

V-251

遺伝的アルゴリズムを用いた舗装マネジメントシステムの フレームワークの構築に関する研究

阪神高速道路公団 正会員 辻野博史
 北海道大学 正会員 姫野賢治
 長岡技術科学大学 正会員 丸山暉彦
 長岡技術科学大学 学生員 亀山修一

1. はじめに

近年、我国における道路舗装整備の需要は増加する一方である。元来、道路舗装の維持修繕等は、道路管理者の経験的判断に依存するところが大きく、道路利用者に係る諸費用は直接には考慮されていないのが現状である。最近その有用性が注目されている舗装マネジメントシステム(PMS)に基づいた舗装の維持修繕戦略は、解析期間内における維持費用、修繕費用などの道路管理者費用と、走行費用や旅行時間遅れなどの道路利用者費用との和を最小とすることを目的としているものである。しかし、対象とする舗装の延長や解析期間が大きく、その最適化を図ることは容易ではない。そこで、本研究は遺伝的アルゴリズム(GA)を用いてPMSのフレームワークを構築し、舗装の最適な維持修繕戦略を行うことを目的とした。

2. 研究内容

本研究では、PMSのフレームワークを構築することを主眼とするとともにそれに必要な将来のパフォーマンスの予測も行った。また、実際の国道を使用したケーススタディを行い経験的手法によるトータルコストとの比較を行った。

3. 遺伝的アルゴリズム

GAとは、生物進化の過程にヒントを得た最適探索方法の一つである。GAは、図-1および以下に示すように8段階で構成されている。

【STEP1.事象のモデル化】最適化の課題となる事象のモデル化と遺伝子型の決定。本研究では修繕の有無を決定するため、対立遺伝子をオーバーレイの有無を表すバイナリ形式に設定し、図-2のような遺伝子型とした。本研究では遺伝子の個体数は20～50の範囲とした。

【STEP2.初期集団の発生】決定した遺伝子型を中心とした、一定範囲内での変化を認めた複数の生物(記号列)集団のランダムな発生。

【STEP3.各個体の評価】適応環境における適応度の算出。本研究で用いた目的関数を以下に示す。

《目的関数》目的関数は解析期間中における総費用の現在価値(円)とし、この最小化を図った。費用の現在価値算定式を式(1)に示す。

$$tpwc_{x1,n} = \sum_{t=0}^{t=n} pwf_{i,t} [(oc)_{x1,t} + (mc)_{x1,t} + (uc)_{x1,t}] \quad (1)$$

ここで、 $tpwc_{x1,t}$: 解析期間 n 年における費用の現在価値
 $(oc)_{x1,t}$: t 年度における修繕費用
 $(mc)_{x1,t}$: t 年度における維持費用
 $(uc)_{x1,t}$: t 年度における利用者費用(車両走行費)
 $pwf_{i,t}$: t 年間の割引率 i と n に関する現在価値係数

$$pwf_{i,n} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2) \quad i: \text{割引率}$$

【STEP4.5.淘汰、増殖】各個体の適応度の低いものを淘汰し、減少した集団数を元に戻すために、個体を増殖させる処理。本研究では、各個体の適応度を高い順にソートし、適応度の低い半分個体を消滅(淘汰処理)させた。次に、残った適応度の高い個体をランダムに選びペアを作り、交叉、突然変異処理を行い、新しい個体を作り、淘汰された分を補った。

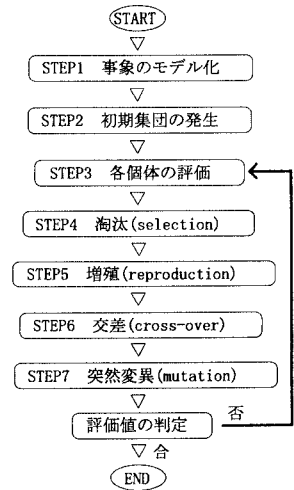


図-1 遺伝的アルゴリズムの基本的フローチャート

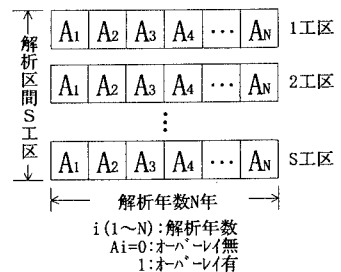


図-2 遺伝子型のモデル化

【STEP6.交差】2つの個体（親）の遺伝子型をランダムな位置で部分的に入れ換え新しい個体（子）をつくる操作。本研究では、一様交差法を用いた。

【STEP7.突然変異】各個体の遺伝子に相当する各ビットを、突然変異率の生起確率で、0を1、あるいは1を0に変化させる操作。本解析では0.1%とした。

【集団の評価】生成された次世代の集団が、進化シミュレーションを終了するための評価基準（収束条件）を満たしているかの判定。

【収束条件】以下の3条件のいずれかを満たしたとき収束したと判定した。

(1)最大世代交代数(10,000)を越えた場合。(2)集団がすべて同じ遺伝子の配列となった場合。(3)適応度の最大値がある決められた世代(300)にわたって更新されない場合。

4. パフォーマンスカーブ

全国の国道の路面性状データを分析することにより、MCIのパフォーマンスを式(3)のようにモデル化した。この式より得られるパフォーマンスカーブを図-3に示す。また、舗装の構造的健全度からパフォーマンスを予測するため、大型車交通量とFWDたわみ量との関係を解析し、データベース化した。式(3)において $MCI_0=9.5$ とし修繕（オーバーレイ）が行われた後の初期MCIは9.5になると仮定した。ここで、WはあるMCI時の大型車交通量(万台)である。

$$W = A (MCI_0 - MCI)^B \quad A = 95.5e^{-1.66(D_0 - D_{1500})} \quad B = 1.64e^{-6.38(D_0 - D_{1500})} \quad (3)$$

5. ケーススタディー

《5.1.FWD測定》国道12号線の一部（延長約5km）を、55の区間に分割し（平均区間長100m）、FWDによって舗装表面のたわみを測定し、温度補正および荷重補正を行った。

《5.2.解析条件》継続調査によって得られた大型交通車量データ、各種路面性状データとFWD測定によって得られたたわみデータからMCIのパフォーマンスを予測した。解析期間を20年とし、この期間における総費用（維持費用+修繕費用+利用者費用）が最小となる維持修繕計画を遺伝的アルゴリズムによって求めた。

《5.3.結果》従来、修繕はその舗装のサービス性能が、許容されるサービス性能の下限値以下になったときをこなうという方法が採られている。図-4 区間1の「パフォーマンス」の比較
建設省では、MCIが約5以下になると修繕を施すよう指導している。従来の方法において、MCI下の下限値を1~7と変動させ、解析期間内において必要となるトータルコストを算出した。これらの費用と遺伝的アルゴリズムによって得られたトータルコストとの比較を表-1に示す。従来の手法に基づいて計算した結果、MCIが3のときにトータルコストが最小となる。一方、GAを使用した場合、修繕時のMCIが一定でないにもかかわらず、従来の方法によって求まるトータルコストの最小値とほぼ一致している。このことからGAによりトータルコストの最小化を図ることは十分有効であると言える。

6. まとめ

①組合せが多く、容易に最適解を求めることが困難な舗装の維持修繕戦略の問題を、GAを使用した舗装マネジメントシステムを構築することにより比較的短時間において総費用の最小化を行うことができた。②FWDとサービス性能との関係を模索する研究は一つの大きなテーマでもあり今回用いたデータからは必ずしも明確な関係を見出すことはできなかった。今後、細部に対する関係が構築すればより実用化に向けて近づくと言える。③ケーススタディにおいて、MCIの値が3になったときに修繕を実施する場合が、トータルコストが最小となったが、これは導入した目的関数に依存するところが大きく一概にMCIが3のときに修繕の時期であると言い切ることはいえないものと思われる。④GAは、局所探索能力があまりないことが知られているが、PMSの分野では今回の結果より十分実用的であると考えられ、より解析区間が増えた場合やよりモデルが複雑化した場合にGAはより威力を発揮することが期待される。

謝辞

北海道開発局開発土木研究所維持管理研究室および北海道土木技術会舗装研究委員会の皆様には大変なご助力を頂いた。

参考文献

1) 建設省土研: 土木研究所資料第3041号、1991、2) 孔 永健ほか: 土木学会第49回年講、V-23、pp.46-47、1994、3) 堀本賢一ほか: 土木学会第49回年講、V-51、pp.102-103、1994、4) 田村 亨ほか: 土木学会論文集No.482/IV-22、pp.37-46、1994、5) Chan, T.C.ほか: Journal of TE, Vol.120, No.5, pp.693-709, ASCE, 1994、6) Fwa, T.F.ほか: Journal of TE, Vol.120, No.5, pp.710-722, ASCE, 1994

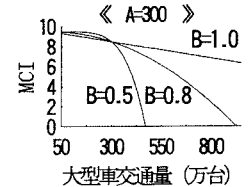
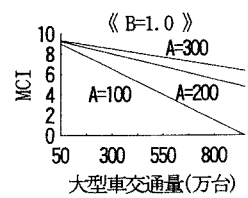


図-3 パフォーマンスカーブの仮定

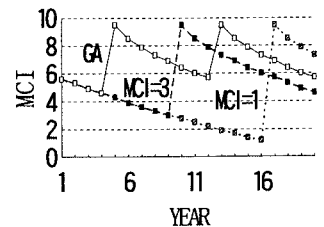


表-1 GAと経験的手法による総費用の比較

MCI値	総費用(億円)
1	1.84
2	1.77
3	1.74
4	1.81
5	1.96
6	2.36
7	3.13
GA	1.73