

移動荷重を受ける鋼斜張橋の最適化における応力度の制約条件
およびそのSensitivitiesの計算方法について

愛媛大学工学部 正会員 大久保 禎二
愛媛大学工学部 正会員 谷 脇 一 弘
日本アイ・ビー・エム(株) 正会員 ○高 橋 照 之

1. まえがき

鋼斜張橋の桁および塔の各断面は、軸力、せん断力および曲げモーメントを受けるため、移動荷重を受ける鋼斜張橋の設計を行う場合には、それぞれの部材力の最大値あるいは最小値を吟味し、各部材要素における最も支配的な応力状態について制約条件を考慮する必要がある。本研究は、移動荷重を受ける鋼斜張橋の最適設計問題において、道路橋示方書に規定する桁・塔およびケーブルの応力度の制約条件およびその設計変数に関する一次のSensitivitiesの計算を、影響線を用いて厳密に行う方法について述べるものである。

2. 鋼斜張橋の設計変数

本研究では、鋼斜張橋の断面寸法に関する設計変数として、図-1に示すフランジ板厚 t_u 、 t_l 、ケーブルの断面積 A_c を考慮し、これらの設計変数を集約して変数 Z として表わす。また、ケーブル配置に関する設計変数として図-2に示す X_c 、 Y_c をも考慮している。腹板の板厚 t_w は軸力(N)と曲げモーメント(M)による応力度、せん断力(S)による応力度、 N 、 S 、 M による合成応力度および最小板厚の制限のいずれかで決定される最大の板厚とした。また、主桁のフランジの有効幅は、道路橋示方書に従って計算し、桁および塔のリブの断面は、換算板厚として t_u 、 t_l に含めて考慮している。

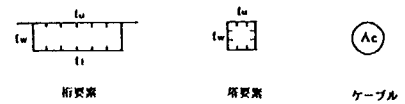


図-1 断面寸法に関する設計変数

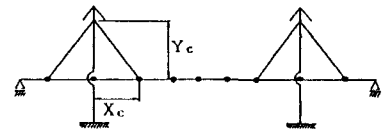


図-2 ケーブル配置に関する設計変数

3. 制約条件

斜張橋の死荷重による部材力(N_d , S_d , M_d)および移動荷重による部材力(N_l , S_l , M_l)を考慮した応力度の制約条件として、道路橋示方書に規定する次の制約条件を考慮している。

① 桁要素のフランジの応力度：

$$g_{\sigma_{N_j}}(Z, X_c, Y_c) = \sigma_j(Z, X_c, Y_c) - \sigma_{a,j}(Z) \leq 0 \quad (j=1, \dots, m_k) \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $\sigma_j(Z, X_c, Y_c)$ ： N_j と M_j による応力度、 $\sigma_{a,j}(Z)$ ：許容引張（圧縮）応力度

$$N_j = N_{d,j} + N_{l,j}, \quad M_j = M_{d,j} + M_{l,j}$$

② 塔要素のフランジの応力度：

$$g_{\sigma_{11,j}}(Z, X_c, Y_c) = \frac{\sigma_{c,j}(Z, X_c, Y_c)}{\sigma_{ca,z,j}(Z, Y_c)} + \frac{\sigma_{bc,y,j}(Z, X_c, Y_c)}{\sigma_{ba,y,j}(1 - \frac{\sigma_{c,j}(Z, X_c, Y_c)}{\sigma_{ca,y,j}(Z, Y_c)})} - 1 \leq 0 \quad (j=1, \dots, m_t) \quad \dots\dots(2)$$

$$g_{\sigma_{12,j}}(Z, X_c, Y_c) = \sigma_{c,j}(Z, X_c, Y_c) + \frac{\sigma_{bc,y,j}(Z, X_c, Y_c)}{(1 - \frac{\sigma_{c,j}(Z, X_c, Y_c)}{\sigma_{ca,y,j}(Z, Y_c)})} - \sigma_{ca1,j}(Z) \leq 0 \quad (j=1, \dots, m_t) \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 $\sigma_{ca,y,j}(Z, Y_c)$ ：許容オイラー座屈応力度、 $\sigma_{ba,y,j}$ ：局部座屈を考慮しない強軸まわりの曲げ許容圧縮応力度、 $\sigma_{c,j}(Z, X_c, Y_c)$ ： N_j による軸圧縮応力度、 $\sigma_{bc,y,j}(Z, X_c, Y_c)$ ： M_j による曲げ圧縮応力度、 $\sigma_{ca,z,j}(Z, Y_c)$ ：弱軸まわりの許容軸圧縮応力度、 $\sigma_{ca1,j}(Z)$ ：補剛板の局部座屈に対する許容曲げ圧縮応力度

③ ケーブル要素の引張応力度：

$$g_{\sigma_{N_j}}(Z, X_c, Y_c) = \sigma_j(Z, X_c, Y_c) - \sigma_{a,j}(Z) \leq 0 \quad (j=1, \dots, m_k) \quad \dots\dots(4)$$

ここに、 $\sigma_j(Z, X_c, Y_c)$ ： N_j による応力度、 $\sigma_{a,j}(Z)$ ：許容引張応力度

④ 塔要素の細長比

⑤ 桁および塔要素の腹板の応力度

⑥ 設計変数の上・下限制約

ただし、 Z および t_w の下限値として局部座屈防止のための板厚の制限値をも考慮している。

4. 応力度の検討位置

桁および塔の各要素のフランジおよび腹板の応力度の検討位置は、図-3に示すように、各桁要素に関しては部材の両端および死荷重によるMが極大となる中間点の上縁、下縁の6点、塔要素では部材の両端の上縁、下縁の4点とした。ケーブルの桁への定着位置が変化することにより定着点の左右の桁の要素長が変化するが、その場合には各桁要素の応力度の検討位置を桁要素長の変化に合わせて変動させている。また、桁の要素長は、ケーブルの定着間隔が25m程度と短い場合にはケーブル間隔と等しくとり、この間隔が長い場合にはケーブル定着点間を2つの桁要素に分け、桁断面が定着点の中間で変化し得るものとしている。塔の要素長についても、その長さが15mより長い場合には、その部材の中間点で断面寸法が変化し得るようになっている。

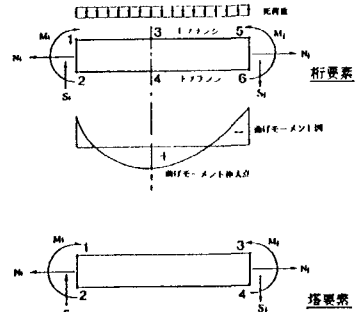


図-3 応力度の着目位置

5. 移動荷重をも考慮した応力度の計算方法

死荷重のみならず移動荷重をも受ける鋼斜張橋の各部材要素の支配的な応力度を決定するため、本研究では4.で述べた各桁要素、塔要素および各ケーブルの応力度の着目点毎にN, SおよびMの各最大、最小状態、すなわち6種類の異なる活荷重載荷状態をN, S, Mの影響線を用いて求め、この6種類の載荷状態における応力状態について、3.で述べた各制約条件を検討し、各応力着目位置で最も支配的な応力度を与える載荷状態を決定している。したがって、桁要素については6個の応力着目位置に対して、それぞれ最も支配的な載荷状態が1個ずつ決定される。最終的に各桁、塔要素の上(下)フランジの板厚は、このようにして求めた上(下)フランジの各応力着目位置の中で最も条件の厳しい制約条件に対しても安全のように決定される。影響線の例として、6段ケーブルを有する3径間斜張橋の桁のA, B, C点のN, S, Mの影響線を図-4に示す。

