

1. はじめに

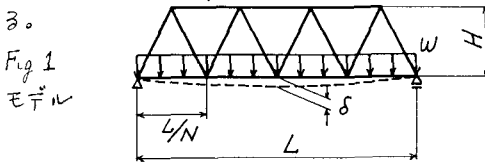
トラスの最適設計を行なう上で大きな障害となるのは、トラス部材毎に断面形、断面寸法等、設計変数が多いことである。このため、サブ最適化マイゼーションを実施し、予めトラスに加わる軸力、部材長さから最適断面を決定しておき、その後全体の最適化を行なう方法がある。本論は、サブ最適化マイゼーションによって得られた部材の弱軸回りの断面2次モーメント I_i と断面積 A_i の関係式

$$I_i = \alpha A_i^2 \quad (\alpha = \text{const}) \quad (1)$$

を用い、設計を無次元化し、より一般性のある解を与えるようにするものである。

2. 最適問題の無次元化

対象とするモデルは Fig 1 の平行弦ワーレントラスである。



ここで L : スパン H : 構高 w : 等分布荷重
 δ : たわみ N : 格間数

非無次元化の最適問題は次の制約条件

$$a) \text{ 許容応力に関し } \sigma_{ca} < \sigma_i < \sigma_{ta} \quad (2)$$

$$b) \text{ 細長比に関し } \lambda_i < \lambda_{\max} \quad (3)$$

$$c) \text{ たわみに関し } \delta < \delta_{\max} \quad (4)$$

のもとで目的関数 $V = \sum A_i l_i \rightarrow \min$ (5)

とするものである。今、次のパラメータ

$$\bar{w} = w/L, \quad \bar{F}_i = F_i/L^2, \quad \bar{A}_i = A_i/L^2 \quad (6)$$

を用いると各状態変数は次のように表わされる。

$$a) \text{ 軸力 } F_i \quad \bar{F}_i = \bar{w} \cdot f_i(N, H/L) \quad (7)$$

$$b) \text{ 部材長さ } l_i \quad l_i/L = g_i(N, H/L) \quad (8)$$

$$c) \text{ 細長比 } \lambda_i \quad \lambda_i = g_i(N, H/L) / \sqrt{\alpha \bar{A}_i} \quad (9)$$

$$d) \text{ 応力 } \sigma_i \quad \sigma_i = \bar{F}_i / \bar{A}_i \quad (10)$$

$$e) \text{ たわみ } \delta \quad \delta/L = \sum_{i=1}^{4N-1} e_i(N, \frac{H}{L}, g_i(N, \frac{H}{L})) \sigma_i / E \quad (11)$$

ここで e_i, g_i, f_i は格間数 N と構高—スパン比 H/L の関数である。また E は部材のヤング率である。

さらに制約条件式 (2)~(4) はそれぞれ

$$\sigma_{ca}/\sigma_{ta} < \sigma_i/\sigma_{ta} < 1 \quad (2')$$

$$\lambda_i < \lambda_{\max} \quad (3')$$

$$\delta/L < \delta_{\max}/L \quad (4')$$

となる。また目的関数 V は (5) に無次元化パラメータを代入して

$$\bar{V} = V/L^2 = \sum_{i=1}^{4N-1} \{ \bar{A}_i \cdot g_i(N, H/L) \} \quad (5')$$

となる。このように変換すると (2)~(4) および (2')~(4') から状態変数、制約条件はすべて $\bar{w}, N, H/L, \bar{A}_i, \alpha$ の関数で表現され、この最適化問題は $\bar{w}, \alpha, N$ を設け、目的関数 (5') を最小とする設計変数 $\bar{A}_i, H/L$ を解く問題と考える。

3. 計算手法について

計算は (2)~(4) の制約条件に設計変数の移動幅の制限 (move limit) の条件を加え目的関数の変化量が最小になるよう設計変数の変化量を線形計画法 (LP) により求めることを繰り返す逐次線形計画法 (SLP) で行った。

しかし、設計変数の中で1つでも初期値と次の最適値に大きな隔たりがある時は move limit の制約から解除されるまで無意味な試行が繰り返される。そこで本計算では、Fig 2 に示すように任意の初期値を与えると、一度この初期値を基礎に構造解析を行ない、これにより得られる許容応力に対し各部材が全応力 (fully stress) となるよう $\bar{A}_i$ を求め、これを改良初期値とし、その後逐次線形計画法により最適化を行なった。 H/L の初期値についてはこのような最適値との差が大きいため、任意の初期値を用いる。

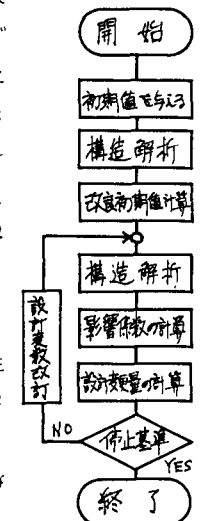


Fig 2 設計流れ図

4. 計算結果および考察

Fig 3 に計算モデルを示す。制約条件は道路橋示方書による。また(1)式の α については参考文献(1)等から $\alpha = 1.56$ ($A_i = 0.8 I_i^{1/2}$)としている。

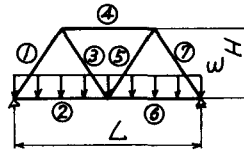


Fig 3 計算モデル

$\bar{w} = 1 \text{ kg/cm}^2$ の時の設計変数および目的関数の収束状況を Fig 4 (a) に示す。

$\bar{V}$ は3回目の試行からほぼ一定値をとるものの H/L は試行回数4回目から振動し始める。同様に $\bar{A}_i$ もわずかながら振動しており、これを静めるため10回目からは move limit を徐々に狭くしている。この設計では許容力の制約により決定されており細長比、たわみに対する余裕がある。

Fig 4 (b) は H/L を Fig 4 (a) で得られた最適値 $H/L = 0.409$ とし設計変数に $\bar{A}_i$ だけをとって χ の収束状況を描いたものである。これによると3回の試行で収束し Fig 4 (a) に比べ非常に収束が早い。これは $\bar{A}_i$ と H/L の性質の異なる変数が入り混じるためと考えられる。

Fig 5 は H/L により $\bar{V}$ がどのように変化するかを調べたものである。Fig 4 と比較するといづれも $H/L = 0.409$ で $\bar{V} = 0.000632$ となり、Fig 4 の解は全体的な最適解であることがわかる。

Fig 6 は荷重パラメータ $\bar{w}$ を $1 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で変化させ、 χ の時の最適 H/L および最小の $\bar{V}$ を描いたものである。 $\bar{w} \geq 2 \text{ kg/cm}^2$ 以上では、 H/L は一定値をとる χ の値は 0.433 である。これは、②部材のなす角が 60° となっていることを示す。

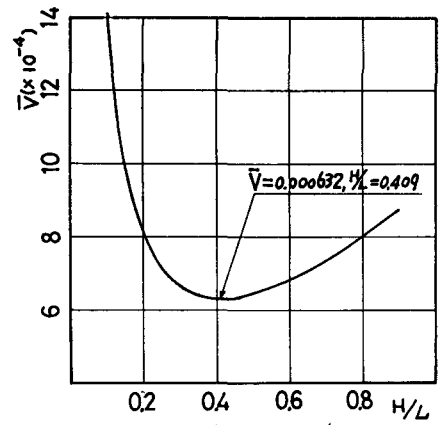


Fig 5 H/L による $\bar{V}$ の変化

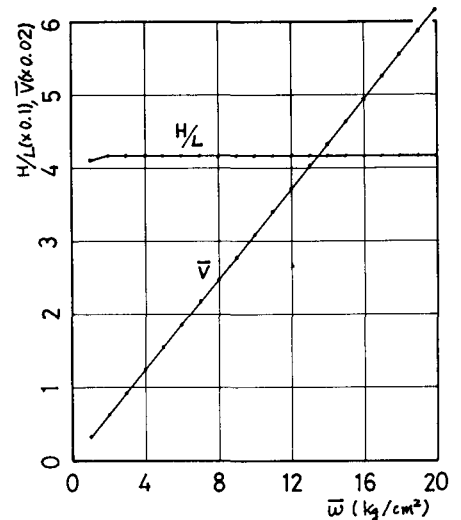
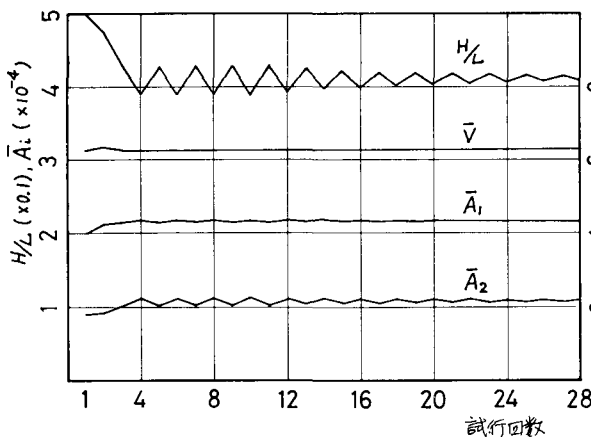


Fig 6 荷重パラメータによる $H/L, \bar{V}$ の変化

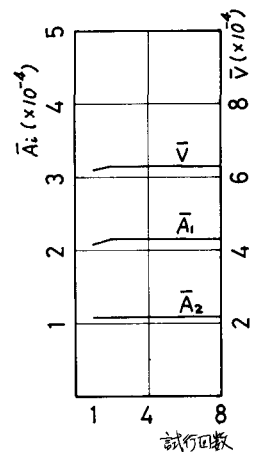
5. おわりに

本計算は簡単なトラスを例にとりこの手法の可能性と問題点を明確にするため行なったものである。今後は解の収束性の改良、特に move limit の意味について研究を進めていきたいと考えている。計算は東北大学大型計算機センターを利用した。

参考文献
1) 田中尚, 中村雄治, 建築構造の自動設計と最適設計, 岩風館



(a) H/L を設計変数とした時



(b) H/L を固定した時

Fig 4 設計変数および目的関数の収束状況 ($\bar{w} = 1 \text{ kg/cm}^2$)