

横河橋梁製作所 正員 ○江場田 直
 東京大学 正員 長谷川彰夫
 名古屋工業大学 正員 松 浦 聖

1. まえがき： 実際の構造設計では、設計荷重として使用目的となる適用荷重と予想死荷重を含めた形で行われる。したがって、骨組構造の最適化においても、適用荷重のみでなく、予想死荷重を考慮した定式化から最適化計算を行い、その最適特性を検討する必要がある。

本報告では、最大荷重設計法を適用し、まず、これらに対し、非比例荷重を受ける骨組構造の最適化手法として定式化を行う。つぎに、数値計算例として簡単なトラス構造を選び、基礎的な考察を行う。

2. 最大荷重設計の適用¹⁾： 骨組構造に受ける荷重系は適用荷重 P_0 と予想死荷重 P_D の和として表わされ、 P_0 は比例荷重として、単一の変動荷重 p と荷重比を示す定数ベクトル Q の積で与えられるものとする。この非比例荷重を受ける骨組構造の一般の設計条件は次のようになる。

$$D_j(P_0 + P_D, X) = p \cdot S_j(Q, X) + D_j(P_D, X) \leq C_j(Q, P_D, X) \quad (j=1 \sim n) \quad (1)$$

$$D_j(P_D, X) \leq C_j(P_D, X) \quad (\text{骨組構造が } P_D \text{ のみを受ける場合}) \quad (j=1 \sim n) \quad (2)$$

ここで、 X は幾何学的変数、 D_j , S_j , C_j は設計項目 j に対する構造応答を示す設計関数、構造解析関数、制限値を与える規定関数である。式(1)の設計条件は、

$$P \leq P_j(Q, P_D, X) \quad (j=1 \sim n) \quad (3)$$

として表現でき、ここで P_j は、 $P_j(Q, P_D, X) \equiv \{C_j(Q, P_D, X) - D_j(P_D, X)\} / S_j(Q, X)$ で定義される状態能力関数であり、左辺の変動荷重 p とは無関係になる。最大荷重設計による最適化は重量を一定として、式(2)(3)を満足する変動荷重 p の最大値すなわち、適用可能最大荷重 $P_{\max}$ を与える幾何学的変数 X を求めることになる。さらに重量一定の条件より幾何学的変数を1変数消去し、幾何学的変数 Y とし、ここでは適用荷重だけの場合と異なり、式(2)の制限を含めたため、変動荷重 p を変数として、次の最大荷重設計のアルゴリズム

$$P_{\max} = \max_{p, Y} p \quad \text{subject to } P \leq P_j(Q, P_D, Y), \quad D_j(P_D, Y) \leq C_j(P_D, Y) \quad (j=1 \sim n) \quad (4)$$

を用いる。

3. 数値計算例と考察： 数値計算の対象として、Fig. 1に示す文献1)の不静定トラスを取り上げ、同一の断面形状(2軸対称H形)、鋼種(SS41)を与え、設計項目として、構成部材の座屈崩壊、変位制限を考慮して $A_1 \sim A_7$ の最適化を行う。最適化計算には無次元量を定義し、 $\bar{A}_i = A_i / l^2$, $\bar{l}_i = l_i / l$, $1/R = \sum \bar{A}_i \bar{l}_i$, $\bar{P} = P / \alpha_Y l^2$, $g_Y = \sqrt{E / \alpha_Y}$ を用いる。ここで、 l は基準長で部材長とし、 α_Y , E は降伏応力、弾性係数である。予想死荷重は節点2, 4に構成部材の体積に比例する鉛直下向きの荷重

$$\left. \begin{aligned} \bar{P}_{D2} &= \bar{c}_1(\bar{A}_1 \bar{l}_1 + \bar{A}_3 \bar{l}_3 + \bar{A}_4 \bar{l}_4) \\ \bar{P}_{D4} &= \bar{c}_2(\bar{A}_4 \bar{l}_4 + \bar{A}_5 \bar{l}_5 + \bar{A}_7 \bar{l}_7) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

($\bar{c}_1, \bar{c}_2$ は比例定数)

を仮定し、さらに $\bar{c}_1 = \bar{c}_2 = \bar{c}$ とする。この非比例荷重を受けるトラス構造の最適化の最大化手法として、SUMT法と共役方向法を用いる。

Fig. 2-(a), (b)は $R=92.62$ の時の $\bar{c}$ と $\bar{P}_{\max} \times R$ (単位体積当りの最大荷重)、最適体積比率の関係を示す。 $\bar{c}$ が大きくなるにつれて、 $\bar{P}_{\max} \times R$ は直線的に減少し、 $\bar{c}$

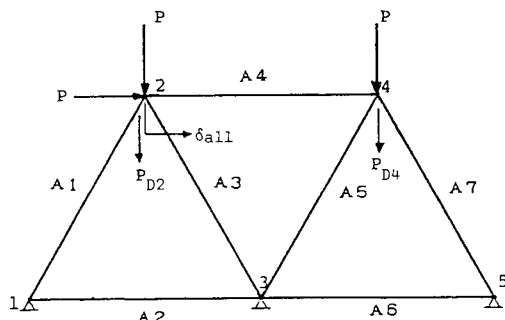


Fig. 1 A Statically Indeterminate Truss

の大きさによって、最適体積比率がかなり変化する。 $\bar{\epsilon}=0$ の時は適用荷重のみの結果であるが $\bar{\epsilon}$ が小さい範囲でもこの体積比率とはかなり異なる。これより、予想死荷重の大きさの決め方が最適体積比率に大きく影響することがわかる。応力のみを考慮した場合の応力状態は $\bar{\epsilon}$ が小さい範囲では適用可能荷重と予想死荷重の両者を受ける荷重状態で全応力となったが、 $\bar{\epsilon}$ が大きくなるにつれ、 A_1, A_4 部材は予想死荷重だけが作用する状態で応力が支配し、他の部材は両者が作用する状態の応力が支配した。また応力のみ条件に変位制限 $\delta_{all}=1/1000$ を設計条件に加えた場合、 $\bar{\epsilon}$ が小さい範囲では変位と A_3, A_5 部材の応力で支配し、 $\bar{\epsilon}$ が大きくなるにつれ、 A_1, A_4 部材の予想死荷重だけが作用する状態の応力および A_7 部材で両者が作用する状態の応力の支配がかわった。このように与える $\bar{\epsilon}$ の大きさにより、応力、変位の支配する条件が変化することが最適体積比率の変化の一因となっていると予想される。 $\bar{\epsilon}$ が大きい時、 A_1, A_4 部材が予想死荷重のみの応力で支配されるのは適用荷重、予想死荷重がそれぞれ単独にこのトラス構造に作用する場合、軸力の方向が異なるためである。さらに、 $\bar{\epsilon}$ が大きくなるにつれ、 A_6 部材の体積が0に近づくことが認められた。Fig.3-(a), (b)は $\bar{\epsilon}=0.233$ の時の R と $\bar{P}_{max} \times R$ 、最適体積

比率の関係を示したものである。この $\bar{\epsilon}$ を固定した時設計条件を座屈を考慮しない応力のみ設計条件を基準に座屈考慮、変位制限 $\delta_{all}=1/1000$ の設計条件を加えて、それぞれ最適化を行なうと、 R の変化に対して得られた最適化の結果は文献(1)の適用荷重だけ(比例荷重)を考えた場合の最適特性とはほぼ同様の傾向が得られた。

予想死荷重の考慮は特に最適体積比率に大きな影響を与えると予想され、今後、移動荷重を受ける連続桁や多層フレーム構造の最適化に対しても同様の検討が必要とされよう。

〈参考文献〉

1). 長谷川彰夫、阪上精希、松浦聖：最大荷重設計による骨組構造の最適化、土木学会論文報告集、第321号、PP.29-36、1982. 5

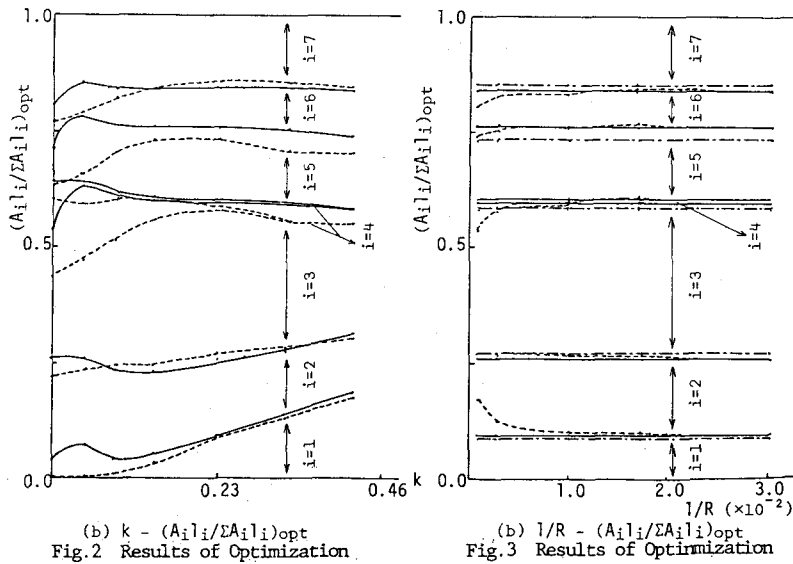
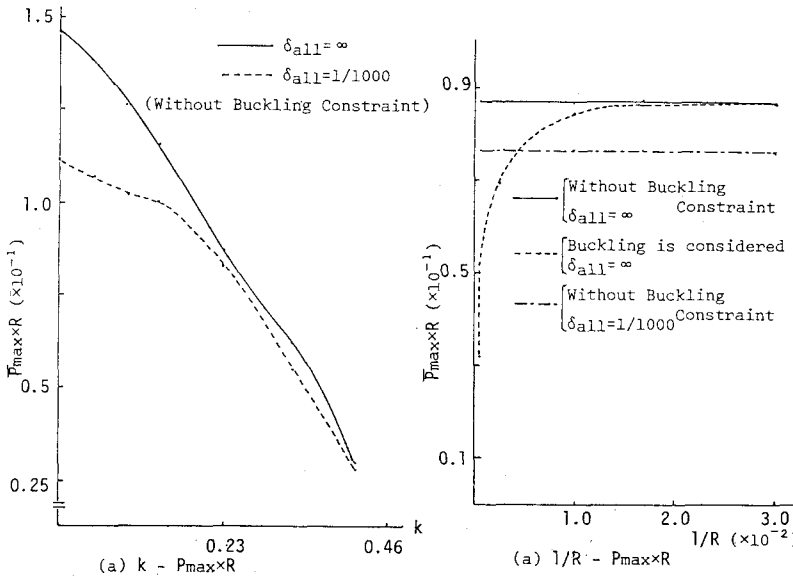


Fig.2 Results of Optimization

Fig.3 Results of Optimization