

橋梁製作におけるパネル組立工法と 自動化システム「PASシリーズ」

(仮組立省略を目標とした部材の寸法精度向上を目指して)

Panel Assembling Method for Bridges Using an Automated System (PAS Series)

成宮 隆雄* 伊東 孝**
Takao NARUMIYA Takashi ITOH

Summary

Structural members of steel bridges were classified according to their section shapes, and an automated assembling system was developed and practically applied.

This paper introduces an automated assembling and welding system (Panel Assembling System series) and reports on an assembling method for box girders which eliminates shop assembly.

1. まえがき

鋼橋製造業界は、PC橋との厳しい競合と労働集約産業としては致命的ともいえる技能労働力の不足、さらには大型プロジェクトへの外国企業の参入など産業基盤にもかゝる深刻な問題を数多く抱えている。このような状況下において、業界として取るべき道は鋼橋の品質を自主的な努力で今迄以上に向上させると共にコストダウンを計ることである。そのためには、労働集約的な生産形態を、自動化システムを導入した省人化生産形態に変えていき、仮組立等で最終品質を確認していく検査方式を脱皮し製作過程において品質を作り込んでいく工程別品質保証システムへ移行していくことが必要である。

一般に鋼橋は1橋毎に設計される典型的な少量受注生産に属する産業であり、どちらかというシステム的な製作自動化が困難であると考えられていた。

そこで筆者らは、鋼橋部材を組立・溶接上の立場から、断面形状で同形化および類形化して、①版断面部材②開断面部材③閉断面部材に分類し、各断面部材毎の自動化システムの構築を行ない実用化に着手した。

既に鋼橋形式のうち版断面形状部材である鋼床版および箱桁フランジパネルの製作自動化システムについては、「パネル自動組立・溶接ライン」として宮地技報No.2にて報告した。

本報では鋼橋の形式のうち、60~80%を占める箱桁(鋼

床版を含む)・板桁の版断面部材(鋼床版および箱桁の各パネル)および開断面部材(板桁、I桁等)の自動組立・溶接システムPAS (Panel Assembling System) シリーズの紹介と箱桁の新しい組立・溶接工法である「パネル組立工法」について報告し、将来的には仮組立を省略できる部材精度の向上と部材寸法測定結果を基にした「シュミレーション仮組立」への模索を紹介して、鋼橋の品質向上および合理的な製作方法確立への一助に資すものである。

2. 鋼橋製作の自動化システムの考え方

前述したように、鋼橋は同一部材数の少ない典型的な少量受注生産に属するが、これらの加工の最終単位である部材を断面形状で同形化および分類化すると、3断面形状に分類できる。鋼橋部材および部品の類型化分類とその各部材および部品の製作システムを図-1に示した。

これらの部材断面の分類は、組立・溶接の自動化システムを構築する上においても重要な意味を持つとともに実用化の難易の尺度にもなる。一般に、溶接の自動化の立場からみると、鋼板の片面だけに素材(リブ、スティフナー等)および部品(縦リブ、横リブ等)が取りつき、溶接される版断面部材は最も溶接の自動化システムとして実用化しやすく、かつ汎用性も高い。また、開断面部材は版断面部材の裏面にも素材、部品が取りつき溶接さ

* 千葉工場製造部長

** 千葉工場製造部生産技術課長

開断面部材	閉断面部材	版断面部材
P-PAS(Plate girder and Panel Assembling System)	パネル組立工法 連続パネル組立工法	PAS I、PAS II (Panel Assembling System)

図-1 部材および部品の類形化と各部材の製作システム

れる部材のため、版断面部材の製作自動化ラインの中に部材の反転装置を組み込むことで、同一システムでの対応が可能となる。

一方閉断面部材では、ほとんどの溶接継手が箱内にあり、溶接上非常に厳しい空間的制約を受ける。そのため溶接の自動化は著しく困難となる。したがって、橋梁部材として比較的多い箱桁部材の溶接自動化システムを設計するためには、製作工法そのものを溶接の自動化しやすい工法に革新していくことが必要となる。

そこで、箱桁のフランジおよびウェブに取り付くリブ、スティフナー等を箱組立前に先溶接し、パネル化してから箱組立する工法に変えることで、箱桁等の閉断面部材も大部分の溶接を前述の版断面溶接自動化システムの中に組み込めることができる。箱桁のフランジとウェブを版断面部材または開断面部材として先溶接した部品を「パネル」と称し、このパネルを組み立て、箱桁とする工法を「パネル組立工法」と呼んでいる。

従来、このパネル組立工法を取らず、フランジやウェブのリブ、スティフナー等は、仮付け状態で総組立し、箱断面にしてから全ての溶接を行なう工法（以後「総組立工法」という）が主流であったのは、例えばフランジと縦リブを先溶接するとフランジが横方向にも縦方向にも溶接による反りを生じるため、プレス等で矯正しなければならず、かえって手間がかかったためである。

したがって、パネル組立工法を採用するにあたって、図-2 に示したパネルの溶接変形を組立上支障のない程

度にどのように矯正していくかが、重要な課題となる。リブ等のすみ肉溶接によるフランジの横反り（角変形）は、プレスで容易に矯正できるが、フランジの縦反りはプレスでは困難である。この場合フランジの横反り（角変形）を図-3 に示す要領でローラーベンディング矯正を行なうと、フランジの縦方向の残留応力が解放され縦反りが同時に矯正される。特に縦リブにバルブプレートを用いたフランジでは、断面中立軸が溶接収縮軸から、よりリブ側に移り縦反りが非常に大きくなり、その縦反り矯正は加熱矯正によらざるを得なくなる。

鋼構造物の部材および部品においてその寸法精度を悪くしているのは溶接収縮、溶接変形および変形を矯正するための加熱矯正である。溶接収縮や変形に関しては理論的または統計的手法により量的な予測は可能であり、溶接の自動化によりバラツキも小さくなってきているが、加熱矯正は作業そのものが、職人的技能であるためその寸法精度に及ぼす影響を予測することは非常に困難である。また加熱矯正は溶接収縮による変形を部分的に加熱急冷により収縮し、量的バランスを取る方法であるから構造物にさらに大きな歪を入れることになる。鋼構造物にとって加熱矯正は必要悪であり、品質的に多くの問題

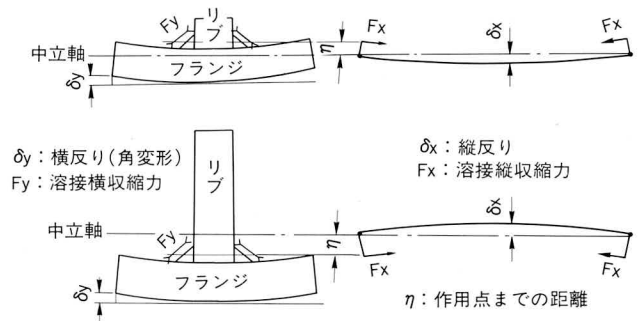


図-2 パネルの溶接変形(反り)

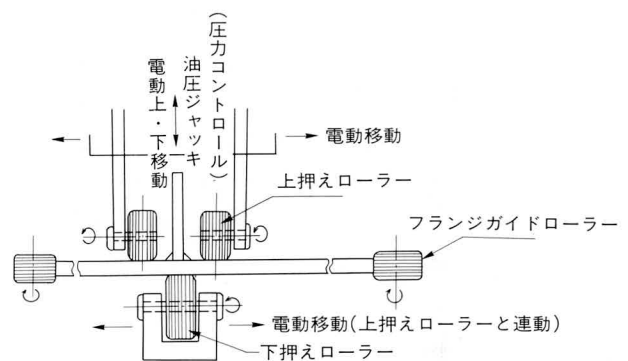


図-3 ローラーベンディングの概要

を惹起している。

この意味から、リップ、スティフナー等を先溶接し、ローラーベンディングで矯正したパネルを組み立てる「パネル組立工法」は、加熱矯正を少なくして、残留応力を低減し寸法精度の向上を計ることになる。

仮組立を省略し、部材の寸法測定結果を基にシュミレーション仮組立により品質保証していくためには、一にも二にも部材の寸法精度を向上することであり、この手段として「パネル組立工法」の確立があり、さらに版断面部材（鋼床版、各パネル）および版断面部材（板桁、I桁等）の自動組立・溶接システムの開発および実用化がなされた。

3. 溶接自動化へのアプローチと実用化の経過

鋼橋製作における溶接は、溶接継手の約80%がすみ肉溶接継手であり、被覆アーク溶接棒を用いた溶接が圧倒的に多かった。自動化システム実用化前の昭和59年度と実用化後の昭和62年度における当社の溶接自動化率を溶接材料の使用比率で整理して、**図-4**に示した。

同**図-4**からわかるように、約3年間で炭酸ガスアーク溶接材料（マグまたはミグ溶接材料も含む）が5%から80%弱に増えており、サブマージアーク溶接も、板継ぎ突合せ溶接を除いてほとんどが炭酸ガスアーク溶接に切り替えられた。

このように、全面的に炭酸ガスアーク溶接に切り替えられたのは、ノンシームレスのフラックス入りワイヤの開発によって炭酸ガスアーク溶接でのすみ肉溶接ビード外観が美麗になり、橋梁の厳しい品質要求が満たせるようになったためである。また、今後の溶接自動化に対して溶接ロボットの適用を考えると、ガスシールドアーク溶接を前提とした方が有利だからでもある。

しかし、炭酸ガスアーク溶接に全面的に切り替えた時点では、すみ肉溶接継手部は、耐ピット性の点から黒皮およびプライマ塗膜はすべて除去することが必要であった。そして、溶接を全面的にフラックス入りワイヤを用いた炭酸ガスアーク溶接に切り替えた後、昭和60年に鋼床版、箱桁フランジパネル等の版断面部材の自動組立・溶接ラインとしてPASIラインを実用化した。

詳細については後述するが、PASIは鋼床版等の縦リップの縦方向すみ肉溶接を6電極CO₂自動溶接(ガーダー走行方式)し、これに直交する横方向すみ肉溶接は、別途ガーダーに2機向かい合わせて設置した吊り下げ型6

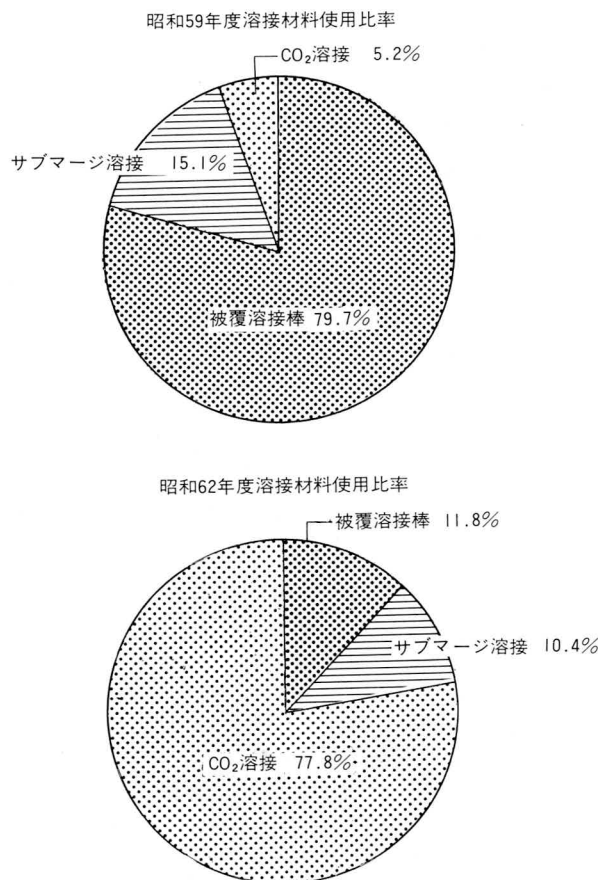


図-4 溶接材料使用比率の変遷

軸ロボットで行った。ロボットはオンラインティーチングプレイバック方式で、フランジと横リップの水平すみ肉溶接および縦リップと横リップの交差すみ肉溶接が連続的にできるようにした。

PASIの稼働により、箱桁のフランジは全面的にパネルとし、「パネル組立工法」（ただし、ウェブはまだパネルとしていない）を採用した。その後、量的な能力上の問題から箱桁フランジパネル製作専用ラインPASIIを設置した。

PASI, IIとも溶接継手部はすべて黒皮およびプライマ塗膜の除去を行ったが、これに要する手間と研磨粉塵による安全衛生上の問題は重大であり、溶接の自動化のメリットを帳消しにするほどであった。そこで、溶接材料メーカーと懸命に耐ピット性のよいフラックス入りワイヤの開発を促進した。

特に、箱桁ウェブおよび板桁ウェブのV&Hスティフナーのすみ肉溶接の自動化およびロボット化を計るためには、黒皮およびプライマ塗膜除去省略が必須の条件となる。現在のところ、通常の低水素系のフラックス入り

ワイヤでは、黒皮、ウォッシュプライマおよびジンクリッチプライマのいずれに対しても耐ピット性のよいワイヤを開発することは、かなり困難である。

一般に箱桁、板桁のウェブおよびスティフナーは、9～16mm程度の薄板であり、拘束度も小さい継手であることから、ある程度限定的に考えて非低水素系フラックス入りワイヤを用いれば、プライマ塗膜に対する耐ピット性は良好であることがわかった。また、自動溶接装置およびロボットにフラックス入りワイヤを使った炭酸ガスアーク溶接を用いるためには、耐ピット性だけでなく、ビード形状、外観が良好であること、スパッタの発生量が少なく、長尺溶接においてもノズルに付着したスパッタによるシールド不足にならないこと、および耐割れ性が良好なことなどが必要である。

そのため、溶接材料、溶接装置および施工条件のそれぞれの立場から十分に検討を行った。その結果、神戸製鋼所が試作した非低水素系フラックス入りワイヤDW300改(1.4φ)を板厚16mm以下に限定して採用することにした。

以上の経過から、溶接方法、溶接材料の用途を立て、箱桁のウェブおよび板桁の自動組立・溶接ラインの開発、実用化を行い、このラインをP・P・A・S(Plate girder and Panel Assembling System)とした。本ラインでは前記所見に基づき、ウェブとスティフナーのすみ肉溶接は、

板厚16mm以下と限定した上、非低水素系ワイヤを用いた2電極ロボットにより、スティフナーの両溶接継手を同時溶接し、材端でのまわし溶接も可能にした。

また、P・P・A・Sラインは素材鋼板の孔あけ、I組立、首溶接、矯正、スティフナー組立、スティフナー溶接およびその他部品の取り付け、溶接までの一連の工程をローラーコンベアで結び、かつ工程の要所要所に部材の反転装置を組み込み、本格的なコンベア搬送方式を採用した。そして昭和62年度のP・P・A・Sラインの完成により、箱桁ウェブのパネル化が可能になり、箱桁の「パネル組立工法」が完成に至った。

以上は後段加工における溶接自動化であるが、前段加工の溶接の自動化としては板桁のフランジ、箱桁のリップ等の細幅鋼板の板継ぎ溶接の自動化ラインVEGASを開発し、実用化した(特許出願中)。VEGASは細幅板継ぎ溶接専用の立向きエレクトロガスアーク片面溶接(Vertical Position Electro-Gas Arc Welding System)であり、原則的には1ラン片面溶接で、溶接後の角変形および平面曲りを極端に少なくし、その後の矯正作業の省略を計ったものである。

なお、VEGASラインについては宮地技報No.4で詳しく報告しているので参照されたい。

以上のP・A・SシリーズラインおよびVEGASラインの全体製作工程における位置づけを図-5に示した。

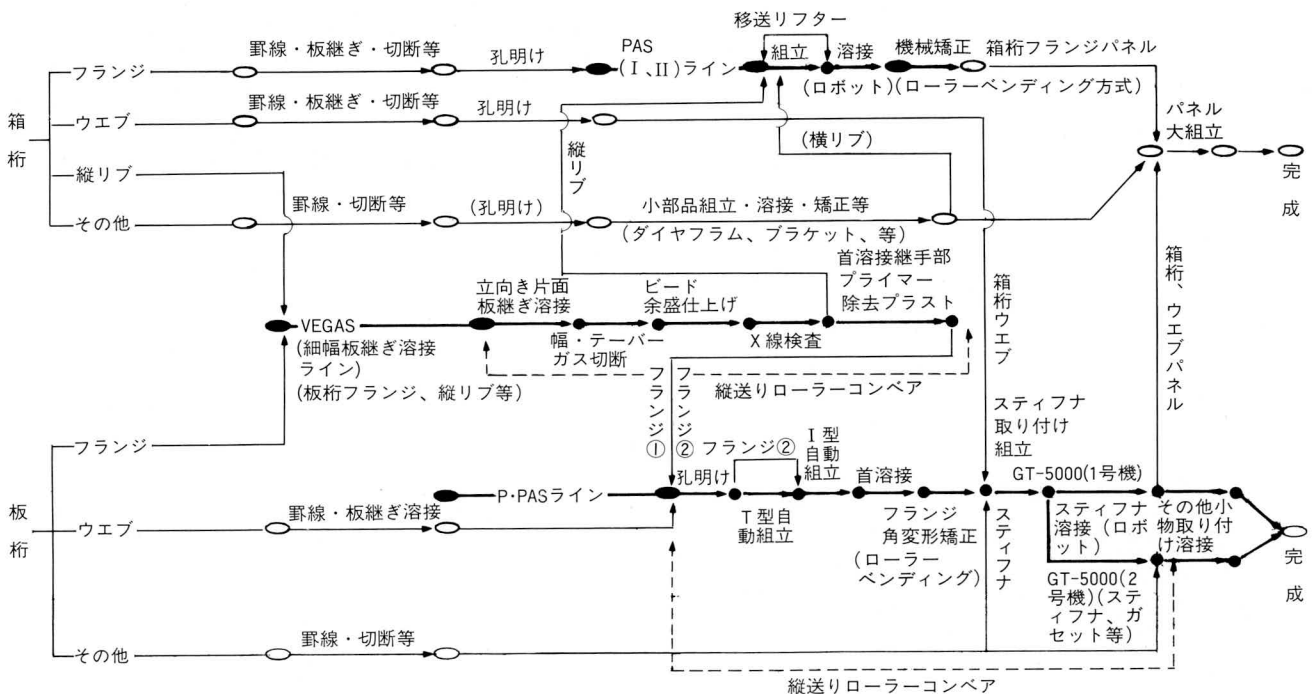


図-5 箱桁・板桁製作工程とPASシリーズ製作ライン

4. 各PASシリーズの紹介

(1) パネル自動組立溶接ライン (PAS I)

版断面部材の鋼床版、箱桁フランジのパネル自動組立溶接ライン (PAS I) は、

- ① 組立押えガーター (PAS-H)
- ② 縦リブ溶接マニピュレータ (PAS-L)
- ③ 横リブ溶接マニピュレータ (PAS-C)

の3つの大型装置からなっている。

写真-1にPAS Iラインの全景を示した。

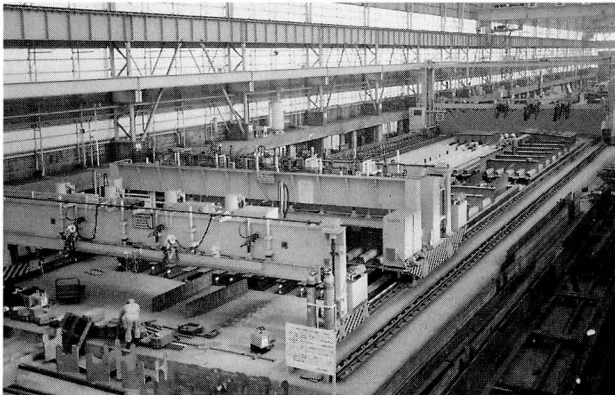


写真-1 PAS Iライン全景

ラインの大きさはレール内幅12m×長さ63mで、製作可能な部材最大寸法は9m×45mであるが、通常は4.5m×20mを4セットまたは9m×20mを2セット並べて作業している。ラインの特徴等詳細については宮地技報No2「パネル自動組立・溶接ライン」を参照されたい。図-6に、PAS-Lの溶接トーチまわり詳細、表-1にP

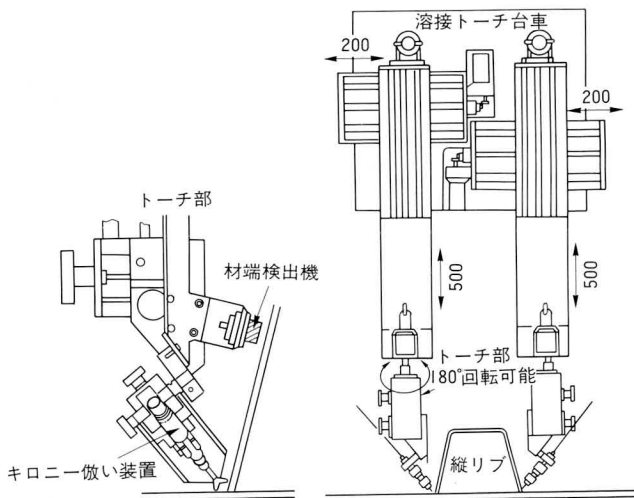


図-6 PAS-Lの溶接トーチまわり詳細

AS-Lの溶接条件と機能、写真-2にPAS-LによるUリブのすみ肉溶接状況を示した。また、図-7にP

表-1 PAS-Lの溶接条件と機能

PAS-L溶接条件(すみ肉脚長6mmの場合)	
項目	実施例
溶接材料	フラックス入りワイヤ (1.6φ) SF-1、SF-1F*1
シールドガス	CO ₂ ガス
溶接電流 (A)	300A
電圧 (V)	27V
速度 (cm/min)	36cm/min
PAS-Lの機能	
①溶接方向寸法40.000mm以内、溶接幅方向寸法9000mm以下。 リブ間隔300mm程度	
②リブ両側同時溶接、6継手同時溶接可能。溶接機 (PN-500DW)	
③倣い装置：クロニー製、上下倣い500mm、左右倣い200mm	
④マニピュレータ走行速度高速10m/min 低速0.2~1.5m/min (連続可変)	
⑤溶接装置台車 (横行)(高低切り変え) 横行速度高速1000mm/min低速100mm/min クロニー倣いと組合わせて、左右倣い無限	
⑥溶接スタート同時、終了は材端検出器により順次アークストップ可能	

*1 ジンクリッチプライマーに対しては耐ビット性良好。

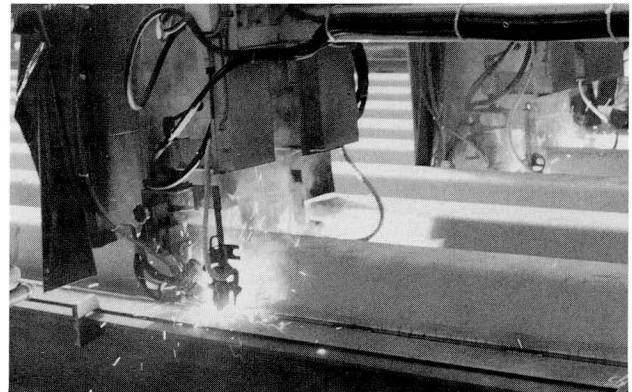


写真-2 PAS-LによるUリブのすみ肉溶接

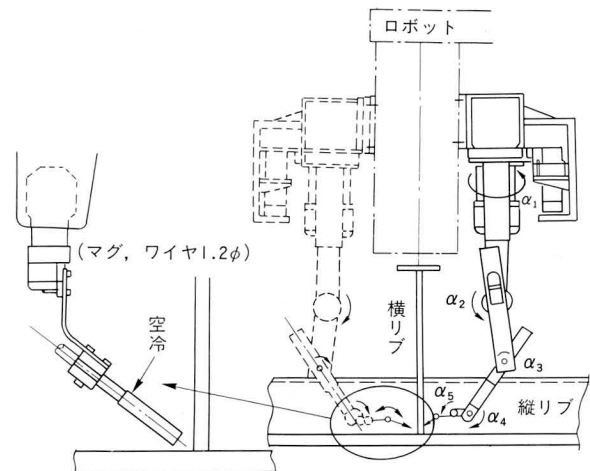


図-7 PAS-Cのロボットトーチまわり詳細

AS-Cのロボットトーチまわり詳細、表-2にPAS-Cの溶接条件と機能、写真-3にPAS-Cのロボット

表-2 PAS-Cの溶接条件と機能

PAS-C溶接条件(すみ肉脚長6mmの場合)		
項目	実施例	
溶接材料	ソリッドワイヤ (1.2φ) MG50T	
シールドガス	Ar80%+CO ₂ 20%	
溶接電流 (A)	H : 280A	V : 150A
電圧 (V)	H : 34V	V : 21V
速度 (cm/min)	H : 34cm/min	V : 10cm/min
PAS-Cの機能		
①ティーチングプレイバック方式、全6軸同時制御		
②横行走行軸ストローク9900mm、速度MAX 18m/min 繰り返し位置精度0.5mm		
③速度及び位置制御方式(トーチ先端で速度一定)ソフトウェアサーボ方式位置制御		
④記憶ステップ約3000ステップ、溶接条件31メニュー登録(電流、電圧、速度を1バックメニュー)		
⑤センサー: タッチセンサー、アークセンサー		
⑥ワイヤリトラクト機能、トーチ接触停止機能		
⑦カセットデータレコーダー、インターロックプログラム記録		

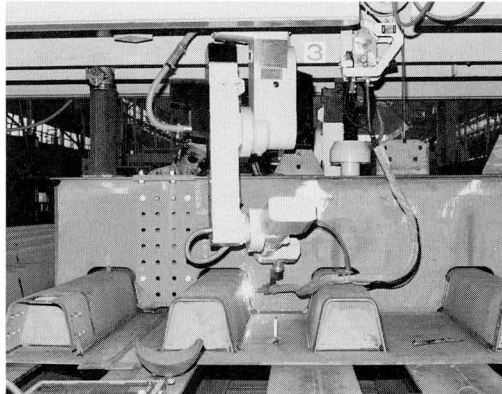


写真-3 PAS-Cロボットによる横リブの溶接

による横リブの溶接状況を示した。

(2) 簡易型パネル組立・溶接ライン (PAS II)

箱桁フランジのパネル組立および溶接を目的とし、PAS Iの量的能力を補うラインをPAS IIと称している。ラインの大きさは4m×80mで、通常4m×15mの部材を4セット並べて作業している。

本ラインは箱桁フランジの縦リブだけを多数同時溶接する装置で、単電極搭載のトーチ台車4台に溶接電源、制御装置およびペールバックを搭載したL型走行台車を追従させて溶接を行なう。L形走行台車は右勝手、左勝手の2組あり、縦リブは同時に4本(8継手)溶接できるようになっている。

図-8にPAS IIの概要図を、写真-4に縦リブ溶接の状況を示した。

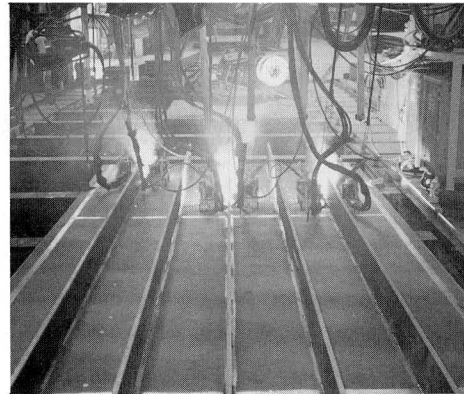


写真-4 PAS IIの溶接状況

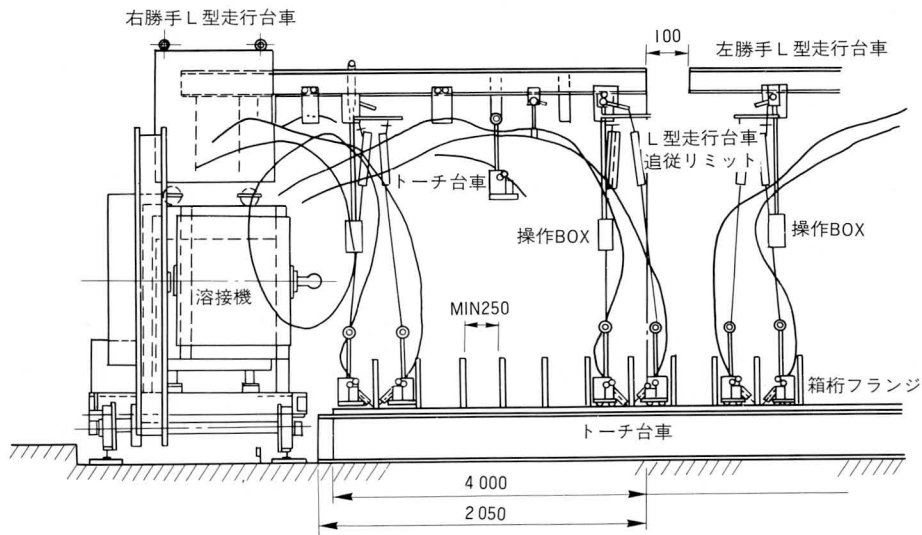


図-8 簡易型「パネル組立・溶接ライン」(PAS II)概念図

(3) 板桁およびパネル自動製作ライン (P・PAS)

これは、板桁および箱桁のウェブパネルをローラーコンベアシステムで流れ作業的に製作するラインである。

図-9に製作フローチャートおよび各工程における装置等の特徴を、図-10にラインの概略配置を示した。

ラインの大きさは25m×180mで、NC孔明け装置、I桁組立装置、首溶接装置、フランジ矯正装置、スティフナー取り付けガーダー、スティフナー自動溶接装置(溶接ロボット)および全姿勢溶接反転装置と、これらの各工程の機器・装置をつなぐローラーコンベアからなっている。

本ラインの標準型板桁での各工程のタクトタイムは、120min/台を目標としている。

ラインの各装置の特徴を以下に示す。

- ① NC孔明け装置はローラーコンベアをまたいだガーダー方式で、前後コンベアがそれぞれ20mついている。後コンベアは、フランジ反転装置および罫線とグラインダ作業ステージを持っている。

孔明け機はオフラインティーチング方式で、2点シフト教示、ドリル自動交換機能などを備えている。

- ② I桁組立装置は前後コンベアがそれぞれ20mついでおり、後コンベアは反転装置を持っている。

組立方式は立型組立で最初逆Tで組み立て、後コンベアに送り、反転してもう一方のフランジを送り込み、I桁に組み立てる。フランジとウェブは自動的にセンタリングされ、油圧で材片の密着を計りながら、両側同時仮付け溶接される。なお、仮付け溶接の脚長、ピッチおよび仮付け長さは、あらかじめ設定することで自動保持される。

組立完了後は次工程に横置きでコンベア搬送される。なお、コンベアはウェブ高さに合わせて幅が調整できるようになっている。

写真-5にI桁組立装置での自動仮付け溶接の状況を、写真-6に同ラインの反転装置での下フランジ組込みを示した。

- ③ 首溶接装置は2電極CO₂溶接マニピュレータと20mコンベアで構成されている。溶接条件は、脚長インプットによる自動設定になっており、上下フランジ首溶接継手の脚長違いに対しても対応できるだけでなく、溶接途中での脚長増減も自動的に切り替えることができる。

キャンバー変化または板厚変化による溶接線変化

は、アーク点同軸倣いで対応し、材端検知により溶接終了は自動的になされるので、アークスタート後は無監視作業が可能である。写真-7に首溶接装置における溶接状況を示した。

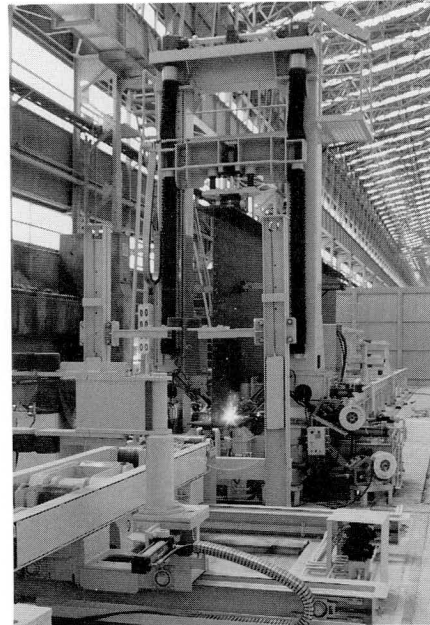


写真-5 I桁組立装置における自動仮付け溶接状況

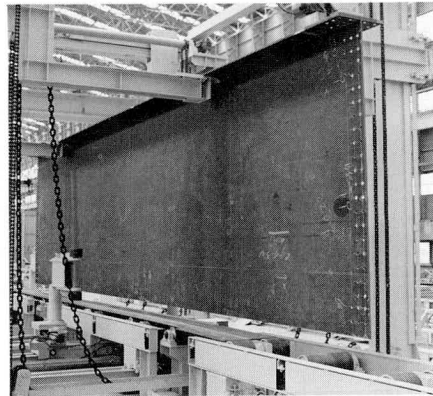


写真-6 I桁組立装置における反転装置と下フランジ組込み状況

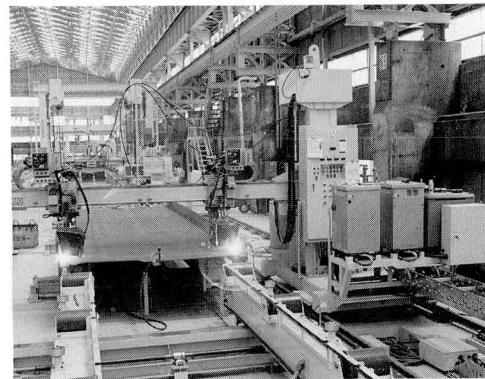


写真-7 首溶接装置による溶接状況

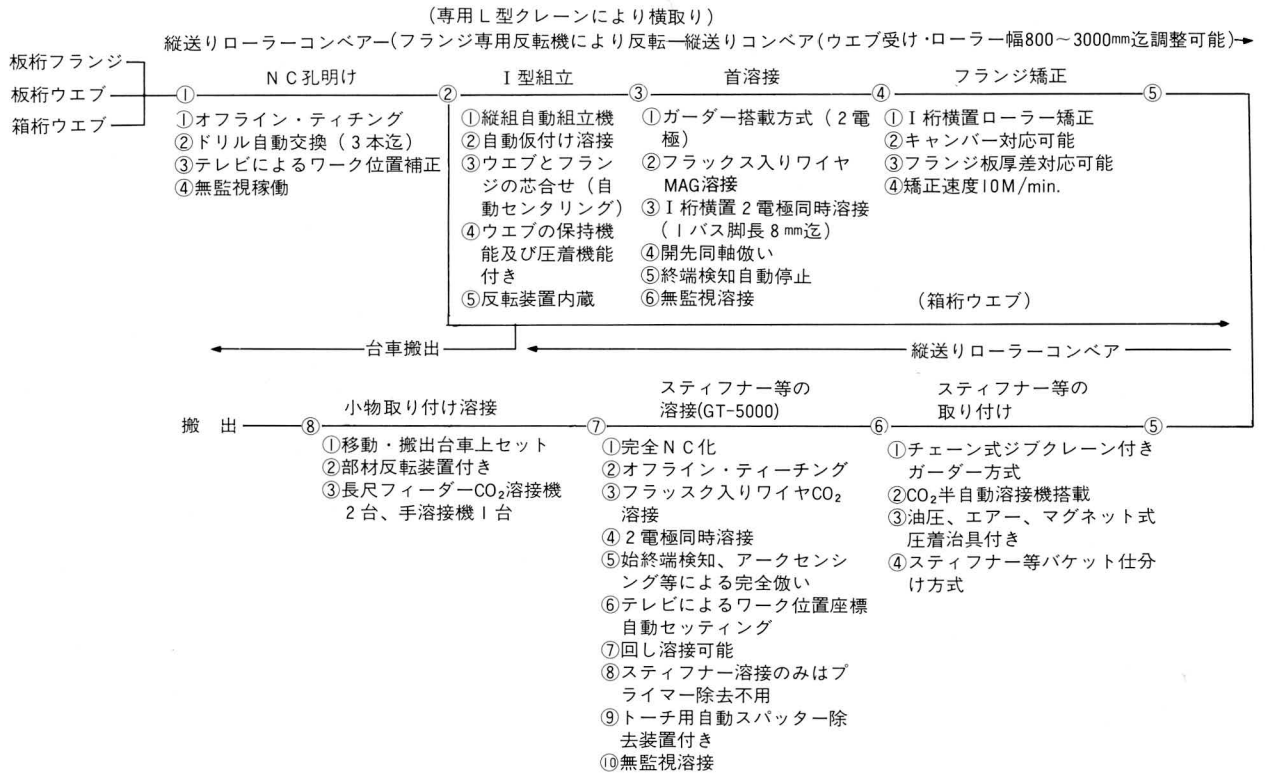


図-9 P-PAS製作ラインフローチャートおよび装置の特徴

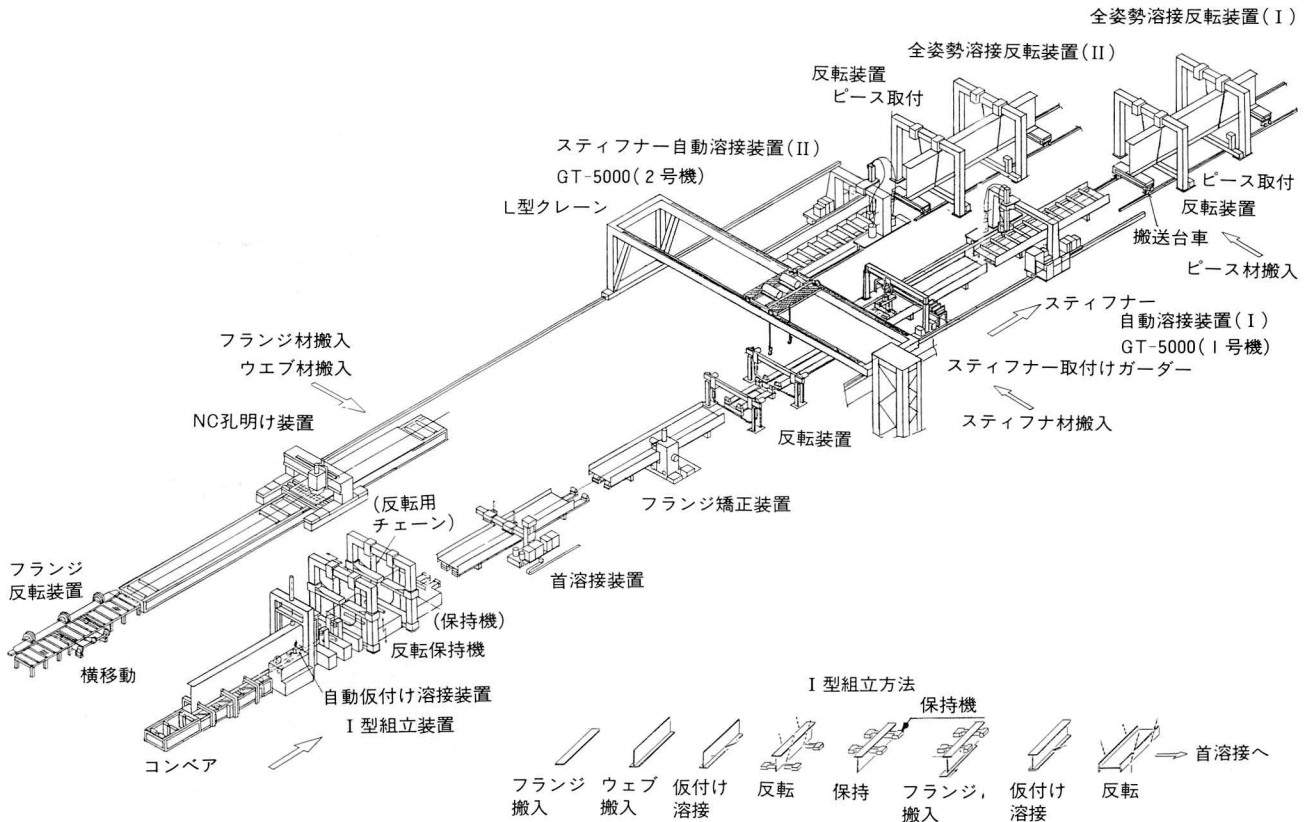


図-10 板桁およびパネル自動製作ライン概略配置図

- ④ フランジ矯正装置は横型ローラー矯正方式で、ローラー圧力調整で板厚32mm程度まで約10m/minの速度で矯正できる。上下フランジの矯正を行うための反転は、首溶接装置と共通の反転装置によって行なわれる。

写真-8 にフランジ矯正装置による矯正状況を、写真-9 に反転装置による部材反転状況を示した。

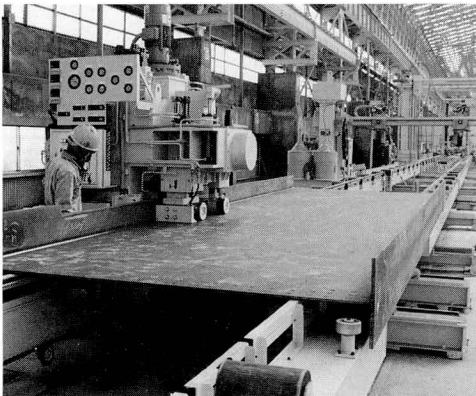


写真-8 フランジ矯正装置による矯正状況

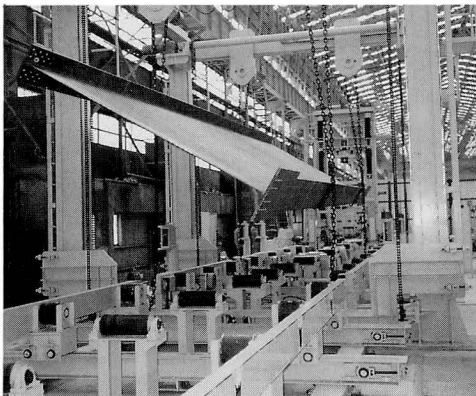


写真-9 専用反転装置による部材反転状況

- ⑤ スティフナー取付けガーダーは、ガーダー上にスティフナー材、取付けジグ、押しつけジャッキ、チェーンブロックおよび溶接機(CO₂溶接機)等を搭載し、ガーダーを移動させながら効率的に取付け作業を行う。
- ⑥ スティフナー自動溶接装置はNC2電極門型ロボット(GT-5000)である。オフラインティーチング方式で、NCデータをバブルカセットに入力し、ラインではコンベア上を流れてきたI桁またはウェブパネルを2点シフトで座標変換して溶接を開始する。溶接開始後は、アークセンサや材端検知器等で無監

視溶接ができる。また溶接条件自動設定機構を持ち、溶接材料、脚長などを指定すれば最適溶接条件が自動的に設定される。

脚長は溶接継手によって異なるが、一般的には4~8mmまで可能で、まわし溶接もでき、ビード外観も美しい。写真-10にまわし溶接のビード外観を示した。

スティフナーの溶接は標準板桁でも4時間程度連続溶接する場合があるので、トーチノズルの付着スパッタの自動除去器を装備している。また、本装置の溶接時間がラインのタクトタイムの2倍になるので同装置を2基ライン内に設置している。写真-11に溶接状況を示す。

本装置で板桁または箱桁ウェブの溶接を行う場合、ウェブまたはスティフナーの最大板厚を16mm以下に限定して、非低水素系フラックス入りワイヤを用いて、ウォッシュプライマ等の塗膜を除去しないことにしているが、ピットのない美しいビードが得られている。継手の鋼板表面状況と溶接材料の組み合わせ

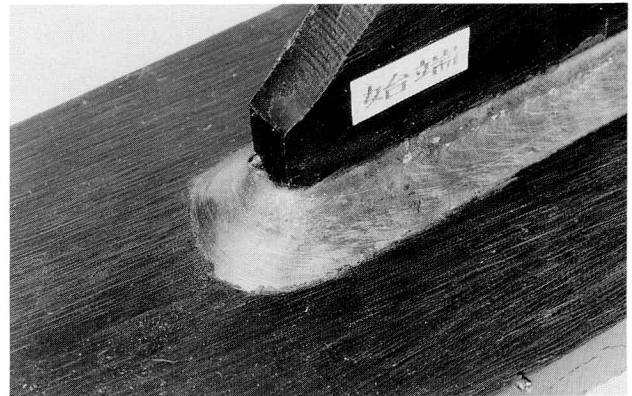


写真-10 GT-5000のまわし溶接ビード外観

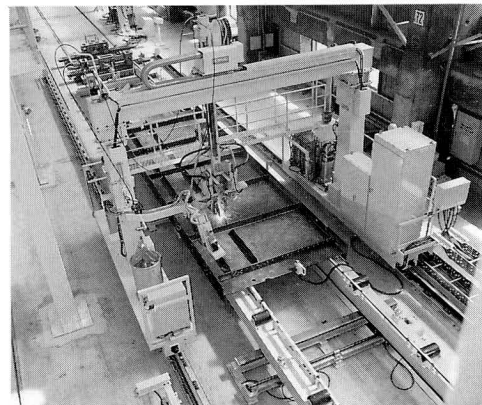


写真-11 GT-5000におけるスティフナーの自動溶接状況

せを、表-3に示した。

また、ウォッシュプライマ鋼板において塗膜除去しないで、非低水素系フラックス入りワイヤを用いたすみ肉溶接割れ試験結果の一例を表-4に示し、その割れ試験方法を図-11に示した。本装置を使用する場合は、図-12に示す設計上の配慮が必要である。

NCデータの作成は、ワークを基本的なブロックに分割し、それをパターン化し、実部材に合わせてブロックを組み合わせ、結合してワークデータとする。基本ブロックは15種類である。また、同時に寸法、溶接順序、溶接材料、溶接脚長等を入力する。この作業は標準的な板桁1台で約30分程度である。図-13にNC入力のためのワークデータとブロックデータの構造を示した。

⑦ 小物取付けおよび溶接は、部材反転装置、上下昇

降装置付移動台車および各種溶接機からなる全姿勢溶接反転装置で行う。写真-12に同装置での部材設置状況を示した。

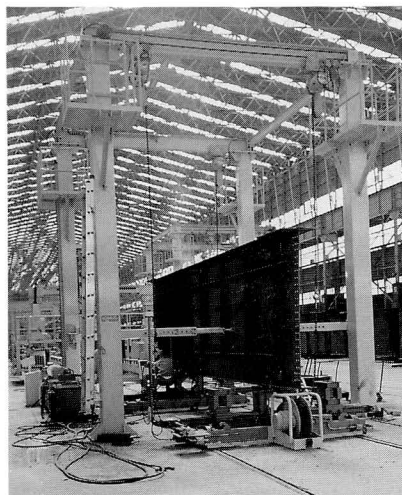


写真-12 全姿勢溶接反転装置での部材設置状況

表-3 PASシリーズにおける鋼板の表面状況と溶接材料

材質	板厚 Tmax(mm)	溶接ライン 溶接装置	鋼板の表面状況		溶接時の鋼板の表面状況		溶接材料銘柄 ワイヤの種類(径)	備考
			*1:横板	*2:立て板	*1:横板	*2:立て板		
SS41 SM41 SM50 SM53	制限無し	PAS (I) PAS (II)	*1:フランジ	黒皮	*1:グラインダー仕上げ	黒皮	低水素系ワイヤ(*3) SF-1 (1.6φ)	日鐵溶接工業
	T ≤ 25 *4	同上	*1:フランジ	ジンク	*1:ジンク	ジンク	低水素系ワイヤ(*3) SF-1F (1.6φ)	日鐵溶接工業
	T > 25 *4	同上	*1:フランジ	ジンク	*1:グラインダー仕上げ	ジンク	低水素系ワイヤ(*3) SF-1 (1.6φ)	日鐵溶接工業
	制限無し	同上	*1:フランジ	ウオッシュ	*1:グラインダー仕上げ	ウオッシュ	低水素系ワイヤ(*3) SF-1 (1.6φ)	日鐵溶接工業
	制限無し	同上 (多関節型 ロボット)	*1:フランジ	黒皮 ジンク ウオッシュ	*1、*2とも グラインダー仕上げ		ソリッドワイヤ MG-50T (1.2φ)	MAG溶接 神戸製鋼所
	制限無し	P-PAS 首溶接	*1:ウエブ	黒皮 ジンク ウオッシュ	*1:そのまま	*2:グラインダー仕上げ	低水素系ワイヤ(*3) DW-100F (1.6φ)	神戸製鋼所
	T ≤ 16	P-PAS GT-5000	*1:ウエブ	黒皮 ジンク ウオッシュ	*1:そのまま	*2:そのまま	非低水素系ワイヤ(*3) DW-300 (1.4φ)	神戸製鋼所
	T > 16	P-PAS GT-5000	*1:ウエブ	黒皮 ジンク ウオッシュ	*1:グラインダー仕上げ	*2:そのまま	低水素系ワイヤ(*3) DW-100F (1.4φ)	神戸製鋼所

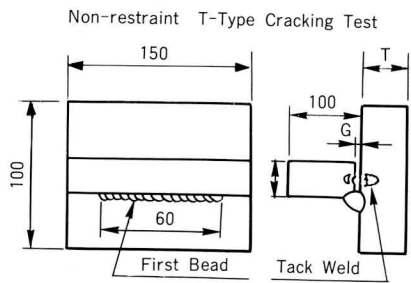
*3:フラックス入りワイヤ *4:溶接割れを考慮した暫定的処理 ジンク:ジンクリッチプライマー ウオッシュ:ウォッシュプライマー

表-4 非低水素系フラックス入りワイヤを用いたすみ肉溶接割れ試験結果

鋼板初期温度20~17℃ ○:割れなし ●:割れ

試験溶接条件	内容
供試鋼材	SM50A、Ceq=0.33
溶接材料	DW300改 (1.4φ)
シールドガス	CO ₂ ガス 5ℓ/min
溶接条件	250A 31V 30cm/min
プライマーの種類	ウォッシュプライマー20

小型すみ肉溶接割れ試験結果(試験片寸法および試験方法は図-11参照)								
板厚 T mm	表面割れ		第1ビード 断面割れ			第2ビード 断面割れ		
	第1 ビード	第2 ビード	断面1	断面2	断面3	断面1	断面2	断面3
12	○	○	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	○	○	○
19	○	●全長	○	○	○	●	●	●
25	●1/2	●全長	○	●	●	●	●	●



Welded Specimens were left for 43 hrs after first welding and Second beads were placed on the opposite side of the first bead.

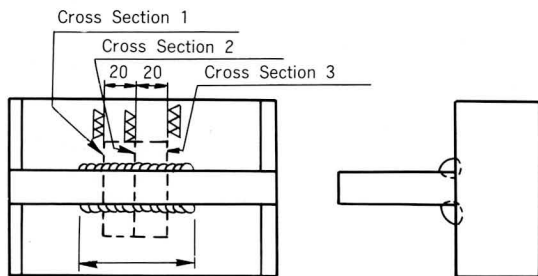
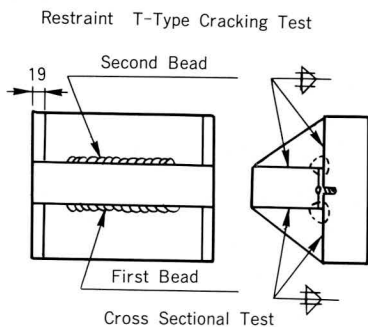


図-11 小型すみ肉割れ試験片寸法と試験方法

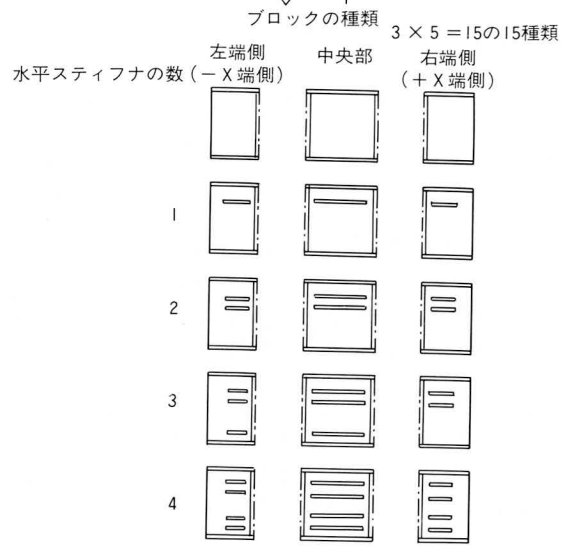
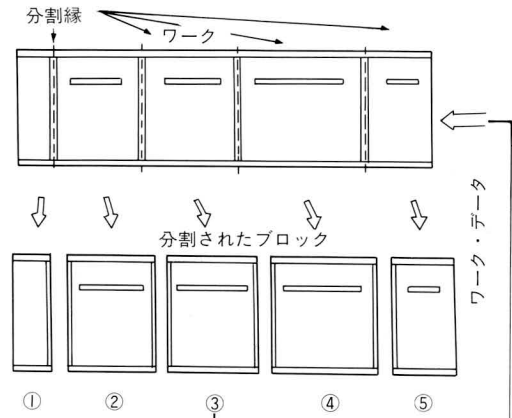


図-13 GT-5000のブロックデータ、ワークデータの構造

一部材単位のデータです。ブロックの結合により作成される。

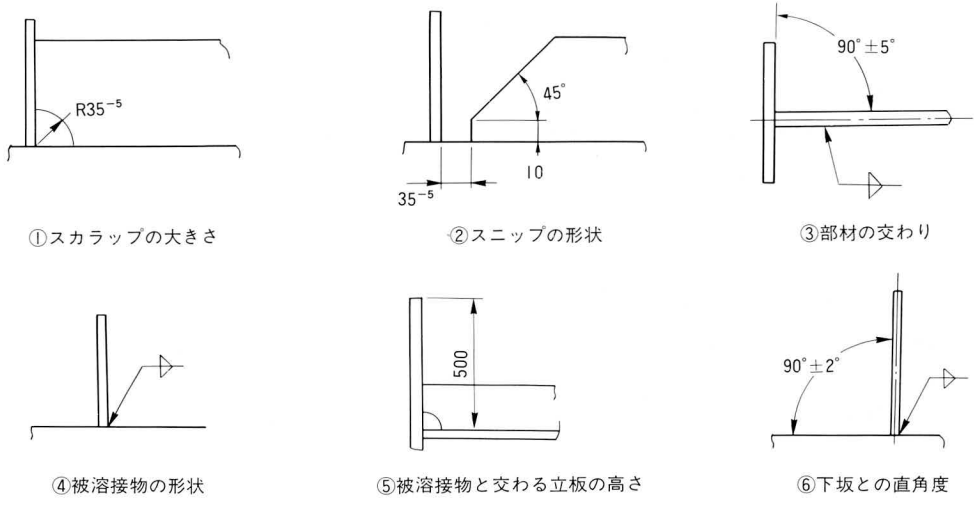


図-12 GT-5000の溶接上の設計寸法制約

5. パネル組立工法と仮組立省略へ向けての模索

パネル組立工法はフランジおよびウェブのリップまたはスティフナーの溶接を版断面状態で行なえるため、溶接の自動化が可能となり溶接の効率化が計れるだけでなく、部材の全溶接完了後の溶接収縮および変形が少なくなるので加熱矯正作業も少くなり寸法精度の向上、残留応力の低減等の品質上のメリットも大きい。

パネル製作時に、横反りおよび縦反りの生じ易いフランジは、ローラーベンディングで連続的矯正を行えば縦反りも同時に矯正でき、残留応力も解放される。またウェブパネルでは、長手方向の水平スティフナーが、不連続であることおよびウェブ板厚がせいぜい9~16mm程度であるため、パネルとして反りを生じて、パネル自体が非常に可撓性に富み組立上ほとんど問題はないのでパネル製作後の矯正をする必要がない。写真-13にパネル矯正用に開発したローラーベンディング装置を、写真-14にフランジのローラーベンディング矯正状況を示した。

箱桁のフランジおよびウェブをパネルにして組み立て



写真-13 ローラーベンディング装置

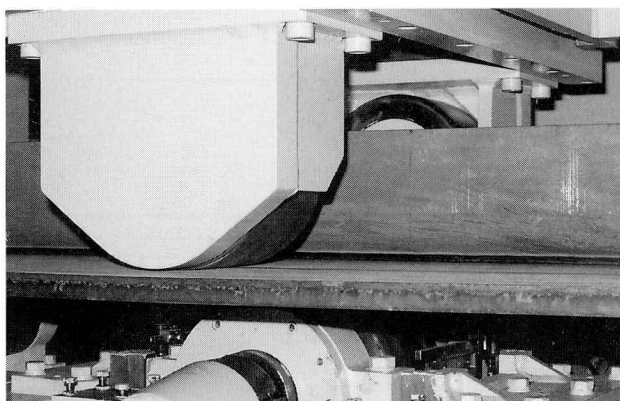


写真-14 フランジのローラーベンディング矯正状況

ることにより箱内での溶接はフランジとウェブのかど溶接継手およびフランジまたはウェブとダイヤフラムの全周溶接継手のみとなり箱内での溶接量は総組工法の場合の1/3~1/4程度となる。したがってパネルの寸法精度を確保することによりパネル組立後の寸法精度は著しく向上する。しかし、これだけでは仮組立省略へは結びつかない。仮組立省略を計るためには、各部材の相互取合い断面の同一形状化の保証が必要である。

そこで仮組立省略を目指して、「パネル組立工法」をさらに一歩進めて「連続パネル組立工法」の研究開発を行なった。「連続パネル組立工法」とは、各部材をバラバラに組み立てるのではなく、連続する部材を添接ボルトを取りながら連続して組み立てる工法である。例えば倒立組立の場合、まず上フランジを順次5部材分ぐらい現場添接部をボルト締めし、5部材分の長いフランジとして、次いで順次ダイヤフラムを立て、次にウェブを一端より順次添接を取りながら建て込み、それが終ると同様に下フランジの添接を取りながら組み立てていく工法である。言い換えればフランジとウェブのパネルを5台分ぐらいの長さにして組み立てる工法である。この工法で組み立てることにより現場添接部の断面形状は全く同一になり、組立完了後に各部材に解体し、残りの溶接を行なうが、その後の現場添接部は非常に精度良く添接できることが期待される。

さらに連続パネル組立において、仮組立と同様にキャンパー、桁の通り等仮組立に準ずるブロックデータを得ることができる。また、この連続パネル組立を容易に行えるよう移動式高さ調整受台および拘束および押しつけ門型ゲーター等の装置を開発し、門型ゲーターに部材の各位置の座標を読み取る装置をつけることにより、将来的にはコンピューターによる「シュミレーション仮組立」の開発を目指していくことが可能となる。

このような考え方ができるようになったのも、一にも二にも、箱桁組立後の箱内での溶接の減少と溶接変形の減少により加熱矯正を少くできたことによるものである。現在、「連続パネル組立工法」の研究開発も順調に進んでおり本年中に実用化される予定である。

6. あとがき

従来、製作の自動化というと断片的に自動機器を採用するという一点豪華主義的傾向が強かった。鋼橋の製作において、組立・溶接の自動化をシステム的に取り組ん

でいくためには、まず自動化しやすい製作工法を確立していくことが必要である。

当社においては箱桁の「パネル組立工法」を前提とした各組立・溶接自動化システムをPASシリーズと称しPAS I、PAS II、P・PASの各ラインが実用化された。これらのシステムの構築・開発にあたっては、設計上の問題、装置などハードの問題、溶接材料および溶接条件などの溶接上の問題、システムのソフトおよび管理上の問題などを同時に抽出し、長期的な展望に立って検討を進めてきた。今回これらをまとめて報告したが、まだ未解決の問題、また、新たに発生した問題等の解決にあたっては、解決の目的をしっかりと掴んで、長期展望の流れに乗せていくことが何よりも重要であることを再確認した。「パネル組立工法」およびPASシリーズの自動化システムは、つまるところは品質の向上であり、精度向上を経て仮組立省略を目指した製作工法へと際限なく流れていくことになる。新たな流れは「連続パネル組立工法」であり、次回にはこれらについて報告できる

ものと思われる。そしてこの技術革新の流れの中で、新たな時代へ向けての意識改革と企業の体質改善が計られていき、その過程において省力化、コスト低減が計られていくものと信じている。

最後に、これらのPASシリーズのシステムを開発、実用化するにあたって、神戸製鋼所、日鐵溶接工業、久保工業、新明和工業および宮川工業各社に一方ならぬ御協力をいただいたことを付記し謝辞とする。

〈参考文献〉

- 1) 成宮、青木；鋼橋製作における自動化システムの実用化例（パネル自動組立・溶接ライン）宮地技報No.2、1986年1月
- 2) 成宮、伊東；エレクトログラスアーク溶接による細幅板継ぎ溶接法の実用化、宮地技報No.4、1988年3月
- 3) 成宮隆雄；橋梁製作における溶接の自動化システムの実用化、溶接技術、1988年12月号

グラビア写真説明

東京都中央卸売市場大井市場(仮称)(青果棟) 東京モノレールの「東京流通センター」駅東側、広大な埋立地の一角に建設中の中央卸売市場がある。

青果棟は、間口400m、奥行180mの大市場である。SRC造の本体上に、耐候性鋼材（無塗装）仕様の大屋根が乗った構造で、外周には庇が連続して張り出している。又、SRC造の2階駐車場に昇るために、同じく耐候性無塗装仕様の曲線箱桁のランプウエイがある。

青果棟の他に水産棟や駐車場棟、管理本館その他各種施設が整い、平成元年3月には市場がオープンの子定であり、既存の神田市場、荏原市場等がこの地に移転されると聞いている。オープン後は近くの首都高速湾岸線大井南インターチェンジや環状7号線の交通滞滞が増すのではないかと心配されるほどである。（永瀬・北原）

坂出スカイタワー 瀬戸大橋の開通に伴って、香川県坂出市に博覧会会場が建設され、その会場内に観覧用のスカイタワーが建設された。タワーの規模は、地上からの主塔高さは110m、主塔の断面は直径3.8mの鋼管構造である。主塔を囲む形で直径26mの観覧車を塔頂より吊りし、その観覧車が地上から塔頂までを回転しながら昇降するものであり、設計搭乗人員は100人、昇降時間は3分、塔頂に至る迄の回転数は3回の構造となっている。タワーの建方は地上より450t吊クローラークレーンで行ない、現場継手は溶接接合なので、施工時期が冬期であった事から、防風養生に苦労したが無事施工を完了した。（松本泰）

福岡タワー新築工事 このタワーは1989年3月に福岡で開催されるアジア、太平洋博覧会のシンボルタワーとして建てられたもので、将来は放送用として使用される子定である。鉄塔の高さは234mあり東京タワーにつぐ2番目の高さを誇っている。

建方工事は約6ヶ月間で全ての鉄骨を完了させる必要があり、工程管理と安全管理を集中的に実施し効果をあげることができた。また架設計画においては極力工場組立時に大ブロック化を進め、架設部材数の減少と作業の効率化に努めたので、今後の同タイプ構造物の建方計画に参考になると思う。（西）