

GA の収束過程を利用した対話型設計システムによる最適設計の一考察

中央大学大学院 学生員 高橋 祐幸
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1 目的

構造物の最適設計を考える場合、多くの設計変数と制約条件が存在する為、遺伝的アルゴリズム（GA）の適用が有効である。GA の特徴としては、対象とする問題を離散的に捉える事と、プログラミングが容易であることが挙げられる。しかし、GA は独特の問題として捉えらるる為、限られた人間にしか使いこなせないという欠点がある。そこで、代替手段として数回の GA を用いた計算による 1 次設計、そのデータをもとにニューラルネットワークを併用しながら対話型で行う 2 次設計というステップを与えることで欠点を補う設計システム（図 1）を構築することを目的にして研究を行った。

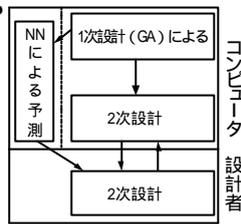


図 1 全体のアルゴリズム

2 対象構造物と荷重条件

支間長、橋脚全高、橋脚全幅を変化させたモデルを 8 個作成し、それらのモデルに複数の設計荷重の組み合わせを与え、柱・梁板厚 (t_b, t_c)、柱・梁厚さ (a)、梁高さ (b)、柱幅 (c)、梁・柱の強軸弱軸回りの補剛材本数 (nb1, nb2, nc1, nc2) を設計変数として、橋脚の等断面設計を行う。

表 1 設計荷重について

code-1	D+L	D (死荷重)	支間長40m 5.52MN、60m 8.51MN
code-2	D+L+T	L (活荷重)	支間長40m 1.58MN、60m 2.12MN
code-3	D+E	T (温度荷重)	梁部材のみで等しく変化 T=±35
		E (地震荷重)	k _r =0.25とする

表 2 構造モデルの諸元 (m)

MODEL	L	H	W
1	40.0	10.0	20.0
2	40.0	10.0	30.0
3	40.0	15.0	20.0
4	40.0	15.0	30.0
5	60.0	10.0	20.0
6	60.0	10.0	30.0
7	60.0	15.0	20.0
8	60.0	15.0	30.0



図 2 対象構造物について

設計荷重の組み合わせは (1-a)~(1-c) とする。なお D、L、T、E は各設計荷重を作用させた各部材の着目点に生じる応力、σ_a は許容応力度、β は割増係数である。局部座屈が発生した場合は許容応力度 σ_a が低減する。

code-1 $D + L \leq \sigma_a$ (β = 1.0) (1-a)
code-2 $D + L + T \leq \sigma_a$ (β = 1.15) (1-b)
code-3 $D + E \leq \sigma_a$ (β = 1.5) (1-c)

解析モデルは部材中心を通る骨組線でモデル化。なお、用いる鋼材は SM490Y とする。

3 目的関数・制約条件

『目的関数』 (2) 式を参照とする。

minimize

$$O(\{I\}) = O(a, b, c, t_b, t_c, n_{b1}, n_{b2}, n_{c1}, n_{c2}) = \left[A_b(a, b, t_b) + A_c(a, c, t_c)h \right] + \sum_{i=1}^4 V_r(n_i + 1) g_{steel} \quad (2)$$

A_b: 梁断面積、A_c: 柱断面積、V: 補剛材体積、g_{steel}: 鋼の単位体積重量

『制約条件』 (3-1) ~ (3-48) を参照とする。

許容応力度に関する制約条件の個数は、局部座屈が生じた場合は 48 個、生じない場合は 36 個である。

$$g_1(\{I\}) = g_1(\{a, b, c, t_b, t_c, n_{b1}, n_{b2}, n_{c1}, n_{c2}\}) \leq 0 \quad (3-1)$$

$$g_{48}(\{I\}) = g_{48}(\{a, b, c, t_b, t_c, n_{b1}, n_{b2}, n_{c1}, n_{c2}\}) \leq 0 \quad (3-48)$$

* g₁ ~ g₄: 部材寸法に関する制約条件
g₅ ~ g₄₈: 応力度に関する制約条件

『設計変数』

$$I(\{I_1 \sim I_9\}) = I(\{a, b, c, t_b, t_c, n_{b1}, n_{b2}, n_{c1}, n_{c2}\})$$

『ペナルティ関数』

$$= O(\{I\}) + g \sum_{j=1}^m \max(g_j, 0) \quad (g = 100) \dots (4)$$

SUMT 変換により最大化問題に変換する。g の値が大きい個体ほど適応度が高いものとする。

キーワード：最小重量設計 遺伝的アルゴリズム ニューラルネットワーク 対話型設計

連絡先：文京区春日 1-13-27 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻設計工学研究室 03-3817-1816

4 設計

4-1 GAによる1次設計

3で述べた目的関数・制約条件のもと断面寸法の組み合わせを探索する。使用するGAの各パラメータについては表3に記す通りである。1次設計の結果の代表としてModel1の収束過程を図3に示す。設計変数の1つである梁板厚 t_b を縦軸にとり、GAの初期におけるばらつきと、その収束後の状況を図4に示す。収束後は図中の黒い帯の中に値が収まっている。

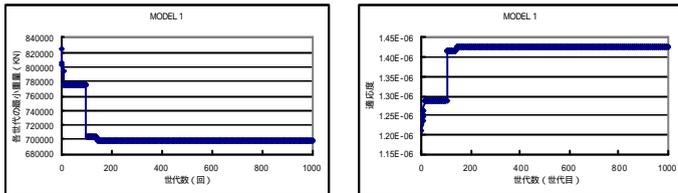


図3 1次設計の収束過程

表3 GAのパラメータ

個体数	100
世代数	1000
交叉確率	60%
淘汰確率	20%
突然変異発生率	10%
エリート保存率	20%

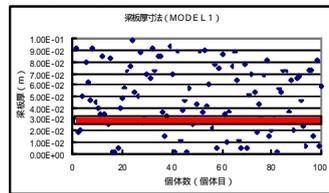


図4 1次設計の効果

4-2 対話型による2次設計

4-2-1 応力比の算定

1次設計において断面決定に支配的となる着目点のアクティブな制約条件とそのときの式(5)で与えられる応力比を出力し、どこまで目的関数の最小化ができていないのかを検討する。その条件下での応力比が99%以内に収まれば、2次設計を終了とする。これにより図4の帯をさらに狭くなれば試みは成功である。

$$\text{応力比} = \frac{\sigma}{\sigma_a} \dots (5)$$

：最も厳しくなる設計荷重条件下で発生した応力
 σ_a ：許容応力度（局部座屈発生時は低減する）

4-2-2 ニューラルネットワークの適用

3で述べたデータを教師データとして用い、BP法により断面の軽量化をしていった時の寸法と剛比・重量・余裕度の関係を予測する。

設定値

- ・教師データ：異なるGA50世代×4通り
- ・入力データ：補剛材間隔、応力比4位まで（8個）
- ・出力データ：断面寸法（5個）
- ・シグモイド関数の傾き：1.0
- ・中間層：6個
- ・計算回数：20000回

5 結果

図5には1次設計終了時と2次設計終了時の応力比の比較、図6には図5の拡大図を示す。MODEL2については著しく応力比が低かった為、NNの予測を利用した。MODEL3、7については、設計者の判断のみで改善を行った。その結果、すべてのモデルにおいて応力比が99%以内に収まった。2次設計を行ったMODELについてはMODEL2で約9.1%、MODEL3で約3.4%、MODEL7については約3.6%の重量軽減に成功した。

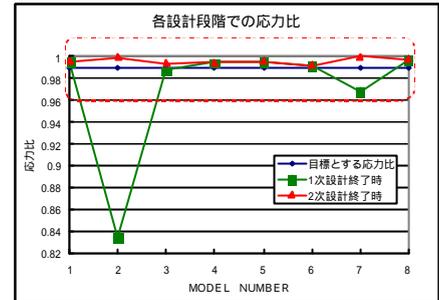


図5 1次設計終了時と2次設計終了時の応力比

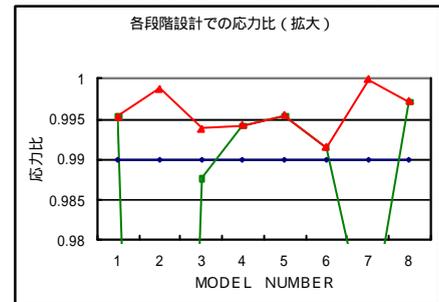


図6 図5の拡大図

6 考察

通常GAを用いる場合、局所最適解への収束を避ける為に様々な工夫がなされている。本研究では対話型の2段階の設計を行うことにより、従来ブラックボックスとされていた部分を特別な経験をそれほど必要とせず解決できることが証明された。単純なGAとNNの組み合わせであれば、細かいパラメータの設定も必要とせず、使用方法も容易である。また、ブラックボックスに多目的問題を入れる代わりに副次的な合理化要素を設計者の判断で適宜、解の選択肢に入れていくことが期待できる。

参考文献

- 1) 白木渡ら：鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性評価、構造工学論文集、Vol43A, pp505-510,1997-3
- 2) 杉本博之ら：鋼製橋脚の最適耐震設計法について、構造工学論文集、Vol47A,pp239-247
- 3) 鹿島建設土木設計本部：設計の基本知識、鹿島出版、1993
- 4) 古田・杉本：遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用、森北出版、1997
- 5) 萩原将文：ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム、産業図書、1994