

鉄道車両を振動源とする環境振動の実測と予測

成 瀬 治 興

Measurement and Prediction of the Environmental Vibration caused by passing railway rolling stock

Haruoki NARUSE

This study is concerned with the vibrations from sources such as urban traffics, manufacturing plant operations, and construction sites. This type of vibrations has a feature of small amplitudes with relatively high frequencies. It may, however, become a public nuisance to our society, in other words, vibration pollution.

This paper describes the results of field surveys of such vibration pollution which were measured at railroad-side areas. The Quantification theory by Hayashi was applied to the data to obtain significant attributes to the propagating characteristics. The equations are proposed for estimating the vibration level in the surrounding sites of railroad by the stastical approach.

The comparison was made between the observed values from fields and the predicted values through the Quantification theory. It is found that the predicted values fit to the measured values well.

1. はじめに

交通機関のうち、鉄道を振動源とする環境振動についての研究は、鉄道による家屋振動について考察した Mallock¹⁾が最初であるとされており、その周波数は10~15 Hzの範囲で、加速度が1 galで体感できること、4~5 galでは不快であることを見出している。

その後、日本でも、後藤²⁾によって、鉄道車両による(建物加速度/地盤加速度)の値は2~3位であることが示されるなど、多くの研究が報告されているが、特に、新幹線沿線での振動については、立松³⁾が、新幹線による振動は20Hz前後の振動が地盤に最も良く伝達しており、これは車両などが順次移動することと関係があること、また、40~80Hzの振動も比較的良く伝達しているが、これは高架橋や桁などの振動と関係があることなどを推論し、軌道からの距離が大きくなるに従って、高周波が減衰し、低周波が残る傾向を示し、30m程度離れると、主として20Hz前後の振動が卓越するとしている。

吉岡⁴⁾も同様に振動のスペクトルが車軸配置と密接な関係を有し、各線スペクトルは列車速度に比例して出現することを報告している。

江島⁵⁾は東海道・山陽新幹線の高架橋区間の振動レベルの実測値から多変量解析によって各種影響要因(列車速度、構造条件、基礎・地盤条件、距離減衰、地形条件

など)を含む予測を行い、予測回帰式を提案している。

その予測式は豊富なデータと詳細な検討に基づいたものであるが、振動発生源側の検討が主であり、周辺地盤についての検討は十分とはいえない。

本報では、新幹線沿線での環境振動の実測結果から現状の把握を行うとともに、沿線での振動レベルへの影響要因と考えられる変量に対して要因分析(林の数量化I類)を行い、地盤要因を含めない場合と含めた場合についての振動レベルの予測式を提案している。

また、地盤柱状図、N値などの地盤要素が既知の場合について、卓越周波数(実測)と一次固有振動数(推定)との比較などについて種々考察した結果について報告する。

2. 沿線での環境振動の実測

2.1 実測・解析方法

測定対象振動源としては、鉄道車両のうち列車通過時の振動レベルが比較的安定していると考えられる新幹線車両を選んでいる。

調査地点は、図1に示す60調査地点であり、これらの地点は既往の調査資料⁶⁾を参考にして選定している。

各調査地点での測定点は、道路、空地で出来るだけ見通しの良いところを選んでおり、軌道の上下線の中央の

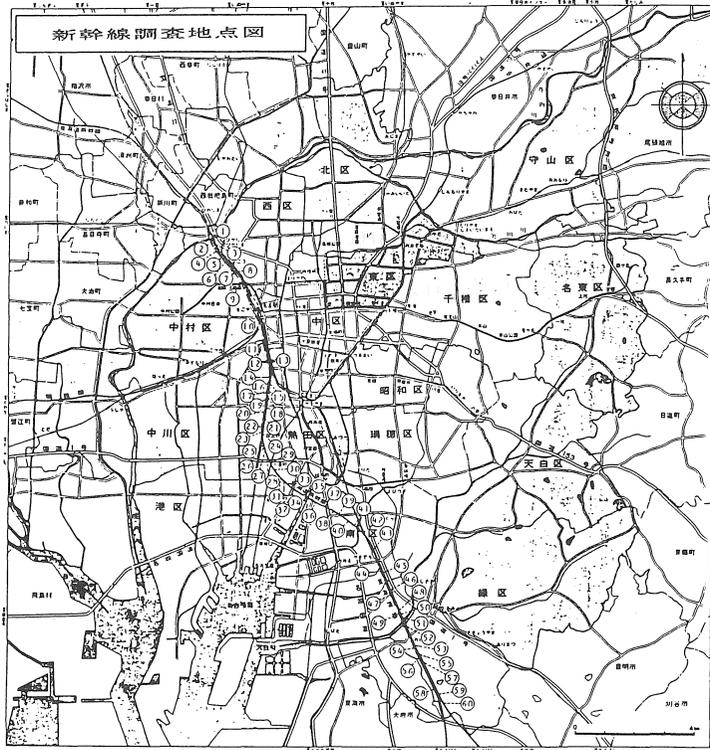


図1 調査地点図(名古屋市内)

直下点から線路に直角に12.5m離れた地点, 25mの地点, 50mの地点の3測定点で同時測定を行っている。

測定点は, 調査地点の状況によって多少異なることもあるが, 12.5m地点(9m~13m), 25m地点(25m~33m), 50m地点(50m~66m)と()内の範囲に収まっている。

測定は, 主に鉛直方向の振動レベルについて行っており, 振動レベル計からの出力をレベルレコーダに記録し, 列車毎にその最大値を読み取っている。

調査地点のうち, その地点あるいは近傍の地盤柱状図が得られている24調査地点については, 地盤要素も含めて検討を行っており, 特に, そのうち11調査地点については, データレコーダに収録したデータをもとに, FFT解析を行い, それぞれの測定点でのパワースペクトル, 伝達関数などを求めている。

図2に実測全般を通じての測定および解析のブロックダイアグラムを示す。

また, 沿線での振動レベルの予測を行うための影響要因として採用した調査項目に関するデータを調査地点毎に収集し, まとめている。

なお, 調査地点での列車速度は, 列車が調査地点を通過するに要する時間(s)を計測した結果から算出して

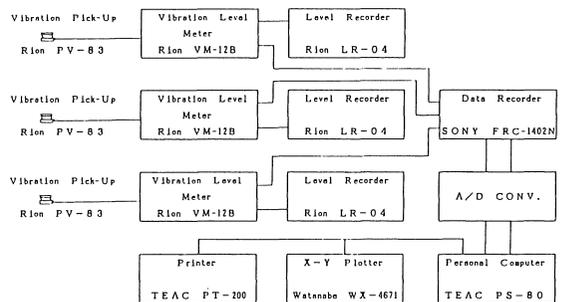


図2 測定・解析のブロックダイアグラム

る。

2.2 実測結果と検討

2.2.1 列車速度と振動レベル

全調査地点での測定結果から得られた列車速度と振動レベルの関係を12.5m地点での場合について図3に示す。

図3では, 調査地点毎の列車速度以外の影響要因が含まれているため, 相関はあまり良くないことが認められる。

しかし, 各々の調査地点について, 個々に列車速度と

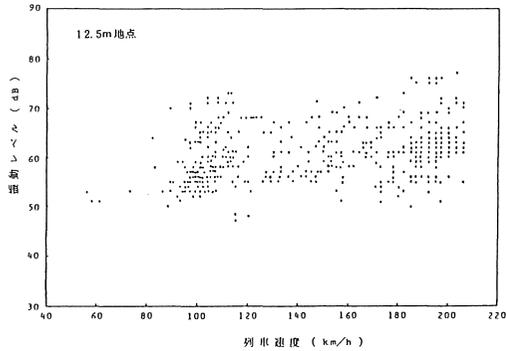


図3 列車速度と振動レベル (全調査地点)

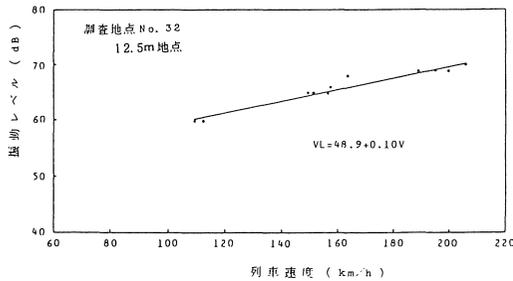


図4 列車速度と振動レベルの相関の一例

振動レベルの関係を求めると、殆どの調査地点でかなり良い相関が認められ、その一例を図4に示す。

ただし、列車速度が50km/h以上変化する17調査地点のデータのみを対象としており、そのデータから、全般に、非常に良好な直線的相関が認められること、切ペンの値は各々の調査地点で異なった値をとるが、その勾配は概ね0.05~0.11の間に収まることが求められる。

このことから、列車速度が10km/h増すと、振動レベルは0.5~1.1dB増加することが明らかとなる。

2.2.2 沿線での振動レベルと距離減衰

沿線での振動レベルの距離減衰測定結果の一例を図5(a)(b)に示す。

図5(a)に振動レベルの実測値の距離減衰を示し、図5(b)に12.5m地点での振動レベルの実測値を0dBとした相対レベルで表した距離減衰を示している。なお、図5(b)中に、振動レベルの距離減衰の平均を太実線で示す。

それぞれの調査地点での振動レベルの距離減衰は、種々の傾向を示し、一定の傾向を示さないが、全調査地点における実測結果から求められた12.5m地点での振動レベルの平均値は60.9dB (標準偏差は5.58dB)、25m地点では57.5dB (標準偏差は5.18dB)、50m地点では54.6dB (標準偏差は4.36dB)であり、振動レベルの距離減衰の平均は、12.5m地点から25m地点までが3.4dB、

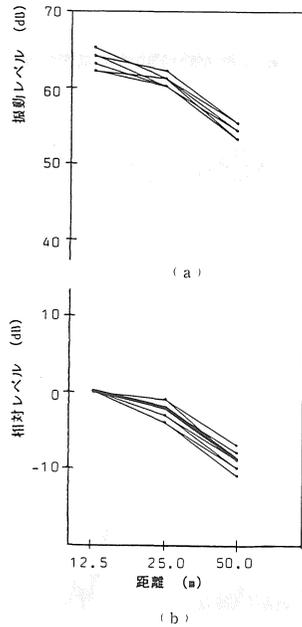


図5 振動レベルの距離減衰測定結果の一例

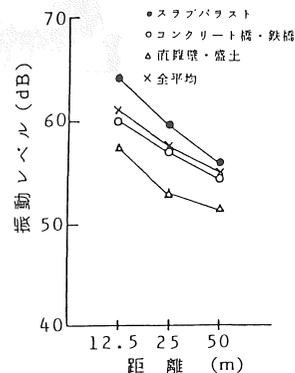


図6 軌道支持構造別の振動レベル距離減衰

25m地点から50m地点までが2.9dBとなることから、ほぼ3dB/D.D. (倍距離)の距離減衰傾向を示すことがわかる。

全調査地点を軌道支持構造別にみると、直擁壁は8点、盛土(平担も含む)は13点、コンクリート橋は10点、鉄橋は12点、スラブバラスト(コンクリート高架橋)は17点であるが、直擁壁と盛土、コンクリート橋と鉄橋、スラブバラストの3つに分けた場合の軌道支持構造別の距離減衰(平均)を図6に示す。

図6から、振動レベルの実測値の平均はスラブバラストが最も大きく、次いでコンクリート橋と鉄橋、直擁壁

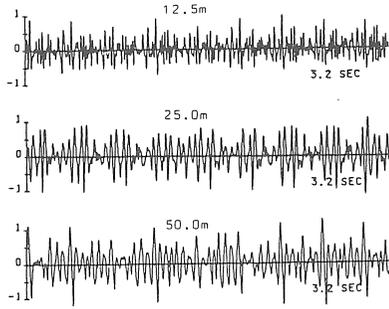


図7 原波形の一例 調査地点 No. 55
列車速度 189km/h

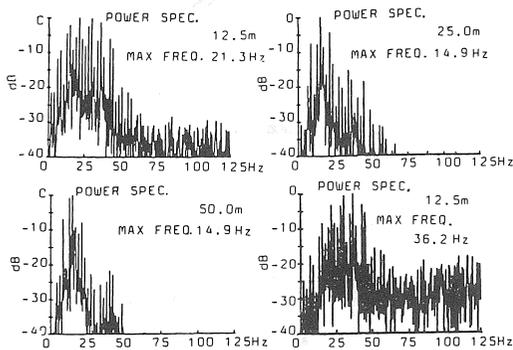


図8 パワースペクトル 調査地点 No. 55
の一例 列車速度 189km/h

と盛土の順となっている。

また、距離減衰についてみると、あまり大きな差異はないものの、スラブバラストが最も大きな減衰（4 dB/D.D.）を示し、コンクリート橋と鉄橋、直擁壁と盛土はやゝ小さな減衰（3 dB/D.D.）となっていることが認められる。

2.2.3 沿線での卓越周波数

FFT 解析を行っている11調査地点での振動加速度原波形（振動感覚補正特性を含む）の一例を図7に示す。なお、縦軸は任意スケールである。

また、パワースペクトル（振動感覚補正特性を含む）の一例を図8に示す。なお、縦軸は卓越周波数（パワーが最大値を示す周波数）でのパワーを0 dB とする相対レベルで示している。また、平坦特性の場合のパワースペクトルを図8中の右下の図に示す。

図7、図8から距離が遠くなるに従って高周波成分が減衰し、低周波成分が卓越することが認められる。

FFT 解析を行った11調査地点についての解析結果から、卓越周波数は6～44Hzにおさまっていることを確

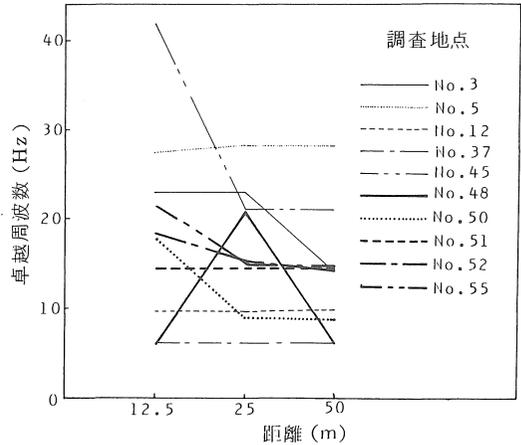


図9 距離による卓越周波数の変化

認している。

また、殆どの調査地点の周波数分析結果から、12.5m 地点ではいくつかのピークが認められるが、遠隔の測定点ではピークは低周波の1つとなる場合が多く、高周波域のピークは低周波域のピークよりも良く減衰する傾向を示しており、高周波成分の方が距離減衰が大きいことを示している。

しかしながら、遠隔の測定点で高周波域のピークが発生し、卓越する場合もあり、地盤中の振動伝播の複雑さを如実に表している。

卓越周波数の距離による変化を図9に示す。

図9から、遠隔の測定点で高周波域のピークが発生し、卓越する2調査地点を除くと、全て、卓越周波数が距離とともに低くなるか、殆ど変化しないことが認められ、その内訳は、卓越周波数が距離とともに低くなるのは5調査地点、殆ど変化しないのは4調査地点である。

3. 沿線での振動レベルの予測

ここでは、新幹線沿線での振動レベルの実測結果に基づいて要因分析を行い、沿線での振動レベルの予測式を提案するとともに、実測値と予測値との対応を求めている。

本報では、軌道支持構造、軌道、地表面の状態などの定性的要因の観察を行い、また、列車速度、軌道高、軌道からの距離、表土層厚、平均N値、支持層までの深さ、N値が急変する深度などの定量的要因を定性化することによって、表1のような分類（各カテゴリ毎の度数分布を考慮している）を試み、それに従って要因分析（林の数量化理論I類）を行っている。

即ち、外的基準である振動レベルに対する種々の影響

表1 影響要因の分類

CATEGORY NO.	ITEM NO.	1				
		1	2	3	4	5
1	列車速度	110km/h以下	111~160km/h	161~190km/h	191km/h以上	—
2	軌道	バラスト有り	無道床	バラストなし	—	—
3	軌道支持構造物	直擁壁	盛土	コンクリート橋	鉄橋	スラブバラスト ⁴
4	軌道高	5m以下	6m	7m以上	—	—
5	地表面の状態	アスファルト ¹	土	—	—	—
6	表土層厚	0.50m未満	0.50~0.90m未満	0.90m以上	—	—
7	N値の平均 ²	7.0未満	7.0~12.0未満	12.0以上	—	—
8	支持層までの深さ	9.0m未満	9.0~12.0m未満	12.0m以上	—	—
9	N値 ³	19.0未満	19.0~33.0未満	33.0以上	—	—
10	深さ ³	5.0m未満	5.0~11.0m未満	11.0m以上	—	—
11	距離	9m~13m	25m~33m	50m~66m	—	—

¹: コンクリート、タイルを含む
²: N値の平均、支持層までの深さは、N=30のところまで取る
³: N値・深さは、N値が急激に変化するところ取る
⁴: スラブバラストとは、コンクリート高架橋のことである。

要因の最適数値（カテゴリースコア）を求めることにより、定量的把握を図り、沿線での振動レベルの予測を行うものである。

予測式は下式ようになる。

$$Y_i = Y + A_1X_{i1} + A_2X_{i2} + \dots + A_jX_{ij} + \dots + A_nX_{in}$$

(ここに、i=1, 2, …, m, m: サンプル数)

n: カテゴリー変数

Y_i: 目的変数（外的基準）

Y: 目的変数平均値

A_j: カテゴリー変数への最適重みづけ係数（カテゴリースコア）

X_{ij}: カテゴリー変数（0または1のダミー変数）

なお、地盤要因を含めない場合（全調査地点の実測結果をもとにした要因分析）と地盤要因を含める場合（地盤柱状図、N値などの地盤要素が既知の24調査地点での実測結果をもとにした要因分析）について解析を行っている。

3.1 地盤要因を含めない場合の予測

まず、距離要因を含めない場合についての要因分析を行っており、12.5m地点での重相関係数は0.62、25m地点での重相関係数は0.74、50m地点での重相関係数は0.69を得ている。

重相関係数でみる限り、25m地点での振動レベルの予測については十分な結果が得られているものと考えられる。

距離要因を含めた場合についての要因分析を整理し、表2に示す。

表中、カテゴリースコアを棒グラフで示し、その数値を横に示す。また、レンジと（ ）内に偏相関係数を示

表2 要因分析結果（地盤要因を含めない場合）

要因	範 疇	スコア					サンプル数		
		-5	-4	-3	-2	-1		0	1
列車速度	1 0~110 km/h	-----					-1.73	654	
	2 111~160 km/h	-----					-0.67	555	
	3 161~190 km/h	-----					(3.56) 1.52	378	
	4 191~ km/h	-----					(0.33) 1.84	504	
軌道	1 バラストなし	-----					0.82	292	
	2 無道床	-----					(1.03) 0.29	296	
	3 バラストあり	-----					(0.09) -0.22	1503	
軌道支持構造物	1 直擁壁	-----					-4.00	288	
	2 盛土	-----					-1.39	371	
	3 コンクリート橋	-----					-1.81	366	
	4 鉄橋	-----					(6.78) 1.26	417	
	5 スラブバラスト	-----					(0.50) 2.78	650	
軌道高	1 0~5m	-----					-1.99	506	
	2 6~7m	-----					(3.61) 0.71	879	
	3 7~ m	-----					(0.23) 0.54	706	
地表面の状態	1 アスファルト	-----					(0.43) 0.05	1830	
	2 土	-----					(0.03) -0.38	261	
距離	1 9~13 m	-----					3.28	653	
	2 25~33 m	-----					(6.03) -0.28	731	
	3 50~66 m	-----					(0.53) -2.75	707	
平均値	57.2 (dB)	-----					重相関係数 0.72	サンプル数 2091	

() 内はレンジ
 () 内は偏相関係数

す。

一般にレンジと偏相関係数は類似の傾向を示すとされ、外的基準に対する各要因の重みを示していることから、各影響要因の沿線での振動レベルに対する影響度の大きさを知ることができる。

列車速度の要因についてみると、列車速度が約160km/hまではスコアが増加するが、それ以上になると、横這いの傾向が認められる。

軌道支持構造の要因については、直擁壁、コンクリート橋、盛土、鉄橋、スラブバラストの順にスコアが増加している。

軌道高の要因については、高さが7mまではスコアが

増加しているが、7 m 以上になると横這いの傾向が認められる。

いずれにしても、振動レベルに対する影響度の大きさは、距離、軌道支持構造、列車速度、軌道高、軌道、地表面の状態の順であり、軌道、地表面の状態は殆ど影響を与えないことが明確に示されている。

重相関係数は0.72と比較的大きな値を示し、全調査地点での全ての実測値による振動レベルの平均は57.2 dB、標準偏差は5.64dBである。

地盤要因を含めない場合の沿線での振動レベルの予測式は、表2の Kategor スコアと平均値を与えて、次式のようになる。

$$\begin{aligned}
 VL = & 57.2 - 1.73X_{11} - 0.67X_{12} + 1.52X_{13} \\
 & + 1.84X_{14} + 0.82X_{15} + 0.29X_{16} - 0.22X_{17} \\
 & - 4.00X_{18} - 1.39X_{19} - 1.81X_{110} + 1.26X_{111} \\
 & + 2.78X_{112} - 1.99X_{113} + 0.71X_{114} \\
 & + 0.54X_{115} + 0.05X_{116} - 0.38X_{117} \\
 & + 3.28X_{118} - 0.28X_{119} - 2.75X_{120}
 \end{aligned}$$

(ここに、 $i=1, 2, \dots, m$, m : サンプル数)

X_{ij} : カテゴリー変量 (0 または 1 のダミー変数)

j : 表2のカテゴリー (表の上から順に番号で示す)

3.2 地盤要因を含めた場合の予測

ここでは、沿線の振動レベルに対する影響度の小さい軌道と地表面の状態を影響要因から除いた解析を行っている。

また、軌道支持構造自体を間接的な振動源として考える方が率直な把握ができると思われるので、軌道支持構造を直擁壁と盛土(線振動源)、コンクリート橋と鉄橋(線振動源に準ずる)、スラブバラスト(等間隔に並んだ点振動源)の3つのカテゴリーに分け、軌道高も7 m未滿と7 m以上の2つのカテゴリーに分けている。

地盤の要因としては、表土層厚、支持層を $N=30$ とした場合の平均 N 値及び支持層までの深さ、 N 値が急変する (N 値が急に15~20大きくなる) 場所の深度とその深さでの N 値の5つの要因を選び、それぞれの度数分布を考慮して、全て、3つのカテゴリーに分けている。

採用した5つの地盤要因について行った要因分析結果から、偏相関係数と重相関係数についてまとめ、図10に示す。

図10では、 N 値が急変する深度の場合が最も相関が良い(重相関係数が最も大きい値を示す)結果が示されている。

N 値が急変する深度を地盤要因として選んだ場合の偏相関係数は、距離の要因が最も大きく、次に N 値が急変する深度、軌道高、列車速度、軌道支持構造の順になっ

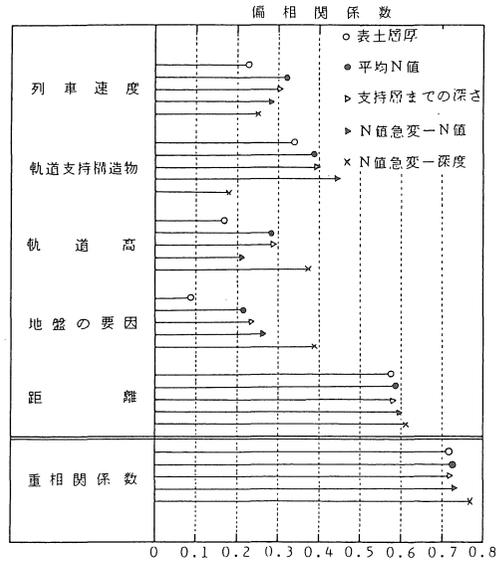


図10 偏相関係数と重相関係数の比較 (5地盤要因)

表3 要因分析結果 (地盤要因を含めた場合)

要因	範 畴	スコア					サンプル数						
		-5	-4	-3	-2	-1		0	1	2	3	4	
列車速度	1 0~110 km/h												234
	2 111~160 km/h												169
	3 161~190 km/h	(2.24)					0.51						193
	4 191~	(0.25)					0.95						216
軌道支持構造	1 直擁壁 盛土												214
	2 コンクリート橋 鉄橋	(2.11)					0.28						400
	3 スラブバラスト	(0.19)					0.83						198
軌道高	1 7m未滿	(3.26)					0.28						468
	2 7m以上	(0.37)					1.88						344
深 度	1 5.0m未滿												320
	2 5.0~11.0m未滿	(3.95)					2.00						268
	3 11.0m以上	(0.40)											224
距 離	1 9~13m												262
	2 25~33m	(6.74)					0.15						286
	3 50~66m	(0.61)											264
平均値	57.0 (48)	重相関係数		0.77	サンプル数		812						

() 内はレンジ
() 内は偏相関係数

ている。

ここで、これまでの要因分析結果で常に大きな偏相関係数を示してきた軌道支持構造の要因が、極端に低い値を示していることがわかる。

N 値が急変する深度を地盤要因に採用した場合の要因分析結果をまとめ表3に示す。

沿線での振動レベルの予測式は、表3のカテゴリースコアと平均値を与えて、次式のようになる。

$$\begin{aligned}
 VL = & 57.0 - 1.29X_{11} - 0.01X_{12} + 0.51X_{13} \\
 & + 0.95X_{14} - 1.28X_{15} + 0.28\bar{X}_{16} + 0.83\bar{X}_{17} \\
 & - 1.38X_{18} + 1.88X_{19} - 0.32X_{110} + 2.00X_{111} \\
 & - 1.95X_{112} + 3.00X_{113} \\
 & + 0.15X_{114} - 3.14X_{115}
 \end{aligned}$$

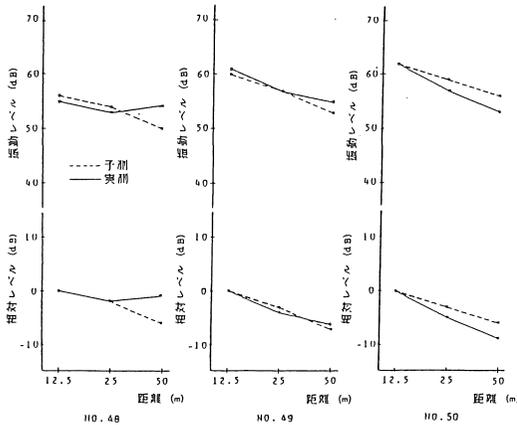


図11 振動レベルの距離減衰の予測と実測との対応の例

(ここに、 $i=1, 2, \dots, m$, m : サンプル数)
 X_{ij} : カテゴリー変量 (0 または 1 のダミー変数)
 j : 表 3 の カテゴリー (表の上から順に番号で示す)

重相関係数は0.77と、比較的高い値であり、沿線での振動レベルの予測にほぼ十分な結果が得られている。

3.3 沿線での振動レベルの実測値と予測値との対応

地盤要因を含めた場合の予測式に、それぞれの調査地点でのカテゴリーを反応させて得られた振動レベルの予測値の距離減衰と実測値の距離減衰の対応の例を図11の上図に示す。また、12.5m 地点での振動レベルを 0 dB とした場合の予測値の距離減衰と実測値の距離減衰を図11の下図に示す。

振動レベルの予測値は、全ての調査地点(24調査地点)で実測値とほぼ 5 dB 以内で合っており、特に、6 調査地点については、2 dB 以内で良く合っている。

距離減衰については、予測値は、調査地点によって多少の差異があるものの、ほぼ 3 dB/D.D.の距離減衰を示しており、実測値の距離減衰との対応が良好な調査地点は、ほぼ 3 dB/D.D.の距離減衰を示す地点であることがわかる。

実測値の距離減衰との対応が良好な (2 dB 以内で合う) 調査地点は11調査地点である。実測値の距離減衰との対応があまり良くない(5 dB 以上の差がある)調査地点は4 調査地点である。

また、地盤要因を含まない場合の要因分析による予測値と実測値の対応を図12に、地盤要因を含めた場合(地盤要因としてN値が急変する深度を採用した場合)の予測値と実測値との対応を図13に示す。

図12、図13は縦軸に予測値 VL^* を、横軸に実測値 VL をとっており、何れの場合も、ほぼ良好な相関を示しているものの、予測値の幅は、実測値の幅に対し、かなり小さくなっていることが認められる。

このことは、要因分析による予測は、実測値が全調査地点での平均値に近い場合の予測には適しているが、平均値から外れている場合の予測には、あまり適していないことを示している。

以上の検討結果から、調査地点の種々の影響要因についての要因分析結果による予測は、その調査地点での振動レベルを推定するには有用であるが、地盤要因の影響を多く受けるとされる振動レベルの距離減衰を推定するには、地盤要因の定量化などがより厳密に行われな限り不十分であると考え。また、地盤柱状図が得られ

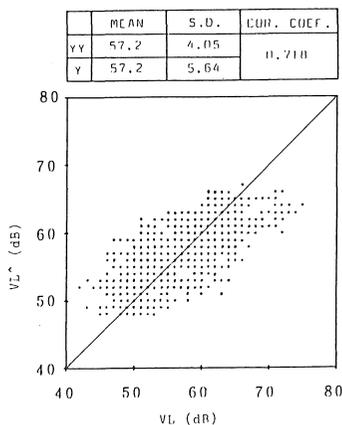


図12 予測値と実測値 (地盤要因を含まない場合)

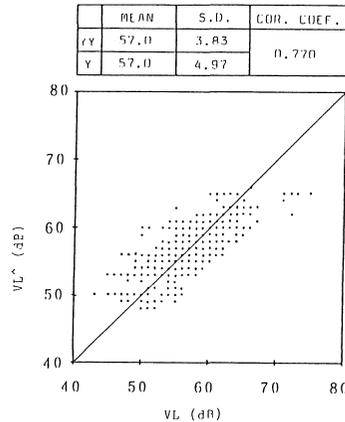


図13 予測値と実測値 (地盤要因を含めた場合)

た調査地点が少ないこともあり、結論は今後の十分なデータの蓄積によって出すべきであると考え。

4. 卓越周波数と一次固有振動数の比較

地盤柱状図、N値などが得られており、かつ、FFT解析を行っている11調査地点の一次固有振動数を以下のように推定し求めている。

参考のため、調査地点の環境振動に影響すると考えられる要因についてまとめ表4に示す(ただし、地盤要因などは除いている)。

最も単純な地盤の一次固有振動 F_p [Hz] は、表層の層厚 H と表層の S 波速度 V_s とにより、次式のように表される⁷⁾。

$$F_p = V_s / 4H$$

名古屋地盤の土質指標から求められた S 波速度に関する推定式⁸⁾によれば、地盤柱状図が得られている調査地点での地表の S 波速度は、次のように推定することができる。

$$V_s = 98.0N^{0.170}H^{0.140} \begin{bmatrix} 1.00(\text{沖積層}) \\ 1.29(\text{洪積層}) \\ 1.66(\text{第三紀層}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.00(\text{粘土}) \\ 0.87(\text{シルト}) \\ 0.84(\text{砂}) \\ 0.98(\text{砂れき}) \end{bmatrix}$$

ここに、 V_s : 推定 S 波速度 [m/s]

N : N 値, H : 深度 [m]

表層の層厚を $N=30$ となるところまでと考え、表層の S 波速度は $N=30$ となるところまでの平均 N 値に関係すると考えた場合(深度は平均 N 値を示す深度とする)に、前記推定式によって S 波速度を推定し、表層の一次固有振動数を上式により求め、表5に示す。

表5 一次固有振動数と卓越周波数 (平均 N 値)

調査地点 NO	平均 N 値	深度 (m)	岩質区分	伝播速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	上層の厚さ (m)	1次固有振動数 (Hz)	卓越周波数 (Hz)
3	14	1.5	粘土	160.2	1.81	15.3	2.6	14.4
5	14	3.1	シルト	151.0	1.81	12.1	3.1	28.1
10	12	3.0	砂	139.8	1.89	10.9	3.2	-
12	15	3.2	砂	147.8	1.90	14.3	2.6	9.8
13	15	3.2	砂	147.8	1.90	14.3	2.6	-
17	7	3.7	砂れき	153.5	1.96	9.0	4.2	-
21	12	3.7	シルト	149.7	1.80	11.0	3.4	-
22	9	3.0	砂	134.1	1.88	11.2	3.0	-
23	6	6.5	シルト	141.9	1.75	10.0	3.5	-
29	14	5.4	砂	153.9	1.88	9.2	4.2	-
35	9	7.2	砂	146.1	1.85	11.4	3.2	-
36	14	2.8	砂れき	168.6	2.01	7.8	5.4	14.4
37	2	7.2	シルト	118.0	1.69	8.0	3.7	6.4
39	3	1.5	シルト	109.1	1.76	13.1	2.1	-
41	8	4.7	粘土	164.7	1.74	7.4	5.6	-
43	8	2.2	シルト	130.6	1.79	5.2	6.3	-
45	7	2.5	砂	127.0	1.87	3.9	8.2	21.0
47	1	0.5	粘土	95.4	1.73	14.1	1.7	-
48	2	1.4	シルト	98.6	1.74	14.9	1.7	6.1
49	6	1.4	砂	116.3	1.88	16.8	1.7	-
50	10	3.0	砂	135.8	1.88	5.9	5.8	8.8
51	20	2.7	砂	152.0	1.92	7.3	5.2	14.4
52	11	7.7	粘土	183.3	1.74	14.4	3.2	14.4
55	17	3.8	粘土	181.6	1.79	8.3	5.5	14.9

表5の一次固有振動数と卓越周波数との間には、大きな差が認められる。

そこで、 N 値が急変する深度とその深度における N 値の値をもとに、前記推定式によって S 波速度を推定し、表層厚をその深度までの厚さと考えて、一次固有振動数を求め、表6に示す。

表6の一次固有振動数と卓越周波数は、調査地点によっては、近い値を示しており、環境振動を対象とする場合には、 N 値が急変するところまでを表層厚として扱うと良いものとする。

しかしながら、特に、軌道支持構造の近傍では、振動源自体(列車、軌道、軌道支持構造などを含む)の全ての固有振動数の影響を含んだ周波数成分が卓越し、表層

表4 調査地点の概要

地点 NO	列車速度 (km/h)	軌道構造物	軌道支持構造物	軌道高 (m)	地表面の状態*
3	110-130	バラストなし	直 掘 壁	5	ア ア ア
5	100-120	バラストなし	スラブバラスト	6	ア ア ア
12	90-110	無道床	鉄 橋	7	ア ア ア
13	110-130	無道床	鉄 橋	7	ア ア ア
17	140-160	バラストあり	鉄 橋	6	コ ア コ
21	130-160	バラストなし	盛 土	6	ア ア ア
22	140-200	バラストなし	盛 土	6	ア 土 土
23	150-180	バラストあり	鉄 橋	6	ア ア ア
29	180-190	バラストなし	鉄 橋	7	ア ア コ
35	170-210	バラストなし	コンクリート橋	10	ア ア ア
36	180-200	バラストなし	スラブバラスト	13	ア ア ア
37	150-200	バラストあり	スラブバラスト	13	ア ア ア
39	170-200	バラストあり	鉄 橋	19	ア ア ア
41	170-200	無道床	鉄 橋	8	ア ア ア
45	170-200	バラストなし	平 坦	0	ア ア ア
47	180-210	バラストなし	直 掘 壁	5	ア ア ア
48	170-200	バラストなし	直 掘 壁	6	ア ア ア
49	180-200	無道床	鉄 橋	4	ア ア ア
50	160-200	無道床	鉄 橋	4	ア ア ア
51	180-200	バラストなし	コンクリート橋	6	ア ア ア
52	170-200	バラストなし	スラブバラスト	5	ア ア ア
55	180-200	無道床	鉄 橋	6	ア ア タ

* ア: アスファルト タ: タイル
コ: コンクリート

表6 一次固有振動数と卓越周波数 (N値が急激に変化する場合)

調査地点 NO	N 値	深度 (m)	岩質区分	伝播速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	1次固有振動数 (Hz)	卓越周波数 (Hz)
3	18	1.7	粘土	169.3	1.82	2.4	14.4
5	18	3.3	砂	152.4	1.90	1.5	28.1
10	45	11.4	砂	202.6	1.91	4.4	-
12	19	3.5	砂	154.8	1.90	1.1	9.8
13	19	3.5	砂	154.8	1.90	1.1	-
17	36	9.2	砂	190.8	1.90	5.2	-
21	36	11.3	砂	194.8	1.89	4.3	-
22	32	11.3	砂れき	222.9	2.00	4.9	-
23	16	7.3	シルト	168.0	1.78	5.8	-
29	25	6.7	砂	173.5	1.89	6.5	-
35	47	11.8	砂	204.8	1.91	4.3	-
36	27	3.2	砂れき	190.0	2.03	14.8	14.4
37	38	8.3	砂れき	222.2	2.02	6.7	6.4
39	16	11.5	砂	170.1	1.85	3.7	-
41	18	5.8	砂	161.6	1.88	7.0	-
43	30	5.2	粘土	207.5	1.80	10.0	-
45	19	3.3	砂	153.8	1.90	11.7	21.0
47	42	14.6	砂れき	239.7	2.00	4.1	-
48	22	14.4	砂	183.8	1.86	3.2	6.1
49	16	4.9	砂	155.7	1.88	7.9	-
50	43	6.4	砂れき	220.9	2.03	8.6	8.8
51	44	3.3	砂れき	207.0	2.06	15.7	14.4
52	25	2.5	砂	156.6	1.93	15.7	14.4
55	28	1.3	砂れき	174.0	2.07	3.5	14.9

および支持層の地盤の一次固有振動数が現われない場合も多いと思われ、これに関しては、今後更に検討すべき課題であると考えます。

5. おわりに

本報では、新幹線沿線での環境振動の実測結果から現状の把握を行うとともに、沿線での振動レベルへの影響要因と考えられる変量に対して要因分析（林の数量化 I 類）を行い、振動レベルの予測式の提案を行った。

また、地盤柱状図、N値などの地盤要素が既知の場合について、卓越周波数（実測）と一次固有振動数（推定）との比較などについて種々考察した結果について報告した。

おわりにあたり、終始、御懇篤なる御教示を賜った武蔵工業大学教授渡辺隆博士、信州大学教授松井昌幸博士、名古屋工業大学教授宮野秋彦博士に深甚の謝意を表するとともに、貴重な資料を提供して頂いた名古屋市公害対策局の関係各位に深謝の意を表す。また、測定・解析に多大な協力を頂いた卒論生諸君に感謝します。

参考文献

- 1) Mallock, H. R. A.: Vibration produced by the working of the traffic on the Central London Railway, Bd. Trade Rep. Cd. 951.
- 2) 後藤尚男：交通車による振動障害について，土木学会関西支部騒音振動委員会，振動資料 No. 5，昭41. 6
- 3) 立松俊彦：新幹線騒音・振動の防止，騒音制御，Vol. No. 3，昭52. 8
- 4) 吉岡修：新幹線鉄道の振動について，第1回環境振動シンポジウム「交通機関と環境振動」，1983. 2
- 5) 江島淳：「地盤振動と対策」基礎・法令から交通・建設振動まで，集文社
- 6) 名古屋市公害対策局：名古屋市の騒音，新幹線鉄道騒音振動編（昭和56年度），昭58. 3
- 7) 小林啓美、瀬尾和太：「振動工学ハンドブック」第8章波動，養賢堂
- 8) 飯田汲事，正木和明：名古屋市における地表のS波速度分析，第11回自然災害科学総合シンポジウム，1974

（受理 昭和62年1月25日）