

I - 1

目標計画法によるトラス構造物の最適設計

○八戸工業高等専門学校 正会員 斉藤 進
 早稲田大学理工学部 正会員 依田 照彦
 早稲田大学理工学部 正会員 堀井 健一郎

1. まえがき 多段階方式によって、トラス構造物の最小重量設計を行う場合、断面積一定の制約の下で、圧縮部材の許容応力度 $\sigma_{ca} = \sigma_{ca0} \cdot \sigma_{ca1} / \sigma_{ca0}$ を最大とする断面各部の寸法を決定する必要がある。本研究は、実際のトラス橋で用いられている断面形状を対象に、目標計画法によって、 σ_{ca} の最大化が良好に行えることを示したものである。

2. 圧縮材の最大許容応力度設計（最大荷重設計）

図1に示した断面の設計例では、 T_a 、 T_w 、 T_1 、 B_w を設計変数として、制約条件

(a)断面積制約 $g_1 = A - A_T = 0$ (1) (b)細長比制約 $g_2 = L/r_x - 120 \leq 0$ (2)
 $g_3 = I_x - I_y \leq 0$ (3) (c)ウェブ断面積制約 $g_4 = 0.4A - A_w \leq 0$ (4)

(d)最小、最大板厚制約、最小、最大ウェブ高制約

の下で、目的関数 $\sigma_{ca} = \sigma_{ca0} \cdot \sigma_{ca1} / \sigma_{ca0}$ (5) を最大とする問題となる。ただし、 A_T は与えてやる断面積とし、 σ_{ca0} 、 σ_{ca1} 、 σ_{ca0} は、道路橋示方書に基づいた式を用いる。 σ_{ca1} は、ウェブにおいて考慮し、上下フランジの（板厚/板幅）比が、ウェブの（板厚/板幅）比を上回るように制約する。

3. 目標計画法問題としての定式化

目標計画法は、多目的計画法の一方法であるが、この方法では、(1)～(4)式の制約条件、及び(5)式の目的関数を、全て次のような目標制約に変換する。

$G_1: A + n_1 - p_1 = A_T$ (6a) $G_2: L/r_x + n_2 - p_2 = 120$ (6b)
 $G_3: I_x - I_y + n_3 - p_3 = 0$ (6c) $G_4: 0.4A - A_w + n_4 - p_4 = 0$ (6d)
 $G_5: \sigma_{ca} + n_5 - p_5 = \sigma_{ca0}$ (6e)

また、上下フランジの（板厚/板幅）比が、ウェブの（板厚/板幅）比を上回るように

$G_6: T_w / (B_w - C_2) - T_a / B + n_6 - p_6 = 0$ (6f) $G_7: T_w / (B_w - C_2) - T_1 / B + n_7 - p_7 = 0$ (6g)

を加え、これらの目標制約の下で、達成関数

$\{a\} = \{(p_1 + n_1), (p_6), (p_7), (p_2), (p_3), (p_4), (n_5)\}$ (7a)

の最小化をはかる。（ケース1） 以上は、(5)式をそのまま用いて定式化した場合であるが、ある断面積の範囲で、 σ_{ca0} と σ_{ca1} が競合(conflict)することがあり、(5)式の目的関数では、収束しにくかったり、正解に収束しないことがある。そのような場合には、 σ_{ca0} と σ_{ca1} を別々の目的関数（2目的）として扱い、 σ_{ca1} を σ_{ca0} より優先して最大化するとよい。この時は、(6e)式、(7a)式の代わりに

$G_5: \sigma_{ca1} + n_5' - p_5' = \sigma_{ca0}$ (6h) $G_5': \sigma_{ca0} + n_5'' - p_5'' = \sigma_{ca0}$ (6i)

$\{a\} = \{(p_1 + n_1), (p_6), (p_7), (p_2), (p_3), (p_4), (n_5'), (n_5'')\}$ (7b)

が用いられる。（ケース2） また、実用的には意味が無いが、 σ_{ca0} を σ_{ca1} より優先して最大化したい場合には、(7b)式において、 (n_5') と (n_5'') の順序を入れ換えればよい。（ケース3） (7a)、(7b)式において、 p は目標よりの超過差異を、 n は不足差異を表し、 $p \neq 0$ の時 $n=0$ 、 $p=0$ の時 $n \neq 0$ である。また、これらは、(6a)～(6g)式の右辺の目標を達成したい優先順に並べてあり、上位から順番に目標が達成されるか、達成されない時でも出来るだけ目標に近づく。なお、目標計画法の解法には、単一目的の場合のSLPに相当する逐次線形化法を用いるので、各関数の設計変数に関する感度係数の計算が必要である。

4. 計算結果

図1の断面について、鋼種をSH50Y、部材長を $L=10m$ 、材材幅を $B=40cm$ 、 $C_1=7cm$ 、 $C_2=3cm$ 、 $36cm \leq B_w \leq 40cm$ 、初期値 $T_a=T_w=T_1=20mm$ 、 $B_w=40cm$ として、 A_T を $142cm^2(A_{1.1}) \sim 300cm^2$ の範囲で与えて、 σ_{ca} を求め

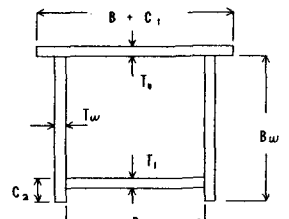


図1. 圧縮材の断面

た結果を、図2、表1に示す。図2より、 A_T が220cm²より小さくなると、 $\sigma_{c,s}$ を $\sigma_{c,0}$ に保っておくだけの断面積が不足し、 $\sigma_{c,0}$ が急激に低下することが分かる。この低下を生じる断面積の範囲では、鋼種グレードが高い程、弦材幅Bの大きい程、 $\sigma_{c,0}$ の低下は急激である。表1には、ケース1とケース2で、 $\sigma_{c,0}$ に差が生じた場合の結果を前後を含めて示してあるが、ケース2に比べて、ケース1では、収束までの繰返し回数が2倍程度になり、また、 $\sigma_{c,0}$ も低いことが分かる。すなわち、この断面積の範囲では、 $\sigma_{c,s}$ と $\sigma_{c,0}$ を2目的として扱うケース2の有利さが示されているといえる。また、ケース2とケース3とを比べてみると、ケース2では、ウェブの $\sigma_{c,s}$ が $\sigma_{c,0}$ になるように、(板厚/板幅)比が確保されるのに対して、ケース3では、 $\sigma_{c,0}$ を出るだけ大きくするために、ウェブは長く、フランジは厚くなり、そのためウェブの(板厚/板幅)比が犠牲にされて $\sigma_{c,s}$ が低下し、全体としての $\sigma_{c,0}$ が小さくなることが分かる。

次に、前述の設計例において、 $G_0: T_1=T_0(B+C_1)/B$ を加え、 $B_w=B$ (一定)として、2変数に換えた時の、設計空間を図3に示す。目標計画法では、初期点1から出発した変数値は、2点で G_0 を、4点で G_1 と G_4 を、5点で G_3 を各々満たし、(すなわち、目標に達して $p=0$ 、または $n=0$ となる。)5点以上に $\sigma_{c,0}$ を大きくする解は無いので5点に収束する。

(G_0, G_2 は最初から $p=0$ となっており2変数の場合、 G_7 は必要ない) また、 $\sigma_{c,s}$ が $\sigma_{c,0}$ 以下になる範囲は、図3の $bcc'b'$ の中であるが、ウェブ高の変化のない2変数の場合には、ケース1とケース2の差は生じていない。

5. あとがき 従来の断面の最大許容応力度設計では、図4に示すように、断面全体が伸び縮みすることによって、 $\sigma_{c,s}$ を $\sigma_{c,0}$ に保ち、 $\sigma_{c,0}$ を最大にすることが計られて来たが、共通の弦材幅が用いられるトラス部材の場合、この方法で得られる断面は非実用的である。本研究は、その点の改善を試みたものである。なお、圧縮斜材断面の設計例、最大許容応力度設計と最小断面積設計(最小重量設計)の等価性、上述の最大許容応力度設計を応用したトラス全体の最適設計などについては、当日発表の予定である。

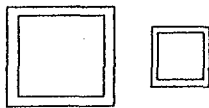


図4. 正方形ボックス断面

表-1 圧縮弦材の最大許容応力度設計 (*はケース1とケース2で差のある場合)

断面積 A_T (cm ²)	ケース	$\sigma_{c,0}$ (kg/cm ²)	$\sigma_{c,s}$ (kg/cm ²)	$\sigma_{c,0}$ (kg/cm ²)	繰返し 回数	T_0 (mm)	T_1 (mm)	T_2 (mm)	B_w (cm)
180	1	1296	2079	1283	9	12.3	10.1	12.3	36.0
	2	1296	2079	1283	9	12.3	10.1	12.3	36.0
	3	1395	1418	942	13	12.3	9.4	11.7	40.0
* 190	1	1327	2094	1323	19	12.6	10.5	13.2	37.1
	2	1341	2100	1341	11	12.4	10.8	12.4	38.1
	3	1396	1584	1054	13	13.0	9.9	12.4	40.0
* 200	1	1348	2099	1348	17	13.3	10.7	14.1	37.8
	2	1381	2100	1381	9	12.4	11.4	12.6	40.0
	3	1397	1759	1171	14	13.7	10.5	13.0	40.0
* 210	1	1385	2100	1385	16	13.6	11.4	13.9	39.6
	2	1391	2100	1391	8	13.7	11.4	13.5	40.0
	3	1398	1942	1293	13	14.4	11.0	13.6	40.0
220	1	1399	2100	1399	7	14.3	11.6	15.0	40.0
	2	1399	2100	1399	7	14.3	11.6	15.0	40.0
	3	1399	2100	1399	7	14.3	11.6	15.0	40.0

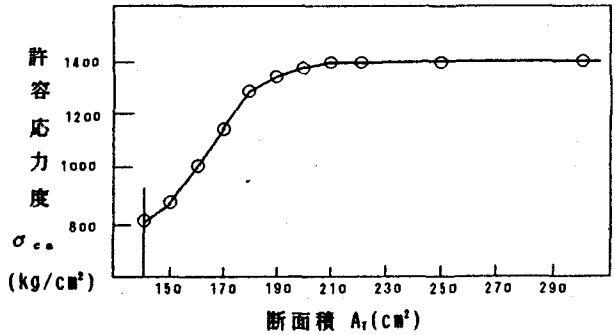


図2. 断面積と許容応力度との関係

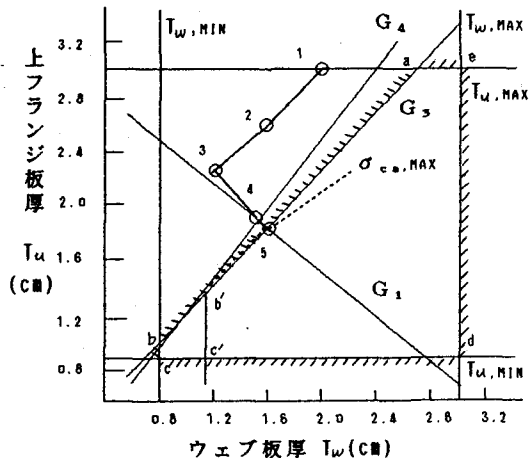


図3. 設計空間図 ($A_T=300\text{cm}^2$ の時)