

離散的 2 目的最適塑性設計における最適性規準に関する一考察

九州共立大学大学院 学生員 當 間 亮
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
第 一 復 建 (株) 正会員 兼 松 建 男

1. はじめに 塑性骨組構造の安全性と経済性を同時に追求する 2 目的最適塑性設計手法に関して著者らは設計変数である全塑性モーメントが離散的な場合の解法を先に提示した¹⁾。そこでは満足化トレードオフ法²⁾における満足度に注目し、連続最適解が得られることを前提として Nmin 規準という最適性規準を用いた。著者らは他方、多目的最適構造設計問題の解法の開発にも取り組み、そこでも Nmin 規準の解をベースとして種々の最適性規準を検討してきた³⁾。その検討過程において「Nmin 規準の適用には連続最適解が必要」という前提条件以外に「Nmin 規準による解が必ずしも離散的 Pareto 解であることを保証していない」という問題点が判明した。

本研究では、連続最適解を比較的容易に求めることができる離散的 2 目的最適塑性設計問題に立ち戻り、Nmin 規準の解が離散的 Pareto 解ではない程度の検証をおこなうとともに、連続最適解が得られない場合での適用を考えている Bmin 規準という最適性規準³⁾の有効性を検証するための数値実験を行った。

2. Nmin 規準と Bmin 規準 本研究で用いる最適性規準は、次式で算定される N 値および B 値を最小とする組合せを最適と判定するものである。

$$N = \sum (Z^C - Z_i^d)^2 \tag{1}$$

$$B = \sum (Z^A - Z_i^d)^2 + \sum (Z^W - Z_i^d)^2 \tag{2}$$

ここに、 Z^C は連続最適解の満足度、 Z_i^d は i 番目の目的に対する離散解の満足度、 Z^A は Z_i^d の満足度の算術平均値、 Z^W は Zmin 規準 ($Z = \max Z_i^d$ を最小とする組合せを最適とする規準) で最適と判定された離散解の満足度の加重平均値である。

3. 検討対象問題の設定と列挙法による Pareto 解群の探索

(1)対象問題：図-1 に示す 1 層 2 スパンラーメン (P=10.0tf, L=4.0m) の重量関数 $W (= \sum X_i \cdot L_i, X_i$ は設計変数で全塑性モーメント, L_i は設計変数 X_i に対応する部材の部材長の合計) の最小化および崩壊荷重係数 α の最大化を目的関数とし、塑性解析の静的定理に基づき平衡条件および降伏条件を制約とする 2 目的最適塑性設計問題を検討対象問題とした。設計変数 $X_{1\sim 3}$ の離散値データは表-1 に示すように 31 種類とした。

(2)Pareto 解群の探索：まず、対象問題の総組合せ数 29,791 組(=31³)に対して重量関数値を算出するとともに塑性解析により塑性崩壊荷重係数を求め、2つの目的関数値が他の解に比較して良好ではない非 Pareto 解を除外していく方法により最終的に 251 組の Pareto 解群を探索した。

4. Nmin 規準による解の検討 最小化目的関数である重量関数の理想点と希求水準をそれぞれ 0.0 および 180.0、最大化目的関数である崩壊荷重係数の理想点を 10.0 と固定し、崩壊荷重係数の希求水準 α_A を 0.2 刻みに 0.2~4.0 とした場合、すべての組合せを対象とした Nmin 規準による解はすでに得られている¹⁾。

キーワード：塑性骨組構造、離散的多目的最適化、最適性規準

連絡先：〒807-8585 北九州市八幡西区自由ヶ丘 1-8 TEL093-693-3230

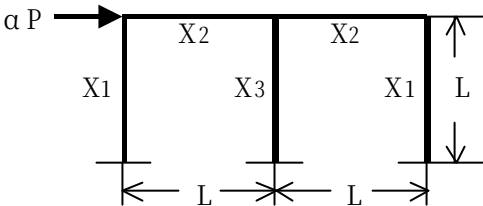


図-1 1層2スパンラーメン

表-1 離散値データ

No.	Mp	No.	Mp	No.	Mp
1	2.102	12	11.400	23	24.96
2	2.448	13	12.600	24	27.12
3	3.696	14	13.008	25	30.72
4	3.768	15	13.392	26	31.92
5	3.768	16	13.560	27	33.84
6	5.016	17	17.184	28	34.80
7	5.904	18	19.320	29	36.00
8	7.416	19	20.616	30	36.72
9	7.656	20	20.832	31	38.64
10	8.784	21	23.040	—	—
11	8.856	22	24.480	—	—

注) Mp は全塑性モーメント(単位：tf・m)

そこで、得られた Pareto 解群のみを対象に全く同じ条件下 Nmin 規準による解を探索し、両者を比較した。

全 20 ケース中 6 ケースで両者が一致しない結果が得られた。表－2 に一致しなかったケースを示す。表－2 において Npareto は Pareto 解群のみを対象にした場合の Nmin 規準の解であり、Nall はすべての組合せを対象としたものである。Zα と Zw はそれぞれ崩壊荷重係数最

表－2 Nmin 規準による解の検討結果

α_A	規準	設計変数値			崩壊荷重 係数 α	重量関数 W	満足度		N 値
		X_1	X_2	X_3			Z α	Zw	
1.4	Npareto	7.656	7.656	13.560	1.444	176.74	0.994930	0.981867	0.000091
	Nall	5.904	5.904	20.832	1.406	177.79	0.999302	0.987722	0.000090
2.0	Npareto	7.656	7.656	17.184	1.578	191.23	1.052750	1.062400	0.000095
	Nall	7.416	7.656	17.184	1.554	189.31	1.055750	1.051722	0.000011
2.2	Npareto	7.416	7.416	19.320	1.595	195.94	1.077513	1.088533	0.000181
	Nall	8.784	8.784	13.392	1.548	194.11	1.083590	1.078389	0.000079
2.4	Npareto	8.784	7.416	17.184	1.610	198.34	1.103895	1.101867	0.000034
	Nall	7.416	7.656	19.320	1.607	197.86	1.104342	1.099222	0.000030
2.6	Npareto	8.856	7.656	17.184	1.638	200.83	1.130000	1.115733	0.000103
	Nall	7.416	7.416	20.832	1.633	201.98	1.130676	1.122111	0.000052
2.8	Npareto	7.656	7.656	20.832	1.669	205.82	1.157056	1.143467	0.000094
	Nall	7.416	8.784	19.320	1.664	206.88	1.157778	1.149333	0.000070

表－3 Nmin 規準と Bmin 規準により解が一致しなかったケース

α_A	規準	設計変数値			崩壊荷重 係数 α	重量関数 W	満足度		Z α －Zw
		X_1	X_2	X_3			Z α	Zw	
0.2	Npareto	7.656	5.904	12.600	1.288	158.88	0.888959	0.882667	0.006293
	B	7.416	5.904	13.392	1.296	160.13	0.888163	0.889600	0.001437
0.4	Npareto	7.656	5.904	13.392	1.308	162.05	0.905417	0.900267	0.005150
	B	7.656	5.904	13.560	1.312	162.72	0.904979	0.904000	0.000979
1.8	Npareto	8.784	7.656	13.560	1.500	185.76	1.036585	1.032000	0.004585
	B	8.856	7.656	13.560	1.504	186.34	1.036146	1.035200	0.000946
2.2	Npareto	7.416	7.416	19.320	1.595	195.94	1.077513	1.088533	0.011021
	B	7.656	7.656	17.184	1.578	191.23	1.079744	1.062400	0.017344
4.0	Npareto	8.784	8.784	24.960	1.942	240.38	1.343067	1.335467	0.007600
	B	8.856	8.856	24.960	1.952	241.54	1.341267	1.341867	0.000600

大化および重量関数最小化という目的関数の満足度を示し、N 値が式(1)で算出された値である。一致しなかった 6 ケースにおいては当然のことながら Nall の N 値の方が小さく、「満足度空間上において連続最適解の満足度との偏差が最小となる満足度を有する離散解を最適離散解とする」という Nmin 規準の設定目的に従った解であることが再確認されるが、同時に離散的 Pareto 解ではない解を最適解と判定していることが判明した。これは連続最適解が確実に得られ、しかもその満足度を算出できる場合においても Nmin 規準を適用するときには得られる解が離散的 Pareto 解であることを保証するために何らかの方策を講じなければならないことを意味しており、連続最適解が確実に得られることが前提条件となる Nmin 規準の適用に対してさらなる制限となる。

5. Bmin 規準の適用性の検討 次に著者らが先に提案した Bmin 規準³⁾の有効性を検討するために、式(2)に示す B 値を最小にする解を同様の条件下で求めたところ、全 20 ケース中 15 ケースという比較的高い割合で Pareto 解群のみを対象とした Nmin 規準の解（Npareto）と一致する解を得た。表－3 に両者の解が一致しなかった 5 ケースを示す。この 5 ケースでは設計変数値に若干の相違が見られるが、崩壊荷重係数 α や重量関数 W およびそれらの満足度 Z α と Zw には大差がないことがわかる。また満足度の偏差 |Z α －Zw| に着目すると 5 ケース中 4 ケースで B の方が Npareto より小さく、満足度のバランスという観点からも Nmin 規準が適用できない場合に Bmin 規準が有効な最適性規準であることを示していると考えられる。

参考文献 1)三原徹治ほか:解特性に着目した離散的 2 目的最適塑性設計法に関する一考察,構造工学論文集,Vol.40A,1994.
2)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.
3)三原徹治ほか:満足度をベースとする離散的多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.