

構造設計における多目的性と設計意図について

九州共立大学工学部 正員 〇三 原 徹 治
 アルファコンサルタント(株) 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

土木構造物の設計は、無限に存在する可能設計からあるひとつを選択する手順と見ることができる。この場合、各設計の良否を判定するための何らかの規準が顕在するか、または暗黙のうちに存在することになる。もちろん、設計対象によってはただひとつの規準により設計の良否を判定する場合もあるが、複数の規準が存在し、しかもそれらは相反する性質を持つ場合の方が一般的である。これが設計者の意図が設計に反映されにくい理由のひとつと考えられる。ただし、比較的複雑な構造設計においては構造解析や設計照査の煩雑さが設計意図の実現を阻害しているとも考えられる。そこで、本研究では設計の多目的性と設計意図について基礎的に検討するため、吊部材という極めて簡単な構造の一般的な設計と多目的最適設計との比較から設計意図と設計重点の関係について調査した結果について若干の考察を試みる。

2. 吊部材の設計の多目的問題としての定式化

図-1のように重量物を吊下げる吊部材の設計¹⁾において、奥行き方向を無視した場合に設計者が決定すべき諸量は吊部材の断面積 A および部材長 L の2つのみであり、その設計問題は式(1)のような多目的問題として定式化することができる。ただし、図-1において H = 全高、 L_0 = 吊下物と吊具の長さ、 H^u = 使用限界高さ、 H_0 = もっとも使いやすい高さ、 P_0 = 吊下物と吊具の重量であり、 $H' = H - H_0$ 、 ρ = 吊部材が均質の材料で構成されるとした場合の単位体積重量である。

式(1)において目的関数式(1a~c)は順に構造体積の最小化、抵抗力の最大化、使用高さ偏差の最小化を示し、それぞれ経済性、安全性、機能性の指標である。また、式(1d, e)は L の上下限值制約、式(1f)は最低の安全レベルに関する制約である。式(1d~f)を満足する可能設計は特別な構造解析を必要とするわけでもなく簡単に得られるので式(1)を緩やかな意味で解くこと(=一般的な設計)に困難はない。

一方、式(1)の厳密な解法に満足化トレードオフ法におけるスカラ化手法²⁾を適用すると式(2)が得られる。ここに式(2b~d)はそれぞれ式(1d~f)と同一式、式(2e~g)は式(1a~c)に示される各目的の満足度 Z_x ($X = V, R, \delta$) の定義式であり、これらを満足しながら各満足度の最大値を最小化する目的関数(式(2a))により各満足度の均一化を図る問題である。ただし、下付添字 S , A はそれぞれ理想点と希求水準を表す。

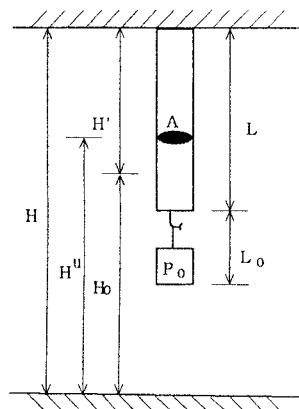


図-1 吊部材構造

目的関数:	$V = AL \rightarrow \min.$	(1a)
	$R = Ar \rightarrow \max.$	(1b)
	$\delta = H' - L \rightarrow \min.$	(1c)
制約条件:	$L + L_0 < H$	(1d)
	$H - L < H^u$	(1e)
	$Ar \geq \rho AL + P_0$	(1f)
目的関数:	$Z = \max(Z_V, Z_R, Z_\delta) \rightarrow \min.$	(2a)
制約条件:	$L + L_0 < H$	(2b)
	$H - L < H^u$	(2c)
	$Ar \geq \rho AL + P_0$	(2d)
	$Z_V = (AL - V_S) / (V_A - V_S)$	(2e)
	$Z_R = (Ar - R_S) / (R_A - R_S)$	(2f)
	$Z_\delta = (H' - L - \delta_S) / (\delta_A - \delta_S)$	(2g)

3. 「一般的な設計」の評価方法

(1)基準設計 図-1において $H=5.0\text{m}$, $L_0=0.5\text{m}$, $H^u=4.0\text{m}$, $H_0=1.0\text{m}$, $r=1400\text{kg/cm}^2$, $P_0=1.0\text{tf}$, $\rho=0.0078\text{kg/cm}^3$ の諸量を設定した。このとき、理想点、希求水準を $V_S=0.0$, $R_S=10000.0$, $\delta_S=0.0$, $V_A=250.0$, $R_A=1020.0$, $\delta_A=3.5$ とすると式(2)による設計値 $A=0.7157\text{cm}^2$, $L=3.5\text{m}$ ($Z_V=$

1.002, $Z_R=1.002$, $Z_\delta=1.000$)を得た。この設計は、3つの目的のうちある1つをさらに向上させようとすると他の目的が犠牲にならざるを得ず、しかも各満足度がほぼ均一なことから、各目的を偏りなく達成させようとする設計意図に対してはほぼ理想的な設計と評価することができ、この設計を以後の基準設計とする。

(2)「一般的な設計」の評価 一方、式(1)を緩やかに解く「一般的な設計」では設計者の設計意図(重視目的)により異なる設計が得られ、その設計における重点(設計重点)も異なることが予想される。ただし、得られた設計の設計重点を一般的に特定することは困難であるので、ここでは基準設計の理想点、希求水準を用いて式(2e~g)により「一般的な設計」の満足度を算定し、その値が1.0以下の目的を設計重点と評価する方法を用いる。

4. 「一般的な設計」の評価と若干の考察

「一般的な設計」に、九州共立大学工学部土木工学科学生諸君の協力により102例を得た。安全性、経済性および機能性の3つの目的を可能な限り同時に達成することを設計の主眼としたが、中でも特に重視する目的(重視目的)を1つだけ挙げてもらった。102例における重視目的と設計重点の関係を示す表-1から次のようなことがわかる。ただし、設計重点が3つ、すなわち「3つの目的を可能な限り達成する」ことに成功した例は皆無だった。

①重視目的は安全性(R)が過半数を占め、以下機能性(δ)、経済性(V)の順であり「設計は安全でなければならない」という意識の現れと見ることができる。ただし、本設計の場合 δ の目的達成は他の2つに比較して容易であることが重視目的の選択に影響したとも考えられる。

表-1 重視目的と設計重点

重視目的	設計重点						合計	比率(%)
	R	V	δ	R+V	R+ δ	V+ δ		
安全性(R)	16	8	5	8	14	①	52	51.0
経済性(V)	3	7	1	5	①	0	17	16.7
機能性(δ)	0	1	2	①	29	0	33	32.4
合計	19	16	8	14	44	1	102	
比率(%)	18.6	15.7	7.8	13.7	43.1	1.0		

- ②重視目的と異なる2つの目的が達成された例(表中○数字)が各重視目的においてそれぞれ1例ずつ認められる。問題設定に対する理解不足の結果なのか「3つの目的を可能な限り達成する」という主眼の影響なのかは一概には判断できないが、多分に前者である公算が大きく、その点においてこの3例を除いた大部分は問題設定をよく理解したうえでの設計例と評価することができる。
- ③設計重点が1つでかつ重視目的と一致する例(表中 数字)は、RとVを重視目的とする場合最多数であり重視目的の達成を心掛けた結果と考えられる。しかし、重視目的が δ の場合には33例中たった2例である。先述のように δ の目的達成が比較的容易であることの影響であろう。
- ④設計重点が2つの例は②に述べた3例を含め59例(表中 数字)あり、全体の過半数が重視目的以外の目的をも達成しようとしたことがわかる。しかし、そのうち44例(74.6%)はR+ δ であり、ここにも δ の目的達成が比較的容易であることが影響しているようである。
- ⑤表中通常数字で示される18例は、重視目的と異なる目的が1つだけ設計重点と評価された。全体の17.6%にあたる(②に述べた3例を、好意的に解釈してこれに含めると20.6%)。これらは設計意図と異なる設計が得られた割合を示している。設計対象が吊部材という極めて簡単な構造であることを考え併せると、この割合は決して小さいと無視できるものではない。構造解析や設計照査の煩雑さが設計意図の実現を阻害しているとは考えにくい本設計においてもこのような結果が得られた主な原因は、設計が本来有する多目的性にあると考えられ、この多目的性について検討していくことが設計を考えるうえで非常に重要なことであることをデータの裏付けている。

謝 辞 本研究の数値計算・データ整理には九州共立大学工学部土木工学科卒研生 中村仁俊君の援助を受けた。記して謝意を表する。

参考文献 1)S. P. Timoshenko(最上武雄 監訳/川口昌宏 訳):材料力学史, pp. 11~14, 鹿島出版会, 1980. 3.
 2)中山弘隆: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, 第20巻, 第1号, pp. 29~35, 1984. 1.