

GA(遺伝的アルゴリズム)による橋梁の耐震特性を考慮した落橋防止システムの検討

九州大学 学生員 大西陽子 九州大学 正会員 園田佳巨  
九州大学 正会員 彦坂 熙

1.緒言

兵庫県南部地震以降、道路橋の耐震設計が見直され、支承、変位制限構造、落橋防止構造等を併用したシステムとしての落橋防止対策が推奨されている。しかし、落橋防止システムの機能に関する評価基準は必ずしも明確でなく、システムを構成する各種装置の設計法も明示されていない。そこで、本研究では橋梁全体系の応答性状を改善することを目的とした遺伝的アルゴリズムによる探索を行い、理想的な落橋防止システムを構成する各装置の特性について考察を試みる。

2.解析手法の概要

(1)解析モデル

本研究では、曲げと軸力を伝達する骨組部材で表した集中質量モデルを用いた。落橋防止システムを構成する装置として、ここでは支承および変位制限構造を検討対象とした。図-1は、支承モデルを示したもので、反力分散ゴム支承等を想定した線形バネ要素とした。一方、変位制限装置や落橋防止装置には、図-2(a)に示すような初期剛性が大きな従来型連結板装置や、図-2(b)に見られるような後続剛性の方が大きなゴム材を使用した装置等の種々のものが考えられる。そこで、各種装置を包括した図-3に示すようなバイリニア型の非線形バネ要素でモデル化し、様々な非線形剛性のパターンを候補として与えた。すなわち、GAによる解析の遺伝子データとして各支承の剛性 $k_c$ 、変位制限装置の遊間 $\delta_1$ 、初期剛性 $k_1$ 、後続剛性 $k_2$ 、剛性変化点変位 $L_1$ の5種類を選定した。図-4は、解析の対象とした3径間連続橋の構造寸法を示したもので、各部材の断面諸元は表-1に示す値を用いた。なお、今回の解析では地盤の変形特性に関するモデル化は行っていない。

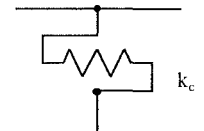


図-1 支承モデル

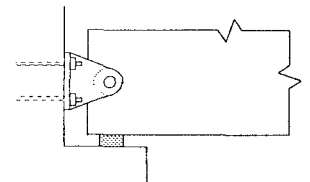


図-2(a) 連結板装置

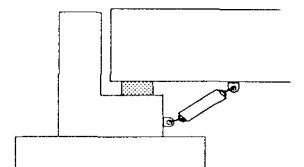


図-2(b) ゴム緩衝チェーン

(2)落橋防止システム

ここでは、理想的な落橋防止システムとして桁かかり長を基本とし、支承および変位制限構造が相互に補完し合いながら地震動による慣性力へ抵抗する組み合わせを考えた。その具体的な評価基準として、(a)桁水平変位を最小にする、(b)2つの橋脚基部の最大応答曲げモーメントを最小にする等の複数考えられるが、本解析では目的関数として2つの橋脚基部の最大応答曲げモーメントを最小にする (b)案を採用し、以下の式を目的関数とした。

$$Z = \frac{|M_{11}|}{|M_{u1}|} + \frac{|M_{21}|}{|M_{u2}|} \quad (1)$$

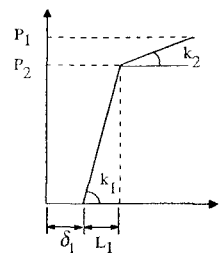


図-3 落橋防止装置の剛性

ただし、 $M_1$ 、 $M_2$ ：橋脚P1、P2の最大応答曲げモーメント

$M_{u1}$ 、 $M_{u2}$ ：橋脚P1、P2の設計時終局曲げモーメント

3.数値計算例および考察

落橋防止システムの本래の機能を考えると、橋梁全体の弾塑性応答を考慮した検討が不可欠であるが、ここでは簡易な弾性解析による検討を行った。

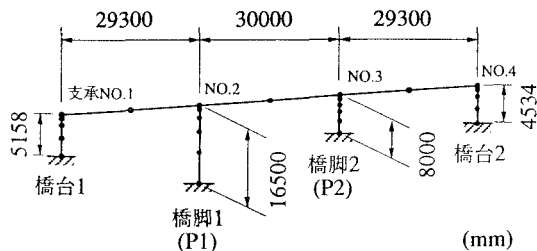


図-4 解析モデルの構造寸法

表-1 橋梁の断面諸元

	A (m <sup>2</sup> )	E (tf/m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )
桁	5.7431	2.980E+06	1.15311
橋台1	40.00000	2.350E+06	53.33333
橋台2	32.20000	2.350E+06	32.87083
橋脚1	7.56000	2.350E+06	4.59270
橋脚2	5.60000	2.350E+06	1.86667

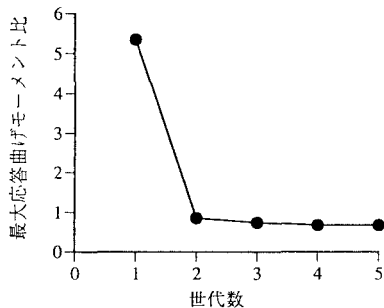


図-5 目的関数値の推移

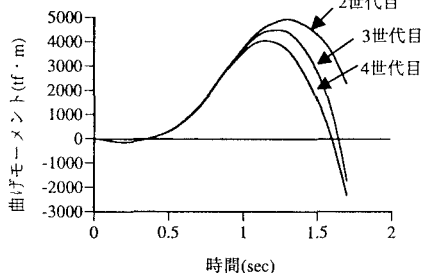


図-6 橋脚P1 基部の曲げモーメント応答

表-2 最適解の推移

	2 世代目	...	4 世代目
支承No.1剛性(tf/m)	1.0D 5	...	0.0
支承No.2剛性(tf/m)	5000.0	...	0.0
支承No.3剛性(tf/m)	0.0	...	1.0D5
支承No.4剛性(tf/m)	0.0	...	3000.0
連結装置No.1遊間(m)	0.18	...	0.12
No.1剛性変化点変位(m)	0.06	...	0.02
No.1初期剛性(tf/m)	18000.0	...	12000.0
No.1後続剛性(tf/m)	12000.0	...	20000.0
連結装置No.2遊間(m)	0.3	...	0.1
No.2剛性変化点変位(m)	0.1	...	0.1
No.2初期剛性(tf/m)	12000.0	...	16000.0
No.2後続剛性(tf/m)	10000.0	...	10000.0

時刻歴な応答解析に用いる入力地震動は兵庫県南部地震による神戸ポートアイランドの観測地震波NS成分とし、GA解析の基本パラメータとして人口サイズ8、世代数5を用いた。解析に用いた遺伝子データは、4箇所の支承のパネ剛性と両端に設置する変位制限装置の力学特性を表す4つのパラメータの計12個とした。図-5は、計算で得られた最適解による目的関数値（最大応答曲げモーメントと終局モーメントの比）の推移を示したものである。ここでは、弾性解析値を式(1)に用いているため、1世代目の曲げモーメント応答が終局モーメントを上回る矛盾が見られるが、世代が進むにつれて急速に応答性状が改善されていることがわかる。今回の試算では人口数が8と極端に小さいことから、早期に解の収束が起こり5世代目以降には改善が見られなかった。図-6は、各世代の最適解による橋脚P1の基部曲げモーメントの初期応答状況を示したもので、世代が進むにつれ1.0秒以降の応答が改善されていることが認められる。表-2はこのときの最適解の変化を示したもので、両端の変位制限装置の遊間を小さくかつ均等にとったものが望ましい解として選択される傾向にあることがわかる。桁や橋脚および支承の弾塑性応答を考慮した解析を行えば、解の傾向も当然変わりうるが、ここで示すような考え方により落橋防止システムの理想的な組み合わせを評価することは十分に可能であると思われる。今後、本来の落橋防止の目的に見合った弾塑性解析を行い、各装置の剛性のバランス等も考慮したうえで検討を行う予定である。