

資 料

ノモグラムによる PC 鋼線緊張作業

正 員 菅 原 操*

ポストテンションコンクリートにおいて、鋼線を緊張する場合、鋼線と鋼線を配置するシーマとの間には鋼線に働らく力と受対方向の摩擦力が働らく。緊張端における鋼線引張力を T_0 とすると、緊張端より l m 離れ、方向変化 α rad である部分の鋼線の引張力 T は $T = T_0 e^{-\lambda l + \mu \alpha}$ (1) で表わされる。したがって鋼線のある点に所要の引張力を与えるための、緊張端の緊張力を定めるためには、摩擦力による引張力の損失の修正を行わなければならない。また緊張作業に当つては、鋼線の伸びを測定して緊張力を check するのがよい。いま 図-1 において、点 A は

図-1 鋼線の引張応力度

PC 鋼線の中央、B は曲上げ点、C は定着用のコーンの位置とする。また $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ はそれぞれ A, B, C 点における鋼線の引張応力度とする。鋼線各点における引張応力度 σ は次のように表わされる。

AB 間: $\sigma = \sigma_1 e^{-\lambda x}$
 BC 間: $\sigma = \sigma_2 e^{-\lambda l_2 + \mu \theta}$ (2)
 $= \sigma_1 e^{-\lambda l_1 + \lambda x + \mu \theta}$

ただし λ : 延長 1 m 当りの引張応力度の減少率

μ : 方向変化 1 rad 当りの引張応力度の減少率 (摩擦係数)

x : AB 間において A 点より、BC 間においては B 点よりの距離 (m)

θ : B 点より x の距離までの間の鋼線の方向変化 rad

この場合、曲上げ部分の鋼線の配置

* 国鉄大阪工務事務所

を放物線と仮定すると、その配置は $y = \frac{\alpha}{2l_2} x^2$ で表わされる。したがって B 点より x の距離にある点の傾斜、すなわち B 点からの角変化は $\theta = \frac{dy}{dx} = \frac{\alpha}{l_2} x$ である。そこで (2) 式は次のようになる。BC 間:

$\sigma = \sigma_1 e^{-\lambda l_1 + (\lambda + \frac{\mu \alpha}{l_2}) x}$ (3)
 よつて $\sigma_2 = \sigma_1 e^{-\lambda l_1}$
 $\sigma_3 = \sigma_2 e^{-\lambda l_2 + \mu \theta}$ } (4)

AC 間における鋼線の伸びは $e = \int^l \frac{\sigma}{E_p} dx$ より求められる。ただし E_p は PC 鋼線のヤング率である。

$e = \int^l \frac{\sigma}{E_p} dx = \frac{\sigma_1}{E_p} \left\{ \frac{e^{-\lambda l_1} - 1}{-\lambda} + \frac{e^{-\lambda l_1 + \mu \theta} - 1}{-\lambda + \frac{\mu \alpha}{l_2}} \right\}$ (5)

$\mu \alpha + \lambda l_1, \lambda l_2$ が小さいときは、指数関数を展開して一次の項までとつても大差はない。すなわち、A, B, C, 点間における引張応力度の変化を直線的であると仮定し、

$\sigma_1 = \sigma_2 (1 - \lambda l_1)$
 $\sigma_2 = \sigma_3 (1 - \lambda l_2 - \mu \theta)$ } (6)

と表わすと、AC 間の伸びは 図-1 のハッチの面積を E_p で除したものとなる。

図-2 Montagnon のノモグラム (その 1)

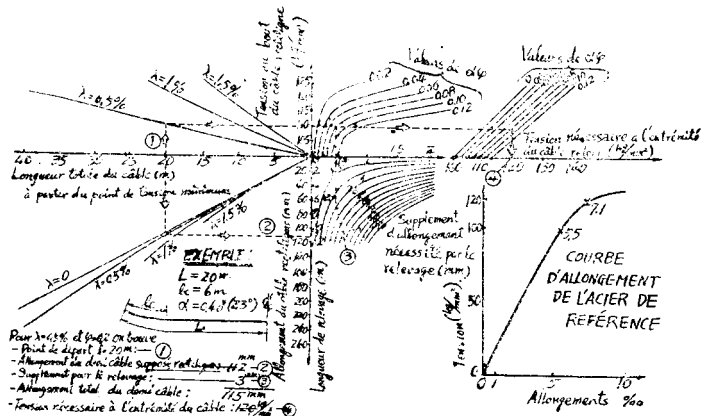
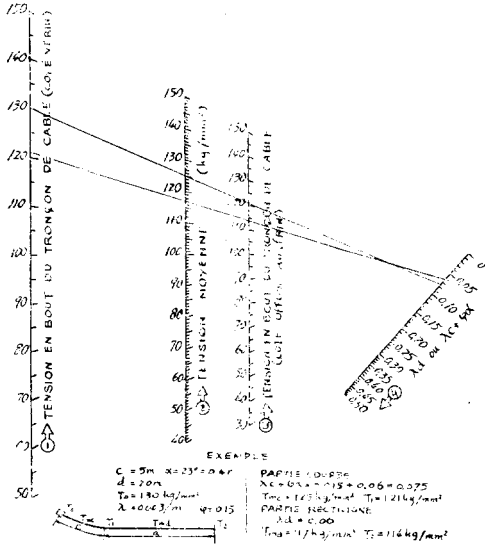


図-3 Montagnon のノモグラム (その2)



$$e = \frac{1}{E_p} \left\{ \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} l_1 + \frac{\sigma_3 + \sigma_4}{2} l_2 \right\} \dots \dots \dots (7)$$

この場合引張応力度の計算式として(4)式を使用せず(6)式でまた伸びを計算するとき(5)式を使用せず(7)式で行つても十分であることが実験により認められた³⁾。ただし(6)(7)式を使用する場合は、 μ, λ の値として(6)式によりあらかじめ求めた実験値を使用する必要がある。

以上のような摩擦力に対する引張力の修正および鋼線の伸びの計算のためにはノモグラムを使用すると便利である。

J. Motagnon氏は図-2のようなノモグラムを提案している²⁾。このノモグラムでは、使用例に見るとおり、鋼線中央の引張力 100 kg/mm² を与えて緊張端の引張力が計算され

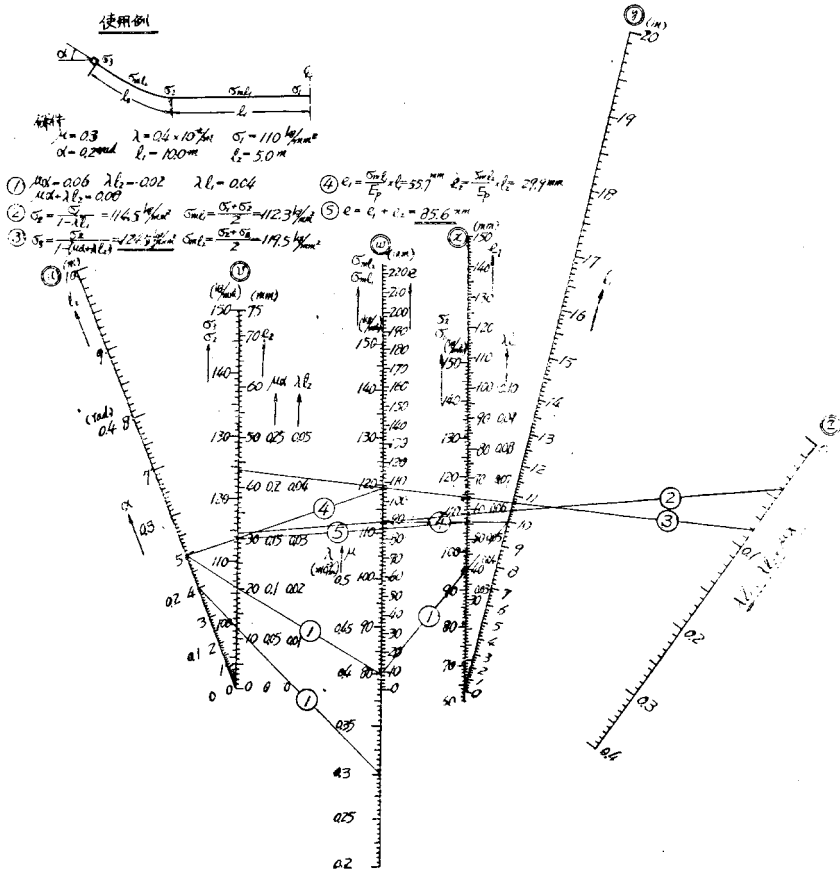
また鋼線の伸びが図中に求められる。しかしこの種の図表は、 μ, λ の値の連続的变化に対応できない点が不便である。

また同氏は鋼線の緊張力を定めるために 図-3 のようなノモグラムを提案している。このノモグラムは(4)式の計算を4本の軸において行うものであつて、摩擦力に対する引張応力度の修正計算にはなほだ便利である。この場合②軸は、①③軸の平均応力度を示しているが、これは算術平均ではなく $\frac{1}{e} \int_0^l \sigma_0 e^{-\lambda x} dx = \frac{\sigma_0}{\lambda e} (1 - e^{-\lambda l})$ という値である。鋼線の伸びは、このノモグラムで求められた平均応力度から別途に計算する必要がある。

ここで、摩擦力に対する引張応力の修正と、鋼線の伸びとを同時に計算できる図表として、図-4 のノモグラムを提案する。このノモグラムは(6)式および(7)式を基礎とし、その利用法は次の3段階である。

(1) 第1段 係数 $\mu\alpha + \lambda l_2, \lambda l_1$ の計算 これには u, v, w, x, y 軸を利用する(図中①の作業)

図-4 緊張作業のためのノモグラム



(2) 第2段 鋼線緊張力および平均応力度の計算

これには v, w, x, z 軸を利用する (図中②③の作業)。この4軸は先に提案されたノモグラムとはほぼ同様であるがここでは w 軸は v, x 軸の算術平均を示すようにした。

(3) 第3段 鋼線の伸びの計算

これには u, v, w, x, y 軸を利用する (図中④の作業)。この作業により、 v, x 軸上にそれぞれ鋼線の直線部分、曲上り部分の伸びが求められる。これらの両点を結ぶ直線と、 w 軸との交点を求めると (図中⑤の作業)、これが鋼線全長の伸びを示す。

(4) 補正を要する点 (1)~(3)はコーン直前における鋼線の引張応力度と、その位置までの鋼線の伸びを求めたものであるが、このときジャッキの圧力計の指示 p は次の式から求められる。

$$p(\text{kg/cm}^2) = \frac{1}{1-f_c} \frac{A_p \sigma_s}{S}$$

ただし

σ_s : コーン直前の鋼線の引張応力度 (kg/mm^2)

A_p : PC 鋼線の断面積 (mm^2)

S : ジャッキのピストン断面積 (cm^2)

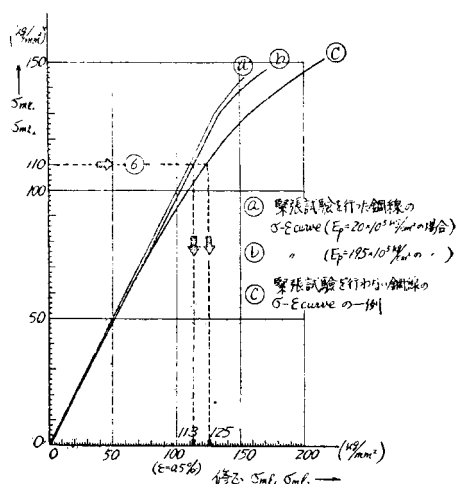
f_c : ジャッキ内部と、コーンにおける摩擦による引張力の減少率 (通常 0.045 程度)

この式も簡単なノモグラムで計算できるが、同一図にすると複雑になるから別図とした方がよい。

鋼線の伸びは (3) で求められた e の値のほか、コーンから測点位置までの伸びがあるが、これは測点をコーン後端面から 10 cm とした場合 $\sigma_s = 120 \text{ kg/mm}^2$ とすると約 1.2 mm となるから e の値に 1.2 mm を加えればよい。

また以上の伸びの計算は $E_p = 20 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ の一定値とした場合について行われている。実際の施工では、摩擦力の大きさを緊張試験によりあらかじめ求めることが望まれており、緊張試験を行つた場合には、その緊張力までの緊張作業では、鋼線の σ - ϵ curve は直線となるので以上の計算が適用できる。また E_p が $2) \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ でない場合あるいはこの緊張試験を略した場合、すなわち鋼線の σ - ϵ curve が曲線となるような場合には 図-5 を加えることにより解決でき

図-5 鋼線のヤング率の変化に対する補正



る。図-5 は鋼線の σ - ϵ curve の横軸の目盛に、修正応力度を書き入れたものである。横軸に書き入れた応力度は $\epsilon = 0.5\%$ の位置を 100 kg/mm^2 とし、以下これに比例させてある。図-4 の②③の作業で w 軸上に引張応力度の平均値、例えば 110 kg/mm^2 が求められたならば、図-5 ⑥の作業により修正値 113, 125 kg/mm^2 などを求め、図-4 の④の作業は w 軸上の 113, 125 kg/mm^2 などの点と u 軸あるいは y 軸とを結ぶようにするのである。

以上の作業により、鋼線引張応力度と鋼線の伸びが、比較的簡単に、また相当正確に求められることが期待される。

参考文献

- 1) 仁杉 巖: “支間 30 m のプレストレストコンクリート鉄道橋 (信楽線第一大戸川橋梁) の設計、施工およびこれに関連して行つた実験研究の報告” 土木学会論文集 27号, 1955.7.
- 2) J. Montagnon “Aspects Pratiques de la Précontrainte par Câbles. - Le Problème des Frottements” Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Juin 1954
- 3) 三浦一郎・菅原 操: “プレストレストコンクリート鋼線の摩擦” 鉄道業務研究資料 12巻 7号 1955.4.

抄録の御投稿について

学会誌抄録欄の充実をはかるために、一般会員の方々の御投稿を歓迎いたします。次の要領で土木学会誌抄録委員会へてお送り下されば、委員会において検討の上掲載いたします。

1. 抄録の対象: 最近の外国雑誌, 文献等に発表された有意義な論文, ニュース等
2. 1編の長さ: 原則として会誌刷り 1ページ (学会原稿用紙で図面を含め 7枚) 以内