

Particle Swarm Optimization を用いた RC はりの損傷同定

(有) ミツワ電器 正会員 ○江本 久雄

防衛大学校 正会員 別府 万寿博

山口大学大学院 正会員 中村 秀明, フェロー会員 宮本 文穂

1. はじめに

近年、高度成長期に建設されたコンクリート橋など社会基盤構造物の維持管理が注目されている。構造物の維持管理では、損傷の評価が重要となる。現状では、目視点検によって損傷の評価が行われているが、調査や評価の過程に不確定な要素を含んでいるために、構造物の損傷を客観的に評価することは困難と考えられる。これまで、損傷評価のために種々の研究がなされており、ヘルスマonitoringや損傷同定アルゴリズムが提案されている^{1),2)}。これらの方法は、いずれも正常時と異常時の構造物の観測データを比較することによって損傷の位置と程度を同定する方法であり、いわゆる逆解析に分類される。また、これらは数学的手法であり、非線形な問題や微分不可能な評価関数をもつ問題の場合には、適用することが困難と考えられる。

本研究は、最適化手法の一種である Particle Swarm Optimization³⁾(以下、PSO) と FEM を用いた損傷同定法を提案し、その妥当性と同定の精度について検討を行ったものである。逆解析手法の一つとしては、観測データと計算データの差の最小化を行う方法がある。本手法の特徴としては、PSO を適用することにより大域的な探索が可能になることである。まず、PSO を利用した損傷同定のアルゴリズムについて述べ、提案した方法を RC はりの損傷同定に適用し、その精度について検討を行った。

2. PSO の概要と同定アルゴリズム

PSO の起源は、鳥や魚が群れをなして行動をする、いわゆる動物の社会行動を工学的に応用した最適化手法で、1995 年に James Kennedy, Russell Eberhart によって提案された³⁾。PSO では、探索点を粒子と呼び、すべての粒子は位置情報(座標値)と探索方向を決定するための速度をもっている。位置情報(座標値)により設計変数を表す。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 ($pBest_i$) をもち、また、群れ全体として、すべての粒子の中での最良の位置情報 ($gBest$) を保持している。PSO による処理手順を図-1に示す。

PSO を FEM に適用するために、PSO の位置情報を解析用の入力データと対応させる。本研究では、解析用の入力データのうち、鉄筋およびコンクリートの断面積を用いた。また、PSO の評価値の計算 (Step2) では、次式のような目的関数を用いた。

$$\text{Minimize } J = \sum (x_i - x'_i)^2 \quad (1)$$

ここで、 J : 残差二乗和, x_i : 観測された変位, x'_i : 計算された変位である。

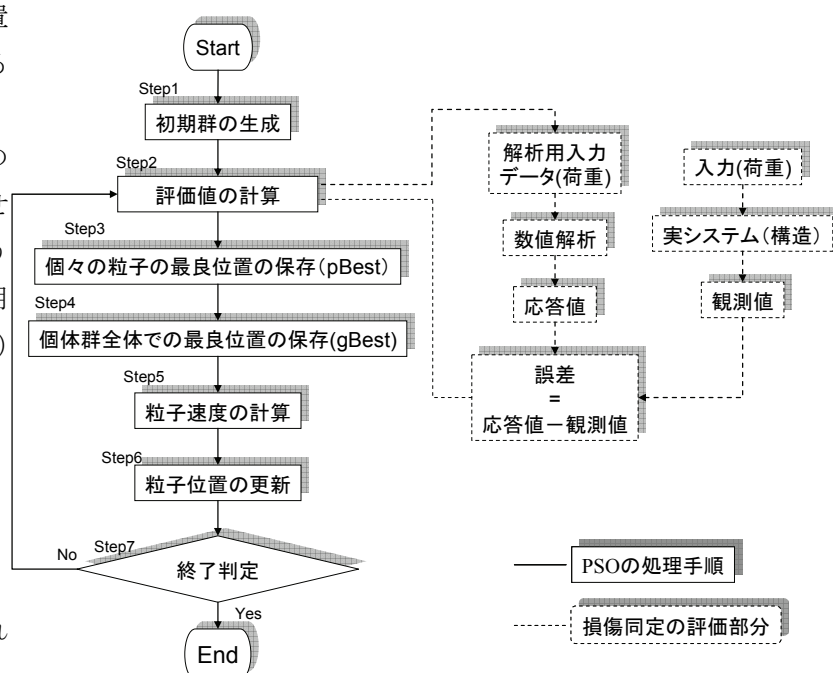


図-1 PSO と同定アルゴリズムの処理手順

キーワード 損傷同定, Particle Swarm Optimization, FEM, RC はり, 逆解析

連絡先 山口大学工学部知能情報システム工学科 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 TEL:0836-85-9530

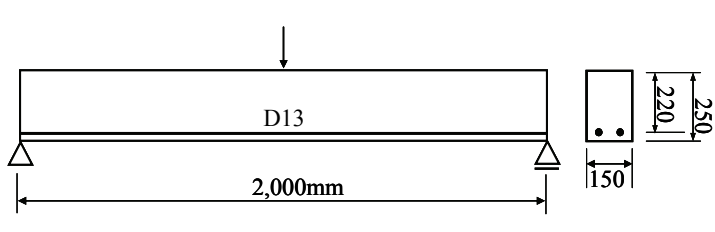


図-2 同定対象 RC はりの概要

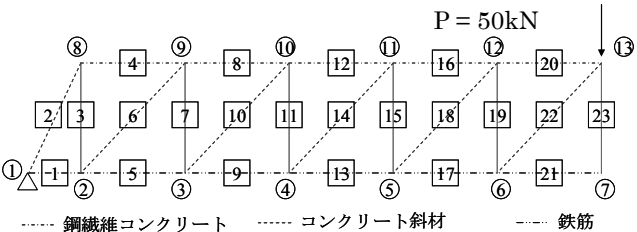


図-3 RC はりのトラスモデル図

3. RC はりの損傷同定問題への適用とその結果

図-2に示す RC はりの損傷同定を行う．損傷は，引張鉄筋および圧縮コンクリートの断面積減少とし，その程度および位置を求める問題とした．RC はりは，長さ 2,000mm で鉄筋は D13 である．はりの断面は，150mm × 250mm (width × height)である．解析モデルは，図-3のようにはりの対称性を考慮してはりの半分のみをトラスでモデル化した．逆解析の観測データとして，節点 13 に荷重 50kN が作用したときの各節点の変位と各部材の応力を有限要素解析により求めた．観測データ用(順解析)の鉄筋およびコンクリートの断面積を表-1に示す．

表-1 観測データ(順解析)に用いる鉄筋およびコンクリートの断面積の一覧

	部材番号	断面積 (mm ²)
問題 1	1,5,9,13,17	253
	21	227.7 (10%low)
問題 2	1,5,9,13	253
	17,21	227.7 (10%low)
問題 3	4,8,12,16	13,530
	20	12,177 (10%low)

位置(部材番号) 程度(減少率)

5,9,13,17,21	0.8 - 1.0
--------------	-----------

ここでは，損傷位置は 1 箇所のみという仮定の下に，鉄筋の断面積が減少した位置とその減少率を同時に同定することを試みた．このための工夫として，PSO の設計変数を図-4のように損傷位置の候補を示す部材番号と断面積の減少率を表す数値から構成した．同定結果を表-2に示す．これより，損傷位置の候補数が増加するにつれ，同定精度（成功回数）が低下していくのが分かる．しかしながら，その精度は損傷候補数が 5 つある場合(損傷位置候補：5,9,13,17,21)でも 7 割程度の精度で同定できた．

図-4 PSO の設計変数の構成例

以上から，損傷位置をある程度特定できる既知情報があれば，比較的高い精度で同定することが可能と考えられる．例えば，デジタル画像を用いてひび割れ位置を特定する技術⁴⁾との融合が考えられる．

表-2 1,000 試行回数中の成功回数

問題 1	損傷位置候補	21	17,21	13,17,21	9,13,17,21	5,9,13,17,21
	成功回数	999	932	863	846	795
問題 2	損傷位置候補	21	17,21	13,17,21	9,13,17,21	5,9,13,17,21
	成功回数	998	907	853	824	723
問題 3	損傷位置候補	20	16,20	12,16,20	8,12,16,20	4,8,12,16,20
	成功回数	1000	927	870	834	769

4. まとめ

本研究は，PSO と FEM を組合せて，構造物の損傷程度や位置を同定する手法を提案したものである．本研究で得られた成果を以下にまとめる．

- (1) PSO を用いて，FEM の計算値と観測値の差を最小とする損傷同定アルゴリズムを提案した．
- (2) 提案した手法を RC はりの鉄筋およびコンクリートの損傷(断面積減少)を同定する問題に適用した．その結果，損傷およびその位置ともに 7 割を超える比較的高い精度で同定できることが分かった．

参考文献

1)吉田郁政，佐藤忠信：モンテカルロフィルタを用いた排他的非ガウスプロセスノイズによる損傷同定，構造工学論文集，Vol.48A，pp.429-436，2002.3

2)宮本文穂，森川英典，山本昌孝：既存コンクリート橋の損傷に対応する動的挙動の感度特性と損傷評価への適用，土木学会論文集，No.442，V-16，pp.61-70，1992.2

3)J. Kennedy, R. C. Eberhart: Particle swarm optimization, Proc. of IEEE International conf. on neural networks (ICNN'95), Vol. IV, pp.1942-1948, 1995

4)河村 圭，宮本文穂，中村秀明，佐藤 亮：対話型遺伝的アルゴリズムによるデジタル画像からのひび割れ抽出，土木学会論文集，No.742，VI-60，pp.115-131，2003.9