

I-11

斜張橋の最適設計に関する研究

熊本大学工学部 正 員 小林 一郎
 同 上 学生員 ○杉野 朗
 同 上 正 員 三池 亮次

1. はじめに 筆者らは、接続マトリックスによる骨組構造解析法を用いた最適設計について研究を行なっている¹⁾。接続マトリックスを用いると、部材断面力、変位、あるいは最大曲げモーメント等の影響線解析が容易に行なわれる。また、最適設計計算を行なう際に必要となる感度係数(1次導関数)の算出が数値微分でなく解析的に行なわれるため、構造解析に用する時間は極めて少ない。今回は、斜張橋の影響線解析の手法および最適設計について報告する。

2. 影響線解析について 影響線マトリックス $\bar{I}$ は、

$$\bar{I} = C^t K_m (C K C^t)^{-1} \quad \text{----- (1)}$$

で表わされる。ここで、 C は接続マトリックス、 K_m は剛性マトリックスである。この影響線マトリックスの各行ごとの要素を抜き出せば、任意の部材の軸力、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。

また、応力に関しては、図-1に示す通り、①端側上、下部、②端側上、下部の4点を考える。したがって、応力に関する影響線の縦距は、次のようになる。

$$l_{\sigma 0} = \frac{l_N}{A_i} \pm \frac{l_M}{W_i} \quad \text{----- (2)}$$

$$l_{\sigma 0} = \frac{l_N}{A_i} \pm \left(\frac{l_N + l_a L_i}{W_i} \right) \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 $l_{\sigma 0}, l_{\sigma}$: i 部材の①端側及び②端側の応力に関する影響の縦距のベクトル

l_N, l_a, 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

A_i, W_i, L_i : i 部材の断面積、断面係数、及び部材長である。

図-2 b)~e)に示されているのは、斜張橋モデル1の軸力、せん断力、曲げモーメント、及び①端側上部の応力の影響線図の一部である。図-3は式(2)、(3)より求められたモデル1の2番の部材の4つの点におけるそれぞれの応力の影響線図を示している。部材によっては縁端の4つの点の応力影響線図にかなりの差が見られることがわかる。

部材の最大断面力はすでに報告にあるように、影響線マトリックスにより求めることができ、次の通りである。

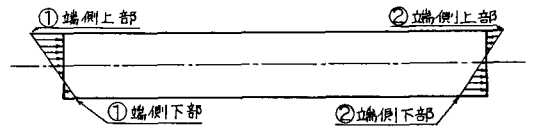
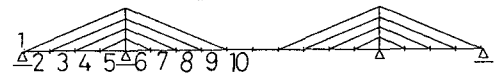
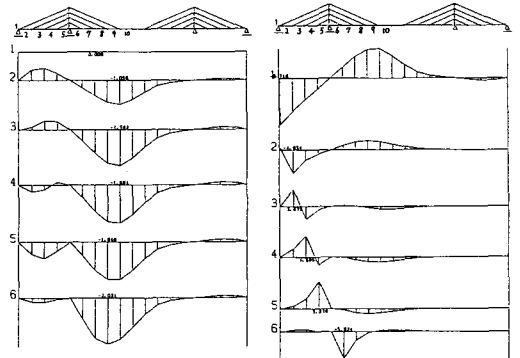


図-1 端点に働く応力

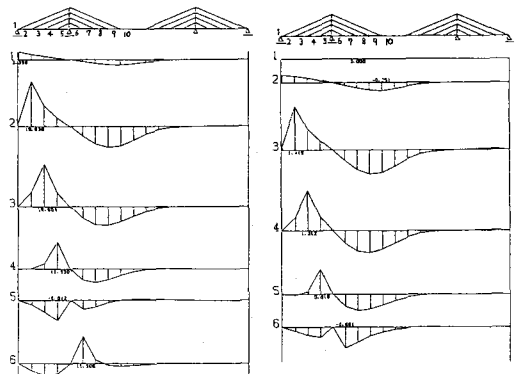


a) 骨組形状



b) 軸力

c) せん断力



d) 曲げモーメント

e) ①端上部の応力

図-2 モデル1の骨組形状と各種影響線図

$$N_{i,max} = Q_N EP \text{ -----(4)} \quad Q_{i,max} = Q_a EP \text{ -----(5)}$$

$$M_{i,max} = Q_M EP \text{ -----(6)} \quad \sigma_{i,max} = Q_a EP \text{ -----(7)}$$

ここに、 $N_{i,max}$ 、 $Q_{i,max}$ 、 $M_{i,max}$ 、 $\sigma_{i,max}$ は部材最大軸力、せん断力、曲げモーメント力、応力であり、 E は影響線の面積を求めるためのマトリックスであり、 P は死荷重、活荷重、分布活荷重の強度が要素のベクトルである。

図-4は斜張橋モデル2の主桁部分の最大断面力図を示している。この4つの図は上から、a)最大軸力図、b)最大せん断力図、c)最大曲げモーメント図及びd)最大応力図であり、活荷重の載荷位置が影響線図の十側に位置するか、一側に位置するかで2種類の最大断面力図が求められる、それを各々の図に重ねて描いている。先にも述べたように最大応力は、部材の縁端の4つの応力によって、各々の部材で4種類の最大応力が得られるが、その中の最大値を部材の最大応力としている。このことによつて部材の最大応力が正確に求められる。

図-5、6は図-4と異なるモデルの斜張橋の最大曲げモーメント図と最大応力図を示している。このように、式(4)~(7)より部材最大断面力が一連のマトリックス演算のみで容易に求めることができる。

3. 最適設計 本報告では、主桁とケーブルの最適設計を行ない、塔については、風、地震荷重等の影響線解析のみでは求められない要素が大きく作用し、また塔の剛性を変化させても、主桁やケーブルの断面力にほとんど影響を及ぼさないことから最適設計を行なわないことにする。主桁の断面形状は、図-7にあるように、実橋の断面形状を簡略化し4変数で表す。設計変数は、a)主桁の上下フランジ厚 t_u 、 t_b 、ウェブ厚 t_w 、桁高 h_g (主桁部分で共通の変数)、及びケーブル断面積 C_a (ただし、上下フランジ幅は定数)、b)上記a)の設計変数とアレストレス量の2つの場合を考える。a)の場合もアレストレスの導入を考えるが、最適設計計算とは別に構造解析の際に主桁の曲げモーメントをできるだけ均等にするようなアレストレス量を決定させ、アレストレス量を付加させた断面力によって最適設計を行なう。制約条件としては、

- 1) 応力の制限 $\sigma_{i,max} \leq \sigma_a$ (σ_a は各部材の許容応力度)
- 2) せん断応力 $\tau_{i,max}$ の制限 $\tau_{i,max} \leq \tau_a$ (τ_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 $(\sigma_{i,max}/\sigma_a)^2 + (\tau_{i,max}/\tau_a)^2 \leq 1.2$
- 4) 板厚の制限 $1.8\text{cm} \leq t_u \leq 3.0\text{cm}$, $1.3\text{cm} \leq t_b, t_w \leq 5.0\text{cm}$

を考え、目的関数は主構重量最小とし、最適化手法にはSLP法を用いる。なお、数値計算例については、講演時に報告する予定である。

参考文献：1) リアスレー, R. K. 「マトリックス構造解析入門」(培風館) 2) 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 3) 小林, 三池 「任意骨組構造解析への接続マトリックスの応用」 熊本大学工学部研究報告 昭和57年度 4) 山田, 大宮司 「斜張橋の最適基準設計に関する研究」 土木学会論文報告集 第253号・1976年9月

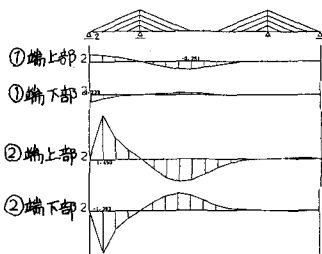


図-3 縁端の応力影響線図

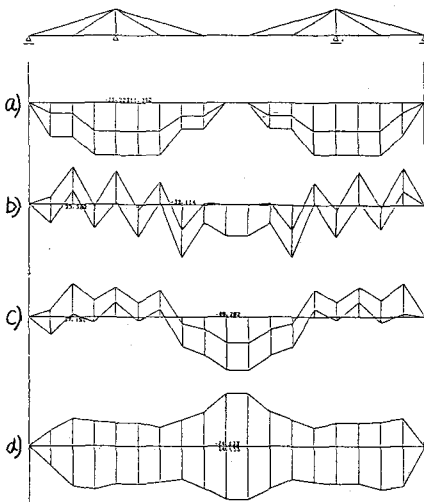


図-4 モデル2の最大断面力図

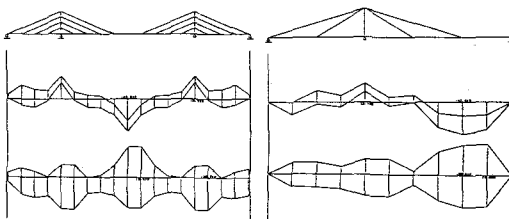


図-5 モデル1の最大モーメント図と

最大応力図

図-6 モデル3の最大モーメント図と

最大応力図

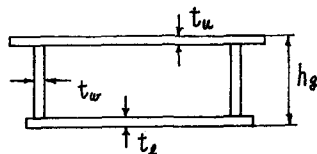


図-7 主桁の断面形状