I-260

部分構造の逐次最適化手法による骨組構造物の最適設計

名古屋大学　学生員○浅野　清　　名古屋大学　学生員　吉野　精二
名古屋大学　正　員　宇佐美　勉

１．緒言　著者らは文献1)～3)において，Beam-Columnの最適設計に関する論文を発表してきた．文献1)ではSUMT法を用いたが，解の収束性に問題がある場合があり，試行錯誤的に解を求める方法も併用した．文献2),3)では設計変数を離散値として取り扱うBacktrack法[4]の適用を試み，この方法の有用性を示した．著者らはこの手法を鋼骨組構造物の最適化に適用しようとしているが，Backtrack法は設計変数が多くなると計算量が飛躍的に増大するため，構造物全体を一度に最適化することには実際上不可能になる．そこで，文献5)の部分構造の逐次最適化の手法にBacktrack法を適用することを試みた．

２．Backtrack法[4]による多段階最適化　Backtrack法は，各設計変数の最小値，最大値及び変化量を設定して得られる離散値の集合について，制約条件を満足しながら目的関数を最小にする設計変数の値を試行錯誤的に求める方法である．Backtrack法を能率的に適用するためには設計変数（X_i）の最小値（X_{imin}）最大値（X_{imax}）及び変化量（ΔX_i）をうまく設定する必要がある．そのため，最適化を何段階かに分けて行い探索領域を狭めると共に変化量を小さくして行くことが考えられる．すなわち，まず最初の最適化においては比較的大きめの変化量で最適化を行い，この段階で求まった値を次の段階の初期値とすると共に，各々の設計変数の探索領域を狭め，変化量を小さくして最適化を行う．この作業を繰り返すことで真の値に近い最適値を求めることができる．この手法を多段階最適化手法と呼び，具体的には次のように行った．ある段階で求まった変数X_iの最適値をX_{iopt}とすると，次の段階での探索領域の最小値，最大値を$X_{imax}=X_{iopt}+\Delta X_i$，$X_{imin}=X_{iopt}-\Delta X_i$のように定めた．ここに，$\Delta X_i$は前段階での設計変数$X_i$の変化量である．また，変化量$\Delta X_i$は得られる離散値の個数が各設計変数について５～２０個程度になるように定めた．

３．部分構造の逐次最適化手法　複雑かつ大規模な構造物を最適設計する際，構造物を幾つかの部分構造に分割し，部分最適化を逐次繰り返すことが種々提案されている．ここでは，その内Kirsh[5]の方法を用いて最適化を行った．入力データは構造に関するデータの他に，各設計変数の初期値，最小値，最大値，変化量である．全体構造の解析は平面構造物に対しせん断変形も考慮したマトリックス構造解析法を用いた．収束判定は各部分構造の最適化を終了した時点ですべての設計変数に対し，$|X_{iopt}-X_{iopt}|\leq 1.1\Delta X_i$を満たすことを条件とした．ここに$X_{iopt}$は前段階の計算で求まった$X_i$の最適値である．

４．計算例　簡単な計算例として図１の４層ラーメン[6]を取り挙げた．設計変数として各部材の断面積に関する無次元量X_i（i=1～8)を選び，断面積，断面係数，断面２次モーメントはX_iにより図２によって与えられるものとした．荷重，構造共にはり中央に関して対称であるため，対称軸の片側についてのみ計算を行った．

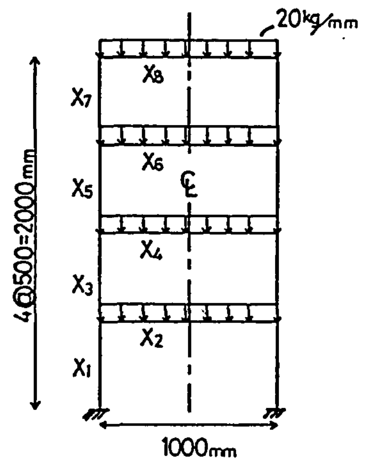

図１　４層ラーメン

断面積：	$A_i=10.0X_i$　(cm²)
断面係数：	$Z_i=16.7X_i^{1.5}$(cm³)
断面２次モーメント：	$I_i=83.3X_i^{2.0}$(cm⁴)
垂直応力：	$\sigma n=N/A_i$
曲げ応力：	$\sigma b=M/Z_i$
せん断応力：	$\tau=S/A_i$
組合せ応力：	$\sigma c=\sqrt{(\sigma n+\sigma b)^2+3\tau^2}$
制約条件：	$\sigma c\leq 18.0$(kg/mm²)
目的関数：	$F=\Sigma A_i L_i$(i=1～8)

図２　断面諸量，制約条件等

まず，全体最適化と部分最適化の両方を同じ探索領域の最小値，最大値及び変化量を用いて計算を行い結果を表１に示す．部分最適化については，構造を３分割(1-3,4-6,6-8)して計算を行い，各設計変数の探索領域の最小値,最大値，変化量はそれぞれ1.0,5.0,0.5である．X_iの初期値はすべて1.0とした．表１より,最適化に要する時間は全体最適化の86.453(s)に対して,部分最適化では0.102(s)となり１％以下の計算時間で済むことが分かる．これは部分構造に分割することで，一度の最適化で扱う設計変数の離散値の個数を大幅に減少することができるためである．次に分割の仕方による比較をしてみる．表２は共に３分割であるが分割の仕方が異なる場合を比較してみた．case1は(1-3,4-6,6-8)に分割した場合で,case2は(1-3,3-5,5-8)に分割した場合である．探索領域の最小値，最大値及び設計変数の初期値は表１と同じであるが変化量は0.05とした．最適化に要する時間はcase1の1.301(s)case2が24.251(s)であった.これは主に,case2の第３部分構造が４個の設計変数を含んでいることによるものであるが,case2の場合部分最適化の回数が９回でcase1の６回に比べ収束が悪かったことも原因となっている．また一般に,設計変数が重複した方が収束が良い場合が多いと言われるが,この場合は必ずしもそうとは言えない.次に多段階最適化手法の効率性に関する数値実験結果を表３に示す.多段階法の最初の段階及び一段階法の探索領域,初期値は前の例と同じにした．部分構造の分割数は３分割(1-3,4-6,6-8)とした．多段階法ではΔX_iを0.50,0.10,0.01と徐々に小さくしている．この表より多段階最適化法の計算時間は0.336(s)で,一度に最適化を行った場合の56.965(s)に比べ１％以下の計算時間で済み多段階最適化手法の有効性が分かる．

表１　全体最適化及び部分最適化の比較

	全体最適化	部分最適化
目的関数（m^3）	0.0130	0.0128
計算時間（ｓ）	86.453	0.102
最適化回数	4	6

表２　分割の仕方による比較

設計変数	case1	case2
X_1	3.50	3.50
X_2	2.90	2.90
X_3	3.35	3.30
X_4	2.90	2.90
X_5	2.45	2.50
X_6	2.95	2.90
X_7	3.05	3.00
X_8	3.30	3.35
目的関数（m^3）	0.0122	0.0122
計算時間（ｓ）	1.301	24.251
最適化回数	6	9

表３　多段階最適化の計算例

多段階				最適値	
ΔX_i	離散値の個数	計算時間（ｓ）	部分最適化の回数	i	X_{iopt}
0.50	9	0.102	6	1 2 3 4 5 6 7 8	3.50 3.00 3.50 3.00 2.50 3.00 3.50 3.50
			目的関数＝		0.01275
0.10	11	0.110	6	1 2 3 4 5 6 7 8	3.50 2.90 3.40 2.90 2.40 3.00 3.10 3.40
			目的関数＝		0.01230
0.01	21	0.124	6	1 2 3 4 5 6 7 8	3.49 2.86 3.33 2.89 2.41 2.91 3.00 3.34
			目的関数＝		0.01212
Total		0.336	18		
一段階					
0.01	41	56.595	12	1 2 3 4 5 6 7 8	3.50 2.86 3.31 2.88 2.44 2.91 2.98 3.34
			目的関数＝		0.01211

<u>５.結言</u>　著者らの研究室で開発した局部座屈を考慮したはり-柱の強度相関式[2)]に有効座屈長の概念を導入した手法による横拘束のない鋼骨組構造物の最適設計については現在計算中であり講演時に発表できればと思っている.数値計算はすべて本学大型計算機センターのFACOM.M382を用いた．

参考文献

1)宇佐美.寺尾:土木学会論文集,第362号/I-4,1985
2)吉野.寺尾.宇佐美:第41回土木学会年次講演会,1986
3)吉野.宇佐美:土木学会中部支部研究発表会,1987
4)J.Farkas：Optimum Design of Metal Structures, ELLIS HORWOOD LIMITED,1984
5)U.Kirshら:Proc.ASCE,STI,1972
6)北村勝英:日本造船学会論文集,第134号,1973