

建築物における環境振動測定・分析
に関する資料

Document for Environmental Vibration Measurement
and Analysis in Buildings

資料作成関係委員(2019年3月)

-(五十音順・敬称略)-

環境振動運営委員会

主査 国松 直
幹事 富田 隆太 増田 圭司
委員 (略)

環境振動測定分析小委員会

主査 小谷朋央貴
幹事 尻無濱昭三
委員 足立 大 神谷 俊行 佐野 泰之 清水 克将 田中 彩
富田 隆太 原田 浩之 平松 和嗣 平光 厚雄 松田 貫
森川 和彦 藪下 満 横島 潤紀

測定分析資料作成WG

主査 富田 隆太
幹事 松田 貫
委員 伊積 康彦 小谷 朋央貴 松本 泰尚 横島 潤紀

執筆者

伊積 康彦 小谷 朋央貴 富田 隆太 松田 貫 松本 泰尚 横島 潤紀

利用規約

建築物における環境振動測定・分析に関する資料（2018年度）（以下、本資料）の利用により発生した利用者の損害に対し、一般社団法人日本建築学会（以下、日本建築学会と称する）並びに環境振動測定分析小委員会はいかなる責任も負わず、一切の損害賠償をする義務はないものとします。また、利用者が本資料の利用により第三者または日本建築学会並びに環境振動測定分析小委員会に対して損害を与えた場合は、利用者の責任と費用をもって解決し、日本建築学会並びに環境振動測定分析小委員会に、何らの負担もさせないものとします。

まえがき

建築物における環境振動評価の測定方法については、明確に決まっていない部分については、測定者の判断に委ねられていることが多い。測定にはそれぞれ目的があり、その目的に応じた測定を行うことが基本であるが、共通した測定目的の場合には、統一した測定方法が求められ、また目的が異なる場合でも測定方法の中で共通した項目があれば、環境振動データの蓄積に大きく貢献でき、建築設計にも有用であると考えられる。

日本建築学会環境振動運営委員会傘下の環境振動測定分析小委員会では、最近の活動として、測定・分析方法に関して、実測調査や環境振動測定経験者へのアンケート調査などを実施してきた。

そこで、本資料では、測定分析に関する最近の知見をまとめるとともに、測定分析方法に関する「提案」を行うことを試みた。具体的な作業を行うために、測定分析小委員会傘下に、2015年度～2016年度まで測定分析マニュアル検討WGを設置し、活動を行った。さらに、2017年度～2018年度までは、測定分析資料作成WGを設置し、本資料となる「建築物における環境振動測定・分析に関する資料」の作成を活動目的として作業を進めた。

本資料は、建築物の環境振動の測定・分析に関しての留意点等を示すと共に、竣工後と苦情の対応等、測定目的に応じて測定位置や測定点など具体的な測定・分析方法を提案する方法を検討したものである。対象とする範囲は、建築物における人の動作による床の鉛直振動、及び外部からの交通、工場・事業場、建設・解体工事により建築物の床に生ずる鉛直振動及び水平振動である。但し、水平振動の測定方法については、測定点の位置等を含めて、知見が少ないため、主に鉛直振動の測定により得られた知見等に基づき、本資料を作成した。なお、風による水平振動については、付録に測定事例を紹介した。

また、本測定の前のプレの測定や環境振動に係る測定実務の経験が十分でない方への導入を考えた測定方法として、簡易な測定方法を提案することとした。簡易な測定方法の場合には、記載の内容がベストな方法とは限らず、測定する状況によって異なる場面が多々あるかもしれない。しかしながら、共通した測定方法のデータを増やすことで、これまで蓄積されてこなかった環境振動測定事例のデータベース化につながると考えている。

今後、本資料を振動測定の際に活用いただけた場合には、適宜、忌憚のないご意見をいただき、環境振動測定分析小委員会として、一定の期間で本資料を更新していくことが必要であると考えている。

2019年 3月

問い合わせ先
環境振動測定分析小委員会測定分析資料作成WG
E-mail : wg.manual.maev@gmail.com

目次

1章	目的と範囲	4
2章	本資料の特徴	6
3章	建築物の振動測定・分析方法・評価方法(人の動作に起因する鉛直振動の場合)	7
3.1	適用範囲	7
3.2	振動源の選定	7
3.3	測定方法	9
3.3.1	測定機器・記録器	9
3.3.2	測定位置・測定点数	10
3.3.3	設置方法	11
3.3.4	測定時間・回数	11
3.4	分析方法	11
3.5	評価方法	11
3.6	本資料及び居住性能評価規準・同解説を用いた測定及び評価事例	12
4章	建築物の振動測定・分析方法・評価方法(交通・工場・建設工事等に起因する鉛直・水平振動の場合)	20
4.1	適用範囲	20
4.2	振動源の選定	20
4.3	測定方法	22
4.3.1	測定機器	22
4.3.2	測定位置・測定点数	22
4.3.3	設置方法	26
4.3.4	測定方向	26
4.3.5	測定時間・回数	27
4.4	分析方法	28
4.5	評価方法	29
4.6	本資料及び居住性能評価規準・同解説を用いた測定及び評価事例	29
付録		37
付.1	建築物における床振動の簡易な測定方法案	37
付.2	測定・分析時の留意点	51
付.3	建築物の増幅量の測定・分析方法について	59
付.4	床の振動に対する部位性能を目的とした測定・分析方法	67
付.5	風による建物応答の測定方法について	70

1章 目的と範囲

本資料の目的は、建築物における環境振動の測定及び分析方法の留意点をまとめるとともに、目的に応じた振動測定・分析方法についての提案を行うこととしている。次に、振動測定の目的は、建築物の環境振動に関する竣工後等の性能検査のための測定及び苦情発生時の振動測定を主な範囲とする。対象とする範囲は、振動源については、建築物内での人の動作を振動源とした場合の建築物の床の鉛直振動、外部からの交通振動、工事、工場を振動源とした場合の建築物の床の鉛直振動及び水平振動とする。但し、人の動作の振動源の場合は、鉛直振動のみを対象とし、それ以外の振動源の場合にも、水平振動の測定位置等に関する知見が少ないことから、本資料の主な対象は鉛直振動とする。

本資料で測定・分析した結果の評価方法については、付.1の「建築物における床振動の簡易な測定方法案」以外は、「建築物の振動に関する居住性能評価規準・同解説(以下、規準)」²⁾を基本としている。同規準の記載内容には、性能評価図のみが示されており、加振源や測定点においては記載されていない。

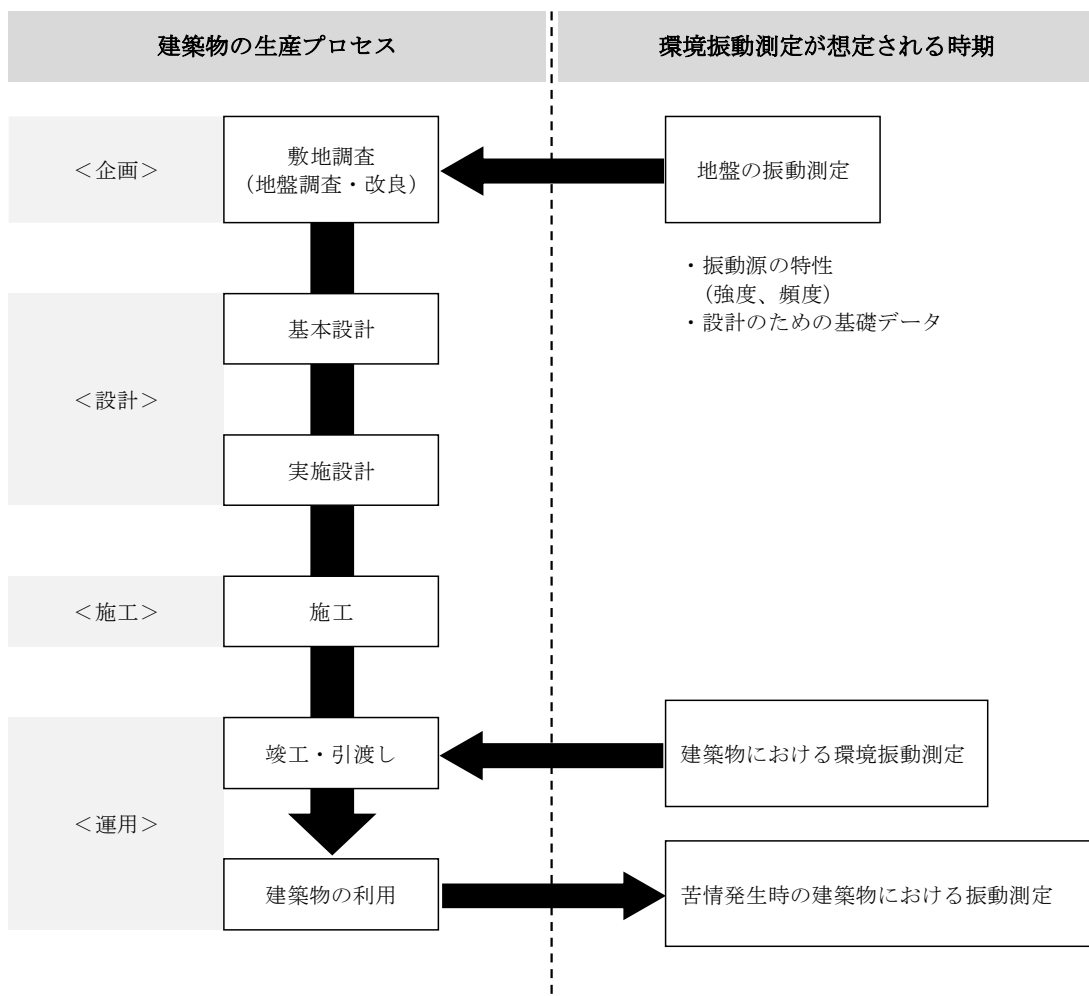


図 1.1 建築物の生産プロセスと環境振動測定が想定される時期

分析方法については、2004年版の指針¹⁾から、1/3オクターブバンド分析による加速度最大値(0-p,cm/s²)が導入され、2018年版の規準²⁾でも継続されている。

図1.1に建築物の生産プロセスと環境振動測定の時期を示す。企画から、設計、施工し、竣工後に居住者が利用していく中で、環境振動測定の目的が異なる。本資料では、これまでの測定分析小委員会の活動に基づいて、誰が測定しても安定した結果が得られるための測定・分析方法を目標として、竣工後等の性能検査時や苦情発生時の「建築物における振動測定・分析」についてまとめた。

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指針・同解説，第2版，丸善，2004.5
- 2) 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，丸善，2018.11

2章 本資料の特徴

日本建築学会から出版されている環境振動測定法関連の書籍としては、「環境振動・固体音の測定技術マニュアル」¹⁾が、多くの実務者に利用されてきた。本資料は、測定分析に関する内容であるが、「環境振動・固体音の測定技術マニュアル」とは位置付けが大きく異なっている。詳細な測定や分析に関する技術や理論を解説するものではなく、測定や分析に関する留意点等を示すと共に、測定目的に応じて測定位置や測定点数を含めた測定・分析方法を提案することが、本資料の最大の特徴である。

また、本資料では、環境振動測定の専門でない人に、簡易な測定方法を提案することも特徴の一つである。

付録には、環境振動測定・分析の問題点として挙げられている主な項目(振動ピックアップの設置共振、周波数範囲、分析時定数)について、これまで環境振動測定分析小委員会で実施してきたデータを中心に、最新情報を提供する点も特徴の一つである。

本資料については、日本建築学会の Web サイト等を通じて、広く建築学会会員に周知すると共に、本資料に対してのご意見・ご質問を集約していきたい。また、いただいたご意見等を参考に、適宜更新を行い、目的に応じて推奨される測定・分析方法の確立を目指していきたい。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：環境振動・固体音の測定技術マニュアル，オーム社，1999.3

3章 建築物の振動測定・分析方法・評価方法(人の動作に起因する鉛直振動の場合)

3.1 適用範囲

建築物内での動作により床に生じる鉛直振動を対象とし、その振動測定、分析及び評価の方法を記すものである。ここでの評価の照合は、規準¹⁾の性能評価図で行う。

3.2 振動源の選定

竣工後等の性能検査の場合には、建築物内の居住性能評価を行うことを目的としているため、日常的に発生すると想定される加振条件を選定することを基本とする。

人の動作の場合には、床に加わる衝撃力のばらつきが大きく、同一被験者が同じ動作を行っても、成人の1人歩行やジャンプの場合で、図3.1に示すように、2倍以上加速度応答が変化する²⁾。また、文献²⁾によれば、安定性の高い床衝撃音の分野で用いられているJIS A 1418-2:2000³⁾の衝撃力特性(2)を1mから自由落下させた場合の変動係数は1.9%と低いのに対して、普通歩行や軽いジャンプの場合には、それぞれ13.9%、21.9%と大きい。

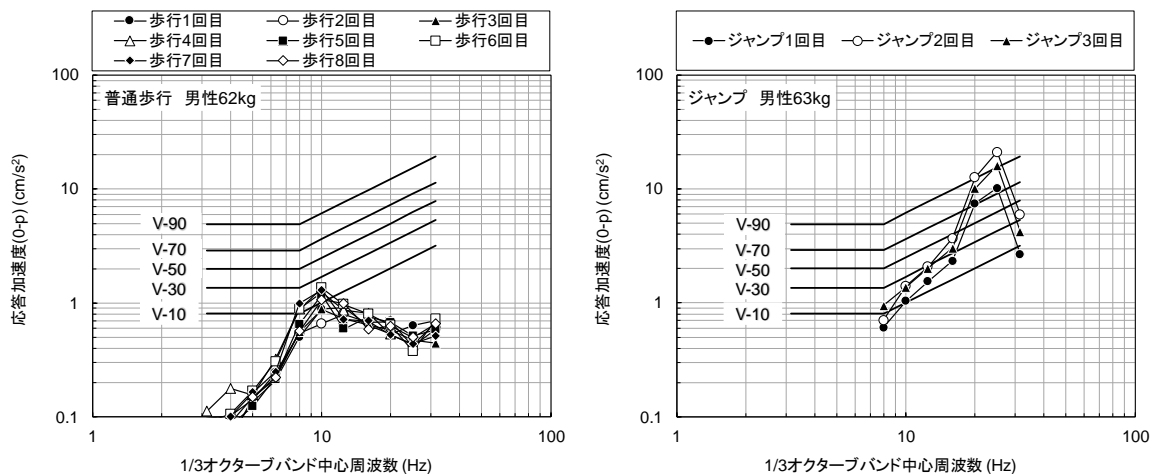


図 3.1 同一動作によるばらつきの例²⁾

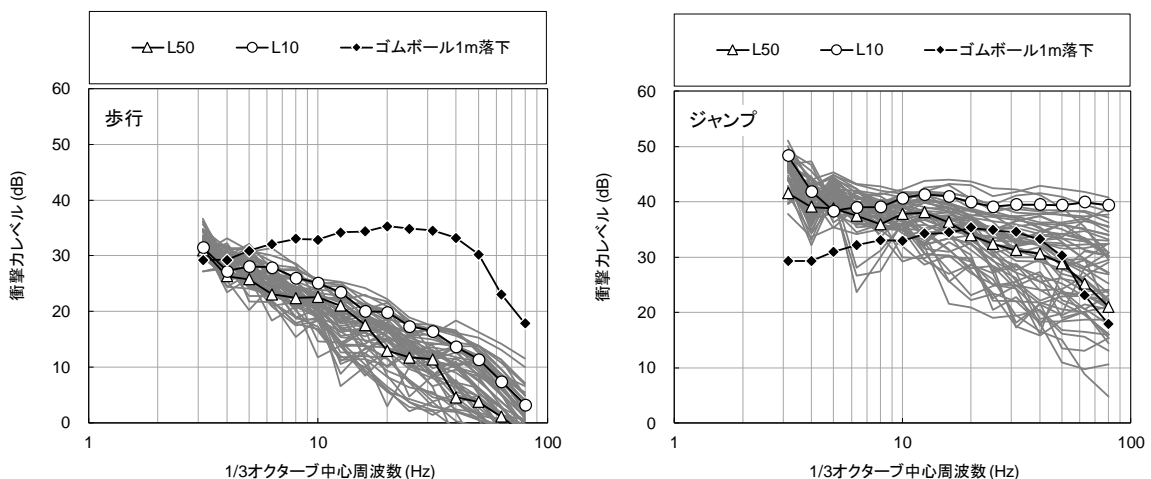


図 3.2 衝撃力周波数特性の例⁴⁾

図 3. 2 に歩行、20cm 程度のジャンプの衝撃力周波数特性の例を示す⁴⁾。この結果は、20 歳の男性の被験者 19 名が各 3 回動作を行ったときの測定結果である。図中の L_{10} 、 L_{50} は、統計的に大きいほうから約 10%、50%に相当するデータを示したものである。但し、 L_x の数え方は、評価決定周波数となりやすい 10Hz から 25Hz 帯域までの 5 帯域の合計値で検討した。図を見ると、個人差等により大きなばらつきが見られる。比較的、ばらつきの小さい歩行でも 10dB ~20dB 程度（周波数別の衝撃力で 3.2~10 倍程度）の差が見られる。このように、1 人歩行を想定しても、かなりレベル差が大きいため、測定時には留意が必要である。

そのため、竣工後の人の動作による振動測定の場合には、複数人、複数回の測定を実施することが望ましい。また、データ蓄積のためには、インパルスハンマやゴムボール等の一定衝撃力の加振源を併用することが望ましい。

なお、苦情等への対応するために測定を行う場合には、原則として申立人に立会いを求め、苦情の原因となっている加振源を特定し、苦情原因に近い再現方法を検討することが重要である。

例えば、苦情の原因となっている加振源がある特定の人の場合には、その人に実際に問題となる行動をしてもらい、振動を測定する。振動測定経験者を対象とした、測定時の加振源に対する回答結果⁵⁾を図 3. 3 に示す。これを見ると、問題となる振動源である人の歩行を加振源とする場合が 61%と最も多く、次いで建築音響分野の重量床衝撃音の標準衝撃源であるゴムボールで 20%となっている。また、加振源の選定について人の歩行による振動が問題となった場合

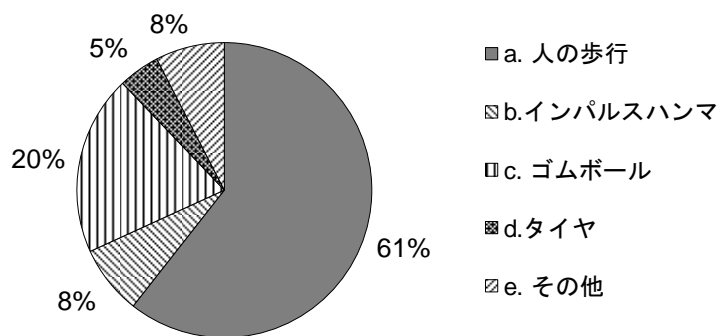


図 3. 3 測定時の加振源(N=66)⁵⁾

表 3. 1 測定に用いる加振源の組合せ(N=43)⁵⁾

	単独	b	c	d	e	b+c	b+d	c+d
a	21	2	8	1	3	2	1	2
b	1	-	-	-	-	-	-	-
c	2	-	-	-	-	-	-	-

単位: 人

a: 歩行 b: インパルスハンマ c: ゴムボール d: タイヤ e: その他

には、回答者の90%以上が問題となる人の歩行を加振源としていた。また、加振者となる人の選定方法については、実際の振動発生状況を再現するために居住者を選定する回答が最も多かった。居住者以外が加振者の場合には、「標準的な者」や「体重60kg」などの体格や体重が平均的な人を加振者として選択するという意見や「最も体重が重い人」という意見が見られた。他にも、「子供、大人(女性)、大人(男性)のような体重の異なる3タイプ」という意見もあり、複数人を選定し、複数回の加振を実施するという意見もあった。以上のように、居住者以外の人に加振者となる場合には、客観性を持たせるため、複数人で複数回の測定を実施することが望ましい。性別、年齢、体重⁶⁾は参考として記録しておく方が良い。

苦情により、対策を行った場合には、前後の変化や過去のデータと相互比較するため、衝撃力を一定とできる衝撃源(ゴムボール³⁾等を併用することも薦める。

振動測定経験者を対象とした、測定に用いる加振源の組み合わせの回答結果⁵⁾を表3.1に示す。測定に用いる加振源について、人の歩行が問題となった場合では、「人の歩行」のみの回答は約半数の回答であり、残りの約半数の回答者は「人の歩行」に加えて、1つ以上の加振源を併用していた。自由意見を見ると、インパルスハンマやゴムボール³⁾などがあり、インパルスハンマでは、「振動伝達などを把握するため」、「対策後や他案件との比較が可能」などの意見があった。ゴムボールでは、「他案件との比較」、「安定した振動源」、「加振力が既知であり、インパルスハンマより簡易に測定・分析が可能」などの意見があった。

3.3 測定方法

3.3.1 測定機器・記録器

測定機器は、目的に応じて、振動ピックアップと振動計を組み合わせたもの、または振動レベル計を用いる。振動ピックアップの種類には、圧電型、サーボ型、ひずみゲージ型などがあるが、建築物内の環境振動測定では、圧電型加速度ピックアップ(振動レベル計のピックアップもこのタイプが多い)が一般に使われる。振動レベル計の場合には、JIS C 1510-1995「振動レベル計」⁷⁾で規定されている振動レベル計を用いる。振動レベル計は、振動ピックアップと振動計がセットとなっており、使いやすい。振動ピックアップの特性としては、1~80Hzの振動数範囲で平坦特性を有するものであることを確認する。測定の際には、値が振り切れないように、または著しく表示範囲以下とならないようにレベルレンジを切り替える必要がある。

周波数分析を行う場合には、振動の応答波形を記録することが望ましい。このことにより、後日に様々な角度からの分析が可能となる。この場合に、振動計あるいは振動レベル計からの出力波形が記録可能な記録器を用いることになる。すなわち、周波数範囲1~80Hzの信号が記録可能なもので、ダイナミックレンジが大きいものが有用である。代表的な記録器としては、測定データの記録および再生が可能なデータレコーダである。なお、測定の際には、周波数毎に、目的としている振動が、暗振動に比べて十分に大きい(15dB以上)を確認することが必須である。

一方、文献8)で述べた振動測定経験者による「他の環境測定(音、熱、空気、光)との比較」によ

れば、「他の環境測定との違い」については、データの実感がない、振動伝搬の複雑性に次いで、測定機器の煩雑性の指摘が多かった。また、他の環境測定に比べて、時間も費用も同程度以上、測定に使用する機器も多いという回答であった。このように、測定機器については、今後、無線化等も含めてより利便性の高い機器が望まれる。

3.3.2 測定位置・測定点数

竣工後等の性能検査の振動測定の場合には、「部屋の中央点」は必ず測定することとし、さらに「大梁や小梁に囲まれた範囲の中央点」などの位置を複数点選択することが望ましい。ただし、測定位置が梁上の場合や防振支持された床等の場合は、「部屋の中央点」は測定することとするが、選択する点についてはこの限りでない。測定点数は、「部屋の中央点」を含む3点以上とすることが望ましい。なお、測定機器の台数の関係等から、やむを得ない場合は、「部屋の中央点」を含む1点以上とする。

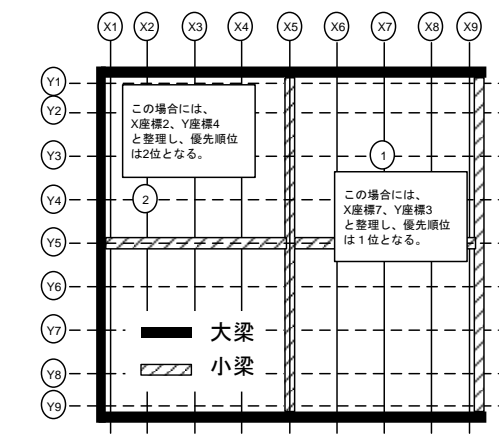


図 3.4 測定位置の分析方法⁵⁾

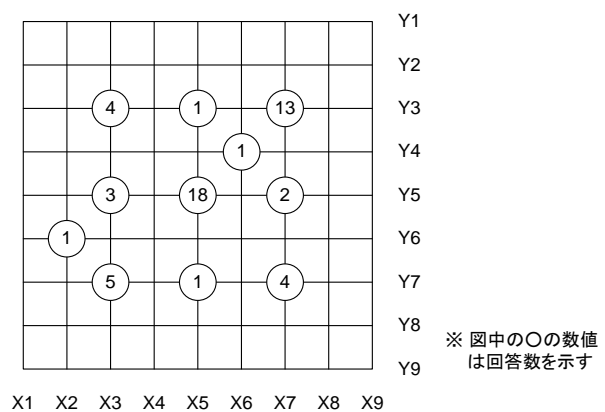


図 3.5 測定位置の結果(優先順位 1 位)⁵⁾

なお、振動測定経験者を対象に、測定点数を調査した結果⁵⁾によれば、測定点数は3点とする回答が最も多く26%、次いで、4点とする回答が多く21%であった。

次に、文献⁵⁾では、例題として、図3.4の主寝室にて振動障害が発生した場合に測定位置を選定してもらい、図面をX座標9分割、Y座標9分割の81分割にして分析した。なお、X座標は左からX1～X9、Y座標は上からY1～Y9としている。図3.5に示すように、振動測定経験者が1点だけを選定する場合には、「部屋の中央点」、「大梁や小梁に囲まれた範囲の中央点」を選択することが多かった。測定点の数に制限を設けない場合の結果からは、「部屋の中央点」、「大梁や小梁に囲まれた範囲の中央点」を選択することが多く、文献⁵⁾の事例の場合では、「中央点」及び「中央点と対角の中央点」の合計5点の分布を中心に測定する結果が得られている。

苦情等の対応の場合は居住者の居住実態に合わせた測定位置・測定点数が明確な場合は、建築物内の居住空間（居間、食堂、寝室等）を対象に、申立人の意向を尊重して決めることが重要となる。すなわち、申立人が日常生活を営む上で、振動を最も迷惑または不快に感じている

位置を優先して測定位置を設定することが重要である。

3.3.3 設置方法

設置方法は、振動ピックアップの種類に応じて、測定位置に直置きもしくは両面テープ等で固定し設置する。ただし、タイルカーペットやじゅうたん等の柔らかい表面仕上げ材が施工されている場合は設置共振が発生する可能性があるため、可能な限り仕上げ材を取り除き設置する。設置共振の具体的な解説については、付.2を参照されたい。

3.3.4 測定時間・回数

竣工後等の性能検査の場合には、建築物内の居住性能評価を行うことを目的としているため、日常的に発生すると想定される測定を基本とする。人の動作の場合には、ばらつきが大きいいため、少なくとも3人以上で行い、かつ1人あたり10回以上の再現を行い、ばらつきを確認しておくことと良い。また、加振者の情報として、性別、体重、履物の有無、履物の種類等を記録しておくことを推奨する。一方、一定衝撃力を有するゴムボール等の加振源を用いる場合には、基本的には同様な結果が得られるため、5回程度の測定を行い、ばらつきを確認しておくことと良い。

苦情等の対応の場合は居住者の居住実態に合わせ、申立人の意向を尊重して決めることが重要となる。

3.4 分析方法

測定した応答波形から、周波数情報を得るためには、分析器、記録器が必要となる。「建築物の振動に関する居住性能評価規準・同解説」¹⁾の評価の場合には、1/3オクターブバンド分析による加速度最大値を求めることと記載されている。また、文献1)では、非定常的な振動の場合には、継続時間を導入しており、時定数10msで分析した振動レベルの時刻歴波形が必要となる。

3.5 評価方法

評価方法には、「建築物の振動に関する居住性能評価規準・同解説」¹⁾を用いる。但し、本資料では、規準¹⁾では対象としていないが、規準の付録や文献9)～11)を参考に、30Hz以降80Hzまでのデータも参考値として、評価対象周波数範囲とする。なお、30Hz以降の周波数特性は、速度一定勾配とし、+6dB/octaveとここでは仮に扱い、評価規準線を延長した。

また、前述したように、振動加速度を記録しておくことが望ましい。人の動作の場合には、複数人の複数回数により結果が大きく異なる。その結果をどのように扱うか(データの最大値、平均値等)については、本資料では、竣工後等の性能検査及び苦情発生時の場合には、データの平均値を記載することとする。

3.6 本資料及び居住性能評価規準・同解説を用いた測定及び評価事例

a. 測定の目的

今回は、竣工後の性能検査の場合の例として、建築物内での人の動作により、床に生じる鉛直振動を対象とし、測定を行った。

b. 使用する実験機器

- ・ 測定器 振動レベル計 3 台
- ・ 記録器 データレコーダ

c. 実験条件

測定位置、測定点数：「部屋の中央点」を含む 3 点を測定した。

歩行者：3 名（性別，年齢，体重，履物の有無，履物の種類を記録）

歩行回数：1 人あたり 10 回（3 人合計 30 回）

実験をするにあたって、本資料に追加した条件を以下に示す。

追加した条件

歩行経路：「部屋の中央点」から 50cm 離れた円上を歩行する。

歩行条件：歩行者は 2Hz の間隔で歩行する。

歩行開始位置：図 3.6 の A 点と C 点の対角線上から歩行開始

d. 実験概要

図 3.6 に示す測定室内で歩行時における鉛直振動を対象として、測定を行った。振動ピックアップの設置位置は、測定室の中央点である A 点，A 点と対角 D の中央点である B 点，A 点と対角 E の中央点である C 点に設置した。

歩行経路は図 3.6 に示すように、測定室の中央点 A 点から、50cm 離れた円上を歩行する。表 3.2 に示すように、歩行者は 3 人とし、歩行条件として、2Hz で歩き、1 人あたり 10 回測

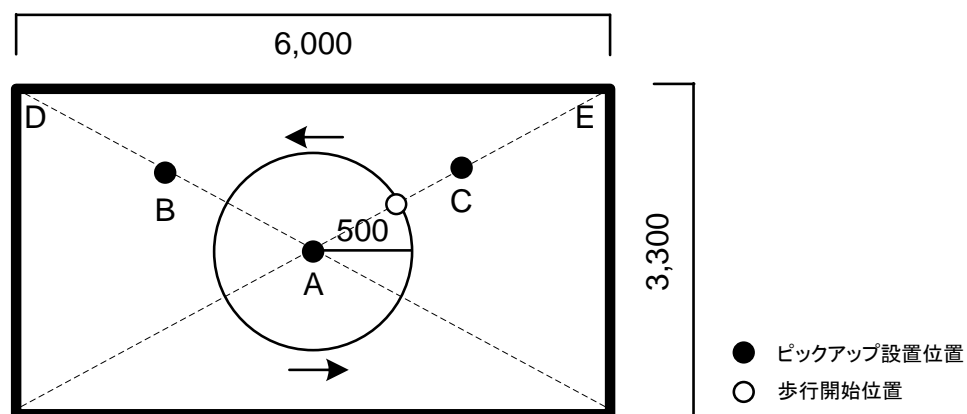


図 3.6 測定位置

定を行った。歩行開始位置は A 点と C 点の対角線上○から歩行を始めた。この時、性別、年齢、体重、履物の有無、履物の種類を記録した。

表 3.2 加振者情報

	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	履物の有無	履物の種類
No.1	男性	22	171	86	有	革靴
No.2	男性	23	171	61	有	スニーカー
No.3	男性	23	173	61	有	スニーカー

e. 実験結果の例

A 点の結果を例として示す。評価は、規準¹⁾の鉛直振動の性能評価図(事務所などの床)により、30Hz(25Hz 帯域)までで評価した。なお、分析は時定数 10ms とした。図 3.7 には、測定した時系列波形の例を示す。また、図 3.8 に歩行者 No.1 の 10 回分の測定結果を規準の性能評価図にプロットした結果を示す。また、表 3.3 には、測定結果を 3-8Hz ヘシフトしたときの最大加速度と、決定周波数、規準の事務所の評価レベルを示した。

次に、継続時間による補正を行うために、時定数 10ms のレベル波形の例を図 3.9 に示す。表 3.4 には、継続時間として 55dB 以上の時間の合計と、低減係数を示した。図 3.8 を低減した結果を図 3.10 に示す。また、表 3.5 には、表 3.3 を基に、継続時間補正後の結果を示した。

また、図 3.11 と表 3.6 には、歩行者 No.1~No.3 の結果を示した。

ここでは、結果のまとめとして、各歩行者及び歩行者 3 名を対象に、最大加速度及び評価レベルについて、平均、最大の指標で結果を示した。

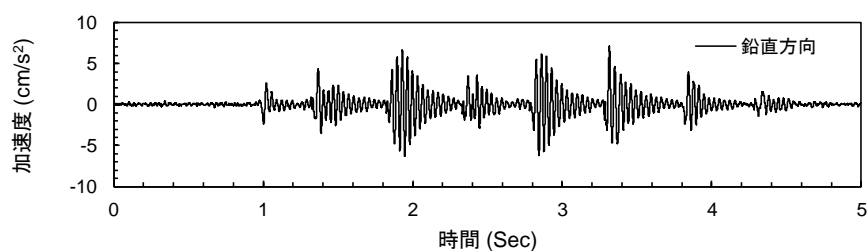


図 3.7 測定した実測加速度波形の例(測定点 A)

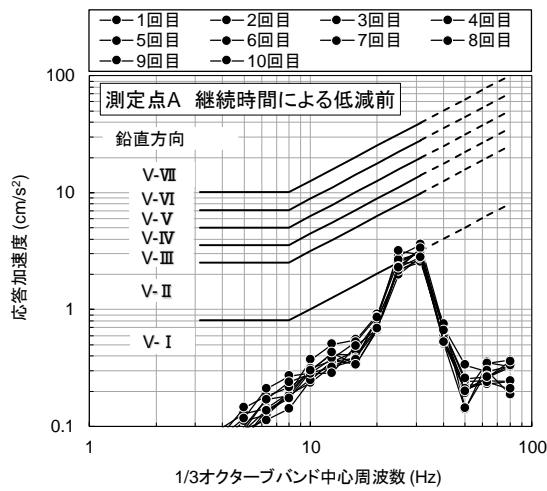


図 3.8 1/3 オクターブバンド分析結果(歩行者: No.1)

表 3.3 1/3 オクターブバンド分析結果(歩行者: No.1)

	No.	鉛直方向		
		加速度最大値*(cm/s ²)	決定周波数(Hz)	評価レベル
測 定 点 A	1	0.92	25	V- II
	2	0.73	25	V- I
	3	0.79	25	V- I
	4	0.64	25	V- I
	5	0.70	25	V- I
	6	0.69	25	V- I
	7	0.85	25	V- II
	8	1.01	25	V- II
	9	0.74	25	V- I
	10	0.73	25	V- I
	平均	0.78	-	V- I
	最大	1.01	-	V- II

*3~8Hzへ重付けした加速度最大値

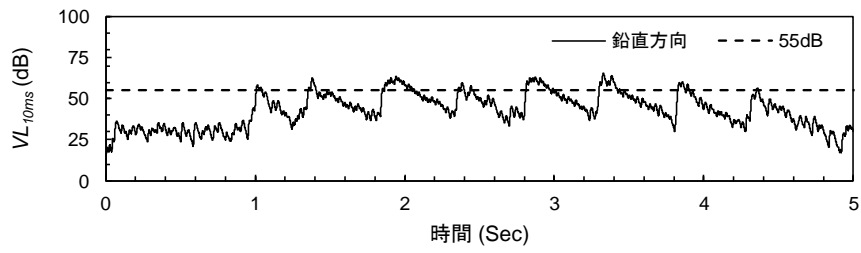


図 3.9 時定数 10ms のレベル波形の例(測定点 A)

表 3.4 55dB 以上の継続時間と低減係数

	No.	鉛直方向	
		継続時間 (秒)	低減係数
測定点 A	1	0.75	0.56
	2	0.73	0.56
	3	0.74	0.56
	4	0.56	0.56
	5	0.67	0.56
	6	0.64	0.56
	7	0.89	0.56
	8	0.68	0.56
	9	0.59	0.56
	10	0.74	0.56

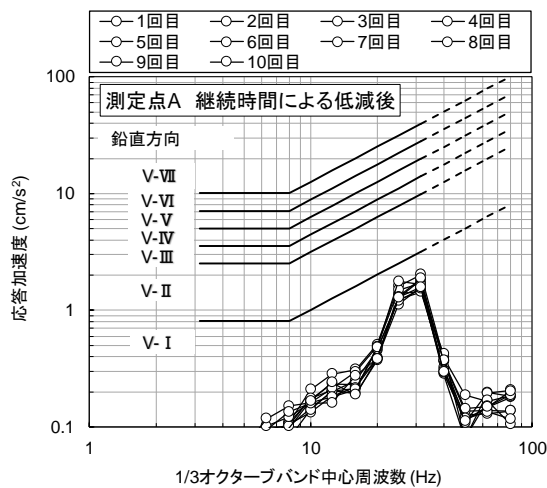


図 3.10 居住性能評価規準¹⁾による測定結果の照合例(歩行者: No.1)

表 3.5 居住性能評価規準¹⁾による測定結果の照合例(歩行者: No.1)

	No.	鉛直方向		
		加速度最大値 *(cm/s ²)	決定周波数(Hz)	評価レベル
測 定 点 A	1	0.52	25	V-I
	2	0.41	25	V-I
	3	0.44	25	V-I
	4	0.36	25	V-I
	5	0.40	25	V-I
	6	0.39	25	V-I
	7	0.48	25	V-I
	8	0.57	25	V-I
	9	0.42	25	V-I
	10	0.41	25	V-I
	平均	0.44	-	V-I
最大	0.57	-	V-I	

*3~8Hzへ重付けした加速度最大値

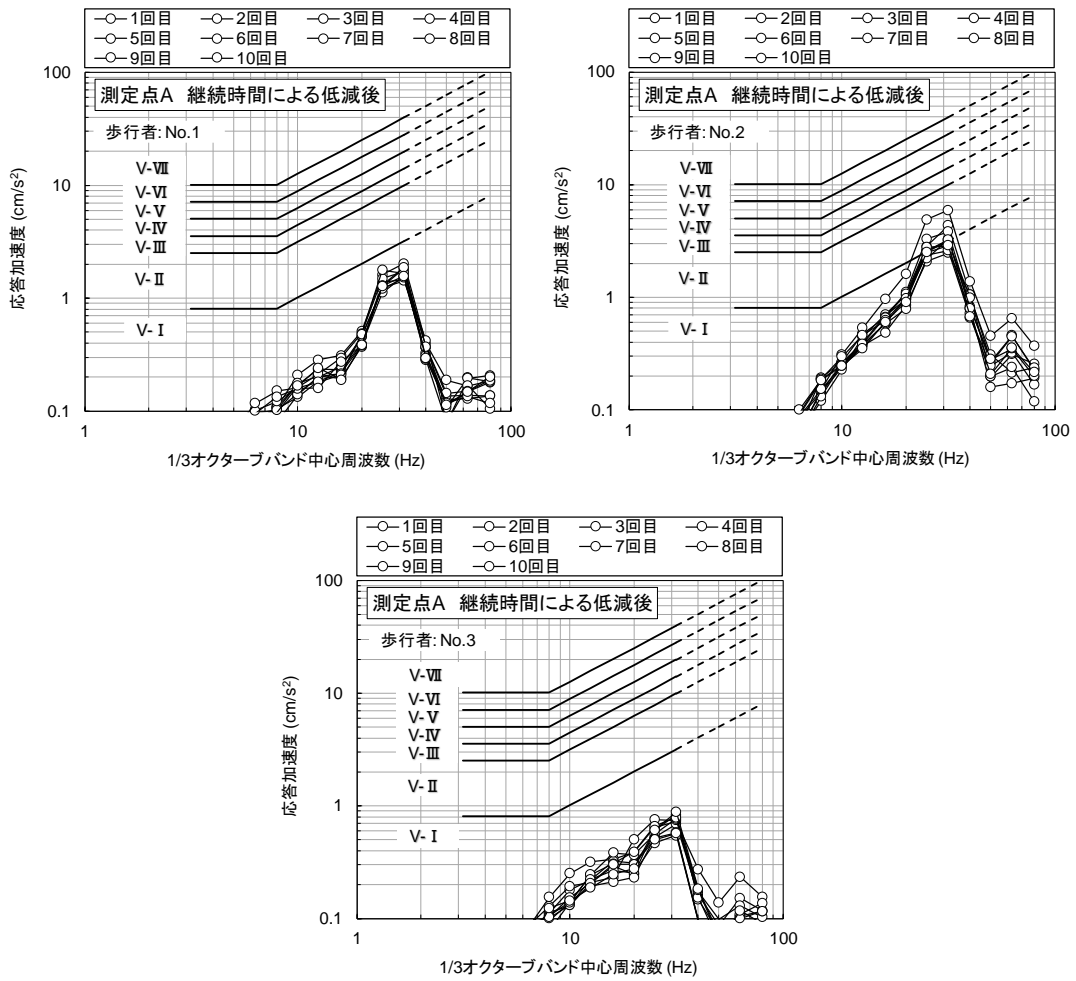


図 3.11 歩行者別にみた測定結果の照合例

表 3.6 歩行者別にみた測定結果の照合例

	No.	鉛直方向の加速度最大値*(cm/s ²)				評価レベル
		No.1	No.2	No.3	No.1～No.3	No.1～No.3
測 定 点 A	1	0.52	0.90	0.21	-	-
	2	0.41	0.66	0.19	-	-
	3	0.44	0.82	0.17	-	-
	4	0.36	1.05	0.24	-	-
	5	0.40	0.83	0.19	-	-
	6	0.39	0.89	0.21	-	-
	7	0.48	1.57	0.15	-	-
	8	0.57	0.76	0.17	-	-
	9	0.42	0.70	0.16	-	-
	10	0.41	0.80	0.20	-	-
	平均	0.44	0.90	0.19	0.51	V-I
最大	0.57	1.57	0.24	1.57	V-II	

*3～8Hz へ重付けした最大加速度

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，丸善，2018.11
- 2) 富田隆太，井上勝夫，伊東和：人の動作とゴムボール衝突時の床振動応答加速度に関する実験的検討，日本建築学会技術報告集，第 27 号，pp.179-182，2008.6
- 3) JIS A 1418-2:2000，建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第 2 部：標準重量衝撃源による方法
- 4) 富田隆太，井上勝夫，松田貫：ゴムボール衝撃による人の動作時の床振動評価方法の検討，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，pp.189-192，2009.9
- 5) 富田隆太，小谷朋央貴，松田貫，横島潤紀，伊積康彦：人の動作を対象とした建築空間の振動測定点に関する測定経験者へのアンケート調査，日本建築学会技術報告集，第 52 号，pp.1017～1020，2016.10
- 6) 厚生統計要覧（平成 27 年度）：身長・体重の平均値，性・年次×年齢別，2016.12(アクセス時)
- 7) JIS C 1510:1995，振動レベル計
- 8) 富田隆太：環境振動の現状とこれから 20 年について，U-40 が語る環境工学研究の最前線と分野連携-これから 20 年のビジョン-，2013 年度日本建築学会大会環境工学部門研究懇談会資料，pp.11-14，2013.9
- 9) 横島潤紀，伊積康彦，平松和嗣，石橋敏久，永関慶樹，後藤剛史：木造家屋内における鉄道

- 走行時の振動実測結果について，日本建築学会技術報告集，第 24 号，pp.203-206，2006.12
- 10) 富田隆太，井上勝夫：居住床を対象とした衝撃振動の周波数特性が人の振動感覚に与える影響，日本建築学会環境系論文集，第 705 号，pp.927-935，2014.11
- 11) 松田貫，井上勝夫，富田隆太：鉛直方向のランダム振動を対象とした振動感覚の周波数補正に関する検討，日本音響学会 騒音・振動研究会資料，N-2016-44，pp.1-8，2016.8

4章 建築物の振動測定・分析方法・評価方法(交通・工場・建設工事等に起因する鉛直・水平振動の場合)

4.1 適用範囲

交通機関(自動車・鉄道), 工場・事業場, 建設・解体工事などの外部振動源により, 建築物の床に生じる鉛直振動及び水平振動を対象とし, ①竣工後等の建築物内の居住性能評価を行う場合(竣工検査), ②苦情等のクレーム対応を行う場合(クレーム対応)を中心に, 振動測定, 分析及び評価方法を記すものである。なお, 評価方法は規準¹⁾の性能評価図に照合して行うものとする。

4.2 振動源の選定

振動源の選定は, 測定を行う上では最も重要な要素であるが, その選定方法は目的によって異なる。本資料は建築物の振動に関する居住性能評価を行うことが主な目的であることから, 竣工検査の場合は, 日常的に発生すると想定される振動源を選定することが基本となる。しかし, 外部振動源から発生する振動は, その大きさは一定ではなく, 且つ不規則に発生することが多いため, 振動源は慎重に選定する必要がある。

振動源が特定できていない場合でも, 問題となる時間帯が明確な場合には, その時間帯に発生している振動源を選定することが重要である。

以上のことを踏まえ, 振動源ごとに, 加振条件の選定方法の留意点について記載する。

a. 自動車

車両種別, 車速, 車体重量, 走行車線などの違いにより, 同一地点でも計測される振動は大きく変動する。特に, バス・トラック等の大型車が通過する際に発生する振動が問題となることが多いことから, 大型車を振動源として選定する。しかし, 交通量が多い道路では, 大型車のみを対象とした測定は現実的ではないため, 信号等で制御された交通流を対象に, 車群として走行する複数の車両からの振動を, 連続的に発生する振動とみなして振動源に選定する。

b. 鉄道

通過路線, 車両形式, さらに走行速度の違いにより, 同一地点でも計測される振動は大きく変動する。特に, 走行速度については, 駅近傍では, 通過する列車と停車する列車で大きく異なるとともに, 路線により, 特急列車や快速列車は普通列車よりも高速で走行している。測定場所における列車の走行状況を時刻表等により事前に把握し, その状況に応じて測定対象となる列車を選定する。

c. 工場・事業場

機器の種類や稼働台数, 時間帯により, 同一地点でも計測される振動は大きく変動することを踏まえて, 振動源を選定する。

d. 建設・解体工事

作業に用いる重機，作業場所，作業内容，時間帯などにより，同一地点でも計測される振動は大きく変動することを踏まえ，振動源を選定する。なお，建設・解体工事の場合は，竣工検査のための測定よりも，主にクレーム対応の場面が想定される。

上記に振動源ごとに選定方法を記載したが，居住性能評価を行う場合，短期間の測定が主となり，居住者が長期間にわたって体感している振動の変動をすべて把握することは難しい。しかし，短期間の測定においても，振動源の発生状況を記録するとともに，居住環境への影響を安全側で評価するためには，計測される振動が最大となるような状況を想定して振動源を選定することも重要である。

一方，クレーム対応の場合，問題となる振動源が特定されている場合は，その振動源を含めることが基本となる。振動源を特定するために，原則として申立人に立会いを求め，発生源の状況（作業状況，交通状況，列車走行状況等）を確認できる体制を整え，申立人の感覚と対応させることにより，振動源を特定するなどの対応が必要である。しかし，これらの振動源だけでは十分な測定本数や時間が確保できない場合もあるため，対象となる振動源と同程度の影響を及ぼすと想定されるものを選定する必要がある。

ここで，振動測定経験者の振動源の選定に関する例題アンケート²⁾の回答結果を図4.1に示す。この例題アンケートは，建築物で仮想の環境振動障害が発生した場合に，床に発生する振動の居住性能評価を行うことを目的とした測定に関するアンケートを行ったものである。

道路交通及び鉄道の両方で「人工的な加振源」や，「その他」のみを回答した者はおらず，回答者の全員が障害の原因となる「交通振動源」を選択している。また，「交通振動源」のみでなく，「交通振動源+人工的な加振源」，「交通振動源+その他」の2つ以上の加振源を選定した回答者もそれぞれ10%程度いることがわかる。選定の理由としては，「実際に発生している振動の評価を行うため」，「実態を把握するため」という意見が多数を占めており，実現象に近い評価を行おうとしていることが窺える。

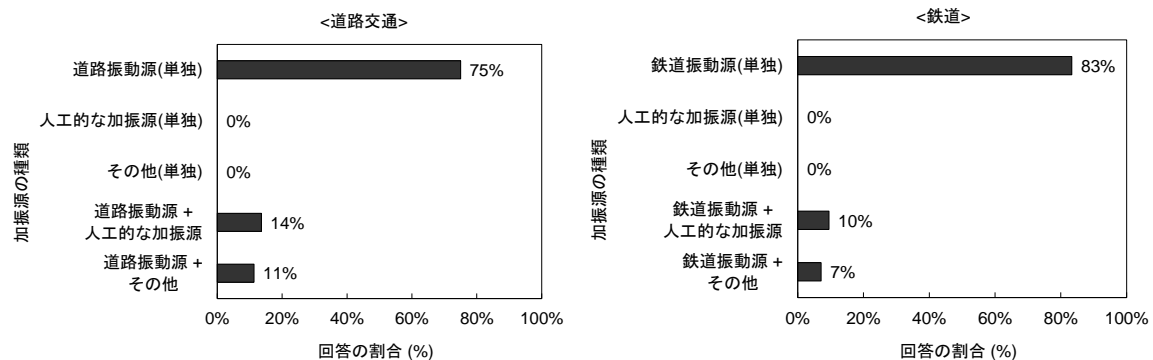


図 4.1 振動源の選定に関する回答の割合²⁾

以上のことから、振動障害を発生させる可能性のある、もしくは、発生させている振動源を特定し、振動発生状況を把握することが重要である。

4.3 測定方法

4.3.1 測定機器

測定機器は、目的に応じて、振動ピックアップと振動計を組み合わせたもの、または振動レベル計を用いる。振動ピックアップの種類には、圧電型、サーボ型、ひずみゲージ型などがあるが、建築物の環境振動測定では、圧電形加速度ピックアップ（振動レベル計のピックアップもこのタイプが多い）が一般に使われる。振動レベル計の場合には、JIS C 1510-1995⁴⁾「振動レベル計」で規定されているものを用いる。振動ピックアップは、1~80Hz の振動数範囲で平坦特性を有するものを用いる。

周波数分析を行う場合には、振動の応答波形を記録することにより、後日、様々な視点から分析が可能となる。この場合に用いる記録器は、1~80Hz の周波数範囲において、振動計あるいは振動レベル計からの出力波形が記録可能で、ダイナミックレンジが大きいものが有用である。

4.3.2 測定位置・測定点数

測定目的や建築物の構造によって、水平方向と鉛直方向では、測定位置が異なることは十分考えられる。しかし、環境振動の測定に携わっている技術者・研究者を対象に実施した「環境振動測定方法の現状に関するアンケート調査³⁾」では、外部振動源を対象とした測定事例(37件)すべてが鉛直振動を対象としていた。すなわち、水平振動のみを対象とした測定事例の蓄積が少ないことが示唆される。この一因としては、振動規制法では鉛直方向の測定が規定されていることが考えられる。以上のことを踏まえ、主に、鉛直方向での振動測定を想定した以下の位置が考えられる。

居住性能評価(竣工検査等)の場合では、測定位置は以下の①~④のうち合計3点以上に設定することが望ましい。

- ① 鉛直方向の振動が大きくなる床中央点
- ② 室内対角線上の4等分点
- ③ 大梁や小梁で囲まれた中央点
- ④ 建築物の外部空間では敷地境界などの地盤面または基礎等

クレーム対応の場合には、例えば居住者の居住実態に合わせた測定位置や測定点数が明確であれば、建築物内の居住空間(居間、食堂、寝室等)を対象に、申立人の意向を尊重して決めることが重要となる。すなわち、申立人が日常生活を営む上で、振動を最も迷惑または不快に感じている位置を優先して測定位置を設定する。

振動源の選定と同様に、参考として、振動測定経験者による例題アンケート²⁾の測定点数・測

定範囲を図 4.2 及び図 4.3 に示す。図 4.2 の測定点数の回答割合では、測定点数は回答者によって様々であるが、道路交通と鉄道の両方において 4 点とする回答が 20～25%程度で最も多く、次いで、3 点とする回答が 15～20%程度であった。床の振動分布を把握するためには多数の測定点を設置することが望ましいが、実務上は 3～4 点の設置で十分であると考えられる。

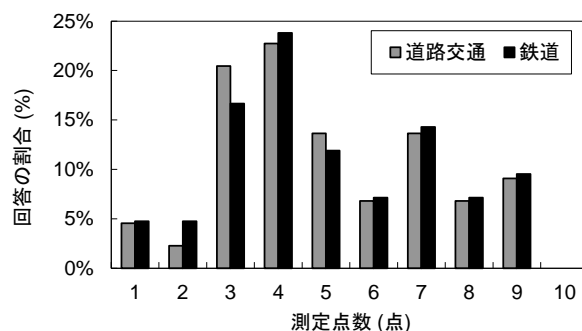


図 4.2 測定点数の回答割合²⁾

次に、図 4.3 (左図)の優先順位 1 位の回答を集計した測定範囲の回答割合をみると、道路交通及び鉄道の両方において、振動障害発生範囲のみを測定する場合は圧倒的に多い。特に、苦情対応の測定の場合には、測定事例に関する調査²⁾からも、振動障害が発生している位置での測定が不可欠と考えている測定経験者が多い。次に、図 4.3 (右図)の優先順位に関係なく、回答者による全ての測定範囲の回答割合をみると、図 4.3(左図)の優先順位 1 位とは違い、振動障害発生範囲のみだけでなく振動障害発生範囲外も測定する回答が増え、振動障害発生範囲のみの回答よりも多いことがわかる。これらの結果から、基本的には振動障害発生範囲である建築物内を優先させるが、道路や敷地境界、地盤面の振動特性や建築物への増幅特性も同時に測定していることがわかる。

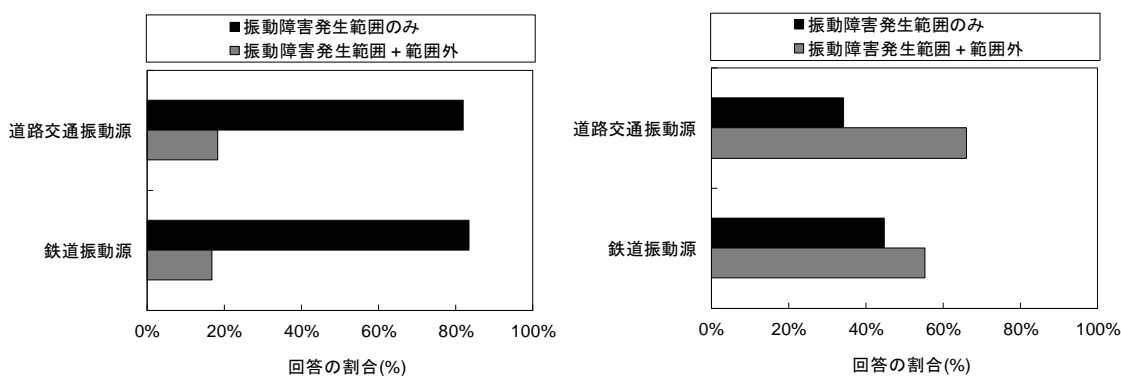


図 4.3 測定範囲の回答割合(左図：優先順位 1 位のみ、右図：全回答)²⁾

続いて、建築物内部の測定位置について、振動障害が発生している範囲を X 座標：9 分割、Y 座標：9 分割の 81 分割し、優先順位 1 位のみを集計した結果²⁾を図 4.4 に示す。回答が最も多かった測定位置は、道路交通及び鉄道ともに床面の中央点(X5_Y5)であり、それぞれ、21

件, 19 件であった。次いで, 障害発生時の床面の対角線上の 4 等分点かつ大梁と小梁で囲まれた範囲の中央点である 4 点(X7_Y3, X3_Y3, X3_Y7, X7_Y7)が多かった。

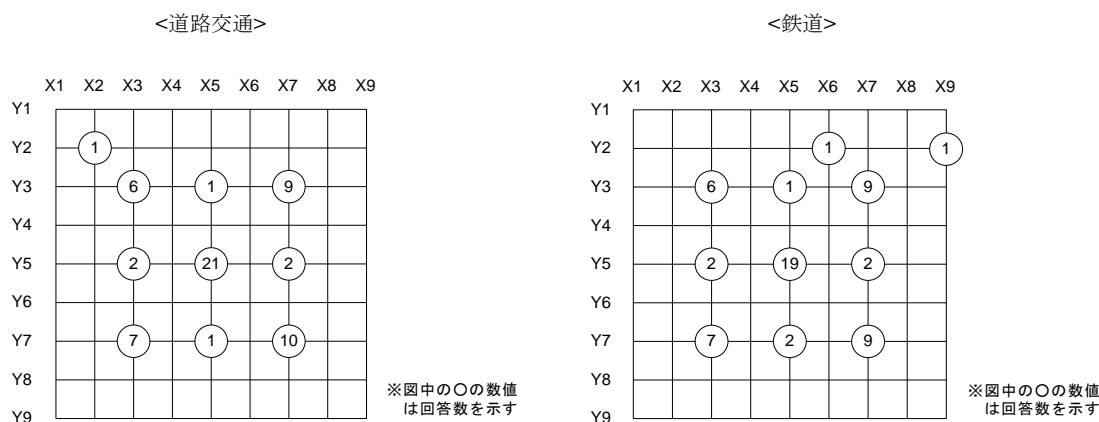


図 4.4 測定位置の分布(道路交通: 60 件 鉄道: 59 件)²⁾

上記の測定点の他に, 前述の「環境振動測定方法の現状に関するアンケート調査³⁾」の結果から, 柱近傍に測定点を設置している事例も多かった。これは, 竣工検査, クレーム対応いずれの場合も, 外部から伝搬している振動が, 測定対象となる床に入力される時に, どのような振動特性を有しているのかを把握するためのものである。すなわち, クレーム対応の場合には, 問題となっている振動の対策に資するために, 設置される測定点である。

続いて, 水平振動の測定位置による応答加速度の違いについて事例を紹介する。対象建築物の概要は表 4.1 に示す 2 階建て木造住宅であり, 振動源は在来鉄道である。測定位置は図 4.5 に示す, 部屋の中央である A 点と対角線上の 1/4 である B 点, 柱際の C 点を含む A~D の 4 点である。測定方向は軌道平行方向、軌道直交方向、鉛直方向の計 3 方向とした。図 4.6 に測定位置による応答加速度の違いを示す。鉛直方向は部屋の中央や壁際等の測定位置によって 10Hz 以降で応答加速度に違いがみられるが, 水平方向は測定位置による応答加速度に大きな違いは見られない。理由としては, 鉛直振動は床のモードの影響を受けやすいためと考えられるが, 水平振動は, ねじれ等が無い限り, 建物の固有振動数のみの影響を受けやすいためと考えられる。測定位置によって水平振動の応答加速度に大きな違いはないと考えられる。

表 4.1 対象建築物の概要

振動源	用途	構造	測定階	測定方向
鉄道	戸建住宅	木造	2 階	鉛直+水平(2 方向)

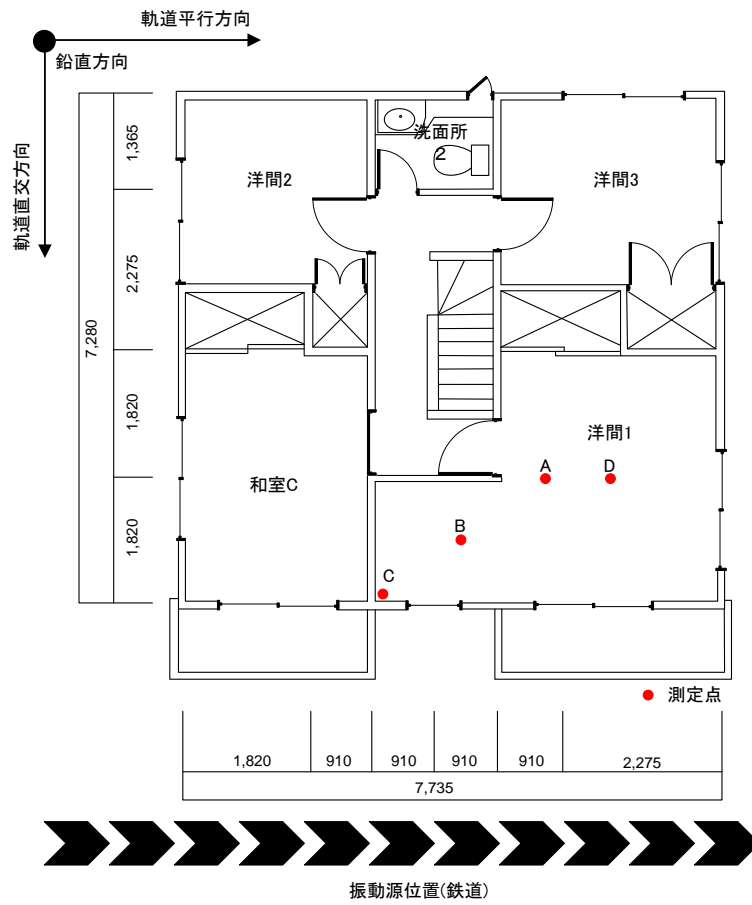


図 4.5 対象建築物の平面図及び測定位置の例(2階平面図)

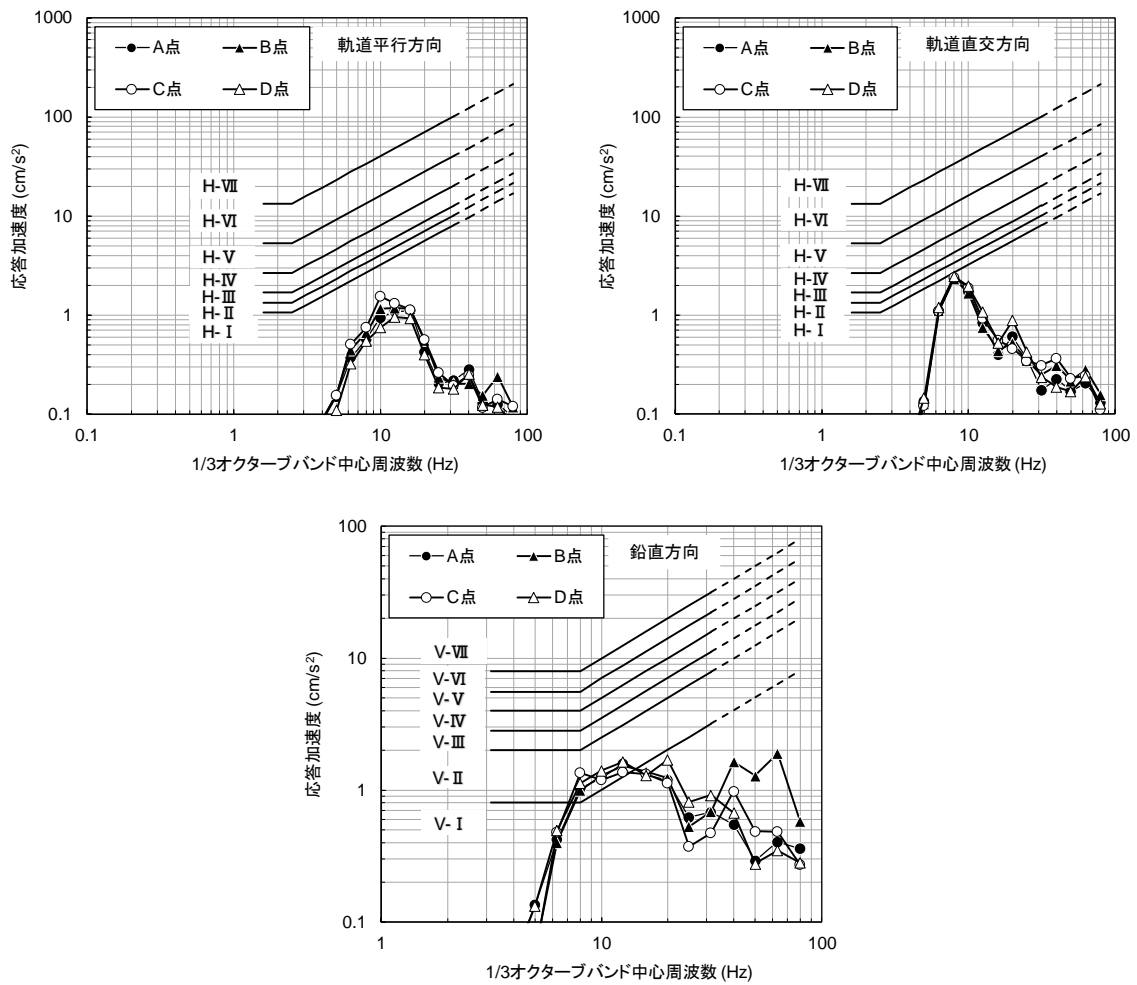


図 4.6 測定位置による応答加速度の違い

4.3.3 設置方法

振動ピックアップの設置方法は、その種類に応じて、測定位置に直置きもしくは両面テープ等で固定する。ただし、タイルカーペットやじゅうたん等の柔らかい表面仕上げ材が施工されている場合は設置共振が発生する可能性があるため、可能な限り仕上げ材を取り除き設置する。設置共振の具体的な解説については、付.2 を参照されたい。

4.3.4 測定方向

振動の測定方向については、鉛直方向は 1 方向、水平方向は直交する 2 方向の計 3 方向を同時に測定することが望ましい。

水平方向については、建築物内外で測定を行う場合には、下記の①～④を考慮して、建築物の内部と外部で水平方向を一致させることが望ましい。

- ① 対象となる建築物
- ② 振動ピックアップを設置する部屋

- ③ 道路や路線の方向
- ④ 東西－南北の方向

4.3.5 測定時間・回数

測定時間や測定回数は、安定した評価を行うためにも、振動源として選定した複数個のデータやある程度の時間を確保した測定をすることが重要である。また、測定時には可能な限り、自動車や鉄道の走行状況、設置されている機器の稼働状況、建設作業の内容を把握することが重要である。以上のことを踏まえて、振動源ごとに測定時間、測定回数の留意点について記載する。

a. 自動車

大型車が通過する際に発生する振動が問題となることから、大型車に限定して個々の振動イベントを分離して測定できる場合は、10台以上の大型車を対象として測定を行う。しかし、交通量が多い道路において、大型車からの振動を分離した測定が困難な場合には、車群として走行する交通流を単位として、複合した振動を対象とし、10分間のデータを6回以上実施し、合計1時間以上の測定を推奨する。どちらの場合にも、測定データのばらつきとともに測定値のS/Nが確保されていることを確認する必要がある。

b. 鉄道

一般的に、列車速度の増加に伴い、床に生じる振動は大きくなることから、当該地点における通過軌道、車両形式、そして列車の走行速度を考慮して、10本以上の列車を対象として測定を行う。なお、列車がすれ違う等、個々の振動イベントを分離できない場合には、列車の走行状況や運行本数を勘案して、測定値から除外するかどうかを判断する。どちらの場合にも、測定データのばらつきとともに測定値のS/Nが確保されていることを確認する必要がある。

c. 工場・事業場

稼働している機器の種類、台数、時間帯などを把握し、当該機器の稼働中に測定を行う。個々の振動を測定する場合には、10データ以上の測定を行い、複合した振動を測定する場合には、10分間のデータを6回以上実施し、合計1時間以上の測定を推奨する。また、問題となる振動の発生時間帯を特定できる場合には、その時間帯で測定を行う。

d. 建設・解体工事等

問題となる振動を特定できる場合は、重機の作業内容を把握し、当該作業中に測定を行う。個々の振動を測定する場合には、10データ以上の測定を行い、複合した振動を測定する場合には、10分間のデータを6回以上行い、合計1時間以上の測定を推奨する。また、問題となる振動の発生時間帯を特定できる場合には、その時間帯で測定を行う。

参考として、振動測定経験者による例題アンケート²⁾の測定時間・測定回数の回答結果を図 4.7 に示す。日常的に発生すると想定される期間・時間帯や頻度で測定することが基本であるが、振動障害発生時間が不定期である場合や測定値が安定しない場合は、様々な方法で客観的評価を行うための測定を試みていることがわかる。具体的には、道路交通では「10 データ以上」等の測定回数と「24 時間以上」等の測定時間で管理している者が多い。測定時間で管理している理由としては、対象振動を特定できない場合や夜間に発生する振動が問題となるためもあるためと考えられる。

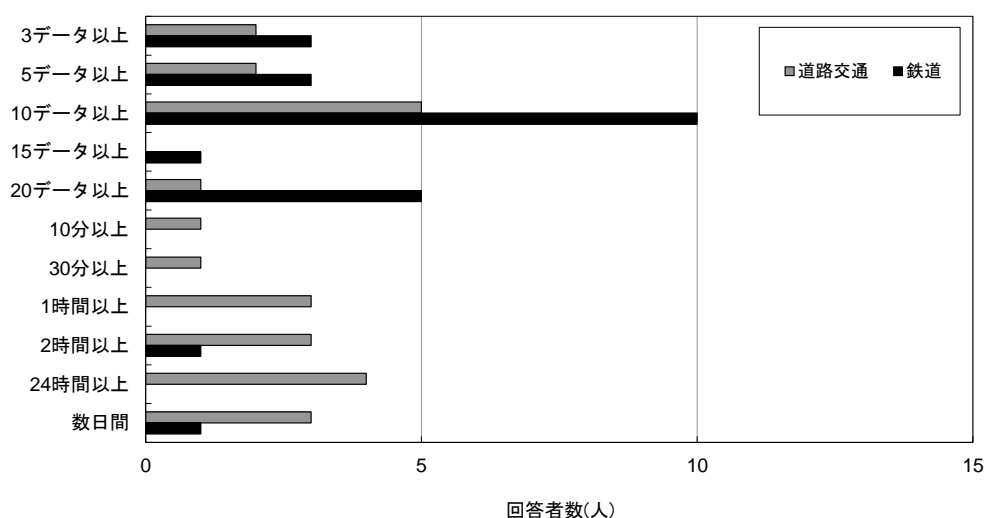


図 4.7 測定時間・測定回数の回答分布

4.4 分析方法

「建築物の振動に関する居住性能評価規準・同解説」¹⁾を用いた評価には、1/3 オクターブバンド分析による加速度最大値を求めることと記載されている。また、非定常的な振動の場合には、継続時間を導入しており、時定数 10ms とした振動レベルの時刻歴が必要となる。そのため、1/3 オクターブ分析の加速度最大値を得るためには、JIS C 1513-2002⁵⁾「音響・振動用オクターブ及び 1/3 オクターブバンド分析器」の規定を満足する 1/3 オクターブバンド分析器、または JIS C 1514-2002⁶⁾「オクターブバンド及び 1/N オクターブバンドフィルタ」の規定を満足するフィルタを用い、1/3 オクターブバンド分析による加速度最大値 (時定数 10ms) を求めることを推奨する。

規準¹⁾で規定されている周波数の上限は、30Hz であるが、図 4.8 や文献 7) に示すように、鉄道振動の場合には、30Hz より高い周波数で卓越する場合がある。現状では、このような振動を規準¹⁾で評価することはできないが、今後の知見の集積のためにも、上限周波数 80Hz までは、1/3 オクターブバンド分析による加速度最大値を求めることが望ましい。

なお、自動車の測定において、車両の単独走行により生じる振動ではなく、車群として複数の車両からの振動が合成されている振動を測定している場合には、継続時間を算出することは現実的ではなく、定常的な振動が発生しているとして評価を行うことが望ましい。

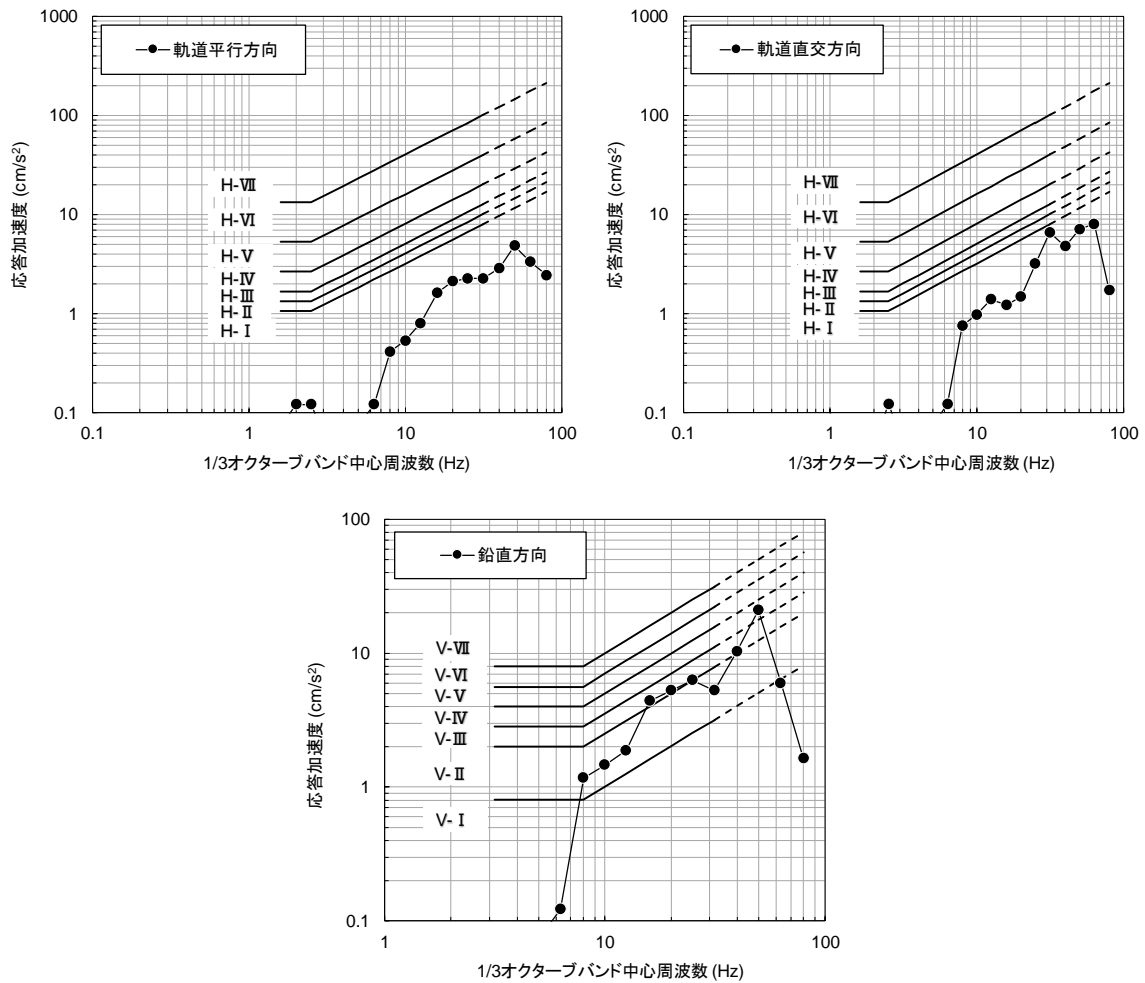


図 4.8 30Hz より高い周波数が卓越する場合は事例(振動源: 新幹線)

4.5 評価方法

評価は、「建築物の振動に関する居住性能評価規準・同解説」¹⁾に記載の性能評価図に照合して行うものとする。測定した複数個のデータから評価値を算出する方法については、竣工検査の場合には、全データの平均値を算出することを推奨する。一方、クレーム対応の場合には、振動の発生状況や測定されるデータのばらつきを考慮して、最大値、平均値、中央値などの指標の中から、測定者が決定する。なお、評価に用いた指標は必ず記録することとする。

4.6 本資料及び居住性能評価規準・同解説を用いた測定及び評価事例

a. 目的

本節では、交通により発生した建築物の床に生じる振動を対象とし、本章で記載した測定方法及び居住性能評価規準・同解説¹⁾を用いた測定及び評価事例を紹介する。

b. 使用する実験機器

- ・ 測定器：振動レベル計
- ・ 記録器：データレコーダ

c. 測定概要

対象建築物の概要は表 4.2 に示す 2 階建て木造住宅であり、振動源は在来鉄道である。また、測定位置は図 4.9 に示すように、部屋の中央である A 点と対角線上の 1/4 である B 点、柱際の C 点を含む A～D の 4 点とした。測定方向は軌道平行方向、軌道直交方向、鉛直方向の計 3 方向とし、測定本数は 10 本とした。

表 4.2 対象建築物の概要

振動源	用途	構造	測定階	測定方向
鉄道	戸建住宅	木造	2 階	鉛直+水平(2 方向)

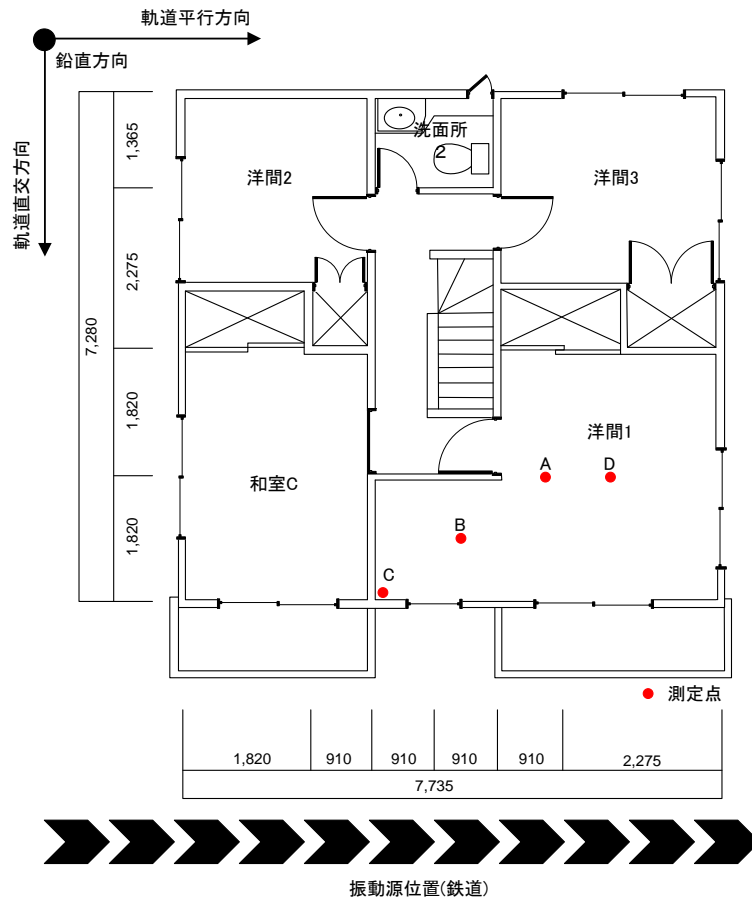


図 4.9 対象建築物の平面図及び測定位置の例(2 階平面図)

d. 評価結果

評価方法は「建築物の振動に関する居住性能評価規準・同解説」¹⁾に記載の性能評価図に照合して行った。在来線鉄道により建築物内に発生した加速度波形の例を図 4.10 に示す。評

価を行う際の手順としては、以下の①～④となる。

- ① 図 4.10 の加速度波形を 1/3 オクターブバンド分析し、各バンドの中心周波数の加速度最大値を算出する。(本事例では時定数 10ms で分析を行っている。)
- ② 時定数 10ms の時間重み付け特性をかけた加速度を dB 表示にした VL_{10ms} の時刻歴を算出する。(本事例でのサンプリング時間 5ms で分析を行っている。)
- ③ ②の VL_{10ms} から 55dB 以上となっている時間を合計し、低減量を算出する。
- ④ ③の低減係数を①の各バンドの中心周波数の加速度最大値に乗じる。

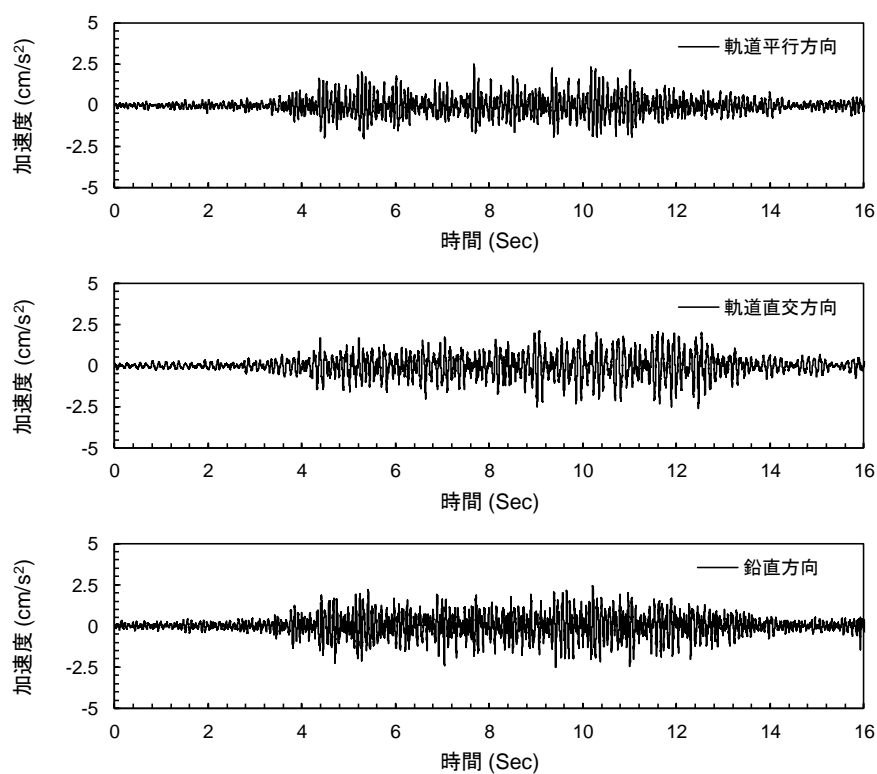


図 4.10 測定した実測加速度波形の例(測定点 A)

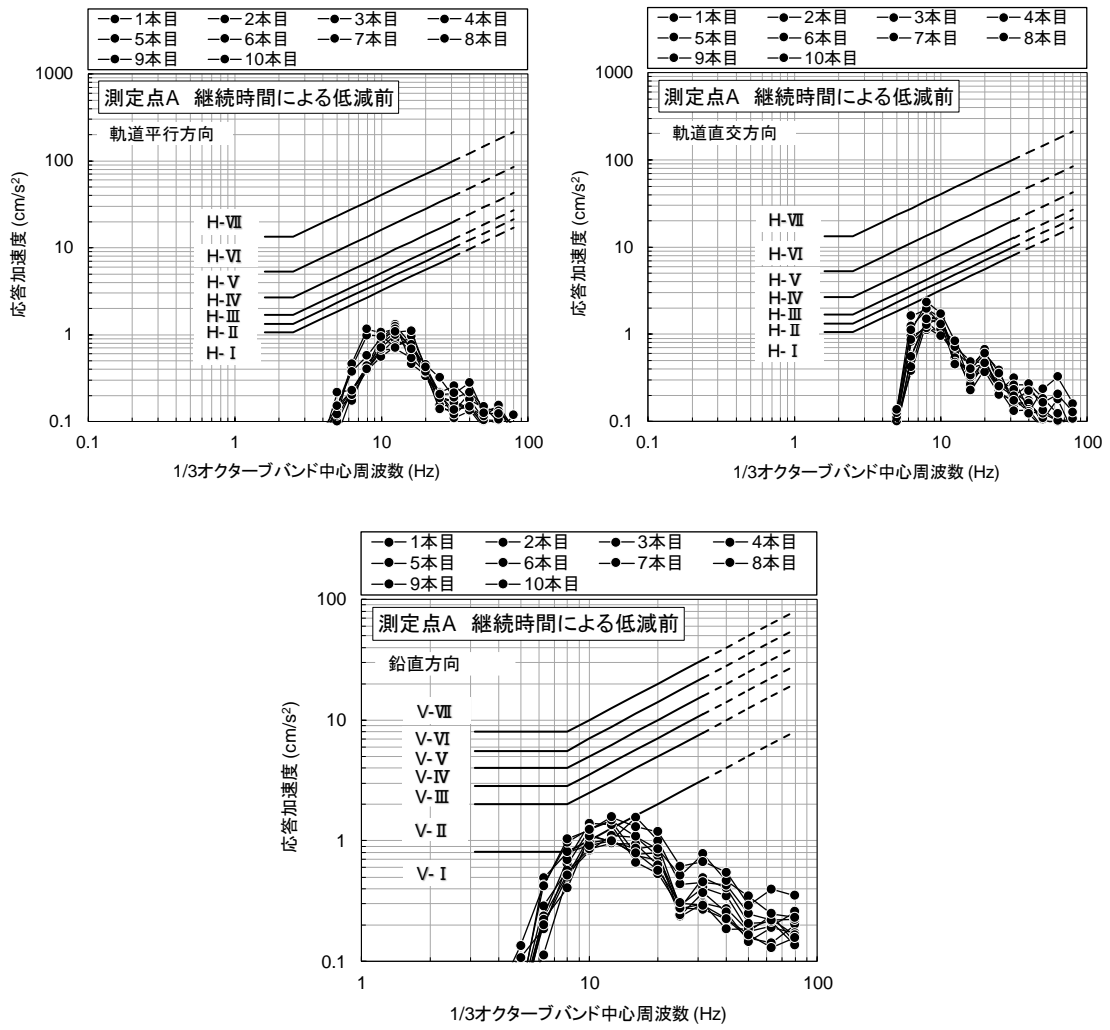


図 4.11 1/3 オクターブバンド分析による加速度最大値の照合結果(測定点 A)

表 4.3 1/3 オクターブバンド分析による加速度最大値(測定点 A)

	No.	軌道平行方向			軌道直交方向			鉛直方向		
		加速度	決定	評価	加速度	決定	評価	加速度	決定	評価
		最大値	周波数		最大値	周波数		最大値	周波数	
(cm/s ²)*	(Hz)	レベル	(cm/s ²)*	(Hz)	レベル	(cm/s ² **	(Hz)	レベル		
測定点 A	1	0.36	12.5	V-I	0.55	8	V-I	0.77	10	V-I
	2	0.24	12.5	V-I	0.44	8	V-I	0.71	12.5	V-I
	3	0.34	12.5	V-I	0.64	8	V-I	0.99	10	V-II
	4	0.20	12.5	V-I	0.46	8	V-I	0.68	10	V-I
	5	0.30	12.5	V-I	0.58	8	V-I	1.11	10	V-II
	6	0.22	10	V-I	0.53	10	V-I	0.89	10	V-II
	7	0.39	8	V-I	0.77	6.3	V-I	0.81	8	V-I
	8	0.28	12.5	V-I	0.59	8	V-I	0.87	10	V-II
	9	0.45	8	V-I	0.77	8	V-I	1.00	10	V-II
	10	0.31	10	V-I	0.92	8	V-I	1.04	8	V-II
	平均	0.31	-	V-I	0.63	-	V-I	0.89	-	V-II
最大	0.45	8	V-I	0.92	8	V-I	1.11	10	V-II	

* 1.5~2.5Hz へ重付けした加速度最大値

** 3~8Hz へ重付けした加速度最大値

図 4.11 及び表 4.3 に図 4.10 の加速度波形を 1/3 オクターブバンド分析し、加速度の最大値を照合した結果を示す。なお、表 4.3 の加速度最大値は、性能評価図に基づいて、水平振動は 1.5~2.5Hz、鉛直振動は 3~8Hz のフラットな周波数帯域へ重み付けを行った値を示している。例えば、鉛直振動の場合、決定周波数が 10Hz 帯域であれば、1.25 で除して 8Hz 帯域へ重み付けを行っている。

評価レベルの結果は、水平方向の軌道平行方向、軌道直交方向は両方向ともすべての本数で V-I であり、鉛直方向は V-I ~V-II の結果となっている。10 本の加速度最大値の平均値で評価を行うと、水平方向は V-I、鉛直方向は V-II となる。なお、各振動方向の評価は、30Hz~80Hz(…部)までを 6dB/oct.勾配で拡張しているが、規準¹⁾の性能評価図(居住などの床)に準拠し、30Hz(25Hz 帯域)までで評価している。

続いて、振動の継続時間による低減係数を算出するため、時定数 10ms のレベル波形である VL_{10ms} を図 4.12 に示す。55dB 以上となっている時間と低減係数は表 4.4 に示す通りとなる。

以上から、図 4.11 及び表 4.3 の加速度最大値に表 4.4 の低減係数を乗じた結果を図 4.13 及び表 4.5 に示す。評価結果には測定した 10 本の結果とは別に、平均、最大の結果も記載した。評価結果は水平方向の軌道平行方向、軌道直交方向は両方向とも全ての本数で V-I となり、鉛直方

向は V-I ~V-II の結果となった。10 本の最大加速度の平均値で評価を行うと、軌道平行方向で 0.31 から 0.17, 軌道直交方向で 0.63 から 0.37, 鉛直方向で 0.89 から 0.69 となっており、水平方向は V-I となり、鉛直方向は V-II から V-I へと評価ランクが下がっている。なお、各振動方向の評価は、30Hz~80Hz(---部)までを 6dB/oct.勾配で拡張しているが、規準 1) の性能評価図(居住などの床)に準拠し、30Hz(25Hz 帯域)までで評価している。

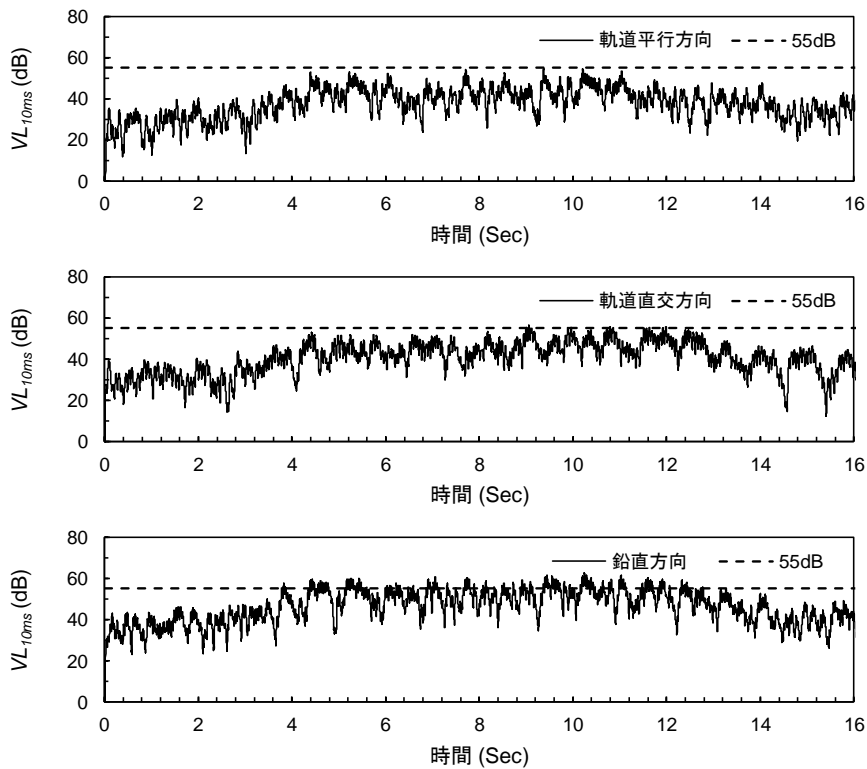


図 4.12 時定数 10ms のレベル時系列波形の例(測定点 A)

表 4.4 55dB 以上の振動継続時間と低減係数

	No.	軌道平行方向		軌道直交方向		鉛直方向	
		継続時間 (秒)	低減係数	継続時間 (秒)	低減係数	継続時間 (秒)	低減係数
測定点 A	1	0.00	0.56	0.11	0.56	2.52	0.71
	2	0.00	0.56	0.41	0.56	3.21	0.75
	3	0.00	0.56	0.54	0.56	3.95	0.79
	4	0.00	0.56	0.39	0.56	3.52	0.77
	5	0.00	0.56	0.56	0.56	3.82	0.79
	6	0.00	0.56	0.79	0.56	2.57	0.71
	7	0.03	0.56	1.41	0.61	3.12	0.75
	8	0.00	0.56	0.34	0.56	3.29	0.76
	9	0.01	0.56	1.07	0.57	4.56	0.82
	10	0.02	0.56	1.91	0.66	5.42	0.86

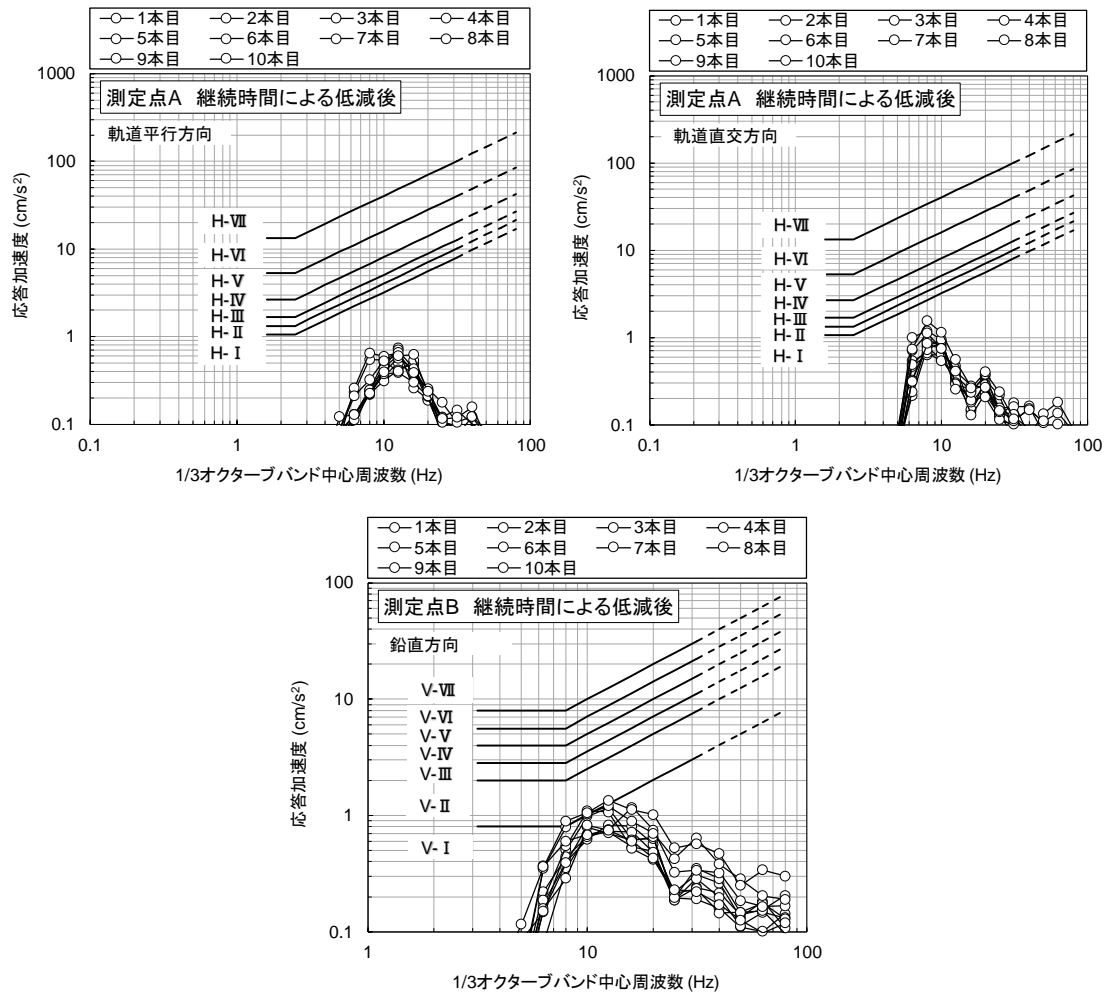


図 4.13 居住性能評価規準¹⁾による測定結果の照合例

表 4.5 居住性能評価規準¹⁾による測定結果の照合例

	No.	軌道平行方向			軌道直交方向			鉛直方向		
		加速度 最大値 (cm/s ²)*	決定 周波数 (Hz)	評価 レベル	加速度 最大値 (cm/s ²)*	決定 周波数 (Hz)	評価 レベル	加速度 最大値 (cm/s ² **	決定 周波数 (Hz)	評価 レベル
測 定 点 A	1	0.20	12.5	V-I	0.31	8	V-I	0.55	10	V-I
	2	0.14	12.5	V-I	0.25	8	V-I	0.53	12.5	V-I
	3	0.19	12.5	V-I	0.36	8	V-I	0.79	10	V-I
	4	0.11	12.5	V-I	0.26	8	V-I	0.53	10	V-I
	5	0.17	12.5	V-I	0.33	8	V-I	0.88	10	V-II
	6	0.12	10	V-I	0.30	10	V-I	0.63	10	V-I
	7	0.22	8	V-I	0.47	6.3	V-I	0.60	8	V-I
	8	0.15	12.5	V-I	0.33	8	V-I	0.66	10	V-I
	9	0.26	8	V-I	0.44	8	V-I	0.82	10	V-II
	10	0.17	10	V-I	0.61	8	V-I	0.89	8	V-II
	平均	0.17	-	V-I	0.37	-	V-I	0.69	-	V-I
最大	0.26	8	V-I	0.61	8	V-I	0.89	8	V-II	

* 1.5~2.5Hz へ重付けした加速度最大値

** 3~8Hz へ重付けした加速度最大値

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，丸善，2018.11
- 2) 松田貫，富田隆太，小谷朋央貴，横島朋央貴，伊積康彦：交通機関を対象とした建築空間の振動測定点に関する測定経験者へのアンケート調査，日本建築学会技術報告集，第 54 号，pp.521-524，2017.6
- 3) 横島潤紀，富田隆太，小谷朋央貴，伊積康彦：建築物における環境振動に関する測定・分析・評価の課題と現状 —測定経験者を対象としたアンケート調査から，日本建築学会技術報告集，第 57 号，pp.697-700，2018.6
- 4) JIS C 1510:1995 振動レベル計
- 5) JIS C 1513:2002 音響・振動用オクターブ及び 1/3 オクターブバンド分析器
- 6) JIS C 1514:2002 オクターブ及び 1/N オクターブバンドフィルタ
- 7) 横島潤紀，伊積康彦，平松和嗣，石橋敏久，永関慶樹，後藤剛史：木造家屋内における鉄道走行時の振動実測結果について，日本建築学会技術報告集，第 24 号，pp.203-206，2006.12

付録

付.1 建築物における床振動の簡易な測定方法案

付.1.1 はじめに

ここで提案する測定方法は、竣工後等の建築物内の居住性能評価を行う場合（竣工検査）、苦情等のクレーム対応を行う場合（クレーム対応）を中心に、環境振動測定の専門家以外の方が、床振動の大きさを概略的に把握する場合などに適用する方法の例として、測定位置、測定時間などについて測定対象別に示したものである。

環境振動の測定が必要となった場合、環境振動測定の専門家以外の人にとって、環境振動をどこで、どのように測定すればよいのか、よりどころとなる資料が無いのが実情である。そこで、本測定方法を提案するにあたっては、測定機器、測定位置、測定回数または測定時間などを極力具体的に記載することとした。そのため、測定ケースによっては最適な方法とはならない状況もあり得るが、なるべく多くの事例に適用できることを目指して、本測定方法を取りまとめた。

本測定方法の使われ方の例を、以下に示す。

対象者：設計者、施工会社の技術営業担当者・施工管理者など

想定している状況の例：

- ・設計者や施工管理者が建築物竣工時に簡単な性能確認を行うための測定
- ・技術営業担当者が、苦情対応する際の最初の現状把握を行うための測定

対象としている建築物用途：住宅、事務所、宿泊施設など

対象としている振動源：

歩行、道路交通、鉄道、工場、建設作業のうち、これらの振動源により発生する振動が、他の振動源によるものよりも明らかに大きいもの
上記に該当しない振動源によるものは、専門家に相談すること

使用方法の例：

- ・環境振動の専門でない人が、簡易な振動測定をする際の参考資料として
- ・環境振動の専門家が、専門家以外の人に対して説明する資料として

本測定方法を作成するにあたっては、次のような議論がなされた。

・測定対象について

一般建物での代表的な振動源である歩行、道路交通、鉄道、工場、建設作業とした。高層建築物における風による水平振動については、専門家以外の方が対応する例は少ないと判断し、対象外とした。

・測定器について

規格が定まっており取り扱いが容易な振動レベル計を用いることとした。

- ・評価量について

規格が定まっており振動レベル計で容易に測定できる振動レベルで評価することとした。

周波数分析については、専門家以外の人を実施するには煩雑すぎると判断し、本測定方法では取り扱わないこととした。

上記のとおり、本測定方法は、環境振動の専門家ではない人にとっての環境振動測定のガイドとしての役割を期待している。

付.1.2 振動レベルによる評価に関する資料

本測定方法では、評価量として振動レベルを採用しているため、ここでは振動レベルによる評価に関する参考資料を示す。

振動レベルは、振動規制法で用いられている評価量であり、測定機器が普及していることもあって、振動規制法の対象以外の環境振動の評価においても用いられることが多い。ただし、振動規制法で定められている規制基準や要請限度は、振動レベルが時間変動する場合には、統計的に処理して決めた代表値と比較することとなっており、また屋外で得られる振動レベルに適用するものである。したがって、以後に示す測定方法により得られる屋内での振動レベルの最大値は、規制基準や要請限度として規定されている数値と直接比較できないことに注意が必要である。

振動レベルに基づく評価に関しては、振動規制法制定当時の資料の中に関連する知見等を見ることができる。1976年2月付けで中央公害対策審議会騒音振動部会振動専門部会から出された資料「工場、建設作業、道路交通、新幹線鉄道の振動に係る基準の根拠等について」¹⁾では、1949年に発表された「気象庁震度階」を引用し、振動レベルとの関係を示している。そのうち、環境振動の評価に関連し得る振動の大きさの範囲のみ抜粋して改変したものが表付 1.1 である。この情報は、現在でも広く利用されており、例えば、国や地方公共団体からの資料等に引用されている（例えば、参考文献 2）。

また、同資料¹⁾には、振動レベルと振動による人への各種影響の関係が、表付 1.2 のようにまとめられている。生理的影響については、一般的に環境振動として生じる大きさの振動に対して、有意な影響は認められないとの知見が紹介されている。ただし、同資料において生理的影響に分類されている知覚閾値（知覚できるか否かの境界値）は、建築物使用者が振動を知覚してはじめて環境振動問題が生じ得るとの観点から、環境振動評価において重要である。国内では、平均的な知覚閾値は、振動レベル 55dB あるいは 60dB に相当すると言われることが多い。このうち 55dB は、当時世界的に先駆的な知見であった三輪、米川による実験で得られた全被験者の平均知覚閾値に対応している³⁾。睡眠影響については知見が少なく、表付 1.2 の情報は、山崎らによる被験者 4 名に対する実験結果^{4),5)}のみに基づいている。なお、環境振動による睡眠影響に関するまとまった知見は、その後も国内では得られていない。住民反応に関する情報は、環境庁が 1973, 1974 年度に実施した住民反応調査に基づいており、それらの結果が論文としてまとめられ発表されている⁶⁾。この論文では、住民反応調査の結果がデシベル単位の数値と対応させてまとめられてお

り、この値が振動レベルと対応するものと推察されるが、論文中に明確な記載が無いため、その解釈には注意が必要である。

なお、上述のように、振動レベルを用いた評価は、過去の建築分野以外で得られた知見に基づくものとなっているが、近年、日本建築学会でも検討が行われている。振動レベルを用いる利点の一つに、最も卓越する振動数成分のみの振動の大きさを評価する居住性能評価基準と異なり、複数の振動数成分が建築物使用者の反応に影響し得る場合に、それを評価できることにある。例えば、道路交通振動の評価において、そのことが確認されている⁷⁾。また、振幅が時間変動する振動による影響を、振動レベルに振動の継続時間の影響を加味する量を組み合わせて評価する試みもなされ、振動レベルの最大値よりも適切な評価が得られる可能性が示されている（例えば、参考文献 8)-10)）。

表付 1.1 気象庁震度階（1949 年）と振動レベル換算値（参考文献 1)に基づき作成)

気象庁 震度階 (1949 年)	加速度 (ピーク値) [gal]	振動レベル (換算値) [dB] [*]	説明
0：無感	0.8	55	人体に感じないで地震計に記録される程度
I：微動	0.8 ～ 2.5	55 ～ 65	静止している人々や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震
II：軽震	2.5 ～ 8.0	65 ～ 75	大ぜいの人に感ずる程度のもので、戸、障子がわずかに動くのが分かるくらいの地震
III：弱震	8.0 ～ 25.0	75 ～ 85	家屋がゆれ、戸、障子がガタガタと鳴動し、電灯のようなつり下げ物は相当ゆれ器内の水面の動くのがわかる程度の地震
IV：中震	25.0 ～ 80.0	85 ～ 95	家屋の振動が激しく、すわりの悪い花瓶などは倒れ、器内の水はあふれ出る。また、歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震

^{*} 鉛直振動を想定し振動数を 4～8Hz と仮定して振動レベルに換算された値

表付 1.2 振動による影響と振動レベルの関係 (参考文献 1)に基づき作成)

(振動レベルは参考文献 1)の「地表換算値」に建物による振動増幅 5dB を加えた値)

	(生理的影響等)	(睡眠影響)	(住民反応)
95dB	<ul style="list-style-type: none"> 人体に有意な生理的影響が生じ始める 		
85dB	<ul style="list-style-type: none"> 産業職場における快感減退境界 (8 時間暴露) 		
75dB		<ul style="list-style-type: none"> 睡眠深度 1,2 とも全て覚醒する 	よく感じるという訴え率が 50%になる
		<ul style="list-style-type: none"> 睡眠深度 1,2 とも覚醒する 場合が多い 	
		<ul style="list-style-type: none"> 睡眠深度 1 の場合は全て覚醒する 	よく感じるという訴え率が 30%になる
65dB		<ul style="list-style-type: none"> 睡眠深度 1 の場合は過半数が覚醒する 	
	<ul style="list-style-type: none"> 振動を感じはじめる (閾値) 	<ul style="list-style-type: none"> 睡眠影響はほとんどない 	やや感じるという訴え率が 50%となる
55dB			

付.1.3 建築物における床振動の簡易な測定方法案 1 歩行による床の鉛直振動測定方法

付.1.3.1 適用範囲

本測定方法案では、歩行による床の鉛直振動の現状を把握するための測定について、振動レベル最大値を簡易に求める方法を示す。

備考：本測定方法は、環境振動測定の特許家以外の人でも、床振動の現状を簡易に把握することが可能となるように、測定位置、測定時間などについて測定対象別に示したものである。本測定方法の適用例を、以下に示す。

対象者：設計者、施工会社の技術営業担当者・施工管理者など

想定している状況の例：

- ・設計者や施工管理者が建物竣工時に簡単な性能確認を行うための測定
- ・技術営業担当者が、苦情対応する際の最初の現状把握を行うための測定

対象としている建物用途：住宅、事務所、宿泊施設など

対象としている振動源：歩行

使用方法の例：

- ・環境振動の特許でない人が、簡易な振動測定をする際の参考資料として
- ・環境振動の特許家が、特許家以外の人に対して説明する資料として

付.1.3.2 測定器

測定器には、JIS C 1510-1995 に適合する振動レベル計を使用する。振動レベル計については、振動レベルの時刻歴が記録できる機能を有する機器を使用することを推奨する。測定にあたっては、取扱説明書などにより測定器の使用方法を理解しておくこととする。

付.1.3.3 測定

a. 振動レベルの記録

以下に示す測定においては、振動レベルの時刻歴を記録することを推奨する。さらに、振動加速度波形を記録してもよい。

b. 測定点

部屋の中央点を含む 1 箇所以上とし、目的に応じて大梁や小梁で囲まれた範囲の中央点や苦情の申立人からの要請などにより適宜追加する。測定点を部屋の中央点に設けることができない場合は、部屋の使われ方などを考慮して決定する。測定点は、固い仕上げ材上に設ける。

備考．測定点が畳・絨毯・カーペット等柔らかい材料である場合は、正確に測定できない可能性があるため、以下のとおりとする。

- ・絨毯・カーペット等で容易に撤去できる場合は、絨毯・カーペット等を撤去し、固い仕上げ材上で測定する。
- ・測定点の近くに固い仕上げ材がある場合は、そこを測定点とする。
- ・上記によれない場合は、専門技術者の指導を仰ぐ。

c. 歩行経路

歩行経路は、測定点から 1m 離れの点を含む直線とする。ただし、測定点から 1m 離れの点を歩行できない場合は、部屋の使われ方などを考慮して歩行経路を決定する。

上記以外については、測定の目的に応じて歩行経路を適宜定める。

備考. 測定点から 1m 離れの点に印をつけておくとよい。また、不自然な歩行とならないように、測定前に何度か練習することが望ましい。

d. 測定

歩行者は成人 3 名以上とし、1 人ずつ歩行経路を歩行する。歩行回数は、1 人につき 10 回以上とする。その際、測定点から 1m 離れの点付近でかかとを付くように歩行する。測定中は、歩行以外の振動の影響が生じないように配慮する。歩行以外の振動が測定に影響した場合は、測定をやり直す。

歩行者については、性別、身長、体重、靴を履いていたか否か、靴を履いていた場合は靴底の種類、靴を履いていない場合は靴下を履いていたか否かなどを記録することが望ましい。

備考. 必要に応じて、複数の歩行者が同時に歩行する条件を追加してもよい。歩行者が縦に並ぶか横に並ぶかは、部屋の使われ方に応じて定める。また、床に歩行者以外の人がある条件を追加してもよい。その位置および姿勢（立位または座位）は、部屋の使われ方に応じて定める。

e. 振動レベル最大値の読み取り

測定毎に、歩行中における振動レベル最大値を読み取る。

備考. 振動レベル最大値は、測定器に記録されたデータから、小数点第 1 位まで読みとることを推奨する。

振動レベルの記録機能のない測定器を使用する場合は、測定器の最大値算出機能を用いても良い。

付.1.3.4 報告書

報告書には、次の事項を記載する。

- a) 測定機関名，測定者名など
- b) 測定実施年月日
- c) 建物の構造（平面図，断面図など）
- d) 使用機器
- e) 測定条件（測定点配置，歩行経路，歩行者が靴を履いていたか否か，靴底の種類，素足か否か，床の仕上げなど）
- f) 測定結果
- g) 状況写真（歩行の状況，測定位置など）
- h) その他の参考事項

付.1.4 建築物における床振動の簡易な測定方法案2 外部振動源による床の鉛直振動測定方法

付.1.4.1 適用範囲

本測定方法案では、外部振動源による床の鉛直振動の現状を把握するための測定について、振動レベル最大値を簡易に求める方法を示す。

備考：本測定方法は、環境振動測定の専門家以外の人でも、床振動の現状を簡易に把握することが可能となるように、測定位置、測定時間などについて測定対象別に示したものである。本測定方法の適用例を、以下に示す。

対象者：設計者、施工会社の技術営業担当者・施工管理者など

想定している状況の例：

- ・設計者や施工管理者が建物竣工時に簡単な性能確認を行うための測定
- ・技術営業担当者が、苦情対応する際の最初の現状把握を行うための測定

対象としている建物用途：住宅、事務所、宿泊施設など

対象としている振動源：

道路交通、鉄道、工場、建設作業のうち、これらの振動源により発生する振動が、他の振動源によるものよりも明らかに大きいもの

上記に該当しない振動源によるものは、専門家に相談すること

使用方法の例：

- ・環境振動の専門でない人が、簡易な振動測定をする際の参考資料として
- ・環境振動の専門家が、専門家以外の人に対して説明する資料として

付.1.4.2 測定器

測定器には、JIS C 1510-1995 に適合する振動レベル計を使用する。振動レベル計については、振動レベルの時刻歴が記録できる機能を有する機器を使用することを推奨する。測定にあたっては、取扱い説明書などにより測定器の使用方法を理解しておくこととする。

付.1.4.3 測定

a. 振動レベルの記録

以下に示す測定においては、振動レベルの時刻歴を記録することを推奨する。さらに、振動加速度波形を記録してもよい。

b. 測定点

部屋の中央点を含む1箇所以上とし、目的に応じて大梁や小梁で囲まれた範囲の中央点や苦情の申立人からの要請などにより適宜追加する。測定点を部屋の中央点に設けることができない場合は、部屋の使われ方などを考慮して決定する。

また、敷地境界等建築物外にも測定点を設けることが望ましい。
測定点は、固い仕上げ材上に設ける。

備考．測定点が畳・絨毯・カーペット等柔らかい材料である場合は、正確に測定できない可能性があるため、以下のとおりとする。

- ・絨毯・カーペット等で容易に撤去できる場合は、絨毯・カーペット等を撤去し、固い仕上げ材上で測定する。
- ・測定点の近くに固い仕上げ材がある場合は、測定点をそこに変更する。
- ・上記によれない場合は、専門技術者の指導を仰ぐ。

床に人がいる条件を追加してもよい。その位置および姿勢（立位または座位）は、部屋の使われ方に応じて定める。

c. 測定

(1) 道路交通振動

10分以上の測定を6回以上実施する。測定中は、道路交通以外の振動の影響が生じないように配慮する。

測定時間中の車線毎の通過台数、大型車混入率などを記録することが望ましい。

(2) 鉄道振動

「特急」、「急行」、「普通」などの全ての列車種別を含め、上下線併せて10本以上測定する。これによれない場合は、可能な範囲で多数の列車を測定する。測定中は、鉄道以外の振動の影響が生じないように配慮する。

測定した列車については、通過時刻、通過線路、上下別、車両形式、通過速度などを記録することが望ましい。

(3) 工場等から発生する振動

工場等が稼働している時間帯で、10分以上の測定を6回以上実施する。測定中は、工場以外の振動の影響が生じないように配慮する。

測定対象の工場の位置、機械の種類などを記録することが望ましい。

(4) 建設工事等から発生する振動

建設工事等が行われている時間帯で、10分以上の測定を6回以上実施する。測定中は、建設工事等以外の振動の影響が生じないように配慮する。

測定対象の建設工事等個所の位置、建設工事等の種類などを記録することが望ましい。

備考. 外部振動源を対象とした測定では、測定対象としている振動源以外の振動の影響を受ける場合が多い。そのため、測定中は測定対象以外の振動の影響の有無に注意を払う必要がある。測定対象以外で大きな振動が発生した場合は、発生時刻、振動源等を記録しておくことが望ましい。

d. 振動レベル最大値の読み取り

(1) 道路交通振動

測定毎に、測定時間における振動レベル最大値を読み取る。

(2) 鉄道振動

測定毎に、列車通過時間における振動レベル最大値を読み取る。

(3) 工場等から発生する振動

測定毎に、測定時間における振動レベル最大値を読み取る。

(4) 建設工事等から発生する振動

測定毎に、測定時間における振動レベル最大値を読み取る。

備考. 振動レベル最大値は、測定器に記録されたデータから、小数点第 1 位まで読みとることを推奨する。

振動レベルの記録機能のない測定器を使用する場合は、測定器の最大値算出機能を用いても良い。

外部振動源を対象とした測定では、測定対象としている振動源による振動が顕著に大きいとは限らない。そこで、測定中は測定対象以外の振動の影響の有無に注意を払う必要がある。算出された振動レベル最大値が測定対象によらない場合には、測定器に記録されたデータから測定対象以外のデータを削除するか、測定器の最大値算出機能を用いる場合には、測定をやり直す。また、測定対象とそれ以外の振動源による振動レベル差 (SN 比) が 10~15dB 以下となった場合は、振動レベルの読み取り方法を専門家に相談する。

備考. 振動レベル最大値は、測定器に記録されたデータから、小数点第 1 位まで読みとることを推奨する。

振動レベルの記録機能のない測定器を使用する場合は、測定器の最大値算出機能を用いても良い。

付.1.4.4 報告書

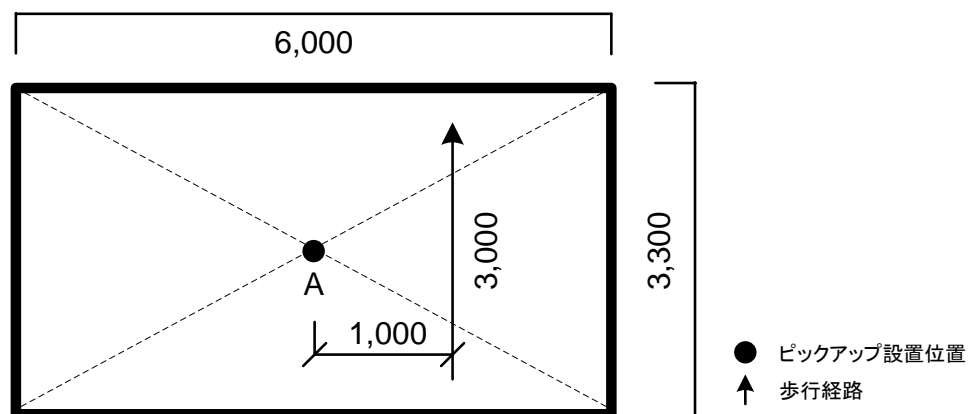
報告書には、次の事項を記載する。

- a) 測定機関名，測定者名など
- b) 測定実施年月日，天候
- c) 建物の構造（平面図，断面図など）
- d) 使用機器
- e) 測定条件（線路，道路，工場，工事個所と建物との関係，測定点配置など）
- f) 測定結果
- g) 状況写真（振動源，測定位置付近，振動源と測定位置との関係など）
- h) その他の参考事項（道路交通の状況，測定列車の緒元，機械の種類，工事の種類，天候など）

付.1.5 「建築物の振動の簡易な測定方法案 1 歩行による床の鉛直振動測定方法」による測定例

- a) 測定機関，測定者：〇〇大学 △△△△（氏名）
- b) 測定実施年月日：〇〇年〇〇月〇〇日
- c) 建物の構造：〇〇造〇階建て（大学校舎）
- d) 使用機器：振動レベル計 〇〇〇〇（型式，メーカー）
- e) 測定条件

測定点位置と歩行経路：図付 1.1 のとおり



図付 1.1 測定点と歩行経路

歩行者人数：3名

歩行回数：10回/1名

歩行者の詳細：表付1.3のとおり

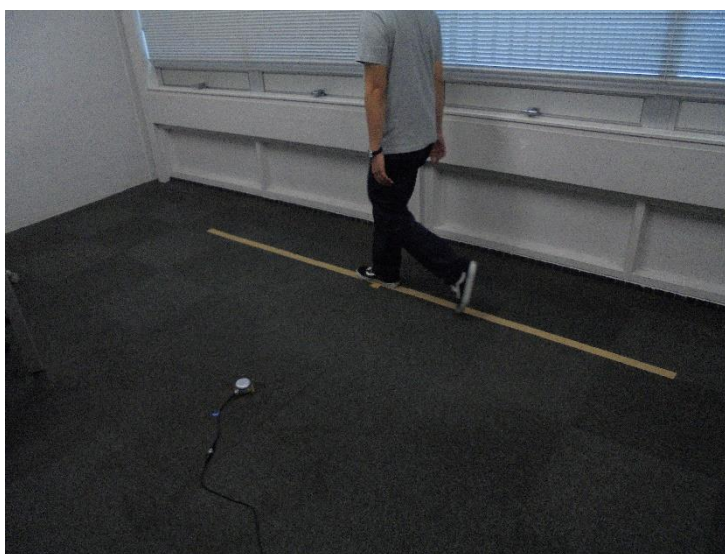
歩行者の履物：図付1.2のとおり

靴底の種類：ゴム

床の仕上げ：タイルカーペット

f) 測定結果：表付1.4のとおり

g) 状況写真：



図付1.2 測定状況

h) その他参考事項

特に無し

表付1.3 歩行者の詳細

	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	履物の有無	履物の種類
No.1	男性	22	171	86	有	革靴
No.2	男性	23	171	61	有	スニーカー
No.3	男性	23	173	61	有	スニーカー



図付 1.3 履物の種類

表付 1.4 測定結果

	No.1	No.2	No.3
	L_{Vmax}	L_{Vmax}	L_{Vmax}
1 回目	52.2dB	48.1dB	41.9dB
2 回目	52.2dB	48.6dB	44.5dB
3 回目	50.5dB	46.4dB	43.1dB
4 回目	52.2dB	46.0dB	42.9dB
5 回目	51.4dB	44.1dB	41.5dB
6 回目	51.6dB	48.2dB	41.7dB
7 回目	53.1dB	47.2dB	40.9dB
8 回目	52.7dB	48.0dB	42.6dB
9 回目	51.8dB	47.9dB	39.9dB
10 回目	52.6dB	47.6dB	43.6dB
平均	52.0dB	47.2dB	42.3dB

注) L_{Vmax} : 振動レベル最大値

参考文献

- 1) 日本騒音制御工学会編：振動規制の手引き－振動規制法逐条解説／関連法令・資料集，技報堂出版，2003.5
- 2) 環境省：よくわかる建設作業振動防止の手引き，
https://www.env.go.jp/air/sindo/const_guide/full.pdf
- 3) 三輪俊輔，米川善晴：正弦振動の評価法（振動の評価法 1），日本音響学会誌，第 1 号，pp.11-20, 1971
- 4) 山崎和秀，荒井正一，清水正路，小林一郎，西本幸雄，倉又哲夫，茂木俊次郎，近藤延弘：全身振動が人体諸機能に及ぼす影響，第 2 報，垂直方向振動の睡眠妨害に関する実験的研究，鉄道労働科学，第 30 号，pp.1-9, 1976
- 5) 山崎和秀，荒井正一，小林一朗，西本幸雄，倉又哲夫，清水正路：全身振動が人体諸機能に及ぼす影響，第 4 報，水平方向振動の睡眠妨害に関する実験的研究，鉄道労働科学，第 31 号，pp.1-11, 1977
- 6) 西宮元：騒音・振動に関する社会反応とその特徴について，日本音響学会誌，第 3 号，pp.147-155, 1976
- 7) 横山裕，天野豊章：道路交通振動の感覚上の大きさを表示する物理量の設定，日本建築学会構造系論文集，第 563 号，pp.37-44, 2003.1
- 8) 松下仁士，長沼俊介，井上竜太，横山裕：種々の加振源による鉛直振動に適用できる性能値，日本建築学会環境系論文集，第 720 号，pp.153-162, 2016.2
- 9) 林健太郎，松本泰尚，嘉納裕人：水平振動の心理的反応に対する継続時間を考慮した評価方法の適用性に関する実験的研究，日本建築学会環境系論文集，第 743 号，pp.11-19, 2018.1
- 10) 富田隆太，井上 勝夫，坂元美沙希：戸建て住宅を対象としたゴムボール衝撃及び歩行時の振動感覚の検討(建築物の鉛直振動に対する感覚評価尺度に関する研究：その 2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.461-462, 2016.8

付.2 測定・分析時の留意点

本項では測定・分析時に注意が必要な点について記載する。中でも環境振動実務者へのアンケート調査¹⁾で課題とされている「振動センサーの設置共振」、「周波数範囲」、「分析時定数」に加えて「人の影響」について、既往の文献および小委員会で検討した結果を示す。実際の測定・分析時に参考にして頂きたい。

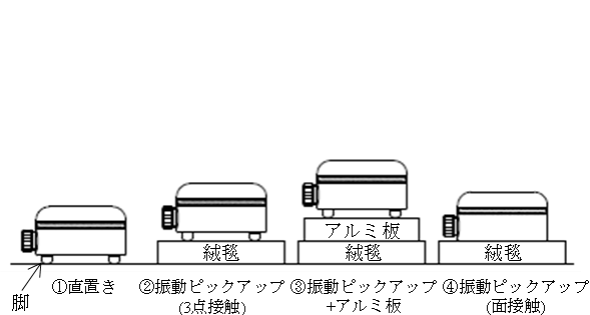
付.2.1 振動センサーの設置共振

建物内の測定において、絨毯や畳上に振動センサー（ピックアップ）をそのまま設置した場合、水平・鉛直共に設置共振の影響があり、基本的にはそのような柔らかい仕上げ材を取り外しての測定が望ましいことは定説となっている。設置共振についての既往の文献^{2)～7)}でも、主に絨毯の場合と畳の場合について報告されている。小委員会でも絨毯についての設置共振実験を行っている^{2)～4)}。ここでは小委員会で行った実験結果の一部を紹介する。

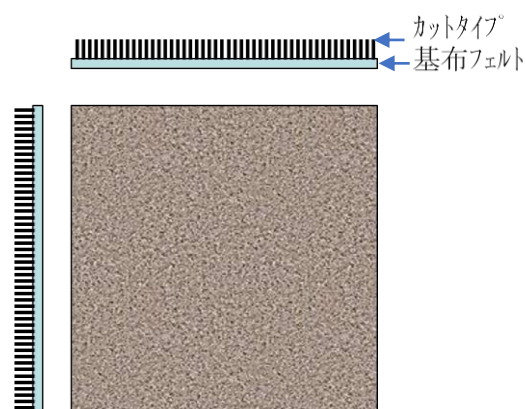
測定概要は、加振器上に図付 2.1 に示すようにピックアップを設置し、各周波数において加速度が 1 m/s^2 になるように加振した。測定周波数は水平加振で $1 \text{ Hz} \sim 1 \text{ kHz}$ 、垂直加振で $5 \text{ Hz} \sim 1 \text{ kHz}$ とし、1/48 オクターブ間隔で測定した。

測定に用いた絨毯は図付 2.2 に示すような厚さ 8 mm、基布フェルト、パイル形状はカットタイプのものである。

図付 2.3 の結果は、設置パターン①を基準(0 dB)としたときの、各設置状態での周波数特性を示している。水平加振において設置パターン②と設置パターン③の設置共振特性を比較すると、25 Hz から 40 Hz へ設置共振周波数が高くなっており、アルミ板を敷いた方が設置共振周波数は高くなっている。垂直加振でも同様であった。また、水平加振より垂直加振の方が設置共振周波数は高かった。今回の結果より、アルミ板を敷いた方が設置共振周波数特性は高くなり、そのまま置いた場合より設置共振による影響が少なることから、環境振動測定時に設置面が柔らかい絨毯の場合はアルミ板などを敷くことが、設置共振周波数を高くでき、設置共振の影響を小さくすることが判った。また、垂直加振よりも水平加振の方が設置共振周波数は低いことから、建物上

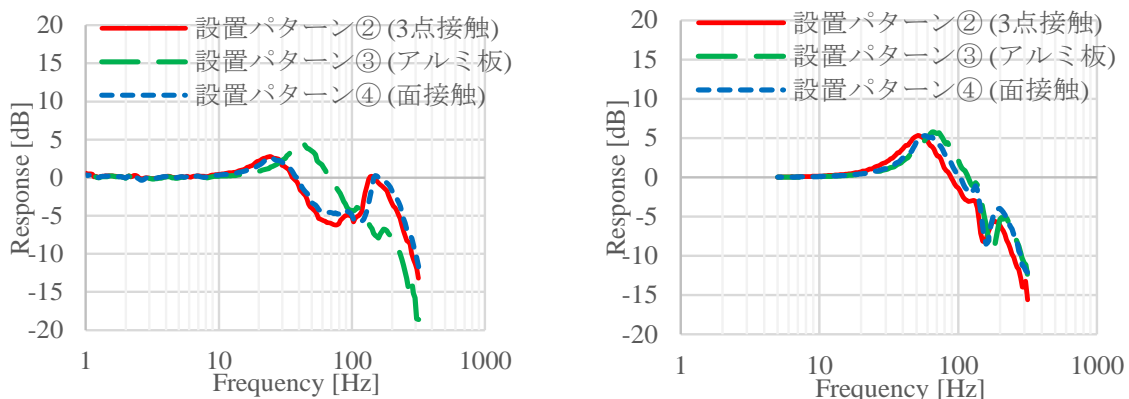


図付 2.1 振動ピックアップの設置パターン



図付 2.2 絨毯仕様

階部分で影響が大きくなる交通振動などの測定時はより注意が必要である。



図付 2.3 絨毯の設置共振特性 (左:水平、右:鉛直)

下記に既往文献を含めた結果を示す。

- ・垂直振動よりも水平振動の方が設置共振周波数は低いことから、建物上階部分で影響が大きくなる交通振動などの測定時はより注意が必要である。
- ・軽量なセンサーと接触面積を大きくする（アルミ板など）を設置することで、設置共振の影響を小さくなる可能性がある。

付.2.2 振動測定時の人の影響

木造建物や軽量鉄骨建物において、内部加振源、外部加振源に関わらず床上での振動測定をする場合の人（被験者、測定者）の影響（荷重など）については、特に人がいない状況での評価（床単体性能や通常人がいない床など）の場合は注意する必要がある。

文献8)～11)に木造床における測定床の振動特性に及ぼす荷重について考察されている。下記が主なまとめとなっている。

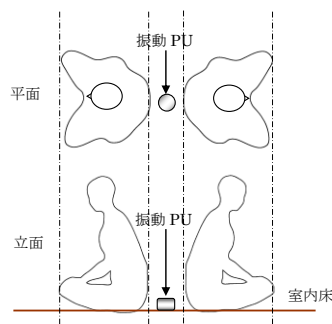
- ・木造床の鉛直振動特性において、床の1次固有振動数10Hz～18Hzの範囲では、人の影響は小さく、人荷重が載加されても固有振動数はほとんど変化しない。
- ・一般的な木造床（1次固有振動数10Hz～30Hz程度）において、人は床と一体となって振動せず、人の荷重の伝達する力は床の変位と位相がずれるため、人が居るときの方が床の減衰率は大きくなる。それに対して、物を置いた場合は、床の1次固有振動数も変化するが、床の減衰率の変化は小さい。

次に測定床における振動センサーと人の距離について小委員会の測定事例を紹介する^{12)～14)}。

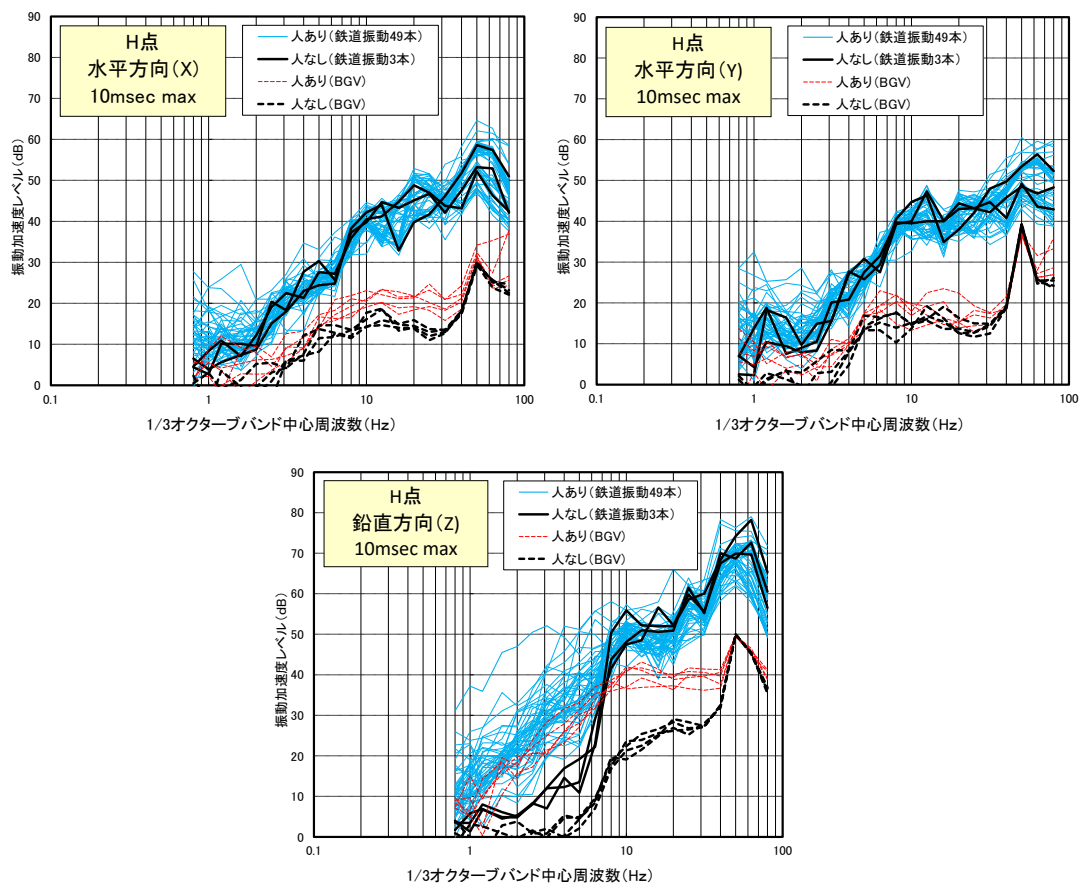
測定は鉄道の高架軌道が近接する木造2階建のアパートの1階居室において、図付2.4の様に振動PUに人が近づいた状態で、鉄道走行時の振動加速度レベルを測定した。測定方向は3方向、分析は1/3オクターブバンドの時定数10msecの最大値としている。結果を図付2.5に示す。

人の有無による比較データ数が違うものの、平均的に見ると、水平方向（X, Y）の結果では、列車通過時の床振動及びび暗振動ともに被験者の有無による顕著な差は見られない。但し、

2Hz以下では被験者ありの条件では、被験者なしの場合よりもレベルが高くなる傾向が見られる。一方、鉛直方向 (Z) の結果では、列車通過時の床振動は被験者ありの場合、2Hz~10Hz帯域で10dB~20dB程度大きくなっており、暗振動では更に高い40Hz程度の周波数帯域まで影響が見られる。木造床の場合、人の有無により、またセンサーとの距離により測定床の振動性状が変化することから、床単体の振動特性の比較などを行う場合は、測定時の床に人が居ない方がよく、どうしても人がその床から出られない時は、振動センサーからある程度の距離（例えば1m以上）をおくと影響が小さくなる報告がなされている。また、被験者実験では、でん部の下に敷く振動センサー（シートセンサー）などもあり、人の荷重がかかった状態での床振動を同時に測る場合には活用される。



図付 2.4 振動センサーと人

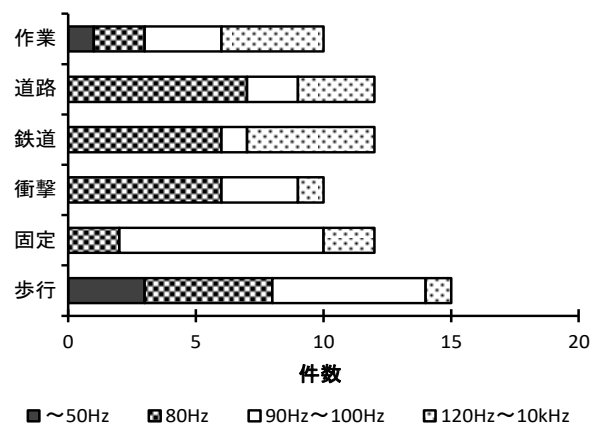


図付 2.5 鉄道振動測定結果（上段：水平方向、下段：鉛直方向）

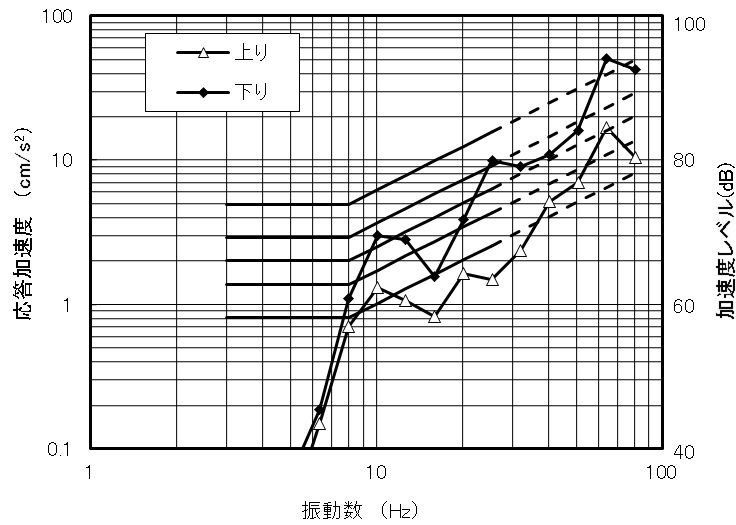
付.2.3 測定分析周波数範囲について

「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説」2004年版（以下「指針」¹⁵⁾）では、30Hzまでを上限周波数としているが、現状ではそれ以上の高い周波数で測定している事例が多い¹⁶⁾（図付2.6）。

小委員会で実測した鉄道振動の例を図付2.7に示す¹⁷⁾。指針の対象振動数範囲では、上り列車については、V-10 とV-30の間に位置しており、測定時の被験者（10人）のほとんどが振動を感じていなかったことから、この評価は妥当と考えられるが、下り列車についてはV-70程度に該当するが、被験者全員が振動を感じていたことから判断すると、この評価と現場での実感との間に差異があった。そこで図の様に性能曲線を80Hzまで延長（図中点線部分）すると、下り列車はV-90 を超えることが判る。新規準においても30Hzまでの曲線にはなっているものの、鉄道振動などの場合は、63Hzやそれ以上の高周波数における振動が卓越する場合は考えられるので、ここでは80Hzまで測定可能な測定器を使用することを推奨する。



図付 2.6 環境振動測定時の上限周波数集計結果(鉛直方向：環境振動実務者アンケートより)



図付 2.7 性能評価曲線（旧指針）との照合

付.2.4 分析時定数について

「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説」2004年版（以下「指針」¹⁵⁾）では、目標性能を設定し、性能評価曲線に床応答波形から求まる1/3オクターブバンド分析結果を照合することを推奨している。小委員会ではこの指針に沿った測定分析方法について検討をしてきた。ここでは小委員会の振動実験結果から、指針が推奨する方法とFFTによるフーリエスペクトルとの比較をした結果¹⁷⁾を示す。

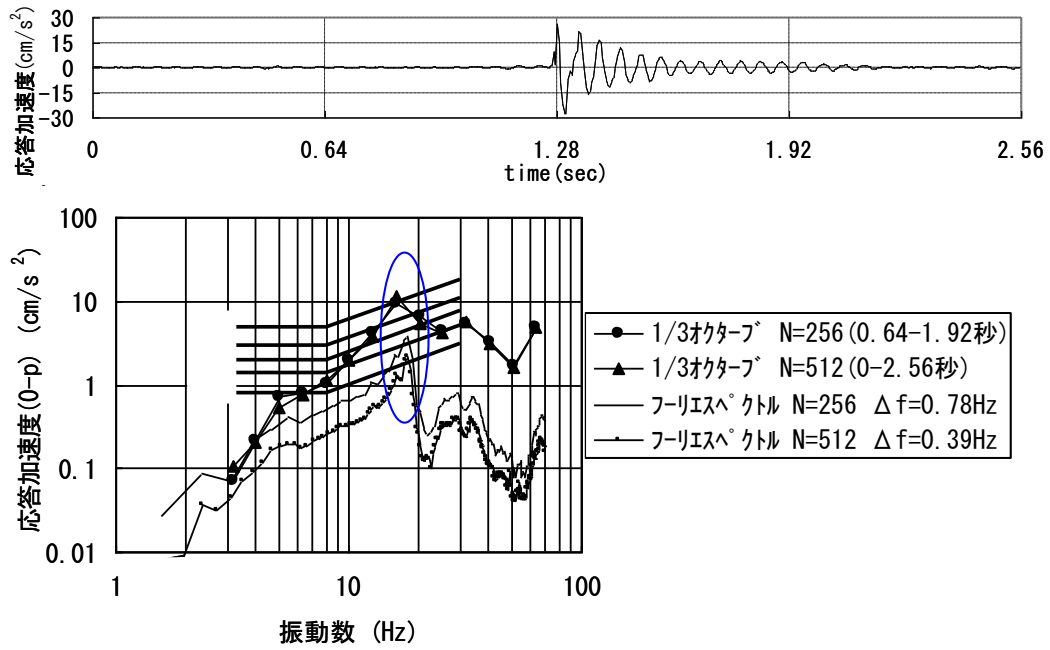
測定はSRC造7階建て3階居室（RC床120mm厚）における人の歩行及びかかと衝撃振動を測定したものである。測定量は鉛直方向の振動加速度、分析は1/3オクターブバンド振動加速度レベル、時定数10msec及びフーリエスペクトルである。

人のかかと衝撃1回分の1/3オクターブバンド最大値（0-P）をフーリエスペクトルと共に図付 2.8に示す。分析対象は図(a)の時刻歴の0.64～1.92秒（数値化個数N=256）及び0～2.56秒

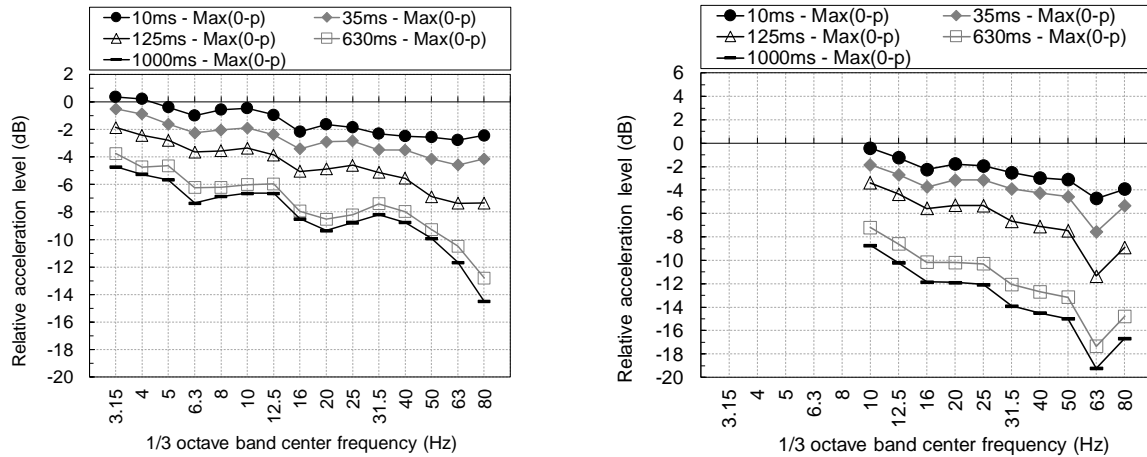
（N=512）の2種類、時間刻み0.005秒、データウィンドウ無である。床の卓越振動数付近（15～20Hz）のフーリエスペクトル値は、分析区間の平均的な値となるため1/3オクターブバンド最大値（0-P）より小さくなることが判る。また分析区間など分析条件により値が異なることから、現行指針の性能評価曲線との照合に用いるのは問題がある。

次に文献¹⁸⁾では、各種環境振動における指針推奨の最大値（0-P）と実時間分析値（時定数10ms、125ms、630msなど）での比較を行っている。一例を図付2.9、図付2.10に示す。

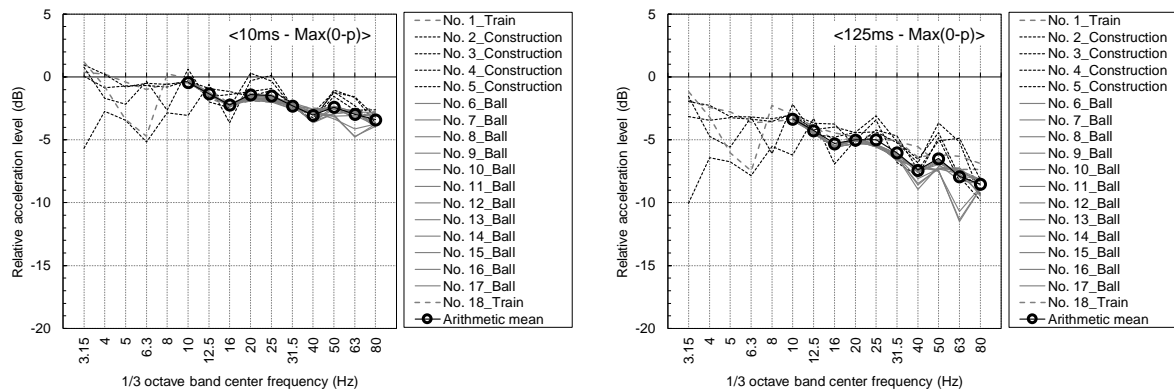
最大値（0-P）と時定数10msの場合を比較すると、指針の対象周波数31.5Hzまではレベル差が最大2dB程度であり、振動源によらず同様な結果である。以上により実時間分析機による分析の場合は時定数10msでの値を性能評価曲線との照合に用いることが出来る。



図付 2.8 フーリエスペクトルとの比較



図付 2.9 時定数を変化させたときの振動加速度レベル差の例¹⁸⁾ (左: 交通振動, 右: 床振動)



図付 2.10 種々の振動応答波形を対象とした最大値と 10ms, 125ms の振動加速度レベル差¹⁸⁾ (左: 最大値-10ms, 右: 最大値-125ms)

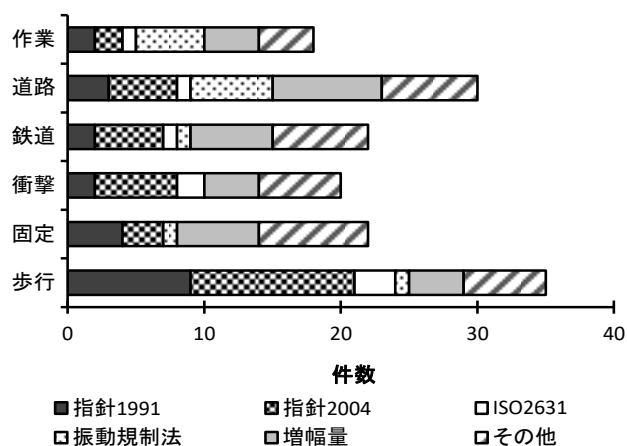
参考文献

- 1) 横島潤紀, 富田隆太, 小谷朋央貴, 伊積康彦: 建築物における環境振動に関する測定・分析・評価の課題と現状-測定経験者を対象としたアンケート調査から-, 日本建築学会技術報告集, 第 57 号, 2018.6
- 2) 足立大, 小谷朋央貴: 環境振動測定における振動ピックアップの設置共振 その 1 正弦波加振の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.415-416, 2017.8
- 3) 小谷朋央貴, 足立大: 環境振動測定における振動ピックアップの設置共振 その 2 実加振源の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.417-418, 2017.8
- 4) 足立大, 小谷朋央貴: 環境振動測定における振動ピックアップの設置共振 その 3 金属板の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.407-408, 2018.8
- 5) 社団法人日本騒音制御工学会: 振動評価手法のあり方に関する検討調査, 平成 17 年度環境省委託業務結果報告書, 2006.2
- 6) 林健太郎, 水野俊介, 佐野泰之, 成瀬治興: 畳上の振動測定に関する実験と検討-ピックアップの設置条件と設置共振に関する研究-, 日本音響学会 騒音・振動研究会資料 N-2006-28, 2006.
- 7) 富田隆太, 松田貫: 床仕上げ材における鉛直方向の振動増幅量に関する実験的検討, 日本建築学会技術報告集, 第 58 号, pp.1093-1096, 2018.6
- 8) 鈴木秀三, 藤野栄一, 野口弘行: 木造床の鉛直振動特性に及ぼす人間荷重の影響に関する実験的研究 (第 1 報), 日本建築学会構造系論文集, 第 585 号, pp.123-129, 2004.11
- 9) 藤野栄一, 鈴木秀三, 野口弘行: 木造床の鉛直振動特性に及ぼす人間荷重の影響に関する実験的研究 (第 2 報), 日本建築学会構造系論文集, 第 589 号, pp.137-142, 2005.3
- 10) 藤野栄一, 鈴木 秀三, 野口弘行: 木造床の振動特性に及ぼす人間荷重の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.241-242, 2003.9
- 11) 林健太郎, 佐野泰之, 神谷俊行, 堀田陽祐, 成瀬治興: 木造床組における振動測定に関する研究-その 3 下部構造別の人荷重の影響の検討-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.345-346, 2009.8
- 12) 小谷朋央貴, 富田隆太, 横島潤紀, 伊積康彦, 佐野泰之, 後藤剛史: 木造家屋における環境振動測定方法の検討-被験者の影響について-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.385-386, 2014.9
- 13) 神谷俊行, 佐野泰之, 小谷朋央貴, 富田隆太: 木造住宅床振動測定における振動ピックアップと人の位置関係について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.415-416, 2016.8
- 14) 神谷俊行, 小谷朋央貴, 佐野泰之, 富田 隆太, 平光厚雄: 木造床振動測定時の人荷重の影響について, 日本建築学会技術報告集, 第 57 号, pp. 693-696, 2018.6
- 15) 日本建築学会: 建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説, 第 2 版, 丸善, 2004.5
- 16) 横島潤紀, 伊積康彦, 平松和嗣, 石橋敏久, 永関慶樹, 後藤 剛史: 木造家屋内における鉄道走行時の振動実測結果について, 日本建築学会技術報告集, 第 24 号, pp.203-206, 2006.12

- 17) 平松和嗣, 横島潤紀, 石橋敏久, 伊積康彦: 建築物の振動に関する居住性能評価のための測定手法について-床振動に関する実測事例からの検討-, 日本建築学会技術報告集 第 23 号, pp.197-200, 2006.6
- 18) 富田隆太, 松田貫: 種々の振動応答波形を対象とした時定数の違いによる考察—時定数に着目した環境振動の分析方法に関する研究: その 1, 日本音響学会秋季研究発表会, pp.885-888, 2017.

付.3 建築物の増幅量の測定・分析方法について

(木造) 戸建住宅における外部振動（道路交通、鉄道、建設工事、工場など）の場合、振動の評価量として家屋増幅量を指標とすることがある（図付3.1）¹⁾。ここでは家屋増幅量の測定分析方法について、既往文献や小委員会検討した結果を示す。



図付 3.1 環境振動の評価指標集計結果(環境振動実務者アンケートより)

付.3.1 測定対象

【建物】

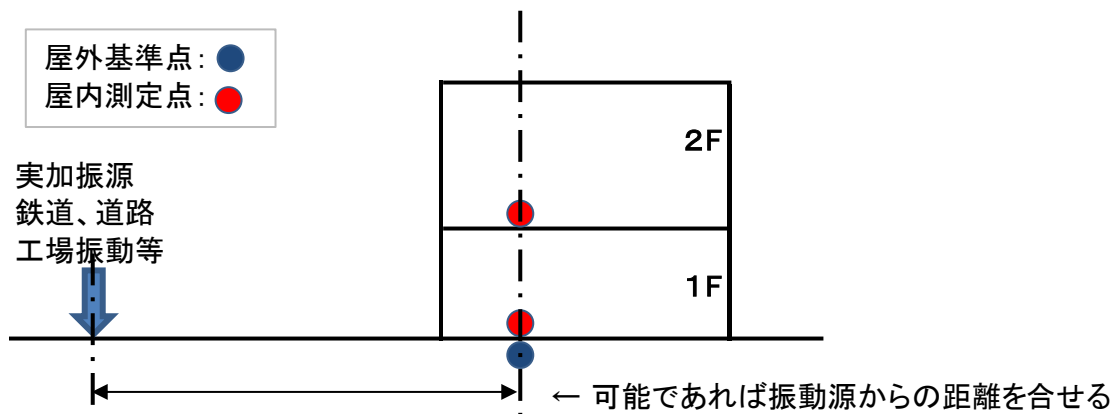
建物の大きさ、材質、構造などの違いにより、それぞれ固有の振動数を持っており、地盤振動によって建物壁・床などが加振される。通常鉄筋コンクリート（RC）造では、環境振動では問題になることは少ないが、木造（2×4含む）や軽量鉄骨造に関しては問題が生じる場合が多いので、ここでは主に木造と軽量鉄骨造の2つの建物構造を対象とする。

【加振源】

加振源は主に外部からのものを対象とし、道路交通振動（幹線道路、段差道路など）、鉄道振動（地盤軌道、高架軌道）、建設工事振動（衝撃振動、定常振動）、工場振動（衝撃振動、定常振動）などが考えられるが、ここでは地震や風によるものは含まない。また、実加振源では無く、加振器などによる強制加振も考えられるが、その事例は少ない。

付.3.2 測定方法

外部加振源による測定時間、回数（道路振動、工場振動など）や本数（主に鉄道振動）などは、前章に示した通りであるが、家屋増幅量の測定では、対象の振動が発生している時に、屋外（地盤）と建物内（床）の振動を同時に測定する必要がある。（図付3.2）

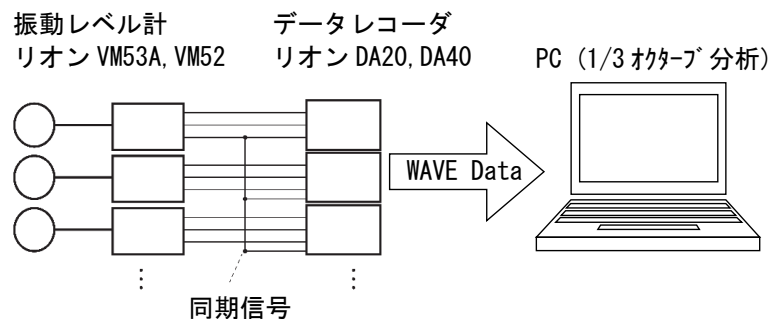


図付 3.2 家屋増幅量を測定する場合のイメージ

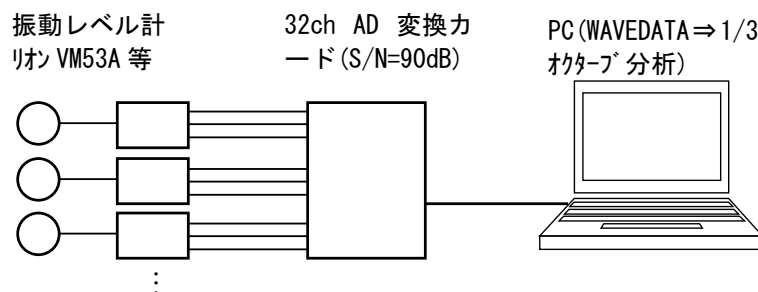
付.3.3 測定機器

基本的な測定機器は、付.1に準ずるが、屋外と屋内を同時に測定する必要があり、場合によっては多チャンネルの収録機（データレコーダ）でデータ収録し、後で分析をする必要がある。※文献13)

測定系統図の例を以下に示す。



測定系統図（収録にデータレコーダーを使用した例）



測定系統図（収録にP Cを使用した例）

図付 3.3 測定系統図の例

付.3.4 測定点

屋外測定点は建物近傍の地盤、土間（可能であれば加振源から測定点と距離を合わせる）、敷地境界などが考えられる。屋内測定点は生活行動点（ソファ、机、ベッド下など）、床中央点、柱際点などを測定する例が多い^{2)~14)}。

付.3.5 分析方法

建物増幅量は、振動加速度レベルの場合は建物内振動－地盤振動の例が多く、＋が増幅、－が減衰の様な表現となる^{2)~14)}。また振動加速度振幅や変位の場合は、屋内/屋外などの比で表されることもある。分析の振動量は振動加速度、振動加速度レベルの最大値、平均値、時間率レベル L_{10} などが考えられるが、建物内外で一致させておくことを推奨する。また、時刻歴波形を実時間分析器で分析する場合の時定数は、屋内外で同じであれば、家屋増幅結果に影響は少ないと思われるので、同じにすることを推奨する¹³⁾。なお、振動対策などを目的とする場合は、振動レベルのみの差分よりも、周波数帯域ごとの差分をとり、周波数情報も分析することを推奨する⁴⁾。

付.3.6 測定事例

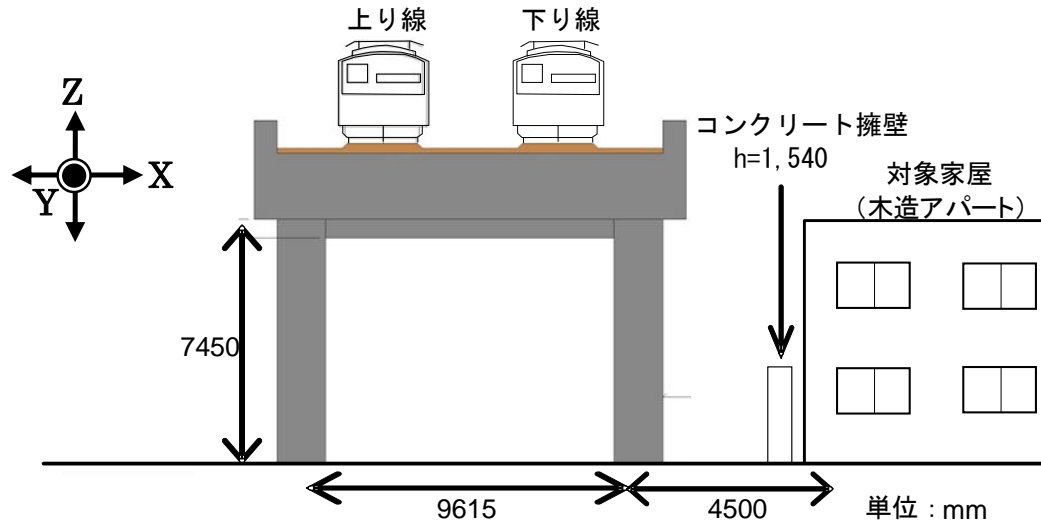
小委員会における測定事例を以下に示す⁴⁾。測定対象は、高架化された鉄道軌道による振動である。対象家屋と線路との位置関係を図付 3.4～図付 3.5 に示す。軌道構造は高架化前は地平のバラスト軌道、高架化後はスラブ軌道で弾性まくらぎが採用されている。対象家屋は木造 2 階建て（全 6 戸）の apart で、軌道に最も近い 1 階の住戸を対象とした。1 階床では、大引きは軌道直交方向に 1090mm ピッチ、根太は軌道平行方向に 300mm ピッチで通っている。

対象住戸の平面図および測定点位置（地盤（コンクリート）上：A 点、住戸内：B 点～I 点）を図付 3.5 に示す。

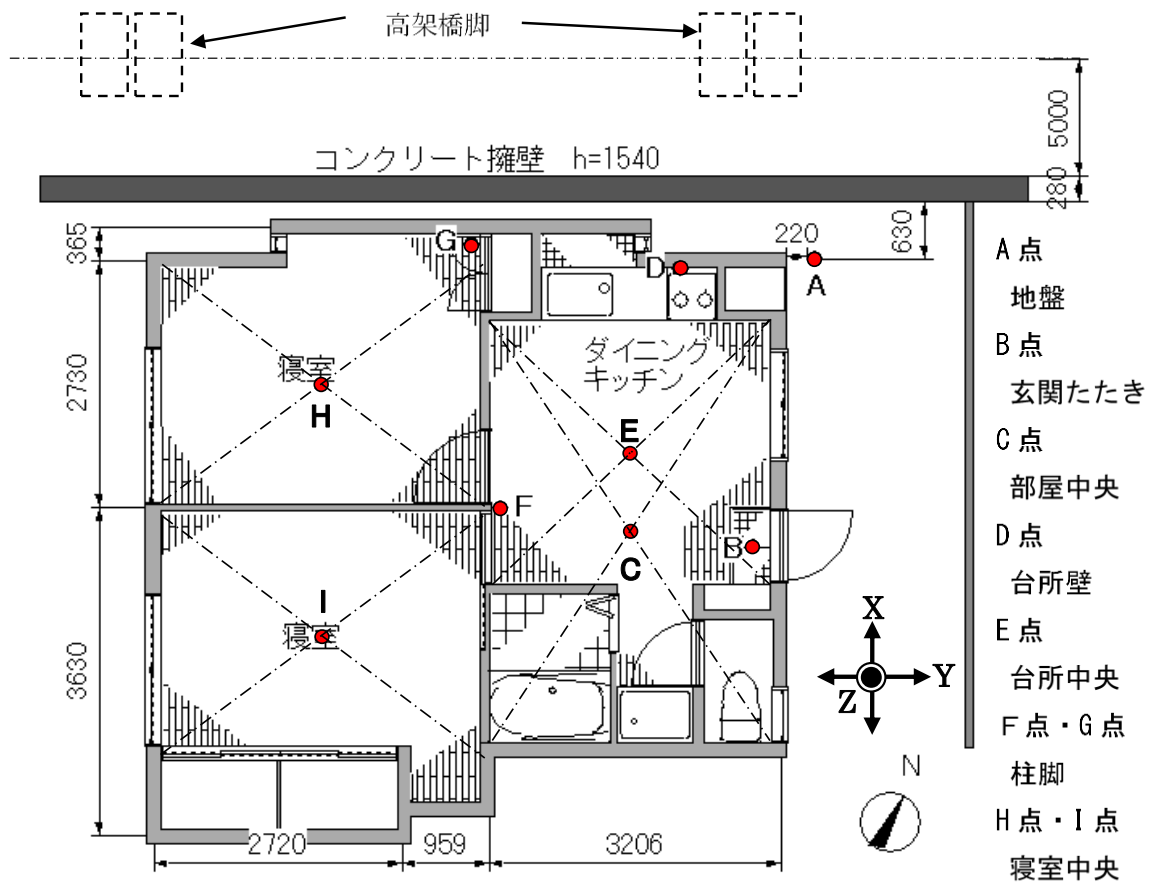
振動ピックアップは地盤または床面に直置きとし、D 点（壁）以外はすべて水平 2 方向、鉛直 1 方向の計 3 方向の振動を測定した。測定は、列車通過時の加速度をデータレコーダに記録し、後日分析を行った（図付 3.6）。

ここでの家屋増幅量は、屋外 A 点と家屋内各測定点の振動加速度レベル差とした。家屋内測定点 C（部屋中央点）、G（柱脚点）の 3 方向（XYZ 図付 3.5 参照）の家屋増幅量を図付 3.7～図付 3.8 に示す。いずれの場合も 1/3 オクターブバンドごとの振動加速度レベルは、各列車の偏差は最大 5dB 程度である。C 点では、水平方向（X）は 80Hz 帯域で 10dB 程度、水平方向（Y）では 50Hz 帯域以上で 5～10dB 程度の増幅量が見られるが、振動レベルに換算した場合（図中 VL）の増幅はなかった。鉛直方向は 20Hz 帯域以上で増幅傾向を示し、80Hz 帯域で最大 25dB 程度の増幅量が見られており、振動レベルは 10dB 程度増幅していた（床の固有振動数は 70～90Hz）。一方、G 点では床の固有振動数の影響を受けにくく、水平鉛直方向共に各周波数帯域で増幅が見られない。

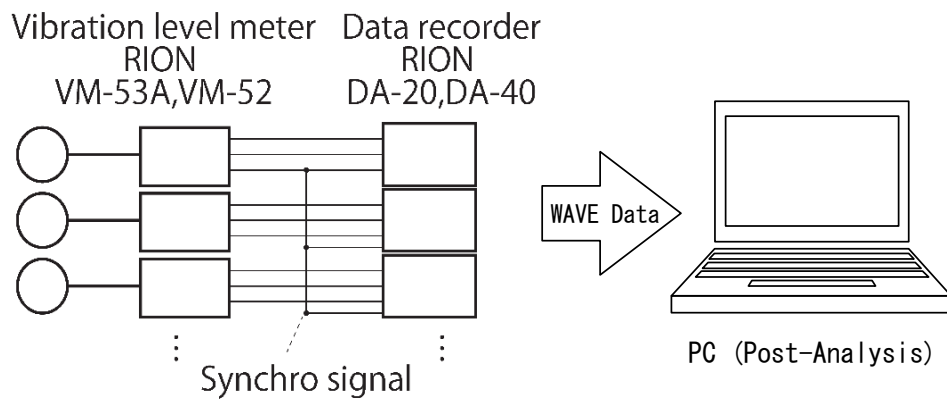
また、分析の時定数を変化させた時のレベル波形及び家屋増幅量の比較を図付 3.9～図付 3.10 に示す。外内測定点の分析時定数が同じであれば、同様な家屋増幅量となることが判る。



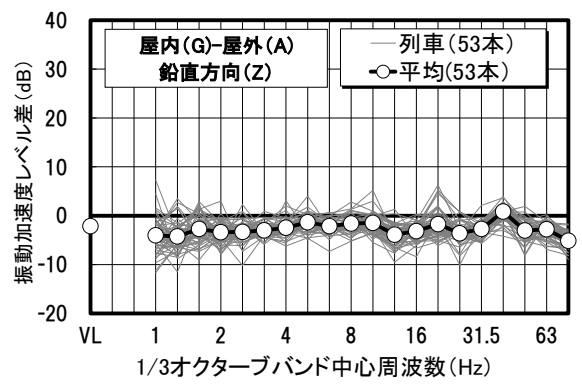
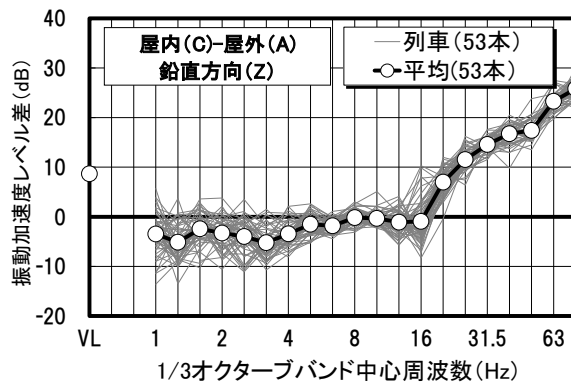
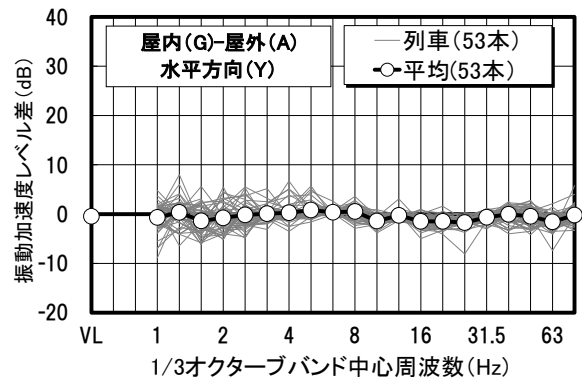
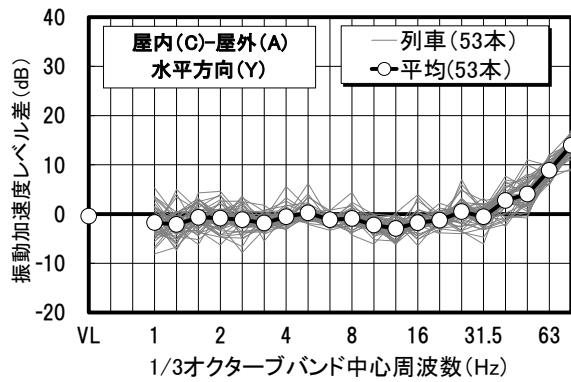
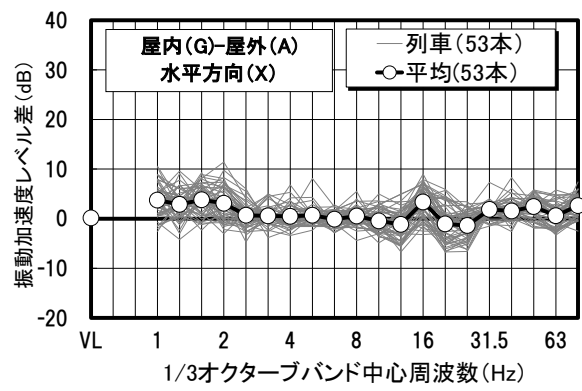
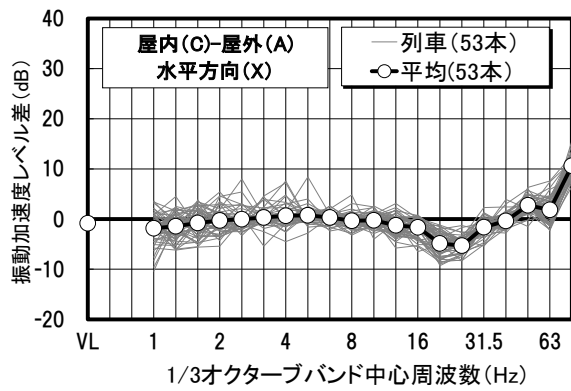
図付 3.4 対象家屋と線路の位置 (立面図)



図付 3.5 対象家屋と線路の位置 (平面図)

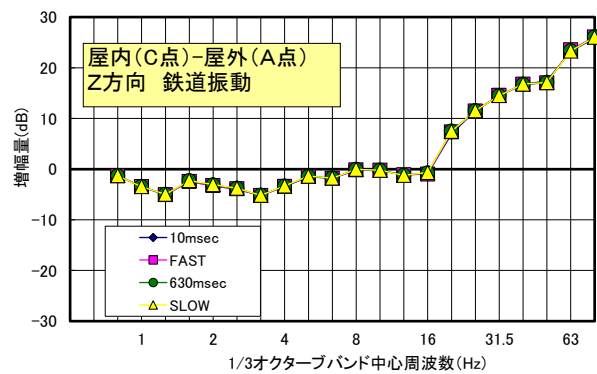
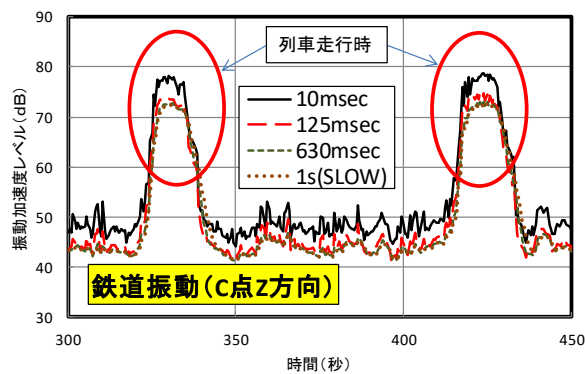


図付 3.6 測定系統図



図付 3.7 家屋増幅量 (C 点)

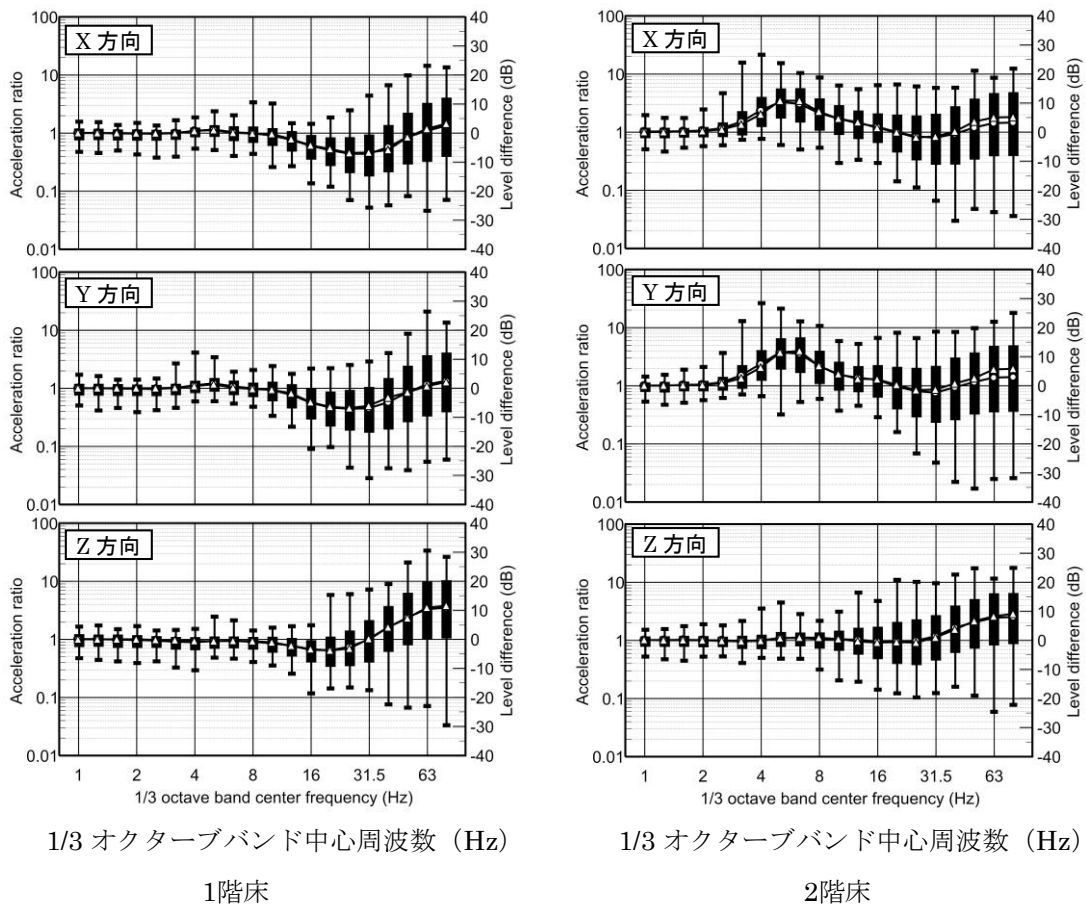
図付 3.8 家屋増幅量 (G 点)



図付 3.9 振動加速度レベル波形

図付 3.10 家屋増幅量 (時定数変化)

また、その他の分析例として図付3.11に示す²⁾。



(○：算術平均値 △：中央値 ■：算術平均値±標準偏差 I：最大値と最小値の範囲)

X方向：Y方向に垂直な方向 Y方向：振動源と家屋を結ぶ方向 Z方向：地盤面から鉛直方向

図付 3.11 分析例 2 (住宅：木造・鉄骨 2 階～3 階建て、振動源：道路・鉄道) ※文献 2)より

付.3.7 その他の測定事例など

前項以外の測定事例などは、下記の文献を参照されたい。

- ・ 木造・鉄骨建物 (2F～3F建て) の増幅傾向を文献2),3)に示す。
- ・ 鉄道振動の振動特性：鉄道振動実測結果例を文献4)に示す。
- ・ 道路振動の振動特性：道路交通振動実測結果例を文献14)に示す。
- ・ 点加振による増幅量予測例：鉄道振動，道路振動の増幅量を外部点加振により予測した例を文献13),14)に示す。

参考文献

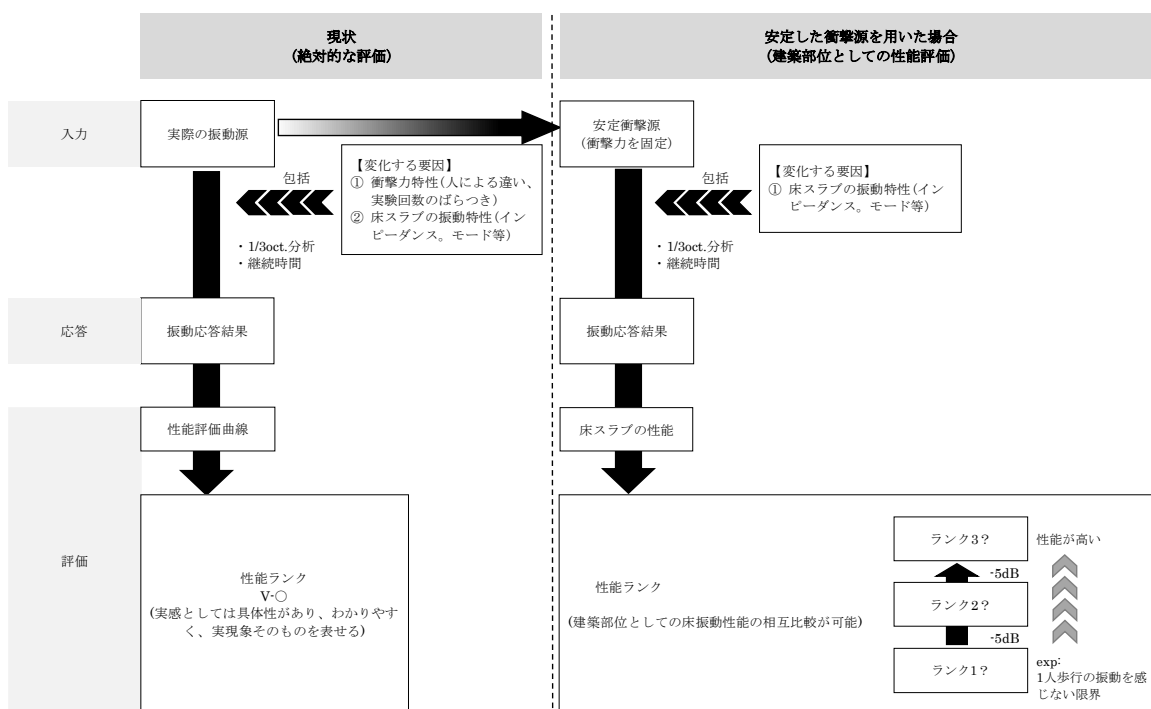
- 1) 横島潤紀, 富田隆太, 小谷朋央貴, 伊積康彦: 建築物における環境振動に関する測定・分析・評価の課題と現状-測定経験者を対象としたアンケート調査から-, 日本建築学会技術報告集, 第 57 号, pp.672-702, 2018.6
- 2) 平尾善裕, 国松直, 東田豊彦: 地盤振動に起因する木質系・鉄骨系戸建て住宅の振動増幅特性, 日本建築学会技術報告集, 第 42 号, pp.631-634, 2013.6
- 3) 林健太郎, 佐野泰之, 成瀬治興: 交通振動の住宅への振動伝搬性状の測定例-地盤から木造住宅 2 階への振動増幅の検討-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.323-324, 2007.8
- 4) 小谷朋央貴, 富田隆太, 横島潤紀, 伊積康彦, 佐野泰之, 後藤剛史: 木造家屋内における鉄道走行時の振動実測結果について-軌道の高架化前後における振動特性の比較-, 日本建築学会技術報告集, 第 46 号, pp.1007-1010, 2014.10
- 5) 国松直, 平尾善裕, 北村泰寿: 振動数を考慮した家屋内振動の予測方法, 騒音制御: Vol.36, No.1, pp.89-99, 2012
- 6) 平尾善裕, 横島潤紀, 国松直: 地盤振動に起因する家屋振動増幅特性の測定方法及び事例について, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.49-52, 2009.4
- 7) 住友總一, 辻本三郎丸, 北村泰寿: 自動車及び新幹線による家屋振動に関する一考察, 日本音響学会講演論文集, pp.693-694, 1999.9
- 8) 北村泰寿, 相馬通: 道路交通振動を受ける建物の振動増幅に関する一計算法と検討, 日本音響学会講演論文集, pp.745-746, 1998.9
- 9) 徳永法夫, 西村昂, 谷口与史也, 宮原哲: 道路交通に起因する家屋振動増幅に関する一考察, 土木学会第 52 回年次学術講演会, pp.142-143, 1997.9
- 10) 横田明則: 建物の振動増幅特性, 日本音響学会講演論文集, pp.665-666, 1995.3
- 11) 小谷朋央貴, 伊積康彦, 富田隆太, 後藤 剛史, 横島潤紀: 木造家屋における鉄道振動実測結果: その 2 家屋増幅量について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.325-326, 2012.9
- 12) 平尾善裕, 横島潤紀, 国松直: 地盤振動に起因する家屋の振動増幅量の測定および評価法について, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.213-216, 2007.9
- 13) 小谷朋央貴, 横島潤紀, 富田隆太, 伊積康彦, 佐野泰之, 川久保政茂, 松田貫: 木造住宅における環境振動測定事例, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.331-334, 2015.9
- 14) 小谷朋央貴, 佐野泰之, 神谷俊行, 富田隆太: 木造家屋における道路交通振動の実測事例, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.417-418, 2016.8

付.4 床の振動に対する部位性能を目的とした測定・分析方法

付.4 では、これまでに環境振動の分野には取り入れられていないが、環境振動を対象とした建築物の床の振動に対する部位性能を明らかにすることを目的とした測定・分析方法について述べる。しかしながら、このような考え方は、文献 1)～3)等で検討されているものの、例は少ない。一方で、現時点で、本資料に取り入れるのは不十分かもしれないが、本資料に記載することで、多くの方にご検討をいただき、今後の議論の課題とさせていただきたい。また、この資料は、前述したように、日本建築学会環境振動運営委員会傘下の環境振動測定分析小委員会で、適宜、更新していくことを予定している。そのため、付.4 についても、今後のデータ蓄積により、より具体的な測定・分析方法を提案できるように、更新を行うことが重要と考えている。

規準 4)での評価は、図付 4.1 の左図に示すように、ある事象が発生した時の評価点の絶対値を評価している。一方で、付.4 で示す考え方は、図付 4.1 の右図に示すように、衝撃力を固定することで、床の振動に対する部位性能を表現する考え方である。すなわち、床の振動に対する抵抗を示している。ここでは、仮に安定した衝撃源を用いることを想定しているが、当然ながら、衝撃力と振動加速度の比をとり、アクセラランス等を求める方法もある。但し、測定の簡便さを考慮すれば、安定した既知の衝撃力を入力し、振動加速度のみで比較する方法が良いと考えられる。

そこで、付.4 では、衝撃源としては、一定の衝撃力特性を有するゴムボール(JISA 1418-2 の衝撃力特性(2))⁵⁾を提案することとした。提案する理由は、衝撃力が既知であることと、床衝撃音の分野で広く用いられているため、多くの測定者にもよく知られているためである。なお、RC 床のような衝撃力に対して、床の抵抗が、線形に応答するケースでは問題はない。しかしながら、木



図付 4.1 床振動性能評価について 1)より作成

造床や RC 床の上に乾式二重床を施工する場合には、非線形性により適切に評価できない、すなわち本来求めるべき(例えば歩行振動に対する抵抗)、床の環境振動に対する抵抗の序列と、ゴムボールで測定した序列が異なる可能性があり、今後の議論の課題となる。この点については、どのような衝撃力に対する、序列を求めるかも今後の課題となる。

以上のように、現時点では、課題が非常に多いが、一方でこれをきっかけとして、付.4 のような考え方について議論の場が持てることが重要であると考え、付.4 を本資料に入れることとした。

付.4.1 衝撃源

床を加振する衝撃源は、例えば、床衝撃音の分野で用いられている JISA 1418-2 の衝撃力特性 (2) を有するゴムボールのような一定の衝撃力特性を有するものとする。本資料では、今後のデータ蓄積のために、ゴムボールを推奨する。

付.4.2 測定方法

a. 測定機器・記録器

測定機器は、3.1.3.1.と同様に、振動ピックアップと振動計を組み合わせたもの、または振動レベル計を用いる。周波数分析を行う場合には、振動の応答波形を記録することが望ましい。

b. 測定位置・測定点数

加振位置は、部屋の中央と 4 隅のいずれかのコーナーを結ぶ中点 1 点とする。
測定位置は、部屋の中央点及び加振点以外の部屋の中央と 4 隅のコーナーを結ぶ中点 3 点の合計 4 点とする。

c. 設置方法

設置方法は、3.1.3.3.と同様に、振動ピックアップの種類に応じて、測定位置に直置きもしくは両面テープ等で固定し設置する。ただし、タイルカーペットやじゅうたん等の柔らかい表面仕上げ材が施工されている場合は設置共振が発生する可能性があるため、可能な限り仕上げ材を取り除き設置する。

d. 測定時間・回数

一定衝撃力を有するゴムボール等の加振源を用いる場合には、基本的には同様な結果が得られるため、3 回程度の測定を行い、ばらつきを確認しておく。

付.4.3 分析方法

a. 分析機器

測定した応答波形から、3.1.4.1.と同様に、周波数情報を得るためには、分析器が必要となる。

b. 分析方法

結果の分析方法は、1回の加振により得られた測定点4点をエネルギー平均することとする。なお、そのエネルギー平均値を、1/3 オクターブバンドの振動加速度レベルの場合には、周波数帯域別に値を記載する。振動レベルの場合には、単一の値を記載する。

参考文献

- 1) 富田隆太, 井上勝夫, 伊東和 : 人の動作とゴムボール衝撃時の床振動応答加速度に関する実験的検討, 日本建築学会技術報告集, 第 27 号, pp.179-182, 2008.6
- 2) 井上勝夫 : 環境振動に関わる最近の動向, 音響技術, No.155, pp.1-7, 2011.9
- 3) T. Matsuda, T. Shimizu : Study on correspondence between evaluation of vibration sensation, average method, and measurement density of acceleration levels for impact vibration in prefabricated housing floor, Journal of Building Engineering, pp.124-139, 2017.10
- 4) 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, 丸善, 2018.11
- 5) JIS A 1418-2:2000, 建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法-第 2 部 : 標準重量衝撃源による方法

付.5 風による建物応答の測定方法について

付.5.1 測定の目的

風による建物応答に関しては、設計時の固有値(固有振動数、モード系、構造減衰など)の妥当性の確認が目的の場合が多い。

付 5.2 測定方法

対象建物内に変位計・速度計・加速度計などを設置し、各振動成分に分離した後、固有振動数や減衰定数を評価する。また、風向風速計や風圧計を併用して設置する場合がある。(表付 5. 1)

表付 5. 1 風による振動測定事例一覧

事例 No.	対象物	測定器			設置場所	備考
		風速計	風圧計	振動計		
1	高層建築 (S造)	風向風速計 (プロペラ式)	-	・サーボ型速 度計	風速：RF 振動：51F/53F 2点	10分間の時系 列データ
2	高層建築 (S造)	風向風速計 (プロペラ式)	-	・速度計	風速：RF 振動：17F/18F 3点	4分間の時系 列データ
3	塔状建物 (S造)	風向風速計	-	・変位計 ・加速度計	風速：屋上塔屋上空 振動：38.35m/42m	3分間の時系 列データ
4	高層建築 (RC造)	風向風速計	-	・加速度計	風速：屋上上空 振動：屋上ペントハウス 120m/123m	10分間の時系 列データ
5	煙突 (RC造)	風向風速計	風圧計	・加速度計 ・傾斜計	風速：24m、80m、180m 風圧：130m、140m 振動：200m	5Hz サンプリ ングデータ
6	高層建築 (RC造)	風向風速計 (プロペラ式)	-	・サーボ型加 速度計	風速：屋上+4.4m 振動：屋上、基礎	10分間の時系 列データ
7	高層建築	超音波風向風 速計	風圧 センサー	・サーボ型加 速度計	風速：屋上塔屋 83m 風圧：11F、14F 振動：14F、地下	10Hz サンプ リングデータ
8	煙突 (RC造)	風向風速計	-	・加速度計	不明	15分間の時系 列データ
9	高層建築 (S造)	風向風速計 (プロペラ式)	多点風圧計	・サーボ型加 速度計	風速：屋上+7.5m 振動：120m/135m 風圧：同上	10分間の時系 列データ
10	免震建築	風向風速計 (プロペラ式)	-	・加速度計	風速：屋上塔屋 振動：最上階(8F)	50Hz サンプ リング
11	高層建築 (S造)	風向風速計	-	・加速度計 ・速度計	風速：屋上+5m 振動：B4F、1F、18F、 37F	100Hz サンプ リング

付.5.3 測定機器

風速などは風向風速計（プロペラ式）や超音波風速計などが用いられている。振動測定には、サーボ型加速度計や速度計、変位計や傾斜計を使用する場合もある。また、風圧を測定する場合は、風圧計や風圧センサーなどがある。

付.5.4 測定機器の配置

建物の上層階の 1 フロアに各成分が測定可能なように配置する。ただし、風応答の場合、外力により振れが生じるため、振じれ中心が建物のフロア内にあるとは限らないことに注意する必要がある。大掛かりな計測となるため、X 方向軸 2 か所(Y 方向測定)、Y 軸方向軸に 2 か所(X 方向測定)からの類推や、平面重心位置近くに水平 2 方向測定ができるように測定機器を配置することが多い。

付.5.5 測定時間

居住性能評価のための応答加速度を測定する場合は、測定時間 10 分として、サンプリング間隔は固有振動数が十分把握できるもの、特に、振じれと水平成分の固有振動数が隣接している場合は、十分分離できることが望ましい。

測定を 5 回以上実施し、統計的評価することが多い。また、卓越振動数や減衰を評価するため、時刻歴データとして保存する例が多い。

付.5.6 固有振動数(卓越振動数)の推定

上記計測データから、水平 2 成分と振じれ成分と分離できる場合は、分離して評価する。計測点が 1 か所でも、各成分の固有振動数が十分離れている場合は、周波数分析により卓越振動数から固有振動数を特定することができるが、近い場合は複数の計測による分離が必要となる。

付.5.7 減衰定数の推定

計測データを周波数分析した後、下記の方法により推定を行う。詳細は文献 20)を参照されたい。

- ・ハーフパワー法
- ・カーブフィティング法(各成分の卓越振動数が近い場合)
- ・RD 法による自由振動曲線から評価する方法(各成分が近くビートする場合は使うのが難しい)
- ・強制振動波形に基づく、自由振動曲線から評価する方法

謝辞

本章における測定法に関しては、環境振動運営委員会委員 鈴木雅靖氏（鹿島建設）からの提供資料に基づいて構成させて頂きました。

参考文献

- 1) 志村正幸, 後藤剛史, 義江龍一郎: 高層建築物の風による揺れの実測 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.315-316, 1990
- 2) 平松和嗣, 藤本盛久, 大熊武司, 天野輝久, 赤木久真, 飯利昌人: 7920 号台風時の建物風圧力および建物振動についての実測結果 (その2), 第6回風工学シンポジウム, pp.201-207 1980
- 3) 田村幸雄, 小杉美樹夫, 西村功: 空港管制塔の風による応答: その1強風時の挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1479-1480, 1987.10
- 4) 住宅・都市整備公団, (株) 都市整備センター: 超高層住宅の居住性能評価のための強風応答予測に関する研究, 報告書, 1993.3
- 5) 高野秀男, 高根弘志, 沢田照男, 吉田正邦, 眞田早敏, 中村修: 200mRC 煙突の強風応答観測 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1981.9
- 6) 眞田早敏, 鈴木雅靖: 高層免震建物の風応答実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.215-216, 2002.8
- 7) 眞田早敏, 吉田正邦: 高層建物に作用する風圧と振動応答の実測—その1—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.213-214, 1994.9
- 8) 山本学, 眞田早敏, 吉田正邦, 鈴木雅靖: 煙突の風振動と減衰定数について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.313-314, 1996.9
- 9) 鈴木雅靖, 田村哲郎, 眞田早敏, 山本学: 正方形平面建物の風応答・風圧特性に対する風向の非定常性の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第550号, pp.23-30, 2001.12
- 10) 田村哲郎, 眞田早敏, 鈴木雅靖: 風応答特性に対する風向の非定常性の影響に関する一考察 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.171-172, 2001.9
- 11) 眞田早敏, 中村修, 吉田正邦, 坪倉久, 高野秀男: 大型 RC 煙突に作用する風圧力と煙突振動, 風工学シンポジウム, pp.139-146, 1982
- 12) 下村祥一, 安井八紀, 大熊武司, 小賀伸一: 神奈川大学 23 号館 (免震棟) の風応答性状に関する研究その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.207-208, 2002.8
- 13) 小賀伸一, 下村祥一, 安井八紀, 大熊武司: 神奈川大学 23 号館 (免震棟) の風応答性状に関する研究その4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.209-210, 2002.8
- 14) 溜正俊, 稲田達夫, 福元俊一, 塚谷秀範, 飯島勝男, 中村修: 丸の内ビルディングの風・地震観測その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.143-144, 2006.9
- 15) 堀田祐介, 河村克彦, 五木田清一, 溜正俊, 川鍋佳史, 小川一郎, 宮下康一: 丸の内ビルディングの風・地震観測その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.145-146, 2006.9
- 16) 溜正俊, 堀田祐介, 宮下康一, 岸田岳士, 塚谷秀範, 中村修, 勝村章: 丸の内ビルディングの風・地震観測その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.95-96, 2010.9
- 17) 日本建築学会編: 建築物の減衰, 丸善, 2000.10
- 18) 松井源吾, 牧野稔, 永井亮一, 磐田正春: 早大理工学部1号館に作用する同風圧の測定と解

- 析, 構造物の耐風性に関する第1回シンポジウム論文集, pp.273-279
- 19) 竹内盛雄, 松井源吾, 牧野稔, 永井亮一, 風間了, 新谷真人: 強風時の早大理工学部1号館の応答実測とその解析, 構造物の耐風性に関する第1回シンポジウム論文集, pp.281-287
 - 20) 川口彰久, 本間義教, 武田寿一: 超高層建物に作用する風荷重大阪大林ビルでの実測(その2) 第6回風工学シンポジウム, pp.139-145
 - 21) 神田順, 田村幸雄, 中村修, 藤井邦雄, 大築民夫, 塩谷清人: 超高層住宅における「ゆれ」「振動」が居住性に与える影響に関する研究報告書 国土開発技術センター, 1989年
 - 22) 日本建築学会風荷重小委員会: 第IV章高層建築物の風による振動の限度, 建築物の耐風設計資料, 1988
 - 23) 中田信治, 田村幸雄, 大築民夫, 桐山伸一: 中低層建物における短周期水平振動の知覚閾に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1899-1900, 1994.9
 - 24) On the prediction of extreme wind speeds from parent distribution "Gomes,L Vickery,B.J" Journal of Aerodynamics 2, 21-36
 - 25) On Prediction the Response of tall buildings to wind excitation "Jerry,A.P.B.R.Ellis" Journal of Wind Engineering and Aerodynamics Vol.13 Nos.1-3, 173-182
 - 26) Perspectives on the Full-Scale Measurement of Wind Effects Davenport, A.G. Journal of Industrial Aero dynamics, Volmel No.1, 23-53
 - 27) Comparison of model and full-scale accelerations of a high-rise building "Dalglish, W.A. K.R.Cooper J.T.Templin" Journal of Wind Engineering and Aerodynamics Vol.13 Nos.1-3, 217-228
 - 28) Die Empfindlichkeit des Menschen gegen Erschutterungen, Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesene F.J.MEISTER Band 6,Nr.3 Mai/Juni, 1935, 116-120