

## Q & A

**Q** 振動対策する際、振動インテンシティを計測することで振動エネルギーの流れに基づいた対策が可能となるでしょうか。振動インテンシティの計測方法および計測の際の注意点も合わせて教えてください。

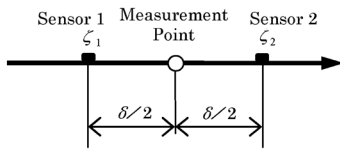
**A** まずは一様はりの曲げ振動を例に回答したいと思います。

振動インテンシティ (Structural Intensity, 機械学会では Vibration Intensity と訳すようである) の実用的な計測方法は、音響インテンシティのクロススペクトル法と同様に、二つの検出器を用いた2点法です。これは遠距離場を仮定した計測法で、振動インテンシティスペクトル (周波数域) の算出式と検出器配置は以下となります。計測法のポイントは、曲げ変位スペクトル (周波数域)  $\zeta$  の空間微分  $\partial\zeta/\partial x$  は直接測定することは難しいため有限差分近似で  $(\zeta_1 - \zeta_2)/\delta$  により求めることです。

$$I = Bk^2\omega \operatorname{Re} \left[ j \frac{\partial\zeta}{\partial x} \zeta^* \right] = Bk^2\omega \operatorname{Re} \left[ j \frac{\zeta_1 - \zeta_2}{\delta} \left( \frac{\zeta_1 + \zeta_2}{2} \right)^* \right]$$

$$= \frac{Bk_B^2}{\delta\omega^3} \operatorname{Im} [\zeta_1 \zeta_2^*]$$

( $B, k, \omega$  は曲げ剛性, 曲げ波数, 角振動数,  $\delta$  は検出器間隔)



計測の際に留意することは、応力測定のための有限差分近似誤差となる二つの検出器の間隔 (以降、検出器間隔) と検出器とケーブルおよび測定器を含む検出特性 (検出器特性) です。検出器特性はゲイン特性と位相特性で、特に使用する二つの検出器特性が一致していることが理想ですが、一般的にゲイン特性はほぼ等しい場合が多いものの位相特性の両者の違いは一般的に大きく、そのような場合には二つの検出器特性の違いを事前に測定し補正する必要があります。位相特性の違いが 0.2 度程度以下であればそのまま使用してもよいでしょう。また、検出器間隔は有限差分間隔でその近似誤差に影響します。差分間隔は小さいほど近似精度は高くなり、対象振動の波長が短いほどに間隔は小さくする必要があります。しかし、間隔を小さくすると検出器特性によるわずかな誤差に敏感で誤差は拡大されます。そのため、実用的な検出器間隔 (差分間隔) は、対

象振動の波長の 1/10 程度が望まれます。

なお、一様平板の曲げ振動のインテンシティ計測にもいくつかの方法が提案されていますが、平板の直交二軸方向をそれぞれ 2 点法で測定する方法 (4 点法) が実用的と言えます。

また、上述では一様はりおよび一様平板について示しましたが、一様でない構造物の振動インテンシティの測定について回答者の知る範囲では試みも知りません。そもそもインテンシティは振動速度と動的応力の積で表され、振動速度の直接測定は容易ですが、応力の測定は困難なためです。しかし、一様はりや一様平板であれば、応力は変位の空間微分で記述できますので、複数点で変位 (速度, 加速度) を測定すればその空間微分を有限差分近似で応力を求めることができ、上述のように振動インテンシティが測定できるわけです。また FEM であれば応力も算出できるのでインテンシティの算出に対象物の制約はありません。以上の詳細につきましては、文献 1) や 2) をご参照ください。

さらに、振動インテンシティが測定もしくは FEM など算出できれば、振動エネルギーの流れに基づいた対策ができるという点について、そんなに簡単ではないと回答者は考えており、現在も研究を進めております。音響インテンシティと同様に、インテンシティが分かれば放射パワーや透過損失などの評価、分析に有効であります。インテンシティからどのように具体的な対象物の対策および設計の案を抽出し、どのように対策および設計を施せばよいか、明らかにはなっていないと思います。回答者は最近の研究成果 3) 4) など、ようやくインテンシティを用いた構造設計の可能性が見えてきました。これらの成果について今後ご期待ください。

### 参考文献

- 1) 大野進一, 山崎徹: 機械音響工学 (森北出版, 2010), 第 8 章.
- 2) 山崎徹ほか: 角速度計を用いたはりの振動インテンシティ計測, 日本機械学会論文集, vol. 83, no. 845, DOI: 10.1299/transjsme.16-00245 (2017).
- 3) 山崎徹ほか: モードと波動の両視点による機械構造物の振動低減設計, 自動車技術会論文集, vol. 47, no. 6, pp. 1373-1379 (2016).
- 4) 山崎徹ほか: 線結合された平板構造物の振動エネルギーとその流れの関係に基づく振動低減, 自動車技術会論文集, vol. 47, no. 1, pp. 159-164 (2016).

(神奈川大学 山崎徹)