

V-17 舗装構造解析へのフォーリング・ウェイト・デフレクトメータの利用(第13報) —逆解析への遺伝的アルゴリズムの適用—

長岡技術科学大学
北海道大学
北海道工業大学
長岡技術科学大学

学生会員
正会員
正会員
正会員

亀山修一
姫野賢治
笠原 篤
丸山暉彦

1.はじめに

現在、舗装の支持力を評価するための非破壊試験の一つとしてFWD(Falling Weight Deflectometer)が普及しており、その解析法としては逆解析が広く用いられている。逆解析法としては、測定された表面たわみと多層弾性論等から得られる計算たわみの残差平方和を評価関数とし、ガウス・ニュートン法により、これを最小にする逆解析弾性係数を推定する残差最小化法が広く用いられている。しかしながら、評価関数の極小値はその最小値だけではなく、検索空間に多数存在し、解の唯一性が保証されないことが著者らの研究により明らかにされている¹⁾。したがって、ガウス・ニュートン法を採用した逆解析手法では、入力時に設定する層弾性係数の初期値によっては、局所解、すなわち評価関数の最小値ではない極小値に陥ってしまう可能性があると考えられる。本研究ではこのように解の唯一性が保証されないような逆問題の最適化手法として、最近注目されている生物集団の進化過程に着想を得た、遺伝的アルゴリズム(GA)に着目し、逆解析への適用を検討した。

2.遺伝的アルゴリズムを応用した逆解析

GAとはランダムに生成した仮想生物の適応度を算出し、適応度の低い個体を淘汰し、残った適応度の高い個体だけに、交叉、突然変異などの遺伝子オペレーターを作用させ、次世代の集団を形成させるという過程を繰り返すものである。GAの流れをFig.1に、各段階の説明を以下に示す。

一つの個体は m 層からなる舗装構成層の各層の弾性係数 E_j ($j = 1, 2, \dots, m$) を遺伝子として持つものとした。入力値として測定たわみ、舗装構成各層のポアソン比、層厚の他に弾性係数が存在すると思われる範囲を設定し、この範囲内の弾性係数を遺伝子に持つ個体をランダムに50個生成する。

各個体の遺伝子として表現された弾性係数と設定した層厚、ポアソン比から多層弾性理論解析プログラム(ELSA)¹⁾によって順解析をおこない、表面のたわみを算出し、測定されたFWDたわみと計算たわみから重み付き残差平方和を求め、評価関数 R_i とした。

評価関数から各個体の適応度を算出し、適応度の

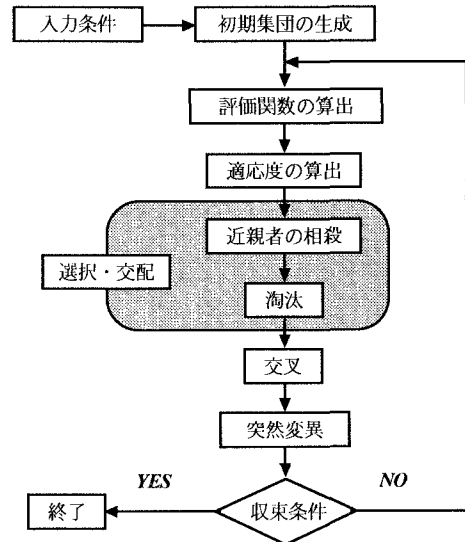


Fig.1 遺伝的アルゴリズムの流れ

低い個体を一定の割合で淘汰し、残った適応度の高い個体を選択し交叉させる。しかしながら、検索が進行するにつれて、交叉に用いられる個体の遺伝子の類似性が高まるため、交叉する前に、最良の適応度を示す個体と似た遺伝子を持つ個体(近親者)を相殺することとした。この際、相殺するか否かの基準は最良個体の評価関数によって決まり、検索の進行に応じて変化するものとした。つまり、検索の初期段階においては、相殺を判定する判断を緩やかなものとし、検索が進行するにつれて、次第に判断基準を厳格にして遺伝子が一様化することを防いだ。

次に、生成された個体の遺伝子に多様性を持たせ、集団が局所解に陥ったときに、そこから抜け出せる可能性を高めるために突然変異を作用させる。しかしながら、検索範囲が広い場合、検索が局所解近傍まで進行すると、突然変異によって得られる個体の大部分が局所解よりも適応度が低くなり、淘汰されるため、その効果が期待できなくなる。そこで、突然変異によって生成される遺伝子の範囲を検索の進行に応じて制限することとした。

収束条件としては以下の2条件を設定し、いずれかを満たした場合、収束したと判定した。

条件1：集団内の最良個体の評価関数が 10^{-6} 以下になった場合。

条件2：最大世代数(1000世代)に達した場合。

3. 計算たわみを用いた逆解析結果

Fig.2のような層厚、弾性係数、ポアソン比を持つ4層構造の舗装体を仮定した。舗装表面に5tf(49kN)荷重が作用したときの載荷板中心点と、半径方向に300, 450, 600, 900, 1200, 1500mm離れた位置における7点の表面たわみをELSA²⁾によって算出し、逆解析の入力たわみとした。また、弾性係数が存在する範囲を表層では $1.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^5$ kgf/cm²、上層路盤では $1.0 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^4$ kgf/cm²、下層路盤では $1.0 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^4$ kgf/cm²、そして路床では $10 \sim 1.0 \times 10^3$ kgf/cm² に設定し、GAを用いて逆解析を実行した。30組の逆解析結果の中で、収束に至るまでの世代数が最大、最小、そして最も平均値に近い値を示した結果をTable 1に示す。

収束に至るまでの世代数は42~593とかなりばらついた結果となったが、得られた逆解析弾性係数は標準偏差も十分小さく、その平均値はFig.2で仮定した層弾性係数とほとんど一致しており、適切な逆解析弾性係数が得られた。

次に、これらの逆解析結果における世代数の増加と集団内の最良個体の評価関数 R_f の関係をFig.3に示す。世代数の増加に伴い、 R_f は減少していくが、ある程度検索が進行すると、 R_f が更新されない世代が継続しており、局所解に陥っている。特に世代数が最大となる場合ではこの傾向が顕著であり、 R_f が更新されない世代が長く続いている。しかしながら、検索が進行するにつれて再び R_f が減少し始め、収束に至ることから、仮に逆計算過程において局所解に陥った場合でも、そこから脱出することが可能であると言える。したがって、GAは本問題のように解の唯一性が保証されない問題にとって有効な手法であると言える。

4. おわりに

舗装体の層弾性係数の逆解析に遺伝的アルゴリズム(GA)を適用した。多層弾性理論により得られた計算たわみを入力値として逆解析した結果、仮定した弾性係数と非常に近い逆解析弾性係数を推定できた。

参考文献

- 1) 亀山修一、姫野賢治、丸山暉彦、笠原篤：舗装体の弾性係数の逆解析における解の唯一性に関する研究、1995年度土木情報システム論文集、Vol.4, pp.75-82, 1995.
- 2) 姫野賢治：パソコンによる舗装の多層弾性構造解析、アスファルト、Vol.32, No.161, pp.65-72, 1989.

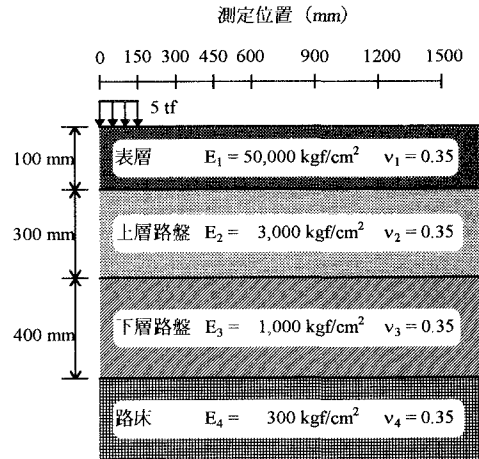


Fig.2 舗装構造

Table 1 逆解析結果(30組中)

	世代数	時間(s)	E_1 kgf/cm ²	E_2 kgf/cm ²	E_3 kgf/cm ²	E_4 kgf/cm ²
最小	42	639	48520.8	2924.2	974.9	299.1
最大	593	8829	51360.9	3079.8	1028.9	301.2
平均	239	3779	50174.4	2991.4	1005.1	300.0
標準偏差	142	2226	850.5	45.9	15.6	0.6

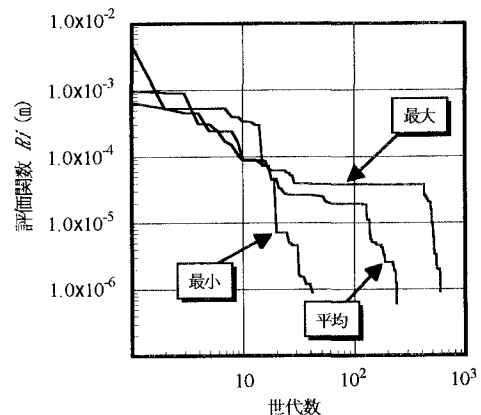


Fig.3 世代数と最良個体の評価関数 R_f の関係