



鋼橋技術研究会

施 工 部 会

報告書Ⅲ－A

製作の合理化手法

目次

第1章	はじめに	A-1
第2章	ガイドライン設計の適用	A-2
2-1	概要	
2-2	ガイドラインの位置づけ	
2-3	ガイドライン適用範囲	
2-4	ガイドライン概要	
2-5	ガイドラインの課題・留意点	
第3章	橋梁構造形式の改良（合理化桁の採用）	A-11
3-1	概要	
3-2	合理化橋梁の概要	
3-3	従来設計との比較	
3-4	合理化橋梁の経済的支間長	
3-5	まとめ	
3-6	合理化橋梁における課題	
第4章	高機能鋼材の利用	A-19
4-1	概要	
4-2	高機能鋼材の種類	
4-3	高機能鋼材のエキストラおよび使用コスト比較例	
4-4	高機能鋼を用いた合理化の検討	
4-5	高機能鋼使用による製作の合理化の矛盾点	
4-6	橋梁用高機能鋼の今後の課題	
第5章	工場設備の充実（自動化の推進）	A-32
5-1	概要	
5-2	省力化の現状	
5-3	自動化推進の課題と留意点	
第6章	工場設備および溶接作業を考慮した構造詳細	A-48
6-1	概要	
6-2	自動化・ロボット化に向けた構造詳細例	
6-3	溶接箇所の低減による構造詳細の提案例	
第7章	要求性能の見直し	A-54
7-1	概要	
7-2	完全溶込み溶接の必要性箇所の検討	
7-3	ソールプレート取り付け部の支点部の許容変形寸法	
7-4	現場継手間の許容値	
7-5	孔明け加工	
7-6	すみ肉脚長	
7-7	入熱制限値	
7-8	予熱	
第8章	まとめ	A-59
付録	完全溶込みおよび部分溶込み溶接の適用箇所	A-60

第1章 はじめに

近年、鋼橋の合理化に関して、様々な検討が行われている。合理化と一言で言っても、見方や、考え方などは、立場によって異なる。例えば、発注者にとっての合理化と言えば、価格の低減(Reducing Bridge Price)であろうし、製作者にとっては、価格の低減を実現化させることは言うまでもないが、製作コストの削減(Reducing Fabrication cost)を図ることも重要であると言える。

現在、マスコミなどでも取り上げられているように、公共投資については厳しい見方の報道が多くなされており、橋梁価格の低減については、官民あげて取り組んで行く必要がある。しかし、現在の合理化の議論の中で、価格の低減は可能であるが、製作コストの削減には、ほとんど寄与しない合理化の提案が行われているケースもある。これは、実施工を伴わないで、すべて積算のみで合理化を検討しているからである。というのも、現在の積算では、鋼重と材片数を減らせば、価格の低減はできる。しかし、どこの部材を低減させたのかによっては、製作コストの低減効果は大きく異なる。例えば、人手によって作業を行っている箇所を低減すれば、製作コスト削減効果は大きいですが、ロボットや自動機で作業を行っている箇所を低減させたとしても、その効果は小さく、ほとんど変わらないこともある。すなわち、積算方式では大型材片(フランジ、ウェブ)と小型材片(その他の部材)に分類されているのみであり、各部材を一律に評価しているため、製作コストの削減を議論するには必ずしも適切であるとは言えない。本来の合理化の議論を行うには、製作工程を考慮し、どの程度製作コストが削減できるのかを明確にした上で、どの程度価格が低減できるのかを検討する必要がある。しかし、現状では、先にも述べたように、積算のみによる合理化の議論しか行っていないケースもあり、製作コストの削減効果については、実施工を行ってみないと判らないことが多い。また、ファブリケータの技術者であっても、設計を担当している技術者と製作を担当している技術者によっても、合理化に関する考え方が必ずしも一致しないケースがある。これまで、設計者や開発担当者などが新橋梁形式の合理化の議論を行ったケースはたくさんあるが、製作者が合理化の議論を行った報告は、非常に少ない。

本報告では、製作を担当している技術者から見た、製作の合理化に関する検討を行った。まず、第2～4章では、現在行われている製作の合理化手法を3項目に分け、その概論と明確にされていない製作上考慮すべきことや、留意点などを記述することとした。次に、第5章では、橋梁製作における自動化・ロボット化の現状を述べ、第6章では、ロボット化を考慮して製作の合理化が可能となる構造詳細について整理した。さらに、第7章では各基準製作で示されている項目の中で、製作の合理化を実現させるため、見直しが望まれていることがらについて述べた。また、この中(7-2)で完全溶込み溶接が必ずしも必要とない箇所もあると考えられるので、付録ではI桁、箱桁および橋脚に関して、完全溶け込み溶接を行っている箇所を示した。そして、後半の報告書Bでは、付録で示した完全溶込み溶接箇所の中で、横桁取り合い部を対象に部分溶込み溶接の適用性の検討を詳細に行った。

第2章 ガイドライン設計の適用

2-1 概要

公共工事コスト削減の一環として、平成7年10月に「鋼道路橋ガイドライン(案)」^{2.1)}が建設省より公表された。工場労働者の高齢化、若年労働者不足、熟練工・技能工・技術者の不足、標準化や自動化の遅れといった諸問題に対し、省力化構造を採用することにより改善しようとする施策の一つである。

従来の鋼重ミナマムを重視した設計法に製作加工度ミナマムをより重視した考え方を付加した内容となっている。

2-2 ガイドラインの位置づけ

ガイドラインは、鋼橋の製作及び現場施工の省力化が促進されるよう、構造の簡素化を図るための設計上の考え方を示したものである。具体的には、1部材1断面、連結板の一本化、水平補剛材の段数減等の採用による構造の簡素化により①板継ぎ溶接の削減および②材片数の削減を実現させ、工場製作の省力化を推進することを目的としている。

また、構造の簡素化により、現場継手の連結作業の省力化や床版ハンチ型枠の統一化の促進を通じ、現場での作業の省力化を期待したものである。

ガイドラインに示す構造を採用することにより、二次的効果として、主桁剛度の増加による主桁や床版の耐久性の向上、溶接継手箇所減少による耐疲労性の向上、構造を単純化することによる維持管理作業の容易性等が期待できるとしている。

2-3 ガイドライン適用範囲

ガイドラインは、標準的なI形断面および箱形断面のプレートガーダー橋を対象に、製作および現場施工の省力化が促進できる設計構造の考え方を示している。ガイドラインにおける「標準的なプレートガーダー橋」とは、工場で製作した部材を現場で高力ボルトによって接合する構造を有する、支間長がI形断面で20～60m程度、箱形断面で40～80m程度の中規模のプレートガーダー橋で、斜角や曲率があまり厳しくない橋梁と考えて良いとしている。

なお、大ブロックを一括架設するような、大規模な橋梁や全断面溶接の橋梁、少数主桁橋梁等は、ガイドラインに示す構造を採用した場合に著しい鋼重増につながることも考えられるため、ガイドラインによらず、省力化できる構造について別途検討することが望ましいとしている。トラス橋やアーチ橋等の床組のように、プレートガーダー橋の主桁と同様な構造をもつ部材については、ガイドラインを準用することができるが、その他の部材については、ガイドラインの位置づけや主旨を理解した上で、ガイドラインを参考としてもよいとしている。

2-4 ガイドライン概要

ガイドラインの概要を図 2-1 に示す。

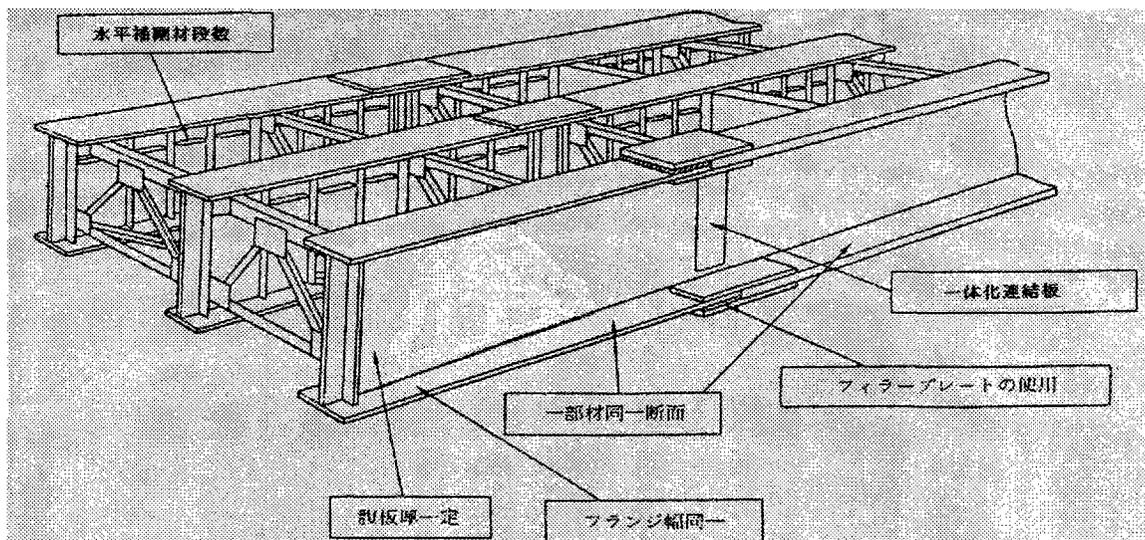


図 2-1 ガイドライン概要図

2-4-1 主桁

1) 一般

断面変化は、原則として高力ボルト継手位置で行うものとし、その間は板継ぎ溶接のない同一断面とする。

2) フランジ

上下フランジ幅は、原則としてそれぞれ桁全長にわたり同一とする。

3) 腹板

①腹板厚は、原則として桁全長にわたり同一とする。

②水平補剛材が必要な場合、その配置は原則として1段とする。ただし、連続桁の中間支点部等のように部分的に応力が卓越する箇所において、補剛材段数を増やすことにより腹板厚が前後と同一にできる場合には、段数を増やしてもよい。

4) 連結

①板厚差のあるフランジの高力ボルト継手は、原則としてフィラープレートを用いて連結する。

②腹板の高力ボルト継手は、原則としてモーメントプレートとシアプレートを一體化した連結板を用いる。

2-4-2 その他

1) 細部構造

細部構造は、製作及び施工の自動化・省力化を促進するために簡素化することとし、原則として「鋼道路橋の細部構造に関する資料集」(平成3年7月(社)日本道路協会)^{2,3)}によることとする。

2) 床版打設への配慮

鉄筋コンクリート床版を用いる場合の横断勾配は、沓座の高さにより調整することが望ましい。

2-5 ガイドラインの課題・留意点

製作上のガイドライン適用時の課題・留意点を以下に述べる。

2-5-1 主桁

1) 一般

断面変化は、原則として高力ボルト継手位置で行うものとし、その間は板継ぎ溶接のない同一断面とする。

(ガイドライン説明)

従来、鋼橋の主桁設計においては、主桁の応力状態に合わせて腹板やフランジの板厚及び板幅等を変化させ、板継ぎ溶接により断面変化を行ってきた。ガイドラインでは、工場製作の省力化を促進するため、板継ぎ溶接のない構造を採用することとし、断面変化は、高力ボルト継手位置において行うことを原則としている。現場継手位置は、一部材の重量及び輸送長等を勘案して定めるものであるが、この一部材内においては、断面変化をさせないことをここでは規定している。従来のプレートガーダー橋主桁の高力ボルト継ぎ手位置においては、引張フランジの孔引きによる断面欠損により、母材断面の増加が必要な場合があった。

ガイドラインでは、母材断面を同一にすることを意図しており、孔引きによる母材断面の増加があればその断面で母材断面を統一する等、ボルトの孔引きの影響についても考慮した上で母材断面を決定する必要があるとしている。

(製作上の課題・留意点)

① ガイドラインの目的である橋梁工事費の削減の観点からでは、一部材の部材長を大きくし、トータル材片数の削減を行えばよいことになる。しかしながら部材長を大きくする場合には、下記点に留意すべきである。

a) 部材長が15mを越えた場合には、既存工場ライン設備で施工できない場合があり、オフラインでの施工となり作業効率が悪くなる場合がある。

b) 輸送時の車両制約、輸送経路制約等で輸送できない場合がある。また、輸送可能としても、輸送時の部材安定等の問題で主桁を横倒しで輸送する等により、逆にコストアップに繋がる場合がある。

これらより、少なくとも部材寸法としては、部材長13m以下、ブロック重量25t以下を目安とすることが望まれる。

② 断面変化を継手位置で行うことは、工場板継ぎ溶接工程・板継ぎ部非破壊検査の省略につながり作業工数の縮減に大きく寄与するが、腹板の継手が現場溶接構造で、組合わさる腹板の板厚差が小さい場合(3mm以下)等は、開先加工部の頂部をグラインダー等でテーパ加工処理(1/5勾配)しなければならないが、現場溶接の場合には、従来のガス加工工程以外の作業が必要となっている。

③ 縦リブ断面の統一(箱桁)

縦リブ断面はブロック内で上下フランジ毎に統一すべきであり、また、材質毎にリブ断面を統一することにより共通部材の製作が可能となり、製作性が向上する。

2) フランジ

上下フランジ幅は、原則としてそれぞれ桁全長にわたり同一とする。

(ガイドライン説明)

フランジの断面変化は、一般に板厚あるいは板幅を変化させることにより行われるが、板幅を変化させる場合には、高力ボルト継手位置における断面の急変を避けるため、板継ぎ溶接により断面をすりあわせる必要がある。ガイドラインでは、板継ぎ溶接の省略、さらに上フランジ幅を桁全長に統一することによる床版現場施工の省力化の観点から、フランジ幅を統一して板厚のみで断面を変化させることを原則としている。

(製作上の課題・留意点)

- ① 連結板の長さを抑えるために、ボルト配置の基本型が千鳥型にならないようにし、4列配置または、6列配置とすることが望まれる。矩形孔位置配置とすることにより、孔明け作業の簡略化、誤作防止に繋がるものと考えられる。
- ② ゴム支承を使用する工事では、ソールPLの大型化により、フランジ幅よりソールPL幅が突出する構造になる場合がある。この場合、ソールPLと下フランジの溶接は、溶接線が、切り返し構造となり、溶収縮変形のためにソールPLの平坦度が確保しにくい場合がある。この場合、支点上部分のみフランジ幅を拡幅させる方法とフランジ幅を拡幅させずにソールPLの板厚を厚くし、溶収縮に抵抗できる構造とする方法が考えられる。

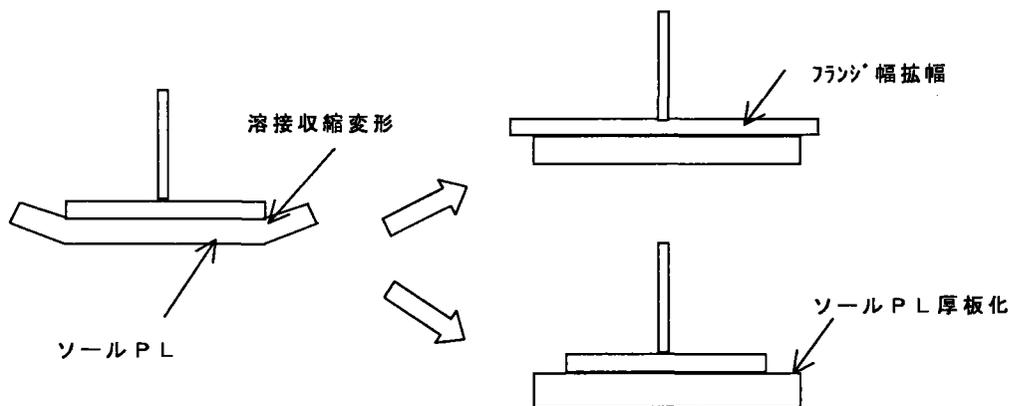


図 2-2 ソールPLの変形防止

3) 腹板

- ① 腹板厚は、原則として桁全長にわたり同一とする。
- ② 水平補剛材が必要な場合、その配置は原則として1段とする。
ただし、連続桁の中間支点部等のように部分的に応力が卓越する箇所において、補剛材段数を増やすことにより腹板厚が前後と同一にできる場合には、段数を増やしてもよい。

(ガイドライン説明)

- ① 腹板の板厚変化は一般に小さく、フィラープレートを用いて高力ボルト継手により部材を連結することは困難なため、継手位置以外での板継ぎ溶接により、断面のすり合わせを行う必要がある。そこで、原則として腹板厚を全長にわたり同一とすることによって、板継ぎ溶接をなくすことにしている。
- ② ガイドラインでは、水平補剛材無し、あるいは必要な場合でも1段までを原則としている。表 2-1 は、プレートガーダー橋6ケースの試設計結果をもとに、著しい鋼重増にならない範囲の腹板高、腹板厚、水平補剛材段数の関係を鋼材の種類ごとに示したものである。連続桁の中間支点付近等においては、支間部と腹板厚を変化させないために、鋼材の種類、補剛材段数等について検討する。たとえば、SM490Yを用いて支間部の腹板高が2,100mm、支点部の腹板高2,600mmの場合、支間部の腹板厚は水平補剛材1段で11mmである。このとき支点部の水平補剛材を1段のままですると、腹板厚を13mmに変化させなければならないが、2段に増やすと腹板厚を変化させる必要がない。このように腹板厚を前後と同一にできる場合には補剛材段数を増やしてもよいこととしている。

表 2-1 腹板高と水平補剛材、腹板厚の関係 (mm)

腹板材質 水平補剛材 腹板高	SM400			SM490Y			SM570 (参考)		
	なし	1段	2段	なし	1段	2段	なし	1段	2段
1000	9			9			10	9	
1100	9			9			10	9	
1200	9			10	9		11	9	
1300	9			11	9			9	
1400	10	9			9			9	
1500	10	9			9			9	
1600	11	9			9			9	
1700		9			9			10	
1800		9			9			10	
1900		9			10			11	
2000		9			10			11	
2100		9			11			12	11
2200		9			11			12	11
2300		9			12	11		13	11
2400		10			12	11		13	11
2500		10			12	11			11
2600		11			13	11			11
2700		11			13	11			11
2800		11				11			11
2900		12	11			11			11
3000		12	11			11			11
3100		13	11			11			11

試算条件：支間 30 m、 40 m (単純非合成 I 桁橋)
3 @ 35 m、 3 @ 45 m (3 径間連続非合成 I 桁橋)
3 @ 50 m、 3 @ 60 m (3 径間連続非合成箱桁橋)
幅員 9.7 m

(上記の関係は、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 8.4^{2.4)}の規定による)

(製作上の課題・留意点)

- ①積算上では、腹板厚を 1mm 程度薄くして水平補剛材を 2 段としても、水平補剛材 1 段の方が有利になることがある。また製作上では、加工・組立工程で、水平補剛材段数の省略化は、製作簡略化に寄与するが、昨今、各工場に導入されているロボット溶接機で補剛材を溶接する場合には、水平補剛材段数の省略化が、一概に直接、溶接工数の削減に寄与しない場合があることを考慮すべきである。
- ②応力の集中する中間支点上はブロック数も限られており、橋梁全体への影響も少ないので腹板厚を厚くすることも検討すべきである。このことにより、剛性が向上し、支点上補剛材の近傍に設けるリブ材の省略、T 継ぎ手溶接時の歪み変形の防止となり、製作性が向上することに繋がるものと考えられる。
- ③腹板厚の変化量が小さい場合には、薄板でかつ長板のフィラープレートが必要となり、施工上、下記問題が生ずることを考慮すべきである。
 - a) 3.2mm 以下の薄板鋼板のドリル孔明け作業では、鋼板が長大化すると孔明け作業時に、鋼板がドリル掘削によりドリル孔明け定盤から浮き上がり孔位置に誤差を生じる。このため、拡大孔 (26.5 φ) の適用が望まれる。
 - b) 薄板鋼板のドリル孔明け作業については、孔明け時、薄板鋼板のたわみ防止のために捨て板材を使用して行うなど、板厚 9mm の場合に比べ、孔明け費用が約 1.5 倍位要している。
 - c) 仮組立、架設時には、フィラープレートが大きいことによるハンドリング、位置合わせの難しさより、ドリフトピンで位置決めをしても、フィラープレート孔部が、ドリフトピンにより局所変形を生じ、スプライスとの材片端部に目違いを生じる場合がある。この防止策としては、現場継手線に平行な目違いについては、スプライスよりも中側に生じた場合、防錆上の弱点となるため、フィラープレートの大きさをスプライスより 3 mm 程度大きく製作するのも 1 つの解決策である。

4) 連 結

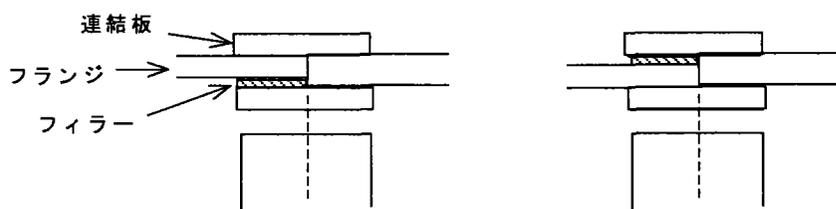
- ① 板厚差のあるフランジの高力ボルト継手は、原則としてフィラープレートを用いて連結する。
- ② 腹板の高力ボルト継手は、原則としてモーメントプレートとシアプレートを一体化した連結板を用いる。

(ガイドライン説明)

①板厚差のあるフランジの高力ボルト継手においては、図 2-3 に示すように、板厚変化を a. フランジ面をそろえる方法（上下フランジの外側面をそろえる）と b. 腹板高をそろえる方法（上下フランジの内面をそろえる）がある。これについてはどちらの方法を用いてもよいとしているが、現場施工の省力化の観点からは、プレキャスト床版を適用する場合には上フランジ上面そろえを、また、鉄筋コンクリート床版を適用する場合は、腹板高そろえを適用した方が望ましいとしている。

使用するフィラープレートの材質は、母材と同等以上とし、また、接合面の処理は道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 15.4.5^{2,4)}によるものとしている。

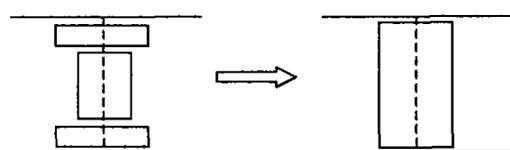
②腹板の高力ボルト継手に用いる連結板は、材片数の削減及び接合作業の省力化等の観点から、図 2-4 に示すように、モーメントプレートとシアプレートを一体化したものをを用いることを原則としている。



(a)フランジ外側面をそろえる方法

(b)腹板高をそろえる方法

図 2-3 主桁フランジの連結



(a)従来型

(b)一体型

図 2-4 腹板の連結

(製作上の課題・留意点)

①フィラープレートの板厚は、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 4.3.13^{2,4)}の解説で肌すき、腐食の問題上 2mm 以下を適用してはならないとしている。製作面でもドリル孔明け作業及びブラストピーニングによるそりの問題から、最小板厚は 2.3mm とすることが望まれる。また、設計段階では、板厚の種類を極力少なくするグルーピングを行うことにより、製作の簡略化に繋がるものと考えられる。(ex.板厚差 5~7mm には 6mm フィラープレート使用)

- ②箱桁などでは断面変化の板厚差が小さくなる場合が多いが、母材の1mm差には厚板側木端口にグラインダーでなじみ勾配を施し、フィラープレートを設けないことも考慮すべきである。但し、スプライスの板厚が厚い場合、なじみ勾配になじまず肌すきを生じるので、中央部のボルトピッチを100mmとすることも配慮すべきである。
- ③板厚差のある縦リブ連結では板芯合わせのため、薄いフィラープレートを両面に設ける場合がある。製作上は、箱桁腹板の連結と同様に、フィラープレート片面のみとし、簡略化するのが望ましい。また、フィラープレートの取付面についても、設計上合理的な面に統一することにより、本体へのフィラープレート取付作業の簡略化が図れるものと考えられる。
- ④フィラープレートの材質については、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編4.3.13^{2.4)}の解説で、一般構造用圧延鋼材の適用を認めている。

2-5-2 その他

1) 細部構造

細部構造は、製作及び施工の自動化・省力化を促進するために簡素化することとし、原則として「鋼道路橋の細部構造に関する資料集」(平成3年7月、(社)日本道路協会)^{2.4)}によることとする。

(ガイドライン説明)

細部構造は、各発注者の考え方により現在さまざまな仕様が存在する。これは、工場製作の自動化や省力化の推進を困難にしている原因のひとつと考えられるため、できるだけ統一することが望ましい。「鋼道路橋の細部構造に関する資料集」^{2.4)}は、このような観点から各機関で異なっている細部構造をできるだけ統一すべく平成3年にとりまとめられたものであり、細部構造はこれによることを原則としている。なお、資料集に示す断面変化や連結の規定等ガイドラインの内容と異なる点については、ガイドラインの規定が優先するとしている。

(製作上の課題・留意点)

- ① 箱桁ダイヤフラムの補強リブについては、溶接歪み変形の問題が解決できれば、現状の表裏面取付を片面のみにすることも考慮すべきである。



ダイヤフラム リブ両面取付 リブ片面取付

図 2-5 ダイヤフラム構造

- ② 腹板の表裏に対する垂直補剛材と水平補剛材の取付面の決め方については、「鋼道路橋の細部構造に関する資料集」^{2.4)}では、内桁に限り、製作者の判断に委ねて、

同一面或いは、反対面の区分取付を許可している。区分取付を図2-6に示す。区分取付では、水平補剛材を連続させることができるため、材片数の削減・連続溶接が可能になり省略化につながる。但し、区分取付により片面のロボット溶接適用率が下がるため、一概に直接、溶接工数の削減に寄与しない場合があることを考慮すべきである。また、水平補剛材取付面としては、横桁・対傾構の取合いを考慮すると、効率的な取付面は、外桁の外面側になるものと考えられる。橋の美観を配慮する必要があるが、製作の省力化の観点から、今後、区分取付の外桁への適用が望まれる。

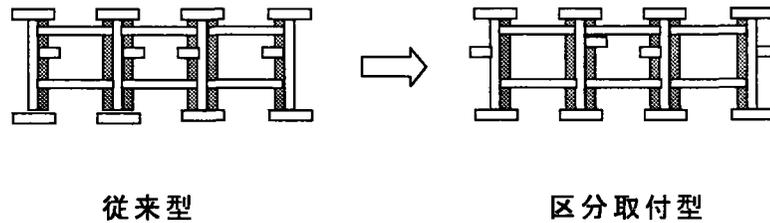


図 2-6 補剛材の区分取付

2) 床版打設への配慮

鉄筋コンクリート床版を用いる場合の横断勾配は、沓座の高さにより調整することが望ましい。

(ガイドライン説明)

横断勾配はハンチ量で調整する場合と沓座の高さで調整する場合があるが、鉄筋コンクリート床版を適用する場合には、現場での型枠作業及びハンチ量の管理、配筋作業の省力化、将来のプレキャスト床版利用等の観点から、ハンチ量を一定とし、横断勾配は沓座の高さで調整することが望ましいこととしている。

なお、曲線桁の場合はこの限りでないとしている。

(参考文献)

- 2.1)建設物価調査会：鋼道路橋設計ガイドライン（案），平成7年10月
- 2.2)建設物価調査会：鋼道路橋設計ガイドライン（案）Q&A，平成8年5月
- 2.3)日本道路協会：鋼道路橋の細部構造に関する資料集，平成3年7月
- 2.4)日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編），平成8年12月
- 2.5)日本橋梁建設協会：ガイドライン型設計適用上の考え方と標準図集，平成10年12月
- 2.6)日本橋梁建設協会：ガイドライン型設計適用上の考え方と標準図集 Q&A
，平成12年2月

第3章 橋梁構造形式の改良(合理化桁の採用)

3-1 概要

近年、公共事業に対する国民の価値観が大きく変化し、鋼橋の分野においても建設コスト・維持補修コストの削減・耐久性の向上・景観に対する配慮等が、強く求められるようになってきた。

本章では、鋼橋とPC床版の持つそれぞれの特性を有効に組合せた合成構造とする事により、建設コスト・維持補修コストの削減・耐久性の向上・シンプルな構造による景観性の向上を可能とした、「日本橋梁建設協会」発表の「合理化橋梁」^{3.1),3.2)}について考察する。

表 3-1 鋼材料とコンクリート材料の持つ特性の比較

	材 料 の 特 性	
	長 所	短 所
鋼 材 料	<ul style="list-style-type: none">・高い引張り強度・優れた変形性能・軽量・色彩の自由度	<ul style="list-style-type: none">・圧縮領域では座屈に支配される
コンクリート材料	<ul style="list-style-type: none">・安価・高い圧縮耐力・耐腐食性・高い剛性	<ul style="list-style-type: none">・重量が大きい・引張り強度が著しく小さい靱性の乏しい材料

3-2 合理化橋梁の概要

「日本橋梁建設協会」発表の「合理化橋梁」^{3.1),3.2)}は、2主I桁橋・開断面箱桁橋・鋼床版2主I桁橋(合理化鋼床版橋)・合理化トラス橋に代表される。

以下、それぞれ合理化橋梁の概要とその特徴について記す。

3-2-1 2主I桁橋

1)概論

I桁の床版にPC床版を採用することにより、主桁間隔を従来の3mから6m以上とすることが可能となり、主桁本数を減らすことを可能とした少数主桁橋である。

2)特徴

- ①床版は、場所打ち又はプレキャスト床版いずれにも対応可能。
- ②床版支間の拡大に伴い主桁本数を削減。
鋼道路橋設計ガイドライン(案)の合理化策を適用。
 - a) 1部材1断面とすることにより工場での板継溶接を省略。
 - b) 水平補剛材を0~1段とし材片数を削減。
- ③簡素化した充腹構造を採用。

横桁の設置間隔を 10m まで拡大すると共に形鋼の使用を可能とした。

- ④横荷重は床版で抵抗させる設計としている為、下横構を省略。
- ⑤部材数の減少に伴い塗装面積が減少。(維持管理費の低減)
- ⑥構造の簡素化・部材数の減少。(架設作業時の安全性向上)
- ⑦部材数の減少によるシンプルな外観。

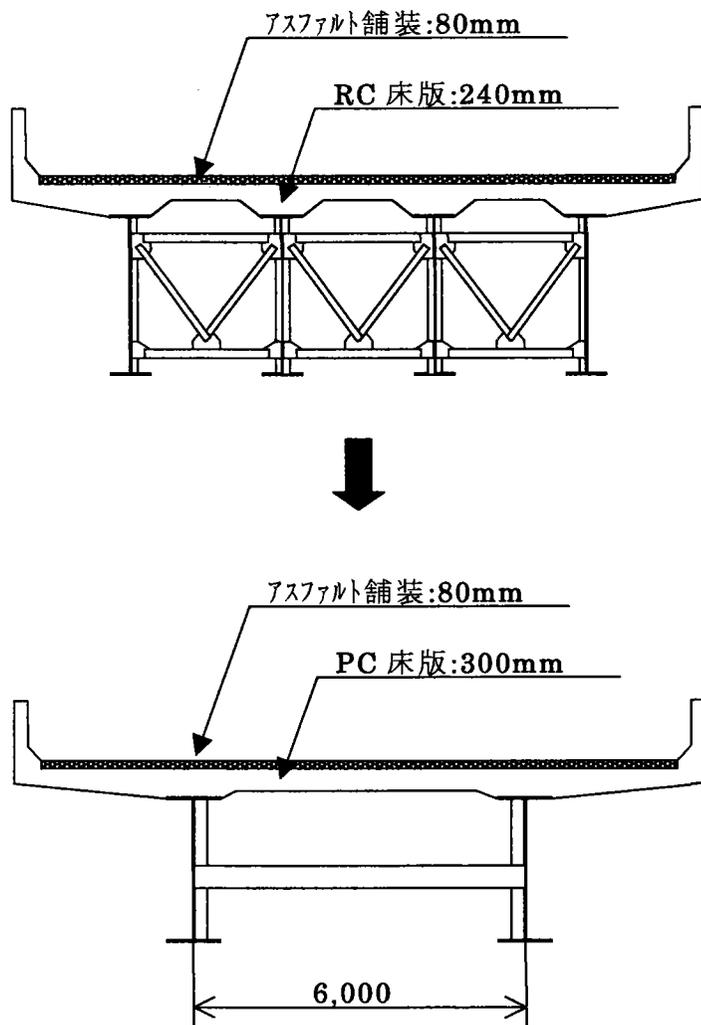


図 3-1 従来設計の 4 主桁橋と 2 主 I 桁橋との比較

3-2-2 開断面箱桁橋

1)概論

上フランジ部材を I 桁と同様な構造とし、開断面を形成するものである。床版に PC 床版との合成構造を採用することにより、腹板間隔を広げた 1 箱桁化が可能となり、縦桁・横桁等の床組構造を大幅に省略する事が実現した構造形式である。

2)特徴

- ①床版は、場所打ち又はプレキャスト床版いずれにも対応可能。
- ②主桁はねじりに対して床組との合成断面とすることにより、上フランジの鋼断面積を小さくすることが可能となる。(開断面化の実現)
- ③充腹構造(ダイヤフラム)にトラス構造を採用。(形鋼の使用可能)
- ④部材数の減少に伴い塗装面積が減少。(維持管理費の低減)
- ⑤部材数の減少によるシンプルな外観。

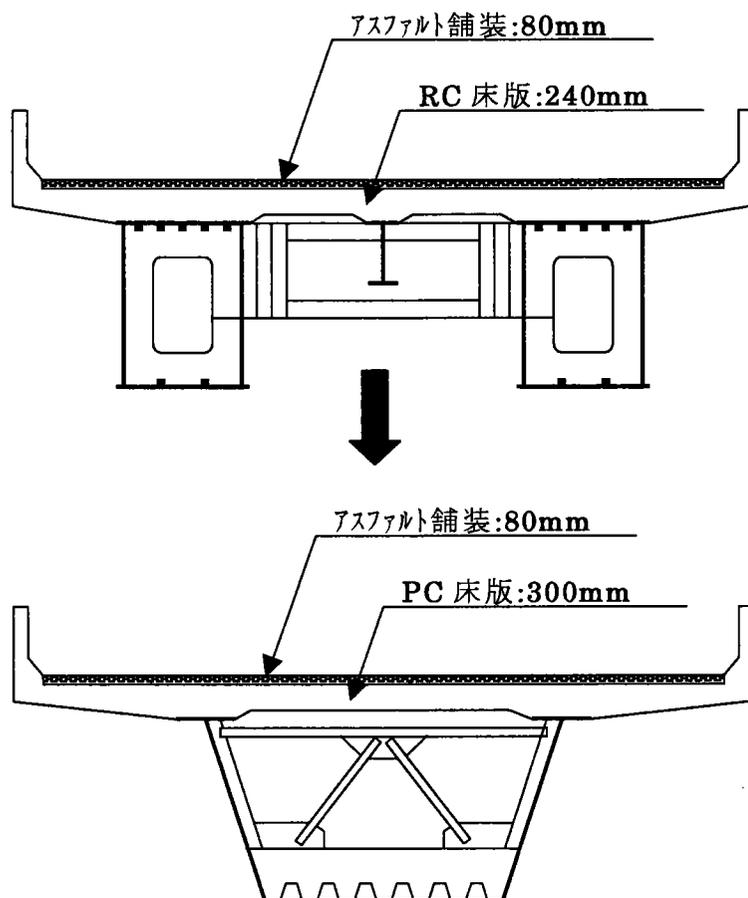


図 3-2 従来設計の 2 主箱桁橋と開断面箱桁橋との比較

3-2-3 鋼床版 2 主桁橋（合理化鋼床版）

1) 概論

鋼床版と 2 主 I 桁を組合せた構造で、鋼床版のデッキプレート厚を大きくし、かつ、大断面 U リブを使用することにより工場製作の省力化を可能とした橋梁形式である。従来の鋼床版橋梁に比べ鋼重がやや減少する為、工費縮減の他、耐久性の向上も図れるものである。

2) 特徴

- ①大断面 U リブの採用により、リブの本数を削減。（溶接線の減少）
- ②デッキプレートの増厚により、耐久性向上。
- ③厚板下フランジの採用と溶接技術の向上により、2 主桁化が実現。
- ④横桁には形鋼を使用。（構造の簡素化）
- ⑤コンクリート床版の施工が無く、工期の短縮を図れる。
- ⑥床版も含めた上部工の重量を低減。下部工への負担が減り、特に耐震性に優れる。

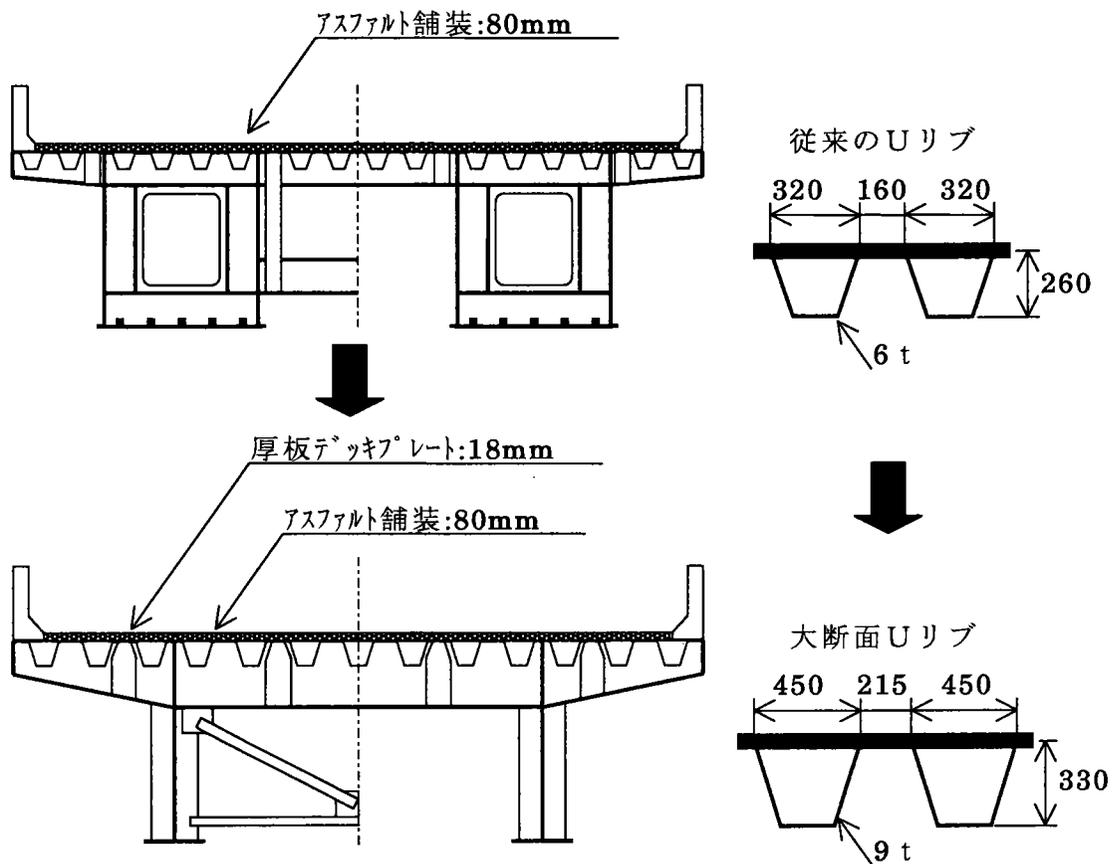


図 3-3 従来設計の鋼床版 2 主箱桁橋と鋼床版 2 主桁橋との比較

3-2-4 合理化トラス橋

1)概論

従来、床版を支持していた縦桁やブラケットなどの床組構造にPC床版を用い、支持桁間隔を大きくすることにより、床組構造の省力化・簡素化を可能とした橋梁形式である。

さらに横荷重に対しては床版で抵抗させることから、上横構を省略しすることにより、溶接延長を極力減らすことが実現した。

2)特徴

- ①縦桁・ブラケット及び側縦桁の省略。(横桁部材数の削減)
- ②下横構と対傾構に形鋼を使用。(工場製作の合理化)
- ③横荷重(地震・風)に対してPC床版を有効に活用する設計とし、上横構を省略。(材片数の減少・工場製作の合理化)
- ④支間の短いトラス橋では垂直材の省略が可能。(材片数の減少・工場製作の合理化)

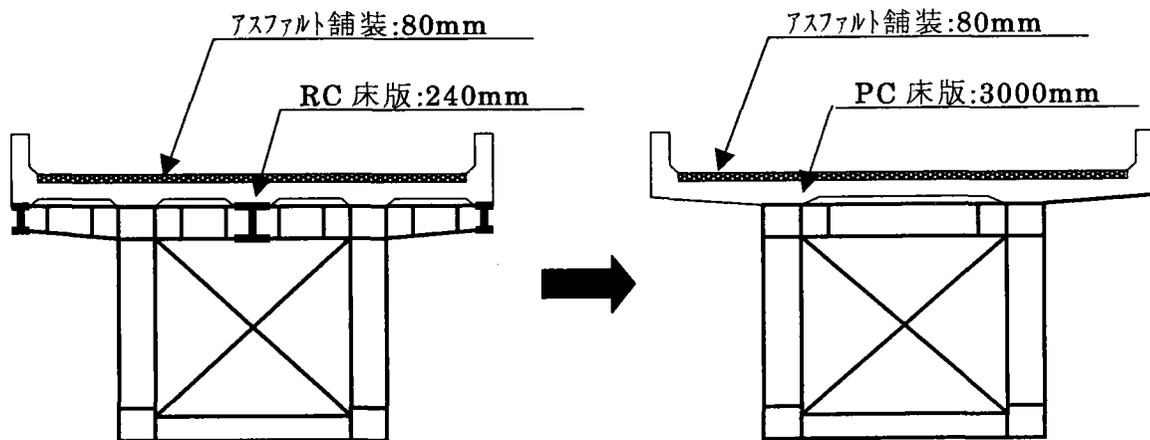


図 3-4 従来設計のトラス橋と合理化トラス橋との比較

3-3 従来設計との比較

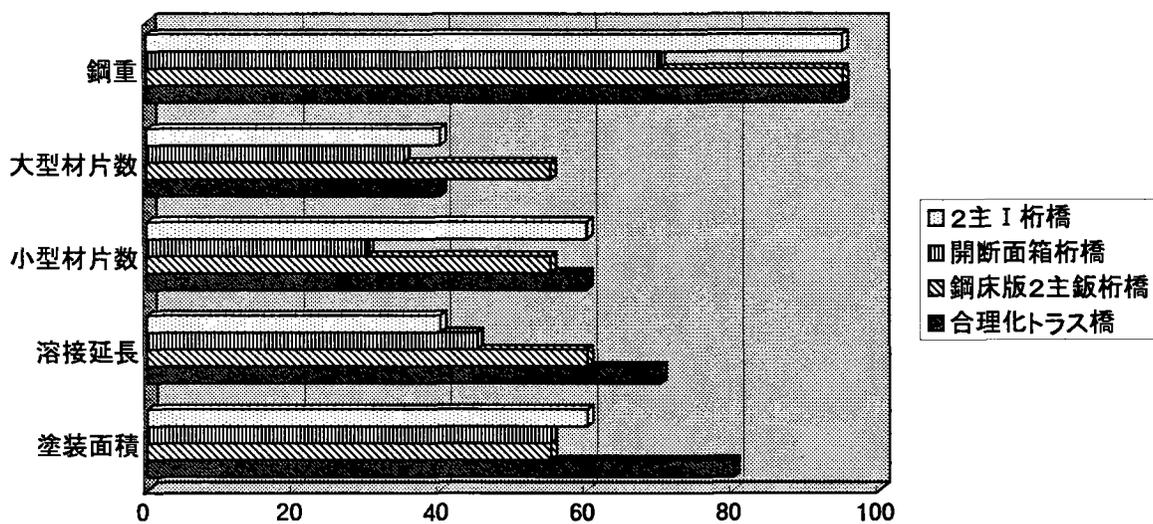


図 3-5 従来設計を 100 とした場合の項目比(100%)

3-4 合理化橋梁の経済的支間長

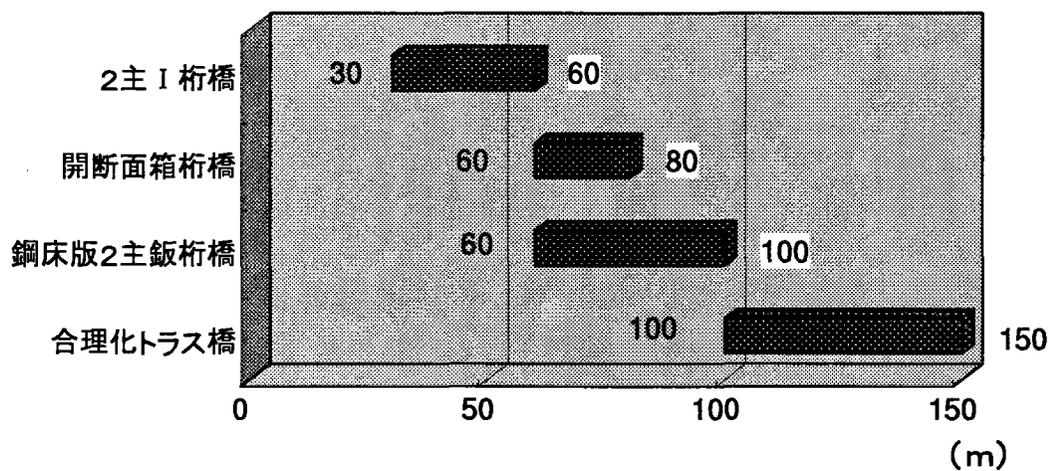


図 3-6 経済的適用効果支間長

3-5 合理化橋梁における課題

3-5-1 50mm を越える極厚材の使用

I 桁等の主桁首溶接の脚長が 10mm を越える大脚長となる。従来使用している工場設備であれば溶接パス数の増加となり、材片数の削減は有るものの、一概に工場製作工数の削減には繋がらないと言える。

- 1)大脚長対応の溶接設備の導入。
- 2)大脚長対応の溶接工法の開発。
- 3)溶接による熱影響部の検証。

3-5-2 ウェブ高 3 m 超・部材長 20m と言った部材の大型化

現在、各社橋梁製作工場においては、従来設計の橋梁を効率良く生産出来る工場設備を整えている。しかし、部材が大型化することにより、これまでの工場設備では対応出来ない状況が発生し、逆に生産効率が低下する事と言う問題が発生している。

- 1)桁起し・パネル溶接・溶接ロボット・穴明装置・桁の反転機と言った、自動化ラインの見直し。
- 2)クレーン・台車・トラック等、工場内横持ち設備の見直し。

3-5-3 横桁・ダイヤフラム・対傾構・横構の省略に伴う組立精度の確保

合理化橋梁においては PC 床版との合成構造とする事により、横桁・ダイヤフラム・対傾構・横構を可能な限り省略し、材片数の削減を実現させた。

しかし一方、工場仮組立及び現場架設時においては、PC 床版が無い事により、かなり不安定な形状で有るといえる。

よって、合理化橋梁によって鋼重・材片数の削減は図られたが、工場仮組立及び現場架設時における安定化・輸送中の変形防止・組立精度の確保と言った点から、形状保持材等の仮設資材が新たに発生している。

3-5-4 製品の輸送

近年、日本国内における道路整備は、かなりの所まで進んでいるものであるが、一方、都市部を離れば未だ整備されていない所が随所に見うけられる。

合理化橋梁によって、大型化された部材の輸送に際しては、設計段階における輸送制限等道路事情の把握・輸送ルートの確保が不可欠である。

また、設計段階において輸送可能と判断された部材形状においても、それを輸送する車両の国内における保有台数が著しく少ない場合などは、現場架設工程に合わせたタイムリーな輸送が出来ないと言う問題が新たに発生する。

3-6 まとめ

合理化橋梁は、鋼橋における課題であった建設コスト・維持補修コストの削減・耐久性の向上・シンプルな構造による景観性の向上を実現したものであり、設計者にとって非常に有利な構造形式であると言える。

表 3-2 従来設計に対する合理化橋梁の経済的削減率

No.	削減項目	削減率	※
1	鋼重	11%	削減率は図 3-5 の各種合理化橋梁の平均とした。
2	大型材片数	57%	
3	小型材片数	49%	
4	溶接延長	46%	
5	塗装面積	37%	

一方、実際にこれら合理化橋梁の製作・架設を行う現場において、解決を急がねばならない問題点が新たに発生している。

今後、合理化橋梁を採用する際には、この点も十分考慮した上で、設計上の経済比較に止まらず、施工場所・工期等、工事条件の妥当性のみならず国内の経済情勢等を配慮し決定すべきであると考ええる。

(参考文献)

3.1) (社)日本橋梁建設協会：新しい橋梁

3.2) (社)日本橋梁建設協会：新しい鋼橋の誕生

第4章 高機能鋼材の使用

4-1 概要

2002年を迎え、本州四国連絡橋の建設が終了し、大プロジェクトの計画も進展していない。鋼橋の建設は、長大橋から中小規模の鋼橋に移行しつつある。その結果、鋼橋はPC橋との一段と厳しい競争に直面している。また、コスト縮減や合理化に対する要求が一段と高まっている。このようなことから、従来の橋梁用鋼材より優れた性能を有する高機能鋼材を使用するケースも生じてきた。この一部の鋼材は、すでに道路橋示方書の平成8年度改訂版に取り入れられている。以下に橋梁用高機能鋼の概要と橋梁用高機能鋼の今後の課題について述べる。

4-2 高機能鋼材の種類 4.1), 4.2), 4.3)

高機能鋼材の定義とは、 570N/mm^2 級以上という高張力鋼に限定せず、「鋼橋に汎用的に使用している鋼種と比較して、強度、靱性、溶接性、曲げ加工性、耐腐食性において、より優れた性能を有する鋼種、鋼材の総称」をいう。主な橋梁用高機能鋼の概要を表4-1に示す。

表4-1 主な橋梁用高機能鋼の概要

	名 称	概 要
(1)	高強度鋼	HT690, HT780, HT950等の高い引張強さを有する鋼材
(2)	降伏点一定鋼	板厚40mmを超えても保証降伏点を40mm以下の保証値と同じとする鋼材
(3)	極厚鋼板	道路橋示方書規定を超える板厚範囲において強度・靱性の優れた鋼材
(4)	高靱性鋼	①冷間曲げ加工：小さい曲げ加工半径が可能な鋼材 ②寒冷地仕様：寒冷地における靱性の要求仕様を満足する鋼材
(5)	予熱低減鋼	溶接施工時の予熱温度の低減が可能な鋼材
(6)	大入熱溶接用鋼	調質鋼に対する溶接入熱制限(7万J/cm以下)を超えても十分な靱性を有する鋼材
(7)	耐ラメラテア鋼	板厚方向性の優れた耐ラメラテア性を有する鋼材
(8)	耐候性鋼	緻密なさびによってさびの進展を抑制するため無塗装での使用が可能な鋼材
(9)	新耐候性鋼	海浜地区等の飛来塩分の影響が有る地域や融雪材散布の多い地域において、使用する目的で開発された鋼材
(10)	LP鋼板(テーパプレート)	長さ(圧延)方向に板厚が連続的に変化する鋼材
(11)	チタンクラッド鋼	炭素鋼とチタンを接合した複合鋼材
(12)	ステンレスクラッド鋼	炭素鋼とステンレスを接合した複合鋼材
(13)	亜鉛めっき用鋼	亜鉛めっき焼けおよび亜鉛ぜい化割れに対する対策を施した鋼材

以下に主な橋梁用高機能鋼を説明する。

4-2-1 高強度鋼

高強度の鋼材を利用することで、板厚を薄くでき、構造物の軽量化が図れる。また、これに付随して、長大支間化、運搬、架設の効率化、薄肉化による加工・溶接の効率化などのメリットがある。高強度鋼の規格を表 4-2 に示す。

表 4-2 高強度鋼の規格

鋼種	規格	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)
HT690	HBC G3102 HT70 WES 3001 HW550	≥ 590	≥ 690	315
HT780	HBC G3102 HT80 WES 3001 HW685 JIS G3128 SHY685	≥ 685	≥ 780	355
HT950	WES 3001 HW885	≥ 885	≥ 950	—

4-2-2 降伏点一定鋼

平成 8 年 12 月の道路橋示方書改定により、表に示すように適用可能板厚が 100mm まで引き上げられた。これにともない、板厚 40mm を超える鋼材について、降伏点または耐力の下限値が板厚により変化しないことを保証した鋼材も使用可能となった。この鋼材を降伏点一定鋼といい、降伏点一定鋼は板厚 40mm～100mm の鋼材で、板厚 40mm 以下の JIS 材は、規格降伏点を保証している。降伏点一定鋼の規格を表 4-3 に示す。

表 4-3 降伏点一定鋼の規格

規格記号	板厚(mm)	降伏点(耐力)
SM400C-H	40 < t ≤ 100	≥ 235
SMA400CW-H	〃	≥ 235
SM490C-H	〃	≥ 315
SMA490CW-H	〃	≥ 355
SM520C-H	〃	≥ 355
SM570-H	〃	≥ 450
SMA570W-H	〃	≥ 450

4-2-3 極厚鋼板

極厚鋼板を用いることにより、大型構造物の実現が可能になる。また、橋梁構造物においては、厚肉材の適用により、部材数の低減や断面のコンパクト化など、構造のシンプル化が図られる。

4-2-4 高靱性鋼

高靱性を有する鋼板を用いると、以下のようなメリットが生じる。

- ①より小さいな曲げ半径で冷間加工ができる。
- ②寒冷地などの低温地域での鋼材の利用範囲が広がる。

主要部材において冷間曲げ加工を行う場合、内側曲げ半径は板厚の 15 倍以上とするのが原則とされているが、平成 8 年 12 月の道路橋示方書改訂により、JIS Z 2242 に規定するシャルピ-衝撃試験の結果が下表に示す条件を満たし、化学成分中の窒素が 0.006% を超えない材料については、内側半径を板厚の 7 倍以上または 5 倍以上と規定している。高靱性鋼の曲げ規定を表 4-4 に示す。

表 4-4 高靱性鋼の曲げ規定

シャルピ-吸収エネルギー(J)	冷間曲げ加工の内側半径
150 以上	板厚の 7 倍以上
200 以上	板厚の 5 倍以上

4-2-5 予熱低減鋼

近年、橋梁の長大化にともない、橋桁に 570N/mm² 級以上の高張力鋼が適用されるようになった。一方、実施工においては、溶接時に発生する低温割れを防止するため、溶接直前に鋼材を予熱する必要がある。しかし、現地施工における 100℃ 以上の高温予熱作業は施工管理に各種の制約がある。予熱低減鋼を使用することにより予熱作業およびその付帯作業の低減あるいは省略が可能となった。

4-2-6 大入熱溶接用鋼

JIS G 3106(SM 鋼)と JIS G 3114 (SMA 鋼)の鋼種を対象に、I 桁ウェブ及び鋼床版デッキプレート等の突合せ溶接に、エレクトロガス溶接や多電極サブマージアーク溶接等の大入熱 1 パス溶接 (溶接入熱 > 70 k J/cm) を適用する場合は、大入熱溶接を行っても溶接継手の強度と靱性を確保できる鋼材である。

4-2-7 耐ラメラテア鋼

鋼構造物の大型化かつ複雑化にともない、鋼橋分野においても構造上、機能上、あるいは景観上の面から拘束の厳しい溶接継手により板厚方向に大きな引張応力を受ける部材を採用するケースが多くなってきている。道路橋示方書によればこのような構造部材には、溶接ラメラテアが発生する危険性がある。溶接により拘束を受ける主要部材で主として板厚方向に引張力を受ける場合には、溶接部またはその周辺部に割れが発生する可能性があるため、鋼材の板厚方向の特性に配慮する必要がある。

4-2-8 耐候性鋼

耐候性鋼は、米国 U. S. Steel で開発された CORTEN 鋼で、米国では 1965 年ごろより橋梁に適用されている。日本国内では、JIS G 3114 溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材として規定されている。溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材は耐候性成分 Cu, Ni, Cr が添加されており、鋼板表面に緻密な錆の層が形成される。この緻密な錆の層が鋼板表面を保護し、それ以降の錆の進展が抑制される。したがって、表面の塗装なしで長期間維持できることから鋼橋のミニマムメンテナンス化に貢献される。山間部の耐候性鋼橋梁の状況写真を写真 4-1 に示す。

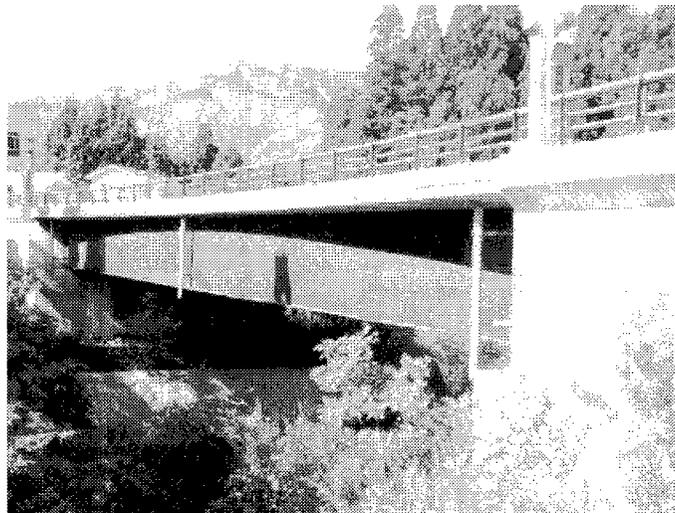


写真 4-1 山間部の耐候性鋼橋梁

4-2-9 新耐候性鋼（海浜耐候性鋼）

新耐候性鋼は、耐塩分性に優れた橋梁用新耐候性鋼材として開発された。3% Ni など添加(鋼材メーカーにより異なる)することにより生成するさび中に Ni が濃化し、さびへの塩化イオンの透過＝酸性化を防止し、Na を導入、鉄・さび界面近傍をアルカリ化する事により塩分の影響を低減させた新しい鋼材である。表 4-5 に新耐候性鋼の化学成分比較および表 4-6 に新耐候性鋼の調査表を示す。化学成分は、各社独自の成分であり、JIS 化はされていない。新耐候性鋼は各地で暴露試験が行われており、その結果の評価が待たれるところである。

4-2-10 LP 鋼板(テーパプレート)

通常の鋼版は、鋼板全体にわたり板厚が一定であるのに対し、LP 鋼板は、鋼板圧延中に圧延機のロールギャップ(ロールとロールの隙間)を変化させることにより鋼板の板厚を圧延方向(長手方向)に変化させる鋼板である。LP 鋼板を橋梁の鈹桁(フランジ・ウェブ)などに用いることにより、板継ぎ無しで板厚を変化させることが可能となるため、溶接箇所を減少や鋼材重量削減が可能である。



写真 4-2 LP 鋼板使用 I 桁(フランジ,ウェブ)

LP 鋼板使用 I 桁の状況写真を写真 4-2 に示す。

表4-5 新耐候性鋼の化学成分比較

(単位%)

開発名称	対応規格	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Ceq	Pcm	備考
耐候性鋼(JIS規格)	SMA400W	0.18 以下	0.15 ~0.65	1.25 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30 ~0.50	0.05 ~0.30	0.45 ~0.75	—	—	規程値 なし	規程値 なし	JISG3114 による
	SMA490W, SMA570W			1.40 以下										
海浜耐候性鋼 (新日本製鐵)	SMA490W-MOD	0.18 以下	0.15 ~0.65	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30 ~0.50	2.50 ~3.50	0.08 以下	—	—	契約に より規 程	契約に より規 程	
	SMA570WQ- MOD													
海岸耐候性鋼 (日本鋼管)	CUPLOY400A- CL	0.18 以下	0.15 ~0.65	1.25 以下	0.035 以下	0.035 以下	—	1.00 ~1.60	—	0.20 ~0.60	—	契約に より規 程	契約に より規 程	
	CUPLOY490A- CL			1.40 以下										
海浜・海岸耐候性鋼 (神戸製鋼所)	SMA400W-MOD	0.07 以下	0.15 ~0.65	1.25 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.50 ~1.50	0.50 ~1.50	0.08 以下	—	0.03 ~0.06	契約に より規 程	契約に より規 程	
	SMA490W-MOD			1.60 以下										
	SMA570W-MOD													
海浜耐候性鋼 (川崎製鐵)	SMA490WTMC- M	0.05 以下	0.15 ~0.65	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30 ~0.50	2.0 ~3.0	0.10 以下	—	—	契約に より規 程	契約に より規 程	
	SMA570WTMC- M													
新耐候性鋼 (住友金属) <暫定>	SMA400W-MOD	0.18 以下	0.65 以下	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30 ~0.50	2.0 ~2.50	0.45 ~0.75	0.20 ~0.50	—	契約に より規 程	契約に より規 程	
	SMA490W-MOD													
	SMA570W-MOD													

表4-6 新耐候性鋼の調査表

製鋼メーカー 項目	新日本製鐵株式会社	日本鋼管株式会社	株式会社神戸製鋼所	川崎製鐵株式会社	住友金属株式会社	備考
開発名称	海浜耐候性鋼	海岸耐候性鋼	海浜・海岸耐候性鋼 (スーパータイコールW)	調質極低碳素ベイナイト型 海浜耐候性鋼	新耐候性鋼	
開発状況	開発済み (施工データ収集中)	開発済み (施工データ収集中)	開発済み (施工データ収集中)	開発済み (施工データ収集中)	商品化準備中	
対応規格名	SMA490W-MOD SMA570WQ-MOD	CUPLOY400A-CL CUPLOY490A-CL (SM570品開発済み)	SMA400W-MOD SMA490W-MOD SMA570W-MOD	SMA490WTMC-M SMA570WTMC-M	SMA400W-MOD SMA490W-MOD SMA570W-MOD	
板厚 (mm)	6 ≤ t ≤ 100	6 ≤ t ≤ 100	6 ≤ t ≤ 50 (SMA400W) 6 ≤ t ≤ 100 (SMA490W, SMA570W)	6 ≤ t ≤ 50	6 ≤ t ≤ 100	
特徴	従来の耐候性鋼 (COR-TEN鋼) をベースの鋼中のNi添加量を増やし海浜地区での耐食性に有害なCrを無添加としたのが特徴である。	NiとMoを複合添加することにより耐塩特性を向上させたことが特徴である。また初期の流れさびが少なく景観が良好である。	Ti, Ni, Cuを最適添加し、高塩分環境下においても保護性さびの生成を促進する特徴がある。また、SM400からSM570までの規格に対応している。溶接性にすぐれている。	極低碳素-2.5%Ni鋼をベースにし、腐食量を押さえたことが特徴である。また、低碳素ベイナイト成分化により、溶接性の向上を図っている。	2%NiをベースにMo, Cr, Cuを最適添加して、耐塩分性を向上させたことが特徴である。	カタログより
試験実績	君津岸壁暴露試験 (10年間)	銚子暴露試験 (4年間)	加古川岸壁暴露試験 (3年間)	水島岸壁暴露試験 (2年間)	暴露試験 (1年間)	
施工実績 (施工実績は表中以外にも多くなっている。)	1) しんってつ南大橋 鋼桁 (名古屋製鐵所) : 海岸部, 裸仕様 2) 北陸新幹線北陸道路橋 橋脚 : 平野部, 表面処理(N処理)仕様 3) 大分自動車道田の口高架橋鋼桁 : 山間部, 裸仕様	1) 単純トラス (新潟県) : 山間部, 裸仕様 2) 坂辻橋 鋼桁 (三重県) : 山間部, 裸仕様 3) 湾岸桑名インター橋 鋼桁 (三重県) : 海岸部	1) 三濃川大橋 鋼桁 (兵庫県) : 山間部, 裸仕様	1) 久茂地橋 合成床版 (沖縄県) : 海岸部 2) 鵜淵橋 合成床版 (長崎県) : 海岸部 3) 未定 鋼桁 (新潟県) : 海岸部	実橋施工準備中	新耐候性鋼の施工実績は、客先施工承諾となっている。
高力ボルト	(日鐵ボルテン)	(日鐵ボルテン品など)	(神戸製鋼所)	(日鐵ボルテン品など)	(住友精圧品工業により試作済み)	
溶接材料	(日鐵溶接工業)	(日鐵溶接工業品)	(神戸製鋼所)	(日鐵溶接工業品・川崎製鐵)	(住友溶接工業により開発済み)	

4-2-11 チタンクラッド鋼

耐食性の高い材料としては、ステンレス、チタンがあるが、いずれも炭素鋼に比べ高価である。しかし、チタンは耐食性に優れている。耐食性が要求されるのは環境に曝される表面だけの場合が多い。表面だけに高価な材料を用い、残る板厚の大半を安価な炭素鋼とすれば、耐食性に優れしかも経済的な材料が得られる。この発想より、2種類以上の材料を接合したクラッド鋼が開発された。チタンクラッド鋼は、炭素鋼とチタンを接合した複合鋼材である。

4-2-12 ステンレスクラッド鋼

ステンレスクラッド鋼は、チタンクラッド鋼と同じく、炭素鋼と接合した複合鋼材である。鋼橋の防食は主として塗装に頼っているが、塗装フリーを可能にする材料を用いることも将来的な維持管理削減の1つの方策であり、ステンレスクラッド鋼を用いることも考えられている。

4-2-13 亜鉛めっき用鋼

亜鉛めっき用鋼は、鋼材の防食対策として採用されている。鋼橋では、主桁の塗替えが不要な工法として適用されるケースも出てきた。しかし、溶接部の残留応力と浴槽時の熱応力などにより割れが発生する場合があります。TMCP（熱加工制御プロセス）を適用した耐溶融亜鉛メッキ割れ鋼板などが開発されている。

4-3 高機能鋼材のエキストラおよび使用コスト比較例

高機能鋼材を橋梁用鋼材として使用するには、エキストラ費が発生する。以下の表4-7-1、表4-7-2に橋梁用鋼材のエキストラを示す。（建設物価、平成14年3月号による）橋梁用鋼材は、規格化された鋼材を使用するため、エキストラ価格を加算した価格で取引されている。

- 1) TMC エキストラは、熱加工制御による熱処理加工製造の価格である。
- 2) Y P 一定保証エキストラは、道路橋示方書に定める降伏点一定鋼 ($40 < t \leq 100\text{mm}$) について保証した価格である。
- 3) 予熱低減保証は、Pcm 値の低減により予熱温度の低減を行う Pcm 値の保証価格である。
- 4) テーパープレート鋼板 (LP 鋼板) のエキストラは、LP 鋼板を製造するための製造価格である。現在製造できる形状は6種類に分類されている。

ここで、従来鋼とテーパープレート鋼板を用いた場合の(鋼材費+工場製作費)コスト比較を行った。比較した橋は、最初にテーパープレート鋼板を用いたI桁橋(深沢川橋)である。①は従来設計による。②はテーパープレート鋼板を用いた実設計による。テーパープレート鋼板は主桁フランジ材に用いられた。主桁フランジ材テーパープレート鋼板使用における設計比較を表4-8⁴⁾に示す。コスト比較は、「道路工事の積算(鋼橋上部工工事)」の計算式を用いて、主桁フランジ材の鋼材費と主桁フランジ材の工場製作費(板継ぎ溶接)のみのコスト比較とした。

表4-7-1 橋梁用鋼材のエキストラI

(円/t加算)

		板厚(mm)	無規格 実勢 価格	エキ ストラ 価格	価格 合計	TMC エキ ストラ	YP一定 保証エキ ストラ 40<t	予熱低減保証(%)			LP鋼板のエキストラ		
								0.02≥ 低減	0.02< 0.04≥ 低減	0.04< 0.06≥ 低減	LP1, LP2	LP3, LP4	LP5, LP6
一般構造用 圧延鋼材	SS400	t≤100	68,500	1,300	69,800			2,000	4,000	5,000	12,000	18,000	20,000
溶接構造用 圧延鋼材 (JISG3106)	SM400A	t≤38	68,500	3,500	72,000			2,000	4,000	5,000	12,000	18,000	20,000
		38<t≤100	〃	9,500	78,000		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM400B	t≤25	〃	6,500	75,000			〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	7,500	76,000			〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	12,500	81,000		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	15,500	84,000		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM400C	t≤25	〃	10,500	79,000			〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	14,500	83,000			〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	17,500	86,000		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	20,500	89,000		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM490A	t≤50	〃	12,000	80,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	15,000	83,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM490B	t≤25	〃	15,000	83,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	18,000	86,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	21,000	89,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	24,000	92,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM490C	t≤25	〃	18,000	86,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	21,000	89,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	24,000	92,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	27,000	95,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM490YA	t≤25	〃	13,000	81,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	16,000	84,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	19,000	87,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	22,000	90,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM490YB	t≤25	〃	16,000	84,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	19,000	87,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	22,000	90,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	25,000	93,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM520B	t≤25	〃	17,000	85,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	20,000	88,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	23,000	91,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	26,000	94,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
SM520C	t≤25	〃	20,000	88,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	25<t≤38	〃	23,000	91,500	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	38<t≤50	〃	26,000	94,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	50<t≤100	〃	29,000	97,500	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
SM570	6<t≤20	〃	47,000	115,500			〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	20<t≤38	〃	49,000	117,500			〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	38<t≤50	〃	53,000	121,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	50<t≤75	〃	62,000	130,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	75<t≤100	〃	72,000	140,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	

表4-7-2 橋梁用鋼材のエキストラⅡ

(円/t加算)

		板厚(mm)	無規格 実勢 価格	エキ ストラ 価格	価格 合計	TMC エキ ストラ	YP一定 保証エキ ストラ 40<t	予熱低減保証(%)			LP鋼板のエキストラ		
								0.02≥ 低減	0.02< 0.04≥ 低減	0.04< 0.06≥ 低減	LP1, LP2	LP3, LP4	LP5, LP6
溶接構造用 耐候性熱間 圧延鋼材 (JISG3114)	SM400AW	6<t≤38	68,500	21,000	89,500			2,000	4,000	5,000	12,000	18,000	20,000
		38<t≤50	〃	27,000	95,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	30,000	98,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM400BW	6<t≤25	〃	24,000	92,500			〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	25,000	93,500			〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	30,000	98,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	33,000	101,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM400CW	6<t≤25	〃	28,000	96,500			〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	32,000	100,500			〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	35,000	103,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	38,000	106,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM490AW	6<t≤50	〃	25,500	94,000	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	34,500	103,000	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM490BW	6<t≤25	〃	28,500	97,000	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		25<t≤38	〃	31,500	100,000	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
		38<t≤50	〃	34,500	103,000	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		50<t≤100	〃	37,500	106,000	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	SM490CW	6<t≤25	〃	31,500	100,000	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃
	25<t≤38	〃	34,500	103,000	3,000		〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	38<t≤50	〃	37,500	106,000	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	50<t≤100	〃	40,500	109,000	3,000	2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
SMA570WQ	6<t≤20	〃	59,000	127,500			〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	20<t≤38	〃	61,000	129,500			〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	38<t≤50	〃	65,000	133,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	50<t≤75	〃	74,000	142,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	75<t≤100	〃	84,000	152,500		2,000	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
高張力鋼 (690~ 780N級)	690(新日鐵)	6<t≤50			212,500								
		50<t≤75			232,500								
	690C(新日鐵)	6<t≤50			174,500								
	780(新日鐵)	6<t≤50			232,500								
		50<t≤75			252,500								
	780C(新日鐵)	6<t≤50			199,500								



1方向LP鋼板(LP1)



等厚部付1方向LP鋼板(LP2)



凸型2方向LP鋼板(LP3)



凸型等厚部付2方向LP鋼板(LP4)



凹型2方向LP鋼板(LP5)



凹型等厚部付2方向LP鋼板(LP6)

()内は橋梁用LP鋼板の形状種別コード

LP2、LP4、LP6は、両端部等厚部付き

表 4-8 主桁フランジ材テーパプレート鋼板使用における設計比較

4主桁当り		① 従来設計	②テーパ-鋼板使用
重量比較	フランジ材片数(個)	518	152
	フランジ重量 (tf)	115.6	132.8
	重量/材片数(kgf/個)	223	874
	主構造全体重量(tf)	381.0	437.2
	テーパプレート重量(tf)	0	50.6
フランジ 突合せ溶接長	フランジ箇所数(個)	366	0
	フランジ溶接長(m)	141	0
	フランジ換算長(m)	2,283	0
	換算長/重量(m/tf)	19.7	0

(1) フランジ材の鋼材費

$$M = ([\text{ベース価格} + \text{エキストラ}] \times (1 + \alpha) - 0.7 \times \alpha \times \text{スクラップ価格}) \times \text{重量}$$

α : 鋼材の割増率

フランジ材は全て SM490YB ($t \leq 38$) を使用すると、

① 従来設計 $M = 1,070$ 万円

②テーパ-鋼板使用設計 $M = 1,290$ 万円 (従来鋼 82.2t 含む)

(2) フランジ材の加工組立工数

$$Y_1 = A \times a \times K$$

A : フランジ材片数

a : フランジ 1 材片当たりの橋梁形式による標準工数

K : フランジ 1 材片当たりの平均重量による影響係数

$$K = 0.51 \times X + 0.49$$

X : (フランジ材片重量 ÷ フランジ材片数) ÷ フランジ材片標準重量

① 従来設計 $Y_1 = 357.9$

②テーパ-鋼板使用設計 $Y_1 = 215.7$

(3) フランジ材の溶接工数

$$Y_2 = B \times b / 10$$

B : フランジ材片板継溶接長 (6mm 換算長)

b : フランジ材片板継溶接 10m 当たりの橋梁形式による標準工数

① 従来設計 $Y_2 = 95.9$

②テーパ-鋼板使用設計 $Y_2 = 0$ (フランジ材板継溶接無)

(4) フランジ材の鋼材費と工場製作費

$$S = M + (Y_1 + Y_2) \times T$$

T : 1 工数当たりの工場製作費

① 従来設計 $S = 2,250$ 万円 ②テーパ-鋼板使用設計 $S = 1,850$ 万円

よって、従来鋼とテーパプレート鋼板を用いた場合の差額は、 $L = ①S - ②S =$ 約 400 万円となり、工場製作における工数低減となっている。ただし、テーパプレート鋼板使用による鋼材費増加も含んでいるため、考慮する必要もある。

4-4 高機能鋼を用いた合理化の検討

4-4-1 高強度鋼の適用による鋼橋の合理化

690N/mm² 級鋼、780N/mm² 級鋼は長大橋、斜張橋、トラスなどに多数適用されている。しかし、今後一般鋼橋でも長支間長の設計が多くなると考えられ、高強度鋼950N/mm² 級鋼以上の使用が見込まれる。効果としては、高強度鋼を適用することにより、軽量化、小型化による製作、輸送、架設コストの低減などの利点が考えられる。

4-4-2 ロングライフ塗装鋼を用いたLCC低減の合理化^{4.5)}

高塩分環境でも無塗装使用が可能な新耐候性鋼が各メーカより実用化されているが、景観が重視される都市部や腐食環境の特に厳しい地域では塗装が不可欠である。このような点を考慮し、塗装の塗替え周期の延長を可能とする橋梁向けロングライフ塗装鋼の開発がされた。あるメーカでは、SM材の1.5倍程度に延長可能であるとの試験結果も公表されている。よって、LCC低減効果には有効であると考えられる。

4-4-3 低降伏点鋼を用いた落橋防止システムの合理化^{4.6)}

兵庫南部地震以来、落橋防止システムの重要性が高まった。落橋防止システムの中に、落橋防止構造があり、その具体的な構造に橋台・橋脚天端に突起や落橋防止壁を設ける構造がある。これまでの落橋防止壁は、橋台・橋脚天端空間が十分でない等の理由から、衝撃力を緩和する機構が十分でなく、取付部や下部構造等への影響は大きいものと考えられる。それに対し、鋼製ブラケットタイプの落橋防止壁で、エネルギー吸収能力に優れていると考えられる低降伏点鋼を用いたタイプは、通常の鋼材を用いた場合よりもアンカーボルトおよび下部構造への反力応答を減少させる効果があり、通常より小型化による製作、架設コストの低減につながると考えられる。

4-4-4 アルミニウム合金を用いた橋梁への適用^{4.7), 4.8)}

アルミ合金は、初期コストが高くなるため特殊な用途以外はほとんど用いられていなかった。しかし、初期コストだけでなく、耐用年数を考慮したLCCを重視するようになってからは、維持管理コストが少なくすむアルミニウム合金を用いた橋梁が検討され、最近では跨線橋で採用されるようになった。採用理由としては、軽量であり、架設時の重機容量が小さくでき、架設時間の短縮が見込まれた。また、海岸線が近い場合耐食性を考慮したことが上げられ、LCC低減効果には有効であると考えられている。ただし、アルミニウム合金には、コンクリートによる腐食、疲労損傷に対する検討課題も残っている。

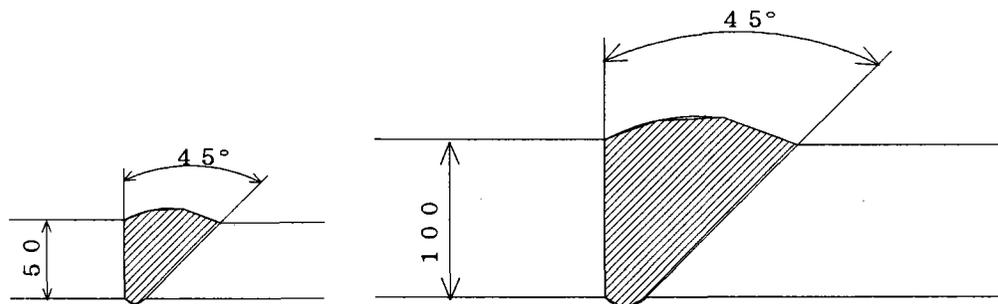
4-4-5 ハイアレスト鋼を用いた橋梁への適用^{4.9)}

鋼構造物に急激な大きい外力が作用すると、亀裂が瞬時の伝播して、構造物の破壊（脆性破壊）に至ることがある。構造物の安全性・信頼性を向上させるため、亀裂の伝播を阻止する構造が検討されている。こうした要求を鋼材側で検討し開発されたものが、ハイアレスト鋼である。ハイアレスト鋼は、表層域を超細粒のフェイライトにした鋼板で、アレスト（亀裂伝播停止）特性を有している。よって、今後橋脚等の破壊に対する信頼性向上に期待されている。また、構造の合理化にもつながると考えられる。

4-5 高機能鋼材使用による製作の合理化の矛盾

先に述べた高機能鋼材使用により、1部材1断面を柱とする構造の簡素化に寄与し、設計上の合理化が進められている。しかし、高機能鋼材における合理化には、施工面においての合理化、省力化につながっていない場合がある。ここでは、特に溶接性を取り上げるものであり、高機能鋼材の性能を否定するものではない。

(1)厚肉化、高強度化されたことにより、現場継手部が溶接継手になる傾向にある。また、工場製作においても板継ぎ溶接は減少したが、厚肉化による溶接断面積の拡大により溶接量は増加傾向にある。



溶接断面積 $S1 = 1,500\text{mm}^2$

溶接断面積 $S2 = 6,000\text{mm}^2 = 4 \text{倍} \times S1$

図 5-1 板厚と溶接断面積比較

図 5-1 に示すように、板厚 50mm と 100mm の溶接断面積を比較すると 4 倍となっている。このため K 開先溶接に変更して溶接断面積をできる限り小さくしている。また、狭開先溶接などで合理化を図っているが、作業者の技量確保が難しい。

(2)維持管理費用の削減に期待されている新耐候性鋼材は、従来の耐候性鋼材が無塗装では使用できなかった、飛来塩分量の多い海岸に近いところに使用できる鋼材である。しかし、錆の抑制に添加されている P が溶接性には悪い影響を与える。また他に Mo、Ti 等を添加するため、溶接材料費は高価なものになっている。表 4-9 に高張力鋼と新耐候性鋼の溶接材料比較を示す。新耐候性鋼用は高張力鋼用に比べて、溶接速度が約 15%落ちる。また、溶接材料費も約 3~4 倍高価になる。

表 4-9 高張力鋼と新耐候性鋼の溶接材料比較

溶接方法	高張力鋼用 (A)				新耐候性鋼用 (B)				コスト比 (B/A)
	溶接材料 (サイズ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 cm/min	溶接材料 (サイズ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 cm/min	
被覆アーク溶接	L-55 (φ 4.0)	180	30	18	CT-50N (φ 4.0)	170	26	15	3 倍
ガスシールドアーク溶接	YM-60 (φ 1.2)	320	34	25	YM-3N (φ 1.2)	300	29	21	3 倍
サブマージアーク溶接	Y-CM (φ 4.0) × NF-320	680	38	42	Y-3NI (φ 4.0) × NF-320N	650	36	35	4 倍

4-6 橋梁用高機能鋼の今後の課題

橋梁用高機能鋼材は、橋梁設計における合理化とコスト縮減という要求を踏まえて、P C橋に対する鋼橋の競争力を高めるために、従来の橋梁鋼材より優れた性能を有するものである。高機能鋼材の拡大状況を図4-2^{4.10)}に示す。また、耐候性橋梁の占める割合も大幅に増加している。耐候性橋梁の建設量の推移を図4-3^{4.10)}に示す。

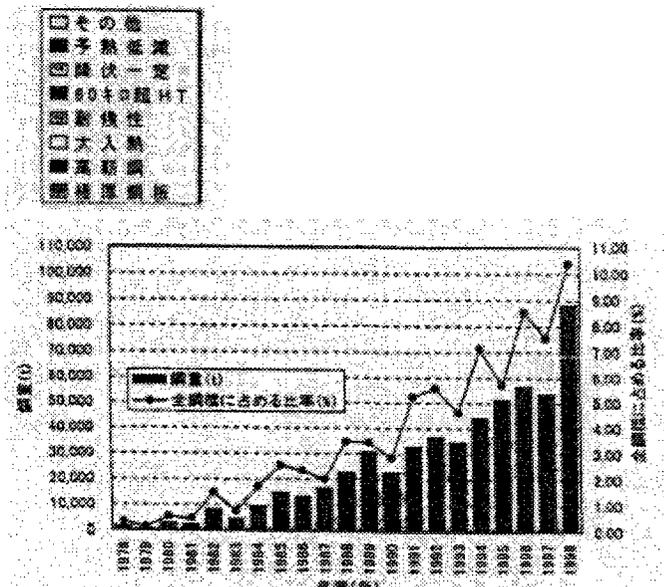
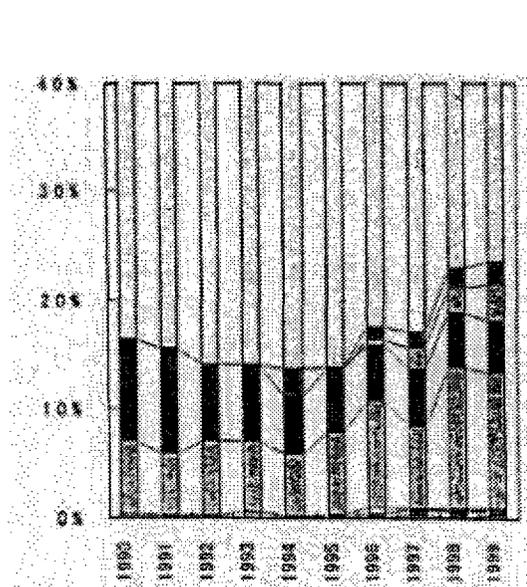


図4-2 高機能鋼材の拡大状況

図4-3 耐候性橋梁の建設量の推移

今後の課題として、①合理化橋梁の提案、②L C C評価法などの管理技術の導入、③耐候性鋼の防食評価基準の確立、④橋梁用鋼材の規格化について検討することが重要である。

(参考文献)

- 4.1) 新日本製鉄株式会社(厚板営業部)ウェブページ//www.hp.nsc.co.jp/, 2002年4月
- 4.2) 高性能鋼材の概要(橋梁向け), (社)鋼材倶楽部 橋梁研究会
- 4.3) 工藤純一: 第2回鋼構造と橋梁に関するシンポジウム論文報告集, 高性能鋼と橋梁への適用, 1999年8月
- 4.4) 板橋壯吉: 高田機工技報 No12, 深沢川橋の省力化設計, 1996年
- 4.5) 岡野重雄他: 神戸製鋼技報 Vol.52No.1, 橋梁向ロングライフ塗装用鋼板(エコビュー), 2002年
- 4.6) 森下泰光他: 高田機工技報 No15, 低降伏点鋼を用いた落橋防止壁の衝突実験, 1999年
- 4.7) アルミニウム合金製橋梁(JR川棚駅前広場自由通路橋), 橋梁&都市PROJECT, 2002年6月
- 4.8) 大倉一郎: 「材料」Vol.50No.11, アルミニウム合金の橋への適用, 2001年
- 4.9) 楠 隆: 橋梁と基礎, 新しい鋼材, 1997年8月
- 4.10) 島田典繁: 第3回日本鋼構造協会合同シンポジウム資料, 橋梁高性能鋼と今後の課題, 2000年10月2日

第5章 工場設備の充実（自動化の推進）

5-1 概要

現在、多くの橋梁製作工場では、製作コスト削減のため、箱桁の製作においてはパネル工法を採用することにより、溶接の自動化が図られている。パネル工法とは、縦リブおよび補剛材は、フランジ、ウェブにそれぞれ多電極自動溶接機およびNCロボットなどで本溶接した後、ひずみ矯正の工程を経て箱組を行う工法である。図5-1にパネル工法における箱桁製作手順を示す。

パネル工法の採用により、溶接の自動化が図られ、製作コスト削減に大きく寄与してきた。現在は、このパネル工法を中心として、各社工場とも設備がほぼ整った状況である。

本章では、これらパネル工法の設備を中心に、現状の工場設備の紹介および課題について述べる。

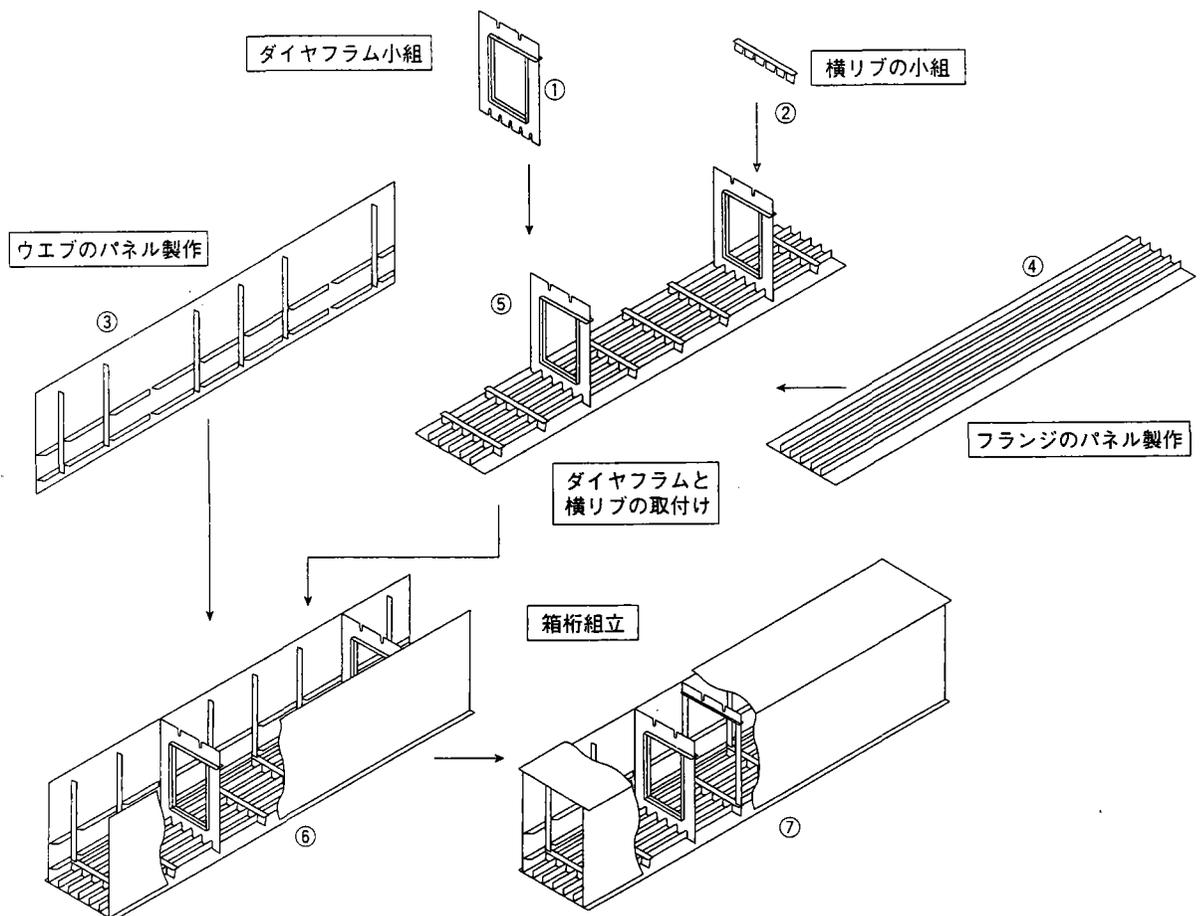


図 5-1 パネル製作工法における箱桁製作手順

5-2 省力化の現状

5-2-1 原寸作業

設計から材料入荷までの工程フローを図 5-2 に示す。パソコンの高性能化、IT 技術の発展により、原寸システムの発展には目覚ましいものがあり、工場設備の NC 化をはじめ、工場製作の省力化に大きく寄与している。特に最近では、2 次元的な原寸展開から、3 次元 CAD を使用した、3 次元モデルを構築する原寸システムへ移行しつつある。図 5-3 にその原寸システムの例を示す。これら原寸システムは、情報を一元化することにより、NC データなど多様な情報を出力することが可能である。後述する「自動計測・仮組立シミュレーションシステム」の発展もこのような原寸システムによるところが大きい。また、これら原寸システムからの出力情報により、新しい工程管理の手法も試行されている。バーコードによる部材工程管理^{3.2)}などがその例である。

今後の原寸作業の課題としては、以下の点があげられる。

- ・ 受注、設計から含めた C A L S への取り組み（特に、図面の電子化）
- ・ 3 次元モデルの構築に対する適用範囲の拡大
- ・ 入力の簡素化、出力の多様化
- ・ 複雑となるシステムの維持、管理体制

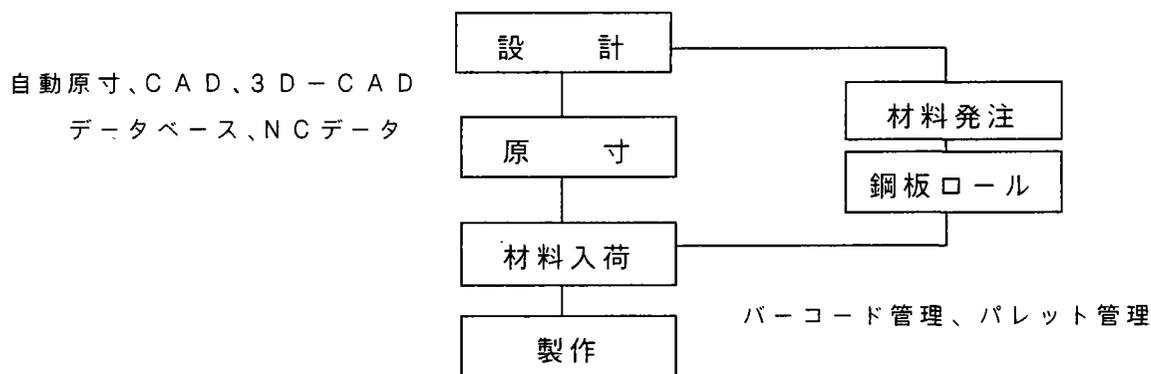


図 5-2 設計から材料入荷までの工程フロー

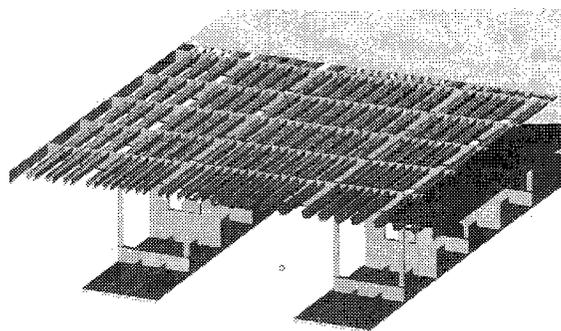
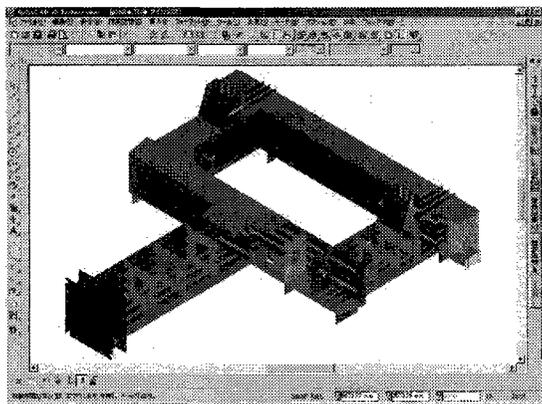


図 5-3 原寸システムの例^{3.1)}

5-2-2 下拵え作業

図 5-4 に下拵えの工程フローを示す。下拵え作業である切断（ガス、プラズマ、レーザー切断）、プライマー剥離、孔明、罫線作業における設備は、工場設備の中でNC化が最も進んでいる設備である。これら設備のNC化は、自動化によるコストダウンのみならず、施工品質の安定に対しても大きく寄与している。また、最近では、これらNC設備を複合させた装置（例えば、レーザー切断、孔明、および罫線装置が同一の軌条で走行・運転する装置）もあり、ワークのセッティング、ハンドリングタイム削減などさらなるコストダウンを図っている。図 5-5～5-8 にこれら装置の一例を示す。

板継溶接では、片面溶接法（裏波溶接法）、多電極SAWの適用により、省力化が図られている。板継溶接装置の一例を図 5-9 に示す。

添接板の加工においては、NC 超硬 1 軸ボール盤等により複数枚の添接板を重ねた状態で孔明けする工法や、前述した切断・孔明複合装置等により、原板に複数分の添接板の孔を明けた後、それぞれの板に切断する工法も取られている。

スチフナ、添接板などの小型部材の糸面取り作業では、ワークの搬入から搬出まで自動的に行う自動糸面取り装置も多くの工場で設置されている。自動糸面取り装置では、NC データの入力を省略するために、様々なセンサーや画像処理技術を適用し、NC データ不用で自動運転するものがほとんどである。図 5-10 に自動糸面取り装置の一例を示す。

以上のように下拵え作業では、NC化、自動化がかなり進んでいるが、今後の課題としては以下の点があげられる。

- ・ NCデータの信頼性（原寸システムの信頼性）
- ・ NC装置の精度確保、維持・管理
- ・ 仮組立シミュレーション等による後孔加工の添接板の加工方法
（この場合、個々の添接板毎に孔ゲージが異なる場合が多く、重ね明け等ができない）
- ・ プラズマ、レーザー切断装置の厚板化への対応
- ・ 板継ぎ溶接の厚板化への対応。例えば、3電極SAW、両面U型開先の採用など。

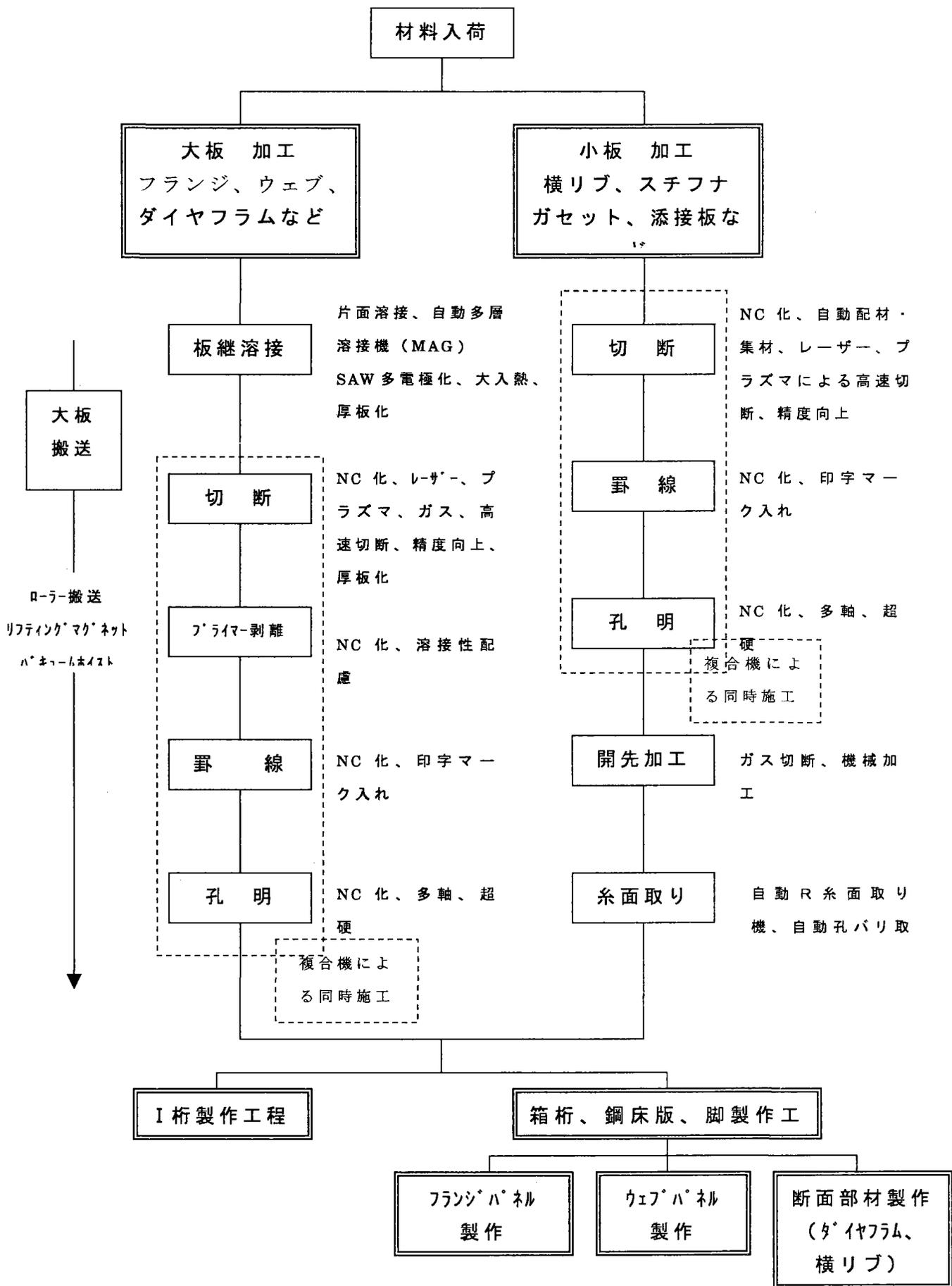


図 5-4 下拵の工程フロー

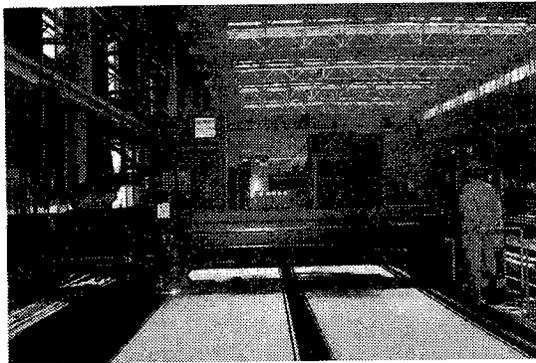


図 5-5 プラズマ切断装置
(高田機工 和歌山工場)

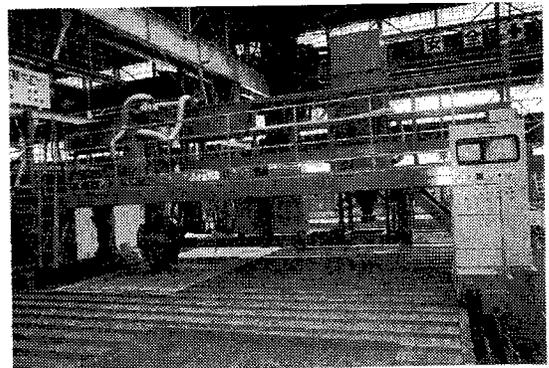


図 5-6 プライマー剥離装置
(片山ストラテック 大阪工場)

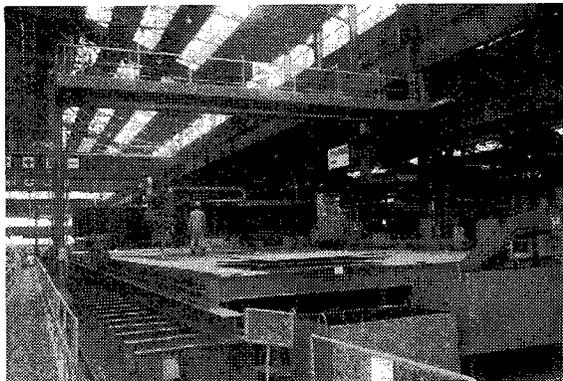


図 5-7 ガントリー孔明装置
(片山ストラテック 大阪工場)

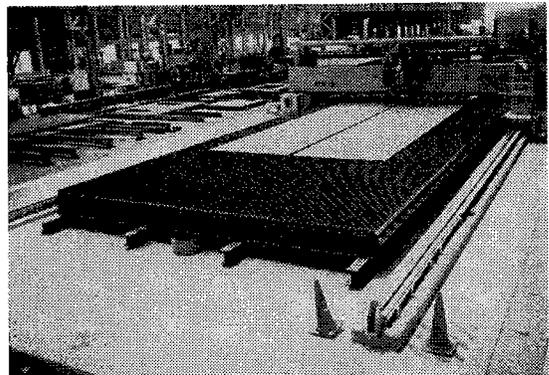


図 5-8 レーザ切断・孔明・罫線複合機
(栗本鐵工所 堺工場) ^{5.3)}

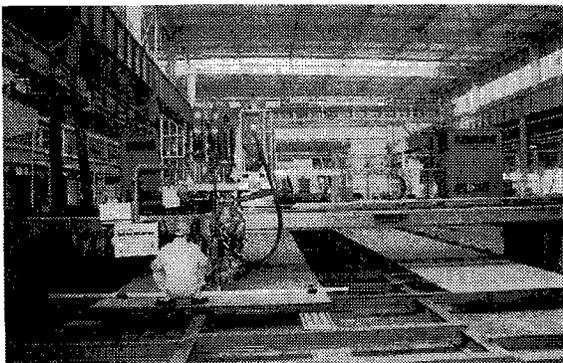


図 5-9 門型板継 2 電極溶接装置
(高田機工 和歌山工場)

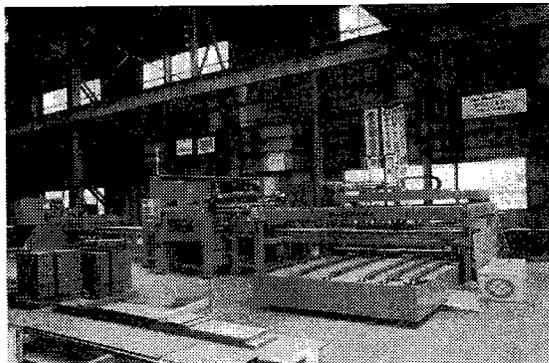


図 5-10 自動糸面取り装置
(片山ストラテック 大阪工場)

5-2-3 I 桁の製作

鈑桁橋の主桁および箱桁橋の横桁、縦桁などの I 型断面プレートガーダーの製作について述べる。図 5-11 に I 桁製作の工程フローを示す。下拵えにて、切断、孔明け加工などを施したウェブ、フランジ材は、まず I 型の形状に組立られ、フランジとウェブのすみ肉溶接を行ったのち、スチフナなどのプレートが組立、溶接される。

I 桁を横置きにした状態で I 型組立からスチフナ溶接までを一貫して製作す

るラインの例を図 5-12～図 5-17 に示す。

通常、フランジとウェブのすみ肉溶接では、横向き姿勢でのサブマージアーク溶接が行われている。この場合、1 ランのすみ肉溶接では、脚長 $S=11 \sim 12$ mm 程度が限界とされている。しかしながら、溶接脚長は、 $S=\sqrt{2t}$ により設計されるため、フランジの板厚が $73 \sim 84$ mm では、すみ肉溶接脚長は $S=13$ mm が要求されることとなり、合理化桁では、しばしば、2 ランで溶接施工を強いられることとなり製作工数の増加につながっている。そこで近年では、これら大脚長すみ肉溶接に対応しうる 3 電極サブマージアーク溶接や、高速回転アークを用いた炭酸ガスアーク溶接法も適用されている。

スチフナのすみ肉溶接では、原寸の CAD 情報を元に、NC による自動機または、多関節溶接ロボットによるすみ肉溶接が行われている。近年では、トーチの自動交換システムによる夜間の無人運転化が指向実施されつつある。しかしながら、足場用吊り金具などの小さい鋼板の溶接線や、支点上スチフナなどでみられる開先溶接では、多関節溶接ロボットの適用は困難であり、炭酸ガスアーク溶接による半自動溶接が行われているのが通常である。

I 桁製作の今後の課題としては、以下の点があげられる。

- ・ 大型化、厚板化への対応（寸法的な装置の制約、大脚長化への対応など）
- ・ 多関節溶接ロボットの適用部位の拡大（開先溶接、立向き溶接への対応など）
- ・ フランジとウェブの取り付け角度が大きい場合（開断面箱桁でよく見られるような構造）、自動ライン、自動機の適用が困難であり、その対応

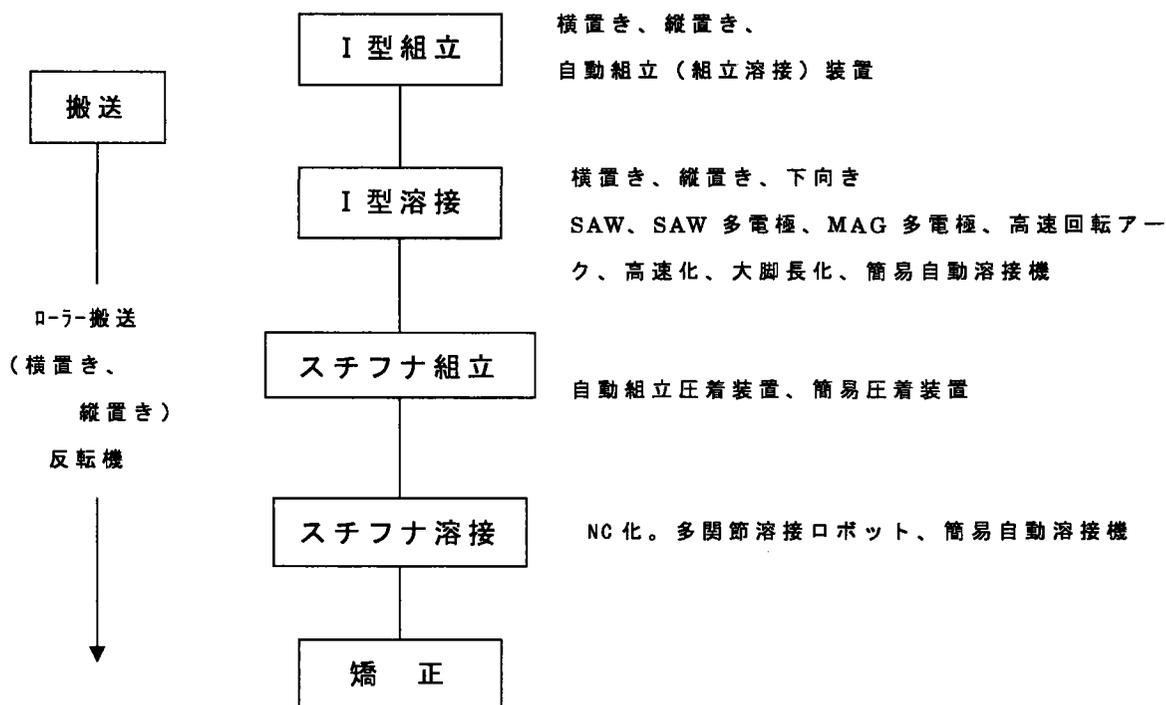


図 5-11 I 桁製作工程フロー

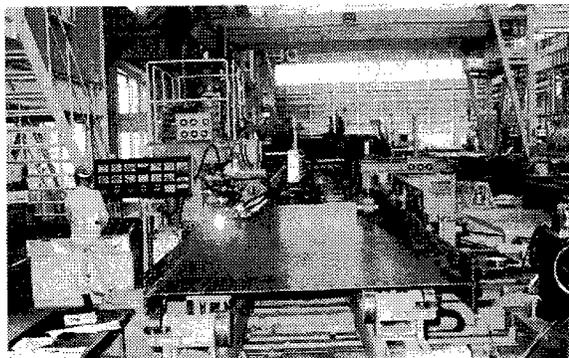


図 5-12 I 桁組立装置
(高田機工 和歌山工場)



図 5-13 3 電極首溶接装置
(高速回転アーク法)
(川崎重工 野田工場)

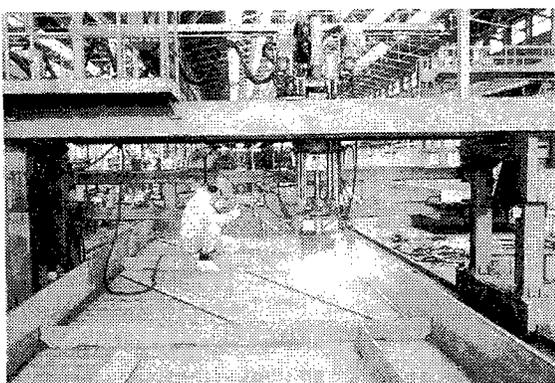


図 5-14 スチフナ仮付け装置
(片山ストラテック 大阪工場)

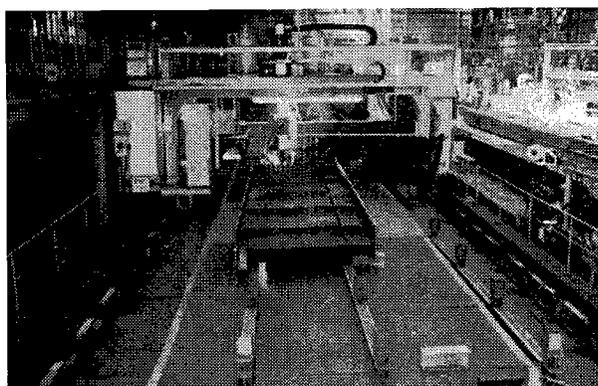


図 5-15 NC 多関節溶接ロボット
(川崎重工 野田工場)

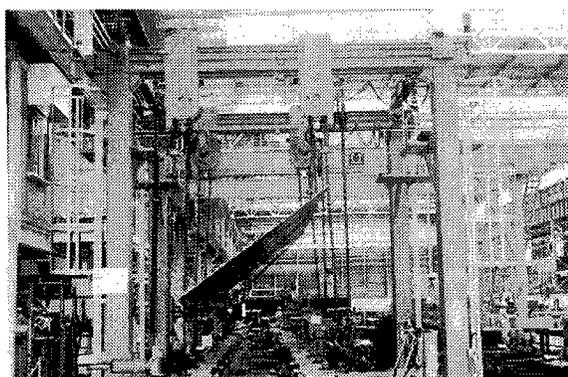


図 5-16 I 桁反転装置
(高田機工 和歌山工場)

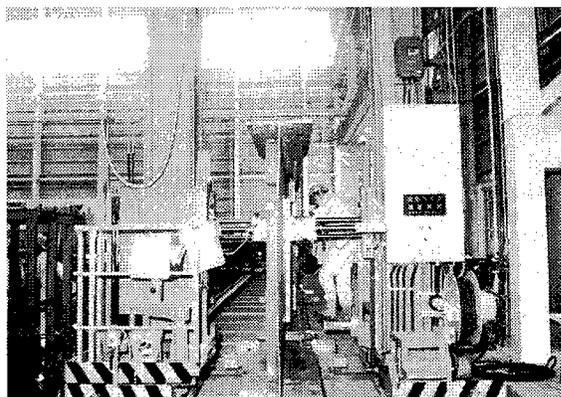


図 5-17 I 桁ウェブ矯正装置
(高田機工 和歌山工場)

5-2-4 フランジ・ウェブパネルの製作

箱桁、鋼床版箱桁、橋脚等の製作では、一般に生産性の向上を目的とし、フランジとウェブを開断面のパネル状態でそれぞれ溶接した後に、4面のパネルを箱型に大組立し本溶接する工法（パネル工法）が採用されている。フランジパネルおよびウェブパネルの製作工程フローをそれぞれ図 5-18 および図 5-19 に示す。

図 5-20, 5-21 は、フランジパネルの製作時における溶接自動化の例を示す^{5.4)}。多電極（例えば 10 電極等）による縦リブ等の自動仮付けを行った後に、多電極でのすみ肉溶接が実施される。多電極溶接装置による縦リブの溶接では、10 電極の場合、1 ランで 5 本の縦リブの溶接が同時に可能であり、溶接時間の短縮につながっている。ただし、フランジに取り付く縦リブが 1 本の場合でも 5 本の場合でも溶接時間は同じであり、例えば狭小箱桁などのように縦リブが 1 本になったとしても溶接時間が短縮されるものではない。

図 5-22 は、ウェブパネルのスティフナのすみ肉溶接に対する NC 多関節溶接ロボットを、図 5-23 はフランジおよびウェブパネルの矯正装置の例を示す^{5.4)}。

図 5-24 は、箱桁等のフランジおよびウェブパネルの製作時における一貫した自動溶接化ラインの例を示す。組立、溶接および矯正の 3 つの工程において、各パネルはローラーコンベア方式により自動搬送（ノンクレーン化）される。これらの箱型構造物のパネル製作に対する一貫・自動溶接化ラインの構築により、従来法に比べ、大幅なコストダウンが達成されている。

フランジ・ウェブパネルの製作における今後の課題として以下の点があげられる。

- ・ 合理化鋼床版の大断面Uリブ構造へ対応
- ・ Uリブ深溶け込み溶接（75%の溶込み深さの要求）の対応
（現状では、開先加工を施し溶接される場合もあり、製作コストの増加につながっている）
- ・ 縦リブの厚板化による大脚長溶接への対応（タンデム化、溶接材料の改善など）

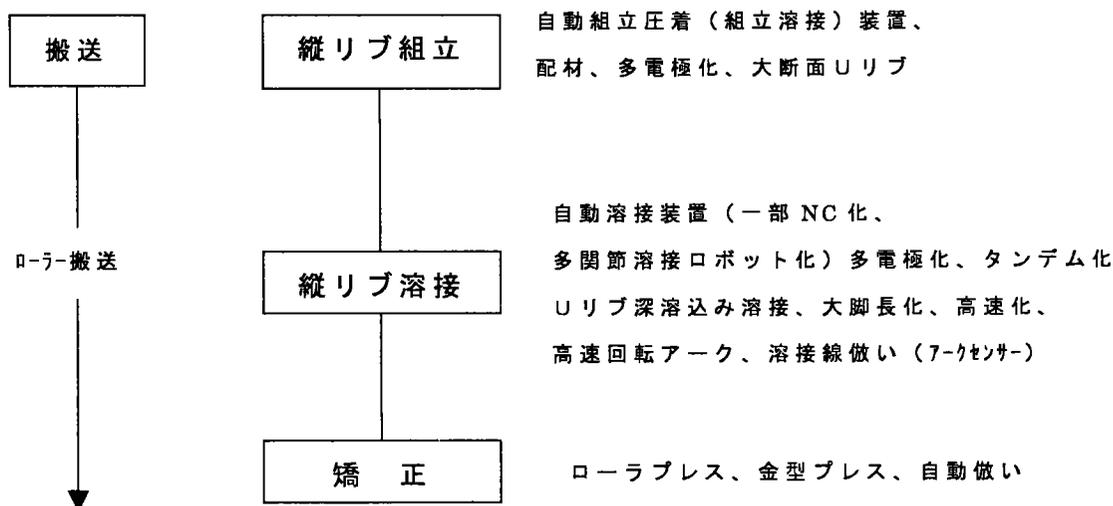


図 5-18 フランジパネル製作工程フロー

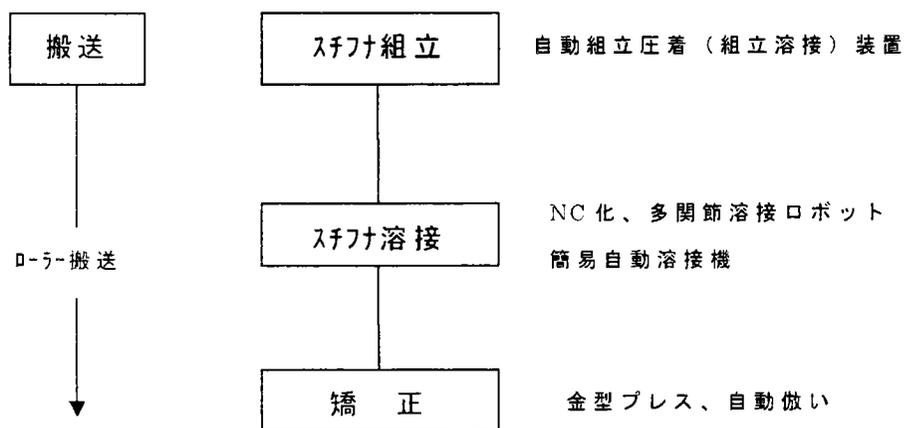


図 5-19 ウェブパネル製作工程フロー



図 5-20 10電極縦リブ組立装置

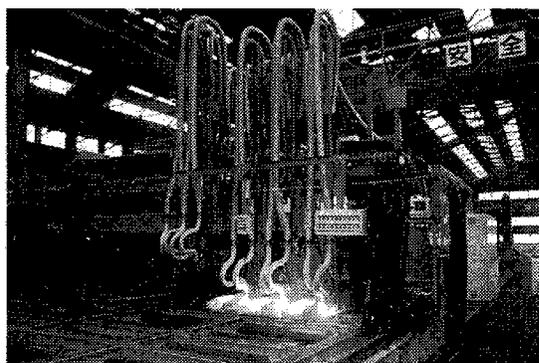


図 5-21 10電極縦リブ溶接装置

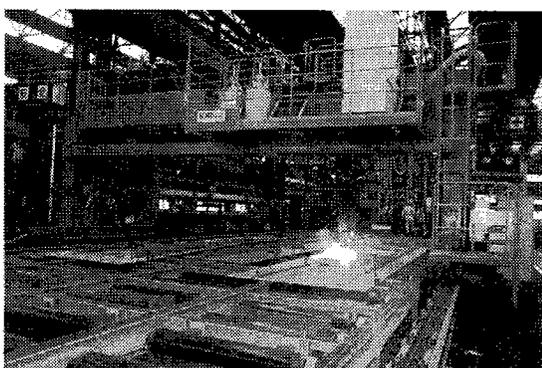


図 5-22 ウェブパネル多関節溶接ロボット



図 5-23 箱桁パネル矯正装置

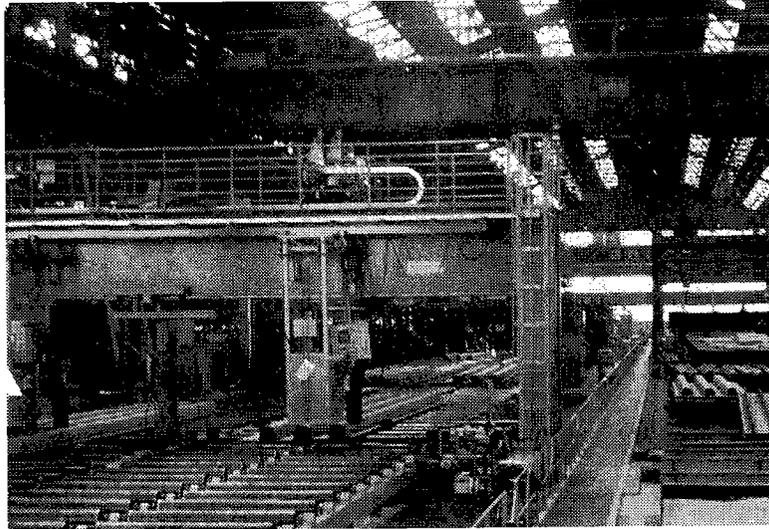


図 5-24 パネル部材の自動製作搬送ライン例

5-2-5 断面部材（ダイヤフラム、横リブ）の製作

箱桁内や、鋼床版に取り付く断面部材のダイヤフラム、横リブの製作工程フローを図 5-25, 5-26 に示す。

横リブの製作においては、図 5-27 に示すように T 型の部材を組立、溶接、矯正まで全自動で行う装置が適用されている（仮付け溶接なしで、本溶接を行うものもある）。また、図 5-28 に示すようにダイヤフラムにおいても NC 多関節溶接ロボットが適用されている。しかしながら、ダイヤフラムの開口部補強リブを溶接すると大きなひずみが発生するのが通常であり、このひずみを抑制するため、補強リブ同士の溶接をこの状態では行わず箱桁に大組立した後に箱内で溶接するなどの対策が施されている。

今後の課題としては以下の点があげられる。

- ・ 溶接によるひずみの抑制または矯正方法
（ダイヤフラムの溶接後のひずみ矯正をプレスにて矯正するなど）

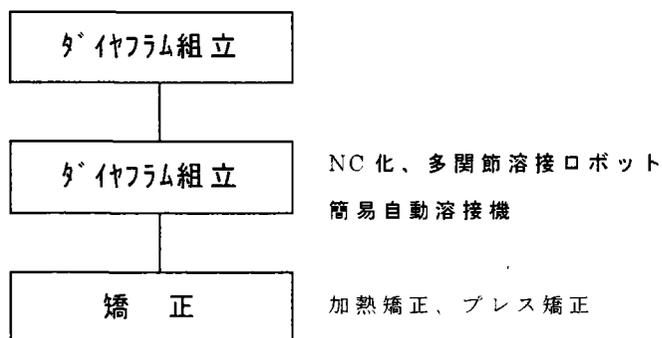


図 5-25 ダイヤフラム製作工程フロー

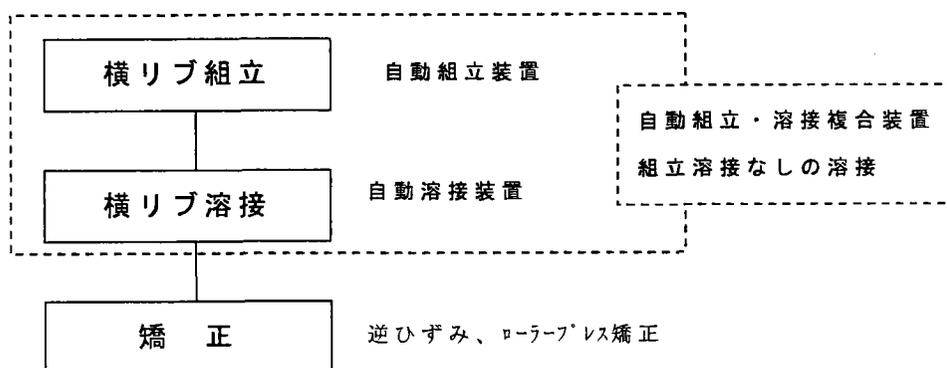


図 5-26 横リブ製作工程フロー

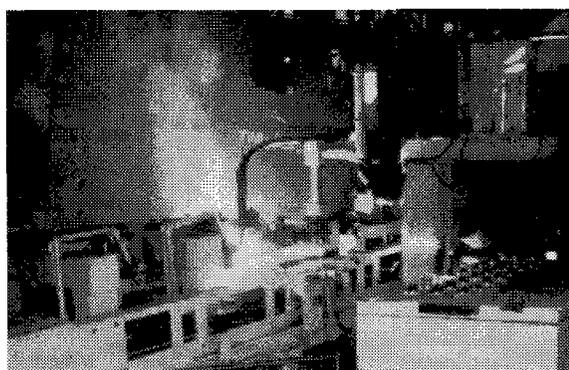


図 5-27 横リブ組立・溶接装置
(サクラダ)

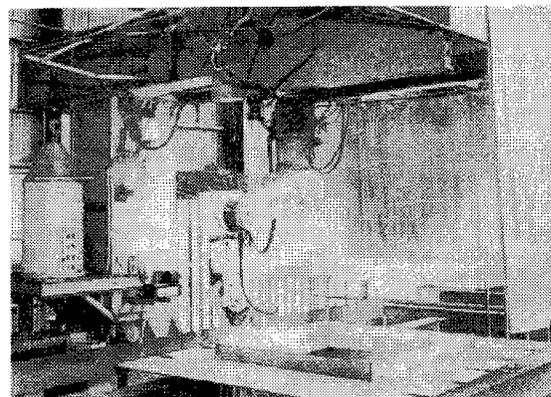


図 5-28 ダイヤフラム NC 多関節
ロボット
(片山ストラテック 大阪工場)

5-2-6 箱桁・鋼床板・脚の大組立・溶接

パネル製作完了後の箱桁・鋼床版・脚の大組立・溶接の製作工程フローを図 5.29 に示す。大組立作業は、フランジ、ウェブパネルおよび断面部材であるダイヤフラム、横リブを箱桁に組み立てる作業である。大組立作業は、キャンパー、断面寸法など桁全体の精度に大きく関わる作業であり、それら寸法管理は、作業者によるところが大きいこと、また、桁長、断面寸法など桁形状が一定ではなく画一的な装置の開発が困難であることから、ほとんど自動化が進んでいない作業である。

図 5-30 はフランジ・ウェブパネルを箱型に大組立した後の箱内の本溶接状況 (CO₂ 半自動の例) である。これらの箱内における仮付けおよび本溶接は、箱桁全体の全溶接量の 25% 程度に相当するが^{5.5)}、依然、従来の炭酸ガスアーク半自動溶接に依存しているのが実状である。

箱外面においては、NC化による自動溶接は困難なものの、図 5-31 に示すように箱桁外面、橋脚外面のコーナ部において、簡易式の自動溶接装置 (CO₂ 自動溶接) が適用される場合がある。また、橋脚外面のコーナ部の開先溶接に対しては、専用マニプレータ (タンデムサブマージアーク溶接 (T-SAW)) の適用する

場合もある。また、鋼床版の溶接については、立向き上進溶接可能の NC 多関節溶接ロボットの適用もされている。

今後の課題としては、

- ・ 箱桁の大組立の自動化
- ・ 箱内面の溶接の自動化
(開断面とし、溶接の自動化・ロボット化を図るなど)
- ・ 箱外面の溶接の NC 化、自動化

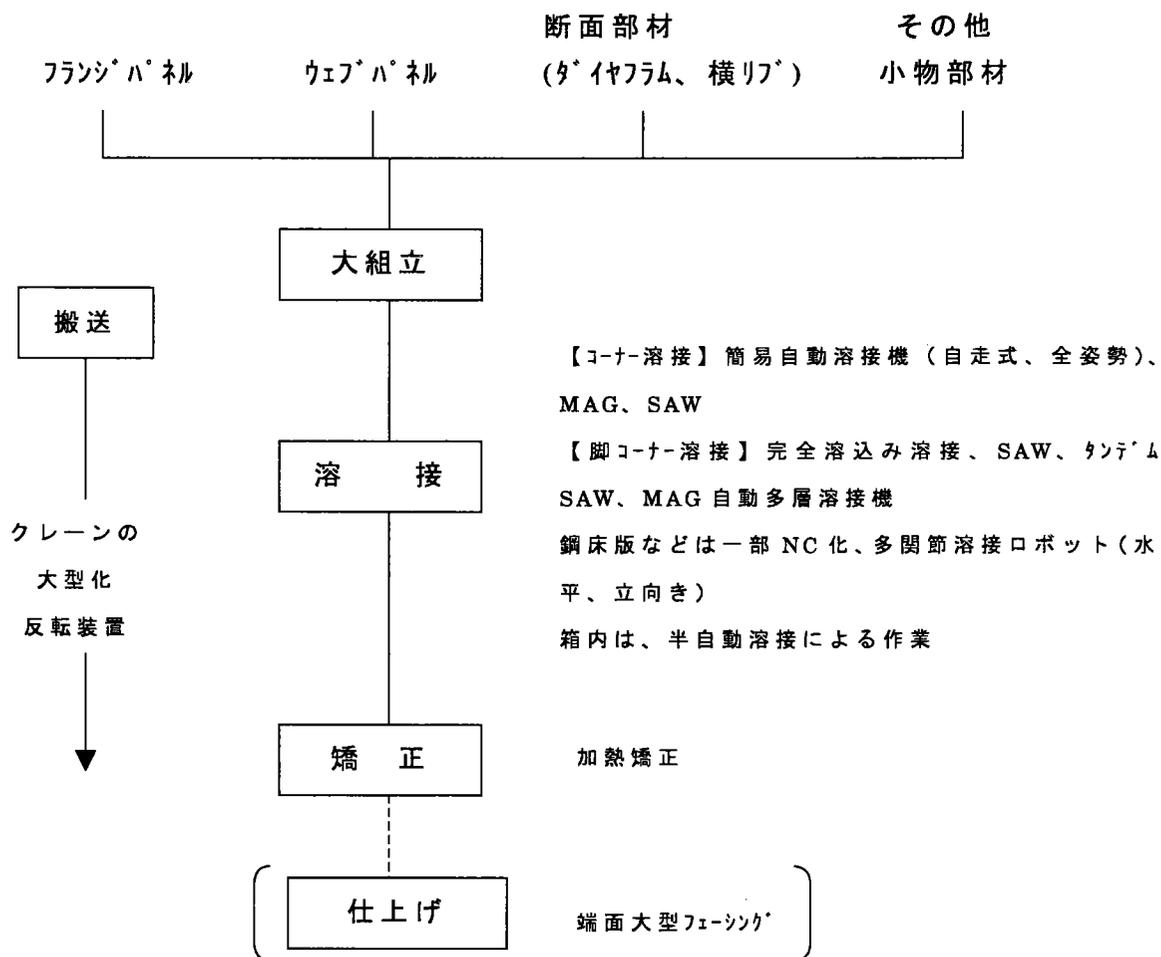


図 5-29 箱桁・鋼床版・脚の大組立・溶接工程フロー

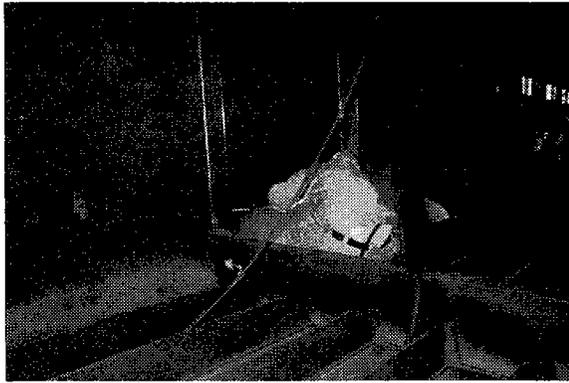


図 5-30 箱内における溶接状況
(CO₂半自動)

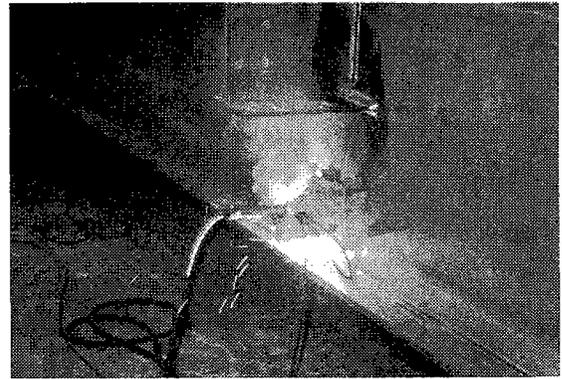


図 5-31 箱桁外面コーナ部の
自動式自動溶接装置

5-2-7 仮組立・仮組立シミュレーション

仮組立、塗装の製作工程フローを図 5-32 に示す。コンピュータ技術、計測、画像処理技術の発展により、製作完了後の部材を高精度に計測（例えば、部材の計測点を 3 次元座標として取得）することが可能となっている。仮組立シミュレーション（数値仮組立）は、その計測データを元に数値的に仮組立するもので、実際の仮組立作業の代替として行われるようになっている。仮組立費は、鋼橋製作の約 10% 程度を占めており、仮組立のシミュレーション化により大幅なコストダウンが達成されている。また、実際の仮組立作業が省略されることから、工程的な短縮につながっている。図 5-33 に部材の計測状況を、図 5-34 に仮組立シミュレーション状況を示す。

今後の課題としては、以下の点があげられる。

- ・ 適用構造の拡大
- ・ 2 次部材の干渉チェック

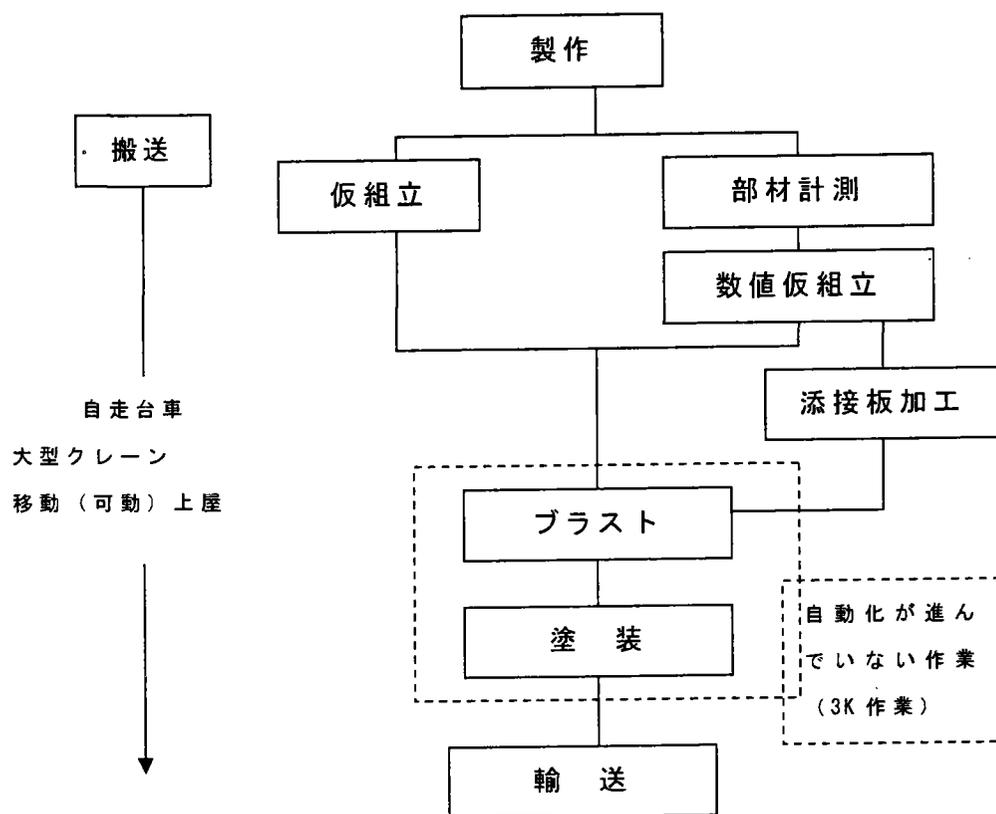


図 5-32 仮組立・塗装の工程フロー

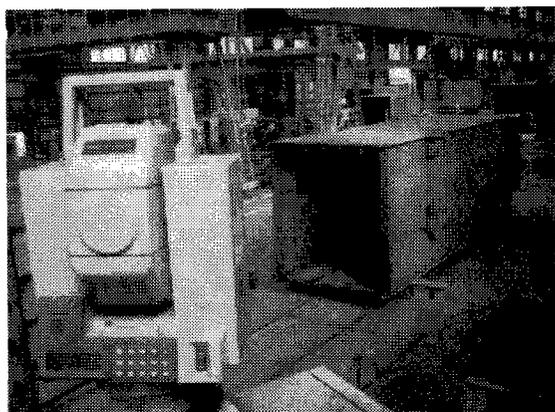


図 5-33 部材の計測状況
(片山ストラテック
大阪工場)

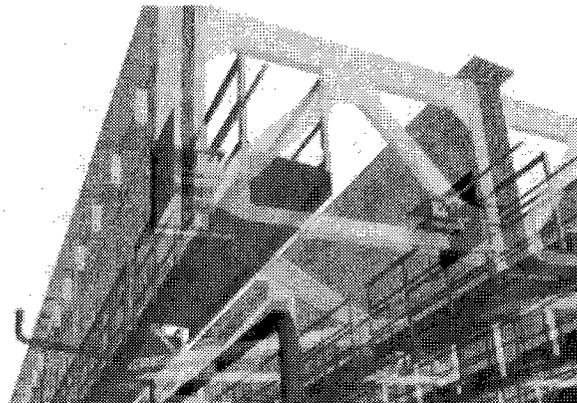


図 5-34 仮組立シミュレーション状況
(片山ストラテック)

5-2-8 ブラスト・塗装

図 5-31 のブラスト、塗装作業の状況を示す。ブラスト、塗装作業は、3 K 作業の典型的な職種となっている。しかしながら、ブラスト、塗装作業においては、桁外面のブラストや塗装作業において、自動化が試行錯誤されているものの塗装区分の塗り分け、狭隘箇所の塗膜厚管理などに問題があり、大半は実用化には至っていない。特に内面の作業については NC 化、自動化は品質面、コスト面等の理由により非常に困難であり、作業足場の自動化や、強制乾燥、換気システムなどの作業環境の改善により省力化が図られつつあるのが現状である。

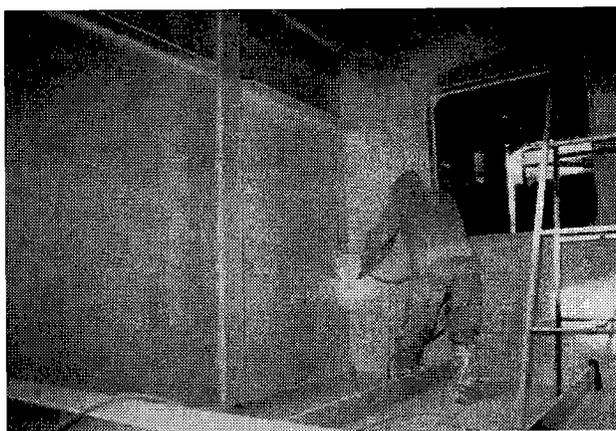


図 5-35 塗装作業状況

5-3 自動化推進の課題・留意点

本章では、現在の橋梁製作工場における省力化機器の現状と課題について述べた。ここで紹介した省力化機器は、現状における最新の設備であり、全ての工場において最新の設備が整っているものではないが、箱桁パネル工法の採用により多電極溶接装置などのように必要最小限の装置はほぼ全製作工場においてすでに導入され、製作コスト削減に大きく寄与してきた。

さらに、省力化桁などの板継省略・構造の簡略化により、これら設備により、大幅な製作コスト削減が図られている。しかしながら、少数主桁鋼桁などのように桁が大型化、厚板化することにより、今までの設備が適用できない事例も発生しつつある。例えば、本章の中でも述べたが

- ・対象部材の大型化により装置の適用寸法範囲内を超えてしまう場合
- ・厚板化による大脚長すみ肉溶接の施工が従来装置では出来ない場合
- ・厚板の曲げ加工、ひずみ矯正がプレス装置の適用範囲内を超えてしまう場合などである。

また、最近さらなる構造の簡略化により製作コストを削減しようと検討されている開断面箱桁構造や狭小箱桁構造(縦リブを省略した縦長断面の箱桁)などは、既存の設備を有効活用することは困難であり、かえって人力による作業が増え製作コストが増大する危険もある。今後さらなる製作コスト削減を図るためには、

既存の設備を有効活用できる構造のさらなる簡略化が望まれる。

(参考文献)

6.1) “橋梁CAD/CAM研究会 平成12年度 研究報告書”

6.2) “バー・コードによる工程進捗管理システム”,高田機工技報, No.12,1996.

6.3) “NCレーザ孔明け複合機と周辺装置の紹介”,クリモト技報, No.44, p.37, 2001, 3.

6.4) “箱桁パネル自動加工ライン”, 片山技報, No.21, pp88-91, 2002

6.5) 南 邦明: 鋼箱桁製作法に関する1提案、鋼構造論文集, 第6巻22号、1999.6

第6章 工場設備および溶接作業を考慮した構造詳細

6-1 概論

製作の合理化に向けた構造詳細の提案については、これまで数多く提案されてきた。その中の一部は、2章で示したガイドライン設計に取り入れられた。本章では、これまでに提案されている製作の合理化が可能となる構造詳細に関して、自動化・ロボット化が可能な構造詳細と溶接箇所が低減できる構造詳細に部類わけして列挙し、製作上の留意点を述べることとする。ただし、ガイドライン設計や合理化橋梁で取り入れられた構造については、2章および3章で述べているので、これらの構造については対象外とした。

6-2 自動化・ロボット化に向けた構造詳細例

これまで、ロボット化を可能にさせるため、構造詳細が変更されたケースは極まれである。しかしながら、例えば、図6-1に示すように、道路橋において以前は、垂直補剛材と水平補剛材の取合部ではスカラップを設けて溶接で接合していた。その後、水平補剛材を分割する構造となり、さらに、ロボット施工が可能となるように、水平補剛材の材端を45°でカットし、ギャップを設けるディテールと変更された。これより、垂直補剛材の溶接が、ロボットによる施工を可能にさせた。

5章で述べているように、橋梁部材の個々でロボット化が行われてきたが、現在のディテールでは、これ以上、ロボット化を推進することは、困難になってきた。そこで、これまでに提案されているロボット化を拡大させるための構造詳細を列記し、採用に当たっての製作上の課題や留意点などを述べる。

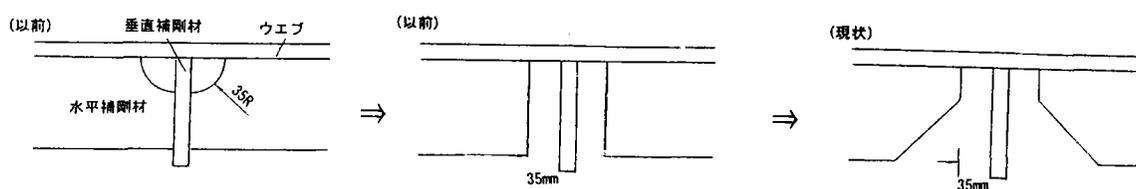


図 6-1 水平補剛材と垂直補剛材の接合部の構造詳細の推移

6-2-1 ロボット化に向けたダイヤフラムおよび横リブ構造

箱桁製作において、パネル製作工程（縦リブや補剛材の取付け作業）での溶接作業は、自動機およびロボットが適用されている。しかし、箱組工程での箱桁内の溶接作業は、劣悪な作業環境であり最もロボット化が望まれている作業であるが、現状では人手に頼っており、各橋梁製作工場のロボット化の課題となっている。文献^{6.1)}では、箱桁内容接のロボット化に関する研究が行われた。

ここでは、現在のディテールおよびロボット技術で箱桁内溶接をロボット施工した場合の検討結果では、ロボット化のメリットはほとんどでないことが報告されている。このため、箱桁内の溶接に無理矢理ロボットの適用を検討するのではなく、現在の組立法にとらわれない方法で製作すること、あるいはロボット施工箇所が拡大できる構造ディテールを検討することが必要である。文献^{6.2)}、^{6.3)}で提案されている製法は、パネル製作時にできる限り多くの部材を各パネルに取り付け、箱桁内の溶接箇所を無くす製法が提案されている。また、この製法に伴い改良が必要なダイヤフラムおよび横リブ構造は、図 6-2 に示す構造が示されている。

ダイヤフラムの改良構造では、ダイヤフラムを4分割し、パネル製作時に取り付け可能な構造としている。そして、箱組立時にボルト接合を行い、ダイヤフラムを形成させる構造である。さらに、コーナー部のスカラップを 150mm×150mm とし、小型すみ肉自動溶接機が通過可能な最小サイズとしている。

次に、横リブの改良構造では、箱組立時に圧縮側は垂直補剛材とボルト接合し、引張側は結合しない構造である。この製法により、箱桁内の人手による溶接箇所が無くなり、製作の合理化が可能となるとしている。また、部材の反転回数も現状では、箱桁内溶接を下向き姿勢で行うために、4回転必要となっていたが、提案する製法では1回の反転となる。

製作上の課題として、ダイヤフラムを分割しているのので、箱組み時での形状保持をどのように考えるのかを検討する必要が生じる。

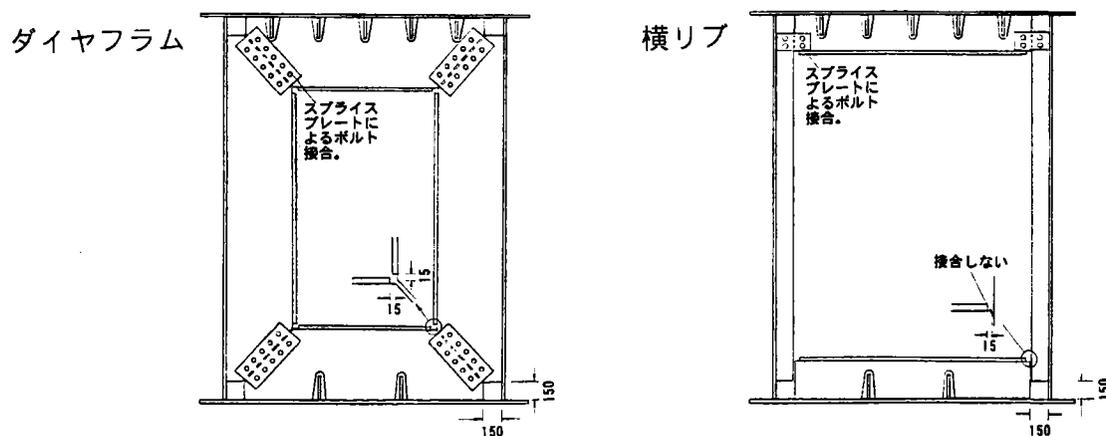


図 6-2 箱桁内溶接を無くす構造詳細の変更提案 (6.2)、(6.3)

6-2-2 ダイヤフラム補強材の接合部構造の改良

この部位では、通常、スカラップを省略して補強材間の接合が行われている。製作については箱桁組立前の部材の小組時にダイヤフラム補強材を取り付けるが、その際、半自動溶接で行っている製作会社が多い。そこで、文献^{6.4)}では、補強材間の接合を行わない構造とし、これにより、現在使用しているパネル製作ロボットでも施工が可能となる。また、補強材間の溶接をなくすことにより、溶接による面外方向の収縮量が小さくダイヤフラムの変形量が少なくなり、矯正作業時間が低減できる。さらに、ダイヤフラムは箱組を行う時、箱形状寸法の定規的な役割をしており、ダイヤフラムの製作精度を向上させることにより、

箱桁全体の製作精度が向上するなどの利点が生じる。このような構造としても強度上、特に問題のないことも示されている。

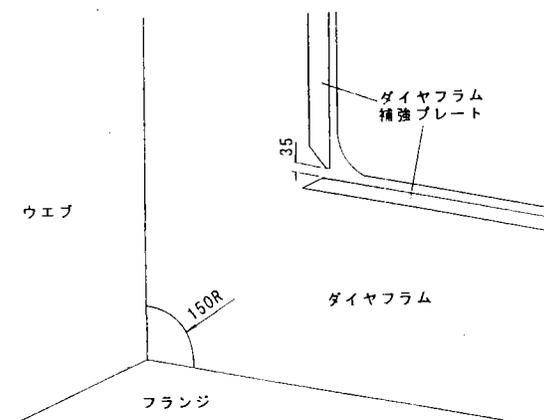


図 6-3 ロボット施工可能なダイヤフラム補強材の接合部の変更提案^{6.4)}

6-2-3 廻し溶接の廃止

ロボット施工では、廻し溶接を行うことが困難な箇所もあり、その際、溶接残しが多く発生する。また、溶接可能な場所でも、グラインダーによる仕上げ作業が生じる場合もある。このため、スカラップ部の廻し溶接の廃止は、ロボット施工を行う上で製作コストの低減に対し非常に有効な手段である。また、道路橋などの疲労亀裂も廻し溶接部止端部から多く発生しており、疲労の面からも廻し溶接を廃止できる箇所は積極的に推進したい。

次に強度的には、設計上、廻し溶接部は溶接長として見込まれておらず、静的強度にはほとんど影響しない。また、疲労強度の面でも廻し溶接部の存在は、スカラップ開口による変形の影響を受け局部応力の高い箇所であり、残留応力の影響もあって、疲労亀裂の発生ポイントとなっている。三木らの研究^{6.5),6.6)}では、スカラップ部の廻し溶接を行わない方が疲労強度が高くなるという報告もあり、廻し溶接の廃止は疲労強度的にも有効である。

問題点として、廻し溶接を廃止することによりスリット部から錆が発生する危険性も指摘されている。しかし、箱桁内では直接雨に曝されることはなく、下フランジ部を除けば、この問題も解消されると思われる。

6-3 溶接箇所の低減による構造詳細の提案例

6-3-1 スカラップ構造の改良

スカラップの適用箇所により、形状は様々であるが、日本道路公団では標準径を 30R、阪神高速道路公団では 40R を標準径としており、それ以外の公団公社では、図 6-4(a) に示すように 35R が標準径とされており、最も多く使用されている。

施工性の向上および製作コストを削減する方法として、以下のスカラップ構造に改良する方法がある。文献⁴⁾では、I 桁、箱桁および鋼床版を対象とし

て、各スカラップ適用箇所における改良提案を行っている。すなわち、適用箇所によってロボット施工で行うのか、あるいは人手によって行うのかにより、改良に伴うメリットが異なるので、各適用箇所によりディテールを検討する必要があるとしている。

また、スカラップの存在により、溶接線が不連続とあり、また廻し溶接が困難な部位もある。そこで、スカラップを図 6-4(b)に示すようにスカラップを省略することで、ロボット化の妨げとなる問題が解決され、ロボット化の拡大にも寄与すると言える。

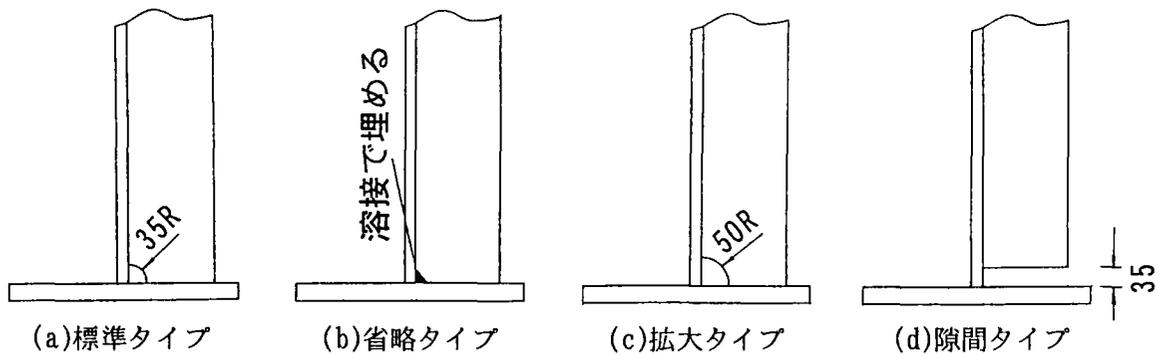


図 6-4 スカラップ構造の変更^{6.4)}

6-3-2 縦リブ貫通スカラップ形状の統一（圧縮側の非溶接構造の採用）

これまで圧縮側では溶接構造が採用されてきたが、数年前から、非溶接構造を標準とする発注機関もある。この構造に対し、弾塑性解^{6.7)}および耐荷力実験^{6.8)}で、耐荷力が多少低下するが実用上ほとんど影響しないという報告がある。製作コストの削減から圧縮側も引張側と同様、すべての箱桁で非溶接構造とすることが望まれる。この部位を溶接する場合、下向き姿勢で溶接するには、箱桁のウェブ面を水平にし、脚立上での溶接作業となるので、作業効率は悪く、危険な作業となる。

この構造を採用する上での注意点として、曲線桁およびダイヤフラムが斜めに配置されている場合などでは、別途検討を要すると考えられる。

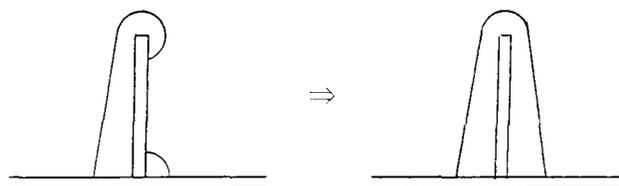


図 6-5 縦リブ貫通スカラップ形状の統一^{6.7) 6.8)}

6-3-3 横リブと垂直補剛材取合部構造の変更提案^{6.9)}

横リブと垂直補剛材の接合部は、溶接線の短いものが多く、また、スカラップ構造となっているので、廻し溶接が必要となる。文献^{6.9)}では、図 6-6 に示すように、横リブと垂直補剛材を接合しない構造を提案している。設計上、箱桁のずり変形に対しては、ダイヤフラムで行うように設計されているので、これを接合する必要はない。文献^{6.2)}では、これを FEM 解析で検証しており、強度上、問題ないと述べている。

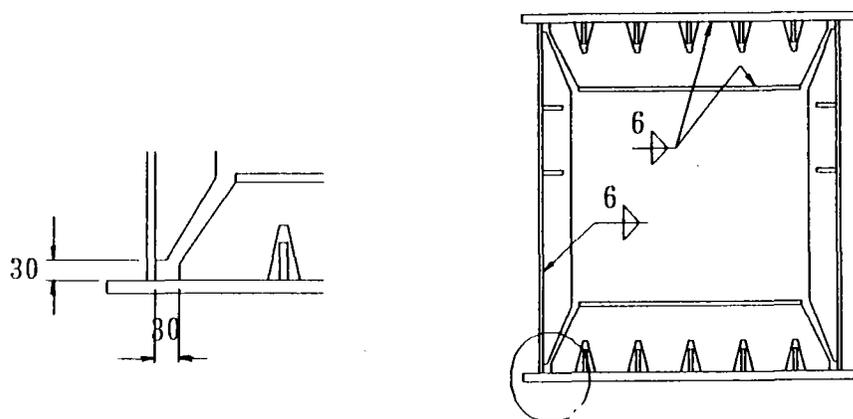


図 6-6 横リブと垂直補剛材取合部構造の変更提案^{6.9)}

6-3-4 片側溶接法の採用

図 6-7 に示すように、現行ではフランジとウェブの溶接は外側および内側からすみ肉溶接で行っている。文献^{6.10)}では、箱桁内の溶接を低減させる方法として、ウェブに開先面を取り、外側からのみ行う構造を提案している。これを 1 パスで行ったとすれば、コスト低減となる。ここでは、この構造の強度上問題と考えられることとして、静的強度と疲労強度を解析および実験的な研究が行われた。これによると片側溶接でも静的強度はほとんど変わらないとしており、疲労強度も最大荷重の 1 / 3 程度の荷重範囲で疲労試験を行ったが問題はないとしている。

製作上の課題として、これまで両側からすみ肉溶接で行っていたが、片側溶接では開先加工が増える。

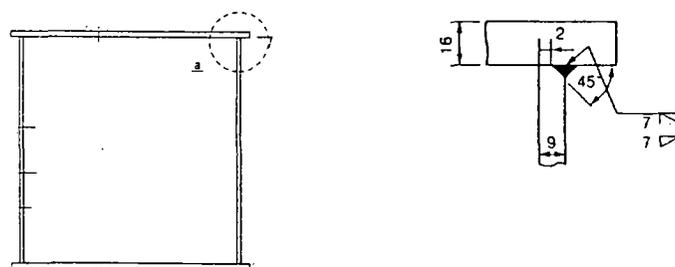


図 6-7 片側溶接法の採用^{6.10)}

(参考文献)

- 6.1) 鋼橋技術研究会：ロボット研究部会報告書，1997.6
- 6.2) 南 邦明：鋼箱桁製作法に関する1提案，鋼構造論文集，第6巻22号，pp67-78，1999.6
- 6.3) 南 邦明，山下清明：ロボット化に向けた箱桁ダイヤフラム構造の解析による検討，鋼構造論文集，第7巻27号，pp95-102，2000.9
- 6.4) 鋼橋技術研究会：施工部会報告書Ⅱ「スカラップ構造の研究」，1998.12
- 6.5) 三木千壽，館石和雄，奥川淳志，藤井祐司：鋼床版縦リブ・横リブ交差部の局部応力と疲労強度，土木学会論文集，No.519/I-32，pp127～138，1995.7
- 6.6) 館石和雄，三木千壽，梶本勝也：疲労強度向上のためのスカラップディテールの改良方法，土木学会第49回年次学術講演会概要集，pp472-473，1994.9
- 6.7) 春日井俊博，和内博樹，大森邦雄：鋼橋の合理化に関する一提案，橋梁と基礎，pp27-33，1994.7
- 6.8) 勝野寿男，渡辺保之，熊谷洋司，依田照彦：縦リブと横リブとを溶接しない補剛板の耐荷力特性，鋼構造年次論文報告集，第1巻，pp555-562，1993.7
- 6.9) 鋼橋技術研究会：合理化・省力化研究部会報告書，1996.3
- 6.10) 濱田 仁，寺尾圭史，塚原弘光：箱桁製作省力化の提案，横河ブリッジ技報，No.23，pp83-95，1994.1

第7章 要求性能の見直し

7-1 概論

現在、様々な合理化に関する試みが行われ、実施されている。しかし、製作上の要求品質や要求性能に関する改良は非常に少ない。

本項は、要求性能に対し、疑問に感じていることなどを挙げ、製作コスト削減に繋がる内容について述べる。

7-2 完全溶込み溶接の必要性箇所の再検討

これまで、基本的な観念として引張が作用する部材では、完全溶け込み溶接（以下、F P 溶接）が必要であり、圧縮についても基本的にはF P 溶接と考えられるが、部分溶け込み溶接（以下、P P 溶接）でも問題はないと考えられる箇所もある。

鋼桁において、完全溶け込み溶接を要求されている部位の一例を図 7-1 に示す。

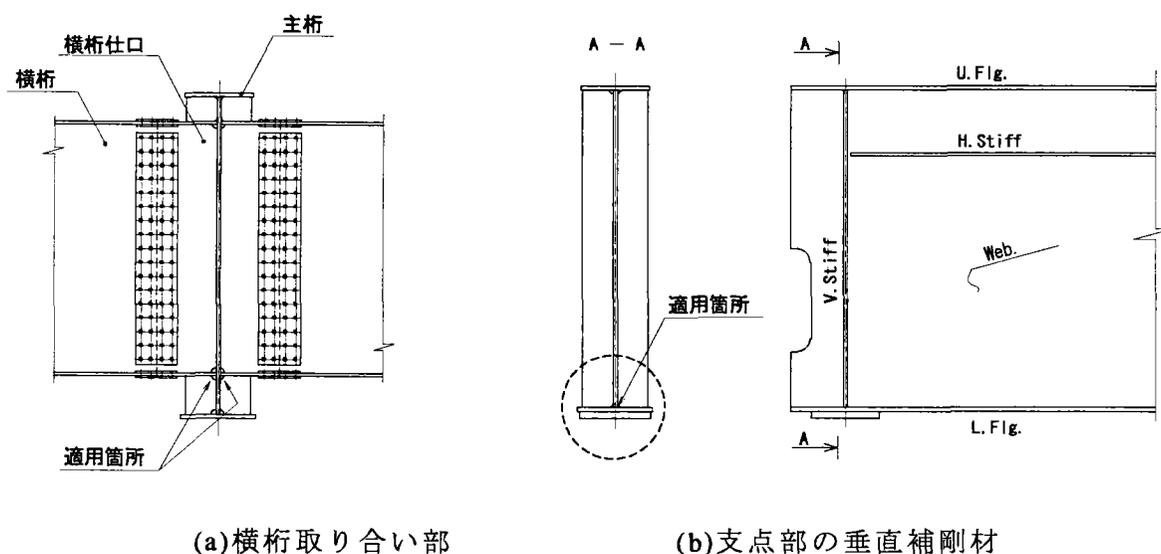


図 7-1 鋼桁における完全溶込み溶接箇所

図 7-1(a)に示す横桁取合部は、すべての公団公社でF P 溶接が行われている。しかし、設計上、応力が非常に小さい場合でも、F P 溶接で行われているのが現状であり、過剰品質となっている箇所が多いと思われる。

次に、支点部の垂直補剛材と下フランジは、多くの公団公社でF P 溶接で行われているが、客先によっては、すみ肉溶接やP P 溶接で行われるケースもある。F P 溶接で行った場合、変形量が大きくなり、この部分はソールプレートが取り付け、次項に示す許容変形寸法の精度に影響する。この変形の矯正を行うのに多くの時間を有し、完全に変形を矯正するのは、困難である。本当に、圧縮力のみ作用する箇所にF P 溶接が必要なのか、明確にする必要がある。

なお、これらについては、後半の報告書Bで詳細に検討する。

7-3 ソールプレート取付部の支点部の許容変形寸法

ソールプレートとフランジ間の許容変形寸法は、0.5mm と高い精度の品質が要求される。通常の製作手順として、ソールプレートとフランジの溶接は、フランジと垂直補剛材の溶接後に行われる。前項でも述べたように、フランジと垂直補剛材の溶接は、FP溶接で行われており、変形量が多くなる。

本当に、0.5mm の許容変形寸法が必要なのか、再検討する必要がある。

7-4 現場継手部すきまの許容値

7-4-1 ボルト添接部(図 7-2(a))

数値仮組みが導入される以前は、スプライスプレートの孔明けは、あらかじめ行っておき、部材の孔明けは、溶接終了後、行っていた(後孔工法)。これによって、溶接收縮による部材の製作寸法の影響を無くすことができた。数値仮組みが導入されて依頼、溶接による熱収縮をあらかじめ見込んでおき、部材の孔明けは溶接前に行い(先孔工法)、部材の計測終了後、スプライスプレートの孔明けを計測結果をもとに行い、仮組み終了後の全体精度を確保している。このため、部材間寸法に自由度が要求されるようになった。

しかし、部材間寸法の許容値はこれまで変更がなく、0~3mm(首都公団の場合であり、発注者によって異なる)であり、この許容値を緩和されることにより、製法による影響が少なくなり、製作の合理化が可能となる。また、耐候性鋼材では、防錆上から設計値を10mmとしており、一般橋梁でも10mm程度のすきまの採用が望まれる。ボルト接合のパフォーマンスから考えても、この寸法を大きくしても影響はほとんどないものと考えられる。

7-4-2 現場接合部のルートギャップの許容値(図 7-2(b))

現在、少数主桁橋が建設され、現場接合において、溶接接合が採用されている。このため、工場製作段階におけるルートギャップの許容値が設定されている(例えば、CO2の場合では、-3~+5mm:設計値7mm)。これについても、工場製作においては、許容値を緩和されることが望まれる。これによって、現場溶接時の影響としては、エレクトログラスアーク溶接など、特殊な溶接を行う場合は影響を及ぼすが、人手に溶接や、ロボットで行う場合でも、センサー付きのロボットでは、施工上の影響はない。

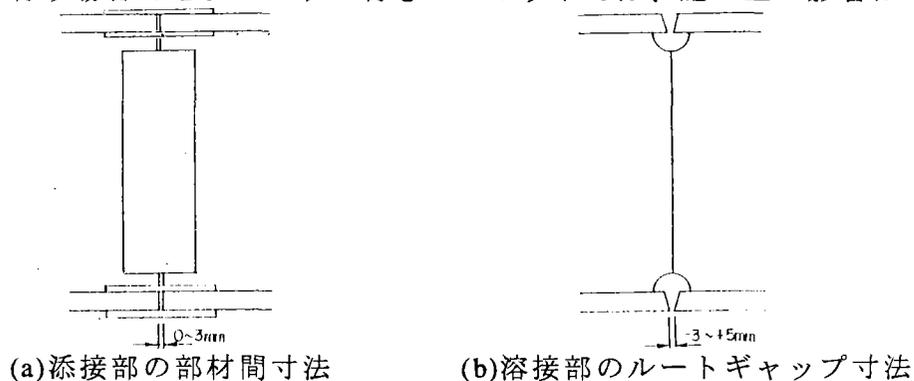


図 7-2 現場継手部すきまの詳細図

7-5 孔明け加工

道路橋示方書の「15.3.2 工作(6)孔あけ 3)」では、「所定の径に孔あけする場合は、ドリルまたはドリルとリーマ通しの併用により行うものとする。ただし、二次部材で板厚が 16mm 以下の材片の孔あけは、押抜きにより行ってもよい。」また、解説では「橋梁部材の孔あけは、当初より所定の穴にあける工法と、最初予備孔をあけておき、仮組後所定の径にリーマ通しを行う工法とがあるが、いずれの場合もドリルを用いることが原則である」としている。

近年、橋梁以外の鋼構造物では、レーザー切断による孔あけを行っているケースがあり、レーザー切断では加工効率がよい。このため、道路橋示方書においても、レーザー切断による孔あけを許容することが望まれる。レーザーによる孔あけでは、スタート位置にノッチが入ることが懸念されるが、近年のレーザー加工の精度の向上もあり、この問題は解決されているものと考えられる。また、「15.3.2 工作(4)切断」では、「主要部位材の切断は、原則として自動ガス切断により行うものとする。」としているが、解説では「自動ガス切断法と同等の品質が確保される場合には、プラズマアーク切断法、あるいはレーザー切断法などによる自動切断を用いてよい。」としており、レーザー切断を認めている。

7-6 すみ肉脚長

道路橋示方書では、すみ肉溶接を行う場合、主要部材の応力を伝えるすみ肉溶接のサイズ(S)は、厚い方母材の板厚(t)に対し、 $S \geq \sqrt{2t}$ という規定が示されている。この規定は、昭和31年度の鋼道路橋製作示方書から掲載されている。この理由について、明確に示されておらず、海外の基準から引用してきたものと推測される。そして、昭和48年年度版ではじめてその理由について述べられており、基本的には溶接部の急冷割れを念頭において規定されている。

近年、製作コストの削減から、少数主桁橋が建設され、フランジでは50mmを越える極厚鋼板を用いている。この際、 $\sqrt{2t}$ の規定に従いフランジとウェブの溶接脚長を決定する場合、フランジ厚50mmでは脚長10mm、フランジ厚100mmでは15mmとなる。

通常、この溶接はサブマージアーク溶接で行うか、あるいは2電極の炭酸ガスの自動溶接機で行われる。例えば、脚長8mmでも入熱量は30KJ/cmとなり、このレベルで急冷割れを発生するとは、考えられない。また、12mmを越える脚長では、70KJ/cmを越え入熱制限の関係上、2パスで行わなければならない。ある程度の脚長を有する場合、この規定通りの脚長が本当に必要なのか再検討する必要がある。

また、最小すみ肉脚長に関して、急冷割れを前提として規定されているとすれば、割れを発生させない予熱温度(予熱フリーを考慮して5℃)から算定すれば、最小すみ肉脚長を設定することができるが、道路橋示方書の予熱に関する規定も同様に行われている。すなわち、道路橋示方書における予熱の規定を満足していれば、どのような脚長であっても割れは発生しない。すなわち、現在、溶接割れの防止に対して、すみ肉

脚長と予熱の両方での対策となっており、予熱を行っておけば、最小すみ肉脚長を満足しなくても、良いと言える。

7-7 入熱制限値

溶接作業の合理化を考えた場合のキーワードとして、ロボット化（自動化およびライン化も含めた）、高能率化などが挙げられる。高能率化については、大入熱溶接が代表的な溶接法であるが、これまで適用するケースは少なかった。これは、道路橋示方書で示されていた板厚が 50mm 以下で、しかもすみ肉溶接が多く、適用に関して十分検討されていなかった。しかし、平成 8 年の道路橋示方書の改訂で 100 mm まで可能となったことや、近年、厚板鋼板を用いた少数主桁橋が建設され、現場接合では溶接接合が採用されていることなど、適用の可能性が多くなってきていると言える。適用が少なかったもう 1 つの理由として、道路橋示方書には入熱制限が規定されていることが挙げられる。

道路橋示方書では、入熱量の増加に伴う脆化と軟化に配慮し、「SM570 および SMA570W において 1 パスの入熱量が、70KJ/cm を超える場合、溶接施工試験を行うことを原則とする」ということが示されている。この規定は、昭和 48 年度版から掲載されており、これまで見直しは行われていない。しかし、この約 30 年間で、鋼材や溶接材料の品質は著しく向上しており、この基準が現在でも適切なかどうか再検討する必要があると言える。

7-8 予熱

道路橋示方書^{7.1)}では、本文中に鋼種、溶接法および板厚をパラメータとした予熱条件が設定されている。さらに、解説の中では、 P_{cm} により、予熱の緩和措置が示されている。これらの、前提条件は、以下の通りである^{7.2),7.3)}。

注：1) “予熱なし”については、気温（室内の場合は室温）が 5℃ 以下の場合は 20℃ 以上に予熱する。

2) 予熱温度の算定式 $T_p(°C) = 1,440P_w - 392$

$$\text{ここに、} P_w = P_{cm} + \frac{H_{GL}}{60} + \frac{K}{40,000}$$

3) 表中の予熱温度は下記の仮定に基づき、算定したものである。

a) 溶接金属の拡散性水素量 (H_{GL})

低水素被覆アーク溶接の場合 $H_{GL} = 2 \text{ ml/100g}$

サブマージアーク溶接およびガスシールドアーク溶接の場合

$$H_{GL} = 1 \text{ ml/100g}$$

b) 溶接継手の拘束度 (K)

橋梁溶接継手の平均的な拘束度として板厚 t の 20 倍を想定

$$K = 20t \text{ kgf/mm} \cdot \text{mm}$$

この条件で予熱温度を設定した場合に矛盾が生じることは、以下の通りである。

(矛盾点)

- 1)上記に示す予熱温度算定式は、文献^{7.2),7.3)}で検討した結果であり、ここでは入熱量が17000J(被覆アーク溶接)のみで検討されており、溶接法や脚長の違いによる入熱量は考慮されていない。
- 2)予熱温度算定式は、y型割れ試験(突合せ溶接を前提)で行われており、最も厳しい拘束状態での割れ試験である。橋梁で最も多いすみ肉溶接における拘束状態は考えていない。
- 3)溶接法の違いによる規定は、拡散性水素量のみで設定されているので、入熱量の違いによる影響は、考えていない。
- 4)継手の拘束は、 $K=20t$ で規定されており、50mmを越える厚板などでの拘束の変化率はほとんどないにも関わらず、板厚に比例した拘束条件であり、極厚板の適用に関して配慮されていない。

以上のことを考えると、道路橋示方書^{7.1)}で示されている予熱温度は、過大評価したものと考えられ、予熱条件は緩和できる。

参考文献

- 7.1)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説(Ⅱ鋼橋編),1996.5
- 7.2)伊藤慶典，別所 清：高張力鋼の溶接割れ感受性指示数について，溶接学会誌第37巻第9号，pp55-63，1968
- 7.3)伊藤慶典，別所 清：高張力鋼の溶接割れ感受性指数について(第2報)，溶接学会誌第38巻第10号，pp60-70，1969

第8章 おわりに

本報告では、工場製作における技術者の立場から、製作の合理化の考え方や留意点を述べてきた。このため、本報告で述べてきた内容は、製作コストは低減できるが、積算上では橋梁価格の低減にはならないケースもあると言える。

現在、鋼橋の合理化と言うと、橋梁価格の低減を目的とした合理化の議論が盛んに行われている。これについては、限られた財源から、効率よく社会資本投資を行う上で、官民あげて取り組んで行く課題であることは言うまでもない。

橋梁価格の低減を目的に合理化を検討する場合、その多くが積算法に則って行われている。その際、積算法の適用範囲は、ガイドライン設計を含めた従来型の構造形式の橋梁が対象であり、少数主桁橋などに代表される合理化橋梁は対象外である。というものの、現在の積算方法は、従来橋の数百にも及ぶ橋梁を対象として積算基準が確立されており、工場製作費については、材片数と鋼重をパラメータとして作成されている。このため、これまでとは異なる材片数と鋼重のバランスである合理化橋梁を適用した場合、積算法で算出される合理化効果は、製作の合理化効果とは必ずしも一致しない。すなわち、このような場合、橋梁価格の低減率と製作コストの低減率とは異なる。また、製作の合理化を考えた場合、どの部材を低減させたのかによって、合理化効果は異なる。というのも、第5章で述べたように、橋梁製作において、多くの橋梁製作会社で自動化・ロボット化が推進されており、これらを考慮して合理化を検討する必要がある。すなわち、手作業で行われている箇所部材を低減すれば、合理化効果は得られるが、ロボットや自動機で行われている箇所部材を低減させたとしても、製作の合理化効果は低い。本来の合理化の議論を行うには、製作工程を考慮し、どの程度製作コストが削減できるのかを明確にした上で、どの程度価格が低減できるのかを検討する必要があると考えられる。特に、ファブリケータの技術者にとっては、製作コストをいかに抑え、橋梁価格の低減を可能にさせて行くことを考えることが必要であると言える。すなわち、鋼橋の合理化を検討する方法として、製作コストの削減率を明確にした上で、それに見合った橋梁価格が低減できるように、積算法において、工場製作費の低減係数を新たに設定するなども、合理化手法の1つの考え方であると思われる。

最後に、本報告によって、製作を考慮した鋼橋の合理化の考え方が理解されれば幸いである。

付録 完全溶込みおよび部分溶込み溶接の適用箇所

7章の7-2で示した完全溶込み溶接が要求されている箇所は、各公団公社により、若干異なる箇所もある。そこで、付録では各公団公社の標準図集より抜粋した、代表的な箇所の完全溶込み溶接および部分溶込み溶接箇所を示すこととした。

なお、各公団公社の標準図集の出典は以下の通りである。

(標準図集の出典)

- 1) 国土交通省：道路工事標準設計図集 H6版
- 2) 日本道路公団：鋼構造物標準設計図集 S56版
- 3) 首都高速道路公団：鋼構造物標準図集 H6版
- 4) 阪神高速道路公団：鋼構造物標準図集 H3版
- 5) 名古屋高速道路公団：鋼構造物標準図集 H8版
- 6) 福岡北九州高速道路公団：構造物標準図集 H10版
- 7) 日本橋梁建設協会：ガイドライン型設計適用上の考え方と標準図集 H10版

I 桁 - 1 「支点上垂直補剛材下端」

(1)

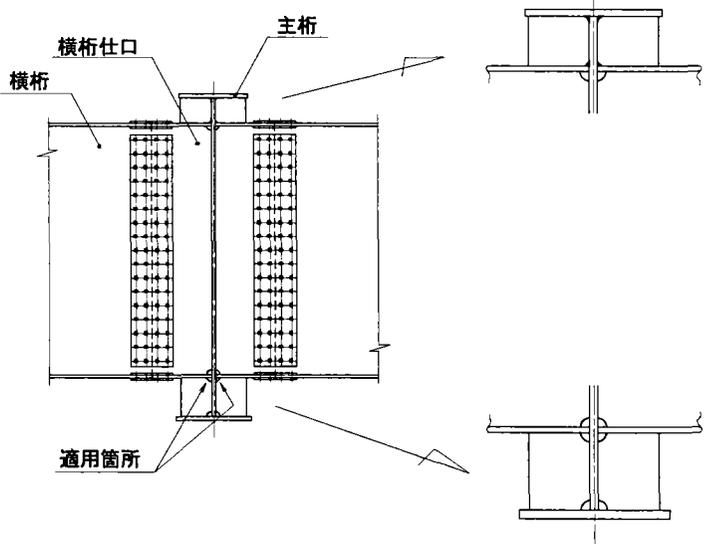
対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・死・活荷重を支承へ伝達させる為。</p>	<p>・溶接記号は、各公団、公社で3通りに分類される。</p> <p>・すみ肉溶接： 国土交通省 福岡北九州高速道路公社 阪神高速道路公団</p> <p>・K型部分溶込みグループ溶接： 名古屋高速道路公社</p> <p>・レ型,K型溶接： 日本道路公団 首都高速道路公団 日本橋梁建設協会</p> <p>・本州四国連絡橋公団は、標準図無し。</p>

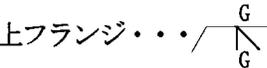
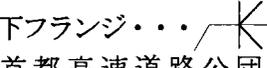
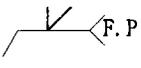
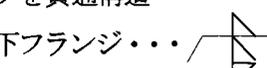
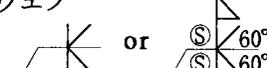
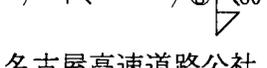
標準図集の溶接記号による比較

H6版	S56版	H6版	H3版
<p>国土交通省</p>	<p>日本道路公団</p>	<p>単純合成桁 </p> <p>連続非合成桁 </p> <p>首都高速道路公団</p>	<p>阪神高速道路公団</p>
<p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>H8版</p> $s = \frac{t-2}{2}$ <p>t:支点上補剛材, 腹板の板厚</p> <p>K型部分溶込み グループ溶接 名古屋高速道路公社</p>	<p>H10版</p> <p>福岡北九州高速道路公社</p>	<p>H10版</p> <p>(ガイドライン型設計) 日本橋梁建設協会</p>

I 桁 - 2 「横桁取合い仕口」

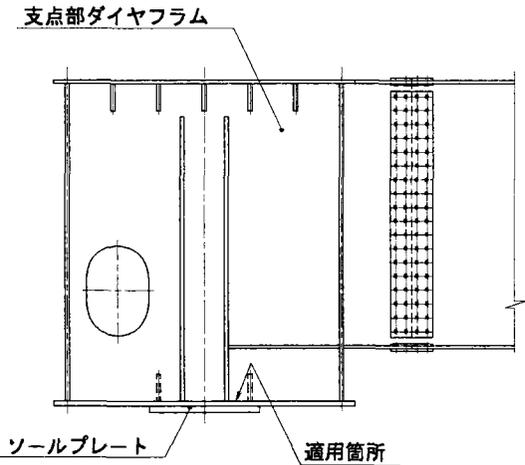
(2)

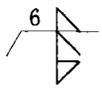
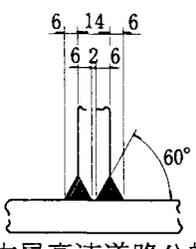
対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・横桁からの荷重を主桁へ伝達させる為。</p>	<p>・横桁仕口構造が、各公団、公社の標準図集では下記に分類される。</p> <p>・主桁フランジと突合せタイプ： 首都高速道路公団</p> <p>・主桁ウェブと仕口取合いタイプ： 国土交通省 福岡北九州高速道路公社 阪神高速道路公団</p> <p>・主桁ウェブとコネクションPL 取合いタイプ： 日本橋梁建設協会</p> <p>・主桁ウェブ貫通タイプ： 名古屋高速道路公社</p> <p>・日本道路公団は、端対傾構造</p> <p>・本州四国連絡橋公団は、標準図無し</p>

標準図集の溶接記号による比較			
<p>H6 版 上図、同構造で溶接記号無し</p> <p>国土交通省</p>	<p>日本道路公団</p>	<p>H6 版 横桁上フランジと主桁上フランジ突合せ溶接構造 横桁下フランジ仕口が、主桁ウェブ貫通構造</p> <p>上フランジ・・・</p> <p>ウェブ・・・</p> <p>下フランジ・・・</p> <p>首都高速道路公団</p>	<p>H3 版</p> <p></p> <p>阪神高速道路公団</p>
<p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>H8 版 上図類似構造で、横桁仕口フランジが主桁ウェブを貫通構造</p> <p>下フランジ・・・</p> <p>ウェブ  or </p> <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>H10 版</p> <p>ウェブ・・・</p> <p>フランジ・・・</p> <p>福岡北九州高速道路公社</p>	<p>H10 版 フランジ仕口、コネクション連結構造</p> <p></p> <p>(ガイドライン型設計) 日本橋梁建設協会</p>

箱桁-1 「支点部のダイヤフラム」

(3)

対象箇所	完全溶込みの理由	備考
 <p>支点部ダイヤフラム</p> <p>ソールプレート</p> <p>適用箇所</p>	<p>・支点反力を支承に伝達させる為、ソールプレート直上は、完全溶込み溶接とするケースが多い。</p>	<p>・開先形状は各公団、公社により、様々であるが、完全溶込み溶接が多く、部分溶込み溶接のケースもある。支点部のダイヤフラムにおいても、ソールプレート以外は、すみ肉溶接である。</p>

標準図集の溶接記号による比較			
<p>H6版</p>  <p>国土交通省</p>	<p>S56版</p>  <p>日本道路公団</p>	<p>H6版</p>  <p>首都高速道路公団</p>	<p>H3版</p>  <p>阪神高速道路公団</p>
 <p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>H8版</p> <p>溶接記号では表示されていないが、開先形状が示されており、部分溶込み溶接と判断できる。</p>  <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>H10版</p>  <p>福岡北九州高速道路公社</p>	<p>H10版</p>  <p>(ガイドライン型設計)</p> <p>日本橋梁建設協会</p>

箱桁-2「横桁取合い部」

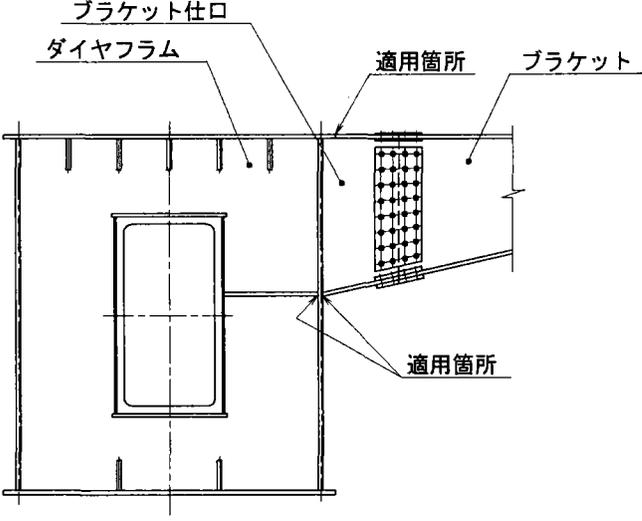
(4)

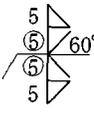
対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・横桁からの荷重をダイヤフラムへ伝達させる為。</p>	<p>・開先形状は各公団, 公社により, 様々であるが, 全て完全溶込み溶接である。</p> <p>箱桁の内面及び外面とも同じディテール。</p>

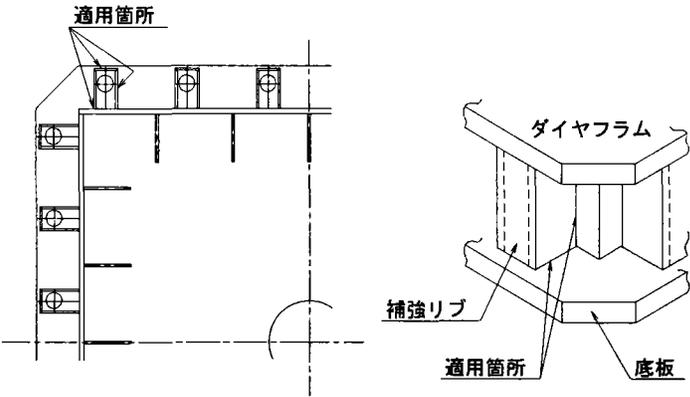
標準図集の溶接記号による比較			
<p>国土交通省</p>	<p>S56 版</p> <p>日本道路公団</p>	<p>H6 版</p> <p>首都高速道路公団</p>	<p>H3 版</p> <p>阪神高速道路公団</p>
<p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>H8 版</p> <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>H10 版</p> <p>福岡北九州高速道路公社</p>	<p>H10 版</p> <p>日本橋梁建設協会</p> <p>(ガイドライン型設計)</p>

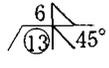
箱桁-3「ブラケット取合い部」

(5)

対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<ul style="list-style-type: none"> ブラケットからの荷重をダイヤフラムへ伝達させる為。 	<ul style="list-style-type: none"> 開先形状は各公団,公社により,様々でありまた完全溶込み溶接,部分溶込み溶接と様々である。 <p>箱桁の内面及び外面とも同じディテール。</p>

標準図集の溶接記号による比較			
 <p>国土交通省</p>	 <p>日本道路公団</p>	<p>H6版</p>  <p>首都高速道路公団</p>	<p>H3版</p>  <p>阪神高速道路公団</p>
 <p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>H8版</p>  <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>H10版</p>  <p>福岡北九州高速道路公社</p>	<p>H10版</p>  <p>(ガイドライン型設計) 日本橋梁建設協会</p>

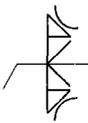
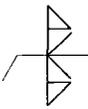
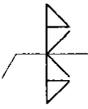
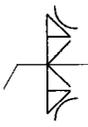
対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・応力状態が複雑な為、安全側の設計とする。</p>	

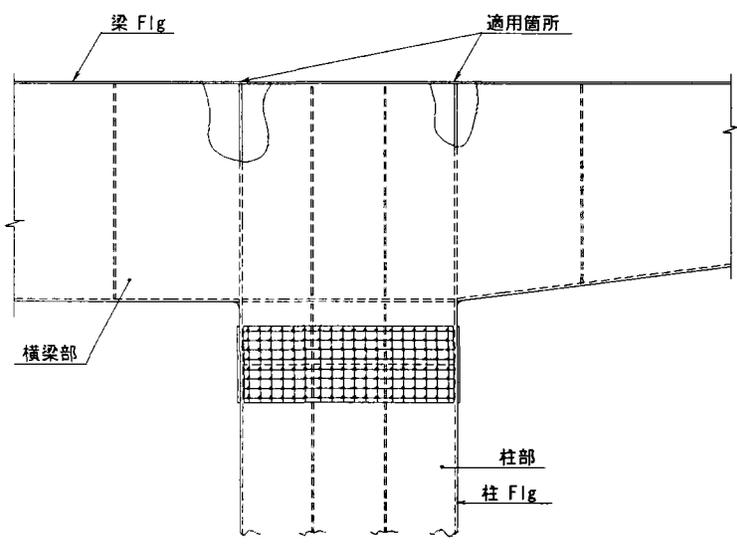
標準図集の溶接記号による比較			
 国土交通省	 日本道路公団	H6 版  首都高速道路公団	H3 版  Flg. t=25mm Web. t=18mm 阪神高速道路公団
 本州四国連絡橋公団	H8 版  t=26mm 名古屋高速道路公社	H10 版  福岡北九州高速道路公社	 日本橋梁建設協会

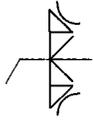
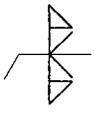
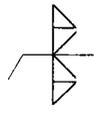
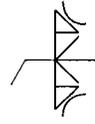
鋼製橋脚 - 2「梁,下 Flg. × 柱,Flg. の接合部」

(7)

対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・ Flg.全断面積にて応力計算している為。</p>	

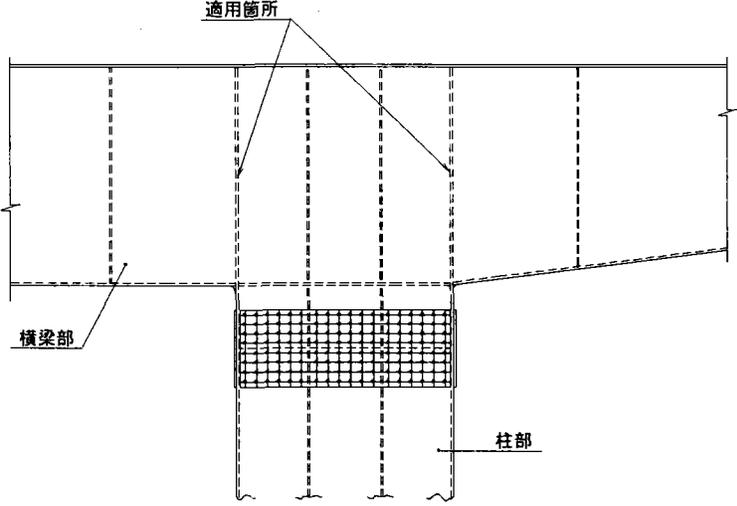
標準図集の溶接記号による比較			
 国土交通省	 日本道路公団	H6 版  首都高速道路公団	H3 版  阪神高速道路公団
 本州四国連絡橋公団	H8 版  名古屋高速道路公社	H10 版  福岡北九州高速道路公社	 日本橋梁建設協会

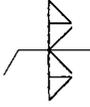
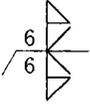
対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・ Flg.全断面積にて応力計算している為。</p>	

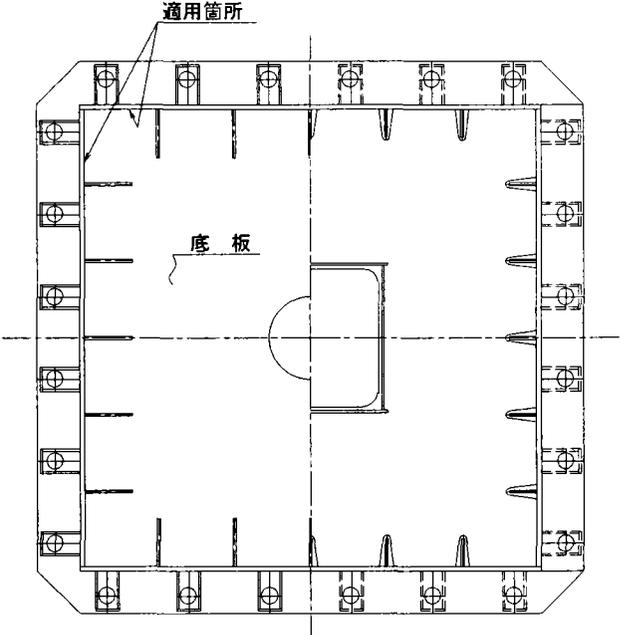
標準図集の溶接記号による比較			
 <p>国土交通省</p>	 <p>日本道路公団</p>	<p>H6 版</p>  <p>首都高速道路公団</p>	<p>H3 版</p>  <p>阪神高速道路公団</p>
 <p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>H8 版</p>  <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>H10 版</p>  <p>福岡北九州高速道路公社</p>	 <p>日本橋梁建設協会</p>

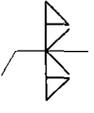
対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・隅角部は応力状態が複雑な為。</p>	

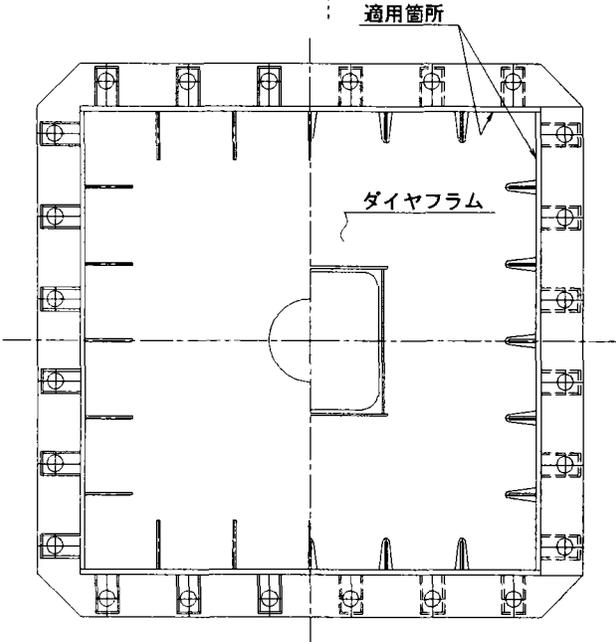
標準図集の溶接記号による比較			
<p>国土交通省</p>	<p>日本道路公団</p>	<p>H6 版</p> <p>首都高速道路公団</p>	<p>H3 版</p> <p>t=39mm t=19mm t=21mm</p> <p>阪神高速道路公団</p>
<p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>H8 版</p> <p>t=21mm t=15mm</p> <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>H10 版</p> <p>t=28mm t=19mm t=14mm</p> <p>福岡北九州高速道路公社</p>	<p>日本橋梁建設協会</p>

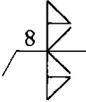
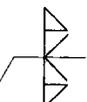
対 象 箇 所	完全溶込みの理由	備 考
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 梁の Web. 全断面積にて応力計算をしている為。 ・ 柱の Flg. 上端部 応力状態が複雑な為。 	

標準図集の溶接記号による比較			
 <p data-bbox="236 1583 401 1612">国土交通省</p>	 <p data-bbox="525 1583 722 1612">日本道路公団</p>	<p data-bbox="788 1208 867 1238">H6 版</p>  <p data-bbox="788 1583 1056 1612">首都高速道路公団</p>	<p data-bbox="1088 1208 1166 1238">H3 版</p>  <p data-bbox="1088 1583 1356 1612">阪神高速道路公団</p>
 <p data-bbox="200 2009 448 2043">本州四国連絡橋公団</p>	<p data-bbox="487 1635 566 1664">H8 版</p>  <p data-bbox="495 2009 754 2043">名古屋高速道路公社</p>	<p data-bbox="788 1635 882 1664">H10 版</p>  <p data-bbox="788 2009 1067 2043">福岡北九州高速道路公社</p>	 <p data-bbox="1088 2009 1356 2043">日本橋梁建設協会</p>

対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・応力状態が複雑な為、安全側の設計とする。</p>	

標準図集の溶接記号による比較			
<p>_____</p> <p>国土交通省</p>	<p>_____</p> <p>日本道路公団</p>	<p>H6版</p>  <p>t=25mm</p> <p>首都高速道路公団</p>	<p>H3版</p>  <p>阪神高速道路公団</p>
<p>_____</p> <p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>H8版</p>  <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>H10版</p>  <p>福岡北九州高速道路公社</p>	<p>_____</p> <p>日本橋梁建設協会</p>

対象箇所	完全溶込みの理由	備考
	<p>・応力状態が複雑な為、安全側の設計とする。</p> 	

標準図集の溶接記号による比較			
<p>国土交通省</p> 	<p>日本道路公団</p> 	<p>H6版</p>  <p>t=25mm</p> <p>首都高速道路公団</p>	<p>H3版</p>  <p>阪神高速道路公団</p>
<p>本州四国連絡橋公団</p> 	<p>H8版</p>  <p>t=25mm</p> <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>H10版</p>  <p>t=25mm</p> <p>福岡北九州高速道路公社</p>	<p>日本橋梁建設協会</p> 