

座屈による構造不安定の照査法

九州大学工学部 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、環境によって不安定現象を伴うことがある。このうち、地震時の座屈現象に関しては、現在明確な判定基準がなく、判断は大変形の出現などにより定性的に行われている。しかし、定性的な評価方法では、評価者の主観が入ったり、また、実際に現象を伴わない危険な状態までの余裕を判定できない。そのため、本研究では、座屈固有値という指標を用いた動的解析と実験を比較・検討することにより定量的な判定基準を設けられるかどうかを確認する。

2. 解析概要

2-1. 解析モデル詳細

本研究では、図-1 に示すアーチ橋模型(case1)に対して解析を行った。主に、次に示す2つのパターンに分け、解析を進めた。

A. 部材の連結部を、以下に示す2パターンに分け、それぞれ解析を行った。

<case1-1>・・・部材同士の結合部に剛域を設定しないモデル。

<case1-2>・・・部材同士の結合部に、各部材方向1cmの剛域を設定したモデル。

B. B 節点モデルにおいて、図-1 の垂直材、アーチリブ横構、補剛桁横構の一部を抜き取り、図-2、図-3 のとおりにモデルを変更し、解析を行った。以下、順に case2, case3 モデルとする。

材質は、ヤング率 $E=7.0 \times 10^7$ (kN/m²) のアルミであり、モデルの中間部分の垂直材のみ中空断面である。

2-2. 解析手法

図-4 の通りにおもりを載荷したアーチ橋モデルに、振動数 30Hz-最大加速度 500gal の正弦波(図-5)の入力波を橋軸直角方向に 30 秒加え、動的解析を行った。解析手法には、Newmark β 法 ($\beta=0.25$) を用い、積分時間間隔は 0.001 秒とし、減衰は剛性比例減衰とした。その際、支承部をピン結合とし、橋軸直角方向まわりの回転のみ許した。また、ここでは座屈固有値という指標を用い、この値が 1 に近づくほど危険状態に近づき、1 以下になると座屈が生じるという考え方にに基づき解析を行った。

2-3. 解析結果

A. case1-1, case1-2 において、それぞれ座屈固有値解析を行った。その結果を、順に、図-6、図-7 に示す。縦軸が座屈固有値である。(座屈固有値が現われていない時間帯では、座屈固有値はマイナスになっており、この場合、構造物は危険状態にはないと考えている。)

これらから、case1-1 では座屈判定が出ているが、case1-2 では座屈判定が出ていないことが分かる。このことから、結合部の変化で、座屈判定にも大きく影響が出ていることがわかる。

B. case2, case3 モデルにおいて、それぞれ解析を行った。これらの場合の節点は case1-2 と同じである。その結果を、図-8、図-9 に示す。

これらの図から、case2 モデルよりも、case3 モデルの最小座屈固有値の方が 1 に近づいていることが分かる。これは、case2 モデルのほうが危険な状態に近づいていることを表しており、部材がなくなった分だけ座屈に対する強度が低下していると考えられる。また、どちらのモデルも、入力加速

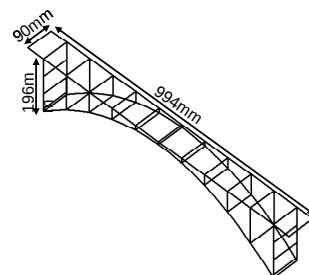


図-1 アーチ橋模型
(case1)

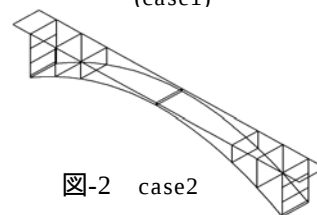


図-2 case2

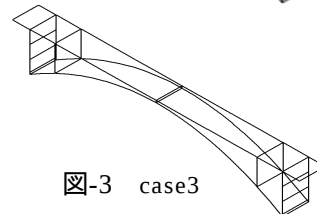


図-3 case3

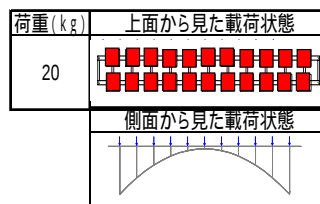


図-4 載荷状態

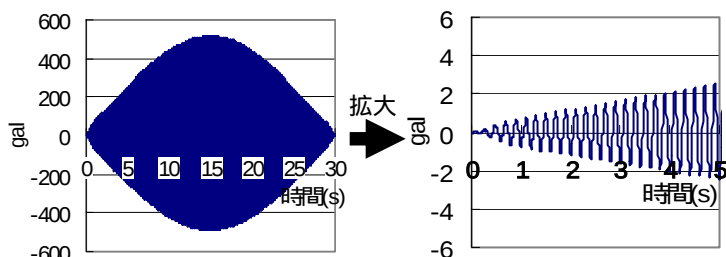


図-5 入力波形

度が最大になる 15 秒に近づくにつれて座屈固有値が小さくなっていることも確認できる。

3. 実験概要

3-1. 実験モデル・手法

今回の実験で用いた供試体は, case1-2 と考えられる。図-10 に供試体の写真を掲載した。この供試体を振動台に固定し, 解析で用いた入力波(図-5)を 30 秒間加え, そのひずみを測定した。これを, case1 モデル, case2 モデル, case3 モデルの順に行った。

3-2. 実験結果

構造物の変形なども含め, どのモデルでも座屈現象は見られなかった。これは, 先ほど示した解析結果(図-7, 図-8, 図-9)と一致する。

また, 図-11 に, case2 モデル解析から得られたモード図を示した。Case3 モデルでも同じようなモード図が得られたので, 最長鉛直材の部材中央のひずみ量の時刻歴を図-12, 図-13 に示す。

これらの図から, case3 の方が軸ひずみ量の最大値が大きくなっていることが分かる。この結果からも, case3 モデルの方が, 座屈に対して脆くなっていると言える。これも, 図-8, 図-9 に示す解析結果と一致する。

最後に, case2 モデルにおいて解析から得られた鉛直材のひずみ量の時刻歴と, 実験から得られたひずみ量の時刻歴を比較する。図-14 に示したとおり, 最大値, 最小値には多少のずれはあるが, グラフの形や, 最小値に達するまでの時間は, ほぼ一致している。このことから, この供試体に対する解析モデルの妥当性も示された。

4. まとめ

以上より, 解析結果から得られた, 「座屈しない」という結果が実験によって確認できた。また, 解析で確認された, モデルの変更や入力加速度の増加による座屈固有値の増減も, 実験では, ひずみ量の増減と比較することで, 実際に確認することができた。これらのことから, 現段階では座屈固有値という指標は有効であるといえる。今後は, 実際に実験で座屈する供試体を作成し, 実験と解析の比較を行っていく。

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

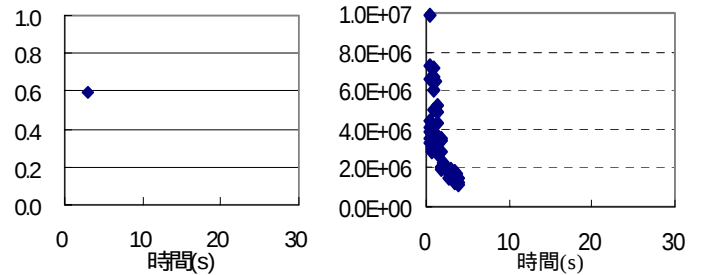


図-6 case1-1

図-7 case1-2

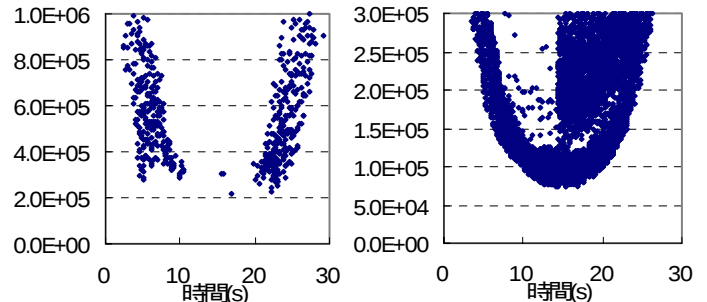


図-8 case2

図-9 case3

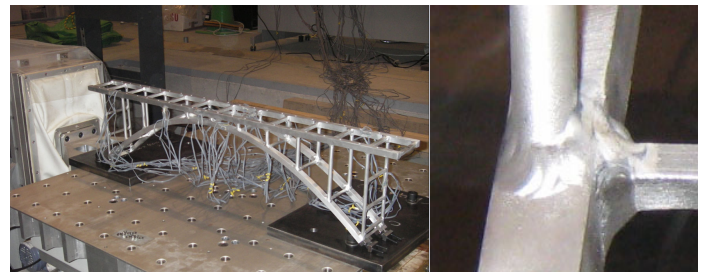


図-10 振動台上の供試体, 結合部

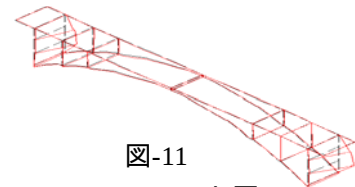


図-11

case1-2 モード図

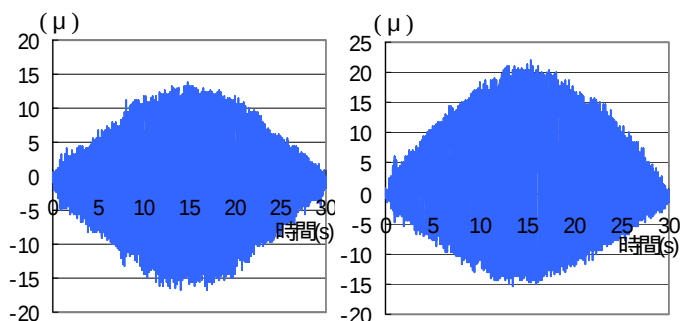


図-12 case2 のひずみ

図-13 case3 のひずみ

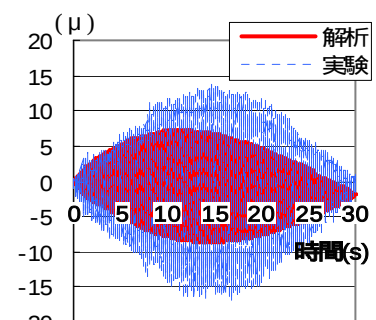


図-14 case2 実験値・解析値比較