

維持管理計画策定支援システムにおける PSO パラメータの統計的検証

山口大学大学院

○森 優太

山口大学工学部 フェロー会員

宮本文穂

山口大学工学部 正会員

中村秀明, 河村圭

1. 序論

わが国の橋梁の多くは, 高度経済成長期である 1975 年前後に集中して建設されており, これらの橋梁の多くが老朽化しつつある. このため, 今後数十年の間に大規模な維持管理対策を行う必要があり, 必要な予算も大きく増加する.

本研究では, 合理的な維持管理計画の策定を支援するシステムとして, 橋梁維持管理支援システム (Japanese Bridge Management System : J-BMS) を研究している. J-BMS は複数のサブシステムから構成されており, 本研究が対象とする橋梁維持管理計画策定支援システムもその一つである. 本システムの機能としては, 保全対策を行い, 橋梁の寿命を最大限に延ばす「長寿命化機能」, 保全にかかる費用を最小化する「RLCC(Remaining Life Cycle Cost)最小化機能」などがある. 本研究では, これら二つの機能を対象とし, 「PSO(Particle Swarm Optimization)」を導入することを試みた.

2. PSO(Particle Swarm Optimization)

PSOとは, James KennedyとRussell Eberhartによって 1995 年に提案された群知能 (Swarm Intelligence) を基本とした近似最適化手法の一種である<sup>1)</sup>. PSOの処理手順については図 1 に示す.

PSO を導入した理由は 2 つあり, 1 つは計算コストが GA などといった他の最適化手法と比較して低いことである. もう 1 つは, 連続値の設計変数を持つ関数の最適化に有効といった特徴をもっているからである.

PSO では粒子が探索領域を飛びまわり, 最適解を見つける. 粒子は, 位置( $X$ )と探索方向を表す速度( $V$ ), 粒子全体での最適な位置( $Gbest$ )と, 個々の粒子のそれまでの探索過程での最良位置( $Pbest$ )をもつ. これら複数の粒子は, 解空間を探索し, 問題に対して最適な位置を探す. 粒子は,  $X$  と  $Gbest$  と  $Pbest$  から新たな速度を決定し, 速度から新しい位置を決定する. これを式 (1), 式 (2) に表す.  $k$  が 0 のとき, 各変数は架設時の値とする.  $V$  を次第に減少させることで, 最初のうちは大域的な探索を行い, 次第に狭い範囲の細かな探索を行うことができるようにしている. 最大繰

り返し回数を  $MaxIteration$ , 現在の繰り返し回数を  $Iteration$  とする.

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1 \cdot r_1 \cdot (Pbest_i - X_i^k) + c_2 \cdot r_2 \cdot (Gbest - X_i^k) \cdot \frac{(MaxIteration - k)}{MaxIteration} \quad (1)$$

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

3. 橋梁維持管理計画策定支援システム

橋梁維持管理計画策定支援システムは, 橋梁の維持管理計画の立案を目的としている.

橋梁の劣化状態を表す値として健全度を用いた. 健全度は, 0 から 100 の範囲で表され, 値が大きいほど状態がよいとする.

橋梁の劣化程度によって, 橋梁に施す保全対策の対策工法が異なる. 本システムでは, 健全度ごとに対策工法を分類した. この健全度ごとの区分を, 状態区分と呼ぶ. 健全度の変化は式 (3) で示され, 図 2 のような曲線を描く.

$$h(t_n) = b_n - a_n(t - t_n)^c \quad (3)$$

$t$ : 西暦 (年)

$n$ :  $t$ 年までに対策を行った回数

$h(t)$ :  $t$ 年の健全度

$t_n$ :  $n$ 回目の対策を実施した年

$a_n$ :  $n$ 回目の対策を実施した時点での劣化曲線の係数

$b_n$ :  $n$ 回目の対策を実施した時点での健全度

$c$ : 劣化曲線の次数

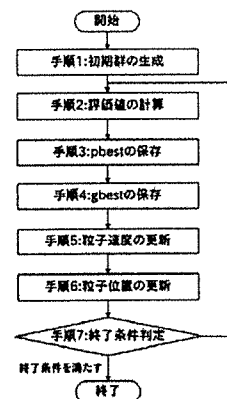


図 1 PSO 最適化の手順

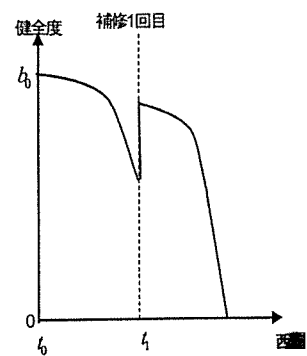


図 2 橋梁の劣化曲線

健全度は、保全対策を行うことで回復するが、橋梁に対して永遠に保全対策を行い続け、供用し続けるのは現実的ではないということから様々な制約条件が設定されている。

長寿命化では、制約条件の範囲内で橋梁の寿命が最大となる対策年の組み合わせを求める。

RLCCとは維持管理計画検討から架け替えまでの総費用であり、この研究では特に保全の費用を指している。RLCC最小化では、前のステップである更新費用平滑化で求められた供用予定終了年までの対策の費用が最小となる対策年の組み合わせを制約条件の範囲内で求める。また、更新までの橋梁の状態を良好にするために、保全費用が同じ計画の場合、更新費用平滑化で求めた供用予定年数より寿命が長いほど評価が良くなるとした。

#### 4. PSO を適用した実験

PSO のパラメータである粒子数と最大繰り返し回数は、値を増加させることで策定される計画の精度が向上するが、その反面、計画策定時間も増加する。

長寿命化と RLCC 最小化において、粒子数と最大繰り返し回数について、一方を(10, 50, 100, 500, 1000)と変化させ、もう一方を 500 として最適な値について最小有意差(least significant difference : 略して l.s.d)法を用いて検証を行った。l.s.d 法とは、どの水準間に有意差があるのかを検証する方法である。本実験では、有意性は 5%とする。長寿命化について粒子数を変化させた場合の最適な値は 100 であり、最大繰り返し回数を変化させた場合の最適な値は 500 であった。RLCC 最小化について粒子数を変化させた場合と最大繰り返し回数を変化させた場合の最適な値はともに 500 であった。

また、全ての対策可能な組み合わせについて全数検索を用いて調べ、長寿命化と RLCC 最小化の計画立案を行った。PSO は計画策定時間を増加させるほど計画の精度が向上する。一方、全数検索は時間をかけることで確実に厳密解を求められる。

1 橋あたりの計画策定に必要な時間において、PSO と全数検索を比較した。長寿命化と RLCC 最小化について、一方を(10, 50, 100, 500, 1000)と変化させ、もう一方を 500 として計画策定時間を調べた。これを表 1 から表 4 に示す。これにより、PSO における最適な値での計画策定時間より、全数検索による計画策定時間が短いという効果が得られた。

表 1 長寿命化問題における PSO と全数検索による計画策定時間(秒)

結果	粒子数					全数検索
	10	50	100	500	1000	
時間(秒)	0.08	0.28	0.58	2.84	5.52	0.46

表 2 長寿命化問題における PSO と全数検索による計画策定時間(秒)

結果	最大繰り返し回数					全数検索
	10	50	100	500	1000	
時間(秒)	0.08	0.28	0.54	2.76	5.48	0.46

表 3 RLCC 最小化における PSO と全数検索による計画策定時間(秒)

結果	粒子数					全数検索
	10	50	100	500	1000	
時間(秒)	0.02	0.06	0.10	0.56	1.14	0.30

表 4 RLCC 最小化における、PSO と全数検索による計画策定時間(秒)

結果	最大繰り返し回数					全数検索
	10	50	100	500	1000	
時間(秒)	0.02	0.06	0.10	0.56	1.14	0.30

#### 5. 結論

以下に、本研究の結論について述べる。

1. 全数検索は、PSO より高速に精度の高い計画(厳密解)を求めることが可能である。しかし、計画策定条件が変わり、解空間が拡大すると、全数検索による計画策定時間は乗法的に増加すると考えられる。全数検索の計画策定は、解空間が狭ければ精度と速度の両立した計画策定が可能である。
2. PSO はさまざまな条件での計画策定に適用でき、パラメータを調整することで計画策定時間を変更することができる。計画策定時間の面から、計画策定条件によっては、PSO は有効な手段だと考えられる。

#### <参考文献>

- 1) James. Kennedy and Russell. Eberhart : Particle Swarm Optimization, *Proc IEEE int'l Conf. on Neural Networks* vol. IV, pp.1942-1948
- 2) 仁木京子 : 更新費用の平滑化を考慮した橋梁維持管理計画策定支援システムの実用化, 山口大学修士論文, 2006
- 3) 宮園昌幸 : Particle Swarm Optimization の橋梁維持管理計画策定問題への適用, 山口大学卒業論文, 2006
- 4) 朝木善次郎 : 実験計画法, 共立出版株式会社, pp60, 1980.