

遺伝的アルゴリズム法を用いた ケーブル張力調整システムの開発

有村 英樹¹⁾ 高瀬 和男²⁾

設計時に計画した断面力、キャンバーを所定の管理精度内とするための最適シム決定手法において、当社ではこれまでに、Cable Control System(CCS)の一連の開発^{1),2)}の中で、改良型満足化トレードオフ法を用いたシステムを構築し、実橋についても2橋のニールセン橋に適用し、良好な結果を得ている^{3),4)}。

今回、さらに、解の決定過程の簡素化、迅速性を追求し、新たな手法として遺伝的アルゴリズムを用いたプログラムの開発を行った。ここでは、本プログラムの開発および適用例として常吉連絡橋における架設精度管理での解析結果について報告する。

まえがき

ケーブル系橋梁の中でも特に斜張橋の場合は、設計段階で力学的合理性や鋼桁自重の最小化を目指し、ケーブル張力の設定において、プレストレスが導入され、ケーブルの最終張力が決定される。よって、設計時に想定した形状およびケーブル張力の再現が不可欠となる。そのため、形状およびケーブル張力を実測し、設計時の応力状態および形状にできるだけ近づけることを目的にケーブル張力の調整（以下、「シム調整量」と示す）が行われる。しかし、シム調整量の決定には高度の架設管理技術と多大な時間を要するため、シム調整量をいかにして迅速かつ合理的に決定するかが重要となる。

シム調整量決定手法としては、これまでに

- ①最小自乗法⁵⁾
- ②改良型満足化トレードオフ法⁶⁾
- ③ファジィ満足度法⁷⁾

などが提案されており、実際の斜張橋のシム調整に採用され成果を挙げている。しかし、それぞれ長所および短所を持ち合わせている。

上記3つの方法に共通していることは、得られ

る解がすべて連続量であることや、ある程度の経験が必要であるため、最適解を得るためには数回の試行錯誤を必要とする。つまり、実際の架設では、シム調整量はプレートの組合せで与えられており、たとえば7.26mmのような板厚の組合せは存在しない。このため、実際の現場状況を考えると、シム調整量は離散量として与えられることが望ましい。また、実際のシム調整作業では、架設条件に適應した解を迅速に求めることが要求される。しかし、前述の方法では、重み、希求水準、満足度などのパラメータを変化させながら、意図する形状および張力の残留誤差に到達するまで解析を繰り返すことになり、現場での意思決定者の負担が大きいことがこれまでに挙げられている。

従来手法に代わる一手法としてAL(Artificial Life:人工生命)技術の代表的な手法である遺伝的アルゴリズム(以下、「GA」と示す。:Gentic Algorithm)を採用し、ケーブル張力とキャンバーのみでなく、調整するケーブル本数についてもパラメータとし、多数の最適な解を一度に計算し、現場における解の比較選択の簡易化を目的として、最適なシム調整量を決定するケーブル張力調整システムの開発を行った。

1) 橋梁設計部大阪設計一課 2) 橋梁設計部大阪設計二課課長

1. 最適シム決定手法

本手法における解は連続量ではなく、離散量で提示される点が他の手法と決定的に異なる。また、最終結果が最適解の集合解であるパレート最適解で提示されることから、現場の状況に適した解が図-1のように一度の計算結果の中で示されるので、解の選択も容易になることが期待できる。

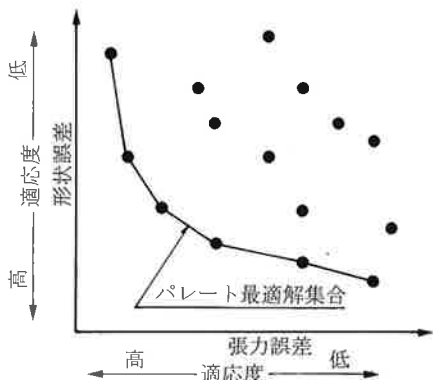


図-1 パレート最適解のイメージ

従来の手法では、一度の計算で図-1に含まれるシムの組合せの1点のみが決定され、そこから現場条件に適する解について、各種パラメータを変更し、計算する必要がある。さらに、形状と張力の残留誤差が互いにトレードオフの関係となっているために、前述の方法では各種パラメータの設定が困難となっていた。つまり、複数の結果を求めするには、それだけのトライアル計算が必要であった。

以上により、形状および張力ともに管理目標値を満足し、さらに架設状況に合った解を比較、選択するために、複数の解の算出が不可欠となる。

さらには、形状および張力の誤差が管理目標値を満足する解であっても、調整ケーブルが多ければ架設工程に影響することから、文献2)でも述べたように、管理目標値を満足させるに足りるシム調整本数を設定することが望まれる。つまり、シム調整量の決定の過程では、形状および張力の誤差、シム調整本数を考慮した解析が必要となる。そこで本システムでは、ケーブル調整本数を含めた3つの目的関数によるパレート最適解を求めることにより、形状および張力の誤差が目標とする範囲内で、かつ、シム調整を行うケーブル本数が少ない解を合理的に選択することを可能とした。

2. GAの概要

(1) GAの概要

GAとはダーウィンの生物の進化の自然淘汰説を基にした適用範囲の非常に広い、学習的アルゴリズムである^{8),9)}。すなわち、世代を構成している個体の集合(個体群)の中で、環境への適応度の高い個体が次世代により多く生き残り、また、交叉および突然変異を起こしながら、次の世代を形成していく過程を模した最適化手法である。つまり、何万年も何億年もかけて生物が進化してきたような遺伝的な法則を工学的にモデル化し、工学に役立つような学習方法を与えるものである。

GAが目目されている理由としては以下の特徴が挙げられる¹⁰⁾。

- ① GAは離散量(離散変数)が扱える。すなわち、組合せ最適化問題が解ける。
- ② 感度解析(影響値計算)が必要ではない。
- ③ 目的関数が明確な形(定量的に定式化されている)で表されていないとしても良い。
- ④ 基本概念が受け入れやすく、手順、アルゴリズムが簡単である。

土木分野の計画、施工、管理に関わる諸問題を考えると、本質的には離散変数問題や組合せ最適化問題が大部分である。前述のようにシム調整問題もその一つである。

(2) GAの基本的な考え方

GAは繁殖・淘汰、交叉および突然変異を重要なオペレータとし、これらから構成されるGAは単純GAと呼ばれる。

基本的な構成は下記のとおりである¹¹⁾。

- ① コーディング: 問題を分析し、GAの適用が可能な状態に設計変数を定義する。
- ② 初期集団の設定: 初期に多数の個体を無作為に発生させる。
- ③ 繁殖・淘汰: 各個体の適応度を評価し、その程度によって次世代に残るか残さないかを判断する。適応度の低い幾つかの個体は淘汰され、その個数だけ適応度の個体が増殖する。
- ④ 交叉: 残された個体をカップリングし、お互いの情報を交換させる。
- ⑤ 突然変異: 予め設定された低い確率 P_m で無作為に線列を選び、その中の数字または数字

の組合せを問題に応じて無作為に変更する。
 図-2に GA の基本的な流れを示す。



図-2 GA基本フロー

Step-1 : GAでは最初に人口 (Population) と呼ばれる個体群を設定する。個体群とは個々の生物である個体が集団となって形成する群れであり、さらに、この群れを形成するために個々の個体を設定する。

また、GAでは各個体の特徴は線列と呼ばれる遺伝子列で表現される。各個体は図-3のようにコーディングされ、遺伝子列は要素として遺伝子を持ち、その組合せにより個々の特徴が表れる。

GAでは各遺伝子を {0, 1} で表すことが多く、対象となる問題によって、各遺伝子がとりうる要素の種類、ビット数などが決まる。たとえば、

シム調整量 5 mm : 0101

シム調整量 13 mm : 1101

などのように各シム調整量をコード化する。

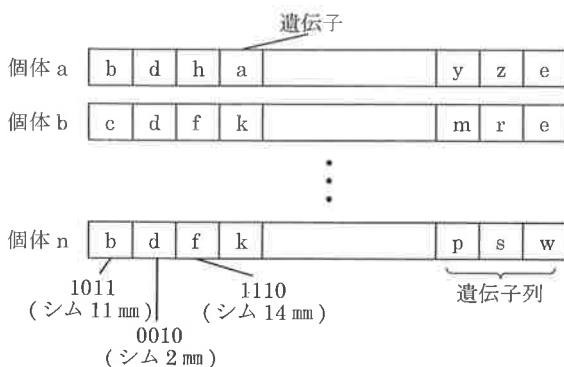


図-3 個体のコーディング

初期世代は通常、乱数を割り当てて個体を表現し、個体群を形成する。

Step-2 : 個体群を形成した後は、目的関数 (評価関数) により各個体の適応度を計算する。図-4に初期個体群の発生イメージを示す。適応度とは、その個体がどれだけ環境に適しているかを計る指標である。適応度が高いほど生き残る可能性は高く、逆に、適応度が低いと淘汰される可能性が高くなる。

Step-3 : 淘汰の対象となる個体の選択方法としては、ルーレット戦略、ランキング戦略、エリート戦略がある。これらのうち、エリート戦略はランダムに個体を選択せずに、個体群の中で最も適応度の高い個体を強制的に残す操作が行われる。選択方法は種々あるが、どのような問題にも最適という手法は存在せず、対象問題により選択する必要がある。

交叉方法にも、1点交叉、2点交叉、一様交叉などがある。交叉をするために個体群の中から交叉を行う2つの個体をランダムに選択する。1点交叉では図-5(a)のように2つの個体の遺伝子を

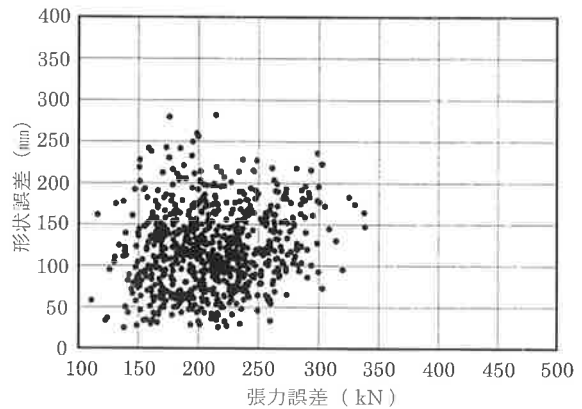
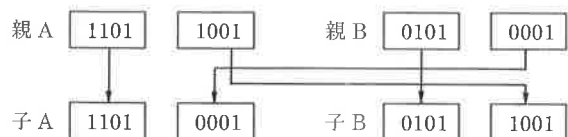


図-4 初期個体群のイメージ



(a) 交叉の例



(b) 突然変異の例

図-5 GAにおける交叉, 突然変異の例

ある位置で区切り、残りの部分を入れ替えるものである。ただし、この交叉は全個体について行うのではなく、その中の一部について行う。これは全ての個体を新しい個体に入れ替えるのではなく、古いものも混在させることにより、個体間の多様性を維持するためである。

Step-4: いずれの交叉方法を採用しても繁殖・淘汰、交叉を繰り返していけば、適応度の高い個体が得られる。しかし、個体数が少ないあるいは各個体間に大きな相違がない場合は、すぐに個体群の中の個体が同じあるいは同質のものになってしまう、適応度は高いものの、望んでいるような個体を得られないことになってしまう。つまり、交叉と淘汰のみでは進化が頭打ちとなり、それ以上の進化が望めないといった状況が起こり得る。

このような場合、もし周辺環境が大きく変化したならば、種全体が死滅することになりうる。しかしながら、実際の生物進化の過程では、大きな環境変化が起こった場合でも生き残れるものが出てくる。これは進化の過程で突然変異が起こっているからであり、そのため、多様な環境下においても生きて行くことが可能となる。GAでも解に多様性を持たせるため、この突然変異の操作を取り入れ、突然変異を起こしたものも、起こさなかったものも同様に、交叉、淘汰を繰り返し、さらに変化して行くことができる。具体的には図-5(b)のように通常、個体の1つの遺伝子を強制的に異なるものと置き換えることにより行われる。

Step-5: GAでは、あらかじめ設定されている収束条件を満たすかあるいは設定した最大世代数までの探索を行った場合、アルゴリズムを終了する。

3. GAの多目的最適化への応用

3.1 多目的最適化手法

一般に多目的最適化問題は、 k 個のお互いに競合する目的関数 $f(x)$ を、 m 個の関数 $g(x)$ がゼロ以下であるという制約条件のもとで最小化するという問題として定式化される。あるいは、等価的にベクトル最小化の形式で式(1),(2)のように定式化される。

しかしながら、多目的最適化問題では、一般にすべての目的関数を同時に最小にすることはできない。これは各目的関数がトレードオフの関係に

$$\text{minimize } f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))^T \quad (1)$$

$$\text{subject to } \{ x \in X = x \in R^n \mid g_j(x) \leq 0, j=1, \dots, m \} \quad (2)$$

なっているため、目的関数間での協調を図って各目的関数をできるだけ小さくする必要がある¹²⁾。

最適化問題は、解候補の集合、制約条件、目的関数の3つから定義される。一方、GAの基本的要素は、遺伝子列(または線列)と適応度関数の2つである。最適化問題をGAにモデル化する時、解候補は遺伝子列に、目的関数は適応度関数に直接的に対応づけられる。最適化問題とGAの関係を模式的に表すと図-6のようになる。

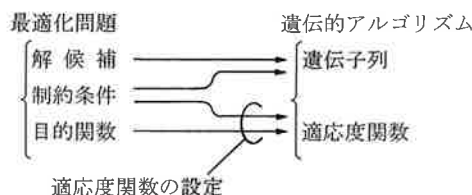


図-6 最適化問題とGAとの対応

3.2 パレート最適解

部品コストおよび事故回数を例にしてパレート最適解を表現すると図-7のようになる。本例では、点A, B, Cがパレート最適解(非優越)集合になる。つまり、点A, B, Cは、それぞれ他のいかなる点によっても優越されない。例えば、点B(4,6)は他の任意の点 (x,y) に対して

$$x < 4 \text{ AND } y < 6$$

を同時に満足する (x,y) は存在しないためである。ここで点D, Eは他の点によって優越されている。

$$C \underset{p}{<} D \quad (8 < 9 \text{ AND } 4 < 5)$$

$$B \underset{p}{<} E \quad (4 < 7 \text{ AND } 6 < 8)$$

ここに、 $C \underset{p}{<} D$ はCが部分的にDより小さいということを示す。

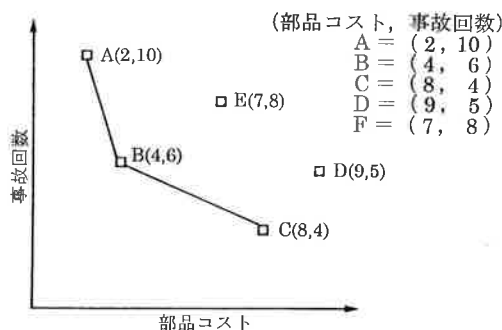


図-7 2目的関数のパレート最適解

3.3 多目的最適化への応用

(1) ランキング

GAを多目的最適化問題に適用する場合、パレート最適解を適切に評価・選択し、次世代に残していくことがキーポイントになる。この点に関して、これまでに以下の方法が提案されている。

- ①各目的関数について独立に選択を行う方法
- ②解の優越性に基づいて選択を行う方法

本システムでは、②のうちランキング選択による方法を採用している。優越関係に基づく本手法では、まず、現在の個体群の中で優越している全ての個体を求めて、これらを同一視してランク1とする。次に、これらのランク1の個体を取り除いた個体群（非優越解）の中から、優越している全ての個体を求めてランク2とする。このような操作を個体群の中の全ての個体がランク付けされるまで続け、ランクに応じた選択確率に基づいて再生を行う手法である^{13),14)}。

本手法では、全ての個体に対してその優越関係を調べる必要があるため、計算量が多くなるという問題点がある。ただし、GAがランダム探索と際だって異なる特徴は、多点並列探索を行う点である。したがって、単に最適解を探すということのみにとらわれず、様々な局所解を探索することにも応用が可能である。

図-8にランキングによるパレート最適解算出のフローを、図-9に解析結果の模式図を示す。ただし目的関数 f_1 と f_2 は次のように定義する。

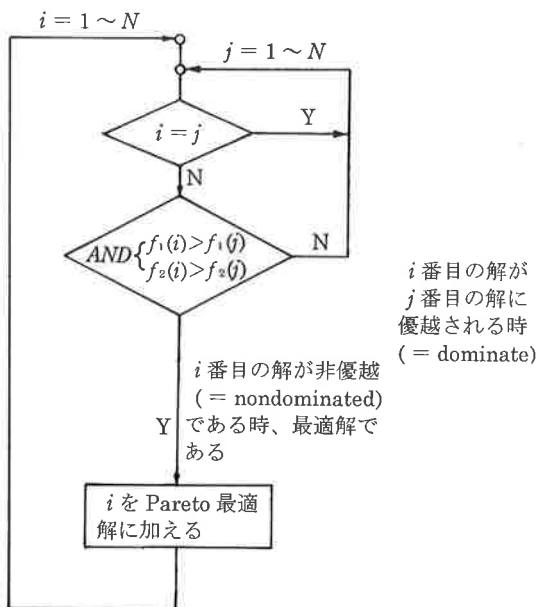


図-8 パレート最適解算出のフロー

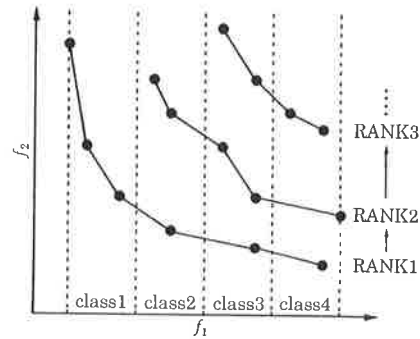


図-9 2目的の場合のランキング

i 番目の個体の目的関数1を $f_1(i)$ (横軸)
 i 番目の個体の目的関数2を $f_2(i)$ (縦軸)

(2) シェアリング

シェアリング(sharing)⁵⁾は、ランキング法に多岐性の個体の最適化を図るために、1987年にGoldbergとRichardsonによって導入された手法である。シェアリングの概念は、多くの点が集中している部分での個体には比較的小さな重みを、そうでない部分には相対的に大きい重みをかけることにより個体の分布の均一化を図る操作である。

シム調整量の決定の過程で求めたい結果は、バラエティに富んだ解候補であり、同種の組合せを求めるより、解の候補が分散した集合（パレート最適解集合）として得られるのが望ましい。以下に本手法を説明する。

図-9のように f_1 軸を基準に適当なクラス分けを行い、各クラスに含まれる個体群の個数を $n(i)$ とする。次に、各クラスに含まれる個体群がもつ適応度関数より各クラスに含まれる個体の適応値(式(4))を、そのクラスの個数を正規化した値(式(5))で割ったものを分割適応度関数 (share d_fitness 式(3))とする。

$$shared_fit(i) = \frac{fit(i)}{num(i)} \quad (3)$$

$$fit(i) = \frac{1}{RANK(i)} \quad (4)$$

$$num(i) = \frac{n(i)}{\sum_{i=1}^N n(i)} \quad (5)$$

ここに

- N : クラスの総数
- $n(i)$: i 番目のクラスに含まれる個体数
- $num(i)$: 各クラスに含まれる個数を正規化した値

以上の値を個々の個体が評価値（適応度）として持ち、集中しているエリアの個体は評価値が下がり、逆に、分散しているエリアの個体は評価値は上がることになる。

(3) 3目的関数への応用

3目的関数の場合、個体の分布は3次元になるが、個体のばらつきの程度を適応度関数に関係づけるためには、2目的関数の場合と同様に1つの評価値で表現する必要がある。しかし、2軸の分布を1つの値で評価することはできない。そこで、互いに独立した3軸に関してのばらつきを1つの値で表現するために、図-10のように3軸のうちの1つの軸に着目してクラス分けを行い、クラス毎の個数を計算する。

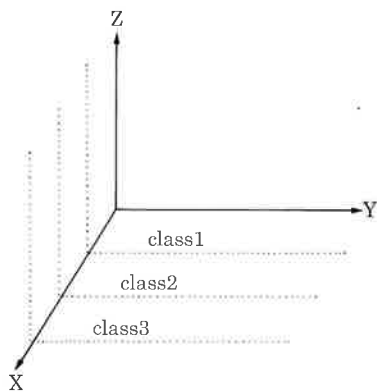


図-10 3目的関数のクラス分け

4. 数値計算例

(1) 解析モデル

解析モデルとしては、大阪市が臨海部に建設中の常吉連絡橋（仮称）を対象とした。解析モデルを図-11に示す。なお、本橋の諸元については、本誌の「常吉連絡橋（仮称）の製作・架設」の項を参照されたい。

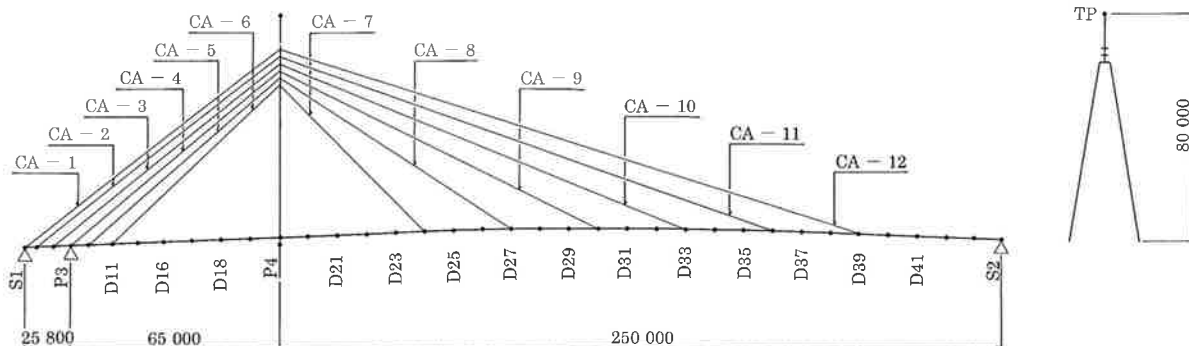


図-11 解析モデル

(2) 解析条件

- ①調整対象ケーブル：CA1～CA12L,R計24本
- ②調整シムテーブル：
 - 63 ～ + 64 mmの1 mm間隔
 - 128(= 2⁷)種類, 7 bit
- ③誤差の検討対象
 - 形状誤差：Rfi
(主桁キャンバー 38点, 塔頂 1点)
 - 張力誤差：Rtii (全 24本)
- ④初期誤差
 - 形状の最大誤差：Rf-max=115.8 mm
 - 張力の最大誤差：Rt-max=476.3kN
- ⑤最大繰り返し世代数：100 世代
- ⑥人口サイズ：800 個体
- ⑦その他条件
 - 交叉方法：1点交叉
 - 交叉確率：0.5
 - 突然変異確率：0.05

図-12にモデルケースとして仮定した初期誤差の分布図を示す。

人口サイズは単一目的問題の場合、設計変数（ケーブル本数：24本）の約10倍（240個体）程度を目安とすることが多いが、本検討において、ランキングを行いパレート最適解を求める場合、

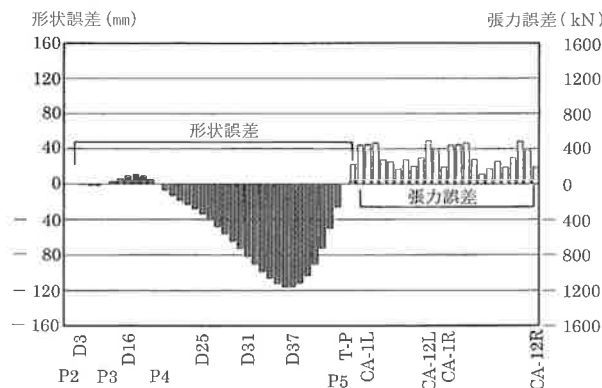


図-12 形状、張力の初期誤差

試算の段階で、それ以上の個体をエントリーしないと適切な解を得るには不十分であることが解ったため、解析時間を考慮して人口サイズを800個体とした。

解析時間については、試算段階で行った人口サイズ4000の場合で460秒、人口サイズ800の場合で30秒程度である。

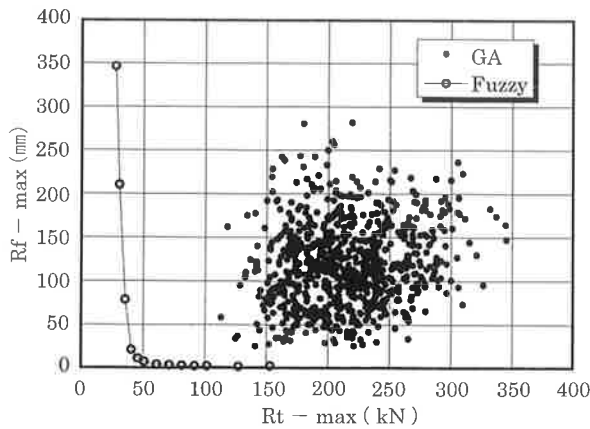
実際には、解析モデルや設定した誤差量にも影響を受けるため、各種パラメータの設定には事前のシム量決定のシミュレーションが不可欠である。

(3) 2目的計算例

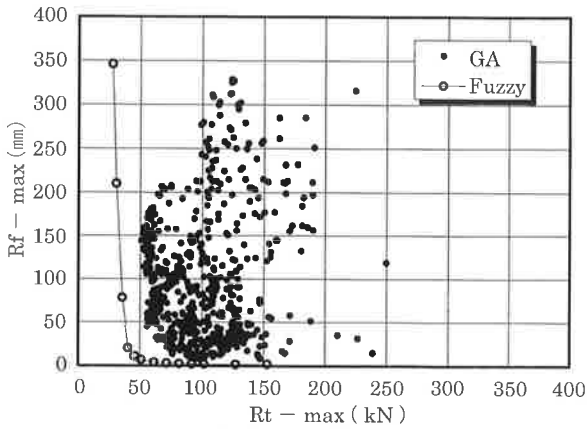
計算例(その1)

形状および張力の残留誤差を対象とした2目的問題の計算例を示す。適応度関数については、構造系全体の応力バランスを考えた誤差の配分などが考えられるが、本研究では、各個体の持つ形状と張力の残留誤差のうち、最大誤差の絶対値($Rf-max$, $Rt-max$)に着目し、式(3)~(5)を用いてランキングとシェアリングを行った。

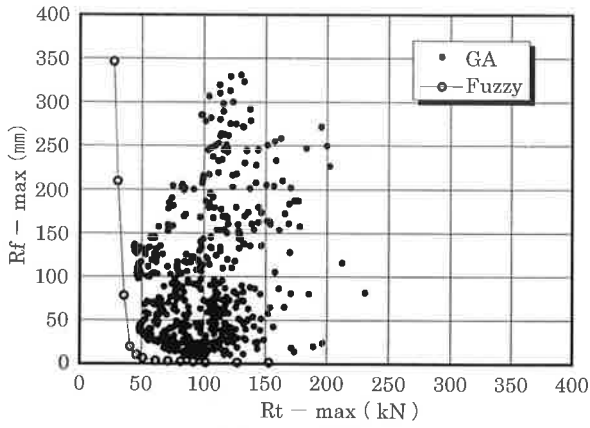
図-13に各世代における個体の $Rt-max/Rf-max$



(a) 初期世代

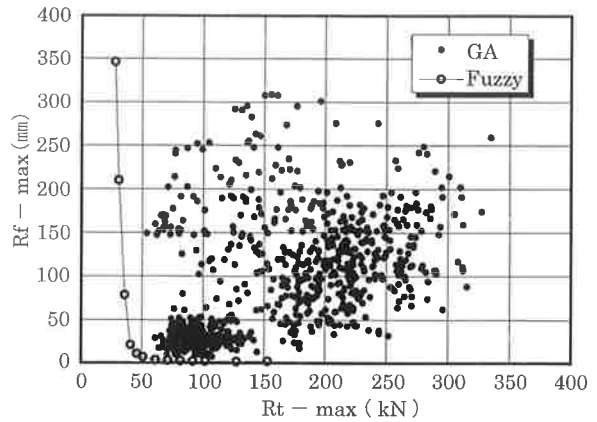


(b) 40世代

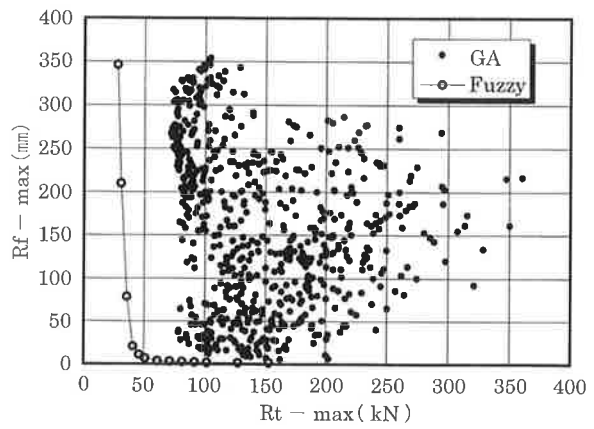


(c) 100世代

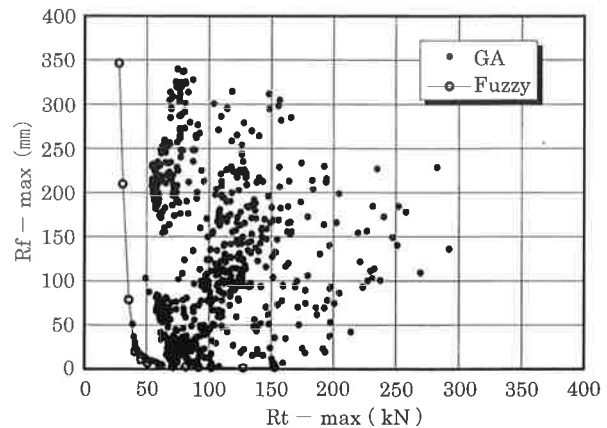
図-13 2目的問題解析結果



(a) 初期世代



(b) 40世代



(c) 100世代

図-14 初期世代を改善した場合の解析結果

分布図を示す。ここには比較解としてファジィ満足度法⁷⁾の解も示している。この結果より、40世代である程度解が収束し、100世代においても解は改善されていないことが解る。本計算例では最終世代においても、パレート最適解の収束性がファジィ満足度法に比してRt-max, Rf-maxが改善されていない解しか得られていない。このため最大繰り返し世代数を多くしたり、淘汰、繁殖の条件を変更して解析したが、同程度の結果しか得ることはできなかった。

解析条件を変更しても解が改善されない原因としては、世代交代の早い段階で初期収束が発生していることが挙げられる。つまり、収束に問題があるパレート最適解どうしでの交叉のみが行われ、解が改善されず、収束が頭打ちとなっていると考えられる。

計算例（その2）

解精度の向上を計る方法として人口サイズの増加が挙げられる。試算の段階で人口サイズを20,000~50,000個としたが、解精度の向上は図ることはできなかった。これは、本例では24¹²⁸個の組合せがあり、試算のように人口サイズを数十倍程度と設定しても、無限に近い解候補の中からごく一部しか候補として採用されていないことに起因すると考えられる。そこで初期世代の分布の形態に着目し、収束解の改善を試みた。

まず初期誤差、調整シム量、調整後誤差を影響値マトリクックスを介して次式のように考える。

$$Ax + b_0 = b_1 \quad (6)$$

ここに

A : 影響値マトリクックス, **x** : 調整シム量

b₀ : 初期誤差, **b**₁ : 調整後誤差

次に制約条件として $x_{min} < x_i < x_{max}$ を与え、これを満足し **b**₁ が最小となるような **x** を求める。このとき、調整本数には制限を加えず、連続量で **x** を求め、これをmm単位で丸める操作をする。さらに、この **x** を中心に、正規分布により発生させた個体を候補として採用する。

本例では全人口数800個体のうち400個体を上記の手法により発生させ、その他の条件は4.

(2)と同じとした。計算結果を図-14に示す。この結果から解るように、各個体は初期世代において計算例(その1)よりも全体的に分布しており、最終世代のパレート最適解の収束は改善されている。

(4) 3目的計算例

次に3目的関数の計算例を示す。2目的に付加する目的関数としてシム調整本数を採用するため、形状と張力の残留誤差および調整本数の少ない個体ほど適応度が上がることになる。この場合の形状および張力の残留誤差とシム調整本数の関係を模式的に図-15に示す。

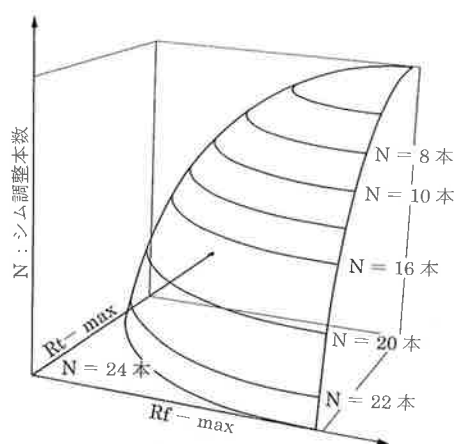


図-15 形状、張力の残留誤差およびシム調整本数

他手法では、シム量が1, 2mmなどのように小さいケーブルについては強制的にゼロにするなどの操作を行い、調整本数の低減を図っていたが、本手法では、調整本数別に解が提示されるため、架設現場の状況に合わせた適切な解の選択が可能となる。実際には調整本数ができるだけ少なく、かつ、残留誤差が管理値を満足する解を選択することになる。

通常、シム調整問題では残留誤差の許容値として、形状については支間や塔高をパラメータとして定められ、また、張力については設計張力の10%以内などのように設定される。前述までの計算例では形状、張力とも許容値をパラメータとして考慮していない。張力については各ケーブルとも設計張力が異なり、残留誤差を設計張力に対する割合で管理することを考慮すると、張力の無次元化を図り、これをもって適応度を計算することがより現実的である。

そこで形状の最大誤差 (Rf-max, 単位: mm) と張力誤差を設計張力で除した値 (Rt-max, 単位: %) で適応度を評価した。4.(2)の条件で解析を行った結果について、図-16に調整本数別のパレート最適解の分布を、図-17に調整ケーブル本数別の誤差分布図を示す。本解析では、24本から7本までのパレート最適解を得ることができ

ているが、図-16では比較のため、18, 14, 10, 7本の解候補のみを表示することとした。

本プログラムでは解にばらつきを持たせるため、乱数を変更し、10回分の解析結果をストックし、総合的なランキングを行っている。この際、1回に要する解析時間は30秒程度であり、10回程度の解析でも所要時間は5, 6分程度であるため、現場でのシム決定作業には時間的に影響しないことから、各々乱数を変更し、10回の解析を行った。

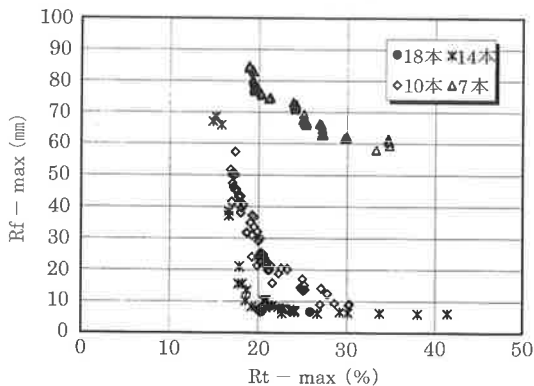


図-16 調整ケーブル本数別 Rf-max/Rt-max図

図-17より、調整本数が18本から7本の範囲では、14本調整の場合と10本の場合とを比較すると調整本数が異なるものの、同様な効果が得られることが解る。一方、7本調整する場合では、10本調整する場合と比較して、形状では約3.5倍の最大誤差が生じている。このように、3目的解析を行うことで調整ケーブル本数により張力や形状に差が現れるので、管理目標値内に収まる解候補の選択が容易に行うことができると考えられる。

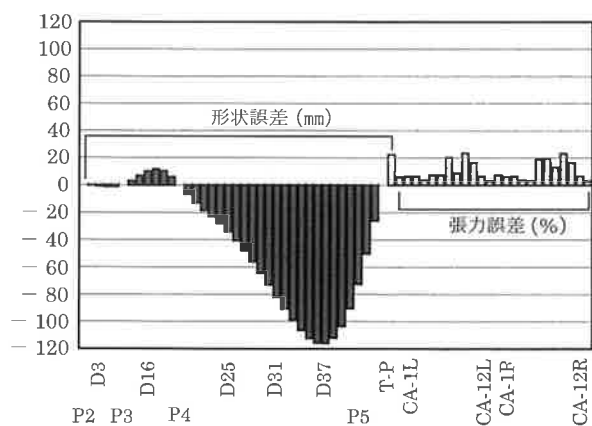
5. 常吉連絡橋の架設精度管理への適用

本橋シム調整前の形状および張力の最大誤差は以下のとおりであった。

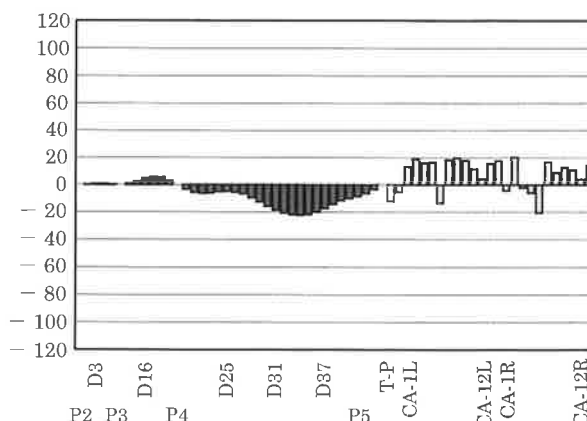
調整前 張力最大誤差(Rt-max) : - 45.9 %

調整前 形状最大誤差(Rf-max) : 27.9 mm

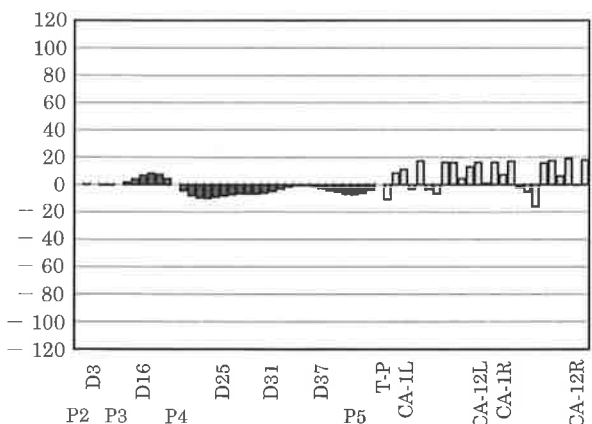
解析は1シリーズを100世代までとし、10シリーズ分を行った。解析に要した時間は382secであった。解析結果は図-18に示す最適解分布となった。この中からそれまでのケーブル調整による



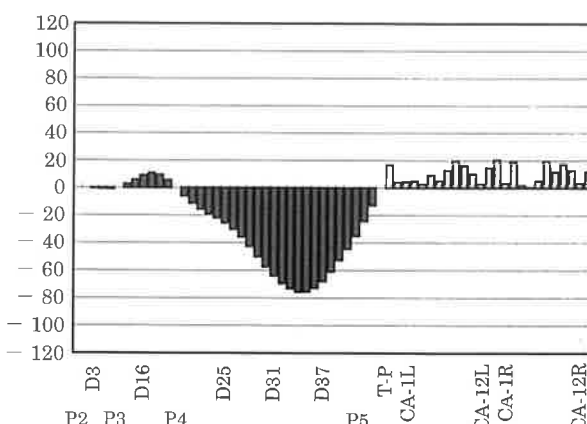
(a) 初期誤差



(c) 調整本数 10 本



(b) 調整本数 14 本



(d) 調整本数 7 本

図-17 調整ケーブル本数別誤差分布図

主桁、主塔の変動性能を考慮して、全ての管理項目が目標値内に収まる調整本数12本のうち、図-19の誤差量分布で表される最適解候補を採用した。

シム調整後の計測結果は下記となり、管理目標値を満足する結果となった。

調整後 張力最大誤差 (Rt-max) : 9.9 %

調整後 形状最大誤差 (Rf-max) : - 25.2 mm

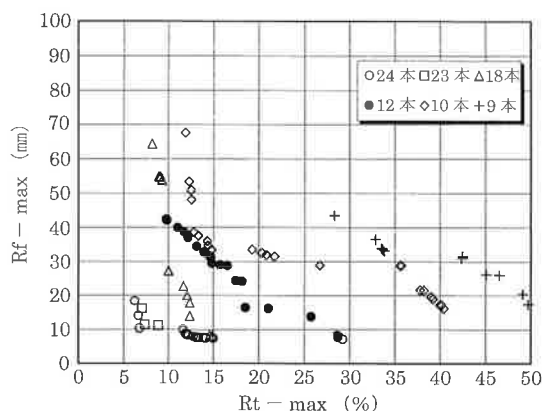


図-18 GA解析結果 Rf-Rtプロット図

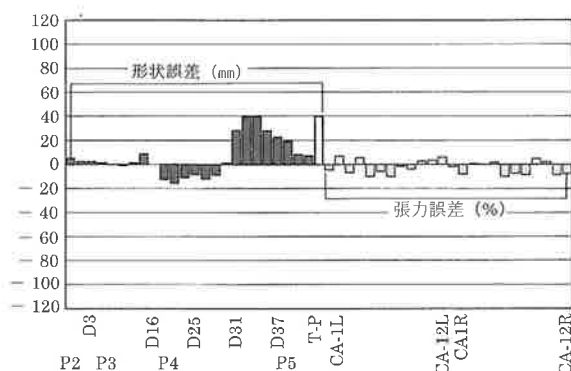


図-19 12本調整後の誤差量分布図

6. 結論

本システムの開発では、斜張橋のシム調整問題に離散量を取り扱うことができ、かつ、組合せ最適化問題に有効なGAを適用した。さらに、GAに多目的最適化手法を導入し、形状、張力、シム調整本数を同時に最適化することで、シム調整本数別にパレート最適解を効率的に、かつ、精度良く提示することができるシステムを構築した。GAの適用においては、シムプレート厚の遺伝子列へのコード化はもちろんのこと、これまで直接扱われていなかった調整ケーブル本数を目的関数に加えた3目的関数に対応した適応度関数の設定、初期世代の発生方法に検討を加えた。本システムの開発で得られた結論を以下に示す。

① GAは基本的な概念、定式化、アルゴリズムが明快でありプログラム化も簡単であるため、種々の設計、施工問題への適用が可能である。さらに、他の手法で容易に得ることができない離散量を扱うことができるため、斜張橋に代表されるケーブル系橋梁におけるシム調整問題には有効である。本研究で対象とした斜張橋のシム調整問題においても、十分実用に適する解を短時間で得ることができる。

②従来2目的関数の場合に採用されてきたランキングとシェアリングの手法を用い、3目的関数問題に拡張し、形状、張力の残留誤差および調整ケーブル本数にパレート最適解を提示することを可能とした。これにより、調整ケーブル本数別にパレート最適解を提示できるため、工学的な根拠の上で合理的かつ効果的な判断ができ、意志決定者の解の選定がスムーズに行えるシステムを構築した。

③初期個体群の分布形態に着目し、最終解に近い個体群を混在させることにより、それまで頭打ちとなっていたパレート最適解の収束精度を向上させることを可能とした。その際、人口サイズのみ適切に設定すれば、淘汰、交叉、突然変異などのパラメータあるいは方法についてはそれほど注意を払うことなく精度の良い解を得ることができる。

④従来の方法では意思決定の際、重み、希求水準といった与条件を変えたトライアル計算が必要であったが、本手法では条件変更した再度の解析が必要でなく、一度の解析結果より状況に適した解を選択すれば良いことになる。迅速性が要求される架設精度管理に関して、調整ケーブル本数別にパレート最適解を提示できGAを適用することは、非常に有効である。

⑤実際の架設工事に適用した例として常吉連絡橋(仮称)の場合、GAによる解析の結果、24本中12本調整の解候補を採用することにより、管理目標値を満足することができた。今回、架設精度管理システムCCSにGAを導入し、実橋に初めて適用したが、その信頼性の高いことも確認することができた。

あとがき

本システムの開発を行うにあたり、関西大学情報総合学部 古田 均教授、北海学園大学工学部 土木工学科 杉本博之教授に懇切なご指導をいただいた。ここに記して謝意を表すものといたします。また、開発および架設精度管理を遂行するにあたり多くのご助言や資料をいただいた大阪市建設局土木部橋梁課の方々、常吉連絡橋ケーブル架設検討委員会の方々ならびに関係各位に対し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 有村英樹・玉田和也・細見雅生：Cable Control System の紹介（その1），駒井技報，Vol.13，pp.53-61，1994.
- 2) 有村英樹・玉田和也・細見雅生：Cable Control System の紹介（その2），駒井技報，Vol.14，pp.78-87，1995.
- 3) 有村英樹・玉田和也・木場和義：香貫大橋のケーブル張力管理，駒井技報，Vol.15，pp.65-74，1996.
- 4) 有村英樹・九門公一・井藤一彦・西村弘隆：丸山1号橋（宮川新大橋）の架設，駒井技報，Vol.16，pp.11-20，1997.
- 5) 藤澤伸光：斜張橋架設時のシム量決定方法，橋梁と基礎，第18巻，第9／10号，1984.
- 6) 古川浩平・井上幸一・中山弘隆・石堂一成：多目的計画法を用いた斜張橋の架設時精度管理システムに関する研究，土木学会論文集，第374号／I-6，pp.495-502，1986.10.
- 7) 金吉正勝・古田 均・田中 洋：設計者の満足度を考慮したファジィケーブル張力調整法，土木学会論文集，第598号／I-44，pp.381-390，1998.7.
- 8) J.H.Holland：Genetic Algorithms and the Optimal Allocations of Trials，SIMAJ.Comp.,(2)，pp.88-105，1973.
- 9) 北野宏明編：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993.6.
- 10) 古田 均・杉本博之：遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用，森北出版，1997.9.
- 11) 構造工学委員会AL（人口生命）技術の構造システム最適化への応用に関する研究小委員会：新しい構造システム最適化手法，土木学会論文集 [別刷]，第543号/I-36，pp.1-18，1996.7.
- 12) 坂和正敏・田中雅博：遺伝的アルゴリズム，朝倉書店，1995.9.
- 13) 玉置 久・森 正勝・荒木光彦：遺伝的アルゴリズムを用いたパレート最適解集合の生成法，計測自動制御学会論文集，Vol.31，No.8，pp.1185-1192，1995.8.
- 14) 玉置 久・喜多 一・岩本貴司：遺伝的アルゴリズム-V-GAの拡張，システム／制御／情報，システム制御情報学会，Vol.40，No.2，pp.69-76，1996.2.
- 15) D.E.Goldberg and J.Richardson:Genetic Algorithms with Sharing for Multimodal Function Optimization, in Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1987.