破断を防いだ。

〔謝辞〕日本鉄鋼連盟のご助力により実験を実施しました。ここに記して感謝の意を表します。

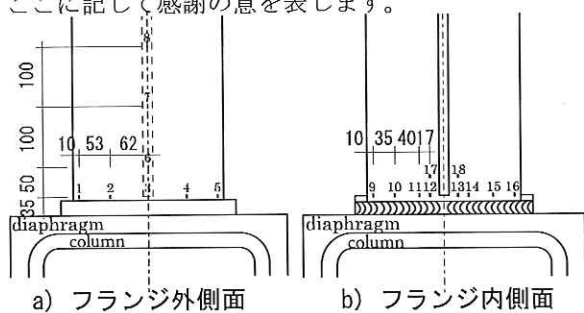


図 2 ゲージ貼付位置

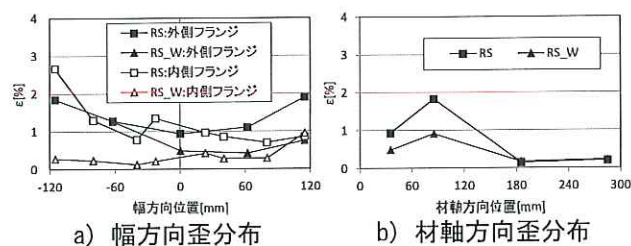


図 3 ウェブ接合形式の違いによる歪分布比較 ($2. \delta_p$)

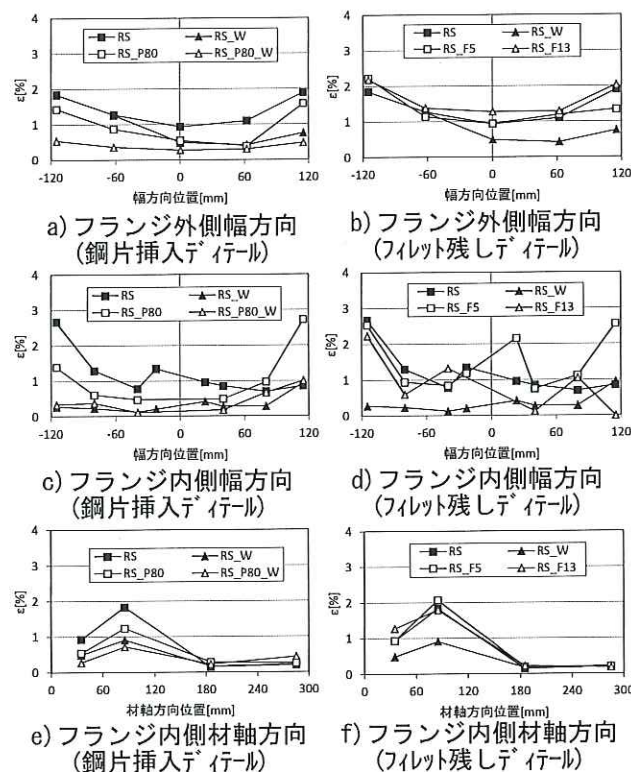


図 4 ディテールによる歪分布比較 ($2. \delta_p$)

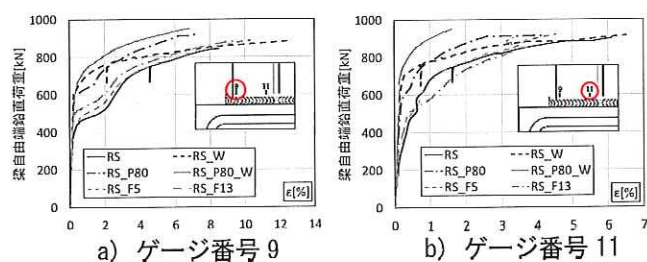


図 5 各試験体の荷重歪関係比較

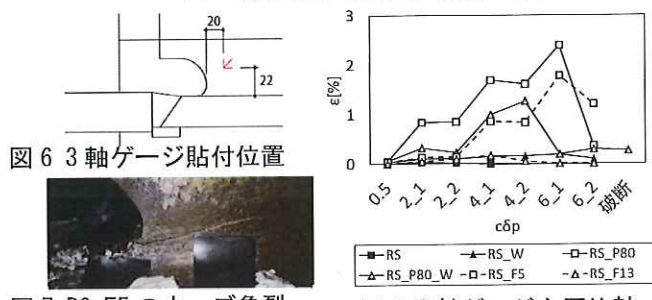


図 6 3 軸ゲージ貼付位置

図 7 RS_F5 のウェブ亀裂

図 8 3 軸ゲージ主歪比較

*1 元早稲田大学 大学院
*3 早稲田大学 教授(工博)
*5 大阪大学 准教授(工博)
*7 日本設計 博士(工学)

*2 信州大学 名誉教授(工博)
*4 信州大学 教授(工博)
*6 元信州大学 大学院
*8 角藤 博士(工学)

*1 Waseda Univ.
*3 Waseda Univ. Prof., Dr. Eng.
*5 Osaka Univ. Assoc. Prof., Dr. Eng.
*7 Nihon Sekkei Inc., Dr. Eng.

*2 Shinshu Univ. Prof. emeritus, Dr. Eng.
*4 Shinshu Univ. Prof., Dr. Eng.
*6 Shinshu Univ.
*8 Kakuto Corp., Dr. Eng.