Wave Propagation Analysis on the Thin Plate by Wavelet Transform

○正 東 明彦(海保大) 水口 文洋(海保大)

Akihiko HIGASHI, Japan Coast Guard Academy, Wakaba-cho5-1, Kure, Hiroshima
Fumihiko MIZUGUCHI, Japan Coast Guard Academy

The purpose of this study is to develop the structural health monitoring system by using the bending wave propagation. We investigate the velocity of the bending wave, which is one of the characteristics of the wave propagation. In this paper, the rectangular aluminum thin plate is used in the experiment, which is a basic element of structures. The plate is excited sinusoidally at one point by the exciter, and, the vibration data is measured by using two non-contact displacement sensors. The velocities of the bending wave are calculated by wavelet transform analysis. As a results, the velocities of the bending wave were able to be measured exactly by wavelet transform.

Key Words : Wavelet Transform, Bending Wave, Wave Propagation, Velocity

1. 緒言

近年、船舶などの大型機械構造物においては大型化、複雑化に加え、合理化によって構造物の健全性について常時把握することが非常に困難な状況にある。また、これらの構造物に損傷が生じた場合、構造物の強度の低下を招くだけでなく、さらには大事故へとつながる可能性もある。そこで、構造物の健全性について常時モニタリングするシステムの開発が非常に重要であると思われる。

そこで本研究では、損傷欠陥の同定を行う上で有用となるパラメータとして振動の波動伝搬現象に着目し、この波動伝搬により構造物の状態として欠陥の有無などについて把握する解析法の確立を目的とする。そのため、まず実際に構造物の波動伝搬現象の解明を行うため、平板を加振し、そのときの波動伝搬について実験的に検討を行うこととした。また、これまでに、種々の方法により波動の伝搬現象として伝搬速度の測定を試みた結果、加振点から1波長程度離れた場所においては伝搬速度を安定して求めることができることがわかった⁽¹⁾が、加振点近傍においては測定が非常に困難であったため、非定常信号の検出に効果のあるウェーブレット変換を用いた解析を行ったので、その結果について示す。

2. 実験方法

2. 1. 実験装置

実験に用いた試験片および実験装置について図1に示す。実験に用いた試験片は幅300mm、長さ950mm、厚さ2mmのアルミニウム平板の1端を固定し片持ち平板として実験を行った。なお、片持ち平板として実験を行っているため、自重による平板のたわみの影響をなくするため平板を垂直に支持することとし、平板に垂直に加振器を取り付け、FFTアナライザの有する信号発生器からの信号を加振器に入力することにより加振することとした。

2. 2. 実験方法

波動の伝搬現象として、本研究では対象物を薄板として曲げ波(屈曲波)について取り扱うこととする。そのため、試験片に垂直に取り付けられた加振器により加振を行うこととしている。また本研究では、ある周波数の正弦波信号によって加振を行い、ある時間に別の周波数の正弦波信号に瞬時に切り替えることによって、その切り替える瞬間に変化する信号から波の伝搬現象として伝搬速度の解明を行うこととした。そこで、加振点及び測定点での振動は非接触変位計を用いて測

定し、FFTアナライザを用いてデータを取得し、パソコンによりデータ解析を行うこととした。

Fig.1 Experimental equipment

3. 実験データの解析

本実験においては、2つの周波数の正弦波信号を瞬時に切り替えることによって、その瞬間に変化する信号について解析を行う。そこで、入力信号の例を図2に示す。ここで、この信号に対して本研究ではウェーブレット変換⁽²⁾を適用することとする。ウェーブレット変換は、通常の周波数分析(フーリエ解析)が定常信号に対する解析に用いられるのに対し、非定常信号に対して適用することができ、また、時間-周波数分析が可能であり、信号の不連続点の検出に効果がある。そこで、測定データに対してウェーブレット変換を適用し、データ処理を行うことによって信号の切り替え時間の検出を行い、加振点と測定点における検出時間の時間差より、波動の伝搬速度について解析を行うこととする。なお、本実験における解析及びウェーブレット変換はMATLABにより行うこととした。

3. 1. ウェーブレット変換

ウェーブレット変換とは、振動的で局所的な関数 $\phi(x)$ (これをマザー関数という)を選び、これを b だけ平行移動させ、 a だけ拡大あるいは縮小した式(1)で表される関数を積分核とする積分変換のことで、式(2)で表される。

$$\phi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \phi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (1)$$

$$(W_\phi f)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \quad (2)$$

この変換によって信号 $f(x)$ は、横軸を b 、縦軸を a とする信号平面上の表現に写され、これにより時間-周波数解析を行うことができる。さらに、このウェーブレット変換によ

り、波形の変化について非常に敏感に捉えることができるようになる。

そこで、先に示した入力波形についてウェーブレット変換を行い、ウェーブレット係数を求めた結果について図3に示す。図3は横軸に時間を示し、縦軸はスケールを表す。ここでスケールは周波数と非常に密接に関連しているものであり、図中において明るい部分はそのスケールに相当する周波数成分が励起されている強度を示している。この図を見ると周波数を切り替えた時間において全ての周波数成分が一時的に励起されているため、この時間でのウェーブレット係数の値が大きくなることから、この値から時間を読み取ることによって周波数を切り替えた時間について読み取ることができる。

Fig.2 Input signal

Fig.3 An example of wavelet transform analysis

3. 2. 解析結果及び考察

平板の曲げ波の波動伝搬現象を捉えるため、図1に示す加振点からx方向へ30, 60, 90, 120, 150, 210, 300, 450, 600mm離れた測定点における波動の伝搬速度の解析を行うこととした。

まず、加振点及び測定点の振動測定波形を図4に示す。実際の測定波形からは信号の切り替え時間について大体はわかるものの、正確に読み取ることは非常に困難であり、前報で示したように周波数分析や位相解析及び相互相関関数等を評価の手法として用いても加振点近傍においては非常に測定が困難であることがわかっている。そこで、本研究では測定された信号をウェーブレット変換し、その変換後の結果を用いて解析を行うこととした。そこで、先に示した振動波形をウェーブレット変換した結果の例を図5に示す。この図を見ると、先ほどの振動データから直接解析するよりもウェーブレット変換することによって信号の不連続点、信号の切り替え時間について図4に示している測定波形よりも容易に読み取れるようになることがわかる。そこで本研究では、ウェーブレット変換を加振点及び測定点で測定された振動データに対して適用し、任意のスケールでのウェーブレット係数の相関として相互相関関数を求め両者の比較を行うことにより、時間差を決定し、その時間差と測定点間の距離から伝搬速度を求めることとした。その結果を図6に示す。

この結果を見ると、前報においては加振点近傍における振動速度の測定が非常に困難であったのに対し、ウェーブレット変換を適用することによって、加振点近傍においても同程度の値が測定されていることがわかる。また、距離によるばらつきも非常に小さく、平均値からの誤差は最大で5%程度

ずれる場合もあるが、ほとんど1%以下の誤差範囲内におさまっていることから、本手法を用いて平板の曲げ波の伝搬速度を測定することが可能であると思われる。

Fig.4 Measurement results of wave propagation (Distance exciting point to measuring point 300mm)

Fig.5 Analytical results of wavelet transform (Scale=32, Distance exciting point to measuring point 300mm)

Fig.6 Results of velocities of bending wave propagation

以上の結果から、本実験で示したウェーブレット変換を適用した方法を用いることによって振動の曲げ波の伝搬速度を測定することができる。よって、本測定法を用いることにより伝搬速度を測定することによって、構造物の健全性を調べることができると思われる。すなわち、曲げ波の伝搬速度が構造物の健全性を把握するための有力なパラメータとして利用できる可能性が十分にあることがわかる。

4. 結言

本研究では、ウェーブレット解析を用いることによって、薄板における振動の波動（曲げ波）の伝搬現象として、伝搬速度について実験的に解析を行った。その結果、次のような結論を得た。(1) ウェーブレット変換を適用することによって、時間波形の場合に比べ、信号の変化を的確に捉えることができることがわかった。(2) 加振点及び測定点の測定データをウェーブレット変換し、両者の相関から波動の伝搬速度を測定する方法を示すと共に、この方法を用いることによって、加振点近傍についても曲げ波の伝搬速度を一様に測定できることがわかった。

参考文献

- (1) 東・水口, 海上保安大学校研究報告, 第46巻, 第1・2号, (2000), 1-10.
- (2) 山田, ウェーブレット変換とは何か, 数理科学, No.354(1992), 11-17.