

土木研究所資料

道路交通騒音の伝播に及ぼす気象条件の影響

昭和60年4月

建設省土木研究所
交通環境研究室

Copyright © 1985 fiscal year by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。
したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

道路交通騒音の伝播に及ぼす 気象条件の影響

交通環境研究室 足立 義雄
阪井 清志

要 旨

道路交通騒音の伝播に対し、地上付近の風速の分布および気温の鉛直勾配がどのような影響を及ぼすかについて検討することを目的として、人工音を用いた野外実験、道路沿道での騒音実測、理論的検討および年間の気象データの整理を行い、各々の影響を定量的に把握した。その結果、音源からの距離が離れた地表面付近では影響が認められるものの、道路沿道近くにおいてはほとんど影響がみられないことが明らかになった。

キーワード：道路交通騒音，風速，気温

ま え が き

道路交通騒音の影響予測にあたっては、これまで道路条件、交通条件および周辺条件が考慮されており、道路近傍に単純な条件を設定して推定している。しかし、この他にも厳密に考えると、気象、地形・地物、地表面性状、障害物などが騒音の伝播に対して影響すると考えられる。

本報告書は、気象条件のうちから地上付近の風速の鉛直分布を取り上げ、実験・実測や理論的検討により騒音伝播に与える影響についてとりまとめたものである。

また気温分布の騒音伝播に与える影響については既に土木技術資料 Vol.26 No.8 で報告済みであるが、共に気象条件として関連が深いので、本資料にも再掲している。

なお、本調査のために貴重な気象資料を提供していただいた運輸省気象研究所の方々に深く感謝の意を表する。

昭和60年 4 月

交通環境研究室 足 立 義 雄
阪 井 清 志

目 次

ま え が き

1. 風の影響に関する基本的性質	1
2. 風の影響に関する野外実験	2
3. 風の影響に関する野外実測	38
4. 理論的検討	50
5. 風速の強度と頻度	55
6. ま と め	63
7. 参 考 文 献	64
8. <参考>騒音伝播に与える気温分布の影響	65

昭和60年 4 月

交通環境研究室

足 立 義 雄
阪 井 清 志

1. 風の影響に関する基本的性質

地表に沿って吹く風は、地表面の種々の粗さによる影響を受けるため乱流となり、一般には上空へ向うほど平均風速が大きくなる。音の伝播に与える風の影響については、従来より、乱れについては無視し、平均風速の分布のみに着目して幾何音響学的音線理論による説明がなされている。すなわち、音速を一定と仮定すると図1-1に示すように風速の鉛直方向の分布の影響により、風下では音線は下方に曲げられて到達しやすく、逆に風上では上方に曲げられてある距離以遠では音が到達しない範囲（Shadow Zone）が生ずる。しかし、実際には風は乱流現象であり、それにより音波が散乱され、音圧振幅のみならず位相も変動し、直接音、反射音、あるいは屈折音の間の干渉も時間的に大きく変動する。これまでの種々の研究¹⁾によれば、この騒音伝播に対する風の影響は、音の周波数、音源あるいは受音点の高さ、受音点距離や伝播境界面の影響特性などによって異なると言われている。しかし、これらについても、道路交通騒音のような周波数域、伝播条件において、実際にどの程度の影響がみられるのか十分に明らかではない。

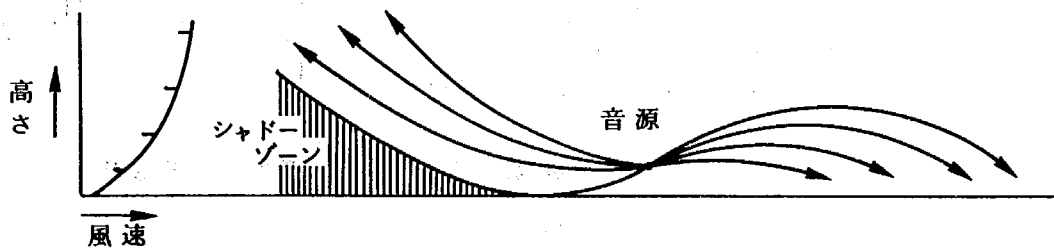


図1-1 風速勾配による音の屈折

2. 風の影響に関する野外実験

騒音の伝播に及ぼす風の影響を調査するため、人工音による音源を用いて、舗装地および草地において騒音の伝播測定と風向・風速の測定を行った。

2-1 調査方法

2-1-1 騒音レベルの測定

測定のシステム構成は図2-1に示す通りである。

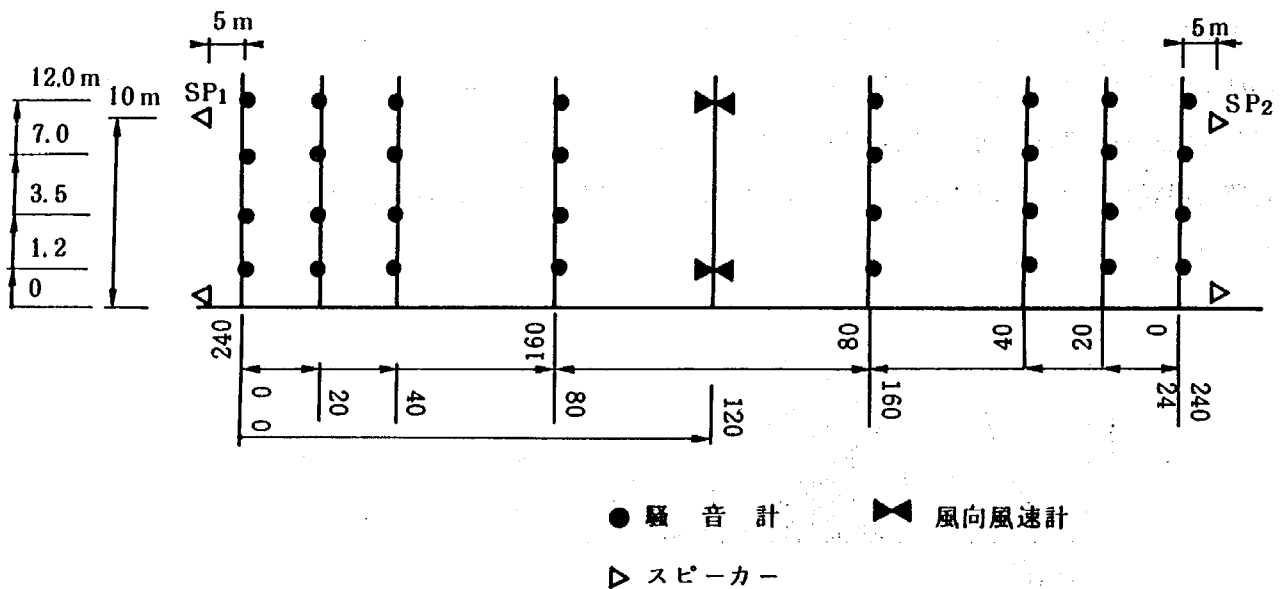


図2-1 測定状況

(a) 音源

無指向性に近い12面体スピーカーを点音源として用い、平面道路および高架道路を想定して、地上および地上10mに設定し、中心周波数125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHzの1/1オクターブバンドを含む広帯域ノイズを8秒周期で断続させ、それを5波連続して発信させた。また、逆風時にはS/N比が低下することを考慮して、500~2kHzのオクターブバンドノイズも別に発信させた。その際に、いろいろな風速に対する測定結果が得られるように、スピーカーの位置(SP₁, SP₂)を移動させて測定を行った。

(b) 受音点

受音点位置は図2-1に示すように、地上1.2, 3.5, 7.0, 12.0mの高さとし、測定軸上に8地点合計32点設置した。

2-1-2 気象観測

気象観測は騒音測定と同期させて行い、120m地点において地上1.2mおよび12m高さの風向・風速を測定し、温度・湿度については、120m地点の地上1.2mの高さにおいて測定を行った。

2-2 調査結果

まず、本章で用いている用語の説明を行う。

相対レベルとは音源に最も近い受音点の音圧レベルを基準とした場合の各受音点の音圧レベル、すなわち基準受音点と各受音点とのレベル差のことを示し、基準点は音源の高さに応じて、表2-1のように設定している。

騒音レベルとは、周波数別の相対レベルを図2-2に示す道路交通騒音の平均的スペクトル（A特性）を考慮してウェイトづけして合成したものであり、道路交通騒音に相当した値で、単位はdB（A）となる。

ベクトル風速とは、受音点およびスピーカーを配置した測線方向の風速の成分であり、プラスは音源から受音点側に風が吹いていることを表し、マイナスは受音点側から音源の方向に吹いていることを表す。なおベクトル風速の値は地上12mの値である。なお、この章においては以下ことわからない限り風速とはベクトル風速のことを意味している。

風速の鉛直方向の分布については一般に次式に示す様に基準となる高さ（ Z_0 ）の風速（ U_0 ）を基準に地上からの高さ（ Z ）の関数で表されるため、鉛直方向の1点で風速を測定すれば風速の鉛直方向の分はその値を用いて一義的に定まる。

$$U = \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\alpha} U_0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし、

α ：べき乗則の指数（本調査では $\alpha = 1/7$ としている。）

したがって、本調査では風速の鉛直方向の分布のかわりに一定の高さの風速の値を用いている。

表 2-1 相対レベルの基準

音 源 高	相 対 レ ベ ル の 基 準 点	
	受 音 点 距 離	高 さ
地 上	5 m	1.2 m
地 上 10 m	5 m	12 m

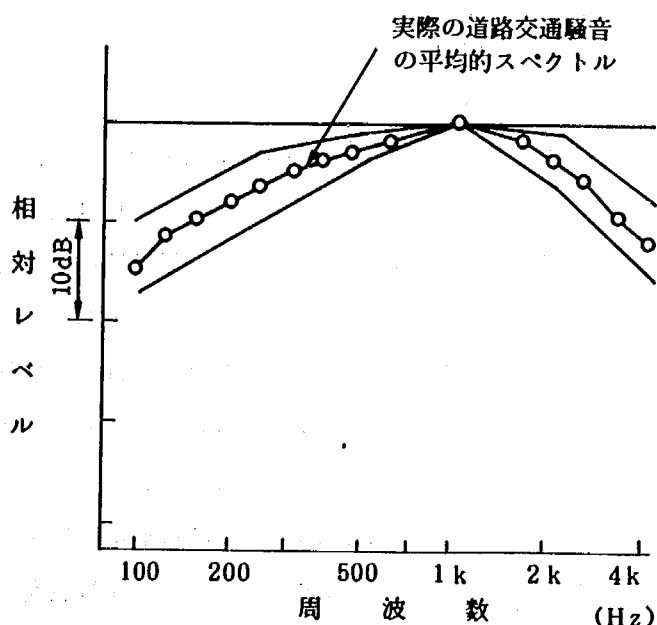


図 2-2 道路交通騒音の平均的スペクトル（A特性）

図2-3～図2-18に、地表面性状（舗装地、草地）別、音源高さ（地上、地上10m）別、受音点高さ（1.2, 3.5, 7.0, 12.0 m）別の距離減衰を示す。

なお、実線で示した距離減衰は風速がプラスのケースであり、破線で示した距離減衰は風速がマイナスのケースであって、その差は風速の差によって生ずる騒音レベルの差を表している。

図2-3～図2-6は、地表面が舗装地で音源高さが地上の場合の周波数別のバンドレベル距離減衰である。4つの図を比較すると、①音源からの距離が大きい程、風速によるバンドレベルの差が大きい、②受音点高さが低い程、風速によるバンドレベルの差が大きい、③周波数が高い程、風速によるバンドレベルの差が大きい、ということがわかる。

図2-7～図2-10は、地表面が草地で音源高さが地上の場合の周波数別のバンドレベル距離減衰である。舗装地の場合と同様に、①音源からの距離が大きい程、風速によるバンドレベルの差が大きい、②受音点高さが低い程、風速によるバンドレベルの差が大きい、③周波数が高い程、風速によるバンドレベルの差が大きい、ということがわかる。

図2-11～図2-14および図2-15～図2-18はそれぞれ地表面が舗装地と草地で音源の高さが地上10mの場合の周波数別のバンドレベル距離減衰である。音源が地上の場合と比較すると、風速によるバンドレベルの差は小さく、上記①～③の傾向も明確ではない。

次に騒音伝播における風の影響を定量的に検討するため、バンドノイズを合成した騒音レベル（A特性）をとり、横軸に風速をとって図に示した。

図2-19～図2-50は地表面が舗装地で音源の高さが地上の場合であり、図2-51～図2-82は地表面が草地で音源の高さが地上の場合である。共に、受音点距離が5, 15, 45, 85, 125, 165, 245 mで受音点高さが1.2, 3.5, 7.0, 12.0mの計32点における風速と騒音レベルの関係を図化している。なお、相対レベルのマイナスの値は、騒音レベルが基準点に対して減衰していることを意味している。音源が地上に設置された場合の受音点距離245m地点では、十分なS/N比が確保されないケースがあり、結果がばらついている。

図2-83～図2-106 は地表面が舗装地で音源の高さが地上10mの場合であり、図2-107～図2-130 は地表面が草地で音源の高さが地上10mの場合である。共に、受音点距離が5, 25, 45, 85, 165, 245 m で受音点高さが1.2, 3.5, 7.0, 12.0 mの計24点における風速と騒音レベルの関係を図化したものである。これらのデータに回帰直線をあてはめると、その傾きは風速が1 m/s増加したときの騒音レベルの上昇量を表しており、風の影響度合を表している。なお図中のA, Bはそれぞれこの回帰直線の切片と傾きを表しており、Rは相関係数、Nはサンプル数を表す。したがってBの値が風の影響度合を表しており、Aの値は無風時における相対レベルを表している。（Bの単位はdB/m/s、ただし、騒音レベルについてはdB(A)/m/sである。）

さらに受音点距離、受音点高さ、周波数別に騒音伝播に対する風の影響をみるために、縦軸に前述の風の影響度合、横軸に受音点距離をとって、受音点高さ別と周波数別に図に表した。縦軸のプラスは、風速が大きくなるに従って受音点における騒音レベルが上昇することを表し、マイナスは逆に騒音レベルが減少することを表す。

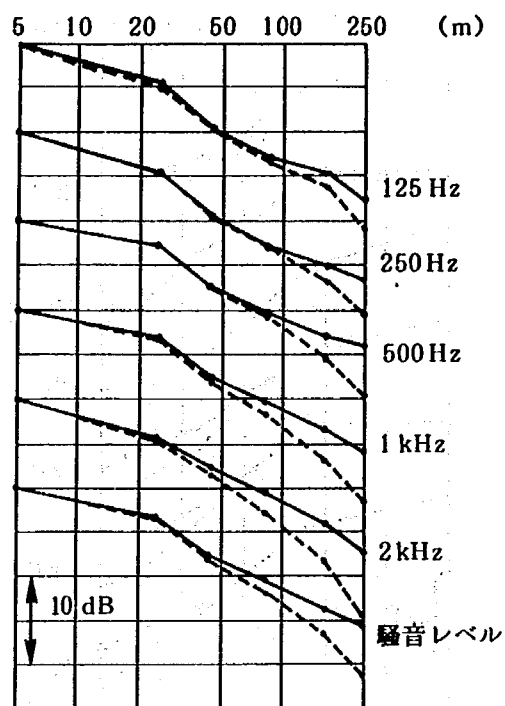


図 2-3 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
舗装地 音源高：地上 受音点高：1.2 m

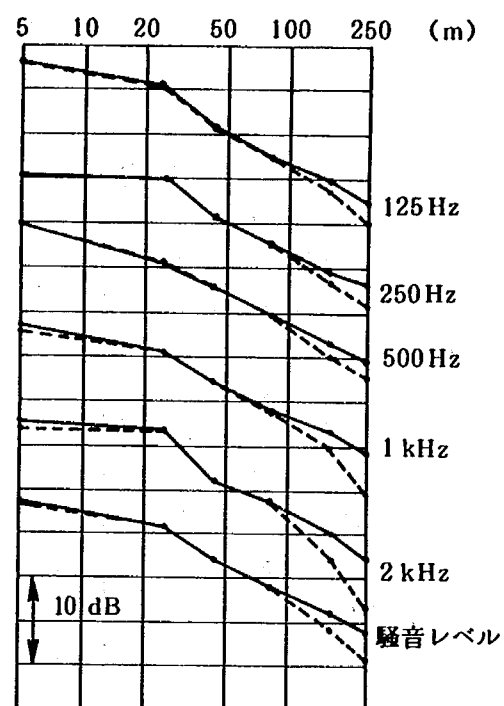


図 2-4 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
舗装地 音源高：地上 受音点高：3.5 m

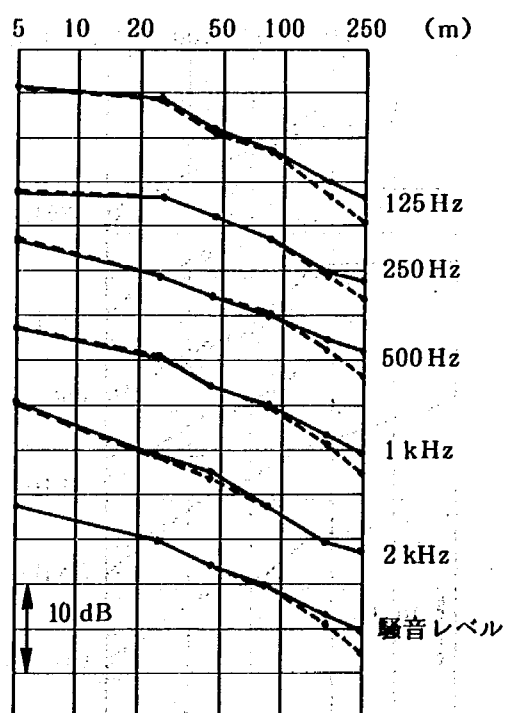


図 2-5 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
舗装地 音源高：地上 受音点高：7 m

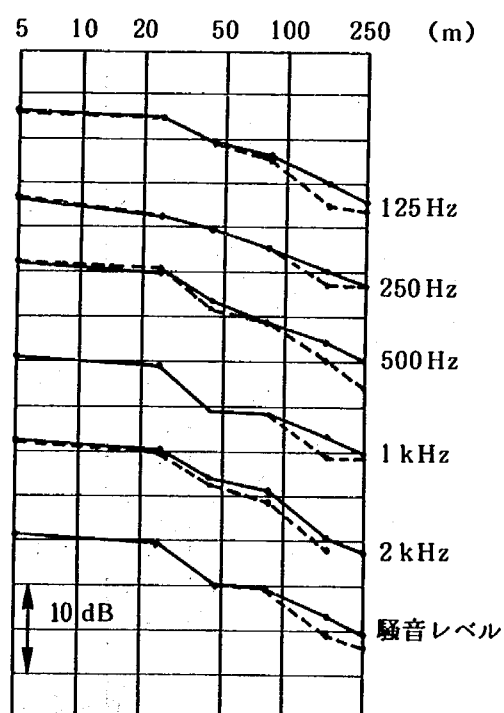


図 2-6 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
舗装地 音源高：地上 受音点高：12 m

— 風速 1.42 (m/s)

--- 風速 0.99 (m/s)

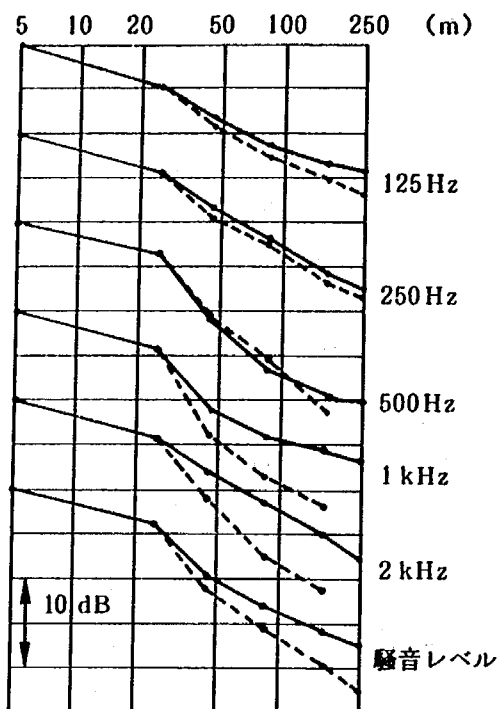


図 2-7 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
草地 音源高：地上 受音点高：1.2 m

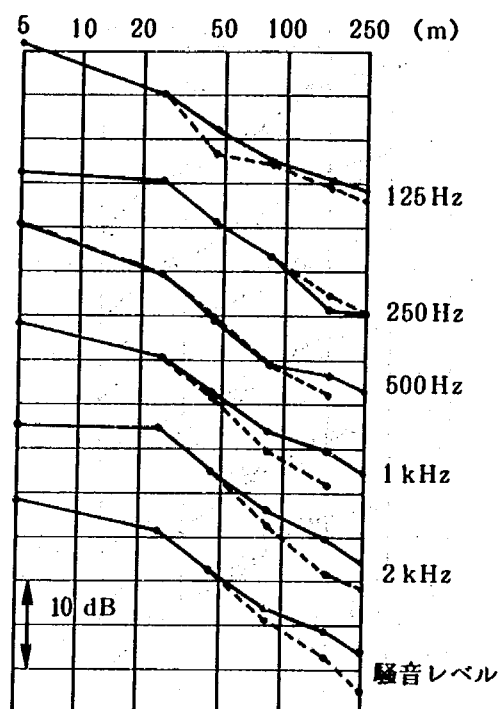


図 2-8 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
草地 音源高：地上 受音点高：3.5 m

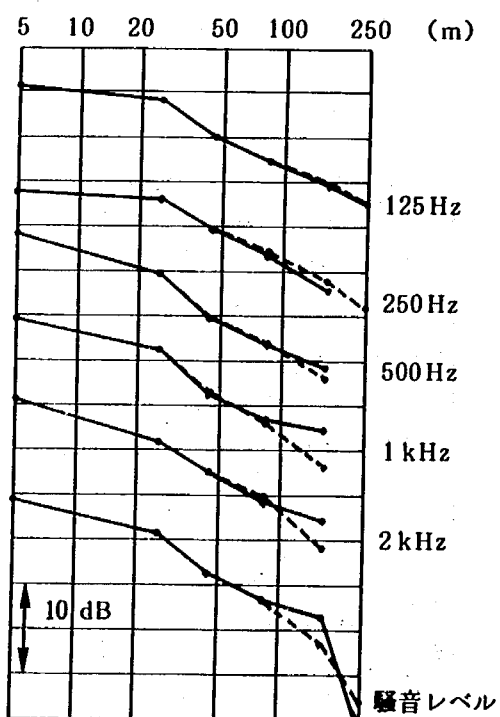


図 2-9 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
草地 音源高：地上 受音点高：7 m

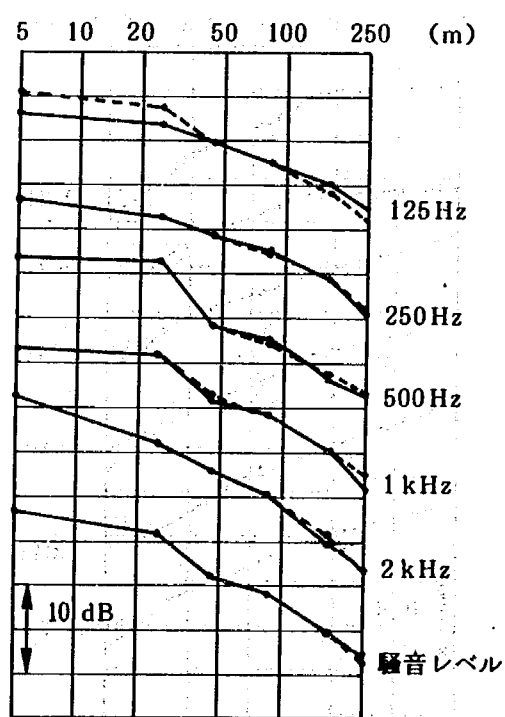


図 2-10 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
草地 音源高：地上 受音点高：12 m

— 風速 3.70 (m/s)

- - - 風速 1.56 (m/s)

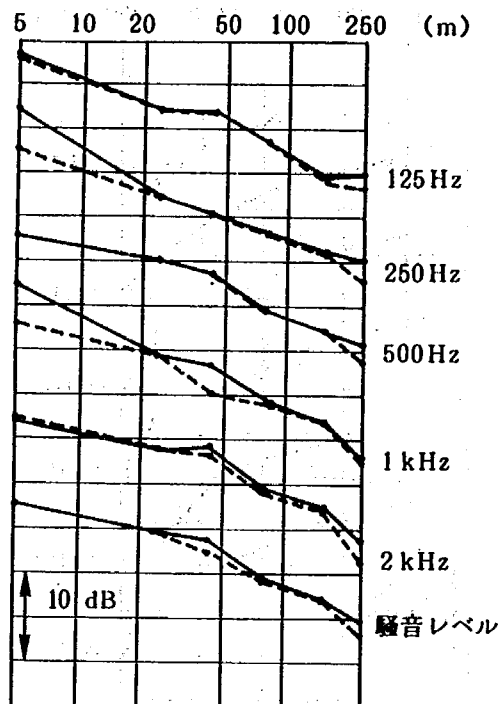


図 2-11 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
舗装地 音源高：地上10m 受音点高：1.2 m

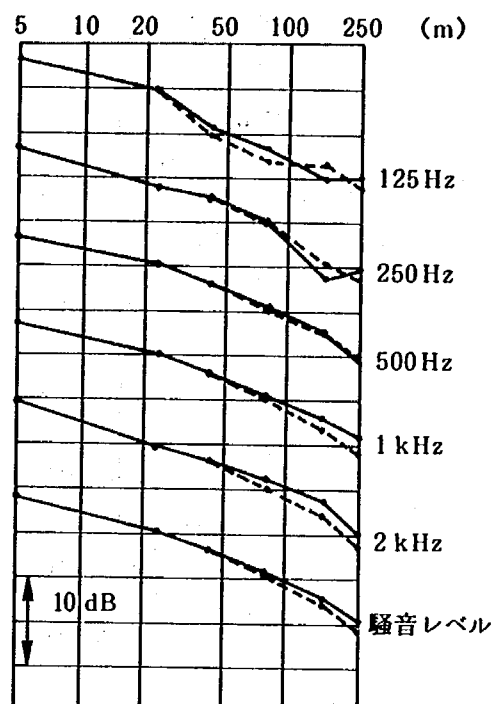


図 2-12 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
舗装地 音源高：地上10m 受音点高：3.5 m

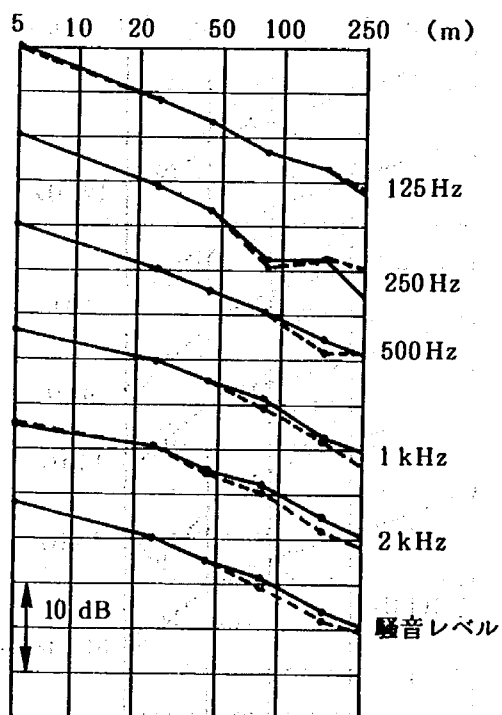


図 2-13 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
舗装地 音源高：地上10m 受音点高：7 m

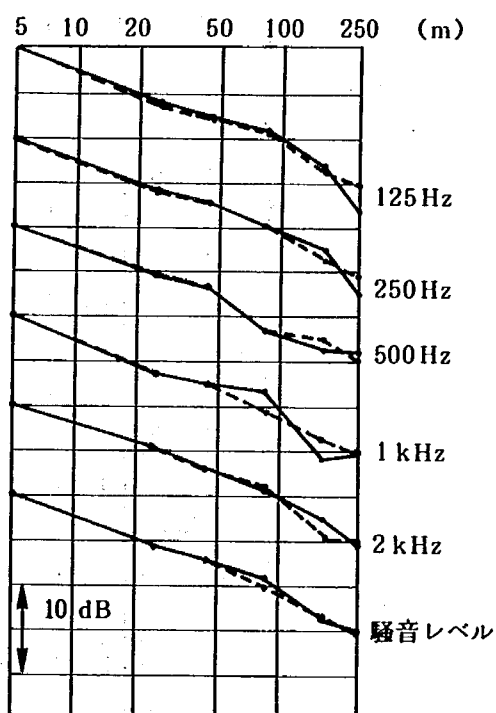


図 2-14 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
舗装地 音源高：地上10m 受音点高：12m

— 風速 2.74 (m/s) - - - 風速 4.77 (m/s)

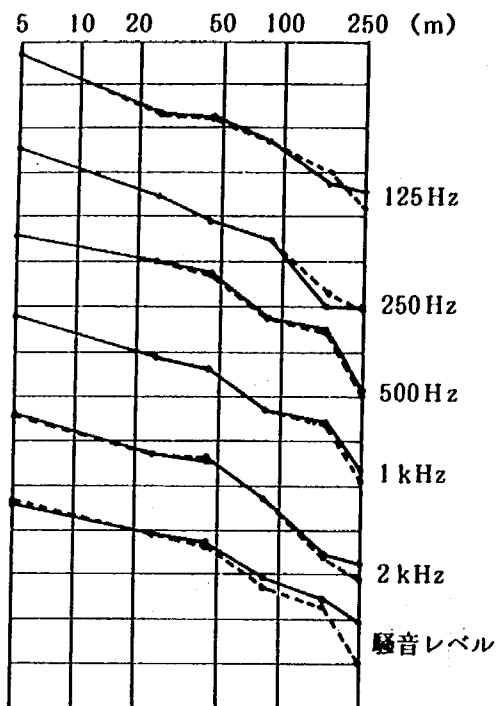


図 2-15 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
草地 音源高：地上10m 受信点高：1.2 m

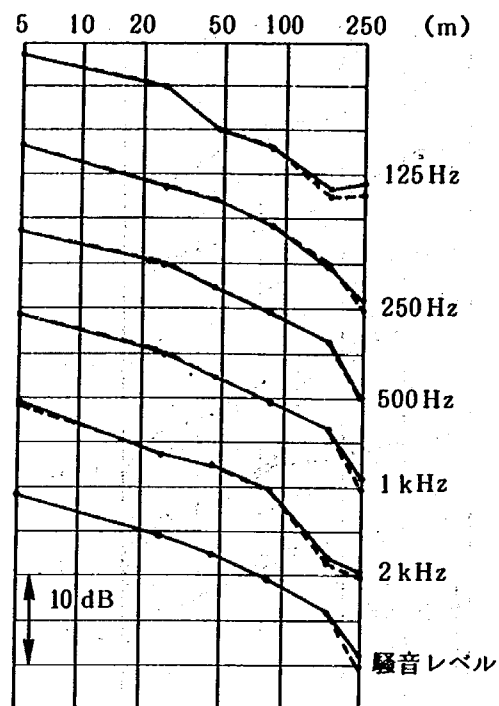


図 2-16 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
草地 音源高：地上10m 受信点高：3.5 m

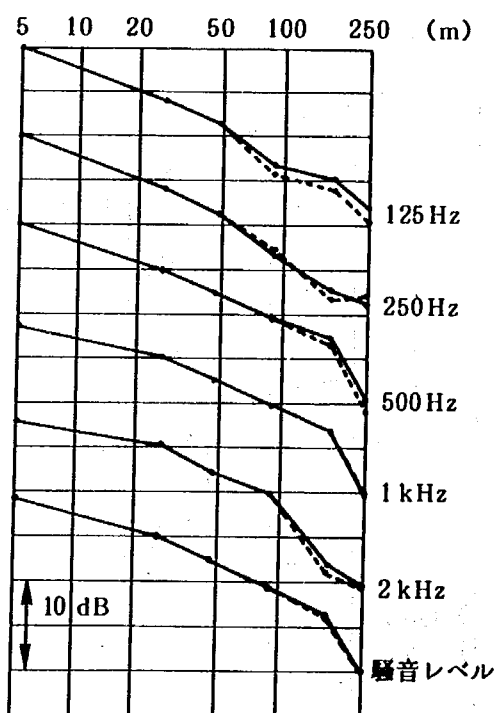


図 2-17 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
草地 音源高：地上10m 受信点高：7 m

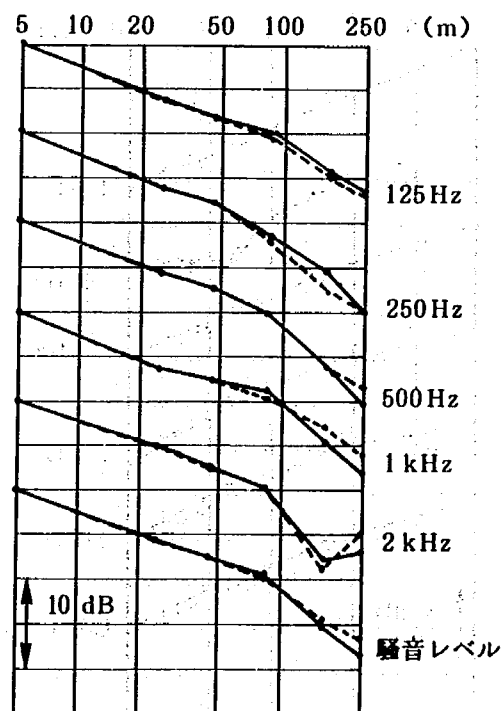
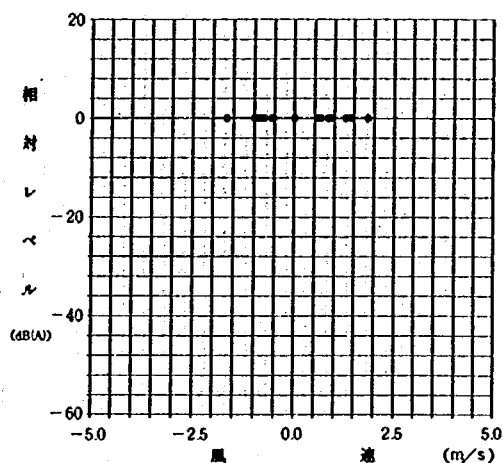


図 2-18 周波数別バンドノイズ距離減衰性状
草地 音源高：地上10m 受信点高：12m

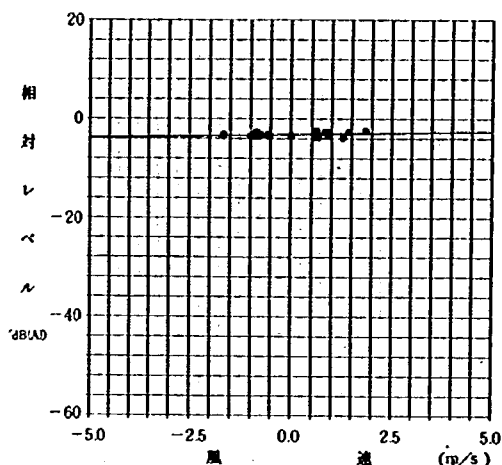
—●— 風速 2.34 (m/s)

---●--- 風速 0.76 (m/s)



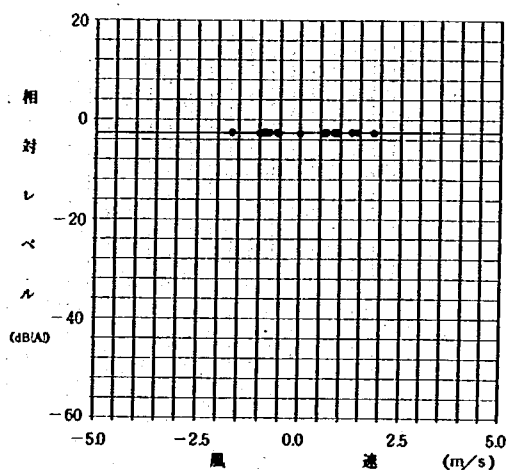
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：5 m
 $A = 0.0000$ $B = 0.0000$ $R = 0.0000$ $N = 30$

図2-19 風速と相対レベルとの関係



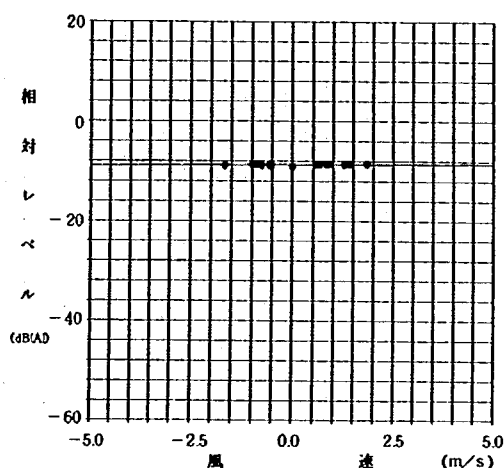
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：5 m
 $A = -3.1670$ $B = 0.1210$ $R = 0.2310$ $N = 30$

図2-20 風速と相対レベルとの関係



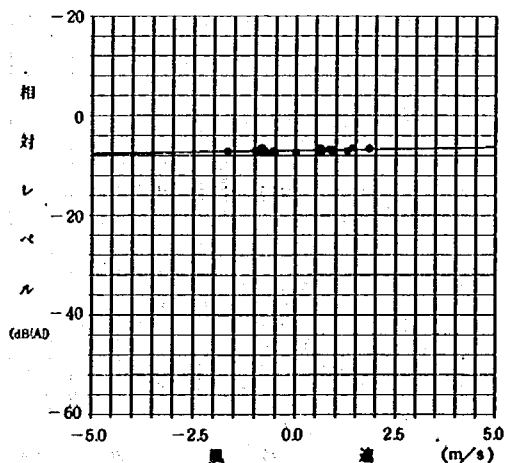
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：5 m
 $A = -2.6540$ $B = 0.0100$ $R = 0.0910$ $N = 30$

図2-21 風速と相対レベルとの関係



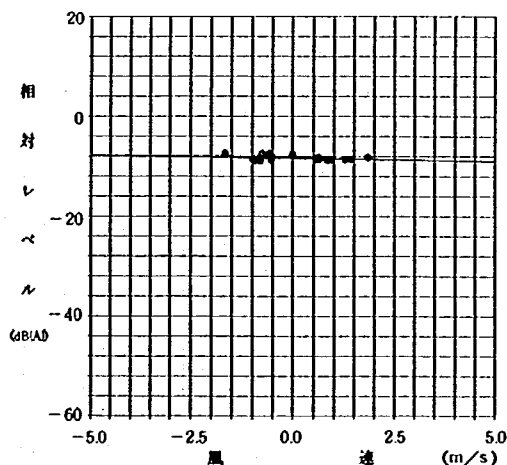
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：5 m
 $A = -8.7750$ $B = 0.0470$ $R = 0.2800$ $N = 30$

図2-22 風速と相対レベルとの関係



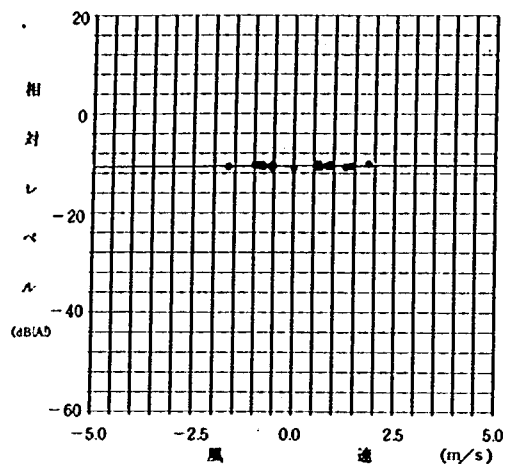
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：15 m
 $A = -6.9970$ $B = 0.1220$ $R = 0.4020$ $N = 30$

図2-23 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：15 m
 $A = -8.4070$ $B = -0.1140$ $R = -0.2270$ $N = 30$

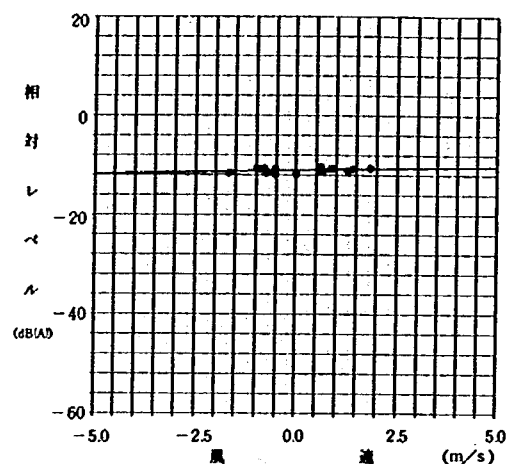
図2-24 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：舗装地 音源高：0 m
受音点高：7.0 m 受音点距離：15 m

$A = -10.5840$ $B = 0.0360$ $R = 0.1320$ $N = 30$

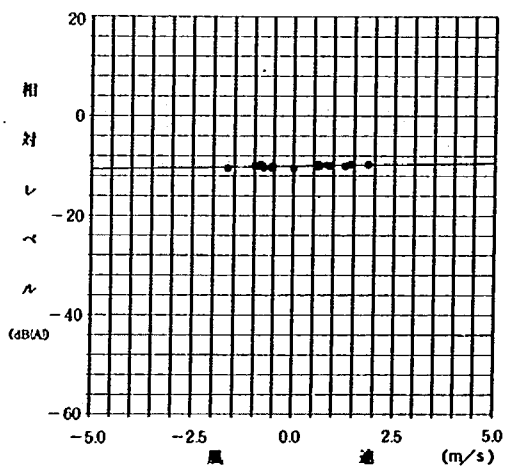
図2-25 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：舗装地 音源高：0 m
受音点高：12.0 m 受音点距離：15 m

$A = -11.0340$ $B = 0.1500$ $R = 0.2660$ $N = 30$

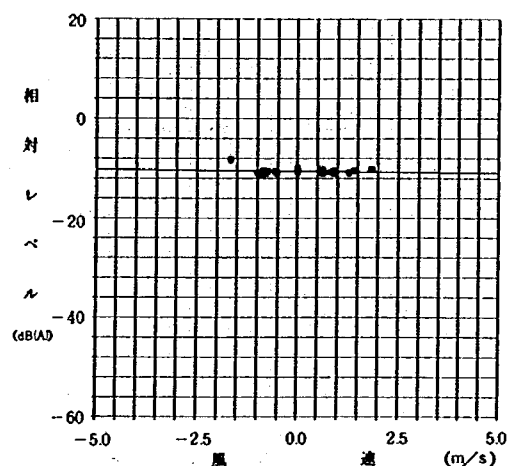
図2-26 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：舗装地 音源高：0 m
受音点高：1.2 m 受音点距離：25 m

$A = -10.1070$ $B = 0.1220$ $R = 0.4140$ $N = 30$

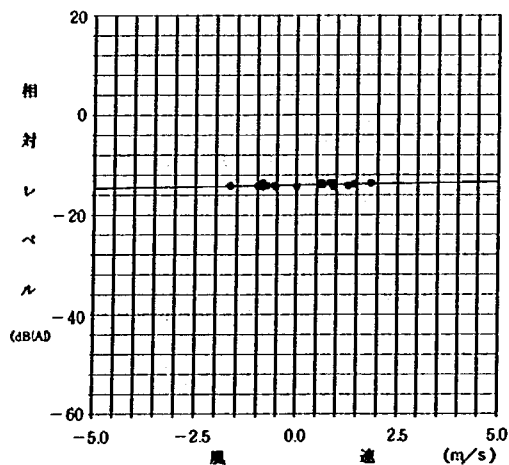
図2-27 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：舗装地 音源高：0 m
受音点高：3.5 m 受音点距離：25 m

$A = -10.6310$ $B = -0.0730$ $R = -0.1250$ $N = 30$

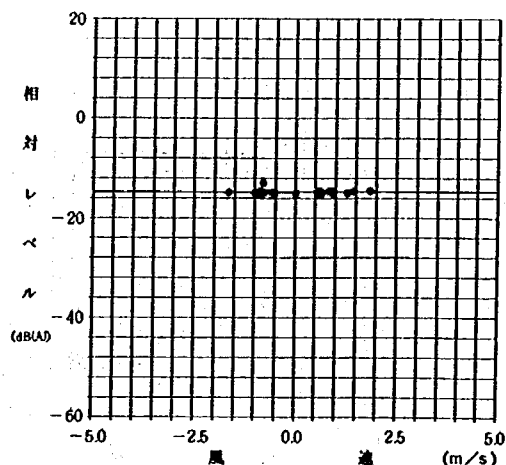
図2-28 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：舗装地 音源高：0 m
受音点高：7.0 m 受音点距離：25 m

$A = -14.0480$ $B = 0.1310$ $R = 0.3770$ $N = 28$

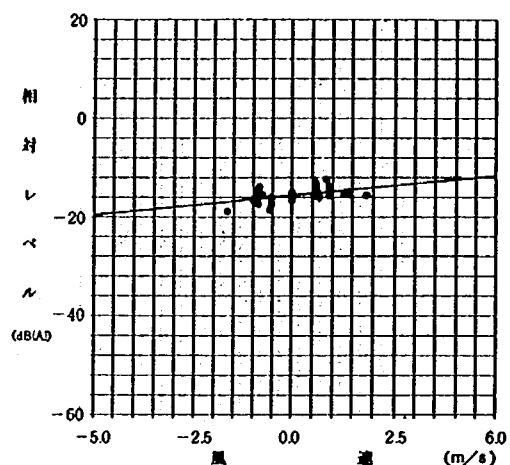
図2-29 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：舗装地 音源高：0 m
受音点高：12.0 m 受音点距離：25 m

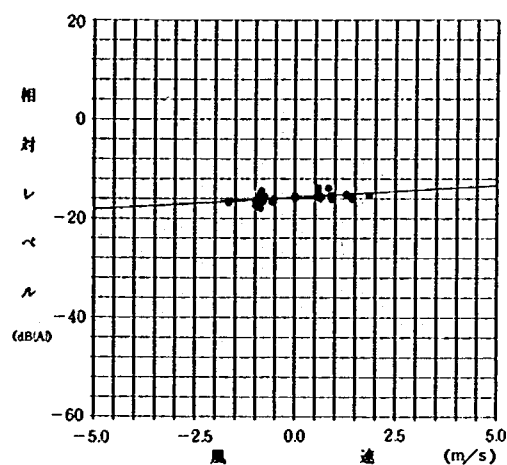
$A = -14.8100$ $B = 0.0090$ $R = 0.0200$ $N = 30$

図2-30 風速と相対レベルとの関係



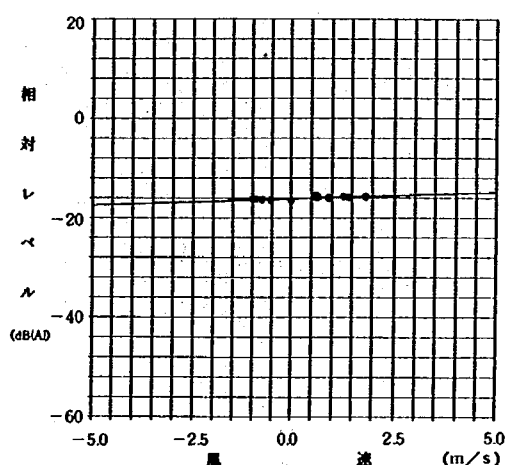
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.6490$ $B = 0.7960$ $R = 0.4910$ $N = 30$

図2-31 風速と相対レベルとの関係



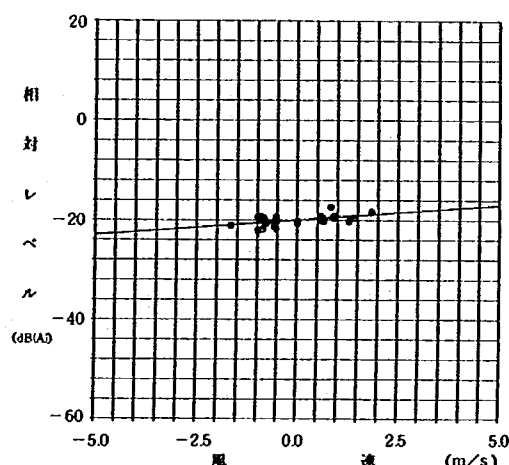
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.7800$ $B = 0.4780$ $R = 0.4630$ $N = 30$

図2-32 風速と相対レベルとの関係



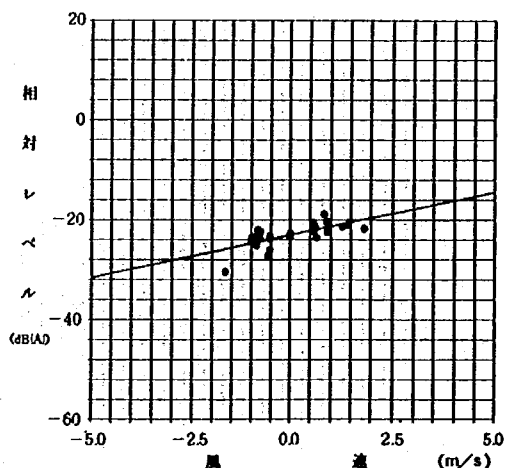
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：45 m
 $A = -16.1960$ $B = 0.2630$ $R = 0.7300$ $N = 15$

図2-33 風速と相対レベルとの関係



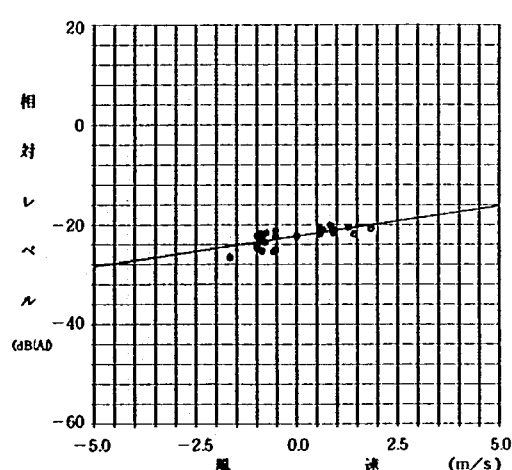
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：45 m
 $A = -20.0010$ $B = 0.6030$ $R = 0.5350$ $N = 30$

図2-34 風速と相対レベルとの関係



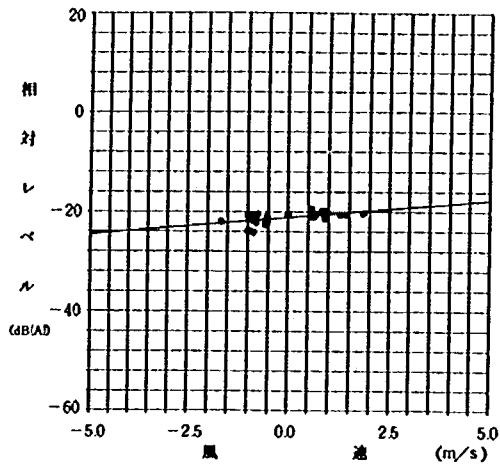
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：85 m
 $A = -23.0290$ $B = 1.7150$ $R = 0.7010$ $N = 30$

図2-35 風速と相対レベルとの関係



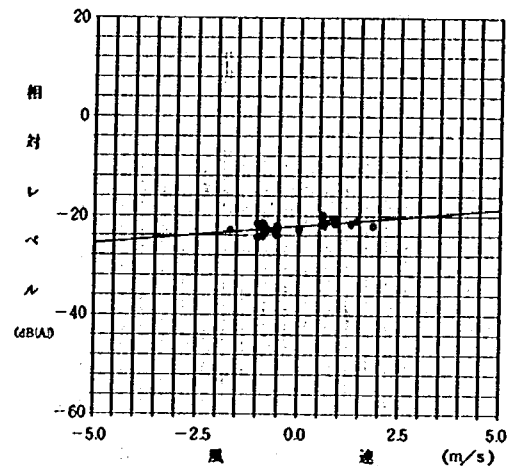
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：85 m
 $A = -22.3510$ $B = 1.2160$ $R = 0.6910$ $N = 30$

図2-36 風速と相対レベルとの関係



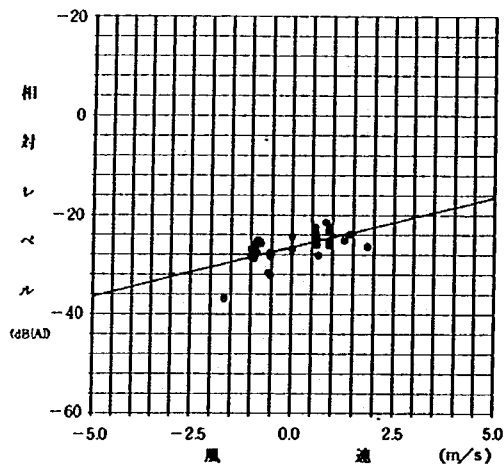
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：85 m
 $A = -21.1400$ $B = 0.6850$ $R = 0.5840$ $N = 30$

図2-37 風速と相対レベルとの関係



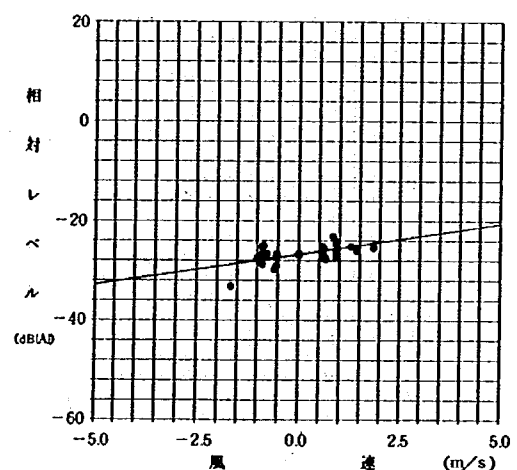
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：85 m
 $A = -22.1100$ $B = 0.6910$ $R = 0.5810$ $N = 30$

図2-38 風速と相対レベルとの関係



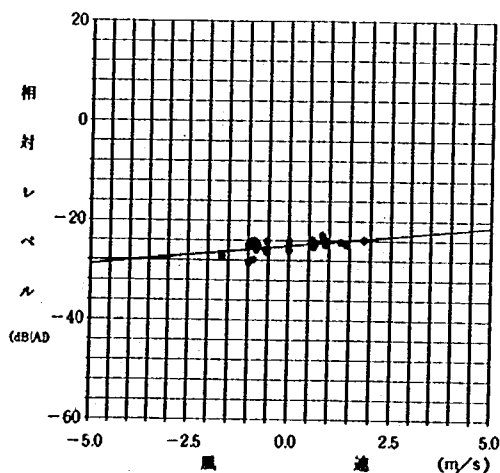
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：125 m
 $A = -26.5010$ $B = 2.0060$ $R = 0.5840$ $N = 30$

図2-39 風速と相対レベルとの関係



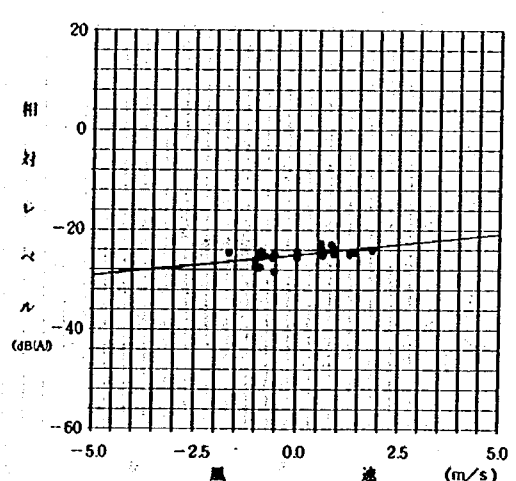
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：125 m
 $A = -26.7680$ $B = 1.2220$ $R = 0.5820$ $N = 30$

図2-40 風速と相対レベルとの関係



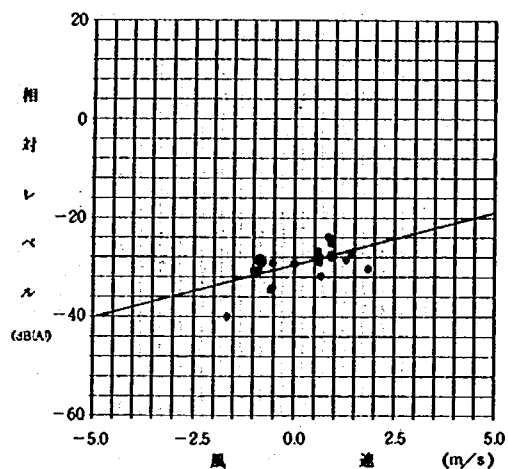
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：125 m
 $A = -25.0720$ $B = 0.7540$ $R = 0.5620$ $N = 30$

図2-41 風速と相対レベルとの関係



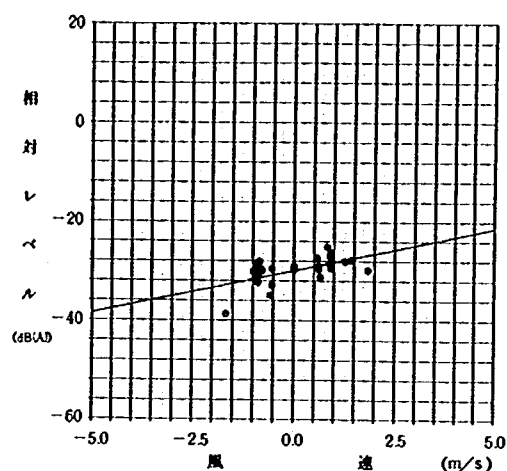
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：125 m
 $A = -25.0040$ $B = 0.8310$ $R = 0.5620$ $N = 30$

図2-42 風速と相対レベルとの関係



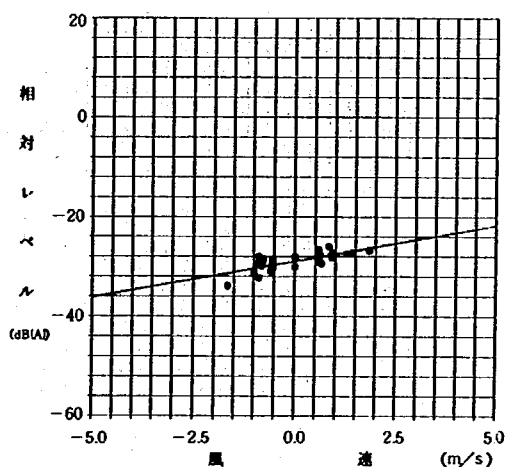
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：165 m
 $A = -29.5230$ $B = 2.1260$ $R = 0.5920$ $N = 26$

図 2-43 風速と相対レベルとの関係



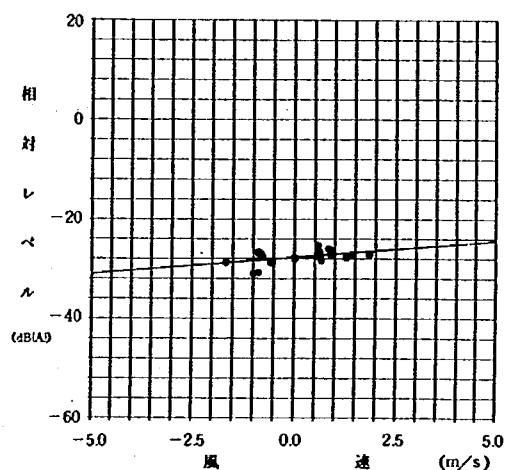
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：165 m
 $A = -29.9440$ $B = 1.7360$ $R = 0.5900$ $N = 26$

図 2-44 風速と相対レベルとの関係



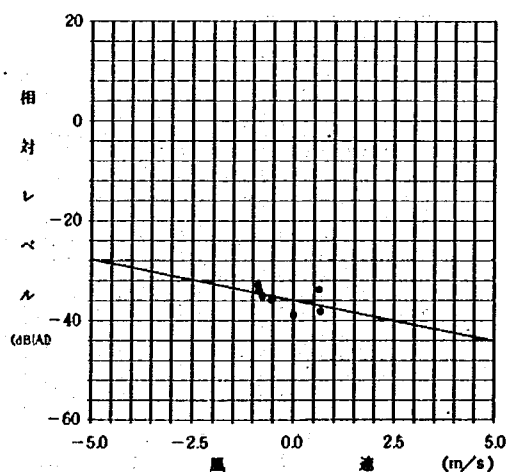
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：165 m
 $A = -28.9910$ $B = 1.4480$ $R = 0.7510$ $N = 28$

図 2-45 風速と相対レベルとの関係



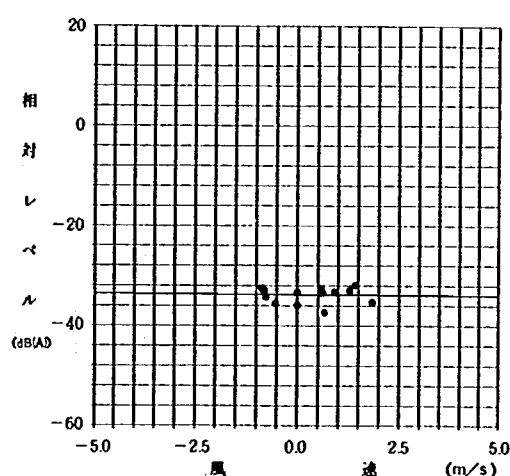
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：165 m
 $A = -27.7270$ $B = 0.6570$ $R = 0.4720$ $N = 26$

図 2-46 風速と相対レベルとの関係



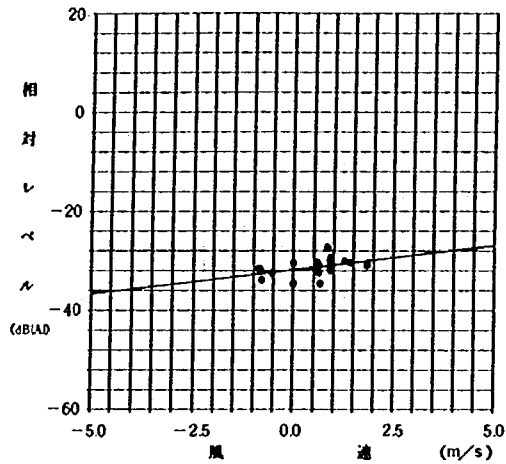
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：245 m
 $A = -35.9510$ $B = -1.6420$ $R = -0.4830$ $N = 7$

図 2-47 風速と相対レベルとの関係



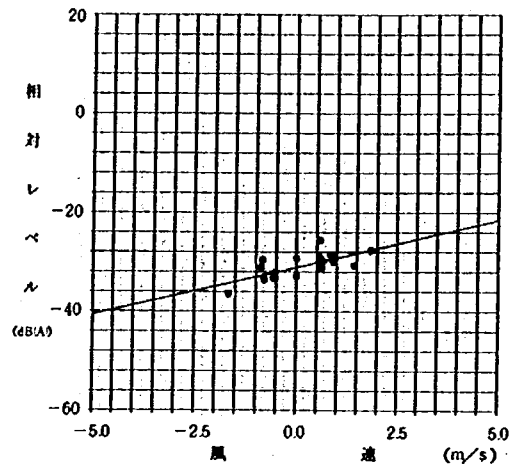
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：245 m
 $A = -33.8100$ $B = -0.0420$ $R = -0.0250$ $N = 17$

図 2-48 風速と相対レベルとの関係



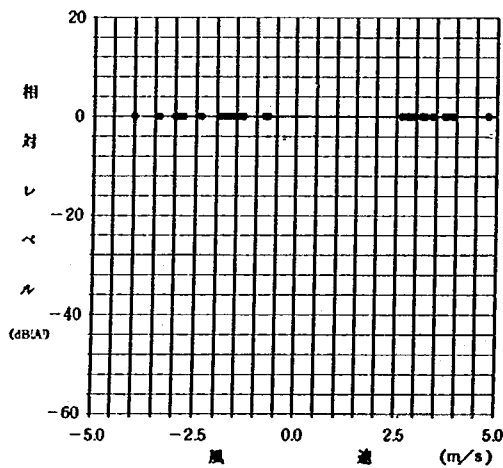
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：245 m
 $A = -31.7800$ $B = 0.9740$ $R = 0.4250$ $N = 20$

図2-49 風速と相対レベルとの関係



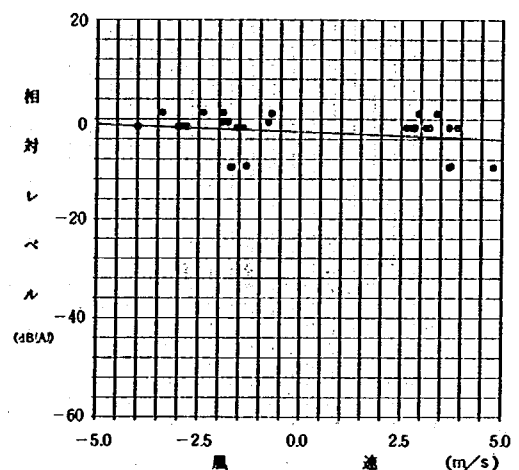
地表面性状：舗装地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：245 m
 $A = -31.0740$ $B = 1.9150$ $R = 0.7120$ $N = 21$

図2-50 風速と相対レベルとの関係



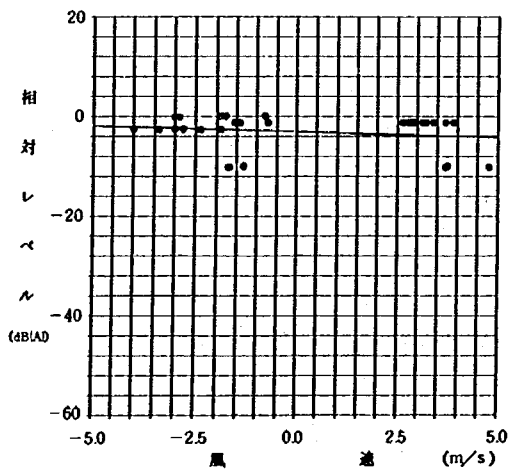
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：5 m
 $A = 0.0000$ $B = 0.0000$ $R = 0.0000$ $N = 30$

図2-51 風速と相対レベルとの関係



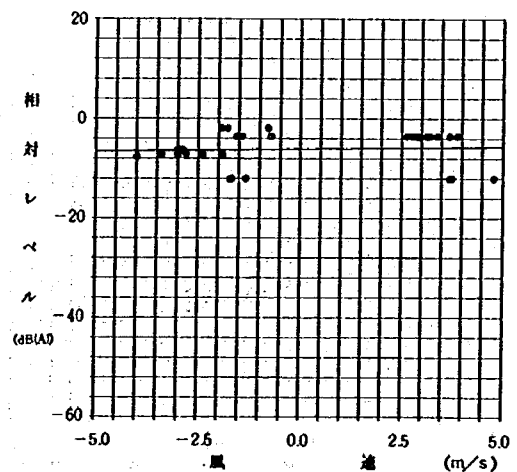
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：5 m
 $A = -2.5210$ $B = -0.3040$ $R = -0.2360$ $N = 30$

図2-52 風速と相対レベルとの関係



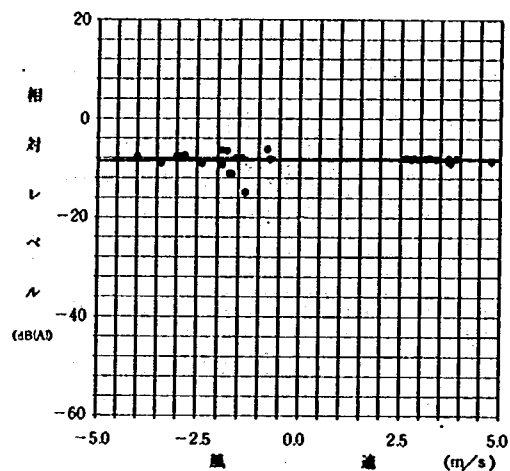
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：5 m
 $A = -3.0850$ $B = -0.2300$ $R = -0.1810$ $N = 30$

図2-53 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：5 m
 $A = -6.1710$ $B = 0.0900$ $R = 0.0750$ $N = 30$

図2-54 風速と相対レベルとの関係

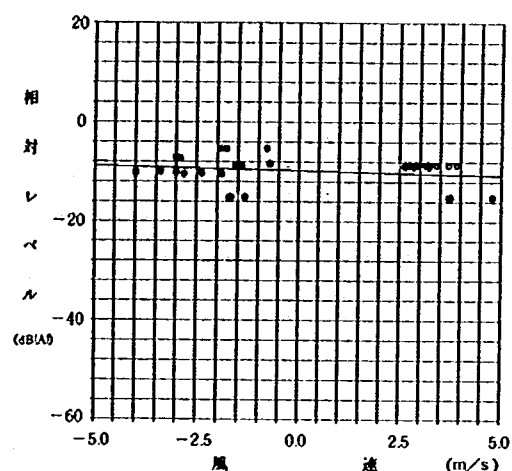


地表面性状：草地 音源高：0 m

受音点高：1.2 m 受音点距離：15 m

$A = -8.4550$ $B = 0.0270$ $R = 0.0470$ $N = 30$

図2-55 風速と相対レベルとの関係

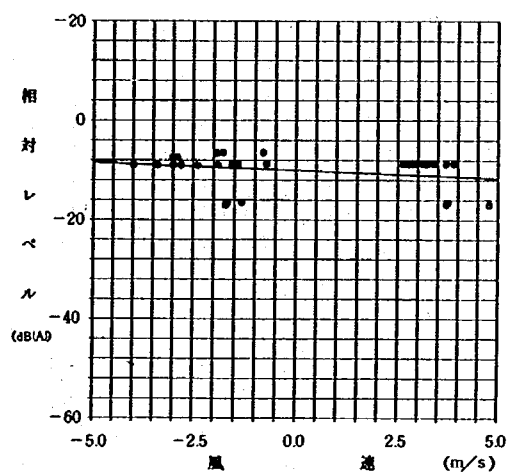


地表面性状：草地 音源高：0 m

受音点高：3.5 m 受音点距離：15 m

$A = -9.8100$ $B = -0.1940$ $R = -0.1850$ $N = 30$

図2-56 風速と相対レベルとの関係

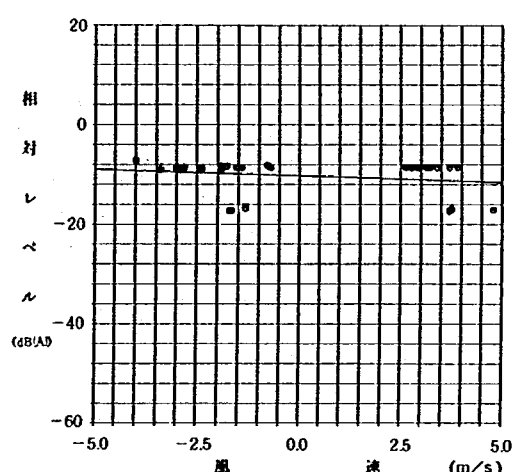


地表面性状：草地 音源高：0 m

受音点高：7.0 m 受音点距離：15 m

$A = -10.0530$ $B = -0.3200$ $R = -0.2640$ $N = 30$

図2-57 風速と相対レベルとの関係

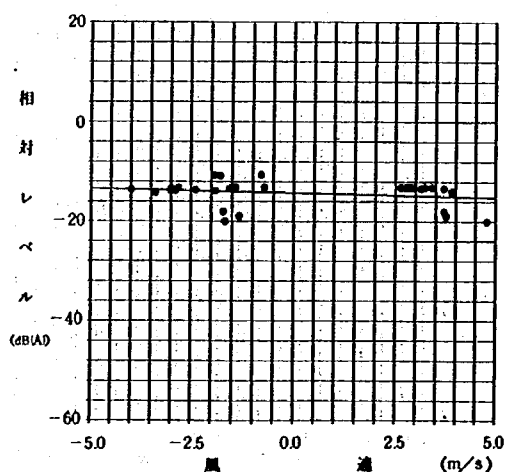


地表面性状：草地 音源高：0 m

受音点高：12.0 m 受音点距離：15 m

$A = -10.3030$ $B = -0.2590$ $R = -0.2140$ $N = 30$

図2-58 風速と相対レベルとの関係

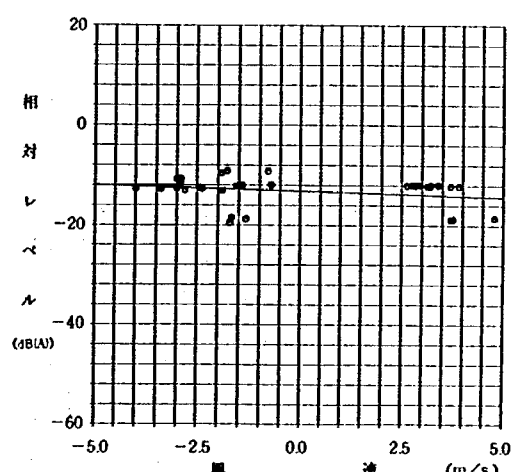


地表面性状：草地 音源高：0 m

受音点高：1.2 m 受音点距離：25 m

$A = -14.3410$ $B = -0.1790$ $R = -0.2010$ $N = 30$

図2-59 風速と相対レベルとの関係

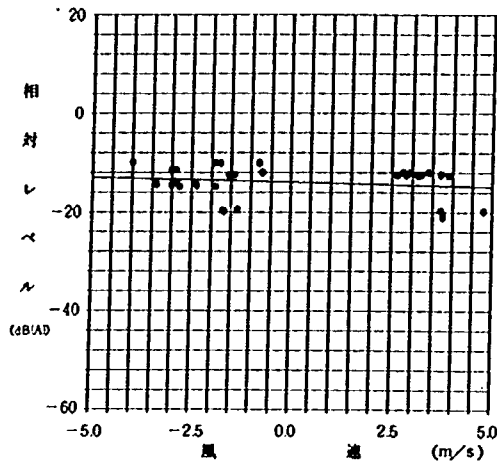


地表面性状：草地 音源高：0 m

受音点高：3.5 m 受音点距離：25 m

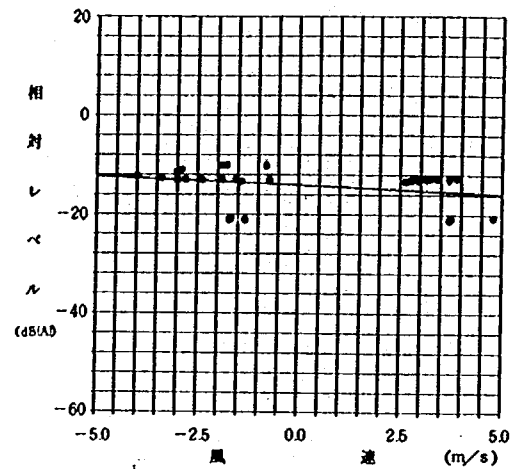
$A = -13.1970$ $B = -0.2370$ $R = -0.2240$ $N = 30$

図2-60 風速と相対レベルとの関係



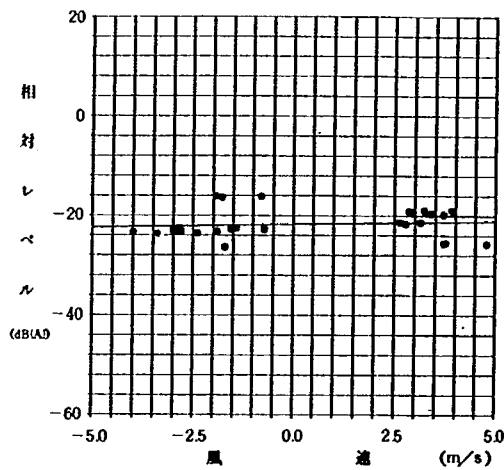
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：25 m
 $A = -13.9260$ $B = -0.1960$ $R = -0.1700$ $N = 30$

図2-61 風速と相対レベルとの関係



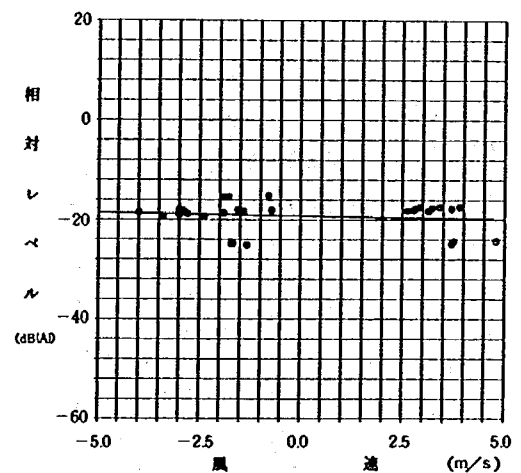
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：25 m
 $A = -14.0780$ $B = -0.3550$ $R = -0.2840$ $N = 30$

図2-62 風速と相対レベルとの関係



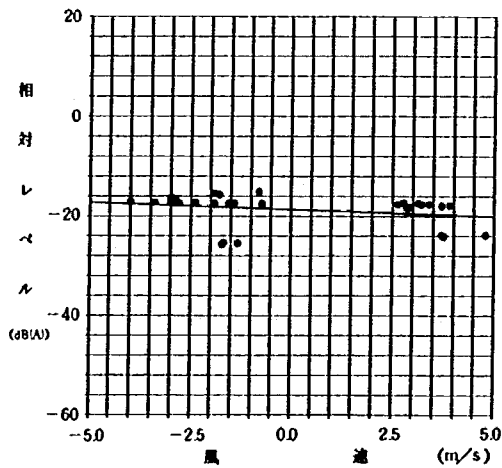
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：45 m
 $A = -21.8000$ $B = 0.1290$ $R = 0.1350$ $N = 28$

図2-63 風速と相対レベルとの関係



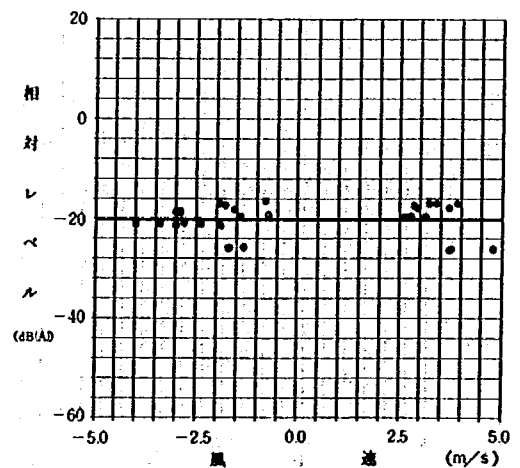
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：45 m
 $A = -19.2570$ $B = -0.1280$ $R = -0.1250$ $N = 30$

図2-64 風速と相対レベルとの関係



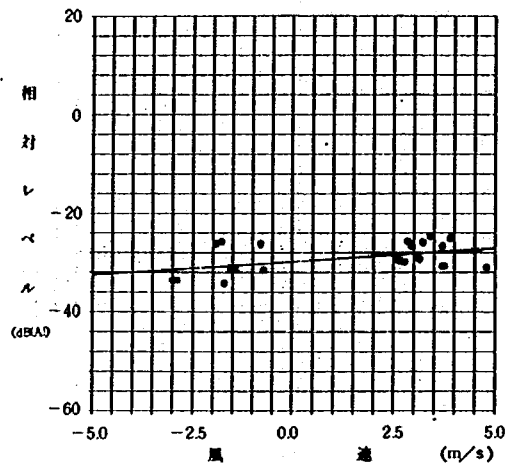
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：45 m
 $A = -18.7080$ $B = -0.2870$ $R = -0.2620$ $N = 30$

図2-65 風速と相対レベルとの関係



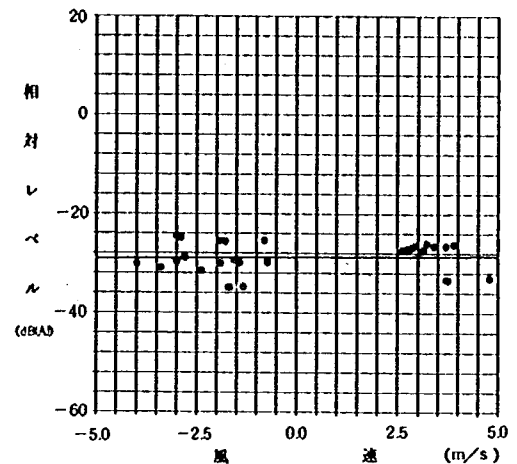
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：45 m
 $A = -20.3900$ $B = -0.0050$ $R = -0.0040$ $N = 30$

図2-66 風速と相対レベルとの関係



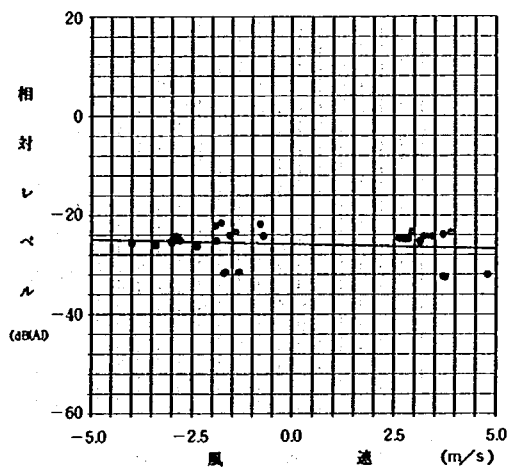
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：85 m
 $A = -29.7900$ $B = 0.5470$ $R = 0.4810$ $N = 22$

図2-67 風速と相対レベルとの関係



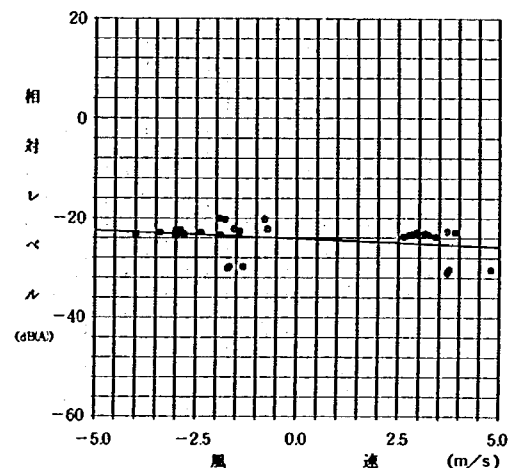
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：85 m
 $A = -28.8430$ $B = 0.0520$ $R = 0.0460$ $N = 30$

図2-68 風速と相対レベルとの関係



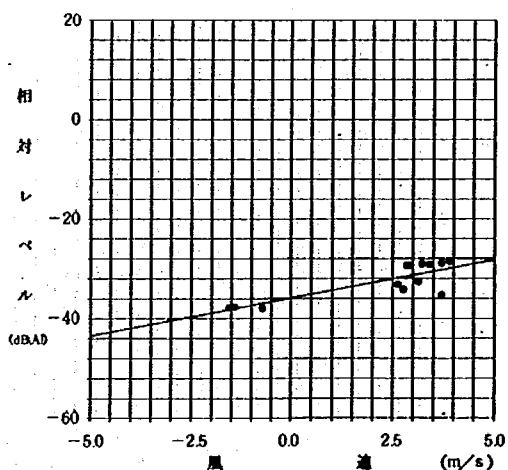
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：85 m
 $A = -25.8600$ $B = -0.1820$ $R = -0.1600$ $N = 30$

図2-69 風速と相対レベルとの関係



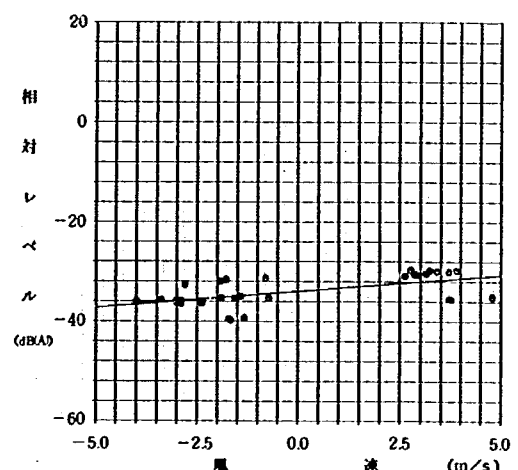
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：85 m
 $A = -24.1560$ $B = -0.3320$ $R = -0.2970$ $N = 30$

図2-70 風速と相対レベルとの関係



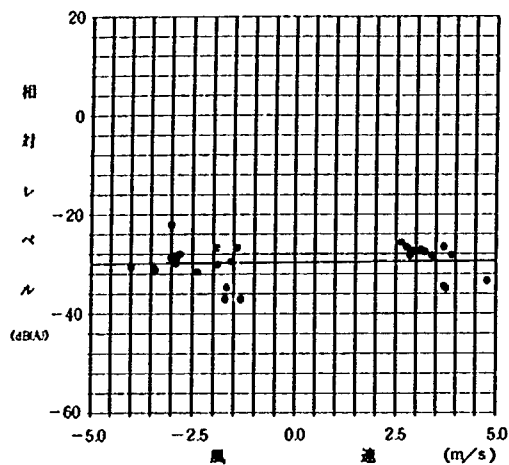
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：125 m
 $A = -35.9100$ $B = 1.5220$ $R = 0.8170$ $N = 13$

図2-71 風速と相対レベルとの関係



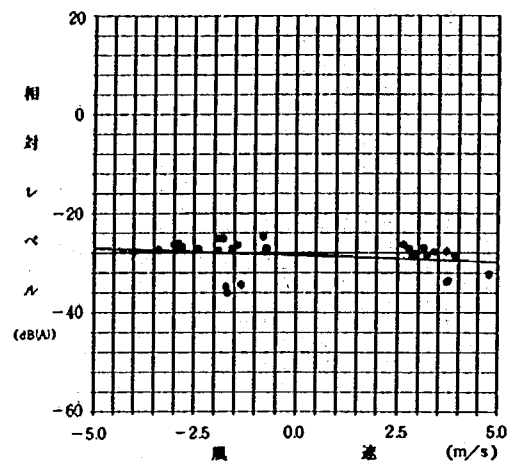
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：125 m
 $A = -33.9810$ $B = 0.6510$ $R = 0.5960$ $N = 30$

図2-72 風速と相対レベルとの関係



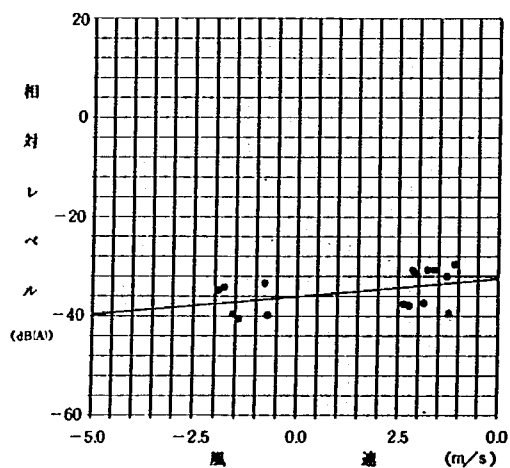
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：125 m
 $A = -29.7110$ $B = 0.0590$ $R = 0.0490$ $N = 27$

図2-73 風速と相対レベルとの関係



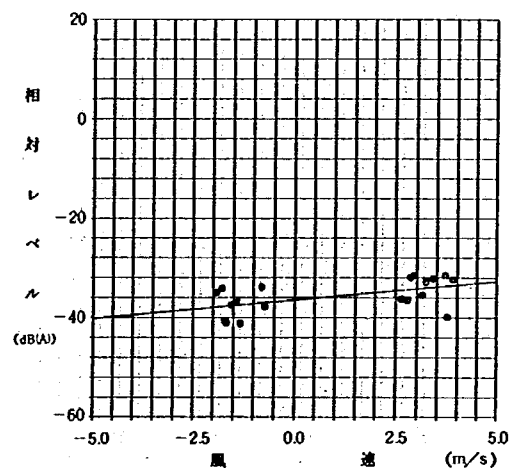
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：125 m
 $A = -28.4430$ $B = -0.2730$ $R = -0.2490$ $N = 29$

図2-74 風速と相対レベルとの関係



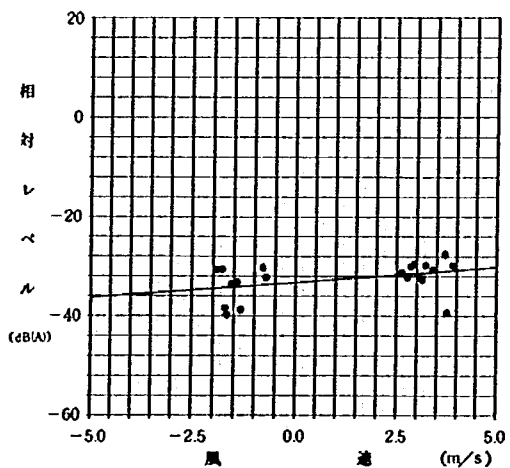
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：165 m
 $A = -36.6900$ $B = 0.7200$ $R = 0.4350$ $N = 16$

図2-75 風速と相対レベルとの関係



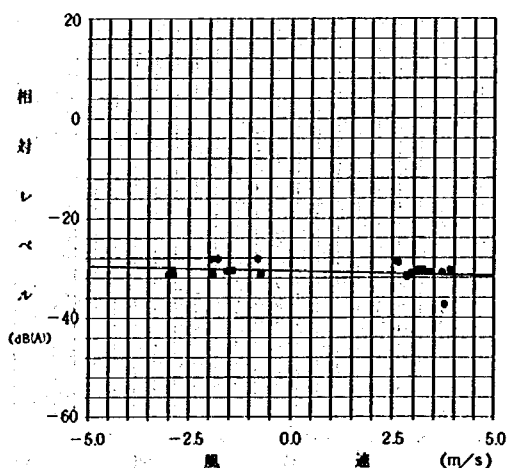
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：165 m
 $A = -36.4600$ $B = 0.7450$ $R = 0.5440$ $N = 19$

図2-76 風速と相対レベルとの関係



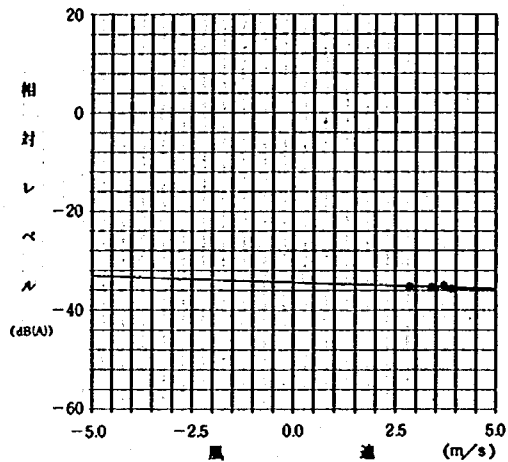
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：165 m
 $A = -33.2860$ $B = 0.6110$ $R = 0.4000$ $N = 19$

図2-77 風速と相対レベルとの関係



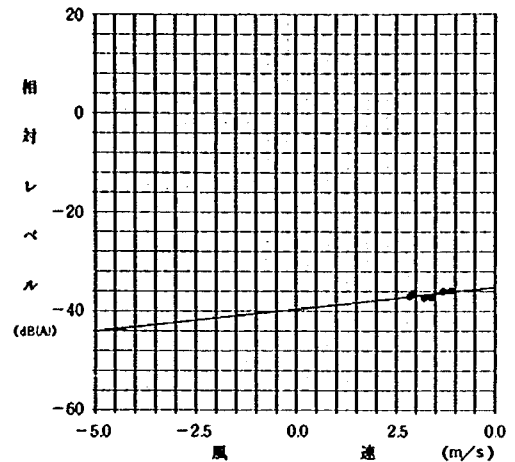
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：165 m
 $A = -30.6120$ $B = -0.2040$ $R = -0.2810$ $N = 19$

図2-78 風速と相対レベルとの関係



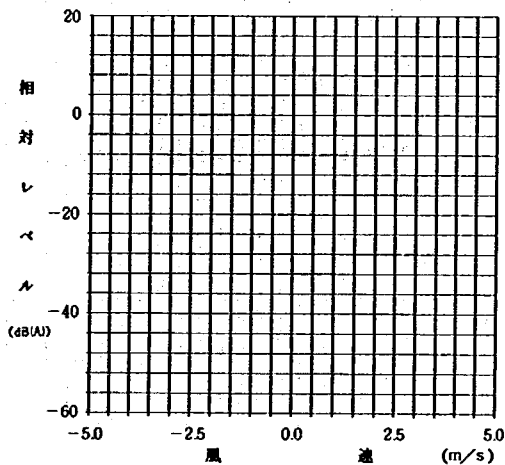
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：245 m
 $A = -34.3910$ $B = -0.2630$ $R = -0.4090$ $N = 4$

図2-79 風速と相対レベルとの関係



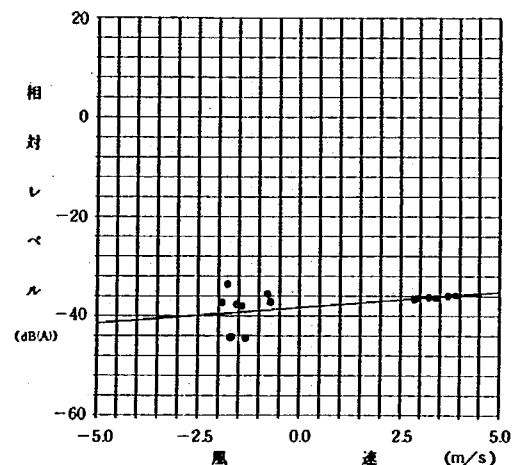
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：245 m
 $A = -39.6110$ $B = 0.8880$ $R = 0.5810$ $N = 6$

図2-80 風速と相対レベルとの関係



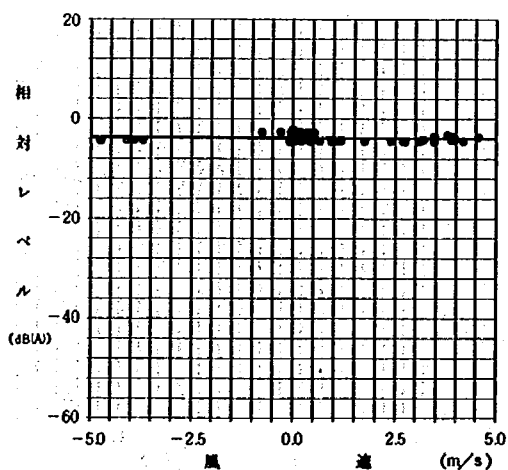
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：245 m
 $N = 0$

図2-81 風速と相対レベルとの関係



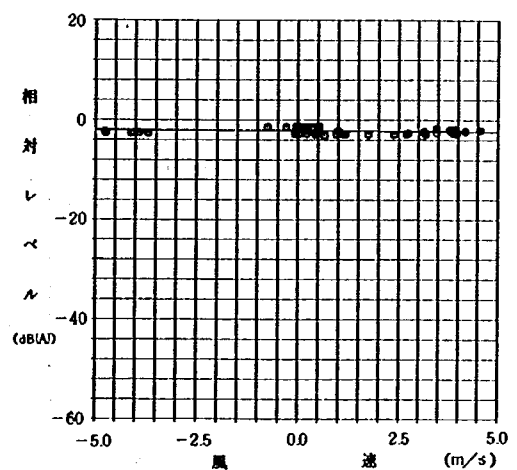
地表面性状：草地 音源高：0 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：245 m
 $A = -38.3180$ $B = 0.6300$ $R = 0.4470$ $N = 15$

図2-82 風速と相対レベルとの関係



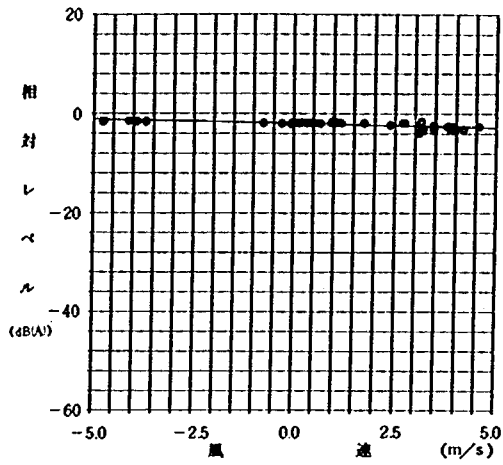
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：5 m
 $A = -3.8050$ $B = -0.0410$ $R = -0.1240$ $N = 49$

図2-83 風速と相対レベルとの関係



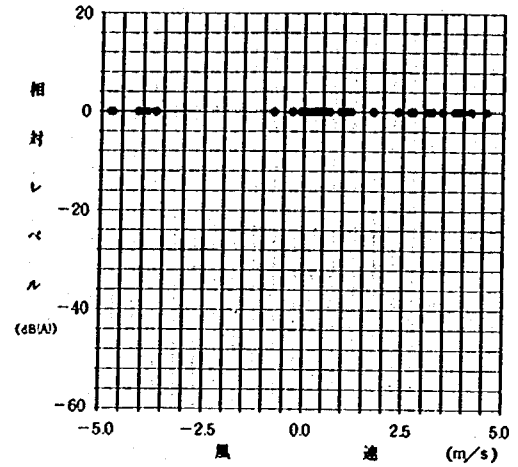
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：5 m
 $A = -2.2030$ $B = -0.0390$ $R = -0.1460$ $N = 49$

図2-84 風速と相対レベルとの関係



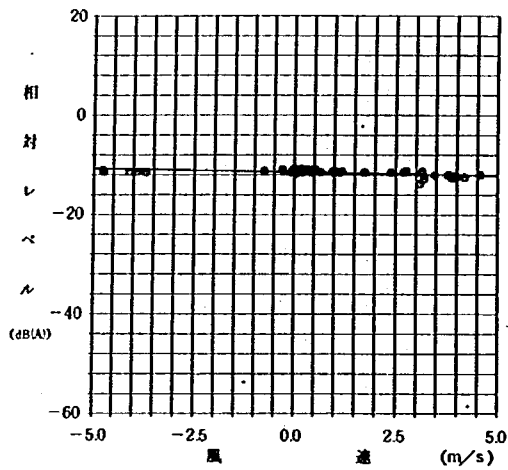
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：5 m
 $A = -1.9630$ $B = -0.1630$ $R = -0.7120$ $N = 49$

図2-85 風速と相対レベルとの関係



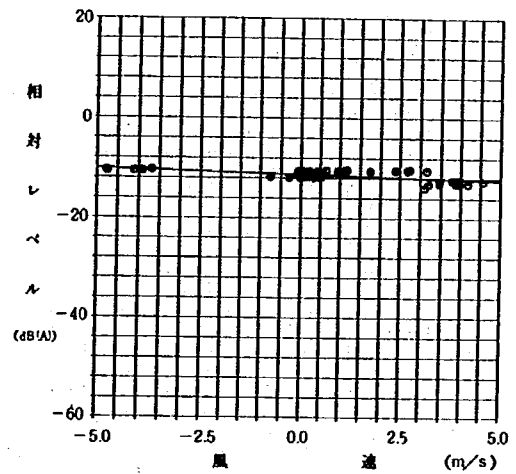
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：5 m
 $A = 0.0000$ $B = 0.0000$ $R = 0.0000$ $N = 49$

図2-86 風速と相対レベルとの関係



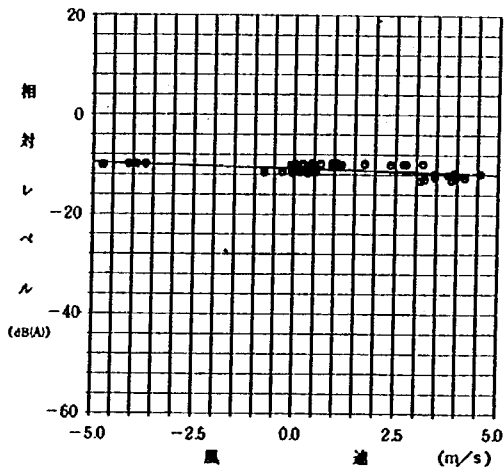
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：25 m
 $A = -11.4370$ $B = -0.1390$ $R = -0.5660$ $N = 49$

図2-87 風速と相対レベルとの関係



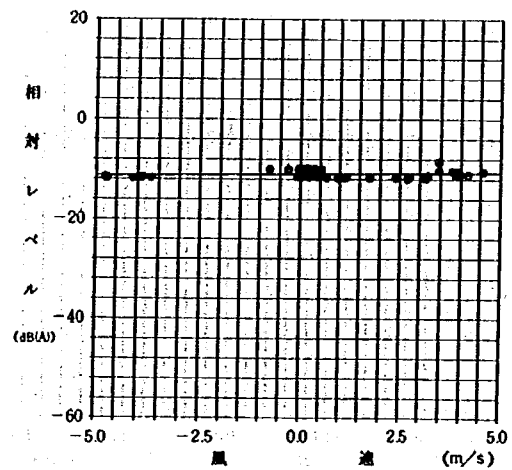
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：25 m
 $A = -11.2960$ $B = -0.2330$ $R = -0.5590$ $N = 49$

図2-88 風速と相対レベルとの関係



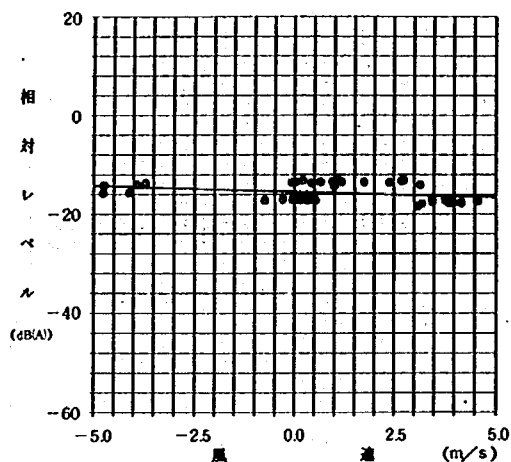
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：25 m
 $A = -10.8360$ $B = -0.2330$ $R = -0.5130$ $N = 49$

図2-89 風速と相対レベルとの関係



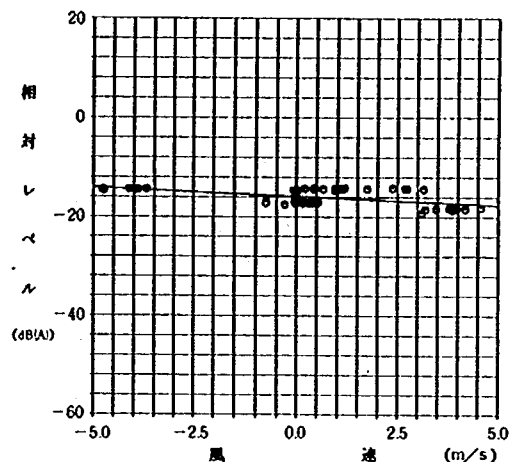
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：25 m
 $A = -10.9660$ $B = 0.056$ $R = 0.1580$ $N = 49$

図2-90 風速と相対レベルとの関係



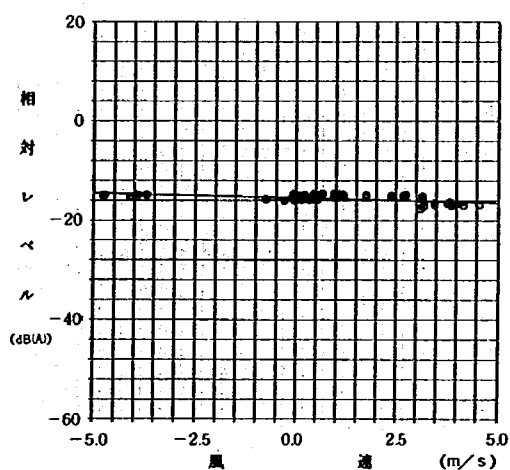
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.4960$ $B = -0.2310$ $R = -0.3010$ $N = 49$

図2-91 風速と相対レベルとの関係



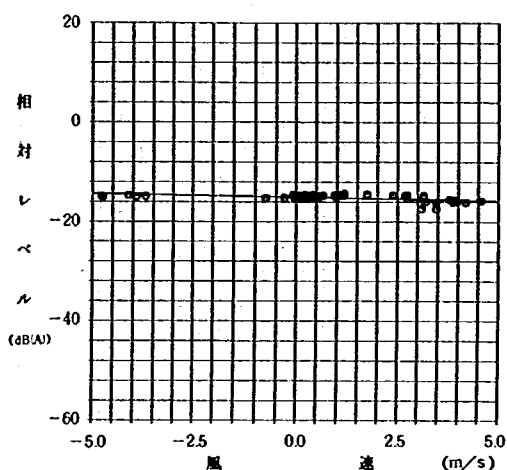
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.8810$ $B = -0.3620$ $R = -0.4970$ $N = 49$

図2-92 風速と相対レベルとの関係



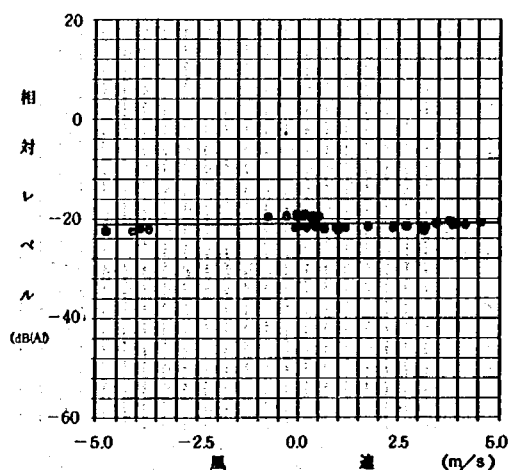
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.5110$ $B = -0.2000$ $R = -0.5940$ $N = 49$

図2-93 風速と相対レベルとの関係



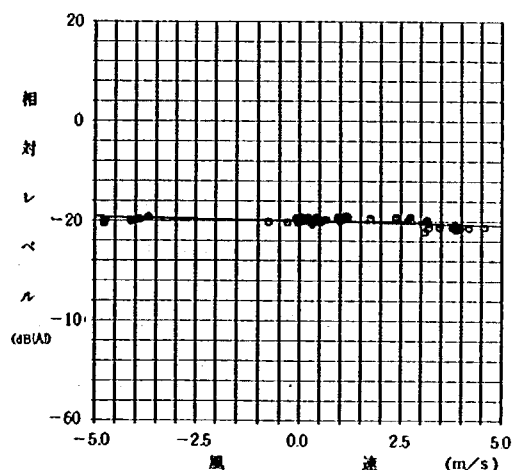
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.0940$ $B = -0.1370$ $R = -0.4960$ $N = 49$

図2-94 風速と相対レベルとの関係



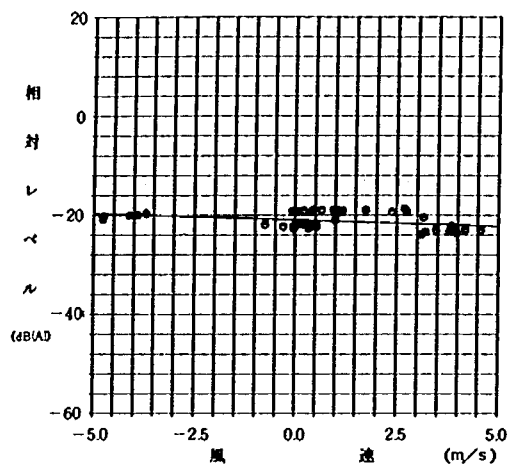
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：85 m
 $A = -20.9870$ $B = 0.0330$ $R = 0.0700$ $N = 49$

図2-95 風速と相対レベルとの関係



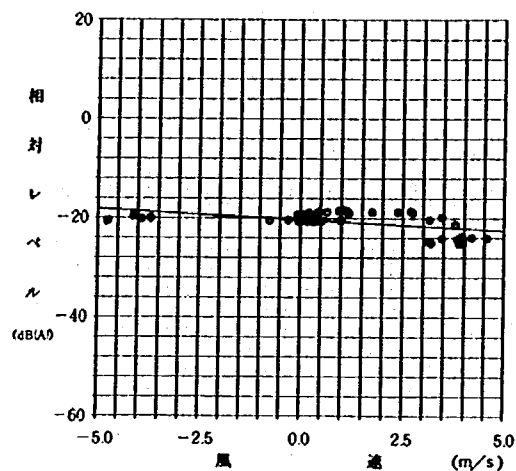
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：85 m
 $A = -20.0400$ $B = -0.1690$ $R = -0.5210$ $N = 49$

図2-96 風速と相対レベルとの関係



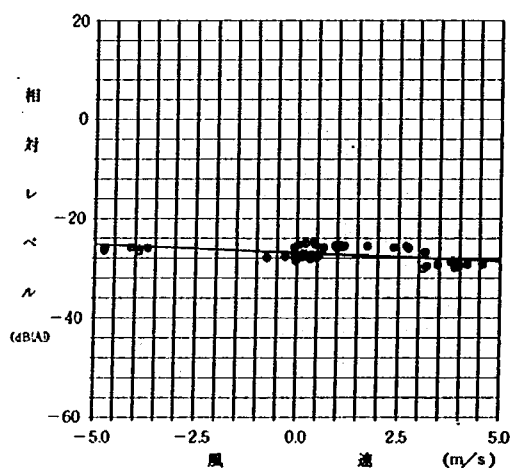
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：85 m
 $A = -20.9300$ $B = -0.2600$ $R = -0.3750$ $N = 49$

図2-97 風速と相対レベルとの関係



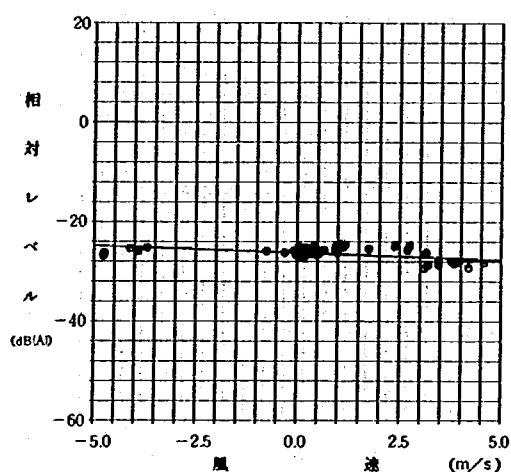
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：85 m
 $A = -20.3280$ $B = -0.4250$ $R = -0.5020$ $N = 49$

図2-98 風速と相対レベルとの関係



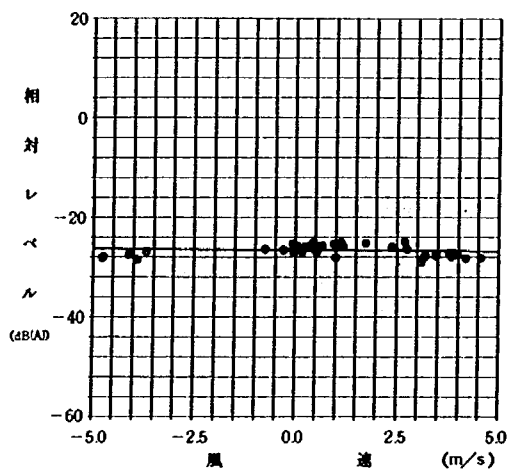
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：165 m
 $A = -26.9030$ $B = -0.3310$ $R = -0.5070$ $N = 49$

図2-99 風速と相対レベルとの関係



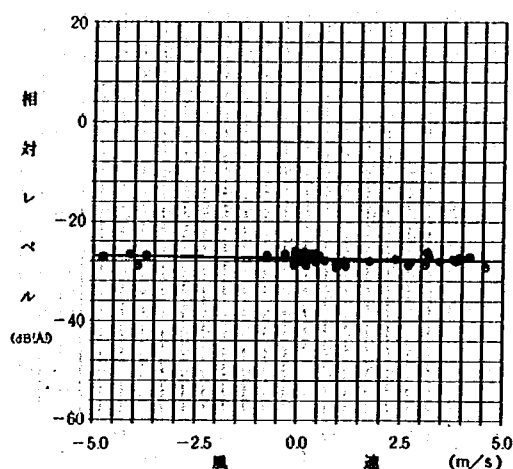
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：165 m
 $A = -26.2070$ $B = -0.2890$ $R = -0.5260$ $N = 49$

図2-100 風速と相対レベルとの関係



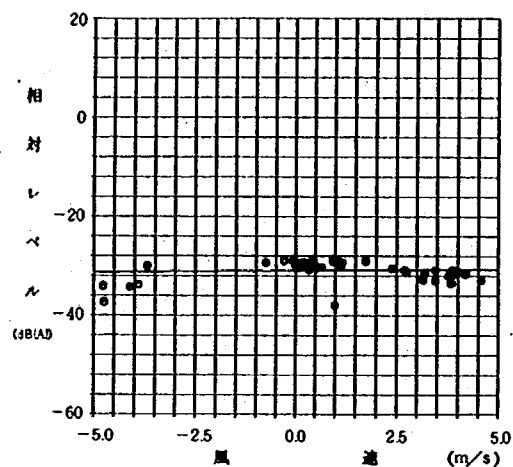
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：165 m
 $A = -26.6270$ $B = -0.0500$ $R = -0.1090$ $N = 49$

図2-101 風速と相対レベルとの関係



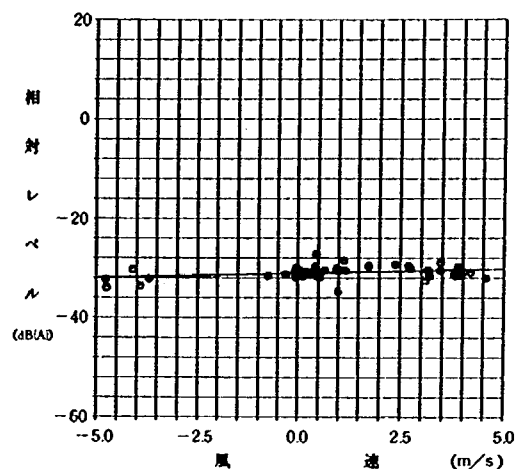
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：165 m
 $A = -27.4380$ $B = -0.0950$ $R = -0.2490$ $N = 49$

図2-102 風速と相対レベルとの関係



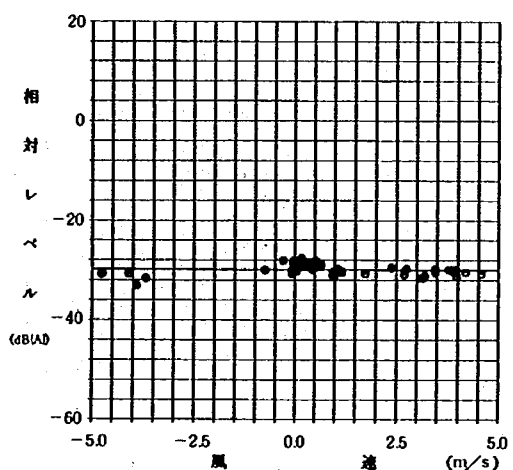
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：245 m
 $A = -30.9170$ $B = 0.0600$ $R = 0.0680$ $N = 49$

図2-103 風速と相対レベルとの関係



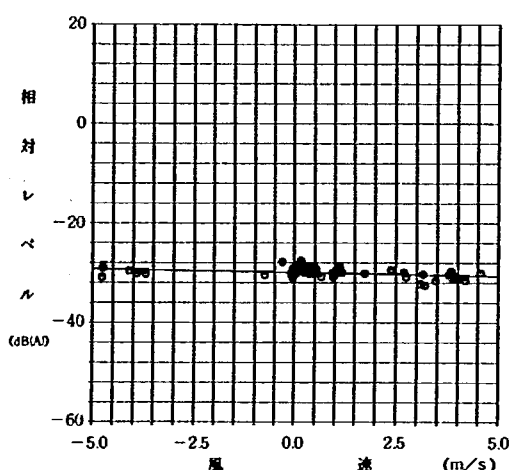
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：245 m
 $A = -31.0680$ $B = 0.1740$ $R = 0.3180$ $N = 49$

図2-104 風速と相対レベルとの関係



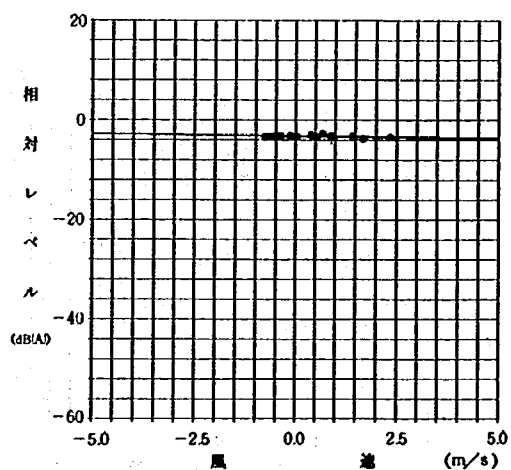
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：245 m
 $A = -29.9080$ $B = -0.0170$ $R = -0.0350$ $N = 49$

図2-105 風速と相対レベルとの関係



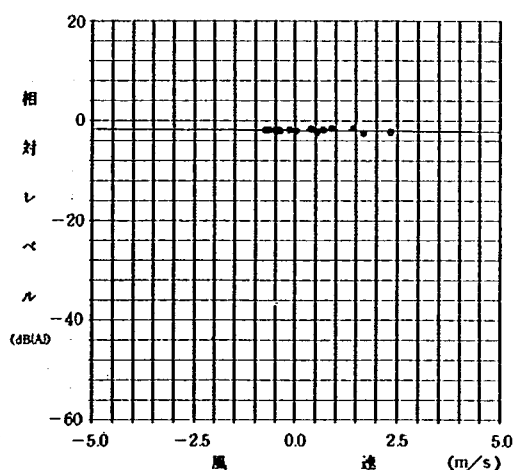
地表面性状：舗装地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：245 m
 $A = -29.9370$ $B = -0.1430$ $R = -0.3380$ $N = 49$

図2-106 風速と相対レベルとの関係



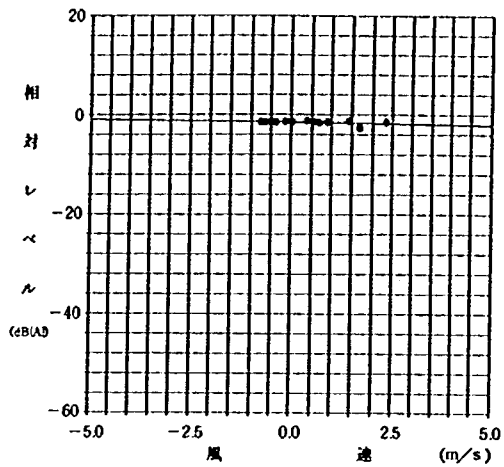
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：5 m
 $A = -32.330$ $B = -0.0060$ $R = -0.3450$ $N = 15$

図2-107 風速と相対レベルとの関係



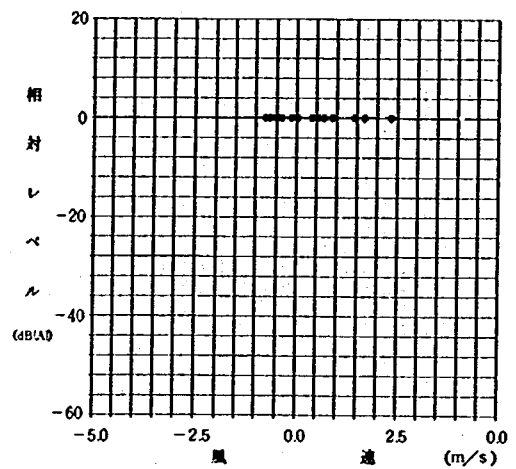
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：5 m
 $A = -1.9760$ $B = -0.0560$ $R = -0.2030$ $N = 15$

図2-108 風速と相対レベルとの関係



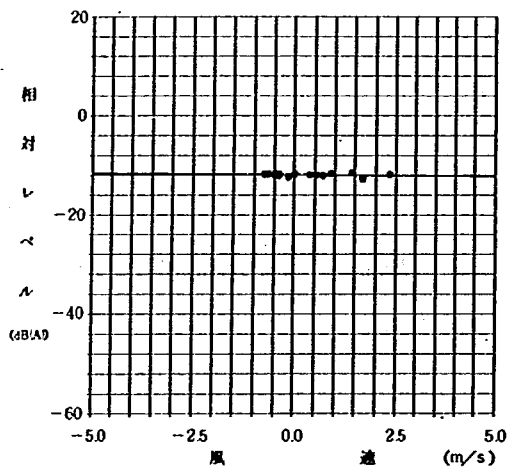
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：5 m
 $A = -1.5250$ $B = -0.1150$ $R = -0.3300$ $N = 15$

図2-109 風速と相対レベルとの関係



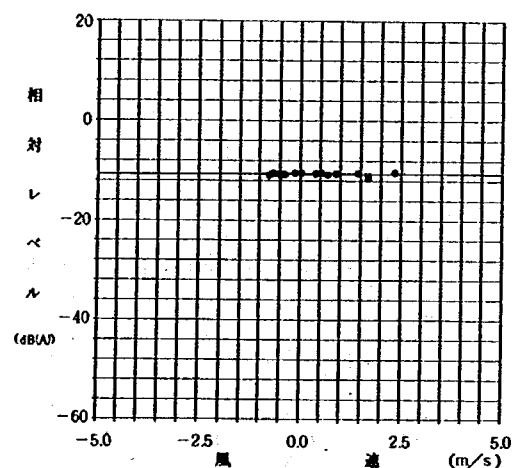
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：5 m
 $A = 0.0000$ $B = 0.0000$ $R = 0.0000$ $N = 15$

図2-110 風速と相対レベルとの関係



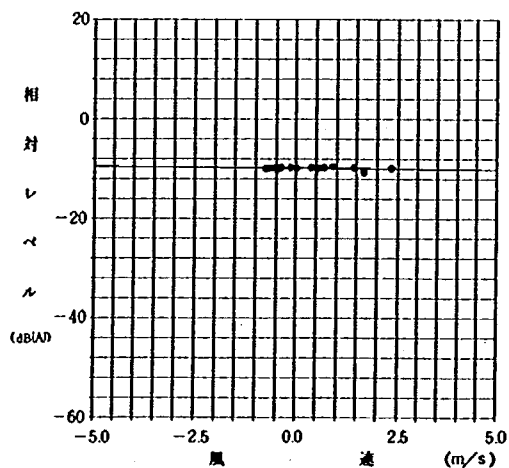
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：25 m
 $A = -11.9430$ $B = -0.0570$ $R = -0.1710$ $N = 15$

図2-111 風速と相対レベルとの関係



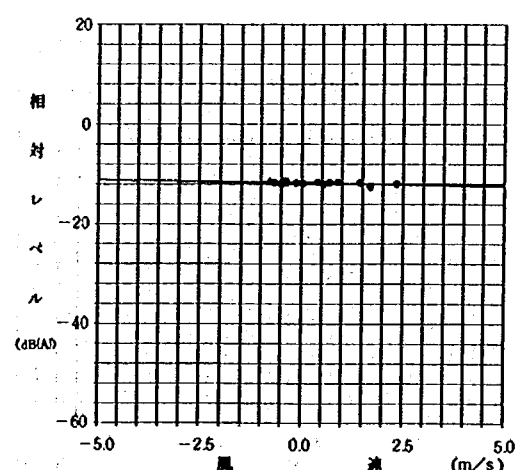
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：25 m
 $A = -10.7050$ $B = 0.0170$ $R = 0.0640$ $N = 15$

図2-112 風速と相対レベルとの関係



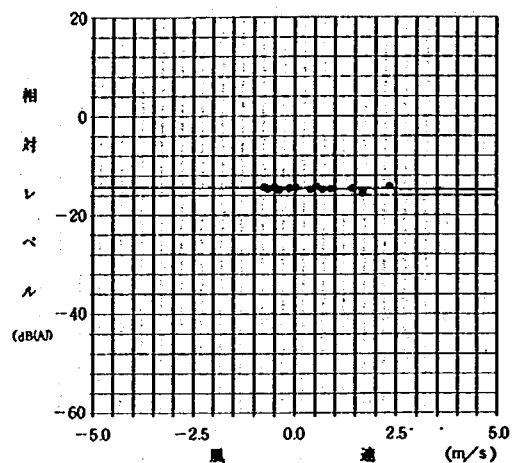
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：25 m
 $A = -9.8880$ $B = -0.0620$ $R = -0.2330$ $N = 15$

図2-113 風速と相対レベルとの関係



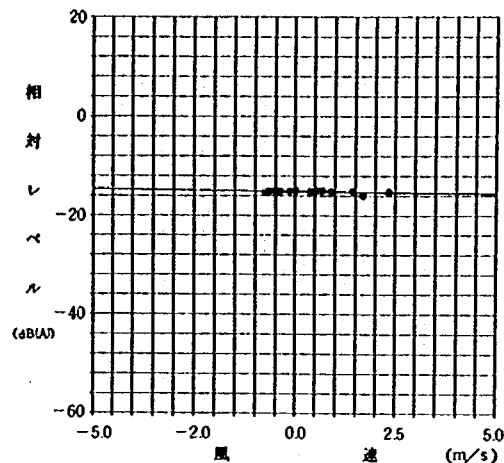
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：25 m
 $A = -11.8260$ $B = -0.1330$ $R = -0.4650$ $N = 15$

図2-114 風速と相対レベルとの関係



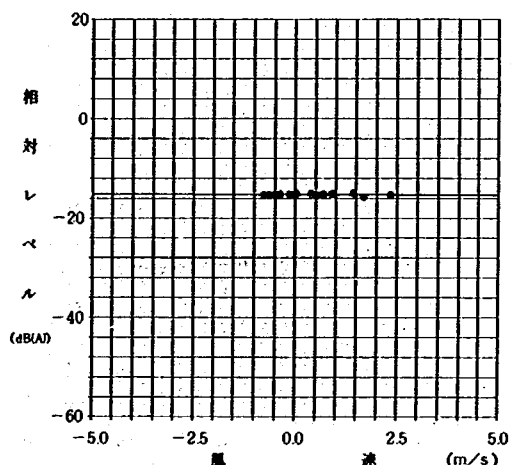
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：45 m
 $A = -14.6320$ $B = -0.0490$ $R = -0.1340$ $N = 15$

図2-115 風速と相対レベルとの関係



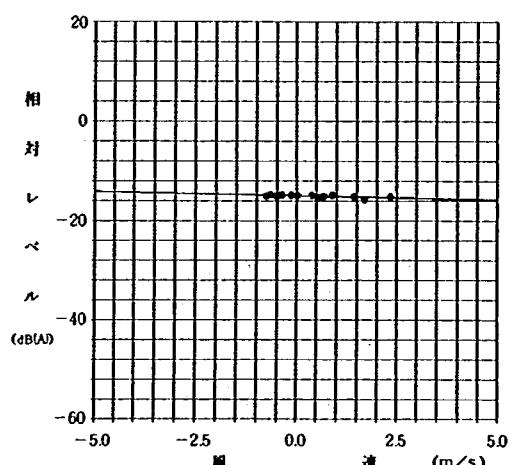
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.1600$ $B = -0.0870$ $R = -0.3280$ $N = 15$

図2-116 風速と相対レベルとの関係



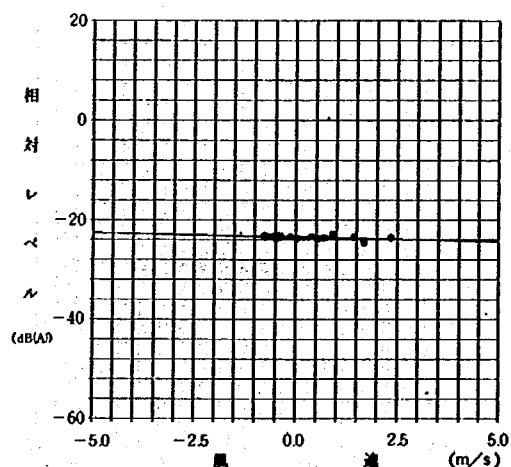
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.2740$ $B = -0.0190$ $R = -0.0910$ $N = 15$

図2-117 風速と相対レベルとの関係



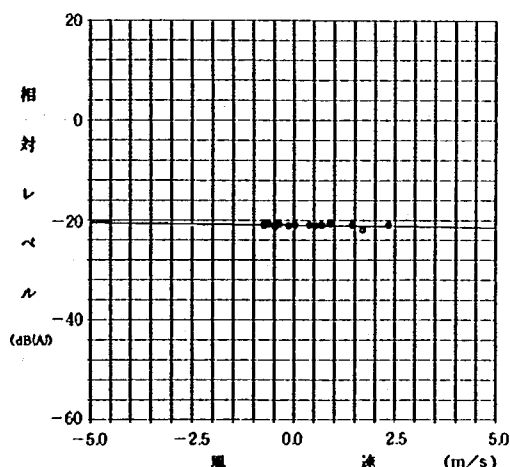
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：45 m
 $A = -15.0030$ $B = -0.1630$ $R = -0.6120$ $N = 15$

図2-118 風速と相対レベルとの関係



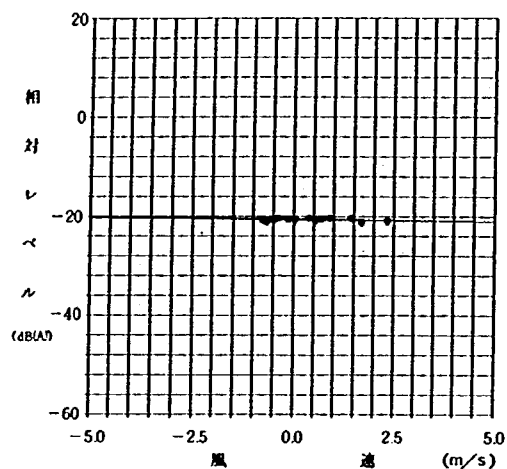
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：85 m
 $A = -23.4680$ $B = -0.1680$ $R = -0.4060$ $N = 15$

図2-119 風速と相対レベルとの関係



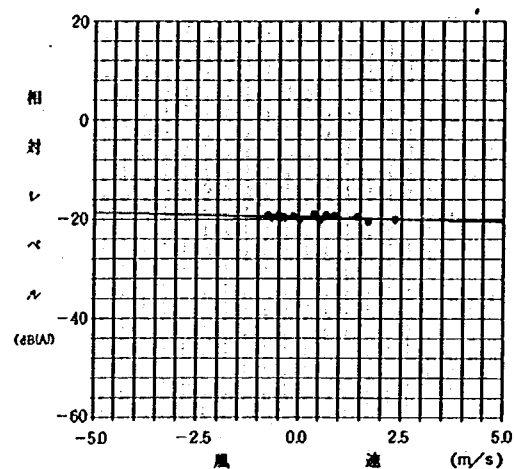
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：85 m
 $A = -21.0100$ $B = -0.0960$ $R = -0.3160$ $N = 15$

図2-120 風速と相対レベルとの関係



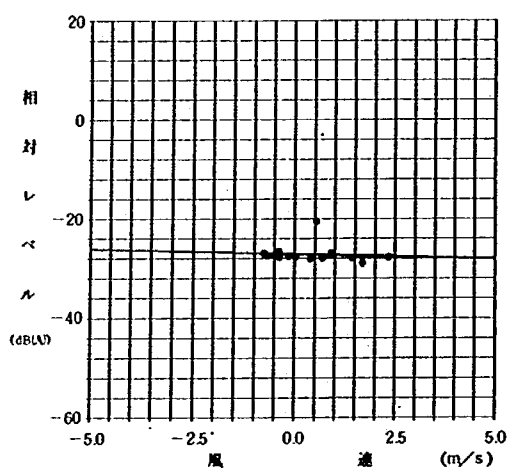
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：85 m
 $A = -20.6510$ $B = -0.0720$ $R = -0.2490$ $N = 15$

図2-121 風速と相対レベルとの関係



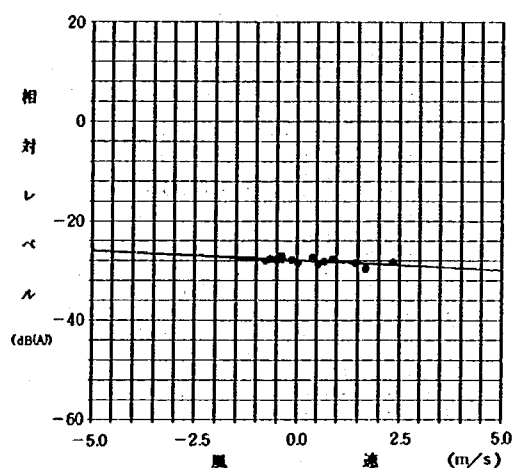
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：85 m
 $A = -19.5890$ $B = -0.1870$ $R = -0.4010$ $N = 15$

図2-122 風速と相対レベルとの関係



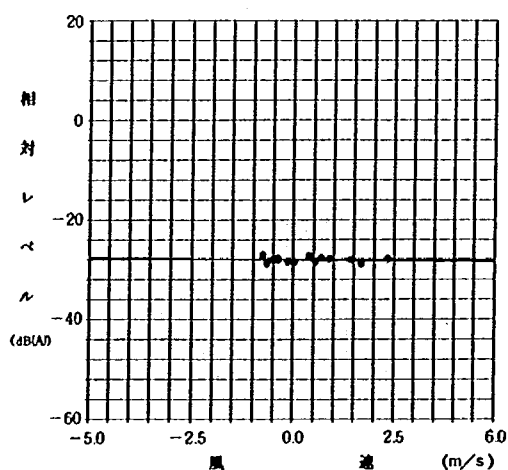
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：165 m
 $A = -27.0980$ $B = -0.1990$ $R = -0.0970$ $N = 15$

図2-123 風速と相対レベルとの関係



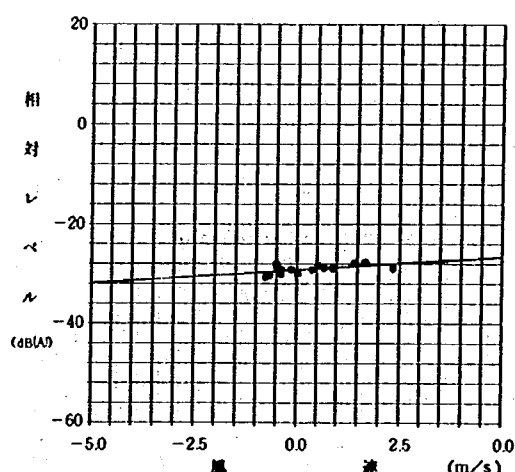
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：165 m
 $A = -27.9520$ $B = -0.3930$ $R = -0.5750$ $N = 15$

図2-124 風速と相対レベルとの関係



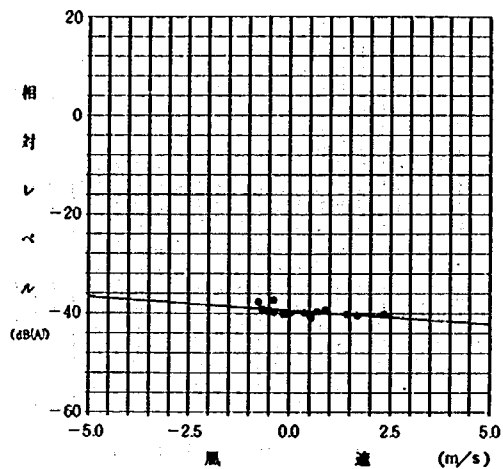
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：165 m
 $A = -28.0490$ $B = -0.0780$ $R = -0.1400$ $N = 15$

図2-125 風速と相対レベルとの関係



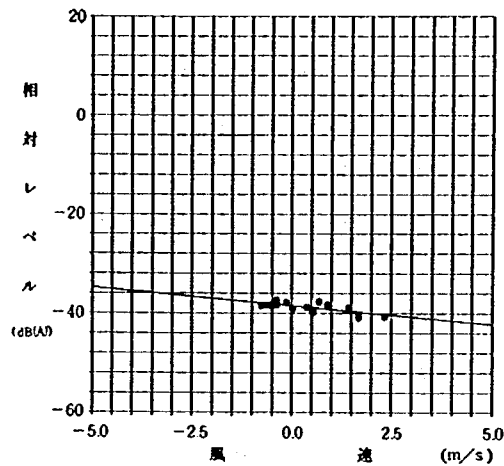
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：165 m
 $A = -29.2620$ $B = 0.5250$ $R = 0.5440$ $N = 15$

図2-126 風速と相対レベルとの関係



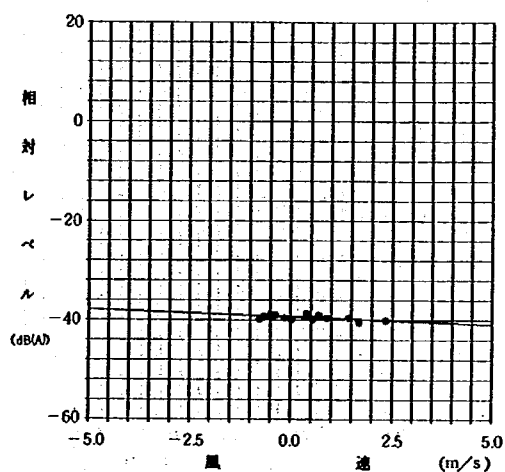
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：1.2 m 受音点距離：245 m
 $A = -39.4030$ $B = -0.5490$ $R = -0.5410$ $N = 15$

図2-127 風速と相対レベルとの関係



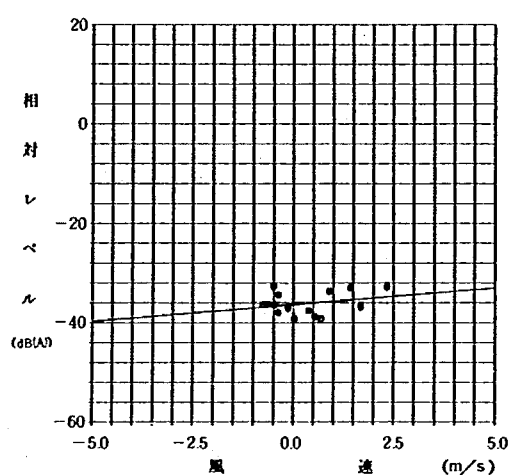
地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：3.5 m 受音点距離：245 m
 $A = -38.5220$ $B = -0.7470$ $R = -0.7020$ $N = 15$

図2-128 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：7.0 m 受音点距離：245 m
 $A = -39.3860$ $B = -0.3040$ $R = -0.5610$ $N = 15$

図2-129 風速と相対レベルとの関係



地表面性状：草地 音源高：10 m
 受音点高：12.0 m 受音点距離：245 m
 $A = -36.3660$ $B = 0.6660$ $R = 0.2710$ $N = 15$

図2-130 風速と相対レベルとの関係

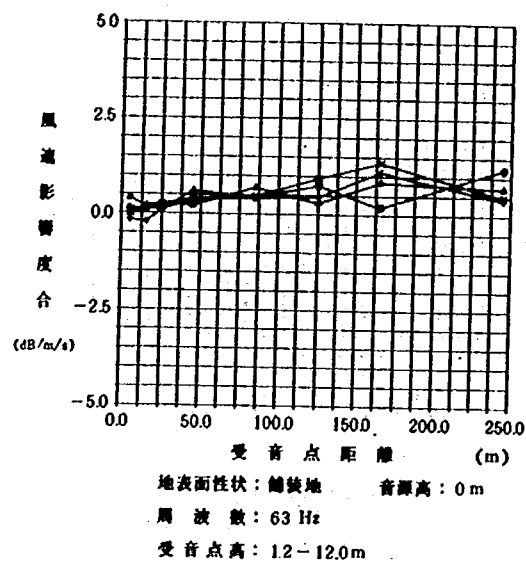
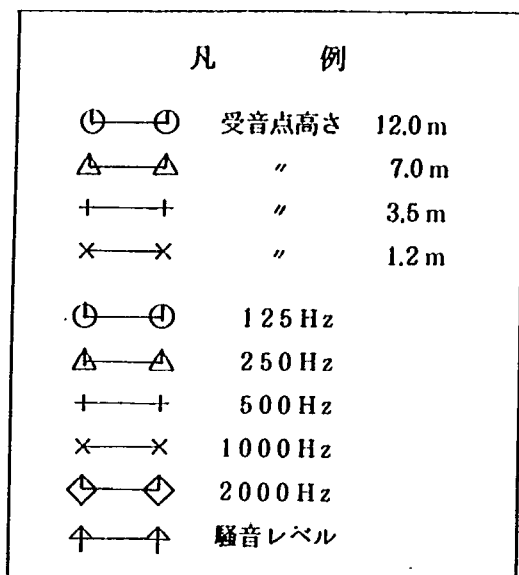


図2-131 受音点高さ別風速影響度合

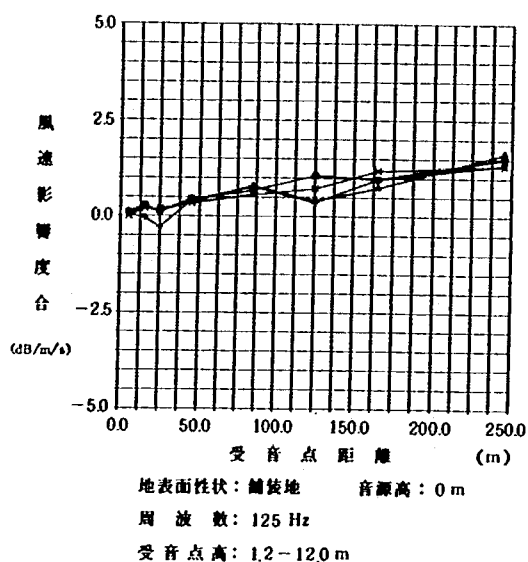


図2-132 受音点高さ別風速影響度合

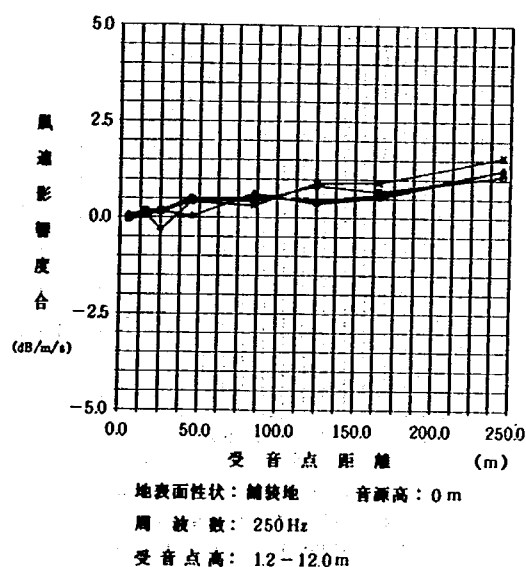


図2-133 受音点高さ別風速影響度合

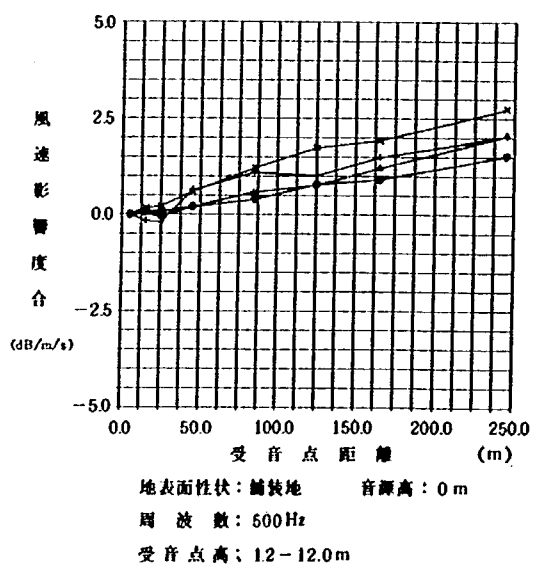


図2-134 受音点高さ別風速影響度合

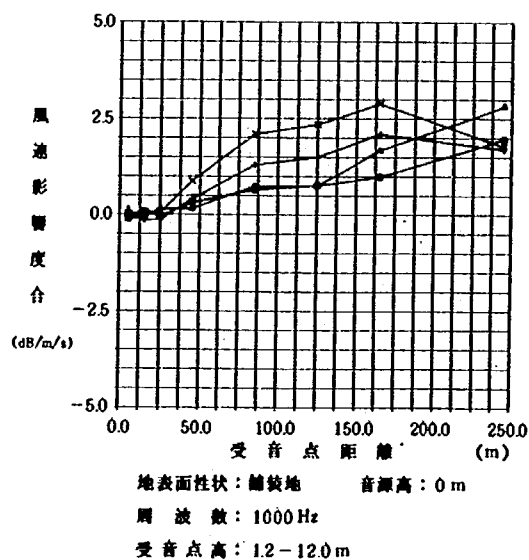


図2-135 受音点高さ別風速影響度合

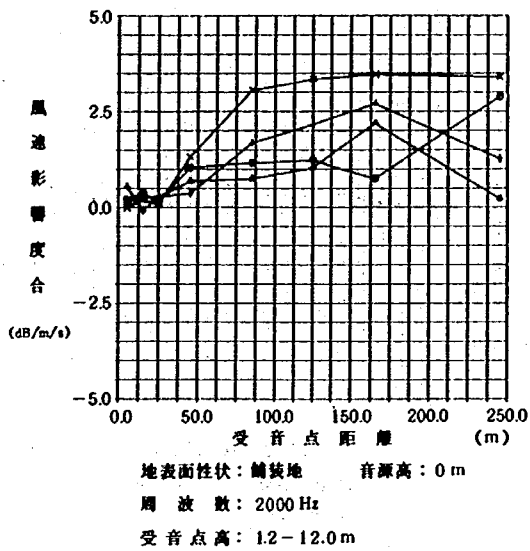


図 2-136 受音点高さ別風速影響度合

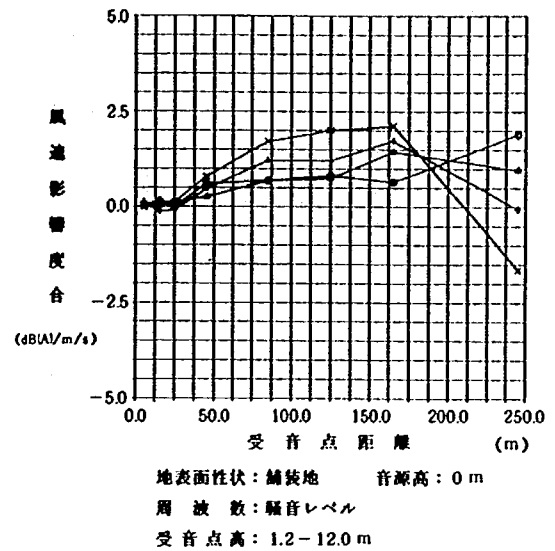


図 2-137 受音点高さ別風速影響度合

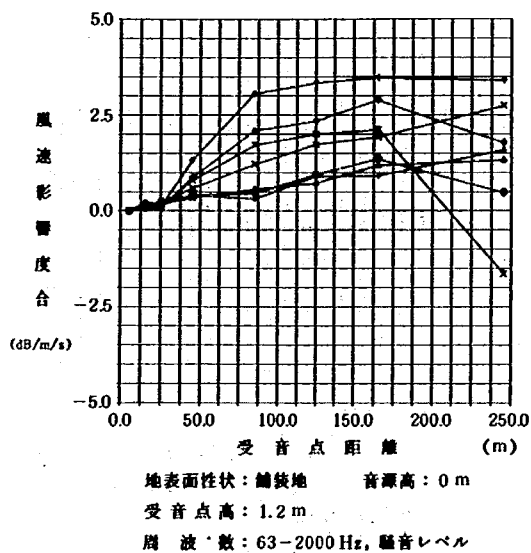


図 2-138 周波数別風速影響度合

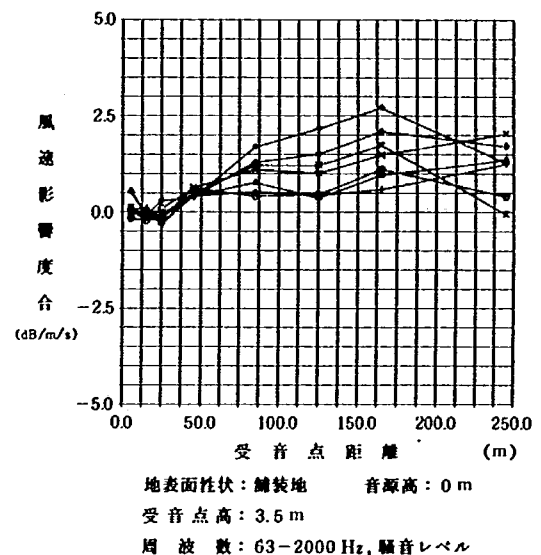


図 2-139 周波数別風速影響度合

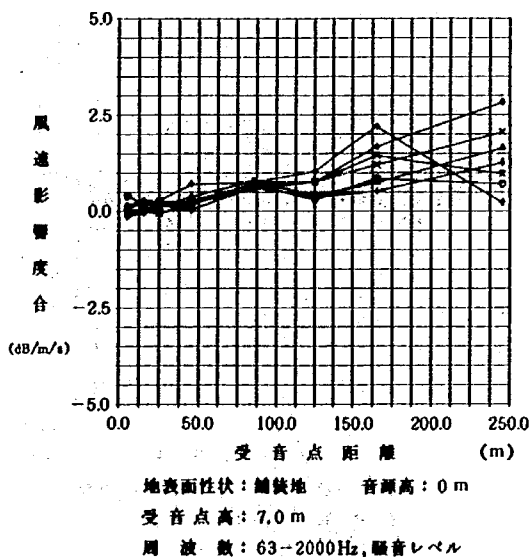


図 2-140 周波数別風速影響度合

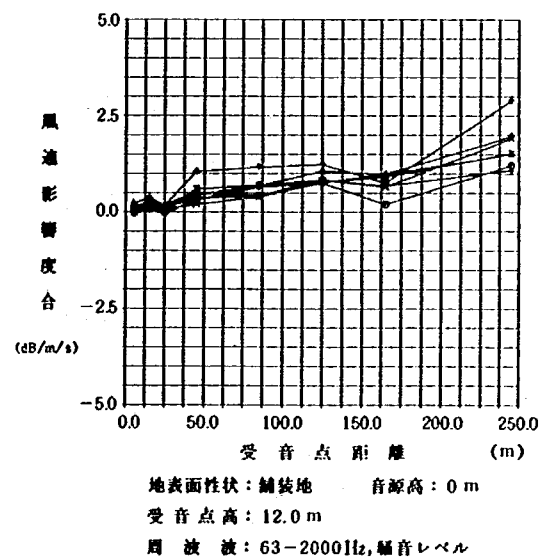


図 2-141 周波数別風速影響度合

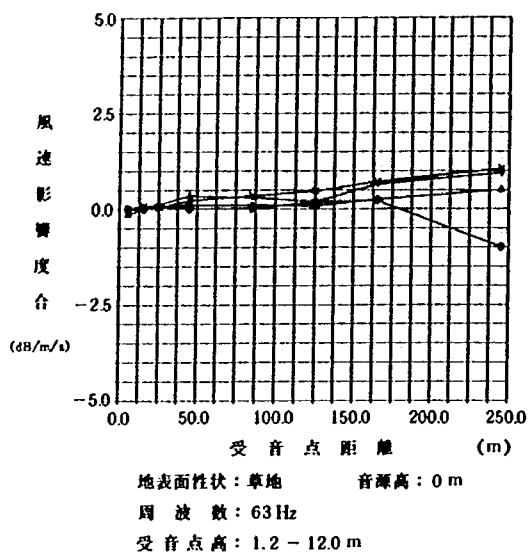


図 2-142 受音点高さ別風速影響度合

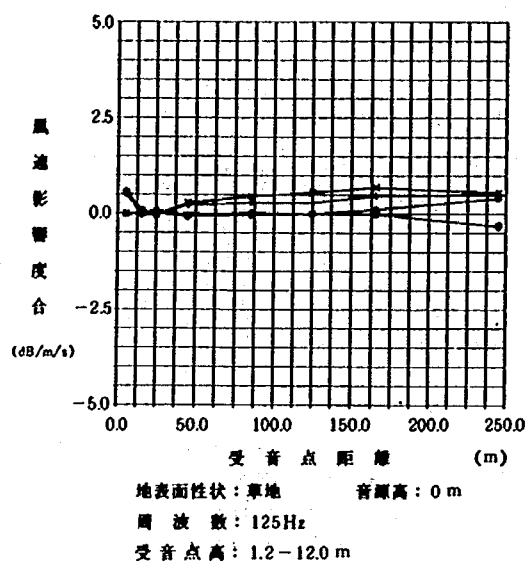


図 2-143 受音点高さ別風速影響度合

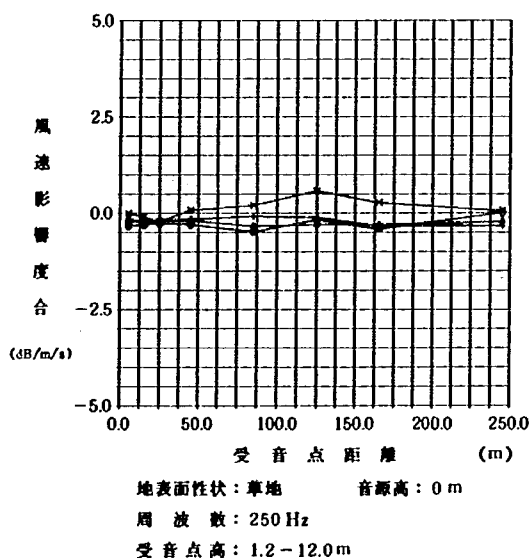


図 2-144 受音点高さ別風速影響度合

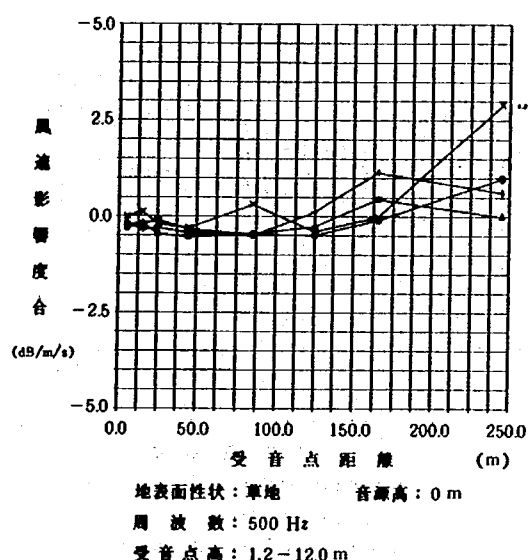


図 2-145 受音点高さ別風速影響度合

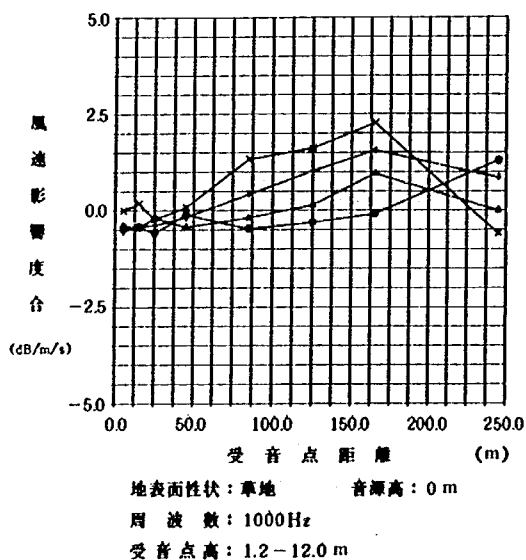


図 2-146 受音点高さ別風速影響度合

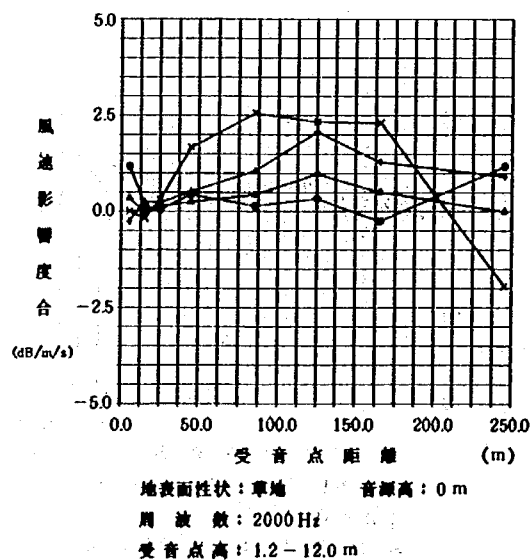


図 2-147 受音点高さ別風速影響度合

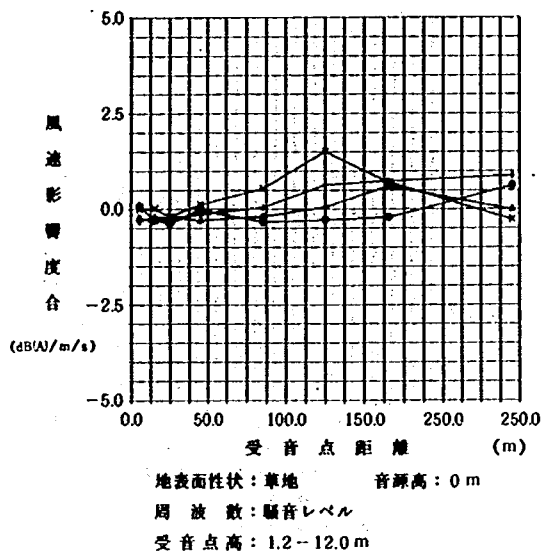


図2-148 受信点高さ別風速影響度合

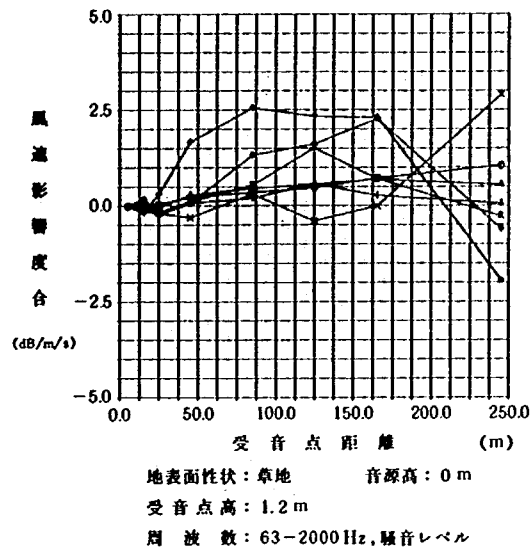


図2-149 周波数別風速影響度合

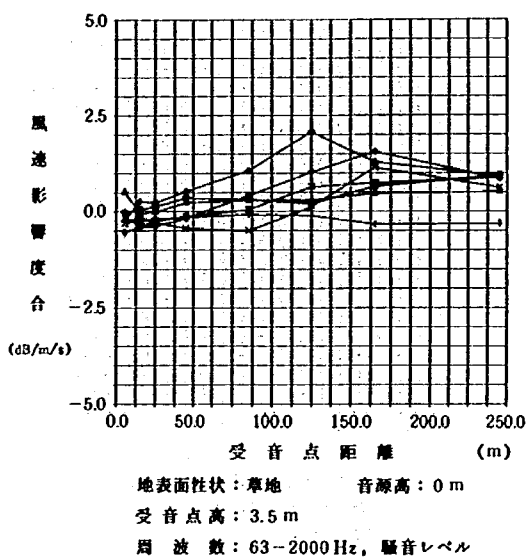


図2-150 周波数別風速影響度合

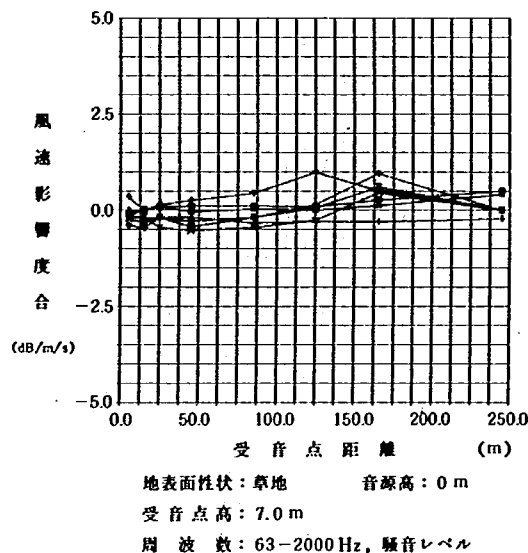


図2-151 周波数別風速影響度合

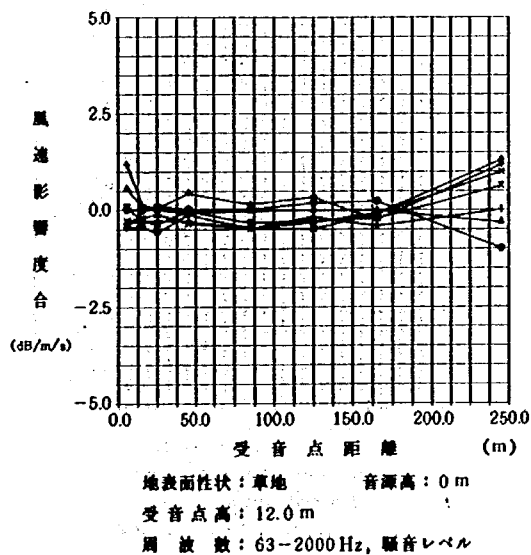


図2-152 周波数別風速影響度合

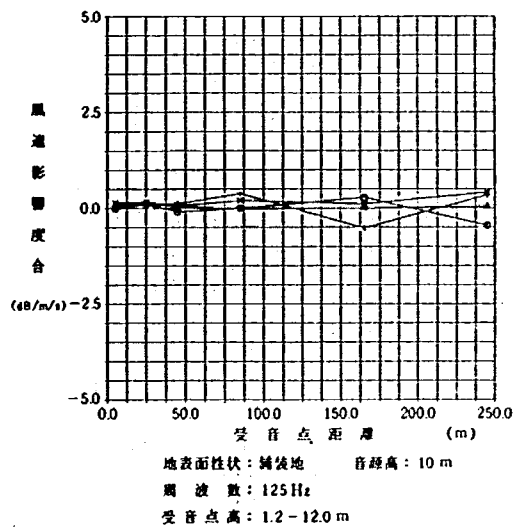


図2-153 受信点高さ別風速影響度合

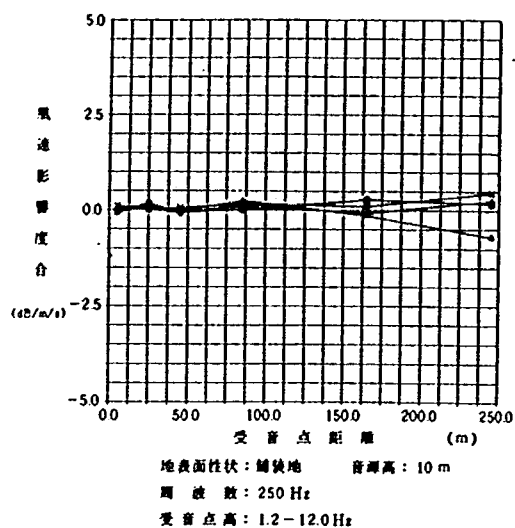


図 2-154 受音点高さ別風速影響度合

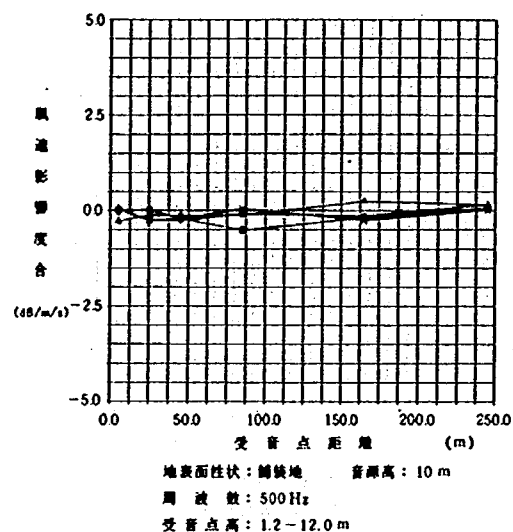


図 2-155 受音点高さ別風速影響度合

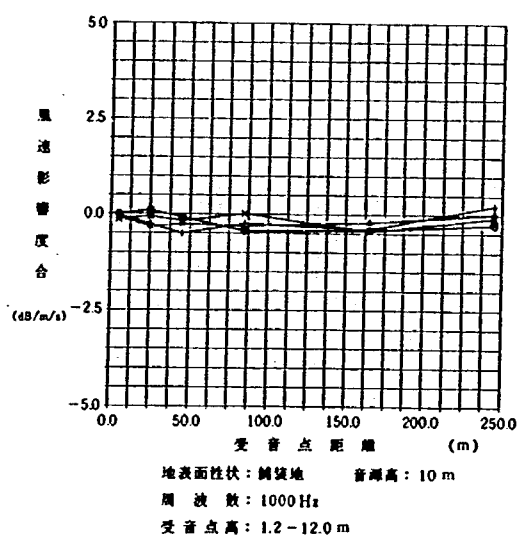


図 2-156 受音点高さ別風速影響度合

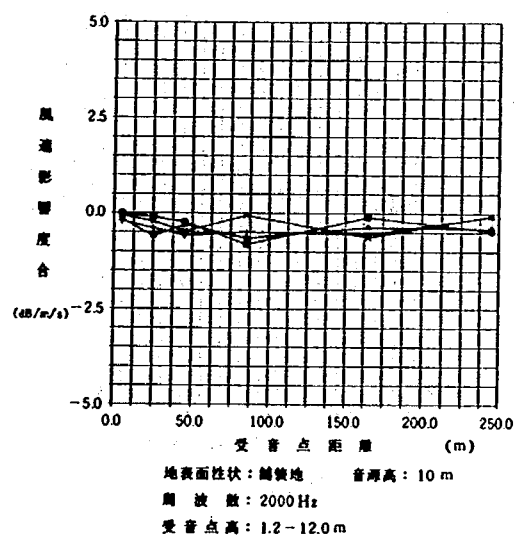


図 2-157 受音点高さ別風速影響度合

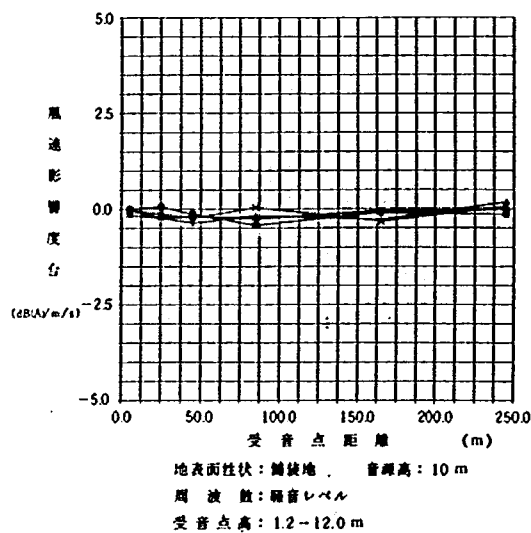


図 2-158 受音点高さ別風速影響度合

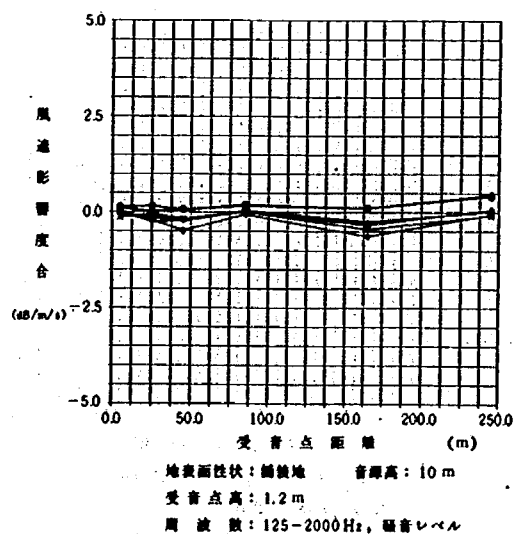


図 2-159 周波数別風速影響度合

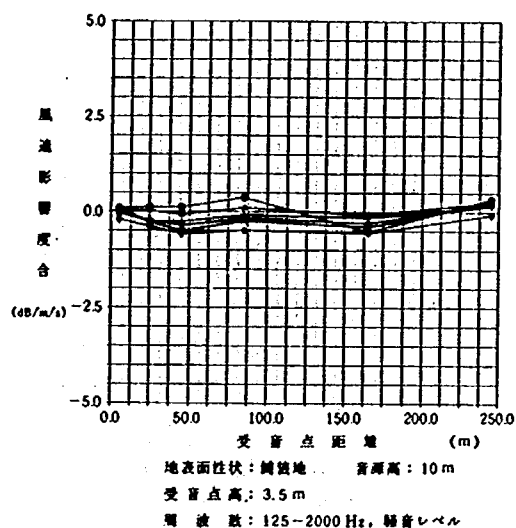


図2-160 周波数別風速影響度合

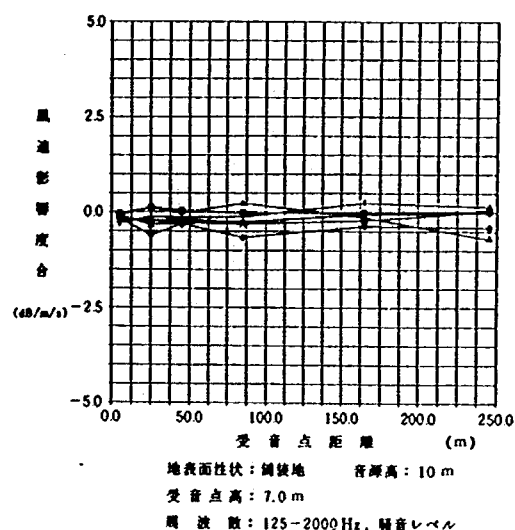


図2-161 周波数別風速影響度合

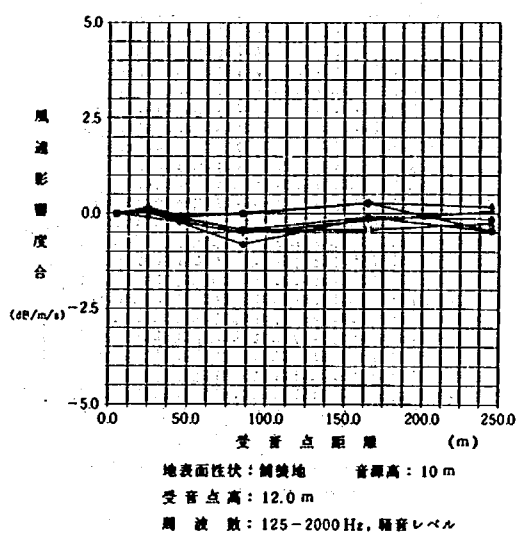


図2-162 周波数別風速影響度合

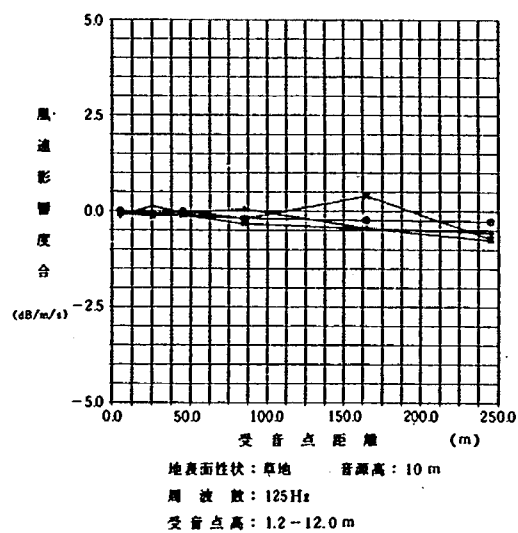


図2-163 受音点高さ別風速影響度合

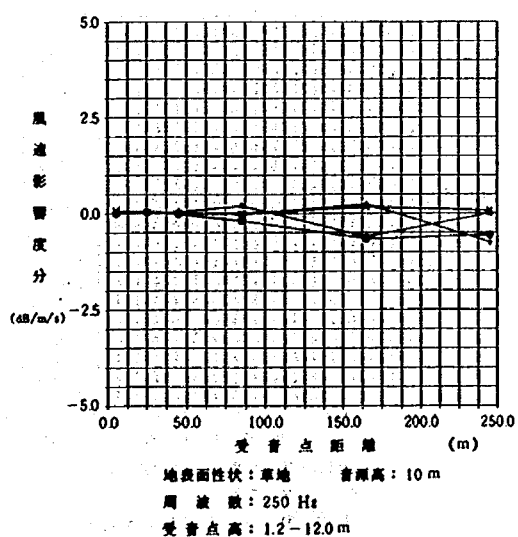


図2-164 受音点高さ別風速影響度合

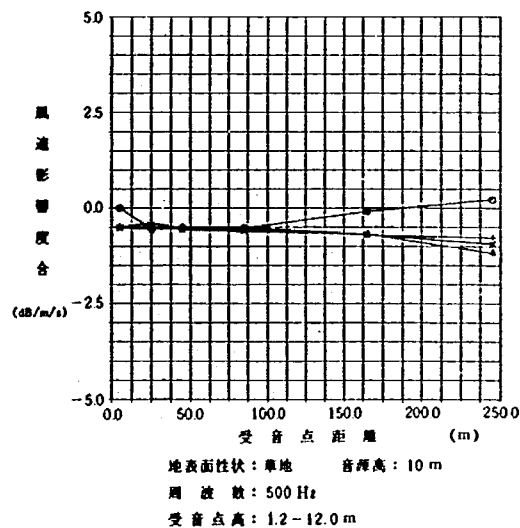


図2-165 受音点高さ別風速影響度合

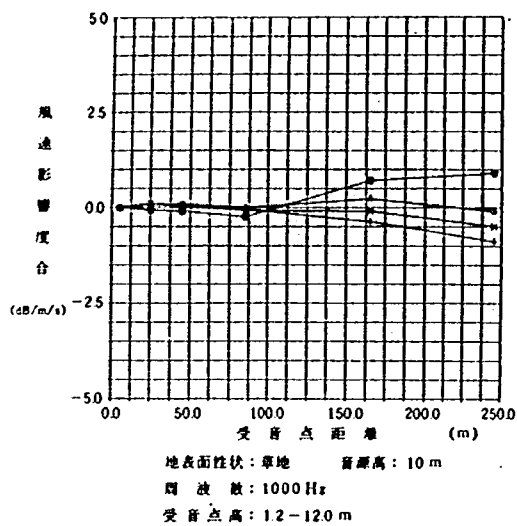


図2-166 受音点高さ別風速影響度合

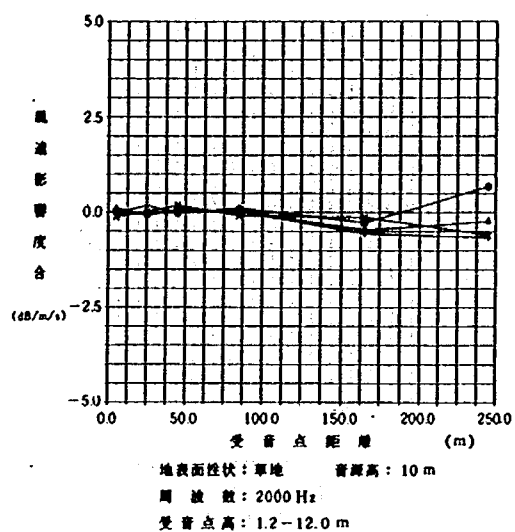


図2-167 受音点高さ別風速影響度合

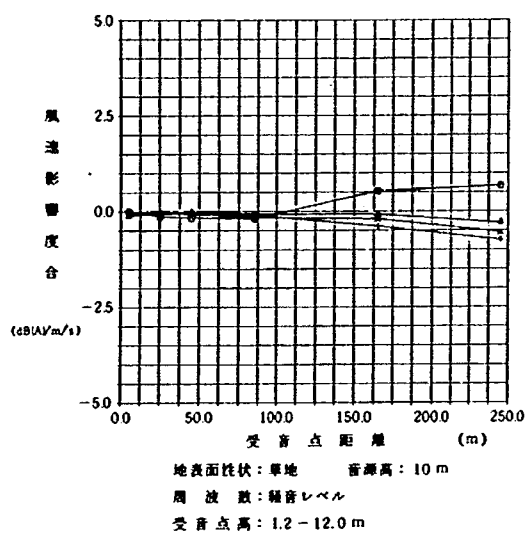


図2-168 受音点高さ別風速影響度合

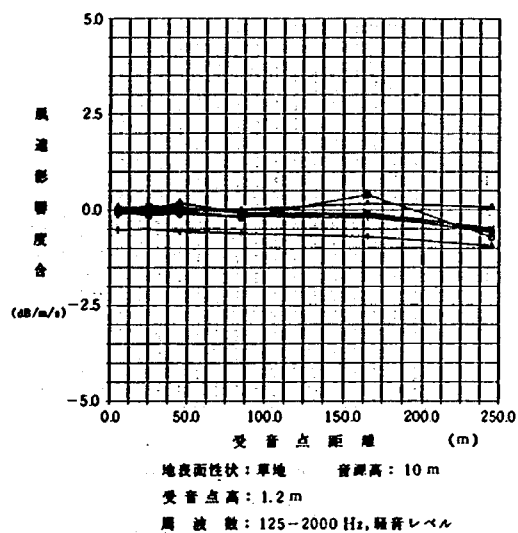


図2-169 周波数別風速影響度合

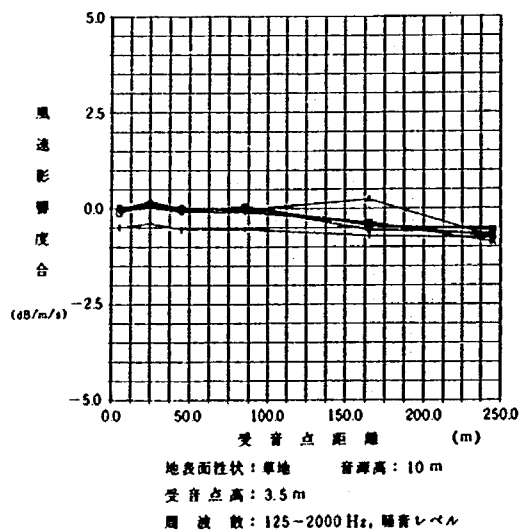


図2-170 周波数別風速影響度合

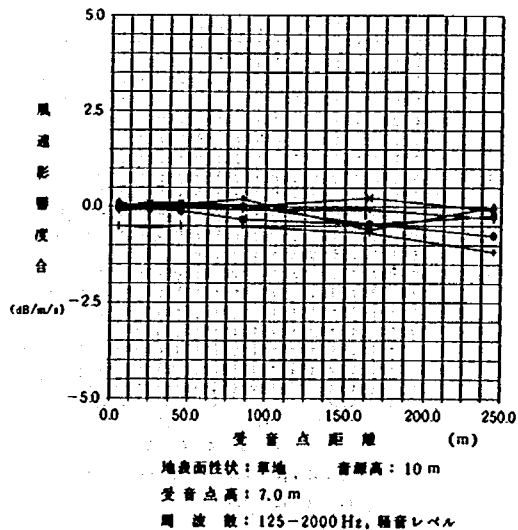


図2-171 周波数別風速影響度合

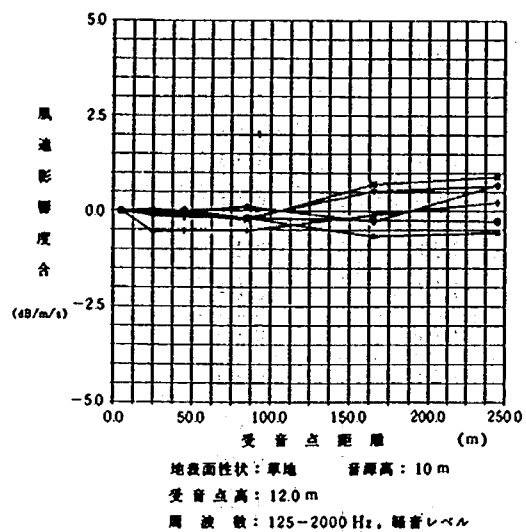


図2-172 周波数別風速影響度合

表 2-2 騒音レベルに対する風速の影響度合

地表面：舗装地，音源高：地上

距離 \ 高さ	1.2 m	3.5 m	7.0 m	12.0 m
5 m	基準点	0.12	0.01	0.05
15 m	0.12	-0.11	0.04	0.15
25 m	0.12	-0.07	0.13	0.01
45 m	0.80	0.48	0.26	0.60
85 m	1.72	1.22	0.69	0.69
125 m	2.01	1.22	0.75	0.83
165 m	2.13	1.74	1.45	0.66
245 m	-1.64	0.04	0.97	1.92

地表面：草地，音源高：地上

距離 \ 高さ	1.2 m	3.5 m	7.0 m	12.0 m
5 m	基準点	-0.30	-0.23	0.09
15 m	0.03	-0.19	-0.32	-0.26
25 m	-0.18	-0.24	-0.20	-0.36
45 m	0.13	-0.13	-0.29	-0.01
85 m	0.55	0.05	-0.18	-0.33
125 m	1.52	0.65	0.06	-0.27
165 m	0.72	0.75	0.61	-0.20
245 m	-0.26	0.89	欠 測	0.63

地表面：舗装地，音源高：地上10m

距離 \ 高さ	1.2 m	3.5 m	7.0 m	12.0 m
5 m	-0.04	-0.04	-0.16	基準点
25 m	-0.14	-0.23	-0.23	0.06
45 m	-0.23	-0.36	-0.20	-0.14
85 m	0.03	-0.17	-0.26	-0.43
165 m	-0.33	-0.29	-0.05	-0.10
245 m	0.06	0.17	-0.02	-0.14

地表面：草地，音源高：地上10m

距離 \ 高さ	1.2 m	3.5 m	7.0 m	12.0 m
5 m	-0.09	-0.06	-0.12	基準点
25 m	-0.06	0.02	-0.06	-0.13
45 m	-0.05	-0.09	-0.02	-0.16
85 m	-0.17	-0.10	-0.07	-0.19
165 m	-0.20	-0.39	-0.08	0.53
245 m	-0.55	-0.75	-0.30	0.67

単位 (dB (A))/m/s)

図2-131～図2-137は地表面が舗装地で音源の高さが地上の場合における周波数別の結果であり、図2-138～図2-141は受音点高さ別の結果である。図2-142～図2-148および図2-149～図2-152はそれぞれ地表面が草地で音源の高さが地上の場合における周波数別と受音点高さ別の結果である。また図2-153～図2-158および図2-159～図2-162は地表面が舗装地で音源が地上10mの場合の結果であり、図2-163～図2-168および図2-169～図2-172は地表面が草地で音源が地上10mの場合における結果である。なお、音源が地上で受音点距離が245mの場合にはS/Nが不足して有効な測定が行えなかったケースが多く、その結果、1 000Hz、2 000Hzの1/1オクターブバンドレベルと騒音レベルの値がばらついている。

表2-2には、騒音レベルに対する風の影響度合を一覧表にして示す。

2-3 ま と め

人工音を用いた野外での伝播実験の結果、次に示すことが明らかになった。

- ① 音源の位置が地上の場合、1/1オクターブバンド63 Hz～2 kHzでは周波数が高い程、音源からの距離が遠い程、また地表面に近い程風速の増加による影響が大きい。地表面が舗装地の場合と草地の場合とを比較すると、舗装地の方が影響度合が大きい。
- ② 音源が地上から10mに設置された場合には、①に示した傾向はみられず、風速の増加による影響はほとんどみられない。また地表面性状による違いも明確ではない。
- ③ バンドノイズを合成した騒音レベルについては、音源の位置が地上の場合、音源からの距離が遠い程、また地表面に近い程風速の増加による影響が大きく、その度合は舗装地の方が大きい。また音源が地上から10mに設置された場合には風速の増加による影響はほとんどみられない。この傾向は道路交通騒音についてもあてはまると考えられる。

3. 風の影響に関する野外実測

第2章野外実験において、騒音レベルの結果が道路交通騒音に対する風の影響を表していると考えられるが、ここではその結果を確かめるため、平面道路と高架道路を想定した橋梁において道路交通騒音の実測と風向・風速の観測を行い、その結果を騒音伝播に対する風の影響という観点から分析した。

3-1 調査方法

3-1-1 騒音レベルの測定

平面道路については図3-1、橋梁においては図3-2に示す測定点において測定を行った。共に道路に直角方向の上下車線両側の測線上に、それぞれ4ヶ所と5ヶ所（うち2ヶ所は高さ方向に2ヶ所）の合計12地点（平面）および14地点（橋梁）の測定点を設定した。1回の測定は10分間とし、各地点の騒音レベルをデータレコーダーに収録した。なお橋梁の路面の地表面からの高さは約8mである。

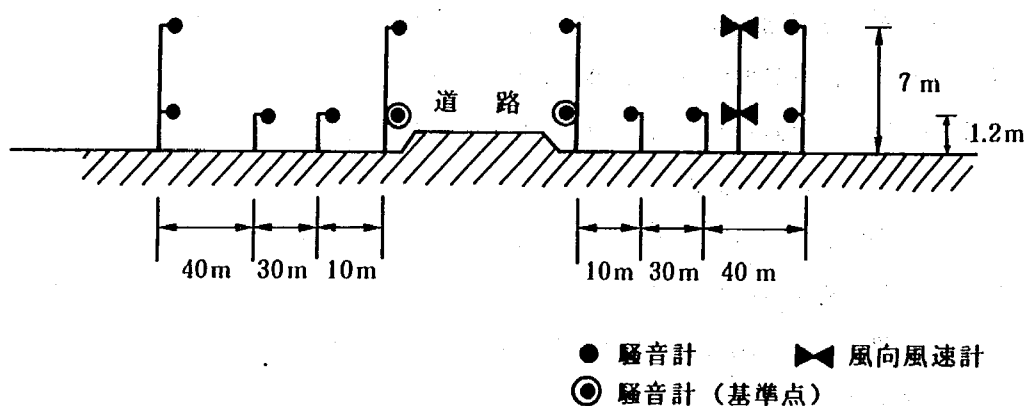


図3-1 測定状況（平面道路）

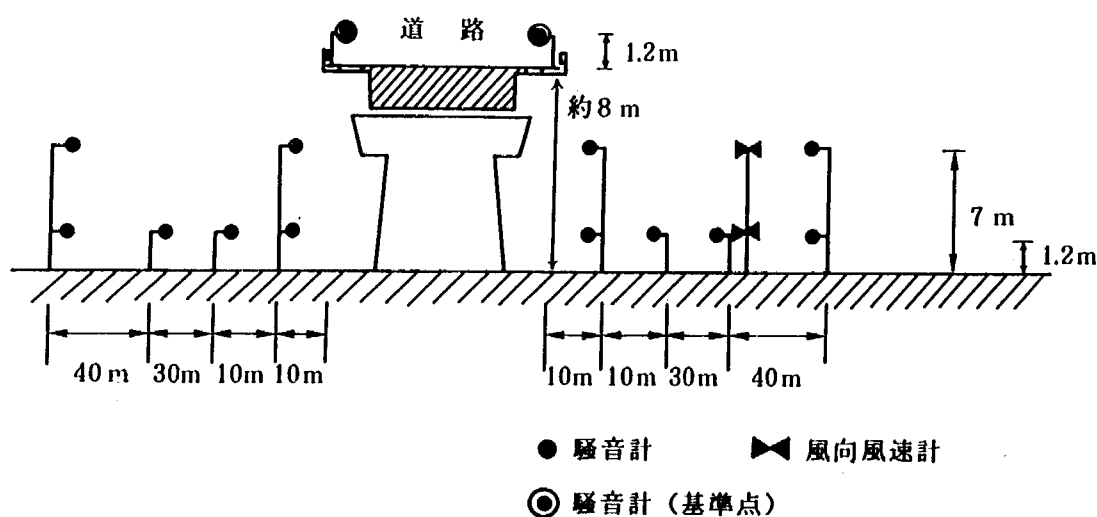


図3-2 測定状況（橋梁）

3-1-2 気象観測

風向・風速については、測線上の1ヶ所地上高約1.2 m、7 mの2地点に超音波風向風速計の発信器を設置し観測した。記録計には10分間の移動平均値を出力する一方、データレコーダーには測線方向のベクトル風速の瞬間値を10分間、騒音と同時に収録した。

3-1-2 交通量測定

騒音収録中の10分間について、上下車線別に表3-1に示す3車種分類に従って交通量の観測を行った。また上下車線別にそれぞれ10台程度の走行速度を測定した。

また、同時にビデオカメラ2台で上下車線の車両の走行状況を、測定分秒を画面内に入れて収録した。

表 3-1 3車種分類

車 種	対 応 す る プ レ ー ト 番 号
大 型 車 類	0 および 00 ~ 09, 1 および 10 ~ 19, 2 および 20 ~ 29 8 および 80 ~ 89, 9 および 90 ~ 99
小型貨物車類	4 および 40 ~ 49 (黄地又は黒地を含む, ライトバンを除く) 5 および 50 ~ 59 (黄地又は黒地のみ) 6 および 60 ~ 69 (黄地又は黒地を含む), 3 ^s , 6 ^s , 8 ^s 二輪車
乗 用 車 類	4 および 40 ~ 49 (ライトバンのみ) 5 および 50 ~ 59 (黄地又は黒地を除く) 3 および 30 ~ 39

注) プレート番号の肩に添字 s のあるのは、小型プレートを意味する。

3-1-4 データ整理

騒音については10分間記録から、中央値 (L_{50}), 90%レンジの上端値 (L_5), 下端値 (L_{95}) および等価騒音レベル (Leq) を求め、それから相対レベルを算出した。なお、相対レベルを算出するに当っては平面の場合は0 m地点、橋梁の場合は道路端の高さ1.2 mを基準とした。

風向・風速データについてはそれぞれ10分間平均を求め、このデータに基づき測線方向のベクトル風速を求めた。なおこの章においては以下ことわからない限り、風速とはベクトル風速を意味している。また分析には地表の影響が少い地上7 mの高さのものをを用いている。なお、平面道路の沿道の地表面は裸地であり、橋梁における河川敷の地表面は芝地であった。

3-2 調査結果

3-2-1 平面道路における結果

騒音レベルに対する風の影響を分析するため、横軸に風速、縦軸に相対レベルをとって測定値をプロットした。図3-3~図3-22はそれぞれ L_{50} , Leq , L_5 , L_{95} の各評価量のそれぞれの受音点における結果であり、表3-2は回帰分析の結果である。第2章で述べたのと同様に、この回帰直線の傾きは騒音レベルに対する風の影響度合を表しており (単位 ($\text{dB (A)} / \text{m/s}$)), 切片は無風時における相対レベ

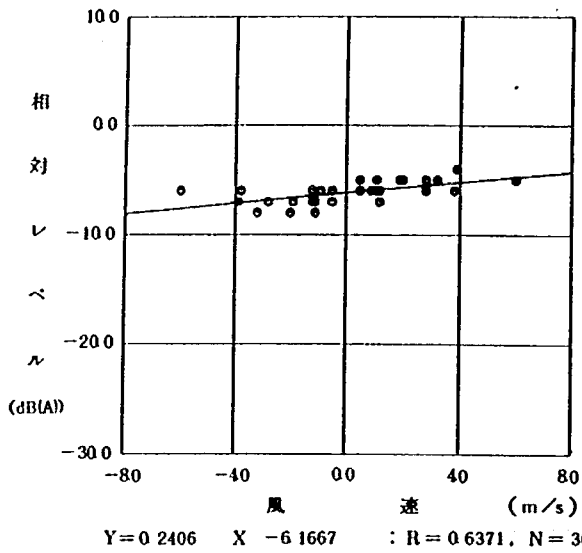


図 3-3 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離10m 受音点高 1.2 m

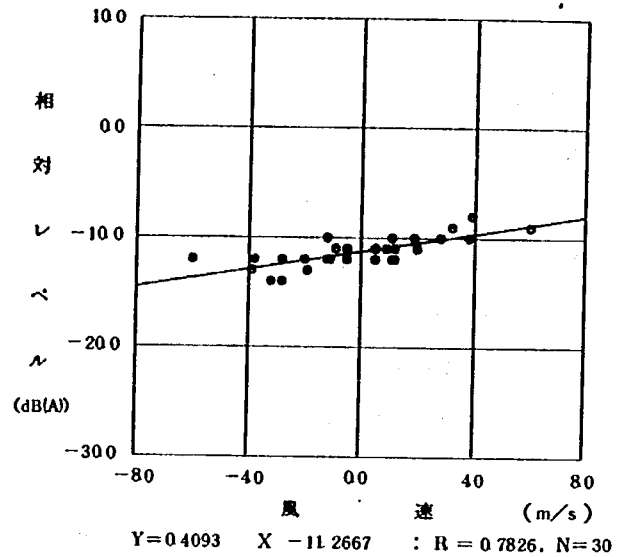


図 3-4 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離40m 受音点高 1.2 m

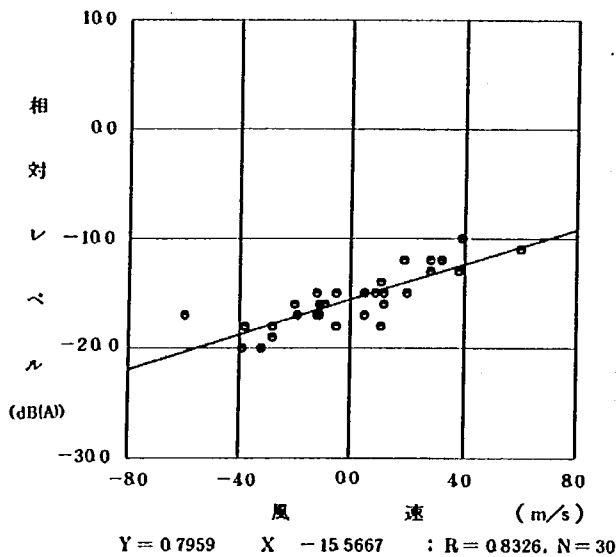


図 3-5 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離80m 受音点高 1.2 m

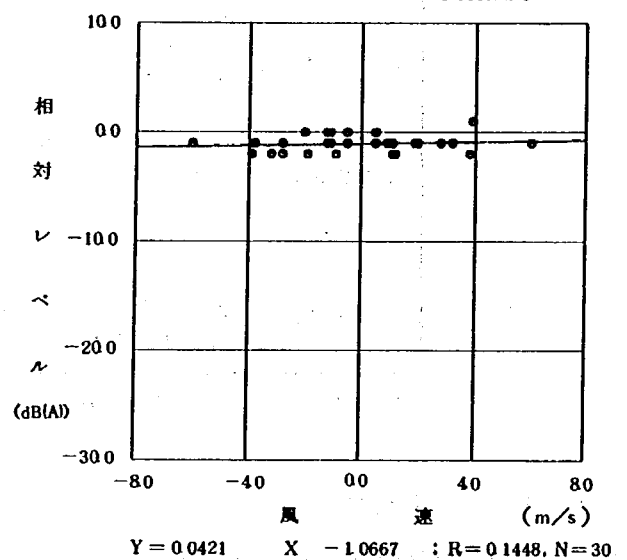


図 3-6 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離0 m 受音点高 7 m

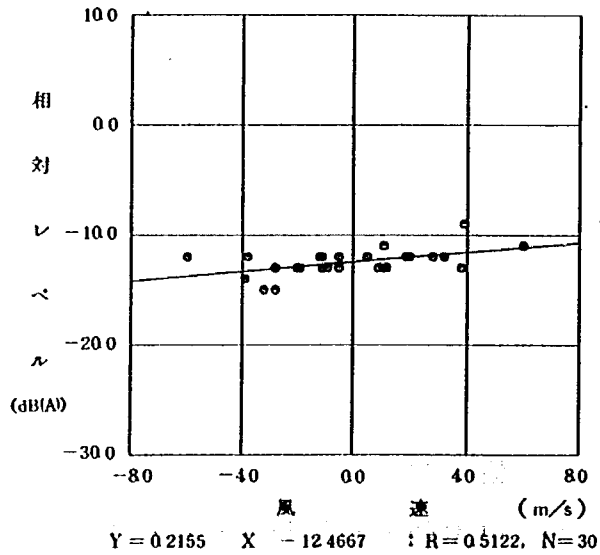


図 3-7 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離80m 受音点高 7 m

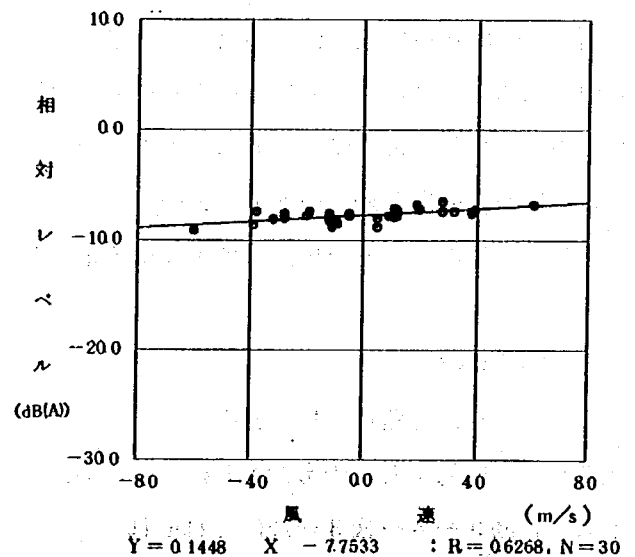


図 3-8 風速と相対レベルとの関係 (L_{eq})
受音点距離10m 受音点高 1.2 m

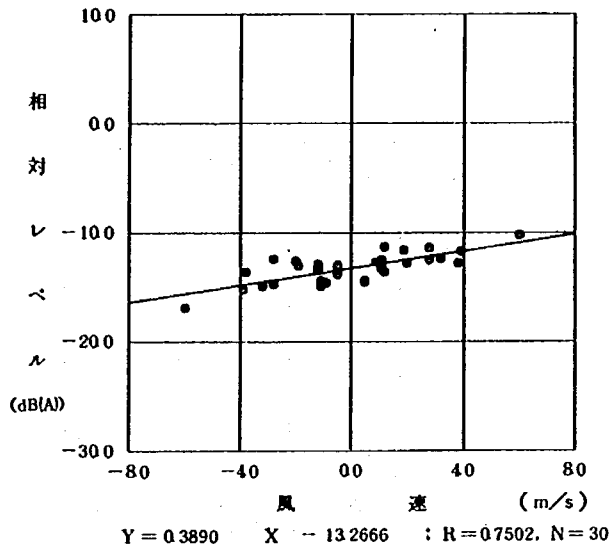


図3-9 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離40m 受音点高1.2m

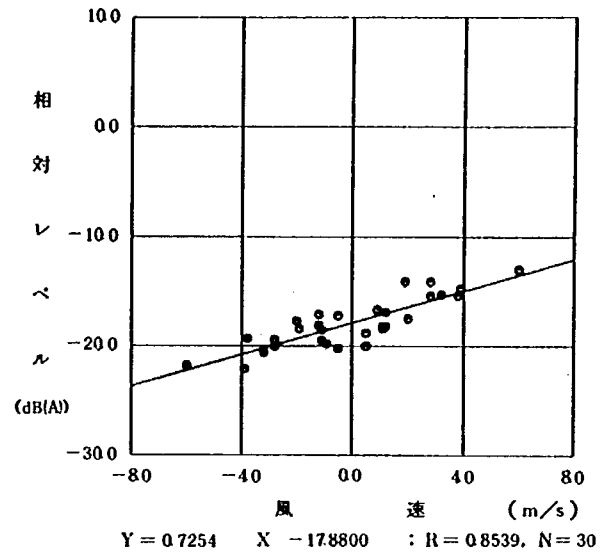


図3-10 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離80m 受音点高1.2m

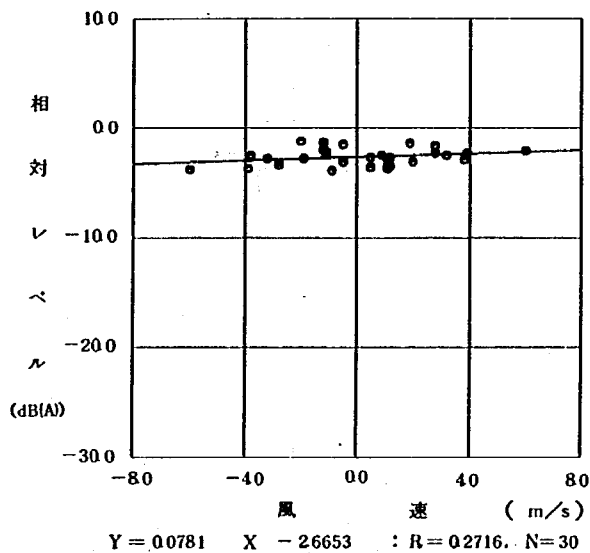


図3-11 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離0m 受音点高7m

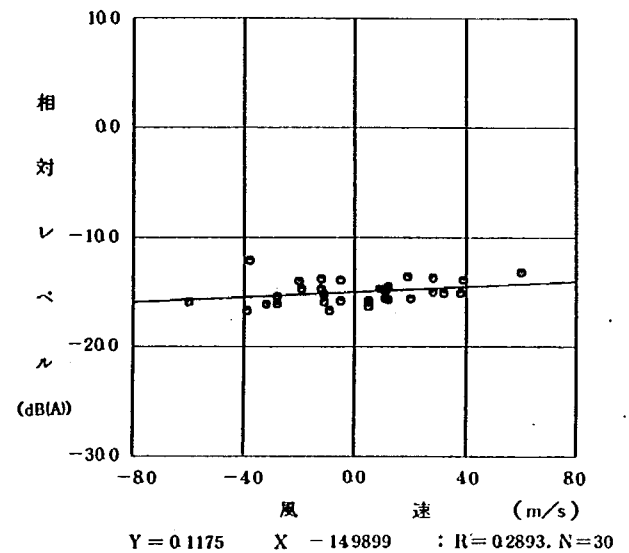


図3-12 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離80m 受音点高7m

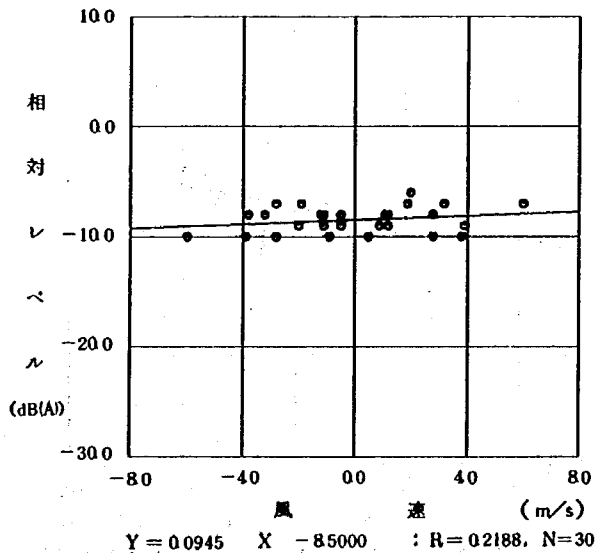


図3-13 風速と相対レベルとの関係 (Ls)
受音点距離10m 受音点高1.2m

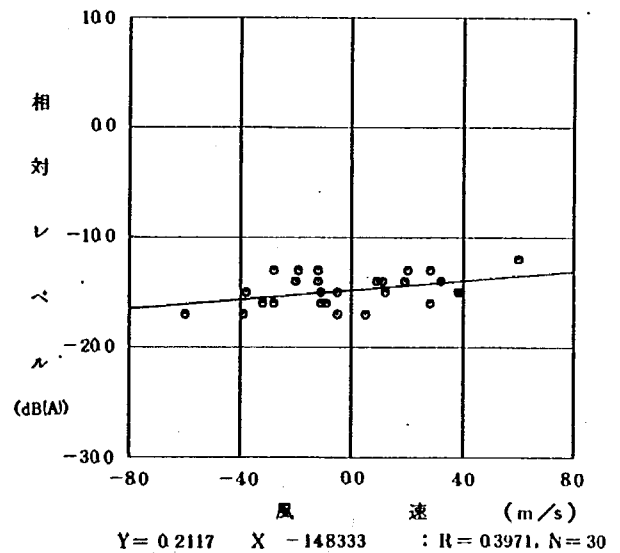


図3-14 風速と相対レベルとの関係 (Ls)
受音点距離40m 受音点高1.2m

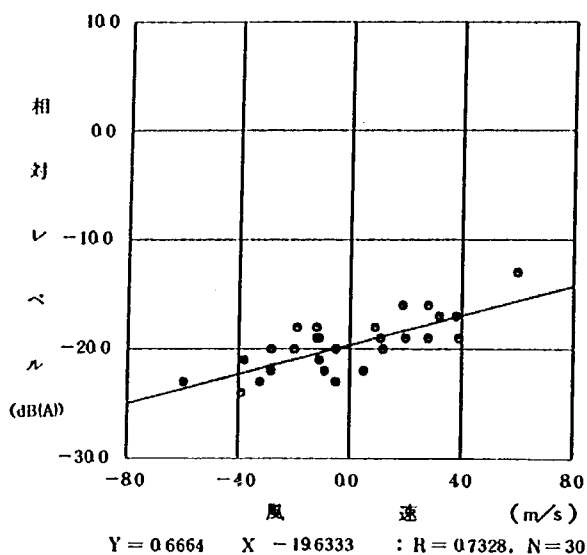


図3-15 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離80m 受音点高1.2m

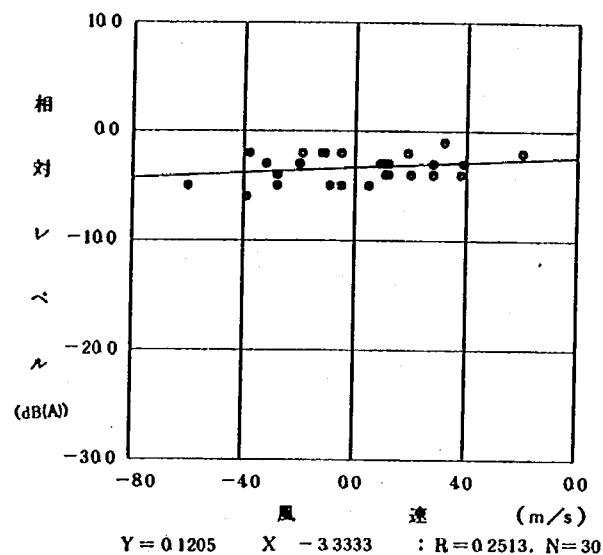


図3-16 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離0m 受音点高7m

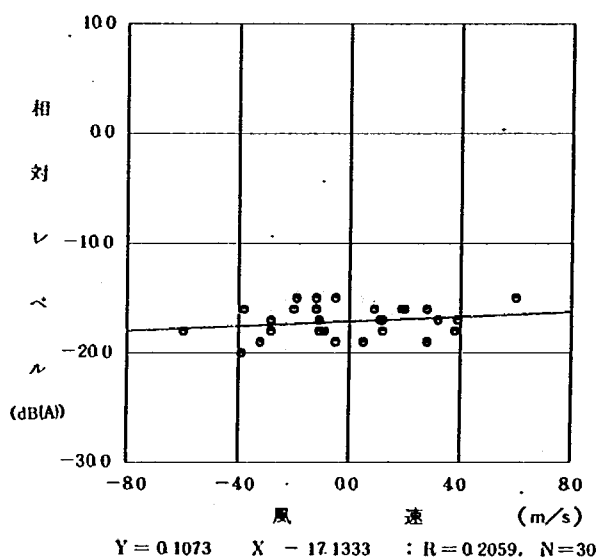


図3-17 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離80m 受音点高7m

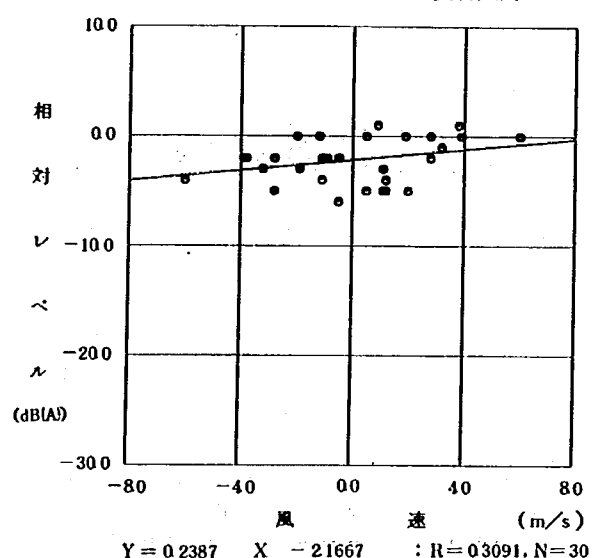


図3-18 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離10m 受音点高1.2m

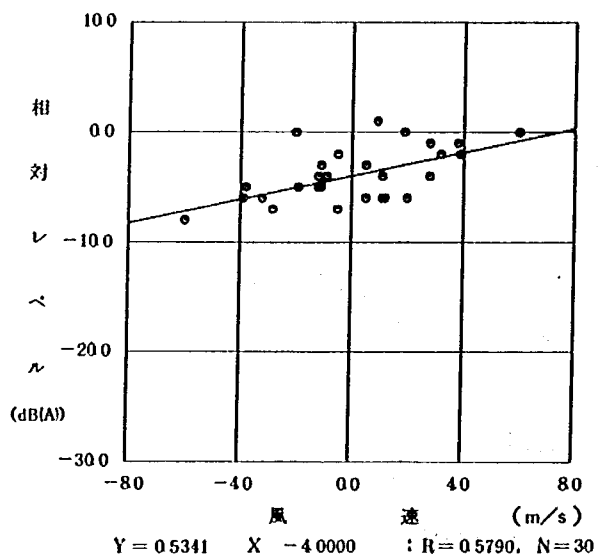


図3-19 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離40m 受音点高1.2m

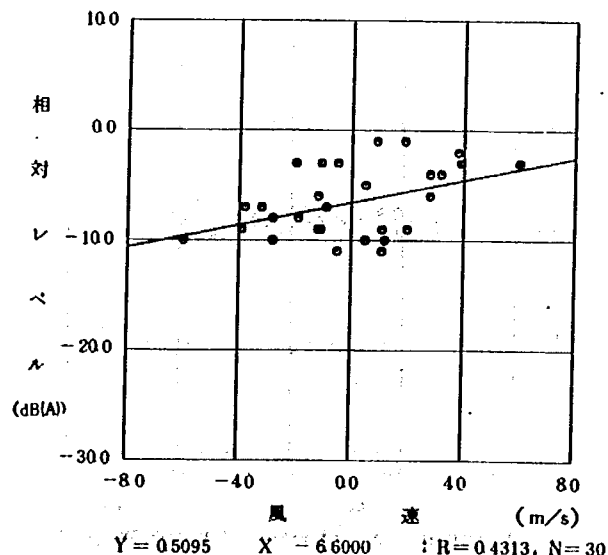


図3-20 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離80m 受音点高1.2m

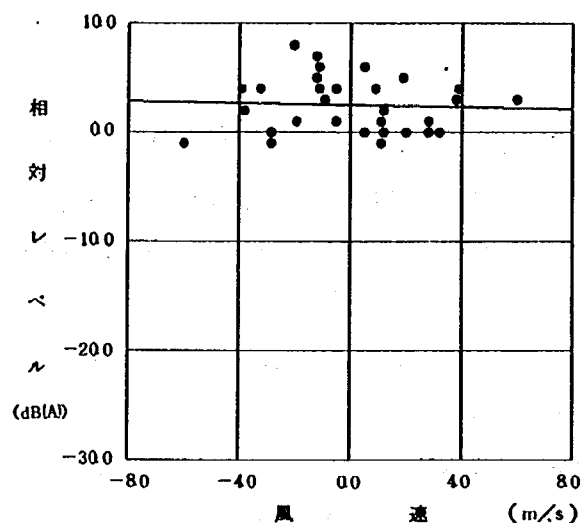


図3-21 風速と相対レベルとの関係 (L₉₅)
受音点距離0 m 受音点高7 m

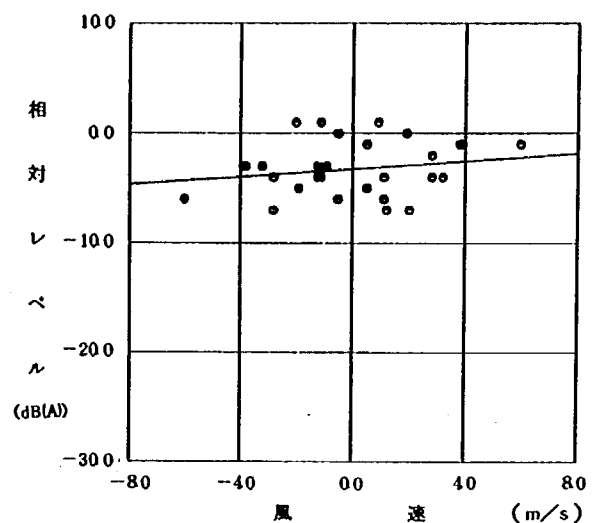


図3-22 風速と相対レベルとの関係 (L₉₅)
受音点距離80 m 受音点高7 m

表3-2 回帰分析の結果

評価量 項目 地 点	L ₅₀		L _{eq}	
	回 帰 式	相関係数	回 帰 式	相関係数
10 m, h = 1.2 m	$Y = 0.24 X - 6.17$	$R = 0.64$	$Y = 0.14 X - 7.75$	$R = 0.63$
40 m, h = 1.2 m	$Y = 0.41 X - 11.27$	$R = 0.78$	$Y = 0.39 X - 13.27$	$R = 0.75$
80 m, h = 1.2 m	$Y = 0.80 X - 15.57$	$R = 0.83$	$Y = 0.73 X - 17.88$	$R = 0.85$
0 m, h = 7 m	$Y = 0.04 X - 1.07$	$R = 0.14$	$Y = 0.08 X - 2.66$	$R = 0.27$
80 m, h = 7 m	$Y = 0.22 X - 12.47$	$R = 0.51$	$Y = 0.12 X - 14.99$	$R = 0.29$

評価量 項目 地 点	L ₅		L ₉₅	
	回 帰 式	相関係数	回 帰 式	相関係数
10 m, h = 1.2 m	$Y = 0.09 X - 8.50$	$R = 0.22$	$Y = 0.24 X - 2.17$	$R = 0.31$
40 m, h = 1.2 m	$Y = 0.21 X - 14.83$	$R = 0.40$	$Y = 0.53 X - 4.00$	$R = 0.58$
80 m, h = 1.2 m	$Y = 0.67 X - 19.63$	$R = 0.73$	$Y = 0.51 X - 6.60$	$R = 0.43$
0 m, h = 7 m	$Y = 0.12 X - 3.33$	$R = 0.25$	$Y = -0.04 X + 2.50$	$R = -0.05$
80 m, h = 7 m	$Y = 0.11 X - 17.13$	$R = 0.21$	$Y = 0.18 X - 3.27$	$R = 0.19$

ルを表している。

図表から読み取れる結果を評価量別に示す。

- ① L_{50} については高さ 1.2 m の 10m, 40m, 80m 地点の風速影響度合がそれぞれ 0.24, 0.41, 0.80 (dB(A)/m/s) となり, 地上付近では道路からの距離が大きくなるにつれ, 風の影響が大きくなることがわかる。また, 高さ 7 m の 0 m および 80m 地点の相関係数は 0.14, 0.51 と悪く風速との関係はみられず, 地上から離れると風による影響がみられなくなることがわかる。
- ② Leq についても L_{50} と同様に, 地表面付近では道路からの距離が大きくなるにつれ, 風の影響が大きくなるが, 地表から離れると影響がみられなくなることがわかる。
- ③ L_5 については高さ 1.2 m の 80m 地点において相関がみられる程度で L_{50} , Leq でみられたような傾向はない。これは評価値が 90% レンジの上端値であるのに対して, 風速は 10 分間平均値であるため相関がみられにくいことによると考えられる。
- ④ L_{95} については各地点とも相関が低く風の影響はみられない。これは評価値が 90% レンジの下端値であり暗騒音の影響を受けるためと考えられる。

3-2-2 橋梁における結果

平面道路と同様に横軸に風速, 縦軸に相対レベルをとって測定値をプロットした。図 3-23~図 3-46 はそれぞれ L_{50} , Leq , L_5 , L_{95} の各評価量のそれぞれの受音点における結果であり, 表 3-3 は回帰

表 3-3 回帰分析の結果

評価量 項目 地点	L_{50}		Leq	
	回 帰 式	相 関 係 数	回 帰 式	相 関 係 数
10m, h = 1.2 m	$Y = 0.23 X - 16.64$	$R = 0.34$	$Y = 0.30 X - 18.42$	$R = 0.47$
20m, h = 1.2 m	$Y = 0.07 X - 16.57$	$R = 0.12$	$Y = 0.22 X - 18.43$	$R = 0.33$
50m, h = 1.2 m	$Y = 0.18 X - 16.86$	$R = 0.28$	$Y = 0.47 X - 19.34$	$R = 0.55$
90m, h = 1.2 m	$Y = 0.85 X - 18.79$	$R = 0.80$	$Y = 0.99 X - 21.01$	$R = 0.69$
10m, h = 7 m	$Y = 0.30 X - 10.14$	$R = 0.52$	$Y = 0.35 X - 11.70$	$R = 0.57$
90m, h = 7 m	$Y = 0.33 X - 15.32$	$R = 0.54$	$Y = 0.43 X - 17.89$	$R = 0.50$

評価量 項目 地点	L_5		L_{95}	
	回 帰 式	相 関 係 数	回 帰 式	相 関 係 数
10m, h = 1.2 m	$Y = 0.52 X - 19.64$	$R = 0.59$	$Y = -0.05 X - 12.64$	$R = -0.05$
20m, h = 1.2 m	$Y = 0.36 X - 19.64$	$R = 0.46$	$Y = -0.43 X - 12.79$	$R = -0.43$
50m, h = 1.2 m	$Y = 0.78 X - 20.68$	$R = 0.69$	$Y = -0.08 X - 13.82$	$R = -0.07$
90m, h = 1.2 m	$Y = 1.10 X - 22.71$	$R = 0.73$	$Y = 0.27 X - 14.96$	$R = 0.22$
10m, h = 7 m	$Y = 0.47 X - 12.46$	$R = 0.50$	$Y = -0.07 X - 7.54$	$R = -0.10$
90m, h = 7 m	$Y = 0.44 X - 19.82$	$R = 0.44$	$Y = -0.14 X - 10.68$	$R = -0.13$

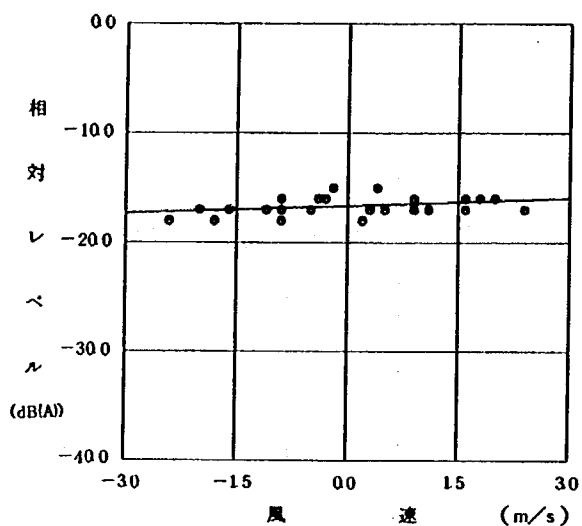


図3-23 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離10m 受音点高1.2m

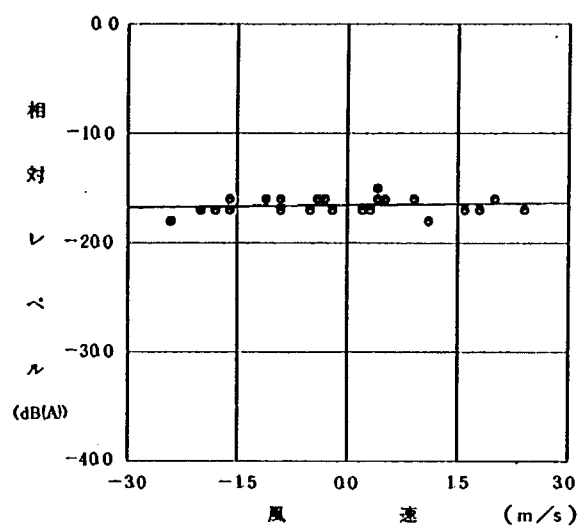


図3-24 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離20m 受音点高1.2m

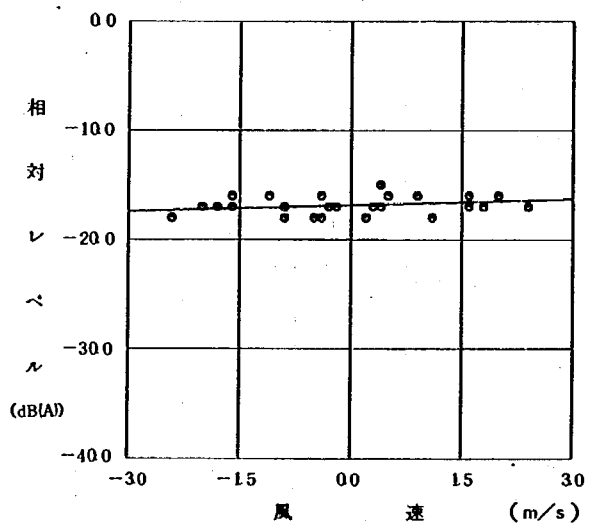


図3-25 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離50m 受音点高1.2m

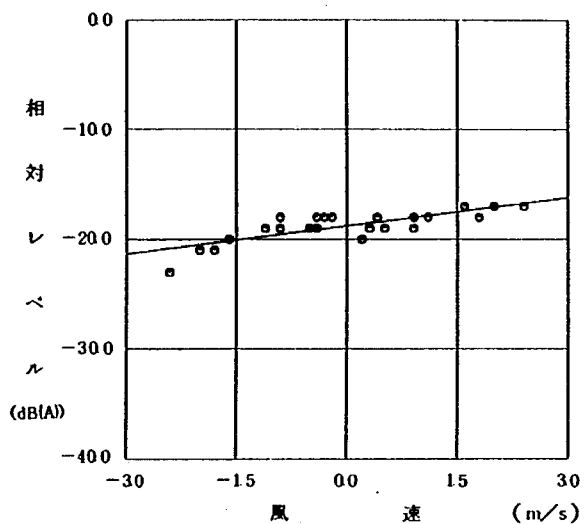


図3-26 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離90m 受音点高1.2m

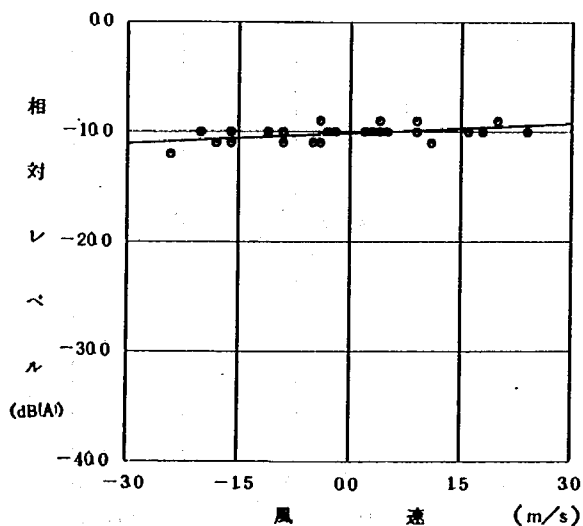


図3-27 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離10m 受音点高7m

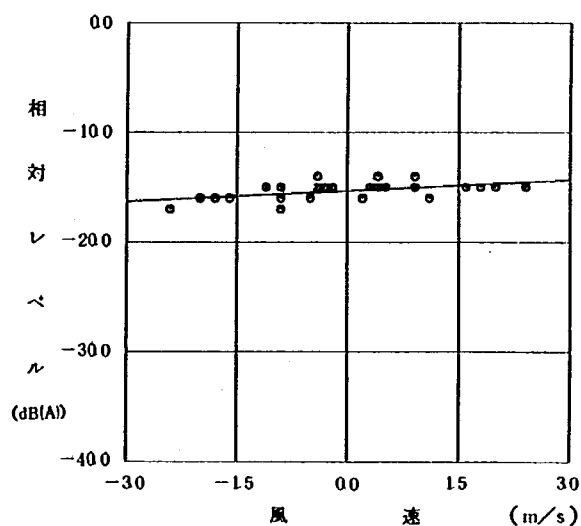


図3-28 風速と相対レベルとの関係 (L_{50})
受音点距離90m 受音点高7m

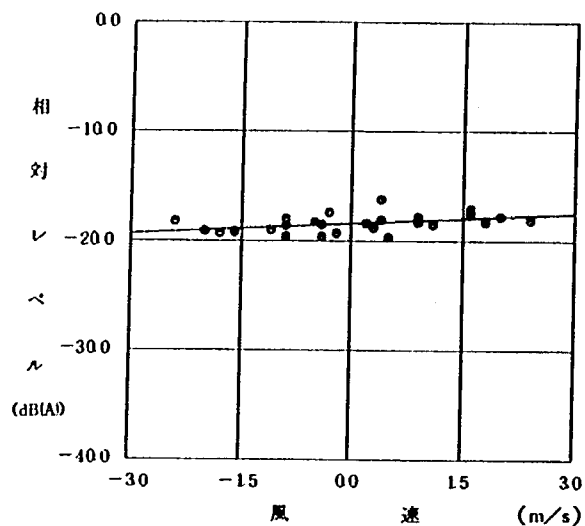


図3-29 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離10m 受音点高1.2m

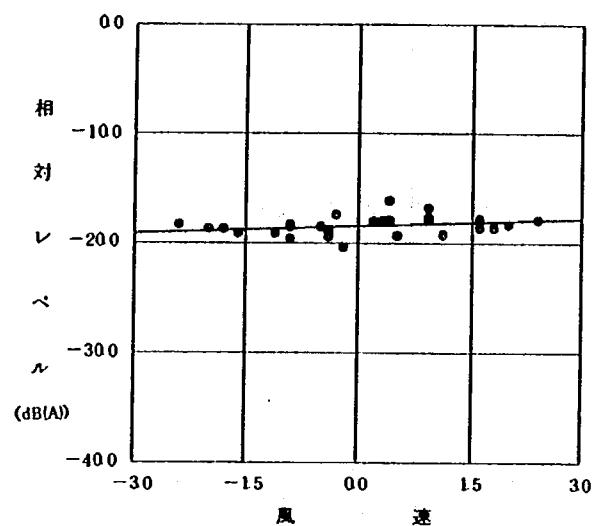


図3-30 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離20m 受音点高1.2m

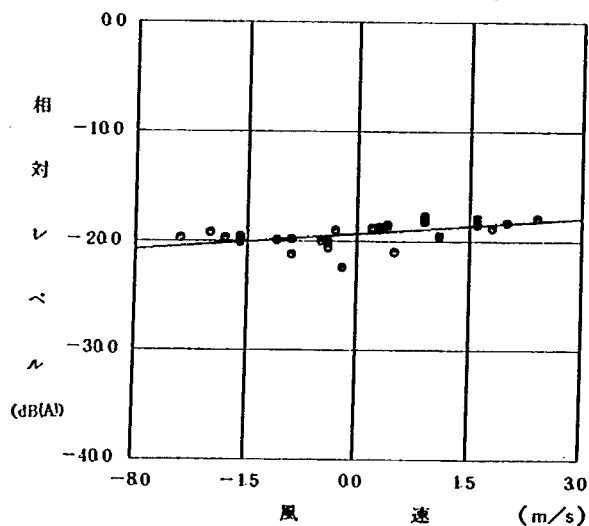


図3-31 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離50m 受音点高1.2m

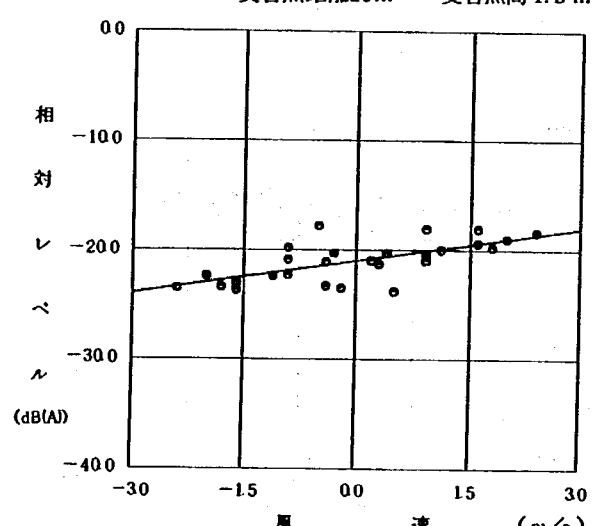


図3-32 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離90m 受音点高1.2m

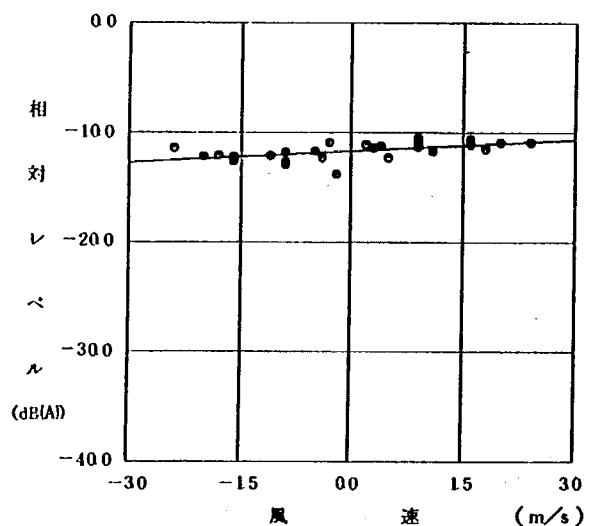


図3-33 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離10m 受音点高7m

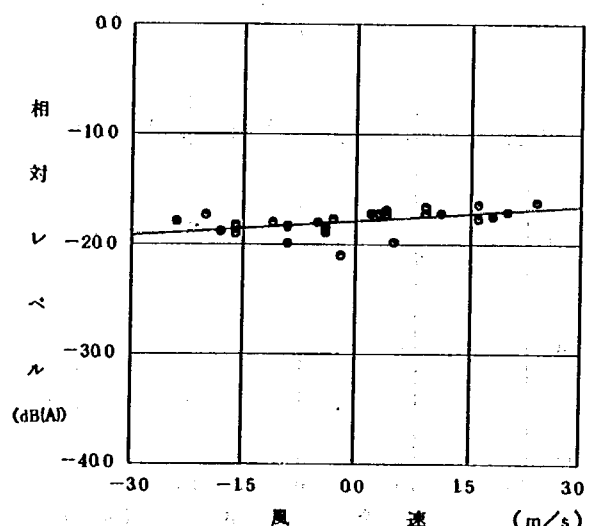
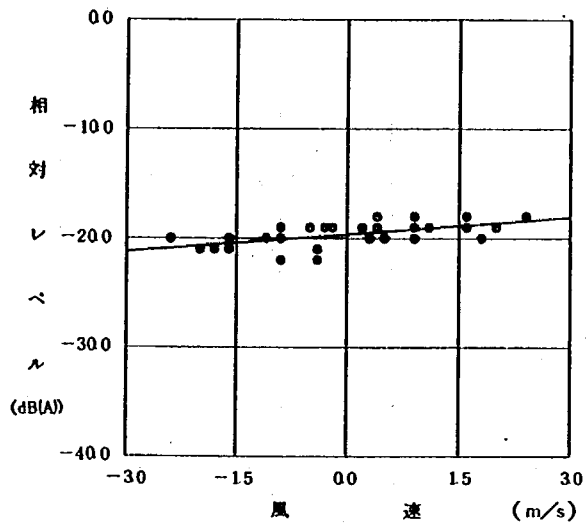
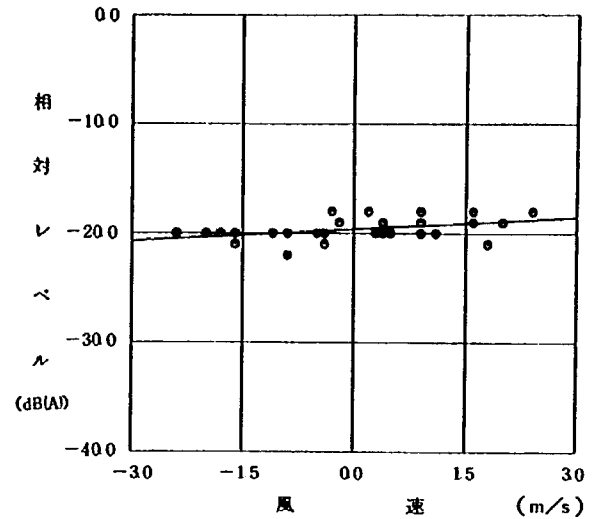


図3-34 風速と相対レベルとの関係 (Leq)
受音点距離90m 受音点高7m



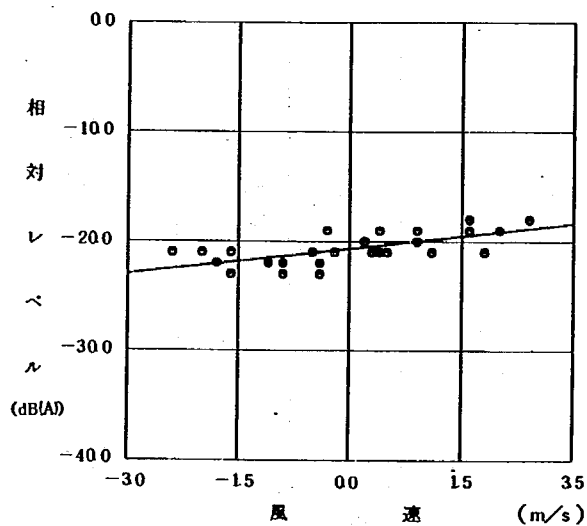
$$Y = 0.5187 \quad X = -19.6428 \quad : R = 0.5925 \quad N = 28$$

図3-35 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離10m 受音点高1.2m



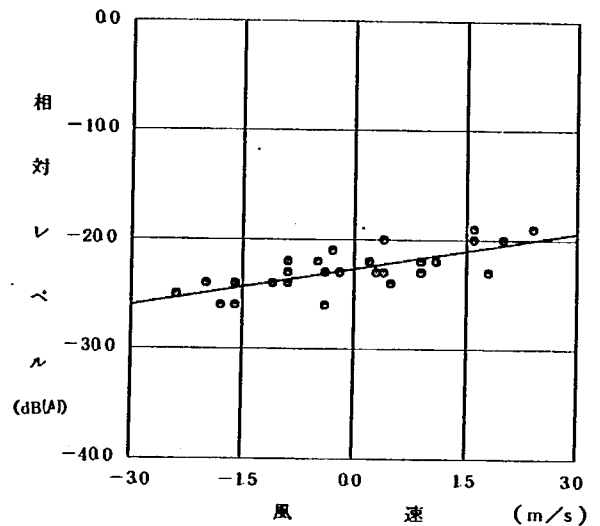
$$Y = 0.3629 \quad X = -19.6428 \quad : R = 0.4561 \quad N = 28$$

図3-36 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離20m 受音点高1.2m



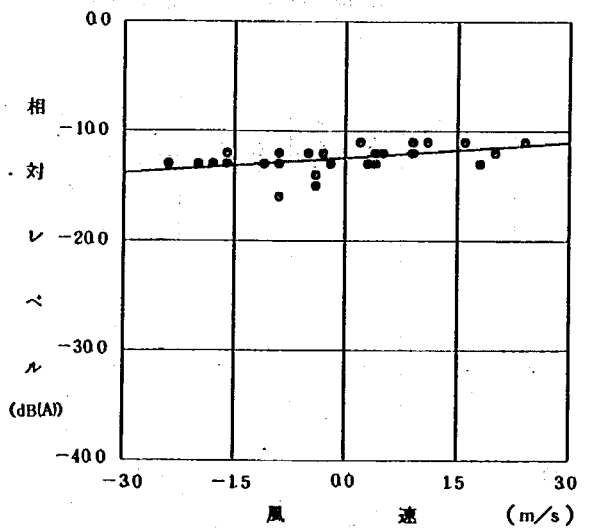
$$Y = 0.7792 \quad X = -20.6785 \quad : R = 0.6851 \quad N = 28$$

図3-37 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離50m 受音点高1.2m



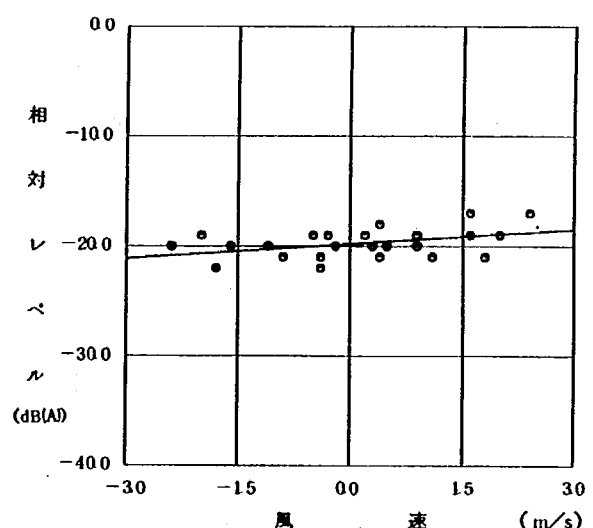
$$Y = 1.1020 \quad X = -22.7143 \quad : R = 0.7323 \quad N = 28$$

図3-38 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離90m 受音点高1.2m



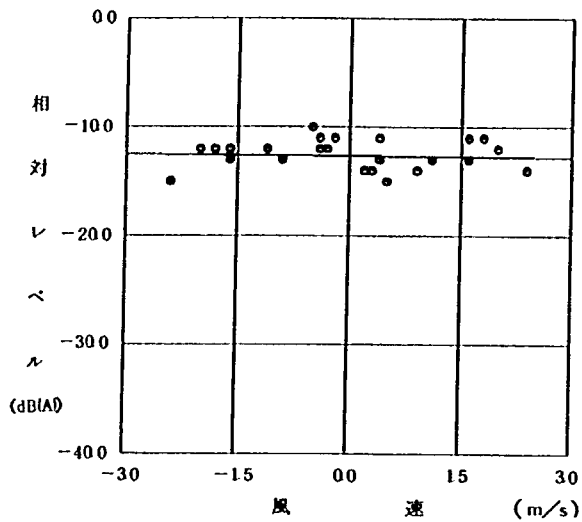
$$Y = 0.4653 \quad X = -12.4643 \quad : R = 0.4996 \quad N = 28$$

図3-39 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離10m 受音点高7m



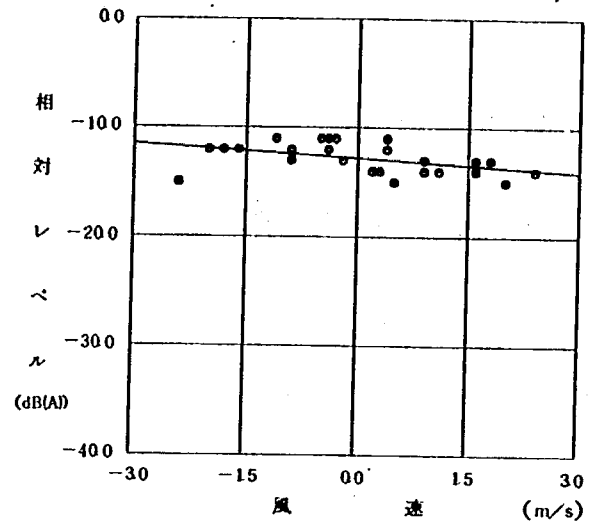
$$Y = 0.4408 \quad X = -19.8214 \quad : R = 0.4448 \quad N = 28$$

図3-40 風速と相対レベルとの関係 (L_s)
受音点距離90m 受音点高7m



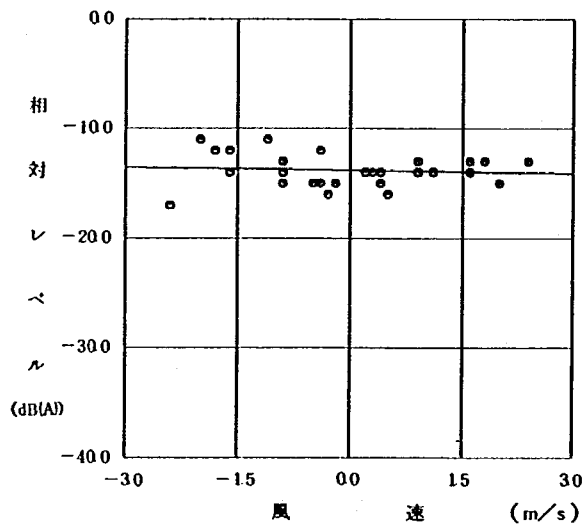
$$Y = -0.0468 \quad X = -12.6428 \quad : R = -0.046, N = 28$$

図3-41 風速と相対レベルとの関係 (L_{95})
受音点距離10m 受音点高1.2m



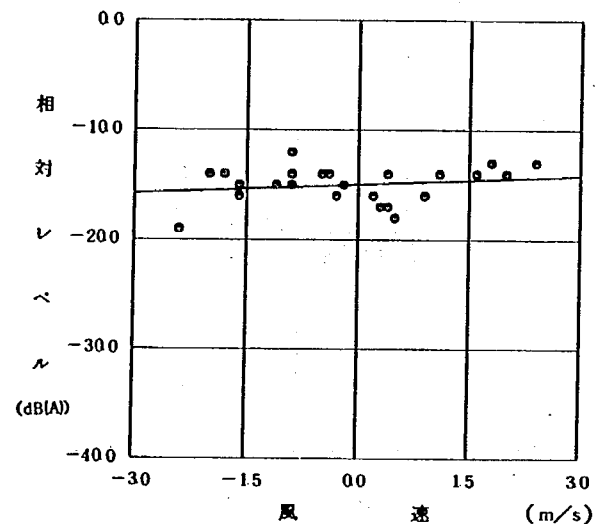
$$Y = -0.4297 \quad X = -12.7857 \quad : R = -0.4306, N = 28$$

図3-42 風速と相対レベルとの関係 (L_{95})
受音点距離20m 受音点高1.2m



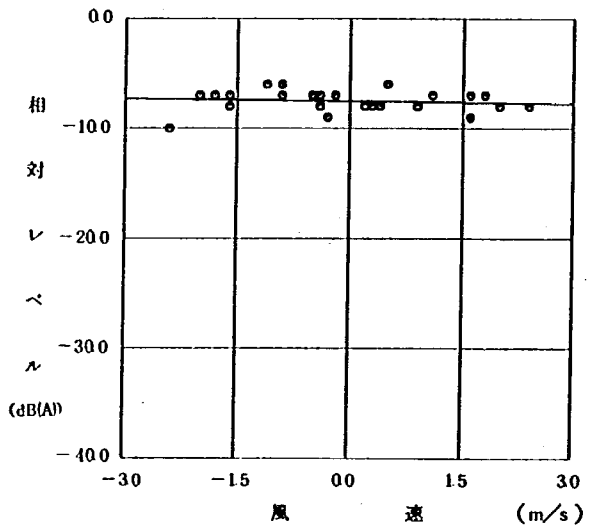
$$Y = -0.0846 \quad X = -13.8214 \quad : R = -0.0744, N = 28$$

図3-43 風速と相対レベルとの関係 (L_{95})
受音点距離50m 受音点高1.2m



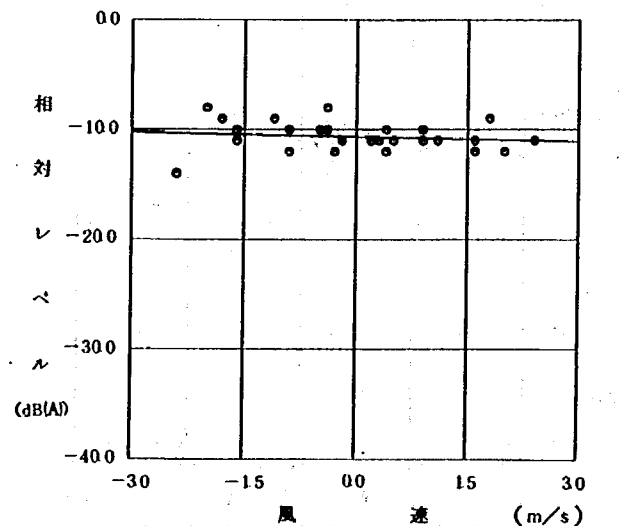
$$Y = 0.2694 \quad X = -14.9643 \quad : R = 0.2206, N = 28$$

図3-44 風速と相対レベルとの関係 (L_{95})
受音点距離90m 受音点高1.2m



$$Y = -0.0735 \quad X = -7.5357 \quad : R = -0.1027, N = 28$$

図3-45 風速と相対レベルとの関係 (L_{95})
受音点距離10m 受音点高7m



$$Y = -0.1380 \quad X = -10.6786 \quad : R = -0.1334, N = 28$$

図3-46 風速と相対レベルとの関係 (L_{95})
受音点距離90m 受音点高7m

分析の結果である。

高架を想定した橋梁における測定データは第2章野外実験における音源が地表面から離れた場合の騒音伝播に対応しているが、図表から読み取れる結果を評価量別に示す。

- ① L_{50} については高さ 1.2 m の 10m, 20m, 50m 地点は相関が低く風との関係がみられないが、90 m 地点においては相関係数 0.80, 傾き $0.85 \text{ (dB (A) / m / s)}$ と風の影響がみられる。
また、高さ 7 m の 10m および 90m 地点の相関係数は 0.5 程度と低く風との関係はみられない。
- ② Leq についても L_{50} と同様に、高さ 1.2 m の 90m 地点においては風に大きく影響されているが、他の地点では風との関係はみられない。
- ③ L_5 については高さ 1.2 m の 50m および 90m 地点でやや相関がみられるが他の地点では風との関係はみられない。
- ④ L_{95} については各地点とも相関が低く風との関係はみられない。

3-3 ま と め

野外における道路交通騒音の実測の結果より、次に示すことが明らかになった。

- ① 平面道路の場合、 L_{50} および Leq については地上付近で道路からの距離が遠い程風による騒音レベルへの影響度合は大きい。また、地上から離れると影響はみられなくなる。 L_5 については高さ 1.2 m の 80m 地点でわずかに影響がみられる程度で他の地点ではほとんど影響がみられない。 L_{95} については各地点とも影響がみられない。

L_{50} の結果は第2章野外実験の音源を地上に置いた場合の騒音レベルに対応しているが、地表面性状（第2章：舗装地と草地、第3章：裸地）と風速測定高さ（第2章：12m、第3章：7m）の違いを考慮すると、ほぼ一致した結果が得られたと言える。

- ② 高架道路（橋梁）の場合、 L_{50} および Leq については地上 1.2 m の 90m 地点を除いて風の騒音レベルに対する影響はみられない。 L_5 については高さ 1.2 m の 50m および 90m 地点でやや影響がみられる程度で他の地点ではほとんど影響がみられない。 L_{95} については各地点とも影響がみられない。

L_{50} の結果は第2章野外実験の音源を地上から離れた場合の騒音レベルに対応しているが、地上 1.2 m の 90m を除けばほぼ一致した結果が得られたと言える。野外実験ではどの地点においても風による影響がみられないのに対し、実測の地上 1.2 m の 90m 地点において風の影響がみられた原因として、道路交通騒音の指向性、高欄や歩道部の影響、回折による伝播と直達音による伝播の違いなどが考えられるが、今回の実測では原因をつきとめるまでには至らなかった。

4. 理論的検討

第2章野外実験および第3章野外実測の結果を理論的な面から検討するため、スネルの法則を基本とする理論計算を用い音の伝播経路の作図を行った。

4-1 理論式

図4-1のような状況にあるとき、スネルの屈折の法則を基本として風速および温度の鉛直分布の影響を含んだ音の伝播経路を導く式は次のようになる。²⁾

$$\tan \theta_{ri} = \frac{dz/dt}{dx/dt} = \frac{C_i \cdot \sin \theta_i}{U_i + C_i \cdot \cos \theta_i} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$U_i + C_i / \cos \theta_i = U_{i-1} + C_{i-1} / \cos \theta_{i-1} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$C_i = 331.5 + 0.61 T_i \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、

X : 水平軸方向の座標 (音源からの距離) (m)

Z : 高さ方向の座標 (地上高) (m)

t : 時間 (sec)

T_i : i 層の気温 (°C)

U_i : i 層における風速 (m/sec)

C_i : i 層における音速 (m/sec)

θ_i : i 層において波面と水平軸とのなす角

θ_{ri} : i 層において音の伝播方向と水平軸とのなす角

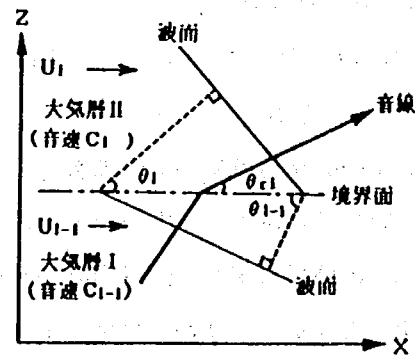


図4-1 音の伝播経路

式(3)がスネルの法則の式であり、式(2)は風が吹いた場合に音のエネルギーの伝播方向が波面に垂直の方向よりずれるという現象を表すものである。この音のエネルギーの伝播経路を音源から順次結んでいった曲線を音線という。

この理論式により音の伝播経路の作図を行うには、大気層を地面に平行な多層に分割し、その境界における屈折を上式により計算する。ただし、各層内では風速、温度は一定とする。具体的には音源の位置における初期条件 θ_0 , C_0 および U_0 を与え、式(1)および式(4)から計算される各層の C_i および U_i を順次与えていけば、式(3)により各層における波面の進行方向 θ_i が求められ、式(2)を用いれば音線の進行方向 θ_{ri} が計算される。この角度 θ_{ri} を用いて音源から順次直線で結んでいけば、初期条件 θ_0 で放射された音の伝播経路の作図ができる。³⁾

本調査においては騒音伝播に対する風の影響を分析するのが目的であるから、温度勾配は考えず、すべての層において音の伝播速度は一定、すなわち、

$$C_i = \text{const.} \quad (i = 0, 1, \dots, n) \quad \dots\dots\dots(5)$$

と仮定して音線の作図を行った。

また、無風時と有風時において音の伝播経路を計算し、設定した受音点に到達した音線の単位面積当りの数（密度）の比をとることによって、風の影響による音圧レベルの増加量を計算できる。ただし、この場合、地表面での反射の際の影響を考慮しなければならない。

4-2 計算結果

風速の鉛直方向の分布として式(1)に $Z_0 = 10$ (m), $U_0 = 5$ (m/s) を代入した形を仮定し (図 4-2), 地表面性状として第 2 章野外実験に合わせて、舗装地 (吸音率 0.05 と仮定), 草地 (吸音率 0.55 と仮定) の 2 種類を考え、音源を地上、地上 10m および 20m に設定して音の伝播経路の作図を行った。⁴⁾

図 4-3 ~ 図 4-5 はそれぞれ音源を地上、地上 10m および 20m に設定した場合の音線の伝播状況である。なお、音の伝播経路は地表面性状には影響されない。

図 4-3 ~ 図 4-5 の音の伝播経路の曲がり具合 (横軸のスケールは縦軸の 10 倍である。) からわかるように風速分布は音の伝播に対してそれほど影響しない。また 3 つの図を比較すると、音源が地上に設置された場合には地表付近の音線の密度が非常に高い (この傾向は音源からの距離が遠い程顕著である。) のに対し、10m, 20m と音源が高くなるに従って地表面付近の音線の密度が低くなり、また密度の高い部分もなくなるという傾向が読み取れる。

さらに受音点距離が 50m, 100m, 200m, 400m で高さが地上 1.2 m, 3.5 m, 7 m, 12m の各受音点における無風時と有風時の音圧レベルの差を地表面性状別に計算しており、その結果を表 4-1 および表 4-2 に示す。

表からわかるように音源が地上に設置された場合には、受音点が音源から遠く、かつ地上に近いほど風の影響が大きいことがわかる。表 4-1 と表 4-2 とを比較すると、舗装地の方が風の影響度合が大きい、これは舗装地の吸音率が草地より小さいためである。なお裸地の吸音率は約 0.1、芝地の吸音率は約 0.45 であるから、両者の場合の風の影響度合と草地の間の傾向を示すと考えられる。

ここで述べた傾向は第 2 章野外実験や第 3 章野外実測の結果と一致しており、実験・実測結果が理論的に裏づけられたと言える。

受音点距離 200m および 400m の高さ 1.2 m における影響は舗装地の場合それぞれ約 4.5 dB, 5.2 dB となっているが、これについては音源から距離が大きいので騒音は十分減衰しているためトータルとしての影響は少ないものと思われる。

また音源高が 10m の場合には風の影響はほとんどみられず、これも第 2 章野外実験や第 3 章野外実測の結果と一致している。なお、音源高が 20m の場合にも風の影響はほとんどみられない。

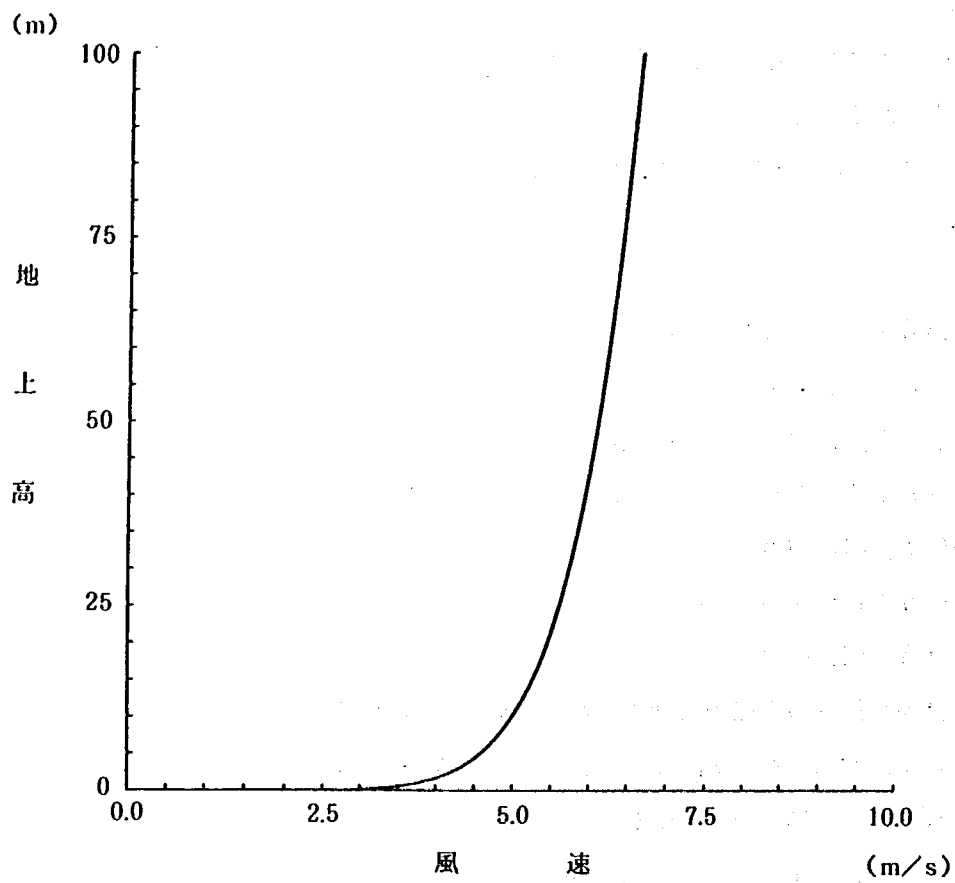


図 4 - 2 設定風速勾配

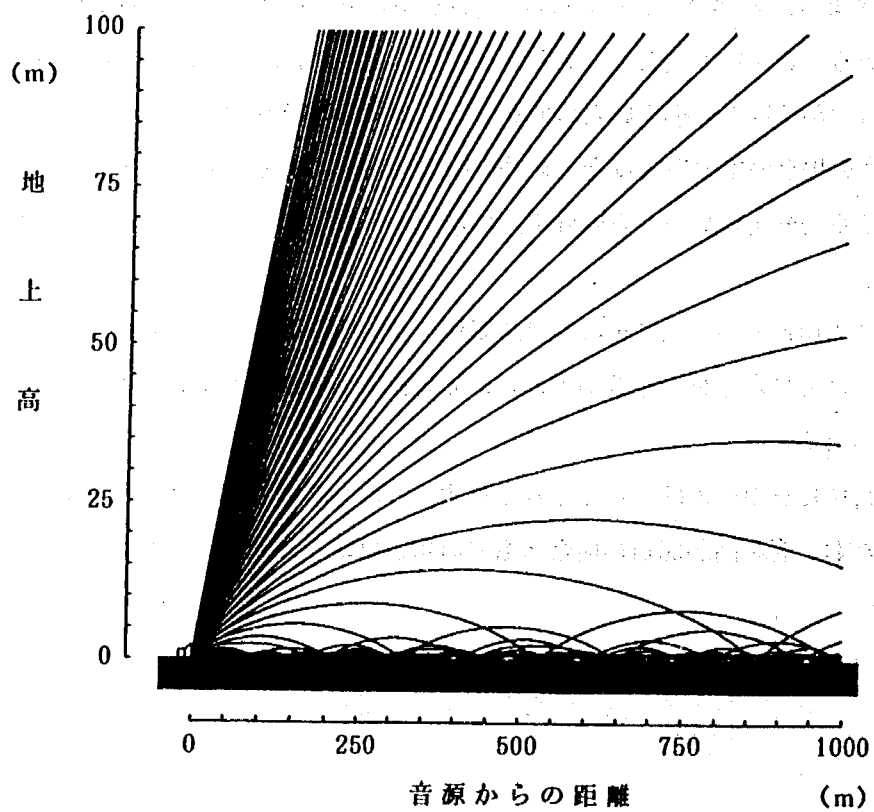


図 4 - 3 音線伝播状況 (音源高：地上)

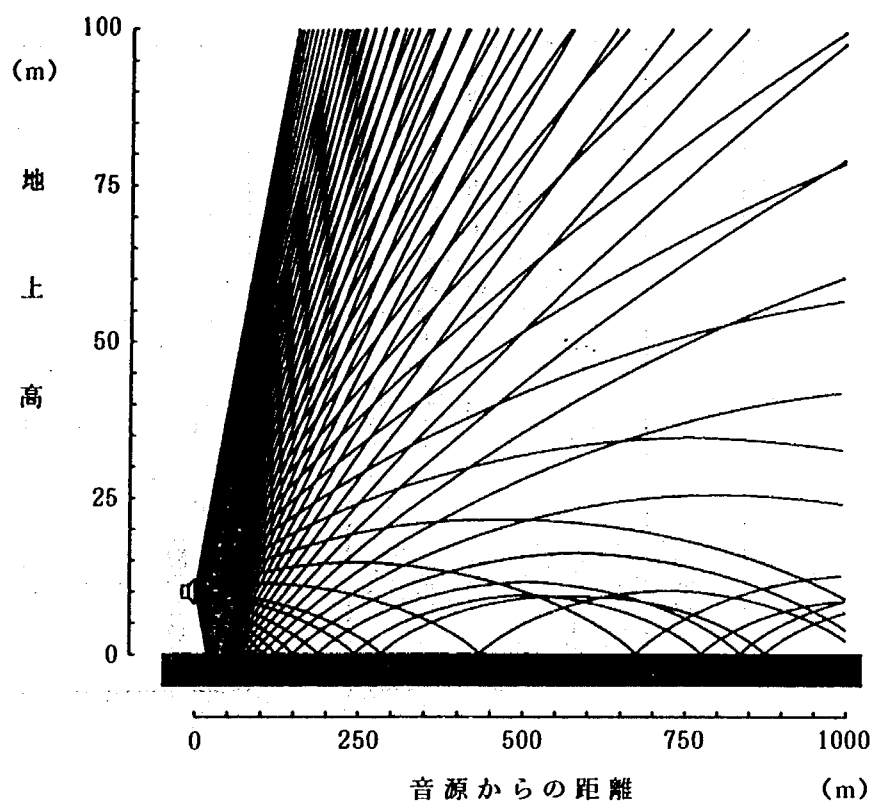


図 4 - 4 音線伝播状況 (音源高：地上10m)

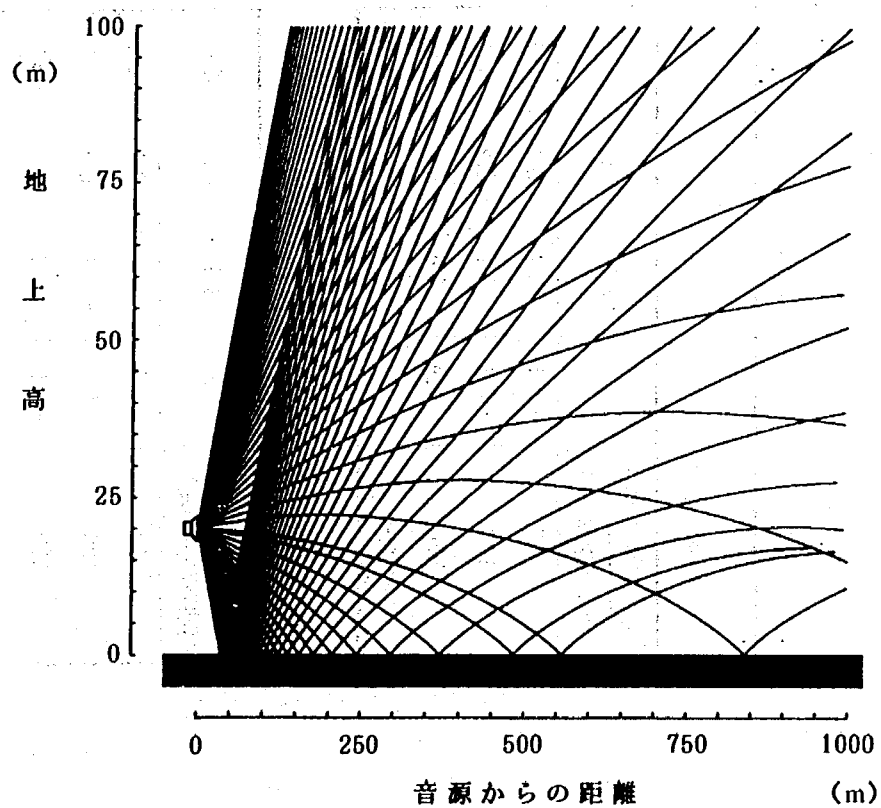


図 4 - 5 音線伝播状況 (音源高：地上20m)

表4-1 無風時に対する有風時 (5m/s) の音圧レベルの変化
 地表面性状：舗装地 単位：dB

(1) 音源高：地上

受音点高(m) 受音点距離(m)	1.2	3.5	7.0	12.0
50	-1.4	-0.7	-0.4	-0.2
100	1.4	-1.7	-1.1	-0.6
200	4.5	-1.7	-1.0	-1.4
400	5.2	-3.5	-1.5	1.0

(2) 音源高：10 m

受音点高(m) 受音点距離(m)	1.2	3.5	7.0	12.0
50	-0.1	0.4	0.1	0.1
100	-0.1	0.2	-0.2	0.1
200	-1.9	0.8	0.6	2.2
400	1.9	0	1.1	4.6

(3) 音源高：20 m

受音点高(m) 受音点距離(m)	1.2	3.5	7.0	12.0
50	-0.2	0.1	0.1	-2.2
100	0	-0.2	0.8	0.2
200	-0.5	0.2	0.5	-0.7
400	-0.6	1.3	2.7	-1.2

表4-2 無風時に対する有風時 (5m/s) の音圧レベルの変化
 地表面性状：草地 単位：dB

(1) 音源高：地上

受音点高(m) 受音点距離(m)	1.2	3.5	7.0	12.0
50	-1.5	-0.8	-0.4	-0.3
100	-0.1	-1.7	-1.2	-0.7
200	1.6	-1.5	-1.1	-1.4
400	0.8	-3.8	-1.4	1.0

(2) 音源高：10 m

受音点高(m) 受音点距離(m)	1.2	3.5	7.0	12.0
50	-0.1	0.2	0.1	0
100	-0.2	0.1	-0.5	0.1
200	-2.5	-0.2	0.2	2.6
400	0.3	-1.0	-0.3	5.3

(3) 音源高：20 m

受音点高(m) 受音点距離(m)	1.2	3.5	7.0	12.0
50	-0.1	0	0.1	-1.1
100	-0.1	-0.1	0.6	0.2
200	-0.5	0	0.3	-1.2
400	-0.3	0.4	2.3	-3.2

5. 風速の強度と頻度

筑波研究学園都市内にある運輸省気象研究所の昭和55年1年間の気象観測データを用いて年間の風速の強度および頻度について取りまとめた。この気象観測用鉄塔では、地上10m, 25m, 50m, 100m, 150m, 200mに観測点が設置され、気温、風向、風速等が連続的に測定されており、ここで用いたデータは1時間毎のものである。⁶⁾

この章では、風向・風速に関してデータを取りまとめた結果を示す。

図5-1～図5-4は縦軸に地上からの高さを取り、横軸に風速をとって、各月15日の午前6時、正午、午後6時、正子のそれぞれの時刻における風速の鉛直勾配を表した図である。式(1)に示したべき乗則に従う風速分布が多いが、あてはまらない場合もある。

表5-1～5は地上10mにおけるそれぞれ6時、12時、18時、24時および24時間合計の月別風速強度頻度(%)である。全体として、夏、秋には風速は小さい場合が多く、冬、春には強い風の吹く割合が多い。また時刻別には全体的に昼間の方が夜間に比べて強い風の吹く場合が多い。表5-5によれば、年間を通じて風速が3 (m/s) 以下の日は72%を占めることがわかる。

図5-5は地上10mにおける24時間合計の月別の風配図であり、図5-6は風速を中心からの距離で表し、風向を角度で表して、月別に地上10mにおける1時間毎の風向・風速データをプロットした図である。2つの図により筑波における年間の風向・風速の概況を知ることができる。

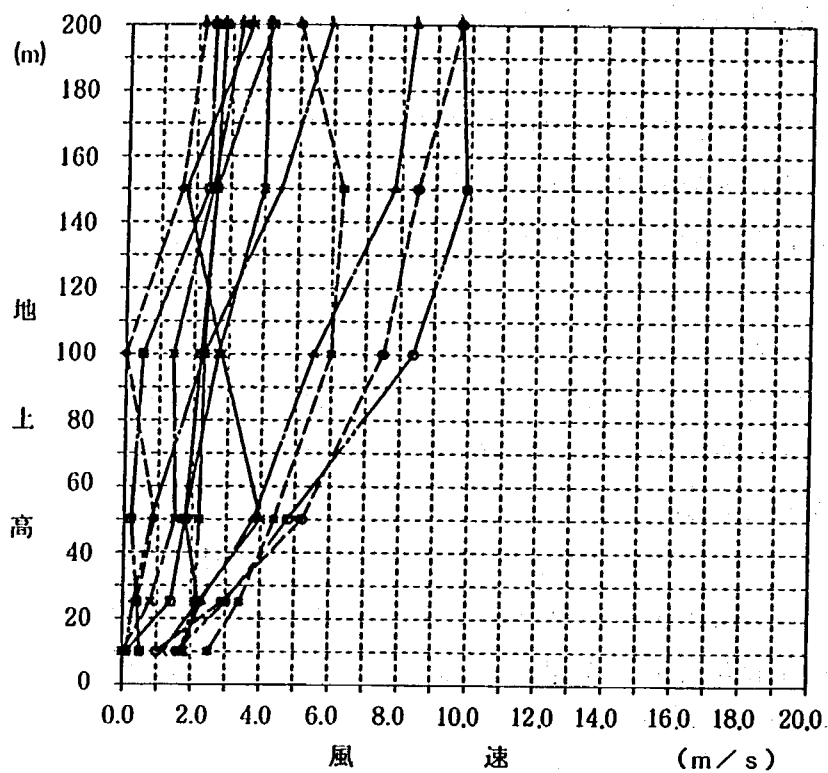


図5-1 午前6時における風速の鉛直勾配

凡 例

月	記 号
1月	—○—
2月	- - -○- - -
3月	- · -△· -
4月	- · · + · - · -
5月	—×—
6月	- - -◇- - -
7月	- · -■· -
8月	- · · ■ · - · -
9月	—⋈—
10月	- - -■- - -
11月	- · -○· -
12月	- · · ○ · - · -

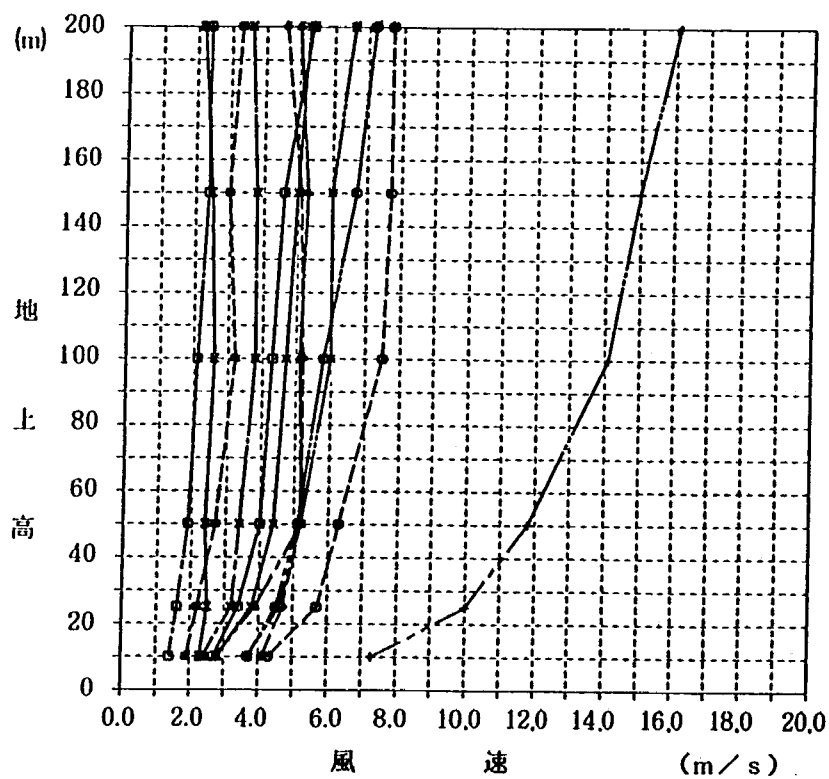


図5-2 正午における風速の鉛直勾配

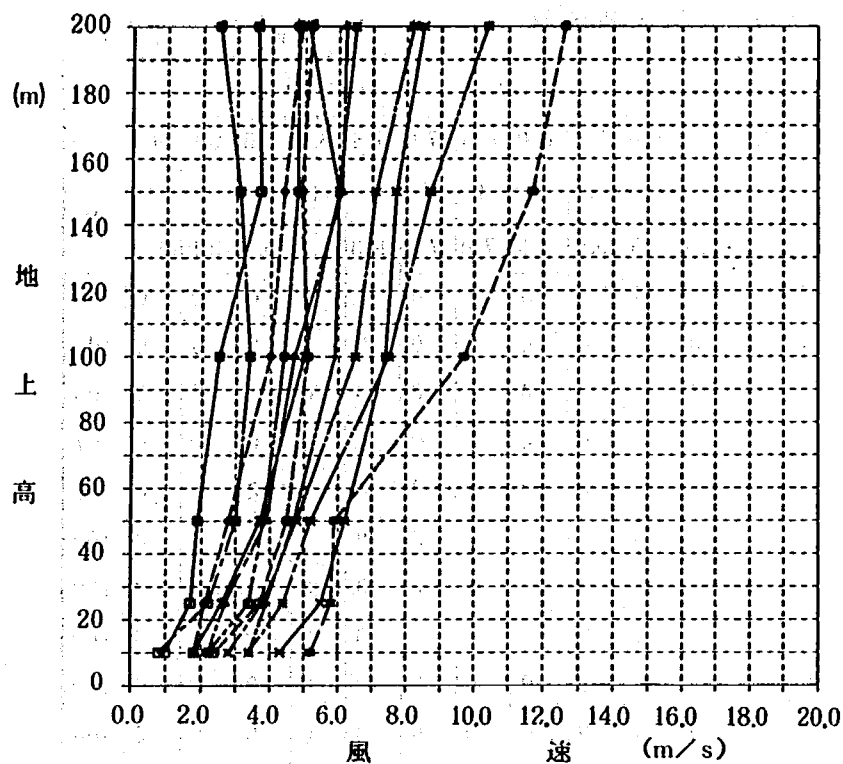


図 5-3 午後6時における風速の鉛直勾配

凡 例

月	記 号
1 月	—○—
2 月	- - -○- - -
3 月	- · -△- · -
4 月	- · · + · · -
5 月	—×—
6 月	- - -◇- - -
7 月	- · -■- · -
8 月	- · · ★ · · -
9 月	—⋈—
10月	- - -■- - -
11月	- · -○- · -
12月	- · · ○ · · -

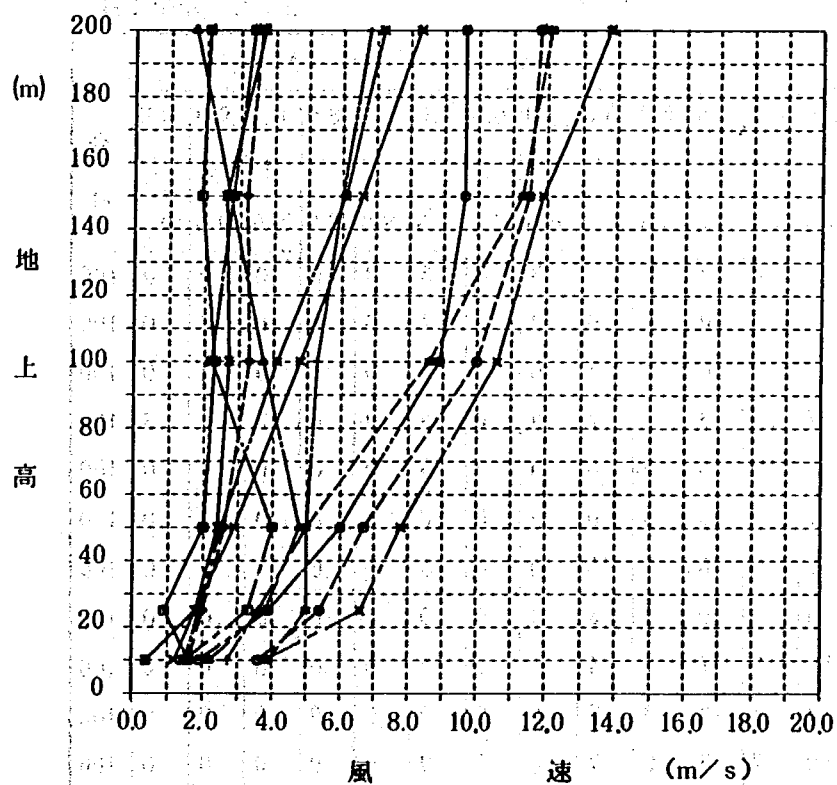


図 5-4 正子における風速の鉛直勾配

表 5-1 風速頻度表

午前6時 単位：%

月	風速 (m/s)																				合計
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	
1月	7	33	21	25	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2月	7	26	22	15	15	0	7	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3月	4	14	21	21	11	7	7	11	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4月	17	10	27	10	13	0	7	3	0	3	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	97
5月	10	13	33	13	19	0	3	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
6月	20	10	13	17	17	13	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
7月	10	10	23	16	23	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	3	13	23	29	6	10	3	10	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	7	3	21	24	10	21	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	3	3	40	19	19	10	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11月	13	20	20	17	17	7	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	6	3	33	20	19	10	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	100
合計	9	13	25	19	15	8	4	4	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	100

表 5-2 風速頻度表

正午 単位：%

月	風速 (m/s)																				合計
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	
1月	0	3	10	17	11	20	6	3	6	3	6	3	3	3	3	3	0	0	0	0	100
2月	0	4	7	17	11	11	11	7	7	10	4	0	0	4	7	0	0	0	0	0	100
3月	4	0	15	0	18	11	14	0	11	0	4	7	0	0	4	0	4	4	4	0	100
4月	0	0	0	7	17	13	18	7	10	3	3	7	3	0	3	3	0	3	0	3	100
5月	0	3	10	3	13	16	10	23	10	6	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	100
6月	0	7	3	17	23	13	7	7	7	10	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	100
7月	0	0	6	13	23	30	10	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	0	3	10	6	33	20	13	6	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	0	0	11	30	15	4	4	11	7	7	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	0	3	20	6	10	16	20	3	3	13	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11月	0	10	13	30	10	7	3	10	7	3	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	0	10	6	24	3	17	6	6	13	3	0	0	6	0	0	0	3	3	0	0	100
合計	0	4	9	14	15	14	10	8	8	6	2	3	1	1	2	1	1	1	0	0	100

表 5-3 風速頻度表

午後6時 単位：%

月	風速 (m/s)																				合計
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	
1月	0	7	27	30	3	3	10	7	7	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	100
2月	4	7	11	21	24	18	0	11	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3月	4	7	7	7	28	10	10	7	4	4	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	96
4月	0	0	3	0	17	7	27	13	10	7	7	0	0	0	0	3	0	3	0	3	100
5月	0	3	3	6	28	10	10	13	3	6	10	3	3	0	0	0	0	0	0	0	100
6月	0	0	3	10	36	10	7	17	7	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
7月	3	0	6	3	6	16	24	23	13	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	100
8月	0	0	6	3	30	13	16	23	0	3	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	3	0	0	17	31	28	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	6	6	6	26	27	10	10	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11月	3	13	27	23	17	7	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	0	6	16	19	30	13	3	3	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
合計	2	4	10	14	23	12	11	11	4	3	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	100

表 5-4 風速頻度表

正子 単位：%

月	風速 (m/s)																				合計
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	
1月	10	13	10	34	13	7	0	0	7	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	100
2月	4	28	18	17	7	4	7	7	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3月	0	7	7	38	25	0	0	4	4	0	0	7	0	0	0	4	4	0	0	0	100
4月	3	7	20	20	17	17	7	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	100
5月	13	10	24	10	10	7	13	7	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
6月	7	10	17	23	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	100
7月	6	20	3	16	16	13	10	10	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	3	6	19	24	16	10	13	3	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	3	10	14	14	14	10	22	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	3	13	27	6	33	6	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11月	17	7	30	23	7	3	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	10	6	33	13	23	6	0	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
合計	7	11	18	20	17	8	8	4	3	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	100

表 5 - 5 風 速 頻 度 表

24時間合計 単位：%

月	風 速 (m/s)																				
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	合 計
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	
1月	4	14	21	17	11	11	6	3	4	3	2	1	1	1	0	1	0	0	0	1	100
2月	5	12	17	19	14	10	8	5	3	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	100
3月	2	7	12	19	15	11	7	7	4	4	2	2	1	1	2	1	1	1	1	0	100
4月	3	8	13	14	13	10	9	6	6	4	3	2	2	1	2	1	1	1	0	1	100
5月	3	7	16	12	16	11	8	8	5	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	100
6月	5	7	14	15	20	12	10	6	3	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	100
7月	3	6	12	13	18	14	12	10	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	2	3	12	15	19	16	14	10	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	2	5	13	17	17	14	12	9	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	4	7	21	16	18	11	9	5	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11月	7	11	25	21	14	8	6	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	5	7	19	18	19	8	6	4	4	3	2	2	1	1	0	0	1	0	0	0	100
合 計	4	8	16	17	16	11	9	6	4	3	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	100

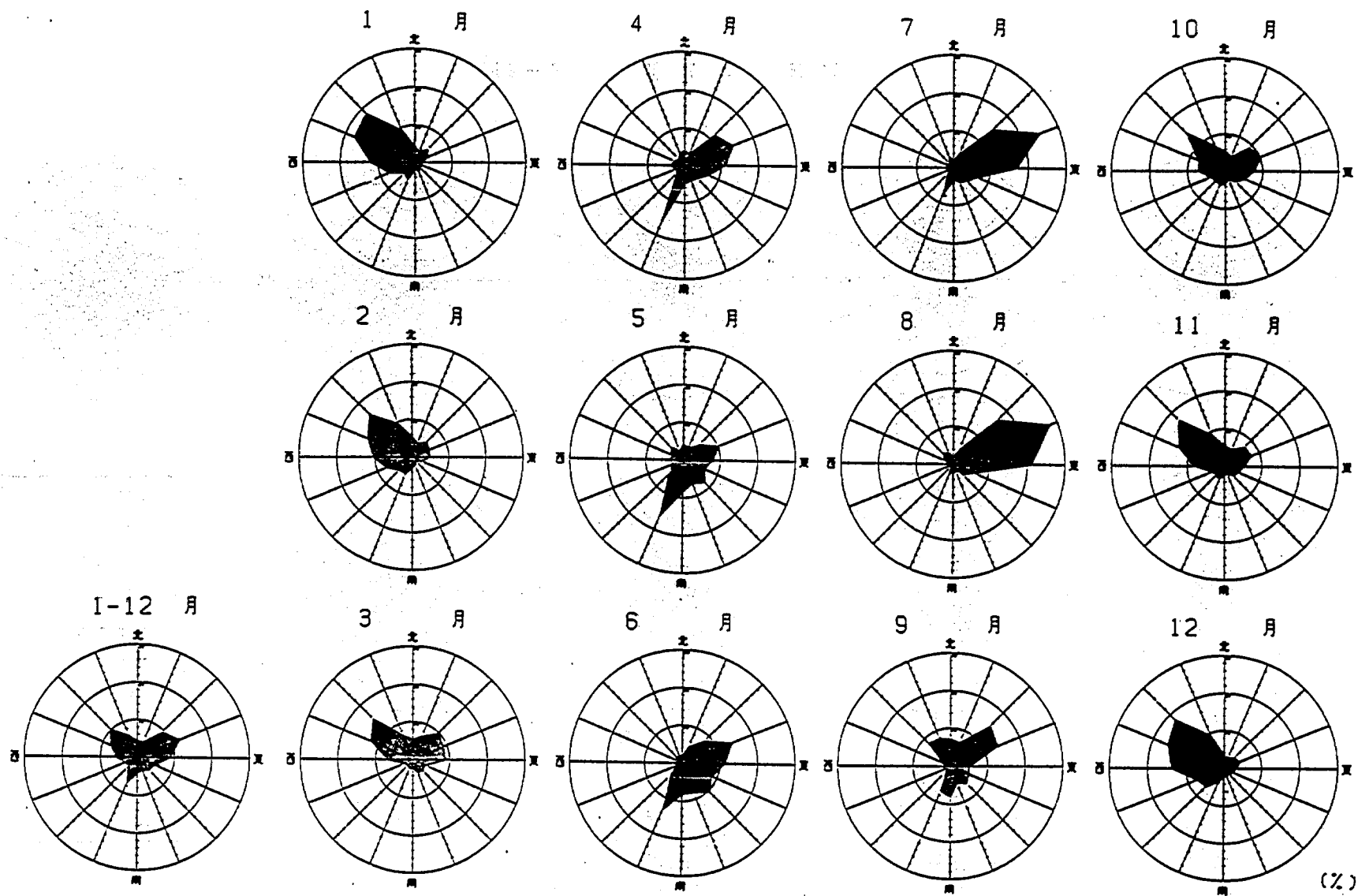


图 5-5 月 别 风 配 图

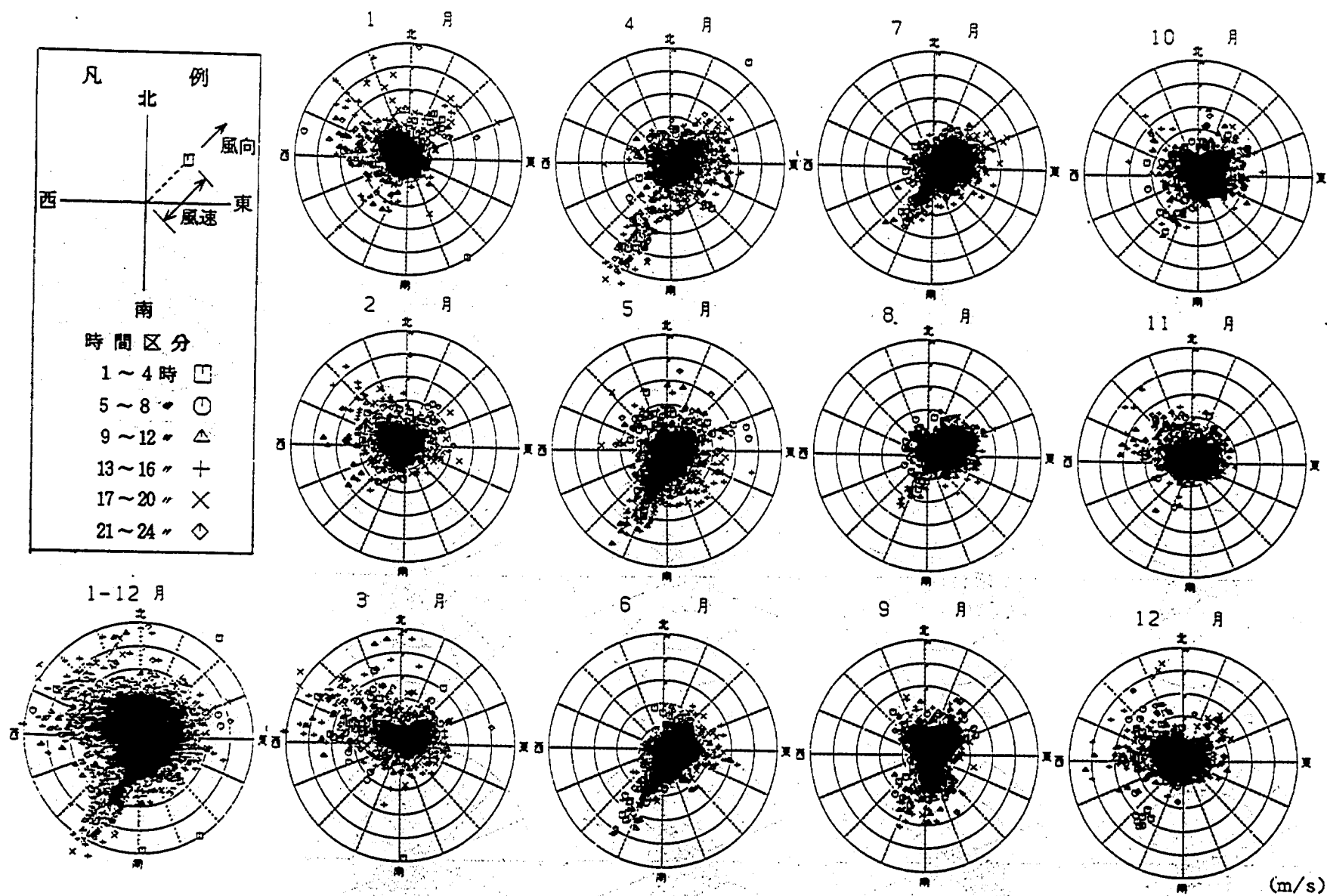


图 5-6 月 別 風 向 ・ 風 速

6. ま と め

本調査では、人工音を用いた野外実験、道路交通騒音の実測、理論式による音の伝播経路の作図および気象観測データの分析により、道路交通騒音に対する風の影響について定量的な検討を行った。得られた結果は次のとおりである。

- 1) 音源の位置が地上（平面道路）の場合、音源からの距離が遠いほど、また地表面に近いほど風の影響が大きい。地表面性状によって影響度合がかわり、吸音率の低い地表面ほど風の影響が大きい。
- 2) 音源の位置が地上から離れた（高架道路）場合、風の影響はほとんどみられない。
- 3) 年間を通じての風速強度別頻度と実験、実測の結果から、年間を通じての騒音レベルに対する風の影響は、道路の中心から風下方向の100m地点で5～7 dB(A)、200m地点で7～9 dB(A)程度と考えられる。しかしこの間の距離減衰等を考え合わせると、これらの地点では十分減衰しており影響は小さいものと判断される。またアセスメント等で一番問題になる道路端では、音源からの距離がわずかであるため、騒音レベルに対して風は実質的には影響しないと考えられる。
- 4) 野外実験、野外実測、理論計算の結果がほぼ一致しており、また、第8章において示すように温度勾配の影響に関しても実験結果と理論計算の結果が一致しているので、騒音伝播に対する気象条件の影響の理論式および理論計算の正しさが本調査で証明された。

7. 参 考 文 献

1) 例えば,

P.H.Parkin, W.E.Scholes; "The Horizontal Propagation of Sound from a Jet Engine Close to the Ground, at Hatfield", Journal of Sound and Vibration, 1965.

石井聖光, 橘 秀樹, 山口道征:「屋外における騒音の伝搬性状(平坦地における実測例)」, 日本音響学会講演論文集, 1976, 5.

吉久光一, 橘 秀樹, 石井聖光:「屋外における騒音の伝搬性状(長期定点観測によるフィールド実験結果)」, 日本音響学会講演論文集, 1979, 6.

な ど

2) A.R.Kriebel: "Refraction and Attenuation of Sound by Wind and Thermal Profiles over a Ground Plane", The Journal of the Acoustical Society of America, 1971, 6.

3) 青島伸治:「ミニコンによる大気中の音線の作図」, 日本音響学会講演論文集, 1973, 10.

4) 川井孝雄, 中島立美, 日高孝之:「地表面による付加減音量と音響インピーダンスの逆算(その2)」 日本音響学会講演論文集, 1981, 5.

5) 足立義雄, 藤城泰行:「大気中の温度分布と汚染」, 土木技術資料, Vol. 23, No.4, 1981, 4.

6) 吉久光一, 橘 秀樹, 石井聖光:「屋外における騒音の伝搬性状(温度分布の影響に関するフィールド実験結果)」, 日本音響学会講演論文集, 1979, 6.

(参 考)

8. 騒音伝播に与える気温分布の影響

8-1 はじめに

道路交通騒音の影響予測にあたっては、これまで道路条件、交通条件および周辺条件が考慮されており、道路近傍に単純な条件を設定して推定している。しかし、この他にも厳密に考えると気象、地形・地物、地表面性状、障害物などが影響するものと思われる。ここでは気象条件を対象として、そのうちから気温の分布を取り上げ、騒音伝播に及ぼす影響について検討を行ったので報告するものである。まず、既存の資料にもとづいて基本的性質を明らかにし、次にスピーカーを用いて人工音を放射し、騒音の伝播性状と気温分布との関係を検討し、結果を騒音レベルに換算している。さらにスネルの屈折の法則を基本としてシミュレーションを行い、実験結果に対して理論的な面から考察を加えている。最後に、1年間の気象観測データに基づいて気温逆転層の強度や出現頻度についても取りまとめている。以上の検討を総括して気温の分布が騒音伝播に与える影響を把握したものである。

8-2 気温分布の影響に関する基本的性状

大気中に温度勾配が生じた場合、音は音速の差により屈折を起こすことになる。大気中では通常100m上昇すると約1℃温度が下がるので音の伝播経路は図8-1に示されるように上方に屈折し、ある距離以遠では音が到達しにくい範囲（Shadow Zone）が生ずる。しかしながら、冬期においては地表に近い部分が冷却された地面の影響を受け、下層ほど温度が低くなる逆転現象を生ずる。その場合には図8-2に示されるように温度勾配が正となって、音の伝播経路が下方へ曲がる形となることがある。

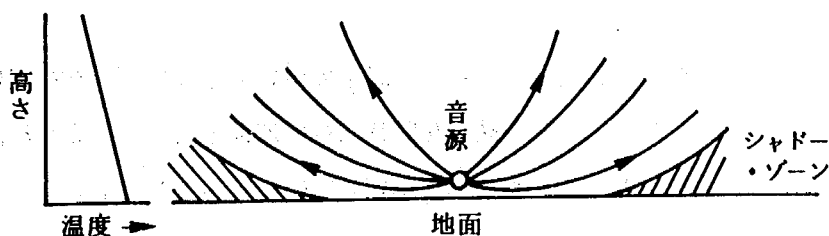


図8-1 通常の状態における音の伝播（模式図）

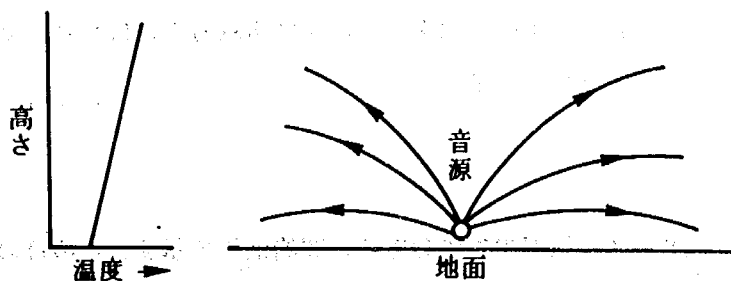


図8-2 逆転時における音の伝播（模式図）

このように音の伝播に対する温度勾配の影響に関しては、従来より定性的に把握されているが、それが道路交通騒音のような周波数域の音に関して、地上近くでしかも100～200 m以内の範囲でどの程度の影響を与えるものか定量的な把握はほとんどなされていない。

吉久ら⁶⁾は、この温度勾配と地上付近での騒音伝播の関係について、平坦な芝地において実験を行っている。それによると、道路交通騒音における周波数域でも、従来から定性的に述べられている傾向と同様に、音の伝播経路が下方へ折れる逆転層の発達した状態においては、地上付近で音が伝播しやすくなる傾向が得られている。しかし、この調査では、逆転層強度（温度勾配の大きさ）と騒音レベル増加量の関係を把握するまで至っていない。そこで、本文では、気象条件（温度勾配）を十分に把握した上で、騒音伝播に対する気温の影響の定量的な検討を行っている。

8-3 温度勾配の影響に関する実験

騒音伝播に対する温度勾配の影響を検討するため、人工音による音源を、平面道路および高架道路を想定して、地上および地上から10mの高さに設定して騒音伝播の実験を行い、得られた音圧レベルを道路交通騒音レベル（A特性）に合成し、逆転層強度との関係を調査した。

8-3-1 調査方法

(1) 調査場所

利根川遊水地内で、周囲の良く開けた平坦地を利用した。

(2) 調査日時

日中は図8-1に示すような通常の温度勾配であるが夜間には図8-2に示すような逆転現象が起りやすい冬期の快晴でほとんど風のない日の夜間から朝にかけて実験を行った。

(3) 調査項目

1) 気象観測

図8-3に示すように計器を設置し観測を行った。気象については係留ゾンデを用い、地上から高度約300 mまでの気温、湿度、風向、風速の観測を騒音測定の前に行った。さらに、図8-3に示す2地点で地上3 m高さの風向、風速の観測を騒音測定と同時にやっている。

2) 騒音測定

音源には無指向性に近い12面体スピーカを用いて、125 Hz から2 kHz までの周波数域を含む広帯域ノイズの断続音を発信させて行った。受音点は図8-3に示すように音源の両側に配置している。

これは風向にかかわらず受音点が必ず風上側と風下側とに設けられることになり、平均をとれば測定結果に対する風の影響が除去できるためである。

8-3-2 調査結果

(1) 気象観測

気象観測の一例として、図8-4に気温の鉛直分布の時間的推移を示す。この日の日没時刻は17時25分頃であり、次の日の日出時刻は6時25分頃であった。

17時9分から34分に観測された気温の鉛直分布をみると、地上から地上40mの高さまでは上空へ行

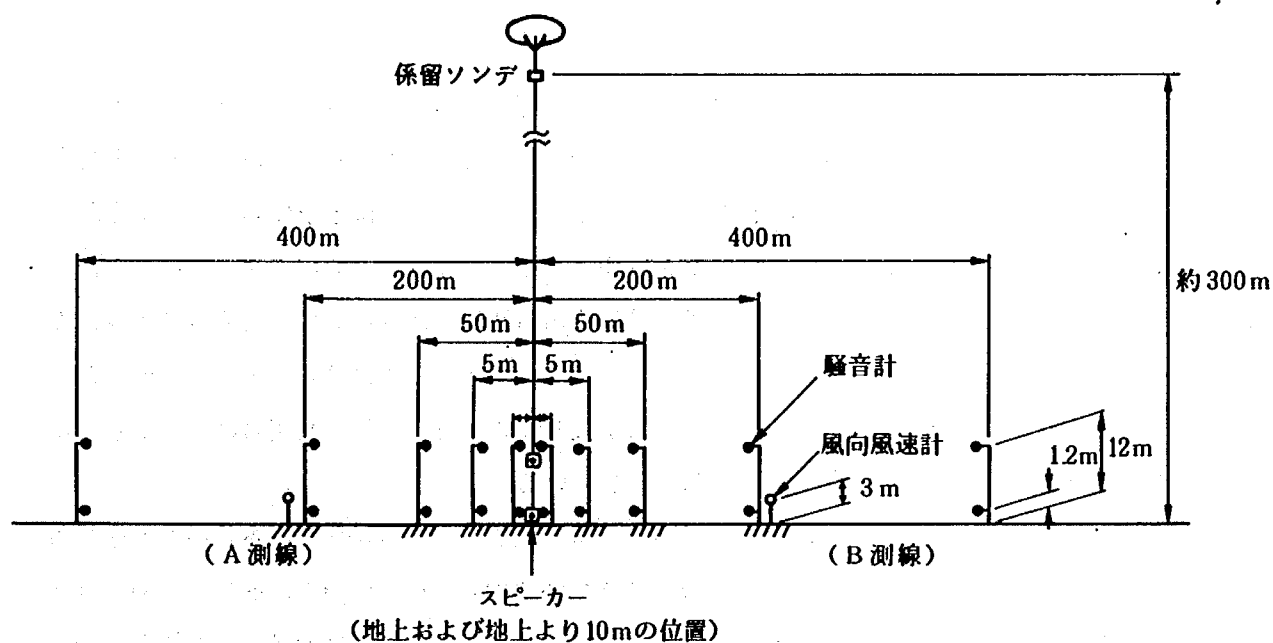


図 8 - 3 測定状況

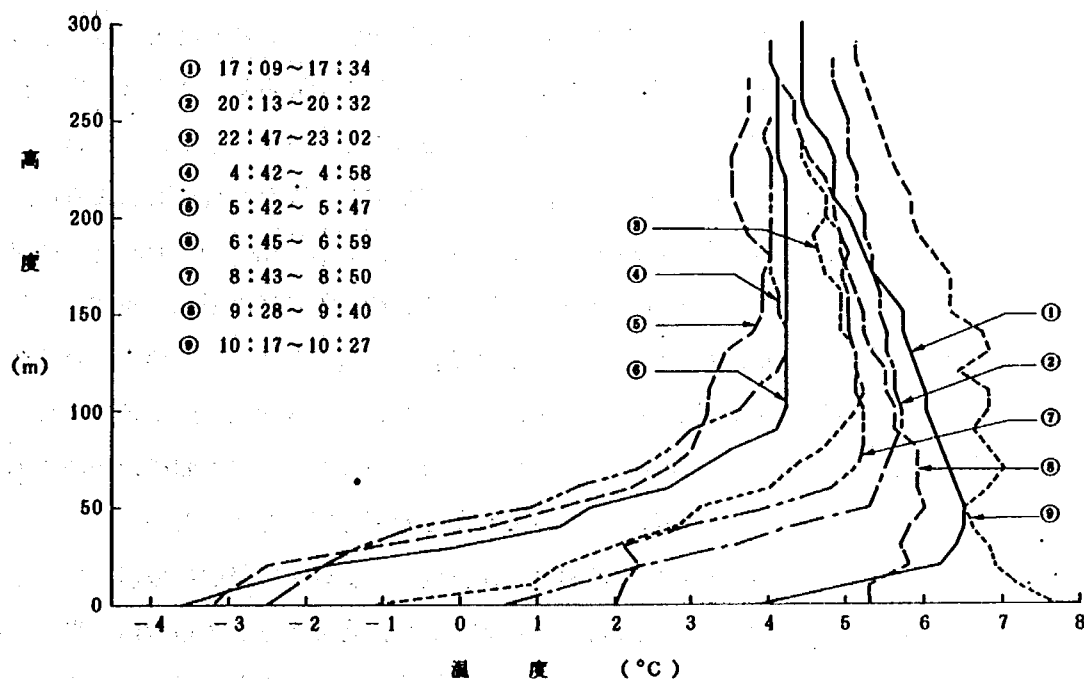


図 8 - 4 気温の鉛直分布 (12月7日~8日観測)

くほど気温が上昇しており、既に逆転層が生じていることがわかる。時刻が進んで夜がふけるにつれて各高度とも気温はしだいに低下していくが、特に地表に近い部分程その割合は大きい。また時刻が進むにつれて逆転の高さ（温度勾配がプラスからマイナスに変化する高度）が上昇していくことが認められる。そして8時43分から50分の観測結果や9時28分から40分の観測結果が示すように日出後は急速に地表面付近の温度が上昇して逆転現象が解消していく。

(2) 騒音測定結果と温度勾配の影響

図 8 - 5 に気象（ベクトル風速、温度勾配）の観測結果と 125 Hz から 2 kHz における相対レベル

の時刻変動を示す。ベクトル風速とは音源と受音点を結ぶ測線方向の風速成分で、プラスは音源から受音点の方向に風が吹いていることを表し、マイナスは受音点から音源の方向に吹いていることを表す。また、温度勾配は地上付近の気温の鉛直分布から求めており、プラスは上空に向うほど気温が上昇する状態、いわゆる気温の逆転状態を、マイナスは逆に上空に行くほど気温が下がっている通常の状態を表す。また相対レベルとは音源に最も近い受音点の音圧レベルを基準にした場合の各受音点の音圧レベル、すなわちレベル差のことであり、音源を地上に設置した場合は音源より5m離れた高さ1.2mの受音点における音圧レベルを、音源を地上より10mの高さに設置した場合は音源より5m離れた高さ12mの受音点における音圧レベルを基準としている。

図8-5(a)は音源を地上に設置した場合の1.2mの受音点高さにおける結果である。温度勾配の値が約 $10\sim 20^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の逆転層を生じている18時~7時の間の相対レベルの値と温度勾配の値がほぼ $0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ となる9時~10時頃の相対レベルの値を比較すると、50m地点における2kHzと100mおよび200m地点における500Hz~2kHzで相違が認められ、これらの地点および周波数で温度勾配による相対レベルの上昇がみられる。図8-6はこのうち逆転層が生じている6時とほぼ中立の10時40分の測定について、周波数別に距離減衰を示したものである。ここで騒音レベルとは、周波数別の相対レベルを道路交通騒音の平均的なスペクトル(A特性)を考慮してウェイトづけして合成したものであり、道路交通騒音に相当するものであって単位はdB(A)である。図から読取れるように、音源が地上に設置された場合には、音源からの距離が大きくなるにつれて500Hz~2kHzと、結果的に騒音レベルで温度勾配が影響してくる。図8-5(b)~(d)に音源が地上で受音点の高さが12m、音源の高さが10mで受音点の高さが1.2m、音源の高さが10mで受音点の高さが12mのものをそれぞれ示す。いずれの場合も相対レベルに対する温度勾配の影響はみられない。音源が高い所に設置されると騒音伝播に対する温度勾配の影響は認められなくなる。また受音点が高くなっても同様の傾向である。なお400m地点ではS/N比が不足して有効な測定が行えなかったので図示していない。

気象観測および騒音測定の結果から、騒音伝播における温度勾配の影響を定量的に検討してみる。図8-4からわかるように温度勾配の値は地表面付近が最大であり、音源より200m以内の受音点に伝播する騒音に影響をおよぼす大気層は地上から10mくらいに限られる。したがって、ここでは温度勾配の値として、地上と地上10mの気温の差から求めた値を用い、騒音測定値は、前述の理由により音源の両側の受音点の音圧レベルの平均値を用いている。図8-7は道路交通騒音に相当する騒音レベルと温度勾配との関係を示したものである。このデータに対して回帰直線をあてはめると、傾きは $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 温度勾配が増加したときの騒音レベルの上昇量を表し、温度勾配の影響度合を表している。表8-1に温度勾配がない場合の相対レベルと温度勾配の影響度合を示す。

図8-7および表8-1より、騒音レベルに対して温度勾配の影響がみられるのは、音源が地上にあり、受音点の高さが1.2mの場合における100および200m地点であり、影響の程度は勾配 $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ につき100m地点で0.2dB(A)、200m地点で0.3dB(A)程度である。また受音点の高さが12mの場合には温度勾配の影響はみられず、音源の高さが10mの場合も温度勾配の影響はみられない。

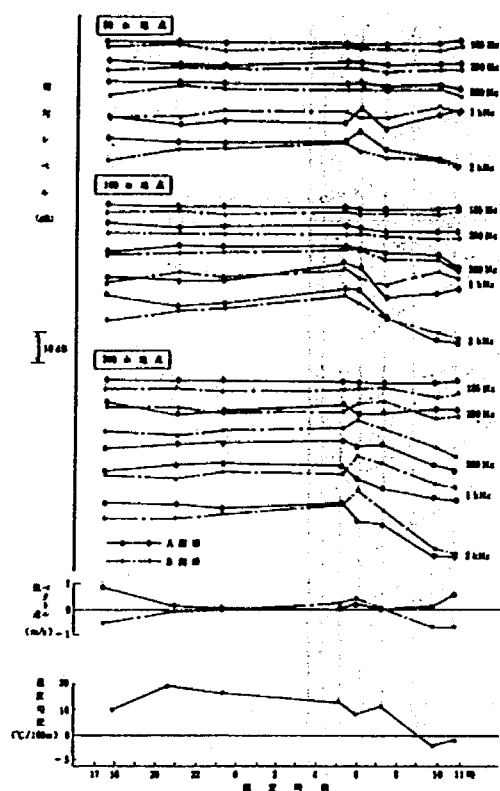


図8-5(a) 相対レベルと気象の時刻変動
(音源高：地上，受音点高：1.2 m)

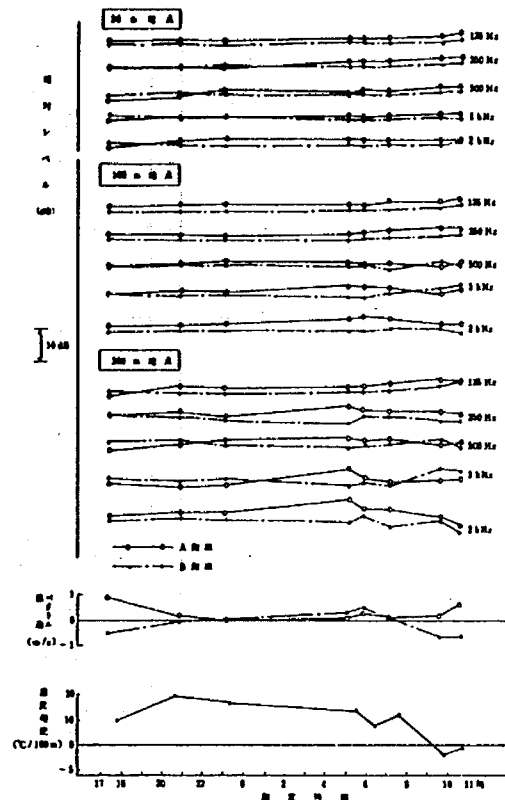


図8-5(b) 相対レベルと気象の時刻変動
(音源高：地上，受音点高：12 m)

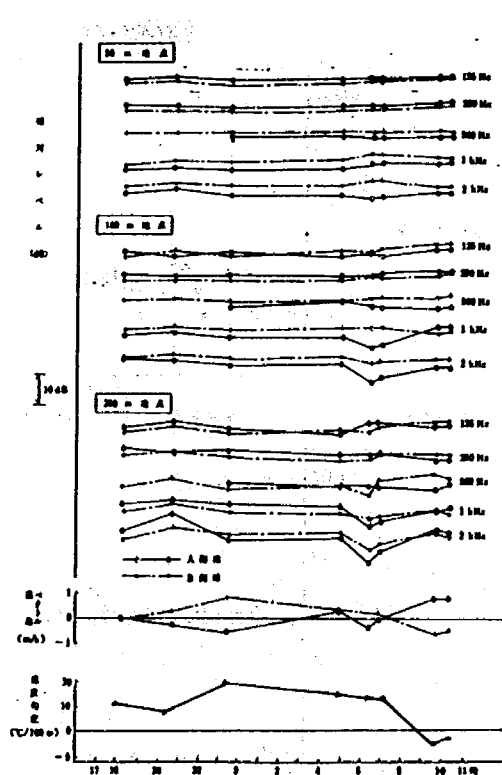


図8-5(c) 相対レベルと気象の時刻変動
(音源高：10 m，受音点高：1.2 m)

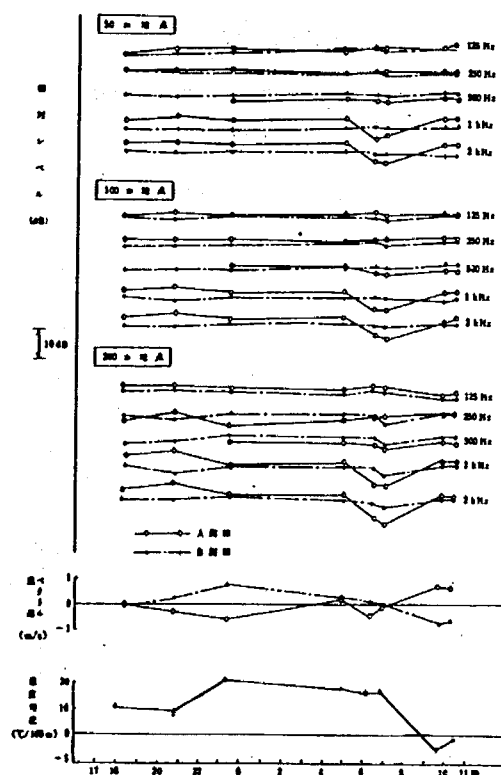


図8-5(d) 相対レベルと気象の時刻変動
(音源高：10 m，受音点高：12 m)

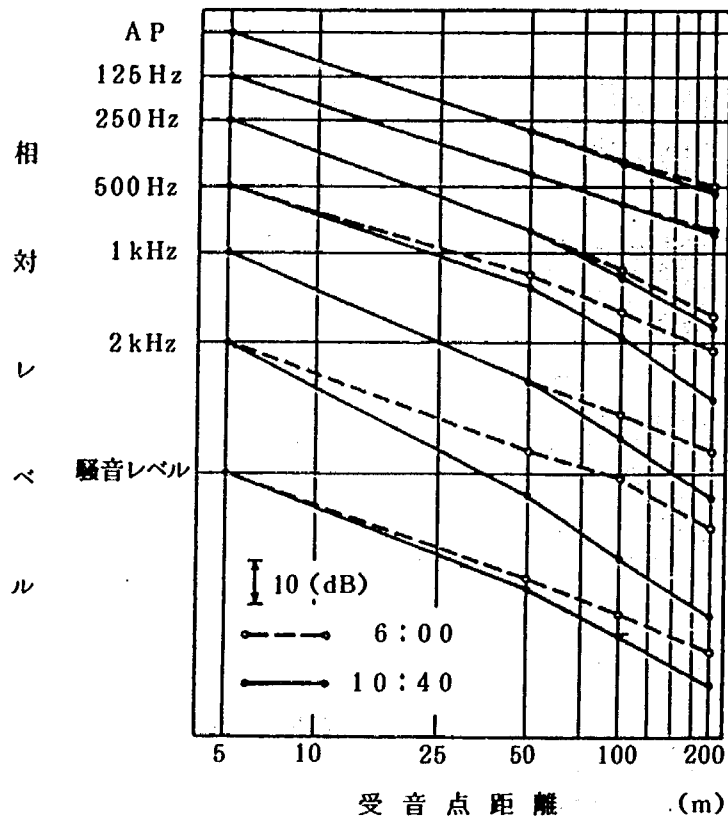


図 8-6 周波数別バンドノイズ距離減衰性状

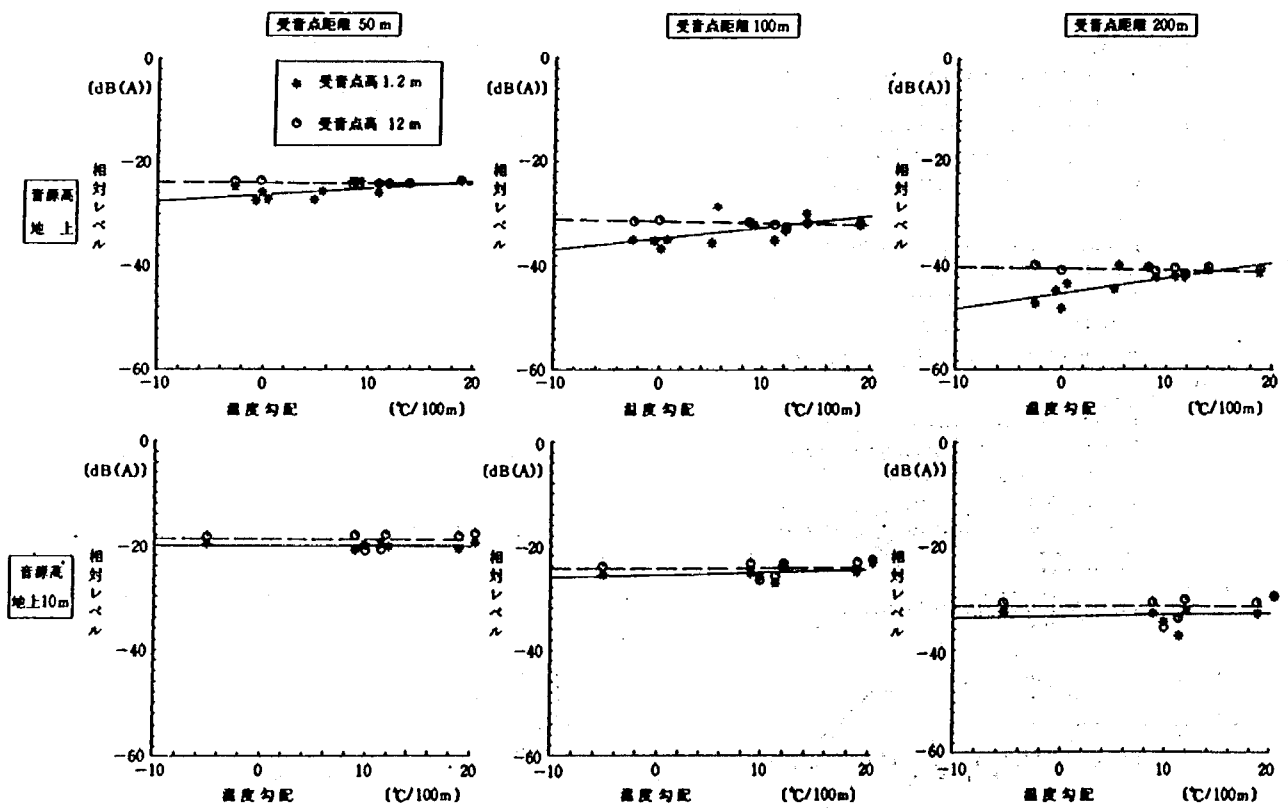


図 8-7 実験結果

表 8-1 実験結果

音源高 m	受音点高 m	受音点距離 m	中立時の相対レベル dB (A)	温度勾配の影響度合 dB/1°C/100 m
0	1.2	50	-26.3	0.13
0	1.2	100	-34.9	0.21
0	1.2	200	-45.0	0.28
0	12.0	50	-19.5	0.01
0	12.0	100	-26.0	0.05
0	12.0	200	-33.4	0.03
10	1.2	50	-24.0	-0.01
10	1.2	100	-31.7	-0.04
10	1.2	200	-40.5	-0.04
10	12.0	50	-18.3	0
10	12.0	100	-24.5	0.01
10	12.0	200	-31.5	-0.01

8-4 理論的検討

8-4-1 理論式

8-3 で得られた実験結果を理論的な面から検討するため、スネルの法則を基本として、実験時の気象観測データを用いて音の伝播経路の作図を行った。式(2)~(4)は風の影響を含めて一般的に示しているが、風が吹く状況では逆転現象が起こることはなく、逆に強い逆転層が生ずるのは無風時であることを考慮してここでは風速 $U_i = 0$ の場合についてのみ考えることにする。この場合 $\theta_{ri} = \theta_i$ となり音線は波面に垂直となる。

式(2), (3)において $U_i = U_{i-1} = 0$ とおくと

$$\theta_i = \theta_{ri} = \cos^{-1} \left[\frac{C_i}{C_{i-1}} \cos \theta_{i-1} \right] \dots\dots\dots (6)$$

となり、音源の位置における初期条件 C_0, θ_0 を与え、式(4)から求められる各層の C_i を順次与えていけば、各層における波面と音線の進行方向が求められ、この角度 θ_i を用いて音源から順次直線で結んでいけば、初期条件 θ_0 で放射された音の伝播経路の作図ができる。

また、中立時（無風で温度勾配もない状態）と逆転層を生じた状態において音の伝播経路を計算し、設定した受音点に到達した音線の単位面積当りの数の比をとることによって、温度勾配による音圧レベルの増加量を計算できる。ただしこの場合、地表面での反射の際の吸音を考慮しなければならないが、ここでは8-3の野外実験が裸地で行われたのに対応させるため吸音率を0.1と仮定して計算している。

8-4-2 計算結果

実験時の気象観測データを用いて、音源を地上、地上10mおよび地上20mに設定して音の伝播経路の作図を行った場合の結果を図8-9~図8-11に示す。但し温度は10mおきの測定値しかないので、3次式による補間と移動平均により各層の推定値を求めており、図8-12のように設定している。

図8-9～図8-11の伝播経路の曲がり具合からわかるように温度勾配は音の伝播に対してそれほど影響しない。また3つの図を比較すると、音源が地上に設置された場合には地表付近の音線の密度が非常に高いのに対し、10m、20mと音源が高くなるに従って地表面付近の音線の密度が低くなる傾向が読み取れる。

さらに受音点距離が50, 100, 200, 400 mで高さが地上1.2, 3.5, 7, 12mの各受音点における音圧レベルを計算しており、その結果を表8-2に示す。表からわかるように音源が地上に設置された場合には、受音点が音源から遠く、かつ地上に近いほど温度勾配の影響が大きいことがわかる。この傾向は8-3に示した実験結果から得られた値とよく対応しており、実験結果が理論的に裏付けられたといえる。受音点距離400m、高さ1.2mの値が約8 dBとなっているが、これについては距離が大きいので騒音は十分減衰しているため影響は少ないものと思われる。実際には暗騒音レベル以下で測定不可能であった。

また音源高が10mの場合には温度勾配の影響はほとんどみられず、これも実験結果とよく対応している。

8-5 温度勾配の強度および頻度

前述の気象研究所の昭和55年1年間の気象観測データを用いて年間の気温の接地逆転層の強度、頻度について取りまとめた。

逆転層の強度を $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ きざみでランク分けし、月別に逆転層の出現頻度を求めた。表8-3～8-7はそれぞれ午前6時と正午、午後6時、正子、24時間計のデータを用いた地上10mと25mの間の逆転層強度の頻度である。

表8-3からわかるように、午前6時では、12月から3月に強い逆転層がみられ、4月から6月にはほぼ $0\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の逆転層が多く、8月から10月には逆に上空へ向うほど気温が低くなる通常の状態が多くなっている。また表8-4からわかるように、正午では各月とも逆転層は、ほぼ解消されており、8月から12月には通常の状態が多くなっている。温度勾配 $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上の強い逆転層の出現頻度としては年間で12月から3月に各月5日程度みられるくらいで、また時間的にも夜間から夜明けにかけてと限定されている。

8-6 ま と め

以上の調査により得られた結果は次のとおりである。

- ① 音源の位置が地上の場合、音源からの距離が遠いほど、また地表面に近いほど温度勾配の影響が大きい。騒音レベルに換算した場合温度勾配 $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ につき、 100m 地点の地上 1.2m で 0.2dB (A) 、 200m 地点の地上 1.2m で 0.3dB の影響がみられる。また地上 12m では温度勾配の影響はみられない。
- ② 音源の位置が地上からはなれ 10m あるいは 20m になった場合、温度勾配の影響はみられない。
- ③ 年間を通じて気温の接地逆転層が生ずるのは冬期の夜間であり、所によって違うが温度勾配 $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上の強い逆転層が出現するのは12月から3月にかけて各月5日ほどであって、年間を通じてほとんどの日、時間が温度勾配 $5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下である。したがって年間を通じての騒音レベルに対する温度勾配の影響は $1\sim 1.5\text{dB (A)}$ に過ぎないことがわかる。しかも、音源から十分な距離だけ離れていて騒音が減衰している位置での影響であるから影響は小さいものと判断される。
- ④ 音源の位置が地上の場合、音源からの距離が遠いほど、また地表面に近いほど温度勾配の影響が大きく、また、音源が地上から離れると影響はみられなくなるという実験結果が理論的に裏付けられ、騒音伝播に対する気象条件の影響の理論的検討が可能になった。

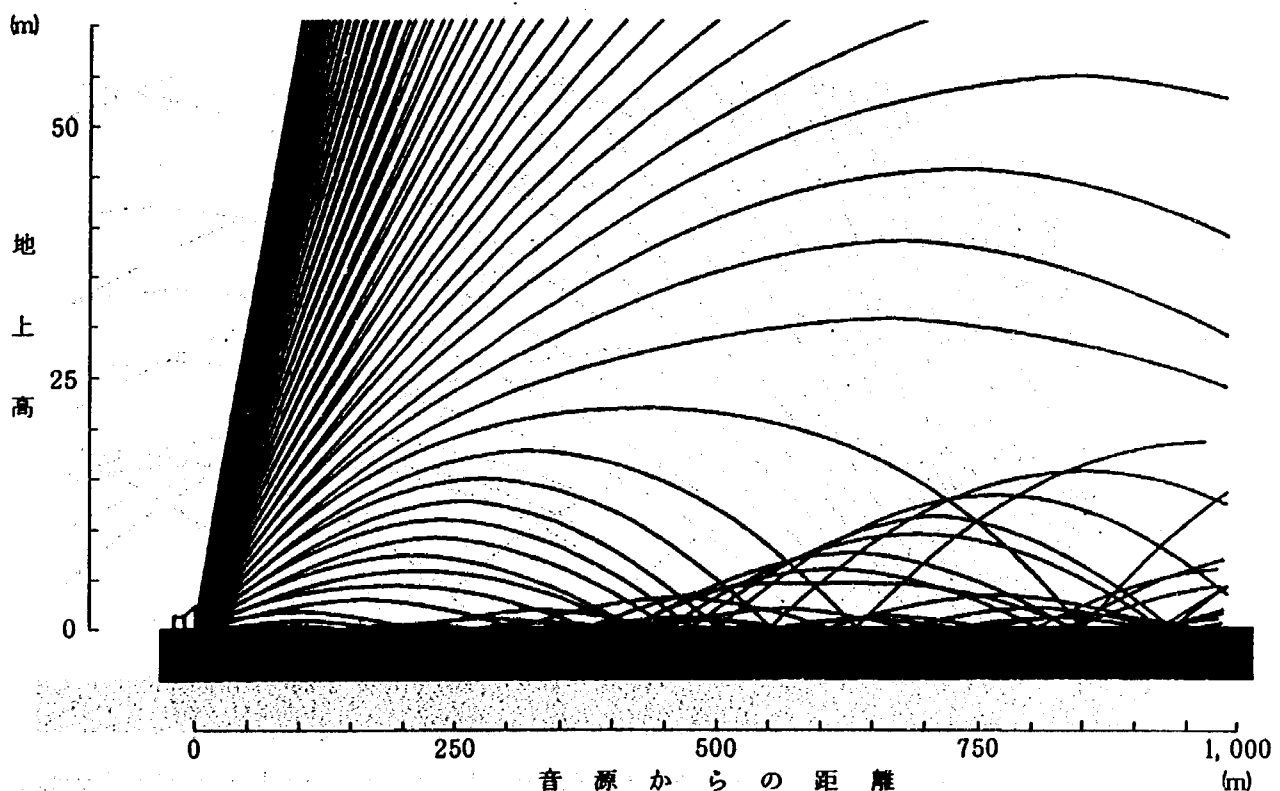


図8-9 音源が地上の場合の音線伝播状況

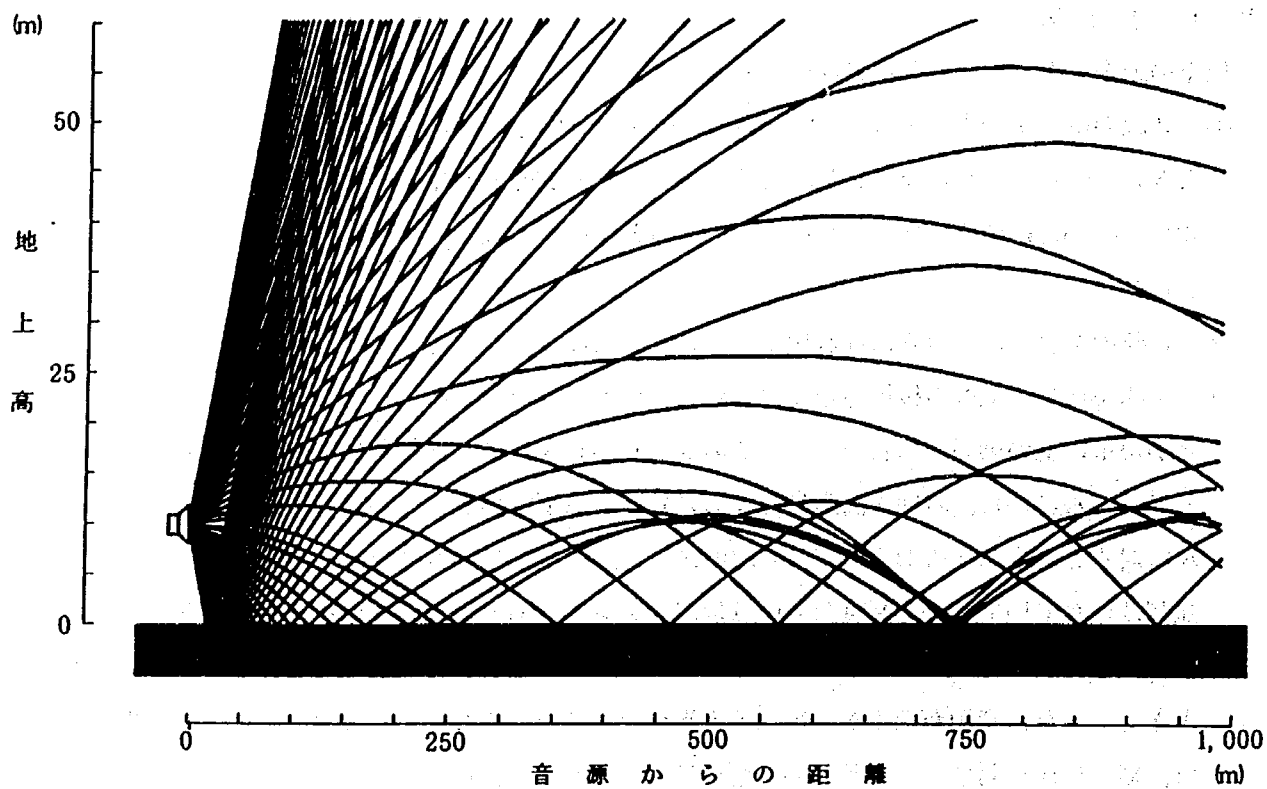


図 8 - 10 音源が地上10mの場合の音線伝播状況

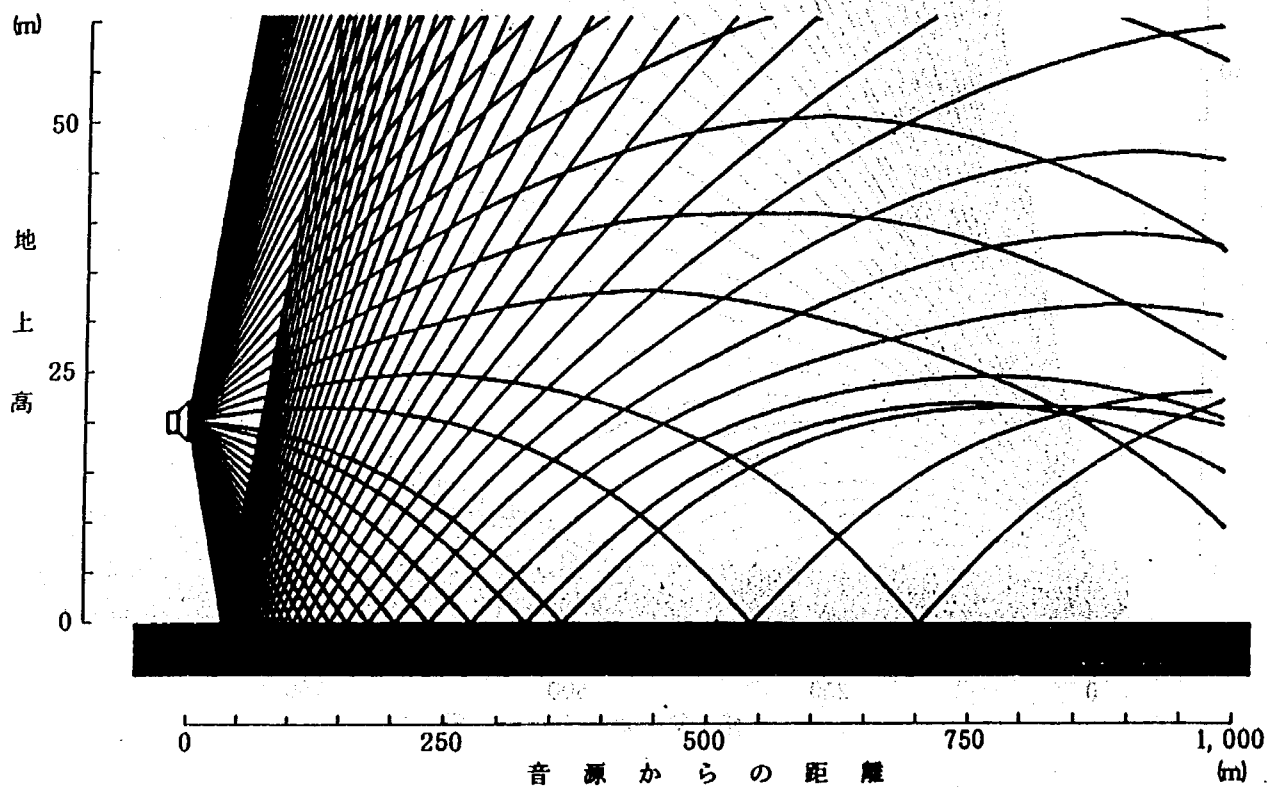


図 8 - 11 音源が地上20mの場合の音線伝播状況

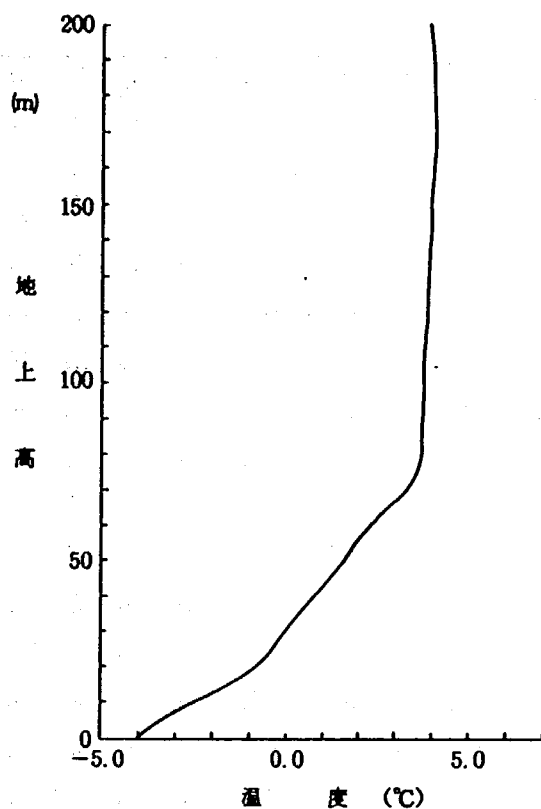


図8-12 設定条件 (気温)

表8-2 中立時に対する逆転時の音圧レベルの変化 (dB)

(1) 音源高：地上

受音点高 (m) 受音点距離 (m)	1.2	3.5	7	12
50	0.2	0.1	0	0.7
100	0.3	0.3	0.2	0.2
200	1.8	0.7	0.6	0.5
400	8.4	1.9	0.6	-0.1

(2) 音源高：10 m

受音点高 (m) 受音点距離 (m)	1.2	3.5	7	12
50	0	0	0	0
100	0.2	0.2	0.2	-0.2
200	0.5	2.2	0.7	0.4
400	-0.8	-0.6	3.0	2.9

(3) 音源高：20 m

受音点高 (m) 受音点距離 (m)	1.2	3.5	7	12
50	0.1	0	0	0.1
100	0	0	0	0
200	0	0.1	0.1	0.1
400	-1.6	-0.9	-0.9	1.1

表 8-3 氣溫鉛直勾配別頻度表

午前6時 単位：%

月	氣 溫 鉛 直 勾 配 (℃/100 m)																																			
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合
	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	計
1月	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	10	28	3	14	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	0	7	3	0	0	0	3	0	0	0	0	97
2月	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	17	17	7	7	0	11	0	10	0	0	0	7	0	0	0	0	4	4	4	0	4	0	0	0	0	100
3月	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	35	11	11	7	4	0	0	7	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4月	0	0	0	3	0	0	3	0	7	7	28	27	7	0	0	3	3	3	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	100
5月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	46	19	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
6月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	43	17	30	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
7月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	13	16	13	6	16	3	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	0	0	0	0	11	14	31	0	13	0	4	4	0	0	0	0	0	7	4	0	4	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	0	0	0	0	3	3	25	29	21	7	0	3	0	0	0	3	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	0	0	0	3	6	3	17	3	13	10	20	10	0	3	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	97
11月	0	0	0	0	0	0	3	10	41	10	17	3	0	3	0	3	0	3	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	0	0	0	0	0	0	6	3	27	3	24	10	3	0	0	6	3	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	6	0	0	0	100
合 計	0	0	0	1	2	2	7	4	12	5	14	17	6	8	3	4	1	4	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	100

表 8 - 4 气温鉛直勾配別頻度表

正 午 単位：%

月	気 温 鉛 直 勾 配 (℃ / 100m)																																			
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合
																																			計	
	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	計
1月	0	0	0	0	0	0	6	10	61	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2月	0	0	0	0	0	0	0	21	61	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3月	0	0	0	0	0	0	4	0	40	26	26	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4月	0	0	3	3	3	0	3	10	28	10	20	17	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5月	0	0	0	0	0	0	0	6	3	16	40	29	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
6月	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	23	34	10	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
7月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	7	27	10	10	0	3	7	10	7	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	0	0	4	11	37	11	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	0	0	4	15	22	11	40	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	0	0	0	0	19	23	55	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11月	0	0	0	0	7	3	77	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	0	0	0	0	6	16	65	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
合 計	0	0	1	2	8	5	22	6	18	6	10	8	1	5	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

表 8 - 5 氣溫鉛直勾配別頻度表

午後6時 単位：%

月	氣 溫 鉛 直 勾 配 (°C/100 m)																																			
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合
																																			計	
	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	計
1月	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	48	13	7	10	3	7	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	32	7	21	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3月	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	39	32	7	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4月	0	0	0	0	0	3	3	0	3	10	34	31	10	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	36	29	26	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
6月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	37	17	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
7月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	10	19	0	17	0	13	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	0	0	0	0	11	21	45	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	0	0	0	0	0	3	60	17	17	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	0	0	0	0	0	0	26	32	26	0	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11月	0	0	0	0	0	0	7	20	30	7	13	7	0	7	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	0	0	0	0	0	0	6	20	27	3	6	17	3	0	0	3	3	6	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
合 計	0	0	0	0	1	2	12	8	9	3	18	17	8	11	2	3	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

表 8 - 6 氣温鉛直勾配別頻度表

正 子 單位：%

月	氣 温 鉛 直 勾 配 (℃ / 100 m)																																			
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	計
1月	0	0	0	0	0	0	0	0	3	13	28	14	0	3	0	7	3	10	0	0	7	3	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	100
2月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	28	13	0	11	0	14	4	4	0	4	7	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	100
3月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	39	7	21	4	4	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4月	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	27	34	10	3	7	7	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	34	17	13	0	10	0	3	0	7	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	100
6月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	20	13	7	7	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
7月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	3	16	13	3	16	10	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	0	0	0	0	4	17	41	11	7	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	0	0	0	0	0	3	24	25	25	3	17	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	0	0	0	0	0	0	20	16	13	0	20	6	10	3	0	0	3	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	100
11月	0	0	0	0	0	0	7	3	35	7	7	7	0	3	3	3	0	3	10	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	97
12月	0	0	0	0	0	0	0	6	17	3	13	10	0	10	13	3	0	10	0	0	0	3	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	3	0	3	100
合 計	0	0	0	0	0	2	8	5	9	4	16	15	7	6	5	6	1	5	2	2	2	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	100

表 8 - 7 氣溫鉛直勾配別頻度表

24時間合計 単位：%

月	24時間合計 単位：%																																			
	気 温 鉛 直 勾 配 (°C/100 m)																																			
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合
																																		計		
	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	計
1月	0	0	0	0	0	0	1	6	17	15	24	12	3	4	2	3	1	3	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	100
2月	0	0	0	0	0	0	0	4	20	12	25	12	5	6	2	4	1	3	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	100
3月	0	0	0	0	0	0	0	1	17	20	33	13	4	5	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4月	0	0	1	1	1	1	2	2	13	8	29	23	4	5	2	3	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5月	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	22	34	13	14	2	3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
6月	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	11	32	20	27	3	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
7月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	8	19	11	14	3	13	7	6	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8月	0	0	1	2	13	14	39	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0	3	3	3	5	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9月	0	0	1	2	8	8	45	15	14	2	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10月	0	0	0	0	6	9	35	13	13	2	7	4	1	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11月	0	0	0	0	2	4	23	14	25	5	9	5	1	2	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12月	0	0	0	0	2	4	21	12	19	5	10	9	2	3	1	2	1	2	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	100
合 計	0	0	0	0	3	3	15	6	12	6	15	14	5	8	2	3	1	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

道路交通騒音の伝播に及ぼす
気象条件の影響

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2248号

昭和60年4月(1985)

交通環境研究室 足立 義雄

阪井 清志

キーワード：道路交通騒音，風速，気温

道路交通騒音の伝播に対し，地上付近の風速の分布および気温の鉛直勾配がどのような影響を及ぼすかについて検討することを目的として，人工音を用いた野外実験，道路沿道での騒音実測，理論的検討および年間の気象データの整理を行い，各々の影響を定量的に把握した。その結果，音源からの距離が離れた地表面付近では影響が認められるものの，道路沿道近くにおいてはほとんど影響がみられないことが明らかになった。

郵便はがき

下を40
さは円
いっ切
て手

305-□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
交通環境研究室 行

No. 013

土木研究所資料第2248号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏名

