

鉄道振動の測定結果について

末岡 伸一 庄司 匡範

要 旨

我が国では、新しい振動に係る規格が制定されるなど、振動の評価手法についての見直しが求められている。そこで筆者らは、最近の振動実態の把握と基礎データの収集を行っており、平成16年度については鉄道振動について調査を行った。それによれば、新幹線鉄道沿線及び在来線鉄道沿線においてはかなり高い鉛直方向の振動が観測された。また、距離減衰量が認められない場合もあり、土壌による影響がきわめて大きいと考えられる。周波数分析の結果によれば、主成分は10～20Hzとなっていた。

キーワード：振動、鉄道、新幹線、JR、私鉄、振動レベル、振動加速度、鉛直方向、水平方向、振動規制法

The measurement of railroad vibration

SUEOKA Shinichi, SHOUJI Masanori

Summary

A review of evaluation technique of vibration is necessary in Japan because new national standards about vibration was established. We are investigating the situation of environmental vibration and collecting basic data of the vibration and measured vibration level about railroad in 2004. According to it, we measured a high vibration level of a horizontal direction along the Shinkansen and railroads. Decrement by distance is inconsistent, so we think that influence by the soil is extremely big. According to the result of frequency analysis, the main ingredient was 10～20Hz.

Key words : vibration, railroad, Shinkansen, JR(Japan Railways), private railroad, vibration level, vibration acceleration, vertical direction, horizontal direction, vibration regulation

1 はじめに

平成 16 年 3 月に国内規格の国際整合化に合わせて ISO（国際標準化機構）規格を翻訳した JIS B 7760 シリーズが発行された。この JIS は、環境振動の規制等に使われている振動レベル計規格（JIS C 1510）とは、根本的に異なる内容となっている。この結果、2 つの系列の国内規格が存在することになり、環境部門としても今後の振動評価のあり方を検討する必要が生じている。また、定常又は変動する振動の予測評価については、物理的意味が明確であるとのことから、騒音と同様にエネルギー平均値である等価振動レベルの採用も検討されだしている。さらに、振動は土壌伝搬や建物増幅により状況が大きく異なることが考えられ、基礎構造のしっかりした建物の増加や振動対策の進展により、振動規制法等が制定された 30 年前とは状況が大きく異なってきている。このようなことから、屋内の振動を直接測定して評価する手法が振動対策の進展に資すると考えられるようになってきている。

このような背景から、筆者らは、振動評価手法の見直し検討を行っており、その一環として、基礎データの収集と最近の振動実態について調査を行っている。本報では、前年度に実施した幹線道路周辺の振動調査¹⁾に続いて、平成 16 年度に実施した鉄道沿線の振動調査結果について報告する。

2 振動測定

① 測定法

振動規制法等で採用されている振動評価手法では、敷地境界（官民境界）で評価するものとし、さらに鉛直方向の測定値が一般に高いとされていることから、鉛直方向の振動レベルに着目して規制基準値²⁾を定めている。しかしながら、振動は最終的に屋内に伝搬して、そこに居住する住民から苦情等として提出されることになるものであり、基本は屋内における振動状況である。敷地境界を経由した振動は、種々の伝搬条件や家屋による増幅などを受けて、その方向や大きさが変化して屋内の振動となる。鉛直振動が水平振動に、水平振動が鉛直振動に変化することも十分に想定され、かならずしも敷地境界の測定結果と屋内での測定結果が相似するものではない。

そこで、本報においては、敷地境界の鉛直及び水平方向の X Y Z 3 軸について実測を行い最近の振動実態

について検討を行った。なお法令では、評価に使用する鉛直方向の周波数補正振動加速度レベルを振動レベルとしているが、本報では X Y Z 軸それぞれの方向についての周波数補正振動加速度レベルを振動レベルと記述する。

② 測定対象

今回の振動調査は、鉄道沿線を調査対象とし、東京都内を中心に新幹線及び在来線について測定した。具体的には、表 1 に示したが、新幹線鉄道 2 路線、JR 在来線 5 路線、私鉄在来線 7 路線、において、計 34 箇所の沿線において振動測定を行った。

表 1 測定地点

区分	路線名	地点数
新幹線	東海道	4
	東北	2
JR 在来線	中央線	2
	総武線	2
	横須賀線	3
	埼京線	2
	東海道線	2
私鉄在来線	京王線	3
	小田急線	3
	京急線	2
	東急線	3
	西武線	2
	東武線	2
	京成線	2

③ 測定機器

振動測定は、デジタル型振動レベル計（リオン^株製 VM-53A）により X Y Z 3 軸方向について振動加速度レベルを測定した。ここで、Z は鉛直方向、X は路線に平行な方向、Y は路線に直角な方向である。振動加速度レベルは、JIS C 1510 に定める垂直方向及び水平方向の特性により測定された値より Lmax 等を算出した。また、DAT 式のデータレコーダ（ソニー^株製 PC-204A）に振動加速度波形を収録し、後に 1/3 オクターブ分析器により中心周波数で 1 ~ 80Hz について周波数分析を行った。

測定は、最も近い軌道中心から 12.5 m 及び 25 m 離れた地点において、X Y Z 3 軸方向に上下線合わせて

20 本以上について同時測定を行った。また、規制基準の測定においては、上位半数のデータを平均することになっているが、ここでは検討資料であり全測定データについて平均しており、規制手法の場合に比べて若干低めになっている。なお、振動規制法によれば、第 1 種区域で昼間（午前 7 時、8 時、9 時又は 10 時以降）の規制基準値は、鉛直方向で 55dB となっており、これを念頭において検討を行った。

3 振動レベルの測定結果

(1) 新幹線鉄道沿線

表 2 に新幹線鉄道沿線における測定結果を示したが、12.5 m 及び 25 m 地点で測定した全データについて Lmax の平均値及び 2 地点間のレベル差を示した。

この測定結果から暗振動の影響を無視できると思われる 55dB 以上の地点について鉛直方向をみると 12.5 m 地点で 6 地点中 3 地点において 55dB を超えており、地点別平均の最大は 66.8dB に達していた。また、列車別の最大値としては、埼玉県伊那町で 71dB が観測されている。また、25 m 地点においては、6 地点中 1 地点において 55dB を超えていた。

一方、水平方向（X 又は Y 軸方向）については、12.5 m、25 m 地点とも、それほど大きくなく、40dB 以上

表 2 新幹線の測定結果

測定地点		12.5m	25m	差
東海道新幹線 大田区雪谷	X	44.6	43.9	- 0.7
	Y	43.1	43.6	0.5
	Z	54.1	56.0	1.9
東海道新幹線 大田区北峰町	X	45.7	42.5	- 3.2
	Y	49.3	40.8	- 8.5
	Z	62.7	50.6	- 12.1
東海道新幹線 大田区北峰町	X	35.2	36.2	1.0
	Y	38.5	34.3	- 4.2
	Z	51.9	44.4	- 7.5
東海道新幹線 大田区田園調布	X	46.5	37.8	- 8.7
	Y	45.4	36.4	- 9.0
	Z	56.9	49.9	- 7.0
東北新幹線 北区浮間	X	35.5	34.1	- 1.4
	Y	36.6	33.4	- 3.2
	Z	48.3	44.5	- 3.8
東北新幹線 埼玉県伊奈町	X	55.6	39.0	- 16.6
	Y	53.9	40.2	- 13.7
	Z	66.8	52.5	- 14.3

の例は 12.5 m 地点で 4 地点となっており、1 例において 55.6dB と大きな値となっていた。また、暗振動の影響を無視できる鉛直方向で 55dB を越える地点について、12.5 m と 25 m の振動レベル差をみると、- 14.3 ~ 1.9dB と結果が分散していた。距離による減衰が認められる例とほとんど認められない例があり、地盤構造により、振動伝搬状況が著しくなることが想定された。

表 3 JR 在来線の測定結果

測定地点		12.5m	25m	差
中央線 立川市羽衣町	X	43.8	41.2	- 2.6
	Y	42.5	37.7	- 4.8
	Z	57.7	49.2	- 8.5
中央線 杉並区西荻南	X	35.6	34.4	- 1.2
	Y	34.6	31.0	- 3.6
	Z	53.5	46.9	- 6.6
総武線 葛飾区新小岩	X	39.4	34.3	- 5.1
	Y	41.2	34.9	- 6.3
	Z	54.1	52.1	- 2.0
総武線 墨田区緑	X	35.3	34.7	- 0.6
	Y	33.1	31.8	- 1.3
	Z	49.8	50.5	7.0
横須賀線 大田区久が原	X	43.0	41.2	- 1.8
	Y	45.4	41.3	- 4.1
	Z	56.7	53.5	- 3.2
横須賀線 大田区東嶺町	X	31.9	35.8	- 3.3
	Y	39.0	33.8	- 5.2
	Z	57.1	50.9	- 6.2
横須賀線 大田区田園調布	X	39.1	35.8	- 3.3
	Y	39.0	33.8	- 5.2
	Z	57.1	50.9	- 6.2
埼京線 板橋区板橋 I	X	37.9	41.0	3.1
	Y	46.7	41.3	- 5.4
	Z	57.6	53.7	- 3.9
埼京線 板橋区板橋 II	X	46.9	43.0	- 3.9
	Y	44.2	41.5	- 2.7
	Z	64.9	63.5	- 1.4
東海道線 大田区仲六郷 I	X	43.0	41.3	- 1.7
	Y	41.2	38.7	- 2.5
	Z	53.5	52.7	- 0.8
東海道線 大田区仲六郷 II	X	41.0	38.0	- 3.0
	Y	46.6	37.9	- 8.7
	Z	60.6	55.7	- 4.9

(2) JR 線沿線

表 3 に JR 線沿線における測定結果を示したが、暗振動の影響を無視できると思われる 55dB 以上の地点を検討してみる。鉛直方向をみてみると 12.5 m 地点で 11 地点中 7 地点において 55dB を超えており、地点別平均の最大は 64.9dB に達していた。また、列車別の最大値としては、板橋区内の埼京線で 67dB が観測されている。また、25 m 地点においては、11 地点中 2 地点において 55dB を超えていた。一方、水平方向については、12.5 m、25 m 地点とも、それほど大きくなく、おおむね 40dB 以下であった。

また、暗振動の影響を無視できる鉛直方向で 55dB を越える地点について 2.5 m と 25 m 地点のレベル差をみてみると - 8.5 ~ - 0.8dB と測定結果が散らばっ

ていた。ここにおいても、地盤構造により振動伝搬状況が著しく異なると考えられる。

(3) 私鉄沿線

表 4 に私鉄沿線における測定結果を示したが、JR 線沿線と同様に、暗振動の影響を無視できると思われる 55dB 以上の地点について検討してみる。鉛直方向をみてみると 12.5 m 地点で 17 地点中 7 地点において、55dB を超えており、地点別平均の最大は 67dB に達していた。また、列車別の最大値としては、目黒区内の東急線で 70.8dB が観測されている。また、25 m 地点においては、17 地点中 6 地点において 55dB を越えていた。

一方、水平方向については、12.5 m、25 m 地点とも、それほど大きくは無く 40dB 以下が多かったが、

表 4 私鉄在来線

測定地点		12.5m	25m	差	測定地点		12.5m	25m	差
京王線 調布市仙川町	X	37.3	35.4	- 1.9	東急線 目黒区柿の木坂	X	48.1	40.5	- 7.6
	Y	37.6	33.4	- 4.2		Y	46.1	41.5	- 4.6
	Z	52.2	46.7	- 5.5		Z	57.3	53.5	- 3.8
京王線 世田谷区給田	X	40.8	38.4	- 2.4	東急線 目黒区中根	X	50.0	46.5	- 3.5
	Y	38.5	35.2	- 3.3		Y	47.9	42.2	- 5.7
	Z	57.3	55.3	- 2.0		Z	67.0	62.5	- 4.5
京王線 世田谷区上北沢	X	37.3	36.6	- 0.7	西武線 練馬区富士見台	X	36.1	35.6	- 0.5
	Y	36.1	33.9	- 2.2		Y	31.8	29.5	- 2.3
	Z	52.5	47.6	- 4.9		Z	46.9	44.6	- 2.3
小田急線 世田谷区経堂	X	26.7	26.5	- 0.2	西武線 練馬区石神井町	X	45.5	43.6	- 1.9
	Y	27.1	24.3	- 2.8		Y	45.8	42.3	- 3.5
	Z	37.1	38.6	1.5		Z	62.5	60.0	- 2.5
小田急線 世田谷区北沢	X	40.0	36.0	- 4.0	東武線 足立区竹ノ塚	X	36.6	37.6	1.0
	Y	42.2	38.3	- 3.9		Y	38.9	34.2	- 4.7
	Z	50.0	45.6	- 4.4		Z	51.5	50.5	- 1.0
小田急線 渋谷区代々木	X	43.0	39.3	- 3.7	東武線 足立区竹ノ塚	X	38.4	34.6	- 0.2
	Y	40.8	36.1	- 4.7		Y	42.0	35.7	- 6.3
	Z	52.7	51.8	- 0.9		Z	55.8	55.8	0.0
京急線 大田区仲六郷	X	34.2	34.9	0.7	京成線 葛飾区四つ木	X	41.8	39.2	- 2.6
	Y	38.5	33.6	- 4.9		Y	44.2	39.0	- 5.2
	Z	51.3	49.8	- 1.5		Z	59.1	55.0	- 4.1
京急線 大田区大森	X	43.0	39.3	- 3.7	京成線 葛飾区立石	X	34.9	34.1	- 0.8
	Y	40.9	36.7	- 4.2		Y	35.1	34.6	- 0.5
	Z	58.7	55.8	- 2.9		Z	48.3	44.2	- 4.1
東急線 目黒区五本木	X	39.8	38.4	- 1.4					
	Y	38.4	37.1	- 1.3					
	Z	54.1	47.6	- 6.5					

一部には高いレベルを示しておりX軸方向で50dBとなっている例もあった。鉛直方向で55dBを越える地点について12.5mと25m地点のレベル差をみると他の路線と同様に地盤構造による影響が大きいと考えられる。

4 周波数分析結果

1/3オクターブ分析結果(東北新幹線沿線)

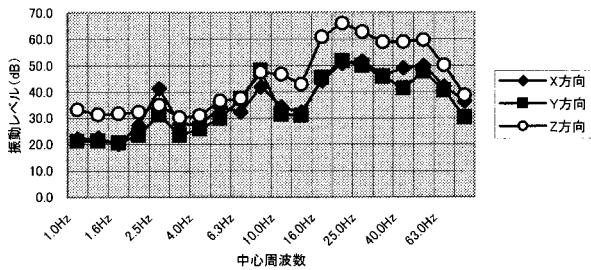


図1 周波数分析結果(東北新幹線)

1/3オクターブ分析結果(埼京線)

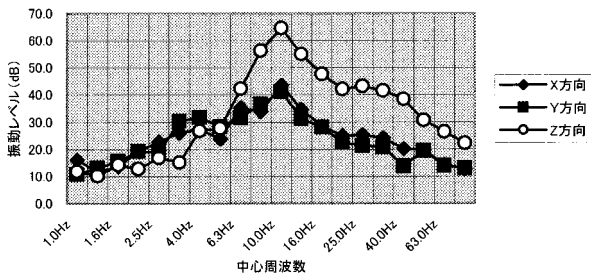


図2 周波数分析結果(埼京線)

1/3オクターブ分析結果(東急沿線)

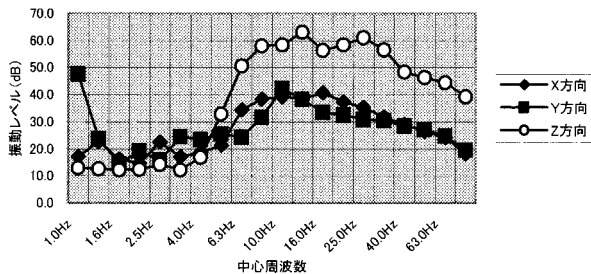


図3 周波数分析結果(東急沿線)

新幹線及び在来線について振動レベルの高かった地点についての周波数分析結果を図1～図3に示した。これは、12.5m地点において最も振動レベルの高かった列車について1～80Hzについて1/3オクターブ分析を行った結果である。図1は、東北新幹線の埼玉県

下で測定したもので田畑の多い地帯の連続高架区間であり、新幹線の列車がおおむね220km/hで通過している。周波数分析の結果によるとXYZ軸方向ともに20Hzにピークがあり、暗振動レベルがXY軸方向それぞれ31dB、29dB、32dBであることから、この地域においては、16Hz～50Hz帯の振動に留意して監視する必要がある。

図2にはJR在来線の代表として板橋区内の埼京線についての周波数分析結果を示したが、ここは盛土の通勤電車区間で10両編成の車両が80km/h弱で走行している。ここでの暗振動レベルは、XY軸方向それぞれ27dB、28dB、34dBで、周波数分析結果によると10HzにXYZ3軸とも明確なピークがあった。

さらに、図3は私鉄在来線として目黒区内の東急線のデータを示したが、ここは典型的な私鉄沿線であり住宅地のなかの平坦区間である。8両編成の通勤電車が走行しており速度は80～90km/hであるが、周波数分析の結果によれば、鉛直方向で6.3Hz～40Hzの周波数帯で一般的に高くなっており他の路線とは若干異なる分析結果となっていた。

これらのことから、今後鉄道振動による屋内振動を検討する場合には、10Hz～20Hz帯に留意して、家屋の固有振動数との共振などに注意して振動状況を解析する必要がある。

5 おわりに

今回の調査結果を取りまとめると次のようになる。

- ① 新幹線及び在来線ともに12.5m地点では、かなり高いレベルとなっており、十分に留意しながら監視していく必要が認められる。
- ② 12.5mと25mのレベル差を比較してみると距離減衰が認められない地点があり、土壌等の影響がかなり大きく、遠くまで振動が伝搬する可能性を示している。
- ③ 全体的には、水平振動レベルが鉛直振動レベルに比べて低くなっていたが、いくつかの地点においては水平振動も大きくなっており、屋内の振動評価においては注意が必要といえる。
- ④ 周波数分析結果によれば、10Hz～20Hz帯に主成分があり、これらと家屋などの共振に注意を払う必要がある。

振動については、騒音と異なり継続的な測定データの蓄積が少ないため、振動実態の継続的な比較が難しいが、新幹線鉄道及び在来線ともかなり高いレベルの地点が存在することは、振動の測定や対策において一層の注意が必要と思われる。また、振動は、伝搬経路や建物増幅により大きくレベルが変化することが予想され、距離減衰も明確に現れていない例が多くあったことから、敷地境界での規制とは別に、建物内部での振動評価が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 末岡伸一：都内の道路交通振動の実態について、東京都環境科学研究所年報（2004）
- 2) 振動法令研究会：振動規制の手引き（2003）