

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 杣 辰雄 九州大学 正会員 彦坂 熙

1. 目的

現行の地震時保有水平耐力法を用いて、架設位置の地盤特性等を考慮しながら連続桁橋の各支承の荷重分担率を設定する場合、橋梁全体系の弾塑性応答解析を用いる必要があり、多大な労力を要する。そこで、本研究ではGAを用いた保有水平耐力法レベルの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

地震時保有水平耐力法を用いた連続桁橋の設計支援プログラムとして以下の定式化を行った。

2.1 目的関数

1) 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} は地震時保有水平耐力レベルのタイプ 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を実現する。

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

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_{cei} : i 番目橋脚位置の支承、橋脚、基礎の直列剛性

2.2 制約条件の設定

1) 各橋脚の耐力が規定値を上回ること。

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

ここに、 $k_{he} = k_{hc} / \sqrt{2\mu_a - 1}$: 塑性率を考慮した等価水平震度、 P_{ai} : 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。

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

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

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

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

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

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

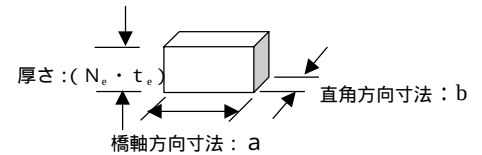


図 - 1 支承に関する遺伝子データ

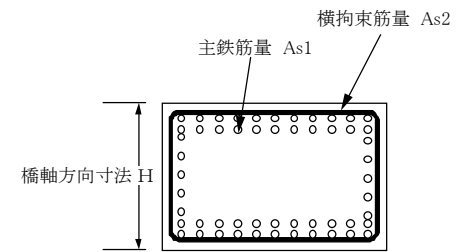


図 - 2 橋脚に関する遺伝子データ

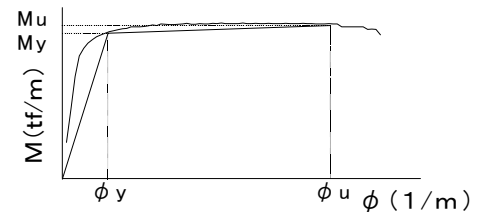


図 - 3 部材の M ~ \phi 関係

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)
te (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)
H (橋脚橋軸方向寸法)	139~334cm(13cm間隔:16種類)

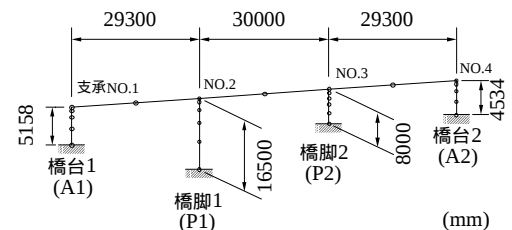


図 - 4 解析モデル

キーワード: 遺伝的アルゴリズム, 荷重分担率

連絡先: 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

TEL&FAX 092-642-3262

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。

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

(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 に示すゴム支承を想定した各寸法（橋軸方向 a，橋軸直角方向 b，1 層当りのゴム厚 t_e ，ゴム層数 N_e ）およびゴムのせん断弾性係数 G の計 5 種類とし、橋脚に関する遺伝子には、図 - 2 に示す矩形断面の RC 橋脚を対象に、主鉄筋量 As1，横拘束筋量 As2，橋軸方向寸法 H（RC 橋脚の橋軸直角方向寸法は一定とした）の 3 種類を選定した。解析は、まず表 - 1 から遺伝子を選択した各個体に対して、橋脚断面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、その勾配から求めた非線形パネ特性を剛性として与えた。その後、図 - 4 に示す全体系の固有値解析を行い、式(8)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 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%
また、ケース3として、図 - 4の橋脚1と橋脚2の

高さを同じにしたモデルに対して、ケース1と同様の荷重分担率を設定した解析を行い、比較を試みた。

表 - 2 は、各ケースにおいて $\alpha_1 : \alpha_2 = 0.2:0.8$ とした場合に、橋台、橋脚の荷重分担率の変動を示したもので、本法によ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 通りの荷重分担率に対して、 $\alpha_1 : \alpha_2 = 0.8:0.2$ とした場合の設計水平震度の変化を図 - 5 に示す。ケース 1 では 1 世代目に 1.225、50 世代目に 0.839 となり、ケース 2 では 1 世代目に 1.225、50 世代目に 0.817 となっている。これらより、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。表 - 3 は各ケースの最適解の推移を示したものである。この表より、ケース 1 の場合には橋脚 1 の剛性を大きくすることにより橋脚 2 と同じ荷重分担率が実現されており、ケース 2 では、橋脚 2 の主鉄筋量を大きくすることにより 50% の荷重分担率を満たす解が得られていることが分かる。ケース 3 については、2 本の橋脚の剛性は全く異なるが、各支承の剛性を調整することで 2 つの橋脚で等しい荷重分担がなされているものと考えられる。今後、支承と橋脚の剛性比を調整可能な制約を与えることも検討する必要があるものと思われる。

表 - 2 荷重分担率の変化

		A1 橋台	P1 橋脚	P2 橋脚	A2 橋台
ケース1	1世代目	6.9	23.1	46.5	23.5
	50世代目	10.6	40.9	37.4	11.1
ケース2	1世代目	12.0	20.0	46.5	21.5
	50世代目	10.4	25.0	49.8	14.8
ケース3	1世代目	8.3	27.6	36.1	28.0
	50世代目	9.5	42.0	38.0	10.5

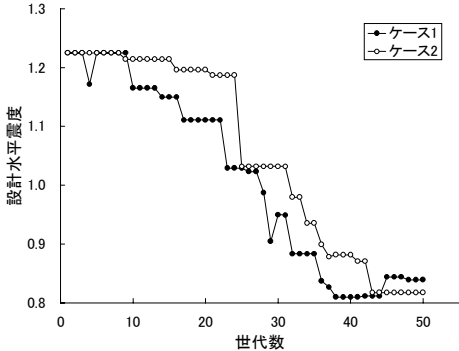


図 - 5 設計水平震度の変化

表 - 3 遺伝子データの変化

遺伝子	ケース1		ケース2		ケース3	
	1世代	50世代	1世代	50世代	1世代	50世代
支承1	a	44	46	44	44	44
	b	44	44	50	44	50
	te	1.0	1.4	3.8	1.0	2.4
	Ne	13	13	4	12	12
	G	8	8	12	8	8
支承2	a	60	50	58	62	60
	b	60	70	58	60	62
	te	1.6	1.4	1.2	1.6	2.2
	Ne	4	6	7	5	4
	G	12	12	10	12	10
支承3	a	70	62	68	70	48
	b	70	56	68	70	70
	te	2.0	4.0	1.0	1.0	2.0
	Ne	3	2	8	7	3
	G	12	8	12	12	10
支承4	a	50	40	46	42	50
	b	54	44	50	50	54
	te	2.0	3.8	1.0	2.0	2.0
	Ne	4	6	10	6	4
	G	12	12	12	12	6
橋脚1	As1	1050	1250	1200	1100	1050
	As2	34	16	14	34	8
	H	308	321	282	308	295
橋脚2	As1	1400	1050	1200	1400	1050
	As2	14	12	14	14	34
	H	204	191	217	204	308