土木学会西部支部研究発表会(1985.2)

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　学生員　○若松 哲也

1、まえがき

実際の構造物の大部分は、微小変形理論による構造解析で設計されている。しかし、任意の形状を持つ骨組構造物の大変形理論による構造解析は、古くから着目されていると同時に、構造物の設計上からも重要な解析理論である。今回の報告では、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、微小変形理論との比較を行なうため、微小変形理論による骨組構造物の最適設計を行なう。

2、大変形理論と微小変形理論および最適化手法

普通の構造物では外力の作用による変形が、構造物の断面に比べて比較的微小であって、変形前の形と著しく異なった形状でのつり合い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立し、仮定として、次の3つがある。

(1) おのおの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り立つ。

(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、構造物の寸法として、外力の作用する以前の寸法を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、一般に用いられる大変形理論は、上記の仮定の(3)を除いた解理論である。

最適設計問題における数学的モデルは

制約条件式　　$g_i(x) \leqq (\text{or} \geqq \text{or} =)\ b \qquad (i=1,2,\cdots,m)$

目的関数　　$Z = f(x) \longrightarrow \min\ (\text{or}\ \max)$

で表わされるものの、一部またはすべてが、変数xの微分可能な非線形関数となっている。このような関係にある最大(最小)化の問題を解く方法が非線形計画法(NP)である。ここで使用する最適化手法は、反復線形計画法(Sequence of Linear Programming Method , SLP)を使用する。反復線形計画法とは、制約条件式・目的関数をテーラー展開して線形化し、線形計画法(LP)を繰り返し使用することによって、非線形最適化問題の最適値を求める方法である。

3、設計例

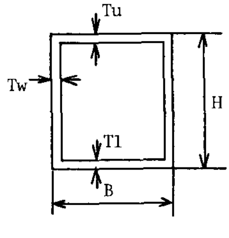

Fig-1

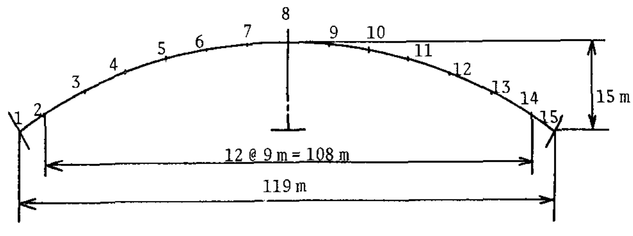

Fig-2

骨組構造物を構成する各要素は、直線部材であり、Fig-1の断面を持ち、Fig-2の2-ヒンジアーチの解析を行

なった。データとして、断面積＝0.00865 m^2，断面2次モーメント＝0.00364 m^4，ヤング係数＝2.1×10^7 t/m^2 とし、各格点に鉛直下向きに100tの荷重がかかっている。部材断面は、圧縮力・せん断力・曲げモーメントを同時に受けるものとし、Fig-1の一様断面を持つ。最適化においては、設計変数として、T_u, T_w, T_ℓ, B, H の5つであり，制約条件式・目的関数は次のようになる。

(1) 制約条件

・応力制限	上フランジ	$N/A + (M/I)e_1 - \sigma_{ca} \leqq 0$
	下フランジ	$N/A - (M/I)e_2 - \sigma_{ca} \leqq 0$
・細長比制限		$\ell/r - 120 \leqq 0$
・せん断制限		$\tau - \tau_a \leqq 0$
・板厚制限	ウェブ	$H/\gamma_w - T_w \leqq 0$
	上フランジ	$B/\gamma - T_u \leqq 0$
	下フランジ	$B/\gamma - T_\ell \leqq 0$
・たわみ制限		$\delta - \delta_a \leqq 0$
・上下限制限		$X - X_u \leqq 0$,　$X_\ell - X \leqq 0$

ここに、N；軸力，M；モーメント，A；断面積，I；断面2次モーメント，e_1, e_2；偏心距離，ℓ；部材長 ℓ/r；細長比，τ_a；せん断許容力，γ_w；ウェブの座屈防止の高さと板厚の比，γ；上下フランジの座屈防止の高さと板厚の比，δ_a；たわみ制限 $\ell/600$，X_u・X_ℓ；変数の上下限値

(2) 目的関数

目的関数は、最小重量設計をあつかうため次のようにする。

$$Z = \{B\cdot(T_u + T_\ell) + 2\cdot H\cdot T_w\}\cdot SPAN \longrightarrow min$$

大変形理論と微小変形理論によるアーチの構造解析の結果を、Table-1に示す。

NODT NO.	U	V	SLOPE	U	V	SLOPE
1	0.0	0.0	-0.1138E-02	0.0	0.0	-0.1018E-02
2	-0.1008E-02	-0.8947E-02	-0.1383E-02	-0.6823E-02	0.2374E-02	0.4955E-03
3	-0.4241E-03	-0.2963E-01	-0.2736E-02	-0.1126E-01	-0.6902E-02	-0.2234E-02
4	0.3724E-02	-0.6414E-01	-0.4318E-02	-0.6065E-02	-0.4489E-01	-0.5560E-02
5	0.8090E-02	-0.1085E+00	-0.4935E-02	0.2525E-02	-0.1062E+00	-0.7269E-02
6	0.9225E-02	-0.1520E+00	-0.4243E-02	0.7441E-02	-0.1714E+00	-0.6535E-02
7	0.6056E-02	-0.1834E+00	-0.2435E-02	0.5955E-02	-0.2197E+00	-0.3786E-02
8	-0.4523E-05	-0.1949E+00	-0.6794E-06	0.1276E-05	-0.2374E+00	0.2067E-06
9	-0.6066E-02	-0.1835E+00	0.2434E-02	-0.5935E-02	-0.2197E+00	0.3786E-02
10	-0.9236E-02	-0.1520E+00	0.4243E-02	-0.7438E-02	-0.1714E+00	0.6535E-02
11	-0.8101E-02	-0.1085E+00	0.4934E-02	-0.2522E-02	-0.1062E+00	0.7269E-02
12	-0.3735E-02	-0.6417E-01	0.4318E-02	0.6069E-02	-0.4488E-01	0.5560E-02
13	0.4146E-03	-0.2966E-01	0.2737E-02	0.1126E-01	-0.6896E-02	0.2233E-02
14	0.1003E-02	-0.8956E-02	0.1385E-02	0.6824E-02	0.2377E-02	-0.4959E-03
15	0.0	0.0	0.1140E-02	0.0	0.0	0.1018E-02
		微小変形理論			大変形理論	

Table-1

本報告では、微小変形・大変形による構造解析の結果しか報告することができないが，現在，SLPによる最適設計の計算中である。また、SLPのかわりに、最適手法として，可能方向法（FDM）による最適設計も計画中であり、講演時に発表の予定である。

（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）
長尚；「構造物の最適設計」（朝倉書店）