部材せい設計変数を考慮した鋼構造建築骨組の最小重量設計に関する研究

A STUDY ON MINIMUM WEIGHT DESIGN OF STEEL BUILDING FRAMES
CONSIDERING MEMBER SECTION'S DEPTH DESIGN VARIABLES

澤田 樹一郎*, 周 岩**, 松尾 彰***, 中村雄治****

Kiichiro SAWADA, Yan ZHOU, Akira MATSUO
and Yuji NAKAMURA

The minimum weight design problem of steel frames considering member section's depth design variables is described in this paper. The algorithm that separately executes member section's depth optimization and cross section optimization is presented. The relaxation method is used in combination optimization of the member section's depth, and the sequential linear programming (SLP) method is used in the cross section optimization. 5-story frame and 10-story frame are designed by the presented method, and these frames are compared with the frames designed by genetic algorithm.

Keywords : Minimum weight design, Member section's depth, Relaxation method,
Sequential linear programming

最小重量設計、部材断面せい、緩和法、反復線形計画法

1. 序

鋼構造建築骨組の部材断面最適化に関する研究は、これまでに数多く行われてきたが、それらの研究の多くは、問題の単純化のため、部材断面積を連続設計変数とし、その他の部材断面性能を断面積の関数として近似する定式化を採用している¹⁾²⁾³⁾等。しかし、現実の構造設計の場では、施工性や建築計画の観点から、梁せいを制限したいことや柱せいを統一したいといった要求もあり、既往の設計問題の定式化では、これらの要求にこたえることは難しいと考えられる。そこで、最近では、部材せい又は部材幅を指定して最適設計を行った例もいくつか存在する。小坂ら³⁾は、部材せいを指定し、板厚を設計変数とした問題を取り扱っている。松本ら⁴⁾は、部材せいが同じ断面の部材断面性能間の近似式を算出し、SLP法(Sequential liner programming)を用いて部材せいを指定した最適設計問題を解いている。また、堤⁵⁾は、部材せいも独立な設計変数とした問題を取り扱っている。しかし、そこでは、柱せいあるいは梁せいがすべての部材で同一と仮定している。

本論文では、部材断面積だけでなく部材せいも独立な設計変数とし、複数の部材せい設計変数の設定も可能な建築骨組の最小重量設計手法が提案される。部材せいと断面積を同時に設計変数と

して取り扱って最適化する場合には、以下に述べるような問題が生じることが予想される。

- (1) 一部材内に複数の設計変数が存在するので、最適化問題の構造が複雑となり局所解に陥りやすくなる。
- (2) 部材せいに応じて部材断面積の上下制限値が不連続に変わることを考慮することが難しい。

このような問題に対して、遺伝アルゴリズム(GA)を用いて離散最適化することも方法の一つとして考えられるが、ここでは、部材せいの最適化と部材断面の最適化を分離して実行するアルゴリズムを提案する。まず、2節では、部材せいが指定された建築骨組の部材断面最適化問題の定式化とその解法が示される。3節、4節では、2節の方法と部材せいの組み合わせ最適化手法を併用することにより、部材せいと部材断面を最適化する方法が示される。なお、部材せいの組み合わせ最適化には、Relaxation method(緩和法)⁶⁾が用いられる。また、部材断面の最適化にはSLP法¹⁾⁷⁾が用いられる。5節では、設計例として、静的荷重下における許容応力度と弾性層間変形角を制約条件とした5層および10層の鋼構造建築骨組が最小重量設計される。また、6節で、GAによる設計解とも比較し、本手法の有効性が検討される。

* 広島大学 助手・工修
** 広島大学 大学院生・工修
*** 広島大学 教授・工博
**** 中村建築研究所 所長・Ph. D.

Research Assoc., Hiroshima Univ., M. Eng.
Graduate Student, Hiroshima Univ., M. Eng.
Prof., Hiroshima Univ., Dr. Eng.
Head, Nakamura Research Institute, Ph. D.

2. 部材せい指定最小重量設計問題の定式化と解法

2.1 部材断面性能間関係

部材せいが指定された場合には、部材断面積 A 、断面二次モーメント I 、断面係数 Z の間に以下の関係式が近似的に成立する。

$$I = \alpha_I A \quad (1)$$

$$Z = \alpha_Z A \quad (2)$$

ここでは部材断面を製鉄メーカーの市販部材断面リストから選択することにすれば、係数 α_I 、 α_Z は、市販部材断面リストを各部材せいごとにグループ分けし、最小自乗法を適用することにより表 1 のように得られる。例として部材せい 500mm の角形鋼管および細幅系列 H 形鋼の部材断面性能間関係を図 1 に示す。

表 1(A) 角形鋼管断面の係数 α_Z, α_I

部材せい	α_Z	α_I
350 mm	10.1	175
400 mm	11.4	227
450 mm	13.0	293
500 mm	14.7	367

表 1(B) 細幅系列 H 形断面の係数 α_Z, α_I

部材せい	α_Z	α_I
500 mm	17.6	440
600 mm	20.8	624
700 mm	23.9	836
800 mm	26.2	1050

図 1(A) 部材せい 500mm 角形鋼管の A-I 関係

図 1(B) 部材せい 500mm 細幅系列 H 形鋼の A-I 関係

2.2 部材せい指定最小重量設計問題の定式化

部材応力および層間変形を制約条件とする多層多スパン鋼構造建築骨組の部材せい指定最小重量弾性設計問題は、以下のように表現できる。

Find A_i ($i=1,2,\dots,m$) which minimize structural weight,

$$W = \rho \sum_{i=1}^m A_i L_i \quad (6)$$

subjected to

$$\left(\frac{N_i}{f_{Ni}} + \frac{M_i}{\alpha_{Zi} f_{Mi}} \right) \cdot \frac{1}{A_i} \leq 1 \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (7)$$

$$\frac{\delta_{k+1} - \delta_k}{H_k} \leq \frac{1}{200} \quad (k=1,2,\dots,n_F) \quad (8)$$

$$A_{Li} \leq A_i \leq A_{Ui} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (9)$$

$$D_i = \bar{D}_i \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (10)$$

ここで、(7)式は、部材応力度に対する制約条件、(8)式は、層間変形に対する制約条件、(9)式は、設計変数の上下限制約条件、(10)式は、部材せい指定条件である。 ρ は、鉄骨比重、 L_i は、部材長、 N_i, M_i は、部材 i の軸力、曲げモーメントの最大値、 f_{Ni}, f_{Mi} は、それぞれ軸力、曲げに対する許容応力度、 δ_k, H_k は、それぞれ k 階の水平変位と階高である。 n_F, m は、建築物の階数および部材総数である。 A_{Li}, A_{Ui} は、設計変数 A_i の上下限制約値であり、市販の部材断面リストの情報と部材せい D_i の指定値 $\bar{D}_i$ に応じて異なる値として決定される。

2.3 SLP 法¹⁾⁷⁾

2.2 節で表した最小重量設計問題は、非線形制約条件付き最小化問題であり、以下のようにも表せる。

Find $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$ which minimize W

subjected to

$$g_j \leq 1 \quad (j=1,2,\dots,n_R) \quad (11)$$

$$A_{Li} \leq A_i \leq A_{Ui} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (12)$$

ここで、 n_R は、制約条件の総数である。上記の問題の目的関数 $W(A)$ および制約関数 g_j を初期設計解 A_0 まわりでテーラー一次近似することにより、以下のような近似線形計画問題が作成できる。

Find $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$ which minimize

$$\tilde{W} = \sum_{i=1}^m \frac{\partial W}{\partial A_i} \bigg|_{A=A_0} (A_i - A_{0i}) \quad (13)$$

subjected to

$$\tilde{g}_j = \sum_{i=1}^m \frac{\partial g_j}{\partial A_i} \bigg|_{A=A_0} (A_i - A_{0i}) \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n_R) \quad (14)$$

$$A_{Li} \leq A_i \leq A_{Ui} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (15)$$

上述の近似線形計画問題は、シンプレックス法により容易に解くことができる。SLP法は、このようなテラー一次近似による近似線形計画問題の作成とシンプレックス法の適用を繰り返すことにより、設計解を改善していき、最適解を得る方法である。一般的には、初期設計解が、制約条件の境界面から大きく離れている場合、テラー一次近似の誤差が大きくなるため、近似線形計画問題に設計変数の変動幅 (move limit) を設ける。本論文の move limit の用い方および感度係数 ($\partial g_j / \partial A_i$ など) の計算方法は、概ね文献7)と同じである。また、収束判定条件は、目的関数の変更量が、0.1%以下であり、かつすべての制約条件が 0.4%の許容誤差の範囲内で満足することとしている。

3. 部材せいの組み合わせ最適化

3.1 部材せいの組み合わせ最適化問題の定式化

2節の部材せい指定最小重量設計手法を利用すれば、部材せいの組み合わせ最適化問題は、以下のように表現できる。

Find $\bar{D}_i$ ($i = 1, 2, \dots, m$) which minimize $W_{SLP}(\bar{D}_1, \bar{D}_2, \dots, \bar{D}_m)$

$$\bar{D}_i \in \begin{cases} \{Dc_1, Dc_2, \dots, Dc_{nc}\} & (\text{Column member}) \\ \{Db_1, Db_2, \dots, Db_{nb}\} & (\text{Beam member}) \end{cases} \quad (16)$$

ここで、 $W_{SLP}(\bar{D}_1, \bar{D}_2, \dots, \bar{D}_m)$ は、2節の部材せい指定最小重量設計で得られる構造重量 W の値である。また、 $Dc_1, Dc_2, \dots, Dc_{nc}$, $Db_1, Db_2, \dots, Db_{nb}$ は、それぞれ柱せいおよび梁せいの離散候補であり、この論文では、以下の値をとっている。

$$\{Dc_1, Dc_2, \dots, Dc_{nc}\} = \{350\text{mm}, 400\text{mm}, 450\text{mm}, 500\text{mm}\} \quad (17)$$

$$\{Db_1, Db_2, \dots, Db_{nb}\} = \{500\text{mm}, 600\text{mm}, 700\text{mm}, 800\text{mm}\} \quad (18)$$

なお、柱せいおよび梁せいの値を制約したい場合には、その範囲内における離散値を候補値とすればよい。

3.2 Relaxation method (緩和法)⁶⁾に基づく組み合わせ最適化

本論文では、3.1 節の組み合わせ最適化問題を座標軸方向の直線探索を反復する relaxation method により解くことにする。この方

法は、組み合わせ最適化問題よりむしろ連続設計変数の無制約最適化問題に用いられることが多く、設計変数間の相関が小さく、かつ、目的関数が単峰性の問題かあるいはそれに近い形の問題に対しては有効と考えられる。Relaxation method に基づく探索法の概念図を図2に示す。この図に示すように、探索する設計変数以外の設計変数を固定し、目的関数を最小にする離散候補をすべての設計変数に対して順次直線探索していく。直線探索には、ここで扱う問題における離散候補数が少ないことから、離散候補 Dc_1 あるいは Db_1 から探索を初めて、 W_{SLP} が減少から増加に転じた時点で、探索を終了し、次の設計変数に対する探索を開始する手順としている。収束条件については、すべての設計変数の探索が一巡するたびに設計解に変更があったかを調べ、変更がないとき収束したと判定している。

図2 Relaxation method に基づく直線探索の概念図

4. 最適設計のためのその他の計算処理

4.1 設計変数のグループ化

実際の設計の場合では、施工上の理由から部材せいを統一したいことや部材断面を同じにしたいといった要求がある。本手法は、部材せいと部材断面積を独立な設計変数としているので、このような要求にも容易に答えることができる。ここでは、部材せい設計変数と部材断面積設計変数を独立にグループ化できるようにしている。

4.2 解なしに対する処理

2節の部材せい指定最小重量設計において、部材せいの指定値によっては、それに対応する設計変数 A_i の上限制約値 A_{Ui} が、必要断面より小さくなることもあり、解なしとなる可能性がある。そこで、このような場合には、(9)式の上限制約を取り除いて、2節の最小重量設計問題を解いた上で、目的関数(6)式を次式のようなペナルティを乗じた式に変更して、 $W_{SLP}(\bar{D}_1, \bar{D}_2, \dots, \bar{D}_m)$ を求めることにしている。

$$W = \rho \sum_{i=1}^m A_i L_i + \gamma \cdot \sum_{i=1}^m \Delta A_i \quad (19)$$

$$\Delta A_i = \begin{cases} \frac{A_i}{A_{Ui}} - 1 & (A_i > A_{Ui}) \\ 0 & (A_i \leq A_{Ui}) \end{cases} \quad (20)$$

なお、(19)式の変数 γ については、6.3 節で後述されている。

5. 最小重量設計

図3のような5層および10層の鋼構造純ラーメン骨組の設計例を示す。荷重条件は、鉛直荷重（長期）のみと鉛直荷重+水平荷重（短期）の二つの荷重条件を想定している。水平荷重の層せん断力分布は、 A_i 分布に従っている。部材断面設計変数は、図4の記号のようにグループ化されている。また、5層骨組の部材せい設計変数は、中柱、外柱、各層梁でそれぞれグループ化され、10層骨組では、梁の部材せい設計変数が2層単位でグループ化されている。従って、独立な断面設計変数の総数は、5層骨組で9、10層骨組で13となり、独立な部材せい設計変数の総数は、5層骨組、10層骨組とも7となる。表2は、得られた設計解を示している。Dは、部材せい、Aは、断面積、Iは断面二次モーメント、Zは断面係数、Wは構造重量、 N_{LP} は解が得られるまでのシンプレックス法の繰り返し回数である。Relaxation methodによる組み合わせ最適化では、設計変数の探索が2順目となったところで既に設計変更はなく、極めて高い収束性を示した。なお、計算時間は、pentium300MHzのパソコンで30秒程度である。

図3 (A) 設計骨組 (5層骨組)

図3 (B) 設計骨組 (10層骨組)

	B5	C4	B5	C4	B5	C3
C3	B4	C4	B4	C4	B4	C3
C3	B3	C4	B3	C4	B3	C3
C3	B2	C2	B2	C2	B2	C1
C1	B1	C2	B1	C2	B1	C1

図4 (A) 部材記号 (5層骨組)

	B5	C8	B5	C8	B5	C7
C7	B5	C8	B5	C8	B5	C7
C7	B4	C8	B4	C8	B4	C7
C7	B4	C6	B4	C6	B4	C5
C5	B3	C6	B3	C6	B3	C5
C5	B3	C6	B5	C6	B5	C5
C3	B2	C4	B2	C4	B2	C3
C3	B2	C4	B2	C4	B2	C3
C1	B1	C2	B1	C2	B1	C1
C1	B1	C2	B1	C2	B1	C1

図4 (B) 部材記号 (10層骨組)

表2 (A) 設計解 (5層骨組)

	D(cm)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Z(cm ³)
C1	35.0	159	27800	1600
C2	50.0	299	110000	4380
C3	35.0	159	27800	1600
C4	50.0	299	110000	4380
B1	60.0	154	96000	3200
B2	60.0	159	99400	3310
B3	50.0	131	57400	2300
B4	50.0	131	57400	2300
B5	50.0	131	57400	2300
W	25.1 t	N_{LP}	166	

表2 (B) 設計解 (10層骨組)

	D(cm)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Z(cm ³)
C1	35.0	221	38700	2230
C2	45.0	316	92600	4110
C3	35.0	206	36100	2080
C4	45.0	313	91500	4060
C5	35.0	159	27800	1600
C6	45.0	267	78100	3470
C7	35.0	159	27800	1600
C8	45.0	267	78100	3470
B1	60.0	161	100000	3340
B2	60.0	169	106000	3520
B3	60.0	145	90500	3010
B4	50.0	131	57400	2300
B5	50.0	131	57400	2300
W	42.8 t	N_{LP}	200	

表3は、表2の連続設計解をもとにして、離散断面を選定した結果を示している。この離散化は、表2の連続設計解を出発点として、一番目の設計変数から順に、すべての制約条件を満足しかつ最小の断面積を有する離散断面に変換していくことで実現できる。断面積の連続設計解からの構造重量の増加は、両方の例とも1%以下でありわずかであった。表4および表5は、表3の設計の応力度比および層間変形角をそれぞれ表している。この表から、すべての制約条件が満足されていることが分かる。全般的に層間変形角に対する制約が支配的だが、10層骨組の下層柱では、部材応力度が制約値に近い値となっている。なお、上層の梁は、最小断面積に対する制約で決定されている。

表3(A) 離散断面 (5層骨組)

	部材断面寸法		部材断面寸法
C1	□350×12	B1	H 600×200×12×22
C2	□500×16	B2	H 600×250×12×19
C3	□350×12	B3	H 500×200×9×22
C4	□500×16	B4	H 500×200×9×22
		B5	H500×200×9×22
W	25.2 t		

表3(B) 離散断面 (10層骨組)

	部材断面寸法		部材断面寸法
C1	□350×19	B1	H600×250×12×19
C2	□450×19	B2	H600×250×12×22
C3	□350×16	B3	H600×200×12×19
C4	□450×19	B4	H500×200×9×22
C5	□350×12	B5	H500×200×9×22
C6	□450×16		
C7	□350×12		
C8	□450×16		
W	43.1 t		

表4(A) 部材応力度比(5層骨組)

	短期	長期		短期	長期
C1	0.862	0.442	B1	0.799	0.321
C2	0.894	0.325	B2	0.720	0.291
C3	0.638	0.386	B3	0.752	0.405
C4	0.493	0.224	B4	0.604	0.415
			B5	0.460	0.426

表4(B) 部材応力度比(10層骨組)

	短期	長期		短期	長期
C1	0.973	0.380	B1	0.726	0.163
C2	0.997	0.448	B2	0.658	0.150
C3	0.864	0.391	B3	0.751	0.196
C4	0.772	0.369	B4	0.692	0.227
C5	0.870	0.408	B5	0.479	0.243
C6	0.745	0.325			
C7	0.550	0.285			
C8	0.463	0.171			

表5(A) 層間変形角(×10⁻²) (5層骨組)

層	1	2	3	4	5	制約値
	0.406	0.497	0.491	0.444	0.300	0.500

表5(B) 層間変形角(×10⁻²) (10層骨組)

層	1	2	3	4	5	制約値
	0.337	0.496	0.495	0.466	0.496	0.500
層	6	7	8	9	10	制約値
	0.493	0.483	0.451	0.359	0.249	0.500

6. 遺伝アルゴリズムとの比較

6.1 遺伝アルゴリズム (GA)

2節3節で示された提案設計手法の有効性を検討するために、同じ問題を遺伝アルゴリズムにより解き、設計解を比較する。GAの選択交配には、文献8)で示されているようなランク戦略が用いられている。また、エリート保存戦略が併用されている。交叉は一様交叉とし、適応度の高い方の親の遺伝情報を65%の確率で採用することになっている。突然変異確率は3%から20%、個体数は、20から150の範囲で試行し最も良い設計解が得られたケースを示すことにしている。

6.2 部材せいの組み合わせ最適化問題における比較

図5は、3.1の節の部材せいの組み合わせ最適化問題に対するGAの世代数とその世代までに得られた最小重量設計解との関係を示している。適応度は、 $W_{SLP}(\overline{D}_1, \overline{D}_2, \dots, \overline{D}_m)$ の値に基づいて評価している。表6は、GAにより得られた最小重量設計解およびその重量W、設計解を得るまでのシンプレックス法の必要繰り返し回数 N_{LP} を表

(A) 5層骨組(個体数 25)

(B) 10層骨組(個体数 40)

図5 GAの収束過程

表6(A) GAによる最小重量設計解 (5層骨組)

	D(cm)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Z(cm ³)
C1	35.0	159	27800	1600
C2	50.0	299	110000	4380
C3	35.0	159	27800	1600
C4	50.0	299	110000	4380
B1	60.0	154	96000	3200
B2	60.0	159	99400	3310
B3	50.0	131	57400	2300
B4	50.0	131	57400	2300
B5	50.0	131	57400	2300
W	25.1 t	N_{LP}	1067	

している。GA による設計解は、Relaxation method (表 2) とまったく一致していることがわかる。しかし、設計解を得るまでのシンプレックス法の繰り返し回数 N_{LP} は、GA に比較して Relaxation method の方がかなり少ないことがわかる。

表 6 (B) GA による最小重量設計解 (10 層骨組)

	D(cm)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Z(cm ³)
C1	35.0	221	38700	2230
C2	45.0	316	92600	4110
C3	35.0	206	36100	2080
C4	45.0	313	91500	4060
C5	35.0	159	27800	1600
C6	45.0	267	78100	3470
C7	35.0	159	27800	1600
C8	45.0	267	78100	3470
B1	60.0	161	100000	3340
B2	60.0	169	106000	3520
B3	60.0	145	90500	3010
B4	50.0	131	57400	2300
B5	50.0	131	57400	2300
W	42.8 t	N_{LP}	1342	

6.3 部材せい、部材断面の離散最適化問題における比較

ここでは、GA を用いて部材せいおよび部材断面を同時に離散最適化した結果を示す。なお、コーディングについては、部材せい設計変数と部材断面設計変数を別々に番号付けし、バイナリコードにしている。また、適応度は、構造重量に部材応力度および層間変形角に対する制約条件($g_j \leq 1$)の満足度に関するペナルティを課した次式 W_P に基づき評価している。

$$W_P = \rho \sum_{i=1}^m A_i L_i + \gamma \cdot \sum_{j=1}^{n_R} \Delta g_j \quad (21)$$

$$\Delta g_j = \begin{cases} g_j - 1 & (g_j > 1) \\ 0 & (g_j \leq 1) \end{cases} \quad (22)$$

(21)式および前述した 4.2 節の(19)式は、最小にすべき目的関数(構造重量)にすべての制約条件あるいは特定の制約条件に関するペナルティを課することにより、元の最適化問題(制約条件付き最適化問題)を無制約化した式であると言える。これら二つの式には、ペナルティ項に Δg_j ((19)式では、 ΔA_i) の 1 乗和が含まれている。このような 1 乗和のペナルティ関数は、exact penalty function¹⁰⁾ と呼ばれ、連続設計変数の最適化問題では、一次微分係数の連続性は保証されないが、元の最適化問題の解とペナルティ関数による解は、変数 γ が有限値であっても厳密に一致する。しかし、本研究のように離散設計変数が扱われる場合には、元の最適化問題とペナルティ関数による最適化問題は厳密には同等であるとは言えず、制約条件が満足されない解が得られる可能性も否定できない。しかし、変数 γ をある程度大きくとれば、制約条件が満足されない解を GA の個体群からある程度排除でき、さらに、制約条件をすべて満

足する個体群の中から最終的な解を選定することにより元の制約条件付き最適化問題の解と同等の解が得られると期待できる。なお、変数 γ については、本研究では、目的関数の大きさに応じたペナルティを課するために、次式のように目的関数値の係数倍としている。

$$\gamma = \gamma_C \cdot \rho \sum_{i=1}^m A_i L_i \quad (23)$$

係数 γ_C は、小さすぎると前述の問題が生じるが、大きすぎる場合にも、制約条件が満足されない領域のペナルティ関数の立ち上がり急勾配になり、最適解が得られにくい構造の問題となることが予想される。ここでは、幾例かの試行計算を行った結果、 γ_C を 1.0 としている。また、4.2 節(19)式の変数 γ についても(23)式において γ_C を 1.0 としたものをを用いている。

図 6 は、GA の世代数とその世代までに得られた最小重量設計解との関係を示している。表 7 は、GA により得られた離散断面であ

(A) 5 層骨組(個体数 80) (B) 10 層骨組(個体数 150)

図 6 GA の収束過程

表 7 (A) GA による離散断面 (5 層骨組)

	部材断面寸法		部材断面寸法
C1	□350×12	B1	H600×250×12×19
C2	□450×16	B2	H600×300×12×22
C3	□350×12	B3	H500×200×9×22
C4	□450×16	B4	H500×200×9×22
		B5	H500×200×9×22
W	25.1 t		

表 7 (B) GA による離散断面 (10 層骨組)

	部材断面寸法		部材断面寸法
C1	□350×19	B1	H600×250×12×22
C2	□450×19	B2	H600×250×12×22
C3	□350×16	B3	H600×200×12×19
C4	□450×16	B4	H500×200×9×22
C5	□350×12	B5	H500×200×9×22
C6	□450×16		
C7	□350×12		
C8	□450×16		
W	43.1 t		

る。提案設計手法による離散断面（表 3）と一致しているわけではないが、両者の構造重量は、極めて近い値となっている。

7. 結論

本論文では、部材断面だけでなく部材せいも独立な設計変数として考慮した鋼構造建築骨組の最小重量設計問題に対して、部材せいの最適化と部材断面の最適化を分離して実行するアルゴリズムを提案した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 本提案手法では、複数の独立な部材せい設計変数を設定することが可能であるため、部材せいの値を制限したり、他の部材と部材せいを統一したりする条件を容易に考慮することができる。
- (2) ここで取り扱った部材せいの組み合わせ最適化問題に対して、relaxation method が非常に効率よく設計解を探索することが分かった。これは、この組み合わせ最適化問題の目的関数が単峰性があるいはそれに近い形の関数で、かつ部材せい設計変数間の相関が比較的小さいためではないかと考えられる。
- (3) GA を用いて部材せいおよび部材断面を同時に離散最適化した結果と本提案設計手法による離散断面とを比較した。提案設計手法による離散断面と GA によるそれとは一致しているわけではないが、両者の構造重量は、極めて近い値となっていることが確認された。

参考文献

- 1) 田中尚, 中村雄治: 建築構造物の自動設計と最適設計, 培風館, 1973
- 2) 中村恒善: 建築骨組の最適設計, 丸善, 1980
- 3) 中村恒善, 小坂郁夫: 水平力を受ける弾性平面建築骨組のひずみ制御設計, 日本建築学会構造系論文報告集 No.363, pp.1~9, 1986.5
- 4) 松本慎也, 藤井大地, 藤谷義信: 梁せいを制約した鉄骨骨組構造の最小重量設計, 日本建築学会中国支部研究報告書, 第 22 巻, pp.221~224, 1999.3
- 5) 堤和敏: 部材断面成を同一とした鉄骨造せん断系弾性平面骨組の層間変形角指定最小重量設計法, 日本建築学会構造工学論文集, Vol.44B, pp.209~214, 1998.3
- 6) 今野宏, 山下宏: 非線形計画法, 日科技連, 1994
- 7) 澤田樹一郎, 中村雄治, 松尾彰: 反復線形計画法を用いた平面ラーメンの最適弾性・塑性設計法, 日本建築学会構造系論文報告集, No.485, pp.117~126, 1996.7
- 8) 大崎純: 遺伝的アルゴリズムに基づく不連続コスト関数を有する構造物の最適設計法, 日本建築学会構造系論文集, No.464, pp.119~127, 1994.10
- 9) 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1993
- 10) G.L.Nemhauser, A.H.G. Rinnooy Kan, M.J.Todd: Handbooks in Operations Research and Management Science Vol.1 OPTIMIZATION, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., 1989

付表

本研究で用いた部材断面リストを以下に表にして示す。

付表 1 角形鋼管断面の部材断面寸法

部材せい	寸法 (mm)
350mm 系列	□350×12
	□350×16
	□350×19
	□350×22
400mm 系列	□400×16
	□400×19
	□400×22
	□400×25
450mm 系列	□450×16
	□450×19
	□450×22
500mm 系列	□450×25
	□500×16
	□500×19
	□500×22
	□500×25

付表 2 細幅系列 H 形鋼（外法一定鋼）の部材断面寸法

部材せい	寸法 (mm)
500mm 系列	H500×200×9×22
	H500×200×12×19
	H500×200×12×22
	H500×200×12×25
	H500×250×9×22
	H500×250×12×22
	H500×250×12×25
	H500×250×12×28
600mm 系列	H600×200×12×19
	H600×200×12×22
	H600×200×12×25
	H600×200×12×28
	H600×250×12×19
	H600×250×12×22
	H600×250×12×25
	H600×250×12×28
	H600×250×16×28
	H600×250×16×32
	H600×300×12×22
	H600×300×12×25
	H600×300×12×28
	H600×300×16×28
700mm 系列	H600×300×16×32
	H700×250×14×25
	H700×250×14×28
	H700×300×14×25
	H700×300×14×28
800mm 系列	H700×300×16×28
	H800×250×16×25
	H800×250×16×28
	H800×300×16×22
	H800×300×16×25
	H800×300×16×28
	H800×300×16×32

(2000年 9 月29日原稿受理, 2001年 1 月25日採用決定)