

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

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ため、設定する理想点および希求水準の値によって当然得られる解も異なることになる。そこで、本研究では、簡単な骨組構造物を対象として、希求水準値が最適弾塑性設計値に及ぼす影響を数値的に検討する。

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. 設計基本式

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 α^s 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取除い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^i は初期降伏荷重係数、 α^s は初期降伏要素以外の要素が降伏する荷重係数、 X_U は初期降伏要素に対応する設計変数、 α^o は終局荷重係数、 α_c は設計荷重係数、 α^n 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

多目的最適化問題

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

$$\delta = \alpha^s - \alpha^i \longrightarrow \max. \quad (1b)$$

$$\alpha^s \longrightarrow \max. \quad (1c)$$

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

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

$$1.0 \leq \alpha^n \quad (1f)$$

満足化トレードオフ法による単一目的問題

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

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

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

$$D_3 = (\alpha^s - \alpha^s_s) / (\alpha^s_o - \alpha^s_s) \geq 0 \quad (2d)$$

$$D_4 = (X_U - X_{U_s}) / (X_{U_o} - X_{U_s}) \geq 0 \quad (2e)$$

$$\alpha_o \leq \alpha^o \quad (2f)$$

$$1.0 \leq \alpha^n \quad (2g)$$

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。ただし、添字 a および s はそれぞれ希求水準および理想点を示し、これらの諸値の設定状況によって解が変化することは容易に推察できる。

3. 計算例

図-1に示す1層2スパンラーメン ($P=5.0\text{tf}$, $\alpha_0=1.7$, $L=4.0\text{m}$, 降伏応力度 $\sigma_v=2.4\text{tf/cm}^2$) の各塑性モーメント容量を設計変数とし、理想点は $W_s=0.0$, $\delta_s=1.00$, $\alpha^s_s=1.700$, $X_{us}=0.00$ に固定したまま希求水準値を変化させた場合の設計結果を表-1~4に示す。

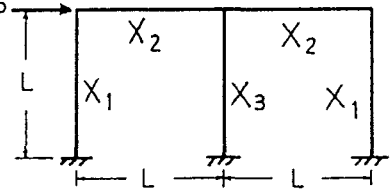


図-1 構造・載荷形式

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^s	α^c	δ	α^n
0.10	17.016	7.834	4.559	217.04	1.342	1.431	1.700	0.089	1.227
0.12	17.004	8.583	4.247	221.68	1.367	1.488	1.702	0.121	1.252
0.14	17.020	8.571	4.243	221.70	1.367	1.487	1.703	0.120	1.252
0.16	17.038	8.594	4.205	221.88	1.369	1.488	1.703	0.119	1.254
0.18	16.957	8.566	4.282	221.21	1.365	1.486	1.700	0.121	1.249
0.20	16.941	8.591	4.295	221.44	1.365	1.488	1.700	0.123	1.248
0.22	16.869	8.592	4.396	221.27	1.364	1.490	1.700	0.126	1.244
0.24	16.753	8.602	4.574	221.14	1.363	1.494	1.700	0.131	1.238
0.26	16.693	8.606	4.651	221.00	1.363	1.496	1.700	0.133	1.235
0.28	16.961	8.600	4.651	220.93	1.368	1.495	1.699	0.133	1.234
0.30	16.541	8.625	4.919	221.00	1.364	1.503	1.702	0.139	1.227

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

表-2 W_s を変化させた場合の設計結果

W_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^s	α^c	δ	α^n
180	16.879	8.391	4.493	220.13	1.358	1.475	1.700	0.117	1.238
200	16.895	8.590	4.353	221.13	1.364	1.489	1.700	0.125	1.246
220	16.906	8.597	4.349	221.39	1.365	1.490	1.700	0.125	1.247
240	16.937	8.595	4.306	221.15	1.365	1.489	1.700	0.124	1.248
250	16.941	8.591	4.295	221.44	1.365	1.488	1.700	0.123	1.248

($\delta_s=0.20$, $X_{3s}=4.0$, $\alpha^s_s=1.5$)

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^s	α^c	δ	α^n
360	17.126	8.442	4.091	220.91	1.364	1.473	1.700	0.109	1.254
380	16.999	8.418	4.293	220.51	1.360	1.474	1.700	0.114	1.246
400	16.879	8.391	4.493	220.13	1.358	1.475	1.700	0.117	1.238
420	16.752	8.368	4.689	219.72	1.356	1.477	1.700	0.121	1.230
440	16.630	8.342	4.884	220.03	1.356	1.478	1.700	0.122	1.222

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

表-4 α^s_s を変化させた場合の設計結果

α^s_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^s	α^c	δ	α^n
1.3	16.958	8.184	4.470	219.02	1.352	1.458	1.700	0.106	1.236
1.4	16.959	8.182	4.470	219.01	1.352	1.458	1.700	0.106	1.236
1.5	16.879	8.391	4.493	220.13	1.358	1.475	1.700	0.117	1.238
1.6	15.229	8.595	6.855	218.01	1.391	1.533	1.700	0.142	1.149

($\delta_s=0.20$, $W_s=180$, $X_{3s}=4.0$)

表から、本計算例では構造重量 W の値は217.04~221.44の2%程度の変動しか示しておらず、 W に対する希求水準値の影響は小さいことがわかる。しかし、設計値の変化は比較的大きいことから、弾塑性挙動の変化も大きく、種々の希求水準値を設定したトレードオフの必要性を確認することができる。

4. 結 言

本研究によって、満足化トレードオフ法による弾塑性多目的最適化において希求水準値が設計値に及ぼす影響について数値的に検討することができ、今後、トレードオフによって設計者の満足する設計を追求する場合に有効と思われる。

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.