

京都大学工学部 正員 丹羽義次 京都大学工学部 正員 渡辺英一
 大阪市市役所 正員 松村 博 京大大学院 学生員 ○山田郁夫

1 はじめに 斜張橋ケーブルは橋の供用期間中に意外に大きな経年変化を受けることが文献の1)、2)により明らかにされている。文献1)では主としてクリープ変形が着目されていたがここではリラクゼーションについて述べる。さて斜張橋では一般にケーブルのプレストレス導入が行なわれるが、実際の橋の架設工法を調査し、導入プレストレス量のクリープおよびリラクゼーションへの影響を明らかにすることは重要であろう。

2 斜張橋モデルとその解析 斜張橋のけたと塔を弾性体、ケーブルを線形粘弾性体と仮定する。

線形粘弾性体のモデルとしては図-1のような3一要素モデルを採用する。このとき応力 σ とひずみ e について次式が成立する。

$$\dot{\sigma} + \lambda \sigma = E_1 (\dot{e} + \mu e) \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{ここに } \lambda = \frac{E_1 + E_2}{\eta}, \quad \mu = \frac{E_2}{\eta}$$

E. H. Lee らの対応原理によるとラプラス像空間 s において線形粘弾性体は現空間における弾性体と同形の構成式を有する。したがって、有限要素法を用いて像空間での橋全体のつりあい式をつぎのように定式化することができる。

$$\begin{Bmatrix} K_{11}(s) & \dots & K_{12}(s) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{21}(s) & \dots & K_{22}(s) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} w_1(s) \\ \vdots \\ w_2(s) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_{d1}(s) \\ \vdots \\ P_{d2}(s) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} P_{p1}(s) \\ \vdots \\ P_{p2}(s) \end{Bmatrix} \dots (2)$$

ここに添字の1、2、d、p はそれぞれ塔、けた、死荷重、とプレストレスを意味する。

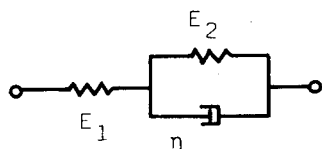


図-1 3-element model

つぎに構造系全体の自由度 n を低下させるために構造系の固有振動モード行列 $\{\phi\}$ を用いることによりつぎのような変換を行なう。

$$\{K^*(s)\} = \{\phi\}^T \{K(s)\} \{\phi\} \dots (3)$$

$$\{P^*(s)\} = \{\phi\}^T \{P(s)\}$$

ここで n より小さな個数の固有モードを選べば、たわみ $\{w(s)\}$ は次式で求めることができる。

$$\{w(s)\} = \{\phi\} \{K^*(s)\}^{-1} \{P^*(s)\} \dots (4)$$

ケーブルのリラクゼーションを求めるには上式よりひずみを求め、式(1)に代入し像空間において $\sigma(s)$ について解けばよい。極限値定理を満足させた上で、数値逆ラプラス変換すれば現空間でのケーブル応力を得ることができる。

3 張力測定的重要性 厳密な意味でのリラクゼーションとは、式(1)において $\dot{e}$ が0である場合に限られるが斜張橋のケーブル張力の経年変化をリラクゼーションとして把握することにすればそのときの特性値 λ はそれなりに以下のように求められよう。

$$\lambda = -\frac{1}{t} \ln \left\{ \left\{ \frac{\sigma(t)}{\sigma_0} - \frac{\rho}{1+\rho} \right\} (\rho+1) \right\} \dots (5)$$

$$\rho = E_2/E_1; \sigma_0 \equiv \sigma(0)$$

式(5)は竣工より何年後においてケーブル応力の実測を行ない、その測定値を得ることができればこれによって λ が求まり、したがって3一要素モデルの η の値を決定することができるということを示している。斜張橋ケーブルにおけるクリープ及びリラクゼーションの定数を求めるにはケーブルの素線そのものだけでなく、ストランド、ソケット、そして施工法まで反映した、構造上の変化をも考慮に入れねばならないので実橋の張力測定を行なうことが是非必要であろう。

一方、当問題をクリープ問題としてとらえた場合は以下のように特性値 μ を初期ひずみ等を用いて計

算できる。ただし、ひずみの経時変化 $\epsilon(t)$ を測定することが基本になる。

$$\mu = -\frac{1}{t} \ln \left[\rho \left\{ 1 + \frac{1}{\rho} - \frac{\epsilon(t)}{\epsilon(0)} \right\} \right] \dots (6)$$

4 大阪川崎橋における測定と解析例

図-2 (a) は大阪市の大川 (旧淀川) に架設されている川崎橋のモデルを示す。³⁾ 本橋では今まで竣工時とその3年半後の2回にわたりケーブル測定とけたたわみの測定が行なわれている。式(5)を用いるとケーブル張力の測定値より λ と η が決定できるが、今ケーブル-10について計算すると以下の値を得る。

$$\lambda = 0.0398 \text{ yr}^{-1}, \eta = 8.04 \times 10^7 \text{ kg/cm}^2 \text{ yr}$$

これらの値を用いると図-2 (b) に示されているように、竣工時からの応力緩和率の経時変化が求められることになる。⁴⁾ ケーブル1と10のみのデータが

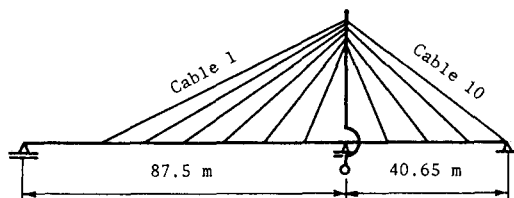


図-2 (a) 川崎橋のモデル

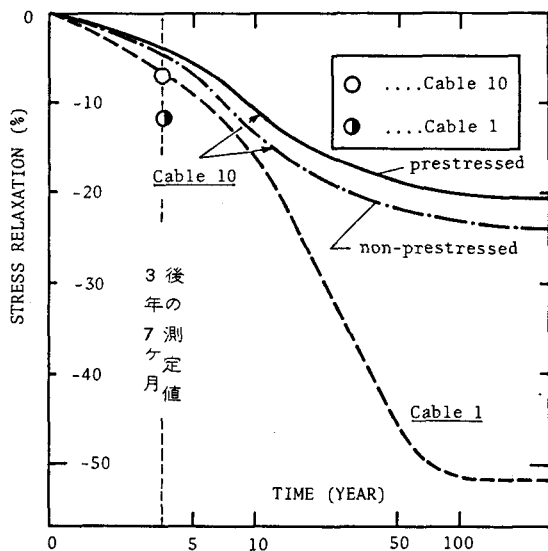


図-2 (b) 川崎橋ケーブルのリラクゼーション

図示されているが、1についてはプレストレスが作用している場合、10についてはプレストレスが作用している場合とそうでない場合がプロットされている。ケーブル1では張力が50%も減少している

がこれは50年後ぐらいになれば相当の応力再配分が斜張橋では起き得ることを示している。さらに今までの計算によれば、プレストレスを作用させた方がそうでない場合よりも張力の低下が鈍いようであるが口頭発表時にはより詳細に述べたい

5 おわりに

文献¹⁾ではクリープ変形のこと为主として述べられたが、そこでは数値計算例として尾道大橋がとりあげられている。当橋では既にケーブルの再緊張等の処置が施こされているが、計算によるとリラクゼーション終了時でも約15%程度の応力低下しか起こらず、むしろクリープ変形、換言すればたわみ増加の方がより顕著のように思える。クリープ変形とリラクゼーションのどちらが卓越するののかということは大変興味のある問題であるが、2橋についてパラメータ

$$\gamma = E_c \Sigma A_c L_t^2 / (E_g I_g) \dots (7)$$

$$\begin{cases} E_c, E_g: \text{Younge's Moduli} \\ A_c: \text{Cable's C. S. Area} \\ I_g: \text{Moment of I. of Girder} \\ L_t: \text{Total Length of Bridge} \end{cases}$$

を計算すれば、尾道大橋と川崎橋に対してそれぞれ約 4.8×10^4 と 1.2×10^3 を得る。したがって相対的にけたの曲げ剛性が小さなときはクリープが卓越し、大きなときにはリラクゼーションが卓越することがいえるかも知れない。なお、川崎橋ではクリープの進行は顕著でなかった。

最後に川崎橋の測定に携わられた栗本鉄工の寺西氏をはじめ皆様方に御礼を申し上げます。

6 参考文献

- 1) 山田・丹羽・渡辺: ケーブルのクリープを考慮した斜張橋の粘弾性解析. 昭56年土木学会年講I-88, pp 175-176.
- 2) 日立造船: 関西道路研究会道路橋調査研究委員会資料No.B-3. 昭52年10月.
- 3) 大阪市土木局: 川崎橋工事報告書. 昭54年
- 4) 飯尾孝悦: 京都大学卒業論文. 昭57年