

川口駅東西自由通路桁（溶融亜鉛めっき箱桁）の製作

庄山 修¹⁾ 本郷 智²⁾

本橋は、箱桁を溶融亜鉛めっき処理したものである。鈹桁では、数多くの施工例があるが、箱桁の場合はごくわずかしかな例がない。そこで、製作に先立ち、めっき施工の際の留意点を考慮した実物大の試験体を作り、めっきによる変形や、割れの程度を確認し、その結果を実橋の製作に反映した。また、仮組立はめっき前とめっき後の2回行い、寸法等の確認を行った。

ここでは、これらの実験結果、そして実橋の施工結果について報告する。

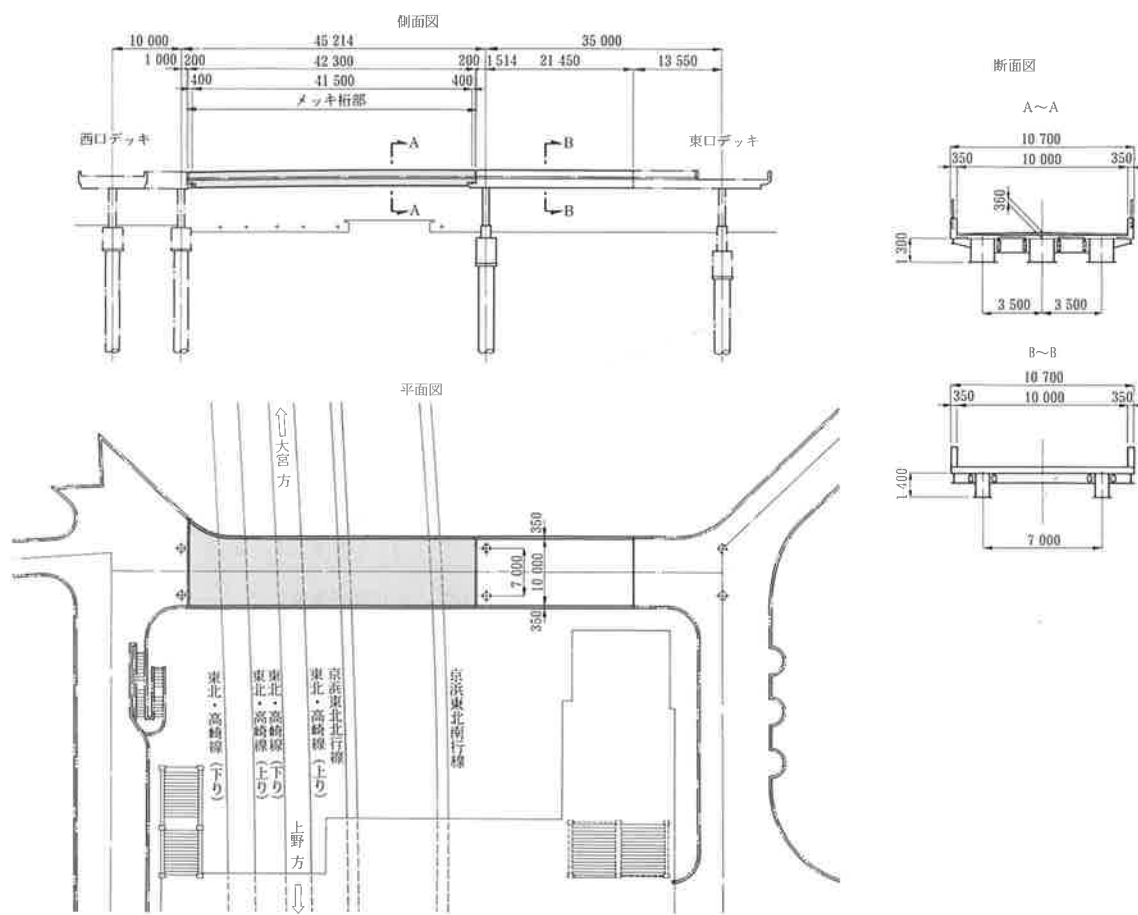


図-1 一般図

1) 東京工場 橋梁部橋梁課副課長 2) 東京橋梁設計部設計課係長

まえがき

川口駅東西自由通路桁は、JR京浜東北線・東北線・高崎線を川口駅上で横断し、川口駅東口・西口のペDESTリアンデッキを結ぶ人道橋である。

本橋は鉄道との建築限界の関係上、足場を設けての塗装作業が不可能であるため、将来的にも塗装不要な防錆処理を施す必要があった。耐候性鋼材の使用も考えられたが、駅プラットホーム上に錆が落ちることが懸念され、箱型形式ではあるが、溶融亜鉛めっき処理を行うこととなった。

1. 工事概要

本工事の工事概要は下記の通りである。また、一般図を図-1に示す。

工事名称	川口駅東口歩行者専用道路 東西連絡通路桁製作工事
工事箇所	川口市栄町3丁目地内
橋格	歩道橋
形式	単純鋼箱桁
橋長	42.700m
支間長	41.500m
有効幅員	10.700~12.533m
床版	I型格子床版
舗装	タイル+モルタル
活荷重	500kg/cm ² (群集荷重)
使用鋼材	SS41、SM50Y
鋼重	132.4ton
めっき仕様	JIS H8641 (HDZ55)

2. 箱桁の溶融亜鉛めっきに対する留意点

箱桁をめっきする場合には、以下のような配慮が必要である。

- ① 部材を構成する板の厚みを増し、ひずみの発生を抑える。

- ② 桁の変形や割れを防ぐために、めっき槽への浸漬速度を速くし、桁の温度差を小さくする。
- ③ めっき槽よりの引き上げ速度を速くし、めっきやけを防止する。
- ④ めっきが溜らない構造にする。
- ⑤ まわし溶接部の割れを防ぐ。
- ⑥ 箱桁断面をめっき槽に無理なく入る大きさにする。大規模なめっき槽のサイズを図-2に示す。

以上の点を考慮して、設計上では、主桁の構造を次のようにした。

1) 主部材の板厚

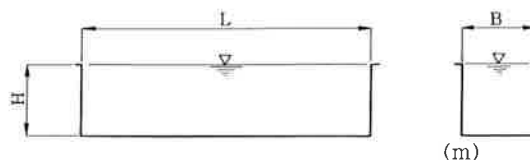
フランジ、ウェブの最小板厚は、10mmとした。

2) 部材長

最大部材長は10m程度とした。ただし、支点部の桁端切り欠き部を含むブロックは、さらに短く約6m程度とした。ブロック割りを図-3に示す。

3) ダイヤフラム・横リブ形状

ダイヤフラムと横リブには、湯流れを良くするため図-4, 5, 6に示すスカラップを設けた。また本桁はめっき槽の幅との関係から、ウェブを上下方向にしてめっき槽に漬けるため、図-5にあるように、吊り上げ方向上側のウェブに空気抜き孔を設けた。間隔は横リブ間とした。



	L	B	H
A社	16.5	1.8	3.6
	13.5	2.0	2.3
B社	16.6	2.1	3.3
C社	16.0	1.8	3.6
	10.5	2.1	2.5

(◎: 本工事で使用)

図-2 めっき槽のサイズ

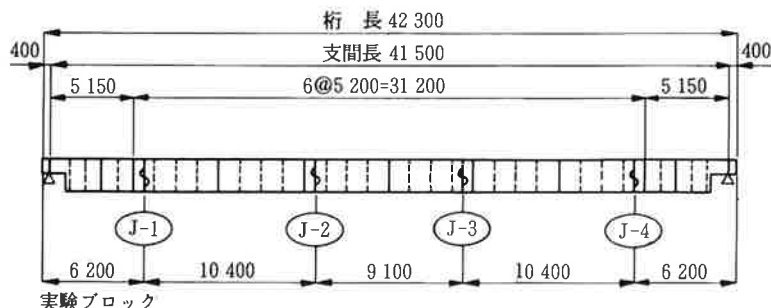


図-3 添接位置

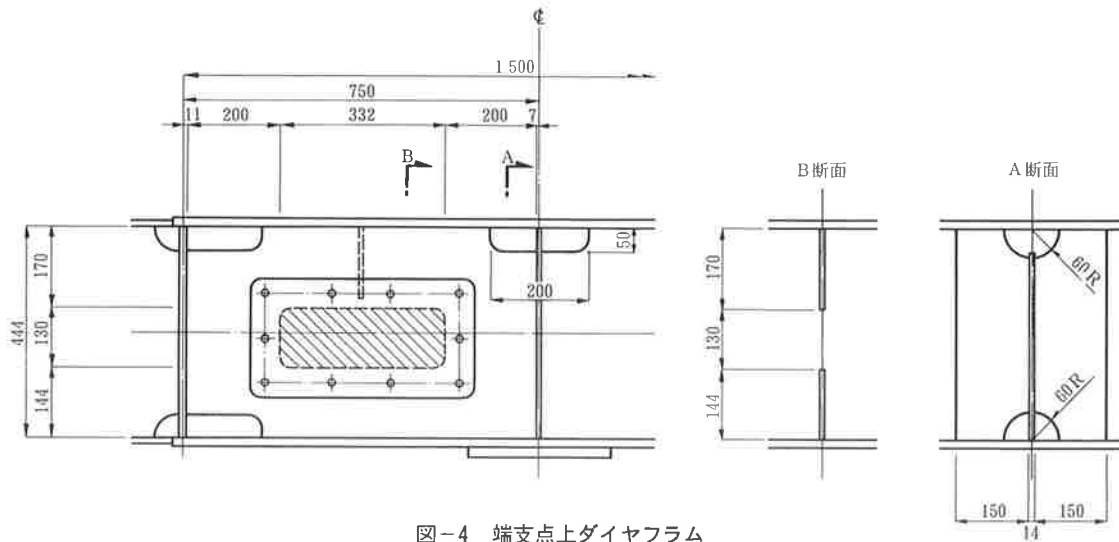


図-4 端支点上ダイヤフラム

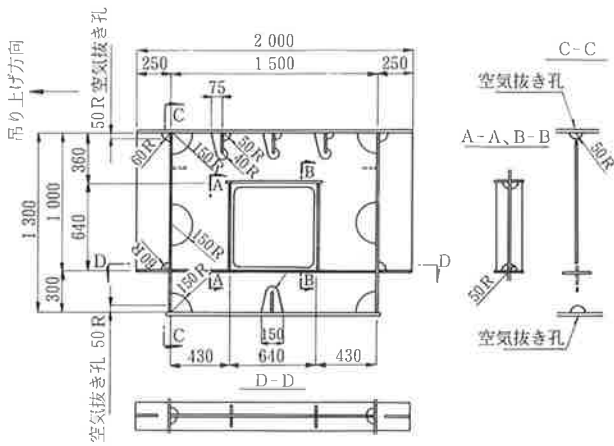


図-5 中間ダイヤフラム形状

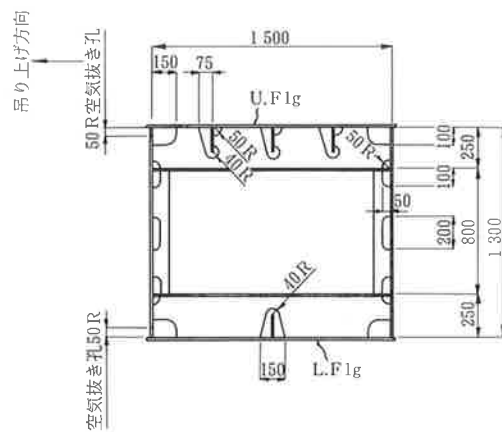


図-6 横リブ形状

3. 実験

(1) 実験要領

実験は、主桁ブロックの内、掛け違い部を含み、もっとも複雑な構造である端部主桁を実験の対象とした。また、試験体は図-7に示すように実橋と同じ寸法・形状で2体製作し、溶接および、ひずみ取りの時期、まわし溶接部の構造を変えて製作した。そして、下記項目について調査を行い、本工事へ反映することとした。

1) 調査項目

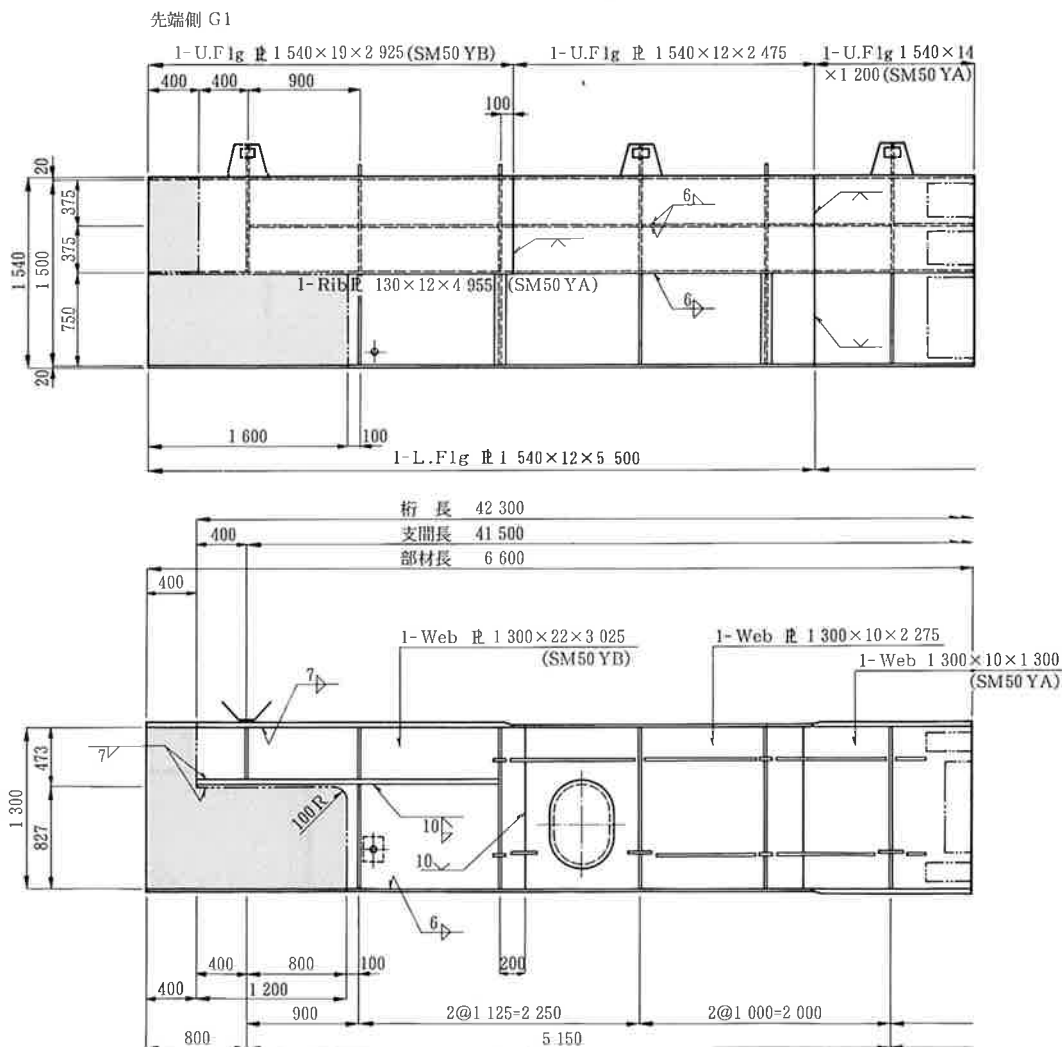
- ① 変形
ねじれ、ウェブ、フランジの平面度、収縮
- ② われ
割れ発生の有無、箇所
- ③ めっき外観
不めっき箇所、めっき溜り、付着量

2) 製作方法

試験体No.1、No.2の製作方法（製作順番、細部構

表-1 製作順序

試験体No.	製作順序	細部構造
No. 1	<p>け切小箱箱加 が→ →組→組→溶→熱 き断立立接正</p> <p>縦リブ、補剛材の溶接は箱組立後の溶接</p>	<p>まわし溶接部の考慮しない。</p>
No. 2	<p>け切小縦リブ矯正箱箱加 が→ →組→補剛材先溶接(プレス)→組→溶→熱 き断立立接正</p> <p>縦リブ 水平補剛材</p> <p>FLG WEB</p>	<p>まわし溶接部を5Cの処理をする。</p>



注) 着色部は手延連結部材である

図-7 試験体形状

造等)を表-1のように変えて製作した。No.1とNo.2の大きな違いを次に示す。

- No.1: フランジと縦リブおよびウエブと水平補剛材の溶接、ひずみ取りは大組立て後に行う。まわし溶接部の5°Cのカットは行わない。
- No.2: フランジと縦リブおよびウエブと水平補剛材の溶接、ひずみ取りは単材の時点でを行い、その後大組立てを行う。まわし溶接部の5°Cカットを行う。

3) 試験体の計測要領
試験体の寸法、ひずみ量の測定および割れの確認は、めっき前と、めっき後に、それぞれ行った。

4) 溶融亜鉛めっき
溶融亜鉛めっきの管理基準と実施施工状況を、表-2に示す。

(2) 計測および検査結果

1) 部材長の伸び
めっきによる主桁の伸びを、表-3に示す。この

表-2 めっき施工条件

工程	条件	管理基準	試験桁条件	
脱脂	アルカリ濃度 (苛性ソーダ)	10± 2%	11.6%	
	温度	80±10%	75°C	
	界面活性剤濃度	0.5%	0.5%	
	浸漬時間	20~30分	30分	
	酸濃度 (塩酸)	15± 5%	12.0%	
酸洗	温度	常温	常温(29°C)	
	鉄分	80g/ℓ以下	11.0g/ℓ	
	浸漬時間	40~50分	50分	
	フラックス濃度	28~35%	30.4%	
フラックス処理	温度	65±10°C	58 °C	
	塩化亜鉛・塩化アンモニウム	1:3 (モル比)	1:3	
	鉄分	5g/ℓ以下	0.9g/ℓ	
	pH	4~6	4.0	
	浸漬時間	3~5分	3分	
めっき	亜鉛浴組成	Zn 97.5%以上	98.8%	
	温度	440±5°C	No.1 438°C	No.2 433°C
	浸漬時間	約10分	12分	13分40秒
冷却	温度	60±5°C	64°C	68°C
	浸漬時間	2分	2分10秒	1分48秒

表-3 桁長の伸縮量

試験体No.	測定位置	伸縮量	平均	①				
				2	1	0	1	2
No.1	UL	+2.0	+0.75					
	UR	0						
	LL	-1.0						
	RL	+2.0						
No.2	UL	+2.0	+0.63					
	UR	+0.5						
	LL	0						
	RL	0						

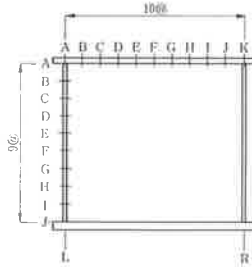
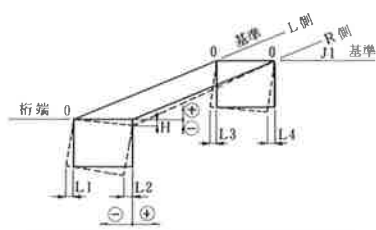


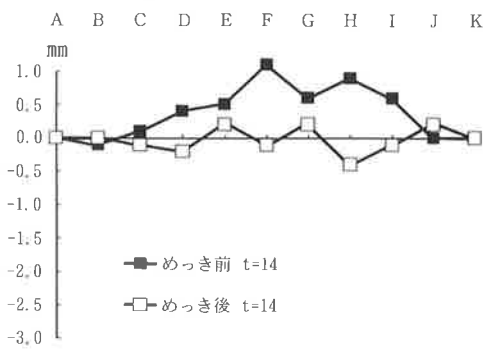
図-8 計測位置

表-4 桁のねじれ

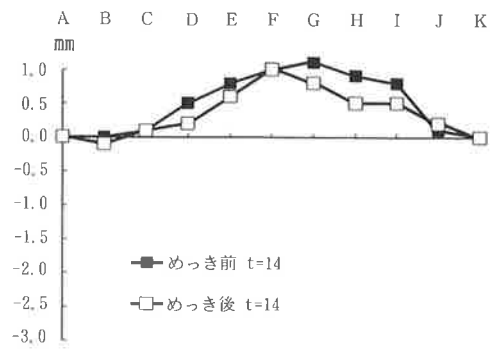


試験体No.	測定位置	ねじれ量
No.1	H	-2
	L1	0
	L2	0
	L3	+1
	L4	+1
No.2	H	+1
	L1	-1
	L2	-2
	L3	-1
L4	0	

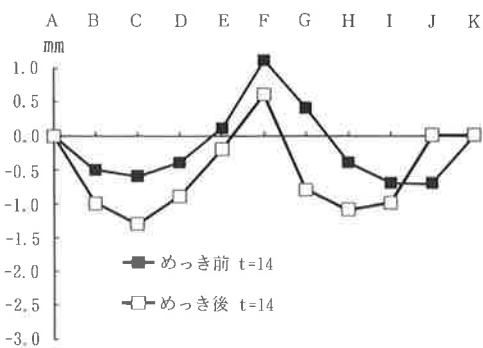
(a) 平面度 (No.1 UFLG)



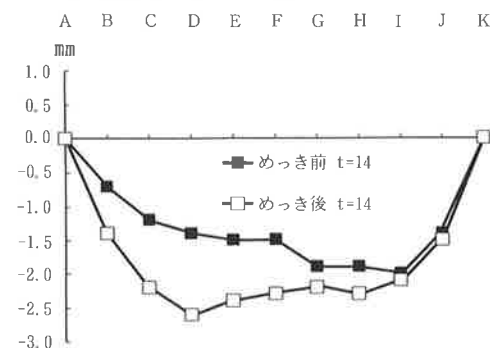
(b) 平面度 (No.2 UFLG)



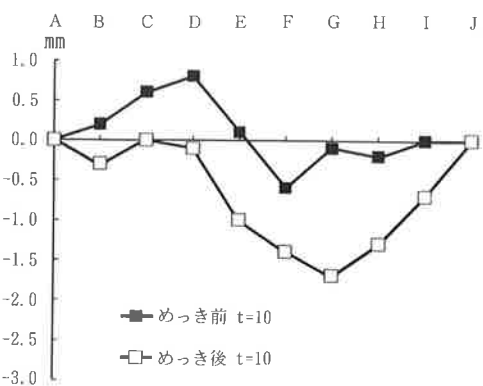
(c) 平面度 (No.1 LFLG)



(d) 平面度 (No.2 LFLG)



(e) 平面度 (No.1 WEB)



(f) 平面度 (No.2 WEB)

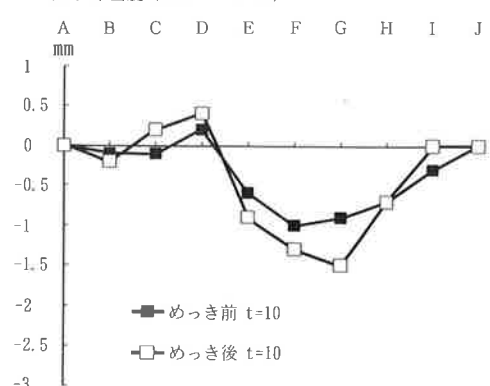


図-9 フランジ・ウェブの平面度

結果、平均でNo.1が+0.8mm、No.2が+0.6mmとなった。各測点ごとでは、-1mm~+2mmのバラツキとなった。しかし、溶融亜鉛めっきによる伸びの影響はほとんどないと思われる。

2) 部材のねじれ

部材のねじれは、上フランジ上面両端部の3箇所を基準として、他の1点の変形量を計測し、同時にウェブの鉛直度も計測した。この結果、めっきの前後の差を表-4に示すが、上フランジ面上でのねじれおよび、ウェブの鉛直度は、-1mm~+2mmの変形量となった。

しかし、溶融亜鉛めっきによる部材のねじれの影響はほとんどないと思われる。

3) フランジ・ウェブの平面度

めっき前とめっき後の平面度を図-9に、また計測位置を図-8に示す。全体的にNo.2の方がNo.1よりめっきによる変形が少ない。これは、No.2では単材の時点で溶接によるひずみを矯正したことによるものと思われ、めっきによる変形の防止方法として有効といえよう。

4) 部材の通り

めっき前後における部材の通りについては、No.1、No.2共に変化がみられなかった。また、キャンバーの変化もみられなかった。

5) 割れ

めっきによる溶接部の割れについては、磁粉探傷試験によって、まわし溶接部の全箇所を確認した。

めっき前の状態でも同様に試験を行い、微細なアンダーカットやオーバーラップなどによる磁粉模様は検出されたが、溶接割れはなかった。

めっき後の割れの発生箇所を図-10に、各部位ごとの発生箇所数とその発生率を表-5に示す。

まわし溶接部の割れは、溶接ビードの止端近傍で発生し、図-11のように、フランジやウェブ側から発生するaタイプと、補剛材やダイヤフラム等から発生するbタイプの2種類に大別できる(写真-1、2)。過去の施工例では、bタイプの発生もあるが、とくに鋼板ではaタイプの割れが多いようである。しかし、本試験の結果は主桁の上フランジと横桁の上フランジとの突き合わせ溶接部の割れ以外は、すべてbタイプの割れであった。試験体別にみると、No.1に比べてNo.2の方が割れの発生が少なく、箇所数で6箇所、発生率で32%それぞれ減少している。

また、図-10のe断面で、R=10mmの切り欠き部を設けたが、コーナー部から割れが発生した(写真-3)。後述するように、実橋ではこの部分をR=30mmとした結果、割れは発生しなかった。

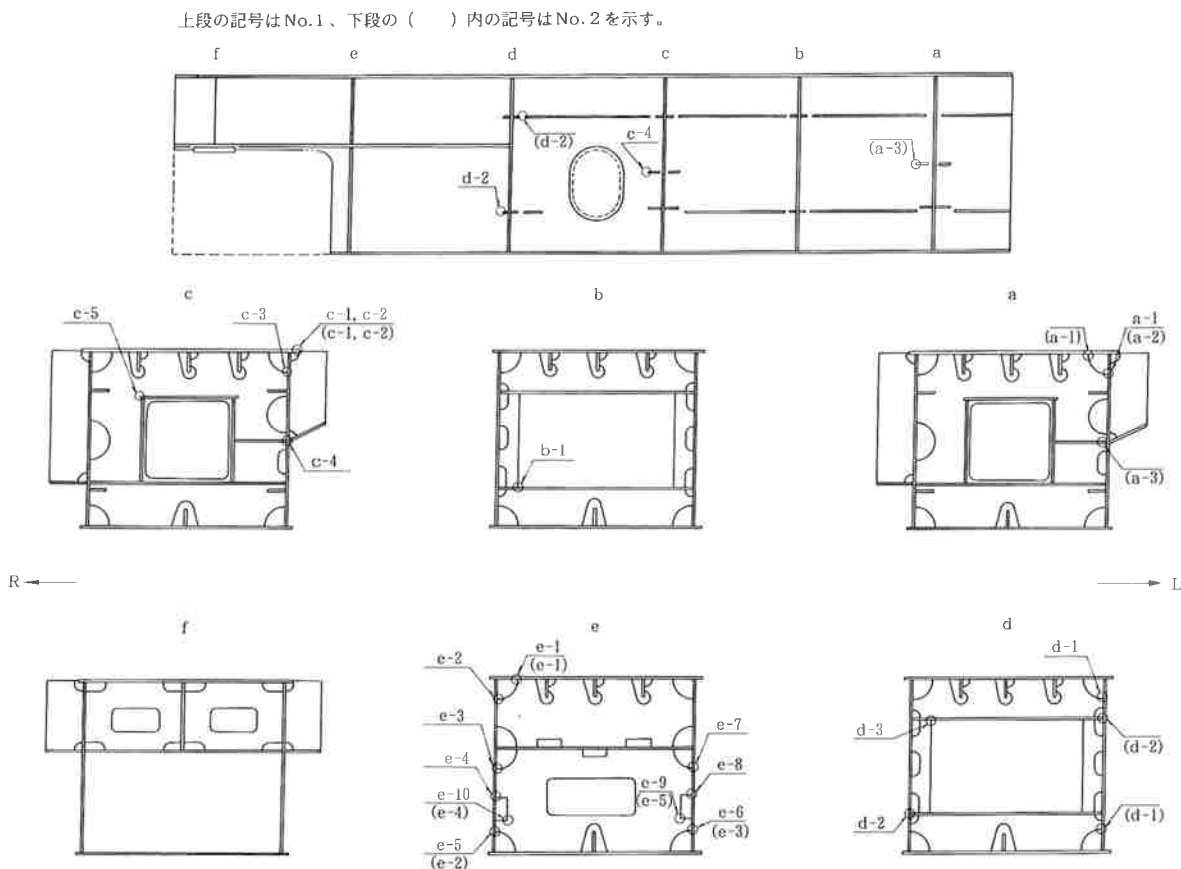


図-10 試験体磁粉探傷による割れ検出位置(めっき後)

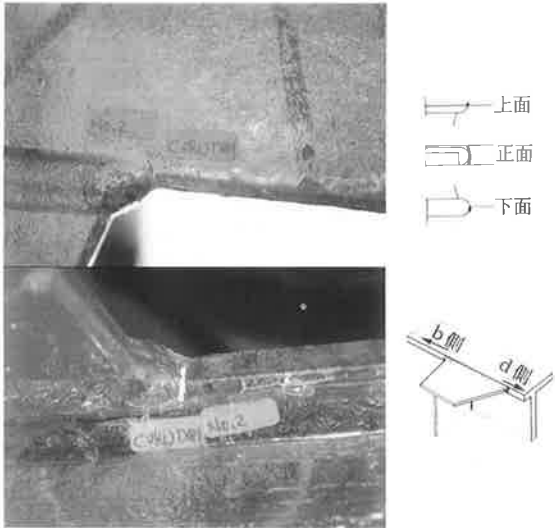


写真-1 まわし溶接部の割れ (a-タイプ)

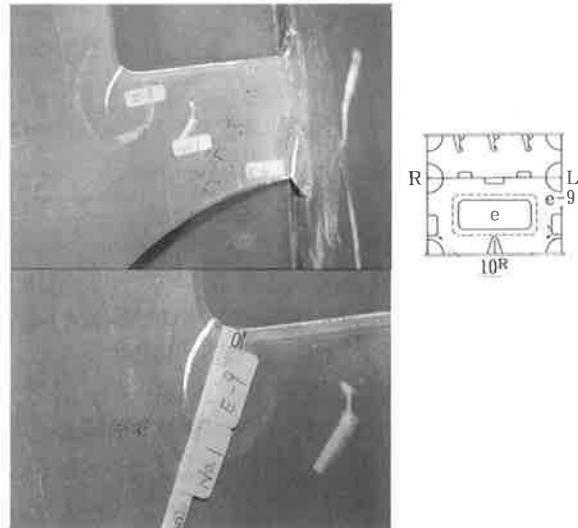


写真-3 e部ダイヤフラムの割れ

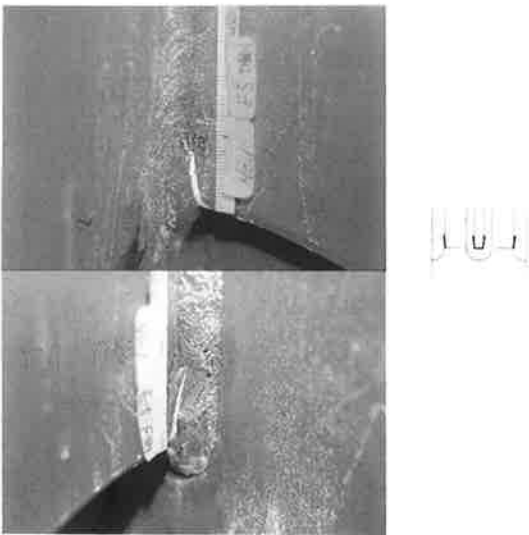


写真-2 まわし溶接部の割れ (b-タイプ)

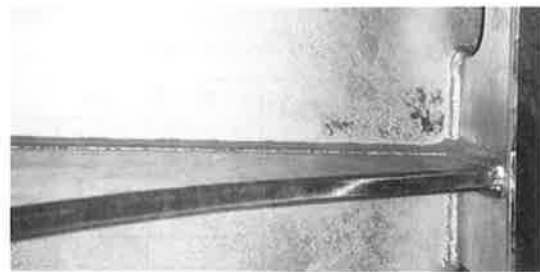


写真-4 不めっき箇所

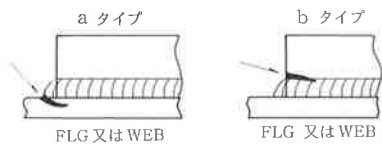


図-11 割れの発生位置

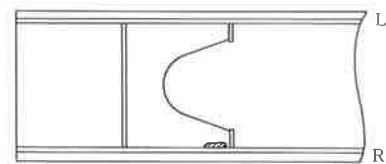
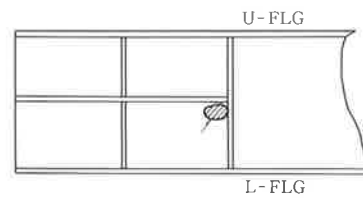


図-12 不めっき箇所

表-5 部位別割れ発生箇所 (試験体)

部 位	検 査 箇所数	割 れ 発 生 所		発 生 率 %			部 位 別 割 れ 発 生 率 %		
		No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	計	No. 1	No. 2	計
ダイヤフラム・ ブラケット	240	14	8	5.8	3.3	4.6	82.4	72.7	78.6
横リブ・垂直 補剛材	108	3	2	0.9	3.0	1.9	17.6	18.2	17.8
水平補剛材	32	0	1	0	3.1	1.6	0.0	9.1	3.6
計	380	17	11	4.5	2.8	3.7	100.0	100.0	100.0

6) 不めっき箇所

不めっき箇所については、架け違い部の下フランジ側の横リブと垂直補剛材との交点において、エア溜りと思われる不めっき箇所が1箇所発生した(図-12、写真-4)。

7) めっき溜り

めっき溜りの発生は、見られなかった。

8) 付着量

付着量については、試験体本体のめっきと同時に漬けた試験片を、JIS H 0401 塩化アンチモン法により付着量の測定を行った(表-6)。

本体については、JIS H 0401 膜厚試験方法により、めっきの膜厚を測定することで、付着量の確認に代えた。

No.1、No.2とも1枚の鋼板ごとに黒皮部分と、ショットブラスト処理を施した部分をつくり、表面

表-7 フランジ・ウェブの膜厚

部位	板厚	試験体 No.	膜厚 μm		
			ブラスト処理有	ブラスト処理無	
UFLG	19	No. 1	379	326	
		No. 2	347	310	
	12	No. 1	392	347	
		No. 2	386	329	
	14	No. 1	402	336	
		No. 2	400	303	
LFLG	12	No. 1	401	350	
		No. 2	394	349	
	14	No. 1	421	341	
		No. 2	399	327	
	WEB (L側)	22	No. 1	357	340
			No. 2	350	333
10		No. 1	387	348	
		No. 2	367	304	
10		No. 1	377	358	
		No. 2	391	356	
WEB (R側)	22	No. 1	379	351	
		No. 2	376	338	
	10	No. 1	433	364	
		No. 2	401	331	
	10	No. 1	415	373	
		No. 2	426	363	

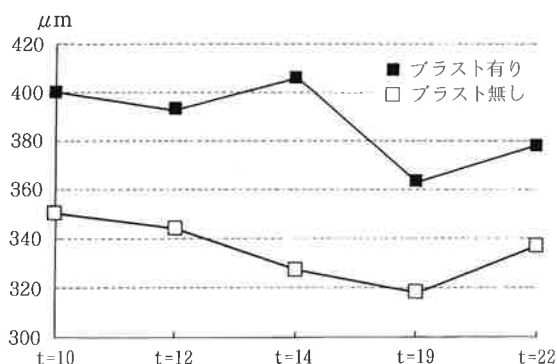


図-13 板厚別めっき膜厚

表-6 亜鉛付着量測定結果(JIS H 0401塩化アンチモン法)

使用箇所	試験片の寸法 (mm)	材質	亜鉛付着量 (g/m ²)		
			位置	No. 1 試験桁	No. 2 試験桁
フランジ	28t×35×145	SM50 YB	T	1,894	1,955
			B	1,988	2,286
			X	1,941	2,121
ウェブ	22t×100×100	"	T	1,841	1,947
			B	1,932	2,067
			X	1,887	2,007
フランジ	19t×80×145	"	T	2,070	1,940
			B	2,076	2,007
			X	2,073	1,974
ウェブ	10t×40×150	SM50 YA	T	1,870	1,914
			B	1,976	2,068
			X	1,923	1,991
ウェブ他	8t×100×100	SS41	T	2,816	3,027
			B	3,104	3,117
			X	2,960	3,072



注) T、Bはめっき時のトップ側、ボトム側を示す。
Xは平均値を示す。

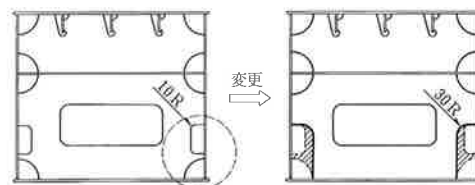


図-14 e部ダイヤフラム形状

処理による付着量の違いを確認した。

基準値

付着量 HDZ 550g/m²以上

膜厚 $t = A \div 7.2$

$= 550 \div 7.2$

$= 76.3 \Rightarrow 77 \mu\text{m}$ 以上

膜厚の測定結果を表-7に示すが、付着量試験および膜厚の測定結果共、3倍以上の結果となった。

ショットブラスト処理の有無による膜厚の違いはショットブラスト処理無しが、約50 μm 少ない結果となったが、黒皮のままでも十分に基準値を満足している。

板厚別での膜厚のバラツキは、図-13に示す通り、板厚が厚くなるにつれて膜厚は減少傾向になっている。一般的には、板厚が厚くなるにつれて、膜厚も厚くなるといわれているが、今回は逆の傾向となった。

4. 実橋の施工

(1) 製作方法

以上の実験により、No.2の方がめっきに対して良好な結果となったので、実橋はNo.2の条件に基づいて、次の要領により製作した。

- ① 製作手順はNo.2による。
- ② キャンバーの上げ越し、および部材の縮みは考慮しない。
- ③ まわし溶接部は5°カットとする。
また、めっき前に磁粉探傷試験により割れないことを確認し、アンダーカットやオーバーラップなどは、グラインダーにより滑らかに仕上げる。
- ④ 鋼材の表面は黒皮のままめっきを行い、ショットブラスト処理はしない。
- ⑤ e部のダイヤフラムは図-14に示す形状のように、コーナー部をR=30mmとし、スカラップと落橋防止用切り欠きを一つの切り欠きとした。

(2) 計測結果

実橋ではめっき前とめっき後に、それぞれの仮組立を行った。めっき後の部材の変形や割れ、あるいは仮組立における計測結果は次のとおりである。

1) 割れ

割れについては、試験体と同様、めっき前と後にまわし溶接部の全箇所を磁粉探傷試験により確認した。表-8に割れの発生箇所数および発生率を示す。

表-8 部位別割れ発生箇所 (実橋)

部 位	検 査 箇所数	割れ発生 箇所数	発生率%	部位別割れ 箇所率 %
ダイヤフラム・ ブラケット	2,640	51	1.9	85.0
横リブ・ 垂直補剛材	3,564	4	0.1	6.7
水平補剛材	816	5	0.6	8.3
合 計	7,020	60	0.9	100.0

実橋では、割れの発生率は約0.9%であり、試験体よりかなり良好な結果となった。これは、試験体では配慮しなかったグラインダー仕上げなどの効果が出ているものと思われる。部位別にみると、割れの約85%がダイヤフラム部に発生している。

また、e部ダイヤフラムの切り欠きを、R=30mmとしたので、割れは発生しなかった。

2) ウェブおよびフランジの平面度

ウェブとフランジの平面度(面外方向の変形)はめっき後、約2mm程度大きくなっている。これは試験体の場合とほぼ同じ値で、特に大きな変化は見られなかった。

3) キャンバー

めっき後のキャンバーは、めっき前のキャンバーに比べて、桁の中央部で約4~5mm下がり気味となった。めっきによるキャンバーの上げ越しを考慮しなかったが、許容値は満足しており、問題はなかった。

4) 桁の通りおよび鉛直度

桁の通りおよび鉛直度はめっきの前後で大きな差がなく、いずれも良好であった。

5) 支間長

めっき前、めっき後の支間長の変化を図-15に示すが、平均で5~6mm伸びた結果となった。

この原因としては、添接部のすき間は、めっき前にクリア1mmを設けたが、添接部コバ面ではめっき厚がかなり厚くなり、母材同士がせりあったためと思われる。主桁添接部において、第1孔のゲージ間隔の変化量は、図-16に示す通りであり、各桁ごとの合計で約5~6mm広がっている。これは支間長の変化量とほぼ一致する。

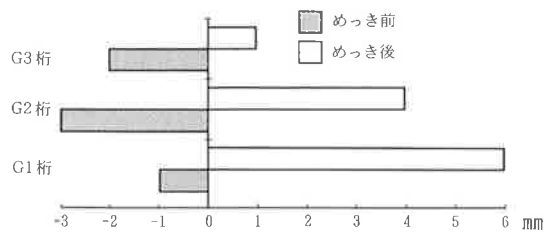


図-15 めっき前後の支間長誤差

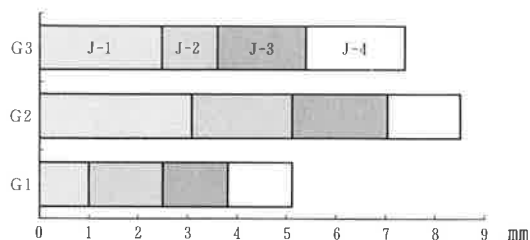


図-16 主桁ジョイントのすき間変化量

5. ま と め

試験体および実橋の施工結果について述べてきたがこれをまとめると以下のようになる。

(1) 変形

- ① 箱桁はねじり剛性が大きいため、めっきによるねじれ変形は無視できる。また、桁の通りの変

形についても、箱桁の面外曲げ剛性が大きいため、無視できる。

- ② フランジやウェブの平面度は、許容値を十分満足するが、単材で溶接やひずみ取りを行ったほうが、変形は少ない。
- ③ キャンバーは4～5mmほど下がり気味の傾向を示しているが、これは多分に仮組立誤差と思われる。したがって、キャンバーの上げ越しは必要ないと思われる。
- ④ 部材長の変化はほとんどなく無視できる。

(2) 割れ

- ① 部位別での割れは、ダイヤフラム部に集中している。この原因としてフランジやウェブの変形を、剛性の高いダイヤフラムが拘束することにより、割れが発生すると考えられる。
- ② ダイヤフラム部の割れは、ダイヤフラム側の溶接ビート止端部から発生しているため、この部分のビードの仕上げを十分に行う必要がある。また、ダイヤフラムの板厚を厚くする方法も検討する必要がある
- ③ また、まわし溶接部の割れは、オーバーラップやアンダーカットなどのビード形状によっても、大きな影響をうける。すなわち、できるだけビード形状をグラインダー等で滑らかにすることにより割れは減少する。

- ④ 製作順序によっても割れの発生に影響を及ぼす。すなわち、できるだけ単材で溶接、ひずみ取りを行い、溶接による残留応力を少なくする。

(3) めっきの付着

- ① 添接部のコバ面は、めっき厚がかなり厚くなり、主桁の添接の支障になる場合がある。したがって、今後、添接部のクリアーは、3mm～5mm程度設けることが必要と思われる。
- ② めっきの付着量については、規準値の3倍以上付いており、厚すぎる結果となった。これについては、今後の検討課題であろう。

あ と が き

割れについては完全に除去することはできなかった。また、めっき条件は鋳桁に比べて非常に悪い。しかしながら、鋳桁のように大きな変形はなく、割れについても十分な配慮を行うことにより、箱桁にも溶融亜鉛めっきの採用が十分可能なことを示したものと考える。

最後に本工事を施工するにあたり、ご指導・ご助言をいただいた川口市の若月氏、山下氏、前田設計(株)の内山氏、ならびに、めっき施工を行った新星鋼業(株)の皆様のご協力に対し、感謝の意を表すものである。