

GAを用いた離散的2目的最適構造設計法に関する基礎的考察

九州共立大学工学部 学生員 市丸 博 教
九州共立大学工学部 正会員 三原 徹 治
第一復建(株) 正会員 千々岩浩巳
九州共立大学工学部 学生員 當 間 亮

1. はじめに 問題を構成する変数がすべて連続数の連続的多目的最適化問題の解は一般にトレードオフの関係にある解集合(Pareto 解集合)を形成する。その選考解の選定は、満足化トレードオフ法¹⁾によって各目的に対して設定した理想点および希求水準から各目的の満足度を算出し、その最大のものを最小化するという最適性規準(=Zmin 規準)に基づく手続きを経て、結果的に各満足度が均一化された解として Pareto 解のひとつを得るものである。しかし離散的な多目的問題の場合には Pareto 解集合に相当するものも離散的となり(=Pareto 解群)、Zmin 規準による解が必ずしも意思決定者を満足させる解とはならないこともある。このため、連続最適解が得られることを前提に満足度空間上において連続最適解が有する満足度と各離散解が有する満足度との偏差Nを最小にする離散解を最適解とするNmin 規準を提案し²⁾、さらに連続最適解を得ることができない場合の最適性規準として Bmin 規準を提案した³⁾。先の研究では、構造最適化問題における Bmin 規準によるトレードオフ手法の可能性を模索するため、比較的単純な離散的な多目的構造最適化問題を設定し、列挙法によって Pareto 解群を探索し、得られた Pareto 解群に対して Spread Sheet 上に構築したトレードオフツールによる離散的 Pareto 解の特性について検討した⁴⁾。

本研究では Bmin 規準による解を効率的に探索するため、交配個体選択 GA (scsGA)⁵⁾を用いた2段階手法を提示し、数値実験によりその解法特性を分析した。

2. Bmin 規準 著者らが先に提案した Bmin 規準とは式(1)に示すB値を最小にする解を最適解と判定するものである。

$$B = \sum (Z^A - Z_i^d)^2 + \sum (Z^W - Z_i^d)^2 \quad (1)$$

ここに、 Z_i^d はi番目の目的に対する離散解の満足度、 Z^A および Z^W はZmin 規準で最適と判定された離散解の満足度の算術平均値と加重平均値である。

3. 数値実験対象問題と Pareto 解群の探索 図-1に示す10部材トラス(P=196.1kN, L=100cm)の構造体積Vおよび塔頂変位Uの最小化を目的関数とし、制約条件には応力制約のみを考慮する2目的最適化問題を数値実験対象問題とした。ここに、圧縮部材の設計上の限界値 σ_L は本来細長比の影響を受けるが、簡単のために一律 $\sigma_L = -141.2\text{N/mm}^2$ に固定し、引張部材については限界値 $\sigma_U = 170\text{N/mm}^2$ とした。設計変数 $X_1 \sim X_6$ は各部材の断面積で、その離散値データは表-1に示す16種類とした。ただし設計変数 $X_4 \sim X_6$ についてはランク7~16の10種類とした。

この対象問題の総組合せ数 40,90,600 組(=10³×16³)に対して構造解析を行い、応力制約を満足する可能解 885,421 組を抽出するとともにそれぞれの構造体積V値および塔頂変位U値を求めた。この可能解から最終的に251組の Pareto 解群を探索した。

キーワード: GA (遺伝的アルゴリズム), 最適構造設計, 多目的最適化, 離散的最適化

連絡先: 〒807-8585 北九州市八幡西区自由ヶ丘 1-8 Tel093-693-3230

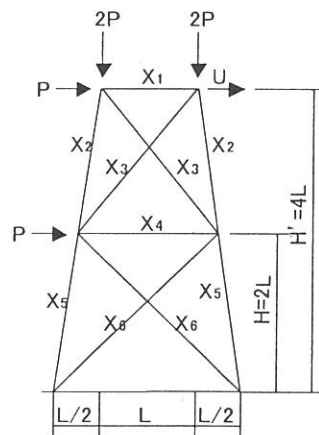


図-1 10部材トラス

表-1 離散値データ

No.	A	No.	A	No.	A
1	22.72	7	30.01	13	49.27
2	25.16	8	34.79	14	52.35
3	25.22	9	34.82	15	57.27
4	26.32	10	39.61	16	58.91
5	29.17	11	40.40	—	—
6	29.94	12	46.03	—	—

注) Aは断面積(単位: cm²)

4. 数値実験結果

(1)Pareto 解のみを対象とした Bmin 規準の解: Pareto 解群を対象として Spread Sheet 上に構築したトレードオフツールによって求めた Bmin 規準による解の一例を表-2 に示す. 目的 V および U の理想点を 0.0, 目的 V の希求水準を 70,000 に固定し, 目的 U の希求水準 U_a を変化させたものである. Spread Sheet 上に構築したトレードオフツールは, 与えた U_a 値に対して Zmin 規準による解を求め, 同時に式(1)で算出される B 値を最小にする組合せを探索するものであり, ほとんど一瞬で Bmin 規準による解を探索するが, 先述のように列挙法によって Pareto

解群をあらかじめ探索しておかなければならない.

(2)scsGA による Bmin 規準の解: これに対して scsGA を用いた手法では, 与えた U_a 値に対して, まず scsGA によって Zmin 規準による解を求め, そのうえで Nmin 規準による解を求めるため表面的な計算量は大きいように見えるが, Pareto 解群をあらかじめ探索しておく必要が無いため効率的な手法となっている. 本法によって得られた解はほとんどの U_a 値に対して表-2 と一致した解となり, 本法の妥当性を確かめることができた. ただし, 得られる解が Pareto 解であることを保証されていないため表-3 に示すように 5 ケースで表-2 と一致しない解が得られた. しかし scsGA を用いているためこの問題への対処も容易である.

参考文献

- 1) 亀廻井寿明ほか: 構造最適設計のための改良型満足化トレードオフ法に関する研究, 土木学会論文集, 第 441 号, 1992.
- 2) 三原徹治ほか: 満足化トレードオフ法に基づく離散的 2 目的最適塑性設計に関する基礎的考察, 構造工学論文集, Vol.38A, 1992.
- 3) 三原徹治ほか: 満足度をベースとする離散的 2 目的最適化問題の最適性規準に関する基礎的研究, 第 7 回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, 2001.
- 4) 富間亮ほか: 満足度をベースとした離散的 2 目的構造最適化におけるトレードオフに関する一考察, 第 57 回土木学会年次学術研究会講演概要, 2002.
- 5) 千々岩浩巳ほか: 離散的最適構造設計への交配個体選択 GA の適用に関する一考察, 構造工学論文集, Vol.42A, 1996.

表-2 Pareto 解のみを対象とした Spread Sheet による解

U_a	B 値	構造体積 $V(\text{cm}^3)$	頂点変位 $U(\text{cm})$	設計変数のランク						目的Vの 満足度 Z_v	目的Uの 満足度 Z_u
				X1	X2	X3	X4	X5	X6		
~0.21	0.091927	113,367	0.3538	1	16	16	4	16	16	1.61953	1.68453
0.22	0.003559	112,706	0.3548	1	15	16	4	16	16	1.61009	1.61260
0.23	0.007702	109,612	0.3600	1	15	14	4	16	16	1.56588	1.56504
0.24	0.001764	106,462	0.3647	1	14	15	4	16	13	1.52089	1.51964
0.25	0.001331	103,584	0.3702	1	13	15	4	16	13	1.47977	1.48071
0.26	0.005158	101,052	0.3746	1	14	14	4	16	12	1.44360	1.44093
0.27	0.000395	98,504	0.3800	1	12	13	4	16	13	1.40720	1.40748
0.28	0.002251	96,337	0.3858	1	14	13	4	16	11	1.37625	1.37784
0.29	0.002328	94,194	0.3907	1	10	13	4	16	12	1.34563	1.34728
0.30	0.003336	92,261	0.3947	1	12	12	4	16	11	1.31802	1.31566
0.31	0.000640	90,492	0.4006	1	13	11	4	16	10	1.29274	1.29229
0.32	0.005522	88,813	0.4048	1	12	10	4	16	10	1.26876	1.26485
0.33	0.000661	86,916	0.4096	1	11	11	4	16	10	1.24166	1.24119
0.34	0.012303	85,087	0.4162	1	9	11	4	16	11	1.21553	1.22422
0.35	0.001392	83,982	0.4196	1	11	10	4	16	8	1.19974	1.19876
0.36	0.014913	82,121	0.4261	1	9	11	4	16	9	1.17316	1.18370
0.37	0.003003	81,390	0.4294	1	10	8	4	16	8	1.16271	1.16059
0.38	0.000776	80,166	0.4352	1	7	11	4	16	8	1.14523	1.14528
0.39	0.005092	78,863	0.4408	1	10	9	4	16	7	1.12662	1.13017
0.40	0.007075	77,550	0.4451	1	7	9	4	16	9	1.10786	1.11286
0.41	0.001610	76,824	0.4504	1	9	5	4	16	9	1.09748	1.09862
0.42	0.006412	76,032	0.4543	1	4	8	4	16	8	1.08618	1.08164
0.43	0.000093	74,641	0.4585	1	5	8	4	16	7	1.06629	1.06636
0.44	0.000659	73,994	0.4653	1	5	9	4	15	7	1.05705	1.05752
0.45	0.002718	72,725	0.4684	1	7	7	4	16	7	1.03892	1.04084
0.46	0.001132	71,990	0.4727	1	5	5	4	16	7	1.02842	1.02762
0.47	0.001522	71,204	0.4776	1	4	6	4	16	7	1.01720	1.01612
0.48	0.000784	70,576	0.4842	1	4	7	4	15	7	1.00823	1.00878
0.49	0.002109	69,984	0.4892	1	5	4	4	15	7	0.99977	0.99828
0.50	0.006381	69,286	0.4962	1	4	1	4	16	7	0.98980	0.99245
0.51	0.011872	68,625	0.5031	1	4	1	4	15	7	0.98035	0.98640
0.52~	0.006424	68,286	0.5049	1	5	1	4	15	7	0.97552	0.97097

表-3 得られる解が Pareto 解であることを保証しない scsGA によって得られた Pareto 解以外の解

U_a	B 値	構造体積 $V(\text{cm}^3)$	頂点変位 $U(\text{cm})$	設計変数のランク						目的Vの 満足度 Z_v	目的Uの 満足度 Z_u
				X1	X2	X3	X4	X5	X6		
~0.21	0.066543	115,770	0.3540	1	16	16	12	16	16	1.65386	1.68559
0.23	0.005878	109,219	0.3601	1	15	16	7	16	14	1.56028	1.56572
0.34	0.010267	85,331	0.4165	2	9	11	7	16	11	1.21901	1.22495
0.36	0.011274	82,455	0.4263	1	9	9	7	16	11	1.17792	1.18405
0.40	0.006501	77,794	0.4454	2	7	9	7	16	9	1.11134	1.11346