I－13 情報積算法とＧＡを援用した土木構造システムの最適設計法

OPTIMAL DESIGN METHOD OF CIVIL STRUCTURAL SYSTEM
USING INFORMATION INTEGRATION METHOD AND GENETIC ALGORITHM

松保 重之*　　白木　渡**
Shigeyuki MATSUHO and Wataru SHIRAKI

【抄録】　本研究では、情報積算法と呼ばれる手法とＧＡ(遺伝的アルゴリズム)の最適化手法を用いて、土木構造システムの効率的な最適設計の手法について提案する。情報積算法は、多数の評価項目についてシステムを合理的かつ効率的に評価する手法であり、本研究では、この手法を用いて最適設計の定式化を行う。また、ＧＡは離散的な設計変数の場合にも適用可能な効率的な最適化手法として用いることができ、本研究では、単純ＧＡをより発展させて、より効率的な手法を提案する。本研究で提案した手法の有効性は、道路橋の桁を最適設計する数値計算例を行うことによって示される。

【Abstract】　In this study, an efficient method of optimization design of structural system is proposed using the IIM (Information Integration Method) and optimization method of the GA (Genetic Algorithm). The IIM is efficient calculation method of system evaluation and is used in order to formulate the optimization design. Moreover, the GA is also used as efficient optimization method. Especially, more efficient optimization method than the simple GA is proposed, in the appendix of this paper. For a numerical example, optimum design problem of highway bridge girder is considered. Efficiency of this method is demonstrated through this example.

【キーワード】　情報積算法，ＧＡ，土木構造システム，最適設計法，鋼製桁道路橋，構造信頼性

【Keywords】　Information Integration Method, Genetic Algorithm, Civil Structural System, Optimal Design Method, Steel Girder Bridge, Structural Reliability.

１．まえがき

システムの設計を行う場合、そのシステムの多数の評価項目に対する所要の条件を満たすように設計がなされる。特に、土木構造システムの設計あるいは計画がなされる際には、一般に、①（社会的経済効果を含めて）できるだけ経済効果が上がるように（経済性）、②損傷または破壊せず（安全性）、できるだけ長持ちするように（耐久性）、また、③ある場合には、できるだけ周囲の環境との調和を図って使い易すいように（美観、機能性）、④さらに、社会的条件や環境的条件を満足するように意志決定がなされるべきである。これらの項目に対する要望の一部 または全部を同時に満足するように設計するためには、広義の意味での最適化の思考過程 あるいは意志決定がなされるはずである。したがって、システムの設計は、最適化の問題として考えることができる。

このような土木構造システムの最適化問題は、上記項目①、②、③等の表現にもあるように、本来、各評価項目について、同時に最適化を図るべき問題である。すなわち、システムの設計を行う問題は、一般的には、多制約条件下における多目的関数の最適設計として定式化されるべき問題であると考えられる。ところが、土木構造システムの最適設計に関する従来の研究は、上記②，③および④の制約条件のもとに、経済効果を上げる(項目①)というような単一目的関数の最適設計に関するものが多い。これは、計算上あるいは問題の定式化等の問題に起因するもので、多数の各評価項目について合理的かつ総合的に土木構造システムを評価することが、システムの設計あるいは計画を行う際に重要な課題であることを示唆している。

著者らは、上述の観点に鑑み、最近研究され始めた情報積算法という手法[1]が土木工学分野でのシステムについてもその合理的かつ総合的評価に有効であることを文献[2,3]で示した。また、その多目的関数の最適設計への

* 〒680 鳥取市湖山町南4-101 鳥取大学工学部土木工学科 Tel.0857-31-5288 Fax.0857-28-7899
** 〒680 鳥取市湖山町南4-101 鳥取大学工学部土木工学科 Tel.0857-31-5287 Fax.0857-28-7899

適用の可能性についても、ごく簡単な例題を通して示した。そこで、本研究ではシステムの評価法として情報積算法を用い、最適化手法として遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）を援用することによって、土木構造システムの最適設計の手法を提案する。ＧＡは、その名前が示すように、ダーウィンの進化論に基づいて生物の遺伝と進化を模倣する最適化の計算理論である。実際には、ソフトウェア上で定義した遺伝子の進化を計算機上でシミュレーションし、膨大かつ多様な遺伝的組み合わせの中から優秀な遺伝子配列を効率よく探索することによってシステム全体のパフォーマンスを向上させるもので、システムパラメータ(設計変数)の離散的、連続的の如何に関わらず効率的な最適化を実行することができることが、主な特徴である。したがって、実際には、離散的な代替案の中から最適な解を選択していくことによって土木構造システムの設計がなされる[2]ことを考えれば、遺伝的アルゴリズムを適用した手法は、非常に有効な手法となり得るものと考えられる。本論文の数値計算例では、実際に阪神高速道路で供用されている道路橋主桁の設計問題を考え、本手法の有効性を示す。

2．情報積算法によるシステムの総合評価

情報積算法という手法は、システムの多数の評価項目に対し多数の代替案を総合的かつ合理的に評価しようとするものである。本章では、この手法の概説を行う[2,3]。

2．1　情報量の定義

情報理論においては、事象aが生起したときの情報量I(a)は、事象aの生起確率P(a)を用いて、

$$I(a) = \ln\{1/P(a)\} \quad (\text{単位:nat}) \qquad (1)$$

で定義される。式中、ln は自然対数である。

上式(1)より、生起確率の小さい事象の起こる時には、それによって得られる情報量は大きくなることから、情報量I(a)は、システムをある状態に維持するために必要な情報、物質、あるいはエネルギー（労力）等であると、情報積算法においては解釈される。

2．2　情報積算法のシステムへの適用

システムという言葉には広範な意味があるが、土木工学システムについて言えば、計画、設計、建設および運営という４段階に分けて考えることができる。本節ではその内、計画段階の例題、すなわち、「ある都市地域間を結ぶ高速道路のルートとして取り上げられているA, B, C, Dという４つの代替案の中のどの代替案が最良であるか」という簡単な例題[4]を用いて、システムの評価における式(1)の具体的な計算法について概説する。

まず、本例題では、どの代替案が最良であるかを決めるための評価項目として、① 一般道路での交通混雑解消区間、② 他地域への交通状況の向上、③ 建設費の３つ(Table 1参照）を考える。したがって、システムパラメータ(システムの評価項目を代表する変数)として、①解消区間の数(本)、② 他地域への交通状況の向上率(%)、③ 建設費の金額(円)を考える。実際の計画では、さらに多くの項目について検討がなされるであろうが、説明の簡単のため問題を簡単化して考える。

次に、式(1)の計算に必要な術語の定義を行う。システムパラメータが確率変数の場合、Fig.1の破線のようにその変数の確率分布を描くことができるが、情報積算法においては、この確率分布を用いても計算はできるが、同図中の実線のような一様分布で近似しても実用上問題ないことが多い。この時、システムパラメータが必ず取り得る値の範囲はシステムレンジR_s、システムパラメータが設計上要求されている範囲はデザインレンジR_d、システムレンジとデザインレンジの重複部分はコモンレンジR_cと定義される。システムレンジがこのような範囲ではなく、一つの数値の場合(例えばシステムパラメータが確定値の場合)には、０(全く不満な状態)から１(完全に満足状態)までの値で満足の度合いを示す満足度関数の概念を用いる。満足の度合いは曖昧性を有し、範囲で表される。その上・下限に対応する上・下限満足度関数は、Fig.2に示すように横軸にシステムパラメータx、縦軸に満足度yを取った満足度平面(x, y)において、y＝０（および１)に対するシステムパラメータのそれぞれの上・下限値を直線で結ぶことによって定義される。この時、シス

Table 1　Effect for each evaluation item

Alternative	A	B	C	D
① Number of Improved Routes for Traffic Congestion	20	30	40	50
② Improvement of Traffic Connection to Other Area (%)	10-20	50-70	25-40	20-35
③ Construction Cost (billion yen)	120	100	130	140

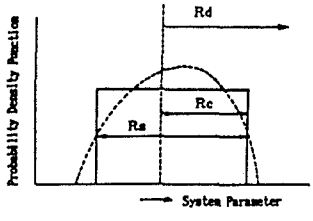

Fig.1　Illustration of measure of information

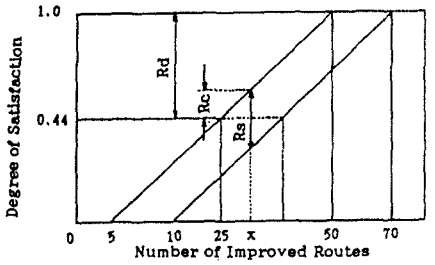

Fig.2 Function of satisfaction for number of improved routes

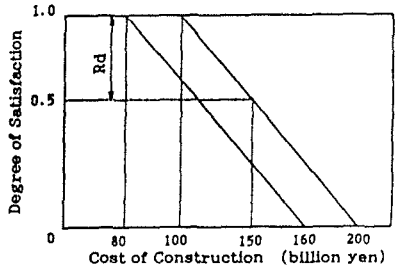

Fig.3 Function of Satisfaction for Construction Cost

テムレンジR_sは、システムパラメータのある値xに対する上・下限の満足度の範囲、また、デザインレンジR_dは要求されるシステムパラメータの範囲に対する満足度の範囲として与えられる。

本例題の場合、各システムレンジは、Table 1に示すようなA, B, C, Dという各代替案に対して予想される効果内容の値を用いる。評価項目①, ③については、システムレンジが一つの数値でしか表されていないから、それぞれ Figs.2, 3に示す満足度関数を用いる。システムパラメータの要求値は、①25(本)以上、②30(%)以上、③1500(億円)以下とする。したがって、評価項目①、②、③に対するデザインレンジは、それぞれ、①0.44～1.0、②30(%)以上、③0.5～1.0となる。ただし、本例題では満足度の範囲への変換には上限満足度関数を用いた。

この時、式(1)の情報量Iは、次式で与えられる。

$$
\begin{aligned}
I &= (P_2\text{を起こすのに必要な情報量}) \\
&\quad -(P_1\text{を起こすのに必要な情報量}) \\
&= \ln(1/P_2) - \ln(1/P_1) = \ln(P_1/P_2) \\
&= \ln(\text{システムレンジ}R_s/\text{コモンレンジ}R_c) \qquad (2)
\end{aligned}
$$

式中、P_1はシステムパラメータがシステムレンジ内の値を取る確率、P_2はある制御を行い、そのシステムパラメータがコモンレンジ内の値を取る確率である。各評価項目の情報量は、Table 2のように計算できる。

最後に、各評価項目に対する情報量の総和を求める。

Table 2 Information measures and integrated information measure

(Unit: nat)

Alternative	A	B	C	D
Information Measure for Evaluation Item ①	∞	0.6506	0	0
Information Measure for Evaluation Item ②	∞	0	0.4055	1.0986
Information Measure for Evaluation Item ③	0	0	0.4855	1.2528
Integrated Information Measure	∞	0.6506	1.1911	2.3514

これは、情報量の加法性の定理より、全評価項目の各情報量の総和(これを積算情報量と言う)は、システムの情報量を与える[1]ことになるからである。さらに、前述の情報量の解釈に従えば、システムの情報量が最小なものが最良のシステムを与えることになる。本例題の場合、Table 2の最下行のように積算情報量を求めることができ、B案が最適な代替案であると結論づけることができる。

一方、本例題を従来の代替案の評価法であるファクタープロフィル法[4]で評価した結果を、Fig.4に示す。ファクタープロフィル法とは、代替案の優劣を総合的に判断するのに容易なように、効果内容を、その最大値が100%となるように基準化してグラフ化したものである。このような図から、各代替案の効果内容がより望ましいレベルでバランスしているか、重要な評価項目で特に劣ったものがないか等をチェックすることができるが、評価項目の数が増えるとこのようなチェックも困難になり、また、本例題のような簡単な場合でさえも、定量的かつ合理的にどの案が良いかを決定することができない。このように、従前の方法ではシステムの代替案を種々の観点から総合的に定量評価するのは困難であるが、情報積算法に従えば、合理的かつ総合的な定量的評価が可能である。このことは、また、このシステムの評価法は、種々の観点からの考慮を必要とする設計問題にも適用し得ることを示唆している。

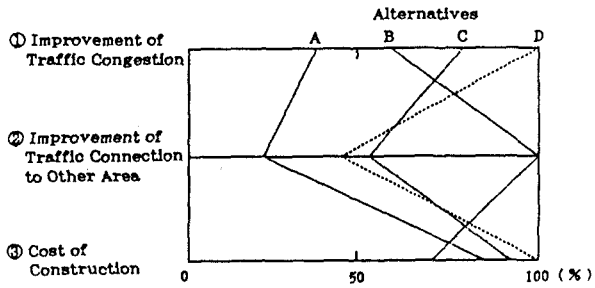

Fig.4 Results using factor-profile method

３．情報積算法とＧＡを用いた最適設計手法

前章では、情報積算法が、非常に有効なシステムの評価手法であることを示した。しかし、この評価法をそのままシステムの最適化問題に適用し、総当たり的に最適解の探索を行っていたのでは、計算効率が悪い。本章では、システムの評価法としての情報積算法を多目的最適化問題の目的関数に利用することによってシステムの最適化を行う方法について提案する。最適化の手法としては簡単な数理化手法を利用することができるが、本研究では、実際の設計で必要となる離散的な設計パラメータの場合にも適用可能となるように、ＧＡ（遺伝的アルゴリズム）の手法を援用する。そして、実際に供用されている橋梁の部材断面の最適信頼性設計を行う例題によって、本手法の有効性を示す。

３．１　最適化問題の定式化

一般的な最適化問題は、先にも述べたように、多制約条件下での多目的関数を有する問題として定式化することができる。このような問題を解くには膨大な計算量を必要とし、現段階では、実務設計上不可能に近い[5]。本節では、このような多目的最適化問題で表される設計問題に情報積算法を適用することによって、与えられた問題を無制約条件の単一目的関数の最適化問題に変換する方法について定式化する。与えられた問題をこのような単一目的関数の最適化問題に変換することができれば、効率の良い最適化が可能である[5]。

一般的な設計問題を考える場合、情報積算法によれば、制約条件を構成する設計変数の間に従属性がある場合は、設計変数の間に独立性が保たれる場合より積算情報量が大きくなることが証明できる。したがって、積算情報量がより小さいシステムの方がより良いシステムであることを想起すれば、設計変数の間に独立性が保たれるように設計を行うべきである[1]。このように設計変数の間に独立性が保たれる場合には、制約条件を構成する各設計変数は、各評価項目に対する独立なシステムパラメータに等しくなるので、設計問題の定式化も容易である。もし、設計変数の間に独立性が仮定できない場合においても、設計変数の間に適当な変換を施すことにより独立な設計変数に変換することが可能である[6]ので、本論文では、設計変数の間に独立性が保たれているものと仮定する。

また、満足度関数の概念を適用すれば、システムパラメータが設計上要求されている範囲（デザインレンジ）から外れる場合に対し、満足度０（全く不満な状態）を対応させることによって、各設計変数に対する全ての制約条件および目的関数は、それらの各評価項目に対する情報量の形に変換することができる。したがって、上述の最適設計問題は、情報積算法に基づけば、これらの各評価項目に対する情報量の総和（積算情報量）を最小化する、すなわち、

$$F(\underline{X}) = I_1+I_2+I_3+ \cdots +I_n \rightarrow \text{最小} \qquad (3)$$

で表される無制約条件・単一目的関数の最適化問題に帰着させることができる。式中、目的関数$F(\underline{X})$は設計変数ベクトル$\underline{X}$の関数、$I_i\,(i=1,\cdots,n)$は、各評価項目ｉに対する情報量、ｎは全評価項目の数である。

式(3)の最適化は、ごく簡単な数理化手法により実行することができる[3]。

３．２　ＧＡの最適化問題への適用

前節では、情報積算法に基づく最適化問題の定式化を行ったが、本節では、式(3)の最適化にＧＡ（遺伝的アルゴリズム）の手法を援用することによって、土木構造システムの最適設計の手法を提案する。ＧＡ（遺伝的アルゴリズム）の手法は、システムパラメータ（設計変数）が連続的な場合は言うに及ばず、離散的な場合にも最適化を実行することができることが、主な特徴である。これは、最適化実行時（探索時）の目的関数値のみを用い、目的関数の設計変数に関する微分演算等が不要であることを示している。また、効率的な最適化が実行可能であることも数ある特徴の中の一つであり、微分演算が不要であることが計算の効率化を可能にしている要因の１つにもなっている。以下、本研究で用いたＧＡ（単純ＧＡとも呼ばれる）について概説する。

生物の形質は、複数の遺伝子から構成される染色体によって表現され、世代交代の際に、交叉、突然変異といったアルゴリズムによって次世代に伝達され、さらに、より環境に適合したものに進化している。ＧＡでは、問題に対する解を、生物の染色体と同様の符号列（通常は１次元コードで、遺伝子型とも呼ばれる）で表すことにより、上述の遺伝子進化のアルゴリズムを問題解決に適用している。具体的には、ＧＡは増殖・淘汰、交差および突然変異の３つの基本的な計算オペレータから構成され、ＧＡの計算のフローチャートを示すとFig.5のようになる[7]。

まず、STEP 1で、問題に対する解を符号化する。このような符号列は表現型と呼ばれ、ＧＡを適用するためには、これを遺伝子型に対応させる必要がある。このような符号化の処理は対象問題によって種々の工夫がなされるが、本研究の場合は、式(3)によって定式化がなされているので、単に、設計変数の値を定義域（デザインレンジ）内で符号化すればよく、容易にＧＡを適用する事ができる。設計変数xが１つの場合には、たとえば、８ビットで表された遺伝子型が０～255までの値の設計変数xを表すとすればよい。設計変数のデザインレンジがx_L～x_Uの

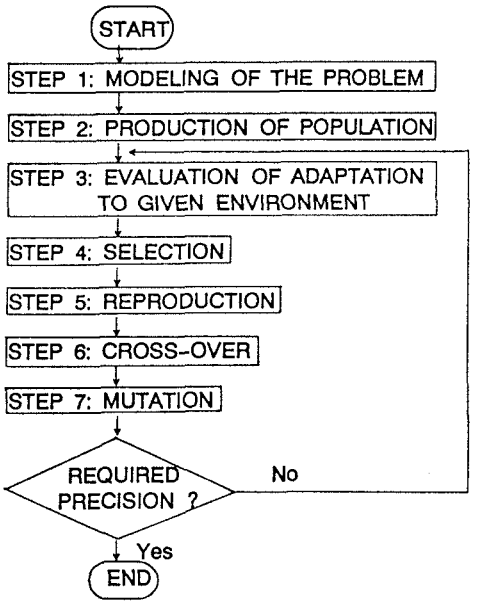

Fig.5 Flow chart of the genetic algorithm

場合には、0～255の値をこのデザインレンジに変換すればよい。STEP 2では、N個の生物個体からなる初期生物集団を発生させる。設計変数空間に対して何らかの予備知識がある場合は評価値が高いと思われる設計変数空間の部分を中心に生成すればよいが、本研究では、デザインレンジ内で乱数を用いて発生させた。STEP 3では、発生させた各生物個体(設計代替案)の(環境への適応度の)評価を行う。本研究では、式(3)の目的関数F(X)を情報積算法によって計算することを意味する。STEP 4とSTEP 5では、淘汰と増殖を行う。具体的には、現世代のN個の個体から、重複を許して、N個の次世代の生物個体(設計代替案)を乱数を用いて発生させる。ただし、STEP 3で計算した現世代の各生物個体(設計代替案)の適応度に比例してN個の個体(代替案数)を発生させ、適応度の高い個体ほど、次世代の個体として選ばれ易くする。STEP 6では、発生させた次世代のN個の個体の中から2つの個体の組をM組だけランダムに選択し、それぞれに対して交差と呼ばれる操作を行う。交差を行う確率は、交差率と呼ばれる。交差は、2つの個体の遺伝子型をランダムな位置で部分的に入れ換える操作で、本研究では、1点交差と呼ばれる最も基本的な交差を行った。Fig.6に、1点

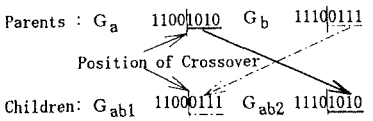

Fig.6 Sample of one-point crossover

交差の例を示す。同図では、ある1組の個体I_a, I_bの遺伝子型G_a, G_bをランダムに選んだ交差位置で切断し、切断した部分的な遺伝子型を入れ換えることによって、子孫の遺伝子型G_{ab1}, G_{ab2}ができていることを示している。さらに遺伝子型の交差に続いて、STEP 7として、突然変異と呼ばれる操作を実行する。この突然変異の生起確率は突然変異率と呼ばれる。単純GAでは、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に変更する操作が行われる。Fig.7に

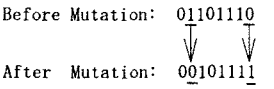

Fig.7 Sample of mutation

その1例を示す。同図では、左から2ビット目と8ビット目の遺伝子に突然変異が生じ、それぞれ対立遺伝子に変更されている。Fig.5では、STEP 7までの一連の増殖・淘汰、交差および突然変異の3つの基本計算の後に、生成された次世代の生物集団が所要の精度を満たしているかどうか判定し、満たしていなければ、さらに一連の基本計算を行い、満たしていれば計算を終了している。本研究では、進化がほぼ停止したことを確認して計算を終了させた。

なお、次に考える実際の数値計算例では、ここで示した単純GAをさらに発展させ開発した手法を用いて最適化計算を行った(付録参照)。

3.3 数値計算例

本節では、本手法の数値計算例として、実際に阪神高速道路で供用されている、4車線7本主桁1本横桁の鋼製桁道路橋(Fig.8参照)[9]を対象にして、1番大きい断面になると予想される耳桁の最適断面設計を行う。なお、実構造物に作用する荷重の不規則性を考慮すれば、その合理的な解析・設計には、確率論的取扱いが必要となるものと思われるので、信頼性解析を行うことによって安全性の検証を行った。最適設計においては簡単のために、ウェブ幅とフランジ厚が等しい値tを有するI形断面(全高

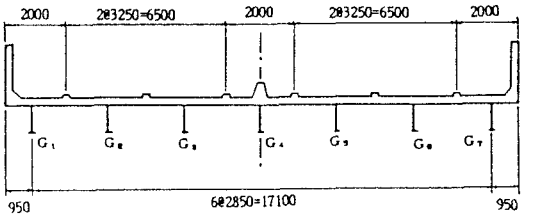

Fig.8 Model of highway bridge (Unit:mm)

h=2m, 全幅B=32cm)を仮定し、ウェブ幅(フランジ厚) t を設計変数とした。本橋の諸元は、主桁支間l=39.2m, 主桁間隔a=2.85m, 主桁の断面２次モーメントI=106.18×10^5cm^4, 横桁の断面２次モーメントI_Q=14.62×10^5cm^4、さらに鋼製桁の特性値は、許容曲げ応力度σ_a=24,000t/m^2, 単位体積重量ρ=7.85t/m^{3}である。道路橋の主桁に作用する自動車活荷重は、阪神高速道路公団の活荷重実態調査結果を基に、橋軸ならびに橋軸直角方向の活荷重の不規則性を考慮してシミュレーションを行いモデル化した[9]。この時、片側車線が突発渋滞状態、他の片側車線が通常走行状態の走行状態を仮定した。シミュレーション結果を用いて回帰分析を行い、耳桁に生ずる年最大曲げモーメントは、期待値312.8tm、標準偏差28.6tmの極値Ｉ型分布に従うことが分かった[9]。

以上の条件のもとに、評価項目(したがって、システムパラメータ)として、曲げ破壊に対する破壊確率と桁の単位長さ重量wを考え、さらに、それらの満足度関数としてそれぞれ、Figs.9および10を用いて最適信頼性設計を行った。結果は、Fig.11に示すように、最適解w=532.9kg/m (t=0.0262m, 破壊確率P_f=2.12×10^{-8}) を得た(パレート解ではない)。実橋の設計断面w=502kg/m (t=0.0247m, P_f=2.14×10^{-5})より多少大きめの断面とはなるが、曲げ破壊に対する安全性が約10^{-3}向上した。また、図の最適解近傍の傾きより、この最適解は施工の精度に余り依存しないことが分かる。なお、P_fは耐用期間50年間の最大曲げモーメントが設計曲げモーメントレベルを越える確率として計算した。設計曲げモーメントレベルは、道路橋示方書のＬ-20荷重に衝撃を考慮した抵

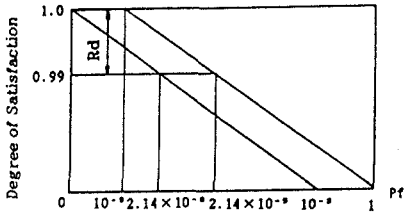

Fig.9 Function of satisfaction for failure probability

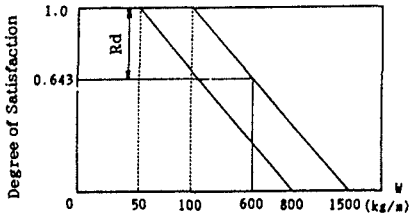

Fig.10 Function of satisfaction for steel weight W

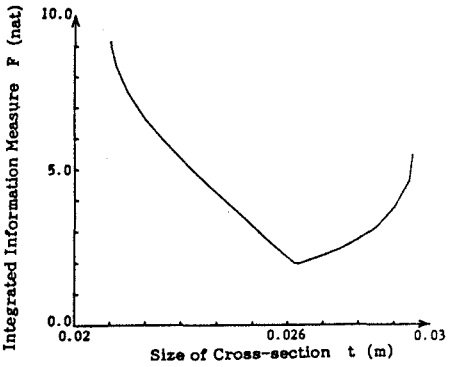

Fig.11 Objective function versus design variable

抗曲げモーメントに安全率1.7をかけて計算した。Fig.11は、式(3)の目的関数F(t)をウェブ幅(フランジ厚) t の変化とともにプロットしたものであるが、このように目的関数F(t)を総当たり的に計算した方法でも、あるいは、3.2節の遺伝的アルゴリズムを援用した手法でも、同じ解が得られた。もちろん、Fig.11のように式(3)のF(t)をtの変化とともに総当たり的に計算するより、ＧＡの手法による方がはるかに効率的に計算ができた。ＧＡは確率的なモンテカルロシミュレーション手法の１つ(3.2節、付録参照)であるから最適解が得られるまでの式(3)の積算情報量F(t)の参照回数は一定ではないが、たとえば、設計変数を256個に離散化し、その中で最適な設計変数値を求めた場合、ＧＡによれば、F(t)の参照回数を多くても256の1/10以下に抑えることができた。なお、本研究でのＧＡを用いた最適化においては、上述したように、デザインレンジ内の設計変数をまず256個に等分に離散化し、これらの256個の設計変数の中でＧＡで最適化を図り、次に、このようにして得られた最適設計変数の周りに、設計変数をさらに256個の設計変数に離散化し、繰り返し同様の計算を行い、所要の解を求めた。

4. あとがき

本研究では、情報積算法ならびに遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）を援用することによって土木構造システムの最適設計の手法を提案し、道路橋主桁の設計問題の数値計算例によってその有効性を示した。本手法の主な利点をまとめると、以下のようである。

1) 多くの異質の評価項目を、情報量という無次元量にスケーリングするので、それらの多くの評価項目を同等に比較し、総合的、合理的に代替案を評価することが可能(情報積算法が有する特徴)。

2) 特別の方法を必要とせずに、無制約条件・単一目的関数の最適化問題に簡単に帰着できるので、最適化ならびに感度解析が容易である。
3) システムパラメータのデザインレンジの取り方、あるいは満足度関数の定め方により、各システムパラメータ毎に重みを付けた最適化が可能。
4) 本論文で提案する遺伝的アルゴリズムを用いて最適化をはかれば、実際の設計のように離散的な設計変数を有する設計問題に適用することができ、効率よく最適化の問題を解くことができる。

以上が、本手法の主な利点であるが、その他にも、満足度関数の概念を用いれば、あいまいな量も扱うことができる、効率よくシステムの評価と最適化の計算を行うことができる等の多くの利点があるので、単に最適設計の問題にとどまらず、本論文の最初の例題のように、計画の問題、あるいは施工方法の選択の問題、維持管理の問題等の幅広い分野に適用可能な有力な手法になり得るものと思われる。

付録 ー単純ＧＡの更なる効率化ー

ＧＡは計算効率の良い手法であり、複数の探索点から同時に探索を行い、互いに協調または競合することによって局所的な最適解を避ける機能を有している。しかしながら、それでもなお、確率論的に遺伝子の進化を計算機上でシミュレーションすることによって最適解を探索する手法なので、場合によっては局所的な最適解に陥ってしまい、必ずしも真の(大域的な)最適解に到達しない場合がある。このことは、最適化を行おうとしている目的関数が、システムパラメータの単峰性の関数ではなく多峰性の関数で、局所解が多く存在する場合に起こりやすくなる。

そこで、本論文では、多峰性の目的関数をより単峰性に近い目的関数に変換することによって、より効率の良いＧＡ（遺伝的アルゴリズム）を考えた。本論文で考えた数値計算例では、設計変数が１つの単峰性を有する目的関数なので、その効果は薄いが、設計変数が複数、あるいは離散的な設計変数の場合には、有効であると考えられる。

単純ＧＡにおいて、交差および突然変異は、局所的な解に陥るのを防ぐ役割を有するが、上述したように、より効率的に真の(大域的な)最適解を探索できるように、多峰性の目的関数$f(\underline{x})$をより単峰性に近い目的関数$f^*(\underline{x})$に変換する。ここに、$f(\underline{x})$あるいは$f^*(\underline{x})$のパラメータ$\underline{x}$は、システムパラメータ(設計変数)を要素とするベクトルである。この変換は、相対つり上げの原理と呼ばれる原理を利用して行うことができる。相対つり上げの原理とは、拡大係数と呼ばれるパラメータtをt→∞とした時、

$$h(\underline{x}, t) \rightarrow \delta(\underline{x}-\underline{x}_M) \qquad \text{(A1)}$$

で表される[8]。式中、$\delta(\cdot)$は、Dirac のデルタ関数であり、$\underline{x}_M$は、最適なシステムパラメータ(設計変数)を要素とするベクトルである。さらに、$h(\underline{x}, t)$は、相対つり上げの変換がなされた目的関数を示し、

$$h(\underline{x}, t) = [F(\underline{x})]^t / \int_D F(\xi)^t d\xi$$
$$F(\underline{x}) = \exp[f(\underline{x})] \qquad \text{(A2)}$$

によって表される。本論文では、拡大係数tを適当に大きくとって、変換を行う。

参考文献

[1] 中沢弘、情報積算法、(1987)、コロナ社.

[2] Matsuho S. et al., Design Method Satisfying Safety Requirements for Various Limit-States Based on Information Integration Method, Proc. of ICOSSAR'89, ASCE, Vol.3, (1990), p.2243.

[3] Matsuho S. and Shiraki W., Reliability-Based Optimization Method of Structural System Using Information Integration Method, Proc. of ICOSSAR'93, A.A.Balkema, Vol.1, (1994), p.669.

[4] 吉川和広、土木計画学演習、(1985)、p.192、森北出版.

[5] Shiraki W., Yamaguti K., Matsuho S. and Takaoka N., Some Studies on Limit State Design of Structural System Using Reliability-Based Optimization and Efficient Monte-Carlo Simulation Technique, Proc. of ICASP-6, Vol.2, (1991-6), pp.1045-1052.

[6] Thoft-Christensen P. and Baker M.J., Structural Reliability -Theory and Its Applications, (1982), Springer-Verlag.

[7] Goldberg, David E, Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, (1989), Addison-Wesley Publishing Company Inc.

[8] 津田孝夫、モンテカルロ法とシミュレーション、(1987)、培風館.

[9] 白木・松保・高岡、荷重の横分配の影響を考慮した道路橋主桁の信頼性解析、構造工学論文集、Vol.34A、(1988)、p.699.