

新淀川第3工区鋼桁工事 全断面溶接施工報告

伊藤 裕彦¹⁾ 森本 喜典²⁾

近年、橋梁の架設にフローティングクレーンを用いた大ブロック架設が増えている。それとともに、地組立てにおける溶接継手も増え、今日では、鋼床版の溶接は一般的な施工になってきている。一方、最近では美観、鋼重の軽減を目的としてウェブ、下フランジも溶接継手とした全断面溶接が行われている。

本報告は、当社において行った全断面溶接の施工記録である。

はじめに

本橋は、大阪府道高速湾岸線の新淀川にかかる3径間連続鋼床版箱桁橋梁で、阪神高速道路公団から受注したものである。図-1に一般図を示す。架設に際しては、橋軸方向に3ブロック(A、B、C)と横断方向に3ブロック(G1、G2、G3)の計9ブロックに分け、それぞれフローティングクレーンによる大ブロック架設で行われた。当社は、この内のAブロックを岸壁を有する地組立場で、Bブロックを当社大阪工場、Cブロックを当社大阪工場、各々全断面の地組立てで溶接を行った。本文は、この全断面溶接の施工試験から実施工までをまとめたものである。

分け、それぞれフローティングクレーンによる大ブロック架設で行われた。当社は、この内のAブロックを岸壁を有する地組立場で、Bブロックを当社大阪工場、Cブロックを当社大阪工場、各々全断面の地組立てで溶接を行った。本文は、この全断面溶接の施工試験から実施工までをまとめたものである。

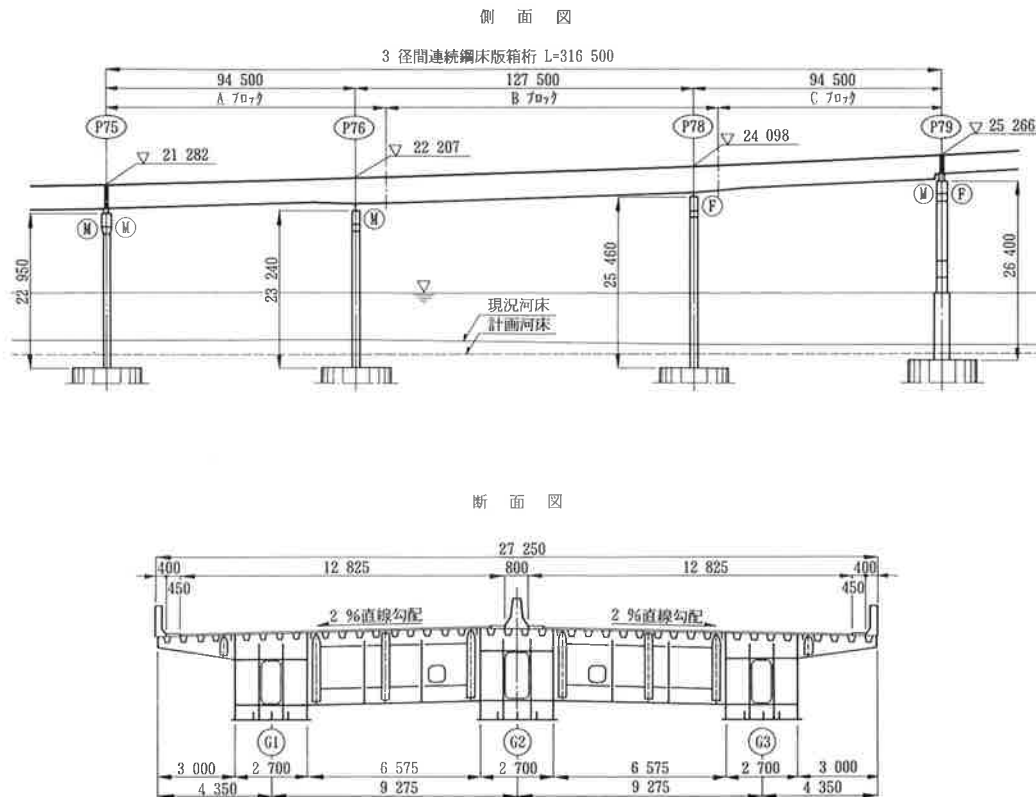


図-1 一 般 図

1) 大阪工場 検査課 2) 技術士 大阪工場 検査課副課長

1. 溶接方法の選定

鋼床版の溶接は、従来より行って実績も多くあるサブマージアーク溶接で行った。

ウェブの溶接については、CO₂自動溶接とエレクトロガスアーク溶接とを比較した。その結果、後者の方が1層で溶接が完了でき作業能率がよいことと、アークが母材と裏当材および摺動銅当金に囲まれているために風防設備をさほど必要としないという点でCO₂自動溶接よりもまっさついで採用することとした。

下フランジの溶接は、板厚の範囲が広く板厚の種類も多いことから、実績のある箱桁内側からのCO₂自動溶接で行った。

2. 施工試験

全断面溶接を行うにあたって、エレクトロガスアーク溶接については当社では初めての試みであるため、施工方法や溶接条件等を決定するための小型試験および中型試験を行った。

エレクトロガスアーク溶接は、水冷された銅当て金と母材とに囲まれた部分で炭酸ガスシールドアークを発生させて行う立向き溶接である¹⁾。継手の材質は、SM50YA・BおよびSM58であり、板厚は11~16mmであった。SM58材については、入熱量による熱影響部の脆化を考慮して裏当材に水冷銅板を使用した。また、入熱量が大きくなるようにするため、ルートギャップの上限を6mmとして他の材質より厳しくした。その他の材質については、簡易裏当材を用いて溶接を行った。

2.1 小型試験

小型試験は、標準溶接条件の設定、開先角度、ルートギャップの標準の決定と許容範囲の確認を中心に、それに加えてSM58材に対する溶接部の機械的性質（特に衝撃値）の確認、および溶接残し部や溶接中断部の処理方法の検討を行った。

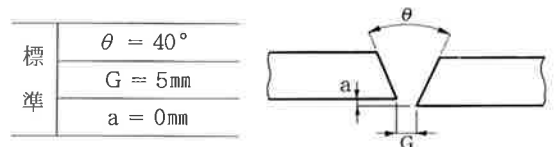
SM58材の場合、溶接部の機械的性質（衝撃値）については、入熱量が大きくなると、ボンド部の脆化が起り靱性が悪くなる。このことを考慮して、試験体は、溶接入熱が最大となるように、開先形状を許容限度上限に設定した。開先形状および溶接条件を表-1に示す。

試験体は3体製作し、その各々の試験体より溶接金属と、熱影響部より3箇所ずつ衝撃試験片を採取した。それらを3種類の試験温度(室温、-5℃、-15℃)で衝撃試験を実施した。その結果を表-2、図-2に示す。衝撃試験の結果は、母材、溶接金属、熱影響部のいずれにおいても、また試験温度が-15℃の場

合でも著しい衝撃吸収エネルギーの低下は認められず、各々の平均値は母材の規格値(-5℃、4.8kg・m以上)を満足できるものである。したがって、溶接開先が部分的に広くなり、その部分の溶接入熱が標準開先の約1.6倍になったとしても、その熱影響部は母材の規格値を満足する衝撃吸収エネルギーを有するものと判断した。これは裏当材に水冷銅板を使用し、その冷却効果によって実質的な入熱量が減少するためであると考えられる。

表-1 開先形状および溶接条件

T.P. No.	開先形状			溶接条件			
	θ	G	a	電流	電圧	速度	入熱
1	50°	10mm	0mm	380A	35V	6.48cm/min	123KJ/cm
2	50°	10mm	0mm	380A	35V	6.99cm/min	114KJ/cm
3	50°	10mm	2mm	380A	35V	6.88cm/min	116KJ/cm

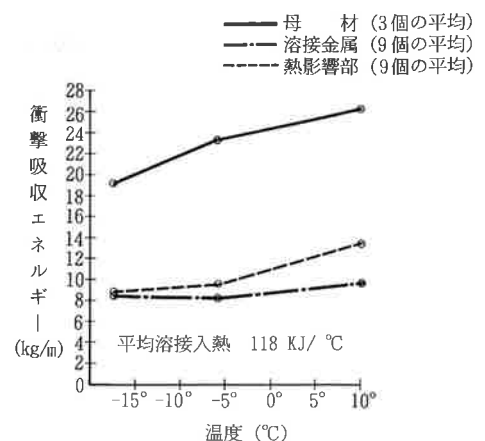


標準開先の入熱量 約73KJ/cm

表-2 衝撃試験結果

試験温度	単位kg/m		
	母材 ¹⁾	溶接金属 ²⁾	熱影響部 ²⁾
11℃	26.1	9.5	13.1
-6℃	23.1	8.1	9.4
-15℃	19.1	8.5	8.7

1) 3個の平均
2) 9個の平均



溶接入熱が最大となるような開先形状に設定した試験片を用いて行った、エレクトロガスアーク溶接部のシャルピー衝撃試験結果。

図-2 シャルピー衝撃試験結果

2. 2 中 型 試 験

中型試験は、溶接線周囲の縦リブの位置やスカーラップの形状等を実橋と同一とした試験体を製作し、機械本体の走行性や作業性を調査することを主な目的とした。

試験体は、実橋のウェブを模し、鋼床版下面の縦リブおよびウェブのスカーラップを実橋と同一とした。寸法については、ウェブ高を1,700mmとしたほかはすべて実橋と同一とした。試験体の形状寸法を図-3に示す。

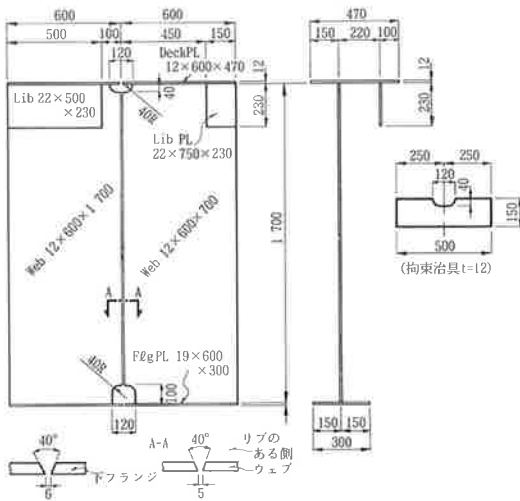


図-3 試験体の形状寸法

(1) レール長さの余裕

実橋では桁高が種々異なっている。溶接機は、できるだけ長く自動溶接ができ、なおかつウェブ高以下の長さにしなければならない。そこで、自動溶接で溶接できる範囲とそれに対する必要レール長の関係性を求めた。

1) 下フランジ側のレール

図-4に示すように溶接線下端に取り付けたエンドタブを20mm完全に溶融しようとした場合、溶接部先端よりさらに20mm下に溶接機が車輪がある。このことからレール先端は、溶接線の下端より40mm下まで延ばす必要がある。したがって本橋の場合スカーラップが100mmであるから、下フランジから60mmの範囲にレール先端があれば良い。

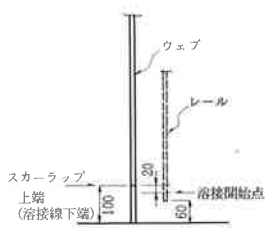


図-4 下フランジ側のレールの余裕

2) 上フランジ側のレールの余裕

ウェブ上側の溶接をしようとした場合、溶接機が鋼床版下面に当たるまで溶接するとしたら280mm溶接線を残してその上端が鋼床版に当たる。この280mmが最小の溶接残し量になる。この時、溶接機が車輪の上端は、鋼床版下面より100mmの位置にある。したがって、溶接残しを最小にするには、レールを鋼床版下面から100mmのところまで設ける必要がある。

3) レール長さの決定

1)、2)の結果より、溶接残しを最小にするためにはレール長さをLL (mm)、ウェブ高さをWL (mm) とすると、式(1)の範囲にレール長さを収めればよいことになる。

$$WL > LL \geq WL - (60 + 100) \dots\dots \text{式(1)}$$

ウェブ高が種々異なる場合、それらすべてに対して長さの異なるレールを製作することは不経済であるので、できるだけ式(1)を満たす値に近いレール長さとするようにした。

本工場のウェブ高は、3,173~3,651mmの範囲であり、式(1)を適用してレール長さを3,000、3,300、3,400、3,500mmの4種類とした。ただし、標準レール長は、1本1,500mmである。

(2) 溶接による収縮量および角変形

1) 収 縮 量

ウェブ立向き溶接による溶接線近傍の横収縮量を計測した。その結果を図-5に示す。

結果はエレクトロガスアーク溶接部ではT.P. No1で1~1.5mm、T.P. No2で1.5~2mmであった。T.P.No2が少し大きいのは、なんらかのトラブルによって溶接を中断することを想定して、溶接線の途中に2箇所の溶接中断点を設けたことに起因するのではないかと考える。また、溶接残し部に相当する鋼床版下の約300mmは収縮量が2.5~3mmになっている。これは、CO₂半自動溶接および手溶接とも溶接速度が遅いこと、今回鋼床版に相当する部分よりもウェブを先に溶接したことなどが原因であると考えられる。特にT.P. No2の方が収縮量が大きいのは、この部分の溶接施工中に、急激に開先ルートギャップが狭くなって裏波ビートが形成されなくなり、その部分をガウジングではつりなおしたためである。いずれにしても、CO₂半自動溶接または手溶接で立ち向き姿勢の裏波溶接をする場合、5~6mmのルートギャップが必要であることから、溶接施工順序は、

ウェブよりも鋼床版を先に施工すべきであると考えられる。この理由によって溶接順序を決定した。

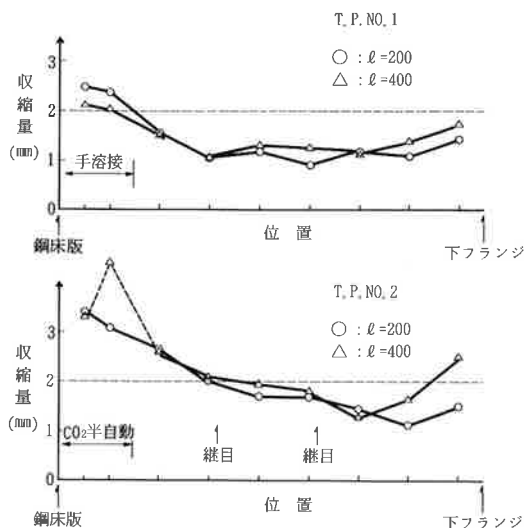


図-5 溶接による収縮量

験を行い、その処理方法について検討した。以下にその手順を示す。

① 溶接中断部（クレータ部）のはつり、開先整形（図-7 参照）

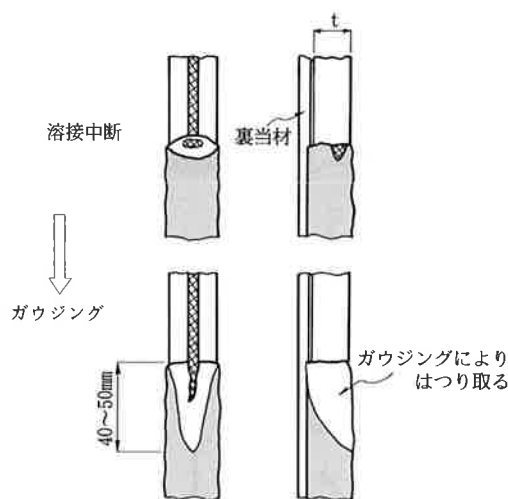


図-7 中断部のはつり開先成形

2) 角 変 形

溶接後の試験体溶接部の面外角変形の測定結果を図-6に示す。面外変形は非常に小さいようである。これは、エレクトロガスアーク溶接が1層溶接のため、板厚方向における溶込み深さの分布が均一に近いためと考えられる。この場合の面外変形の値は1mの標点間で最大1.6mmであった。

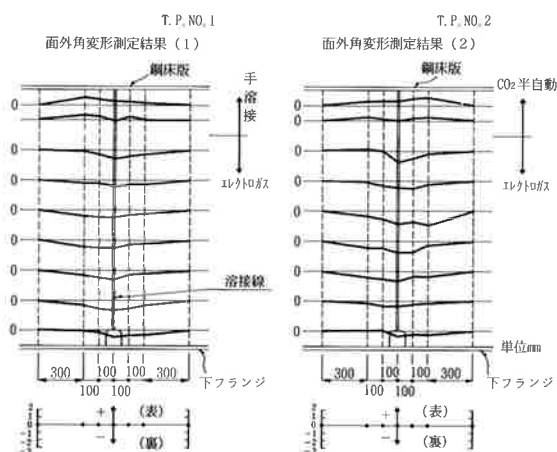


図-6 角測定結果

② 溶接再スタート

再スタート時に、ワイヤのねらい位置を図-8のように移動させる。すなわち、アークを発生させるときは、表側より①にねらいを定める。アークスタートと同時に台車が上昇するので、その動きに合わせて所定のねらい位置②までトーチを奥へ押し出す。

上記手順で、テストピース2体の内の1体で、2箇所溶接中断点を作り再スタートのテストを行った。その結果、ビード外観は裏側で多少オーバーラップ等が発生したが、放射線透過試験の結果1箇所に2種欠陥2級が発生したのみで、上述の処理方法で問題ないと考えられる。なお、表ビードの外観は良好であった。

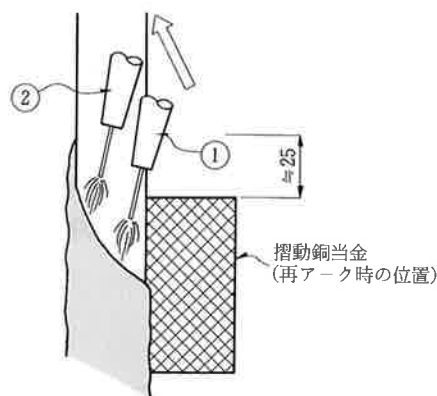


図-8 溶接面スタート

(3) 溶接中断部の処理方法

自動溶接の場合、溶接を中断しないのが理想であるが、なんらかのトラブルが発生し、中断せざるを得ない状況も発生することがある。そこで、T.P.No2の試験体では故意に溶接を中断・再スタートする実

(4) 溶接残し部の溶接

エレクトロガスアーク溶接機がウェブ上側いっぱいまで上がったとき、2.2(1)項で述べたようにトーチの先端は鋼床版下面より約280mm下の所にある。そして、2.2(3)項で述べたように欠陥を残さないようにするため、約40~50mmクレータ部をはつるので、 $280 + (40 \sim 50)$ mm鋼床版下面に溶接残しが生じる。ただし、ウェブ上端には鋼床版溶接のためのスカーラップが40mm設けられているので、実際の溶接残しは280~290mmである。

この部分の溶接を、今回は被覆アーク溶接およびソリッドワイヤの炭酸ガス半自動溶接の2種類で施工してみた。どちらが良いかは溶接作業者の得手、不得手があり一概にはいえないが、どちらもある程度練習すれば良好なビードが得られるものと考えられる。

なお、2.2(2)項でも述べたように、鋼床版の溶接を行っていなかったため、溶接中に開先ルートギャップが狭まっていき非常に溶接が困難となることがあった。このため溶接順序については、鋼床版を先に溶接すべきであると考えられる。

(5) その他

ウェブ下端に設けたスカーラップの大きさは、下フランジの溶接に際して、良好な作業性を与えるものであった。

3. 溶接のために配慮した点

(1) 設計

今回の全断面溶接は、下フランジは箱桁内側から、ウェブおよび鋼床版は箱桁外側から溶接を行った。自動溶接機を使用するため機械の幅や向きなどを考慮して、あらかじめ設計段階で機械が縦リブ等に当たらないよう注意した。

以下に全断面溶接のために設計段階で考慮した事項を述べる。

1) ウェブ横の鋼床版下面平リブ

箱桁外側の鋼床版下面のウェブ横の縦リブは、ウェブ面より220mmの位置にある。これは、ウェブの溶接時に機械が当たり、溶接残しが多くなり、残し部分の溶接も行いにくくなる。そこで図-9

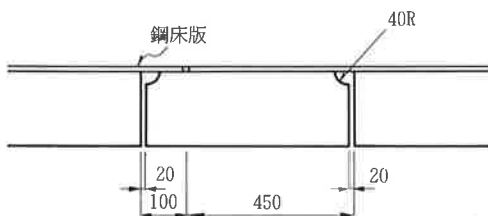


図-9 鋼床版下側ウェブ横の平リブ

のように550mmの縦リブをウェブ溶接が完了した後にはめ込み、すみ肉溶接を行った。

2) 箱桁内下フランジの縦リブ

下フランジの溶接は、箱桁内側から溶接を行うため、レールを敷く幅と機械の幅を考慮し、図-10に示すように溶接線をはさんでレール側500mmと、反対側100mmの合計600mmの幅を確保した。

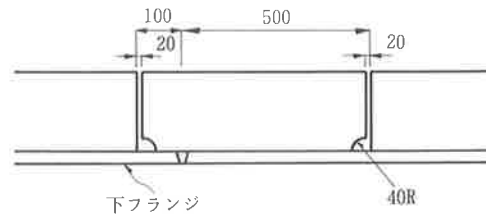


図-10 箱内下フランジ縦リブ

3) ウェブのスカーラップ

ウェブには、図-11に示すようなスカーラップを設けた。

上側のスカーラップは、鋼床版溶接の裏当材を通すためと、ウェブ溶接の残し部分で立向き溶接のエンドタブを取り付けるためのものである。

下側のスカーラップは、下フランジの溶接で箱桁内外のつなぎ目となる部分である。それにウェブ溶接の始端部のエンドタブを取り付ける部分でもある。そのため、特に下フランジの溶接作業性を考慮して、下から100mmのスカーラップを設けた。

これらのスカーラップは、溶接完了後箱桁内側から当て板をして塞いだ。

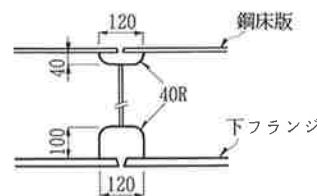


図-11 ウェブのスカーラップ

(2) 足場

溶接用の足場は、作業者が常に近い位置でアークを見ることができると望ましい。そのため、図-12に示すようにウェブには2段の足場を設けた。また、足場パイプが溶接中の溶接機に当たらないように、ウェブ面から一定の距離(500mm)をあけるように考慮した。

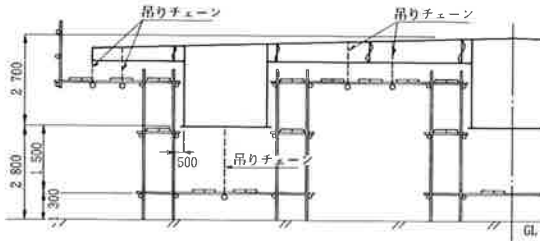


図-12 足場

4. 実施工

(1) 地組立て溶接概要

Aブロックは橋軸方向に13分割されて、その継手は12箇所あり、主桁はG1~G3桁の3箱桁であり、箱桁1断面を1継手と数えると合計36継手となる。またBブロックについては、同じく7分割されていて、6断面で合計18継手の溶接となる。溶接は、鋼床版の溶接を最初に行い、橋軸直角方向の鋼床版の溶接が終了後に下フランジの溶接を行い、最後にウェブの溶接を行った。引き続き自動溶接機では溶接できない下フランジおよびウェブの溶接部の溶接残し部を、CO₂半自動溶接で片面裏波溶接を行った。その後非破壊検査を行い合格したことを確認した後、Uリブ、下フランジの縦リブの溶接を行った。

全体の溶接順序と各継手の溶接順序を図-13に、溶接作業のフローチャートを図-14に示す。

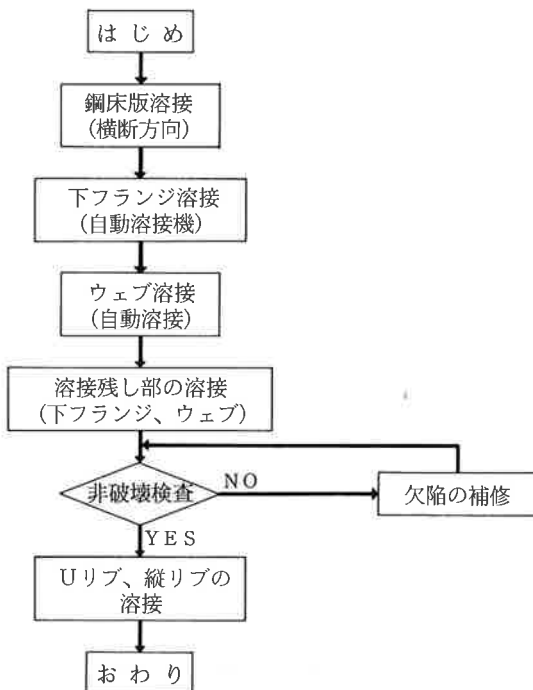
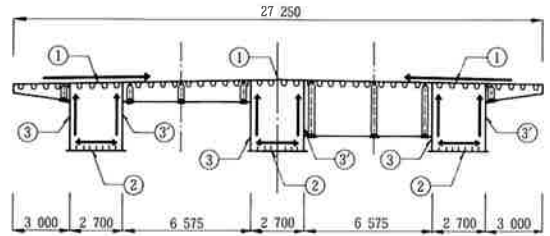
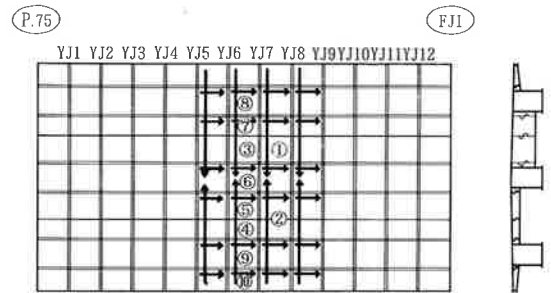


図-14 全断面溶接フローチャート



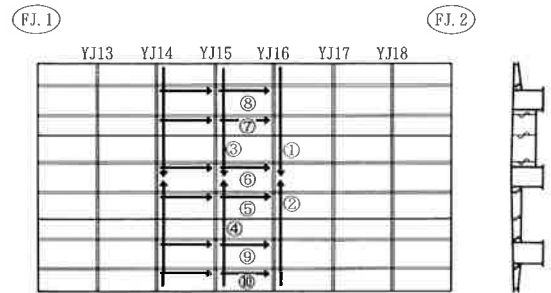
(a) 断面の溶接順序



鋼床版溶接順序 (P.75 ~ FJ.1)

YJ6からYJ12の方へ溶接を進め、その後YJ6からYJ1へ進めた。

(b) Aブロック溶接順序



鋼床版溶接順序 (FJ.1 ~ FJ.2)

YJ16からYJ13の方へ溶接を進め、その後YJ16からYJ18の方へ進めた。

(c) Bブロック溶接順序

図-13 溶接順序

(2) 溶接施工方法

鋼床版、ウェブ、下フランジの溶接材料を表-3に、溶接条件を表-4に示す。各々の溶接方法を以下に示す。

1) 鋼床版

鋼床版の溶接は、サブマージアーク溶接による片面裏波溶接で行った。板厚は12、16、19mmの3種類があり、板厚19mmのものは2層溶接で行った。

写真-1に鋼床版溶接状況を示す。

表-3 溶接材料

適用箇所	鋼材	溶接方法	溶接材料	裏当材	メーカー
鋼床版	SM50Y	サブマージアーク溶接	US-49(4.8φ)+MF-38A(20X200)	FAB-1	神鋼
下フランジ	SM50Y SM53B	炭酸ガスアーク溶接	MG-50 1.2φ	FBB-3	神鋼 日溶工
	SM58	炭酸ガスアーク溶接	MG-60 1.2φ	FBB-3	神鋼
ウェブ	SM50Y	エレクトロガスアーク溶接	DWS-43G 1.6φ	KL-4GT	神鋼
		炭酸ガスアーク溶接	SF-1 1.2φ	KL-4GT または FBB-3	神鋼 日溶工
	SM58	エレクトロガスアーク溶接	DWS-60G 1.6φ	水冷銅板	神鋼
		炭酸ガスアーク溶接	SF-60 1.2φ	KL-4GT または FBB-3	神鋼 日溶工

その他鋼床版の片面サブマージアーク溶接には、充填材 (RR-2、神鋼) を用いる。

表-4 溶接条件

適用箇所	板厚 mm	溶接方法	ワイヤ径 mmφ	層	溶接条件			溶接姿勢
					電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	
鋼床版	12 19	サブマージアーク溶接	4.8	1	720 -800	30 -36	15 -30	下向
	2			720 -800	35 -40	20 -30	下向	
下フランジ	11 36	炭酸ガスアーク溶接	1.2	1	220 -240	26 -29	10 -25	下向
				2	260 -320	30 -36	10 -20	下向
				-n				
ウェブ	11 16	エレクトロガスアーク溶接	1.6	1	370 -390	34 -36	10 -20	立向
				1	100 -150	20 -22	5 -10	立向
			炭酸ガスアーク溶接	1.2	2	180 -220	22 -26	5 -10

2) ウェブ

ウェブの立向き溶接は、エレクトロガスアーク溶接で行った。

ウェブの上端部は、鋼床版に自動溶接機が当たるため、300~400mm の溶接残しが生じる。そのため、この部分は CO₂半自動溶接で裏波溶接を行った。写真-2にウェブ溶接状況を示す。

3) 下フランジ

下フランジは、箱桁内側から CO₂自動溶接機で裏波溶接を行った。材質はSM50YA・B、SM53B、SM58であり、板厚は11~38mmであった。

下フランジの溶接に際しても、ウェブの溶接と同様に、ウェブに自動溶接機が当たるため、箱断面内側の機械長さ分およびウェブ外側に溶接残しが生じた。機械の向きにより、一方は200mm程度で、もう一方は500mm程度の溶接残しが生じた。この溶接残し部分も、ウェブと同様に CO₂半自動溶接で裏波溶接を行った。写真-3に下フランジの溶接状況を示す。

(3) 実施工

1) 収縮量

実橋の10箇所において収縮量の測定を行った。測定位置を図-15に示す。

測定を鋼床版の溶接前と、ウェブの溶接残し部分の溶接が完了した時点の2回行い、両測定値の差を収縮量とした。この10箇所のうちJ4-G2桁で



写真-1



写真-2



写真-3

は途中、鋼床版の溶接が完了した時点で一度測定し、J12-G1桁では途中、鋼床版および下フランジの溶接が完了しウェブの溶接前に一度測定した。各々の測定結果を図-16に示す。

各々の収縮量の平均値を表-5に、箱桁断面の収縮量の平均を図-17に示す。

表-5よりわかるように、ウェブの溶接を行うまでに、他の溶接の収縮によってウェブのルートギャップは約1.7mm程狭くなる。このためウェブのルートギャップは全体的に狭くなる傾向になってしまった。今後は、製作の段階でウェブのルートギャップを基準値+1.5mm程度で製作するのが望ましいと考えられる。

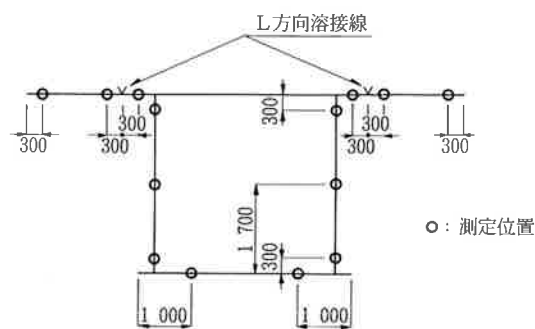


図-15 収縮量測定位置

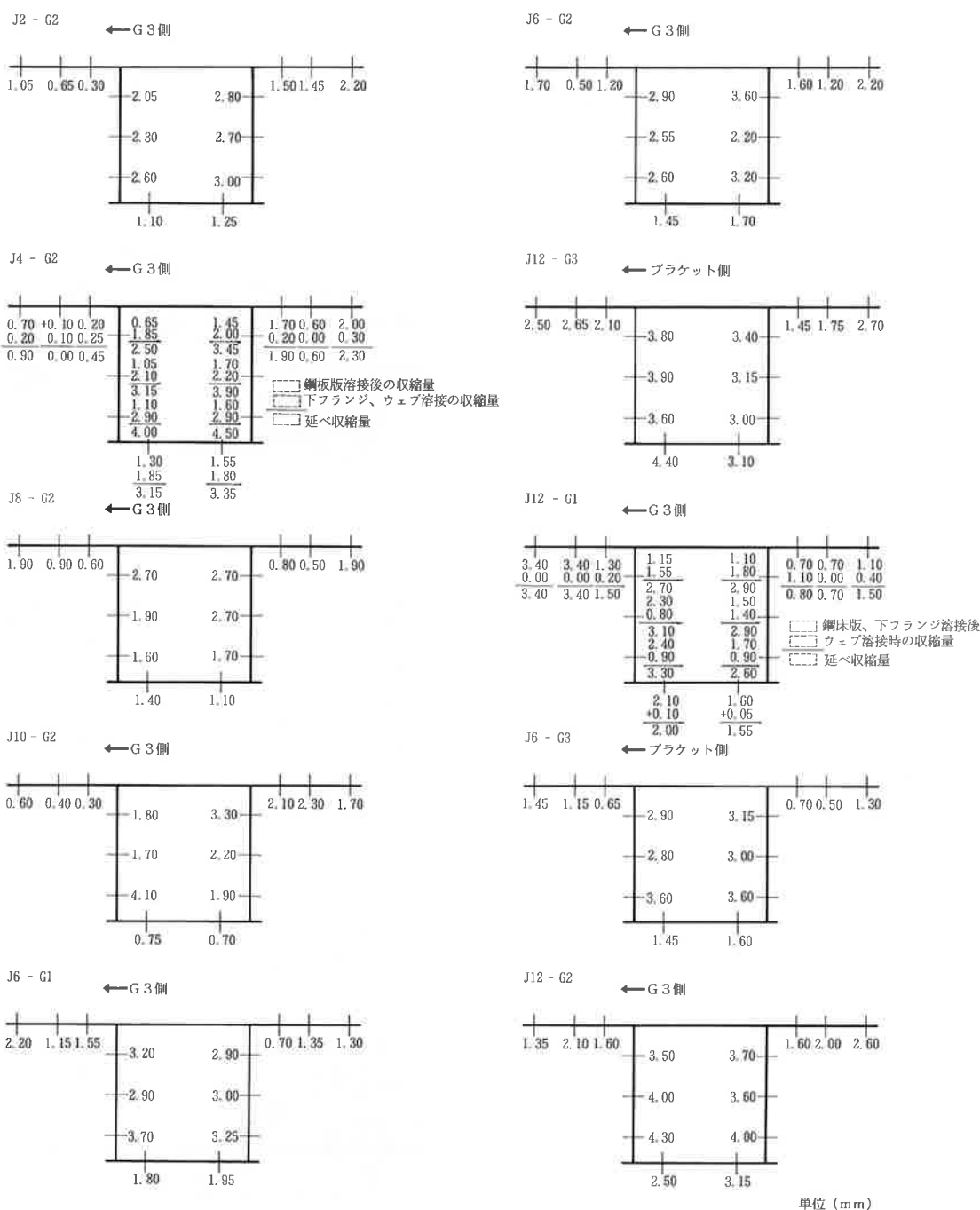


図-16 収縮量測定結果

表-5 収縮量の平均

測定時期	鋼床版		下フランジ		ウェブ	
	n	平均	n	平均	n	平均
鋼床版終了後	6	0.85	2	1.425	6	1.258
下フランジ終了後	6	1.767	2	1.850	6	1.692
ウェブ終了後	60	1.423	20	1.973	60	3.029

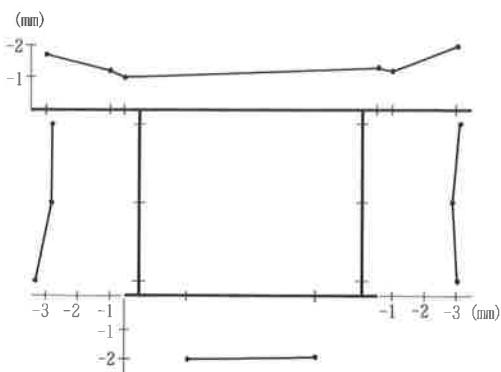


図-17 収縮量の平均

2) 非破壊検査結果

非破壊検査は鋼床版、下フランジ、ウェブとも放射線透過試験で行った。下フランジおよびウェブは、溶接残しの部分があったためにビードの継目部分に若干のブローホール等の欠陥が存在し、2級の箇所がやや多くなっている。

AブロックとBブロックを合わせた放射線透過試験の結果を表-6に示す。

3) 使用機器

Aブロックの溶接は、岸壁に電源がないため発電機を用いて溶接を行った。使用溶接機と台数を表-7に示す。発電機は、溶接機どうしのアークによる電流および電圧の変動を少なくするために、125KVAを2台、90KVAを2台使用した。自動溶接機類は、できるだけ余裕をもって均等な負荷がかかるようにし、他の溶接機は作業があまり重複しないような発電機とつなぐことを心がけた。これによって溶接は、電源の変動がほとんどなく施工することができた。

その他溶接機以外の溶接機器として、50馬力のコンプレッサー、溶接棒乾燥機、フラックス回収機、フラックス乾燥機などを使用した。

5. ま と め

新淀川第3工区の地組立て全断面溶接の概要について、施工試験から実施工にいたるまでをまとめた。以上の方法で、箱崎ふ頭橋梁(福岡市港湾局発注)

表-6 放射線透過試験結果

	基本枚数	1 級	2 級
鋼床版	2076	2071	5
下フランジ	216	202	14
ウェブ	540	499	41
合計	2832	2772	60

表-7 使用機器

機材名	規格	数量	使用目的
サブマージアーク溶接機	1000A	2	鋼床版溶接
CO ₂ 自動溶接機	500A	3	下フランジ溶接
エレクトログスアーク溶接機	500A	2	ウェブ溶接
交流溶接機	400A	8	Uリブ溶接 他
交流溶接機	300A	1	
CO ₂ 半自動溶接機	500A	3	
ガウジング	600A	2	

の地組立て全断面溶接も問題なく施工することができた。

今後の全断面溶接の問題点として、溶接残し部をいかに少なくするかという問題がある。今回はウェブの上端、下フランジの両端に溶接残し部が生じた。この部分の溶接作業時間がかかり、なおかつ欠陥も入りやすいということから、溶接残し部がなくなれば、溶接期間の短縮と品質の向上が行えるものと考えられる。最近では下フランジの溶接は箱桁の外側から溶接できる溶接機があるので、下フランジの溶接残し部は全くなく施工できるようになっている。しかし、ウェブ溶接をエレクトログスアーク溶接で行うには、現在のところ設計段階で溶接施工を考慮した設計を行うしかないようである。²⁾

本報告が今後の全断面溶接施工の参考となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 益本功、岡田明之:現代溶接技術大系7、1980.1.
- 2) 塚本幸夫ほか:全断面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、横河橋梁技報 No.15、1986.1.