

京都大学 正員 山田 善一
 春本鉄工 正員 大宮司 尚

1. まえがき

斜張橋の最適設計を厳密に行うためには、多数の設計変数について最適化を行わなければならない。設計変数の増加にもなると解の収束に関する信頼性、計算時間の増加などの問題を生じるので実用化が困難となる。また最終の断面決定にはケーブル定着点の応力集中、曲げねじり応力なども考慮しなければならないので、死者荷重による最適設計のために膨大な計算費用を費やすことは実用的でないと考えられる。

斜張橋は補剛桁をケーブルで弾性的に支持した構造であり、更にプレストレス導入によって曲げモーメントを平均化できるという特色がある。設計者が設計当初知りたものは、曲げモーメントの分配に大きな影響を与えるケーブル断面積、補剛桁断面2次モーメント、塔高(H_t)、プレストレス導入量などの基本的な最適仮定諸量であり、これらの基本値の最適化選択が行われれば、後は部分的にFully Stressed Designを適用することによって、最適に近い設計が可能になるものと思われる。今回の研究ではApproximation Conceptsを用いることにより設計変数を少くし、詳細設計のための基本データを迅速に求めることができた。

2. Element Optimizationによる軸力と曲げを受ける部材断面の決定

設計変数は上フランジ厚 X_u 、下フランジ厚 X_e とすると目的関数は次式で与えられる。

$$F(X_u, X_e) = K_u B_u X_u + K_e B_e X_e + 2 K_w t_w H_g \quad (1)$$

ここで K_u, K_e, K_w は材質と製作費を考慮したコスト係数である。

図1の断面性能係数 (2) で、 $a \sim f$ の応力による制約条件は式 (3) で与えられる。

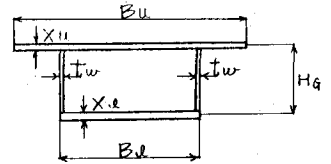


図-1. 補剛桁断面

$A = B_u X_u + B_e X_e + 2 t_w H_g$	a) 最大軸力による応力	$\sigma_{N1} = P(D+L)_{max} / A$
$I_y = 0.25 H_g^2 (B_u X_u + B_e X_e) + t_w H_g^3 / 6$	b) 最小軸力による応力	$\sigma_{N2} = P(D+L)_{min} / A$
$I_x = 0.5 B_e^2 t_w H_g + (X_u B_u^2 + X_e B_e^2) / 12$	c) 最大曲げモーメントによる上フランジ応力	$\sigma_{U1} = M(D+L)_{max} Y_u / I$
$\delta = 0.5 H_g (B_u X_u - B_e X_e) / A$	d) 最小曲げモーメントによる上フランジ応力	$\sigma_{U2} = M(D+L)_{min} Y_u / I$
$Y_u = 0.5 H_g - \delta$	e) 最大曲げモーメントによる下フランジ応力	$\sigma_{E1} = M(D+L)_{max} Y_e / I$
$Y_e = 0.5 H_g + \delta$	f) 最小曲げモーメントによる下フランジ応力	$\sigma_{E2} = M(D+L)_{min} Y_e / I$
$I = I_y - A \delta^2$	$\left. \begin{aligned} & \sigma_{N2} / \sigma_{ca} - \sigma_{U1} / \sigma_a - 1 < 0 \\ & \sigma_{N1} / \sigma_{ca} + \sigma_{U2} / \sigma_a - 1 < 0 \\ & \sigma_{N1} / \sigma_{ca} + \sigma_{E1} / \sigma_a - 1 < 0 \\ & \sigma_{N2} / \sigma_{ca} - \sigma_{E2} / \sigma_a - 1 < 0 \end{aligned} \right\} (3)$	
$R_x = \sqrt{I_y / A}, R_y = \sqrt{I_x / A}$		
$SLX = L_x / R_x, L_x: \text{面内方向有効座長}$		
$SLY = L_y / R_y, L_y: \text{面外方向有効座長}$		

板厚の制限 (リブ断面も考慮) (m) $0.018 < X_u < 0.030$ $0.013 < X_e < 0.050$

許容軸圧縮応力 (kg/cm^2) σ_{ca} SS41: $1400 - 8.4 \{ SLX \text{ (or } SLY) - 20 \}$
 SM50: $1900 - 13 \{ SLX \text{ (or } SLY) - 15 \}$

許容曲げ応力 (kg/cm^2) σ_a SS41: 1400, SM50: 1900

3. 最適剛比パラメータの決定

(1) 設計変数

ケーブルの仮定断面積 $X_1(m^2)$ と補剛桁の断面2次モーメント $X_2(m^4)$ を設計変数とし、最適剛比パラメータ γ_{opt}

$= E_c X_1 f_t l_b / E_g X_2$ を求める。ここで E_c : ケーブルのヤング係数, E_g : 補剛桁のヤング係数, f_t : 塔高 (m), l_b : 橋長 (m)

(2) 目的 (コスト) 関数

設計変数 X_{1ij}, X_{2ij} によって決定される断面力を求め、次に Element Optimization によって補剛桁の断面を決定し、コストを全部代について求め、総和をとると、設計変数 X_{1ij}, X_{2ij} に関するコスト曲面 $Z(X_{1ij}, X_{2ij})$ が図. 2 のような形で求まる。

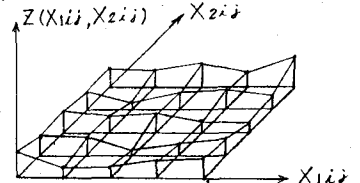


図-2 (設計変数-鋼重) 曲面

図. 3 は構造解析を行った系であり、図. 4 は断面決定後の系である。仮定断面と実断面の剛比 K_{ij} と K_{ijreal} が違いすぎると、Element Optimization で用いた断面力は無意味になる。したがって、断面決定では次の制約を考慮することにした。仮定断面によるパラメータを

$$K_{ij} = E_c X_{1ij} f_t l_b / E_g X_{2ij}$$

とし、実断面のパラメータを次のように表わす。

$$K_{ijreal} = \frac{E_c \sum_{n=1}^{NC} A_{cn}(X_{1ij}, X_{2ij}) f_t l_b}{E_g \sum_{m=1}^{NG} I_{gm}(X_{1ij}, X_{2ij})}$$

④

⑤

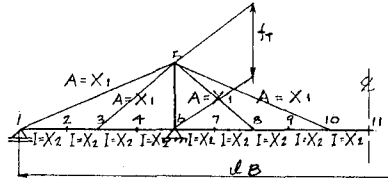


図-3 仮定剛度による系 (等断面)

NG : 補剛桁格間部材数, NC : ケーブル本数, A_c : ケーブル断面積, I_g : 補剛桁断面 2 次モーメント
実断面は次式を満足するように決定するものとした。

$$0.9 < K_{ij} / K_{ijreal} < 1.1$$

⑥

このようにして X_1, X_2 の i, j points におけるコストは次式で与えられる。

$$Z(X_{1ij}, X_{2ij}) = \sum_{m=1}^{NG} COST_m(X_{1ij}, X_{2ij}) + \sum_{u=1}^{NC} COST_u(X_{1ij}, X_{2ij})$$

⑦

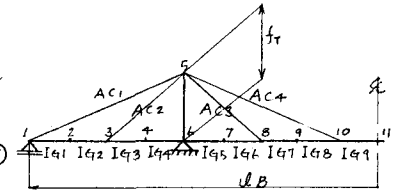


図-4 実剛度による系 (等断面)

(3) 全体の最適化

(X_{1ij}, X_{2ij}) 格点上で求められたコスト値の最適値は Grid Points Search によって迅速に求めることができる。最適値の精度の向上のためには最適化の領域を狭くしながら、同じ手順を数回繰り返していかねばならない。

4. 最適プレストレス量の決定

設計変数を図. 5 に示すようにケーブルのプレストレスカとすると、目的関数は次式で与えられる。

$$Z(X_1, X_2, \dots, X_N) = \sum_{i=1}^{NG} COST(X_1, X_2, \dots, X_N) + \sum_{j=1}^{NC} COST(X_1, X_2, \dots, X_N) + K_p(X_1 + X_2 + \dots + X_N)$$

ここで K_p : プレストレス導入のための価格係数

コストの決定は K_{opt} における断面力とプレストレスによる断面力との和を求めた Element Optimization によって決定した。設計変数が 2 個の場合には上記同様 Grid Points Search とし、3 個以上の最適値の決定には SUMT を用いることとした。

5. 数値計算例と考察

2 径間と 3 径間の斜張橋について当日スライドで報告する。

参考文献

- 1) 山田, 大宮司: 鋼床版床組の最適設計の実用化に関する研究, 土木学会論文集, 233号, 1975.
- 2) 櫻村, 文久保: Suboptimization による鋼連続橋の最適設計, 土木学会論文集, 215号, 1973.

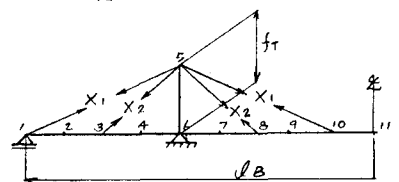


図-5 プレストレスの導入