

武蔵五日市高架PCランガー橋の設計と施工

小林 薫^{*1}・中山 弥須夫^{*2}

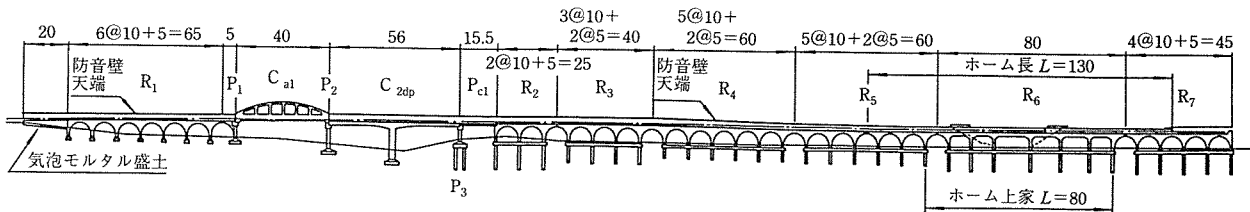
1. はじめに

武蔵五日市駅は、青梅線拝島駅から分岐する単線で延長 11.1 km の JR 五日市線の終着駅である。武蔵五日市駅では、あきる野市が進めている土地区画整理事業の一環として鉄道の高架化が計画された。これは、駅裏側に未利用のまま放置されている貨物跡地（約 3 ha）に鉄道線路を移設し、駅前広場や都市計画道路などの公共公益施設を整備しようとするものである。

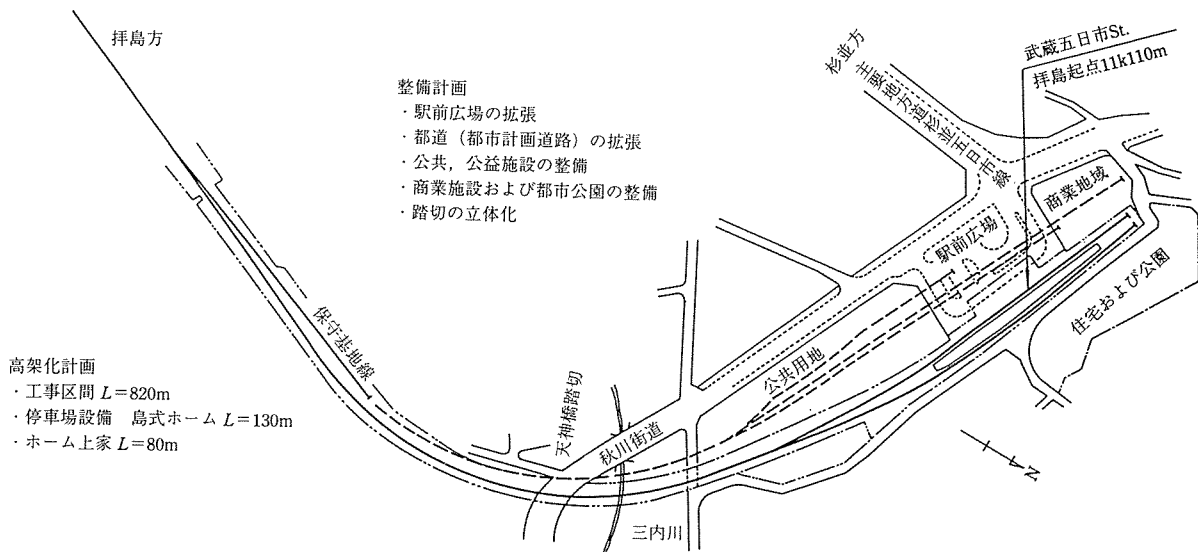
武蔵五日市駅周辺は、秩父多摩国立公園や都立秋川丘陵自然公園など、自然に恵まれた環境にある。このため、鉄道高架化の計画段階から、景観を意識しつつ、施

工の合理性、経済性に考慮した構造計画がなされている¹⁾。図-1 に本高架化の全体計画図、写真-1 に完成した高架橋を示す。

本高架化において、地域の幹線道路である秋川街道と立体交差するための橋梁は、線路の縦断計画と道路の建築限界から PC 下路桁として計画されていた。しかし、単純な PC 下路桁では、橋梁前後の高欄高さより主桁が飛び出し、道路上に大きな壁ができ、主桁高さを高欄高さに合わせると耐力が不足することになる。このため、桁高の足りない分を補い、道路上の壁を小さくするために、U 形断面をした PC 下路桁上に圧縮部材としてのアーチ部材を取り付けた PC ランガー橋の構造形式が採



(b) 武蔵五日市高架側面図



(a) 武蔵五日市駅周辺の整備計画

図-1 武蔵五日市高架の全体計画図

*1 Kaoru KOBAYASHI : 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部構造技術センター 主席

*2 Yasuo NAKAYAMA : 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部構造技術センター

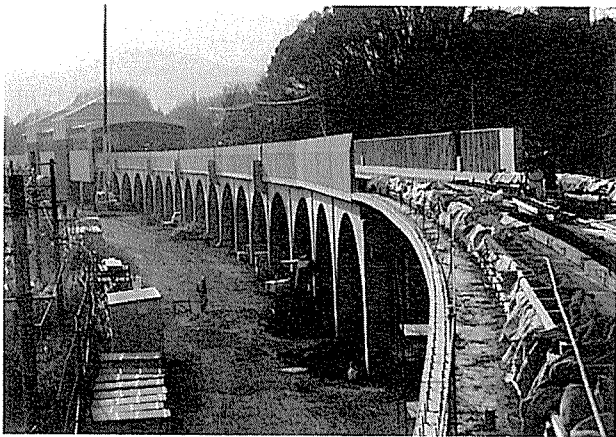
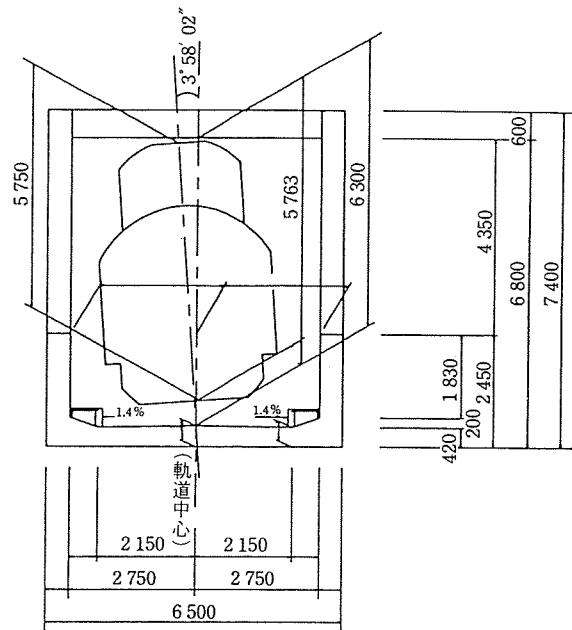
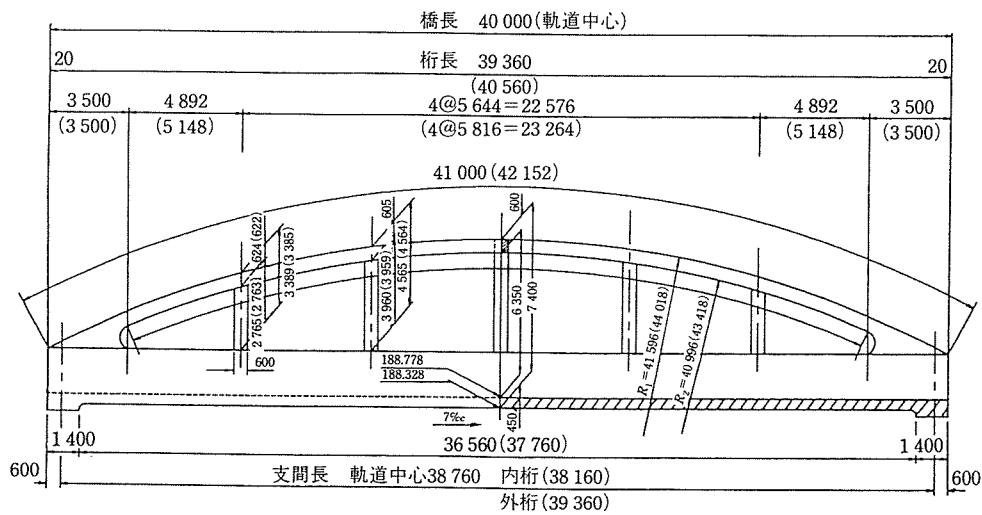


写真-1 高架橋が完成した状況

桁中央部断面図



側面図



() 寸法は外桁を表す

平面図

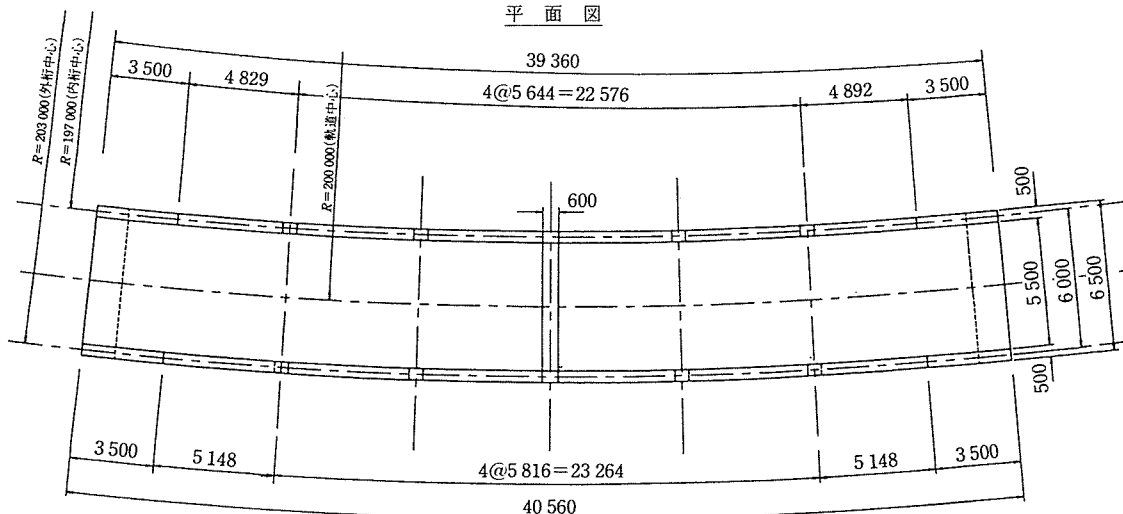


図-2 PCランガー橋一般図

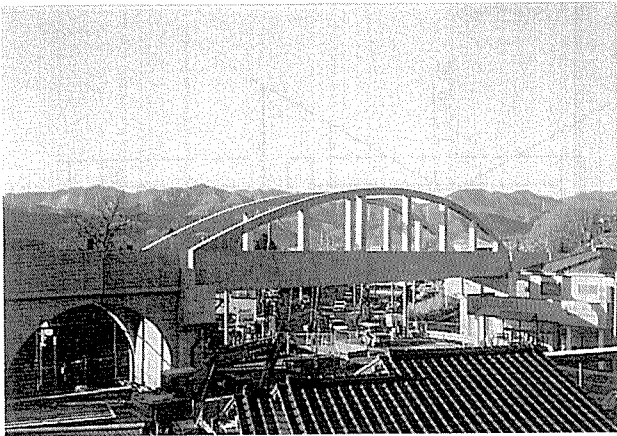


写真-2 完成した状況

用された。写真-2に、PCランガー橋の完成した状況を示す。

本橋の特徴は、本橋架設位置の平面線形が曲線半径 $R=200\text{ m}$ の曲線中に計画されていることから、鉄道橋としてはかなりの急曲線中の橋梁であること。オールステージング工法で施工される補剛桁の完成後、補剛桁のステージングを撤去してからアーチ部材の施工が行われることである。このため、載荷荷重の種別によって受け持つ構造系が違っている点である。

本文は、鉄道橋としては日本で初めての構造形式となるPCランガー橋の設計と施工の概要について報告する。

2. 構造概要

図-2に、PCランガー橋一般図を示す。本橋で採用されたPCランガー橋は、補剛桁をPC構造、アーチ部材はRC構造、鉛直部材はPRC構造としている。なお、鉛直部材には、耐久性に対してコンクリートのひび割れ幅制御の目的でプレストレスを導入している。

3. 施工計画

図-3に、本橋架設位置を示す。本橋は、現在使用中の踏切に近接した位置での施工となることと、交通量の比較的多い地域の幹線道路上での架設となることから支保工の存置期間をできるだけ短くすることが望まれていた。そのため、本橋の施工では、補剛桁が完成した段階

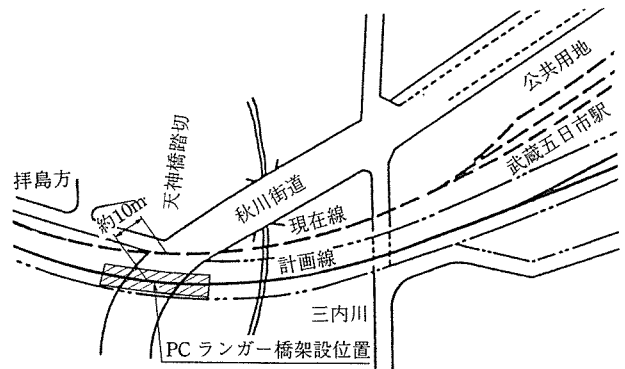
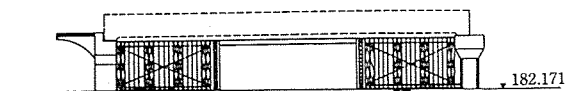


図-3 PCランガー橋架設位置

1. 下部工完成

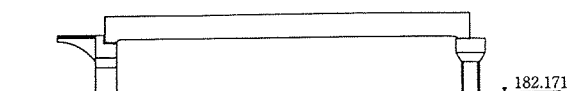


2. 補剛桁支保工組立

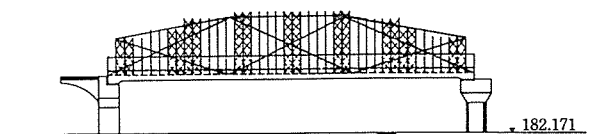


- (1) コンクリート打設
- (2) 補剛桁プレストレス導入
- (3) 補剛桁支保工撤去

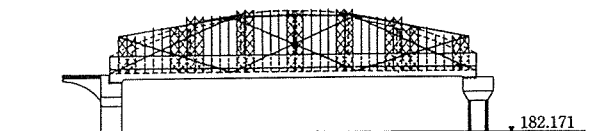
3. 補剛桁完成



4. 補剛桁上でアーチリブ・鉛直部材支保工組立

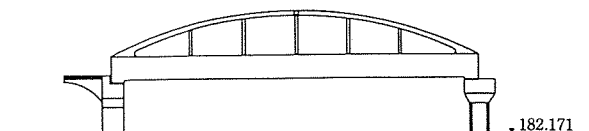


5. 補剛桁・アーチリブ施工



- (1) コンクリート打設
- (2) 鉛直部材プレストレス導入
- (3) 支保工撤去

6. 完成



- (1) 橋面上・ダクト施工
- (2) 軌道敷設
- (3) 完成

図-4 施工順序図

で補剛桁施工用のステーキングを撤去し、アーチ部材や鉛直部材は完成した補剛桁上にステーキングを組立て施工を行うこととした。図-4に、本橋の施工順序図を示す。

4. 設計概要

本橋の設計条件を表-1に示す。本橋は、鉄道構造物

等設計標準・コンクリート構造物²⁾に準拠し、限界状態設計法により設計を行った。本橋の設計に用いた荷重係数および安全係数を表-2、表-3に示す。

4.1 構造解析モデル

本橋は、ランガー構造でありながら施工計画から、橋梁固定死荷重はすべて補剛桁で受持ち、全体構造系が完成後に載荷される版上荷重（レールやマクラギなどの荷

表-1 設計条件

| | | | | |
|---------|----------------|--|------------------------------------|------------------------------------|
| 桁 | 長さ | 39.96 m (軌道中心) | | |
| スパン | | 38.76 m (軌道中心) | | |
| 軌道形式 | | 弾性直結 軌道 | | |
| 列車荷重 | | EA-17 | | |
| 曲線半径 | | 200 m (軌道中心) | | |
| 衝撃係数 | | 0.136 (終局限界時) | | |
| コンクリート | 部材種別 | 補剛桁 | 鉛直部材 | アーチ部材・横梁 |
| | クリップ係数 | 2.6 | | |
| | 乾燥収縮度 | 200×10 ⁻⁶ | | |
| | 粗骨材の最大寸法 | 25 mm | | |
| | 設計基準強度 | 400 kgf/cm ² | 400 kgf/cm ² | 400 kgf/cm ² |
| | プレストレス導入時の圧縮強度 | 350 " | 350 " | 350 " |
| P C 鋼材 | 種別 | 補剛桁主ケーブル 12 T 15.2 mm (SWPR 7 A) | 補剛桁床版横締め φ26 (SBPR 930/1080) | 鉛直部材鉛直締め φ32 (SBPR 930/1080) |
| | 設計引張強度 | 175 kgf/mm ² | 110 kgf/mm ² | 110 kgf/mm ² |
| | 設計引張降伏強度 | 150 " | 95 " | 95 " |
| 鉄筋 | SD 345 | 引張強度 | 5 000 kgf/cm ² | |
| | | 降伏強度 | 3 500 " | |
| | | 引張降伏強度 | 5 000 kgf/cm ² | |
| 支 承 構 造 | シ ュ ー | ゴムシュー | | |
| | ス ト ッ パ ー | 鋼角ストッパー | | |

表-2 荷重係数

| 荷 重 | 使用限界状態 | 終局限界状態 |
|-------|-------------------|--------|
| 固定死荷重 | 1.0 | 1.1 |
| 付加死荷重 | 1.0 | 1.2 |
| 列車荷重 | 1.0 | 1.1 |
| 衝撃係数 | 1.0 ^{#1} | 1.1 |
| 乾燥収縮 | 1.0 | 1.0 |

#1: 衝撃係数は、終局限界状態の値の3/4

表-3 安全係数

| 安全係数 | 構造解析係数 | 材料係数 τ_m | | | 部材係数 | 構造物係数 |
|--------------|------------|---------------|--------------------------|--------------------------|------------|-------|
| | | コンクリート | 鋼材 | | | |
| 限界状態 | γ_a | γ_c | γ_s | γ_b | γ_i | |
| 終局限界状態 | 1.0 | 1.3 | 1.0 ^{#1} (1.05) | 1.15 ^{#2} (1.3) | 1.2 | |
| 使用限界状態 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| 疲労限界状態 | 1.0 | 1.3 | 1.05 | 1.0 ^{#2} (1.3) | 1.0 | |
| 終局限界状態 (地震時) | 1.0 | 1.3 | 1.0 ^{#1} (1.05) | 1.0 ^{#2} (1.15) | 1.0 | |

- 注 1) #1 (): ストッパーに使用する鋼材に用いる。
 2) #2 (): コンクリートの強度により定まるせん断耐力、およびねじり耐力の算定に用いる。
 3) 荷重係数 γ_l は荷重の組合せおよび荷重係数による。

◇設計報告◇

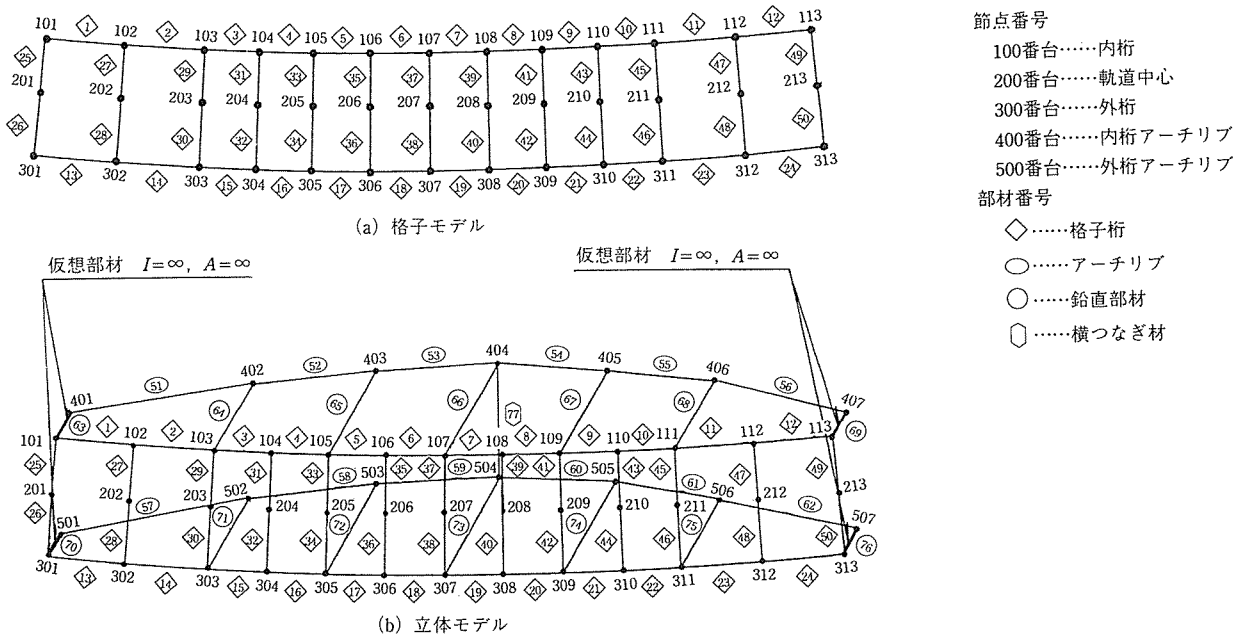


図-5 解析モデル

重) や列車荷重はランガー構造で受けることになる。このため、構造解析では、補剛桁の架設状態では格子モデルとし、完成構造系では曲線桁であることを考慮し、格子モデル上に鉛直部材とアーチ部材を取り付けた立体モデルにより行った。図-5 に、解析モデルを示す。なお、格子モデルから立体モデルへの構築は、アーチ部材支点部と補剛桁図心が一致しないため、アーチ部材と補剛桁の接合は剛な仮想部材を考慮した。

4.2 補剛桁の設計概要

補剛桁は、架設時で単純桁、ランガー構造完成時には

タイドアーチのタイ部材として機能するため、設計荷重作用時には曲げモーメントと軸方向引張力が作用する部材となる。

補剛桁の設計では、使用限界状態に対して上下縁の応力度を所定の制限値内となるようにプレストレスを導入した。なお、各設計断面のプレストレス力の算定にはケーブルの平面曲がりの影響を、以下に示す単位長さ当りの摩擦係数 λ' に変換した値を考慮した。図-6 に補剛桁断面図を、表-4 に補剛桁の主な検討結果をそれぞれ示す。

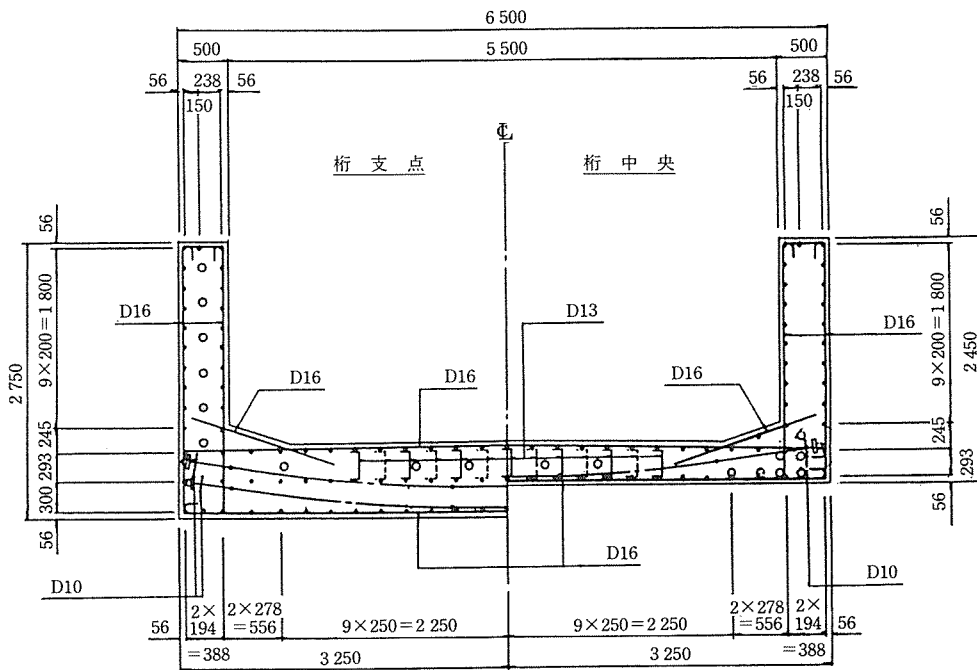


図-6 補剛桁断面図

表-4 補剛桁の主な検討結果

| 検 討 項 目 | | | 検討結果 | |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------|
| 終局限界状態 | 構造物係数 γ_i | — | 1.2 | |
| | 曲げ | 設計曲げモーメント M_d | tf·m | 2 046.9 |
| | | 設計曲げ耐力 M_{ud} | tf·m | 2 519.9 |
| | | $\gamma_i \cdot M_d / M_{ud}$ | — | 0.98 |
| | せん断 | 設計せん断力 V_d | tf | 103.1 |
| 設計せん断耐力 V_{yd} | | tf | 293.9 | |
| | $\gamma_i \cdot V_d / V_{yd}$ | — | 0.42 | |
| 使用限界状態 | 緑応力度 | 永久荷重作用時緑圧縮応力度／緑圧縮応力度制限値 | kgf/cm ² | 142.0/160.0 |
| | | 永久荷重作用時緑引張応力度／緑引張応力度制限値 | kgf/cm ² | 12.0/0 |
| | 変動荷重作用時緑引張応力度／緑引張応力度制限値 | kgf/cm ² | -4.1/-12.0 | |
| | 変動荷重作用時 PC 鋼材引張応力度／引張応力度の制限値 | kgf/mm ² | 98.3/122.5 | |
| | 斜め引張応力度／斜め引張応力度の制限値 たわみ量／たわみ量の制限値 | kgf/cm ² mm | -14.2/-19.0 6.4/48.5 | |

$$\lambda' = \lambda + \mu / R$$

$$= 0.004 + 0.3 / 200 = 0.006 \quad 1/m$$

ここに、 λ' : PC 鋼材の平面曲がり を考慮した単位長さ当りの摩擦係数

λ : PC 鋼材の単位長さ当りの摩擦係数

μ : PC 鋼材の単位角変化当りの摩擦係数

R : 曲線半径 (m)

4.3 鉛直部材の設計概要

鉛直部材は、補剛桁に載荷される荷重をアーチ部材に伝達する部材であり、剛接合としてアーチ部材と補剛桁間に配置される。このため、部材には軸方向引張力と曲げモーメントが作用する。

鉛直部材の設計では、使用限界状態に対して耐久性に対するコンクリートのひび割れ幅を制限値内とする必要があるため、PC 鋼棒 ($\phi 32$) によりプレストレスを導入した。PC 鋼棒の配置は、設計荷重載荷時において、鉛直部材が 2 軸曲げの応力状態となること、地震の影響や風荷重などのアーチ面外方向からの荷重に対して部材が危険側とならないように、部材中立軸位置に配置した。また、この PC 鋼棒は、アーチ部材の上端で定着されるため防錆対策上からアンボンド処理をした PC 鋼棒を使用した。

終局限界状態での曲げモーメントに対する検討では、部材中立軸に配置されている PC 鋼棒を無視し、RC 断面として断面耐力を算定した。図-7 に、鉛直部材の断面図を示す。

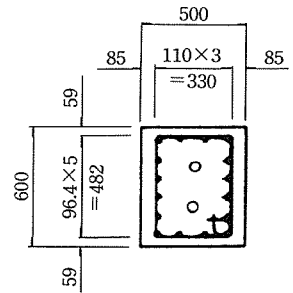


図-7 鉛直部材断面図

4.4 アーチ部材の設計概要

アーチ部材は、主として軸方向圧縮力を受けるが、同時に曲げモーメントも受ける部材である。終局限界状態の検討では、アーチ部材の横方向の変形による影響を考慮することとし、部材の細長比が 35 を超える場合は長柱に準じて設計を行うこととした。なお、本橋の構造解析は、微小変形理論に基づく線形解析により行われることから、終局限界状態でのアーチ部材の横方向変位量による 2 次モーメントの影響は以下に示す近似解法により

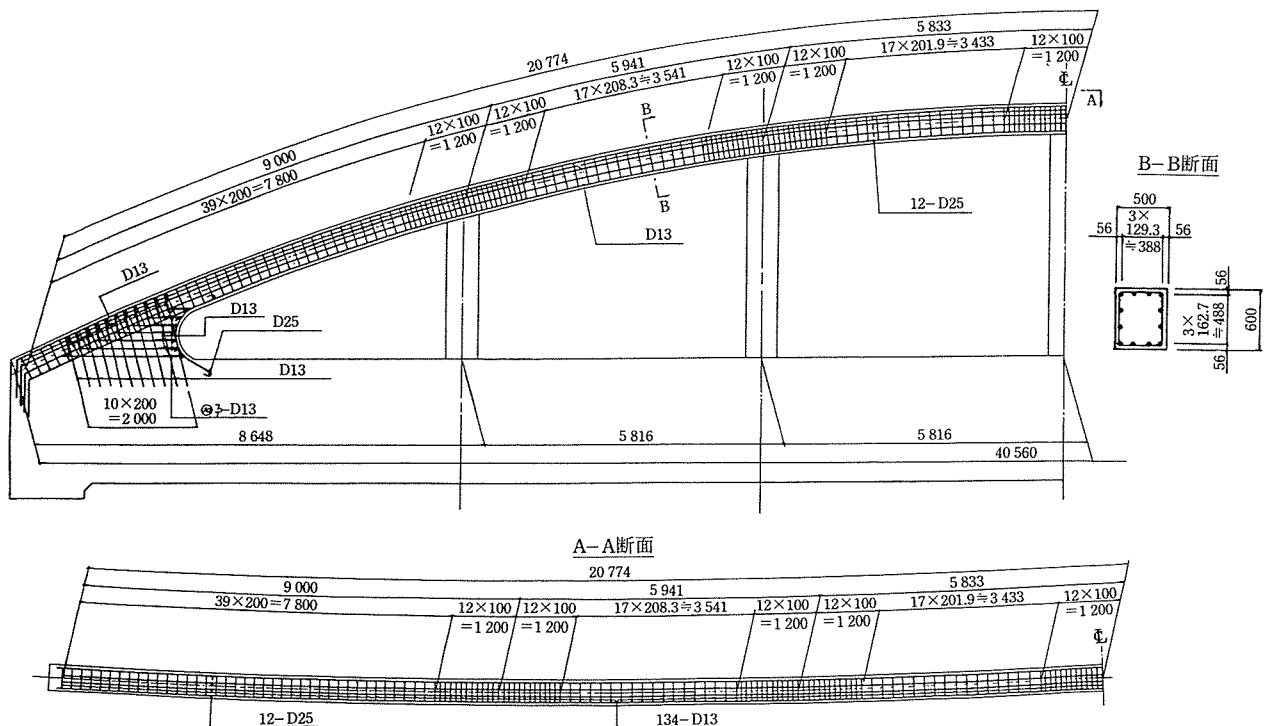


図-8 アーチ部材配筋図 (外側)

◇設計報告◇

表-5 アーチ部材の終局限界状態に対する検討結果

| 検 討 項 目 | | 検 討 結 果 | | |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------|
| 終局限界状態 | 構造物係数 γ_i | - | 1.2 | |
| | 曲 げ | 設計曲げモーメント M_d | tf・m | 45.5 |
| | | 設計曲げ耐力 M_{ud} | tf・m | 60.0 |
| | | $\gamma_i \cdot M_d / M_{ud}$ | - | 0.91 |
| | せん断 | 設計せん断力 V_d | tf | 4.8 |
| 設計せん断耐力 V_{yd} | | tf | 63.3 | |
| $\gamma_i \cdot V_d / V_{yd}$ | | - | 0.09 | |

考慮することとした⁴⁾。図-8 にアーチ部材配筋図を、表-5 にアーチ部材の終局限界状態における検討結果をそれぞれ示す。

(a) $N_d > N_{bal}$ の場合

$$e_2/h = (l_e/h + 16)^3 (5.48 + 6.4 e_1/h - 2.7 r - 1.8 \rho_t + C_N) \times 10^{-6} - 0.02$$

$$C_N = 2.5(\phi - 1)(1 - 10 \rho_t) N_c / N_d$$

(b) $N_d \leq N_{bal}$ の場合

$$e_2/h = (l_e/h + 48)^3 (1.32 + 0.31 e_1/h - 0.44 r - 8.9 \rho_t + C_M) \times 10^{-6} - 0.1$$

$$C_M = 0.17(\phi - 1)(1 - 7.3 \rho_t) N_c / N_d$$

ここで、 e_2 : 設計用 2 次偏心量

N_d : 設計荷重

N_{bal} : つり合い軸力

l_e : 有効長

N_c : 設計持続軸力

ρ_t : 鉄筋比

e_1 : 荷重偏心量

h : 柱断面高さ

ϕ : クリープ係数

C_N, C_M : 持続荷重に関する項

4.5 アーチ部材支点部の補強

アーチ部材の支点部では、使用限界状態で耐久性を低下させるようなコンクリートのひび割れを防止するため、局部応力の発生状況を把握する目的で半橋モデルによる FEM 解析を行った。FEM 解析では、図-4 に示した施工ステップを FEM 解析に反映し、各施工ステップごとの構造系に対応した解析モデルと荷重を考慮して行った。図-9 に、使用限界状態の荷重載荷時におけるアーチ部材支点付近の主応力図を示す。解析の結果、アーチ支点部には最大 51.3 kgf/cm² の主引張応力度が発生した。このため、PC 鋼棒 ($\phi 32$ mm) により断面内の引張力に対して補強を行うこととした。

補強用の PC 鋼棒は、FEM 解析により得られた主方向 (45 度) に配置することにし、PC 鋼棒によるプレストレスの分布角度を 33 度と仮定し、アーチ支点部付近に発生する主引張応力度をコンクリートの引張強度の 70% 以下に制限した。図-10 に、アーチ支点部補強用 PC 鋼材の配置図を示す。

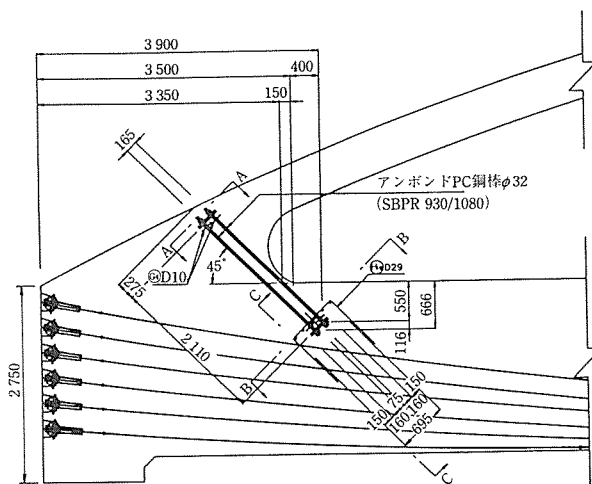


図-10 アーチ支点部補強用 PC 鋼材の配置図

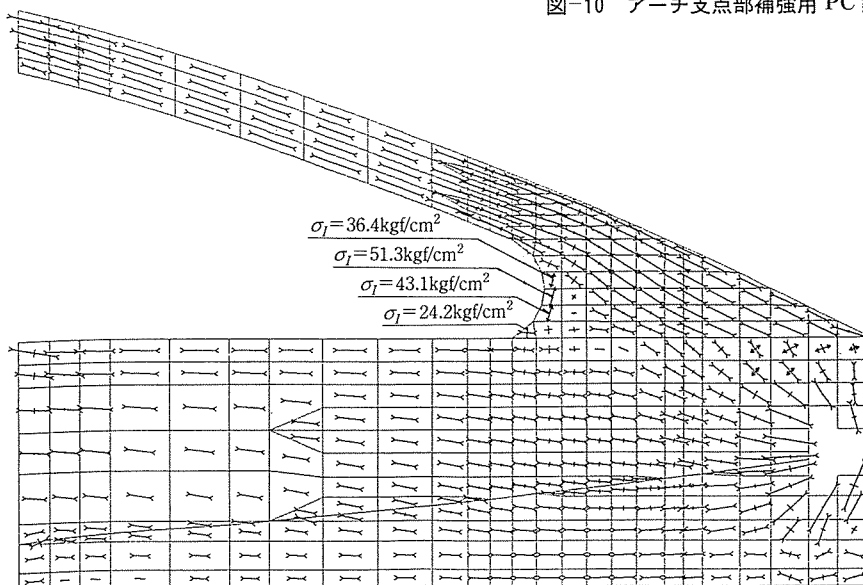


図-9 FEM 解析結果 (主応力図)

5. 施工の概要

5.1 補剛桁施工用ステーシング

補剛桁施工時のステーシングは、起点側の約11mが枠組支保工で、車道部ではH鋼(H-700×300×13×24)と四角支柱の組合せによる桁式支保工とした。図-11に、補剛桁施工用ステーシングの計画図を示す。

5.2 アーチ部材・鉛直部材施工用ステーシング

補剛桁の施工用ステーシング撤去後に施工されるアーチ部材と鉛直部材施工用のステーシングは、補剛桁上に組立てを行うことになる。図-12に、アーチ部材・鉛直部材施工用ステーシングの計画図を示す。アーチ部材・鉛直部材施工用ステーシングは、補剛桁上端から支柱受台用のH鋼(H-200×200×8×12)を橋軸直角方向に約1.8m間隔ごとに渡し、その上に150サイズのH鋼を枠組支保工の受けとして橋軸方向に配置している。また、支保工外側には、施工機材の落下防止対策としてメッシュネットを施工した。

5.3 型枠・鉄筋の組立

本橋は、曲線半径 $R=200$ mの曲線桁となっていることから、型枠は幅1mごとに折り込みながら設置し、平面形状を確保した。

鉄筋の組立では、鉛直部材の鉄筋、PC鋼棒を地上で組立て鉄筋籠化して、クレーンにより補剛桁内に建て込

んでいる。なお、補剛桁のコンクリート打設までの間、鉄筋籠の安定を確保するために、単管パイプによる転倒防止対策を行った。写真-3に鉛直部材の鉄筋を組み立てた状況を、写真-4に鉛直部材鉄筋籠を補剛桁に建て込んだ状況を示す。

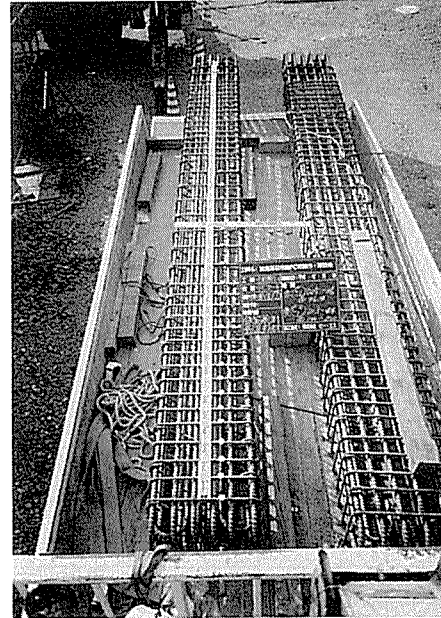


写真-3 鉛直部材の鉄筋を組み立てた状況

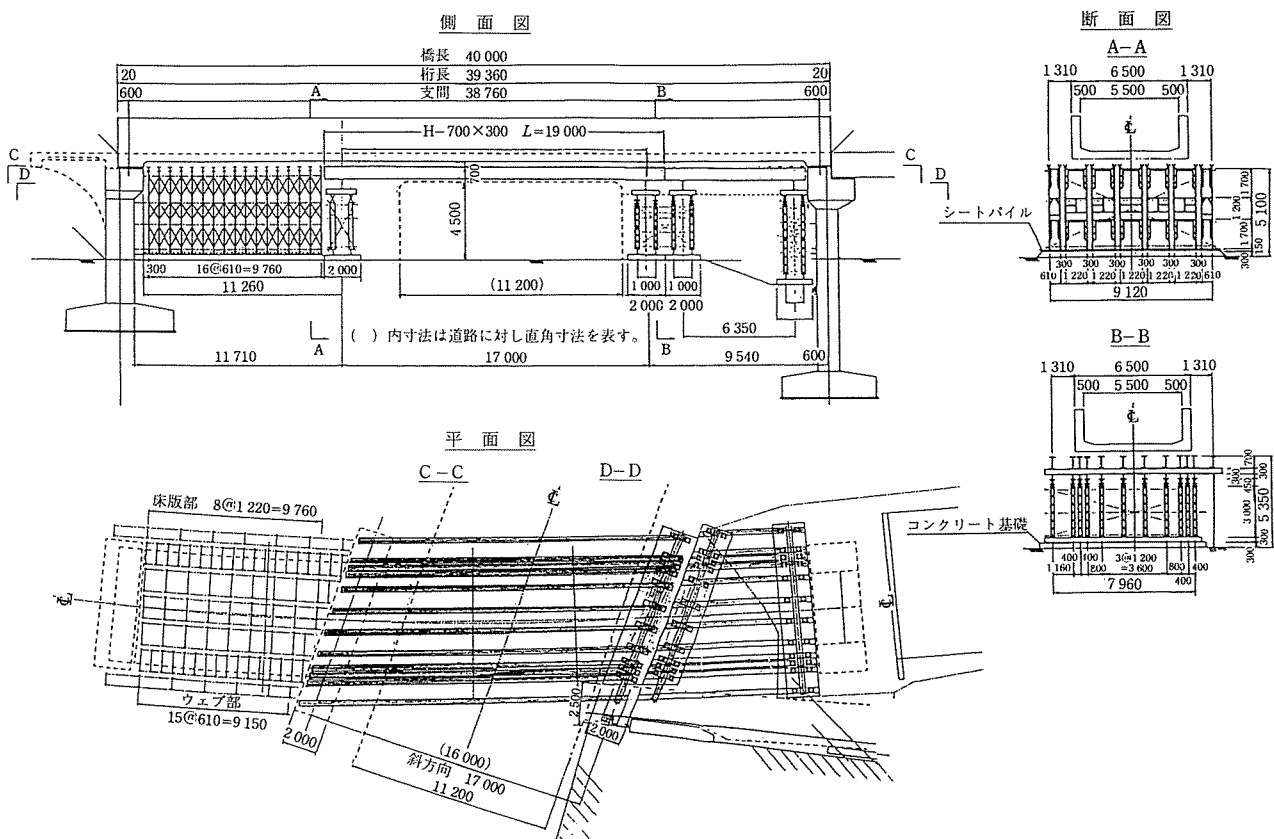


図-11 補剛桁施工用ステーシング

◇設計報告◇

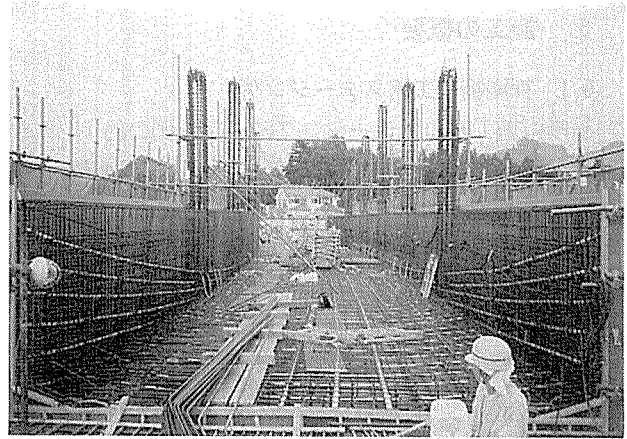
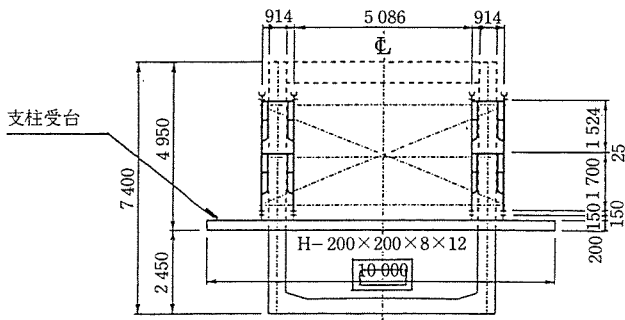


写真-4 鉛直部材鉄筋籠を補剛桁に建て込んだ状況

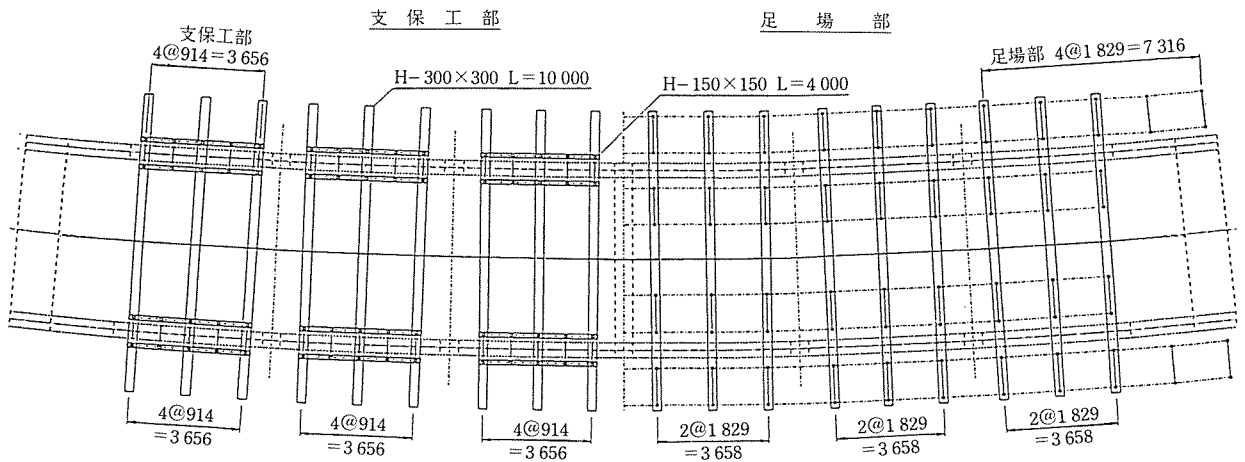
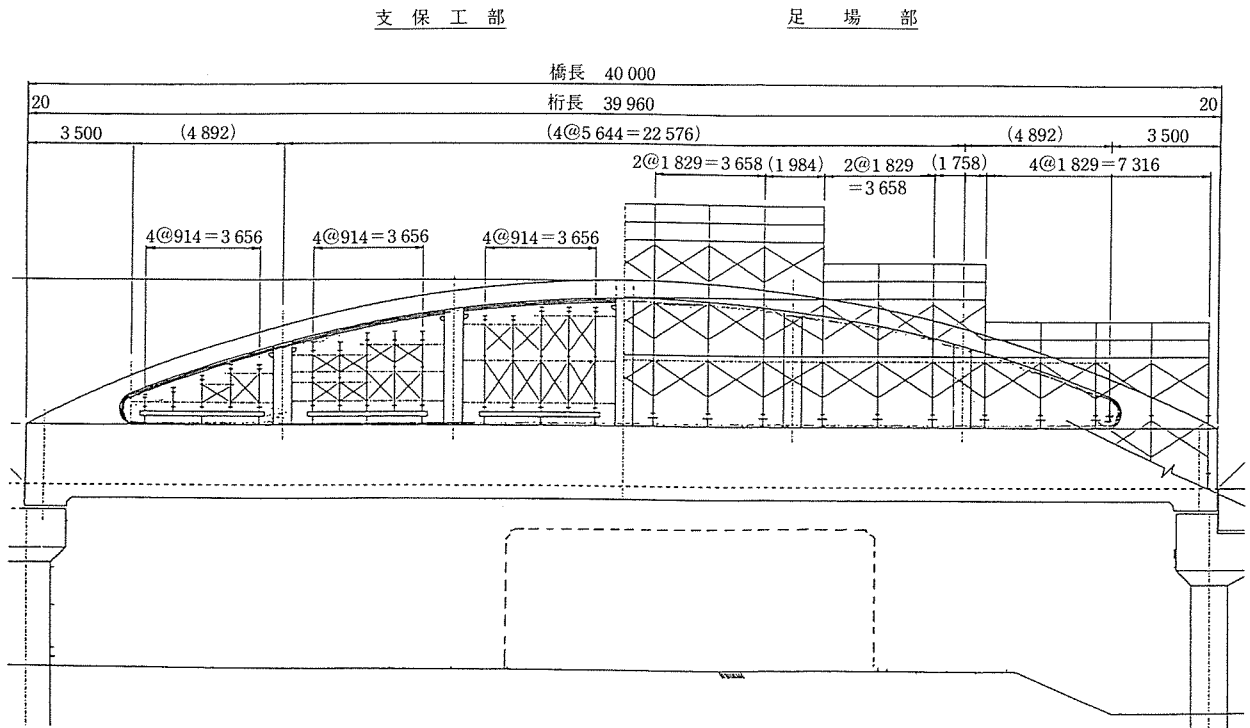


図-12 アーチ部材・鉛直部材施工用ステージング

6. おわりに

鉄道橋として、日本で初めての施工となる PC ランガー橋の設計と施工の概要について述べた。本橋は、平成8年2月に橋梁本体は完成し、平成8年の夏には供用開始される予定である。本橋が、武蔵五日市駅周辺の整備とともに自然環境に恵まれた五日市町の新しいシンボルとして永く人々に親しまれ、本報告が今後の橋梁計画の一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 小林, 山内: JR 武蔵五日市駅高架橋, 橋梁と基礎, Vol. 29, No. 8, 1995.8
- 2) 鉄道構造物等設計標準・コンクリート構造物, 運輸省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編, 平成4年10, 丸善
- 3) 高屋, 池澤, 中西, 渡邊: 9 径間連続 PC 曲線箱桁橋の設計, プレストレストコンクリート, Vol. 27, No. 3, May 1985
- 4) 堺, 角田, 能町: 鉄筋コンクリート長柱の設計, 土木学会論文報告集, 第 340 号, pp. 165-174, 1993. 12

【1996年4月26日受付】