

# 曲面部材断面を持つ ニールセン橋（辰巳新橋）の設計と架設

## Design and Construction of Nielsen System Bridge with Curved-Member Cross Section (Tatsumi-Shimbashi Bridge)

阿 部 正 彦\* 越 中 信 雄\*\* 日 沢 恭 助\*\*\*  
Masahiko ABE Nobuo ETCHU Kyosuke HIZAWA

### Summary

The Tatsumi-Shimbashi Bridge is a Nielsen system bridge of basket handle type. The overall landscape of the site was taken into consideration when the bridge was designed, and one result is that it has the most complicated structure of any bridge of its type. Total cross section welded joints were used for the bridge's arch ribs.

This paper describes the basic concept of designing while considering the overall landscape, and outlines the construction work and the method of inspecting the field-welded joints.

### 1. まえがき

辰巳新橋は東京都江戸川区を南北に縦断して流れる新中川の橋梁整備計画に基づき、架替えが実施されたものである。

本橋は新中川における上流ゾーンのシンボル橋と位置付けられ、「新中川橋梁デザイン検討会」にて河川状況、地域環境および景観などを十分に考慮して形式、構造等が決定された。特に景観を重視した橋であるため、バスケットハンドル型のニールセンローゼ橋として、規模はさほど大きくないがアーチリブフランジの曲面化等の複雑な形状、および現場でのアーチリブ部材の全断面溶接など施工上非常に難易度の高い工事である。

本橋は平成6年1月に竣工した。

### 2. 辰巳新橋の概要

設計条件を以下に示す。

道路規格：第4種第3級

形 式：バスケットハンドル型ニールセンローゼ  
桁橋

橋 格：1等橋（TL-20）

支 間 長：118.8m

幅員構成：7.0m（車道）+4.4m×2（歩道）

ラ イ ズ：22.0m（ライズ比=1/5.5）

主構傾斜角：70°

吊材傾斜角：60°

横断勾配：車道2.0%直線振り分け勾配  
歩道1.0%直線片勾配

平面線形：R=∞

床 版：鋼床版12mm厚

吊 材：NEW-PWS φ7mm×37

鋼 重：1,584tf

図-1に辰巳新橋の一般図を示す。

### 3. 設計

#### (1) 景観設計

新中川橋梁整備計画において辰巳新橋には「橋梁が水面を包み込むようなイメージとなるよう、側面形状を大きな曲線（アーチ）として軽快さを演出する」というデザインモチーフが示されている。これを受けて「新中川橋梁デザイン検討委員会」では、主にアーチリブ形状について次のような決定をしている。

#### 1) アーチリブ側面形状

側面景観では、上流側JR総武線の車中からのアーチの見え方を意識し、アーチリブ形状を欠円形、放物線形、その他大胆な形状の中からオーソドックスで周辺環境に調和する放物線形状を選択した。また、スパンライズ比

\* 技術本部第一設計部設計第三課係長

\*\*\* 千葉工場工事部工事課

\*\* 宮地建設工業(株)橋梁構造事業部工事部計画課

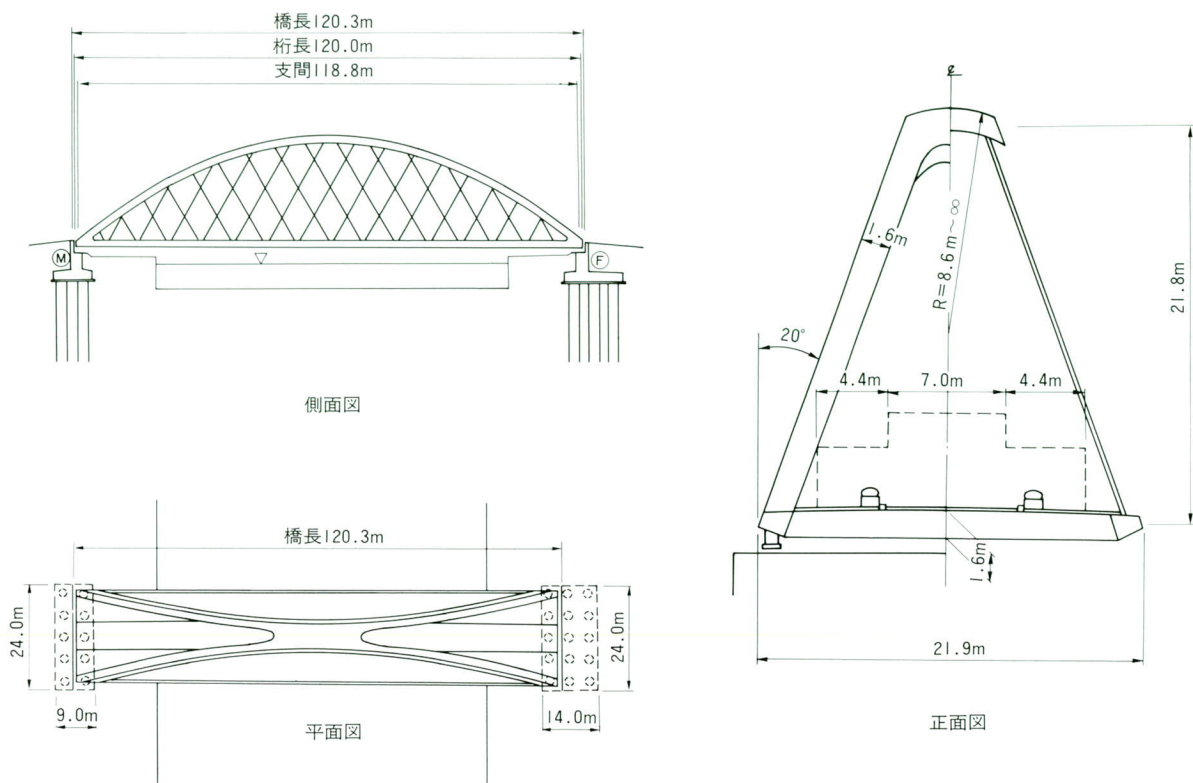


図-1 橋梁一般図

については、10数案の中からフロントモンタージュおよび模型を作成し検討した結果ライズ22.0m、スパンライズ比1/5.5とした。

2) アーチリブの配置と傾き

アーチリブはドライバーの視距離確保にすぐれ、橋上内部空間が広く落ち着いた配置となるよう、歩道の外側に配置した。またその傾きについては、 $\theta = 70^\circ$ 、 $80^\circ$ 、 $90^\circ$ の3案より、橋上において圧迫感が少なく、安定感があり、建築限界を考慮した最急傾斜である $\theta = 70^\circ$ を採用した。

3) 橋門構と上横支材の形状

橋上を通過する人に解放感と軽快感を与える点を重視し、検討した結果橋門構を省略し、よりシンプルで洗練された形とするためX字状のシェル形とした。またその長さはシェル状の内部空間となり得て、しかもX字状が明確に表現されるのに程良い長さである30mとした。図-2に上横支材部のX字状シェル形状イメージを示す。

4) アーチリブの上フランジ形状

橋梁が水面を包み込むようなイメージとして、上フランジを放物線球として球面化した。図-3にアーチリブ上横支材部断面図を示す。

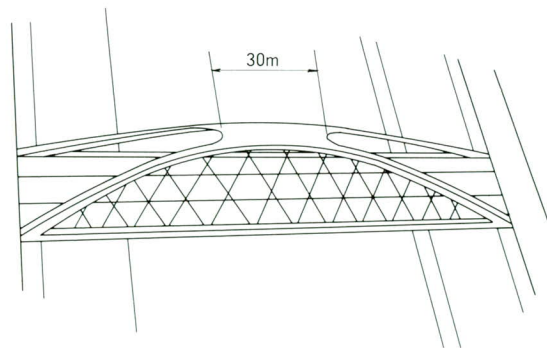


図-2 X字状シェル形状イメージ図

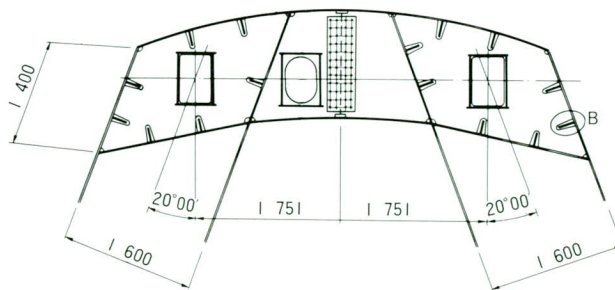


図-3 アーチリブクラウン部の断面図

## (2) 部材設計

### 1) アーチリブ

アーチリブ軸線は前述したとおり放物線である。また横断面では上フランジが曲面化されており、その曲率はアーチクラウン部で約 $R=8\text{ m}$ 、アーチ基部で $R=\infty$ となるように漸変している。さらにウェブ高さは主構面の傾斜方向にアーチクラウン部で $h=1400\text{ mm}$ 、アーチ基部で $h=1800\text{ mm}$ と変化している。

解析は平面モデルを使用し、鉛直荷重、水平荷重についてそれぞれ平面解析を行った。その際、主構面は鉛直面、水平面にそれぞれ投影したモデルとしている。

アーチ部材は有効座屈長の概念を用い、圧縮と曲げを受ける柱として設計した。その際有効座屈長として面内荷重に対しては、一般に用いられている吊材間隔の2倍を適用し、 $15\text{ m}$ とした。また、面外座屈に対しては上横支材がアーチクラウン付近の $30\text{ m}$ 区間にのみ配置された特殊な形状であるため、通常用いられる上横支材の間隔は用いず、便宜的に面内の有効座屈長と同じ $15\text{ m}$ とし、後に弾性座屈解析を行い、安全性の確認を行った。図-4にアーチリブ部材継手部（クラウン付近）の断面形状を示す。

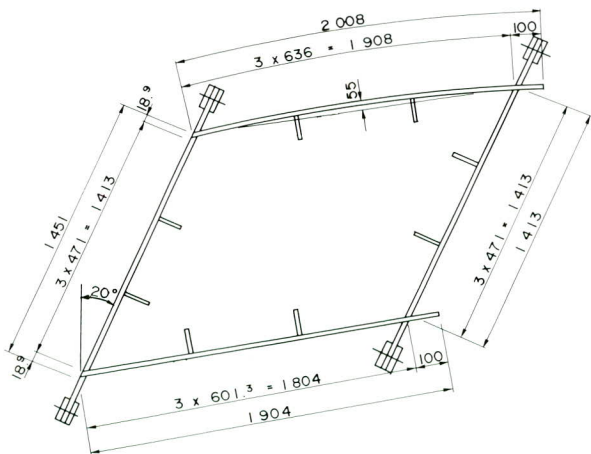


図-4 アーチリブ継手部断面形状

### 2) 補剛桁

補剛桁は鋼床版と一体となった扁平箱桁形式である。このため補剛桁は引張および曲げを受ける部材として設計されるがその際鋼床版との合成作用を期待し、合理的な設計を行った。

### 3) 吊材

吊材はNEW-PWS ( $\phi 7.0 \times 37$ )を用いている。配置についてはその効果が充分発揮されるよう傾斜角 $60^\circ$ で一定とした。また、端部吊材では常時で圧縮力生じるため、 $15\text{ t}$ のプレストレスを導入した。(計4本)

## 4. 現場施工

### (1) 施工条件

現場の周囲は、多くの住宅が建ち並ぶ住宅密集地でアーチ系の橋梁の架設現場としては厳しい環境の中で行われた。

架設時のポイントは次のとおりである。

#### ① 架設位置の環境面に関して

- 住宅密集地内工事であり騒音・振動対策が必要である。
- 新中川の船舶通行量が多く、水面利用が制限される。
- 作業ヤードが狭い。

#### ② 橋梁の形態に関して

- 鋼床版であるため、ベント杭設置位置が限定される。
- 上記により、ベント（工事桁）が大規模となった。
- アーチリブ・補剛桁ともに、下フランジが2軸に対して非常に大きな勾配をもっている。
- アーチリブが全断面溶接である。（寸法、形状上、内面からの溶接ができない）
- 補剛桁内が狭く、ケーブル引込み設備の配置が困難である。

### (2) 工法概要

補剛桁・アーチリブとともに、トラッククレーンベント工法により架設した。

補剛桁については、 $100\text{ t}$ クローラークレーン（以下CCと記す）を橋上に搭載し、逐次架設し中央部にて閉合した後、補剛桁および鋼床版の溶接を行った。

一部のベントと杭を撤去した後、撤去部分の鋼床版を架設しアーチ施工に移った。

アーチリブの施工は橋台背面に据え付けた $360\text{ t}$ 吊り油圧式トラッククレーン（以下HCと記す）にて橋上ベント上に架設した。

ただし、中央部の閉合ブロックを含む3ブロックは橋上

100 t 吊り H C を搭載し架設を行った。その後、アーチリブ全断面溶接を行い、アーチ橋全体が組みおわった後、ケーブル架設・同張力調整を行った。この時点において、桁はニールセン橋としての機能が働くようになったため、橋台ジャッキにて橋梁全体をジャッキアップし（支点支持状態）、補剛桁受ベントの反力を開放・撤去した。そして30 t ジャッキ 8 台を用いて、総鋼重約1450 t を約2.6 m 位ジャッキダウンし所定の位置に据え付けた。

### (3) 仮設備計画

主な仮設備は次の通りである。

- 補剛桁受ベント……補剛桁受（杭基礎+大型工事桁）
- クレーン走行架台……橋上100 t 吊り C C 走行用
- 桁降下設備……桁降下（サンドル+ジャッキ）
- アーチ受ベント……アーチリブ受
- ケーブル引込み装置……
- 溶接用風防設備
- クレーン台船、台船……杭施工、工事桁施工
- バイプロハンマー+ウォータージェット……杭施工
- 100 t、150 t 吊り C C……補剛桁架設
- 100 t、300 t 吊り H C……アーチリブ架設

本工事において、最も騒音と振動が発生しやすい杭打ちにおいてはバイプロハンマーとウォータージェットを併用し、騒音と振動対策に努めた。

### (4) 補剛桁の架設

補剛桁の架設はトラッククレーンベント工法（橋上クローラクレーン搭載）により各橋台より支間中央へ向けて同時に架設を開始し、中央にて閉合した。

この際、接合部は現場溶接継手以外の一部ウェブ・フランジとエレクションピースをボルトで仮連結をしつつ架設を行った。

また鋼床版部分に縦桁等がないので、上下が一体となるようトラス形式の形状保持材を取り付け、上下一体ブロックで架設して工程の短縮を計った。

閉合後、補剛桁と鋼床版の溶接を行い、ベントの半分を撤去した。杭の撤去においては、一旦鋼床版の一部を撤去しその間からバイプロ+ウォータージェット設備を配し、杭抜き完了後再び鋼床版を架設した。補剛桁架設フローチャートを図-5 に、補剛桁架設計画図を図-6 に示した。

### (5) アーチリブの架設

アーチリブの架設は補剛桁の溶接と補剛桁受ベントの一部撤去後に、360 t H C と100 t H C を橋上搭載して、各橋台より中央へ向かって逐次ベント上に架設した。

アーチリブは下フランジが2軸方向に大きく勾配がついているため、予め工場にてベント受用の架台を取り付けておいた。また、現場継手部が全断面溶接となっているので、架設時と溶接時の桁形状確保のため、エレクションピースを工場にて取り付けておき、これにて各ブロックを連結した。（エレクションピースは溶接時のエンドタブ兼用とした）

アーチリブ閉合後キャンバー測定を行い、全断面溶接を行ったが、溶接熱収縮による応力緩和を行なうため、予め上げ越し架設をしておいたアーチリブ部を2回程ジャッキダウンを行った。

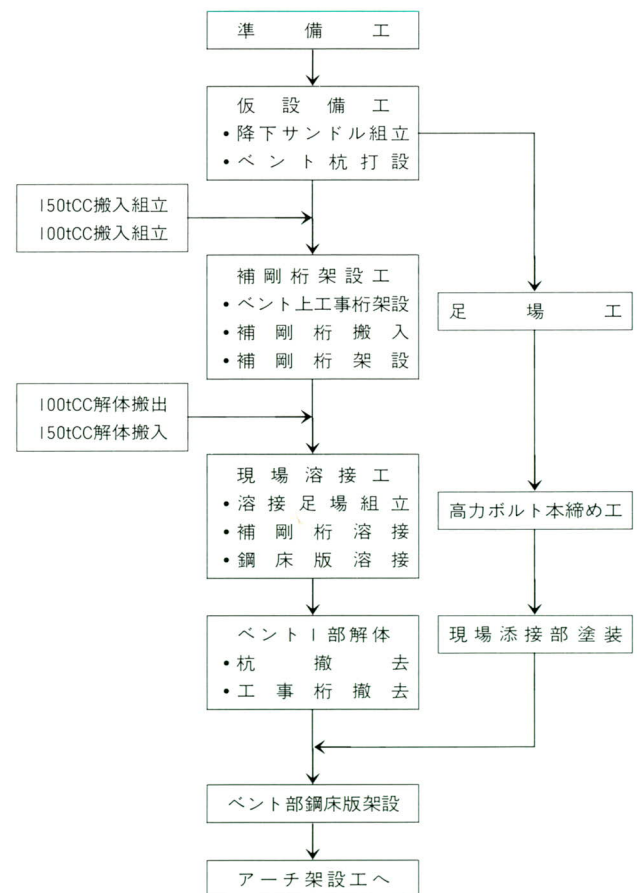


図-5 補剛桁架設フローチャート

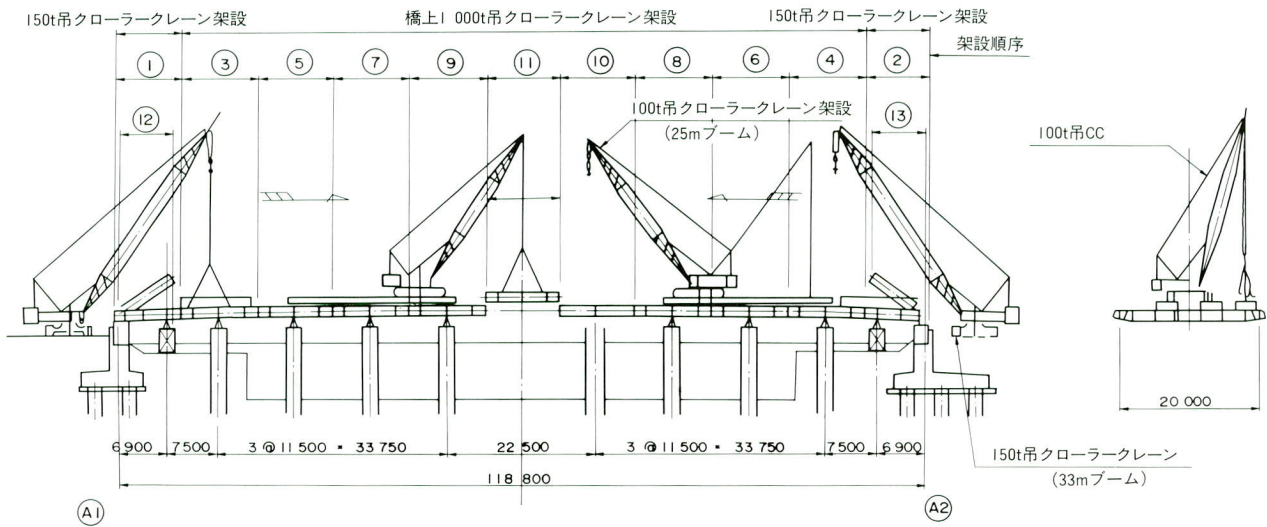


図-6 補剛桁架設計画図

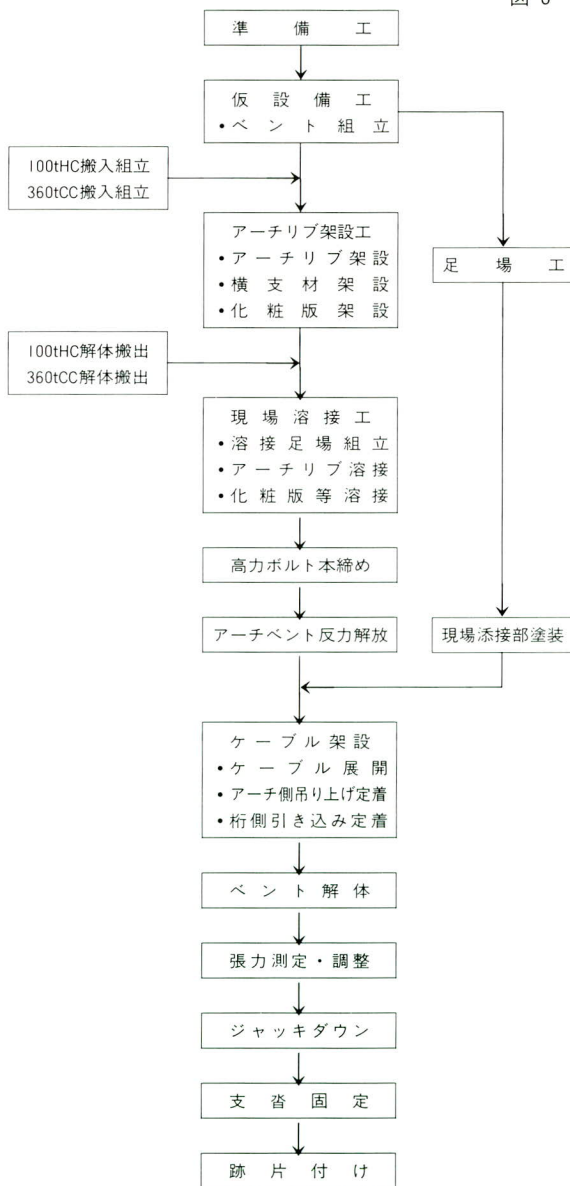


図-7 アーチ架設フローチャート

溶接完了後、ケーブルを架設した。ケーブルは橋上で展開後クレーン等にてアーチリブ方、補剛桁方の順序にて定着した。この後、一旦支点支持状態にしてケーブル張力の測定を行った。測定は引込みに使用した油圧ジャッキにより実施し、電算上のシミュレーション値と比較調整した。アーチリブ架設フローチャートを図-7に、アーチリブの架設計画図を図-8に示した。写真-1にアーチリブの架設状況をまた写真-2にケーブル架設の状況を示した。

### (6) 現場全断面溶接の施工

本橋のアーチリブの溶接は実物大のパイロットメンバーによる溶接施工試験結果に基づき現場溶接施工を行った。現場溶接位置ならびに溶接方法を図-9に示す。アーチリブの全断面溶接は断面形状が菱形変断面で材質SM490Y、板厚16~32mmであり、断面寸法も小さいため内面からの溶接が作業空間上および安全上問題があり、全て外側からの全姿勢片面裏波溶接を採用した。また、アーチリブの現場溶接継手は最大22mの高所であり、作業スペースおよび安全作業の確保等が厳しい条件が架せられた。

写真-3にアーチリブ現場全断面溶接風防設備の設置状況を、写真-4にはアーチリブ下フランジの上向片面裏波自動溶接の状況を示した。

現場溶接施工試験については製作編において説明する。

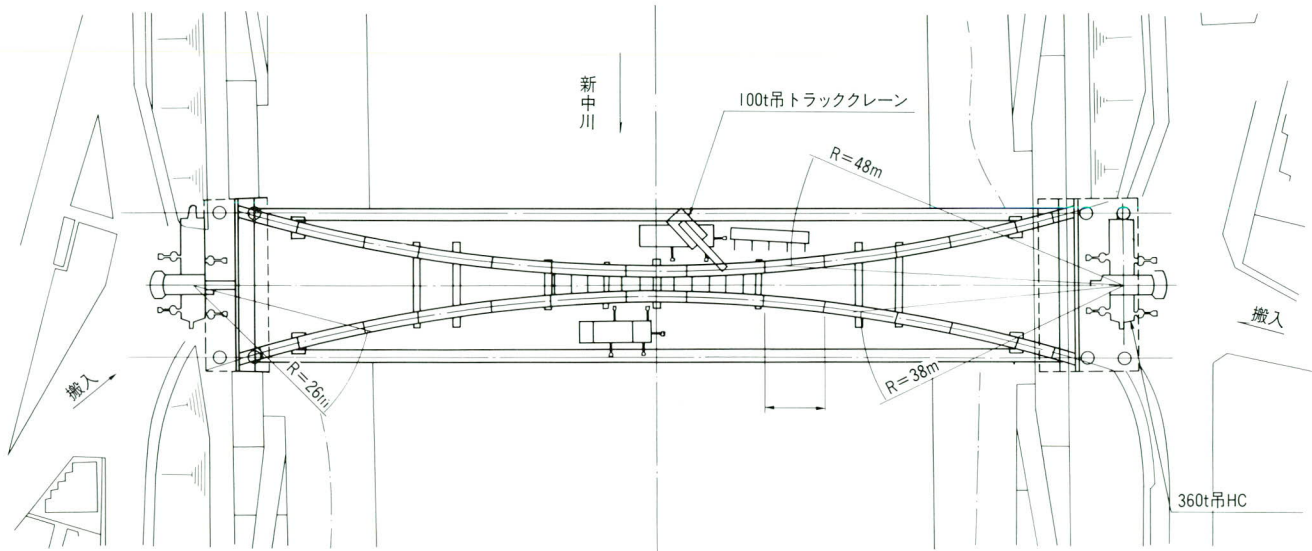
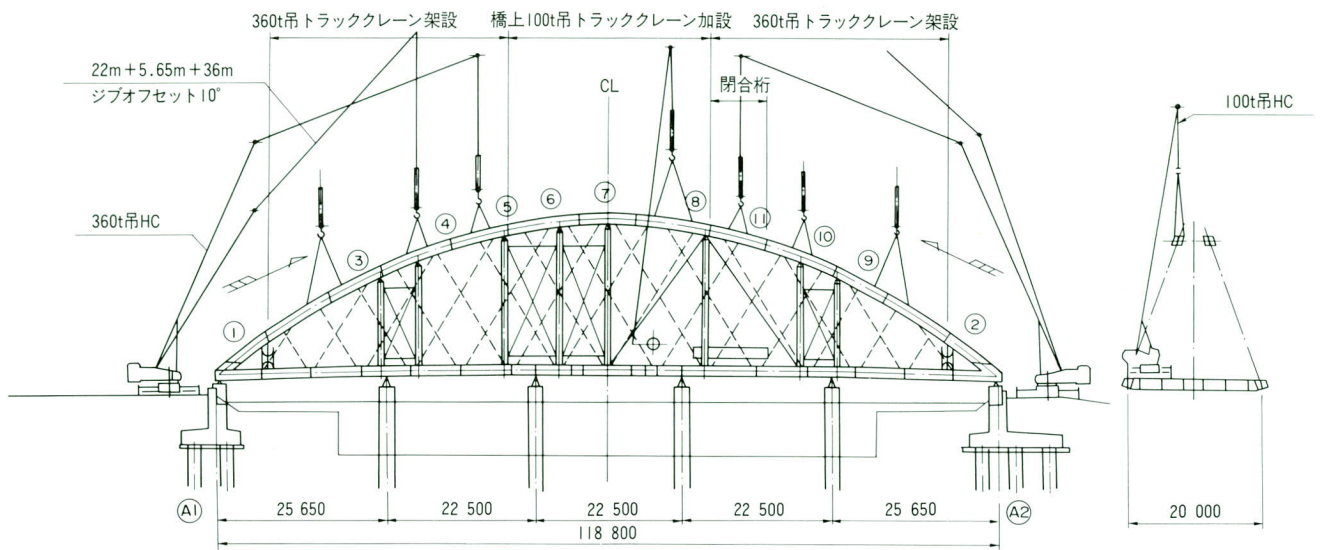


図-8 アーチリブ架設計画図

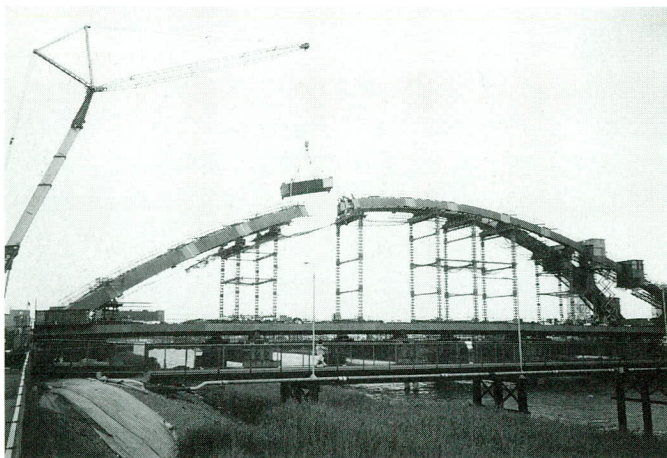


写真-1 アーチリブ架設状況

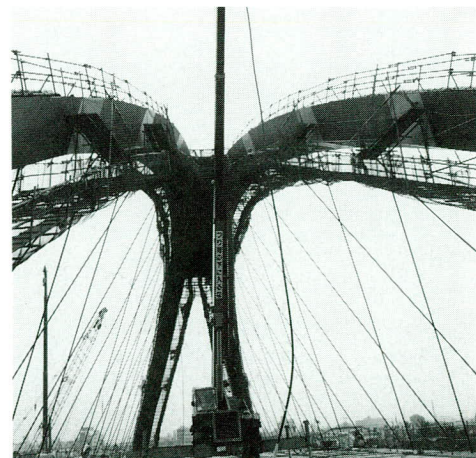
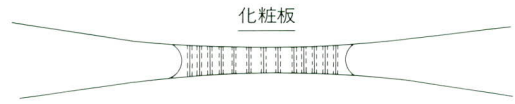
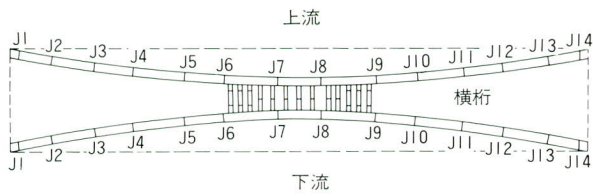
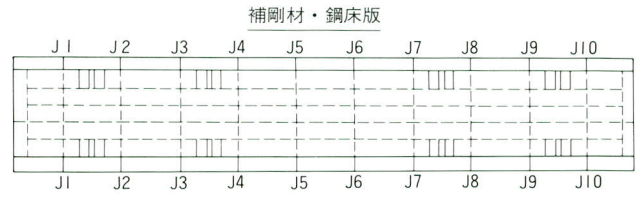
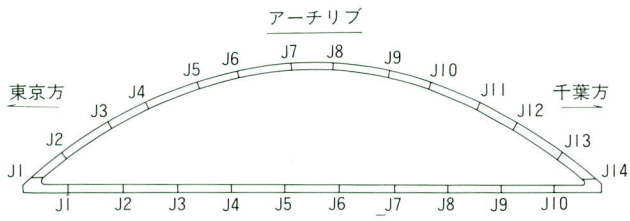
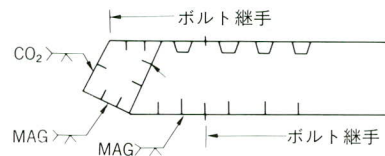


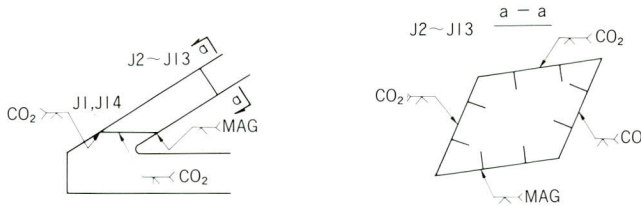
写真-2 ケーブル架設状況



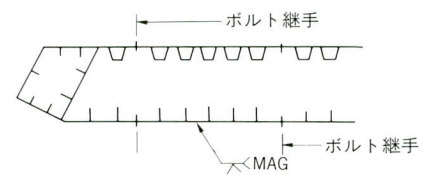
補剛材詳細図



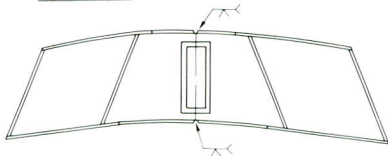
アーチリブ詳細図



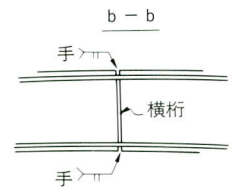
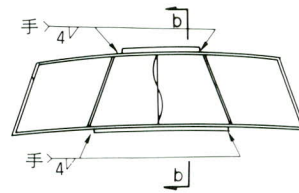
鋼床版詳細図



J 6 ~ J 9



化粧板詳細図



CO<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub>自動溶接  
 MAG : MAG自動溶接  
 手 : 被覆アーク溶接

図-9 現場溶接位置図



写真-3 現場溶接の風防施設の状況

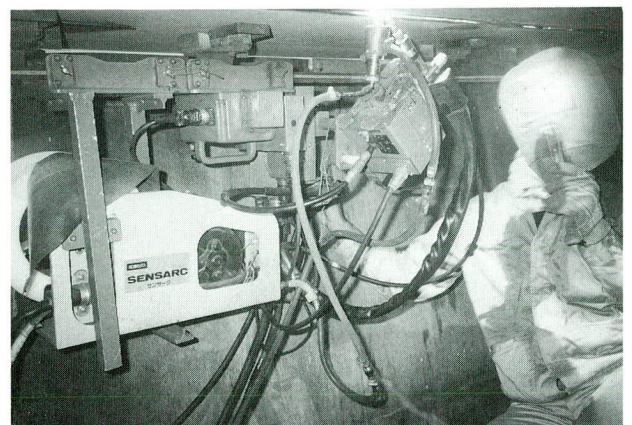


写真-4 アーチリブ下フランジの上向片面裏波自動溶接

## 5. 現場溶接継手の自動超音波探傷試験

### (1) 自動超音波探傷試験採用の目的

現場溶接継手の非破壊検査として自動超音波探傷試験を採用したのは下記の理由による。

- ① アーチリブ等の全断面溶接継手は非常に高所にあり、継手位置も断続的に存在し、重量のあるX線発生装置を持ち運びするのは危険であり、かつ部材断面が小さいため箱外からのX線撮影となり、X線発生装置を全姿勢にポジショニングするのも容易ではない。自動超音波探傷試験の場合、軽いレールと探触子をつけた走査機構を搭載した走行台車を持ち運びまたは取り付けを行えば良い。
- ② 探傷結果がリアルタイムに得られる。また万一欠陥のあった場合、欠陥の3次元座標で表示されるので手直しが合理的に出来る。
- ③ 放射線透過試験の場合放射線障害を避けるため、立ち入り禁止の管理区域を設けることが必要であり、撮影近傍での作業が出来ない。また足場移動での撮影個所の通過が出来なくなる。
- ④ 放射線透過試験が不可能な角継手部の探傷も可能である。

### (2) 自動超音波探傷試験装置の概要

#### 1) 装置の構成

今回採用した全断面溶接継手の自動超音波探傷検査システムはαUT-2システムであり、全姿勢で探傷することができる。検査装置の構成を図-10に示す。

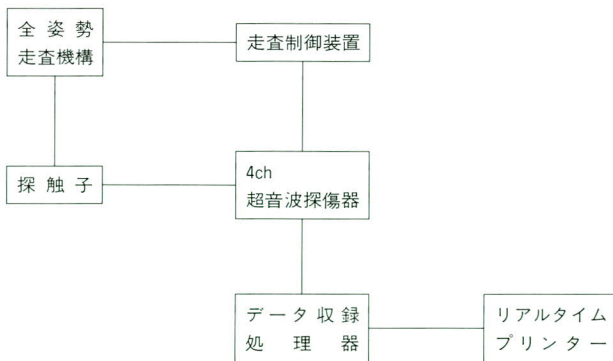


図-10 構成図

#### 2) 各構成部の説明

##### ① 走査機構

探触子を機械的に反復動作させるための駆動機構であり機構概略図を図-11に示したモータとロータリエンコーダの組合わせで動作する。溶接線に平行に設置したX軸およびこれに直交するY軸の2軸制御である。X軸のレールはマグネットで吸着設置する。

##### ② 走査制御装置

走査機構部を一定のパターン（縦方向走査）で制御する部分で内蔵のコンピュータにより動作している。探触子の走査位置を1mmの制度で制御でき、XYに位置情報はデータ収録・処理器に送られ、自動記録される。

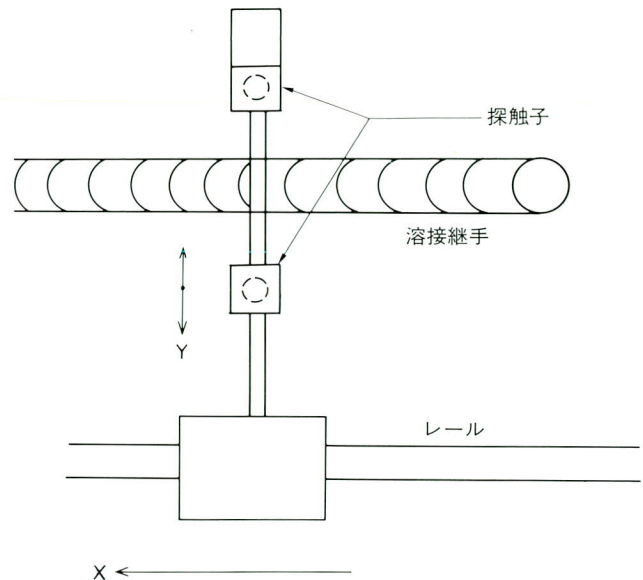


図-11 走査機構

##### ③ 超音波探傷器

一つの溶接線を両側から検査するために必要な2個の探触子を同時に使用できる2チャンネル探傷器である。検出範囲のレベルを設定でき、超音波の減衰を補正する機能(DAC)を備えている。検出された超音波信号(エコー)はデジタル化され、反射原までの距離とともに、データ収録・処理器に送られる。その他、自動走査の際の探触子の接触状況確認用(カップリング)として超音波探傷送受信回路を2組装備している。

##### ④ データ収録・処理器

小形パソコンに位置データとエコーデータを収録する。データ処理の全ての機能はソフトウェア(プログラム)



で構成されており、柔軟なデータ処理が可能である。自動走査中に得られたデータ（エコーおよび位置）はその都度、減衰補正を行い、設定された検査範囲のデータであることを確認する。確認されると反射原の位置をグラフィック表示し、同時にリアルタイムプリンタで出力する。同時に後の評価と保存のために内蔵の固定ディスクに収録される。

収録機能の中には、検査範囲の設定機能、妨害エコー（余盛ビード等からの反射エコー）除去機能も装備されており、検査の高速化を促進している。

### (3) 自動超音波探傷検査方法

実橋部材の溶接継手を超音波探傷検査を行っている状況を写真-5に示した。図-12に探傷走査パターンを示した。標準探傷時のX方向走査間隔は5mmであるが、欠陥を検出すると精密探傷に移り、走査間隔は1mmとなる。

探傷条件を下記に示す。

探傷範囲：継手両側同時探傷法 0~1.0スキップ

探傷姿勢：全姿勢

探 触 子：探傷用：5Z10×10A70（ギャップ法）

カップリング用：7N

探傷感度：STB-A2 縦孔（φ4mm×4mm）

検出レベル：L検出レベル しきい値：L線

### (4) 検査記録および判定

高所にある実橋の溶接継手には軽量のレールと走査装置をつけた走行台車を持ち込み、安全な床版上に超音波

探傷器、制御器、データ収録、処理器およびプリンタ等を設置して、走査機構と有線ケーブルで結ばれる。

床版上ではスタッフ、走査装置より送られてくるデータを処理しCRT上のリアルタイム検査レポートによって判定を行い、必要に応じて携帯無線等で手直し支持等を与える。検査記録は画像化表示と検査データリストよりなる。

画像表示にはA、B、Cスコープ表示の3つがある。

- ① Cスコープ表示：エコーデータを検査している面の方向から平面的に表示した像をCスコープという。このCスコープは放射線透過試験のフィルムと同じ表現方法である。
- ② Bスコープ表示：溶接継手方向の縦断面および横断面的にみた断面画像をBスコープという。このBスコープは継手を縦断面的にみた側面像をサイドB（SB）スコープ、継手を横断面的にみた断面像をフロントB（FB）スコープという。

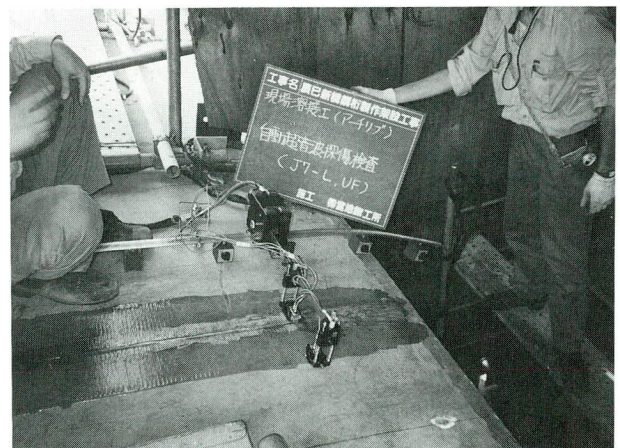


写真-5 自動超音波探傷の状況

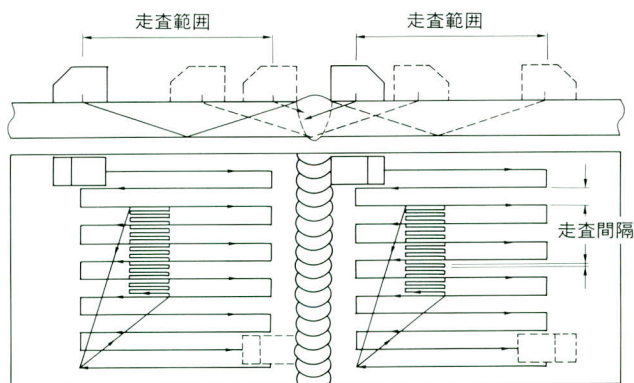


図-12 探傷走査パターン

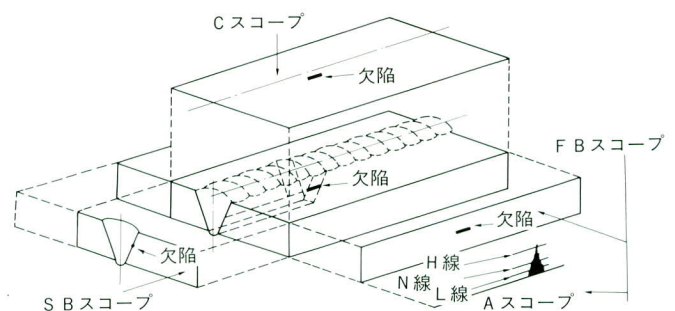


図-13 画像処理と各表示方法

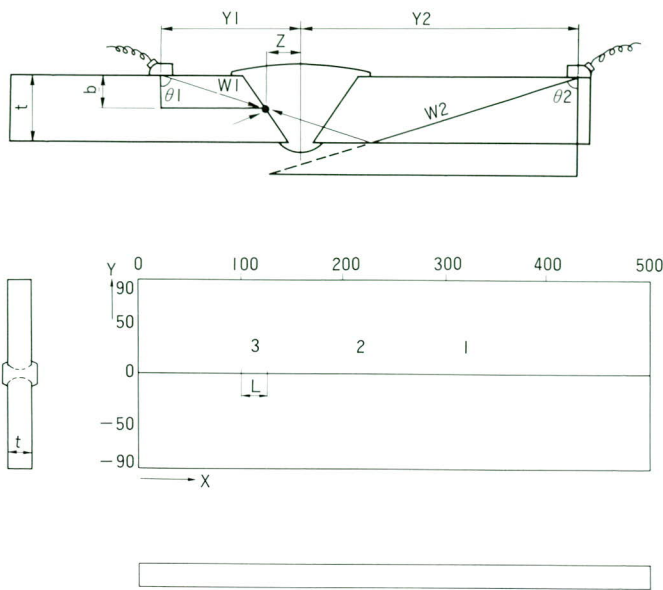


図-14 検査成績書の例

- ③ Aスコープ表示：超音波探傷器のCRT上に得られる反射エコー高さ分布をAスコープと表現しているが、最近ではエコー高さ分布画像もAスコープと呼んでいる。

以上の3種類の画像表示方法を図-13に示した。CとBスコープで欠陥が3次元的に識別でき、Aスコープによって欠陥の指示長さが得られる。これらの画像はリアルタイムに出力されるのでリアルタイム検査レポートと称している。

最終的な検査成績書の作成は、収録されたデータを基に事務所に設置したパソコンで処理される。検査成績書の例を図-14に示した。

#### (5) 自動音波探傷検査結果

補剛桁およびアーチリブの溶接継手の上下フランジお

表-1 自動超音波探傷検査結果

部材名	継手部位	溶接方法	基本探傷結果(単位数)					補修後探傷結果	
			1級	2級	3級	4級	合格率%	1級	2級
補剛桁	下フランジ	上向MAG溶接	132	0	6	2	94	7	1
	ウェブ	立向CO <sub>2</sub> 溶接	58	0	2	0	97	2	0
鋼床版	下フランジ	上向MAG溶接	211	6	0	7	97	7	0
アーチリブ	上フランジ	下向CO <sub>2</sub> 溶接	90	8	7	7	88	14	0
	下フランジ	上向MAG溶接	99	7	3	3	95	6	0
	ウェブ	立向CO <sub>2</sub> 溶接	217	11	5	15	92	20	0

よびウェブ毎に溶接長500mmを超音波探傷1単位とし、溶接継手の超音波探傷検査結果を表-1に示した。

#### 6. あとがき

以上、辰巳新橋の設計と現場施工について概要を述べた。

本橋は、景観を重視した橋であり、その形状の複雑さより非常に難しい工事であったが、平成6年1月に無事竣工することができた。

最後に本橋の設計、施工に際し、ご指導いただいた東京大学篠原教授・東京工業大学三木教授をはじめ、江戸川区役所土木部の方々に感謝の意を表します。

1994.6.25受付