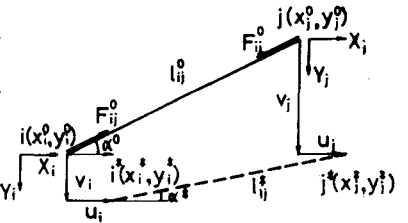


1. まえおき 構造物の最適設計は、種々の数値計算法を用いてなされているが、最近ではSUMTを用いることが多いようである。しかし、SUMTは設計変数の数が少なく修正目的関数の計算が簡単な場合は有効であるが、それ以外ではその有効性は著れると思われる。橋梁構造物の設計のように、設計変数の数が多く修正目的関数の計算に際してはかなりの構造解析を含むものに、SUMTを用いることによる有効性は少ないと思われる。特に吊橋のように大型で、変形の影響を受けるなど挙動が複雑な構造物の最適設計に従来の数値計画法に基づく手法の適用は難しいと思われる。筆者はすでに、SUMTを用いて有限変形の影響を考慮したトラス構造物の最適設計について発表²⁾、非常に小規模な吊橋に応用した。本報告は、その結果を基にして等分布死荷重の大きさを変化させ、有限変形を考慮した全応力設計および最適化の過程を経た結果の考察とを行い、微小変形理論による結果と比較したものである。

又有限変形法 初期応力 F^0 を受けてつり合っている部材 $i-j$ に対する節点力 X, Y が作用した場合、付加節点力と変位の関係は、結果のみを示すと次のようになる。

$$R_{ij} = \left[\frac{EA_{ij}}{l_{ij}^3} A_{ij}^* B_{ij} + \frac{F_{ij}^0}{l_{ij}^2} A_{ij} B_{ij} + \frac{F_{ij}^0}{l_{ij}^2} G \right] X_{ij} \dots \dots \dots (1) \quad Y_i$$



ここで、 E : ヤング率、 A : 断面積、 $R_{ij} = [X_i \ Y_i \ X_j \ Y_j]^T$ 、 $X_{ij} = [u_i \ v_i \ u_j \ v_j]^T$ 、 $A^* = [\cos \alpha \ -\sin \alpha \ -\cos \alpha \ \sin \alpha]^T$ 、 $A^* = [-\cos \alpha^* \ \sin \alpha^* \ \cos \alpha^* \ -\sin \alpha^*]^T$ 、 $B = [-\cos \alpha \ \sin \alpha \ \cos \alpha \ -\sin \alpha]$ 、 $G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

$$\cos \alpha = \frac{x_j - x_i + (u_j - u_i)/\epsilon}{(l_{ij} + l_{ij}^*)/\epsilon}, \quad \sin \alpha = \frac{y_j - y_i + (v_j - v_i)/\epsilon}{(l_{ij} + l_{ij}^*)/\epsilon}$$

なお、符号は図-1に示した方向を正とする。ただし、 y 座標は上向きが正である。構造物の剛性マトリクスは、式(1)を各部材ごとに重ね合わせるにより得ることから、その解法は、前回の結果の変位を次の剛性マトリクスの計算に用いるという単純繰返し計算法を用いた。

3. 吊橋 吊橋は、問題を簡単にするために、右図に示すような構造とする。垂距比は、本報告では1/10としている。死荷重による補剛トラスに応力は生じないとする。また、ケーブルに初期応力を発生させる死荷重の8割はハンガーにより伝達されると考え、ハンガーにも同時に初期応力が存在すると考える。

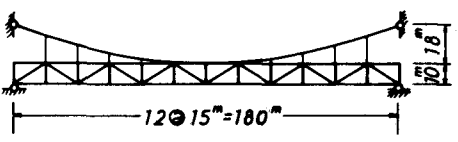


図-2 吊橋

断面は、ケーブル、ハンガー、上弦材、腹材、下弦材それぞれ等断面とする。5個の設計変数を考慮していることになる。ケーブルのヤング率は $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、許容応力度は 5600 kg/cm^2 、ハンガーはそれぞれ、 $1.4 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、 5600 kg/cm^2 としている。補剛トラスの各断面は正方形断面³⁾、鋼材はSM58とする。活荷重は補剛トラスの上弦材の節点に集中荷重として作用するとし、本報告では与連荷重として移動させている。

4. 全応力設計および最適化 全応力設計は、部材断面積に関する収束計算であり、また、有限変形法は前述のように単純繰返し計算法を用いており、これは変位に関する収束計算と考えることができる。有限変形を考慮する場合は、この両者を収束させる必要があるが、これを交互に行なうことは多くの計算時間と要することや予想されるので、本報告では両者を同時に収束させる方法をとっている。つまり、部材断面積と節点変位の関数

である剛性マトリクスの作成に際して、前回の計算結果の節点変位のみでなく、部材力を全応力に満足する部材断面積も同時に用いるという方法である。収束の判定は部材断面積のみで行っている。図-3は、図-2の吊橋で等分布死荷重の0.5%、線荷重の100tの場合のケーブル断面積、上弦材断面積、最大変位の収束の過程を初期値に対する比で表示したものである。部材断面積と同時に変位も良く収束していると思われる。またこの方法により、変形の影響を考慮することによる計算時間の増加はほとんどないと思われる。

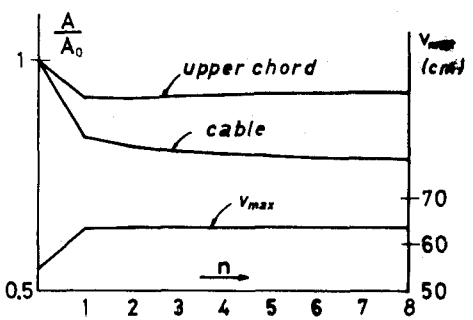


図-3 変位と断面積の収束性

最適化は、上述の方法による全応力設計の結果より、各部材断面積を10cm²ずつ強制的に増加させ、他の部材は全応力設計を行ない総体積の変化をみるという方法で行なっている。

5. 数値計算 一例として、図-2に示す吊橋の計算結果を説明する。等分布死荷重は0.5~8%の値を考慮した。線荷重は1個100tとする。5連荷重であるから5個の荷重条件数を考えていることになる。全応力設計の収束回数は初期値にも影響されるが3~8回であった。収束の判定条件は、前回と今回の部材断面積の差が7cm²以内とした。これは最適化の場合と同様である。最適化の計算の結果、補剛トラスは全応力設計で良く、逆にケーブルは、初期応力(死荷重)の大きさによつては、余裕のある断面のものが総体積を減少し得ることからわかる。これは許容応力度に大きき差があるため¹⁾と思われる。ハンガーは場合によっては余裕のある断面の方が良いが、ケーブルに比べてその効果は非常に少ない(例えは、ケーブル断面積の増加により15.11%の総体積の減少が可能であるのに対して、ハンガーは0.06%にとどまる。)ので無視し得ると思われる。図-4は、これらの結果をまとめものである。横軸は死荷重p(t/m)、縦軸はp=4t/mに対応する値に対する比で表わしている。Acabはケーブル断面積、Aucは上弦材断面積、Vfdは総体積である。以上は有限変形の影響を考慮した場合の結果である。Vadは微小変形理論による総体積である。太線は必要であれば最適化を行ない、細線は全応力設計の結果である。図より、p=3%より大きい死荷重に対しては、全応力設計の結果が最適となり、また、pの減少に応じて総体積も減っているが、3%より小さくするとケーブルに余裕のある断面のものが最適となり、死荷重をこれ以上減少しても総体積はあまり変わらない。逆に少し増加する傾向にある。この範囲での全応力設計に対する総体積は急激に増している。微小変形理論による結果は、有限変形理論によるものと同一の傾向を示すが、VadはVfdより若干多く、pを小さくする(変形の影響が大きくなる)に従い両者の差は小さくはっている。なお、最適化の結果、ケーブル断面積の増加が最も効果的にたわみと減少させることからわかる。

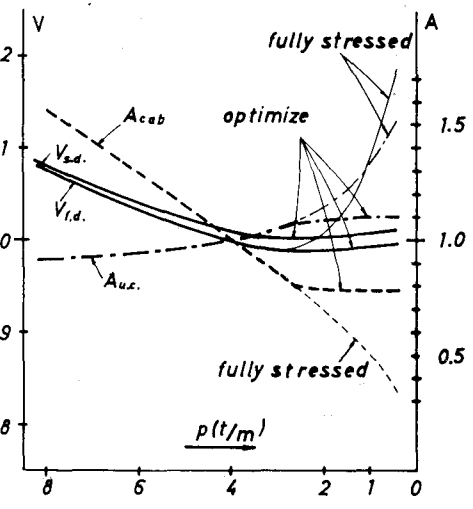


図-4 A, V - P

本報告の計算は、北工大計算機センター Facom 230-75 を使用した。

6. 参考文献 1) R.A. Gellatly, P.M. Pappas: Examples of Computer-aided optimal Design of Structures, I. A.B.S.E. 10th Congress Introductory Report. 2) 杉本博之: 有限変形を考慮したトラス構造の最適設計, 北海道交部昭和49年度論文報告集. 3) 杉本博之: 軸力のみを受ける部材のサポアブテイミゼーションとその応用, 室工大研究報告, 第8巻, 第2号, 1974, 10.