

---

---

# 投稿論文

---

---

## 投稿くださる各位へのお願い

1. なるべく大勢の方々に投稿頂くため原稿枚数は、投稿原稿、依頼原稿とも規定以内(7. 参照)といたします。なお原稿料は規定枚数で打切りとなりますのでご了承ください。
2. 添付図はトレース(線図のみ墨入れ)または第2原図を原則とします。青図添付の場合は墨入れトレース代の一部負担を願いますので予めご了承ください。
3. 執筆者は依頼原稿の場合を除き正会員に限ります。したがって未加入者の場合は予め手続きいたしますのでその旨お申し出ください。
4. 本機関紙は現在、複数制編集委員による特集号形式としており、それぞれ特定のテーマによる依頼原稿が先行するため、投稿原稿は延期される傾向にありましたが、年間発行6冊のうち、2冊程度は投稿原稿による機関誌を予定し、また特集号でも数点は掲載余地を残すようにいたしますので、今後は投稿後半年以内には掲載されます。
5. 別刷は規定により 50 部を論説、報告、資料に限り贈呈いたします。それ以上希望される場合は実費増刷となりますので、原稿の表紙に部数をご記入願います。
6. 報告の投稿には必ず英文タイトル、英文著者名をつけてください。
7. 投稿原稿の制限枚数は次のとおりです。

論	説	刷上り 6 ページ (協会原稿用紙 36 枚, ただし図表, 写真含む) 以内
報	告	: // 8 // ( // 48 枚 // ) //
資	料	: // 4 // ( // 24 枚 // ) //
工	事	ニ ュ ー ス : // 1 // ( // 6 枚 // ) //
質	疑	応 答 : // 0.5 // ( // 3 枚 // ) //
読	者	の 声 : // 0.5 // ( // 3 枚 // ) //

### III 種 PC 鉄道橋実施設計例

#### —桜井線 ボケラ B—

小 須 田 紀 元\*  
 石 川 里 博\*\*  
 遠 藤 糸 夫†  
 沼 田 優††

#### 1. ま え が き

プレストレストコンクリート標準示方書（昭和 53 年土木学会）では、プレストレストコンクリートの種別を I 種、II 種、および III 種に分類し、定義するほか、種別毎に設計方法、許容応力度等を示している。

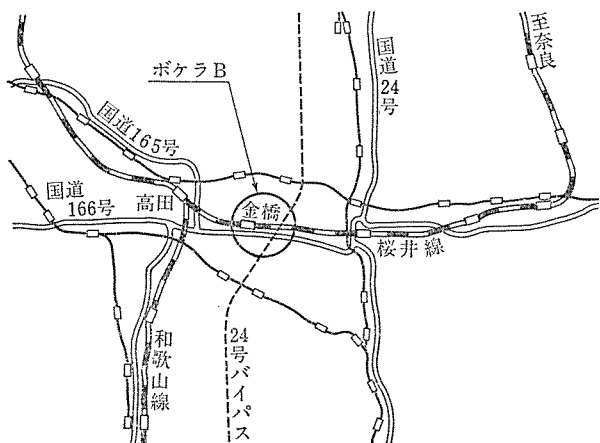


図-1 位置図

この示方書では、「III種は、使用状態でひびわれが開いた状態となることを許容するプレストレストコンクリート」と定義している。

PC コンクリート桁にひびわれを許容することは感覚的に異和感があるが、従来行った III 種 PC 桁の疲労試験、ひびわれ発生桁のばく露試験等の結果を検討し、安全性の面で特に問題はないと判断したので、桜井線ボケラ橋梁に、III 種 PC を適用した。

III 種 PC は、I 種 PC（フルプレストレス）に比較して経済的に有利であり、適用を誤らなければ、非常に有望で、特に、中スパン（ $l=30\text{m}\sim 40\text{m}$ ）の橋梁に用いて有利であると考えている。

本橋は、桜井線高架化に伴い施工されるものである（図-1、図-2）。

#### 2. 設計条件（図-3, 4 参照）

- 1) 橋 種 鉄道橋
- 2) 構造形式 ポストテンション単純T桁
- 3) スパン 16.2 m

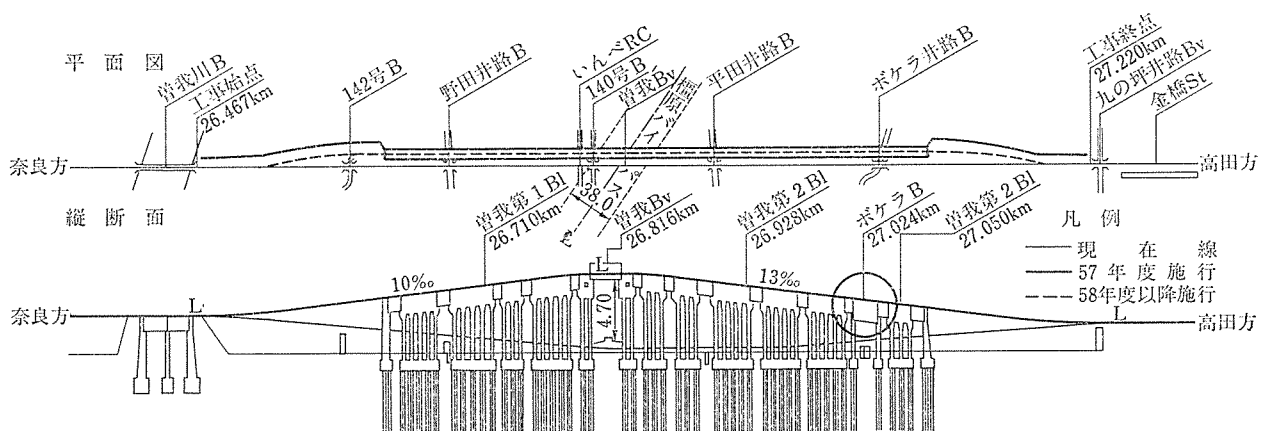


図-2 全体一般図

\* 日本国有鉄道構造物設計事務所（コンクリート）補佐  
 \*\* 日本国有鉄道大阪工事局技術管理課係長

† 前田設計（株）技術部次長  
 †† 前田設計（株）技術部主任

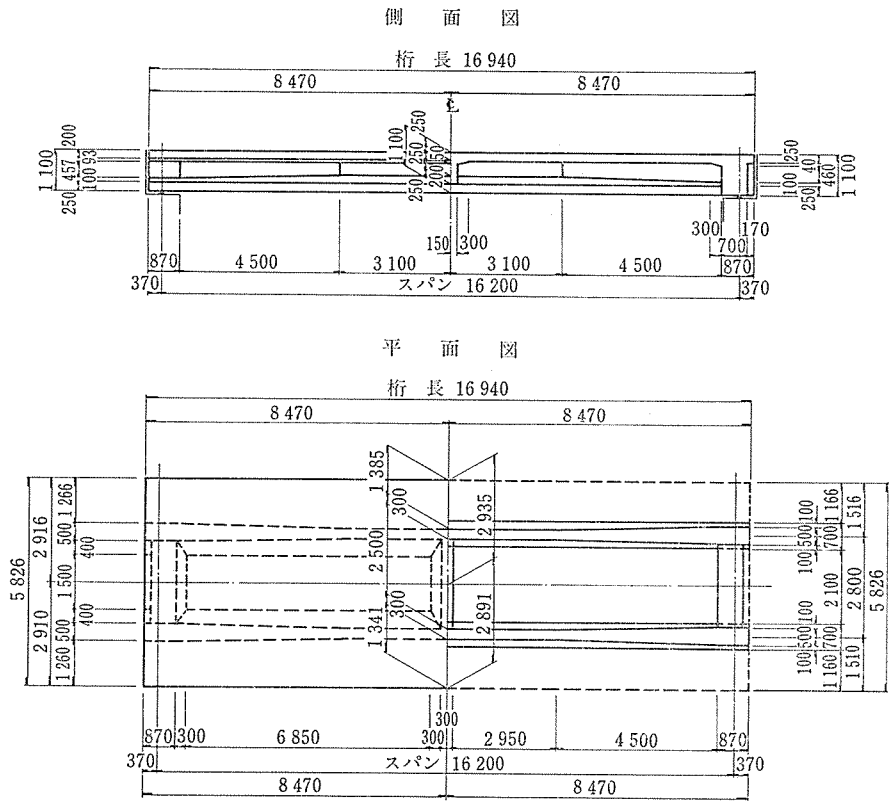


図-3 構造一般図

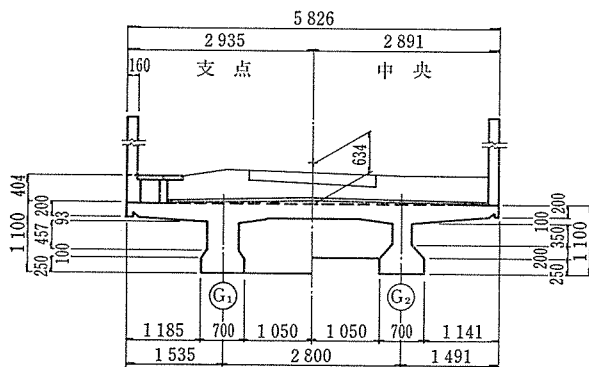


図-4 断面図

- 4) 全幅員 5.826 m
- 5) 活荷重 K, S-16
- 6) 施工状態 支保工による場所打ちコンクリート
- 7) 桁高 1.1 m (桁高制限)

### 3. 材料強度および許容応力度<sup>\*1</sup>

#### (1) コンクリート

- 設計基準強度…………… $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$
- 許容曲げ圧縮応力度
  - プレストレス導入直後…………… $\sigma_{cat} = 180 \text{ kg/cm}^2$
  - 全設計荷重作用時…………… $\sigma_{ca} = 140 \text{ kg/cm}^2$

#### 許容曲げ引張応力度

- プレストレス導入直後…………… $\sigma_{ca}' = -20 \text{ kg/cm}^2$
- 全死荷重作用時…………… $\sigma_{ca}' = 0 \text{ kg/cm}^2$

#### (2) PC 鋼材 ( $\phi 8 \text{ mm}$ )

- 引張強度…………… $\sigma_{pu} = 150 \text{ kg/mm}^2$
- 降伏点応力度…………… $\sigma_{py} = 130 \text{ kg/mm}^2$
- 許容引張応力度

- プレストレス中…………… $\sigma_{pai} = 117 \text{ kg/mm}^2$
- プレストレス直後…………… $\sigma_{pat} = 105 \text{ kg/mm}^2$
- 設計荷重作用時…………… $\sigma_{pa} = 90 \text{ kg/mm}^2$

#### (3) 鉄筋 (SD 35)

#### 許容引張応力度

- 腹鉄筋計算時…………… $\sigma_{syd} = 3500 \text{ kg/cm}^2$
- Ⅲ種部材引張応力度の増加量… $\Delta\sigma_s = 1000 \text{ kg/cm}^2$

#### (4) その他

- コンクリートのヤング係数…………… $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- PC 鋼材のヤング係数…………… $E_p = 21 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- クリープ係数…………… $\varphi = 2.0$
- 乾燥収縮度(減少量計算用)……… $\epsilon_s = 15 \times 10^{-5}$
- (鉄筋圧縮応力度計算用)……… $\epsilon_s = 25 \times 10^{-5}$

### 4. 主桁の設計

設計は主桁, 横桁, 床版等について行ったが, Ⅲ種 PC

<sup>\*1</sup> 設計標準改訂中で, 一部旧標準の値を使用した。

報 告

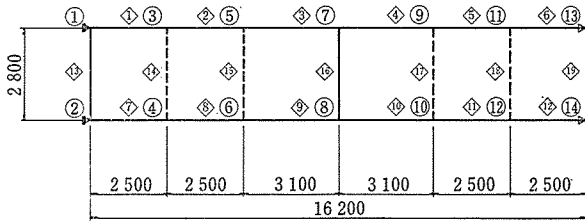


図-5 格点番号○および部材番号◇

表-1 各主桁の曲げモーメント (t·m)

荷重の種類		G <sub>1</sub> 桁	G <sub>2</sub> 桁
活	荷重	184.1	178.8
死	主桁自重	96.1	96.1
	版上荷重	121.4	114.7
合計		401.6	389.6

部材である主桁について設計例を示す。

4.1 断面力算出方法

断面力は 図-5 に示す格子構造として算出した。

4.2 各主桁の曲げモーメント

格子構造として、各主桁の曲げモーメントを求めると、表-1 のようになる。またこの表より値が大きい G<sub>1</sub> 桁について設計を行う。

4.3 鋼材配置

主ケーブルおよび主鉄筋の配置を 図-6~図-9 に示す。

4.4 断面諸定数

Ⅲ種 PC 部材のコンクリート引張応力度照査は、死荷重時についてのみ行えばよく、換算断面と総断面を使用

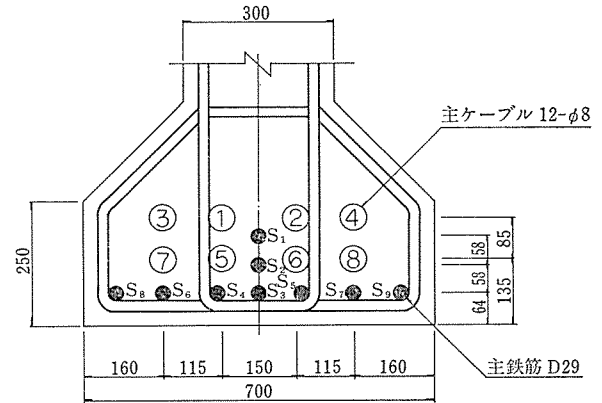


図-6 中央断面主鋼材配置

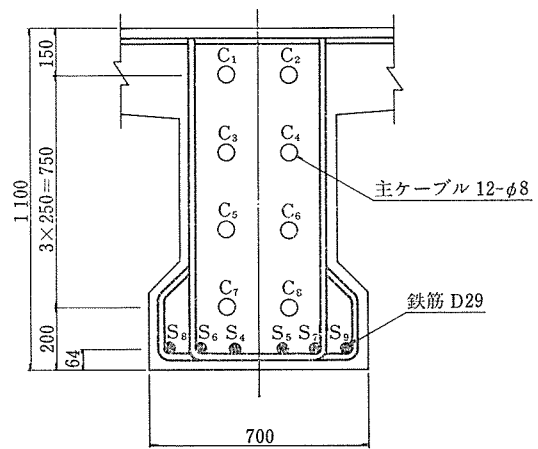


図-7 端断面主鋼材配置

した場合は少ないので (表-6 参照)、総断面のみ計算する (表-2)。

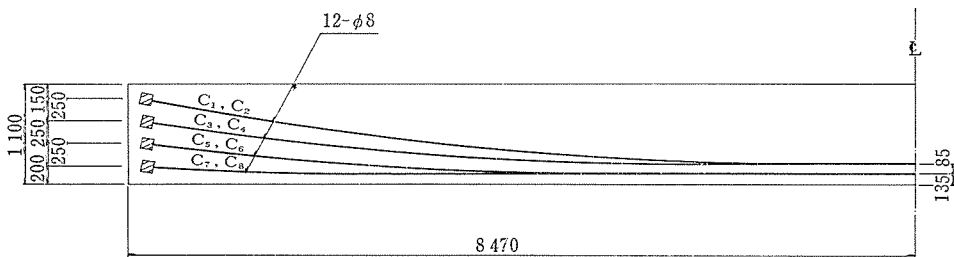


図-8 主ケーブル側面配置

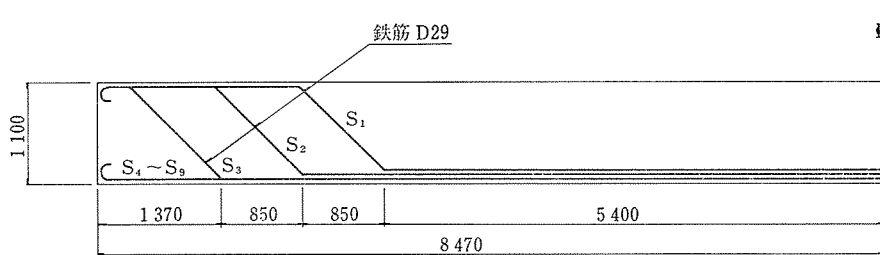


図-9 主鉄筋側面配置

表-2 スパン中央断面総断面定数

項 目	記 号	数 値
断 面 積	$A_c$	1.135 m <sup>2</sup>
断面図心軸 からの距離	上 緑 $Y_o$	0.349 m
	PC鋼材図心 $e_p$	-0.573 "
	鉄筋図心 $e_s$	-0.668 "
	下 緑 $Y_u$	-0.751 "
断 面 二 次 モ ー メ ン ト	$I$	0.1306 m <sup>4</sup>
断 面 二 次 半 径	$r^2$	0.1151 m <sup>2</sup>
断面係数	上 緑 $Z_o$	0.3742 m <sup>3</sup>
	PC鋼材図心 $Z_p$	-0.2279 "
	鉄筋図心 $Z_s$	-0.1955 "
	下 緑 $Z_u$	-0.1739 "

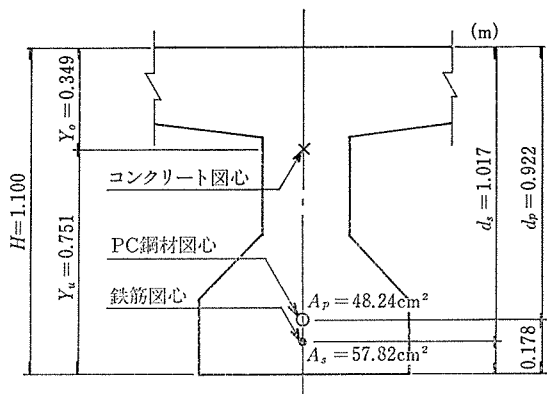


図-10 スパン中央断面図心位置関係

4.5 永久荷重 (死荷重) 作用時における曲げ応力度

(1) 荷重による曲げ応力度:  $\sigma_c$

$$\sigma_c = \frac{\text{荷重による曲げモーメント (M)}}{\text{断面係数 (Z)}}$$

スパン中央断面の各荷重による曲げ応力度を表-3に示す。

表-3 荷重による曲げ応力度

項 目	荷重種別	主桁自重 $\sigma_{cd1}$	版上荷重 $\sigma_{cd2}$	死荷重計 $\Sigma \sigma_{cd}$	活荷重 (参考) $\sigma_{cl}$
曲げモーメント (10 <sup>5</sup> kg·cm)		96.1	121.4	217.5	184.1
曲げ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	上 緑	25.7	32.4	58.1	49.2
	PC鋼材図心	-42.2	-53.3	-95.5	-80.8
	鉄筋図心	-49.2	-62.1	-111.3	-94.2
	下 緑	-55.3	-69.8	-125.1	-105.9

(2) プレストレス

(i) プレストレス導入直後の応力度

スパン中央断面におけるプレストレス導入直後の PC 鋼材応力度  $\sigma_{pt}=8300 \text{ kg/cm}^2$  とする (Ⅲ種 PC 部材は活荷重による PC 鋼材応力度の増加量が I, II種より大きくなるので,  $\sigma_{pt}$  は低めにする必要がある。

直後の全プレストレス:  $P_t$

$$P_t = \sigma_{pt} \times \Sigma A_p = 8300 \times 6.03 \times 8 = 400.4 \times 10^3 \text{ kg}$$

したがってプレストレス導入直後のプレストレス力による応力度はつぎのようになる。

上緑の応力度:

$$\begin{aligned} \sigma_{cto} &= \frac{P_t}{A_c} + \frac{P_t \cdot e_p}{Z_o} \\ &= \frac{400.4}{1.135} + \frac{400.4 \times (-)0.573}{0.3742} \\ &= 353 - 613 = -260 \text{ t/m}^2 = -26.0 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

以下同様にして求めた結果を表-4に示す。

表-4 直後のコンクリート応力度

	記 号	応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> )
上 緑	$\sigma_{cto}$	-26.0
P C 鋼 材 図 心	$\sigma_{ctp}$	135.9
鉄 筋 図 心	$\sigma_{cts}$	152.6
下 緑	$\sigma_{ctu}$	167.2

プレストレス導入直後の合成応力度

直後の合成応力度  $\sigma_c$  は次式により求まる。

$$\sigma_c = \sigma_{ct} + \sigma_{cd1}$$

$$\begin{aligned} \text{上緑の応力度 } \sigma_{co} &= -26.0 + 25.7 \\ &= -0.3 \text{ kg/cm}^2 > -20 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{下緑の応力度 } \sigma_{cu} &= 167.2 - 55.3 \\ &= 111.9 \text{ kg/cm}^2 < 180 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

(ii) 有効プレストレス:  $\sigma_{ce}$

(イ) コンクリートのクリープ, 乾燥収縮による鋼材応力度の変化量の計算\*2

ここで初めて使用する記号をつぎのように定める。

$\sigma_{cdp}$ : 死荷重による PC 鋼材図心位置の曲げ応力度

$\sigma_{cds}$ : 死荷重による鉄筋図心位置の曲げ応力度

\*2 参考文献 1) を準用

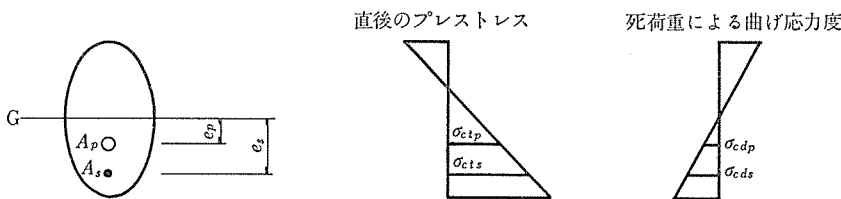


図-11 記号説明

$\sigma_{cep}$  : PC 鋼材図心位置の有効プレストレス

$\sigma_{ces}$  : 鉄筋図心位置の有効プレストレス

$\Delta\sigma_{p(\varphi+s)}$  : PC 鋼材引張応力度減少量

$\Delta\sigma_{s(\varphi+s)}$  : 鉄筋圧縮応力度 (鉄筋の引っ張り応力度)

$\varepsilon_s$  : 乾燥収縮ひずみ

$\Delta\sigma_{p(\varphi+s)}$  および  $\Delta\sigma_{s(\varphi+s)}$  を求める誘導式をつぎに示す。

$$\begin{aligned} \sigma_{cep} &= \frac{A_p(\sigma_{pt} - \Delta\sigma_{p(\varphi+s)})}{A_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right) \\ &\quad - \frac{A_s \cdot \Delta\sigma_{s(\varphi+s)}}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \\ &= \frac{A_p \cdot \sigma_{pt}}{A_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right) - \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right) \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \\ &\quad - \frac{A_s}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\ &= \sigma_{ctp} - \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right) \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \\ &\quad - \frac{A_s}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ces} &= \frac{A_p(\sigma_{pt} - \Delta\sigma_{p(\varphi+s)})}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \\ &\quad - \frac{A_s \cdot \Delta\sigma_{s(\varphi+s)}}{A_c} \left(1 + \frac{e_s^2}{r^2}\right) \\ &= \frac{A_p \cdot \sigma_{pt}}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) - \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \\ &\quad \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} - \frac{A_s}{A_c} \left(1 + \frac{e_s^2}{r^2}\right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\ &= \sigma_{cts} - \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \\ &\quad - \frac{A_s}{A_c} \left(1 + \frac{e_s^2}{r^2}\right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \dots\dots (2) \end{aligned}$$

応力変化を受けるコンクリート部材のクリープひずみは、最初の応力度と最終応力度との平均値によって生ずるクリープひずみと等しいと仮定する。

したがって各鋼材断面図心位置におけるコンクリートひずみ変化と鋼材ひずみ変化とを等置すると次式が得られる。

PC 鋼材図心位置

$$\begin{aligned} \varepsilon_s + \frac{\sigma_{cdp}}{E_c} \varphi + \frac{\sigma_{ctp} + \sigma_{cep}}{2E_c} \varphi \\ - \frac{A_p \cdot \Delta\sigma_{p(\varphi+s)}}{E_c \cdot A_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right) \\ - \frac{A_s \cdot \Delta\sigma_{s(\varphi+s)}}{E_c \cdot A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) = \frac{\Delta\sigma_{p(\varphi+s)}}{E_p} \end{aligned} \dots\dots (3)$$

鉄筋図心位置

$$\begin{aligned} \varepsilon_s + \frac{\sigma_{cds}}{E_c} \varphi + \frac{\sigma_{cts} + \sigma_{ces}}{2E_c} \varphi \\ - \frac{A_p \cdot \Delta\sigma_{p(\varphi+s)}}{E_c \cdot A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \end{aligned}$$

$$- \frac{A_s \cdot \Delta\sigma_{s(\varphi+s)}}{E_c \cdot A_c} \left(1 + \frac{e_s^2}{r^2}\right) = \frac{\Delta\sigma_{s(\varphi+s)}}{E_s} \dots\dots (4)$$

また  $\frac{E_p}{E_c} = \frac{E_s}{E_c} = n$  とすると、次式が成立する。

$$\frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right) = \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \dots\dots (5-1)$$

$$\frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) = \frac{\sigma_{cts}}{\sigma_{pt}} \dots\dots (5-2)$$

$$\begin{aligned} \frac{A_s}{A_c} \left(1 + \frac{e_s \cdot e_p}{r^2}\right) &= \frac{A_s}{A_p} \cdot \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_s \cdot e_p}{r^2}\right) \\ &= \frac{A_s \cdot \sigma_{cts}}{A_p \cdot \sigma_{pt}} \dots\dots (5-3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_s}{A_c} \left(1 + \frac{e_s^2}{r^2}\right) &= \frac{A_s}{A_p} \cdot \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right) \\ &\cdot \frac{1 + \frac{e_s^2}{r^2}}{1 + \frac{e_p^2}{r^2}} = \frac{A_s \cdot \sigma_{ctp}}{A_p \cdot \sigma_{pt}} \cdot \frac{1 + \frac{e_s^2}{r^2}}{1 + \frac{e_p^2}{r^2}} \dots (5-4) \end{aligned}$$

(3), (4) 式に (1), (2), (5) 式を代入する。

PC 鋼材図心位置

$$\begin{aligned} \varepsilon_s \cdot E_p + \frac{E_p}{E_c} \sigma_{cdp} \cdot \varphi + \frac{1}{2} \cdot \frac{E_p}{E_c} \sigma_{ctp} \cdot \varphi + \frac{1}{2} \\ \cdot \frac{E_p}{E_c} \sigma_{cep} \cdot \varphi - \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right) \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \\ - \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_s}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} = \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \\ \varepsilon_s \cdot E_p + n \cdot \varphi \cdot \sigma_{cdp} + \frac{1}{2} n \cdot \varphi \cdot \sigma_{ctp} + \frac{1}{2} n \cdot \varphi \left( \sigma_{ctp} \right. \\ \left. - \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} - \frac{A_s \cdot \sigma_{cts}}{A_p \cdot \sigma_{pt}} \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \right) \\ - n \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} - n \frac{A_s \sigma_{cts}}{A_p \sigma_{pt}} \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} = \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s \cdot E_p + n \cdot \varphi \cdot \sigma_{cdp} + n \cdot \varphi \cdot \sigma_{ctp} = \left( \frac{1}{2} n \cdot \varphi \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \right. \\ \left. + n \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} + 1 \right) \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} + \left( \frac{1}{2} n \cdot \varphi \frac{A_s \cdot \sigma_{cts}}{A_p \cdot \sigma_{pt}} \right. \\ \left. + n \frac{A_s \cdot \sigma_{cts}}{A_p \cdot \sigma_{pt}} \right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s \cdot E_p + n \cdot \varphi (\sigma_{cdp} + \sigma_{ctp}) = \left[ 1 + n \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \left(1 + \frac{\varphi}{2}\right) \right] \\ \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} + n \frac{A_s \cdot \sigma_{cts}}{A_p \cdot \sigma_{pt}} \left(1 + \frac{\varphi}{2}\right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \dots (6) \end{aligned}$$

鉄筋図心位置

$$\begin{aligned} \varepsilon_s \cdot E_s + \frac{E_s}{E_c} \sigma_{cds} \cdot \varphi + \frac{1}{2} \cdot \frac{E_s}{E_c} \sigma_{cts} \cdot \varphi + \frac{1}{2} \cdot \frac{E_s}{E_c} \sigma_{ces} \cdot \varphi \\ - \frac{E_s}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{e_p \cdot e_s}{r^2}\right) \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \\ - \frac{E_s}{E_c} \cdot \frac{A_s}{A_c} \left(1 + \frac{e_s^2}{r^2}\right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} = \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\ \varepsilon_s \cdot E_s + n \cdot \varphi \cdot \sigma_{cds} + \frac{1}{2} n \cdot \varphi \cdot \sigma_{cts} + \frac{1}{2} n \cdot \varphi \left( \sigma_{cts} \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{\sigma_{cts}}{\sigma_{pt}} \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} - \frac{A_s}{A_p} \cdot \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \cdot \frac{1 + \frac{e_s^2}{r^2}}{1 + \frac{e_p^2}{r^2}} \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\
 & -n \frac{\sigma_{cts}}{\sigma_{pt}} \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} - n \frac{A_s}{A_p} \cdot \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \cdot \frac{1 + \frac{e_s^2}{r^2}}{1 + \frac{e_p^2}{r^2}} \\
 & \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} = \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\
 & \varepsilon_s \cdot E_s + n \cdot \varphi (\sigma_{cds} + \sigma_{cts}) = \left( \frac{1}{2} n \cdot \varphi \frac{\sigma_{cts}}{\sigma_{pt}} \right. \\
 & \left. + n \frac{\sigma_{cts}}{\sigma_{pt}} \right) \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} + \left( 1 + \frac{1}{2} n \cdot \varphi \frac{A_s}{A_p} \cdot \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \right. \\
 & \left. \cdot \frac{1 + \frac{e_s^2}{r^2}}{1 + \frac{e_p^2}{r^2}} + n \frac{A_s}{A_p} \cdot \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \cdot \frac{1 + \frac{e_s^2}{r^2}}{1 + \frac{e_p^2}{r^2}} \right) \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\
 & \varepsilon_s \cdot E_s + n \cdot \varphi (\sigma_{cds} + \sigma_{cts}) = n \frac{\sigma_{cts}}{\sigma_{pt}} \left( 1 + \frac{\varphi}{2} \right) \\
 & \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} + \left[ 1 + n \frac{A_s}{A_p} \cdot \frac{\sigma_{ctp}}{\sigma_{pt}} \cdot \frac{1 + \frac{e_s^2}{r^2}}{1 + \frac{e_p^2}{r^2}} \right. \\
 & \left. \left( 1 + \frac{\varphi}{2} \right) \right] \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \dots \dots \dots (7)
 \end{aligned}$$

(6), (7) 式より  $\Delta\sigma_{p(\varphi+s)}$  および  $\Delta\sigma_{s(\varphi+s)}$  が求められる。またこの式にスパン中央断面における実数値を代入したものをつぎに示す。

ただし、(7) 式中の  $\varepsilon_s$  (乾燥収縮度) は鉄筋に対するもので全収縮量を考え  $25 \times 10^{-5}$  を使用する。

(6) 式代入 (単位 kg, cm)

$$\begin{aligned}
 & 15 \times 10^{-5} \times 20 \times 10^5 + 6.0 \times 2.0 \times (135.9 - 95.5) \\
 & = \left[ 1 + 6.0 \times \frac{135.9}{8300} \times \left( 1 + \frac{2.0}{2} \right) \right] \times \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \\
 & + 6.0 \times \frac{57.82}{48.24} \times \frac{152.6}{8300} \times \left( 1 + \frac{2.0}{2} \right) \times \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\
 & 784.8 = 1.196 \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} + 0.264 \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\
 & \dots \dots \dots (8)
 \end{aligned}$$

(7) 式代入

$$\begin{aligned}
 & 25 \times 10^{-5} \times 21 \times 10^5 + 6.0 \times 2.0 \times (152.6 - 111.3) \\
 & = 6.0 \times \frac{152.6}{8300} \times \left( 1 + \frac{2.0}{2} \right) \times \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} \\
 & + \left[ 1 + 6.0 \times \frac{57.82}{48.24} \times \frac{1 + \frac{66.8^2}{0.1151 \times 10^4}}{1 + \frac{57.32^2}{0.1151 \times 10^4}} \right. \\
 & \left. \times \frac{135.9}{8300} \times \left( 1 + \frac{2.0}{2} \right) \right] \times \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\
 & 1020.6 = 0.221 \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} + 1.298 \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\
 & \dots \dots \dots (9)
 \end{aligned}$$

(8), (9) を解くと

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} & = 502 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{PC 鋼材減少量}) \\
 \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} & = 701 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{鉄筋の圧縮応力度})
 \end{aligned}$$

(ロ) レラクセーションによる減少量:  $\Delta\sigma_{pr}$

Ⅲ種 PC 部材は初期引張応力度が低く見かけのレラクセーションは小さくなるので、PC 標準示方書 4.3.2 により求める。

純レラクセーションによる減少量:  $\Delta\bar{\sigma}_{pr}$

$$\frac{\sigma_{pt}}{\sigma_{pu}} = \frac{8300}{15000} = 0.5533$$

$$r_0 = 3 + 16 \times (15 - 3) \times (0.5533 - 0.5)^2 = 3.5\%$$

(純レラクセーション率)

$$\Delta\bar{\sigma}_{pr} = \sigma_{pt} \times r_0 = 8300 \times 0.035 = 291 \text{ kg/cm}^2$$

したがって見かけのレラクセーションによる減少量  $\Delta\sigma_{pr}$  はつぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_{pr} & = \Delta\bar{\sigma}_{pr} \times \left( 1 - \frac{2 \times \Delta\sigma_{p(\varphi+s)}}{\sigma_{pt}} \right) \\
 & = 291 \times \left( 1 - \frac{2 \times 502}{8300} \right) = 256 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

(イ), (ロ) より PC 鋼材引張応力度の全減少量  $\Delta\sigma_{p(\varphi+s+r)}$  は,

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_{p(\varphi+s+r)} & = \Delta\sigma_{p(\varphi+s)} + \Delta\sigma_{pr} = 502 + 256 \\
 & = 758 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

これより PC 鋼材有効応力度  $\sigma_{pe}$ , 有効引張力  $P_e$  および有効率  $\eta$  を求めるとつぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 \sigma_{pe} & = \sigma_{pt} - \Delta\sigma_{p(\varphi+s+r)} \\
 & = 8300 - 758 = 7542 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$P_e = A_p \times \sigma_{pe} = 48.24 \times 7542 = 363.8 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$\eta = \frac{\sigma_{pe}}{\sigma_{pt}} = \frac{7542}{8300} = 0.909$$

また鉄筋圧縮力  $N_s$  およびこれによるコンクリートの応力度  $\sigma_{cs}$  はつぎの値となる。

$$\begin{aligned}
 N_s & = A_s \times \Delta\sigma_{s(\varphi+s)} \\
 & = 57.82 \times 701 = 40.5 \times 10^3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{上縁応力度: } \sigma_{cso} & = \frac{(-)N_s}{A_c} + \frac{(-)N_s \cdot e_s}{Z_o} \\
 & = \frac{(-)40.5}{1.135} + \frac{(-)40.5 \times (-)0.668}{0.3742} \\
 & = 37 \text{ t/m}^2 = 3.7 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

以下同様にして求めた値をつぎに示す。

$$\text{PC 鋼材図心: } \sigma_{csp} = -15.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{下縁の応力度: } \sigma_{csu} = -19.1 \text{ kg/cm}^2$$

ゆえにプレストレスによるコンクリートの有効応力度  $\sigma_{ce}$  はつぎに示す値となる。

$$\begin{aligned}
 \text{上縁応力度: } \sigma_{ceo} & = \sigma_{cto} \times \eta + \sigma_{cso} \\
 & = -26.0 \times 0.909 + 3.7 \\
 & = -19.9 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

PC鋼材図心： $\sigma_{cep} = 135.9 \times 0.909 - 15.4 = 108.1 \text{ kg/cm}^2$

下縁応力度： $\sigma_{ceu} = 167.2 \times 0.909 - 19.1 = 132.9 \text{ kg/cm}^2$

(3) 永久荷重(死荷重)作用時合成応力度

上縁応力度： $\sigma_{co} = \sigma_{ceo} + \sum \sigma_{cd} = -19.9 + 58.1 = 38.2 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 140 \text{ kg/cm}^2$

PC鋼材図心： $\sigma_{cp} = 108.1 - 95.5 = 12.6 \text{ kg/cm}^2$

下縁応力度： $\sigma_{cu} = 132.9 - 125.1 = 7.8 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_{ca} = 0$

Ⅲ種 PC 部材の設計においては、活荷重作用時のコンクリート引張応力度の照査は行わなくてよいが、全断面有効とした場合の参考引張応力度を求めるとつぎのようになる。

活荷重作用時下縁応力度： $\sigma_{cu} = 7.8 - 105.9 = -98.1 \text{ kg/cm}^2$

4.6 活荷重作用時における曲げ応力度

(1) 応力度算出における仮定

応力度計算は、PC 鋼材図心位置におけるコンクリート応力度が0のときを基準にし、このときの鉄筋応力度を0と仮定する(PC 鋼材図心と鉄筋図心との距離、およびコンクリートのひびわれ幅との関係が深い、計算を容易にし、当橋設計に支障が少ないので前記の仮定を設けた)。

(2) PC 鋼材図心位置における  $\sigma_c=0$  のときの PC 鋼材応力度

$\sigma_{po} = \sigma_{pc} + n (\sum \sigma_{cd} + \sigma_{cp}) = 7542 + 6.0 (95.5 + 12.6) = 8191 \text{ kg/cm}^2$

このときの PC 鋼材の引張力  $N_p$  はつぎのようになる。

$N_p = A_p \cdot \sigma_{po} = 48.24 \times 8191 = 395.1 \times 10^3 \text{ kg}$

(3) 応力度計算

計算式

$(C - T_p - T_s - N_p = 0 \dots\dots\dots(10)$   
 $(M - C \cdot Z_c - T_p \cdot Z_p - T_s \cdot Z_s - N_p \cdot Z_p = 0 \dots\dots\dots(11)$

(10), (11) の両式を満足する  $x$ , およびその重心位置  $Z_c$  を求めることにより各応力度が求まる。

またスパン中央断面における数値を代入し、電算により求めると表-5の結果が得られ、これを図にしたものを図-14に示す。

活荷重作用時の鉄筋最下段応力度  $\sigma_{s \max}$  および PC 鋼材応力度  $\sigma_{p1}$  はつぎに示す値となる。

$\sigma_{s \max} = 918 \times \frac{0.650}{0.631} = 945 \text{ kg/cm}^2 < 1000 \text{ kg/cm}^2$

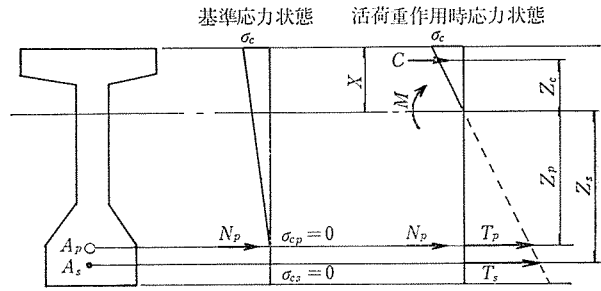


図-12 活荷重作用時応力

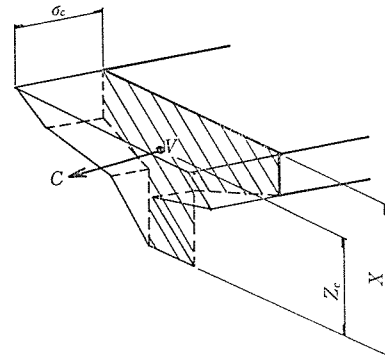


図-13 コンクリート応力立体図

表-5 応力度電算結果

X (CM) = 38.67195				
AP (CM2)	AS (CM2)			
48.24	57.82			
P (KG)	M (KG.CM)	DP (CM)	DS (CM)	
395100	40160000	92.2	101.7	
V1 (CM3)	V2	V3	V4	V5
2016	2114	580	269	38
Q1 (CM4)	Q2	Q3	Q4	Q5
60165	59559	14953	4234	470
V (CM3)	Q (CM4)	ZC (CM)	X-Z (CM)	
5020	139385	27.76	10.90	
SIG-C (KG/CM2)	SIG-S (KG/CM2)	SIG-P (KG/CM2)		
96.7	917.8	779.4		
C (KG)	TS (KG)	TP (KG)	C-TS-TP-P (KG)	
485770.9	53068.6	37602.3	0.0	

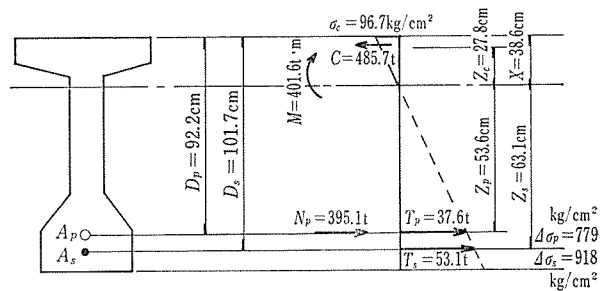


図-14 活荷重作用時実応力



$$\begin{aligned}\sigma_{p1} &= \sigma_{p0} + \Delta\sigma_p = 8191 + 779 \\ &= 8970 \text{ kg/cm}^2 < 9000 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

以上の曲げ応力度関係を、総断面と換算断面の場合について比較したものを表-6に示す。

表-6 曲げ応力度一覧表

項目	総断面使用		換算断面使用		許容値	
	上縁	下縁	上縁	下縁		
全死荷重	58.1	-125.7	55.5	-111.5		
活荷重	-	(-105.9)	-	(-90.9)		
直後のプレストレス	-26.0	167.2	-23.6	156.1		
有効プレストレス	-19.9	132.9	-17.8	122.8		
コンクリート合成応力度	導入直後	-0.3	111.9	1.3	104.5	-20 < $\sigma_c$ < 180
	死荷重時	38.2	7.8	37.7	11.3	0 < $\sigma_c$ < 140
	活荷重時	96.7	(-98.1)	96.5	(-94.3)	< 140
鋼材合成応力度	PC鋼材	8970		8929		< 9000
	鉄筋	945		971		< 1000

( ) 内は全断面有効とした場合の参考応力度

#### 4.7 曲げ破壊に対する安全度

破壊荷重作用時曲げモーメント

$$\begin{aligned}M_{u1} &= 1.3 \sum M_d + 2.5 M_I \\ &= 1.3 \times 217.5 + 2.5 \times 184.1 = 743.0 \text{ t}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ue} &= 1.75 (\sum M_d + M_I) \\ &= 1.75 \times 401.6 = 702.8 \text{ t}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

中立軸位置の計算

$$\begin{aligned}x &= \frac{0.93 A_p \cdot \sigma_{pu} + A_s \cdot \sigma_{sy}}{0.68 \cdot b \cdot \sigma_{ck}} \\ &= \frac{0.93 \times 48.24 \times 15000 + 57.82 \times 3500}{0.68 \times 291 \times 400} \\ &= 11.1 \text{ cm}\end{aligned}$$

したがって、中立軸は上フランジ内にあるので長方形断面として計算する。

つぎに次式の条件を満足することができるかを確認する。

$$\frac{A_p}{b \cdot d_p} + \left( \frac{A_s}{b \cdot d_s} \cdot \frac{\sigma_{sy}}{0.93 \sigma_{pu}} \cdot \frac{d_s}{d_p} \right) \leq P_{pb}$$

ここに、

$P_{pb}$  : 終局つり合い鋼材比

$$\begin{aligned}P_{pb} &= \frac{0.68 \cdot \epsilon_u'}{\epsilon_{cu}' + 0.015} \cdot \frac{\sigma_{ck}}{0.93 \cdot \sigma_{pu}} \\ &= \frac{0.68 \times 0.035}{0.0035 + 0.015} \times \frac{400}{0.93 \times 15000} = 0.00369\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_p}{b \cdot d_p} + \left( \frac{A_s}{b \cdot d_s} \cdot \frac{\sigma_{sy}}{0.93 \sigma_{pu}} \cdot \frac{d_s}{d_p} \right) \\ &= \frac{48.24}{291 \times 92.2} + \left( \frac{57.82}{291 \times 101.7} \times \frac{3500}{0.93 \times 15000} \times \frac{101.7}{92.2} \right) \\ &= 0.00234 < P_{pb} = 0.00369\end{aligned}$$

ゆえに終局曲げ耐力は次式により算出できる。

$$M_R = 0.93 A_p \cdot \sigma_{pu} \cdot d_p \left( 1 - \frac{A_p}{1.7 \cdot b \cdot d_p} \cdot \frac{0.93 \sigma_{pu}}{\sigma_{ck}} \right)$$

$$+ A_s \cdot \sigma_{sy} \cdot d_s \left( 1 - \frac{A_s}{1.7 b \cdot d_s} \cdot \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{ck}} \right)$$

$$\begin{aligned}M_R &= 0.93 \times 48.24 \times 15000 \times 92.2 \\ &\times \left( 1 - \frac{48.24}{1.7 \times 291 \times 92.2} \times \frac{0.93 \times 15000}{400} \right) \\ &+ 57.82 \times 3500 \times \left( 1 - \frac{48.24}{1.7 \times 291 \times 92.2} \right) \\ &\times \frac{3500}{400} = 801.3 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{cm}\end{aligned}$$

したがって曲げ破壊安全率  $F$  はつぎに示す値となる。

$$F = \frac{M_R}{M_{u1 \text{ or } 2}} = \frac{801.3}{743.0} = 1.08 > 1.0$$

#### 4.8 せん断に対する照査

(1) せん断力

(i) 設計荷重作用時せん断力 :  $S$

$$S = S_{d1} + S_{d2} + S_I - S_{pd}$$

ここに、

$S_{d1}$  : 主桁自重によるせん断力

$S_{d2}$  : 版上荷重によるせん断力

$S_I$  : 活荷重によるせん断力

$S_{pd}$  : プレストレスによるせん断力に平行な成分

$$S_{pd} = P_e \sin \alpha$$

(ii) 破壊荷重作用時せん断力 :  $S_{rd}$

$$S_{rd} = S_d - S_{pd}$$

$$S_d = 1.3(S_{d1} + S_{d2}) + 2.5 S_I \text{ または}$$

$$1.75(S_{d1} + S_{d2} + S_I) \text{ のうち大きい方の値}$$

各断面のせん断力を求めると、表-7 のようになる。

(2) 設計荷重作用時斜め引張応力度照査

設計荷重作用時のせん断力による斜め引張応力度の照

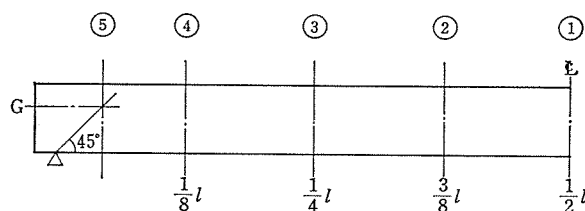


図-15 せん断力計算位置

表-7 各断面のせん断力 (t)

項目	断面	⑤	④	③	②	①
荷重によるせん断力	設計時	99.1	84.5	61.4	38.2	15.0
	破壊時	188.1	161.9	120.6	79.1	37.5
プレストレスによるせん断力に平行な成分		35.2	25.4	13.6	2.9	0
設計荷重作用時せん断力 (S)		63.9	59.1	47.8	35.3	15.0
破壊荷重作用時せん断力 (S <sub>rd</sub> )		152.9	136.5	107.0	76.2	37.5

報 告

査は、Ⅲ種部材の場合、PC 示方書において「検討を行わなくてよい」となっており、計算しない。

(3) 破壊荷重作用時せん断安全度の計算

$$S_{rd} < S_{d \max} \text{ の検討}$$

ここに、

$S_{rd}$  : 破壊荷重時せん断力

$$S_{d \max} : \text{最大せん断力} = 0.2 \sigma_{ck} \cdot b_w \cdot d$$

$b_w$  : 桁のウェブ幅

$d$  : 桁の有効高さ

各断面における  $S_{rd}$  および  $S_{d \max}$  を表-8 に示す。

表-8 各断面の破壊時せん断力 (t)

断面	⑤	④	③	②	①
$S_{rd}$	152.9	136.5	107.0	76.2	37.5
$S_{d \max}$	368.0	319.9	285.1	248.6	248.6

したがって  $S_{rd} < S_{d \max}$  を各断面とも満足し、断面変更の必要はない。

(4) 斜め引張鉄筋の算定

斜め引張鉄筋の計算を必要としないせん断力  $S_{cd}$  の計算

$$S_{cd} = 5.5 b_w \cdot d \left( 1 + \frac{M_0}{M_u} \right)$$

ここに、

$M_0$  : 考慮する断面での引張縁の計算用プレストレスが0となる曲げモーメント。

$M_u$  : 考慮する断面での破壊時の曲げモーメント

$$\text{ただし } 1 + \frac{M_0}{M_u} \leq 2$$

各断面における計算結果を表-9 に示す。

表-9 鉄筋の受け持つせん断力 (t)

断面	⑤	④	③	②	①
$S_{rd}$	152.9	136.5	107.0	76.2	37.5
$S_{cd}$	47.8	35.5	26.4	22.3	22.3
$S_{rd} - S_{cd}$	105.1	101.0	80.6	53.9	15.2

したがって各断面とも  $S_{rd} > S_{cd}$  となり斜め引張鉄筋の計算が必要である。

斜め引張鉄筋の計算

部材軸方向 1m 当たりの必要スターラップ  $A_w$  の計算

$$A_w = (S_u - S_{cd} - S_b) \frac{1.15 s}{d \cdot \sigma_{syd}}$$

ここに、

$S_b$  : 折り曲げ鉄筋の受け持つせん断力

$s$  : スターラップ間隔

$d$  : 桁の有効高さ

$\sigma_{syd}$  : スターラップ計算における鉄筋の許容引張応力度 (3500 kg/cm<sup>2</sup>)

また PC 標準示方書より定まる必要最小鉄筋量  $A_{ws}$  は

$$A_{ws} \geq 0.0015 b_w \cdot s$$

各断面におけるスターラップ量を表-10 に示す。

表-10 スターラップ鉄筋量 (cm<sup>2</sup>/m)

断面	⑤	④	③	②	①
計算で必要とする鉄筋量 ( $A_w$ )	24.71	23.41	25.56	17.09	4.82
必要最小鉄筋量 ( $A_{ws}$ )	6.66	5.79	5.16	4.50	4.50
図面における配筋	D13 @ 1502 組 33.79	D13 @ 1502 組 33.79	D13 @ 1502 組 33.79	D16 @ 1501 組 26.48	D16 @ 1501 組 26.48

その他たわみ、緊張計算等の計算があるが省略する。

5. 設計結果

本橋はスパンが 16.2 m と短い、桁高が 1.1 m ( $H$ )

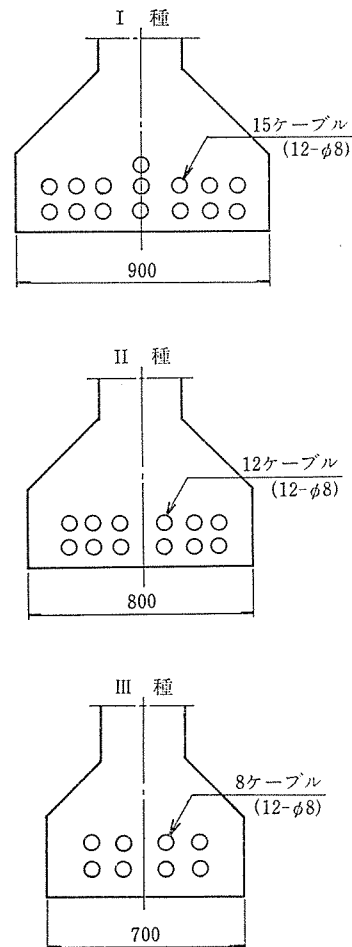
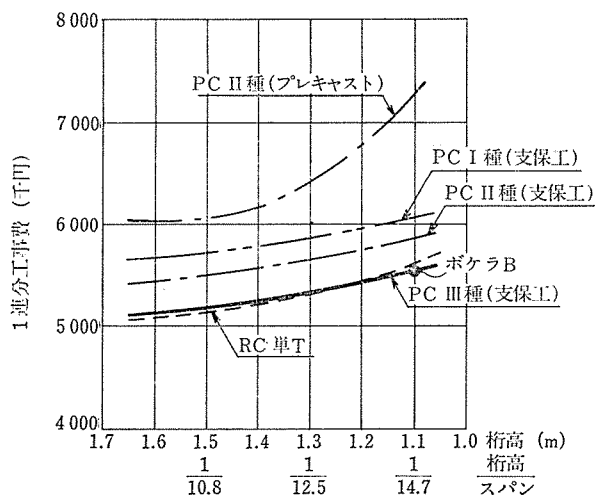


図-16 I, II, III種主ケーブル本数



(注) 1. 工費は直接工事で橋体工のみ。  
2. プレキャスト桁は10連架設の場合。

図一17 工事費比較

$l=1/15$ ) と制限されており、I種、II種およびRC単T桁に比較して部材を小さくすることができ、経済的となった(図一16, 17)。

## 6. あとがき

本橋梁は、最初のⅢ種PC鉄道橋として今年度に施工される予定になっている。

PC桁にひびわれを許容することについて、感覚的に異和感を持つ識者も多いと思われる。本設計は試みとして適用したもので、施工中および列車荷重載荷時の鉄筋応力度、ひびわれ幅等を測定し、設計値との対比をすることにより、設計上の仮定の妥当性、本橋の安全性を確認するとともに、将来の資料を得たいと考えている。

ここに示した設計例は、一例であり必ずしも十分なものではないが、Ⅲ種PCの設計をされる方の参考となり、より簡便な設計方法が確立されること、さらにⅢ種PC構造物が、より多く、より適切に使用されることを望む次第である。

### 参 考 文 献

- 1) 猪股俊司：Ⅲ種プレストレストコンクリート，コンクリート・ジャーナル，Vol. 12, No. 9, 1974
- 2) 猪股俊司：Ⅲ種プレストレストコンクリート部材設計法，プレストレストコンクリート，Vol. 17, No. 3, 1975  
【昭和57年10月26日受付】

### ◀刊行物案内▶

## PC 定 着 工 法

(1982年改訂版)

本書は、現在我が国において多く用いられているPC定着工法19種についてとりあげ、それぞれの工法の概要、構造、施工法、特長、注意事項などを解説したものであります。

設計者、施工者の利用とともに教育用テキストなどにも広く使用できることと思います。

また付録としてPC鋼材一覧表(改訂版)等を添付してあります。

ご希望の方は代金を添え(現金書留かまたは郵便振替東京7-62774)プレストレストコンクリート技術協会宛(電03-261-9151)お申し込みください。

体 裁：B5判 94頁

定 価：2,800円(会員特価2,500円) 送 料：350円