

I-411

単純GAと限定列挙法を組合せた離散的な最小重量設計問題の一解法

九州共立大学工学部 正員 ○三原 徹治
アルファコンサルタント㈱ “ 千々岩浩巳

1. 緒言 最適構造設計問題は式(1)に示す数理計画問題として一般的に定式化される。ここに、 X は設計変数ベクトル、 F_i は第 i 番目の目的関数、 G_j は第 j 番目の制約条件式、 I および J はそれぞれ目的関数および制約条件式の総数である。土木構造の最適設計に関してここ数年間にわが国で発表された主な研究は、対象構造物、最適化手法など研究範囲は多岐にわたるが、式(1)の形式で整理すると目的関数が設計変数 X の陽な関数（ X 値を与えれば構造解析などの手続きを経ることなく関数値を算出できる「簡単な」関数）である（単一目的）最小重量（費用）設計問題が大半であり、「離散的」な問題は少なく、しかも、そのほとんどは「すべてもしくは一部の設計変数のとり得る値が離散値」の問題である。

最適設計技術の適用拡大のためには多目的問題を含めた離散的な最適構造設計問題の最適解を効率的に求めることができる一般的な解法の開発が望まれている。しかし、先述したわが国のこの種研究の現況から式(2)に示す「すべての設計変数のとり得る値が離散値である最小重量（費用）設計問題（ただし、 W は X の陽な関数で表される構造重量または総費用）」の効率的で確実な解法開発が先決と思われる。このため、本研究では式(2)の離散的な最小重量設計問題の一解法として単純GA¹⁾と限定列挙法²⁾を組合せた手法を提案し、その解法特性を数値的に検討する。

2. 単純GAと限定列挙法

(1)単純GA (SGA) GAは生物の生殖・淘汰・進化の

過程を簡単な数理モデルに置換える手法である。SGAは、大きな評価関数値を有する線列（相対的に最適度が高い設計）が確率的に多数残される淘汰、新世代の線列を作成する交叉、予防処置的な突然変異を繰返し、全体として適応度の高い集団を形成する。結果的に全世代において最も大きな評価関数値を有する線列（設計）を最適解と判定するが、その解が真の離散最適解であることは理論的には保証されない。

(2)限定列挙法(LEM)

式(2)は複雑な制約条件と簡単な目的関数で構成され、構造解析を必要とする制約条件値の算定に比較し目的関数値の計算はごくわずかですむ。この特性から解法の効率化のひとつの方策として構造解析回数を減少させることが考えられる。

式(2)の問題は設計変数のとり得る値に関する強い制約がついた連続的問題とみなすことができる。

設計変数: X	
目的関数: $F_i(X) \rightarrow \min. (\max.)$ ($i=1..I$)	(1a)
制約条件: $G_j(X) \leq 0$ ($j=1..J$)	(1b)
設計変数: X	
目的関数: $W(X) \rightarrow \min.$	(2a)
制約条件: $G_j(X) \leq 0$ ($j=1..J$)	(2b)
$W^c \leq W^{opt} \leq W^b$	(3)

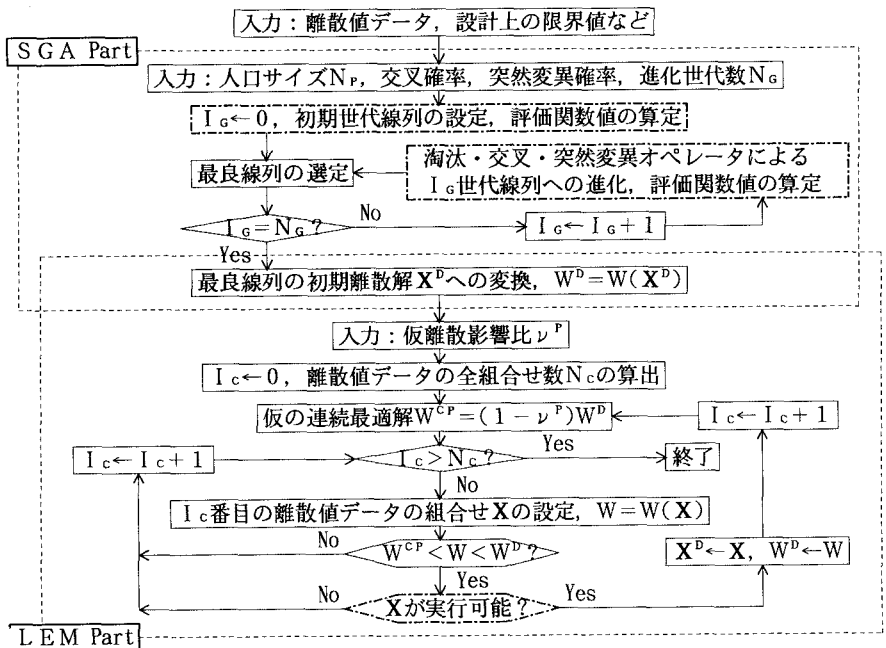


図-1 SGA + LEMによる離散最適解探索アルゴリズム

般に、連続的問題の設計空間が諸制約条件によって狭められると最適な目的関数値は大きな値として得られる。よって、 W^c を式(2)において設計変数をすべて連続量と仮定した問題の最適解(連続最適解)の目的関数値、 W^{op} を離散最適解の目的関数値、 W^D を何らかの方法により得られた可能離散解の目的関数値とすると、式(3)の関係が成立つ。すなわち、式(3)を用いてある離散解が最適離散解の候補となり得るか否かの判断ができ、否の場合に構造解析が省略可能となる。この関係を導入した列挙法をLEMと名付けたが、(i)初期離散解 W^D の設定方法、(ii)式(2)が非線形計画問題の場合、連続最適解 W^c の探索および最適性の保証の問題点が指摘される。

3. SGA+LEM 上記SGAとLEM各々の長所を生かし欠点を補うため次の2点を具体化して図-1に示す解法アルゴリズムを構築した。①SGAを用いて初期離散解 W^D を決定する。②真の連続最適解 W^c の代わりに、 $W^{c^p} = (1 - \nu^p)W^D$ を仮の連続最適解とする(ただし、 $0 \leq \nu^p \leq 1$)。図-1において一点鎖線枠が構造解析を必要とする手続きを示す。

4. 数値計算例 図-2に示す3部材トラスの応力制約のみの最小重量設計を行う($P=20.0\text{tf}$)。引張部材①、②と同様に圧縮部材③の応力度の設計上での限界値は 1400kgf/cm^2

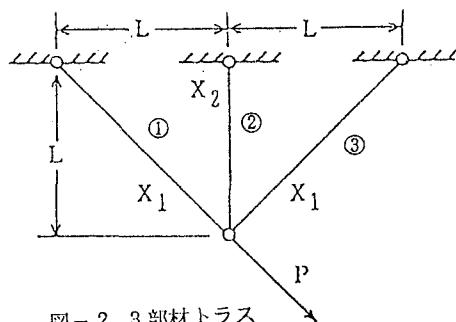


図-2 3部材トラス

に固定した。ここに、 $X_{1,2}$ は部材断面面積(設計変数)で、 $X_{1,2}$ に共通な40種の使用可能離散値データを表-1に示す³⁾。列挙法により本問題の最適解を $(X_1, X_2) = (11.17, 6.465)\text{cm}^2$ 、 $W = 38.06\text{Lcm}^2$ と得た。

本提案法ではSGA partで得られる初期離散解 W^D およびLEM partの ν^p の設定が、得られる解の確実性・効率性に影響するので、表-2に示す諸条件下の設計を行った。すなわち、SGA partではコーディング形式はグレイコード⁴⁾、交叉確率60%、突然変異確率1%を用い、人口数 N_p および進化世代数 N_g はSGA partにおける構造解析回数($= N_p \times N_g$)が約50, 100, 150となるよう設定した。

表-2において「判定」の○は真の離散最適解が得られた場合であり、 N_A 、 N_R はLEM partで必要とした構造解析回数と改良離散解の更新回数を示す。いずれの場合でも ν^p を大きく与えると式(3)を満足する領域が拡張され N_A も増加するが、真の離散最適解が得られやすくなる。ただし、 $[N_p, N_g] = [10, 5]$ 、 $[50, 1]$ では初期離散解がかなり大きな値として得られたため $\nu^p \leq 10\%$ では最適解が得られない。一方、 $[50, 3]$ では初期離散解が真の離散最適解に一致し、LEM partは結果的に離散最適解を検証している。また、真の離散最適解が得られたほとんどの場合においてLEM partよりSGA partの方が必要構造解析回数が多いこと、およびSGA partで良好な初期離散解が得られる場合には小さな ν^p で効率的にLEM partが実行されることから、本提案法の効率化には特にSGAに関する改善が必要と考えられる。

参考文献 1)三原, 千々岩他: G Aによる離散的構造設計に関する基礎的検討, 平成5年度西部支部講演概要集, 1994. 2)三原, 千々岩: 鋼管杭基礎構造の離散的な最小費用設計法に関する一研究, 土木構造・材料論文集, 第9号, 1993. 3)川崎製鉄㈱: H型鋼構造設計便覧, 1983. 1. 4)星野力: 遺伝的アルゴリズム[I]その信仰と現実, bit, Vol. 24, No. 9, 1992.

表-1 離散値データリスト

1.238	1.583	1.799	2.291	2.919
3.345	3.510	4.025	4.205	4.564
5.760	6.465	7.100	7.349	7.591
8.636	9.085	9.892	10.69	11.17
12.26	12.52	15.17	15.40	15.52
17.07	19.12	19.13	22.72	25.16
25.22	26.32	29.17	29.94	30.01
34.79	34.82	39.61	40.40	46.03

表-2 計算結果(人口数 N_p 、世代数 N_g 、仮離散影響比 ν^p の影響)

N_P	N_G	ν^p	判定	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
10	5	判定	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		N_A	9	10	15	17	25	28	28	37	41	47	
	N_R	2	2	5	3	3	3	2	3	2	2		
	10, 15	判定	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	
N_A		7	11	20	26	33	42	51	60	65	77		
N_R	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2		
30	2, 3, 5	判定	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	
		N_A	10	13	21	24	29	38	43	52	62	72	
N_R	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3		
50	1	判定	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		N_A	9	10	15	17	25	28	28	37	41	47	
	N_R	2	2	5	3	3	3	2	3	2	2		
	2	判定	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	
		N_A	10	13	21	24	29	38	43	52	62	72	
	N_R	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3		
3	判定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	N_A	7	14	23	32	41	46	56	66	70	82		
N_R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		