

**構造形状・材種・断面寸法を設計変数としたトラス構造物の
ファジィ多目的耐震最適設計法について**

愛媛大学工学部 正会員 大久保 慎二
愛媛大学工学部 正会員 谷 脇 一 弘
(株)荒谷建設コンサルタント 正会員 ○今 井 康 雅

1. まえがき

著者らは、これまでに静荷重および地震荷重を受けるトラス構造物の総建設費を最小にする設計諸元を決定することができる総合的耐震最適設計システムの開発を行っているが、本研究では、この耐震最適設計システムを用いることにより得られたパレート最適解およびファジィ多目的意思決定法の考え方をを用いて、構造形状、使用材種および断面寸法を設計変数としたトラス構造物のファジィ多目的耐震設計法に関する研究を行い、本設計法を193部材を有する送電鉄塔トラスに適用し、最小オペレータおよび和オペレータの意思決定法により得られた妥協解を比較することにより、それぞれの方法の特徴について述べるものである。

2. トラス構造物のファジィ多目的耐震最適設計法

(1) 多目的最適設計問題 本研究で対象としているトラス構造物の最適設計問題では、各部材の断面は直径 D および板厚 t を有する円管断面とし、設計変数として各部材の断面積 A 、構造物の節点座標 S および使用材種 M を考慮している。この場合、 M は表-1に示す使用可能材種群 MS から離散的に選択するものとしている。また、制約条件として道路橋示方書に規定されている全部材の静荷重および地震荷重による応力度および節点変位の制約を考慮するものとし、目的関数として建設費および建設用地費の和として表現される総建設費 $W(A, S, M)$ の最小化、最大水平変位 $H(A, S, M)$ の最小化および美観 $V(\bar{S})$ の最適化の3つの目的関数を考慮している。ここに、 $\bar{S}$ は美観に大きな影響を与える形状変数とする。

(2) ファジィ多目的最適設計問題 本研究で考慮している美観に関する目的関数 $V(\bar{S})$ の評価および各目的関数の相対的な重要性の評価はあいまいさをも含めて考慮する必要があるため、本研究では設計者の希求水準を参考にして各目的関数のメンバシップ関数を導入し、ファジィ多目的最適化の考え方をを用いて各設計変数の妥協解を決定することとした。ところで、(1)で述べた多目的最適設計問題は連続変数 A, S および離散変数 M を含んだ問題として定式化されるため、これまでに提案されているファジィ線形計画法を適用することは不可能となる。そこで本研究では、許容最大水平変位 $\delta_{H \max}$ および美観に大きな影響を与える形状変数 $\bar{S}$ を設計パラメータとして選択し、 $\delta_{H \max}$ および $\bar{S}$ を種々変化させ、トラス構造物の耐震最適設計システムを用いてトラス構造物の総建設費最小化問題を解くことにより得られるパレート最適解を用いて、総建設費、最大水平変位および美観のメンバシップ関数を $\delta_{H \max}$ および $\bar{S}$ の関数 $\mu_W(\delta_{H \max}, \bar{S})$, $\mu_H(\delta_{H \max}, \bar{S})$, $\mu_V(\bar{S})$ と表わし、設計変数を $\delta_{H \max}$ および $\bar{S}$ に集約したファジィ多目的最適設計問題を導入することとした。

(3) 最小オペレータおよび和オペレータを用いた意思決定法 (2)で導入したファジィ多目的最適設計問題を最小オペレータおよび和オペレータの手法を用いて解くことにより $\delta_{H \max}^*$ および $\bar{S}^*$ の最適値 $\delta_{H \max}^*$ および $\bar{S}^*$ を決定することができる。最小オペレータによる方法では、最小となるメンバシップ関数値を最大とするように次式により $\delta_{H \max}^*$ および $\bar{S}^*$ を決定する。

$$\mu(\delta_{H \max}^*, \bar{S}^*) = \max_{\delta_{H \max}, \bar{S}} \{ \min(\mu_W(\delta_{H \max}, \bar{S}), \mu_H(\delta_{H \max}, \bar{S}), \mu_V(\bar{S})) \} \quad (1)$$

和オペレータによる方法では、設計者の希求を加味して決定した総建設費、最大水平変位および美観に関する各メンバシップ関数の相対的な重み W_W, W_H, W_V を考慮し、重み付けされたメンバシップ関数の和を最大とするように次式により $\delta_{H \max}^*$ および $\bar{S}^*$ を決定する。

$$\mu(\delta_{H \max}^*, \bar{S}^*) = \max_{\delta_{H \max}, \bar{S}} \{ W_W \mu_W(\delta_{H \max}, \bar{S}) + W_H \mu_H(\delta_{H \max}, \bar{S}) + W_V \mu_V(\bar{S}) \} \quad (2)$$

ここに、 $W_W + W_H + W_V = 1.0$

(1)式もしくは(2)式を満足する $\delta_{H \max}^*$ および $\bar{S}^*$ の決定は、まず、 $\delta_{H \max}$ を固定し、 $\bar{S}$ のみ変化させた場合の各メンバシップ

表-1 使用可能材種群 MS

材種 M	$\sigma_w^{1)}$ (kgf/cm ²)	$E^{2)}$ (kgf/cm ²)	$\rho_c^{3)}$ (t/cm ³)	$\rho_w^{4)}$ (kgf/cm ³)	σ_w / 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_w : 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

関数および $\bar{S}$ の最適値を(1)式もしくは(2)式より決定する。つぎに、 $\delta_{H \max}$ の値を変化させ、各 $\delta_{H \max}$ の値に対して決定された最適なメンバシップ値を比較することにより、(1)式もしくは(2)式を満足する $\delta_{H \max}^*$ および $\bar{S}^*$ を決定している。

すべての目的関数を最も満足させる妥協解 A^*, S^*, M^* は、 $\delta_{H \max}$ および $\bar{S}$ の値を上で得られた $\delta_{H \max}^*$ および $\bar{S}^*$ の値に固定し、耐震最適設計システムを用いて A, S, M の最適解を求めることにより得ることができる。

3. 設計例および考察 設計例として図-1に示す193部材を有する送電鉄塔トラスのファジィ多目的最適設計を行った結果について述べる。送電鉄塔の建設に必要なとなる用地の面積を一边が $2(X_1 + 200)$ cmの正方形と仮定し、建設用地費を0.4円/cm²とした。 $\bar{S}$ として X_1 を選択し、 X_2 の値は X_1 の8/20~9/20の範囲で最適値を決定している。 $\delta_{H \max}$ は20cmから80cmまで5cm毎に、 X_1 は700cmから1100cmまで50cm毎にそれぞれ変化させパレート最適解を決定している。また、和オペレータを用いた意思決定では、各メンバシップ関数の重みを $W_w = 0.502, W_H = 0.215, W_v = 0.283$ と仮定している。設計例で考慮した各目的関数のメンバシップ関数を図-2, 3および4に示す。最小オペレータにより得られた最適解における総建設費、最大水平変位および X_1 の値はそれぞれ 11.332×10^6 円、27.973cmおよび960.30cmとなっている。また、和オペレータによる最適解ではそれぞれ 9.817×10^6 円、35.0cmおよび900cmとなっており、最小オペレータによる解は和オペレータによる解と比較して最大水平変位の目的関数の重みをより大きくした最適解となっている。

和オペレータにより得られた最適形状、最適な断面積および使用材種の分布を図-5に示す。この図より明らかなごとく、本研究で述べた方法により、構造形状、使用材種および断面寸法を設計変数としたトラス構造物のファジィ多目的耐震最適設計を容易に行うことができることが明らかとなった。また、和オペレータによるファジィ意思決定法は最小オペレータによる方法と比較して、各目的関数のメンバシップ関数を重み付けすることにより設計者の意図する妥協解を決定することができ、実際の構造物の多目的最適設計に適しているといえることができる。

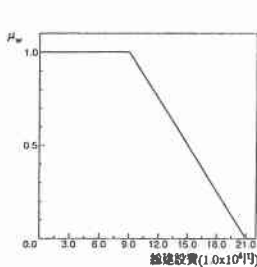


図-2 総建設費のメンバシップ関数

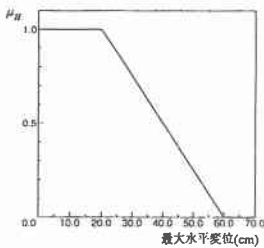


図-3 最大水平変位のメンバシップ関数

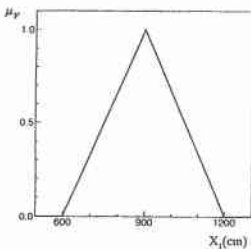


図-4 部材のメンバシップ関数

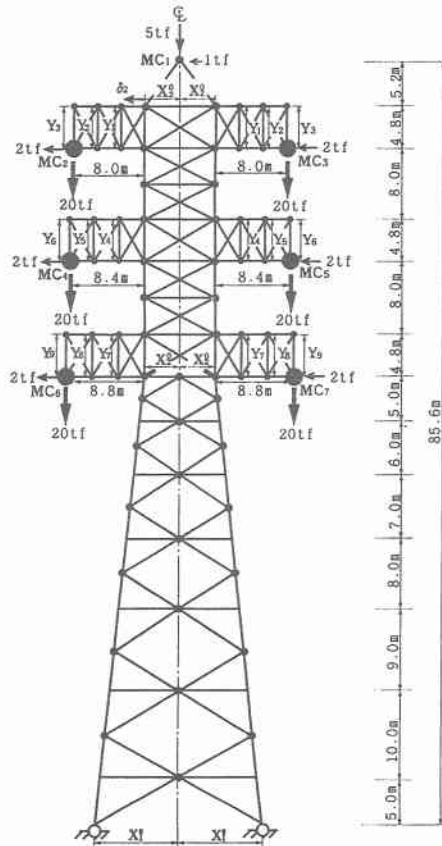


図-1 193部材を有する送電鉄塔トラス

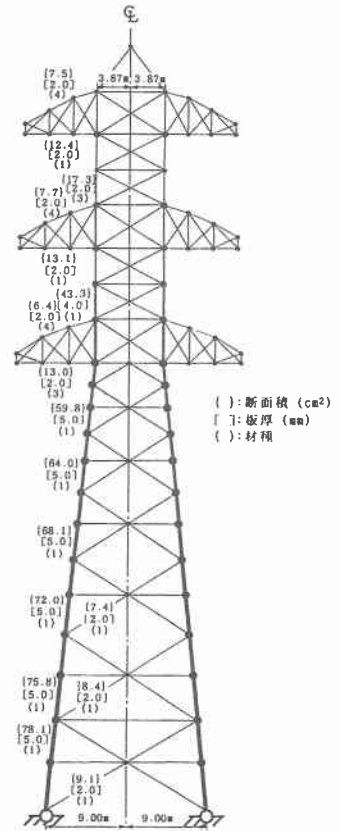


図-5 和オペレータによる最適解