

フラッタ現象の非線形数値解析及び離散力学

東京三菱銀行ジャカルタ支店
広島大学
広島大学

学生員 Ronny
正会員 ○ 有尾 一郎
正会員 藤井 堅

1. はじめに

近年、橋梁技術の著しい進歩により橋梁の大規模・長大化が進展し、斜張橋と吊橋構造が数多く採用されてきた。しかし、長大橋梁は風荷重の影響を受けやすく、フラッタ現象に代表される不安定な振動問題に直面するため、断面設計の際には耐風安定性の向上が最も重要な課題とされている。フラッタ現象の発生機構に関する解析アプローチは非常に少なく、多くの研究は空力特性を忠実に再現するために風洞実験が行われてきた¹⁾。通常の線形応答解析法は非線形が強いフラッタ現象に適用できないため、フラッタ現象の発生機構に関する基礎研究が大変重要である。

本研究は非線形数値解析と離散力学の概念を用いて、フラッタ現象の振動応答を追跡し、その特性を検討することを目的とする。すなわち、時間で運動方程式の解を離散化することによって、繰返し計算で非線形微分方程式を解くことにより、振動応答の追跡が可能となる。さらに、分岐ダイアグラムと解析結果を比較・検討し、フラッタ現象の再現性・傾向などの類似性を得た。

2. 実験概要及び結果

一様流れ場における剛体-回転ばねモデルにフラッタ現象を再現し、振動応答を測定する。実験は長さ 10m、幅 60cm、深さ 15cm、勾配 1/1,000 の長方形断面の総アクリル開水路で行い、上流側にハニカムを設置し、整流を行った。図 1 に示すように、供試体は円柱型プラスチック(直径 3.3cm、高さ 5cm)、木材の剛棒(長さ 13.2cm)と薄いアクリル板ばね(長さ 5cm)からなる。供試体は図 2 のように流体力によって回転角 θ が回転するようにした。また、流れを可視化し、円柱の振動角度をビデオカメラで撮影した。ビデオの画像を 1 秒間に 30 静止画像フレームにし、角度応答を測定し、角速度及び角加速度応答は線形近似で求めた。流速を表 1 のように変化させ、その時の振動応答は図 3 の結果となった。

3. 解析結果

本解析は外力を抗力のみが作用し、抗力係数 C_D が振動角度 θ のみによって変化すると考えた。実験結果の振動応答及び材料特性から抗力係数を逆算し、Lagrange 補間法で角度の実験値を用いて、抗力係数を評価した。この抗力係数を用いた運動方程式

$$k\theta + c\dot{\theta} + I\ddot{\theta} = \frac{1}{2}C_D A v^2 l \theta$$

を Runge-Kutta 法より数値的に解いた。実験及び解析結果

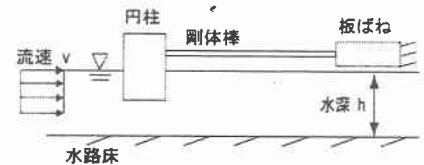


図 1 実験供試体側面図

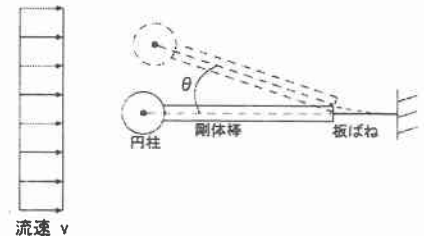


図 2 実験供試体平面図

表 1 実験条件

ケース	水深(cm)	流速(cm/s)	Re数
1	8.5	6.4	2200
2	7.7	7.1	2441
3	3.4	16.1	5534
4	2.5	21.9	7528

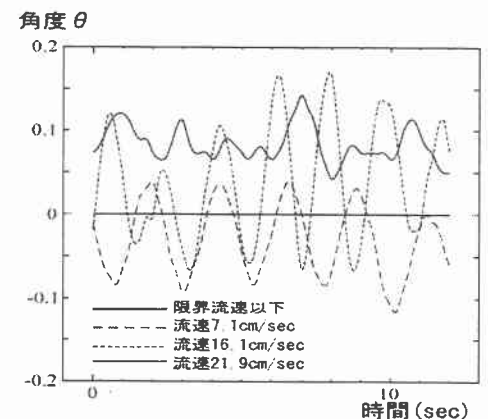


図 3 振動角度応答

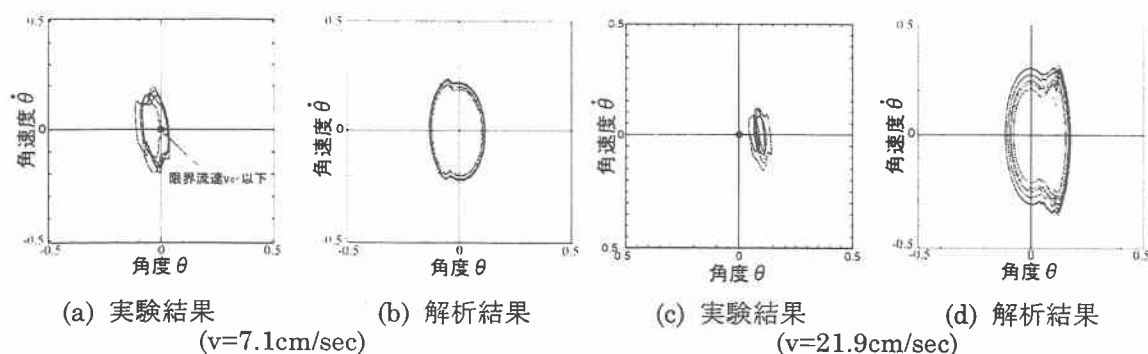


図4 実験と解析結果の比較

より、限界流速以下では部材がほぼ静止状態となり、限界流速を超えると、振動応答の分岐現象の発生が確認された。角度と角速度の関係を表す軌跡図を用いて、実験結果及び解析結果を図4に示す。抗力係数と角度応答の関係を比較すると、図5に示すように振動応答によって抗力係数が大きく変化するが、この抗力係数の中に様々な流れ特性が含まれると考えられる。低流速域では抗力係数が周期関数となるが、高流速域ではその周期性が失われた。本解析の結果(ケース2)は実験結果の振幅及び収束性を再現できた。しかし、ケース4の結果は角度の実験値が既に左岸方向に向いたため、その範囲外の抗力係数を十分評価できなかった。このように直接数値解析でも、解析結果の角速度応答は不十分であることが分かる。

4. 離散力学アプローチによるフラッタ解析

運動方程式を直接解く事は非常に困難であるため、離散力学概念の分岐理論からフラッタ現象の動的不安定考察を試みた。動的荷重が本研究のモデルに作用する時の非釣り合い状態から出発し、反復収束の状態を釣り合い状態と考え、 $k\theta - P\sin\theta = 0$ から無次元荷重 $\lambda = P/P_{cr}$ を導いている²⁾。

本研究では流速パラメータを $\lambda = v/v_{cr}$ とし、釣り合い式を離散化することより、反復式 $\theta_{i+1} = \lambda \sin\theta_i$ が得られた。この式の201-300

回目の反復計算結果と実験結果の比較を図6に示す。この結果より限界流速での分岐が見られ、その非線形の相似性が現れた。但し、高流速域では解の分岐が広がったが、実験ではそれらの解分布の全てを得られなかった。しかしながら、分岐ダイアグラムからフラッタ挙動を予測できる可能性は大きく、工学的には有意義な結果を得た。

5. 結論

離散力学的概念や水路実験及び数値解析を通して、振動応答の分岐現象及び複雑な挙動となるフラッタ現象を再現できた。実験と解析結果の比較より、低流速での抗力係数の変化より流れ特性を把握できたが、高流速域では流れ特性の評価が非常に困難となった。離散力学を用いて検討すると、実験結果とスケール異なるものの、分岐及び乱れ挙動の傾向の類似性が見られた。今後の高流速域での振動応答に関する研究にも、離散力学を更なる検討が必要と考えられる。

6. 参考文献

- 1) 宮田 利雄：超長大化新形式橋梁の実現化とその耐風安定性，土木構造・材料論文集第13号 pp.1-12, 1997
- 2) 青木 真人：離散力学アプローチによる分岐座屈解析，土木学会中国支部研究発表会発表概要集，2000

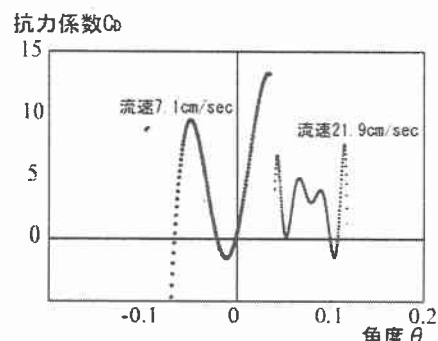


図5 抗力係数-振動応答の関係

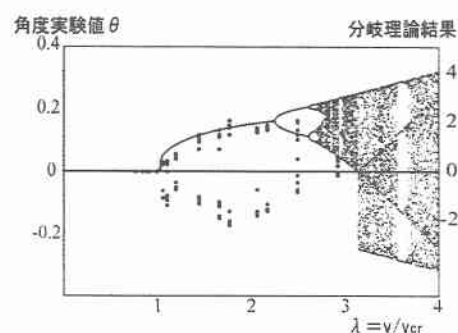


図6 流速と角度のカオスの推