東北新幹線　細谷 Bi の設計・施工について

林　　守　夫*
三　浦　伸　治**
石　川　里　博***
長　田　晴　道***

1. 概　要

細谷 Bi は，図—1 に示すように，東北本線伊達駅付近で東北新幹線が約 4° の交角で東北本線上を横断する個所に，押出し工法により架設したプレストレストコンクリート橋である。

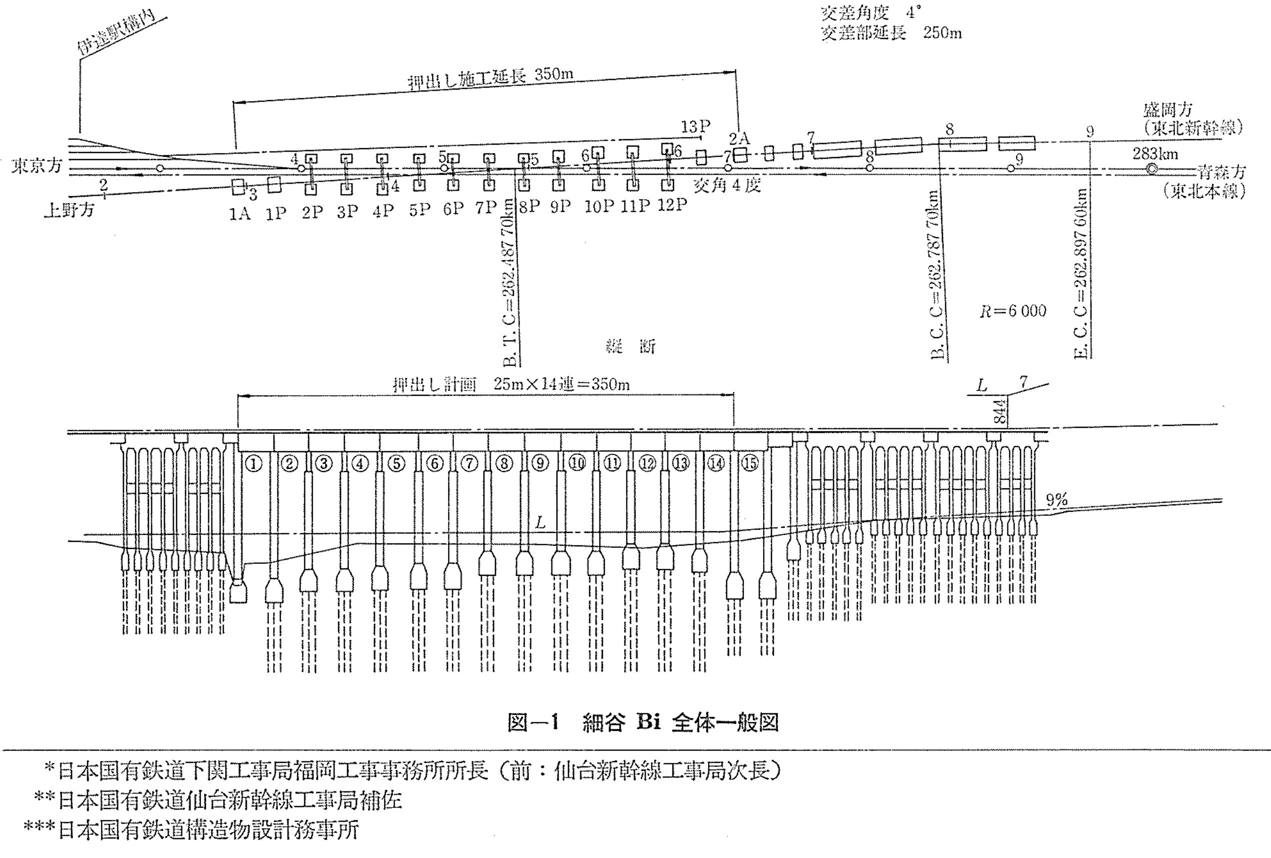
なお本橋梁の施工期間は，下部工が 52 年 10 月～54 年9月，受桁施工が 53 年3月～54 年9月，上部工が 54 年3月～55 年 11 月である。

2. 基本計画

計画当初では，押出し工法が普及していなかったため，東北本線をまたぐ受桁で支持される PC I 形単純桁構造が採用され，この計画に従って下部構造の設計は完了していたが，押出し工法が普及し，その安全性が確認されたので架設上の制約条件から計画の見直しを行い，検討の結果，下部工は当初計画のものをそのまま使用し，上部工は箱形断面として押出し工法で架設することに変更した。なお各架設工法を比較検討した結果を表—1 に示す。

構造形式の選定に当たっては，1)押出し架設後における受桁上での桁切離し作業，2)押出し桁の場合，連続桁が有利である，3)地盤条件が連続桁に対応できる等を考慮し，連続桁構造を採用した。また連続径間数については，剛性の大きい橋梁端部の壁式橋脚に常時の固定を設ける必要があり，桁の伸縮量，レール締結間隔およびシュー，ストッパーの移動量等より 7 径間連続 2 連とした。

なお支承構造としてはダンパー式ストッパーを用い，



図—1　細谷 Bi 全体一般図

*日本国有鉄道下関工事局福岡工事事務所所長（前：仙台新幹線工事局次長）
**日本国有鉄道仙台新幹線工事局補佐
***日本国有鉄道構造物設計務事所

表—1 架設工法別比較表

施工方法	トラッククレーンによる架設	エレクションガーターによる架設	押出し工法による架設
桁製作・架設工期	15か月（3パーティで架設に9か月）	17か月（2パーティで架設に15か月）	14か月
線路閉鎖およびき電停止回数	96回	170回	10回
利点	・工程の遅れはパーティ数を増すことで対処できる	・桁の横移動がトラッククレーンの場合の約半分で済む	・安全性が高い ・施工管理がしやすい ・線路上でのコンクリート打設が無いのでPC桁の下に線路防護工は不要 ・少ない仮設備で施工可能
問題点	・l=25 m 4主（H=2.2 m）の桁が速度 0.3 m/分で安全に横移動できるか（横移動総延長=345 m） ・13,14 桁架設時は，線路閉鎖が必要 ・線路上でのコンクリート打設が必要で防護工の施工が可能か ・受桁の一部改造が必要	・受桁上のガーター受台の設置が困難 ・桁の横移動が必要（横移動総延長=154 m） ・工期が長くなる ・高架橋の補強が必要	・製作ヤード部分の施工が，押出し架設終了後になる
桁の断面形状	I　形　桁	I　形　桁	箱　形　桁

地震時水平力を各橋脚に分散させる構造とした。

3. 設　　計

3.1 下部工の構造形式

下部構造としては，図—1 に示すように 1A, 1P および 13P, 2A は壁式の橋脚で，2P～12P までは東北本線をまたぐ受桁構造になっている。

なお受桁は，架設上の制約より鋼桁構造を採用した。

3.2 水平力の分担

上部工を箱形断面の連続桁構造に変更したので，設計が完了している各橋脚の鉛直力および水平力に対する検討を行い，その安全性を確認した。なお，水平力については以下の検討を行った。

連続桁構造とした場合における各橋脚の水平力の分担は，下部工の形状が一定で，同一寸法のダンパー式ストッパーを各橋脚に設置する場合は等分であると考えてよいが，本橋梁の場合，下部工が同一形状でなく，かつ受桁を有する構造形式もあり，下部工の水平バネ常数が個個に変化する。したがって，基礎，受桁を含めた下部工を水平バネ評価し各橋脚の水平力の分担を求めた。

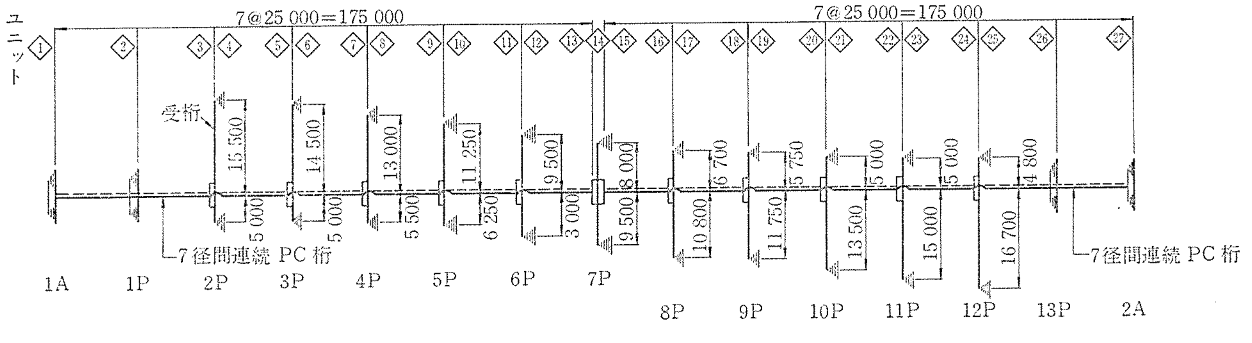
上記検討の結果，各橋脚に設置するダンパー式ストッパーのタイプを壁式橋脚用固定ストッパー，壁式橋脚用可動ストッパーおよび受桁橋脚用可動ストッパーの3タイプに整理した。

なお水平力の分担を算出するのに用いた解析モデルは，図—2 に示すとおりである。

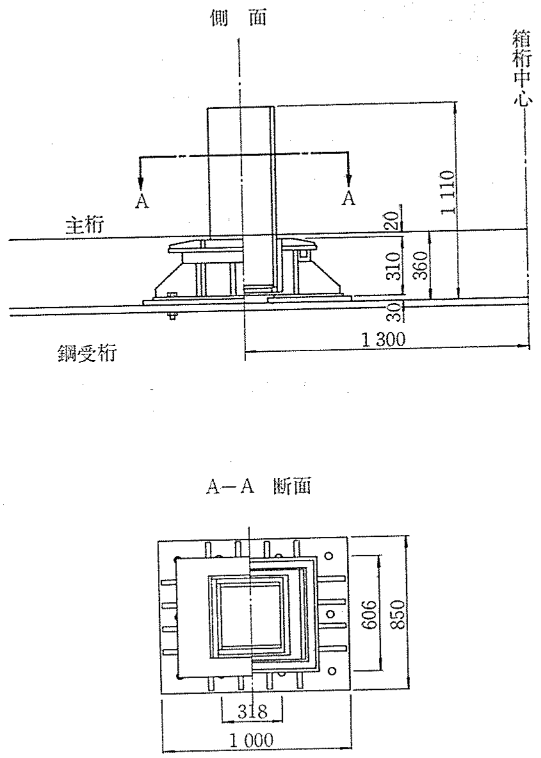
3.3 ストッパーの構造および試験

本橋梁の受桁上に用いたダンパー式ストッパーは，従来の一般的なダンパー式ストッパーと設置方法および形状が異なっている。一般的なダンパー式ストッパーの下箱は下部工に埋め込まれるが，本橋梁の場合，図—3 に示すように受桁上に設置される構造になっており，補強のため下箱にリブを設けてある。また下箱の高さが約 25 cm と低く，設計で想定した水平抵抗力が得られるかどうか，従来のダンパー式ストッパーの設計に用いられている抵抗力算出の実験式が適用できるかどうかの試験を行った。

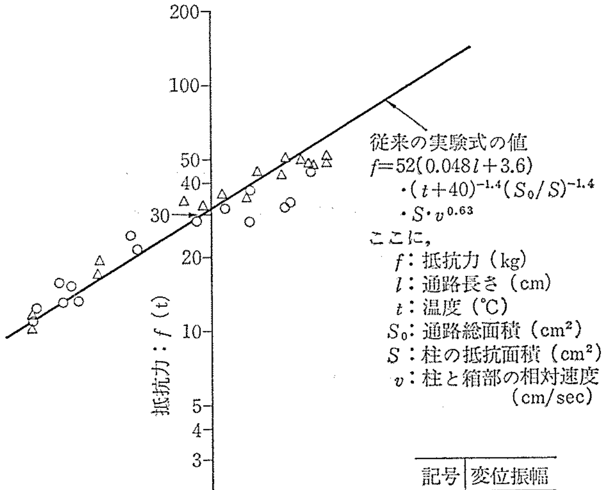
試験結果を図—4 に示すが，抵抗力の絶対値が従来の実験値と良く一致しており，上記の条件を満足することが確認された。



図—2 水平力算出に用いた解析モデル



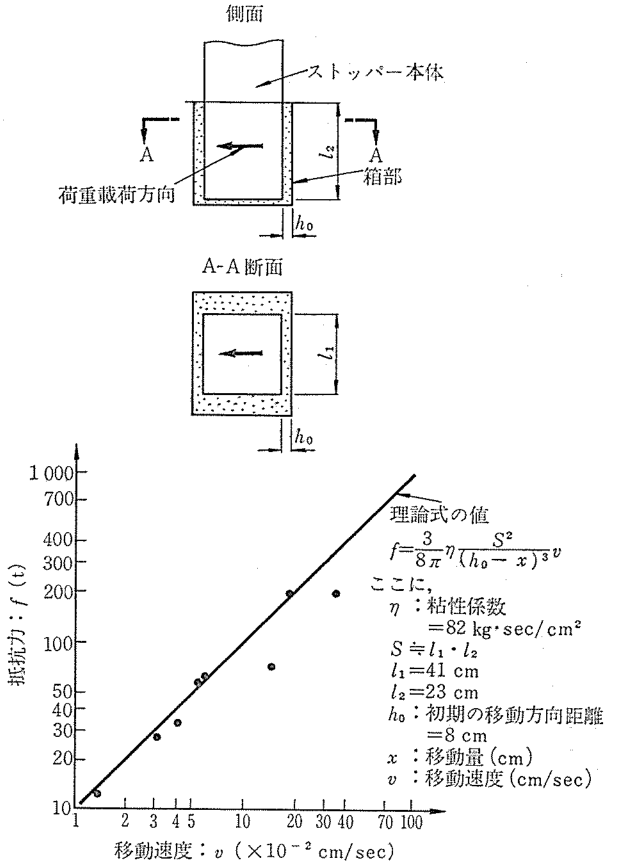
図―3　受桁上ダンパー式ストッパー



図―4　速度・抵抗力特性（橋軸方向）

上記は橋軸方向に関するものであって，地震時水平力は当然，橋軸直角方向にも生じる。今回，この橋軸直角方向におけるダンパー式ストッパーの水平抵抗力試験も行ったので，以下にこの試験結果を報告する。

ダンパー式ストッパーにおける橋軸直角方向の抵抗力の発生は，粘性体のスクイズ効果に支配される。スクイズ効果とは粘性流体の介存した二平行板が接近運動を起



図―5　速度・抵抗力特性（橋軸直角方向）

こすことにより流体に圧力が発生する現象を言う。

試験結果を図―5に示すが，スクイズ効果による理論式と実測値は良く一致し，橋軸直角方向の水平抵抗力も十分に期待できることが確認された。

3.4　上 部 工

設計条件は表―2に示すとおりであるが，本橋梁の場合，中間橋脚が受桁構造であり，受桁のたわみ差による主桁への影響が問題となり，この対応策として押出し架設中は，主桁は常に同一平面で支持されるように架設時のたわみ調整を行うものとし，受桁のたわみ差の影響

表―2　設 計 条 件

ス　パ　ン		(24.48m＋5×25.00m＋24.48m)×2
活　荷　重		N-18，P-19
基準水平震度		0.2
曲　線		直線＋緩和曲線
軌　道		スラブ軌道
高　ら　ん		逆L式壁高らん
コンクリート強度		σ_{ck}=350 kg/cm²
PC鋼材	架設時鋼棒	φ32 SBPR 95/110
	横締めケーブル	シングルストランド 1T22
	主ケーブル	SWPR 7A 12T12.4

は，押出し終了後に載荷される静荷重，列車荷重についてのみ設計上考慮している。

なお PC 鋼材は，押出し架設時荷重に対しては PC 鋼棒を用い，完成時（設計荷重作用時）の不足分に対して PC 鋼より線を配置している。

4. 施　工

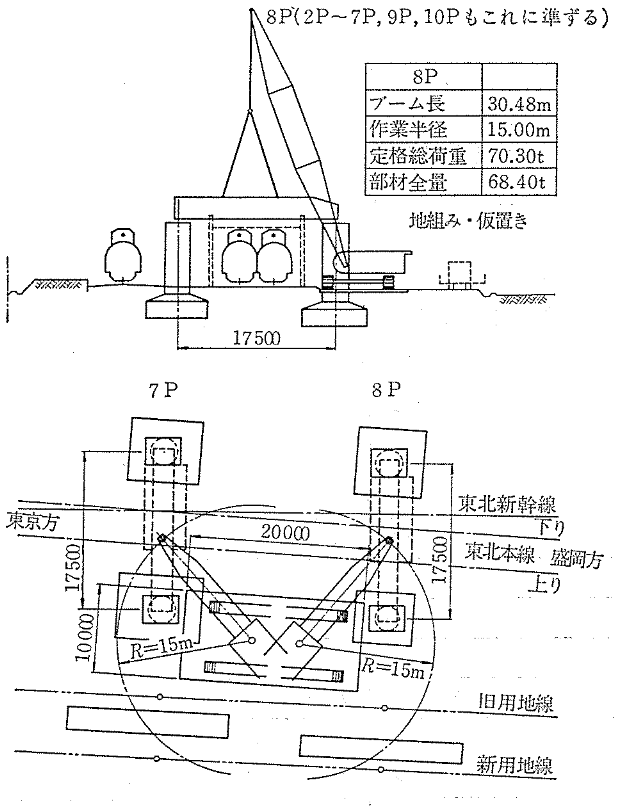
4.1 受桁架設

東北本線上の受桁架設工法としては，手延べ工法による架設およびクレーンによる架設が考えられるが，架設設備，機械の吊上げ能力，受桁の吊上げから据付けまでの施工時間，作業条件および安全性の観点からの検討を行い，300 t 吊りクローラークレーンによる架設を採用した。

架設間合としては，受桁架設所要時間約 20 分，線路閉鎖およびき電停止手続きのための時間約 20 分の合計約 40 分を必要とし，昼間間合が 22 分であるため止むを得ず午前 2 時 44 分から午前 3 時 20 分までの夜間間合で架設することにした。架設に先だち試験吊りを実施し，受桁のバランス，作業半径，吊上げ高さ等安全性の確認を行っている。

受桁架設に要した時間は 16 分～33 分で，平均すると 23 分である。

図―6 にクレーンによる受桁架設の方法を示す。



図―6 クレーン架設

4.2 主桁製作ヤード

主桁製作ヤードは，起点方標準高架橋を利用し橋台背面から約 16 m 離れた位置から 25 m（1 ブロック 12.5 m×2）の区間に設けている。主桁製作ヤード後方には，主桁製作準備のため 31.25 m の設備ヤードを設けた。

また前方の 12.5 m の区間は，高らん製作ヤードとして用いた。

ヤードの略図を図―7 に示す。

4.3 型　枠

押出し工法では，桁下面に高い平滑性が要求されるので，底型枠は，3.3 mm 厚の鉄板にリブ加工し，底板全体を一体化したものを使用した。

底型枠と側型枠の下方には，組立て脱型のためのジャッキを配置した。

型枠の略図を図―8 に示す。

4.4 押出し時の施工管理

押出し時における施工管理のフローチャートを図―9 に示す。

（1） 高さ管理

高さ管理は，押出し施工において最も重要である。本橋梁の中間橋脚は鋼製の受桁構造であるため，高さ管理には鉛直ジャッキの油圧およびストローク管理，受桁のたわみ測定および水準測量を併用し，万全を期した。

スライドベースの高さ調整は，5 m 押出しごとに行った。高さ調整板としては，4 種類の厚さの鉄板 (12, 9, 6, 4.5 mm)，3 種類の厚さの合板 (12, 5.5, 2.7 mm) および 10 mm 厚のネオプレーンゴムを用いた。

鉛直ジャッキの油圧の読取りは，上昇完了時ごとに実施し，左右の反力差が 15% 以上になった場合には高さの調整を行った。

受桁のたわみ測定は，図―10 に示すように受桁の内部にピアノ線を張り，滑車を介してカウンターウェイトにて一定張力を与え，このピアノ線を基準点とし，ピアノ線に取り付けた差動コイルと受桁に固定した差動コイルとの相対変位を電気的に検出することにより行った。なお，ピアノ線の振動を打ち消すためにオイルダンパーを用いた。

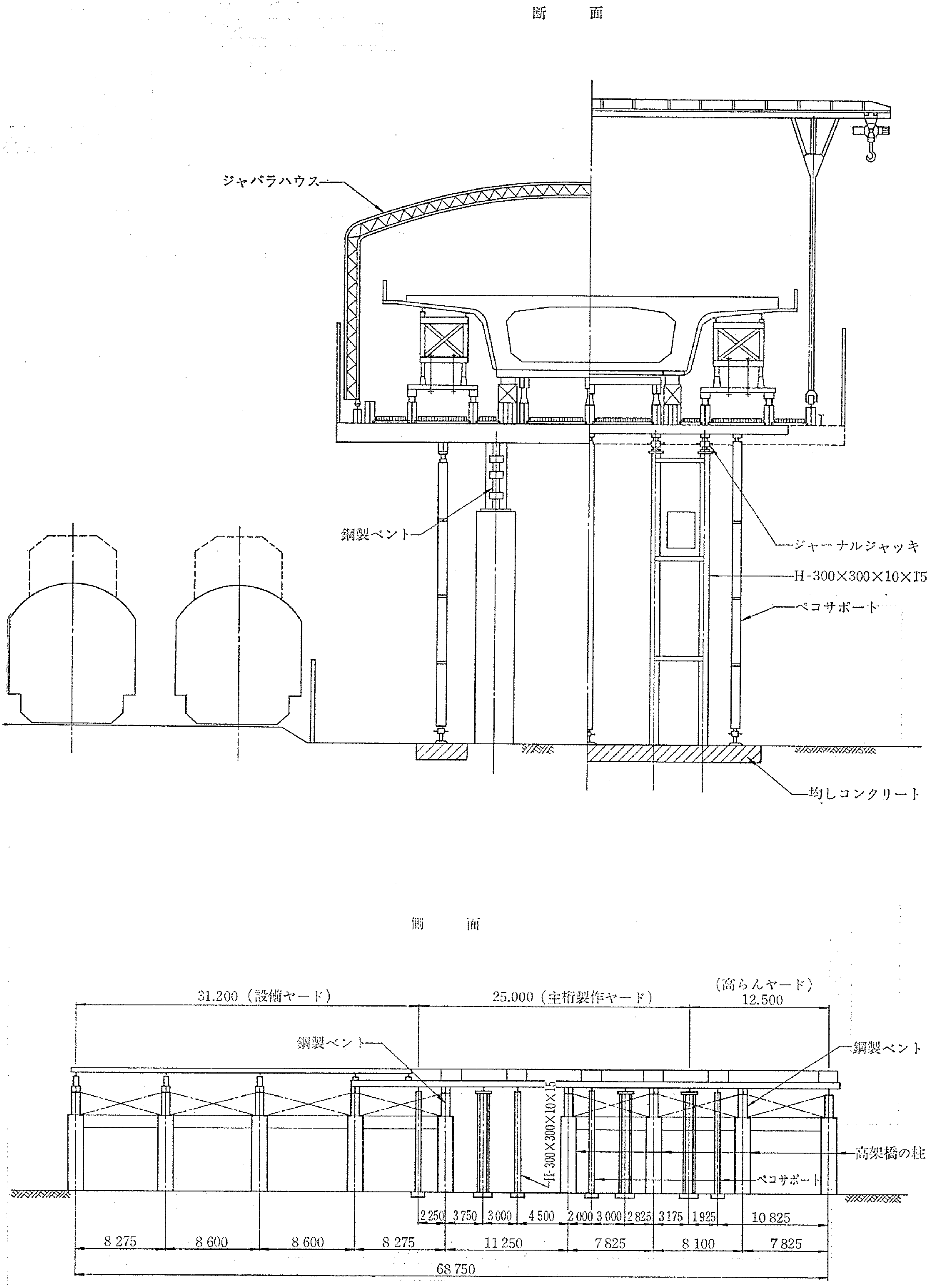
実測値と計算値を表―3 に示す。

水準測量は，5 m 押出しごとに主桁下端を基準として実施した。

（2） 方向修正

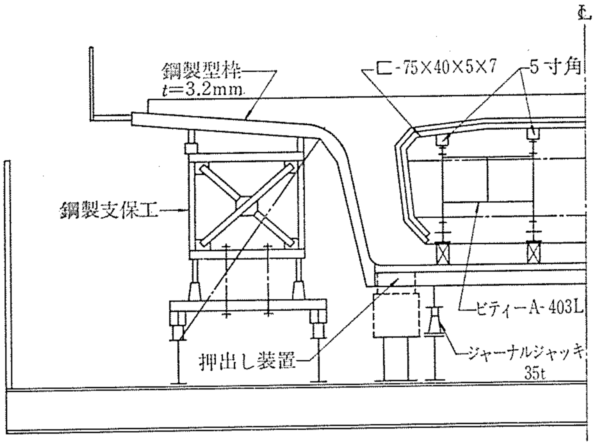
方向修正は，主桁前方と後方に観測点を設け製作ヤード後方より常時観測し，変位が生じた場合，30 mm を目どに各橋脚に設置した水平ジャッキを用いて逐次修正を行った。

4.5 施工サイクル

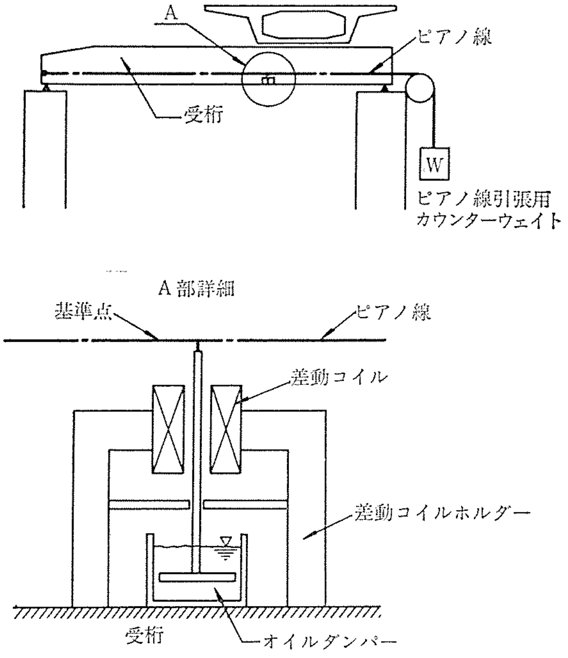


断　面
ジャバラハウス
鋼製ベント
ジャーナルジャッキ
H-300×300×10×15
ペコサポート
均しコンクリート
側　面
31.200（設備ヤード）
25.000（主桁製作ヤード）
（高らんヤード）
12.500
鋼製ベント
鋼製ベント
H-300×300×10×15
高架橋の柱
ペコサポート
2 250 3 750 3 000 4 500 2 000 3 000 2 825 3 175 1 925 10 825
8 275 8 600 8 600 8 275 11 250 7 825 8 100 7 825
68 750

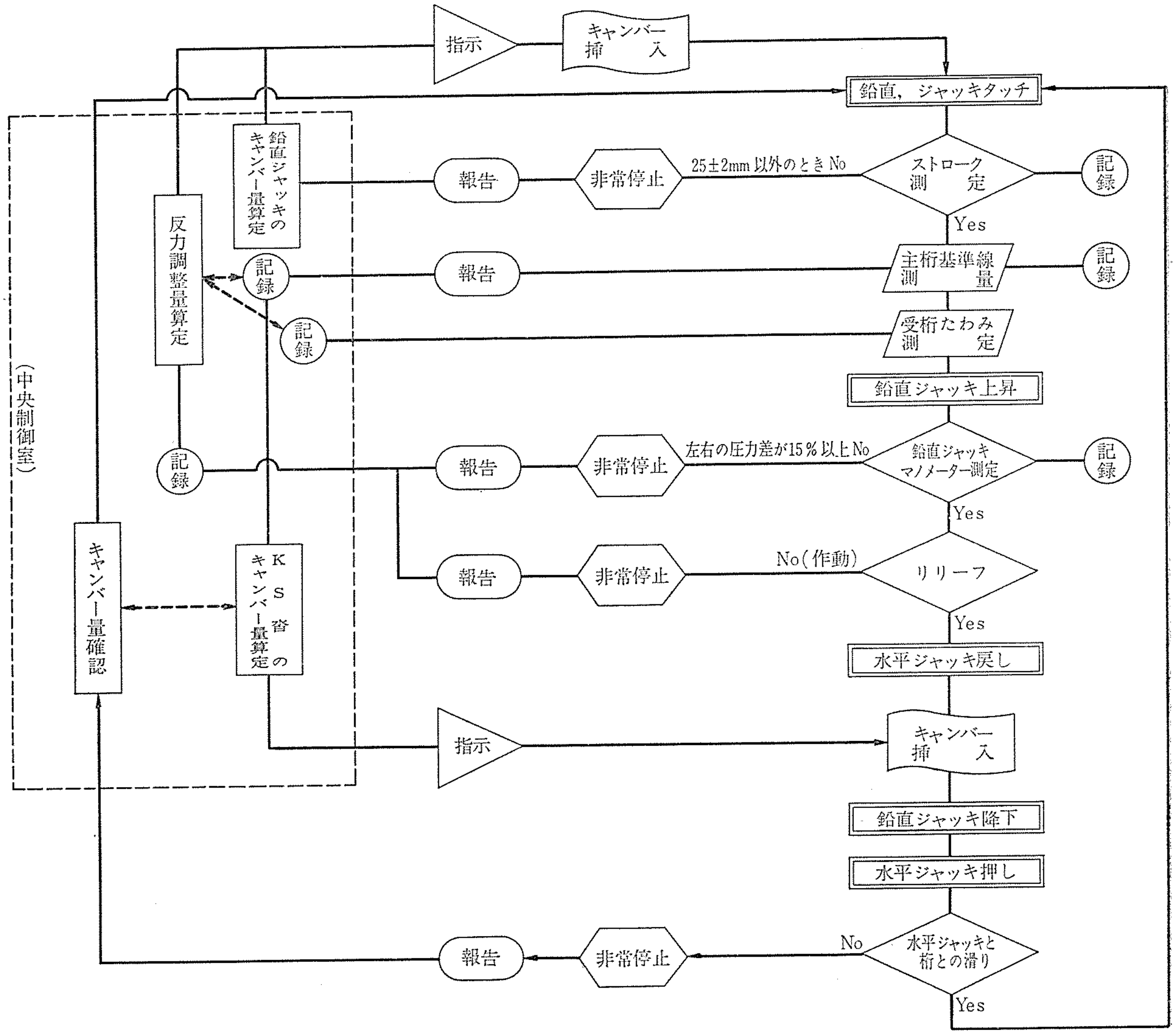
図—7　主桁製作ヤード



図―8　型枠構造図



図―10　受桁のたわみ測定



図―9　押出し管理フローチャート

表—3 受桁たわみ測定表

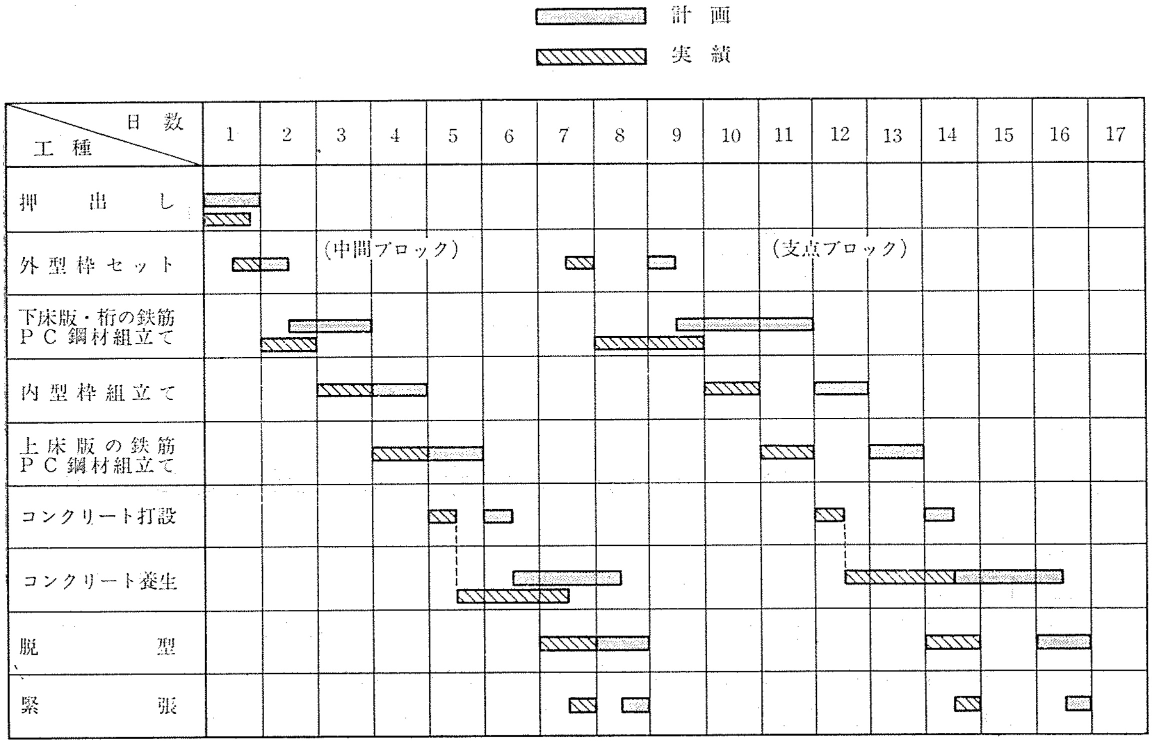
2 P		3 P		4 P		5 P		6 P		7 P		8 P		9 P		10P		11P	
40.3		41.4												41.2					
1.8	0.9	1.6	0.8											0.8	1.4				
2.0	1.0	1.8	1.0											1.0	1.0				
285.4		287.3		286.7		286.9		286.9		286.9		286.9		286.9		286.9		286.9	
12.6	6.0	11.2	5.5	10.6	6.1	9.8	6.9	8.9	8.1	9.9	11.1	6.5	8.9	5.7	9.7	4.8	10.1	5.2	11.4
13.1	6.4	11.6	6.0	4.0	3.0	8.3	5.4	10.0	9.0	8.0	9.5	7.0	10.0	5.5	10.0	4.5	8.0	4.0	9.0
313.0		315.0		314.4		314.6		314.5		314.5		314.5		314.5		314.5		314.5	
13.8	6.6	12.3	6.0	11.7	6.6	10.7	7.6	9.7	8.9	10.9	12.2	7.1	9.8	6.3	10.6	5.3	11.1	5.8	11.5
14.0	7.1	17.5	7.0	11.4	6.8	14.0	9.0	11.0	11.0	10.0	13.0	8.5	12.0	6.0	11.5	6.5	15.0	5.0	14.5
292.9		294.8		294.3		294.4		294.4		294.4		294.4		294.4		294.4			
12.9	6.2	11.5	2.2	10.9	6.2	10.0	7.1	9.1	8.3	10.2	11.4	6.6	9.2	5.9	9.9	5.0	10.3		
14.0	7.0	13.6	3.1	12.5	6.5	14.0	7.5	12.5	11.0	10.0	12.0	7.0	10.0	6.0	10.5	7.0	13.5		
292.3		294.6		294.0		294.2		294.2		294.2		294.2		294.2					
12.9	6.2	11.5	5.6	10.9	6.2	10.0	7.1	9.1	8.3	10.2	11.4	6.6	9.2	5.9	9.9				
14.0	7.0	15.0	6.5	12.0	6.5	14.0	9.0	13.0	12.5	10.5	12.0	7.5	11.5	5.5	10.5				
		293.6						293.6		293.6		293.6							
		11.5	5.6					9.1	8.3	10.2	11.4	6.6	9.1						
		18.0	10.0					9.0	8.0	10.0	11.5	7.5	10.5						

凡　例

設　計　反　力	
設計値(左)	設計値(右)
測定値(左)	測定値(右)

1サイクルの計画および実績工程は図—11 に示すとおりで，実績サイクルは下記の理由により計画より約2日短縮することができ，最終的には約1か月工期が短縮できた。

1) 押出しと型枠のセットを同じ日に施工した。
2) くり返し作業のため，作業員が徐々に熟練化した。
3) 多少の残業を取り入れた。



図—11 サイクル工程表

5. あとがき

本橋梁のように線路上を等径間で多径間乗り越す場合は，本工法の特性がいかんなく発揮され，他工法に比較して安全かつ経済的な工法である。

今後，交通路上の架設工法として本工法の採用が増大するものと思われるが，本報告がその一助になれば幸いである。

参考文献

1) 橋田敏之・小須田紀元：鉄道橋における押出し工法，プレストレストコンクリート，Vol. 22, No. 1, 1980
2) 伊関治郎：粘性ストッパー，プレストレストコンクリート，Vol. 21, No. 4, 1979

◀刊行物案内▶

PC による構造物の補強と PC 構造物の設計・施工

本書は第9回 PC 技術講習会のためのテキストとして編纂したもので，その内容はプレストレスによるコンクリート構造物の補強または補剛，さらに補修について土木，建築構造物双方の実例を挙げて説明されている。その他，最近，長大化スパンに伴い最も多く採用されているカンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について，国内はもちろん，諸外国の実例を示し，片持架設される橋梁形式の PC 桁橋，PC 斜張橋，コンクリートアーチ橋，PC トラス橋について，幅広く詳細な施工要領が示されている。また巻頭には 1980 年9月ルーマニア国ブカレストにおいて行われた FIP シンポジウムの報告として，世界におけるプレストレストコンクリート概念について詳述されている。

内容は大きく3項目に分かれているが，非常に中味の濃い，PC 技術者にとっては必携の図書としてお勧めいたします。ご希望の方は代金を添えてプレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体　　裁：A 4 判　131 頁
定　　価：3,500 円　　送　　料：450 円
内　　容：(A) プレストレストコンクリート概念の世界の現況，FIP パーシャルプレストレッシングに関するシンポジウム（ブカレスト）総括報告，パーシャルプレストレッシングの利点と定義，設計法および設計諸規準，実験的研究，適用例。(B)-1 建築構造物の補修と補強，まえがき，床スラブのひびわれ，たわみ障害と補修，プレストレスによる曲げ耐荷能力の増大，せん断ひびわれの補修，地震被害を受けた建築構造物の補修，結言。(B)-2 PCによる構造物の補強の実例（道路橋編），概論，コンクリート構造物に発生する欠陥，ひびわれに関する調査，補修工法，プレストレスによる補修，プレストレスによる補強例。(B)-3 PC 鉄道橋の補修・補強，補修・補強の概念，構造物の検査，PC 鉄道橋の補修・補強の研究の概要，補修事例。(C) カンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について，概要，現場打ち工法，プレキャストブロック工法，斜張橋，アーチ橋，PC トラス橋，設計，安全性，断面力，上げ越し計算，施工。

◀刊行物案内▶

プレストレスト　コンクリート橋の設計・施工上の最近の諸問題

体　　裁：A 4 判　116 ページ
定　　価：1 500 円　　送　　料：450 円
内　　容：(1) PC橋の施工開始前の諸問題，(2) PC橋の工事ならびに施工管理について，(3) 新しいPC設計方法について，(4) 最近の話題の橋梁
お申込みは代金を添えて，(社) プレストレストコンクリート技術協会へ