

## 5. 実構造物の溶接止端形状計測

### 5. 1 溶接止端形状採取時の諸条件

溶接止端形状の採取にあたっては、溶接法、溶接姿勢および溶接ビード線形といった実態調査における着目点の他に、溶接止端形状採取箇所に関する情報を得るための諸条件を設定し、データシートに記入した。溶接止端形状採取時の諸条件を表-5.1 に、データシートを図-5.1 に示す。

表-5.1 溶接止端形状採取時の諸条件

	条 件	種 別
1	溶接方法	半自動溶接, 自動溶接 (ガスシールド, サブマージ), 手溶接
2	溶接姿勢	下向, 立向, 上向, 横向 (すみ肉溶接の水平含む)
3	溶接ビード線形	一般部, 廻し溶接部, 突合せ溶接部
4	溶接部位	腹板-フランジ, 腹板-補剛材, 他
5	溶接条件	予熱の有無, 溶接電流, 溶接電圧, 溶接速度
6	板厚・規格	溶接構造用圧延鋼材, 溶接構造用耐候性圧延鋼材
7	溶接機材	溶接機器名称, 型番
8	溶接材料	溶接ワイヤ, シールドガス, フラックス, 裏当材, 他
9	溶接サイズ・積層	脚長, ビード幅, 積層数
10	採取箇所写真	採取箇所ビード近接写真

なお、溶接止端形状採取時の諸条件のデータシートへの記録は、できる限り多くの条件項目について調査し、記載すること目標とした。実際に作成したデータシートを付録 A に示す。

## 溶接ビード形状計測記録表

					整理No.	
1. 基本事項					記録年月日	
計測場所	工場内	工場屋外	現場	その他 ( )		
橋梁形式	例) 3径間連続非合成鋼桁(少数主桁)					
計測箇所	例) 下フランジと腹板の首(すみ肉)溶接					
溶接方法	半自動	自動(Co2)	自動(フ <sup>レ</sup> マ <sup>シ</sup> )	手溶接		
溶接姿勢	下向き	横向き(水平)	立向き	上向き		
ビード線形	一般部	廻し溶接部	突合せ溶接部	その他 ( )		
材 質	例) 下フランジ(SM490YB、32mm)+腹板(SM490YA、14mm)					
溶 接 機	機械名、形番等記入					
溶接材料	銘柄、ワイヤ径:				材料メーカー:	
シールドガス	Co2	Co2+Ar		ガス流量:		
フラックス	銘柄:				材料メーカー:	
裏 当 材	銘柄:				材料メーカー:	

### 2. 溶接条件

部 位	積層、パス	予熱温度 (°C)	電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)
下フランジ+腹板	1	無し	社内標準等、解れば記入		

### 3. 溶接外観

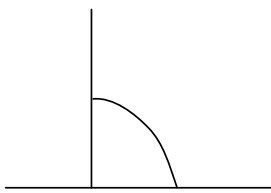
溶接サイズ、積層状況	計測部位写真
 <ul style="list-style-type: none"> <li>・すみ肉一般部: 脚長等記入</li> <li>・廻し溶接: 廻し部脚長等記入(大凡で可)</li> <li>・突合せ: ビード幅、余盛高さ等記入</li> </ul>	<p>デジカメ撮影写真を貼付け</p>

図-5.1 データシート

## 5. 2 溶接止端形状の採取箇所

### (1) 溶接止端形状の採取箇所一覧

溶接止端形状の採取は、部会員所属会社の工場内にある実橋梁部材から行い、計 19 サンプルを採取した。この他に、架設中の橋梁の現場継手部から 1 サンプルを採取した。さらに、東日本旅客鉄道(株)に協力いただき、既設鉄道橋の溶接部からも 4 サンプルを採取した。採取を行った 1965 年に架設されたトラス橋であり、縦桁の下フランジウェブの溶接部および垂直補剛材の溶接部から、塗膜を除去したのち、サンプルを採取した。さらに、桁端に補強板が設けられており、その溶接形状が他の部位とは明らかに異なっていたことから、この付加板は供用後に現場にて溶接されたものと推定し、そこからもサンプルを採取した。採取箇所一覧表を表-5.2 に示す。

表-5.2 溶接止端形状の採取一覧表

整理№	溶接場所	溶接方法	溶接姿勢	ビード線形	備考
整理№ 1	工場	自動(SAW)	下向き	すみ肉 (直線)	
整理№ 2	工場	自動(SAW)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 3	工場	自動(SAW)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 4	工場	自動(SAW)	下向き	突合せ (直線)	
整理№ 5	工場	自動(CO2)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 6	工場	自動(CO2)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 7	工場	自動(CO2)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 8	工場	自動(CO2)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 9	工場	自動(CO2)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 10	工場	自動(CO2)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 11	工場	自動(CO2)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 12	工場	半自動(CO2)	水平	すみ肉 (直線)	
整理№ 13	工場	半自動(CO2)	立向き	すみ肉 (直線)	
整理№ 14	工場	自動(CO2)	水平	廻し溶接	
整理№ 15	工場	自動(CO2)	水平	廻し溶接	
整理№ 16	工場	半自動(CO2)	水平	廻し溶接	
整理№ 17	工場	半自動(CO2)	水平	廻し溶接	
整理№ 18	工場	半自動(CO2)	水平	廻し溶接	
整理№ 19	工場	半自動(CO2)	水平	廻し溶接	
整理№ 20	工場(*)	手溶接(*)	水平(*)	すみ肉 (直線)	既設桁
整理№ 21	工場(*)	手溶接(*)	水平(*)	すみ肉 (直線)	既設桁
整理№ 22	現場	半自動(CO2)	立向き	突合せ (直線)	
整理№ 23	現場(*)	手溶接(*)	水平(*)	すみ肉 (直線)	既設桁
整理№ 24	現場(*)	手溶接(*)	立向き(*)	すみ肉 (直線)	既設桁

\*は推定

(2) 溶接止端形状の採取箇所写真

溶接止端形状の採取箇所の溶接ビード近接写真を表-5.3～表-5.5 に示す。

表-5.3 溶接止端形状の採取箇所写真（その1）

整理№1	整理№2
	
整理№3	整理№4
	
整理№5	整理№6
	
整理№7	整理№8
	

表-5.3 溶接止端形状の採取箇所写真（その2）

















<p>整理№9</p>	<p>整理№10</p>
	
<p>整理№11</p>	<p>整理№12</p>
	
<p>整理№13</p>	<p>整理№14</p>
	
<p>整理№15</p>	<p>整理№16</p>
	

表-5.3 溶接止端形状の採取箇所写真（その3）

<p>整理№17</p>	<p>整理№18</p>
	
<p>整理№19</p>	<p>整理№20</p>
	
<p>整理№21</p>	<p>整理№22</p>
	
<p>整理№23</p>	<p>整理№24</p>
	

### (3) 溶接止端形状の採取時の留意点

下向以外の溶接姿勢では重力の影響を受け、熔融金属の垂れ下がりが生じる。特にすみ肉溶接においては、溶接ビードの上側止端と下側止端では、溶接止端半径  $\rho$  と止端角  $\theta$  の計測結果に違いが見られると考え、溶接止端形状の採取箇所について、上側止端と下側止端の特定に留意した。

例えば、プレートガーター橋の主桁腹板と下フランジの首溶接部（すみ肉溶接）について、完成時には下フランジ側の溶接止端が下側止端となっている。しかしながら、工場製作時には、施工性や作業効率を重視して、主桁を90度倒したり、45度に傾斜させた溶接姿勢により、完成時とは異なる溶接止端の上下関係となる場合が多い。これは、主桁腹板と水平補剛材の溶接にも言えることである。プレートガーター橋の主桁腹板と下フランジの首溶接時における、溶接姿勢の一例を写真5.1に示す。これら溶接時の傾斜角度（90度または45度）は、製作工場が保有する溶接機器の種類に依るものがほとんどで、他に、主桁の部材寸法や溶接脚長サイズによる溶接機器の使い分けや、溶接機器の稼働状況による使い分けもあり、多種多様となっている。従って、工場溶接部の溶接止端形状のレプリカ採取にあたり、製作管理者や溶接作業員へのヒアリングを交えながら、すみ肉溶接の上側止端と下側止端の特定を行った。



(a)90度横倒し姿勢







(b)45度傾斜姿勢

写真-5.1 プレートガーター橋の主桁首溶接時の溶接姿勢例

一方、既設橋の溶接部については、当然のことながら実際の溶接状況の確認ができない。従って、今日の工場製作方法と照らし合わせることで、塗装ケレン後の溶接ビード外観を注意深く観察することにより、すみ肉溶接の上側止端と下側止端の特定を行った。

今回レプリカを採取した溶接止端部のうち、すみ肉溶接の上側止端と下側止端の特定に際して、特に留意を要した箇所を表-5.7に示す。

表-5.4 上下止端の特定の際に留意を要した箇所一覧

<p><u>整理№3</u> について</p> <p>写真では桁を立てているため、FLG 面が下側であるが、溶接時は 90 度倒して SAW を行っているため、FLG 側＝すみ肉溶接止端の上側としている。</p>	
<p><u>整理№20</u> について</p> <p>垂直補剛材側はリベットがあるため、腹板側のみサンプル採取および計測としている。腹板側を下側にしての溶接が想定されるため、腹板側＝すみ肉溶接止端の下側としている。円形状の跡は、回転ケレンツールの跡である。</p>	
<p><u>整理№21</u> について</p> <p>下 FLG 上面合わせのガセットであるが、ガセットのすみ肉溶接止端と下 FLG コバ面端部までの離隔がほとんど無いため、ガセット側のすみ肉溶接止端のみサンプル採取および計測としている。工場溶接時はガセット側を下側にしての溶接が想定されるため、ガセット側＝すみ肉溶接止端の下側としている。</p>	
<p><u>整理№23</u> について</p> <p>補強リブを現場で後付けしたと見られるため、写真の状態で、すみ肉溶接止端の上下としている。</p>	



廻し溶接部については溶接方向が180度回転することから、着目する位置によって溶接形状が異なるものと考えられる。そこで、図-5.2に示すように、付加板の延長領域にある溶接ビードとその外側の溶接ビードに分けてデータを整理することとした。以下、それぞれの領域を中央、左右と称する。

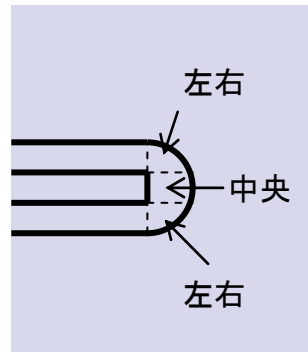


図-5.2 廻し溶接部の領域区分

#### (4) 溶接止端形状の拡大方法

全24箇所の実構造物の溶接止端形状の採取箇所について、溶接部から採取したレプリカを1mm程度にスライスしたサンプルをもとに、溶接ビード両端の溶接止端形状を計測した。膨大な数量となる溶接止端形状の計測には、多人数による計測が必要となるため、第4章で述べた通り、計測者の違いによる計測結果のばらつきを抑制する方法として、デジタル一眼レフカメラとマクロレンズでスライスサンプルを近接撮影し、画像をCAD上に取り込んで拡大する方法を採用した。

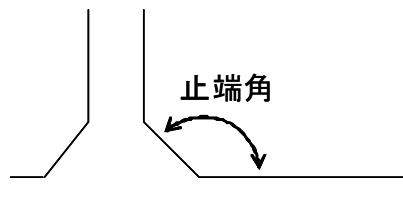


図-5.3 止端角の取り方

また、本報告では止端角として図-5.3に示すように主板表面からの角度として表示する。

### 5. 3 溶接止端形状の計測結果

#### (1) 全データの分析

サンプルを薄くスライスし、止端半径、止端角を求めた。個々のサンプルの計測値の詳細は巻末に付録Bとして示している。一つのサンプルから採取された複数枚のスライスに対する計測データから、止端半径、止端角のそれぞれについてサンプルごとに平均値、標準偏差、最大値、最小値のみを抜き出し、一覧として示したものが次頁の表-5.5である。

図-5.4 および図-5.5 に、サンプルの整理番号ごとに整理した止端半径と止端角の平均値および最小値の計測結果を示す。ここで、最小値に着目したのは、止端半径、止端角ともに、小さい値ほど応力集中の程度が大きくなると考えられるためである。また、同じ整理番号に複数のデータがあるのは、すみ肉溶接や廻し溶接の上側、下側止端、および廻し溶接の中央と左右の領域での計測結果を区分けして示したためである。

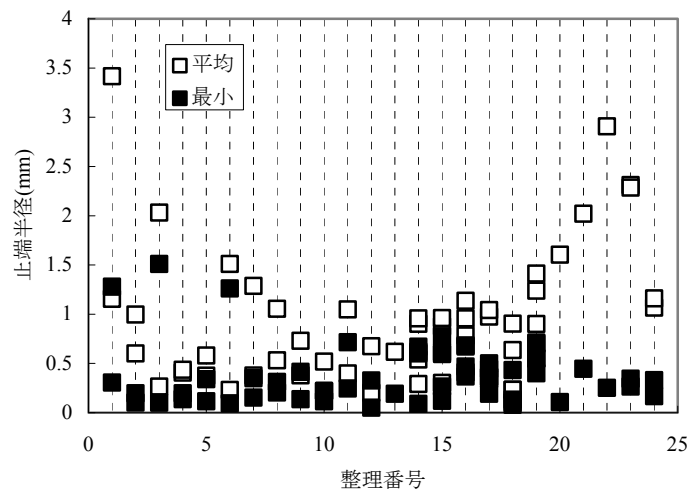


図-5.4 止端半径の計測結果 (平均値と最小値)

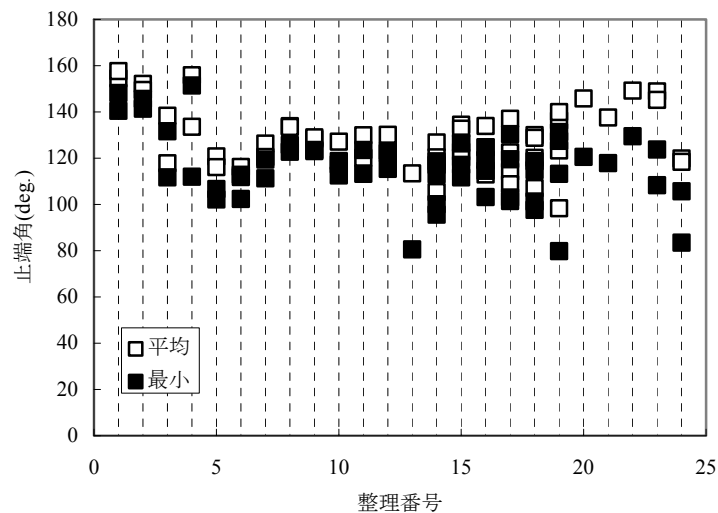


図-5.5 止端角の計測結果 (平均値と最小値)

表-5.5 計測結果一覧

整理番号	溶接場所	溶接方法	溶接種類	溶接姿勢	ビード線形	上下分類	平面分類	スライス数	止端半径(mm)				止端角(deg.)			
									平均	S.D.	最大	最小	平均	S.D.	最大	最小
1	工場	自動	SAW	下向	すみ肉	上側		42	1.156	0.587	3.016	0.306	154.5	2.615	161.3	148.2
1	工場	自動	SAW	下向	すみ肉	下側		42	3.417	1.559	7.541	1.279	157.7	4.110	162.9	140.5
2	工場	自動	SAW	水平	すみ肉	上側		34	0.996	0.482	2.104	0.102	152.1	2.532	156.7	145.6
2	工場	自動	SAW	水平	すみ肉	下側		34	0.601	0.210	0.957	0.197	149.5	2.960	154.4	141.4
3	工場	自動	SAW	水平	すみ肉	上側		34	2.032	0.317	2.770	1.510	138.4	3.655	145.6	131.6
3	工場	自動	SAW	水平	すみ肉	下側		35	0.265	0.093	0.475	0.100	117.8	2.823	123.2	111.7
4	工場	自動	SAW	下向	突合せ	上側		41	0.406	0.140	0.728	0.197	155.9	1.558	158.7	151.4
4	工場	自動	SAW	下向	突合せ	下側		41	0.435	0.318	1.454	0.137	133.5	6.307	154.2	112.0
5	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	上側		34	0.581	0.106	0.820	0.339	120.7	8.492	135.7	102.2
5	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	下側		34	0.375	0.109	0.548	0.115	116.1	8.110	145.6	106.6
6	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	上側		50	1.510	0.098	1.691	1.261	116.2	1.730	121.6	111.8
6	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	下側		50	0.230	0.088	0.494	0.094	112.8	4.140	120.9	102.4
7	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	上側		51	1.288	0.349	1.832	0.350	126.3	2.136	129.7	119.4
7	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	下側		51	0.377	0.123	0.884	0.152	120.5	2.865	125.7	111.3
8	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	上側		35	1.055	0.230	1.399	0.312	133.9	6.848	153.5	122.7
8	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	下側		35	0.532	0.132	0.784	0.205	133.5	6.607	149.6	125.8
9	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	上側		36	0.730	0.120	0.956	0.415	128.3	3.344	137.6	123.0
9	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	下側		36	0.379	0.131	0.651	0.136	129.0	3.272	137.1	123.5
10	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	上側		35	0.518	0.171	0.834	0.221	127.1	4.729	136.8	118.7
10	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	下側		35	0.219	0.099	0.683	0.116	117.3	3.192	126.0	112.5
11	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	上側		28	1.048	0.163	1.390	0.715	129.9	2.503	133.3	123.5
11	工場	自動	CO2	水平	すみ肉	下側		24	0.399	0.118	0.750	0.245	120.2	4.086	129.7	113.2
12	工場	半自動	CO2	水平	すみ肉	上側		42	0.675	0.179	1.117	0.327	130.1	3.731	137.9	122.2
12	工場	半自動	CO2	水平	すみ肉	下側		42	0.201	0.094	0.557	0.050	123.1	2.991	127.8	115.4
13	工場	半自動	CO2	立向	すみ肉			114	0.617	0.215	1.448	0.191	113.5	8.819	128.3	80.5
14	工場	自動	CO2	水平	廻し	上側	左右	32	0.902	0.215	1.473	0.602	126.8	5.375	138.6	118.6
14	工場	自動	CO2	水平	廻し	上側	中央	9	0.957	0.266	1.399	0.617	105.3	6.851	115.6	95.6
14	工場	自動	CO2	水平	廻し	下側	左右	32	0.291	0.142	0.851	0.090	120.3	4.981	131.5	112.9
14	工場	自動	CO2	水平	廻し	下側	中央	9	0.539	0.094	0.688	0.670	117.1	12.690	136.6	100.1
15	工場	自動	CO2	水平	廻し	上側	左右	27	0.876	0.189	1.300	0.595	134.5	5.513	144.0	126.4
15	工場	自動	CO2	水平	廻し	上側	中央	5	0.613	0.212	0.840	0.265	132.8	4.307	137.2	126.7
15	工場	自動	CO2	水平	廻し	下側	左右	26	0.303	0.183	0.985	0.120	122.8	6.522	139.5	111.7
15	工場	自動	CO2	水平	廻し	下側	中央	2	0.960	0.262	1.145	0.775	120.3	4.525	123.5	117.1
16	工場	半自動	CO2	水平	廻し	上側	左右	20	1.136	0.517	2.131	0.410	112.9	7.362	129.5	103.2
16	工場	半自動	CO2	水平	廻し	上側	中央	5	0.784	0.091	0.885	0.672	119.2	4.692	125.2	114.5
16	工場	半自動	CO2	水平	廻し	下側	左右	20	0.957	0.374	1.855	0.468	133.9	6.119	147.2	124.7
16	工場	半自動	CO2	水平	廻し	下側	中央	5	0.682	0.230	0.933	0.367	124.7	3.486	128.6	119.1
17	工場	半自動	CO2	水平	廻し	上側	左右	27	0.975	0.191	1.234	0.362	114.2	6.583	121.0	101.4
17	工場	半自動	CO2	水平	廻し	上側	中央	4	0.342	0.218	0.667	0.191	108.7	5.309	115.0	103.0
17	工場	半自動	CO2	水平	廻し	下側	左右	27	1.042	0.499	2.191	0.500	137.0	4.201	145.6	130.4
17	工場	半自動	CO2	水平	廻し	下側	中央	4	0.444	0.067	0.521	0.362	122.5	2.922	125.9	119.5
18	工場	半自動	CO2	水平	廻し	上側	左右	21	0.635	0.445	1.945	0.079	120.1	11.608	147.6	101.2
18	工場	半自動	CO2	水平	廻し	上側	中央	6	0.232	0.103	0.409	0.105	107.1	7.078	115.2	97.7
18	工場	半自動	CO2	水平	廻し	下側	左右	21	0.904	0.331	1.683	0.432	130.0	7.035	140.6	114.8
18	工場	半自動	CO2	水平	廻し	下側	中央	7	0.232	0.059	0.286	0.132	128.8	9.352	146.0	118.7
19	工場	半自動	CO2	水平	廻し	上側	左右	17	0.712	0.210	1.300	0.400	136.3	4.495	141.9	127.5
19	工場	半自動	CO2	水平	廻し	上側	中央	8	1.413	0.672	2.500	0.700	139.9	5.052	149.3	131.3
19	工場	半自動	CO2	水平	廻し	下側	左右	17	0.900	0.347	1.750	0.550	123.3	8.499	143.5	113.2
19	工場	半自動	CO2	水平	廻し	下側	中央	8	1.238	0.608	2.000	0.550	98.4	8.571	107.3	79.8
20	工場	手溶接	MAW	水平	すみ肉			81	1.604	0.732	3.156	0.108	145.8	12.431	172.9	120.5
21	工場	手溶接	MAW	水平	すみ肉			150	2.020	0.721	3.746	0.445	137.5	11.385	164.4	117.9
22	現場	半自動	CO2	立向	突合せ			293	2.908	1.815	8.591	0.252	149.2	6.936	164.3	129.5
23	現場	手溶接	MAW	水平	すみ肉	上側		75	2.312	1.396	5.957	0.344	148.9	8.434	162.7	123.7
23	現場	手溶接	MAW	水平	すみ肉	下側		81	2.286	1.129	4.535	0.265	145.2	11.706	163.0	108.3
24	現場	手溶接	MAW	立向	すみ肉			156	1.111	0.637	4.422	0.167	119.2	11.151	152.5	83.4

止端半径は平均値、最小値とも、計測サンプルによってばらつきが大きく、また、同じサンプルでも平均値と最小値とに大きな差が見られる。また、いずれのサンプルにおいても計測値の下限は 0.1mm 付近に分布しており、最も小さな止端半径はほぼ同様の値となっていることがわかる。止端角については平均値と最小値の差が小さく、サンプルが同一であればその中でのばらつきは比較的小さい。整理番号 13,19,24 で、止端角の最小値が 90 度を下回っているものがある。No.13 (立向き) および No.24 (現場手溶接と推定) では溶接ビードの凹凸が比較的大きく、局所的にオーバーラップが生じていたためであると考えられる。また、No.19 上側中央はスカラップ部の溶接部であり、母材が円弧状に曲がっているために見かけ上の止端角が鋭角になったものと考えられる。

止端半径の平均値と最小値との関係を図-5.6 に示す。止端半径の最小値と平均値の関係は大きくばらついているが、平均値が大きく最小値が小さい領域に分布するデータの整理番号を調べた結果、図中に示すように、これらは No.20,21,23 (既設桁のデータ), No.22 (立ち向きの現場溶接) であり、特殊な条件でのサンプルであった。これらのサンプルにおいては、平均的には大きな止端半径になっているものの、局所的に比較的小さい止端半径が存在していることを示している。これらのデータを除くと、ばらつきは大きいものの、止端半径の平均値が大きくなるほど最小値も大きくなる傾向が見られる。止端半径の最大値と平均値との関係を示したものが図-5.7 であり、この場合、いずれのサンプルにおいても平均値が大きくなるにつれ、最大値も大きくなる傾向を示した。

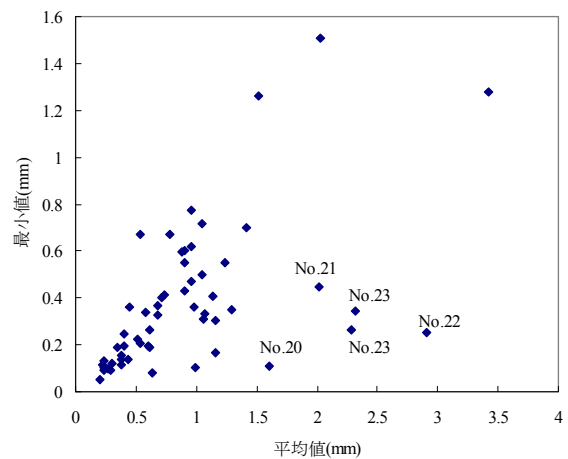


図-5.6 止端半径の平均値と最小値の関係

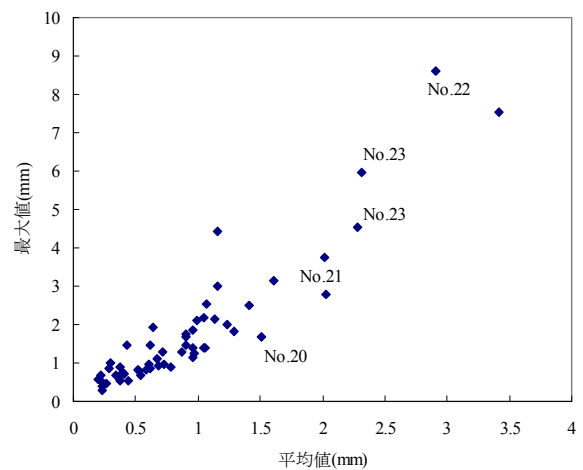


図-5.7 止端半径の平均値と最大値の関係

止端角の平均値と最小値の関係を図-5.8 に、平均値と最大値の関係を図-5.9 に示す。最大値、最小値とも、止端角は平均値との差が $\pm 20\%$ 程度におさまっており、比較的ばらつきが小さいことがわかる。

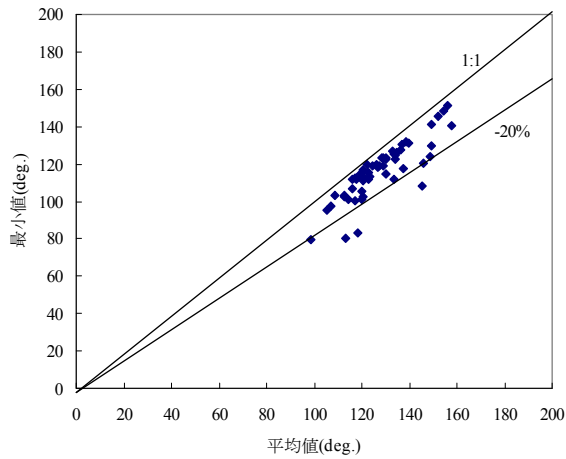


図-5.8 止端角の平均値と最小値の関係

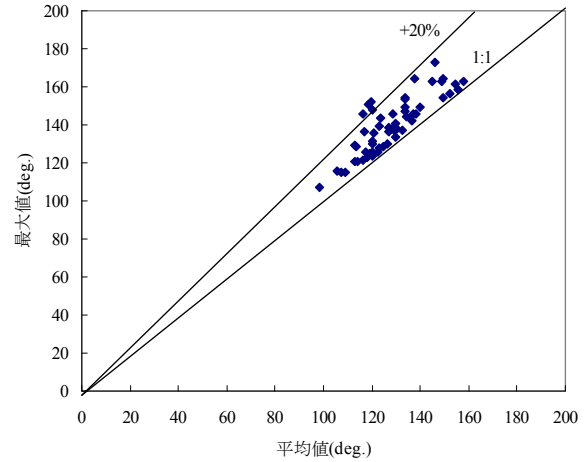


図-5.9 止端角の平均値と最大値の関係

## (2) 水平すみ肉溶接(No.2,3,5,6,7,8,9,10,12)

データのおおよその傾向を把握するために、まず、サンプル（整理番号）ごとに得られた止端形状の平均値および最小値を用いてデータを分析する。工場での水平すみ肉溶接について、上側の溶接止端部と下側の止端部とを区別して、止端半径の平均値を整理した結果を図-5.10 に示す。いずれのサンプルにおいても、上側止端部よりも下側止端部の止端半径の方が小さく、また、下側溶接止端部の平均値のばらつきは比較的小さくなっている。同様の整理を止端半径の最小値について行ったものが図-5.11 である。止端半径の最小値についても、No.2を除き、上側止端部の止端半径よりも下側止端部の方が小さな値となっていることがわかる。

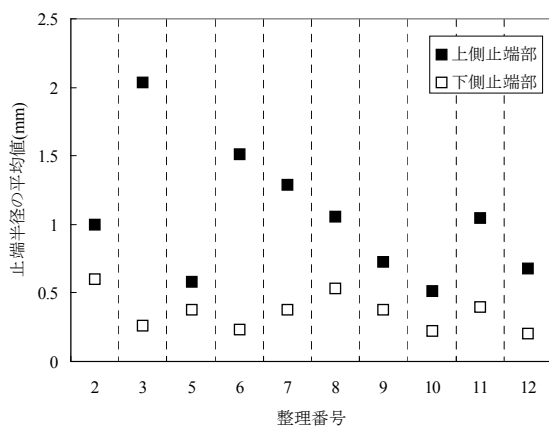


図-5.10 上下止端別の止端半径の平均値

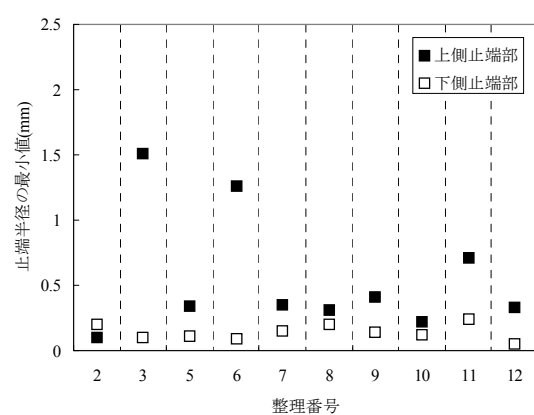


図-5.11 上下止端別の止端半径の最小値

止端角について、上下止端部別の平均値、最小値を整理したものを図-5.12, 13 に示す。止端角についても、ほとんどのものが下側止端部の方が上側止端部よりも小さな値となっている。

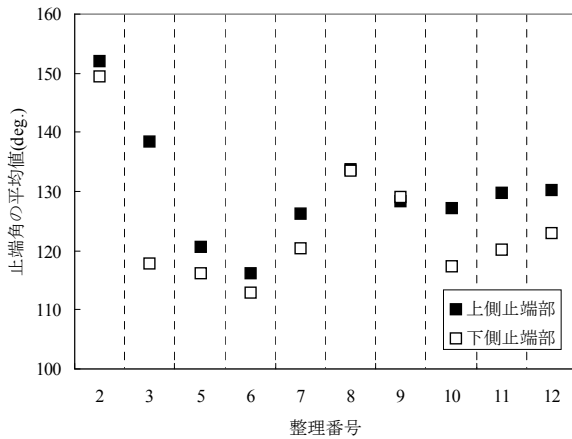


図-5.12 上下止端別の止端角の平均値

このように上側止端部と下側止端部で止端半径および止端角が異なるのは、重力の影響による溶接金属の垂れ下がりによるものと考えられる。写真-5.2 に典型的な水平すみ肉溶接の形状を示すが、重力の影響によりビードが下方で膨らんでおり、それにより下側止端部の止端角が小さくっている。これはここでの計測結果と傾向が一致している。また、上側止端部ではアンダーカット(かじり)が発生することが多く、そのような場合には溶接止端半径が大きな値として計測されることになる。本計測結果で上側止端部の止端半径が下側のそれと比較して大きな値となった理由として、このようなアンダーカットの存在が挙げられる。

サブマージアーク溶接(SAW)と炭酸ガスアーク溶接(CO2)との差、自動溶接と半自動溶接との差については、サンプル数が少なかったこともあり、明確な傾向は見られなかった。

以上の結果より、疲労に対して厳しくなると考えられる下側溶接止端部に着目し、水平すみ肉溶接から採取された 376 個の全計測データの頻度分布を示したものが図-5.14 である。この頻度分布を元に対数正規分布を当てはめた結果、次の確率分布が得られた。

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln x - \mu)^2}{\sigma^2}\right] \quad \mu = -1.179 \quad \sigma^2 = 0.2648 \quad (1)$$

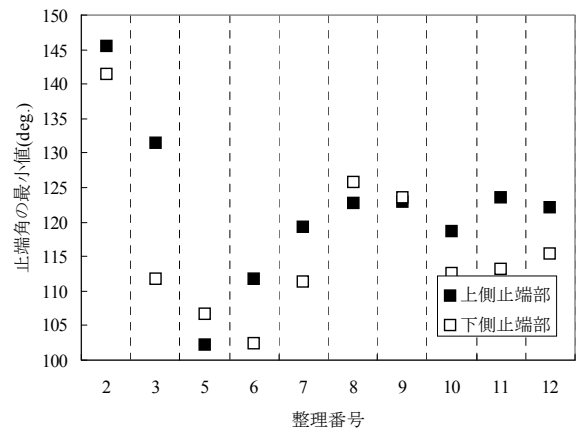


図-5.13 上下止端別の止端角の最小値

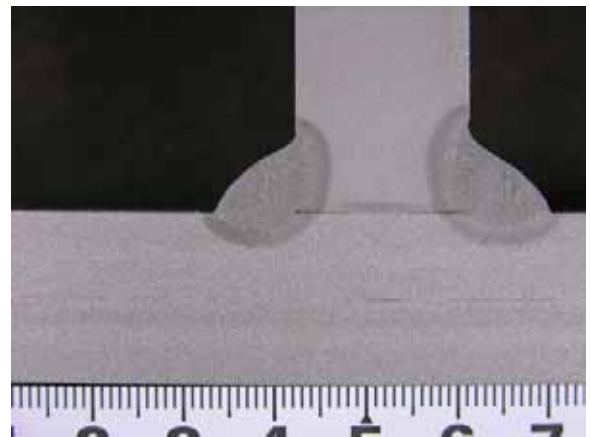


写真-5.2 典型的な溶接形状

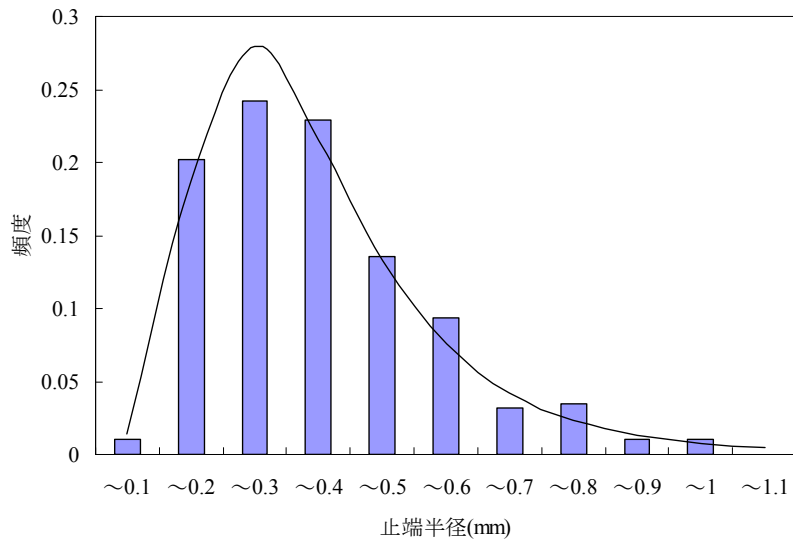


図-5.14 頻度分布と確率分布（水平すみ肉溶接，下側止端部）

図-5.14 中に示した実線が，上式で計算した確率分布を示している．式(1)は溶接止端半径の分布をよく再現していることがわかる．この確率分布により求められる止端半径の平均値は 0.351mm，分散は 0.03739mm<sup>2</sup>であった．また，累積確率 3%に相当する止端半径は 0.117mm，同 5%に相当する止端半径は 0.132mm であった．

### (3) 廻し溶接 (No.14~19)

廻し溶接止端部については，上下止端の他に，前述のように廻し溶接部を左右と中央部とに分けてサンプリングを行った．これは廻し部の位置によって溶接脚長が連続的に変化するため，溶接止端形状もそれによって異なることが考えられたためである．しかし，このように細分化してデータを取得したため，サンプル数が必ずしも十分に得られてはおらず，1つのサンプルから，廻し中央部のサンプルが2個の例などがある．よって，すみ肉溶接のデータのように，サンプルごとの平均値などで傾向をとらえるのは困難であることから，溶接手法（自動，半自動），止端上下位置，平面位置（左右，

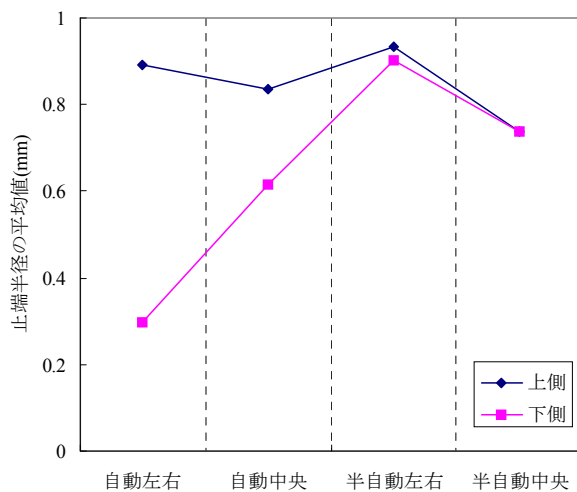


図-5.15 止端半径の平均値（廻し溶接）

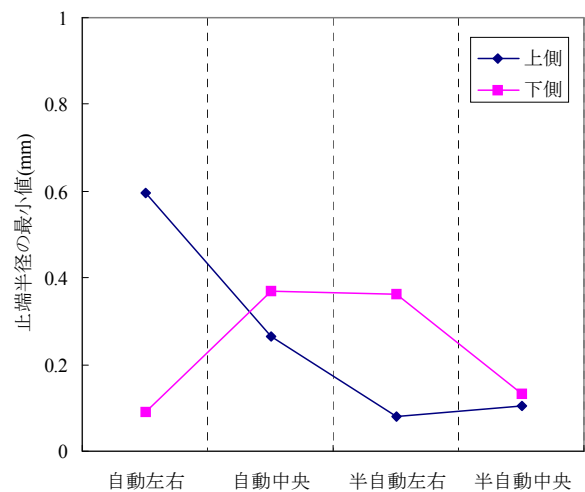


図-5.16 止端半径の最小値（廻し溶接）

中央)に着目してデータをまとめ、そのデータの平均値、最小値などで傾向を整理する。なお、ここでのサンプルはすべて工場内溶接で、CO<sub>2</sub>溶接である。

図-5.15 および図-5.16 に、止端半径の平均値と最小値を、溶接方法などで区別して示す。止端半径の平均値は自動溶接の下側止端の場合に他よりも小さめの値となっている。しかし、最小値で見ると、自動溶接と半自動溶接との明確な差異は観察できない。また、廻し溶接部の左右と中央との間にも差は確認できない。すみ肉溶接の場合には上側止端と下側止端とで明らかに差が見られたが、廻し溶接部の場合には明確な傾向は確認できず、最小値でみた場合には、逆に上側止端の方が下側止端よりも止端半径が小さくなっているものが多い。

止端半径について同様の整理を行ったものを図-5.17 および図-5.18 に示す。止端半径についても溶接手法や止端の位置などによる明確な傾向は確認できない。

以上より、廻し溶接部の場合には、溶接手法、止端の上下位置、平面位置などによる違いは見られなかった。これはサンプル数が少なかったことなどによるものと考えられる。また、廻し溶接部の場合、溶接線が曲線的に変化するため、サンプルからスライスを作成する際に溶接止端に沿った線の法線方向にスライスをすることが難しく、計測の誤差も大きかった可能性がある。

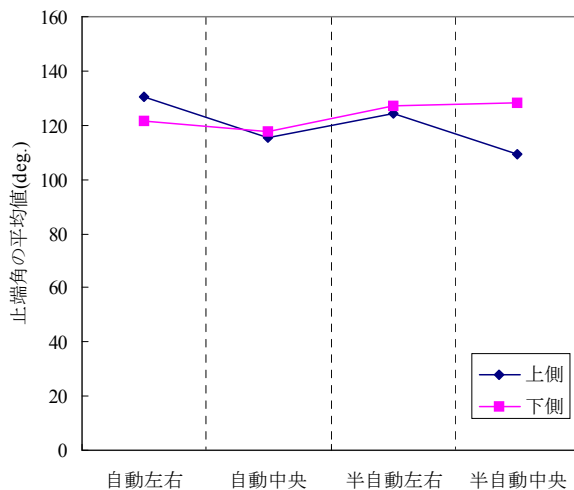


図-5.17 止端角の平均値 (廻し溶接)

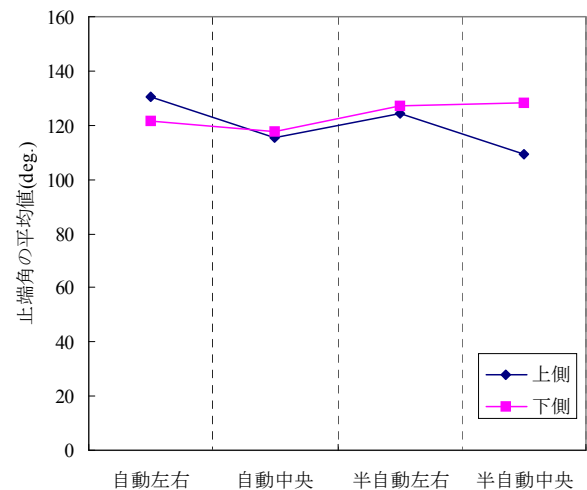


図-5.18 止端角の最小値 (廻し溶接)

参考までに、廻し溶接について得られた 357 データを同じ母集団であるとみなし、頻度分布を求めた結果を図-5.19 に示す。また、対数正規分布を当てはめた結果、以下の式が得られた。

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln x - \mu)^2}{\sigma^2}\right] \quad \mu = -0.4312 \quad \sigma^2 = 0.4174 \quad (2)$$

ここに示した分布などは参考値であるが、図-5.14 に示したすみ肉溶接の分布形状と比較すると、全体的に止端半径が大きな範囲にばらついていることがわかる。すなわち、疲労などを考える上においては、図-5.14 に示した止端半径の分布を用いれば安全側となる可能性が高いといえる。



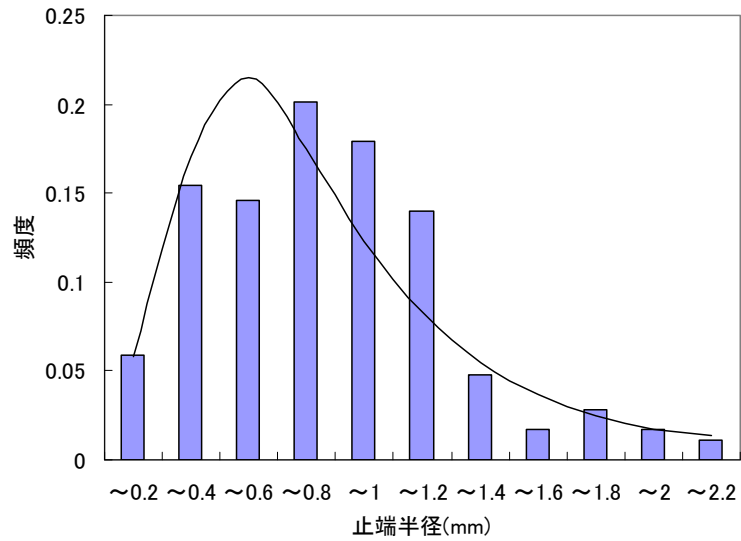


図-5.19 頻度分布と確率分布（廻し溶接）

(4) 立ち向き溶接(No.13,22)

今回、サンプル数は2つと少ないものの、立ち向き溶接の形状を計測した。2つのサンプルで得られた溶接止端半径の頻度分布として、No.13の結果を図-5.20に、No.22の結果を図-5.21に示す。なお、立ち向き溶接では左右の溶接止端に有意な差が生じるとは考えにくいいため、それらを区分せずに整理している。また、No.13はすみ肉溶接、No.22は現場突き合わせ溶接の結果である。

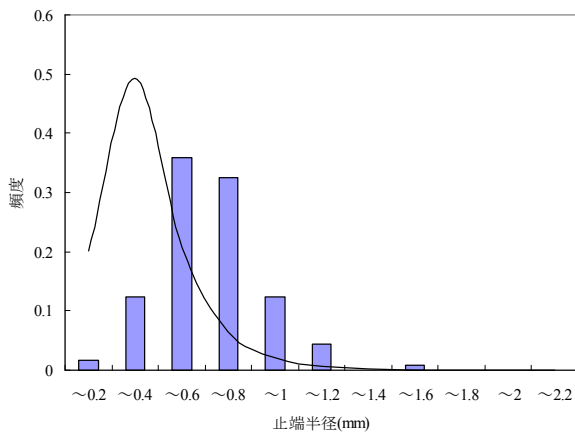


図-5.20 止端半径の計測結果(No.13)

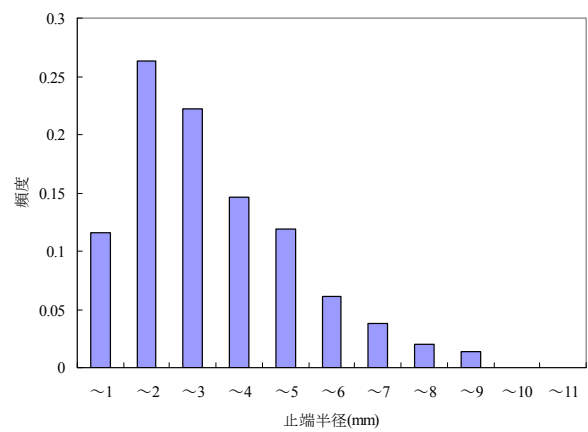


図-5.21 止端半径の計測結果(No.22)

立ち向きすみ肉溶接の No.13 の止端半径は比較的小さな領域にばらついている。図-5.20 中には、水平すみ肉溶接で得られた式(1)による頻度分布を併に示しているが、それと同等か、それよりも若干大きめの止端半径となっており、立ち向き溶接の場合に止端半径に顕著な傾向がでることはないといえる。図-5.21 に示した No.22 の止端半径は、他のいずれのサンプルと比較しても全体的に大きな値となっているが、これは開先を設けた突き合わせ溶接であったことによるものと考えられる。全体的には大きな止端半径となっているが、最小値でみると 1mm を下回る計測結果も多く、局所

的に鋭い止端形状が存在していることが伺える。

(5) 既設桁からのサンプル (No.20,21,23,24)

既設桁から採取したサンプルを計測した結果を図-5.22～24 に示す。図-5.22 は工場溶接であると思われる水平すみ肉溶接から採取したサンプル (No.20,21) の止端半径である。また、図-5.23 は現場溶接であると思われる水平すみ肉溶接 (No.23) の止端半径である。両者を比較すると、現場溶接の止端半径は工場溶接のそれに比較してばらつきが大きい結果となっており、工場溶接の溶接部の方が比較的小さな止端半径に偏った分布となっている。しかし 0.5mm を下回る小さな止端半径が同程度計測されており、最小値で見ると両者の違いは少ない。図-5.24 は現場溶接であると思われる立ち向き溶接(No.24)の止端半径である。立ち向き溶接の場合には図-5.22,23 と比較して明らかに小さな止端半径が多くなる傾向にあることがわかる。

既設桁から採取した溶接部の止端半径について全体的に見ると、図-5.14 に示した現在の工場での水平すみ肉溶接の止端半径と比べ、止端半径が特に小さくなっていることなどは見受けられず、限られたデータではあるが、疲労強度上不利となるような点は認められない。

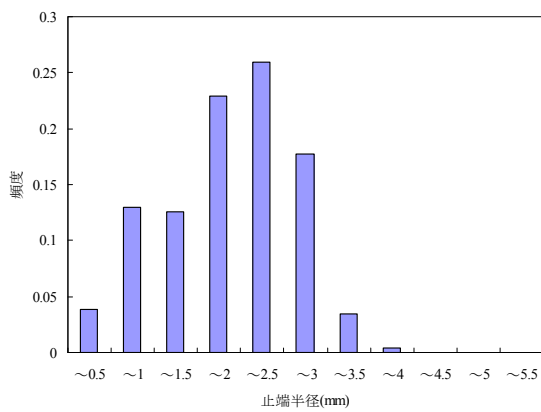


図-5.22 止端半径(No.20,21)

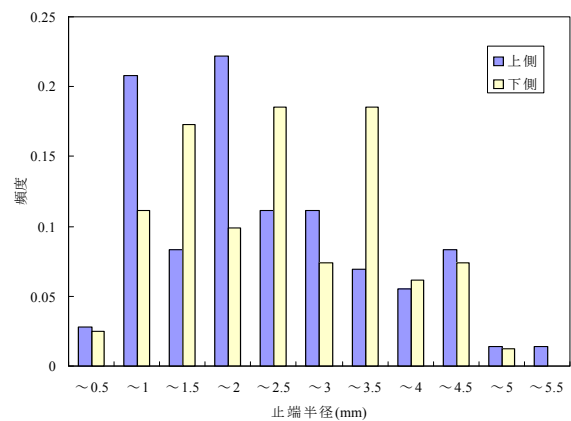


図-5.23 止端半径(No.23)

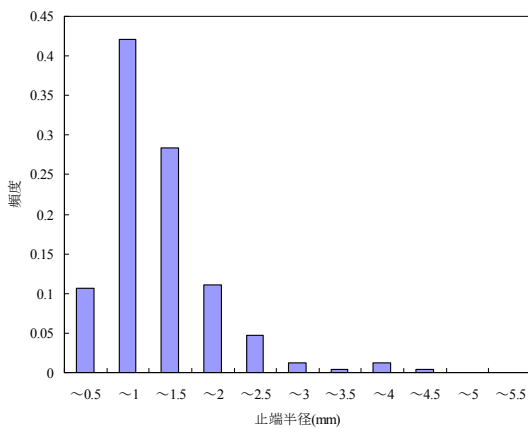


図-5.24 止端半径(No.24)

#### 5. 4 まとめ

実構造部材から採取したサンプルから溶接止端形状を計測した。サンプリングは溶接種類、溶接線形など数種類の着目点を設定し、幅広い条件で採取できるようにした。計測により得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 止端半径の平均値と最小値との間および平均値と最大値の間には、ばらつきは大きいものの、正の相関がある。
- 2) 止端角のばらつきは比較的小さく、平均値から $\pm 20\%$ 程度の範囲にほぼ全てのデータがおさまる。
- 3) 工場での水平すみ肉溶接は、上側止端部よりも下側止端部の止端半径の方が小さく、また、下側溶接止端部の平均値のばらつきは比較的小さい。これは、重力の影響による溶接金属の垂れ下がりによるものと考えられる。
- 4) 工場での水平すみ肉溶接の下側溶接止端部について、止端半径の確率分布は次のように与えられる。

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln x - \mu)^2}{\sigma^2}\right] \quad \mu = -1.179 \quad \sigma^2 = 0.2648$$

この分布において、累積確率 3%に相当する止端半径は 0.117mm、同 5%に相当する止端半径は 0.132mm である。

- 5) 廻し溶接についてはサンプル数の制約などにより、溶接手法や位置などにおける明確な傾向は見られなかった。しかし、4) の水平すみ肉溶接の分布形状と比較すると、全体的に止端半径が大きな範囲にばらついていた。
- 6) 立ち向きすみ肉溶接の止端半径は比較的小さな領域にばらついていたが、水平すみ肉溶接のそれと同等か、それよりも若干大きめであり、立ち向き溶接の場合に止端半径に顕著な傾向がでることはなかった。
- 7) 既設桁から採取した溶接部の止端半径についても、現在の工場での水平すみ肉溶接の止端半径と比べ、限られたデータではあるが、疲労強度上不利となるような点は認められなかった。

#### 謝辞

既設桁からのサンプル採取にあたり、東日本旅客鉄道（株）の皆様に多大なるご協力をいただきました。また、止端形状の計測にあたり、名古屋大学大学院社会基盤工学専攻の伊藤勇雄氏、坪井龍一氏に協力いただきました。ここに記して感謝いたします。