不確実性を考慮した橋梁のライフサイクルコストデザイン

関西大学総合情報学部　正会員　古田　均
日本総合研究所　正会員　斉藤　麻紀子
関西大学大学院　学生会員　井田　隆義
関西大学総合情報学部　合田　久美子

１．まえがき

社会基盤施設は社会の発展と存続にきわめて重要な役割を果たす．その１つである橋梁は，全国に 15 万橋あるといわれている．それらの橋梁は作用荷重・交通量の増加，周囲の環境等の要因により年々劣化が進行している．橋梁を安全に維持するためには，橋梁の寿命の間にメンテナンスを繰り返す必要がある．橋梁の耐用年数は通常 50 年とされているが，適切な維持管理を行えば耐用年数以上使用することができるといわれている．しかし，メンテナンスを含め橋梁の維持管理には巨額の費用が必要とされ，限られた費用を有効に使った維持管理が求められる．そこで近年注目されているのが，ライフサイクルコストの考え方である．ライフサイクルコスト最小化とは，構造物（橋梁）の寿命の中で必要とされている全ての費用を最小化することを考えるものである．

本研究では、遺伝的アルゴリズム（GA）を用いてライフサイクルコスト最小化に基づく橋梁の維持管理計画支援システムの構築を試みる．さらに，維持管理問題には劣化評価や周囲の環境等、さまざまな不確実な要因が含まれているので，不確実性を考慮した最適化を目指す．

２．維持管理における不確実要因

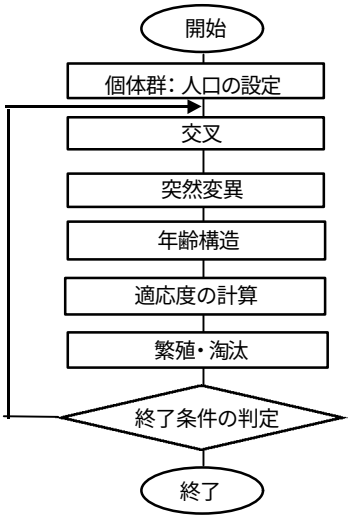
一般に橋梁の維持管理は，国・公団・自治体などが行っているが，維持管理に当てられる予算には限度があり，橋梁の補修・補強工事は数年計画で行われている．本研究の目的は GA によりライフサイクルコストが最小になるように，その計画（補修・補強の時期，及びその種類）をたてることである．ところが，橋梁の維持管理には不確実な要因が含まれており，これらの不確実性を考慮しなければ，求められた最適な維持管理計画はある特定の状況下にしかあてはまらなくなってしまう恐れがある．そこで，不確実性を考慮した最適化を目指す必要がある．

ここでの不確実な要因として，橋梁の耐久性は環境に応じて変化するものと考えると，周囲環境，補修効果等があげられる．

３．不確実性を考慮した遺伝的アルゴリズム

不確実性を考慮した遺伝的アルゴリズムでは，従来の GA の「適応度の高い個体が何世代にもわたり選ばれる」という特徴を利用し，全ての個体の年齢をカウントし最高年齢個体を最適解とする．つまり，適応度の高い個体ほど何世代にもわたって評価される回数が多くなるので解の評価の信頼性が高められ，結果としてロバストな解（不確実性があっても初期の目的が達成されるような頑健な解）が得られるというものである．

従来の GA との違いは，年齢構造の導入と適応度の計算方法である．年齢構造とは，交叉及び突然変異によって生じた子個体の年齢を更新することである．親個体と子個体の距離により情報の引継ぎ度合いのパラメータを決定し，そのパラメータにより年齢を更新するかリセットする（１歳にする）かの確率を求める．距離が大きいほど，つまり親個体と子個体が似ていないほどリセットする確率が高くなる．なお，交叉の場合の親個体の決め方は，２



図－1　処理の流れ

キーワード　ライフサイクルコストデザイン，不確実性，維持管理，遺伝的アルゴリズム
〒569-1095　高槻市霊仙寺町 2-1-1　関西大学総合情報学部 TEL 0726-90-2438　FAX 0726-90-2438

つの子個体のそれぞれに対して距離の短い方の親個体とペアにし親の年齢を引き継ぐ．この方法でそれぞれの個体の年齢をカウントして，最終的に年齢の１番高い個体を最適解とする．適応度の計算方法は，年齢構造の導入により親の情報を有効に活用するため，式（１）のようになる．

$$g(y_i)=\frac{(d_i-1)g(p_i)+h(f(\hat{w},x_i))}{d_i} \qquad (1)$$

$g(y_i)$：個体 y の適応度　d_i：年齢　p_i：親個体　$h(f)$：適応度関数　f：評価関数値

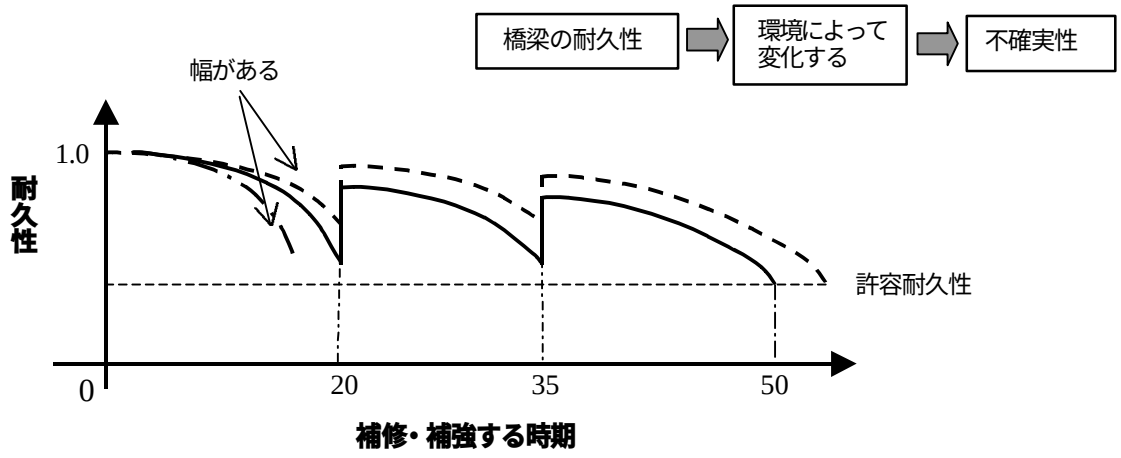
$\hat{w}$：不確実要素 w の(ある一つの)実現値

４．橋梁のライフサイクルコスト問題への適用

本研究では，橋梁の耐久性は環境に応じて変化すると考え，その下がり方に幅があるとし，これを不確実な要素とする．そこで，橋梁の維持管理計画を，不確実性を有する問題であるとみなし，不確実な最適化問題の GA による解法を用いて，ライフサイクルコストを考慮した橋梁の維持管理計画の策定を目的とする．

まず，目的関数をトータルコスト（全ての費用のことで，ここでは　１．初期費　２．定期点検費　３．詳細点検費　４．補修費　５．損傷費　とする）の最小化とする．制約条件は，安全性を維持するために耐久性が一定の値より下がらないこととする．

次に，コーディング方法として，１つの遺伝子を点検の種類で表現し，「なし」＝000　「補修１」＝001　「補修２」＝010　「補修３」＝011　「補強１」＝100　「補強２」＝101　とする．これらの遺伝子を耐用年数分作成し遺伝子列とする．交叉は，ランダムな位置で２点交叉させ，突然変異も同様にランダムな位置で発生させる．耐久性の幅は一様乱数を発生させ決定する．



図－2　経過年数による耐久性の低下

５．あとがき

不確実性を考慮した GA を用いて実際に問題を解いたところ，結果としてロバストな解を得ることができた．よって，周囲環境や補修・補強効果等の不確実要因を含む維持管理計画の手法として，不確実性を考慮した GA は有効であるといえる．

今後の課題として，年齢の更新する確率を調整する必要がある．年齢の更新する確率は，優良な個体の存続に影響する．また，年齢が若い個体は親からの適応度の影響を強く受け，適応度が伸び悩む傾向があり，この問題を解決することも必要である。

参考文献　：　１）財団法人経済調査会：建築物のライフサイクルコスト，文唱堂印刷株式会社，1993.10
２）Ａ.Ｊ.デリソッラ・Ｓ.Ｊ.キルク：建物のライフサイクルコスト分析，鹿島出版会，1987.5
３）玉置　久・荒井　俊彦・阿部　重夫：遺伝的アルゴリズムによる不確実な最適化問題の解法，システム制御情報学会論文誌，Vol.12，No.5，pp.297-303，1999