

技術論文

進化的計算を適用したスチールハウス構造の最適設計

Optimum Design of Steel Framed House Structure Using Evolutionary Computing

清水 信 孝*
Nobutaka SHIMIZU河 合 良 道
Yoshimichi KAWAI半 谷 公 司
Koji HANYA藤 内 繁 明
Shigeaki TOHNAI原 富 志 夫
Fujio HARA眞 有 信 博
Nobuhiro MAARI高 田 豊 文
Toyofumi TAKADA坂 本 二 郎
Jiro SAKAMOTO

抄 録

新日鐵住金(株)は、構造用面材を鋼製化して耐震性能を高めた耐力壁を開発し、スチールハウスの適用を従来の2階建てから4階建てまで拡大してきた。適用階数の拡大に伴いスチールハウスの構造設計の難易度が高まり、効率的な耐力壁配置の設計、耐力壁に取付く枠材の強度を高める断面設計が必要になっている。この課題に対し、大域的な最適解の導出に優れた進化的計算に着目して、遺伝的アルゴリズム(GA)による耐力壁配置の最適化、差分進化(DE)による枠材の断面寸法最適化に取り組んだ。これらの最適設計の手法と試設計の例を紹介した。

Abstract

Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation has developed high-performance steel bearing walls for steel framed houses. The developed wall system enables construction of 4-story steel houses in seismic region. However, structural design of the steel framed house becomes more complex as the number of story increases. Therefore an efficient design method for steel framed house structure is strongly required. To this end, design methods for bearing wall arrangement and cross section of cold-formed steel members are developed utilizing evolutionary computation method such as Genetic Algorithm and Differential Evolution. In this paper, overview of the developed design methods is first described. The potential use of the developed design methods are also demonstrated through design case studies.

1. はじめに

スチールハウス(写真1)は、薄板軽量形鋼(板厚0.8~2.2mmの薄鋼板を溝形やリップ溝形に冷間成形した構造用鋼材)の枠材に構造用面材をドリリングタッピンねじで留め付けた耐力壁を主要な耐震要素とした枠組壁工法である。新日鐵住金(株)は、従来の木質系やセメント系の構造用面材をバーリング加工した鋼製面材に置き換えて耐震性能を高めた耐力壁を開発し、スチールハウスの適用を2階建てから4階建て(写真2)まで拡大してきた¹⁾。一方、スチールハウスの適用階数の拡大に伴って構造設計の難易度が高まり、これを合理化するための手法が必要になっている。ここでは、特に、効率的な耐力壁配置の設計、耐力壁に取付く枠材の強度を増すための断面設計が求められている。

この課題に対し、筆者らは、大域的な最適解の導出に優れた進化的計算のアルゴリズムに着目して、耐力壁の最適



写真1 スチールハウスと薄板軽量形鋼
Steel framed house and cold-formed steel members

配置および枠材の最適断面寸法を導出する設計手法の検討を進めてきた²⁻⁵⁾。本報では、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, 以下GA)⁶⁾を適用した耐力壁配置の最適設計、差分進化(Differential Evolution, 以下DE)^{7,8)}を適用したリップ溝形断面寸法の最適設計の手法と試設計の例を紹介する。

* 鉄鋼研究所 鋼構造研究部 主幹研究員 博士(工学) 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511



写真 2 4階建てスチールハウス
4-storied steel framed house

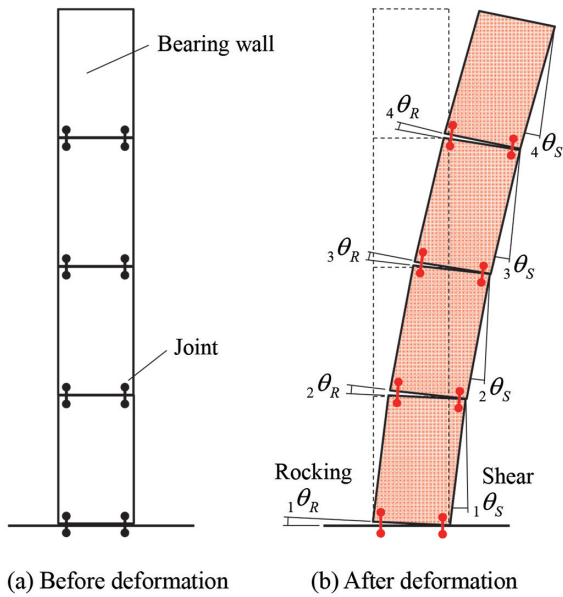


図 1 連層耐力壁
Vertically aligned bearing walls

2. GAを適用した耐力壁配置の最適設計

2.1 4階建てスチールハウスの耐力壁の設計

スチールハウスは、壁パネルと床パネルを交互に積み重ねるプラットホーム工法を採り、上下階の耐力壁の脚部と頂部とを接合金物を介してつないだ連層耐力壁(図1(a))を構成する。4階建てスチールハウスの耐震設計では、地震力を受けた際に生じる構造用面材のせん断変形(θ_S , $f=1,2,3,4$)に加え、接合金物の伸縮で耐力壁の脚部が回転するロッキング変形(θ_R)も考慮して連層耐力壁の応答を評価している(図1(b))。この手法は、設計精度の向上に有効であるが、耐力壁配置の設計負荷を増大させる一因になっている。

4階建てスチールハウスの従来の構造設計は、以下に示す①～⑤のフローによる。

- ①設計条件の整理
- ②設計者の経験に基づく耐力壁配置(壁タイプ, 壁量, 位置)の仮設定

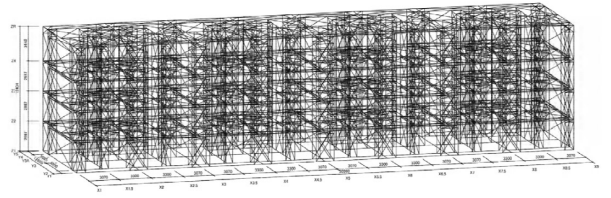


図 2 立体骨組モデル
3D frame model

- ③立体骨組モデルの作成(図2: 耐力壁をブレース置換, 接合金物を節点ばね置換)
- ④立体骨組解析
- ⑤耐力壁の応答(変形, 負担力)と保有性能(剛性, 耐力)の比較評価

設計者は、②～⑤の手順を試行錯誤しながら繰返し、最少壁量で要求性能を満足する経済的な耐力壁配置を探索する。ただし、これらの設計作業は負担が大きいので、実務設計では繰返し検討の回数が限られる。耐力壁配置の最適設計では、繰返しの試行錯誤を伴う従来の設計フローに代わり、最少壁量で要求性能を満足する最適な耐力壁配置をGAの適用により導出する。

2.2 耐力壁配置の最適設計の定式化

4階建てスチールハウスの耐力壁配置の最適設計では、建築構造物の構造関係技術基準⁹⁾で定められる耐震計算ルート3の設計要件を満足し、最少壁量となる耐力壁の配置計画を求める問題を設定する。設計要件を判定するペナルティ P を1以下とすることを制約条件として、壁量の総和の逆数として定めた適応度 V を最大化する制約条件付き最適化問題として、以下の定式化を行う。

$$\text{Maximize } V \quad (1)$$

$$\text{Subject to } P \leq 1 \quad (2)$$

ここで、適応度 V は、耐力壁を配置する方向(X 方向および Y 方向)ごとに定めた適応度 V_X および V_Y の積とする。

$$V = V_X \cdot V_Y \quad (3)$$

$$V_X = \left\{ \sum_{f=1}^4 \left(\sum_{i=1}^n L_{Xi} \right)_f P_X^{a_X} \right\}^{-1} \quad (4)$$

$$V_Y = \left\{ \sum_{f=1}^4 \left(\sum_{j=1}^m L_{Yj} \right)_f P_Y^{a_Y} \right\}^{-1} \quad (5)$$

ここで、 n, m は設計領域(耐力壁を配置できる箇所)の数、 L_{Xi}, L_{Yj} は耐力壁の幅(添字 f は階数, X, Y は方向, i, j は設計領域の番号)、 P_X, P_Y は設計要件の判定に基づくペナルティ、 a_X, a_Y はペナルティを増幅するスケール係数である。

ペナルティは、耐震計算における一次設計(中規模地震に対して建物を損傷させないための設計)および二次設計(大規模地震に対して建物を倒壊させないための設計)の要件となる各項目の照査結果に基づく判定値の積として次式で与える。

$$P_X = P_{XW'} \cdot P_{XD'} \cdot P_{XB'} \cdot P_{XE'} \cdot P_{XS'} \cdot P_{XWU'} \cdot P_{XBU'} \cdot P_{XF'} \cdot P_{XM'} \cdot P_{XL} \quad (6)$$

$$P_Y = P_{YU} \cdot P_{YD} \cdot P_{YB} \cdot P_{YE} \cdot P_{YS} \cdot P_{YU} \cdot P_{YBU} \cdot P_{YF} \cdot P_{YM} \cdot P_{YL} \quad (7)$$

ここで、判定値 $P_{\Delta\Delta}$ の添字 Δ は耐力壁の配置方向 (X または Y) を表す。また、添字 Δ は設計要件となる以下の項目を表す。一次設計に関して、 W : 耐力壁の強度, D : 耐力壁の剛性, B : 接合金物の強度を表す。二次設計に関して、 E : 偏心率 (建物の重心と剛心の偏り), S : 剛性率 (建物の各階の剛性の比率), WU : 耐力壁の強度, BU : 接合金物の強度, F および M : 地震力に対する各階の耐力余裕度, L : 耐力壁の平均幅の下限値を表す。各判定値は、設計要件を満足する場合は 1 とし、設計要件を満足しない場合は制約値に対する応答値の比から求めた 1 より大きな値を与える^{2,3)}。

2.3 遺伝的アルゴリズム (GA) の適用

連層耐力壁の仕様を二進数の遺伝子列でコード化する (図 3)。ここでは、耐力壁を配置する階数の上限 (1 階, 2 階, 3 階, 4 階), 各階の耐力壁の幅 ($1.0P$, $1.5P$, ..., $0.5P$ 刻みで設計領域内の最大幅, P は単位壁幅 910mm), 壁タイプ (鋼製パネル, セメント系パネル, 壁なし), 壁の重ね数 (一重, 二重) の組合せを二進数の遺伝子列で表現する。

連層耐力壁の遺伝子列を全ての階の設計領域 (図 4) で合算することで、建物全体の壁配置を表す遺伝子列を得る。

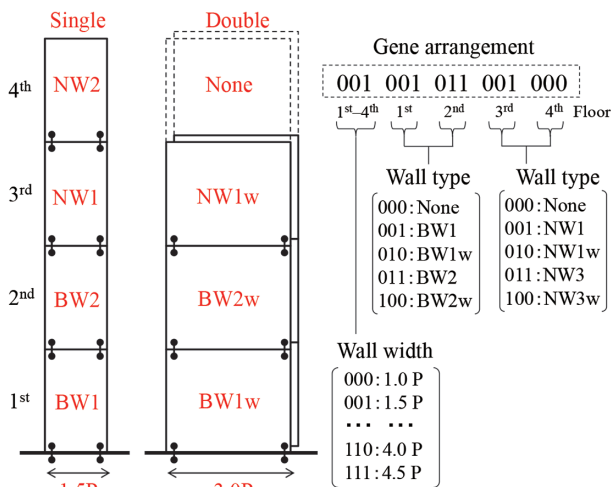


図3 耐力壁仕様のコード化
Coding for bearing wall specification

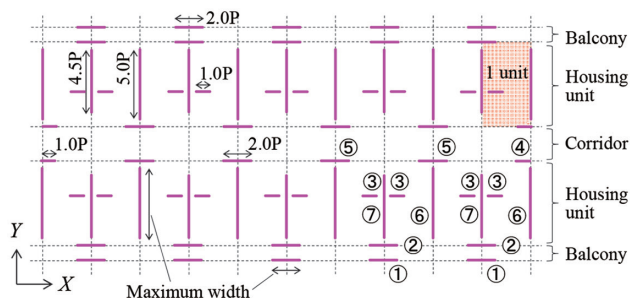


図4 耐力壁の設計領域
Design possible area of bearing walls

ここで、1 階の耐力壁は事前に定めた設計領域の幅以内で設置し、2~4 階の耐力壁は下階に耐力壁がある場合のみ上階の耐力壁を設置できる¹⁰⁾。なお、上階と下階の耐力壁は、壁幅を揃え、壁の重ね数を一致させる制約も設ける。

GA の適用においては、個体数を 20 に設定 (初期個体は乱数により生成) し、選択にはエリート保存戦略 (2 個体) とルーレット戦略を用い、一様交叉 (交叉率 1.0) と突然変異 (突然変異率 0.02) による遺伝的操作を最終世代 ($G=500$) まで行った。

2.4 連層耐力壁の最適配置の設計例

寮を想定した 4 階建ての集合住宅 (20 戸/階, 約 17m^2 /戸) の連層耐力壁 (各階のパネル高さ 2730mm) を設計の対象とする。平面プランを参考に各階共通の設計領域 (図 4) を設定し、各戸に対して対称な位置の耐力壁 (図 4 中に番号①~⑦で例示) のそれぞれの仕様 (壁幅, 壁タイプ, 壁の重ね数) を一致させる条件の下、最少壁量で設計要件を満足する最適な耐力壁配置を探索した。

1~2 階にはバーリング孔で補剛した鋼製パネルを用いた耐力壁 (記号 BW1: 板厚 $t1.2\text{mm}$, BW2: $t1.0\text{mm}$), 3~4 階にはセメント系パネルを用いた耐力壁 (NW1: ねじピッチ 150mm , NW3: ねじピッチ 200mm)¹⁾を用いた。開口部 (窓や扉) の存在により耐力壁の設計領域が限られる X 方向では一重壁 (記号の末尾は無印) と二重壁 (記号の末尾は w) を選択可能とし、開口部がなく壁の設計領域が十分に確保できる Y 方向では一重壁のみ選択する設定とした。なお、上下の耐力壁をつなぐ接合金物は、各階の耐力壁の脚部に生じる引抜き力 (押し込み力) に対して十分な強度を有する仕様としている。

探索の結果、耐力壁の配置制約に従い、一次設計および二次設計の要件を満足する解を導出した。各階の耐力壁の最適配置 (図 5) は、設計領域 (図 4) に収まり、上下の階で壁幅と重ね数を一致させる配置制約にも適っている。世代内最適個体の適応度 V の推移 (図 6) から、 $G=300$ 程度で V は一定値に収束しており、最適解に至っていると判断する。世代内最適個体のペナルティ (図 7, 1~4 階における最大値を表示) は、計算の初期段階 ($G=1\sim50$ 程度) では 1 を超えているが、最終的に全て 1 に収束している。これは、一次設計および二次設計の全ての要件を満足した解が得られたことを表す。

3. DEを適用したリップ溝形断面寸法の最適設計

3.1 リップ溝形鋼の設計

スチールハウスの枠材となる薄板軽量形鋼の代表的な部材であるリップ溝形鋼 (図 8) を対象に、断面寸法の最適化を検討する。リップ溝形鋼は、軸方向に大きな圧縮力を受けると、部材全体が湾曲する全体座屈、部材断面を構成する板要素が面外にはらみ出す局部座屈などのモードで変

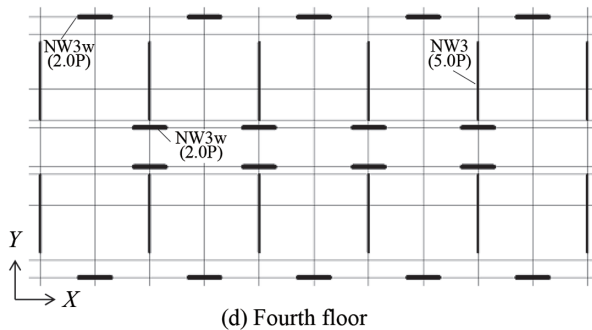
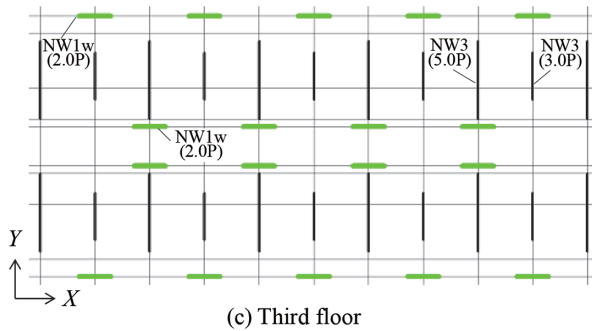
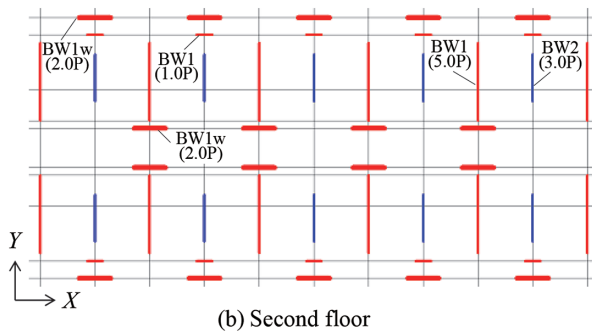
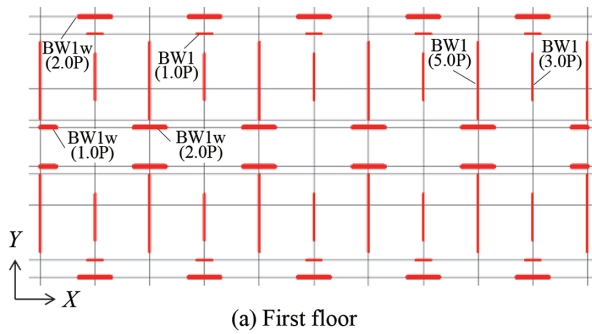


図5 耐力壁の配置
Arrangement of bearing walls

形する(図9)。部材の設計においては、これらの座屈モードが複合した連成座屈の耐力を評価して、断面寸法を設定する必要がある。

リップ溝形鋼の基本的な断面寸法は薄板軽量形鋼の製品規定¹⁾に示されるが、構造合理化の観点からは、断面寸法の最適化の余地がある。ここでは、スチールハウスの耐力壁を構成する縦枠材にリップ溝形鋼を用いた場合を想定し、断面積制約の下で部材の圧縮耐力を最大化する断面寸法をDEの適用により導出する。

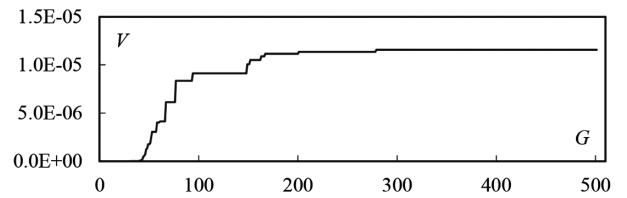


図6 適応度の評価
Evaluation of fitness

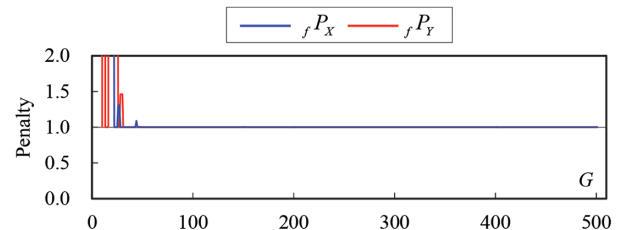


図7 ペナルティの評価
Evaluation of penalty

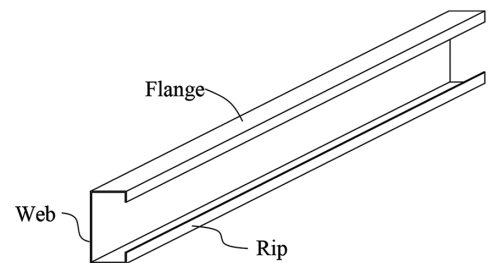


図8 リップ溝形鋼
Ripped channel

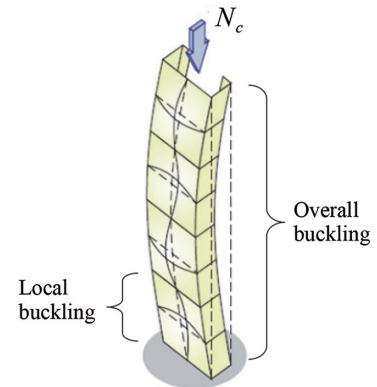


図9 設計で考慮した座屈モード
Buckling modes considered in design

3.2 断面寸法の最適設計の定式化

断面積制約の下でリップ溝形鋼の部材耐力を最大化する断面寸法の最適設計を、以下のように定式化する。

$$\text{Minimize} \quad 1/N_c(\mathbf{x}) \quad (8)$$

$$\text{Subject to} \quad A(\mathbf{x}) = A_0 \quad (9)$$

$$\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (10)$$

ここで、部材耐力 N_c 、断面積 A 、断面積の制約値 A_0 、断面寸法を決定する設計変数 x_i ($i=1, 2, \dots, n$)、変数の次元 n である。

3.3 リップ溝形鋼の部材耐力の算定

軸方向に圧縮力を受けるリップ溝形鋼の部材耐力は、座屈モードに応じた弾性座屈強度に基づき算定する。弾性座屈強度は有限帯板法 (Finite Strip Method, 以下 FSM) を用いた座屈固有値解析¹²⁾により求める。FSM による弾性座屈強度、鋼材の降伏強度、部材断面積の各値を Direct Strength Method¹³⁾ (以下 DSM) の耐力式に導入して、部材耐力 N_c を算定する。

3.4 差分進化 (DE) による断面寸法の探索

リップ溝形鋼の断面 (図 10) を定めるウェブ高さ h 、フランジ幅 b 、リップ長 c の寸法を DE により探索する。ここで、断面形状はウェブ高さ方向に対して対称とし、対となるフランジ幅およびリップ長の寸法を同等とする。また、板厚 t は断面全体において一定とする。断面の展開長を S ($=h+2b+2c$) とし、展開長 S に設計変数 x_1 および x_2 を乗じた値としてウェブ高さ h およびフランジ幅 b を定義する。また、リップ長 c は、展開長 S からウェブ高さ h およびフランジ幅 b を除いた長さの $1/2$ として定める。

$$h = x_1 \cdot S \quad (11)$$

$$b = x_2 \cdot S \quad (12)$$

$$c = (1 - x_1 - 2x_2) S / 2 \quad (13)$$

ここで、 h および b は S を超えない正の値として、 x_1, x_2 の範囲を以下のように定める。

$$0 < x_1 < 1 \quad (14)$$

$$0 < x_2 < 1 \quad (14)$$

また、対となるリップが相互に重ならないように、リップ長 c はウェブ高さ h の $1/2$ を超えない正の値となるように以下の制約を設け、この条件を満足しない場合は目的関数 $1/N_c$ に強制的に大きな値 ($1/N_c=1$) を与え、最適解から除外する。

$$0 < 1 - x_1 - 2x_2 < x_1 \quad (15)$$

本検討では、断面積の制約値 A_0 を板厚 t で除して展開長 S ($=A_0/t$) を定めるため、(9) 式の制約条件は常に満足する。

DE の基本的なアルゴリズムである DE/rand/bin⁷⁾ (基底

ベクトルの数が 1、親となる探索点をランダムに選択、一様交叉) を適用し、目的関数 $1/N_c$ を最小化 (部材耐力 N_c を最大化) する設計変数 x_1 および x_2 を探索する。

3.5 リップ溝形鋼の最適断面寸法の設計例

スチールハウスに用いる標準的な耐力壁の縦枠材を想定した部材長 2730mm のリップ溝形鋼を対象とし、板厚 t を 1.0, 1.2, 1.4, 1.6mm と変化させた各ケースについて、部材耐力 N_c を最大化する断面寸法を探索した。断面積制約は、製品規定における呼び名 89LCM10 のリップ溝形鋼¹⁴⁾の断面寸法 ($h=89\text{mm}$, $b=44.5\text{mm}$, $c=12\text{mm}$, $t=1.0\text{mm}$) に基づき、 $A_0=202\text{mm}^2$ に定めた。ここで、断面寸法は板厚中心とし、曲げ半径 R はゼロとしている。また、耐力壁の縦枠材では、リップ溝形鋼のフランジが面材にビス接合されることを考慮し、フランジ中央点の板幅方向の変位 (図 10 中の δ_z) を拘束している。DE の適用においては、個体数 $N_p=20$ 、最大世代数 $G_{max}=100$ とし、遺伝的操作を行うためのパラメータは北山らの研究⁸⁾を参考に突然変異率 $F=0.70$ 、交叉確率 $C_r=0.50$ に設定した。

計算結果の一例として、各個体の設計変数 (x_1, x_2) の推移を図 11 に示す。ここで、横軸はウェブ高さ h を与える x_1 、縦軸はフランジ幅 b を与える x_2 、等高線は目的関数 $1/N_c$ の解空間 (0.01 刻みで x_1 と x_2 を変化させて描画) を表す。ランダムに生成された $N_p=20$ の初期の個体の集合 ($G=1$) は、世代を経るにつれて等高線の凹部に向かって移動し ($G=17$)、最終的に大域的な最適解と推察される点に集合した ($G=100$)。また、板厚 t を 1.0mm とした場合の目的関数 $1/N_c$ (世代内最小値) の推移を図 12 に示す。探索回数の増加に伴い $1/N_c$ は漸減していき、 $G=30$ 程度の世代から $1/N_c$ が一定の値に留まり、解が収束していることが分かる。

最適設計で導出されたリップ溝形鋼の断面形状を図 13、断面寸法と部材耐力の一覧を表 1 に示す。最適解は、全ての板厚において、基準としたリップ溝形鋼 (89LCM10) の部材耐力を上回っている。板厚 $t=1.0\text{mm}$ において耐力上昇は 3% に留まるが、板厚が増すにつれ耐力の増加は顕著となり、板厚 $t=1.6\text{mm}$ において部材耐力は 27% 上昇している。以上の結果は、断面積一定の条件においても、板厚に応じた最適な断面寸法を設定すればリップ溝形鋼の部材耐力を強化できることを示唆している。

4. おわりに

スチールハウスの適用階数の拡大 (2 階建てから 4 階建て) に伴い求められている構造設計の合理化に向け、進化的計算を適用して耐力壁の最適配置および枠材の最適断面寸法を導出する手法を検討した。耐力壁配置の最適設計については、GA の適用により、耐力壁の仕様 (幅、タイプ、配置階数、重ね数) の組合せを最適化し、耐震設計の要件を満足して最少壁量となる壁配置計画を導出できることを

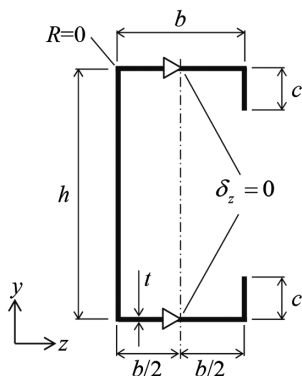


図 10 リップ溝形鋼の断面
Cross section of a ripped channel

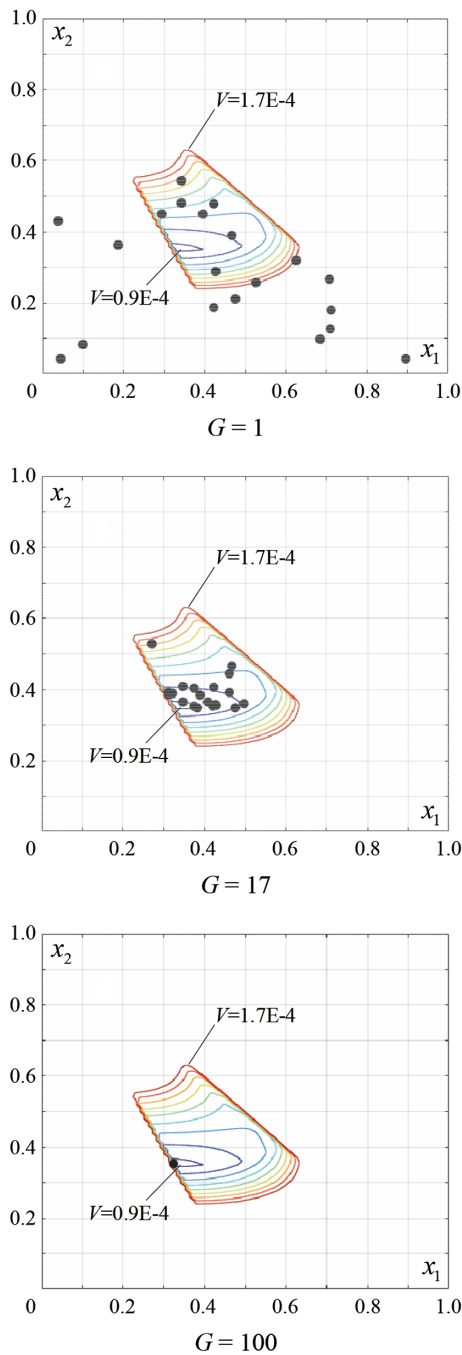


図 11 解空間における個体の推移
Progress of populations in solution space

示した。また、断面寸法の最適化については、DE の適用により、断面積一定の条件下、軸方向の圧縮に対するリップ溝形鋼の部材耐力を最大化する断面寸法（ウェブ高さ、フランジ幅、リップ長）を板厚に応じて導出できることを示した。

耐力壁配置の最適設計は、これを実践するための設計システムを完成しており、今後、実プロジェクトへの適用を進めていく。また、断面寸法の最適設計は、部材の加工や施工時の組立による寸法制約も考慮した実用的な手法へと発展させていく予定である。

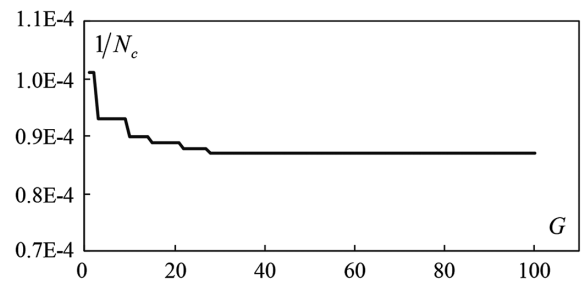


図 12 目的関数の評価
Evaluation of objective function

Original	Optimization			
$t=1.0$	$t=1.0$	$t=1.2$	$t=1.4$	$t=1.6$
$b=44.5$ $c=12.0$ $h=89.0$	$b=53.9$ $c=9.7$ $h=74.9$	$b=41.9$ $c=6.9$ $h=70.7$	$b=24.8$ $c=6.3$ $h=82.1$	$b=10.3$ $c=7.0$ $h=91.7$

図 13 断面形状
Optimized cross section

表 1 断面寸法と部材耐力
Section size and member strength

Type	Section size						Strength	
	t (mm)	h (mm)	b (mm)	c (mm)	S (mm)	A (mm ²)	N_c (kN)	Ratio
Original	1.0	89.0	44.5	12.0	202.0	202.0	29.6	1.00
Optimization	1.0	74.9	53.9	9.7	202.0	202.0	30.4	1.03
	1.2	70.7	41.9	6.9	168.3	202.0	34.4	1.16
	1.4	82.1	24.8	6.3	144.3	202.0	37.0	1.25
	1.6	91.7	10.3	7.0	126.3	202.0	37.5	1.27

謝 辞

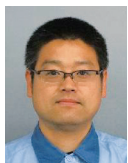
最適化検討を実行するためのプログラム作成において、NS プラント設計(株) 胤森真二氏、石田崇氏、溝上敬介氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

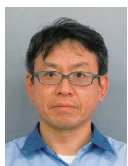
- 1) 藤内繁明, 海原広幸, 平川智久, 藤橋一紀, 川上寛明, 眞有信博, 河合良道, 田中浩史: 薄板軽量形鋼造の変遷と 4 階建てスチールハウス工法の開発. 新日鉄住金技報. (403), 121-129 (2015)
- 2) 清水信孝, 河合良道, 藤内繁明, 高田豊文: ロッキングを考慮した 4 階建てスチールハウス連層耐力壁の最適配置設計. 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国). 2017, p.359-360
- 3) 清水信孝, 河合良道, 藤内繁明, 原富志夫, 高田豊文: 遺伝的アルゴリズムを応用した 4 階建てスチールハウス連層耐力壁の最適配置設計. 日本建築学会第 12 回コロキウム構造形態の解析と創生. 2017, p.154-158
- 4) 坂本二郎, 小林佳介, 北山哲士, 清水信孝: 座屈解析に進

- 化計算を適用した薄板軽量形鋼の断面寸法最適設計. 日本機械学会論文集. 83 (854), (2017)
- 5) 清水信孝, 小林佳介, 坂本二郎: 差分進化法を適用した座屈設計による薄板軽量リップ溝形鋼の断面寸法最適化. 日本建築学会第11回コロキウム構造形態の解析と創生. 2016, p.63-68
- 6) 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム. 産業図書, 1993
- 7) Kenneth Price, Rainer M. Storn, Jouni A. Lampinen: Differential Evolution (A Practical Approach to Global Optimization). Springer, 2005
- 8) 北山哲士, 酒井忍, 荒川雅生, 山崎光悦: 大域的最適化法としての Differential Evolution と数値計算. 日本機械学会論文集 C 編. 76 (771), 2819-2828 (2010)
- 9) 建築構造物の構造関係技術基準解説書. 2015

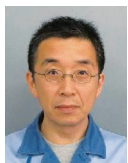
- 10) 高田豊文, 小浜芳朗, 宮村篤典: 多層 RC 立体架構に対する連層耐震壁の最適配置に関する考察. 日本建築学会構造系論文集. (522), 93-98 (1999.8)
- 11) 日本鉄鋼連盟: 製品規定 MDCR 0007-2015, 建築構造用表面処理薄板軽量形鋼
- 12) Schafer, B.W., Ádány, S.: Buckling Analysis of Cold-formed Steel Members Using CUFSM: Conventional and Constrained Finite Strip Methods. 18th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, 2006
- 13) Schafer, B.W.: The Direct Strength Method of Cold-formed Steel Member Design, Journal of Constructional Steel Research. 64, 766-778 (2008)



清水信孝 Nobutaka SHIMIZU
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
主幹研究員 博士(工学)
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



河合良道 Yoshimichi KAWAI
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
主幹研究員 S.E., P.E.



半谷公司 Koji HANYA
鉄鋼研究所 鋼構造研究部長 博士(工学)



藤内繁明 Shigeaki TOHNAI
建材事業部 建材開発技術部
住宅建材技術室 主幹



原富志夫 Fujio HARA
薄板事業部 薄板営業部
住宅建材開発室



眞有信博 Nobuhiro MAARI
建材事業部 建材開発技術部
住宅建材技術室長



高田豊文 Toyofumi TAKADA
滋賀県立大学
環境科学部 環境建築デザイン学科
教授 博士(工学)



坂本二郎 Jiro SAKAMOTO
金沢大学 新学術創成研究機構
教授 博士(学術)