土木学会第48回年次学術講演会（平成５年９月）

I－519

離散的２目的最適塑性設計の解特性について

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　三　原　徹治

１．緒　言

著者らは２目的最適塑性設計を対象として離散的多目的構造設計法に関して基礎的な検討を行ってきた[1)]。しかしながら、列挙法で離散最適解を求めると計算量が膨大となり、分枝限定法に基づく解法では効率性は向上するが一部真の最適解と異なる解が得られることや設計変数の増大にともない計算量がかなり増加するという欠点を見出し、トレードオフを容易にするためにも、さらに合理的で効率的な解法の必要性を痛感した。

本報では新しい解法の開発に資するため離散的２目的最適塑性設計の解特性を明らかにすることを目的とし、先の研究[1)]の数値計算例から列挙法による離散最適解探索過程で得られた離散解の性質を「満足度」の観点から数値的に検討し直した結果を述べ、離散最適解探索手法の開発に関する若干の考察を行った。

２．離散的２目的最適塑性設計基本式

本研究で対象とする設計問題は、安全性と経済性を同時に目的とする２目的最適塑性設計基本式に満足化トレードオフ法におけるスカラ化手法を適用したＬＰ問題であり、式(1)のように表される。設計変数$\boldsymbol{X}$を連続量と仮定すれば式(1)は従来の連続的問題であり、$\boldsymbol{X}$の上下限値制約（式(1f,g)）の代わりに離散値データを与えると離散的問題となる。ここに、$\mathbf{X}$:設計変数ベクトル, $\mathbf{Q}$:内力ベクトル, W:構造重量関数(＝$\mathbf{a}^T\mathbf{X}$, $\mathbf{a}$:重量換算ベクトル), α:崩壊荷重係数, $\mathbf{F}$:基準となる外力ベクトル, $\mathbf{N}$:降伏面における単位法線マトリックス, $\mathbf{R}$:塑性容量の１次微係数マトリックス($\mathbf{R}^T\mathbf{X}$:塑性容量ベクトル), $\mathbf{C}$:適合マトリックス, Z_W, Z_α:それぞれ構造重量および崩壊荷重係数に関する満足度, $\boldsymbol{X}^U$, $\boldsymbol{X}^L$はそれぞれ設計変数ベクトル$\boldsymbol{X}$の上･下限値ベクトル, 上付添字U, L, Tはそれぞれ上限値, 下限値, 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。

既知数：$\mathbf{a}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{F}$, $\mathbf{N}$, $\mathbf{R}$, W_S, W_A, α_S, α_A, $\mathbf{X}^L$, $\mathbf{X}^U$
未知数：$\mathbf{Q}$, $\mathbf{X}$, W, α, Z
目的関数：$Z=\max(Z_W, Z_\alpha)\rightarrow\min.$　------ (1a)
制約条件：
$$\mathbf{C}^T\mathbf{Q}-\alpha\mathbf{F}=\mathbf{0} \quad \text{------ (1b)}$$
$$\mathbf{N}^T\mathbf{Q}-\mathbf{R}^T\mathbf{X}\leqq\mathbf{0} \quad \text{------ (1c)}$$
$$\mathbf{a}^T\mathbf{X}-(W_A-W_S)Z\leqq W_S \quad \text{------ (1d)}$$
$$\alpha-(\alpha_A-\alpha_S)Z\geqq\alpha_S \quad \text{------ (1e)}$$
$$\mathbf{X}^L\leqq\mathbf{X}\leqq\mathbf{X}^U \quad \text{---- (1f, g)}$$
ただし、$Z_W=(W-W_S)/(W_A-W_S)$
$Z_\alpha=(\alpha-\alpha_S)/(\alpha_A-\alpha_S)$

$$Z^C=Z_W^C=Z_\alpha^C \quad \text{------------------------ (2)}$$

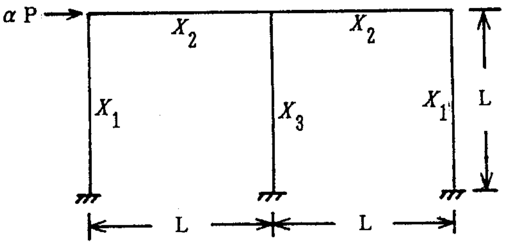
$$n=(Z_W^C-Z_W^d)^2+(Z_\alpha^C-Z_\alpha^d)^2 =n_W+n_\alpha \quad \text{------------------ (3)}$$

設計変数を連続量とし、かつ、設計変数の上下限値制約がinactiveとなるように式(1f,g)の$\boldsymbol{X}^L$（$\boldsymbol{X}^U$）に十分小さな（大きな）値を設定し、任意の理想点および希求水準値を与えて式(1)を解くと、連続最適解が得られる。連続最適解では、経済性および安全性の満足度が均一化され各満足度の値は一致し連続最適解を上付添字Ｃで示すと、その関係は式(2)のように表される。一方、ある離散解(添字dで示す)は与えた理想点および希求水準値に対してある満足度を有する。よって、離散解の満足度と連続最適解のそれとの差がより小さければより良い解と判断でき、離散解の最適性を判定するための評価関数は式(3)のように表される。

３．解特性の検討

式(3)は、得られた各解における満足度と連続最適解との満足度空間における距離を示しており、式(3)が最小となる離散解を最適離散解とする。このため、満足度を焦点とした解特性の検討を行う。

図-1に用いた解析モデル（１層２スパンラーメン）、表-1に離散値データ、図-2,3にα_A＝1.9、α_S＝10.0、W_A＝180.0、W_S＝0.0の時の構造重量Ｗとｎの関係を示す。図-2は全体的な関係図であり、図-3は連続最適解



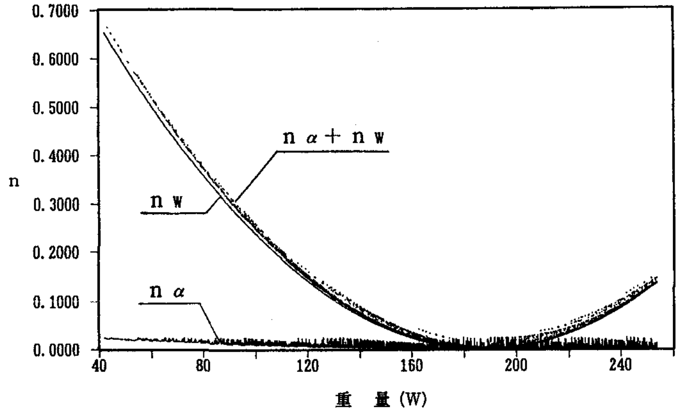
図－１ 用いた解析モデル
（P＝10tf, L＝4.0m）

表－１ 離散値データ (tf･m)

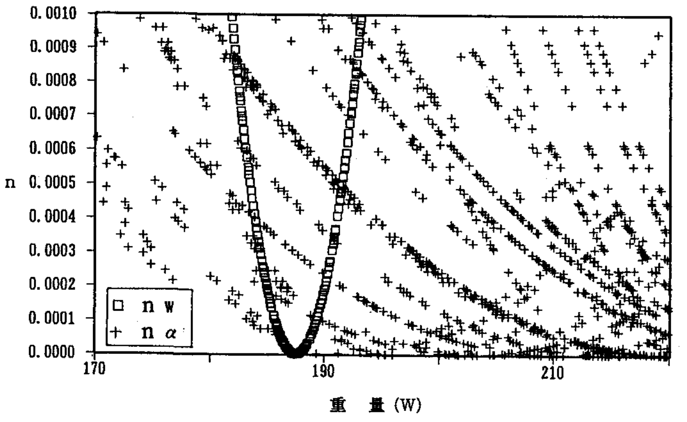
No.	全塑性モーメント	No.	全塑性モーメント	No.	全塑性モーメント
1	2.102	12	11.400	23	24.960
2	2.448	13	12.600	24	27.120
3	3.696	14	13.008	25	30.720
4	3.768	15	13.392	26	31.920
5	3.768	16	13.560	27	33.840
6	5.016	17	17.184	28	34.800
7	5.904	18	19.320	29	36.000
8	7.416	19	20.616	30	36.720
9	7.656	20	20.832	31	38.640
10	8.784	21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

近傍の関係図である。

図-2より、全体的にnαは比較的小さな値であるが、nWは連続最適解においてnW=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、図-3より連続最適解近傍においてはnαが比較的不規則な値をとり、さらに nW＜nαとなることもある。これは塑性解析において構造重量Wは単純に構造物各部材の重量の和で求められるのに対し、崩壊荷重係数αは部材の組合せによって崩壊モードが異なることもあり、構造重量と一義的な関係にないためと考えられる。



図－２ 全体的な構造重量W～満足度偏差n関係
（α_A＝1.9, α_S＝10.0, W_A＝180.0, W_S＝0.0）



図－３ 連続最適解近傍の構造重量W～満足度偏差n関係
（α_A＝1.9, α_S＝10.0, W_A＝180.0, W_S＝0.0）

４．考　察

以上の結果より離散的２目的最適塑性設計の解特性が次のように得られる。

①連続最適解近傍ではnWよりも構造解析結果より算定されるnαが支配的となることもある.

②全体的にはnW（構造解析を必要としない）が支配的である.

上記解特性を考慮すれば、離散的２目的最適塑性設計のより効率的な解法の指針として、まずnWによって最適離散解の可能性を大略判定し、連続最適解近傍ではn（＝nW+nα）を用いて判定することによって小さな計算量で離散最適解を求めることができると考えられる。

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.