

〔現場溶接〕

日守橋（その2工区）架設工事における 現場溶接施工記録

播 本 章 一¹⁾

森 本 喜 典³⁾

千 歳 耕 一²⁾

伊 藤 裕 彦⁴⁾

架設現場においてウェブの板継ぎ溶接（水平）を行うことは、溶接による変形で座屈を起す恐れがあり、また収縮量や歪によって桁高やキャンバーに影響があると考えられていたので今まで行われることがなかった。

今回、日守橋（その2工区）架設工事においてウェブの板継ぎ溶接を現場で行い、面外変形、収縮量、キャンバー等を測定し、収縮量では平均1.24mm、キャンバーでは最高2mmの変形があるという結果を得た。

まえがき

日守橋は伊豆半島のつけ根にあたる三島市の南に建設中の有料道路『伊豆中央道』の一部で、肥田～日守地内を横切る狩野川上に架かる耐候性鋼材を使用した3径間連続鋼床版箱桁である。図－1に一般図を示す。その2工区を駒井鉄工所が製作、架設し、その3工区は高田機工が受注したものである。

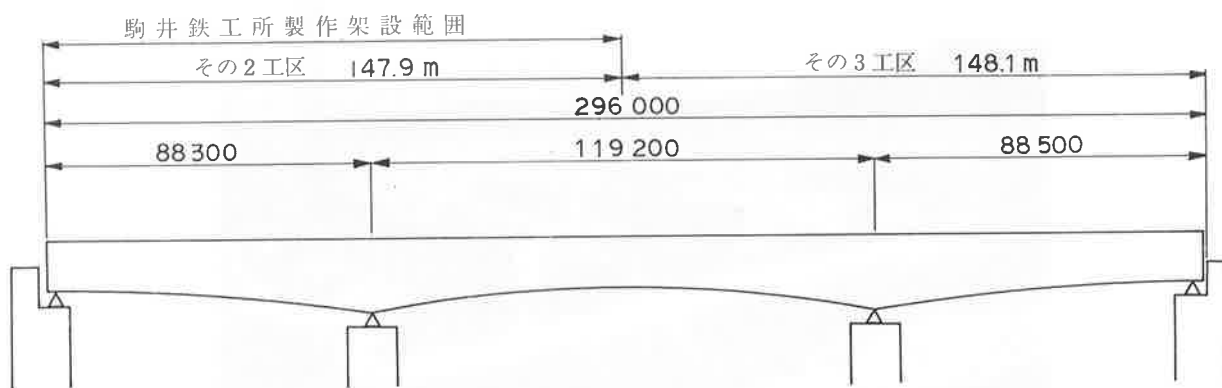
この工事の特徴は耐候性鋼材を使用している点と、ウェブを現場で板継ぎ溶接（水平）した点である。今回の報告は、ウェブの現場溶接時に測定した面外変形、キャンバー、収縮量、ウェブ高をまとめたものである。

1. 現場溶接概要

本橋、その2工区では12のジョイントがあり、図－2に示すようにウェブ高の高いJ4～J10までの6ブロック12パネルのウェブについて現場で板継ぎ溶接を行った。部材は単材で搬入され、現場溶接ヤードにおいてウェブの板継ぎ溶接を行った後架設されその後鋼床版の溶接を行い、Uリブの溶接を行った。溶接部の概要と、工程流れ図を図－3、図－4に示す。

ウェブの板継ぎ溶接を現場で行うことは、溶接によって座屈を起したり、収縮量や歪が直接桁高やキャンバーに影響を与えると考えられていたので今まで行われることがなかったが、輸送の関係と美観の問題からこのようになったものである。そのため溶接条件も現場の環境に合った条件を確認するため、現場で溶接施工試験を行った。

写真－1に現場溶接ヤード風景を示す。



図－1 一般図

1)取締役大阪工場長

3)大阪工場技術課

2)大阪工場技術課副課長

4) "

図-2 ウェブ溶接部概要および鋼床版溶接順序
(その2工区)

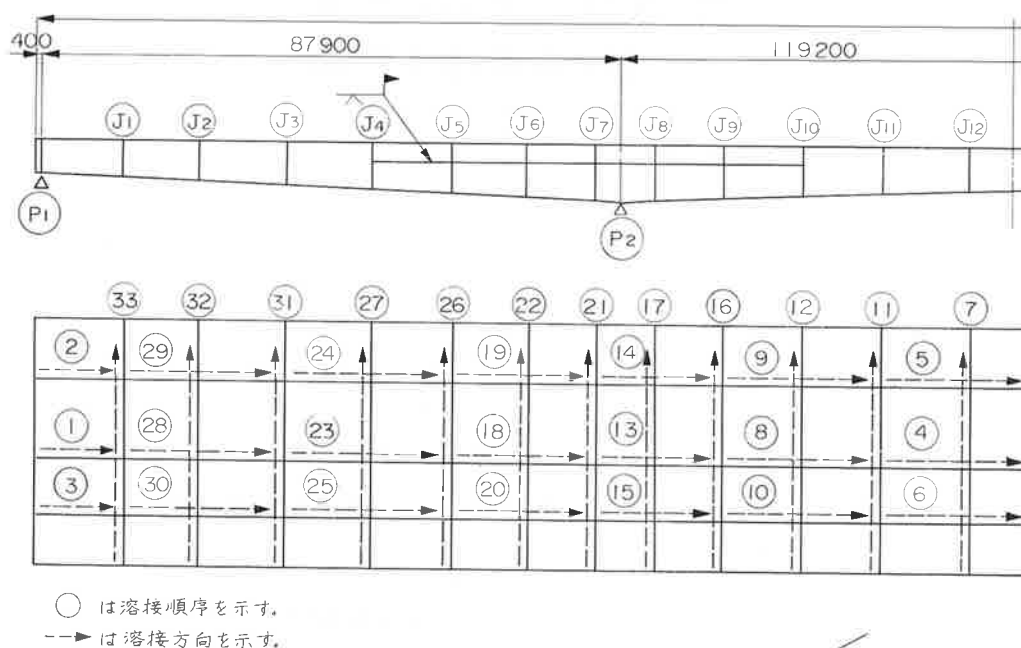


図-3 現場溶接部概要

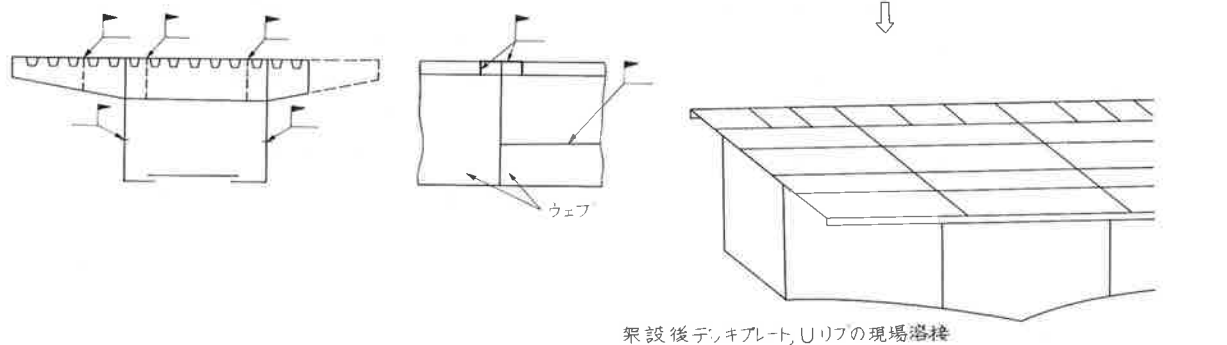


図-4 工程流れ図

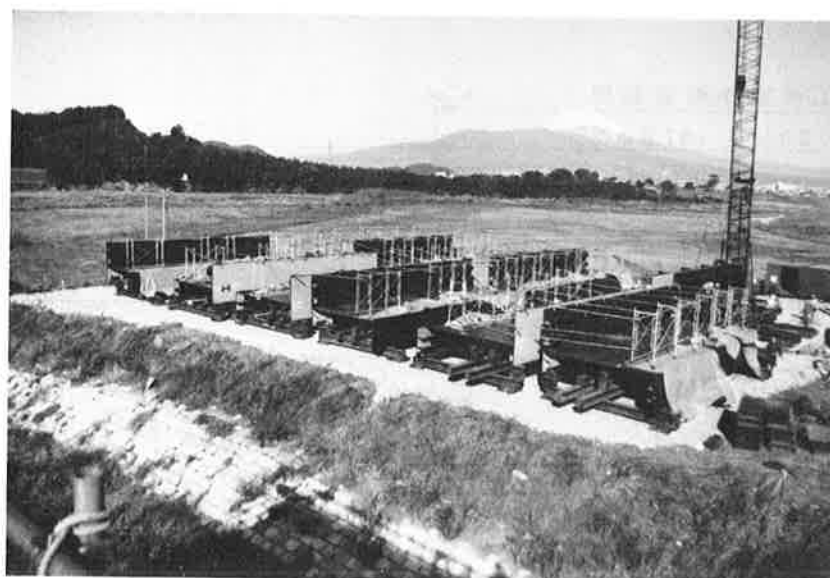


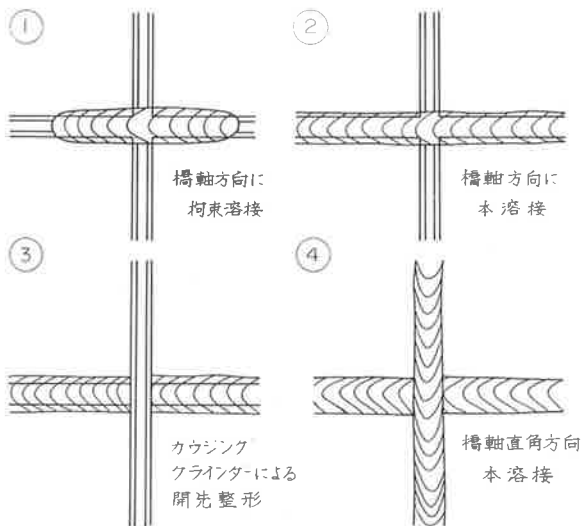
写真-1 現場溶接ヤード風景

2. 溶接方法

(1) ウェブ、デッキプレートの溶接

ウェブ、鋼床版デッキプレートの縦継ぎおよび横継ぎ溶接ともソフトバックিংを用いた裏波自動溶接によって施工した。端部はエンドタブを取り付けた後、500mm程度の拘束溶接を行った。ただし、始端部については拘束溶接を省略した。デッキプレートの十字継手部の拘束溶接は、裏波自動溶接で橋軸に平行方向にだけ行い、直角方向溶接時には十字交差部をガウジング、グラインダーで開先整形を行った後裏波自動溶接を行った。

十字交差部の溶接手順を図－5に示す。



図－5 十字交差部溶接手順

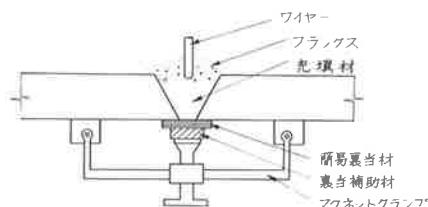
片面自動溶接に用いる裏当材はマグネットクランプを用いて取り付けした。なおこの裏当材は溶接終了後除去した。

裏当材の取り付け状態を図－6に示す。

(2) Uリブの溶接

Uリブの突合せ溶接は、鋼製裏当金を用いる被覆アーク溶接により行った。またデッキプレートとUリブとのすみ肉溶接も同様に行った。

使用材料および溶接条件を表－1、表－2、表－3に示す。また鋼床版溶接部とUリブの開先形状とその許容値を図－7、図－8、表－4に示す。つぎに溶接施工フローチャートを図－9に示す。



図－6 裏当材取り付け状況

表－1 被覆アーク溶接材料（Uリブ）

区 分	適用鋼種	銘 柄	J I S 規格	被覆系統	棒 径	メーカー
突 合 せ	SMA41AW	LBW-52	D 5016	低水素系	4 φ、5 φ	神 鋼
す み 肉	SMA50 ^A _B W	〃	〃	〃	〃	〃

表－2 サブマージアーク溶接材料（デッキ、ウェブ）

区 分	適用鋼種	ワ イ ヤ ー			フ ラ ッ ク ス		裏当材	充填材	メーカー
		銘 柄	規 格	径	銘 柄	種 類			
突合せ	SMA41AW	USW-52B	—	4.8φ	MF- ³⁸ _{38A}	溶融型	FAB-1	RR-2	神 鋼
	SMA50 ^A _B W	〃	—	〃	〃	〃	〃	〃	〃

表-3 サブマージーク溶接 溶接条件

板厚 (mm)	充填材 高さ(mm)	層 数	ワイヤ径 (mmφ)	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)
12	12	1	4.8	600~700	32~36	15~25
13	13	1	4.8	600~700	32~36	15~25
15	15	1	4.8	720~820	32~36	15~25
17	15	2	4.8	700~800 650~750	32~36 36~40	20~23 20~23

※ 1 層目

2 層目

表-4 開先形状許容値

種 別	ウェブ・デッキ		U リ ブ	
	標準値	許容値	標準値	許容値
開先角度 $\theta(^{\circ})$	50	± 5	35	± 5
ルート間隔G(mm)	4	± 4	5	-1~+5
ルート面R(mm)	0	1	0	1
目違いM(mm)	0	2	0	1

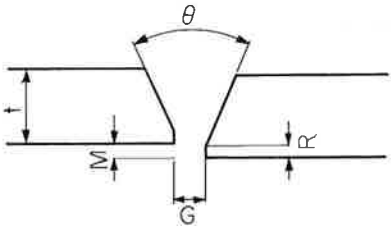


図-7 ウェブ・デッキプレート開先形状

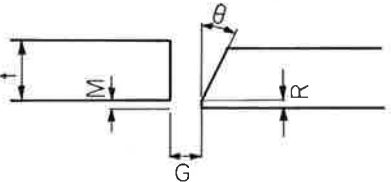


図-8 Uリブ開先形状

3. 測定内容

ウェブの現場溶接ではスチフナーを除いてほとんど溶接に対する拘束がない状態であると考え、端部における歪と収縮量を測定した。また現場におけるウェブの板継ぎ溶接という特異な施工において溶接前後のキャンバーとウェブ高が問題となると考えたので、それを測定した。

以下にそれぞれの測定方法を示す。

(1) 歪 (面外変形)

図-10に示すように溶接線上と、その両側 2 点の計 3 点をウェブの端部において測定した。鋼床版側を①、溶接線上を②、下フランジ側を③とした。

(2) 収縮量

溶接線をはさんで標点距離200mmで、両端部から170mmの位置と、中央部の 3 点において溶接前後に測定した。

(3) キャンバー

下フランジのウェブのすみ肉溶接部の裏側に水糸を張って、1 m ピッチで 9 ~ 11箇所を溶接前後において測定した。

(4) ウェブ高

溶接前後においてウェブの両端の高さを測定した。

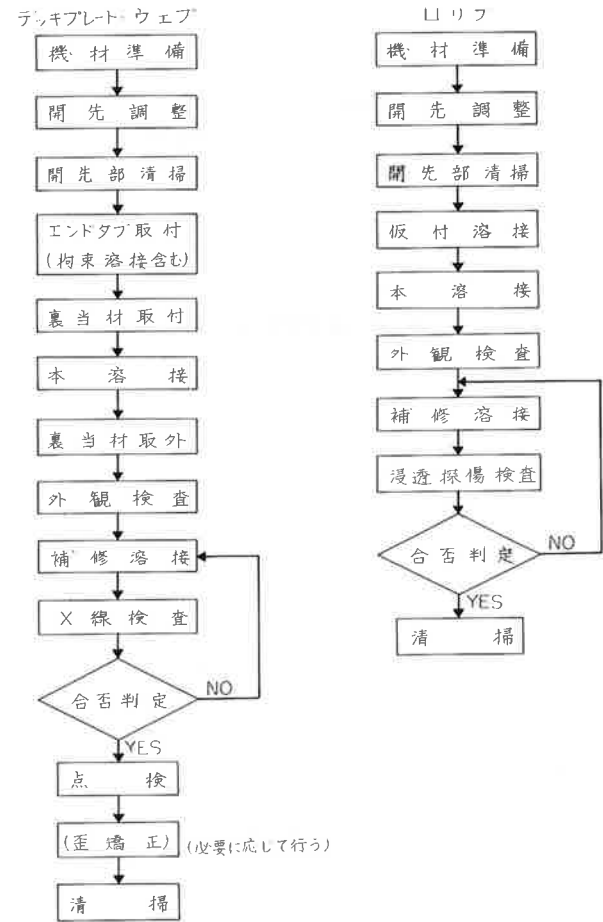


図-9 溶接作業手順

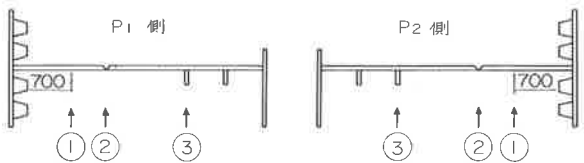


図-10 歪測定位置

4. 結果および考察

(1) 歪 (面外変形)

溶接後のウェブの面外方向の歪を表-5に示す。
またG10Rにおいて溶接線を中心に50mm間隔で測定した面外変形の等高線図を図-11に、50mm間隔の断面のグラフを図-12に示す。

P₁側、P₃側とも① (鋼床版側) の変化量が2mm程度と、②、③に比べて5mm程も少ない。鋼床版側は水平スチフナーもないことから考えると、溶接線から1,500mmのところにある鋼床版が歪に対する拘束を行っているものとする。

G10Rについて図-11、図-12から面外変形が0の点が、溶接線から40mmほどずれていることが解る。他の溶接線でもこのような傾向のものが見られたが、これは目違いを調整する時に使用した拘束用治具の影響のためかと考える。この拘束用治具の形状を図-13に示す。

なおこの歪は加熱矯正により、許容値内に修正をした。

表-5 端部における溶接後の歪

測 定 点	P ₁ 側 (mm)			P ₃ 側 (mm)		
	①	②	③	③	②	①
G 5 R	- 2.5	+ 4.5	+ 0.5	- 3.5	-13.5	+2.0
G 5 L	- 1.0	-18.0	- 5.0	-13.5	- 2.5	-2.0
G 6 R	- 1.5	- 2.0	- 4.0	- 6.5	-25.0	-9.0
G 6 L	-12.0	-30.0	-18.5	- 5.0	+ 1.0	-5.0
G 7 R	—	—	—	—	—	—
G 7 L	+ 2.0	- 2.5	+ 1.0	-11.0	-13.5	+0.5
G 8 R	+ 1.0	0	- 6.0	+ 7.0	- 5.0	+1.0
G 8 L	- 5.0	- 5.0	-15.0	- 6.5	+ 2.0	+2.0
G 9 R	- 0.5	- 7.5	-12.0	-12.5	- 9.0	-4.0
G 9 L	+ 2.0	- 2.0	- 7.0	-18.0	- 7.5	-4.0
G10R	+ 0.5	- 3.0	- 7.0	—	—	—
G10L	- 5.5	-11.0	- 7.0	- 7.0	+ 2.0	-0.5
平 均	- 2.0	- 7.0	- 7.3	- 7.0	- 7.1	-1.9

※—は測定せず

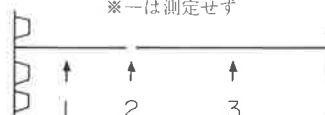


図-11 溶接後のウェブ端部の変位 (GIOR)

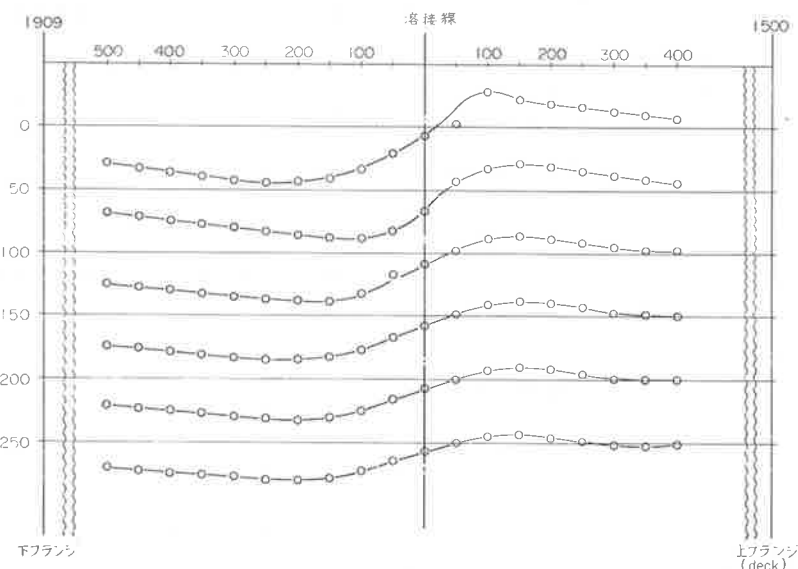
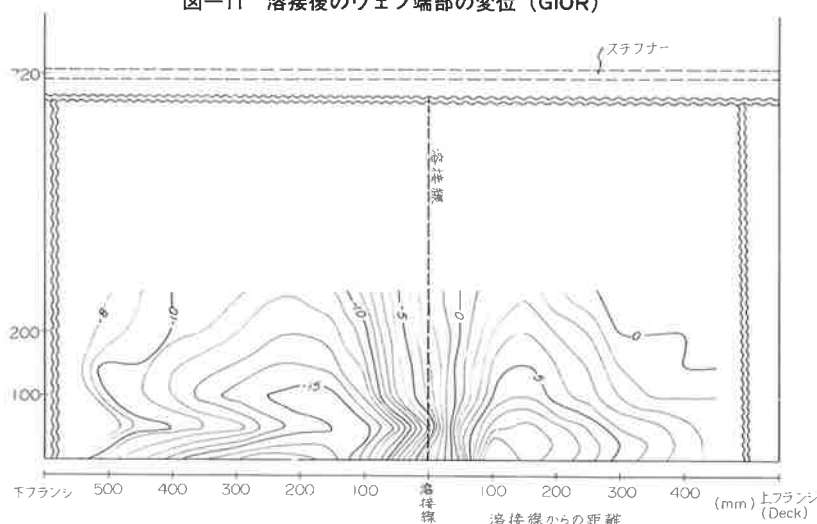


図-12 溶接後の端部から50mm間隔の歪量 (GIOR)

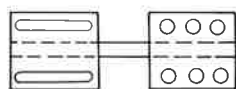
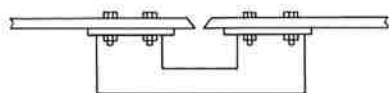


図-13 拘束用治具

(2) 収縮量

溶接後の収縮量を表-6に示す。

今回この測定値と、W. Spravagen、W. G. Eltinger の近似式とを比較してみた。W. Spravagen、W. G. Eltinger の式を次に示す。

$$U \div C \frac{A}{h} + 0.05d \quad (1)$$

U：グループ溶接による溶接収縮量 (mm)

A：溶接部グループ断面積 (cm²)

h：板厚 (cm)

d：ルート間隔 (mm)

C：溶接法等で決まる係数で下記の値とする。

$$C \begin{cases} 1.8 & (h \leq 25\text{mm}) \\ 2.0 & (h > 25\text{mm}) \end{cases}$$

注) 上記はサブマージアーク溶接の場合の推定式

(1)式において計算した結果を表-7に示す。また、実側値と計算値を比較する表で、端部と中央部に分けたものを表-8に、板厚別に分けたものを表-9に、ルートギャップ別に分けたものを表-10に示す。

実測値と、計算値を比較してみると、1~1.5mmほど計算値の方が大きい値が出ている。そして、これらの数値にはほとんど相関関係は見られない。表-8の端部と中央部との比較において、実測値では中央部が1.03mmと収縮量が少ないが、計算値では2.54mmと端部の計算値よりも大きな値がでている。(1)式から容易に推察できることだが、この計算式はグループの断面積に収縮量が大きく関係している。つまりはルートギャップが影響してくることになるが、実測値からではルートギャップと収縮量の関係は見られなかった。しかし、傾向として板厚が薄くルートギャップの小さなもの、つまり溶着金属の量が少ないものは計算値に近づくといえる。逆にルートギャップが広く板厚が厚くなると計算値との差が大きくなる。

表-6 ウェブプレート収縮量 (実測値)

測 定 点	収 縮 量 (mm)			
	P ₁ 側	中 央	P ₃ 側	平 均
G 5 R	1.2	1.5	1.45	1.38
G 5 L	1.6	0.65	1.45	1.23
G 6 R	1.55	1.7	1.6	1.62
G 6 L	1.35	0.5	1.2	1.02
G 7 R	2.9	1.15	2.0	2.02
G 7 L	2.1	0.65	1.4	1.38
G 8 R	1.15	1.65	2.2	1.67
G 8 L	0.95	1.0	1.0	0.98
G 9 R	0.5	1.05	0.8	0.78
G 9 L	1.05	0.05	0.8	0.63
G10R	1.5	0.65	0.25	0.8
G10L	1.05	1.8	1.1	1.32
平 均	1.41	1.03	1.27	1.24

表-7 ウェブプレート収縮量 (計算値)

	収 縮 量 (mm)			
	P ₁ 側	中 央	P ₃ 側	平 均
G 5 R	2.36	2.28	2.56	2.4
G 5 L	2.39	2.60	2.31	2.43
G 6 R	1.96	2.31	2.19	2.15
G 6 L	2.33	2.10	2.51	2.31
G 7 R	2.81	2.44	2.70	2.65
G 7 L	2.65	3.06	2.70	2.80
G 8 R	2.44	2.53	2.86	2.61
G 8 L	2.58	2.44	2.33	2.45
G 9 R	2.60	2.81	2.81	2.74
G 9 L	2.17	2.86	2.35	2.46
G10R	2.44	2.58	2.17	2.40
G10L	2.42	2.44	2.21	2.36
平 均	2.43	2.54	2.48	2.48

表-8 ウェブプレート収縮量の端部と中央部の比較

部 位	収 縮 量 平 均 値 (mm)	
	実 測 値	計 算 値
端 部	1.34	2.45
中 央 部	1.03	2.54

表-9 ウェブプレート収縮量の板厚別比較

板 厚 (mm)	度 数	収 縮 量 平 均 値 (mm)	
		実 測 値	計 算 値
12	2	1.4	2.38
13	12	1.17	2.32
15	22	1.22	2.58

(3) キャンバー

溶接前後におけるキャンバーの変化量を表－11に示す。

キャンバーの変化量はすべて 2 mm以下であり、その多くは 1 mm以下であるので、溶接がキャンバーに与える影響はほとんど無いものと考えられる。

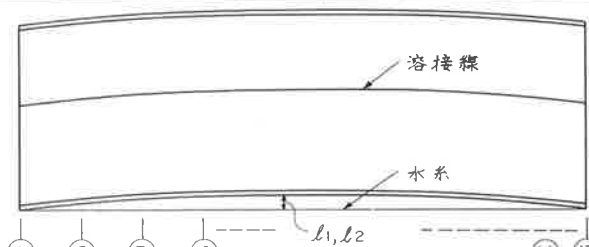
表－10 ウェブプレート収縮量のルートギャップ別比較

ルートギャップ (mm)	度 数	収 縮 量 平 均 値 (mm)	
		実 測 値	計 算 値
1 ≤ G < 2	4	1.3	2.17
2 ≤ G < 3	14	1.14	2.35
3 ≤ G < 4	9	1.43	2.53
4 ≤ G < 5	8	1.09	2.74
5 ≤ G	1	0.65	3.06

表－11 溶接前後におけるキャンバーの変化 (mm)

測定点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
G 5 R	0	－1.0	－0.5	0.5	0	－2.0	－1.5	－1.0	－1.0	－1.0	－1.5	0	
G 6 R	0	0	0	0	－0.5	－0.5	0.5	－0.5	0	0	0.5	0	
G 9 R	0	1.0	0	0.5	0	－1.0	0	0	0	0	0		
G10R	0	1.0	0.5	－0.5	－0.5	－0.5	－0.5	－0.5	－1.0	－1.0	－0.5	－0.5	0
G10L	0	－1.0	－0.5	－1.0	－1.0	－2.0	－2.0	－2.0	－2.0	－2.0	－1.0	－1.0	0

l_1 : 溶接前
 l_2 : 溶接後
 $l_1 - l_2$



表－12 ウェブ高の収縮量

部 材	収 縮 量 (mm)		
	P ₁ 側	P ₂ 側	平 均
G 5 R	1.0	1.5	1.25
G 5 L	2.0	2.0	2.0
G 6 R	1.5	2.0	1.75
G 6 L	1.0	1.5	1.25
G 7 R	※ —	—	—
G 7 L	2.5	2.5	2.5
G 8 R	2.0	1.5	1.75
G 8 L	2.0	1.5	1.75
G 9 R	1.0	3.5	2.25
G 9 L	0	0.5	0.25
G10R	1.0	1.5	1.25
G10L	1.5	0.5	1.0
平 均			1.55

※—は測定せず

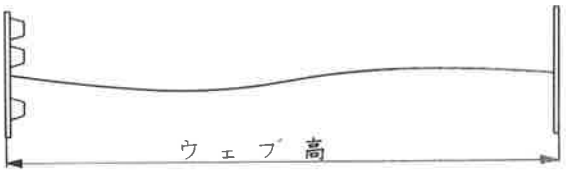
(4) ウェブ高

溶接前後のウェブ高の変化量を表－12に示す。

ウェブ高の収縮量の平均は1.55mmとなっており、溶接線近傍の収縮量の平均（端部のみ）の値（1.24 mm）と比べると、約 0.3mm ほど収縮量が増加していることが解る。しかし、ウェブ高の収縮量と溶接線近傍の収縮量との相関はまったく見られない。この 0.3mmほどの収縮は図-14に示すような面外変形によって短くなったものとする。

(5) 放射線透過試験結果

溶接終了後 J I S Z 3104に従って放射線透過試験を行った。表－13に示すように欠陥枚数も少なく 2 級の欠陥率も全体の 1.8% と良好な結果であった。



図－14 ウェブ高とウェブの面外変形

表－13 放射線透過試験結果

試 験 箇 所	デッキプレート	ウ ェ ブ
撮 影 枚 数	742 枚	180 枚
1 級	727 枚	178 枚
2 級	15 枚	2 枚
手直し欠陥	3 枚	0 枚

あとがき

耐候性鋼材を使用したものと、一般の溶接構造用鋼材（S M材）を使用したものとは施工という面においては、従来とまったく変りのない施工を行ったが、一般のS M材と比べ溶接条件が若干異っていたので、施工前に溶接条件を決定するのに多くの時間を費した。

ウェブの板継ぎ溶接の変形という面では、ウェブ高の変化は1.5～2.0mm程を見込めば良いという結果を得た。またキャンバーの変化では、最高で2.0mmであり、ほとんどは1mm以下であるので無視できるものとする。歪については溶接線から100mm程の距離について急激に変化し、端部に近い所の変化が大きいといえる。ウェブの収縮量については、1.24mmと一般の鋼床版溶接の収縮量約2mmと比べるとやや小さい値が得られた。また、W. Spravagen、W. G. Eltingerの式での計算値との比較では、ルートギャップが小さく、板厚が薄い場合には計算値に近づくが、あまり信頼できる値は得られなかった。

今回、この日守橋のウェブ現場板継ぎ溶接で、キャンバー、ウェブ高に関わる収縮量、歪等の測定を行い、すべて許容できる範囲内におさまり、特に問題なく施工することができた。数多い施工ではないが、今後このような橋梁がまた架設されるときの参考としていただきたい。