

2段階最適化による格子構造の最小重量設計に関する研究

On the minimum weight design of elastic grillages by the two-level optimization

杉本博之* 吉岡修治**

by Hiroyuki Sugimoto and Syuuji Yosioka

Minimum weight design of elastic grillages with negligible torsional rigidity is studied. Two level optimization method is applied to divide the whole procedure into two parts. One is the structural level and the other is the sectional level optimization. The design variables, they were every sectional sizes in the primal problem, are reduced to the moments of inertia of area and the web heights in this structural level optimization. As the gradients of the functions are generally calculated by the finite difference method, this reduction greatly contributes to the efficiency of the procedure. The sectional level optimization is formulated as follows. Under the given values of the moment of inertia of area and the web height, the flange thickness are determined to minimize the sectional area subjected to several constraints. Two numerical examples are explained and the efficiency of proposed method is presented.

1. まえがき

格子構造は、交差するはりで構成され、その面外より垂直な荷重を受ける構造である。船体、基礎、橋梁等種々の構造物に利用されるが、特に橋梁では、最も多く利用される構造形式の1つである。

その設計は、応力、たわみ等がすべて許容値以内に入るように考慮してなされるが、連続格子桁橋のような高次の不静定次数を有する構造物の設計の場合には、一般に行われている試行錯誤による方法では、満足できる設計を得るのが困難となる場合もあることがいわれている。

このような設計問題には、本来最適設計法が有効に応用できるはずであるが、上述の設計上困難を伴う連続格子桁橋は、一般に規模が大きく、従来の最適設計法をそのまま利用するのは、設計変数の数が多過ぎて実用的ではない。構造物の設計問題はすべて目的関数、制約条件式および設計変数で表現できるが、最適設計法においては、それらの目的関数、制約条件式の1次の微係数の値が必要とされるのが一般である。それらの関数が、すべて陽な形の数式で表されていれば、解析的に微係数を求めることも可能であるが、構造物の一般の設計問題ではそのようなことはなく、差分で微係数の値を求める。1組の微係数の値を求めるには、(設計変数の数+1)回の構造解析を必要とするので、設計変数の数が多いと最適設計法の応用は困難となり、設計変数の数を少なくすることが、最適設計法の実用化のための重要な問題となる。

トラス構造物においては、サブオプティミゼーションの概念¹⁾より、種々の断面形状において設計変数を部材断面寸法から部材断面積に変換することができ²⁾、最小重量設計法の実用化がなされた。

* 工博 室蘭工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒050 北海道室蘭市水元町27-1)

** 室蘭工業大学大学院生 工学研究科修士課程 (〒050 北海道室蘭市水元町27-1)

一方、鋼連続桁の最適設計においては、サブオプティミゼーションを用いる方法が研究されているが⁽³⁾、そこでは、各鋼種、腹板高およびフランジ固定間距離毎にサブオプティミゼーションを行い、その結果を関数近似する必要があった。また、既製形鋼の断面係数と断面2次モーメントの関係を用いることがなされているが⁽⁴⁾、適用範囲が限定され、橋梁のように集成部材で構成される構造には応用できない。

筆者の1人はすでに、ねじり剛性を無視できる⁽⁵⁾ 格子構造の最小重量設計に2段階最適化手法を応用して、サブオプティミゼーションの結果を関数近似することなしに設計変数を部材断面2次モーメントのみとできることを示し、小規模な単径間の格子構造の設計に応用した⁽⁶⁾。しかしここでは、重要な設計変数である腹板高のリンクは考慮されていないので、各部材毎に腹板高が異なり、また許容応力度は一定である等、実用化の点では問題があった。

本論文においては、腹板高は、他の部材断面寸法とは独立してリンクされる。つまり、例えば変断面位置に関係なく、腹板高は一定ということが可能であり、また、許容応力度は部材断面寸法の関数であるなど、上述の方法に実用化のための種々の改良を加えた。また、この方法を、68部材あるいは74部材の連続格子構造の最小重量設計に応用し、その有効性を検討した。

2. 格子構造の最小重量設計の定式化

格子構造の各部材の断面を、図-1のように上下、左右対称のI形断面とする。このような断面より構成される格子構造物は、ねじり剛性を無視して解析できることが、道路橋示方書に定められている。

このような格子構造物の最小重量設計問題は、以下のように定式化される。

なお、腹板高 h は、フランジ幅 b 及びフランジ厚 t とは独立してリンクされ、設計変数としての数は任意であるが、以下の記述では表現を簡単にするために、腹板高に関しては、主桁の腹板高 h_g 、横桁の腹板高 h_y の2つのみ考慮するものとする。

$$\text{目的関数} \quad ; \quad W = \sum_{i=1}^n \rho \cdot l_i \cdot A_i(b_i, t_i, h_i) \longrightarrow \min \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{制約条件式} \quad ; \quad g^{(1)}_{ik} &= \sigma_{ik} - \sigma_{ai} \leq 0 \\ &\quad (k=1 \sim K) \\ g^{(2)}_i &= b_g - b_i \leq 0 \\ g^{(3)}_i &= b_i / 32 - t_i \leq 0 \\ t_g &\leq t_i \leq t_u \\ h_g &\leq h_g \leq h_u \\ h_g &\leq h_y \leq h_u \\ g^{(4)}_{jk} &= \delta_{jk} - \delta_a \leq 0 \\ &\quad (j=1 \sim J, k=1 \sim K) \end{aligned} \right\} (i=1 \sim n) \quad (2)$$

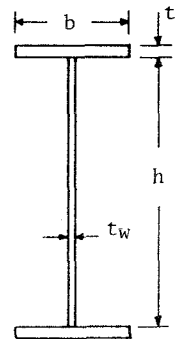


図-1 I形断面

$$\text{設計変数} \quad ; \quad b_i, t_i \quad (i=1 \sim n), h_g, h_y$$

ここで、 ρ : 単位体積重量、 l_i : i 部材の部材長、 A_i : i 部材の断面積、 $g^{(1)}$: 応力に関する制約条件式、 $g^{(2)}$: 最小フランジ幅に関する制約条件式、 $g^{(3)}$: 自由突出板の最小板厚に関する制約条件式（腹板厚さを考慮していないので、安全側の制約となっている。）、 σ_{ik} : k 番目の荷重条件による i 部材の応力度、 σ_{ai} : i 部材の許容曲げ圧縮応力度、 K : 荷重条件数、 b_g : フランジ幅の下限値、 t_u, t_g : それぞれフランジ厚の上・下限値、 h_u, h_g : それぞれ腹板高の上・下限値、 $g^{(4)}$: たわみに関する制約条件式、 δ_{jk} : k 番目の荷重条件による、たわみを制限する節点 j のたわみ、 δ_a : 許容たわみ量、 J : たわみを制限する節点の数、 n : 部材数。

なお、フランジ幅およびフランジ厚は、複数の部材間でリンクされている。断面の種類数を N とすると、 N と n の間にはつぎの関係がある。

$$N \leq n \quad (6)$$

腹板高に関する設計変数が h_g と h_y であると、上式で表現される設計問題（原問題）の設計変数の数は、

$$2 \times N + 2 \quad (7)$$

となる。

3. 2段階最適化による格子構造の最小重量設計

式(1)～(5)で定義される原問題に何等変換を加えず、最適化手法を応用することは可能であるが、構造物が大きくなるに従い、設計変数および制約条件式の数が多くなり実用的でない。そこで以下に説明する2段階最適化手法を応用するのが適当と考えられる。

2段階最適化手法は、原問題を構造レベルの最適化と部材断面レベルの最適化の2段階に分割する方法で、その部材断面レベルの最適化を、断面2次モーメントおよび腹板高一定下における最適化問題と定式化することによって、構造レベルの最適化における設計変数を、各部材の断面2次モーメントおよび腹板高のみとすることができる。その結果、本論文の構造レベルの最適化の設計変数の数は、式(7)から、

$$N + 2 \quad (8)$$

と減少される。

以下に、構造レベルの最適化と部材断面レベルの最適化の定式化、および2段階最適化による格子構造物の最小重量設計の構成について説明する。

(1) 構造レベルの最適化の定式化

ねじり剛性を無視できる格子構造の最小重量設計を、2段階最適化により行なう場合、構造レベルの最適化は以下のように定式化される。

$$\text{目的関数} \quad ; \quad W = \sum_{i=1}^n \rho \cdot l_i \cdot A_i(l_i, h_i) \longrightarrow \min \quad (9)$$

$$\text{制約条件式} \quad ; \quad g_i \leq 0 \quad (i = 1 \sim n) \quad (10)$$

$$h_g \leq h_g \leq h_u \quad (11)$$

$$h_g \leq h_y \leq h_u \quad (12)$$

$$g^{(4)}_{jk} = \delta_{jk} - \delta_a \leq 0 \quad (13)$$

$$(j = 1 \sim J, k = 1 \sim K)$$

$$\text{設計変数} \quad ; \quad l_i \quad (i = 1 \sim n), h_g, h_y$$

ここで、 l_i は i 部材の断面2次モーメント、 g_i は、各部材毎に部材断面レベルの最適化で計算される制約条件式の値であり、後記する。

2段階最適化においては、構造解析はこの構造レベルの最適化で行われるので、前述のように設計変数の数が半減する効果は大きい。

(2) 部材断面レベルの最適化の定式化

部材断面レベルの最適化は、各部材毎に行われる。

構造レベルの最適化から、各部材毎に断面2次モーメントと腹板高の値が与えられ、それらの下で、応力度と断面寸法に関する制約条件式を満足し、断面積を最小にする断面寸法を決定する。

図-1に示された断面の断面2次モーメント I は、

$$I = b \cdot t \cdot (h + t)^2 / 2 + t_w \cdot h^3 / 12 \quad (14)$$

で表現されるので、フランジ幅 b は次式で表現される。

$$b = (12 \cdot I - t_w \cdot h^3) / 6 t (h + t)^2 \quad (15)$$

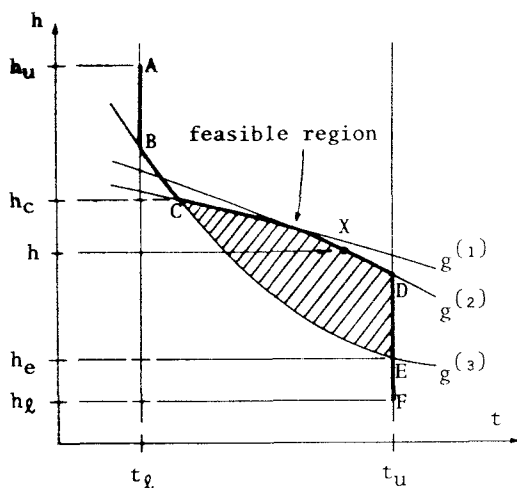


図-2 実行可能領域

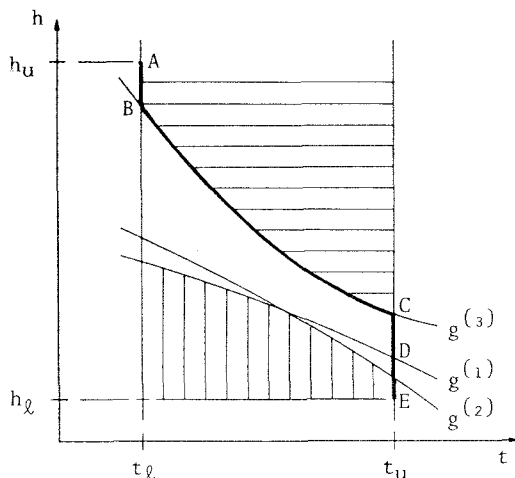


図-3 実行可能領域がない場合

従って、部材断面レベルの最適化は、以下のように定式化される。なお、部材の番号を示すサフィックス i は省略する。

$$\begin{aligned} \text{目的関数} \quad ; \quad A &= 2 \cdot b \cdot t + t_w \cdot h \\ &= (12 \cdot I - t_w \cdot h^3) / 3 t (h + t)^2 + t_w \cdot h \longrightarrow \min \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{制約条件式} \quad ; \quad I, h &\longrightarrow \text{given} \\ g^{(1)} &= \max(\sigma_k) - \sigma_a \leq 0 \end{aligned} \quad (17)$$

$$g^{(2)} = b_g - b \leq 0 \quad (18)$$

$$g^{(3)} = b/32 - t \leq 0 \quad (19)$$

$$t_g \leq t \leq t_u \quad (20)$$

設計変数 ; b, t

この問題は、2変数の問題であるが、式(15)より b を t で表現することができるので、1変数 t だけの問題になる。さらに、式(17)～(20)で形成される実行可能領域は、一般に図-2に斜線を施したCDEのようにになるが、目的関数はフランジ厚 t に関して減少関数であるので⁶⁾、 h が与えられれば最適解は X となる。つまり、この部材断面レベルの最適化においては、 t に関する $g(t) = 0$ なる非線形方程式を解くアルゴリズムがあれば良いことになり、本論文ではニュートン法を用いて解いている。

実際には、構造レベルの最適化から与えられる h の値が、図-2の $h_e \leq h \leq h_c$ の範囲にあるとは限らず、

$$h_c < h \leq h_u \quad h_g \leq h < h_e \quad (21)$$

となるのが一般である。また、実行可能領域の形状は、断面2次モーメント、作用最大曲げモーメント、鋼材、フランジ幅、フランジ厚の上・下限の各値に支配されるが、それらの値の組合せによっては、制約条件式間に矛盾が生じ、図-3に示すように実行可能領域をもたないことも、最適化の過程の中では起り得る。

このような場合には、制約条件式に適当な正の値を代入して構造レベルの最適化に返している。

各ケース毎の設計および制約条件式の値の決定は以下のようにされる。

A) 実行可能領域がある場合(図-2)

1) $h_c < h \leq h_u$; 図-2において、 h に対応するABC上の設計をとりあえずの設計とする。これらは実行可能領域内ではないので、構造レベルの最適化に返す制約条件式の値は、満足して

いない制約条件式だけ注目し次式とする。

$$g_i = \max[g^{(1)}, 0] + \max[g^{(2)}, 0] + \max[g^{(3)}, 0] \quad (22)$$

2) $h_e \leq h \leq h_c$; ここでは、腹板高 h の値が実行可能領域内であるので、図-2のCDE上が設計点となる。また構造レベルの最適化に返す制約条件式の値は、満足されているすべての制約条件式の中で最大の制約条件式だけ注目し次式とする。

$$g_i = \max[g^{(1)}, g^{(2)}, g^{(3)}] \quad (23)$$

3) $h_g \leq h < h_e$; 図-2において、 h に対応するEF上の設計をとりあえずの設計とする。ここでも、これらは実行可能領域内ではないので、構造レベルの最適化に返す制約条件式の値は、式(22)によって求められる。

B) 実行可能領域がない場合(図-3)

図-3において、 h に対応するABCDE上の設計をとりあえずの設計とする。ここでは、実行可能領域は全く存在しないので、構造レベルの最適化に返す制約条件式の値は、満足していない制約条件式に注目し式(22)となる。

(3) 2段階最適化による格子構造の最小重量設計の構成

前記のように、ねじり剛性を無視できる格子構造の最小重量設計は、基本的には、構造レベルの最適化と部材断面レベルの最適化より構成されるが、さらにそれらと構造解析、オブティマイザーとの関係を図示したのが、図-4のフローチャートである。図中、 $\{\}$ はベクトルを表す。

全体が構造レベルの最適化と考えられ、それは、構造解析、部材断面レベルの最適化(2重枠線内)およびオブティマイザーより構成される。

オブティマイザーは、何らかの最適化手法より構成される部分であるが、設計変数である I と h が出力され、それらの値に対応する目的関数および制約条件式の値が入力される。

4. 数値計算例

数値計算例においては、格子構造物の最小重量設計を、本論文の方法と断面寸法をすべて設計変数として原問題をそのまま解く方法との両方を、同一の初期値に対して行い、その結果を比較した。計算例は、74部材と68部材の連続格子構造である。

両手法の比較としては、目的関数(総体積)、設計変数の値および最適化の過程で要した構造解析回数が考慮されている。ただし構造解析回数においては、関数の微係数の値が差分によって計算されているので、これに要した構造解析の回数も含まれている。最適化手法としては、汎用最適化プログラムADS⁷⁾中の逐次2次計画法(SQP)⁸⁾と逐次線形計画法(SLP)を用いた。また、格子構造の解析は変位法で行った。

鋼材はSS41を使用し、水平補剛材はないとしているので、腹板厚は次式で計算される。

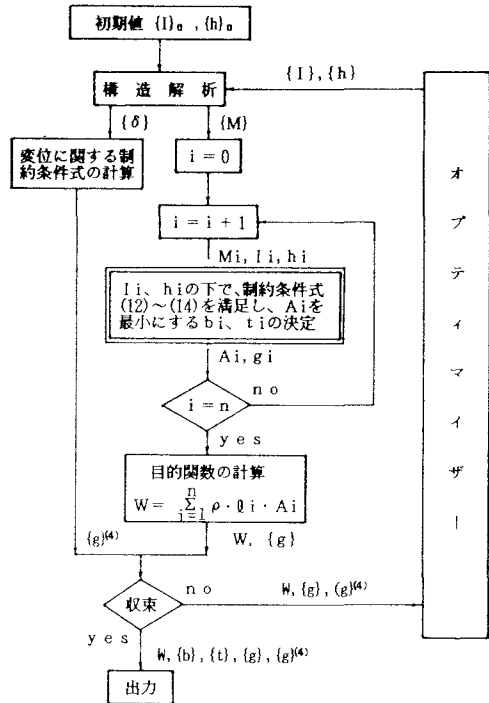


図-4 格子構造の最小重量設計のフローチャート

$$t_w = \max (h/152, 0.9) \quad (\text{cm}) \quad (24)$$

また、 $t_g = 1.0\text{cm}$ 、 $t_u = 3.8\text{cm}$ 、 $b_g = 10.0\text{cm}$ 、フランジ固定間距離 = 300cm とする。許容応力度は、道路橋示方書に従った。

(1) 74部材よりなる連続格子構造

図-5に構造と荷重系を示す74部材の3主桁の連続格子構造の例である。図の主桁を示す細線と太線は、リンクされている部材の関係を示し、それらに付してある数字は断面の種類の番号である。1つの断面につき、1つのフランジ幅と1つのフランジ厚を設計変数として持つ。これは、次の例題でも同じである。また、主桁の断面はスパンセンターに関して対称であり、幅員方向においても左右対称である。横桁はすべて同一断面である。主桁腹板高は h_g 、横桁腹板高は h_y とする。

荷重条件数は3である。荷重条件1は、主桁に等分布荷重($q = 2\text{t/m}$)が載荷され、さらに左から右へ移動する連行荷重($P = 20\text{t}$)が図-5のように載荷される。荷重条件2および荷重条件3は、等分布荷重の大きさ、作用位置および連行荷重の大きさは荷重条件1と同じで、連行荷重の作用位置が荷重条件2で節点Aから、荷重条件3で節点Bから始まる。

ここでは、応力だけの制約条件の場合と、応力のみならず各主桁において側径間、中央径間のスパンセンターのたわみをそれぞれ7cm以下に制約した場合を考慮し、さらに初期値と最適化手法を種々変えて、全部で12ケースの計算を行ない、結果を比較した。

目的関数と構造解析回数計算結果を表-1に示した。左欄が応力だけの制約条件の場合であり、右欄が変位と応力の制約条件の場合である。なお、この表でinitial value は、初期値における目的関数の値を示している。またSQPのcase2の各断面の断面寸法の値を表-2に示した。

応力だけの制約条件の場合、目的関数の値はほぼ一致している。構造解析回数は本論文の方法の方が良い結果を示し、平均するとSQPで4割弱、SLPで6割程度に減少している。断面寸法は本論文の方法の方が全体的にフランジ厚が厚くなる結果となっている。

変位と応力の制約条件の場合も同様の傾向がみられ、構造解析回数は、平均するとSQPで5割強、SLPで4割強に減少している。

(2) 68部材よりなる連続格子構造

図-6に構造と荷重系を示す68部材の5主桁の連続格子構造の例である。主桁の断面は中間支点に関して対称であり、幅員方向においても左右対称である。横桁はすべて同一断面である。主桁腹板高は h_g 、横桁腹板高は h_y とする。

荷重条件数は3である。荷重条件1は、主桁に等分布荷重($q = 2\text{t/m}$)が載荷され、さらに左から右へ移動する連行荷重($P = 20\text{t}$)が図-6のように載荷される。荷重条件2および荷重条件3は、等分布荷重の大きさ、作用位置および連行荷重の大きさは荷重条件1と同じで、連行荷重の作用位置が荷重条件2で節点Aから、荷重条件3で節点Bから始まる。

ここでは、応力だけの制約条件の場合と、応力のみならず各主桁においてスパンセンターのたわみを10cm以下に制約した場合を考慮し、さらに初期値と最適化手法を種々変えて、全部で12ケースの計算を行ない、結果を比較した。

目的関数と構造解析回数計算結果を表-3に示した。左欄が応力だけの制約条件の場合であり、右欄が変位と応力の制約条件の場合である。なお、この表でinitial value は、初期値における目的関数の値を示している。またSQPのcase3の各断面の断面寸法の値を表-4に示した。

応力だけの制約条件の場合、前例と同様に目的関数の値はほぼ一致している。構造解析回数も本論文の方法の方が良い結果を示し、平均するとSQPで3割程度、SLPで6割弱に減少している。断面寸法はほぼ

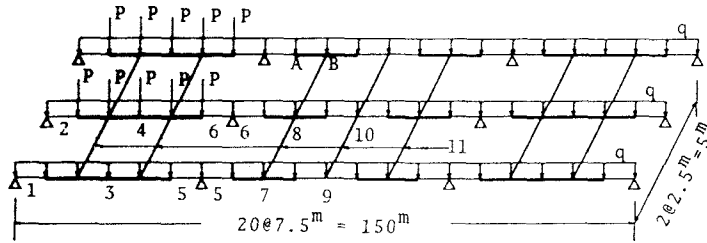


図-5 7 4 部材連続格子構造

表-1 目的関数と構造解析回数 (7 4 部材)

method		initial value	stress only		stress + displacement	
			proposed method	primal problem	proposed method	primal problem
S Q P	CASE 1	56.89 m ³	38.38 m ³ [155]	40.90 m ³ [256]	45.24 m ³ [119]	47.82 m ³ [233]
	CASE 2	48.06 m ³	39.33 m ³ [155]	39.34 m ³ [510]	44.75 m ³ [154]	45.13 m ³ [310]
	CASE 3	58.06 m ³	39.83 m ³ [156]	41.31 m ³ [534]	44.78 m ³ [213]	46.44 m ³ [341]
S L P	CASE 1	56.89 m ³	39.80 m ³ [238]	39.28 m ³ [450]	45.53 m ³ [196]	45.29 m ³ [300]
	CASE 2	48.06 m ³	39.73 m ³ [280]	39.63 m ³ [450]	45.29 m ³ [182]	44.98 m ³ [255]
	CASE 3	58.06 m ³	40.07 m ³ [238]	40.64 m ³ [300]	44.82 m ³ [98]	47.26 m ³ [525]

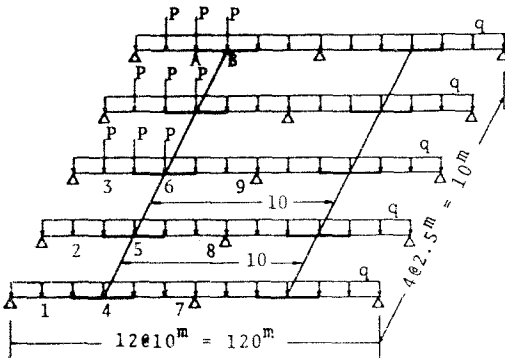


図-6 6 8 部材連続格子構造

表-3 目的関数と構造解析回数 (6 8 部材)

method		initial value	stress only		stress + displacement	
			proposed method	primal problem	proposed method	primal problem
S Q P	CASE 1	75.68 m ³	54.66 m ³ [196]	55.08 m ³ [711]	60.37 m ³ [211]	64.02 m ³ [385]
	CASE 2	70.97 m ³	55.05 m ³ [139]	57.93 m ³ [276]	60.28 m ³ [146]	62.56 m ³ [459]
	CASE 3	83.56 m ³	54.63 m ³ [144]	54.76 m ³ [473]	60.32 m ³ [117]	61.01 m ³ [365]
S L P	CASE 1	75.68 m ³	55.13 m ³ [247]	54.96 m ³ [391]	61.01 m ³ [65]	62.53 m ³ [299]
	CASE 2	70.97 m ³	55.23 m ³ [156]	55.54 m ³ [345]	60.75 m ³ [234]	62.08 m ³ [144]
	CASE 3	83.56 m ³	55.01 m ³ [143]	54.92 m ³ [230]	61.09 m ³ [78]	61.10 m ³ [231]

表-2 部材断面寸法 (7 4 部材)

constraint	stress only		stress + displacement	
method	proposed method	primal problem	proposed method	primal problem
b1 (cm)	55.62	55.75	22.75	42.79
b2 (cm)	25.96	27.15	13.12	14.24
b3 (cm)	82.95	64.33	38.89	49.31
b4 (cm)	32.44	29.06	25.23	25.46
b5 (cm)	108.57	95.34	69.81	90.39
b6 (cm)	58.40	54.45	30.94	56.22
b7 (cm)	62.98	56.06	48.13	56.34
b8 (cm)	56.87	69.01	23.86	52.16
b9 (cm)	63.21	53.32	105.05	94.31
b10 (cm)	40.76	52.66	51.37	82.12
b11 (cm)	86.89	75.83	62.47	68.60
t1 (cm)	2.69	2.11	3.80	1.49
t2 (cm)	1.04	1.00	3.60	3.05
t3 (cm)	3.21	3.44	3.80	3.12
t4 (cm)	1.10	1.00	1.00	1.00
t5 (cm)	3.80	3.65	3.80	3.46
t6 (cm)	2.19	2.02	1.11	1.92
t7 (cm)	2.47	2.08	3.80	2.14
t8 (cm)	3.76	2.60	3.74	2.72
t9 (cm)	2.54	2.26	3.80	3.67
t10 (cm)	3.51	3.74	3.80	3.71
t11 (cm)	3.29	3.01	2.33	2.78
hg (cm)	228.45	251.27	299.96	297.33
hw (cm)	182.03	221.40	224.84	217.77

表-4 部材断面寸法 (6 8 部材)

constraint	stress only		stress + displacement	
method	proposed method	primal problem	proposed method	primal problem
b1 (cm)	65.94	75.17	60.61	73.46
b2 (cm)	66.30	63.54	53.54	58.36
b3 (cm)	58.09	55.24	48.48	43.70
b4 (cm)	83.97	81.64	115.85	105.36
b5 (cm)	50.60	60.53	40.71	64.57
b6 (cm)	38.31	35.68	32.48	40.27
b7 (cm)	89.99	88.18	64.21	88.44
b8 (cm)	74.28	70.21	63.39	75.66
b9 (cm)	60.62	63.83	43.59	59.44
b10 (cm)	44.29	40.13	49.77	59.28
t1 (cm)	3.80	3.11	3.80	2.83
t2 (cm)	2.75	2.40	1.94	2.29
t3 (cm)	2.27	2.10	1.74	1.88
t4 (cm)	3.15	3.17	3.80	3.80
t5 (cm)	3.80	2.62	3.80	3.35
t6 (cm)	3.80	3.65	3.80	2.90
t7 (cm)	3.80	3.61	3.80	3.38
t8 (cm)	3.80	3.44	2.33	2.77
t9 (cm)	3.74	3.18	3.80	2.21
t10 (cm)	1.64	1.93	2.84	2.58
hg (cm)	256.58	270.59	300.00	294.33
hw (cm)	77.90	83.20	60.85	51.61

一致している。

変位と応力の制約条件の場合、目的関数の値は同じか本論文の方法の方が若干少ない。にもかかわらず、構造解析回数は1例以外すべて減少しており、平均すればSQPで4割弱、SLPで5割程度に減少している。

5. 結論

ねじり剛性を無視できる比較的大規模な不静定格子構造の最小重量設計を効率的に行うために、2段階最適化手法の応用を試み、数値計算例でその有効性を検討した。

本論文より得られた事項を箇条書にすると以下になる。

- (1) ねじり剛性を無視できる格子構造の最小重量設計問題を、構造レベルの最適化と部材断面レベルの最適化に分けた。
- (2) 構造レベルの最適化における設計変数は、各部材の断面2次モーメントと、部材とは独立してリンクされる腹板高のみに縮小され、制約条件式は、部材断面レベルの最適化で各部材毎に1つ計算される制約条件と、変位等の剛性に関するものに縮小される。従って、構造レベルの最適化は、部材の断面寸法をすべて設計変数とする方法に比べてはるかに小規模となり、効率的な最適化が可能となる。
- (3) 部材断面レベルの最適化は、断面2次モーメントと腹板高一定の下で、応力度および断面寸法に関する制約条件を満足し、部材断面積を最小にする断面寸法の決定として定式化される。ここでは、設計変数はフランジ厚 t のみとなり、その最適値は許される最大値となる。

断面2次モーメント、作用最大曲げモーメント等の値によっては、この部材断面レベルの最適化が実行可能領域をもたないことも起り得るが、そのような場合に対する対処法も説明している。

また、この部材断面レベルの最適化問題は、設計変数の数が少ないこともあり、板厚、フランジ厚等はその離散値のみを扱うことも可能である。

- (4) 数値計算例として、3本主桁74部材の連続格子桁と、5本主桁68部材の連続格子桁の最小重量設計を、本論文の方法と、断面寸法をすべて設計変数として原問題をそのまま解く方法の両方で行った。最適化手法はSQPとSLPを用い、目的関数の値と最適化に要した構造解析の回数で両手法の比較を行った。

その結果、目的関数の値は、24ケース中18ケースで本論文の方が若干少なく、また構造解析の回数は、24ケース中23ケースで本論文の方が少なくなり、平均すると、SQPで約40%、SLPで約55%に減少した。

- (5) 構造物の最適設計においては、最適化の過程で行われる構造解析の回数が効率を支配するので、本論文の方法による設計変数の縮小、及びそれによる構造解析の数の減少は、構造系の規模が大きくなればなる程、効果が顕著に現れると思われるので、効率化に寄与する所は大きいと思われる。

参考文献

- 1) 大久保 禎二：トラス構造物の最適設計法に関する研究、土木学会論文報告集、第177号、pp.9~19、1970.
- 2) 杉本 博之：任意形状の断面よりなるトラス構造物の最小重量設計、第9回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、pp.251~256、1985.
- 3) 大久保 禎二：Suboptimizationによる鋼連続桁の最適設計、土木学会論文報告集、第215号、pp.1~14、1973.
- 4) Kavlir, D. and Moe, J. : Automated design of frame structures, J. Struct. Div., ASCE, Vol. 97,

no.ST1、pp.33～62、1971.

- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編、丸善株式会社、1980.
- 6) 杉本博之：格子構造の効率的最小重量設計について、第10回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、pp.46～51、1986.
- 7) Vanderplaats,G.N. and Sugimoto,H. : A General-Purpose Optimization Program for Engineering Design、Journal of Computers and Structures、Vol.24, No.1, 1986.
- 8) Vanderplaats,G.N. and Sugimoto,H. : Application of variable metric methods to structural synthesis、Engineering computations、vol.2、No.2、pp.96～100、1985.

(1986年10月17日受付)