

首都高速道路 3 号線 (II 期) の片持式 PC プレキャストブロック 工法による高架橋の設計と施工について (その 1)

首都高速道路公団
日本建設コンサルタント株式会社
オリエンタルコンサルタント株式会社
ピー・エス・コンクリート株式会社
横河工事株式会社

まえがき

都市内およびその近郊のコンクリート橋は、PC の JIS 桁、合成桁およびブロック式箱桁などのプレハブ工法が多く採用されていく傾向にあると思われる。プレストレストコンクリート桁の製作から架設までには各種の工程があり、各職種の技能労務者が必要となるが、これら労務者の不足とともに工事件数の増加および工事規模の拡大等から、おのおの工事現場で労務者を集めることが困難になってきている。したがって、工事現場における現場作業を少なくさせるとともに、作業の単純化をはからねばならなくなってきた。また、都市内における工事では工事騒音を少なくさせたり、架設時の交通阻害を避けるために急速施工が要求される。さらに、今日の構造物は設計施工の面からより良い品質管理が要求され、PC 桁の工場製作または集中管理方式が採られるようになり、プレハブ化が促進されることになるであろう。

しかし、道路橋のプレハブ工法の設計・施工においては、今後研究、開発されなければならない点がいくつかある。

首都高速 3 号線 (II 期) では、第 381 工区高架橋 (ポストテンション式 PC 3 径間連続曲線箱桁橋) および第 383 工区高架橋 (ポストテンション式 PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋) の 2 橋にプレキャストブロック片持式架設工法が採用された。

この工事報告では (その 1) 設計概要の報告・ (その 2) 施工計画および架設についての報告・ (その 3) 本工事における問題点の検討結果という順序で、これら 2 橋の工事例をもとにしてブロック工法について述べることにしたい。

1. 計画概要

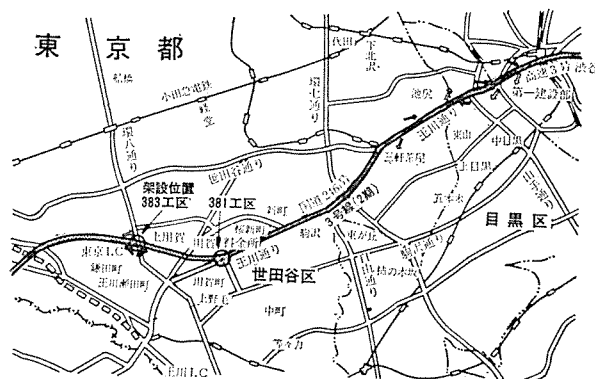
(1) 路線および架設地点

首都高速 3 号線 (II 期) は、現在供用されている首都高速 3 号線の終点 (渋谷区大和田町) と東名高速道路の起点 (世田谷区上用賀) とを結ぶ延長約 8 km の都市内高架道路である。

本線は、渋谷区大和田町より国道 246 号線 (玉川通り) 上を西に進み、世田谷区用賀交差点で国道より分離し、用地買収を行なった住宅地および農地を経て、世田谷区上用賀で都道環状 8 号線を横断し東名高速道路に接続している。

上記路線のうち、用賀交差点部分 (381 工区) と環状 8 号線横断部分 (383 工区) に片持式 PC プレキャストブロック工法による高架橋を採用した (図-1)。

図-1 位置図



(2) 構造形式および架設工法の選定

本工区付近の地質は、地表面が関東ロームでおおわれており、その下が薄い砂礫層をはさんだ粘土層で、さらにその下は土丹といわれる砂質泥岩層がある。

この土丹は地表面より 15~30 m のところにあり、 N 値が 50 以上で構造物の杭の良好な支持地盤となる。また、粘土層も杭の水平抵抗にはかなり期待できる。

構造形式については、比較設計によって PC および RC 構造物が採用された。PC 橋は主として単純合成桁であるが、他にホロスラブ橋、3 径間連続箱桁橋が

ある。

「第 381 工区高架橋」は、国道 246 号線と都道の交差する用賀交差点の上を斜めに横断している。そのためこの高架橋は曲線橋となり、また、交差点箇所であるから橋脚の位置に制限を受けて高架橋の支間は約 46 m とした。曲線区間では横断勾配もかなり大きくなるので、上下車線は中央分離帯で切断して単一箱桁とした。連続橋の構造形式については、支間中央にヒンジを設けるのは、クリープの影響などにより縦断曲線が不連続になってくる場合があり、ヒンジ箇所の伸縮継手箇所もふえるので、自動車の走行性・橋梁の維持補修を考慮して無ヒンジ連続桁とした。なお、支間に比べて橋脚が短いので中間支点はラーメン構造としないで支承とした。この支

承は常時の温度変化・乾燥収縮・クリープによる微動量はシューの中に組込まれたゴムのせん断変形でとらせ、地震荷重等の急激で大きな移動量はシューの鋼製ストッパーで受ける。

「第 383 工区高架橋」は、都道環状 8 号線を横断している。この箇所は東名高速道路のランプウェイが隣接しており、また、環状 8 号線上に将来立体交差の計画があるので、首都高速道路はその立体交差を越えるように設計され、かなり高い橋脚となった。中央支間 60 m、支間中央での桁下空間が 13.5 m で計画された。中央支間に比して橋脚が高いので、ラーメン構造としてもプレストレスによる 2 次反力、温度変化および乾燥収縮、クリープによる変形による反力も、それほど大きくならな

図-2 (a) 381 工区高架橋一般図 (平面図)

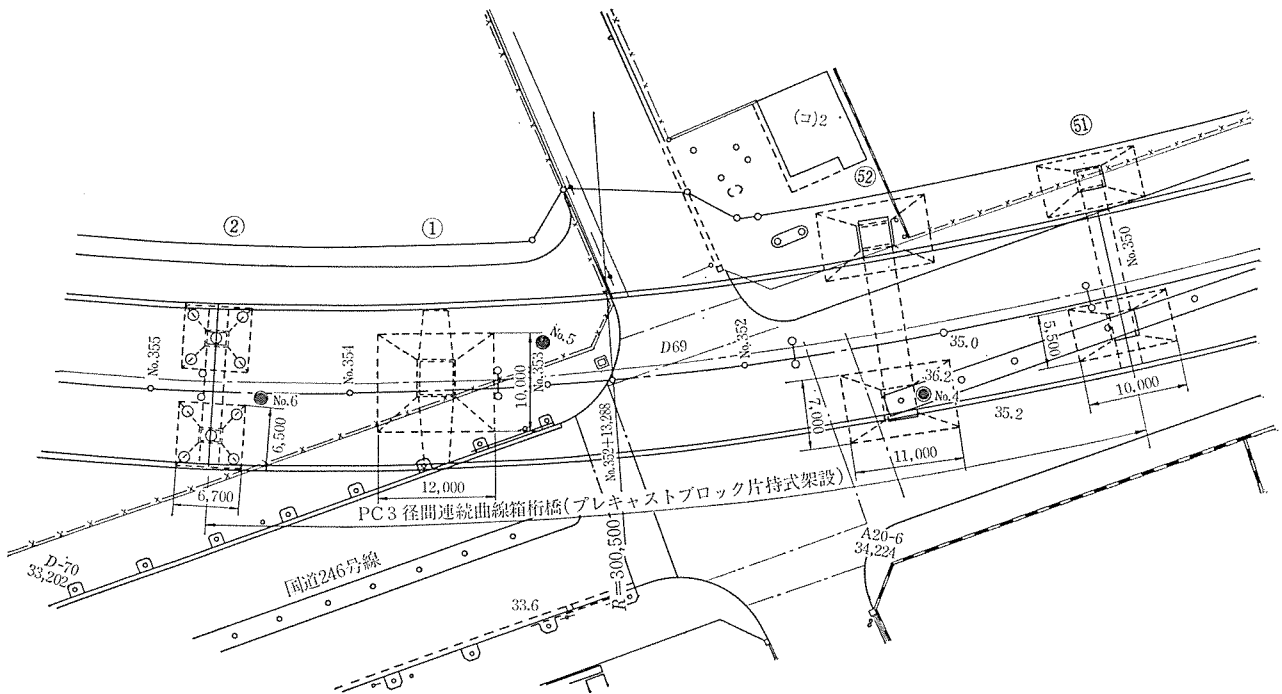
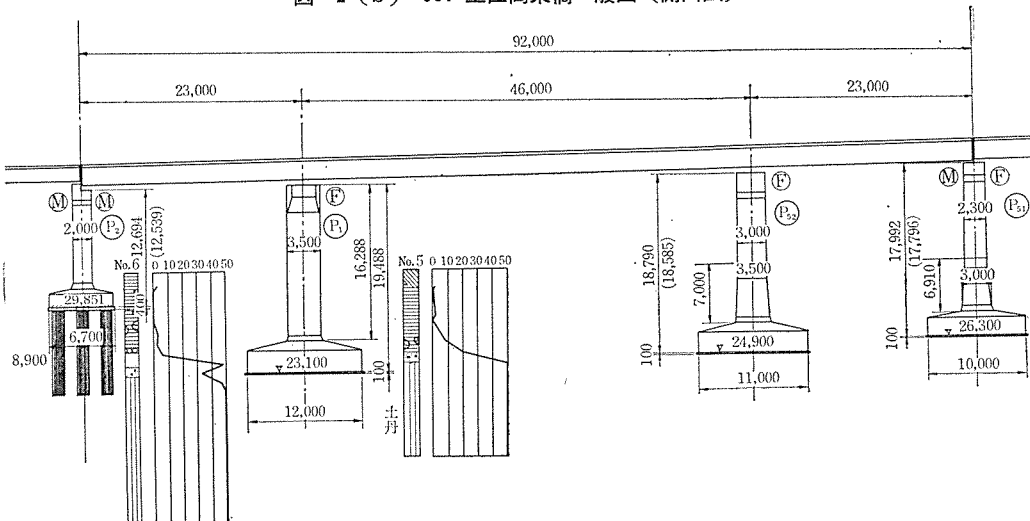


図-2 (b) 381 工区高架橋一般図 (側面図)

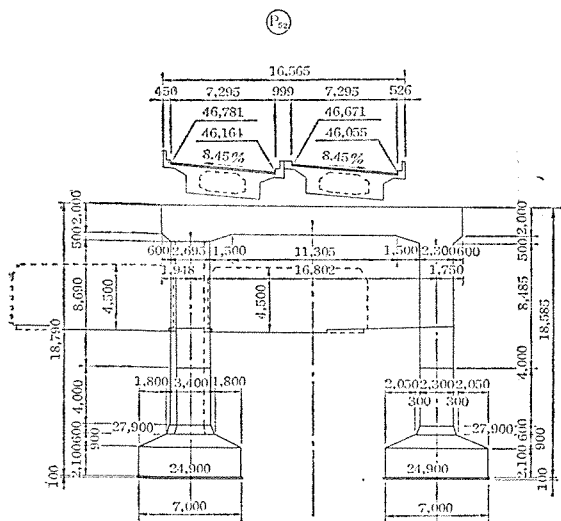


い。また、支間が大きい場合のラーメン構造では、地震時の水平力を中間橋脚に分担させることができるし、片持式ブロック架設を行なうにも中間橋脚の柱頭部が剛結

されていると架設時の安定性もよい。

第381工区および第383工区高架橋のPC3径間連続箱桁橋は、プレキャストブロック片持式架設工法によって架設された。この工法を採用するにあたっては次のようなことが選定理由となった。

図一(c) 381 工区高架橋一般図 (横断面図)

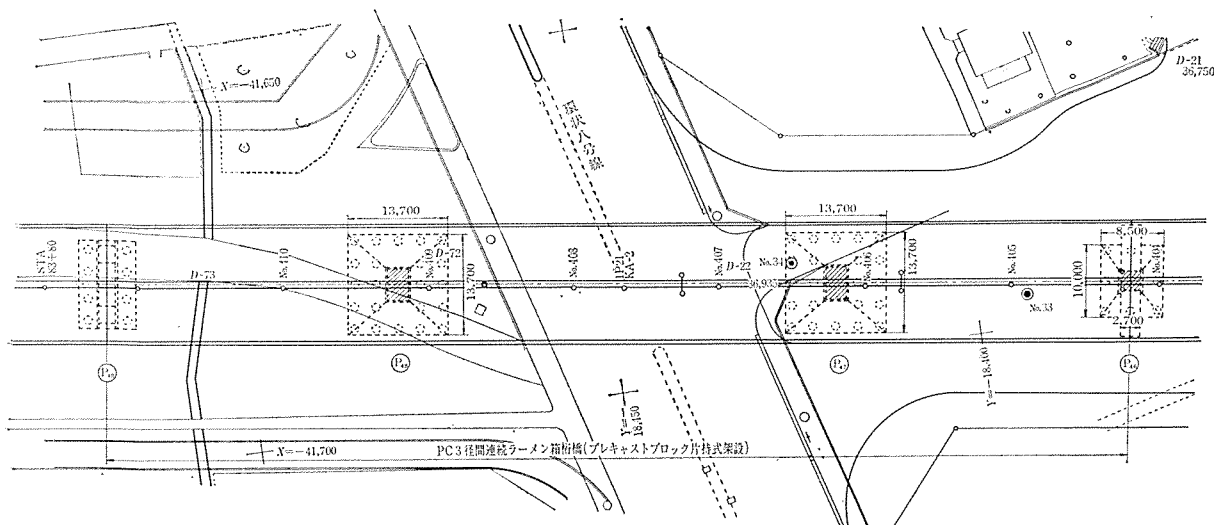


1) 架設地点についてみると、第381工区および第383工区高架橋は幹線道路の交差点上につくられる。いずれも昼夜ともに交通量の多い所である。したがって、両工区とも施工時において重交通を極力阻害しないような架設工法でなければならない。

2) 重交通上の工事であり、また高所作業であるため、通行中の自動車に対する安全確保と安全工事のために、重量物の架設作業等をできる限り短時間でかつ単純作業で行なえる工法が望ましい。

3) 製作ヤードの用地については、必ずしも十分な広さではないが、架設地点に隣接して将来付属街路となる用地が両工区ともあり、この用地を製作ヤードとストックヤードとに使用することができる。

図一(a) 383 工区高架橋一般図 (平面図)



図一(b) 383 工区高架橋一般図 (側面図)

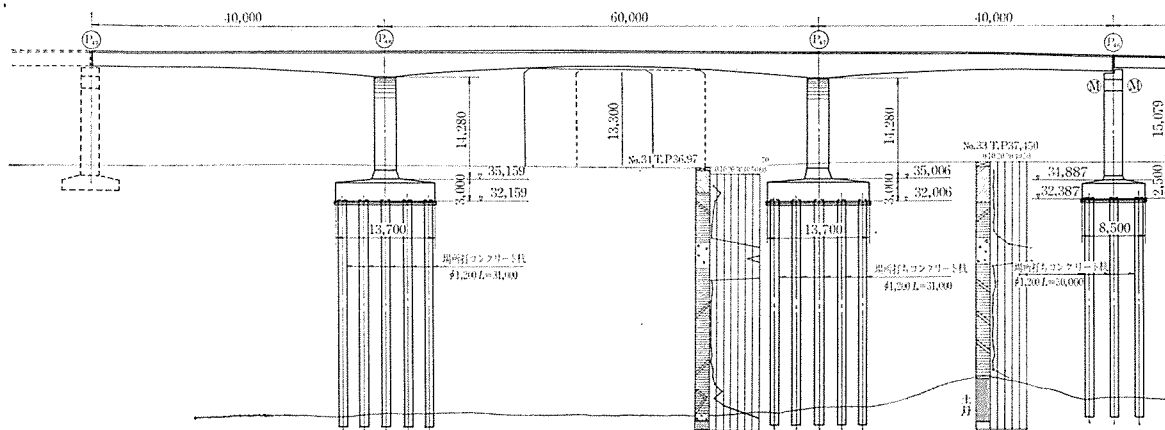
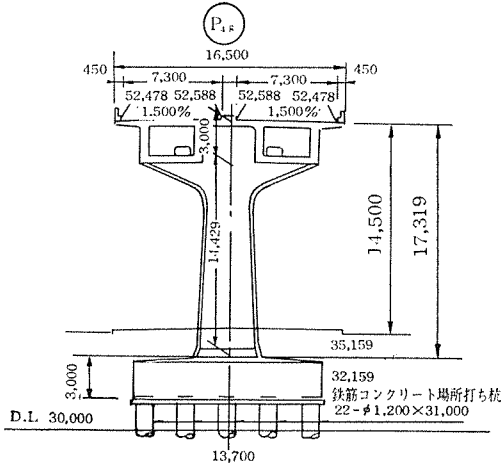


図-3 (c) 383 工区高架橋一般図 (横断面図)



以上の他に、コンクリートの作業が完全にかつ容易に行なわれることなどの諸条件を考慮して本工法を採用した (図-2, 3)。

2. 設計概要

(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：ポストテンショニング PC 3 径間連続桁橋 (381 工区)
 ポストテンショニング PC 3 径間ラーメン橋 (383 工区)
 橋 長：92.0 m (381 工区), 140.0 m (383 工区)
 支 間：22.76+46.53+22.67 m (381 工区)
 39.4+60.0+39.4 m (383 工区)
 幅員構成：7.3 m+7.3 m (381 工区は上・下車線分離)
 活 荷 重：TL-20
 衝撃係数：主桁 $i=10/(25+l)$
 床版および横桁 $i=20/(50+l)$
 破壊安全度： $M_u > 1.3$ (死荷重) + 2.5 (活荷重)
 > 1.7 (死荷重 + 活荷重)
 > 1.3 (死荷重 + 地震荷重)
 クリープ係数：主桁に対して $\phi=1.5$
 横桁に対して $\phi=2.0$
 乾燥収縮度：主桁に対して $\epsilon_s=11.25 \times 10^{-5}$
 横桁に対して $\epsilon_s=15.0 \times 10^{-5}$
 レラクセーション：床版横締鋼棒 5%
 上床版内ケーブル 7%
 下床版およびウェブ内 5%
 主桁および横桁用ケーブル：フレッシュケーブル 12- $\phi 8$

表-1 材料強度と許容応力度

コンクリート	設計基準強度	400 kg/cm ²	
	許容曲げ圧縮応力度	部材圧縮縁引張縁	130 "
		" "	170 "
	許容曲げ引張応力度 (継目部を除く)	部材圧縮縁引張縁	-15 "
		" "	-15 "
	許容斜引張応力度 (ねじりを考慮した場合)	設計荷重時破壊	-9 "
" "		-20 "	
設計荷重時破壊		-13 "	
" "		-25 "	
プレストレス導入時圧縮応力度	400 "		
PC 鋼線 $\phi 8$	引張強度	150 kg/mm ²	
	降伏点応力度	135 "	
	許容引張応力度	設計荷重時	93 "
導入直後		108.5 "	
緊張作業時		121.5 "	
PC 鋼棒 $\phi 33$ $\phi 16$	引張強度	110 "	
	降伏点応力度	95 "	
	許容引張応力度	設計荷重時	66 "
導入直後		77 "	
緊張作業時		85.5 "	
鉄筋	許容引張応力度	主桁	1 800 kg/cm ²
		桁版	1 600 "
ブクロ継目	1.1 × (死荷重) + 1.2 × (活荷重) に対して引張応力度が 1.05 × (死荷重) + 1.25 × (活荷重) 生じないこと		

表-2 高架橋主材料表

	形 状	単位	第 381 工区 高 架 橋	第 383 工区 高 架 橋
床 版 面 積	上床版コンクリート面積	m ²	1 520	2 280
ブ ロ ッ ク 数	プレキャスト ブロック	個	64	92
架 設 重 量	"	t	1 990	2 712
コンクリート	プレキャスト部分	m ³	796	1 085
	主桁場所打ち部分	"	193	488
	そ の 他	"	115	118
P C 鋼 材	フレッシュナー 12 $\phi 8$ (両引)	t	43	64
	" 12 $\phi 8$ (片引)	"	—	6
	P C 鋼 棒 $\phi 33$	"	23	—
	" $\phi 16$	"	1	—
鉄 筋	D16~D25	"	150	253
	$\phi 9$ ~D13	"	—	7
型 わ く	プレキャスト部	m ²	3 763	5 217
	その他・場所打部	"	915	1 549
接着剤塗布面積	"	"	513	682

床版横締用鋼棒：SBPC 110- $\phi 33$

材料強度および許容応力度：表-1 参照

材 料 表：表-2 参照

上記の設計条件のほかに、片持式プレキャストブロック工法の設計にあたり考慮したことを次に述べる。

① 381 工区, 383 工区とも曲線区間が含まれているため、横断勾配に大きな変化 (381 工区 7.19~9.0%, 383 工区 -0.782~1.5%) があるが、プレキャストブロックの製作を単純化するために主桁の横断勾配は一定とした。路面の計画横断勾配とプレキャストブロックの上床面との差は、381 工区の場合は上床版にならシコンクリートを舗装し、383 工区の場合はアスファルト舗装

厚で調整するものとした。

また、381 工区の場合、計画基準線はクロソイド曲線と円曲線からなっているが、前と同じ理由から、基準線を変換して全長にわたり同一円曲線とした。なお、計画基準線と主桁基準線との調整には、ブロックのフランジの外側に約 35 cm の場所打ち部分をもうけた。

② ブロックの継目は主桁基準線の法線に対し、直角とした。

③ 両工区とも前述したとおり、街路上で架設するブロックが大部分であり、これらは深夜に架設作業の一工程、すなわち運搬から PC ケーブルの緊張までを完了することとした。したがって、目地材はセメントモルタルに比べて速効性のあるエポキシ樹脂接着剤を使用した。

④ ブロック重量は 40 t/個 以下とし、また、各ブロックの重量をほぼ等しくさせてブロックの運搬・架設に使われる機械の稼働能率をよくした。

⑤ 381 工区高架橋は、曲線桁であるので架設時に閉合時とは逆向きのねじりモーメントが中間支点到に生じる。これに対しては、仮縦締め鋼棒を用いてその反力をとらせた。したがって、直線桁の架設用縦締め鋼棒に比べて本数が増えている。

(2) 主桁断面力の計算

a) 381 工区高架橋の場合 主桁断面は、比較的短い支間なのでウェブ中心間隔が 4.95 m、上床版厚 20 cm、桁高 2.06 m の等断面(図-4)とし、橋軸直角方向に対して床版を PC 鋼棒で横締めした。

主桁断面力の計算は、① 架設順序に従った場合の断面力計算、② プレストレスによる不静定力の計算、③ プレストレスのクリープによる不静定力の計算、④ 主桁自重のクリープによる不静定力、⑤ 橋面荷重(地覆、高欄、舗装)による断面力計算、⑥ 活荷重による断面力計算の順序で行ない、応力度の検討は施工順序にしたがって行なった(図-5)。また、主桁のねじり剛性を考慮した曲線桁理論を用いて断面力を計算している。

図-6、7 に曲げモーメントの計算結果を示す。

図-4 381 工区高架橋標準断面図

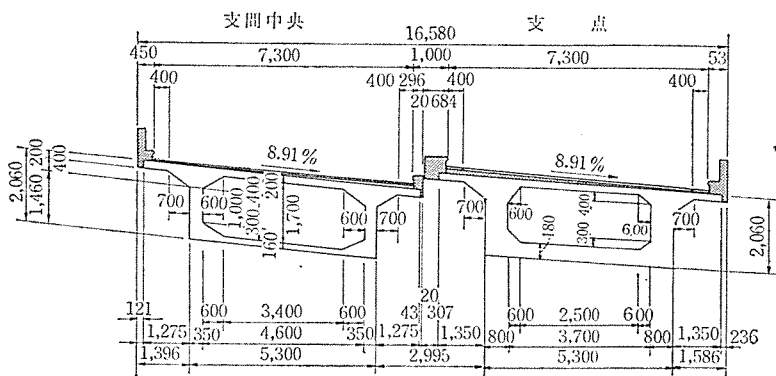
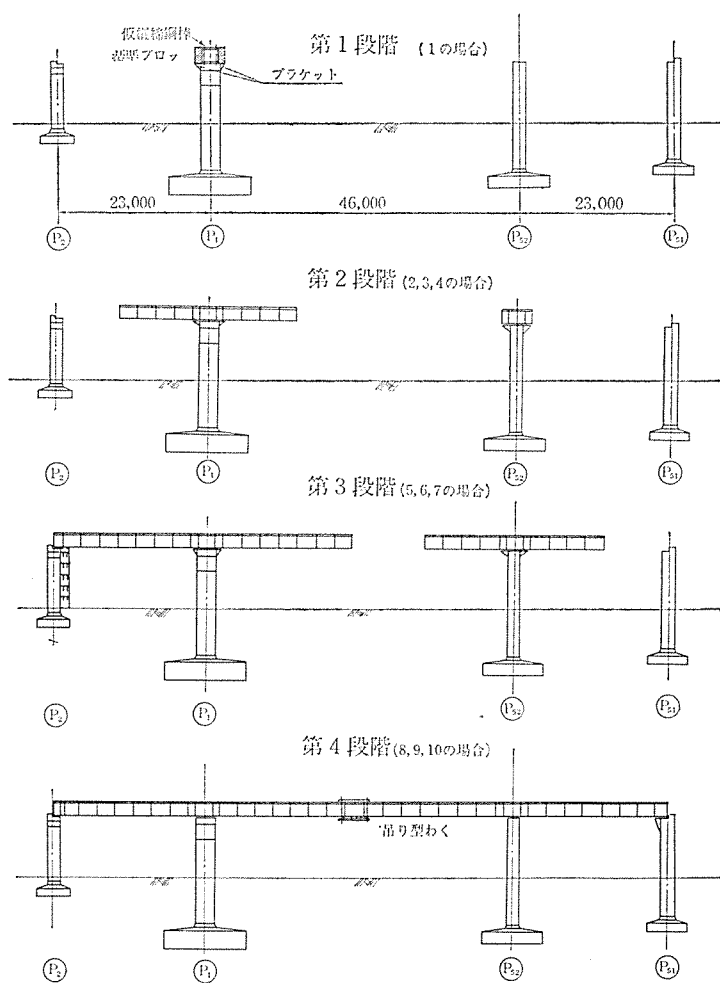


図-5 381 工区高架橋施工順序図



1. P₁ 橋脚上に基準ブロックを据付け場所打施工する。
2. P₁ 場所打上部にエレクションノーズ架設車を設置。
3. P₁ より両側に片持架設 (7+7ブロック) する。
4. P₅₂ 橋脚上に基準ブロックを据付け場所打施工する。
5. P₁ より P₅₂ にエレクションノーズ架設車の段取替え。
6. P₅₂ より両側に P₁ と同様架設する。
7. P₂, P₅₁ 端部場所打ち部を施工、P₂-P₁ P₅₂-P₅₁ 間を連続する。
8. P₁, P₅₂ のテンポラリバー(仮縦締め鋼棒)解放仮シューを撤去する。
9. 中央場所打ち部を施工、3径間を連続とする。
10. 連続ケーブルを緊張する。

b) 383 工区高架橋の場合 中央径間に将来立体交差が計画されているため桁下が制約され、また、中央径間が 60 m あるため支間中央の桁高 1.85 m、橋脚前面の桁高 3.00 m の変断面とした (図-8)。床版は横締めせずに RC 構造とした。

主桁断面力の計算は 381 工区の場合と ①~⑥ まで同

じであるが、本高架橋はラーメン構造であるため、⑦ 温度変化、乾燥収縮による断面力の計算、⑧ 地震荷重による断面力の計算も行なっている (図-9)。

本橋は主桁のねじり剛性が大きいので、Homberg の「主桁のねじり剛性を考慮した単純支持格子桁の理論」を用い、単純支持格子桁としての荷重分配係数を計算した。活荷重による主桁 1 本あたりの断面力は、全幅あたりの断面力に荷重分配係数を乗じて算出した。

図-10, 11 に曲げモーメントの計算結果を示す。

(3) ブロック目地の設計

ブロック目地は設計の考え方にもいくつかあり、また施工上からみてブロック端部の構造詳細には検討を加えねばならない。

ここでは、ブロック目地の設計について、a) 目地材の選定、b) 目地の設計 (① ブロック目地のプレストレス、② 上床版の輪荷重)、c) ブロック端部の細部構造の三点から本工事の設計例を述べる。

a) 目地材の選定：目地材としては、場所打ちコンクリート目地とエポキシ樹脂接着剤の 2 種類を検討した。

コンクリート目地は、ブロックの製作誤差や架設誤差を調整するなどの施工性は良いのだが、型わく建込み、鉄筋とシースの組立て、およびコンクリートの養生とかなりの工程を必要とするので急速施工性には難点がある。

先にも述べたが、本工区はかなりの交通量があり高所作業でもあるので、現場施工時間を短縮するようにしたい。急速施工の点ではエポキシ樹脂接着剤が適しているが、架設高調整等の施工性にはいくつかの問題がある。

第 381 工区高架橋は曲線桁であり、第 383 工

図-6 381 工区高架橋荷重による曲げモーメント図

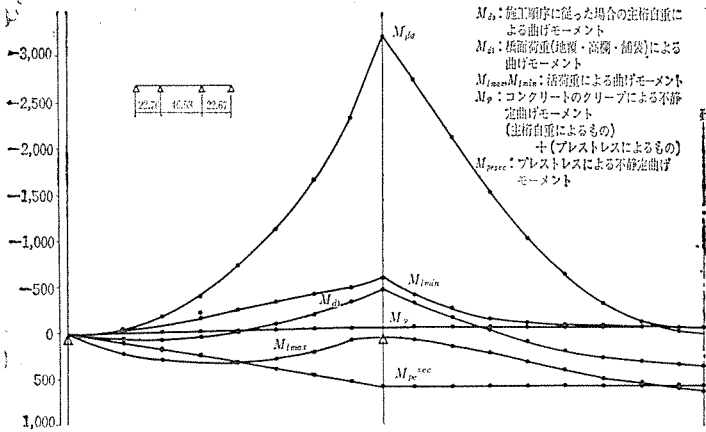


図-7 381 工区高架橋合計曲げモーメント図

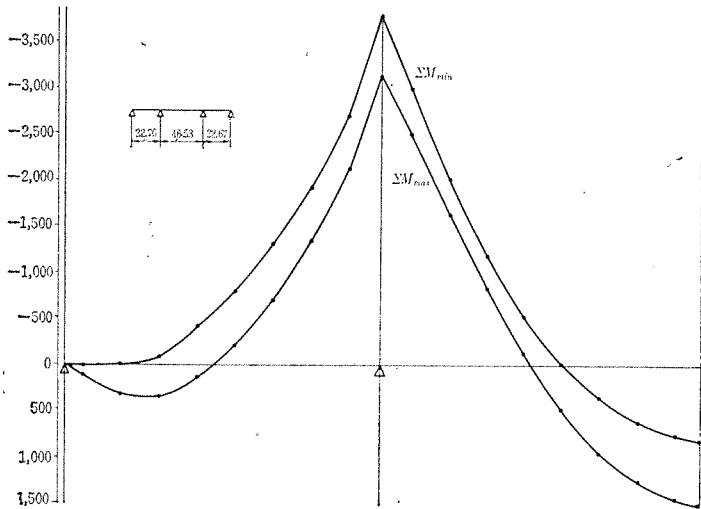


図-8 383 工区高架橋標準断面図

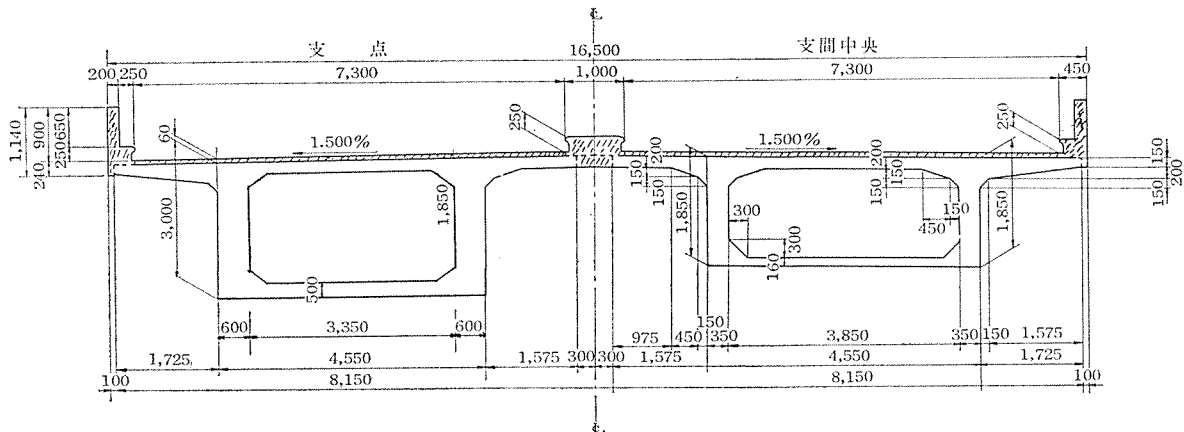
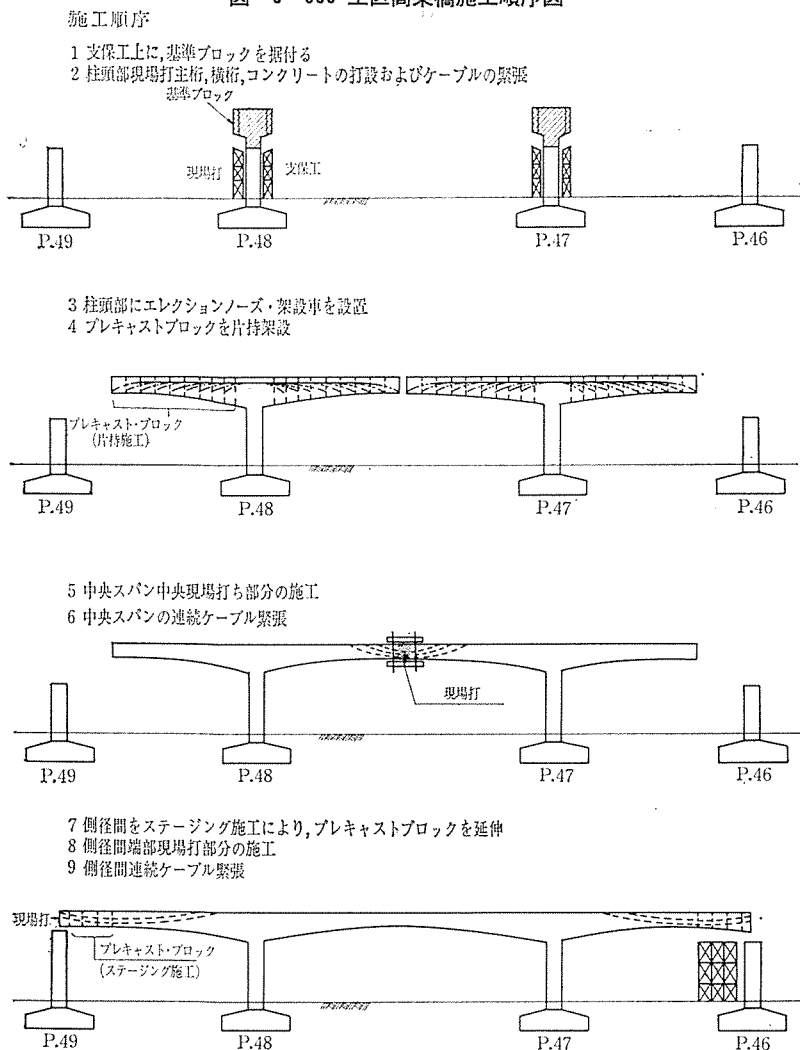


図-9 383 工区高架橋施工順序図



区高架橋は桁高の変わる変断面桁となっている。そのためにブロックの製作ヤードでは、線形なり変断面なりに高精度の型わくを組立てることとした。しかし、高精度のブロックを製作したとしても、基準ブロックのすえつけ誤差、接着剤の厚さの不均一、桁の変形などにより、片持部先端で閉合誤差が出てくることが考えられる。この誤差は片持式桁を閉合する時の場所打ちコンクリートで調整することとして、エポキシ樹脂接着剤を使用することとした。

エポキシ樹脂接着剤については、種々の試験〔首都公団承認試験、材料検査試験、現場施工管理試験〕をしてその性能を確認する。

接着剤の目地はある程度の急速施工性には適しているが、誤差調整を行なうのに具体的方法が開発されていない。この面からコンクリート目地を部分的に使用することは再検討する価値が十分あると思われるが、その場合、作業性が良く、かつ急速施工のできるものを考える必要がある。

b) 目地の設計：

- ① ブロック目地のプレストレス；ブロック部の主桁としての許容応力度は次

図-10 383 工区高架橋荷重による曲げモーメント図

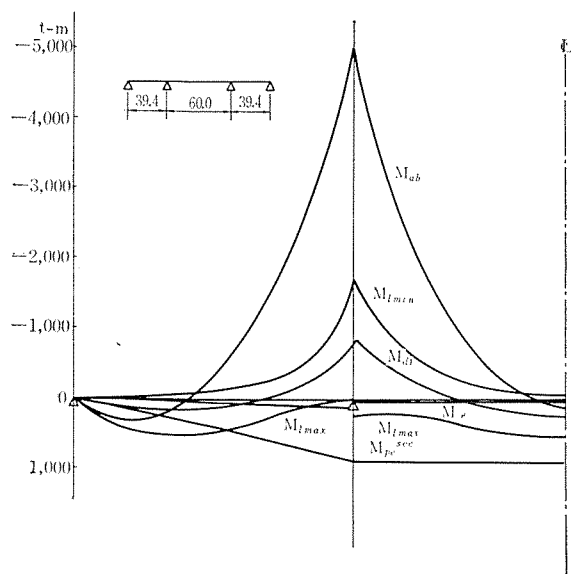
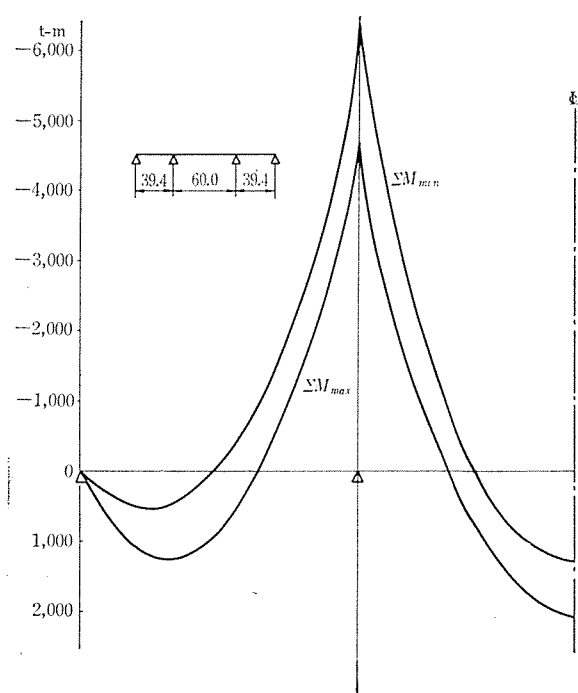


図-11 383 工区高架橋合計曲げモーメント図



のようにした。

部材圧縮部：常に引張応力を生じてはならない。

部材引張部：次の条件においても引張応力が生じてはならない。

$$1.10 \times (\text{死荷重}) + 1.20 \times (\text{活荷重}) + (\text{その他の荷重})$$

$$1.05 \times (\text{死荷重}) + 1.25 \times (\text{活荷重}) + (\text{その他の荷重})$$

また、次の②上床版の輪荷重とも関連するが、目地部付近の橋軸直角方向の主鉄筋を増量し、上床版の継目下面に鋼板を接着して目地部の安全度を高めた（図—12）。

しかし、目地部の許容応力については断面力の伝達機構が明らかになるにつれて再検討されるべきであろう。また、コンクリート目地、モルタル目地、接着剤目地の性質の相異も考慮されるべきであろう。

前述の、荷重を割増した断面力に対して定まるような断面は、大きな曲げモーメントをうけ、プレストレスも多量に導入されており、多少の荷重増に対しては安全であると考えられる。一方、死荷重と活荷重による曲げモーメントが小さい場合の断面、たとえば、連続桁のインフレクションポイントのような断面では、不測の荷重状態が起って曲げモーメントやせん断力が大きくなった場合に、プレストレスが相対的に不足することが考えら

れ、目地部の安全性を保てない場合がある。したがって、小さい断面力が作用する断面には一定のプレストレスを確保すること、ケーブルを目地部に分散配置することなどの設計方法が必要であろう。本設計においてもこの点を考慮したケーブル配置をした。

② 上床版の輪荷重；上床版は自動車の輪荷重を直接受ける面なので、かなり過酷な条件のもとにある。そこに設けられるブロック目地部およびその付近の断面は、輪荷重に対する検討を加えておかなければならない。

上床版の設計は一般に半無限長の2方向版と仮定して行なわれている。ところで、プレキャストブロックの目地は鉄筋を通さないので、本設計では橋軸方向の床版主鉄筋は連続していない。ここでは、目地部の応力伝達はプレストレスによっているが、目地部のひびわれや、ずれが万一生じたとすれば、床版は2方向版から1方向版に変わり、橋軸直角方向の曲げモーメントは増加すると考えられる。そこで目地部付近の橋軸直角方向主鉄筋を増量した。

また、目地部にひびわれのできた上床版の版端はヒンジ回転するとも考えられる。その目地部に直接輪荷重が載ったとき上床版の下縁に引張応力度が生じるとも考えて、上床版の継目下面にエポキシ樹脂接着剤および六角ボルトを用いて鋼板を圧着した。

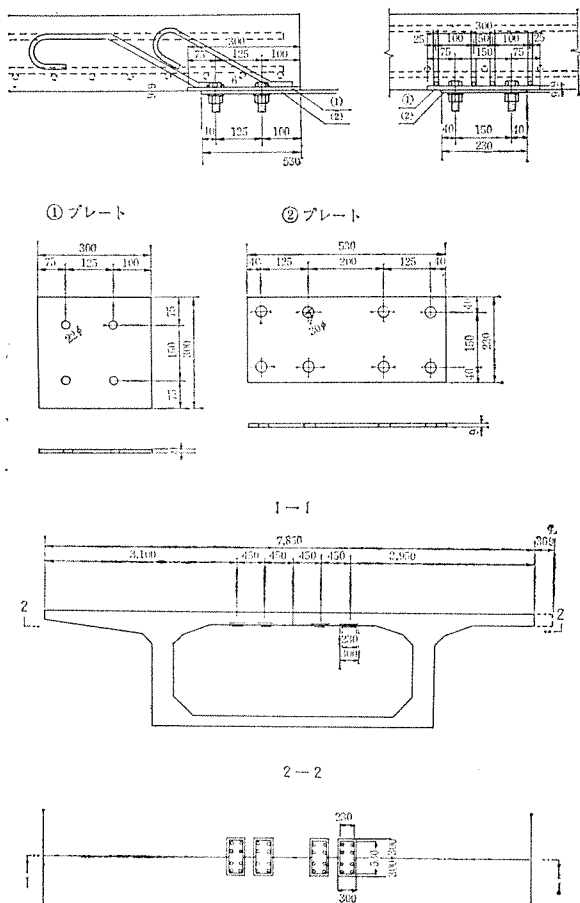
ところで、目地部に輪荷重が作用するときはいかなる荷重系の下で床版を設計すればよいのか、いくつかの研究がなされている。

第383工区高架橋では、床版継目断面の応力照査を（死重活+1/2 活荷重+プレストレス+輪荷重）によって曲げ応力度を計算した。その中間支点付近の一部では上床版に約 14 kg/cm^2 の引張応力度が生じている。しかし、この断面には支点到曲げ上げられてきたPC鋼線が多くおっているので、破壊やひびわれ発生に対する安全度は十分にあると考えた。

今までの道路橋の設計では、上床版の応力照査は輪荷重のみで断面設計を行ない、次に上部構造系としての構造計算に進んだ。プレキャストブロック工法の上床版を考えた場合、床版目地部に作用している主桁としての圧縮力と輪荷重により生じる局所的な曲げ応力との合成した値が引張応力でなければ、床版目地部は安全と思われるが、このような設計を行なうには、主桁断面に床版のためのプレストレスを多量に導入しなければならないので、主桁断面にとっては、かなり不経済な設計となる場合がある。

上床版の目地部分の応力照査では、目地部の応力伝達機構と荷重と局部応力的な輪荷重を加えた荷重系を今後は検討しなければならない。

図—12 床版目地補強プレート詳細図および配置図



3) ブロック端部の細部構造：この細部構造については、後述の施工例をみながら検討を加えることとした。

とくに、せん断キーやガイドキーの形状、コーン定着部の箱抜きやスターラップの配筋、コンクリート部材に占めるシース填充率とコンクリート打設、上床版の版端定着コーンのかぶり等をみながら設計上の配慮がなされねばならないであろう。

この工事報告は下記によった。

首都高速道路公団第一建設部	駒沢工事事務所長	深沢 道郎
"	駒沢工事事務所	石井 英雄
"	設計課	根本 洋
日本建設コンサルタント(株)		中村 恒一
オリエンタルコンサルタント(株)		横溝 幸雄
ピー・エス・コンクリート(株)	用賀作業所長	鎌田 太
横 河 工 事 (株)		梅津 芳一

1971.5.11・受付

コンクリート構造物

「設計施工国際指針」発刊のお知らせ

監 修 プレストレストコンクリート技術協会
日本コンクリート会議
発行所 鹿 島 研 究 出 版 会

本書は第5回 FIP 国際会議（1966年パリ）で PC 構造物の設計施工に関する国際指針が発表された後、さらに各種研究結果、実際の設計結果などを取り入れ鉄筋コンクリートからプレストレストコンクリートに至るまでのあらゆるコンクリート構造物の設計、施工に関する指針として第6回 FIP 国際会議（1970年プラハ）で発表されたものを FIP の認可を得て翻訳出版したものであります。

本指針の基本は、統計的資料をもととし、確率論に立脚した限界状態設計法であります。このような概念は、現在、構造物の安全性を確保する場合のものとして、国際的に一般に認められているものでありまして、設計上有力な手段であることは論をまたないところであり、当協会の会員の方にとっては絶対必読の書であると確信しておすすめる次第であります。

定 価：1900 円 会員特価：1700 円（郵送料1冊に付 150 円）

ご希望の方は、代金および送料を添えて下記宛にお申込み下さい。

社団法人 プレストレスト コンクリート 技術協会
〒104 東京都中央区銀座 2-12-4 銀鹿ビル
電 話 (541) 3 5 9 5
振替口座 東京 62774 番