

## PSOによる橋梁維持管理計画の策定

山口大学大学院 理工学研究科 学生会員 ○宮園昌幸  
 山口大学大学院 理工学研究科 正会員 河村 圭, 中村秀明  
 山口大学大学院 理工学研究科 フェロー会員 宮本文穂

## 1. はじめに

日本では多くの橋梁が、1950年代後半からの高度経済成長期に建設され、既に30年以上が経過しているものが数多く存在する。そのため今後、既設橋梁に対する維持管理業務の増加が予測されており、適切な維持管理計画の決定が求められている。しかし、橋梁の維持管理計画の策定は、「何年に」、「どの橋梁に」、「どのような対策を」実施するのかという膨大な組合せの中から、最適な計画案を選択する必要がある。これまでに著者らは、この問題に対する解決方法として、遺伝的アルゴリズム(GAs)を用いた最適化<sup>1)</sup>を行ってきた。

本研究では、GAsよりも高速に高い精度の近似最適解が得られると期待される Particle Swarm Optimization (PSO)を橋梁維持管理計画の策定に適用した。また、数値シミュレーションにより、GAsの1つである単純遺伝的アルゴリズム(SGA)と比較することにより、PSOの性能を検証した。

## 2. Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization(PSO)<sup>2),3)</sup>は、群知能を基本とした近似最適手法である。その特徴として、設計変数を実数値で取り扱えることが挙げられる。また、GAsで用いられるような複雑な遺伝的操作を必要とせず、アルゴリズムがシンプルであることから、計算コストの削減が期待される。

PSOでは探索点を粒子と呼ぶ。全ての粒子は位置情報と探索方向を決定するための速度ベクトルを有する。また、個々の粒子は、探索過程における過去の最良位置の情報  $\mathbf{pbest}_i$  をもち、かつ粒子の集団全体のなかでの最良の位置情報  $\mathbf{gbest}$  を伝達する機構を有する。これにより、PSOでは、現在の位置情報  $x_i$ 、 $\mathbf{pbest}_i$ 、 $\mathbf{gbest}$  を用いて最適解を探索する。粒子の速度ベクトルおよび位置情報の更新は、式(1)、式(2)を用いる。図1にはPSOの処理手順を示す。

$$v_i^k = w \cdot v_i^k + \frac{r_1 \cdot c_1 \cdot (\mathbf{pbest}_i - x_i^k) + r_2 \cdot c_2 \cdot (\mathbf{gbest} - x_i^k)}{\Delta t} \quad (1)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \cdot \Delta t \quad (2)$$

## 3. 橋梁維持管理計画の策定問題

本研究で対象とする橋梁の維持管理計画は、上部工を対象とする。目的関数は、式(3)、式(4)のような維持管理計画の割引率を考慮した総コストの最小化である。

$$\text{minimize } f = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+d_t)^t} X_t \quad (3)$$

$$C_t = \begin{cases} c_1 & 0.0 \leq h(t) < 12.5 \\ c_2 & 12.5 \leq h(t) < 37.5 \\ c_3 & 37.5 \leq h(t) < 62.5 \\ c_4 & 62.5 \leq h(t) < 87.5 \\ c_5 & 87.5 \leq h(t) < 100.0 \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $t$ は計画開始年、 $T$ は供用終了年、 $X_t$ は決定変数、 $d_t$ は割引率をそれぞれ表す。また、 $C_t$ は各年の対策コストであり、各年の健全度区分に従って決定される。ここで、 $c_n(n=1, \dots, 5)$ は各健全度区分における対策費用である。

また、式(4)の $h(t_n)$ は $t_n$ 年の健全度を表す。健全度とは、部材の状態を耐久性に着目して表現した値であり[0,100]の値をとる。この値が100に近いほど状態が良いことを表す。維持管理対策を実施しない場合、健全度は式(5)のように低下する。これを劣化曲線と呼ぶ。

$$h(t_n) = 100 - d(t_n - t_0)^c \quad (5)$$

ここで、 $d$ は基本劣化係数、 $t_0$ は供用開始年を表す。また、 $c$ は劣化曲線のべき乗の係数で、本研究では3次曲線と仮定した。さらに、 $t_n$ 年に対策を実施した場合の対策後の健全度 $h^A(t_n)$ は式(6)、式(7)で表される。

$$h^A(t_n) = h^B(t_n) + R \quad (6)$$

$$R = \{h^A(t_p) - h^B(t_n)\} \cdot \rho^x \quad (7)$$

ここで、 $h^B(t_n)$ は対策前の $t_n$ 年の健全度、 $h^A(t_p)$ は対策後の $t_p$ 年の健全度、 $\rho$ は回復率、 $x$ はこれまでの対策回数を表す。これらの関係を図2に示す。さらに、本問題の制約条件として以下の2つの項目が存在する。

- (1) 供用期間中、部材の健全度 $h(t_n)$ が管理レベル $L_{Low}$ を下回らない。
- (2) 各健全度区分の対策上限回数を $n$ 回とする。

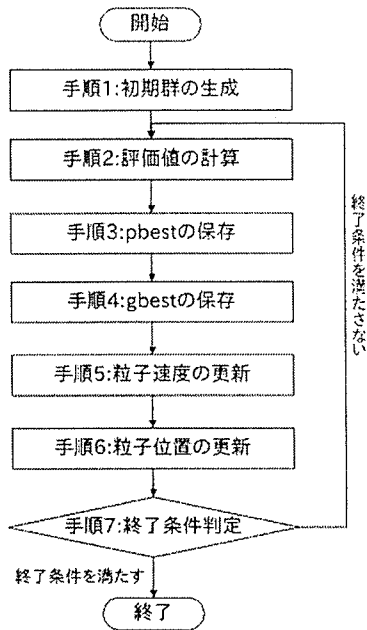


図1 PSOの処理手順

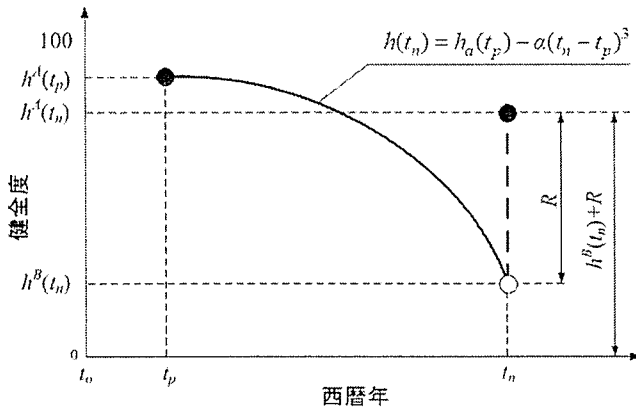


図2 劣化曲線と対策効果

#### 4. PSOとSGAによる数値シミュレーション

対象問題におけるPSOの性能を検討するためにPSOとSGAの数値シミュレーションによる比較を行った。本シミュレーションでは、両アルゴリズムに対して100回の試行を行い、100回中の最良解、実行可能解の平均と標準偏差、計算時間を調査した。両アルゴリズムのパラメータおよびシミュレーションで用いた問題の設定を、それぞれ表1、表2に示す。さらに、シミュレーション結果をまとめたものを表3に示す。

表3の結果では、PSOはSGAよりも良い近似最適解を得ている。また、実行可能解の獲得率は、SGAが20%程度であったのに対して、PSOは100%獲得している。さらに、PSOの計算時間はSGAの500分の1以下であり、非常に高速に探索処理を行っている。

#### 5. まとめ

本研究では、橋梁維持管理計画の策定にPSOを適用し、近似最適解の精度と計算速度の観点から、その解

表1 最適化アルゴリズムのパラメータ設定

PSO		SGA	
粒子数	100	個体数	100
反復回数	200	世代数	200
慣性重量	0.9	エリート数	10
学習係数	2.0	交叉率	0.1
		突然変異率	1/遺伝子長

表2 計画問題の諸設定

供用年数	100年	回復率	0.9
対策開始年	10年目	割引率	0.02
基本劣化係数	0.000463	対策上限回数	1回/区分
健全度区分1の対策コスト	438.0 [U/m <sup>2</sup> ]		
健全度区分2の対策コスト	168.0 [U/m <sup>2</sup> ]		
健全度区分3の対策コスト	100.8 [U/m <sup>2</sup> ]		
健全度区分4の対策コスト	47.6 [U/m <sup>2</sup> ]		
健全度区分5の対策コスト	23.8 [U/m <sup>2</sup> ]		
問題の最適解	36.58 [U/m <sup>2</sup> ]		

表3 PSOとSGAの適用結果

	PSO	SGA
100回試行後の最良解	36.58 [U/m <sup>2</sup> ]	39.29 [U/m <sup>2</sup> ]
実行可能解獲得率	100%	21%
実行可能解の平均	36.58 [U/m <sup>2</sup> ]	76.00 [U/m <sup>2</sup> ]
実行可能解の標準偏差	0.0 [U/m <sup>2</sup> ]	15.88 [U/m <sup>2</sup> ]
平均計算時間	531 [ms]	287,422 [ms]

探索能力をSGAを適用した場合と比較した。以下に本研究から得られた結果をまとめる。

- (1) PSOはSGAよりも高速に解探索を行える。
- (2) 対象の問題に対してPSOを適用した場合、SGAを適用した場合よりも高い最適解獲得率を示した。

#### 参考文献

- 1) 今野将顕, 宮本文穂, 中村秀明, 石田純一: 多目的最適化による複数橋梁の維持管理計画策定方法の開発, 土木学会応用力学論文集, Vol.7, pp.1-8, 2004.8.
- 2) J. Kennedy, R. Eberhart: Particle Swarm Optimization, Proc IEEE int'l Conf. on Neural Networks vol. IV, pp.1942-1948, 1995.
- 3) Shi Y., Eberhart. R.: A modified particle swarm optimizer, proceeding of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation pp. 66-73, 1998.