

## 複雑な組合せ構造をもつ最適化問題における可能解領域の推定

Discrimination of a feasibility  
in a complex combinatorial optimization problem

立命館大学, \*パナホーム株式会社

○ 石動裕人, 山本喬太郎, 中川大輔\*, 佐田貴浩\*, 吉富信太, 瀬尾昌孝, 西川郁子

Y. Ishido, K. Yamamoto, D. Nakagawa\*, T. Sada\*, S. Yoshitomi, M. Seo and I. Nishikawa  
Ritsumeikan University, \* PanaHome Corporation

**Abstract** Structural design of a steel industrialized housing is considered as an optimization problem to obtain the most efficient placement of the components under the multiple constraints for structural performance. Genetic algorithm is applied to obtain the design solutions, though feasible solutions are easily broken owing to the complicated combinatorial structure of the problem with multiple mechanical constraints. Therefore, support vector machine (SVM) is used to discriminate the feasibility of each solution from its phenotype without structural calculation. 74 dimensional vector which characterizes the spatial distribution of the components is used as the input to SVM, to obtain the precision about 70% for a typical three-story housing.

## 1 はじめに

建築物の構造設計では、耐震強度など必須の構造性能(以下、単に構造性能)を確保した上で、コストも考慮した効率的な部材選択と部材配置が求められる。そのため設計者は、経験的な知見に基づく試行錯誤によって設計しているが、熟練者でなくとも一定の時間内に一定の効率を満たす部材配置を自動的に得る方法が望まれる。

鉄鋼系の工業化住宅における構造設計では、対象とする住宅の外形に応じて、予め決められた種類の部材から各所に用いるものを選び、それらの配置点を決定することになる。構造性能の確保には、一般により多くの部材を用いればよいが、部材相互の位置関係にも依存し、部材量に応じてコストも増加する。そこで吉富ら [1] はこの設計問題を、構造性能確保を絶対拘束とし、より少ない部材コストの設計解を求める最適化問題として定式化した。配置の組合せ的な性質から、遺伝的アルゴリズム(GA)を適用することで、満足できる設計解を得ている。しかし、各世代の遺伝的操作により解の実行可能性(構造性能の確保)が容易に失われ、探索が進んでも実行可能解の割合は低いままであり、効率的な解空間の探索が困難でもある。また、各解の実行可能性は、構造計算で求めるために計算コストが大きい。

そこで本研究では、可能解領域を推定し、探索過程における実行可能解の出現割合を上げるために、解の表現型から直接実行可能性を判別することを目指す。そのために、実行可能あるいは不可能な設計解の2クラスに分類する課題を考える。表現型を特徴付けるベクトルにより、サポートベクターマシン(SVM)を用いて判別する。

## 2 住宅構造最適化

## 2.1 対象モデル

対象とする鉄鋼系工業化住宅は、図1に示すような鋼構造立体骨組みを有する。与えられた立体骨組みに応じて、建物外形、および、それを構成する鉛直材である柱と水平材である大梁の配置が決定する。ここで、隣接する1対の柱とその上下端を結ぶ2本の大梁で囲まれた矩形領域を鉛直フレーム、隣接する4本の大梁で囲まれた矩形領域を水平フレームと呼ぶことにする。これらに対して、鉛直フレーム内には耐力壁を、水平フレーム内には小梁と水平ブレースを配置することで必要な全ての構造性能を確保するのが、ここで考える設計課題である。



図1: 2階建住宅の鋼構造立体骨組みの例 ([1] より引用)

## 2.2 最適設計問題

吉富ら [1] はこれを下式で表される最適化問題とした:

$$\begin{aligned} \text{Find} \quad & \mathbf{x} \in \mathbf{x}^{\text{list}}, & (1) \\ \text{to minimize} \quad & f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n A_i L_i, & (2) \\ \text{subject to} \quad & g_j(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (j = 1, \dots, N). & (3) \end{aligned}$$

ここで対象とする部材は、耐力壁、大梁と小梁であり、式 (1) の決定変数  $x$  は、耐力壁の種類と配置、大梁の種類、および小梁の種類と配置を表す。  $x^{list}$  は選択可能な解領域である。次に目的関数は式 (2) で与え、部材コストとして鋼材量に相当する総部材体積とする。  $A_i$  および  $L_i$  はそれぞれ第  $i$  部材の断面積および部材長であり、  $n$  は部材配置後に定まる全部材数である。全部材に対する総和で与えるため、部分的な配置に相当する部分解に対しても目的関数値が定義できることになる。さらに制約条件は不等式 (3) で与えられ、全  $N$  個の強度制約関数  $g$  は、それぞれ加えられた荷重に対して対象とする状態量が許容上限値を超えた度合いを表し、非正のとき制約充足を意味する。各制約に影響する部材群を対応付け可能なため、部分解に対する制約充足度も定義できることになる。

### 3 SVM を用いた実行可能性の判別実験

#### 3.1 実験設定

標準的な 3 階建住宅を例として解の判別実験を行った。表現型は全部材の種類と配置であり、その特徴付けとして部材量の空間分布を考える。ここでは、以下の 2 つの特徴ベクトルを定義した。

- 鉛直材と水平材、配置される階と方向を考慮して解を 9 つの部分解に分割し、各部分解に対する目的関数値  $f$  と制約関数最大値  $g$  (部分解に対応付けられた一般には複数の制約関数  $g$  のうち最大値) からなる 18 次元ベクトル。
- 対象とした住宅は鉛直フレーム 49 と水平フレーム 25 を有するため、解を全 74 フレームに対応する 74 の部分解に分割し、各部分解に対する目的関数値  $f$  からなる 74 次元ベクトル。

判別対象とする解は、以下のように生成した。GA で 50 個体 200 世代の探索を行い、全世代で得られた実行可能解を収集する。それらを上記 1 項に示した 9 つの部分解に分割し、それぞれで目的関数値上位の部分解リストを作成する。9 つのリストそれぞれから部分解を確率的に選択し全体解を合成する。このようにして生成した  $10^5$  個の全体解に対して構造計算を行い、実行可能性を求める。得られた実行可能解は全て用い、上位解からそれと同数の実行不可能解を選択する。このように生成することで、目的関数値のみでみた部分解の性能と全体解の性能 (部材量の少なさ) の様々な組合せに対して、実行可能性の有無 (強度制約の充否) を判別する。

5 試行の GA から得られた実行可能解数を表 1 に示す。それらの全データを合わせたものを表では試行 6 とした。

表 1: 判別に用いた実行可能解の数 (不可能解は同数)

試行	1	2	3	4	5	6(1-5)
学習	1299	2541	951	2203	1012	8006
テスト	100	100	100	100	100	500

#### 3.2 実験結果

結果を図 2 に示す。18 次元ベクトルは、合成前の部分解の  $g$  値を全て含んでおり、全体解の実行可能性のヒントになると思われたが、殆ど判別できていない。これは、部分解の  $g$  値は他の部分に大きく影響され、また  $f$  値上位の部分解の組合せは実行不可能になり易いこととも関連し、問題の複雑な組合せ構造を示している。対して、74 次元ベクトルでは精度 66-79% となった。部材の空間配置をより細分化することで判定性能の向上が期待できる。同じ 74 次元ベクトル値でもフレーム内の配置移動で実行可能性が異なる解が容易に作れるため、この分解能でこれ以上の精度向上は困難と思われる。試行ごとの差や、全データを用いた学習での精度低下から、GA の試行ごとに探索が偏っていることも分かる。

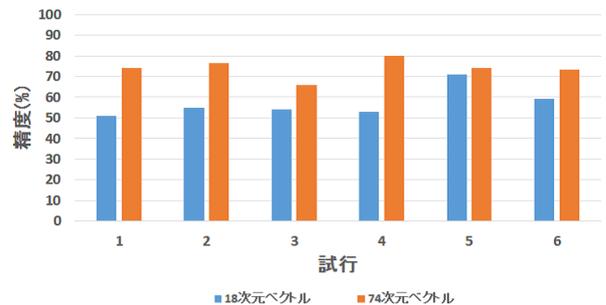


図 2: SVM を用いた判別の精度

### 4 まとめ

力学的な構造計算を行わず、部材量の空間分布のみから耐震性能の判別を試みた。3 階建住宅に対する 74 次元ベクトルで 7 割程度の判別性能で、用いた特徴ベクトルの空間分解能ではこの程度だと思われる。分解能を上げ、部材量分布を直接表現する形での判別を目指したい。

#### 参考文献

[1] 吉富信太, 中川大輔, 佐田貴浩: 鉄骨系工業化住宅における構造最適化に関する研究: 一遺伝的アルゴリズムに基づく実用的な構造部材最適配置法一, 日本建築学会構造系論文集, 80(74), pp.1347-1355 (2015).