



vibrafoam | **vibradyn**
PURASYS PURASYS

製品および振動絶縁に関する技術情報



1. はじめに

なぜ防振なのか

産業、輸送、住宅建設が互いに接近することが増えてきました。互いの距離が近くなると、騒音と振動による障害が引き起こされます。

どのような問題が発生するのか

適切に対策を講じなければ、建物、そこに住む人々、機械類、および機械基礎、または影響を受けやすいコンポーネントが近辺から受ける振動に対して無防備になります。望ましくない、または過大な振動が建物内部や工業プラントでも発生する可能性があります。天井や壁などの構造要素も刺激を受けるため、二次的な空気伝播騒音も増大します。

ソリューション

PURASYS vibrafoam および PURASYS vibradyn は、振動と衝撃から効果的に保護するものです。これらのハイテク PUR エラストマーは、構造用コンポーネント間において、関係するコンポーネント形状に合わせた全面支承、点支承、または帯状支承として、あるいはオーダーメイドの成形部品として使用することができます。当社では、13 種類の材料（PURASYS vibradyn は 5 種類）を標準品として提供していますが、さまざまな色や厚さの特別仕様を生産できる場合もあります。当社の優秀な従業員からなるチームがお客様をサポートするか、詳細分析後に個別にソリューションを作成します。

PUR 材料に加えて、当社の子会社である KRAIBURG Relastec GmbH & Co. KG 製のゴム顆粒を使用したソリューションを提供することもできます。DAMTEC® vibra は、リサイクル材で作られた多孔質ゴムおよびゴム顆粒による防音マットシリーズです。

受振体と発振源を絶縁する方法として考えられるもの

振動技術では、受振体と発振源を区別します。基本原理として、干渉源（鉄道運行、工業プラント）に対して対策を講じることが可能です。たとえば、マス-スプリング系やバラストマットを使用したり、機械基礎を絶縁したりできます。振動絶縁は、たとえば弾性体の建築基礎を使用したり、建物内部の特定の場所や階層を絶縁したりすることにより、受振側（鉄道に隣接する建物、工業用精密機械）で行うこともできます。一般的には、発振源を絶縁するほうがはるかに効率的ですが、常に遡って実行できるとは限りません。そのため、当社では、受振体で振動を絶縁するための効果的かつ経済的なソリューションも提供することができます。

振動絶縁のメリット

● 建物の場合

外部干渉源とその振動に対する建物または建物の一部の高信頼性振動保護（足音の遮断も含む）、市場価値の向上（それぞれ建物の価値）、生活と職場の質の向上、および将来的に目指すべき快適基準の向上を期待どおりに実行可能なソリューション

● 機械の場合

破壊的機械振動の絶縁、性能の精度向上、摩耗の低減、機械の長寿命化、作業環境の改善

● 機械および工業用コンポーネントの場合

メリットは多岐にわたります。たとえば、ユニットやコンポーネントは動作時の静音性が向上し、摩耗が低減すると同時に寿命が延び、化学薬品や油に対する耐性が向上して長持ちするようになります。PURASYS vibrafoam および PURASYS vibradyn は、高品質シール材として、または極めて高い弾力性を備えた構造用コンポーネントの公差補償材として役立ちます。





2. PURASYS vibrafoam — 材料と物理的特性

「その特性により、PURASYS vibrafoam はほとんどの用途に適しています。」

PURASYS vibrafoam は、特殊なポリエーテルウレタンで作られた多孔質エラストマーです。エラストマースプリングは、機械工学の領域や建設部門において、振動レベルを絶縁および／または減衰するために使用します。PURASYS vibrafoam エラストマーは、圧力式および圧縮荷重式を両立するスプリングとして優れた特性を備えています。ほぼすべての用途向けに、SD10 から SD1900 まで (図 1)、基本となる 13 種類の PURASYS vibrafoam をご用意しています。必要な要件は、PURASYS vibrafoam の種類、支持面の面積、および施工高さを適切に選択することで簡単に満足することができます。

PURASYS vibrafoam は、床を最大限までカバーするためにマットとしてご用意することも、工業成形部品の形態でご用意することもできます。

必要なら、強度が正確に一致する特別仕様を生産することができます。これが材料の特性を決定づけます。非多孔質エラストマーとは対照的に、PURASYS vibrafoam の微細なセル構造には、閉じ込められたガスが大量に含まれています。その結果、静荷重および動荷重に合わせて体積圧縮可能な材料となります。したがって、局所的に混合されたコンクリート製構造物の表面積が広い場所で使用するのに適しています。

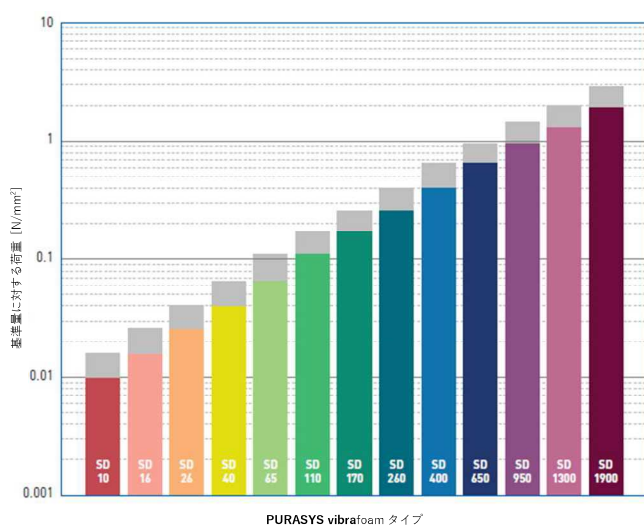


図 1 : PURASYS vibrafoam 材

PURASYS vibrafoam の静荷重たわみ曲線

図 2 は、PURASYS vibrafoam 材の圧力試験を実施して得られた準静荷重たわみ曲線を示しています。

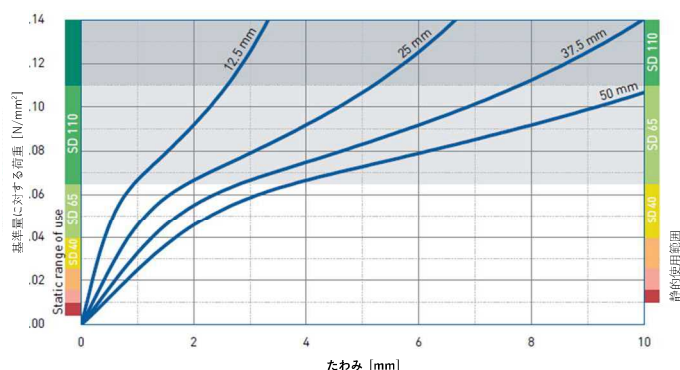


図 2 : PURASYS vibrafoam 材 (SD65) の準静荷重たわみ曲線

この材料は、低圧縮下では、ほぼ線形特性の特性曲線を示します。これらの可撓性支承に静荷重を長期的に作用させたときに、この範囲内に収まることが推奨されます。左側の目盛りは、PURASYS vibrafoam の各タイプの最適な静的使用範囲を示しています。

これらの支承に作用する荷重が増大するにつれて、スプリングの特性曲線が下降傾向を示します (薄い灰色の領域)。PURASYS vibrafoam は、静的力および動的力を加えると、極めてソフトに反応します。この動的使用範囲においては、振動絶縁が最適なレベルにあります。右側の目盛りは、PURASYS vibrafoam の各タイプの最適な動的使用範囲を示しています。

圧縮レベルが上がるにつれて、特性曲線は漸進的な線をたどります (濃い灰色の領域)。PURASYS vibrafoam の特性により、材料はピーク荷重が短時間作用しても影響を受けません。また、そのポリマー構造により、高いピーク荷重が短時間作用しても、材料はほぼ元の位置に戻ることができます。EN ISO 1856 で定義されている圧縮永久歪みは、PURASYS vibrafoam のほとんどのタイプで 5% 未満になっています (さらに正確な詳細については、製品データシートを参照)。



動的特性

図3は、所定の荷重レベルにおける準静的弾性係数と動的弾性係数（10Hz と 30Hz の場合）の関係を示しています。

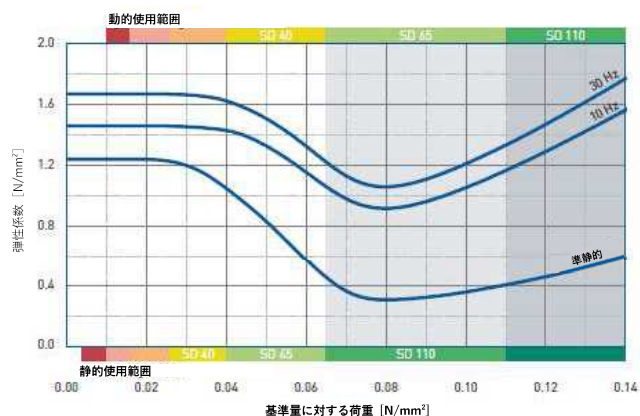


図3：PURASYS vibrafoam 材 (SD65) の弾性係数

そのポリマー構造に伴い、PURASYS vibrafoam の固有減衰によって、動的弾性係数が静的弾性係数よりも高い値を示します。頻度と圧縮レベルに応じて、PURASYS vibrafoam 材の強度増大率は 1.5～4 になります。

準静的弾性係数および動的弾性係数についてここに示している特性曲線は、中央の動的使用範囲における最小値を示しています。スプリング圧縮作用がわずかであるにもかかわらず、この材料は最小値においても最適な振動絶縁特性を示します。

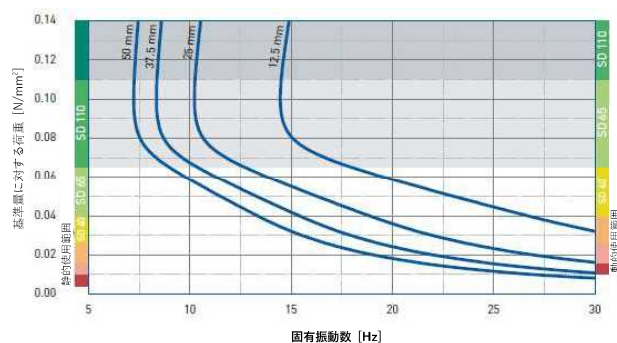


図4：PURASYS vibrafoam 材 (SD65) の固有振動数

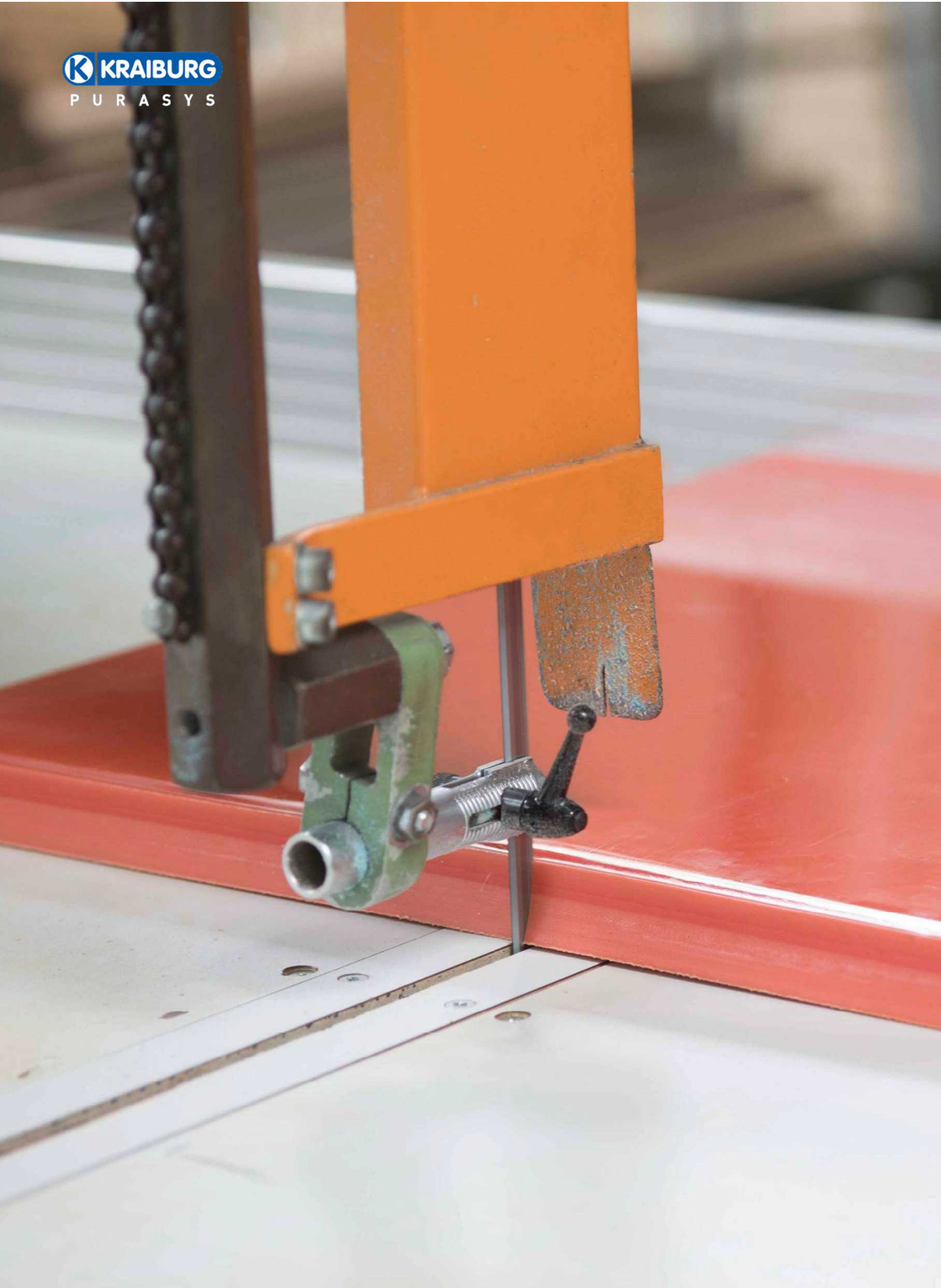
弾性係数の動的特性は振動数に依存します。実際には、ほとんどのアプリケーションにおいて、10Hz 時の動的弾性係数を選択すれば適切な近似値が得られます。図4は、高密度の質量と PURASYS vibrafoam 製の可撓性マウントで構成される系の固有振動数の計算値を荷重依存で示したものです（基準：10Hz 時の動的弾性係数）。この系にとって望ましい固有振動数は、適切な施工高さを選択することによって得られます。

減衰特性

PURASYS vibrafoam 材は減衰スプリング要素です。すなわち、PURASYS vibrafoam 材が交互に動的荷重を受けると、機械的に導入されたエネルギーの一部が熱に変換されます。減衰特性は、機械損失係数 η で表されます。

PURASYS vibrafoam 材では、これらの値が 0.09～0.25 になります（より正確な詳細については、製品データシートを参照）。





3. PURASYS vibradyn — 材料と物理的特性

「PURASYS vibradyn は、その優れた動的特性により、極めて難易度の高いアプリケーションにも適しています。」

PURASYS vibradyn は、クローズドセル構造のエラストマーであり、特殊なポリエーテルウレタンで作られています。構造上、この材料は液体をほとんど吸収しないため、圧力がかかる地下水の中でも使用することができます。

PURASYS vibradyn は、S75 から S1500 まで基本となる 5 種類が用意されており、実質的にすべてのアプリケーションシナリオに適合します (図 5)。必要な要件は、PURASYS vibradyn の種類、支持面の面積、および施工高さを適切に選択することで簡単に満足することができます。

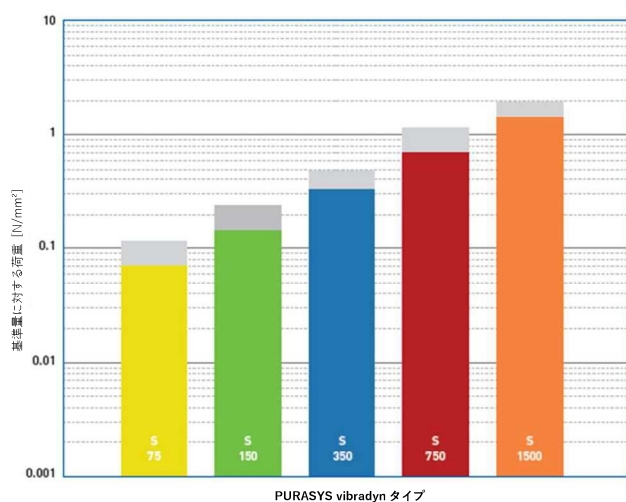
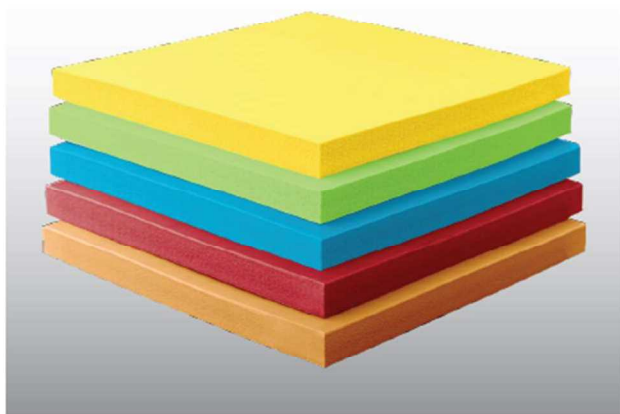


図 5 : PURASYS vibradyn 材



PURASYS vibradyn の静荷重たわみ曲線

図 6 は、PURASYS vibradyn 材の圧力試験を実施して得られた準静荷重たわみ曲線を示しています。

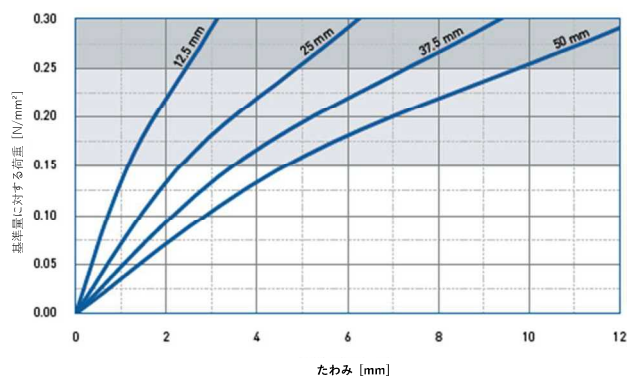


図 6 : PURASYS vibradyn 材 (SD150) の準静荷重たわみ曲線

PURASYS vibrafoam の各タイプと同じく、PURASYS vibradyn の各タイプの荷重たわみ曲線も 3 つの領域に細分化できます。静的使用範囲の線形特性曲線は「漸減的」、すなわち動的使用範囲（薄い灰色の領域）では下降傾向の特性曲線をたどります。さらに圧縮力が大きくなると、特性曲線は「漸進的」、すなわち上昇傾向の線（濃い灰色の領域）をたどり始めます。

動的特性

図 7 は、所定の荷重レベルにおける準静的弾性係数と動的弾性係数（10Hz と 30Hz の場合）を示しています。

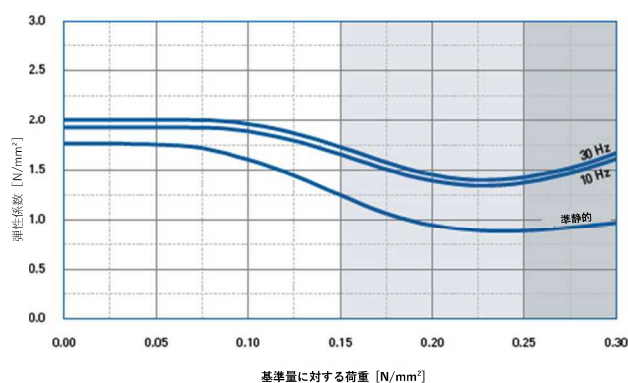


図 7 : PURASYS vibradyn 材 (S150) の弾性係数



PURASYS **vibradyn** 材は、剛性増大率が極めて小さいため、動的要件が高度になる場合でも振動絶縁用途に適しています。

図 8 は、高密度の質量と PURASYS **vibradyn** 製の弾性支承で構成される系の固有振動数の計算値を载荷レベルに応じて示したものです（基準：10Hz 時の動的弾性係数）。PURASYS **vibradyn** を使用すれば、振動減衰に関与する系が極小になるように調整できます。その結果、効果の高い振動絶縁を実現することができます。

減衰特性

PURASYS **vibradyn** 材の減衰レベルは極小です。PURASYS **vibradyn** の機械損失係数 η は、すべてのタイプについて 0.06 未満になります（詳細については、製品データシートを参照）。

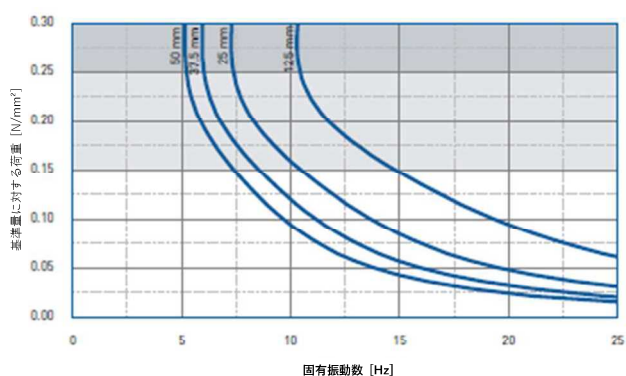
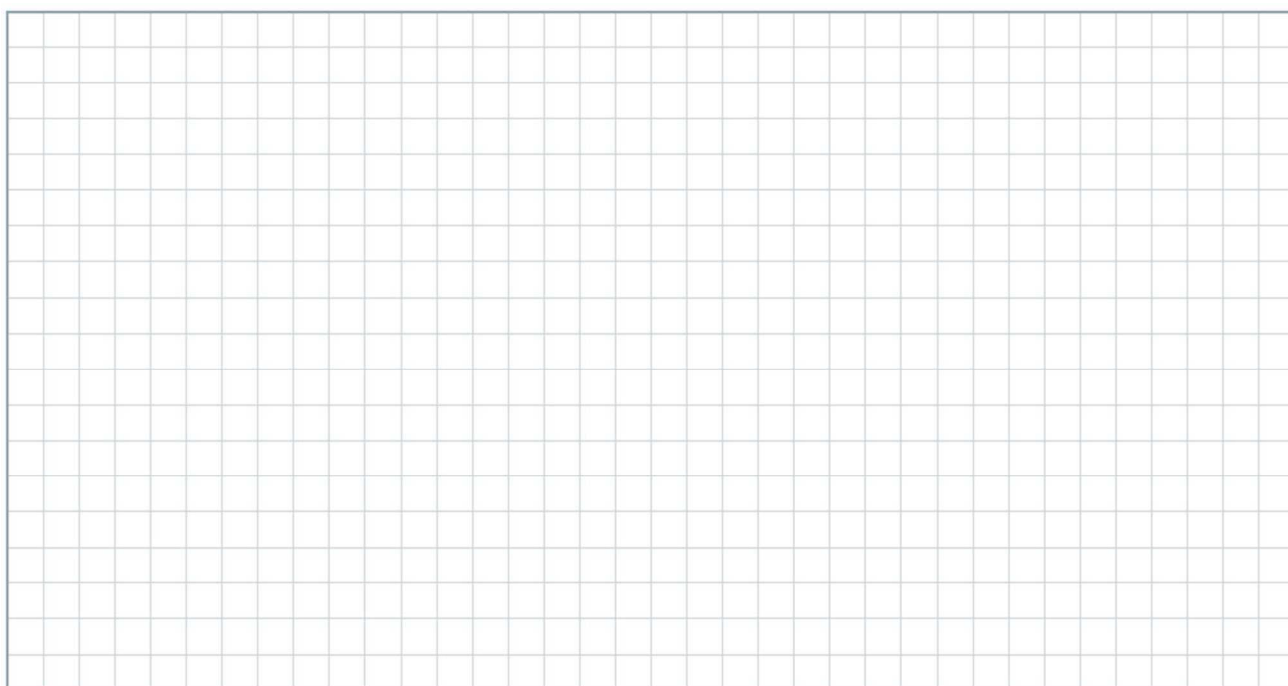


図 8 : PURASYS **vibradyn** 材 (S150) の固有振動数

注





チューリッヒのセーシュラー・プロジェクト（スイス）

4. PURASYS vibrafoam/vibradyn — 共通特性

せん断弾性係数

PURASYS vibrafoam/vibradyn 材で作られた構造用支承もせん断力を受ける可能性があります。せん断弾性係数が、対応する弾性係数よりも小さいことを必ず確認してください。これは、静的载荷だけでなく動的载荷にも適用されます。せん断弾性係数に関するこれらの情報は、該当する製品データシートに記載されています。準静的せん断特性曲線は、比較的直線的な経路を描きます。

フォームファクター

多孔質エラストマーの剛性および／または荷重たわみ曲線は、PURASYS vibrafoam/vibradyn 材の体積圧縮率レベルに部分的に依存します。PURASYS vibrafoam/vibradyn の各タイプの密度が高いほど、それぞれの体積圧縮率レベルが小さくなります。フォームファクターのパラメータ q (= 荷重を受ける面／曲面の面積) により、一般的な支承形状のサスペンション作用、動的弾性係数、および固有振動数の値を決定することができます。これらの特性とフォームファクターの依存関係については、PURASYS vibrafoam/vibradyn の各タイプに関する製品データシートの3ページに記載されています。これらの数値は、当該データシートの2ページに記載されているグラフの補正值になります。

連続荷重を受けた場合の静的特性および動的特性

振動用弾性支承は、荷重依存のクリープ特性を示す傾向があります。高荷重が連続的にかけると、エラストマーの静的特性および動的特性が変化する可能性があります。しかしながら、PURASYS vibrafoam/vibradyn の規定限界値は、超長期的にも動的弾性係数に大きな変化が生じないように、許容荷重レベルに合わせて設定されています。

温度の影響

PURASYS vibrafoam/vibradyn 材の使用温度は -30°C ~ $+70^{\circ}\text{C}$ の範囲に収まる必要があります。製品データシートに記載されている詳細事項は、通常的环境（室温）に適用されます。異なる温度での動的弾性係数の温度依存性変化については、詳細データシートに列記されており、設計で考慮する必要があります。

振幅依存性

PURASYS vibrafoam/vibradyn 材の動的特性の振幅依存性はわずかなので（詳細データシートを参照）、この因子は重要でないとみなせます。

燃焼特性

PURASYS vibrafoam/vibradyn 材の分類は、DIN EN ISO 11925-1 のクラス E (EN 13501-1) として定義されます。火災時に腐食性ガスのフュームが発生する危険はありません。これらの材料の組成は、木材やウールなどの有機物質のものに似ています。

環境影響および化学物質に対する耐性

PURASYS vibrafoam/vibradyn 材は、水、コンクリート、油、ならびに希酸および苛性アルカリ溶液に対して耐性があります。環境条件および化学物質への耐性に関する詳細は、「化学的影響に対する安定性」データシートに記載されています。



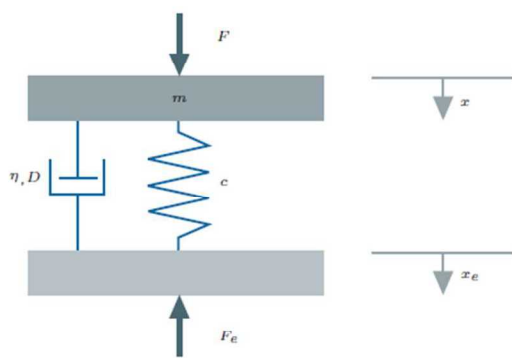
5. エラストマーによる振動絶縁の原理

振動絶縁

適切な防振材を選択することで、保護が必要な構造物に入力される望ましくない機械的振動の伝達量を減らすことができます。減衰スプリングにより、遮断材の種類に応じて、発振源を受振体から、またはその逆で絶縁することができます。PURASYS **vibrafoam/vibradyn** 材は、「粘弾性」の構造要素であり、減衰／微減衰スプリングの役割を果たします。

単純計算モデル

1次元マス-スプリング系の単純物理モデル（図9）を使用して、多くの振動問題を解析することができます。



F	作用する動的力	[N]
m	振動する質量	[kg]
c	動的ばね定数	[N/mm]
F_e	動的接触力	[N]
x	質量のたわみ	[mm]
x_e	隣接部の動的たわみ	[mm]
η	機械損失係数	[]
D	レーア（Lehr）の減衰係数	[]

図9：1次元マス-スプリング系

自由線形減衰振動は、次の運動方程式で表されます。

公式1

$$\ddot{x} + 2 \cdot D \omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$\dot{x}, \ddot{x}$	時間を基準とするたわみの1次または2次導関数	[mm/s], [mm/s ²]
ω_0	非減衰振動の固有角振動数	[1/s]

機械損失係数 η と減衰係数の間には次の関係があります。

公式2

$$\eta = 2 \cdot D$$

外力が短時間加えられて質量が静止位置から移動すると、固有振動数 f で自由減衰振動が発生します（図10）。最初の近似では、減衰系 f' の固有振動数は、実質的に非減衰系の固有振動数 f_0 （ $\eta/2 \ll 1$ ）と等しくなります。

公式3

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{T}$$

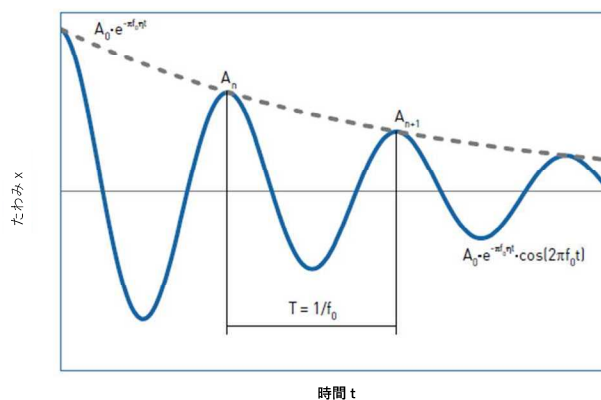


図10：自由減衰振動

f	加振振動数	[Hz]
f'	減衰振動の固有振動数	[Hz]
f_0	非減衰振動の固有振動数	[Hz]
T	持続時間	[s]
t	時間	[s]

減衰作用により、振幅は時間の経過とともに減少します。振幅の減少速度は、減衰または機械損失係数によって決まります。減衰と2つの連続する振幅最大値の比率との関係は、次のように表されます。

公式4

$$\frac{A_{n+1}}{A_n} = e^{-2 \cdot D \pi} = e^{-\eta \pi}$$

A_n	n番目の振動の振幅	[mm]
-------	-----------	------

伝達関数

振幅 $\hat{F}$ と加振振動数 f の周期力 F によって質量が加振されて振動すると、次の式で表される振幅 $\hat{x}$ の振動が引き起こされます。

公式 5

$$\hat{x} = \frac{\hat{F}}{c} \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

$\hat{x}$	駆動振動のたわみ振幅	[mm]
$\hat{F}$	作用する動力的の振幅	[N]

減衰状態では、質量が共振振動数 f で振動します。系の共振振動数における過剰な振幅増大は、機械的減衰に依存します。しかしながら、PURASYS **vibrafoam/vibradyn** 材は減衰作用を備えているため、この振幅の最大値の大きさはほんのわずかとなります。

振動絶縁は、伝達関数 V で表されます。力励振（発振源絶縁）の場合は、動取的付力 $\hat{F}_e$ と相反する力励振レベル $\hat{F}$ の比率が示されます。対照的に、移動加振（受振体絶縁）では、質量の振幅比 $\hat{x}$ と基板の振幅比 $\hat{x}_e$ が考慮されます。したがって、伝達関数は、系の応答とそこにかかる作用との間に数学的関係がもたらし、振動数比 f/f_0 と減衰に依存します。

公式 6：

$$V = \sqrt{\frac{1 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

V	伝達関数	[]
-----	------	-----

弾性支承の効果については、遮断効率定格 I （単位：パーセント）または透過率 L （単位：dB 単位）で示されることがよくあります。

公式 7 と 8

$$I = 100 \cdot \left[1 - \frac{1 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \right]$$

$$L = 20 \cdot \log \left[\frac{1 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \right]$$

I	絶縁効率変化量	[%]
L	透過率	[dB]

図 11 は、3 種類の機械損失係数の透過率を示しています。遮断効果は、振動数 $f/f_0 > \sqrt{2}$ の範囲でのみ得られます。

共振振動数の $\sqrt{2}$ 倍未満では、物理的に引き起こされた振幅のピークによって機械的振動レベルが増幅されます。

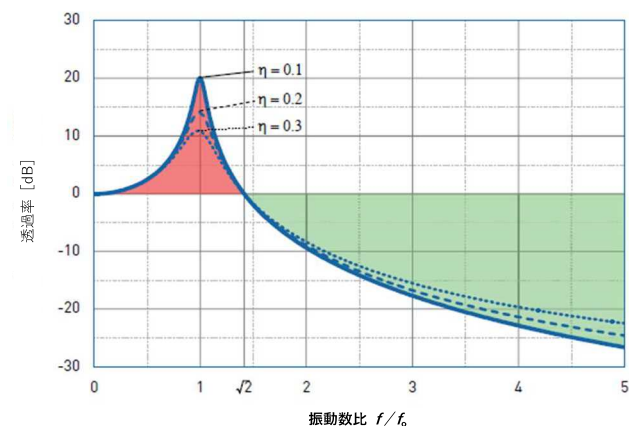


図 11：各種機械損失係数の透過率

PURASYS vibrafoam/vibradyn を使用した振動系の固有振動数と減衰作用

最も単純な設計シナリオでは、圧縮力の静的設計定格に準拠した PURASYS **vibrafoam/vibradyn** タイプの振動支承が含まれ、固有振動数の計算値は、製品データシートの 2 ページ目を調べれば得られます。

固有振動数を計算するには、公式 3 が必要になります。ここで、支承の動ばね定数は次のように求められます。

公式 9

$$c = \frac{EA}{d}$$

E	動的弾性係数	[N/mm ²]
A	接触面の面積	[mm ²]
d	材料厚	[mm]

公式 3 の代わりに、次の公式を使用することができます。

公式 10

$$f_0 = 15.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{d\sigma}}$$

σ	振動質量の重量によって生じる表面圧縮	[N/mm ²]
----------	--------------------	----------------------

対応する表面圧力に使用する弾性係数 E は、製品データシート の 2 ページ目に記載されています。公式 9 を使用して動的ばね定数を計算し、かつ公式 10 を使用して固有振動数を計算する場合は、PURASYS **vibrafoam/vibradyn** 材の厚さが無負荷状態で適用されていることを確認してください。シーケンシャルスイッチングおよび／またはエラストマースプリングの組み合わせについては、公式 3 を使用して得られる固有振動数を全剛性レベルから計算する必要があります。

この計算モデルは、せん断荷重に対しても有効です。しかしながら、この場合、動的せん断弾性係数を使用することをお勧めします。

弾性支承の絶縁レベルと絶縁値は、一般的な機械損失係数の関数として、対応する振動数比に公式 7 と公式 8 を適用して計算することができます。

この 2 つのパラメータは、固有振動数と干渉振動数に依存しており、単純化されたケース ($\eta=0$) が詳細データシートに示されています。

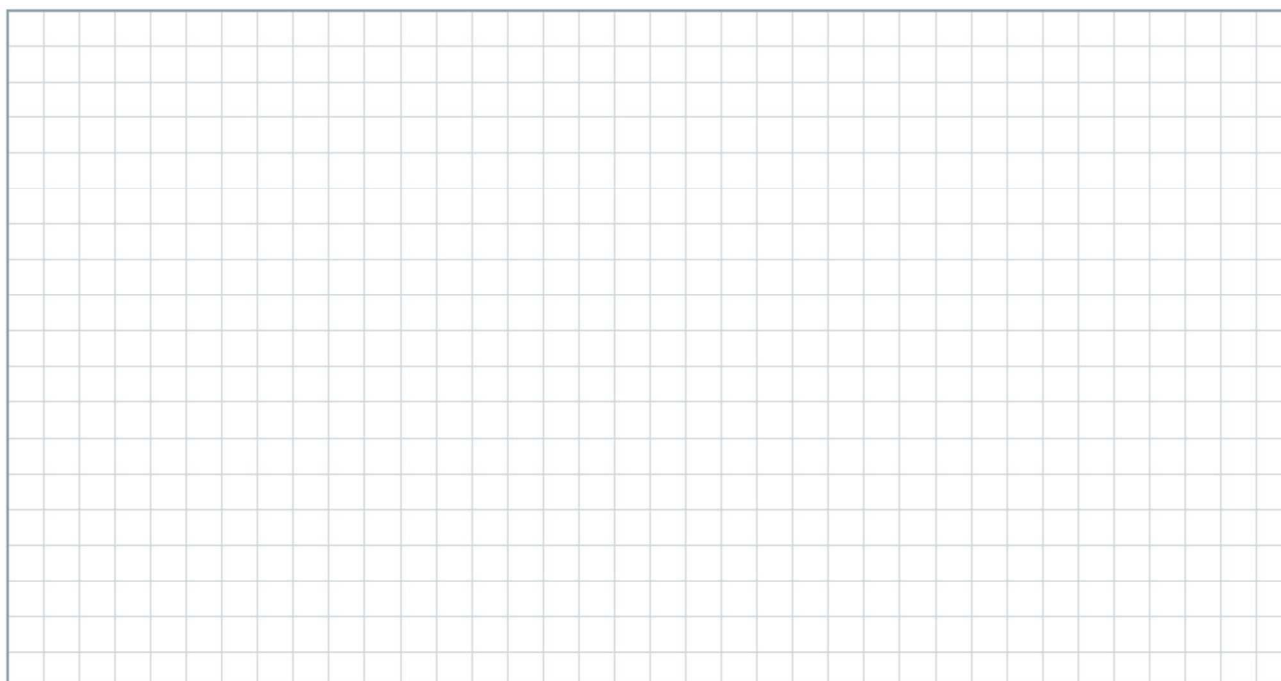
固有振動数の計算は、非減衰振動絶縁フォーム（スチールスプリングなど）の設計に適用しているように静的サスペンション作用に助けられているが、PURASYS **vibrafoam/vibradyn** 支承の固有振動数の計算には適していません。

モデリング

通常、マス-スプリング系の力学的 1 次元類似モデルを作成するには、1 自由度振動系をモデリングすれば十分です。これは、理論的に動的かつ剛性が無限大で密度の高い質量と、力学的に剛性の高い基礎を前提としています。このケースは一般に、最初の近似として、基礎の質量よりもはるかに小さい励振質量に適用されます。ここでは通常、系の最低共振振動数が分かれば十分です。

他にも多くの質量とばねが個別に離散しているような構造体にリンクさせると、観察する固有振動数の数が増えることになります。その場合、そのようなケースに合うようにモデルを拡張することをお勧めします。たとえば、二重質量振動源を使用すれば、特に高いレベルの絶縁効率を達成することができます。

注





KRAIBURG PuraSys GmbH & Co. KG

Porschestraße 1 · 49356 Diepholz / GERMANY
Fon +49 (0) 5441.5954-0 · Fax +49 (0) 5441.5954-24
info@kraiburg-purasys.com · www.purasys.com

© KRAIBURG PuraSys GmbH & Co. KG
情報はすべて無保証で提供されるものであり、変更されることがあります。