

立体トラス構造物の総合的最適設計法に関する基礎的研究

愛媛大学工学部 フェロー会員 大久保 禎二
愛媛大学工学部 正 会 員 谷 脇 一 弘
(株)竹中土木 正 会 員 ○上 岡 公 二

1. まえがき

著者らは、これまでに平面トラス構造物を対象とし、道路橋示方書に規定されている静荷重のみならず地震荷重による各部材の応力度および細長比・節点変位の制約条件を考慮し、各部材の断面積、使用材種および構造形状を同時に最適化することができる総合的な最適設計法の開発を行ってきたが、本研究では、既に関連している上記の平面トラス構造物の総合的な最適設計法を立体トラス構造物に適用できるように拡張したものである。本研究の方法を静荷重を受ける4部材立体トラスに適用し、本法の有効性および信頼性に関して基礎的考察を行うとともに、静荷重を受ける78部材立体トラス構造物に適用することにより、複雑な立体トラス構造物に対しても最適な構造形状、各部材の断面寸法および各部材の使用材種を正確かつ能率的に決定できることを明らかにしている。

2. 立体トラス構造物の総合的最適設計法

(1) 立体トラスの原最適設計問題

本研究で対象としている立体トラス構造物の総合的最適設計問題では、各部材の断面形状として直径 D 、板厚 t を有する円管断面を仮定し、設計変数として各部材の円管の断面積 A 、使用材種 M および構造物の節点の x, y, z 座標で表される形状変数 S を考慮している。この場合、 M は表-1に示すSS400(材種1)、SM490(材種2)、

表-1 使用可能材種群 MS

材種 M	$\sigma_{ra}^{1)}$ (kgf/cm ²)	$E^{2)}$ (kgf/cm ²) (N/cm ²)	$\rho_c^{3)}$ (kgf/cm ³)	$\rho_w^{4)}$ (kgf/cm ³)	σ_{ra}/ρ_c	E/ρ_c
1 (SS400)	1400	2.1×10^6	5.0	0.00785	280.0	4.2×10^5
2 (SM490)	1900	2.1×10^6	6.0	0.00785	316.7	3.5×10^5
3 (SM490Y)	2100	2.1×10^6	6.3	0.00785	333.3	3.3×10^5
4 (SM570)	2600	2.1×10^6	7.5	0.00785	346.7	2.8×10^5

1) σ_{ra} : 許容引張応力度

2) E : 弾性係数

3) ρ_c : 単位体積当りの製作費

4) ρ_w : 単位体積当りの重量

SM490Y(材種3)およびSM570(材種4)の4つの使用可能材種群 MS から離散的に選択するものとしている。各部材の円管断面の板厚 t_j ($j=1, \dots, n$)は、 A_j が一定の条件のもとで道路橋示方書に規定されている許容応力度を最大にするように suboptimization の考え方をを用いて決定している。この場合、板厚 t_j は実際の設計の観点から離散的な板厚群 $\{2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0(\text{mm})\}$ より選択することとした。また、制約条件として道路橋示方書に規定されている静荷重による応力度、節点変位および最大細長比の制約を考慮するものとし、目的関数 $W(A, S, M)$ として立体トラス構造物の総製作費を考慮している。

(2) 二段階最適化による最適設計法

上記の最適設計問題を解くために、解析的に得られた設計変数 A, S, M に関する1次の偏微分係数の符号により順変数もしくは逆変数を用い、変数分離型の凸近似設計問題を導入する。この場合、目的関数として $W(A, S, M)$ の変化量 $\Delta W(A, S, M^0 + \Delta M)$ を、 M については変化量 $\Delta M = [\Delta M_1, \dots, \Delta M_n]^T$ を新たな設計変数として考慮している。凸近似設計問題を双対法により解く過程において、まず第1段階の最小化として、 M を定数、すなわち $\Delta M = 0$ とし、弾性係数と断面積の積 EA を1つの変数と考え、 S とともに連続変数として取り扱いその最適解を求める。次に第2段階の最適化として、 S を一定値とし、第1段階最適化において決定されたアクティブな制約条件群を満足し、さらにラグランジュ関数を最小とする A および ΔM の値を各 ΔM_i について比較することにより、最も経済的となる A の値を決定することができる。

(3) 静荷重による応力度および節点変位の設計変数に関する感度係数の計算

上で述べた第1および第2段階の改良過程で必要となる静荷重による応力度および節点変位の設計変数に関する感度係数の計算は、本研究において新たに考慮した次式で表される立体トラスの部材 i の全体座標系に関

$$[K]_i = \frac{E_i A_i}{l_i} \begin{bmatrix} \Lambda & -\Lambda \\ -\Lambda & \Lambda \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} (\cos \theta_{ix})^2 & \cos \theta_{ix} \cos \theta_{iy} & \cos \theta_{ix} \cos \theta_{iz} \\ \cos \theta_{iy} \cos \theta_{ix} & (\cos \theta_{iy})^2 & \cos \theta_{iy} \cos \theta_{iz} \\ \cos \theta_{iz} \cos \theta_{ix} & \cos \theta_{iz} \cos \theta_{iy} & (\cos \theta_{iz})^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

