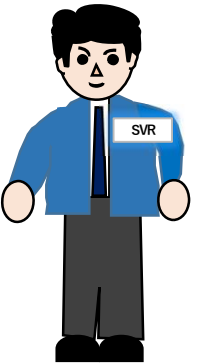


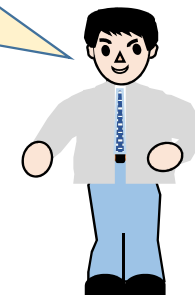
なるほど！（シリーズ4）

振動試験はなぜ必要か？
また、どのような試験方法があるの？

「これだけ知っていれば ほぼ 大丈夫」



振動試験を行う目的は何でしょうか？
また、試験はどのように行うのでしょうか？



振動試験の目的として次のようなことが挙げられます。

- (1) 製品の振動に対する健全性(機能、性能、強度)を確認あるいは検証する。
- (2) 製品の振動特性(固有振動数、減衰比、振動モード)を把握する。
- (3) 数値解析モデル化の妥当性を検証する。
- (4) 振動が原因で製品が損傷した場合の現象の再現や原因究明、対策検証を行う。

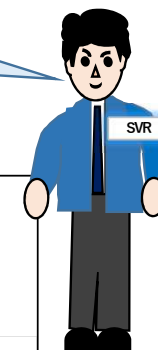


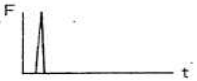
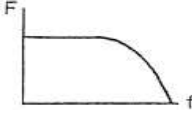
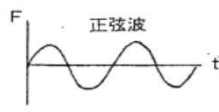
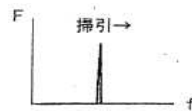
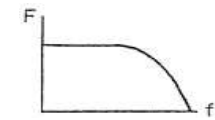
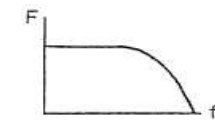
どのような振動試験を行うかは試験の目的により違ってきます。
以下に振動試験目的と試験方法の関係を大まかに示します。



試験目的	代表的な試験方法	期待される試験成果
(1) 振動に対する健全性(機能、性能、強度)を確認と検証	加振試験 試験対象物が使用される環境に応じた振動数範囲、振動レベルでの加振試験(JIS規格などによる)	健全性の確認
(2) 製品の振動特性の把握	加振試験 正弦波掃引試験、ランダム波加振試験 打撃試験(フォースハンマによる打撃試験) 常時微動試験	固有振動数、振動モード、減衰比の把握
(3) 数値シミュレーション解析モデル化の妥当性の検証	加振試験 任意の時刻暦波形による加振試験、 正弦波掃引試験 打撃試験	応答特性の比較によるモデル化の検証
(4) 振動原因の究明や現象の再現	加振試験 正弦波や任意波形による加振試験 打撃試験	現象の再現による原因特定(例えば、共振あるいは非共振、選択共振など)

各種加振試験における波形、スペクトル、特徴を比較し下表に示します。
目的に沿ってコストパフォーマンスのある試験方法を選んで下さい。



試験方法	加振方法				特徴
	名称	波形	スペクトル	加振器	
強制加振	インパクト加振			・インパクトハンマ ・ロープ切断 ・その他衝撃力付与	・簡単に行える。 ・非線形系には適用不可能である。 ・ハンマヘッド特性により応答が決まる。
	正弦波掃引加振			・導電式 ・電気油圧式 ・機械式	・加振力が大きい。 ・非線形特性の計測が可能である。
	ランダム波加振			・導電式 ・電気油圧式 ・機械式	・加振時間が短い。 ・線形周波数応答関数が得られる。
自然加振	常時微動試験			・風 ・地盤震動	・特別な加振装置は不要である。 ・周囲の機器による外乱の影響を受けやすい。

それぞれの試験方法について少し詳しく説明します。

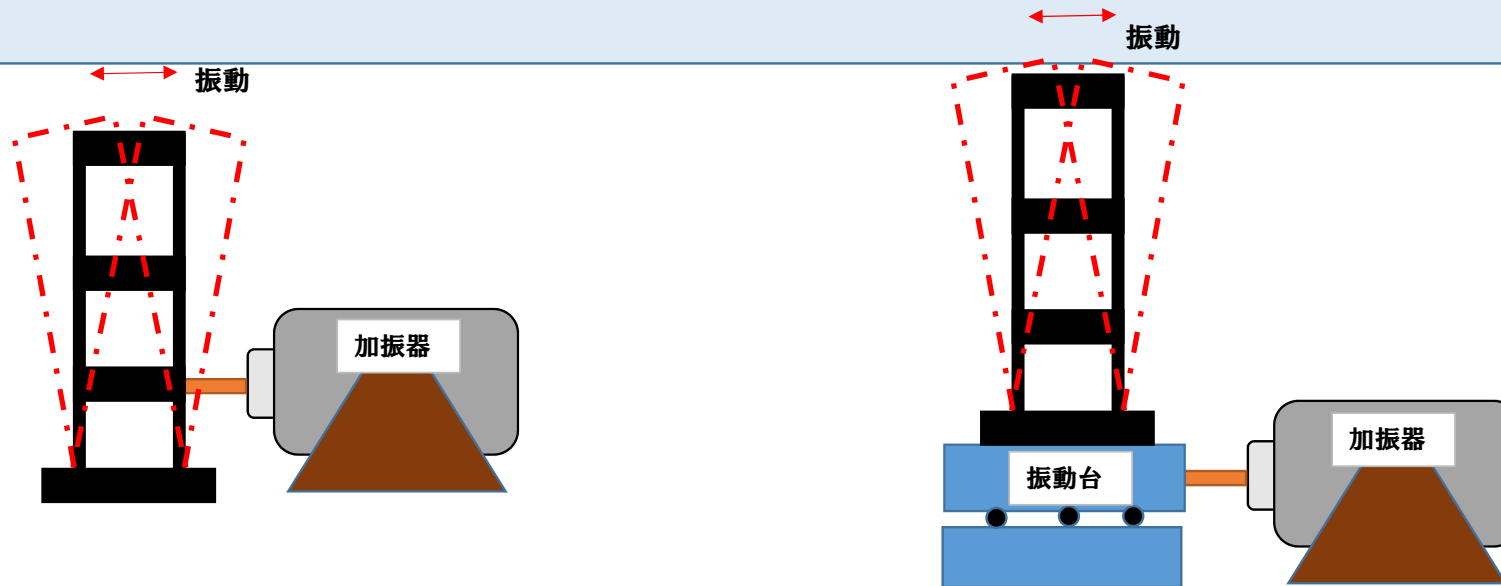
(1) 加振試験

加振試験は加振器（あるいは起振機）を用い、対象物に繰返し力（加振力）を加えることにより、対象物を振動させ、その際対象物に生じる振動を測定する試験です。

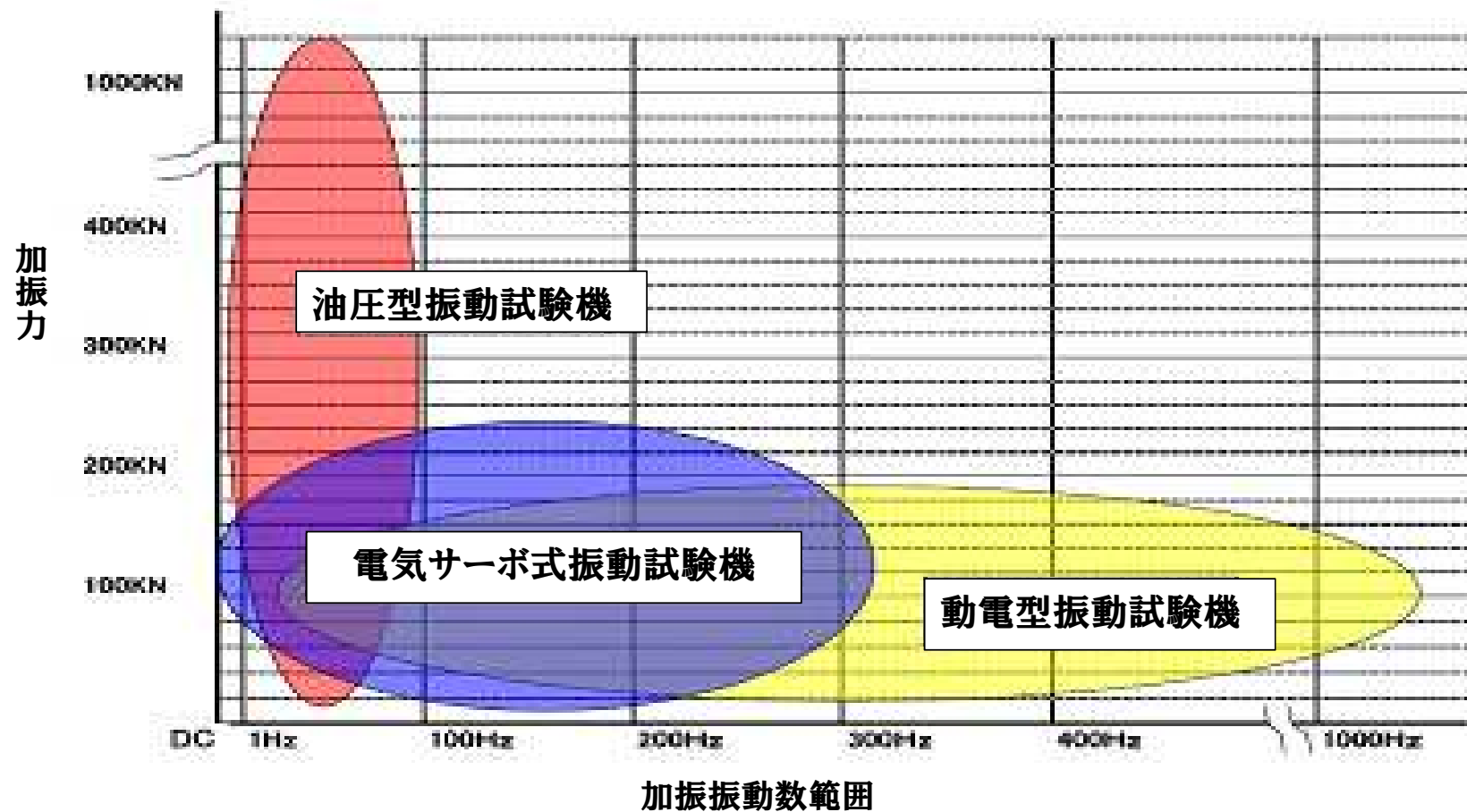
加振波形は試験目的に応じ、正弦波、ランダム波、ビート波、任意地震波などを使用します。
（夫々の波形例、スペクトル例は前のページ参照）

加振試験では下図に示すように、対象物を直接加振する場合と振動台を介して加振する場合があります。

また、加振器としては動電式、油圧式、電気サーボ式加振器などがあり、それぞれの加振振動数範囲、加振力の特徴を次ページに示します。



試験目的が達成可能な加振器を選定しましょう。

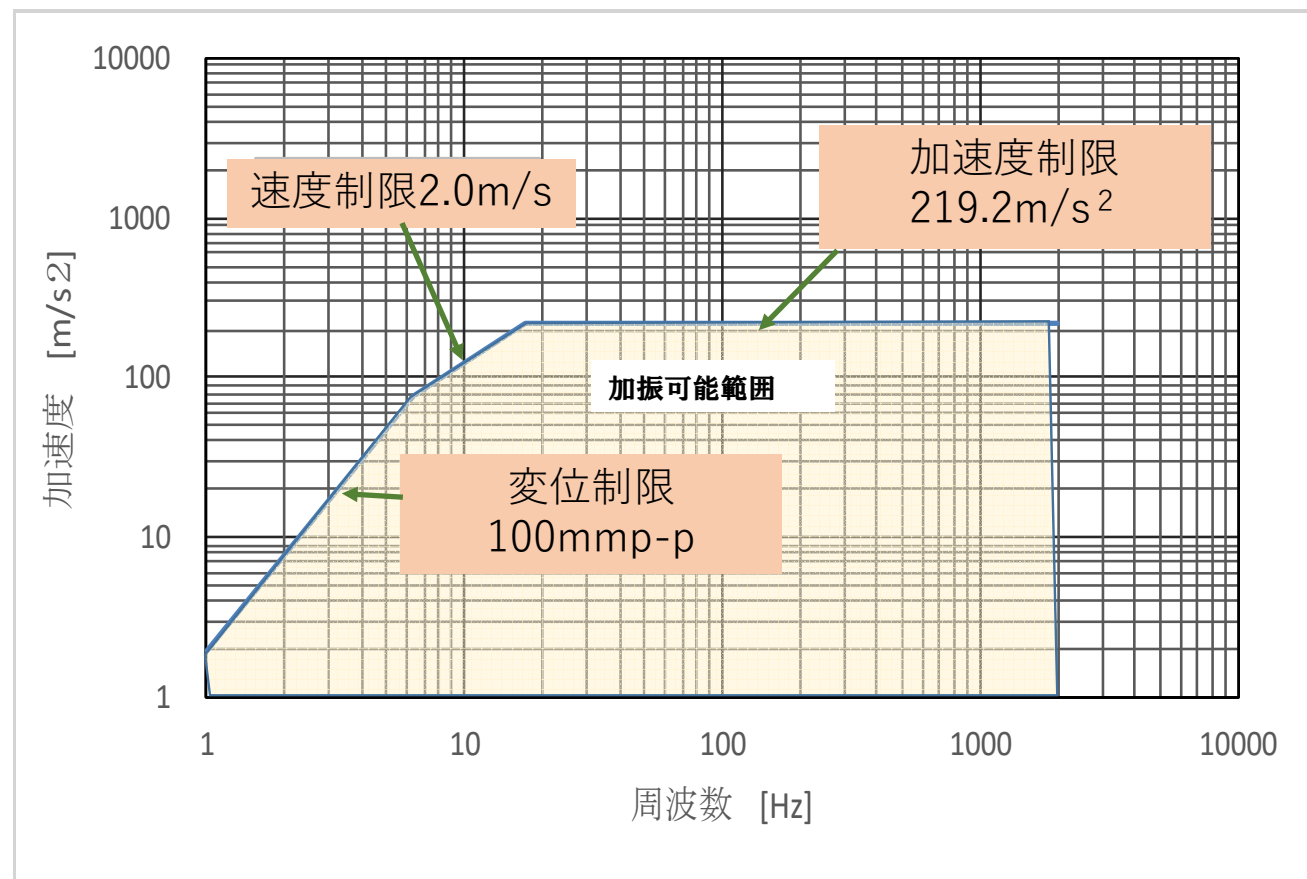


国際計測機器(株)カタログより

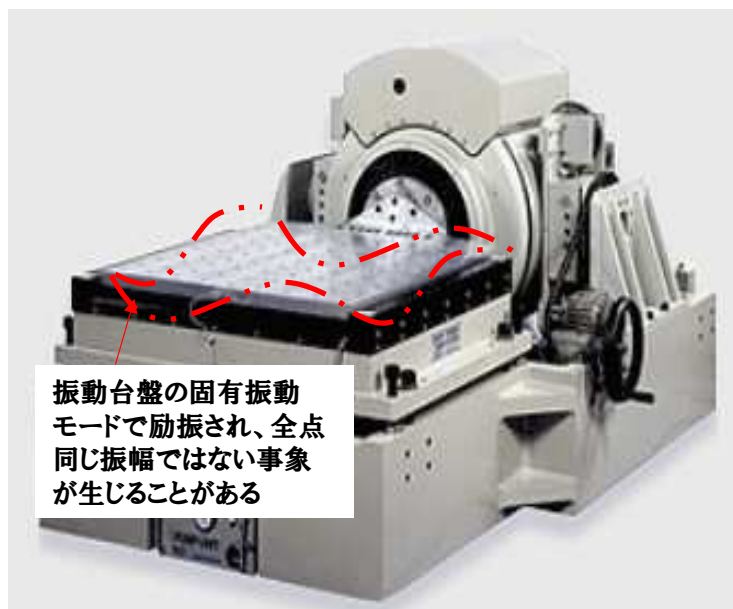
加振器の性能曲線例を下図に示しますが、低振動数域では加振器の振幅制限により、中振動数域では速度制限により所定の加振力が出ない場合がありますので事前に性能曲線を考慮した試験計画を立てることが必要です。



16kN動電型加振器



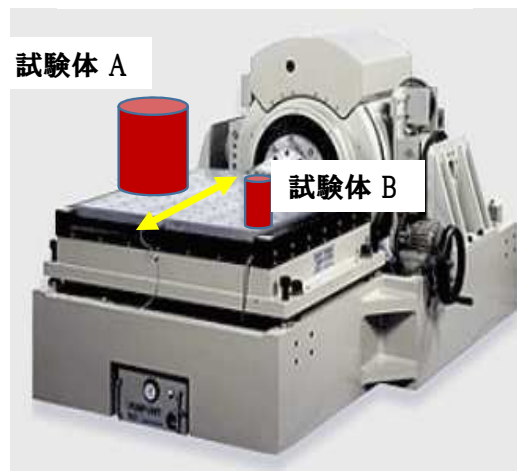
また、高振動数域での試験を実施する場合は、振動台盤や対象物、治具の振動特性を考慮することが大事です。また、高負荷の試験時には対象物、治具の質量バランスを考慮することが大事です。台盤や治具の振動特性は加振力分布に影響を及ぼし(高振動数になると台盤全体が均一に動くとは限らない)、また、質量バランスは加振器の転倒モーメント制限に影響します。



振動台盤の固有振動モードで励振され、全点同じ振幅ではない事象が生じることがある

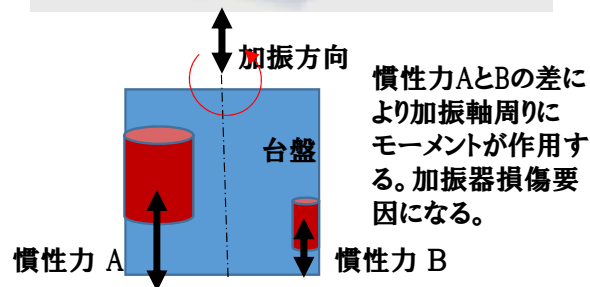
高振動数域では振動台盤固有の振動の影響を受け、台盤全点が同じ振幅になっていない。この影響を評価するか固有振動を抑えるための補強対策が必要になるが、なかなか難しい。

不適切な試験体設置状況例



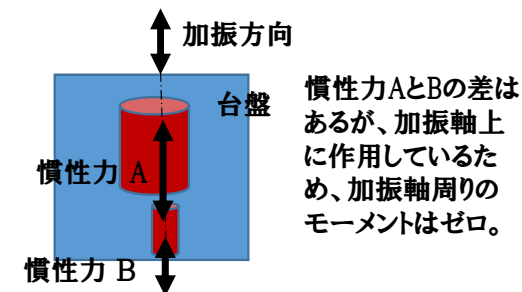
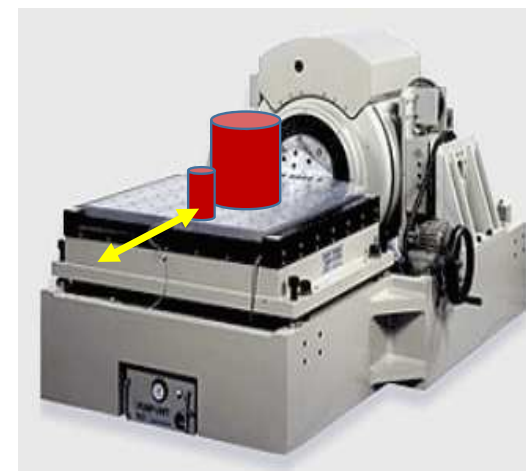
試験体 A

試験体 B



慣性力AとBの差により加振軸周りにモーメントが作用する。加振器損傷要因になる。

適切な試験体設置状況例



慣性力AとBの差はあるが、加振軸上に作用しているため、加振軸周りのモーメントはゼロ。

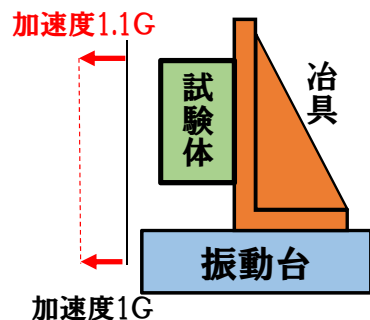
振動台試験における治具の影響についてもう少し付け加えます。

対象物を振動台上に設置する場合、対象物を取付ける治具を用いることがあります。
この場合、取付け治具の振動特性を考慮することが必要です。
何故なら、治具の剛性が低いと対象物の固有振動数が変化する(低くなる)のと、振動台
加速度レベルと異なる加速度が対象物に入力されることになります。



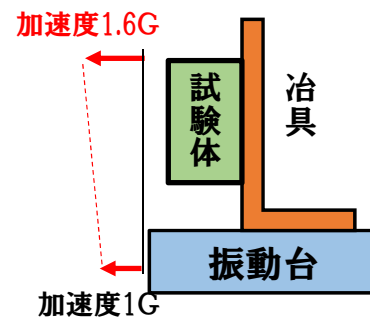
同一振動台加速度でも試験体に働く加速度は異なる場合例

A:試験体振動レベル1.1G
治具(試験対象物含)
固有振動数100Hz、
加振振動数30Hzの場合

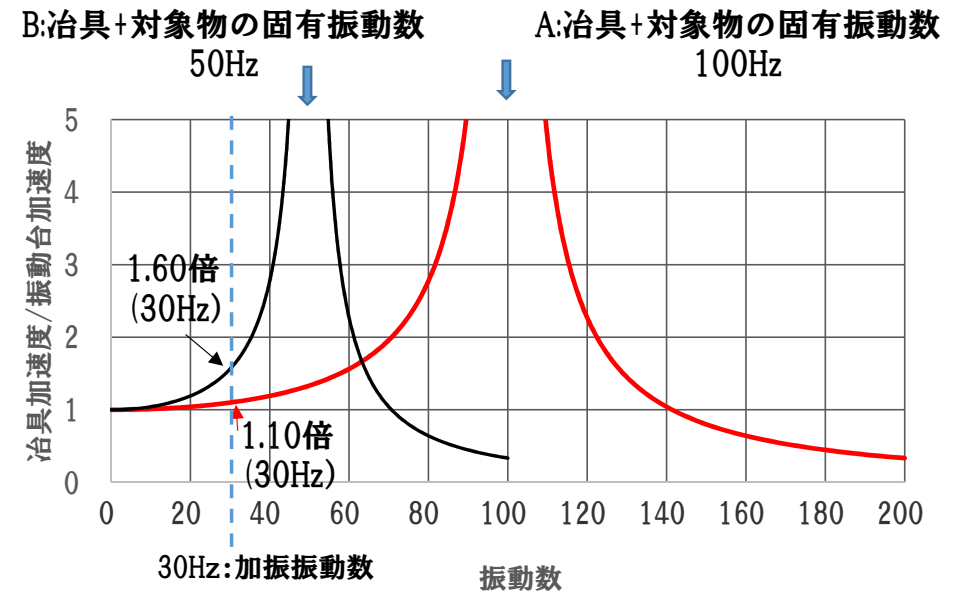


治具剛性大の場合

B:試験体振動レベル1.6G
治具(試験対象物含)
固有振動数50Hz、
加振振動数30Hzの場合

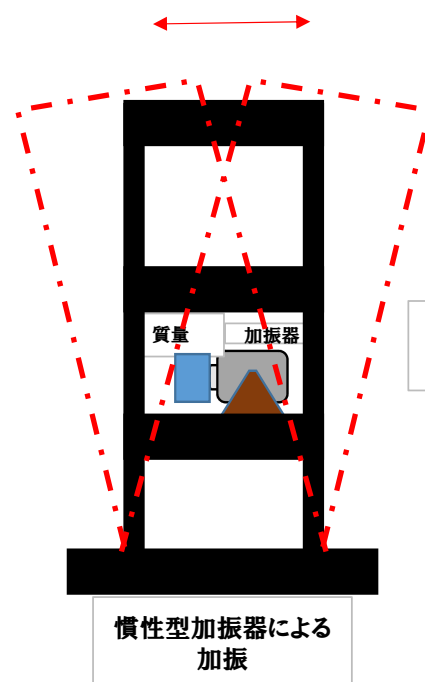
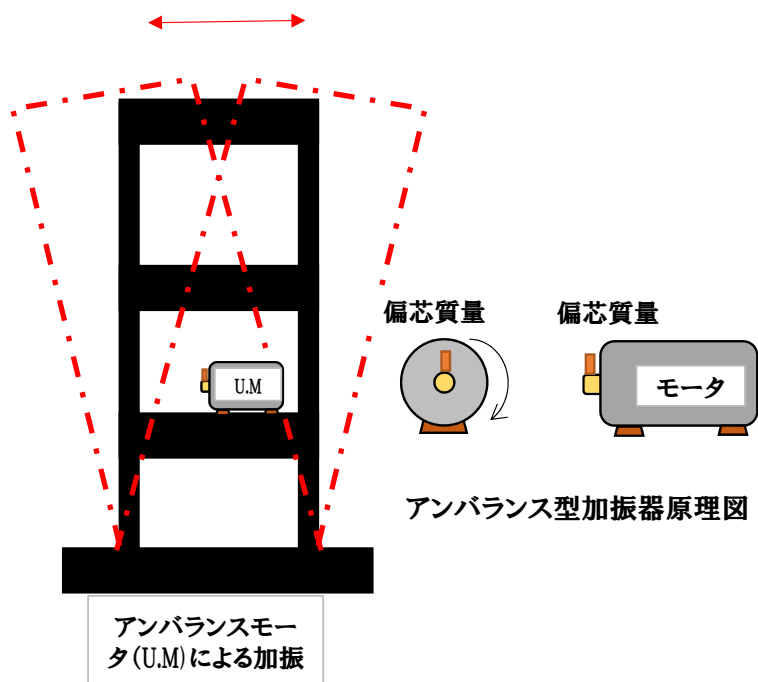
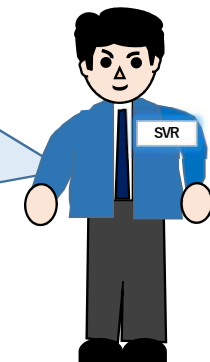


治具剛性小の場合

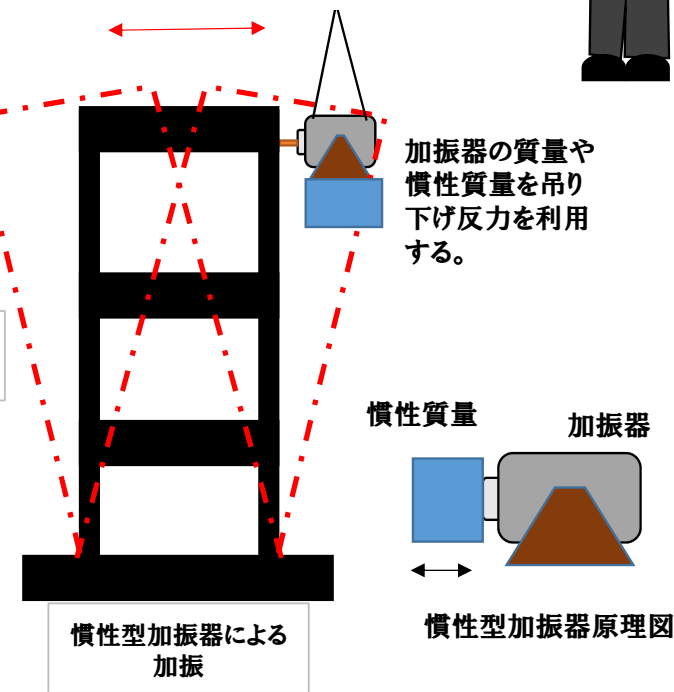


通常の加振試験では上に述べたような加振器を用いることが多いのですが、対象物を直接加振器で加振する場合、あるいは振動台で加振する場合のいずれの場合にも加振器は強固な基礎に固定し、試験を行います。

一方、現地試験などの場合、加振器の変わりに下図(左側)のようなアンバランス式の加振器(起振機)を使用することもあります。また、基礎に加振器を固定できない場合は下図(右側)に示す慣性質量型加振器により加振試験を行う場合があります。



または

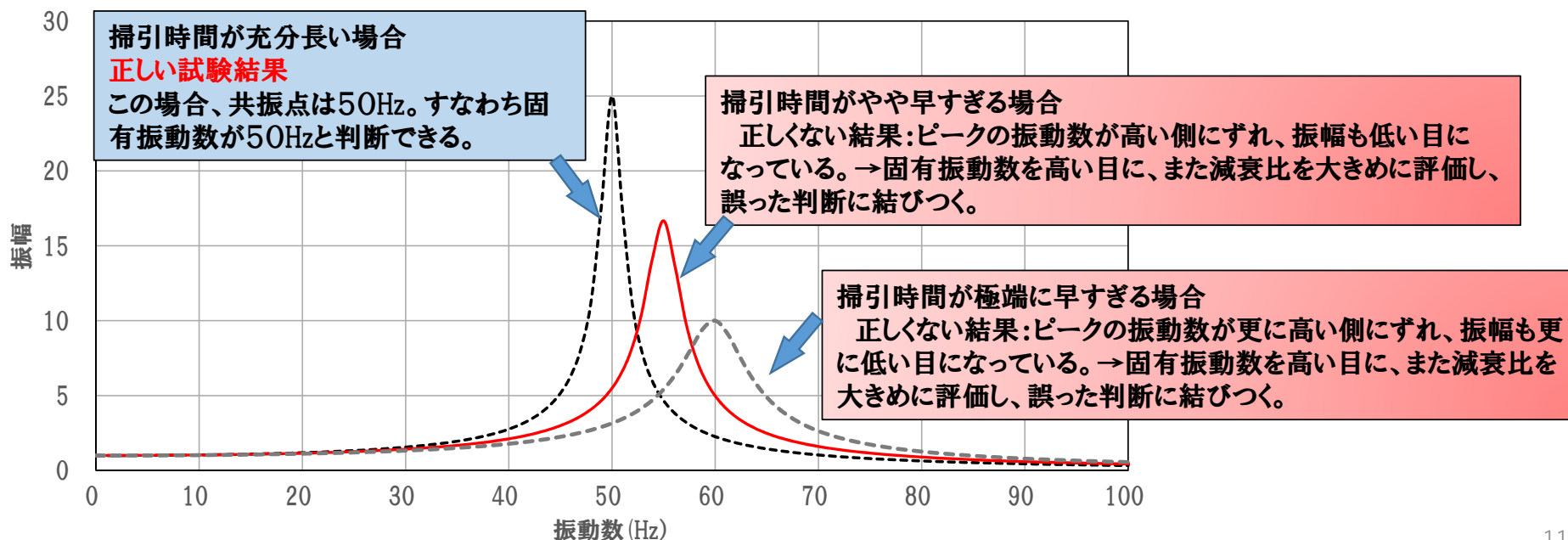


加振試験において注意すべきこと

1) 加振掃引時間

対象物の固有振動数や減衰比を求めるため、加振試験を行います。加振試験における掃引時間（加振振動数の下限から上限まで徐々に振動数を変化させるのに要する時間）は試験で得られる結果に影響する場合があります。

掃引時間が短すぎると下図に示すように正しい応答曲線を得ることが出来ません。従って、十分に長い掃引時間をかけて試験を行います。



2) 予備加振の必要性

①試験中に対象物を壊さないため

最初は加振レベルの小さい条件で試験を実施し、応答レベルを把握する。その応答レベルより試験対象物に対する許容加振レベルを推定し、その許容範囲内で試験を行う。もちろん耐振動性能限界を調査する試験ではこの限りではない。

②アンプのレンジオーバを起こさず、加振試験を一度で終えるため

原則的には低い加振レベルにおける試験にセンサ、アンプなどが正常に動作していることを確認し、共振時に各計測点の応答量を把握し、その結果より、適切なアンプのレンジ設定を行う。

3) 正弦波掃引試験は振動数上昇掃引か降下掃引か

対象物の振動特性に非線形性が予想される場合は振動数上昇掃引と振動数降下掃引試験を行い、非線形特性を把握する。

上昇、降下掃引で得られた応答曲線が異なる（ヒステリシスを持つ）場合は対象物の特性が非線系である事がわかる。振動系の特性を把握した上で必要に応じた掃引試験を行う。

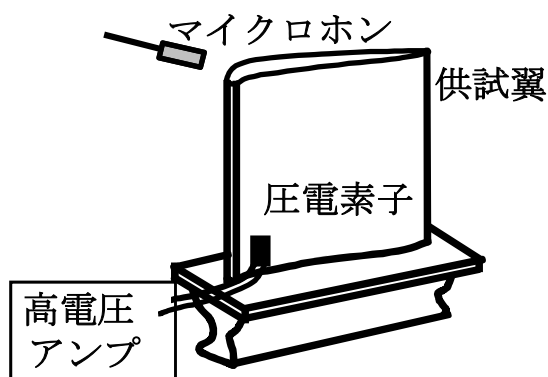
4) 加振レベルは少なくとも3段階必要か

加振レベルを3段階実施すれば、振動数や減衰比に対する加振力（レベル）に対する夫々の依存性が確認でき、加振力に対し外挿する場合にその傾向が推定しやすい。

他にもこんな加振方法もあります。

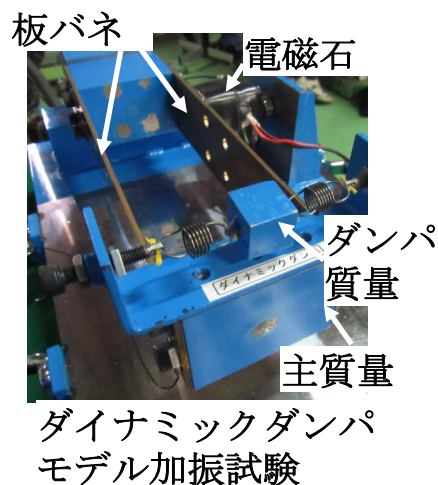
圧電素子による加振法

試験対象物が小さく軽い翼などの場合、一般的に固有振動数が高くなります。
その場合には下図のような圧電素子を試験対象物に貼り付け、圧電素子に交流電圧をかけることで圧電素子に変形し、試験体に力を伝えます。



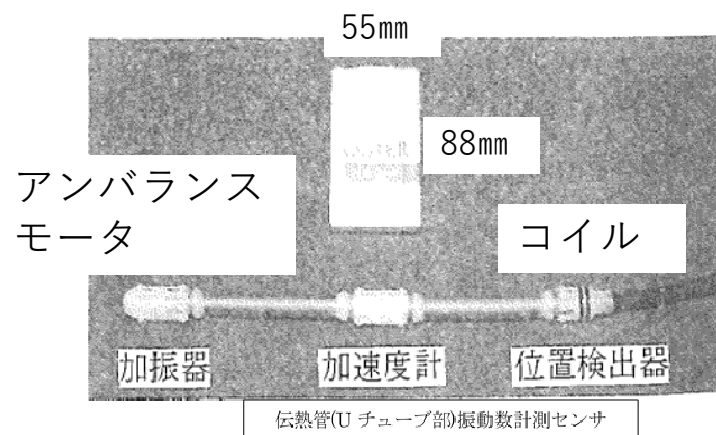
電磁石による加振法

試験対象物が磁性体で、試験体に非接触で振動を与える場合、電磁石により加振することが出来ます。



小型アンバランスモータによる細管の加振法

細長い伝熱管などで、外部から計測対象部に近寄るよることが出来ない場合などには、小型のアンバランスモーターと加速度計を組込んだ試験装置を配管内部に挿入し、固有振動数、減衰比を計測することが出来ます。(加振装置の質量が振動特性に影響するデメリットがあります)



(2) 打撃試験

打撃試験はフォースハンマなどを用い、対象物に衝撃を加えることにより、対象物を振動させる試験です。対象物の固有振動数、減衰比、振動モードを測定する場合にこの試験を行います。

フォースハンマは打撃による衝撃力を計測し、加速度計などの検出器による対象物の振動との伝達関数やモード計測を求める場合に使用します。

フォースハンマが無くても固有振動数や減衰比は求めることは可能です。

また、フォース検出器の代わりにハンマに加速度計を用いる方法もあります。

打撃試験における注意点は以下の通りです。

- ①ハンマ重量とハンマ打撃面の緩衝材の組み合わせにより、衝撃により誘発される力の振動数範囲が異なってきます。

例えば、軟らかい緩衝材と重いハンマの組み合わせでは低い振動数範囲しか力が加わりません。逆に硬い緩衝材と軽いハンマの組み合わせでは高い振動数範囲までの力が加わりますが、力の大きさは小さくなります。

従って、予備的に緩衝材を変更したデータを取り、最適なものを使うことが望ましい。

- ②一回の打撃で2度打ちしないこと。2度打ちすると2度打ちの周期に対応する振動数が力のスペクトル上に現れ、伝達関数を求めたときの応答レベルに影響します。

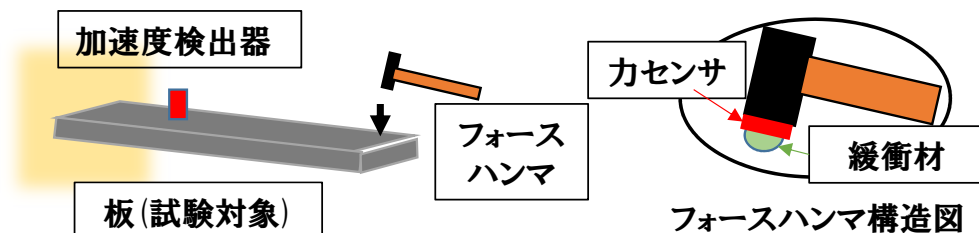
2度打ちしないためには対象物の質量や剛性を考慮した適切なハンマを選定することも対策の一つです。

- ③計測データは4～8回採取し、平均することが望ましい。平均回数が不足すると得られた伝達関数にノイズが多く含まれます。

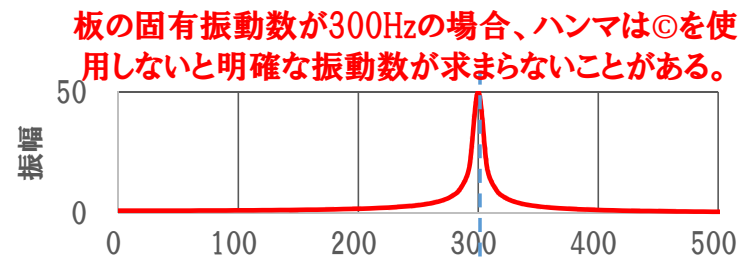
次ページに注意点に関する略画を図示します。



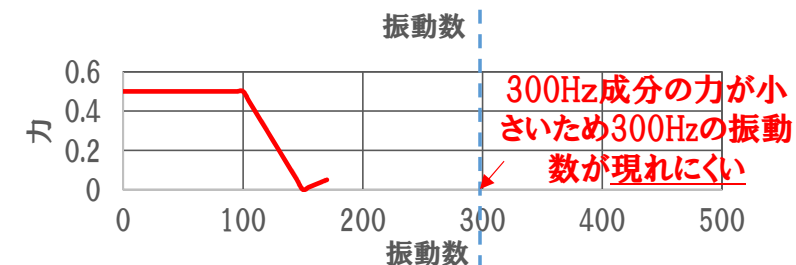
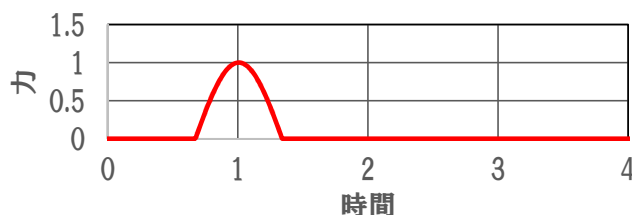
①打撃試験における緩衝材と加振力とその振動数範囲の関係



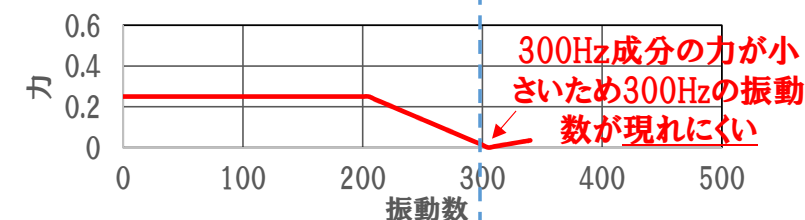
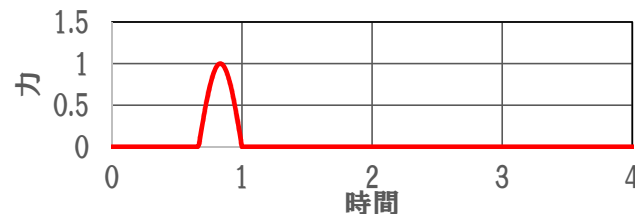
板の振動特性



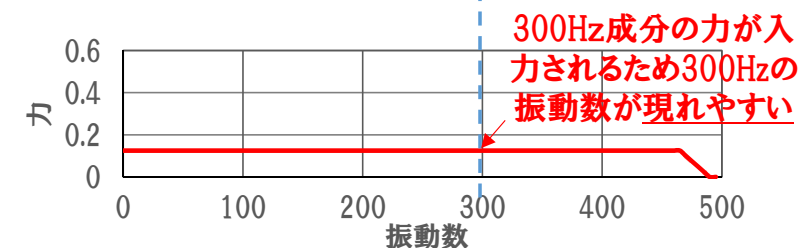
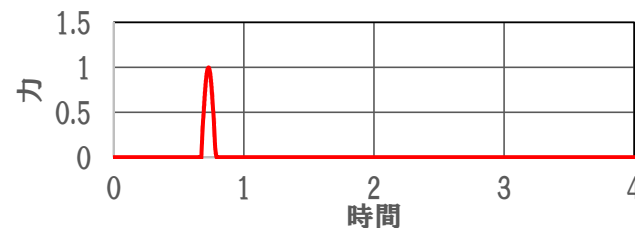
(A) 緩衝材柔、ハンマ質量大の場合
加振振動数範囲は低いが、力レベルは大きい。



(B) 緩衝材中、ハンマ質量中の場合
加振振動数範囲と力レベルは中程度。



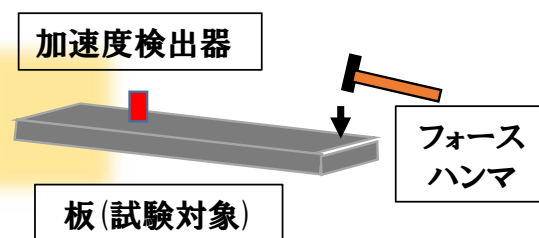
(C) 緩衝材剛、ハンマ質量小の場合
加振振動数範囲は高いが、力レベルは小さい。



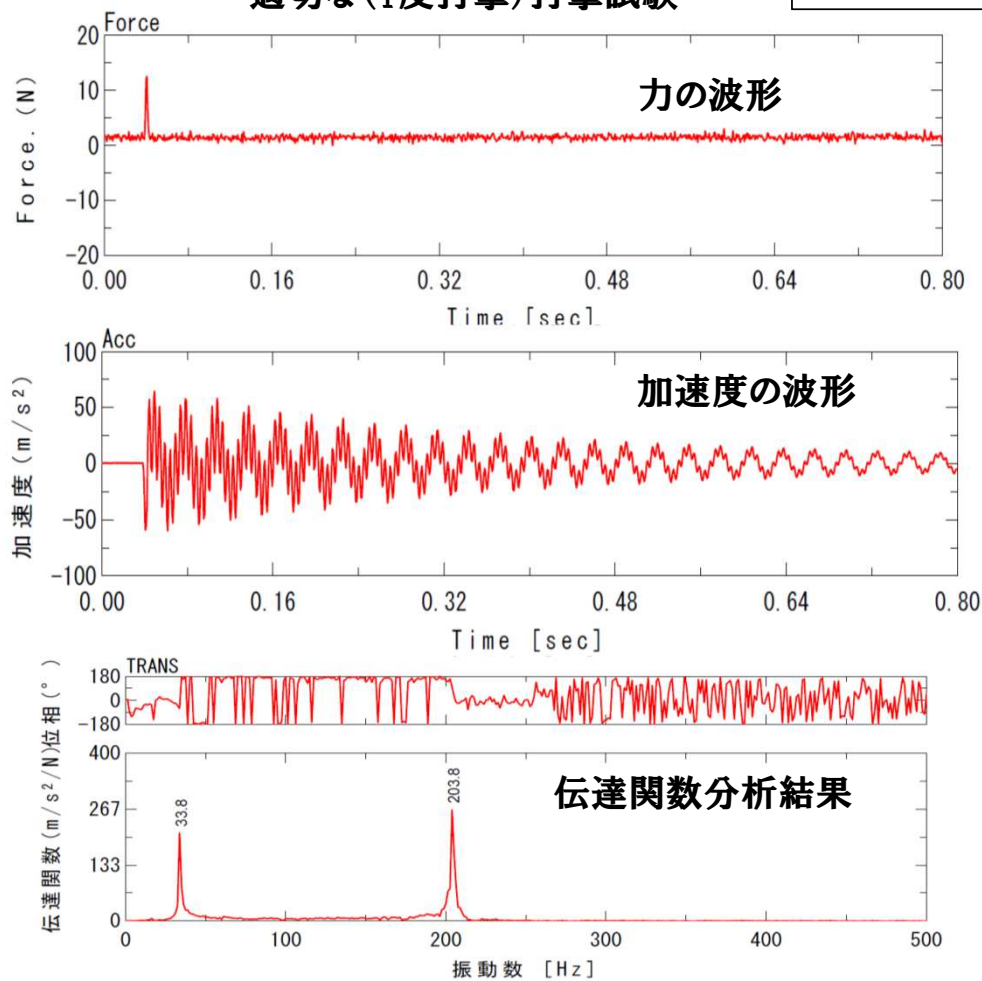
打撃力の波形

打撃力のスペクトル

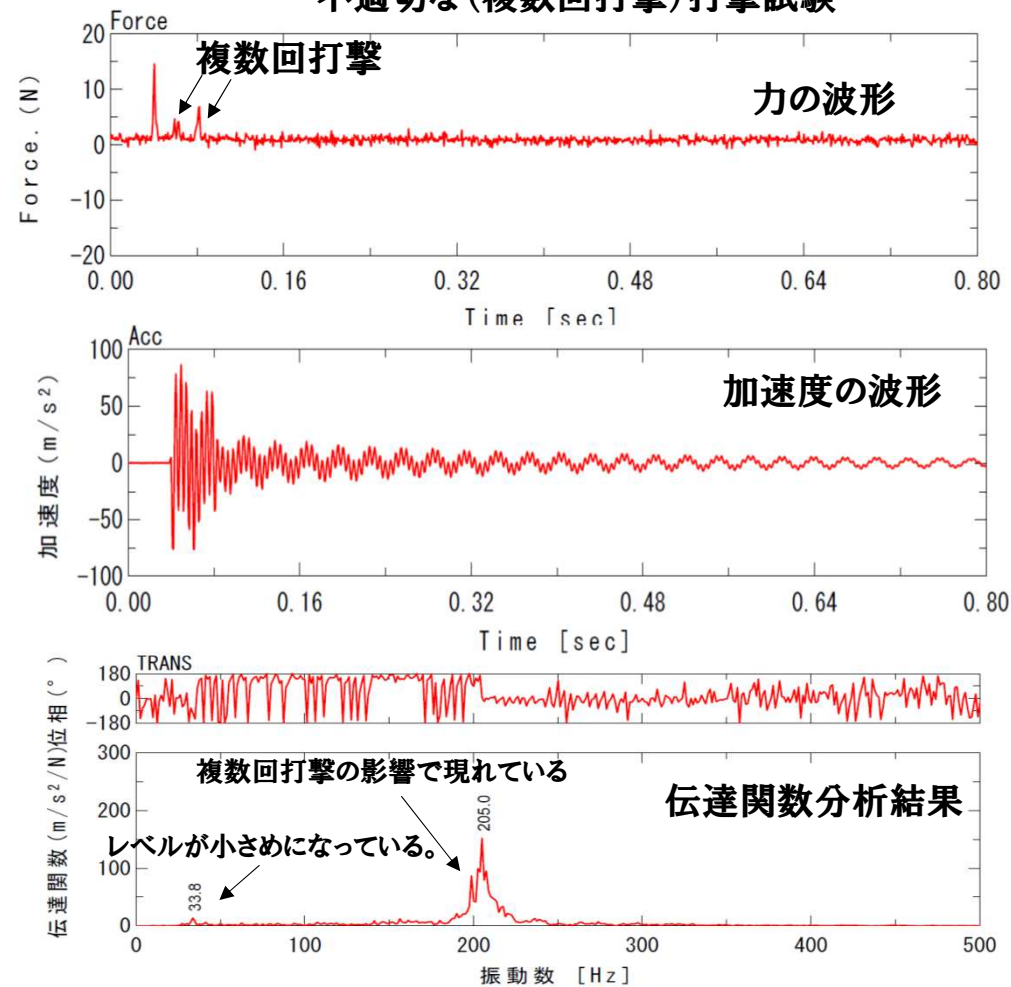
②一回の打撃で2度打ちした場合の例



適切な(1度打撃)打撃試験

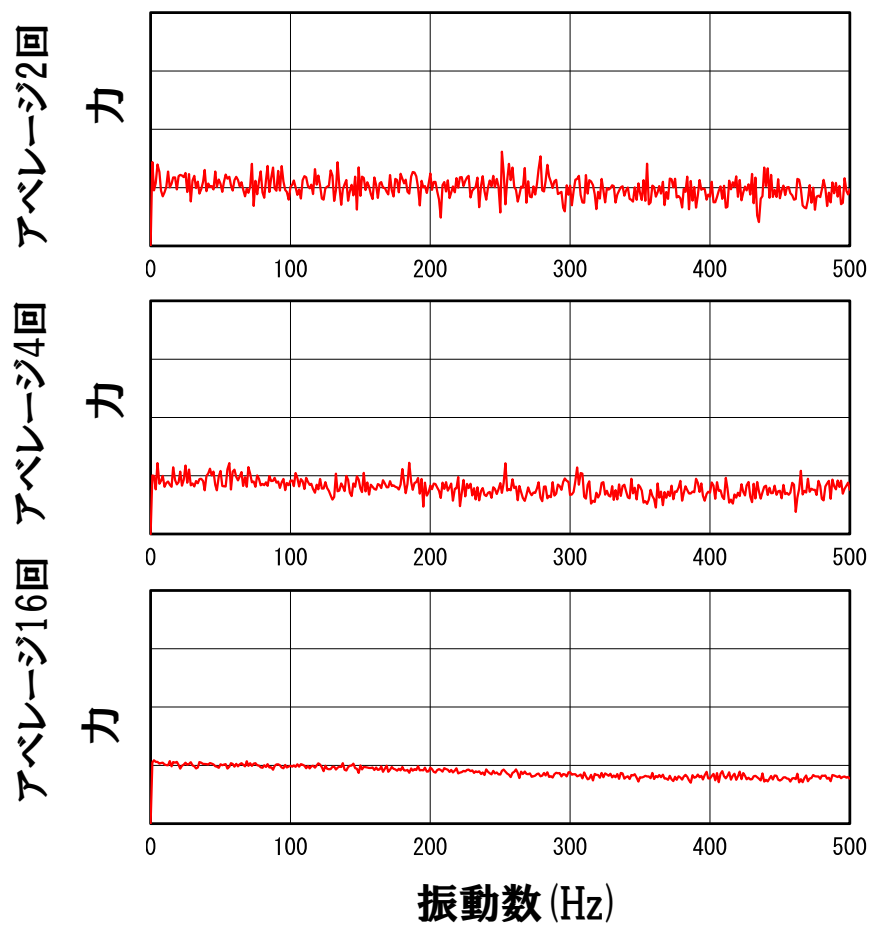


不適切な(複数回打撃)打撃試験

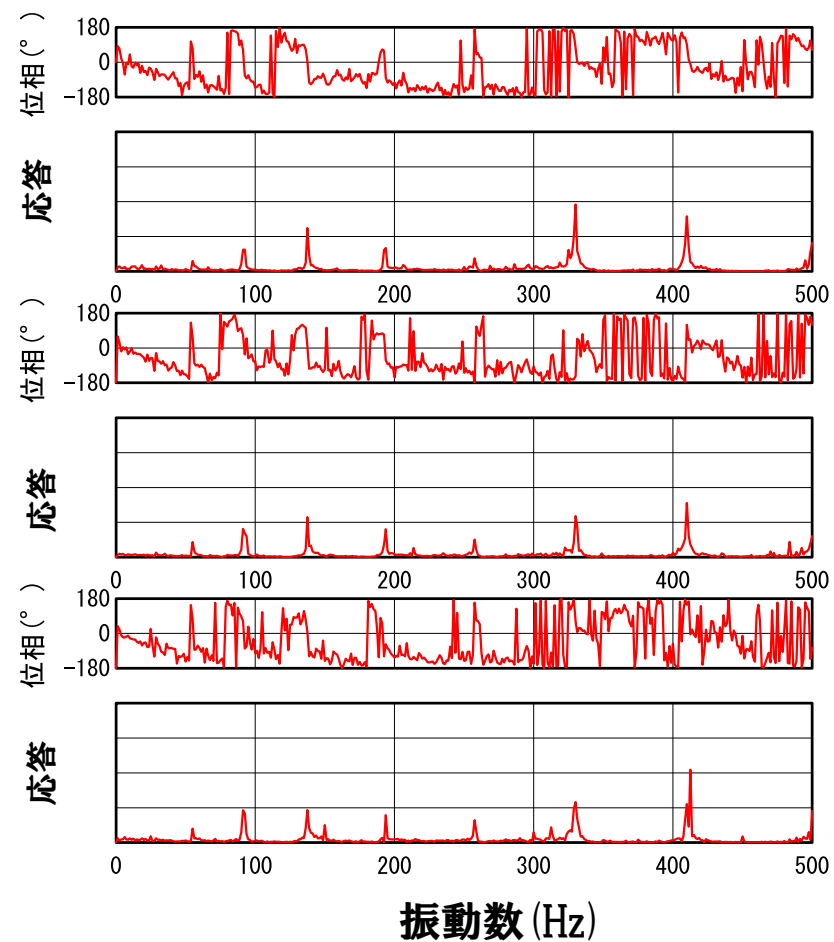


③試験データの平均化の例

打撃力のアベレージ結果



伝達関数のアベレージ結果

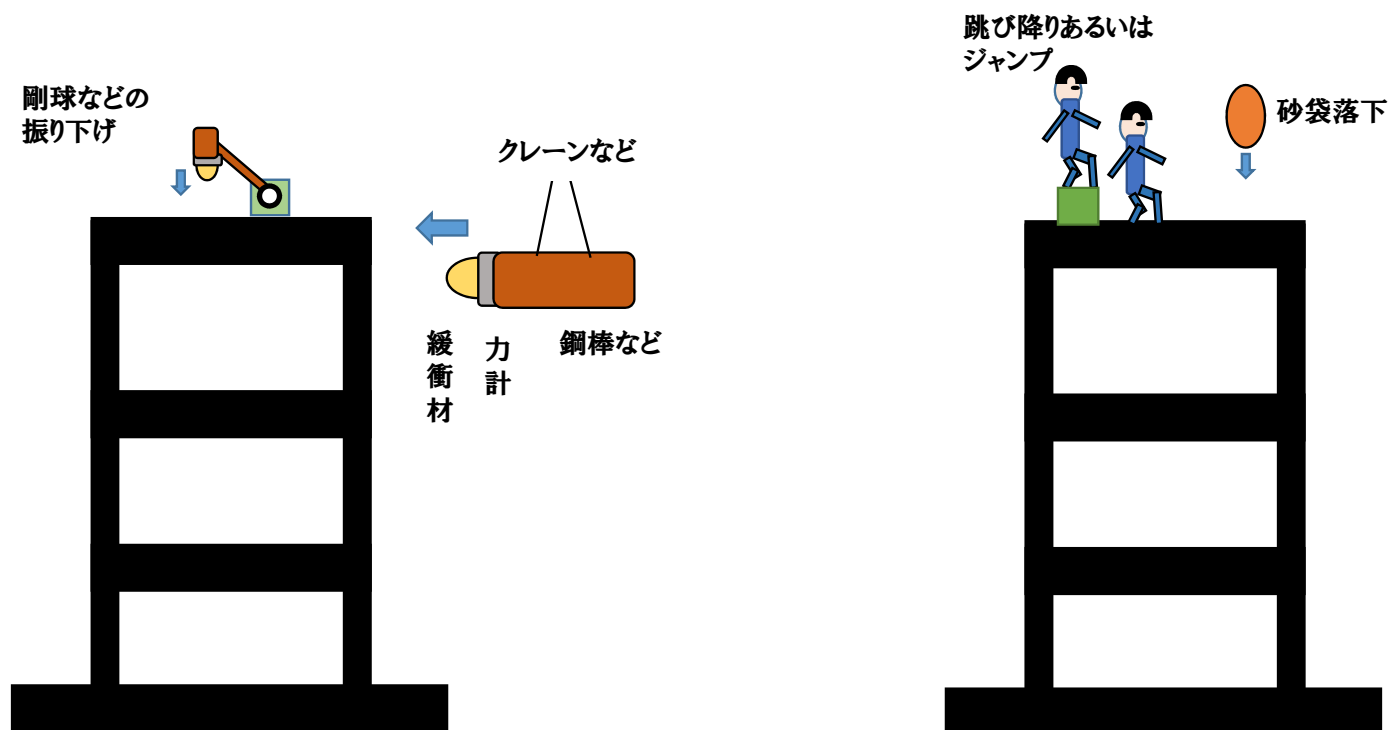


打撃方法いろいろ

打撃試験では力計の付いたフォースハンマを多くの場合に利用します。

試験対象物が大きい場合、通常のハンマでは十分な振動を与えることが出来ないことがあります。また、現場でハンマなどが手元に無い状態で振動特性を求めたい場合もあります。

打撃力を計測しておけば伝達関数が測定可能であり、動剛性や機械インピーダンスを求めることが出来るメリットがありますが、フォースゲージが無くても振動数や減衰比だけを計測したい場合、以下にハンマ以外の打撃方法例を図示します。



(3) そのほかの試験方法

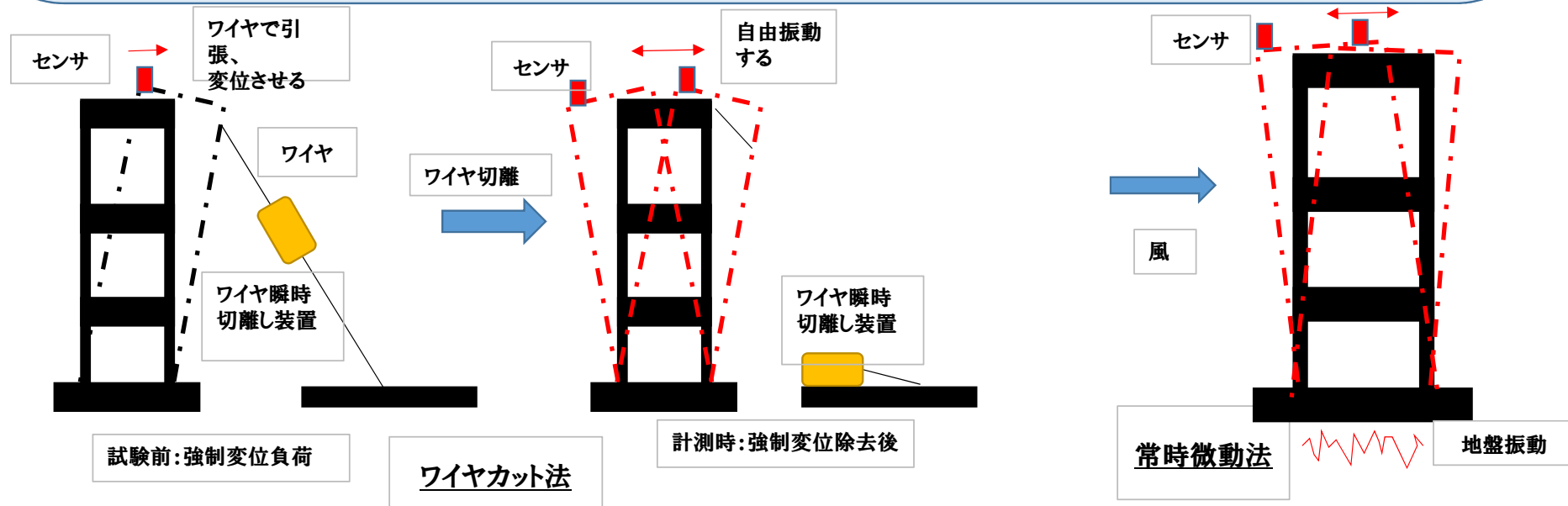
固有振動数、振動モード、減衰比を求めるため、加振試験や打撃試験の他に次のような試験方法があります。(固有振動数、振動モード、減衰比の求め方はなるほどシリーズ1で説明していますのでここでは試験方法について説明します。)

①ワイヤカット法

対象物を瞬時切り離し装置をつけたワイヤーなどで引張、初期変位を与えた状態から切り離し装置でワイヤーを切り離すことにより、対象物に振動を与え、その振動を計測する方法です。

②常時微動法

構造物は風や地盤の振動により非常に微小な振動をしています。その微小な振動を高感度の検出器で計測する方法です。



END