

資料

日本音響学会の道路交通騒音予測式を用いた 推計に関するいくつかの検討

宇津 正樹, 佐々木 恭弘

Some Examinations on Estimation of Road Traffic Noise Level using Prediction Method of Acoustical Soc. of Japan

MASAKI UZU and YASUHIRO SASAKI

(Received Oct. 17, 2001)

騒音に係る環境基準が改正され、道路に面する地域の評価が、一定範囲の地域を対象とする面的評価に変更された。地域の騒音を面的に把握することが必要となることから、道路交通騒音の推計システムを、道路周辺に建物のない平坦構造及び盛土構造の直線道路について作成し、その推計精度等を一般道路や高速道路において実施した騒音の実測調査結果を用いて検討した。①平坦道路や盛土道路ののり下部で地表面効果の補正の必要性が認められた。②仮想1車線及び2車線による推計では、仮想車線数の違いによる推計値の差は道路付近で大きい。盛土道路では防音壁の有無によって各仮想車線の寄与が大きく異なる場合がある。③一般道路では、非定常走行を用いた場合が安全サイドの推計となる。④平坦道路では推計値の84%が±3 dBの誤差範囲に入った。盛土道路では2～3 dB低い推計値となったが推計誤差のばらつきの程度は平坦道路と類似していた。

キーワード：等価騒音レベル，道路交通騒音，推計

緒 言

騒音の環境基準が改正され、環境基準の評価は、等価騒音レベル(L_{Aeq})を用いて行うこととなった。また、道路に面する地域における環境基準達成状況の評価は、従来の「代表地点における騒音レベルによる点評価」から「一定区間において基準値を超える騒音に曝露される住居等の戸数やその割合による面的評価」へと変更された。

面的評価を行うには、評価する地域内の騒音の状況を面的に把握することが必要となるが、実測による把握は、多大な業務量を要するため困難である。環境庁の「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」(評価マニュアル)[1]は、このような場合に、測定に代えて騒音レベルを推計する方法によることができるとしており、推計により道路交通騒音を面的把握できるシステムが必要であると考えられる。

本報告では、道路交通騒音の推計システムを、道路周辺に建物のない平坦構造及び盛土構造の直線道路について作成し、その推計精度等を広島県内の一般道路や高速道路において実施した騒音の実測調査結果を用いて検討した。

方 法

道路交通騒音の推計システムを作成し、推計精度等の検討を平成4年度から平成10年度に実施した騒音の実測調査結果を用いて行った。なお、騒音測定時に、対象となる道路以外の音等の影響を受けたことが明らかなデータは検討に用いなかった。

1. 推計システムの作成

推計システムは、日本音響学会が作成した道路交通騒音の予測式(ASJ Model 1998)のB法[2]をエクセルVBAを用いてプログラム化した。推計対象は、平坦構造及び盛土構造の直線道路で、沿線に建物のない場合とした。但し、評価マニュアルの基本調査レベルで示されている見通し角補正、近接建物列の間隙率による補正、建物群立地密度を用いた建物群による減衰の補正については、見通し角や建物群立地密度を与えて補正計算できる機能を持たせた。

2. 騒音の実測調査の概要

表1に調査地点の概要を示す。平坦道路12箇所、盛土道路4箇所において、騒音、交通量、車速、道路構造の

調査を行った。調査地点のうち、9801地点、9802地点及び9804地点は、背後地の騒音に対する建物の影響が無視できないと考えられる市街地の地点であるが、その他の地点は、周辺に建物のない自由音場に近い地点である。また、9501地点～9503地点は、高速道路沿線の地点であり、9503地点の場合は測定側に高さ3mの防音壁が設置されていた。

騒音計のマイクは地上1.2mの高さとし、1回の騒音測定時間は10分間とした。測定した騒音データはデータレコーダを用いて磁気テープに記録した。9201地点～9503地点では、測定対象道路の路側端または路肩端から80mの間の8点において騒音測定を5回～7回行った。9801地点～9804地点では、道路端(道路敷地境界)及び背後地(道路端から20mの位置)の2点で、毎正時10分間の騒音測定を24時間行った。騒音測定と同時に交通量及び車速を大型車(車両総重量が3.5tを超えるもの)、小型車の2分類で上下車線別に測定した。また、道路構造や騒音計の設置位置等の推計計算に必要な情報を計測した。

3. 検討の内容及び方法の概要

検討は、推計精度に対する影響が大きいと考えられる要因について行った。空気吸収については、地表面効果等の要因に比べて効果が小さいため、空気吸収を含めて

推計計算を行い、影響の検討は行わなかった。

(1) 地表面効果の補正の影響

騒音が地表面付近を伝搬する際にうける地表面による減衰(地表面効果)の補正が、ある場合とない場合について推計計算を行い、補正の効果や必要性を検討した。

(2) 仮想車線数が推計に及ぼす影響

L_{Aeq} は L_{50} と異なりエネルギー和が可能のため、実際の道路条件での推計が理想的である。現実には、車線ごとの交通量等が得られない場合が多く、道路を1車線または2車線の仮想車線(実際の道路を1車線や2車線等の道路に置き換えて推計計算する場合に仮想的に設定する車線)で代表させて推計することが多い。ここでは、仮想1車線及び仮想2車線による推計値の差を調べて、仮想車線数が推計値に及ぼす影響を検討した。

(3) 走行状態が推計に及ぼす影響

学会式は、自動車の走行状態を定常走行と非定常走行の2種類に分け、それぞれ自動車の音響パワーレベルの計算式を示している。定常走行は、高速道路や一般道路の信号交差点からかなり離れた地点で、自動車がトップギヤに近いギヤ位置を用いて時速40km以上の速度で走行している場合であり、非定常走行は、一般道路等で、多くの信号交差点による加減速を伴う時速60km以下の低速で走行している場合である。高速道路では、通常、

表1 調査地点の概要

調査年度	地点番号	測定月	道路構造	盛土高さ	車線数	交通量(台/時)	混入率(%)	測定回数	備考
H4	9201	10	平坦	—	2	222~300	12~28	5	一般道
	9202	10	平坦	—	2	342~456	15~30	5	一般道
	9203	10	盛土	5m	2	216~300	17~32	5	一般道
	9204	10	平坦	—	3	426~720	28~35	5	一般道
	9205	10	平坦	—	4	642~834	12~16	6	一般道
H6	9401	3	平坦	—	2	162~288	16~32	6	一般道
	9402	3	平坦	—	2	252~336	18~30	6	一般道
	9403	3	平坦	—	2	264~318	23~27	5	一般道
	9404	3	平坦	—	2	210~294	22~47	6	一般道
H7	9501	12	盛土	10m	4	312~444	22~34	6	高速道
	9502	12	盛土	10m	4	252~372	26~50	7	高速道
	9503	12	盛土	8m	4	252~402	33~56	6	高速道, 防音壁
H10	9801	12	平坦	—	4	612~2070	17~81	24	一般道
	9802	12	平坦	—	4	462~1194	25~94	24	一般道
	9803	12	平坦	—	2	582~1596	17~87	24	一般道
	9804	1	平坦	—	4	492~3666	9~68	24	一般道, 低騒音舗装

注 混入率：大型車交通量の交通量(大型車+小型車)に対する割合

時速60kmを超える速度で走行するため、定常走行が適当であるといえる。しかし、一般道路については、郊外など定常走行に近い場合も考えられ、適切な走行状態が明確でないことから、非定常走行と定常走行の両方の走行状態について推計計算を行い、その違いについて検討した。

(4) 推計システムの推計精度

推計値と実測値の回帰分析や推計誤差の度数分布により、推計精度について検討した。

4. 推計の計算条件

推計計算は、地表面効果の補正を入れて計算したが、地表面効果の補正の影響を検討する際には、補正がある場合と補正がない場合について計算した。車種分類は、大型車、小型車の2分類とし、仮想車線数は2車線とした。但し、仮想車線数の影響の検討では仮想1車線についても推計計算した。仮想1車線の場合の車線位置は、車道の中心とした。仮想2車線の車線位置は、上下車線それぞれの車道の中心とした。但し、9503地点は、測定側の2車線のうち、路肩端側の1車線が通行禁止となっていたため、仮想2車線の場合の測定側の仮想車線位置は、センターライン側の車線の中心とし、仮想1車線の位置はセンターラインとした。自動車の走行状態は、一般道路では非定常走行、高速道路では定常走行としたが、走行状態が推計に及ぼす影響の検討では、一般道路で定常走行する場合の推計も行った。

結果と考察

1. 地表面効果の補正の影響

地表面効果の補正ありと補正なしの場合について求めた推計値から、測定時刻ごとに推計誤差（推計値－実測値）を求めた。推計誤差を調査地点ごとに平均し、道路構造別に整理した結果を図1及び図2に示す。但し、9801地点、9802地点、9804地点は、背後地の騒音が周辺の建物の影響を受けているとみられるため、道路端の結果のみを示した。

(1) 平坦道路の場合

図1で地表面効果の補正がある場合は、道路から離れた地点で推計誤差が大きくなる傾向はみられない。地表面効果の補正がない場合は、道路から離れるに従って推計誤差が大きくなっており、地表面効果の補正が必要であることが分かる。

(2) 盛土道路の場合

図2において、0mは路肩端（ガードレール付近）であり、路肩端の次の測定点は、のり下である。9503地点は盛土道路の測定側の路肩に防音壁が設置されていたため、のり下が最初の測定点となっている。

のり下の地点では地表面の影響がみられ、地表面効果の補正がある場合が補正がない場合より、推計誤差の値が小さくなっている。これは、音がのり面に近い経路を通過して道路からのり下に伝わるため、のり面部分の地表面が大きな影響を及ぼしたと考えられ、影響の程度はのり肩からのり下までの距離により異なっている。路肩に防音壁のある9503地点の場合は、地表面効果の補正による差が小さい。これは、路肩端に高さ3mの防音壁が設置されているため、音が、のり面から遠い経路を通過してのり下へ伝わるためと考えられる。のり下より遠い地点では、地表面効果の補正の有無による推計誤差の違いは

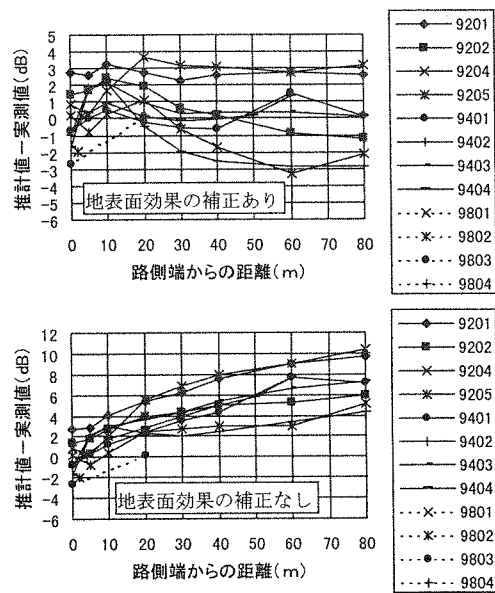


図1 推計誤差の調査地点別平均値（平坦道路）

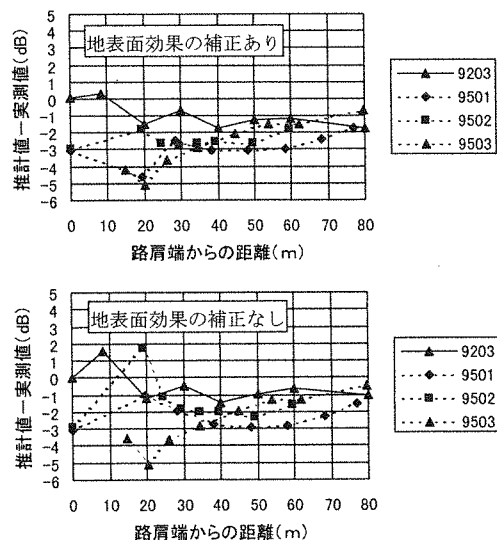


図2 推計誤差の調査地点別平均値（盛土道路）

ほとんどみられない。これは、道路が推計点より高い位置にあり、騒音が推計点へ伝わる経路が地表面から遠いため、地表面の影響が小さいと考えられる。

2. 仮想車線数が推計に及ぼす影響

仮想1車線及び仮想2車線による推計計算を行い、測定時刻ごとに推計値の差（仮想1車線の推計値－仮想2車線の推計値）を求めた。推計値の差を地点ごとに平均した結果を図3に示す。道路付近では推計値の差が大きく、道路から離れた位置では差が小さくなっている。また、9501地点～9503地点は、高速道路沿線と同じ盛土構造であるが、差の傾向が大きく異なっていることから、その原因について検討した。

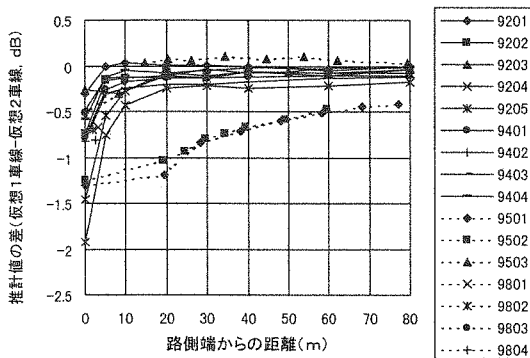


図3 仮想1車線及び仮想2車線による推計値の差

盛土道路の音の減衰は、仮想車線から推計点までの距離減衰と路肩端や防音壁による回折減衰を合わせたものとなっている。距離減衰は、仮想車線が推計点に近づくにつれて推計点の騒音が大きくなる方向に作用する。回折減衰は、距離減衰のような単純な変化とはならないと考えられることから、9502地点に類似する場合として、図4に示す高さ10mの盛土道路で路肩端から20m離れた地上1.2mの位置Pの L_{Aeq} を推計する場合について、仮想車線の位置が回折減衰に及ぼす影響を検討した。

図4は、仮想車線の位置と回折減衰の関係、自動車が推計点の真横位置にある場合について示したものである。防音壁がない場合の回折減衰は、かなり大きな変化を示しており、仮想車線が路肩に近づくほど推計点の騒音が大きくなる方向に作用していることが分かる。また、高さ3mの防音壁がある場合は、回折減衰の変化は少ないが、10m付近からは仮想車線が路肩に近づくにつれて推計点の騒音が小さくなる方向に作用している。

防音壁がない場合は、仮想車線が路肩に近づくにつれて、距離減衰、回折減衰ともに推計点の騒音が大きくなる方向に作用をするため、路肩に近い車線の音が大きく寄与するといえる。この場合、仮想1車線による推計では、車線位置の設定に注意が必要であると考えられる。高さ3

mの防音壁がある場合は、回折減衰の変化は少ないが、仮想車線が音源に近い場合に回折減衰と距離減衰が打ち消し合う方向に作用するなど、防音壁がない場合のような路肩に近い車線の大きい寄与はないと考えられる。

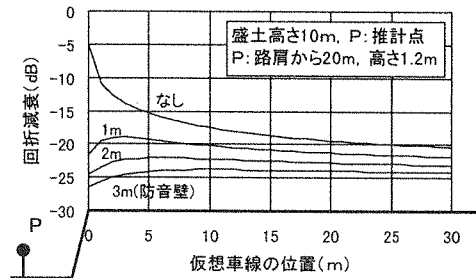


図4 仮想車線位置と回折減衰の関係

具体的な影響の程度をみるため、図4で防音壁がない場合と高さ3mの防音壁がある場合について、仮想1車線及び仮想2車線位置を9502地点と同じ条件（路肩端から11m及び6m、16m）として寄与の程度を試算した。防音壁がない場合は、路肩に近い仮想車線による L_{Aeq} が路肩から遠い仮想車線による L_{Aeq} より4dB大きくなった。仮想1車線は、仮想2車線の間に設定されると考えると、設定位置によって4dB程度、推計値が変化するといえる。仮想1車線と仮想2車線の推計値の差は0.9dBとなり、これは、図3の9502地点ののり下の結果と類似している。防音壁がある場合は、路肩に近い仮想車線と遠い仮想車線の L_{Aeq} の差は1.4dBで、防音壁がない場合と比べて差は小さく、仮想1車線と仮想2車線の推計値の差は0.1dBより小さかった。

3. 走行状態が推計に及ぼす影響

図5に9804地点の全測定時刻の推計誤差を示すが、推計誤差が昼間と夜間の2つのグループに分かれている。同様な現象は9803地点においてもみられたが、9801地点ではみられなかった。昼間と夜間の違いとしては、交通信号の影響や交通量、車速の違いが考えられる。グループに分かれている時刻が8時と19時であり深夜ではないことから、交通信号の影響は少ないと考えられる。学会式の推計精度は、1台の自動車の音響パワーレベルと推計点への騒音の伝搬特性の推定精度でほぼ決まると考えられ、交通量の大小は推計精度に直接には関係せず、交通量による車速の変化として影響すると考えられる。車速は、音響パワーレベルに影響する要素であることから、車速の影響について検討を行った。

(1) 定常走行と非定常走行の相違点

学会式は、自動車の走行状態を定常走行と非定常走行に分類しており、それぞれについて音響パワーレベルの計算式を与えている。図6に学会式が与える大型車の音

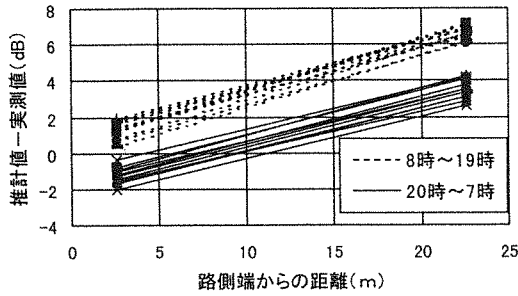


図5 時刻別の推計誤差 (9804地点)

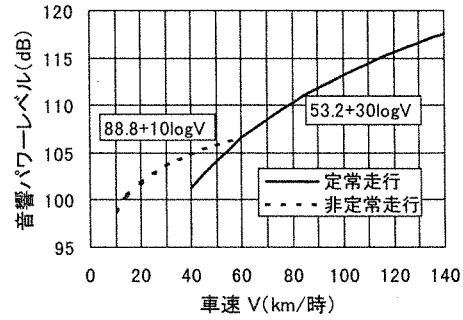


図6 走行状態と大型車の音響パワーレベル

響パワーレベルを示すが、定常走行と非定常走行では、 $\log V$ の係数が30と10であり異なっている。また、定常走行と非定常走行の音響パワーレベルは時速60kmで一致する。小型車の音響パワーレベルは、大きさは異なるが車速との関係は同じとなっている。

非定常走行の場合、平坦構造の直線道路における L_{Aeq} の推計値は、速度に無関係となること示されている[3]。学会式は、道路をいくつかの小区間に分割し、各小区間における自動車の音響パワーと各小区間から推計点までの音の減衰量を計算して、1台の自動車が行ったときの推計点における騒音の時間変化パターン(ユニットパターン)を求め、交通量を考慮して L_{Aeq} を算出している。1台の自動車が、ある区間 i (長さ Δl_i)を車速 v_i で走行しているときの推計点における2乗音圧の時間積分値 E_i は $P_i^2 \cdot \Delta l_i / v_i$ (P_i^2 は推計点での2乗音圧)で与えられる[2]。車速 v_i で走行する自動車の音響パワーは、非定常走行の場合は、 $\log V$ の係数が10であるから、 v_i に比例する。また、推計点までの減衰量は車速に無関係であることから、推計点の2乗音圧 P_i^2 は v_i に比例する。この場合、 E_i は(1)式のように車速に無関係となる。また、定常走行の場合、音響パワーは v^3 に比例するため E_i は v^2 に比例することになる。

$$E_i = P_i^2 \cdot \frac{\Delta l_i}{v_i} = K_i v_i \cdot \frac{\Delta l_i}{v_i} = K_i \Delta l_i, P_i^2 = K_i v_i \quad (K_i \text{は比例定数}) \quad (1)$$

以上の検討から、非定常走行の場合、時速10kmで推計しても、時速60kmで推計しても時速60kmで定常走行した場合と同じ値の L_{Aeq} が推計されることが分かり、推計値は大きめの値となると考えられる。従って、非定常走行を用いると安全サイドの推計結果になるとみられる。

(2) 推計誤差に対する車速の影響

前述のように、非定常走行では車速の影響が L_{Aeq} の推計結果に反映されない。また、定常走行では車速の影響が L_{Aeq} に反映されることから、車速の影響を非定常走行の場合と定常走行の場合の推計値差(定常非定常の推計値差: 非定常走行の推計値-定常走行の推計値)で評価することとした。この定常非定常の推計値差は、時速

60km以上では0となり車速が小さくなると大きな値となる性質を持っている。24時間測定地点の道路端について、定常走行及び非定常走行で求めた推計誤差と定常非定常の推計値差との関係を調べた結果を図7に示す。ここで、9801地点及び9804地点は市街地、9803地点は郊外で定常走行に近い走行状態とみられる地点である。また、9804地点は、排水性舗装による騒音の低減効果が推計に反映されたことから、定常走行の場合の推計値が3dB程度小さな値となったため、グラフ上で3dB程度右に移動した形となっている。

9801地点は、非定常走行の場合は回帰直線が横軸にほぼ平行であり、定常走行の場合は右下がりとなっている。従って、この地点は非定常走行として計算した方がよいと考えられる。9803地点及び9804地点は、非定常走行、定常走行のいずれの場合も回帰直線が右上がりとなって

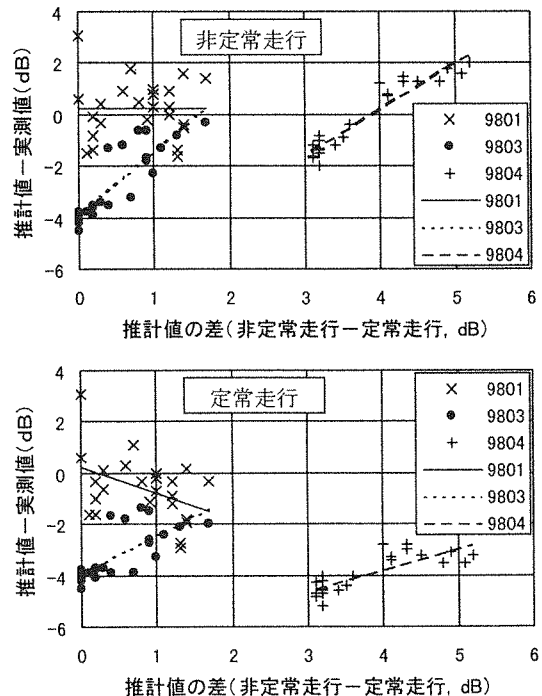


図7 車速が推計誤差に及ぼす影響

おり、定常非定常の推計値差が大きくなる（車速が小さくなる）と推計誤差の値が大きくなる傾向を示している。定常走行の場合の傾きが小さいことから、これらの地点は定常走行で推計するのが適していると考えられるが、この場合も右上がりの傾向がみられ、若干の速度依存性が残っていると考えられる。

4. 推計システムの推計精度の検討

推計値と実測値の対応の目安として回帰分析を行った結果を図8に示す。平坦道路、盛土道路ともに相関係数は0.98であり、推計値と実測値は良い対応がみられる。また、誤差分布のばらつきの目安である標準誤差をみると、データ数の違いもあり一概には判断できないが、平坦道路よりも盛土道路が誤差の分布のばらつきが小さい結果となっている。また、推計誤差の平均値でみると、平坦道路の場合は0.03dB、盛土道路の場合は-2.36dBであり盛土道路が2.4dB小さい推計となっていた。

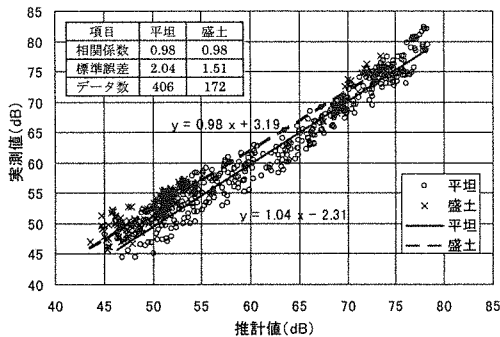


図8 推計値と実測値の回帰分析結果

図9には、道路構造別に推計誤差の頻度分布を示したが、平坦道路と盛土道路とは、分布の中心が異なっており、盛土道路は、-2dB~-3dBに分布の中心があることが分かる。0dBを中心として±3dBの範囲内に推計誤差が入る割合は、平坦道路では84%であった。盛土道路では、分布の中心が若干負の側にあるため、推計誤差が±3dBの範囲内に入る割合は63%であった。±4dB以内では86%が範囲内に入った。-2dBを中心として±2dBの範囲内に入る割合を計算すると83%であり、推計誤差のばらつきの面では平坦道路と類似していると考えられる。

結 語

1. 道路交通騒音の推計システムの作成

日本音響学会が作成した道路交通騒音の予測式（ASJ Model 1998）を用いて、平坦構造または盛土構造の直線道路で、沿線に建物のない場合を対象とするシステムを作成した。

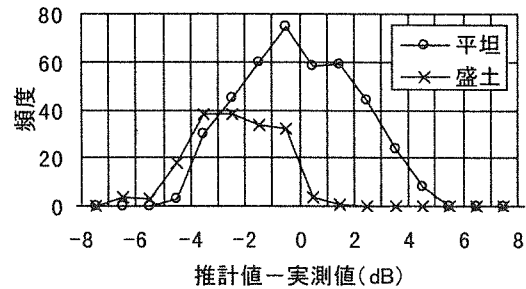


図9 推計誤差の頻度分布

2. 推計システムの推計精度等の検討

(1) 地表面効果の補正値の影響

平坦道路では、補正の有無による明確な違いがみられた。盛土道路では、のり下部分で地表面の影響がみられたが、のり下より遠い地点では、補正の効果は少なかった。いずれの道路構造の場合も補正の必要性が認められた。

(2) 仮想車線数が推計に及ぼす影響

道路を1車線や2車線で代表させて道路交通騒音の推計を行った場合、車線数の違いによる推計値の差は、道路付近で大きく、道路から離れるに従って急激に減少することがわかった。また、盛土道路においては、防音壁の有無によって、各仮想車線の推計結果に対する寄与が大きく異なる場合があることが分かった。

(3) 走行状態の推計に対する影響

一般道路においては、適切な走行状態は地点によって異なる結果となったが、非定常走行とした場合が安全サイドの推計となることが分かった。

(4) 推計システムの推計精度の検討

平坦道路の場合、推計値の84%が、±3dBの誤差範囲に入った。盛土道路の場合、全体的に2~3dB低い推計値となったため、±3dBの誤差範囲に入る割合は63%であった。また、-2dBを中心として±2dBの誤差範囲内に入る割合を計算すると83%であり、推計値のばらつきの程度は平坦道路と類似していた。

文 献

- [1] 環境庁：騒音に係る環境基準評価マニュアル(2000)。
- [2] 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，音響学会誌，55(4) 281-324 (1999)。
- [3] 日本音響学会第10回音響技術セミナー：道路交通騒音の新たな予測法“ASJ Model 1998”，音響学会，57 (1999)。