

2 目的最適構造設計におけるトレードオフの傾向分析のための実験的研究

九州共立大学工学部 学生員 堀之内 陵
 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
 第一復建(株) 正会員 兼 松 建 男

1. はじめに 構造設計における設計変数が離散値として与えられるとき、応力制約を満足したうえで構造重量の最小化(=経済性の追求)と最大変位の最小化(=安全性の追求)を同時に実現する2目的最適化問題の解は離散的 Pareto 解集合を形成する。この離散的 Pareto 解集合から設計者は自らの判断であるひとつの解を選択・意思決定しなければならない。その一助となるものとして著者らは満足化トレードオフ法¹⁾に基づく最適性規準を提案してきた^{2,3)}。この最適性規準を用いると任意の希求水準値に応じた Pareto 解を探索することができ、探索された設計値が設計者の満足できるものでないときには希求水準値を変更して新たな Pareto 解を探索するという、いわゆるトレードオフ作業を容易に行うことができる。

本研究では先に提案した Bmin 規準³⁾によるトレードオフの傾向を実験的に分析することを目的とし、10 部材トラス構造(図-1 参照)の離散的2目的最適化問題に関するトレードオフ作業を複数の被験者に行ってもらい、その結果からトレードオフの傾向分析を試みた。

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 Z_{min} 規準²⁾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. 実験対象問題 図-1 に示す 10 部材トラス($P=196.1\text{kN}$, $L=100\text{cm}$)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 $X_{1\sim 6}$ 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 $X_{4\sim 6}$ についてはランク 7~16 の 10 種類とした。

4. 実験方法

①被験者：九州共立大学大学院工学研究科都市システム専攻学生から 15 名(いずれも満足化トレードオフ法と構造最適化に関してその概要を理解している)。

②被験者へ与える予備知識：実験対象問題には 251 組の Pareto 解が存在し、そのうち最も経済性重視の設計値 $(V, U) = (6.8286[\times 10,000\text{cm}^3], 0.5049[\text{cm}])$ および最も安全性重視の設計値 $(V, U) = (11.3367, 0.3538)$ を与える。

キーワード：離散的2目的最適構造設計問題、トレードオフ作業、傾向分析

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

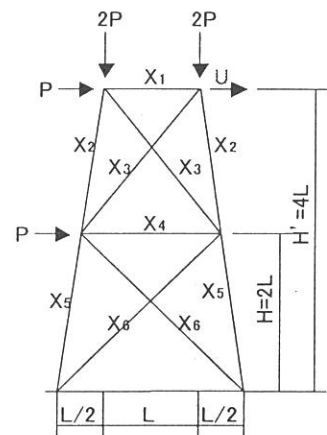


図-1 10 部材トラス

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: cm^2)

③トレードオフ作業：他の被験者との情報交換が行えない環境で、各被験者に任意の希求水準値を設定してもらいそれに対応する Bmin 規準の設計を示す。被験者が満足するまでこの作業を繰返す。

5. 実験結果

表-2 に実験結果の総括表を示す。計 15 人の被験者が行ったトレードオフ作業の回数（試行回数 N）と最終的に意思決定・選択した設計のタイプによる人数分布である。ここに経済性重視の設計とは頂点変位 U の値は少々大きいが構造体積 V 値が比較的小さい設計であり、安全性重視の設計は経済性重視の設計と逆である。経済性および安全性のいずれをも重視していないと判断できる設計をここでは妥協的決定と呼ぶこととする。なお試行回数とは別に、N 回目の解を意思決定した人数を（）書きで示している。また図-2、3 にトレードオフ過程の一例を示している。いずれの図においても、横軸に構造体積 V を、縦軸に頂点変位 U をとっており、小さい四角マークは 251 組の Pareto 解群を、三角マークとそのそばの数字 N は第 N 回目に被験者が設定した希求水準値を、さらに三角マークから伸びた矢印の先端の菱形マークは設定された希求水準値に対応する Bmin 規準による Pareto 解をそれぞれ示している。

表-2 より試行回数の最大は 6 回であり、2 回以下的人数が約半数の 7 人であることからさほど多くのトレードオフを行わないことが認められる。また 10 人が試行回数 2 回以下の設計を最終的に選定していることから、各被験者に「こういう設計を目指そう」という意識が事前にあったことが伺われる。

図-2 に示す終始厳しい希求水準を設定し続けた被験者は全 5 回試行しながら 4 回目の設計を最終的に選択している。これに対して図-3 に示す被験者は与えた希求水準が厳しいものと判断できた時点で意思決定しており、最初に設定する希求水準値によってその後のトレードオフ作業が異なる傾向を示すようである。

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。

表-2 実験結果の総括

試行回数N	経済性重視	妥協的決定	安全性重視
1	2 (3)	2 (5)	1 (1)
2	1 (0)	1 (1)	
3		3 (1)	
4		1 (1)	(1)
5			2 (1)
6		1 (0)	1 (1)
総数	3	8	4

() 内は N 回目の解を意思決定した人数。

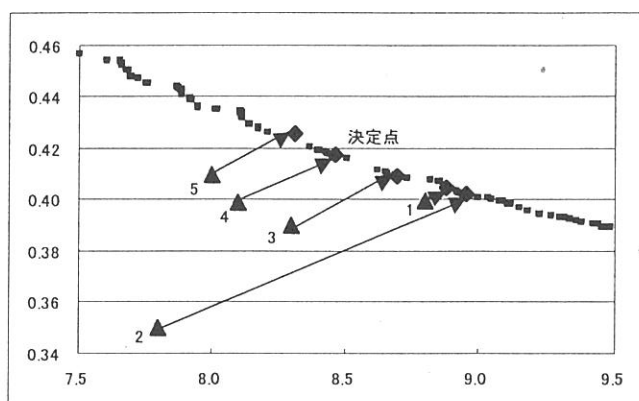


図-2 トレードオフ過程の一例（最初から最後まで厳しい希求水準を設定し続けた例）

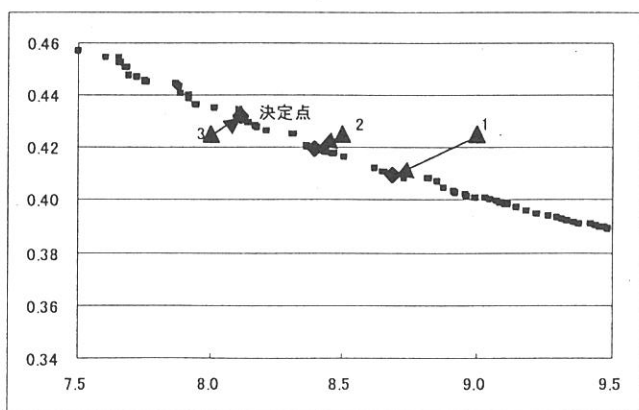


図-3 トレードオフ過程の一例（緩やかな希求水準からスタートし最後に厳しい希求水準を設定した例）