

### 3. 奈江橋架換工事およびこれに伴う 導入応力測定結果について

札幌開発建設部 岩 淵 忠 勇  
同 上 佐 藤 幸 男  
同 上 宮 原 克 典

#### 1. 概 要

本工事は1級国道12号線砂川町に昭和18年度に架設された木橋が使用に耐えなくなつたので、その架換工事として実施されたものである。現在、PSコンクリート橋については、すでに数多くの工事報告および実験研究が発表されているが、本文は工事の概略的記録と、工事に伴つて実施したワイヤーストレインゲージによる導入応力の実測結果およびカールソン歪計による導入応力の長期測定について述べたものである。なお、活荷重による測定は、まだ実施していないのでつぎの機会に報告する予定である。設計概要は次のごとくである。

型 式    ポストテンション式PSコンクリート桁橋  
橋 種    新示方書一等橋  
桁 長    18.28 m  
支 間    17.6 m  
有効巾員 10.5 m

#### 2. 桁 の 製 作

(1) 製作場所は工事現場の滝川側国道上に選んだ。

(2) 使用材料

セメント： 普通ポルトランドセメント

骨 材： 砂…滝川地区石狩川産  
砂利…滝川地区空知川産

PC鋼線： 住友電工製 径5mm

#### 3. コンクリートの配合および打込み

(1) 配 合

桁コンクリートの配合は表3-1のとおりである。

表 3 - 1

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の 範 囲 (cm)	水セメン ト重量比 W/C (%)	コンクリ ート1m <sup>3</sup> に用 いるセメン ト (kg/m <sup>3</sup> )	コンクリ ート1m <sup>3</sup> に用 いる水量 (kg)	粗 骨 材 重 量 比 (G/S)	コンクリート1m <sup>3</sup> に対する表面 乾燥飽和状態の骨材重量 (kg)		
						全 量	細骨材	粗骨材
25	3	37.8	450	170	2.0	1819.8	606.6	1213.2

施工時の平均スランプ2cmであつた。

(2) ミキシングプラント

- i) ミキサーはゼガー型 8 切を使用し、桁 1 本のコンクリート容積  $7.3 \text{ m}^3$  の打設時間は約 4 時間であつた。
- ii) 計量設備は日本工具製作株式会社製  $0.6 \text{ m}^3$  ( $1,200 \text{ kg}$ ) 計量の骨材計量車を使用した。

4. プレストレス導入

(1) PC 鋼線の配置および緊張順序

主桁の PC 鋼線として中桁、耳桁とも 7 本配置し、各ケーブルはすべて径 5 mm 12 本ずつよりなつている。ケーブルの緊張順序は 図 3-1 に示すとおりである。

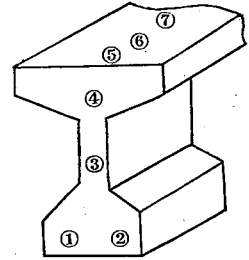


図 3-1

(2) PC 鋼線の緊張力

i) 全プレストレス導入直後の鋼線

施工引張応力度として  $0.9 \sigma_{py} = 12,600 \text{ kg/cm}^2$  を採用し、この値からジャッキおよびチャックによる摩擦  $\sigma_1$ 、ケーブル延長に沿う摩擦  $\sigma_2$ 、ケーブル曲げ上げによる摩擦  $\sigma_3$ 、弾性変形による鋼線応力の減少  $\sigma_4$  を差引いたものが、全プレストレス導入直後桁中央断面における鋼線引張応力であり、その値は、 $\sigma_{pt} = 10,322 \text{ kg/cm}^2$  となる。

ii) コンクリートの弾性変形による PC 鋼線の応力度の減少に対する補正

ケーブルを順次緊張してゆくと、後で緊張するケーブルの引張力のために、コンクリートに弾性変形を生じて、先に緊張したケーブルがゆるみ引張力が減少する。したがつて全ケーブルを緊張した後、各ケーブルの引張力が等しく所定の値になるように、先に緊張するケーブルには所定より大きな引張力を与えておく必要がある。第  $k$  番目のケーブルの引張応力度の減少量  $\sigma_{kp}$  は

$$\sigma_{kp} = \sum_{i=k+1}^n \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{l_i}{l_k} \cdot \frac{P_i}{P_c} \cdot \left(1 + \frac{e_k \cdot e_i}{r^2}\right)$$

で計算される。ここに、

- $E_p = 2,000,000 \text{ kg/cm}^2$       PC 鋼線のヤング係数
- $E_c = 350,000 \text{ kg/cm}^2$       コンクリートのヤング係数
- $n = \frac{E_p}{E_c} \approx 5.7$
- $A_c = 3,496 \text{ cm}^2$       コンクリートの断面積
- $A_p = 2,352 \text{ cm}^2$       PC 鋼線の断面積
- $r^2 = \frac{I_c}{A_c} = 1,281$
- $e$ : PC 鋼線の偏心量
- $l$ : ケーブルの有効長

上式によつて各ケーブルの引張力の減少量を計算すると、

- $\sigma_{7p} = 0$
- $\sigma_{6p} = 95.5 \text{ kg/cm}^2$
- $\sigma_{5p} = 191.5 \text{ kg/cm}^2$
- $\sigma_{4p} = 262 \text{ kg/cm}^2$
- $\sigma_{3p} = 421 \text{ kg/cm}^2$
- $\sigma_{2p} = 547 \text{ kg/cm}^2$
- $\sigma_{1p} = 704.5 \text{ kg/cm}^2$

iii) PC 鋼線の摩擦に対する補正

摩擦に対する補正は

チャックおよびジャッキにおける摩擦 4%  
 ケーブルの延長に沿う摩擦係数  $f = \frac{\lambda}{100} = 0.0035/m$   
 シースと鋼線との間の摩擦係数  $\mu = 0.3$

としてジャッキにおける作業引張力を

$$P_{\text{ジャッキ端}} = P_{\text{ケーブル中央}} \times (e^{\mu} + f \cdot l) \times 1.04$$

により求めジャッキのマノメーター指示 (kg/cm<sup>2</sup>) を表 3-2 に示す。

表 3-2 緊張作業表

緊張順序	1	2	3	4	5	6	7
圧力計指示 (kg/cm <sup>2</sup> )	378.4	372.5	390.4	384.1	387.7	384.4	378.4
伸び (mm)	104.4	102.8	104.0	102.8	83.8	73.8	59.8

(3) 緊張作業

ケーブルの緊張にあたっては、ケーブルの両端面から 30 cm の所に鋼線にマークをつけ、ジャッキの圧力を 100 kg/cm<sup>2</sup> きざみに上げ、それぞれの緊張力におけるマークの移動量から鋼線の伸びを測定し、現場で直ちに

表 3-3 桁の反り (mm)

断面番号	桁番号	ケーブル番号						
		1	2	3	4	5	6	7
1		修正により零						
2	I	1.385	3.488	4.877	6.560	9.137	10.267	10.837
	II	1.295	2.808	5.552	7.265	8.972	9.837	11.347
	III	1.393	2.713	4.117	5.902	7.012	8.062	8.932
	IV	1.343	2.863	4.400	6.357	7.872	9.140	10.225
	V	1.108	2.368	3.837	5.622	7.345	8.700	9.635
3	I	1.700	3.745	6.065	8.350	10.205	11.815	13.005
	II	1.630	3.680	5.965	7.310	10.615	11.335	14.275
	III	1.875	3.475	5.365	7.735	8.395	10.155	11.665
	IV	1.595	3.505	5.550	8.025	10.115	12.090	13.490
	V	1.325	3.055	5.155	7.820	10.540	12.830	14.470
4	I	1.085	2.708	4.262	5.920	7.112	8.042	8.662
	II	1.215	2.740	4.247	5.855	7.357	8.432	9.512
	III	1.467	2.548	3.862	5.567	6.617	7.657	8.367
	IV	1.267	2.738	4.330	6.212	7.677	8.890	9.795
	V	1.033	2.523	4.022	5.935	7.795	9.195	10.225
5		修正により零						
		断面番号						
1	2	3	4	5				

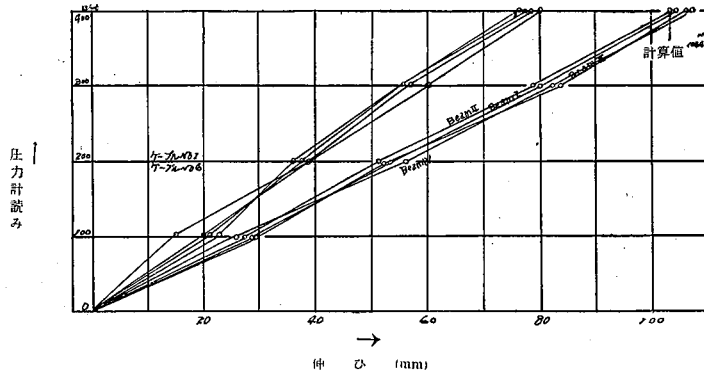


図 3-2

応力-歪曲線を描いて所定の緊張を与えたとき、計算で得た PC 鋼線の伸びに達しているかを調べた。各ケーブルの緊張力と伸びとの関係は図 3-2 に示したとおりである。

7本のケーブルを順次に緊張してゆくと、桁はケーブルの偏心による曲げモーメントのために反りを生ずる。これはダイアルゲージを用いて測定した。測定結果は表 3-3、図 3-3 に示した。桁の反りのうちプレストレスによるものは、

$$\text{モールの定理 } \delta_e = \iint \frac{M_p}{E_c I_c} dx dx$$

を用いて計算した。

- i) プレストッシングによる反り

$$\delta_p = 21.6 \text{ mm}$$

- ii) 自重によるたわみ

$$\delta_D = \frac{M^D \cdot l^2}{8 E_c I_c} = \frac{3,300,000 \times 1760^2}{8 \times 3.5 \times 10^5 \times 4,482,300} = 8.2 \text{ mm}$$

- iii) プレストレス+自重

$$\delta = 21.6 - 8.2 = 13.4 \text{ mm (反り)}$$

なお佐伯俊一氏著“プレレストコンクリート橋”の式によると 13 mm である。

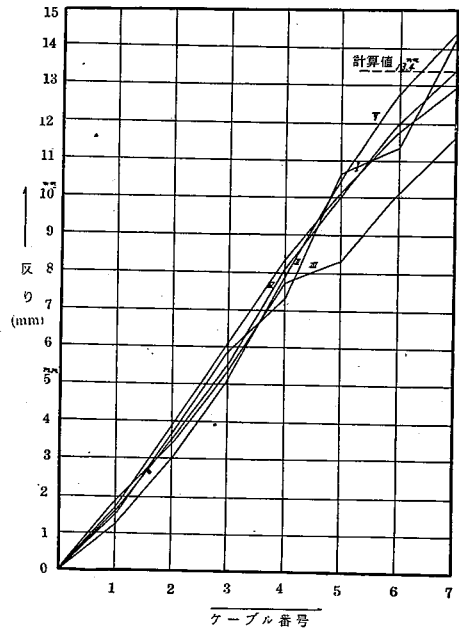


図 3-3 桁中央の反り

### 5. 現場で実施した測定およびその結果

- (1) 測定のおもな目的

- i) PC 鋼線緊張作業終了時に所定のプレストレスが導入されたことを確認する。
- ii) i の状態でプレストレスによる桁の反りを測定し計算値と比較する。
- iii) 長期間にわたり導入応力の減少状態を測定する。
- iv) 完成後種々の載荷状態における各主桁の応力並びにたわみを測定し、従来の梁の理論による計算結果と比較検討する。

以上であつたが iv) についてはまだ実施していない。これら結果を逐次検討してゆくことにする。

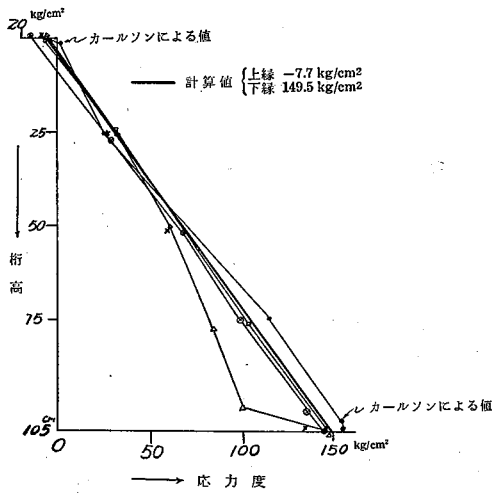


図 3-4 1/2 断面応力度  
(プレストレス+自重)

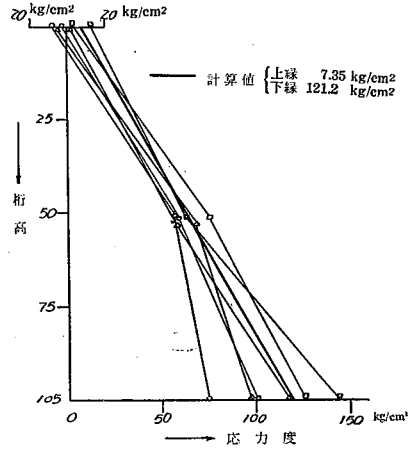


図 3-5 1/4 断面応力度  
(プレストレス+自重)

## (2) 測定結果

i) 緊張作業が終った時 PC 鋼線の伸びをはかれば、鋼線応力度とコンクリートに導入された応力が計算で求められるが、このコンクリート応力を実際に測定するために電気抵抗線歪計と、カーボン歪計を用いた。測定断面は 1/2, 1/4, 支点、の 5 断面とした。その結果を図 3-4, 5, 6 に示している。耳桁については、カーボン歪計の測定結果も併記した。1/4 断面 (図 3-5) は各桁とも 2 断面を測定したが必ずしも対称な応力を示していない。これは緊張作業が終った直後においては、まだ緊張作業時のいろいろな条件の相異で生じた応力の不均衡が消えていないためと、コンクリート打込みによつてシースが所定の位置からわずかに動いたのではないかと思われる。

ii) 桁の反りの測定にはダイヤルゲージを用いた。これを、1/2, 1/4, 支点、の 5 断面にとり付けてはかつた。その結果は図 3-3, 表 3-3 に示した。実際には、支点では 1~5 mm 程度沈下しているが、この沈下を補正して図に示したものである。図でわかるように桁中央の反りは計算値 13.4 mm に対しその前後にばらついてはいるが、大体これに近い値を示している。なお、4 の (3) 項で記したように反りの計算値はコンクリートの弾性係数 350,000 kg/cm<sup>2</sup> として求めてある。

## iii) 長期間にわたる桁の導入応力の変化の測定

これは導入したプレストレスが PC 鋼線のレラクセーション、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮によつて変化するが、この実態をつかむために、カーボン歪計を橋の中央に配置された中桁および片側の耳桁の上下突縁に計 4 個埋め込み、応力導入後の変化状態を測定した。その結果を図 3-7 に示した。測定値の大いさは必ずしも実際と一致していないようだが、大まかな傾向として、応力を導入してから 40 時間位は徐々にプレス

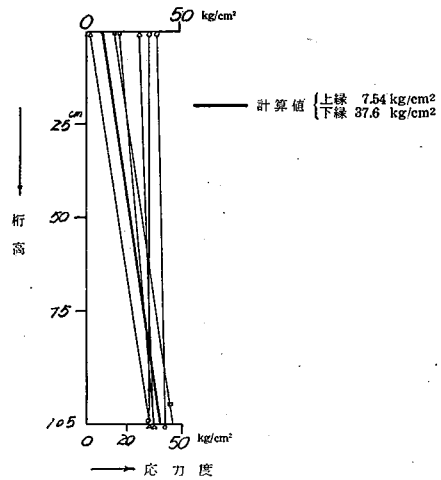


図 3-6 支点断面応力度  
(プレストレス)

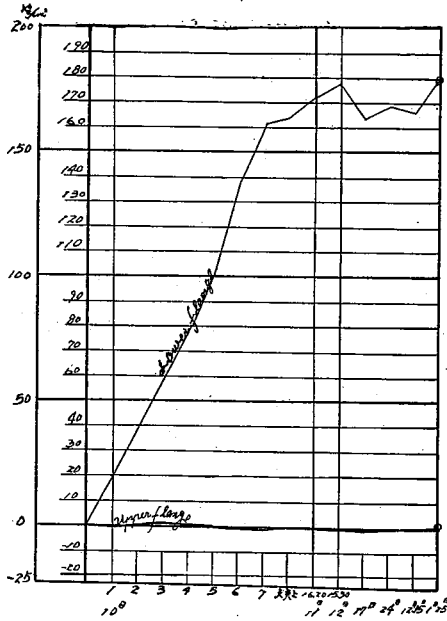


図 3-7 導入応力度の変化

トレスによるコンクリートの応力が増大していることがわかる。これと同時にカールソン歪計によつてコンクリート打設後の温度および硬化歪の変化を継続的に測定したのでその結果を図 3-8, 9 に示した。

### 6. あとがき

以上簡単に工事の経過ならびに試験の結果を述べたが、結論として

- (a) 桁には所定のプレストレスが導入された
- (b) 桁の反りは計算による値とほぼ一致していることが云えると思われる。最後にこの工事および現場試験を通じ終始御指導御協力を賜つた、土木試験所構造研究室の諸氏に深く感謝の意を表する次第である。

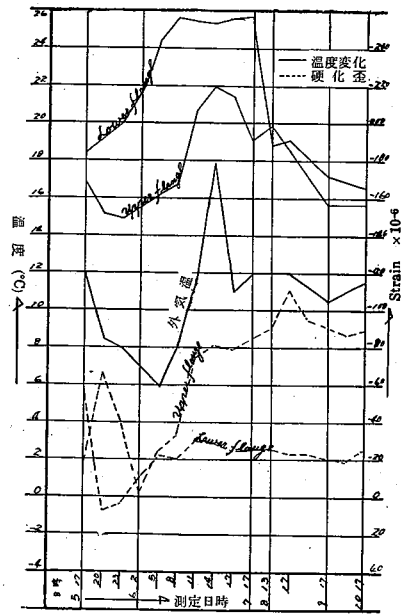


図 3-8 硬化歪および温度変化 (中桁)

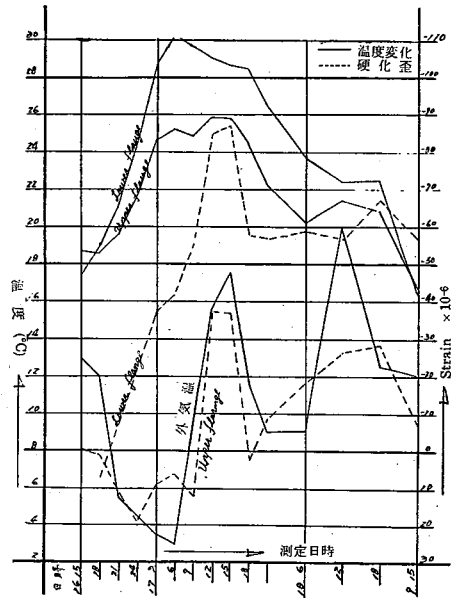


図 3-9 硬化歪および温度変化