

新幹線鉄道の鉄橋周辺における騒音予測*

杉山正晴**・奥平文雄**・早川友邦**

1. はじめに

新幹線鉄道の騒音に係る環境基準についての地域の指定は、各地方自治体が行うことになっており、そのうちの鉄橋周辺での地域指定の範囲は、府県により若干の差異はあるが、ほとんどのところで鉄橋先端部から半径600~700 mの円内としている。

ところが、鉄橋周辺は地形が複雑なため、指定地域内における騒音分布については、十分に把握されていないのが現状であるように思われる。したがって、指定地域内における騒音レベルを環境基準値と対比してみようとする場合には、多数の地点における実測値が必要となる。さらに、新幹線鉄道騒音の評価は環境庁の告示によれば、連続する20本の列車のピークレベルを読みとり、そのうちの上位半数のパワー平均で行うことになっているため、現実的には容易なことではない。

そこで筆者らは、岐阜県内に架かる一鉄橋について、その騒音の実態を調査するとともに、騒音の伝播過程において、堤防、家屋、田畑が騒音の減衰に及ぼす影響について調べ、これらの諸要因を考慮した騒音予測式を導き出した。さらに、この予測式を用いて鉄橋周辺の騒音分布をモンテカルロ法でシミュレートしてみたので、これらの結果について報告する。

2. 調査方法

測定地点は図1に示すように、堤防上と田畑、家屋の影響を受けると思われる地点(20地点)とした。

測定は、各測定点で騒音計とレベルレコーダーにより約10本の列車からの騒音のピークレベルを記録する方法によった。また、これと同時にストップウォッチにより列車の通過時間を計り、列車速度を算出した。

次いで、騒音の減衰に影響を与える要因をみるために、必要な事項であると考えられる、

- 1) 軌道中心から測定点までの直線距離
- 2) 軌道中心から測定点までの間の田畑および家屋の

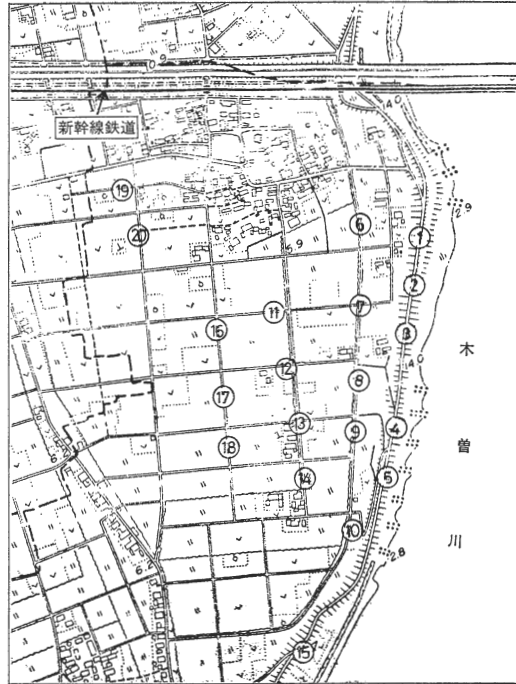


図1 測定地点

占める百分率

- 3) 堤防による伝播の行路差

については地図上から計算により求めた。

3. 調査結果

調査結果の一部を表1に示す。表中の各測定点は、堤防、田畑、家屋等の影響も考慮し、図1から代表的な地点を選んだものである。これらの測定地点のうち、No. 2, 3, 4, 5地点は堤防上である。これらの地点では、鉄橋からの騒音が直接伝播するため、他の測定地点より5~10 dB(A)程度高い騒音レベルを示している。No. 9, 14, 17地点では、周囲が田畑であり、鉄橋からの騒音を

* Prediction of Noise induced from the Iron-bridge constructed on Shinkansen.

** Masaharu SUGIYAMA, Fumio OKUHIRA and Tomokuni HAYAKAWA (岐阜県公害研究所) Gifu Prefectural Research Institute for Environmental Pollution.

表1 騒音調査結果(一部)

測定地点	列車進行方向	騒音レベル dB(A)	列車速度 km/h	距離 m	行路差 m	田畑 百分率 %	家屋 百分率 %
2	上り	64 64 73 76	66 77 164 203	408	0	0	0
	下り	69 68 80 80	78 80 200 200				
3	上り	62 62 72 74	66 77 164 203	511	0	0	0
	下り	69 66 78 78	78 80 200 200				
4	上り	68 68 71 71	166 164 203 203	715	0	0	0
	下り	69 74 74	138 203 200				
5	上り	68 68 71 71	166 164 203 203	816	0	0	0
	下り	69 74 74	138 203 200				
9	上り	62 57 50	200 166 67	725	0.005	70.7	0
	下り	69 57 62 57 66 53	180 147 197 144 185 67				
14	上り	62 61 62 63	166 166 133 197	850	0.001	78.8	0
	下り	60 60 69 67	166 138 200 197				
17	上り	60 61 50	200 155 67	795	0.0005	81.1	0
	下り	65 55 59 52	180 147 197 67				
19	上り	50 49 50 50	158 133 158 153	725	0.0017	42.1	38.6
	下り	51 45 54 58	153 80 209 197				

さえぎるのは堤防のみである。したがって、これらの測定地点では堤防上よりも全般的に低い騒音レベルである。一方、No. 19 地点では、騒音の伝播径路中に集落があるため、かなり減音されており、距離的に同程度である No. 9 地点と比較すると約 16 dB(A) 低い騒音レベルであった。

このように、鉄橋周辺の騒音は、堤防上、田畑の中、集落の背後では、かなり異なった分布をしており、周辺の地形が騒音分布に大きく影響していると思われる。

4. 騒音予測式について

鉄橋周辺の騒音分布は、前述したように、地形的な要因がかなり影響していると思われる。そこで周辺の地形的な要因を考慮した騒音予測式を導き出し、あわせて、各要因が騒音レベルにどのように影響しているかについて考察した。

4.1 予測式の導出

一般に騒音予測式の導出にあたっては、音のエネルギーが空間に拡がることから、物理的に考察される場合が多い。しかし、鉄橋周辺のように堤防、家屋等の複雑な要因が加わると、物理的なモデルで音の分布を計算することは不可能に近い。そこで、ここでは音の距離減衰については、新幹線鉄道列車を有限長線音源として物理的モデルで取り扱い、その他の堤防、家屋、田畑等の影響については重回帰分析によって考察した。

鉄橋上を通過する列車を図 2 に示すように有限長線音源と仮定すると、単位長あたりのパワーレベル (PWL) と周辺における騒音レベル (NL) の関係は次式で与えられる。

$$NL[\text{dB(A)}] = PWL[\text{dB(A)}] + 10 \log_{10} \left(\tan^{-1} \frac{a+1}{b} - \tan^{-1} \frac{a}{b} \right) + K_1 \quad \dots(1)$$

ただし、 l : 列車の長さ (m)

a : 直角座標を図 2 のようにとった場合の受音点の X 座標

b : 同 Y 座標

K_1 : 定数

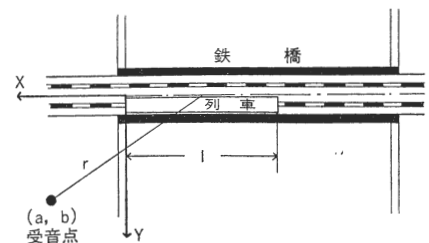


図2 鉄橋周辺模式図

一方、 PWL については、騒音レベルあるいは振動レベルと列車速度との間に良い相関が見出されている¹⁾ことから、本稿でもこれにならって(2)式で表わす。

$$PWL = x_1 \log_{10} V + K_2 \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 V ：列車速度 (km/h)

K_2 ：定数

したがって、(1)、(2)式より(3)式が得られる。

$$NL = 10 \log_{10} \left(\tan^{-1} \frac{a+1}{b} - \tan^{-1} \frac{a}{b} \right) + x_1 \log_{10} V + K \dots\dots\dots(3)$$

ただし、 $K = K_1 + K_2$

(3)式中の定数 K は、堤防、家屋、田畑、風向、風速等の影響を受けて、各地点ごとにかなりばらついた値になると推定される。そこで、 K を

$$K = x_2 \log_{10} r + x_3 D + x_4 F + x_5 H + x_6 \dots\dots\dots(4)$$

とする。ただし、

r ：軌道中心から測定点までの直線距離 (m) (図2参照)

D ：堤防上による行路差 (m)

F ：直線距離 r のうち、田畑が占める百分率 (%)

H ：直線距離 r のうち、家屋が占める百分率 (%)

(3)式中に、すでに距離減衰の項があるため、(4)式中の $\log_{10} r$ の項は不用であると考えられるが、音源が鉄橋の場合は遠くまで音が伝播するので、空気による音の吸収等が無視できないと思われ、(4)式中に $\log_{10} r$ を入れた。堤防による行路差 D については、塀による減音²⁾として考えると複雑になるため、(4)式のように定式化した。田畑 F を騒音減衰の一要因としたのは、他の地面よりも吸音率が高く、大きな影響を与える³⁾と思われたからである。家屋 H の影響については、塀による減音と考えるべきであるが、実際の計算にあたっては不可能であるので(4)式で表わすことにした。

(3)、(4)式より、上記の要因を考慮した騒音レベルを表わす式として(5)式が得られる。

$$NL = 10 \log_{10} \left(\tan^{-1} \frac{a+1}{b} - \tan^{-1} \frac{a}{b} \right) + x_1 \log_{10} V + x_2 \log_{10} r + x_3 D + x_4 F + x_5 H + x_6 \dots\dots\dots(5)$$

上式中の係数 $x_1 \sim x_5$ および定数項 x_6 を最小二乗法により求めると、

上り (反対側)

$$NL = 10 \log_{10} \left(\tan^{-1} \frac{a+1}{b} - \tan^{-1} \frac{a}{b} \right) + 16.43 \log_{10} V - 12.16 \log_{10} r - 230.8 D - 0.1021 F - 0.2929 H + 68.97 \quad (N=66) \dots\dots\dots(6)$$

下り (測定側)

$$NL = 10 \log_{10} \left(\tan^{-1} \frac{a+1}{b} - \tan^{-1} \frac{a}{b} \right) + 12.72 \log_{10} V - 15.47 \log_{10} r - 179.0 D - 0.08399 F - 0.3030 H + 89.76 \quad (N=69) \dots\dots\dots(7)$$

これらの式による計算値と実測値の対応は図3のようになり、重相関係数は「上り」、「下り」とも0.81となった。

鉄橋周辺における騒音の伝播がかなり複雑であることを考えると、(6)、(7)式は妥当な推定値を与えるものと思われた。

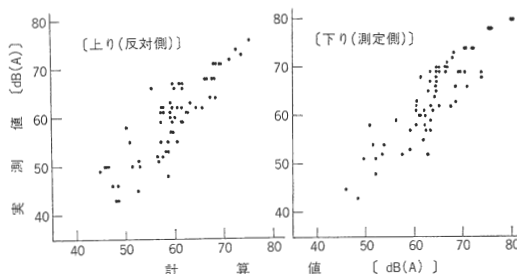


図3 騒音レベル (NL) の計算値と実測値の比較

4.2 予測式の検討

(6)、(7)式の重相関係数は、「上り」、「下り」とも0.81であることから、 NL の変動のうち、ほぼ66%を上述の要因 (V, r, D, F, H) で説明可能であることがわかる。さらに、各要因間の関連をみるため、相関行列を求めると表2のようになる。これによると、「上り」、「下り」の場合とも NL と各要因の間にはほとんど相関はみられず、わずかに F (田畑百分率) および H (家屋百分率) との相関が他と比較して若干高い程度である。これは全体に各変数の変動が大きく、さらに、他の要因の影響が加わるためであろう。たとえば、通常相関があるであろうと推察される NL と $\log_{10} V$ (列車速度) の間の関係にしても、 $\log_{10} V$ の変動以上に、堤防、田畑、家屋の影響が入ってくるため、単相関係数は「上り」、「下り」とも0.4以下である。このことは、 $\log_{10} V$ が NL の変動をよく説明しないということではなく、鉄橋周辺という複雑な地形では、 NL の予測を説明するために、多くの説明変数が必要であるという意味である。相関行列では、上述のように他の要因の影響が入ってきて、個々の NL に対する影響をみることはできない。そこで、相関行列の逆行列をとり、偏相関係数を計算すると表3のようになる。この偏相関係数は、多変量の解析を行う場合、他の変数の影響を除いた二変量間の相関係数として定義される⁴⁾ため、 NL に対する個々の要因の相関をみるのに最

表2 要因間の相関行列

上り (反対側)						
$\log_{10} V$	$\log_{10} r$	D	F	H	NL	要因
1	0.06520	0.1245	0.07858	0.01564	0.2761	$\log_{10} V$
	1	-0.5953	0.3694	0.07056	-0.2367	$\log_{10} r$
		1	0.1581	-0.1197	-0.1227	D
			1	-0.1228	-0.5022	F
				1	-0.4473	H
					1	NL
下り (測定値)						
$\log_{10} V$	$\log_{10} r$	D	F	H	NL	要因
1	-0.00626	0.07601	-0.0264	0.02990	0.3939	$\log_{10} V$
	1	-0.5491	0.4281	0.06871	-0.3551	$\log_{10} r$
		1	0.1764	-0.1297	0.437×10^{-6}	D
			1	0.1650	-0.4275	F
				1	-0.4535	H
					1	NL

表3 NL と各要因との偏相関係数

要因	上り (反対側)	下り (測定側)
$\log_{10} V$	0.5676	0.5305
$\log_{10} r$	-0.2687	-0.2147
D	-0.2057	-0.3239
F	-0.4130	-0.5383
H	-0.6580	-0.6681

適と思われる。表3によれば、「上り」、「下り」とも、 H (家屋百分率)、 $\log_{10} V$ (列車速度)、 F (田畑百分率)が他の2者、 $\log_{10} r$ (距離)、 D (行路差)よりも高い相関がみられ、 NL の変動をよく説明していると思われた。 NL と $\log_{10} r$ の偏相関係数が小さいのは、4.1でも述べたように、騒音の距離減衰はすでに補正してあり、 $\log_{10} r$ は空気による音の吸収等の影響を示す項であるためであろう。したがって、この偏相関係数が小さいということは、鉄橋から放射される騒音の伝播距離はせいぜい1.5 kmであり、 $\log_{10} r$ が空気中の音の吸収を表わすならばこれは無視してよいことになる。行路差 D については、

塀による回接理論からはずれたため、偏相関係数が小さくなったものと思われ、いかに予測的に組み込むかは今後の課題である。

5. 予測式を用いた騒音分布シミュレーション

前に求めた騒音予測式(6)、(7)に列車速度 V および鉄橋周辺の諸要因 (a , b , r , D , F , H)を代入すれば、任意の地点における騒音レベルの推定値を得ることができる。

しかし、前述したように、新幹線鉄道騒音は、20本の列車のピークレベルを測定し、そのうち上位10本のパワー平均で評価することになっている。したがって、(6)、(7)式で一本の列車の騒音レベル推定値を得ても、環境基準値との直接的な対比は困難である。そこで、これを可能にするため、以下に述べる方法によりシミュレーションを行った。

5.1 シミュレーションの手順

シミュレーションの大まかな手順としては、20本の列車の進行方向および速度をなんらかの方法で決めた後、騒音レベルを(6)または(7)式で計算し、上位10本のパワー平均をとればよいわけであるが、列車の進行方向および

速度は、できるだけ実際の運行状況に近くなるよう決定しなければならない。ここでは、列車進行方向については「上り」および「下り」がともに確率 $\frac{1}{2}$ で起きるものとし、一様乱数によって決定した。すなわち、電子計算機1～6の一様乱数を作り、1, 2, 3の場合を「上り」、4, 5, 6の場合を「下り」とした。次に列車速度については、昼間の速度分布が実測によると図4に示したとおりであったため、その生起頻度に従って表4のように一様乱数を割りあてた。以上で列車の進行方向および速度が決定され、あとは計算するのみである。実際のシミュレーションの手順は以下のとおりである。なお、この手順のフローチャートは図5に示す。

- (1) 1～6の一様乱数を発生させて、確率 $\frac{1}{2}$ で列車進行方向を決定する。
- (2) 「上り」ならば1～25の一様乱数、「下り」ならば1～26の一様乱数を発生させ、表4に従って列車速度を決定する。
- (3) (1), (2)を20回繰り返す。
- (4) a, b, r, D, F, Hを入力する。

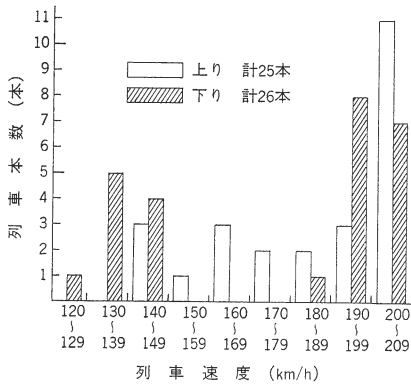


図4 新幹線鉄道列車の速度分布

表4 乱数による速度の決定

上り (反対側)		下り (測定側)	
乱数	速度 (km/h)	乱数	速度 (km/h)
1～3	145	1	125
4	155	2～6	135
5～7	165	7～10	145
8～9	175	11	185
10～11	185	12～19	195
12～14	195	20～26	205
15～25	205	—	—

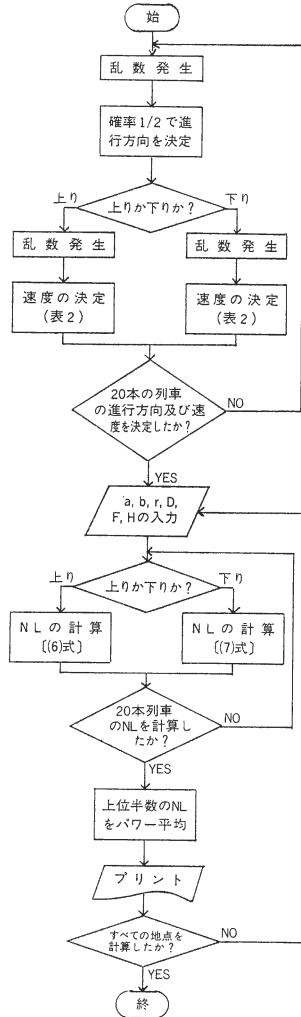
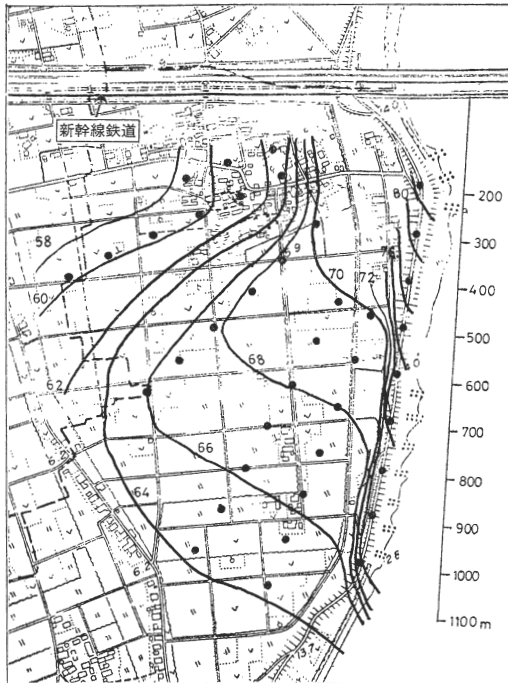


図5 シミュレーションのフローチャート

- (5) (1), (2)で決定された20本の列車について、「上り」ならば(6)式、「下り」ならば(7)式により、騒音レベル(NL)を計算する。
- (6) 上位半数のNLのパワー平均を計算し、プリントする。
- (7) 他の地点について計算するならば(4)へ行き、そうでなければ終る。

5・2 シミュレーション結果および実測値との比較

上記手順に従ってシミュレーションを行った結果、得られた騒音コンターは図6のようになった。シミュレーション結果と実測値の比較については、実測値のほうが20本の列車について測定していないので単純な比較はできないが、便宜的に上位4本のパワー平均をとり、これとシミュレーション結果を比較したのが表5である。実



(注) 図中の数字は騒音レベル [dB(A)]

図6 騒音コンターおよび計算地点

表5 シミュレーション結果と実測値との比較

測定地点	シミュレーション結果 [dB(A)]	実測値上位4本のパワー平均 [dB(A)]
2	78.5	78.1
3	77.0	76.2
4	74.8	72.8
5	73.9	72.8
9	67.9	65.8
14	66.7	66.2
17	67.1	61.9
19	58.0	54.4

測値のパワー平均のほうがやや低いレベルであるのは、全体に列車速度が遅いためであり、特に9, 17, 19地点で著しい(表2)。したがって、実際に20本の列車について測定すれば、よりシミュレーション結果に近づくものと思われる。

図6中の400m以内の騒音コンターが描いてない部分は、計算した結果、異常な数値となった部分である。これは図1中にこの部分の測定点がないためであり、(6)、(7)式で外挿するのは無理であったと思われる。一方、

400m以遠の地点については良好な結果が得られており、堤防および家屋により、かなり減音されることがわかる。また、堤防上では障害物がないため、遠くまで音が伝播し、約1,000m離れた地点の騒音レベルは72dB(A)となった。

6. まとめ

新幹線鉄道列車が鉄橋を通過する時に放射される騒音を、列車速度、距離、堤防による伝播行路差、田畑および家屋等諸要因の重回帰式で表わした。また、これを用いて実際の鉄橋周辺の騒音レベル分布をシミュレーションにより求めた。これらの結果をまとめると次のようになる。

1) 堤防上および鉄橋から400m以遠では良好な予測値が得られた。ただし、堤防直下の地点では、予測は不可能であった。

2) 予測式の重相関係数は、列車の進行方向が「上り」、「下り」の場合とも約0.81であった。

3) 偏相関係数を求めた結果、説明変数としてとりあげた5つの要因〔 $\log_{10} V$ (速度)、 $\log_{10} r$ (距離)、 D (伝播行路差)、 F (田畑百分率)、 H (家屋百分率)]のうち、 H 、 $\log_{10} V$ 、 F の3つが騒音レベル(NL)の変動をよく説明していた。

4) 堤防、家屋は、騒音の減衰にかなり役立っている。

5) 反対に堤防上では、鉄橋から1km離れた地点でも騒音レベルが72dB(A)となり、遠くまで騒音が伝播していた。

6) シミュレーション結果については、実測値に近い良好な結果が得られた。

—引用文献—

- 1) 神奈川県公害センター：鉄道騒音振動報告書，1976。
- 2) 福田基一，奥田襄介：「騒音対策と消音設計」，p. 251，共立出版，東京，1974。
- 3) 山下充康，小見茂光，加来治郎，山本貢平：日本音響学会研究発表会講演論文集，p. 587，1976。
- 4) 小林竜一：「需要予測の数字」，p. 115，至文堂，東京，1973。