

I-10

骨組構造物の大変形最適設計に関する研究

長崎大学工学部 正 員 小西 保則
長崎大学工学部 〇 学生員 松永 英久

1. まえがき

今回は、骨組構造物の大変形最適設計に関する研究の準備段階として、大変形理論を用いた構造解析を行なった。任意の形状を持つ骨組構造の大変形解析は古くから着目されていると同時に、構造の設計上からも重要な解析である。この報告では骨組構造物を構成する部材は直線部材であるとし、それらの軸変形、曲げ変形とを主として考えることにする。ここで用いられる大変形解析に関する基礎方程式は良く知られている。この報告で用いる解析は、非線形問題のうち幾何学的非線形性のみを含む平面骨組構造物の大変形解析をとりあげる。ここでいう幾何学的非線形性問題とは、変位は有限であるがひずみが微小である場合である応力-ひずみ関係は線形である。解析法としては増分型反復法を用いる。この方法は計算時間が長くなる欠点があるため、反復計算に対する加速法として『推定増分法』を用いた。

2. 大変形解析

大変形解析と小変形解析の理論的相違を示し、実際の解析結果を比較してみる。この解析に用いた『推定増分法』のプログラムの流れ図は図-1に示す通りである。

普通の構造物では、外力の作用による変形が、構造物の断面寸法に比較して比較的小さいであって、変形前の形と著しく異なった形状でつり合いの状態に達することはない。したがって、一般の構造解析では、微小変形を仮定した弾性理論が成り立つための仮定は次のようである。

- (1) おおのこの部材のヤング係数は、応力に関係なく一定である。
- (2) 部材断面の変形は無視することができ、部材端の材端力と変位との間には線形の関係が成立する。
- (3) 荷重による構造物の変形は微小で、外力の作用した状態での力のつり合いを考える場合には、構造物の寸法として、外力の作用する以前の寸法とそのまま使用してもさしつかえない。

以上のいずれの仮定を取り除いても、非線形理論となるが、一般に用いられる有限変位理論は、上記の(3)を除いた場合の解理論である。

また、ひずみの式を取りあげてみると、微小変形理論(小変形理論)と有限変位理論(大変形理論)との相違は次のようである。

- ひずみは軸ひずみ ε_x 、および曲げひずみ ε_x^b の和と考える。
- 有限変位理論では $\varepsilon_x = \partial u / \partial x + 1/2 (\partial v / \partial x)^2$ ①
- $\varepsilon_x^b = -y (\partial^2 v / \partial x^2)$ ②
- と表わされるが、微小変形理論では ε_x の二次の項を微小

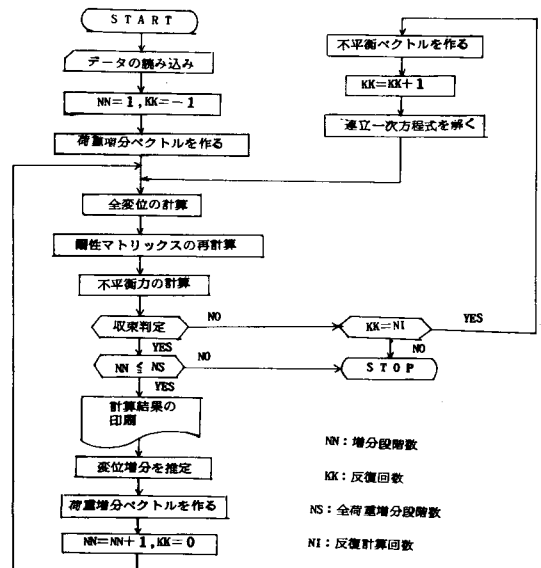


図-1

項として無視している。また微小変形理論では $\cos\theta = (x_i - x_i)/l$, $\sin\theta = (y_i - y_i)/l$, $l^2 = \{(x_i - x_i)^2 + (y_i - y_i)^2\}$ と表わされるが有限変位理論では θ を一定と考え、格点の変位を考慮して $\cos\theta = \{(x_i + u_i) - (x_i + u_i)\}/l$, $\sin\theta = \{(y_i + v_i) - (y_i + v_i)\}/l$, $l^2 = \{(x_i + u_i) - (x_i + u_i)\}^2 + \{(y_i + v_i) - (y_i + v_i)\}^2$ とおける。これらの式は変形後の状態を考慮したものである。これらの式を材端力と外力とのつり合い条件式に代入すると、高次の非線形式になって解析的に求めることはできない。したがってまず微小変形理論で求めた変形の位置においてつり合い方程式を組み立てなおす。このような操作を繰り返して、つり合い方程式のずれがなくなるまで、逐次修正を行わなければならない。

3. 解析例

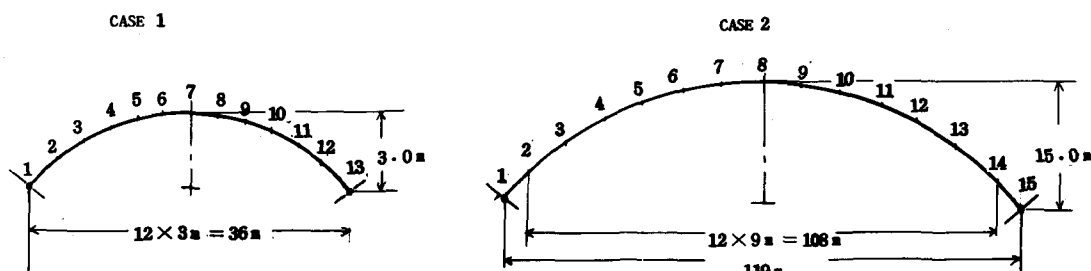


図-2

DISPLACEMENT CASE 1							DISPLACEMENT CASE 2						
NO.	TU	TV	TSLOPE	TU	TV	TSLOPE	NO.	TU	TV	TSLOPE	TU	TV	TSLOPE
1	0.0	0.0	-0.1506E-02	0.0	0.0	-0.1497E-02	1	0.0	0.0	-0.1141E-01	0.0	0.0	-0.2676E-01
2	0.7466E-03	-0.4698E-02	-0.1481E-02	0.7591E-03	-0.4756E-02	-0.1497E-02	2	-0.9997E-02	-0.8963E-01	-0.1386E-01	0.9858E-01	-0.2832E+00	-0.2676E-01
3	0.1184E-02	-0.9175E-02	-0.1378E-02	0.1201E-02	-0.9270E-02	-0.1386E-02	3	-0.4074E-02	-0.2967E+00	-0.2738E-01	0.0648E-01	-0.3377E+00	0.1497E-01
4	0.1288E-02	-0.1314E-01	-0.1164E-02	0.1303E-02	-0.1325E-01	-0.1167E-02	4	0.3744E-01	-0.6419E+00	-0.4318E-01	0.1894E-05	-0.3525E+00	-0.5795E-06
5	0.1073E-02	-0.1626E-01	-0.8449E-03	0.1083E-02	-0.1638E-01	-0.8443E-03	5	0.8109E-01	-0.1085E+01	-0.4933E-01	0.1570E-05	-0.3525E+00	0.2072E-06
6	0.6058E-03	-0.1827E-01	-0.4450E-03	0.6108E-03	-0.1838E-01	-0.4440E-03	6	0.9241E-01	-0.1520E+01	-0.4241E-01	0.8229E-06	-0.3526E+00	0.1013E-06
7	-0.1311E-06	-0.1896E-01	-0.7707E-07	-0.1163E-07	-0.1907E-01	-0.7717E-08	7	0.6069E-01	-0.1834E+01	-0.2433E-01	-0.1491E-06	-0.3525E+00	0.6150E-06
8	-0.6061E-03	-0.1827E-01	0.4449E-03	-0.6109E-03	-0.1838E-01	0.4440E-03	8	0.7474E-04	-0.1949E+01	0.1198E-04	0.3581E-08	-0.3525E+00	-0.1548E-08
9	-0.1073E-02	-0.1626E-01	0.8449E-03	-0.1083E-02	-0.1638E-01	0.8443E-03	9	-0.6053E-01	-0.1834E+01	0.2435E-01	0.1524E-06	-0.3525E+00	-0.6225E-06
10	-0.1288E-02	-0.1314E-01	0.1164E-02	-0.1303E-02	-0.1325E-01	0.1167E-02	10	-0.9223E-01	-0.1520E+01	0.4245E-01	-0.8236E-06	-0.3526E+00	-0.1096E-06
11	-0.1184E-02	-0.9176E-02	0.1378E-02	-0.1201E-02	-0.9271E-02	0.1386E-02	11	-0.8088E-01	-0.1085E+01	0.4934E-01	-0.1570E-05	-0.3525E+00	-0.2150E-06
12	-0.7468E-03	-0.4699E-02	0.1481E-02	-0.7591E-03	-0.4757E-03	0.1497E-02	12	-0.3724E-01	-0.6415E+00	0.4317E-01	-0.1884E-05	-0.3525E+00	0.5721E-06
13	0.0	0.0	0.1507E-02	0.0	0.0	0.0	13	0.4226E-02	-0.2964E+00	0.2736E-01	-0.4648E-01	-0.3377E+00	-0.1497E-01
							14	0.1007E-01	-0.8949E-01	0.1384E-01	-0.9858E-01	-0.2832E+00	0.2676E-01
							15	0.0	0.0	0.1139E-01	0.0	0.0	0.0

図-2のようにCASE 1は支間長 = 36m のアーチ, CASE 2は支間長 = 119m のアーチとする。

データはCASE 1の場合 $A = 0.04 \text{ m}^2$, $I = 0.005 \text{ m}^4$, $E = 2.1 \times 10^6 \text{ t/m}^2$, 各格点に10tの荷重が下向きにCASE 2の場合 $A = 0.00865 \text{ m}^2$, $I = 0.00364 \text{ m}^4$, $E = 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$, 同様に100tかかっている。

CASE 1 及びCASE 2 をそれぞれ微小変形理論と有限変形理論とで解いた。表で見ると、微小変形理論で解いた変位は有限変位理論で解いた変位より小さい。故にアーチの設計計算をする時、微小変形理論を用いた場合、変位や曲げモーメントが実際より小さく計算され、この値を使って設計された断面を用いると危険な場合が生じる。実際の変位や応力の値に近づけるためには、有限変形理論を用いなければならない。又CASE 1とCASE 2の支点反力、軸力、断面力、材端モーメントの値も比較する必要があるが、結果は、講演時に報告する。

(参考文献) 小堀為雄・吉田博「有限要素法による構造解析プログラム」(丸善出版社) 前田幸雄・林正・中村守「増分法による平面骨組構造物の大変形解析の加速計算法」土木学会論文報告集第223号 1974年3月 堀井健一郎・斎藤進・川原睦人・森繁「骨組構造解析」土木学会論文報告集第197号 1971年7月