

京浜急行直上高架工事の設計と施工

永田 滋*
山田 健彦**
小林 壮至***

1. まえがき

本工事は京浜急行電鉄湘南線，新馬場駅～大森海岸駅間のうちの青物横丁～立会川間の鉄道立体化工事である。近年都市内においては，住宅，道路等が急速に過密状態となり，この種の工事を在来工法で施工する場合，多くの問題点が生じ施工上困難を極める。たとえば在来工法でこの種の工事を実施するには営業線を一時仮線に切り替える必要が生じ，仮線のための線路用地の確保や営業線隣接家屋の移転補償費が発生し，工事費の増大を招くことになる。そこで本工事においてはこの問題の解決に焦点を定め，営業線を平常どおり運行させながら，その直上で経済的に安全かつ迅速に鉄道立体化工事を施工する方法として，PC直上高架工法が考案された。ここに直上高架工法実施に先立っての実験と設計・施工の報告を行うことにする。

なお，本工事の分担は，以下のとおりである。

施工担当：

熊谷組・奥村組・飛鳥建設・西松建設共同企業体，
日本鋼弦コンクリート（株）

モデル供試体実験担当：

日本鋼弦コンクリート（株）

直上施工機による実物大組立て実験担当：

熊谷組，日本鋼管川崎工場

2. 設計

2.1 設計概要

本工事は営業線の真上にて直上施工機を用いての施工となるため，設計に当たって脚の部材の大きさ，上部工の支間割り等の選定に対し車輛の建築限界，隣接民地の影響等によって多大の制約を受けた。したがって建築限界を満足する脚の断面形状から上部構造の形式支間割りは決定された。下部構造形式は杭基礎門型ラーメンで杭，脚柱，受梁を一体とする門型ラーメンとして構造解析することにより最小限の脚断面形状で応力的に満足さ

せることができた。なお上部構造には下部構造の設計反力を最小限におさえ，かつ，急速施工に適するように桁

表-1 設計条件

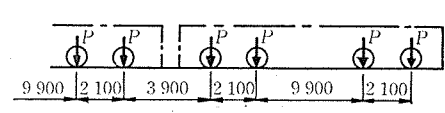
橋種	プレストレストコンクリート鉄道直上高架橋	
荷重	電車荷重 1軸重 $P=15t$ (一車輦当り $w=60t$)	
風荷重	 電車のある場合 $w=300\text{ kg/m}^2$ 電車のない場合 $w=150\text{ kg/m}^2$ 軌道荷重 $w_k=0.45\text{ t/m}$ 電車線柱荷重 鉛直荷重 $P_v=1.5\text{ t}$ 水平荷重 $P_h=1.0\text{ t}$ 曲げモーメント $M=7.0\text{ t}\cdot\text{m}$	
衝撃係数	縦方向 $i=0.43$ ，横方向 $i=0.43$	
地震時水平震度	$K_H=0.3$	
温度変化	$\pm 15\text{ deg}$	
桁長（標準）	$L=10.950\text{ m}$	
支間（ ϕ ）	$l=10.050\text{ m}$	
全幅	$B=9.100\text{ m}$	
形式	上部工	プレテンション単純中空箱形桁方式
	下部工	ポストテンション杭基礎門型ラーメン橋脚 (プレキャスト部材組合せ)

表-2 主要材料の材料強度

コンクリート設計基準強度	上部工	主桁	σ_{ck}	500 kg/cm ²
		間詰め横桁	σ_{ck}	300 kg/cm ²
	下部工	受梁	σ_{ck}	500 kg/cm ²
		脚柱	σ_{ck}	600 kg/cm ²
場所打ち杭			σ_{ck}	240 kg/cm ²
	場所打ち杭許容応力度	コンクリート許容曲げ圧縮応力度	σ_{ca}	80 kg/cm ²
		鉄筋許容引張応力度	σ_{sa}	1 600 kg/cm ²
使用 PC 鋼材	上部工	主方向		1T12.4 mm
		横方向		1T19.3 mm
	下部工	受梁，脚柱		12φ8
		受梁		PC 鋼棒 φ23 SBPR 80/95
	脚柱		PC 鋼棒 φ26 SBPR 80/95	

* 京浜急行電鉄（株）工務部高架課課長

** 京浜急行電鉄（株）工務部高架課課長補佐

*** 京浜急行電鉄（株）工務部高架課技術員

間型枠作業が簡単で場所打ちコンクリート量の少ないプレテンション単純中空箱形桁方式が採用された。

2.2 設計条件および主要材料の材料強度

設計条件を表-1に、主要材料の材料強度を表-2に示す。

2.3 各部の設計

2.3.1 下部構造

構造形式は前述のごとく杭基礎門型ラーメン橋脚であり、応力度の計算は線路直角方向と線路方向の二方向について行った。線路直角方向については一般のPC構造物の解析と同様であるが、線路方向については、その応力度は線路直角方向との重畳になる。したがって本設計においては線路方向地震時の脚柱下端が最も不利となり、断面最小寸法、所要PC鋼材量とも、同点で決定されている。杭の設計は鉛直、水平各方向にバネ常数を有する弾性体として、門型ラーメンの基礎を形成しており、主として線路方向地震時において鉄筋量が決定された。なお断面力の解析は群杭効果による遞減を考慮し、変位法によって算定した。脚柱の設計は線路方向地震時、脚柱下端は発生する引張応力度によって所要PC鋼材量が決定され、脚柱中間変曲点付近は常時に発生する曲げ圧縮応力度によってPC鋼材量の最大が制限されている。本設計においては、脚柱部材の断面形状が制限されているため、高強度コンクリート $\sigma_{ck}=600\text{ kg/cm}^2$ を採用することにより所定断面での設計が可能となった。受梁の設計はラーメン構造として算出された線路直角方向地震時の正負の曲げモーメントによって決定されている。また、支間中央断面のプレストレス導入直後の上縁引張応力度を小さくしなければならぬため、受梁のPC鋼材は偏心量の少ない配置とした。さらに前記のことから、プレキャスト部材のラーメン架橋形成後のコンクリートのクリープによる二次応力にはPC鋼材の偏心による弾性変形の影響は無視しても差し支えないと判断、受梁部材短縮による影響のみを考慮して設計を進めた。なお直上施工機によって受梁を吊り上げ架設する関係上プレキャスト部材重量が制限され、本設計においては受梁は2分割縦割り設計とした。

2.3.2 上部構造

上部構造はプレテンション単純中空箱形桁橋であり、横組完成後に作用する版上静荷重および電車荷重による荷重分配はY. Guyon & C. Massonnetの理論により直効異方性版として解析決定した。

以上、上下部構造の設計の概要を述べたが、頁数の関係でここでは設計計算の細部については記すことができないので、参考までにPC橋脚一般図(図-1)、PC脚PC鋼材配置図(図-2)、主桁断面図(図-3)、受梁断

面図(図-4)、ラーメン骨組図(図-5)、荷重図(図-7)、代表的な荷重組合せ時のラーメン橋脚の曲げモーメント図とせん断力図(図-8)を挙げておくことにした。

3. 工事概要と特長

工事名：京浜急行電鉄湘南線新馬場駅～大森海岸駅間本線高架橋工事

発注者名：京浜急行電鉄株式会社

工事場所：東京都品川区青物横丁、鮫州、立会川駅付近

施工延長：全延長約2700mのうち直上機(架設機)施工区間1100m、そのうちPC脚、桁による直上高架工法採用区間長約440m

構造形式：上部工 プレテンション単純中空箱形構造
下部工 ポストテンション杭基礎門型ラーメン構造(プレキャスト部材組合せ)

3.1 工事概要

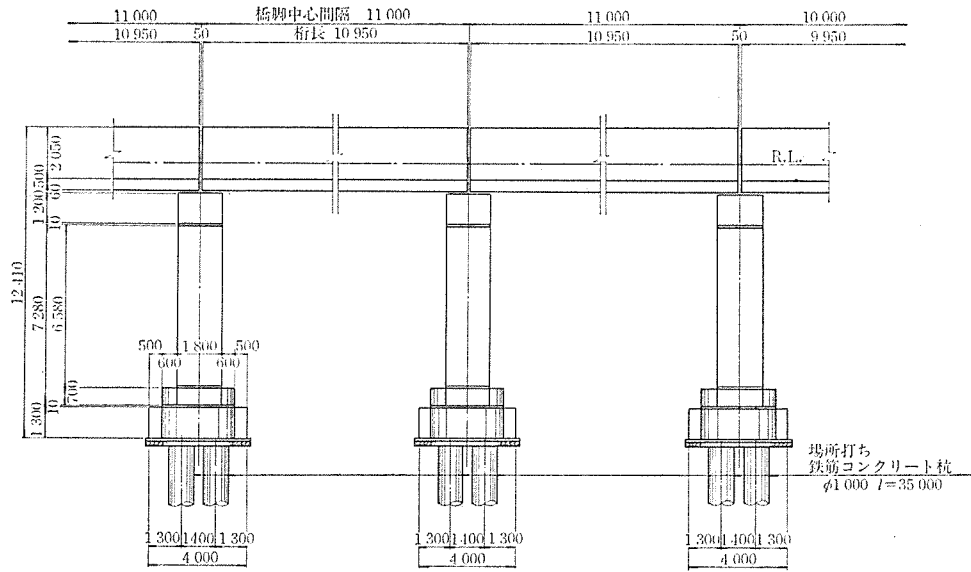
工事建設用地の確保、営業線隣接住宅等の環境関係で施工時に発生する家屋移転問題、騒音、振動等の公害を最小限に緩和できるプレキャスト部材の組合せによるPC直上高架工法が採用された。本工事においては、高架橋のラーメン橋脚部材を含めて、あらかじめ品質管理の行き届いた工場にてプレキャスト部材を製作し、トレーラーに積み込み北品川の工事基地に運搬し、部材をモーターカーに積み替え、夜間、キ電停止(0:45)後架設位置に運搬移動し、この直上高架橋工事のために特別に注文設計製作された直上施工機にて脚柱部材を吊り上

表-3 上下部主要材料表

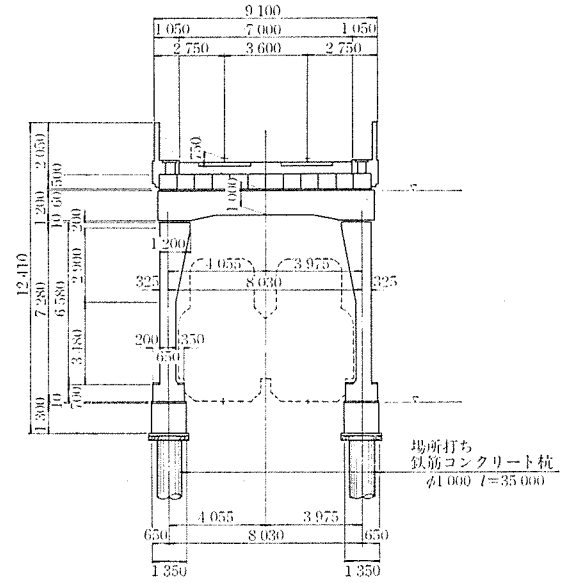
ただし橋脚2基分

種別	仕様	単位	1区間当り数量	使用箇所	備考
コンクリート	$\sigma_{ck}=500\text{ kg/cm}^2$	m ³	33.41	上部工主桁	12本
	$\sigma_{ck}=600\text{ kg/cm}^2$	m ³	40.72	脚柱	4本
	$\sigma_{ck}=500\text{ kg/cm}^2$	m ³	31.52	受梁	2本
	場所打ち $\sigma_{ck}=300\text{ kg/cm}^2$	m ³	2.54	上部工主桁 間詰め	
PC鋼材	PC鋼線	kg	1640.8	受梁	2本
	12φ8	kg	2710.4	脚柱	4本
	PC鋼より線 1T19.3	kg	243	上部工横桁 横締め	
	PC鋼棒 φ26 SBPR 80/95	kg	697.2	脚柱	
	PC鋼棒 φ23 SBPR 80/95	kg	207.6	受梁	
鉄筋	SD35	kg	7760	脚柱、受梁	
接合キー	φ28	組	4組	受梁・部材 組合せ用	

側面図



断面図



平面図

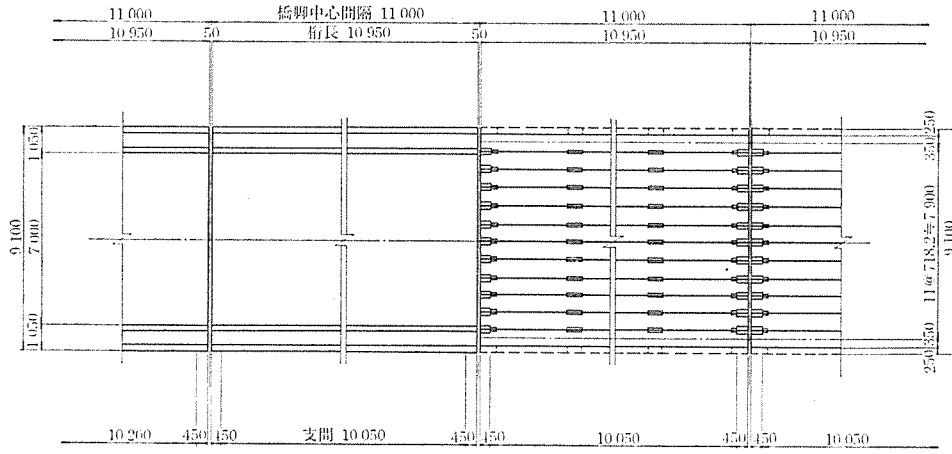


図-1 PC 橋脚一般図

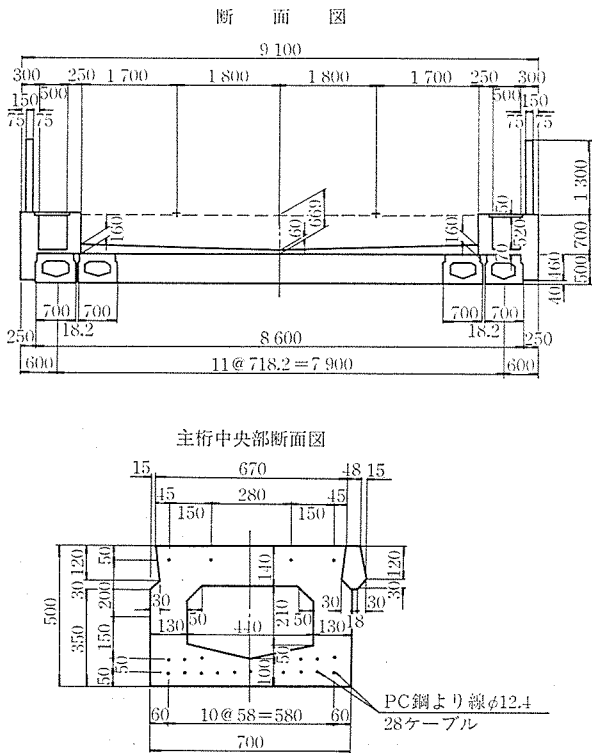


図-3 主桁断面図

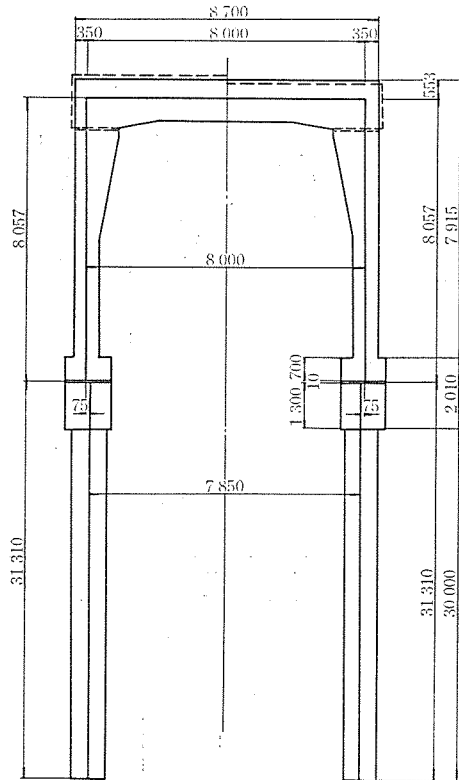
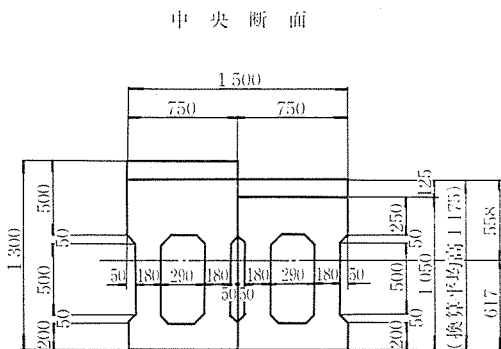


図-5 線路直角方向ラーメン骨組図



注：()内は換算梁高を表す。

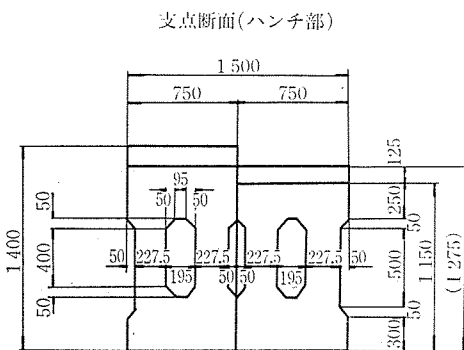


図-4 受梁断面図

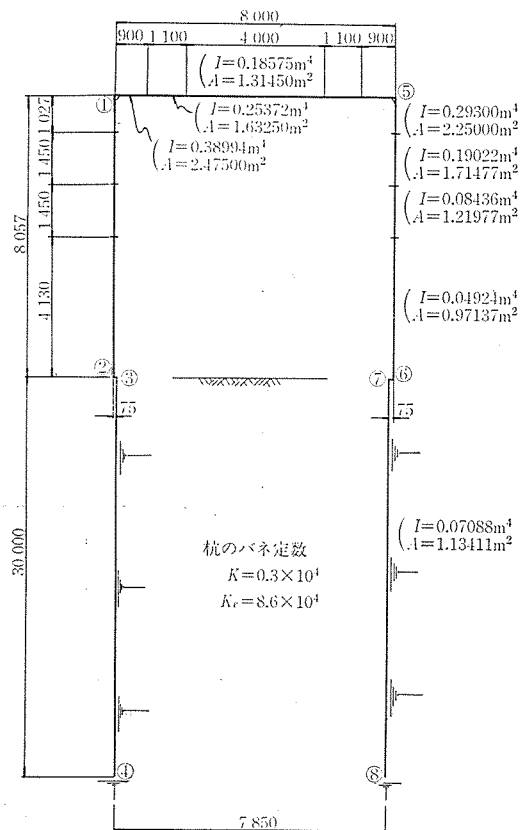


図-6

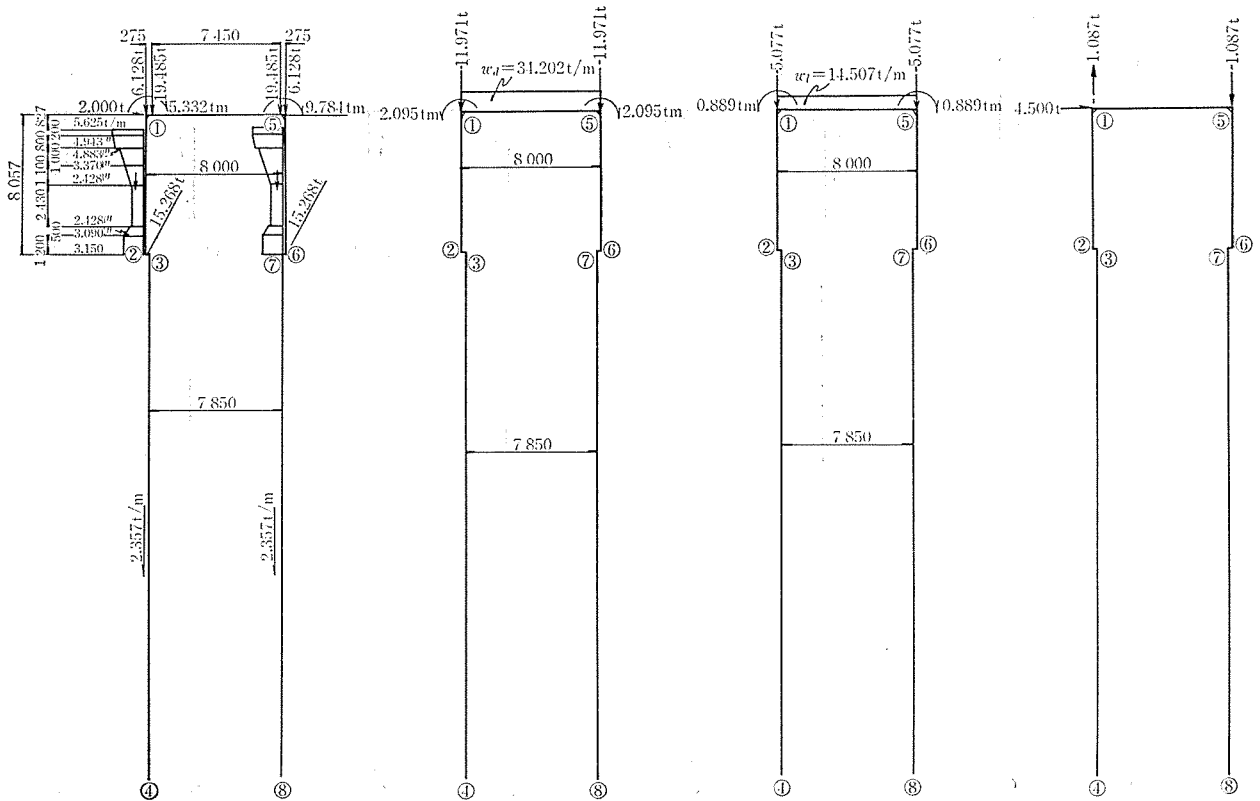


図-7 (1) 死荷重 (下部工自重)

図-7 (2) 死荷重 (上部工)

図-7 (3) 活荷重 (上部工)

図-7 (4) 横荷重

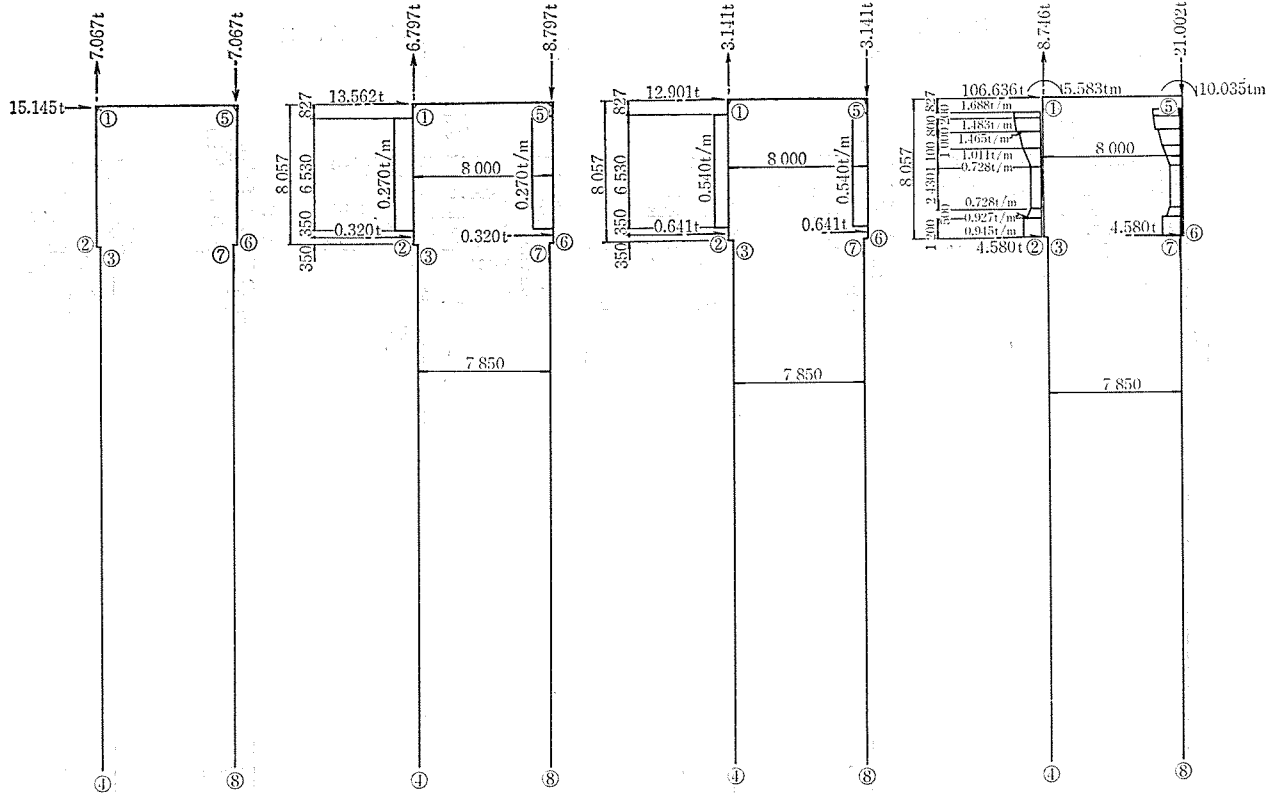


図-7 (5) 遠心荷重

図-7 (6) 風荷重 (電車荷重載荷時)

図-7 (7) 風荷重 (電車荷重無載荷時)

図-7 (8) 地震荷重 (死荷重)

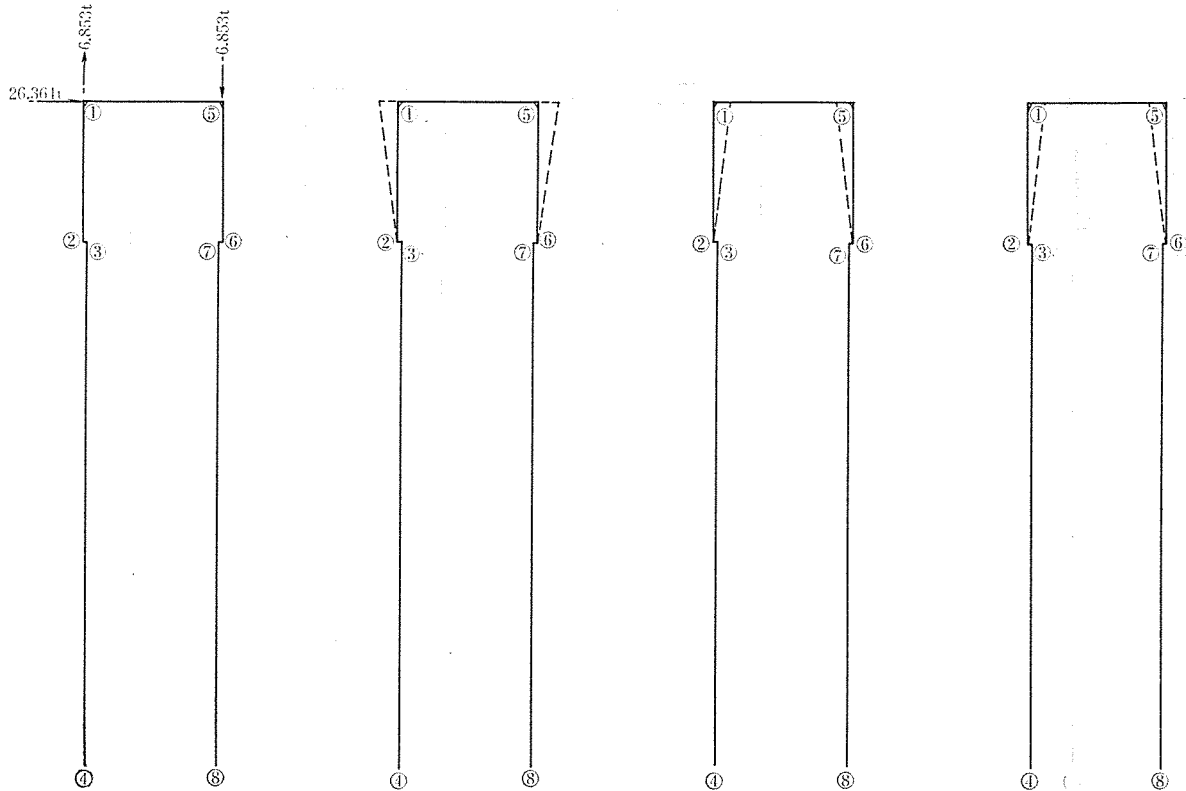


図-7 (9) 地震荷重(活荷重) 図-7 (10) 温度変化・上昇時 ($t=15^{\circ}\text{C}$, $\epsilon_t=10 \times 10^{-6}$) 図-7 (11) 温度変化・下降時 ($t=15^{\circ}\text{C}$, $\epsilon_t=10 \times 10^{-6}$) 図-7 (12) クリープ乾燥収縮・温度下降 ($t=40^{\circ}\text{C}$ 相当, $\epsilon_t=10 \times 10^{-6}$)

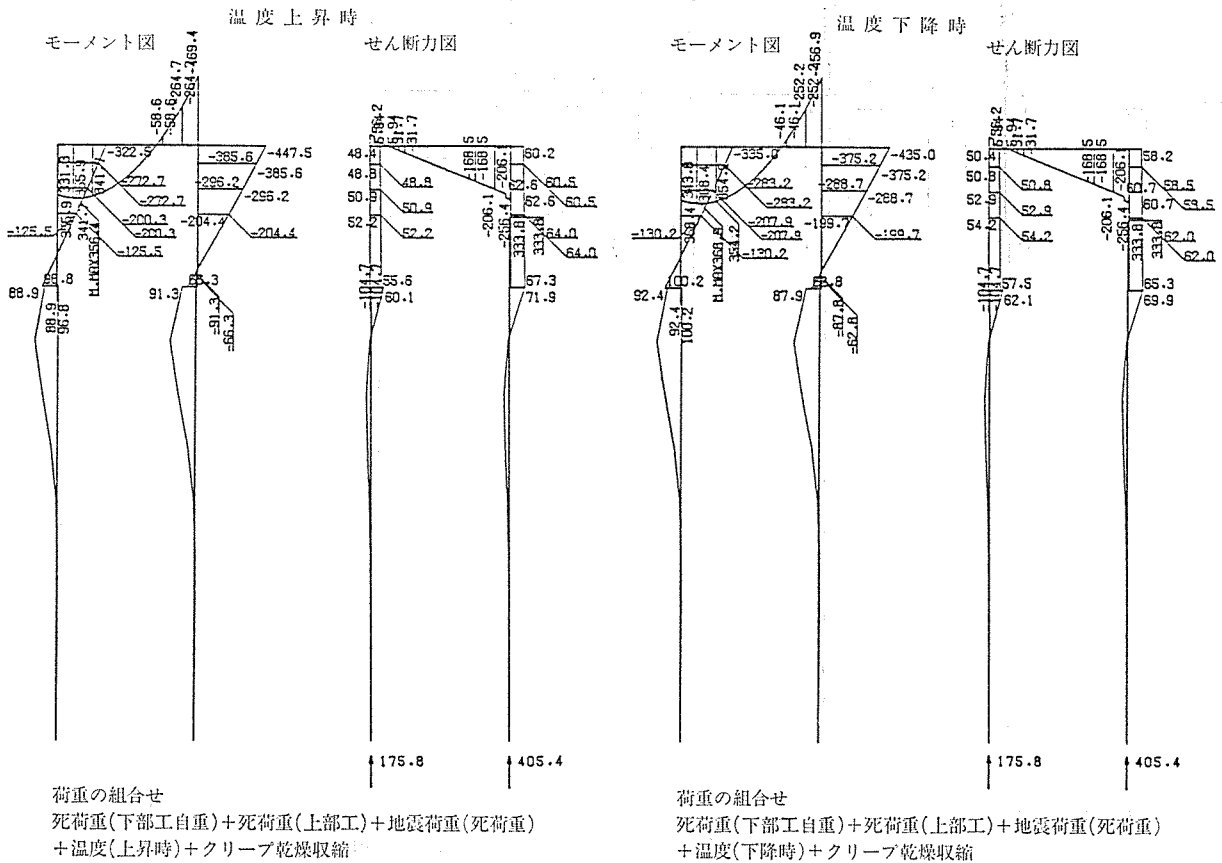


図-8 曲げモーメント図・せん断力図

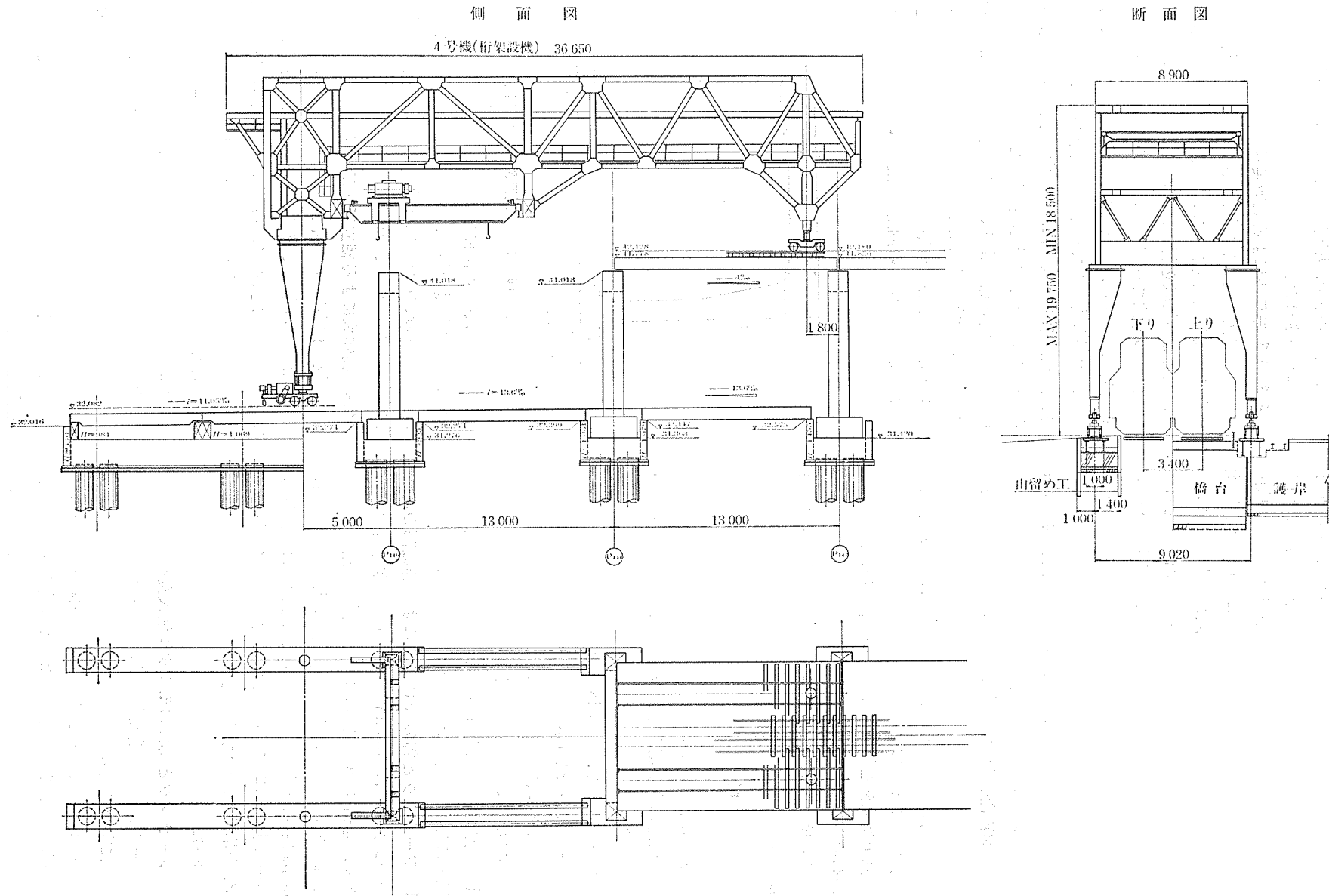


図-9 直上架設機一般図

◇工事報告◇

げ、左右の脚を建て込み、受梁を吊り上げ、架設組合せ後プレストレスを導入し、脚柱と受梁の隅角部を固定し、ラーメン構造を構成させた。橋脚施工完了後、引き続き後方の工事基地から高架橋上を小型ディーゼル機関車で上部工主桁を運搬し、直上施工機にて橋脚上に順次架設配置し、間詰めコンクリート打設後横方向にプレストレスを導入し、橋体工を完成した後、橋面施工を行った。このように同様な施工を繰り返すことにより PC 直上高架橋は完成された。

3.2 特長

次に以上で述べた PC 高架工法の工事特長を列挙すれば、下記のような事項となる。

- 1) 工事作業面積が少なく済み、現場が煩雑にならない。
- 2) 施工時に発生する騒音、振動等の公害を最小限に緩和することができる。
- 3) 直上架設機を使用しているため、施工上の安全性が高められる。
- 4) プレキャスト部材使用により現場工期の短縮が可能となる。

4. 実験

プレキャスト部材によってラーメン構造とするので、目地部の構造および施工方法の確立のために次の種類の実験を行った。

- 1) フーチングと、脚の PC 鋼棒による連結部の実験
- 2) フーチングと脚間のモルタル注入実験
- 3) 1/3 モデルによる載荷実験
- 4) 実物大による組立施工実験

以上の実験を行い安全性の確認、施工性の検討を行った。以下に各々の実験について概略を述べる。

4.1 フーチングと脚の PC 鋼棒による連結部の実験

フーチングと脚は 10mm のモルタル目地を有する構造であり、連結は PC 鋼棒によって緊張し、連結される構造となっている。そのほか脚と断面変化部の補強、目地部の挙動を調べるためにモデル実験を行った。試験方法はベース上に脚 2 本を連結し水平荷重をかけ、目地部の変位、脚隅角部のひずみ等を測定し、ひびわれ、破壊状況を調べた。

4.2 フーチングと脚間のモルタル注入実験

脚とフーチングの目地面積は $1.2\text{m} \times 1.8\text{m}$ であり、この部分に完全に注入することが必要である。注入は連続的に自然流下させる方法で行い、側型枠のエアームキの方法等も合わせて検討を行った。比較的大きな面積で目地厚が 10mm 程度のコンクリート面間に流し込むには、脚下面に流出口より長さを変化させた溝を造ること

によって、圧力のバランスが良く流入がスムーズで未充填部が残らず完全に充填することが確かめられ、実際の構造に利用された。

4.3 1/3 モデルによる載荷実験

基礎的実験が完了した後、実物の 1/3 の部材を製作し組立て、載荷試験を行って、構造物の安全性、挙動を調べ、設計との比較を行った。目地部の施工については実際と同一の方法で施工を行い、載荷方法はラーメン上部中央より鉛直荷重、ラーメン上部交点より 45° で荷重をかけ、水平分力としての水平荷重をかけた。荷重のかけ方は鉛直、水平と個々にかける方法と、鉛直と水平力の組合せによる方法で載荷を行った。測定項目は上梁 4 点、脚の片側 5 点、計 14 点に精度 1/100 mm の変位計を取り付け変位量の測定を行った。コンクリートのひずみは各隅角部と各部材中央部の位置で 36 点の測定を行った。変位、ひずみの測定は 図-10 に示す。以上の方

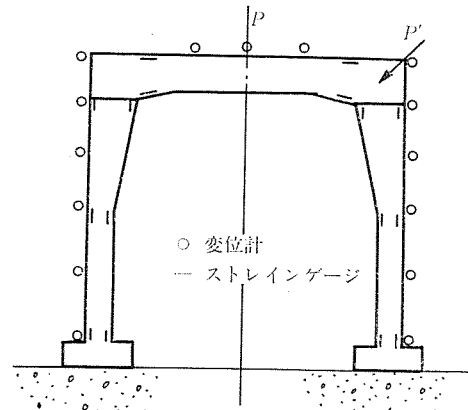


図-10 モデル載荷実験測定位置

法で荷重と測定値の関係を調べた結果、プレキャスト部材でモルタル目地を持ち、プレストレスによって一体化した当構造形式のラーメン構造の変位、応力は一体物として計算した値とよく一致した。

4.4 実物大による組立て施工実験

直上機製作会社の工場内にて、脚および受梁の組立てを実際と同一の方法で施工実験を行った。各目地については個々に実験を行ってきたが、直上機の性能および施工における時間サイクルを調べる目的で実験を行った。

実験場では直上機が組み立てられ、フーチングには連結鋼棒がセットされており、あらかじめ工場で製作された脚を搬入し、フーチング上に直上機を用いて架設、仮受けを行い調整後、目地部に材令 1 日で所定強度の出るモルタルの注入を行い、強度確認後プレストレスを導入し結合した。その後、受梁を脚頭部にしいたモルタル上に振動を与えながらセットし、軟らかいモルタル目地を有する状態でプレストレスを導入し連結を行った。組立

て作業の計画タイムスケジュールと実際の作業との比較検討を行い、実現現場作業が計画どおり行えることが確認できた。組立実験後、部材を解体し目地部の状態を調べ施工改良等を加え、本工事への検討とした。

5. 施 工

5.1 プレキャスト部材の製作

脚柱、受梁、上部工主桁は、工場にて厳重な品質管理のもとに製作した。特に脚柱部材は、建築限界による制約から断面が決定されており、高強度コンクリート $\sigma_{ck} = 600 \text{ kg/cm}^2$ を使用したことで、部材を設計可能な限り軽くしようということで中空柱としたために部材厚が薄いため、コンクリート養生時の温度勾配の管理には特に注意してひび割れの発生が起らないように注意した。

5.2 施工機械

直上高架施工機は、基礎杭工事専用の3基と、脚柱、受梁、上部工主桁の架設を行う架設機との計4基から構成されている。これらの施工機は、在来線の両側に布設された軌道上を移動しながら、在来線上に高架橋を築造していくものである。

5.3 架設組立

脚の組立作業手順は 図-11 に示すとおりである。

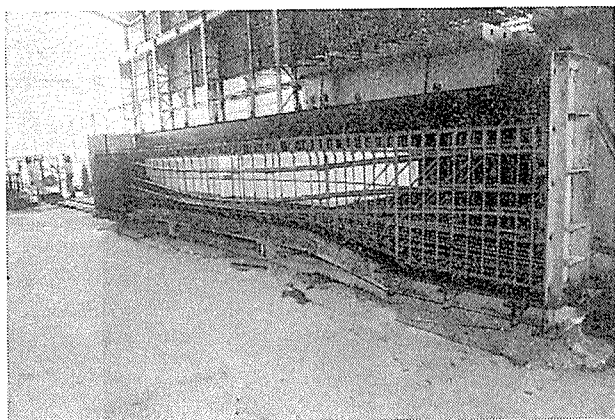


写真-1 プレキャスト部材の製作

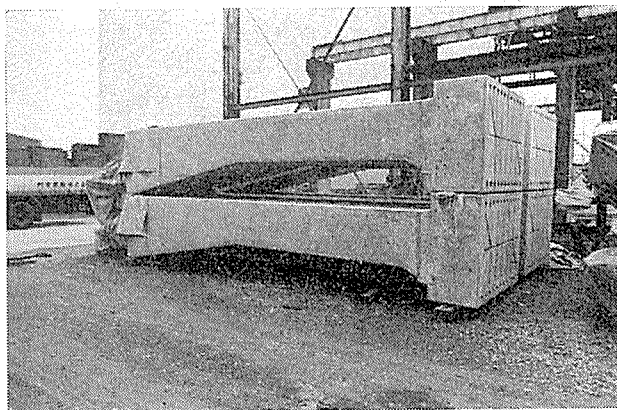


写真-2 プレキャスト部材の製作

5.3.1 脚柱建込み作業

軌道モーターカーにて現地搬入したプレキャスト脚部材は、直上施工機により建込みを行い脚の仮受けジャッキにて高さ位置の調整を行った。脚柱建込み完了後、直ちに脚柱下端の下へ無収縮モルタルを注入した。注入方法は脚柱背面に漏斗を取り付け、自然流下法で注入した。注入状況の確認は、モルタル流出止め型枠に設けたモルタル流出孔に対して目視で行った。

5.3.2 脚柱下端固定部緊張グラウト作業

無収縮モルタルの圧縮強度が24時間後 260 kg/cm^2 以上を確認した後、PC 鋼棒の緊張を行った。特に緊張作業時脚柱に偏心荷重が作用しないように注意を払った。

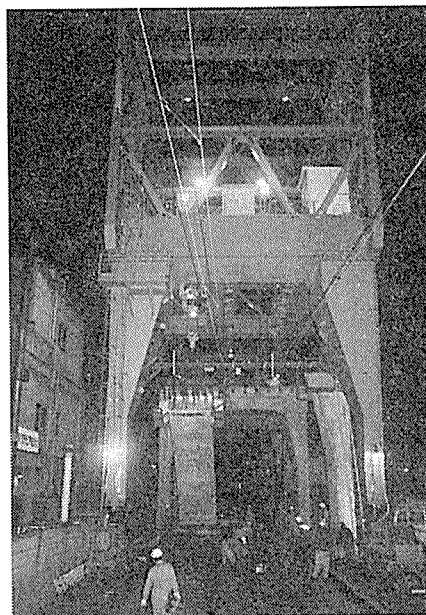


写真-3 直上高架施工機

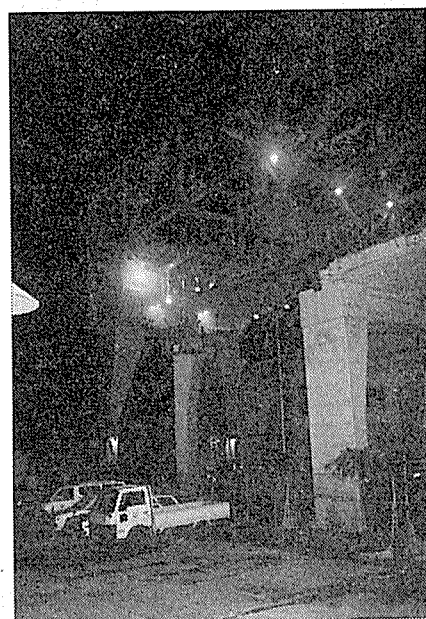


写真-4 直上高架施工機

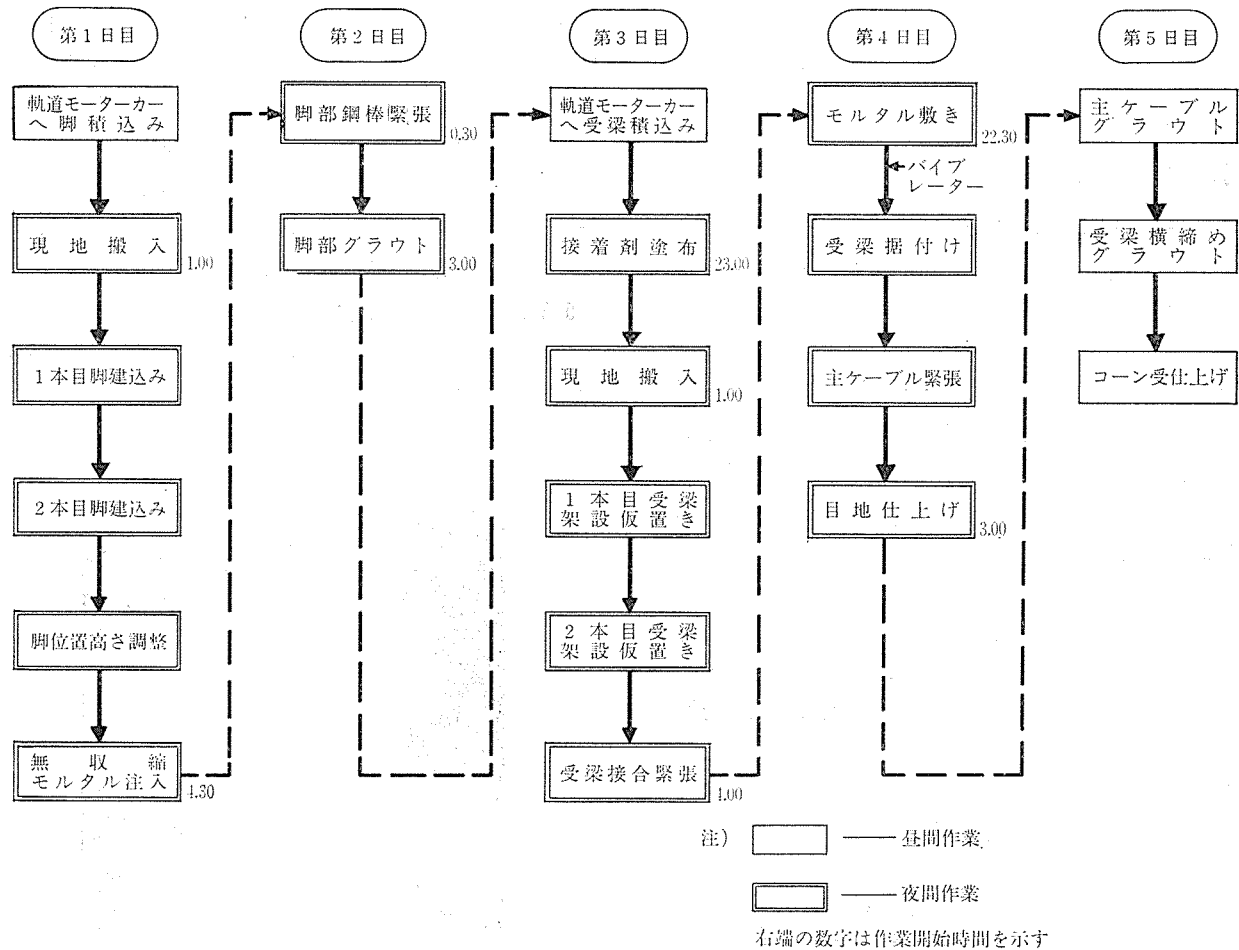


図-11 脚の組立作業手順

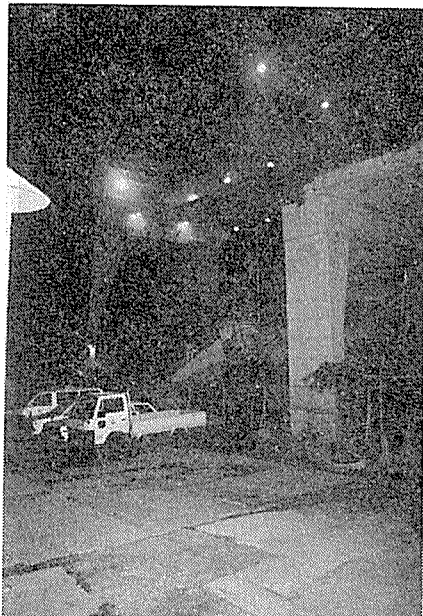


写真-5 脚柱建込み作業

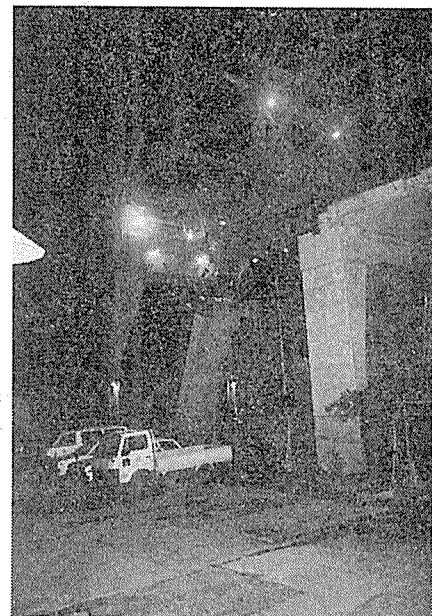


写真-6 脚柱建込み作業

緊張順序は 図-12 のように配慮した。なお緊張はセンサーホールジャッキ2台を用いて、PC 鋼棒2本を同時に緊張した。緊張完了後、引き続きグラウト作業を行っ

た。

5.3.3 受梁架設および接合作業

受梁プレキャスト部材は、昼間軌道モーターカー基地

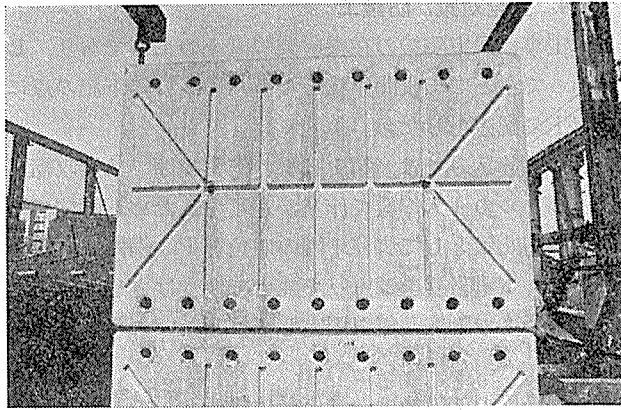


写真-7 脚柱下端下面



写真-9 脚柱下端部の PC 鋼棒緊張

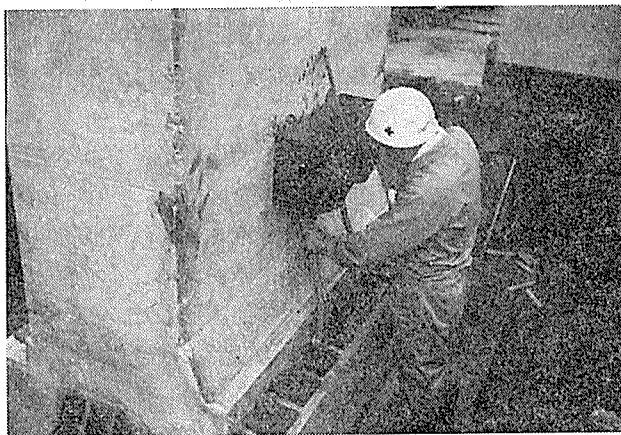


写真-8 モルタル注入

分割設計となっており、テフロン板の使用目的は、受梁部材の接合時の摩擦抵抗を少なくし緊張作業を容易にするために使用するものであり、緊張完了後、直ちに受梁をジャッキで仮受けし撤去した。

5.3.4 受梁、脚柱、部の剛結

現場配合によりモルタルを練り、前日よりジャッキで仮受けされた受梁の状態脚柱と受梁の剛結面に敷きモルタルを行い、敷きモルタル完了後、仮受けジャッキをゆるめて受梁を据え付けた。この据付けの際の受梁の微

でトラック クレーン を使用して モーターカー に積み込み、夜間現場搬入直前に受梁部材接合面にエポキシ樹脂系接着剤を塗布し、現場に搬入する。受梁の架設は、直上施工機の 25 t ホイストの合吊りで脚部上面にあらかじめセットされたテフロン板上に仮置きする。次に受梁プレキャスト部材 2 本を接合キーをガイドとして引き寄せ密着させ、横方向 PC 鋼棒をセットし緊張作業を行い、一体化し受梁とした。受梁は直上施工機的能力上 2

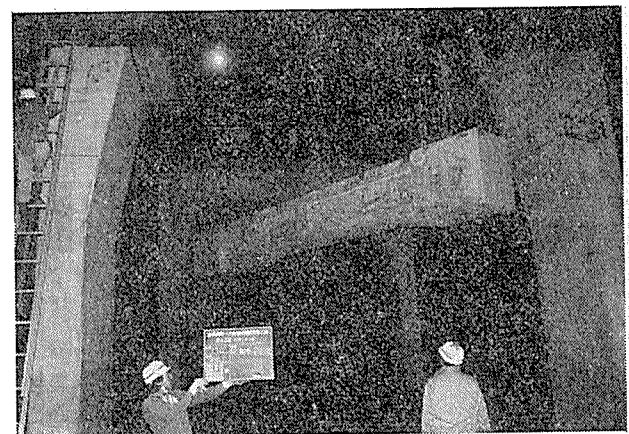


写真-10 受梁架設

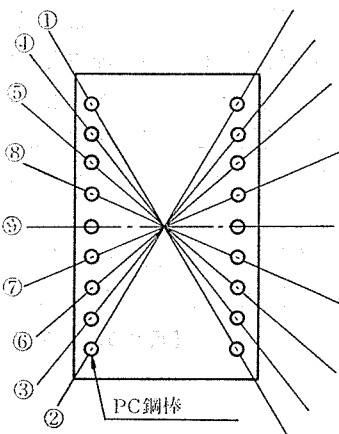


図-12 PC 鋼棒緊張順序図 (脚部下端平面)

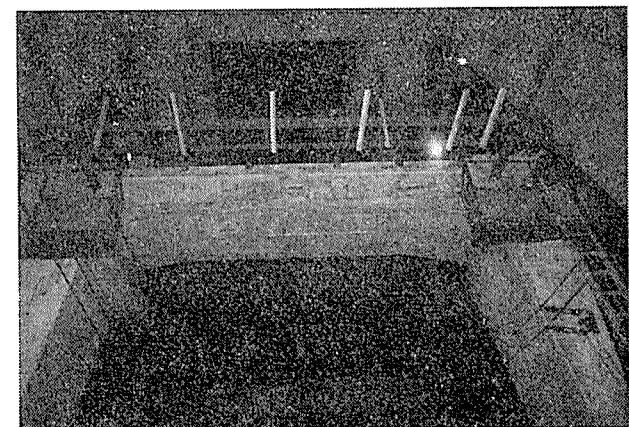


写真-11 受梁架設

◇工事報告◇

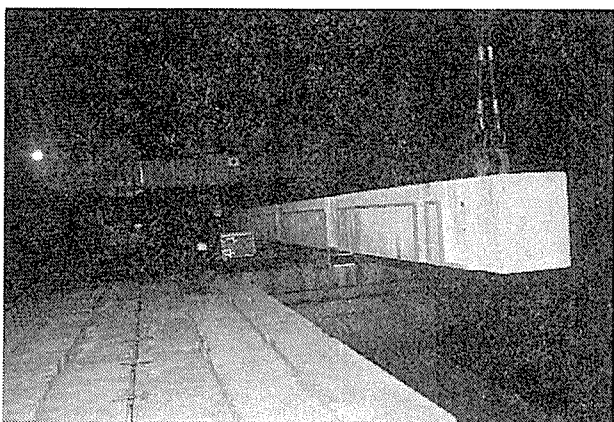
調整は、受梁部材一体化後の重量（34 t～40 t）が直上施工機のホイスの能力（10 t ホイス 2 基）を上まわり使用不可能なため、25 t ジャッキ 4 台によった。次に仮受け H 鋼を撤去し、その部分に敷きモルタルを行いジャッキダウンをし、本体がモルタルに接する所であらかじめ受梁にセットしてある箱形振動機を作動させながら打下してモルタルを均等化させた。引き続き脚柱用の主ケーブル緊張作業、グラウト作業を行い、ラーメン橋脚を築造した。この方法は軟らかいモルタル目地にプレストレスを導入する方法で、既に国鉄等で数件の工事に採用実施されている。

表—4 敷きモルタル配合表 (m³ 当り)

W/C (%)	C : S	水 (ℓ)	セメント (kg)	砂 (kg)
36.5	1 : 1.6	291	797	1196

5.3.5 上部構造の施工

以上に述べたような繰返し作業を行い、ラーメン橋脚 2 基を築造した後、後方基地から高架橋上をディーゼル機関車で上部 PC 桁を搬入し、橋脚上に順次吊り上げ、所定の位置に架設し、間詰めコンクリート、横方向プレストレッシングを行った後、橋面施工を行った。このようにして 1 径間分の直上高架橋は完成した。



写真—12 上部工 PC 桁架設



写真—13 直上高架橋完成

5.4 安全対策、防護工

本工事は民家隣接の在来営業線直上の工事であり、したがって主として夜間作業となるため、特に下記の点に施工上の配慮をした。

- 1) 脚建込みでは、第 1 日目の作業範囲では無収縮モルタルの注入作業で作業が完了するため、脚柱の転倒防止策として脚柱下端の四角を PC 鋼棒で仮締めし、1 脚当りをジャッキ 4 台で仮受けさせ、25 t ホイスで脚柱頭部を固定し転倒しないように配慮した。
- 2) 受梁の架設後は一日仮受け状態として放置されるため、脚柱と同様の方法で転倒防止を行った。
- 3) 在来営業線上の直上作業であるため、線路閉鎖、キ電停止を充分確認のうえ作業を進めた。
- 4) 合板シート等で養生を確実にし、落下物の出ないように配慮した。
- 5) 受梁部材架設前にあらかじめ作業足場および防護工を設置して高所作業の軽減を図った。
- 6) グラウト作業では、セメントミルクの飛散防止には特に注意を払い、グラウトホースのジョイント、注入箇所をシートで充分に覆い施工した。
- 7) 作業に当たって、合図の方法および確認の徹底を図り、安全作業を推進するよう努力した。
- 8) 隣接の住民との連絡を密にし、トラブル防止に努めた。
- 9) 電車の運行に支障をきたさぬよう現場の整理整頓および作業終了時の見回り点検確認を励行徹底させた。

6. あとがき

本直上高架橋工事は、以上述べたように営業活線上の作業ということで特に安全対策に重点をおき、周到かつ綿密な施工計画のもとに、夜間作業という制約ハンデと高度の技術が要求されているにもかかわらず今日まで何のトラブルもなく進められている。この工事がこのように安全かつ迅速に進められている理由として見逃してはならないのは直上施工機の開発にあると言っても過言ではないかと思う。最後にこの工事報告書が今後の都市内鉄道立体化工事計画の参考になることを願って報告を終わらせていただく。

なおこの工事を進めるに当たり御協力願った関係各位の御指導御協力に深甚の謝意を表します。

【昭和 61 年 8 月 22 日受付】