

補剛トラス上下弦材の製作のための

実験の概要ならびにその製作要領

千歳 耕一¹⁾ 森本 喜典²⁾
小牧 知紀³⁾

はじめに

本州四国連絡橋は、鉄道・道路併用橋であり、その耐用年数は100年を予定されている。このような橋梁では、溶接部の疲労強度の確保が重要なポイントとなり、従来にない高度な品質が要求される。

本報告は、本州四国連絡橋の補剛トラスの製作に関し、要求される溶接部の品質を満足させるために行った各種の基礎的な実験の概略と、そこから得られた製作要領の概要を述べたものである。

1. 実験の概要

本州四国連絡橋の補剛トラスを製作するための施工方法を検討するにあたり行った実験は、大きく4つに分けられる。

まず第1は、調質鋼を用いた主構弦材のかど継手の部分溶込みグループ溶接のルート部の健全性に関する実験。第2はそれ以外のかど継手すみ肉溶接、ダイヤフラム等の溶接施工条件の確立のための実験。第3は主横トラス（床トラス）下弦材の内面すみ肉溶接の施工に、すみ肉自動MIG溶接装置“MIGTRA-IN”を適用するための基礎的な実験。そして4番目は、以上の様な基礎的な実験から見出した施工方法が実施上に対応できるかどうか、また、実施上ではどのような問題が発生しそれに対してどのような検討をすればよいかを知るために行った実物大のパイロットメンバーの製作実験である。

以上の様な実験で得られた成果をもとに、補剛トラス上下弦材の製作要領をまとめた。

以下にこれらの各種実験の概要及び製作要領について述べる。

2. 実験の経緯

表—1に現在までの実験報告書の一覧表を示す。当社における本四連絡橋の補剛トラス製作のための実験の始まりは、昭和54年4月に遡る。この時点では後に述べる溶接部の疲労の問題はクローズアップされておらず、単にHT70という調質鋼を用いた長尺の弦材を製作するに当り生じる問題の施工上の検討に主眼を置いており、最初の計画もいきなりHT70鋼を用いた実物大の試験体を製作することになっていた。その後、このHT70鋼を用いた実物大試験体の製作に先立ちSS41を用いた同形のトラス模型を製作して、施工方法・設備・実験方法等の調査検討を行うこととなった。これはHT70鋼の実物大模型製作の指針を得ることを目的としたものである。このSS41材を使用した模型の製作実験の結果は、表—1の資料No.1にまとめている。

一方、この頃本州四国連絡橋公団で実施された補剛トラス大型模型の疲労試験の結果、今まであまり問題にされなかった、格点部以外のかど継手の部分溶込みグループ溶接部に多くの亀裂が発生し、疲労強度が低下することが報告された。この原因は、部分溶込み溶接の開先ルート部の微小な欠陥（ブローホール、溶込み線の凹凸など）であることも合わせて報告された。問題となった部分溶込みグループ溶接部は、先に述べたSS41の弦材模型にも使用しているので、この部材のかど継手から試験片を採取して破面試験を実施したところ、そのルート部にはかなりの量の微小なブローホールが存在していた。そこで次に確認の意味で、小型のかど継手試験片を製作し破面試験を行ってみたが、結果は同じであった。したがってこのままHT70鋼の実物大試験体の製作にかかっても、同じ様な結果しか得られないものと判断し、かど継手部分溶込みグループ溶接のルート部に発生する微小欠陥に対する防止対策を優先することにした。

1) 大阪工場技術課課長
3) 東京工場技術課

2) 大阪工場技術課係長

かど継手部分溶込みグループ溶接部において、所定の疲労強度を得るためには、

- 1) 溶込み底部(ルート部)にブローホールなどの微小な欠陥を発生させないこと。
- 2) ルート部の溶込み形状が滑らかであること。の2点を満足させる必要がある。この2点を満足させるにはどうすれば良いか検討調査するために、数多くの小型のかど継手試験を重ね、SM58材を用いた長さ2mの箱型弦材模型を製作した。その結果は表-1の資料No.3にまとめた。

これらの基礎的な実験を進めていくうちに、当社においては大鳴門橋補剛桁（側径間）工事の受注が決まった。その特記仕様には、先に述べたかど継手部分溶込み溶接部のルート部の健全性に対する諸要求が盛り込まれ、また、ダイヤフラムのすみ肉溶接についてもその溶込み形状及び溶接趾端部の形状に対し高度の品質が要求された。そして最終的に、溶接施工試験として、実橋のトラス下弦材と全く同一の模型を製作し、種々の検査を受けることになった。

正式に受注が決まると、今度は特記仕様書をはじめ鋼橋等製作基準等を満足するための具体的な検討が必要となり、再び各種の実験を重ね技術資料としてまとめた。そして、大鳴門橋補剛桁（側径間）工事共同企業体としては、鋼種と断面が施工試験で用いる試験体と同じで、長さが4mの中型試験体を製作し、かど継手の溶接施工の予備的な試験を行うことになった。この中型試験は昭和55年末に実施し、その結果は「中型試験報告書」(表-1の資料No.6)としてまとめられ、昭和56年1月に本四公団に提出した。

その後、長さ20mの実橋の弦材製作に向けて予熱装置等の周辺機器の整備をした後、当初予定していたHT70鋼を用いた実物大の大型試験を行い、この時

点までのトラス弦材の製作に対する各種実験結果から得た施工方法の包括的な確認と、長尺部材で生ずるであろう変形に対する調査検討と問題点の抽出を行った。(表-1の資料No.16) その結果をもとに大鳴門橋のパイロットメンバー(溶接施工試験体)を製作し、その結果は、本州四国連絡橋公団、製作検討委員会でも審議され、充分実施工に移れるだけの成果を得た。(表-1の資料No.18) 以上の実験から得た成果をまとめ、調質鋼を用いた補剛トラス上下弦材の製作要領を確立し、以後の本四物件に対して適用してきたが、その作業要領、管理要領の概要については、4項で述べることにする。

主構上下弦材の製作についての製作要領は、以上でほぼ確立したわけであるが、当社における2番目の本四連絡橋の物件である岩黒島橋で、床トラス下弦材の内面すみ肉溶接の施工が新たに注目をあびてきた。当社では、この内面すみ肉溶接に対し、すみ肉自動MIG溶接装置“MIGTRAIN”の適用を考え、溶接条件を見出すという基礎的な実験から長さ20数メートルに及ぶ箱内面の連続すみ肉溶接への応用実験まで、装置の改良、治具の考案を含め種々の検討を行った。この床トラス下弦材についても、実物大の試験体を予備試験として1台、パイロットメンバーとして1台、計2台の試験体を製作し実橋に対する適用性を検討している。特に後者は、本四公団発注の大型疲労試験体として供され、種々の貴重なデータを生み出した。これらの製作に関する報告書は表-1の資料No.22~27にまとめている。

この床トラス下弦材の内面すみ肉溶接へのMIGTRAINの適用も標準化して、以後の当社本四物件に適用した。その後、MIGTRAINについては、南北備讃瀬戸大橋を製作する会社の大部分が採用することになっている。

表-1 実験報告書一覧表

| 報告書作成年月 | 報告書 標 題 | 実 験 内 容 |
|----------------------|-------------------------------------|---|
| 昭和54年 8 月 (No. 1) | HT70鋼を用いた実物大試験体製作実験 (中間報告) | HT70鋼を用いた20mのBOX模型を製作する前にSS41を用いて20mのBOX模型を製作した。その他、超音波探傷の基礎試験、HT70鋼の溶接施工試験など。 |
| 昭和54年 9 月 (No. 2) | トラス弦材かど継手溶接部健全性試験結果 | トラス弦材のかど継手溶接部のルート部に発生するブローホール、ルート線の凹凸等が疲れ強さを低下させることが報告されたので健全なかど継手を得る指針を見つけるために行った。 |
| 昭和55年 4 月 (No. 3) | 本四連絡橋のトラス弦材角継手を対象とした部分溶け込み溶接部の健全性試験 | 健全なルート部を得るために基本に立ちかえり実験を行なってその定性的な対策を見出した。その結果を用いてSM58材で長さ2mの箱型模型を製作した。 |

| 報告書作成年月 | 報告書 標 題 | 実 験 内 容 |
|----------------------|--|---|
| 昭和55年11月 (No. 4) | トラス弦材角継手の部分溶け込み溶接部の欠陥防止対策に対する溶接条件設定の経緯とその結果 | 大鳴門橋の主構下弦材のかど継手に対する溶接条件およびその許容範囲設定のための実験経緯の説明とその結果 |
| 昭和56年 1月 (No. 5) | 下向きすみ肉溶接の許容溶接条件範囲の確認試験 | 大鳴門橋主構のすみ肉溶接の条件範囲を求める実験 |
| 昭和56年 1月 (No. 6) | 大鳴門橋補剛桁工事中型試験体結果報告書 | 大鳴門橋補剛桁工事におけるパイロットメンバー製作に先立ちJV各社でSM58材、長さ4mの箱型模型を製作した。 |
| 昭和56年 2月 (No. 7) | 端ダイヤフラムコーナー部溶接施工法の検討 | 大鳴門橋主構の端ダイヤフラムコーナー部を十分に溶融させ、欠陥を生じさせない施工法を検討した。 |
| 昭和56年 2月 (No. 8) | 中間ダイヤフラムすみ肉溶接及びまわし溶接部の施工法の検討 | 大鳴門橋主構の中間ダイヤフラムのすみ肉溶接（三層盛）の趾端形状およびまわし溶接をなめらかにするための溶接施工法および溶接材料の検討 |
| 昭和56年 3月 (No. 9) | SM58Q 溶接施工試験 | SM58Q材に対する突合せ溶接試験、レ型溶接割れ試験の結果報告書。 |
| 昭和56年 3月 (No. 10) | トラス弦材部分溶け込み角継手の補修溶接方法についての検討 | かど継手のルート部に発生した欠陥あるいはアーク中絶に対する補修方法の検討 |
| 昭和56年 3月 (No. 11) | トラス弦材部分溶け込み角継手の仮付およびシーリング溶接条件の調査 | かど継手の本溶接に際し充分再溶融できる仮付、シーリング溶接の条件範囲等を調査した。 |
| 昭和56年 3月 (No. 12) | トラス弦材部分溶け込み角継手の溶接結果に与えるルートギャップの影響 | かど継手のルートギャップが溶接ルート部の欠陥に与える影響を調査した。 |
| 昭和56年 5月 (No. 13) | 加熱矯正に関する確認試験 | SM58Qに対する加熱矯正が材質に及ぼす影響を調査した。 |
| 昭和56年 6月 (No. 14) | ジンクリッチプライマー塗布鋼板の研削量とブローホール発生との関係 | かど継手ウェブ面のジンクリッチプライマーを研削する際の方法及び研削量がルート部のブローホール発生に与える影響を調査した。 |
| 昭和56年 6月 (No. 15) | トラス弦材の部分溶け込み角継手を20m連続溶接する際における溶接二次回路のインピーダンス変化が溶け込み線に与える影響 | HT70鋼を用いた大型試験で調査したものは内容は標題どおり。 |
| 昭和56年 8月 (No. 16) | 長大橋吊橋補剛トラス弦材を対象とした実物大試験体製作実験報告書 | 資料(No. 1)に対するHT70を用いた実物大試験の結果。パイロットメンバーの予備試験となる。 |

| 報告書作成年月 | 報告書 標 題 | 実 験 内 容 |
|----------------------|--|---|
| 昭和56年10月 (No. 17) | 大鳴門橋補剛桁工事ダイヤフラム等溶接作業者技量試験報告書 | 大鳴門橋補剛桁（側径間）工事特記仕様によるダイヤフラム溶接作業者の技量試験結果の報告書 |
| 昭和56年10月 (No. 18) | 大鳴門橋補剛桁工事SM58溶接施工試験報告書 | 同上特記仕様にもとづくパイロットメンバー溶接施工試験報告書 |
| 昭和57年2月 (No. 19) | 大鳴門橋横トラスウェブフランジ交差部かど溶接溝接施工法確認試験 | 横トラス等に生じる溶接線が180°回転する溶接部の溶接施工法の検討を行なった。 |
| 昭和57年2月 (No. 20) | 主横トラスのかど継手における部分溶け込みグループ溶接の溶接条件選定試験結果報告書 | 板厚が薄く小さな弦材のかど継手の溶接施工法および溶接条件の選定試験。 |
| 昭和57年11月 (No. 21) | かど継手片面自動溶接小型試験タンデムサブマージアーク溶接中間結果報告書 | トラス弦材かど溶接の内面溶接を施工する代りに箱の外側から片面自動溶接により裏波ビードを形成することを目的とした実験 |
| 昭和58年1月 (No. 22) | トラス弦材かど継手内面すみ肉溶接への長尺すみ肉MIG溶接装置“MIGTRAIN”の適用に関する調査実験—（小型試験） | 標題に示す様に弦材内面すみ肉へのMIGTRAINの適用に関してMIGTRAINによる溶接条件等の基礎的なデータを集積するための実験の結果。 |
| 昭和58年2月 (No. 23) | トラス弦材のかど継手内面すみ肉への長尺すみ肉溶接装置“MIGTRAIN”の適用に関する調査実験報告書（その2） | No. 22での結果をもとにMIGTRAINによる溶接部の破面試験およびダイヤフラムスカラップ形状とその走行実験を行った。 |
| 昭和58年2月 (No. 24) | MIGTRAIN 30m 集合ケーブルを用いた連続溶接テスト | 標準タイプは15mしか溶接できないので30mの集合ケーブルを開発しそれを用いての連続溶接の実験を行った。 |
| 昭和58年3月 (No. 25) | 長尺弦材の溶接施工試験—中間報告 | 本四連絡橋の床トラス下弦材とほぼ同寸法の箱型試験体を製作し、MIGTRAINの適用を行うとともにその製作上の問題点を調査した。 |
| 昭和58年4月 (No. 26) | トラス弦材かど継手内面すみ肉溶接への長尺すみ肉MIG溶接装置“MIGTRAIN”の適用に関する調査実験報告書 | 報告書No. 22～No. 25までを集約したもの。 同左パンフレット版標題 “長尺弦材に対するMIGTRAIN適用に関する調査実験” |
| 昭和58年6月 (No. 27) | 床トラス下弦材パイロットメンバー（その2）試験検査報告書 | 岩黒島橋の床トラス下弦材製作に関してのパイロットメンバー製作報告書、なおこの試験体は疲労試験に供された。 |
| 昭和58年7月 (No. 28) | ダイヤフラムの溶接方法とビード外観（部分溶込みの場合） | 主構弦材ダイヤフラムのうち開先を取った溶接部に対する溶接施工方法の検討 |
| 昭和59年7月 (No. 29) | ウェブ、フランジかど溶接におけるすみ肉溶接とグループ溶接の遷移部溶接施工法確認試験 | 主構弦材かど継手において溶接開先がすみ肉↔グループに変化する部分のルート部の健全性を確保する溶接施工法を考案、確認した。 |

表-2 に以上実施した実物大のパイロットメンバーの一覧表を、また図-1~5にその寸法形状を示す。

表-2 パイロットメンバー製作実績一覧表

| | 対象部材 | 製作寸法 | 主要材質・板厚 | 資料番号 | 製作年月 |
|------------|-----------------|----------------|----------------------------------|------------------|----------|
| No. 1 | 大鳴門橋 主構下弦材 | 760×800×20000 | SS41 t _{max} =28mm | No. 1 | S 54. 8 |
| No. 2 | 大鳴門橋 主構下弦材 | 650×800×20000 | HT70 t _{max} =36mm | No. 16 | S 56. 8 |
| ※ No. 3 | 大鳴門橋 主構下弦材 | 650×800×20000 | SM58 t _{max} =45mm | No. 18 | S 56. 10 |
| No. 4 | 岩黒島橋 床トラス下弦材 | 800×1000×24890 | SM50YB t _{max} =22mm | No. 25 No. 26 | S 58. 4 |
| ※ No. 5 | 岩黒島橋 床トラス下弦材 | 800×1000×24890 | SM50YC t _{max} =42mm | No. 27 | S 58. 6 |

※については施工試験

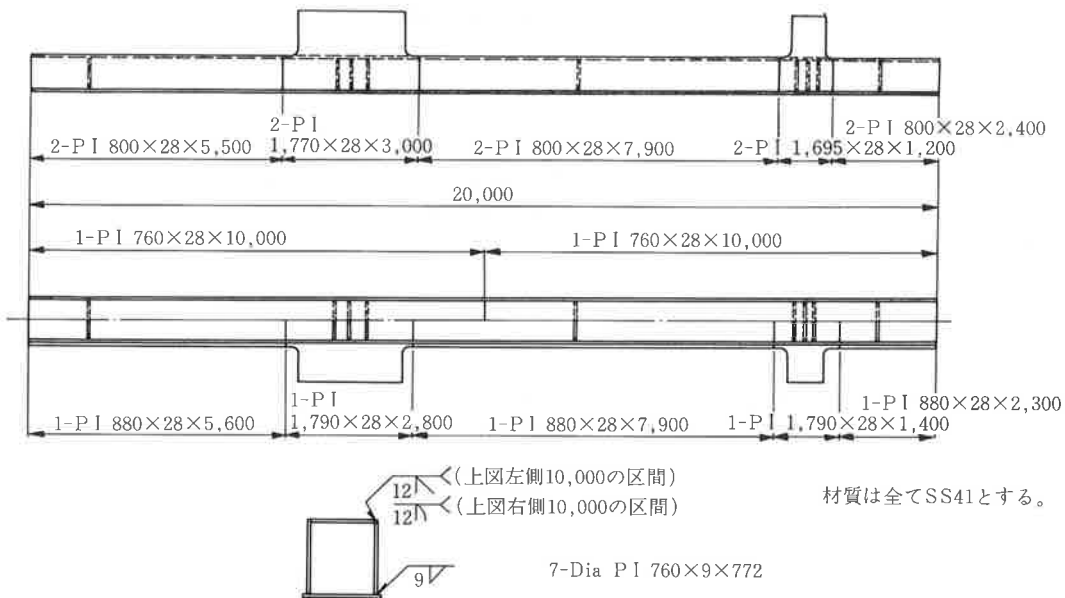


図-1 大鳴門橋主構下弦材 No. 1

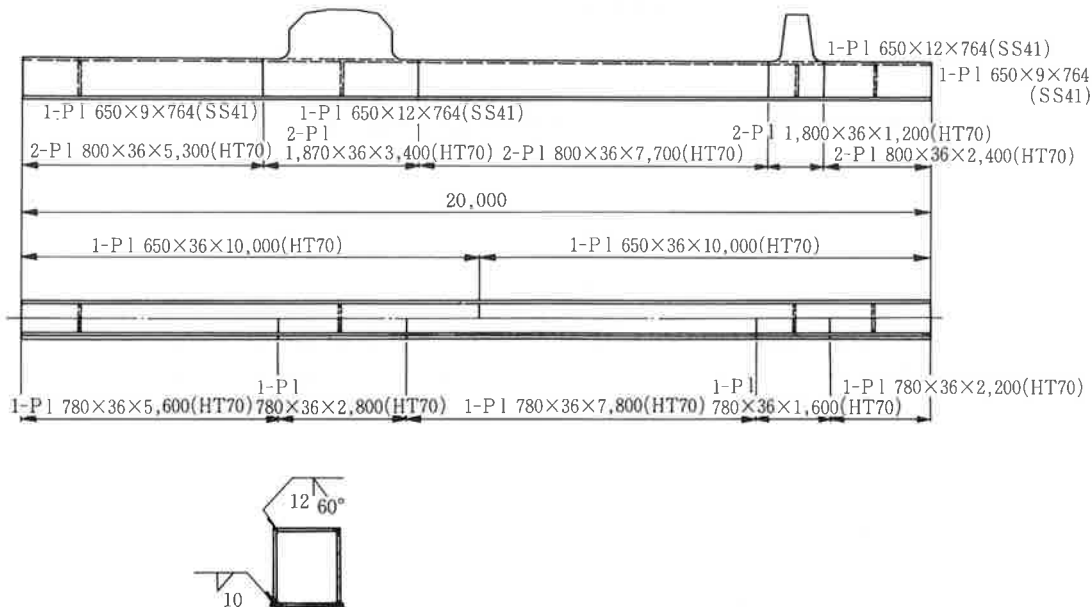


図-2 大鳴門橋主構下弦材 No. 2

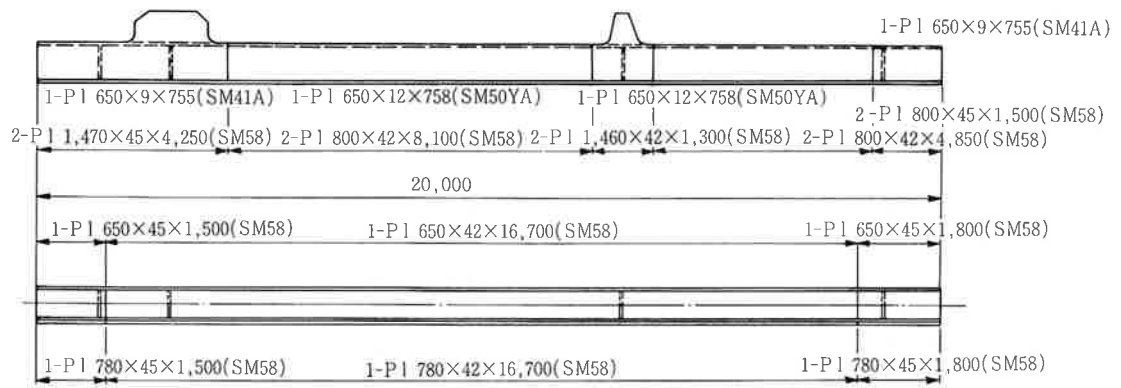


図-3 大鳴門橋主構下弦材(施工試験) No.3

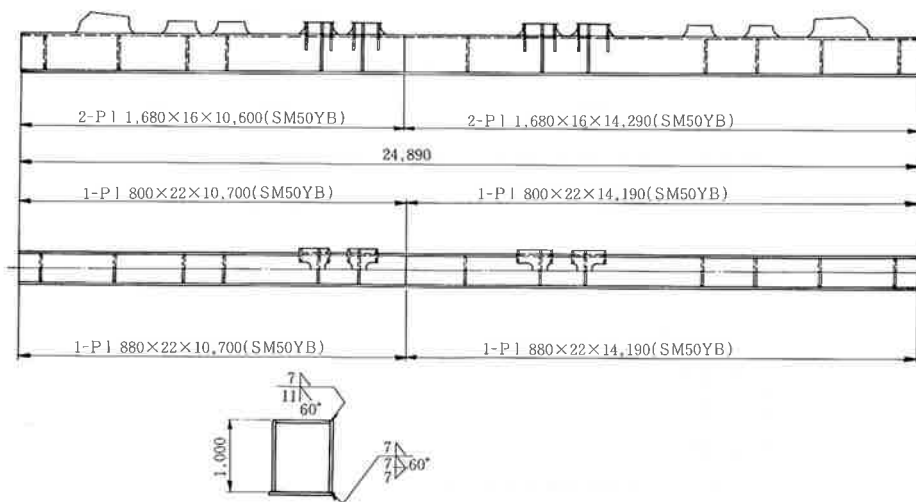


図-4 岩黒島橋床トラス下弦材 No.4

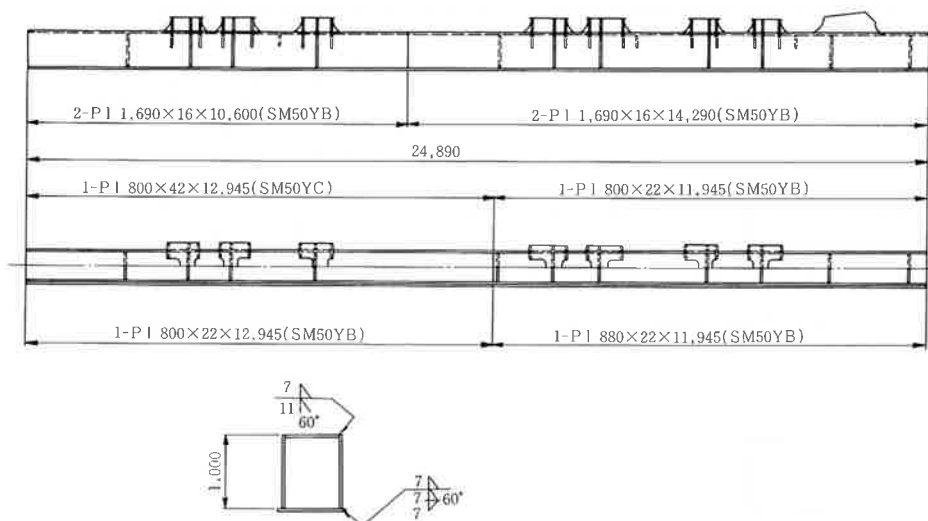


図-5 岩黒島橋床トラス下弦材(施工試験) No.5

3. 各種実験の概要

本州四国連絡橋を構成する各部材のうち、疲労が問題となる補剛トラス上下弦材及び床トラス下弦材の製作要領を決めるにあたっての資料とした各種実験のなかで、主要なものについて以下に概要を述べる。なお、詳細な実験の方法、結果などについては各報告書を参照願います。

3・1 本四連絡橋のトラス弦材かど継手を対象とした部分溶込み溶接部の健全性試験

(1) 実験の目的

本州四国連絡橋公団で実施された補剛トラス大型疲労試験の結果、弦材のかど継手部分溶込みグループ溶接部に対する要求品質の見直しが行われた。すなわち、所定の疲労強度を得るためには、

- 1) 溶込み底部（ルート部）にブローホールなどの微小な欠陥が発生していないこと。
- 2) 溶込み底部の形状が滑らかであること。

などを実現する必要がある。

元来部分溶込み溶接は、剪断強度のみを期待し、のど厚を確保できれば、そのルート部の溶接欠陥はあまり問題とされず、またその欠陥に対する有効な非破壊検査方法もなかったわけであるが、前述の様な疲労強度確保という課題に対し、上記諸条件を満たすような溶接施工条件を確立すべく、本実験を行った。

(2) 実験の内容

調査項目としては、一般部と仮付溶接部に分け、

- 1) 一般部
 - (i) 開先残存
 - (ii) ルート部ブローホール
 - (iii) ルート部スラグ巻込み他
 - (iv) ルート部溶込み線の凹凸
- 2) 仮付溶接部
 - (i) 仮付溶接部の不溶着、欠陥
 - (ii) 開先残存
 - (iii) ルート部ブローホール
 - (iv) ルート部スラグ巻込み他
 - (v) ルート部溶込み線の凹凸

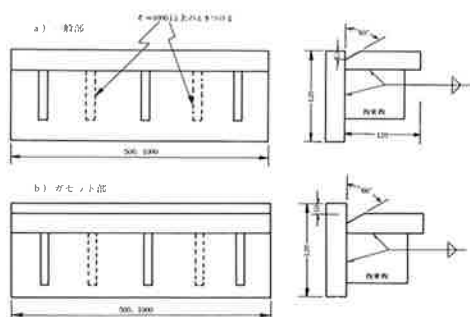


図-6 小型角継手試験片形状

- (vi) ルート部溶込み線の一般部との段差

などとした。

供試材は SM50、SM58、HT70 等を使用し、溶接方法としては、仮付溶接に MIG アーク溶接、本溶接にサブマージアーク溶接と MIG 溶接を検討した。基本的な試験体の形状を図-6 に示すが、開先形状は開先角度が 60° のレ形開先とした。

試験方法は、ビード横断面のマクロ試験と、ビード縦方向の破面試験によった。図-7 に破面試験の方法を示す。

実施した実験の経過の概略を表-3 に示す。

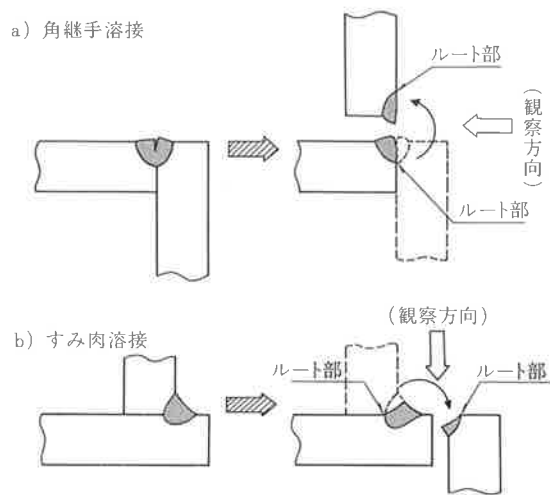


図-7 破面試験方法

(3) 実験の結果

表-4 にこの実験で得られた結果のまとめを示す。この実験を行った段階では、問題となっているかど継手部分溶込み溶接部に対する要求品質がまだ明確でなく、また、設備的にも未確定な要素が多かった。したがって、この表-4 では、かど継手部分溶込みグループ溶接のルート部に発生する微小な欠陥に対し、その溶接施工上の各因子が与える影響について定性的にしか述べていない。まだ、具体的な諸条件が定まってくるに従い、若干の内容の変化もあったが、この実験で得られた結果は、以後の実験を進めるにあたっての方向付けとして重要な役割を果たした。

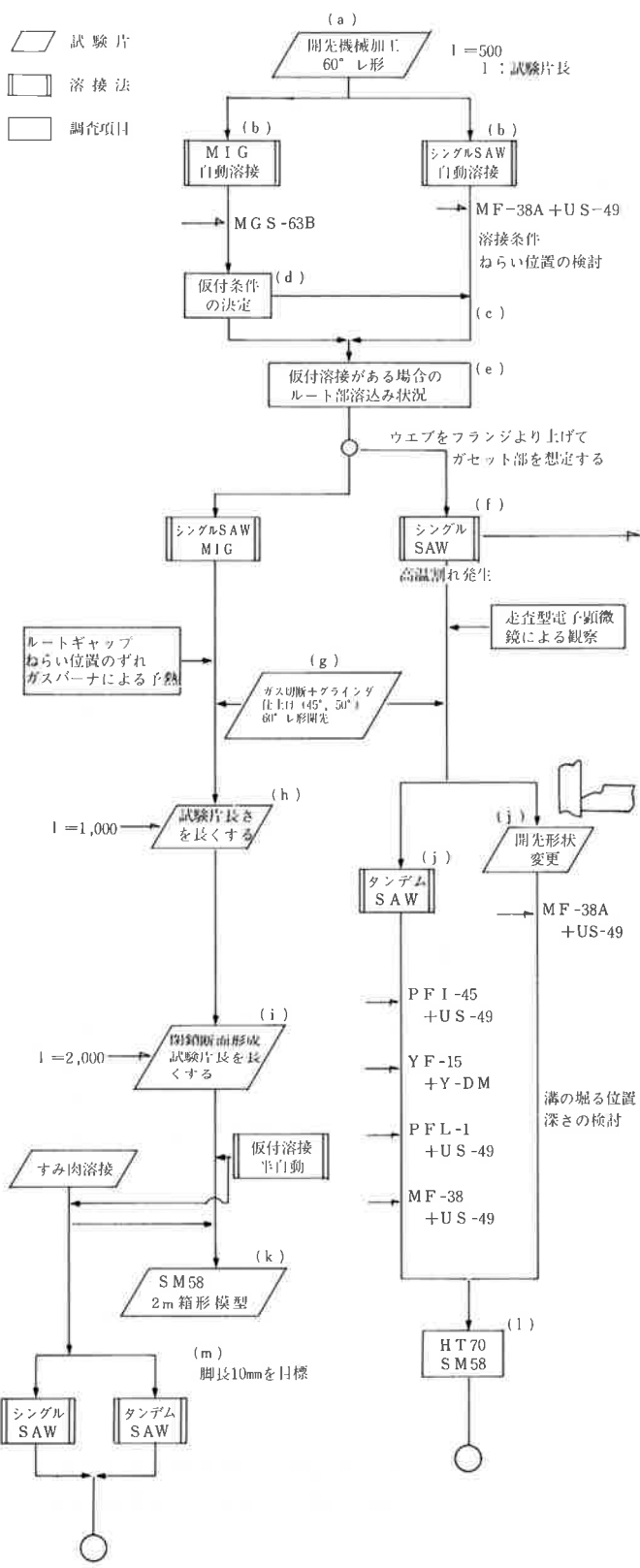
3・2 トラス弦材かど継手の部分溶込み溶接部の欠陥防止対策に対する溶接条件設定の経緯とその結果

(1) 実験の目的

3・1において、かど継手部分溶込みグループ溶接のルート部に発生する欠陥に対しての対策を、いくぶん定性的ではあるが見い出した。

表-3 実験経過のフロチャート

 試験片
 溶接法
 調査項目



(a) 試験材料SM50A

(b) この段階では最良の条件でのルート部の状況を調べる。

(c) 溶込みが深いほどブローホールは少なくなる。
 ○ねらい位置を正確にする
 ○高電流-低電圧

(d) 仮付溶接ののど厚を4mmとする。

(e) 仮付(c)-(d)で溶接すれば仮付溶接の完全再溶融が可能。

(f) 高温割れ発生
 ウェブ上縁を溶かさなことからビード形状が梨形になる。

(g) SAWの場合、ガス切断+グラインダ仕上げでもなめらかなルート部が得られる。

(h) 試験片長1,000mmになるとブローホール0の試験片を作れなくなる。
 (組立精度 ルートキャップの問題)

(i) 完全な閉鎖断面でなく、空気抜き穴をつけているので欠陥に対する影響なし。



(j) 開先断面形状の変更、タンデムSAW法で高温割れ防止の効果がある。

(k) MIG溶接は不安定な要素が多く、ルート部のなめらかさの保証が乏しい。

(l) SM58, HT70の場合、高温割れはほとんど発生しない。

(m) ルート部を健全にするとともにビード表面の外観の良さも要求される。

表-4 かど継手部分溶込みグループ溶接のルート部に発生する欠陥のまとめと対策

| 因子 | パラメータ | 開先残存 | ブローホール | ルート部の凹凸 | 仮付部段差 | スラブ巻込 | まとめ | |
|------------------------|--|--------------------------|--|--|-------------------------------------|-------------|---|--|
| (A)本溶接法 | ○MIG溶接 L 6φ ○SAWシングル L 8φ ○SAWタンデム L 4.0φ T 4.8φ | 影響なし | ○500mmの試験体では発生せず ○1000~2000mmの試験体では直径1mm未満のブローホールが2~3箇所/m程度発生する。 | ○MIG溶接：溶接電流が大きく変動すると小波の凹凸が発生する ○SAW：完全な直線性は出られないが急激な凹凸の変化はない。 | ○仮付溶接のど厚を4mm程度にし、それを完全に再溶融させればよい | 影響なし | ○MIG溶接：溶接条件、ねらい位置等の許容範囲が狭い。 ○SAW(シングル)：溶接条件の許容範囲は比較的広いが、ガセト部に高温割れの問題が残る。そのため開先に特殊な工夫が必要 ○SAW(タンデム)：先行。後行電極の極間距離、ねらい位置を適切に選べば、高温割れの問題解決。 | |
| (B)本溶接条件 〔電流=電圧=速度〕 | ○MIG溶接 380-32-26 420-30-26 | 残存する 残存しない | やや発生する 〔A〕項に同じ | ○比較的真線性あり ○〔A〕項に同じ | ○段差あり ○段差なし | | 適正条件 420A-30V-26cm/min | |
| | ○SAW(シングル) 620-29-27 670-31-30 720-34-34 | 影響なし | やや発生する 〔A〕項に同じ 〔A〕項に同じ | 影響なし | ○一般部で段差あり ガセト部で段差なし 段差なし | 影響なし | 適正条件 720A-34V-34cm/min (但し、高温割れの問題を除く) | |
| | ○SAW(タンデム) L 4.0φ T 4.8φ L 640-28 T 600-32 ~45 | 影響なし | 影響なし | 影響なし | 影響なし | 影響なし | 適正条件 (極間距離30mm) L 640-28 -45 (ねらい位置) T 600-32 | |
| (C)ねらい位置 |  θ : 10~25° a : 0~5mm | | | | | | ○MIG溶接：aが1.5mm以上になると仮付部のルート部が溶込み不良となる。θが小さい(10~15°)とやはりルート部を溶かすことができない。 ○SAW(シングル)：溶込みが大きいためねらい位置の誤差に対して溶込み深さの変動が少なく、また欠陥に対する影響もさして見られない。 ○SAW(タンデム)：高温割れ防止のためにタンデムを用いるとき、後行電極のねらい位置が重要となる。 | 適正ねらい位置 ○MIG溶接 a : 1mm θ : 20° ○SAW(シングル) a : 1~2mm θ : 20° ○SAW(タンデム) L a : 0 θ : 15° T a : 4~5 θ : 10° |
| (D)ルートギャップ |  φ : 0~1.5mm | | | | | | ○MIG溶接：仮付後Sが0.3mm以上ありかつC項のaが1mm以上あると高温割れの発生がある。他の欠陥に対する許容値はこれより大きい。 ○SAW：Sが1mm以下の場合シーリングビードを置くことと影響はほとんどない。シーリングビードを置かないとスラブの巻込みが生じることがある。Sが1mm以上ではシーリングビードを置いても溶着金属の吹出しがある。 (ブローホールに対しては完全密着がよい) | ○MIG溶接で0.3mm以下、SAWで0.5mm以下であればルート部の欠陥に対しほとんど影響ない。それ以上になるとシーリングビードを置く必要があると思われる。 |
| (E)開先閉止 | ○機械加工 ○ガス切筋 +グラインダ | 影響なし | 影響なし (開先精度は1分確保する) | ○MIG溶接：やや影響有り ○SAW影響なし | 影響なし | 影響なし | ○SAWに関しては開先精度が十分であれば問題なし。 | |
| (F)予熱方法 | ○予熱なし ○ガスバーナー ○電気ヒーター | 影響なし | 影響なし (但し完全密閉では調査せず) | 影響なし | 影響なし | 影響なし | ○ガスバーナーで予熱して、水分により開先に赤錆が発生しても、直ちに溶接すれば問題ないようである。 | |
| (G)開先角度 | ○60°レ形 ○50°レ形 ○45°レ形 | SAWで 影響あり 同上 | 60°レ形と同じ溶接条件で溶接すると溶込みが浅くなり影響あり | | | | | |
| (H)開先清浄 | ○組立後2日放置 ○組立直後溶接 | 影響なし | 影響なし | 影響なし | 影響なし | 影響なし | | |
| (I)仮付溶接 (SAWのみ) | ○MIG自動 ○CO ₂ 半自動 | 影響なし | 影響なし | 影響なし | CO ₂ 半自動でやや、なめらかな段差有り | 影響なし | ○ゆとり4mm程度で仮付できるならMIG半自動でも可(MIG自動と同じ) 溶接条件 280A-28V-125cm/min 190A-28V- (半自動) | |
| | | 電流値をある程度高くし、ねらい位置を正確にする。 | ○ルートギャップを0に近づけ溶込み深さを充分に深くし(2~3mm以上)にする。 開先面は完全な金属面とする。 SAWの場合はフラックスをルートギャップ内に入れないようにする。 シーリングビードは効果がある。 | ○開先加工時の開先の直線性をよくする。 溶込み深さを充分にしました、アークを安定に発生させる溶接条件、溶接装置を用いる。 | ○仮付溶接のど厚を4mm程度に押え仮付後溶接のねらい位置を正確にする。 | ○開先精度を高くする。 | | |

(注) 各因子では他因子を最良条件にした場合の結果を示す

その後の実験の方針として考えられるのは、溶接結果に影響を与える各種要因の、実施工に際しての許容範囲を定めることであるが、これらの要因には大きくわけて2種類の性質の異なるものがある。すなわち、溶接装置、溶接条件、溶接材料、開先形状など、溶接施工に先だち、あらかじめ決定しておかなければならない要因と、開先の下地処理、ルートギャップ、組立後の放置時間など、欠陥の発生防止に対し、究極の理想状態はあるものの、実際の施工面では限界の存在する要因である。

これらのルート部の欠陥発生要因は、各々が有機的に結びついており、ひとつの要因をある条件下で定量的に調べても、その条件を変更するとやはり定性的なものになってしまうと考えられる。そこで上記後者の要因については、大鳴門橋補剛桁（側径間）工事の特記仕様書にもとづき、その条件下で、上記前者の要因の適正条件範囲を求めべく実験を行った。

(2) 実験の内容

この実験では、

- 1) 溶接方法の選定と試験片について
- 2) 溶込み深さ（開先残存）について
- 3) ブローホールについて
- 4) ルート部の凹凸について
- 5) ガセット部で発生する高温割れに関しての各種条件の選定

に関して検討を行った。検討に際しては、前項の結果も参考にしている。また、試験方法は前項と同じく、溶接ビード縦方向破面試験とビード横断面マクロ試験によった。そして、調質鋼を用いた補剛トラス上下弦材の、かど継手部分溶込み溶接の基本的な溶接条件を確定した。

(3) 検討の結果

検討の結果を簡単にまとめると、以下の様になる。

a) 溶接方法

ルート部の欠陥に対し、理想的な状態で溶接すれば、MIG溶接、サブマージアーク溶接では顕著な差がないことから、欠陥の発生原因となる条件に余裕度が大きく、使いなれているサブマージアーク溶接を溶接方法として採用した。また、高温割れに対する検討の結果から、タンデムサブマージアーク溶接とした。その他は次の通り。

溶接方法：タンデムサブマージアーク溶接

溶接機：SWT41改造型(台車走行)

ワイヤ：先行電極 4.0φ

後行電極 4.8φ

フラックス：溶融形 (20×200)

b) 試験片（開先状況）

完全な金属面とし、ゴミ等の混入を防ぐため

また、仮付部と一般部の溶込線の凹凸を防止するため、シーリングビードを置く。

c) 溶接部の欠陥について

ルート部のブローホールについては、表-4の内容を再確認した。溶込み線の凹凸については、溶接速度を早くすれば良好な結果が得られることが判ったが、そうすることにより、高温割れの危険性も伴うことも判った。

d) 溶接条件

実験の結果、溶込み量が十分でルート部の欠陥の発生がなく、溶込み線が滑らかで、かつ、高温割れの発生しない溶接条件が得られた。その詳細については、4項を参照のこと。

この溶接条件を決める最大のポイントは、深溶込みでありながら高温割れの発生を如何に防止するかということにあった。

溶接条件を決めるにあたり、タンデムサブマージアーク溶接を用いることにより、深溶込み溶接で発生する高温割れを防止する方法として以下に述べるようなもの考えた。

先行電極による溶接ビードの中央の柱状晶の一部を、溶接金属が凝固する前に移行電極による溶接金属中に成長させ、先行ビードの割れを未然に防止する。かつ後行ビードの中心は、先行ビードの中心からずらし、またその凝固方向をできるだけ鉛直に近くして、ビード表面の幅(W)を広くし、その結果、後行ビードの柱状晶の会合部をビード表面近くを持ってくる。この方法により、最終凝固がビード表面近くで生じるため高温割れ発生防止に効果があると考えた。写真-1に、そのビード横断面マクロ写真と模式図を示すが、このマクロ組織を得ることにより、実際に高温割れの発生しない溶接条件を見出した。

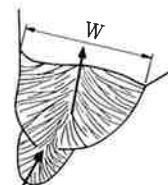


写真-1 目標とするビード横断面マクロ形状

3・3 ダイヤフラムすみ肉溶接の施工法に関する検討
(端ダイヤフラムコーナー部、中間ダイヤフラムまわし溶接部の施工方法)

(1) 実験の目的

補剛トラスの疲労強度を低下させるもうひとつの要因として、ダイヤフラムのすみ肉溶接の趾端部の形状があることは、良く知られている。

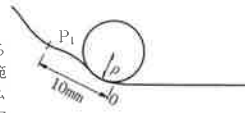
ところで、端ダイヤフラムについては、そのコーナー部では溶接線が3方向より集中し、かつ溶接方向が直角に変わるため、スラグ巻込み等の溶接欠陥が発生しやすい傾向にある。また、中間ダイヤフラムのまわし溶接部も、端ダイヤフラム同様、かぎられた空間での溶接のため、そのビード形状、特に趾端部の形状が悪くなることが予想される。そこで、これらコーナー部、まわし溶接部も含めて、全般的なダイヤフラムの溶接施工法について検討を行った。

(2) 実験の内容

溶接材料については、その最終層もしくは弦材のウェブ、フランジに接する層に、趾端部の形状が滑らかになる溶接棒（趾端形状改良棒）を用い、他の溶接棒と比較検討した。趾端形状の計測には、シリコン系の印象材を用いてビードを型採りし、20倍の拡大投影器で観察した。趾端形状の測定要領を図-8に示す。また、コーナー部、まわし溶接部については、種々の方法、手順により、実際のダイヤフラムを想定した小型の試験体を溶接し、その趾端形状の他に、断面マクロ試験を実施して、溶込みの状態、欠陥の有無を調査した。

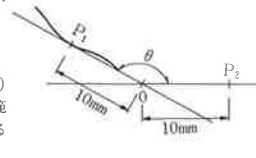
① ρ の測定要領

20倍の拡大投影上でビード止端部(O)からすみ肉ビード側に10mm離れた点 (P₁) の範囲内に各種半径の半円弧を描いたフィルムをあて、最も適当に合致したと思われる円弧の半径とする。



② θ の測定要領

ビード止端部(O)からすみ肉ビード側(P₁)及び母材側 (P₂) にそれぞれ10mm離れた範囲内でO~P₁、O~P₂を平均的に通過する直線のなす角度



③ d の測定要領

母材の近似線より凹んでいる深さの値

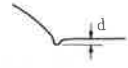


図-8 趾端形状測定要領

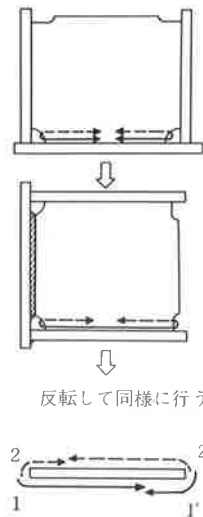
(3) 検討の結果

すみ肉溶接の趾端部の形状については、趾端形状改良棒を用いることにより、充分滑らかなものが得られることが確認された。また、コーナー部の施工については、MIG半自動溶接を先に一層溶接することで、まわし溶接部については、2人1組となって、まわし溶接部で同時にアークを発生させる2名対面方式で、欠陥のない良好な溶接部が得られた。

表-5 に採用したダイヤフラムの溶接施工条件を示す。

表-5 ダイヤフラム溶接施工条件

a. 中間ダイヤフラム



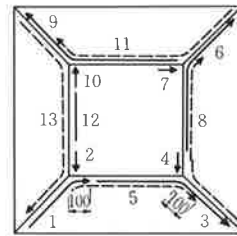
反転して同様に行う

(1,2) (1',2')は同時スタートを行う



| 層数 | 銘柄 | 径 | 電流 |
|----|--------------------|------|----------|
| 1 | L-55 L-60 | 5φ | 230~250A |
| 2 | LBF-52A LBF-62A | 5.5φ | 240~260A |
| 3 | 〃 | 〃 | 〃 |

b. 端ダイヤフラム



→ MIG溶接
--- 手溶接 (LBF-52A) (LBF-62A)

溶接は1~13の順で行い、2,4,7
10は立向下降、他は全て水平すみ
肉溶接を行う。

MIG溶接は手溶接に先立ち仮付溶
接間にシーリング溶接する。

| | 銘柄 | 径 | 電流 | 電圧 |
|-----|--------------------|------|--------------|------|
| MIG | YM-28 YM-18 | 0.9φ | 170 ~190A | 27 V |
| 手溶接 | LBF-52A LBF-62A | 5.5φ | 240 ~260A | — |

3・4 トラス弦材部分溶込みかど溶接の補修溶接方法についての検討

(1) 実験の目的

かど継手部分溶込みグループ溶接のルート部に発生する微小欠陥については、先に述べたように、ほぼその発生防止対策を確立した。しかしながら、実施工においては、実験室的には把握しきれないトラブルにより、溶接の中断や補修を必要とする欠陥の発生が皆無であるとはいえない。そこで、このような場合を想定して、補修溶接後もそのルート部の溶込み線がなめらかであるような補修方法について検討した。

(2) 実験の内容

補修溶接の対象として、初層溶接が中断した場合と、非破壊検査により補修が必要とされる欠陥が発生した場合に分けて検討を行った。補修方法としては、以下のように考えた。

Case 1 初層溶接が中断した場合

Case 1-a 中断後、そのビードを整形し、中断以前の位置まで戻って、サブマージアーク溶接を再スタートする方法。

Case 1-b 中断後、とりあえずそこは放置しておき、少し前方より溶接を続け初層溶接を完了する。その後中断した部分をはつ

り取り整形し、手溶接にて補修する方法。

Case 2 溶接完了後、補修の必要のある欠陥が発見された場合。

Case 2-a 局所的な欠陥の補修

アークエアガウジングにてルート部が見えるまではつり取り、手溶接にて補修する。この方法での補修長さの限界は手溶接棒1本で溶接できるまで約10cm程度である。この方法はCase1-bと同一である。

Case 2-b 連続的な欠陥の補修

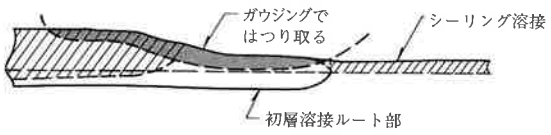
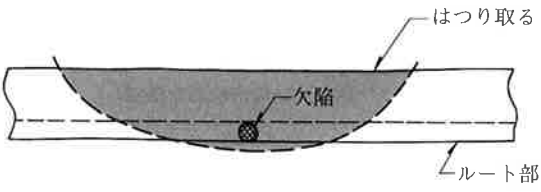
アークエアガウジングにてルート部が見えるまではつり取り、シーリング溶接した後にサブマージアーク溶接で補修する方法。

以上のような場合を想定し、小型試験体を用いてその各々の方法について実験を行った。調査は、まず破面試験を行い、その後、ウェブ側（開先面のない方）を溶接線長手方向に縦マクロ試験を実施した。溶接材料、溶接条件等は、本来のかど継手部分溶込み溶接と同じとした。

(3) 検討の結果

補修溶接の実験の結果、上記のどの方法においても、新たな欠陥を生ずることなく、また、溶込み線の急変もなく、充分実用可能であることが確認された。各Caseの補修要領を表-6に示す。

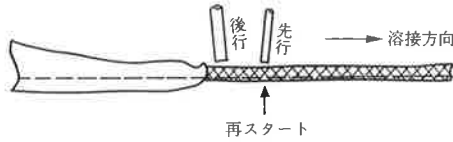
表-6 補修要領

| | 初層溶接中断の場合 Case 1-a | 欠陥の補修 Case 2-a (局所的欠陥) |
|------|--|---|
| 作業手順 | <p>① 溶接が中断する</p> <p>② 先行溶接の先端部の掘れた所をMIG半自動溶接で肉盛溶接をする</p> <p>③ ②で肉盛溶接したビードおよび中断した本溶接ビードのクレータ部をアークエアガウジングにてはつり取る。なおこの時、はつり取る深さおよび長さについては、初層溶接による溶込み深さを考慮してはつる必要がある。</p>  <p>④ はつり取った箇所から初層溶接条件で溶接を再開する。</p> | <p>基本的にはCase1-bと同じであるが、超音波探傷試験での欠陥大きさ、欠陥位置を見つけ出す為に一回のはつり深さを小さくするとともに、はつり深さに対する目安がないので注意を要する。</p> <p>① 欠陥をはつり取る。</p>  <p>② 手溶接により、はつり取った部分を充填溶接する。</p> |

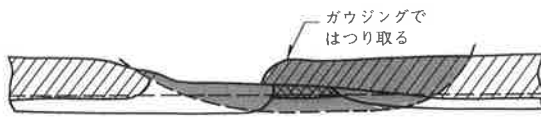
作業手順

Case 1-b

- ① 溶接が中断する。
- ② 中断点より少し前方から再スタートする。



- ③ つなぎ目をアークエアークウジングではつり取り整形する。まずシーリング溶接のルート部を見だし、その前後のルート部がなめらかに続くようにはつり取る。

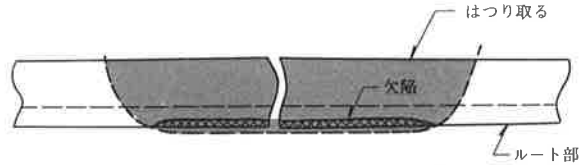


- ④ 手溶接により、はつり取った部分を充填溶接する。

Case 2-b (連続的欠陥)

この場合はa)の場合のように手溶接で補修すると途中で棒継が発生するような長さを想定している。そのために、補修溶接方法としてはタンデムサブマージアーク溶接を採用する。

- ① 欠陥をはつり取る。



- ② ルート部が見えるまで慎重にはつり取り、現われたルート部をシーリング溶接を行う。
- ③ はつり取った部分とそうでない部分との溶込み線がなめらかに移行するように、はつり取った部分の両端をアークエアークウジングにより整形する。

- ④ 初層溶接条件で補修溶接を行う。



3・5 トラス弦材部分溶込みかど継手の、溶接結果に与えるルートギャップの影響

(1) 実験の目的

3・1項の実験結果において、ルートギャップに関しては、サブマージアーク溶接で0.5mm以下であれば、ルート部の欠陥にほとんど影響なく、それ以上になれば、シーリング溶接する必要があると述べている。一方、大鳴門橋の特記仕様では、このルートギャップは、仮付溶接後に0.5mm以下とすると述べられている。

上述の表現は、ほとんど同一であるが微妙に異なっている。そこで本実験では、3・2項において確立した溶接機をも含めた実施工に適用する溶接施工条件に対し、再度このルートギャップの問題に関し、より定量的に検討を行った。

(2) 実験の方法

溶接結果に与えるルートギャップの影響を調査するため、図-9に示す小型試験片を作成した。すなわち、ルートギャップは図に示すように、板厚0.5mmのステールテープを数枚はさみ込んで確保した。そして両端を仮付後、中央部でルートギャップを測定した後、シーリング溶接した。設定したルートギャップは、0.3~1.6mmである。また、図-9に示した通常タイプのルートギャップの他に、図-10に示すテーパーギャップ付の試験体でも実験を行った。通常タイプのルートギャップは、ギャップの開き方がルートフェイス全体にわたりほぼ均一なのに対し、このテーパーギャップは、ルートフェイスの下端または上端において、ウェブとフランジが密着している点が大きく異なる。この場合のギャップ量も、スペーサーをはさみ確保した。また図-10の右の試験体では、ギャップ内のガスの影響をみるため、開先と反対側を全線シーリング溶接した後に、開先側面をシーリング溶接、本溶接した。

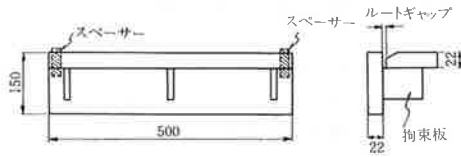


図-9 ルートギャップ試験体

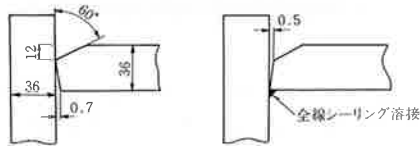


図-10 テーパーギャップ試験体

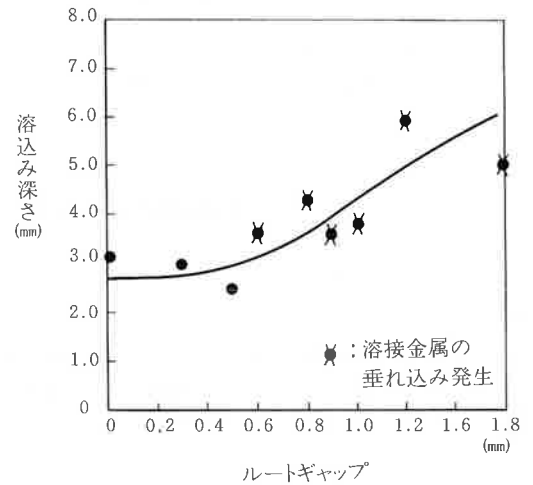


図-11 ルートギャップと溶込み深さの関係

(3) 実験の結果

本溶接において使用する溶接条件は、仮付、シーリング溶接を完全に再溶融するように設定している。

したがって、ルートギャップが大きいと、ルート部に溶接金属の垂れ込みが見られるようになる。図-11は、実験結果をもとに、ルートギャップと溶込み深さの関係を整理したものであるが、ルートギャップが0.5mmを超えると、溶け込み深さが深くなりはじめ、また同時に溶接金属の垂れ込みも発生しだしている。これは、ギャップ量の増加にしたがい、著しく増大していく。また、ルート部でのアーク及び溶融プールの安定にかけ、ルート部の凹凸は概して悪いものになっている。

ルート部に発生するブローホールに対しては、通常タイプのルートギャップはほとんど影響は認められない。しかしテーパギャップに関しての実験では、ルートフェイスの下端がウエブと密着しているタイプで、小さなブローホールが多発した。これはギャップ内で膨張したガスが逃げ場がなく、溶接金属内へ入り込み、ブローホールとなったものである。

以上簡単にまとめると、溶接金属の垂れ込みがルートギャップの許容値を決め、その値は0.5mmであることを再確認した。また、テーパギャップについて、下側が密着した状態では小さなブローホールが発生しやすいので、開先加工時のコバ面の直角度を正確にする必要がある。これに関しては、当社では機械加工を行い、十分な精度を得るように作業要領を定めた。

3・6 長尺弦材に対するMIGTRAINの適用に関する調査実験

(1) 実験の目的

通常、箱型断面トラス材の材片集成には、すみ肉または部分溶込みグループ継手が用いられ、それに箱内面からのすみ肉溶接が要求される場合がある。本州四国連絡橋の吊構造および大型トラス橋の床トラス下弦材は長さ20数メートルの長尺部材で、鉄道荷重が直接载荷されるため、曲げ、ねじりを受けるので、内面すみ肉溶接を施工することになっている。

この内面すみ肉溶接の施工は、現在一般に作業者が箱の内部に入って溶接しているが、箱断面の寸法、予熱温度等の制約により、溶接作業が困難となる場合も予想される。また閉鎖断面内での悪環境による精神的、肉体的圧迫感のもとでの溶接の品質も問題になると考えられる。

以上のことからトラス弦材の内面すみ肉の溶接施工に対し、長尺すみ肉自動MIG溶接装置“MIGTRAIN”の適用を考えた。そのため“MIGTRAIN”を用いるにあたっての問題点の抽出および適用の可能性について検討を行った。また、実物大のトラス弦材模型を製作し、実部材への適用性の確認も行った。

(2) MIGTRAINの概要

MIGTRAINの特徴は、その形状が細長いため狭隘な箇所の長尺すみ肉溶接ができるということである。走行は4個のマグネットローラーで鋼板に密着しながら行う。また、プッシュプルにより集合ケーブルの中をワイヤを送給させている。使用条件としては、水冷型溶接電源を用い、シールドガスはAr80%+

CO₂ 20%の混合ガスを使用する必要がある。図-12にMIGTRAINの装置構成、図-13に装置の外形を示す。

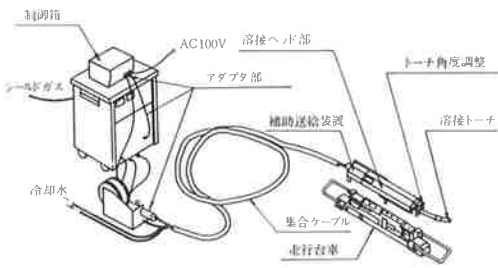


図-12 装置構成

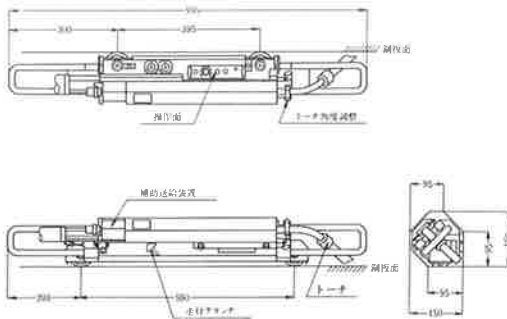


図-13 装置外形図

(3) 検討の内容

実験は大きくわけて3段階で実施した。まず、基本的な溶接条件を見出すための基礎的な実験、その次に、実施工への適用可能性を調査する実験、そして最後に実物大モデルでの最終確認試験である。

基礎試験ではT字形に組立てた長さ1~2mの小型試験体を用い、使用溶接電源の検討、ワイヤねらい位置の決め方の検討など、本当に基本的な調査を行った。その後、所要の脚長を得るための溶接条件を求めた。脚長は6mm、7mm、8mmとし、ビード横断面マクロ試験により、溶け込み状態等を調べ、また破面試験も行った。

次に適用可能性の試験としては、溶接線の傾斜の溶接結果に及ぼす影響、MIGTRAINが支障なく通過できるスカラップの形状などを調査した。また、実際に30mの溶接線を連続溶接したときの溶接ビードの変化、コンタクトチップの損耗状態、ノズルへのスパッタの付着状況などを調査した。その他に、長さが30mにもなる集合ケーブルの処理方法など周辺機器についても検討を行った。

以上の様な実験結果をふまえ、MIGTRAIN適用実験の最終段階として、実物大の長尺弦材模型を製作し、溶接施工試験を行った。この施工試験では、前述したMIGTRAINの実部材への適用性の確認の他に、比較的薄板の長尺弦材が外面かど溶接、内面す

み肉溶接およびダイヤフラムの溶接などにより、どの様に、またどの程度変形するか、などを調査した。図-14に、この試験体の製作フローチャートを示す。

(4) 検討の結果

調査、検討の結果の概略を以下に示す。

a) 溶接条件

脚長6、7、8mmの標準溶接条件を表-7に示す。また溶接にはアークの安定、スパッタ防止等の点からパルスアーク方式を用いることにした。

パルスアーク方式とは、図-15に示す様に、平均電流は低いがワイヤ端溶融塊の生成に応じてパルスの電流を増し、溶滴移行をスムーズに行わそうとするものである。

表-7 溶接条件

| 脚長 | 電流(A) | 電圧(V) | 速度 cm/min | その他 |
|------|---------|-------|-----------|----------|
| 6 mm | 240~260 | 30~32 | 46 | パルスアーク方式 |
| 7 mm | 240~260 | 30~32 | 38 | 〃 |
| 8 mm | 240~260 | 30~32 | 30 | 〃 |

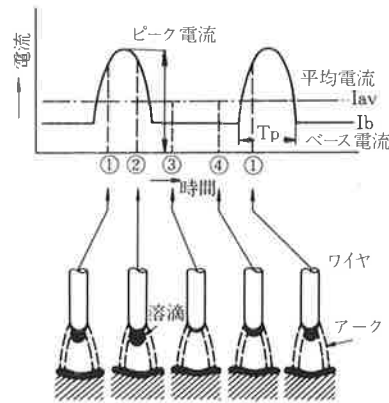


図-15 パルスアーク方式

b) 溶接線の傾斜

登り勾配、下り勾配各々7.5%まで実験を行ったが問題はなかった。

c) スカラップの形状

図-16に示すスカラップ形状で問題なくMIGTRAINが通過することを確認し、実施工に用いることとした。

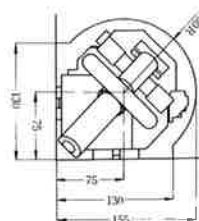


図-16 スカラップ形状

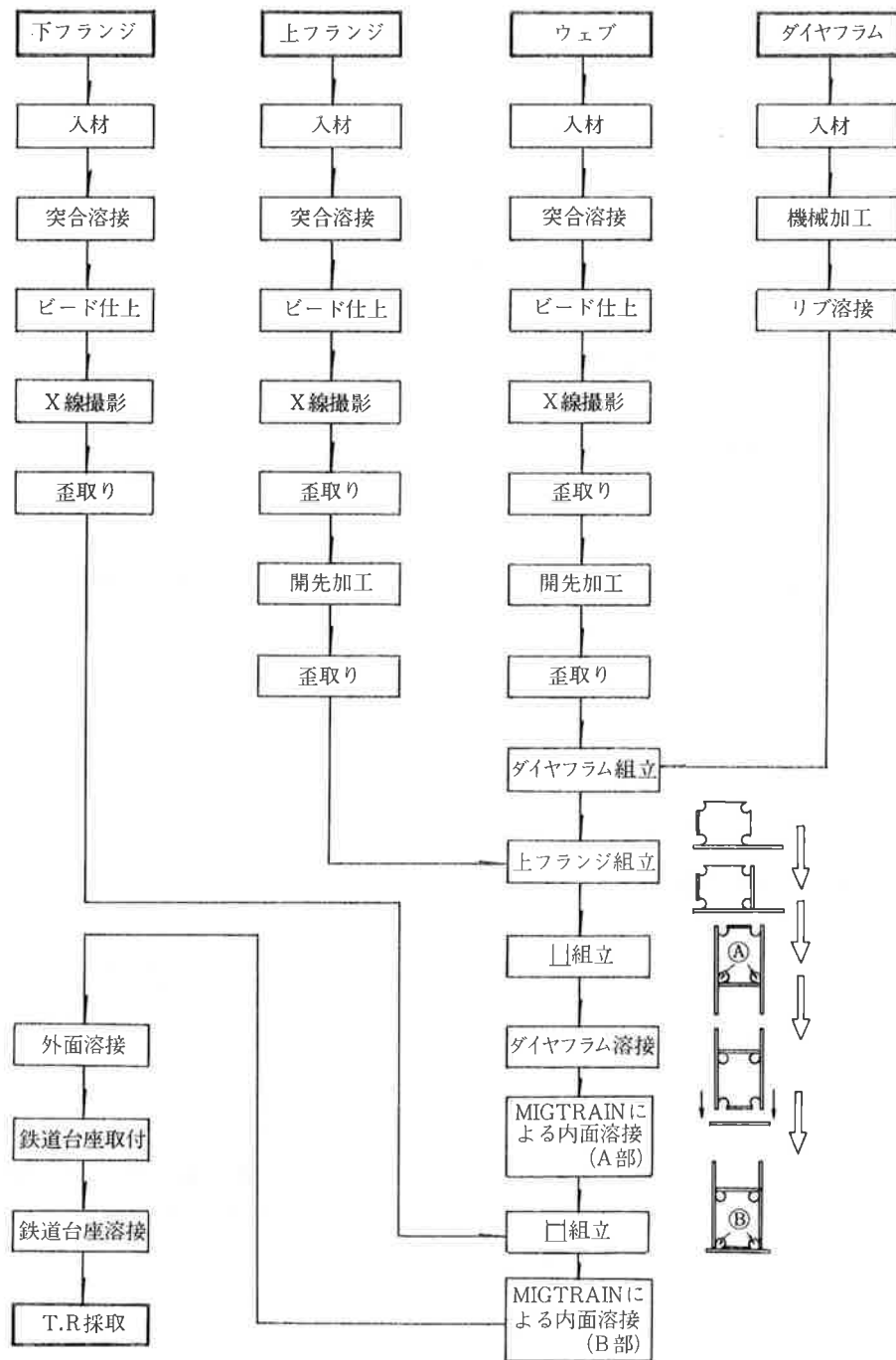


図-14 長尺弦材の溶接施工試験体製作フローチャート

d) 30m集合ケーブルの処理

図-17に示すケーブル巻取装置を考案した。この装置の特徴は、2台分のMIGTRAINの集合ケーブルを処理でき、また2台分の溶接電源およびガスポンペを搭載していること、そしてMIGTRAINの走行系に負荷をかけない様に、回転は駆動モーターを設け自力で行っている点である。

e) 溶接施工試験のまとめ

実物大の溶接施工試験体にMIGTRAINを適用した結果、30m集合ケーブルを装着したMIGTRAINは、それまでの検討結果を反映し十分に長さ20数メートルの弦材の内面すみ肉溶接の施工に適用できる

ことが確認された。

MIGTRAINを用いて施工することに対するメリットとして、まず第一に2台で左右同時に連続溶接が可能であるため、作業環境が悪いにもかかわらず、溶接開始から終了まで1時間強しかかからず作業能率が良いこと、第二に自動溶接であるので、全長にわたって均一な溶接ビードが置けること等が確認された。また、この溶接施工試験体は比較的薄板なので、大きな変形が予想されたが、横曲りで4mm/25m、ねじれで6mmと、その値は比較的小さなものであった。これも自動溶接による左右同時溶接の結果であると考えられる。

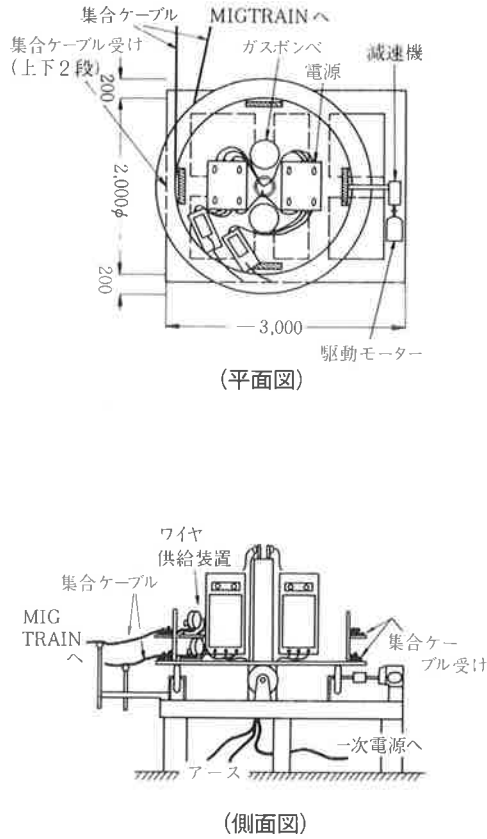


図-7 30m 集合ケーブル巻取装置

4. 補剛トラス上下弦材の製作要領



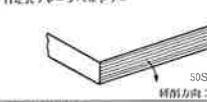
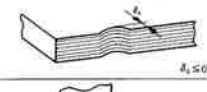
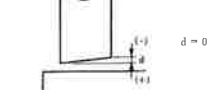
前項までに述べた、小型試験による基本的な実験および、中型・大型の実物大試験体によるより実施工に近い実験から得られた結果をもとに、補剛トラス上下弦材の製作に要求されている品質を満足させ得る製作要領を作成した。

本州四国連絡橋の補剛トラス上下弦材の製作に関する要求品質、品質保証対象、管理項目とそれらに関する作業要領および管理要領を表-8に示す。ここに示す内容については、大鳴門橋をはじめ当社における本四連絡橋の主構上下弦材の製作において厳重に守られている。

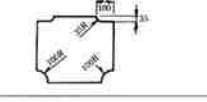
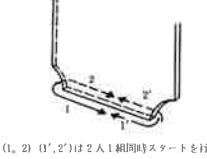
表-8 主構上、下弦材の作業要領および管理要領

1 疲労を考慮して調査高張力鋼かど継手のルート部は健全でなければならない
 (1) ルート部の完全溶融 (取付ビード等の完全溶融)
 (2) ルート部の微小欠陥の防止
 (3) 融合線のなめらかさ

| 品質保証対象 | 管理項目(統一管理基準) | 作業要領及び管理要領 |
|---|--------------|--|
| (1) 部分溶け込みかど継手の完全溶融 | | |
| ① 開先形状 | | |
| ② 溶接方法 | | ノンデフメツメツメツメ溶接 |
| ③ 溶接材料 | | US-49 (L:4.0φ, T:4.0φ) +MF-38A(20×200) |
| ④ 溶接条件 | | 組立条件 L730A-32V T820A-38V 50cm/min |
| ⑤ ワイヤ角度 | | ねらい角 L:16~18° T:14~15° 後退角 L:10° T:10° |
| ⑥ 初解ワイヤねらい位置 | | |
| ⑦ 深い位置 | | |
| ⑧ 板付溶接、シーリング溶接 (のど厚 4~5mm) | | MAG F自動 Y3L-IN 0.9φ (Ar80%+CO20% 20f/min) 170~190A 27~28V ビードが当たるときはブラインダーで除去する |
| ⑨ 電流、電圧の安定化 | | 本と継手溶接 1500KVA以下専用電源の使用 |
| ⑩ 溶接溶接 (継手中途でアークを絶たない(材料)) | | 溶接機を強材フランジ上にのせる |
| (2) 部分溶け込みかど継手ルート部微小欠陥の防止 (2-1) 開先部下地処理 | | |
| ① 開先加工 (溶し込みフランジ) | | ガス切断 開先部上後クラインダー 目を溶接線と平行にする。 |
| ② ウェブ (立根) かど継手部のプライマー除去 | | 自走式ブレンベルトソー 径方向: 横軸方向 表面精度: S0.5以下 |
| (2-2) シーリング溶接ルート部への異物の混入の防止 | | |
| ① シーリング溶接の時期 | | 組立溶接 (取付溶接) 完了後直ちにシーリング溶接を行う |
| ② 溶接条件 (のど厚 4~5mm) | | A(1)②と同じ |
| (2-3) ウェブとウェブG=0指向 | | |
| ① 開先部の小径 (ウェブ) | | ウェブかど継手線上の小径を測定し 0.5/500以下 |
| ② 開先角変形 | | 0.3/500以下 |
| ③ はめ込みフランジのルートフェースの鉛直度 | | 機械加工後 ブラインダー仕上 |
| ④ 溶し込みフランジのはめ込み代 | | フランジ幅精度 ±0.3 ダイヤ幅精度 ±0.3 中間ダイヤ +1.0 端ダイヤ +0.5 ダイヤ四角機械加工 |
| ⑤ 溶し込みフランジの平面度 (ルートフェースの直線度) | | 平面度 上記形状をこえる場合矯正 |
| ⑥ ウェブ板継ぎ全盛仕上の母材削りすぎの防止 | | 全盛相対比 1.1~矯正→直時仕上 δc < 0.5mm (一般部) δc ≤ 0.3mm (溶接部を除く) |
| ⑦ ウェブかど継手部のプライマー除去時の残留小液 | | δc ≤ 0.3mm |

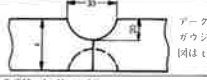
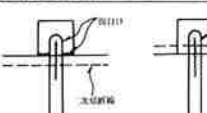
| 品質保証対象 | 管理項目(統一管理基準) | 作業要領及び管理要領 |
|---|---------------------------|---|
| (2-3) | ⑥ 落下込みフランジの幅寸法 |  <p>落下込みフランジ</p> |
| ⑬ すみ肉溶接など継手のルート部の完全溶融 | ① 溶接方法 | ガス切断面を機械的削及び経路後フランジ幅を測定しワイヤ幅寸法にフィードバックする。 フランジ幅精度 ±0.3mm |
| | ② 溶接材料 | US-49 (4.0φ) +MF-38A (70×100) |
| | ③ 溶接条件 | 450A-32V-40cm/min |
| | ④ ワイヤのねらい及び位置 |  <p>強い突戻 ピーチム</p> |
| | ⑤ 戻付けシーリング溶接 | MAG半自動溶接 YM-18 0.9φ Ar80%+CO ₂ 20% 170-190A 27-28V のど厚4~5mm |
| | ⑥ 電流、電圧の安定化 | A(1)⑤と同じ |
| ⑭ すみ肉溶接など継手ルート部微小欠陥の防止 (4-1) 閉先部下地処理 | ① ウェブ端面の切断ドラグラインの除去 |  <p>50S以下 傾斜方向: 傾斜方向</p> |
| | ② ウェブ及び下フランジかど継手部のプライマー除去 | A(1)①②と同じ |
| (4-2) シーリング溶接 (ルート部への異物の混入等の防止) | ① シーリング溶接の時期 | 1.1 組立完了後(戻付け溶接完了後)直ちにシーリング溶接 |
| | ② シーリング溶接条件 | A(2)③と同じ |
| (4-3) ルートギャップ G=0指向 | ① 下フランジ側板の小波 | 0.5mm/500mm以下 |
| | ② 板端の肉変形 | A(1)②③と同じ |
| | ③ ウェブ端面の切断ドラグライン除去時の小波 |  <p>$d_1 \leq 0.3$</p> |
| | ④ ウェブ端面の鉛直度 |  <p>$d = 0$ $d_1 \leq 0.3$ $d_1 \leq 0.5$</p> |
| | ⑤ プライマー除去時(下フランジ側)の傾斜小波 | A(2-3)④と同じ |

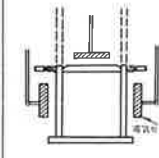
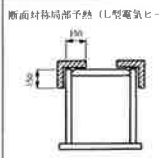
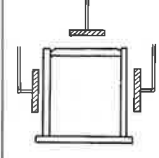
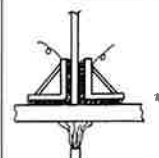
Ⅱ 疲労を考慮して応力面角方向のダイヤフラム等のすみ肉溶接のビードは止端が滑らかにならなければならない。

| 品質保証対象 | 管理項目(統一管理基準) | 作業要領及び管理要領 |
|--------------------|--------------|---|
| (1) ダイヤフラムのすみ肉溶接 | ① ダイヤフラムの形状 |  |
| ② 本格接順序(下向水平)出点ダイヤ | ① 本格接順序 |  <p>(L, 2) (1', 2')は2人1組同時スタートを行う。</p> |
| | ③ ビード外観 | 標準写真による。 |


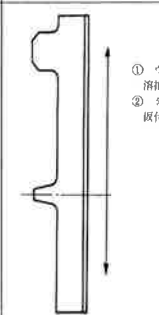
Ⅲ 溶接部には割れ等の溶接欠陥があってはならない。

- (1) 高温割れ防止
- (2) 低温割れ防止
- (3) その他の有害欠陥の防止

| 品質保証対象 | 管理項目(統一管理基準) | 作業要領及び管理要領 |
|----------|----------------------------------|---|
| (1) 板継溶接 | ① 閉先形状 |  <p>デークエア ガウジング加工 図は t=42の場合</p> |
| | ② 戻付け溶接 | 手溶接 L-60 4.0φ |
| | ③ エンドタブの取付要領(製品の自由端に戻付け溶接部を残さない) |  |

| 品質保証対象 | 管理項目(統一管理基準) | 作業要領及び管理要領 |
|---------------|------------------|---|
| (1) 板継溶接 | ④ 予熱 | 戻付け時: ガスバーナー 本溶接時: 電気ヒーター 温度確認: 電気ヒーター(101℃) ガスバーナー: 温度チェック(218℃) **※温度確認: 温度チェック(218℃) |
| | ⑤ 本溶接材料と溶接条件 | シリング半自動溶接 40タンデムワイヤ溶接 US-49(4.0φ)+MF-38A(20×200) 入熱: 70KJ/cm以下 650-680A 32-40V 25-40cm/min |
| (2) 部分溶接みかど溶接 | ① 本溶接時の予熱 |  <p>自定式電気ヒーター+ガスバーナーによる補助予熱(格点型)</p> <p>電気ヒーター 400W×600L 150KW(1個)×6枚×3組</p> |
| | ② 戻付けシーリング溶接時の予熱 |  <p>断面材移局部予熱(L型電気ヒーター)</p> <p>150W×300L</p> |
| (3) すみ肉など溶接 | ③ 本溶接時の予熱 |  <p>自定式電気ヒーター+ガスバーナーによる補助予熱</p> <p>ガスバーナー</p> |
| | ① 戻付け溶接、本溶接時の予熱 |  <p>電気ヒーターとガスバーナー</p> |

Ⅳ 部材寸法精度は互換性を満足させるものでなければならない。

| 品質保証対象 | 管理項目(統一管理基準) | 作業要領及び管理要領 |
|-------------|----------------------------|--|
| (1) 部品の寸法精度 | ① ダイヤフラムの寸法精度 | 四周機械仕上げ ±0.3mm |
| | ② はめ込みフランジの幅寸法 | ±0.3mm |
| | ③ はめ込みフランジの平面曲り | 余裏に封じ3mm以下 |
| | ④ 平面曲りの矯正 | ③の許容値をこえる場合くきび状加熱矯正 (750℃以下) |
| (2) 変形の防止 | ① 組み立て時の戻付け、シーリング溶接の断面対称溶接 |  <p>同時に順次戻付け(シーリング)溶接する</p> |
| | ② 組み立て時、戻付け溶接順序 |  <p>① ウェブとフランジの戻付け溶接 ② ダイヤフラムとウェブの戻付け溶接</p> |

| 品質保証対象 | 管理項目・管理項目 | 作業要領及び管理要領 |
|----------|---------------|------------|
| 12. 変形防止 | (3) かど継手半溶接順序 | |

おわりに

本州四国連絡橋の補剛トラス上下弦材を製作するにあたり、溶接部の疲労強度を確保することを目的として実施してきた実験の概略と、それにもとづく製作要領の概略について述べて来た。

溶接部に対する要求品質の中には、部分溶込みグループ溶接の溶込み線の滑らかさ等、従来は欠陥としては扱われなかったようなものも含まれ、手探りの状態からの出発であったが、関係者の努力により問題がひとつひとつ解決されていった。ここで確立された施工法については、補剛トラス上下弦材の製作だけでなく、同種の高度な品質が要求された場合の溶接施工に対しても応用できるものと考えられる。そのような場合の参考になれば幸いである。