

部分定着式斜張橋の最適設計

熊本大学工学部 正 員 小林 一郎

同 上 学生員 ○泊 茂樹

同 上 学生員 佐々木 高

九州大学工学部 正 員 大塚 久哲

1. はじめに ¹⁾ Gilsanz らによって長大斜張橋のケーブル定着方式として提案された部分定着式(部定式)斜張橋は、その後の研究によって構造特性、経済性等が明らかにされつつある。部定式斜張橋は、側径間に伸縮継手を挿入することによって主桁の最大軸力の軽減を図ったものである。長大マルチケーブル斜張橋においては曲げ応力に比べ軸力による応力が卓越するため、従来の定着方式である自己定着式(自定式)や吊橋に用いられる完全定着式(完定式)と比べ、部定式は有利な構造形式といえる。今回は、マトリックス構造解析法による影響線解析の結果と最適設計の概要について報告する。

2. 影響線解析 影響線マトリックス P により、外力を部材断面力に線形変換することができ、各行ごとの要素を抜き出すことにより、任意部材の軸力、せん断力、曲げモーメントの影響線の縦距を得ることができる。最大断面力は次式により求める。

$$N_{imax} = l_N EP \quad (1) \quad Q_{imax} = l_Q EP \quad (2)$$

$$M_{imax} = l_M EP \quad (3)$$

ここに、 l_N, l_Q, l_M : i 部材の軸力、せん断力、及び曲げモーメントに関する影響線の縦距のベクトル

E : 影響線の面積を求めるためのマトリックス

P : 死荷重、活荷重、分布活荷重の強度の要素ベクトル

である。

また、応力に関しては、①端側上、下部、②端側上、下部の4点を考え、最大応力を算出する。このとき、 P により求められる断面力は②端側のみであるので、①端側の断面力は平衡マトリックスを用い、②端側の断面力で求める。応力の影響線の縦距は次式により求める。

$$l_{\sigma 2} = \frac{l_N}{A_i} \pm \frac{l_M}{W_i} \quad (4) \quad l_{\sigma 1} = \frac{l_N}{A_i} + \left(\frac{l_M + l_Q L_i}{W_i} \right) \quad (5)$$

ここに、 $l_{\sigma 1}, l_{\sigma 2}$: i 部材の①端側及び②端側の応力の影響線の縦距ベクトル

A_i, W_i, L_i : i 部材の断面積、断面係数、部材長である。

式(1),(3),(4),(5)により、活荷重の載荷位置が、①側と②側について、影響線解析をする。

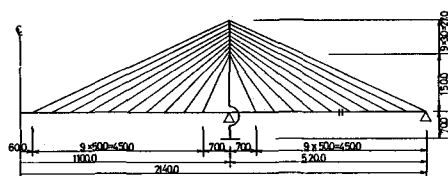


図-1 計算モデル

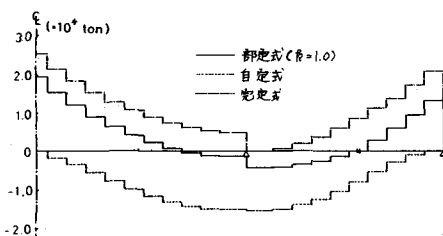


図-2 最大軸力図(①側)

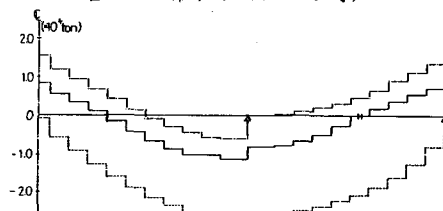


図-3 最大軸力図(②側)

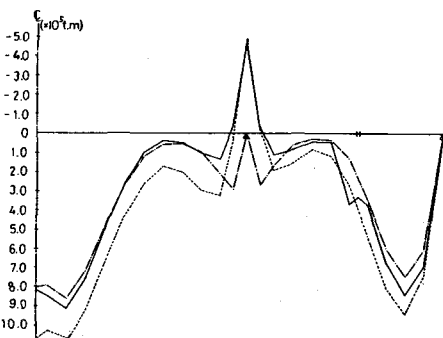


図-4 最大曲げモーメント図(①側)

伸縮継手の剛性マトリックスは、半剛性と考え、部材の長さ \$L\$、曲げ剛性 \$EI\$ とし、その両端①および②は、単位回転角度あたりに、それぞれ \$4EI k_1/L\$、\$4EI k_2/L\$ のモーメントを伝える接合部と考え、また、①端を剛、②端を半剛性と考え、\$k_1 = \infty\$、\$k_2 = k\$ とすると、

$$K_m = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} \frac{4k+1}{4(k+1)} & -\frac{6EI}{L^2} \frac{k}{k+1} \\ 0 & -\frac{6EI}{L^2} \frac{k}{k+1} & \frac{4EI}{L} \frac{k}{k+1} \end{bmatrix}$$

ここで、伸縮継手があるので、この節点では、軸力は伝えないので、1行1列を省くと、

$$K_m = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} \frac{4k+1}{4(k+1)} & -\frac{6EI}{L^2} \frac{k}{k+1} \\ -\frac{6EI}{L^2} \frac{k}{k+1} & \frac{4EI}{L} \frac{k}{k+1} \end{bmatrix}$$

である。⁴⁾

モデルは、図-1で、主桁は \$A=1.0\text{ m}^2\$、\$I=20.0\text{ m}^4\$、上縁距離 \$=5.0\text{ m}\$ 下縁距離 \$=7.5\text{ m}\$ 塔の上段は \$A=1.5\text{ m}^2\$、\$I=7.0\text{ m}^4\$ 下段は \$A=2.0\text{ m}^2\$、\$I=10.0\text{ m}^4\$ ケーブルの最上段は \$A=0.12\text{ m}^2\$ 最上段以外は \$A=0.08\text{ m}^2\$ また、荷重は、死荷重 \$18.65\text{ t/m}\$、活荷重 \$110\text{ ton}\$、分布活荷重 \$7.52\text{ t/m}\$ とした結果が、図-2から図-7までになった。

3. 最適設計 本研究は、曲げモーメントによる応力より軸力による応力の方が卓越すると思われる図-1のマルチケーブルについて最適設計を試みるものであるが、予備計算として、図-8のモデルについて数値計算を行なった。

主桁の断面は図-9に示すとおりで、プレストレスは考慮していない。主桁とケーブルの最適設計を行ない、塔につ

いては一定と考え、最適設計を行なわないこととする。制約条件としては、

- 1) 応力の制限 \$\sigma_{\max} \leq \sigma_a\$ (\$\sigma_a\$ は各部材の許容応力度)
- 2) セン断応力 \$\tau_{\max}\$ の制限 \$\tau_{\max} \leq \tau_a\$ (\$\tau_a\$ は各部材の許容せん断応力度)
- 3) 腹板の合成応力の制限 \$(\sigma_{\max}/\sigma_a)^2 + (\tau_{\max}/\tau_a)^2 \leq 1.2\$
- 4) 板厚の制限 \$1.8\text{ cm} \leq t_u \leq 3.0\text{ cm}\$, \$1.3\text{ cm} \leq t_l\$, \$t_w \leq 5.0\text{ cm}\$

を考え、目的関数はコスト体積最小とし、最適化手法には SLP 法を用いる。

その結果、最適コスト体積は、部定式 \$0.28273 \times 10^8\text{ cm}^3\$、完定式 \$0.27271 \times 10^8\text{ cm}^3\$、自定式 \$0.28216 \times 10^8\text{ cm}^3\$ と、部定式が最も大きくなった。これは、図-8のモデルは、軸力による応力より、曲げモーメントによる応力の方が支配的であることが原因であると思われる。なお、図-1のモデルの最適設計については、講演時に報告する予定である。

参考文献: 1) Gilsanz, R.E. & Biggs, J.M.: Cable Stayed Bridges: Degrees of Anchoring, Proceedings of ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 107, January, 1983 2) 大塚 久哲, 太田 俊昭, 今井 憲夫, 「大径間斜張橋の最適定着方式について」土木学会論文集 NO. 350 / I-2 1984. 10 3) 小林, 吉本, 三池 「接続マトリックスを用いた骨組構造物の最適設計」土木学会論文報告集 第337号, 1983年9月

4) リアスレー, R.K. 「マトリックス構造解析入門」(培風館)

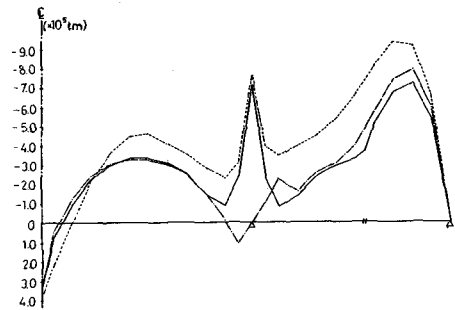


図-5 最大曲げモーメント図(側側)

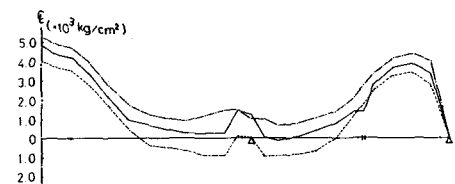


図-6 最大応力図(側側)

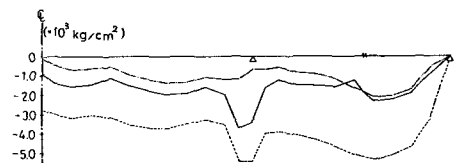


図-7 最大応力図(上側)

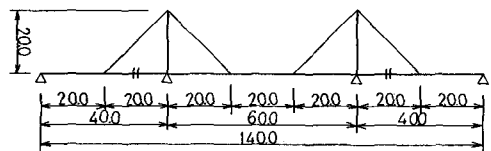


図-8 計算モデル

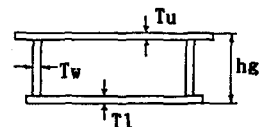


図-9 断面形状