

精密環境を対象とした振動予測と結果の検証



松本喜代隆*

稲井 慎介*

概 要

目標性能として床のインピーダンスが規定された工場と、クレーン運転時の環境係数が規定された工場について、設計時に予測解析を行い、竣工時の性能確認実験と稼動後の実証測定を行った。

いずれも目標性能を満足することが確認され、解析時の仮定条件はおおむね妥当であったと考えられるが、一部に解析精度が不十分な点もあり、今後の課題である。

The vibration prediction and proving test for minute environment equipment

Kiyotaka MATUMOTO*

Shinsuke INAI*

For the factory in which impedance of the floor is specified, and the factory in which the K-value (Kankyou-Keisu) is specified, we practiced predictive analysis at the structural design, and proved the ability by experiments on the site.

In both case, we satisfied the specification, and so, the assumption at the analysis is almost properly, we think.

* 戸田建設(株) 技術研究所

* Technical Research Institute, Toda Corp.

精密環境を対象とした振動予測と結果の検証

松本喜代隆* 稲井 慎介*

1. はじめに

近年、精密工作機械や検査機械の設置床に対して、加工・検査精度の向上などにより、振動に関する性能要求もより厳しくなっている。一方、生産設備の高速、大型化も進み、機械自身の加振力は増大の傾向にある。また従来は1階設置とされていた機器でも、上階への設置のための検討が求められることも少なくない。振動許容値や分析方法も居住性に関するものよりも厳しく、また提示された加振力に対する検討を行う場合もある。

これらの事例として、床のインピーダンスに対する要求性能が規定された例とクレーンによる振動に対する要求性能が規定された例について、振動予測と実証実験の結果を報告する。

2. 床のインピーダンスに対する目標値設定例

2.1 建物の基本構造と目標性能

4階建てのS造大規模生産施設において、自身が振動を発生する精密加工機械群の設置が計画され、床のインピーダンスに対する目標値が機械メーカーにより提示された。基本スパンは8m × 10mで、対象階の一部のエリアが嫌振機器エリアとなっている。

2.2 予測解析

解析範囲を嫌振エリアを中央に含む3 × 3スパンとし、嫌振エリアにおいては小梁を4本とした。中央部の対象機器脚位置に評価点を設け、微小変形であることを考慮した表-1の解析条件のもとでFEMによる固有値解析を行い、その結果から床の駆動点インピーダンスを算出した。大梁、小梁、床厚をインピーダンスが目標値を上回るように設定した。評価点の位置を図-1に、評価点のエリアが卓越するモードを図-2に、算出したインピーダンスを目標値とともに図-3に示す。

床中央に近いA5点、A4点でインピーダンスが小さく目標値に近い値となっているが、他の評価点では目標値に対して十分余裕がある。当該機は複数の脚で支持されるものであり、また実際の床では広い範囲への振動エネルギー逸散が期待できることを考慮し、全体として目標を満足できるものであると判断した。

表-1 主な解析条件

梁剛性	合成梁の効果による割増し
部材端接合	全部材剛接
柱の扱い	柱の中間点ピン支持
RCの弾性係数	30MPa
積載荷重	なし(検収時を考慮)
減衰定数	全次数 3%

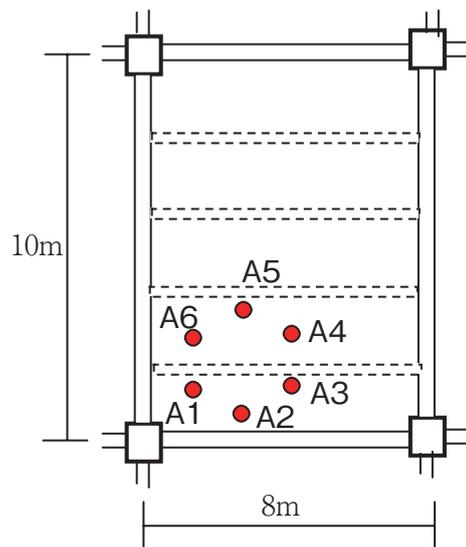


図-1 振動評価点

2.3 検証実験

建物竣工時に電磁式加振器による当該床のランダム波加振実験を行い、各評価点の駆動点インピーダンスの確認を行った。予測解析でインピーダンスの小さかったA4点、A5点の実験結果を解析値と比較したものを図-4に示す。

1次固有振動数は解析値と実験値でほぼ一致し、それより低い振動数ではインピーダンスもおおむね対応している。2次以降では、高次になるにつれ固有振動数の実験値が解析値より低くなる傾向がみられる。応答振幅が大きくなる、インピーダンスの谷を概観すると、30Hz程度までは両者が比較的対応しているが、30Hzを超えるあたりから、両者の相違は大きくなっている。

本解析の手法は、一般的に重要性の高い低次モードに対しては十分な予測精度で、本件でも30Hzまでの目標値に対して実用上十分な精度であると言えるが、高次モードに対しては場合により十分な予測精度が得られない可能性もあると考えられる。

* 戸田建設(株) 技術研究所

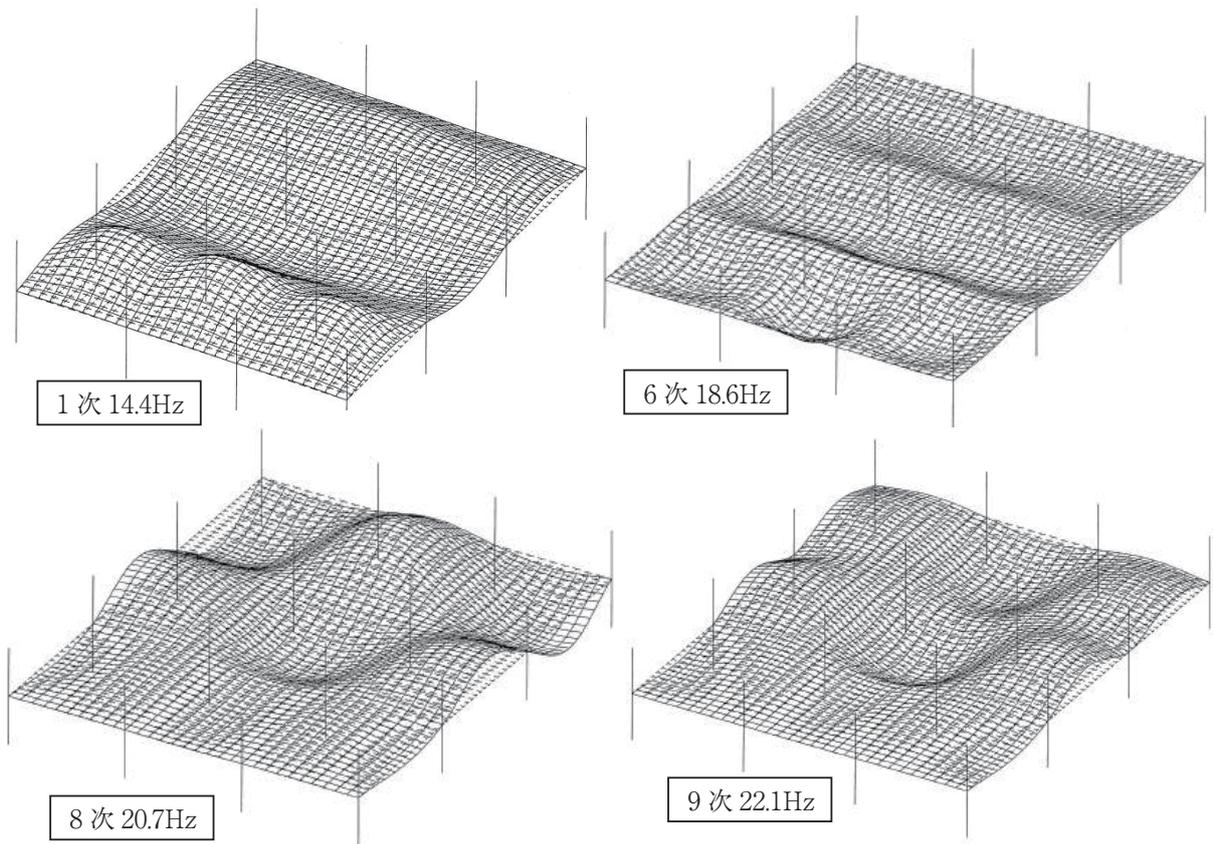


図-2 評価点のエリアが卓越する振動モード

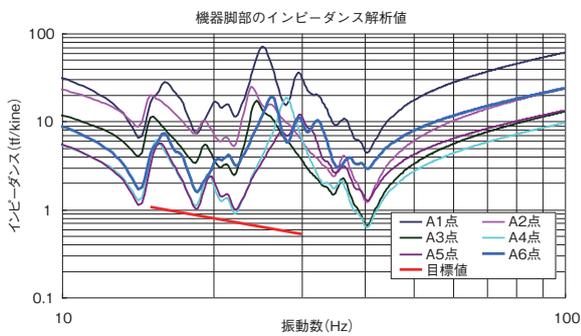


図-3 評価点のインピーダンス解析値と目標値

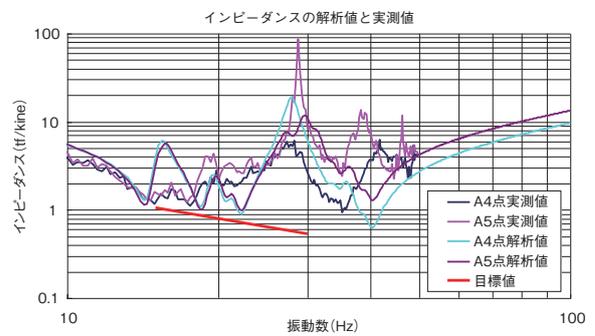


図-4 インピーダンスの解析値と実測値

2.4 確認測定

当該機の稼動常態において床振動測定を実施し、振動目標値の確認を行った。同型機が1スパン内に3台程度の密度で多数設置され、複数が稼動している状態であった。脚位置は当初計画とは若干異なったが、ほぼ対応する位置に設置されていた。当該機器の脚位置(測点)を図-5に示す。

稼動時の実測記録に、1/3オクターブバンド分析を行ったものを図-6に示す。対象範囲で目標値を満足している。インピーダンスの実測値からは、約16Hz帯と25Hz帯が目標値に近くなることが予想されたが、振動数が高いほど目標値に対する余裕が大きい結果であった。

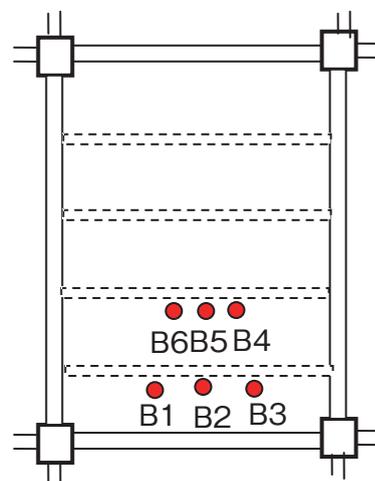


図-5 確認測定時の測点

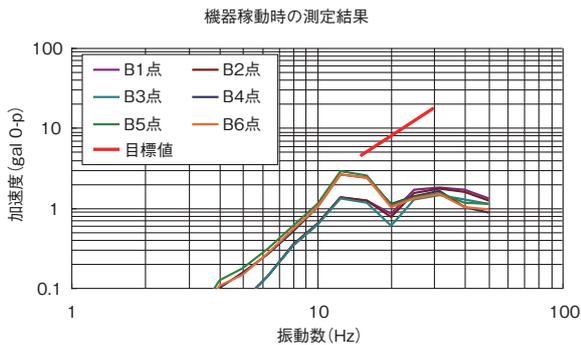


図-6 稼動時の加速度スペクトルと目標値

3. クレーンによる床振動に対する許容値設定例

3.1 建物概要と目標性能

新築のS造4階建て生産施設の1階に1tf天井走行クレーンを設置し、運転時に1階および2階床で環境係数1を満足することが目標とされた。

3.2 加振力の推定

クレーンの加振力は不確定要素が多く、定量的評価が困難である。メーカー提示もないため、実測結果から加振力を推定することとした。設置機と同一機種ではないが、既存の5tfクレーンを試験運転し、クレーンからの振動が躯体に入力する点である、ガーダー上の振動測定を行った。同一点で、ハンマリング試験を行い、その点のアクセランスを算出した。加速度測定結果をアクセランスで除することにより、等価加振力が得られる。これを図-7に示す。

3.3 納まりの選択と予測解析

クレーンの納まりとして、1階柱からブラケットで支持する方法と独立柱で支持する方法とがある。簡易モデルによる試解析の結果、2階床に対する影響は、前者が後者の10倍以上あることが確認された。加振力の予測精度が必ずしも十分でないことを考慮し、安全のため後者を採用することとした。

1スパン分を抜き出し、1階から4階までの振動モデルを作成し、固有値解析結果からクレーンガーダーから床上評価点への振動伝達率（加速度/加振力）を

算出した。評価点を図-8に、伝達率を図-9に示す。なお、基本的な解析条件は前事例と同様だが、基礎をピン支持とした点が異なる。

5tfクレーンで得られた等価加振力をそのまま1tfクレーンの加振力と見なし、これに前述の伝達率を乗じて各評価点の予測値を求めた。この階ごとの最大値をプロットしたものを図-10に示す。これらの予測値は環境係数1に対し、1階で30%程度、2階では10%以下である。隣接する類似の別棟における微動測定結果が環境係数1に対し2階で約80%、1階で約30%であったことを考慮し、クレーンによる振動の目標値を環境係数1に対し、2階で30%以下、1階で70%以下と想定した。

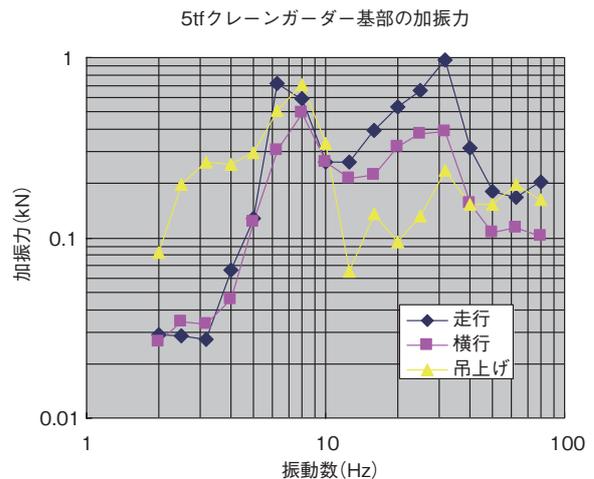


図-7 実験的に求めた5tfクレーンの等価加振力

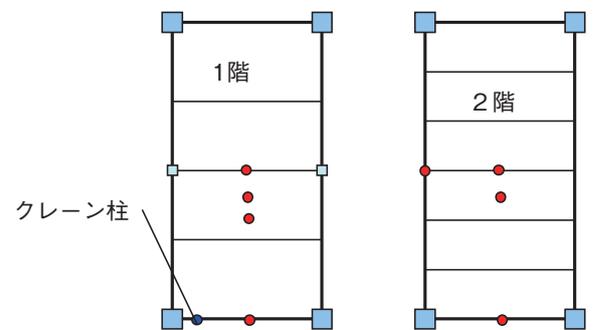


図-8 評価点

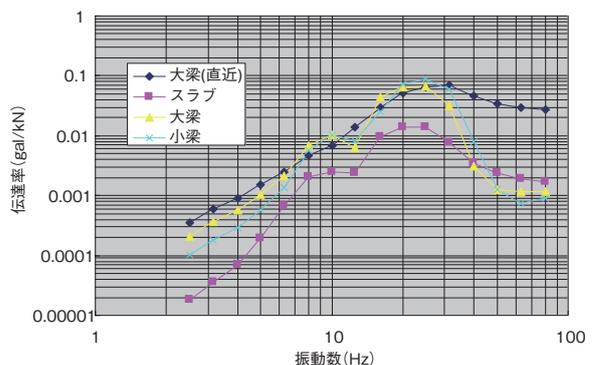
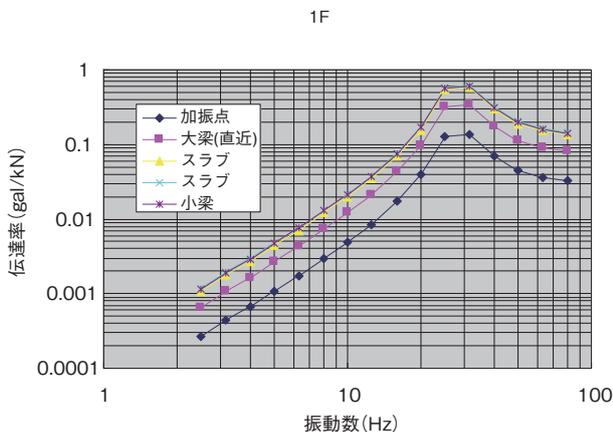


図-9 クレーンガーダーから各評価点への振動伝達率

クレーンの納まりとして1階柱からブラケットで支持する方法と独立柱で支持する方法とがある。簡易モデルによる試解析の結果、2階床に対する影響は、前者が後者の10倍以上あることが確認された。環境係数1に対する微動からの余裕が2階において少ないことを考慮し、後者を採用することとした。

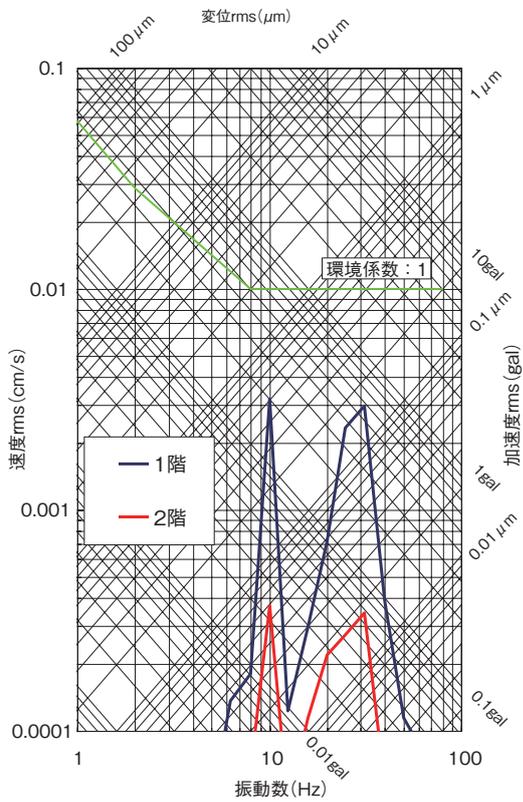


図-10 振動予測結果

3.4 確認測定

竣工時に行った確認測定の結果を図-11に示す。いずれも環境係数1を満足していることが確認できた。

4. まとめ

紹介した2件の事例では、いずれも振動解析により床振動を予測し竣工時に目標性能を満足していることが確認できた。振動解析は目的に応じた適切なモデル化が重要であるが、おおむね適切であったと考えられる。

課題としては、高次での予測精度が必ずしも十分でないこと、また簡易さを保ちつつより精度の高い手法で基礎周りのモデルを確立していくことが挙げられる。

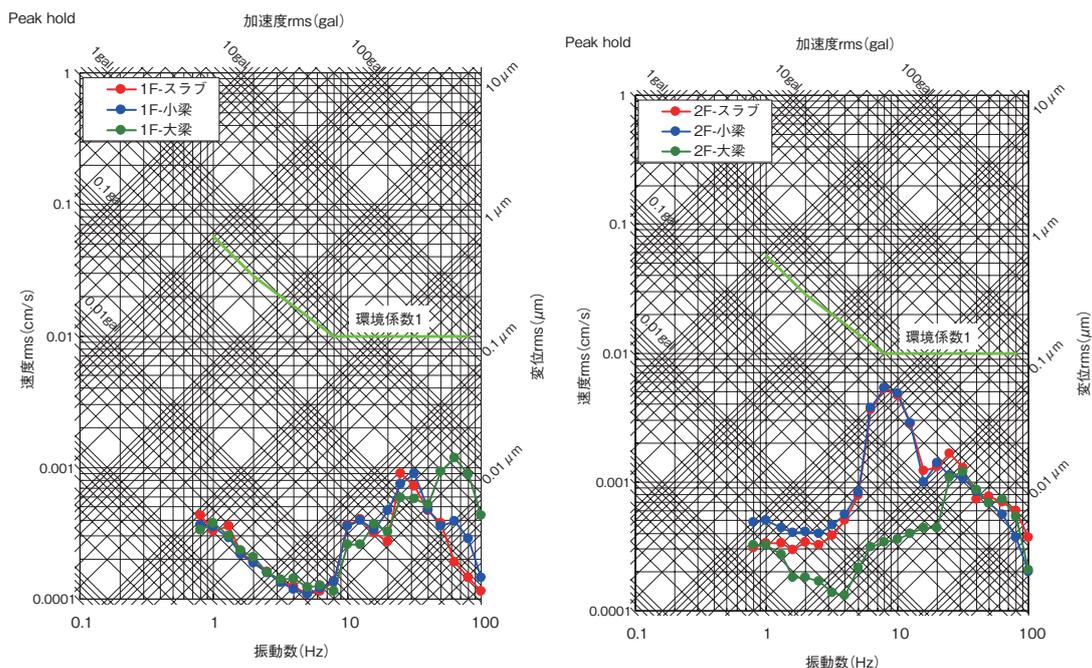


図-11 竣工時の確認測定結果

