

§ 5. リベット橋ができるまで

はじめに

鋼橋が出現して以来、部材の接合、組み立てには長い間リベットが用いられてきた。しかし、溶接技術の進歩、経済性などの理由から昭和 30 年（1955）頃より工場では溶接による部材製作が主流となった。また、架設現場においてもリベット工の減少、騒音問題などにより昭和 40 年（1965）頃からリベットは使われなくなり、高力ボルトにとって代わられるようになった。ここでは、すでに歴史的な製法となってしまったリベット結合橋梁の製作の様子を、その末期である昭和 35 年（1960）頃の資料^{1), 4)}や写真をもとに分かりやすくまとめたものである。

1. 作業工程一般

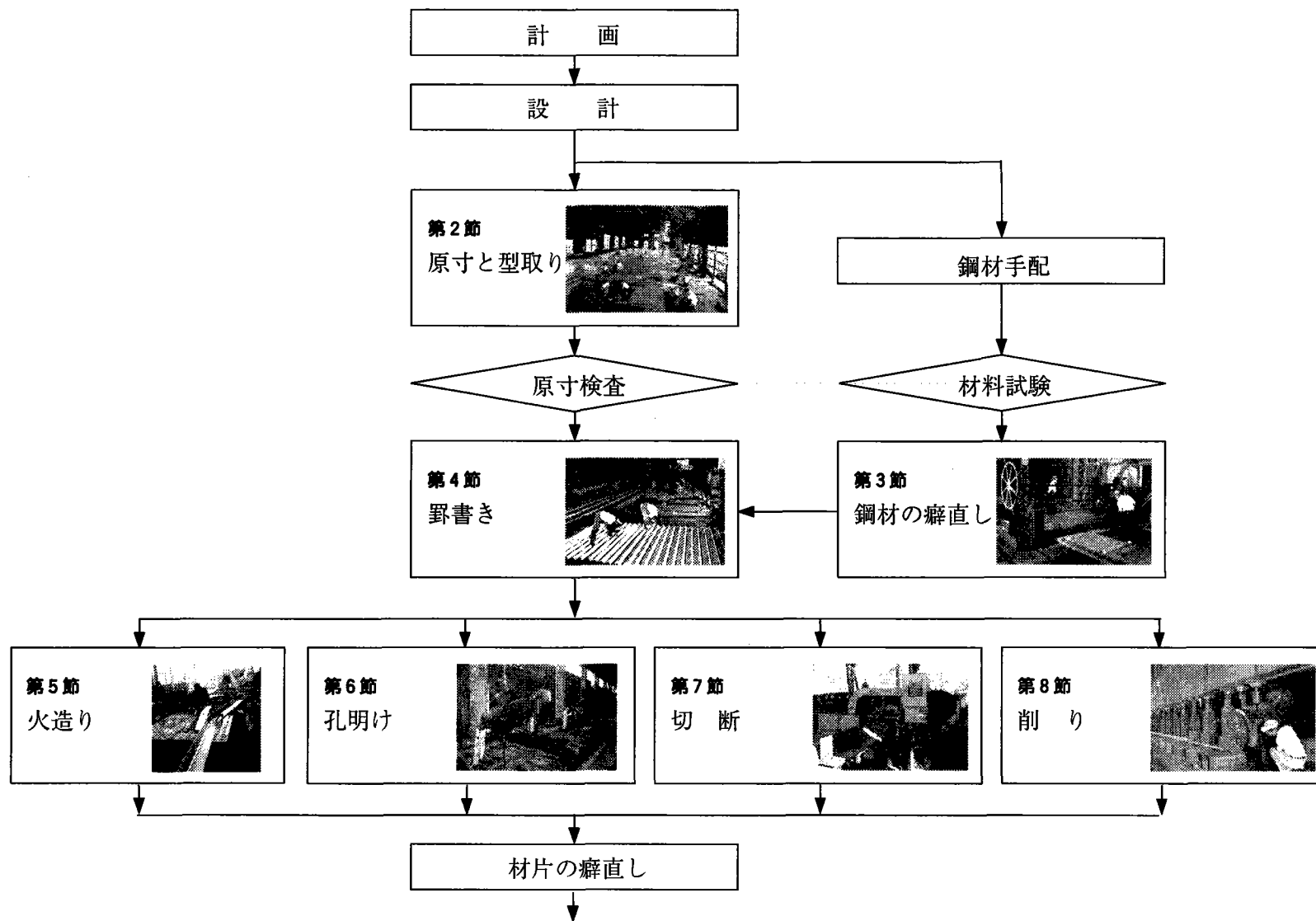
リベット橋の計画から完成までの製作工程は [図-5.1.1] のとおりである。この中で「火造り」の工程などがリベット橋特有の作業である。

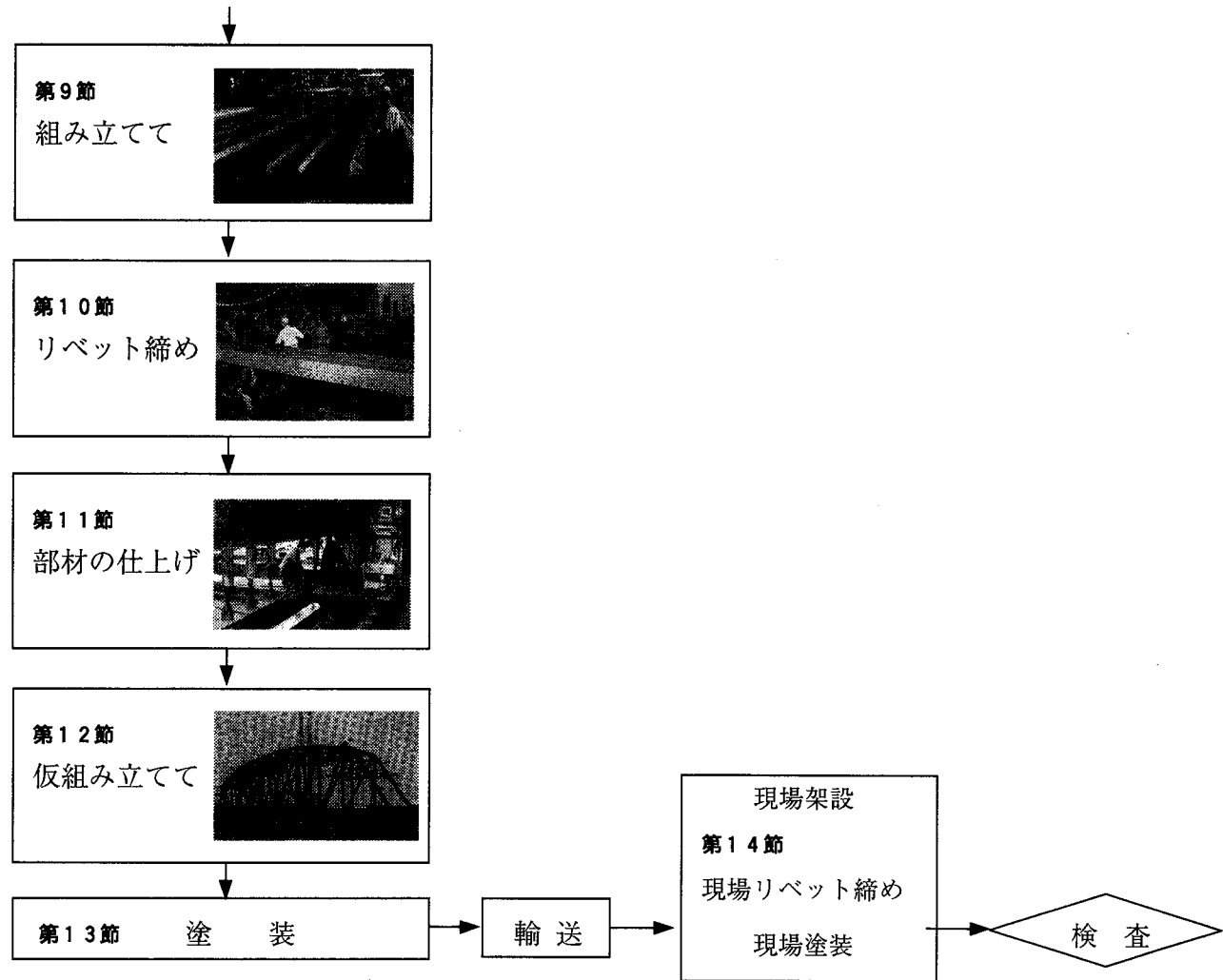
各工程の説明については後述の各節で詳しく記述することとし、[図-5.1.1：製作工程]では該当する各節番号を各工程に併記している。

また、当時のプレートガーダー橋とトラス橋の工程別工数の一例を [表-5.1.1] に示す。鋼橋の製作に必要な製作日数は、橋梁形式、規模、製作工場などによって異なるが、おおよそプレートガーダー橋で 30～60 日、トラス橋で 60～120 日くらいであった。

[表-5.1.1：工程別工数]

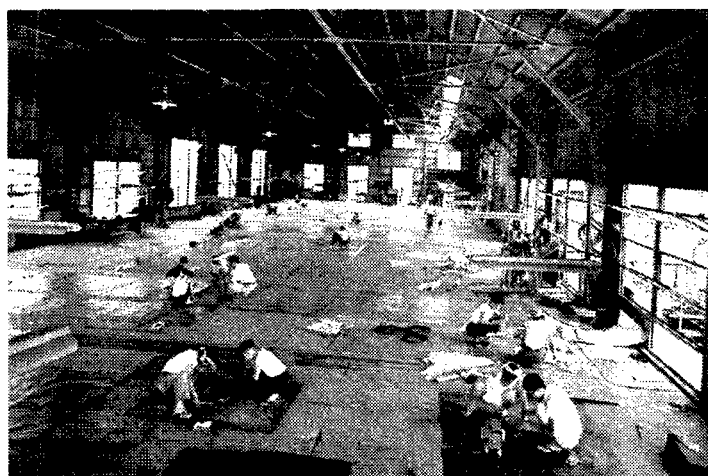
型式	トン当たり 工数	工程別工数百分率										
		現寸 野書き	鋼材 編直し	切断	孔明ナ	火造り	削り	組立	リベット 締め	仮組立	塗装 荷造	計
プレートガーダー	10～14	9.2	4.6	9.5	19.1	4.3	11.5	9.5	15.2	5.9	11.2	100
トラス橋	14～18	10.3	5.2	8.9	16.4	3.5	14.3	10.3	14.7	7.6	8.8	100





[図-5.1.1：製作工程]

2. 原寸と型取り



[写真・5.2.1：当時の原寸場の様子³⁾]

設計完了後の橋梁製作の第一工程は原寸に始まる。原寸では「製作図の作成」, 「現寸図の作成」, 「型取り」などの作業がある。

2-1. 製作図

「製作図」は設計図を基にして材料マーク, 現場添接部の孔径 (パイロットホールなどの位置), 座標方向などの製作情報を記入し作成される。この「製作図」をもとに工場での組み立てて作業等が行われることになる。製作図は今も変わらず鋼橋製作に用いられている。

2-2. 現寸図

「現寸図」は設計図をもとに, 現寸工場の床上に墨ツボなどを用いて書く実寸大の図面のことである。鋼橋の設計図は, 主要寸法の記載にとどまる建築鉄骨の設計図と比べて, 比較的細部の寸法等が記載されている。構造が簡単な部材は, 直接この設計図から鋼材への野書き用の型を製作することができるが, ほとんど大部分の部材は下記の理由からこの現寸作業を行っていた。

- 1) 複雑な構造は細部寸法の決定が困難
- 2) 製作そりを桁に反映する (特にトラス橋の製作そりの反映)
- 3) 曲弦トラスの上横構の寸法など, 寸法値の取り方に注意を要する構造がある
- 4) 曲げ加工部材の型の製作が困難
- 5) 各部材の取り合いや干渉を確認できる
- 6) リベット作業が可能な構造かを確認できる (リベットハンマーによる作業スペースの確認)

床上に現寸図を書く場合まず基準線を引くことになるが製作会社によってはトランシットを利用する場合もあった [写真-5.2.2]。

現寸工場の床は、古くは木板張りであったが、気温や湿度による誤差が大きいことから、鋼橋の素材と同じ鋼板張りに変わっていった。そうすることで、温度変化などによる誤差を少なくすることが出来た。また、現寸工場は限られたスペースであるため、各工事の工程が重複してくると、床書きする墨の色を変えるなどして、同じ床上に複数工事の現寸図を書いたこともあった。

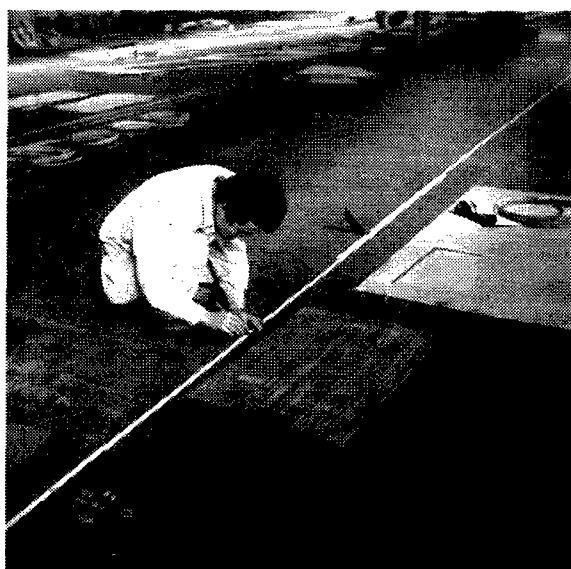
2-3. 型取り

「型取り」は鋼板や形鋼を加工するにあたり、切断位置やリベット孔位置などの加工情報を型に写し取る作業である。

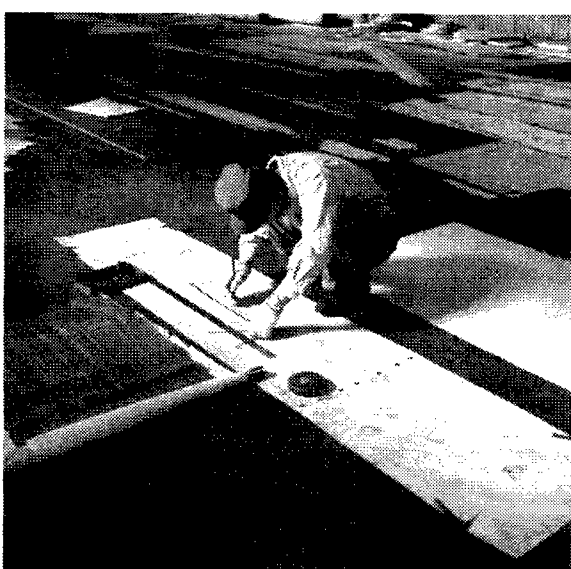
この型には2種類あり、1つが幅20mm～30mm、厚さ1mm程度の帯状の鉄定規（シナイ）で、材料長さやリベット位置などを鋼罫書き針で記入し、主桁材料や形鋼などの罫書きに使用されていた [写真-5.2.3]。もう一つは厚さ0.3～0.8mm程度の薄鉄板に部材の形状そのものを現寸図から写し取ったもので、トラス橋のガセットプレートなどの罫書きに使用されていた。[写真-5.2.4,5.2.5]はその作業を行っている様子である。[写真-5.2.5]では、[図-5.2.1]に示すように基準線は型の外側まで書き伸ばし、それを頼りに薄鉄板に形状を写し取った。また、型に用いる1枚の薄鉄板の大きさは、製作会社にもよるが3尺×6尺程度の大きさであった。大きな



[写真-5.2.2：トランシットによる基準線設置²⁾]

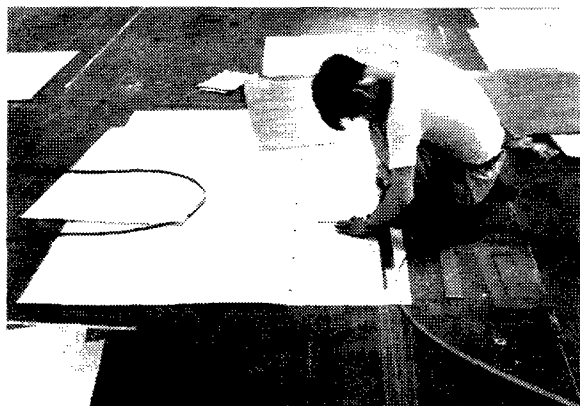


[写真-5.2.3：鉄定規（シナイ）²⁾]

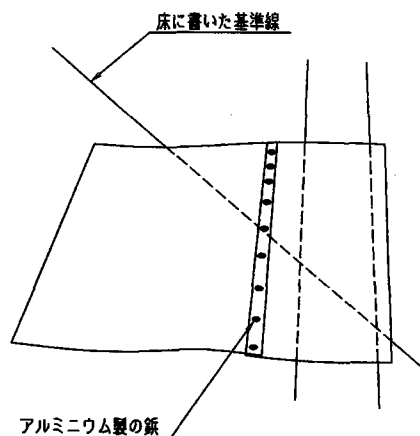


[写真-5.2.4：型取り(1)²⁾]

型板が必要な場合は、アルミニウム製の鋸を用いて薄鉄板をつないでいた。この鋸打ち一つをとっても、薄鉄板の継ぎ目に“しわ”を作らない工夫があったようだ。



[写真-5.2.5：型取り(2)²⁾]



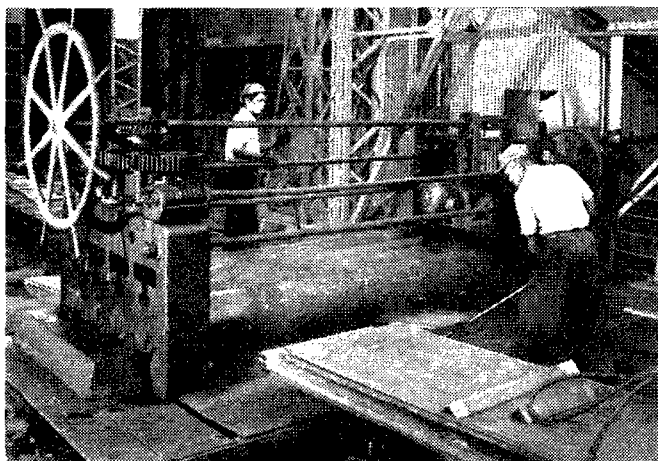
[図-5.2.1：型取りの要領]

2-4. 鋼製巻尺

現寸図や型取りを行う際に使用する鋼製巻尺は、架設現場で下部構造の測量に使用した鋼製巻尺と照査した鋼製巻尺を使用したようである。ここで言う鋼製巻尺の照査とは、2本の鋼製巻尺を並べて各々の誤差を確認する作業である。最近では光波測距儀などの普及によりあまり行われていないようである。

現在では電算の普及に伴い現寸図がCADになり、薄鉄板の型はCAD原寸からのデータをフィルム型へ自動作画して製作されている。原寸は鋼橋製作作業の中で最も早く電算を取り入れた工程の一つで、電算を利用したシステム化により現在の原寸作業は当時と比べて大きく様変わりしている。

3. 鋼材の癖直し



[写真-5.3.1：プレートロールによる癖直しの様子³⁾]

3-1. 鋼板

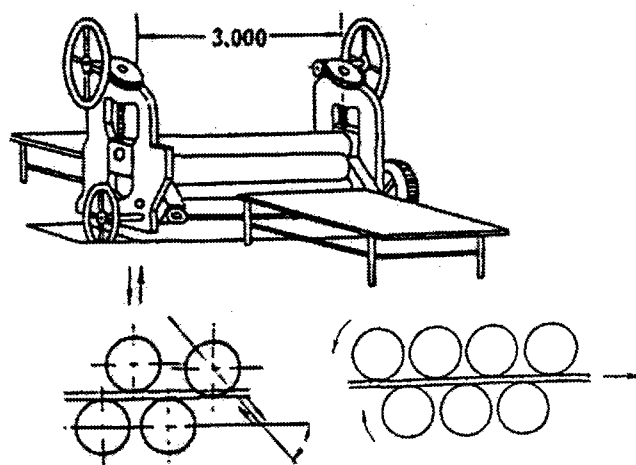
鋼板にはシャードプレート（製鉄所で圧延後、冷却前に縁部と長手方向とを切断したものの）と、ユニバーサルプレート（両縁とも同時に圧延したもの）とがあった。

シャードプレートは3'×6'、4'×8'、5'×10'、5'×20'、6'×30'などの定尺に切断されていて整正を要しない程度に真直であったが、不注意な運搬と製作時の切断により曲がりを生ずることが多く、また、ユニバーサルプレートは縁も同時に圧延されたために幅方向に湾曲していることが多かった。

一般にこれら鋼板の厚さ方向の凹凸の矯正には、[図-5.3.1]に示すプレートロールを用いた。プレートロールには4本ロールと7本ロール等があり、ロールの調整によって曲げ加工が可能なものもあった。ガセットプレートその他の小型部材は、大きな板の上に並べて何回もプレートロールを通すことにより癖取りを行った。



[写真-5.3.2：プレートロール²⁾]



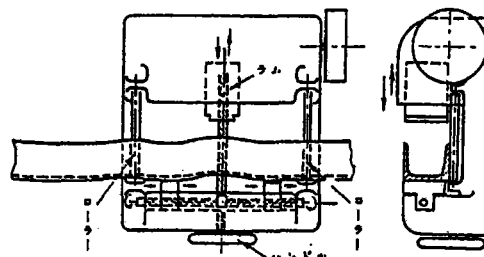
[図-5.3.1：プレートロールの構造¹⁾]

3-2. 形鋼

I形鋼と溝形鋼は癖直しを必要とすることはまれであったが、必要な場合には [図-5.3.2] に示すビームベンダーを使用した。トラス橋の弦材に使用する溝形鋼などのウェブとフランジの角度矯正はプレスで行った。

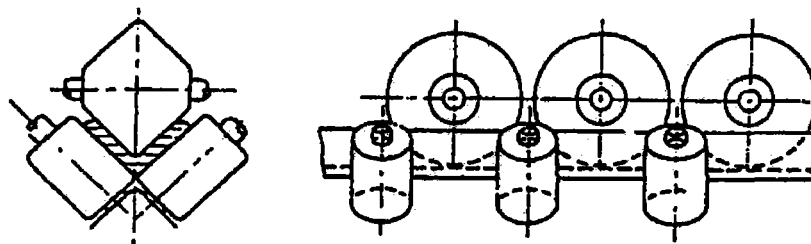


[写真-5.3.2：ビームベンダー²⁾]



[図-5.3.2：ビームベンダーの構造¹⁾]

山形鋼は、野書き前に曲がりがあれば整正しなければならず、単に湾曲を直すだけであればビームベンダーで矯正できたが、両脚のなす角度の矯正には [図-3.3] に示すアングルロールを用いた。特に山形鋼はパンチングの孔明けを行うと必ず曲がりを生じたため、孔明け後もビームベンダーで癖直しを行う必要があった。



[図-5.3.3：アングルロールの構造¹⁾]

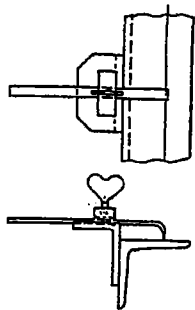
4. 野書き



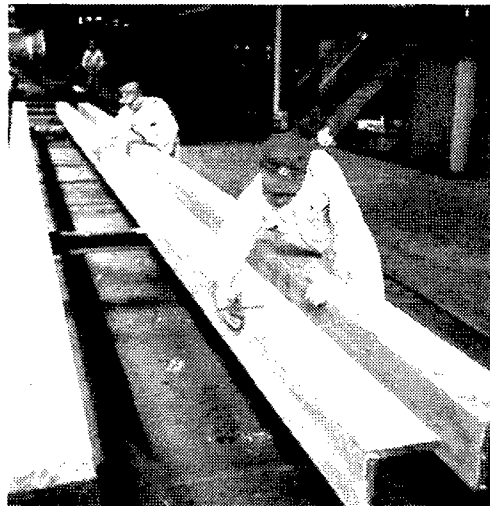
[写真-5.4.1：野書き作業の様子³⁾]

鋼材の表面に切断線、仕上げ線およびリベット孔の位置を記入する野書きは製作フロー上現寸型取りを行った工員みずからが野書きを行うのが通例であった。野書きに先立って使用鋼材の形状寸法、錆、きず、曲り等に十分注意し、野書きすべき部分には胡粉（貝殻を焼いて細かく砕いた粉）をにかわで溶いた塗料を塗った。

野書きの方法には、設計図から直接鋼材上に野書きをする場合と、帯状の鉄定規（シナイ）と型板とを鋼材上に当てて野書きをするものがあった。いずれの場合も鋼材表面への野書きには先端を焼入れした鋼製野書き針を使用し、ガセットプレート類の野書きには、鋼板上に型板を当ててその上からタガネで目打ちをした。形鋼、特に山形鋼や溝形鋼のリベット線を引くには [図-5.4.1] に示すようなけ引きを使用した。これらの形鋼のリベット線は必ず背部を基準とした。機械的にリベットピッチとリベット線間隔とを規定できるスペーシングパンチを使う場合は、野書きを必要としなかった。同一部材が多数ある場合も、鋼製型板によって孔明けを行うため野書きが不要で、また、鋼製型板を用いなくとも1枚の板のみを正確に野書き、ドリルで孔開けをしてこれを型板とする場合も同様であった。



[図-5.4.1：け引き¹⁾]



[写真-5.4.2：け引きによる野書き作業²⁾]

5. 火造り



[写真-5.5.1：はちの巣による形鋼の曲げ作業²⁾]

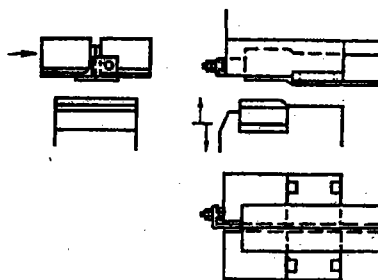
5-1. 火造り

火造り作業とは、現在における熱間加工に相当するものであり、補剛山形鋼（垂直補剛材のアンクル）の段下げ、各種形鋼の曲げ、曲げ角度の大きい板の曲げ、バックルプレート、リベット、ボルト等の加工に行われていた。

5-2. 山形鋼の段下げと曲げ

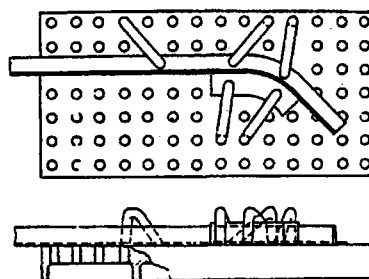
プレートガーダーの集中荷重を伝達しない部分の補剛山形鋼は填材（フィラー）を使用することなく、フランジ山形鋼の部分はその厚さだけ段下げ（クリンプ加工）するのが一般的であった。

段下げは先頭を赤熱した山形鋼を段下げ量に相当する敷板を置いた台の上に乗せて上部からプレスまたはドロップハンマーで押し下げて行った[図-5.5.1]。



[図-5.5.1：段下げ¹⁾]

橋脚上で桁高を急激に変化させる変断面プレートガーダーのフランジやトラス橋の橋門構など外観を重視する部分には湾曲した山形鋼を使用しており、曲率半径が大きい場合は冷間曲げ加工、曲率半径の小さい場合は火造りにより加工されていた。同型の曲げ山形鋼が多くある場合には、一般に[図-5.5.2]に示すような「はちの巣」と称する定盤と型を使用していた。[写真-5.5.1]はそれを使った作業の様子である。



[図-5.5.2：はちの巣¹⁾]

5-3. リベットおよびボルト

リベットとボルトの製作は専門の工場に素材を支給し、加工のみを依頼することが多かった。また、リベットの製造には自動製鋸機を用いた。

これには、

- 1) 長さ1 m程度の丸鋼を炉車で赤熱して手で製鋸機に供給させるもの（手動供給式）
- 2) 自動的に1 mより更に長い丸鋼が赤熱されて連続的に製鋸機に供給されるもの（自動供給式）

の2種類があった。

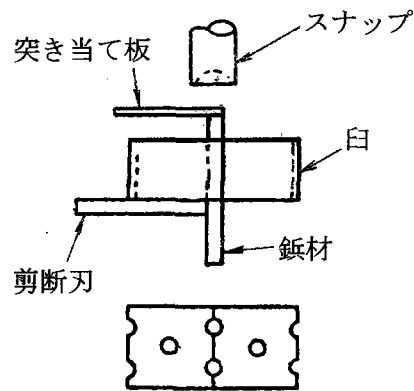
製鋸機は、2個に割れる臼（うす）と剪断刃ならびにリベット頭を形成するスナップから構成されていた [図-5.5.3]。製造能力は1日8時間に手動供給式で15,000本程度、自動供給式で30,000本程度であった。

わが国において一般的に使用されていた製鋸機はあらかじめ所要長さに、丸鋼を切断した後、赤熱し、これを臼に差込んでスナップで頭を形成するもので、製造能力は1日8時間で約2,000本程度であった。

臼とスナップは古いものを使用すると、首が太くできたり、リベット頭が不整形となるため、常に注意して交換する必要があった。

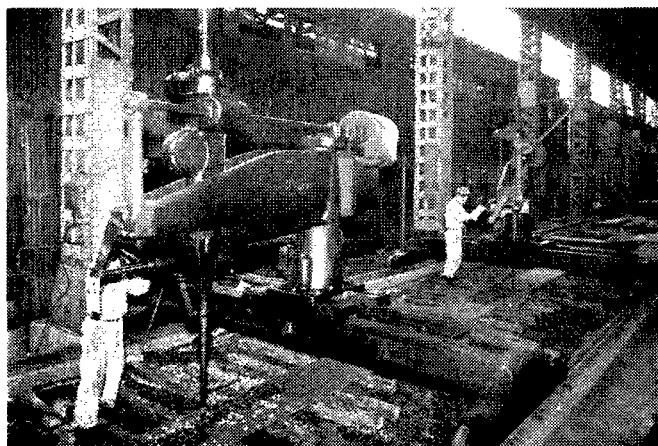
ボルトの製造にはスナップとして六角または八角のものを使用していた。その他については、リベットの場合と同様であった。

火造り作業終了後、ネジ切りと必要に応じて各部の仕上げを行った。ネジにはウイトネジ、メートルネジ、ユニファイネジの三種類があり、通常のボルトにはウイトネジが用いられていた。ここでウイトネジとユニファイネジはどちらも基本寸法がインチサイズのネジのことであるが、特に建築用に使われる径が太く、比較的公差の粗いネジをのことウイトネジと呼んでいたようである。



[図-5.5.3：自動製鋸機の要点¹⁾]

6. 孔明け



[写真-5.6.1：ガーダードリルによる孔明け作業³⁾]

6-1. 孔明け

孔明けには、パンチによって鋼材を押し抜く方法と、[写真-5.6.1]のようにドリルによってもみ抜く二つの方法があった。

6-2. リベット孔

リベット孔の直径は、リベットの通りをよくするため、リベットの呼び径に1.5mmを加えた大きさとしていた[表-5.6.1]。孔の精度はリベット橋の製作上最も苦心するところで、この良否が部材の組み立ておよび、鋼橋の出来映えを左右していた。

[表-5.6.1：リベット径とパンチ孔径]

リベット径	パンチ孔径	予備パンチ孔径
16 mm	17 mm	15 mm
19	20.5	17.5
22	23.5	20.5
25	26.5	23.5

また、リベット孔の孔明け方法は次の3種類があった。

- 1) リベット孔を最初から所定の大きさ（フルサイズ孔）にパンチ明けする方法
- 2) パンチもしくはドリルにより所定の大きさより若干小さい予備孔（サブサイズ孔）を明け、部材を組み立てた後に所定の大きさ（フルサイズ孔）に孔を拡大する方法
- 3) リベット孔を最初から所定の大きさ（フルサイズ孔）にドリル明けする方法

以下に各々の孔明け方法の特徴を示す。

- 1) 最も効果的な方法であるが、パンチによって押し抜くため鋼材に悪影響を及ぼすことから、重要な部分には使用されなかった。

- 2) パンチ明けによって組織が害された部分を取除き、組み立てたリベット孔の食違いを
修正するために行われた方法である。
- 3) ドリル明け工法は効率的で、リベット橋の製作に一番多く用いられていた。

なお、当時の示方書⁴⁾では「引張材の純断面積の算定に用いるリベット孔の直径はリベットの呼び径に 3mm を加えたものとする。」と規定されているが、これは、各材片でリベット孔のズレができた場合の拡孔に対する余裕のほか、リベット孔周辺の材質の変化を勘案して決められたものである。また、主要部材であれば厚さ 16mm 以下の材片の予備孔(サブサイズ孔)を、二次部材では厚さ 12mm 以下の材片で所定の孔(フルサイズ孔)をパンチにより明けることができた。

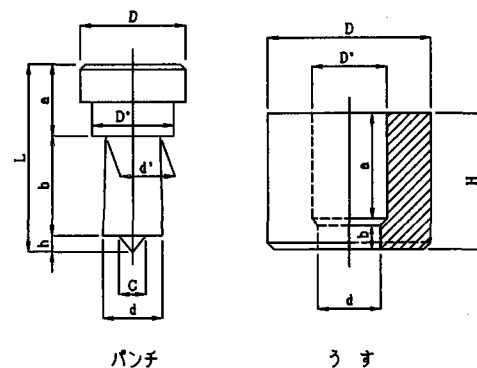
6-3. パンチ明け

押し抜き機による孔明けにはパンチと臼を使用していた [図-5.6.1]。鋼板をパンチで押抜く場合、押抜かれる部分が圧縮せん断されて臼を通り抜けるためパンチと臼のすき間の大きさが非常に重要で、すき間が過大な場合にはせん断された孔内面が粗雑となり“まくれ”を生じる問題があった。このすき間は一般構造用圧延鋼材に対しては、板厚の 5~10% 確保することが一般的であった。

パンチ明けは通常、山形鋼とレーシングバーに多く使用され、鋼板類はドリル明けを行うことが一般的であった。押し抜き機には、

- 1) 鋼板の送りを手動で行い、一工程で 1 個の孔を明ける標準押し抜き機
- 2) 鋼材を機械的に送り、けがきを行わずに位置を定めて孔を明けるスペーシングパンチ
- 3) 一度に多数の孔明けを行うマルチプルパンチ

などがあった。

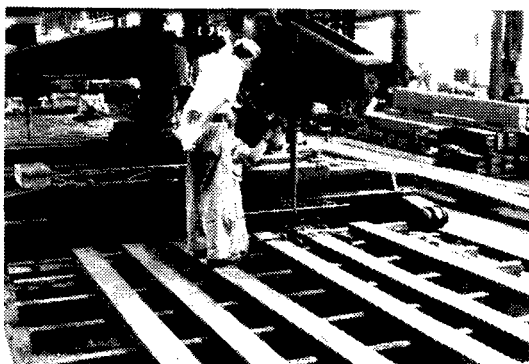


[図-5.6.1：パンチと臼]

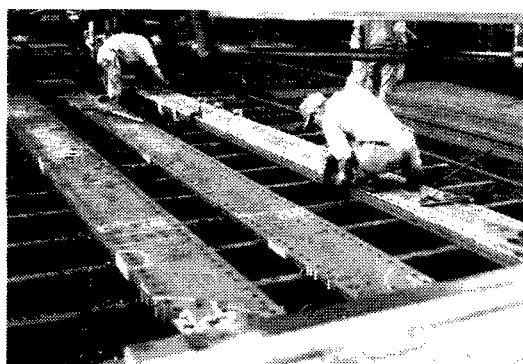
[表-5.6.2：パンチと臼の隙間の標準(図-5.6.1 参照)]

名称 称呼	パンチ									臼					
	a	b	c	d	d'	D	D'	h	L	a	b	d	D	D'	H
17.5	21	29	8	17.5	16	31	24	5	55	31	7	18.5	48	22	40
20.5	21	29	10	20.5	18.5	31	24	5	55	29	9	21.8	48	26	40
23.5	21	28	13	23.5	21.5	31	24	6	55	29	9	24.8	48	28	40

6-4. ドリル明け

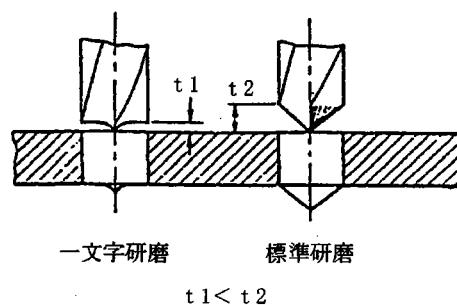


[写真-5.6.2：ドリル明け(1)²⁾]



[写真-5.6.3：ドリル明け(2)²⁾]

鋼板，I形鋼，溝形鋼，厚さ16mm以上の山形鋼，また材質によってパンチ明けのできない，鋳鉄，鋳鋼，合金鋼等はドリルにより孔明けを行っていた。[写真-5.6.2,5.6.3]は，ドリル明けを行っている様子である。ドリルには一般的にモールステーパースャンクドリルが用いられ（JIS B4302）において直径2～75mmまでのものが規定されていた。また，ドリルのきり角，すなわち先端角度は孔明け材料の強度，伸び，硬度により異なり，以下のようなものが用いられていた。



[図-5.6.2：一文字研磨の角度¹⁾]

- 1) 鋼板，鋳鉄に対しては，きり角 118° ねじり角 $25^\circ \sim 30^\circ$ の標準研磨
- 2) 鋼材の孔明けには，きり角 $150^\circ \sim 180^\circ$ の一文字研磨

ドリルの正確な手研磨は熟練工でも非常に難しい仕事であり，孔径の精度ならびに工具管理の面からも，ドリル研磨盤を使用して正確なきり角のドリルにより孔明けすることが望ましかった。ドリル明けに使用する機械には，以下のものがあつた。

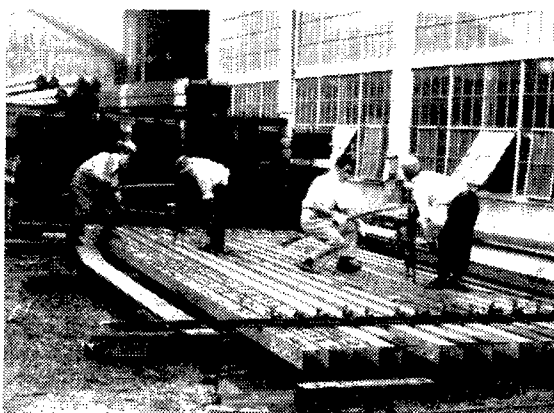
- 1) ボール盤：小さな材片の孔明けに使用
- 2) ラジアルボール盤，ガーター型ラジアルボール板：腹板，カバープレートなどの孔明けに使用
- 3) 電気ドリル：ボール盤での孔明けが困難な箇所を使用

6-5. 拡孔と整孔

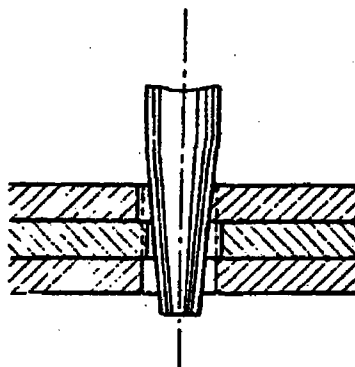
拡孔とは、予備孔（サブサイズ孔）にパンチまたはドリル明けした材片を組み立てた後、所定の孔径（フルサイズ孔）に拡大する作業である。また、整孔とは、所定の大きさ（フルサイズ孔）にパンチ明けまたはドリル明けを行って組み立てた部材のリベット孔を、整正してリベットの差込みを容易にする作業のことを示す。

リベット孔の拡孔には、電気ドリルか空気ドリルにブリッジリーマー（JES 機械 4409）を取付けて使用した。ブリッジリーマーで拡孔すると最小の切削量となるように、すなわち、重ねられたリベット孔の平均位置を繰り返し繰返すことができた。拡孔および整孔は、工場リベット孔に対して材片を組み立てた時に行った。また、添接板、連結板などの重要な現場リベットの孔明けは、仮組み立て時に鋼製型板を使用して行った [写真-5.6.5]。

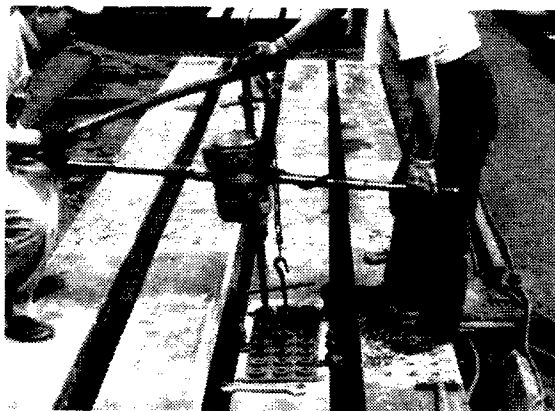
鋼製型板は厚さ 9 mm 程度の板に厚さ 25mm のブッシュをはめこんで溶接で固定したものである [図-5.6.4]。ブッシュは工具鋼で製作し焼き入れした後、内面研磨したものである。鋼製型板による拡孔には普通ドリルを使用していた。



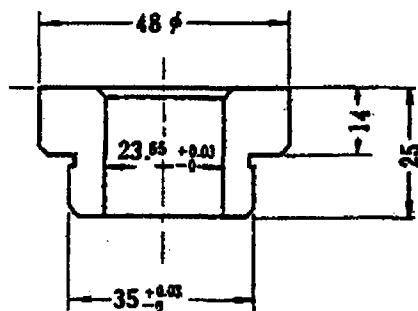
[写真-5.6.4：電気ドリル²⁾]



[図-5.6.3：ブリッジリーマーによる拡孔¹⁾]

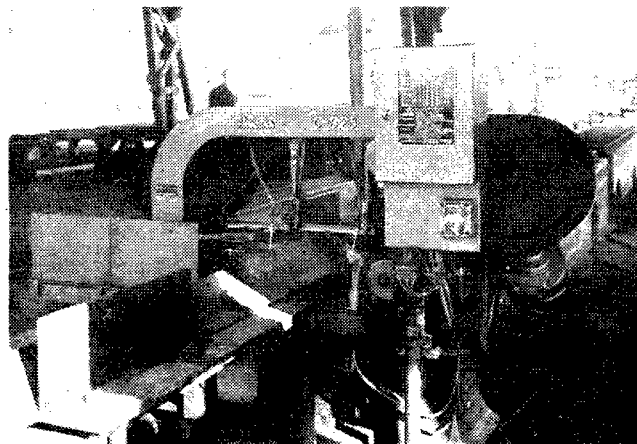


[写真-5.6.5：鋼製型板による孔明け²⁾]



[図-5.6.4：ブッシュ¹⁾]

7. 切 断



[写真-5.7.1：バンドソーによるアングルの切断²⁾]

7-1. 切断法

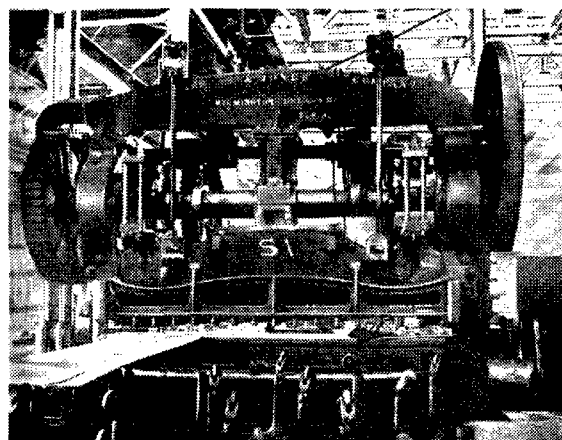
鋼材を所定の寸法や型に切断する方法としては、剪断、鋸切断、ガス切断の三方法のほか、現在では使用されていないが酸素アーク切断法等もあった。最近でレーザ、プラズマによる切断も行われている。

7-2. 剪断

剪断は 25mm 以下の鋼板や山形鋼、鋼棒の切断に用いられたが、剪断線に曲がりが生じ端部の肩落ち、不整が生じやすかった。そのため、主要部材の剪断線は 3mm 以上縁削りをする必要があった。

剪断機には鋼板剪断機、山形鋼剪断機、棒鋼剪断機のほか、ロータリーシャー等の特殊剪断機があった。

鋼板の剪断に広く使用されているものは、ゲート型シャーリング [写真-5.7.2] で長い板を刃の方向に移動して剪断することができた。この機械は長さ 3 m 程度の刃を有し厚さ 25mm の鋼板を一動作で剪断することが可能であり、剪断幅の最大値は 600mm 程度 (カバープレートなど) であった。この他に、現在は使用されていないが、上下の刃が転子型をなし、罫書きに沿って鋼板を送ることにより、曲線状に剪断を行



[写真-5.7.2：ゲート型シャーリング⁵⁾]

ることができるロータリーシャーがあった。山形剪断機の構造は、下刃が固定されており、上刃が上下することにより山形鋼の剪断が行われた。1台の剪断機で、山形鋼、T形鋼、Z形鋼、平鋼、棒鋼等の切断可能なバークロッパー [写真-5.7.3] と称するものもあった。また、形鋼の切断にアングルカッターが使用されはじめたのは大正 5 年 (1916) 頃か

らであるが、それらが普及するまでは次のようなタガネによる切断方法が用いられていた。

1)丸鋼

大ハンマ（向槌）（重量 12～18 ポンド=5～9 kg）を人力で振り、タガネの頭を強打して、タガネの内面と丸切台の角の面とのせん断で切り落した。向槌の人の体力にもよるが 19φまでは一回の打撃で、25φでも 1 回と軽い 1 打（1.5 打）で切断していた [写真-5.7.4]。

2)平鋼

丸鋼と似た方法であるが、受台も平らなもので、その角にちょうどせん断を生ずるようヘシ切りタガネをあてて、同じく大ハンマで打撃して切断した。薄いものでは、余り重い大ハンマを使用せず、ヘシ切りタガネを金敷（金床）に打込んで損傷せぬよう、少し切り残る程度で止め、後は軽打または折曲げて切り離していた。



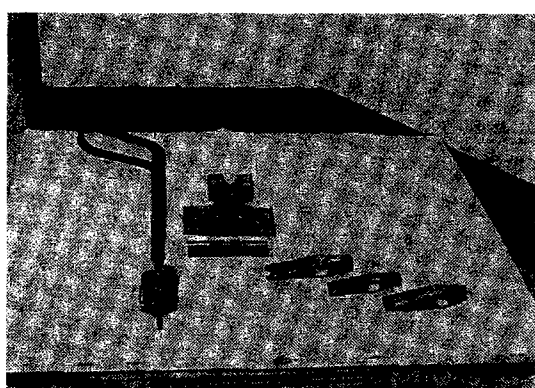
[写真-5.7.3：パークロッパー²⁾]

3) L 形鋼

平鋼の方法をそのまま利用し、L 形の内側よりタガネを入れ、すみの R の部分は金敷（厚 100～150、幅 300 x 500 鉄台）上で、柄付タガネで切れ目をつけ叩落し、切断していた。また、L 形鋼の端部を斜めに切り落とす時は、平型受台に、平ヘシを用いて切断していた。



[写真-5.7.4：タガネによる丸鋼のせん断⁶⁾]



[写真-5.7.5：ヘシ切り台とタガネ⁶⁾]

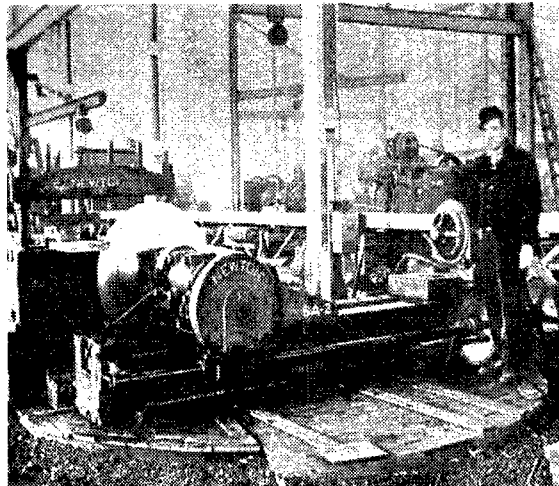
7-3. 鋸切断

大形丸鋼，I 形鋼，溝形鋼及びレール等は鋸切断により切断していた。鋸切断機にはコールドソー [写真-5.7.6]，摩擦鋸，バンドソー [写真-5.7.7]，高速度切断盤 [写真-5.7.8] などがあった。

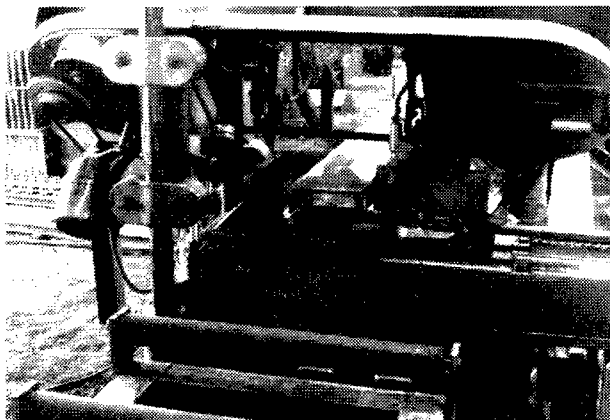
コールドソー [写真-5.7.6] は、熱処理した鋼製の円盤に、植込式またはセグメント式の刃を取付けた鋸を、緩速度 (20 m/min 程度) で回転させて切削切断を行う方法であり、切断に長時間を要した。

摩擦鋸は、熱処理した鋼製円盤の周辺にタガネで凹凸を付けた直径約 1300mm の鋸を高速度 (1900m/min 程度) で回転させ、鋼材との間に生ずる摩擦熱によって切断する方法であり、切断を短時間にでき、切断縁も滑らかであるが“いぼり”がでるため注意が必要であった。

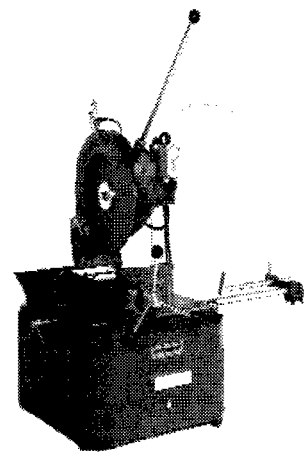
高速度切断盤 [写真-5.7.8] は、切断砥石を使用してどのような硬度の金属、非金属もごく短時間で切断が可能であるが、円盤状の切断砥石の最大径が 20 インチ、厚さが約 3mm 程度であるため切断できる材料の大きさに制限があった。



[写真-5.7.6 : コールドソー⁵⁾]



[写真-5.7.7 : バンドソー²⁾]



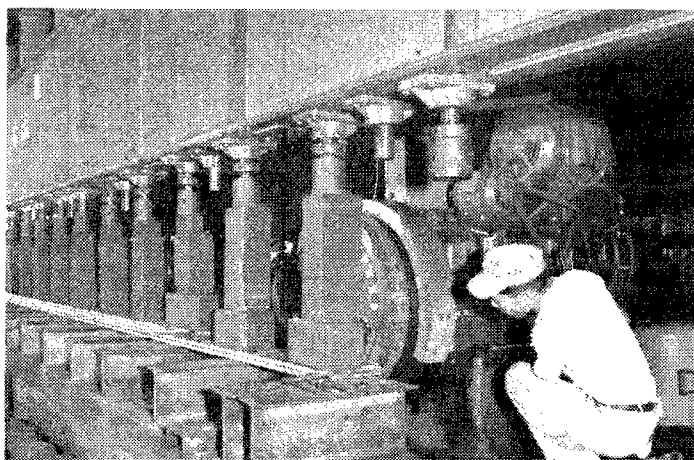
[写真-5.7.8 : 高速度切断盤]

7-4. ガス切断

ガス切断は設備が簡単で切断速度も速く、直線、傾斜、円及び曲線等の切断ができるため鋼板の切断に広く使われたほか、I 形鋼、溝形鋼の切断などにも使用されていた。

現在ではガス切断の他にレーザー切断やプラズマ切断が用いられている。レーザーは現状最大出力 6 KW で 20mm 程度までの切断が可能で、高精度で上縁部の溶け落ちが小さいためガセットやダイヤフラムの切断に用いられることが多い。プラズマ切断は最大 500A で 36mm 程度までの切断が可能で、切断速度が速くフランジやウェブ等長尺部材の切断に用いられることが多い。

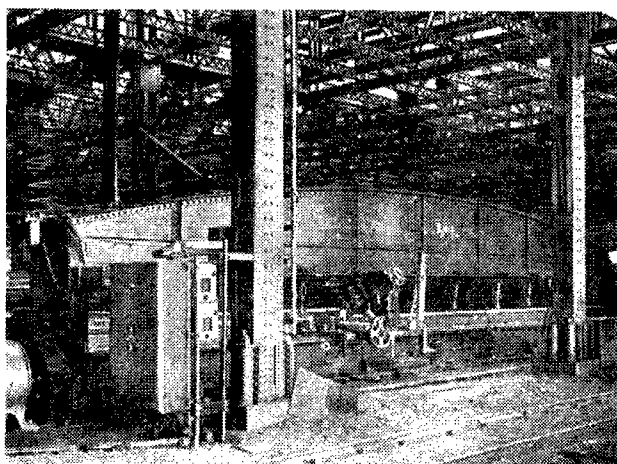
8. 削り



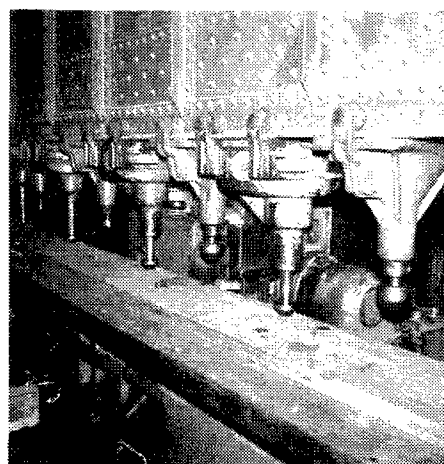
8-1. 縁削り

[写真-5.8.1: エッジプレーナーによる削り作業³⁾]

当時の製作示方書⁴⁾には主要部材の剪断縁およびガス切断縁は、最低3mm以上縁削りを行い、板厚が厚く肩落ちの範囲が広い場合は3~5mm以上削成するように規定されていた。ただし、実際にはカバプレート、腹板などの主要材料の剪断縁は厚さに関係なく3~8mm程度削り取って、剪断の影響を受けた部分を除くと同時に縁部の正確な仕上げを行っていたようである。鋼板の縁削りにはエッジプレーナー [写真-5.8.1, 5.8.2] と呼ばれる切削機を使用していた。この工作機械の構造は両端で固定されたプレートガーダーに取り付けた締め付け装置 [写真-5.8.3] で作業台に締め付けた鋼板の材縁を、ラックまたはねじ棒によって左右に送られる刃物台に取付けたバイトで削成するものである。エッジプレーナーの有効削成動程は普通10m程度までであったのでこれ以上の長さの鋼板は2度に分けて作業を行う必要があった。プレートガーダーやトラス橋のカバプレート、側板などのように細長く同一幅で枚数の多いものは、ロータリープレーナー [写真-5.8.4, 5.8.5] で削っていた。このロータリープレーナーはエッジプレーナーの刃物台の代りに、多数のバイトを取付けて回転しながら進行する刃物車のあるプレーナーである。この種のものは刃物車の切削直径が大きく、厚く積み重ねた鋼板を一工程で削成することができた。



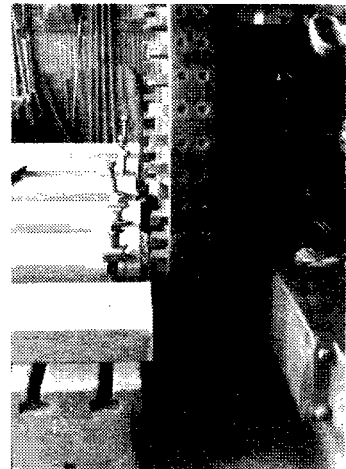
[写真-5.8.2: エッジプレーナー⁵⁾]



[写真-5.8.3: 締め付け装置²⁾]



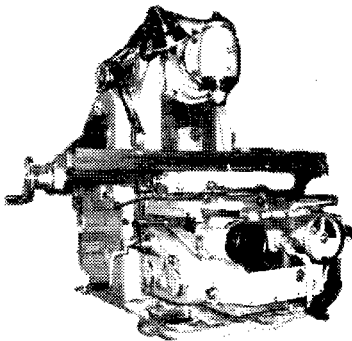
[写真-5.8.4：ロータリープレーナー²⁾]



[写真-5.8.5：刃物の先端²⁾]

8-2. 面取り

プレートガーダーの補剛山形鋼（アングルを垂直補剛材に使用する場合）の上下両端はフランジ山形鋼の内側隅肉に適応した形状に仕上げて密着する必要があった。また、添接山形鋼（山形鋼を添接板として使用する場合）の背面も同様であった。補剛山形鋼の端部仕上げには形削盤かフライス盤 [写真-5.8.5] を、また削成長の長い添接山形鋼は平削盤 [写真-5.8.6] を使用した。いずれの場合も隅肉に適応した形状のバイトを使用する。ここでいう面取りとは垂直補剛材（アングル）をフランジ山形鋼に密着させるための削り作業である。この工程は溶接接合を用いる現在では存在しない。



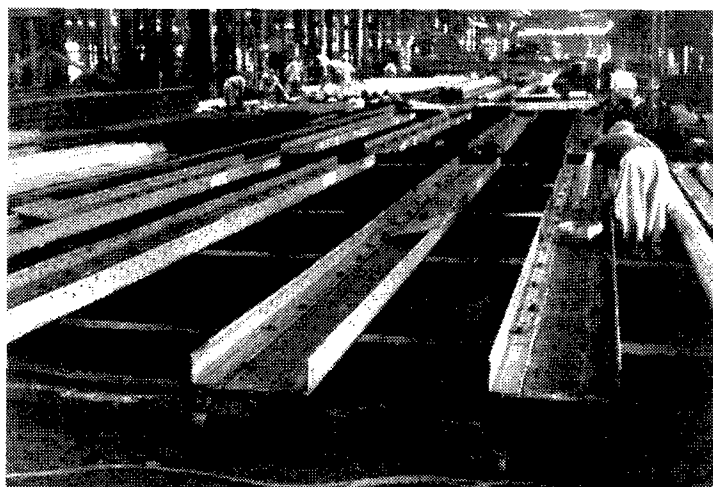
[写真-5.8.5：フライス



[写真-5.8.6：平削盤²⁾]

尚、フライス盤とは、XYテーブル上に取り付けた工作物を、回転する刃物で切削するためのもので、表面を削って平面に仕上げたり、溝を入れたりするときに使用する。また、コーナーにRをつける作業や、曲線に削る作業もフライス盤で行う。さらに、歯車を作る等の加工も可能である。最近はNC化され高精度な加工が可能となっている。

9. 組み立て



9-1. 組み立て

[写真-5.9.1：組み立て作業の様子²⁾]

野書き、切断、孔明けおよび削りの各工程を終了した材片を組み合せて部材にしたり、また現地搬入ブロックの形にする作業を組み立てと言う。この作業は非常に重要で、組み立て作業の良否および精度が構造物のできばえを左右するので熟練した組み立て工が必要であった。現在の組み立てでは、箱桁、横桁のようにそのまま現地ブロックになるものと、ダイヤフラム、横桁仕口のように主桁ブロックに溶接されるものに分かれ、後者の組み立てを特に小組み立てと呼んだり、逆に箱桁のように大きなブロックを大組み立てと呼ぶこともある。

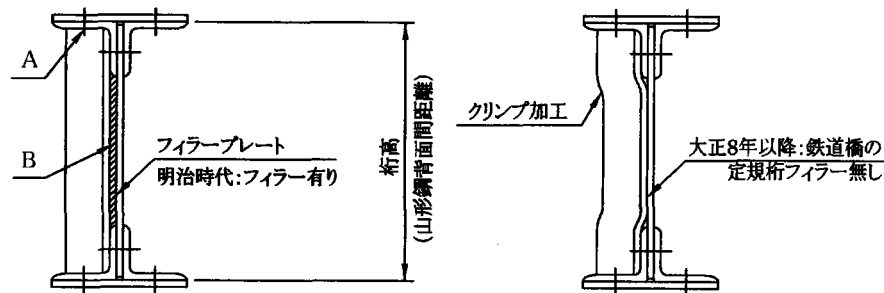
組み立ては、まず、製作図（設計図に部材符号、方向等を付加した図面、あるいは別途作成した図面、帳票類で、別名：組み立て図、符号図、または記号図という。）を参照し主材および補助材片を製作記号によって分類し、リベット孔周辺の“まくれ”を除き、必要な場合には合せ面にプライマーまたは光明丹を塗布する。次に、各材片に対応するリベット孔にドリフトピンを打ち込み、孔合せを行いながら組み立てボルト（別名：サービスポルトまたは仮ボルトともいう）を0.5～1.0m 間隔に使うて堅く締めつけ、部材が正しく所定の形状、寸法になるように行った。

組み立てボルトの使用本数と個所は材片の数と形状によって適当に加減した。材片の緊着が確実なほど、リベット打ちが完全にできるので組み立てボルトの数は多いほどよい。ただし、組み立てボルトを外す手間も多くなるので精度保持できる範囲で可能な限り最小の組み立てボルトの使用が効率的である。一般的に組み立てボルトは1～2割程度の本数を使用し、ドリフトピンは孔群の四隅または組み立てボルト4～5本に対し、1本程度打ち込んでいるようである [写真-5.9.2(1)]。

組み立ての精度で重要なことは、組み立て定盤の正しい設置と形状管理（部材長、曲がり、対角等）である。部材の鉛直管理には「下げ振り」を使用して行った。組み立てに当たって合せ面の塗装について、鉄道橋では塗装することを規定しているのに反し、道路橋では塗らなくても良いと規定していた。合せ面にプライマーを塗ると赤熱したりリベット

のためにリベット孔周辺の塗装が焼けて、リベットの締りを妨げる傾向があったためである。組み立てボルトは通常黒皮ボルトを使用し、各種の長さのものを用意したが、あまりに多種にわたることは使用上不便であるので、必要に応じて座金で調節して締付けた。ボルトの径は孔径より1～2mm小さいものを用いた。

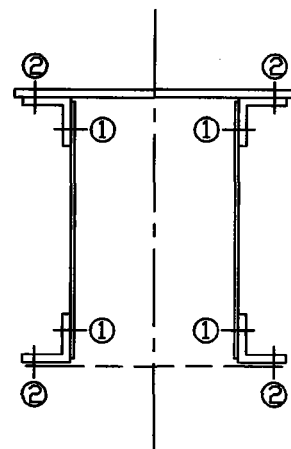
9-2. プレートガーダーの組み立て



[図-5.9.1: プレートガーダーの組み立て]

プレートガーダーの組み立て [図-5.9.1] は、まずフランジ幅 1/2 以上の高さの受台上に腹板を水平に置く。次に上下の 4 本のフランジ山形鋼を配して水平に置いた腹板のドリフトピンとボルトで山形鋼を規定位置に締め付けた後、その山形鋼の外側にカバープレートの規定の位置に締め付ける。これで桁本体の組み立てが済む。これを台上に立てて両側より補剛山形鋼およびフィルタープレートの取付けを行う。特に補剛山形鋼の両端とフランジ山形鋼の密着 (A)、並びに腹板との密着 (B) には注意し、桁高さに狂いを生じないようにした。ここで難しいのは上下 (A) 点の密着であるが、やや長め (+2～3mm) の補剛山形鋼を用意しておき、削りながら取付けていく施工法が望ましかった (8.削り 8-2.面取り参照)。

以上でプレートガーダーの組み立てを終り、予備孔 (サブサイズ孔) で加工した場合は拡孔場へ送る。拡孔は通常電気ドリルにブリッジリーマを取付けて行う。所定の径 (フルサイズ孔) に孔明けした場合も組み立てを終るとリベット孔は多少のくい違いによってリベットが通りにくいいため整孔した。現在の溶接橋ではボルト孔はおもに現場継手に限られるが、仮組み立て時にリーマー通しによって整孔することもある。また、予備孔 (サブサイズ孔) はおもにパイロットホール等に使用され、これも仮組み立て時に拡孔されるが、リベット橋の予備孔 (サブサイズ孔) の用途は、重ね板枚数の多い場合等は有効である。

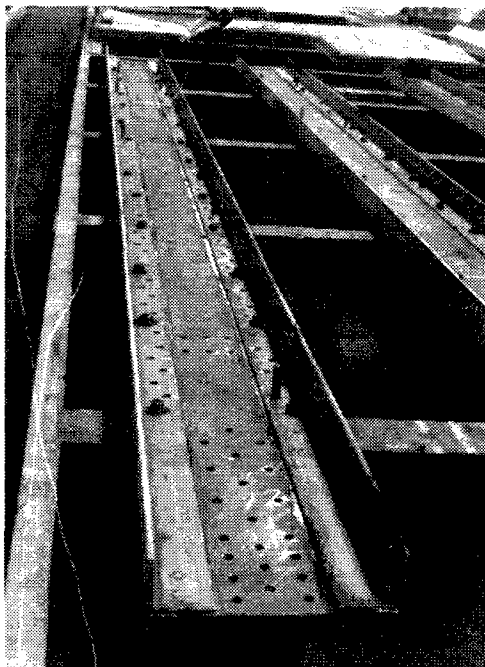


[図-5.9.2: 上弦材の組み立て]

9-3. 弦材の組み立て

[図-5.9.2] に示すようなトラス橋の上弦材の組み立ては、まず腹板と上下の山形鋼をボルトで締め付けた後[写真-5.9.2(1)], 腹板側のリベット孔のみ拡孔または整孔して左右別々に腹部のリベット打ちを完了させる。次に組み立て場に送り返された両腹材にカバープレート、タイププレートまたはレーシングバーを取付けて拡孔または整孔し、再びリベット締めを行い、これを箱形部材として完成させたのである [写真-5.9.2(2)~(4)]。

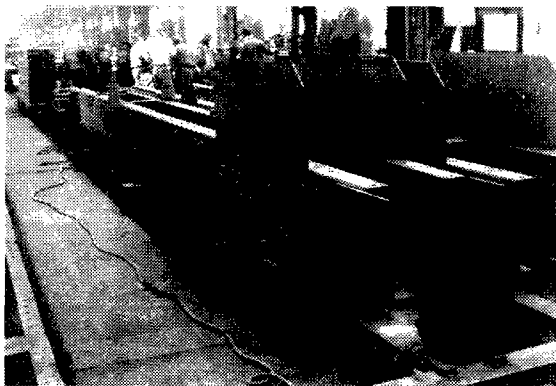
組み立てリベット締めを二工程で行うのはリベットの機械打ちをなるべく多く使用するためであった。



(1)弦材のウェブ



(2)弦材のカバープレート



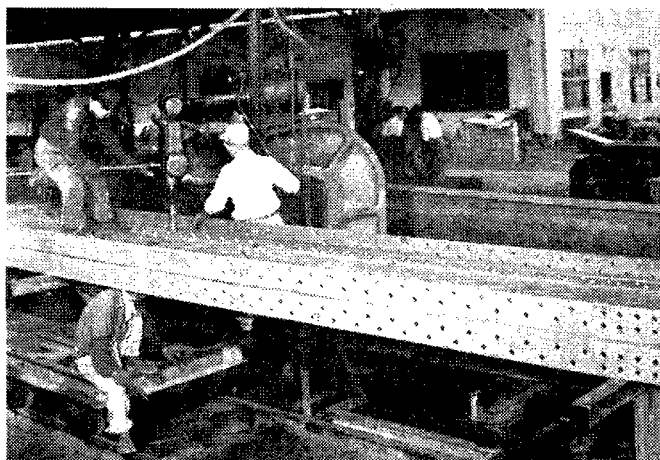
(3)カバープレートとウェブの組み立て



(4)反対側カバープレートの取付け

[写真-5.9.2：トラス弦材の組み立て²⁾]

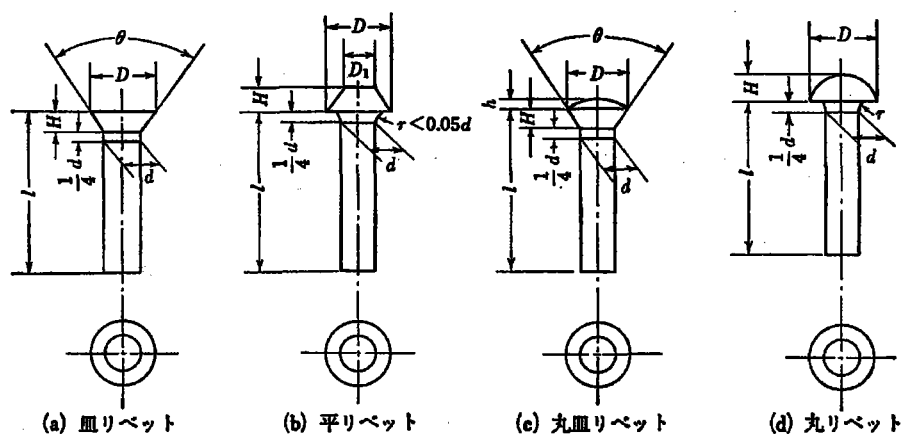
10. リベット締め



[写真-5.10.1：リベット打ち作業の様子³⁾]

10-1. リベットの種類

リベットの寸法は (JIS B 1201~1212) に規定されている。そのうち鋼橋用に使われるものは、丸リベット、皿リベット、平リベットなどである。丸リベットの規格は、直径3mmから40mmまで17種類に分かれている。[図-5.10.1]は丸リベットと皿リベットの一般的な各部寸法を示す。



単位mm

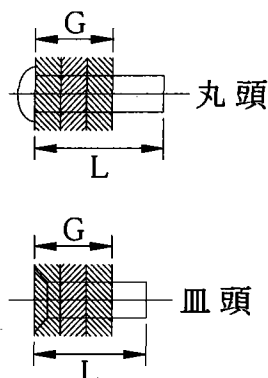
種別	リベット径 d	16	19	22	25
		リベット孔径	17	20.5	23.5
丸リベット	リベット頭径 D	26	30	35	40
	リベット頭高 H	11	13.5	15.5	17.5
	丸味 r	<0.05d	<0.05d	<0.05d	<0.05d
皿リベット	リベット頭径 D	25	30	35	39.5
	リベット頭高 H	8	9.5	11	12.5
	皿の角度 θ	60°	60°	60°	60°

[図-5.10.1：リベットの寸法 (JIS B 1201~1212)]

リベット用鋼材としては、一般に接合母材よりも低い強度の材質が用いられた。わが国では、SV34（引張強さ 34～41kg/mm²）と SV41A（引張強さ 41～50kg/mm²）の 2 種類が用いられた。

リベットの長さはリベット径、リベット孔径および組み立て材片の厚さによって決められるがリベット径の公差、リベット孔の合い具合、材片の締め付け程度と厚さの公差およびリベット孔の填充程度等によって影響されるため、各製作工場においてそれぞれ適応するリベット長の表を使用していた。[図-5.10.2] はその一例である。現場リベットは工場リベットよりも 2 mm 程度長目としていた。

単位mm		
リベット径	丸リベット	皿リベット
25	$L=1.12G+34$	$L=1.12G+13$
22	$L=1.12G+29$	$L=1.12G+11$
19	$L=1.13G+25$	$L=1.13G+9$
16	$L=1.13G+23$	$L=1.13G+7$



※現場リベットは本寸法に 2mm を加える。

[図-5.10.2：板厚とリベット長標準]

10-2. リベット締め作業

鋼橋のリベット締め作業においては、リベットの材質と形状寸法、板厚とリベット長、リベット締め機、加熱装置と加熱温度等に注意が必要であった。

リベット締めの方法にはリベット締め機による方法と、リベットハンマーによる方法との二通りあった。リベット締め機には水圧式と圧縮空気式とがあり、リベットハンマーは圧縮空気によって高速度で往復運動をするピストンの打撃によるものであった。

リベット締め作業は(1)リベット焼き、(2)リベット差込み、(3)あて盤、(4)リベット締めの四段階に分かれた。

10-3. リベット焼き

工場用のリベット焼き炉は通常煉瓦積の固定式のものを用いた。燃料としてはコークスまたは粉炭を使用し、送風には圧縮空気を使用した。現場用の火床は鋼板製の円筒形のもので、燃料は工場用と同様であるが送風にはふいごを使うこともあった。加熱されたリベットには酸化鉄が附着しているからリベット締めを行う前に除去しなくてはならなかった。

リベット焼き炉にはこのほか、重油を使用するものと電気抵抗熱によるものがあった。重油炉は炎の調節が自由で一様な加熱ができるため便利であった。電気リベット焼き機は

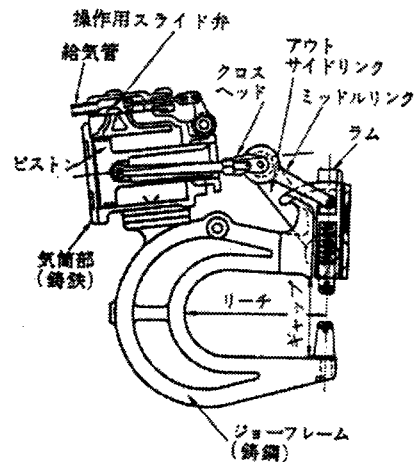
送風の必要もなく、径 22 mm、長さ 100 mm の 1 本のリベットの加熱時間が約 30 秒で工場にも現場にも適しているが電流の流れを良くするため、リベットの両端を研削盤でみがかなければならないこと、リベット頭に傷ができやすいこと、空气中に露出して加熱するため酸化しやすいこと等の欠点があった。リベット焼きの程度はリベットの焼色で判断し、桜色の 950~1150℃ が望ましかった。

10-4. リベット締め機

リベット締め機には固定式と可搬式とがあった。リベット締め機はその U 形の主構の一端に既成リベット頭を押さえるあて盤を、もう一方の端にリベット頭形成用のスナップを持っている [図-5.10.3]。

リベット締め圧力が過大であるとリベット孔の付近が損傷するためリベット軸の断面積に対して 6500~8000 kg/cm² が良いとされていた。

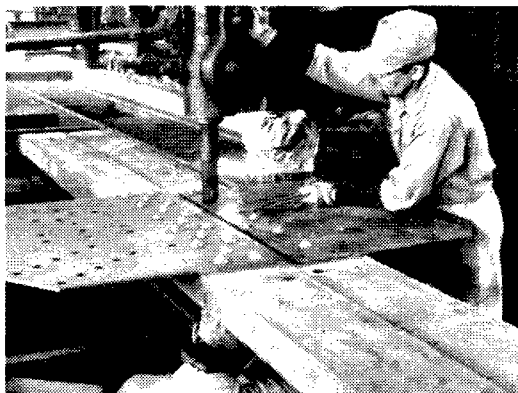
固定式リベット締め機は一定の箇所にすえ付けられておりその上げ下げは水圧に、またリベット締めは水圧ピistonによった。リベット締めを行う部材は、一端を門形クレーンなどで吊り下げ、他端を台車に載せて部材を水平にリベット締め機の中を通して移動させてリベット締めを行った。1日8時間に3,000本程度のリベット締めが可能であった。移動式リベット締め機はジョーリベッターともいい、機構は固定式と同様で、水圧また



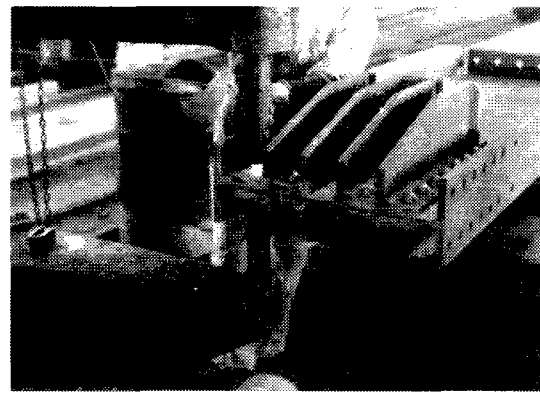
[図-5.10.3：ジョーリベッターの構造⁶⁾]



[写真-5.10.2：ジョーリベッター²⁾]

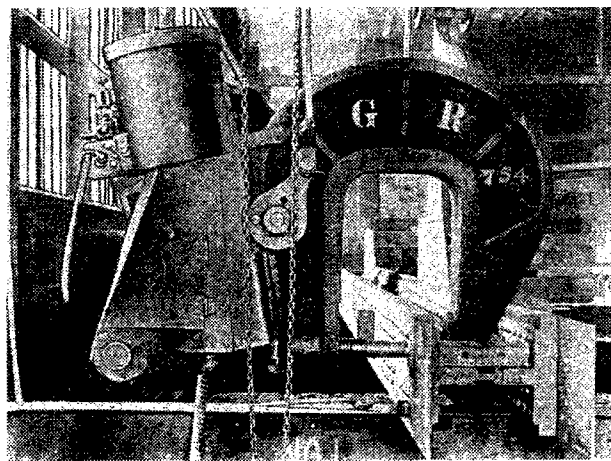


[写真-5.10.3：ガセットの締め付け²⁾]



[写真-5.10.4：リブの締め付け²⁾]

は圧縮空気によってリベット締めを行った。[写真-5.10.2~5.10.4] は水平面のジョーリベッターであるが [写真-5.10.5] のように垂直面にも使用できる。[表-5.10.1] はジョーリベッターの仕様である。



[写真-5.10.5：ジョーリベッターの垂直面打ち⁵⁾]

[表-5.10.1：ジョーリベッターの仕様]

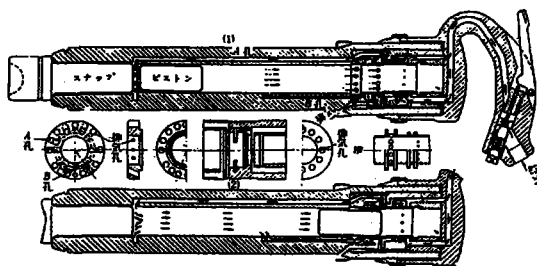
気筒直径	主要寸法 (in)		概重量 (kg)	ラムのストローク (in)	空気圧力 80lb/in ² (5.6 kg/cm ²) の時			
	リーチ	ギャップ			締め得るリベット径 (mm)	給気管の径 (mm)	加圧力 (t)	リベット1本の空気所要量 (m ³)
8"	19	9	300	2 1/2	16	3/4	30	0.566
	36	10	410					
	48	9	490					
	72	9	850					
10"	10 1/2	15	500	3 1/2	25	1	45	1.32
	17 1/2	15	550					
	25	15	650					
	36	12	920					
	34 1/2	15	850					
	36	20	990					
47	15	1300						
12"	25	15	880	4	30	1 1/4	65	1.698
	25	20	920					
	36	20	1550					
	40	22	1480					
	48	24	1650					
	55	20	2000					
	56	20	2100					
	66	15	2200					
	72	15	2500					

ジョーリベッターはU字形の頑丈なフレームの一端に受台と他端に、てこ式に動く空圧または油圧のプランジャーがあり、受台とそれに相対するプランジャーの下面とにスナップを入れ、これで鋌頭を作りつつリベット締めする機械である。自重が1~5tfもあるが、部材の密着やリベット軸の沈み方もよく、リベット打ち機としては、最良のカシメ機械であった。大正元年(1912)隅田川に架かった新大橋(曲弦プラットトラス)の現場リベットは手締めであったが、この頃の工場リベットには水圧ジョーリベッターが使われていたらしい。ただし、本格的に使われだしたのは大正中期~末期にかけてといわれている。

リベット締め機の使えない箇所や現場のリベット締めにはリベットハンマーを使った[図-5.10.4]。リベットハンマーで締められたリベットは締りが悪くかつコストも高くなるため、リベットハンマーで締める箇所を少なくするように設計するのが望ましかった。[写真-5.10.5]はリベットハンマーを使った打込み作業中の様子である。[表-5.10.2]は鋼橋のリベット締めに使用するリベットハンマーの仕様を示したものである。普通60番, 80番, 90番を使用し、圧縮空気の圧力は90lb/in²を要する。これ以外にはハツリ用ハンマーおよびコーキング用ハンマーがあった。



[写真-5.10.5: リベットハンマーによる工場締め²⁾]



[図-5.10.4: リベットハンマーの構造¹⁾]

[表-5.10.2: リベットハンマーの仕様]

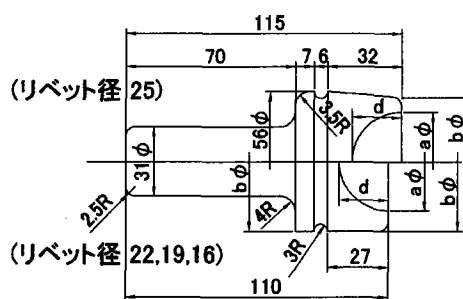
番号	ピストン径	ストローク	重量	全長	打撃数	リベット径	ホース径
40	27 mm	4 in	6.4 kg	353 mm	1525/min	13 mm	12.7 mm
50	27	5	7.4	394	1400	19	19
60	27	6	9.2	448	1350	25	19
80	27	8	10.0	483	1050	28	19
90	27	9	10.5	521	920	32	19
80-B	30.2	8	11.6	533	950	38	19
11-B	30.2	11	12.6	600	700	40	19

10-5. スナップとあて盤

リベットハンマーまたはリベット締め機に取付けてリベット頭を形成するスナップはリベット頭の形状により各種のものがあつた [図-5.10.5]。丸リベット用のわん形は日本工業規格のリベット頭の形状に準じていた。リベットハンマー用スナップは 1 分間に数百回の打撃による反復応力を受け、かつ頭部は高热に耐えなければならないから、工具鋼または特殊鋼に、適当な熱処理を施してつくつた。リベットハンマー用スナップの破損は頭部と軸部の取付箇所の折損と頭部わん形箇所の変形または欠損が主なものであつた。スナップの耐用年数はその品質によって著しく異なり、1 本のスナップで数千本のリベット締めが出来ることもあり、また 10 本で破損することもある。

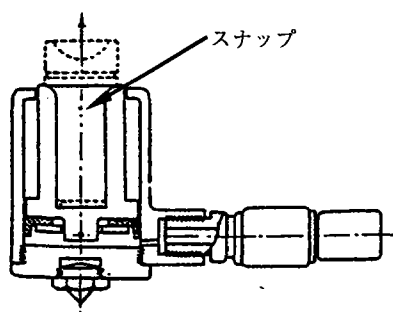
単位 mm

リベット径	a	b	d
25	40	50	16.5
22	35	45	14.5
19	30	40	12.5
16	26	36	10.0

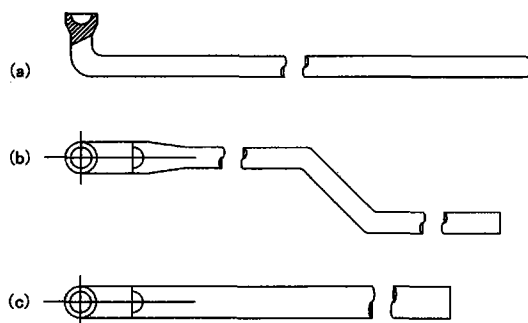


[図-5.10.5：スナップ]

リベットハンマーによるリベット締めの場合、既成リベット頭を支持するためにあて盤を使用した。あて盤にはこの原理を応用した人力によるものと、圧縮空気を用いた空気あて盤とがあつた。[図-5.10.6] は空気あて盤の一例を示したもので、下端を鋼管などで支え組み立て定盤に反力を取り、圧縮空気によりスナップが上下して既成リベット頭を押しつける構造となつていた。空気あて盤は工場、現場を問わず最も広く使用されていた。空気あて盤使用不可能の箇所には人力によるあて盤を使った。人力あて盤には、“しゆ木あて盤”，“天秤あて盤”，“棒あて盤”など [図-5.10.7] があり通常軟鋼丸棒で作つた。ただし、人力あて盤では十分な支持が得られず、リベット頭が不整になるか締りが不十分になり易かつた。



[図-5.10.6：空気あて盤¹⁾]



[図-5.10.7：人力あて盤]

リベット径が大き過ぎるか板厚が大き過ぎて十分な締まりが得られにくい場合には、あて盤にもリベットハンマーを使用して相打ちにすることもあった。

10-6. リベットの検査

リベット締めの良い否はリベット構造物の生命を左右するものである。したがって、リベットの検査は特別の注意を払った。多くの製作工場では社内に製作部門とは独立した検査部門を置き、リベット並びに一般工作の品質検査に当り発注者の監督員の検査に先立って社内検査を行い、不良箇所の手直しを行った後、監督員の検査を受けることが多かった。検査にあたってリベット締め機によるリベットには、ゆるみのあるものはほとんどなかったためリベットハンマー締めの部分に重点を置くのが一般的であった。

リベット検査は(1)締まりの良い否、(2)焼き過ぎに起因するリベット頭のあばた、(3)リベット頭の過不足、(4)リベット頭とリベット軸の不一致、(5)リベットの頭縁部の亀裂と焼き不足などに着目して行った。

まず、締まりの良い否を知るにはテストハンマーでリベット頭を打ち、そのリベット頭の反対側またはその側のリベット頭にあてた指先に感ずる振動の有無によって判断した。振動を感じないものは良く締まったリベットである。締まり不良のリベットは切取って打ち換えた。

リベット頭にあばたができるのはスナップとリベット頭との間に酸化鉄または燃料くずが介在するためであり、燃料くずに起因するものは外観だけで大した欠点とはならない。しかし、酸化鉄によるあばたはリベットの焼き過ぎによるものであり、焼き過ぎは材質変化を起こすため、はなはだしい場合は打ち換えなければならなかった。

また、リベット頭の過不足はリベット長の過不足によるもので、リベットが長すぎる場合には規定のリベット頭を形成してなお余るために頭の下に座金のようなかさを生じ、リベット長不足の場合は所定のリベット頭を形成することができない。この場合リベットハンマーでいつまでも打撃を続けると母材に凹部を作りかえって有害であり、はなはだしく不体裁であれば当然打ち換えなければならなかった。

リベット頭とリベット軸が一致しないのは、リベット孔が鋼材面に直角でないこと、リベット孔の過大、あて盤の作用方向がリベット軸と一致しないこと、スナップの作用方向がリベット軸と一致しないことなどが原因であった。リベット頭とリベット軸とが一致しないと不体裁であるばかりでなく、リベットの締まりを悪くすることになる。

最後に、リベット部縁部の亀裂は、リベット材の質、丸鋼を圧延する際にできるロール傷、その他燃料の影響と焼きの過不足または冷却などに起因することが多かった。これもはなはだしいものは打ち換えなければならなかった。

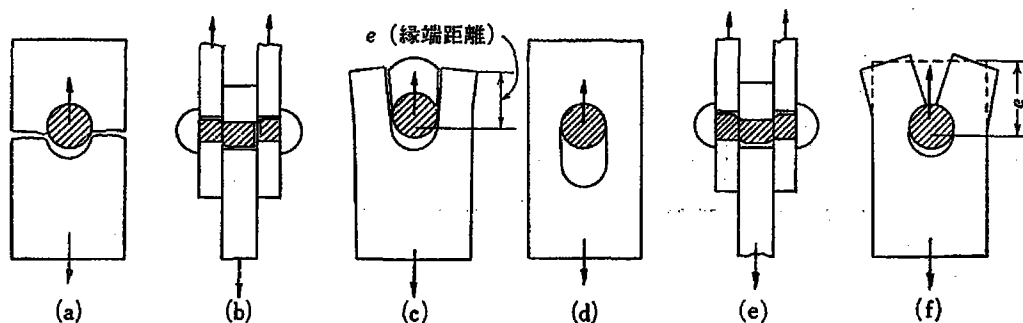
不良リベットの打ち換えについて注意しなければならないことは、1本のリベットの打ち換えると付近のリベットが緩むことである。したがって、リベットの打ち換えの決定やそ

の切取り方法は慎重に検討する必要がある。従来は、柄付タガネとハンマーによってリベット頭を切断することが多かったが、付近のリベットを緩めることがあるので電気ドリルでもみ抜くことが望ましかった。最も多く使用されるのはガス切断であるが、ガス切断の場合はリベット頭切断用火口を使用し母材を傷めぬよう注意して施工する必要がある。このようなリベットの切取り方法は、リベットの打ち換え以外に古桁の修理や架け替えのためにも使用された。

10-7. リベット継手の縮まりと各部の強さ

リベット継手の荷重伝達機構はつぎのとおりである。リベット軸と孔側壁間のスキ間は桜色に熱せられたリベットをかしめるときリベットの軸部の膨張によって埋まる。つぎに、リベットが冷却する際の収縮によってリベットは縮まり、継手の板間に圧力を生じる。継手に荷重が作用してもそれが小さい間は、板間の圧力による摩擦抵抗によって荷重は伝達される。荷重が増大し、摩擦抵抗をもっても抵抗しきれなくなってから、リベット継手本来の姿であるリベットのせん断により荷重が伝達されることになる。

リベット継手に過大荷重が作用して破壊する状況は、リベットと鋼板の相対強さの関係により [図-5.10.8] のような各種の場合がある。



[図-5.10.8：リベット継手の破壊⁷⁾]

すなわち(a)板のリベット孔を通る断面での引っ張り、(b)リベット孔のせん断、(c)板のはし抜けせん断、(d)板の支圧、(e)リベットの支圧、(f)板の端部引っ張りである。これらのうち(c)と(f)は端の縁端距離を十分とれば事実上生ずることはなく、結局リベット継手は板の引っ張り強さ、リベットのせん断強さ、リベットの支圧強さの三者のうち最小のものによって支配される。したがって、これらの3つの強度が等しくなったときがリベットの経済設計となる。

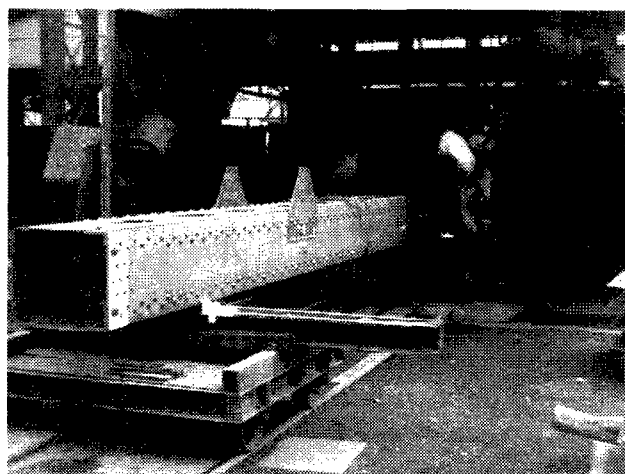
11. 部材の仕上げ



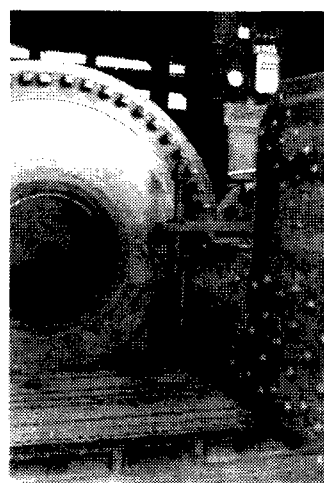
[写真-5.11.1：鈹桁端面の仕上げ作業³⁾]

リベットの締め付け作業が完了すると、部材の仕上げ作業を行い正規の部材寸法に仕上げる。仕上げの作業を行う部材は、トラス部材、プレートガーダーの端面、および床桁、縦桁の端面などほとんどであった。

NC化が進んだ最近では、部材組み立て段階である程度の精度確保ができるようになったため、アーチ、トラス部材や斜角のあるボックス桁のジョイント部など、精度確保が困難な場合に限りこの作業を行っているようである。



[写真-5.11.2：トラス部材の仕上げ作業²⁾]

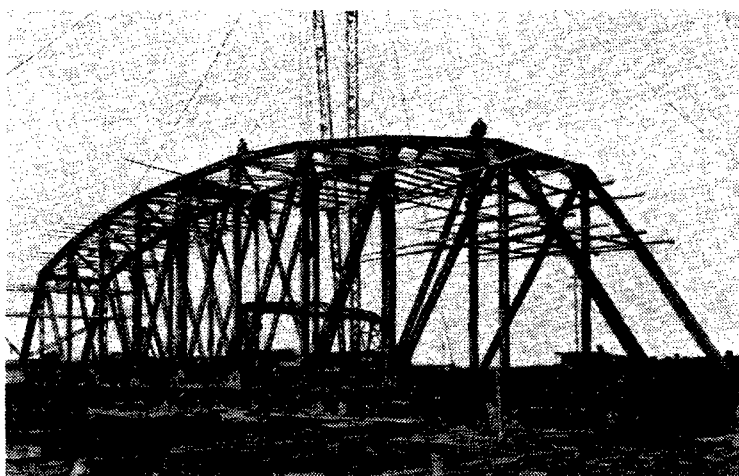


[写真-5.11.3：プレーナー先端²⁾]

[写真-5.11.2] はトラス部材の端面仕上げの様子である。部材端面の仕上げ作業には、鋼板の縁削りに使用するロータリープレーナーをそのまま利用していた。ロータリープレーナーは [写真-5.11.3] のように回転する大きな円盤の先端にいくつもの刃が取り付けられた構造となっており、軸に対して直角面だけではなく、曲弦トラスの端面なども切削できるように回転軸の向きを調整できる機能を有していた。

最近では、このようにプレーナーを使った削り作業を行うことはなく、フェイシングマシーンや小型のフライス盤により切削作業が行われている。

12. 仮組み立て



[写真-5.12.1：総仮組み（立体仮組み）¹⁰⁾]

部材の仕上げが完了すると仮組ヤードで仮組み立て作業を行う。仮組み立ての方法にはすべての部材を出来上がり形状どおりに組み立てるいわゆる総仮組み（立体仮組み）[写真-5.12.1]と、大支間のトラスやアーチ橋で総仮組みが困難な場合に、主構面のみを水平に組み立てる平仮組み[写真-5.12.2]がある。[写真-5.12.1]は昭和初期の仮組み立ての様子であるが、この当時は門型クレーンなど設備の整った仮組ヤードをもつ工場は少なく、空き地で三脚デリッククレーンなどを使って組み立てるのが一般的なようであった。

組み立て作業では、支間、そり、その他各部材の取り合い寸法を確認、調整した後、各現場継手部のリベット孔をブリッジリーマで拡孔したが、この拡孔作業には、型板（テンプレート）を用いる場合と、型板を用いずに継手ごとに拡孔する2つの方法があった。

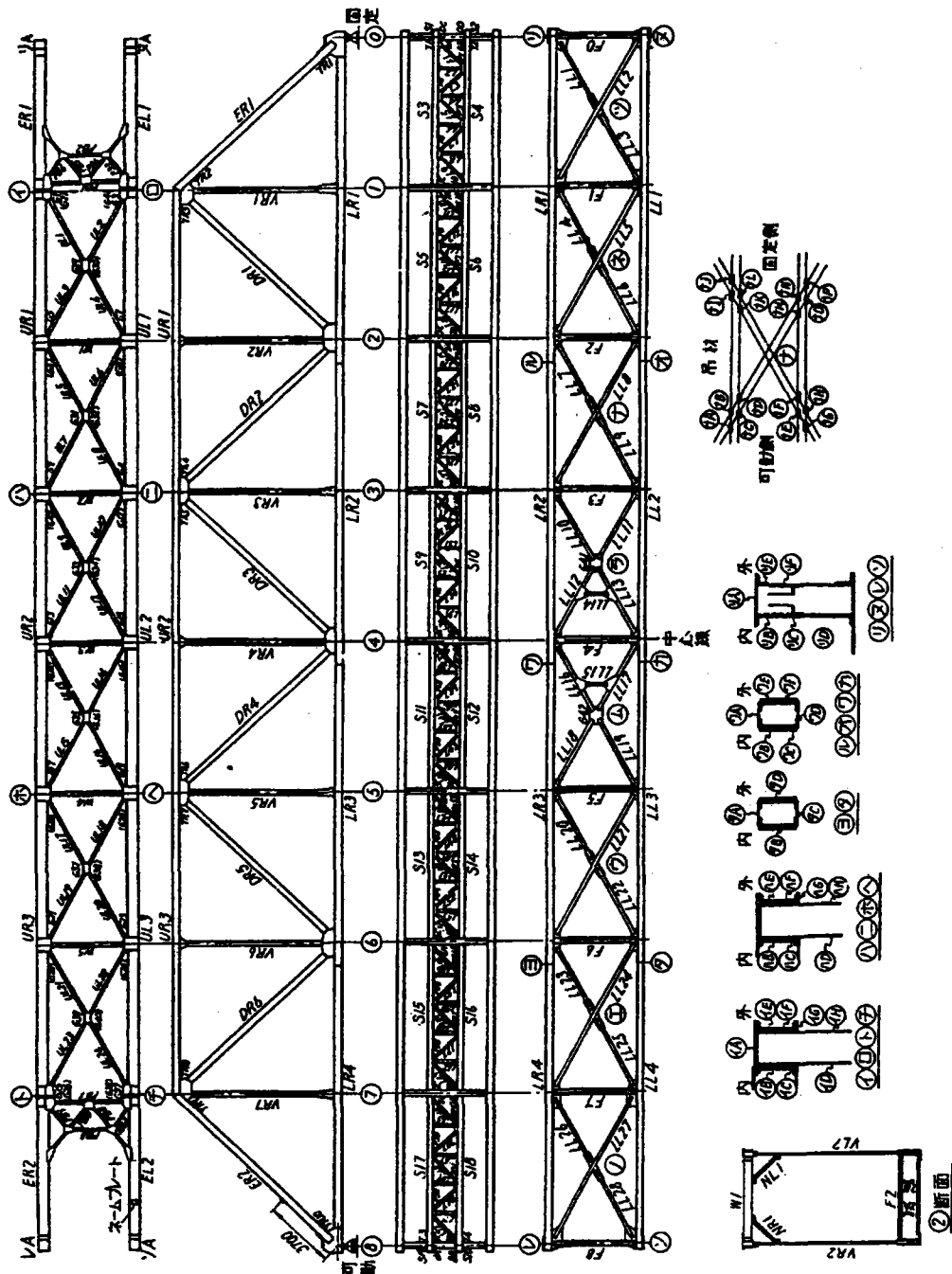
型板を用いずに拡孔した場合は、継手毎にリベット孔のピッチやゲージが微妙に異なってくるため、全部材に異なった組み立て記号を付けなければ現場で仮組形状が再現できないことになる。しかし、対傾構や床組など同一形状、寸法の部材が大量にある場合、この型板を使用して拡孔しておけばすべて同一ピッチ、ゲージで拡孔されるので互換性が生じ、任意の格点でも部材がフィットすることになる。現場継手部には、リベット本数の



[写真-5.12.2：平仮組み（西海橋）]

1/2~1/3程度にドリフトピンとボルトを打ち込むのが標準とされており、この考え方は高力ボルト接合の現在になっても引き継がれている。

組み立てがすべて完了すると各部の検査を行い、解体する前に各部材に〔図-5.12.1〕のような組み立て記号図に従って合票（合マーク）を付けた。合票は、ペンキで見分けやすい位置に付けたが、添接板などの材片には合票の他にタガネで同じ刻印を付けていた。



〔図-5.12.1：組み立て記号図¹⁾〕

13. 塗 装

13-1. 塗料の歴史

油性塗料は安政元年（1853）に浦賀に来航したペルリにより初めて我が国に伝えられたといわれている。国内でも明治7年（1874）ころから油性塗料の研究開発が始まり、明治14年（1881）には光明社【現 日本ペイント(株)】が設立され、光明丹（鉛丹）、亜鉛華、堅練りペイントの製造が開始された。ここで、固練りペイントとは顔料を10～20%のボイル油で練った固い糊状の塗料で、使用時にボイル油で希釈し液状にして塗布するタイプのものである。その後、昭和初期からは油溶性フェノール樹脂塗料、フタル酸樹脂塗料など〔表-5.13.1〕に示すように多数の合成樹脂塗料が開発された。

[表-5.13.1：塗料・塗装技術の歴史]

13-2. 塗装仕様と技術の変遷

明治から昭和初期における鋼橋の塗装仕様を詳細に示した資料は少ないが、『復興局橋梁概要』には下記のような記述がある。

「鋼桁外面は防水防錆と外観とを兼ねてペイント塗装を施し、塗装は三回塗りにして下塗りは光明丹もしくはガルヴァ（亜鉛の粉末）を塗抹せし仕上の色調には灰色、緑色、褐色等あり。鋼桁接合の部は鉸鉸前に光明丹もしくはガルヴァを塗抹して、浸水のために錆びることなきを期せり。ペイント塗装の良否は桁の寿命に影響するところ多大なるをもって施工には信用あるものにこれを特命せり」⁸⁾

また、昭和18年1月20日付鉄道省東京鉄道局通達には〔表-5.13.2〕のような比較的詳細な塗装仕様を見ることができる。

[表-5.13.2：鉄道橋の塗装仕様⁹⁾]

塗方	(g/m ²)				計
	光明丹	煮亜麻仁油 (ボイル油)	黒ペイント	赤錆ペイント	
下塗	140	50			190
中塗	136	50	4		190
上塗		38	2	70	110

これらより少なくとも昭和初期から戦前までは、下塗りは油性鉛丹錆止塗料とし、中塗りと上塗りは現場調合型油性ペイントとするのが標準的な塗装仕様であったことがわかる。そして、昭和20年代末期になってようやく油性錆止ペイントの下塗りにフタル酸樹脂系の中塗り、上塗りする塗装が普及し始めるようになる。

[表-5.13.3：若戸大橋の塗装仕様⁹⁾]

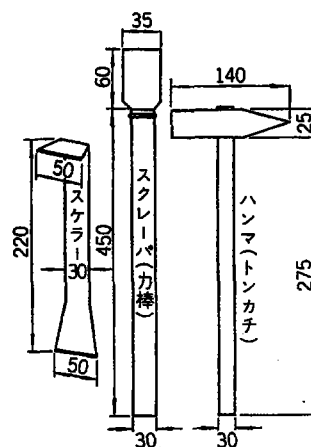
塗 装 仕 様		
工場	素地調整	ブラスト(製品)
	1次プライマー	エッチングプライマー(120g/m ²)
	下塗り(1)	合成樹脂鉛丹プライマー(180g/m ²)
	下塗り(2)	同 上 (")
現場	中塗り	フタル酸系中塗り(140g/m ²)
	上塗り(1)	フタル酸系上塗り(130g/m ²)
	上塗り(2)	フタル酸系上塗り(")

[表-5.13.3]は、昭和37年(1962)に竣工した若戸大橋の塗装仕様である。若戸大橋は我が国初の本格的吊橋であり架設時を含めて長く腐食環境にさらされるため、さまざまな調査や試験を行い当時としては画期的な塗装仕様が採用された。しかし、この仕様は、工場塗装と現場塗装の間隔が長くなる場合、下塗りと中塗りとの馴染みが悪かったようである。そこで、このような問題を解決するために開発されたのが長油性フタル酸である。また、鉄道橋においても東海道新幹線の鋼桁用に合成樹脂系塗装の研究が行われ、昭和39年には[表-5.13.4]のような新桁の塗装仕様が設けられた。ちなみに鋼橋でこの仕様を標準化したのは国鉄が最初である。

[表-5.13.4：国鉄の新桁の塗装仕様⁹⁾]

素地調整	ブラスト(製品)
金属前処理塗料	長暴型エッチングプライマー(100g/m ²)
第1層	鉛丹錆止めペイント1種(200g/m ²)
第2層	鉛丹錆止めペイント2種(180g/m ²)
第3層	フタル酸樹脂塗料A中塗り(110g/m ²)
第4層	フタル酸樹脂塗料A上塗り(95g/m ²)

ただし、これらの塗装仕様はいずれも特殊な場合であり、一般的な橋梁では昭和20年代末期の塗装仕様そのまま昭和40年頃まで使われ続け、素地調整も相変わらず[図-5.13.1]に示すような手工具で行っていた場合が多かったようである。ここで、当時の素地調整の方法を簡単に説明すると、スクレーパは柄の部分を利用して肩にかけて柄先を両手で握り、劣化塗膜や錆を削るようにして落とした。腐食が激しい部分はトンカチで叩いて錆を落とし、細部はスクレーパーを使用した。また、塗装作業そのものはやはり刷毛塗りが主流であった。



[図-5.13.1：素地調整用手工具⁹⁾]

ここで、塗装工に関する面白い話がある。昔、塗装工には静岡県蒲原出身のものが多く、また彼らは他の出身の塗装工に比べて塗料の伸びがとても良かったそうである。これ

は、蒲原付近は、東海道本線が海岸線近くを走っているため昔から鉄道橋の塗り替え需要が多く、自然と腕の良い塗装工が増えていったことに起因するようである。

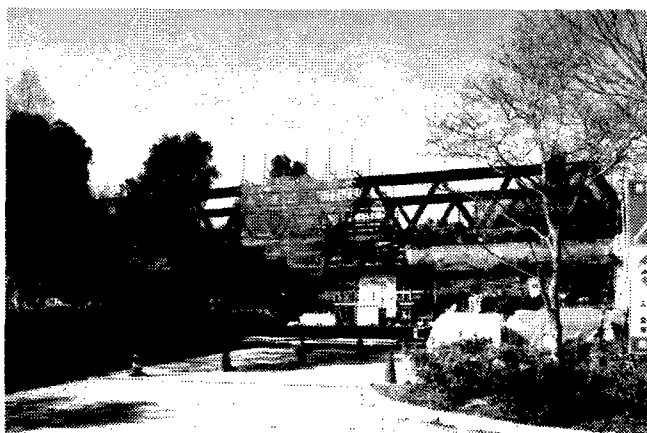
さて、昭和40年代も半ばになるとそれまでの長暴型エッチングプライマーに代わり長期防錆に優れたジクリッチプライマーが使用されるようになった。また、中塗り、上塗りもそれと馴染みのよい塩化ゴム系やエポキシ～ポリウレタン系の塗料が使用されるようになり現在の塗装仕様に近いものが登場する。さらに、この頃からサンドブラスト工法や動力工具による素地調整や吹き付け塗装が普及し、塗装方法も急速に進歩した。

14. 現場リベット締め

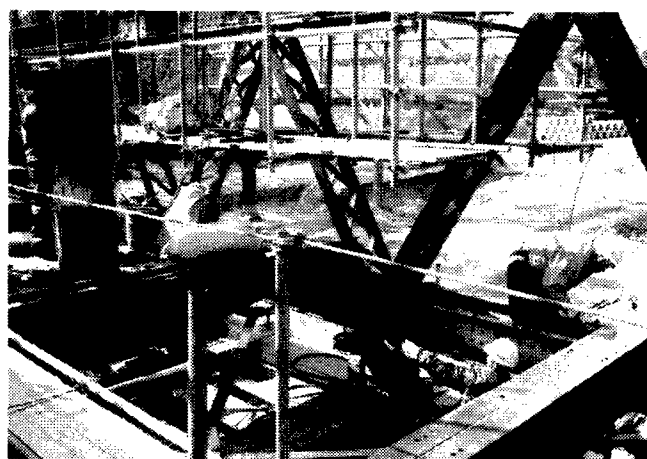
本章では、おもにリベット橋の工場製作の様子について述べたが、最後に現場でのリベット締め作業についても簡単に触れたい。

現在では、新設の橋梁工事にリベットが使用されることはないが、水門の補修工事や古い橋梁の保存工事などでリベットが使われることが稀にある。ここでは、最近工事が行われた播磨中央公園歩道橋での現場リベット締めの様子を紹介したい。この工事は、神戸電鉄加古川橋梁の100ft ポニーワーレントラス（1885年頃製作、英国製）を補修し、歩道橋として転用するものである。この現場では約1,400本のリベット締め作業が行われた。

作業は[写真-5.14.2]に示すようにリベットを焼いて投げ渡す「焼き手」、それを受け取る「受け手」、リベットを孔に差し込み抑える「抑え手」、そして、リベットハンマーで締め付ける「締め手」の4人一組で行われる。

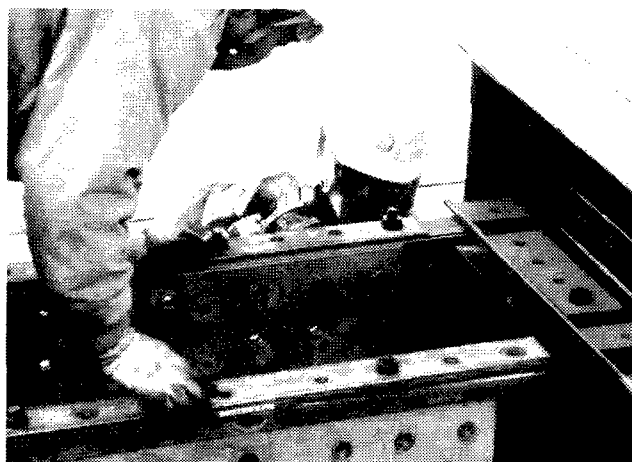


[写真-5.14.1：播磨中央公園歩道橋]



[写真-5.14.2：作業全景]

作業の手順として、まず、締め付け作業に入る前にリーマーによる整孔を行う [写真-5.14.3]。この手順は、工場リベットの場合と全く同じである。ここでは、直径 19mm のリベットが使用されており孔は+2 mm で明けられている。[写真-5.14.4] はリベット締め使用する工具一式である。左に見える円錐状のものが、リベットを受け取るもので「取り次ぎ管」と呼ばれている。そのすぐ隣はリベットの頭を抑えるあて盤類、そして右端にはリベットハンマーが見える。



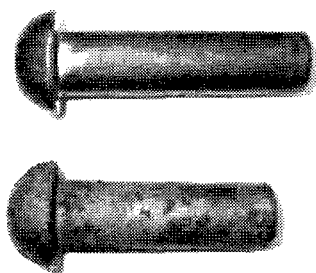
[写真-5.14.3：整孔作業]

一方、このような段取りと平行してリベット焼きの作業も行われる。リベットはドラム缶の廻りをトタン板で覆ったような簡単なつくりの炉 [写真-5.14.6] のなかでコークスを燃やして 1000℃程度の温度に焼き上げられる。焼き上がったリベットは、「ナガバシ」と呼ばれる柄の長さが 1 m ほどある鉄製の鉗で取り出され、受け手目掛けて投げられる。



[写真-5.14.4：リベット締め工具類]

[写真-5.14.5] は焼く前後のリベットを比べたものである。焼いたリベットは首下部の長さ縮まり、径も太くなっていることがわかる。焼き過ぎたリベットは材質変化を生じる



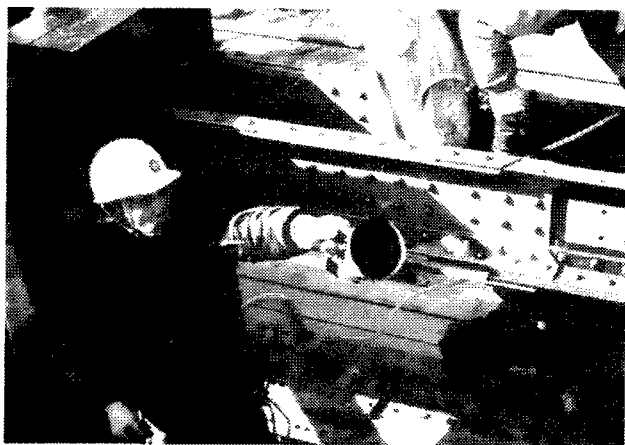
[写真-5.14.5：焼く前 (上) 後 (下) のリベット]



[写真-5.14.6：焼き上がったリベット]

だけではなく、締め付け長さが短くなるため好ましくないようである。また、一般的な現場では、焼き過ぎや落下などにより締め付け総本数の 10%程度 のロスが出るようである。

さて、すべて準備が整うといよいよ締め付け作業が始まる。受け手が鉄で取り次ぎ管を叩くと準備ができた合図であり、すぐさま焼き手からリベットが取り次ぎ管に投げ込まれる [写真-5.14.7]。



[写真-5.14.7：リベットの受け取り]

受け手が、取り次ぎ管からリベットを取り出すとすぐに、弦材の中にリベットを落とし入れる [写真-5.14.8]。今度は抑え手はそのリベットを部材の内側から孔に差し込み、すばやくあて盤で抑え、最後に外側から締め手が、リベットハンマーでリベットの頭を締め付ける [写真-5.14.9]。



[写真-5.14.8：リベットの差し込み]

取り次ぎ管にリベットが投げ込まれてから締め付けが完了するまでの時間は、わずか 10 秒程度の早さである。この現場で作業を行っていたリベット工の方々は、みな 70 歳前後の大ベテランであり四人の息はぴったりであった。この現場では一日に 300 本程度のリベットの締め付けを行っていた。



[写真-5.14.9：リベットハンマーによる締め付け]

さいごに

ここでは、リベット橋の製作プロセスをイメージし易いよう図や当時の写真をなるべく多用し、その概要をまとめた。溶接構造が主流となり NC 化が進んだ現在の製作方法は当時と比較すると大きく様変わりしている。しかし、現在の製作方法のなかにはリベット時代からの名残も多数あるように感じられる。今後、再びリベット結合で新規に橋梁が製作されることはないが、既設の補修や改造などでリベット橋と付き合う機会が増えることは十分考えられる。その際、本章が何らかの役に立てば幸いである。なお、第 14 節「現場リベット締め」の調査においては、松尾橋梁(株)技術開発室室長 鷹羽 新二 氏、同工事部副部长 木下 潔 氏の多大なるご協力を頂きました。この場をお借りして御礼申し上げます。

執筆担当	1,2 節	：山田 勝彦
	3,4 節	：志賀 弘明
	5,6 節	：安保 文博
	7,8 節	：小野 宏之
	9,10 節	：大岩 由典
	11~14 節	：掘井 滋則

《参考文献》

- 1) 土木学会編：『土木工学ハンドブック』, 技報堂, pp.647-663, 1954.10
- 2) (株)横河ブリッジ：『若戸大橋補剛桁製作写真集』
- 3) (株)宮地鐵工所パンフレット, 1960
- 4) 『鋼道路橋製作示方書・同解説』, 日本道路協会, 1956.5
- 5) GEORGE A. HOOL 他：『STEEL AND TIMBER STRUCTURES』, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, pp.512-559, 1924
- 6) 日本鋼構造協会接合小委員会編：『鋼構造接合資料集成ーリベット接合・高力ボルト接合ー』
技報堂, pp.157-158, pp.217-228, 1972.3
- 7) 小西一郎編：『鋼橋 基礎編 I』, 丸善, pp.199-212
- 8) 復興局編纂：『復興局橋梁概要』
- 9) 蒔田 実 他：『我が国における鋼橋の塗装技術の変遷』, 橋梁と基礎, pp.10-16, 1980.10
- 10) 内務省土木試験所：『本邦道路橋輯覧 第四輯』, 広告, 1939.4