

# 中津 Bv の設計・施工について

穴 見 源 八\*

## 1. 概 要

中津 Bv は東北新幹線東京起点 204.400 km (福島県須賀川市) の位置に架設された 3 径間連続 1 室箱桁のプレストレストコンクリート鉄道橋である。構造寸法は図-1 に示すとおりであり、中央径間の国道 4 号線の建築限界高さに余裕がないので、押し出し工法による架設方法が採用された。本橋では、各橋脚上の押し出し装置に取付けた水平ジャッキで押し出し水平力を与える分散方式である。また、各支点のうち、本設支承部 (図-1, P<sub>1</sub>~P<sub>4</sub>) には、架設終了後に置替えの必要がない仮設兼用シュールを用いた。

本橋の平面形状は半径 4000 m の曲線桁となっており、縦断面には押し出し方向 (盛岡方) に 1.9% の上り勾配がついている。

下部構造は、直径 6~7 m、深さ 20 m のニューマチックケーソン基礎であり、支持層は N 値が 50 以上の砂れき層である。

架設中の状態を写真-1 に示す。現在では、桁架設は完了している。

## 2. 設 計

押し出し工法の設計上の特徴は、桁架設中に構造系が変化し、主に片持ち梁をもつ連続桁となることである。したがって、各設計断面の断面力等の算定の際には、支持条件の有無、構造系の変化、荷重の増減等により、数多くの計算を行う必要がある。本橋では、全長 150 m の

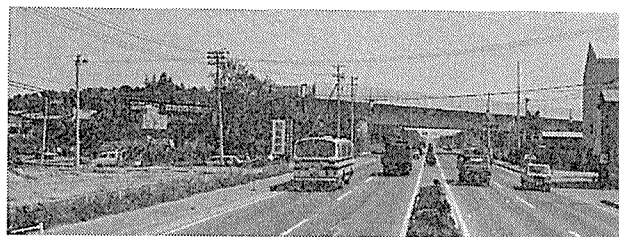


写真-1

桁を 20 ブロックに分割製作し、各ブロックの押し出しについて、次のケースで断面力、変位、反力および応力を算定した。

- 1) 押し出し開始
- 2) 手延べ桁先端が支承の直前
- 3) 手延べ桁先端が支承上に到達
- 4) 検討断面が支承上に到達
- 5) 押し出し終了
- 6) 押し出し終了後、荷重または部材が変化

各ブロックの検討ケースの合計は、本橋では 186 ケースとなり、当然コンピュータで計算された。プログラムには変位法による解析方法が用いられており、次の制限内で使用できるものである。

$$\text{スパン数} + \text{仮支承数} \leq 90$$

$$\text{主桁部材数} + \text{手延べ桁部材数} \leq 90$$

$$\text{検討断面数} \leq 99$$

なお、このプログラムは、押し出し架設中の計算だけに使われ、設計荷重時の検討には、通常の 3 径間連続 PC 桁のプログラムが使用された。

架設中の主桁は、上下スラブに縦方向鋼棒 (SBPR 95/

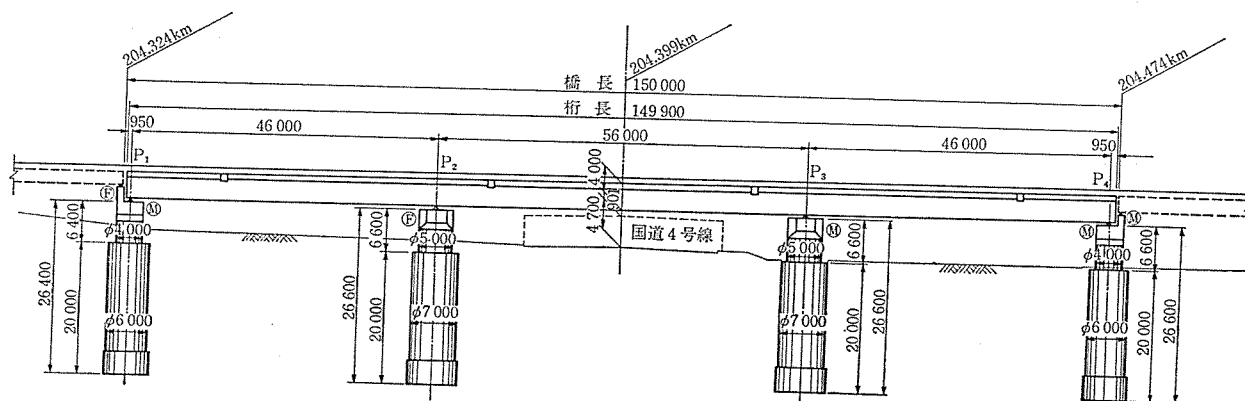


図-1 橋梁一般図

\* 国鉄仙台新幹線工事局

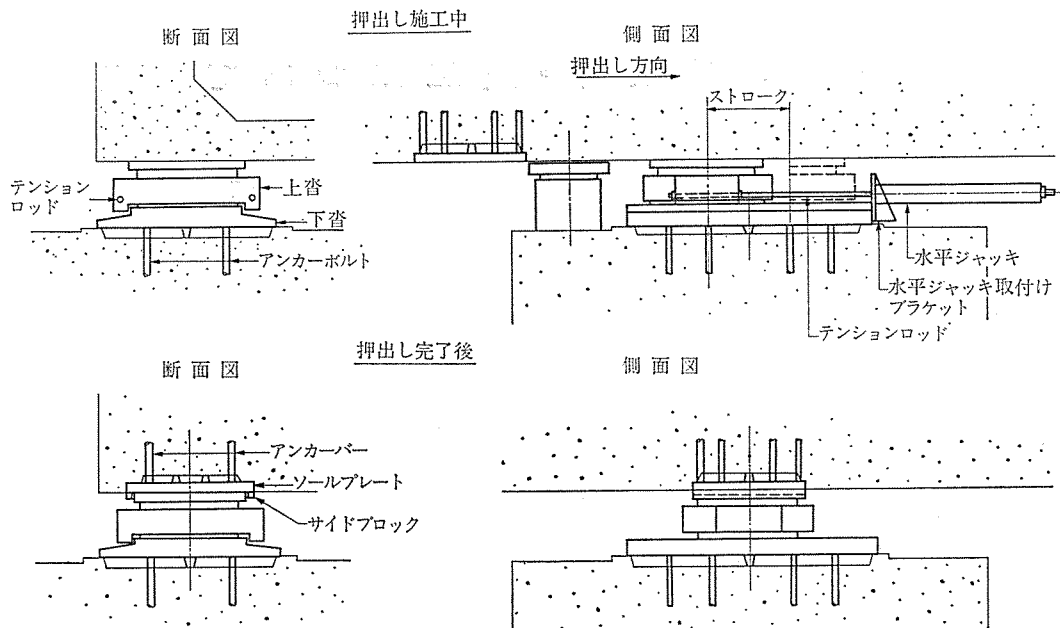


図-2 兼用 シュー

120,  $\phi 32$ ) を、左右ウェブに鉛直鋼棒 (SBPR 95/110,  $\phi 32$ ) を、また上スラブに横締め鋼線 (モノストランド 1T 21.8) をそれぞれ配置することによって、断面力に抵抗させている。手延べ桁と主桁とは、136本の鋼棒 (SBPR 95/120,  $\phi 32$ ) で突合せ連結している。この手延べ桁連結鋼棒は主桁ウェブに集中するので、主桁先端の上下スラブに引張応力が生ずる。そのため、鋼線 (モノストランド 1T 21.8) 4本および鋼棒 (SBPR 95/110,  $\phi 32$ ) 12本を配置し、横締めを行っている。中間支点の下スラブは、設計荷重時に応力オーバーとなるので、押し完了後に下スラブの縦方向鋼棒の一部を緊張解放する。その後、ウェブの主ケーブル (ストランド 12T 12.4) および斜め鋼棒 SBPR 95/110,  $\phi 32$ ) を緊張する。

縦方向鋼棒の緊張区間は、4ブロック (32m) を標準としている。したがって、1ブロックの断面では、全本数の 1/4 の鋼棒が緊張されることになる。

シューは、図-2 に示す兼用シューを用いた。

### 3. 施 工

#### 3.1 架設順序

図-3 に架設順序を示す。手延べ桁先端が国道上を横断する時は 49m の長距離押し出し、第 20 ブロックは 26m の中距離押し出し、それ以外の各ブロックは 8m 以下の短距離押し出しである。手延べ桁は P、橋脚を通過した部材から順次 3 分割して解体した。

#### 3.2 工 程

20 ブロックまでの製作押し出し工程は、1ブロック当たり平均 11 日を要したが、そのうち 6.5 日は型枠および

鋼材の組立てであった。型枠・鋼材の組立てに多くの日数を要した理由は、第 1 に桁高が高いため、ウェブの鋼材組立てに足場を要したこと、第 2 に箱桁内ウェブに主ケーブルの中間定着部があるため、型枠が複雑になり、かつ各ブロックごとに内型枠の形状が異なっていたこと、第 3 にブロック長が短いため、作業空間が狭く、作業員を無制限に投入できなかったこと、第 4 に押し出し終了ごとに鋼製の外型枠をケレン・清掃する必要があるため、製作ヤード後方であらかじめ鋼材組立てができなかったこと、第 5 に縦方向鋼棒、斜め鋼棒、鉛直鋼棒、横締め鋼線、主ケーブルの 5 種類の鋼材と鉄筋とが交錯していること、などがあげられる。

#### 3.3 使用機器

図-4 に使用機器の配置を示す。国道横断までは (a) のように配置したが、高圧ゴムホースをこのように配管すると、油圧ポンプ間の吐出能力差によって、左右の反力のアンバランスや押し出し方向の偏りなどの不都合が生じやすいので、国道横断後は、分流器を使って (b) のように配管を変更した。しかし (b) の配管でも、桁下面の出来形精度不足、パッキング材厚の調整不足、橋脚基礎の沈下、1ブロックごとの主桁の折れ曲り、などによって生ずる支点の不等沈下を避けることはできない。したがって、主桁の上昇速度を制御できる装置や、架設時の構造系が反力によって管理できる高精度の油圧ポンプの開発が望まれる。

押し出し工法に使用する鉛直ジャッキは、工法の存続を左右するほどの重要機器であるので、載荷重試験や材質試験等の各種試験に合格したものを使用すべきである。また、使用にあたっては、パッキング材の調整、据付け

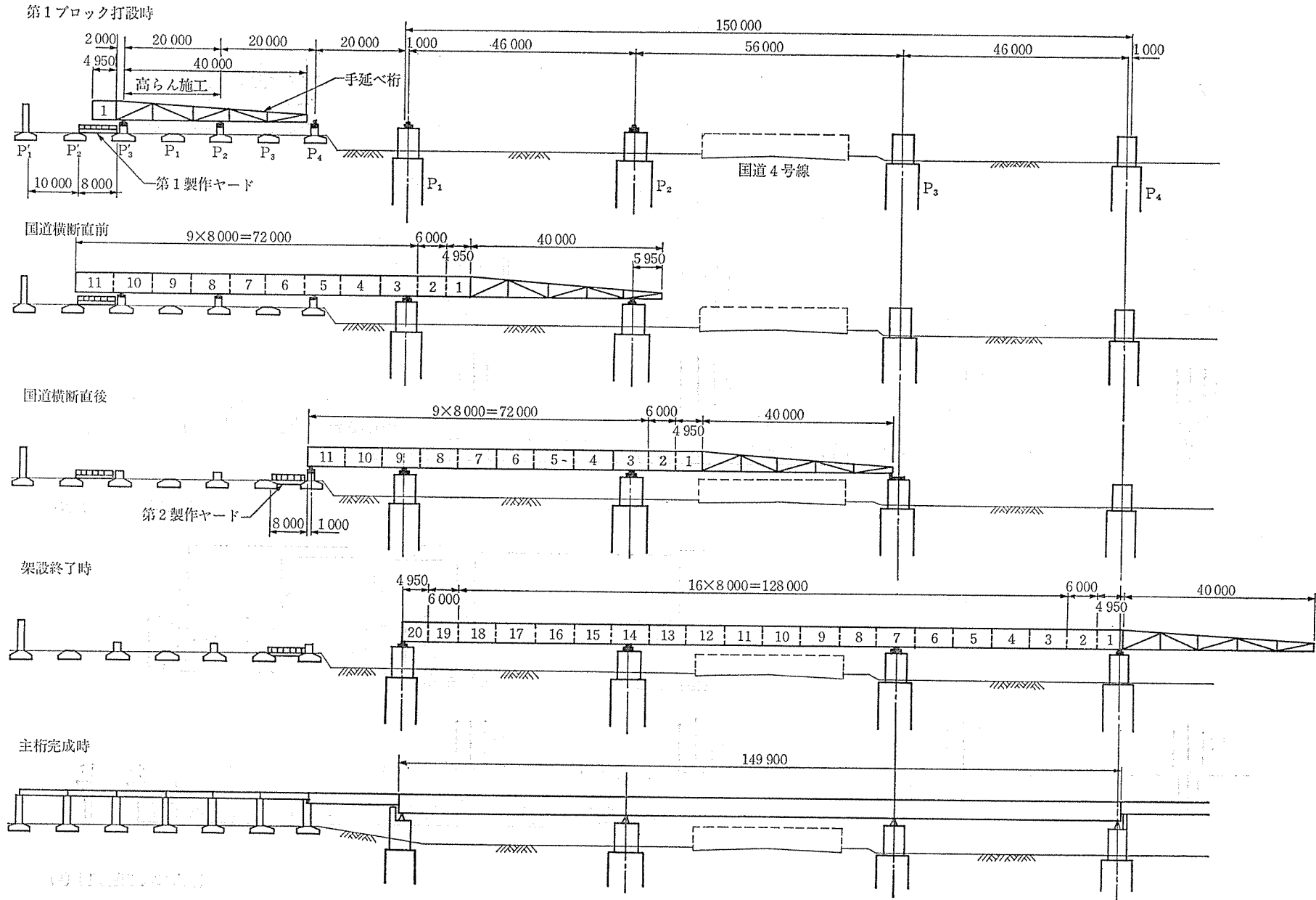
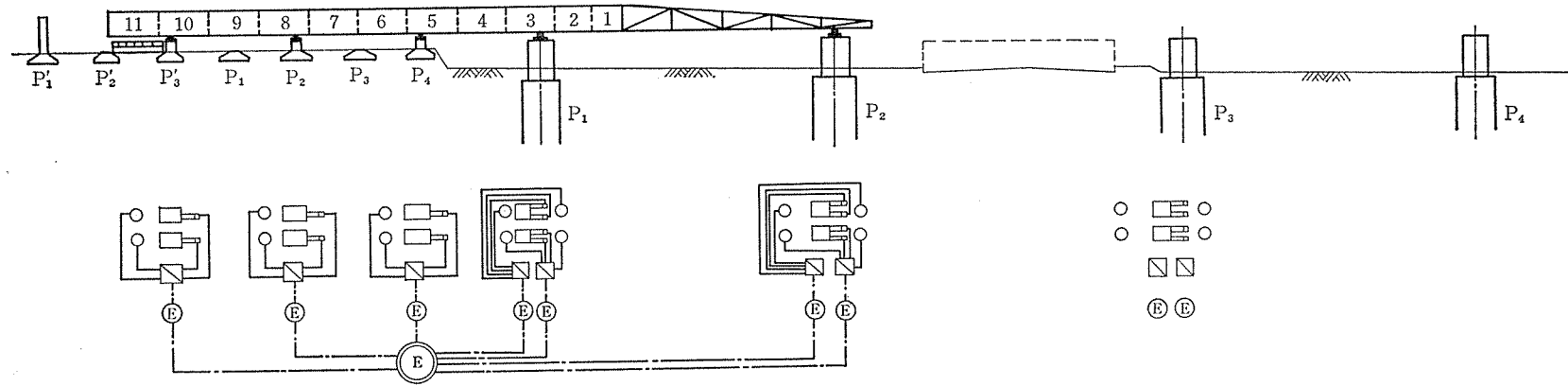
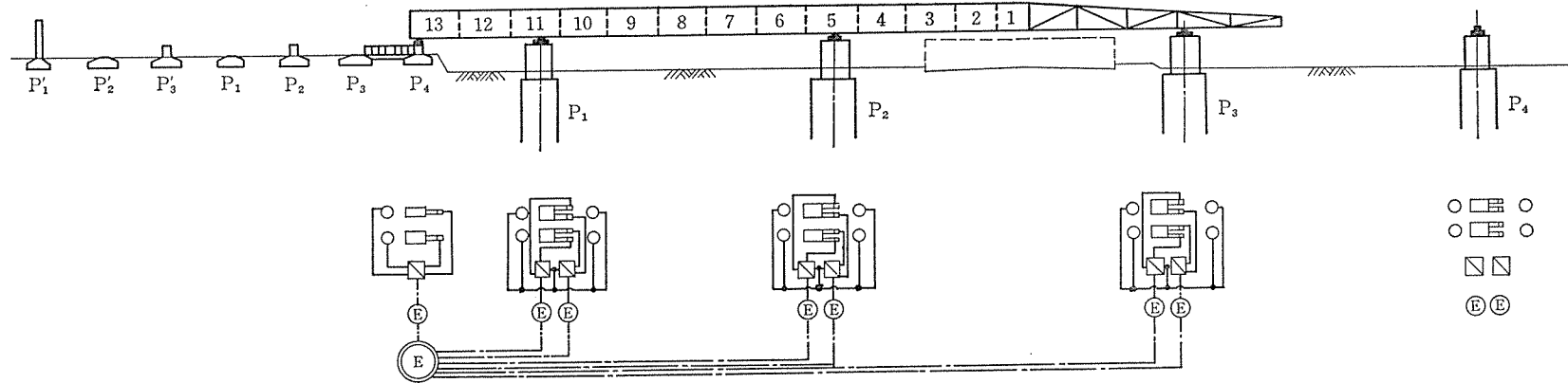


図-3 架設順序図

(a) 国道横断までの配管



(b) 国道横断後の配管



- |    |          |       |         |
|----|----------|-------|---------|
| 記号 | 仮設押し出し装置 | 現場制御盤 | 高圧ゴムホース |
|    | 兼用シュウ    | 中央制御盤 | 電気配線    |
|    | 水平ジャッキ   | 油圧ポンプ |         |
|    | 鉛直ジャッキ   |       |         |

図-4 機械配置図

時の傾きの調整，ポンプの設定圧を設計反力の 10% 増程度に調整，などに留意し，慎重に取扱う必要がある。

### 3.4 手延べ桁

手延べ桁は，長さ 40 m，中央径間長との比率 71% のものを使用した。通常，手延べ桁の安全性は，押し出し架設の設計計算によって求められた断面力から，そのまま応力を算出し，その値が許容値以下であることによって確認しているが，本橋では油圧ポンプの吐出能力差による反力変動が大きいので，50% 増の反力による応力，純曲げ応力，圧縮応力，せん断応力，以上の 4 応力による合成安全率を計算して，手延べ桁ウェブに鉛直・水平補剛材を取付け，支点上を移動しても十分安全であるように補強した。

### 3.5 方向修正

分散方式押し出し工法では，従来，仮設押し出し装置自体の方向を変えることによって方向修正を行っている。本橋でも，仮設支承部については同じ方法で方向をコントロールしたが，本設支承部の兼用シューでは，下シューが既に橋脚と一体に固定されているので，シュー自体の方向を変えることはできない。したがって，本橋では次の 2 方法で方向修正を行った。すなわち，第 1 の方法は，剛体の運動法則を利用して，押し出し移動中に水平力を加減することである。水平力の加減は，各水平ジャッキのうち何本かを作動させないことによって行う。通常，押し出し方向に最も影響の大きいのは先端部のジャッキであるから，左右ジャッキのいずれか片方のテンションロッドを解放する。これは効果的な方法であったが，油圧ポンプの能力差や方向修正の数値的な研究不足により，補助的に行っただけである。3.3 に述べたように，油圧ポンプの能力差は押し出し方向の偏りとなって現われるが，同時に押し出し距離のロスとなることが認められた。すなわち，押し出し装置は 1 ストローク 500 mm で設計・製作されているが，実際の主桁は 1 ストローク 495 mm 動き，5 mm のロスが生じた。このロスは各水

平ジャッキの速度の違いによって生じ，このため 1 ストロークごとに方向が狂っていくと思われる。すなわち，分散方式押し出し工法は，車に例えれば 4 輪駆動であり，水平ジャッキは車輪に相当する。この車輪によって与えられる水平力の合力が，車（桁）の進行方向をどのように決定するのか数値的につかむ必要がある。次に，第 2 の方法は，押し出し前後に，主桁と各支承との間にテフロン板とステンレス板とを挿入し，橋脚上の横ガイドブロックに取付けた油圧ジャッキで，主桁を横方向に押し移動する方法である。この方法では各支点の静止摩擦が切れる直前に，水平力による断面力が余分に働くことになるので，鉛直方向の断面力に加算しても十分安全であることを確認する必要がある。また横移動中は，主桁が直線的に移動することを絶えず確認しながら作業を進める。横移動は押し出し終了ごとに行い，主桁位置を修正してから主桁製作するのが望ましい。

## 4. 現場測定

### 4.1 支点反力測定

図-4 に示す全支点（鉛直ジャッキ設置個所）で支点反力測定を行った。

測定方法は，測定精度向上のため途中で 2 回変更した。すなわち，最初は鉛直ジャッキに取付けたマンメーターを直読したが，国道横断時には押し出し装置の摩擦係数を測定するため，鉛直・水平の両ジャッキの油圧力が測定できるように，ポンプのオイル吐出口に圧力変換器（東京測器製 PWH-700 型）を取付け，出力を動歪測定器（新興通信工業製 DS-6002 F 型）で増幅し，電磁オシログラフ（共和電業製 RMV-300 E 型）で記録した。さらに，国道横断後では油圧ホースおよび切換えバルブ等の油圧ロスをなくすため，圧力変換器の取付け位置を鉛直ジャッキのオイル送入口に変更した。この時は，水平ジャッキの油圧力は測定できなかった。

国道横断時の油圧測定結果の一例を，図-5 に示す。

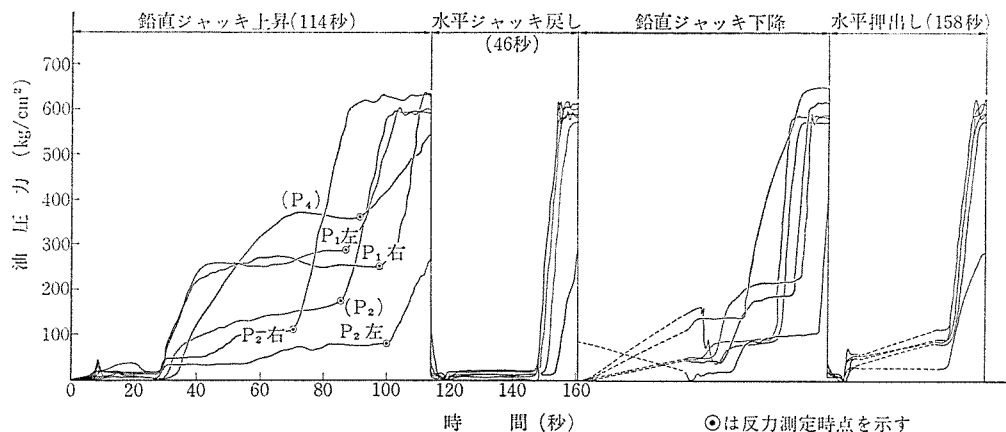


図-5 油圧測定結果の一例

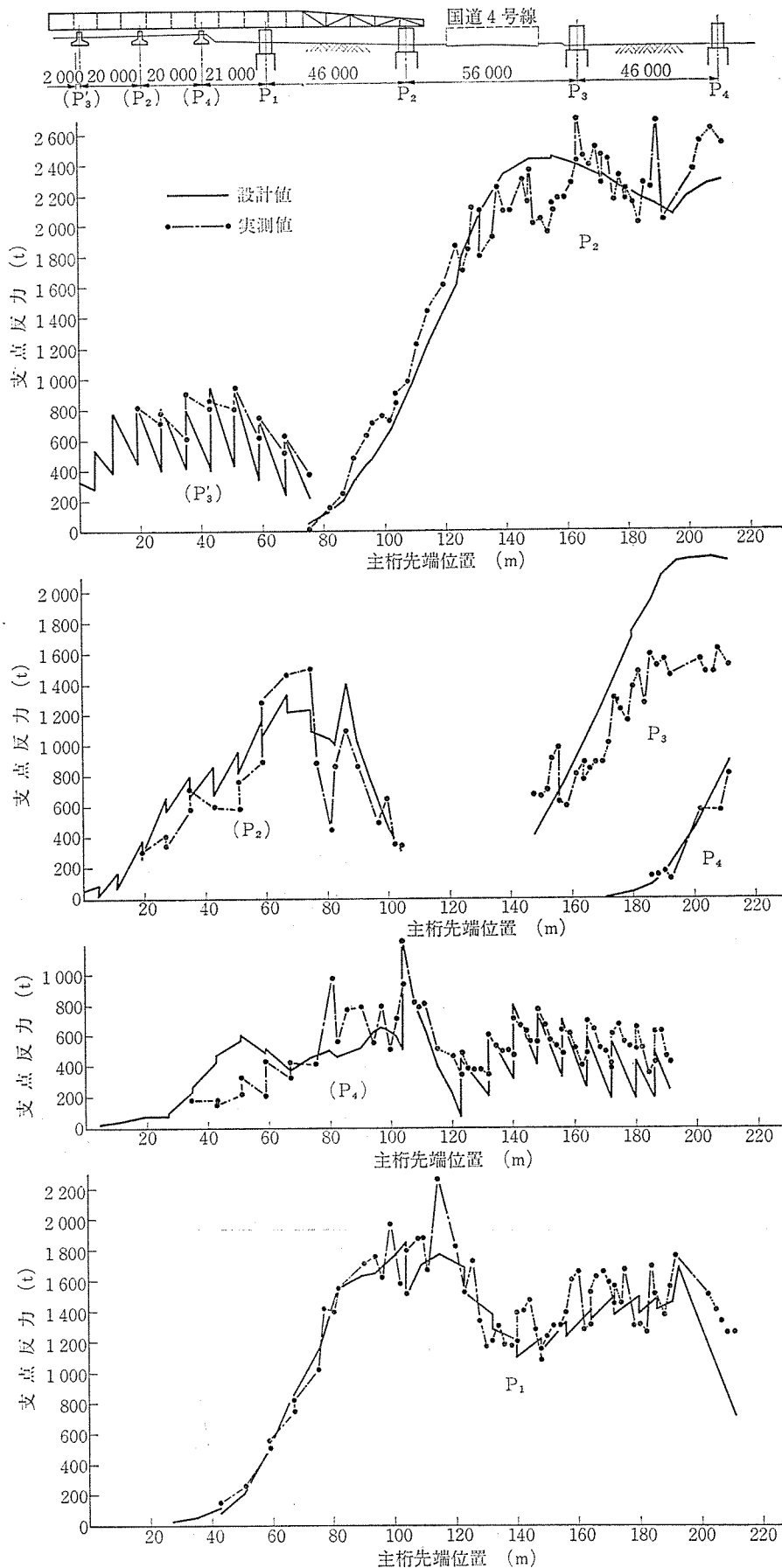
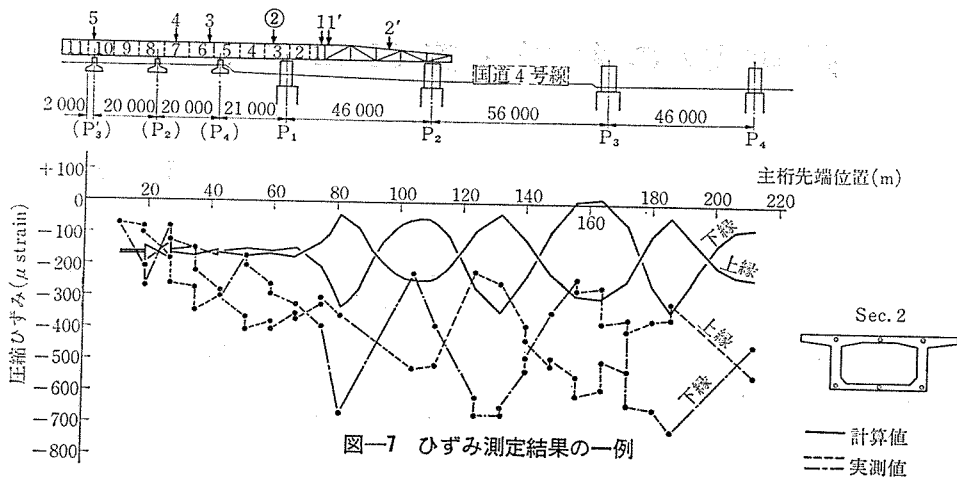


図-6 支点反力の変化



図一七 ひずみ測定結果の一例

鉛直ジャッキ上昇時をみると、上昇完了（図中⊙印）まで各ジャッキ間でバランスがとられながら異なった速度で上昇し、ストロークエンドに達したジャッキから順次設定圧まで油圧が上昇している。例えば P<sub>1</sub> 左側ジャッキに着目すると、上昇開始してから、

- 1) 9 秒後に主桁にタッチする
- 2) 9 秒後から30秒後までパッキング材が圧縮される
- 3) 40 秒後から主桁が上昇する
- 4) 40 秒後から 60 秒後まで P<sub>1</sub> 右側に反力を移す
- 5) 60 秒後から 80 秒後まで P<sub>1</sub> 右側から反力を移される
- 6) 87 秒後にストロークエンドに達する
- 7) 104 秒後に設定圧に達する

また、P<sub>2</sub> 右側ジャッキに着目すると、70 秒後にストロークエンドに達した後、他のジャッキの反力の増減によって影響を受けているはずであるが、測定不能である。今回の測定では、各ジャッキが独立して作動しているものとして、図中に示す測定時点の圧力値を採用した。したがって、厳密には測定値とを比較できないが、ストロークエンド後の圧力変化は大きくないので、傾向を知ることができる。

図一六 に支点反力の変化を示す。各支点の最大反力の実測値は設計値の22%増～27%減である。このバラツキは、3.3 で述べた不等沈下によって生じ、1 支点 4 台のジャッキ間の反力のバラツキはさらに大きいと思われる。

#### 4.2 ひずみ測定

カールソン型ひずみ計（土木測器センター製、手延べ桁用 AFL-10S、コンクリート主桁用 AL-10S）を取付け、または埋込み、指示計（土木測器センター製 CGM-1000A）で抵抗値と抵抗比とを測定し、ひずみを算出した。測定位置は、最大・最小曲げモーメントの生ずる位置、架設後の支点上および支間中央付近である。また第17ブロックには、ウェブの主応力およびせん断応力を測

定するために、三方向ひずみ計を埋込んだ。測定時期は各ブロック押出しの直前・直後とした。測定値の読取り誤差は、ひずみに換算して 10  $\mu$  strain 程度である。

ひずみ測定結果の一例を図一七に示す。実測値は設計値の2倍程度であるが、これは乾燥収縮、クリープ等による塑性ひずみのためであると思われる。図中、下縁ひずみに着目すると、主桁先端位置が 160 m 付近で、設計値が引張りの時の実測ひずみ 250  $\mu$  strain を塑性ひずみと考えると、この測定断面の例では、実測値は設計値と近似しているといえる。また、設計計算の仮定として、乾燥収縮ひずみ 150  $\mu$  strain、クリープ係数  $\phi=2$ （架設中は  $\phi=1$ ）であるとしているから、上記の塑性ひずみ 250  $\mu$  strain は、ほぼ設計値のとおりであると思われる。

手延べ桁のひずみ測定、第 17 ブロックの主応力測定および主ケーブル緊張前後のひずみ測定等については、現在データを整理・検討中である。

#### 5. あとがき

本橋で行った現場測定は、支点反力測定、ひずみ測定のほかに、プレスケールによるシェーの支圧分布測定、シェーの相対変位測定、主桁の出来形精度測定等があるが、今回は紙面の都合で述べなかった。

ひずみ測定については、支点反力測定と関連づければ、反力変動による影響について述べることができたと思われるが、データ解析の時間がなかった。

シェー据付けについては、今回は述べなかったが、架設終了時に反力測定を行い、設計反力と大差ないことを確認している。

#### 参考文献

- 1) 本岡和雄・小林明夫・石川里博：分散方式押し出し工法による中津橋りょうの設計・施工、コンクリート工学 Vol. 17, No. 8, Aug. 1979, p. 28~36