

8 径間連続PC箱桁橋 (BY433その2工区) の設計と施工

伊東 昇^{*1}・牧田 篤弘^{*2}・真鍋 頼行^{*3}

1. まえがき

高速湾岸線は、東京湾に8の字を描く「東京湾環状道路」の一部をなす路線であり、横浜市金沢区並木から市川市高谷までの区間である。新羽田空港出入口から市川市高谷までの区間と横浜ベイブリッジの区間は開通しており、現在、新羽田空港出入口から横浜市金沢区並木までの横浜ベイブリッジを除く区間が建設中である。この高速湾岸線の鶴見区扇島内に8径間連続PC箱桁橋が計画された(写真-1参照)。

本橋は、多径間連続桁のため分割施工を採用し、完成後の温度変化等によるゆっくりした伸縮に対しては抵抗しない機能(反力分散沓)を有している。

ここでは、本橋上部工の設計・施工の概要について報告するものである。



写真-1 完成

橋梁位置を図-1に示す。

2. 工事概要

工事名：BY 433 工区 (その2) 高架橋上部構造新設工事

工事場所：神奈川県横浜市鶴見区扇島

工期：平成3年10月～平成6年6月

発注者：首都高速道路公団 神奈川建設局
鶴見航路橋工事事務所

施工者：ピーシー橋梁, 富士ピーエス, 日本鋼弦共同企業体

架設工法：固定式支保工による1径間ごとの分割施工
工事内容：8径間連続PC箱桁橋2連の実施設計および施工

図-2に全体一般図を示す。

3. 設計

3.1 設計条件

橋種：プレストレストコンクリート道路橋

構造形式：8径間連続PC箱桁橋

橋長：360.000 m

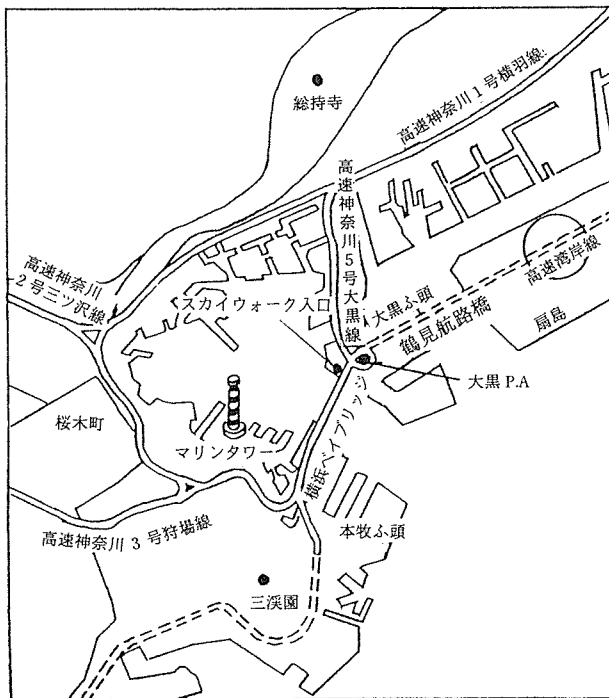


図-1 橋梁位置

*1 Noboru ITO : 首都高速道路公団 神奈川建設局鶴見航路橋工事事務所

*2 Atsuhiko MAKITA : 首都高速道路公団 保全施設部保全技術課

*3 Yoriyuki MANABE : ピーシー橋梁(株)・(株)富士ピーエス・日本鋼弦コンクリート(株)共同企業体 所長

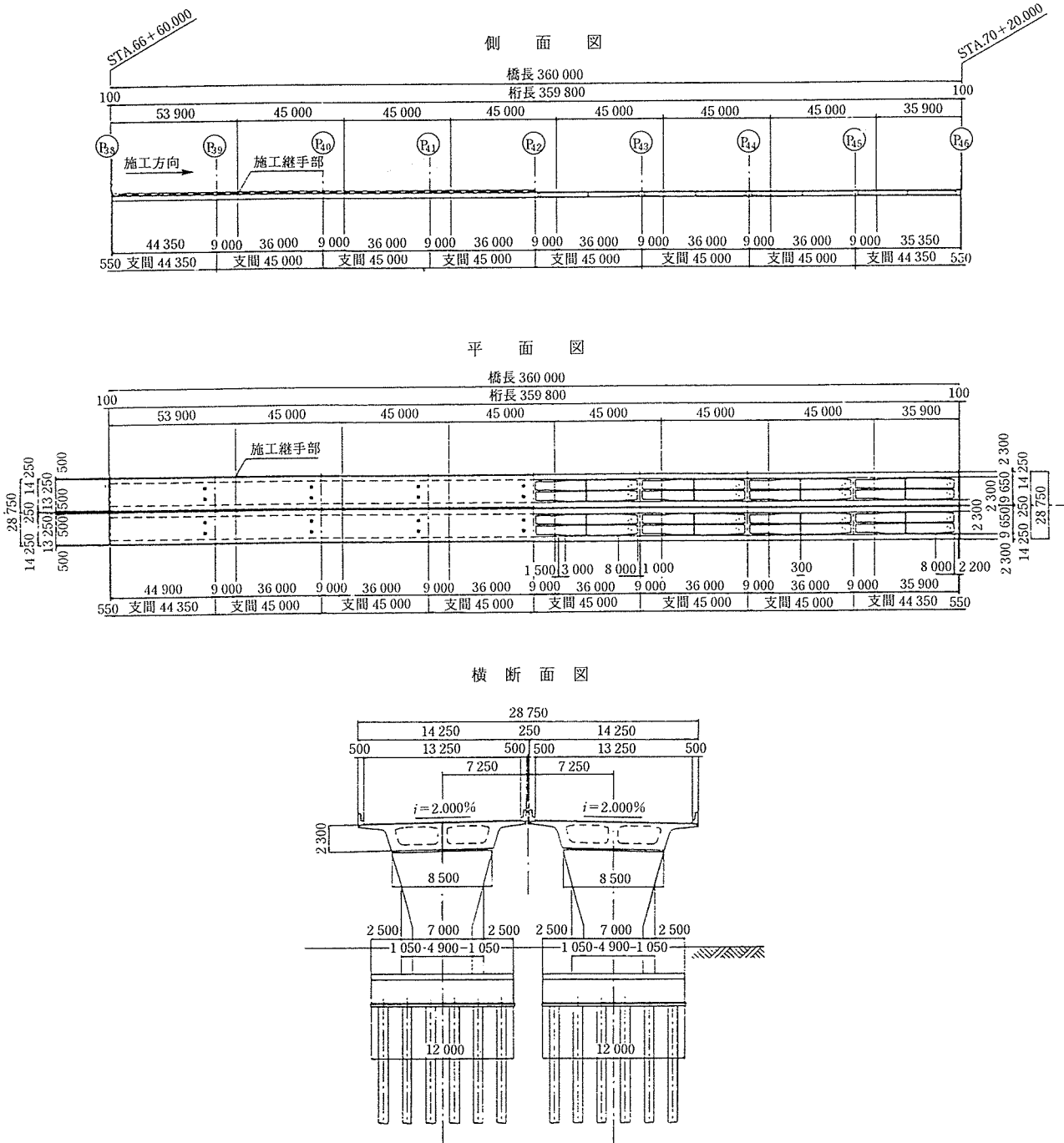


図-2 全体一般図

桁 長 : 359.800 m
 支 間 : 44.350 + 6@45.000 + 44.350 m
 有効幅員 : 13.250 m
 活 荷 重 : TL-20, TT-43
 衝撃係数 : $10/25 + l$
 設計震度 : $K_h = 0.33, K_v = 0.0$
 縦断勾配 : $i = 4.0 \sim 0.3 \%$, VCL = 120 m, $R = 3\ 240$
 m
 横断勾配 : $i = 2.0 \%$
 平面線形 : $R = 140\ 000$ m

温度差 : 5 deg
 終局荷重 : $1.3 \times$ 死荷重 + $2.5 \times$ 活荷重
 $1.0 \times$ 死荷重 + $2.5 \times$ 活荷重
 $1.7 \times$ (死荷重 + 活荷重)
 諸 数 値 : コンクリートのクリープ係数 $\phi = 2.6$
 コンクリートのヤング係数
 プレストレス導入時 $E_c' = 2.875 \times 10^5$
 kgf/cm²
 設計荷重作用時 $E_c = 3.1 \times 10^5$ kgf/cm²
 PC鋼材のヤング係数 $E_p = 20 \times 10^5$ kgf/cm²

◇工事報告◇

cm²

コンクリートの乾燥収縮度 $\varepsilon_s = 20 \times 10^{-5}$

3.2 主要材料

コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$7 469 m ³
PC 鋼材	SWPR 7 B 12 T 15.2.....	286 t
	SWPR 1 12φ7 95 t
	PC 鋼棒 φ32 10 t
鉄筋	SD 345 969 t

3.3 構造形式

本橋は、標準支間 45 m の 8 径間からなる橋長 360 m の 8 径間連続 PC 箱桁橋である。この区間は、4 % から 0.3 % の縦断勾配をもった高架部で、本橋の東京側は 3 径間連続 PC 箱桁、横浜側は 4 径間連続鋼床版橋となっている。

このため、実施設計および施工計画を進めるに当たり、

- ① 下部工事、隣接工区の詳細工程、施工順序の確認
- ② 最終径間の緊張作業空間の確保
- ③ 当該工区の施工発進方向の確認
- ④ 連続径間数の見直し

等について検討を行い、横浜側 P₃₈ から P₄₆ に向けて 1 径間ごとに支保工を転用しながら 8 回に分けての分割施工とした。分割施工における打継目張出し長は、インフレクションポイントとし、 $l=9.0 \text{ m}$ とした。

3.4 支承構造

本橋のような多径間連続桁の支承構造は、種々の形式が考えられるが、以下の代表的な形式について検討を行った。

(a) 1 脚固定方式

- ・固定橋脚と基礎工は大きくなるが温度変化、クリープ、乾燥収縮による不静定力は生じない。
- ・経済性、景観は他案に比べやや劣る。

(b) 多点固定方式

- ・固定橋脚の大きさは固定点を増すごとに小さくできるが、温度変化等により不静定力が生じる。
- ・短支間の橋梁に使用されるが、本橋のような長支間の場合、不静定力が大きくなり不向きである。

(c) ダンパー（ゴム支承）方式

- ・温度変化等による桁のゆっくりとした伸縮に対して抵抗しない機能を有しているため、多径間化した場合でもその発生応力はわずかであり、橋脚の形式も一樣にすることができる。

以上の点を考慮するとともに、全体モデル系で動的解析を行い減衰および応答値から判断して予備せん断型の反力分散沓（ゴム支承）を採用した（写真-2 参照）。

——本橋への採用理由——

- ・地層は、砂を主体の埋立土と、その下にはシルトを主



写真-2 反力分散沓

体とした軟弱な海性粘性土層、その下位に薄い砂層、さらに最深部は、砂質シルト層で構成されている。したがって、地震時水平力を分散する構造が望ましい。

- ・水平力の分散は、橋脚が高い場合、多点ヒンジや多径間ラーメン構造が考えられるが、本橋の橋脚高は 10 m 程度であり、地震力の分散と温度応力の解放を同時に満足することが困難である。

- ・走行性、維持管理、耐震性の面で上部工は、継目なしのワンピースの構造としたい。

- ・クリープ、乾燥収縮による変形は、設置時に初期変形を与えることで吸収でき、常時の変形は、ゴム沓のせん断変形で吸収、また地震時の水平力は、ゴム沓のせん断力に変換させ橋脚に直接伝達させることができるため、本橋の支承構造として合理的である。

——予備せん断変形量——

本橋は、1 径間ごとの分割施工を行ったため、沓設置時の初期変形量を計算した。施工中の不動点（仮固定点）は、P₃₉ および P₄₂ とし第 4 径間のプレストレス導入直前に仮固定を P₃₉ から P₄₂ に移動した。次に最終径間のプレストレス導入後 P₄₂ の仮固定を解放した。

図-3 に、各施工段階における沓の変形量を示す。

3.5 構造寸法

(1) 桁高

PC 連続箱桁の桁高は、従来の実績と経済性からみて、桁高/支間=1/20 が有利とされている。本橋の場合、 $h=45/20=2.25 \text{ m}$ となるが、分割施工に伴う自重による断面力の変化やクリープ移行量を検討し、 $h=2.3 \text{ m}$ を採用した。

(2) 断面形状

橋体幅が 14.25 m と比較的広く、実績等から判断して 2 室箱桁とした。箱桁断面の張出し床版長と主桁幅の関係は、一般的に張出し長 1 に対し主桁幅は、3.3~3.7 倍の範囲にあり、張出し長 2.3 m と 2.5 m について比較検討を行った。図-4 に曲げモーメント図を示す。

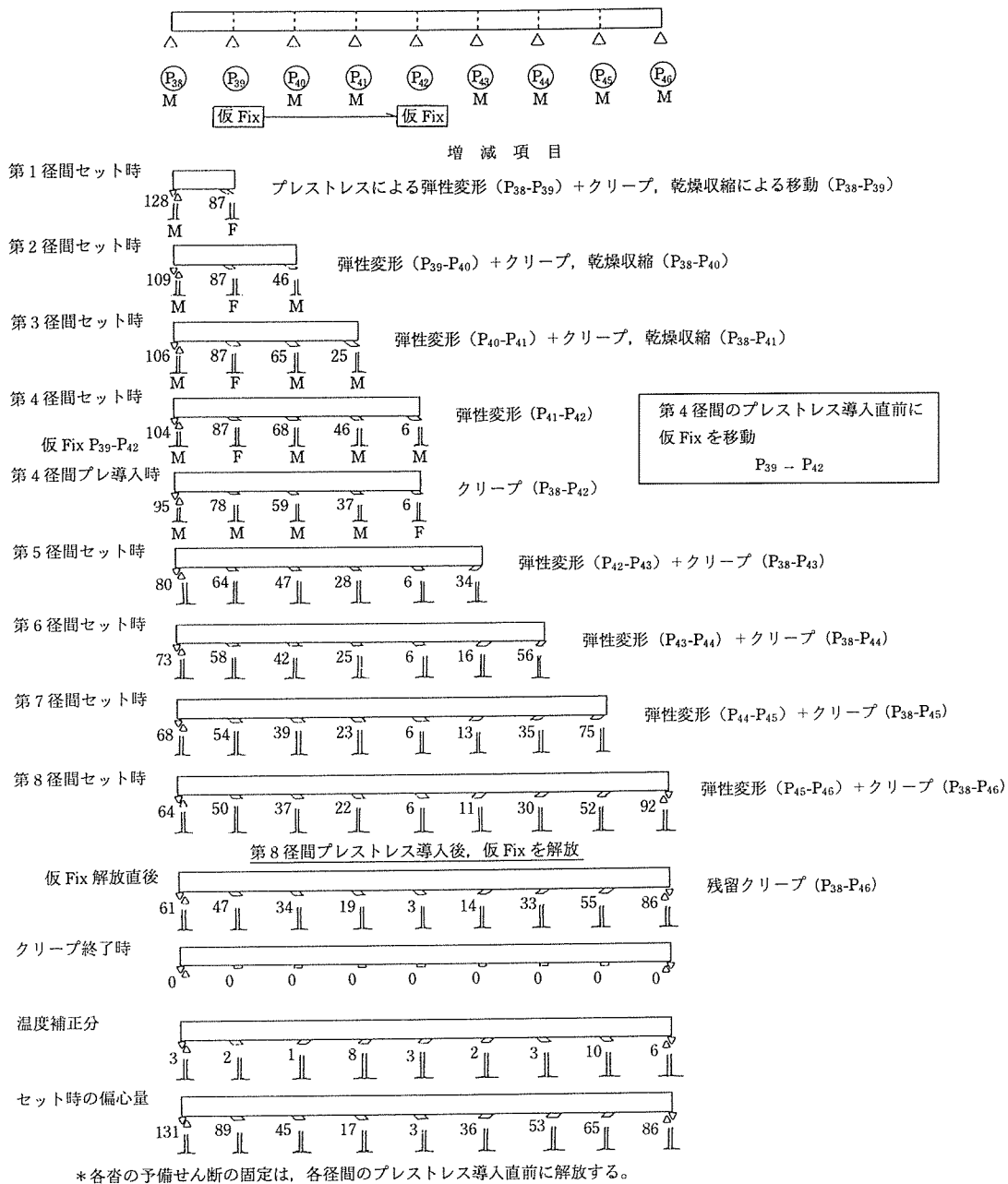


図-3 予備せん断変形量

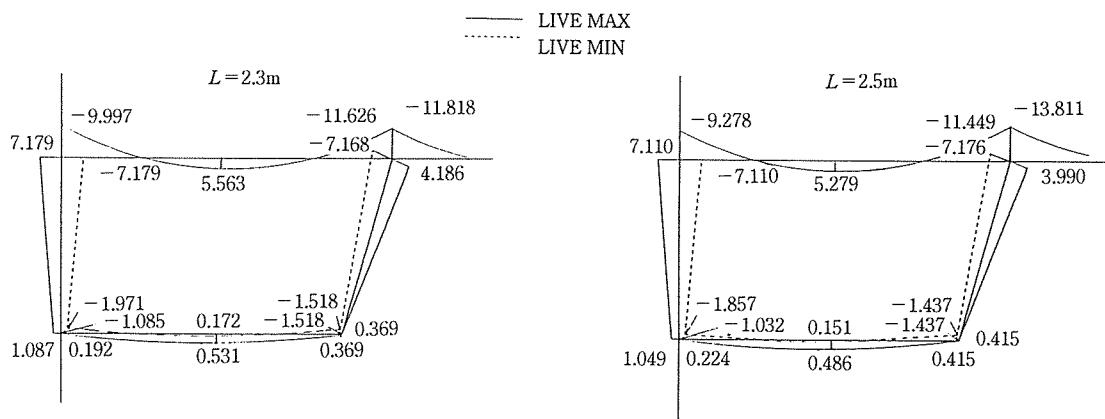


図-4 曲げモーメント

◇工事報告◇

検討の結果、張出し床版と中間床版の支点上曲げモーメントが、ほぼ同じで値も小さいこと、ウェブ必要鉄筋量も少ないことから張出し長を2.3 mとした。

ウェブ厚は、PC 鋼材の定着、鉄筋、シースの配置およびかぶりを考慮して38 cmとし、同様に上床版厚 28 cm, 下床版厚 20 cm とした。図-5 に主桁断面図を示す。

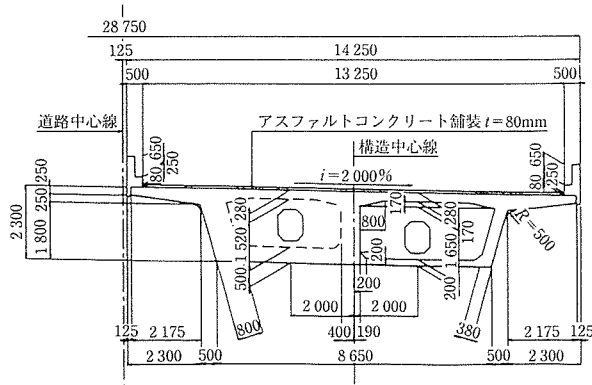


図-5 主桁断面図

3.6 構造解析

断面力（プレストレス含む）の計算は、解析モデルを1本の梁として求めた。本橋は、1径間ごとに分割して施工するため、主桁自重、地覆壁高欄荷重、およびプレストレスによる断面力は、施工順序に従い施工段階ごとに算出した。

舗装、支点沈下、温度差および活荷重による断面力は構造系完成後に生ずるものとし、8径間連続桁として計算した。

本橋は、支保工を転用しながら施工するため、構造系が変化した後では、変化する前の構造系におけるクリープ変形が拘束されるため、クリープが進行するとともに新しく不静定力が発生する。このクリープによる不静定力は、道路橋示方書Ⅲ 2.1.7により求めた。

$$\Delta F_{\phi} = (F_0 - F_1) \times (1 - e^{-\phi})$$

ここに、 ΔF_{ϕ} ：コンクリートのクリープによる断面力の変化量

F_0 ：最終構造系を一度に施工すると仮定した場合の死荷重およびプレストレスによる断面力

F_1 ：最終構造系になる前の構造における死荷重およびプレストレスによる断面力

ϕ ：最終構造系が完成した後の各部材におけるクリープ係数の平均値

分割施工の1サイクルを50日とし、緊張時材令を4日とした場合の最後クリープ係数 $\phi_{\infty} = 2.606$ とした。

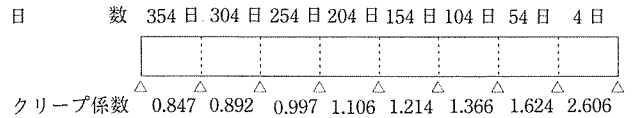


図-6 残留クリープ

構造系完成以後の各部材のクリープ係数、すなわち残留クリープを図-6に示す。

3.7 緊張用作業空間

P_{46} 橋脚上は、隣接工区との掛違い部のため PC 鋼材の緊張用作業空間を最小範囲で設け、以下の点について十分に照査、検討を行った。

- ① 断面欠損によるせん断耐力等の検討（ディーブームおよびコーベルとして）
- ② 橋軸方向に対する RC 部材としての曲げ応力度ならびにせん断応力度の検討
- ③ 施工時支点上の橋軸直角方向の検討
- ④ プレストレスの引張力に対する検討

この結果、実施工においても施工中および完成時に有害と思われるひび割れの発生は認められず、曲げ、せん断耐力とも十分であったと推察する。

図-7に緊張作業空間を示す。

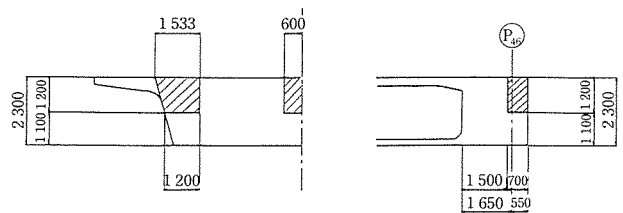


図-7 緊張作業空間

4. 施 工

4.1 施工概要

当工区は、高速湾岸線（4期）の横浜市鶴見区扇島内、約360 mで行われる高架橋上部構造新設工事である。

施工は、枠組支保工による1径間ごとの分割施工とした。本橋の東京側は3径間連続 PC 箱桁が、横浜側は4径間連続鋼床版橋がすでに発注されており、これらの工区との競合が考えられるため、下部工事および隣接上部工事の実工程、施工手順等について事前に十分な検討を行った。

この結果、施工は P_{38} から P_{46} に向けて行うこととし、第1径間の施工は、鋼橋の架設時期に相当するため、デッドアンカーによる片引き緊張とした。第2径間以降、施工目地位置でのケーブル継手方法はカップラー継手をを用い、同様に片引き緊張を行った。

4.2 架設工法の検討

当工区は、高架橋位置での交差条件として特に制約を受けることがなく、橋脚高も 10.080 m~13.630 m とこの種の施工条件としては比較的良好である。また、施工中の占有幅 30.75 m とその両側に 8.0 m の工事用道路が確保できたため枠組支保工による分割施工を採用した。この方法は、次の点で合理的である。

- ① 型枠、支保工の転用効率がよい。
- ② 一括施工に比べ緊張力のロスによる低減が小さく、ケーブル本数を少なくできる。
- ③ 各径間における応力分布は、ほぼ等しい。
- ④ 繰返し作業のため施工性、品質面で優れる。

4.3 施工順序と工事工程

施工は、下部工の完成状況から上り線をまず 3 径間先行させ、その後上下線の併行作業を行った。

図-8 に施工順序を、図-9 に工事工程表を示す。

また、写真-3, 4, 5, 6, 7, 8 に施工概要を示す。

4.4 コンクリート工

コンクリートの打設は、下床版・梁部と上床版に分けて 2 回打設とした。

下床版および梁部コンクリートの打設は、ポンプ車 2 台を使用した。

床版部は、約 2 m 間隔でトンボ筋を立てビニールテープで高さ表示を行い所定の厚さを確保した。

梁部には 1 ウェブ当たり 10 本の PC 鋼材が配置されており、コンクリートの締固めには十分注意を払うとともに、シースの破損、移動等がないよう慎重に施工を

行った。

また、上床版との新旧打継目部については遅延剤を散布し、レイダンスを除去した。

上床版コンクリート打設にはポンプ車 1 台を使用し、コンクリートがポンプ車から排出されると直ちにパイプレーターにより締固めを行った。締固め後、スコップ等により荒均しをし、金ゴテおよびホーキ目仕上げとした。

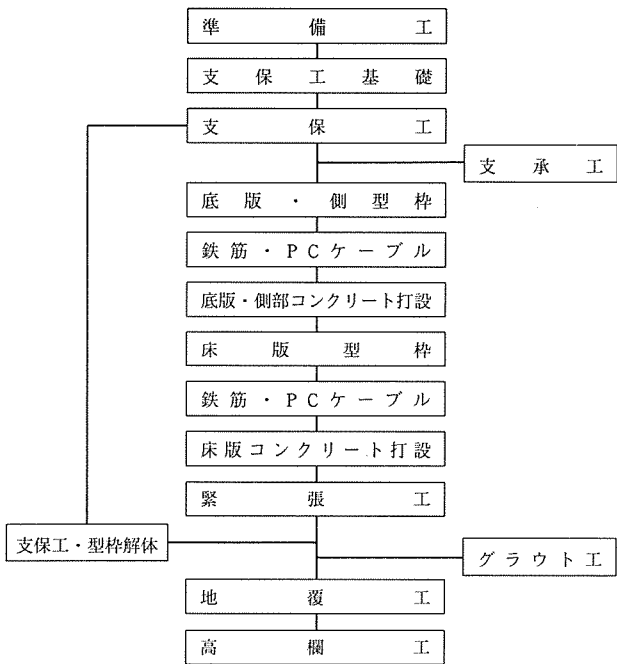


図-8 施工順序

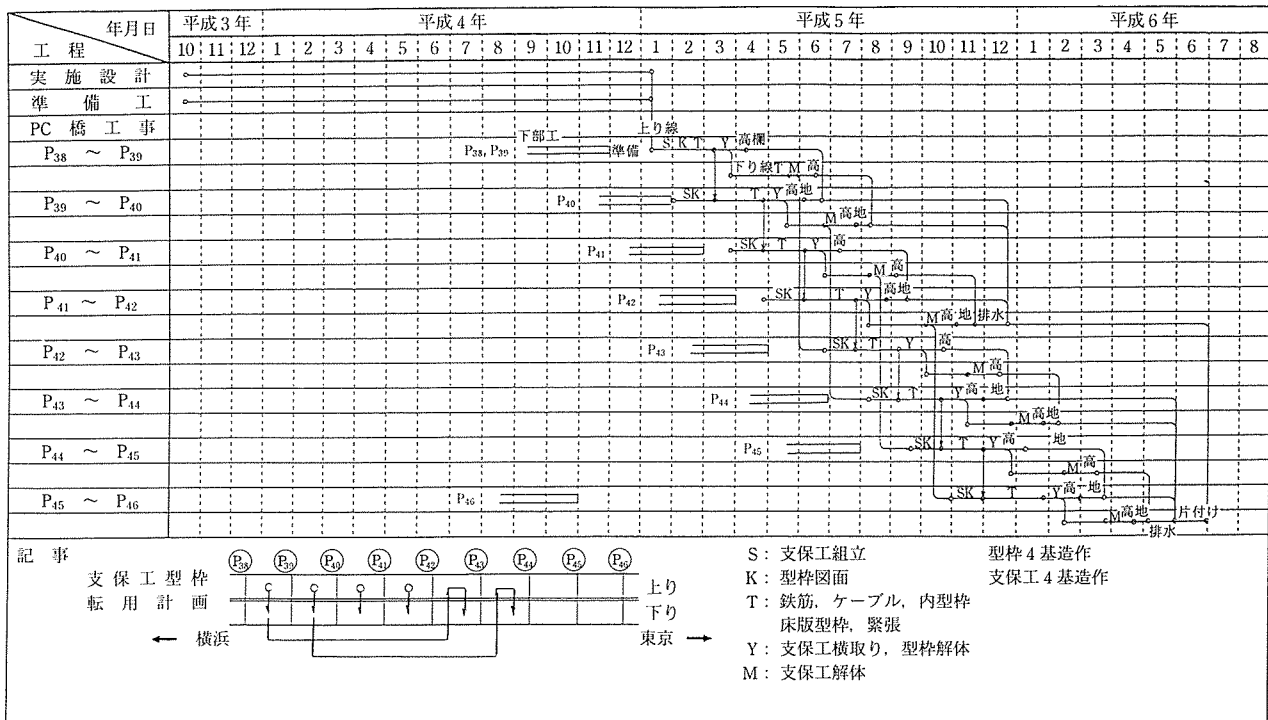


図-9 工事工程表

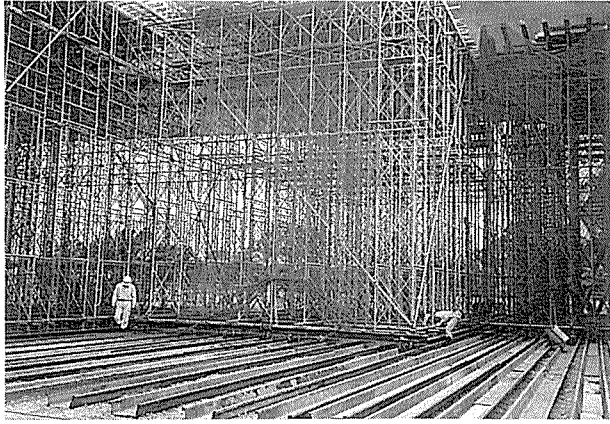


写真-3 支保工組立



写真-6 上床版配筋配管

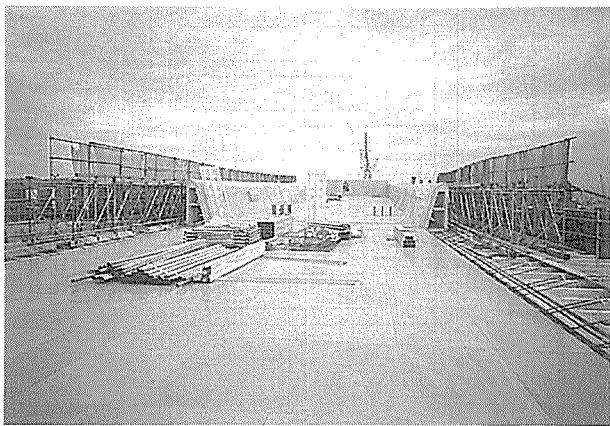


写真-4 底版・側枠組立

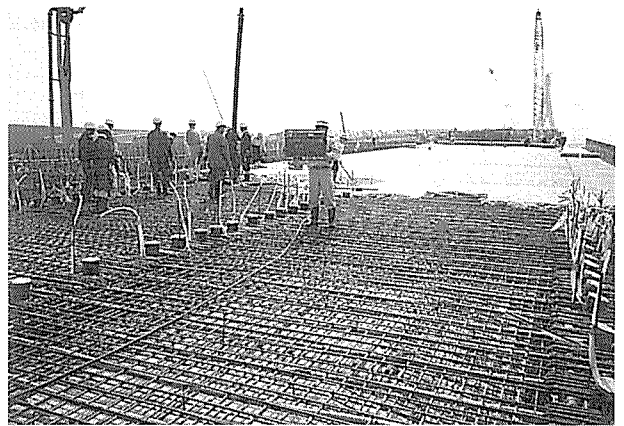


写真-7 コンクリート打設

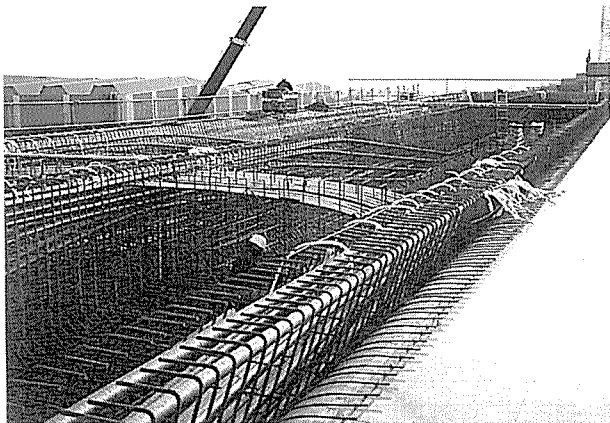


写真-5 スターラップ組立, 主ケーブル配管

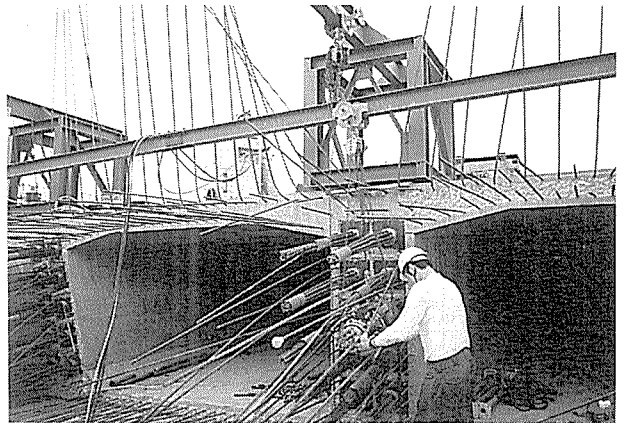


写真-8 緊張

4.5 たわみ管理

本橋は、支保工による1径間ごとの分割施工を行って連続桁とするため、一括施工の場合とはたわみ量が異なる。各施工段階の上げ越し量は、以下のたわみを計算し、このたわみ量を基本に施工順序を逆に追って、各施工段階における構造物のあるべき高さ、すなわち上げ越し量を決定した。

① 主桁自重、プレストレス、橋面荷重による一括施

工時の弾性たわみ

② 主桁自重、プレストレス、橋面荷重による各施工段階の弾性たわみ

③ クリープたわみ

・主桁自重、プレストレスによるクリープたわみ

$$\delta_{\phi} = \delta_e \cdot \phi_t$$

ここに、 δ_{ϕ} : クリープたわみ

δ_e : 主桁自重、プレストレスによる弾

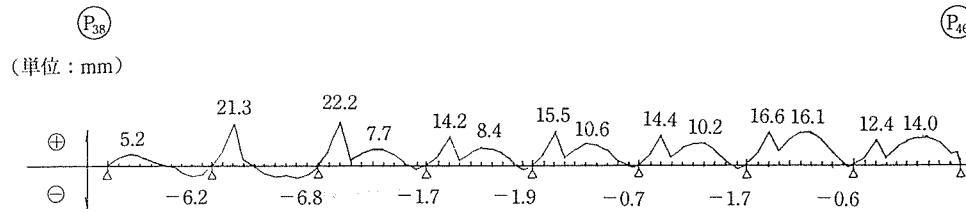
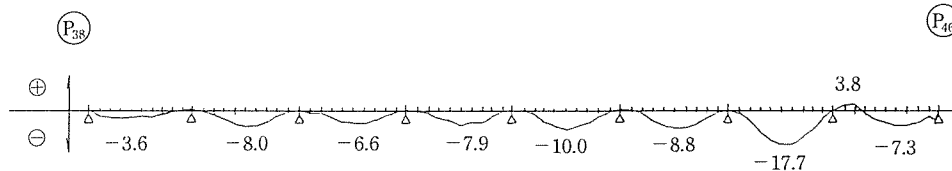
図-10 死荷重時 ($t=\infty$) たわみ

図-11 上げ越し量

性たわみ

ϕ_L : 各施工段階ごとに進行するクリープ係数

- ・クリープによって生ずるプレストレスの減少による弾性のたわみ

$$\delta_{pe} = -(1-\eta) \cdot \delta_{pt}$$

ここに、 δ_{pe} : プレストレスの減少による弾性たわみ

δ_{pt} : プレストレス導入直後の弾性たわみ

η : 各施工段階の有効係数の平均値

- ・クリープによって生ずるプレストレスの減少によるクリープたわみ

$$\begin{aligned} \delta_{p\psi} &= -(1-\eta) \cdot \delta_{pt} \cdot \phi_L / 2 \\ &= \delta_{pe} \cdot \phi_L / 2 \end{aligned}$$

ここに、 ϕ_L : 橋体完成後に進行するクリープ係数の平均値

- ・橋面荷重によるクリープたわみ

死荷重作用時 ($t=\infty$) のたわみ (図-10 参照) と第 8 径間型枠セット時の上げ越し量 (図-11 参照) を示す。

実施工では、全施工段階において型枠セット時ならびに、プレストレス導入直後の上げ越し量を管理し、ほぼ計画値に近い値が得られた。

5. あとがき

近年、PC 橋の中小支間において多径間連続化が図られており、本高架橋も走行性・維持管理・継手の騒音除去・振動の軽減ならびに耐震性の向上を目指し、8 径間連続桁を採用した。また、本橋は、横浜ベイブリッジならびに鶴見航路橋との連結部であることから、上部構造と橋脚が一体となるよう傾斜ウェブとサークルハンチを設け、P₃₈ 鋼橋とのかけ違い部は、断面形状を一致させるため片側 30 cm の拡幅によりすりつけを行うなど、構造美、景観を配慮した。

本橋は、平成 6 年 6 月に無事竣功し、現在舗装等の橋面工を施工中である。

最後に、本報告をまとめるにあたり、多くの御指導をいただいた関係各位に深く感謝いたします。

【1994 年 7 月 19 日受付】