

熊本大学工学部 正員 小林一郎

同 上 三池亮次

1.はじめに 筆者らは、先きに移動荷重に対して最大断面力を与えるような荷重配置を考慮したトラス橋の最小重量設計について報告を行なった。今回は、(1)荷重条件として、死活等分布荷重を全載った場合(以下、慣用法)と本法のトラス橋の最適解の比較、(2)剛結合骨組構造への本法(影響線法)の適用について報告する。

2.慣用法と影響線法の比較 図-1～3に示したトラス橋について、最小重量設計の結果を比較する。設計変数としては、部材幅B_i、部材高H_i、板厚t_iの4個とし、上下弦材及び斜材の圧縮材は箱型、斜材の引張材はH型を用いる。ただし、部材幅B_iは全部材共通の変数である。制約条件は次の通りである。

・応力制限

$\sigma_c(\alpha) \leq \sigma_u \leq \sigma_t \cdots (1)$

・細長比制限

$\lambda \leq 120 \text{ or } 200 \cdots (2)$

・板厚制限

$t_i, t_w \geq 0.8 \text{ cm} \cdots (3)$

・部材の面外座屈防止

$I_y > I_x \cdots (4)$

・部材高の制限

$H \leq L/10 \cdots (5)$

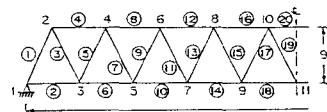


図-1 モデル1(平行弦ワーレントラス)

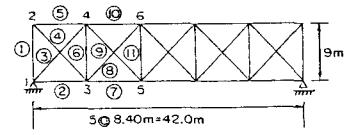


図-2 モデル2(タapersトラス)

ここに、 σ は部材応力度、 σ_c, σ_t は圧縮と引張に対する許容応力度、 λ は細長比、 I_y, I_x は面外及び面内回りの断面2次モーメント、 L は部材長である。

最適解のうち影響線法による断面積をA_i、部材幅をB_i、総重量をW_cとし、慣用法によるものには α の添字をつける。

図-4は、縦軸に A_i/A_{i0} の値を、横軸には部材番号をとる。
また、図中には、両者の重量と部材幅の最適値を示してある。
図より、モデル1の静定トラスにおいては、 $W_c/W_{c0} = 0.95$ 、
 $B_c/B_{c0} = 0.97$ であり両者の解に大きな差は見られない。モ

デル2の内的不静定トラスでは、軸力の小さな部材がすべて板厚制限から断面積が決定されているため $W_c/W_{c0} = 0.97$ となる。モデル3のような外的不静定トラスでは、上下弦材の影響線図も正負両方の値を持つ。そのため活荷重の配置の差が軸力に影響するので全応力設計では、重量は 20%以上の差ができる。ただし、本解析例では板厚制限のために $W_c/W_{c0} = 0.90$ 、 $B_c/B_{c0} = 0.97$ となる、という。

以上のことまとると、(1)静定トラスについては、慣用法で全応力設計を行なえば十分である。(2)内的不静定トラスについては、板厚制限等を追加して解析すれば慣用法を用いても差はない。(3)外的不静定については、軸力は影響線解析より求められるのである。(4)トラスの部材断面の決定(sizing)においても、設計変数として断面積のみでなく、板厚、部材幅等を加えて解剖を行なうべきである。

参考文献: 小林、三池、「影響線マトリックスと最適設計」第3回土木学会年次講演会概要集

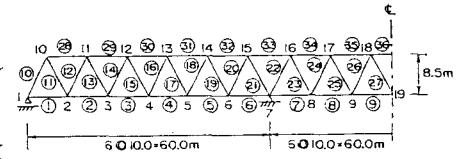
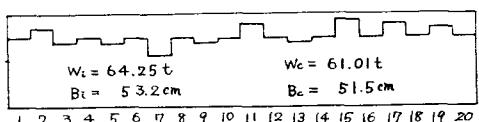
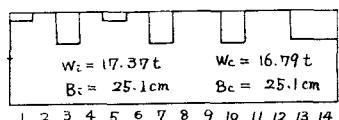


図-3 モデル3(3径向連続トラス)



(a) モデル1



(b) モデル2

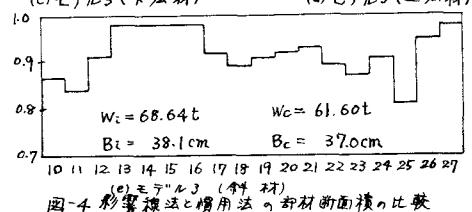
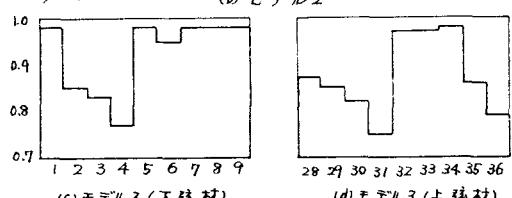


図-4 影響線法と慣用法の部材断面積の比較

3. 刚結合骨組構造への適用 外力 P , 部材断面力 P_m , 接続マトリックス C ($P = CP_m$), 刚性マトリックス K_m , 節点変位 θ より次式が成り立つ。

$$P_m = C^T K_m (C K_m C^T)^{-1} P = AP \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$d = (C K_m C^T)^{-1} P = G^T P \quad \dots \dots \dots (7)$$

ここで, A, G^T のマトリックスがそれぞれ部材断面力と変位の影響線マトリックスであり, 各行ごとに要素を抜き出せば, 任意の部材の影響線の縦距が求められる。今, i 部材の軸力と曲げモーメントに因する縦距ベクトルを ℓ_N, ℓ_M とし, 断面積を A_i , 断面係数を W_i とし, 節点 j における変位の影響線の縦距のベクトルを ℓ_j とすると

$$\ell = \frac{\ell_N}{A_i} \pm \frac{\ell_M}{W_i} \quad \dots \dots \dots (8) \quad \sigma_{ij,\max} = \ell^T E F \quad \dots \dots \dots (9) \quad d_{j,\max} = \ell_j^T E F \quad \dots \dots \dots (10)$$

となる。ただし, $\sigma_{ij,\max}$ は部材最大応力, $d_{j,\max}$ は節点最大変位であり, W_i は死荷重強度, E は集中荷重, F は分布荷重強度とする。 $F = [w_d P_p]^T$ である。最適化手法として SLP 法を用ひるが, 式(9)(10)の $\sigma_{ij,\max}, d_{j,\max}$ の感度係数は解析的に求めることが出来る。つまり, $\partial \ell^T / \partial x, \partial \ell_j^T / \partial x$ 等は A, G^T の感度係数から直接求められる。正マトリックスは $E = [\epsilon_1 \ \epsilon_2 \ \epsilon_3]$ であり、影響線図の正の面積と負の面積の差を S とすれば, $S = \ell^T \epsilon_1$ である。つまり, 隣り合う縦距で囲まれた台形の面積を求めるため, ϵ_1 の各要素には, 隣り合う縦距の距離に係数(1/2)をかけたものが並んでいる。

4. 教値計算例(エヒニニアードの最適設計) スパン長, ライズ f の円弧アーチ(あるいは放物線アーチ)について(a)塑性(設計変数: 外径 R , 内径 r , ただし, R は全部材共通)(b)箱型(設計変数: 部材幅 B , 部材高 H , 板厚 t_w, t_b , ただし, B は全部材共通)の断面について最小重量設計を行なう。図-5は, 10分割モデルについての応力影響線図であり, 縦距の値は式(8)のベクトルより求められる。制約条件としては(i)応力制限(ii)変位制限(iii)板厚制限を用いてある。

図-6は, CASE1 として影響線法, CASE2 として図のように 1/4 実寸近傍荷重を偏載したものと比較した。断面形状は箱型で, $L=500m, f=6.7m, w_d=4.60t/m, P=15.33t, P=1.43t/m$ の円弧アーチである。最適解の断面積の変化は、図-5の影響線図が示す通り 1/4 実寸近くでは、両者の値はよく一致しているが、その他では、影響線法の解が安全側にあることがわかる。図-7は、上記モデルと同一のスパン長, ライズ高を与え、同一の荷重条件の下で分割数を 12 として影響線法により解析した。断面変化の最も激しいものは、放物線型断面であり、ほとんどの断面になるのは円弧のパイプ断面であり、これが重量も最小であった。

以上のことから、影響線マトリックスを用いた最適設計を剛結合に適用することは有効である。本法と同様の影響線解析を用いた最適設計を直接剛性法により教値微分で感度係数を求めることが可能であろうが、本法では、それらの計算をすべて解析的に一連のマトリックス演算のみで処理される。今後、ローゼ橋等の構造へ本法を適用して行きたい。

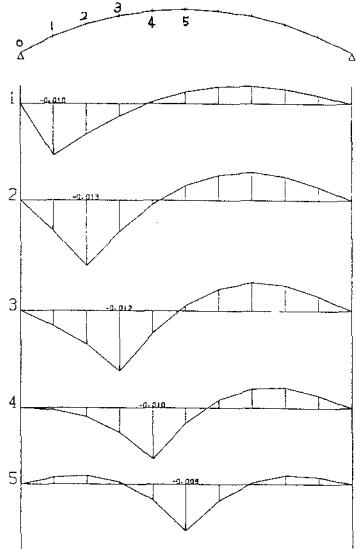


図-5 応力影響線図

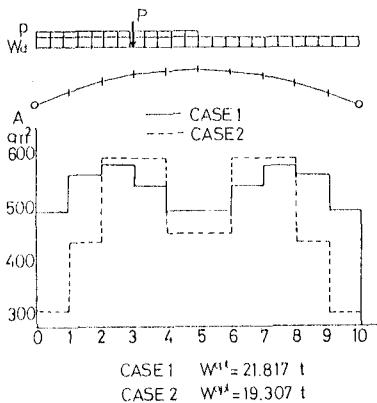


図-6 影響線法と慣用法の比較

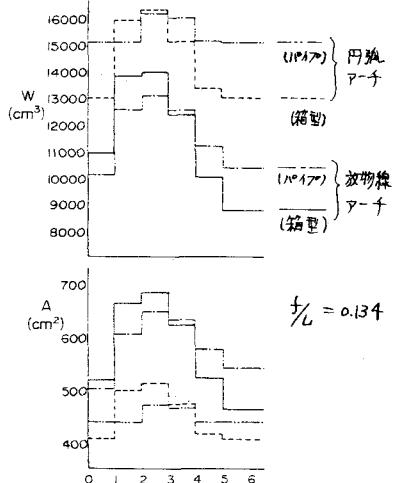


図-7 箱型ヒヤイド型の比較