I-76　　架設中吊橋の立体有限変形について

大阪大学大学院 学員　中川知和
大阪大学工学部 正員　小松定夫
大阪大学工学部 正員　西村宣男

1. まえがき　架設中の吊橋は、風荷重などによりきわめて大きな面外変形を生ずるため、安全性の検討が十分されねばならない。このためには有限変形の効果を導入した立体解析を行う必要がある。ところで完成系吊橋の立体解析には撓理論を拡張した手法によるものと、有限変形法によるものとがあるが、前者を、架設中の吊橋の立体解析に適用することは、解法上また精度上問題がある。そこで補剛トラスを立体の骨組構造としてとらえたマトリックス変形法による有限変形解析が必要かと思われる。しかし吊橋のような大型構造物をそのまま解析すると膨大な計算時間および計算機容量を必要とし、実際の設計に適用することは不経済である。著者らは、節点の自由度の低減を行った変形法による架設中吊橋の立体解析用プログラムを開発した。本プログラムは慣用の変形法による立体骨組構造解析プログラムに比べて、計算機容量、計算時間が少なくて済むこと、部材関連のインプットデータが些少であること、計算精度はほとんど変わらないことなどの長所を有している。

2. ブロック剛性マトリックス　本法では慣用の変形法のように吊橋を構成する個々の部材の剛性マトリックスを全体系について逐次組合せるのではなくて、図1に示すようにケーブル・ハンガーを含む補剛トラスの1パネルに相当するブロックについて予め剛性マトリックス（ブロック剛性マトリックス）を作成し、これを全体系に組込む。補剛トラスが架設されていないブロックはMTYPE＝1をインプットすればケーブル系のみの剛性マトリックスが作成される。また、補剛トラスの骨組構成について図2に示す各構面の形状インデックスをインプットすればブロック内の個々の部材の節点番号付けは自動的に行なわれる。この形状インデックスにより部材のつながりを示すデータは省略でき、吊橋全体の骨組構成はわずか数枚のインプットカードで制御できる。現在本プログラムでは主構がワーレン、横構がKトラスの場合のみを扱っているが、各構面任意の形状の場合でも形状インデックスにより骨組構成を制御できるようプログラムを改良することは可能である。

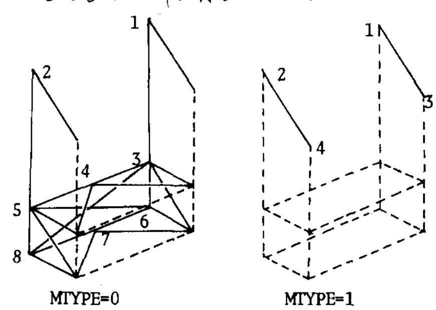

図1　1-BLOCK

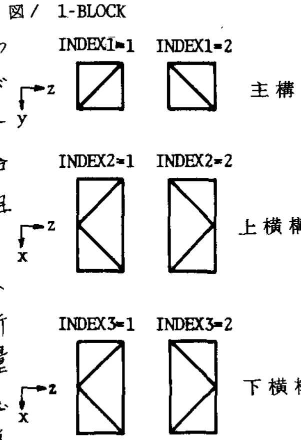

図2 形状インデックス

3. 節点の自由度の低減　1断面の節点数は図1の場合8で、自由度数は8×3＝24である。たとえば南備讃瀬戸大橋（パネル数124）の完成系の立体解析を行う場合を考えると、剛性マトリックスおよび荷重項を記憶するに必要な容量K_bは、マトリックスの対称性を考慮し、バンド処理を行ってもK_b＝111kW必要とし、不経済である。そこで本法では次に記すような手法により、ブロック単位で節点の自由度の低減を行っている。

1). Condensation[1]　本法では図1に示す横構面の節点4，7の変位ベクトルを他の節点の変位ベクトルであらわし、消去する。この手法をCondensationと称し、既往の手法である。すなわち消去しようとする変位の変位番号をm，ブロック剛性マトリックスの要素をk_{ij} $(i=1\sim n,\ j=1\sim n)$ 節点力をP_i $(i=1\sim n)$とすれば変位のCondensationは、

$$k_{ij}\to k_{ij}-k_{im}\cdot k_{mj}/k_{mm},\quad P_i\to P_i-k_{im}\cdot P_m/k_{mm}\qquad (i=1\sim n,\ j=1\sim n,\ i\neq m,\ j\neq m)$$

とおき、次に行mおよび列mを消去してマトリックスを圧縮することにより達成される。(図3参照)。また消去した節点aの変位ベクトルu_aは、掃き出し計算を行ったあと、次式により計算される。

$$u_a = k_a^{-1}\left(P_a - \sum_i k_i u_i\right)$$

ここに、P_a:節点aの節点力ベクトル, u_i;節点iの変位ベクトル, $k_{i(a)}$; $u_{i(a)}$に対応するブロック剛性マトリックスの部分マトリックスであり、$\sum_i$は、節点aと結合する節点iについての総和を示している。Condensationにより、1断面の自由度は24から18に減少し、$K_b = 63$ kw となる。

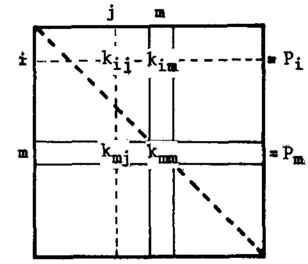

図3 Condensation

2) Representation　ワレントラスでは一般に垂直材の伸縮は無視できるほど小さいので垂直材の両端の軸方向変位を一端で代表させる。これをRepresentationと称する。水平横荷重に対する横構支材も同様に換算断面積を用いれば、Representationは可能である。すなわち図4を例にとれば、

$$u_3 = u_4 \quad , \quad u_5 = u_6 \quad , \quad v_3 = v_5 \quad , \quad v_4 = v_6$$

とし、各式右辺を左辺で代表させて消去する。さらに、

$$\bar{X}_3 = X_3 + X_4 \quad , \quad \bar{X}_5 = X_5 + X_6 \quad , \quad \bar{Y}_3 = Y_3 + Y_5 \quad , \quad \bar{Y}_4 = Y_4 + Y_6$$

なる新しい節点力ベクトルを考える。ここにX_i, Y_iはx y方向の節点力である。いま消去すべき変位の変位番号をm, 代表させる変位の変位番号をlとすれば、変位のRepresentationは、

$$k_{lj} \to k_{lj} + k_{mj} \quad (j = 1 \sim n) \quad , \quad k_{il} \to k_{il} + k_{im} \quad (i = 1 \sim n)$$
$$P_l \to P_l + P_m$$

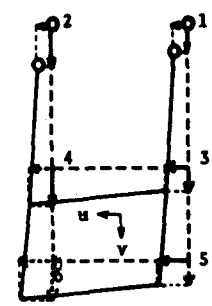

図4 つり構造断面

とおき、行mおよび列mを消去してマトリックスを圧縮することにより達成される。(図5参照)。RepresentationとCondensationにより、1断面の自由度数は24から14に減少し、$K_b = 45.5$ kwである。なお架設初期の段階のように吊構造に非線形性が強く現れる時、Representationを行うと精度上問題が生じる。本プログラムではKREP=0を入力すれば、Condensationのみを行うようになっている。

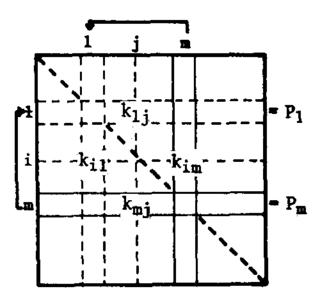

図5 Representation

4. 計算過程　計算過程のフローチャートを図6に示す。非線形計算は、Newton-Raphson法を用いるが、この際Representationを行うと垂直材および横構支材の部材力が精確に算出されないため、不釣合力を節点でとることができない。そこでRepresentationを行った場合は節点においてではなく垂直材または横構支材に作用する他の部材力間の力の釣合いより不釣合力を算出する。

5. 数値計算例は当日発表する予定です。

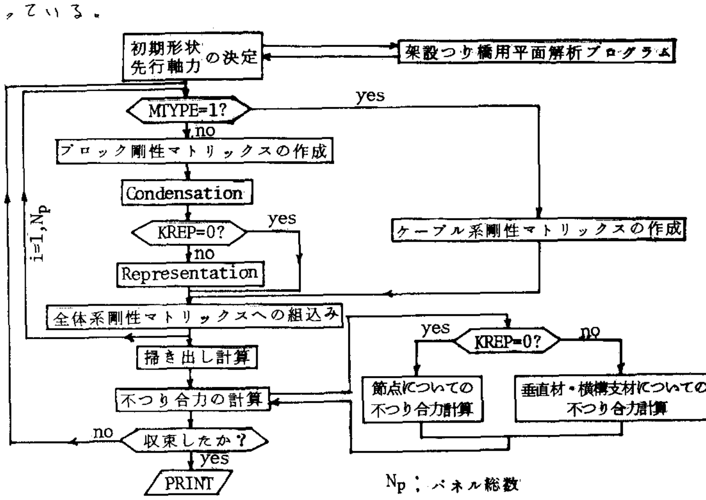

図6 計算過程のフローチャート

参考文献; 1) "Solution of Linear Equations - State of the Art" C. Meyer ASCE Vol. 99, No. ST7, 1973.