

離散的最適塑性設計の一般化について

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 正員 千々岩 浩 巳
 九州共立大学工学部 正員 ○木 村 貴 之

1. 緒言 土木・建築構造物の解析・設計・施工における最適化技術への要求は、今後、その質・量とも拡大することが予想され、その推進要因のひとつとして離散値・離散関数を扱う最適化手法の開発が挙げられる。例えば、既製形鋼を使用する構造物の設計では設計変数値は一般的な規則性が認められない離散量となり、通常の連続変数を対象とする最適設計法の適用が困難である。このため、列挙法や分枝限定法などを適用した解法が提案され、それらの有効性の検証とともに離散的単一目的最適化問題の解特性が種々検討されている。また、構造設計のプロセスは必ずしもあるひとつの目的関数の最適化に留まらず同時に複数の目的を最適化するものであり、その多目的性に着目した多目的最適構造設計に関する研究も近年多く行われている¹⁾²⁾。本研究は、著者らの離散的2目的最適設計法に関する研究²⁾を一般的に拡張するため、その解特性の検討を行い、解特性に基づく解法アルゴリズムを提案するものである。

2. 離散的最適塑性設計基本式

本研究で対象とする設計問題は、比例荷重を仮定した文献2)の方法を複数の変動荷重系($i=1..I$)に拡張することにより式(1)のように表される。ここに、 X^D :設計変数ベクトル、 Q :内力ベクトル、 W^D :構造重量関数($=a^T X^D$, a :重量換算ベクトル)、 α^D_i :崩壊荷重係数、 F_i :基準となる外力ベクトル、 N :降伏面における単位法線マトリックス、 R :塑性容量の1次微係数マトリックス($R^T X^D$:塑性容量ベクトル)、 C :適合マトリックス、 Z^D , $Z \alpha^D_i$:それぞれ構造重量 W^D および崩壊荷重係数 α^D_i に関する満足度、 $\alpha^T F^T$:固定する外力ベクトル、上付添字Tは転置を、下付添字A, Sはそれぞれ希求水準および理想点を示す。さらに W^c , Z^W , $Z \alpha^c_i$ は設計変数が連続量と仮定されたときのそれぞれ構造重量関数、構造重量 W^c および崩壊荷重係数 α^c_i に関する満足度であり、式(2)に示すLP問題の解として得られる。

未知数:	$Q, \alpha^D_{i(i=1..I)}, X^D,$
目的関数:	$n = n^W + \sum n_{\alpha i}$ $= (Z^W^c + Z^W^D)^2 + \sum (Z \alpha^c_i - Z \alpha^D_i)^2 \rightarrow \min.$ (1a)
制約条件:	$C^T Q - \sum \alpha^D_i F_i = \alpha^T F^T$ (1b)
	$N^T Q - R^T X^D \leq 0$ (1c)
ただし、	$Z^W^c = (W^c - W_s) / (W_A - W_s)$ $Z \alpha^c_i = (\alpha^c_i - \alpha_{Si}) / (\alpha_{Ai} - \alpha_{Si})$ $Z^W^D = (W^D - W_s) / (W_A - W_s)$ $Z \alpha^D_i = (\alpha^D_i - \alpha_{Si}) / (\alpha_{Ai} - \alpha_{Si})$ $W^c = a^T X^c$ $W^D = a^T X^D$

未知数:	$Z, Q, \alpha^c_{i(i=1..I)}, X^c,$
目的関数:	$Z = \max(Z^W^c, Z \alpha^c_1, Z \alpha^c_2, \dots, Z \alpha^c_I) \rightarrow \min.$ (2a)
制約条件:	$C^T Q - \sum \alpha^c_i F_i = \alpha^T F^T$ (2b)
	$N^T Q - R^T X^c \leq 0$ (2c)
	$a^T X^c - (W_A - W_s) Z \leq W_s$ (2d)
	$\alpha^c_i \cdot (\alpha_{Ai} - \alpha_{Si}) Z \geq \alpha_{Si} \quad (i=1..I)$ (2e)

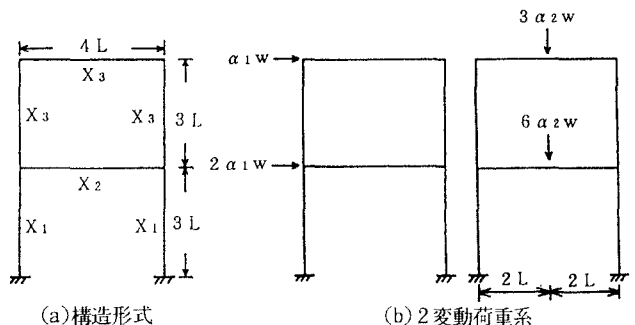


図1 用いた解析モデル(2層1スパンラーメン)

3. 解特性の検討と解法アルゴリズムの構築

式(1a)は、離散解の満足度と連続最適解のそれとの満足度空間における距離を示すので、満足度を焦点とした解特性の検討を行う。図-1は用いた解析モデル(2変動荷重下の2層1スパンラーメン)、表-1は離散値データ、図-2は全体的な構造重量 W ~満足度偏差 n の関係図である。

図-2より、全体的に $n_{\alpha 1}$ 、 $n_{\alpha 2}$ は比較的小さな値であるが、 n_w は連続最適解において $n_w=0$ となる放物線であるため連続最適解からの距離の2乗に比例して増加し、全般的に支配的であることがわかる。しかし、連続最適解近傍においては $n_{\alpha 1}$ 、 $n_{\alpha 2}$ が比較的不規則な値をとり、 $n_w < n_{\alpha 1}$ 、 $n_w < n_{\alpha 2}$ となることもある。このような特性は先の研究²⁾で検討した離散的2目的最適塑性設計の場合と同様の傾向であるので評価関数の近似式と探索域拡張係数を導入した方法を採用することができ、その解法アルゴリズムは図-3に示すように構築される。

表-1 離散値データ (tf・m)

No.	全塑性 モーメント	No.	全塑性 モーメント	No.	全塑性 モーメント
1	2.102	12	11.400	23	24.960
2	2.448	13	12.600	24	27.120
3	3.696	14	13.008	25	30.720
4	3.768	15	13.392	26	31.920
5	3.768	16	13.560	27	33.840
6	5.016	17	17.184	28	34.800
7	5.904	18	19.320	29	36.000
8	7.416	19	20.616	30	36.720
9	7.656	20	20.832	31	38.640
10	8.784	21	23.040		
11	8.856	22	24.480		

4. 最適設計例 解析モデル対し、 $W_A=150.0$, $W_S=0.0$, $\alpha_{A1}=3.0$, $\alpha_{S1}=\alpha_{S2}=10.0$ と固定し、 $\alpha_{A2}=2.0\sim 4.0$ に変化させたときの連続最適解と $\mu=2$ を用いた提案法による解を表-2に示す。

提案法による解はいずれも列挙法により求めた離散最適解と一致し、提案法の妥当性を検証することができた。ただし、 $\mu=1$ では最適解が得られないこと

もあり、 $\mu=2$ が確かかつ効率的であることがわかった。

参考文献

1)三原徹治, 千々岩浩巳: 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. 39A, 1993. 3.

2)三原徹治, 千々岩浩巳: 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. 3.

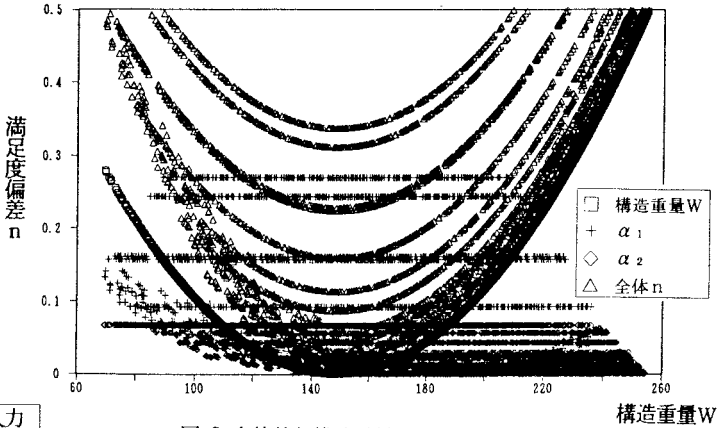


図-2 全体的な構造重量 W ～満足度偏差 n 関係 ($W_A=150$, $W_S=0$, $\alpha_{A1}=4$, $\alpha_{S1}=10$, $\alpha_{A2}=2$, $\alpha_{S2}=10$)

表-2 最適設計結果の一例

α_{A2}		X_1	X_2	X_3	W	α_1	α_2
2.0	C	8.500	12.59	4.092	142.28	3.360	2.412
	D	7.656	11.40	5.016	141.70	3.276	2.315
2.2	C	8.571	12.73	4.158	143.92	3.184	2.516
	D	7.416	12.60	5.016	145.06	3.292	2.525
2.4	C	8.645	12.87	4.225	145.60	3.205	2.623
	D	7.416	12.60	5.016	145.06	3.183	2.598
2.6	C	8.720	13.01	4.295	147.32	3.125	2.732
	D	7.656	13.01	5.016	148.13	3.127	2.734
2.8	C	8.797	13.16	4.365	149.08	3.043	2.844
	D	7.656	13.39	5.016	149.66	3.036	2.837
3.0	C	8.876	13.31	4.438	150.89	2.959	2.959
	D	7.656	13.56	5.016	150.34	2.928	2.928
3.2	C	8.818	13.43	4.613	152.76	2.871	3.075
	D	7.416	12.60	5.904	153.94	2.839	3.043
3.4	C	8.759	13.55	4.792	154.67	2.782	3.195
	D	7.416	13.01	5.904	155.57	2.768	3.181
3.6	C	8.698	13.67	4.975	156.63	2.690	3.317
	D	8.784	13.56	5.016	157.10	2.686	3.313
3.8	C	8.635	13.80	5.164	158.65	2.596	3.443
	D	7.656	13.56	5.904	159.22	2.598	3.444
4.0	C	8.571	13.93	5.357	160.71	2.500	3.571
	D	7.656	13.56	5.904	159.22	2.459	3.537

C:連続最適解, D:提案法による解
単位; W :tf・m², X_i ($i=1..3$):tf・m

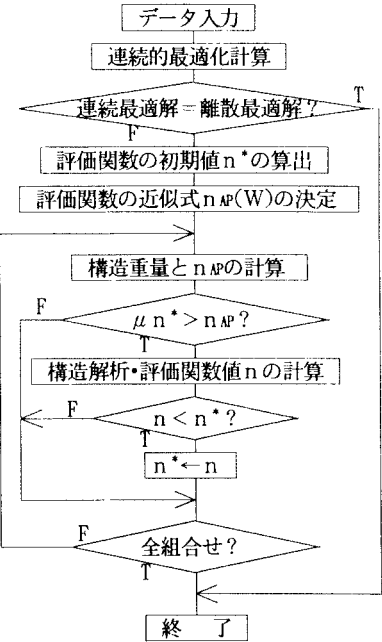


図-3 解法アルゴリズム