

東海道新幹線の振動について*

大塚 定 男**・深野 松 三**
 藤掛 敏 夫**・尾崎 雅 亮**
 石井 貢**

1. はじめに

新幹線騒音の実態調査や研究については、しばしば報告されているところであり^{1)~3)}、昭和50年7月29日に「新幹線鉄道騒音に係る環境基準について」が公示され、その規制はようやく軌道に乗りつつある。

一方、新幹線振動に関しては中公審答申に基づき、昭和51年3月12日、運輸大臣に対し「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について当面の措置を講ずる場合のよべき指針について」という勧告が出された。

この中で触れられているように振動低減策については技術的に困難な面もあり、特に振動発生源対策として考えられた軌道パッド等の軌道に防振処置を施す方法は安全走行の面で問題となるため、現在のところこれといった有効な方策が見つかっていない。また、伝搬経路途中の対策として防振溝（溝掘り）や振動遮断材の挿入の実験が行なわれている⁴⁾⁵⁾が、これもある程度の効果は認められるものの溝の保守や振動遮断材の開発の困難等実用化にはまだかなりの問題を残している。

一方、沿線の宅地造成等の開発がすすむにつれ、新幹線振動に対する苦情は増加の一途をたどっている。

こうしたことから、著者らは現状把握と関係データの整備等を目的として、昭和50年8月～10月に県下の新幹線沿線で14カ所の測定場所を選定し、調査を行なった。今回の測定では測定項目を列車速度－振動レベルの相関、線路構造別振動レベルの比較、距離減衰、住宅内外における振動レベルの増幅度、周波数分析等とし、これらの項目を線路構造別振動伝搬性状と住宅伝搬に大別し若干の検討を加えたので報告する。同時に騒音の調査も行なったが、これについては別の機会にゆずる。

2. 測定方法

2・1 線路構造別振動伝搬性状測定

伝搬性状の測定場所は表1に示す5構造10カ所で、測

表1 測定場所

No.	場 所	線路構造	測定地点数	備 考
1	小田原市中里	無道床鉄けた高架橋	6	騒音同時測定
2	川崎市中原区西加瀬	有道床鉄けた高架橋	5	
3	大磯町生沢	盛 土	5	騒音同時測定
4	平塚市田村	〃	5	
5	平塚市大神	無道床鉄橋	5	騒音同時測定
6	横浜市港北区樽町	〃	6	〃
7	綾瀬町深谷	切り通し	5	
8	綾瀬町上土棚	〃	5	騒音同時測定
9	横浜市港北区目吉	トンネル	6	
10	二宮町百合が丘	〃	4	
11	大磯町生沢	盛 土	2	住宅測定
12	平塚市大神	〃	3	〃
13	綾瀬町上土棚	切り通し	3	〃
14	二宮町百合が丘	トンネル	6	〃

定位置は線路に直角に線路中央から10, 20, 30, 50, 70 m地点としたが、他に可能なところは0, 100m地点も測定した。10m地点については地面の状態からピックアップを置くことができず若干移動させたところもある。振動方向は、線路に直角の方向をX方向、平行の方向をY方向、地面に垂直の方向をZ方向としたが、測定は主としてZ方向で行なった。

* On the Vibration caused by Tokaido Shinkansen

** Sadao Otsuka, Matsuzo Fukano, Toshio Fujikake, Masaaki Ozaki and Mitsugi Ishii (神奈川県公害センター) Kanagawa Prefectural Environmental Center

使用した計器の諸特性は

公商用振動計：振動レベル（レベルレコーダ接続のとき）

振動加速度レベル（データレコーダ接続のとき）

高速度レベルレコーダ：

ペン速度 Slow

紙送り速度 3 mm/s

データレコーダ：

FM記録

測定は列車ごとに各ピックアップ設置地点の同時記録とし、1地点につき列車本数20本程度のデータを得た。測定値は波形記録の最大値をとった。

また、列車速度は任意の固定点を列車の先端から後端までが通過する時間をストップウォッチ（1/10秒計）で求め、次式より算出した。

$$V = (L/T) \times 3.6$$

V：新幹線速度 (km/h)

T：通過時間 (sec)

L：新幹線の全長 (L=400m)

2・2 住宅測定^{6)~8)}

測定場所は線路構造別に盛土2（平塚市大神，大磯町生沢），切り通し1（綾瀬町上土棚），トンネル2（二宮町百合が丘）の3構造4カ所5住宅を選んだ。これら住宅の家屋構造はすべて木造で，2階建家屋も含まれているが，その場合も1階部分だけの測定とした。

測定は住宅の中と外にピックアップを1台ずつ置き，列車通過ごとに同時記録をしたが，住宅の中においては代表的な部屋（主に居間，茶の間）の中央畳の上，およびその近くの板廊下の上，外においては庭の土の上，または土の状態が良くない所ではコンクリートの上にピックアップを置いた。原則として各ピックアップがそれぞれ新幹線の線路と等距離になるようにした。

測定は振動加速度または振動レベルで主として垂直方向を測定し，記録はデータレコーダおよびレベルレコーダによる振動レベル記録と周波数分析を行なった。データレコーダはFM記録，また周波数分析は1/3オクターブバンドとした。

3. 測定結果

3・1 線路構造別振動伝搬性状

最初に各測定場所20m地点での列車速度—振動レベルの回帰式，相関係数を求め，速度200km/h時における振動レベルを線路構造別列車進行方向別に表2に示した。また各構造2カ所の平均パワーレベルも表中に示した。

表2 線路構造別振動レベル

線路構造	場 所	測定点側振動レベル(dB)	反対側振動レベル(dB)
高 架	小田原市中里	67.07	66.40
	川崎市中原区西加瀬	75.81	74.29
	パワー平均	73.34	71.93
盛 土	大磯町生沢	55.63	60.49
	平塚市田村	69.15	67.33
	パワー平均	66.33	65.14
鉄 橋	平塚市大神	62.48	61.50
	横浜市港北区樽町	61.29	51.93
	パワー平均	61.93	58.94
切り通し	綾瀬町深谷	73.15	66.05
	綾瀬町上土棚	66.33	69.74
	パワー平均	70.96	68.28
トンネル	横浜市港北区日吉	63.85	64.38
	二宮町百合が丘	63.88	67.06
	パワー平均	63.87	65.92

なお個々の回帰式はここでは掲げないが，列車速度が200km/h前後でほとんど変化しない測定場所もあるため，回帰式の傾きは大きくばらついた。

表2から

- 1) トンネルを除き，他の線路構造では測定点側振動レベルの方が反対側振動レベルよりも1~3dB程度高くなる。これはパワー平均の結果であり，個々にはかなりばらつきがある。
- 2) 振動レベルの大きさは，トンネルを除いて大きい方から順に高架，切り通し，盛土，鉄橋の順である。これは20m地点の結果であり，距離により異なることも考えられる。
- 3) 高架と鉄橋は他の線路構造に比較して類似点が多いにもかかわらず，振動レベルの値が大きく異なっているが，この理由として橋脚の太さ，密度だけでなく基礎ぐいの深さも考えられる。今回の測定場所に限って言えば，平均して鉄橋の方が高架よりも基礎ぐいは深い。こうしたことから地盤を考えず単に線路構造だけを考えると，鉄橋と同様の基礎の施工を行なえば高架の振動レベルは数dB落ちるといえる。

各測定地点での測定データから，列車速度200km/hの振動レベルを基準として距離減衰関数を求めた。結果は次のとおりである。

- 1) 全体に20~30m付近に落ちこみがみられる。原因と

して測定の際のデータ不足，測定地点の不安定さ等の測定上の誤差と，下部の堅い地層における反射と地盤の共振が考えられる。

- 2) 盛土，高架，鉄橋において10～30m付近ではほぼ倍距離3～5dBの減衰をしている。この値は周波数によって異なるのはもちろんであるが，全体的に低い方の周波数では点振源および線振源の距離による減衰の理論直線⁹⁾に良く一致している。

このとき理論式は

$$u = u_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-n} \quad u: \text{振幅} \quad r: \text{距離}$$

u_0, r_0 は基準点における振幅，距離

これから

$$L = -10n \log r + K$$

L: 振動加速度レベル (dB)

K: n の値により変る変数

n は周波数ごとに異なり，周波数が高いほど大きく，通常 $0.5 < n < 1.5$ の範囲にあるが，これは倍距離1.5～4.5dBの減衰に相当する。

また，10カ所の測定場所から2カ所を選び周波数分析を行なった。選定したのは田村（盛土）と樽町（鉄橋）である。今回の測定では線路に近い方から3地点をデータレコーダで記録したため，10m地点と30m地点の周波数分析を行ない，その差をとって比較した。この比較結果から

- 1) Y方向とZ方向とは土上伝搬の減衰形状の周波数構成で類似しているが，X方向はその周波数構成を異にする。
- 2) 4～6.3Hz付近の伝搬における減衰量は非常に少ない。

盛土においては他の構造に比べて低周波成分が多いことから，データレコーダに記録してある加速度波形を2回積分して変位にかえ軌跡を書かせたところ，10Hz付近に Rayleigh 波が認められた。したがって，盛土低周波で表面波成分が優勢であることがわかった¹⁰⁾。

3・2 住宅測定

家屋内における振動増幅を調べるために，まず各列車ごとに家屋内外で同時測定した垂直方向の振動レベル値間の差をとり，その平均値と有意差を求めた。それを表3に示す。表中有意差（95%水準両側 t 分布検定）が認められたものは○，そうでないものは×とした。この結果から，ほとんどの地点で有意差があり，家屋による増幅はあると考えられる。板廊下と地表との差は0～3dB程度であり大きくなく，畳と地表とは8～12dB程度の差がみられる。また，コンクリートのタタキと地表との間にも若干のレベル差がみられる。

表3 住宅内外の振動レベル差

場所	測定地点	列車進行方向	差(dB)	有意差の有無
盛土 A	畳—コンクリート	全体	0.4	×
		上り(測)	1.6	○
		下り(反)	-1.0	×
盛土 B	コンクリート—土 (タタキ)	全体	1.1	○
		上り(測)	1.0	○
		下り(反)	1.3	○
	畳—土	全体	8.0	○
		上り(測)	8.3	○
		下り(反)	7.4	○
切り通し	板廊下—コンクリート	全体	1.1	○
		上り(測)	1.2	○
		下り(反)	1.1	×
	畳—コンクリート	全体	9.0	○
		上り(測)	9.6	○
		下り(反)	8.3	○
トンネル A	板廊下—土	全体	2.5	○
		上り(測)	3.4	○
		下り(反)	1.6	○
	畳—土	全体	12.1	○
		上り(測)	12.6	○
		下り(反)	11.7	○
トンネル B	板廊下—土	全体	1.7	○
		上り(測)	3.3	○
		下り(反)	0.1	×
	畳—土	全体	5.3	○
		上り(測)	2.2	○
		下り(反)	8.3	○

そこでさらに平塚市大神，綾瀬町上土棚，二宮町百合が丘の3カ所について，地表上での測定データの周波数分析を行ってみると，図1の周波数構成が得られた。これで見ると地表での周波数構成は線路構造より明らかに異なっており，線路が地上（盛土）から半地下（切り通し），地下（トンネル）と下っていくにつれて，ピーク

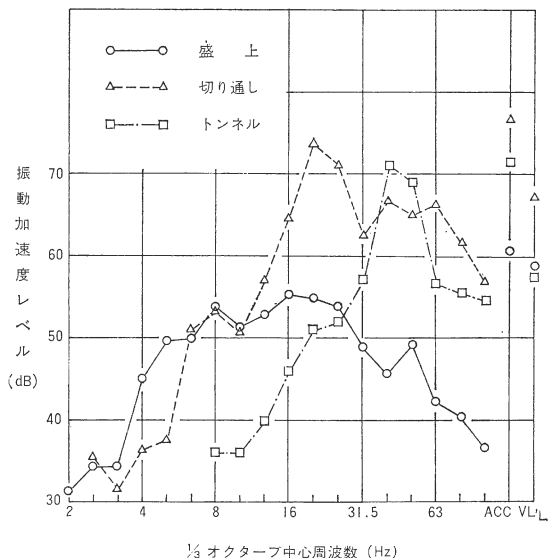


図1 周波数分析結果（地表上）

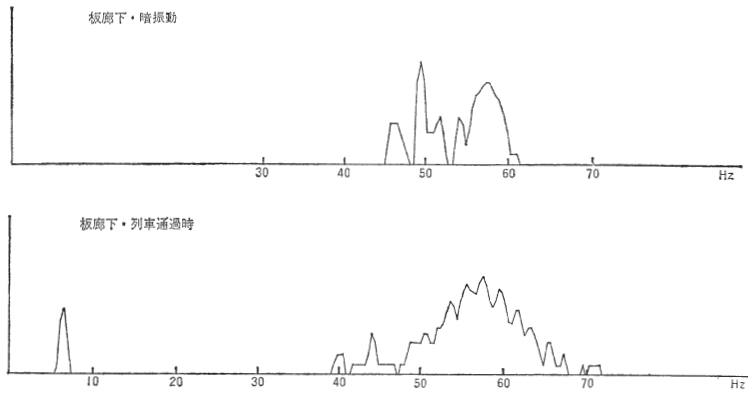


図2 パワースペクトル（盛土）

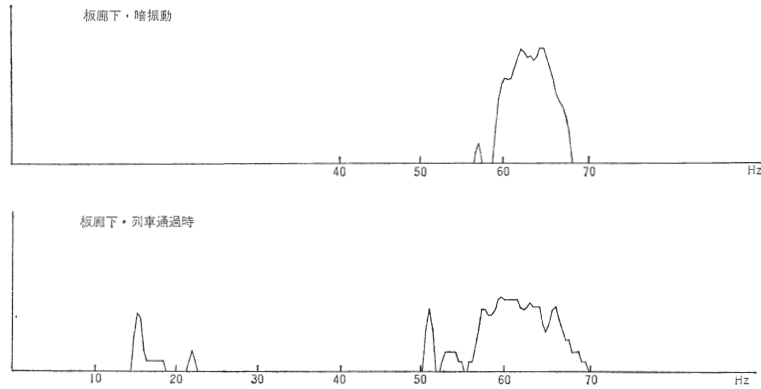


図3 パワースペクトル（切り通し）

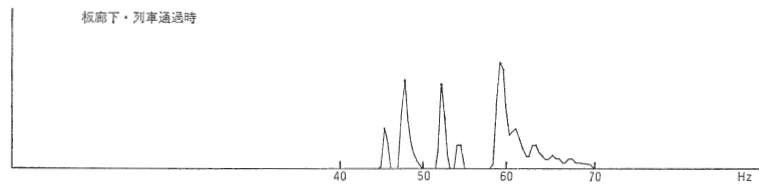


図4 パワースペクトル（トンネル）

が8～16Hzあたりから40～63Hzへと移っていく傾向がみられる。

また、別にデジタル相関計を用いて狭帯域のスペクトル分析を行なった。上に述べた3カ所における板廊下のパワースペクトル分析結果を図2～図4に示す（図4のトンネルの暗振動はレベルが低すぎたため測定ができなかった。また、これらのデータは図1のデータとは別に測定したため若干違った形になっている）。これらの図から

1) 盛土では地表と板廊下の周波数構成が大きく異なる。

2) 切り通し、トンネルの地表上では周波数構成が広帯域に分布している。

3) 板廊下上では、切り通しはトンネルよりむしろ盛土に近い周波数構成をとっている。

4) 板廊下においては63Hz前後に固有振動数の一つがくるものと考えられる。

また、別に地表上と比較してみると31.5Hz以下においてはあまり増加がみられず40Hz以上で地表との差が顕著になっているが、これは家屋のローパスフィルター特性を考えるとうなずける結果である。

（以下p. 15へ）

(p. 8 よりつづく)

4. ま と め

以上のように、新幹線の振動は今回調査したすべての場所で住居地域夜間の規制基準値 (0.1mm/s) を越えており (ここで規制基準値は神奈川県公害防止条例に定める工場事業場から発生する振動の規制基準値を準用した。条例では振動速度 (mm/s) を測定単位としているため、これを振動レベルに換算して基準値とした)、今後さらに多くの被害が予想されるので早急な対策が望まれる。

対策面については盛土と切り通し、トンネルとは別個の考え方が必要であるように思われる。切り通し、トンネルではその周波数構成が地下鉄振動とよく似ており¹¹⁾、その方面の研究が参考になる。盛土の対策としては表面波成分を除去する処置を施す必要があろう。

いずれにしても、振動公害は発生源で処置することが根本的対策となるので、国鉄当局の今後の努力に期待したい。

なお、本報告の一部は日本響学会 春季研究発表会音 (1976) において発表した。

一 参 考 文 献 一

- 1) 神奈川県公害センター：新幹線騒音振動調査報告書，騒音振動対策 No. 17, 1976。
- 2) 神奈川県公害センター：鉄道騒音振動調査報告書，騒音振動対策 No. 15, 1975。
- 3) 宮城県公害対策局：東北新幹線騒音等調査報告書，1973。
- 4) F. E. リチャート他「土と基礎の振動」pp. 270—282, 鹿島出版会，東京，1975。
- 5) 斉藤 二郎 他：地盤振動と対策について (第1報—第3報)・大林組技術研究所報，No. 8, 9 & 11, 1974—1975。
- 6) 時田保夫他：建屋の振動増幅について。音学講論集 (秋季)，pp. 499—500, 1971。
- 7) 中川 武夫 他：新幹線による家屋振動。音学講論集 (秋季)，pp. 525—526, 1975。
- 8) T. Shibata, H. Matsuhisa: The characteristics of the vibration caused by the high-speed railways. inter-noise 75, pp. 113—116, 1975。
- 9) 山原 浩：地盤の振動とその伝搬。音響技術，No. 2, pp. 51—59, 1972。
- 10) 小林芳正「建設における地盤振動の影響と防止」pp. 96—98, 鹿島出版会，東京，1975。
- 11) T. Kazamaki, T. Watanabe: Reduction of solid borne sound from a subway, inter-noise 75, pp. 85—92, 1975。