

愛媛大学工学部 正 員 大久保 稔二
三井不動産建設(株) 正 員 池田 澄隆

1 まえがき

大規模トラス構造物の最適設計問題を能率的に解く方法として、これまでにトラスを部分構造に分割し、部分構造内のすべての設計変数および制約条件を並列して考慮し、SUMTあるいはSLP法により改良解を求める研究がなされているが、本研究はトラス構造物をいくつかの部材よりなるブロックに分割し、部材力に関する制約条件およびたわみに関する制約条件をそれぞれ独立に考慮して各ブロックの剛度を改良することにより、複雑な数値計画の手法を用いることなく能率的に最適解を決定する方法について研究を行なったものである。

2 方法の概要

トラス構造物の最適解を求めるためには各設計変数の変化が状態変数及び目的関数に与える影響を調べ、最も効率的な設計変数を改良していけばよい。従来この設計変数の単位としてトラスの各部材断面積が考慮されているが、本研究ではトラス構造物をいくつかのブロックに分割し、まず部材力に関する制約条件のみを考慮して、各ブロックの剛度(X)の変化が部材力(F)および目的関数(M)に与える影響 $\partial F/\partial X$, $\partial M/\partial X$ を検討し、次式により最も効率的なブロックの剛度(X_i)を改良することとした。

$$\text{Find } i, \quad \text{such that} \quad \sum_{k=1}^{NM} \frac{F_k - F_{ak}}{\frac{\partial F_k}{\partial X_i}} \cdot \frac{\partial M_k}{\partial X_i} \longrightarrow \min (< 0) \quad (i=1, \dots, NB) \quad (1)$$

ここに F_a =許容部材力, M_k =部材kの鋼材量, NM =トラスの全部材数, NB =ブロック数
各部材の $\{(F - F_a)/(\partial F/\partial X_i)\} \cdot (\partial M/\partial X_i)$ は、ブロックiの剛度をある一定量(ΔX_i)だけ増加させてトラスを解き、部材の Suboptimization より得られた「部材力-最小断面積関係曲線」を使用することにより容易に求めることができ、(1)式より剛度を改良すべきブロック番号iを決定することができる。このブロック単位の剛度の改良を(1)式の左が0となるまでくり返すことにより、たわみ制限を考慮しない場合のトラスの最適解を得ることができる。

たわみ制限を考慮する場合でも、上記の方法により得られた最適解がたわみ制限を満足していればこれが最適解となる。しかしたわみ制限を満足しない場合には、上記の最適解を初期値としてたわみに関する制約条件のみに着目し、たわみ制限を考慮しない場合と同様に各ブロックの剛度(X)を独立に増加させ、 $\frac{\partial \delta}{\partial X}$, $\frac{\partial M}{\partial X}$ (M:トラス構造物の目的関数)を求め、

$$\text{Find } j, \quad \text{such that} \quad \frac{\delta - \delta_a}{\frac{\partial \delta}{\partial X_j}} \cdot \frac{\partial M}{\partial X_j} \longrightarrow \max \quad (j=1, \dots, NB) \quad (2)$$

により、たわみ制限を満足するために最も効率のよいブロックjを決定し、そのブロックの剛度をMove limitをも考慮して改良する。このようなブロック単位の剛度の改良をたわみ制限を満足するまでくり返すことによりたわみ制限をも満足する最適解を得ることができる。たわみ制限を考慮すべき格点数(ND)が多い場合には、各ブロックの変化による各たわみ量の影響係数 $\frac{\partial \delta_a}{\partial X_i}$ ($i=1, \dots, ND$, $i=1, \dots, NB$)を求めLPにより改良解を決定するか、あるいは最も制約の厳しい格点のたわみについてのみ着目し上記の方法により部材断面を改良していけばよい。なお本研究では、大規模トラスの解析を変位法の部分構造分割法により行ない計算量の節減をはかっている。したがって上記の各ブロック毎の部材剛性の変化によるトラスの状態変数の変化は、そのブロックを含む部分構造の剛性マトリックスおよびその逆マトリックスを変化させることにより比較的少量の計算で求めることができる。また当然のことながら各ブロックの分割点は構造解析上の部分構造の分割点とは全く関係がなく任意に選ぶことができる。

3 ブロックの分割方法と解の精度

本研究の方法では各ブロック内の部材の剛度を一様に変化させ $\partial F/\partial X$, $\partial \delta/\partial X$, $\partial M/\partial X$ を計算している。したがって状態変数、特にたわみの制限を考慮する場合には、ブロックの分割方法によってはたわみ量の減少にあまり効果のない部材の断面積をも一様に増加させ、真の最適解より大きな解を得ること

がある。解の精度を向上させるためにはブロックの分割数を多くすればよい。しかしこのことにより計算時間が増大することとなり、適切なブロック数および分割方法が要求される。連続トラスおよびプレストリブアーチの種々の計算例より、たわみ制限を考慮する場合には弦材および斜材を含めたブロック数を多くするよりも、弦材と腹材を別のブロックとして分割し、弦材と腹材を独立に改良することにより能率的かつ正確に最適解が得られることが明らかとなった。一方たわみ制限を考慮しない場合はブロックの分割数が4個程度以上であれば分割状態にほとんど関係なく、数回のくり返し計算で済ませて能率的に同一の最適解を得ることができる。

4 計算例

図-1に示す格点数21、部材数39を有する2径間連続トラスの、たわみ制限を考慮しない場合の最適解を表-1の2列に示す。初期値およびブロックの分割状態にほとんど関係なく、3~4回の改良のくり返しで全く同一の最適解を得、全ての部材断面積が $F/F_a=1.00$ あるいは部材の細長比の制限より決定されている。最適解を得るための計算時間はFACOM 230-75 でわずか0.7秒と非常に能率的な解法となっている。又最適解における格点Aのたわみは3.434 cmとなった。

つぎに格点Aのたわみ制限を3.0 cmとした場合の5, 10, 9, 18分割による最適解をそれぞれ表-1のa, b, c, d列に示す。各ブロックの分割状態は図-1に示す通りで、b, dはそれぞれa, cのブロック分割においてさらに上下弦材と腹材を独立のブロックとして分割したものである。最適解におけるたわみの許容誤差を δ_a の $\pm 1.0\%$ としたため、a, bのたわみが3.0 cmを0.2 mm~0.21 mm越えており、かつ分割数の増加に伴い計算時間が長くなっているが、a, b, c, dいずれの場合も2.4秒~4.1秒と非常に能率的に最適解を決定している。また解の精度もブロックの分割状態によって多少異なり、弦材と腹材を異なるブロックとしかつ分割数の最も多いdが最良の解を得ている。5分割のaの結果($\delta=3.00$ に補正)はdと比較して鋼材量が25%大きな解となっている。又bとcの結果を比較すると、分割数が10及び9とほぼ等しいにもかかわらず弦材と腹材を異なるブロックと考えたbがcの計算時間でcとほぼ同一の解を得ており、弦材と腹材を別のブロックとすることの有効性が明らかである。

本方法の解の妥当性を検討するためSLP法により得た最適解を表-1の7列目に示す。dの結果と比較して部材断面積が最大35.8%異なっているが、鋼材量はたわみ量による補正を行えばわずかに0.2%程度の差となり同一の最適解が得られたと判断することができる。なおSLP法の計算時間は、構造解析およびLPの計算を部分構造解析法によらない解法で求めたものであり、部分構造分割法を適用することによりある程度短縮され得るが、これらの結果より本研究の方法が大規模トラス構造物のきわめて能率的な最適設計法であると結論することができよう。なお他の種々の計算例およびさらに詳細な結論については講演当日発表致したい。

参考文献 ①Uri Kirsch et al.: Optimum Design by Partitioning into Substructure, Proc. ASCE, Vol. 98, ST1, pp.249-266, Jan. 1972 ②宇都宮, 次田, 尾ノ井: トラス構造物の分割設計に関する2, 3の考察, 土木学会第30回年次学術講演会報告集, 1975年10月 ③大久保, 榎ニ: トラス構造物の最適設計法に関する研究, 土木学会論文報告集, 第177号, 1970年5月

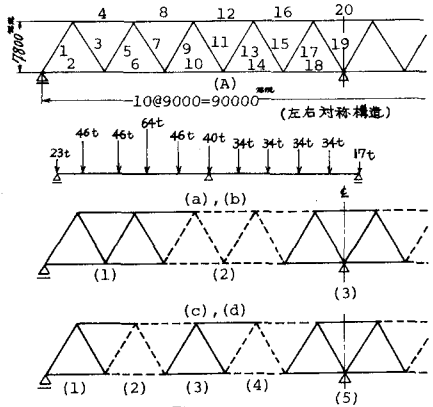


図 - 1

		変 位 制 限 (単位 = cm^2)				
		3 cm				
部 材	変位制限なし	a	b	c	d	SLP法
		5分割	10分割	9分割	18分割	
1 DM	158.1	158.1	166.4	158.1	158.1	158.1
2 LC	96.5	96.5	101.5	96.5	96.5	96.5
3 DM	93.5	93.5	93.5	93.5	113.1	105.5
4 UC	158.1	158.1	166.4	158.1	158.1	158.1
5 DM	152.6	152.6	152.6	167.8	167.8	152.6
6 LC	96.5	96.5	101.5	106.1	116.7	145.5
7 DM	93.5	93.5	93.5	102.8	102.8	93.5
8 UC	165.9	165.9	174.6	182.5	200.8	175.0
9 DM	93.5	111.8	93.5	102.8	93.5	93.5
10 LC	96.5	115.4	132.1	106.1	142.8	190.5
11 DM	152.6	182.4	152.6	167.8	152.6	152.6
12 UC	159.2	190.3	218.0	175.1	235.6	159.2
13 DM	93.5	111.8	93.5	113.1	123.3	122.7
14 LC	96.5	115.4	132.1	116.7	96.5	96.5
15 DM	152.7	182.6	152.7	184.7	201.4	152.7
16 UC	157.4	188.3	215.7	190.5	157.4	157.4
17 DM	100.3	121.4	121.4	119.5	114.0	154.8
18 LC	157.4	190.5	157.4	187.7	157.4	157.4
19 DM	164.0	198.4	198.4	195.5	186.4	163.9
20 UC	96.5	116.7	96.5	115.0	96.5	122.2
変位量 (cm)	3.434	3.020	3.021	2.983	3.002	2.991
鋼材量 (kg)	4.475	5.006	4.977	5.009	4.916	4.944
計算時間 (秒)	0.7	2.4	3.6	7.2	14.1	127.1

UC: upper chord, LC: lower chord, DM: diagonal member
* Calculated by FACOM 230-75