

振動エネルギーの計測精度の検討

Examination of the Accuracy of the Measurement of Vibrational Energy

大石 久己*・鈴木 常夫*・大野 進一*

Hisami OHISHI, Tsuneo SUZUKI and Shinichi OHNO

1. はじめに

振動インテンシティの計測が行われるようになって来たが、何等かの方法で計測精度を確認する必要があると思われる。本研究では、振動系への流入振動エネルギーと振動インテンシティの比較によって計測精度の検討を行うことにした。はじめにインピーダンスヘッドによる流入エネルギーの計測精度を機械的および電気的方法によって調べた。次に、制振材を一部に貼付したはりに対してインピーダンスヘッドによる流入振動エネルギーの計測と2点法による振動インテンシティの計測を行い、両者の計測結果を比較した。

2. インピーダンスヘッドを用いた振動エネルギー計測

2.1 機械的方法

2.1.1 実験装置

図1に示す実験装置を製作した。防振ゴムは直径×高さが12×15 mmである。質量の横揺れを防ぐため、幅×厚さ×長さが40×0.8×375 mmのはりで質量を保持した。防振ゴムの上下にインピーダンスヘッド1と2を取り付け、振動パワーを計測した。これらの計測値の差が防振ゴムでの消費パワーと等しくなるはずである。この実験装置の質量を打撃加振する実験とはりを正弦波加振する実験を行った。

2.1.2 振動エネルギーの計算式

構造物の一点に力 $F(t)$ が作用し、その点が力の方向に速度 $v(t)$ で運動するとすると、構造物に流入するパワー P は、

$$P = \langle F(t) \cdot v(t) \rangle_t \quad (1)$$

と与えられる。記号 $\langle \rangle_t$ は時間平均を表す。さらに力と速度のクロススペクトルを $G_{FV}(f)$ とすると、流入するパワーは次式で表される。

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} G_{FV}(f) df \quad (2)$$

したがって、インピーダンスヘッドを介して流れる振動パワーは、インピーダンスヘッドによる力と加速度の計測値のクロススペクトル $G_{FA}(f)$ を用いて、次式で与えられる。

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G_{FA}(f)}{j2\pi f} df \quad (3)$$

また防振ゴムで消費される振動パワー P_C は、防振ゴムの粘性減衰係数を c 、防振ゴムの上下の加速度の差のパワースペクトルを $G_{AA}(f)$ とおくと、

$$P_C = -c \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G_{AA}(f)}{(2\pi f)^2} df \quad (4)$$

で与えられる。

2.1.3 計測結果

(1) 打撃加振の場合 インパクトハンマで質量を打撃加振する実験を行った。はじめに打撃加振に対する減衰応答より防振ゴムの等価粘性減衰係数を求め、 $c = 38.6$ (N·s/m) を得た。また、インピーダンスヘッド1と2を流れる振動パワー P_1 と P_2 を式(3)に従って求め、防振ゴムで消費される消費パワー P_C を式(4)に従って求めた。その結果を表1に示す。インピーダンスヘッド1, 2で計測された振動パワーの差と、防振ゴムで消費される消費パワーには約3%の差がある。

(2) 正弦波加振の場合 電磁石を使用してはりを正弦波加振する実験を行った。式(3)および式(4)より求めたインピーダンスヘッド1と2を流れる振動パワーおよび防振ゴムで消費される消費パワーを表2に示す。ただし防振ゴムの粘性減衰係数は打撃加振の場合と同じ $c = 38.6$ (N·s/m) を用いた。インピーダンスヘッド1, 2を流れる振動パワーの差と、防振ゴムでの消費パワーには約10%の差がある。

*東京大学生産技術研究所 第2部

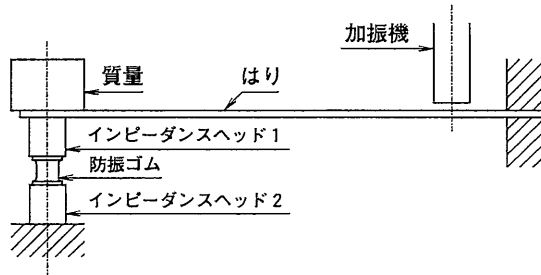


図1 実験装置

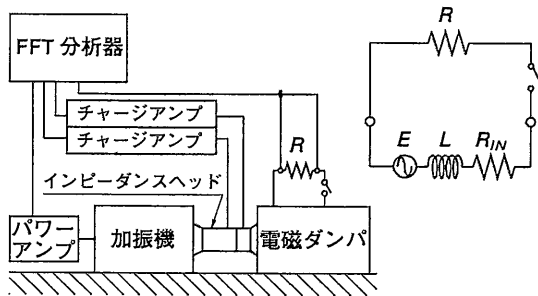


図2 実験装置と電磁ダンパの等価回路

2.2 電気的方法

2.2.1 実験装置

図2に示すように、台上に固定した2台の動電形加振機の間インピーダンスヘッドを挿入した実験装置を構成した。一方の加振機をパワーアンプによって駆動し、振動エネルギーを供給させた。他方の加振機では、振動によってコイル内に発生した電流を外部に接続した抵抗によって消耗させ、振動エネルギーを吸収した。この意味で他方の加振機を以下では電磁ダンパと呼ぶ。インピーダンスヘッドに流れる振動パワーを式(3)に基づいて計測した。スイッチは、回路を開または閉回路にし、電磁ダンパを無効または有効にするものである。

2.2.2 理論

図2に電磁ダンパの等価回路を示す。回路内の L は電磁ダンパのコイルのインダクタンス、 R_{IN} はコイルの抵抗、 E は電磁ダンパのコイルに発生する電圧、 R は外付け抵抗を表す。この回路の全インピーダンス Z は、

$$Z = R + R_{IN} + j\omega L \tag{5}$$

であり、外付け抵抗 R の両端の電位差を V とおくと、電磁ダンパで消費されるパワーは、

$$P_E = \frac{V^2}{R} (R + R_{IN}) \tag{6}$$

表1 衝撃加振の場合の振動パワー

P_1	18.1 (mW)
P_2	3.3 (μ W)
P_C	18.6 (mW)

表2 正弦波加振の場合の振動パワー

P_1	3.95 (mW)
P_2	0.05 (mW)
P_C	4.28 (mW)

表3 電気的方法の場合の振動パワー

P_{OFF}	0.190 (mW)
P_{ON}	0.477 (mW)
$P_{ON} - P_{OFF}$	0.287 (mW)
P_E	0.301 (mW)

となる。ここで、 R は既知の抵抗を使用でき、 V は計測が可能である。 R_{IN} の値が適当な方法でわかれば、式(6)により電磁ダンパで電氣的に消費されるパワーを計測することができる。

2.2.3 振動エネルギーと電気エネルギーの比較の方法

電磁ダンパではコイル保持装置の摩擦などで機械的に消費されるエネルギーが存在する。いま、電磁ダンパのコイルを開放した状態でインピーダンスヘッドで計測される振動パワーを P_{OFF} とし、抵抗で接続した状態で計測される振動パワーを P_{ON} とする。 P_{OFF} は電磁ダンパで機械的に消費されるパワーで、 P_{ON} は機械的消費パワー+電氣的消費パワーである。したがって両者の差が電磁ダンパで電氣的に消費されるパワーである。もし $P_{ON} - P_{OFF}$ が式(6)に基づいて求めた P_E と等しければ、インピーダンスヘッドによって振動パワーが正しく計測されているといえる。

2.2.4 計測結果

インピーダンスブリッジで計測したところ $R_{IN} = 3.10 \Omega$ 、 $R = 1.01 \Omega$ であった。振動数 500 Hz での計測結果を表3に示す。インピーダンスヘッドによる電磁ダンパでの消費パワーの計測値と、電位差による電磁ダンパでの消費パワーの計測値の差は約5%である。

3. はりにおける振動インテンシティの計測

3.1 実験装置

図3に示すように実験装置として幅×厚さ×長さ が 32 × 6 × 1950 mm の鋼製の片持ちはりを使用した。振動エネルギーを消費させるために固定端から 500 mm まで厚さ 3 mm のゴム系の制振材をはりの両面に貼付した。

研 究 速 報

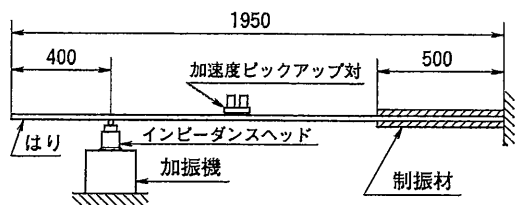


図 3 実験装置

また、自由端から400 mm の位置を加振機で加振し、はりに振動エネルギーを加えた。加速度ピックアップをホルダに固定した加速度ピックアップ対を作り、このピックアップ対を移動して振動インテンシティを計測した。また同時にはりに加わる振動パワーをはりと加振機の間に入れたインピーダンスヘッドで計測した。

3.2 振動インテンシティの計算式

加速度ピックアップ間距離を Δr 、2 点の加速度のクロススペクトルを $G_{AA}(f)$ 、はりの曲げ剛性を B 、はりの単位面積当たりの質量を m とおくと、計測点が far field であるとみなすことができる場合には、振動数 f Hz での振動インテンシティは次式で与えられる¹⁾。

$$I = \frac{4\sqrt{Bm}}{(2\pi f)^2 \Delta r} \text{Im} \{ G_{AA}(f) \} \quad (7)$$

3.3 計測結果

はりを流れる振動パワーは、振動インテンシティにはりの幅をかけることで求められる。はりを流れる振動パワーとはりに加わる振動パワーの比を図 4 に示す。縦軸はパワー比であり、横軸は計測位置である。

この実験装置においては、加振点からはりに入力された振動エネルギーは、自由端側には流れず、固定端側に流れ、制振材で消費される。したがって、加振点より自由端側ではパワー比が 0 となり、加振点より固定端側では

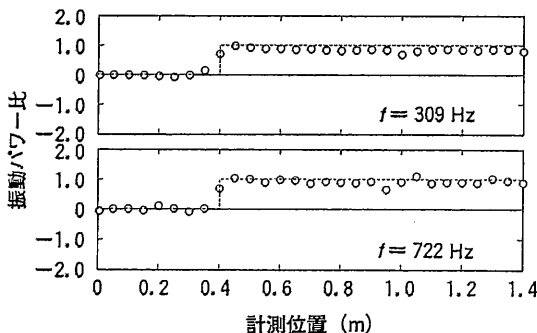


図 4 はりを流れる振動パワーとはりに加わる振動パワーの比

パワー比が 1 となるはずである。前述のように、インピーダンスヘッドによる振動パワーの計測結果は信頼できるので、図 4 においてパワー比が 1 に近いことは、振動インテンシティの計測結果も信頼できることを示している。

4. おわりに

振動インテンシティの計測精度を確認するため、はじめにインピーダンスヘッドによる流入エネルギーの計測精度を機械的および電気的方法によって調べ、インピーダンスヘッドによる流入エネルギーの計測結果が信頼できることを確認した。次に、制振材を一部に貼付したはりに対してインピーダンスヘッドによる流入振動エネルギーの計測と 2 点法による振動インテンシティの計測を行い、振動インテンシティの計測結果が信頼できることを確認した。

(1992年9月2日受理)

参 考 文 献

1) Pavić G., J. Sound Vib., 49-2 (1976), 221.