

3. 天井走行クレーンによる倉庫内の事務所における振動測定報告

Investigation of Habitability based on Vibration Measurement for Office Floor in Warehouse where Overhead Traveling Crane is in Operation

飛田 喜則*1 山田 幸一*2

要 旨

倉庫内にある事務所床を対象として、天井クレーンが走行している状態で振動測定を行った。その結果、天井走行クレーンの稼働によって、床の振動が大きくなるものの、居住性能としては問題ないことが確認された。また、建物をモデル化した FEM モデルによる固有値解析により、実測による卓越振動数および振動モードを概ね把握することができた。

キーワード：鉄骨造／床振動／居住性能／FEM 解析

1. はじめに

倉庫や工場のような建築物では、その内部に事務所などが設けられることが多い。また、その近傍に天井走行クレーンなどが設置されていることも多くみられる。このような場合、天井走行クレーンが稼働することによる振動が躯体を介して事務所内に伝わり、事務所内の居住性に及ぼす影響が懸念される。

この度、建設された平屋の倉庫では、その一部に事務所が設けられており、その近傍に天井走行クレーン（定格荷重 2.8t）が設置されている。天井走行クレーンの一端の支持柱を事務所の柱と共有しているため、その走行時の振動が事務所内に伝播することが懸念された。事務所スラブ上において、天井走行クレーンを走行させたときの振動調査を行い、その床振動について居住性能の評価を行った。また、FEM 解析によりそれらの卓越振動数に対して考察を行った。

2. 対象建物と測定対象区画

2.1 建物概要

対象建物は、愛知県内に建つ物流倉庫である。今回測定対象としたのは倉庫内の中 2 階にある事務所床である。対象建物の中間階伏図および軸組図を図-1、図-2 に示す。構造形式は平屋の S 造ラーメン構造であり、構造躯体は柱が角形鋼管、梁が H 形鋼で構成され、柱の脚部は 1 階床から高さ 2m まで鉄筋コンクリートによる根巻き柱脚となっている。屋根は折版である。図-1 の図中に底があるが、測定当日は施工中であり底が無い状態である。

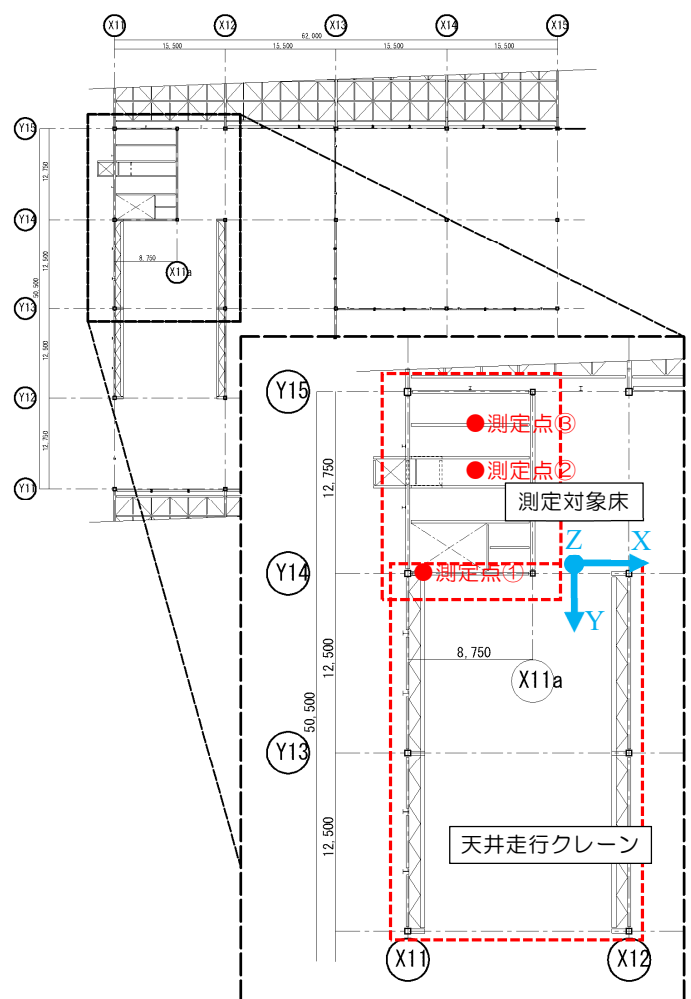
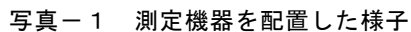
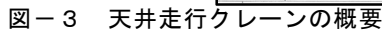
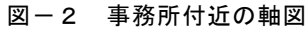


図-1 倉庫と事務所（右下：事務所付近の拡大図）

*1：技術研究所構造研究グループ *2：名古屋支店建築部



図－１より、事務所部分のスラブは、小梁を配置し、その上に山形デッキプレート（山高さ 50mm、トップコン厚さ 80mm）で構成されている。天井走行クレーンの支柱となる柱に近い床は屋内階段があるため吹き抜けとなっている。

天井走行クレーンを図-3に示す。天井走行クレーンは、そのレール間隔が13.4mであり、定格荷重が2.8tonである。建物内のX11-12間にかかけられ、レール上をY12~Y14にかけて走行する。走行車輪はウレタン製である。

3.1 測定機器

検出器はサーボ型速度計である。測定条件は、サンプリング周波数 200Hz、測定記録成分を加速度とし、測定成分は、事務所階の短辺方向を X 方向、長辺方向を Y 方向、および上下方向の 3 成分とした。なお、平日の日中に測定を実施しており、周辺では通常通り工事作業が行われていたため、測定記録にそれらのノイズが含まれているが、走行クレーン稼働時の振動性状に大きく影響するものではないと判断した。

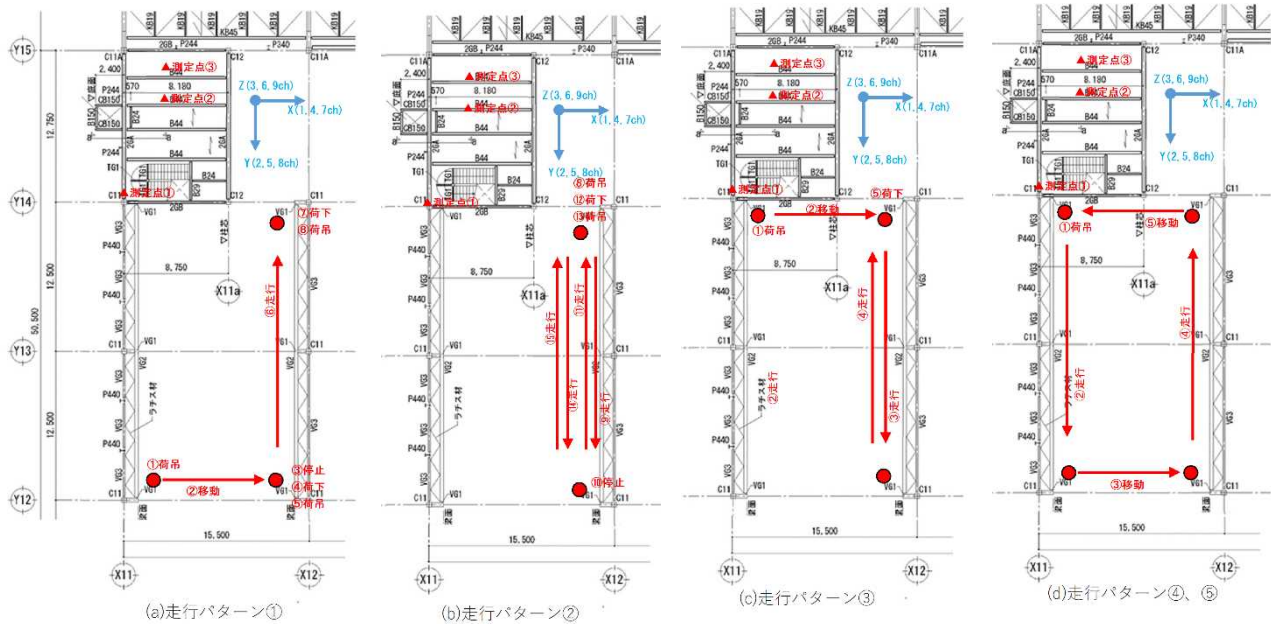
事務所の意匠図および測定点を図－１（拡大図）に示す。測定位置は、以下の３点とした（それぞれ測定点①、測定点②、測定点③と称す）。写真－１には事務所床上に測定器を配した様子を示す。

測定点③：事務所スラブの中央-端部の中間付近

天井走行クレーンの走行経路（走行パターン）を図－４（a）～（d）に示す。走行パターン①（図－４（a））では X11-Y12 にて荷を吊り上げ、横に移動し、さらに Y14 側に走行した。また、そのまま引き続き、走行パターン②（図－４（b））で Y14-Y12 間を繰り返して走行した。走行パターン③（図－４（c））は X11-Y14 から X12 に移動し、そのまま Y12 に繰り返して走行した。さらに、走行パターン④、⑤では、X11-Y14 を基点として、図－４（d）に示す経路を走行した。このとき、走行パターン④では荷を吊った状態、走行パターン⑤では荷を吊らない状態とした。吊り上げた荷は、重量が約 2.8t の錘とし、その走行速度は通常の作業と同等程度とした。

4.1 常時微動時の振動特性

図-6 に常時微動時のフーリエスペクトルを示す。
図中には主な卓越振動数を記入している。これより、
水平方向の卓越振動数は、X 方向 3.00Hz、Y 方向 3.64Hz
であり、これらは建物全体の水平方向の 1 次固有振動



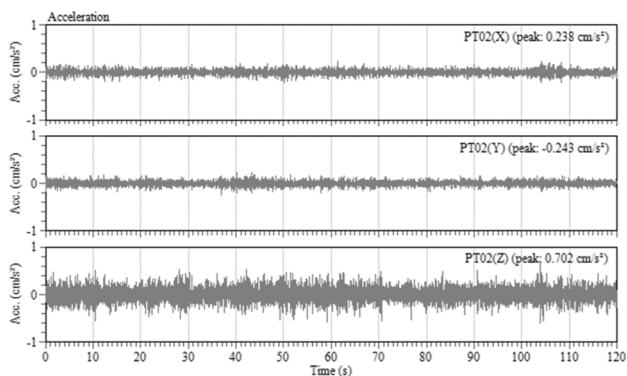
図－4 天井走行クレーンの走行経路

数と推定される。また、X方向 9.65Hz、Y方向 8.12Hzに卓越が見られ、これらは中間層の水平方向の固有振動数と推定される。上下方向では、9.40Hzに最も大きな卓越振動数がみられるが、8Hzから10Hzにかけていくつかのピークがみられた。その他 14.30Hz、16.76Hzおよび21.32Hzに高次の卓越振動数が確認でき、特に、14.30Hzは上下と共に水平方向に卓越がみられた。

4.2 天井走行クレーン稼働時

走行パターン①に測定した加速度波形例（測定点②）を図－7に示す。図の上からX方向、Y方向およびZ方向を示す。また、荷物の有無による比較をするため、走行パターン④⑤での測定点②の上下方向の加速度波形を図－8に示す。これより、以下のことが言える。

- ・天井走行クレーン稼働時には、常時微動時に比べて水平方向、上下方向ともその影響を受けて加速度が大きくなる。

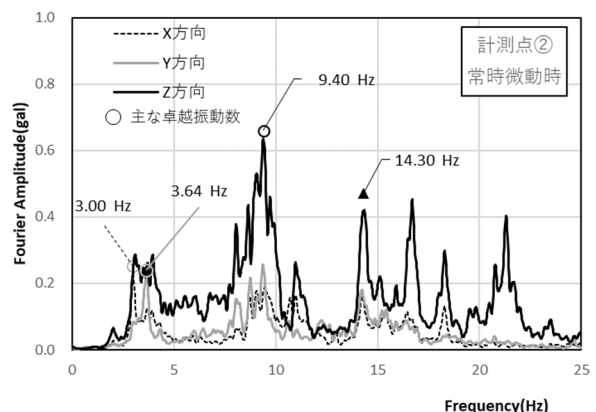


図－5 微動時の加速度波形例（測定点②）

- ・測定点①では、天井走行クレーンの影響が大きく、特に、上下方向よりも水平方向の加速度が大きい。
- ・事務所内となる測定点②では、測定点①に比べると水平方向の加速度が小さくなり、逆に床の上下振動によって上下方向の加速度が増加する。
- ・走行時より、吊荷を荷吊や停止時にやや大きな加速度が生じる傾向がある。
- ・走行パターン④と⑤を比較すると、最大加速度値はほぼ変わらないが、吊荷が無い走行パターン⑤の加速度がやや小さい。

図－9に走行パターンごとの計測点②のフーリエスペクトルを示す。図中には常時微動時のフーリエスペクトル、また常時微動に対する各走行パターン時のスペクトル比を併せて示している。

これより、常時微動時と比較すると、走行によりば



図－6 フーリエスペクトル（測定点②）

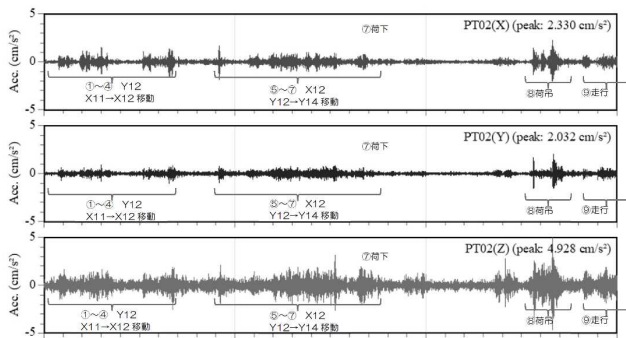
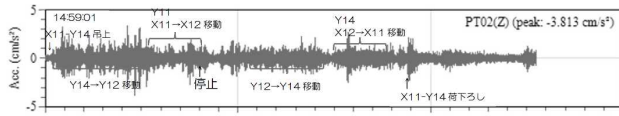
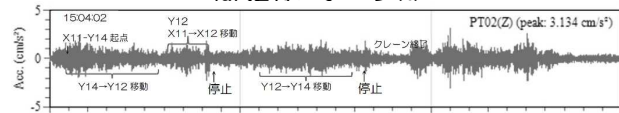


図-7 走行パターン①の加速度波形例（測定点②）



(a) 走行パターン④



(b) 走行パターン⑤

図-8 走行パターン④、⑤の加速度波形
(測定点②、上下)

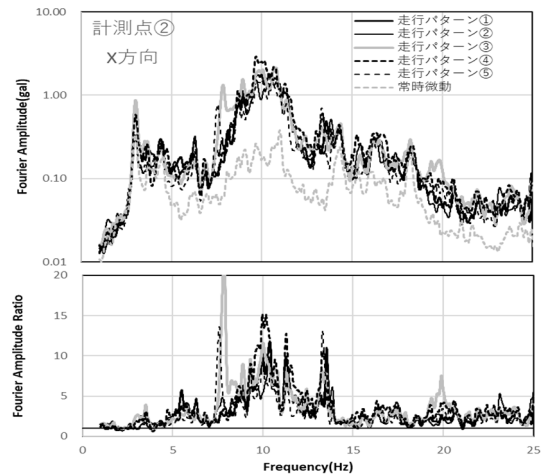
らつきは見られるものの振動特性に大きな違いがみられない。スペクトル比では、水平方向は 10Hz 付近が、上下方向は 8Hz 付近が増幅している。

4.3 天井走行クレーン稼働時の居住性能評価

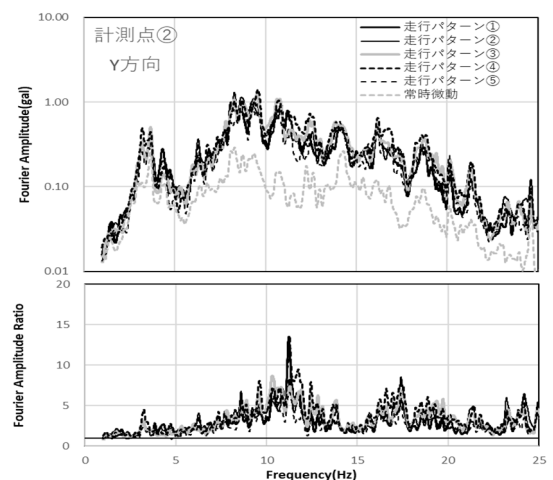
文献 1 によると事務所などの床の評価ランクを体感と照らして示しており、ランク V-II の範囲であれば、「あまり気にならない」「不快ではない」とされている。また、ランク V-III 以上であれば「やや気になる」などとされている。これを参考に、本床の振動性能評価を V-II 以下を目標とした。なお、ここでは、事務所内の加速度が大きい、鉛直振動を対象とする。クレーン稼働時の鉛直振動について日本建築学会の指針⁹⁾に基づいて 1/3 オクターブバンド分析により居住性能を評価した。

クレーンの走行パターン①および②は連続しているので図-10(a)に重ねて示す。また、クレーンが走行していない常時微動時の居住性評価も併せて示す。走行パターン③の評価結果を図-10(b)に示し、荷吊りの有無による比較のため、走行パターン④および⑤の評価結果を重ねて図-10(c)に示す。

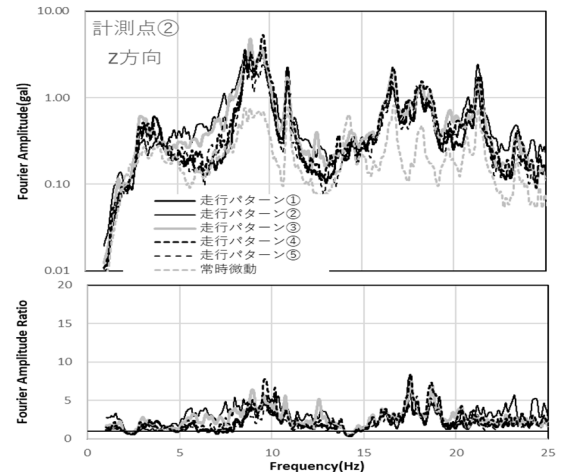
これらより、クレーン非稼働時の常時微動時の評価に比べると全体的に大きくなっており、特に 10Hz 付近の振動が大きくなっている。走行パターン①のスラブ中央において V-II を上回っているが、いずれのクレー



(a) X 方向



(b) Y 方向



(c) Z 方向

図-9 クレーン稼働時のフーリエスペクトル(上段)
と常時微動時に対するスペクトル比(下段)

ン走行時の居住性能は概ね V-II を下回り、あまり感じない振動であると判断できる。規定ランク V-II を超えていた走行パターン①では、荷吊時に生じたやや衝撃的な振動によるものであり、走行時に常にランク V-II

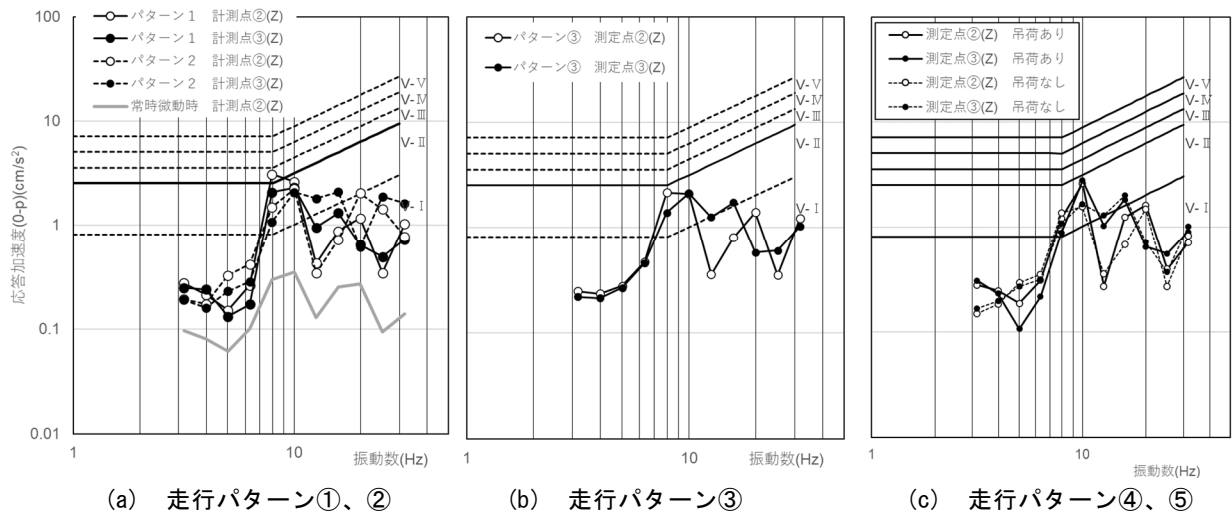


図-10 走行パターン①、②の居住性能評価

を超えるものではないことを確認している。また、図-10(c)より吊荷の有無で比較すると、10Hz では吊荷があることで加速度が大きくなる傾向を示した。

よって、天井走行クレーンの稼働によって、おおむねランク V-II 以下であることが確認できた。

5. 解析モデルと固有値解析結果

5.1 解析モデル

振動測定によって本建物および事務所部分の床の卓越振動数が把握できた。ここでは、FEM 解析モデルを用いて建物全体および事務所床の固有振動数を確認する。解析モデルは簡略化している部分等があるため、実測結果とややズレが生じるが、おおむね傾向を把握することを目的とする。

建物全体の解析モデルおよび中間層の事務所部

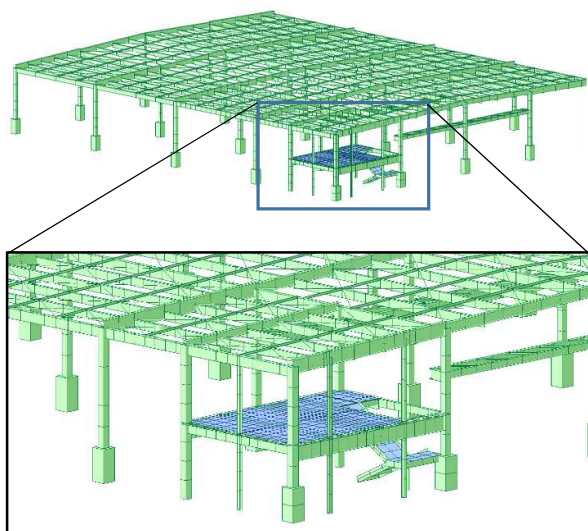
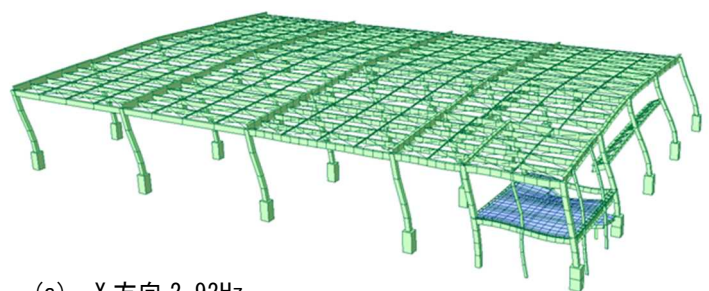
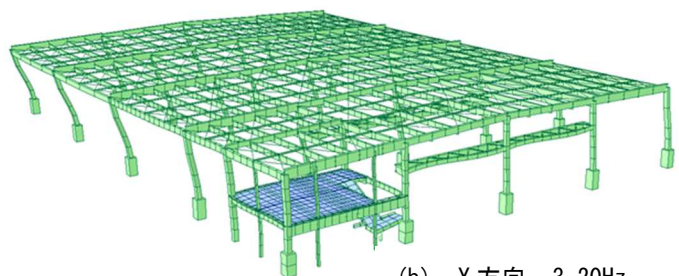


図-11 解析モデル

分の拡大図を図-11 に示す。各部材は構造断面に倣い入力した。柱は鉄骨部分と脚部の根巻き部分をコンクリートとし、スラブの一般部分はスラブ厚 105mm の板要素（床構造はデッキであるが異方性を考慮していない）とし、小梁や大梁でスラブが取り付けいている部分はスラブ（有効幅：600mm）との合成梁とする。柱の柱脚は固定とする。また、階段部分はササラ板と鋼板にて簡易的にモデル化し、ササラの脚部および支柱の脚部は固定とした。なお、屋根面の小梁は、高振動数での固有値解析では、個々に上下振動モードが生じ、煩雑になるため、端部および中間部の上下方向の変位を拘束した。各部材の重量は自重による固定荷重のみとした。



(a) X 方向 2.92Hz



(b) Y 方向 3.20Hz

図-12 固有値解析結果（建物全体）

5.2 固有値解析結果

固有値解析による振動モードを図-12 および図-13 に示す。図は、常時微動測定による主な振動数のみを示している。

(a) 建物全体の振動

固有値解析による1次、2次振動モードを図-12 に示す。水平1次、2次振動モードはそれぞれ建物全体がX方向、Y方向に振動するモードである。これらの固有振動数は2.92Hz、3.2Hzである。図-6に示した実測値による卓越振動数3.00Hzおよび3.64Hzに対応する。

(b) 事務所床の振動

次に事務所部分で最も卓越する振動数を確認する。固有値解析により事務所部分の上下方向が大きくなる振動モードを図-13(a)~(c)に示す。各図の左上は各振動モードにおける事務所床部分を上部から見た変形前と変形後の変形図を示している。

図-13(a)~(c)にはこれら固有値解析においても対象床の固有振動数が7.97Hz、8.24Hzおよび9.24Hzである。図-13(a)の7.97Hzではスラブ中央の変形が大きくなり、あまり水平動の振動成分は見られない。しかし、図-13(b)および図-13(c)の8.23Hzや9.44Hzでは上下動の他に事務所床が水平方向にややねじれが生じる成分がみられた。このように、8~10Hzの振動数帯内でいくつかの振動モードがあり、上下動だけではなく水平方向の動きもあることが分かった。しかし、本計測では実測の卓越振動数を特定することができなかった。さらに、実測による11Hz以上の高次の振動モードについても固有値解析において対応する振動モードがみられたが、特定するにはより詳細な計測を行う必要がある。

卓越振動数など実測と異なる部分もあるが、建物全体をモデル化することで、対象とする床の上下方向の振動だけではなく、建物全体と事務所部分の局所的な卓越振動数、水平方向と上下方向が連成した振動モードを概ね把握することができた。

6. まとめ

倉庫内にある事務所床を対象として、天井クレーンが走行している状態で振動測定を行った。その結果、天井走行クレーンの稼働によって、床の振動が大きくなるものの、居住性能としては問題ないことが確認された。また、建物をモデル化したFEMモデルによる固有値解析により、実測による卓越振動数および振動モードを概ね把握することができた。今後、これらの計

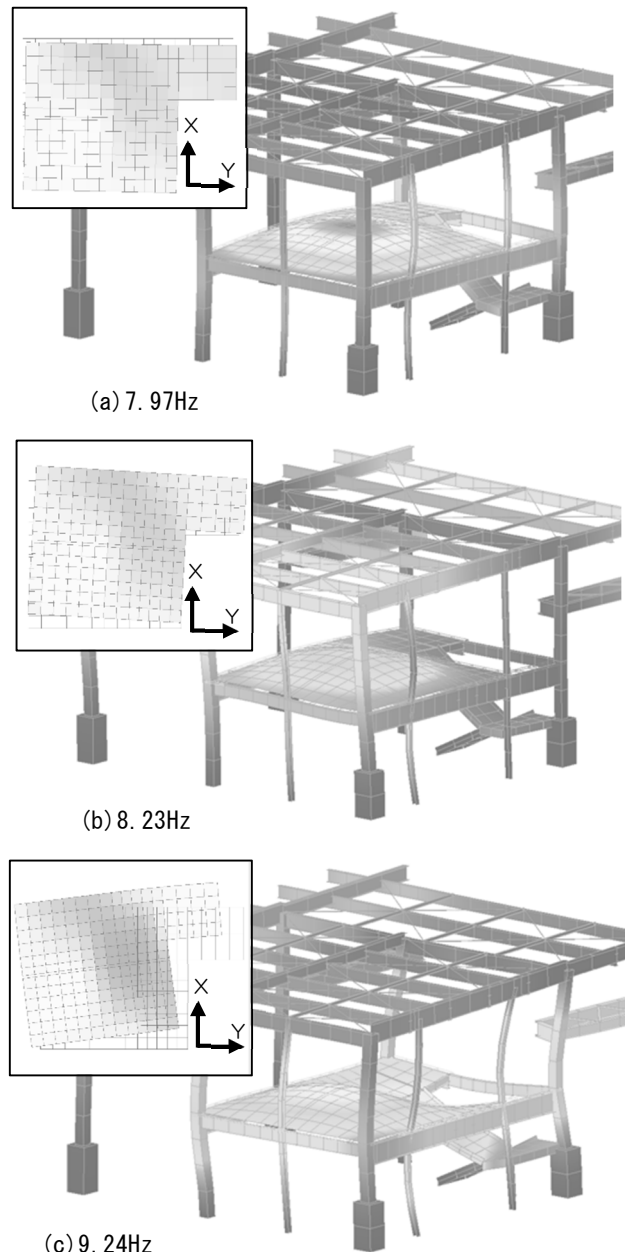


図-13 事務所床の固有振動数

測結果を蓄積し、測定や解析を精度良く行うことが必要である。

【謝辞】

本工事の作業所の関係諸氏には、振動測定に多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

1) 日本建築学会、建築物の振動に関する居住性能評価規準・同解説、2018年11月