

# 連続合成桁橋（新石狩大橋）の設計と施工

一床版全長 P C 鋼線プレストレス一

高 橋 陽 一\*  
 新 山 惇\*  
 藤 井 不 二 也\*\*

## 1. ま え が き

主要道道札幌沼田線新石狩大橋の側径間部、桁高 2.70 m で 2 主桁構造、支間 52.70 m の等支間を有する 5 径間連続（2 連）および 3 径間連続（1 連）の連続合成桁を採用した。

合成断面に作用する負の曲げモーメントの処理には、

施工性、工事費等を勘案して支点の移動法を併用しないで、BBRV 工法により床版の橋軸全長にわたり P C 鋼線によるプレストレスを導入する方法によった。

本文では、この床版全長プレストレスによる連続合成桁の設計施工について、現場実験や諸測定結果をあわせて報告する。

図-1 一般図

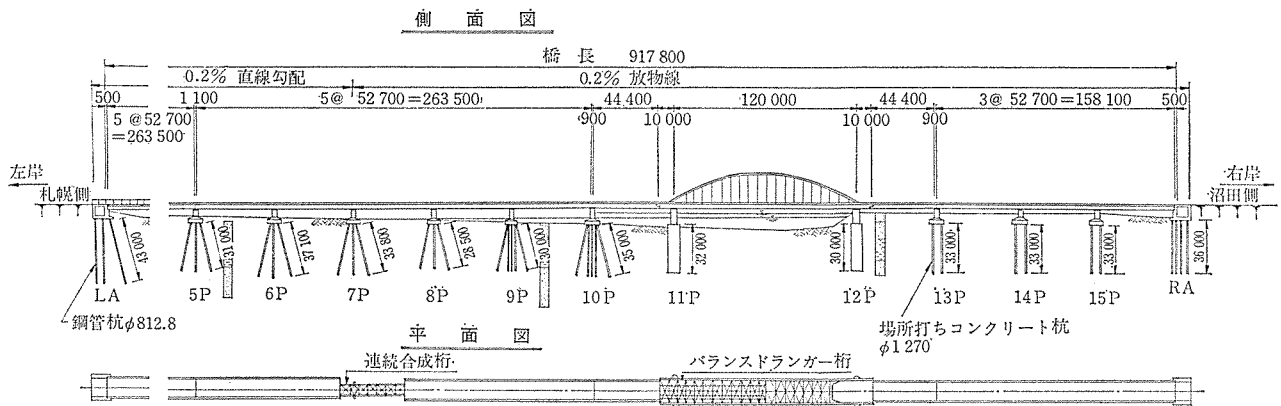
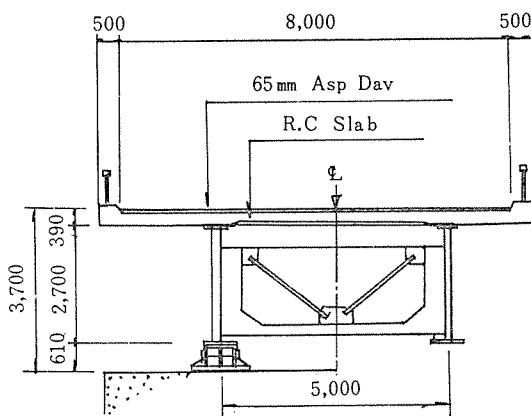


写真-1 完成した新石狩大橋

側径間部断面図



\* 北海道開発局 札幌開発建設部  
 \*\* 北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

## 2. 構造概要

橋 長：917.80 m  
 幅 員：8.0 m (ただし荷重として歩道 2@ 1.50 m を考慮)

構造形式および支間割：

- 5 径間連続合成桁 5 @ 52.70 m 2 連  
 バランスドラングアーチ  
 10.0 m + 120.0 m + 10.0 m 1 連
- 単純合成桁 44.40 m 2 連
- 3 径間連続合成桁 3 @ 52.70 m 1 連

## 3. 主構造の設計

### (1) 設計条件

- 1) 荷重：TL-20
- 2) 床版コンクリート：床版厚 24 cm  
 設計基準強度： $\sigma_{ck} = 350 \text{ kg/cm}^2$   
 許容圧縮応力度： $\sigma_{ca} = 100 \text{ kg/cm}^2$   
 許容支圧応力度： $\sigma_{ba} = 115 \text{ kg/cm}^2$   
 許容引張応力度： $\sigma_{ta1} = 23.3 \text{ kg/cm}^2$  (版上下縁)  
 $\sigma_{ta2} = 14 \text{ kg/cm}^2$  (版中心)  
 ヤング係数比： $n_0 = 7.0$  (P S 導入時)  
 $n_1 = 6.5$  ( $t = \infty$ )  
 クリープ係数： $\varphi_1 = 2.0$  (合成後持続荷重)  
 $\varphi_2 = 4.0$  (乾燥収縮)
- 乾燥収縮度： $\varepsilon_s = 15 \times 10^{-5}$
- 3) P C 鋼線：1 ケーブル  $\phi 7 \sim 34$  本  
 ヤング係数： $E_s = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  ( $n_s = 1.05$ )  
 レラクセーション：5 %
- 4) プレストレス導入方法：BBRV 工法

### (2) 設計プレストレス量と P C ケーブルの配置

合成桁設計施工指針によれば、床版の引張応力度は持続荷重 (図-2 状態 A) のときにはひびわれを促進するのでこれを認めず、さらにすべての荷重の作用時 (図-2

状態 B) に対しては、版の縁での  $\sigma_{ck}/15$ 、版の中心で  $\sigma_{ck}/25$  まで許容される。

本橋の場合、状態 A で引張応力を生じない部分は、第一径間の一部であり、状態 B で許容応力を越えるのは全径間の半分以上におよぶ。つまり応力調整は全長にわたりに行なわれる必要があり、支点の移動法を併用する場合より、プレストレスの管理が確実で、しかもクリープによるプレストレスの減少の少ない BBRV 工法による床版全長 P C 鋼線プレストレスを採用した。

床版プレストレスの詳細設計は次の順序で行われた。

- 1) コンクリートの許容引張応力度を考えず、主として鋼桁について連続合成桁としての断面を求める。
- 2) 状態 A, B より合成桁のコンクリート引張力が許容応力の範囲内に入るように、プレストレスの導入範囲および導入力を決める。

3) プレストレスの導入量を決めるには、

- ① 床版プレストレスによる連続合成桁のクリープは鋼桁に不利な応力状態を与える。
- ② 連続合成桁は床版プレストレスによりプレストレス区間内に正の曲げモーメントを生じると同時に負の不静定モーメントを生じ、床版内に新たな引張応力を与える。
- ③ P C 鋼線とシースの間の摩擦損失はケーブル長の関数で与えられる。

等を考慮して決めなければならないが、ケーブルとシースの間の摩擦を無視して、コンクリートのクリープと不静定モーメントの影響だけを考慮して試算を繰り返して設計プレストレス量を決める。

4) 3) において摩擦損失を無視しても、損失分のプレストレスを余分に導入すればよいわけで、さらにケーブルの長さは摩擦損失があまり大きくならない程度とする。

5) 当初、求めた連続合成桁について、床版プレスト

図-2 床版応力図

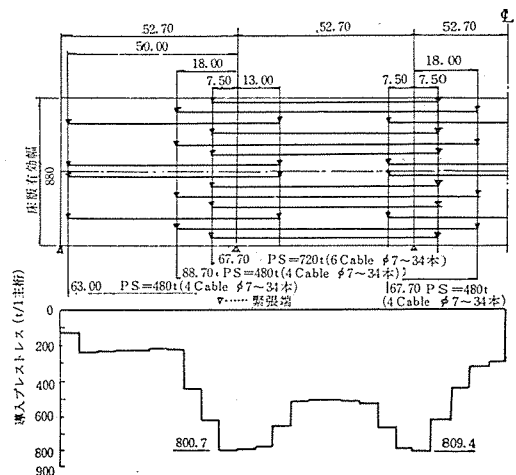
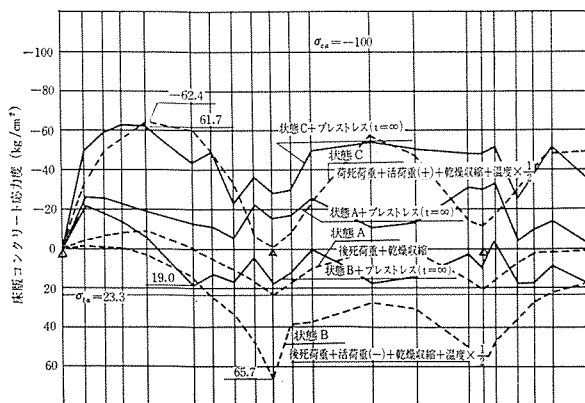


写真-2 PC ケーブル配置状況

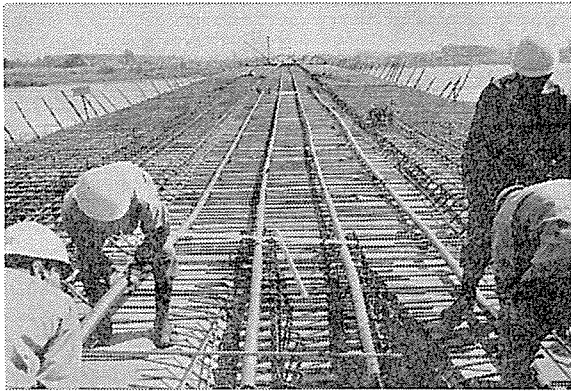
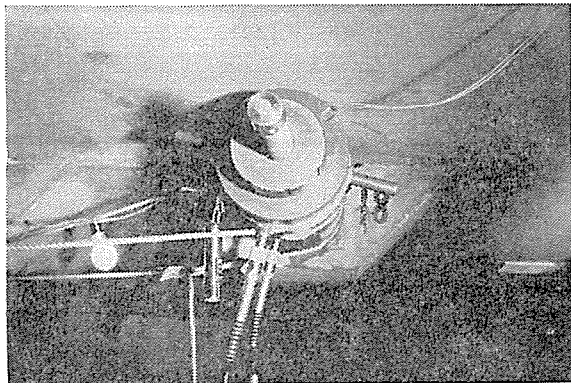


写真-3 PC ケーブル定着端部



レスを考慮した応力計算をして最終断面を決める。

図-3 に PC ケーブルの配置とプレストレス量を示す。また、図-2 で床版プレストレスにより床版の応力は、点線で示したプレストレス導入前の値から実線のプレストレス導入後の応力となる。写真-2 は、PC 鋼線の配置状況、写真-3 はプレストレス導入端部を示す。

時間とともに変化する不静定量の計算は Sattler の方法を用いたが、持続荷重(合成後死荷重、床版プレストレス、乾燥収縮)によるクリープ後の不静定モーメントの変化量  $X_f$  を求める式は、一階線型非同次微分方程式に帰着するが、これを  $t=\infty$  で  $\varphi=\varphi_n/2=2.0$  として、電子計算機により、数値積分した。なお、本橋の場合、構造対称、荷重対称となるので2次不静定である。各荷重状態の曲げモーメント計算結果を図-4 に示す。

#### 4. プレストレス導入応力の測定

##### (1) 仮導入実験

プレストレス導入応力の測定は BBRV ジャッキ (170 t, 揚程 150 mm) 4 台を用いて、同時に 4 本

図-4 曲げモーメント図

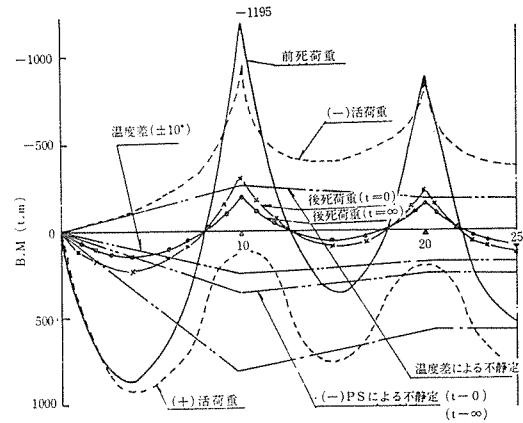
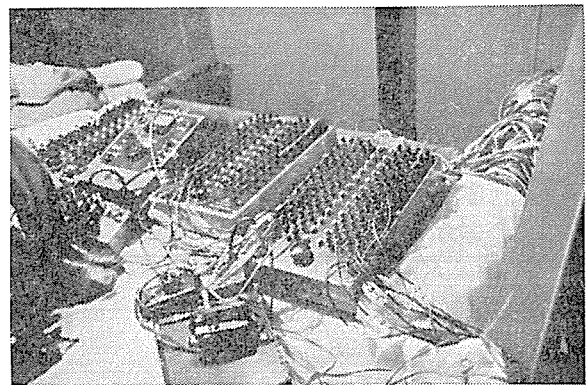


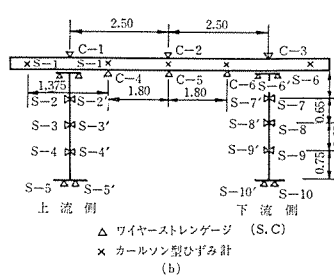
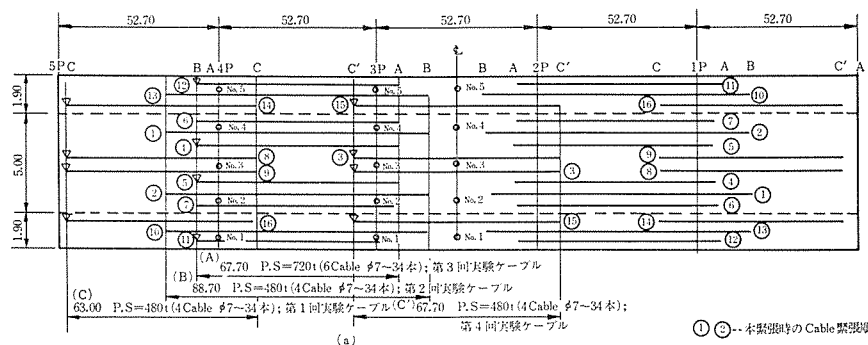
写真-4 仮導入実験



の PC ケーブルを片引きで仮緊張を行ない、床版と鋼桁のひずみを測定した。測定箇所は 5 径間の一連目について 3P, 4P 各支点上、および構造中心の径間中央の 3 点である。

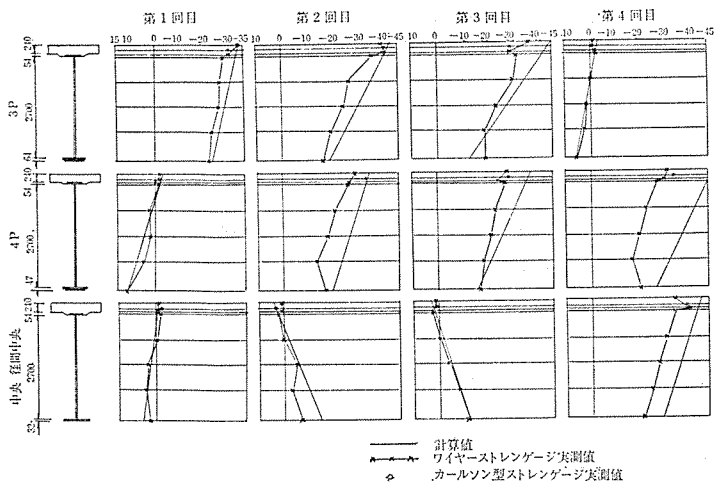
図-5 はひずみ計の配置を示し、図-6 は図-5 (a) で緊張位置の異なる PC ケーブルについて 1 本当たり 100 t

図-5 仮導入実験測定位置図(5径間部)



○ (●) -- 本緊張時の Cable 緊張順序  
No.1 No.2 -- カールソンひずみ計埋設位置  
▽ --- 実験時緊張ケーブル

図-6 ひずみ測定値 (5 径間 1 連目)



(実験導入量 1 断面あたり 400 t) の片引きを行なった場合の測定結果を示す。図中の計算値は  $\lambda=0.004$ ,  $\mu=0$  として片引きでプレストレスをしたときの変断面連続合

表-1 本導入後のひずみ測定値 (床版)

位 置		計 算 値	実 測 値
5 径間 一連目	3P	-195.6	-169.8
	4P	-182.8	-166.0
	3~4P 中間	-30.6	-25.0
5 径間 二連目	7P	-195.6	-164.1
	6P	-182.8	-148.2
	6~7P 中間	-30.6	-21.5
3 径間	14P	-173.0	-163.0
	13~14P 中間	-105.0	-82.0

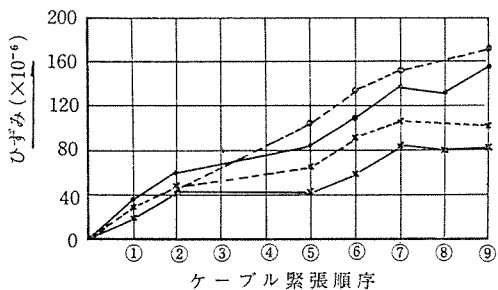
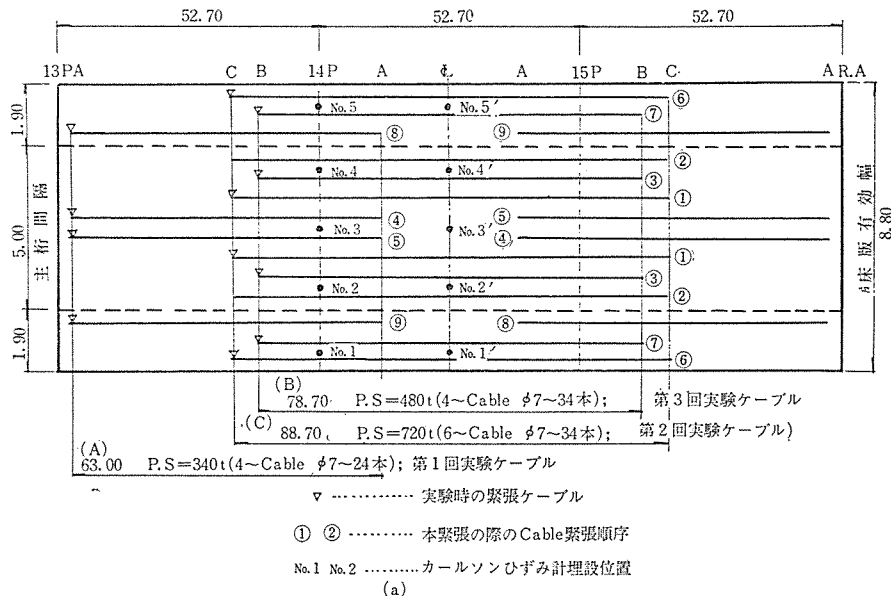
ただし、実測値は 5 個のカールソン型ひずみ計の平均値

成桁について求めたものである。なお写真-4 は仮導入実験の状況を示す。

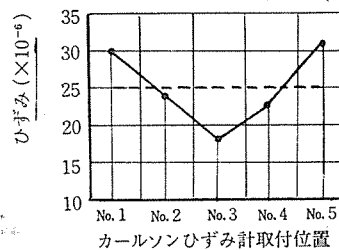
(2) 本導入時の床版コンクリートの応力測定

一例として 3 径間部の場合を 図-7(a) に示したが、本導入時の応力測定、クリープによる応力の経時変化測定のために橋軸直角方向に 5 個のカールソンひずみ計を

図-7 本導入時のひずみ測定 (3 径間部)



(b)



(c)

埋設した。表-1 が本導入後の床版コンクリートのひずみの測定結果であり、図-7 (b),(c) はそれぞれ各緊張ごとのひずみの測定値の経過および橋軸直角方向の応力分布の例である。

いずれにしても、理論値と大差なく計画通りプレストレスが導入されたものと考えられる。

### 5. 施 工

#### (1) コンクリート

本橋のコンクリートの示方配合は表-2 に示すとおりであるが、設計基準強度  $\sigma_{ck}=350 \text{ kg/cm}^2$  とし、粗骨材は当別産の川砂利（比重 2.62, 吸水量 1.79%, 粗粒率 2.74）, 細骨材は錦岡産の砂（比重 2.72, 吸水率 0.81%, 粗粒率 6.81）を使用した。また現場から約 15 km,

クリープ係数は  $K$  を材令による補正係数として  $\varphi_1=2.0K$  で表わされるが、 $K-\sigma/\sigma_\infty$  の関係より  $K=1$  に対して  $\sigma/\sigma_\infty=0.75$  であり、 $\sigma_\infty=1.15\sigma_{28}$ （普通ポルトランドセメント）とすると

$$\sigma=0.75 \times 1.15 \sigma_{28}=0.86 \sigma_{28}=300 \text{ kg/cm}^2$$

つまり、 $\sigma=300 \text{ kg/cm}^2$  の時点で P S 導入をすると設計に使用した  $\varphi_1=2.0$  の応力状態となる。この状態は図-8 のコンクリート管理図により 1 週間で達せられる。また 図-9 は  $\sigma_{28}$  のコンクリートの管理図を示しているが、変動係数 3.5% 程度で、コンクリートの管理

表-2 コンクリート配合表

使用材料の種類			示 方 配 合					
セメント	骨 材	混和材	S/A	W/C	スランブ	空気量	混和材量	粗骨材最大寸法
普通ポルトランドセメント	海岸砂川砂利	プラスチックメント	41%	40%	5±1.5 cm	4%	0.25%	25 mm

図-8 コンクリート強度試験 ( $\sigma_7$ )

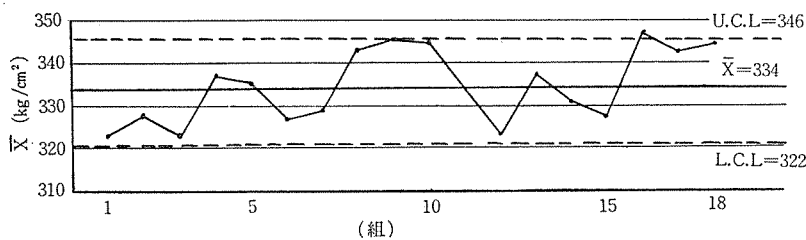
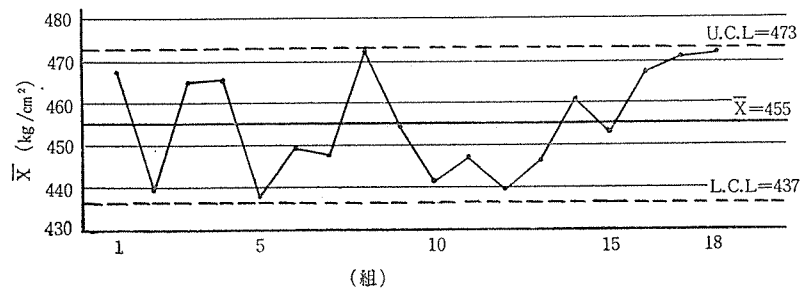


図-9 コンクリート強度試験 ( $\sigma_{28}$ )



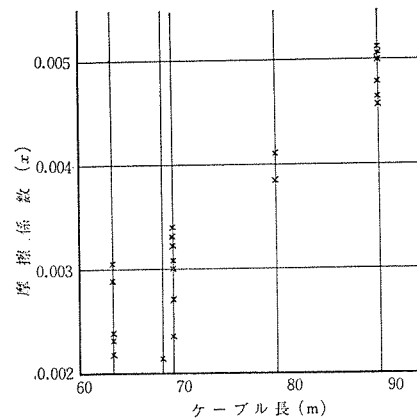
は良好であった。

#### (2) 摩擦係数

長尺ケーブルは、運搬配置の際の屈曲、床版コンクリート打設によるモルタルもれ、導入端部の角変化、シースの変形などにより P C ケーブルとシースの間の見掛けの摩擦係数は相当大きくなる。

図-10 は、減磨材(石けん水)注入後の  $\mu=0$  としたときの  $\lambda$  の測定値を示しているが、つぎのことがいえる。

図-10 摩擦係数 ( $\mu=0$ )



1) 当初設計において  $\mu=0, \lambda=0.004$  としたが、このときの平均値  $\lambda=0.00345$  と設計値に近いが変動も大きく、 $\mu$  を考慮すると  $\mu=0.271, \lambda=0.00361$  となり変動も小さくなる ( $\alpha=0.12886 \text{ rad}$  とする)。

2) 個々の P C ケーブルを見ると長尺 ( $l=88.70 \text{ m}, 78.70 \text{ m}$ ) ケーブルについては  $\lambda$  を設計値の 0.004 におさえることは、かなり困難である。

3) 一度仮緊張してゆるめたケーブルを再度緊張することにより  $\lambda$  は小さくなる。

このため本橋では  $\mu$  を考慮して伸びを管理し、120 t ケーブルについて両引きで 100 t まで仮緊張した後 0 t までゆるめて本導入をした。

#### (3) プレストレッシング

プレストレッシングにより床版の分担する圧縮応力度は 1 ケーブル緊張により 7~10  $\text{kg/cm}^2$  程度であり、合成桁であるためジベルを通じて応力が主桁に伝達されるので 図-5(a), 図-7(a) に示すようにプレストレッシングは橋軸方向および橋軸直角方向に対称になるように作業をした。プレストレッシングにあたりケーブルが長いので、前述のようにケー

度数分布図

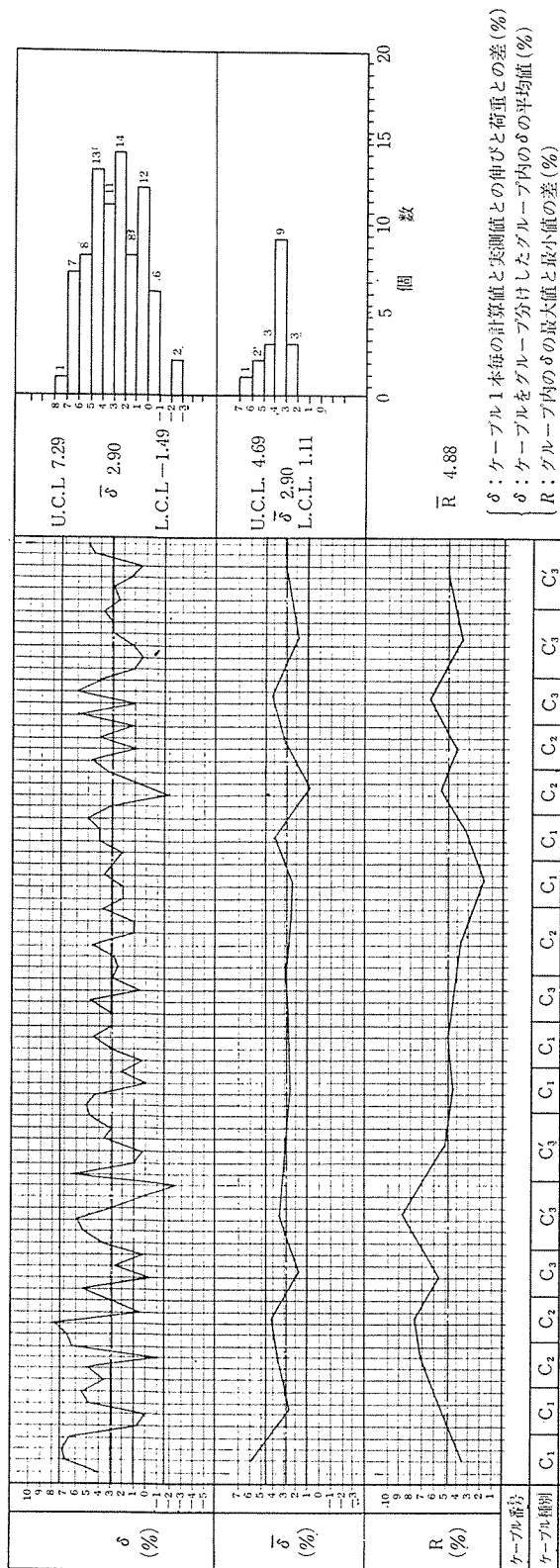


図-11 PCケーブル緊張管理図

ブルの配置が摩擦係数に大きな影響を与えるので、ケーブルは平鋼で約 1.2 m 間隔にホルダーで支持させ、コンクリート打設時にケーブルがゆるまないように定着端を仮止めした。

ケーブルの管理は各ケーブルの緊張力と伸びの関係から  $\delta$ -法により行なったが、これを 図-11 に示す。

(4) グラウト

グラウトはケーブルの長さを考えて過度の膨張を起さないようかつ完全に充填することを目的とし、ポンプで 3~5 kg/cm<sup>2</sup> 程度の圧力で注入した。その配合および品質管理の結果は 表-3 に示すとおりであり、施工時の注入最大圧力は 15 kg/cm<sup>2</sup> であった。

表-3 グラウト

グラウト配合表						
使用材料の種類		示 方 配 合				
セメント	混和材	W/C	セメント	水	混和材	アルミ粉
普通ポルトランドセメント	ボゾリス No. 8	42%	50 kg	21 l	125 g	6 g

グラウト品質管理						
温 度	沈入時間	ブリーチング率 (3時間)	膨張率 (24時間)	圧 縮 強 度		
				$\sigma_7$	$\sigma_{28}$	
18°C	33 sec	1.3%	1.0%	285 kg/cm <sup>2</sup>	408 kg/cm <sup>2</sup>	

6. あとがき

本橋の連続合成桁部においては、プレストレス導入実験および施工管理の結果、コンクリートおよび鋼桁各部のひずみは計算値と大差なく設計に採用された諸定数、仮定は正しく、計画どおりプレストレスは導入されたものと考えられる。

また、仮導入実験時緊張端背後の局部応力を測定したが、最大で 13 kg/cm<sup>2</sup> 程度の引張応力度であり、ひびわれに対しては問題ないと考えられる。

最後に本橋の設計、現場実験に関して北海道開発局 小西輝久氏、外崎 忍氏さらに土木試験所構造研究室の諸氏に御指導いただきここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 橋 善雄: 連続合成ゲタ, 理工図書 1966
- 2) 小西・高橋・斎藤・才田: 連続ゲタの型式撰定に関する一考察—新石狩大橋一, 土木学会北海道支部技術資料, No. 23, 1967
- 3) 高橋・新山: 5 径間連続合成ゲタの設計と架設—新石狩大橋一, 土木学会北海道支部技術資料, No. 25, 1969

1969.9.26・受付