

南備讃瀬戸大橋の概要と施工試験

石井 博彦¹⁾ 千歳 耕一²⁾ 森本 喜典³⁾
 秋山 寿行⁴⁾ 佐々木裕之⁵⁾

はじめに

児島・坂出ルートで当社としては3橋目の製作となる、南備讃瀬戸大橋は道路・鉄道併用橋では我国最長の吊橋である。本工事は、現在工場内で鋭意製作中であるが、従来当社が経験してきたものとは製作上で異なった問題点がある。本橋の概要およびこれらの問題点を解明するために実施した施工試験の結果を本報告に述べる。

1. 橋の概要

南備讃瀬戸大橋は、本州四国連絡橋で児島・坂出ルート（Dルート）に架けられる吊橋3橋のうちの一つである。本橋は、中央径間1,100mを有する世界最大級の3径間連続吊橋であり、その架設位置は、三ツ子島から番の州までの区間（1,723m）で備讃瀬

戸南航路を横断している。そして、本橋の北側に隣接した同規模の北備讃瀬戸大橋（中央径間990m）と共用の4A橋台を有しており、南北備讃の吊橋を合わせると、全長約3,400mの2橋連続した長大吊橋となる。架橋地点は、瀬戸内海の主要航路であり、さらに国際航路ということもあって大小さまざまな船舶の往来が激しい。このため、桁下の高さは65m以上あり、また、塔の高さも5Pで194mとなっている。

本橋が完成すると、日本第1位はもちろんのこと、世界でも第5位、道路鉄道併用橋としては世界第1位の長大吊橋となる。

2. 橋の主要諸元

- (1) 構造規格
 橋格 道路：第1種第2級

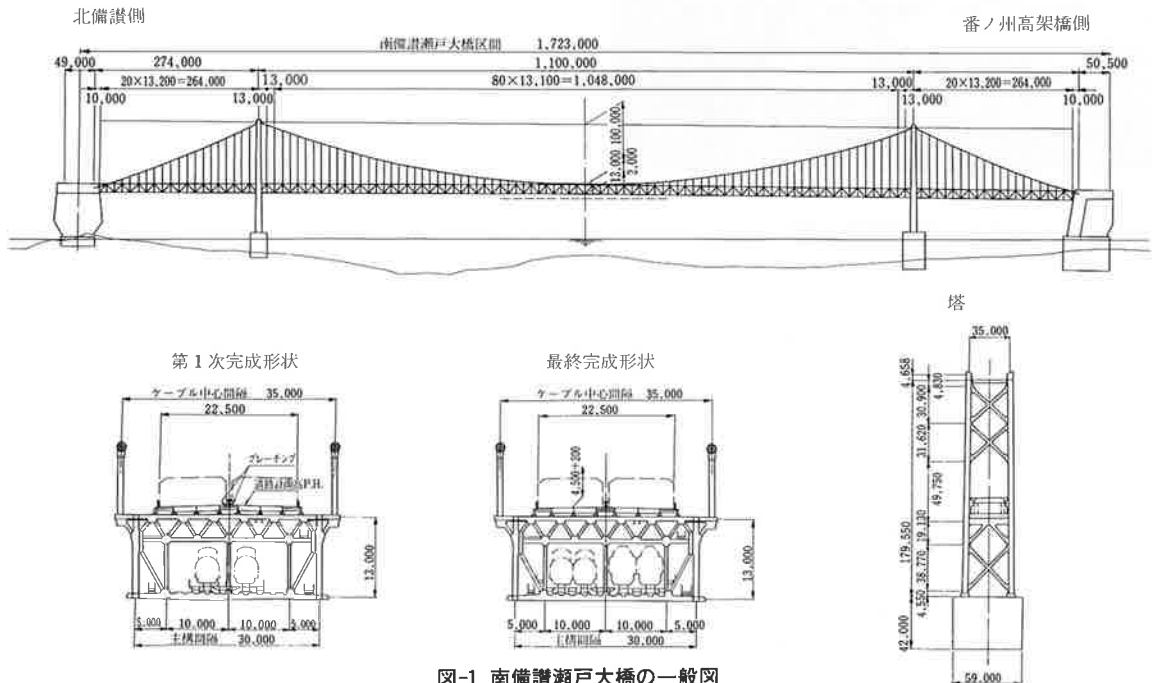


図-1 南備讃瀬戸大橋の一般図

- 1) 大阪工場製造課課長 2) 大阪工場技術課課長 3) 大阪工場技術課係長
 4) 設計部大阪設計課係長 5) 大阪工場製造課係長

鉄道：新幹線と在来線

(本四備讃線 1級線)

車線数および軌道数、設計速度

道路：4車線 V=100km/h

鉄道：(第1次完成時)

在来線複線V=120km/h

(最終完成時)

在来線複線V=120km/h

新幹線複線V=160km/h

縦断勾配 道路：1%直線勾配+円曲線

(R=101,000m)

鉄道：道路部と同様

横断勾配 道路：2%直線

鉄道：カントなし

上路床組形式：縦桁合成鋼床版

(6径間あるいは4径間連続)

道路舗装厚：アスファルト舗装75mm

軌道締結方式：鋼桁直結軌道(Ⅲ型)

航路限界：NHHWL(T.P.+1.9m)上

+65m(T.P.66.9m)

(2) 構造諸元(図-1参照)

橋梁形式：3径間連続補剛トラス吊橋

橋長：L=1,723.0m

ケーブル支間：274m+1,100m+274m

補剛桁支間：264m+1,100m+264m

パネル分割：側径間 20×13.2m=264m

中央径間

2×13.0m+80×13.1m

+2×13.0m=1,100m

ケーブル形状：サグf=100m(最終完成)

ケーブル中心間隔：35m

補剛桁諸元：主構高 13.0m

主構幅 30.0m

ケーブル直径：一般部

1,062mm(空隙率20%)

+2×4mm(ラッピング)

ハンガーロープ：本数 4本(2本掛)/格点

直径 φ68あるいはφ74

(C.F.R.C)

塔 橋軸方向：基部固定塔頂ヒンジの

フレキシブルタワー系

橋直方向：斜材を有するラーメン系

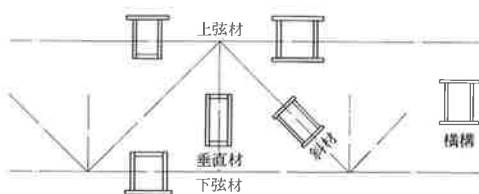


図-2 補剛トラスの断面構成

(3) 補剛トラス部材の断面構成

補剛トラス部材の断面構成は図-2のとおりである。

(4) 概算鋼重

ケーブルおよびハンガー	約22,000t
補剛桁	43,000t
塔	19,000t
アンカーフレームその他	3,000t
計	約87,000t

3. 構造の特徴

本橋は次のような構造上の特徴を有しており、またこれらの特徴は、他の吊橋2橋(北備讃瀬戸大橋、下津井瀬戸大橋)についても同様である。

(1) 道路・鉄道併用橋

児島・坂出ルート海峡部の橋はすべて上側が道路、下側が鉄道の道路・鉄道併用橋である。このうちの鉄道は、まず完成時に在来線複線であり、将来は在来線複線および新幹線複線が計画されている。このため、補剛桁の部材は鉄道荷重による疲労を考慮して設計され、また製作、特に溶接に対して厳しい検査基準が設けられている。たとえば、調質鋼(SM58材)の溶接について、作用する疲労応力と許容疲労応力との比率に応じて、特A、A、B部材という名称によってランク付けされた「要求品質」が設けられている(表-10参照)。

(2) 3径間連続吊橋

通常の2ヒンジ吊橋では、塔部において、補剛桁に大きな角折れが発生し、そのため列車の走行が困難となる。本橋では、補剛桁を3径間連続とすることによって、列車の走行性をよくしている。

一方、3径間連続吊橋であるため、主構間隔とケーブル間隔とが一致していない。そのため、主構弦材格点よりハンガーブラケットを張り出し、これにハンガーを定着させている(図-3参照)。この構造は他にあまり例がない。

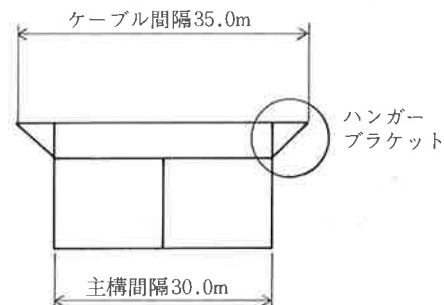


図-3 ケーブル間隔と主構間隔

表-1 要求品質

材質	部位	応力範囲 許容応力範囲	欠陥の許容寸法
調質鋼	弦材及び支点近傍の斜材・垂直材・主横トラス	特A $0.7 \leq \frac{\sigma_r}{\sigma_{ts}^B}$ あるいは $0.85 \leq \frac{\sigma_r}{\sigma_{ts}^C}$	1. 部分溶込みどど溶接、すみ肉溶接のブローホール ⅰ) 球状ブローホール (H/w ≤ 2のもの) w ≤ 1.5mm ⅱ) パイプ状ブローホール (w ≤ 1mmのもの) H ≤ 4mm 2. リブ十字溶接の止端のフランク角 θ ≥ 120°
		A $0.5 \leq \frac{\sigma_r}{\sigma_{ts}^B} < 0.7$ あるいは $0.6 \leq \frac{\sigma_r}{\sigma_{ts}^C} < 0.85$	1. 部分溶込みかど溶接、すみ肉溶接のブローホール ⅰ) 球状ブローホール (H/w ≤ 2のもの) w ≤ 3.0mm ⅱ) パイプ状ブローホール (w ≤ 1mmのもの) H ≤ 6.0mm 2. リブ十字溶接の止端のフランク角 θ ≥ 120°
		B $\frac{\sigma_r}{\sigma_{ts}^B} < 0.5$ あるいは $\frac{\sigma_r}{\sigma_{ts}^C} < 0.6$	リブ十字溶接の止端のフランク角 θ ≥ 120°
非調質鋼	弦材	$0.85 \leq \frac{\sigma_r}{\sigma_{ts}^C}$	リブ十字溶接の止端のフランク角 θ ≥ 120°

ここで

- ① σ_{ts}^B ; σ_{ts}^C はそれぞれ角溶接、リブ十字の許容応力範囲
- ② w ; ブローホールの巾 (短径)
H ; ブローホールののど厚方向の長さ (長径)
- ③ w, H が許容値を満足しない場合は、その部分をガウジング後に補修溶接をしなければならない。
- ④ θ はリブ十字溶接の止端のフランク角で、これを満足しない場合は、その部分をグラインダーで仕上げること。
- ⑤ θ は下図に示すθゲージで許容値内かどうか判断する。



- ⑥ w, H は超音波探傷により判断する。

4. 製作上の特徴および施工試験

(1) 製作上の特徴

南備讃瀬戸大橋は先に述べたように3径間連続補剛トラス吊橋であり、当社の施工区間は中央径間の中央部で過去に当社で施工した3橋(大鳴門橋:3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋の側径間タワー側部施工、岩黒島橋:3径間連続斜張橋の側径間および中央径間中央部施工、櫃石島高架橋トラス:単純トラスの2分の1施工)に比して主構の断面が小さく、板厚が薄くなっている。また主構間隔とケーブル間隔が一致しておらず、主構上弦材格点からハンガーブラケットを張り出し、これにハンガーを定着させる形になっている。したがって主構上弦材のバックアップダイヤフラムは板厚22mmで上弦材ウェブとの溶接は開先深さ10mmの部分溶込み溶接となっている(過去に施工した3橋では板厚12mmで溶接サイズは6mmであった)。またハンガーブラケットを介してトラス等の荷重をロープに伝達する構造となっており、当社施工区間は中央部であるために、センターステイと一体構造となっている。このために一般部より複雑な構造となっている。

(2) 施工試験

(1)で述べた製作上の特徴を考えると、従来からの施工方法をそのまま踏襲すると、溶接部の品質が確保されないこと、また構造上複雑なために施工上に困難が生じることが考えられる。このために2種類の施工試験を実施した。一つは主構上弦材を対象と

したものである。この試験はウェブの板厚が28mmと薄く、かつダイヤフラムに対して部分溶込み溶接が採用されているために、ウェブに発生するやせ馬量やダイヤフラムの回し溶接によるウェブ上縁の角折れが大きくなると考えられ、これがフランジの落し込み作業にどのような影響を与えるかを形状の異なった2種類のダイヤフラムを用いて調査することを目的とした。

もう一つはセンターステイ部のハンガーブラケットを対象としたものであり、狭隘な箇所があるために、組立手順と溶接作業性の関係を調査し、適切な組立手順および溶接ディテールの決定を行うことを目的としたものである。

5. 施工試験結果

5.1 主構上弦材溶接施工試験

(1) 試験体の形状・寸法

試験体の形状寸法を図-4に示す。

(2) 供試材料

a) 鋼材

本試験に使用した鋼材を表-2に示す。

b) 溶接材料

本試験で使用した溶接材料を表-3に示す。

(3) 試験体の製作

a) 試験体の製作フロー

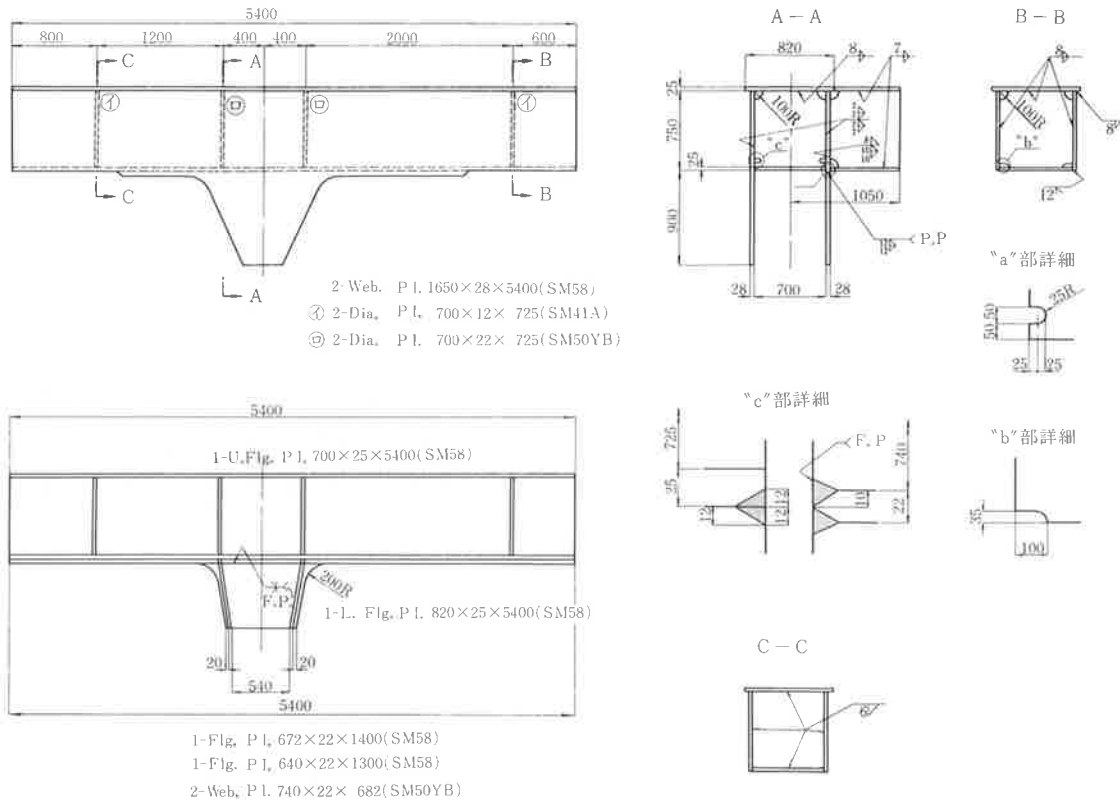


図-4 施工試験体

試験体の製作フローを図-5に示す。

b) 測定項目

試験体の製作過程での測定項目について表-4に示す。

図-6にウェブ、フランジの平坦度、および、やせ馬量等の測定位置、測定ピッチを示す。

表-2 使用材料

鋼種	板厚 (mm)	使用区分	ミルメーカー
SM58	28	ウェブ	新日鉄
	25	フランジ	〃
	22	仕口フランジ	〃
SM50YB	22	仕口ウェブ	〃
		ダイヤフラム	〃
SM41A	12	ダイヤフラム	〃

表-3 使用溶接材料

溶接箇所	溶接方法	溶接材料	メーカー	
かど継手	仮付け・シーリング	半自動 MAG YM-18(0.9φ)	日鉄溶接工業	
	部分溶込み	タンデム SAW US-49(4.0φ, 4.8φ) MF38A(20×200)	神戸製鋼	
	すみ肉	シングル SAW US-49(4.8φ) MF38A(20×200)	*	
中間ダイヤフラム	仮付	半自動 MAG YM-18(0.9φ)	日鉄溶接工業	
	本溶接	半自動 CO ₂	YM-26(1.2φ)	*
		手溶接	LT-52(5φ)	住金溶接工業
端ダイヤフラム	仮付・初層	半自動 MAG YM-18(0.9φ)	日鉄溶接工業	
	本溶接	手溶接 LBF-52A(5.5φ)	神戸製鋼	

表-4 測定項目および測定時期

測定項目	測定時期
切板の平坦度(ウェブ・フランジ・ダイヤフラム)	原板切断後
開先精度(落とし込みフランジ)	研削後
仮付・本溶接条件(かど継手・ダイヤフラム)	仮付・本溶接時
ルートギャップ(かど継手)	仮付溶接時
やせ馬量(ウェブ)	1) 組立完了時
	2) ダイヤフラム本溶接後
	3) 矯正後
	4) 落とし込みフランジ溶接後
供試体寸法	1) 組立完了後
	2) 落とし込みフランジ溶接後

(4) 計測結果

a) 切板の平坦度

図-7に切板状態でのウェブ・フランジの計測結果を示す。計測は全長 810mmのストレッチとスキマゲージを用いて計測を行った。計測の結果はウェブL側の一部を除き社内管理基準値(±0.5/500以下)を満足していた。ウェブL側の計測点 a、b ラインのNo.20において管理基準を超え1/810(ウェブ間隔を狭める方向)のひずみを示した。本来は、基準値内に修正を行い、次工程に進めることとなるが、今回はウェブ厚が28mmと薄いために管理基準値をゆるく取ることができかどうかを確認するためにそのまま次工程に進めた。

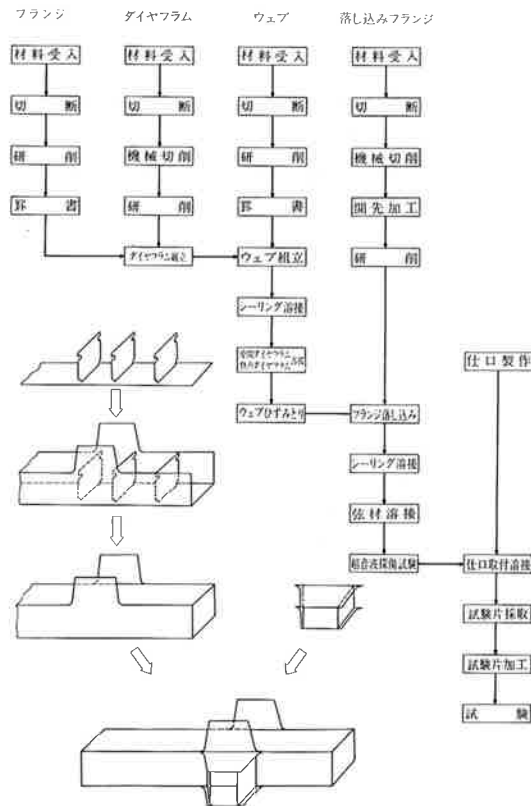


図-5 試験体製作フロー

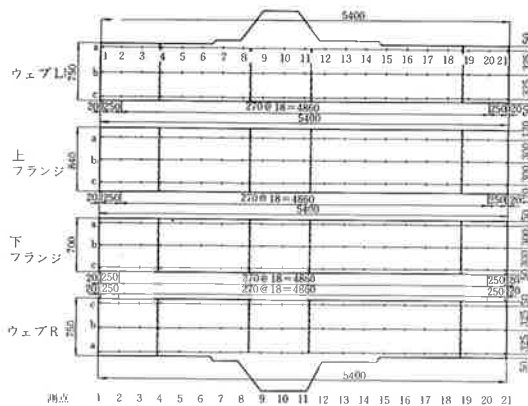


図-6 測定位置および測定ピッチ

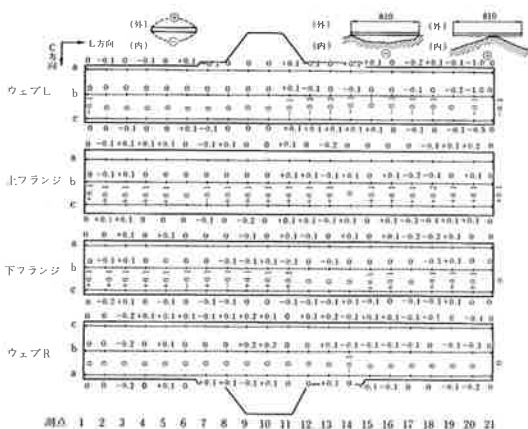


図-7 切板の平坦度

表-5 開先精度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	θ 60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2
	N 12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.8
B	θ 59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8
	N 12.0	12.0	12.0	12.0	11.8	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
C	N 27.8	27.8	27.8	27.8	27.9	27.8	27.7	27.9	27.6	27.6	27.9
D	N 28.0	28.0	27.9	27.9	27.9	27.8	27.6	27.8	27.8	27.8	27.8
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
A	θ 60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	
	N 12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	
B	θ 59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	
	N 12.0	12.0	12.2	12.0	12.0	12.0	12.0	11.8	12.0	12.0	
C	N 27.8	27.9	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.7	27.9	27.9	
D	N 28.0	27.8	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.8	28.0	28.0	

表-6 ルートギャップ

0.05未満は0とする

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	仮付前	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.35	0.1
	仮付後	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.35	0.1
B	仮付前	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0	0.05
	仮付後	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0	0.05
C	仮付前	0	0	0.05	0	0	0	0.25	0	0.1	0
	仮付後	0	0	0.05	0	0	0	0.25	0	0.1	0
D	仮付前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	仮付後	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
A	仮付前	0	0	0.1	0.1	0	0	0.5	0.5	0	
	仮付後	0	0	0.1	0.1	0	0	0.5	0.5	0	
B	仮付前	0.2	0.25	0.1	0	0	0	0	0	0	
	仮付後	0.2	0.25	0.1	0	0	0	0	0	0	
C	仮付前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	仮付後	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D	仮付前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	仮付後	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

b) 開先精度

表-5にガス切断、研削後の落とし込みフランジの開先角度、開先深さを示す。

この結果、開先角度は管理基準 $60^{\circ} \pm 2^{\circ}$ に対して $59.8^{\circ} \sim 60.2^{\circ}$ と良好であった。また開先深さについても、目標値12mm、管理基準値11.5mm～14mmに対して11.8mm～12.0mmと良好であった。

c) ルートギャップ

かど継手部のルートギャップを測定した結果を表-6に示す。

この結果は測点No. 9、No.10で0.35mm～0.4mm、測点No.19、No.20において0.5mmを示した以外は良好であった。No.19、No.20で許容値限界の0.5mmを示した理由は(5)項の図-10「矯正後のやせ馬量とウェブ間隔」で示すようにNo.19でL側のウ

ウェブがウェブ間隔を広げる方向に0.8mm 変形している。また測点No.19のR側でのルートギャップは0mmである。したがって、No.19からNo.20にかけてウェブ間隔の橋軸方向中心と落とし込みフランジの中心とが一致しておらず、片寄りをおこしてL側のルートギャップが広がったと考えられる。

d) 溶接施工結果

1) ダイヤフラムの溶接

ダイヤフラムの溶接を中間ダイヤフラムと端ダイヤフラムに区別して表-7、表-8に示す条件で実施した。ダイヤフラムの溶接にさいしては、90度ずつ反転を行い、下向水平姿勢で溶接を行った。棒継部および回し溶接部でグラインダーによる仕上げを行ったがθゲージによるチェックは合格であった。

表-7 中間ダイヤフラム溶接条件

パス	溶接法	ワイヤ溶接棒	電流	電圧	積層法	
開先有	1	半自動CO ₂	YM-26(1.2φ)	280A	36V	サイズ 7mm
	2	手溶接	LT-52	270 ~280A	—	
	3	〃	LBF-52A	〃	—	
開先無	1	手溶接	〃	〃	—	サイズ 8mm
	2	〃	〃	〃	—	

表-8 端ダイヤフラム

パス	溶接法	ワイヤ溶接棒	電流	電圧	積層法
1	半自動MAG	YM-18(0.9φ)	180A	24V	サイズ 6mm
2	手溶接	LBF-52A	270 ~280A	—	

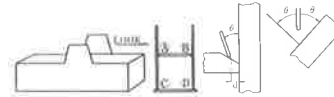
2) かど継手のすみ肉溶接および部分溶込み溶接の溶接方法および溶接条件を表-9に示す。また溶接ビード形状、脚長の計測結果は表-10に示すように良好であった。

(5) ウェブのやせ馬について

ウェブの板厚が28mmと薄く、また中間ダイヤフラムが部分溶け込み溶接であるために、ウェブのやせ馬量は従来当社が経験してきた部材より大きくなる考えられた。またダイヤフラムの形状を変化させたことによる効果を確認するために、U形組立完了時、ダイヤフラム溶接完了時、落とし込みフランジ組立前の矯正完了時の3段階でやせ馬量の測定を行った。

測定結果からフランジ落とし込み時に問題となるかど継手部におけるウェブの計測点の動きを測点No.1、測点No.21を0として切板時、U形組立時ダイヤフラム本溶接後の各段階で図示してみると、図-8、図-9のようになる。ウェブ間隔の測定結果を図-10に示す。

表-9 仮付、本溶接条件



溶接部	A	B	C	D			
仮付・シーリング溶接	溶接方法	半自動MAG					
	溶接材料	YM18 0.9φ Ar-CO ₂					
	予熱方法	アルファンヒーター	同 左	同 左	同 左		
	予熱温度	100℃以上					
	(仮付溶接) ピッチ、長さ	400以下、100以上					
	溶接電流	180A					
アーク電圧	24V						
脚長の寸厚	4						
本溶接	溶接方法	タンデムサブマージーク溶接	同 左	シングルサブマージーク溶接	同 左		
	溶接材料	US49 4φ MF38A	同 左	US49 4.8φ MF38A	同 左		
	予熱方法	インフラヒーター	同 左	インフラヒーター	同 左		
	予熱温度	50℃以上					
	溶接条件	1層	先行	700A 33V 速度 50cm/min	700A 33V 速度 50cm/min	660A 33V 速度 45cm/min	660A 33V 速度 45cm/min
			後行	620A 38V 速度 50cm/min	620A 38V 速度 50cm/min		
		2層	先行	650A 38V 速度 35cm/min	650A 38V 速度 35cm/min		
			後行	640A 38V 速度 35cm/min	650A 38V 速度 35cm/min		
	脚長寸厚	1層	45	同 左			
		2層	30	同 左			

表-10 ビード形状および脚長



溶接部		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	余盛高さ	2.8	3.0	2.2	2.8	2.3	2.0	2.7	2.1	2.1	2.5	2.5
	B 余盛高さ	2.0	1.7	1.8	1.8	1.8	2.0	1.9	2.2	2.2	1.7	1.8
C	脚長上脚	9.5	9.0	9.6	9.2	9.1	9.0	9.3	9.0	9.0	8.7	8.6
	脚長下脚	10.2	9.8	9.6	9.8	9.7	10.1	9.2	10.0	10.0	10.0	9.9
D	脚長上脚	9.2	9.8	10.0	9.8	9.9	9.8	10.5	10.4	10.4	11.0	9.5
	脚長下脚	10.0	9.2	9.6	9.2	9.7	9.5	8.7	9.8	9.8	9.0	9.5
溶接部	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
	A 余盛高さ	2.0	2.8	3.0	2.6	3.0	2.6	3.2	3.0	3.0	2.5	
B	余盛高さ	1.9	2.2	2.2	2.2	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.1	
	C 脚長上脚	8.8	8.9	9.2	9.5	10.0	9.4	9.3	9.7	9.7	9.5	
C	脚長下脚	9.0	9.1	8.9	8.8	9.5	9.0	9.1	9.3	9.3	8.6	
	D 脚長上脚	10.5	10.1	10.4	9.9	10.2	10.0	10.0	9.3	9.3	9.3	
D	脚長下脚	8.7	8.3	8.9	9.0	9.1	8.3	9.5	9.5	9.5	9.0	

図-10よりダイヤフラムの溶接後、ウェブ中央部の測定値と落とし込みフランジ部の測定値を改良形ダイヤフラムと従来形ダイヤフラムと比較してみると改良形ダイヤフラムを使用した箇所近傍の測点No.7~No.13のウェブ中央部での測定ラインで、ダイヤフラムの溶接による収縮を示しているが、落とし込みフランジ部ライン上では、非溶接部が拘束し収縮していないために落とし込みフランジ部のウェブ幅700mmが確保されている。一方、従来形のダイヤフラムを使用した箇所近傍の測点No.16~No.21ではダイヤフラムの溶接による収縮量に、回し溶接によるウェブの角折れ量が付加されて、落とし込み部のウェブ間隔が狭くなり700mmが確保されていない。これが後にA.U.T.結果に示す底面傷の原因となった。

(6) A.U.T.結果

かど継手部の部分溶込み溶接およびすみ肉溶接を対象として、A.U.T.を実施した。その結果を表-11に示す。表-11に示すように、溶接欠陥としてはすみ

肉かど継手部に領域 I の欠陥 (1.0×1.4) があるだけで、その他の欠陥はなく良好な結果を得ており、従来通りの溶接方法、溶接条件で施工しても溶接による内部欠陥が発生しない事を確認した。

その他の欠陥として、底面傷が4箇所発生している。この底面傷の発生した位置および破面採取位置を図-11に示す。また、底面傷の破面写真の例を写真-1~写真-4に示す。図-11より底面傷の発生した理由は(5)項で述べたように、従来形のダイヤフラムの影響である。また改良形のダイヤフラムを用いた所ではダイヤフラム間隔が800mmと小さいにも拘らず底面傷は発生していない。この底面状態の写真を写真-5、6に示す。したがって本試験体のようにウェブ厚が28mmと比較的薄い場合は、従来形のダイヤフラムを用いて施工するとダイヤフラム本溶接による収縮量に回し溶接によるウェブの角折れ量が付加されるため落とし込みフランジの落とし込みの際に底面傷を発生させることになる。

表-11 AUT結果

	ブローホール			内部欠陥	たれ込み	ルート不整	底面傷
	1	2	3				
部分溶込みかど継手	0	0	0	0	0	0	4
すみ肉かど継手	1	0	0	0	0	0	0

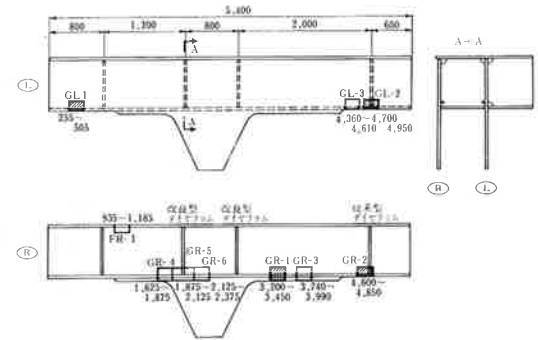


図-11 破面採取位置および底面傷発生位置

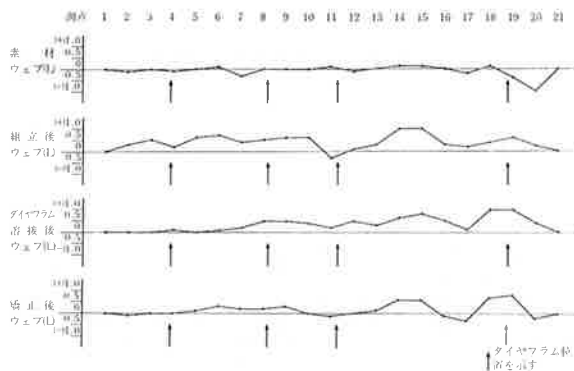


図-8 やせ馬(かど継手L側)

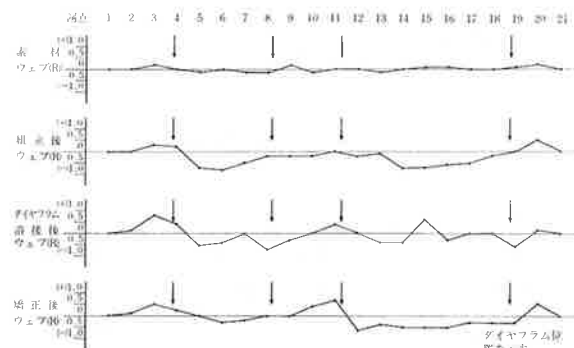


図-9 やせ馬(かど継手R側)

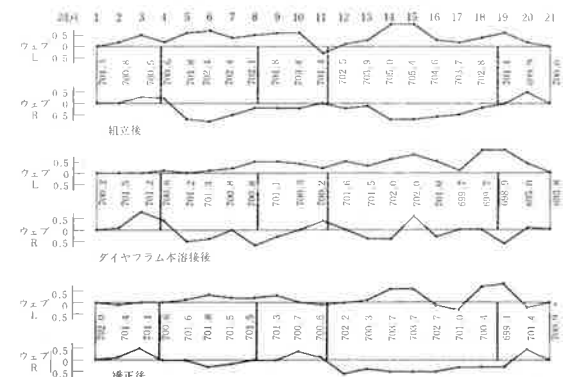


図-10 かど継手部のやせ馬量とウェブ間隔

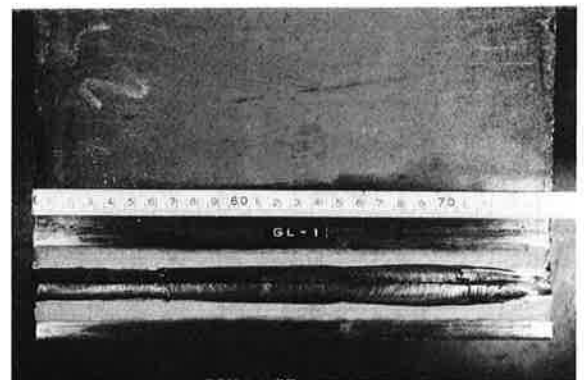


写真-1 破面写真(GL-1)

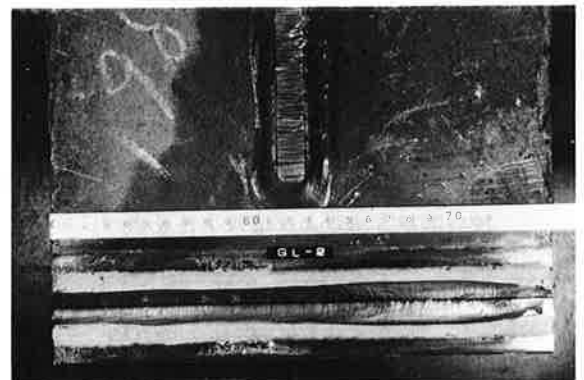


写真-2 破面写真(GL-2)



写真-3 破面写真(GR-1)

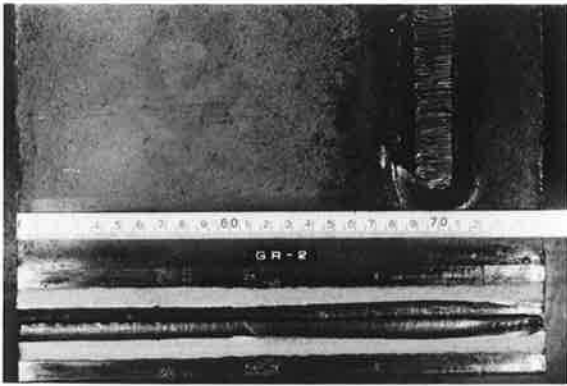


写真-4 破面写真 (GR-2)

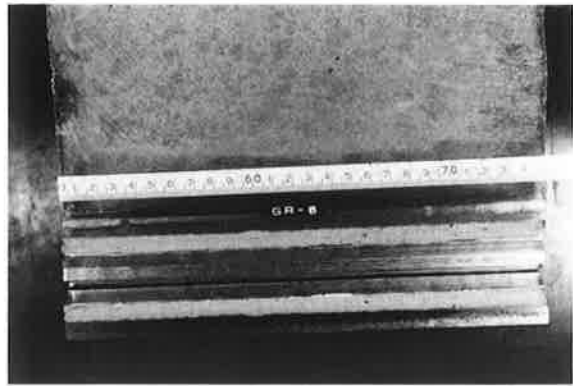


写真-6 破面写真 (GR-6)

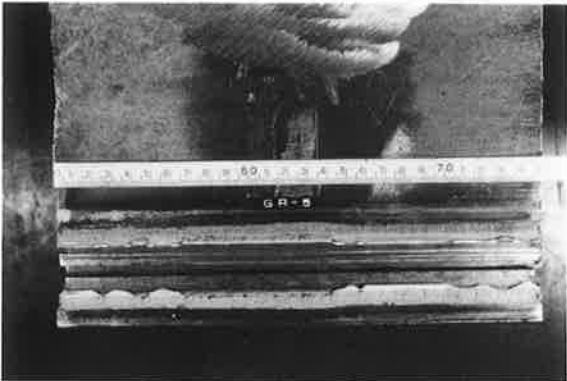


写真-5 破面写真 (GR-5)

(7) 問題点とその対策

a) 溶接施工について

ダイヤフラムの溶接、かど継手部の溶接共に従来の溶接方法、溶接条件での施工で問題はなかった。

b) 切板材の平坦度について

ウェブにおいて従来の管理基準 $\pm 0.5/500$ を超えた個所があり、そのまま施工し管理基準を広げる方向での確認をしたが、ダイヤフラムが従来形の形状であったこと、および部材端部の個所であったために、判然とした結果は得られなかった。したがって、従来通りの管理値 $\pm 0.5/500$ を採用する。

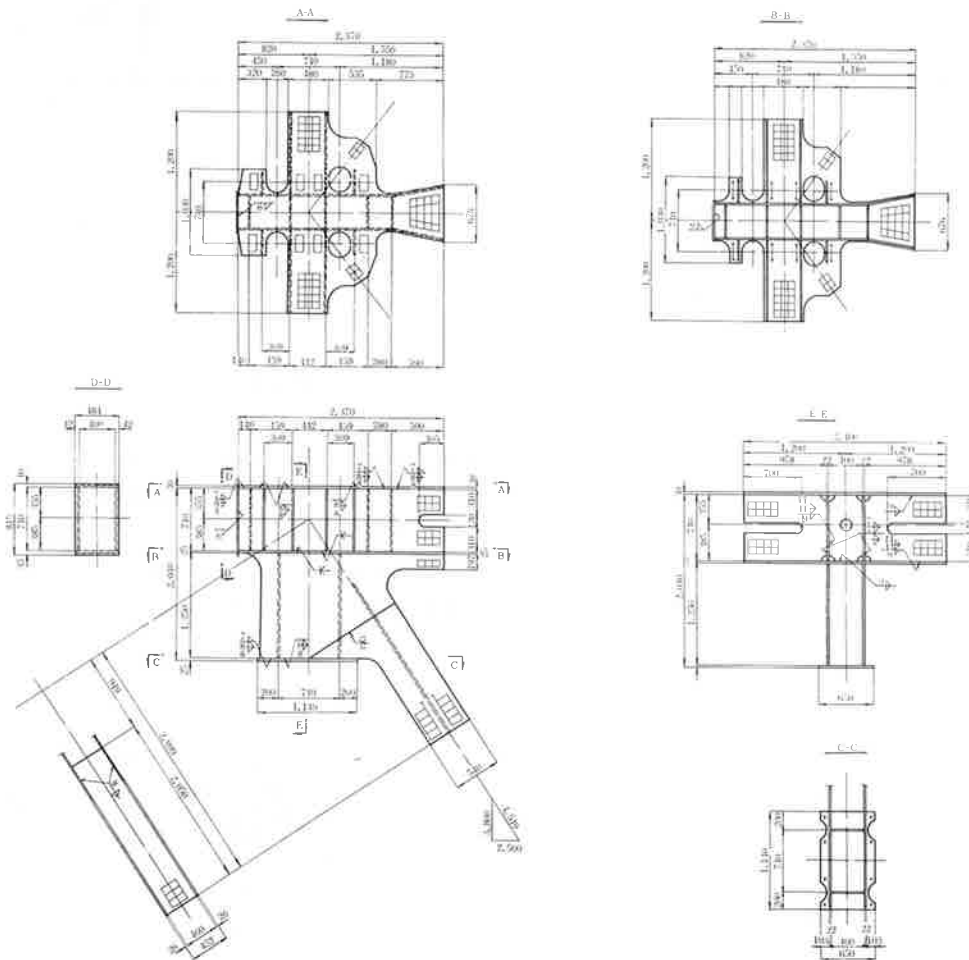


図-13 ハンガーブラケット、溶接施工試験体

c) ダイヤフラムの形状について

ダイヤフラムの形状を図-9に示す2種類で施工し、その比較を行ったが、従来形ではウェブ上縁の角折れが発生するために、底面傷の発生をみた。したがって、今後は改良形のダイヤフラムで施工する。またダイヤフラムの幅寸法について、本試験体では改良形ダイヤフラムに対して非溶接部（※部）と溶接部の幅寸法をどちらも+1mmとしたが、(6)項で述べたように上縁部と中央部で縮み量が異っているために、非溶接部は+0.5mm、溶接部は+1mmとする。

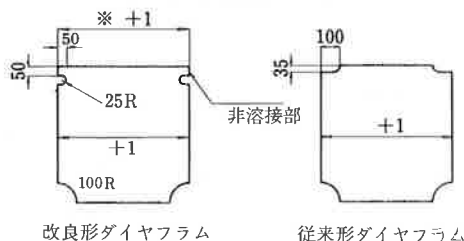


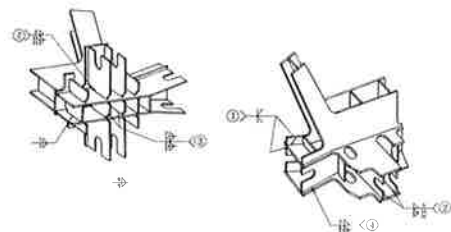
図-12 ダイヤフラム形状

5.2 ハンガーブラケット部溶接施工試験

(1) 試験体の形状および寸法

ハンガーブラケット試験体の形状および寸法を図-13に示す。これは実橋のセンターステイ部のハンガーブラケットと同形状のものである。

表-12 溶接部の開先形状、溶接方法



No.	開先形状(積層)	溶接方法	溶接材料	溶接条件
①		CO ₂ 半自動溶接	YM-26 1.2φ	260~280A 24~28V
②		グループ: CO ₂ 半自動溶接 + 手溶接	1. 2層目 YM26 1.2φ 3, 4層目 LT-52 5.5φ	260~280A 24~28V
		すみ肉: 手溶接	1層目 L-55 4φ 2, 3層目 LT-52 5.5φ	170~200A 220~260A
③		グループ: CO ₂ 半自動溶接 + 手溶接	1層目 YM26 1.2φ 2層目 LT-52 5.5φ	260~280A 24~28V 220~260A
④		グループ:③と同じ すみ肉: 手溶接	③と同じ 1層目 L-55 4φ 2層目 LT-52 5.5φ	③と同じ 170~200A 220~260A

(2) 検討項目

a) 狭隘部の溶接作業性と健全性

溶接作業者の作業状況および溶接ビード形状等により検討した。

b) 製作精度

採用した組立手順において、その組立精度および溶接完了後の精度について、各部の寸法を計測し、問題がないかどうか確認した。

(3) 製作手順

センターステイ部ハンガーブラケット試験体の製作手順を図-14に示す。この製作手順で、その施工性を考慮した点は以下に示す通りである。

a) フローチャートで③および⑦に示す様に水平

トラスの仕口ウェブの組立を、両側あるうち、一方は先に組立、残りの一方は裏はつりの作業性を考えて、ウェブと下フランジの裏はつりが終了後取り付け、その後裏はつりした部分を溶接した。そして両者の寸法精度を比較した。

b) 溶接に際しての狭隘

部を少なくするため、図-15に示すイ、ロの板を他の部分が溶接完了後最後に取付けた。

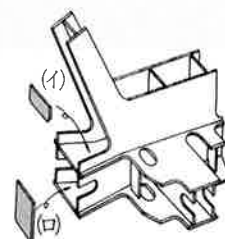


図-15 端ダイヤフラムおよびスチフナーの取付

(4) 溶接方法

各溶接部の開先形状、溶接方法、積層方法を表-12に示す。

(5) 寸法計測

各部の寸法計測結果を表-13~16に示す。

平面的な寸法については、計測の正確を期すため各部材の端部より約50mm入り込んだところに罫書時点でポンチマークを打ち、それを基準に組立後、溶接後の寸法を測定しているため、各測定値自体は設計図面に示されているものと異なっている。また各計測表の見方(左右、上下)は図-16による。

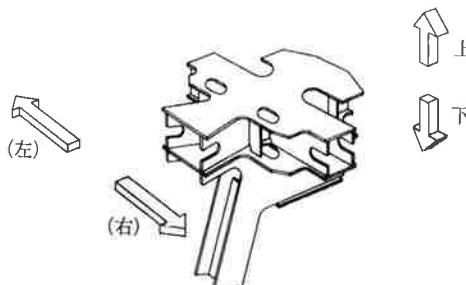


図-16 計測表の表示方向

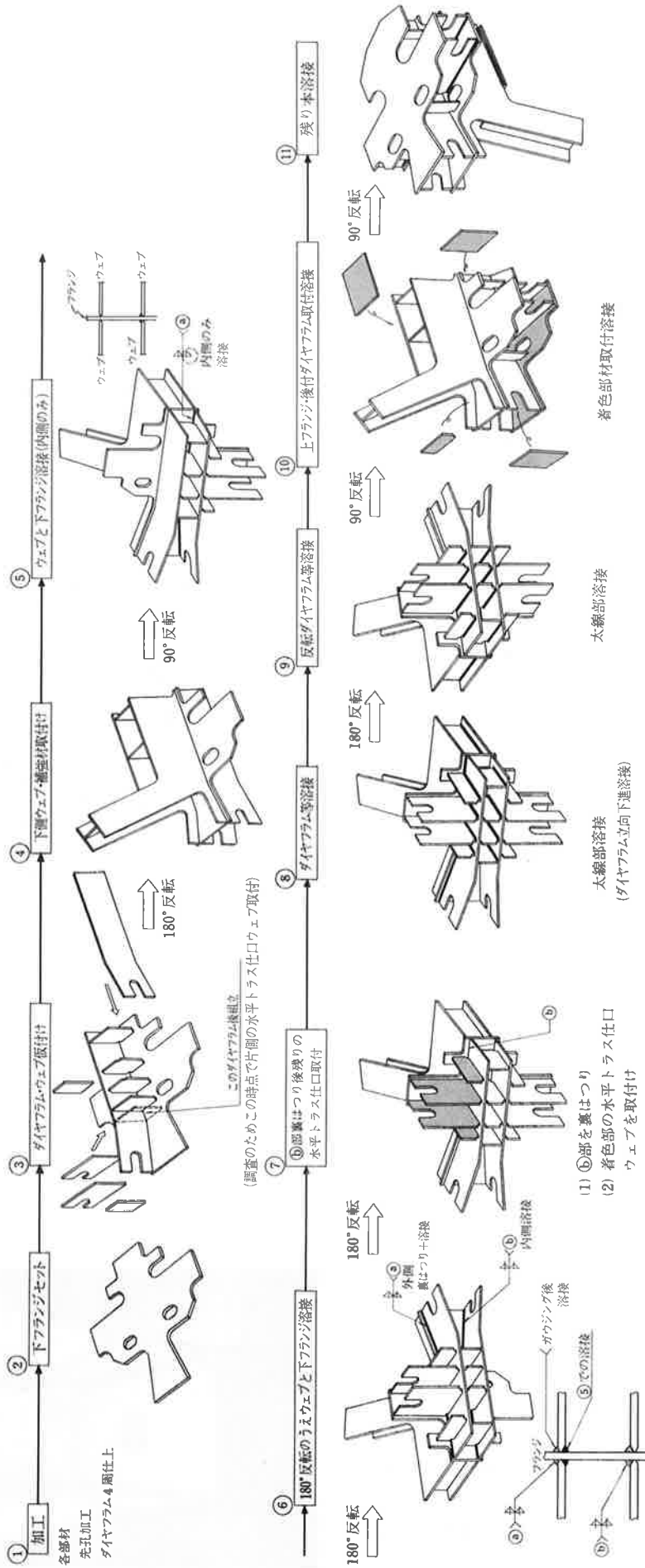


図-14 ハンガーブラケット製作手順

表-13 平面寸法、対角

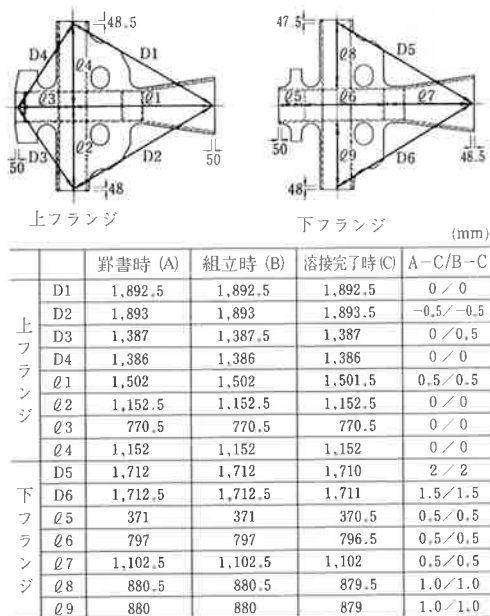


表-15 仕口断面形状

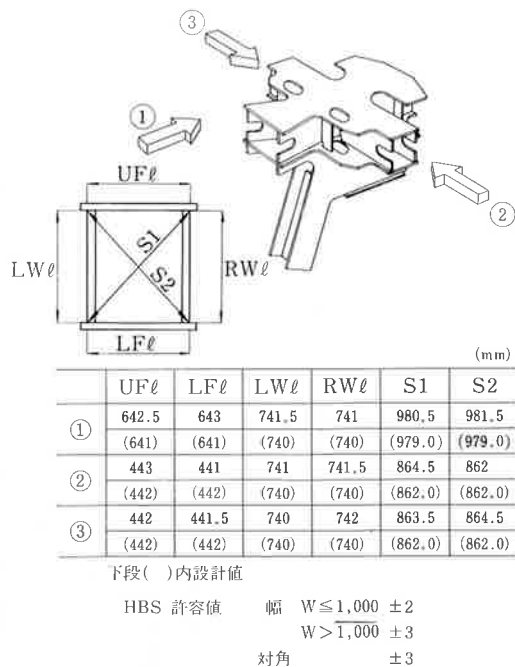


表-14 ダイヤフラム、ウェブ仕上寸法

(a) 仕上寸法 () 内設計値 (全て重ね仕上)

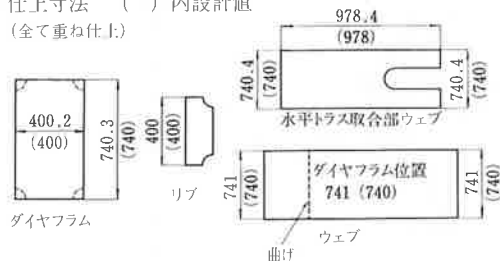
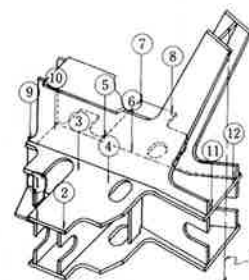


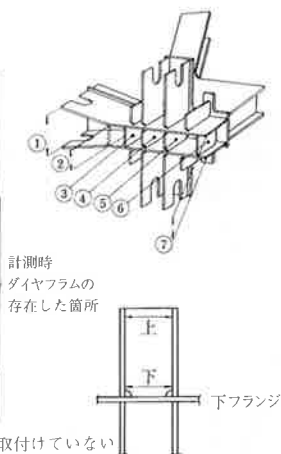
表-16 水平度および鉛直度



	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
鉛直度	+0.8	+1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0

(b) ウェブ間隔

	組立後	溶接後	(変形量) 収縮量	
①	上	597	599	-2
	下	596.5	596.5	0
②	上	400.6	397.0	(3.6)
	下	401.3	400.8	(0.5)
③	上	400.2	400.0	0.2
	下	—	—	—
④	上	400.3	399.8	0.5
	下	—	—	—
⑤	上	400.1	399.8	0.3
	下	—	—	—
⑥	上	400.4	400.1	0.3
	下	400.6	—	—
⑦	上	400.3	399.0	1.3
	下	400.4	399.5	0.9



(注) ②のダイヤフラムは計測時には取付けていない

(6) ビード外観、その他

ビード外観、溶接脚長については溶接作業は困難であったが、ていねいに施工することにより、良好な結果が得られた。ダイヤフラム等の溶接外観を写真-7に示す。



写真-7 溶接外観

(7) 考察

a) 製作精度

1) 平面寸法、対角

長さ関係については、溶接における変形を主として調査した。罫書時もしくは組立時と溶接完了時において、下フランジ側で縮んでいるがこれは、この下フランジに対し、ウェブ等を組立溶接していたもので、それに対し上フランジは最後に取付けたので縮みが生じなかったものと考えられる。下フランジでは、水平トラスの仕口となる側の収縮量が大きくなるので考慮が必要である。対角については、その変化量が最大2mmで問題はないと考えられる。

2) ダイヤフラム、ウェブ仕上寸法及び組立溶接時ウェブ間隔

ダイヤフラムを当初より組立てている位置に関してはその収縮量は最大でも0.5mmであった。また、ダイヤフラムを後で入れる箇所、およびダイヤフラムのない箇所では自由端（上フランジ側）で多少の倒れが見られるが、これも、上フランジ取付時には充分所定の寸法にすることができる量であった。

3) 仕口断面形状

最終的な仕口断面形状は、HBS基準を満足しており、良好であった。

4) 水平度及び鉛直度

水平度に関しては、水平トラス取合部仕口で片側で-1、もう片側で+1と少しねじれたが、HBS基準の断面のねじれ ± 3 から考えても、また全体の溶接量から考えても良好な結果であると考えられる。鉛直度に関しては、溶接完了後、垂直材との取合に対し4mmのねじれが生じたが、この取合部の断面形状がH形であることで十分に加熱矯正できる範囲にあった。

b) 溶接作業性

溶接作業性の観点からいえば、まことに作業しにくい構造である。特に下フランジとウェブの完全溶接部については内外からの溶接が困難であった。

溶接作業状況を写真-8に示すが、腹ばいになって溶接しなければならず、なおかつ左右方向にも自由のきかない状態であるので、溶接作業に時間がかかった。完全溶接部は半自動溶接で行ったが、ダイヤフラムの溶接における最終層の手溶接についても、アークストライク発生防止の点から棒長の短い溶接棒を使用するか、半自動溶接に変えた方が良く考えられる。

構造上の問題点及び改善案については次項に示す。



写真-8 溶接作業状況

(8) 問題点とその対策

ハンガーブラケット部溶接施工試験における現状での問題点とその対策を以下にまとめる。

a) 製作手順

製作フロー（図-14）に示した通りで基本的に問題はなかった。水平トラス仕口のウェブの取付時期は実験の結果、変形に問題はなかったので、裏はつりの施工性を考え図-17に示す様に裏はつり後とする。

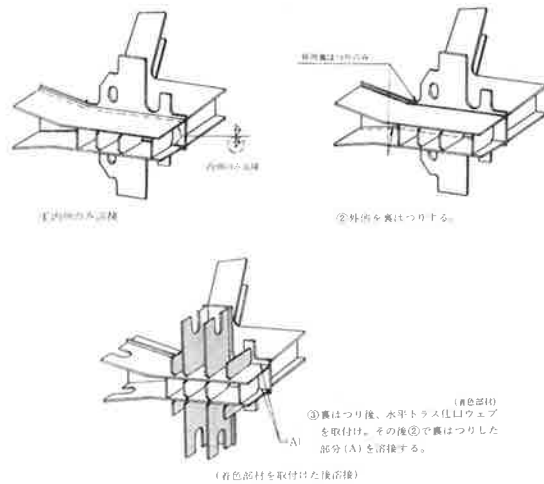


図-17 水平トラス仕口ウェブの取付時期

b) 狭隘部の施工性

1) 図-18のダイヤフラムにスカラップがないので80~100Rのスカラップを設ける。

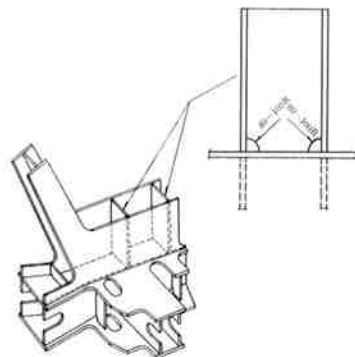


図-18 スカラップの新設置位置

2) 図-19のダイヤフラムのスカラップが50Rであるがダイヤフラム間隔が狭く、目の移動がしにくいいため、視野を確保し、溶接作業が容易になるように80~100Rにスカラップを大きくする。

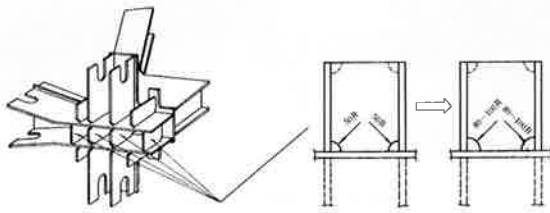


図-19 ダイヤフラムスカラップの形状変更

3) 下フランジとウェブの完全溶接部の開先形状を図-20の様に変更し、開先部を見易くする。

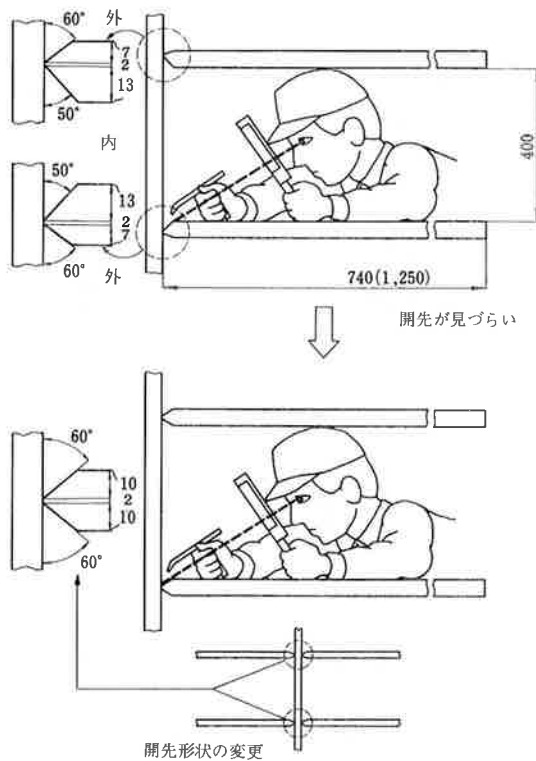


図-20 開先形状の変更

c) 製作精度

製作精度については特に問題はなかった。組立時における仮付状態での精度を確保しておけば所要の製作精度が得られるものと考えられる。水平トラス試験体との組合せについても問題はなかった。

ハンガーブラケットと水平トラスをつないだ状況を写真-9に示す。



写真-9 ハンガーブラケットと水平トラスの仮組立状態

おわりに

本報告では、南備讃瀬戸大橋の構造上の概要、製作着手前の検討事項およびその結果について述べた。この検討結果と従来の経験を生かして、より高い品質の製品を目指して工場製作に取り組んでいます。