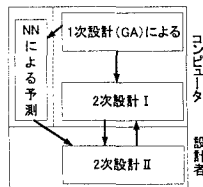


1 目的

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。しかし、GA は幅広い解の領域を狭めるには便利であるが、局所解に陥りやすく、その解決には、使用者に経験が求められるため汎用性にかける面がある。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_c, t_b)、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

code1	D+L	D(死荷重)	支間長 40m→5.52MN, 60m→8.51MN
code2	D+L+T	L(活荷重)	支間長 40m→1.58MN, 60m→2.12MN
code3	D+L+E	T(温度荷重)	梁部材のみで等しく変化 $T = \pm 35(^{\circ}\text{C})$
		E(地震荷重)	$k_h = 0.25$ とする

表 2 構造モデルの緒元 (単位: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

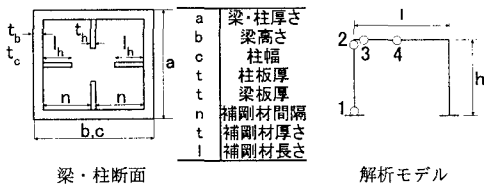


図 2 対象構造物について

地震荷重 (E) については、表 1 に記した k_h を全構造物に一律に与え、上部構造の設計死荷重および橋脚自重にこれに乗じて用いるものとする。

解析モデルについては図 2 に示したように柱の両端と梁の片端と中心部をそれぞれ照査の着目点 1 から 4 としている。

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

minimize

$$\rightarrow \text{OBJ} = (V_1 + V_2) \gamma_{\text{steel}}$$

$$= \{V_1(a, b, c, t_b, t_c) + V_2(nb1, nb2, nc1, nc2)\} \gamma_{\text{steel}}$$

V_1 : 橋脚の総容積 V_2 : 補剛材の総容積

橋脚の最小重量設計を目的とする。

制約条件

・許容応力度に関する事項

2 で述べた荷重が作用するもとの、「H8 年道路橋示方書」の照査式、

$$\text{code-1} \quad \sigma_D + \sigma_L \leq \phi \sigma_a \quad (\phi = 1.0)$$

$$\text{code-2} \quad \sigma_D + \sigma_L + \sigma_T \leq \phi \sigma_a \quad (\phi = 1.15)$$

$$\text{code-3} \quad \sigma_D + \sigma_E \leq \phi \sigma_a \quad (\phi = 1.5)$$

により断面決定を行う。上式の σ_D 、 σ_L 、 σ_T 、 σ_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である。 σ_a は許容応力度、 ϕ は割増係数である。

なお、局部座屈を考慮し、発生した場合は許容応力度 σ_a が低減するものとする。

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。

・部材寸法に関する事項

「H8 年道路橋示方書」の圧縮応力を受ける両縁支持板の最小板厚に関する項目を参照。

部材寸法に関する制約条件の数は 4 個である。

キーワード: 最小重量設計 GA 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 中央大学理工学部土木工学科設計工学研究室 03-3817-1816 (直通)

4 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は「淘汰・選択」・「交叉」・「突然変異」の操作を行う単純GAとする。コーディングはバイナリコードを用いる。各パラメータについては表3に記す。「交叉」は各設計変数をそれぞれの線列にコーディングし1点交叉を行っている。「淘汰確率」に関しては、各世代において照査を満足する個体数と満足しない個体数が5:5になるように変更させている。世代数は後続の2次設計に用いるデータを得る事がここの目的であるため10世代に決定した。各モデルの必要世代数は図3に示す。

ここで得られた結果を2次設計の入力データ、計算過程をニューラルネットワークの教師データとしてそれぞれ用いるものとする。

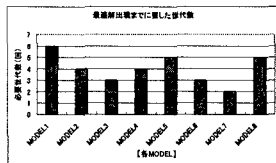


図3 収束までに要する世代数

表3 GA のパラメータ

人口数	100
世代数	10
交叉確率	0.60
突然変異発生率	0.10
淘汰確率	随時変更
エリート保存率	0.10

4 対話型による2次設計

・4-1 応力比の算定

制約条件が最も厳しくなる設計荷重条件と着目点の応力比 σ/σ_a とそれを与える断面寸法を出力し、どこまで目的関数の最小化ができていないのか(軽量化する余地が残っているのか)を検討する。その条件下での応力比が90%以内に収まる条件を、最小化に近接した1つの目安とし、2次設計を終了とする。

*) 応力比 $=\sigma/\sigma_a$

σ : 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 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

- ・入力データ: 梁・柱厚さ、梁高さ、柱幅、梁板厚、柱板厚、梁・柱強軸弱軸回りの補剛材本数 (9個)
- ・出力データ: 剛比・重量・余裕度 (3個)
- ・中間層: 5個
- ・計算回数: 10000回

5 結果

表4 最も厳しい設計荷重条件と着

MODEL NUMBER	設計荷重 CODE	着目点
1	1	4
2	1	4
3	1	4
4	1	4
5	1	4
6	1	4
7	1	4
8	1	4

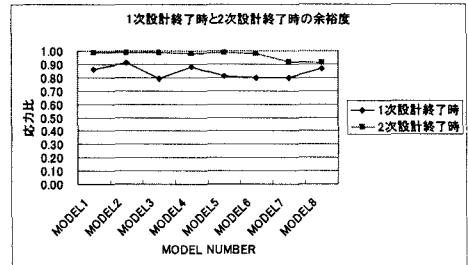


図4 1次設計終了時と2次設計終了時の応力比

図4には1次設計終了時と2次設計終了時の余裕度の比較、表4には最も厳しい設計荷重条件と着目点を示す。

すべてのモデルにおいて応力比が90%以内に収まっている。

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、使用法も容易である。

また、対話型の設計システムにしたことにより、今回は目的が最小重量設計であったが、設計条件を増やした場合でも、使用者の設計の知識を容易に取り組めると考えられる。

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