

1. まえがき

トラス構造物は、その力学的挙動が明確で安定性もあるので、橋梁上部構造のみならず橋脚、送電鉄塔等各種塔構造物、建築構造物及びクレーン等に広く用いられている。それらの力学的挙動はほとんど同じであるにもかかわらず、その設計法はそれぞれの構造物が属する工学分野で大きく異なるのが現状である。一方、最小重量設計法は、それぞれの構造物に関する示方書あるいはそれに相当する規準等を差し換えることにより、上記構造物を一般的に扱えるはずであるが、現実には必ずしもそうではない。

最小重量設計の一般化のためには、それを構成する三つの要素 — 構造解析、構造レベルの最適化（以下、STOPとする）、部材断面レベルの最適化（以下、SEOPとする） — がすべて一般化されている必要がある。これらの内構造解析は、有限要素法を用いることにより上記構造物はすべて容易に解析でき、完全に一般化されている。STOPについては、最小重量設計を狭く解釈し、全応力設計をその中に含めないにしても、数理計画法の改良・開発、及び数理計画法を主には用いない手法の開発等により、構造解析まではいかににしても、一般化されているといっても間違いのないように思われる。しかしながらSEOPは、従来一般化からは程遠く、ここにトラス構造物の最小重量設計法の広範な応用を妨げていた理由があったように思われる。

筆者はすでに、SEOPに最大荷重設計法の概念を用いることを提案し、それにより骨組構造物の最小重量設計の一般化が可能であることを指摘し¹⁾、双対法による最小重量設計法と組み合わせ立体トラス構造物の最小重量設計の例を示した²⁾。その後の研究により、この方法への理解がさらに深まり、またSEOPにおいて、関係する制約条件式の最大・最小問題を解くことにより、より一般化できることがわかったので、ここにその概要を説明する次第である。

2. トラス構造物の最小重量設計におけるSEOPの位置付けと要求される機能

トラス構造物の最小重量設計のためのプログラムの、概略の構成図及び情報の流れをFig. 1に示した。図中、 A は断面積、 F は軸力、 σ_a は許容応力度及び i は部材 i を示す。

骨組構造物の最小重量設計においては、目的関数及び制約条件式の微係数が要求されるのが一般的である。その時、構造物の挙動の、設計変数に関する微係数を解析的に求めるのは必ずしも難しくないが、SEOPが一般化される時、許容応力度の設計変数に関する微係数を解析的に求めるのは、後記するようにはほとんど不可能である。よってFig. 1は、すべての微係数が差分により求められることを想定して作られている。また断面寸法すべてを設計変数としないで、サブオプティミゼーションの概念により、設計変数は各部材の断面積に変換されている。図において、STOPは右半分のOPTIMIZATION CONTROLとOPTIMIZER、あるいは手法によっては、それらにANALYSIS CONTROLを加えたものが相当する。

図より、構造解析、STOP及びSEOPの関係、及びその中でのSEOPの位置付けがわかると思われる。特に注目すべきことは、SEOPに要求されている機能が、各部材毎に部材断面積のインプットに対して許容応力度をアウトプットする点である。従来行なわれていたサブオプティミゼーションを参考にとすると、これは与えられた断面積の下で最大の許容応力度を計算していることになる。

なおFig. 1において、ANALYSIS CONTROLとSECTION OPTIMIZATIONの間の情報の伝達の向きを反対にすると、つまり作用軸力の入力に対して断面積の出力とすると、それは全応力設計に該当する。

3. 部材断面レベルの最適化 (SEOP)

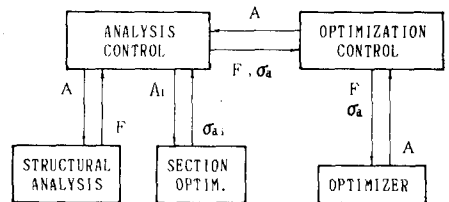
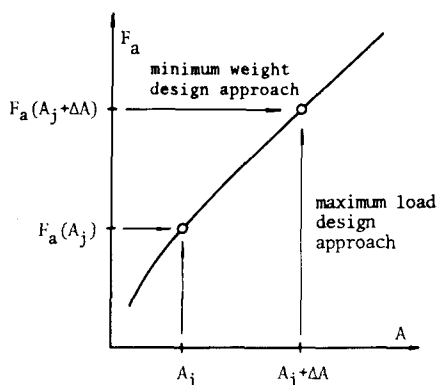


Fig.1 Program structure of truss optimization

前記のSEOPに要求される機能を満足させるために、従来は柱に種々の大きさの軸力を作用させ、その断面を最小重量設計により決定し、その結果より許容応力度（許容軸力）と断面積の関係をプロットして曲線（Fig. 2）を求め、関係式を近似的に誘導していた。この関係式により、与えられた断面積に対応する許容応力度を計算していた。これが右図の『minimum weight design approach』である。しかし、SEOPに要求される機能を考慮すると、この方法を採用する限り $F_a(\sigma_a) - A$ 曲線の何らかの関係式が必要となる。トラス構造物に使われる断面形状および鋼材の種類、部材長の範囲及びそれらの組合せの多様さを考えると、その関係式を求めるのはほとんど不可能に近いことに気づく。実際、上記のアプローチで得られているのは、現在 Fig. 2 $F_a - A$ Curve by two approaches SS41の正方形箱形断面柱のみである。



一方、Fig. 2の曲線は、与えられた断面積に対応する最大の許容応力度を計算することによっても得ることができる。これは最大荷重設計であるが、SEOPに要求される機能を考慮すると、このアプローチでは曲線の関係式は必ずしも必要でなく、与えられた断面積に対応する最大の許容応力度を計算するアルゴリズムがあれば良いことになる。これがFig. 2に示す『maximum load design approach』であるが、これによりトラス構造物の最小重量設計において、扱える断面形状及び鋼材の種類の制限は基本的にはないことになる。

4. トラス構造物の一般化最小重量設計法

最大荷重設計法は強度を基本としているので、上記の方法では、細長比の制約条件のようにSEOPの制約条件ではあるが強度に直接関係しない条件は扱えない。上記のSEOPは、板厚及び幅厚比等の制約条件の下で、許容応力度 σ_a を最大にする各断面寸法の決定という問題であるが、応力度の制約条件式は、

$$g = P / (A \cdot \sigma_a) - 1 \leq 0$$

であり、SEOPでは軸力 P 及び断面積 A は一定であるので、 $(\sigma_a \rightarrow \text{最大})$ は、上式の $(g \rightarrow \text{最小})$ と等価であり、SEOPを g を最小にする各断面寸法の決定という問題と解釈もできる。細長比の制約条件等、SEOPで考慮すべき制約条件が他にある場合は、この考え方を発展させてSEOPを次のように設定する。

「板厚及び幅厚比等の制約条件の下で、

$$\min [\max (g_k, \forall k \in I_i)]$$

となるように各断面寸法を決定する。」

ここで、 I_i は i 部材のSEOPで考慮すべき制約条件の番号よりなる集合である。この問題を解いた関係式、あるいは解くアルゴリズムは、対象とする断面形状により異なる。紙面の都合で省略するが、現在4種類（SS41、SM50、SM53、SM58）の鋼材、任意部材長の、円管、正方形箱形、等辺山形、H形、内幅が拘束された長方形箱形、内幅及び外高が拘束された長方形箱形の6種類の断面形状のSEOPを完成し、種々のトラス構造物の最小重量設計に用いている。

5. あとがき

トラス構造物の最小重量設計が、構造解析、STOP及びSEOPの三要素より構成され、最小重量設計の一般化のためには、三要素すべてが一般化される必要があることを指摘した。そのために以前に筆者が発表した最大荷重設計法を用いる方法を発展させ、SEOPを制約条件式の最大・最小問題として解く方法を提案した。

紙面の都合で、参考文献の紹介は最小限に止めた。詳細は文献1)を参照されたい。

参考文献 1) 杉本博之・橋本克己：断面最適化に最大荷重設計法を用いる骨組構造物の最小重量設計について，土木学会北海道支部論文報告集，第41号，1985。 2) 橋本克己・杉本博之・尾崎 詔：双対法による立体トラス構造物の最小重量設計について，土木学会北海道支部論文報告集，第41号，1985。