

4 径間連続鋼床版箱桁の施工

大阪第一建設部 堺工事事務所 坂 元 悟
同 部 同 所 毛 利 哲 也

まえがき

湾岸線（Ⅰ・Ⅱ期）の堺地区は、昭和51年に工事着手以来、昭和57年9月1日に大阪市住之江区南港東より堺市松屋大和川通りの三宝まで約6kmが開通し、港大橋とあわせて約7.9kmを供用している。

湾岸線は、2種1級の対向4車線または6車線の道路で、阪神都市圏の臨海工業地域を結ぶ重要幹線道路として当団が重点をおいて建設を進めている路線である。

堺市域では、旧海岸防潮堤沿いに、堺泉北港の塩浜埠頭の東端を通り、内川放水路（古川）を横

断して北波止町に至る。ここで、大阪府道大阪臨海線（受託工事中）を間に挟む形で旧堺港口を横断し、大浜公園と旧燈台（史跡指定）の間を抜け、大浜西町より臨海線上を南伸出島西町に至る（図-1参照）。

現在、残りの区間約4.1kmのうち、堺市内の三宝～出島西間の約3.1kmを大阪第一建設部堺工事事務所が担当し、昭和60年度の供用を目指し、鋭意工事を進めているところである。

本稿は、塩浜工区のうち、内川放水路（航路幅約65m）を横断する4径間連続鋼床版箱桁の大ブロック一括架設と鋼床版ヤード溶接について紹介する。なお、架設は昭和58年10月30日無事完了した。

1. 工事概要

湾岸線が北波止工区より臨海線を間に挟む形となる関係で、当工区では路線が分離構造となっている。このため、南行（Aライン）を塩浜工区（その2）鋼桁工事、北行（Bライン）を塩浜工区（その3）鋼桁工事として分割発注している（表-1参照）。

当工区の下部工は、RC構造の壁式単柱6基とT型単柱2基から成り、このうち、壁式単柱4基（SP-41A, B SP-42A, B）は、景観を考慮した逆台形で、スリットを入れ、コーナーに丸味を付けている。

上部工は、フランジ厚さ12～22mm（SM50YA）の鋼床版を有する4径間連続箱桁で、最大桁高は、A,Bラインとも4.617m（SP-42A,B上）、曲線

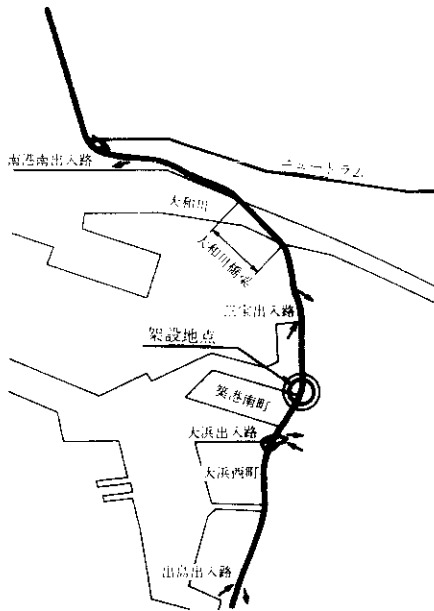


図-1 路線図

表-1 工事概要

	南行(Aライン)	北行(Bライン)
工事名	塩浜工区(その2)鋼桁工事	塩浜工区(その3)鋼桁工事
形式	4径間連続鋼床版箱桁	4径間連続鋼床版箱桁
支間	54.3+70+120+96.3=340.6 m	53.573+64.86+120+86.3=324.733 m
橋格	一等橋(TL-20、TT-43)	一等橋(TL-20、TT-43)
舗装	アスファルト舗装(80mm、75mm)	アスファルト舗装(80mm、75mm)
床版	鋼床版(12mm~22mm)	鋼床版(12mm~22mm)
勾配	縦断 1.6%~0.7% 横断 1.0%~6.0%	縦断 1.1%~0.7% 横断 5.0%~7.0%
設計震度	K _H = 0.28	K _H = 0.28
主要鋼材	SM53、SM50Y、SS41、F10T	SM53、SM50Y、SS41、F10T

半径(R)は、AラインがR=500m、BラインがR=400mである。

本稿においては、便宜上、最大径間であるSP-41~SP-42間を大ブロックと称し、地組立場においてヤード溶接した後、フローティングクレーンにより架設したもので、一般にいうところの全橋を意味する大ブロック架設とは異なる。架設はブロック延長約130m、架設重量約600tの大ブロック架設である。

2. 大ブロック一括架設

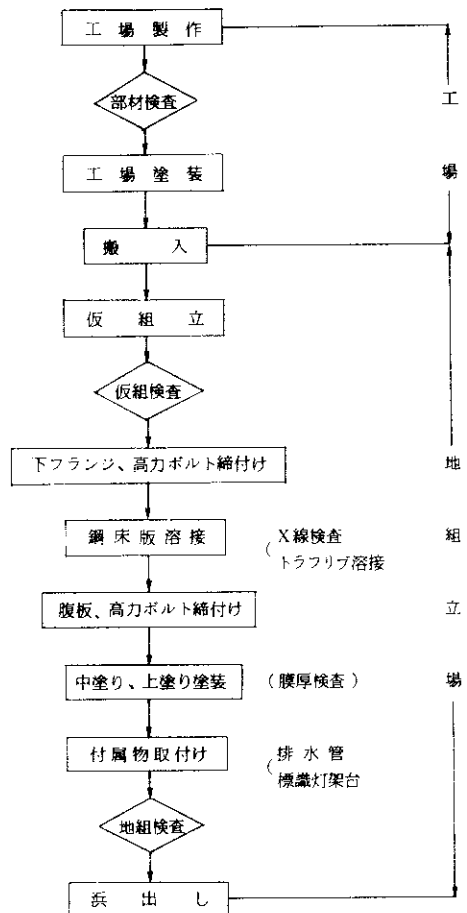
2-1 地組立

大ブロックとして架設するSP-41~SP-42間は、その架設工法のメリットを十分に活かし、塗装あるいは、付属物などの取付けを完了し、ほぼ完成系に近い状態で架設を行っている。本工事では、Aラインが堺市築港新町の工場内棧橋で、Bラインは泉大津市の助松埠頭で地組立を行っている。表-2に地組立ヤードにおける製作工程の概略を示す。

2-2 高力ボルトと溶接の施工

道路橋示方書¹⁾によれば「溶接と高力ボルト摩擦接合とを併用する場合は、溶接の完了後に高力ボルトを締め付けるのを原則とする。高力ボルトを締め付けてから溶接する場合は、拘束による影響を考慮しなければならない。」とある。これは

表-2 製作工程



溶接に対する拘束を小さくし、また、溶接に伴う変形によって高力ボルト接合面のすべり耐力が低下しないように配慮し規定化されている。

一方、腹板の下から2/3と下フランジには、鋼床版の溶接収縮による影響はない⁽²⁾⁽³⁾との報告もあり、本工事においては、下フランジを溶接前に本締めし、腹板については溶接後本締めを行った。

2-3 輸 送

大ブロック部の輸送に際しては、AラインをA船団、BラインをB船団として2つに分け、3500

t積台船のほか、主曳船(2000PS)1隻、補助曳船(1000PS)2隻、警戒船2隻の計6隻で1つの船団を形成した。また、1300t吊起重機(FC)船「長門」は主曳船(3200PS)、補助船(1000PS)各1隻と警戒船2隻でFC船団を形成し、計3船団で海上輸送を行った。

「長門」は、最大吊能力1300t、最大巻上げ高さ86m、最大アウトリーチ68.6mの性能を有する非自航起重機船である。

図-2に曳航図を、表-3に桁積込みから架設までの工程を示す。

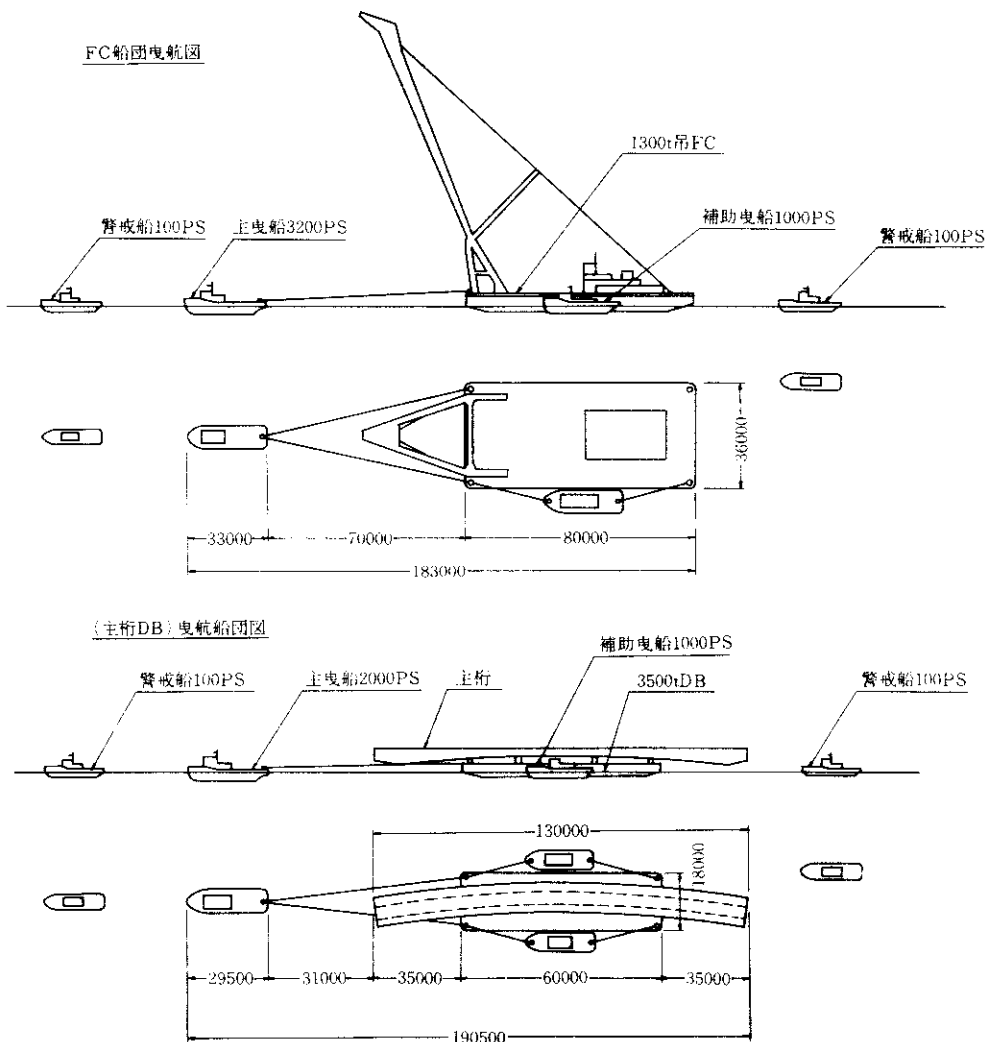
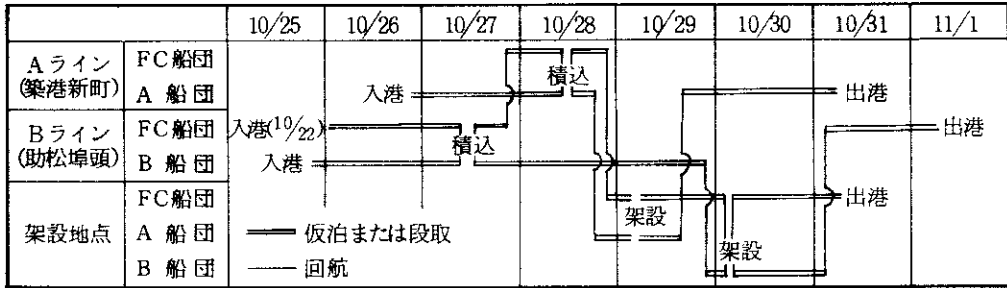


図-2 曳航図

表-3 輸送および架設工程



2-4 大ブロック一括架設

大ブロックの架設は、Aラインが昭和58年10月29日午前9:30より吊上げを開始、正午に支承据付けを完了し、Bラインが翌30日午前9:00より吊上げ開始、正午に支承の据付けを完了した。

写真-1に架設状況、図-3に架設要領、表-4に架設概要を示す。

2-4-1 大ブロック一括架設の採用

今回、大ブロック一括架設を採用するにあたって、その他の架設法として

- ①起重機船による中ブロック架設工法
- ②張出しベント併用工法(小ブロック架設)が考えられた。

表-4 架設概要

	南行(Aライン)	北行(Bライン)
径間	SP41(A)~SP42(A)	SP41(B)~SP42(B)
延長	129.9 m	132.1 m
重量	約650 t	約610 t
起重機船	1300 t吊 F.C.長門	1300 t吊 F.C.長門
台船	3500 t積台船	3500 t積台船

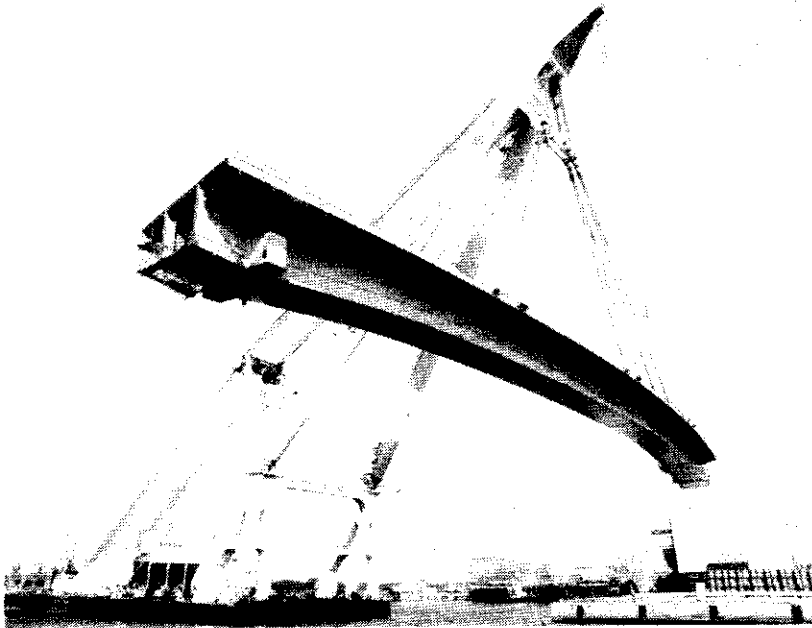


写真-1 架設状況

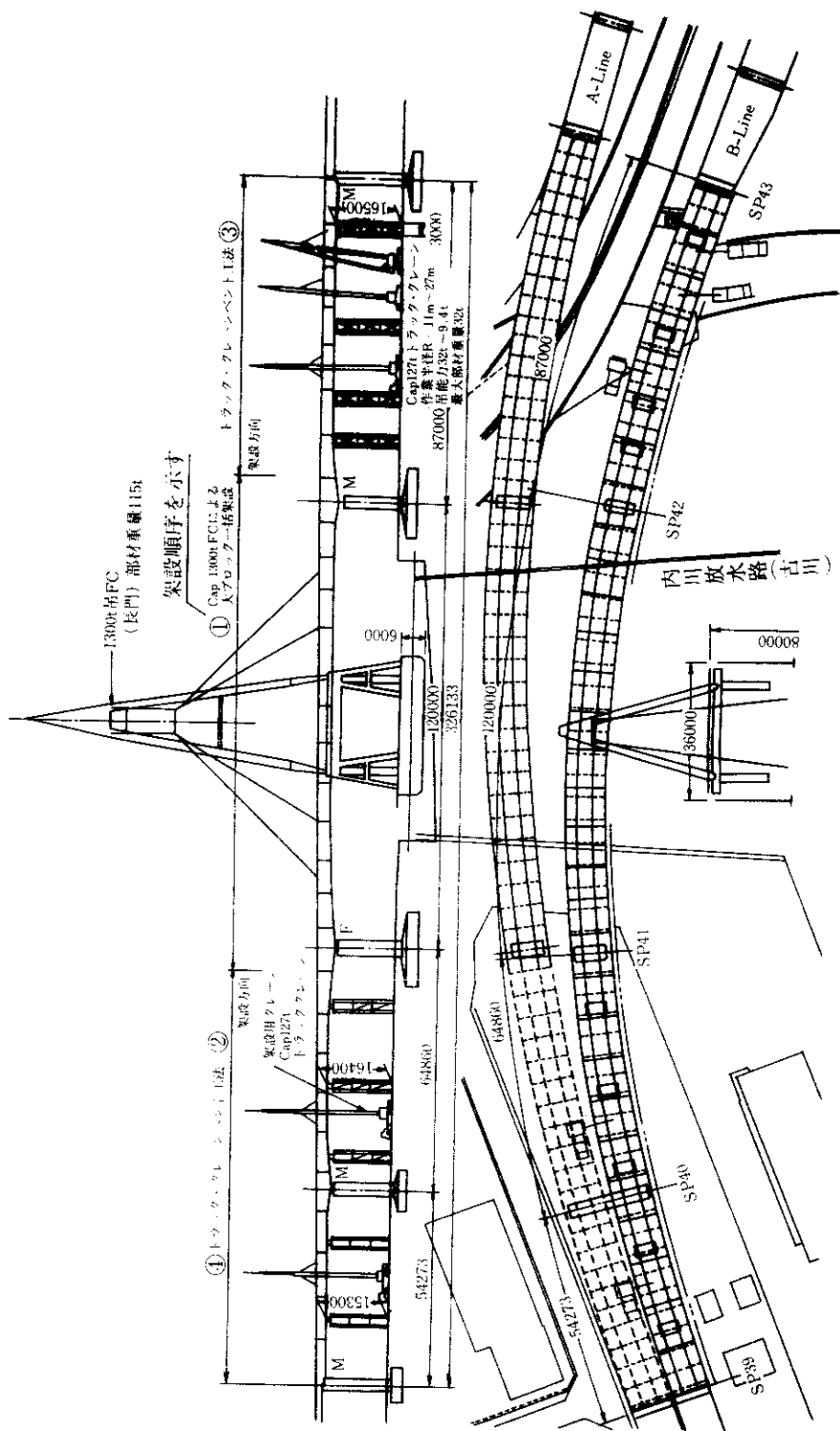


図-3 架設要領

大ブロック架設とは、中ブロック架設、小ブロック架設に対比した呼び方であり、大ブロック架設が大ブロック部を最初に架設する、つまり架設系が単純桁であるのに対し、中ブロック架設は側径間部架設後、いわばゲルバー形式となるよう、中央径間部を落とし込む架設法である。

当初、中ブロック架設を中心として、以上3つの架設法の検討を進めていたが、小ブロック架設については、

- a) 内川放水路が航路指定を受けており、長期にわたる航路閉鎖が困難である。
- b) 変則的なスパン割りで、かつ、曲線桁であるため、張出し架設では構造が架設時応力で決定され、鋼重が大きくなる。

の2点の理由で除外した。

また、架設法の検討時点において、端橋脚であるSP-39の完成予定時期が用地移転の関係で大幅に遅れることが判明したため、SP-39の完成時期が本工事の全体工程に大きく影響する中ブロック架設を除外し、大ブロック架設を採用した。

2-4-2 架設時の施工管理

架設時の施工管理は、架設時風速が12 m/s を超えた場合は架設を中止することを前提としたうえで、

- ①桁の水平方向の揺れ（橋軸、橋直方向）
- ②桁の鉛直方向の揺れ
- ③桁のねじれ

を考慮する必要がある。

特に、③の桁のねじれについては、平面線形がAラインでR=500 m、BラインでR=400 mと大ブロック部の長さ120 mと比較してかなり厳しいので、重心位置および吊金具の位置に十分検討を加え、さらに、ねじれ変位の調整用吊金具を設置した。

一般的には、架設重量が大きいことと、巻上げ反力を管理することによって揺れ自体は小さいと考えられるが、①、②については、8点吊りと平衡滑車の使用で対処した。

さらに、桁の吊上げに際しては、台船への積込み時が、架設時とはほぼ同等の状況であることから、

まず、桁積込み時点で吊上げ荷重を全体荷重の、20%、50%、70%、90%、95%、100%の6段階に分け、桁受け台の支持状態、あるいは桁の偏心状態をチェックし、架設時に再度同様の操作を行った。

また、支承への据付けに際しての微調整は、各々の橋脚の橋軸方向に2箇所、橋軸直角方向に2箇所ずつ、呼び込み用金具とレバーブロックを設置して行った。

図-4に、吊金具の一般図を示す。

3. 鋼床版ヤード溶接

本工事では、大ブロック架設の利点を十分活かすため、大ブロック部の鋼床版ヤード溶接を行っている。ヤード溶接とは、工場溶接あるいは現場溶接（架設現場）との対比からそう呼んでおり、実際には栈橋などの地組ヤードにおけるサブマージドアーク自動溶接（以下SAW）を主体とした鋼床版上面の突合わせ溶接である（写真-2参照）。

鋼床版の現場溶接継手（ここではヤード溶接）は、通常の現場継手である高力ボルト接合と比較

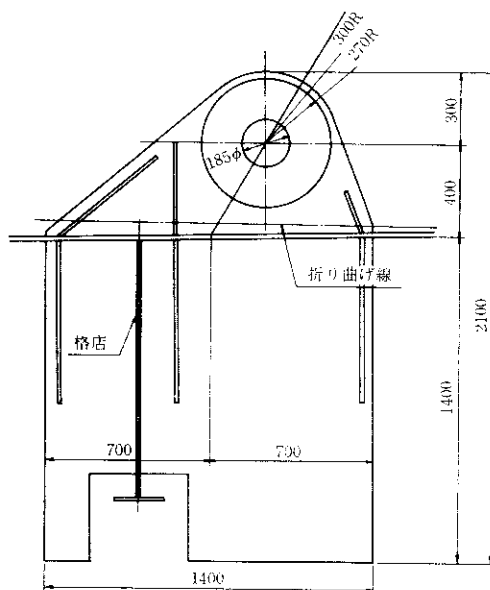


図-4 吊金具



写真-2 SAW

して、施工精度、変形、残留応力などの配慮が必要であり、天候など施工条件に左右されやすい反面

- ①添接板などの鋼重の軽減が図れる。
- ②舗装に対する継手部の悪影響をなくし、さらに薄層舗装が可能となる。

などの利点があり、近年における現場溶接実施例の増加とその精度の向上、さらに自動溶接が主体で全て下向き姿勢であるなど、準工場内としての考え方で溶接作業ができることを踏まえ、今回ヤード溶接を採用した。

鋼床版の突合わせ溶接方法としては、

- ①鋼製裏当材を用いる炭酸ガスアーク (CO_2) 溶接
 - ②鋼製裏当材を用いる SAW
 - ③溶接後に取りはずしのできるマグネットクランプを用いた簡易裏当材を用いる SAW
- などが考えられる。

鋼製裏当材は、疲労強度に影響を与え、また、炭酸ガスアーク (以下 CO_2 と略す) 溶接は防風対

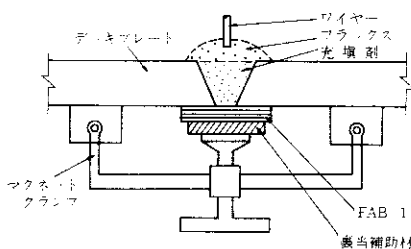


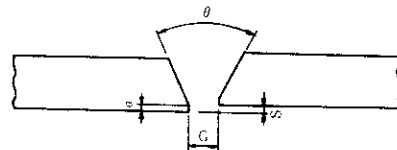
図-5 裏当材

策が必要である。よって、本工事では、溶接後に裏当材が残らないうえ、耐風性の良好な③の方法を用いた。図-5 にその概略を示す。

溶接方法は、現場溶接施工マニュアル(案)(昭和58年3月 阪神高速道路公団 鋼構造検討委員会)に沿っている。表-5 に溶接材料と溶接条件を、図-6 に開先形状を示す。

表-5 溶接材料および溶接条件

	Aライン	Bライン
ワイヤー	YD 4.8φ	US-36 4.8φ
フラックス	YF-15	MF-38
充填剤	YK-C	RR-2
裏当材	FAB-1	FAB-1
溶接電流	770 ~ 820 A	670 ~ 790 A
溶接電圧	32 ~ 36 V	30 ~ 32 V
溶接速度	20 ~ 25 cm/分	17 ~ 20 cm/分



	Aライン	Bライン
開先角度(θ)	50°(±5°)	50°(-5°~+10°)
ルート間隔(G)	3mm(-3~+5)	3mm(-3~+5)
ルート面(φ)	1mm(±1)	1mm(±1)
目違(ΔS)	0mm(+2)	0mm(+3)

図-6 開先形状

3-1 溶接継手の終端割れ

一般に、突合わせ溶接では、溶接速度の大小によって、継手部に回転変形が働く。SAWのような片面自動溶接では、終端部付近に開先を開こうとする応力が生じる場合があり、通常、この応力は仮付け溶接によって拘束されているが、SAWにより仮付けビードが溶かされた時、この応力が開放され、変形に即応できない終端部付近に溶接割れが生じる。

この溶接割れを防止する方法として、

- ①ビード会合法
 - ②カスケード溶接法
- などが考えられる。

ビード会合法は、継手の両端より溶接を行い、その中央でビードを会合させ、継手端部に溶接の終りを持ってこない方法である。

カスケード溶接法は、終端部にあらかじめ被覆アーク溶接で拘束溶接を行い、SAWの裏波を出させないことにより、変形を生じさせない方法である。

本工事においては、Aラインでカスケード溶接法（拘束溶接長20cm～25cm）を用い、Bラインでは、カスケード法に準拠した拘束溶接（拘束溶接長50cm程度）を行い、端部ではいずれもエンドタブを併用した。

3-2 欠陥発生率

鋼床版溶接の始終端部あるいは交差部（拘束溶接部）においては、炭酸ガス半自動溶接（以下CO₂溶接）を用いるのがよい⁴⁾との報告もあり、Aラインでは拘束溶接にCO₂半自動溶接を用いている。一方、Bラインでは、拘束溶接にSAWを用い、ガウジングを行っている。

溶接の始終端部あるいは交差部にCO₂溶接を使用した場合（Aライン）とSAWを使用した場合（Bライン）の放射線透過試験による溶接欠陥発生率は、表-6のとおりである。

欠陥はすべて1級あるいは2級合格（主としてブローホール）で道示の規定値内であり、溶接割れは全く認められなかった。

データ数が少ないこと、また個々の溶接工の技量の差、あるいは施工条件の差などにより、一概にはいえないが、表-6によれば、

①始終端部あるいは交差部ではCO₂半自動溶接が優っている。

②一般部においては、箱桁の工場溶接の一般的な欠陥発生率7～10%との有意性は認められない。

ことがいえる。

表-6 溶接欠陥発生率

	CO ₂ 溶接	SAW
一般部	9%(11/127)	12%(7/57)
始終端部	18%(5/28)	37%(12/32)
交差部	33%(16/48)	50%(2/4)
総数	16%	21%

なお、拘束溶接へのCO₂半自動溶接の適用は、本溶接のSAWとの2種類の溶接機が必要であり、かつCO₂半自動溶接は、防風対策を要するなど、施工性の面からは一考を要する。

3-3 溶接収縮量

溶接の収縮量は、鋼構造物の出来形精度に関与し、特に鋼床版溶接においては、その製作キャンバーに大きく影響する。

一般に、鋼床版溶接の一溶接線当りの収縮量は2～3mmと考えられる³⁾しかし、溶接による収縮量は、溶接方法、開先形状（特にルート間隔）、拘束条件などの施工条件に左右され、ばらつくことが多い。

そこで、本工事における溶接前後の長さ変化量を実測し、溶接収縮量を測定した。表-7に溶接前のルート間隔を、表-8に収縮量を示す。

突合わせ溶接における収縮量と、開先形状（溶接断面積）との関係は、W. Spraragenの式によって仮定される場合が多い。

$$\Delta l = \{ 0.18 Aw/t + 0.05d \} \times C \dots\dots(1)$$

ここに、

Δl ; 横収縮量 (mm)

Aw ; 溶接断面積 (mm²)

t ; 板厚 (mm)

d ; ルート間隔 (mm)

C ; 係数

表-7 ルート間隔 (単位mm)

	Aライン	Bライン
橋軸方向	3.83(1.37)	3.78(1.16)
橋直方向(主桁)	5.04(0.89)	5.18(1.67)
“(ブラケット)	5.14(2.07)	5.52(1.83)

注) ()内は標準偏差

表-8 溶接収縮量 (単位mm)

	Aライン	Bライン
橋軸方向	2.51(0.86)	1.89(0.91)
橋直方向(主桁)	1.91(0.69)	1.35(1.13)
“(ブラケット)	2.81(2.11)	1.65(1.08)

注) ()内は標準偏差

(1)式および表-8から係数Cを求めると
 $\Delta l = \{0.18 \times (15d + 84) / 12 + 0.05d\} \times C$
より表-9が得られる。

表-9 係数 C

	Aライン	Bライン
橋軸方向	1.08	0.82
橋直方向(主桁)	0.72	0.50
”(ブラケット)	1.05	0.59

(1)式よりSAWの溶接収縮量を仮定する場合、実績などによりC = 0.6~0.8の値を用いる場合が多い。

係数Cが大きくなれば、収縮量 Δl は大きくなり、また拘束溶接による拘束が大きいほど係数Cは小さくなる。

ここでは、Aラインの値が大きくなっているが、拘束溶接による拘束度の差異、あるいはルート間隔のばらつき、つまり鋼床版の温度変化によるルート間隔の変化が影響しているものと考えられる。鋼床版の温度変化に伴うルート間隔の変化を図-7に示す。平均的には、鋼床版の表面温度が10℃上昇すると、ルート間隔は約1.5mm狭くなる

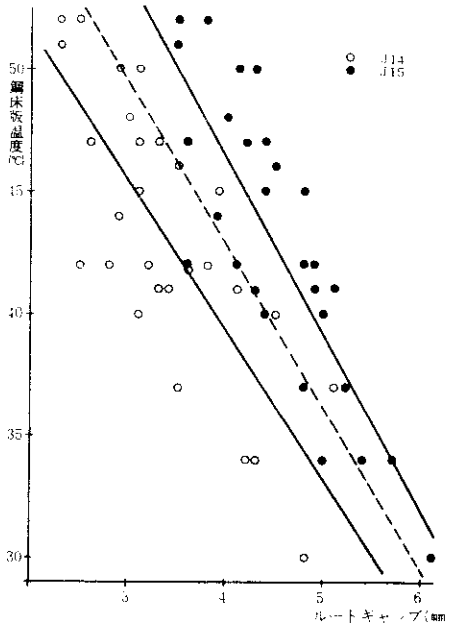


図-7 温度変化とルートギャップ

という結果が得られた。

以上から、鋼床版溶接の収縮量をより正確に把握しようとするれば、拘束度の違いによる係数Cの変化、あるいは、鋼床版の温度変化によるルート間隔の変化についてデータ蓄積を行い、係数Cを定めていく必要がある。

3-4 全断面溶接への展開

先に述べたように、溶接継手には鋼重を軽減するという大きなメリットがある。しかも、近年の溶接技術の進歩、特に自動溶接がその主体となっていること、また溶接の継手としての信頼性の増大(溶接欠陥の減少、精度の向上など)を考慮すれば溶接継手を全断面に採用しようとするのは自然の流れである。

本工事では、鋼床版上面の突合わせ溶接のみであり、SAWで、しかも下向き姿勢であることなど準工場内の条件が揃っていたのに対し、全断面溶接では以下のような問題がある。

- ①立向き姿勢が必要である。
- ②リブ、縦桁などの自動化に不都合な箇所がある。
- ③隅角部付近(継手交差部)など自動溶接が適用しがたいところがある。

そこで、これまでの全断面溶接においては、その多くは、腹板の溶接は、炭酸ガス片面自動溶接を主体とし、鋼床版あるいは下フランジとの継手交差部にスカーラップを設けて手溶接を併用している。腹板の炭酸ガス片面自動溶接は、ショートアークCO₂溶接のトーチとウィーピング装置を搭載した上進走行台車を用いる立向き自動溶接であるが、ガスシールド溶接であるので防風対策が特に必要である。

また、この上進走行台車を用いる場合に鋼床版あるいは下フランジの張出し部が障害となるため、手溶接を用いるわけであるが、前述したように自動溶接を用いてこそ、そのメリットが最大限に活かされることから、腹板の溶接にはまだ工夫されるべき余地があるといえる。

この問題については、②のリブなどの障害物の問題とともに設計段階より考慮する必要がある。すなわち、②では、自動溶接機の通過しうる範囲

において、リブ、縦桁などを溶接後に後付けするような工夫が必要であり、同様に腹板溶接では、下フランジおよび鋼床版に、切欠きあるいはトーチの貫通孔が必要である。

この溶接方法では、腹板の全長にわたって自動溶接が可能であり、しかもエンドタブの取付けも可能となる。貫通孔は、腹板の溶接後、はめ込み溶接を行うのであるが、貫通孔の大きさによる鋼床版への影響を考慮する必要があると考えられる。

なお、腹板を対象としてエレクトロガスアーク溶接を用いたこの溶接方法について、模型桁による溶接施工実験を計画中であり、その施工性などについて検討を行う予定である。図-8に溶接方法の概略を示す。

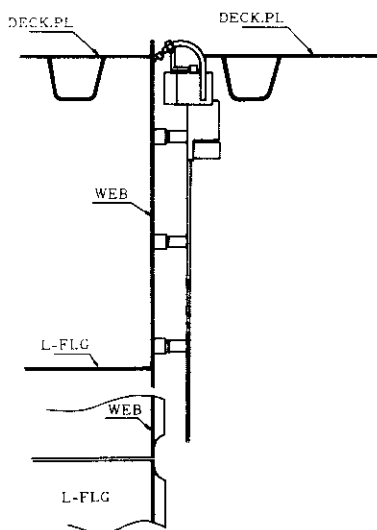


図-8 エレクトロガスアーク溶接

あとがき

大ブロック一括架設工法は、当公団としては数少ない架設法ではあるが、湾岸線、特に海上部の工事が進むにつれ採用される機会も多くなると考えられる。

大ブロック架設を採用する場合、その大きなメリットは、桁をほとんど完成品に近い状態で架設ができるところにある。つまり、鋼桁の継手はその経済性により、高力ボルト接合から現場溶接接合へと進んできており、大ブロック架設とヤード溶接との組合せは、その長所を十分に活かした施工法といえる。

本稿では、鋼床版ヤード溶接が、その作業性からほとんど工場溶接と変わらないこと、また、拘束溶接においてはCO₂半自動溶接が優れていることの一例を示すことができたと考えられる。

一方、製作キャンバーなどの出来形精度に直接影響を与える収縮量については、さらにデータの蓄積が必要であり、また全断面溶接については、溶接施工法の検討を加えていく必要がある。

参考文献

- 1)道路橋示方書・同解説、日本道路協会、昭和55年2月
- 2)溶接技術、1971、2
- 3)現場溶接施工マニュアル(案)、阪神高速道路公団 鋼構造検討委員会、昭和58年3月
- 4)横河橋梁技報、No.12、1982、11