

I-190 斜張橋主桁に発生する非線形曲げモーメントの簡易推定法の提案

川崎重工業（株）正員 ○長井 正嗣
 川崎重工業（株）正員 奥井 義昭
 川崎重工業（株）正員 佐野 信一郎
 川崎重工業（株）正員 赤尾 宏

1. まえがき

斜張橋の設計に当って、幾何学的非線形断面力の算出・照査が検討課題としてあげられる。斜張橋の非線形挙動に関する研究では解析法の発表は多くみられるものの、発生要因について明快な説明がみあたらないのが実情と言える。さらに解析プログラムを利用する場合でも、完成状態でのケーブル張力の決定がなされ内力がセットされた後、活荷重解析を行なうという手順が必要であり、運用上も煩雑な作業となる。このような観点から事前に幾何学的非線形に起因する断面力が精度良く推定できれば、基本計画上極めて有効と考える。以上により、本報告では今後主流になると考えられるマルチケーブル斜張橋を対象に、主桁の中央径間 1/4点に発生する主桁曲げモーメントの簡易推定法を提案する。

2. 推定式の概要

本文では、斜張橋主桁に発生する非線形挙動の要因を、ケーブルのサグと圧縮部材の曲げ変形とし、両者により生じる曲げモーメントの和を斜張橋の非線形曲げモーメントとする。まず、ケーブルサグの影響についてはマルチケーブル斜張橋を弾性床上的のはりモデルに置換し、その際ケーブルのヤング係数としてErnstのヤング係数とケーブル素線のヤング係数より弾性床のパネ定数を求め、両者のモデルで計算される設計曲げモーメントの差を、ケーブルサグに起因する非線形曲げモーメントと考える。一方、主桁の圧縮部材の曲げ変形に起因する非線形性については、同じく弾性床上的のはりモデルに置換した後付加荷重法により曲げモーメントを算出する。

a) ケーブルサグに起因する非線形

Ernstのヤング係数は次式で定義される。

$$E_t = E_c / \left(1 + \frac{\gamma^2 \ell^2}{12 \sigma_0^3} E_c \right) \quad (1)$$

ここで、 E_c ；ケーブル素線のヤング係数、 γ ；ケーブルの単位体積重量、 ℓ ；ケーブルの水平投影長、 σ_0 ；ケーブルの初期応力である。初期応力は斜張橋完成時の応力であり、文献【1】より次式で与えられる。

着目位置（中央径間 1/4点）のケーブルについて、

$$\sigma_0 = \frac{1 + 0.2 \omega}{1 + 1.3 \omega} \bar{\beta} \sigma_a \quad (2)$$

側径間最上段のケーブルについて、

$$\sigma_0 = (1 - \alpha) \bar{\beta} \sigma_a \quad (3)$$

ここで、 σ_a ；ケーブル許容応力、 $\bar{\beta}$ ；許容応力に対する余裕、 ω ； $(=p/Wd)$ 分布活荷重強度(P)と死荷重強度(Wd)の比、 α ；側径間最上段のケーブルの全張力の内、活荷重張力の占める割合である。(2),(3)式を(1)式に代入すれば Ernstのヤング係数の推定図

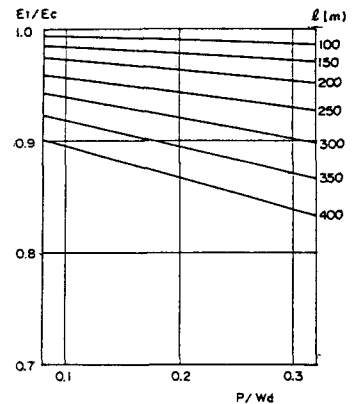


図-1 Ernstのヤング係数（中央径間1/4点）

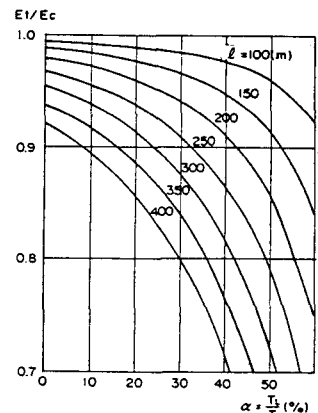


図-2 Ernstのヤング係数（側径間最上段）

として図-1,2を得る。ただし、 $\sigma_a=64000 \text{ t/m}^2$, $E_c=2.0 \times 10^7 \text{ t/m}^2$, $\beta=0.9$ としている。次に、着目位置の弾性床のバネ定数 (k) を求める。図-3に示す着目位置でのたわみ (δ) は次式で求まるものとする。

$$\delta = \left[\frac{2 L_{cb}}{\ell_c} \alpha \right] \left[\frac{\beta \sigma_a}{E_c} \right] \frac{L_s L}{s h} + \frac{\omega}{1 + 1.3 \omega} \left[\frac{\beta \sigma_a}{E_c} \right] \frac{L^2}{a h} \quad (4)$$

ここで、 $(E_c)_a$, $(E_c)_s$ は各々着目位置、側径間最上段のケーブルのヤング係数、 L_{cb} ; 隣接ケーブル間隔の平均値である。これより、弾性床のバネ定数は次式で与えられる。

$$k = p L_{cb} / \delta / L_{cb} = p / \delta \quad (5)$$

一方、ケーブルのサグを考慮する場合は(4)式のヤング係数に図-1.2より求まる Ernst のヤング係数を代入すれば良い。バネ定数が求まれば、文献1)の手法より活荷重曲げモーメントが計算でき、両者の比からケーブルサグによる付加曲げモーメント (ΔM_c) の設計曲げモーメント (M_L) に対する比が次式で与えられる。

$$\frac{\Delta M_c}{M_L} = \left(\frac{\beta}{\beta_c} \right)^2 \frac{1 + 21 \beta_c}{1 + 21 \beta} - 1 \quad (6)$$

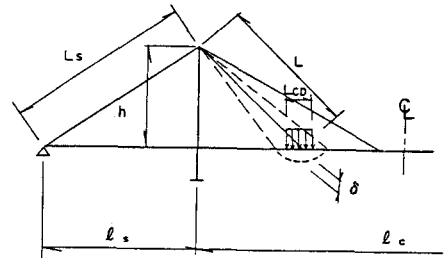


図-3 δ の算出

ここで、 $\beta = (k/4E_G I_G)^{1/4}$, E_G ; 主桁のヤング係数、 I_G ; 主桁の断面二次モーメント、 k ; ケーブル素線のヤング係数より計算される弾性床のバネ定数、 $\beta_c = (k_c/4E_G I_G)^{1/4}$, k_c ; Ernst のヤング係数より計算される弾性床のバネ定数

b) 主桁の圧縮部材の曲げ変形に起因する非線形変形に起因する付加荷重 (q) として次式を考慮する。

$$q = \frac{N M}{E_G I_G} \quad (7)$$

ここで、 N ; 完成時の軸力と活荷重による軸力の和、 M ; 活荷重による曲げモーメントである。付加荷重を弾性床上的のはりモデルに載荷し、これによって新たに付加荷重が生じることを考慮にいれれば、圧縮部材の曲げ変形に起因する付加曲げモーメント (ΔM) は次式で表される。

$$\frac{\Delta M}{M_L} = F_1 \left(1 + \sum_{j=2}^{\infty} F_2^{j-1} \right) \quad (8)$$

ここで、

$$F_1 = \frac{N}{E_G I_G} \frac{5 \pi}{87} \frac{1}{\beta^2} \frac{1 + 16 \beta}{1 + 21 \beta} \quad F_2 = \frac{N}{E_G I_G} \frac{\pi}{16 \beta^2}$$

(6) 式と(8) 式の和を斜張橋の非線形曲げモーメントと考える。

3. おわりに

従来、数値計算によってのみ解明が可能であった、主桁非線形曲げモーメントの簡易推定法の提案を行った。文献2)の結果より、本推定式が十分な精度を有していることが確認された。本文では、主桁曲げモーメントのみについて着目したが、主塔およびたわみの非線形性については今後の課題としたい。

〔参考文献〕1) 長井, 赤尾他, 3 径間連続マルチケーブル斜張橋の部材断面力算定法の提案, 土木学会論文報告集 第 362号, S60, 10 2) 奥井, 長井他, 斜張橋の主桁に発生する非線形曲げモーメントの性状について, 土木学会年次講習会, S62, 9