

I-149

立 体 骨 組 構 造 物 の 最 適 設 計

駒井鉄工株式会社 正会員 玉田和也
長岡技術科学大学 正会員 林 正

1. まえがき

立体骨組構造物の最適設計では、多数の部材と設計変数を用いるので、制約条件式の数が増えるとともに感度係数を求めるための構造解析の計算時間が大幅に増加する。そこで、逐次線形計画法(SLP)に余裕変数を用いた手法¹⁾をさらに改良して記憶容量の節約と計算時間の短縮を図り、この解法を実橋規模の立体構造物に適用して解の精度、収束性について調べた。SLPの定式化については説明を省略する。

2. 設計条件

(1) 構造解析: マトリックス法を用いた立体骨組構造解析。 (2) 設計荷重: 鋼重、死荷重(床版等一定荷重)、活荷重、衝撃、支点移動及び従荷重(風荷重、温度変化、地震による影響)の組合せ荷重。

(3) 目的関数: 鋼材の材質による単価を考慮した換算体積。 (4) 設計変数: 床組部材を除く全部材の板幅と板厚。 (5) 制約条件: 道路橋示方書による応力、細長比、変位、板の幅厚比の制約、及び箱型断面のトラス材に対する制約($A_w \geq 0.4A$ 、 $\lambda_y \geq \lambda_z$)。

3. 数値計算法

(1) 設計変数の変換: 設計変数の上下限值、ムーブリミットと曲げ圧縮を受けるフランジ幅の制約をシンプレックス法²⁾の非負条件により変数変換し1本の制約条件式に縮小した。

(2) 余裕変数: a) 部材に関する応力と細長比の制約条件を次式の余裕変数 α を用いて表す。

$$\sigma_{m,k,l} = \sigma_{m,k,a} / \sigma_{m,k,l} \geq \xi, \quad \alpha_{m,in/out} = \lambda_{a,in/out} / \lambda_{m,in/out} \geq \xi, \\ \alpha_{m,truss} = \lambda_{m,y} / \lambda_{m,z} \geq \xi, \quad \xi = 1.0 + \epsilon \quad (m=1, 2, \dots, M; k=1, 2, \dots, K; l=1, 2, \dots, L) \quad (1)$$

ここに、Mは設計部材の総数、Kは応力の照査式の数、Lは荷重の組合せ数であり、 $\sigma_{m,k,a}$ 、 $\lambda_{a,in/out}$ はそれぞれ応力、細長比の許容値を表す。また、 ξ は余裕変数の目標値である。

b) 節点変位に関する制約条件を余裕変数 β を用いて次式で表す。

$$\beta_{n,i,d} = \delta_{n,i,d} / \delta_{n,i,d} \geq \xi \quad (n=1, 2, \dots, N; d=x, y, z) \quad (2)$$

ここに、Nは全節点数、dは照査する方向を表し、 $\delta_{n,i,d}$ は変位の許容値を表す。

c) 設計変数相互の制約条件は余裕変数 γ を用いて次式で表す。

$$\gamma = c t / B \geq 1.0, \quad \gamma_{truss} = 5 t_w H / A \geq 1.0 \quad (\text{Box Sec.}) \quad (3)$$

cは道示による定数、 t/B は幅厚比、 t_w はウェブ厚、Hはウェブ高、Aはトラス材の断面積である。

α については $[M \times K \times L + 2]$ 個の制約条件式があり、実際の構造物において式(1)～(3)に示す全ての式を考慮することは計算効率を悪化させてしまう。そこで、アクティブな制約条件として、余裕変数の値の小さい式を選ぶ。これにより、膨大な数の制約条件を数十本に縮小できる。

(3) 修正SLP: SLPにおける感度係数の計算時間は解法全体の計算時間の約95%を占めている。そこで次の条件を満たしたときに、その設計変数に対する感度係数の計算を省略する修正SLPを用いて計算時間の短縮を図った。なお、修正SLPの連続使用回数は2～4回とする。

① 目的関数の変化率がある値(η_1)以下に収束していること。

② 設計変数の変化率がある値(η_2)以下に収束していること。

(4) 非許容解に対する対策: 線形化による誤差、制約条件の選択方法による不連続性などにより、求めた解が式(1)、(2)の条件を満足しない場合に、次の手法により解の回復を促した。

① 目標値 ξ の代わりに $\xi_i' = \xi^2 / \alpha_i$ or ξ^2 / β_i ($\alpha_i, \beta_i < \xi$)を用いる。

② $\alpha_i, \beta_i < \xi$ において、感度係数が最大の設計変数のムーブリミットの上限を広くし、下限を狭める。また、式(3)については線形性が強いために特別な対策は行わない。

