

フルーツライン榛名10号橋の設計・施工 —高強度コンクリート ($\sigma_{ck}=60 \text{ N/mm}^2$) と外ケーブルを用いた押出し施工—

諸田 正喜*1・綾部 賢二*2・竹本 謙二*3・佐藤 幸一*4

1. はじめに

本橋は、群馬県箕郷町大字富岡地内、鳴沢湖より上流1 km 地点に位置し、深い谷の鳴沢を跨ぐ橋長180.9 mのPC 4 径間連続箱桁橋である。

架橋地点は谷が深く、橋脚高が約45 mと高くなっていることから、上部工の架設工法としてはベントや支保工を使用しない橋梁形式の選定が必要であった。形式案を比較検討した結果、高強度コンクリート (60 N/mm^2) を用いた、外ケーブル方式の押出し工法を採用した。高強度コンクリートと外ケーブルの組合せにより、ウェブ厚を25 cmとした合理的なPC橋の押出し架設が可能になった。

写真-1 に施工時の全景を示す。



写真-1 全景（施工時）

2. 榛名10号橋の概要

工 事 名：県営広域営農団地農道整備事業 榛名南麓10号橋上部工工事

工事箇所：群馬県群馬郡箕郷町大字富岡地内

発 注 者：群馬県高崎土地改良事務所（現：西部農業総合事務所）

設 計 者：新構造技術(株)

施 工 者：(株)ピー・エス、高橋建設(株)榛名南麓地区10号橋上部工工事特定建設工事共同企業体

工 期：平成11年10月19日～平成13年3月20日

構造形式：プレストレストコンクリート4径間連続箱桁橋

橋 長：180.900m

支 間 長：41.600 m + 48.000 m + 48.000 m + 41.600 m

幅 員：車道部 6.500 m, 歩道部 2.500 m, 全幅 10.000 m

活 荷 重：B 活荷重

縦断勾配： $i=2.12\%$

斜 角： $90^\circ 00' 00''$

図-1 に橋梁一般図を、表-1 に主要数量を示す。

3. 設 計

3.1 部材寸法および外ケーブル比率の検討

外ケーブルおよび高強度コンクリート (60 N/mm^2) の採用を基本に、桁高、ウェブ厚および内外ケーブル比率をパラメーターとして最適値の検討を行った。その結果、桁高3.2 m、ウェブ厚25 cm、内外ケーブル比率20:80の場合が有利となった。表-2 に検討ケースを示す。

3.2 コンコーダント外ケーブルの配置

本橋では、外ケーブル方式によるPCケーブル配置を基本とし、押出し架設中の応力不足分に対して内ケーブルを用いている。また、製作ヤードから1径間分を押し出すまでは外ケーブルの配置が困難なため、内ケーブルで対応した。コンコーダント外ケーブルの考え方を以下に示す。

一般に連続桁の完成時曲げモーメントは、支間中央部で正の最大値、支点部で負の最大値となり、完成系のPCケーブルは、この曲げモーメント形状に合わせ偏心配置される。しかし押出し施工では、施工時に主桁が橋脚上や支間中央部を連続して移動していくため、主桁のすべての断面で正・負の曲げモーメントが発生し、交番応力が生じる。したがって、押出し時のPCケーブル配置は、主桁全断面に圧縮軸力を与える配置とすることがあり、完成系の連続外ケーブルに加え、図心軸に対象となる架設外ケーブルを配置してコンコーダントなケーブル配置とした。施工中にはプレストレスによる偏心曲げモーメントの小さい配置とし、主桁に軸圧縮応力を導入している。

押出し終了後、架設外ケーブルを解放撤去することで、完成系の連続ケーブル配置に置き換えることができ、合理的なPCケーブル配置とすることができる。図-2 にPCケーブルの配置を示す。

3.3 高強度コンクリートの採用

押出し工法を採用することにより、全天候型の上屋内で十分な管理のもと安定したコンクリートの施工が可能であることから、設計基準強度 60 N/mm^2 の高強度コンクリートを採用した。高強度コンクリートの採用により、従来に比べ部材厚を薄くすることが可能となり、外ケーブルとの併用によりウェブ厚を最小25 cmとすることができた。これら

*1 Masaki MORODA：群馬県 西部農業総合事務所 農村整備部 農道整備課 課長

*2 Kenji AYABE：群馬県 農政部 農村整備課 設計指導係 主任

*3 Kenji TAKEMOTO：新構造技術(株) 東北支店 副支店長 設計統括部長

*4 Koichi SATO：(株)ピー・エス 東京支店 土木技術部 設計課長

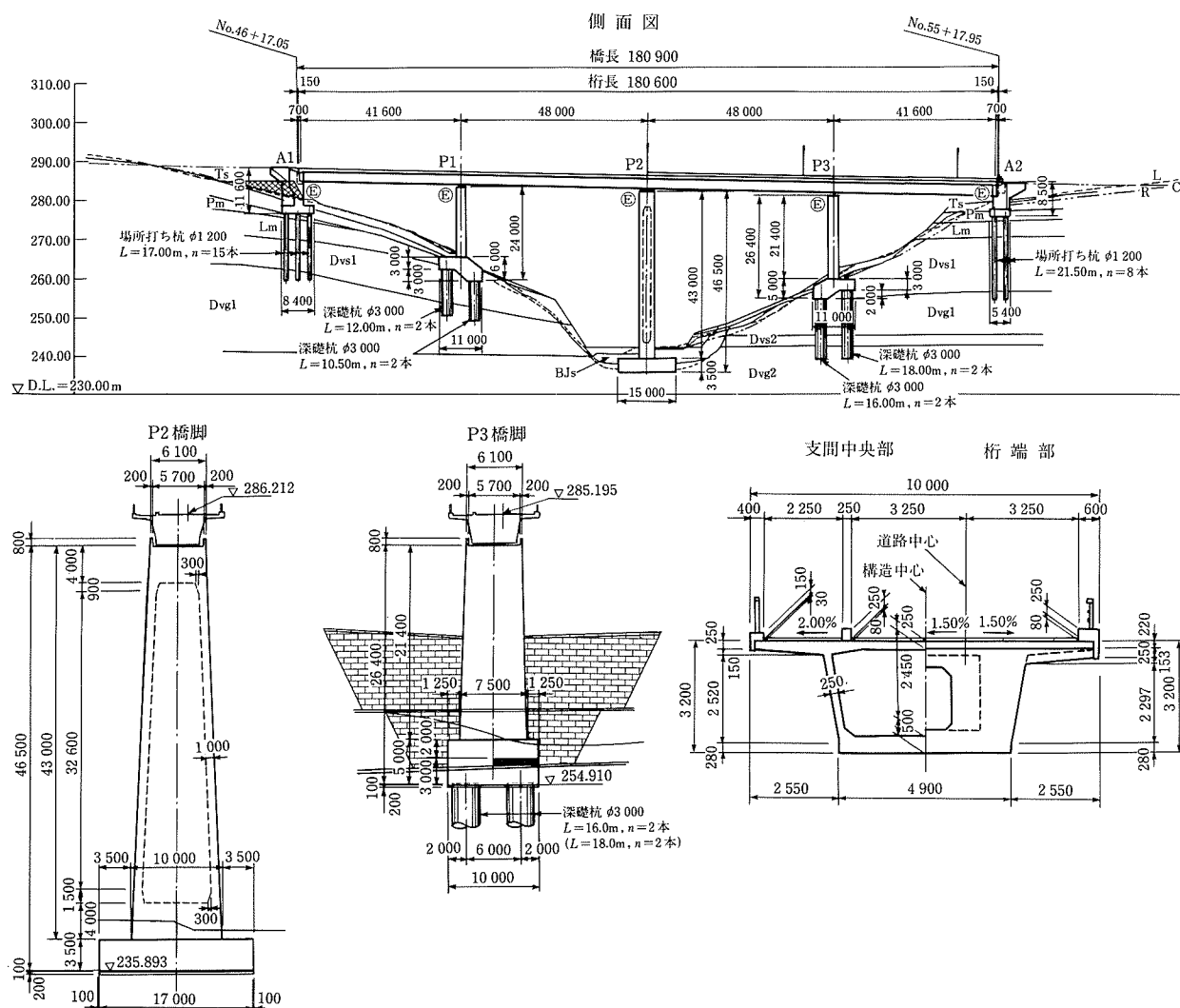


図 - 1 橋梁一般図

表 - 1 主要数量

種 別	仕 様				単 位	数 量	備 考
コンクリート	$\sigma_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$				m ³	1 282.6	
鉄 筋	SD 295 A				t	229.8	
P C 鋼 材	本設ケーブル	内ケーブル	連結ケーブル	F-270	t	8.5	SEEE工法
			床版内ケーブル	12 S 12.7	t	10.5	
		外ケーブル		19 S 15.2	t	16.0	
	架設ケーブル	外ケーブル		19 S 15.2	t	22.3	

表 - 2 押出し工法の検討ケース

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5
桁 高 (m)	H=3.0	H=3.2	H=3.2	H=3.4	H=3.4
桁高/支間	1/16	1/15	1/15	1/14	1/14
内外ケーブル重量比率 内: 12 T 13 B 外: 19 T 15 B	内: 外 25: 75	内: 外 35: 65	内: 外 20: 80	内: 外 30: 70	内: 外 20: 80
ウェブ厚 (cm)	25	30	25	30	30
P C 鋼 材 (t)	49.8	38.5	46.6	39.8	42.8
コンクリート (m ³)	1 130	1 200	1 130	1 205	1 200
工 費 (千円/m ²)	136 000	134 400	132 900	135 200	135 500
評 価			◎		

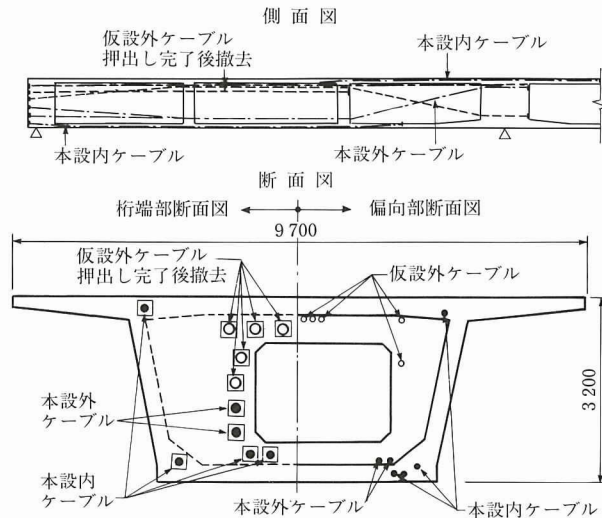


図-2 PCケーブル配置

により、主桁重量の軽減（75%～80%）、桁高の低減（支間/14→支間/15）、PC鋼材量の減少、下部工への負担の軽減等が図れ、合理的で経済的な設計・施工が可能となった。

3.4 偏向部（ディビエータ）および定着部の設計

ディビエータの形状は、隔壁形式、リブ形式、突起形式の3タイプがある。隔壁形式は重量は大きくなるが、PCケーブルの応力伝達に優れている。リブ形式と突起形式は重量は抑えられるが、応力伝達の面では前述形式に劣る。本橋ではディビエータが中間隔壁を兼ねていることから、応力伝達の優れている隔壁形式を採用した。

設計は立体FEM解析により行った。PCケーブルの偏向力および定着力を外力として作用させ、横桁に発生する橋軸方向、橋軸直角方向および鉛直方向の応力に対して補強を行った。図-3に解析結果の一例を示す。

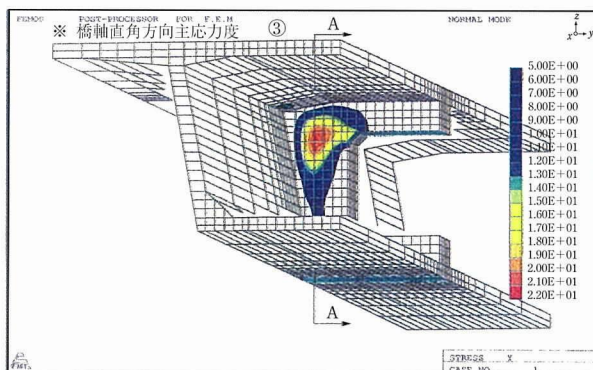


図-3 FEM解析結果(kgf/cm²)

3.5 支承の検討

支承には水平反力分散型ゴム支承を採用した。押出し架設工法では、完成時の本支承を押出し時の滑り支承と兼用する兼用支承方式と、本支承とは別に滑り支承を設ける交換支承方式がある。本橋では施工性、経済性を考慮して兼用支承方式を採用した。図-4に支承形状を示す。

構造上配慮した点を以下に示す。

- ① 滑り支承の配置：押出し時の主桁への反力の伝達を

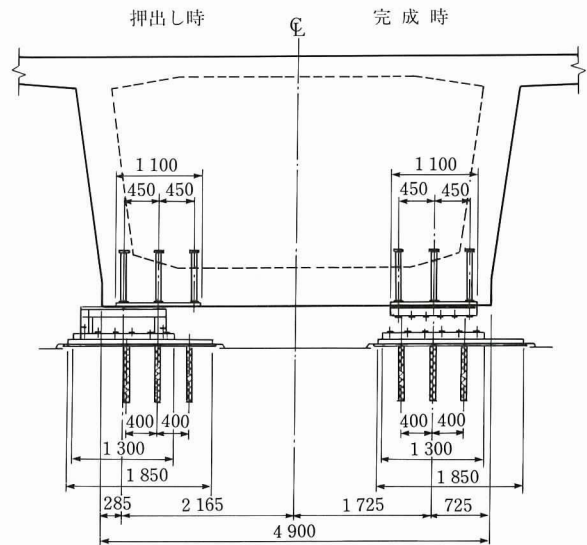


図-4 支承形状

円滑にするため、また押出し時の主桁安定性を向上させるため、滑り支承はウェブの直下に配置した。押出し時にはスライディングプレート装着した。

- ② 本支承への移動：押出し架設終了後、主桁をジャッキアップし、架設時に使用したスライディングプレートを撤去、ソールプレートに置き換え、桁内側方向に移動させ本支承位置にセットした。
- ③ 下床版ハンチ形状：押出し時の反力を下床版からウェブに円滑に伝達するため、下床版には通常より大きな450 H×600 W (mm) のハンチを設けた。

3.6 その他設計細目

本橋の設計に際して考慮した、その他の設計細目を以下に示す。

- ① 押出し方式は、橋台部1ヵ所で押し出すTL方式を採用した。手延べ桁長は架設時のモーメントバランスより支間長の約70%の35.0 mとした。
- ② 1ブロック長は12 mとし、完成時に打継目地が支点上にこないようにした。
- ③ 主桁の設計は、各施工段階に従い、材齢差を考慮したクリープによる断面力、押出し架設時のPCケーブルによる2次断面力等を考慮して行った。また、架設時は1 m押出しごとに断面力を算出して行った。解析には新構造技術㈱のプログラムソフトSCOOPを使用した。
- ④ 押出し架設時の照査は、「コンクリート標準示方書」の規定に準拠した。
- ⑤ 曲げ破壊安全度の照査は、(財)高速道路技術センター「外ケーブルを用いたPC橋梁設計マニュアル」により、安全のため外ケーブルの引張応力度を有効引張応力度 σ_{pe} とし、鉄筋も考慮して行った。
- ⑥ 支承アンカー部および手延べ桁定着部においては、PCケーブルが交錯しないように配置に十分配慮した。

3.7 落橋防止システム

落橋防止システムとしては、橋軸方向は桁かかり長を確認し、落橋防止構造を設置、橋軸直角方向はジョイントブ

ロテクターを設置した。

- ① 落橋防止構造：落橋防止構造は、PC鋼より線で上部構造と下部構造を連結する方式とし、片橋台あたり195tfケーブル（F200）を4本使用した。
- ② ジョイントプロテクター：本橋は橋軸直角方向にも地震時水平反力分散構造を採用しており、震度法レベルの地震力に対して伸縮装置を保護するため、両橋台橋座部にジョイントプロテクターを設置した。ジョイントプロテクターは、コンクリート壁に衝撃緩和のため水平ゴム沓を取り付けた構造とし、この壁を階段状にして管理室と橋座を昇降する階段を兼用する形状とした。図-5にジョイントプロテクターの形状を示す。

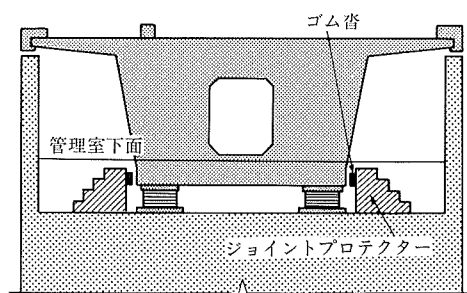


図-5 ジョイントプロテクターの形状

3.8 橋台部管理室

本橋は外ケーブル方式を採用していることから、供用後のケーブルの点検管理が必要である。点検時の桁内への進入路は、橋台部の地形や保安上の問題から橋台部に管理室を設け、歩道からマンホールにて進入できるように設計した。

管理室は、安全な桁内への進入路を確保するばかりでなく、外ケーブルの定着部や支承・落橋防止装置などの点検管理を行うことができる。また、将来PCケーブルの増設や再緊張等の作業が行えるよう、内空断面を1.0m×2.5m程度としている。図-6に管理室の形状を示す。

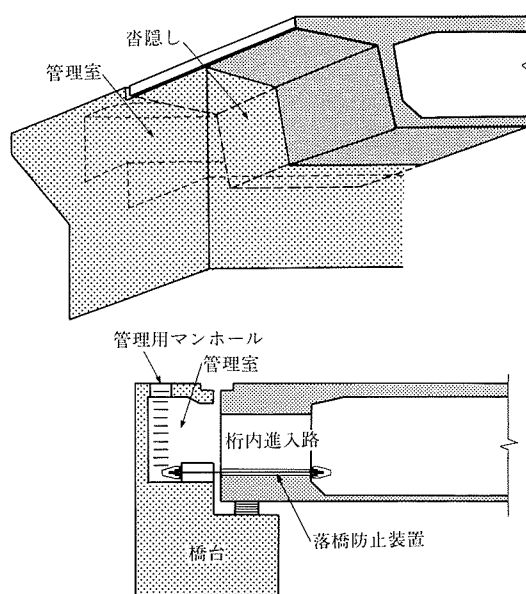


図-6 管理室の形状

4. 施 工

4.1 高強度コンクリートの製造

(1) 配 合

試し練りは、基礎データより単位水量を165 kg/m³一定とし、W/C：25%、30%、35%の3ケース行った。圧縮強度試験結果より、設計に用いる配合強度は、材齢7日で72 N/mm²とした。試し練りには実際のプラント機と同型の二軸強制練りミキサーを用い、材料投入後15秒間空練り、その後180秒間練り混ぜた。当初のスランプは12 cmの設計であったが、施工性を考慮してスランプ20 cm（±1.5 cm）に変更した。

夏期においては構造体のひび割れ防止を考慮して、単位セメント量の修正、およびコンクリート温度の上昇に伴うスランプの経時変化への対応として、流動性の保持に優れている高性能AE減水剤について検討を行った。その結果、単位セメント量については、500 kg/m³と決定し、高性能減水剤についてはレオビルトSP8Sから、より流動性に優れたレオビルトSP8SBLへと変更した。表-3に使用材料を、表-4に通常時と夏期の配合を示す。

表-3 コンクリート使用材料

種 類	製造会社または産地	品質または主成分	密度 (g/cm ³)
セメント	太平洋セメント	早強ポルトランドセメント	3.14
細骨材	砂	月夜野町(利根川)	表乾 2.60
	砕砂	秩父郡皆野町	表乾 2.62
砕石 2505	甘楽郡下仁田町	玄武岩	表乾 2.69
化学混和剤	(株)エヌエムビー	レオビルト SP8S	1.05
		レオビルト SP8SBL	1.05

表-4 コンクリートの配合

配合設計 60-20-25H	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			水	セメント	細骨材		粗骨材	混和剤
					砂	砕砂		
通常配合	32.0	43.5	165	516	355	355	952	6.45
夏期配合	33.0	43.9	165	500	362	361	952	6.25

(2) 製 造

コンクリートの製造は、北関東秩父コンクリート(株)箕郷工場である。ミキサーは、容量2 m³の二軸強制練りミキサーを使用しており、通常の練混ぜ時間は材料投入後40秒であるが、本橋の高強度コンクリートについては、あらかじめ実際のプラント機による試し練りを行い、材料投入後90秒練り混ぜることとした。また、骨材の表面水率の変化によるスランプの変動が大きいことから、練混ぜ作業においては自動表面水率測定器を使用し、常に表面水率の変化を測定し対応した。

4.2 コンクリートの施工

1ブロック長は約12 mで、1回あたりのコンクリート打設量は70 m³～110 m³である。打設方法は1回あたりの打設量や施工性を考慮して、ブーム式のポンプ車とした。高強度で高粘性のコンクリートであるため、ポンプ車の吐出圧力は過去の実績により最大4 MPa～10 MPa程度と予想され、超高圧仕様のポンプ車（三菱重工社製・三菱コンクリートボ

○ 工事報告 ○

ンプ車 A 1000 BDH) を使用した。表 - 5 にポンプ車の性能を示す。

表 - 5 ポンプ車の性能

	超高压仕様	一般仕様
最大吐出圧力	11.9 MPa	7.4 MPa
最大吐出量	51 m ³ /h	60 m ³ /h
ブーム最大長さ	17.5 m	26.5 m
ブーム最大地上高	20.7 m	30.6 m

施工前に実際の現場施工を想定した供試体を製作し、試験打設を行った。試験打設により以下について確認を行った。

- ① 実際のプラント、生コン車、ポンプ車を使用した、練り量、練り時間、運搬などによるスランプの経時変化の測定と確認。
- ② 主桁ウェブ厚 25 cm を想定した鉄筋、型枠内へのコンクリート打込み、締固め、表面仕上げなどの施工性の確認。

以上の試験打設より、現配合での打設が可能と判断した。

ウェブ厚が 25 cm と非常に狭い中を打設するために、100×100 の角パイプを加工したトレミー管を使用し、コンクリート落下高を小さく抑え、材料分離を少なくすることと一定の打設速度を確保することができた。コンクリートの平均打設速度は下床版、ウェブ時で 15 m³/h、上床版時で 25 m³/h であり、1 ブロック (平均体積 V = 80m³) あたり打設時間は 5 時間であった。型枠は、ウェブ内の確実な打設を行うため、打込み状況が確認できる半透明型枠を使用し、バイブレーターは、粘性が非常に高いため φ 60 mm の棒状高周波バイブレーターと壁打ち用バイブレーターを併用した。コンクリートの養生は、表面仕上げ時に浸透式の皮膜養生剤 (マスターキュア 106) を散布し、その後の散水養生時には養生マット、スプリンクラーを使用し、十分に湿潤状態を保った。写真 - 2 に半透明型枠を示す。

4.3 押し出し架設

(1) 押し出し装置

本橋梁で採用した押し出し工法は、TL 押し出し工法である。押し出し装置は、押し出し用ジャッキ、油圧ポンプ、反力台、引張鋼材、ブラケットから構成され、A2 橋台前面に押し出し用ジャッキおよび反力台を設置した。押し出し用ジャッキは、200 t ジャッキを 2 台使用した。ブラケットは、各ブロックの下床版に取り付けた。押し出し完了約 25 m 手前からは、後方ブラケットとした。写真 - 3 に押し出し装置を示す。

(2) 押し出し施工手順

図 - 7 に押し出し施工手順を示す。1 ブロックの施工日数は、平均 12 日 (稼働率考慮せず) であった。

4.4 計 測

(1) 概 要

本橋は、外ケーブル、高強度コンクリート (60 N/mm²) を採用することにより、ウェブ厚を 25 cm としている。押し出し施工の実績は国内外に多数あり、施工法としては確立し

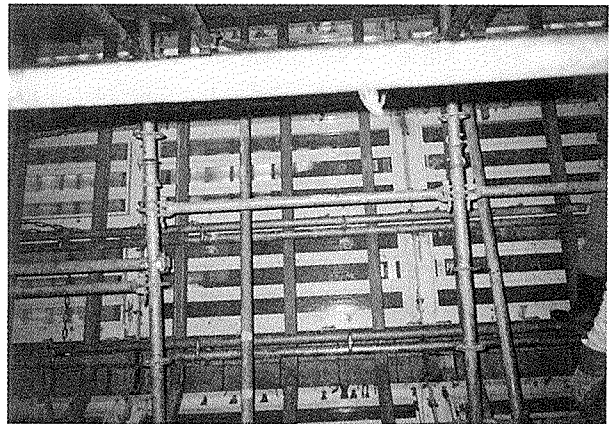


写真 - 2 半透明型枠

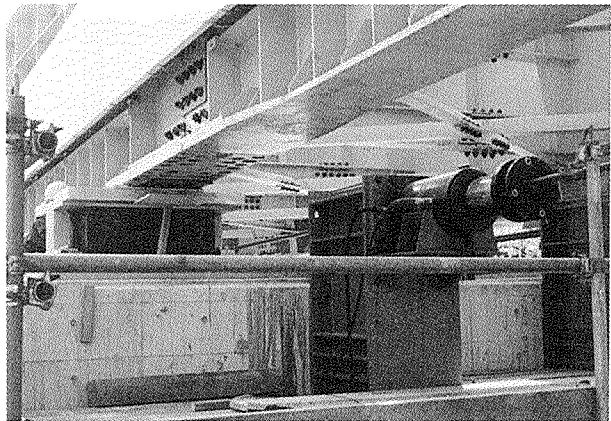


写真 - 3 押し出し装置

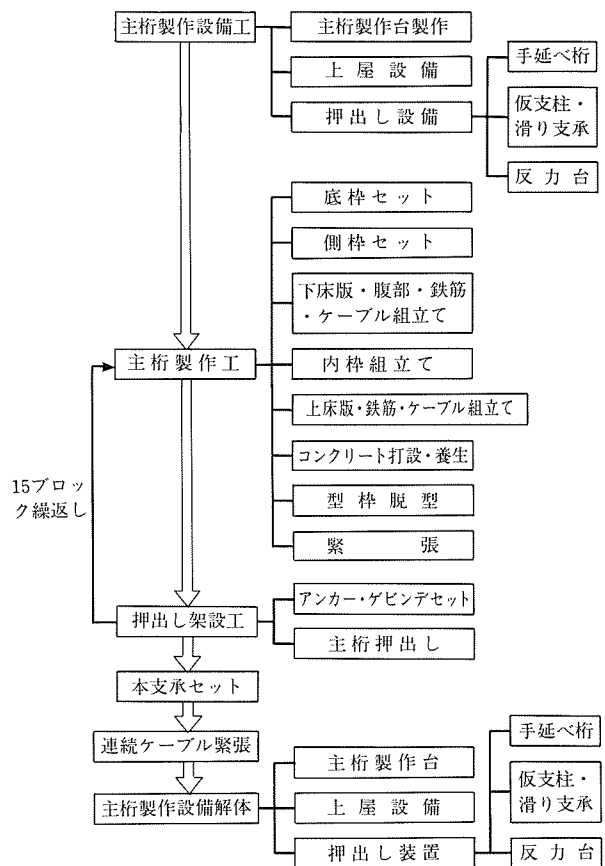


図 - 7 押し出し施工手順

ている。しかし、押出し施工は主桁が随時支点上を通過し、主桁のすべての断面が大きなせん断力を受けること、またウェブ厚 25 cmでの押出し施工は前例を見ないことから、本橋においては施工時の安全性を確認するため、主桁の応力計測を行った。

(2) 計測位置

計測位置は、ウェブ厚 25 cmの区間で押出し時に最も早く大きなせん断力を受ける位置とし、A1 桁端側（押出し先端側）のウェブ厚変化点（8 断面）、4 ブロックのウェブ厚変化点（25断面、34断面）とした。また、比較の意味でウェブ厚 30 cmの断面（30断面）も計測断面とした。

(3) 計測項目

計測項目は、ウェブのせん断応力に主眼をおき、3 軸ゲージをウェブの上・下端および中立軸付近に配置し、主引張応力度および主圧縮応力度を計測した。また、上床版下縁および下床版上縁に単軸ゲージを配置し、曲げ応力度についても確認した。図-8 に計測位置およびゲージの配置を示す。

(4) 計測方法

計測は施工開始から連続して行うのが望ましいが、長期にわたること、計測の目的が施工時（押出し時）の主桁の安全性の確認であることから、ブロック押出し時のみの計測とした。ブロック押出しごとにリアルタイムで主桁応力の変動を観察し、主桁に異常の発生していないことを確認しながら押出し作業を行った。

(5) 計測結果

図-9 に、8 断面の主引張応力度の推移を示す。グラフには、8 断面に最も大きなせん断力が作用する、8 断面が P2 橋脚を通過する直前（施工段階 43）から P1 橋脚に達するまで（施工段階 88）の推移を示す。ただしグラフの応力値は、施工段階 43 を 0 として、以後の変化量を累積したものである。施工段階 67 で計測値に大きな変化が生じているのは、手延べが P1 橋脚に到達し手延べの高さと仮支承の高さを合わせるために、手延べ先端のジャッキで手延べを押し上げていることによるものである。

応力値は滑らかに推移しており、押出し施工が異常なく

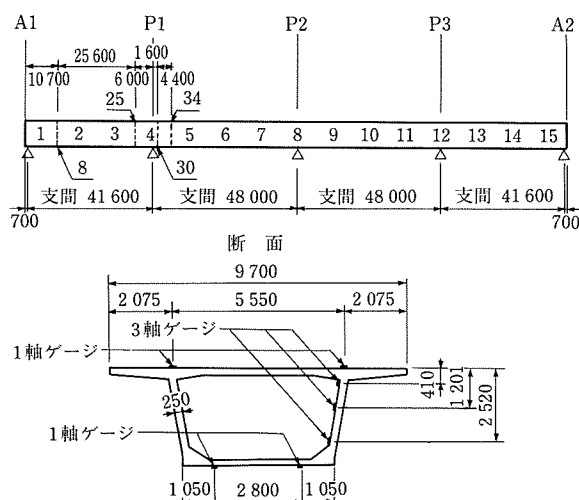


図-8 計測位置およびゲージの配置

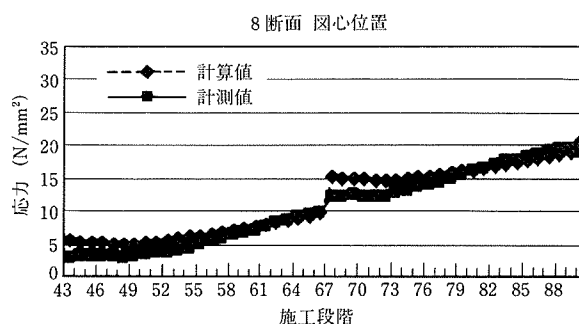


図-9 主引張応力度の推移（8断面、図心）

安全に行われたことを示している。

5. おわりに

本橋は、10月26日に無事押出し架設を終了した。本橋の設計・施工が今後のPC橋の発展に役立てれば幸いである。

最後に、本橋を設計・施工するにあたり、ご指導・ご尽力をいただいた関係者各位に心から感謝の意を表する次第である。

【2001年3月23日受付】