

骨組構造物の最適設計に関する一考察

京都大学 正 員 小西一郎 京都大学 正 員 白石成人
京都大学 正 員 谷口健男 京都大学の学生員 古田 均

1. まえがき

最適設計はより合理的な構造物を得るために開発され、最近の電子計算機の発達に伴ないかなりの進歩をみている。しかし、その実際構造物への適用には未だ多くの問題点が存在する。本研究では設計変数の拡張ということに合致し、骨組構造物の幾何学的形状の効果関数への影響を考えている。幾何学的形状は構造物のトポロジーと幾何学的条件も考慮することにより規定され、その効果関数への影響は二次的な設計変数。例えば部材断面積、断面二次モーメントなどより大きいのではないと思われる。よってこの幾何学的形状を考慮することにより、より合理的な設計が得られると考えられる。しかし、最適幾何学的形状を決定するには数値化が困難な要素、すなわち美的感覚を考慮することが必要である。そこで本研究ではトラス構造物に対しては systematic な設計法を、ラーメン構造物に対しては Computer Aided Design に有利な Trial and Error 法を提案している。

2. トラス構造物の最適幾何学的形状

構造解析においてその基本式は次のように表わせる。

$$u = K^{-1} P = F P \quad \cdots (1) \quad u; \text{節点変位}$$

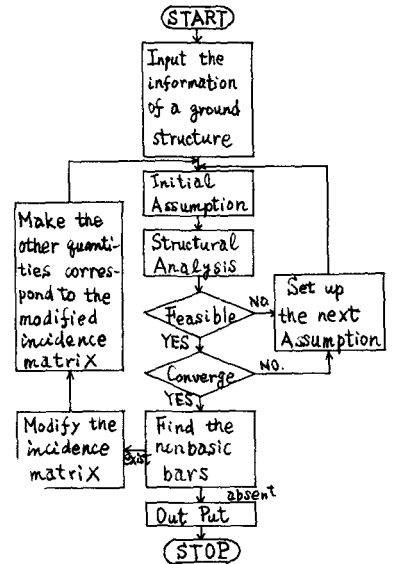
P ; 節点荷重 K ; 剛性行列 F ; 撓性行列

ここで構造設計 (linear elastic design) は (1) 式の K を満足することに帰着し、設計変数として部材断面積、断面形状、部材長などが導入され、最も効果的な組合せが選ばれる。本研究では幾何学的形状の相異を表わすのにトポロジー変数を使用する。これは部材が存在すれば 1、存在しなければ 0 と表わされるものでネットワークトポロジーの性質と組合せるとその最適化過程への導入は容易である。すなわちネットワークトポロジーの性質を考慮した構造解析では、その基本式は次のように表わされる。⁽¹⁾

$$u = (A^t K A)^{-1} P \quad \cdots (2) \quad A; \text{branch node incidence matrix (branch 数} \times \text{node 数)}$$

$$R = K \cdot A \cdot u \quad \cdots (3) \quad R; \text{部材力} \quad K; \text{primitive stiffness matrix}$$

MACRO FLOW CHART



(2) 式で示されているように、この解法ではトポロジーというものが他のものに独立に示されており、その行列表現を使用すると構造を記憶、認識するのに有利で直観的な手段を得ることができる。また、この行列 A のものを設計変数として取り扱うことも可能で、その方が有利なことも多い。上記のようにトポロジーは自由に取扱いながら、実際の設計で幾何学的形状を考慮する場合には幾何学的条件 (部材長、部材方向その他) が必要である。これは設計の前にあらかじめ与えられているかその都度規定されるはず、全く自由に

取り扱うのは困難である。そこで systematic に最適幾何学的形状を求めるために Dobbs, Felton⁽¹²⁾ により提案されている Nodal Pattern, Ground Structure の考え方を導入する。いま 荷重系が与えられたとすると、それが節点系となる。(この場合 荷重の存在しない点も含められる) この節点系を Nodal Pattern と呼び、これにより branch node incidence matrix の列が規定される。次に、その Nodal Pattern の全節点を互いに結ぶことにより Ground Structure が形成される。これにより branch node incidence matrix の行が規定されることとなる。この Ground Structure を出発点とし、最適化を進めて不要な部材を取り除いていくことにより最適幾何学的形状を求める。その際、不要な部材に関する A 行列の行が漸次され、その修正された A 行列が個々の Design cycle の幾何学的形状に対応する。このようにすると新しい部材を付け加える必要がなく systematic に最適形状が得られる。

3. ラーメン構造物の最適幾何学的形状

トラス構造物に対して適用された方法はもちろんラーメン構造物に対しても有効であるが、この場合2つの問題点が生じる。1つは計算時間の問題である。Ground Structure は多くの部材をもつので、多くの設計変数をもつことになり最適解を得るのに多くの計算時間を要する。またトラス構造物とは異なり、曲げモーメントに対して抵抗をさすので Non-basic Bar (不要な部材) が明瞭に規定できないと考えられる。そこでラーメン構造物に対しては Trial and Error 法を提案する。これは、まず初期形状を仮定し、新しい部材を付加していきその最適解をそれぞれ求め、その効果関数の値を比較することにより最適幾何学的形状を求める。この方法では人間の判断を利用し、明らかに不要と思われる部材を最適化過程に含めないことにより計算時間の短縮が期待でき、同時に美的感覚の考慮が図れると思われる。この場合、初期形状としては Tree system を採用し、それに Link member を付加していくことが有効であると思われる。Graph 理論を利用することにより Tree system の joint flexibility matrix は容易に求めることができる。Link 部材の付加は Householder の公式の適用により簡単に行える⁽¹³⁾。

4 数値計算 ; 当日スライドでもって説明する予定である。

5. 考察及びおわりに

ネットワークモデルの性質を導入することにより骨組構造物の幾何学的形状を最適設計に容易に導入することができる。トラス構造物では single load condition では Nodal Pattern の取り方が適切であれば1回の Design Cycle で幾何学的形状をも含め最適値が得られ、multiple load condition にも同様に最適幾何学的形状を求めることができる。また ラーメン構造物では設計に要する諸量の input が非常に容易となり最適形状を求めることができる。これは Graphic Display と組み合わせることにより、一層その威力が発揮されると思われる。

参考文献

- 1) S. Fenves & F. Branin, "Network-topological Formulation of Structural Analysis", ASCE, ST, 1963
- 2) M. Dobbs & L. Felton, "Optimization of Truss Geometry", ASCE, ST, 1969
- 3) H. Furuta, "An Application of Network-topological Concepts to the Design of Framed Structures", M. Eng. Thesis, Kyoto Univ.