

# 道路工事に係る騒音予測技術の向上に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）  
研究期間：平 20～平 22  
担当チーム：先端技術チーム  
研究担当者：藤野 健一、田中 義光、  
杉谷 康弘

## 【要旨】

道路事業の環境影響評価を実施する際には、最新の知見を用いて、できるだけ正確に予測することが重要である。工事騒音については、これまで原則として高さ 1.2～1.5m でしか予測評価が実施されてこなかったが、本研究では、高所に騒音源がある場合や、高所に保全対象がある場合においても予測評価が実施できるように、その手法について検討し、騒音伝搬式及び評価方法の提案を行った。また、高所騒音の一例として、パイプロハンマの騒音を現場で測定し、パワーレベルを設定した。

キーワード：建設工事騒音、騒音伝搬式、パワーレベル、パイプロハンマ

## 1. はじめに

本研究では、環境影響評価において建設工事騒音の予測評価を行う際に、騒音源や受音点を高い位置に設定した場合の騒音伝搬等について調査試験等を行い、そうした条件下での騒音予測手法を検討した。

環境省の調査によれば、建設作業騒音は騒音苦情件数の中では第2位で、件数は4,194件、割合は27.3%（H21年度）という状況にある。このような苦情を出来るだけ少なくし、道路事業を円滑に進めるためには、環境影響評価の段階から工事中の生活に対する影響を事前に住民に開示し、情報を共有することが重要である。この際には、当然のことながら予測内容に信頼性が求められる。過小に評価し、住民を欺くようなことは決してあってはならないが、一方で、過大に予測すればそれに対応するだけの大がかりな保全措置を実施することになり、コストの増大を招くこともある。

道路等の環境影響評価において工事騒音の予測評価を行う場合には、通常、国土技術政策総合研究所及び独立行政法人土木研究所が作成している「道路環境影響評価の技術手法（以下、「技術手法」という。）」に記載された方法により予測評価が行われている。その中の具体的な予測の方法として、「予測地点の高さは、原則として地上 1.2m とする。」との記載がある。これは、騒音規制法における工事騒音の測定方法として規定されている JIS Z 8731 の「測定点の高さは、特に指定がない限り、地上 1.2～1.5m とする。」に基づいて設定されたものである。また、

騒音源の高さとしては、建設機械の駆動部の平均的な高さとして 1.5m に設定している。そのため、騒音の減衰計算では、騒音源を中心にした半自由空間（地面に対して上側の半分の空間）の音の伝搬を想定して予測計算を行うこととしている。一方で、事業者が作成した環境影響評価に対する環境大臣や知事からの意見として、「騒音源と受音源の高さの関係によっては、基準値を超えるおそれがある。」といった意見も出されており、騒音源が高い位置にある場合（高架部で建設機械が作業する場合や、パイプロハンマなど高い位置で騒音を発生する場合等。）や、受音点が高い位置にある場合（マンション等で2階以上の高さが主たる生活の場となっている場合等。）についても、今後予測評価の必要性が生じている。

## 2. 高所騒音予測評価の課題整理

### 2.1 騒音伝搬式に関する課題

技術手法における予測式は、地表面付近に点音源があることを想定した、半自由空間（以下、「 $2\pi$ 空間」という。図 1 参照。）の騒音伝播式であり、式 1 に示す。

$$\begin{aligned} L_{Aeff} &= L_{WAeff} - 10 \log_{10} \frac{2\pi r^2}{S_0} \\ &= L_{WAeff} - 8 - 20 \log_{10} r \end{aligned} \quad (式 1)$$

$L_{Aeff}$ ：予測点の実効騒音レベル(dB)

$L_{WAeff}$ ：音源の A 特性実効音響パワーレベル(dB)

r：音源からの距離(m)、 $S_0$ ：基準とする面積(=1m<sup>2</sup>)

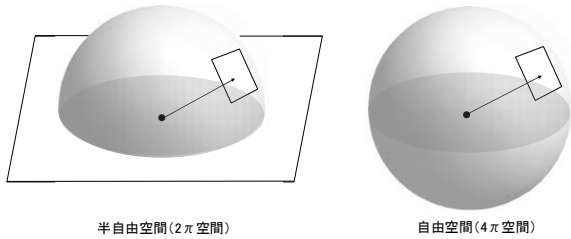


図1 伝搬空間イメージ

一方、高所に音源がある場合には、自由空間（全ての方向に反射物が無い空中。以下、「4π空間」という。図1参照。）への騒音伝播として考える必要があり、式1は使用できない。この場合の計算方法としては、例えば、日本音響学会の「建設工事騒音の予測モデル ASJ CN-Model 2007（以下、「CN-Model」という。）」には、式2及び図2のように4π空間の騒音伝播式が提案されている。予測点の騒音レベルを計算する場合には、直接音と地面反射音をそれぞれ計算しエネルギー合成する。

$$L_{Aeff} = 10 \log_{10} \left( 10^{L_{Aeff,1}/10} + 10^{L_{Aeff,2}/10} \right) \quad (式2)$$

$$L_{Aeff,1} = L_{WAeff} - 10 \log_{10} \frac{4\pi r_1^2}{S_0}$$

$$= L_{WAeff} - 11 - 20 \log_{10} r_1$$

$$L_{Aeff,2} = L_{WAeff} - 11 - 20 \log_{10} r_2$$

- $L_{Aeff}$  : 予測点の実効騒音レベル(dB)
- $L_{Aeff,1}$  : 直接音の実効騒音レベル(dB)
- $L_{Aeff,2}$  : 反射音の実効騒音レベル(dB)
- $L_{WAeff}$  : 音源のA特性実効音響パワーレベル(dB)
- $r_1$  : 直接音の伝播距離(m)
- $r_2$  : 反射音の伝播距離(m)
- $S_0$  : 基準とする面積(=1m<sup>2</sup>)

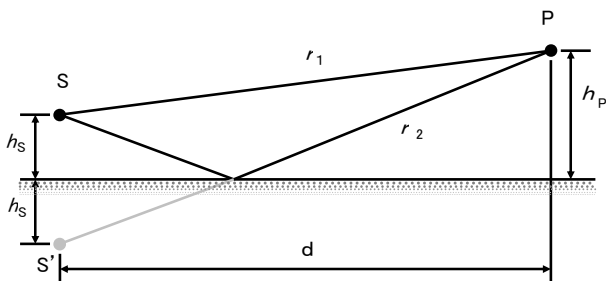


図2 4π空間における計算イメージ

表1に2π空間の伝搬式で計算した場合と4π空間の伝搬式で計算した場合の差を示す。表中の値がマイナスの場合は、2π空間の伝搬式での計算値が大きい（2π空間の伝搬式での計算値が88dBで、4π空間の伝搬式での計算値が85dBの場合には、-3dBと

表示。）ことを意味している。基本的には2π空間の伝搬式で計算した場合の方が大きな値となる。その差は最大で-3dB程度で、音源からの距離が離れると、その差は小さくなっていく。また、音源が低い場合や予測地点が低い場合（これらの時には、直接音の経路と反射音の経路が小さい。）には、計算値の差は小さい。

表1 2π空間の伝搬式と4π空間の伝搬式の差

		音源高さが1mの場合					単位: dB
高さ	20	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	
	10	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	
	5	-1.4	-0.8	-0.3	-0.1	0.0	
	1	-2.2	-0.3	-0.1	0.0	0.0	
		1	5	10	20	40	音源からの距離

		音源高さが5mの場合					単位: dB
高さ	20	-1.7	-1.6	-1.4	-0.9	-0.4	
	10	-2.5	-2.2	-1.6	-0.7	-0.2	
	5	-3.0	-2.2	-1.2	-0.4	-0.1	
	1	-1.4	-0.8	-0.3	-0.1	0.0	
		1	5	10	20	40	音源からの距離

		音源高さが10mの場合					単位: dB
高さ	20	-2.5	-2.4	-2.2	-1.6	-0.7	
	10	-3.0	-2.8	-2.2	-1.2	-0.4	
	5	-2.5	-2.2	-1.6	-0.7	-0.2	
	1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	
		1	5	10	20	40	音源からの距離

文献等を調査した結果、高所騒音の予測式としては、CN-Model 以外では、特段提案されたものは無かった。また、数値計算により、相当程度の厳密解を計算することも可能ではあるが、計算の簡便性や、地表付近に音源がある場合の計算方法との整合性から、CN-Modelにおける4π空間の伝搬式を基本的に検討を進める。

ただし、実際には音は波であるので、予測点において、直接音と反射音の干渉が発生するが、建設工事騒音の周波数特性において、計算値とどの程度の差があるかどうかを検証しておく必要がある。そのため、屋外において、インパルス応答測定を行い、計算値との差を検証した。その結果は、「3. 騒音伝搬式の精度の確認」に示す。

## 2.2 予測計算に用いる音源のパワーレベルの課題

技術手法では、音源のパワーレベルを、作業単位

を考慮した建設機械の組み合わせ（ユニット）ごとに設定している。例えば、土留・仮締切工の鋼矢板（バイプロハンマ工）の場合には、その作業にはバイプロハンマ、クローラクレーン、発動発電機が必要であるが、それら全体を取り囲むように騒音計を配置して騒音測定を行い、それら全体（ユニット）の中心点に点音源があるものとしてパワーレベルの計算を行っている。このときに、バイプロハンマは実際には高所の位置にあったとしても、その高さの情報は考慮されない。また、バイプロハンマだけのパワーレベルは分離されていない。そのため、予測の時には、地面から 1.5m にユニットの音源があるものとして計算される。

予測点が地表面付近で、防音パネルなどの保全対策を考慮しない場合には、上記のようなユニットでのパワーレベルを使用しても問題は少ないと考えられるが、ユニットの中に高所に音源がある機械が含まれる場合には、それを分離して設定しなければ、正確な予測はできなくなる。そのためには、高所に音源がある場合でのパワーレベル測定が現場で適切に実施できるかどうかを検証する必要がある。今回、代表例としてバイプロハンマのパワーレベルを分離するための計測を現場で実施したので、その結果を「4. バイプロハンマのパワーレベル調査」に示す。

### 2. 3 高所における評価方法に関する課題

騒音規制法における建設作業騒音の基準値は、敷地境界の高さ 1.2~1.5m での値として規制されている。従って、これまでの環境影響評価においては、その地点の騒音レベルを予測し、規制基準値との比較により評価を実施している。騒音伝搬式を決定し、計算に必要なパワーレベルがあれば、どの地点における騒音レベルも計算は可能となるが、環境影響評価ではそれを何らかの基準値と比較し評価する必要がある。一方、騒音規制法の基準値は前述のとおり、高さ 1.2~1.5m として設定してあるため、この高さ以外での評価基準としてそのまま使用することには問題があると考えられる。図 3 は、敷地境界から工事現場側に 5m の位置で高さが 1.2m のところに音源を設定した場合の、敷地境界（高さ 1.2m）及び敷地境界から 20m 離れた住居位置（高さ 1.2m）での騒音レベル、及び音源、敷地境界、住居位置を高さ 10m とした場合の騒音レベル（何れも 4 $\pi$ 空間の伝搬式で計算。）を示している。地表面付近と高所では減衰の程度が異なることから、住居地点では同じ騒音レベル(72dB)でありながら、敷地境界では高さ 1.2m で

は規制基準である 85dB を超えており、何らかの対策が必要になるが、高さ 10m では 85dB を下回っており、規制基準値に照らせば問題がないことになる。従って、高所において地表面付近と同じ基準値で評価することが適切であるかどうかについては議論の余地がある。

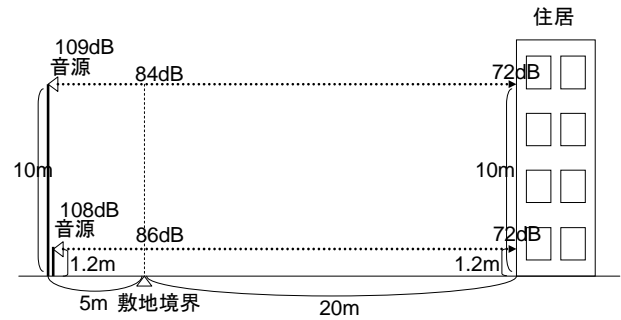


図 3 高所における騒音伝搬例(1)

また、図 4 は、音源を高さ 10m に設定した場合で、敷地境界に保全対策として高さ 6m の防音パネルを設置した場合の地表面反射音の低減効果を示したものである。なお、音源のパワーレベルは図 3 と合わせてある。住居位置での計算値は防音パネルによる低減効果が反映されているが（72dB→71dB）、敷地境界位置では、防音パネルの設置効果が反映されない（84dB→84dB）こととなる。従って、高所において保全措置後の評価を行うためには、敷地境界で予測することは適切ではないと考えられる。

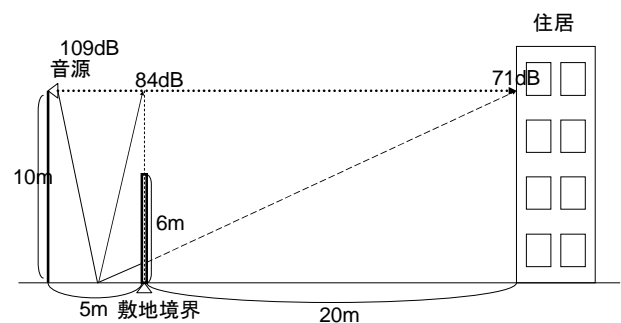


図 4 高所における騒音伝搬例(2)

そのため、実際の環境影響評価の際の評価方法として、バイプロハンマを想定したケーススタディを行い、評価方法の提案を行う。その結果は、「5. 高所騒音予測のケーススタディ」に示す。

## 3. 騒音伝搬式の精度の確認

### 3. 1 確認方法

スピーカ及び騒音計を用いて屋外で騒音伝搬測定試験を行い、4 $\pi$ 空間の騒音伝搬式で計算した値と、

実際の騒音の減衰量と比較して、どの程度の精度があるかを検証した。比較は、単純に距離減衰だけを考慮した場合と、途中に防音パネルを設置した場合の2通りで行った。具体的な試験方法と結果を以降に示す。

### 3. 2 距離減衰だけを考慮した場合（防音パネルが無い場合）

#### 3. 2. 1 試験場所

試験は独立行政法人土木研究所敷地内の図5及び図6の2箇所で行った。地表面は2箇所ともアスファルトである。



図5 測定場所 A



図6 測定場所 B

#### 3. 2. 2 試験方法

##### 1)音源と測定点の配置

音源と測定点の配置位置を図7に示す。音源には点音源としてスピーカを用い、高所作業車を用いて所定の高さに設置した。音源高さは  $H=1.5\text{m}$ 、 $5\text{m}$ 、 $10\text{m}$  の3ケースとした。測定点は、測定場所Aでは、音源からの水平距離が  $d=12.5\text{m}$ 、 $25\text{m}$ 、 $50\text{m}$ 、 $100\text{m}$  の4箇所で、それぞれの箇所で、高さ  $h=1.2\text{m}$ 、 $3.5\text{m}$ 、 $5\text{m}$  の合計12地点で測定した。測定場所Bでは、水平距離を  $d=25\text{m}$ 、 $50\text{m}$ 、 $100\text{m}$ 、 $200\text{m}$  とした。また、音源の  $2\text{m}$  前方に音源の音響出力監視用の基準点 ( $R_0$ ) を配置した。

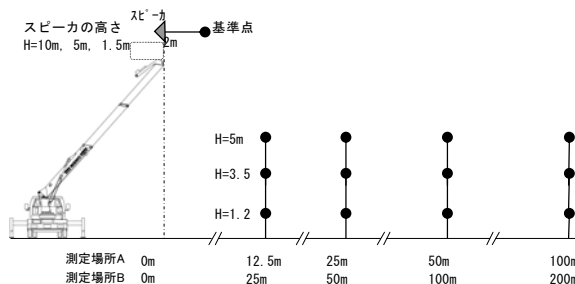


図7 音源と測定点の配置（防音パネル無し）

##### 2)音源信号

信号には下記の仕様の対数掃引型 sweep sine 信号（通称：Pink TSP 信号）を用いた。（波形は図8。）

- ・サンプリング周波数 48kHz
- ・周波数範囲 200~5kHz (1/3 オクターブバンド)
- ・サンプル数 262,144(=2<sup>18</sup>)個
- ・信号時間長 約 5.5 秒
- ・信号放射回数 4 回

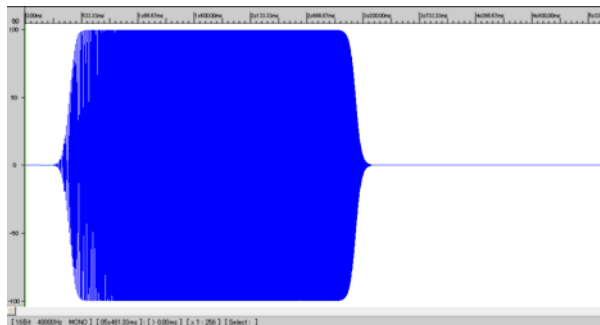


図8 使用した信号波形

##### 3)測定機器

- ・騒音計

計量法第71条に規定する検定に合格した普通騒音計を用い、測定機器の結線が完了した段階で音響校正器を用いて測定系の校正を行った。周波数重み付け特性はCとし、ウインドスクリーンを装着した。

- ・データレコーダ

各測定点の騒音計の AC 出力をサンプリング周波数 48kHz、量子化ビット数 16bit でデータレコーダに録音した。

##### 4)解析方法

下記の手順で測定データを解析した。

- ①測定した信号に音源信号の逆関数を畳み込み、インパルス応答を算出する。（図9）
- ②インパルス応答波形から時間波形上で対象音（直接波及び地表面反射波）の範囲を抽出する。
- ③インパルス応答波形（時間領域データ）をフーリエ変換し、パワースペクトル（周波数領域データ）を算出する。

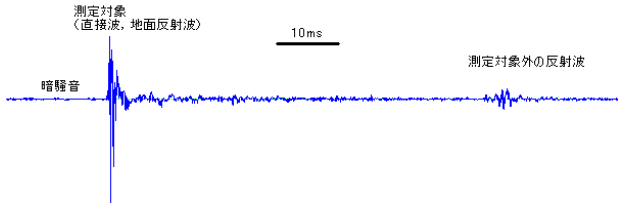


図9 インパルス応答波形の例

- ④1/3 オクターブバンド (中心周波数で 200~5kHz の 15 バンド) 毎に、その帯域に含まれるパワースペクトルを合成してその帯域の音圧レベルを算出する。
- ⑤暗騒音についても②~④により周波数特性を算出し、暗騒音補正を行うことにより、対象音のみの音圧レベルを求める。
- ⑥4 回の測定値を算術平均した値を試験値とする。
- ⑦試験と同条件で波動理論による数値解析を行う。波動理論として、日本音響学会の「道路交通騒音の予測モデル ASJ RTN-Model 1998」の精密計算法、及び JIS Z 8738 の空気の音響吸収を用いた。
- ⑧試験値及び数値解析の結果における基準点の音圧レベルと各測定点の音圧レベルの差を周波数毎に整理する。整理した結果は「3.2.3 測定結果」に示す。
- ⑨CN-Model に示されている建設機械の平均的な周波数特性 (図 10) と⑧の結果を用いて、周波数毎に音圧レベルの減衰量を算出し、パワー合成して A 特性音圧レベルの減衰量  $\Delta L_{p,Rnm}$  を算出する。

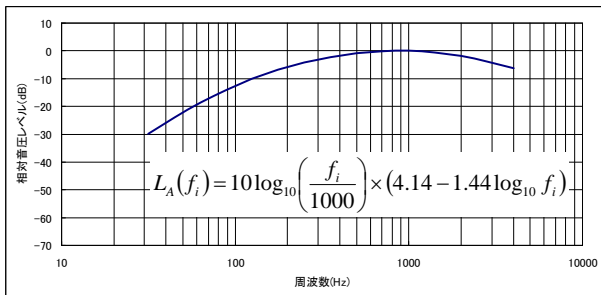


図 10 建設機械の平均的な周波数特性

- ⑩下記の式により、各測定点の A 特性音圧レベルを算出する。

$$L_A = (L_{WA} - 11 - 20 \log_{10} r_{R0}) + \Delta L_{p,Rnm}$$

ここで ( ) 内は基準点の直接音の音圧レベルであり、 $r_{R0}(=2m)$  は音源から基準点までの距離である。

- ⑪  $4\pi$  空間の伝搬式により各測定点の A 特性音圧レベルを算出する。
- ⑫  $2\pi$  空間の伝搬式により各測定点の A 特性音圧レベルを算出する。
- ⑬ 実験値 (⑩) と  $4\pi$  空間の伝搬式による計算値 (⑪)

及び  $2\pi$  空間の伝搬式による計算値 (⑫) の差を計算する。結果は「3.2.4 比較結果」に示す。

### 3. 2. 3 測定結果

試験結果 (周波数毎の基準点の音圧レベルと各測定点の音圧レベルの差) の代表例を図 11 に示す。グラフは、音源高さを  $H=1.5m$  及び  $10m$  とした場合で、測定点が水平距離  $d=25m$ 、高さ  $h=1.2m, 3.5m, 5.0m$  の結果である。グラフ中、「実験(A)」は測定場所 A の、「実験(B)」は測定場所 B の、「計算①」、「計算②」は数値解析の結果を示している。グラフでは、周波数によっては、直接波と地表面反射波による干渉 (強め合ったり弱め合ったりする現象) と見られるディップが現れている。また、測定場所 A と測定場所 B では、ほぼ同様の結果が得られている。数値解析における結果は、実際の現象と整合している。

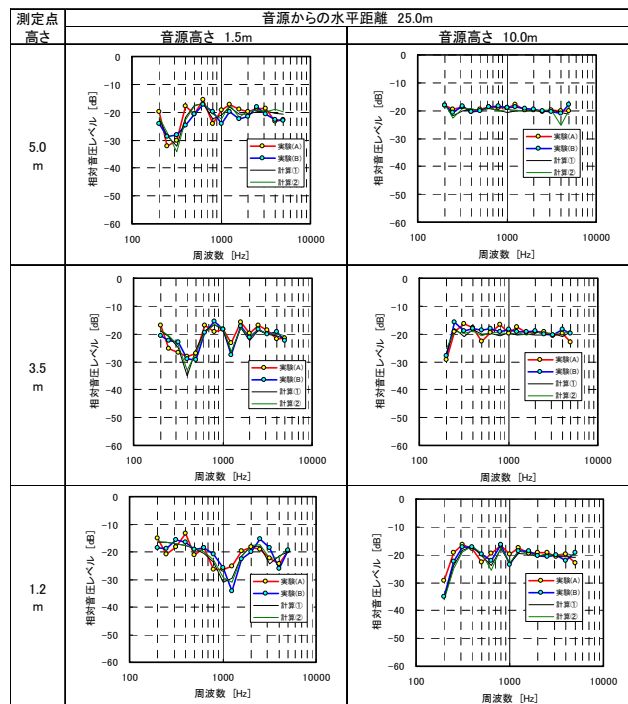


図 11 試験結果

### 3. 2. 4 比較結果

実験値から算出した値と数値計算による計算値、 $4\pi$  空間の伝搬式による計算値、 $2\pi$  空間の伝搬式による計算値を比較したグラフを図 12 に、それらの値の差の平均値等を表 2 に示す。数値計算の値は全体的に実験値と合っている。  $4\pi$  空間の伝搬式と  $2\pi$  空間の伝搬式で計算した値は、減衰量が小さいところでは比較的実験値と合っているが、減衰量が大いところ (音源から離れたところ) では計算値が大きくなる傾向にある。これは実際には (実験値では)、地表面の影響や、空気の音響吸収などにより音が減

衰しているが、伝搬式にはそれらが考慮されていないためだと考えられる。音源からの距離が25m以内では、数値計算による値と4 $\pi$ 空間の伝搬式及び2 $\pi$ 空間の伝搬式による値とで、精度的には同程度と判断される。また、この試験のように防音パネルが無い場合には、4 $\pi$ 空間の伝搬式と2 $\pi$ 空間の伝搬式で計算した値の精度の差はあまり無い結果となった。



図13 測定場所C

### 3.3.2 試験方法

#### 1) 音源と測定点の配置

音源と測定点の配置位置を図14に示す。音源には点音源としてスピーカを用い、高所作業車を用いて所定の高さに設置した。音源高さはH=1.5m、3m(防音パネルの高さよりやや低い高さとして設定。)、10mの3ケースとした。音源と防音パネルとの水平距離は、d1=5m、10mの2ケースとした。測定点は、音源の正面と、正面から20m横の2断面を考え、各断面において防音パネルからd2=5m、10mの位置の地上1.2mと4mに設置した。また、音源の2m前方に音源の音響出力監視用の基準点(R0)を配置した。

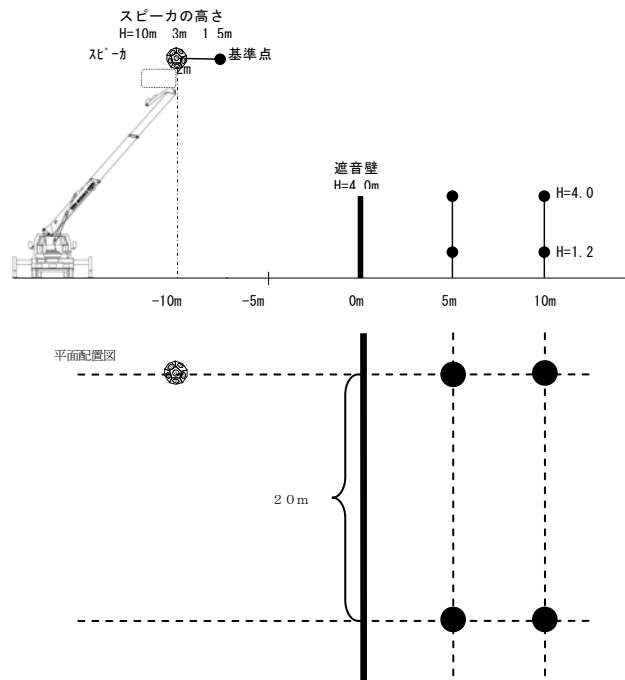


図14 音源と測定点の配置(防音パネル有り)

#### 2) 音源信号

信号には「3.2.2.2)音源信号」とほぼ同様の信号を用いた。(測定に影響を及ぼさない範囲で若干の仕様の違いがあるがここでは省略する。)

#### 3) 測定機器

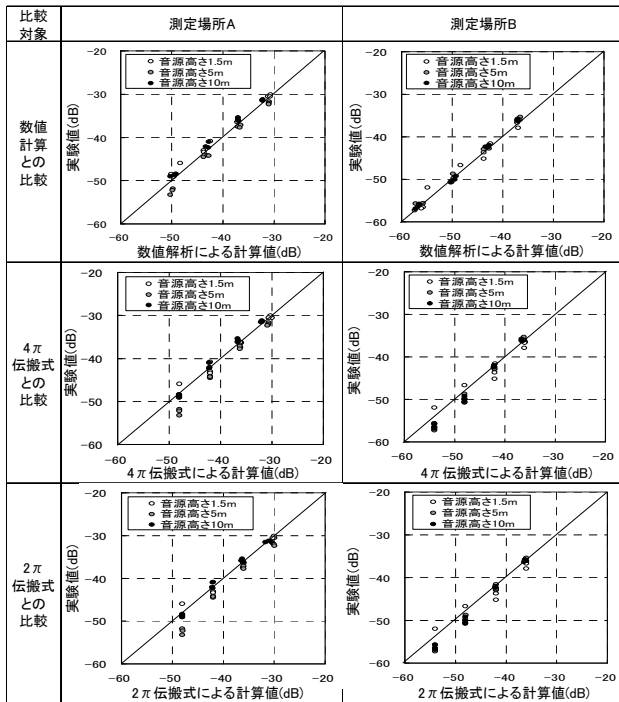


図12 実験値との比較グラフ

表2 実験値との差の平均値等

音源からの水平距離	指標	測定場所A			測定場所B		
		数値計算	4 $\pi$ 伝搬式	2 $\pi$ 伝搬式	数値計算	4 $\pi$ 伝搬式	2 $\pi$ 伝搬式
25m以内	差の平均値(dB)	-0.2	0.3	0.7	-0.6	0.0	0.2
	差の最大値(dB)	1.4	1.5	2.4	1.0	1.8	1.9
	差の標準偏差(dB)	0.9	0.9	0.9	0.7	0.8	0.7
	差の平均値(dB)	-0.1	1.2	1.2	-0.3	1.4	1.4
50m以上	差の最大値(dB)	3.0	5.2	5.2	1.5	3.3	3.3
	差の平均値(dB)	1.6	1.9	1.9	0.9	1.4	1.4
	差の標準偏差(dB)						

### 3.3 防音パネルがある場合

#### 3.3.1 試験場所

試験は独立行政法人土木研究所敷地内の既設で防音パネルが設置してある箇所(図13)で実施した。防音パネルの高さは4mである。また、地表面はアスファルトである。

測定機器は「3.2.2.3)測定機器」と同様である。

#### 4)解析方法

解析方法は「3.2.2.4)解析方法」と同様である。ただし、 $4\pi$ 空間の伝搬式での計算は、空中に位置する点音源から $4\pi$ 空間に放射される騒音を、伝搬経路毎(図15の $S \rightarrow O \rightarrow P$ 、 $S' \rightarrow O \rightarrow P$ 、 $S \rightarrow O \rightarrow P'$ 、 $S' \rightarrow O \rightarrow P'$ )に計算しエネルギー合成する方法により行った。計算式は式3となる。

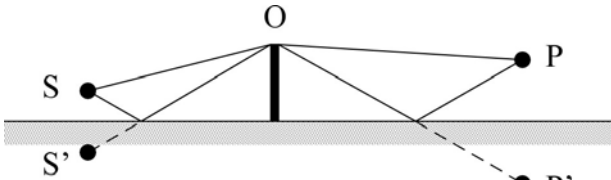


図15 防音パネルがある場合の計算イメージ

$$L_A = 10 \log_{10} \left( 10^{L_{A,1}/10} + 10^{L_{A,2}/10} + 10^{L_{A,3}/10} + 10^{L_{A,4}/10} \right) \quad (式3)$$

$$L_{A,1} = L_{WA} - 11 - 20 \log_{10} r_1 + \Delta L_{dif,1}$$

$$L_{A,2} = L_{WA} - 11 - 20 \log_{10} r_2 + \Delta L_{dif,2}$$

$$L_{A,3} = L_{WA} - 11 - 20 \log_{10} r_3 + \Delta L_{dif,3}$$

$$L_{A,4} = L_{WA} - 11 - 20 \log_{10} r_4 + \Delta L_{dif,4}$$

ここで、 $L_A$ は予測点Pにおける騒音レベル、 $L_{A,1} \sim L_{A,4}$ は伝搬経路毎の騒音レベルである。なお、 $r_1 = \overline{SP}$ 、 $r_2 = \overline{S'P}$ 、 $r_3 = \overline{SP'}$ 、 $r_4 = \overline{S'P'}$ であり、

$\Delta L_{dif,1}$ 、 $\Delta L_{dif,2}$ 、 $\Delta L_{dif,3}$ 、 $\Delta L_{dif,4}$ は伝搬経路 $S \rightarrow O \rightarrow$

$P$ 、 $S' \rightarrow O \rightarrow P$ 、 $S \rightarrow O \rightarrow P'$ 、 $S' \rightarrow O \rightarrow P'$ における防音パネルの回折補正量である。

#### 3.3.3 測定結果

試験結果(周波数毎の基準点の音圧レベルと各測定点の音圧レベルの差)の代表例を図16に示す。グラフは、音源高さを $H=1.5m$ 及び $10m$ とした場合で、音源と防音パネルの水平距離 $d1=5.0m$ 、防音パネルと測定点の水平距離 $d2=10.0m$ 、測定点高さ $h=1.2m$ 、 $4.0m$ とした時の結果である。グラフ中、「実験」は測定結果を、「計算」は数値解析の結果を示している。音源高さが $1.2m$ の時は、音源から見て測定点が防音パネルの影になるため、回折の影響により、高い周波数の減衰量が大きくなっている。一方、音源高さが $10m$ の時は、音源から見て測定点が見通せるため、周波数による減衰量は防音パネルが無い時の傾向(図11参照。)と同様である。防音パネルが有る場合でも、数値解析による結果は、実際の現象とほぼ整合している。

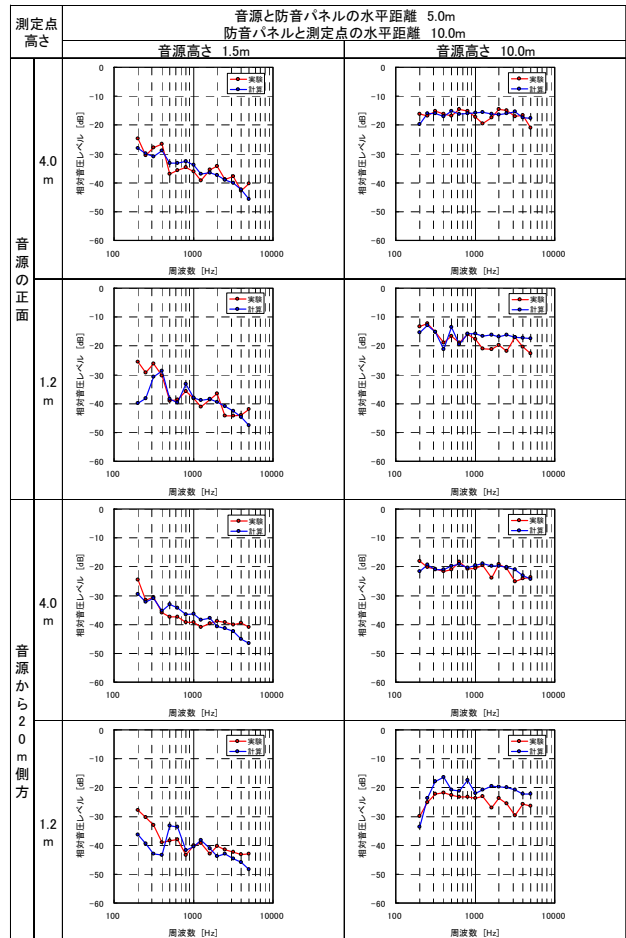


図16 試験結果(防音パネル有り)

#### 3.3.4 比較結果

実験値から算出した値と数値計算による計算値、 $4\pi$ 空間の伝搬式による計算値、 $2\pi$ 空間の伝搬式による計算値を比較したグラフを図17に、それらの値の差の平均値等を表3に示す。音源高さが高所( $10m$ )のときには数値計算と $4\pi$ 空間の伝搬式では精度の差は無く、測定値よりも平均で $1dB$ 大きく計算される程度であるが、 $2\pi$ 空間の伝搬式では平均で $3dB$ 程度大きな計算値となり、精度が悪くなっている。直接音が回折の影響を受ける高さの場合(音源から測定点が見通せない場合)には、精度が落ちてくるが、 $2\pi$ 空間の伝搬式よりも $4\pi$ 空間の伝搬式の方が精度はよく、音源高さが $1.5m$ の時には、数値計算でも精度が落ちている。環境影響評価の際の実務的な予測式としては、 $4\pi$ 空間の伝搬式で問題ないものと判断される。

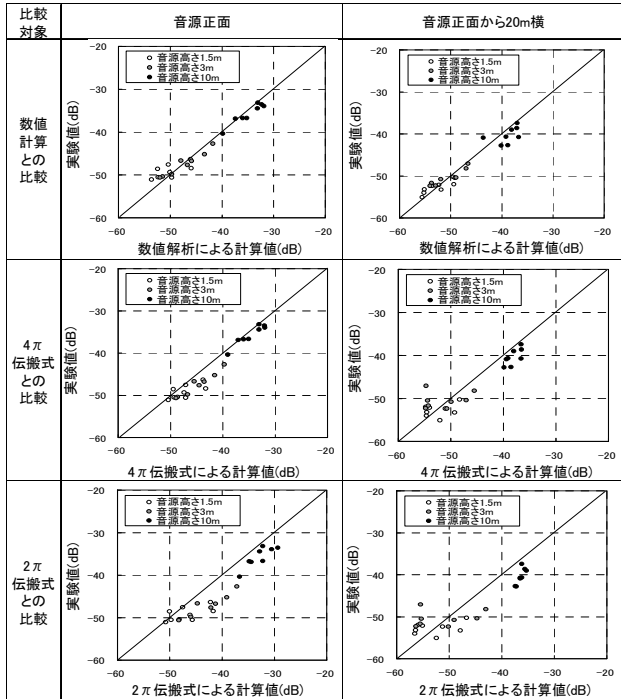


図 17 実験値との比較グラフ (防音パネル有り)

表 3 実験値との差の平均値等 (防音パネル有り)

音源高さ	指標	音源正面			音源正面から20m横		
		数値計算	4π伝搬式	2π伝搬式	数値計算	4π伝搬式	2π伝搬式
10m	差の平均値(dB)	0.9	1.1	2.9	1.6	2.3	4.0
	差の最大値(dB)	2.1	2.0	4.5	4.1	4.2	5.6
	差の標準偏差(dB)	0.8	0.7	1.3	2.2	1.3	1.4
3m	差の平均値(dB)	0.2	2.6	4.2	-0.1	-1.0	-0.8
	差の最大値(dB)	1.9	3.7	6.1	1.5	3.4	5.7
	差の標準偏差(dB)	1.2	0.9	1.8	1.4	3.8	5.2
1.5m	差の平均値(dB)	-1.0	1.9	2.4	0.0	0.5	0.0
	差の最大値(dB)	2.5	5.2	6.8	2.6	4.1	5.4
	差の標準偏差(dB)	2.1	1.9	2.8	1.5	2.5	3.6

## 4. バイブロハンマのパワーレベル調査

### 4.1 調査概要

高所騒音源の代表としてバイブロハンマのパワーレベルを調査した。今回の調査では、それぞれの音源毎に高さを設定できるように、バイブロハンマ、クローラークレーン、発動発電機のそれぞれについてパワーレベルを分離することできるように測定点を配置し、それぞれのパワーレベルを決定した。

また、これまではユニット全体を点音源として扱うため、ある程度ユニットから離れた場所に、ユニット全体を囲むような配置で計測を行っていたが、今回は、逆に他の音源の影響を受けないように、それぞれの音源に近接した配置で測定を行った。また、これまでは地面に三脚などで騒音計を設置するだけでよかったが、今回は、高所作業車を使用して高所にも測定点を配置した。また、実際の作業内容や、工事工程に影響を与えないで、かつ安全に測定を行えることを確認した。

## 4.2 調査方法

### 1)調査場所

国土交通省発注の3つの工事現場において調査を実施した。

### 2)施工機械の諸元

今回調査した工種は、バイブロハンマを使用した鋼矢板打設であり、騒音源となる施工機械の諸元を表4に示す。

表 4 鋼矢板 (バイブロハンマ工) 施工機械諸元

機械名	諸元項目	現場1	現場2	現場3
バイブロハンマ	振動方式	電動式	電動式	電動式
	モータ出力(kW)	60	90	60
	低騒音型建設機械の指定	無し	無し	無し
発動発電機	定格容量(kVA)	200/220	270/300	200/220
	機関出力(kW)	181/191	232/257	181/199
	低騒音型建設機械の指定	超低騒音	低騒音	低騒音
クローラークレーン	吊上能力(t)	65	90	50
	機関出力(kW)	-	212	96
	低騒音型建設機械の指定	-	低騒音	無し

### 3)測定点の配置

測定点の配置の一例を図18(その時の状況を図19)に示す。現場毎の条件により、若干配置は異なるが、基本的な考え方は下記のとおりである。

- ①それぞれの音源を別々に測定できるように配置する。
- ②バイブロハンマについては、高さ方向にも移動するため、高さ方向に数点配置する。
- ③算出したパワーレベルの検証のために、ある程度離れた地点に数点配置する。
- ④図18においては、それぞれの測定点の位置付けは下記のとおりである。

- S1: 発動発電機のパワーレベルの測定
- S2~S4: バイブロハンマのパワーレベルの測定
- S5~S8: 設定したパワーレベルの検証
- S9: クローラークレーンのパワーレベルの測定

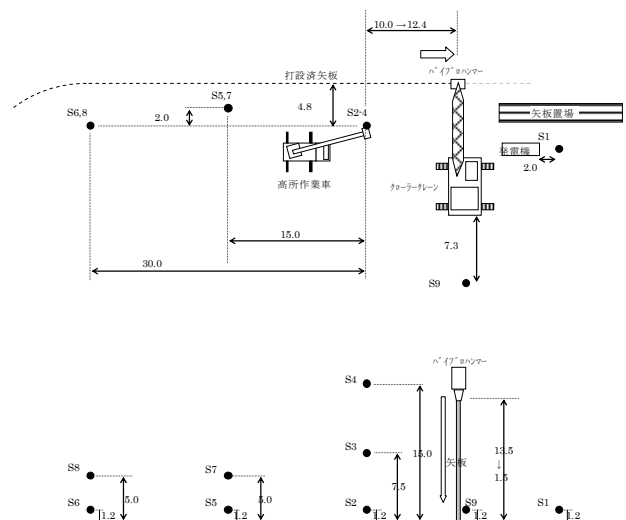


図 19 バイブロハンマ騒音測定配置図





図19 バイプロハンマ騒音測定状況

#### 4)解析方法

- ①それぞれの騒音のレベル波形から時間変動特性を把握する。
- ②それぞれの騒音源と測定点の高さ及び水平距離から、 $4\pi$ 空間の伝搬式を用いてパワーレベルを算出する。バイプロハンマについては、S2～S4の3点で測定した値をエネルギー平均する。
- ③算出したパワーレベルから、 $4\pi$ 空間の伝搬式を用いてS5～S8の騒音レベルを算出し、設定したパワーレベルを検証する。
- ④騒音規制法の評価値 ( $L_{A5}$ : 90%レンジの上端値の値) を算出するために、 $\Delta L (=L_{A5} - L_{Aeff})$  を算出する。

### 4.3 調査結果

#### 1)時間変動特性

バイプロハンマ (S2 地点) 及びユニット全体 (S5 地点) の時間変動特性の一例を図20に示す。この波形から、バイプロハンマは変動騒音に分類される。

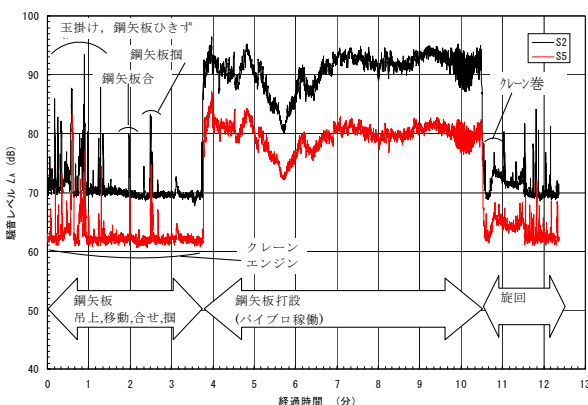


図20 バイプロハンマ時間変動波形

#### 2)パワーレベル

各騒音源のパワーレベルを表5に示す。

表5 バイプロハンマ等のパワーレベル

	バイプロハンマ (dB)	クレーン (dB)	発動発電機 (dB)
現場1	116	99	90
現場2	117	89	94
現場3	116	90	98
平均	116	95	95

#### 3) $\Delta L$

騒音規制法の評価値を計算するための  $\Delta L$  については、騒音レベルの瞬時値の標準偏差  $\sigma$  から、下記の方法により求めた。各現場における  $\Delta L$  を表6に示す。

$$0 < \sigma \leq 2 \quad \Delta L = 3\text{dB}$$

$$2 < \sigma \leq 4 \quad \Delta L = 5\text{dB}$$

$$4 < \sigma \quad \Delta L = 6\text{dB}$$

ただし、 $\sigma = (L_{A5} - L_{A95})/3.29$  ( $L_{A95}$ : 90%レンジの下端値の値)

表6 騒音規制法の評価値を計算するための  $\Delta L$

$\sigma$				$\Delta L$
現場1	現場2	現場3	平均	
4.2	5.4	7.4	5.7	6dB

### 4.4 調査結果の検証

#### 1)パワーレベルの検証

各機械の近傍の測定点から算出した表5のパワーレベルから検証用測定点 (S5～S8 地点) の実効騒音レベルを計算し、測定値と比較した結果を図21に示す。算出したパワーレベルから計算した値は実際の測定値よりも大きめとなる傾向がある。これは、実際の現場では、遠方になるほど地表面の影響による減衰などがあるが、減衰計算の中にその影響を見込んでいないことなどが影響していると想定される。

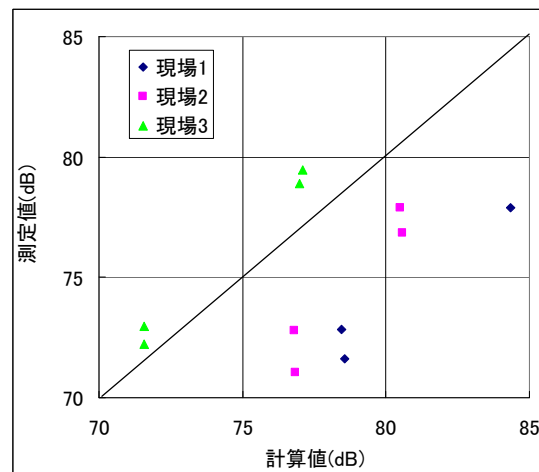


図21 バイプロハンマのパワーレベルの検証結果

## 2)測定方法の検証

今回は、高所に音源が有り、それに近接して騒音計を設置する必要があった。そのため、高所作業車を使用した。タイヤ式が進入できないようなところではクローラ式の高所作業車(図22)を使用することで対応することができた。パイプロハンマの場合には、クローラクレーンは鋼矢板打設位置と打設前の鋼矢板置き場の間だけを巡回するため、高所作業車を工事現場に入れても、鋼矢板打設作業に対して制約を加えることもなく、また、測定も問題なく行うことができた。



図22 クローラ式高所作業車

## 5. 高所騒音予測のケーススタディ

自由空間の騒音伝搬式及び4.で調査したパイプロハンマのパワーレベルを用いて、高所騒音の予測評価のケーススタディを行ってみることとする。

### 5. 1 予測条件

#### 1)騒音源データ

予測に使用する音源は、表7のように、鋼矢板(パイプロハンマ工)のユニットに含まれる3種類の機械とする。

表7 鋼矢板(パイプロハンマ工)騒音源データ

ユニット名	時間変動特性	評価量	機械名	LWAeff (dB)	ΔL (dB)
鋼矢板(パイプロハンマ工)	変動騒音	LA5	パイプロハンマ	116	6
			クレーン	95	
			発動発電機	95	

#### 2)機械配置及び受音側条件

各機械の配置及び受音側の条件は、図23とする。騒音源となるパイプロハンマは敷地境界から水平距離で5m、高さは10mとする。クレーン及び発動発電機については、敷地境界から水平距離で10m及び13m、高さはそれぞれ1.5mに音源があるものとする。

騒音影響を受ける保全対象は、敷地境界から水平距離で20m離れた場所に立地しているものとし、予測高さとしては、高さ1.2m及び10mとする。

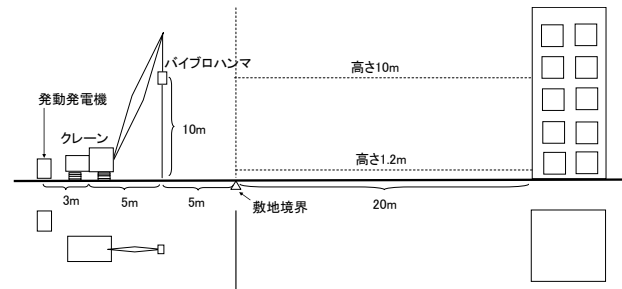


図23 機械配置及び受音側条件

#### 3)時間変動条件

鋼矢板を1枚打設するのに必要な、吊り上げから打設完了までの一巡の作業を1工程とし、1工程で発生する騒音を予測する。1工程全体の作業時間を6分間とし、そのうちパイプロハンマが稼働している時間(打設している時間)を3分間(残りの3分間はパイプロハンマは停止している。)とする。打設中の3分間は、パイプロハンマは高さ10mから1mまで同じ速度で下がってくるものとする。また、クレーン及び発動発電機については、1工程の間、常に騒音を発生しているものとする。

#### 4)騒音伝搬式

騒音源が高所となるパイプロハンマについては4π空間の伝搬式で計算し、騒音源高さが1.5mのクレーンと発動発電機については、従来通り2π空間の伝搬式で計算する。

#### 5)保全対策

保全対策の無い条件及び保全対策を実施した条件の2通りで計算を行うものとする。保全対策については、敷地境界に高さ3mの防音パネルを設置する。

### 5. 2 予測結果

#### 1)保全対策が無い場合

保全対策が無い場合(騒音源から保全対象の建物に向かって遮るものが何も無い状態。)の騒音予測値を表8に示す。表8では、敷地境界からの距離及び高さのある程度区切って、各点の計算値を記載している。騒音規制法における評価点は敷地境界で高さ1.2mのところであり、予測結果は94dBとなっている。基準値は85dBなので、基準値を9dBオーバーしている。この時に、保全対象となる建物手前(敷地境界からの距離20m地点)の予測値は、高さ1.2mで83dB、高さ10mで82dBとなっている。高さ10mに住む人の方が騒音が1dB小さい値となるが、敷地境界の高さ1.2mにおいてはそもそも基準値に対し

て 9dB 大きいので、1dB 程度小さいからといって、高さ 10m においても（そもそも 10m における基準値は存在しないが）基準値を満たしていないと判断することが妥当であると思われる。

表 8 予測値（保全対策が無い場合）

予測高さ	敷地境界からの距離			
	0m	5m	10m	20m
20m	86dB	85dB	84dB	81dB
10m	92dB	89dB	86dB	82dB
8m	93dB	89dB	86dB	83dB
6m	94dB	89dB	87dB	83dB
4m	94dB	90dB	87dB	83dB
2m	94dB	90dB	87dB	83dB
1.2m	94dB	90dB	87dB	83dB

2)保全対策が有る場合

保全対策が有る場合（敷地境界に高さ 3m の防音パネルを設置した状態。）の騒音予測値を表 9 に示す。騒音規制法における評価点は敷地境界で高さ 1.2m のところであり、予測結果は 76dB となっているが、防音パネルを設置した場合には、パネルの直近よりも距離が離れた地点の方が騒音値が大きくなるため（通常は距離が遠いほど騒音レベルは下がる。）、技術手法では、高さ 1.2m の中で最も騒音レベルが大きくなる地点の値を評価値として扱うこととしている。今回もそれに習い、敷地境界から 5m 離れた地点の 85dB を予測値とする。この場合、基準値は 85dB なので、基準値をクリア（規制は 85dB を超えないこととなっており、85dB ちょうどは基準値をクリア）している。この時に、保全対象となる建物手前（敷地境界からの距離 20m 地点）の予測値は、高さ 1.2m で 81dB、高さ 10m でも 81dB となっている。高さ 10m に住む人も 1 階に住む人も同じ値の騒音レベルであり、この時は、高さ 10m においても（そもそも 10m における基準値は存在しないが）基準値を満たしていると判断することが妥当ではないかと思われる。なお、高さ 10m での騒音レベルは敷地境界での値が 92dB と最も高いが、これを基準値の 85dB と比較して基準値をオーバーしていると判断することは妥当ではないと考える。

表 9 予測値（保全対策が有る場合）

予測高さ	敷地境界からの距離			
	0m	5m	10m	20m
20m	86dB	85dB	83dB	80dB
10m	92dB	88dB	84dB	81dB
8m	93dB	88dB	85dB	81dB
6m	94dB	88dB	85dB	81dB
4m	94dB	87dB	84dB	81dB
2m	78dB	86dB	84dB	81dB
1.2m	76dB	85dB	84dB	81dB

6. まとめ

環境影響評価の実施に当たっては、常に最新の知見に基づいて評価が行われるように努力する必要がある。本研究では、近年、予測の要望が高まっている、工事中に発生する高所における騒音について、その予測評価手法を検討した。その結果、以下の成果を得た。

- 1)高所騒音の予測においては、伝搬式として 4π 空間の伝搬式を用いることが妥当である。
  - 2)高所騒音の予測パラメータ（音源のパワーレベル）として、鋼矢板（パイプロハンマ工）ユニットにおけるパイプロハンマ等のパワーレベルを得た。
  - 3)高所のパワーレベルのデータ収集は、高所作業車による方法で問題は無い。（別途、測定要領に反映。）
- 今後は、本研究成果の普及や高所騒音源のパワーレベルのデータの充実が望まれるが、環境影響評価実施者から予測方法や測定方法の指導要請などがあれば対応していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 日本音響学会 建設工事騒音予測調査研究委員会：「建設工事騒音の予測モデル ASJ CN-Model 2007」、日本音響学会誌 Vol.64 No.4 pp.229-260、2008
- 2) 山元弘、林輝、吉田潔、吉永弘志、杉谷康弘：「道路環境影響評価の技術手法 4.騒音 4.2 建設機械の稼働に係る騒音（Ver.2-2）」、土木研究所資料第 4060 号、平成 20 年 9 月
- 3) 山元弘、林輝、吉永弘志、吉田潔：「建設工事騒音・振動・大気質の予測に関する研究（第三報）」、土木研究所資料第 4010 号、平成 18 年 3 月

## **A STUDY ABOUT PREDICTION TECHNIQUE FOR CONSTRUCTION NOISE FOR ROAD PROJECT**

**Budgeted** : Grants for operating expenses  
General account

**Research Period** : FY2007-2009

**Research Team** : Construction Technology Research  
Department (Advanced  
Technology Research Team )

**Author** : FUJINO Kenichi  
TANAKA Yoshimitsu  
SUGITANI Yasuhiro

**Abstract:** When we carry out the environmental assessment of the road construction, it is important that we predict it as possible precisely with the latest knowledge. About the construction noise, a prediction and evaluation has been carried out only at 1.2-1.5m in height as a general rule until now. In this study, we examined the technique of a prediction and evaluation in case that there was a noise source in the high place or there was a protection target in the high place. In addition, as an example of the high place noise, we measured the noise of the vibro hammer on the site and the set sound power level.

**Key word:** construction noise, noise propagation formula, sound power level, vibro hammer