

龍 上 工 業 機 正 安 藤 浩 吉
 " " 宮 田 実
 " 正 山 岸 英 志

1. まえがき

吊橋架設時の構造解析は、電算を中心としてかなり多く開発されている。これにともない、ほんの少しの概略値のみが必要な場合でも、1ケース数万円も要する電算を使用しているのが現状である。

本文は、架設設計の立案時に必要な程度の計算結果を、手計算でも容易に得られるよう大胆な仮定を設けて、最も一般的な3径間2ヒンジ補剛吊橋について計算式と計算例を示した。

2. 吊橋の形式と仮定

本文で取扱う吊橋は、図-1に示すような形式で、ハンガーが鉛直な対称構造である。また、補剛桁の架設は一応主塔から振分け対称に架設される場合とする。計算上の主な仮定はつぎのようである。

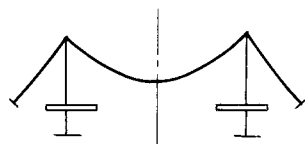


図-1

- 1) 完成時の吊橋は、ケーブル形状が放物線で主塔が鉛直であり、かつ、補剛桁は無応力である。
- 2) ケーブルスパンと補剛桁スパンは一致しており、中央径間および側径間ごとには、ケーブルののび剛性、補剛桁の曲げ剛性、および自重は一定である。
- 3) 主塔の曲げ剛性、主塔およびハンガーの軸方向変位、および補剛桁の水平変位の影響は無視できる。
- 4) 補剛桁架設途中のケーブル形状は放物線の組合せである。
- 5) 補剛桁架設途中のケーブルの弾性伸縮、および塔頂の水平変位によるケーブル水平張力への影響は、完成時の形状の微小変化として線形化できる。
- 6) 架設された補剛桁の自重は、最端部のハンガー（一方が支点の場合もある）に集中荷重、支間部は等分布荷重としてケーブルに支えられている。

これらのうち、5)、6)はとくに大胆な仮定であるが、これによって計算を簡易にすることが可能となる。

3. 計算式

計算式は、架設された補剛桁の自重がケーブルに分担される率と、ケーブルの水平張力との関係を主体として、中央径間と側径間とがそれぞれ独立したものと考え、各径間について力のつり合いと形状の連続条件から関係式を導き、さらに両径間の水平張力のつり合いを仮定5)によって修正する方法をとっている。

以下、式の誘導は省略し代表的な式の結果のみを記述する。

式(1)~(7)の記号は便宜的に中央径間と側径間とは同じものを用いるが、図-2、3に示すような意味のものである。図中にない代表的な記号を列挙し、一般的な記号は省略する。

記号) w_g ; 補剛桁の自重(水平等分布)

g ; ケーブルの自重(水平等分布), w ; 仮定6)の補剛桁のケーブルへの分配等分布荷重, α ; 補剛桁自重のケーブルへの分担率 $\alpha = \frac{w}{w_g}$ (本文で代表的な未知数),

β ; ケーブルと補剛桁の自重の比 $\beta = \frac{g}{w_g}$

$$H = \frac{w_g \ell^2}{8f} \gamma \quad (1)$$

ここに、 $\gamma = \sqrt{2k^3(3-6\beta\alpha^2+2\alpha\beta)+12k^2\beta+\beta^2}$ 中央径間 (2)

$\gamma = \sqrt{k^3(7-3\alpha^2+2\beta-6\alpha\beta)+6\beta k^2-3k^4+\beta^2}$ 側径間 (3)

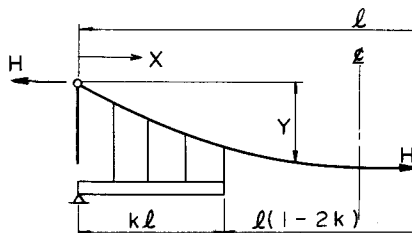


図-2 中央径間

$$\alpha = \frac{\delta_s + f - f_g}{f w_g + \delta_s} \quad (4)$$

$$\text{ここに} \quad \delta_s = \frac{5 w_g \ell^4}{384 E I} k^2 \quad (5) \quad f w_g = \frac{w_g \ell^2}{8 H} \quad (6) \quad f_g = \frac{g \ell^2}{8 H} \quad (7)$$

つぎにケーブル長の変動, および塔頂の水平変位による水平張力の修正の式をまとめる。式中, 添字 c は中央径間を, s は側径間を意味し, $\Delta \ell$ は塔頂の側径間側への

タオレ量, H_d は吊橋完成時の水平張力とする。

ケーブル長の変動による水平張力の増分

$$\Delta H_{cA} = \frac{H_c}{f_c} \frac{2(H_d - H_c)}{E_c A_c} \ell_c \quad (8)$$

$$\Delta H_{sA} = \frac{H_s}{f_s} \frac{3}{8 n_s (2 - 3 m^2)} (1 + \frac{16}{3} n_s^2 + m^2) \frac{(H_d - H_s)}{E_c A_c} \ell_s$$

塔頂の水平変位

$$\Delta \ell = \frac{H_s + \Delta H_{sA} - H_c - \Delta H_{cA}}{(H_c / f_c) N_c + (H_s / f_s) N_s} \quad (9)$$

ここに, $N_c \approx 3.6$ (10)

$$N_s = \frac{24 - 32 n_s^2 (2 - 9 m^2) - 12 m^2 + 9 m^2}{64 n_s (2 - 3 m^2)} \quad (12)$$

塔頂の水平変位による水平張力の増分

$$\Delta H_{cB} = \frac{H_c}{f_c} N_c \Delta \ell \quad (13) \quad \Delta H_{sB} = - \frac{H_s}{f_s} N_s \Delta \ell \quad (14)$$

水平張力の修正値

$$H'_c = H_c + \Delta H_{cA} + \Delta H_{cB} \quad (15) \quad H'_s = H_s + \Delta H_{sA} + \Delta H_{sB} \quad (16) \quad H'_c = H'_s \quad (17)$$

4. 計算の手順

分担率 α を求めるための繰返し計算手順は, 一応表-1 のようにまとめられる。また, これ以上繰返し数を増しても, 仮定が大胆であるので意味がない。なお, 実際の吊橋では, 仮定 2) を満足するような換算が必要となる。 α が求めれば, 補剛桁に関しては $w_g (1 - \alpha)$ の自重が作用した単純桁と同一の断面力, および変形となる。

5. 計算例

図-4, および表-2 について計算例を示す。紙面の都合で結果のみ

を記述する。() 内は有限変形法によるプログラム

S U S P (日本電算) を使用した値である。

$$H_d = 10090^t (10014) \quad H = 3792^t (3710)$$

$$\Delta \ell = 0.506^m (0.382) \quad \alpha_c = 0.693 \quad \alpha_s = 0.572$$

$$M_c = 7228^t \cdot m (7269) \quad M_s = 2276^t \cdot m (2208) \text{ 中央}$$

$$S_c = 120^t (119) \quad S_s = 77.2^t (63.7) \text{ 補剛桁端}$$

$$\delta_c = 1.204^m (1.222) \quad \delta_s = 0.094^m (0.089) \text{ 中央}$$

$$T_c = 25.2^t (25.7) \quad T_s = 20.0^t (19.5) \text{ ハンガー}$$

$$F_c = 121^t (136) \quad F_s = 79.3^t (80.7) \text{ 端ハンガー}$$

$$y = 70.471^m (70.414) \text{ 中央のケーブル形状}$$

$$y_c = 64.495^m (64.716) \quad y_s = 51.858^m (51.888)$$

6. あとがき

大胆な仮定を設けているが比較的よい精度で結果が得られる。架設設計の立案時などにおいて, 10% 程度の誤差が許されるならば十分使用できるものと思われる。

なお, 本文と異なる架設順序の場合でも, ほぼ本文と同じようにまとめられるので, 別の機会に報告したい。

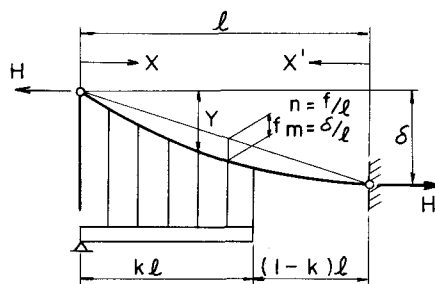


図-3 側径間

段階	計算内容	適用式
1	$\alpha = 1$ と仮定して H	1 ~ 3
2	H を用いて α	4 ~ 7
3	α を用いて再び H	1 ~ 3
4	H の修正値	8 ~ 17
5	修正 H より再び α	1 ~ 3

表-1 計算手順

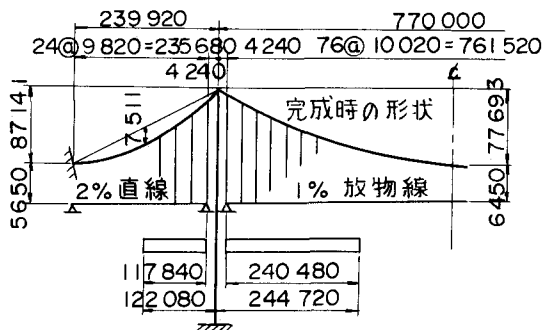


図-4 形状および架設順序

部材名称	A (m ²)	I (m ⁴)	E (10 ⁷ /m ²)	自重 1/m	自重に対する単位長
主ケーブル	0.2287	0	2.0	2.100	ケーブル単位長
ハンガー-ロ-ブ	0.0057	0	1.4	0.0492	ハンガー単位長
主塔	0.4168	1.629	2.1		
補剛桁 (中)	0.1091	1.722	2.1	3.257	橋軸方向単位長
補剛桁 (側)	0.1041	1.673	2.1	3.063	
後死荷重 5.018 1/m (床組 3.206 1/m, その他 1.812 1/m)					

表-2 一面当りの断面諸量