

I-A 240 実橋観測に基づく斜張橋ケーブルの振動解析

京都大学大学院	学生会員	金村 宗
京都大学工学部	正会員	松本 勝
日本道路公団名古屋建設局	正会員	佐久間智
三井造船鉄構建設事業部	正会員	井上浩男
京都大学大学院	学生会員	大東義志

1. 概要

ケーブル振動によるケーブル定着点の疲労は、維持管理の上で問題である。この疲労はケーブルの張力変動だけでなく、定着点におけるケーブルの折れ角によって生じる。従って、ケーブル定着点における折れ角の挙動即ちケーブルの振動現象を正確に把握する必要がある。ケーブルの挙動は一般的に振動現象として捉えられることが多い。ところが、実際のケーブルでは、振動が伝わる現象即ち波動現象が生じている可能性がある。従って、ケーブルにおける波動並びに振動現象を明らかにすることが重要となる。ケーブルの振動・波動現象は非定常な現象であり、その特性をつかむためには、その振動数あるいは周波数がどの時刻に卓越しているかをとらえることが必要となる。このような非定常現象の解析手法として近年注目を浴びているの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とらえることができる。本研究ではウェーブレット関数として、時間・振動数領域で最も局在化の優れているGabor関数を修正したMorletのウェーブレットを用いた。本研究の目的は、実橋観測による加速度データを用いたウェーブレット解析結果をもとに、ケーブル振動および波動現象に一考察を加えることである。

2. 時間-振動数解析結果

ケーブルの振動解析には、名港西大橋のケーブル加速度データ(鉛直方向)を用いた。測定点は各ケーブルの6次モードの腹点のうち最も桁に近い点とした。この中で、Aケーブル(最上段ケーブルの1本下側に位置するケーブル)とBケーブル(最下段ケーブルの1本上側に位置するケーブル)の特徴が顕著に見られる振動事例について考察を行う。この事例におけるAケーブルおよびBケーブルの原波形ならびに解析結果をFig. 1, Fig. 2 および, Fig. 3, Fig. 4に示す。まず、Aケーブルについてその特徴を述べる。Fig. 2より、Aケーブルは $a=0.42$ 秒即ち振動数 $1/a=2.38\text{Hz}$ に大きなピークを持っている。この振動数は5次モードの振動に相当し、この振動モードによってAケーブルは大きく振動していることがわかる。特筆すべき点はこのピークが定常的なものではなく、時間パラメータ b 方向に約2.1秒間隔でうねっていることである。次に、Bケーブルについてその特徴を述べる。Fig. 3より、Bケーブルは振動数 $1/a=2.08\text{Hz}$ と振動数 $1/a=4.55\text{Hz}$ にほぼ同じ大きさのピークを持っている。Fig. 3の2つの卓越振動数はそれぞれ、2次モードと4次モードに対応し、この2つの振動数成分によってBケーブルは振動していることがわかる。また、2つの振動モードのうち、2次モードの場合、ピークはほぼ定常的であるのに対して、4次モードの場合、約1.00秒間隔のうねりを持っている。以上のようにウェーブレット解析の結果、振動数のうねりという新たな情報が得られ、このうねりによって、ケーブル振動が大きな影響を受けていることがわかった。そこでこのうねりの原因について考察を行う。うねりの原因として、まずビートが考えられる。ビートは2つの振動数の差で生じる。Aケーブルの場合(Fig. 2)、うねりは 0.47Hz で生じており、大きなピークは 2.38Hz で生じている。ところが、その差となる振動数は存在せず、Aケーブルの場合、ビートでうねりが起こっている可能性は低い。次に波束の波動伝播により、うねりが生じている可能性について考察を行う。伝播速度 v はケーブルの張力 T 、線密度 ρ とすると、 $v=(T/\rho)^{1/2}$ で求

められる。Aケーブルの場合、波束のケーブル往復時間は1.9秒となり、これはうねり間隔にほぼ対応する。従って、Aケーブルは5次モードの振動振幅が2.1秒間隔の波動伝播により増幅されていると考えられる。また次に、Bケーブルの場合、往復時間は0.9秒であり、これもうねりの間隔に対応している。しかし、Fig. 4よりBケーブルのうねりはいずれも小さいので、その影響はほとんどなく、Bケーブルは2次モードと4次モードの振動によって揺れていると考えられる。A・Bケーブルともに言えることとして、ケーブル往復時間がうねり周期よりも若干小さい値をとっていることが挙げられる。これはケーブルサグ、空気力などの影響によってケーブル張力が大きくなったため、波動伝播速度が大きくなり、往復時間が小さくなったことや波束の減衰によるものと考えられる。さらにうねりの間隔をみると、Aケーブル・Bケーブルともにそれぞれがほぼ一定の値をとっている。従って、うねりはケーブル固有の特性に起因するものと考えられ、このことからもうねりは波動伝播に起因する可能性が高い。ただし、振動と波動ではその重ね合わせのために加速度振幅の最大となる点が空間的に異なる可能性がある。従って振動ならびに波動現象を捉える上で測定点の取り付け位置には十分検討する必要がある。

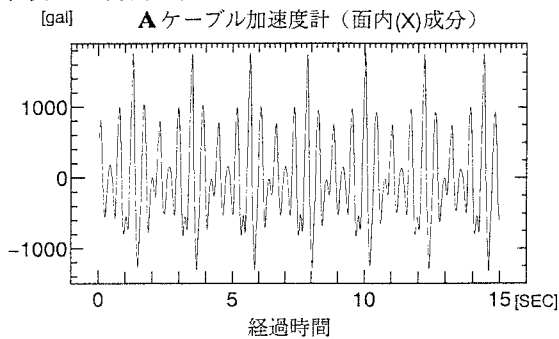


Fig.1

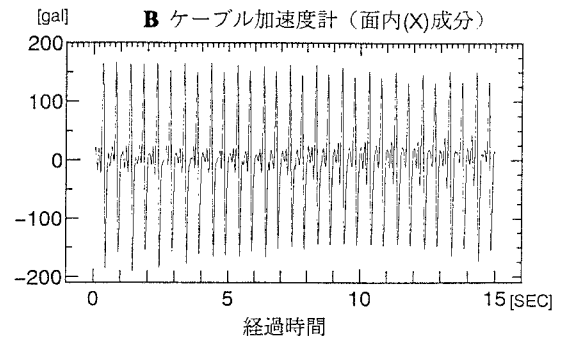


Fig.3

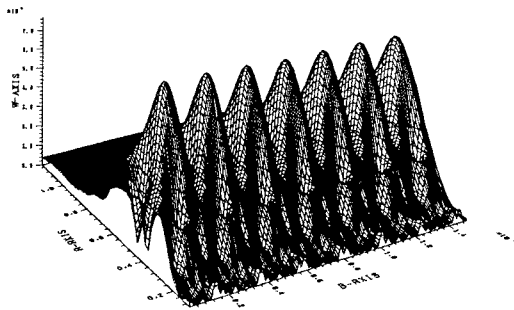


Fig.2

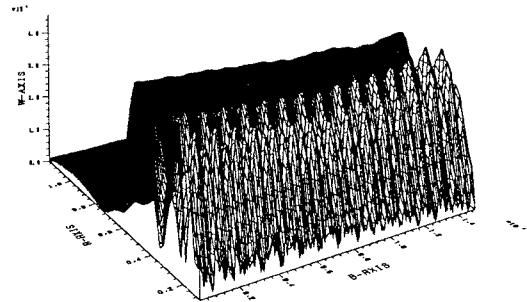


Fig.4

3. 結論

1. ウェーブレット解析より、振動数のうねりというケーブル振動の非定常性が検出された。従ってケーブルの振動解析においてウェーブレット解析は有効な手法であると考えられる。
2. ウェーブレット解析結果におけるうねりは波束のケーブル伝播に起因する可能性が高い。
3. ケーブル長が異なると、その振動形式も異なる。
4. 波動と振動では加速度振幅の最大となる点が空間的に異なる可能性があるため、測定点の取り付け位置には十分検討する必要がある。

最後に本研究は日本道路公団、三井造船株式会社との共同研究である。