Ｓｕｂｏｐｔｉｍｉｚａｔｉｏｎを用いた最適設計の精度に関する研究

長崎大学工学部　○正員　小西保則
長崎大学工学部　正員　高橋和雄
長崎大学大学院　学生員　龍博志

１．概要

構造物が長大化し複雑になると変数，制約条件式共にその数が多くなるが、Ｓｕｂｏｐｔｉｍｉｚａ－ｔｉｏｎによればその場合でも容易に最適設計が可能であり、本手法を用いてトラスの最適設計を行った結果については先に発表した。[1),2)]
本手法による場合、構造物が静定の場合は、一般の手法による場合と完全に一致するが、静定構造物でも変位制約のある場合又は不静定構造物の場合は、断面の変化が、内力の変化又は変位の変化に影響するので一般の手法と完全には一致しない。そこで本研究では理論解と、本手法及びＳＬＰ法を用いて２、３の例について最適値、及び目的関数の精度の比較を行った。

２．Ｓｕｂｏｐｔｉｍｉｚａｔｉｏｎによる最適設計手法

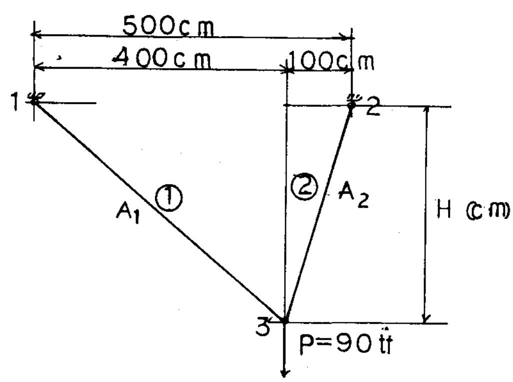
Ｓｕｂｏｐｔｉｍｉｚａｔｉｏｎの方法については文献１）に詳細に述べているが、変数をある１つの断面要素のみの変数（X_I，X_{II}・・・・）、構造物全体に共通な変数Ｙに分ける。先ずX_I，X_{II}・・・・について一定のＹに対して、ＳＬＰ法により最適なX_I，X_{II}・・・・を求め、ＸをＹの関数として表す。これを　$X_I=h_I(y)$，$X_{II}=h_{II}(y)$・・・・で表す。ここにサフイックスＩ，ＩＩ，・・・・はＩ，ＩＩ，部材要素を表す。次に上式を用いて構造物全体の制約条件式と目的関数をＹのみの関数として表す。ここで全体の最適設計手法としてはＳＭＴ法を用いてＹの最適値を求めた。又ＳＬＰ法、ＳＵＭＴ法における制約条件式、目的関数の微分には数値微分を用いた。

３．最適設計例

以下に２部材静定トラスと１０部材２次不静定トラスについて本法の適用計算例を示す。

３．１．静定トラス（２部材トラス）

図１に示す２部材トラスについて最適設計を行う。
設計条件として、支間長Ｌ＝５００ｃｍ、荷重Ｐ＝９０ｔｆ　とする。設計変数Ｘに属する物としては、断面積A_1，A_2を、Ｙに属するものとしては、高さＨを用いる。



$-1000kgf/cm^2 \leqq \sigma_i \leqq 1000kgf/cm^2$

図－１　２部材トラス

制約条件式は

応力制限　$-1000kgf/cm^2 \leqq \sigma_i \leqq 1000kgf/cm^2 \ (i=1,2)$　（１）

変数の上下限制限　$0cm \leqq X_i \leqq 200cm$　（２）

$20cm \leqq Y \leqq 800cm$　（３）

とする。ただし、σは部材の応力度である。

また、目的関数Ｚは全部材の総体積とする。

$Z=\Sigma X_i L_i \longrightarrow min.$
$(i=1,2)$　（４）

計算結果は表１に示すとおりである。この例題は静定構造物であるので理論解、本手法、ＳＬＰ法による最適解は

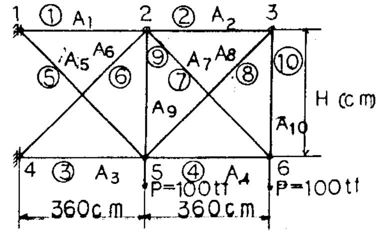
表－１　２部材トラスの最適設計結果

手法	初期値			最適値			目的関数
	X_1^0 (cm^2)	X_2^0 (cm^2)	Y^0 (cm)	X_1 (cm^2)	X_2 (cm^2)	Y (cm)	Z (cm^3)
本手法	50	90	220	40.2	80.6	200.6	36000
ＳＬＰ法	80	100	210	40.2	80.8	202.3	36001
理論解				40.3	80.5	200.0	36000
(本手法－理論解)／理論解				0.1%	0.1%	0.3%	0%

完全に一致した。

3．2．10部材不静定トラス

図－2に示す10部材トラスの最適設計を行う。設計変数としては、Xに属するものとして部材断面積A1～A10で、X1～X10とし、Yに属するものとしてはトラスの高さHとする。



$-1000\,kgf/cm^2 \leqq \sigma i \leqq 1000\,kgf/cm^2$（ ⑦ 部材を除く）
$-2000\,kgf/cm^2 \leqq \sigma i \leqq 2000\,kgf/cm^2$（ ⑦ 部材のみ）

図－2　10部材トラス

制約条件式は

応力制限　$-1000\,kgf/cm^2 \leqq \sigma_i \leqq 1000\,kgf/cm^2$

（$i=1$，10ただし$i=7$をのぞく）　（5）

$-2000\,kgf/cm^2 \leqq \sigma_7 \leqq 2000\,kgf/cm^2$　（6）

変数の上下限制限：　$0.1\,cm^2 \leqq X_i \leqq 500\,cm^2$　（$i=1$，10）　（7）

$200\,cm \leqq Y \leqq 800\,cm$　（8）

とする。今　Y＝H＝360cm　すなわち　200cm≦Y≦360cmとした場合の計算結果は表－2に示す通りである。

表－2　10部材トラスの最適設計結果

手法	初期値						
	X_1^0 (cm²)	X_2^0 (cm²)	X_3^0 (cm²)	X_4^0 (cm²)	X_5^0 (cm²)	X_6^0 (cm²)	X_7^0 (cm²)
本手法	240	30	245	120	170	160	100
SLP法	200	1	205	100	143	141	95

手法	初期値			最適値			目的関数
	X_8^0 (cm²)	X_9^0 (cm²)	X_{10}^0 (cm²)	X_1 (cm²)	X_2 (cm²)	X_3 (cm²)	X_4 (cm²)
本手法	30	5	5	193.3	7.9	209.2	92.7
SLP法	1	1	1	201.7	0.25	202.2	100.7
理論解				199.6	0.30	201.3	99.2
本手法－理論解 / 理論解				0.03	25.3	0.04	0.07

手法	初期値			最適値			目的関数
	X_5 (cm²)	X_6 (cm²)	X_7 (cm²)	X_8 (cm²)	X_9 (cm²)	X_{10} (cm²)	Z (cm³)
本手法	153.0	131.3	95.5	11.1	3.33	7.85	384200
SLP法	143.1	142.5	95.0	0.35	0.32	0.25	372300
正解	142.7	140.2	94.8	0.42	0.10	0.30	372500
本手法－正解 / 正解	0.07	0.06	0.01	25.4	32.3	25.2	0.031

4、結論

本手法によれば、静定構造物の場合は例題の2本トラスによれば精度は良く問題はない。不静定構造物の場合は例題の10本不静定トラスによれば　X_2，X_8，X_9，X_{10}は誤差が大きいが他の変数は3%－7%の誤差であり、目的関数は3．1%の誤差である。従って本手法は十分実用性がある。

参考文献

1) Konishi, Y. and Maeda, Y. :Optimum Design of Trusses using Suboptimization, JSCE, NO. 333 1983.

2) Konishi, Y. and Maeda, Y. :Optimum Design of Framed Structures using a Personal Computer, IABSE, 12th Congress, Vancouver, 1984.