

# 全断面溶接橋梁の設計と製作

阪神高速道路管理技術センター 鷲尾 克彦  
大阪第一建設部 設計課 瀬戸口 嘉明  
同 部 工事第2課 毛利 哲也

## 要 約

本文は鋼床版桁の継手構造に全断面溶接工法（いわゆる「いもつき」）を採用するにあたり、溶接施工試験を行い、実用化の目途をつけたと同時に設計上の配慮事項等について述べている。

検討を行った項目としては

- ①継手周辺構造の改良による全長自動溶接化の実施
- ②マイコンによるトーチ角度の制御（下フランジ用CO<sub>2</sub>自動溶接機の開発）の開発。
- ③ウェブの溶接に簡易エレクトロガス溶接の採用をして屋外溶接時の風の影響の軽減および1パス施工を可能にした、などである。

この結果、本手法が施工性、信頼性においてすぐれていることが確認された。

## まえがき

近年、架設工期を短縮する目的で鋼桁を工場において大ブロックにして一括架設する傾向が多くなりつつある。その際、鋼床版桁タイプでは、継手部の美観、ボルト継手部における舗装への影響等から継手構造に全断面溶接工法を採用する事がしばしばある。

しかし、従来の桁構造では断面構成（下フランジがウェブ面より10cm張出している）の関係から全自動溶接を採用した場合には、溶接機の形状から下フランジやウェブの溶接では、両端で溶接残しが生じるために、そこは手溶接、または半自動溶接で施工せざるを得なかった。また、溶接ビードの継目は、欠陥が生じ易い難点もある。

今回、「大阪府道高速湾岸線、北波止工区（そ

の3）鋼桁工事」で全断面溶接による大ブロック架設が計画されたことを契機に端から端までの自動溶接を可能にすべく、以下の項目について実験検討を行った。

- (1) 継手周辺構造のディテールの改良による全自動溶接化の実施。
- (2) トーチ角度がマイコンにより自動制御できる下フランジ用CO<sub>2</sub>自動溶接機の開発。
- (3) 簡易エレクトロガス溶接（以下エレガス溶接と呼ぶ）法をウェブの溶接に採用して屋外溶接作業時の風の影響の軽減および1パス施工を可能にする。実験はこれら改善案をとり入れた新工法とそうでない従来工法を比較検討するために、それぞれの継手を設け溶接性、溶接に伴う変形ならびに継手性能を調べた。

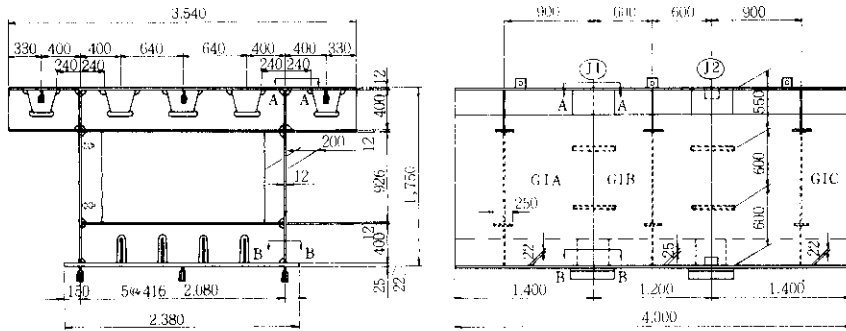


図-1 試験体形状

## 1. 試験体形状と溶接工法

### 1-1 試験体形状

実験は、実橋の約1/2断面の試験体で行った。試験体形状を図-1に示す。継手は2ヶ所設けて、1ヶ所は今回報告する新方式で(J1)、もう1ヶ所は比較検討を行うために、従来の方式(図-8参照)で行った(J2)。

従来方式では、ウェブの上下に図-2に示すスカラップを設けてあり、この箇所は最後に密閉用のプレート溶接している。新方式ではウェブおよび下フランジの溶接が、端から端まで自動溶接で施工できるように、鋼床版には図-3に示す溶接機の貫通孔を、下フランジの両端には図-4に示す切欠きを設けた。

これらの桁ディテールの変更によって、ウェブの溶接では下フランジから鋼床版まで含めて連続した溶接が可能となり、下フランジの溶接では、ウェブ近傍の溶接ビードの継目をなくすることができる。

なお、実施上では、溶接後、貫通孔は当て板をすみ肉溶接で取付け、下フランジの両端は外観を考慮し、化粧用のスプライスを取付ける事している。

### 1-2 溶接工法

本実験に用いた溶接工法、開先形状および溶接材料を表-1~3に示す。J1の下フランジには、この工事のために開発されたトーチ角度が自動制御できるCO<sub>2</sub>自動溶接を、ウェブにはエレガス溶

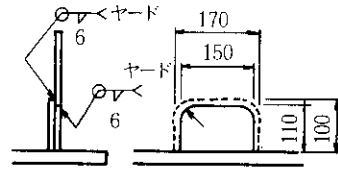


図-2 ウェブ切欠き(J2)

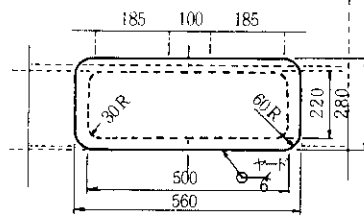


図-3 鋼床版の貫通孔(J1)  
(sec A-A)

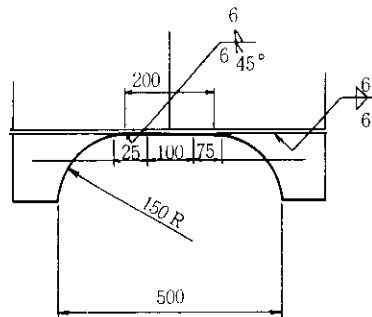


図-4 下フランジ切欠き(J1)  
(sec B-B)

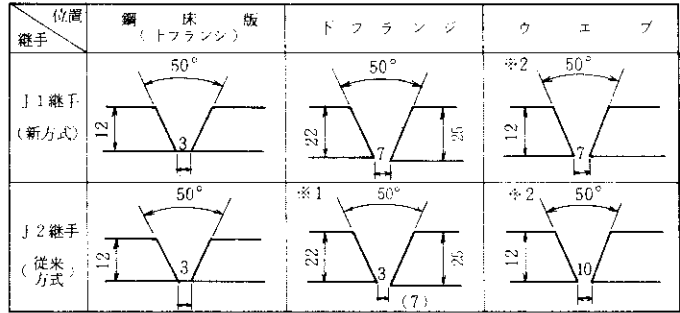
接を採用している。

それらの詳細については各部位の溶接工法で述べる。

表一 溶接工法

位置	継手	J1継手 (新方式)	J2継手 (従来方式)
鋼床版		片面サブマージアーク溶接	片面サブマージアーク溶接
下フランジ		CO <sub>2</sub> 片面裏波自動溶接 (新規開発)	CO <sub>2</sub> 半自動溶接と片面サブマージアーク溶接
ウェブ		簡易エレクトログラス溶接 (SEGARC法)	CO <sub>2</sub> 片面裏波自動溶接 (OSCON法)
トラフリップ 縦リブ		手溶接	手溶接

表二 開先形状



ただし、※1 ( )内は、CO<sub>2</sub>半自動溶接による拘束溶接部  
 ※2 ウェブの開先間隔は、仮組時の値

表三 溶接材料

継手	溶接材料	J1継手(新方式)				J2継手(従来方式)					
		リ溶接棒	ヤ棒	フลักス シールドガス	充填材	裏当材	リ溶接棒	ヤ棒	フลักス シールドガス	充填材	裏当材
鋼床版		Y-D		YF-15	Y-KC	FAB-1	Y-D		YF-15	Y-KC	FAB-1
下フランジ		YM-26		CO <sub>2</sub>		FAB-30	YM-26 Y-D	CO <sub>2</sub> YF-15	Y-KC	FAB-1	
ウェブ		DWS -43G		CO <sub>2</sub>	-	水冷銅板	YM-28	CO <sub>2</sub>	-	SB-30	
トラフリップ 縦リブ		L-55		-	-	-	L-55	-	-	-	

2. 供試鋼材

供試鋼材は、実橋の代表的な箇所を選んで、下フランジ、ウェブ、および下フランジ付縦リブにはSM50A、鋼床版、トラフ、スティフナーにはSS41を用いた。それらの板厚、化学成分、機械的性質を表一4に示す。

3. 溶接方法

各継手の溶接方法の詳細を以下に示す。また、それらの溶接条件を表一5に示す。

表一4 供試鋼材

部材	鋼種	板厚	化学成分								機械的性質		
			C	S	Mn	P	S	Y	T	σ <sub>b</sub>	σ <sub>s</sub>	ε	
トフランジ	SM50A	25	0.17	0.008	0.22	0.012	0.005	0.005	0.005	480	270	22	
ウェブ	SM50A	25	0.17	0.008	0.22	0.012	0.005	0.005	0.005	480	270	22	
鋼床版	SS41	12	0.15	0.008	0.22	0.012	0.005	0.005	0.005	480	270	22	



写真一 鋼床版捨板の取付状態

表-5 溶接条件

継手番号	溶接位置	溶接条件				
		溶接順序	積層法	層	電流 (A) 電圧 (V) 速度 (cm/min)	その他
J1 (新方式)	鋼床版			1	740 34 24	カットワイヤ 散布高さ 板表面まで
	下フランジ			1	280 31 9	ウイピング 幅 回数 11mm 26回/分
				2	290 38 14	13.7 26
				3	280 36 17	14.1 26
				4	260 41 14	14.7 26
ウェブ			A web	380 34 14	-	
B web	380 34 13	-				
J2 (従来方式)	鋼床版			1	740 34 24	カットワイヤ 散布高さ 板表面まで
	下フランジ			1-1 1-4	240 36 -	カットワイヤ 散布高さ 板表面まで
				2-1 2-4		
				3	830 36 24	
				4	830 36 24	
				5	700 36 26	
				6	650 40 26	
				7	700 36 25	
				8	650 40 26	
	ウェブ			9-1 9-4	240 36 -	ウイピング幅 1層目 10mm 2層目 18mm
				10-1 10-4		
				A-1	110 20 24	
-2				140 20 50		
3	120 20 -					
-4	120 20 -					

3-1 鋼床版の溶接

鋼床版の溶接は、J1、J2継手ともに従来から一般に行われているソフトパッキングを使用した片面からのサブマージアーク溶接で施工した。なお、J1継手の貫通孔は写真-1に示すように捨板を仮付けして連続溶接が出来るようにした。

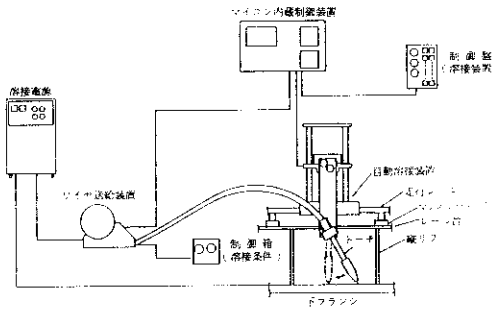
この捨板は溶接後、ガス切断で除去した。拘束溶接はサブマージアーク溶接で終端側のみ端部から捨板の所まで行った(表-5参照)。

3-2 下フランジの溶接

(1) J1継手

表一 6 下フランジ溶接装置の仕様

溶 接 速 度	0.3 cm / min ~ 70 cm / min
ウィーピング速度	~ 170 cm / min
ウィーピング回数	~ 90 [回] / min
両 端 停 止 時 間	0.1 sec ~ 2.5 sec
溶接線直角方向移動量	130 mm
上下方向移動量	130 mm
トーチ回転角 (マニュアル時)	± 360°
始終端・トーチ移動距離	150 mm (台車走行停止後)
始終端・トーチ回転角	35° ( " )



図一 5 装置の構成

下フランジの溶接は、ウェブからウェブまで連続して自動溶接が行える装置に基づき製作した。

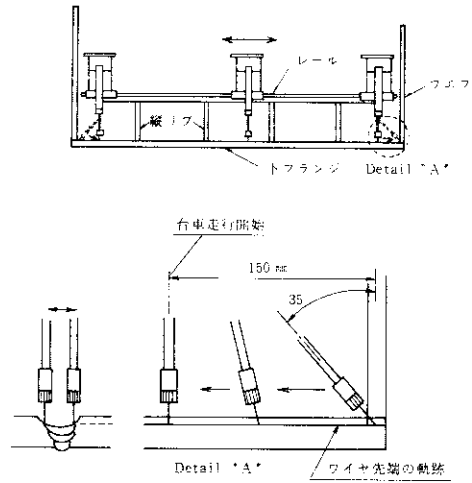
この溶接装置の仕様を表一 6 に、装置の構成を図一 5 に示す。

この溶接装置による溶接は、溶接条件をマイコンに記憶させた後、かど部にトーチを移動させ、アークスタートをする。スタート側かど部では、トーチは後退角をとりながらウィーピングを行って溶接し、徐々にトーチを垂直に立てながら溶接をして、トーチが垂直になった後、自動的に中央部の溶接に移る。終端側では逆に、前進角となるように徐々にトーチを倒しながらかど部の溶接を行う(図一 6)。

このかど部におけるトーチ角度変化時のアーク点の軌跡を等速直線運動とするために、マイコンによるデジタル制御としている。

(2) J 2 継手

すでに述べたように、ウェブ周辺の両端はサブ



図一 6 かど部におけるトーチの動き



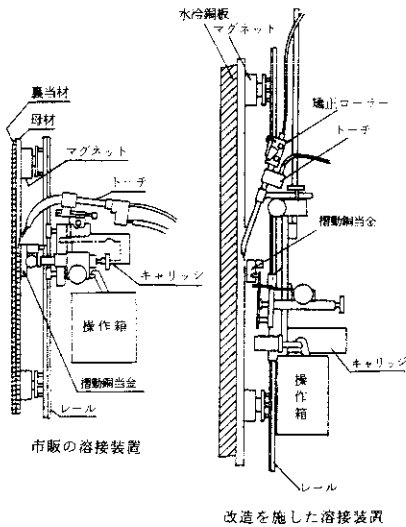
写真一 2 箱桁内のサブマージアーク溶接

マージアーク溶接が使用できないために CO<sub>2</sub> 半自動溶接で行った。また、下フランジはサブマージアーク溶接装置の形状(写真一 2)から溶接残しの量が大きくなるので、フランジ中央までの振り分け溶接(表一 5 参照)とした。なお、CO<sub>2</sub> 半自動溶接とサブマージアーク溶接との交点などは、溶接欠陥の防止のために、前のビードをガウジングによって整形した。

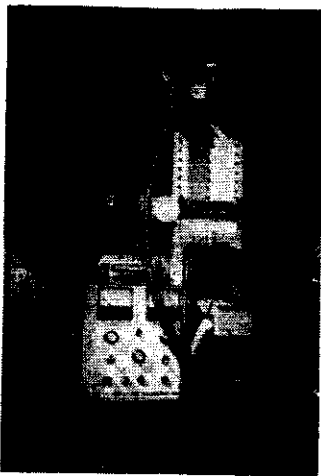
3-3 ウェブの溶接

(1) J 1 継手

J 1 継手は裏当材に水冷銅板を使用したエレクトロガス溶接で施工した。エレクトロガス溶接は溶接速度が早く、欠陥発生も少ない利点がある。



図一七 エレクトログラス溶接装置

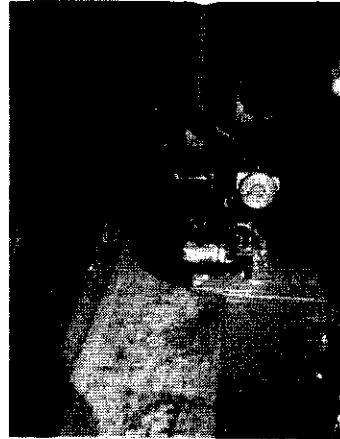


写真一三 エレクトログラス溶接装置

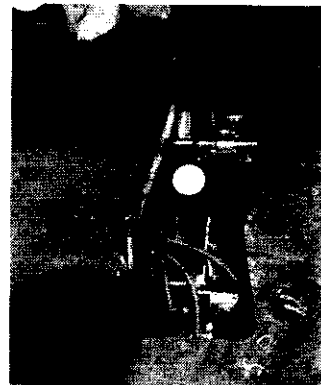
一般的な溶接装置そのままでは貫通孔を通すのが困難なため、図一七に示すようにトーチと摺動銅当金の位置を改造した。写真一三に実験に使用したエレガス溶接装置を示す。写真一四、五は下フランジの切欠き部および鋼床版の貫通孔を通り抜ける状況を示している。

(2) J2継手

J2継手は裏当材を使用した片面からのCO<sub>2</sub>自動溶接で施工した。この溶接工法はウィビング



写真一四 下フランジの切欠きを抜けたところ



写真一五 鋼床版の貫通孔を抜けたところ



写真一六 オスコン自動溶接装置による溶接

機構により溶接トーチを機械的に開先内でウィピングさせながら立向上進で施工するもので、写真一6にその作業状況を示す。

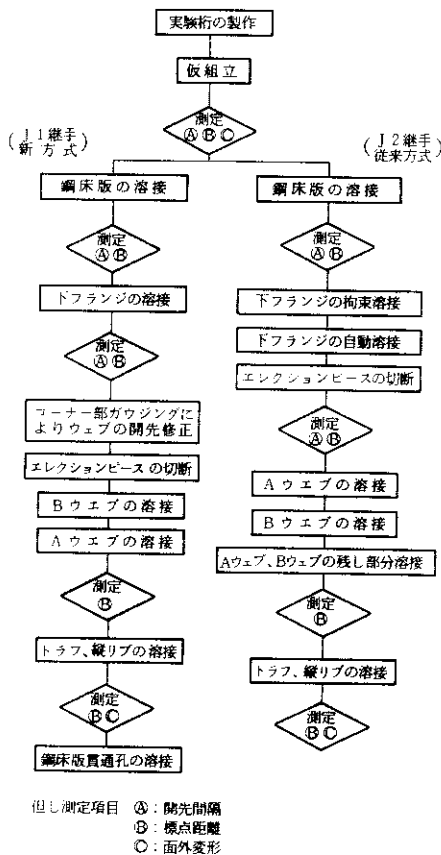
しかし、前に述べたように、この溶接機ではウェブ上端から約400mmは鋼床版に溶接機が当たるために溶接が出来ないので、この箇所は後でCO<sub>2</sub>半自動溶接で行った。

### 3-4 トラフリブ、縦リブの溶接

トラフリブと縦リブは、鋼床版と下フランジの放射線透過試験が終了後、手溶接で施工した。

## 4. 施工順序

各継手の施工順序と各工程での測定項目を図8に示す。



図一8 施工順序

従来から全断面の溶接は、鋼床版、下フランジ、ウェブの順で行っているのが一般的である。その理由としては、鋼床版桁では、鋼床版の板厚は平均すると下フランジに比べて薄く、鋼床版溶接による収縮量は他の溶接箇所比べて小さいと考えられる。仮に板厚の厚い下フランジから溶接を行うと、それによる収縮量は拘束の少ない鋼床版あるいはウェブの開先間隔への影響が大きく、さらにはキャンバーにも影響すると考えられる。

## 5. 実験結果

### 5-1 機械的性質

新工法の各溶接継手の機械的性質を確認するために、各継手の中央部から道路橋示方書に準じた試験片を採取した。また、ウェブと下フランジの交わるかど部からもT形引張試験片を採取し、試験した結果を表一7に示すが、いずれの試験にお

表一7 機械試験結果

引張試験	断面積 mm <sup>2</sup>	引張強さ		破断位置	判定基準
		ton	kg/mm <sup>2</sup>		
鋼床版	UT1	474.4	22.2	46.8	母材 SS41
	UT2	479.6	22.5	46.9	
下フランジ	LT1	542.2	28.7	52.9	溶着金属 SM50A
	LT2	551.5	29.2	52.9	
ウェブ	WT1	479.6	29.0	60.5	溶着金属 "
	WT2	491.7	29.0	59.0	
コーナー部	AT1	1,239.0	66.5	53.7	溶着金属 "
	BT1	1,243.4	72.1	58.0	

曲げ試験	欠陥の種類					判定基準
	われ	融合不良	ブローホール	スラグ巻込	その他	
鋼床版	UFB	なし	なし	なし	なし	原則として、き裂が認められてはならない。
	NRB	"	"	"	"	
下フランジ	LS1	"	"	"	"	"
	LS2	"	"	"	"	
ウェブ	WFB	"	"	"	"	"
	WRB	"	"	"	"	

衝撃試験	衝撃値 kg-m	試験温度	判定基準	
				鋼床版
鋼床版	I	10.00	2.5kg-m以上	
				14.64
				17.95
				17.45
下フランジ	L	6.25	"	
				7.23
				2.96
				8.56
ウェブ	W	12.50	"	
				12.36
				12.95
				12.36

マクロ試験	欠陥の種類					判定基準
	われ	融合不良	ブローホール	スラグ巻込	その他	
鋼床版	UM	なし	なし	なし	なし	欠陥があってはならない。
下フランジ	LM	"	"	"	"	
ウェブ	WM	"	"	"	"	

いても母材の規格値は十分に満足している。

### 5-2 非破壊検査

両継手ともに全線を放射線透過試験を行った。その結果、従来工法の下フランジ部におけるCO<sub>2</sub>半自動溶接とサブマージーク溶接との交点、ウェブの溶接でCO<sub>2</sub>半自動溶接で行った箇所にてJISに基づく1種(ブローホール)の欠陥があった。一方、新工法で行ったJ1継手は、ウェブ上方に、2種(スラグ巻き込み)の欠陥があったが、いずれも1級合格であった。

本実験においての欠陥発生フィルム枚数はJ1 2枚、J2 3枚であったが試験個数等非常に少なく、評価としては同程度であったと判断している。しかし、同一溶接施工法で連続した溶接継手を形成することは、欠陥の防止に大きな意義があると言える。

### 5-3 開先間隔

J1 継手について、各溶接線の開先間隔の変化

を図-9に示す。その結果、鋼床版の溶接による下フランジの間隔への影響はなかった。ウェブについては、上部は鋼床版の溶接によって、下部は下フランジの溶接による影響が支配的になっている。また、若干下フランジによる影響が大きいようであるが、全体的には組立後から2~3mm狭くなっている。従って、ウェブの開先間隔は、組立時において、溶接に適正な開先間隔に加えて、実験結果に基づく変化量を考慮する必要がある。J2継手の結果は省略するがほぼ同じ結果になっている。

### 5-4 収縮量

J1 継手の各溶接線の工程毎の収縮量を図-10に示す。図中の数字は測定位置を示す。その結果、鋼床版と下フランジの収縮量は、各々の溶接によるものが支配的であり、J2も同様の傾向にあった。ウェブについては開先の変化で述べたように、上下の溶接による収縮が大きく、ウェブ自身の収縮はエレガス溶接の採用による1パス施工の結果、

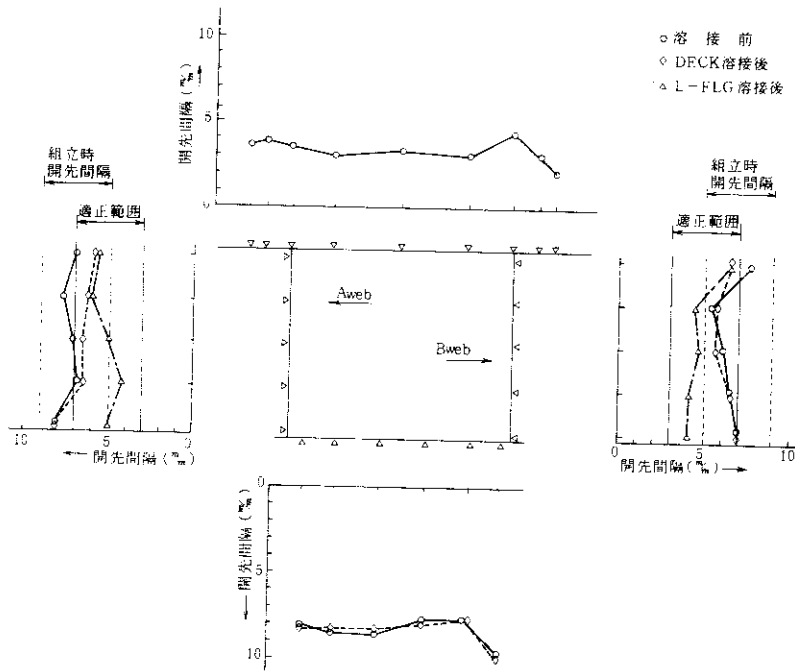
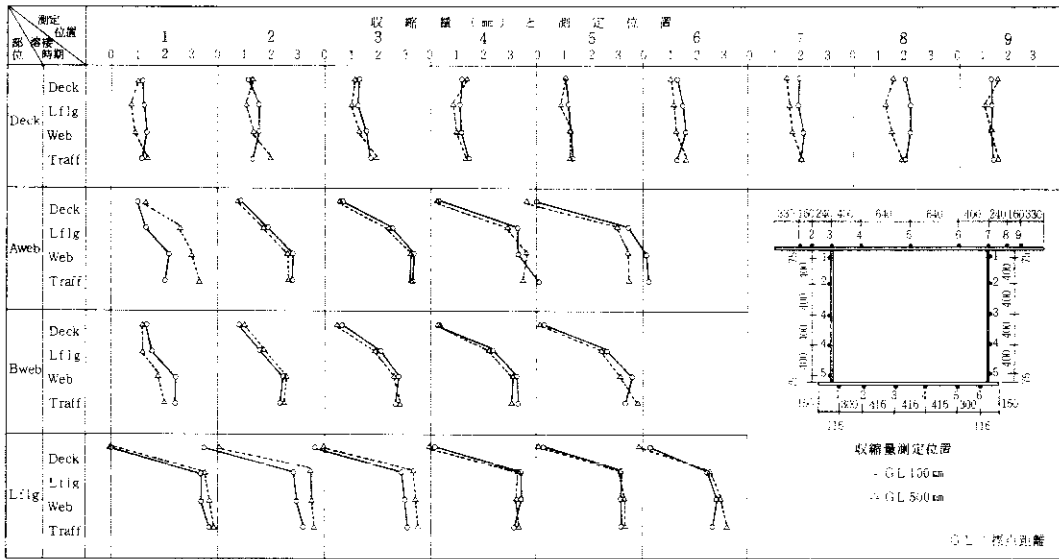


図-9 J1開先間隔の変化





図一 10 溶接各段階における収縮量の変化 (J1)

J2に比較して J1の方が小さかった。なお、この実験では、標点距離が500 mmの方が100 mmに比べて、少し収縮量が小さい傾向にあるが、実施上の評価としては差がないと考えてよい。

あとがき

北波止工区(その3)鋼桁工事に採用した全断面溶接を考慮した箱桁の構造は、下フランジとウェブをそれぞれ溶接線全長にわたって連続した溶接が本実験結果をふまえて可能となり、異なる溶接法による、溶接ビード継目部に発生しやすい欠陥が防止でき、溶接施工性、省力化とともに継手信頼性も向上することが確認できた。

今後は維持管理の手法の工夫も含めて、溶接性を考慮した構造細部(下フランジ突出部の変更等)の修正を一般標準化していくべきであろう。

謝 辞

実験を実施するにあたり、(株)横河橋梁製作所の方々から貴重なご意見をいただいたことに深謝の

意を表します。

参考文献

- 1) 鷲尾、中釜、石崎、毛利：現場溶接を考慮した箱桁の構造とその溶接工法に関する実験、阪神高速道路公団、第17回技術研究発表会論文集 昭60.2