

# 全身振動測定装置による屋内振動の測定

末岡 伸一 須田 忠明\*

(\*現・東京都下水道サービス(株))

## 要 旨

筆者らは、新しく開発された全身振動測定装置による振動の基礎データ収集と同装置の屋内振動評価への活用について検討を行っている。本報では、建設作業周辺2箇所、在来線鉄道周辺1箇所の住宅で屋内振動の測定を行い、測定手法等の検討を行った。その結果によれば、垂直方向のみならず水平方向についても無視できない屋内振動が生じており、提案されている各種評価量の試算を行ったところ、ピーク値については閾値を越えていた。今後、測定の積み重ねが必要であるが、全身振動測定装置による屋内振動評価は、十分に推奨できると思われる。なお、今回は板張りの床で測定を行ったが、我が国では、畳やじゅうたんの上に座るといった独特の生活形態が一般的である。そのため、これらに対応したセンサーやアタッチメントの開発やそれに伴う評価手法の検討を早急に行う必要が認められた。

キーワード：振動、在来鉄道、建設作業、振動レベル計、振動加速度、全身振動測定装置、屋内振動、ピックアップ、RMS、MTVV、CF、VDV、Peak 値、振動合成値

## Measurement by whole-body vibration measuring instrumentation

SUEOKA Shinichi, SUDA Tadaaki \*

\* Tokyo Metropolitan Sewerage Service Co., Ltd.

### Summary

We collect basics data of vibration and examine the evaluation of indoor vibration with a whole-body vibration measuring instrumentation developed newly. We measured indoor vibration of a house with two places around construction work, one place around a convention rail line, and we examined measurement technique by this measurement result. According to the result, not only vibration of a vertical direction but also vibration of a horizontal direction showed the value that we cannot ignore. The peak values exceeded the threshold.

We measured it on a floor, but general, in our country, a unique ecotype state to sit down on a tatami mat and carpet coped with these, and development of a sensor and an attachment and the need that examined evaluation technique were recognized this time by being examination of a trial.

**Key word** : vibration, railroad, construction work, vibration level meter, vibration acceleration, whole-body vibration meter, indoor vibration, sensor, RMS, MTVV, CF, VDV, Peak values, compound vibration values

## 1 はじめに

昭和 51 年に制定された振動規制法や公害防止条例(環境確保条例)による規制や制御技術等の進展により振動対策は進んだが、依然として振動苦情は多く生じている。一方、振動評価手法についての国際的検討は大きく前進し、振動規制法制定当時の最新の知見に基づいて定められた現行の手法も見直しを迫られる状況となってきた。このようななかで、平成 16 年 3 月には JIS を国際整合化させることから ISO(国際標準化機構)規格を翻訳した JIS B 7760 シリーズが全身振動測定装置として発行された。手腕振動に係る JIS B 7761 シリーズを含めて、これらの新しい JIS は、振動が人体に入力する地点で測定評価する考え方であり、現行の振動規制等に使用されている振動レベル計(JIS C 1510)とは、根本的に異なっており、2 つの国内規格が存在することになっている。これらから、環境部門としても測定評価のあり方を見直して、依然として苦情の多い環境振動についての対処を検討する必要が生じている。

筆者らは、新しく開発された全身振動測定装置による基礎データの収集と屋内振動の評価への活用について検討を行っている。本報告は、今後の振動測定装置の開発方向や振動測定評価の具体的な課題について、全身振動測定装置による実測経験をふまえて、測定実務の面から課題の整理を行ったものである。なお、本研究は、環境省からの受託研究として実施した。

## 2 調査内容

### (1) 調査対象

今回の検討は、新しい JIS に基づき開発された全身振動測定装置を、工場、建設作業及び交通機関による屋内振動の測定評価に活用することについての調査である。そこで、代表的な振動データを取得するため、表 1 に示す、建設作業 2 箇所、在来線鉄道 1 箇所での測定を行った。具体的な測定は、家屋内に全身振動測定装置と振動レベル計を設置し、参考に玄関先と伝播経路上にそれぞれ振動レベル計を設置して測定を行った。

### (2) 測定機器

屋内振動については、振動レベル計により振動加速度的原データを計測するとともに、全身振動測定装置を使って振動の人体応答に関する諸統計量の計算を行った。なお、原データは、データレコーダーに WAVE ファイルとして収録して、1/3 オクターブ分析、FFT 分析を行った。1/3 オクターブ分析については、時定数を FAST として解析したもので、あらかじめ周波数範囲を 100Hz 以下に遮断して分析した。FFT については、ハニングウィンドウにより解析したものでサンプリング点数は 2048 である。

### (3) 測定方法

建設作業については、作業状況をみながら 10 分間の測定を数回実施し、在来線鉄道については、通過する列車ごとに測定を行った。屋内での測定は、すべて板張りの床面で測定を行い、従来の振動レベル計用センサーを使用し、垂直方向を Z 軸、音源方向を X 軸とした。

### (4) 周波数補正特性

全身振動測定装置には、全身振動、船舶居住振動、手腕振動などに区分して 9 つの周波数補正特性が用意されており、その概要は、表 2 に示すとおりである。この多数の補正をどのように使い分けるかも課題であるが、本報は、試行的であることから Wd 特性により XYZ 軸ともに分析を行った。なお、我が国においては、畳やじゅうたんに座った生活が一般的に見られ、振動苦情もこれらの生活形態から生じていると考えられる。この点からは、椅子での生活を前提として作成された ISO 規格を翻訳した JIS の周波数補正特性については、その適用について十分に検討を行う必要がある。

### (5) 評価量

振動評価量は、JIS B 7760 シリーズに基づき XYZ 方向について、加速度実効値(RMS)、最大過渡振動値(MTVV)、クレストファクター(CF)、振動暴露量値(VDV)、ピーク値、振動合成値(XYZ 軸ともに係数は  $k=1$  とした。)について算出した。表 3 に算出した評価量の解説を掲げる。

表 1 調査地点

	対象振動	場 所	概 要
1	建設作業	東京都北区滝野川	建物の取り壊し工事に隣接した戸建住宅
2	建設作業	東京都江東区亀戸	多数の重機による大規模再開発工事近辺の戸建住宅
3	在来鉄道	東京都北区中十条	埼京線に近接する戸建住宅

表2 JISに示された周波数補正特性

名称	周波数範囲	適用
Wb	0.5～80Hz	乗員・乗客の座位、立位、仰臥位の垂直方向の全身振動
Wc	0.5～80Hz	椅子の背もたれにおける水平方向の全身振動
Wd	0.5～80Hz	座位、立位、仰臥位における水平方向の全身振動
We	0.5～80Hz	座位におけるすべての座標軸の回転振動
Wf	0.1～0.5Hz	座位、立位における垂直方向の乗り物酔い
Wj	0.5～80Hz	仰臥位における頭の垂直振動
Wk	0.5～80Hz	座位、立位、仰臥位における垂直方向の全身振動
Wm	1～80Hz	建物内におけるすべての座標軸

表3 振動統計量の概説

評価量	概要
RMS (補正加速度実効値)	周波数補正後の振動加速度の計測時間における実行値で、単位は、 $m/s^2$
MTVV (最大過渡振動値)	移動時間 1S で積分された移動加速度実効値の最大値で、単位は、 $m/s^2$
CF (クレストファクター)	波高率とよばれ瞬時値の最大値と実効値の比で、ピークの状態を表す指標
VDV (振動暴露量値)	ピークに敏感になるよう瞬時値の4乗積分値の4乗根で、単位は、 $m/s^{1.75}$ 、 $rad/s^{1.75}$
ピーク値	計測時間における最大の振動加速度であり、単位は、 $m/s^2$
合成振動値	3軸の振動加速度2乗値について係数を乗じて合計した値の2乗根で、単位は、 $m/s^2$

なお、振動の評価は、RMS 値が使われるが、衝撃度が高くCFが9を超えると補正加速度実効値では評価できないとされ、ピーク値やVDVなどで評価するとISO規格では記述されている。また、ピーク値で、 $0.01m/s^2$ 以下で振動は感知されるといわれており、住宅における反応については、多くの国でこの感覚閾値よりわずかに大きい値で苦情が生じるとされ行政的措置等がとられている。

### 3 測定結果

今回の調査結果及び算出した統計量の結果は、以下に示すとおりである。

#### (1) 建設作業による振動

建設作業に伴う強い振動は、基礎部の解体作業などで生じやすいが、常時強い振動が出ている例は少ない。今回も苦情発生に合わせて測定を行ったが、時々弱い振動が記録される程度であった。今後の課題であるが、住民にとって一番気になる強い振動の生じている日時をどのようにとらえるかが実務的には問題が残る。図1と表4、図2と表5に地点1及び地点2における垂直方向の周波数分析結果と算出した統計量を示した。なお、ここで示したデータは10分単位に数回実施した測定のうち一番大きい測定結果である。

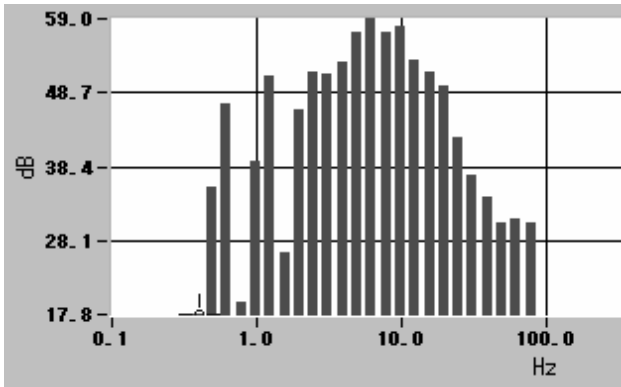


図1 建設作業（地点1）における周波数分析結果（垂直方向）

表4 建設作業（地点1）における統計量

方向	RMS	MTVV	CF	VDV	ピーク値	合成
X	0.0004	0.0024	23.7	0.0052	0.0115	0.0009
Y	0.0002	0.0010	14.4	0.0024	0.0039	
Z	0.0008	0.0042	22.1	0.0101	0.0189	

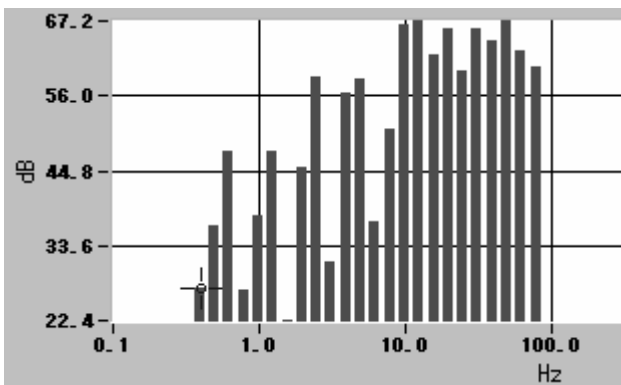


図2 建設作業（地点2）における周波数分析結果（垂直方向）

表5 建設作業（地点2）における統計量

方向	RMS	MTVV	CF	VDV	ピーク値	合成
X	0.0017	0.0035	5.1	0.0116	0.0086	0.0029
Y	0.0012	0.0028	6.0	0.0087	0.0074	
Z	0.0020	0.0052	7.5	0.0146	0.0151	

このうち地点1は、解体工事を中心とする工事現場に隣接する2階建てのミニ開発の住宅であり、1階のダイニング(板の間)で測定した。周波数分析の結果からは、5~10Hzにピークがあり、FFT分析でも同様の結果であった。算出した評価量は、RMS振動値で、0.0009m/s<sup>2</sup>とそれほど小さくなく、MTVVも大きくない。3軸方向でみると、Z方向の値が高くなっており、垂直方向が高い

という従来の経験則に沿っている。ただし、ピーク値については、0.0189 m/s<sup>2</sup>であり、我が国で使用しているdB値に直すと、65.5dBとなる。今回の測定時の騒音はかなり高かったが、振動は、最も大きい日時ではなく、極弱く発生する状況であったため、CFが比較的大きくあられ、VDVも結果的に大きくなっている。

地点2については、かなり大きな2階建て戸建住宅で、建設工事現場から道をはさんで反対側にあり、玄関に続く1階の板張り廊下で測定を行った。卓越した周波数は、10Hz前後であり、FFT分析でも同様の結果であった。工事内容は、かなり巨大な再開発工事であり、多数の重機が動き回っている状況であったが、地点1と同様に一番振動の大きい日時ではなかった。ただし、合成振動値が0.0029m/s<sup>2</sup>と地点1よりは大きくなっており、MTVVも同様であった。また、3軸方向でみても、地点1と同様に垂直方向の値が高くピーク値で0.0151 m/s<sup>2</sup>であり、我が国で使用しているdB値に直すと、63.6dBとなっている。

(2) 在来線鉄道による振動

在来線は、長い歴史もあり線路に密接して多くの住宅が立地している場合が多く、今回測定を行った地点も、比較的小規模の住宅が線路に沿って立ち並んでいる。最近では、振動対策が推進されているが、車両の大型化、高速化、長編成化などから振動は依然として認められる状況にある。図3は、15本の列車についての実測結果から振動測定結果の上位3本について整理したものである。いずれも通勤用電車である。

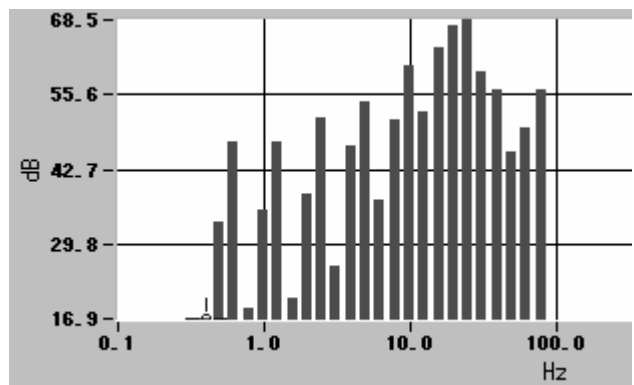


図3 在来線（地点3）における周波数分析結果（垂直方向）

表6 在来線（地点3）における統計量

	方向	RMS	MTVV	CF	VDV	ピーク値	合成
1	X	0.0020	0.0068	4.7	0.0080	0.0097	0.0040
	Y	0.0024	0.0068	5.5	0.0092	0.0135	
	Z	0.0025	0.0065	6.2	0.0097	0.0160	
2	X	0.0014	0.0034	7.8	0.0068	0.0109	0.0031
	Y	0.0014	0.0038	6.4	0.0071	0.0094	
	Z	0.0024	0.0068	6.9	0.0120	0.0168	
3	X	0.0018	0.0030	4.1	0.0055	0.0076	0.0044
	Y	0.0026	0.0044	4.7	0.0084	0.0126	
	Z	0.0030	0.0054	3.8	0.0091	0.0115	

測定地点は、小規模な2階建て戸建住宅で、板張りの1階ダイニング部で測定を行った。20Hz前後で高くなっており、FFT分析でも同様の結果であった。また、1/3オクターブでは明確でないが、FFT分析では80Hzと高い周波数でかなり明瞭な周波数成分があり、これらは電車による直接的な振動と考えられる。ここでは、列車の通過時に明瞭な振動が生じており、振動の大きい3例について掲げた。全般的にみれば、Z方向が高くなっているが、水平方向もかなりの振動となっており、合成振動値もかなりの値となっている。ピーク値 $0.0160\text{m/s}^2$ とかなりの振動が列車の通過ごとに生じている。

### (3) まとめ

建設作業周辺の戸建住宅内振動の測定結果については、一番振動の大きい日時の測定ではなかったが、閾値を越える振動が発生していた。今後ともデータの収集と解析を行って行くが、戸建住宅においては、垂直方向に比べて水平方向も無視できない振動が生じていると考えられる。また、在来線近傍の測定結果は、 $0.015\text{m/s}^2$ 以上のピーク値が列車通過ごとに記録された。今回の調査においては、ピーク値でみるかぎり苦情が生じる値となっていたし、垂直方向に比べて水平方向も無視できない値を示していた。

## 4 全身振動測定装置についての所見

全身振動測定装置は、ようやく一部のメーカーから販売が開始されたが、ほとんど普及しておらず実測データの収集、測定のマニュアル整備などが求められる。特に、行政部門での活用を考えると、必ずしも振動について専門知識を有しない行政職員が平易に測定できるように改

良を行うことが求められ、さらに下記の事項についての検討が急務と考えられる。

### (1) センサーとアタッチメント

欧米における振動評価は、靴を履いた状態で椅子又は立位（立った状態）での振動が課題となる。しかしながら、我が国の生活実態は、欧米諸国と大きく異なっており、靴を脱いで畳やフローリングに座る和風の生活が主なものとなっている。これのことから、我が国においては、少なくとも畳、フローリング、じゅうたんの3種の床生活を想定し、さらに椅子による生活を加えて機器等の開発検討が行われなければならない。現在の振動レベル計用のセンサーを畳に設置するのは、設置共振等が生じる可能性が高く好ましくない。そこで、従来の経験から考えれば、生け花用の剣山、アルミ等の軽量板に接着した小型センサー、椅子用のシートセンサーの活用、などが考えられるが、行政的利用を前提とすれば、測定法を統一して示す必要が認められる。

### (2) 評価量と測定時間

全身振動測定装置による屋内振動の測定評価においては、最大値系に着目するのか、平均値系を使用するのか大きな問題である。特にJISに示された諸統計量については、住民の反応との対応が良好なのはどれかについて加振機による被験者実験が不可欠である。また、大きな振動が間欠的に発生する場合と一定の振動が常時生じている場合とでは、住民の反応が異なることが考えられ、振動源別の実測データを早急に収集する必要が認められる。

## 5 おわりに

全身振動測定装置による屋内振動の計測は、おそらく我が国ではじめての試みである。現在、行政部門で規制等に使用している振動レベル計は、年数を経たことから国際規格とは、大きく異なってしまった。その点から、国際規格のうごきにに合わせて振動レベル計を廃止すべきとの意見もあるが、筆者としては、工場や建設作業の敷地境界規制に活用されていることから、直ちに廃止を検討するよりは、多くの苦情が生じている屋内振動の測定評価に新しい測定装置の活用を図ることが適切と考えている。すなわち、振動苦情は、屋内の生活において生じているものであり、屋内振動の「目安」を示すのが振動対策の要で、経過的に2種類の測定評価法があっても、やむを得ないと思っている。

全身振動測定装置による屋内振動評価については、検討すべき課題が多くあるが、振動の評価を人間に輸入する地点で行うというのは、きわめて筋の通った考えかたである。この点から、諸課題について逐次検討を加えながら屋内振動測定手法の確立を図っていきたい。

### 参考文献

- 1) JIS B 7760-1 : 全身振動 第1部 : 測定装置 (2004)
- 2) JIS B 7760-2 : 全身振動 第2部 : 測定方法及び評価に関する基本的要求 (2004)
- 3) 振動法令研究会 : 振動規制の手引き (2003)、技報堂