

## 2. 亜鉛めっき橋実験 I の結果と考察

### 2. 1 まえがき

I 形断面の橋梁部材を溶融亜鉛めっきした場合、溶接部、特に回し溶接部などに亜鉛めっき割れが発生することがあり、この亜鉛めっき割れを防止することが亜鉛めっき橋梁の普及と安全性の確保の観点から非常に重要であると考えた。

しかし、この亜鉛めっき割れに関して発生頻度・発生部位・割れの形態・発生機構などの情報も少ない。そこで本研究部会では亜鉛めっき割れの防止法を検討する前に、橋梁部材に発生する亜鉛めっき割れに関する事例調査を行い、亜鉛めっき割れの発生傾向を調査した。その結果、亜鉛めっき割れが水平補剛材・ガセットプレート端部・垂直補剛材端部・吊り金具用のリブ材などに集中して発生するとの結果を得た。また調査結果の層別の結果、亜鉛めっき割れは水平補剛材・ガセットプレート端部の割れと垂直補剛材・吊り金具端部の割れに大きく分類され、分類した割れでは割れ発生の機構も異なり、自ずと割れの防止法も異なるものと考えた。これら二つの異なる亜鉛めっき割れの内、本研究部会では現状で特に研究が不足している垂直補剛材・吊り金具用リブ材に発生する亜鉛めっき割れに焦点を絞り、その防止法を確立することを目標とした。

この垂直補剛材端部などの亜鉛めっき割れに関して、その発生機構が明らかになっている状況にはないが、他の文献及び割れの現象面などから推定し、割れ発生位置に亜鉛浴中において過大な応力が作用するためと考えた。またこの過大な応力の一義的な発生源として桁のねじれ現象を考えた。

そこで本研究では第一段階として鋳桁のねじれ現象の系統的な把握と可能な限りの機構解明を行った。なおねじれ現象から生ずる局所的な発生応力の把握、鋳桁のねじれ変形量の低減策、さらに最終的な目的である割れ防止策に関しては 3 章以降で述べる。

### 2. 2 予備実験

鋳桁のねじれ現象を解明するための基礎的な資料を得ることを目的に、圧延状態の未加工鋼板に溶融亜鉛めっきを施し、面外変形量、特にねじれ変形量を測定した。供試鋼板は幅 2,000mm、高さ 1,000mm の板厚 3.2mm(SS41)、6mm(SM50)、9mm(SM50) の 3 種類である。溶融亜鉛めっきの条件は標準条件 (Zn 温度; 440℃, 浸漬速度; 6.7m/min., 引上げ速度; 0.9m/min., 冷却方法; 水冷) の他、冷却方法を水冷から空冷に変化した条件と、浸漬速度を極端に遅くした条件 (浸漬速度; 1.8m/min.) を加えた。

表 2. 1 に長さ方向の板の曲り量とねじれ変形量を示す。なお亜鉛めっき後の測定値に△符号を付したものは、めっき前の変形に対し反対方向に変形した場合を示す。

図 2. 1 ~ 3 に曲り変形とねじれ変形の全体像を示す。

表 2. 1 熔融亜鉛めっきによる鋼板の曲り変形とねじれ変形

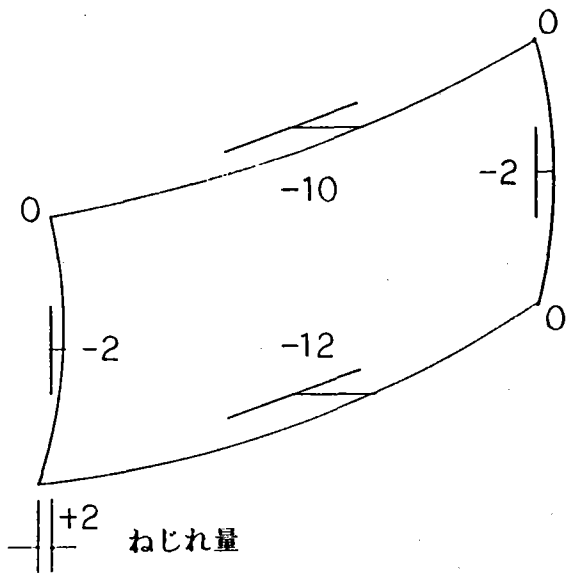
鋼板	めっき 条件	曲り変形量				ねじれ 変形量	
		上端		下端		めっき前	めっき後
		めっき前	めっき後	めっき前	めっき後		
3.2mm (SS41)	標準条件	10	△18	12	△18	2	1
	空冷冷却	13	△9	15	△7	8	3
	緩速浸漬	9	8	6	10	7	3
6.0mm (SM50)	標準条件	22	15	25	15	3	△2
	空冷冷却	7	△18	18	△19	2	△4
	緩速浸漬	7	10	7	10	3	△1
9.0mm (SM50)	標準条件	5	△2	1	2	3	△1
	空冷冷却	2	0	2	△2	1	0
	緩速浸漬	2	4	2	△2	0	0

亜鉛めっき後の曲り変形量は、板厚が3.2mmから9.0mmに増加することにより全体的に減少する傾向にある。しかし亜鉛めっき条件（冷却条件、浸漬速度）の変化によっては実験データも少ないことから有意差は認められなかった。

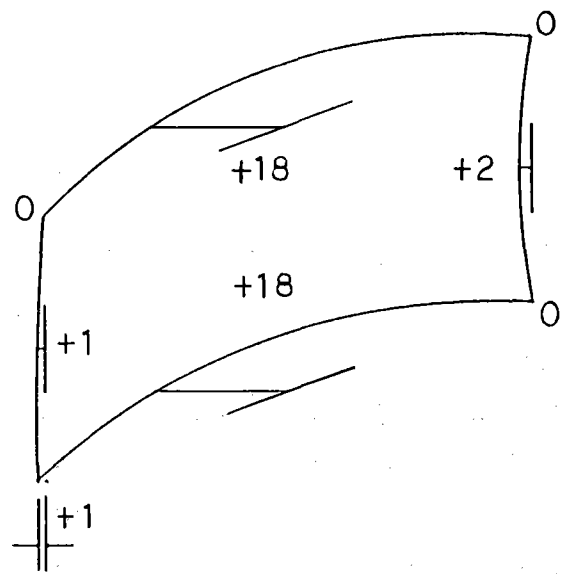
亜鉛めっき後のねじれ変形量も、曲りの変形挙動と同様に板厚の増加により減少する傾向にあり、亜鉛めっき条件の変化によってはほとんど変化しないことを確認した。なお9mm厚の鋼板では曲り、ねじれ変形のいずれともほとんど発生しない。

亜鉛めっきによる鋼板の面外変形現象において、板厚の減少とともに曲り変形量が増加することに関しては、板厚の減少により浸漬過程での幅方向の圧縮熱応力が増大（鋼板の高さ方向の温度差の増大による）すること、及び板厚の減少により圧縮荷重に対する剛性が低下することが原因として考えられる。また板厚の減少によるねじれ変形量の増大に関しては、曲り変形量の増大による影響と考えられ、高さ方向での曲り変形量の差によって生ずるものと考えられる。また9mm厚鋼板での実験結果から、亜鉛めっきによる鋼板自体の残留応力の解放の影響はないものと推定される。

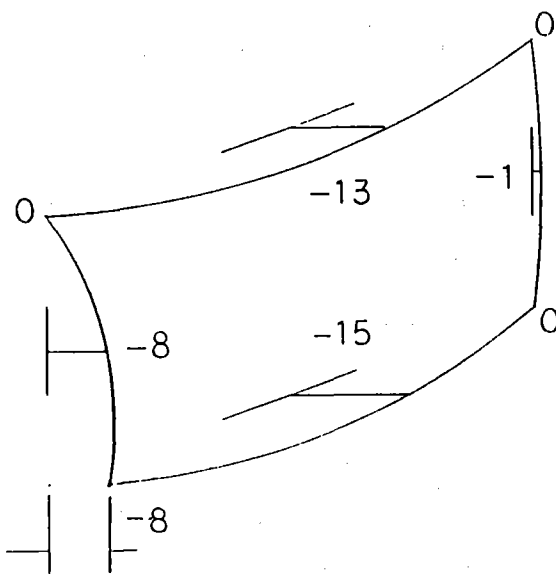
予備実験の結果、橋梁の腹板として一般に用いられる9.0mm厚の鋼板において、亜鉛めっきによる面外変形、特にねじれ変形がほとんど発生しないことが判明した。そこで本研究で実施する桁部材でのねじれ変形の測定実験においては、鋼板自体によるねじれ現象が生じない9.0mm厚鋼板を腹板として使用することとした。



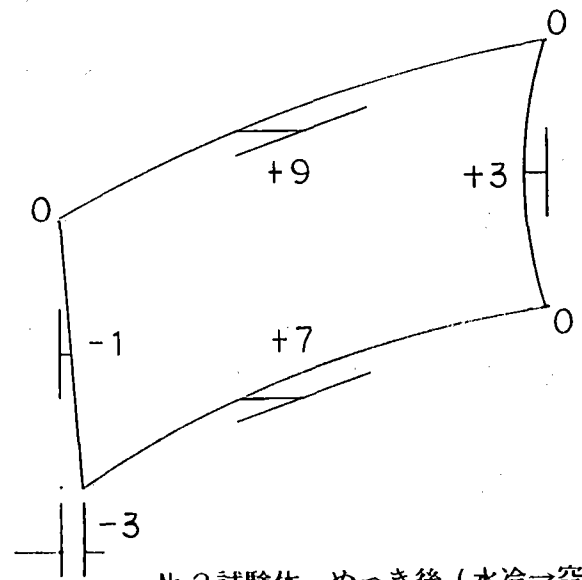
No. 1 試験体・めっき前 (一般的条件)



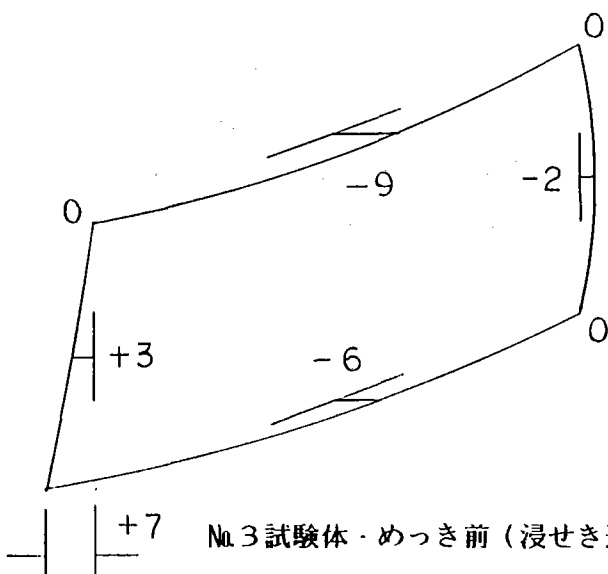
No. 1 試験体・めっき後 (一般的条件)



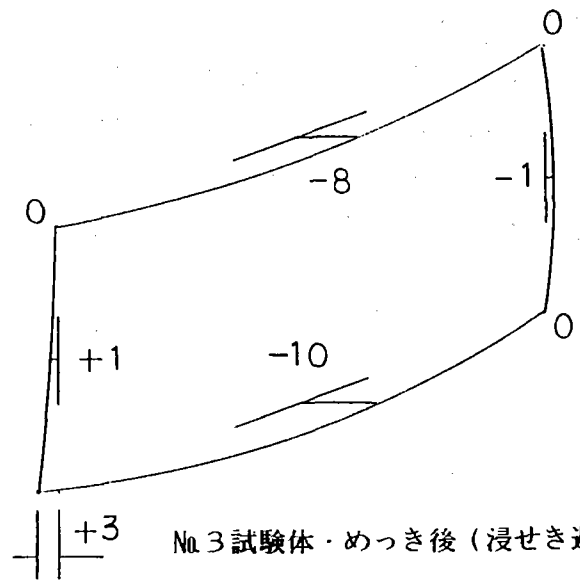
No. 2 試験体・めっき前 (水冷→空冷)



No. 2 試験体・めっき後 (水冷→空冷)

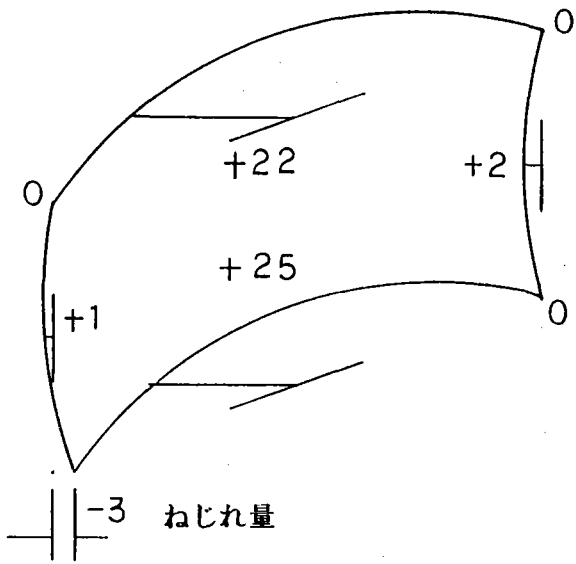


No. 3 試験体・めっき前 (浸せき遅速)

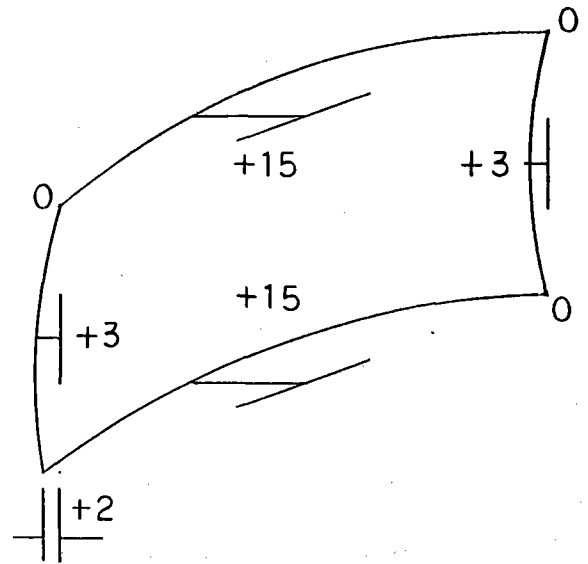


No. 3 試験体・めっき後 (浸せき遅速)

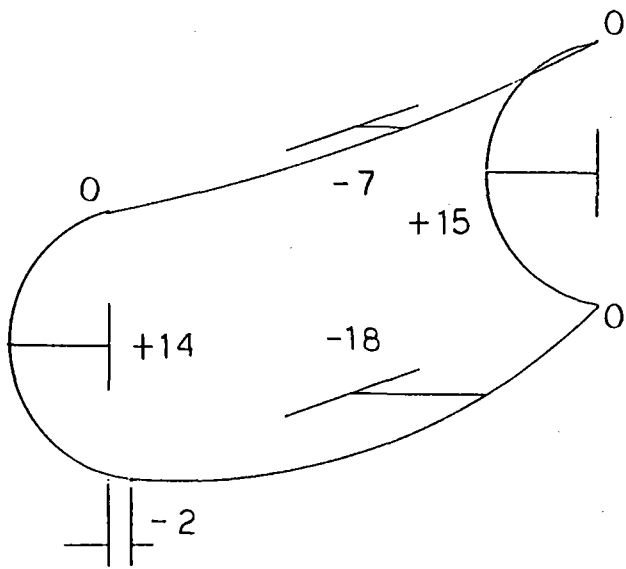
図 2. 1 亜鉛めっきによる板厚 3.2mm の鋼板での面外変形



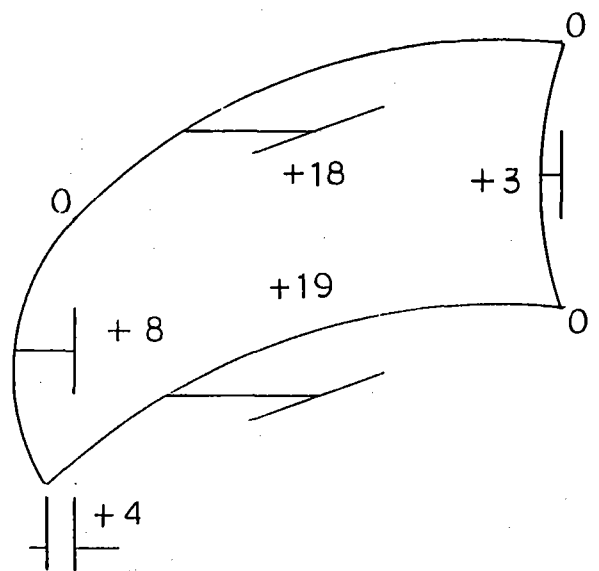
No. 1 試験体・めっき前 (一般的条件)



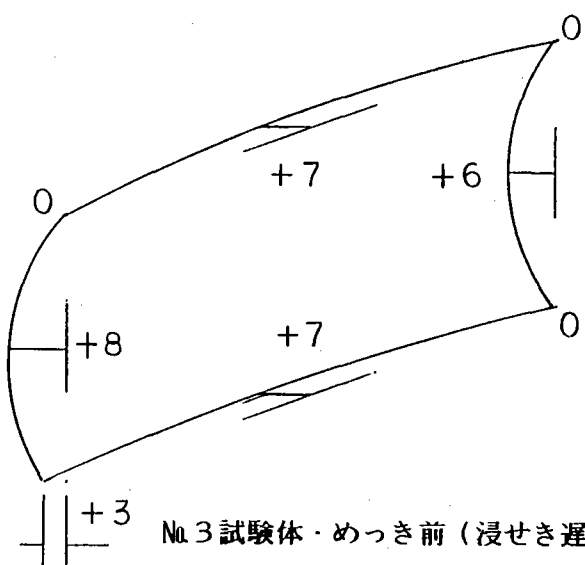
No. 1 試験体・めっき後 (一般的条件)



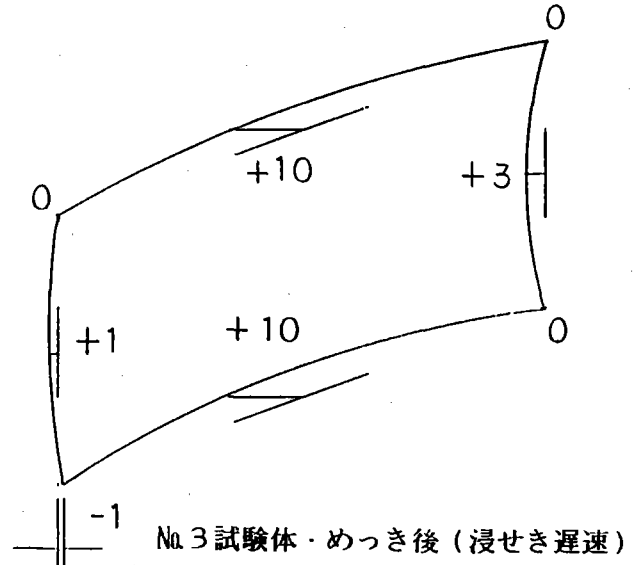
No. 2 試験体・めっき前 (水冷→空冷)



No. 2 試験体・めっき後 (水冷→空冷)

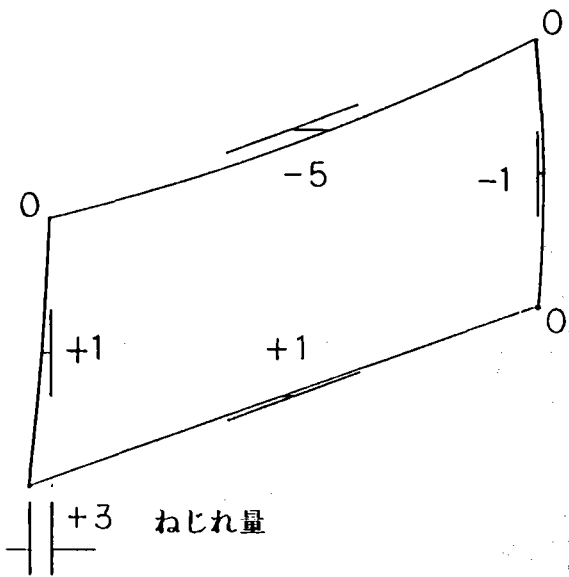


No. 3 試験体・めっき前 (浸せき遅速)

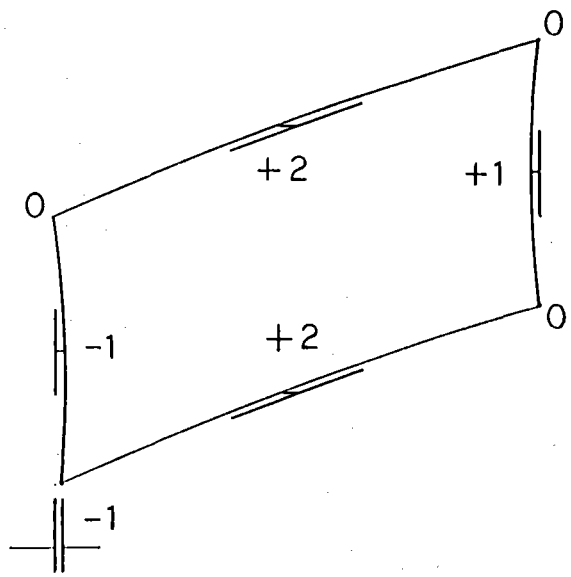


No. 3 試験体・めっき後 (浸せき遅速)

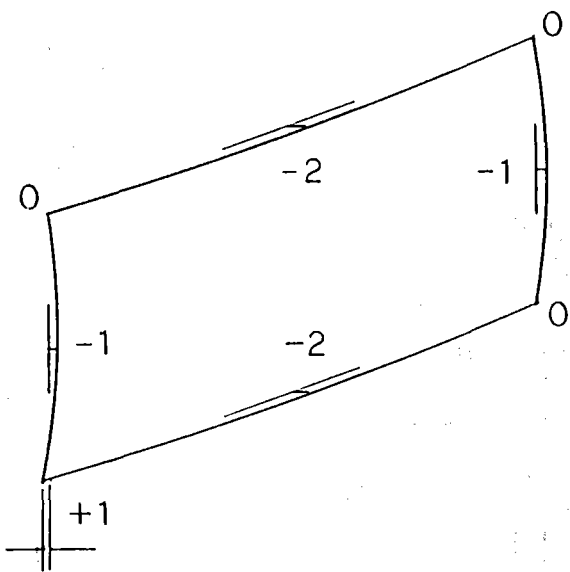
図 2. 2 亜鉛めっきによる板厚 6mm の鋼板での面外変形



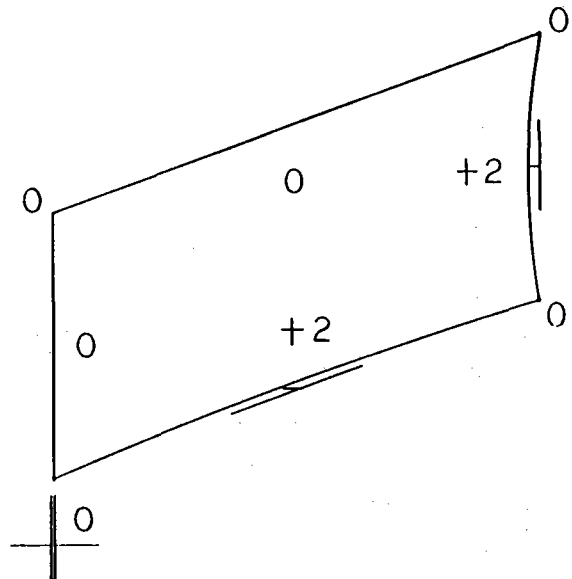
No. 1 試験体・めっき前 (一般的条件)



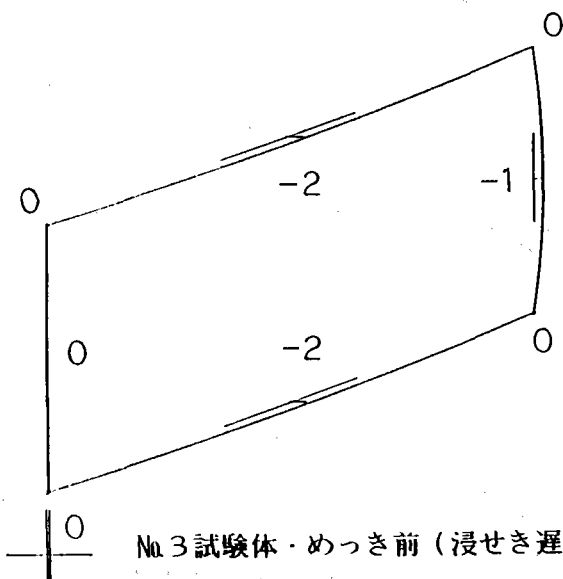
No. 1 試験体・めっき後 (一般的条件)



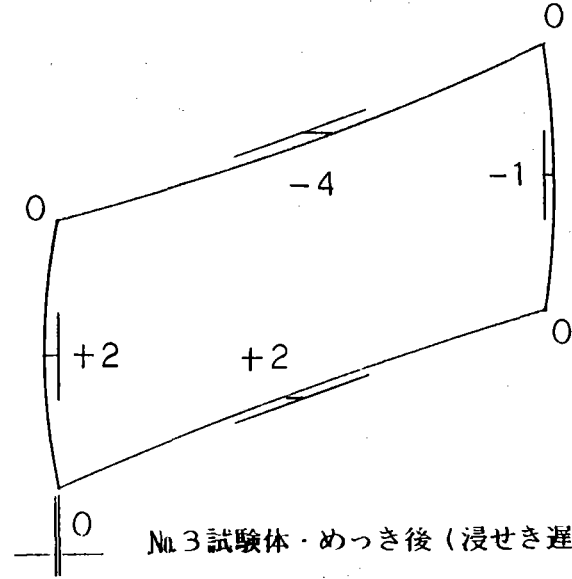
No. 2 試験体・めっき前 (水冷→空冷)



No. 2 試験体・めっき後 (水冷→空冷)



No. 3 試験体・めっき前 (浸せき遅速)



No. 3 試験体・めっき後 (浸せき遅速)

図 2. 3 亜鉛めっきによる板厚 9mm の鋼板での面外変形

### 2. 3 実験方法

鋼材でのねじれ現象の基本的な解明を目的に、図2. 4に示す補剛材を取り付けない単純な鋼桁供試体を用いて亜鉛めっきによるねじれ変形量、曲り変形量を測定した。鋼桁供試体は、図2. 4に示す基本形状以外に、表2. 2に示すフランジ厚を40mmに変更した供試体と隅肉溶接のサイズを12mmに変更した供試体を準備した。鋼材は全てSM50を使用した。隅肉溶接はサブマージアーク溶接法を採用し、図2. 4に示すように下フランジ裏面・表面、上フランジ裏面・表面の順に同一方向から行った。サブマージアーク溶接の条件と脚長の測定結果を表2. 3に示す。亜鉛めっきは表2. 4に示す標準的な条件で実施した。

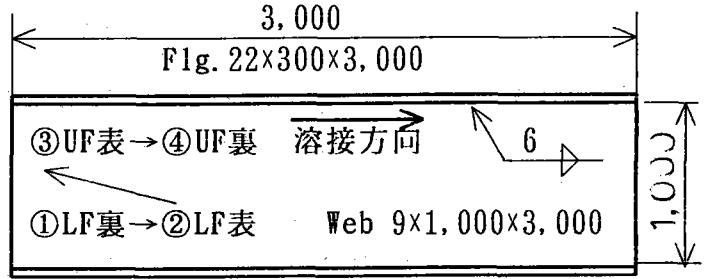


図2. 4 供試体の基本寸法と溶接順序

表2. 2 供試体条件

記号	部材寸法・サイズ	隅肉溶接
No. 1	基本寸法 (図2. 4)	サイズ: 6mm
No. 2	フランジ厚変更: 40mm	サイズ: 6mm
No. 3	基本寸法 (図2. 4)	サイズ: 12mm

桁のねじれ変形量と腹板の曲り変形量は、図2. 5に示すA線からC線と

表2. 3 溶接条件と脚長の実測結果

隅肉サイズ (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	実測脚長 (mm)
6	600	28	55	7.0~7.5
12	1パス	600	55	13.0~14.0
	2パス	630	28	

表2. 4 亜鉛めっき条件

亜鉛温度	440 ± 5 °C
浸漬速度	10 m/min.
入射角度	5°
引上角度	15°
冷却条件	水冷

①線から⑤線の交点上を下げ振りと水糸を用いて測定した。A線ねじれ変形量と曲り変形量の表示は、A線と①線、A線と⑤線、C線と①線の交点を基準とした。フランジの直角度は図2. 5に示す①線、③線、⑤線上の上フランジ、下フランジの位置で直角定規を用いて測定した。

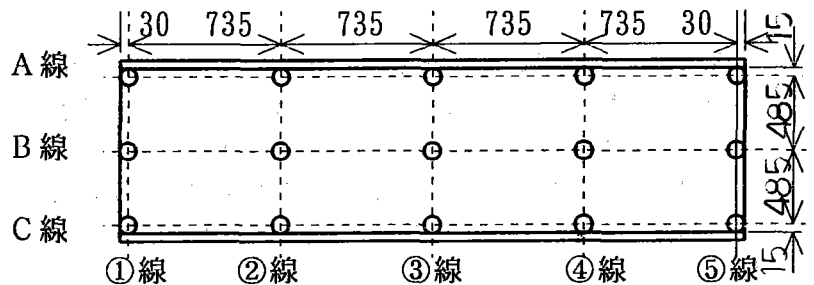


図2. 5 腹板の面外変形とフランジ直角度の測定

## 2. 4 実験結果

亜鉛めっき前後に測定した鋳桁供試体のねじれ変形量，曲り変形量，フランジの直角度の測定値を付表1～付表8に示す。付表1～付表4は基本形状の供試体の測定値を、付表5，付表6はフランジ厚を40mmに増加した供試体の測定値を、付表7，付表8は隅肉溶接のサイズを12mmに増加した供試体の測定値を示す。

めっき後の全体的な変形イメージ，及び供試体の写真を28頁から30頁に示す。

測定結果を桁のねじれ変形量，腹板の曲り変形量，フランジの直角度に区分して整理し、以下に示す。

### 2. 4. 1 桁のねじれ変形

表2. 5に全ての供試体のねじれ変形量の測定結果をまとめて示す。なお括弧内数値は単位部材長(m)・単位部材高(m)当たりのねじれ変形量(mm)を示す。またねじれ変形量は、図2. 6に示すように片端を垂直にした場合の他端の変位量を表す。

表2. 5 単純なI形断面部材の亜鉛めっきによるねじれ変形量 (単位: mm)

供試体 記号	特 徴	めっき前変形量		めっき後変形量		前後での変化量	
		測 定 値	平均値	測 定 値	平均値	測 定 値	平均値
Na 1-1	基 本 形 状	5.0 (1.8)	4.0 (1.4)	80.0(28.1)	64.3 (22.5)	75.0(26.3)	60.3 (21.1)
Na 1-2		3.5 (1.2)		62.5(21.9)		59.0(20.7)	
Na 1-3		4.0 (1.4)		58.0(20.3)		54.0(18.9)	
Na 1-4		3.5 (1.2)		56.6(19.8)		53.1(18.6)	
Na 2-1	フランジ厚	8.5 (3.0)	9.3	155.0(54.4)	157.7	146.5(51.4)	148.4
Na 2-2	: 40mm	10.0 (3.5)	(3.3)	160.3(56.2)	(55.3)	150.3(52.7)	(52.0)
Na 3-1	隅肉サ	3.5 (1.2)	6.3	△56.5(19.8)	66.8	60.0(21.0)	64.1
Na 3-2	ズ:12mm	9.0 (3.2)	(2.2)	77.1(27.0)	(23.4)	68.1(23.9)	(22.5)

備考：△符号はねじれが亜鉛めっき前の状態に対し反対面に発生したことを示す。

腹板とフランジに9×1,000×3,000，22×300×3,000の寸法のSM50鋼板を使用した基本形状の供試体では、亜鉛めっきによって60.3mm (単位部材長部材高当たり21.1mm/mxm) のねじれ変形が発生し、亜鉛めっき後のねじれ変形量は64.3mm (単位部材長部材高当たり22.5mm/mxm) となる。フランジ厚を増加 (22mm→40mm) した供試体では、亜鉛めっきに

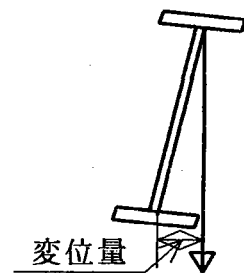


図2. 6 ねじれ変形量

よるねじれ変形量が148.4mm(単位部材長部材高当たり52.0mm/m×m)、亜鉛めっき後のねじれ変形量が157.7mm(単位部材長部材高当たり55.3mm/m×m)となり、基本形状での変形量に対して両者の値とも約2.5倍となることを確認した。一方隅肉サイズを増加(6mm→12mm)した供試体の亜鉛めっきによるねじれ変形量は、64.1mm(単位部材長部材高当たり22.5mm/m×m)となり、基本形状での変形量と比較してほとんど変化しないことを確認した。

この亜鉛めっきによるI形断面形状部材のねじれ現象の検討については、次の腹板の曲り現象と合わせて考察する。

#### 2. 4. 2 腹板の曲り変形

表2. 6に示すNo. 1-1の供試体の例と同様な方法により算出した最大曲り変位量について、全ての供試体での実験結果を表2. 7にまとめて示す。なおここでは部材高中央部の線上(B線上)での最大曲り変位量を腹板の曲り変形量とした。

表2. 6 腹板の曲り変形量(最大曲り変位量)の算出方法の例(単位:mm)

No. 1-1	めっき前変形量					めっき後変形量				
	①線	②線	③線	④線	⑤線	①線	②線	③線	④線	⑤線
B線上										
付表測定値	-0.7	-0.7	-1.7	-1.3	-1.2	+1.0	-12.2	-12.0	-34.0	-41.5
両端基準での値	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	+1.0	-9.6	-20.2	-30.9	-41.5
変位値	0	+0.1	-0.7	-0.2	0	0	-2.6	+8.2	-3.1	0
最大曲り変位量	+0.1 - (-0.7) = 0.8					+8.2 - (-3.1) = 11.3				

- 備考 1)付表測定値：測定位置での面外方向の座標値(+；奥方向，-；手前方向)  
 2)両端基準での値：両端の①，⑤線の測定値上を通る直線(基準線)の各測定位置での面外方向の座標値  
 3)変位値：基準線に対する各測定位置での面外方向の変位量  
 4)最大曲り変位量：正負の面外方向の最大変位値の代数差(図2. 7)

腹板とフランジに9×1,000×3,000，22×300×3,000の寸法のSM50鋼板を使用した基本形状の供試体では、亜鉛めっきによって8.1mmの腹板の曲り変形が発生し、亜鉛めっき後の曲り変形量は9.7mmとなる。フランジ厚を増加(22mm→40mm)した供試体では、亜鉛めっきにより16.0mmの曲り変形が生じ、亜鉛めっき後の曲り変形

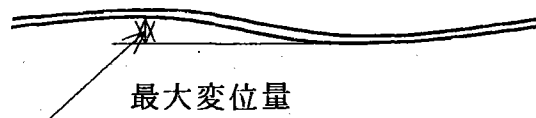


図2. 7 最大曲り変位量



表 2. 7 単純な I 形断面部材の亜鉛めっきによる腹板の曲り変形量 (単位 : mm)

供試体 記号	特 徴	めっき前変形量		めっき後変形量		前後での変化量	
		測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値
No. 1-1	基 本 形 状	0.8	1.6	11.3	9.7	10.5	8.1
No. 1-2		1.6		10.5		8.9	
No. 1-3		1.5		11.5		10.0	
No. 1-4		2.4		5.3		2.9	
No. 2-1	フ ラ ン ジ 厚 : 40mm	0.9	1.0	16.1	17.0	15.2	16.0
No. 2-2		1.1		17.9		16.8	
No. 3-1	隅 肉 サ イ ズ : 12mm	1.7	1.8	9.9	13.7	8.2	11.9
No. 3-2		1.8		17.4		15.6	

量は17.0mmとなり、亜鉛めっきによる変化量は基本形状での値に対し約 2.0倍となることを確認した。一方隅肉サイズを増加(6mm→12mm)した供試体では、亜鉛めっきにより11.9mmの曲り変形量が生じ、亜鉛めっき後の曲り変形量は13.7mmとなり、基本形状での変形量と比較して約40%程度増加することを確認した。

I 形断面部材の腹板の亜鉛めっきによる曲り現象(座屈現象)については、現場的にも『やせ馬』の発生などにより今までにもよく知られている現象である。この腹板の曲り現象に関して、過去の研究報告において亜鉛めっき浸漬中の腹板に発生する桁方向圧縮熱応力が腹板の曲り変形を発生し、この桁方向圧縮熱応力は腹板に対するフランジの板厚比の増加によって増加すると報告されている。上記の報告結果と本実験での腹板の曲り変形に関する実験結果が同様な傾向を示すことから、本実験での供試体においても桁方向圧縮熱応力が曲り変形を発生させるものと考えられる。また腹板の曲り変形に及ぼす隅肉溶接サイズの影響は非常に小さいとの実験結果を得たが、これは隅肉溶接サイズが腹板に発生する圧縮熱応力に影響を及ぼさないためと考えられ、亜鉛めっきによる溶接残留応力の解放が大きな影響を及ぼさなかったためと考えられる。

前述の桁のねじれ変形量と腹板の曲り変形量の比較を表 2. 8 に示すが、基本形状、フランジ厚・隅肉溶接サイズの変化する条件において、多少のばらつきは存在するが、曲り変形量が大きくなるにしたがってねじれ変形量も増大する傾向が認め

表 2. 8 ねじれ変形量と曲り変形量の比較

	ねじれ 変化量	曲 り 変 化 量	ねじれ 量 曲 り 量
基本形状	60.3	8.1	7.44
フランジ厚: 40mm	148.4	16.0	9.28
隅肉サイズ: 12mm	64.1	11.9	5.39

られる。上記の結果から曲り変形とねじれ変形には何らかの相関があると考えられ、ここでは曲り変形の発生によってねじれ変形が発生すると考えた。すなわち図2. 8に示すように同一圧縮熱応力によって腹板に曲り変形が生ずると考えた場合、ねじれ変形（両端位置の移動）が生じた場合の方が曲り変形のための変形エネルギーが小さくなり、全体の変形エネルギーも小さくなるためではないかと考えた。したがって上記の考え方に基づくならば、ねじれ変形は溶接残留応力の解放などによって発生するのではなく、圧縮熱応力を主要因として発生するものと考えられる。

#### 2. 4. 3 フランジの直角度

フランジの直角度について腹板を挟んで相対的に内側に変形する側（内側への変形量大きい側）と相対的に外側に変形する側に区分し、さらに上フランジと下フランジに分類して整理した。全ての供試体についてめっき後の変形量とめっき前後の変化量で整理した結果を表2. 9, 表2. 10にまとめて示す。

フランジの直角度の変化に及ぼす亜鉛めっきの影響について、表2. 9に示す亜鉛めっき後の変形量の結果では製作時の溶接による初期変形の影響があることから整理が困難なため、ここでは表2. 10に示す亜鉛めっき前後の変形の変化量の結果を用いて整理検討する。亜鉛めっきによる腹板とフランジ間の直角度の変化については、フランジ全体の傾斜がいずれかの方向に発

生し、さらに桁の内側に倒れる現象が見られる。またこの現象は本実験でのNo. 1-1供試体での特異な実験結果（大きなばらつき）を除いて考えるならば、下フランジより上フランジにおいて著しく発生し、基本形状の供試体と比較して溶接サイズの増加、またフランジ厚の増加によって顕著になり、ばらつき量も増大する傾向が認められる。

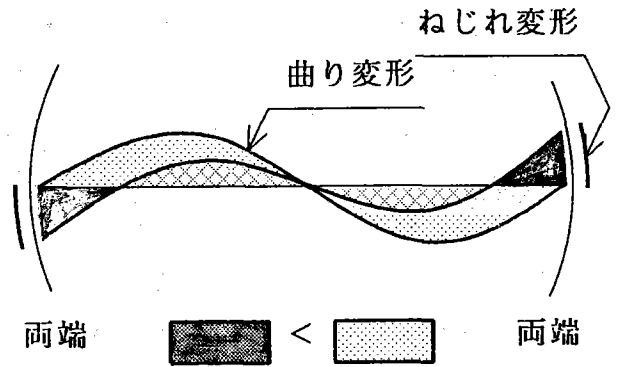
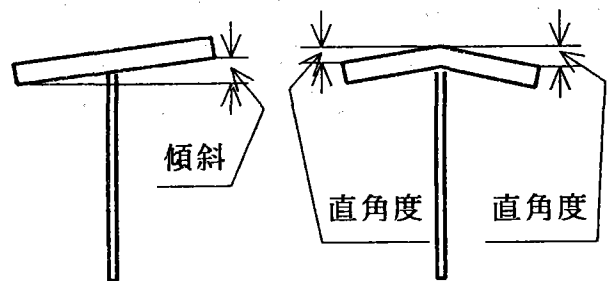


図2. 8 曲り変形とねじれ変形の関係



フランジの傾斜      フランジの直角度

図2. 9 フランジの傾斜と直角度

表2. 9 I形断面部材の垂鉛めっき後のフランジの直角度

種 類	供試体 類	相対的に内側に変形する側					相対的に外側に変形する側						
		部 材 別		種 類 別			部 材 別		種 類 別				
		平均値	最小値	平均値	最小値	標準偏差	平均値	最大値	平均値	最大値	標準偏差		
上 フ ラ ン ジ	基本 形状	No. 1-1	- 4.8	- 6.6				+ 2.8	+ 4.6				
		No. 1-2	- 3.9	- 6.4				+ 2.3	+ 4.6				
		No. 1-3	- 5.4	- 8.2	- 3.9	- 8.2	2.7	+ 2.8	+ 4.8	+ 1.8	+ 4.8	2.6	
		No. 1-4	- 1.5	- 4.1				- 0.6	+ 2.0				
	フラン ジ 40mm サイズ	フラン ジ	No. 2-1	- 6.6	-12.2				+ 5.4	+10.5			
			No. 2-2	- 6.8	-12.5	- 6.7	-12.5	5.1	+ 5.8	+10.7	+ 5.6	+10.7	4.5
		12mm	No. 3-1	- 4.4	- 7.0				+ 0.1	+ 3.8			
			No. 3-2	- 6.2	- 7.7	- 5.3	- 7.7	2.1	+ 1.8	+ 4.5	+ 1.0	+ 4.5	2.9
下 フ ラ ン ジ	基本 形状	No. 1-1	- 5.4	- 7.5				+ 3.5	+ 5.1				
		No. 1-2	- 1.0	- 1.5				- 1.2	- 0.2				
		No. 1-3	- 1.5	- 3.4	- 2.7	- 7.5	2.4	- 1.0	+ 0.5	+ 0.7	+ 5.1	2.5	
		No. 1-4	- 2.8	- 4.1				+ 0.5	+ 2.0				
	フラン ジ 40mm サイズ	フラン ジ	No. 2-1	- 5.9	- 9.0				+ 3.7	+ 8.1			
			No. 2-2	- 3.3	- 3.8	- 4.6	- 9.0	2.2	+ 1.9	+ 2.7	+ 2.8	+ 8.1	2.8
		12mm	No. 3-1	- 4.4	- 5.2				+ 1.9	+ 2.3			
			No. 3-2	- 5.3	- 7.5	- 4.8	- 7.5	1.5	+ 2.0	+ 3.0	+ 1.9	+ 3.0	0.7

備考：-符号は桁の内側へ、+符号は桁の外側への変形を示す。

垂鉛めっきによる腹板とフランジの角度の変化の内、傾斜の増加については桁のねじれ変形挙動においてフランジと腹板のねじれ剛性が異なることから、腹板とフランジが別個な挙動をし、腹板とフランジの角度を変化させるものと考えられる。また内側への倒れ現象については、溶接残留応力などの内部残留応力のバランスが、垂鉛めっき時の加熱による応力解放によって崩れることが原因と考えられる。

表2. 10 I形断面部材の亜鉛めっき前後のフランジの直角度の変化量

種 類	供試体 類	相対的に内側に変形する側					相対的に外側に変形する側						
		部材別		種類別			部材別		種類別				
		平均値	最小値	平均値	最小値	標準偏差	平均値	最大値	平均値	最大値	標準偏差		
上 フ ラ ン ジ	基本 形状	No. 1-1	-3.5	-4.7				+3.2	+4.3				
		No. 1-2	-2.6	-4.2				+2.8	+4.3				
		No. 1-3	-3.7	-4.8	-2.8	-4.8	1.4	+2.6	+3.8	+2.4	+4.3	1.5	
		No. 1-4	-1.6	-2.1				+1.1	+1.3				
	40mm サイズ	フランジ	No. 2-1	-5.6	-9.9				+5.1	+8.9			
			No. 2-2	-6.1	-9.8	-5.8	-9.9	3.6	+5.3	+8.2	+5.2	+8.9	3.0
		12mm	No. 3-1	-2.9	-4.9				+2.8	+4.0			
			No. 3-2	-4.8	-6.4	-3.9	-6.4	1.8	+4.5	+5.9	+3.6	+5.9	1.7
下 フ ラ ン ジ	基本 形状	No. 1-1	-9.4	-14.2				+5.1	+8.2				
		No. 1-2	-1.8	-2.7				-0.1	+0.3				
		No. 1-3	-2.1	-3.7	-3.8	-14.2	4.1	+1.3	+3.3	+1.8	+8.2	2.8	
		No. 1-4	-1.7	-2.2				+0.8	+2.0				
	40mm サイズ	フランジ	No. 2-1	-6.5	-10.5				+3.8	+8.7			
			No. 2-2	-2.1	-3.3	-4.3	-10.5	3.4	+1.2	+2.4	+2.5	+8.7	3.3
		12mm	No. 3-1	+0.2	-0.2				+1.5	+1.6			
			No. 3-2	-7.0	-10.5	-3.4	-10.5	4.5	+0.9	+5.0	+1.2	+5.0	2.3

備考：-符号は桁の内側へ、+符号は桁の外側への変形を示す。

## 2. 5 まとめ

単純なI形断面部材を用いて亜鉛めっきによる変形挙動について実験を行った。その結果、下記にまとめる結論を得た。

- ①単純なI形断面部材を亜鉛めっきした場合、桁のねじれ変形、腹板の曲り変形、腹板とフランジの角度の変化が顕著に発生した。
- ②桁のねじれ変形、腹板の曲り変形はフランジの板厚増により顕著になり、溶接サイズの増加の影響をほとんど受けない結果を得た。
- ③腹板とフランジの角度のばらつきをも含めた変化は、溶接サイズの増加によって増加し、さらにフランジ板厚の増加によって顕著に増加するとの結果を得た。
- ④垂直補剛材端部の亜鉛めっき割れ防止のための一連の研究の内、亜鉛めっきによる変形の基礎データを入手することを目的に、モデル供試体により実験を行ったが、変形に関する十分な基礎資料を得ることができた。

付表1 板桁のねじれ変形，腹板の曲り変形，フランジの直角度の測定結果  
 供試体 No.1-1 [基準寸法・サイズ，基準6mm隅肉溶接サイズ]

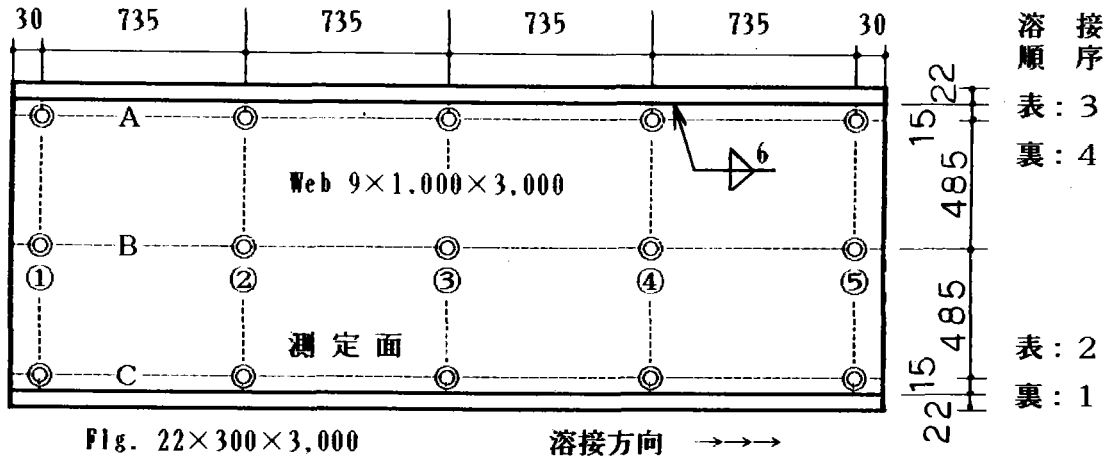


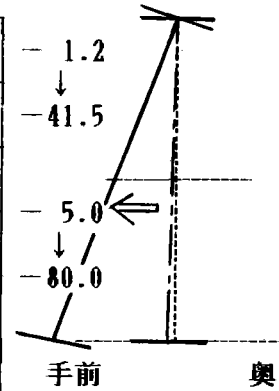
Fig. 22×300×3,000

溶接方向 →→→

[溶接方法：サブマージアーク溶接，溶接条件：600A，28V，55cm/min]

測定結果

ねじれ・曲がり		①線	②線	③線	④線	⑤線
A線	めっき前	基準0	+0.2	-0.6	+0.2	基準0
	めっき後	0	+1.8	+0.5	0	0
	変化(Δ)	0	+1.6	+1.1	-0.2	0
B線	めっき前	-0.7	-0.7	-1.7	-1.3	-1.2
	めっき後	+1.0	-12.2	-12.0	-34.0	-41.5
	変化(Δ)	+1.7	-11.5	-10.3	-32.7	-40.3
C線	めっき前	基準0	-0.1	-1.8	-3.2	-5.0
	めっき後	0	-19.7	-38.5	-58.5	-80.0
	変化(Δ)	0	-19.6	-36.7	-55.3	-75.0



[備考]

手前：-

奥：+

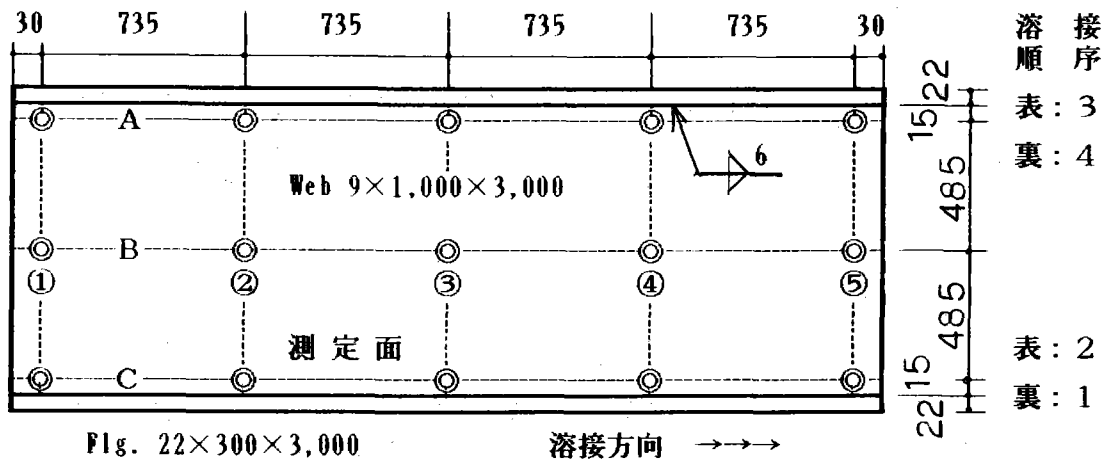
フランジ直角度		①線		③線		⑤線	
		手前	奥	手前	奥	手前	奥
上面	めっき前	+0.3	-2.3	+0.3	-1.9	+0.3	-1.9
	めっき後	+4.6	-5.7	+3.7	-6.6	-2.0	+0.1
	変化(Δ)	+4.3	-3.4	+3.4	-4.7	-2.3	+2.0
下面	めっき前	-0.5	+2.0	-1.0	+3.4	-3.2	+6.7
	めっき後	+0.5	-2.2	+5.1	-6.5	+5.0	-7.5
	変化(Δ)	+1.0	-4.2	+6.1	-9.9	+8.2	-14.2

[備考]

内面側：-

外面側：+

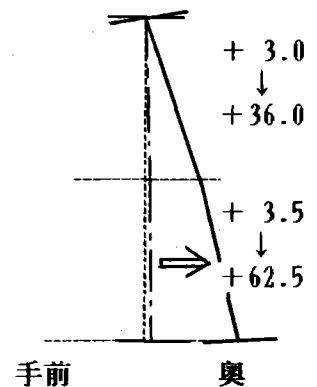
付表2 板桁のねじれ変形，腹板の曲り変形，フランジの直角度の測定結果  
 供試体 No.1-2 [基準寸法・サイズ，基準6mm隅肉溶接サイズ]



[溶接方法：サブマージアーク溶接，溶接条件：600A，28V，55cm/min]

測定結果

ねじれ・曲がり		①線	②線	③線	④線	⑤線
A線	めっき前	基準0	-0.4	+0.1	-0.2	基準0
	めっき後	0	-1.0	-0.4	-0.8	0
	変化(Δ)	0	-0.6	-0.5	-0.6	0
B線	めっき前	+0.5	+1.4	+1.4	+1.1	+3.0
	めっき後	-5.5	+9.0	+15.6	+19.2	+36.0
	変化(Δ)	-6.0	+7.6	+14.2	+18.1	+33.0
C線	めっき前	基準0	+1.2	+1.7	+2.9	+3.5
	めっき後	0	+16.5	+31.1	+47.2	+62.5
	変化(Δ)	0	+15.3	+29.4	+44.3	+59.0



[備考]

手前：-

奥：+

フランジ直角度		①線		③線		⑤線	
		手前	奥	手前	奥	手前	奥
上面	めっき前	+0.5	-2.5	+0.6	-2.4	+0.3	-2.2
	めっき後	-2.7	+1.0	+1.2	-2.7	+4.6	-6.4
	変化(Δ)	-3.2	+3.5	+0.6	-0.3	+4.3	-4.2
下面	めっき前	-0.5	+0.6	-1.7	+1.5	-1.0	+0.5
	めっき後	-0.2	-1.5	-1.8	-1.2	-1.5	-0.2
	変化(Δ)	+0.3	-2.1	-0.1	-2.7	-0.5	-0.7

[備考]

内面側：-

外面側：+

付表3 板桁のねじれ変形, 腹板の曲り変形, フランジの直角度の測定結果  
 供試体 No.1-3 [基準寸法・サイズ, 基準6mm隅肉溶接サイズ]

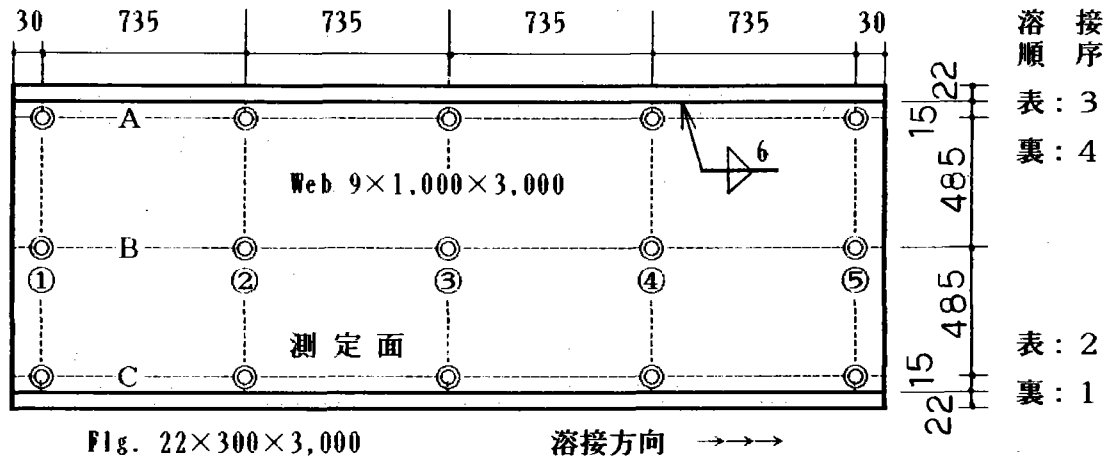
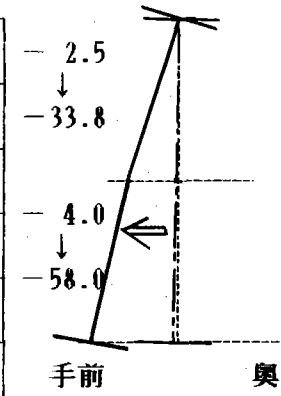


Fig. 22×300×3,000 溶接方向 →→→  
 [溶接方法: サブマージアーク溶接, 溶接条件: 600A, 28V, 55cm/min]

測定結果

ねじれ・曲がり		① 線	② 線	③ 線	④ 線	⑤ 線
A線	めっき前	基準0	-1.1	-1.7	-1.7	基準0
	めっき後	0	-0.2	+0.5	-0.5	0
	変化(Δ)	0	+0.9	+2.2	+1.2	0
B線	めっき前	-0.5	-0.6	-0.2	-2.2	-2.5
	めっき後	+0.7	-11.7	-9.2	-29.3	-33.8
	変化(Δ)	+1.2	-11.1	-9.0	-27.1	-31.3
C線	めっき前	基準0	-1.1	-1.7	-2.7	-4.0
	めっき後	0	-14.8	-28.4	-43.4	-58.0
	変化(Δ)	0	-13.7	-26.7	-40.7	-54.0



[備考]

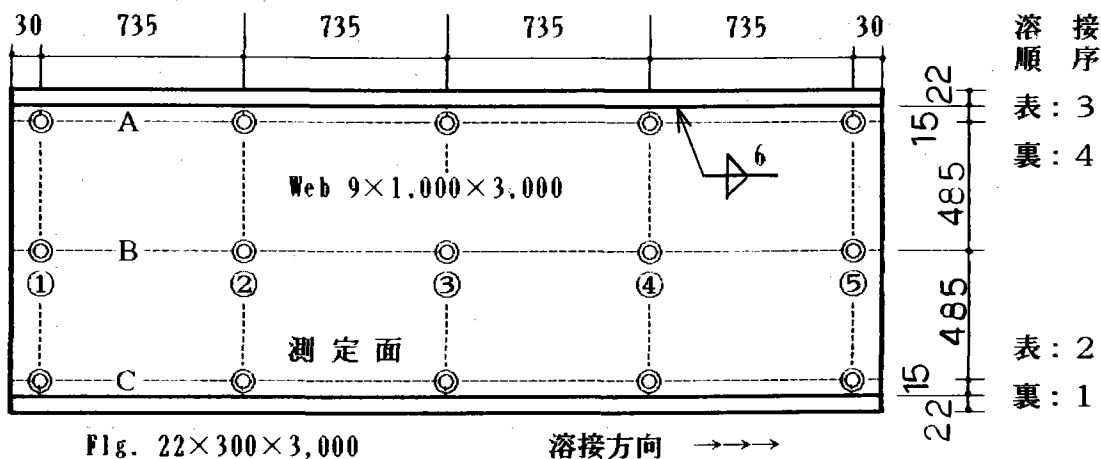
手前: -  
 奥: +

フランジ直角度		① 線		③ 線		⑤ 線	
		手前	奥	手前	奥	手前	奥
上面	めっき前	+0.8	-2.8	+1.0	-3.4	+1.2	-1.2
	めっき後	+4.5	-6.5	+4.8	-8.2	-1.5	-0.9
	変化(Δ)	+3.7	-3.7	+3.8	-4.8	-2.7	+0.3
下面	めっき前	-3.0	+1.0	-2.8	+0.3	-1.0	+0.5
	めっき後	-3.2	+0.5	+0.5	-3.4	-0.3	-1.5
	変化(Δ)	-0.2	-0.5	+3.3	-3.7	+0.7	-2.0

[備考]

内面側: -  
 外面側: +

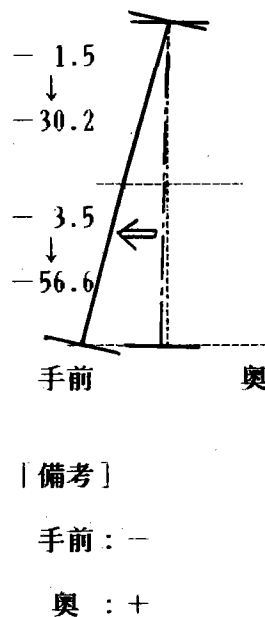
付表4 板桁のねじれ変形，腹板の曲り変形，フランジの直角度の測定結果  
 供試体 No.1-4 [基準寸法・サイズ，基準6mm隅肉溶接サイズ]



[溶接方法：サブマージアーク溶接，溶接条件：600A，28V，55cm/min]

測定結果

ねじれ・曲がり		①線	②線	③線	④線	⑤線
A線	めっき前	基準0	-0.2	+0.1	-0.4	基準0
	めっき後	0	-0.7	-2.7	-1.4	0
	変化(Δ)	0	-0.5	-2.8	-1.0	0
B線	めっき前	-0.5	-0.1	+1.4	-0.2	-1.5
	めっき後	+4.3	+0.6	-14.6	-19.0	-30.2
	変化(Δ)	+4.8	+0.7	-16.0	-18.8	-28.7
C線	めっき前	基準0	-0.6	-0.1	-2.0	-3.5
	めっき後	0	-13.2	-27.0	-42.6	-56.6
	変化(Δ)	0	-12.6	-26.9	-40.6	-53.1



フランジ直角度		①線		③線		⑤線	
		手前	奥	手前	奥	手前	奥
上面	めっき前	+1.2	-2.9	+2.0	-4.2	+1.1	-2.0
	めっき後	+2.0	-4.1	+0.5	-3.1	-1.0	-0.7
	変化(Δ)	+0.8	-1.2	-1.5	+1.1	-2.1	+1.3
下面	めっき前	-1.9	0	-1.7	0	-0.9	+0.5
	めっき後	-4.1	+2.0	-3.2	+0.5	-1.0	-1.0
	変化(Δ)	-2.2	+2.0	-1.5	+0.5	-0.1	-1.5

[備考]  
 内面側：-  
 外面側：+



付表5 板桁のねじれ変形，腹板の曲り変形，フランジの直角度の測定結果  
 供試体 No.2-1 [フランジ厚；22mm→40mmに増加以外は基本条件]

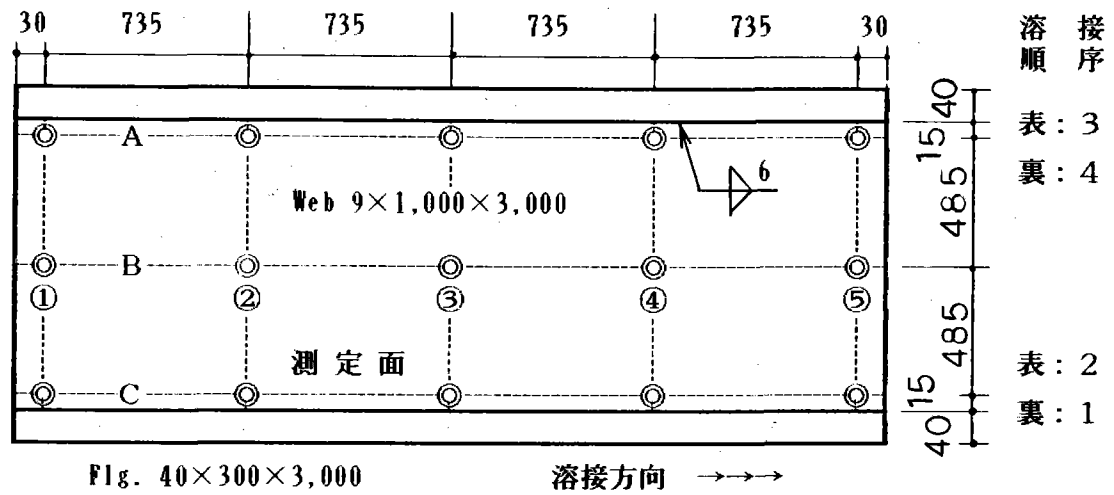


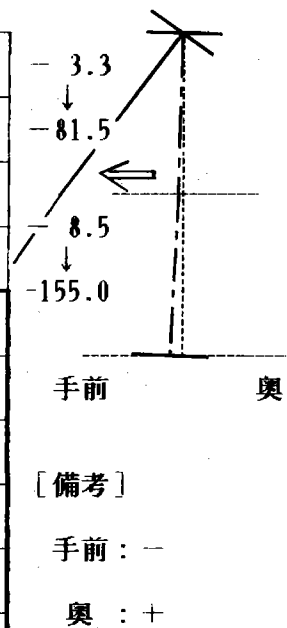
Fig. 40×300×3,000

溶接方向 →→→

[溶接方法：サブマージアーク溶接，溶接条件：600A，28V，55cm/min]

測定結果

ねじれ・曲がり		① 線	② 線	③ 線	④ 線	⑤ 線
A線	めっき前	基準0	-0.9	-0.5	-0.2	基準0
	めっき後	0	-0.4	+1.6	+0.7	0
	変化(Δ)	0	+0.5	+2.1	+0.9	0
B線	めっき前	+0.8	-1.1	-2.2	-3.0	-3.3
	めっき後	-2.5	-28.4	-37.4	-73.3	-81.5
	変化(Δ)	-3.3	-27.3	-35.2	-70.3	-78.2
C線	めっき前	基準0	-2.4	-4.5	-5.7	-8.5
	めっき後	0	-38.4	-76.4	-115.8	-155.0
	変化(Δ)	0	-36.0	-71.9	-110.1	-146.5



フランジ直角度		① 線		③ 線		⑤ 線	
		手前	奥	手前	奥	手前	奥
上面	めっき前	+1.6	-2.3	+1.5	-2.2	+1.5	-2.2
	めっき後	+10.5	-12.2	+4.9	-6.2	-1.3	+0.8
	変化(Δ)	+8.9	-9.9	+3.4	-4.0	-2.8	+3.0
下面	めっき前	-0.3	+0.5	0	+0.5	-0.6	+1.5
	めっき後	-4.1	+0.3	+2.8	-4.7	+8.1	-9.0
	変化(Δ)	-3.8	-0.2	+2.8	-5.2	+8.7	-10.5

[備考]  
 内面側：-  
 外面側：+

付表6 板桁のねじれ変形，腹板の曲り変形，フランジの直角度の測定結果  
 供試体 No.2-2 [フランジ厚；22mm→40mmに増加以外は基本条件]

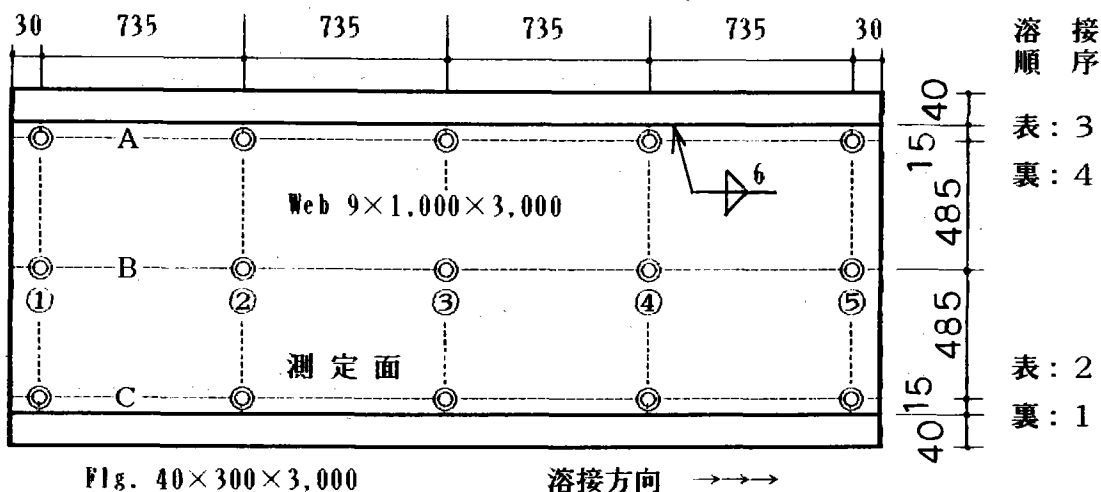


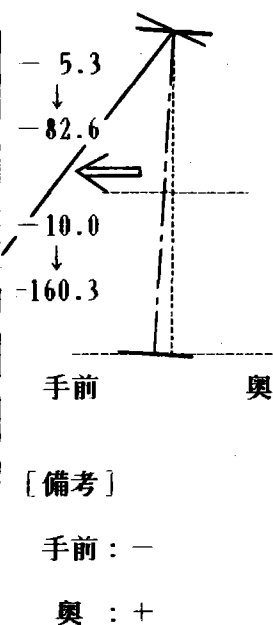
Fig. 40×300×3,000

溶接方向 →→→

[溶接方法：サブマージアーク溶接，溶接条件：600A，28V，55cm/min]

測定結果

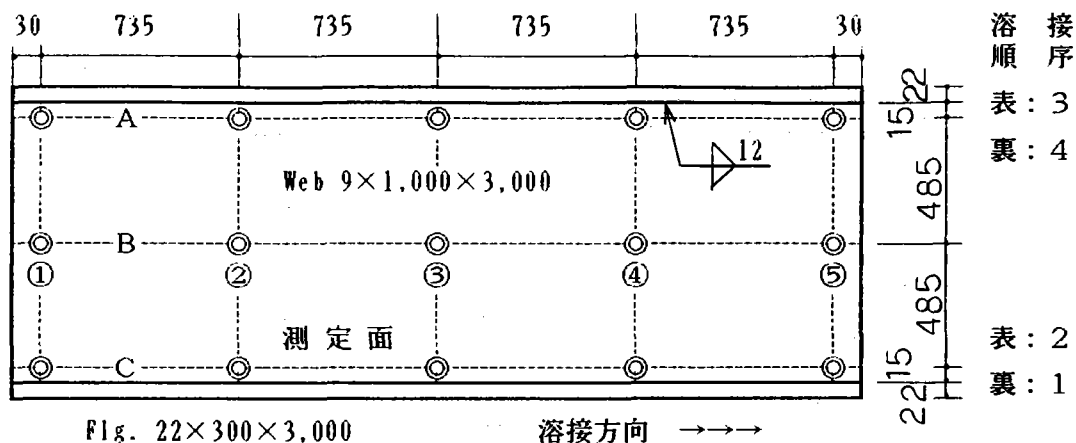
ねじれ・曲がり		①線	②線	③線	④線	⑤線
A線	めっき前	基準0	-0.5	+0.2	-0.9	基準0
	めっき後	0	+0.4	+1.4	+0.2	0
	変化(Δ)	0	+0.9	+1.2	+1.1	0
B線	めっき前	+2.2	-0.8	-2.1	-3.7	-5.3
	めっき後	+9.8	-22.9	-40.7	-51.2	-82.6
	変化(Δ)	+7.6	-22.1	-38.6	-47.5	-77.3
C線	めっき前	基準0	-3.0	-4.8	-7.8	-10.0
	めっき後	0	-40.6	-79.6	-120.3	-160.3
	変化(Δ)	0	-37.6	-74.8	-112.5	-150.3



フランジ直角度		①線		③線		⑤線	
		手前	奥	手前	奥	手前	奥
上面	めっき前	+2.5	-2.7	+0.9	-1.1	+0.5	0
	めっき後	+10.7	-12.5	-0.7	+0.5	-7.3	+6.2
	変化(Δ)	+8.2	-9.8	-1.6	+1.6	-7.8	+6.2
下面	めっき前	-2.0	+0.9	-1.8	+0.9	-0.3	0
	めっき後	-3.8	+2.5	-2.9	+0.5	+2.7	-3.3
	変化(Δ)	-1.8	+1.6	-1.1	-0.4	+3.0	-3.3

[備考]  
 内面側：-  
 外面側：+

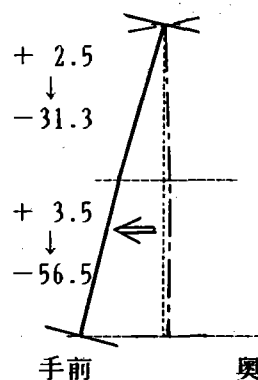
付表7 板桁のねじれ変形, 腹板の曲り変形, フランジの直角度の測定結果  
 供試体 No 3-1 [隅肉溶接サイズ; 6mm→12mmに増加以外は基本条件]



[溶接方法: サブマージアーク溶接]  
 [溶接条件: ①パス 600A, 28V, 55cm/min, ②パス 630A, 35V, 28cm/min]

測定結果

ねじれ・曲がり		① 線	② 線	③ 線	④ 線	⑤ 線
A線	めっき前	基準0	+ 1.1	- 0.9	- 1.1	基準0
	めっき後	0	- 0.9	- 3.1	- 0.7	0
	変化(Δ)	0	- 2.0	- 2.2	+ 0.4	0
B線	めっき前	+ 1.0	+ 1.1	+ 0.1	+ 1.9	+ 2.5
	めっき後	+ 8.8	- 1.2	-12.4	-12.5	-31.3
	変化(Δ)	+ 7.8	- 2.3	-12.5	-14.4	-33.8
C線	めっき前	基準0	+ 1.1	+ 2.1	+ 2.9	+ 3.5
	めっき後	0	-13.9	-28.8	-41.7	-56.5
	変化(Δ)	0	-15.0	-30.9	-44.6	-60.0



[備考]

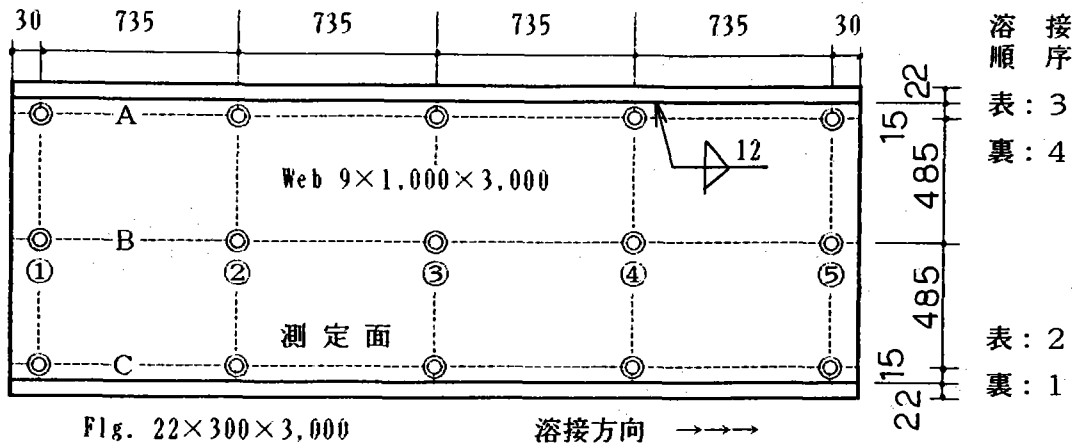
手前: -  
 奥: +

フランジ直角度		① 線		③ 線		⑤ 線	
		手前	奥	手前	奥	手前	奥
上面	めっき前	+ 0.2	- 4.5	- 0.4	- 4.3	+ 0.6	- 3.8
	めっき後	+ 3.8	- 7.0	- 1.8	- 3.6	- 4.3	+ 0.2
	変化(Δ)	+ 3.6	- 2.5	- 1.4	+ 0.7	- 4.9	+ 4.0
下面	めっき前	- 3.7	0	- 5.2	+ 0.4	- 4.8	+ 0.7
	めっき後	- 3.0	+ 1.5	- 5.2	+ 1.8	- 5.0	+ 2.3
	変化(Δ)	+ 0.7	+ 1.5	0	+ 1.4	- 0.2	+ 1.6

[備考]

内面側: -  
 外面側: +

付表8 板桁のねじれ変形, 腹板の曲り変形, フランジの直角度の測定結果  
 供試体 No.3-2 [隅肉溶接サイズ; 6mm→12mmに増加以外は基本条件]

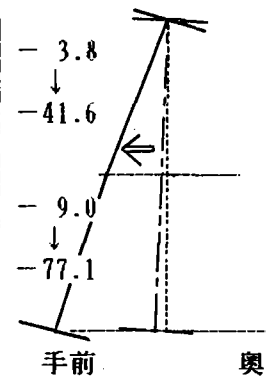


[溶接方法: サブマージアーク溶接]

[溶接条件: ①パス 600A, 28V, 55cm/min, ②パス 630A, 35V, 28cm/min]

測定結果

ねじれ・曲がり		①線	②線	③線	④線	⑤線
A線	めっき前	基準0	-0.3	-0.3	-0.2	基準0
	めっき後	0	-0.1	+0.2	-0.6	0
	変化(Δ)	0	+0.2	+0.5	-0.4	0
B線	めっき前	-0.2	-1.1	-3.1	-2.2	-3.8
	めっき後	+7.8	+2.7	-27.0	-22.4	-41.6
	変化(Δ)	+8.0	+3.8	-23.9	-20.2	-37.8
C線	めっき前	基準0	-2.2	-4.3	-6.2	-9.0
	めっき後	0	-19.1	-38.2	-57.2	-77.1
	変化(Δ)	0	-16.9	-33.9	-51.0	-68.1



[備考]

手前: -

奥: +

フランジ直角度		①線		③線		⑤線	
		手前	奥	手前	奥	手前	奥
上面	めっき前	+1.5	-4.5	+0.2	-5.2	+0.1	-4.2
	めっき後	+4.5	-7.7	-6.2	+0.7	-4.8	+0.3
	変化(Δ)	+3.0	-3.2	-6.4	+5.9	-4.9	+4.5
下面	めっき前	-0.8	+2.5	-0.5	+3.9	-3.0	+6.5
	めっき後	-4.3	+1.0	-7.5	+3.0	+2.0	-4.0
	変化(Δ)	-3.5	-1.5	-7.0	-0.9	+5.0	-10.5

[備考]

内面側: -

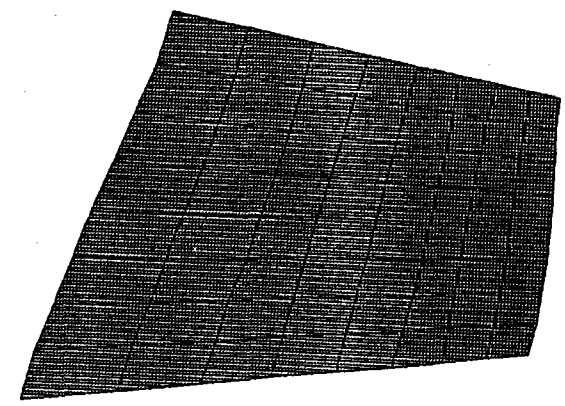
外面側: +

供試体 NO 2-2 左フ 変形(面外2倍)

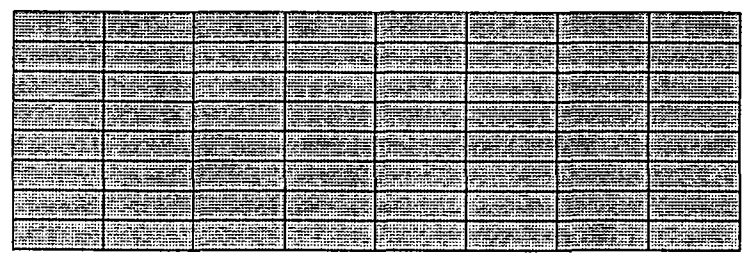
上 面 図



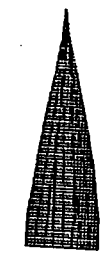
透 視 図



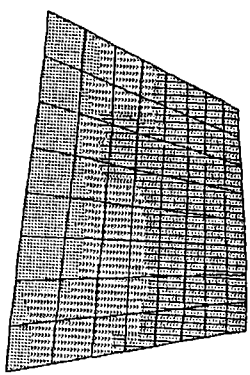
正 面 図



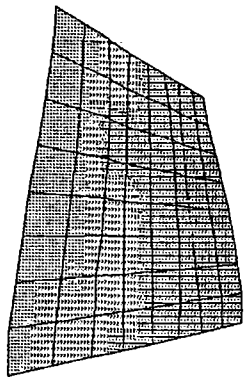
側 面 図



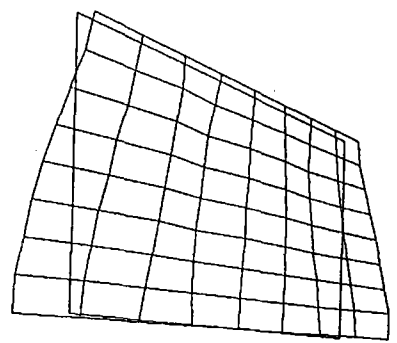
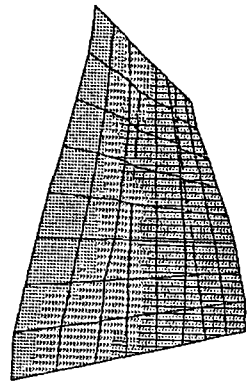
変形 x 1



x 2



x 3



1 面

2 面

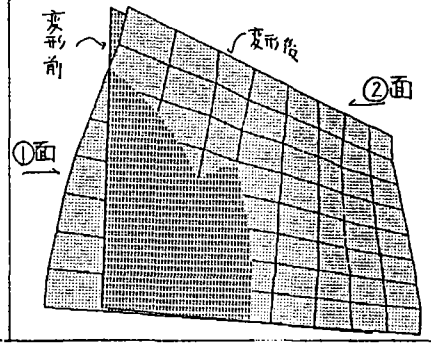
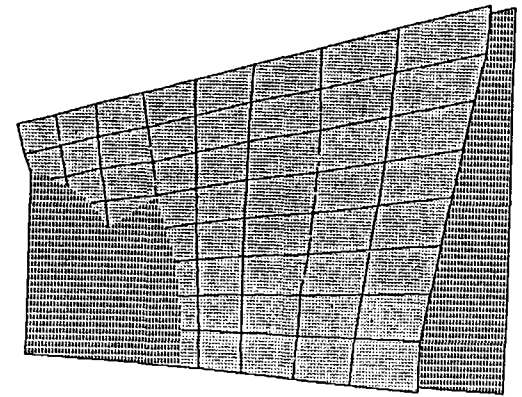
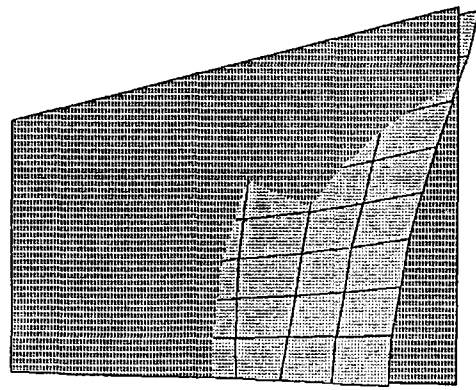




写真2. 1 めっき後の変形  
(4Aは1Aと同条件である)