

プレストレッシング管理体系化のための基本事項

齊 藤 昇*

まえがき

いわゆるプレストレッシング管理が本格的に提唱された最初は、昭和 36 年 8 月の土木学会夏期講習会における野口博士の「プレストレッシングの管理について」であった¹⁾。ついで東海道新幹線工事で、PC 桁が短期間に大量に採用されたこともあって「プレストレッシングの管理(案)」が国鉄新幹線総局によって作成された²⁾。

その後いくつかの試行、研究を重ねながら示方書、施工基準、施工便覧などにもりこまれ、最近本誌上に小林、中原、長田氏共著の「簡略化した PC 桁の緊張管理および現場測定」が掲載され今日にいたっている¹¹⁾。

省みれば、この 24 年間という時間経過は管理の定着化の反面、用語、定義などに若干の混乱を生じているようであり、また品質管理そのものが、いまや生産現場より人間の質の向上までに拡大され、いわゆる TQC (総合的品質管理) として社会全般に浸透しつつある。

このような内外の情勢をふまえるとき、現在ほどプレストレッシング管理体系化の確立が望まれる時代はないであろう。

この小論はその意味で、前述の各論の相互関係および用語、定義の明確化を含め、プレストレッシング管理体系化のための基本事項の総括報告であり、体系化確立のきっかけになればと考え、非才を省みずあえて発表させて頂く次第である。

以下「プレストレッシング管理」は、字数が多いので、「緊張管理」に統一する。

1. 緊張管理の原則

野口博士は緊張管理の原則について、表—1 のように

表—1 管理の原則

	緊張管理の場合	一般の品質管理の場合
a)	荷重計の読み、および PC 鋼材の伸び量がどこまで達したら緊張作業を止めて PC 鋼材を定着するか。	製品が規格値を満足していることを、ヒストグラムで調べる。
b)	緊張作業にあたって、設計断面の緊張力を変動させる偶然原因が、安定した状態にあるか。	工程が安定していることを管理図で調べる。

* 八千代エンジニアリング(株)常務取締役第三事業部長

表現されている⁵⁾。なお、表—1 には、一般の品質管理の場合²²⁾を併記して示してある。

続いて野口博士の言葉を借りれば「統計的な管理においては b) の問題が大切であって、プレストレッシングの結果の信頼性を高めるためにも、安定した状態でプレストレッシングが行われているかどうかを問題にしなければならぬのである。」とつけ加えておられる⁵⁾。

2. 緊張管理のための緊張計算式

2.1 緊張計算の基本式

設計計算書において、設計断面に必要な緊張力を弾性変形の減少分を補正して P_j とすれば、緊張端に与えねばならない緊張力は荷重計示度 σ_m に換算して、

$$\sigma_m = f(x_i) P_j \dots\dots\dots (2.1)$$

(2.1) に対応する PC 鋼材伸び量 Δl は

$$\Delta l = g(x_i) P_j \dots\dots\dots (2.2)$$

2.2 緊張結果のばらつく原因

(1) 緊張計算式に含まれる原因

- PC 鋼材の各部分の長さ: l_i
- PC 鋼材の角変化: α_i
- PC 鋼材の断面積: A_p
- ジャッキの受圧面積: A_m
- 引張装置および定着具における摩擦係数: τ
- PC 鋼材の長さ 1 m 当りの摩擦係数: λ
- PC 鋼材の角変化 1 ラジアン当りの摩擦係数: μ
- PC 鋼材のヤング係数: E_p

(2) 緊張計算式に含まれない原因

- PC 鋼材の種別、表面状態
- PC ケーブルの配置誤差、三次元的角変化
- 素線間のよじれ、伸びの不均一性
- シースの材質、剛性、内径、支持間隔
- 荷重計の誤差、測定値の読取り誤差、……など。

2.3 緊張計算上の未知数の選定

緊張結果のばらつく原因を代表して、基本的に τ, μ, λ, E_p の四変数を選べば (2.1), (2.2) より、

$$f(x_i) = f(\tau, \mu, \lambda) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$g(x_i) = g(\tau, \mu, \lambda, E_p) \dots\dots\dots (2.4)$$

しかし、緊張計算の独立な二式に対しては二変数とするのが、緊張管理上効率的である。その二変数として μ および E_p を選ぶ。ただし、当然ながら (2.3), (2.4)

の μ および E_p とは定義が異なるので、記号的にも区別して $\ddot{\mu}$ および \dot{E}_p とする。したがって (2.3), (2.4) は簡略化され、

$$f(x_i) = f(\ddot{\mu}) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$g(x_i) = g(\ddot{\mu}, \dot{E}_p) \dots\dots\dots(2.6)$$

となる。いいかえれば $(\sigma_m, \Delta l)$ を直角座標にとるとき、その平面を $(\ddot{\mu}, \dot{E}_p)$ の網目でおおうことができる。

2.4 単純桁の緊張計算式

一般の対称ケーブル配置の単純桁の場合、(2.3) は、

$$f(r, \mu, \lambda) = \frac{(1+r)}{A_m} \left(\exp(\mu\alpha + \lambda \sum_1^3 l_i) \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\doteq \frac{(1+r)}{A_m} \left((1+\mu\alpha + \lambda \sum_1^3 l_i) \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

となる。数学的には確かに (2.8) は (2.7) の近似式である。しかし $f(r, \mu, \lambda)$ を設計断面を基準として、緊張端で何割増して緊張すればよいかという尺度と考えれば、(2.8) を (2.7) とは独立な厳密式とみなせる。

同様に (2.4) に対して、

$$g(r, \mu, \lambda, E_p) \doteq \frac{L}{A_p E_p} (1+k) \dots\dots\dots(2.9)$$

ここに、 $L = 2 \sum_1^5 l_i \dots\dots\dots(2.10)$

$$k = \frac{\mu\alpha + \lambda \sum_1^3 l_i}{2} + \frac{l_3 + l_4 + l_5 - l_1}{L} \cdot \alpha \mu \dots\dots\dots(2.11)$$

が導ける⁹⁾。そして、この (2.9) もまた数学的には確かに (2.4) の近似式である。しかし応力分布面積を $[P_j L \cdot (1+k)]$ と定めたときの E_p を \dot{E}_p と定義すれば、(2.9) は (2.4) とは独立な厳密式とみなせる。

なお、PC 鋼材試験成績表の E_p と区別するため、この \dot{E}_p を特に、PC 鋼材の見かけのヤング係数と称する。また、(2.8), (2.9) は (2.5), (2.6) より、

$$f(\ddot{\mu}) = \frac{(1+r)}{A_m} (1+a\ddot{\mu}) \dots\dots\dots(2.12)$$

$$g(\ddot{\mu}, \dot{E}_p) = \frac{L}{A_p \dot{E}_p} (1+b\ddot{\mu}) \dots\dots\dots(2.13)$$

ここに、 $a = \alpha + \frac{\lambda}{\mu} \sum_1^3 l_i \dots\dots\dots(2.14)$

$$b = \frac{a}{2} + \frac{l_3 + l_4 + l_5 - l_1}{L} \cdot \alpha \dots\dots\dots(2.15)$$

と簡略化される。なお、(2.8), (2.12) を対照すれば、 $\ddot{\mu}$ とは $r, \lambda/\mu$ を一定としたときの μ 値であるとも定義できる。

3. 緊張結果の予測

緊張作業まえに緊張結果を予測することは、言いかえ

れば、いかに母集団を与えるかということでもある。その与え方に、つぎの 3.1, 3.2 に述べる二方法が考えられるが、いずれにせよ管理の原則からいって、予備データにすぎないことを認識すべきであろう。

3.1 未知母集団の推定による予測

母集団未知の原則に従い、現場で試験緊張を行い、摩擦係数および PC 鋼材ヤング係数の測定解析により、その現場特有の母集団を推定し、緊張管理グラフによって緊張結果を予測する。

3.1.1 試験緊張による測定解析

(1) r の測定解析

引張側圧力 p_2 , 受圧側圧力 p_1 とすれば、周知のように

$$r = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} - 1 \dots\dots\dots(3.1)$$

ただし、(2.12) による場合は省略してもよい。

(2) (μ, λ) または $\ddot{\mu}$ の測定解析

これらの測定法および純理論的解析法については、既に体系化されている。しかし、理論と実際との結びつきに関し、若干の補足をつけ加えたい。

その第一は、引張側圧力 p_2 と受圧側圧力 p_1 とを直角座標にプロットしてみると、 p_2 と p_1 の測定値の軌跡は理論式のように原点を通るとは限らない。すなわち、図-1 に示す Δp の影響を考慮しなければならないこと。第二に測定目的に応じた解析を行うことの2点である。以上を考慮すれば (μ, λ) または $\ddot{\mu}$ に対する測定解析結果は単純桁を想定して(以下同様)表-2のように示せる⁹⁾。ただし、近似的に $C_1 \sqrt{\frac{p_2}{p_1 + \Delta p}} \doteq \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$ としてよいが、 p_1/p_2 が小さいとき、 Δp が大きいときは計算式の見直しに注意する。

なお (3.2) 式では最小二乗法により (μ, λ) が求まり、(3.3) 式では、測定本数ごとに $\ddot{\mu}$ が求まる。

(3) \dot{E}_p の測定解析

摩擦係数測定の際、引張側圧力 p_2 , 受圧側圧力 p_1 ,

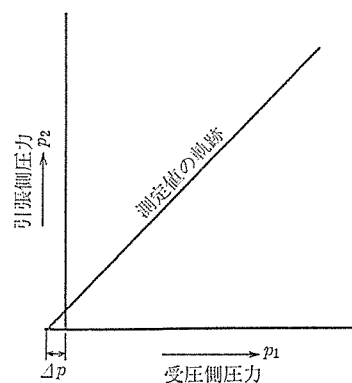


図-1 $\frac{P_2}{P_1 + \Delta P} = \text{一定}$

表—2 (μ, λ) または $\ddot{\mu}$ の測定解析総括表

摩擦係数測定解析結果の引張端とスパン中央との緊張力の比	$\frac{p_2}{p_0}$	$= C_1 \sqrt{\frac{p_2}{p_1 + 4p}}$① ここに、 $C_1 = 1 + \frac{4p}{p_1 + \sqrt{p_2(p_1 + 4p)}}$②	
測定解析の目的		摩擦係数そのもの (μ, λ) を求める	(2.12) で定義した $\ddot{\mu}$ を求める
緊張計算式における緊張端とスパン中央との緊張力の比	$\frac{\sigma_m}{\left(\frac{P_j}{A_m}\right)}$	$= (1+r) \exp(\mu\alpha + \lambda \sum_1^3 L_i)$③	$= (1+r)(1+a\ddot{\mu})$④
$\frac{p_2}{p_0} = \frac{\sigma_m}{\left(\frac{P_j}{A_m}\right)}$ よりの解		①=③ より $\alpha\mu + \sum_1^3 L_i \cdot \lambda = \ln \left\{ \frac{C_1}{1+r} \sqrt{\frac{p_2}{p_1 + 4p}} \right\}$(3.2)	①=④ より $\ddot{\mu} = \frac{C_1}{1+r} \sqrt{\frac{p_2}{p_1 + 4p}} - 1$(3.3)

原点のズレ $4p$ のほかに、PC 鋼材伸び量 dl を測定する。

スパン中央の推定圧力 p_0 に対し、表—2 の①式および $p_0 < \frac{p_2 + p_1}{2}$ なることを考慮すれば、文献 9) より、

$$\dot{E}_p = C_3 \left[\frac{A_m L}{A_p \cdot dl} \cdot \sqrt{p_2 p_1} \right] \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\text{ここに、} C_3 = \left\{ \frac{\sqrt{p_2(p_1 + 4p)} + p_1}{\sqrt{p_2 p_1} + \sqrt{p_1(p_1 + 4p)}} \right\} \times \left\{ 1 + \frac{k^2}{2(1+k)} \right\} \dots\dots\dots(3.5)$$

ただし、近似的に $C_3 \approx 1$ としてよいが、 p_1/p_2 が小さいとき、 $4p$ が大きいときは計算式の選択に注意する。

3.1.2 緊張管理グラフの作成

(1) 引止め線のための \dot{E}_{pf} の決定

測定ケーブル本数を n とすれば、 \dot{E}_p の推定値は、

$$\dot{E}_p = \bar{\dot{E}}_p \pm t(n-1, \alpha) \sqrt{\frac{V_E}{n}} \dots\dots\dots(3.6)$$

ここに、 $\bar{\dot{E}}_p$: \dot{E}_p の平均値

t : t 分布

α : 危険率で一般に 5%

$$V_E = \frac{\sum (\bar{\dot{E}}_p - \dot{E}_{pi})^2}{n-1}$$

ところで、この \dot{E}_p は管理グラフ上で引止め点に直接かかわる重要な値である。純理論的には平均値でよいはずであるが、試験データの数は一般の品質管理に比べ比較的少ないこと、また素朴的には引き足りないより引き越す方が望ましいことを併せて、管理上の \dot{E}_p としてつぎのいずれかの \dot{E}_{pf} を採用する。

文献 9) では、(3.6) の推定値の下限

$$\dot{E}_{pf} = \bar{\dot{E}}_p - t(n-1, \alpha) \sqrt{\frac{V_E}{n}} \dots\dots\dots(3.7)$$

文献 16), 17) では経験上

$$\dot{E}_{pf} = \frac{\bar{\dot{E}}_p}{1.02 \sim 1.03} \dots\dots\dots(3.8)$$

を推奨している。

(2) ($r, \mu, \lambda, \dot{E}_{pf}$) による管理グラフ

試験緊張結果より求められた $r, \mu, \lambda, \dot{E}_{pf}$ を用い、(2.1), (2.8) より $\sigma_{m,0}$ を、(2.2), (2.9) より dl_0 を求め、これらの交点を中心点 C とし、この C の垂直線の上側および水平線の右側を引止め線とする。

管理限界幅を 5% の危険率で $\pm \delta_a$ 、引止め線の上下限値を M および L とすれば、それぞれの座標は C を基準として表わせば、上限値 M は

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{m,M} &= \sigma_{m,0}(1 + \delta_a) \\ dl_M &= dl_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.9)$$

下限値 L は、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{m,L} &= \sigma_{m,0} \\ dl_L &= dl_0(1 + \delta_a) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.10)$$

と求まる。この M, L と原点 O を結べば 図—3(a) のように管理グラフが画ける。

管理図にプロットする統計量は、C 点を 0, M 点を $-\delta_a$, L 点を $+\delta_a$ とし、M~C 間, C~L 間は適当に等分して目盛ればよい。

なお、この方法を他の方法と区別して δ 法と呼ぶ。

(3) ($\ddot{\mu}, \dot{E}_{pf}$) による管理グラフ

i) $\ddot{\mu}$ の管理限界

$\ddot{\mu}$ が n 個得られているので、管理限界は次式で求まる。

$$\ddot{\mu} = \bar{\ddot{\mu}} \pm K \sqrt{\frac{V_{\ddot{\mu}}}{m}} \dots\dots\dots(3.11)$$

ここに、 $\bar{\ddot{\mu}}$: $\ddot{\mu}$ の平均値

K : 未知母集団に対し、危険率 5% とすれば $K=3.22$

$$V_{\ddot{\mu}} = \frac{\sum (\bar{\ddot{\mu}} - \ddot{\mu}_i)^2}{n-1}$$

m : 1 グループのケーブル本数

ii) 管理グラフの作図

設計段階における緊張計算結果を利用した作図の手順を、図—2 によって説明する。

① 設計段階の \dot{E}_p を \dot{E}_{p0} と特記し、この \dot{E}_{p0} に対し適当な $\ddot{\mu}$ の二組についての緊張計算結果を、管理グラフ上で A_0, B_0 とし、この 2 点を結ぶ直線上に、補間、補外によって $\ddot{\mu}$ 値を目盛っておく。

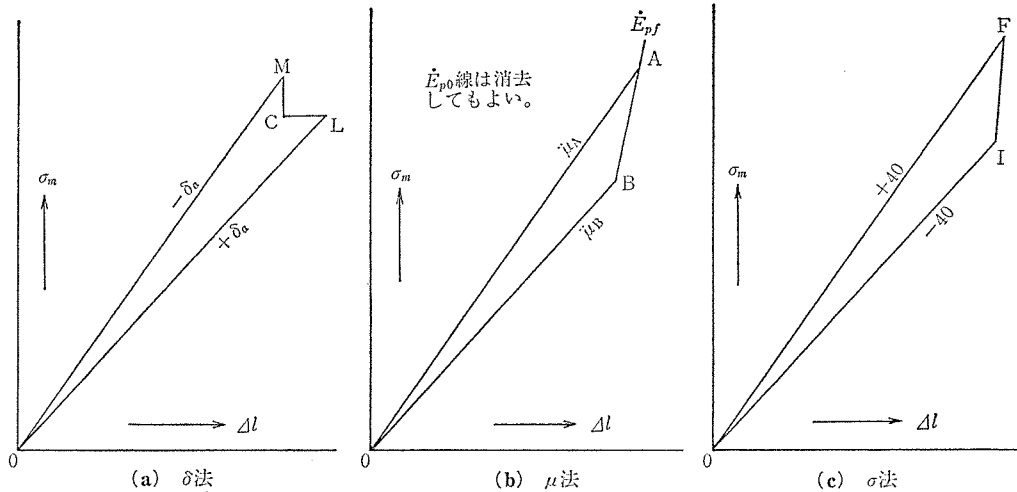


図-3 緊張管理グラフ

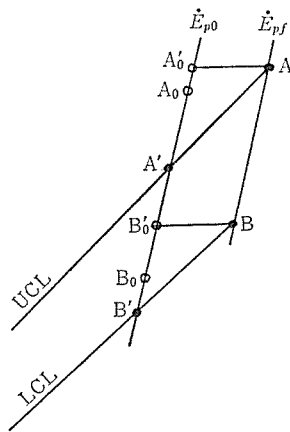


図-2 μ法の作図手順

- ② 上記の \dot{E}_{p0} 線上に (3.11) から求めた $\ddot{\mu}$ の上下限界値を定め、 A_0' 、 B_0' とする。
- ③ A_0' 、 B_0' 位置の Δl 値を、 $\dot{E}_{p0}/\dot{E}_{pf}$ 倍水平移動して、 A 、 B を決める。この A 、 B を結べば引止め線 \dot{E}_{pf} となる。
- ④ この A 、 B と原点 O とを結べば、図-3 (b) のように管理グラフが画ける。ただし \dot{E}_{p0} 線は消去してもよい。

管理図にプロットする統計量は、 A 点を $\ddot{\mu}_A$ 、 B 点を $\ddot{\mu}_B$ とし、 $A \sim B$ 間は適当に等分して目盛ればよい。

なお、この方法を他の方法と区別して μ 法と呼ぶ。

(4) $(\ddot{\mu}, \dot{E}_{pf})$ による管理グラフ

ある現場だけを考えれば、前記の方法で十分である。しかし、各現場間の差、同一現場でも時間的変化を自動的に知りたい時は、測定値の軌跡の傾きを表わす尺度は統一されていることが望ましい。

このため、ある現場のある時点での引止め線 \dot{E}_{pf} とは別に標準的な \dot{E}_p 値を与え、この \dot{E}_p 線上と測定値の軌跡との交点における $\ddot{\mu}$ 値で、傾きの尺度を統一し、

この $\ddot{\mu}$ 値を特に $\ddot{\mu}$ と名付ける。

この場合 \dot{E}_p 値としては、一般に設計段階の緊張計算に用いた \dot{E}_{p0} 値を用いるのがよい。それはこの段階における \dot{E}_{p0} 値は、示方書、規準などで示されている標準値を用いていることと、 $(\ddot{\mu}, \dot{E}_{pf})$ 管理グラフが殆どそのまま利用できるからである。

すなわち 図-3 (b) に \dot{E}_{p0} 線を追加記入するだけでよい。ということは $(\ddot{\mu}, \dot{E}_{pf})$ の管理グラフを作成するために用いた \dot{E}_{p0} 線をそのまま残しておけば、これが $(\ddot{\mu}, \dot{E}_{pf})$ の管理グラフとなる。したがって 図-2 の \dot{E}_{p0} 線上の $A' \sim B'$ 間を適当に等分し、この $\ddot{\mu}$ を $\ddot{\mu}$ と呼びかえ管理図のための統計量とし、 \dot{E}_{pf} 線上で引き止めればよい。

3.2 標準母集団の設定による予測

過去の経験上、この程度の緊張結果なら、少なくとも大きな誤りはないと判断できるような標準母集団を設定し、緊張管理グラフによって緊張結果を予測する。

実例としては、東海道新幹線の例¹⁷⁾、道路協会の例¹⁶⁾、PC 建設業協会の例¹⁷⁾などがあるが、ここでは本誌上に掲載された最近の例を取り上げる¹¹⁾。

3.2.1 母数の標準値

数多くの現場での測定解析データより、標準母集団を設定した場合で、現時点での国鉄の研究成果によれば¹¹⁾、未知母数の標準値として、

$$r=0.02, \mu=0.15, \lambda=0.002$$

を与えるとともに (2.1), (2.2) より P_j を消去し、(2.8), (2.9) の関係を用いれば、

$$\Delta l = AL\sigma_m \dots\dots\dots (3.12)$$

$$\text{ここに、} A = \frac{A_m(1+k)}{A_p E_p (1+r) \left(1 + \mu\alpha + \lambda \sum_{i=1}^3 l_i \right)} \dots\dots\dots (3.13)$$

と変形され、この A の標準値として 0.0013% を与える。

3.2.2 緊張管理グラフの作成

(1) 緊張計算の基準値 σ_{m0} , Δl_0 とその信頼幅

(2.1), (2.8) より,

$$\sigma_{m0} = \frac{(1+r)}{A_m} \left(1 + \mu\alpha + \lambda \sum_{i=1}^3 l_i \right) P_j \dots \dots \dots (3.14)$$

(3.12) に A の標準値 0.0013% を代入して,

$$\Delta l_0 = 0.0013\% \times (L\sigma_{m0}) \dots \dots \dots (3.15)$$

これら基準値に対する 95% 信頼幅を

σ_{m0} に対して, $\pm 40 \text{ kg/cm}^2$

$\Delta l_0/L$ に対して, $\pm 0.04\%$

と与える¹¹⁾。

(2) 管理グラフと統計量

引止め線の上, 下限値 F, I の $\sigma_m, \Delta l$ 値はその定義に従い¹¹⁾, 基準値 $\sigma_{m0}, \Delta l_0$ を用いれば次式で求められる。ただし, セットによる補正量 l' を含める。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_m &= \left(\frac{\Delta l_0 + l'}{\Delta l_0} \right) \sigma_{m0} \pm 40 \\ \Delta l &= \{ (\Delta l_0 + l') \mp 0.04\% L \} \left\{ 1 \pm \frac{40}{\sigma_{m0}} \cdot \frac{\Delta l_0}{(\Delta l_0 + l')} \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.16)$$

符号の上が F , 下が I 点

この F, I と原点 O とを結べば 図-3(c) のように管理グラフが画ける。

管理図にプロットする統計量は, F 点を $+40$, I 点を -40 とし, $F \sim I$ 間は適当に等分して目盛ればよい。

なお, この方法を他の方法と関連させ σ 法と仮称する。

3.3 予測のための参考データ

管理グラフおよび管理図によって, 引止め点を決めたり, 作業工程の正常, 異常の判断を下す場合, よりどころの一つとして過去のデータが役立つ。特に標準母集団のほか, 各現場特有の母集団母数を知っておくことが望ましい。

(1) 試験緊張結果よりの r 値

$$r = 0.02 \sim 0.062$$

ちなみにある現場での新品とさびのある場合との比較結果によると 0.02 対 0.053 であった⁹⁾。

(2) 試験緊張結果よりの μ, λ 値

μ, λ の測定値群を三つのグループに分け 図-4 のように示す。全体を総合した極値モデルを六角形とすれば, その (μ, λ) 値は (0.05, 0.006), (0.1, 0.011), (0.15, 0), (0.3, 0.011), (0.5, 0.008), (0.65, 0.001) の 6 組で, これより $\sigma_m, \Delta l$ のばらつく範囲を知ることができる。

(3) $(\bar{\mu}, \bar{E}_p)$ の特定母集団

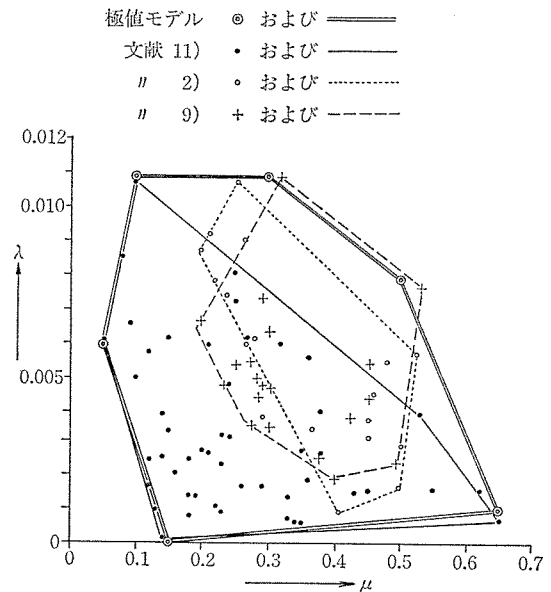


図-4 試験緊張結果よりの (μ, λ)

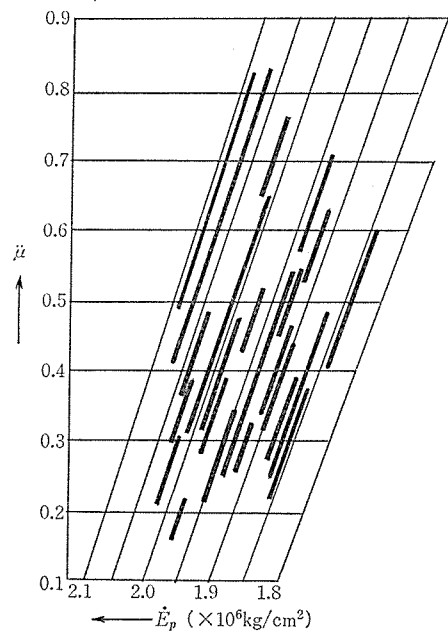


図-5 試験緊張結果よりの $(\bar{\mu}, \bar{E}_p)$

東海道新幹線時代の 26 現場における, 試験緊張結果の推定母集団を 図-5 に示した。

この場合, ある橋梁をモデルに, 各現場の $(\bar{\mu}, \bar{E}_p)$ の推定値および幅が, 緊張グラフ上でどのように影響しているかがわかる。すなわち測定値の軌跡の傾きの管理(グループ管理)と引止め線の管理(ケーブル1本ごとの管理)が独立であることが明らかである。

(4) 緊張結果予測のための参考

試験緊張からの母集団推定にせよ, 標準母集団の設定にせよ, 図-4, 5 と照合し, その妥当性を見当づけは可能であろう。特に留意しなくてはならないのは, 緊張管

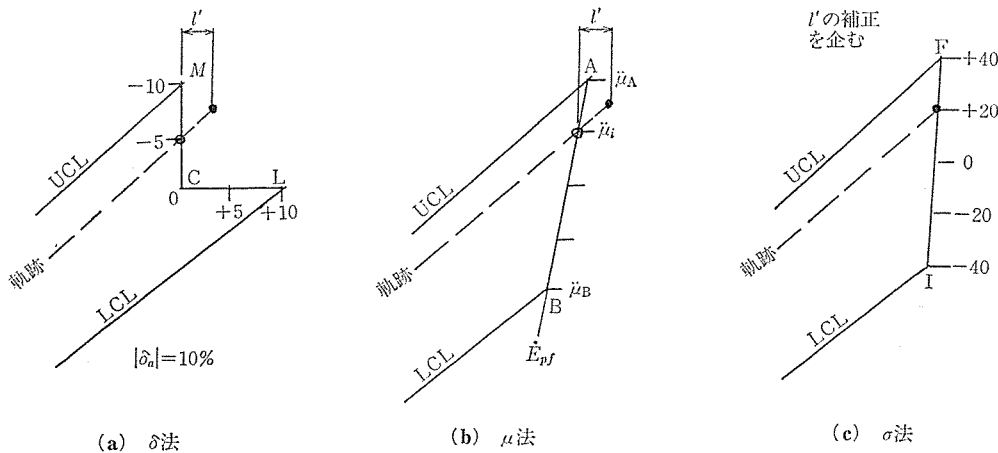


図-6 引止め位置の決定と統計量の読取り

理グラフ上で、絶対上限線に対応して、絶対下限線を引いておくことが望ましい。

現時点で、図-4, 5より摩擦係数 ($\mu=0.05, \lambda=0.006$) および ($\mu=0.15, \lambda=0$) のいずれか小さい方を、 σ_m の最小値とし、これを絶対下限線とするのがよい。

4. 緊張管理

4.1 ケーブル一本ごとの管理

4.1.1 引止め点の決定と統計量の読取り

管理グラフ上に、 σ_m, dl を測定しながらプロットし、その軌跡が直線の上のり、かつ予め定めた限界内に入っていることを確認のうえ、引止め線との交点を最終緊張力および最終伸びとする。ただし、 σ 法の場合はセットの補正量 l' を予め考慮して引止め点を決めていたが、 δ 法、 μ 法の場合は最終予定伸びに l' だけ引き越す。同時に 図-6 に示すように統計量を、それぞれの方法に応じ読み取り、管理図に記入する。

以上は正常と判断される場合で、何らかの問題がある場合の、判断—原因調査—処置については、文献 9) を参照されたい。

なお、セット量の補正值を決めるときの前提となる許容セット量と実セット量の関係づけに $\dot{\mu}$ を使用する場合を見うけるが、これは一般に不適当で $\ddot{\mu}$ を使用すべきである。

4.1.2 引止め方法比較

(1) δ 法と μ 法

両者とも試験緊張により母集団を推定しているので、引止めのための \dot{E}_{pf} の決め方を統一しておけば、管理グラフの中心点は一致するはずである。したがって両方法の管理グラフを重ね合わせれば、図-7 のようになる。

したがって、測定値の軌跡 ①, ② に示されるように、

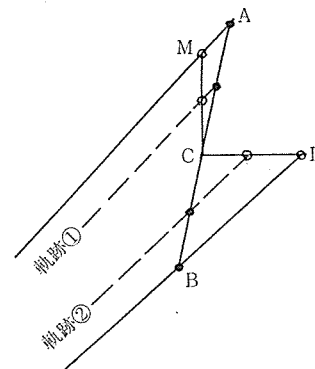


図-7 δ 法 (MCL) と μ 法 (ACB)

ケーブル一本ごとの引止め点は、明らかに差があるが、両母集団が統計的に推定されているので、ケーブルグループで考えれば、一本ごとの差は相殺され、少なくとも両者は実用上同等といえる。

(2) μ 法と σ 法

σ 法は比較的新しい方法なので、具体的な数値例をつけ加えて比較する。ただし比較の便宜上 $l'=0$ とする。

i) 引止め線 F, I 点の $\ddot{\mu}, \dot{E}_p$ 値

F, I 点の (σ_m, dl) 値は (3.16) より、 $l'=0$ において、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_m &= \sigma_{m0} \pm 40 \\ dl &= (dl_0 \mp 0.04\% \times L) \left(1 \pm \frac{40}{\sigma_{m0}} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

符号の上が F, 下が I 点

したがって、この値を μ 法に変換するには (2.1), (2.12), (4.1) より、

$$\ddot{\mu} = \frac{1}{a} \left\{ \frac{A_m(\sigma_{m0} \pm 40)}{(1+r)P_j} - 1 \right\} \dots\dots\dots (4.2)$$

また、(2.2), (2.13), (4.1) より、

$$\dot{E}_p = \frac{(1+b\ddot{\mu})L\sigma_{m0}P_j}{A_p(\sigma_{m0} \pm 40)(dl_0 \mp 0.0004L)} \dots\dots\dots (4.3)$$

ii) 数値例

文献 10) の計算例に示された数値を用いて比較する。
 母数の標準値 $r=0.02$, $\mu=0.15$, $\lambda=0.002$, $A=0.0013$
 % のほか, 既知の数値 $l_1=1.458$ m, $l_3=0.425$ m $\sum_1^3 l_i=$
 14.973 m, $L=30.8$ m, $\alpha=0.2967$, $P_j=140.2$ t, $A_m=$
 300 cm², $A_p=11.845$ cm² より,
 $a=0.4963$, $b=0.2423$, $\sigma_{m0}=512.1$ kg/cm², $\Delta l_0=20.5$
 cm と求まる。

[例 1] $A=0.0013\%$ の意味

(3.14) 式の (μ, E_p) を $(\ddot{\mu}, \dot{E}_p)$ に置き換え, \dot{E}_p を $\ddot{\mu}$ の関数として表わせば,

$$\dot{E}_p = 1.91 \times 10^6 \frac{1 + 0.2423 \ddot{\mu}}{1 + 0.4963 \ddot{\mu}}$$

したがって, $A=0.0013\%$ の意味は一般に与えられた PC 鋼材, ケーブル形状の場合の $\ddot{\mu}$ と \dot{E}_p の間には上式の関数関係が成り立つこと。特に $\ddot{\mu}=0.15$ と指定すれば $\dot{E}_p=1.84 \times 10^6$ kg/cm² と与えたことと同等となる。

[例 2] F, I 点の $\ddot{\mu}$ および \dot{E}_p 値

(4.2), (4.3) に既知の数値を代入すれば,

F 点に対し, $\ddot{\mu}=0.32$, $\dot{E}_p=1.89 \times 10^6$ kg/cm²

I 点に対し, $\ddot{\mu}=-0.02$, $\dot{E}_p=1.81 \times 10^6$ kg/cm²

と求まる。したがって, μ 法と σ 法との間に, δ 法と μ 法と同様な関係が成り立つためには, 図-8 のような関係が成り立たねばならない。

これを証明するためには, 試験緊張によるほかないと思われるが, いずれにせよ体系化のための問題点であることは確かである。またとりあえずの処置としては 3.3 (4) で述べた絶対下限線を守るべきであろう。

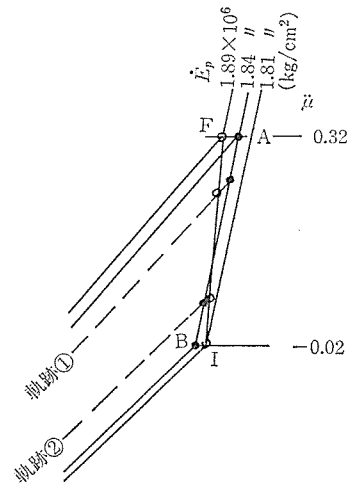


図-8 μ 法 (AB) と σ 法 (FI)

4.2 ケーブルグループの管理

管理の原則からいえば, ケーブルグループ管理が本当の意味での管理といえる。その意味でいえば, 一般の品質管理は既に JIS にとりあげられ, グループ管理については体系化を論ずる必要はない。したがって, 管理図の作成, 見方, 使い方, 判定方法などの基本事項については, 品質管理の専門書^{21), 22)}に譲り, ここでは緊張管理の特色を示す代表例を表-3 にまとめるにとどめる。

なお, 管理限界の外に統計量が飛び出す場合は, 明らかに異常と判定されるので, この表に示す代表例としては統計量がすべて限界内にある場合とする。

文献 2) の前半は, 管理図モデル I の ② の場合, 後半は同じく ① の場合であった。文献 8) に管理モデル

表-3 管理図代表モデルの参考例

管理図代表モデル	統計量の変動状況	判定	原因調査	処置
	だんだんと大きくなる傾向がある	①荷重計が狂ってきたか ② $\ddot{\mu}$ と E_p とのいずれかが大きくなってきたか, 両方の重なりか	キャリブレーションを行い	狂っていれば交換
	中心線の片側に片寄っている	母集団の推定もしくは設定が不適当か	試験緊張を行い $\ddot{\mu}$ および E_p の測定解析を行う	新しい管理限界に変更 ($\ddot{\mu}$ 過大の場合は, 摩擦の軽減処置をとる)
	中心線の付近に集中している			
	周期性がある	ケーブルグループの組分けが不適当か	グループを組み変えて管理図にプロット	新しいグループに変更
	中心線のまわりに統計的にばらついている	緊張作業は安定している	予備データによって予測可能なグループ数は定まっているから, その限度に達したとき, 予備データと新データにより再検討	

IV の実例がある。

あとがき

緊張管理体系化のための基本事項として

- i) 管理の原則の再確認
- ii) 緊張管理のための緊張計算式
- iii) 試験緊張の測定解析法
- iv) 緊張管理グラフにおける三方法の相互関係

などについて総括するとともに、用語、定義なども明確化したつもりであるが、未解決な問題点は、 δ 法、 μ 法に対し σ 法が現時点では定量的に証明されないことである。しかし試験緊張を行うことにより解決が可能になることは確かであろう。以上、この小文が、まえがきに触れたようにプレストレッシング管理体系化のためのきっかけになれば幸いである。そして、しめくくりとして、品質管理の創始者である W.A. シュハート博士の言葉を借りよう。「私の 35 年以上にも及ぶ仕事は品質管理の研究ということであった。この仕事を通して私が実感したことは、測定値というものはすべて確率的なものにすぎないという事実であった。確実性というようなのは到底達成しうべくもないものである¹⁹⁾。」

参考文献

- 1) 野口 功：プレストレッシングの管理について，昭和 36 年土木学会夏期講習会，最近におけるプレストレストコンクリート，1961 年 8 月
- 2) 野口 功：プレストレストのばらつきに対する検討，土木学会論文集第 76 号，小丸川 PC 鉄道橋の桁架設工事ならびにこれに関連して行った実験研究の報告 5 章，1961 年 9 月
- 3) 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
- 4) 野口 功：プレストレストコンクリート橋梁特に鉄道橋

- におけるプレストレッシングの管理に関する研究，土木学会論文集第 102 号，1964 年 2 月
- 5) 野口 功：プレストレッシングの管理，PC 工事の施工管理第 9 章，1966 年 1 月，山海堂
 - 6) 齊藤 昇：プレストレッシング管理方法の一考察，土木技術，Vol. 18, No. 1, 2
 - 7) 国鉄新幹線総局：プレストレッシングの管理（案），PC 施工の手びき別冊，1963 年 2 月。PC 施工の手びき追補，1963 年 7 月
 - 8) 齊藤 昇：プレストレッシング管理のための提案と報告，プレストレストコンクリート，Vol. 5, No. 6
 - 9) 齊藤 昇，橘田敏之：プレストレッシング，PC 橋のプレストレッシングと設計施工第 4 章，1967 年 3 月，現代理工学出版
 - 10) 国鉄構造物設計事務所：プレストレッシング，PC 施工の手びき第 11 章，1984 年 2 月
 - 11) 小林明夫，中原繁則，長田晴道：簡略化した PC 桁の緊張管理および現場測定，プレストレストコンクリート，Vol. 27, No. 3
 - 12) 尾坂芳夫：プレストレッシングについて，プレストレストコンクリート構造物設計施工の基本，1978 年 1 月
 - 13) 猪股俊司：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の設計施工第 X 章，1979 年 1 月
 - 14) 土木学会：プレストレストコンクリート標準示方書，1978 年
 - 15) 道路協会：道路橋示方器・同解説，1978 年
 - 16) 道路協会：コンクリート道路橋施工便覧，1984 年
 - 17) プレストレストコンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート施工管理基準（案），1981 年
 - 18) FKK：フレッシュ工法施工基準，1983 年
 - 19) W.A. シュハート著，坂元平八訳：品質管理の基礎概念，岩波書店
 - 20) 高 金地：統計的品質管理の基礎，産業図書
 - 21) 秋草 勲，深谷克海，横田周平，中村慶一：工事管理とその実際，最新土木施工法講座 24，山海堂
 - 22) 中村慶一：技術者のための統計解析，山海堂
 - 23) 森口繁一：日科技連数値表（A），日科技連
 - 24) 森口繁一：日科技連数値表（B），日科技連

【昭和 60 年 9 月 17 日受付】

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート構造物設計図集（第 2 集）

本書は協会設立 20 周年行事の一環として、前回発行した設計図集の様式にならない編集した、その第 2 集です。協会誌第 10 巻より 21 巻に亘る巻末折込付図を主体とし、写真ならびに説明を付し、その他参考になる PC 構造物についてとりまとめた設計図集で、PC 技術者の座右に備え付けるべき格好の資料と考えます。

希望者は代金（現金為替または郵便振替 東京 7-62774）を添え、下記宛お申し込みください。

体 裁：B 4 判 224 頁

定 価：9,000 円（会員特価 7,000 円） 送 料：1,000 円

内 容：PC 橋梁（道路および鉄道）74 件，PC 建築構造物 25 件，その他タンクおよび舗装等 10 件

申 込 先：（社）プレストレストコンクリート技術協会

〒102 東京都千代田区麴町 1-10-15（紀の国やビル）電話 03 (261) 9151