

I-17

いくつかの離散的要因が混在する構造設計へのGAの応用について

室蘭工業大学工学部 学生員 鹿 汧麗
 北海学園大学工学部 正会員 杉本 博之

1. まえがき

近年、科学技術の急速な発展によって、構造設計はますます大規模化、高複雑化してきた。昔は、構造物が極めてモデル化され、単一的な基準によって設計されることが多かったが、今は様々な要因を含めて、より現実の世界に近いモデルを用いる構造設計が要求される。例えば、トラス構造物の設計において、各部材の断面積、鋼種及び構造物の形状のほかに、連続変数と離散変数、既製形鋼と非既製形鋼（修正部材等が対応するが、本研究ではオーダメード鋼とする）の使用、部材断面のばらつきによってコストアップなどの要因も、実際の設計の観点から考慮する必要が出てくる。こうなると、離散的な要因がいくつか存在し、設計を評価する目的関数が複雑かつ離散的な関数になることが多い。このような問題は、連続変数と連続関数を取り扱う数値計画法では対応できない。また、これらの離散的な要因が相関しているため、それぞれを分離して考慮する段階的な設計法では、必ずしも真の設計を反映するとは限らない。

そこで、本研究では、実際の設計によく見られる複数の離散的な要因を含めて構造設計をモデル化する。このようないくつかの離散的な要因が混在する、より大規模な構造設計へのGAの応用について検討し、数値計算例によって、その有効性を示すと共に、問題の特徴に応じて単純GAにごく簡単な手続き（生長オペレータ¹⁾）を加えて、GA設計の信頼性向上も図る。

2. いくつかの離散的な要因が混在する構造設計問題

2.1 オーダメード鋼の使用と部材断面の不揃い²⁾

トラス、平面骨組構造物の設計では、各部材の断面積は連続的な変数として扱われて来た。用いる部材が鋼管の場合、板厚は（例えば、鋼管の板厚の場合）JIS の定めにより離散量であるため、板厚は離散量を用いたとしても、断面半径は連続量になり³⁾、その断面はオーダメード鋼とならざるを得ない。JIS には種々の断面が定められており、それらの既製形鋼を用い得る構造設計であれば、少なくともコストの面から、既製形鋼を用いない理由は見つけづらい。しかし、依然として連続量を変数とする最適設計の研究はなされているし、また、コスト面の上昇は断面選択の合理性によりカバーできるという可能性もないわけではない。そのため、本研究では、既製形鋼とオーダメード鋼の両方を選択できるように問題を設定し検討した。

本研究では、基礎的研究として、まずトラス構造物の設計を対象とし、各部材の断面形状は円管としている。設計変数は、各部材の鋼種と部材断面積である。各部材の使用鋼種は、SS400、SM490、SM490Y、およびSM570の4種類から選択するものとする。各鋼種の基本的な値を表-1に示した。

上記のように、部材の断面積が連続的な変数として扱われる場合、実際の設計の観点から、鋼管の板厚は{0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、1.1、1.2 (cm)}より選択することとし、それぞれの板厚に対応し、局部座屈を考慮する必要のないぎりぎりの半径を各鋼種に対応させて計算し、それらから計算される36の部材断面積を、オーダメード鋼のための断面積とした。それに、JISG3444に定められている断面の中から選ばれた28種類の鋼管断面と合わせて64種類となり、それを断面積の候補とした。それらは表-2に示される。表中、*がついている断面はオーダメード鋼である。

一方、構造設計においては、最小重量設計はよく行われるが、その結果、得られた各部材の断面は異なる

Application of GA to the structural optimization with several discrete factors
 by LU Bianli, Hiroyuki SUGIMOTO

ことが多い。しかし、異なる断面を採用するより、なるべく同種類の部材内（例えば、上弦材など）では、同じ断面を使用するほうが、特に大規模な構造物の加工と施工において、コストを減らすことが考えられ、より実的である。そこで、構造内の同一グループに属する部材であれば、同じ種類を用いる方がコスト減になるように目的関数を設定し、その影響も検討することにした。

これらの、既製形鋼とオーダメイド鋼の選択、および部材不揃いの影響を同時に考慮する問題を設定し、GAの応用を試みた。

2.2 構造設計の定式化

本研究の最適化問題は、以下のように定式化される。

○目的関数：

$$O = \sum_{k=1}^{NG} U_k \cdot \left\{ \sum_{i=1}^{NJ} N_d(I^a_{ik}) \cdot \rho_c(I^m_{ik}) \cdot A(I^a_{ik}) \cdot L_{ik} \right\} \quad (1)$$

○制約条件：

$$g_j = g_j \{I\} \leq 0 \quad (j=1, m) \quad (2)$$

○設計変数：

$$\{I\} = \{I^a_1, I^a_2, \dots, I^a_n, I^m_1, I^m_2, \dots, I^m_n\} \quad (i=1, n) \quad (3)$$

ここで、 U_k と N_d は上記のように、部材 k グループでの断面の不揃いの程度に応じた係数と断面ランク I の入手難の係数である。NGは部材グループの数、NJは k グループ内の設計変数の数である。 ρ_c は材料コスト (yen/cm³)、 $A\{I_{ik}\}$ は k グループの設計変数 i の断面積 (cm²)、 L_{ik} は k グループの設計変数 i にリンクされている部材長の総和 (cm) である。mは制約条件の数である。各部材の材料は断面と共に設計変数にしたため、設計変数の数は $2n$ で表すこととする。

オーダメイド鋼はユーザーの特注により工場で生産されることを考えると、既製型鋼より、制作単価が高くなることが考えられる。それを、本研究では、式 (1) の N_d で考慮することとした。 N_d は、次式で定義される。

$$\begin{cases} N_d = 1 & : \text{既製形鋼} \\ N_d = (1 + \nu_d) (\nu_d > 0) & : \text{オーダメイド鋼} \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 ν_d は設計者の意志によって決められる断面の入手難の係数である。

一方、部材断面の不揃いを考慮する場合、同種類の部材（部材グループ）内に使用される異なる断面の数から、その部材グループの断面不揃い程度を表すことができる。本研究では、部材グループの断面の不揃い程度に応じた係数を式 (5) で計算する。

$$U_k = (N_{rk} - 1) \cdot \nu_u + 1 \quad (5)$$

ここで、 U_k は部材 k グループで用いられる断面の不揃いの程度に応じた係数である。 N_{rk} は部材 k グループ内で用いられる断面種類の数、 ν_u は断面の不揃いによるコストアップの程度を表す係数である。

このような問題は、そもそも設計変数は離散量であるが、オーダメイド鋼の入手難と部材断面の不揃いを加えて、さらに目的関数も非連続な関数となる。

3. GAの応用

3.1 GAのコーディングと交叉オペレータ

GAはダーウィンの自然淘汰説を簡単な数理モデル化し、最適設計の近似的な解法であり、なんらかの離散的な条件を含む種々の最適化問題に柔軟に対応でき、理論が簡単で、プログラミングが容易などの特徴を持っている。

GAにおいては、設計変数のコーディングと交叉オペレータは問題によって若干異なる。本研究の問題は

各部材の材料も断面積と共に設計変数にしたため、設計変数は2種類になる。そこで、線列の前半は各部材の断面と、後半は各部材の材料と対応させるようにコーディングした^{4) 6)}。普通の組み合わせ問題では、一点交叉が良く用いられるが、それに基づいて、または本研究のコーディングを考慮して、2点交叉を用いることにした。つまり、線列の前半と後半にそれぞれ一か所ずつ切断し、遺伝子を入れ替える交叉である。突然変異は予め決めた確率でランダムに行なわれ、淘汰は基本的にルーレット戦略を用いて行われる。

3.2 単純GAの信頼性向上について (生長オペレータ)

繁殖・淘汰、交叉および突然変異からなる単純GAは、理論が簡単で、一般性があり、容易に種々の最適化問題に応用できるが、一方、安定的に良好な解を得ることが難しいという点も指摘されている。したがって、問題に応じてその信頼性向上のため何らかの工夫が必要である。本研究の問題では、オーダメード鋼・既製型鋼の使用と部材グループ内の断面の不揃いを同時に考慮している。式(4)に定義されたように、オーダメードの鋼の入手が難しい場合、入手難の係数 ν_a を0より大きく設定する。または、同種類部材グループ内の断面が異なることによって、加工と施工に不便をもたらす場合、それによってコストアップ程度を表す係数 ν_s を0より大きく設定する。GAは目的関数の値のみによって設計を評価するので、目的関数に設定された、この二つの係数に反応することが考えられる。しかし、大規模な設計問題には単純GAの交叉オペレータによって満足な結果を得ることが期待できない。そこで、本研究の問題によって単純GAに簡単な改良を加えることにした。つまり、線列毎に低い確率で次の改良を行った。

まず、ランダムに一つの部材グループを選択する。そして、そのグループ内の各部材の材料ランクは、グループの材料ランクの平均値に揃える。材料ランクの平均値を求めるとき、切り捨てと切り上げはランダムに行われる。それから、グループ内の各部材の断面積の平均値を計算し、すべての部材にその平均値に一番近い断面ランクを与える。断面の入手難を考慮する場合、式(6)で計算された断面積Aに对照するランクを与える。

$$A = \min \{ N_a(I_i) \cdot A(I_i), N_a(I_j) \cdot A(I_j) \} \quad (6)$$

ここで、 i と j は部材グループの断面積の平均値に一番近い、上下の2つのランクである。

4. 数値計算例

4.1 設計対象と設計条件

本研究では、右図の81部材トラス構造物の設計例を取り、GAの応用について検討した。この設計例において、構造物はセンターラインに対して対称とする。荷重条件は2つと設定し、最上端の6節点に垂直荷重 $Q=70\text{tf}$ と水平荷重 $F=5\text{tf}$ が載荷されるほかに、点線で表した水平荷重 $W=5\text{tf}$ もすべての節点に載荷されている。各部材の応力は制約条件とし、または最右上端の節点の水平変位も制約条件として考慮し、20cmに制約している。

構造は対称構造なので、対称位置にある部材は同一断面とする。したがって、図-1に示した最初の43個の部材の断面と材種が設計変数となる。オーダメード鋼と既製型鋼の断面ランクは表-2に示すように64種類あり、材種は表-1に示した4種類ある。この問題においての設計の組合せは、 $43^{64} \times 43^4$ の数に上る。

交叉の確率は60%、突然変異の確率は5%、最大世代数は200

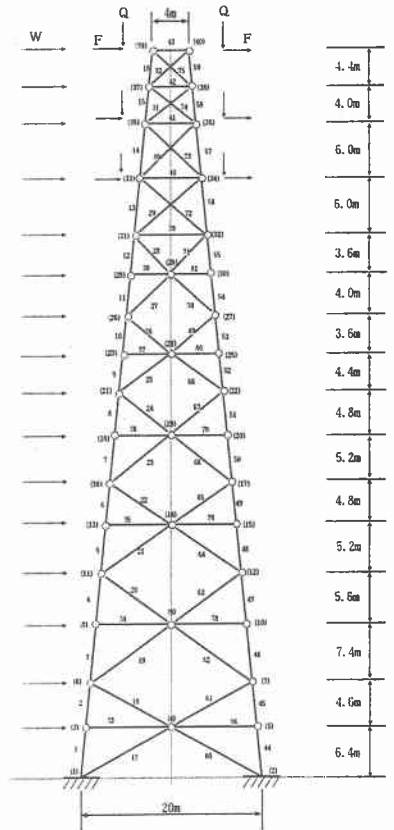


図-1 81部材トラス構造

表-1 使用材料及び特性

material kind	σ_{1a} (kgf/cm ²)	ρ_c (yen/cm ³)
1 (SS400)	1400	1.8
2 (SM490)	1900	2.0
3 (SM490Y)	2100	2.1
4 (SM570)	2600	2.3

表-2 使用断面ランク

rank	断面積	rank	断面積	rank	断面積	rank	断面積
1	24.63*	17	80.43	33	163.94	49	259.37
2	29.94	18	89.35*	34	167.10	50	262.69*
3	34.68*	19	90.64	35	175.58*	51	278.69
4	38.36	20	98.52*	36	179.10	52	300.31*
5	38.48*	21	100.85	37	186.27*	53	310.72
6	39.71*	22	106.22*	38	195.37	54	311.02*
7	49.76*	23	111.97*	39	199.01*	55	312.15*
8	54.08	24	121.61*	40	201.03*	56	319.23
9	54.19*	25	124.69*	41	209.42	57	343.82
10	55.42*	26	133.61	42	216.77*	58	349.45
11	62.05*	27	138.73*	43	217.84	59	357.39*
12	67.55	28	138.83	44	221.67*	60	376.33*
13	70.21	29	148.78	45	221.67	61	400.52
14	75.43*	30	152.40*	46	238.15	62	447.87*
15	77.75*	31	153.94*	47	248.19*	63	451.59
16	78.04*	32	158.84*	48	251.92*	64	502.65

表-3 部材グループと設計変数の関係

group	1	2	3	4	5	6	7	8
design variable	1	7	13	17	23	29	33	39
	2	8	14	18	24	30	34	40
	3	9	15	19	25	31	35	41
	4	10	16	20	26	32	36	42
	5	11		21	27		37	43
	6	12		22	28		38	

表-4 最小重量設計の結果 ($\nu_d = 0$ 、 $\nu_u = 0$)

population size	group of design variables								objective (10 ⁴)	入手難係数 = 0.0 不揃い係数 = 0.0
	1	2	3	4	5	6	7	8		
120	44* 3	49 1	27* 3	18* 4	11* 1	35* 3	2 3	36 1	1390.9 (12477)	
	58 3	49 2	25* 2	36 1	12 2	34 1	5* 1	13* 1		
	44* 2	45 1	16* 3	21 2	16* 1	35* 3	1* 1	44* 2		
	48* 3	33 3	9* 1	19 2	9* 2	20* 1	7* 2	2 3		
	56 2	37* 4		34 1	24* 1		1* 2	35* 1		
40* 4	49 1		16* 2	16* 3		1* 1				
160	52* 1	51 1	34 2	18* 1	7* 1	7* 1	1* 1	8 1	1126.3 (18307)	
	48* 2	35* 3	25* 1	18* 3	7* 1	31* 1	1* 3	10* 1		
	52* 1	46 1	17 1	13 1	36 1	5* 1	8 3	19 1		
	51 2	38 2	10* 1	21 1	5* 3	17 1	4 1	1* 4		
	38 3	29 3		20* 1	14* 1		13 1	7* 3		
46 1	26 4		7* 1	7* 4		20* 3				
200	60* 1	36 2	45 1	36 1	15* 1	11* 2	1* 1	17 3	1230.1 (24172)	
	55* 2	44* 1	35* 2	16* 1	17 1	6* 1	5* 1	6* 1		
	42* 2	44* 1	11* 2	35* 1	8 3	26 1	1* 1	8 1		
	30* 4	50* 1	12 1	19 1	13* 1	36 1	4 1	2 1		
	56 1	34 3		13 1	14* 1		3* 1	15 1		
52* 1	33 3		20* 1	11* 3		13 1				

表-5 入手難と断面不揃いを考慮した結果 ($\nu_d = 0.1$ 、 $\nu_u = 0.005$)

population size	group of design variables								objective (10 ⁴)	入手難係数 = 0.1 不揃い係数 = 0.005
	1	2	3	4	5	6	7	8		
120	50* 1	43 2	38 1	18* 1	12 1	10* 1	1* 1	2 1	1079.3 (15693)	
	49 1	43 2	34 1	17 1	12 1	6* 1	1* 1	2 1		
	49 1	43 2	38 1	19 1	12 1	13 1	1* 2	2 1		
	49 1	43 2	12 3	17 1	12 1	10* 1	1* 1	2 1		
	49 1	43 2		17 1	12 1		1* 1	2 1		
49 1	43 1		14* 1	6* 1		3* 2				
160	51 1	38 2	43 1	19 1	11* 1	7* 1	1* 1	8 2	1061.2 (20990)	
	49 1	38 2	27* 2	19 1	12 2	6* 2	2 1	8 2		
	49 1	38 2	22* 1	19 1	7* 1	4 3	2 1	8 2		
	49 1	41 3	9* 1	19 1	8 2	10* 2	2 1	8 2		
	49 1	38 1		19 1	5* 2		2 1	8 2		
49 1	38 2		12 1	9* 2		1* 1				
200	51 1	38 2	45 1	19 1	12 1	7* 2	1* 1	1* 1	1077.3 (26363)	
	49 1	38 2	45 1	19 1	12 1	6* 2	1* 2	7* 1		
	49 1	38 2	21 1	19 1	12 1	2 2	2 2	3* 1		
	49 1	38 2	41 1	19 1	12 1	6* 1	1* 2	12 1		
	49 1	34 2		19 1	12 1		1* 2	8 1		
49 1	34 2		12 1	12 1		1* 2				

表-6 入手難と断面不揃いを考慮した結果 ($\nu_d = 0.5$ 、 $\nu_u = 0.005$)

population size	group of design variables								objective (10^4)	入手難係数 = 0.5 不揃い係数 = 0.005								
	1	2	3	4	5	6	7	8										
120	51	1	36	2	26	1	19	1	17	1	17	1	1*	2	5*	4	1152.3 (15020)	
	51	4	36	1	17	1	19	2	17	1	17	2	8	1	38	3		
	51	3	36	1	33	3	19	1	17	1	1*	1	8	2	38	2		
	51	1	36	2	29	1	21	3	17	1	2	1	8	1	4	1		
	51	1	36	4			13	3	17	4			8	4	8	2		
	51	1	36	2			7*	1	17	1			8	3				
160	51	1	38	2	38	1	26	1	13	1	13	1	2	1	17	1	1186.5 (20880)	
	49	1	38	2	34	1	26	1	13	1	13	1	8	1	4	1		
	49	1	38	2	33	1	26	1	12	1	1*	1	12	1	17	1		
	49	1	38	2	9*	1	26	1	12	1	12	1	12	1	17	2		
	49	1	38	2			1	17	1	12	1		4	1	13	2		
49	1	38	2			1	12	1	12	1		12	1					
200	49	2	38	2	33	2	26	1	19	1	12	1	2	1	5*	1	1178.8 (26301)	
	49	1	38	2	34	1	26	1	19	1	12	1	1*	1	5*	1		
	49	1	38	2	12	2	26	1	19	1	4	1	2	1	5*	1		
	49	1	38	2	13	1	26	1	19	1	12	1	2	1	5*	1		
	49	1	38	2			26	1	19	1			2	1	5*	1		
	49	1	38	2			12	1	19	1			2	2				

表-7 入手難と断面不揃いを考慮した結果 ($\nu_d = 0.1$ 、 $\nu_u = 0.05$)

population size	group of design variables								objective (10^4)	入手難係数 = 0.1 不揃い係数 = 0.05								
	1	2	3	4	5	6	7	8										
120	51	1	41	2	38	2	26	1	17	1	12	1	1*	1	9*	1	1250.1 (12082)	
	51	1	41	2	38	2	26	1	17	1	12	1	1*	1	9*	1		
	51	1	41	2	38	2	26	1	17	1	1*	1	1*	1	9*	1		
	51	1	41	2	6*	2	26	1	17	1	13	1	1*	1	9*	1		
	51	1	41	2			26	1	17	1			1*	1	9*	1		
	51	1	41	2			26	1	17	1			1*	1				
160	51	1	38	3	33	2	23	1	17	1	12	1	2	2	5*	1	1195.1 (19714)	
	51	1	38	3	21	2	23	1	17	1	12	1	1	2	5*	1		
	51	1	38	3	12	2	23	1	17	1	12	1	1	2	5*	1		
	51	1	38	3	9*	2	23	1	17	1	12	1	1	2	5*	1		
	51	1	38	3			23	1	17	1			1	2	5*	1		
	51	1	38	3			23	1	17	1			2	2				
200	51	1	38	2	33	2	19	1	21	1	12	1	1*	2	1*	1	1159.0 (23446)	
	51	1	38	2	33	2	19	1	21	1	12	1	1*	2	4	1		
	51	1	38	2	33	2	19	1	21	1	12	1	1*	2	5*	1		
	51	1	38	2	33	2	19	1	21	1	12	1	1*	2	5*	1		
	51	1	38	2			19	1	21	1			1*	2	5*	1		
	51	1	38	2			19	1	21	1			1*	2				

表-8 入手難と断面不揃いを考慮した結果 ($\nu_d = 0.5$ 、 $\nu_u = 0.05$)

population size	group of design variables								objective (10^4)	入手難係数 = 0.5 不揃い係数 = 0.05								
	1	2	3	4	5	6	7	8										
120	51	1	46	2	33	2	26	1	26	1	12	1	1	2	19	1	1346.8 (13168)	
	51	1	46	2	33	1	26	1	26	1	12	1	12	2	19	1		
	51	1	46	2	10	3	26	1	26	1	12	1	12	2	19	1		
	51	1	46	2	13	1	26	1	26	1	2	1	12	2	19	1		
	51	1	46	2			26	1	26	1			12	2	19	1		
	51	1	46	2			26	1	26	1			12	2				
160	51	1	38	3	41	1	26	1	26	1	12	1	4	1	2	2	1316.3 (19714)	
	51	1	38	3	41	1	26	1	26	1	12	1	4	1	2	2		
	51	1	38	3	41	1	26	1	26	1	12	1	4	1	2	2		
	51	1	38	3	9*	1	26	1	26	1	12	1	4	1	2	2		
	51	1	38	3			26	1	10*	1			4	1	2	2		
	51	1	38	3			26	1	10*	1			4	1				
200	46	2	46	2	49	3	26	1	17	1	13	1	8	1	8	1	1301.2 (21229)	
	46	2	46	2	33	1	26	1	17	1	13	1	8	1	8	1		
	46	2	46	2	17	3	26	1	17	1	13	1	8	1	8	1		
	46	2	46	2	17	3	26	1	17	1	2	1	8	1	8	1		
	46	2	46	2			26	1	17	1			8	1	4	1		
	46	2	46	2			26	1	17	1			8	1				

世代とし、外点ペナルティ関数を用いて、ペナルティ係数は 15×10^6 の固定値とする。断面の入手難と断面の不揃いを考慮する場合、上記の改良の手続きを5%の確率で行う。つまり世代毎に、人口サイズの5%の線列は上記の手続きで改良される。最大世代数と共に、最良線列の数は人口サイズの1割以上になる、また最良設計が連続的に20世代で改善されないの、3条件が収束条件である。図-1に示した81部材トラス構造物を8個の部材グループに分け、部材グループと設計変数の関係を表-3に示している。

4.2 計算結果の比較

式(4)と式(5)の中に定義された入手難の係数 ν_a と断面の不揃い係数 ν_u は実際の設計条件によって決められるべきであるが、本研究の計算では、いくつかの値を設定して、GAはそれらの値にどう反応するかについて検討する。

表-4には、断面ランクの入手難の係数 $\nu_a = 0$ と断面の不揃い係数 $\nu_u = 0$ の結果、いわゆる最小重量設計の結果を示している。人口サイズは、120、160、200の3種類ある。各欄毎に、各部材グループ欄の下の欄にある左右2種類の数字は、それぞれ左がそのグループ内の各設計変数の断面ランクであり、右は材種ランクである。*がついているランクはオーダメード鋼である。各目的関数値欄の括弧内の数字は、構造解析回数である。表によって、構造物の最小重量設計の結果では、オーダメード鋼が多数採用され、部材グループ毎に断面積がそれぞれかなり異なることが良く分かる。

表-5には、オーダメード鋼の入手難係数 $\nu_a = 0.1$ 、断面の不揃い係数 $\nu_u = 0.005$ の結果を示している。最小重量設計の結果と比較して、オーダメード鋼のランクが減り、部材グループ毎に、部材の断面ランクが揃ってくる傾向が現れたことが分かる。

入手難の係数 ν_a をさらに0.5に高めた結果は、表-6に示されている。 $\nu_a = 0.1$ の結果より、オーダメード鋼の断面ランクが更に減ってきたことが分かる。

表-7と表-8には断面の不揃い係数を大きくし、 $\nu_u = 0.05$ の場合の、入手難の係数 $\nu_a = 0.1$ 、 $\nu_a = 0.5$ 、それぞれの結果を示している。断面の不揃い係数 $\nu_u = 0.005$ の結果(表-5と表-6)と比較して、部材グループ毎に、各部材の断面と材料がほぼ揃ってきていることが良く分かる。また、入手難の係数の増大によって、オーダメード鋼の断面ランクも減ってくることも分かる。

5. あとがき

構造物の設計では、オーダメード鋼の入手難と部材断面の不揃いによって構造物全体の製造コストが高くなることは、実際の設計にはよくある。これらの要因を設計を評価する目的関数の中に取り込むことによって、設計変数が離散的であるのに加えて、目的関数は複雑かつ不連続になり、これまでの最適設計手法では対応できなくなる。本研究では、このようないくつかの離散的要因が混在する大規模な構造物の設計にGAの応用を試み、単純GAに簡単な改良の手続きを加えることによって、かなり良好な結果を得ることを、数値計算例により示した。もちろん、これらの結果は真の解である保証がない。しかし、GAは目的関数に設定したいくつかの係数により敏感に反応し、比較的合理的な結果が得られたと考えられる。

参考文献

- 1) 杉本博之・鹿沔麗・山本洋敬：離散的構造設計のためのGAの信頼性向上に関する研究、土木学会論文集、No. 471/I-24、pp. 67-76、1993。
- 2) 杉本博之・鹿沔麗：非連続目的関数を有する構造設計へのGAの応用について、第3回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集、pp. 105-116、1993。
- 3) 谷脇一弘・大久保祐二：静荷重および地震荷重を考慮したトラス構造物の総合的最適化について、土木学会第50回年次学術講演会論文集、pp. 480-481、1995。
- 4) 鹿沔麗・杉本博之：材料・断面同時選択問題へのGAの応用に関する基礎的研究、第4回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集、(掲載予定)、1995。
- 5) Bianli, L. & H. Sugimoto: Application of GA to Simultaneous Selection of Material and Section, 2nd China-Japan Symp. on Optimization of Structural and Mechanical Systems, pp. 144-149, 1995。