

修正インポートانسサンプリングによる 地震荷重を受ける構造物の最適設計

武蔵工業大学 学生会員 望月 智也
(株)地崎工業 正 会 員 須藤 敦史
武蔵工業大学 正 会 員 星谷 勝

1. 目的

一般に地震荷重を受ける構造物の設計を行う場合、設計者は様々な制約を満足するように個々の部材を選定しなければならない。特に、耐震補強を行う場合には補強材の種類に加え、その配置、本数、あるいは工費を考慮した設計が求められる。しかし、これらの値は離散量の場合が多く目的関数は非連続となる。このような離散変数を扱う設計問題は組み合わせ最適化問題となる。本研究では修正インポートانسサンプリング法を用いた地震荷重下における3次元構造物の最適設計を解析例とし、今後、動的問題に応用するための基礎検討を行う。

2. 確率的要素を取り入れた解法

組み合わせ最適化問題は多数の組み合わせの中から制約条件を満足する特殊な組み合わせを見つけ出す確率的な問題であると言える。しかし、このような組み合わせ最適化問題は連続最適化問題のように目的関数や制約条件から接線勾配等の直接情報を用いることができないため、最適解の探索は極めて難しい。

そこで、これら組み合わせ最適化問題の探索手法のアルゴリズムに確率的要素を取り入れることにより、最適解の探索を行う。具体的には、許容領域からランダムにサンプルを抽出することで解となる組み合わせをある統計的性質を有する集合と定義し、その分布特性(期待値・分散値)を近似的に推定しながら最適解を得る。

このような手法の利点は、扱う変数が少ないので計算効率が上がるということと、解候補集合の分布特性を比較的簡単な操作を用いて推定することで、目的関数の接線勾配などの直接情報を用いることなく最適解の探索が行える点である。

3. 修正インポートانس・サンプリング法¹⁾

このような確率的要素を取り入れた手法として、本研究では修正インポートانسサンプリング法を適用する。この手法は、目的関数の大きさを調べることで許容領域を解が存在する可能性が高い領域に近似改善的に推定していく逐次最適化手法である。そのアルゴリズムを以下に示す。

1) 許容領域において*i*組のサンプルベクトル(変数の組み合わせ)を抽出する。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{(1)}^1 &= \{x_1^1 \in D_1, x_2^1 \in D_1, \dots, x_m^1 \in D_1\} \\ &\vdots \\ \mathbf{X}_{(1)}^i &= \{x_1^i \in D_1, x_2^i \in D_1, \dots, x_m^i \in D_1\} \end{aligned}, \quad m: \text{離散変数の個数}$$

2) 抽出されたサンプルベクトルに対して、目的関数を求める。

$$\begin{aligned} f(\mathbf{X}_{(1)}^1) &= [g_1(\mathbf{X}_{(1)}^1), g_2(\mathbf{X}_{(1)}^1), \dots, g_n(\mathbf{X}_{(1)}^1)] \\ &\vdots \\ f(\mathbf{X}_{(1)}^i) &= [g_1(\mathbf{X}_{(1)}^i), g_2(\mathbf{X}_{(1)}^i), \dots, g_n(\mathbf{X}_{(1)}^i)] \end{aligned}, \quad g(\mathbf{X}): \text{システム要素}, \quad n: \text{要素の個数}$$

3) 目的関数の大きさにより、許容領域 D_1 を D_2 へと更新して許容領域を縮小させる。

4) 手順1)~3)を数回繰り返し、許容領域を縮小させつつ最適解の探索を行う。その際に、局所解を回避するために許容領域を縮小する以前の領域内においても一定の割合でサンプルベクトルを抽出する。

4. 数値解析例

ここで、図-1に示す3次元ラーメン構造物において地震時の最小重量設計問題を検討する²⁾。

入力地震荷重はエルセントロ地震加速度波形をx, y方向に作用させ、各部材の許容領域の縮小操作における基準とその優先順位は以下としている。

- ①地震時の各節点の最大変位量が5cm越える場合
- ②最適性の評価基準を目的関数の平均値とし、各目的関数が平均値を上回る場合(総体積が大きい)場合

なお本解析で用いた使用鋼材の断面積を表-1に示す。また、最適化回数は30回、サンプルベクトル数は100, 50個の2ケースとし、各ステップにおけるサンプルベクトル数の5%を縮小以前の領域より再抽出している。解析結果を図-2に、初期の領域に対する各ステップの領域の割合を図-3に示す。

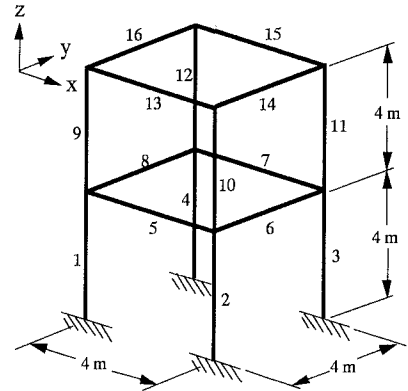


図-1 16部材ラーメン

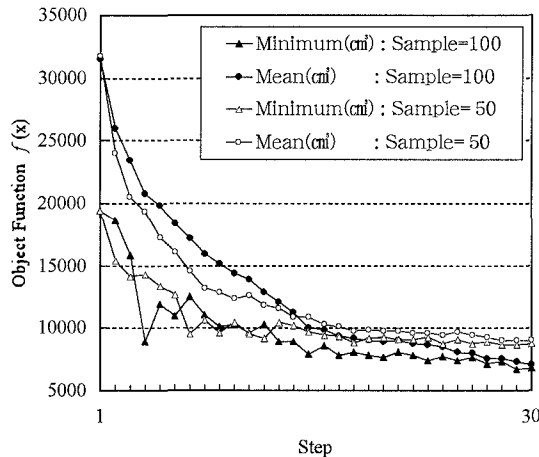


図-2 解析結果

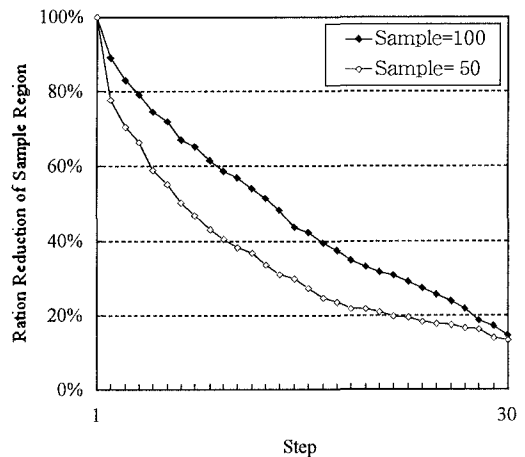


図-3 初期の領域に対する各ステップの領域の割合

5. 考察

図-2より目的関数の平均値、最小値とも一様に減少し最適部材を得ている。また、図-3より許容領域が最適化を行うことによって縮小されている。しかし、サンプル数の多い方が収束する速度が遅く、効率的な縮小操作を行っていない。これはサンプル数が多いため評価基準である平均値が大きくなってしまったためと考えられる。

本解析より、修正インポートランスサンプリング法は本解析で用いたような地震荷重下における最適設計および最適耐震補強の問題への応用が期待できる。

参考文献

- 1) 須藤敦史・星谷勝：修正インポートランスサンプリング法による離散変数の最適化，第44回応用力学連合講演会，pp.413-414，1995。
- 2) 藤谷義信：パソコンで解く骨組みの力学，丸善株式会社，1993。

表-1 鋼材の断面積

No.	断面積(㎤)	No.	断面積(㎤)
1	1.238	12	27.620
2	1.799	13	35.260
3	3.096	14	53.610
4	3.971	15	75.410
5	4.562	16	99.730
6	6.769	17	103.300
7	9.513	18	120.100
8	11.200	19	157.100
9	14.450	20	177.300
10	17.170	21	197.600
11	20.410		