

GAを用いた地震動を受ける構造物の振動制御システムの最適化

鳥取大学工学部 正会員 池内 智行
鳥取大学工学部 正会員 上田 茂

鳥取大学工学部 正会員 盛川 仁
鳥取大学大学院 学生員 ○三宅 崇介

1. はじめに

構造物の耐震性能向上のために、構造物に制御力を作用させるアクティブ型制振装置を取り付ける方法がある。このとき、制振効果の高い制御則の決定は、一種の最適化問題となる。そこで、GA（遺伝的アルゴリズム）を、この構造物振動制御問題に適用し、最適な制御力の出力パターン（各タイムステップごとの制御力の作用方向）を見つけ出すことを考えた。GAとは自然の生命が持つ、生成・交叉・突然変異といった進化、世代交代の考え方をを用いて問題に対する適合度の良い解を求めるものである。

2. 最適化の対象とした振動制御システム

最適化の対象として、図-1に示すように1質点系モデルの質点に直接制御力を付加して、応答変位を制御するシステムを考えた。力の釣り合いから振動方程式をたてると次式ようになる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{\phi} + p \quad (1)$$

ここで、 m ：質点の質量、 c ：減衰係数、 k ：ばね定数、 ϕ ：地動変位、 p ：付加する制御力、 x ：質点の変位とする。(1)式中の制御力 p を逐次変化させるにあたって、次のような制御則を考えた。まず、質点の地震応答変位 x 、速度 $\dot{x}$ 、加速度 $\ddot{x}$ をパラメータとする三次元状態空間を考え、それを区間分割し、それぞれの区間枠内に対して制御力の出力値（ $-p$ 、 0 、 $+p$ ）を対応させたマップをあらかじめ用意しておく。このマップに従って各時刻の状態 $(x, \dot{x}, \ddot{x})$ がどの区間枠内に属するか判断し、そこに対応した出力値を制御力として質点に作用させる。例えば、モデルの変位が $0[\text{cm}] \sim \pm 35[\text{cm}]$ の区間での速度と加速度の区間分割とその出力値の対応は、図-2のように示される。この区間枠を遺伝子座、対応した出力値を染色体として設計してGAに適用した。まず、制御則を決めるマップが一つの個体となり、これらの個体が多数集まって初期集団（第一世代）を生成する。第一世代での各個体の区間枠での出力値は、乱数で与えることとした。次に、どの個体を次の世代に残していくかを決定するために各

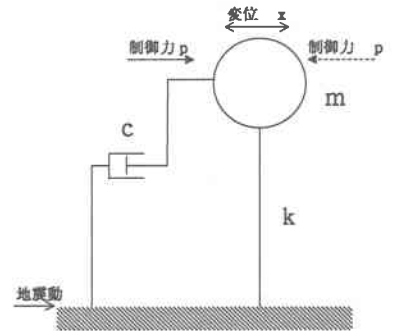


図-1 質点系モデル

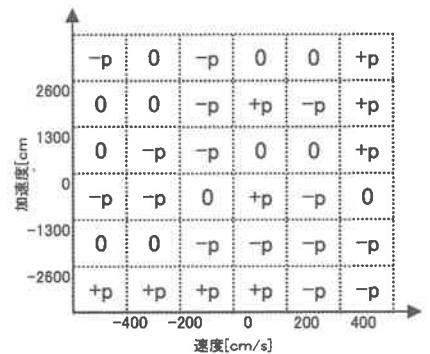


図-2 変位 $0 \sim \pm 35[\text{cm}]$ の区間の制御力の出力パターン

個体に評価値をつけなければならないが、それぞれの個体がどれだけモデルの振動を抑えたかを求めるため、(1)式に線形加速度法を適用して、モデルの地震応答計算を行なった。このときモデルの固有周期 $1[\text{s}]$ 減衰定数 1% 地震波の継続時間は $40[\text{s}]$ 時間間隔は $0.01[\text{s}]$ とした。なお、応答計算では入力地震波として、道路橋示方書V（耐震設計編）のタイプIIの標準地震波の中から制御力なしの状態、モデルの応答変位が最も大きかった2種地盤用の標準地震波を用いた。個体の世代交代については、評価値が高い個体ほど、ルーレットルールにより生き残る確率を高くし、生き残った個体同士で交叉を繰り返すことで最適な制御力の出力値を持つ個体を求めた。

3. 結果と考察

個体の評価値の算定にあたっては、2種地盤用の3つの標準地震波を入力として用いたため、1つの個体に対して入力地震波を変えて3回の応答計算を行なった。その後、式(2)、式(3)に示すように評価値の算定法

を変えて、最適化に及ぼす影響について調べた。以下に評価値の算定に用いた式を示す。

$$C = -\sum_{i=1}^3 x_i \quad (2)$$

$$C = \sum_{i=1}^3 \frac{X_i - x_i}{X_i} \quad (3)$$

ここで、 C :評価値、 x :制御力を付加するときの質点の最大応答変位、 X :制御力なしのときの質点の最大応答変位とする。また、添え字 i は用いた波の種類を示す。このとき、変位、速度、加速度の区間数はそれぞれ 3(0~35、35~70、70[cm]以上)、6(-400以下、-400~-200、-200~0、0~200、200~400、400[cm/s]以上)、6(-2600以下、-2600~-1300、-1300~0、0~1300、1300~2600、2600[cm/s²]以上)とし、1世代での個体数は500とした。各世代での最も高かった評価値を図-3に示す。図より世代交代を繰り返すと、より評価の高い個体が出現し、制御則の最適化が進んでいることが分かる。式(2)で評価値を算出して最適化された個体での制御結果(最大応答変位)を、表-2のケース1に示す。表より、制御力なしで最も応答変位の大きい TAKATO NS に対しては効果が大きい、最大応答変位が制御力なしでも小さい FUKIAI では、効果が小さい結果になった。そこで、どの地震波に対しても制振効果が出るように、式(3)評価値を算出して最適化を行なった結果を、表-2のケース2に示す。表を見て分かるように、どの地震波に対してもより制振効果が大きい個体が求まっている。次に、ケース2での評価値の算定法において、区間数を $6 \times 12 \times 12$ と多くしたときの最適化に与える影響を調べた(ケース2')。各世代での最も高かった評価値を図-4に示す。図より、区間数を増加させることで、よりきめ細かい制御を行なうことができ、より高い評価値を出す個体を、求めることができたと考えられる。表-2を見ると、すべての地震波で区間数の多い個体の応答変位が小さくなる事が分かる。図-5に、ケース2'で最適化された個体で制御を行なった場合の変位・時刻歴を示す。制御力なしの場合と比較して、大幅に応答変位が小さくなっている。

4. 結論

本研究では、GA を用いることで、制振効果の高い制御則を求めることが可能であることが分かった。また、個体の評価値の算定方法や区間数が、最適な振動制御を求める際にどのような影響を与えているかを明らかにした。

参考文献 1) 小坪 清真:土木振動学、森北出版、1973

2) 坂和 正敏、田中 雅博:遺伝的アルゴリズム、朝倉書店、1995

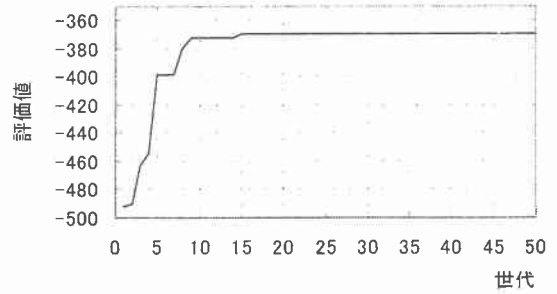


図-3 ケース1での評価値と世代(染色体108、個体500)

表-1 最適化された個体による制御結果(最大応答変位)

地震波	制御力なし	ケース1	ケース2	ケース2'
TAKATO NS	93.9	50.5	45.9	45.6
TAKATO EW	57.9	47.4	37.2	36.8
FUKIAI	53.2	46	43.5	38.5

単位 [cm]

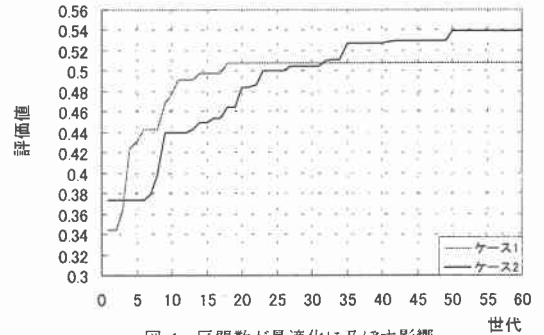


図-4 区間数が最適化に及ぼす影響

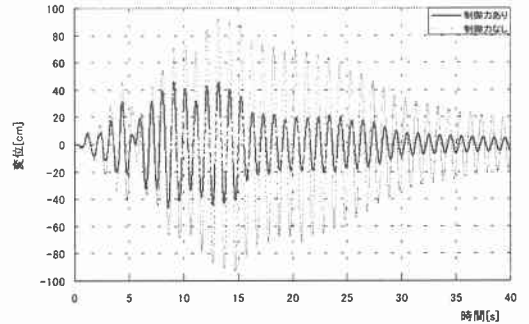


図-5 TAKATO NS 入力時の変位・時刻歴