

I-379 弾塑性多目的最適化におけるトレードオフに関する一考察

九州共立大学工学部 正員 三原 徹治

1. 緒言 構造物の機能点検や維持・管理の観点から、メカニズム形成に必要な要素が降伏する順序や降伏が生じる荷重レベルなどの終局荷重以下の荷重レベルにおける弾塑性挙動を直接的に考慮するため、著者は先に、弾塑性増分解析を基礎とした最適設計手法を提案した¹⁾。そこでは、最適設計問題は構造重量の最小化、初期降伏荷重レベルと初期降伏要素以外の要素が降伏する荷重レベルの差の最大化など4種の目的関数を設定した多目的問題として定式化し、その解法には満足化トレードオフ法²⁾を用いている。

満足化トレードオフ法は、各目的に対して理想点および希求水準の値を設定して、各目的をその満足度に関する制約条件に変換し、結果的に単一目的問題として解を求める解法である。このため、理想点および希求水準の設定値によって種々の解が得られ、設計者はその解を吟味しながら理想点等の設定値を変更することによって満足度のいくまで設計を繰返す。本研究では、このトレードオフ特性を数値的に検討することを目的として、簡単な骨組構造物の弾塑性多目的最適化の計算結果と若干の考察を示す。

なお、本研究では、次の仮定を用いた。(1)各部材の内力と内変形の関係は、完全弾塑性型とする。(2)つり合い条件は変形前において求められ、微小変形理論にしたがう。(3)作用荷重は比例的に変化し、塑性崩壊以前の局部破壊等は考慮しない。

2. 弾塑性多目的最適化の概要¹⁾ 経済性、機能性などを考慮した骨組構造物の弾塑性最適化問題は式(1)のように得られる。ここに、式(1a)は構造重量の最小化を、式(1b)は初期降伏が生じてから初期降伏要素以外の要素が降伏するまでの荷重レベルの差の最大化を、式(1c)は構造機能の低下を極力抑えるために初期降伏要素以外の要素が降伏する荷重係数の最大化を、さらに式(1d)は初期降伏要素の設計変数の最小化を示す目的関数であり、式(1e)は設計荷重レベル以下の荷重では構造物の塑性崩壊が生じないことを保証する条件を、式(1f)は補修のために初期降伏要素を削除した場合にも他の構造要素により使用時荷重(荷重係数1.0の荷重)を受持つことができる条件をそれぞれ示している。ただし、 W は構造重量、 α' は初期降伏荷重係数、 α'' は初期降伏要素以外の要素が降伏する荷重係数、 X_v は初期降伏要素に対応する設計変数、 α' は終局荷重係数、 α は設計荷重係数、 α'' は初期降伏要素を除去した構造の初期降伏荷重係数である。

式(1)に満足化トレードオフ法を適用すると、式(2)に示すような単一目的問題が得られる。ここに、式(2b)~(2e)はそれぞれ式(1a)~(1d)の目的関数を理想点と希求水準を用いて満足度を示す制約条件として変換したものであり、式(2f)、(2g)はそれぞれ式(1e)、(1f)と同じである。また、新

多目的最適化問題

$$\text{目的関数: } W \longrightarrow \min. \quad (1a)$$

$$\delta = \alpha'' - \alpha' \longrightarrow \max. \quad (1b)$$

$$\alpha'' \longrightarrow \max. \quad (1c)$$

$$X_v \longrightarrow \min. \quad (1d)$$

$$\text{制約条件: } \alpha \leq \alpha' \quad (1e)$$

$$1.0 \leq \alpha'' \quad (1f)$$

満足化トレードオフ法による単一目的問題

$$\text{目的関数: } D (= \max D_i) \longrightarrow \min. \quad (2a)$$

$$\text{制約条件: } D_1 = (W - W_s) / (W_s - W_s) \geq 0 \quad (2b)$$

$$D_2 = (\delta - \delta_s) / (\delta_s - \delta_s) \geq 0 \quad (2c)$$

$$D_3 = (\alpha'' - \alpha'_s) / (\alpha'_s - \alpha'_s) \geq 0 \quad (2d)$$

$$D_4 = (X_v - X_{v,s}) / (X_{v,s} - X_{v,s}) \geq 0 \quad (2e)$$

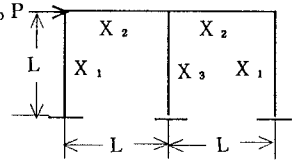
$$\alpha \leq \alpha' \quad (2f)$$

$$1.0 \leq \alpha'' \quad (2g)$$

たな変数 $D (= \max D_i)$ は問題全体の満足度を示す。よって、式(2)は本来の制約条件を満足しながら最も満足度の低い目的を改善するというMin-Max問題を示しており、従来の最適化手法により取扱うことができる。ここに、添字 s および s はそれぞれ希求水準および理想点を示し、これらの設定値を変えることによりトレードオフが可能となる。

3. 計算例および考察

図-1に示す1層2スパンラーメン($P=5.0\text{tf}$, $\alpha_0 P=1.7$, $L=4.0\text{m}$, 降伏応力度 $\sigma_y=2.4\text{tf/cm}^2$)に対して、設計変数に各塑性モーメント容量を選び、弾塑性多目的最適化を適用した。なお、本例では、初期降伏要素はいずれの場合においても中央柱であり、対応する設計変数は X_3 であった。



(1)理想点の影響 本設計法の場合、4種類の理想点を設定する必要がある。しかし、最も理想的な状態を示す $W_s=0.0$, $\alpha^*=1.700$, $X_{3s}=0.00$ の諸値はトレードオフを行う場合においても変更する必要がなく、問題となるのは δ_s の設定値のみである。よって、他の条件を一定とし、 $\delta_s=0.8\sim 1.2$ に設定した計算結果を表-1に示す。表-1より、 $\delta_s \geq 0.9$ では設計値にほとんど変化がなく、 δ_s の値にはある程度大きな値を与えれば、理想点の設定値がトレードオフに与える影響は小さいことがわかる。

(2)希求水準の影響³⁾ 次に、希求水準値が設計値に与える影響を調べるため、ある希求水準のみを変化させ他の条件は一定として設計を行った。その結果の一例として、 δ_s および X_{3s} の値と設計値の関係を表-2, 3にそれぞれ示す。表-2より、 δ に対する希求水準 δ_s が大きくなると、その応答値 δ も大きくなるが、 X_{3s} , W の値の変化は規則的ではないことがわかる。これに対して、表-3に示すように X_{3s} を大きくすると、 X_3 の増大、 X_1 , X_2 および W の減少傾向が明確に認められ、さらに、 δ の値は単調に増大していることがわかる。これらのことから、ある目的に対して満足度を厳しく（あるいは緩和）するために、その目的に対応する希求水準値を変化させると、他の目的への影響も無視することはできず、しかも、パラメータ解析によって最適値の変化量を予測することが困難な場合もあることがわかる。

4. 結 言 本研究で取扱った数値計算結果では、満足化トレードオフ法による弾塑性多目的最適化における理想点の設定はほとんど最適解に影響せず、希求水準値の変更によってトレードオフを行うことができることが認められた。また、最適解に対するパラメータ解析が必ずしも有効でない場合が生じるのは、要素の降伏順序や崩壊モードが不連続に変化するためと考えられ、今後さらに検討が必要と思われる。

表-1 δ_s を変化させた場合の設計結果

δ_s	最 適 解				応 答 値				
	$X_1(\text{t}\cdot\text{m})$	$X_2(\text{t}\cdot\text{m})$	$X_3(\text{t}\cdot\text{m})$	$W(\text{t}\cdot\text{m}^2)$	α^f	α^*	α^c	δ	α^n
0.80	16.828	8.508	4.504	220.70	1.361	1.485	1.700	0.124	1.239
0.90	16.879	8.391	4.493	220.13	1.358	1.475	1.700	0.117	1.238
1.00	16.875	8.393	4.490	220.10	1.358	1.475	1.700	0.117	1.238
1.10	16.878	8.392	4.492	220.13	1.358	1.475	1.700	0.117	1.238
1.20	16.878	8.391	4.492	220.12	1.358	1.475	1.700	0.117	1.238

($W_s=180$, $\delta_s=0.2$, $X_{3s}=4.0$, $\alpha^*=1.5$)

表-2 δ_s を変化させた場合の設計結果

δ_s	最 適 解				応 答 値				
	$X_1(\text{t}\cdot\text{m})$	$X_2(\text{t}\cdot\text{m})$	$X_3(\text{t}\cdot\text{m})$	$W(\text{t}\cdot\text{m}^2)$	α^f	α^*	α^c	δ	α^n
0.10	17.126	7.834	4.559	217.04	1.342	1.431	1.700	0.089	1.227
0.20	16.941	8.591	4.295	221.44	1.365	1.488	1.700	0.123	1.248
0.30	16.541	8.625	4.919	221.00	1.364	1.503	1.702	0.139	1.227

($W_s=250$, $X_{3s}=4.0$, $\alpha^*=1.5$, $\delta_s=1.0$)

表-3 X_{3s} を変化させた場合の設計結果

X_{3s}	最 適 解				応 答 値				
	$X_1(\text{t}\cdot\text{m})$	$X_2(\text{t}\cdot\text{m})$	$X_3(\text{t}\cdot\text{m})$	$W(\text{t}\cdot\text{m}^2)$	α^f	α^*	α^c	δ	α^n
3.60	17.126	8.442	4.091	220.91	1.364	1.473	1.700	0.109	1.254
3.80	16.999	8.418	4.293	220.51	1.360	1.474	1.700	0.114	1.246
4.00	16.879	8.391	4.493	220.13	1.358	1.475	1.700	0.117	1.238
4.20	16.752	8.368	4.689	219.72	1.356	1.477	1.700	0.121	1.230
4.40	16.630	8.342	4.884	219.31	1.356	1.478	1.700	0.122	1.222
4.60	16.514	8.316	5.076	218.94	1.356	1.479	1.700	0.123	1.215
4.80	16.389	8.287	5.265	218.47	1.356	1.480	1.700	0.124	1.207

($\delta_s=0.20$, $W_s=180$, $\alpha^*=1.5$, $\delta_s=1.0$)

参考文献 1)三原:骨組構造物の弾塑性多目的最適化に関する一考察,土木学会年講,1990. 2)中山:多目的計画に対する満足化トレードオフ法の提案,計測自動制御学会論文集,1984. 3)三原:弾塑性多目的最適化における希求水準値の影響について,土木学会西部支部講義,1991.