

名古屋工業大学 学生員 阪上 精希
愛知県 正員 若林 仁
名古屋工業大学 正員 長谷川 彰夫

トラス構造物に対して、与えられた骨組配置(たとえば静定系Fig.1, 不静定系Fig.2)のもとでの断面剛性の最適配分を、最大荷重設計理論¹⁾を用いて行う。

最適化の手法 最大荷重設計の最適化アルゴリズム²⁾を適用する。変数及び目的関数の無次元化を行い、鋼種及び骨組配置を与え、重量一定($R = \text{一定}$)の条件を導入すれば、

$$P_{\max} = \text{Max} (P)$$

ここで $P (= P/\sigma_r l^2 = \bar{C}/\bar{A}_{na}) = \text{Min} \{ \bar{F}_j (A_i (i=1 \sim 6)) \}$, $R = 1/\sum \bar{A}_i \bar{l}_i$, $\bar{A}_i = A_i/l^2$, $\bar{l}_i = l_i/l$
 A_i は各部材の断面積, l_i は部材長, l は基準長, P は荷重, $\bar{F}_j$ は状態能力関数で $\bar{F}_j = \bar{C}_j/\bar{A}_{na,j}$, $\bar{C}_j$ は規定関数, $\bar{A}_{na,j}$ は構造解析関数, j は考慮する設計項目, σ_r は材料定数で $\sigma_r = \sqrt{E\sigma_p}$ である。 $R = \text{一定}$ の条件より7部材のトラスの独立断面積成分は $\bar{A}_1 \sim \bar{A}_6$ の6個となる。数値計算では構造解析関数 ($\bar{A}_{na,j}$) を求めるための無次元化したマトリックス構造解析, 及び6変数の制約条件のない非線形最適化を行う。最適化計算は dP/dA_i の値を利用した一種の直接探索法で行う。 dP/dA_i は次式によ, て得られる。

$$dP/dA_i = (\partial \bar{C}/\partial A_i - \partial \bar{C}/\partial A_7) / \bar{A}_{na} - (\partial \bar{A}_{na}/\partial A_i - \partial \bar{A}_{na}/\partial A_7) \cdot \bar{C} / \bar{A}_{na}^2$$

ここで $\partial \bar{A}_{na}/\partial A_i$ はマトリックス構造解析より求める³⁾

数値計算と考察 全部材の長さの同一であるトラス (Fig.1, Fig.2) について数値計算を行う。設計項目として各部材の許容応力度 ($j=1 \sim 7$), 指定した節点の許容変位 ($j=8$) を用いる。実際の計算に用いた各項目の規定関数, 構造解析関数は,

$$\bar{C}_{j(i=1 \sim 7)} = \sigma_{ri}/\sigma_r = \begin{cases} 1.0 & \dots 0 \leq \lambda_j \leq 0.2^{4)} \\ 1.0 - 0.545(\lambda_j - 0.2) & \dots 0.2 \leq \lambda_j \leq 1.0 \\ 1.0 / (0.773 + \lambda_j^2) & \dots 1.0 \leq \lambda_j \end{cases} \quad \text{ここで } \lambda_j = 1/\pi \cdot \sqrt{\sigma_r/E} \cdot l_j/r_j$$

$$\bar{C}_8 = u_{all}/l (= 1/20, 1/200, 1/250, 1/500) \quad \text{ここで } u_{all} \text{ は許容変位}$$

$$\bar{A}_{na,j(i=1 \sim 7)} = \sigma_j/\sigma_r = \bar{F}_j/\bar{A}_j \quad \text{ここで } \bar{F}_j = f_j/\sigma_r l^2 \quad f_j \text{ は } j \text{ 部材の軸力}$$

$$\bar{A}_{na,8} = \bar{u} (= u/l) \quad \text{ここで } u \text{ は指定した節点変位}$$

断面を正方形充実断面, $\sigma_r = 30 \text{ kg/mm}^2$ と仮定して数値計算を行った。この場合 λ_j と $\bar{A}_j$ の関係は,

$$\lambda_j = 1/\pi \cdot 1/\sqrt{700} \cdot 2\sqrt{3} \cdot \bar{A}_j^{-1/2} \quad \text{となる。}$$

数値計算した最終の結果を Table 1, Fig.3, Fig.4 に示す。Table 1 には静定トラス (Fig.1), 不静定トラス (Fig.2) について座屈を考慮しない場合の計算結果を与える。この場合 $A_i/\sum A_i$, ($\bar{P}_{\max} \times R$) は R の値に関係なく一定であった。参考のため制約条件として変位制限 (1/200, 1/500) のみを用いた場合の結果も与えた。Fig.3, Fig.4 はそれぞれ静定トラス 不静定トラスについて座屈を考慮した場合の計算結果を示す。図では適用する最大荷重 $\bar{P}_{\max}$ とその時の最適な $R (= 1/\sum \bar{A}_i)$, 及び最適断面比率を与える。Fig.5, Fig.6 はそれぞれ静定, 不静定トラスについて種々の制限規定における単位断面当り最大荷重 ($\bar{P}_{\max}/\sigma_r \sum A_i = \bar{P}_{\max} \times R$) と $1/R$ の関係を比較したものである。

座屈を考慮しない場合の結果について考察する。Table 1 の結果では静定トラスにおいて R の値に関係なく $u_{all}/l = 1/200$ の場合全部材の応力制限により, $1/250$ の場合は変位制限と1,2部材の応力制限により支配される。不静定トラスで $u_{all}/l = 1/20$ の場合全部材の応力制限, $1/500$ の時は5部材の応力制限と変位制限が R の値に関係なく支配条件となる。このことからトラス構造の場合, 静定不静定に限らず座屈を考慮しない場合, 一定の荷重配置と制

限規定のもとでは $R(=1/\Sigma A_i \ell_i)$ の値に関係なく支配条件が常に同一であることが推察できる。応力制限を一定とすれば、 $U_{all}/\ell \leq \alpha$ では変位制限のみが、 $U_{all}/\ell \geq \beta$ では応力制限のみが、 $\alpha \leq U_{all}/\ell \leq \beta$ では一定の部材の応力制限と変位制限が支配条件となるような定数 α, β が存在するであろう。また種々に制限規定を変化させても、それぞれの規定のもとで $\bar{P}_{max}$ は R に比例し、 $A_i/\Sigma A_i$ の値は R の値に無関係に一定となることが推察できる。これらのことは、以前に示したフレームの計算結果〔座屈を考慮しない場合でも支配条件及び最適 $A_i/\Sigma A_i$ の値は R によって変化する。〕³⁾と比較すれば、トラス構造物の最適特性であるといえよう。

次に、座屈を考慮した場合の結果Fig.3~6について考察する。この場合 $\bar{P}_{max}$ は $1/R$ に比例せず、 $A_i/\Sigma A_i$ は R の値によって変化する。 $1/R$ が小さい時は $\bar{P}_{max}$ は座屈を考慮しない場合に比べて小さいが、 $1/R$ が大きくなるにつれて座屈が問題とならなため座屈を考慮しない場合の値に近づく。一定の制限規定のもとでも R の値によって支配条件は変化し、 $1/R$ がある値以下になると座屈による応力制限のみによって支配され、変位制限の違いによる $\bar{P}_{max}, A_i/\Sigma A_i$ の変化はなくなる。

最適設計を個別的、事例的な立場から検討するのではなく、構造系の一般的な最適特性を明らかにすることは構造設計の合理化において極めて重要であり、本研究の方法論的立場は、その目的に沿って検討された。

- 参考文献 1) 長谷川, "最適設計手法としての最大荷重設計", 第33回土木学会年次講演集第1部
2) 池田, 長谷川, 西野, "構造系の最大荷重設計", 第34回土木学会年次講演集第1部 3) 阪上, 長谷川, 松浦, "最大荷重設計によるフレームの最適化", 昭和55年中野支部研究発表会講演集 4) 道路協会, "道路橋示方書・同解説" 昭和55年2月

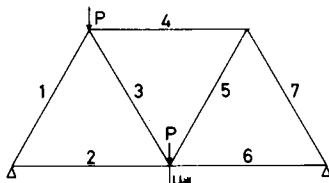


Fig. 1 静定トラスの例

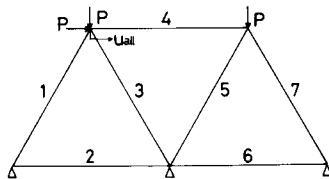


Fig. 2 不静定トラスの例

Table 1 座屈を考慮しないトラスの最適化

U_{all}/ℓ	1/200	1/250	1/200*	1/20	1/500	1/500*
$A_1/\Sigma A_i$	0.132	0.112	0.108	0.021	0.160	0.100
$A_2/\Sigma A_i$	0.263	0.224	0.215	0.226	0.252	0.285
$A_3/\Sigma A_i$	0.053	0.094	0.096	0.294	0.282	0.285
$A_4/\Sigma A_i$	0.158	0.163	0.166	0.079	0.052	0.105
$A_5/\Sigma A_i$	0.158	0.163	0.166	0.058	0.072	0.000
$A_6/\Sigma A_i$	0.079	0.081	0.083	0.107	0.063	0.075
$A_7/\Sigma A_i$	0.157	0.163	0.166	0.215	0.119	0.149
$R/\bar{P}_{max}$	0.182	0.155	0.194	0.236	0.162	0.355

(*応力制限を考慮しない場合)

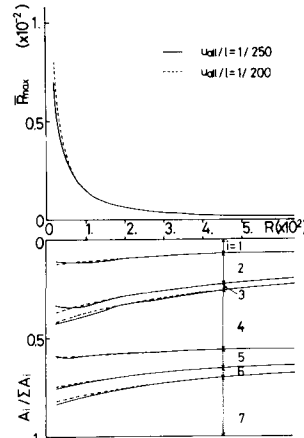


Fig. 3 座屈を考慮した静定トラスの最適化

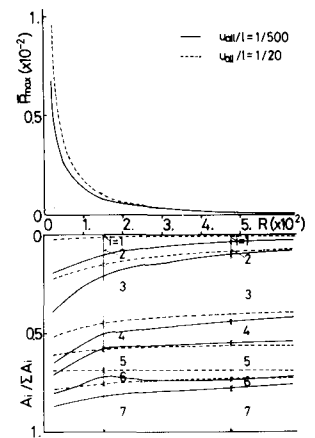


Fig. 4 座屈を考慮した不静定トラスの最適化

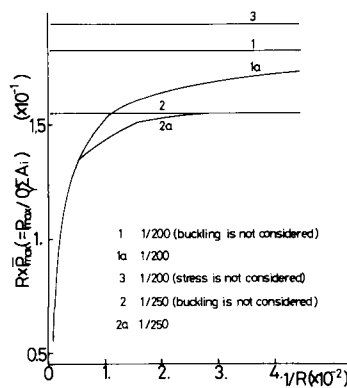


Fig. 5 静定トラスの最適特性

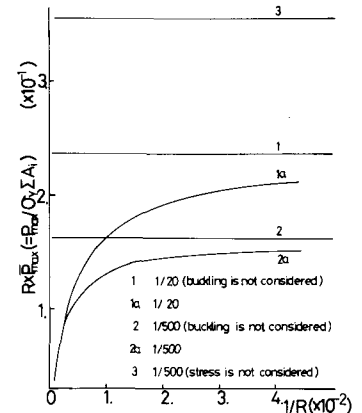


Fig. 6 不静定トラスの最適特性