

斜張橋の形状による構造特性

大阪大学工学部 正員 前田 幸雄
大阪大学工学部 正員 ○林 正

1. まえがき 斜張橋は解析上幾つかの基本形式に分類されるが、本文では既に発表¹⁾した基礎方程式¹⁾より各形式についての弾性方程式を導き、数値解析により形式別による構造特性の比較を行った。

2. 弾性方程式 n 本のケーブルを有する斜張橋では、弾性方程式は幾何学的条件式より n 元連立方程式となるが、 B_3, B_4 -Typeの塔が存在する場合にはさらに剛結条件式を加えなければならない。また、 A_1, A_2 -Typeでは弾性方程式を簡潔にするために、塔の平衡方程式をそのままの形で連立させた。斜張橋が形式の異なる塔を有する場合でも弾性方程式は各々の塔について立てることができるので、以下第 i 番目の塔について式を導く。文中の記号については参考文献¹⁾を参照されたい。

(1) A_1 -Type*) まず、第 i 塔が A_1 -Typeの場合には、第 j ケーブルに関する弾性方程式は次のようになる。
$$\begin{cases} F_j V_j + \sum_{i=1}^n Y_{ji} V_i + \sum_{k=2}^m H_{jk} V_k - \sum_{p=1}^m \zeta_{jp} \bar{X}_p - L_j \beta_t + \Delta L_p \cot \alpha_j = \delta_{jo} & (j=l, \dots, m) & (1)_1 \\ \sum_{k=2}^m L_k V_k = 0 & & (1)_2 \end{cases}$$

ここに
$$H_{jk} = \begin{cases} L_j \cot \alpha_k (h_e - h_k) (2h_e h_k - h_k^2 - h_j^2) / 6 h_e E_c J_c & (k \leq j) \\ L_k \cot \alpha_j (h_e - h_j) (2h_e h_k - h_j^2 - h_k^2) / 6 h_e E_c J_c & (k \geq j) \end{cases} \quad (2)_1$$

式(1)は、ケーブル張力の鉛直成分 V_i 、ロッキングによる第 i 塔の回転角 β_t と B -Typeの第 p 塔による曲げモーメント $\bar{X}_p$ を未知量としているが、不静定曲げモーメント $\bar{X}_p$ は第 p 塔が B_1, B_2 -Typeなら式(4)¹⁾によりケーブル張力 X_i に置き換えられる。また、 B_3, B_4 -Typeなら未知量としてそのまゝ式の中に残る。主桁の水平変位 ΔL_p は第 p 塔の形式に応じて、式(3)¹⁾または式(6)¹⁾を用いる。

次に、第 i 塔が A_1 -Typeの場合には他の塔の形式に係らず式(1)において ΔL_p の項を省く。

(2) A_3 -Type :
$$F_j V_j + \sum_{i=1}^n Y_{ji} V_i + \sum_{k=2}^m H_{jk} V_k - \sum_{p=1}^m \zeta_{jp} \bar{X}_p + \Delta L_p \cot \alpha_j = \delta_{jo} \quad (j=l, \dots, m) \quad (3)$$

ここに
$$H_{jk} = \begin{cases} L_j \cot \alpha_k \cdot h_j (3h_k - h_j) / 6 E_c J_c & (k \leq j) \\ L_k \cot \alpha_j \cdot h_k (3h_j - h_k) / 6 E_c J_c & (k \geq j) \end{cases} \quad (4)_1$$

(3) B_1 -Type :
$$F_j V_j + \sum_{i=1}^n (Y_{ji} + \bar{L}_j Z_{ti}) V_i + \sum_{k=2}^m H_{jk} V_k - \sum_{p=1}^m (\zeta_{jp} + \bar{L}_j \psi_{ip}) \bar{X}_p = \delta_{jo} + \bar{L}_j \theta_{to} \quad (j=l, \dots, m) \quad (5)$$

ここに
$$H_{jk} = \begin{cases} \bar{L}_j \cot \alpha_k \cdot \bar{h}_j (3\bar{h}_k - \bar{h}_j) / 6 E_c J_c & (k \leq j) \\ \bar{L}_k \cot \alpha_j \cdot \bar{h}_k (3\bar{h}_j - \bar{h}_k) / 6 E_c J_c & (k \geq j) \end{cases} \quad (6)_1$$

(4) B_3 -Type :
$$\begin{cases} F_j V_j + \sum_{i=1}^n Y_{ji} V_i + \sum_{k=2}^m H_{jk} V_k - \sum_{p=1}^m \zeta_{jp} \bar{X}_p + H_{tt} \bar{X}_t = \delta_{jo} & (j=l, \dots, m) & (7)_1 \\ \sum_{i=1}^n Z_{ti} V_i - \sum_{k=2}^m K_{tk} V_k - \sum_{p=1}^m \psi_{tp} \bar{X}_p - K_{tt} \bar{X}_t = \theta_{to} & & (7)_2 \end{cases}$$

ここに
$$H_{jk} = \begin{cases} \cot \alpha_j \cdot \cot \alpha_k [h_j^2 (3h_k - h_j) - h_k^2 (3h_k - h_t)] / 6 E_c J_c & (k \leq j) \\ \cot \alpha_j \cdot \cot \alpha_k [h_k^2 (3h_j - h_k) - h_t^2 (3h_k - h_t)] / 6 E_c J_c & (k \geq j) \end{cases} \quad (8)_1$$

$$K_{tk} = h_t (2h_k - h_t) \cot \alpha_k / 2 E_c J_c, \quad H_{tt} = h_t \bar{L}_j / E_c J_c, \quad K_{tt} = h_t / E_c J_c \quad (9)$$

(5) A_2, A_4, B_2, B_4 -Type ケーブルが塔上で滑动支持される A_2, A_4, B_2, B_4 -Typeではそれぞれが単独で用いられるか、またはそれぞれ A_1, A_3, B_1, B_3 -Typeと併用される。今、第 a, b ケーブルが1本のケー

*) 注. 式(1)は、参考文献¹⁾の式(21) (これを式(21)¹⁾で表わす) とは多少異なるが、これは式の表現を簡潔にしたためと、塔の曲げ変形による影響を考慮したためである。

ブルでできており滑動支持されているとすると、このケーブルに対する弾性方程式は式(1), (3), (5), (7)の $y=b$ の場合の式の両辺に $(\sin db / \sin da)$ を乗じたものを $y=a$ の式に加える、さらに $V_b = (\sin db / \sin da) \cdot V_a$ とし、 V_a と V_b の項を加え合せて不静定次数を下げればよい。

3. 形状による構造特性 (1) 計算例 構造特性の比較を行った斜張橋は、図-1, 2, 3 に示す対称な3径間連続斜張橋で、その基本系である3径間連続桁はスパン比 1.0:2.5:1.0 とし、等断面とする。ケーブルの数は8本で、主桁を等間隔で支持し、その張り方は放射状にした RADIAL-Type とした。塔上でのケーブルの支持方法は、固定と滑動支持を種々組合せた。

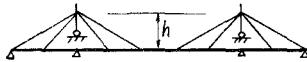


図-1 A_1, A_2 -Type

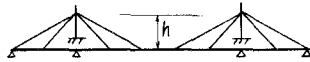


図-2 A_3, A_4 -Type



図-3 B'_1, B'_2 -Type

与えた断面諸元は各場合とも共通で、全て無次元化した。この無次元量は塔およびケーブルの撓性に関する量と、ケーブルの偏心量と塔の高さに関するもので、既設の橋の平均的な値を用いた。

$$E_0 I_0 / E_c I_c = 10, \quad E_0 I_0 / l_0^2 E_c A_c = 1 \times 10^{-4}, \quad e_c / l_0 = 0, \quad h / l_0 = 0.1$$

(2) 計算結果 数値計算は①ケーブル張力の鉛直成分 ②ケーブル張力 ③塔の軸力 ④主桁の軸力 ⑤塔脚部の曲げモーメント ⑥主桁の曲げモーメント ⑦塔頂の水平変位 ⑧主桁のたわみ の8つの諸量について全スパンを40等分した集中荷重による影響値と満載等分布荷重による値を求めた。

(3) 構造特性 ①塔の形式による差 Cableの支持形式が同じもの同士では、計算結果には殆んど相違がなかった。特に全ケーブルを塔上で固定した場合には、ケーブル張力の鉛直成分は実用上の範囲で完全に一致した。したがって主桁の断面力および変形量は数パーセントの差しか現われなかった。これは、かなり剛性の高いケーブルが塔をアンカーしたためで、両サイドのケーブルも主桁上が支持すれば形式による差はかなり現われてくると思われる。ただし、塔に関しては著しい相違があった。

②ケーブルの支持形式による差 ケーブルの鉛直成分は全ケーブルが固定された場合には各成分は異なるが、1本でも滑動支持にすると残りの2本のケーブル張力の鉛直成分は殆んど等しくなり ($A_{1,2}$ -Type では完全に一致する)、その最大値は減くする。これは弾性支承の反力係数が減少したことになり、ケーブルを滑動支持にすることは斜張橋全体の剛性を低下させ、主桁には不利になる。この結果、ケーブル支持点に荷重を載荷した場合には他のスパンに大きな浮上りも生じるが、この現象は中央径間の中央部分では起まない。主桁のこの弾性挙動により、主桁の絶対最大・最小曲げモーメントはケーブルを滑動支持にすると側径間で生じ、固定支持に比べ最小モーメントの値は約2.5倍に増加する。

③ 以上は集中荷重に対する傾向であったが、満載等分布荷重に対してはケーブル張力の鉛直成分は塔の形式、ケーブルの支持形式の違いによる差は殆んどなくなるので、他の値にもその差は現われない。これは、集中荷重が中央径間の中点に載荷された対称荷重に対する場合と同じ傾向である。

4. 結び 数値計算は計算量の関係から特定の形状に限定したが、上で述べた斜張橋の性質は、基本連続桁のスパン割、主桁上のケーブル支持点、ケーブルの本数および断面諸元を変えると思われ。しかし、斜張橋の形状による弾性特性の大体の傾向はこれで把握できるものと思う。

さらに、ケーブルを平行に張った HARP-Type の斜張橋の比較は、講演当日発表する。

1) 前田・林・大森：土木学会関西支部年次学術講演会講演概要；昭和43年5月