

設計者の想定した荷重分担率を有する連続桁橋の断面決定へのGAの適用に関する研究

九州大学 学生員 大西陽子 九州大学 正会員 園田佳巨
中央コンサルタンツ 正会員 柚 辰雄 九州大学 正会員 彦坂 熙

1. 緒言

連続桁橋の設計を行う場合、架設位置の地盤特性等を考慮して設計者が各支承の荷重分担率の設定を試みる場合がある。しかし、現行の地震時保有水平耐力法では、橋梁全体系の弾塑性応答や部材間の相互作用の影響を考慮した試行が必要となり、多大な労力を要する。そこで、本研究ではGAを用いて設計者が想定する荷重分担率を容易に実現可能とする耐震設計支援プログラムの開発を試みた。

2. 解析手法の概要

現行の地震時保有耐力法を用いて、合理的な橋梁の設計を行うために、以下の定式化を行った。

(1) 目的関数

1) 橋梁全体系の応答を長周期化し、設計水平震度の低減を図る。

$$z_1 = k_{hc}(T) \rightarrow \min \quad (1)$$

ここに、設計水平震度 k_{hc} には道路橋示方書の地震時保有水平耐力レベルのタイプ II の式を用いた。

2) 架設位置の地形や地盤条件等を考慮して、設計者が設定した各橋脚の荷重分担率にできるだけ近づける。

$$z_2 = \sum_{i=1}^n \left(K_i - k_{cvi} / \sum_{i=1}^n k_{cvi} \right)^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

ここに、 n : 橋台および橋脚基数、 K_i : i 番目橋脚に設定された荷重分担率、 k_{cvi} : i 番目橋脚位置の支承・橋脚・基礎の直列剛性

(2) 制約条件の設定

1) 各橋脚の耐力が規定値を上回ること。

$$g_1 = k_{hc} \cdot W_i - P_{ui} \leq 0 \quad (3)$$

ここに、 $k_{hc} = k_{hc} / \sqrt{2\mu_u - 1}$: 塑性率を考慮した等価水平震度、 P_{ui} : i 番目の橋脚の保有水平耐力、 W_i : i 番目の橋脚に作用する曲げ変形時の等価重量、

2) 各支承の変位、応力度が規定値を満たすこと。

$$g_2 = u_{si} - u_i = \frac{k_{hc} \cdot W_{ui}}{k_{si}} - u_a \leq 0 \quad (4)$$

$$g_3 = \gamma_{si} - \gamma_a \leq 0 \quad (5)$$

ここに、 u_{si} : i 番目の支承水平変位、 u_a : 支承の許容水平変位、 γ_{si} : i 番目の支承に生じるせん断ひずみ、 γ_a : 許容せん断ひずみ

$$g_4 = \sigma_{pi} - \sigma_{pa} \leq 0 \quad (6)$$

$$g_5 = \sigma_{pi} - \sigma_{ca} \leq 0 \quad (7)$$

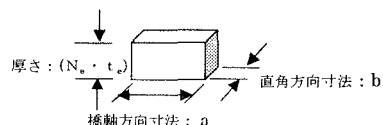


図-1 支承に関する遺伝子データ

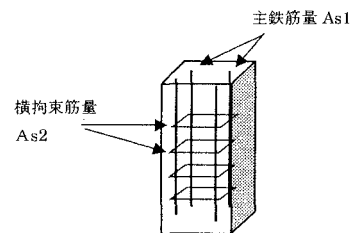


図-2 橋脚に関する遺伝子データ

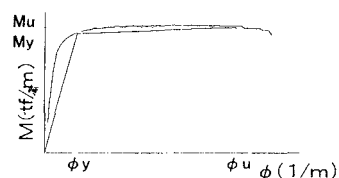
図-3 部材の $M \sim \phi$ 関係

表-1 各遺伝子の選択範囲

遺伝子	選択範囲
a (橋軸方向寸法)	40~70cm(2cm刻み:16種類)
b (橋軸直角方向寸法)	40~70cm(2cm刻み:16種類)
Ne (ゴム層数)	1~16層(16通り)
tc (1層当たりのゴム厚)	1.0~4.0cm(0.2cm刻み:16種類)
G (せん断弾性係数)	6, 8, 10, 12kgf/cm ² (4種類)
As1 (主鉄筋量)	1000~1750cm ² (50cm ² 間隔:16種類)
As2 (横拘束筋量)	6~36cm ² (2cm ² 間隔:16種類)

ここに、 σ_{pi} : i 番目の支承に作用する支圧応力度、 σ_{pa} : 許容支圧応力度、 σ_{cra} : 座屈に関する許容応力度

各個体の適応度は式(1)～(2)に示す目的関数と式(3)～(7)に示す制約に対するペナルティ関数を用いた以下の式(8)で与えた。

$$z_i = \alpha_1 \frac{z_{1i}}{\sum_{l=1}^{N_p} z_{1l}} + \alpha_2 \frac{z_{2i}}{\sum_{l=1}^{N_p} z_{2l}} + \lambda \sum_{j=1}^5 \max[g_j, 0] \quad (8)$$

(3) 遺伝子データの選定およびGA解析手法

橋脚および支承の断面諸元を設計変数とした GA による解析を行った。すなわち、支承に関する遺伝子データは、図-1に示すような水平反力分散ゴム支承を想定した各支承の寸法（橋軸方向 a 、橋軸直角方向 b 、1 層当りのゴム厚 t_g 、ゴム層数 N_g ）およびゴム材のせん断弾性係数 G の計 5 種類とし、橋脚に関する遺伝子には、図-2に示すような一般的な矩形断面を有する RC 構造を対象に、主鉄筋量 $As1$ 、横拘束筋量 $As2$ の 2 種類を選定した。なお、RC 橋脚の断面寸法は既定値とした。解析手順は、まず表-1に示す範囲から遺伝子データを選択した各個体に対して、主鉄筋量と横拘束筋量等のデータをもとに断面分割法により計算される $M \sim \phi$ 関係を図-3に示すようなバイリニア型にモデル化し、その勾配から得られる非線形パネ特性を橋脚の剛性として与えた。その後、図-4に示す全体系モデルの固有値解析を行うことで、式(8)を用いてエリート保存方式による単純 GA を適用した解析を行った。

3. 数値計算例および考察

図-4に示す高さの異なる RC 橋脚を有する 3 径間 PC 連続桁橋を対象とした検討を行った。本解析では桁および橋脚は曲げと軸力を考慮した骨組要素とみなし、図-4のモデルに対して、以下のような 2通りの荷重分担率を与えた時の解析を試みた。

ケース 1 : A1 : 10% P1 : 40% P2 : 40% A2 : 10%

ケース 2 : A1 : 10% P1 : 25% P2 : 50% A2 : 15%

図-5は、式(8)の重みを $\alpha_1 : \alpha_2 = 0.2 : 0.8$ とした場合と、 $\alpha_1 : \alpha_2 = 0.8 : 0.2$ とした場合の各世代の最小値の変化を示したもので、世代交代とともに着実に解が改善されていることが認められる。次に、ケース 1 の場合を例に、各橋台、橋脚の荷重分担率の変動について、 $\alpha_1 : \alpha_2 = 0.2 : 0.8$ とした場合の結果を図-6に示す。この図より、本法により世代が進むにつれて緩やかに設定された荷重分担率に近づいており、設計者が意図する荷重分担率を満たす耐震設計が容易にできることが確認された。次に、ケース 1、2 の 2通りの荷重分担率を与え、 $\alpha_1 : \alpha_2 = 0.8 : 0.2$ とした場合の設計水平震度の変化を図-7に示す。この図より、確実に設計水平震度は低下しており、橋脚に作用する地震時慣性力が小さな経済的な断面の選択が、本法により可能であることが確認された。

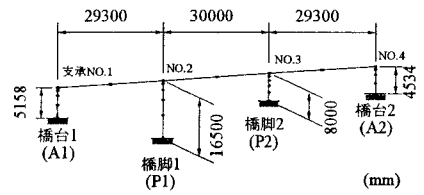


図-4 解析モデル

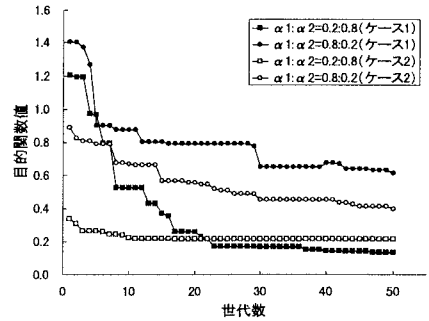


図-5 個体適応度の最適解の推移

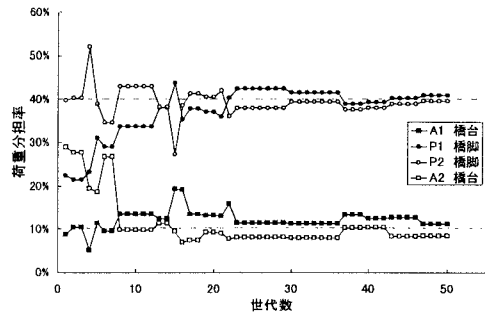


図-6 荷重分担率の変動

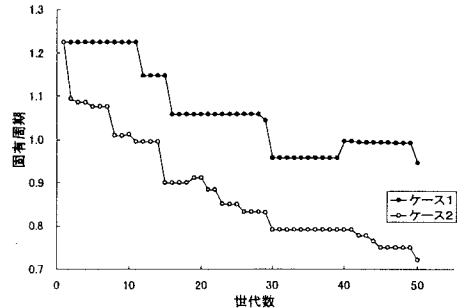


図-7 設計水平震度の変化