

論文・報告

若宮(その4)工区上部工事の 全断面現場溶接施工

Report on Field Welding of WAKAMIYA Sec.4 Bridge

キーワード

名古屋高速道路
全断面現場溶接
溶接試験
品質管理
逆台形箱桁

松田 哲二*
Tetsuji MATSUDA

吉田 順一郎***
Jun-ichiroh YOSHIDA

渡辺 晴紀**
Haruki WATANABE

早川 清****
Kiyoshi HAYAKAWA

1. まえがき

名古屋高速道路公社では、市街地の交通渋滞の緩和のために、市街中心部を東西に横断する新洲崎～吹上間に高速1号線を建設した。若宮(その4)工区の全景を写真-1に、位置図を図-1に示す。この区間は通称100m道路と呼ばれている若宮大通りに計画され、桁下側方空間をより開放化するための構造形式としてブラケットを有する箱桁とし、また美観を考慮して箱桁の形状を逆台形とした。

最近のすう勢として、都市内構造物の美観に対する要請と溶接技術の進歩を背景に、現場溶接継手を積極的に取り入れようとする機運にある。

本文では、若宮(その4)工区において主桁と側縦桁(張り出し部の縦桁)の継手に現場溶接を適用したので、その報告を行う。

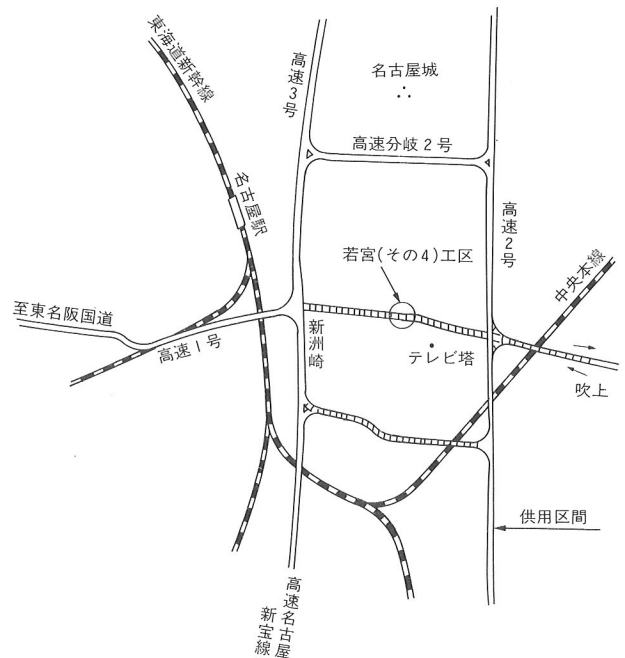


図-1 位置図



写真-1 若宮(その4)工区の全景

表-1 橋梁構造諸元

構造規格	道路区分	第2種第2級
	設計速度	60km/h
	平面線形	曲線半径 $R=2000\text{m}$
	縦断勾配	0.3%
	横断勾配	2.0%
上部構造	幅員	上下線一体構造で各々8.675m
	橋種	3径間連続非合成箱断面プレートガータ
	橋格	1等橋(TL-20)
	橋長	195.0m (60.0+76.5+58.5)
	主桁本数	2本主桁
架設工法	桁高	2.3m~2.8m 変断面
	主要鋼材	SS41, SM50Y, SM53, SM58
架設工法	主構量	1141t 付属物 100t
	架設工法	トラッククレーンベント工法

*川田工業(株)富山本社工事部工課 **川田工業(株)四国工場生産技術課 ***川田工業(株)大阪支社設計課 ****川田工業(株)技術本部溶接研究室

Figure 1 is a plan view of the road layout. It shows a central '緑地帯' (Green Belt) with a width of 57,000 units. On either side of the green belt are '車道' (Roadways) with a width of 15,000 units each, and '歩道' (Sidewalks) with a width of 6,500 units each. The total width of the road is 100,000 units. A central structure, possibly a bridge or a large tree, is shown above the green belt with a diameter of 19,000 units.

—57—

る溶接方法、溶接順序などが十分に確立されているとは言い難い。

以上の点を考慮して、本試験においてはできるかぎり現場における状態を再現させるため、仮組み立て前の実橋部材(主桁)を用いて現場溶接試験を行い、溶接変形量などを測定し、現場施工に反映させるものとした。

(2) 実験方法

試験項目は次のとおりである。

① 平板供試体における自由収縮量の測定

図-5に示す供試体の溶接方法および板厚・ルートギャップを表-2に示す。

板厚は、実部材のすべてを推定できるような板厚を選び、ルートギャップは、標準値・上限値・下限値の3体ずつとした。なお、データの検討については、隣接工区のデータを含めて検討し、板厚の違いによる収縮挙動を推定できるよう協議を行っている。

② 実橋部材供試体における各種変形量の測定

図-6に示す実部材2ブロックを溶接順序を変えて溶接し、各種変形量の測定を行った。試験手順と各測定項目

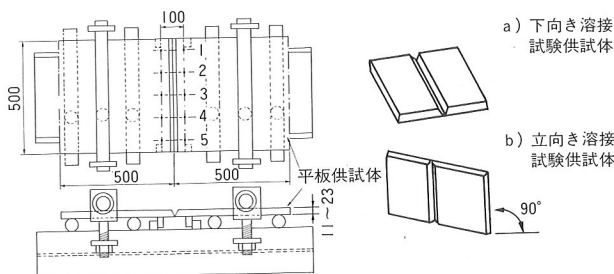


図-5 平板自由収縮測定治具および供試体形状

表-2 実験及び実施工における溶接方法及び板厚

								実部材	平板自由収縮実験	実験実効	
適用箇所	材質	溶接方法	溶接材料	溶接条件			開先角度(°)	板厚(mm)	板厚(mm)	ルートギャップ(mm)	板厚(mm)
				電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)					
U.FLG	SM50Y	SAW (1パス)	ワイヤ:US-49 フラックス:MF-38 充填剤:RR-2 裏当材:FAB-1	800	34	20	50	13,14 15,16	15	2	15
				~850	~36	~30				4	
	SM58	下向き CO ₂ 半自動 (2層) + SAW (多層)	ワイヤ:YM-60C シールドガス:100%CO ₂ 裏当材:FBB-3 + ワイヤ:US-49 フラックス:MF-38	150	22	5	"	20,21	23	2	—
				~300	~55	~40				4	
				650	32	35				8	
				~700	~34	~50				8	
L.FLG	SM50Y	下向き CO ₂ 半自動 (多層)	ワイヤ:YM-26 シールドガス:100%CO ₂ 裏当材:FBB-3	150	22	5	"	14,15 17,21 23,25	15	2	23
				~300	~35	~40				4	
										8	
	SM58	"	ワイヤ:YM60C シールドガス:100%CO ₂ 裏当材:FBB-3	"	"	"	"	23,21	23	2	—
						4					
									8		
WEB	SM50Y	立向き CO ₂ 半自動 (多層)	ワイヤ:YM2B シールドガス:100%CO ₂ 裏当材:FBB-3	100	20	2	60	11	11	2	11
				~180	~22	~10				4	
										6	
	SM58	"	ワイヤ:YM60C シールドガス:100%CO ₂ 裏当材:FBB-3	"	"	"	"	15	15	2	—
						4					
									6		

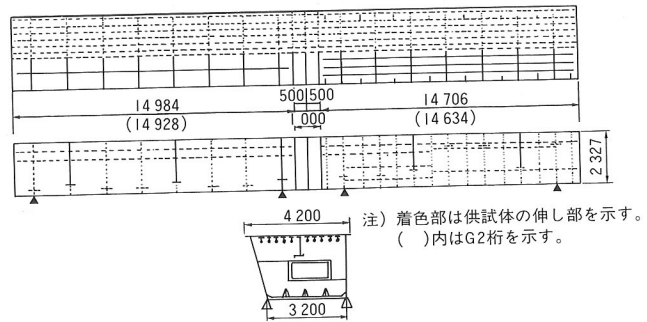


図-6 実橋部材供試体形状

表-3 試験手順と各測定項目

供試体	試験手順	測定項目
実橋部材供試体 G1桁	1 実橋部材供試体支持台上にセット	上、下フランジおよびウェブ溶接部ルートギャップ測定、部材長、平面曲り、キャンパー、支点反力測定
	2 上フランジ溶接	上フランジ収縮量、たわみ量測定、下フランジおよびウェブ溶接部開先詰り量測定、平面曲り、キャンパー、支点反力測定
	3 下フランジ溶接	下フランジ収縮量、たわみ量測定、ウェブ溶接部開先詰り量測定、平面曲り、キャンパー、支点反力測定
	4 ウェブ溶接 (全断面溶接完了)	ウェブ収縮量、たわみ量測定、部材長、平面曲り、キャンパー、支点反力測定 上、下フランジおよびウェブ溶接部残留応力測定

注) G2桁の実橋部材供試体では、溶接順序を下フランジ溶接→上フランジ溶接とし、同様に測定を行った。

目を表-3に示す。

(3) 実験結果

a) 標点距離の変化量

横収縮量の推定式は種々提案されているが、一般的なSparagenの式を用いた。

$$Sp = 0.18A_w/t + 0.05d \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

A_w : 溶着断面積 (mm²)

t : 板厚 (mm)

d : ルートギャップ (mm)

横収縮量は、溶接方法・パス数・溶接条件・拘束状態によって異なった傾向を示すため、収縮量の推定式はこれらを考慮して、実験データと計算値 Sp との回帰直線で求めた。

● 自由収縮量の推定

① SAW(サブマージアーク溶接, 1~2層)

計算値 Sp と実験値 S との関係を図-7に示す。推定には板厚に範囲をもたせ、その範囲で代表する式を用いた。

$$t=11, S=0.8130 \cdot Sp + 1.1091 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$12 \leq t \leq 13, S=0.6760 \cdot Sp + 0.6167 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$14 \leq t \leq 19, S=0.3395 \cdot Sp + 0.9045 \quad \dots\dots\dots(4)$$

② CO₂半自動溶接(2層)+SAW(多層)

多層溶接では、板厚の増加につれ横収縮も増加する。

図-8は運河工区の板厚37mmのV開先を各層ごとに横収縮を測定しながら溶接し、各層での横収縮と、そのときの

“のど厚”を見かけの板厚として計算した Sp 値との関係を示すものである。これらより、 Sp と S は一次対応はせず、ルートギャップと板厚を考慮すると対応することがわかる。

したがって、多層の場合は次の推定式を用いた。

$$S = 0.7163 \cdot Sp + 0.08269 \cdot t - 1.6957 \dots\dots\dots(5)$$

t : 板厚

③ 下向き CO_2 溶接(多層)

図-9に実験値 S と計算値 Sp の関係を示す。

$$\text{川田: } S = 0.6856 \cdot Sp + 0.2779 \dots\dots\dots(6)$$

④ 立向き上進 CO_2 半自動溶接(多層)

立向き上進 CO_2 溶接の場合は、溶接方法や板厚による横収縮の差は少なく、全体の傾向を示す一つの直線で推定式を求めた(図-10参照)。

$$S = 0.6808 \cdot Sp + 0.4640 \dots\dots\dots(7)$$

●実橋部材の横収縮量の推定

実橋部材の現場溶接では、支点反力、摩擦力やモーメントなどにより横収縮を阻害され、平板自由収縮とは異なった挙動を示す。したがって横収縮の推定は自由収縮の式をそのまま用いることはできず、実橋実験のデータに基づいて関係式を補正した。

① SAW(1~2層)

実橋実験では、上フランジの溶接に下向き片面SAWを用いた。前出の図-7に実橋実験データを黒印で示したのが図-11である。これらの傾向より、実橋実験での横収縮は、平板自由収縮に比べ、板厚による相異が小さい。したがって、補正式は、板厚11~13mmでは図中②に平行で実橋実験データの平均値を通る式を、また板厚14~19mmでは④に平行で実橋実験データの平均を通る式に補正する。

$$11 \leq t \leq 13: S_{UF1} = 0.4803 \cdot Sp + 0.5747 \dots\dots\dots(8)$$

$$14 \leq t \leq 19: S_{UF2} = 0.3395 \cdot Sp + 0.3327 \dots\dots\dots(9)$$

② 下向き CO_2 溶接(多層)

平板自由収縮実験のグラフに実橋実験データをプロットしたのが図-12である。推定式は、実橋実験データの平均を通るよう、自由収縮実験式を平行移動して求めた。

$$\text{川田: } S_{LF2} = 0.6856 \cdot Sp - 0.0065$$

③ CO_2 半自動溶接(2層)+SAW(多層)

CO_2 半自動溶接とSAWの多層溶接については、実橋実験をしていないため、各層ごと横収縮過程が類似の CO_2 多層溶接の実験例を参考に補正した。

すなわち、 CO_2 半自動溶接では、平板自由収縮実験式に対し、実橋実験での補正式は-0.3mm平行移動しているの、この場合も同様に移動し、推定式とした(図-13参照)。

$$S_{UFm} = 0.7163 \cdot Sp + 0.08269 \cdot t - 1.9957 \dots\dots\dots(10)$$

●先行溶接部の横収縮に伴う後行溶接部の移動

上フランジ先行溶接に伴う下フランジの移動量を、

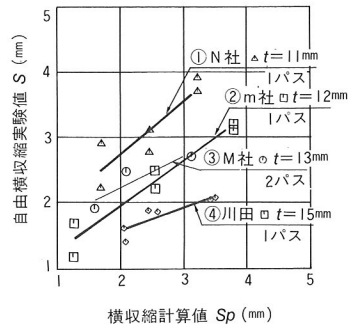


図-7 下向き片面サマージ・アーク溶接の自由収縮量の計算値と実験値の関係(溶接方法SAW)

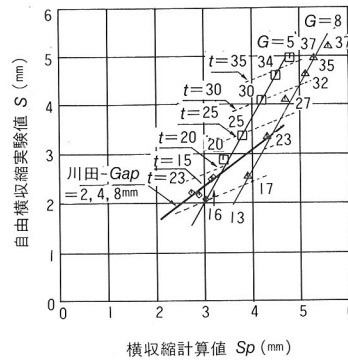


図-8 SAW横収縮推定におけるルートギャップと板厚の関係(運河工区の実験値と若宮の例)

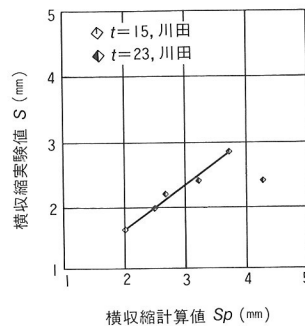


図-9 下向き片面 CO_2 多層平板溶接実験自由収縮量の計算値と実験値の関係(溶接方法 CO_2 多層)

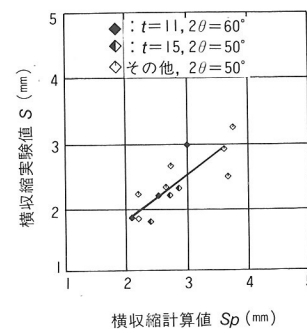


図-10 立向き上進片面 CO_2 平板溶接実験自由収縮量の計算値と実験値の関係(溶接方法 CO_2)

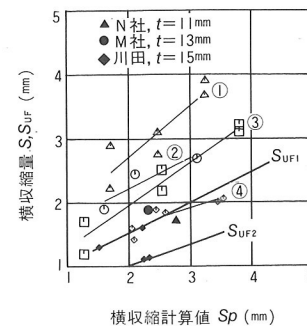


図-11 下向き片面サマージ・アーク溶接の平板と実橋実験の横収縮の関係(溶接方法 SAW)

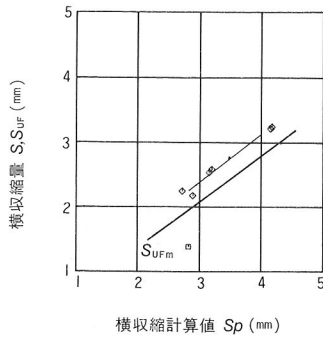


図-12 下向き片面サブ
マージ・アーク溶接の平
板と実橋実験の横収縮の
関係(溶接方法CO₂+SAW)

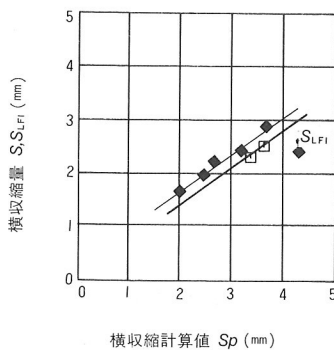


図-13 平板と実橋実験
の横収縮の関係

$K_1 = (\text{下フランジの移動量}) / (\text{上フランジ溶接収縮量})$ で表すと、 $K_1 \approx 0.4$ で推定される。さらに、上下フランジに温度差が生じると移動量はより大きくなり、

$$K_1 \approx 0.4(1 + 0.09 \cdot \Delta T) \quad (11)$$

で推定される。ここで ΔT は上下フランジの温度差を示す(表-4参照)。

表-4 溶接横収縮量および桁の移動量

	川 田		N 社		M 社	
	UF→LF (15) (23)	LF→UF	UF→LF (11) (11)	LF→UF	UF→LF (13) (15)	LF→UF
上フランジ						
横収縮量	1.1	1.1	1.18 <17>	1.88 <26>	1.60	1.89
桁の移動	0	1.7	0	0.36	0	0.44
下フランジ						
横収縮量	2.3	2.5	2.73 <16> (1.4+1.33)	2.69 <29> (1.4+1.29)	1.23	1.52
桁の移動	0.4	0	1.24	0	0.75	0

注) 川田・M社は温度差のない時溶接、N社は温度差有で溶接、温度差をく>内に示す。

同様に、下フランジ先行溶接に伴う上フランジの移動量を $K_2 = (\text{上フランジの移動量}) / (\text{下フランジ溶接収縮量})$ で表すと、

$$K_2 \approx \alpha \cdot 0.68(1 - 0.028 \cdot \Delta T) \quad (12)$$

で推定される。ここで α は両端のみ拘束の場合を1とし、さらに縦リブ2箇所を拘束したとき1/2となる。

したがって移動量 δ は次式で表わされる。

$$\delta_U = \alpha \cdot 0.68(1 - 0.028 \cdot \Delta T) \cdot S_{LF} \quad (13)$$

$$\delta_L = 0.4(1 + 0.09 \cdot \Delta T) \cdot S_{UF} \quad (14)$$

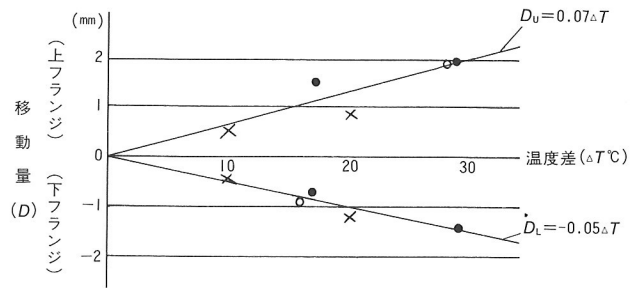


図-14 上下フランジの温度差と移動量の関係

●日照による移動

上下フランジに温度差が生じると(上フランジの温度が大)、上フランジの開先が詰まり、下フランジの開先が開くという現象が起きる。温度差と変化量の関係を図-14に示す。

移動量 D は図-14より次式で近似される。

$$D_U = 0.07 \cdot \Delta T \quad (15)$$

$$D_L = -0.05 \cdot \Delta T \quad (16)$$

b) 縦収縮量

溶接による縦収縮量は、測定方法、測定誤差などによりバラツキはあるものの、溶接線近傍において約1mmの収縮量が認められ、溶接線より50mmの位置ではほぼ0mmであった(図-15参照)。

c) 面外変形

溶接前後の面外変形の例を図-16に示す。上フランジは外面より、下フランジ、ウェブは内面より溶接したものである。溶接後の面外変形は、溶接前に比べ、溶接した側の反対側へ0～1mmほどたわむ傾向を示した。最終的な面外変形は最大で3mm程度であり、道路橋示方書面外変形の許容値(この場合 $W_{web} = 2327$ より、 $W/150 = 15.5$ mm)に比べ非常に小さく面外変形はほとんど問題とならない。

d) 部材長

部材長の変化量と標点距離の変化量の関係を、図-17に示す。スチールテープを用いて測定した部材長と、ノギスを用いて測定した標点距離の間には、バラツキを生じている。このため、部材長の変化量は溶接収縮量が主要な量であるが、必ずしもそれでは説明できない。

また、原寸時の横収縮量を3mm/Joint見込んで製作しているが、ほぼ妥当な値である。

e) 平面曲がり

平面曲がりの状態例を図-18に示す。上下フランジの溶接収縮量のグラフにおいて、溶接方向による収縮量の差は特に認められず、その結果、平面曲がり量も最大2mmに収まっている。現場溶接時は横桁による拘束があることも考慮すれば、溶接方向を変える必要はないと考えられる(溶接方向は昇り勾配<OUT→IN>とする)。

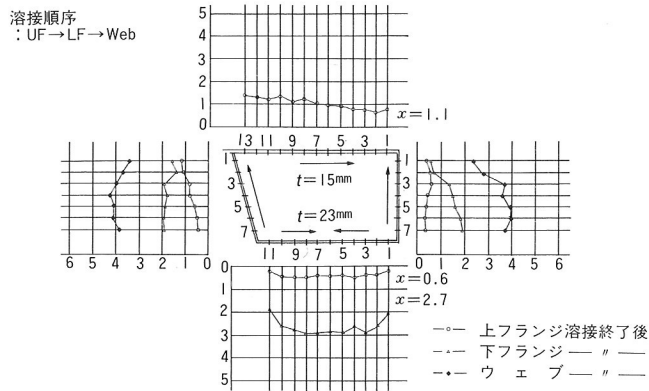


図-15 溶接収縮量分布図(川田G1桁)

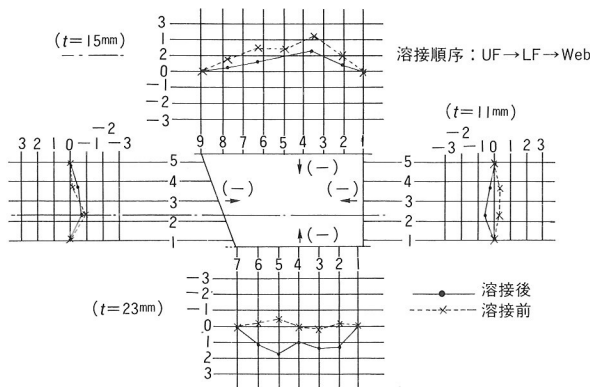


図-16 面外変形分布図(川田G1桁)

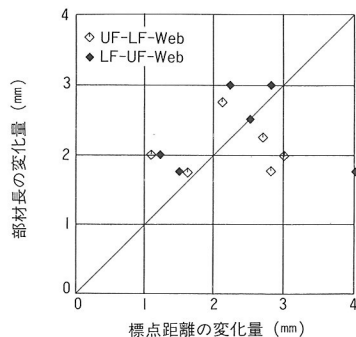


図-17 標点距離の変化量と部材長

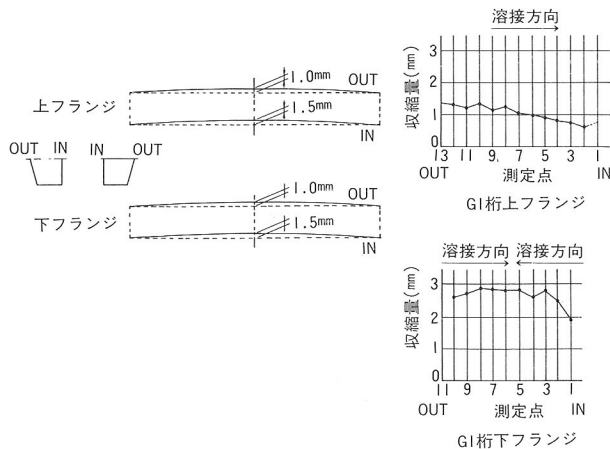


図-18 平面曲り状態図(G1桁)

f) キャンバー

キャンバー測定値は座標軸の回転により整理し、部材左右のキャンバー値を平均して検討した。キャンバーはウェブの溶接では、ほとんど変化しないので、上下フランジ溶接後、および反力調整後のキャンバーの様子を図-19, 20に示した。▲印は、溶接後の反力を溶接前の反力状態に調整した値であり、多点支持状態(無応力状態)のキャンバーである。これらの結果、上フランジ→下フランジ→ウェブの順に溶接するとキャンバーは上に凸となる傾向があり、下フランジを先に溶接すると下に凸となる。また、日照により上下フランジに温度差が生じているとき溶接すると、キャンバーを下げる方向に作用する。

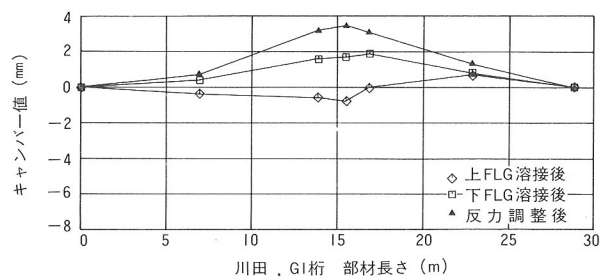


図-19 上FLGを先に溶接したときのキャンバー

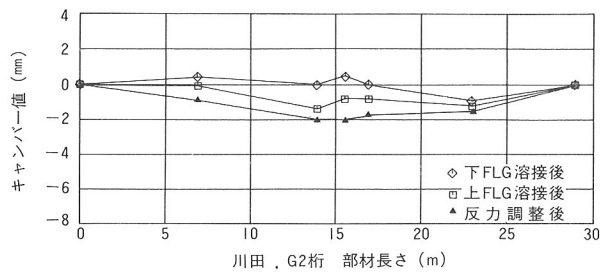


図-20 下FLGを先に溶接したときのキャンバー

ここで、キャンバーを推定するにあたって、上下フランジの標点距離の変化量の差に着目してみた。上下フランジの標点距離の変化量の差 b とキャンバー a との間には、幾何学的に次式の関係があると仮定する。

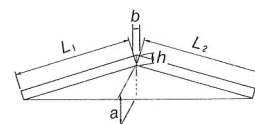
$$a = b \times L_1 \times L_2 / (L_1 + L_2) / h \quad \dots\dots\dots (17)$$

L_1, L_2 : 部材長

b : 上下フランジ標点距離変化量の差

h : 部材高さ

a : 溶接によるキャンバー



この計算値と実験値にて回帰式を求めると、図-21のようになる。これによると勾配は0.7、切辺は-0.24であり、次のように補正される。

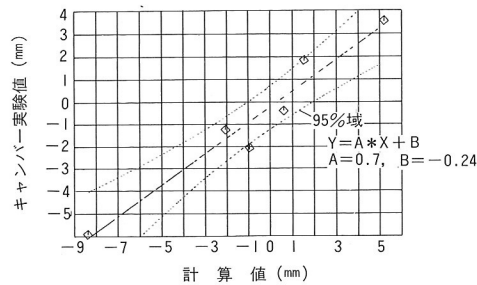


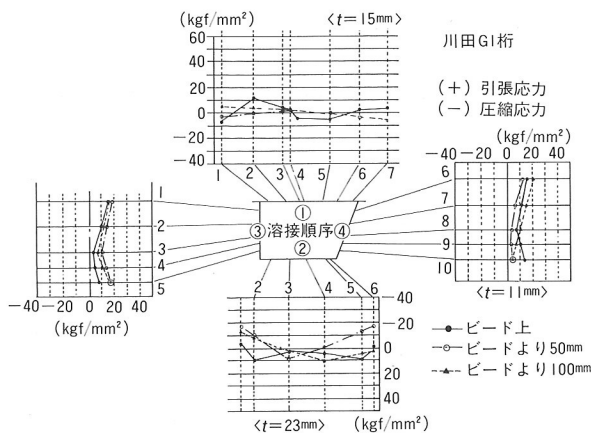
図-21 各部材のキャンバーの計算値と実験値

$$a = 0.7 \times b \times L_1 \times L_2 / (L_1 + L_2) / h - 0.24 \dots\dots\dots (18)$$

この回帰直線の95%領域は±1.0mm程度で与えられ、キャンバー管理の簡便な方法として、上下フランジの標点距離の変化の差を用いることが有効である。

g) 残留応力

残留応力測定法は切削法とし、溶接完了後の応力を0とし歪開放後に測定した。ゲージ取り付けは板厚の表裏に行い、その平均値を整理した。結果を図-22に示す。

図-22 残留応力分布図(溶接線直角方向 σ_x')

(4) 実施工への反映

本実験において、溶接キャンバーは溶接前後の上下フランジの収縮量の差で表されることが明らかになった。収縮差を決定する因子は、「溶接横収縮量」、「日照による上下フランジの移動」、「先行溶接部の横収縮に伴う移動」である。これらを明確にしたことで実橋キャンバー(無応力状態)の推定が可能になった。そこで実施工では標点距離の変化量を管理し、キャンバーは管理することとした。一方、収縮量は3mm/Jointを見込んで製作しているが、妥当な値であることが確認された。また、平面曲がり(通り)、面外変形は特に問題とならない。以上の結果を実工事に反映させるための工事施工法は、次のような特色を持つ。

- ① あらかじめ標準施工状態での溶接変形を推定し、施工計画を立てる(標準施工状態とは、表-2の溶接方法・条件で、上下フランジの温度差を7.5℃と仮定

し、温度差のない時のルートギャップが仮組み立て値であり、四隅をH.T.Bで拘束した状態とする)。

- ② 上下フランジの標点間の移動量を測定し、溶接変形を管理する。

5. 現場施工

(1) 架設および溶接の手順

架設順序および溶接順序を図-23に示す。溶接変形によるキャンバーが各径間で最大となるよう中間支点の両側のみ下フランジからの溶接とし、その他は上フランジより溶接する。架設は、側径間を架設・溶接し、中央径間の道路上は張り出し架設・溶接を両側より行い、最終ブロックを落し込んだ。なお、落し込み時には、溶接終了部の溶接変形を考慮し、キャンバーが確保できるよう検討を行い、接合面を合わせた。

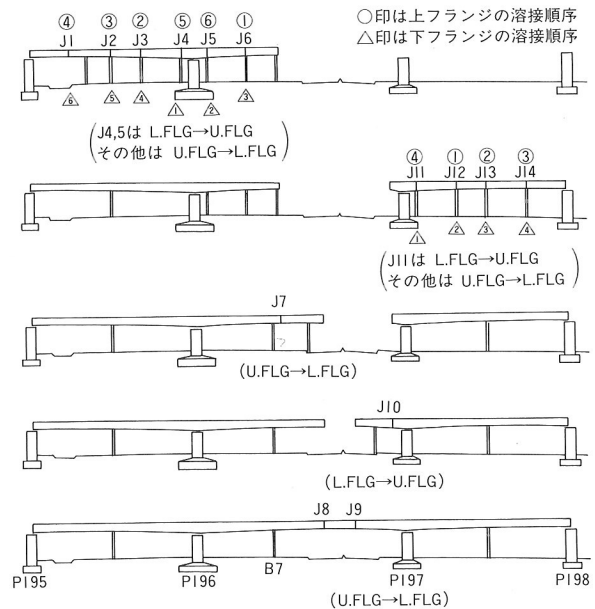


図-23 架設順序および溶接順序図

(2) 溶接施工

溶接方法、溶接条件および溶接材料は、前述の表-2のとおりとした。溶接条件は管理シートを用いて管理し、溶接条件が適正であるかどうか確認した。また、架設調整後(温度差のない時：標点距離、ルートギャップ)、溶接直前(温度差、ルートギャップ)、溶接完了後(温度差のない時：標点距離)にそれぞれ測定し、管理シートに記入した。

(3) 出来形管理

a) 標点距離の変化量

実橋実験において、標点距離を変化させる因子ごとに検討し、推定式をまとめた。そこでその因子ごとに推定値と実橋における実測値を比較した。

① 横収縮量

横収縮量の推定値と実測値を、推定式別に図-24～27に示す。図-25のSAW 1パス溶接 ($14 \leq t \leq 19$) の実測値が推定より大きくなる傾向を示したほかは、実測値と推定値がほぼ対応する結果となった。

② 日照による移動

上下フランジの各先行溶接部の日照による移動について、移動量の実測値と上下フランジの温度差との関係を図-28, 29に示す。下フランジ先行溶接部では推定式とよく対応しているが、上フランジ先行溶接部では推定より小さい傾向を示した。

③ 先行溶接部の横収縮に伴う後行溶接部の移動

後行溶接部については(先行溶接収縮による移動) + (日照による移動)を実測している。そこで②の図-28, 29の回帰直線を用いて日照による移動量を推定し、実測値より差し引いて、先行溶接収縮量と比較したのが図-30, 31である。図より求めた回帰直線の傾きは、推定式の1/2程度となっており、中間リブをHTBで拘束したのと同様な拘束が加わっていたと考えられる。

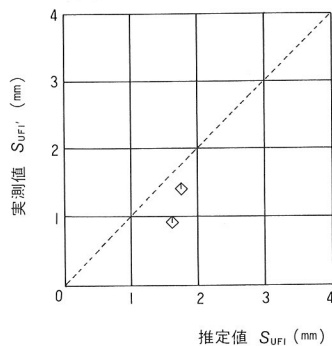


図-24 SAW 1パス溶接 ($11 \leq t \leq 13$)における横収縮の推定値と実測値の関係

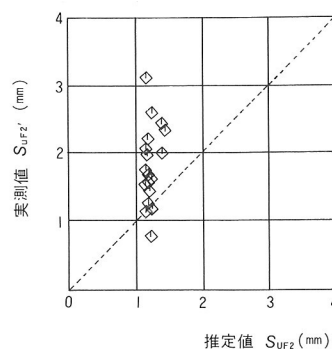


図-25 SAW 1パス溶接 ($14 \leq t \leq 19$)における横収縮の推定値と実測値の関係

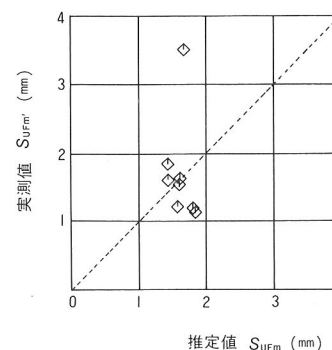


図-26 SAW多層溶接における横収縮の推定値と実測値の関係

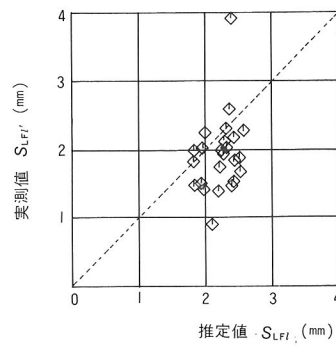


図-27 CO₂多層溶接における横収縮の推定値と実測値の関係

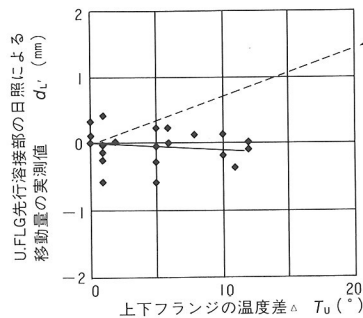


図-28 U.FLG先行溶接部の日照による移動量と上下フランジの温度差との関係

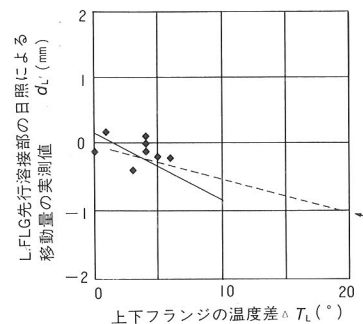


図-29 L.FLG先行溶接部の日照による移動量と上下フランジの温度差との関係

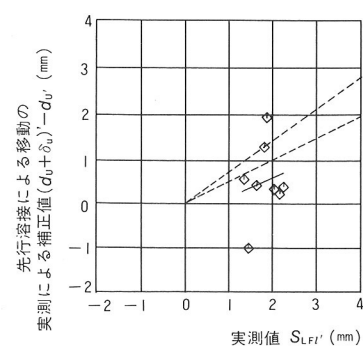


図-30 U.FLG後行溶接部のL.FLG溶接収縮量(実測)と、それによるU.FLGの移動実測値(実測による補正)との関係

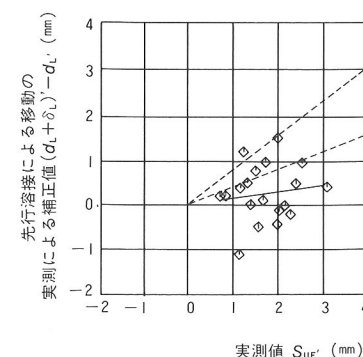
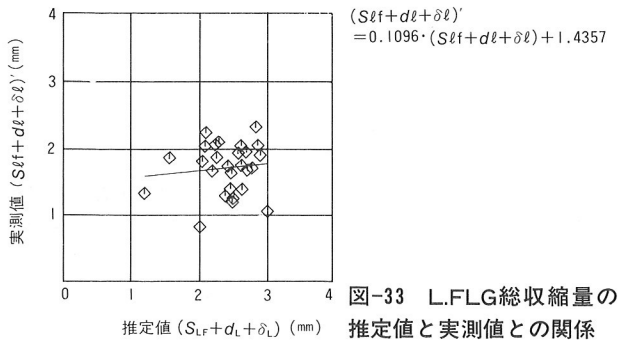
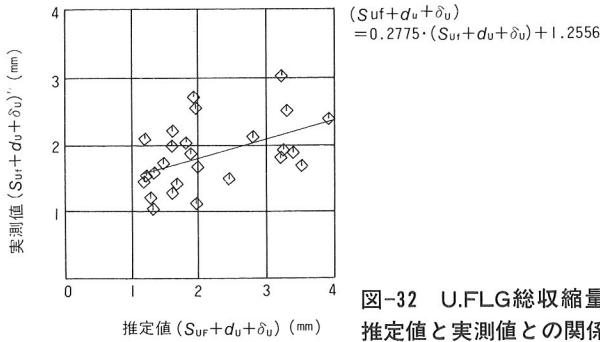


図-31 L.FLG後行溶接部のU.FLG溶接収縮量(実測)と、それともなうU.FLGの移動実測値(実測による補正)との関係



④ 標点距離の変化量

溶接前後の標点距離の変化量の推定値と実測値の比較を図-32, 33に示す。上下フランジとも推定値の大小にかかわらず、実測値に2mm前後のバラツキがあった。このため、上下フランジにおける標点距離の変化量の差は小さくなる傾向を示した。

b) 桁長

各継手の溶接前後の収縮量は1継手3mmと見込んで、全体で42mm長く製作したが、実収縮量は25mmであった。また、上フランジのルートギャップは仮組み立て時の実測値に比べ全体で-1.1mmとほぼ仮組み形状を再現することができた。これより単純計算だと、桁長は収縮量とルートギャップの差異の合計、約16mmほど長くなる。さらに仮組み立て時の橋長は-0.8mmであるから、最終的には設計寸法に対し+15mmとなる計算であったが、実測では+13mmであった。

c) 平面曲がり(通り)

実橋実験において、平面曲がりには特に問題とならないことが確認されたため、あえて詳細には測定しなかった。閉合部(J8)では、調整時に小口合わせのためP197で+8mm移動した。このため、最大で+13mm生じているが、許容値(±20, ただし側径間で±15)を十分満足するものであった。

d) キャンバー

実橋実験において、キャンバー(無応力状態)は溶接前後の上下フランジの標点距離の変化量の差で表した。本工事では実橋の現場溶接施工前に、推定式により溶接計

画を立てた。その計画形状と実測形状を図-34~39に示す。

図-34は実験で得た推定式および仮組み時の開先形状、上下フランジの温度差7.5℃と想定した形状であり、中間支点の両側を下フランジから溶接し、他を上フランジから溶接することでキャンバーを上げる方向に計画したものである。図-35は実施工時の開先形状、温度差により推定したものであり、図-36は実収縮より推定したものである。実収縮による収縮差は推定より小さくなっているため、キャンバー形状も推定より低くなっている。図-36を支点支持で表したのが図-37である。実測キャンバーを図-38に示すが、想定した形状よりも基準値に対する誤差は小さく、-2~+12mmと良好な結果であった。また、溶接変形がキャンバーに与えた影響(図-39)は-3.4~5.0mmと小さいものであった。なお、溶接変形の影響は次のように算出した。

$$(\text{溶接変形の影響}) = (\text{多点支持標高}) - (\text{支点支持標高}) - (\text{鋼重たわみ})$$

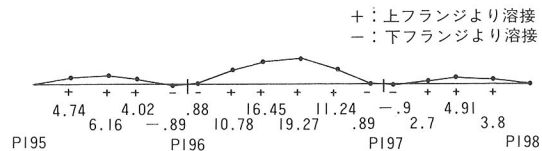


図-34 推定収縮によるキャンバー形状推定
(支点支持, 無応力状態)
(仮組み時の開先形状より推定)

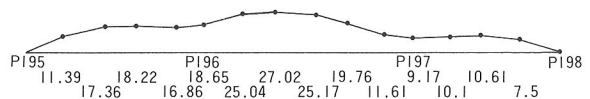


図-35 推定収縮によるキャンバー形状推定
(P195, P198支持, 無応力状態)
(実施工時の開先形状より推定)

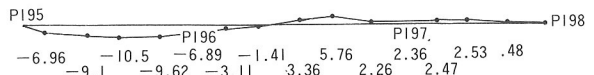


図-36 実収縮によるキャンバー形状推定
(P195, P198支持, 無応力状態)

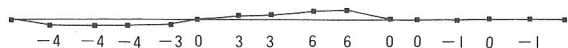


図-37 実収縮によるキャンバー形状推定
(支点支持, 無応力状態)

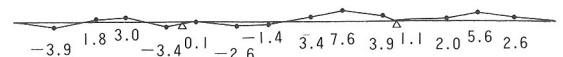


図-38 実測キャンバー(支点支持)

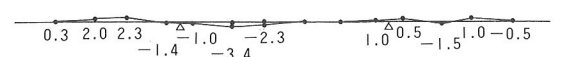


図-39 溶接変形がキャンバーに与えた影響

ただし、閉合部(J8,9)については、P196, B7, P197でジャッキUPして閉合面を合わせたため、溶接変形の影響は明確ではない。

e) 二次応力

溶接変形によりキャンバーの推定形状は図-40のようになっている。そこで、 σ_1 と σ_2 (図-36より算出)の強制変位を与え、付加曲げモーメントを平面解析にて算出した。付加曲げモーメントおよび応力度照査箇所を図-41に示す。応力度照査箇所は断面力が足し合わされる箇所について行った。照査の結果、すべて次式を満足するものであった。

$$\sigma + \Delta\sigma \leq \sigma_a \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$\Delta\sigma = \sigma \times \Delta M / M \quad \dots\dots\dots(20)$$

σ : 設計時応力度,

σ_a : 設計時許容応力度

ΔM : 付加曲げモーメント,

M : 設計時曲げモーメント

(4) 品質管理

溶接部の検査は目視による外観検査のほか、突き合わせ溶接部は全線放射線透過検査(JISZ3104)を行った。検査結果は、主桁が無欠陥748枚(57.4%)、一級欠陥423枚(32.4%)、二級欠陥133枚(10.2%)であった。欠陥の種類と発生箇所を図-42に示す。



図-40 溶接変形によるキャンバーの推定形状

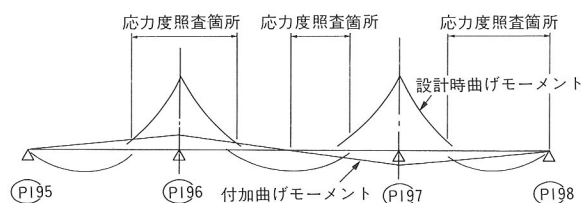


図-41 付加曲げモーメントおよび応力度照査箇所

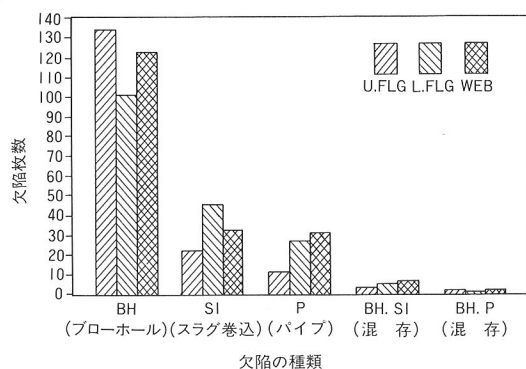


図-42 放射線透過検査における発生欠陥の種類と発生箇所および発生枚数

6. あとがき

箱桁の全断面現場溶接にはいくつかの実施例があるが、本橋のように非合成コンクリート床版の例は少なく、施工方法が十分に確立されているとは言えなかった。そこで、実橋実験を行い、溶接変形が最終形状に及ぼす量を推定式で表した。その推定式を基に施工計画を立てて実施した結果、2ブロック連結の実橋実験と多ブロック連結の実施工との間にはいくぶん相異が見られたが、最終形状(キャンバー)を推定する一つ的手段として有効な方法であると考えられる。また、今後の工事のデータの蓄積によっては、より精度の高い形状管理が可能と考えられる。

最後に、本実験の機会を与えてくださり、常に適切なお指導を賜った名古屋高速道路公社の方々、ならびに、常に有益なお助言をいただいた(その5)(その6)工区の日本車輛(株)、三井造船(株)の関係各位に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 増井・西本・米山：全断面継手の施工，川田技報，Vol. 4，1985年。
- 2) 山口・葉山・宇和川：大ブロック工法による鋼床版箱桁の溶接変形について，技報まつお，No. 4，1982年。
- 3) 呉鉄構設計部：新吉野川大橋の概要，石川島播磨技報，Vol.13，No. 2，1973年。
- 4) 長尾・森下：全溶接大型部材の製作方法について，宮地技報。
- 5) 上田・福田・中長：有限要素法による溶接応力の解析と残留応力の発生機構，溶接学会誌，Vol.45，No. 1，1976年。
- 6) 三菱・石播・日車・宮地JV：実橋部材を用いた溶接施工試験，名古屋高速道路公社，1984年。
- 7) W.Spraragen, W.G. Ettinger : Shrinkage Distortion in Welding, Welding Research Supplement (June, 1950).