

# 遺伝的アルゴリズムの落橋防止システム性能設計への応用

防衛大学校 正会員 香月 智 防衛大学校 学生員 竹本 憲介

## 1. 緒言

仕様に代えて性能を規定することによって、代替案の検討を促進する性能設計では、専門技術者以外の市民に理解できる「要求性能」を示すと同時に、構造設計の基準となる専門技術者との間でかわされる「目標性能」を設定することとなっている<sup>1)</sup>。しかし、この要求性能から目標性能を導出する方法は、図-1に示すように目標性能設定の原則が用いられるものとしているが、その具体的な手法については、検討段階にあり未解決な問題である<sup>1)</sup>。そこで本研究は、落橋防止構造を対象として、構造要素の抵抗力に関する目標性能を、コストを意識した事前の最適予備設計を行うことにより、目標性能を具体的に導出する手法について検討したものである。

## 2. 目標性能の設定手順

本研究で提案する目標性能の設定手順は、図-2に示す流れによって行うものとする。すなわち、言語表現された要求性能を具体的に数値化した目標性能に書き改める。ただし、この場合の目標性能(必須目標性能と呼ぶものとする)は過剰に大きな許容領域(Feasible region)を有し、設計に資するには具体性に乏しいため、支承や変位制限構造の予備的市場調査に基づき性能曲線とコストとの関係を与える。遺伝的アルゴリズムを用いて、必須目標性能を満足し、かつコストの低い理想の抵抗性能曲線を求める。得られた理想性能曲線と必須目標性能を総合的に判断して、詳細な目標性能を求めるとともに理想抵抗性能曲線を示す。

## 3. 遺伝的アルゴリズムの基本式

検討対象モデルとして図-3に示すような、橋脚と単純桁による落橋防止システムを想定する。隣接桁との相互作用を無視したうえで、その要求性能は次のように与えられているものとする。要求1: Level 1の地震に対しては、メンテナンスフリーを確保する。要求2: Level 2の地震時にシステム全体で落橋を防止する。

要求3: ヒューズ機能を発揮して、橋脚の損傷を防止する。これらの要求を数値化された必須目標性能、すなわち制約条件へと具体化したうえで、図-4に示すモデル化された弾塑性抵抗力曲線の変化点パラメータを設計変数とする遺伝的アルゴリズムを用いて、設計問題のためのコスト関数を次式のように表す。

$$C_T = \sum_{i=1}^{n_d} C_{di} + \sum_{j=1}^{n_c} C_{cj} \quad \min \quad (1)$$

ここで、 $C_T$ : 汎化コスト関数、 $C_{di}$ : 各装置の性能値に依存するコスト関数、 $n_d$ : 設計対象装置の数、 $C_{cj}$ : 必須制約等に対するペナルティコスト関数、 $n_c$ : 制約条件の数。各装置の性能とコストの関係については、市場調査に基づいてフィッティングを行うべきものであるが、ここでは簡略化して、次式のように与えられるものとした。

$$C_{di} = \sum_{k=1}^{n_{pi}} \{C_{pik}(P_{ik} - P_{ik}^0) + C_{ik}(i_k - i_k^0)\} \quad (2)$$

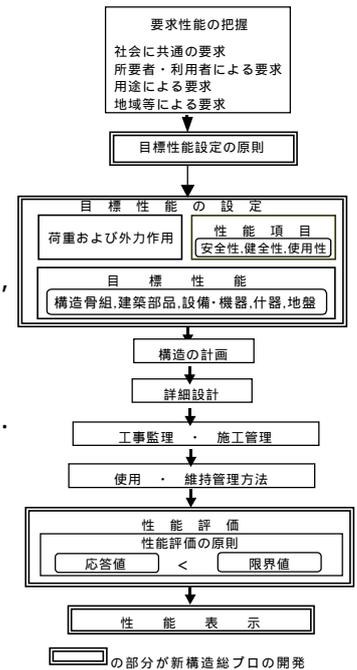


図-1 性能を基準とした建築物設計体系における設計のフロー(案)<sup>1)</sup>

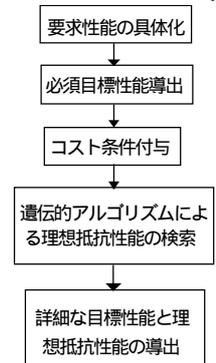


図-2 遺伝的アルゴリズムを利用した目標性能設定手順

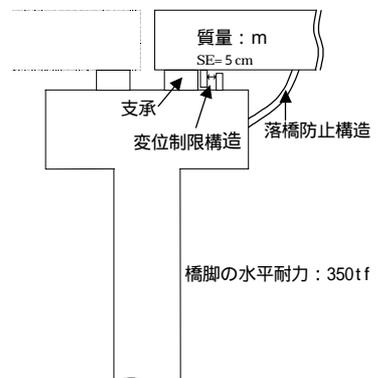


図-3 落橋防止システム

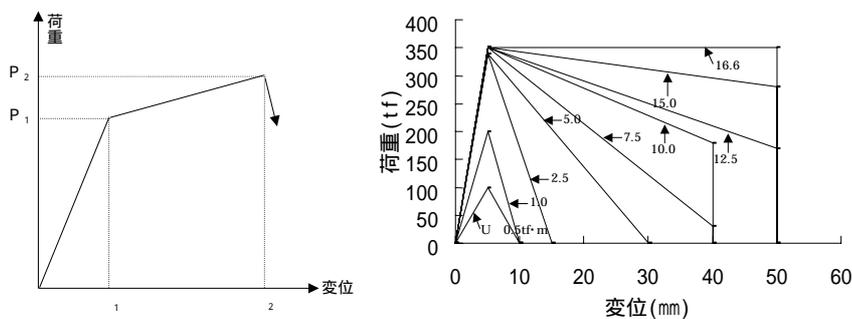


図 - 4 支承の抵抗力曲線 (a) 弾性限界コストが安い場合 ( $C_{P1} < C_{P2}$ ) (b) 弾性限界コストが高い場合 ( $C_{P1} > C_{P2}$ )

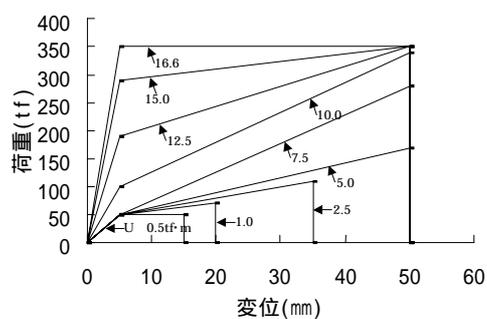


図 - 5 支承の性能曲線

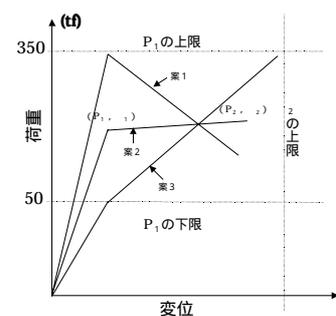
ここで、 $n_{pi}$  : 装置  $i$  の性能曲線の変化点数、 $P_{ik}$  : 装置  $i$  の  $k$  番目の変化点抵抗力、 $C_{Pik}$  :  $P_{ik}$  の増加に伴うコスト係数、 $P_{ik}^0$  :  $P_{ik}$  のコスト増加を生ずる最小値 ( $P_{ik}$ 、 $P_{ik}^0$  ではコストは一定とする)、 $\delta_{ik}$  :  $P_{ik}$  が生ずる変位量、 $C_{\delta_{ik}}$  :  $\delta_{ik}$  の増加に伴うコスト係数、 $\delta_{ik}^0$  :  $\delta_{ik}$  のコスト増加を生ずる最小値 ( $\delta_{ik}$ 、 $\delta_{ik}^0$  ではコストは一定とする)。同様に制約違反に対するペナルティ関数についても次式による線形関数によって与える。

$$C_{cj} = C_{gj}(f_{gi} - f_{gai}) \quad (3)$$

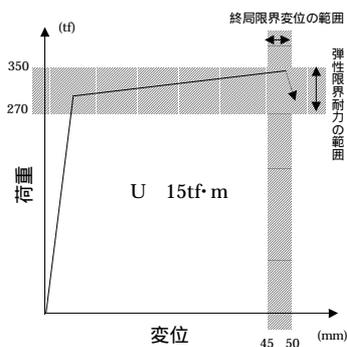
ここで、 $C_{gj}$  : 制約条件  $j$  に対する違反ペナルティ係数、 $f_{gi}$  : 制約条件式、 $f_{gai}$  :  $f_{gi}$  の許容値。

#### 4. 計算結果と詳細目標性能

まず、支承のみによって Level 2 地震動に耐える場合の設計について要求吸収エネルギー  $U$  と、各コストパラメータの比を変化させた設計を行った。図 - 5 (a) に弾性限界荷重  $P_1$  に関するコストが比較的安い場合 (脆性材料) の結果を示す。ここで  $U$  とは、支承が破壊に至るまでの吸収エネルギーである。図 - 5 (a) より、要求吸収エネルギーが小さい場合であっても、まず弾性限界を最大値に保ち、次に軟化勾配を増大させることによって吸収エネルギーを確保する傾向が現われ、脆性的な性能曲線の方がコスト的に有利であることを示している。図 - 5 (b) には、弾性限界の荷重に対するコストが比較的高い場合の計算結果を示す。この場合には、小さい要求エネルギーにおいても、弾塑性硬化型の要求性能曲線が現われ、要求エネルギーの増加に伴って、まず終局変位を増加して吸収エネルギーを確保するようになり、続いて終局変位が限界値に達して後は弾性限界を大きくする性能曲線となる。このような設計結果を踏まえて、 $U = 15 \text{ tf}\cdot\text{m}$  に対する詳細化された目標性能の一案は、図 - 6 (b) のようになる。すなわち、弾性限界耐力は  $270 \text{ tf}$  以上  $350 \text{ tf}$  未満とし、終局変位は  $45 \text{ mm}$  以上  $50 \text{ mm}$  以下となる。これは図 - 6 (a) に示した漠然とした必須目標性能よりも限定されているため、支承に協同すべき変位制限構造や落橋防止構造など、他のシステム要素に対する設計の前提条件を明確に示すことができる。



(a) 必須目標性能に対する代替案群



(b) 詳細化された目標性能曲線 ( $U = 15 \text{ tf}\cdot\text{m}$ )

図 - 6 要求性能曲線

#### 5. 結 言

本研究は、落橋防止システムを対象として、コスト概念を導入した遺伝的アルゴリズムを利用することによって事前の予備設計を行い、詳細化された目標性能を導出する手法を提案した。なお、ここで用いたコスト関数や、設計変数のパラメータについては、市場調査等に基づき具体化を図る必要がある。

#### 参考文献

- 1) 藤谷秀雄：性能を基盤とした新構造設計体系, 土木学会誌, Vol. 83, pp. 36-39, 1998. 1.
- 2) 道路橋示方書・同解説, V 耐震設計編, 日本道路協会, 平成 8 年 12 月.