

1. はじめに

トラス構造物の形状最適化を行なう時の設計変数には、形状を決定する節点座標と各部材断面を決定する部材断面寸法がある。このため最適化計算は多大な設計変数を抱えることとなり、一般に大規模な計算となる。そこで、部材断面を決定する設計変数を減少するための工夫が必要となる。この時、部材断面を代表する設計変数としては部材断面積 A が使われることが多い。その理由は、1) 構造解析に断面積 A が必要である、2) 応力が $\sigma = P/A$ で表現される、3) 目的関数が断面積 A の線形関数とされるからである。

さて、各部材には許容応力、細長比および板厚の3制約条件がある。このため板厚を、最小板厚を満たしかつ局部座屈を考慮する必要がないように用意できると、制約条件は細長比によって表現できる。したがって断面積と断面2次モーメントの関係が明確となると、形状最適化計算は大きく改善される。

本論は許容応力、細長比、および板厚の3制約条件を満たす軸圧縮力を受けるトラス部材の最適断面を求め、断面積と断面2次モーメント(弱軸回り)の関係について述べるものである。

2. 最適断面の断面積と断面2次モーメントの関係

設計断面は図1に示す3断面とした。

制約条件は道路橋示方書(昭和55年)に従うものとし、目的関数は部材断面積とした。部材長 $L = 1 - 10 \text{ m}$ (1 m 毎)、軸圧縮力 $P = 1 \text{ t} - 100 \text{ t}$ (1 t 毎) について最適寸法を求めると、SS41を使用した時の箱型断面では図2、3となった。これらの断面には部材長と軸圧縮力の組合せによって1) 細長比と板厚 2) 許容応力と板厚のそれぞれ2個の制約条件がアクティブとなり、他の制約に対し余裕のある設計となっている。図2、3において、圧縮力によって寸法の変化しない範囲が1)、その他が2)の状態で決定されている範囲である。

これらの寸法から断面積と断面2次モーメントを求め、図にプロットすると図4のように、部材長に係わりなく、近似的に次式で表現しうる関係が見られる。

$$I = \alpha A^\beta \quad (1)$$

そこで最小2乗法で α 、 β を求めたのが表1である。ここで円管断面については、鋼板から製作する場合、管径が製作上約40 cm以上に限られているため、参考値とした。

表1によると、箱形、H形のいずれも鋼種による違いは小さなものであるが、上位の鋼種を用いると α は大きく、 β は小さくなる。これは計算された部材長、軸力の範囲がいずれの鋼種に対しても同一としたため、上位の鋼種ほど小さい断面で α 、 β が求められているからである。

また、参考のためJISの一般構造用鋼管とH形鋼のデータから α 、 β を求め、表2に示した。

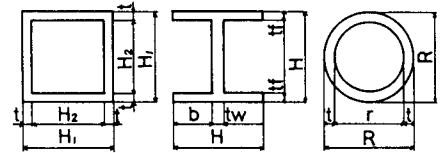


図1. 設計モデル

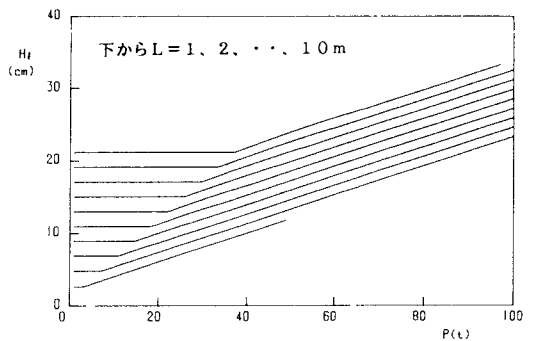


図2. 最適設計寸法(箱形 H_1 , SS41)

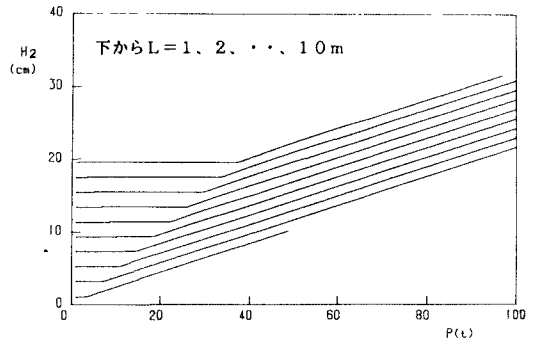


図3. 最適設計寸法(箱形 H_2 , SS41)

表1の平均値と表2の参考値を使うと、図5の近似曲線が描かれる。同じ断面積をもつなら断面2次モーメントが大きいほど許容応力が大きく設計上有利であることを考えると、箱形、H形、円管では円管が最も優れており、ついで箱形、H形の順となる。また、箱形と円管は傾向が似かよっているが、H形は他と大きく異なっている。JIS鋼管は断面積の小さい範囲で大きな断面2次モーメントを有するが、これは他の断面形の最小板厚が0.8cmであるのに対し、外径に応じた板厚で設計されており、一部でこれより薄い板厚が使われているからである。

3. α 、 β の考察

最適設計で得られた α 、 β を検討するため、いくつかの一般的な断面形についても α 、 β を求めた。表3は正方形、円、だ円のそれぞれについて、内部がある場合(Ⅰ)とない場合(Ⅱ)のAとIの関係を示したものである。なお、(Ⅱ)の場合は薄肉断面とした近似式で、板厚=0.8cmとした。 β はⅠ、Ⅱではそれぞれ2、3となり、

(Ⅰ)の断面が(Ⅱ)の断面の最も板厚の厚い場合であることを考えると、板厚が大きくなると β は2から3へ変化するものと考えられる。一方、 α は板厚が厚くなるに従って小さい値になると言える。このため、箱形、円管の α 、 β は板厚が0.8cm以上の時、表4の範囲と考えられる。

さて、最適設計から得られた α 、 β を表3、4と比較すると、それぞれの表4の範囲に該当しており、板厚が0.8cmと考えた表3の α 、 β に近いことがわかる。

4. おわりに

トラス部材に使われる断面積と断面2次モーメントの関係を示した。またこのとき近似式に使われるパラメータ α 、 β について考察した。今後この近似式を用いトラスの形状最適化について検討したいと考えている。

表4. Iの範囲 (板厚 $\geq 0.8\text{cm}$)

	Iの範囲
箱形	$0.0833A^2 < I < 0.0163A^3$
円管	$0.0796A^2 < I < 0.0198A^3$

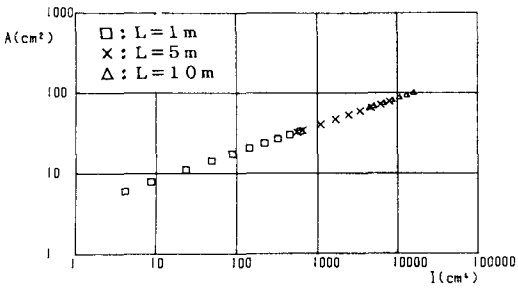


図4. 最適断面のAとIの関係 (箱形SS41)

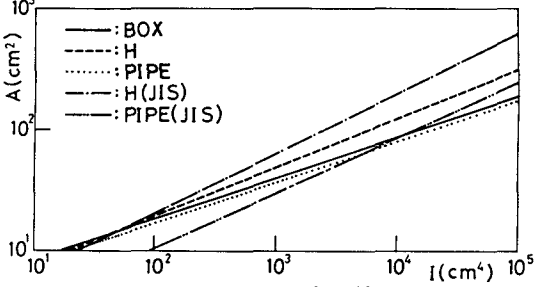


図5. AとIの近似曲線

表1. 最適断面の α 、 β

	箱形		H形	
	α	β	α	β
SS41	0.0176	2.98	0.0465	2.59
SM50	0.0179	2.98	0.0606	2.50
SM53	0.0181	2.97	0.0652	2.48
SM58	0.0189	2.96	0.0777	2.41
平均値	0.0181	2.97	0.0625	2.49

表2. 参考値

参考値		
	α	β
円管(SS41)	0.0209	2.99
JIS鋼管	0.595	2.19
JISH形鋼	0.208	2.04

表3. 一般断面の α 、 β (板厚=0.8cm)

断面形	α	β
中実正方形	0.0833	2
中実円形	0.0796	2
中実だ円形	$0.0796 * e$	2
箱形	0.0163	3
円管	0.0198	3
だ円管	$0.0396 * (3+e) * e^2 / (1+e)^3$	3

注) $e=b/a$: a, b は、だ円の外側長径、短径