

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 最適設計を実橋の設計に適用する際、設計荷重の決め方がひとつの問題である。本研究はリアスレーのいう接続マトリックスを用いることによって、最大の部材断面力を生ぜしめるような、荷重配置を考慮した、より実用的な荷重条件の下での最適設計を試みるものである。接続マトリックスの逆マトリックスより、影響線マトリックスが得られるため、トラス構造においては、不静定構造においてもSLP法を用いる際の感度係数の算出がマトリックス演算のみで処理することが可能であり、一部は、先の報告の通りである。

2. 影響線マトリックス 外力 p と部材断面力 p_m は、次のように陽形式に結びつけられる。

$$p = C p_m \quad (1), \quad p_m = K_m C^t (C K_m C^t)^{-1} p = A p \quad (2)$$

ただし、 C は接続マトリックス、 K_m は剛性マトリックス、 A は影響線マトリックスである。 A マトリックスの j 行ベクトル $\ell_j^t = [\ell_{j1} \ell_{j2} \dots \ell_{jn}]$ が、図-1の j 部材の部材断面力の影響線の横距を与えるものとする。この ℓ_j を使用して、等分布死荷重 w_d と集中活荷重 P および等分布死荷重 p_d が作用するときの、最大部材断面力 p_{mj} を求める。影響線図の正の面積の絶対値を $A+$ 、負の面積の絶対値を $A-$ 、兩者のうち大きい方を A とし、これには符号も考慮する。また $A+ > A-$ のとき、横距の最大値を ℓ_{max} 、 $A- > A+$ のときは、最小値を ℓ_{max} とする。

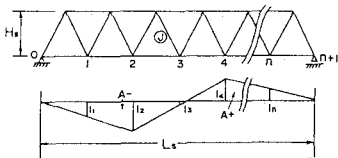


図-1 平行弦ワレントラスと影響線図

$$p_{mj} = (A+ - A-) w_d + \ell_{max} P + A p = \ell_j^t E P \quad (3)$$

ただし $P^t = [w_d P p]$

上式で正は、台形公式より、面積 $A+$ 、 $A-$ を求めるためのマトリックスである。各部材の応力度 σ_{max} は $\sigma_j = p_{mj}/A_j$ より求まるため、応力度の感度係数もマトリックス演算によって定式化される。

3 最適設計 式(3)より求められた部材最大応力度 σ_{max} を応力制限に用いた最適設計を行なう。設計変数は次の2ケースとした。ただし、 r は最小回転半径であり、部材幅 b は全部材でひとつの変数とする。

- ケース1: 断面積 A_i 、細長比 λ_i 、断面係数 $C_{Fi} (= I_i/2r)$ 、部材幅 b ($i=1, 2, \dots, m$)
- ケース2: 断面積 A_i 、細長比 λ_i 、部材高さ h_i 、部材幅 b ($i=1, 2, \dots, m$)

ただし、 m は部材の総数である。上記2ケースの設計変数の違いは、ケース2で、実橋に近い断面にすることとを考えたためである。また、制約条件としては、極力、道路橋示方書(55年版)に従うものとして次のようになる。

1. 応力制限 $\sigma_{ca} \leq \sigma_{max} \leq \sigma_{ta} \quad (4)$

ただし、 σ_{ca} 、 σ_{ta} は圧縮引張の許容応力度

2. 細長比制限 $\lambda_0 \leq \lambda \leq 120 \text{ or } 200 \quad (5)$

ただし、 λ_0 は面外屈曲防止の条項より求められる定数

3. たわみ制限 $d_g \leq \frac{L_s}{600} \quad (6)$

ただし、 d_g : 活荷重による最大たわみ量

L_s : スパン長

4. 板厚制限 $t_f \geq 0.8 \text{ cm}, \quad t_w \geq 0.8 \text{ cm} \quad (7)$

ただし、 t_f : フランジの板厚

t_w : ウェブの板厚

また、目的関数は体積最小である。鋼種はSS41(SM41), SM50, SM53(SM50Y), SM58 の4種類とし、部材ごとに、いくつかの鋼種を併用することもある。

4 数値計算例

(1) 3径間連続トラス 図-2のトラスについて、設計変数の2つのケースについて解析を行なった。変数は109(ケース1)と93(ケース2)で、設計荷重は $W_d = 42.2 \text{ kg/cm}$
 $P = 19900 \text{ kg}$, $p = 13.8 \text{ kg/cm}$ とする。ただし、たわみ制限は考慮されない。表-1は、各ケースの最適解を示し

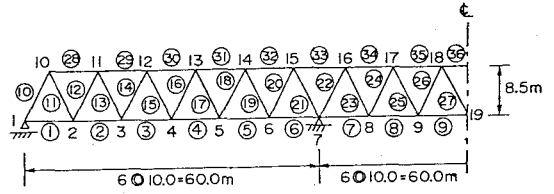


図-2 3径間連続トラス

表-1 3径間連続トラスの最適解

部材	断面高A (cm)		断面高B (cm)		断面高C (cm)		断面高D (cm)		断面高E (cm)		仕様
材料	ケ-1	ケ-2	ケ-1	ケ-2	ケ-1	ケ-2	ケ-1	ケ-2	ケ-1	ケ-2	
1	76.7	105.8	10.9	30.3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	S541
2	83.0	138.8	11.9	—	1.0	1.2	2.5	—	—	—	—
3	160.6	160.6	12.4	—	1.0	1.6	3.4	—	—	—	—
4	134.4	136.0	—	—	0.8	0.8	2.5	1.2	—	—	—
5	76.7	105.8	10.9	—	—	—	—	0.8	0.8	—	—
6	134.4	136.0	39.5	—	—	—	1.4	1.0	—	—	—
7	149.6	142.4	41.2	—	—	—	1.5	1.1	0.9	—	—
8	89.7	106.8	18.9	—	—	0.8	0.8	0.8	0.8	—	—
9	76.7	—	10.9	—	—	—	—	—	—	—	—
10	143.3	144.9	40.4	34.4	—	—	1.0	1.1	—	—	—
11	78.7	78.7	24.3	24.3	1.1	1.1	0.8	—	—	—	SH50
12	100.7	97.6	25.8	26.7	0.9	0.8	0.8	—	—	—	S541
13	66.8	65.2	33.0	22.8	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	89.2	87.2	18.6	18.7	—	—	—	—	—	—	—
16	64.8	65.2	30.0	22.3	—	—	—	—	—	—	—
17	103.1	102.0	27.6	27.9	—	—	—	—	—	—	—
18	109.8	109.8	—	27.2	1.8	1.8	—	—	—	—	—
19	147.0	148.4	40.0	40.3	0.8	—	1.1	1.1	—	—	—
20	116.4	116.4	27.7	27.7	1.9	2.0	0.8	—	—	—	SH50
21	206.6	208.8	46.0	45.2	0.8	0.8	1.6	1.7	—	—	S541
22	187.1	179.4	43.9	43.1	—	—	1.4	1.4	—	—	—
23	89.5	94.4	26.3	26.3	1.5	0.6	0.8	0.8	—	—	SH50
24	149.6	142.4	37.1	36.7	0.8	—	—	—	—	—	S541
25	84.8	84.8	25.1	13.3	1.3	—	—	—	—	—	—
26	111	89.7	18.0	20.2	0.8	0.8	—	—	—	—	—
27	64.8	65.2	23.0	22.8	—	—	—	—	—	—	—
28	144.1	152.0	40.8	35.5	—	1.1	1.1	1.0	—	—	—
29	165.0	174.7	42.7	—	—	1.3	1.2	1.2	—	—	SH50Y
30	166.4	148.8	42.0	—	—	—	—	—	1.2	—	—
31	220.1	223.1	37.3	—	—	0.9	0.8	0.8	—	—	—
32	76.7	114.8	10.9	—	—	0.8	—	—	—	—	S541
33	115.1	112.8	11.0	—	0.9	—	2.1	—	—	—	SH50Y
34	75.7	114.8	10.9	—	0.8	—	0.8	—	—	—	S541
35	—	—	24.3	—	—	—	—	—	—	—	SH50Y
36	108.3	—	30.6	—	—	—	—	—	—	—	—
ケ-2-2 ケ-2-2 ケ-2-2 ケ-2-2											
b=37.1cm b=35.9cm W=42.22cm W=46.14cm											

たもので、ケース2の主構重量はケース1に比較して6%大きくなっている。
 CPU TIMEは、81.9sec(ケース1) 50.8sec(ケース2)で、ケース1においては、応力制限いっぱいになった部材は25,その他は、板厚制限及び細長比制限によって解が得られる。このため、本法では、いわゆる全応力設計にはならず、従来の解法による結果よりも10パーセント前後、主構重量が小さくなる。これは、(1) 影響線を考慮するため、荷重が大きくなる。(2) 板厚制限及びウェブ幅も(あるいはフランジ高も)をいくつかの部材共通の変数にしているためであり、本法の解が安全側であり、より実設計になっている。

(2) 平行弦ワーレントラス 図-1に示すような単径間トラスについて主構高 H_s とスパン L_s 、パネル数 K ($k=6 \sim 12$)を変化させて解析を行ない、それぞれの最適値 W^{opt} をプロットしたものが図7である。設計変数は、ケース1について行ない、SM53について示してある。図中、破線は、 L_s と K を一定にしたときの W^{opt} と H_s の関係を示したもので最適主構高 H_s^{opt} の存在するこがわかる。実線は各スパン長において、各パネル数ごとの H_s^{opt} を結んだものである。任意のパネル数の解もこの線上にあるものと推定される。たとえば、 $L_s = 84\text{m}$, $K = 11$ のとき(■印)、図より、 $H_s^{opt} = 10.3\text{m}$, $W^{opt} = 46.60\text{t}$ が得られるが、これについて実際に行なった数値計算結果は、 $H_s^{opt} = 10.0\text{m}$, $W^{opt} = 46.56\text{t}$ であった。一実線は、 K を一定にしたときのスパンと H_s^{opt} の関係を表わしたもので、たとえば、8パネルについては $L_s = 60\text{m}$ で $H_s^{opt} = 8.5\text{m}$, $L_s = 84\text{m}$ で $H_s^{opt} = 11.5\text{m}$, $L_s = 100\text{m}$ で $H_s^{opt} = 14.0\text{m}$ である。下弦材の長さ L とすると $L = L_s/K$ であるので、 L はそれぞれ7.5m, 10.5m, 12.5mとなり、斜材と下弦材のなす角を θ とすると $\theta = 66.2^\circ, 66.0^\circ, 65.9^\circ$ となった。つまりワーレントラスは正三角形($\theta = 60^\circ$)という従来の定説に対して、2.3割り高い所に主構高 H_s の最適解のあることがわかる。

5 あとがき 最適設計においては、フリティカルな応力状態に対する解を求めるため、設計荷重は影響線より得られる最大応力について解析すべきである。また、設計変数は、断面積だけでなく、部材幅、部材高も加える必要がある。板厚制限等によって、解は全応力設計にはならない。なお、天門橋(天草一号橋)について行なった解析結果及び剛接骨組構造への本法の拡張については、その詳細は講演時に報告する予定である。

参考文献: リアスレー R.K 「トリックス構造解析入門」(培風館) 2) 小林・三池 「影響線によるトラス橋の最適設計」 第36回年次講演会概要集 I-345 3) 小山・長 「最適設計における計算効率に関する研究」土木学会論文報告集 No.297, 1980

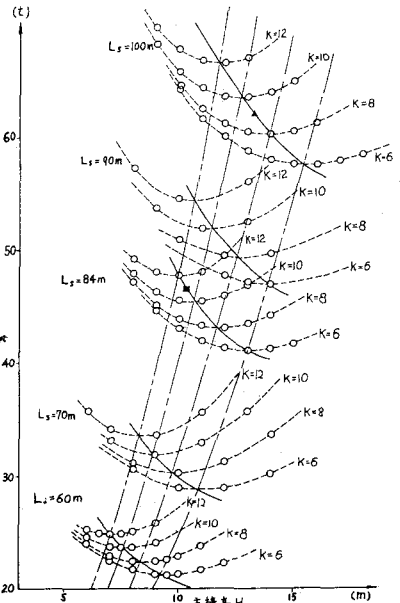


図-7 平行弦ワーレントラスの主構高と最適重量の関係