

ケーブルの粘弾性特性を考慮した斜張橋の変形応力解析に関する研究

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
 本州四国連絡橋公団 正員 山田 郁夫

1. はじめに

斜張橋のケーブルのクリープ・リラクセーションによって主桁のたわみ沈下が経時的に増加したりケーブル張力が減少することが報告されている^{1,2)}。そこで本研究はこれらの諸現象を明らかにするために、斜張橋のケーブルを線形粘弾性体、主桁・タワーは弾性体と仮定して有限要素法を用いて数値解析を行ない、斜張橋の経時変化を定量的に把握し将来予測をするものである。

2. 数値計算のための定式化

ケーブルの線形粘弾性モデルとして Fig. 1 のような三要素モデルを採用する。ラプラス像空間において応力 $\bar{\sigma}(s)$ とひずみ $\bar{e}(s)$ は次式のように線形な関係式で表わせる。

$$\bar{\sigma}(s) = \bar{E}(s) \bar{e}(s) = E \frac{s + \mu}{s + \lambda} \bar{e}(s) \quad \dots (1)$$

ここに $E = E_1$, $\lambda = (E_1 + E_2)/\eta$, $\mu = E_2/\eta$
 $\bar{E}(s)$ はラプラス像空間における弾性係数と考えられる。

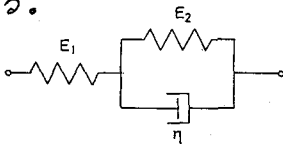


Fig. 1 三要素粘弾性モデル

線形粘弾性体の対応原理を用いると剛性マトリックスはラプラス像空間において弾性体と同等な形で表わされる。主桁・タワーの弾性体の剛性マトリックスとケーブルの線形粘弾性体の剛性マトリックスを像空間で静的に合成すると斜張橋のつり合い式が次式で表現できる。

$$[\bar{K}_{ij}(s)] \{\bar{w}_j(s)\} = \{\bar{P}_i(s)\} \quad \dots (2)$$

ここに $\bar{K}_{ij}(s)$, $\bar{w}_j(s)$, $\bar{P}_i(s)$ はそれぞれラプラス像空間における剛性マトリックス、節点変位、等価節点力を示している。

荷重項としては死荷重とプレストレスを考える。一般にプレストレスを導入する架設系と死荷重が載荷される完成系では系が異なるが、これらは独立とみなし重ね合せの原理により全変位を求める。像空間での解を数値ラプラス逆変換すれば現空間の解が得られる。

$$\{w_j(t)\} = \mathcal{L}^{-1} \{\bar{w}_j(s)\} = \mathcal{L}^{-1} \{[\bar{K}_{ij}(s)]^{-1} \{\bar{P}_i(s)\}\} \quad \dots (3)$$

さらにケーブルのひずみは両端の変位より計算でき、応力に関してもそのひずみを(1)式に代入しそれらを逆変換すればよい。

3. 三要素モデルの定数の決定

本研究では実測データに基づきモデルの定数を決定している。三要素モデルをクリープ問題とすると特性値 μ は次式となる。

$$\mu = -\frac{1}{t} \ln \left[(1 + \rho) - \rho \frac{e(t)}{e_0} \right] \quad \dots (4)$$

ここに $\rho = E_2/E_1$, $e_0 \equiv e(0)$ である。また逆にリラクセーション問題とすると特性値 λ は次式となる。

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

ここに $\sigma_0 \equiv \sigma(0)$ である。最初に E_1 はケー

ブルの弾性係数 E_c とする。次に、もしキャンバー測定が完成時と異なる二時刻において行なわれているならばケーブルのひずみ変化を計算し (4) 式に代入すると ρ , μ が得られ、またケーブル張力が測定されていれば (5) 式より ρ , λ が得られるので、これより E_2 , η が求まりモデルが決まる。

4. 数値解析結果

KS橋におけるキャンバー測定データより決まる三要素モデルを用いて Fig. 2 に初期変形後のたわみ変化を示す。またこのときのケーブル張力の経年変化、クリープひずみの経年変化をそれぞれ Fig. 3, Fig. 4 に示す。

○橋の主桁たわみの実測データより決まる三要素モデルを日本の代表的な斜張橋に当てはめて比較すると、ケーブルの主桁に対する次式のような相対剛比 η の影響が大きいことがわかる。

$$\eta = \frac{E_c \sum \frac{A_{ci}}{L_i} \sin^2 \theta_i}{E_g I_g / L_T^3} \quad \dots (6)$$

死荷重を載荷した場合の相対剛比とケーブルの最終リラクセーションの関係を14の斜張橋について比較したものが Fig. 5 であり、相対剛比とケーブルの最終クリープひずみの関係を Fig. 6 に示す。これらの図から相対剛比の大きい斜張橋ほどケーブルのリラクセーションよりもクリープが卓越する傾向にあると思われる。

参考文献

- 1) 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, 1977
- 2) 栗本鉄工所：川崎橋のキャンバー測定、ケーブル張力測定、1981
- 3) 大阪市土木局：川崎橋工事報告書、1979

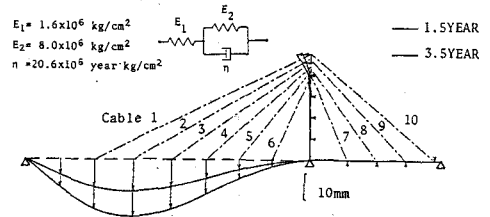


Fig. 2 KS橋のたわみ変化

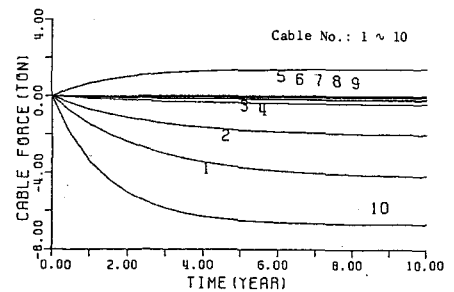


Fig. 3 ケーブル張力の経年変化 (KS橋)

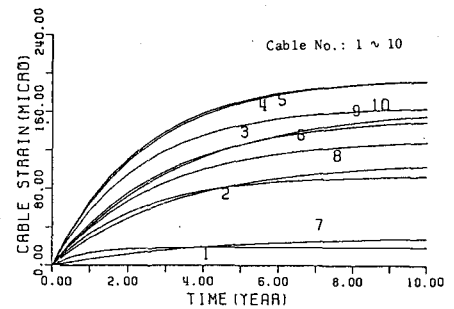


Fig. 4 ケーブルのクリープひずみの経年変化 (KS橋)

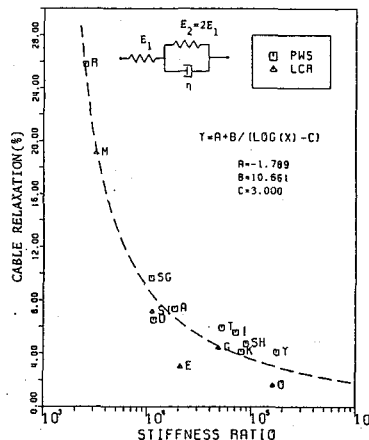


Fig. 5 相対剛比とケーブルの最終リラクセーションとの関係

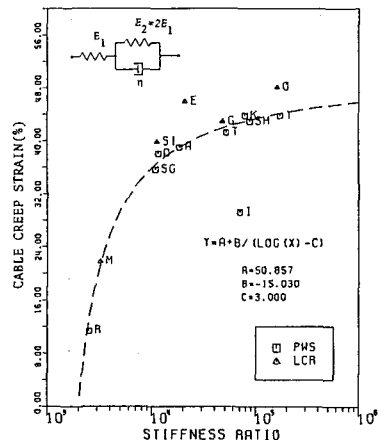


Fig. 6 相対剛比とケーブルの最終クリープひずみの初期ひずみに対する比の関係