

# カールソンひずみ計による PC 桁のクリープおよび乾燥収縮

建 部 恒 彦\*  
高 瀬 徹\*\*

## 1. 概 要

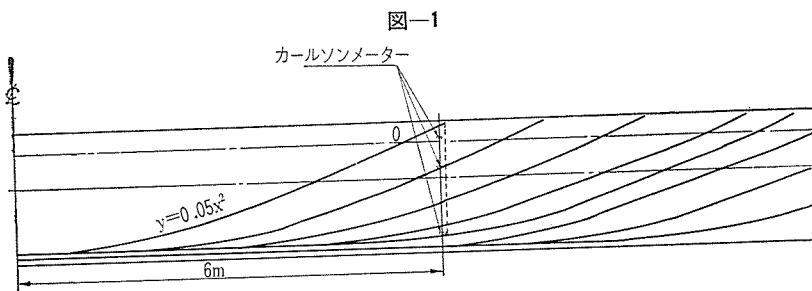
本試験は、東北本線複線化にともなう東京起点 271 k 793.40 m (南福島・福島間) の位置に架設された須川橋梁において、カールソンひずみ計でクリープおよび乾燥収縮を測定したものである。

須川橋梁は橋長 221.84 m で、支間 30.90 m 1 連、29.20 m 1 連、22.30 m 7 連よりなっている。今回の測定試験は、クリープと乾燥収縮の分離を模型桁によらず、それぞれ位置を異にした 3 組の測定値より最小二乗法を用いて分離し解析したものである。なおカールソンひずみ計を埋設した桁は本橋梁のほぼ中央に位置する 22.3 m の桁である。桁の製作は 35 年 10 月で現在なお測定中であるが、ほとんどコンクリートのひずみは進行していない。

## 2. 試 験 方 法

### 2.1 ひずみ計埋設位置

ひずみ計を埋設した支間 22.30 m の桁は、中央にダイヤフラムがある。したがって中央にひずみ計を埋設するとダイヤフラム等の影響が入り計算上不確かな要素が入るので、これを避け 図-1 のごとく中央より 6 m の位置に埋設した。クリープと乾燥収縮度を分離するため、桁の下縁より 22 cm, 117 cm, 158.5 cm の 3 段に CS-25 C を各 2 個計 6 個埋設した。今後この測定位置をそれぞれ①②③と呼ぶこととする。



### 2.2 断面諸元およびコンクリートの配合

測定位置の桁断面は 図-2 のとおりであり、この断面諸元は 表-1、コンクリートの配合は 表-2 に示すとおりである。

\* 国鉄施設局土木課長補佐  
\*\* 国鉄岐阜工務局深坂工事区長

表-1 断面諸元

	純断面	換算断面
断面図心と下縁との距離	$y_u=111$ cm	$y_{eu}=108.9$ cm
" 上縁 "	$y_c=74$ cm	$y_{ec}=76.1$ cm
断面 2 次モーメント	$I_c=4 190 \times 10^4$ cm <sup>4</sup>	$I_e=4 322 \times 10^4$ cm <sup>4</sup>
断 面 積	$A_c=9 892$ cm <sup>2</sup>	$A_e=10 173$ cm <sup>2</sup>
断 面 係 数	$Z_u=37.75 \times 10^4$ cm <sup>3</sup>	$Z_{eu}=39.69 \times 10^4$ cm <sup>3</sup>
"	$Z_c=56.62 \times 10^4$ cm <sup>3</sup>	$Z_{ec}=56.79 \times 10^4$ cm <sup>3</sup>
最小回転半径	$\sigma_c^2=423.6$ cm <sup>2</sup>	$\sigma_e^2=424.9$ cm <sup>2</sup>
断面図心と鋼線図心との距離	$e_{pc}=76.1$ cm	$e_{pe}=74.0$ cm

表-2 コンクリートの配合

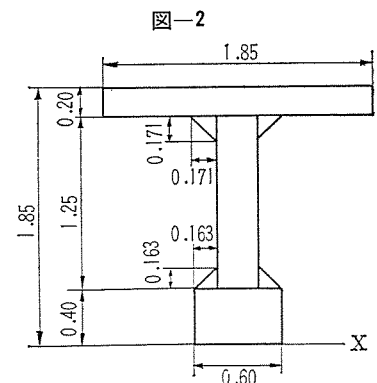
粗骨材最大寸法 m/m	水セメント比 %	単位セメント量 kg	単位水量 kg	細粗骨材重量比	コンクリート 1 m <sup>3</sup> に用いる 表面乾燥飽和状態骨材重量			ホゾリス No. 5 kg	
					全重量 kg	粗骨材			
						mm 5~14	kg 15~30		
30	32	400	128	2.2	1 821	417 kg	835	569	2.0

表-3

養生日数	平均圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	標準偏差 kg/cm <sup>2</sup>	変動係数 %	平均ヤング係数 kg/cm <sup>2</sup>	標準偏差 kg/cm <sup>2</sup>	変動係数 %	記事
6 日	428	12.0	2.8	37.7	0	0	現場養生
8 日	432	15.3	3.2	31.8	6.1	19.2	"
"	423	12.1	2.9	32.1	3.8	11.8	標準養生
平均	431	16.8	3.9	33.4	4.7	14.0	

### 2.3 プレストレス 導入時におけるコンクリートのヤング係数

コンクリートのヤング係数は圧縮強度の増加とともに



変化する。導入応力は約 140~170 kg/cm<sup>2</sup> と推定される。したがってコンプレソメーターによる応力-ひずみ曲線で 170 kg/cm<sup>2</sup> の応力の所をとることとした。試験結果は 表-3 のとおりであり、プレストレス導入時のコ

ンクリートのヤング係数は  $34 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  として解析を行なうことにする。

### 3. プレストレスによる導入力

#### 3.1 プレストレス終了時ひずみ

プレストレス終了時の各ひずみ計のひずみ量は表-4のとおりである。

表-4 (単位  $10^{-6}$ )

測定位置	①	②	③
ひずみ量	419 423	157 130	61 49

#### 3.2 自重および静荷重によるひずみ

自重および静荷重によるひずみを計算によって求めると表-5のとおりである。

表-5 (単位  $10^{-6}$ )

測定位置	自重によるひずみ	静荷重によるひずみ
①	-65	-63
鋼線図心位置	-56	-55
②	4	4
③	35	35

#### 3.3 プレストレスによるひずみ

プレストレスによるひずみはプレストレス終了時のひずみから自重によるひずみを除くことによって求められる。この結果は表-6のとおりである。

表-6

測定位置	プレストレス終了時のひずみ	自重によるひずみ	プレストレスによるひずみ
①	419	65	484
	423	65	488
②	157	-4	153
	130	-4	126
③	61	-35	26
	49	-35	14

これより最小二乗法により断面内のプレストレスによるひずみの分布を求めると次のとおりである。

$$\epsilon = 560 - 3.42x \dots (1)$$

$\epsilon$ : プレストレスによるひずみ

$x$ : 桁下縁よりの距離

#### 3.4 カールソンメーターによる鋼線引張力の推定値の計算値との比較

鋼線群の平均応力より鋼線平均引張力が推定できる。この計算を鋼線図心位置におけるひずみより行なった。

プレストレスによる鋼線図心位置のひずみを  $\epsilon$ 、プレストレスを  $P_t$  とすると次の式が成立する。

$$\epsilon = \frac{1}{E_c} \left( \frac{P_t}{A_c} + \frac{P_t e_p^2}{I_c} \right)$$

$E_c$ : コンクリートのヤング係数  $34 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

$A_c$ : コンクリートの断面積  $9892 \text{ cm}^2$

$I_c$ : 断面2次モーメント  $4190 \times 10^4 \text{ cm}^4$

$e_p$ : 断面図心位置と鋼線図心との離れ  $76.1 \text{ cm}$

$\epsilon$  を(1)式より求めると  $444 \times 10^{-6}$  となる。したがって  $P_t$  を求めると

$$444 \times 10^{-6} = \frac{P_t}{34 \times 10^4} \left( \frac{1}{9892} + \frac{76.12}{4190 \times 10^4} \right)$$

$$P_t = 639 \times 10^6$$

PC鋼線は  $\phi=7 \text{ mm}$  12本が一つのケーブルになっており、ケーブルの数は12本である。したがって、この位置における鋼線群平均引張応力  $\sigma_{pa}$  は

$$\sigma_{pa} = \frac{639 \times 10^6}{12 \times 4.61} = 11370 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

一方マンメーターの読みと鋼線の伸びより鋼線の各位置の引張力は、土木学会PC指針によればPC鋼材の長さ40m程度以下、PC鋼材の角変化  $30^\circ$  程度以下の場合には次式で示される。

$$p = p_0(1 + \mu\alpha + \lambda l)$$

ここに  $\mu$ : 角変化1ラジアンあたりの摩擦係数

$\alpha$ : 角変化(ラジアン)

$\lambda$ : PC鋼線の長さ1mあたりの摩擦係数

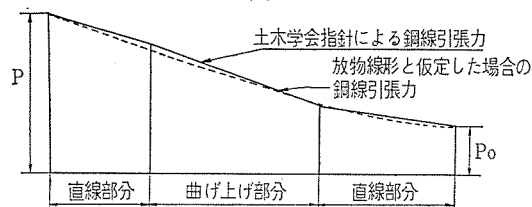
$l$ : PC鋼線の長さ(m)

$p$ : PC鋼線のジャッキの位置の引張力

$p_0$ : 設計断面におけるPC鋼線の引張力

これを図示すると図-3のとおりである。今回の試験ではカールソンひずみ計を中央より6mの位置に埋設したので、その位置の各鋼線の引張力を推定するのに、 $\mu, \lambda$  を仮定して引張力を求めるかわりに、図-3で点線で示したごとく、各鋼線の引張力を放物線と仮定して求め、カールソンによるひずみとチェックを行なった。

図-3



鋼線の引張力を放物線と仮定し、マンメーターの読みと、鋼線の伸びおよび桁の中央における  $dy/dx=0$  の三条件よりその式を決定しうる。

この式から中央より6m位置の各鋼線の引張力を求め、鋼線の平均引張力および図心位置を計算すると次のとおりである。

鋼線平均引張応力  $10740 \text{ kg/cm}^2$

鋼線図心位置桁下縁より 32.8 cm

なお、この引張力による各カールソンひずみ計位置のひずみと、実測値と比較すると次のとおりである。

カールソンひずみ計の位置	計算による推定ひずみ	測定ひずみ
①	402	420
②	161	164
③	56	53

この結果によると、計算による推定ひずみは測定ひずみからみると約4%小さい。

### 3.5 静荷重載荷終了時ひずみ

静荷重載荷終了時はプレストレス導入後 40~60 日であったが、この時日の経過を無視しプレストレス導入と同時に静荷重が載荷されたものとして計算する。この結果は表-7 のとおりである。

表-7

測定位置	プレストレス終了時ひずみ	静荷重によるひずみ	静荷重載荷終了時ひずみ
①	419	-63	356
	423	-63	360
②	157	4	161
	130	4	134
③	61	35	96
	49	35	84

これより桁の各位置と静荷重載荷終了時のひずみを求めると次のとおりである。

$$\epsilon = 398 - 2.01x \dots\dots (2)$$

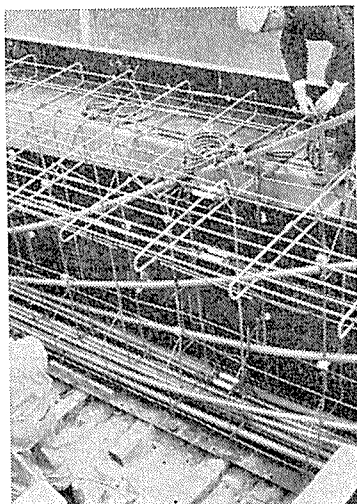
ε : 静荷重載荷終了時のひずみ  
x : 桁下縁よりの距離

## 4. クリープ係数および乾燥収縮度の計算

### 4.1 クリープ係数および乾燥収縮度の計算方法

プレストレスを導入してからただちにグラウトを実施し、防水工、橋側歩道、軌道荷重などの静荷重は 40~60 日に載荷されたので、長期のクリープ、乾燥収縮の検討にはプレストレスと同時に PC 鋼線とコンクリートとの間に付着があったものと考え、また静荷重も同時に載荷

写真-1 カールソンメーターの埋設



されたものと考え解析を行なうこととする。

コンクリートのクリープ係数  $\phi$  が 0 から  $\phi(t)$  に達するまでに、コンクリートの乾燥収縮度は 0 から  $\epsilon_s$  に達するものとし、コンクリートのクリープひずみの大きさ  $\frac{\sigma_{cp}}{E_c}$  は 0 から  $\frac{\sigma_{cp}(t)}{E_c}$  に達するものとする。桁のひずみの増加  $\epsilon$  は、コンクリートのクリープ、乾燥収縮およびレラクゼーションによる PC 鋼線の応力減少によるコンクリートのひずみ  $\frac{\sigma_{cp}}{E_c}$  とクリープ係数  $\phi$  との間に直線関係が近似的に成立するものと考え

$$\epsilon = \epsilon_s + \frac{\sum \sigma_{cp} \phi(t)}{E_c} - \frac{\sigma_{cp}}{E_c} \left(1 + \frac{\phi(t)}{2}\right) \dots\dots (3)$$

で示される。ここに  $E_c$  はコンクリートのヤング係数、 $\frac{\sum \sigma_{cp} \phi}{E_c}$  はプレストレス導入直後のコンクリートのひずみに静荷重によるコンクリートのひずみを加えたものである。

桁に 3 段にひずみ計が埋込んであり、(3) 式が 3 つ成立する。したがって 3 つの式より最小二乗法により、クリープと乾燥収縮度を分離する。

### 4.2 ひずみ測定結果

プレストレス導入後の各位置のひずみの測定結果は表-8 のとおりである。

表-8 (単位  $10^{-6}$ )

測定位置	経過日数					
	110日	150日	270日	360日	550日	930日
①	657	704	818	913	913	920
	689	727	858	962	962	964
②	296	321	412	489	489	491
	287	302	367	465	465	467
③	208	241	320	390	390	390
	199	232	308	372	372	373

### 4.3 純クリープ $\epsilon$ (クリープ+乾燥収縮)

各経過日数に対する測定ひずみから静荷重載荷終了時ひずみを除くことにより純クリープを計算することができる。その結果を示すと表-9 のとおりである。930 日経過した測定値は 550 日経過した測定値とほとんど差がないので 550 日でほぼ終極値に達したものと考えられるので 550 日まで計算を行なうこととする。

表-9

測定位置	経過日数				
	110日	150日	270日	360日	550日
①	301	348	462	557	574
	329	367	498	602	624
②	135	160	251	328	334
	153	168	233	331	345
③	112	145	224	294	308
	115	148	224	288	303

これより最小二乗法で断面内の位置とクリープとの関

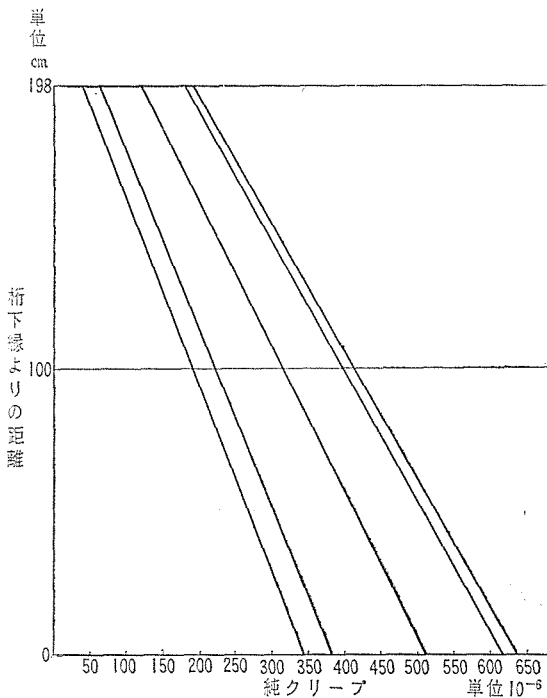
係を求めると表-10 のとおりとなる。

表-10

経過 日数	110 日	$\epsilon = 343 - 1.53x$
	150 日	$\epsilon = 384 - 1.63x$
	270 日	$\epsilon = 512 - 1.98x$
	360 日	$\epsilon = 618 - 2.20x$
	550 日	$\epsilon = 638 - 2.26x$

$\epsilon$ : 純クリープ  $x$ : 桁下縁からの距離  
となる。これを図示すると図-4 となる。

図-4



これより各測定位置の純クリープを計算すると表-11 のとおりである。

表-11  $\epsilon$  (単位  $10^{-6}$ )

測定位置	110日	150日	270日	360日	550日
①	309	349	469	570	589
②	164	194	280	361	374
③	100	126	198	269	281

4.4 各経過日数に対するプレストレス減少量

プレストレス減少量は鋼線図心位置のコンクリートのひずみに鋼線のヤング係数をかけることによって求めら

表-12

経過日数	図心位置 クリープ (A)	プレストレス減少 量 (B) = $A \times E_p$ ( $Z \times 10^6$ ) kg/cm <sup>2</sup>	プレストレスに対する プレストレス減少量の 比 (C) = $\frac{B}{11370}$
110 日	$290 \times 10^{-6}$	580	0.051
150 日	$327 \times 10^{-6}$	654	0.058
270 日	$443 \times 10^{-6}$	886	0.078
360 日	$541 \times 10^{-6}$	1082	0.095
550 日	$559 \times 10^{-6}$	1118	0.098

れる。

鋼線図心位置のひずみは表-10 の式に鋼線図心位置の下縁からの距離  $x=34.9$  cm を代入することにより求める。この結果は表-12 のとおりである。

4.5 クリープ、乾燥収縮度およびレラクゼーションによるプレストレス減少量

図心位置のクリープ、乾燥収縮度およびレラクゼーションによるプレストレス減少量は、クリープ、乾燥収縮度によるプレストレス減少量 (c) にレラクゼーションによるプレストレス減少量を加えることによって求められる。その結果は表-13 のとおりである。レラクゼーションによる減少量は2%と考えることにする。

表-13

経過日数	減少量
110 日	$0.051 + 0.020 = 0.071$
150 日	$0.058 + 0.020 = 0.078$
270 日	$0.078 + 0.020 = 0.098$
360 日	$0.095 + 0.020 = 0.115$
550 日	$0.098 + 0.020 = 0.118$

4.6 各測定位置のクリープ、乾燥収縮度 およびレラクゼーションによるプレストレス減少量 ( $\sigma_{cp}/E_c$ )

各測定位置のプレストレス減少量は、鋼線図心位置のプレストレス減少量に比例するので、各測定位置のプレストレスによるひずみ(表-6)に、表-13 の値を掛けることによって求められる。その結果は表-14 のとおりである。

表-14 (単位  $10^{-6}$ )

測定位置	110日	150日	270日	360日	550日
①	34.4	37.8	47.5	55.8	57.2
②	11.4	12.5	15.7	18.4	18.9
③	1.3	1.4	1.7	2.0	2.1

4.7 各測定位置のプレストレスおよび自重、静荷重によるひずみ ( $\Sigma\sigma_{cp}/E_c$ )

各測定位置のプレストレスおよび自重静荷重によるひずみは、(2) 式から求められる。その結果は次のとおりである。

- ①  $354 \times 10^{-6}$
- ②  $163 \times 10^{-6}$
- ③  $79 \times 10^{-6}$

表-15

経過日数	クリープ係数 $\varphi(t)$	乾燥収縮 $\epsilon_s$
110 日	1.00	$23 \times 10^{-6}$
150 日	1.09	$42 \times 10^{-6}$
270 日	1.39	$93 \times 10^{-6}$
360 日	1.62	$148 \times 10^{-6}$
550 日	1.65	$156 \times 10^{-6}$

4.8 クリープ係数および乾燥収縮度の計算

以上の結果を(3)式に代入することにより、クリープ係数と乾燥収縮度について、各測定位置ごとに式が求められる。これより最小二乗法によってクリープ係数と乾燥収縮度を計算すると表一15の値をうる。なお、これを図示すると図一5となる。

5. あ と が き

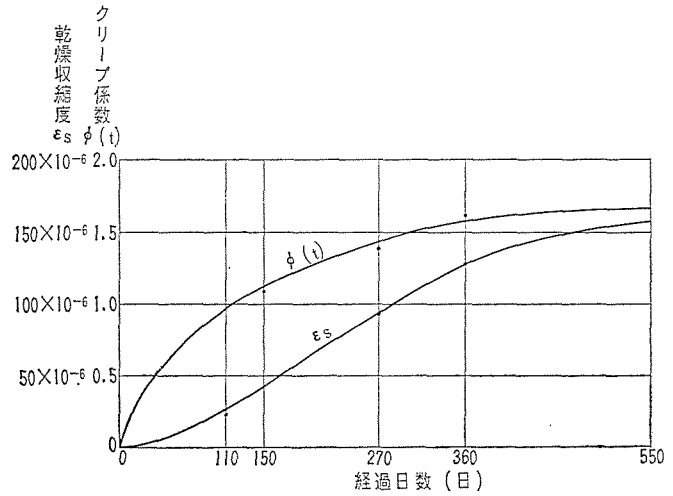
以上の測定結果によると、クリープ係数は約1年でほぼ終極値に近い値となっている。また乾燥収縮についてみると、1年半くらいで終極値となっている。

クリープ係数についてみると、約2カ月で終極値の50%進行しており、約7カ月で80%終了している。

乾燥収縮についてみると、約6カ月で50%進行し、約10カ月で80%終了した。

実橋の設計では  $\phi=1.7$ ,  $\epsilon_s=150 \times 10^{-6}$  としており、実測値はほぼ設計に用いた値と等しい値を示している。

図一5



参 考 文 献

- 1) 菅原 操：プレストレスト コンクリート桁のクリープの現場測定，土木学会誌 第43巻 第8号
- 2) 土木学会：プレストレスト コンクリート設計施工指針
- 3) 猪股俊司：プレストレスト コンクリートの設計及び施工 1963. 8.20・受付

# NCS-PC パイル

—プレテンション方式—

—NCS溶接継手—

モーメントパイル・一般基礎クイとして  
橋脚，護岸基礎クイ，高架橋の基礎クイ  
モノレール基礎クイ，栈橋橋脚，矢板錨定クイ  
ドック基礎クイ，プレハブ構造用，建物基礎クイ  
その他に使用できます。

価格は鋼クイ，その他各種基礎工法に比して相当廉価であります  
ご採用先 運輸省，建設省，国鉄，都道府県，首都高速道路公社，  
日立製作所，日本住宅公団，東京電力その他諸会社



## 日本コンクリート工業株式会社

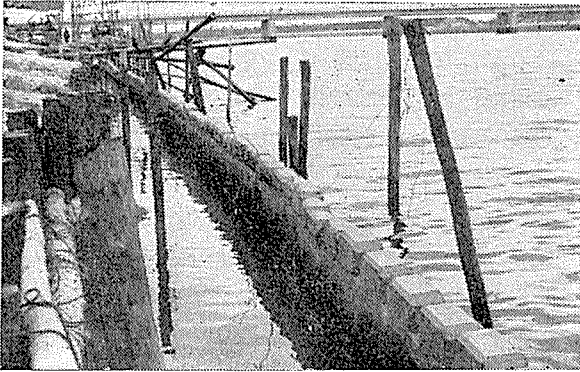
本社 東京都中央区銀座東8の19 東京(542)大代表3151番  
営業所 大阪市阿倍野区天王寺町南2の66 大阪(741)3888番  
名古屋市中村区下広井町1丁目66番地三建設備工業ビル 名古屋(54)5918・5938番  
工場 川 島 (茨城県下館市) 下館 2121~4番  
鈴 鹿 (三重県鈴鹿市) 庄野 177・277番  
研究室 茨城県下館市川島工場内 下館 3942番

# 豊田コンクリート株式会社

(旧) 工カズレコン株式会社

プレストレスト・コンクリート  
プレキャスト・コンクリート

PC矢板施行状況



## 本社・工場

豊田市トヨタ町6  
TEL 798

## 東京営業所・工場

東京都大田区古市町18  
TEL (731) 4047

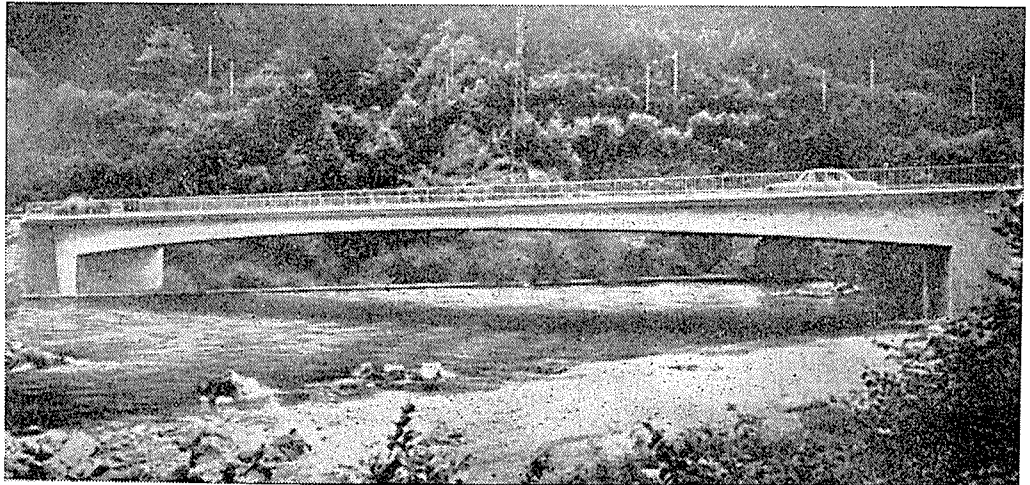
## 名古屋営業所

名古屋市中村区笹島町 豊田ビル517号  
TEL (54) 9369・8842

## BBRV 工法による道路橋

### 営業案内

- 並びにタンク
- 一、ポストテンションング (P・S) 橋梁及び建築
  - 一、プレテンションング (P・S) 桁並びに版その他
  - 一、コンクリート・ポール、コンクリート・パイプ
  - 一、藤式V型ブロック、その他セメント二次製品



橋長 58m, 型式ラーメン

建設業者登録 建設大臣 (ホ) 第 5257 号



北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社・東京営業所  
札幌営業所  
幌別工場  
掛川工場

東京都豊島区巢鴨 6 の 1344 (大塚ビル4階) TEL (983) 4176~9  
札幌市北三条4丁目 (第一生命ビル) TEL (4) 5121 (代表)  
北海道幌別郡幌別町字千歳 TEL 幌別 66・220  
静岡県掛川市富部 (34年9月1日操業開始) TEL 掛川 1420・1421