

中国自動車道・畑橋 (PC 上部工) 工事の設計と施工

馬 場 孝 光*
鬼 塚 二 男**
平 部 俊 光***

1. ま え が き

本橋は、中国縦貫自動車道の一環として建設される安佐 J.C～安佐 I.C 間の安佐 J.C から約 1km 安佐 I.C 寄りの地点に位置するプレストレストコンクリート道路橋である。橋長は 376 m で、Aライン・Bライン分離の 5 径間と 3 径間の計 8 径間の連続 1 室箱桁曲線橋である。

また、本橋は 3 市道、2 河川を横断し、民家や田畑に隣接した地上 30 m の高橋脚上に建設されるため、架設工法には押出し工法が採用された。

線形は、縦断勾配が 3%，横断勾配が 4%で、平面線形は 5 径間側でクロソイド ($A=400$) $\sim R=700$ m $\sim A=400$ 、3 径間側で $R=\infty\sim 1\,000$ m $\sim\infty$ となっており、クロソイドと円弧の複合線形を有している。特に、Bラインについては一部がランプからの加速車線にあたり、車道幅員が 8.50 m \sim 13.06 m と拡幅する構造となっている。この平面線形の関係で、主桁を中間の橋脚上で 5 径間と 3 径間に分割し、架設は両側双方の橋台から押出すという相互押出しの方法をとっている。

本橋のように縦断勾配、横断勾配、また拡幅を有する曲線桁の相互押出し架設は、施工例もなく数多くの施工検討を行い、工事にも万全を期した。

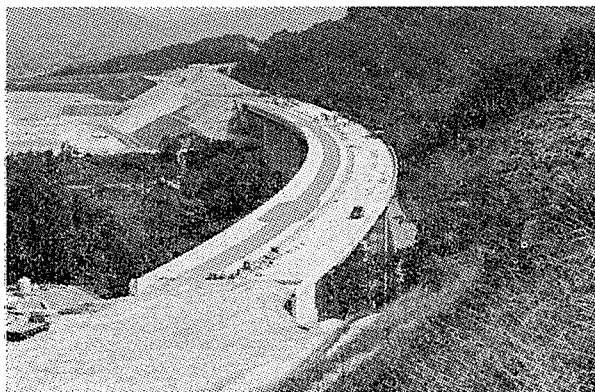


写真-1

* 日本道路公団広島建設局安佐工事事務所構造工事長
** 富士ビー・エス・コンクリート(株)・大成建設(株) 共同企業体所長
*** 同上 副所長

橋梁の概要、工事の概要は本誌の Vol. 24, No. 1 ニュースですでに報告しているの、今回は設計と施工に関して報告する。

2. 設 計

2.1 設計条件

形 式：(5+3) 径間連続 PC 箱桁曲線橋

橋 長：376 m (A・B ライン)

桁 長：2×(246.6+128.8) m

支 間：(48.5+3 @ 49.4+48.7)+(42.3+43.0+42.3) m

桁 高：3.200 m

有効幅員：Aライン 8.5 m, Bライン 8.5 \sim 13.06 m

活 荷 重：TL-20, TT-43

衝撃係数： $i=10/(25+L)$

水平震度： $k_H=0.17$

斜 角：90 度

平面線形：クロソイド ($A=400$) $\sim R=700$ m $\sim A=400$
および $R=\infty\sim 1\,000$ m $\sim\infty$

縦断勾配：3%

横断勾配：2.55 \sim 4% (橋面), 3.83 \sim 4% (底面)

主要材料：

コンクリート $\sigma_{ck}=400$ kg/cm² 6 173 m³

PC 鋼棒 $\phi 32$ A 種 2 号 縦締め 292 t

横締め 135 t

鉛直締め 37 t

PC 鋼より線 10 ϕ 12.4 mm 定着工法 VSL 工法

7 ϕ 15.2 mm 定着工法 SEEE 工法

鉄 筋 SD-30 707 t

2.2 線 形

(1) 路線線形と押出し線形について

本橋の路線線形は、図-3 に示すように、

本 線：クロソイド ($A=400$) \sim 円曲線 ($R=700$)
 \sim クロソイド ($A=400$)

ランプ：直線 \sim 円曲線 ($R=1\,000$) \sim 直線

の組合せになっている。

これに対して、押出し線形は、

5 径間連続桁 (Aライン) } $R=700$ m
5 径間連続桁 (Bライン) }

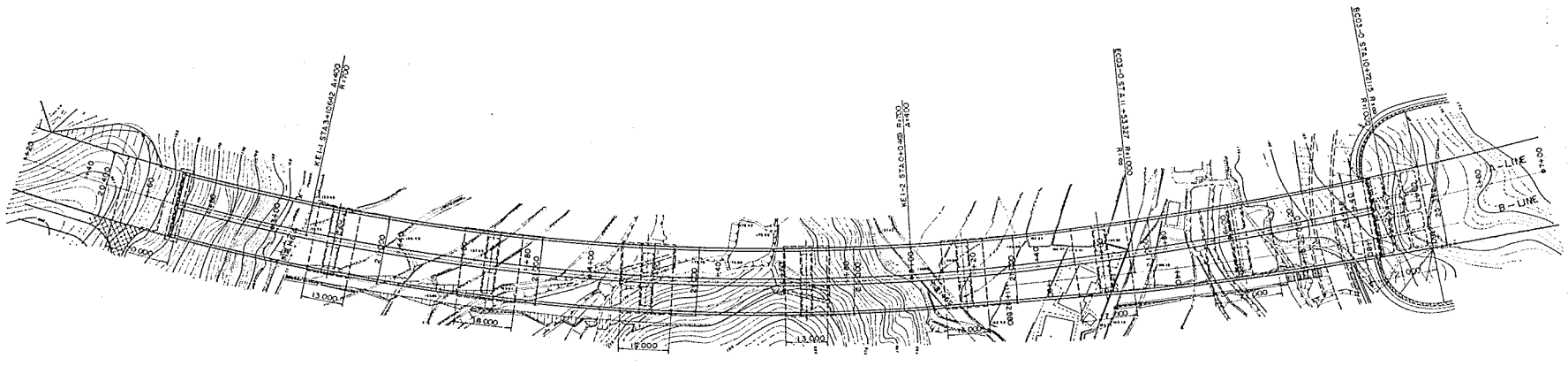
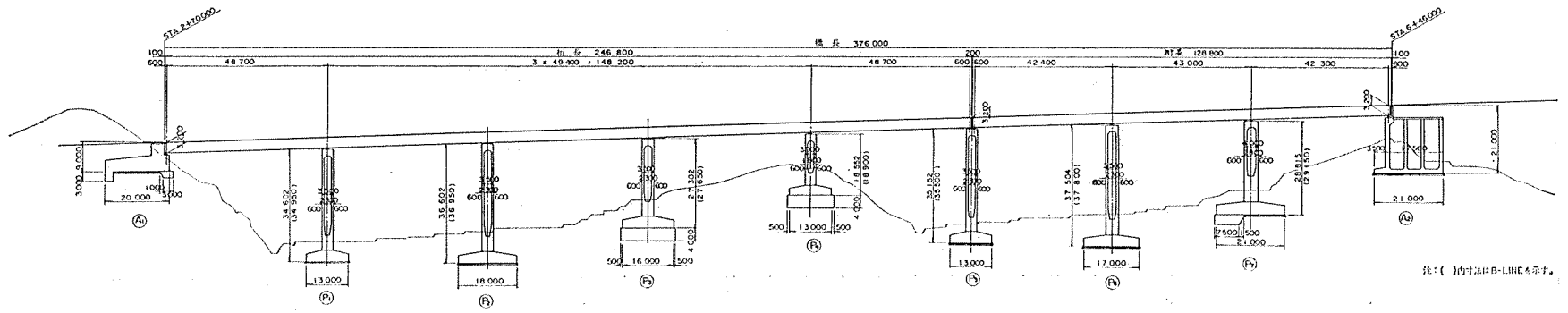


図-1 全体一般図

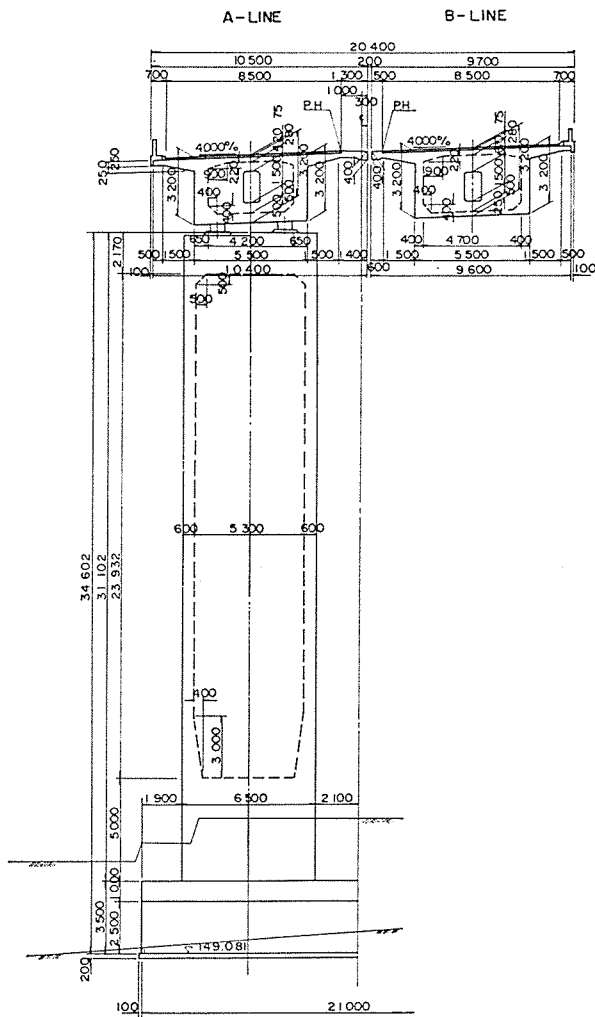


図-2 標準断面図

3 径間連続桁 (Aライン) $R=1\,000\text{ m}$

3 径間連続桁 (Bライン) 曲線の内側ウェブ

$R=1\,000\text{ m}$

曲線の外側ウェブ拡幅

を基本線形として押し線形を計画した。

(2) 横断勾配の変化および拡幅についての対応

前述のように平面線形が変化しているため、横断勾配も変化する。図-4 に横断線形図を示す。

5 径間連続桁 (桁長 247.0m) のうち 180.0m は一定勾配で、この間は主桁形状は一定となる。その前後のクロノイド区間では横断勾配が変化するが、変化量は微小 (起点側では 3.501%~4.0%, 終点側では 4.0%~3.801%) なので、図-5 に示すように上フランジ厚を変化させる断面形状とした。

3 径間連続桁については、横断勾配の変化量も大きく、特に、Bラインでは路線の拡幅量も大きいので、桁高も変化させ下床版幅および上床版張り出し部も拡幅させることにした。Bラインについての主桁の基本寸法を図-6 に示す。また、型枠はこれらの変化に容易に対応できる構造とした。

2.3 ブロック割

押し工法におけるブロック割は、一般に下記の項目を考慮して決定する。

(1) 構造について

- ① ブロック目地は支点位置や応力の大きい位置をさける。
- ② 内部定着等の突起物をさける。

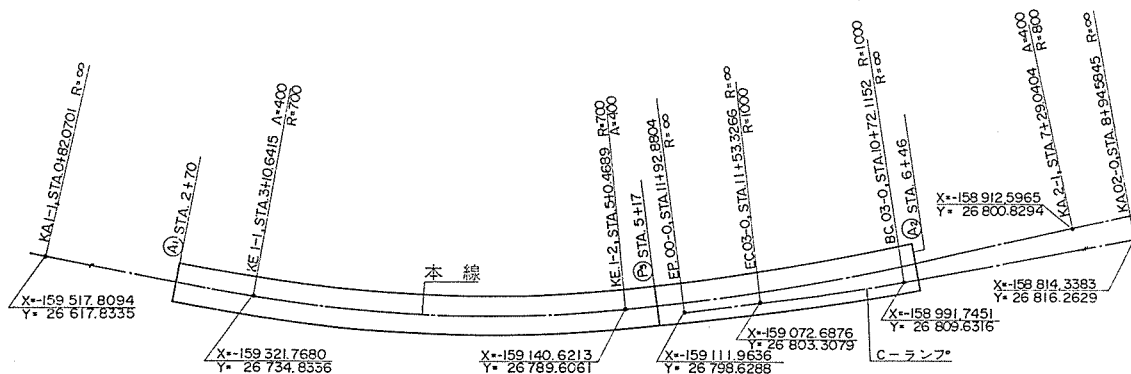


図-3 平面線形図

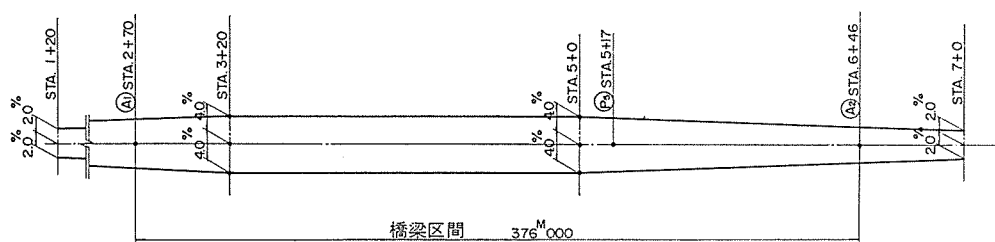


図-4 横断線形図

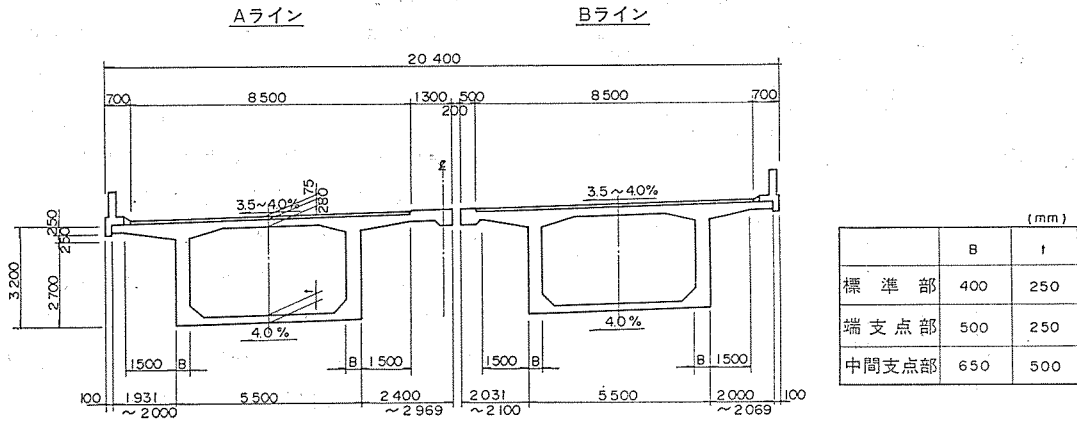


図-5 5径間部断面形状図

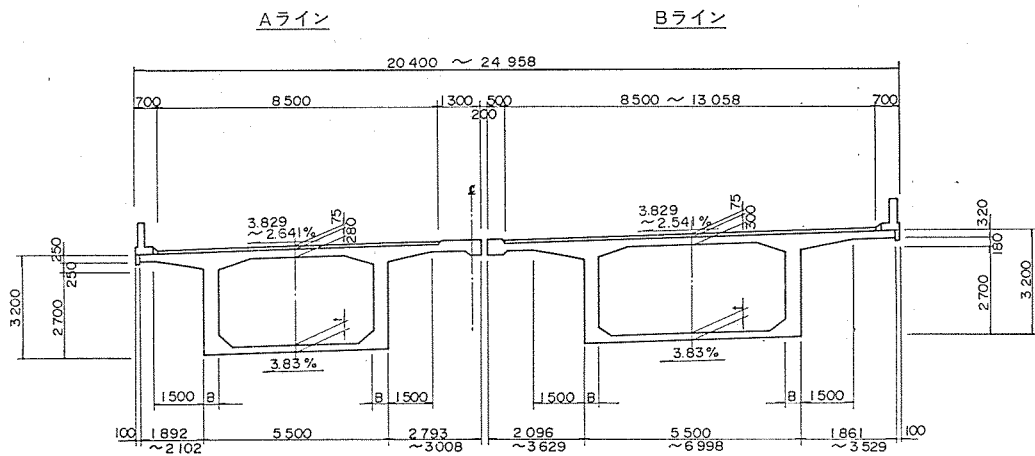


図-6 3径間部断面形状図

③ 各ブロックの長さを統一する。

(2) 工期と工費について

① 型枠の転用回数

② 製作ヤードおよび型枠の製作費

③ 1サイクルの工程と全体工期

(3) 施工性について

① 1ブロック単位の工事数量

② 鉄筋とPC鋼材の長さとの関係

これら3項目を5径間、3径間連続桁について検討して下記のとおり決定した。

5径間連続桁……17ブロック ($l \div 14.400$ m)

3径間連続桁……11ブロック ($l \div 11.600$ m)

2.4 主桁断面

主桁断面は、橋梁型式、支間、架設工法、平面線形などによって決定される。本橋では1室箱桁断面を用いているが、桁高や箱断面形状はつぎのように決定した。

(1) 桁高について

5径間と3径間では基準スパンが49.4mと43.0mと異なっている。桁高は5径間の基準スパン49.4mで

押し工法に適した桁高3.20mを決定し、3径間については桁高の統一による美観と施工性の有利さから等桁高とした。これをスパン桁高比で示すと、それぞれ5径間1/15.4、3径間1/13.4となっている。

(2) 上床版張出し部および箱断面部について

型枠の転用性の有利さと押し架設施工に適した断面形状として下床版幅を一定にしたために、下床版の線形と橋面線形にシフト量が生じる。このシフト量は上床版張出し部で調整した。また、Bライン3径間部については拡幅が大きいため上床版だけでなく箱断面部も拡幅させて経済的な寸法を決定した。主桁断面のハンチ寸法は型枠の転用のため全断面統一した。

断面形状および寸法は図-5、6に示した。

2.5 手延べ桁

押し工法に用いる手延べ桁は、主桁の第1径間部に生ずる架設時の張出しモーメントを小さくするために用いる。図-7、8にAライン5径間および3径間のモーメント図を示す。

一般に手延べ桁長はスパンの60~80%、主桁と手延

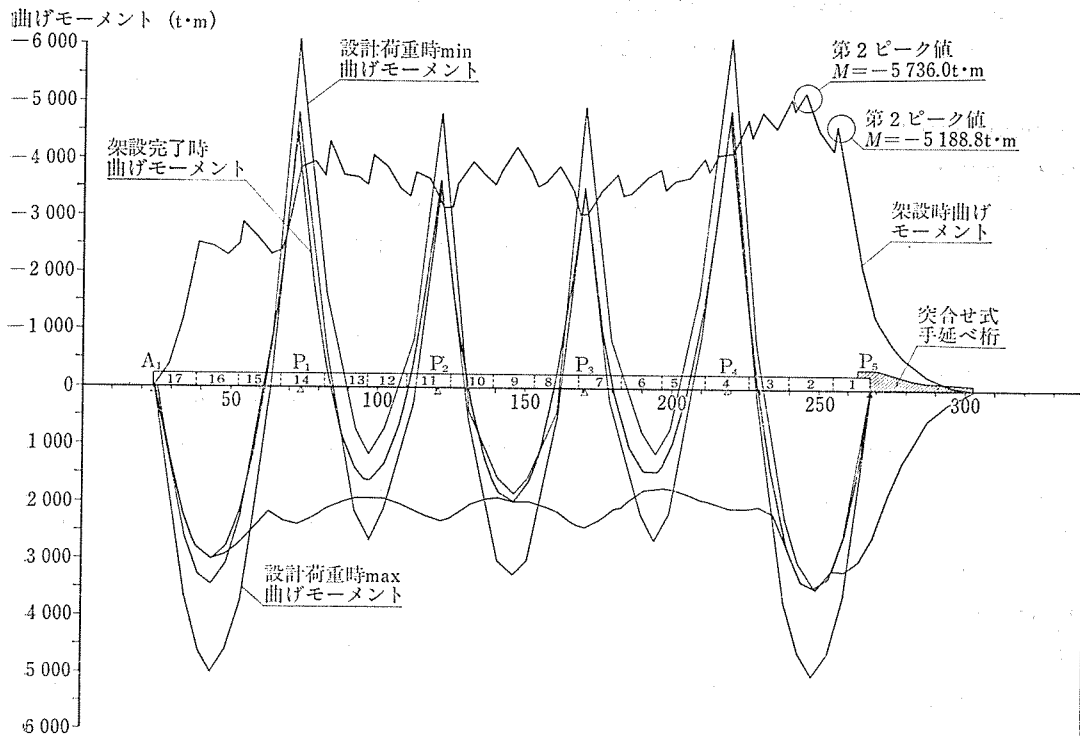


図-7 5 径間連続桁曲げモーメント図

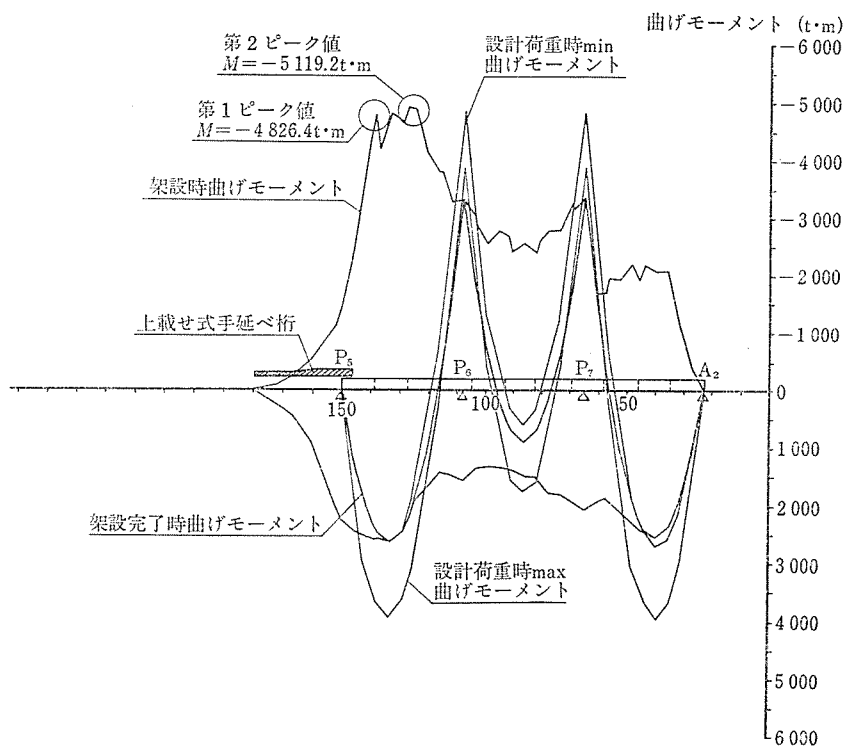


図-8 3 径間連続桁曲げモーメント図

べ桁の剛比は 1/6 とした施工例が多い。手延べ桁長が短いと主桁の張出し長が長くなり、第1ピーク値(図7, 8)が大きくなる。逆に長いと第1ピーク値は小さくなるが、手延べ桁が不経済となる。剛比の影響は第2ピーク値に現われるが、手延べ桁長による第1ピーク値の

変動ほどの影響はない。

このように架設時の曲げモーメントに及ぼす影響は、手延べ桁を取付けた第1径間に顕著であるが、第1ピーク値と第2ピーク値が同値に近づくほど最適手延べ桁と言える。

今回使用した手延べ桁は、桁長をスパン比で 70%、剛比を突合せ式の I セクションタイプで 1/4.6、上載せ式の Box タイプで 1/8 のものを用いた。

2.6 押し出し架設時の設計

押し出し架設時の設計は、まず桁の押し出し長さを 1 ブロックの 1/4 長に想定し、各押し出し段階の最大・最小断面力を全長にわたって求める (図-7, 8 を参照)。つぎに、この断面力に対し架設用の縦締め鋼棒を各ブロック毎に配置して応力照査を行った。PC 鋼棒はすべてインサイド配置として、上床版・下床版に軸圧縮力としてプレストレスを導入した。プレストレスは前後 2 つのブロックで全プレストレスが導入できるように、各ブロック端で半数ずつ交互に行った。

なお、応力度照査についての許容値の割増は 1.25 とし、使用した PC 鋼棒は $\phi 32$, A 種 2 号である。

2.7 設計荷重時の設計

設計荷重時の設計では、死荷重、活荷重および不静定 2 次応力についての断面力を算出し、架設時の断面力に対して増加した断面力に関しては、新たに PC ケーブルを導入し、架設用の縦締め鋼棒と併用して応力度照査を行った。

使用した PC ケーブルは、

PC 鋼より線 10 $\phi 12.4$ mm (VSL 工法)

…… A ライン

PC 鋼より線 7 $\phi 15.2$ mm (SEEE 工法)

…… B ライン

で、中間支点断面上縁では合成応力度が引張とならないように設計した。

床版および横桁の設計は、完成時の断面力に対して行い、プレストレスの導入は A 種 2 号 $\phi 32$ mm を用いて架設時に行った。

2.8 沓の設計

支承の設計は、荷重の偏心荷重の場合の各支承反力を算出し、反力と主桁の伸縮量を考慮して、摩擦係数 $f=0.15$, 水平震度 $K_h=0.24$ にて行った。

沓は BP 沓で、上沓と下沓からなる。上沓を架設する桁に取り付けて押し出す場合、滑り沓や押し出し装置の作動に支障とならないように桁底面と同一平面になるように装着する必要がある。そのために、上沓を上・下部の 2 つの部分に分け、上部のソールプレートに架設する桁に埋込み、下部の部分で縦断、横断に対する勾配を調整した。沓の据付けは、上沓のソールプレートを除いた本沓をあらかじめ所定の橋脚上に仮配置し、架設完了後にジャッキアップして桁に埋込まれているソールプレートに

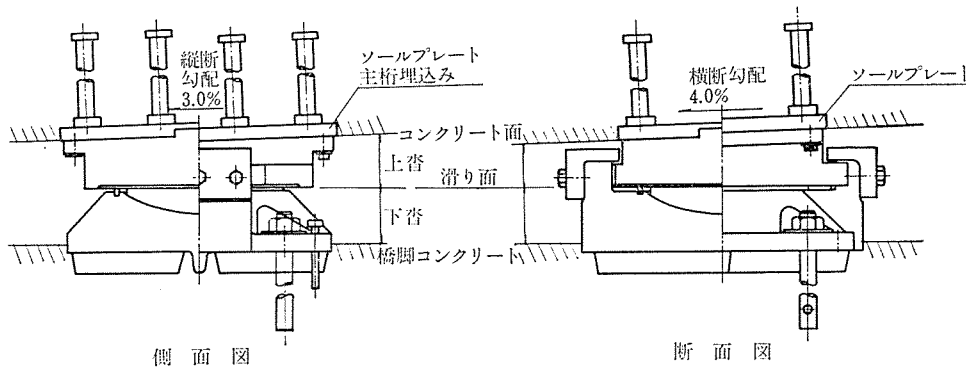


図-9 本 沓

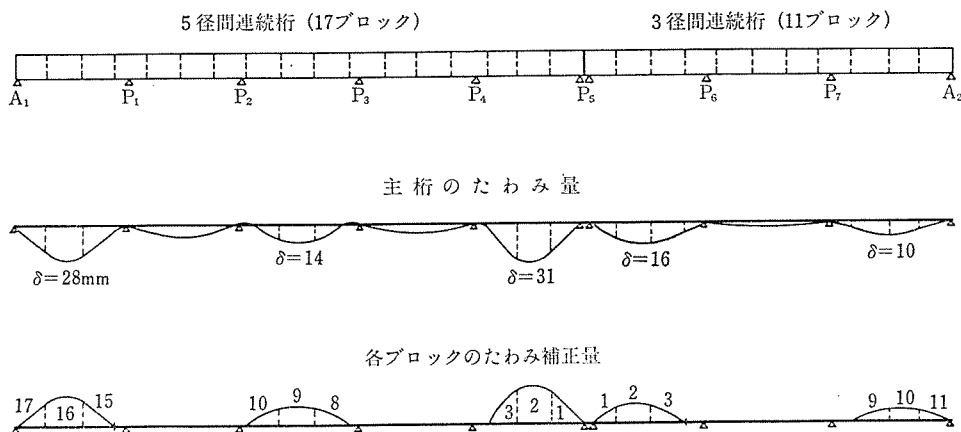


図-10 桁のたわみ補正

装着する。下沓部に無収縮モルタルを打設して支承を設置した。図-9 に沓の形状を示す。

2.9 桁のたわみ補正

桁の上げこしは、静荷重時のたわみ量に対して、あらかじめブロック製作時に行った。桁下面にキャンバーをつけるのは、ブロック製作上煩雑となるうえに押し架設も問題が生じるので、上床版の橋面にて、そのたわみ量を上げこして補正を行った。補正結果がすべて許容範囲内におさまったことは、本工事の成果であった。

図-10 に各ブロックのたわみ補正を示す。

3. 施 工

3.1 施工概要

本橋の架設工法は、押し工法の SSY 工法と TL 工法の 2 工法を用いている。路線線形と押し線形の違いから、5 径間連続桁と 3 径間連続桁をそれぞれ A₁ 橋台、A₂ 橋台の両側より対面して押し出す方法をとった。

また、手延べ桁の解体は P₅-P₆ 橋脚間に限定されるため、5 径間に突合せ式手延べ桁を用いて先行させ、3 径間は 5 径間側の桁が架設完了されたのち架設されるために、手延べ桁に上載せ方式を用いた。

桁の製作、架設順序は、片車線を工期途中での供用開始が指示されているため下記のとおりとなった。

- ① A ライン 5 径間：突合せ式手延べ桁の TL 工法
 - ② A " 3 "：上載せ式 " の SSY 工法
 - ③ B " 5 "：突合せ式 " の TL 工法
 - ④ B " 3 "：上載せ式 " の TL 工法
- その施工図を 図-11 に示す。

製作するブロック数は、前述のように 5 径間連続桁を 17 ブロック (1 ブロック長 14.4 m)、3 径間連続桁を 11 ブロック (1 ブロック長 11.6 m) とした。また、1 ブロック当りのコンクリート量は 100~130 m³ 程度で、

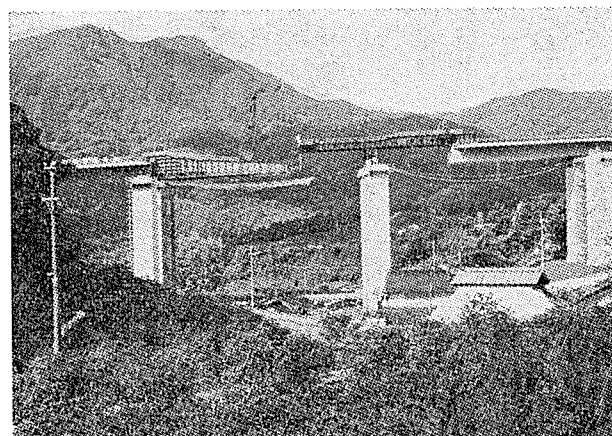


写真-2

製作日程は標準サイクル 10 日であった。なお、日曜日と盆正月は別途休日としている。

表-1 に、1 ブロックの標準サイクル工程表と全体工程表を示す。

3.2 手延べ桁

(1) 突合せ式手延べ桁

突合せ式手延べ桁は、途中解体の関係で A ライン、B ライン共に 5 径間側に使用した。5 径間側の最大スパン 49.4 m に対して、架設時の断面力や架設用 PC 鋼棒など検討のうえ、手延べ桁長を 34 m とした。

また、R=700 m の曲線桁を架設するにあたり、本来なら手延べ桁も主桁の線形に合わせるのが望ましいが、今回は、手延べ桁の途中のジョイント部 3 か所で折り曲げ、押し軌道半径とのシフト量を約 120 mm と極力小さくすることで対処した。

図-12 に、突合せ式手延べ桁と押し軌道のシフト量を示す。

(2) 上載せ式手延べ桁

A ライン、B ライン共に 5 径間側を先行させて施工し

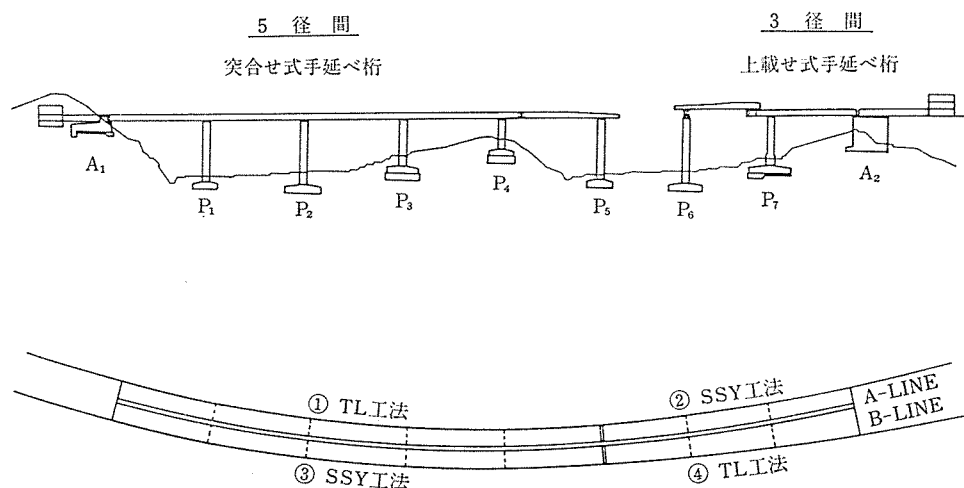


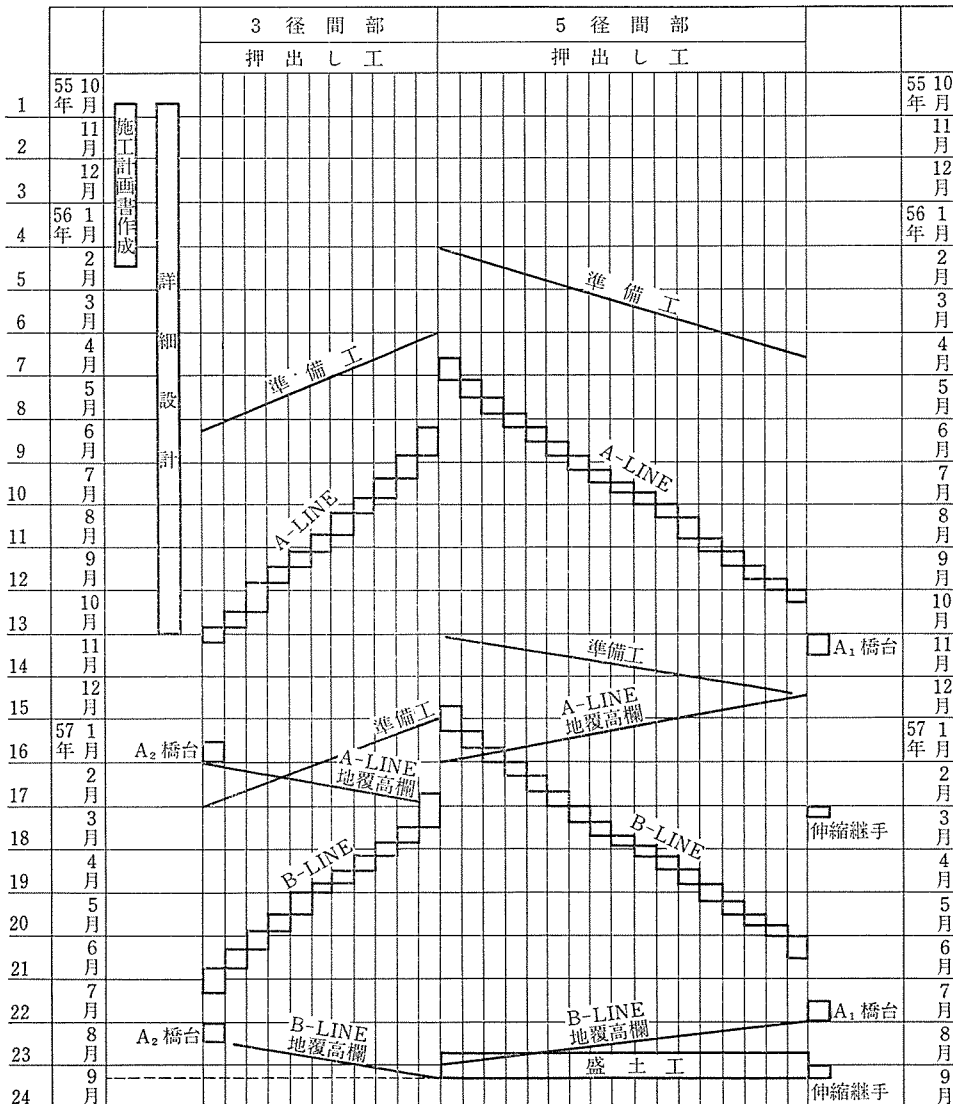
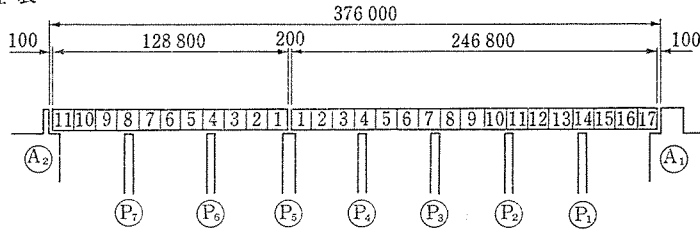
図-11 施 工 図

表-1 標準 1 サイクル工程表および全体工程表

標準 1 サイクル工程表

工種	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
コンクリート打設													
緊張工				休									
押出し作業				養									
外型枠工				日									
内型枠工													
鉄筋工							下スラブ			上スラブ			
P C 鋼材設置							主ケーブル			スラブ			

全体工程表



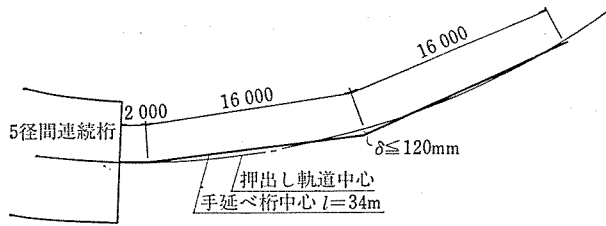


図-12 突合せ式手延べ桁と押し出し軌道とのシフト量

ているため、3径間側は上載せ式手延べ桁を使用した。3径間側の最大スパン 43.0m に対して、架設時の断面力や架設用 PC 鋼棒など検討のうえ、手延べ桁長を 30m とした。上載せ式手延べ桁は、架設する桁の上に手延べ桁が載っているために、橋脚上には架設する桁高分だけ案内装置と称する反力架台が必要である。

$R=1000$ m の曲線桁を架設するにあたり、この案内装置上を手延べ桁が横移動できる構造としているので、手延べ桁を直線桁とすることができた。このときの軌道半径とのシフト量は約 160mm であった。

図-13 に上載せ式手延べ桁と押し出し軌道のシフト量を示す。

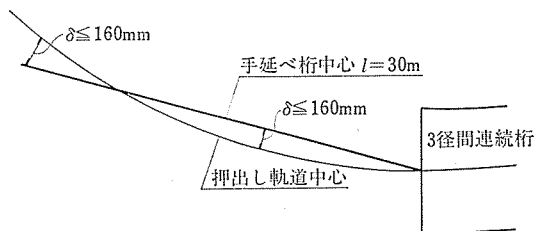


図-13 上載せ式手延べ桁と押し出し軌道とのシフト量

3.3 型 枠

型枠は、外型枠と内型枠からなる。外型枠はすべて鋼製型枠を用い、内枠は横桁やウェブの拡幅施工のため鋼

製型枠と木製型枠を併用した。外型枠の構造は 5 径間側と 3 径間側とは多少異なり、特に、3 径間側の型枠は、主桁底版の拡幅や桁高変化にも施工可能な汎用性のある機能をもたせた構造となっている。使用に際しては、SSY 工法、TL 工法に関係なく用いることができるので、A ライン施工に用いた型枠をそれぞれ B ラインにも使用した。

図-14 に、5 径間側と 3 径間側に用いた型枠断面図を示す。

(1) 5 径間に用いた型枠

5 径間側は、製作する 1 ブロック長が 14.5m と長いので、ウェブ直下の底枠が滑り支承を兼ねた滑り架台方式を採った。側枠は、ピンを介して油圧ジャッキの操作により組立・脱型ができる構造となっている。

(2) 3 径間に用いた型枠

3 径間側の製作する 1 ブロック長は 11.6m と短いので、全解体方式の型枠を用いた。主桁の拡幅や桁高の変化があるので、側枠は上下左右に開閉でき、底枠は上下の昇降や底版幅ができる構造となっている。

3.4 コンクリート

コンクリートは、 $\sigma_{ck}=400$ kg/cm² で示方配合は表-2 に示すとおりである。コンクリートの打設には、コンクリートポンプ車を用い、1 ブロックの打設量は 100~130 m³ とした。また、打設は午前中の仕事量である。

表-2 コンクリート示方配合表

コンクリートの種別	単位セメント量 (kg)	単位水量 (kg)	単位細骨材 (kg)	単位粗骨材 (kg)	混和剤の種類
B ₁₋₁	320	167	780	1030	減水剤
P ₂₋₂	460	171	660	1030	〃

図-15 に、コンクリート打設順序を示す。

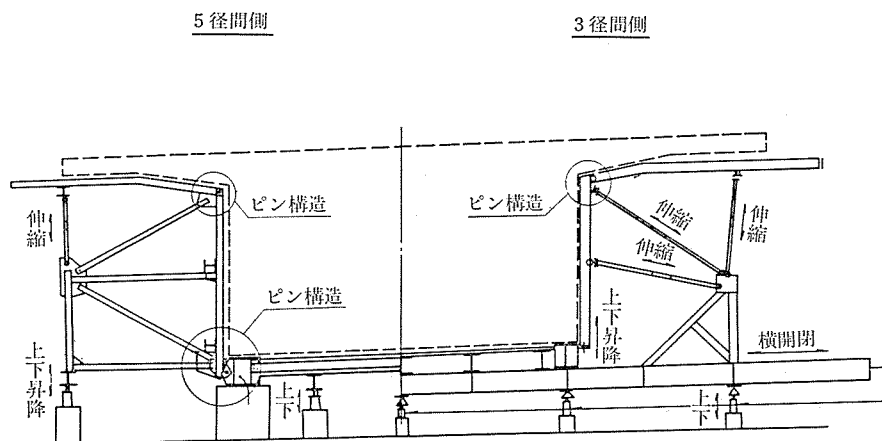


図-14 型枠断面図

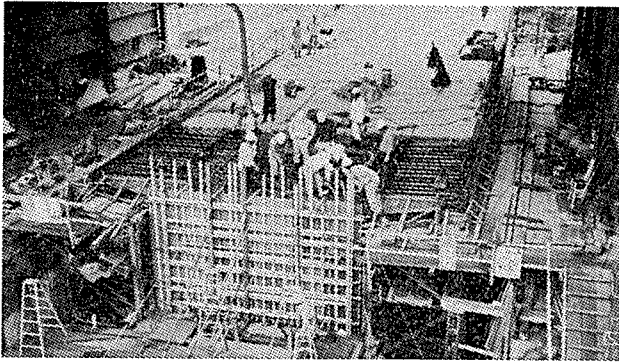


写真-3

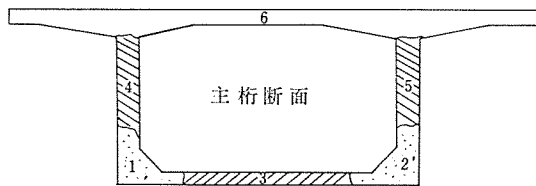


図-15 コンクリート打設順序

3.5 プレストレッシングおよびグラウト

プレストレス導入時のコンクリート基準強度は PC 鋼棒に対して $\sigma_{ck} \geq 260 \text{ kg/cm}^2$ とした。主ケーブルは、A ラインを VSL 工法、B ラインを SEEE 工法を使用し、沓据付け後に緊張を行った。

鋼棒のグラウトは、緊張後逐次行っていくが、縦締め鋼棒は緊張工程から 2 ブロック毎にグラウト注入を行った。表-3 に、グラウト配合表を示す。

表-3 グラウト配合表

水セメント比 (%)	セメント (kg)	水 (l)	ポゾリス No. 8 水溶液 (l)	アルミ粉末 (g)
40	40	15.2	0.8	3

3.6 押し出し管理

押し出し施工中について最も留意すべき点は、桁の軌道高さおよび方向の管理である。桁の軌道高さは、反力台の押し出し装置や滑り沓の据付けにより決定されるが、押し出し中の桁の方向は常に測定管理が必要であり、その管理の方法は SSY 工法と TL 工法により多少異なる。

(1) SSY 工法による押し出し管理

SSY 工法では、各々の橋台、橋脚上に配置された鉛直ジャッキと水平ジャッキとからなる押し出し装置によって押し出し作業を行う。このとき主桁は水平ジャッキに載せられて移動する。水平ジャッキを押し出し軌道の接線方向に据付けておけば横方向のずれは生じないが、もし桁に横方向のずれが生じた場合は、水平ジャッキの向きを微調整することによって容易に正常な軌道に戻すことができる。調整量は、各反力支持台に設けた主桁の横方向測定点の測定により方向修正値を求め、水平ジャッキの

調整量を決める。高さ管理についてはライナー調整をすることにより、反力台基礎の凹凸や支点沈下による反力のアンバランスを調節したり、鉛直ジャッキの持ち上げ量を統一することができる。これら一連の作業の指示、管理は中央制御室にて行うことができる。

(2) TL 工法による押し出し管理

TL 工法の押し出し設備は、PC 桁を前方に押し出す「押し出し装置」と各支点上に設けて桁を滑らせる「滑り支承」からなっている。滑り支承には上面にステンレス板が張ってあり、これと桁下面との間に「滑り板」と称するテフロン面を有するゴム板を挿入し、ステンレス面とテフロン面間が滑って桁が移動していくようになっている。

また、滑り支承には、横方向用として同様のステンレス板を張ったガイドが取付けてあり、横方向も滑り板を使用して滑らせていくようになっている。このため、曲線桁もこのガイドに沿って移動していくので、方向修正の必要がない。

高さ方向は、滑り支承が橋脚上に固定されているため橋脚の沈下がなければ修正の必要がない。したがって、管理は橋脚の沈下を 1 ブロック押し出すごとにチェックしておく程度で良い。高さ方向に異状があった場合の修正は滑り板と桁間のパッキン打ちにて行うことができる。

押し出し装置は、引張棒方式と垂直・水平ジャッキ方式があるが、今回は主として垂直・水平ジャッキ方式を使用し、押し出し装置設置部にセットしてあるコントロール版にて押し出す水平力、鉛直反力等を管理しながら押し出しを行った。押し出し水平力に対する摩擦係数は、静止摩擦で 5%、動摩擦で 3% 程度であった。

また、各橋脚からの連絡は、コントロール版付近にセットした親のインターホーンと各橋脚の子インターホーンにて行った。

4. あとがき

押し出し工法による架設施工例は数多くあるが、今回施工した工事は、桁長が 5 径間で 247.0 m、3 径間で 129.0 m の相互押し出しで線形要素も縦断勾配 3%、横断勾配 4%、さらに桁底面に拡幅を有するという複雑な線形を含んだ曲線桁の架設工事であった。工事にあたっては、作業性や安全性に十分な検討を重ね、ここに無事工事を終えることができた。

今後、押し出し工法による架設は、施工性、安全性、経済性の面から数多く採用されると思うが、本橋の施工例が今後の施工にいくらかでも参考になれば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたり多大な御指導と御尽力をいただいた関係各位に心から感謝の意を表します。

【昭和 57 年 11 月 11 日受付】