

# 鋼橋の水平補剛材設計に対するGAの適用について

信州大学大学院 学生員○金山 峰健

信州大学工学部 正 員 小山 健

## 1. 研究目的

鋼橋の設計において、水平補剛材設置位置をウェブの圧縮縁より一段使用の場合 0.2b付近（b：ウェブ高さ）、二段使用の場合 0.14bと0.36b付近とすることが原則と道路橋示方書に示されている。しかし、実際には、0.2bという値が使用されている。この数値は、経験則に基づいて使用されていると思われる。本研究では、垂直補剛材間隔、ウェブ高さ、鋼材の種類等をパラメータとし、水平補剛材の最適位置を遺伝的アルゴリズムを用いた組み合わせ最適化問題の解として求めようとするものである。

## 2. 遺伝的アルゴリズム<sup>1)</sup>

遺伝的アルゴリズム（以下GAと略す）は、ダーウィンの自然淘汰説を基本概念とし、生物の進化のメカニズムにならった探索アルゴリズムである。基本的には、対象となる問題の解を多数の遺伝子の配列に表現し、淘汰、交叉、および突然変異の遺伝的な操作を繰り返し、進化させることによって環境に応じたより高い評価を与える解を探索していく手法である。

## 3. 鋼橋の水平補剛材設計<sup>2) 3)</sup>

鋼橋の設計において、腹板材質SM50Yの時、腹板の板厚は  $b/209$ （b：ウェブ高さ）以上でなければならない。また、上下両フランジの純間隔が腹板材質SM50Yの時、 $57t$ （t：腹板の板厚）以上になると腹板に垂直補剛材を設ける必要がある。本研究では、このような垂直補剛材を設け、なおかつ水平補剛材を1段使用する場合を考える。この場合、垂直補剛材の間隔は、次式を満足しなければいけない。

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^2 \left[ \left(\frac{\sigma}{9500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{1270+610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1.0 \quad (0.8 < a/b \leq 1.5) \quad - (1)$$

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^2 \left[ \left(\frac{\sigma}{9500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{950+810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1.0 \quad (a/b \leq 0.8) \quad - (2)$$

ここで、a：垂直補剛材間隔、 $\sigma$ ：腹板の縁圧縮応力度、 $\tau$ ：腹板のせん断応力度とする。いま、 $\tau/\sigma$ をパラメータとした方が都合がよいので(1)式を以下のように変形する。

$$\sigma^2 \left\{ \left(\frac{b}{100t}\right)^2 \left[ \left(\frac{1}{9500}\right)^2 + \left\{ \frac{X}{1270+610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \right\} \leq 1.0 \quad - (3)$$

ただし、 $X = \tau/\sigma$ である。(2)式も同様とする。さらに、

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_s}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_s}\right)^2 \leq 1.2 \quad - (4) \quad \text{を} \quad \left(\frac{\tau}{\sigma}\right)^2 \leq 1.2 \left\{ \left(\frac{\tau_s}{\sigma_s}\right)^2 - \left(\frac{\tau_s}{\sigma_s}\right)^2 \right\} \quad - (5)$$

に変形し、この範囲内で $\tau/\sigma$ を仮定する。その値を使って(1)あるいは(2)式を満足すれば、垂直補剛材断面の決定を行うことにする。まず、垂直補剛材の突出幅は、ウェブ高の  $1/30$  に  $50\text{mm}$  を加えた値以上、板厚は、その幅の  $1/13$  以上と規定されている。求められた突出幅と板厚から断面2次モーメントを求め、その値が必要剛度  $\{(bt^3)/11\} \times 8 \times (b/a)^2$  以上であるかを照査する。垂直補剛材は、腹板の鋼種に関係なくSS41を用いることにする。次に、水平補剛材に関しても、同様に断面2次モーメントを求め、その値が必要剛度  $\{(bt^3)/11\} \times 30 \times (a/b)^2$  以上であるかを照査する。それから、水平補剛材の取付位置  $b_1$  の地点の

応力が許容応力を満足し、その取付位置に腹板の最大応力が生じるものとして、鋼種および板厚を決定するものとする。

#### 4. 設計へのGAの適用

本研究では、スパンを 33(m) とし、腹板材質をSM50Y、垂直補剛材および水平補剛材をSS41とする。 $a/b$ を7ビット (0.1~1.35)、ウェブ高さを5ビット (165~195)、取付位置  $b_1$ の部分を5ビット (0.1~0.4) としてコード化を行った。すなわち、 $a/b$ は 1101010→1.16 のようにそれぞれを2進数で表し、それを10進数に直して(3)式の計算に用いる。腹板の板厚は 0.9、1.0、1.1(cm) の3種類を用いて最適値を求める。(4)式では、 $\sigma_s=2100\text{kg/cm}^2$ 、 $\tau_s=1200\text{kg/cm}^2$ 、また、 $\sigma=0.95\sigma_s=1995\text{kg/cm}^2$  として代入すると、 $\tau/\sigma \leq 0.328$  となり、この範囲内で $\tau/\sigma$ を仮定する。ここでは、 $\tau/\sigma$ を支間中央部付近の 0.05 と仮定した。水平補剛材断面は突出幅を 9、10、11(cm) の3種類を考え、板厚は 0.9 (cm) とした。目的関数は垂直補剛材の溶接費用と水平補剛材の溶接費用の合計が最少となるようにし、その場合の水平補剛材の最適取付位置を計算した。GAの計算では、初期乱数を200回、集団サイズを70、交叉は2点交叉、突然変異確率は 1/2000、適応度はある世代における最適値を1としたとき、その集団内においてある配列をもった解が3.0倍以上のものは淘汰されるようにし、世代数は600世代とした。

#### 5. 結果および考察

計算の結果、表. 2のように300世代で費用の値が最少値 4172(円) となり、収束した。その時のそれぞれの値は、 $a/b$ が 1.16、ウェブ高さが 168(cm)、(3)式の値 0.576、垂直補剛材および水平補剛材の突出幅は共に 11(cm) となり、それぞれの断面も同じく  $11 \times 0.9$  となった。表. 1より水平補剛材の最適取付位置は、フランジ圧縮縁より 約49(0.29b)cm になった。その位置での応力は、 $882(\text{kg/cm}^2)$  になり、許容応力  $1400(\text{kg/cm}^2)$  を満足している。また、図. 1の平均値は、解の収束状況を判断するために用いた。

以上が本研究から得られた結果であるが、水平補剛材の取付位置は必ずしも一般の設計で用いられているように 0.2b でなければならないという訳ではなかった。しかし、垂直補剛材の必要剛度が  $66.19(\text{cm}^4)$  で本研究で得られた断面2次モーメントが  $399.3(\text{cm}^4)$  となり、かなりの余裕があることが分かった。

表. 1 取付位置  $b_1$  の変化

|       | 1世代              | 10世代             | 100世代            | 300世代            | 600世代            |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| b     | 171.0            | 168.0            | 168.0            | 168.0            | 168.0            |
| $b_1$ | 0.29b<br>(49.59) | 0.21b<br>(35.28) | 0.21b<br>(35.28) | 0.29b<br>(48.72) | 0.29b<br>(48.72) |

単位 cm

表. 2 費用と世代の変化

|     | 1世代  | 10世代 | 100世代 | 300世代 | 600世代 |
|-----|------|------|-------|-------|-------|
| 費用  | 4348 | 4212 | 4212  | 4172  | 4172  |
| 平均値 | 5774 | 4424 | 4328  | 4291  | 4271  |

単位 百円

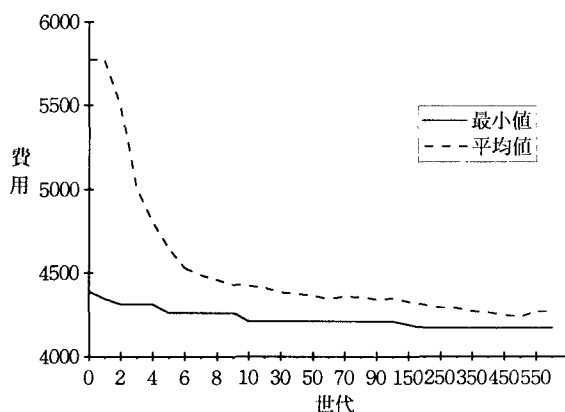


図. 1 世代と進化状況

#### 参考文献

- 1) 北野 宏明編：遺伝的アルゴリズム，産業図書
- 2) 道路橋示方書・同解説，(社)日本道路協会
- 3) 合成桁の設計例と解説，(社)日本橋梁建設協会，講習会用テキストNo. 2