

3. 亜鉛めっき橋実験Ⅱの結果と考察

3. 1. まえがき

前章では、鋼桁部材の亜鉛めっきによるねじれ現象の発生機構の基本的な解明と、ねじれ量の系統的把握を目的に、単純なI形断面部材のねじれ現象に関して実験を行った。その結果、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変化が顕著に発生し、これらの変形がフランジの板厚増によって増大することが明らかになった。しかし、本研究の最終目標は、垂直補剛材端部の溶接部止端に発生することがある“めっき割れ”を防止することであり、割れ発生の主原因である発生応力を数値的に把握することである。すなわち、垂直補剛材端部の溶接部止端における亜鉛めっき浸漬中での応力履歴を定量的にとらえることが必要となる。

そこで本章では、前章での単純なI形断面部材を用いた実験を一步進め、実用の鋼桁部材のねじれ現象を解明するため、I形断面に垂直補剛材を取り付けた供試体を用いてねじれ現象に関する実験を行った。実験では、水冷と空冷の冷却方法の差異による亜鉛めっき前後での桁のねじれ変形量・腹板の曲がり変形量・腹板とフランジの角度変化量の測定、および亜鉛めっき浸漬中における桁のねじれ変形量の時間的変化の測定を実施した。なお本実験で垂直補剛材端部の応力履歴を解明することは不可能であり、本実験の結果をもとにFEM解析により応力値の解明を行った。解析結果については次章で述べる。

3. 2 実験方法

亜鉛めっき前後での桁のねじれ変形量・腹板の曲がり変形量・腹板とフランジの角度変化量の測定、および亜鉛めっき浸漬中における桁のねじれ変形量の時間的変化の測定に使用した供試体の形状寸法を図3.

1に示す。基本形状は1,000mmの部材高と3,000mmの部材長さのI形断面であり、基本形状のAタイプを除き両端と中央に3枚の垂直補剛材を配している。垂直補剛材の形状はスカラップを有した溶接接合の上端と30mmの隙間を有する下端のBタイプ、同様な上端と10mm隙間部に6パスの肉盛り溶接を施した下端のCタイプ、同様な上端とスカラップを有する下端のDタイプ、上下端に円形孔を有した溶接接合のEタイプの4種類である。

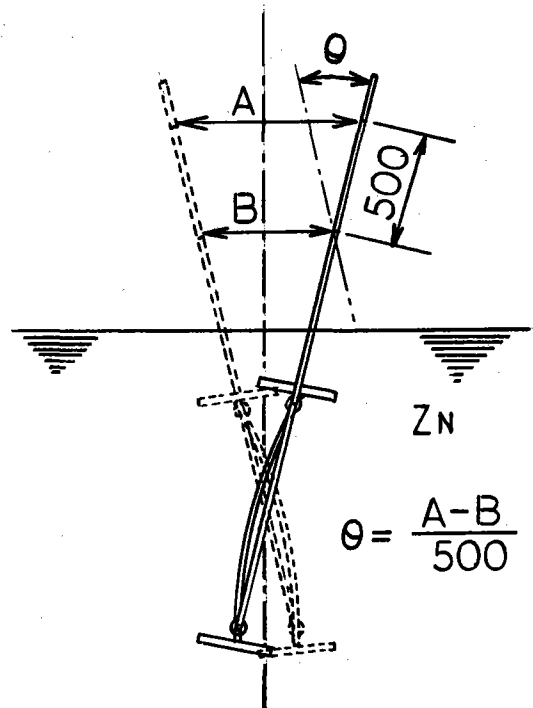


図3. 2 めっき浸漬中のねじれ変形測定法

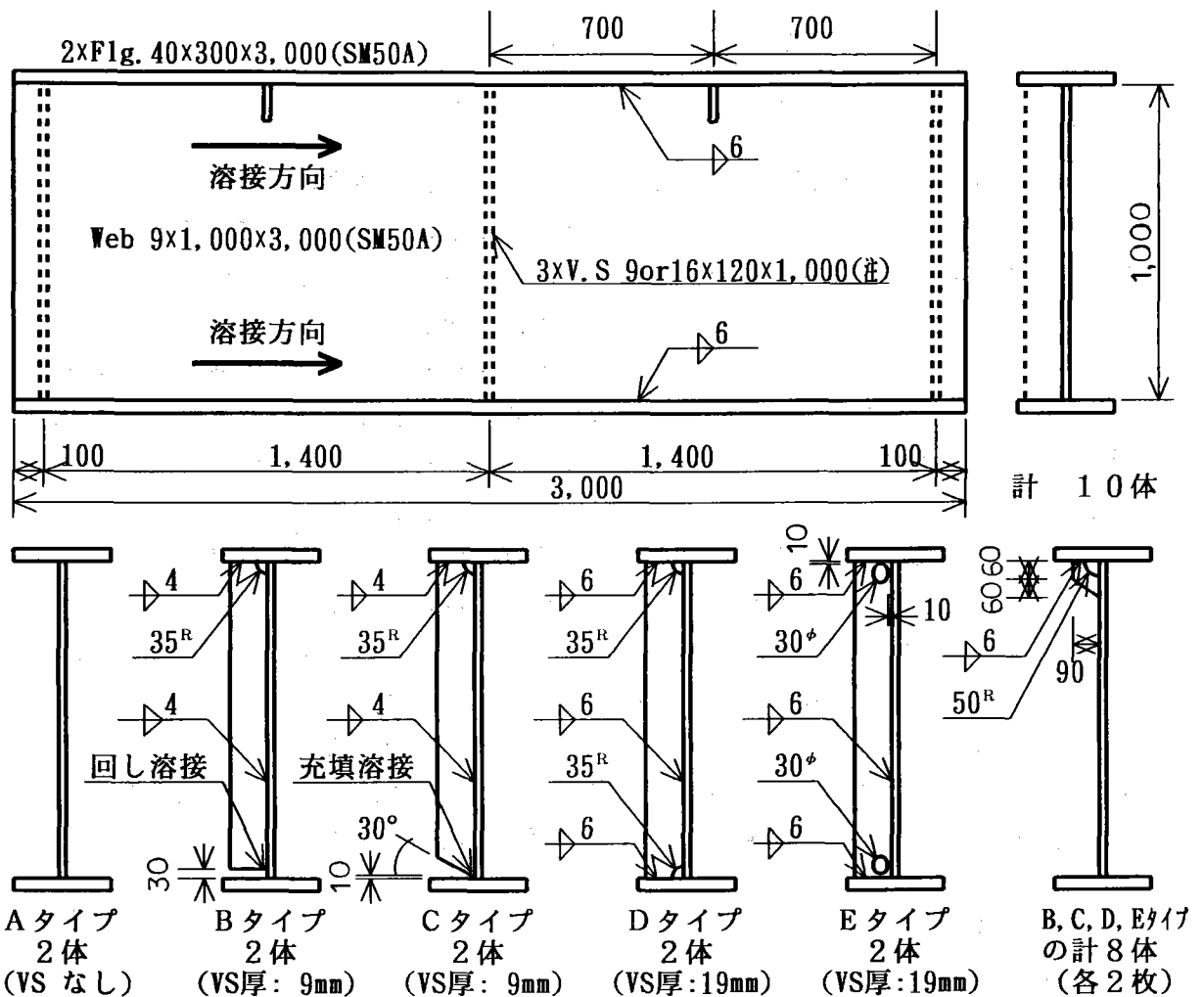


図3. 1 ねじれ変形測定用鋳桁供試体の形状寸法

供試体に使用する鋼材は全てSM490であり、溶接方法についてはフランジと腹板のすみ肉溶接にはサブマージアーク溶接法を、垂直補剛材の溶接には被覆アーク溶接法を用いた。亜鉛めっきの条件については表3. 1に示すが、No. 1とNo. 2の供試体では浸漬速度と冷却方法を変化した。

亜鉛めっき浸漬中のねじれ変形の測定については、図3. 2に示すように供試体の両端に指示棒(ステンレス鋼, 20φ)を取り付け、亜鉛めっき浸漬中に部材長方向からビデオ撮影を行い、その停止プリント画面から指示棒の角度変化を求めた。指示棒の取り付けは上部に突き出した状態で回転が自由になるように上下端の二点で固定した。

表3. 1 亜鉛めっき条件

供試体No	No. 1	No. 2
亜鉛温度	440 ± 5 °C	
浸漬速度	14.0m/min.	6.5m/min.
入射角度	5°	
引上角度	15°	
冷却条件	水冷	空冷

亜鉛めっき前後での桁のねじれ変形量・腹板の曲がり変形量の測定については、図3.3に示すA線からC線と①線から⑤線の交点上を下げ振りと水系を用いて行った。ねじれ変形量と曲がり変形量の表示はA線と①線，A線と⑤線，C線と①線の交点を基準とした。亜鉛めっき前後でのフランジの直角度の測定については、図3.3に示す①線から⑤線の上下フランジの位置で、直角定規を用いて行った。

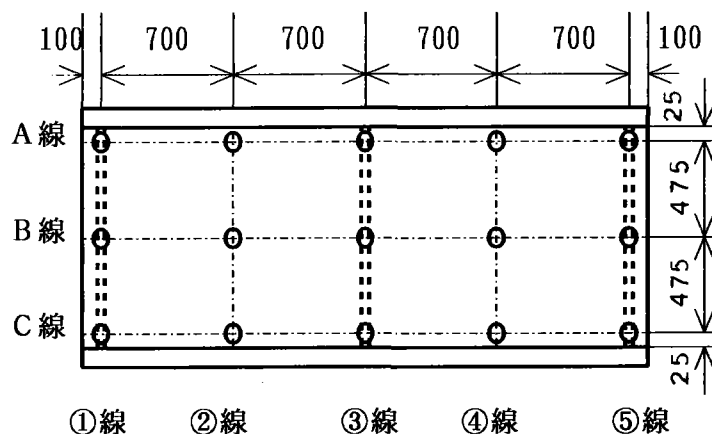


図3.3 桁の変形量の測定位置

3.3 実験結果

3.3.1 亜鉛めっき浸漬中のねじれ変形の時間的变化

部材両端に取り付けた指示棒を亜鉛浴側面からめっき浸漬中にビデオ撮影し、ビデオテープから重要ポイントを写真化した例を写真3.1と写真3.2に示す。さらにこれらの写真から亜鉛めっき浸漬中における二本の指示棒間の角度変化，すなわちねじれ変形を求めた結果を図3.4に示す。垂直補剛材なしのAタイプにおいて、部材高さ1m当たりのねじれ変形はめっき浸漬直後に20mmを超えて発生し、時間経過とともに減少し、8分経過後に5mm前後に達する。各種形状の垂直補剛材を取り付けたB，C，D，Eタイプにおいて、Bタイプの水冷方式を除き、ねじれ変形の時間的变化は垂直補剛材の端部形状の影響を受けずほぼ同様な傾向を示す。その変化はめっき浸漬直後に10mm前後の極大値を示し、時間経過とともに減少し、8分経過後ほぼ零に近づく。ただしBタイプの水冷方式においては、他の垂直補剛材ありの場合と異なり、浸漬直後の極大値に達した後のねじれ変形は減少することなく、8分経過後においても約10mmのねじれ変形が発生している。なお8分経過後のねじれ変形量は、亜鉛浴から引上げ直後の部材観察からも確認され、ほぼ妥当な結果で得られたと考える。

I形断面のAタイプにおける亜鉛めっき浸漬中のねじれ変形は、前章でも述べた通り部材を亜鉛浴に浸漬した場合に発生する熱応力を原因とし、腹板が圧縮熱応力により面外方向に変形するためと考えられる。また時間経過によるねじれ変形の減少は、腹板での圧縮熱応力の減少によるものである。さらに8分経過後においても発生しているねじれ変形については、熱応力のピーク時に圧縮の塑性変形が腹板に発生し、その後の温度均一時にフランジ材に圧縮応力が発生し、フランジ材に面外方向の曲がりが発生するためと考えられ

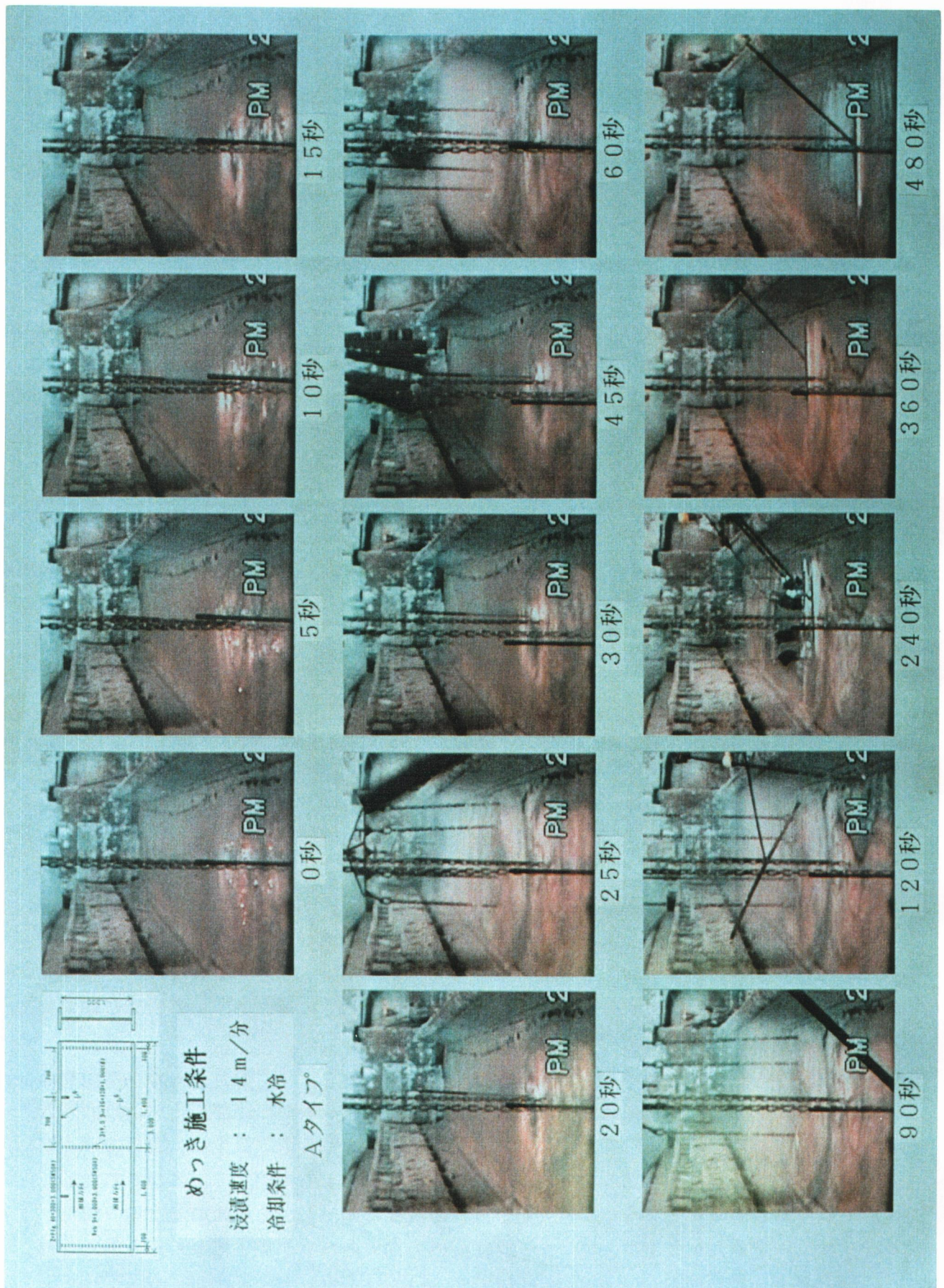


写真3. 1 めっき浸漬中のねじれ変形測定のための指示棒撮影記録の例
 [Aタイプ (垂直補剛材なし)]

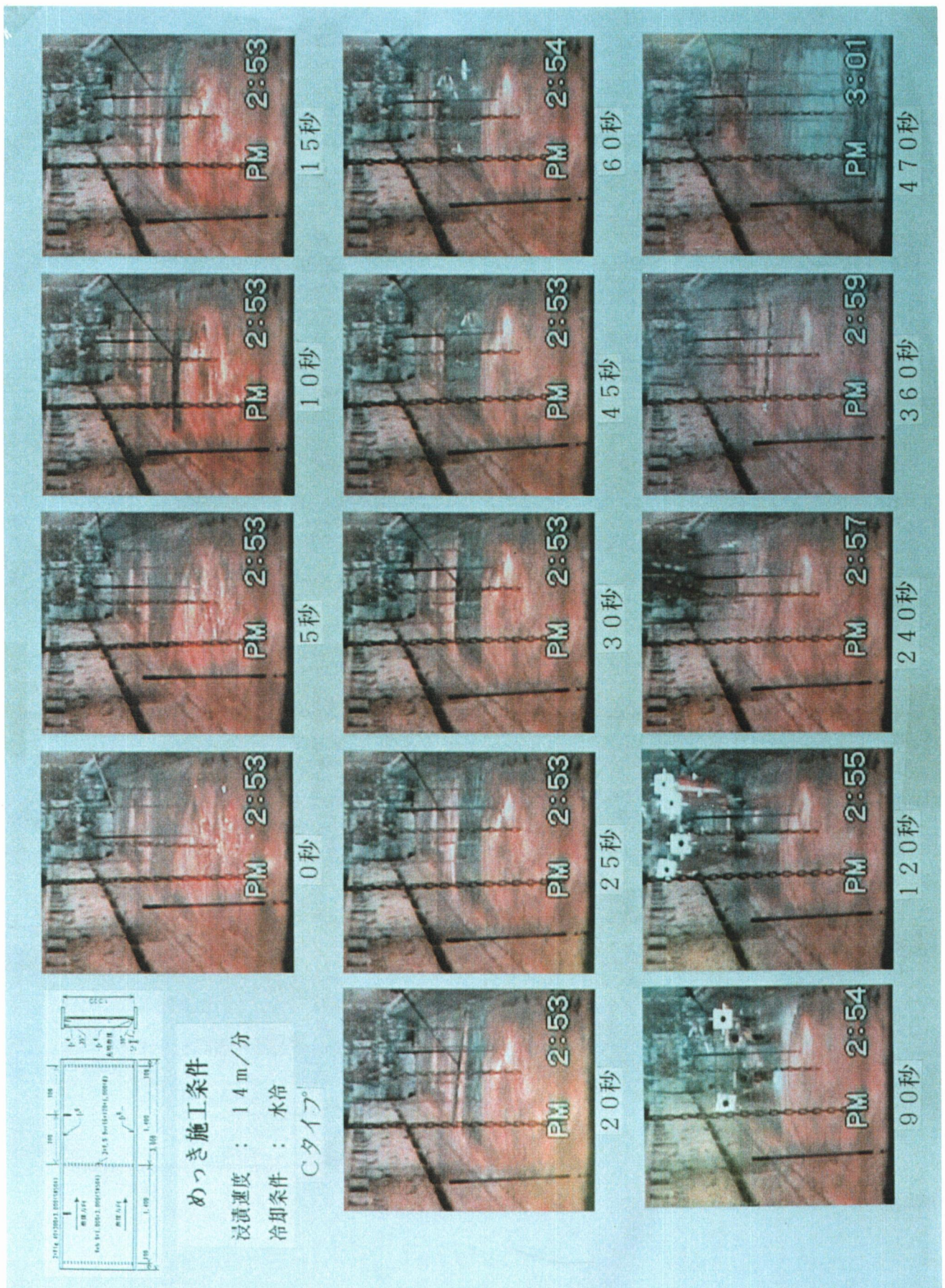


写真3. 2 めっき浸漬中のねじれ変形測定のための指示棒撮影記録の例
 [Cタイプ(下端肉盛り溶接の垂直補剛材)]

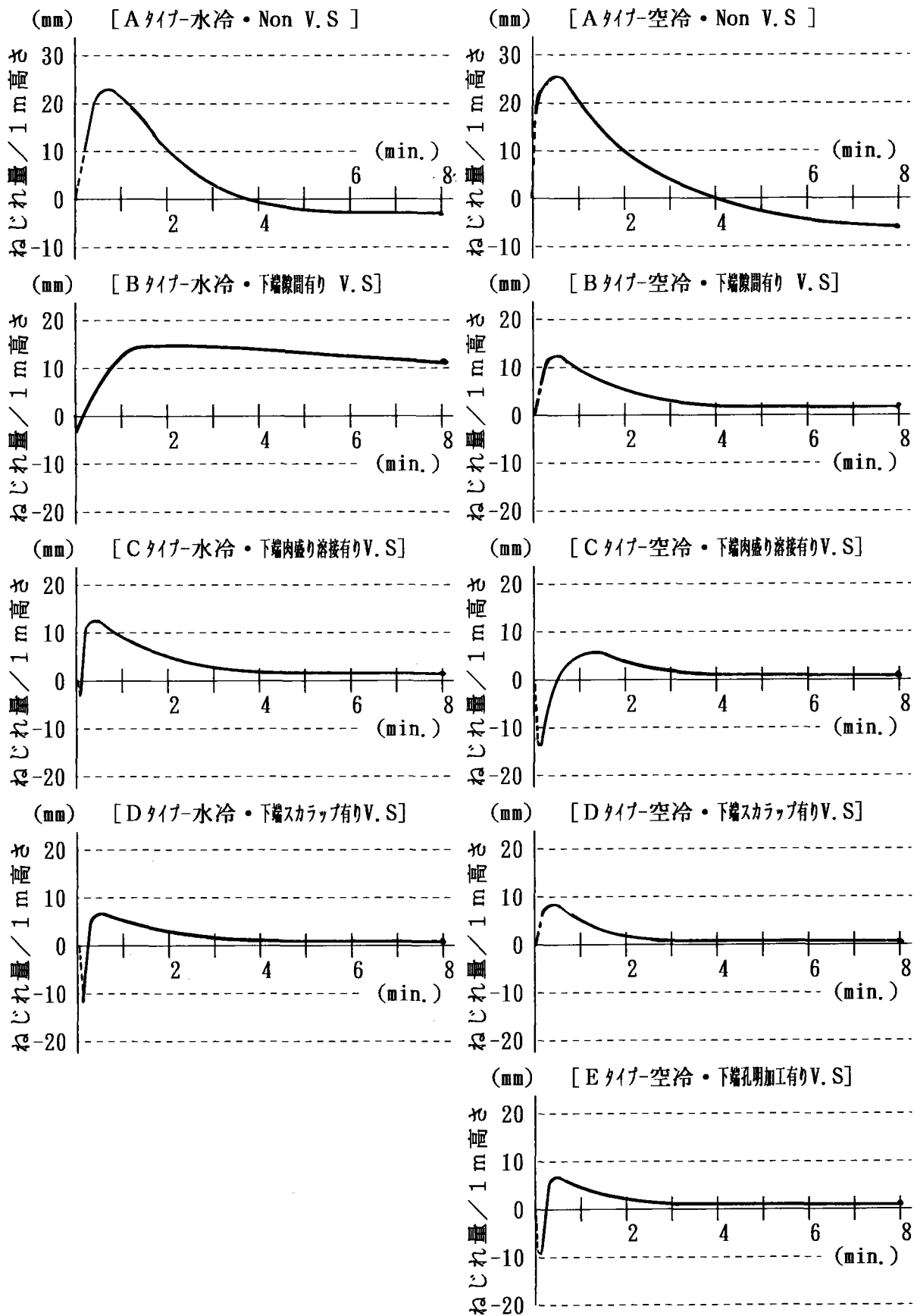


図3. 4 めっき浸漬中におけるねじれ変形量の時間的变化

る。

B, C, D, Eタイプにおいて垂直補剛材の取り付けによりねじれ変形が減少することについては、発生原因である腹板の曲がり変形を垂直補剛材が抑制すること、およびねじれ変形により二次的に派生するフランジと腹板間の角度変形を垂直補剛材が抑制することによると考えられる。しかし、ねじれ変形の拘束材とし

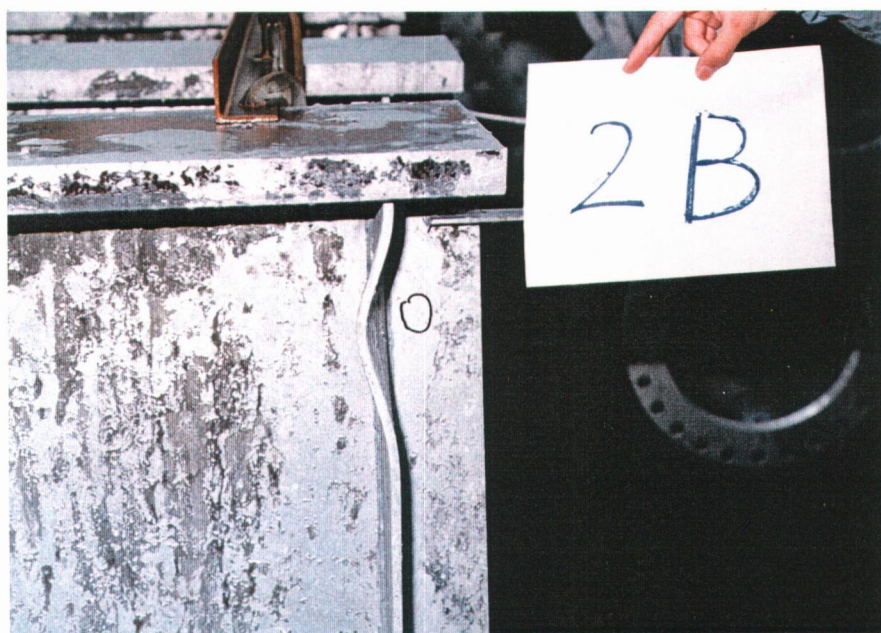


写真3. 3 垂直補剛材の局部座屈現象の事例

て垂直補剛材を考えるならば、逆に垂直補剛材に曲げ変形が発生することになり、垂直補剛材端部には引張、または圧縮の応力が発生する。このことは補剛材端部での“亜鉛脆化割れ”の発生に重大な影響を及ぼすものと考えられるが、その影響度については応力度が不明のため明らかではない。

Bタイプの水冷方式で認められる特異な現象については、亜鉛めっき浸漬直後の熱応力のピーク時に発生したねじれ変形によって垂直補剛材に座屈現象が生じ、熱応力の消失によってもねじれ現象が解消されなかったためと考えられる。この垂直補剛材の座屈現象に関しては、写真3. 3に示すように亜鉛めっき後の供試体においても認められる。またこの座屈現象は腹板の曲げにより腹板に圧縮応力が発生したためと考えられる。

以上の亜鉛めっき浸漬中での部材のねじれ測定の結果、部材に発生する熱応力の時間的変化に対応してねじれ変形が発生し、時間経過により部材の温度分布が均一になるにしたがってねじれ変形が減少することを明らかにした。ただし部材の温度均一後のねじれ変形は垂直補剛材の有無により変化する。

3. 3. 2 亜鉛めっき鋳桁部材の冷却後の変形

鋳桁供試体の桁のねじれ変形量，曲り変形量，およびフランジの直角度を亜鉛めっき前後に測定した結果を付表1～付表10に示す。付表1, 2に単純なI形断面部材での結果を、付表3～10に垂直補剛材を取り付けた場合の結果を示す。垂直補剛材の取り付け方法については、上端は全て溶接接合とし、下端はそれぞれ異なる方法を採用している。下端に隙間を有する場合の結果を付表3, 4に、下端の隙間部を肉盛り溶接した場合の結果を付表5,

6 に、下端もスカラップを設け溶接接合した場合の結果を付表7,8 に、上下端とも円形孔を設け溶接接合した場合の結果を付表9,10に示す。亜鉛めっき後の鉸部材の変形状態の一例を写真3.4に示す。

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

1) 鉸のねじれ変形

全ての供試体のねじれ変形量の測定結果を表3.2にまとめて示す。なおねじれ変形量は前章で示すように片端を垂直にした場合の片端の傾きを表している。

亜鉛めっき後ねじれ変形、およびめっき前後でのねじれ変形の変化量は、垂直補剛材の座屈現象によりねじれ現象が極端に発生したBタイプの水冷方式を除き、垂直補剛材なしの場合に最



写真3.4 亜鉛めっき後の変形状態の一例

表3.2 垂直補剛材付き鉸部材の亜鉛めっきによるねじれ変形量 (単位: mm)

供試体	垂直補剛材形状	冷却	めっき前変形量	めっき後変形量	前後での変形量
A	なし	水冷	12.50 (4.5)	114.25 (40.8)	101.75 (36.3)
		空冷	8.00 (2.9)	57.00 (20.4)	49.00 (17.5)
B	下端部隙間有り	水冷	4.00 (1.4)	137.50 (49.1)	133.50 (47.7)
		空冷	5.50 (2.0)	10.00 (3.6)	4.50 (1.6)
C	下端肉盛り溶接	水冷	3.00 (1.1)	△ 3.50 (1.3)	6.50 (2.3)
		空冷	1.50 (0.5)	1.50 (0.5)	0 (0)
D	下端スカラップ	水冷	7.00 (2.5)	9.00 (3.2)	2.00 (0.7)
		空冷	0.50 (0.2)	△ 2.00 (0.7)	2.50 (0.9)
E	下端隅角円加工	水冷	2.00 (0.7)	4.00 (1.4)	2.00 (0.7)
		空冷	1.50 (0.5)	4.50 (1.6)	3.00 (1.1)

() 内の数値は部材長さ1m当たりのねじれ変形量を示す。

も著しいねじれ変形が発生し、垂直補剛材を取り付けた場合にはねじれ変形の発生量が5mm前後と著しく減少することを確認した。また垂直補剛材なしの場合、ねじれ変形量は一般に用いられている水冷方式と比較して、空冷方式において半減することが明らかになった。

垂直補剛材なしの場合、ねじれ変形量は前節で示しためっき浸漬中の最終状態と比較して冷却過程において著しく増大する。これは冷却過程でフランジ材に圧縮熱応力が発生し、フランジ材に曲げ変形が発生したためと考えられる。ちなみに冷却方法の水冷と空冷によるねじれ変形の差異は、水冷の場合の早い冷却速度により大きな熱応力が発生し、フランジ材に大きな曲げ変形が発生するためと考えられる。

垂直補剛材を取り付けた場合、冷却後のねじれ変形も垂直補剛材なしの場合と比較して非常に小さいが、これは冷却過程における熱応力によるねじれ変形の発生に対しても、前節で考察したと同様、垂直補剛材が抵抗しているためと考えられる。

また垂直補剛材が座屈現象を起こしたBタイプの水冷方式におけるねじれ変形の増大は、冷却過程での最大ねじれ変形に対して、前節の考察と同様、復元力がなくなったためと考えられる。

2) 腹板の曲り変形

各種形状の垂直補剛材を有する供試体の部材高中央部（B線上）における腹板の曲り変形量をまとめて表3. 3に示す。なおここで使用する曲り変形量は、前章で示したと同様な定義に基づく、腹板の最大曲り変位量を示す。

表3. 3 垂直補剛材付き板桁部材の亜鉛めっきによる腹板の曲がり変形量（単位：mm）

供試体	垂直補剛材形状	冷却	めっき前変形量	めっき後変形量	前後での変形量
A	なし	水冷	0.75	16.75	16.00
		空冷	0.38	27.00	26.62
B	下端部隙間有り	水冷	1.75	10.50	8.75
		空冷	0.75	5.00	4.25
C	下端肉盛り溶接	水冷	2.00	3.38	1.38
		空冷	0.88	2.13	1.25
D	下端スカラップ	水冷	2.13	4.25	2.12
		空冷	3.30	2.75	0.55
E	下端隅角円加工	水冷	2.38	3.75	1.37
		空冷	3.31	6.00	2.69

亜鉛めっき後の腹板の曲がり変形、およびめっき前後での腹板の曲がり変形の変化量は、垂直補剛材なしの場合に最も著しい曲がり変形が発生し、垂直補剛材を取り付けた場合にはねじれ変形と同様、曲がり変形も著しく減少することを確認した。ただし下端に隙間を有する垂直補剛材のBタイプでは、他の垂直補剛材有りの場合と比較して多少の曲がりが発生する。またいずれの場合にも、曲がり変形量は冷却方法、すなわち水冷と空冷の違いによって大きな差異は認められなかった。

腹板の曲がり変形が垂直補剛材の取り付けによって減少することは、腹板の面外剛性の補強によるものである。また冷却方法によって腹板の曲がり変形に差異がでないことについては、冷却過程において引張熱応力が腹板に作用することによる。

腹板の曲がり変形と桁のねじれ変形の関係については、部分的に相関関係が認められないが、これは桁のねじれ変形が亜鉛めっき浸漬中と冷却過程の二段階で発生し、腹板の曲がり変形が主に亜鉛めっき浸漬中に発生するためと考えられる。なお亜鉛めっき浸漬中における桁のねじれ変形については、前章でも考察したように亜鉛めっき浸漬中の腹板での圧縮熱応力によるものであり、亜鉛めっき浸漬中の腹板の曲がり変形によって桁にねじれが発生するものである。また冷却過程での桁のねじれ変形については、前節でも考察したように冷却過程にフランジ材に発生する圧縮熱応力によるものであり、フランジ材の面外方向の曲がり変形によって桁にねじれ変形が発生するものである。

3) フランジの直角度

垂直補剛材位置におけるフランジの直角度（腹板とフランジ間の角度）の変化について、各供試体の上下フランジごとの内側最大変形量と外側最大変形量を表3、4に示す。フランジの直角度の変化については、フランジに垂直補剛材を溶接接合していない箇所、すなわちAタイプの上下フランジとBタイプの下フランジ側では大きな変化が認められ、隙間部の肉盛り溶接形式を含むそれ以外の溶接接合タイプでは、最大1.6mm以内の変化にとどまっている。なお大きな変化が認められるAタイプの上下フランジとBタイプの下フランジ側における内側と外側への変化量については、概ね外側への変化が大きい傾向にある。

本実験結果においてフランジの直角度の変化の傾向は、桁のねじれ変形の傾向、および腹板の曲がり変形の傾向と概ね一致している。これらの結果からフランジの直角度の変化は、桁のねじれ変形と腹板の曲がり変形によって二次的に発生すると考えられる。しかし逆に考えるならば、垂直補剛材をフランジに溶接接合によりフランジの角度を固定することによって、桁のねじれ変形を抑制する効果もあると考えられる。ただし、垂直補剛材をフランジに溶接接合することは、桁のねじれ変形およびフランジの直角度を拘束することになり、亜鉛めっき浸漬中に溶接部に拘束応力が発生することになり、“めっき割れ”の発生原因となる可能性がある。なお拘束応力として溶接部に発生する応力値に関しては、本実験で求めることは不可能であり今後の実験解析が必要となる。なお本実験の結果においては、供試体の形状寸法が小さいためか原因は明確でないが、垂直補剛材端部、および吊り金具の溶接部止端に“めっき割れ”は認められなかった。

表 3. 4 鋳桁部材の垂鉛めっきによるフランジの直角度の最大変化量 (単位: mm)

供試体	垂直補剛材形状	冷却	内側方向に変形する場合		外側方向に変形する場合	
			U, F	L, F	U, F	L, F
A	なし	水冷	3. 8	5. 8	6. 7	6. 2
		空冷	1. 1	0. 8	9. 2	9. 6
B	下端部隙間有り	水冷	3. 9	7. 9	1. 8	10. 7
		空冷	0. 2	2. 3	0. 3	2. 1
C	下端肉盛り溶接	水冷	0. 2	0. 7	0	0
		空冷	0. 2	0. 4	0. 1	0
D	下端スカラップ	水冷	0	0. 4	0. 3	0
		空冷	0. 5	0. 4	0	0. 5
E	下端隅角円加工	水冷	0. 6	0. 8	0	0
		空冷	0. 9	0. 4	0. 6	1. 6

[注] フランジの直角度は垂直補剛材取付け位置の最大値を示すものである。

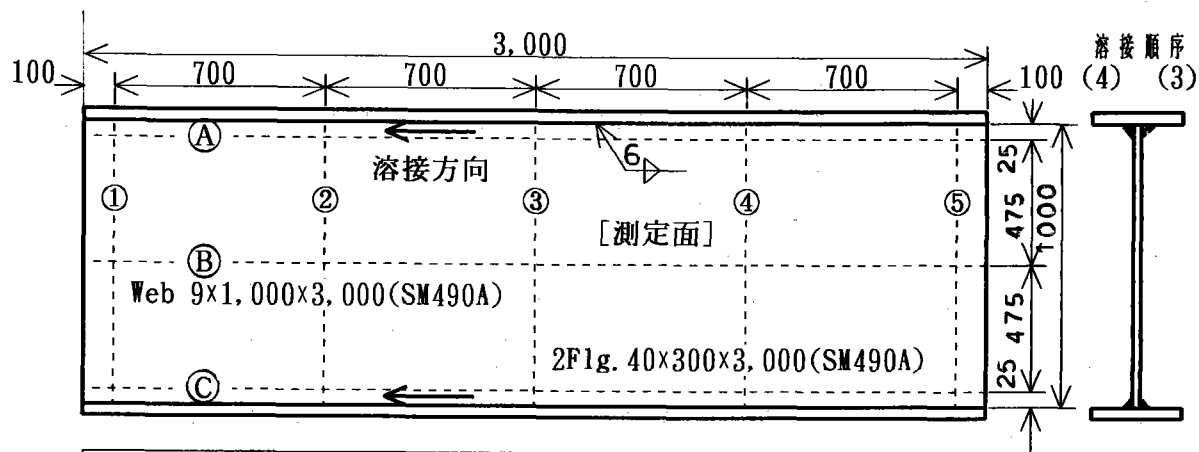
3. 4 まとめ

垂鉛めっきによる鋳桁部材の変形挙動に及ぼす垂直補剛材の影響を明らかにするため、垂直補剛材なしと端部形状が異なる垂直補剛材を取付けた供試体を用いて、垂鉛めっき浸漬中の桁のねじれ変形、および垂鉛めっき前後の桁のねじれ変形量・腹板の曲がり変形量・フランジの直角度の測定を行った。その結果、下記にまとめる結論を得た。

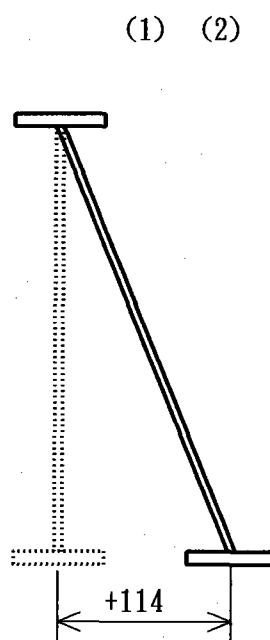
- ①垂鉛めっき浸漬中の桁のねじれ変形の時間的変化は、桁に発生する熱応力の時間的変化に対応し、非常に小さな変化を示す。ただし浸漬中の最終状態では、ねじれ変形が残留する垂直補剛材なしの場合を除き、ねじれ変形は消滅する。この過程で発生する桁のねじれ変形は腹板の曲がり変形によると考えられる。また垂直補剛材を取付けた場合の垂鉛めっき浸漬中の桁のねじれ変形量の減少は、垂直補剛材の取付けによる腹板の曲げ剛性の増強により、腹板の曲がり変形が減少することによると考えられる。
- ②冷却後の桁のねじれ変形は基本的に冷却過程で発生する。この過程で発生する桁のねじれ変形はフランジの圧縮熱応力による曲げ変形によると考えられる。冷却方法が桁のねじれ変形に及ぼす影響については、空冷と比較して水冷した場合のほうがより大きくねじれ変形が発生する。垂直補剛材の取付けの影響については、二次的な腹板の曲がり変形の抑制とフランジの角度の拘束により桁のねじれ変形を減少する。

- ③腹板の曲がり変形は、垂直補剛材なしの場合と比較して、垂直補剛材の取付けにより減少する。その結果、桁のねじれ変形を減少する効果がある。
- ④フランジの直角度の変化は、フランジに垂直補剛材を溶接接合することにより著しく減少する。また桁のねじれ変形量、および腹板の曲がり変形量にほぼ比例して、フランジの直角度の変化も大きくなる。
- ⑤フランジに垂直補剛材を溶接接合することにより、フランジの直角度・桁のねじれ変形を減少する。これは溶接接合がフランジと腹板の角変形を拘束するためであると考えられるが、逆に考えるならば拘束応力を溶接部に発生させることになり、溶接部止端に“めっき割れ”を発生させる原因ともなる。ただしこれらの発生応力に関しては不明であり、今後の実験、または解析が必要となる。
- ⑥本実験に使用した供試体においては、めっき後の垂直補剛材端部、および吊り金具の溶接部止端に“めっき割れ”は認められなかった。

付表1 鋼桁のねじれ変形, 腹板の曲がり変形, フランジの直角度の測定結果
供試体 Aタイプ-水冷 [垂直補剛材なし]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	+0.750	+2.500	+0.250	基準0
	めっき後	基準0	+2.000	+2.500	+1.000	基準0
	変化(Δ)	0	+1.250	0	+0.750	0
B線	めっき前	-1.000	+0.750	+3.000	+5.750	+7.500
	めっき後	+9.500	+21.000	+21.500	+51.500	+62.500
	変化(Δ)	+10.500	+20.250	+18.500	+45.750	+55.000
C線	めっき前	基準0	+2.750	+6.000	+8.750	+12.500
	めっき後	基準0	+26.750	+56.500	+85.500	+114.25
	変化(Δ)	0	+24.000	+49.500	+76.750	+101.75

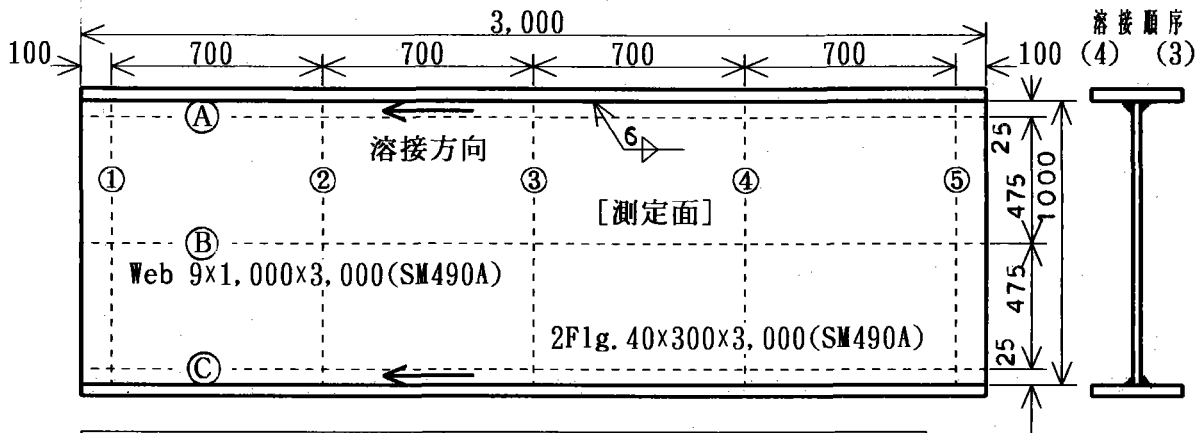


[備考] 正符号; V S 取付け面方向への変形, 負符号; V S 取付け無し面への変形

フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	-1.7	+1.4	-1.7	+1.8	-1.1	+1.4	+0.3	0	+0.7	-0.3
	めっき後	-5.6	+5.3	-4.2	+4.1	-9.2	+8.1	+2.6	-3.0	+3.6	-4.1
	変化(Δ)	-3.9	+3.9	-2.5	+2.3	-8.1	+6.7	+2.3	-3.0	+2.6	-3.8
L F	めっき前	+0.4	-1.0	+0.5	-0.8	-0.3	-0.4	-0.9	0	-1.5	+0.3
	めっき後	+3.0	-3.0	+1.1	-1.7	+7.3	-6.2	-3.5	+3.0	-8.3	+6.5
	変化(Δ)	+2.6	-2.0	+0.6	-0.9	+7.6	-5.8	-2.6	+3.0	-6.8	+6.2

[備考] 正符号; 外側への変形, 負符号; 内側(ウェブ側)への変形

付表2 鋸桁のねじれ変形, 腹板の曲がり変形, フランジの直角度の測定結果
供試体 Aタイプ-空冷 [垂直補剛材なし]



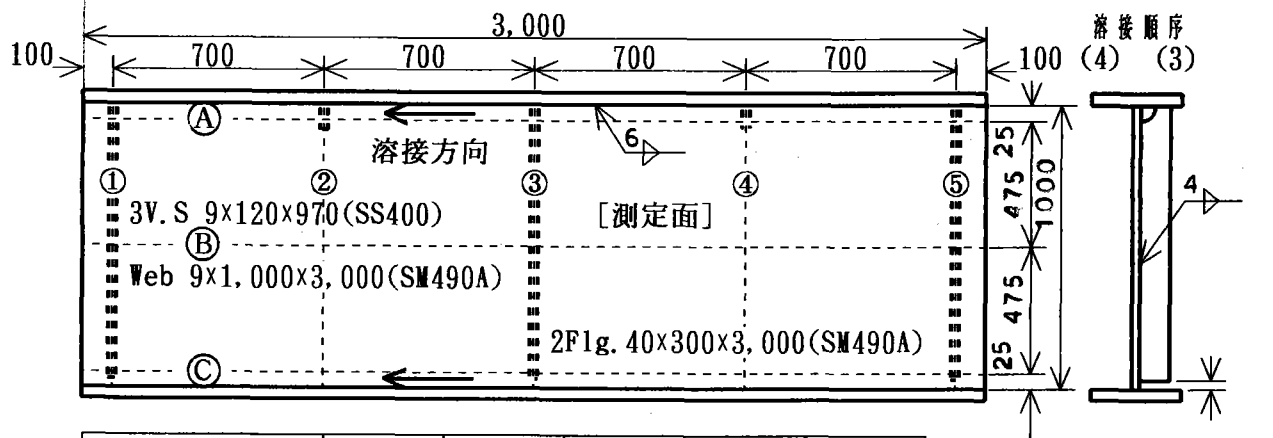
ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	+0.625	+1.250	-0.125	基準0
	めっき後	基準0	+0.750	+1.500	+0.750	基準0
	変化(Δ)	0	+0.125	+0.250	+0.875	0
B線	めっき前	+1.500	+2.125	+2.750	+2.875	+3.500
	めっき後	-9.000	+22.750	+35.500	+38.250	+26.000
	変化(Δ)	-10.500	+20.625	+32.750	+35.375	+22.500
C線	めっき前	基準0	+3.125	+5.250	+6.875	+8.000
	めっき後	基準0	+15.250	+30.250	+44.375	+57.000
	変化(Δ)	0	+12.125	+25.000	+37.500	+49.000

[備考] 正符号; V S 取付け面方向への変形, 負符号; V S 取付け無し面への変形

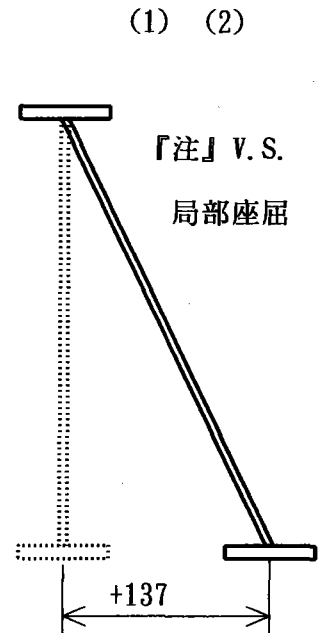
フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	-2.3	+0.8	-1.9	+0.7	-1.1	+0.7	-1.0	0	-0.3	-1.0
	めっき後	-11.6	+10.0	-2.7	+1.5	-0.9	-0.4	0	-1.2	-6.9	+6.0
	変化(Δ)	-9.3	+9.2	-0.8	+0.8	+0.2	-1.1	+1.0	-1.2	-6.6	+7.0
L F	めっき前	+0.5	-1.1	+0.3	-0.6	+0.3	-1.0	-0.4	0	+0.3	0
	めっき後	-6.1	+5.8	+1.5	-1.9	+0.6	-1.8	-0.5	-0.3	-9.8	+9.6
	変化(Δ)	-6.6	+6.9	+1.2	-1.3	+0.3	-0.8	-0.1	-0.3	-10.1	+9.6

[備考] 正符号; 外側への変形, 負符号; 内側(ウェブ側)への変形

付表3 鋼桁のねじれ変形，腹板の曲がり変形，フランジの直角度の測定結果
 供試体 Bタイプ-水冷 [下端隙間有り垂直補剛材]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	-0.250	-0.750	-1.500	基準0
	めっき後	基準0	-0.875	-2.250	+1.125	基準0
	変化(Δ)	0	-0.625	-1.500	+2.625	0
B線	めっき前	+0.250	+2.000	+0.500	+2.250	+1.250
	めっき後	+2.500	+10.875	+33.750	+52.125	+62.000
	変化(Δ)	+2.250	+8.875	+33.250	+49.875	+60.750
C線	めっき前	基準0	+2.250	+3.250	+3.000	+4.000
	めっき後	基準0	+35.125	+69.250	+102.75	+137.50
	変化(Δ)	0	+32.875	+66.000	+99.750	+133.50

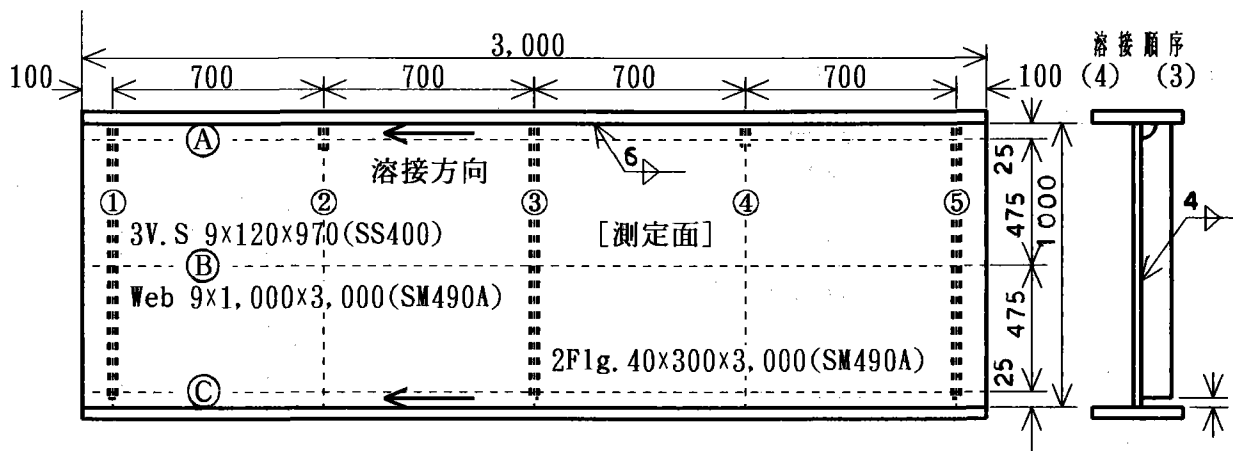


[備考] 正符号；V S 取付け面方向への変形，負符号；V S 取付け無し面への変形

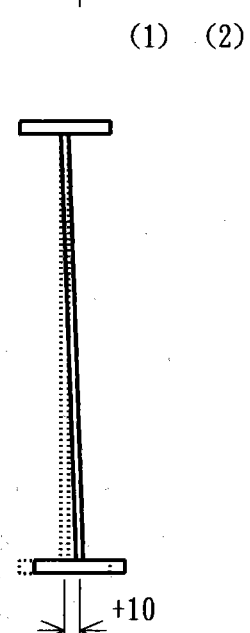
フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	-1.1	+0.3	-0.8	+0.3	-0.5	0	+0.6	-1.3	+0.3	-1.6
	めっき後	-3.4	+2.1	-2.1	+1.3	-0.3	0	+1.6	-3.3	+3.3	-5.5
	変化(Δ)	-2.3	+1.8	-1.3	+1.0	+0.2	0	+1.0	-2.0	+3.0	-3.9
L F	めっき前	+0.3	-0.3	0	-0.4	-1.1	+0.9	+0.4	-0.5	-0.5	-0.3
	めっき後	+9.0	-8.2	-1.5	+1.0	-1.6	+1.2	-1.0	0	-10.2	+10.4
	変化(Δ)	+8.7	-7.9	-1.5	+1.4	-0.5	+0.3	-1.4	+0.5	-9.7	+10.7

[備考] 正符号；外側への変形，負符号；内側（ウェブ側）への変形

付表4 鋸桁のねじれ変形，腹板の曲がり変形，フランジの直角度の測定結果
 供試体 Bタイプ-空冷 [下端隙間有り垂直補剛材]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	0	+0.500	0	基準0
	めっき後	基準0	-0.250	0	+0.250	基準0
	変化(Δ)	0	-0.250	-0.500	+0.250	0
B線	めっき前	-1.250	+0.250	+0.250	+1.250	+1.750
	めっき後	+0.500	-1.250	+2.000	+5.500	+4.000
	変化(Δ)	+1.750	-1.500	+1.750	+4.250	+2.250
C線	めっき前	基準0	+1.500	+3.500	+5.000	+5.500
	めっき後	基準0	+3.000	+6.500	+8.000	+10.000
	変化(Δ)	0	+1.500	+3.000	+3.000	+4.500

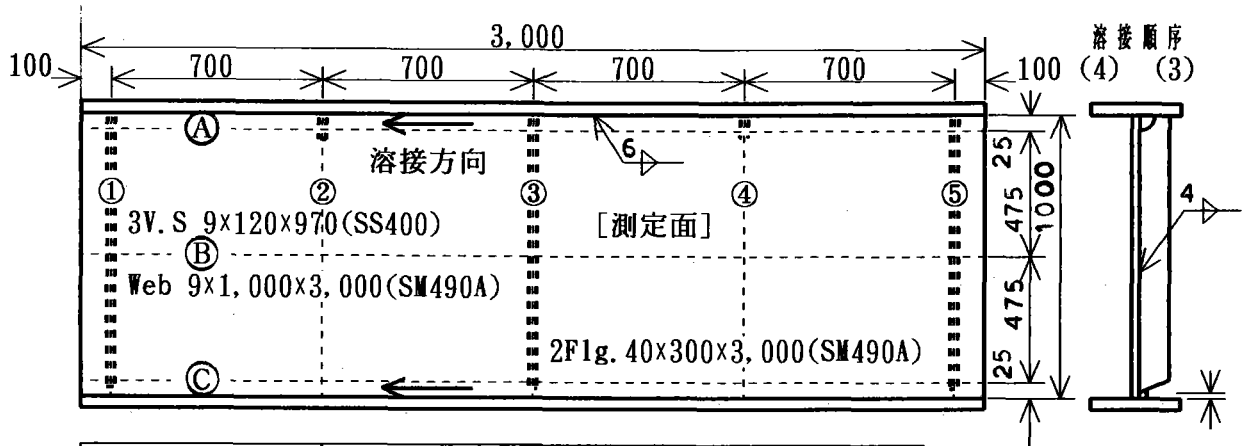


[備考] 正符号；V S取付け面方向への変形，負符号；V S取付け無し面への変形

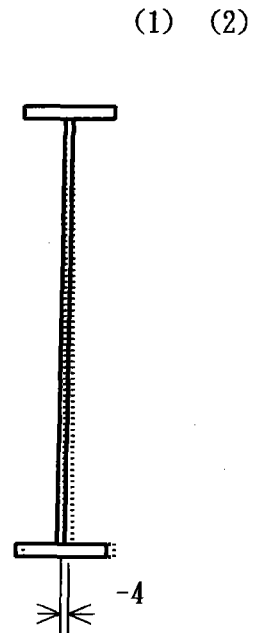
フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	-1.0	0	-1.4	+0.4	-0.8	0	-0.4	-0.4	+0.8	-1.3
	めっき後	-1.0	0	-1.8	+0.3	-1.6	+0.3	0	-1.8	+0.8	-1.5
	変化(Δ)	0	0	-0.4	-0.1	-0.8	+0.3	+0.4	-1.4	0	-0.2
L F	めっき前	+0.4	-1.2	+0.3	-0.8	-1.5	+0.6	-1.0	+1.2	-1.2	+1.0
	めっき後	-0.5	+0.9	+2.0	-1.5	+1.1	-1.0	-1.7	+1.2	+0.5	-1.3
	変化(Δ)	-0.9	+2.1	+1.7	-0.7	+2.6	-1.6	-0.7	0	+1.7	-2.3

[備考] 正符号；外側への変形，負符号；内側（ウェブ側）への変形

付表5 鋸桁のねじれ変形, 腹板の曲がり変形, フランジの直角度の測定結果
 供試体 Cタイプ-水冷 [下端肉盛り溶接有り垂直補剛材]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	-1.375	-2.500	-1.125	基準0
	めっき後	基準0	+0.875	-1.750	-3.375	基準0
	変化(Δ)	0	+2.250	+0.750	-2.250	0
B線	めっき前	-1.500	-1.625	-1.750	+0.125	+2.000
	めっき後	+1.000	+4.000	+0.250	+2.250	-0.500
	変化(Δ)	+2.500	-5.625	+2.000	+2.125	-2.500
C線	めっき前	基準0	+0.625	+0.500	+2.375	+3.000
	めっき後	基準0	-0.500	-1.250	-3.500	-3.500
	変化(Δ)	0	-1.125	-1.750	-5.875	-6.500

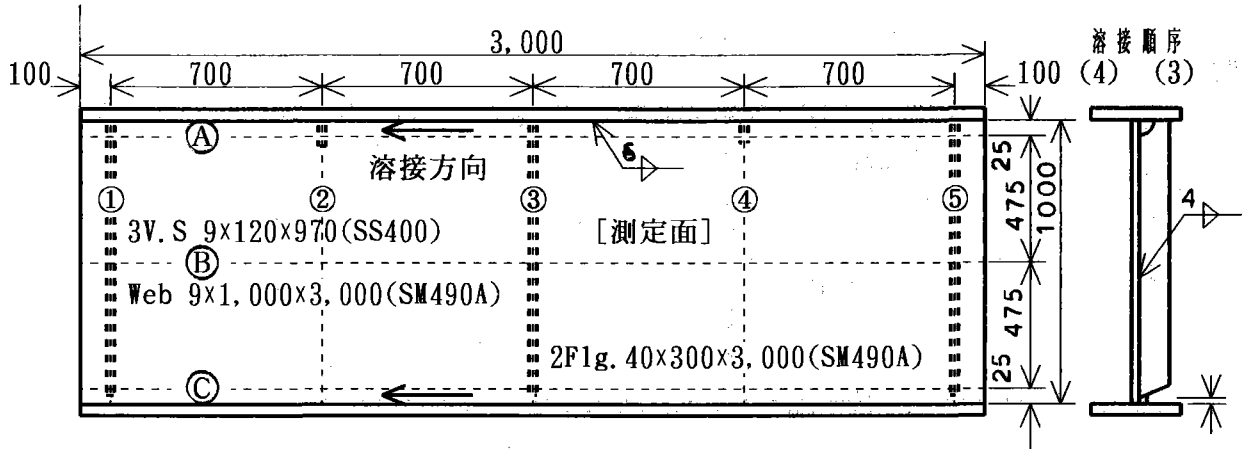


[備考] 正符号; V S取付け面方向への変形, 負符号; V S取付け無し面への変形

フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	-0.3	-0.6	+0.7	-1.1	0	-1.4	+1.1	-1.6	+0.4	-1.7
	めっき後	+0.5	-0.8	0	-0.7	+0.3	-1.6	0	-1.1	0	-1.8
	変化(Δ)	+0.8	-0.2	-0.7	+0.4	+0.3	-0.2	-1.1	+0.5	-0.4	-0.1
L F	めっき前	+1.1	-1.3	0	-0.3	+0.8	-0.8	+0.7	-0.4	+1.4	-1.6
	めっき後	+1.6	-1.5	+1.0	-0.7	+1.1	-1.5	+0.4	-2.2	+1.2	-1.7
	変化(Δ)	+0.5	-0.2	+1.0	-0.4	+0.3	-0.7	-0.3	-1.8	-0.2	-0.1

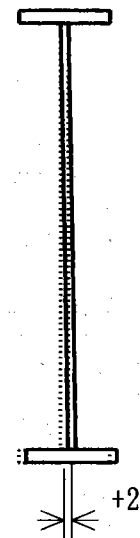
[備考] 正符号; 外側への変形, 負符号; 内側(ウェブ側)への変形

付表6 鋳桁のねじれ変形, 腹板の曲がり変形, フランジの直角度の測定結果
 供試体 Cタイプ-空冷 [下端肉盛り溶接有り垂直補剛材]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	+1.500	+3.000	+2.000	基準0
	めっき後	基準0	+2.250	+4.000	+3.000	基準0
	変化(Δ)	0	+0.750	+1.000	+1.000	0
B線	めっき前	+0.250	+0.750	+0.750	+0.750	-0.250
	めっき後	-0.750	-0.500	-0.250	-1.750	+0.750
	変化(Δ)	-1.000	-1.250	-1.000	-2.500	+1.000
C線	めっき前	基準0	+0.500	-0.500	+1.000	+1.500
	めっき後	基準0	+0.250	-0.500	+1.500	+1.500
	変化(Δ)	0	-0.250	0	+0.500	0

(1) (2)

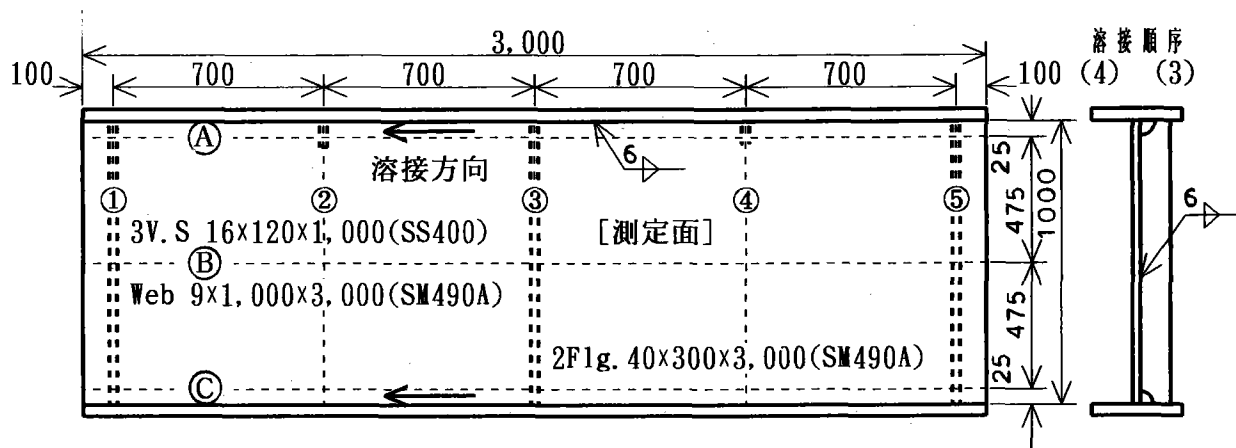


[備考] 正符号; V S 取付け面方向への変形, 負符号; V S 取付け無し面への変形

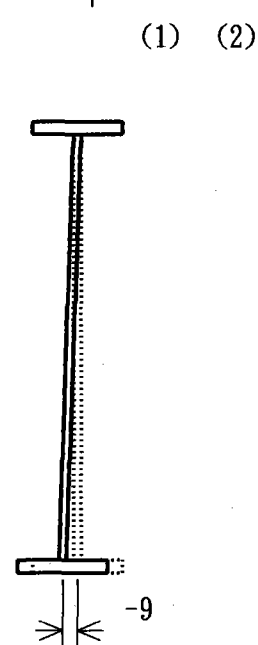
フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	+0.4	-1.2	+0.6	-0.8	-0.5	-1.3	0	-1.2	0	-2.3
	めっき後	0	-1.4	+0.4	-1.8	-0.9	-1.2	-0.9	+0.3	+0.3	-2.5
	変化(Δ)	-0.4	-0.2	-0.2	-1.0	-0.4	+0.1	-0.9	+1.5	+0.3	-0.2
L F	めっき前	+1.5	-1.2	+1.0	-0.4	+0.4	-0.4	0	-0.5	+0.5	-0.4
	めっき後	+1.6	-1.6	+1.0	-0.5	+1.1	-0.7	-1.9	+1.6	+0.6	-0.8
	変化(Δ)	+0.1	-0.4	0	-0.1	+0.7	-0.3	-1.9	-2.1	+0.1	-0.4

[備考] 正符号; 外側への変形, 負符号; 内側(ウェブ側)への変形

付表7 鋳桁のねじれ変形, 腹板の曲がり変形, フランジの直角度の測定結果
 供試体 Dタイプ-水冷 [下端スカラップ有り垂直補剛材]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	-0.875	-0.750	-0.625	基準0
	めっき後	基準0	-2.125	-4.250	-2.375	基準0
	変化(Δ)	0	-1.250	-3.500	-1.750	0
B線	めっき前	+2.000	+0.625	-2.750	-2.125	-4.000
	めっき後	-1.000	-6.000	-6.250	-3.250	-4.000
	変化(Δ)	-3.000	-5.325	-3.500	-1.125	0
C線	めっき前	基準0	-2.875	-3.250	-5.625	-7.000
	めっき後	基準0	-4.750	-6.000	-7.750	-9.000
	変化(Δ)	0	-1.875	-2.750	-2.125	-2.000

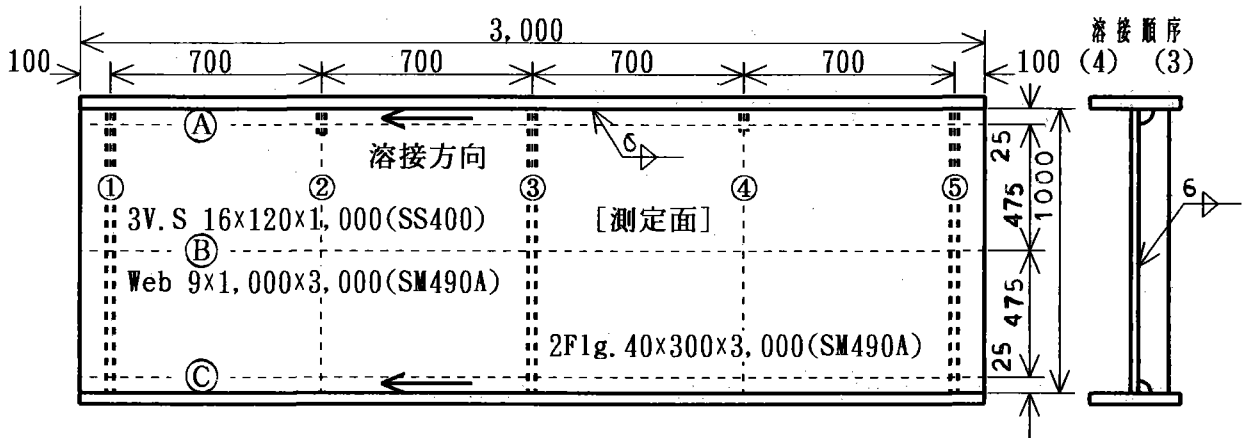


[備考] 正符号; V S 取付け面方向への変形, 負符号; V S 取付け無し面への変形

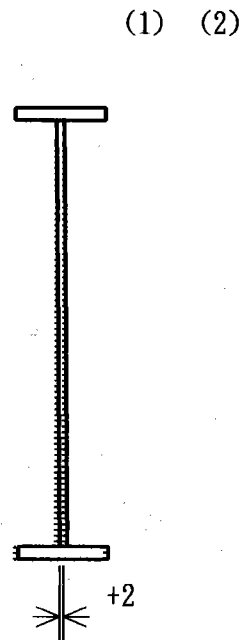
フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	+0.3	-1.0	+0.5	-1.2	+0.5	-1.3	-0.6	-0.5	-0.7	-1.1
	めっき後	0	-1.0	+0.7	-1.6	0	-1.0	0	-1.6	-0.3	-1.1
	変化(Δ)	-0.3	0	+0.2	-0.4	-0.5	+0.3	+0.6	-1.1	+0.4	0
L F	めっき前	-0.8	+1.3	0	+0.5	-1.4	+1.5	-0.3	+0.3	-1.1	-0.3
	めっき後	-0.8	+1.2	-2.2	+2.7	-1.4	+1.1	+1.7	-2.4	-0.5	-0.4
	変化(Δ)	0	-0.1	-2.2	+2.2	0	-0.4	+2.0	-2.1	+0.6	-0.1

[備考] 正符号; 外側への変形, 負符号; 内側(ウェブ側)への変形

付表8 板桁のねじれ変形，腹板の曲がり変形，フランジの直角度の測定結果
 供試体 Dタイプ-空冷 [下端スカラップ有り垂直補剛材]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	-0.625	-0.250	-1.375	基準0
	めっき後	基準0	-0.250	-0.500	-1.750	基準0
	変化(Δ)	0	+0.375	-0.250	-0.375	0
B線	めっき前	+1.500	+4.875	+1.875	+4.375	+1.750
	めっき後	-0.500	+1.250	+1.000	-1.250	0
	変化(Δ)	-2.000	-3.625	-0.875	-5.625	-1.750
C線	めっき前	基準0	+0.375	+0.750	-0.875	-0.500
	めっき後	基準0	+0.750	+1.000	+0.250	+2.000
	変化(Δ)	0	+0.375	+0.250	+1.125	+2.500

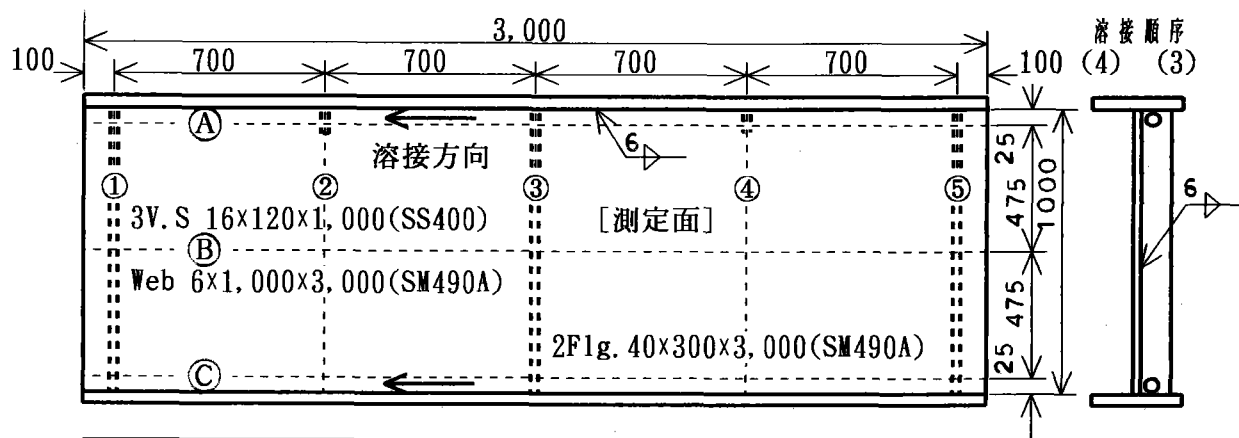


[備考] 正符号；V S 取付け面方向への変形，負符号；V S 取付け無し面への変形

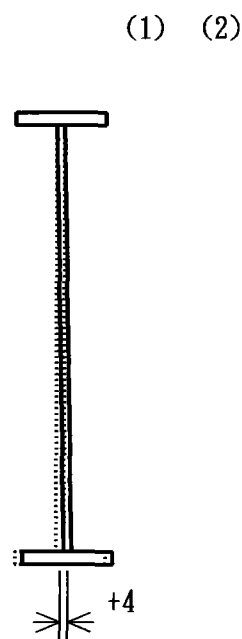
フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	-1.2	+0.7	0	-0.4	-0.4	-0.5	+1.0	-0.6	-1.0	0
	めっき後	-1.3	+0.2	-0.3	-1.0	-0.5	-0.6	+0.3	-1.2	-1.0	-0.3
	変化(Δ)	-0.1	-0.5	-0.3	-0.6	-0.1	-0.1	-0.7	-0.6	0	-0.3
L F	めっき前	-1.2	-0.5	0	-1.4	-0.4	-1.1	+0.5	-1.4	-0.3	-1.2
	めっき後	-0.6	-0.9	+0.8	-0.5	0	-0.8	-0.6	+0.4	+0.3	-0.7
	変化(Δ)	+0.6	-0.4	+0.8	+0.9	+0.4	+0.3	-1.1	+1.8	+0.6	+0.5

[備考] 正符号；外側への変形，負符号；内側（ウェブ側）への変形

付表9 鋼桁のねじれ変形, 腹板の曲がり変形, フランジの直角度の測定結果
供試体 Eタイプ-水冷 [下端円加工有り垂直補剛材]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	-0.375	-0.250	-0.125	基準0
	めっき後	基準0	-0.875	-0.750	-0.625	基準0
	変化(Δ)	0	-0.500	-0.500	-0.500	0
B線	めっき前	+0.500	+0.625	-1.250	+1.375	+1.500
	めっき後	-1.750	-1.625	-2.500	+2.125	+4.250
	変化(Δ)	-2.250	-2.250	-1.250	+0.750	+2.750
C線	めっき前	基準0	+0.625	+0.250	+0.875	+2.000
	めっき後	基準0	+0.125	-0.750	+2.375	+4.000
	変化(Δ)	0	-0.500	-1.000	+1.500	+2.000



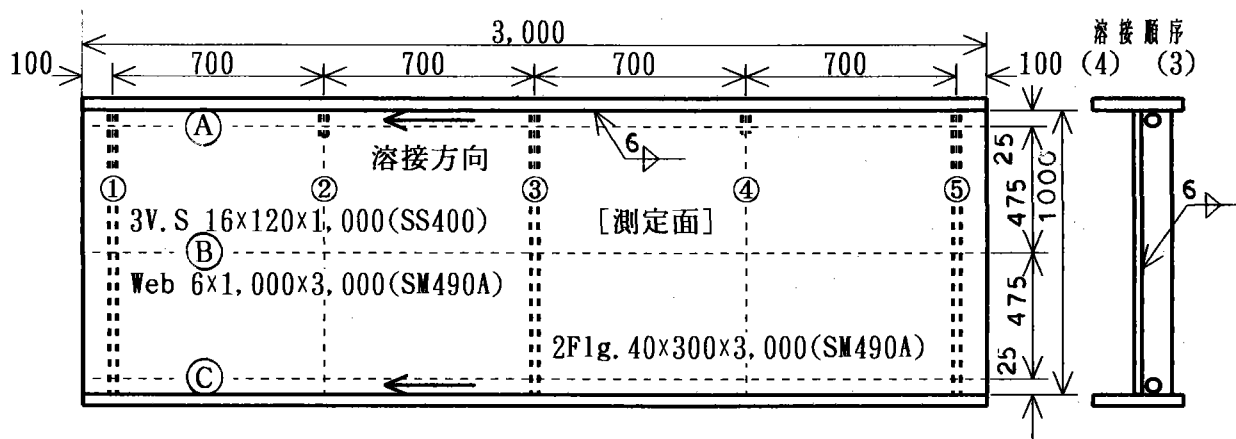
[備考] 正符号; V S 取付け面方向への変形, 負符号; V S 取付け無し面への変形

フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	-1.3	+0.5	-0.8	+0.3	-0.9	+0.8	-0.5	+0.5	-0.8	-0.3
	めっき後	-0.8	+0.4	-0.5	+0.3	-0.8	+0.5	-1.4	+1.9	-0.3	-0.9
	変化(Δ)	+0.5	-0.1	+0.3	0	+0.1	-0.3	-0.9	+1.4	+0.5	-0.6
L F	めっき前	-0.3	-0.3	-0.3	+0.4	-0.4	+0.3	-1.7	+0.5	-2.4	+1.1
	めっき後	-0.4	-0.5	0	+0.3	-1.0	0	-2.2	+1.4	-1.8	+0.3
	変化(Δ)	-0.1	-0.2	+0.3	-0.1	-0.6	-0.3	-0.5	+0.9	+0.6	-0.8

[備考] 正符号; 外側への変形, 負符号; 内側(ウェブ側)への変形

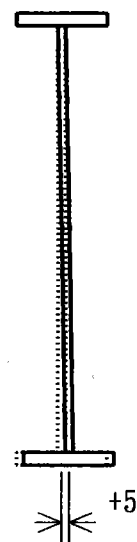
付表10 鋼桁のねじれ変形, 腹板の曲がり変形, フランジの直角度の測定結果

供試体 Eタイプ-空冷 [下端円加工有り垂直補剛材]



ねじれ・曲がり		①線上	②線上	③線上	④線上	⑤線上
A線	めっき前	基準0	+0.875	+1.750	+0.125	基準0
	めっき後	基準0	+0.500	+1.500	+0.500	基準0
	変化(Δ)	0	-0.375	-0.250	+0.375	0
B線	めっき前	+1.000	+4.125	+2.125	+2.875	+0.250
	めっき後	+0.500	+2.500	+3.000	+8.000	+2.500
	変化(Δ)	-0.500	-1.625	+0.875	+5.125	+2.250
C線	めっき前	基準0	+1.875	+3.750	+3.625	+1.500
	めっき後	基準0	+2.875	+5.000	+6.250	+4.500
	変化(Δ)	0	+1.000	+1.250	+2.625	+3.000

(1) (2)



[備考] 正符号; V S 取付け面方向への変形, 負符号; V S 取付け無し面への変形

フランジ直角度		①線上		②線上		③線上		④線上		⑤線上	
		VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有	VS無	VS有
U F	めっき前	-1.4	+0.4	-0.4	-0.3	-1.3	-0.3	-0.8	0	-1.6	0
	めっき後	-1.0	-0.5	0	-1.3	-1.6	+0.3	-0.3	-1.8	-1.7	-0.4
	変化(Δ)	+0.4	-0.9	+0.4	-1.0	-0.3	+0.6	+0.5	-1.8	-0.1	-0.4
L F	めっき前	-0.3	-1.6	0	-1.2	-1.3	-0.3	-1.0	+0.6	-2.0	+0.4
	めっき後	-0.3	0	0	-1.0	-1.4	+0.3	+2.3	-2.9	-1.4	0
	変化(Δ)	0	+1.6	0	+0.2	-0.1	+0.6	+3.3	-3.5	+0.6	-0.4

[備考] 正符号; 外側への変形, 負符号; 内側(ウェブ側)への変形