

第二東名自動車道 東海大府高架橋 (鋼上部工)工事の設計・工場製作・現場施工

～第二東名高速道路初の少数主桁橋梁の建設～

Design, Fabrication and Construction of the TOKAI-OHBU Viaduct

増田 博次

Hirotsugu MASUDA

川田工業㈱工事本部東京工事部工事課
工事長

塩田 圭三

Keizo SHIOTA

川田工業㈱生産本部四国工場橋梁部
橋梁技術二課係長

横山 弘則

Hironori YOKOYAMA

川田工業㈱工事本部富山工事部工事課
係長

岩崎 祐次

Yuji IWASAKI

川田工業㈱橋梁事業部技術部
東京技術部次長

内田 修平

Shuhei UCHIDA

川田工業㈱生産本部四国工場橋梁部
橋梁技術一課課長

本摩 敦

Atsushi HOMMA

川田工業㈱橋梁事業部技術部
CAD開発プロジェクト

The TOKAI-OHBU Viaduct is the first continuous rationalized plate girder bridge planned for the second TOMEI MEISHIN Highway. The main girders, containing one section for each member, are welded together in the field. Composed of H shaped steel, in order to reduce production costs, the interval of intermediate cross beams extends from 6 m to 10m.

This paper describes why this design was chosen and how it was accomplished.

Key words : rationalized plate girder bridge, omission of shop assembly, field welding

1. はじめに

東海大府高架橋は、第二東名・名神高速道路の路線の中で鋼少数主桁橋形式が採用された最初の工区であり、JH名古屋建設局より三菱、川田、ピー・エス鋼上部工共同企業体として受注した。本橋と従来橋梁との大きな相異点は下記に示すとおりである。

- ① 主桁：一部材一断面よりなる断面構成。
現場継手に全断面現場溶接継手を採用。
- ② 中間横桁：間隔を従来の6m程度から10m程度に拡大。加工工数低減のためH形鋼を採用。
- ③ 横構：省略する。
- ④ プレキャストPC床版を採用。
- ⑤ 仮組立を省略。部材確認検査で部材精度を確認。
- ⑥ 薄膜重防食塗装の全工場施工を採用（上塗りまで）。

少数主桁橋は海外では多くの実例があるが、わが国ではまだ実績が少なく、明確な設計法も確立されていない。本報告は、実橋での設計までの検討・確認項目とともに、実際の設計・製作・架設について述べるものである。

2. 全体形状

本橋はクロソイドとそれにつながる直線上に位置し、11+5+4径間の鋼少数主桁で構成される。そのうち11+5径間部が3主桁、4径間部がバチ形状の4主桁となっ

表1 設計条件

型 式	11径間連続非合成鋼3主I桁 ：+5径間連続非合成鋼3主I桁 ：+4径間連続非合成鋼4主I桁
設計荷重	B活荷重
橋 長	974.5m
支 間 長	11径間部：2@40,310+42,500+51,000+3@40,310 +70,000+3@42,550 5径間部：41,900+65,750+71,000+60,000+59,400 4径間部：47,400+54,500+40,000+39,350
幅 員	14,520m～25,287m（有効幅員）
主桁間隔	6.000～7.549m
横桁間隔	10.000m以下（道路中心線上）
平面線形	$R=710, A=450 \sim R=\infty$
縦断勾配	1.6410%～2.000%
横断勾配	7.5%～2.0%
舗 装	アスファルト舗装 $t=7.5\text{cm}$
床 版	PC床版 $t=27.0\text{cm}$ （11, 5径間部） $t=27.0, 29.0, 31.0\text{cm}$ （4径間部）
高 欄	鉄筋コンクリート壁高欄
遮 音 壁	遮音壁 $H=8.0\text{m}$
主要鋼材	SM570, SM490Y, SS400, S10T
適用示方書	道路橋示方書・同解説Ⅱ（平成6年2月） 鋼道路橋設計便覧（昭和55年8月） 日本道路公団 設計要領 第二集 復旧仕様（平成7年6月）

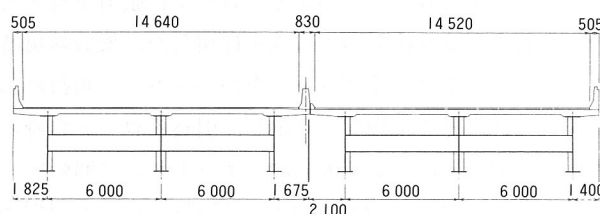


図1 標準断面図（3主桁部）(mm)

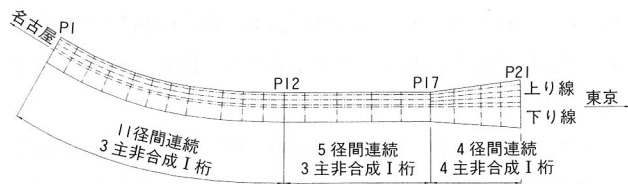


図2 平面図

表2 各部位の床版形式

使用部位	形式
一般部	プレキャストPC床版
支点近傍	場所打ちPC床版
床版相互の隙間	間詰めコンクリート

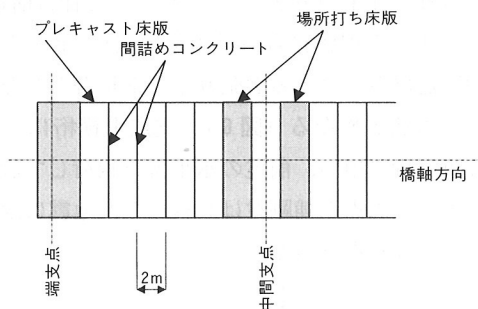


図3 各部位の床版形式

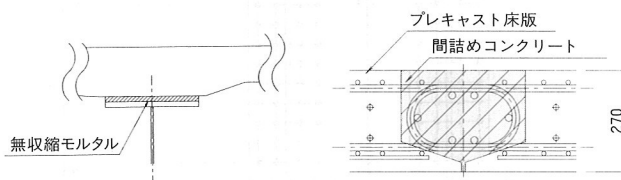


図4 床版構造詳細 (mm)

ている。

表1に設計条件、図1, 2に標準断面図および平面図を示す。

3. 床版

(1) 床版形式

本橋の床版は大きく3つの構造に分類できる。表2、図3に一覧を示す。なお、プレストレスは橋軸直角方向のみに導入する。

床版厚は一般部で270mmであるが、4径間部では鋼桁配置がバチ形状であるため、主桁間隔に応じて床版厚を270、290、310mmと3段階に変化させている。ハンチ高は100mmであり、またプレキャスト床版と鋼桁フランジの隙間には40mm厚の無収縮モルタルを注入する(図4)。使用するコンクリートの設計基準強度はすべて500kgf/cm²である。また、床版ジベル孔の後埋め部および間詰め部には膨張コンクリートを使用した。

(2) 床版の設計

橋軸方向に関してはプレキャスト床版がRCループ継手により一体化されるため、床版を橋軸方向に連続した

表3 各荷重状態でのひび割れ制限

死荷重作用時	引張応力発生を許さない状態
活荷重作用時	曲げひびわれを生じさせない状態
風荷重作用時	許容曲げひびわれ幅まで許す状態

RC部材として計算し、必要鉄筋量を配置するものとした。橋軸直角方向は、活荷重作用時においてひび割れの発生を許さないことを前提とし、コンクリートの縁応力度を制御した。また、風荷重作用時は、コンクリートの引張制限値を超えるためひび割れ幅で制限した。表3に一覧を示す。

その他の設計上の留意点は以下のとおりである。

- ① 設計断面は、支持桁上、床版支間中央および壁高欄付け根部とする。
- ② 間詰め部硬化後の曲げ応力度算出時の抵抗断面は、プレキャスト床版と間詰め部の合成断面とする。
- ③ 支持桁上の応力度算定はジベル孔を除いた断面で行う。
- ④ プレストレスの計算は道示I.共通編2.1.5に準拠する。
- ⑤ 橋軸方向目地を有する床版は、支持桁上の目地部断面でフルプレストレス応力状態とする。
- ⑥ 運搬、架設時に作用する荷重を考慮して照査を行う。
- ⑦ 鋼桁の不等沈下や、中間支点部における主桁との合成作用による引張力を考慮し設計を行う。

(3) 実験による検証

設計に際しては各種の実験を行った。結果の報告は別の機会に行うものとし、今回は項目の列記に留めておく。

・継手部疲労耐久性試験、実物大試験、場所打ち部プレストレス導入試験、実橋載荷試験など。

4. 鋼桁

(1) 主桁形状

腹板高は、広範囲の工区を同一の腹板高でカバーできること、輸送可能な範囲を考慮し、上フランジ上面から下フランジ上面まで2900mmとした。腹板厚は水平補剛材を1段として決定した。フランジの板厚の逃げ方向に関して、上フランジはプレキャスト床版を使用することを考慮し内逃げとし、下フランジは腹板の加工工数を減ずるために外逃げとした(送り出し桁を除く)。

(2) 横桁形状

中間横桁は部材数低減のためH-900×300×16×28の形鋼を使用した。支点上横桁は地震時の安全を考慮し、床版からの水平力の伝達を確実にするため、充腹構造のI桁を採用した。中間支点は2400mmとし、端支点は設計時点で伸縮装置の形状が未定であったため、取り付け時に支障が起きないように、横桁の上端を主桁の上端より

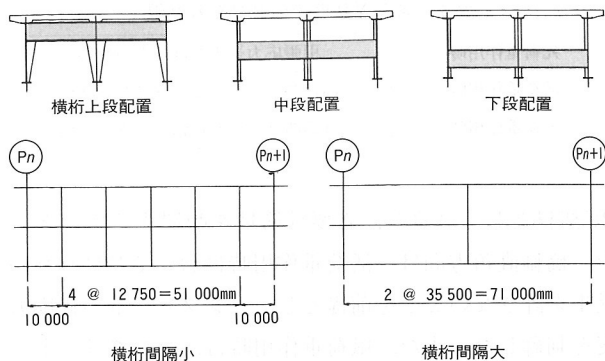


図5 解析モデル概要

400mm低い位置とし、腹板高を2100mmとした。

(3) 全体FEM解析

前述のように、本橋は従来の橋梁と多くの相異点を持つ。したがって、橋梁全体の挙動を把握するため、床版も含めた力学モデルによって、床版・主桁・横桁の変形や応力を解析する必要がある。そこで、詳細設計に先立ち床版を考慮した全体FEM解析を行い、各種の検討、設計上の諸係数の決定を行った。全体FEM解析に用いたモデルはすべて3径間連続橋である。支間(40mおよび70m)・横桁間隔・横桁取付位置の異なる数種類のモデルを用い、集中鉛直荷重および等分布水平荷重を載荷して解析を行った。図5に解析モデルの概要を示す。

主桁の変位、発生応力、支点反力のいずれにもモデルによる解析結果の差違は認められなかった。

a) 水平荷重作用時の橋軸方向支点反力分配係数

解析結果を表4に示す。この結果より、水平荷重作用

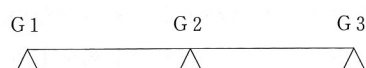
表4 支承線あたり反力(横桁中段, 間隔小モデル)

	P13	P14	P15	P16
G1(風上側)(kgf)	34 260	75 048	40 485	-3 376
G2 (kgf)	72 934	144 766	78 298	-7 309
G3(風下側)(kgf)	34 411	76 995	41 828	-3 379
合計反力(kgf)	141 604	296 810	160 611	-14 064
分担比	0.242	0.507	0.275	-0.024
1本梁モデル分担比	0.181	0.595	0.249	-0.024
対1本梁モデル比	1.339	0.853	1.105	1.005



表5 1支承線上反力比(横桁中段, 間隔小モデル)

	P13	P14	P15	P16
G1(風上側)	1.000	1.000	1.000	1.000
G2	2.129	1.929	1.934	2.165
G3(風下側)	1.004	1.026	1.033	1.001



時の1支承線あたりの支点反力は、簡易解析により得られた反力に端支点1.4, 中間支点1.0の係数を乗じて求めることとした。

b) 水平荷重作用時の橋軸直角方向支点反力分配係数

全体FEM解析の結果から得られた1支承線上の水平方向反力は、概ね $G1 : G2 : G3 = 1.0 : 2.1 : 1.0$ であった。解析結果を表5に示す。1支承線上の反力をこの比率で分配した荷重を横桁の解析時に載荷した。

(4) 実設計

実際の設計は従来の橋梁と同様の手法で行った。断面力は格子計算により算出した。中間横桁本体は形鋼を使用する以外は従来の方法によった。ただし仕口構造を「橋梁用高力ボルト引張接合設計指針(案), 平成六年三月, 日本鋼構造協会」による引張りボルト接合とした点は従来の接合方法と異なる(図6)。支点上横桁については平面骨組解析に用い、前述の水平力を載荷して設計を行った。また、支点上補剛材はレベル2の地震に耐える構造として設計を行った。

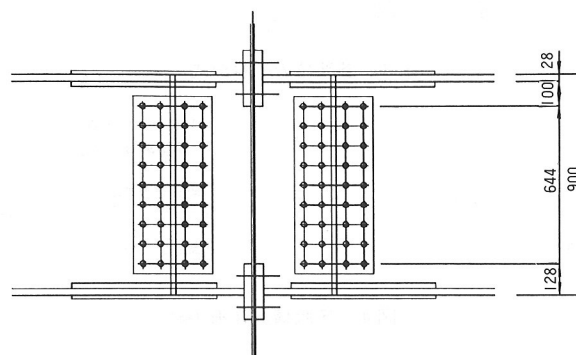


図6 中間横桁仕口構造(mm)

スタッドジベルの設計は、本橋が非合成桁であることから、橋軸直角方向の水平荷重のみにより決定した。水平荷重作用時の水平反力が支付近で3角形分布すると仮定し設計を行った。分布範囲は主桁間隔と支間の1/10の小なる方とした。その結果、スタッド配置は支近傍では6本、支間部は3本となった。また、スタッドジベルにはプレキャスト床版の施工性を考慮し、ネジスタッドを使用した。

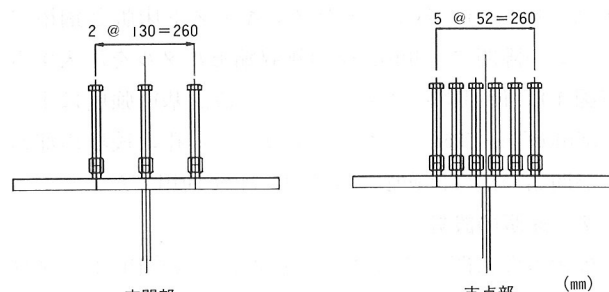


図7 スタッド配置

(5) 実験による検証

床版と同様に今回は実験項目のみの列記に留める。

- ・溶接施工試験、横桁取り付け部疲労試験、主桁現場溶接部スカラップ疲労試験、実橋載荷試験など。

(6) 従来桁との比較

従来の多主桁橋（7主桁）と比較した場合、工場製作費に影響を与える要因は表6のように推定される。

表6 従来桁との比較

主構造鋼重	約10%減
材片数	約60%減
塗装面積	約40%減

5. 現場溶接継手の検討および試験

本工事の主桁の現場継手には、工場製作時のコスト低減を目的として全断面現場溶接継手を採用している。図8の溶接工法の選定フローに沿い検討・試験による確認を行い、現場溶接継手形状および現場溶接要領を決定し、工場製作に反映することとした。

(1) 実物溶接試験体による溶接工法の確認

a) 溶接状態

正立の状態で行う。

b) 溶接姿勢

上下フランジは下向き溶接とし、ウェブは立向き溶接（上進）とした。

c) 溶接方法

上フランジはCO₂ガスシールドアーク溶接（多層盛溶接ロボット）、下フランジはCO₂ガスシールドアーク半自動溶接（ウェブを挟んで左右に分かれて溶接）とし、

ウェブはエレクトロガスアーク溶接（ただし、上フランジから約300mmの範囲はCO₂半自動溶接）とした。

d) 溶接施工手順

下フランジ→上フランジ→ウェブの順序で溶接する。

(2) 鋼材仕様の検討

溶接の省力化を考慮して、フランジ材は予熱低減鋼（SM490Y, SM520, SM570）を、ウェブ材は大入熱溶接鋼および溶接歪低減鋼（SM490Y）を使用した。

(3) 現場溶接施工試験

鋼材仕様の決定に伴い、鋼材仕様の確認と最適な開先形状（図9参照）を決定するため、施工試験を行った。最高硬さ試験、斜めY型溶接割れ試験、突合せ溶接試験を行ったが、いずれも規定を満足する結果が得られた。

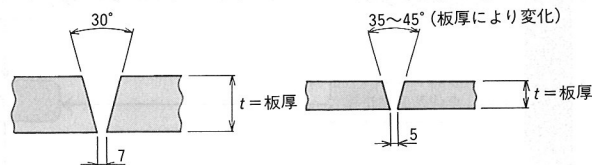


図9 開先形状（mm）

(4) フランジ・ウェブ交差部の施工要領

FEM解析¹⁾および大型梁模型を使用した静的載荷試験・疲労試験結果¹⁾より、スカラップの形状を決定した。

(5) 非破壊検査要領

非破壊検査としては、放射線透過試験、超音波探傷試験等が考えられるがどちらも一長一短がある。しかし、フランジ材が極厚板（MAX $t=75\text{mm}$ ）であることと、省力化を考慮した結果、自動超音波探傷を採用することとした。現時点では、自動超音波探傷にも、検出能力および機器の性質に問題があるが、解決策として欠陥の判定は手探傷で行い、第三者機関による抜き取り検査を行うこととした。

6. 工場製作

本橋では前述のようにコスト低減を図るため、

- ① 主桁の現場継手は全断面現場溶接継手
- ② 仮組立を省略し、部材確認に替えるために部材確認検査で部材の精度の確認
- ③ 従来の重防食塗装に替えて薄膜重防食塗装で塗りまで工場で行う全工場塗装を採用した。

部材確認を含む製作全体の流れは図10のとおりである。

(1) 部材確認検査

仮組立を省略して部材確認に替えるために、部材確認検査で部材精度の確認を下記の要領で行った。

- ① 部材計測による単品部材精度の確認（図11参照）
- ② 部材組立による全体形状の確認および後加工による調整（図12参照）

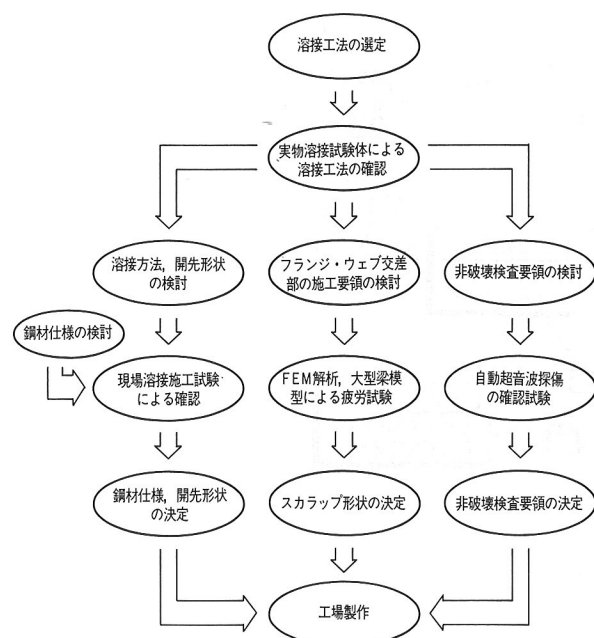


図8 溶接工法の選定フロー

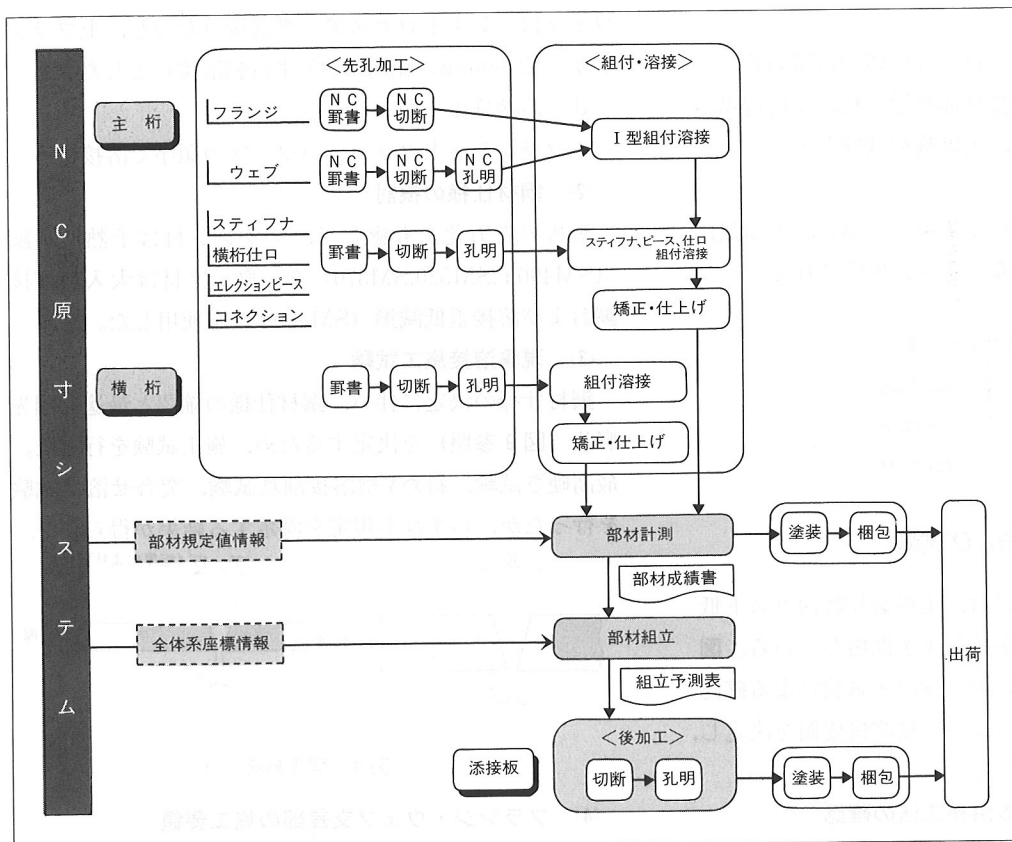


図10 部材製作フロー

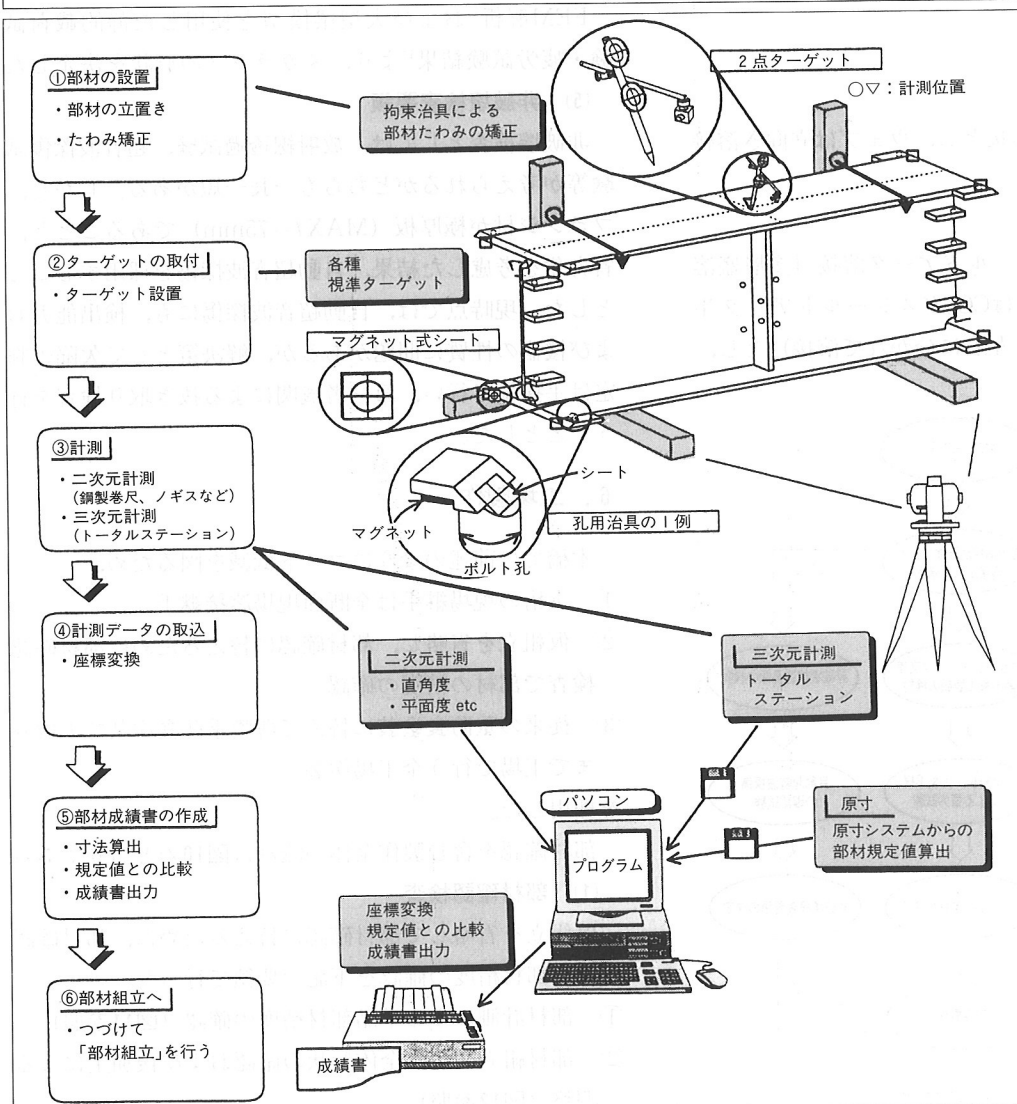


図11 部材計測フロー

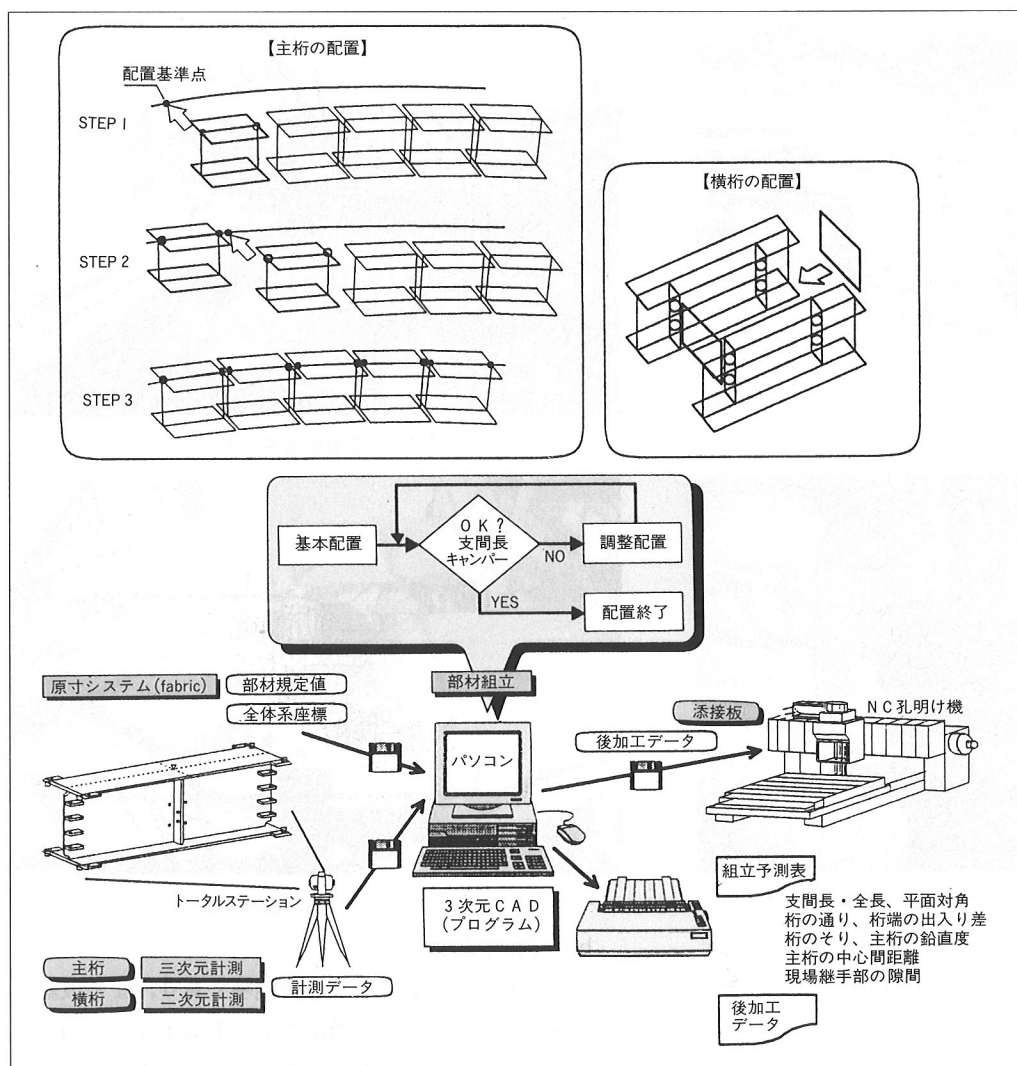


図12 部材組立フロー

(2) 薄膜重防食塗装仕様

表 7 薄膜重防食塗装仕様

①一般外面

工 程	塗料または素地調整程度	標準 使用量 (g/m ²)	標準 膜 厚 (μ)
前処理	素地調整	ブラスト処理	—
	プライマー	新無機ジンクプライマー	スプレー200
工場塗装	2次素地調整	溶接部およびプライマー損傷部 は製品ブラスト 活膜部はスリープブラスト	—
	下塗第1層	有機ジンクリッチペイントp	スプレー700
	下塗第2層	変性エポキシ樹脂塗料(下塗)	スプレー300
	上 塗	シリコン変性アクリル樹脂塗料(上塗)	スプレー140

合計膜厚160μ

②一般外面増し塗り部

一般外面の下塗と上塗の間に、下塗を1層追加する。

7. 現場施工

(1) 地組立部材計測

架設は主桁を地組立溶接した後に行った。その際、キャンバーおよび桁の通りの調整には、工場における部材確認時と同様にマンモスを使用した(図13参照)。従来のレベル、トランシットによる桁調整と比較すると、マンモスではキャンバーおよび通りを同時に計測すること

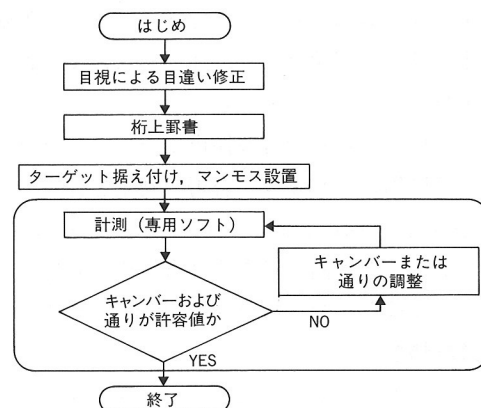


図13 桁調整の作業手順

が可能であり、またパソコンを併用することによって調整量も瞬時に把握できるため、桁調整に要する時間を短縮することができた。

(2) 現場溶接

現場溶接作業は、環境(アーク光)・天候・安全性等の問題から、写真1のような鋼製溶接ケーシングを製作した。そのため、ほぼ工程どおりに溶接作業を行うことができた。今回は溶接の省力化を目的とし、上フランジに多層盛溶接ロボット(写真2)、ウェブにエレクトロ

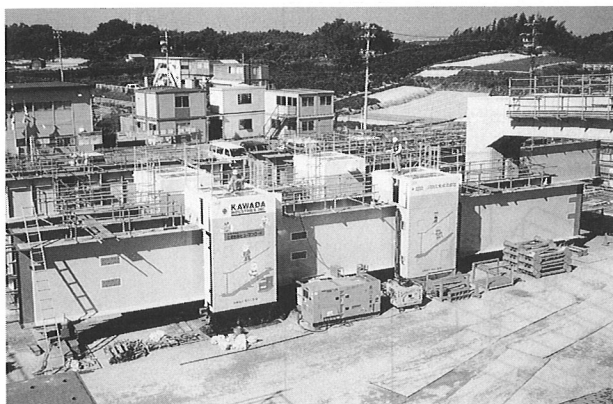


写真1 鋼製溶接ケーシング

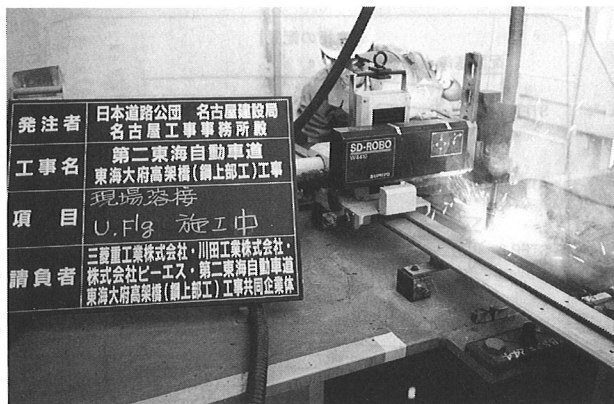


写真2 多層盛溶接ロボット



写真3 エレクトロガスアーク溶接

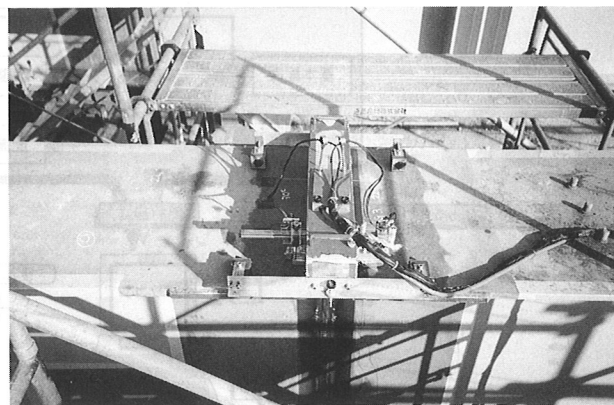


写真4 自動超音波探傷

ガスアーク溶接(写真3)を採用したが、溶接方法選定時よりも板厚が薄くなったために、当初期待していたほどの省力化の効果は得られなかった。しかし、上下フランジの開先角度を従来よりも狭い 30° とすることによって、施工時間を短縮することができた。また、欠陥の発生等の施工性にも問題はなく、開先形状による省力化の効果は十分に得られたと考える。

溶接部の検査は自動超音波探傷でキズの検出を行い、手動超音波探傷によりキズの可否の判定を行った(写真4)。自動超音波探傷装置の現状の検出能力、および機器のハンドリングの面ではあまり省力化の効果は得られなかった。今後さらなる機器性能の向上が必要と考える。

(3) 架設精度

本橋は11径間連続桁を含む全長1 kmにわたる橋梁であり、特に11径間連続桁は約500mと非常に長いので、架設精度については施工前より様々な対策を講じた。

特に主桁の架設は橋梁中央部より両側へ振り分けて施工することにより誤差の累積を小さくした。

a) 支承据付精度

支承の据付誤差の調整はアンカーボルトの箱抜き孔のみを利用して行った。すなわち、下部工のアンカーボルト箱抜きを測量した後、その誤差を支承製作に反映することによって調整量を確保した。その結果として、支承の据付調整を容易に行うことができ、また所定の精度も確保できた。

b) 主桁地組立精度

本橋は主桁添接部構造が溶接継手であり、また仮組立省略桁であることから、通常のボルト継手に見られるようなパイロットホールがないため、それに代わるものとして溶接時主桁固定治具(ストロングバック)の第一孔を利用した。その結果、良好なルートギャップを得ることができ、またキャンバーおよび桁の通りもドリフトピンを打った状態で概ね規定値内に調整することができた。

c) 主桁架設精度

地組立桁の精度が高かったこともあり、架設後の桁の精度は、通常仮組立された桁と同等のものが得られた。溶接部の収缩量および部材長の要因から11径間連続桁では橋長において多少の誤差が生じたが、支障をきたすものではなかった。今後の多径間連続桁においては、調整部材の採用も誤差吸収法のひとつとして考えられる。

謝辞：最後に、本工事を行うにあたり、多大なるご指導を賜った日本道路公団名古屋建設局、名古屋工務事務所の皆様、東京工業大学・三木千壽教授ならびにJV構成会社の皆様に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 町田・勝俣・川瀬・慶・吉家・岩崎：鋼少数主桁橋の現場溶接継手部に用いられるスカラップ構造の疲労特性，川田技報，Vol. 16，1997。