

東洋大学* 学生員 清水 康弘
 東洋大学* 正会員 新延 泰生
 (株) 国 建** 正会員 前泊 史

1. はじめに

本研究は、骨組構造物の最適設計として主にトラス構造物を取り上げ、骨組レベルと断面レベルの設計の2段階より構成している。まず、骨組レベルの設計においては、通常非線形で表される制約条件式を感度係数のもつ特性を利用して線形化し、LPを逐次収束するまで使用する。この手法はSLPと変わらないが、最適化問題を定式化する上でSLPとは異なるものであり、定式化がかなり簡便化される。また、ここでは部材剛性を表す断面積と断面2次モーメントとの関係を細長比をもって示し、骨組レベルの設計と断面レベルの設計を分離している。このことより骨組レベルの設計で所用の細長比を設定し、軸方向許容圧縮応力度を定数として与えることが可能である。これにより求められた部材断面積と前述の関係式から所要の断面2次モーメントを計算し部材断面の設計を行う。

2. 骨組レベルの設計

応力制約 σ_a 、変位制約 z_a のもとでトラス構造物の重量 W を最小化する断面積 X_i を求める。その定式化は以下のように表される。

$$W = \sum_{i=1}^m \rho l_i X_i \rightarrow \min.$$

subject to

$$\sum_{i=1}^m \left[\frac{\partial \sigma_j}{\partial X_i} \right]^k X_i \leq \sigma_a - 2\sigma_j^k \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{i=1}^m \left[\frac{\partial z_s}{\partial X_i} \right]^k X_i \leq z_a - 2z_s^k \quad (s=1, 2, \dots, n)$$

3. 断面レベルの設計

i 部材の部材断面レベルの設計を行う上で、断面寸法を決定するために必要な条件式は以下のようになる。

$$\lambda_i, l_i, X_i \rightarrow \text{given} \quad (1)$$

断面寸法の設計条件は、例えば箱形断面では

$$b_i = h_i, \quad t_{fi} = t_{wi} = t_i, \quad t_i \leq 0.8 \text{ cm} \quad (2)$$

$$\frac{h_i}{t_i} \leq C \quad (3)$$

としている。ここで C は幅厚比を表す。

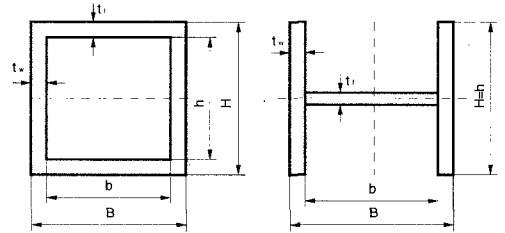


Fig.1 断面形状

Table.1 幅厚比Cの上限值

	SM 400	SM 490	SM 520	SM 570
箱形	39.6	34.0	32.4	29.1
H型	27.2	23.4	22.4	20.2

4. 数値解析例

本研究では、上述の骨組レベルの最小重量設計の定式化において、圧縮部材の座屈を考慮するために道路橋示方書の軸方向許容圧縮応力度を使用している。また、部材ごとの最小剛性を考慮し各部材に細長比を設定した。解析モデルは、Fig.2に示される不静定10部材トラスと諸条件を用いた。なお使用鋼種はSM 400である。

まず骨組レベルの設計として、解析結果においてactiveな制約条件が応力で表されるとき、断面積の下限値として全応力設計解を導入している。しかし全応

キーワード：最適設計、感度解析、トラス構造物

連絡先：〒350-0815 埼玉県川越市鯉井2100 TEL 0492(39)1402 FAX 0492(31)4482

** 〒900-0015 沖縄県那覇市久茂地1-2-20 TEL 098 (862) 3849

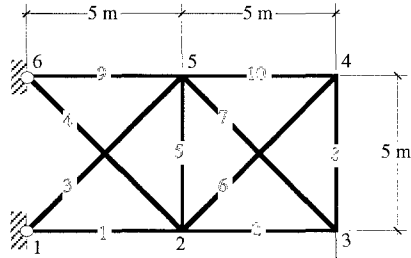
力設計解において幅厚比 (Table.1) 及び板厚の設計条件 (式 (2),(3)) を満たさない部材, また応力度が0となる部材がある場合に関しては, その部材に対して断面設計が可能となる最小断面積値を設定した.

その結果, 断面積の下限値を 1.0cm^2 とした場合, 部材 4,5,8,10 は下限値に達しており, いずれも fully stress となっている. また部材 6 に関しては下限値に達していないものの解は非常に小さい. このような状態では全部材における断面設計は不可能となるので, 下限値の設定を全応力設計解及び断面設計可能解に設定して計算を行うこととした. その結果, 部材 4,8,10 は下限値としての全応力設計解に, 部材 5 に関しては断面設計可能解に収束していることがわかる (Table.2).

断面レベルの設計では, 骨組レベルの設計で得られた最適断面積値及び細長比を基準として, 上弦材, 下弦材及び圧縮部材は正方形箱形断面, 引張部材に関しては H 型断面で断面寸法を決定した.

5. おわりに

本研究から, 断面積と断面 2 次モーメントの関係を細長比をもって示すことで骨組レベルと断面レベルの設計を分離し, 最適な断面積値から断面寸法を決定することが示された. さらに, 断面積の下限値に全応力設計解及び断面設計可能解を導入することにより, 導入しない場合に比べ最適解への収束性を良くし, 計算時間を短縮することができると同時に, 全部材における断面の設計も可能であることが実証された (Table.3). しかし, 実際の設計に適用していくためには, それぞれの部材における断面寸法と構造物全体とのバランスが必要となる. 今後はこのようなバランスのとれた設計を考慮することが課題である.



鋼種: SM 400
単位体積重量: $\rho = 0.00786 \text{ (kgf/cm}^3\text{)}$
ヤング率: $E = 2.1 \times 10^6 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
初期断面積: $A_0 = 100 \text{ cm}^2$
変位制約: $\delta_s = 5.0 \text{ (cm)}$

Fig.2 解析モデル

Table.2 解析結果

鋼種	SM 400							
初期値 $A_0 \text{ (cm}^2\text{)}$	100				100			
下限値 $A^* \text{ (cm}^2\text{)}$	1.0				全応力設計解, 断面設計可能解			
変位制約 $r_s \text{ (cm)}$	5.0				5.0			
設計変数	A				A			
部材番号	断面積 (cm^2)	細長比 λ	応力度 (kgf/cm^2)	許容応力度 (kgf/cm^2)	断面積 (cm^2)	細長比 λ	応力度 (kgf/cm^2)	許容応力度 (kgf/cm^2)
1	88.0	50	-1148	-1148	130.1	50	-1044	-1148
2	86.0	50	-1148	-1148	73.5	50	-816	-1148
3	121.9	50	-1148	-1148	121.1	50	-749	-1148
4	1.0	200	1400	1400	49.9	200	1016	1400
5	1.0	200	252	1400	23.9	200	177	1400
6	3.2	120	-569	-569	121.1	50	-468	-1148
7	99.7	200	1400	1400	61.1	200	1400	1400
8	1.0	200	1279	1400	32.0	200	1252	1400
9	142.1	200	1400	1400	118.2	200	1400	1400
10	1.0	200	1279	1400	32.0	200	1252	1400
Weight (kgf)	2506.3				3561.9			
r_{max} (cm)	-2.4				-2.1			
Iteration	30				8			
active な 制約条件	応力				応力			

Table.3 各部材の断面寸法

部材番号	断面形状	断面寸法 mm		断面積 cm^2		細長比 λ		断面 2 次モーメント cm^4	
		H × B	t	断面レベル	骨組レベル	断面レベル	骨組レベル	断面レベル	骨組レベル
1	下弦材	Box	264 × 264	13	130.5	49	50	13733	13010
2	下弦材	Box	238 × 238	8	73.6	53	50	6495	7350
3	斜材	Box	346 × 346	9	121.3	51	50	22976	24220
4	斜材	H	152 × 174	11	50.2	197	200	644	624
5	垂直材	H	106 × 122	8	25.4	200	200	159	149
6	斜材	Box	346 × 346	9	121.3	51	50	22976	24220
7	斜材	H	150 × 178	14	63.0	200	200	788	764
8	垂直材	H	107 × 127	10	32.1	198	200	204	200
9	上弦材	Box	121 × 121	34	118.3	132	200	1686	738
10	上弦材	Box	75 × 75	13	32.2	194	200	214	200

(参考文献)

- 1) 内海芳則、新延泰生、榎本覚雄、小室和之:「トラス構造物の最小重量設計と最大剛性設計」土木学会第 48 回年次学術講演会概要集; 1993.9
- 2) 社団法人 日本道路協会:「道路橋示方書・同解説」; 1996.12
- 3) 菊池洋一、近藤明雅:「大学課程 橋梁設計例 (第 7 版)」; 1995.3