

上路式鋼アーチ橋の面内方向加震におけるエネルギー一定則の適用性

長崎大学工学部 学生会員 ○野原秀彰
 長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三
 長崎大学大学院 学生会員 Osman Tunc Cetinkaya
 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. はじめに

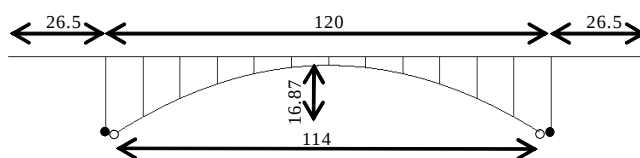
現行の道路橋示方書は，大部分の構造物に対して動的解析に基づく耐震設計を要求している．しかし，時間および労力の観点から，耐震設計の初期段階において，地震時保有水平耐力法のような静的解析に基づく設計法により断面決定できることが望まれる．保耐法の基礎となるエネルギー一定則の適用性に関しては，鋼製橋脚（単柱およびラーメン）¹⁾ および上路式鋼アーチ橋の面外方向²⁾を対象とした検討結果が報告されている．そこで本研究では，上路式鋼アーチ橋の面内応答を対象に，エネルギー一定則の適用性を明らかにすることを目的とする．

2. 解析モデル

解析対象はアーチのライズ比およびアーチリブ間隔の異なる 6 種類の上路式鋼アーチ橋である．図 - 1 に基本となるモデル 1 の形状，寸法および支持条件を示し，表 - 1 には全解析モデルの構造パラメータを示す．モデル 2～4 はアーチのライズ比の影響を，モデル 5・6 はアーチリブ間隔の影響を調べるために設定したモデルである．モデル 1～4 は 2 車線，5 は 3 車線，6 は 4 車線となっている．表 - 2 に各モデルの主要モードの固有値解析結果を示す．いずれのモデルにおいても，各部材の断面寸法は鋼アーチ橋の概略設計プログラムを用いて決定した．

3. 検討方法

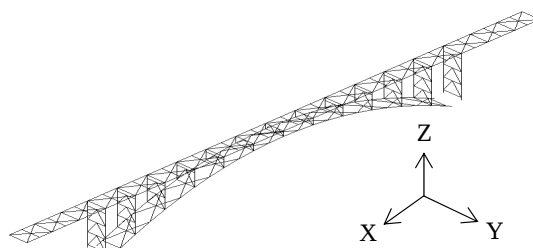
各モデルに対して，Pushover 解析および弾性動的解析の結果にエネルギー一定則を適用して得られる弾塑性応答時の最大応答変位と弾塑性動的解析によって得られる最大応答変位を比較することにより，エネルギー一定則の適用性を検討した．面内方向の Pushover 解析における荷重パターンについては，面内の固有振動モードに比例させたパターン等，いくつかのものを試したが，最終的に最も簡単で，動的解析における変形モードを最もよく再現した，スパン中央の節点のみに荷重を加えていくパターンを採用した．図 - 2 に動的解析と Pushover 解析とで補剛桁の変位分布を比較して示す．動的解



(a) 寸法(m)

	Dx	Dy	Dz	θ_x	θ_y	θ_z
—	自由	固定	固定	自由	自由	自由
○	固定	固定	固定	自由	自由	自由
●	固定	固定	固定	固定	自由	固定

(b) 支持条件



(c) 形状

図 - 1 解析モデル 1

表 - 1 全解析モデルパラメータ

	ライズ比	アーチ リブ間隔 (m)
モデル 1	0.15	6.0
モデル 2	0.20	6.0
モデル 3	0.30	6.0
モデル 4	0.40	6.0
モデル 5	0.15	9.5
モデル 6	0.15	13.0

表 - 2 主要モードの固有値解析結果

	固有振動数 (Hz)	有効質量(%)	
		x	z
モデル 1	0.788	20.03	0
	3.197	0	46.60
モデル 2	0.744	35.09	0
	2.745	24.85	0
モデル 3	0.785	55.94	0
	3.308	11.79	0
モデル 4	0.580	67.68	0
	2.460	3.41	0
モデル 5	0.811	22.16	0
	3.267	0	48.42
モデル 6	2.238	55.26	0
	3.012	0	49.94

析に用いた入力地震波は、兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された N-S 方向加速度記録を、周波数領域で振幅調整した 種地盤用レベル 2, タイプ 2 の標準波である。しかし、この地震波では塑性化しなかったため、入力地震波を係数倍 (1.7, 2, 2.5, 3.5, 5 の 5 種類) して用いることとした。弾塑性動的解析における鋼材の構成則として、塑性域の傾きが弾性域の 0.01 とするバイリニア型の移動硬化則を使用し、減衰定数を 0.03 とする Rayleigh 減衰を使用した。動的解析条件として、Newmark β 法($\beta=0.25$)を使用し、積分時間間隔を 0.01 秒、継続時間を 15 秒とした。解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MSC.Marc を用いた。

4. 結果

表 - 3 にモデル 1 の解析結果を示す。 d_{DE} と d_{DP} はそれぞれ弾性および弾塑性応答解析における最大応答変位、 d_{SP} はエネルギー一定則に基づき推定した弾塑性応答時の最大応答変位、 $\mu_E (=d_{SP}/d_y)$ ただし d_y : 降伏変位) は応答塑性率である。標準波を除くすべての場合において、弾性最大応答変位は弾塑性最大応答変位よりも大きくなっている。これは、対象としたアーチ橋の複雑な挙動のためと考えられる。また、エネルギー一定則による推定値と弾塑性動的応答解析の結果との比 d_{SP}/d_{DP} はすべて 1 以上であり、推定された弾塑性最大応答変位の方が大きくなっている。図 - 3 には、同じ入力地震波 (L2.t211) に対するモデル 1 の d_{SP}/d_{DP} と μ_E との関係を示す。 μ_E の増加に伴って d_{SP}/d_{DP} は大きくなっている。これらのことから、エネルギー一定則による弾塑性最大応答の推定は安全側となるが、場合によっては過度に安全側の推定値を与え、その精度が応答塑性率の増加とともに低下する傾向にあるということがいえる。これらの結果は上路式鋼アーチ橋の面外振動における知見と同様であり、面内振動においても、 d_{SP}/d_{DP} と μ_E との相関関係を用いた補正関数により、エネルギー一定則による最大応答の推定精度が向上できる可能性があると考えられる。

5. 結論

本研究では、上路式鋼アーチ橋の面内振動に対しても、最大応答変位推定法としてエネルギー一定則は適用可能であるが、場合によっては過度に安全側の結果となる可能性があることを示した。今後、パラメータを変化させたモデル (モデル 2~6) それぞれに対して入力地震波を変化させた同様の解析を行うことにより、結果の一般性を確認するとともに、エネルギー一定則による弾塑性最大応答変位の推定精度向上のための検討を行っていく予定である。

参考文献 1) 伊田義隆, 中村聖三, 高橋和雄: 鋼製門型ラーメン橋脚の弾塑性最大応答変位の簡易推定法, 鋼構造年次論文報告集, 第 8 巻, pp.277-284, 2000.11 2) O. T. Cetinkaya, S. Nakamura, K. Takahashi and Q. Wu: Applicability of equal energy assumption to the out-of-plane response of steel arch bridges, 鋼構造年次論文報告集, 第 12 巻, pp.17-24, 2004.11

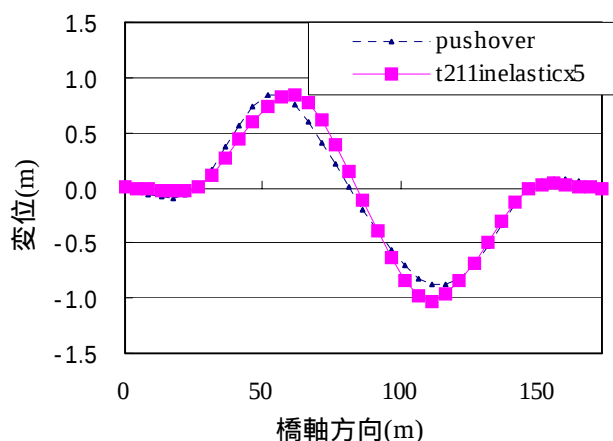


図 - 2 変位分布の比較

表 - 3 解析結果 (モデル 1)

地震波	d_{DE}	d_{DP}	d_{SP}	μ_E	d_{SP}/d_{DP}
L2.t211	0.255	0.255	0.255	0.680	1.000
L2.t211x1.7	0.424	0.423	0.427	1.139	1.010
L2.t211x2	0.495	0.493	0.499	1.331	1.012
L2.t211x2.5	0.620	0.599	0.632	1.685	1.060
L2.t211x3.5	0.867	0.749	0.941	2.509	1.256
L2.t211x5	1.216	0.847	1.600	4.270	1.889

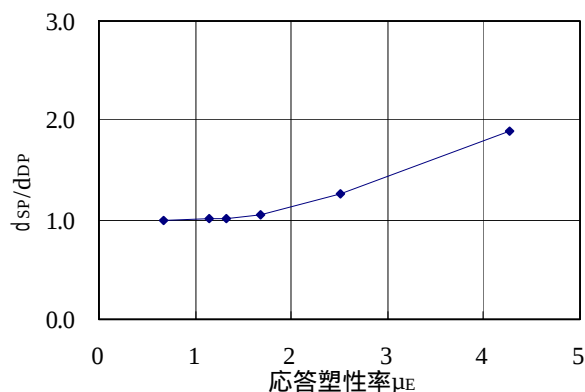


図 - 3 d_{SP}/d_{DP} - μ_E 関係