

関西大学総合情報学部 正会員 古田 均
 関西大学大学院 学生員 ○大島正資

関西大学工学部 正会員 堂垣正博
 (株)矢作建設工業 東 伸治
 関西大学工学部 フェロー 三上市藏

1. まえがき

長支間の斜張橋では、ケーブルのレインバイブレーションをはじめとして、桁構造の渦励振やギャロッピングなど、風による振動現象がしばしば問題になる。そのため、斜張橋のケーブル振動を抑えるため、ダンパーの設置や制振ロープによるケーブルの連結などの方法による制振対策が施されている。

ところで、近年、カオスと呼ばれる現象が注目されつつある。カオスは、非線形振動において、ある限定された場合に起こる特異な現象ではなく、広く自然界でみられる普遍的な現象である。その研究がさまざまな工学分野で盛んに行われ、応用されようとしている。ここでは、斜張橋形式の天保山大橋で観測された風速とケーブルの振動加速度のデータを利用し、風そのものとそれによって生じるケーブル振動にカオス性が現れるかどうか検討した。

2. 天保山大橋における観測データ

天保山大橋は、阪神高速道路大阪湾岸線が安治川河口部を渡河する区間に架けられた橋長640m(170m+350m+120m)、塔の高さ152m、ケーブル長は73~186mのマルチケーブル斜張橋である。天保山大橋の斜張橋ケーブルでは動態観測が行われ¹⁾、平均風速10m/sec付近の雨まじりの風条件下でレインバイブレーションの発生が確認された²⁾。その結果、ケーブルの制振対策にオイルダンパーが用いられた。

ところで、天保山大橋では風とそれに伴うケーブルの振動が、図-1に示す観測点において、平成2年9月19日の22時48分に観測されている。その風のデータによれば、最大風速28.0m/sec、平均風速17.0m/sec、主流方向の乱れ強さは21.8%であった。

本研究では、観測された風速変動およびケーブルの振動加速度の10分間のデータのうち、最初の1分間(3000個)のデータを取り出し、風のカオス性を調べる。

3. リアプノフ指数と風とケーブル振動のカオス性

観測データの風やケーブルの振動にカオス性が現れるかどうかを判定する方法には、種々の方法があるが、ここではリアプノフ指数を用いてカオス性を判定する³⁾。リアプノフ指数とは、相空間内のある2つの接近した軌道が時間の経過とともに離れていく程度を表す量である。ある系において、このリアプノフ指数を計算し、その値が正であれば、接近していた相空間内の2点の軌道は次第に離れていき、その時間的发展は初期の値に大きく関わってくることになる。これはカオスの特徴である軌道不安定性および初期値鋭敏依存性を有しており、この系の中にカオス性が存在することになる。

観測データに基づき、風速の変動とケーブルの振動加速度を時間とともに表せば、図-2の(a)と(b)の時系列データを得る。それらの時系列データを用い、時間間隔が $s=0.02$ 秒と0.04秒の場合に対して、埋め込み次元が2次元から30次元までのリアプノフ指数を求めると、図-3の(a)と(b)を得る。

図-3(a)から明らかなように、風速に対するリアプノフ指数は、埋め込み次元を変化させても常に正の値をとる。また、埋め込み次元とともにある一定の値に収束する傾向にある。リアプノフ指数だけの検討から結

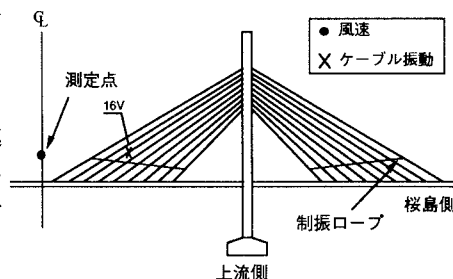


図-1 天保山大橋における風速計およびケーブル加速度計の設置位置

論づけることになるが、この時系列データを生み出した風の振る舞いにはカオスの特徴である軌道不安定性およびそれに伴う初期値に対する鋭敏な依存性が存在しているがわかる。すなわち、風のカオス性は風速や乱れには何ら関与することなく、その挙動の中に存在することを示している。

ケーブルの振動加速度データは図-2(b)に示すものである。このデータに対し、リアプノフ指数を風速の場合と同様に求めると、風と同時に観測されたケーブルの振動加速度データに対するリアプノフ指数が図-3(b)のように得られる。図から明らかに、風速と同様、ケーブルの振動加速度に対するリアプノフ指数は、常に正の値をとり、かつ、埋め込み次元とともに一定の値に収束する傾向にある。このように、風の作用を受けるケーブルの挙動にもカオス性の存在が示された。

上述のほかに、平均風速が12.9m/secの比較的ゆるやかな風から20m/secを超える強い風、また、乱れ強さも9.7%から23.7%のさまざまな風速やそれに伴うケーブルの振動に対しても同様の計算を行った。いずれの場合も図-3の(a)と(b)に示すような結果を得た。

4. あとがき

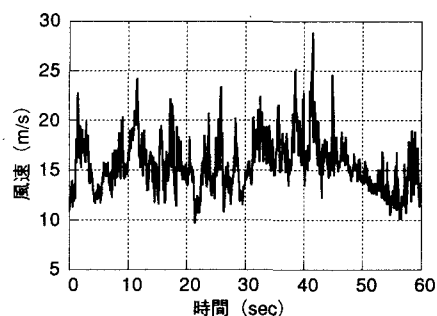
本研究では、天保山大橋で観測された風速の変動とケーブルの振動加速度の時系列データを利用し、それらのカオス性について検討した。カオスの一判定方法であるリアプノフ指数で評価したところ、風とケーブルの振動にはカオス的な現象が現れていることがわかった。

しかしここでは、カオス性をリアプノフ指数のみを用いて判定したが、ほかにもカオス性を判定する方法がある。今後、他の判定方法でも風とケーブルの振動に現れるカオス性を検討するとともにケーブル振動の解析を行い、ケーブル振動のカオス性を利用した制御が可能かどうかを検討したい。

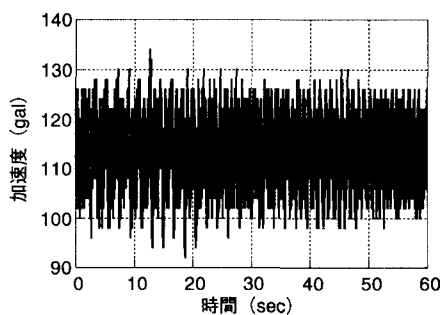
最後に、本研究を遂行するにあたり、貴重な資料の提供と的確な御助言を頂いた(株)ニチゾウテックの南條正洋博士に心より感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 安治川橋梁ケーブル・桁振動動態観測業務報告書，日立造船，1989-1991.
- 2) 森 喜仁・石飛太郎・南條正洋：天保山大橋のケーブル振動とその対策，第12回風工学シンポジウム論文集，pp.273-278，1992.
- 3) 長崎弘幸・馬場良和：カオス入門，培風館，1992.

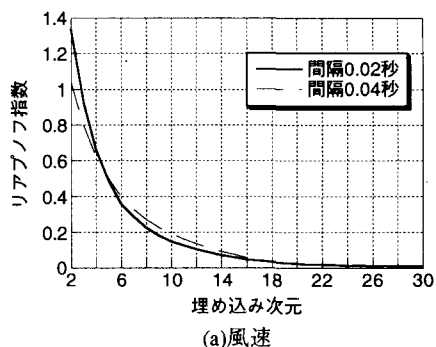


(a) 風速

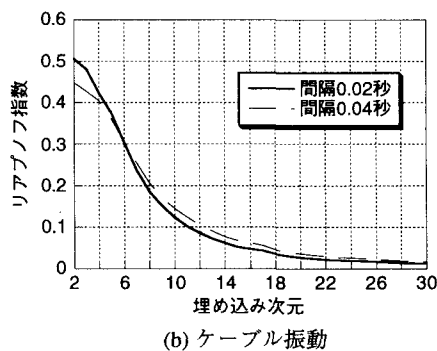


(b) ケーブル振動

図-2 風速およびケーブル振動の時系列データ



(a) 風速



(b) ケーブル振動

図-3 風速およびケーブル振動のリアプノフ指数