

# 投稿論文

## 投稿くださる各位へのお願い

1. なるべく大勢の方々に投稿頂くため原稿枚数は、投稿原稿、依頼原稿とも規定以内(7. 参照)といたします。なお原稿料は規定枚数で打切りとなりますのでご了承ください。
2. 添付図はトレース(線図のみ墨入れ)または第2原図を原則とします。青図添付の場合は墨入れトレース代の一部負担を願いますので予めご了承ください。
3. 執筆者は依頼原稿の場合を除き正会員に限ります。したがって未加入者の場合は予め手続きいたしますのでその旨お申し出ください。
4. 本機関紙は現在、複数制編集委員による特集号形式としており、それぞれ特定のテーマによる依頼原稿が先行するため、投稿原稿は延期される傾向にありましたが、年間発行6冊のうち、2冊程度は投稿原稿による機関誌を予定し、また特集号でも数点は掲載余地を残すようにいたしますので、今後は投稿後半年以内には掲載されます。
5. 別刷は規定により50部を論説、報告、資料に限り贈呈いたします。それ以上希望される場合は実費増刷となりますので、原稿の表紙に部数をご記入願います。
6. 報告の投稿には必ず英文タイトル、英文著者名をつけてください。
7. 投稿原稿の制限枚数は次のとおりです。

論	説	刷上り6ページ(協会原稿用紙36枚、ただし図表、写真含む)以内		
報	告	: // 8 // ( // 48枚 // ) //		
資	料	: // 4 // ( // 24枚 // ) //		
工事	ニュース	: // 1 // ( // 6枚 // ) //		
質	疑	応答: // 0.5 // ( // 3枚 // ) //		
読	者	の	声	: // 0.5 // ( // 3枚 // ) //

## 下路 PC 桁「上杉山通架道橋」(押し出し工法) の 設計・施工について

橋 田 敏 之\*  
小 須 田 紀 元\*\*  
新 山 純 一\*\*  
岡 田 亨\*\*\*\*

### 1. はじめに

本橋は、仙台駅から北に約 3.5 km に位置し、近年、交通量緩和処置のために県道本寺小路・七北田線（旧国道 4 号線）の拡幅工事に伴い、これと立体交差している仙山線・上杉山通架道橋（上路プレートガーダー、仙台起点 4.422 km, 支間 10.3 m）を支間 40.6 m の橋梁に拡張する下路橋として、単純橋の押し出し架設工法を採用した我が国最初の PC 単線鉄道橋である（図-1）。

### 2. 基本計画

上杉山通架道橋付近の交通状況は、仙台市北部の通勤路および産業道路の交通の要路にあり、この道路が近年交通量が著増し交通の隘路となったため、交通緩和のため朝夕で切替える変則三車線方式がとられている。したがって道路交通を阻害する架設工法（たとえばクレーン車等による仮設材料の組立て解体等）は全く困難な状況にあった。

このような条件では通常ガーダーを用いた架設工法が採用される場合が多いが、現地在が停車場構内にあり架設ガーダーの施工スペースが制約され、かつ線路縦断から定まった構造形式である下路橋の施工には不適当な架設

工法であることから、従来一般的な架設工法の適用が困難視された。

そこで最近において道路・鉄道線路上の横断架設に使用される機会が増加している「押し出し工法」の適用を検討することとなった。

押し出し工法では通常押し出し段階における桁の安定を確保する必要、押し出しの安全性確認のための試行スパンの設定<sup>1)</sup>および工事費の節減などの理由から 3 径間以上の連続構造が採用されてきた。しかしながら本橋では、ア

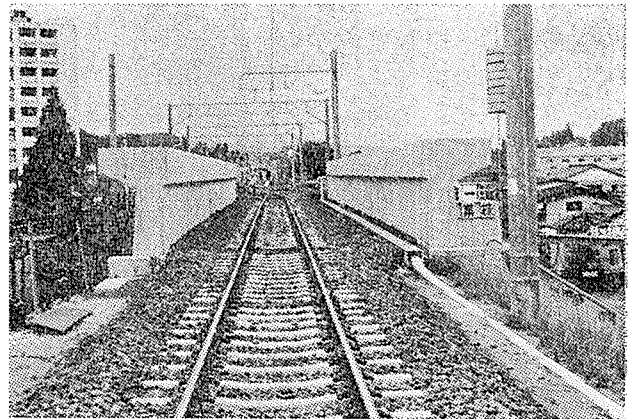


写真-1 上杉山通架道橋完成写真

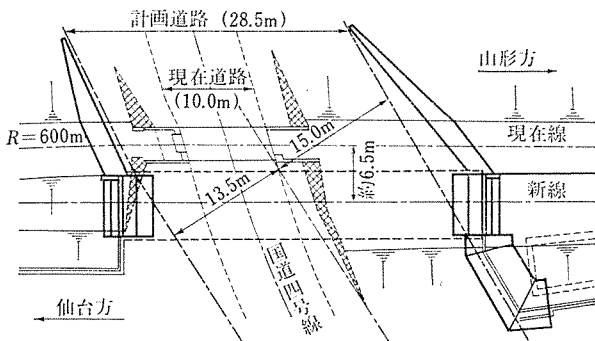


図-1 平面図

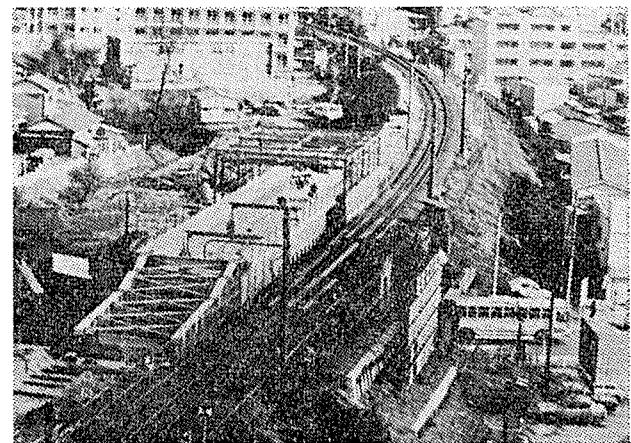


写真-2 押し出し施工全景

\* 日本国有鉄道技術研究所  
\*\* 日本国有鉄道構造物設計事務所  
\*\*\* 東日本コンクリート（株）

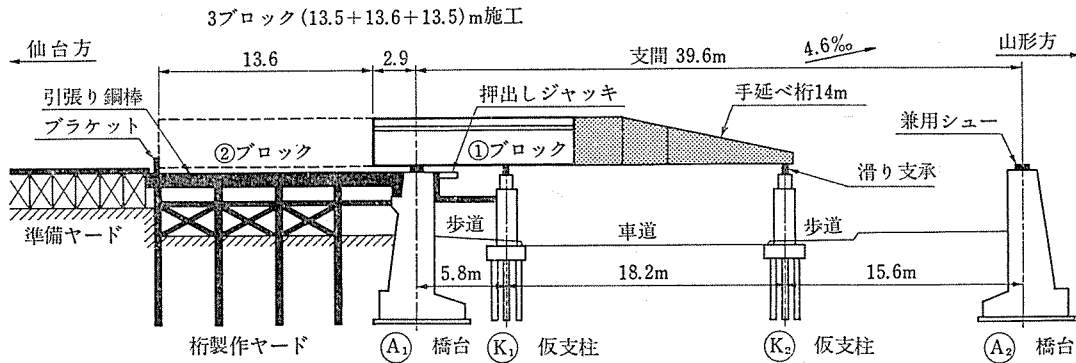


図-2 側面図

プローチが盛土で有利であること（腹付けのため盛土量が少ない）から、かつて例のない単純構造に踏切ることとなった。

単純構造の採用にあたっては、その問題点である桁の安定を確保するため、仮支柱を旧道の両側に設けることにより対処し、かつ架設用縦締め PC 鋼棒の節減をはかった。

仮支柱の間隔は桁長に比して著しく短いため、押し出し中の支点高さの誤差の影響が大きくなることを予測して、計算上必要とする押し出し中の架設用 PC 鋼棒を十分割増して配置するなどの配慮を行い、かつ押し出し中の桁の応力度の測定等を通じて万全を期した。

以上の対応策により単純桁の押し出し工法が実現することとなったが、単純桁を押し出し工法により施工する場合に製作ヤード、型枠などの設備費の比率が高くなり工事費の面で極めて不利になること、桁の押し出し中の安定、試行スパンの設定などの面でこれをカバーするための設備試験などが要求されることなどから、本橋におけるように構造形式が下路橋に限定され、架設径間における支保工の設置が建築限界、仮設工の制約などから困難な場合など、やむを得ない場合に適用されることに注意しなければならない。

### 3. 設 計

#### 3.1 設計概要

押し出し中の桁の安定を確実にするためには、3 支点以上で支持する必要があるため、橋台間に仮支柱 2 基を設けた 3 径間連続押し出し架設とした。

新線は在来線  $R=600\text{ m}$  の緩和曲線内方に別線改築すること、ならびに在来線との軌道中心間隔が約  $6.5\text{ m}$  と接近していることから、桁製作ヤードと作業準備ヤードのスペースは著しく制約（橋台背後に約  $30\text{ m}$ ）を受けた。

このため、桁を 3 ブロックとする方針のもとに桁の押

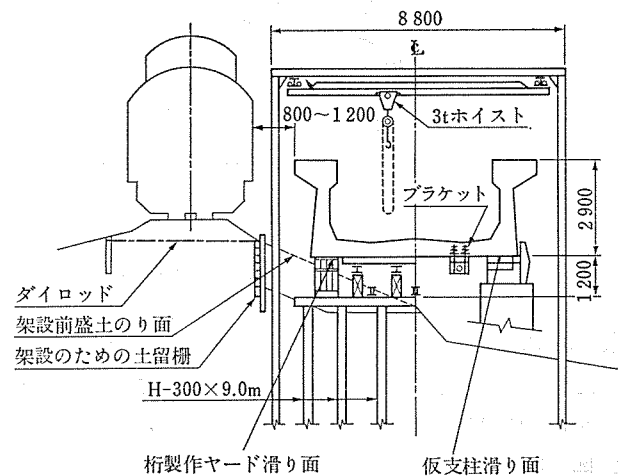


図-3 桁製作ヤード概要

出し中の安全性および経済性を考慮して手延べ桁長（ $14\text{ m}$ ）を決定した（図-4）。

#### 3.2 設計条件

設計条件を表-1 に示す。押し出し架設時におけるコンクリートの許容曲げ引張応力度は  $-10\text{ kg/cm}^2$ （国鉄押し出し工法設計・施工の手引き）とすることができるが、本橋では架設用のプレストレスが少なく主桁の支点沈下による影響が大きいところから、設計ではこの値を  $-2\text{ kg/cm}^2$  にとどめた。

表-1 設計条件

1) スパン	39.6 m
2) 列車荷重	KS-14
3) コンクリート 設計基準強度	$\sigma_{ch}=400\text{ kg/cm}^2$
4) P C 鋼材	
主ケーブル	12 T 15.2 (SWPR-7 A)
縦締め鋼棒	$\phi 32$ (SBPR 95/110)
横締め鋼棒	$\phi 32, \phi 26$ ( " )
鉛直締め鋼棒	$\phi 26$ ( " )

#### 3.3 主桁断面

桁断面は手延べ桁の取付け構造等を考慮した結果、従

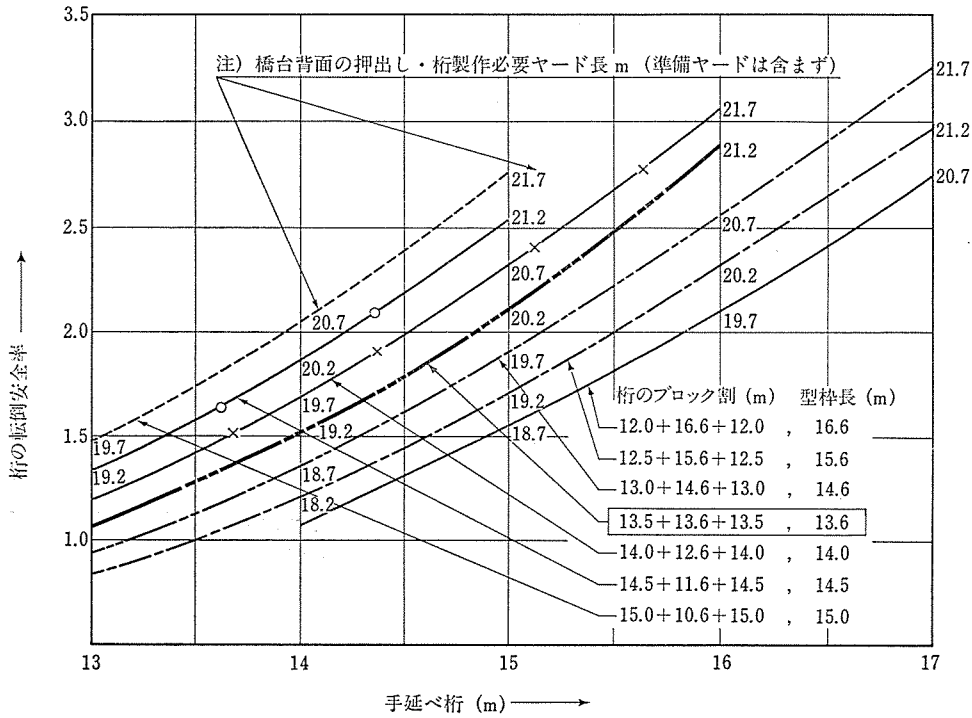


図-4 第1ブロック押出しによる手延べ桁長と転倒安全率

来の標準設計下路断面を用いることとし、端横桁は押出し施工に支障をきたすため床版上に設け、これに直接バラスト軌道の軌きょうを載せることにした。スケルトンを図-5に示す。

3.4 PC 鋼材

押出し架設用 PC 鋼材は、負の最大曲げモーメントに対して上縁に  $\phi 32$  PC 鋼棒 8 本、正の最大曲げモーメントに対して下縁に  $\phi 32$  PC 鋼棒 8 本をそれぞれ配置し、

架設完了後は上突縁の架設用 PC 鋼棒の緊張力を全数解放した。

横締め PC 鋼棒は端横桁部のみ  $\phi 32$  とし、スラブとウェブの鉛直締め PC 鋼棒は  $\phi 26$  を用いて、それぞれ 25 cm と 50 cm 間隔の配置とした。

PC 鋼棒の配置を図-7に示す。

3.5 手延べ桁取付け部

主桁と手延べ桁とは図-8、図-9に示すとおりであ

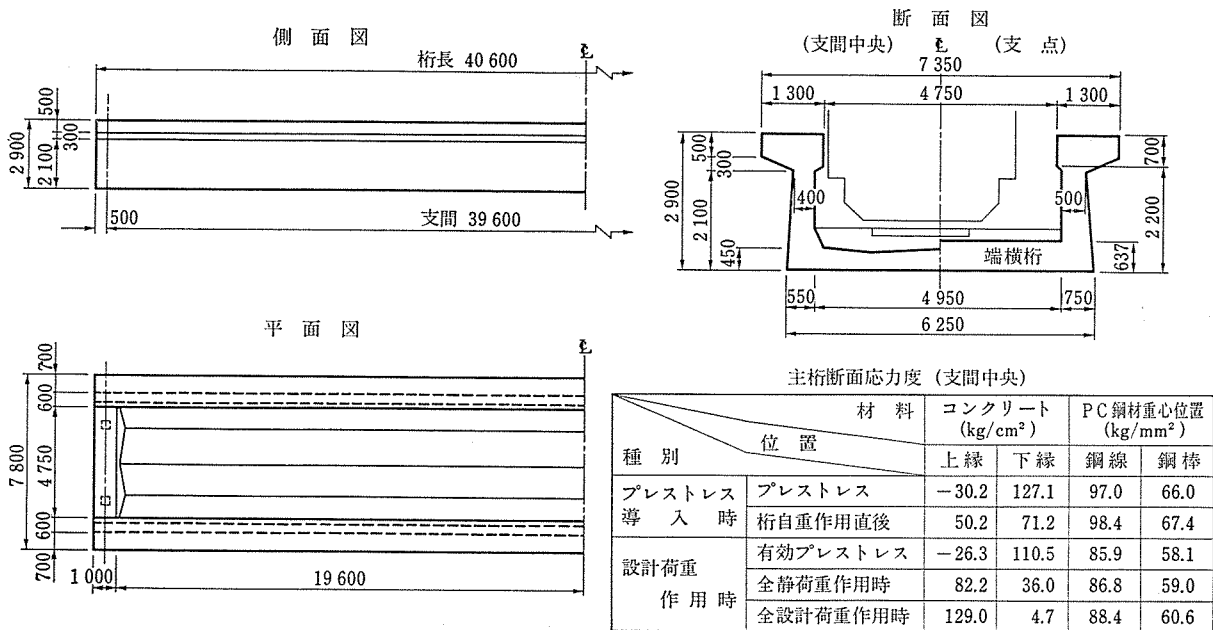


図-5 スケルトン

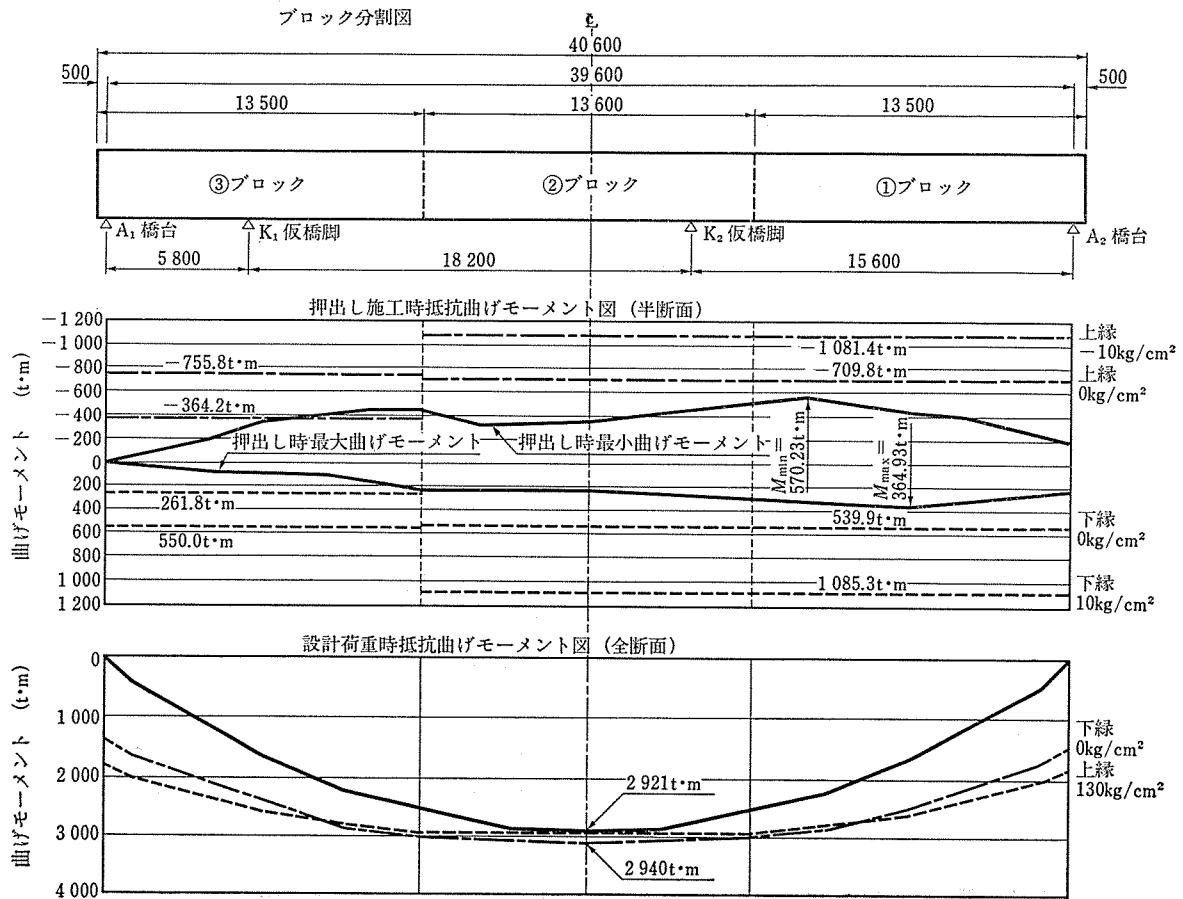


図-6 抵抗曲げモーメント

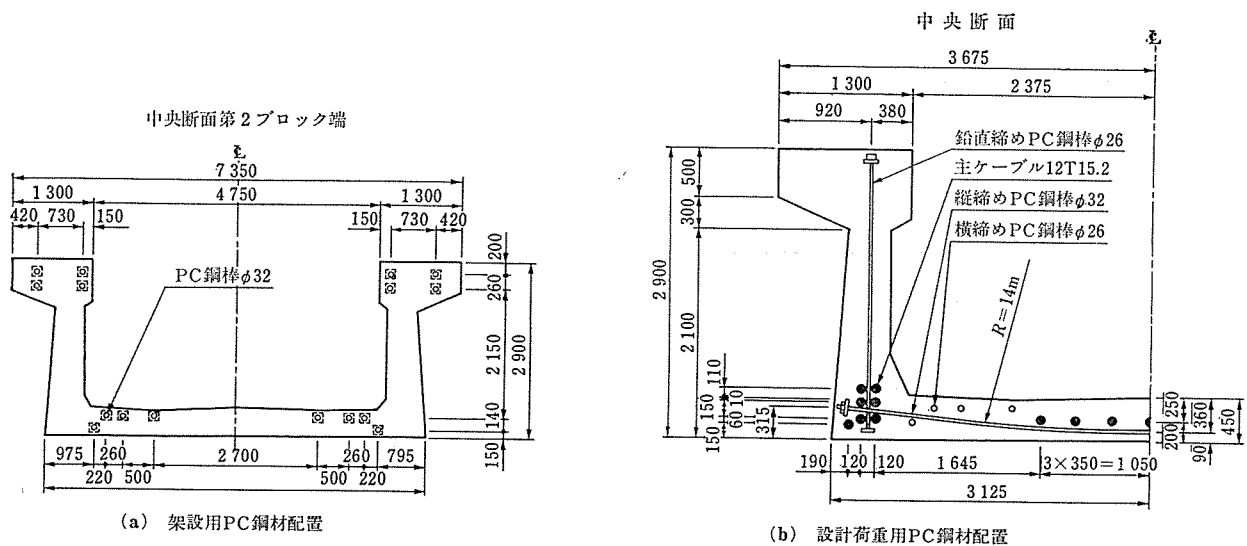


図-7 PC鋼材配置

る。取付け部主桁コンクリートの曲げ応力度は、主ケーブル定着部を欠損断面とした計算で、架設時最大曲げモーメントに対して  $\sigma_c = 51.2 \text{ kg/cm}^2$ 、架設時最小曲げモーメントに対して  $\sigma_c = 58.0 \text{ kg/cm}^2$  であった。押し出し時

の最大せん断力 ( $S = 133.2 \text{ t}$ ) に対しては、摩擦係数を 0.5 と仮定して 2.5 の安全率が得られた。

なお、下路断面であるため、手延べ桁の接合部には H-600 水平材を配置して横方向の補強を行った。

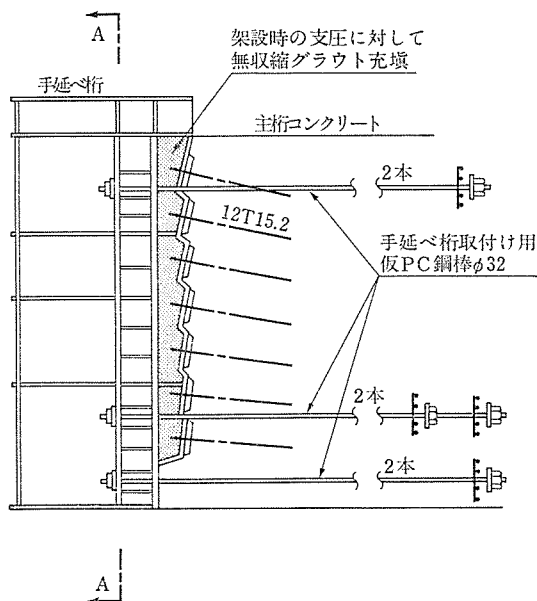


図-8 手延べ桁取付け部(側面)

#### 4. 施 工

##### 4.1 桁製作ヤード

桁製作ヤードを 図-2, 図-3 に示す。

橋梁は現在線と極度に近接しているため、在来線の盛土を土留め工によりカットし、製作桁下面から製作ヤード基礎梁天端までの間隔を 1.2 m 確保し、その間に桁製作設備を配置した。

桁製作台滑り面は H-600 と H-300 を 2 段に重ねて剛性を増し、滑り板(カラートタン)の巻取りと A<sub>1</sub> アバットにおける滑り板(テフロン板)の挿入スペースを確保した。

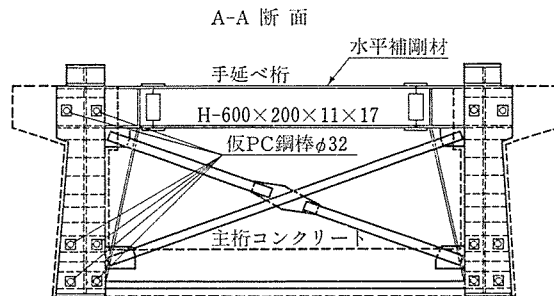


図-9 手延べ桁取付け部(正面)

底型枠はジャッキによる昇降可能なメタルフォームを使用した。この理由は桁製作ヤードが制限を受けるためコンクリート打込みヤード中に押し出し作業の都度、引張鋼棒とアンカーの配置空間が必要であったことによる。

##### 4.2 仮 支 柱

仮支柱の基礎にはH鋼を使用し、支柱本体はコンクリートブロック製とした(図-10)。躯体にはφ32の鉛直PC鋼棒により軸力を与えて組立てを行い、同時に荷重載荷による弾性短縮の軽減をはかった。

##### 4.3 押し出し装置および押し出し作業

本橋の押し出し工法は集中方式(TL工法)を使用した。A<sub>1</sub> および A<sub>2</sub> 橋台上には兼用シューを使用し、仮支柱上にはコンクリートブロック製の仮シューを用いた。

押し出し用油圧ジャッキは 150 t センターホールジャッキ 2 台を A<sub>1</sub> 橋台前面に固定し、ジャッキと桁下スラブ後端下面に取付けたブラケットは、ゲビンデ鋼棒により接続してジャッキストローク(30 cm)の反復作動により桁を押し出した(図-11)。

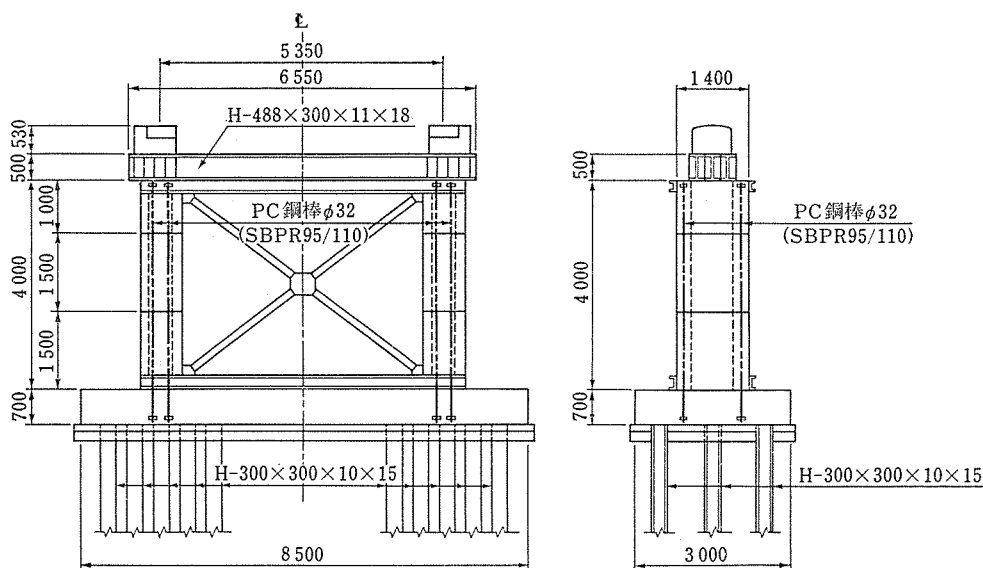


図-10 仮支柱一般図

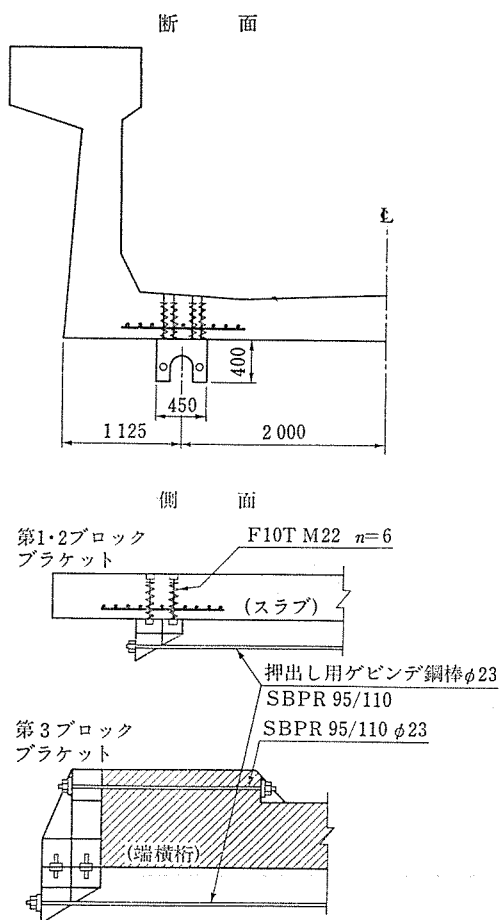


図-11 主桁取付け用ブラケット

1回の押し出し長 14 m に対する押し出し所要時間は、押し出し速度約 0.1 m/min とし、これに押し出し量 2 m 毎の各測定時間を加えて約 6.5 時間となった。

押し出し施工順序図を 図-12 に示す。図中⑥段階での手延べ桁の第 1 ピース解体撤去は、北仙台駅構内の安全側線に支障するために行われた。

### 5. 現場測定試験

下路橋として最初の施工桁であるため、押し出し作業に伴う諸試験を行った。以下にその概要を述べる。

#### 5.1 主桁の軸方向ひずみ (図-13)

測定時、主桁断面の内外に太陽直射熱による温度勾配ができて、これによる不静定応力の発生が認められたため、この影響を考慮して第 2, 第 3 ブロックは温度補正を行った。

この結果、押し出しの計算ひずみとよく似た傾向を示しほぼ設計で想定した断面力が働いたと思われる。ただし、下縁のひずみは  $K_1, K_2$  仮支柱上を通過したときに計算値を上回っているが、これは滑り支承上の支承反力による局部的な支圧応力が働いたことによると思われる。

#### 5.2 主桁の横方向変位 (図-14)

桁コンクリート打設、型枠脱型および押し出し終了までの期間をとおして主桁上突縁の間隔は外方に開く傾向を

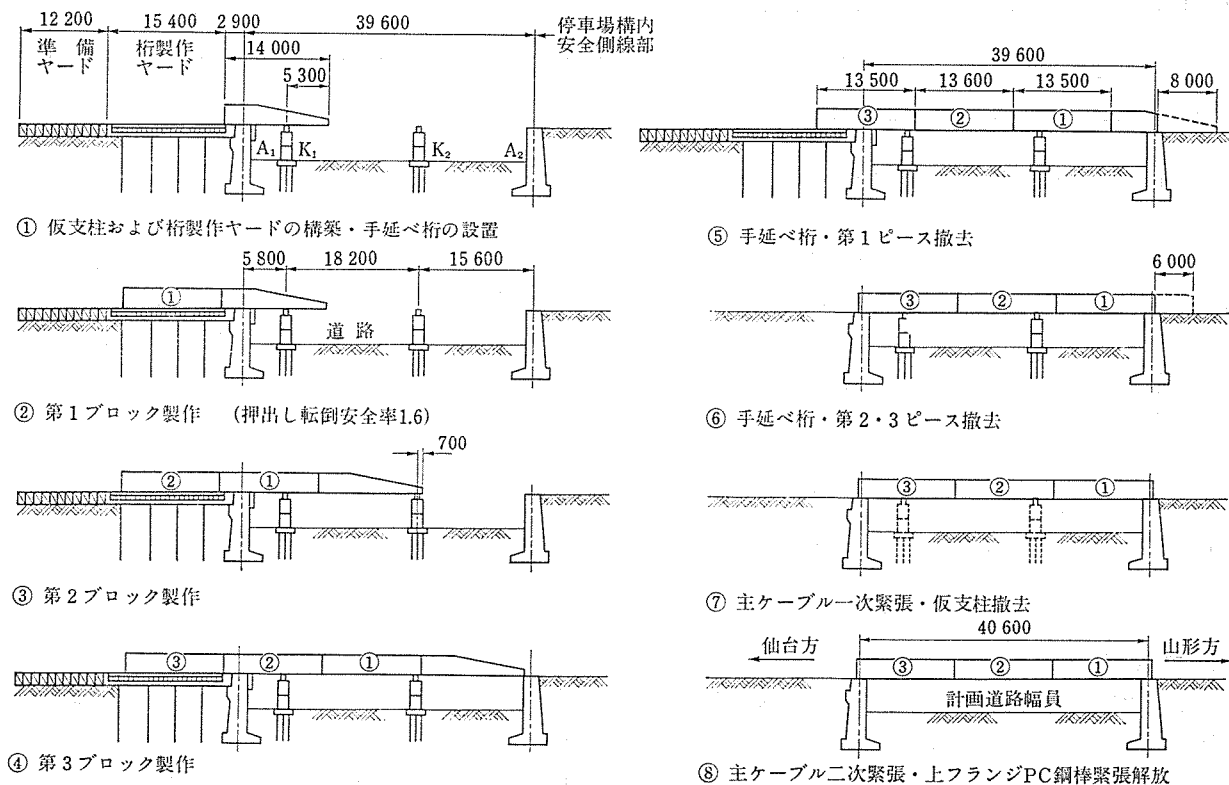
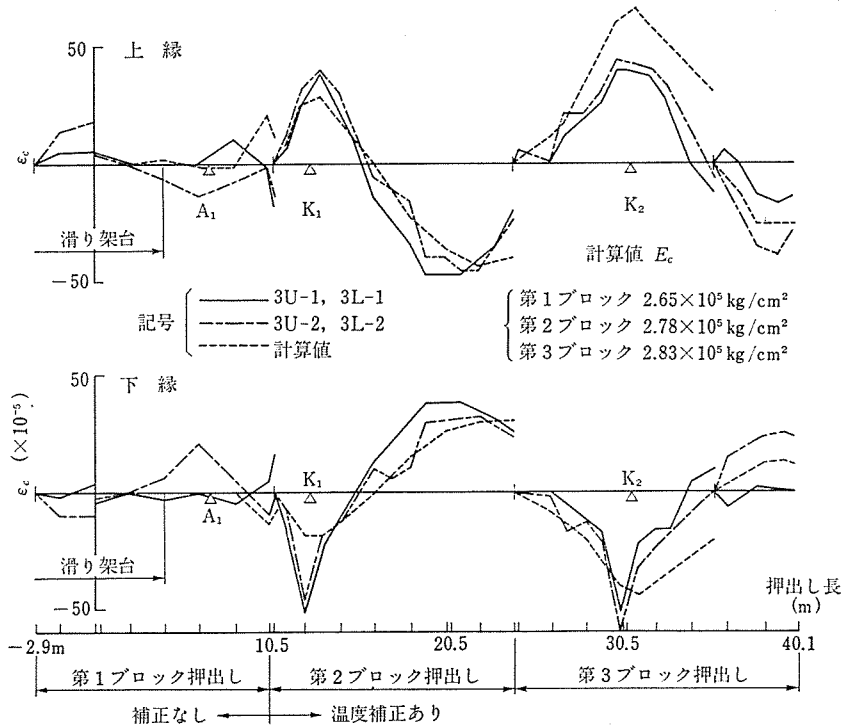
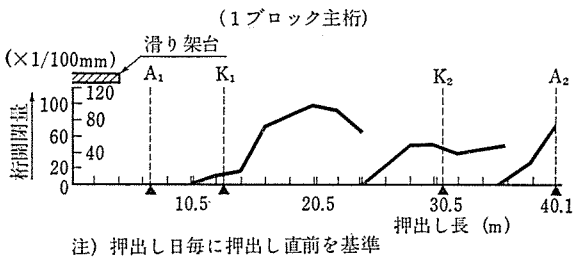


図-12 押し出し施工順序



図—13 主桁の軸方向コンクリートひずみ



図—14 主桁の横方向開閉量（主桁上突縁側面間）

示し、第1ブロックで約 15 mm、第2ブロックで約 17 mm であったが、これは主に横締め PC 鋼棒緊張による下スラブの曲げによるウェブの回転とクリープ変形による影響と思われる、この計算値約 19 mm に近い値となった。

押し出し作業中の主桁横方向開閉量は、各ブロックとも外方に開く傾向を示し、その最大値は  $\delta_{max}=1.2\text{ mm}$  (2ブロック主桁) であった。

また、押し出し作業を行わない日中での床スラブコンクリートの温度差による開き量を単純に求めると  $\delta_{max}=1.4\text{ mm}$  となるため、押し出し施工での開き量は大部分温度による影響と考えられる。

### 5.3 支点支圧分布

押し出し長 24.2、26.5 および 30.5 m での押し出しが進行したところで  $K_2$  仮支柱上で桁のジャッキアップ、ダウンを行い静的な支圧応力度を、また 24.2~25.5 m および 26.5~27.5 m の押し出し範囲において滑り板とゴム

表—2 静的な押し出し時反力測定

押し出し長 (m)	設計反力 (t)	左側滑り支承		右側滑り支承	
		測定反力 (t)	反力分担率 (%)	測定反力 (t)	反力分担率 (%)
24.2	80	88.9	47	98.4	53
26.5	95	97.7	46	113.5	54
30.5	130	137.9	47	155.2	53

注) 中圧用プレスケールを使用

板とを同時に挿入して滑動させた動的な支圧応力度を測定した。

測定にはプレスケールを厚さ 10 mm の硬質ゴム板の間に入れて行った。なお、プレスケールの精度は  $\pm 10\%$  以内である。これによる結果を表—2 に示す。

静的な測定では支圧の分布は外側に偏っており、これは横締め PC 鋼棒の緊張によるスラブの上ぞりの影響と思われる。

動的な測定はスラブ下面の凹凸の影響を受けて、やや支圧応力度が増加する傾向を示した。

### 5.4 手延べ桁水平補剛材のひずみ

横締め緊張時および押し出し時の手延べ桁取付け部水平補剛材 (図—9 参照) のひずみ測定を行った。

補剛材には横締め緊張時、押し出し架設中を通じて一般に単純な軸圧縮力と引張力が作用した。横締め緊張時では床スラブの上ぞりのため最大引張力 24.0 t が作用し、第1ブロック押し出し時では引張力 20.9 t、圧縮力 6.5 t、および第2ブロック押し出し時では引張力 13.3 t、圧縮力



10.4t がそれぞれ作用した。

第3ブロック押し中前半は引張力 10.4t, 圧縮力 1.1t, 後半で引張力 5.1t, 圧縮力 5.4t が作用した。

今回のひずみ測定より, 横締め緊張時の引張力が押し出し施工中を上回ったが, この値は補剛材の応力度に換算すると最大 193 kg/cm<sup>2</sup> を示した。

5.5 押し出し時の滑り板の摩擦係数 (図-15)

設計で想定している摩擦係数は, 桁製作ヤード滑り面で 20%, 兼用シューと仮支柱上の滑り支承面で 5% としたが, 実測の結果は押し出し開始直後で設計値の押し出し力に対して最大 151% となった。

押し出しが進展して桁反力が増加したときの摩擦係数の値は, 施工の進行につれて減少の傾向を示した。この減少は, 桁製作ヤード滑り面での反力分担比率が減少したためと考えられる。

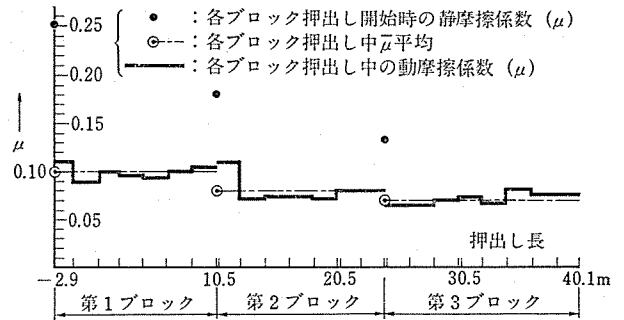


図-15 押し出し時の滑り面の摩擦係数

5.6 押し出し施工中の桁の平面性と左右振れ量

押し出し開始に伴う桁の平面性と左右の振れ量を定量的にとらえるため, 各ブロックの押し出し直前を基準の位置として測定を行った。

第1ブロック押し出し時の桁の平面性は, 測定誤差が大

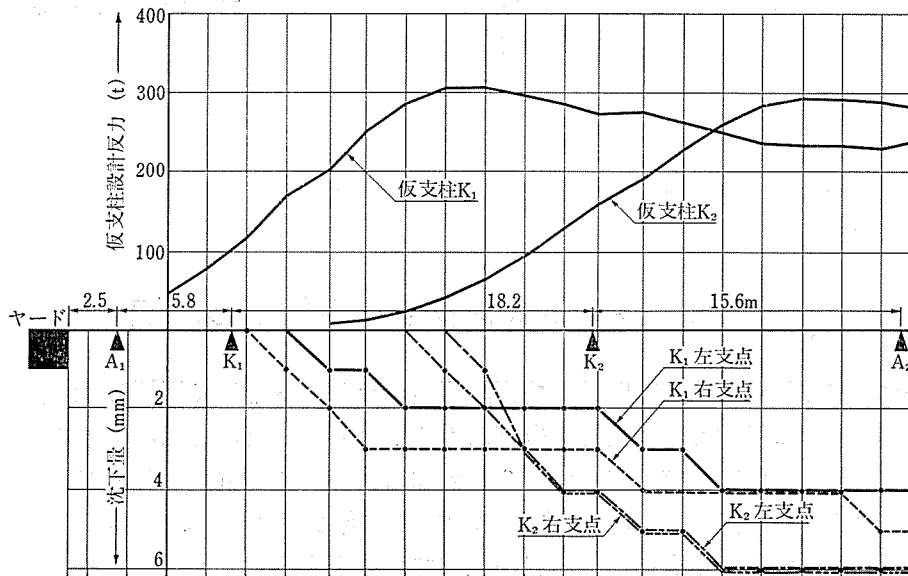
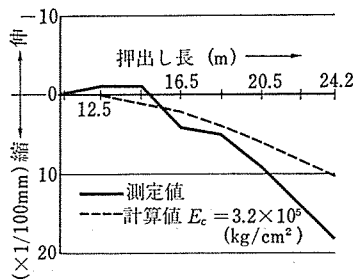


図-16 仮支柱上の滑りシューの測定沈下量

(a) 押し出しによる仮支柱の弾性短縮



(b) 主ケーブル一次緊張による仮支柱の伸び

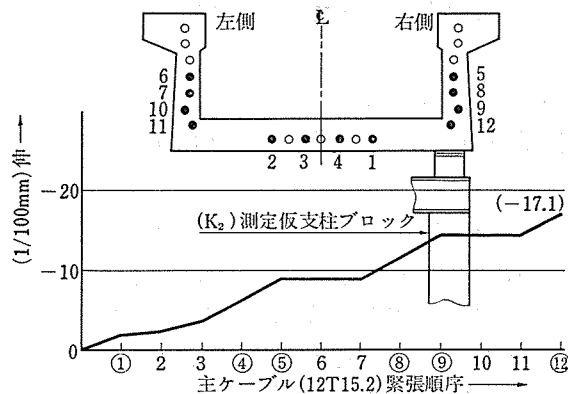


図-17 K<sub>2</sub> 仮支柱の弾性変位

## 報 告

きいため除外したが、第2・第3ブロックの押し出し時の桁の平面性測定値は、押し出し距離 2m 毎（測定位置は第1ブロック先端と後端、第2ブロック後端および第3ブロック後端）の測定値のばらつきを求めた結果、推定値は 2.1mm であった。

押し出し中の基準の橋梁軸線に対する桁軸線の左右振れ量は最大 19.5mm あった。左右振れ量は架設終了に合わせて、そのつど基準の軸線に一致するよう修正した。

### 5.7 仮支柱反力と支点沈下量（図-16）

支点沈下は主に仮支柱に生じ、最大値は 6mm となったが、計算による予測値 1.45mm に対し 4.2 倍の沈下量となった。押し出し中は桁の支持点を同一平面上に保つため、押し出しにおいて各段階とも 1 級水準測量を行い、支点の沈下量を確認しながら高さ調整を行った。

### 5.8 $K_2$ 仮支柱の弾性変位（図-17）

仮支柱  $K_2$  の押し出しに伴う弾性短縮量は、第2ブロック押し出し時で 0.18mm であった。架設終了後に主ケーブルの一次緊張を行った仮支柱  $K_2$  ブロックの弾性もどり値は 0.17m であった。

## 6. ま と め

本橋は、現地の特種条件から採用された最初の単径間押し出し橋で、かつ下路断面桁への押し出し工法の採用という点においても最初の橋梁である。そこで特に押し出しに伴う主桁の軸方向ひずみ測定のほか諸検討試験を行い、下路橋の押し出し工法適用上の問題が把握できた。

特筆すべきことは、下路桁では主桁が種々の理由で直角方向の回転が生じ、そのため押し出し装置は主桁の回転による支圧分布の偏りが生じない構造のものが要求される場合があることにとくに注意しなければならない。

最後に、本橋の施工にあたり仙台鉄道管理局・須賀前工事課長、窪田工事課長ほか工事に関係した方々の熱心な監督の下に無事工事試験等が行われたことを記し、心から謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 国鉄：押し出し工法による PC 桁設計施工の手引

【昭和 57 年 9 月 2 日受付】

## ◀刊行物案内▶

### プレストレストコンクリート技術の現況

本書は全国七都市で行った第 10 回 PC 技術講習会のテキストとして編纂したもので、PC 技術の現況と題し、下記に示すとおり内容も豊富なものとなりました。地区によってはテキストの不足を生じた会場もあり、大変な盛況でした。その内容は大きく 4 項目からなっており、すなわち PC の設計に関する各国の規定、PC 鋼材について、建築に関する PC 部材の接合法、さらに今度の編纂に最も力点を置いた PC 橋の架設工法総覧であります。

特に最後の項は、PC 橋梁関係者にとっては、最近の新しい工法も採りいれられていることにもより、大変よくまとまった格好の資料になることと思います。掲載資料を欲ばり、頁数が多くなり過ぎた嫌いがありましたが、ご自身の勉強のためもさることながら社員教育用にも最適かと存じます。ご希望の方は代金を添えて（社）プレストレストコンクリート技術協会（電 03-261-9151）宛お申し込みください。

体 裁：A 4 判 216 頁

定 価：5,000 円 送 料：800 円

内 容：(A) プレストレストコンクリートの設計に関する各国の規定（主としてひびわれ発生許容プレストレストコンクリートについて）。(B) PC 鋼材について。(C) PC 部材の接合法（その力学的基本特性）。(D) プレストレストコンクリート橋の架設工法総覧、1) 概説、2) PC 桁の移動架設工法、3) 場所打ち工法（支保工）、4) プレキャストブロック工法、5) カンチレバー工法、6) 移動支保工、7) 押し出し工法、8) PC 鉄道橋の架設。