

振動台実験による上路アーチ橋の動的特性の把握と地震時不安定の照査

九州大学大学院工学府 学生会員 ○上村 龍成 九州大学大学院工学府 学生会員 川崎 啓史
(株)構造計画研究所 正会員 為広 尚起 九州大学工学研究院 フェロー 大塚 久哲

1. 目的

人が設計し、組み立てた構造物は、外乱によって不安定現象を伴うことがある。特に地震時の座屈現象に関しては、現在明確な判断指標がなく、その判断は大変形の有無などにより定性的に行われている。本研究では、振動台を用いて上路アーチ橋の動的特性を把握するとともに、座屈判定に対する定量的な指標として提案されている、座屈固有値を用いた動的解析を行うことにより、それが実際のアーチ橋モデルに対して有効な判定基準となりうるかどうかを検討した。

2-1. 実験概要

(1). 実験供試体

図-1 に、本研究で用いた上路アーチ橋供試体を示す。アーチ支間は 870mm,全幅員は 103mm, 最大橋脚長は 200mm である。材質はアルミで、ヤング率は 7.00×10^7 (kN/m²), せん断弾性係数は 2.60×10^7 (kN/m²) である。重量は 0.025kN, 降伏応力は、最も外側の左右の鉛直材のみ 55MPa で、その他の部材は 50MPa である。ひずみゲージは、各設置断面に対し、4 面に貼付けた。

(2). 実験手法

図-2 のように合計 0.196kN のおもりを載せ、振動台に固定した供試体に、加速度が 15 秒で最大になり、30 秒で 0 に戻る、5Hz, 10Hz, 30Hz の正弦波を、橋軸、橋軸直角、鉛直、橋軸+鉛直、橋直+鉛直の 5 パターン加えた。その後、2 度構成部材を切断して、供試体に変更を加えていき、最終的に図-3 に示すものを用いて実験を行った。また、ハンマリング試験により固有振動数を測定した。

(3). 実験結果

表-1 にハンマリング試験結果を、図-4 に、case2 において 10Hz-最大加速度 638gal の入力波を橋軸直角方向に加えたときの鉛直材下端(図-3 中の赤丸部分)の軸ひずみ時刻歴を示す。このケースでは大きな軸ひずみが発生したが、これは、表-1 に示した固有振動数が入力波の振動数と近かったためであると思われる。図-4 の最小軸ひずみの大きさは、-709 μ であり、この部材の降伏ひずみである 786 μ を超えてはいないが、図-5 に示すように、曲げによる塑性化のため、振幅の中心が、徐々にマイナスの方向に変化しており、最終的には残留ひずみが見られる。しかし、オイラー式から算出した座屈時のひずみは約 56000 μ となり、座屈までは至っていない。また、曲げひずみに関しても同様に、塑性化してはいるが変形や破壊などは見られず、不安定状態には達していないといえる。その他の加振パターンやケースでも同じように、不安定現象は見られなかった。



図-1 実験供試体(case0)



図-2 実験供試体(case0,おもり載荷状態)



図-3 実験供試体(case2)

表-1 ハンマリング試験結果

	固有振動数(Hz)	
	case0	case2
橋軸方向	59.2	47
橋直方向	25	12

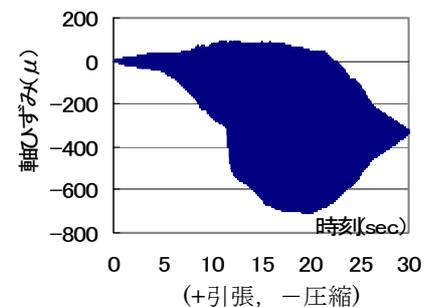


図-4 軸ひずみ時刻歴

キーワード 座屈, 座屈固有値, アーチ橋, 不安定, 動的解析
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL 092-802-3374

2-2. 解析概要

(1). 解析モデル・解析手法

case0, case1, case2 の解析モデルは図-6 に示す通りである。支
 承部はピンとし、橋軸方向回転のみ許した。

このモデルに対し、幾何学的非線形を考慮した動的座屈固有
 値解析を行った。解析手法は Newmarkβ 法 (β=0.25) であり、積
 分時間間隔は 0.0001 秒、減衰は剛性比例減衰とした。入力波に
 は振動台上で計測されたものを用いた。今回用いた固有方程式
 は以下に示すものであり、0.001 秒ごとに、この固有値解析を挿
 入している。

$$([{}_pK_v] + [{}_pK_g] + \lambda_b [\Delta K_g]) \{u\} = \{0\}$$

[${}_pK_v$]: 前 STEP 平衡点の材料剛性マトリックス

[${}_pK_g$]: 前 STEP 平衡点の幾何剛性マトリックス

[ΔK_g]: 前 STEP の初期増分応力による幾何剛性の増分係数

λ_b : 座屈固有値, $\{u\}$: 座屈モードベクトル

$\det([K_m] + [K_g]) = 0$ で座屈発生, このとき $0 \leq \lambda_b \leq 1$ となる。

(2). 解析結果

表-2 に case2 モデルの固有値解析結果を、図-7 に、 case2 にお
 いて 10Hz-最大加速度 638gal の入力波を橋軸直角方向に加え
 たときの座屈固有値解析結果を示す。この時の最小座屈固有
 値は 2530 であり、座屈の危険性はほとんどない。

(3). 実験結果と解析結果の比較

座屈固有値時刻歴と実験から得られたひずみを比較する。

図-4 の拡大図を、図-8, 図-9 に示す。

図-7 から、4 秒あたりで座屈固有値が一時極小値を取り、8
 ~9 秒で座屈固有値が急激に減少し、さらに、10 秒を少し過
 ぎたあたりでも、座屈固有値の急激な変化が見られる。この
 点に注目して図-8, 図-9 を見てみると、4 秒を過ぎたあたりで振
 幅の中心が変化しており、8~9 秒、11~12 秒では振幅が増大し
 ている。また、それ以降は、座屈固有値の緩やかな減少に伴い、
 ひずみの振幅も徐々に増加している。これらのことから、座屈
 固有値は、構造物の変化の増大を評価する一つの指標となりう
 ると言える。

3. 結論

以上の結果から、アーチ橋モデルに対して、座屈固有値は有
 効な判定基準となりうる事が確認された。

また、部材数を減らしていくにつれ、ひずみは大きくなり、
 鉛直方向加振による揺れが大きくなっていった。さらに、部材
 数が減少していくにつれ、橋軸直角方向の固有振動数の著しい
 低下も見られた。

参考文献

大塚久哲, 為広尚起: 地震時の構造不安定とその照査法, 九州大学出版会, 2008. 4

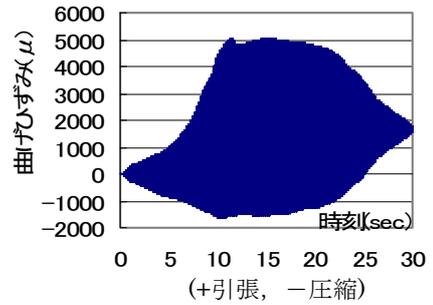


図-5 曲げひずみ時刻歴

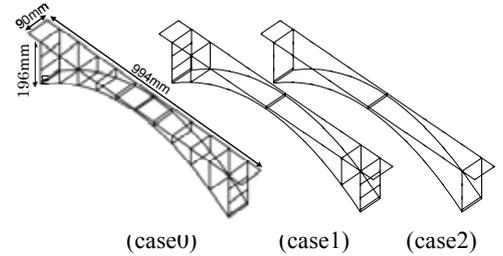


図-6 解析モデル

表-2 固有値解析結

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	有効質量比		
			X	Y	Z
1	0.0647	15	0	0.982	0
2	0.0428	23	0	0	0
3	0.0238	42	0	0.001	0
4	0.0223	45	0.247	0	0.001
5	0.0213	47	0	0.052	0.73
6	0.0149	67	0.657	0	0

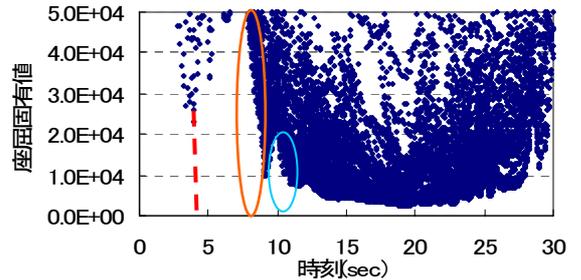


図-7 座屈固有値解析結果

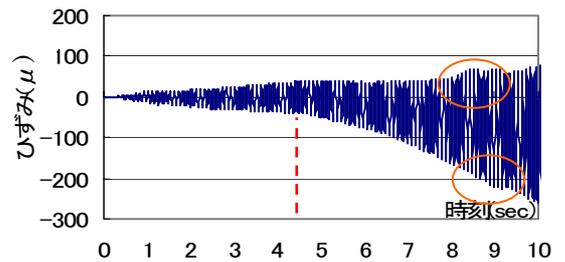


図-8 面外軸ひずみ時刻歴

(0~10 秒)

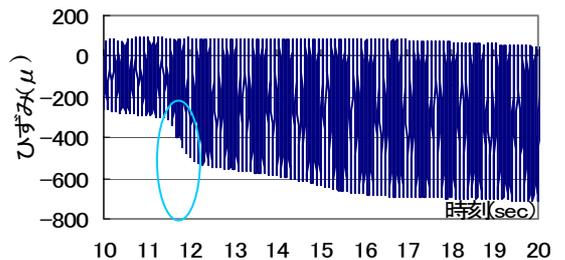


図-9 面外軸ひずみ時刻歴

(10~20 秒)