

技術ノート

東京湾横断道路橋梁上部工V工事の設計・施工

Design, Fabrication and Erection of TRANS TOKYO BAY Bridge Area No.5

岩崎 祐次*
Yuji IWASAKI高田 栄一**
Eiichi TAKATA白石 文伸***
Fuminobu SHIRAISHI米山 徹****
Toru YOMEYAMA福岡 聡*****
Satoshi FUKUOKA

TRANS TOKYO BAY HIGHWAY, which is under construction and to be connected from Kawasaki City to Kisarazu City, consists of Tunnel Portion of about 10km by the side of Kawasaki City and Bridge Portion of about 5km by the other side.

Bridge Portion is divided into 6 areas, and Area No.5 Bridge is the 10-spanned continuous steel box girder bridge with steel deck and its length reaches to 800m.

This report describes several remarkable points as mentioned below for the above captioned Area No.5 Bridge;

- 1) Design of rubber bearings and diaphragm.
- 2) Erection method using the specially designed barge.

Key words : Trans Tokyo Bay Highway, rubber bearing, diaphragm, erection using barge

1. はじめに

東京湾横断道路は、川崎市と木更津市を結ぶ全長15.1 kmの自動車専用道路である。そのうち川崎市側約10 kmが海底トンネル、木更津市側約5 kmが橋梁として計画され、

その接続部とトンネル中央部に人工島が設けられている(図-1 参照)。

橋梁部は、「1ボックス・3セル」の鋼床版箱桁形式で、走行性と耐震安全性を高めるために、「フレキシブル橋脚またはゴム支承を利用した水平力分散方式」による

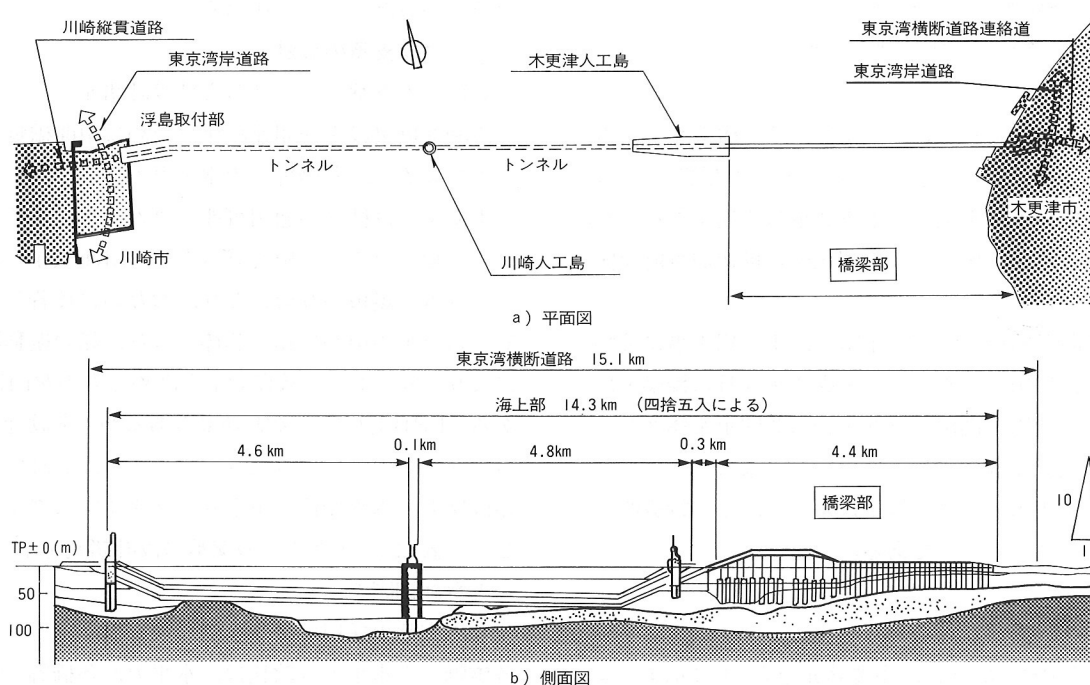


図-1 東京湾横断道路概要図

*川田工業(株)技術本部設計二課課長 **川田工業(株)工事本部橋梁工事部工事一課工事長 ***川田工業(株)工事本部橋梁工事部工事一課係長

****川田工業(株)生産事業部四国工場橋梁部橋梁技術課係長 *****川田工業(株)生産事業部四国工場橋梁部橋梁技術課

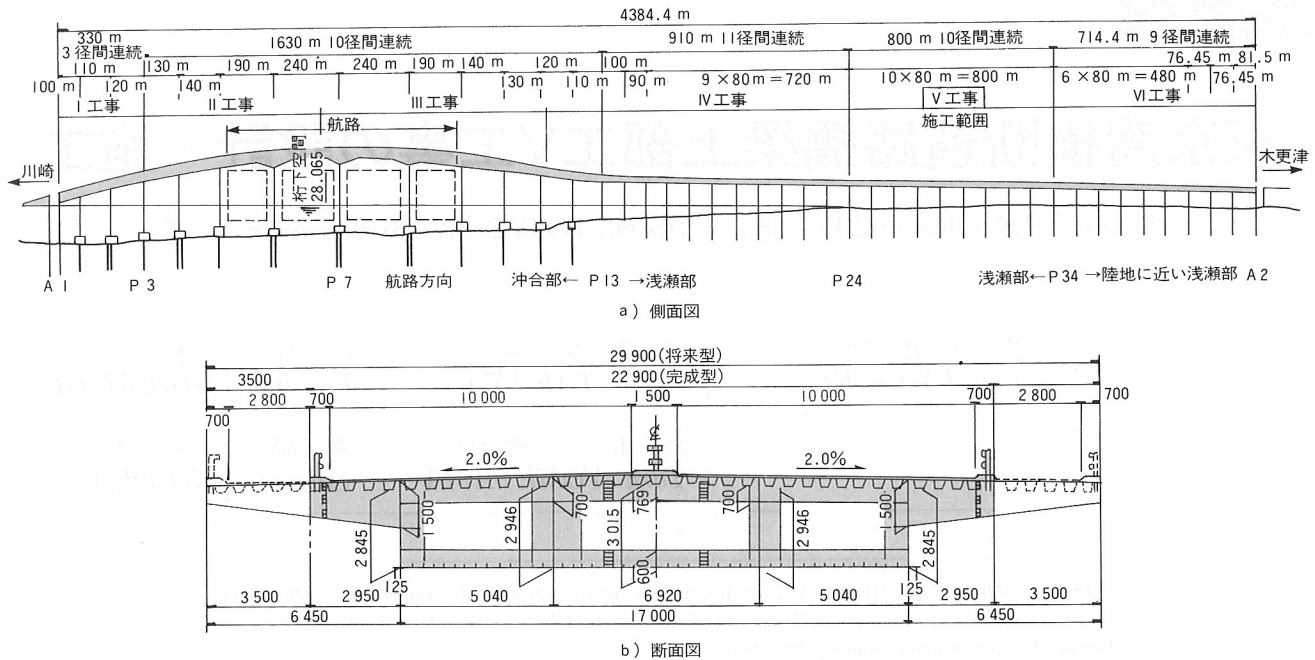


図-2 一般図

表-1 主要諸元

路線名	一般国道409号
道路規格	第1種第2級 (設計速度80 km/h)
橋 格	一等橋 (TL-20, TT-43)
形 式	10径間連続鋼床版箱桁 (1ボックス3セル)
支間割	78.9 m + 8 @ 80.8 m + 78.9 m
幅 員	完成型 22.9 m (上下各2車線) 将来型 29.9 m (上下各3車線)
支 承	端支点: 支承板支承, 中間支点: ゴム支承
主要鋼材	SM520, SM490Y, S S 400
鋼 重	主構造 7 979 t, 付属物 1 446 t

多径間連続化が図られている。また、その構造や施工方法により、「沖合部、浅瀬部、陸地に近い浅瀬部」の3つに大別されている。本工事は上下2車線で施工されるが、将来の交通量増加に備えて3車線化への拡幅が可能な構造となっている。

東京湾横断道路橋梁上部工工事は、I～VI工事に分割されており、川田工業(株)では、平成4年5月に橋梁上部工V工事を、川田・高田・三井・神鋼共同企業体として受注し、平成6年6月に最終ブロックの架設を終了した。

本文は、本工事の設計・施工において、その特徴的なものについて述べるものである。

2. 工事概要

本橋の一般図を図-2に、主要諸元を表-1に示す。また、本橋における構造上、施工上の特徴を以下に示す。

- ① 多径間連続化のためゴム支承を採用している。
- ② 箱桁は偏平多室箱桁で、各セルにはTTB, NTT, 東

京電力のケーブルと検査路が配置されることにより、各ダイヤフラムは大きな開口部を有している。

- ③ 架設位置はフローティングクレーン (以下FC) の進入が不可能な浅瀬であるため、架設工法としてはジャッキを用いた台船による大ブロック一括架設を採用している。

3. 設計

ここでは、本橋梁の特徴であるゴム支承およびダイヤフラムの設計について述べる。

(1) ゴム支承の設計

a) ゴム支承のタイプおよび設計諸元

浅瀬部橋梁は多径間連続化のために中間橋脚上にゴム支承を設置し、各橋脚への水平力の分散を図っている。

本橋梁では種々の適用可能なゴム支承のタイプのうちから、鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB支承) を採用した。ゴムと鋼板が互層になり、お互いに接着している積層ゴム支承の中心に鉛の芯棒を入れ、鉛の振動減衰機能により、エネルギー減衰効果を高めたものがLRB支承である。LRB支承には免震効果もあるが、本設計では水平力分散支承としてのみ設計した。また、設計に際しては鉛直反力・水平変位の値より、2タイプにグルーピングした。表-2に2タイプの支承の設計諸元を示し、図-3に支承詳細図を示す。

ゴム支承の採用により本橋の固有周期は2.05秒、また各橋脚への水平力分散比は、水平力が各橋脚に均等に分散されたとした平均値に対して、+7%～-2%の範囲となった。

b) ゴム支承の移動制限装置

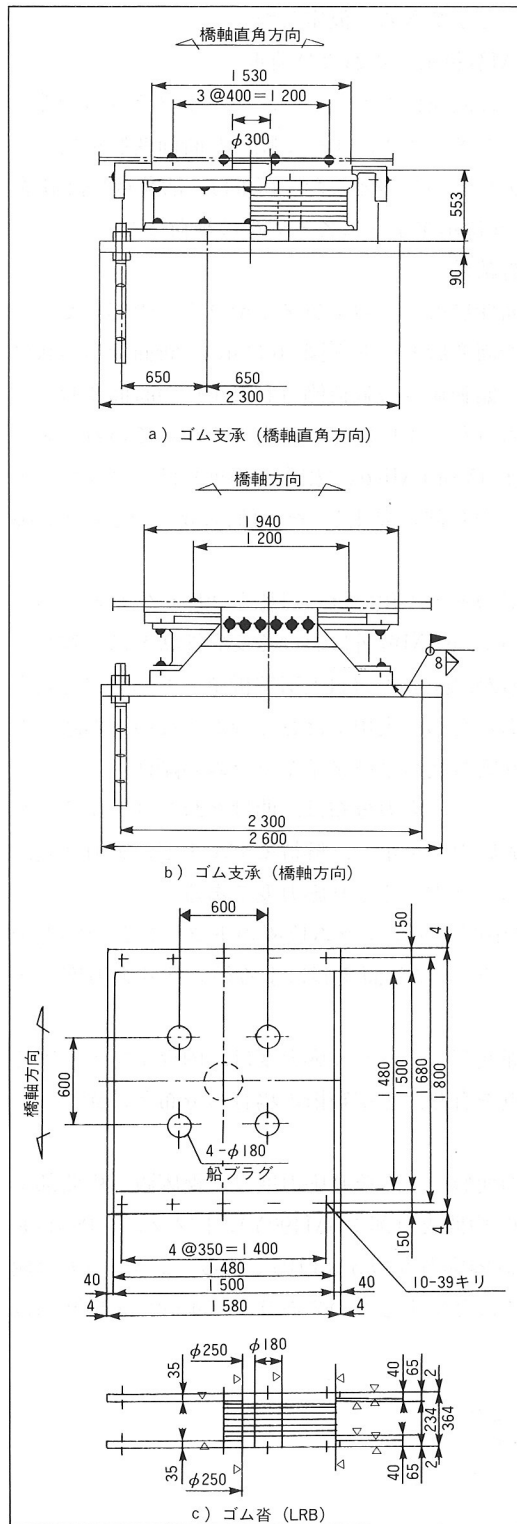


図-3 ゴム支承の設計諸元一覧

橋軸方向の移動制限装置設計のための移動量としては次のうち大きい方とした。

- ① 常時 ($\pm 35^{\circ}\text{C}$ の温度変化による変位)
- ② 地震時 ($\pm 15^{\circ}\text{C}$ の温度変化による変位+地震力による変位)
- c) 防錆設計
ゴム支承には次に示すような防錆処理を施した。
- ① ゴム支承本体の外部鋼板: ゴム被覆 ($t = 4\text{ mm}$)

表-2 ゴム支承の設計諸元一覧

		支承 P25, P33	支承 P26 ~ P32
設計条件	設計反力	最大 R_{max} (tf)	1 533
		死荷重 R_d (tf)	941
	設計水平震度 k_h		0.27
	支承の水平変位	常時 δ (mm)	± 127
		地震時 u_B (mm)	± 257
支承の設計諸元	けたの回転角 (活荷重)		1/315
	平面形状 $A \times B$ (cm)	$\square 155 \times 155$	
	ゴム厚 $\Sigma t = n \times t_e$ (mm)	$6 \times 33 = 198$	
支承の静的特性	鉛プラグ $n - \phi$ (mm)		$4 - \phi 190$
	ゴムのせん断弾性係数 G_0 (kgf/cm ²)		8.0
	圧縮剛性 K_V (tf/mm)		723.2
橋脚の水平剛性	ゴムの水平剛性 K_R (tf/m)		900.0
	橋脚の水平剛性 K_p (tf/m)		23 800
	支承の等価剛性 K_B (tf/m)		2 192
支承の許容値	ゴムの支圧応力度		$\sigma_{ba} = 80\text{ kgf/cm}^2$
	圧縮変位	$\Delta C \geq \Delta R$ ΔC : 鉛直荷重によるゴムの圧縮変位 ΔR : けたの回転によるゴムの鉛直変位	
		水平変位 (常時)	
	水平変位 (地震時)		ゴムの総厚の150%以下

表-3 ゴム支承の性能検査

試験	圧縮試験	せん断試験	
条 件	$R_d \sim R_{max}$ 間を3回加力	死荷重下 $\pm 150\%$ せん断 20回加振	全反力下 $\pm 70\%$ せん断 100回加振*
検査数量	全数	全数	各タイプにつき1体
判定項目	圧縮ばね定数	せん断ばね定数	外観
判定基準	1回目と3回目のばね定数の差が $\pm 15\%$ 以内	1波目~10波目の等価水平ばね定数の差が $\pm 30\%$ 以内、かつ4波目~10波目の等価水平ばね定数の平均値が設計値の $\pm 15\%$ 以内	外観上異常なきこと

※20波連続加振×5サイクル (各加振の間は20分間隔とする)

② 上沓, 下沓: 亜鉛メッキ+塗装仕様

塗装仕様:

- 第1層 エポキシ樹脂プライマー (20 μ)
- 第2層 変性エポキシ樹脂塗料 (60 μ)
- 第3層 フッ素樹脂塗料中塗 (30 μ)
- 第4層 フッ素樹脂塗料 (25 μ)
- 合 計 135 μ

d) ゴム支承の性能検査

本橋において実施したゴム支承の性能検査の内容について表-3に示す。

(2) ダイアフラムの設計

ダイアフラムの設計は鋼道路橋設計便覧¹⁾あるいは小松・長井²⁾による設計法などを参考に行われてきている

ようである。しかし、これらは1室箱桁に対するもので、本橋のような偏平多室箱桁のラーメン形式ダイヤフラム(開口率 $\rho=0.6\sim0.7$)に対する実用的な設計法を示している文献はない。

a) 本橋の設計

本設計では次の条件でダイヤフラムの設計を行った。

① 図-4に示すように、ラーメンフレームがずりモーメントに対して全室のダイヤフラムで抵抗するようにモデル化し、ダイヤフラムの応力照査を行った。

② 断面変形によるそり応力度は無視できるとした。

そこで、上記のモデル化の妥当性と、本ダイヤフラムが断面変形によるそり応力度を無視できる程度の剛性を有しているかを確認するため、立体FEM解析を実施した。なお、道路橋示方書³⁾(昭和55年)の式(8.2.3)によると $\kappa=21\sim23$ となり、そりねじりによる応力度は

無視することができると仮定した。

b) FEM解析モデルおよび荷重

解析は2径間連続モデルとし、ダイヤフラムの剛性を実剛度としたモデル1、すべて剛とし断面変形を起こさせないモデル2の2つとした。荷重は、活荷重(等価L荷重)を図-5に示すように各モデルに載荷した。

c) 解析結果

イ) 断面変形モードおよびダイヤフラムの応力度

変位と断面変形モードを図-6に示す。断面変形形状については、偏載荷重の載荷側(右セル)の断面変形量が無載荷側の(左セル)に比べて大きくなっている。また最大応力度(Von Misesの相当応力度)は、ブラケット下フランジの基部に発生し、その値は、 $\sigma_{eq}=1\,259\text{ kg/cm}^2$ であった。

本設計でのモデル化では、対称な変形が生じるという意味において、FEM解析における変形性状とは一致しない点もあるが、応力的にはFEM解析値もすべて許容応力度以下であるため、実用上はさしつかえないと判断した。

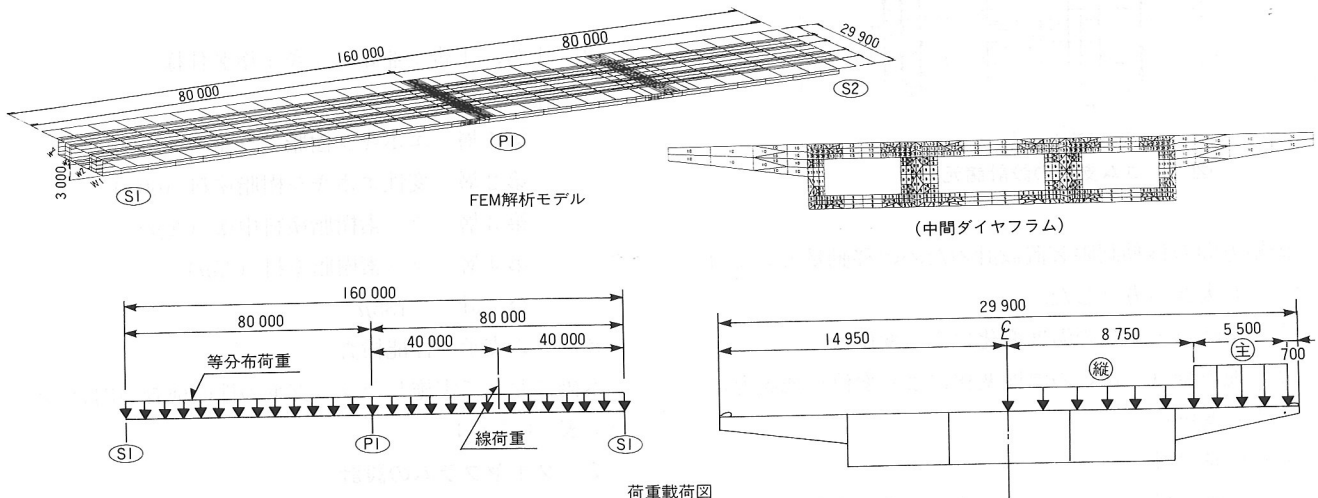
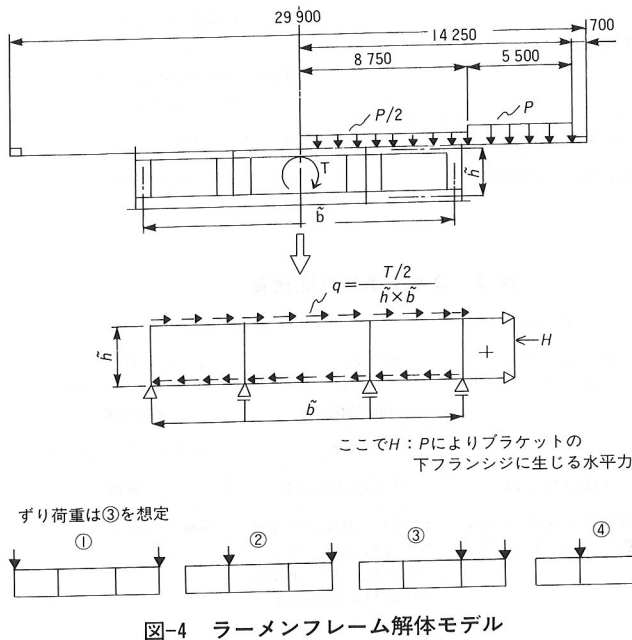
ロ) そり応力度およびダイヤフラムの剛性

解析モデル2の応力分布は、曲げとねじりによるそり応力の合成応力度を示し、解析モデル1との応力度差が断面変形により生じるそり応力度である。

図-7に中間ダイヤフラム位置の下フランジの応力分布を示し、表-4に断面変形による最大そり応力度を示す。

① 断面変形によるそり応力度は、内ウェブの位置で変曲点を有し、1室箱桁の場合の分布とは異なっている。

② 断面変形によるそり応力度は、鋼床版(中間部:SS400, 中間支点部:SM490Y), 下フランジ(SM490Y)の許容応力度の5%以内である。この応力度は偏載荷時に発生するものであり、基本的に主桁断面は



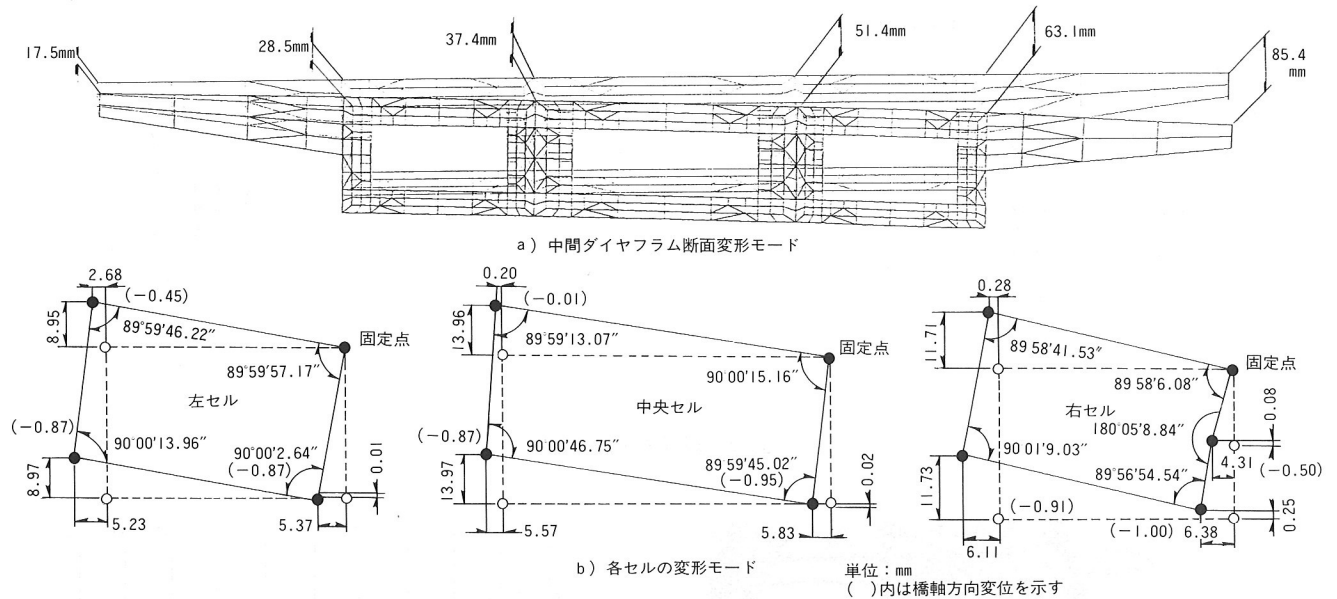


図-6 断面変形モード

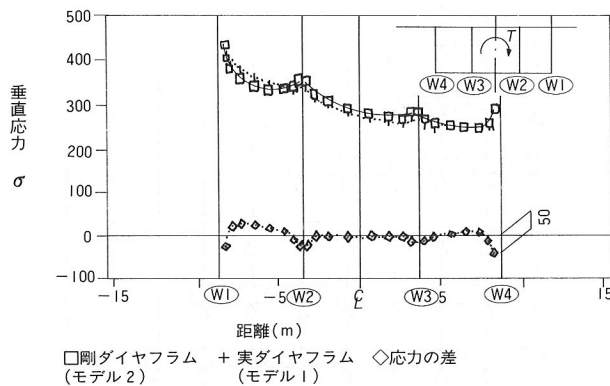


図-7 下フランジ応力度(中間ダイヤフラム位置)

表-4 断面変形による最大そり応力度 (kgf/cm²)

	鋼床版	下フランジ
中間ダイヤフラム	40	50
中間支点ダイヤフラム	80	100

活荷重満載時で決まっていることを考えれば、付加応力として考慮する必要はない。

以上のことより、本橋のダイヤフラムは開口率の大きいラーメン形式であるが、断面変形に対しては妥当な剛性を有していると考えられる。

4. 施工

(1) 工場製作

本橋は1ボックス3セル構造の鋼床版箱桁で、5つのブロックをヤードでつなぎ1つの大ブロックとして浜出し、出荷される。川田の製作担当分としてはこの大ブロック3基(B25, B29, B33)であった。

また、景観重視ということもあり、ヤード継手はすべて溶接継手(内ウェブを除く)となっている。

a) 製作上の問題点

製作上の問題点としては、下記の事項があった。

- ① ブロックは総幅22.9 m, 箱桁幅17 mあり、設計に反映するようなブロック割に決定する必要がある。
- ② 大ブロックのブロック長の要求精度が厳しく、いかにこの精度を保証するか検討する必要がある。

b) 対策

- ① ブロック割決定のためには、製作手順、場所、精度などを加味し、検討する必要がある。

小さなブロックにすると製作は容易で製作場所の制限も受けにくくなる反面、ヤードでの地組立作業が煩雑となり、また精度の確保も難しくなる。そこで、図-8に示すように左右の外セルは分割せず1体とし、中セルに分割線を2カ所設けた。

また、張出し鋼床版を分割するとブラケットをヤード溶接で取り付けようになり作業量が増えるため、多少大きくなるが左右セルと一体とした。

最終的に、左右セルは幅9.5 m, 桁高3 mの大きさとなった。工場建屋内ではクレーン下の余裕が12 m

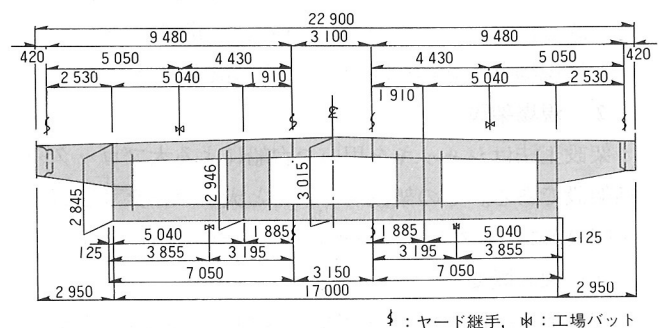


図-8 ブロックの分割

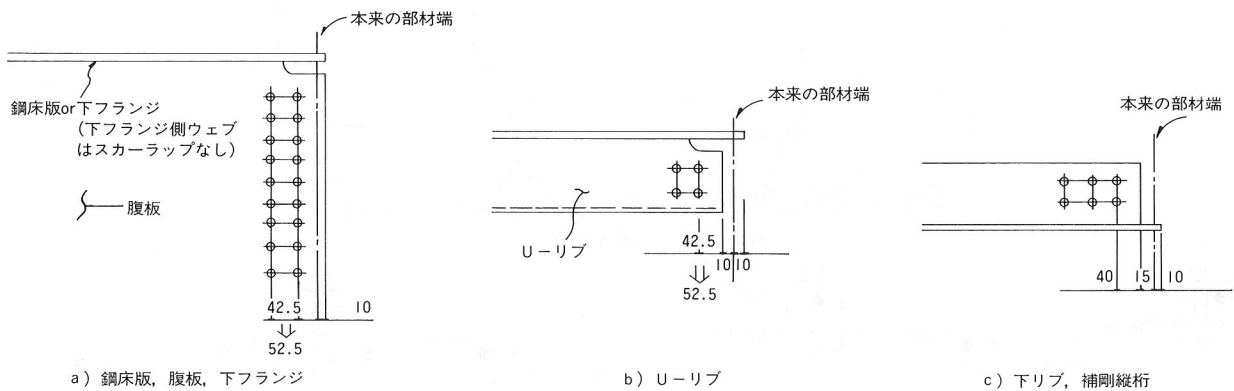


図-9 現場継手詳細図



写真-1 ブロックの反転

であり、反転が行えないため、反転時は桁を一旦ヤードへ搬出し、50 t吊りヤードクレーン相吊りで反転した。

また、写真-1のように反転作業が大がかりとなるため、極力反転回数を減らすことを考え溶接姿勢も立向きを採用した。

- ② 大ブロックの全長の許容値は、80 mに対し ± 9 mmあり、道路橋示方書³⁾の規定値の倍の精度である。

単品ブロックの許容値は、部材長16 mに対し ± 4 mmであり、誤差伝播の法則からみると8.9 mmあり、かなりの確率で ± 9 mmを満足するといえる。しかしヤード溶接の収縮のエラーがこれに加わるため、通常の製作方法では ± 9 mmに収めることは困難であると判断し、ヤード溶接後に全長を決定する後決め方式を採用した。このため、後決め切断しやすいように現場継手詳細を図-9のように決定した。

(2) 現場架設

架設工法はジャッキを用いた台船による大ブロック一括架設である。その架設ステップと大ブロック寸法諸元を図-10に、1ステップの架設フローを図-11に示す。

a) 架設概要

架設地点はFCの進入不可能な浅瀬であるため、東京湾内において大ブロックを吃水の小さい架設台船に積み替

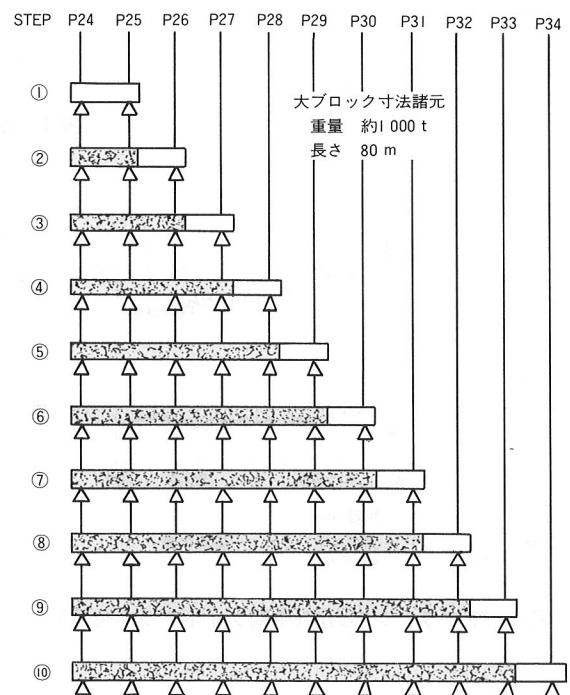


図-10 架設工程

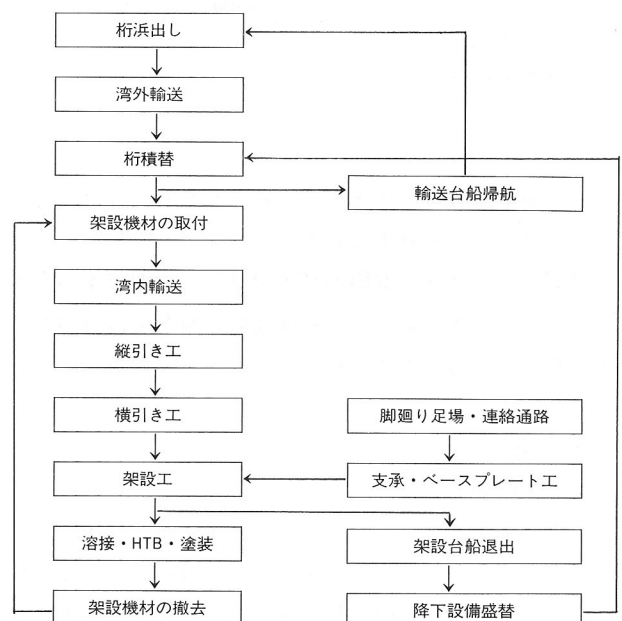


図-11 架設フローチャート

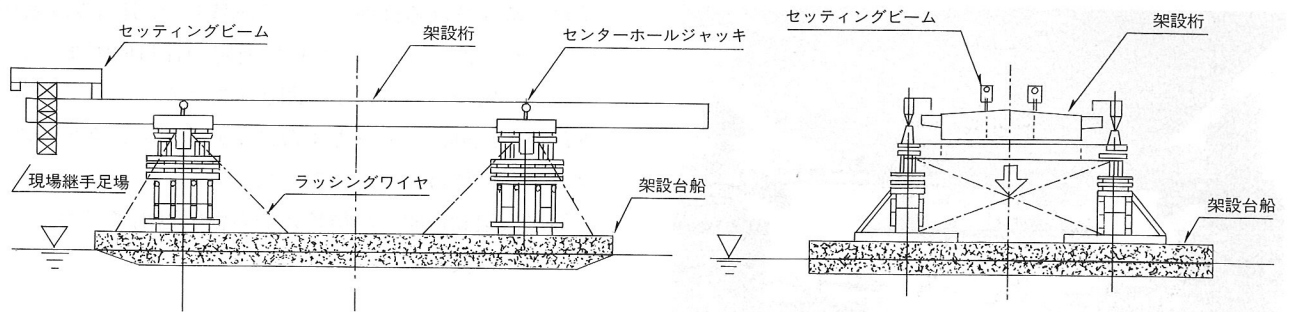


図-12 架設台船概要図

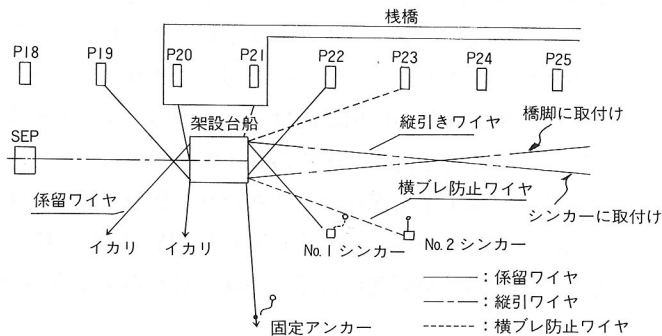


図-13 縦引き準備状況図

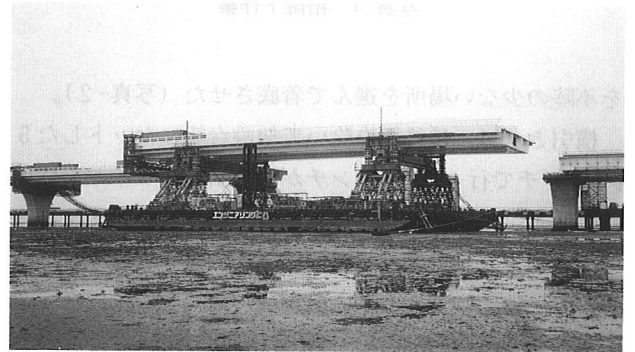


写真-2 架設台船の着底

え曳航した。架設位置は、さらに曳船による進入が不可能であるため、ウインチ設備により架設台船を進入させて、センターホールジャッキにて桁を降下し架設した。これらの作業は潮の干満に制限を受けるもので、架設時期により条件の変化するなか、10工程の作業を繰り返した。

b) 架設台船

架設台船は、工法および現地条件などから桁載荷時吃水1.0 m、寸法60 m×48 m×3.5 mとして計画した。しかし、既存の台船として存在しないので、新造案あるいは既存台船の結合案を比較検討し、経済性および工程面より結合案を採用した。

同構造の3 000t台船(60 m×20 m×3.5 m) 2台を連結材(60 m×8 m×3.5 m、製作)を用いて結合した。さらに架設工法による応力検討を細部にわたって行い、台船内部を補強した結果、吃水が桁載荷時1.2 mになった。

c) 桁積替および湾内輸送

輸送台船により海上輸送された大ブロックは、湾内において2 000t吊り級FCで架設台船の降下設備上に積み替えを行った。その後、架設機材として橋上クレーン(70 t、45 t)、セッティングビーム、現場添接足場を取り付けた。橋上クレーン以外は、工程に合わせ3セット製作し転用材とした。

架設地点(橋脚P24～P34)までの湾内輸送は、曳船による湾内曳航と工事区内曳航の2系統で行った。しかし

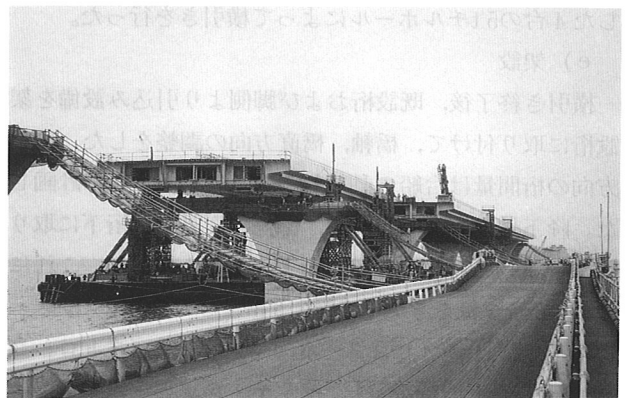


写真-3 横引き状況

曳航による進入は、橋脚P21付近(水深4 m)が限界であるため架設台船を係留し、これより先はウインチによる架設台船の縦引きおよび横引きを行い、桁を最終架設位置まで輸送した(図-12)。

d) 縦引き工および横引き工

縦引き工は、現地係留した架設台船に図-13のようにワイヤを取り付け、台船が進入できる潮位(1.2 m)を待って開始した。

クロスされた縦引ワイヤを巻き取りながら後方縦引ワイヤをゆるめ、その際、横ブレ防止ワイヤで進行方向を修正した。横ブレ防止ワイヤは縦引き180 mごとに盛替えが必要で、この盛替え等も含め縦引速度は150 m/hであった。また縦引可能時間は平均3.5 h/日であったため、必要潮位時間内に横引位置まで進入できない時は、台船

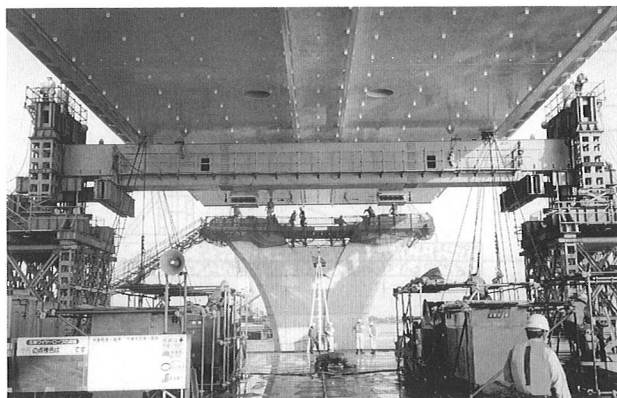


写真-4 桁降下作業

を不陸の少ない場所を選んで着底させた(写真-2)。

横引き工は、最終桁を除いて架設台船にセットした5tウインチで行った。ウインチから引出したワイヤを栈橋杭に4本、鋼製シンカーに4本取り付け、必要潮位を待って縦引き調整して、栈橋側のワイヤを巻き取り、鋼製シンカー側をゆるめながら橋脚間の最終架設位置まで進入させた(写真-3)。

最終桁は既設桁とのクリアランスの関係より、横引き時の台船の動揺を最小限にするため、栈橋と桁にセットした4台の5tチルホールによって横引きを行った。

e) 架設

横引き終了後、既設桁および脚側より引込み設備を架設桁に取り付けて、橋軸、橋直方向の調整をした。橋軸方向の桁間量は台船の動揺を考慮し100mmとして計画した。降下量は桁のたわみ量、潮位の変動量、桁下に取り付く付属物との関係より、計算上2.2mとなり、これに0.8mの余裕量を考慮し合計3.0mとして計画した。

桁降下は、600tセンターホールジャッキ(ストローク300mm)4台を同時降下し、セッティングビーム受台側とゴム沓側に荷重が約1/2 載荷された時点で、台船上の桁受け架台と桁の連結ボルトを撤去した。桁と桁受け架台の縁が切れるまでジャッキ4台の同時降下を続け、その後、台船退出時のクリアランス確保まで前後それぞれ単独降下した(写真-4)。

仕口合せについては、降下中にセッティングビームが

受台に載荷される直前約3～5cm残しで、引込み設備(50tセンターホールジャッキ)で所定の仕口間隔まで引き寄せて、桁のたわみによる開きを抑えた。全荷重が載荷された後、200tジャッキ4台にてセッティングビームに反力をかけ仕口高さを調整した。

最後に架設台船への積替えから台船退出までの1サイクルの工程表を表-5に示す。

5. おわりに

本文中で述べてきたようにさまざまな課題を克服し、平成6年6月、無事に全ブロックの架設を完了することができた。我々にとってこのようなビッグプロジェクトに参加できたことは、たいへんな喜びであります。

今後、平成9年の供用に向けて、その他の工事が無事に完成することを祈る次第であります。

最後に、本工事を遂行するにあたりご指導を頂いた東京湾横断道路㈱の各位、橋梁上部工Ⅰ～Ⅳ、Ⅵ工事Ⅳの方々をはじめ、関係各位に深く感謝の意を表する次第であります。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，丸善，1980-8.
- 2) 小松定夫・長井正嗣：中間ダイヤフラムの新しい設計法に関する研究，土木学会論文報告集，pp.51～62，1982-2.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編，丸善，1990-2，1980-2.

表-5 架設サイクル工程表

作業内容	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
桁積替											
セッティングビーム、足場取付											
湾内輸送											
縦引き準備											
縦引き											
横引き、架設											
台船退出											
台船帰航											