

プレストレッシング管理のための提案と報告

斉 藤 昇*

1. ま え が き

国鉄新幹線で、P C桁が大量に用いられていることは、すでに本誌上に報告されている¹⁾。筆者はプレストレッシングに立会う機会に多く恵まれ、特にその管理について深い関心をよせてきたつもりである。

ところで、プレストレッシングの管理（以下 Pr・C と略記）についても、すでに本誌に講座として解説済みであるが²⁾（今後引用するときは単に講座と略称する）、ここでもふれているように Pr・C とは決して完成されたものでなく、もっと検討されなければならぬ事項とか、未解決の問題点を多くかかえている。

本小文はそれらのうちから、主としてつぎのような事項、問題点について、プレストレッシングの実施例を通じて検討した結果からの提案と報告である。

- a) 摩擦およびヤング係数測定について
- b) 管理限界の設定について
- c) Pr・C の実施例、特に異常例について

なお、Pr・C の基本的な考え方、緊張計画の一般論、管理以前の注意事項などについては、講座その他^{3)~6)}を参照されたい。また本小文の対象は主として、フレシネー工法の単純桁で、かつφ7 鋼線使用の場合についてであることをお断わりしておく。

2. 摩擦およびヤング係数測定について

2.1 摩擦およびヤング係数測定解析のための若干の考察

(1) 緊張計算方法との関連について

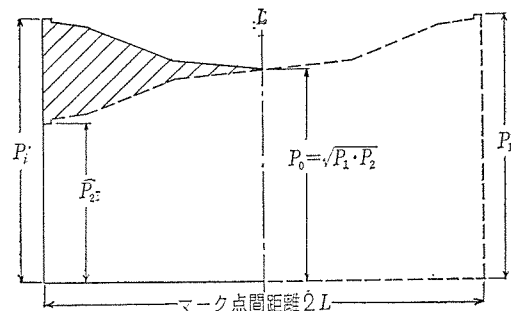
摩擦およびヤング係数測定の解析方法を検討しようとする場合に、いかなる緊張計算方法を採用しているかを考慮に入れることは合理的であろう。

すなわち、一般に（単純桁で両引き）緊張計算の際スパン中央を基準とし、応力分布は左右対称とする。また計算上の簡便さから応力分布はケーブルの直線部、曲線部の境で変化する折線と考え、かつ曲げ上げ角、ケーブル長は定数としている。

したがって摩擦およびヤング係数測定の解析のときも同様に考えることが必要であり、これで十分であろう（図-1 参照）。

* 国鉄新幹線局土木部工事課

図-1 緊張計算と測定値解析の場合の対応図



緊張計算の場合（実線）

$$P_i = (1 + \gamma)(1 + a\mu)P_0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta l_i = \frac{2L}{E_p A_p} P_0 + \varepsilon \dots\dots\dots (2)$$

測定値解析の場合（点線）

$$P_i = (1 + \gamma)(1 + a\mu) \sqrt{P_1 \cdot P_2} \dots\dots\dots (1')$$

$$\Delta l_i = \frac{2L}{E_p A_p} \sqrt{P_1 \cdot P_2} \dots\dots\dots (2')$$

ここに $a = \alpha + \frac{\lambda}{\mu} \sum l$

γ : ジャッキおよびコーン部の摩擦係数

$\sum l$: スパン中央よりコーン前面までの距離

ε : 上図影線の部分に相当する P C 鋼線引出し量

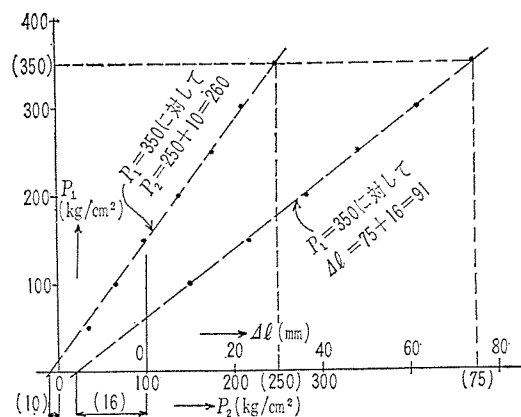
(2) 測定結果の図上決定

測定値は方眼紙上にプロットし、その紙上で各測定点のバラツキの処理を行ない、緊張側圧力 P_1 の適当な値に対する固定側圧力 P_2 および伸び量 Δl を読みとるのが、便利であるし合理的でもあろう。特に P_1 と P_2 との関係は必ずしも原点を通る直線とはならないから、いくつかの対応する力の比をとって、その平均を求めるのは一般に不合理といえよう（図-2 参照）。

(3) 摩擦係数測定解析方法の一提案

いままでの解析方法の欠点は計算が面倒であることと

図-2 測定結果の図上決定



その結果が一種の点推定法にすぎないということである。そこでこれらの欠点を補なうような一方法をつぎに提案する。

いまある測定ケーブルについて、図-2 のように P_1 , P_2 を定め (1)' 式をつぎのように変形する。

$$\mu = \frac{1}{a} \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} - 1 \dots\dots\dots (1)''$$

上式において a および r として緊張計算のときの値をそのまま用いることにすれば μ 値は一義的に定まる。

もちろん、このとき μ 本来の意味は変わる。しかしわれわれは r, μ, λ の個々の値を知ろうとはせず、スパン中央の所定緊張力を基準とし、桁端では何割増しすればよいかという問題におきかえて考えるのが実用的かつ合理的である。なぜなら r, μ, λ (実際にはこれらに後述の E_p が加わる) などのおのおのを、一義的に定めることは、ある仮定のもとで知ることではできたとしても、それだけのことで、それから本緊張に対する定量的、客観的予測が不可能だからである。そこで (1)'' より求める μ を特に $\bar{\mu}$ なる記号で表わし、本来の μ と明確に区別する。

(4) PC 鋼材のヤング係数測定解析方法の一提案

われわれが欲する PC 鋼材のヤング係数 (以下 E_p と略記) とは、PC 鋼材引出し量を求めるためのものであって、決して材料本来の E_p ではない。この両者を明確に区別することが大切である。そうでないと真の摩擦係数が負となるような矛盾を生じた場合に解決の道がない。

したがって摩擦測定の際、本緊張と同様あるいは同様に近い方法で伸びも測定し (もちろんこのとき固定側の縮み量も考慮する)、それより逆算した E_p をわれわれの欲する E_p とすべきである。このときの E_p を特に \dot{E}_p で表わせば、 \dot{E}_p は (2)' よりつぎのように求められる。

$$\dot{E}_p = \frac{2LA_m}{4l \cdot A_p} \sqrt{P_1 \cdot P_2} \dots\dots\dots (2)''$$

ただし、 P_1, P_2 は圧力計示度の読み、 A_m はジャッキのピストン断面積、 A_p は PC 鋼材の断面積とする。

2.2 数値表と実測例

結局 (1)''、(2)'' より $\bar{\mu}, \dot{E}_p$ を求めることになるが、それには P_1 の適当な値として図-2 のように常に 350 kg/cm² と定め (その他 $r=0.04, A_m=157.8 \text{ cm}^2, A_p=4618 \text{ cm}^2$)、あらかじめ表-1 のような数値表を作っておくと計算が能率的となる。

これにより解析した実測例の結果を表-2 に示す。

2.3 Pr・C への適用について

(1) Pr・C 方法の選定

ケーブル1本ごとの Pr・C (正しくは処理) 方法を単

表-1 摩擦およびヤング係数解析のための数値表

$P_2(\text{kg/cm}^2)$	$\frac{1}{(1+r)}\sqrt{\frac{P_1}{P_2}}-1$	$\frac{A_m}{A_p}\sqrt{P_1 \cdot P_2}(\text{kg/cm}^2)$
160	0.422	8 090
165	0.400	8 210
170	0.380	8 340
175	0.360	8 460
180	0.341	8 580
185	0.323	8 700
190	0.305	8 810
195	0.288	8 930
200	0.272	9 040
205	0.256	9 150
210	0.241	9 260
215	0.226	9 370
220	0.213	9 480
225	0.198	9 590
230	0.186	9 700
235	0.173	9 800

表-2 実測例

橋名	$\bar{\mu}$		$\dot{E}_p(\times 10^6 \text{ kg/cm}^2)$		$E_p(\times 10^6 \text{ kg/cm}^2)$		備 考		
	平均	幅	平均	幅	平均	幅	スパン	桁高	斜角
a	0.63	0.21	2.07	0.04	2.11	—	12.5	0.7	—
b	0.39	0.14	1.94	0.03	2.05	—	15	0.8	—
c	0.64	0.07	1.94	0.11	—	—	15	1.3	60°
d-1	0.30	0.08	1.86	0.03	2.06	—	17.5	0.95	60°
-2	0.40	0.06	1.91	0.04			"	"	"
-3	0.33	0.06	1.88	0.05			"	"	"
-4	0.49	0.09	1.84	0.04			"	"	"
e	0.57	0.05	1.92	0.02	—	—	17.5	1.15	65°
f	0.48	0.17	2.01	0.08	—	—	19.04	1.2	—
g-1	0.19	0.03	1.98	0.02	2.09	0.01	19.16	1.6	—
-2	0.49	0.05	1.93	0.05			"	"	—
-3	0.28	0.06	1.95	0.02			"	"	—
-4	0.34	0.05	1.98	0.05			"	"	—
h	0.37	0.12	1.87	0.04	2.08	0.03	22.5	1.8	—
i-1	0.54	0.05	2.09	0.03	—	—	"	1.2	—
-2	0.58	0.05	2.01	0.04	—	—	"	"	—
j ₁	0.37	0.06	1.90	0.03	2.07	0.03	"	2.0	—
j ₂	0.29	0.03	1.92	0.03			25	"	—
k ₁	0.53	—	1.90	—	2.07	0.02	24	"	—
k ₂	0.33	—	1.90	—			25	"	—
l	0.71	0.06	2.02	0.05	2.05	—	"	"	—
m	0.40	0.08	1.99	0.03	2.10	0.01	25	1.35	35°
n	0.66	0.17	2.09	0.04	2.09	—	25.4	"	46°
o	0.47	0.05	1.97	0.06	—	—	25	2.0	—
p	0.38	0.04	1.91	0.03	—	—	25	1.85	—
q	0.26	0.05	2.02	0.04	2.05	—	27.5	1.5	45°
r	0.43	0.06	2.04	0.05	—	—	30	2.0	60°
s	0.34	0.04	2.03	0.03	2.09	0.02	35.6	2.05	45°

注：幅とは 95% の信頼幅のことであり、 E_p とは荷重一伸び曲線より推定した値。

的にいえば

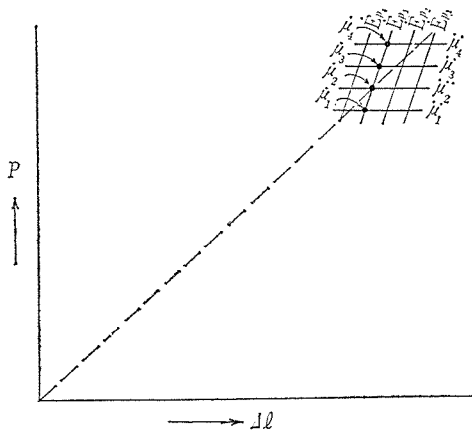
- a) 測定値の軌跡の傾度のバラツキに応じて、
- b) どこで止めたらよいか。

ということになる。したがって本来はこの両者を同時に考えて管理してゆくべきであるが、現段階においては暫定措置としてこの両者を切離して考える。

この場合 a) に対する測度の定め方として講座のように 2 つの方法が考えられるが、ここでは便宜上 [方法 2] を選ぶことにすれば結局 a) に対して $\hat{\mu}$ なる測度で管理してゆき、b) に対しては \hat{E}_p を適切に定めるということになる。

ここに $\hat{\mu}$ とは \hat{E}_p に適当な値を与えたときの $\hat{\mu}$ である (図-3 参照)。

図-3 $\hat{\mu}$ と $\hat{\mu}$ との関係



なお補足すれば、種々のバラツキの原因、例えば講座 2 の a)~g) その他の重なった結果として軌跡の傾度なり、引きどめ点なりが変動することは確かである。といてこれらの変動に対して個々の原因に分けて考えることは定量的、客観的に不可能かつ実務的でない。よって問題を簡易化するために $\hat{\mu}$ 、 \hat{E}_p なる二つの測度を導入したということになる。したがって、これらと μ 、 E_p との差は記号以上に、いかなる本質的に違っているということを認識することが、種々の誤解をさけるために大切である (例えば μ と $\hat{\mu}$ の関係の一例として文献 5) の図-4.6~4.8 参照)

(2) 緊張計算結果との関連について

[方法 2] を採用するということは緊張計算のとき E_p 、 λ/μ 、 r に適当な値を与え、適当な 2 組の μ 値 (このとき $\hat{\mu}$ となる) について、あかじ計算しておくことである⁷⁾。他の $\hat{\mu}$ および \hat{E}_p に対しては直接補間または補外、および平行移動によって簡単に求められるから、結局 \hat{E}_p 、 $\hat{\mu}$ (正しくは $\hat{\mu}$) の網目図表が図-3 のように求められる。この網目図表上に ($\hat{\mu}$ 、 \hat{E}_p) の測定値群を

対応させることにすれば、測定結果のいかんにかかわらず、最初の緊張計算結果をそのまま、測定値解析にも、また本緊張時の管理にも役立たせることができることになる。

(3) 予測の可能性

ここで摩擦およびヤング係数測定の目的について考えてみると

- a) 本緊張に対してあらかじめ母集団を推定すること。
- b) 本緊張結果の妥当性を裏づけること。

になる。この場合、管理の原則に立ちかえて、まず ($\hat{\mu}$ 、 \hat{E}_p) を ($\hat{\mu}$ 、 \hat{E}_p) に変換する (その方法は図-3 より明らかであろう)。これが予測の可能性が生じたことになる。すなわち

a) n 回の測定結果より $\hat{\mu}$ が n 個えられるから、これより今後えられるであろう $\hat{\mu}$ のうちの何% がふくまれる限界を、ある確率で定量的、客観的に推定することができる。すなわち管理限界を設定することができる。

b) もし、たまたまえられた $\hat{\mu}$ が、以上の限界内に入ることが確認されるならば、 \hat{E}_p の n 個の測定値より、平均をある信頼度で推定し、その下限を引き止め線とする。これらの解析には当然統計的手法の助けをかりなければならない^{9)~12)}など。具体的には 3. でふれる。

3. 管理限界の設定について

3.1 Pr・C の特殊性の考慮

Pr・C と一般の品質管理の相違点について文献 5) で少しくふれているが、ここではつぎの 2 点を強調しておこう。

a) 分散ケーブル方式ならば緊張結果を桁単位に考えてもよいから、あるケーブルがたまたま管理限界の外にでて、それがひきつづきでるとか極端な値にならない限り、そのケーブルに対し応急の処置を施すのが実際的と考えられる⁸⁾。

b) 一般に予備データの数が少ないから (一般の品質管理の 100 程度に対して、10~20 程度) データの質に神経をつかう必要がある。この点、もし予備データが不良の場合、統計的手法のみにたよると、とんでもない値がでてくることも想像される。このため、ある限界を与え、この限界をでることは、いままでの経験より考えられないとして、その原因を調査するのがよい。

その限界を現段階において、いままでの測定値よりつぎのように与えよう。

$$\begin{aligned} \hat{\mu} &: 0.1 \sim 1.0 \\ \hat{\mu} &: -0.4 \sim 1.4 \end{aligned}$$

$$\bar{E}_p : (1.75 \sim 2.15) \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

なお、よいデータをうる必要条件として、順応性、方向性を考慮した測定計画をたて、左右からの値に有意差が認められれば、もう一度くり返し、それが偶然かどうか確かめてみるべきであろう。

3.2 予備データのある場合

2. のように摩擦係数および \bar{E}_p の測定を行なった場合、その結果より自由度 ϕ 、平均値 $\bar{\mu}$ 、不偏分散 V とし、今後予測すべき1グループの数 m 、グループ数 k とするときの管理限界は、一般に K シグマ法の形で表わせば、

$$\bar{\mu} \pm K \sqrt{\frac{V}{m}}$$

となる。ここに K は ϕ, k, m の関数で 図-4 のように示される⁹⁾。ただし危険率は5%とする(以下すべての統計的判断の危険率は常に5%とする)。

図-4 K シグマ法における K 値 ($m=4$)

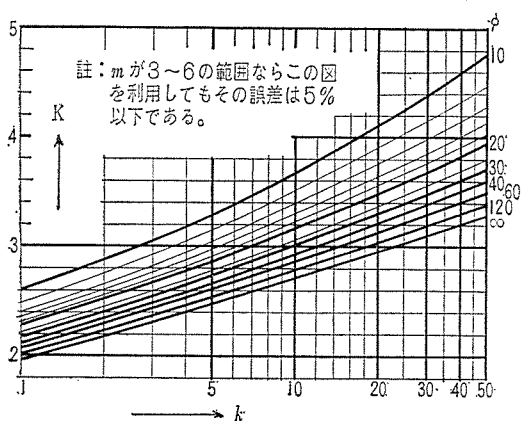


図-4 より3シグマ法によると $\phi=10 \sim 20$ (われわれの通常えられるデータの数) に対し、 $m=3 \sim 6$ として $k=2 \sim 10$ 程度の予測が適当であることがわかる(一般の品質管理では $\phi=100$ 程度となっているので $k=10 \sim 30$ 程度の予測に適していることもわかる)。

もちろん 図-4 より予測しようとするグループ数は自由で、その場合は3シグマ法の係数を $K/3$ 倍すればよい。

しかし一般に自由度が小さい場合は、まず 図-4 より自由度に応じた k を3シグマ法の係数がそのまま使えるように選び、緊張結果が得られてゆくにしたがって、その結果と総合してつぎの予測を行なうようにしてゆくのが無難であろう。

このことを前提として管理限界は

$$\hat{\mu} \text{ に対して } \bar{\mu} \pm E_0 \sqrt{V}$$

$$\bar{\mu} \text{ に対して } \bar{\mu} \pm A_0 \sqrt{V}$$

$$R \text{ に対して } D_0 \sqrt{V}, d_2 \sqrt{V}, D_3 \sqrt{V} \quad (\text{上限, 中心, 下限})$$

となる。 E_0, A_0, D_0, d_2, D_3 などは 表-3 参照。

表-3 $\bar{x}-R$ 管理図係数表

使用区分	係数	m			
		3	4	5	6
予備データのある場合	E_0	3	3	3	3
	A_0	1.73	1.50	1.34	1.23
	D_0	4.36	4.70	4.92	5.08
予備データのない場合	d_2	1.69	2.06	2.33	2.53
	E'	2	2	2	2
	A'	1.15	1.00	0.89	0.82
	D_2'	3.47	3.82	4.05	4.23
	D_1'	0	0.30	0.50	0.84
本緊張データがととのってきた場合	E_2	1.77	1.46	1.29	1.18
	A_2	1.02	0.73	0.58	0.48
	D_4	2.58	2.28	2.12	2.00

D_3, D_5 は0 ($m \leq 6$ のとき)

引どめ線としては \bar{E}_p を95%の信頼度で推定し、その下限をとるのがよい。

3.3 予備データのない場合

もちろん管理の原則からいって常に3.2によるべきであろう。しかし現在はPr・Cの過度期であることから現場の末端まで、統計的手法を十分理解(もちろん機械的に)させるには、いまま少し時間をかけるべきとも考えられるので、この程度に緊張結果がおさまるならば、いままでの経験により標準的な緊張結果であると判断しても大きな誤りはないのではないか、といえるような母集団を与えておくのも、暫定的には認めてよいと思われる。

このような意味から、ここでは標準母集団として、 $\hat{\mu}$ の平均値、標準偏差をそれぞれ0.3, 0.175に選ぶ。ただしこの場合とくに $K=2$ とする。

したがって最初の管理限界は

$$\hat{\mu} \text{ に対して } 0.3 \pm 0.175 E'$$

$$\bar{\mu} \text{ に対して } 0.3 \pm 0.175 A'$$

$$R \text{ に対して } 0.175 D_2', 0.175 d_2, 0.175 D_1' \quad (\text{上限, 中心, 下限})$$

となる。ここに E', A', D_2', d_2, D_1' などは 表-3 参照。

なおこのような場合の引どめ線は $\bar{E}_p = 1.95 \times 10^6$ とする。

もちろん以上の考え方は、あくまで便宜的にすぎないから緊張結果がある程度得られてくれば、3.4のように管理限界を設定しなおしてゆくべきである。

また、特に異常と判断される場合は考えられる原因を確かめ、その結果によっては3.1によらなければならない(正常、異常の判断と処置については、特に文献8)を参照されたい)。

3.4 本緊張よりのデータがととのってきた場合

3.3の場合はもちろん、3.2の場合によったとしてもある程度データが得られてくれば、それによって管理限

界を設定しなおしてゆくべきである。

原則は本緊張データの m, k' (予測すべきグループ数 k と便宜上, 区別する) から 図-5¹¹⁾ によって ϕ を推定してから, 図-4 より予測すべき k を求めればよいが, 大体の目安としては $k=10\sim30$ 程度を週期として管理限界を設定しなおしてゆく。特に総グループ数が 20 以下なら前半, 後半の二部分に分けるのが実際的と思われる。この場合 $\bar{\mu}, \bar{R}$ が求まるから管理限界は

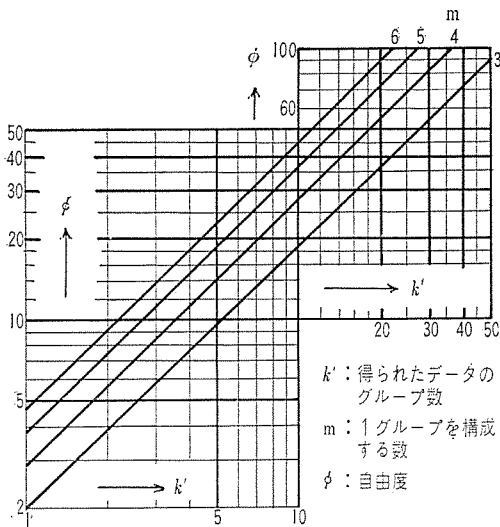
$$\dot{\mu} \text{ に対して } \bar{\mu} \pm E_2 \bar{R}$$

$$\bar{\mu} \text{ に対して } \bar{\mu} \pm A_2 \bar{R}$$

$$R \text{ に対して } D_1 \bar{R}, \bar{R}, D_3 \bar{R}$$

となる。 E_2, A_2, D_1, D_3 などは 表-3 参照。

図-5 m, k' よりその自由度を検定する図表



4. Pr・C の実施例

4.1 正常な場合 (z 橋, スパン 22.5 m, ケーブル総本数 128 本, 図-6 参照)

(1) 管理限界の設定

予備データをとらず, 1 グループのケーブル本数を 4 本とすれば, 管理限界は 3.3 より

$$\dot{\mu} \text{ に対して } 0.3 \pm 0.35$$

$$\bar{\mu} \text{ に対して } 0.3 \pm 0.175$$

$$R \text{ に対して } 0.67, 0.36, 0.05$$

と求まる。また, 引どめ線は $\dot{E}_p = 1.95 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ とする。

なおグループ分けについては種々問題もあるが⁴⁾, ここでは時間の効率を重んじ, まず緊張順にとることにする (以下同様)。

(2) 前半の緊張結果

予備データのない場合は, とくに緊張結果の動きに注意を払ってゆく。その結果 No. IV 桁の第 1 グループおよび第 4 グループが, それぞれ範囲および平均値の管理限界をそれている。これはそれまでに得られた No. III

桁までの緊張結果によると, $\bar{\mu} = 0.32, \bar{R} = 0.329$ と求まるから 3.4 より,

$$\dot{\mu} \text{ に対して } 0.32 \pm 0.48$$

$$\bar{\mu} \text{ に対して } 0.32 \pm 0.24$$

$$R \text{ に対して } 0.75, 0.33, 0$$

となり, 実は異常点と思われた 2 点は管理限界を修正すれば, 別に異常とはいえないことがわかる。もっともこのような方法は, 後ちえが働くから予測データのない場合とか, あっても信頼度にかけるとき以外は一般にさけるべきである。

(3) 管理限界の修正

No. V 桁以降に対しては, 前半の緊張結果から管理限界を修正する。すなわち $m=4, k'=16, \bar{\mu}=0.33, \bar{R}=0.291$ のデータより, まず 図-5 から $\phi=44$ を推定し, ついで 図-4 から $k=8\sim18$ 程度であることを確かめておく。

したがって管理限界は 3.4 より

$$\dot{\mu} \text{ に対して } 0.33 \pm 0.42$$

$$\bar{\mu} \text{ に対して } 0.33 \pm 0.21$$

$$R \text{ に対して } 0.66, 0.29, 0$$

と求まる。

No. V 桁以降の緊張結果については特に異常は認められなかった。

4.2 $\dot{\mu}$ が過小な場合 (d 橋, スパン 17.5 m, ケーブル総本数 104 本, 図-7 参照)

(1) 概要

この橋も最初は予備データなしで出発したが, 図-7 より明らかなように, 緊張結果が思わしくないので, ただちに作業を中止し, まず考えられる原因を調べた⁵⁾。その結果 $\bar{\mu}, \dot{E}_p$ が異常値以外の説明がつかなかった。結局測定結果より $\bar{\mu}$ は普通だが, \dot{E}_p が過小であることが判明した (表-2, d-1 橋, 参照)。しかし当時はいくら \dot{E}_p が小さいからといって, \bar{E}_p が $1.90 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 以下になることは考えられなかったもので, もう一度測定を行なった。その結果も大同小異であったので (表-2 d-2 橋 参照), 以上のデータを総合して管理限界をなおし緊張作業を再開することにした。

(2) 管理限界の設定

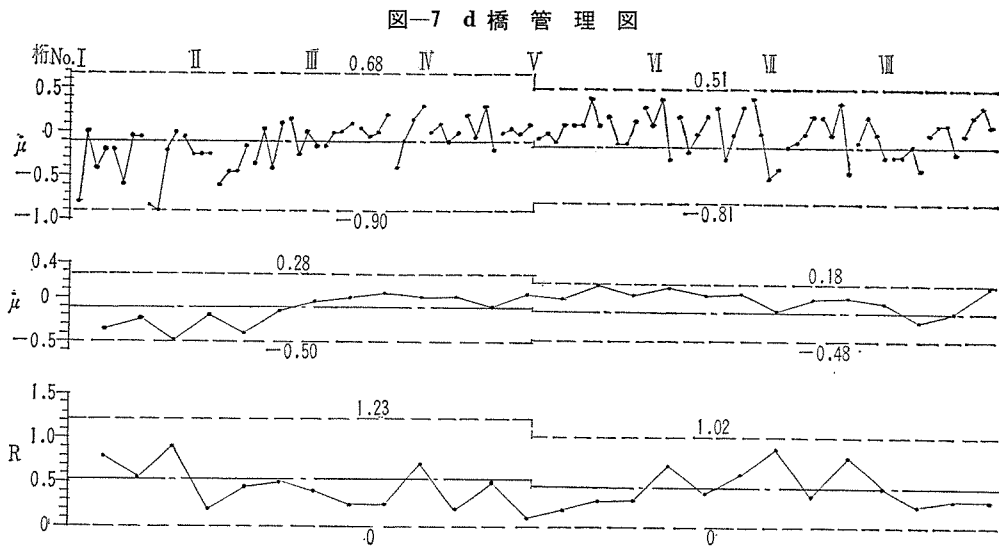
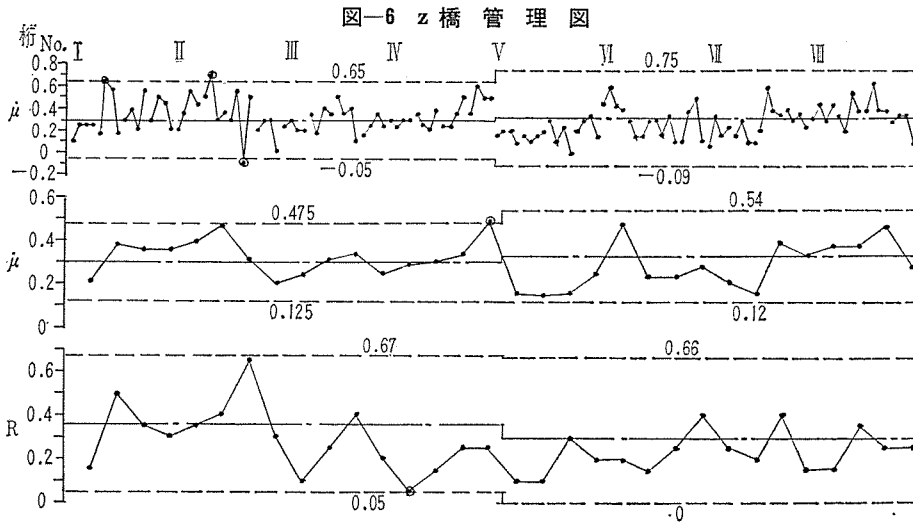
測定結果を 2.3.(2) の要領で $\dot{\mu}$ に換算して, $\phi=27, \bar{\mu} = -0.11, \sqrt{V} = 0.262$ なる予備データを得た。つぎに 1 グループのケーブル本数を 4 本に定めれば, 図-4 より $k=6\sim14$ 程度を前提として管理限界は 3.2 より

$$\dot{\mu} \text{ に対して } -0.11 \pm 0.79$$

$$\bar{\mu} \text{ に対して } -0.11 \pm 0.39$$

$$R \text{ に対して } 1.23, 0.54, 0$$

と求まる。



また、 \bar{E}_p についてのデータとして、 $\phi=27$, $\bar{E}_p=1.89$, $\sqrt{V}=0.066$ が得られるから、t 表¹¹⁾などより

$$\bar{E} = (1.89 \pm 0.03) \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

と求まるから、引きどめ線としては $\bar{E}_p = 1.86 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ とする。

(3) 管理限界の修正

No. IV 桁までの緊張結果には、特に異常は認められなかったが $k'=13$ にもなり、ちょうど前年の作業も終わったので No. V 桁以降に対しては管理図を修正する。

4.1. (3) と同様に $m=4$, $k'=13$, $\bar{\mu} = -0.15$, $\bar{R} = 0.446$ なるデータより、 $\phi=35$, $k=7 \sim 15$ を確かめて管理限界を

$$\begin{aligned} \bar{\mu} \text{ に対して} & -0.15 \pm 0.66 \\ \bar{\mu} \text{ に対して} & -0.15 \pm 0.33 \\ R \text{ に対して} & 1.02, 0.45, 0 \end{aligned}$$

と求める。この管理限界による後半の緊張結果にも特に異常は認められなかった。

(4) 終ってからの検討

この場合、終ってから特に統計的検討を加えた¹¹⁾¹²⁾。

その結果、ケーブル間、桁間に対して分散の一樣性を確かめた上で分散分析を行なったところ、No. I, II 桁および No. 2 ケーブルに有意差が検出された。しかしグループ単位に検定すれば、分散、平均値ともに有意差は認められなかった。すなわちグループ分けとして少なくとも不適当でないことと同時に、管理図による判断にも大きな誤まりのなかったことがたしかめられた。

4.3 $\bar{\mu}$ が過大な場合 (l 橋, スパン 25 m, ケーブル総本数 56 本, 図-8 参照)

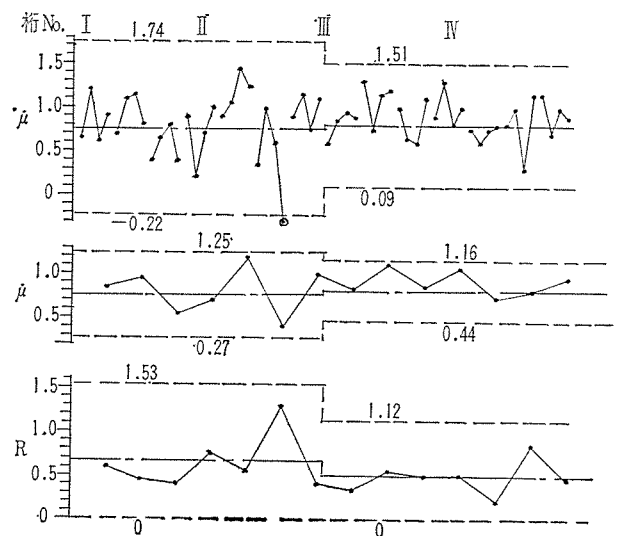
(1) 管理限界の設定

測定結果 (表-2, l 橋参照) より、4.2, (2) と同様に、 $\phi=21$, $\bar{\mu} =$

0.76, $\sqrt{V}=0.326$ から $m=4$ として $k=5 \sim 10$ が得られるから管理限界は

$$\begin{aligned} \bar{\mu} \text{ に対して} & 0.76 \pm 0.98 \\ \bar{\mu} \text{ に対して} & 0.76 \pm 0.49 \end{aligned}$$

図-8 l 橋 管理 図



R に対して 1.53, 0.67, 0 となる。引きどめ線は \bar{E}_p の推定値の下限 1.97×10^6 kg/cm² とする。

(2) 管理限界の修正

前年の緊張結果には、特に異常は認められなかった。後半に対する管理限界は、4.1.(3)と同様に $m=4, k'=7, \bar{\mu}=0.80, \bar{R}=0.49$ なるデータより、 $\phi=19, k=5 \sim 10$ を確かめて

$\dot{\mu}$ に対して 0.80 ± 0.71
 $\bar{\mu}$ に対して 0.80 ± 0.36
 R に対して 1.12, 0.49, 0

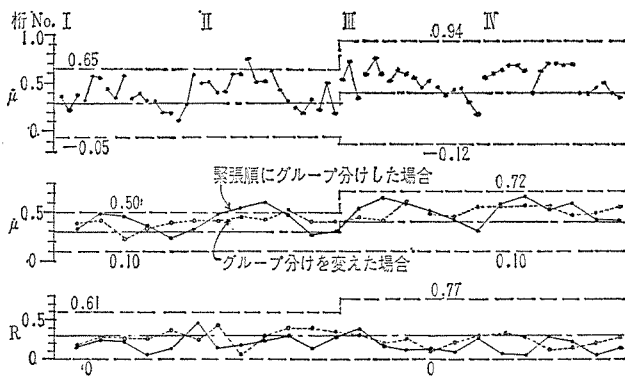
(3) 終わってからの検討

後半の緊張結果にも特に異常は認められなかった。終わってからの検討によると、ケーブル、桁間ともに有意差は認められなかったが、グループ単位に考えたとき第6番目のグループに異質性が検出された。これは内容的に $\dot{\mu}=1.0, -0.30$ のような極端な値が偶然重なったためと考えられる。

なお摩擦の大きかった理由は材料の保管期間が長すぎたため相当なさびの発生をみていたことと、シーすにたまたま $\phi 42$ を使用したことが重なった結果と判断される。

4.4 週期性、傾向性のある場合 (t 橋, スパン 25 m ケーブル総本数 72 本, 図-9 参照)

図-9 a 橋 管理図



(1) 管理限界の設定

4.1 と同様に予備データをとらず、 $m=3$ とすれば管理限界は

$\dot{\mu}$ に対して 0.30 ± 0.35
 $\bar{\mu}$ に対して 0.30 ± 0.20
 R に対して 0.61, 0.30, 0

となる。

(2) 前半の緊張結果

前半までの緊張結果において第 8, 9 番目のグループが続けて限界外にでている。このためそれまで得られた 7 グループから管理限界を修正してみると、 $\bar{\mu}=0.43,$

$\bar{R}=0.201$ より $\bar{\mu}=0.43 \pm 0.2, R=0.52, 0.2, 0$ と求まる。したがって後ちえだが、異常と思われた 2 点は管理限界を修正することにより、別に異常とはいえないことがわかったので、そのまま作業をつづけた。

その結果 図-9 から明らかなように周期性、傾向性が認められたので、グループ分けを変えてみる。組変えの原則はケーブル長、曲げ上げ角がバランスするようにする⁴⁾。その結果、周期性はなくなったが傾向性は残っている。これは桁単位に考えてみると、No. I, II 桁の $\bar{\mu}$ がそれぞれ 0.37, 0.44 になっていることから、一応摩擦が徐々に大きくなっていると解釈し、このまましばらく様子を見ることにする。

(3) 管理限界の修正

No. III 桁以降に対しては、前年の緊張結果から管理図を修正する。4.1.(3)と同様に $m=3, k'=12, \bar{\mu}=0.41, \bar{R}=0.299$ なるデータより、 $\phi=22, k=5 \sim 12$ を確かめて管理限界をつぎのように求める。

$\dot{\mu}$ に対して 0.41 ± 0.53
 $\bar{\mu}$ に対して 0.41 ± 0.31
 R に対して 0.77, 0.30, 0

(4) 後半の緊張結果

もちろん、後半はグループ分けの組変えた方のみを管理図にプロットしてゆくべきであるが、時間的効率も重んじて参考までに緊張順にとったグループに対してもプロットしてゆく。その結果、傾向性が明らかとなってきた。確かに桁単位に考えて No. III, IV 桁の $\bar{\mu}$ はそれぞれ 0.50, 0.54 となっていることから了解される。もし今後緊張をつづけるものとすれば、材料管理その摩擦が過大になる原因を、あらかじめ除去するような処置をとるべきであろう。

(5) 終わってからの検討

分散分析をしてみるとケーブル間、桁間ともに有意差が検出された。グループ単位に検定してみると、緊張順にとった場合は有意、組変えた場合は有意とはいえないことが確かめられた。

5. あとがき

以上で一応の提案と報告を終る。もとよりこれだけで不十分な所しりはまぬかれない。例えば

- a) 摩擦およびヤング係数測定結果と本緊張結果との対応関係を、順序性、方向性の面より検討すること。
- b) 緊張時と定着後の摩擦の大きさは定性的に違っていることは確かである。これが定量的に果して無視できるかどうかの検討。
- c) 本小文は統計的手法のほんの入口の部分の借用しているにすぎない。Pr・C の特殊性を考慮した効率のよ

い統計的手法の本格的な活用の研究。

d) フレシネー以外の工法についても管理の原則は同じはずだが、それぞれの特徴を生かした管理方法の研究。

その他数多くの事項にふれることができなかつたのは筆者の能力の限界を示すもので、これらの点の解決にはいまま少し時間を与えて下さることを読者の皆様に御願いますとともに、本小文に対する御批判を頂ければ幸いです。

末筆ながら、種々のデータ提供に協力された国鉄現場の方々、業者の皆様に厚く御礼を申し上げてペンをおく。

参 考 文 献

1) 小寺 重郎：東海道新幹線 PC 橋の計画にあたって、プレストレスト コンクリート, Vol. 5, No. 2

2) 野口 功：プレストレッシングの管理, プレストレスト コンクリート, Vol. 5, No. 1, 2
 3) 同 上：プレストレッシングの管理について, 土木学会編「最近におけるプレストレスト コンクリート」
 4) 野口・斉藤：プレストレッシング管理に関する一考察, PC技術協会第3回年次学術講演会講演概要集
 5) 斉藤 昇：プレストレッシング管理方法の一考察, 土木技術, Vol. 12, No. 1
 6) 同 上：プレストレッシング施工管理の実際, 土木技術, Vol. 12, No. 2
 7) 新幹線総局土木部設計課：プレストレッシング管理(案)
 8) 同 上：プレストレッシングの管理, 「PC 施工の手びき追補」付録
 9) 中村 慶一：品質管理を進めるには, 土木技術資料 Vol. 3, No. 6
 10) 秋草他 3 氏：工事管理とその実際, 最新土木施工講座 24 山海堂
 11) 森口 繁一：日科技連数値表 (A), 日本科学技術連盟
 12) 同 上：同 上 (B), 同 上

1963.10.28. 受付



KK オリエンタルコンクリート株式会社

取締役会長 松井春生 取締役社長 小林郁文

本 社 東京都千代田区五番町5 電話東京 (331)1171 (代)
 営業所 大 阪 ・ 福 岡
 出張所 北海道・仙台・名古屋・広島・宮崎
 工 場 多 摩・尻無川・鳥 栖・滋 賀・旭 川