

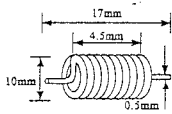
京都大学 ○学生員 泉 一也 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
電源開発(株) 正会員 金村 宗 住友重機械工業(株) 正会員 大東 義志

1. はじめに 近年、斜張橋ケーブルの空力弾性挙動に関する耐風安定性が重要な問題となっている。斜張橋ケーブルの空力弾性挙動は非定常な現象であり、従来なされてきた剛体模型による研究では捉えきれない現象もある。本研究はこの点に着目し、弾性体模型を用いた風洞実験及び解析を行い、現象の体系化、発生メカニズムの解明を目的とするものである。

2. ウェーブレット解析 時系列データから特定の振動数を抽出し解析を行うには、フーリエ変換を用いた解析が一般的な方法であるが、フーリエ変換では、特定の時刻に関する情報が欠落する。この点を補う手法がウェーブレット解析である。ウェーブレット変換は時系列データとウェーブレット関数系の畳み込み演算で表現され、時間と振動数のパラメータを変化させることによって、時系列データ中の特定時間におけるスケール即ち振動数の逆数を連続的に捉えることができる。また本研究ではウェーブレット関数として、時間・振動数領域で局在化の優れているMorletのウェーブレットを用いた。ウェーブレット関数 $\phi(t)$ 、スケールパラメータを a 、時間シフトを b 、 $2\pi=k_0$ とし、時系列データを $S(t)$ とし、そのウェーブレット変換を $W(a, b)$ で表すと、以下のようになる。

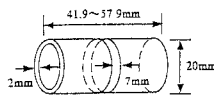
$$w(a, b) = \frac{1}{a^{1/2}} \int_{-\infty}^{\infty} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) s(t) dt \quad \phi(t) = \exp(ik_0 t) \exp\left(-\frac{|t|^2}{2}\right)$$

3. 弾性体ケーブル模型実験概要 実験に用いた模型は図1に示すバネ径10mm、長さ4.5mmのバネを心材に用い、図2に示す直径20mm、長さ41.9~57.9mmの木製円筒を外形材として構成された1つの要素を45個、薄いゴム膜でつなげたもの(図3)であり、長さ2.45m、1次モードの固有振動数1.28Hz、対数減衰率0.01である。模型姿勢を鉛直面内傾斜角 $\alpha=45^\circ$ 、水平面内風向偏角 $\beta=0^\circ$ 、模型全体を風路内に入れた状態(図4)で、自由振動実験を行った。また模型下端のコの字型エレメントに貼り付けられた抵抗線歪みゲージによる張力変動を歪位として検出した。



Spring Constant: $k=72.9\text{kg/s}^2$
Weight: 4.3g/unit

Fig.1 Shape of Coil Spring



Weight: $2.9\sim3.9\text{g/unit}$

Fig.2 Shape of Cable Segment

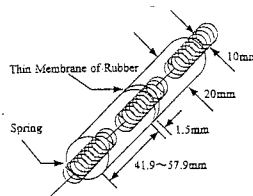


Fig.3 Elastic Cable Model

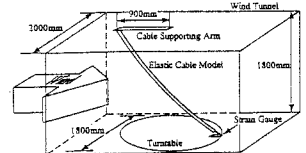


Fig.4 Apparatus for Dynamic Test

4. 解析結果 風速 $V=0.41, 0.78, 2.48\text{m/s}$ の場合の解析結果を図5~図7に示す。 $V=0.41\text{m/s}$ (図5)の場合振動数 $1/\lambda=1.28\text{Hz}$ にスペクトルピークがあり、1次モードの渦励振を表している。同様に、 $V=0.78\text{m/s}$ (図6)の場合、振動数 $1/\lambda=3.84\text{Hz}$ にスペクトルピークがあり3次モードの渦励振を表している。 $V=2.48\text{m/s}$ (図7)の場合、振動数 $1/\lambda=11.6\text{Hz}$ にスペクトルピークがあり9次モードの渦励振を表している。このことから1つの定常的なスペクトルピークが存在する場合、その風速におい

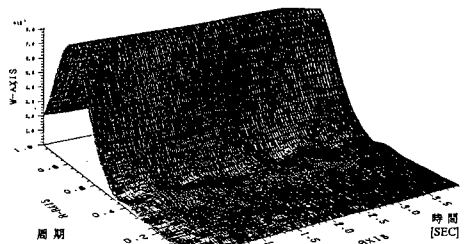


Fig.5 $V=0.41\text{m/s}$

てケーブル後流に放出されるカルマン渦の渦放出周波数がケーブルの各モードにおける振動数とほぼ一致したとき同期現象が起こっているものと考えられる。次に風速 $V=1.14, 1.51, 1.99\text{m/s}$ の場合の解析結果を図8～図10に示す。風速 $V=1.14\text{m/s}$ (図8) では振動数 $1/\Lambda=5.76\text{Hz}$ にスペクトルピークがあり4次モードと5次モードの中間に位置しており、うねりの周波数はビートの振動数 1.28Hz と一致するため、ビート振動であることがわかる。また $V=1.51\text{m/s}$ (図9) では6次モードと7次モード、 $V=1.99\text{m/s}$ (図10) では7次モードと9次モードのビート現象が発生しているのがわかる。ビート振動が生じた風速では、波動伝播的挙動が見られることも確認できた、さらに $V=1.14\text{m/s}$ (図8) では渦励振のスペクトルピークとは別に1次モードのスペクトルピークが存在し、無次元風速にすると $V/fD=45$ となる。同様に、 $V=1.51\text{m/s}$ (図9) では無次元風速 $V/fD=59$ に対応する1次モード、 $V=1.99\text{m/s}$ (図10) では無次元風速 $V/fD=39$ に対応する2次モードが存在する。従ってビートが生じている風速域で特にこれらの高風速の限定型振動が生じている。

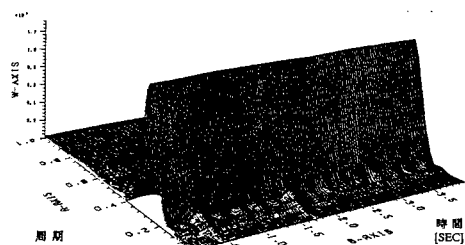


Fig.6 $V=0.78\text{m/s}$

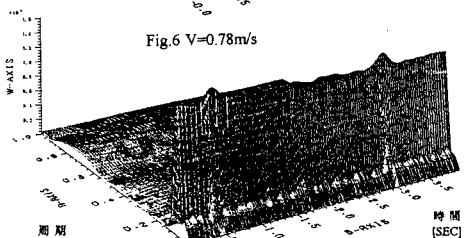


Fig.7 $V=2.48\text{m/s}$

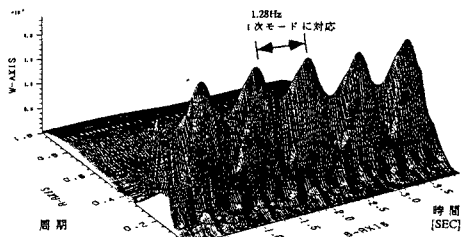


Fig.8 $V=1.14\text{m/s}$

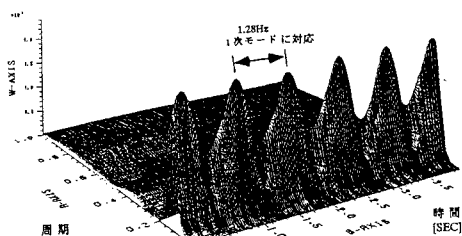


Fig.9 $V=1.51\text{m/s}$

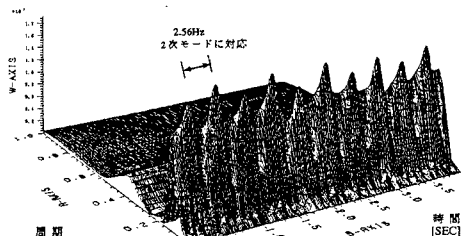


Fig.10 $V=1.99\text{m/s}$

5. まとめ

- (1) 弾性体模型は高次モードの渦励振を捉えるという点で優れた模型であるといえる。
- (2) 渦励振によるビート現象はウェーブレット解析のスペクトルピーク値のうねりという形で捉えることができる。またビート振動が生じている場合、ケーブル上では波動伝播的挙動を示すことが明らかとなった。
- (3) ビート振動が生じている風速域では、2つの振動数の差に対応する低周波のスペクトルピークが存在する。原因としてその風速域では、低周波のスペクトルピークが現れていることから、渦放出の長周期成分が存在し、その長周期成分がビート振動を励起しているものと考えられる。また松本らの名港西大橋の実橋観測による研究¹⁾で、無次元風速20及び40付近で高風速の限定型振動を捉えており、今回弾性体模型で捉えることのできたこの長周期成分が、高風速の限定型振動の発生要因と考えられる。

参考文献

- 1) 松本ら, "実橋観測されたケーブルの空力弾性挙動とウェーブレット解析", 風工学シンポジウム1996