

# プレキャストPC床版を用いたつくば高架橋の施工 Construction of Tsukuba Viaduct with Precast PC Deck Slabs

松岡孝明\*, 川上毅\*\*, 内山武繁\*\*\*, 田中千尋\*\*\*\*  
Takaaki MATSUOKA, Takeshi KAWAKAMI, Takeshige UCHIYAMA, Chihiro TANAKA

- \* 株式会社富士ピー・エス 関東工場 (〒321-4346, 栃木県真岡市松山町 16-1)
- \*\* 株式会社富士ピー・エス 東京支店技術部 (〒105-0004, 東京都港区新橋 4 丁目 24-8)
- \*\*\* 株式会社富士ピー・エス 東京支店工務部 (〒105-0004, 東京都港区新橋 4 丁目 24-8)
- \*\*\*\* 株式会社富士ピー・エス 技術本部設計部 (〒105-0004, 東京都港区新橋 4 丁目 24-8)

Tsukuba Viaduct, which being used of precast PC slab, was constructed to connect kernel cities and metropolitan area as a part of the automatic roadway construction work. It is being considered that the effect of the relaxation of the traffic congestion and the interchange of the culture and the economy is brought.

In recent years, the increase of the traffic volume and truckloads has caused severe damages to reinforced concrete deck slabs of steel girder bridges. The precast PC slab has the characteristics of high quality and it can save the cost, time and manpower of construction, so it has been increasingly used to the deck slabs of those bridges. In this paper, the explanation of total working process of Tsukuba Viaduct, including basic concept of precast method and the result of the static loading test of precast PC slab is reported.

Key words : precast PC slab, static loading test, concept of precast method

## 1. はじめに

つくば高架橋は、国土交通省関東地方整備局発注の首都圏中央連絡自動車道（以下、圏央道と記述する）建設工事の一環として施工された橋梁である。圏央道とは、都心から半径 40～60km の範囲に計画されている総延長 300km の高規格幹線道路（自動車専用道路）である。つくば研究学園都市などの中核都市を相互に結ぶことにより、首都圏に地域の核となる都市郡を形成する等、多くの整備効果が期待されている。

一般国道 4 号、294 号、354 号、常磐道、6 号などを東西に結ぶ本橋梁には、鋼主桁上の床版としてプレキャスト PC 床版が採用されている。本橋では設計の妥当性照査の一手段として橋梁で用いるプレキャスト PC 床版の静的載荷試験を行い、安全性を確認した上で実際の施工に臨んでいる。本稿では、設計、設計の妥当性を確認し

たプレキャスト PC 床版の静的載荷試験内容と結果、および施工について紹介する。なお、図-1 にプレキャスト工法の基本コンセプトを示す。

## 2. 設計

### 2.1 橋梁諸元

- 本橋梁の橋梁諸元を以下に示す。
- 事業主体：国土交通省関東地方整備局 常総工事事務所
- 工事名称：つくば高架橋 PC 床版その 3 工事
- 工事場所：自 茨城県つくば市新牧田  
至 茨城県つくば市市之代
- 構造形式：鋼 1 5 径間連続鈹桁
- 設計規格：第 1 種第 2 級 B 規格
- 橋 長：637.5m
- 支 間：41.7+6@42.5+42.0+43.0+5@42.5+41.7
- 有効幅員：14.910m
- 架設工法：大型クレーン架設
- 工 期：自 平成 13 年 11 月 30 日  
至 平成 14 年 11 月 24 日

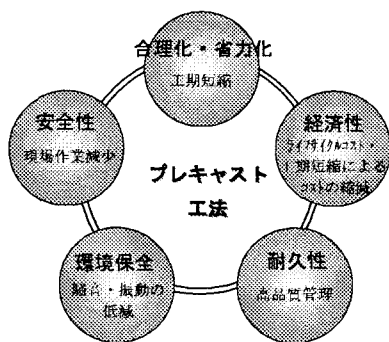


図-1 プレキャスト工法の基本コンセプト

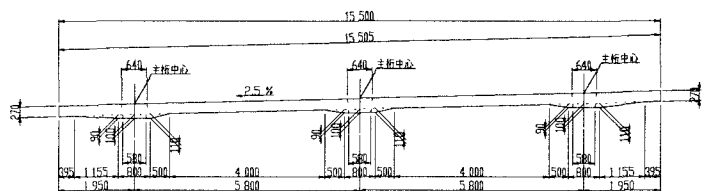


図-2 床版側面図

## 2.2 設計概要

### (1) 本橋梁の特色

- ・構造形式：幅員変化に伴い、3主桁から4主桁へと主桁数が変化している。
- ・設計方法：幅 2000mm の標準パネル断面を幅 1000mm のパネルに換算して設計を行った。
- ・照査方法：本橋梁の場合、実際に橋梁で用いるプレキャストPC床版を対象として静的荷重試験を行い、安全性の確認および照査を行った。

## 2.3 床版の橋軸直角方向の設計

### (1) 制限方法および制限値

橋軸直角方向はPRC構造として設計した。各荷重状態に対する制限値を表-1 に示す。

表-1 各荷重状態に対する制限値 (N/mm<sup>2</sup>)

荷重状態	曲げ圧縮応力度の制限値	ひびわれ制御方法	
		ひびわれ制御方法	制限値
プレスト導入直後	$\sigma_{cd} \leq 21.0$	曲げひび割れを生じさせない	$\sigma_{ct} \leq -1.8 \cdot k_1$
死荷重時	$\sigma_{cd} \leq 17.0$	引張応力を発生させない	$\sigma_{ct} \leq 0.0$
活荷重作用時	$\sigma_{cd} \leq 17.0$	曲げひび割れを生じさせない	$\sigma_{ct} \leq -3.15 \cdot k_1$
風荷重作用時	$\sigma_{cd} \leq 21.25$	許容曲げひび割れ幅まで許す	$W \leq Wa$
衝突荷重作用時	$\sigma_{cd} \leq 25.5$	許容曲げひび割れ幅まで許す	$W \leq Wa$

$k_1$ ：部材寸法効果に関する係数

$Wa$ ：曲げひび割れ幅の制限値

(床版上縁：0.0035C, 床版下縁：0.005C)

### (2) 床版厚の決定

床版厚は道路橋示方書・同解説Ⅲ5.4の規定に準じて求めた。その際、合成桁の場合の割り増し係数を考慮した床版の全厚が、道路橋示方書・同解説に規定される最小全厚以上の厚さを確保していることを確認の上、決定した。

### (3) 設計断面のモデル化

設計は単位幅 1.0m の当たりの断面を用いて行うものとし、2.0m パネルの 1/2 の剛性と等価な 1.0m 幅のパネルにモデル化した。図-3 に幅 2000mm の標準パネル断面を幅 1000mm のパネルに換算した設計断面を示す。なお、検討断面位置が支点上にあたる場合は、ジベル孔による断面の控除を考慮した断面を用いるものとした。

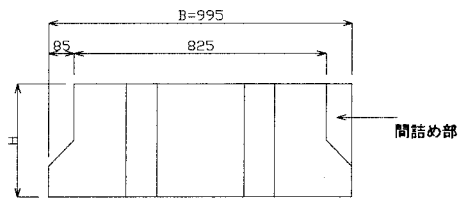


図-3 1.0m 当たり換算した設計断面

### (4) 設計曲げモーメント

荷重による設計断面位置における曲げモーメントは、道路橋示方書・同解説Ⅲ5.5.1 に示される式に準じ、割増係数を乗じて求めるものとした。荷重による曲げモーメントは、モデル化断面の単位幅 1.0m 当たりで算出した。

### (5) 設計断面

設計断面は各支点上、各支間中央および各断面変化点（ハンチ終点）とした。図-4 に設計断面位置を示す。

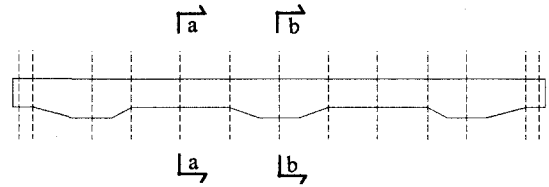


図-4 設計断面位置（橋軸直角方向、3主版桁）

### (6) 床版の構造

図-5 に支間中央および支点上の床版断面図を、図-6 に床版平面図を示す。

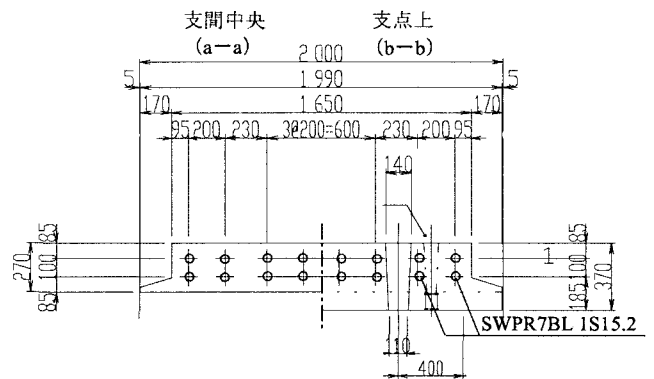


図-5 床版断面図

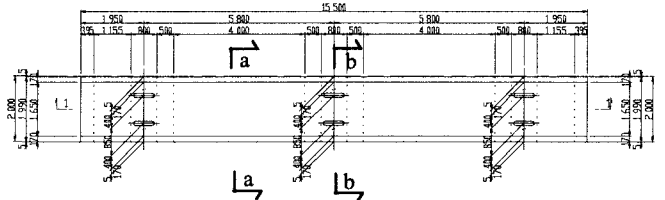


図-6 床版平面図

## 2.4 床版の橋軸方向の設計

### (1) 制限方法および制限値

橋軸方向はRC構造として設計した。このとき鉄筋の引張応力度の制限値は、ひび割れ幅を考慮して定めた 160N/mm<sup>2</sup>とした。制限値を表-2 に示す。

表-2 活荷重作用状態に対する制限値 (N/mm<sup>2</sup>)

荷重状態	コンクリートの曲げ圧縮応力度の制限値	鉄筋の引張応力度の制限値	曲げひび割れ幅の制限値
活荷重作用時	$\sigma_{cd} \leq 17.0$	$\sigma_{sv} \leq 160$	$W \leq Wa$

$Wa$ ：曲げひび割れ幅の制限値（床版下縁：0.005C）

### (2) 設計曲げモーメント

荷重による設計断面位置における曲げモーメントは、道路橋示方書・同解説Ⅲ5.5.1 に示される式に準じて求め

るものとした。

(3) 設計断面

設計断面は左右地覆付け根部および各支間中央とした。各々、継手部と床版中央部の断面について検討した。図-7に設計断面位置を示す。

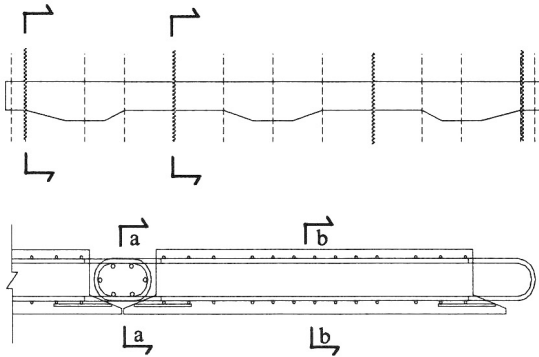


図-7 設計断面位置 (橋軸方向, 3主版桁)

a-a 断面：接合部 (間詰部)

RCループ継手の設計。

b-b 断面

鉄筋応力および曲げひび割れ幅により制御。

(4) RCループ継手の設計

① RCループ継手の曲げ直径  $dB$

RCループ継手の必要曲げ直径の算出を行い、実際の  $dB$  について計算した。

② RCループ継手の必要重ね継手長  $La$

RCループ継手の必要重ね継手長  $La$  を算出し、 $La = \max(1.5dB, 20.0)$  以上であることを確認の上、実際の  $La$  を決定した。

(5) 床版の構造

図-8に床版断面および継手部の構造を示す。

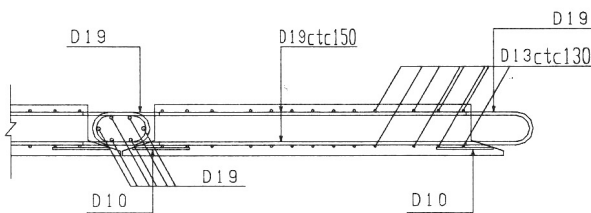


図-8 床版断面および継手部の構造

3. プレキャストPC床版静的載荷試験

3.1 試験概要

本試験は、プレキャスト床版が所定の性能を保有することを確認するために照査の一環として行った。

3.2 試験方法

(1) 試験体

本試験は橋梁で実際に使用するプレキャストPC床版

を対象として行った。

(2) 載荷方法および測定位置

試験体を載荷台に載せ、油圧ジャッキを用いて中央2点載荷を行った。図-9に載荷位置を、写真-1に実際の載荷状況を示す。

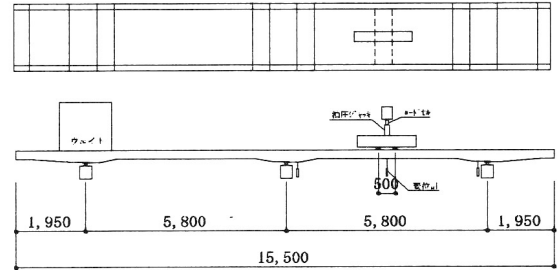


図-9 載荷位置

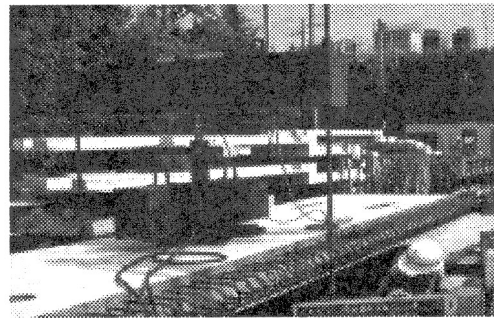


写真-1 載荷状況

3.3 計測項目

(1) 載荷荷重

50t ロードセルにより、ステップ毎に測定した。

(2) 変位

たわみを接触型変位計により測定した。

(3) ひび割れ発生状況

プレキャストPC床版下面に曲げひび割れが発生しないことを確認した。ただし、PC床版の下縁突起部は軸引張応力状態であり、標準部と応力状態が異なるためにひび割れ発生荷重より小さい値でひび割れの発生する可能性がある。したがって、この部分については判定から除外した。

なお、JIS A 5373 ではひび割れ発生の有無を目視で確認していることから、本試験でのひび割れ確認は目視で行うものとした。

3.4 載荷荷重の算出

(1) 設計計算書からの引用データ

表-3 曲げモーメントおよび応力度

設計曲げモーメント(KN・m)	部材下縁の応力度(N/mm <sup>2</sup> )		
床版支間中央(断面No. 6)	床版支間中央(断面No.6)		
間詰め部荷重	1.238	床版自重	$\sigma_{cd0}$ -0.628
橋面荷重	0.818	導入直後プレストレス	$\sigma_{cpt}$ 5.183
活荷重	73.182		
合計 Md	75.238		

表-4 断面係数

断面係数 (cm <sup>4</sup> )		
標準断面 (版厚270mm)		
1m当たり	試験体(PC換算断面)	-11742.2
	設計断面(間換換算断面)	-12270.8
版1枚当たり (単位幅2m)	試験体(PC換算断面)	ZL1 -23484.4
	設計断面(間換換算断面)	ZL2 -24541.6

表-5 床版支間中央の応力度

床版支間中央(断面No.6)		
導入直後の応力度	$\sigma_{pt}$	1240.0
クリープ・乾燥収縮による減少	$\Delta\sigma_{p\phi}$	120.6
リラクセーションによる減少	$\Delta\sigma_{p\gamma}$	18.6

(2) 載荷荷重と発生するモーメント・たわみの関係

PC床版を連続梁としてモデル化し、単位荷重 100kN を支間部に2点載荷したときのモーメントおよびたわみを算出した。また、計算書に示されたプレストレスを作用させ、プレストレスによる二次モーメントを算出した。図-10に連続梁モデルを示す。

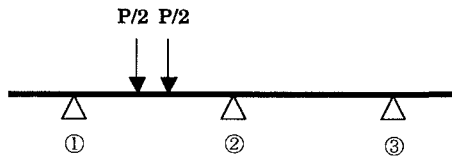


図-10 連続梁モデル

表-6に単位荷重 P=100kN 載荷時および設計プレストレス作用時の計算値を示す。

表-6 単位荷重 P=100kN 載荷時および設計プレストレス作用時の計算値

最大発生モーメント(載荷点直下)	@Mmax	99.93 (KN・m)
支間中央モーメント	@Mc	99.93 (KN・m)
床版支間中央のたわみ	@ $\delta_c$	2.46 (mm)
支点反力	①	R1 38.77 (KN)
	②	R2 72.46 (KN)
	③	R3 -11.23 (KN)
直後プレストレス二次モーメント(支間中央)	Mp2	-23.17 (KN・m)
二次モーメントによる床版下縁応力度	$\sigma_{cp2}$	1.16 (N/mm <sup>2</sup> )

(3) 設計荷重

引用した設計モーメントを試験体の支間中央に発生させるための載荷荷重を算出した。設計モーメントは単位幅あたりのモデル化断面より算出しているため、試験体に作用させるモーメントは試験体と設計断面の断面係数比で補正し、実際の橋梁に用いる 2000mm 幅あたりに換算した値を用いるものとした。

①試験時モーメント

$$M_{test} = M_d \times Z_{L1} / Z_{L2} \times 2m = 143.99 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

このモーメントを発生させるため荷重は、単位荷重に対する計算値との対比により算出した。

②設計荷重

$$P_{test} = M_{test} / @M_c \times 100\text{kN} = 144.09 \text{ (kN)}$$

ジャッキによる加力は、設計荷重  $P_{test}$  から載荷装置の

重量を差し引いた値とした。

$$\text{載荷装置の重量 } W_{test} = 6.67 \text{ (kN)}$$

$$\text{ジャッキによる加力 } P_1 = 137.42 \text{ (kN)}$$

(4) 設計荷重載荷時の部材下縁応力度

設計荷重載荷時において床版下縁に発生する引張応力  $\sigma_{CL}$  は、床版自重による応力度  $\sigma_{cd0}$ +プレストレスによる応力度(二次力含む)  $\sigma_{cp}$ +載荷荷重による応力度  $\sigma_{test}$  となる。なお、載荷試験時におけるプレストレスの有効係数  $\eta$  は、プレストレス導入から試験までのクリープ・乾燥収縮進行分とリラクセーション(設計値)による減少を考慮して算出した。ここに、

$$\text{載荷試験時における試験体の材齢 } t = 7$$

$$\text{クリープ係数 試験時 } \phi_{test} = 0.4$$

$$\text{最終値 } \phi_{\infty} = 3.0$$

(JIS 製造便覧より)

クリープ・乾燥収縮による減少量

$$\Delta\sigma_{p\phi}' = \Delta\sigma_p \phi' \times \phi_{test} / \phi_{\infty} = 16.08 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

リラクセーションによる減少量

$$\Delta\sigma_{pr} = 18.6 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

プレストレスの有効係数

$$\eta = 1 - (\Delta\sigma_{p\phi}' + \Delta\sigma_{pr}) / \sigma_{pt} = 0.972$$

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{cpt1} + \sigma_{cpt2}) \times \eta = 6.17 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

プレストレスによる応力度は、

載荷荷重による応力度は

$$\sigma_{test} = M_{test} / Z_{L1} = -6.13 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

床版自重による応力度

$$\sigma_{cd0} = -0.628 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

設計荷重載荷時の下縁応力度

$$\sigma_{CL} = -0.588 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

3. 5 ひび割れ強さ試験の載荷荷重

ひび割れ強さ試験において部材下縁に発生させる引張応力は、道路橋用プレテンション桁(JIS A 5373)のひび割れ強さ試験に用いる値 2.94N/mm<sup>2</sup>と同等とした。ここで、試験時の引張応力  $\sigma_t$ =床版自重による応力  $\sigma_{cd0}$ +プレストレスによる応力(二次力含む)  $\sigma_{cp}$  の関係が成立するときの作用モーメントは以下のように算出された。

$$M_{test2} = (\sigma_t - \sigma_{cd0} - \sigma_{cp}) \times Z_{L1} = 199.19 \text{ (kN)}$$

このモーメントを支間部に発生させるため荷重は、単位荷重による最大値との対比により算出した。

$$\begin{aligned} \text{ひび割れ荷重 } P_{test2} &= M_{test2} / @M_{max} \times 100\text{kN} \\ &= 199.33 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

ジャッキによる加力は、設計荷重載荷時と同様に載荷装置の重量を差し引いた値とした。

$$\text{ジャッキによる加力 } P_2 = 192.66 \text{ (kN)}$$

3. 6 判定基準

プレキャストPC床版下面に曲げひび割れが発生しないことを確認した。ただし、PC床版の下縁突起部は軸

引張応力状態であり、標準部と応力状態が異なるためにひび割れ発生荷重より小さい値でひび割れの発生する可能性がある。一方、実橋における下縁突起部は間詰めコンクリートと一体化していることを考慮すると、床版下面に微細なひび割れが発生したとしても床版の耐久性に問題はないと判断される。したがって、ひび割れ強さは標準部におけるひび割れ発生の有無で判断されるものとした。なお、土木学会コンクリート標準示方書設計編より、有害なひび割れとはひび割れ幅 0.2mm 以上のものとした。また、下縁突起部は図 11 の範囲とした。これは PC 床版の有効断面以外の場所として定義されるものとした。

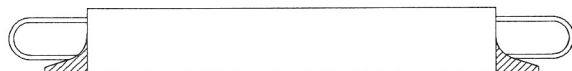


図-11 下縁突起部

### 3. 7 荷重試験結果

#### (1) 荷重変位関係

各載荷段階における荷重変位関係を表-7 および表-8 に示す。

表-7 荷重変位関係

荷重 P(KN)	変位量(mm)				
	設計値	支点部(北側)	支間中央部	支点部(南側)	変位量
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	1.39	0.12	1.01	0.11	0.90
100	2.62	0.24	2.06	0.25	1.82
137.42	3.54	0.53	3.12	0.55	2.58
150	3.85	0.67	3.50	0.68	2.83
192.66	4.90	0.89	4.61	0.91	3.71

表-8 荷重変位関係 (鉛直変位)

ジャッキ荷重 (KN)	支間中央の鉛直変位		備 考
	設計値(mm)	実測値(mm)	
0	0	0	
50	1.39	0.9	
100	2.62	1.82	
137.42	3.54	2.58	←設計荷重
150	3.85	2.83	
192.66	4.90	3.71	←ひび割れ荷重

#### (2) P-δ グラフ

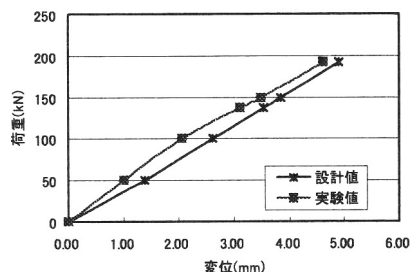


図-12 荷重と変位量の関係

#### (3) 判定結果

ひび割れ荷重載荷時にひび割れ発生は見られなかった。

以上の試験結果から、本橋梁に用いるプレキャスト PC 床版は要求される性能を有する製品であることが確認された。

## 4. プレキャスト PC 床版の製作および運搬

### 4. 1 製作

プレキャスト PC 床版は、振動締固め・促進養生等により所定の品質が確保されるよう、厳密な管理のもとで製造されており、場所打ち PC 床版と比較して、プレストレスの減少やクリープおよび乾燥による収縮の影響を低減されていた。本橋梁の PC 床版の場合、ループ部の製品仕上げや後述する静的載荷試験を行うことにより、高品質な製品の確保に努めた。

### 4. 2 運搬

施工現場までのプレキャスト PC 床版運搬にあたっては、山留材を列配置した専用の運搬荷台を用い、主桁位置にて床版を支持するものとした。その結果、床版としての性能を損なうことなく現場まで運搬できた。

## 5. 現場施工

### 5. 1 PC 床版吊り上げ時の検討

本橋梁は 3 主桁 (標準版) を 3 点吊りで架設を行ったが、作業工程の簡便化を目的とした 2 点吊り架設の可否についても検討を行った。

PC 床版の架設吊り点を 3 点から 2 点に変更する場合、スパン中央で自重+作業荷重による正の曲げモーメントが大きくなり、スパン中央床版下縁の引張力が厳しくなる。本橋では、床版下縁引張力の許容値  $-2.633\text{N/mm}^2$  に対し、 $-5.784\text{N/mm}^2$  の引張力が生じた。この場合、下段の鋼材料およびプレストレス量を増やすのが有効な手段だが、本橋の場合、スパン中央 (中央主桁部) はハンチ断面になっている上、ループ筋や橋軸直角方向鉄筋のとりあいならびにかぶりの確保を考慮すると困難である。架設を 2 点吊りで行うためには断面を変更する必要があることから、2 点吊りでの施工は不可能であることが確認された。

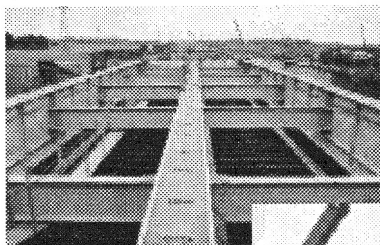


写真-2 架設前

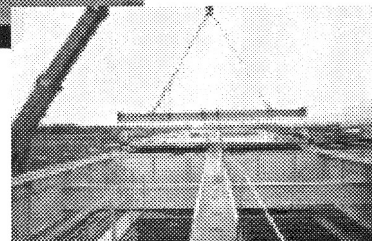


写真-3 架設状況

## 5.2 鋼桁とPC床版の接合

鋼桁とPC床版はスタッド接合である。原則として鋼桁と床版の隙間は最低20mm確保し、無収縮モルタルを注入した。図-13にプレキャストPC床版橋施工イメージを示す。

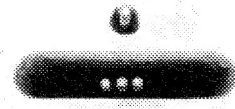


写真-4 スタッド

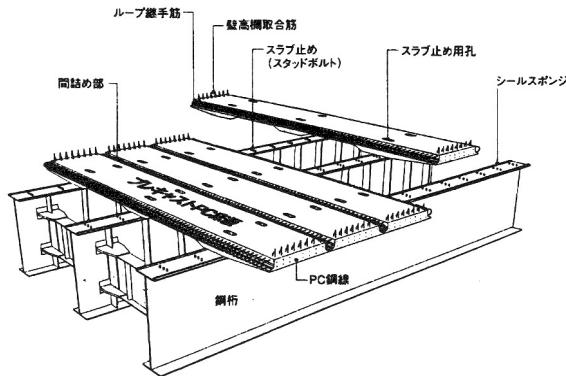


図-13 プレキャストPC床版橋施工イメージ

## 5.3 床版の高さ調節

本工事は鋼桁の上にPC床版を架設する工事である。本工事の場合、一般のPC工事と異なり、鋼桁が連続していることから、温度による床版の高さの変化が大きい。そのため、外気温の変化を考慮した上で測量を行った。

## 5.4 間詰め部の施工

間詰コンクリートは、プレキャストPC床版と同等以上の性能を有し、床版相互を一体化できるよう留意して施工する必要がある。連続桁の場合、先行するプレキャストPC床版の架設等による後荷重の影響を極力受けないように留意する。表に間詰め部に用いた膨張コンクリートの示方配合を示す。ループ継手目地はRC構造であり、構造的な弱点となりやすい。そのため、コンクリート打設後の乾燥収縮量を低減するべく、高性能AE減水材を使用して単位水量の低減を図った。また、ケミカルプレストレス効果によるひび割れの抑制が期待できる膨張コン

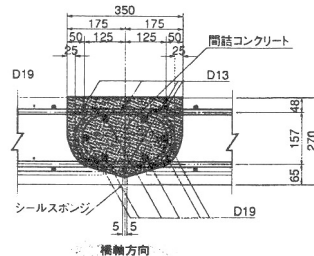


図-14 間詰め部断面図

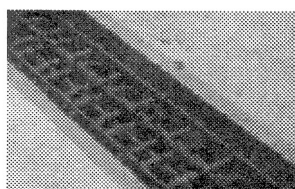


写真-5 間詰め部

クリートを使用した。

表-9 示方配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能AE 減水材	低添加型 膨脹材
35	42.9	165	480	713	954	6.5	20

## 6. おわりに

本橋では、設計の妥当性照査の一手段として事前にプレキャストPC床版の静的載荷試験を行った結果、床版が使用に耐え得る性能を有することを確認した上で実際の施工に望むことが可能となった。

プレキャストPC床版による施工は、技能労働者の高齢化や労働力の不足、さらに構造物の高品質化や工期短縮などの課題に応える技術として近年注目されている。最適な環境下で製作される高品質なプレキャスト部材を架設することにより、スピーディーでおかつ施工性に優れた現場工事が可能となる。プレキャストPC床版は、従来工法で不可欠とされていた鉄筋工事・型枠工事・養生など、熟練と天候に大きく影響される要素を排除し、現場施工の急速化・省力化を実現するものである。

## 【参考文献】

- 1) PC床版設計・施工マニュアル(案), (社)プレストレストコンクリート建設業協会, H11.5
- 2) 道路橋用プレストレストコンクリート橋げた 設計製造便覧, (社)プレストレストコンクリート建設業協会, H14.3
- 3) 設計要領第二集, 日本道路公団, H10.7
- 4) コンクリート標準示方書 構造性能照査編, (社)土木学会, H14.3
- 5) 道路橋示方書 II 共通編, (社)日本道路協会, H8.12
- 6) 道路橋示方書 II 鋼橋編, (社)日本道路協会, H8.12
- 7) 道路橋示方書 III コンクリート橋編, (社)日本道路協会, H8.12
- 8) 道路橋示方書 V 耐震設計編, (社)日本道路協会,
- 9) PRC橋の設計, 技報堂, H5.6
- 10) PC連結桁設計の手引き(案), (社)プレストレストコンクリート建設業協会, H10.6
- 11) 平成9年度 第2東名高速道路鋼小桁橋梁設計施工に関する照査研究(その4) 報告書, (財)高速道路技術センター, H10.3
- 12) コンクリート道路橋設計便覧, (社)日本道路協会, H6.2
- 13) コンクリート道路橋施工便覧, (社)日本道路協会, H10.1