

荷倉沢橋の設計と施工について

下田 哲史*1・仲西 正蔵*2・松橋 敏*3・山田 俊一*4

1. はじめに

上信越自動車道は、関越自動車道藤岡ジャンクション(JCT)と北陸自動車道上越ジャンクション(JCT)とを結ぶ延長約203 kmの高速道路である。

荷倉沢橋は、上信越自動車道Ⅱ期線の碓氷軽井沢IC～佐久IC間に位置する2径間連続PCラーメン箱桁橋である。本橋の架橋位置図を図-1に、また、構造一般図を図-2に、施工状況を写真-1に示す。

PC構造物は、近年の社会情勢から、更なる経済性と耐久性の追求が重要となっている。この対応として経済性では、死荷重の低減や施工性の改善等を目的とした外ケーブルと、高強度コンクリートを使用したプレキャスト工法が

積極的に採用されている。また、外ケーブル工法は複合構造の発展、現場打ちにおける架設併用への適用と、その用途は拡大されてきつつある。一方、耐久性の追求のため、従来タイプのグラウトの見直しが行われ、主に床版横締めでのプレグラウトタイプの鋼材の採用や、ノングラウトタイプの外ケーブル鋼材の採用等のアプローチが行われている。

本橋は、場所打ち張出し架設で施工されるが、前述の経済性および耐久性のため、架設併用外ケーブルとノングラウトタイプの鋼材の使用、またプレグラウト鋼材や高強度コンクリートを積極的に採用した橋梁である。

本稿では、荷倉沢橋の架設時における外ケーブルの使用に関する設計および施工について以下に概要を報告する。

2. 工事概要

本橋の概要を以下に示す。

発注者：日本道路公団 東京建設局

工事名：上信越自動車道荷倉沢橋(PC上部工) 工事

工事場所：群馬県甘楽郡下仁田町大字西野牧

工期：平成9年9月27日～平成11年8月17日

橋長：203.0 m

支間長：100.35 m + 100.35 m

有効幅員：9.04 m～10.875 m

縦断勾配：2.175%

横断勾配：2.0%

平面線形：R=6 000 m

橋脚形式：逆T式橋台、柱式橋脚(鋼製エレメント工法)

基礎形式：深礎杭基礎(橋台)、直接基礎(橋脚)

地盤：I種

主要材料を表-1に示す。

本橋の主な特徴は以下のとおりである。

- ① 内・外ケーブルを併用した橋梁で、張出し架設時にも外ケーブルを使用している。
- ② 外ケーブル途中定着突起部の応力解析として、有限要素法解析を実施している。
- ③ せん断力に対して、鉛直方向PC鋼材を使用せず、ま

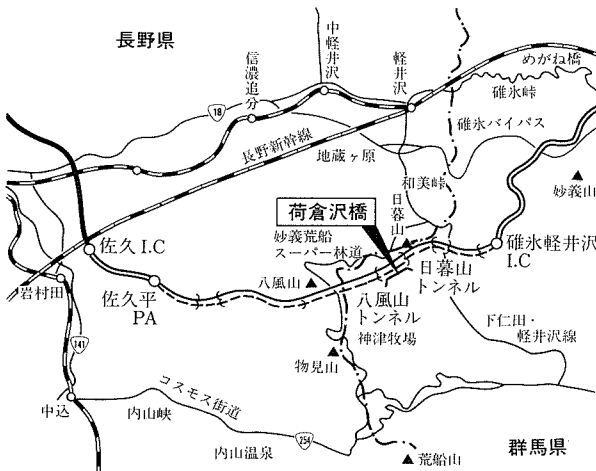


図-1 架橋位置図

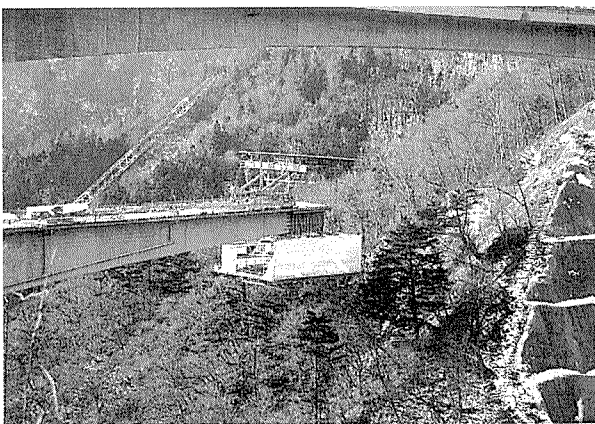


写真-1 施工状況

表-1 主要工事数量

	仕 様	単 位	数 量
コンクリート	$\sigma_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$	m ³	2 312.7
鉄 筋	SD345	tf	294.0
P C 鋼 材	(内ケーブル) SWPR7B 12S12.7	kgf	41 756
	(内ケーブル) SWPR930/1180 1B32B2	kgf	48 009
	(外ケーブル) SWPR7B 19S15.2	kgf	56 152

*1 Akifumi SHIMODA：日本道路公団 東京建設局 佐久工事事務所

*2 Shozo NAKANISHI：(株)ピー・エス 東京支店 土木部

*3 Satoshi MATSUHASHI：(株)ピー・エス 東京支店 土木技術部 設計課

*4 Shun-ichi YAMADA：(株)ピー・エス 東京支店 土木技術部 設計課

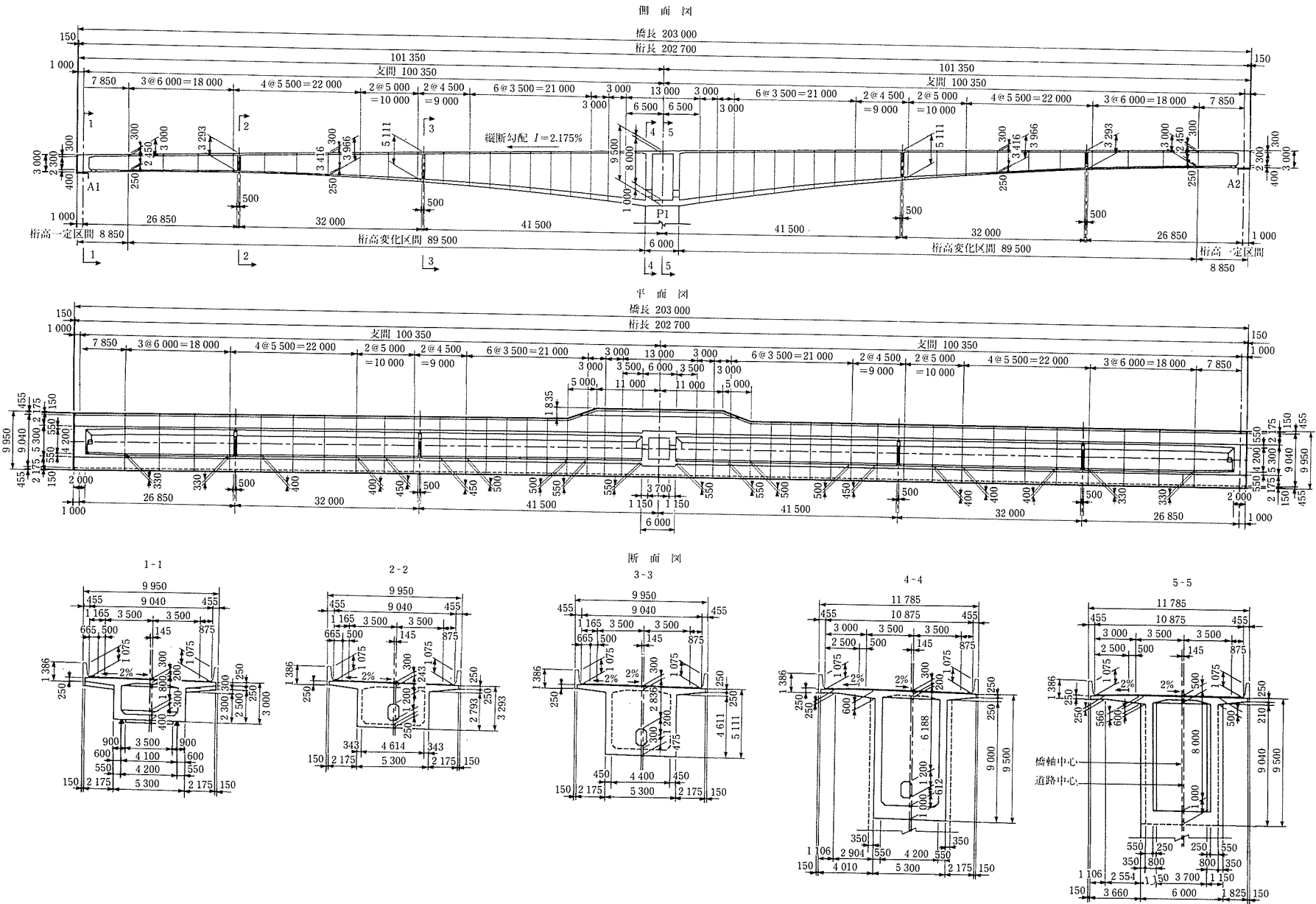


図-2 構造一般図

たウェブ厚を極力薄くするために設計基準強度 $\sigma_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$ (500-15-25) のコンクリートを使用している。

- ④ 張出し施工時に大型ワーゲン (最大施工長さ $L=6.0 \text{ m}$) を使用して施工を行っている。
- ⑤ 橋脚施工時の工期短縮, 省力化のために「鋼製エレメント工法」を採用している。

3. 設計内容

3.1 概要

外ケーブルに関する設計は, (財)高速道路技術センターの「外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル」(以下, 「マニュアル」と略記) に準拠した。また, 外ケーブルの断面力は, 換算内力載荷法により算出を行い, 曲げ破壊耐力の算定時には外ケーブルの張力増加を見込まないものとした。

3.2 外ケーブル定着工法の検討

PC鋼材および定着工法の選定にあたっては, 以下の事項に留意した。

- ① 張出し架設時に外ケーブルを挿入するときの施工性および現場の立地条件
- ② PC鋼材の防錆およびメンテナンスのしやすさ

その結果, 外ケーブル定着具はエスイー PACシステムを採用し, 緊張材にはポリエチレン被覆亜鉛メッキPC鋼より線を採用した。また, PC鋼材は重防蝕仕様のため, 自由長部分はPCグラウトを必要としない。定着部については緊張作業時にポリエチレン被覆を撤去するため, グリースを注入して防錆措置を行った。

3.3 PC鋼材配置量の決定

本橋は, 構造形式がTラーメン橋で, また中間支点からの最大張出し施工長が92.5mあることから, 構造系完成時に比べて架設時の断面力が卓越し, 主方向のPC鋼材量はこのケースで決定される。最大張出し時, および設計荷重作用時の断面力図を図-3に示す。

この架設時の断面力に対し, 内ケーブルのみで対処した場合, PC鋼材配置本数の増加でウェブが厚くなり, 経済性の悪化や, 死荷重の増加といった問題が生じる。またPC鋼材は施工ブロックの断面でしか定着できないため, 鋼材総数が多くなりすぎると最小縁端距離や最小鋼材配置間隔などの問題で, 定着位置を設けにくくなるなどの弊害をもたらす。

本橋では, 架設時に内ケーブルとして12S12.7Bおよび1B32B2を, また外ケーブルとして19S15.2Bを使用した。12S12.7Bケーブルはウェブ内に配置し, 定着のためのウェブ厚さが確保できる, 張出し架設の初期の段階で使用した。

また1B32B2鋼材は, 上床版内に配置し, 内・外ケーブルの補完的な目的で, 張出し施工中の必要プレストレスの確保に使用した。中間支点上のPC鋼材配置図を図-4に, また外ケーブルの配置図を図-5に示す。

3.4 偏向部の設計

偏向部の形式は, 外ケーブルの配置形状を考慮して以下のように決定した。

- ① 支間全長にわたって配置される連続外ケーブルは, 中間隔壁を利用した隔壁形式で偏向し, 鉛直力のウエ

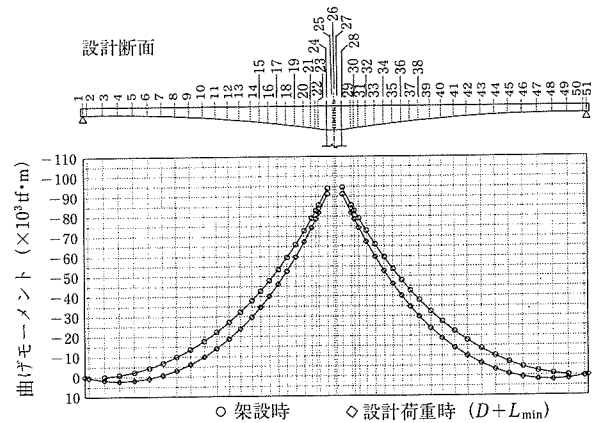


図-3 曲げモーメント比較図

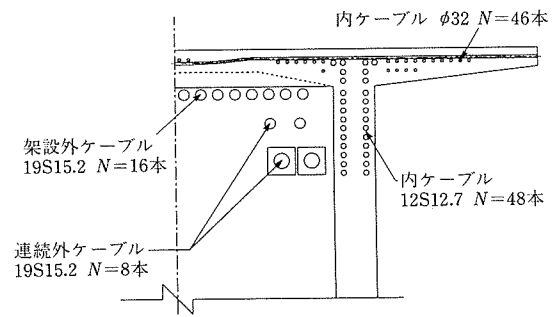


図-4 中間支点上PC鋼材配置図

ブ伝達の効率化を図る。

- ② 比較的偏向角度の小さな架設外ケーブルは, 作用応力が小さいため, 定着突起を利用した突起形式とした。偏向部の設計は「マニュアル」に従って行い, 簡略検討法で行った。偏向部の形状の詳細を図-6に示す。

3.5 定着部の設計

(1) 設計方針

本橋では, 架設時にも使用する外ケーブルの定着は, 両端とも支間途中で突起構造とし, また構造系完成時以降に有効となる連続外ケーブルは, 中間支点横桁と端支点横桁での定着としている。これらの定着部の設計にあたっては, 以下の事項を考慮し, 3次元有限要素法解析を用いて定着部付近の応力解析を実施し, 部材形状および補強鉄筋量を算出した。

- ① 比較的部材厚の薄い断面に外ケーブルを配置している。
 - ② 大容量ケーブルを多数本1カ所で定着している。
- (2) 解析モデル

解析モデルは, 橋軸直角方向対称半断面モデルとし, 橋軸方向にはFEM解析結果に影響を及ぼさない範囲で, できるだけ小さな領域を取り出すこととし, 定着突起から桁高分の長さとした。また, モデルの断面形状については, 外ケーブル定着部分の中で断面寸法が最小である突起構造を選び, その位置での中間隔壁の断面を無視して解析を実施した。シース部分については控除断面が大きいため, 中空部分として考慮した。載荷した荷重値は, 鋼材緊張時の初期引張応力度 $\sigma_{sa} = 125 \text{ kgf/cm}^2$ として求めた緊張力 $P = 329.412 \text{ tf}$ とした。この緊張力は支圧板面積に等分布荷重と

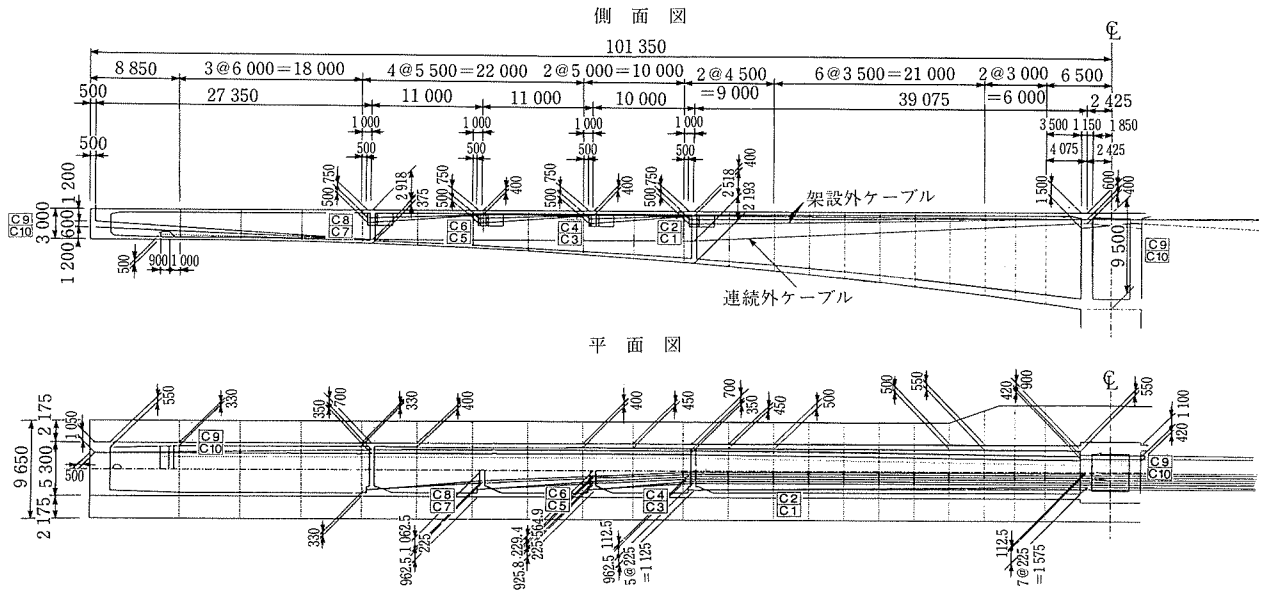


図-5 外ケーブル配置図

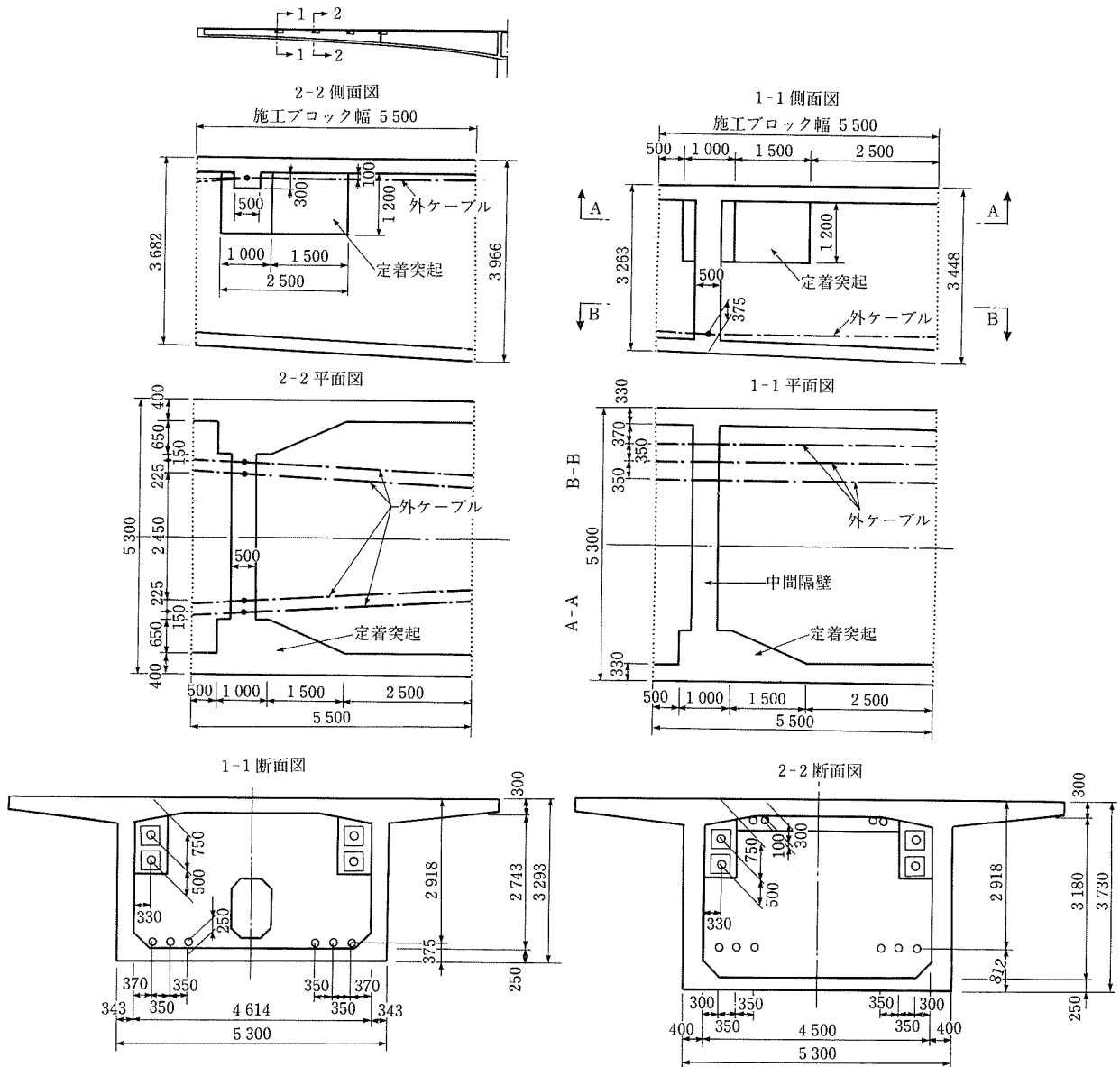


図-6 偏向部形状詳細図

して載荷している。

モデルの拘束条件は以下のとおりである。

- ① 主桁対称軸切断面 橋軸直角方向のみ拘束
 - ② 橋軸方向切断面 全方向の変位を拘束
- モデル図を図-7に示す。
- (3) 解析結果

解析より得られたX(橋軸直角), Y(鉛直)およびZ(橋軸)方向の最大引張力発生位置と, 発生応力度の概要は次のとお

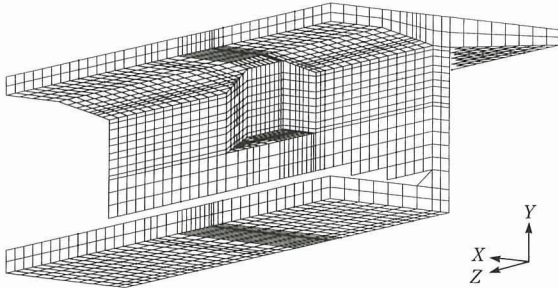


図-7 FEMモデル図

りとなった。また, 概略の応力度は図-8のとおりである。

- ① X方向の発生応力は, 2本のPC鋼材の鉛直方向中心を通る面が最大となり, 最大引張応力度は31 kgf/cm²であった。発生位置は, 支圧板背面から橋軸方向へ190 mm付近であった。
- ② Y方向の発生応力は, 下段のPC鋼材の支圧板上面を切断する面が最大となり, 最大引張応力度は15 kgf/cm²であった。発生位置は支圧板背面から橋軸方向へ190 mm付近に生じた。
- ③ Z方向の発生応力は, 主桁ウェブ内で最大となり, 最大引張応力度は62 kgf/cm²であった。発生位置は支圧板前面から橋軸方向へ125 mm付近に生じた。

この最大応力度を生じた断面の応力状態のうち, X方向のものを図-9に, また各要素の応力度を図-10に示す。

本橋の設計では, 解析から得られた結果を次のように設計に反映した。

- ① 橋軸, 橋軸直角および鉛直の3方向について, 最大引張力が発生した断面を特定し, この断面中の各要素

単位: (kgf/cm²)

	X 方向 (橋軸直角方向)	Y 方向 (鉛直方向)	Z 方向 (橋軸方向)
X 方向 (橋軸直角方向)	<p>最大引張応力 31 発生位置 支圧板背面から橋軸方向へ190mm 付近</p>	<p>最大引張応力 15 発生位置 支圧板背面から橋軸方向へ190mm 付近</p>	<p>最大引張応力 62 発生位置 支圧板前面から橋軸方向へ125mm 付近</p>

図-8 引張応力度の発生概要説明図

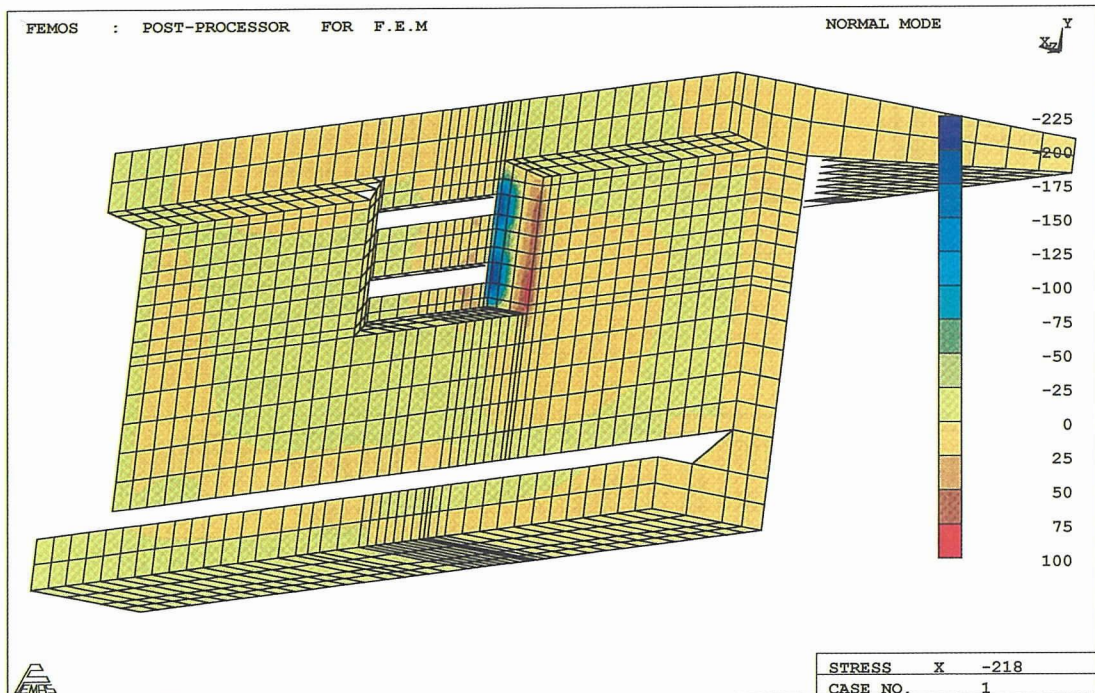


図-9 X方向応力図

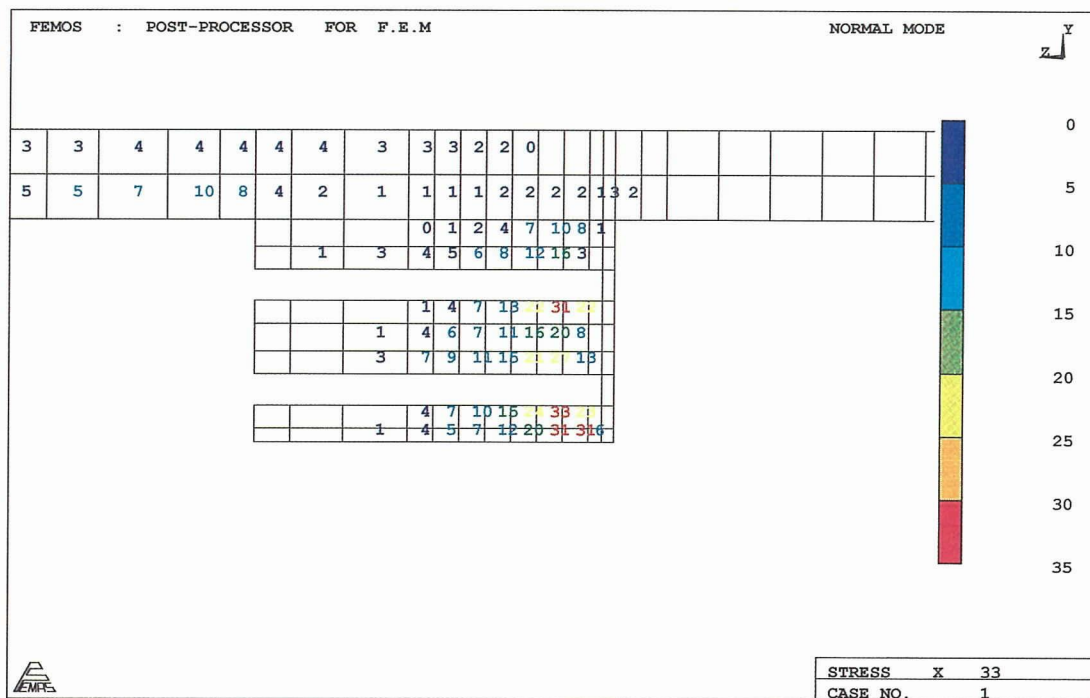


図-10 X方向応力値

表-2 X方向引張力

(単位:kgf)
(+を圧縮とする)

構成要素Z軸方向寸法値													
	6	6.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	31.2	25.4	17.3	
構成要素Y軸方向寸法値	21.7	0	0	0	0	0	-543	-543	-814	-814	-2 031	-2 205	-1 502
	21.7	-391	0	-543	-543	-543	-543	-271	-271	-271	-677	-1 102	-1 502
	13.1	0	-85	-1 310	-1 638	-1 146	-655	-328	-164	0	0	0	0
	11	0	0	-413	-2 200	-1 650	-1 100	-825	-688	-550	-1 030	-279	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	-3 025	-4 263	-3 025	-1 788	-963	-550	-138	0	0	0
	13	0	0	-1 300	-3 250	-2 600	-1 788	-1 138	-975	-650	-406	0	0
	11	0	0	-1 788	-3 713	-2 888	-2 063	-1 513	-1 238	-963	-1 030	0	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	-3 163	-4 538	-3 300	-2 063	-1 375	-963	-550	0	0	0
	6.5	0	-254	-2 519	-2 519	-1 625	-975	-569	-406	-325	-203	0	0

引張力合計値 -95 556 kgf

の引張力の合計を求める。

- ② 求めた引張力は、コンクリートの引張力を無視し、すべて鉄筋で負担する。その場合の鉄筋の許容引張応力度は $\sigma_{sa} = 1\ 800\text{ kgf/cm}^2$ とする。

要素応力度に、各要素の断面積を乗じて引張力に換算した値を表-2に、それに対する必要補強鉄筋量を表-3に示す。

なお、この鉄筋量の算定の際に、橋軸方向引張力の値が他の2方向のレベルに比べて大きなものとなり、鉄筋のみで補った場合では必要鉄筋量がかなり大きな値となった。このため、内ケーブルによるプレストレス効果を圧縮力換算し、外ケーブルによって生じた引張力と相殺した。実際の

表-3 必要補強鉄筋量

	引張力T (kgf)	鉄筋許容応力度 (kgf/cm ²)	必要鉄筋量 Asreq (cm ²)	摘要
X方向	95 556	1 800	53.087	D22×14本以上必要
Y方向	79 745	1 800	44.303	D19×16本以上必要
Z方向	51 553	1 800	28.641	D19×11本以上必要

配筋は、図-11に示す。

4. 外ケーブル施工概要

4.1 使用機械

外ケーブルの挿入に使用する機械の詳細を図-12に示す。

4.2 外ケーブル挿入方法

(1) 機械および足場の配置

作業機械の配置を含めた外ケーブル挿入要領図を図-13に、また施工状況を写真-2～3に示す。

ケーブル挿入中のケーブルの損傷を防ぎ、円滑に施工するため、コイルとPC鋼材定着部間の屈曲部には曲がりローラーを、また直線部にはバーチカルガイドおよびさきローラーを配置して施工を行っている。

桁内部のデビエーター間の鋼材の自由長部分には、挿入作業に伴う作業足場とケーブル支持材が必須であるため、箱桁内の全長にわたって安全面も考慮した作業足場を全面に組み立てた。主桁内部の施工状況を写真-4に示す。

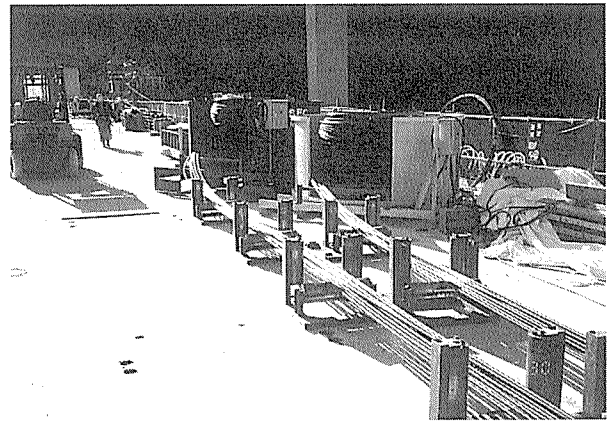
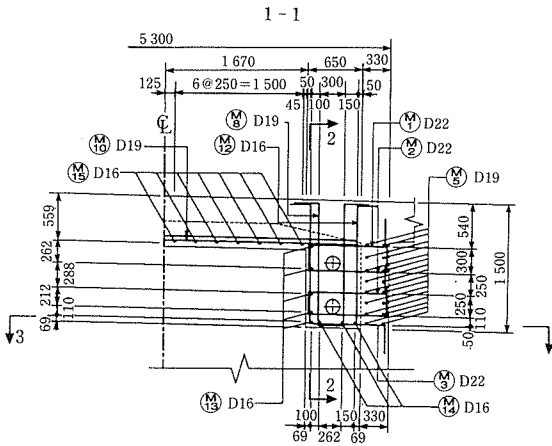


写真-2 外ケーブル挿入状況 (直線部)

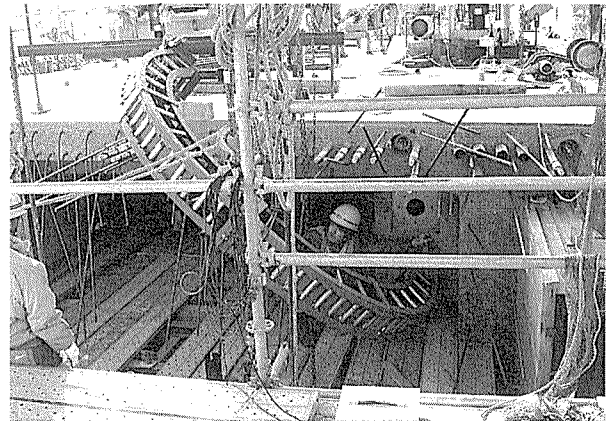
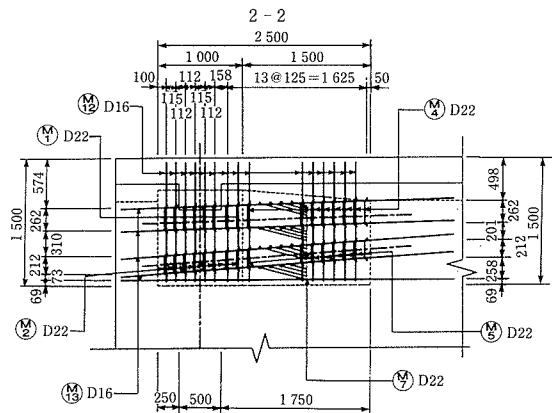


写真-3 外ケーブル挿入状況 (曲線部)

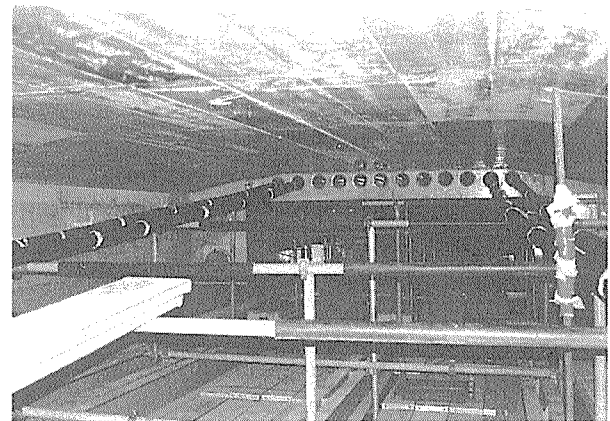
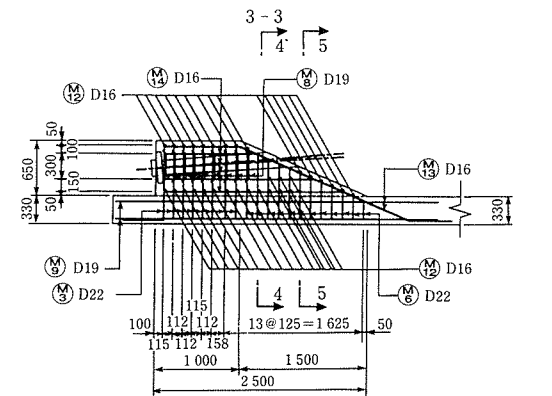


写真-4 箱桁内部施工状況

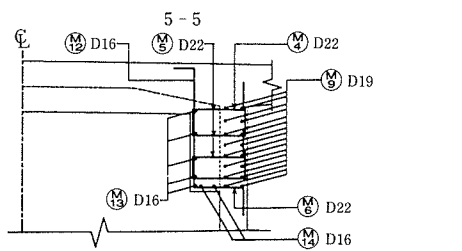
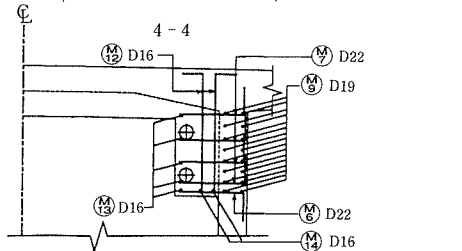


図-11 外ケーブル定着突起配筋図

(2) PC鋼材の搬入荷姿

PC鋼材は、あらかじめ工場でキャリアに巻いてから現場に搬入される。搬入の荷姿は、以下の条件に制約されるため、19本の鋼材を10本と9本の荷姿でキャリアに巻いて搬入している。

- ① 桁上への揚重機械の能力 (100t吊りクローラクレーン)
- ② 挿入用アンリーラーにセットする作業機械 (フォークリフト: 最大積載量3t) の能力

(3) PC鋼材の挿入

外ケーブルの挿入はウインチで施工する。引き込まれる

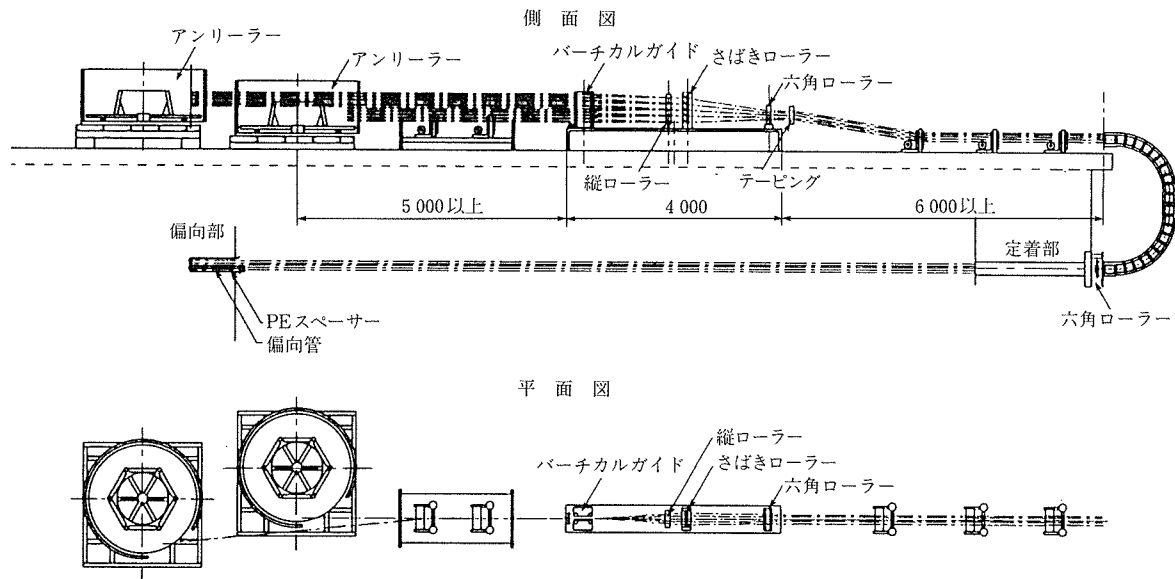


図-12 荷倉沢橋 機材配置図

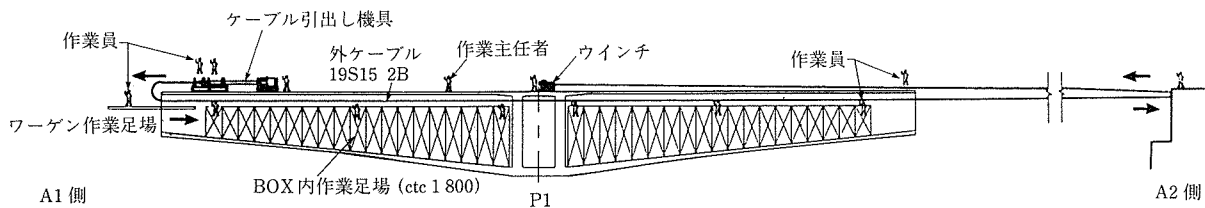


図-13 外ケーブル挿入要領図

PC鋼材の先端部には、より取りを考慮した、パイロット金具を装着して引っかかりやねじれによるPC鋼材の損傷を防止している。デビエーター部の偏向管も、ケーブルとの接触部分をR形状とすることによってこうした危険に配慮している。

5. 今後の問題点

以上、本橋の架設時における外ケーブルの設計および施工について述べた。本橋では、架設併用外ケーブルの定着は突起定着方式とし、1カ所あたり2ケーブルを定着した。定着突起の形状についてはほぼ満足なものと考えられるが、大容量ケーブルを使用していることから、補強鉄筋量が多く、配筋作業の効率が低下する。このため、下記の事項について考慮する必要があると考えられる。

- ① 隔壁方式の定着方式として応力の分散性を図って、補強鉄筋が小さな断面内に集約されて配置されるのを防ぎ、配筋作業の効率を上げる。
- ② 張出し架設時には、架設作業車に付属した内型枠吊り設備の制約から、突起定着方式以外の定着方式(リブ式および隔壁方式)は施工性の面で実施しにくくなるため、架設機も含めた施工性の向上を図る。

6. おわりに

本橋は本年、平成11年8月の完成を目指して鋭意施工中であるが、本橋の設計ならびに施工に際して多大なご指導およびご尽力をいただいた関係各位にこの場を借りて感謝の意を表する次第である。

【1999年3月10日受付】