

I-1 河川環境影響の定量的評価手法検討

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 11～平 15

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：村松敏光、江本 平、吉田 正、
林 輝、荒井 猛、吉永弘志、
新田恭士、山口 崇、田中和嗣

【要旨】

建設工事騒音の予測精度の向上を目的として、複数の機械から発生する騒音を点音源とみなせる条件の検討、等価騒音レベルを騒音規制法評価量の時間率騒音レベル等へ換算する方法の検討、代表スペクトルによる地表面効果と回折効果の簡易計算方法について検討を行い建設工事騒音の予測計算方法を取りまとめるとともに実測値による予測精度向上の検証、予測用データのとりまとめを行った。

キーワード：工事、面音源、ユニット、等価騒音レベル、実効騒音レベル、時間率騒音レベル、騒音規制法、音響パワーレベル、地表面効果、回折

1. はじめに

環境影響評価法（平成 9 年 6 月公布）に対応した省令において「工事の実施」による大気環境（大気質・騒音・振動）が標準項目として新たに評価の対象となった。このため土木研究所は調査、予測、評価を行う標準的な技術手法¹⁾を平成 12 年度にとりまとめたが、この技術手法については、知見の進展に伴い見直すことが必要とされている。このうち騒音の環境影響評価については、スペクトルの考慮や時間変動する騒音データの扱いなど検討を必要とする事項が残されており、学識経験者の意見をふまえて予測手法を検討した。

2. 研究方法

建設工事騒音予測のプロセスにおける項目別に机上検討と測定データの両面から検討した（表-1）。また検討内容については（社）日本音響学会の建設工事騒音予測調査研究委員会（委員長：橋秀樹 東京大学生産技術研究所教授）の意見を反映させた。

3. 研究結果

研究結果は建設工事騒音・振動・大気質の予測に関する研究（第 1 報）²⁾および（第 2 報）³⁾にとりまとめた。また日本音響学会は工事騒音の予測モデル“ASJ CN-Model 2002”⁴⁾として公表している。以下に項目別の検討結果の概要を記す。

3-1 音源の拡がりの検討

建設工事の騒音予測においては図-1 のように建設工事を行う複数の建設機械をユニットとし一つの音源として扱い、予測用のデータ収集および予測計算を行っている。このため点音源とみなせる条件について確認しておくことが必要である。

表-1 研究方法

項目	机上検討	測定データ検討
発生源		
音源の拡がりの扱い	点音源の仮定と面音源、音源の分散の扱い	-
代表スペクトルの設定	測定データに基づいて建設工事の代表スペクトルを計算	-
伝搬		
地表面効果の簡易計算法	代表スペクトルと波動理論により地表面効果を計算	現場の測定データで計算式の妥当性を検証
回折効果の簡易計算法	代表スペクトルと前川チャートにより回折効果を計算	-
評価		
等価騒音レベルの時間率騒音レベルへの変換	数値計算と統計理論で計算	測定データの統計分布利用
その他		
用語の定義	机上検討	-
予測の手順	机上検討	-
発破騒音予測	機械騒音と同様の方法、換算距離を用いる方法を検討	現場の測定データを整理し予測方法を検討
予測手法のとりまとめ		
ASJ CN-Model 2002 環境影響評価の技術手法-建設機械の稼働に係る騒音	机上検討	現場の測定データを予測用データとして整備

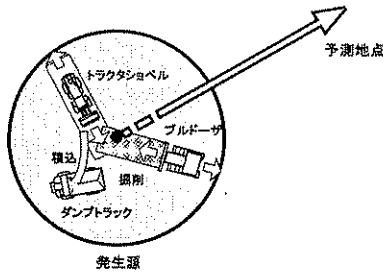


図-1 ユニットの点を音源とみなした騒音予測

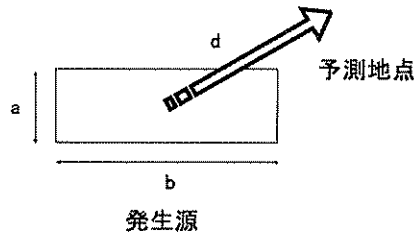


図-2 試算条件

そこで発生源が図-2 の矩形の面音源の場合について点音源を仮定した場合の誤差について試算した。面音源を仮定した場合の一般式は(式-1)となるが、試算においては、音源を微小領域に分割して数値計算するとともに回折効果、地表面効果は近距離のため0とした。

$$L_{Aeff} = 10 \log_{10} \left(\iint_R \frac{1}{A} \frac{S_0}{2\pi r^2} 10^{(L_{WAeff} + \Delta L_d + \Delta L_g)/10} dS \right) \quad (式-1)$$

- L_{Aeff} : 予測地点における実効騒音レベル※1(dB)
- A : 発生源領域の面積(m²)
- S_0 : 基準とする面積(m²) $S_0=1m^2$
- r : 面積要素 dS から予測地点までの距離(m)
- L_{WAeff} : 音源の A 特性実効音響パワーレベル(dB)
- ΔL_d : 面積要素 dS からの騒音に対する回折に伴う減衰に関する補正量(dB)
- ΔL_g : 面積要素 dS からの騒音に対する地表面の影響による減衰に関する補正量(dB)

※1 : 等価騒音レベルと定義式は同じだが建設工事騒音のように限られた時間に騒音を発生する場合の騒音レベルのエネルギー平均値を“ASI CN-Model 2002”においては実効騒音レベルと定義し、等価騒音レベルと区別することになった。

予測地点の位置について様々な条件で試算した結果、発生源から予測地点までの距離 d と長辺 b の比 d/b が 1.0、1.5、2.0 でそれぞれ計算誤差が 1dB、0.5dB、

0.3dB 以内となり、ユニットが点音源とみなせる条件を誤差 0.5dB 以内となる(式-2)とした※2。

$$d / b > 1.5 \quad (式-2)$$

※2 : (参考 dB の目安)

騒音の計測値は dB で表現されている。計量法に基づく普通騒音計の検定では器差が 1.5dB を超えないことが合格の条件とされている。参考までに騒音低減効果は排水性舗装でおおむね 3dB、遮音壁で 10dB であり、1dB は人の耳でかろうじて差がわかる程度である。

3-2 建設工事騒音の代表スペクトルの設定

地表面の影響による減衰(地表面効果)および回折に伴う減衰(回折効果)は騒音周波数によって異なる。騒音予測の精度を上げるためには音源情報として騒音のスペクトルを考慮して計算する必要があるが、環境影響評価の実務担当者が行うことは困難である。そこで複数の建設工事を代表するスペクトルを算定し、代表スペクトルから簡易式を策定することとした。

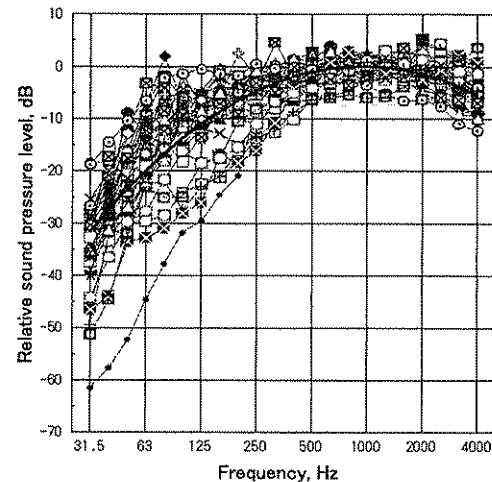


図-3 36 種類のユニットのスペクトル特性と代表スペクトル

図-3 に示すように 36 種類のユニットのスペクトルの実測値から代表スペクトルを算出し、1 kHz における値を 0 dB とする A 特性重みつき相対スペクトルを(式-3)とした。

$$L_{A,rel}(f) = 10 \log_{10}(f/1,000) \cdot [4.4548 - 0.1443(10 \log_{10} f + 2)] \quad (式-3)$$

ここに、f: 周波数[Hz]

3-3 地表面の影響による減衰に関する補正量の計算方法

地表面の影響による減衰はこれまで伝搬距離が50mを超える場合に100m当たり2.5dBを見込んで計算していたが、予測精度向上させるためには音源の周波数ごとに地表面における反射時の吸収と干渉を考慮して計算する必要がある。図-4は2,000Hzの純音の場合の干渉音場の計算例であるが、このような計算を建設工事の種類ごと周波数成分ごとに環境影響評価の実務担当者が行うことは困難である。そこで(式-3)の代表スペクトルに基づいて音源高さ、測定点高さを変えて減衰量を計算し簡易式を策定することとした。図-5は音源高さ1.5mの場合の計算例である。

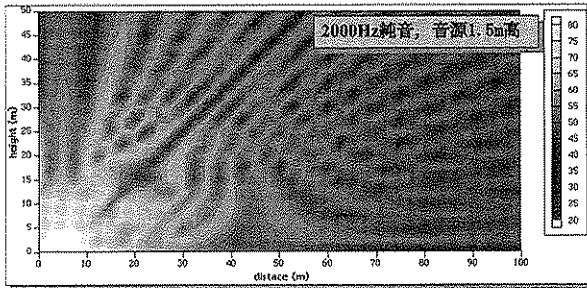


図-4 2,000Hz 純音の音圧レベルコンタ例

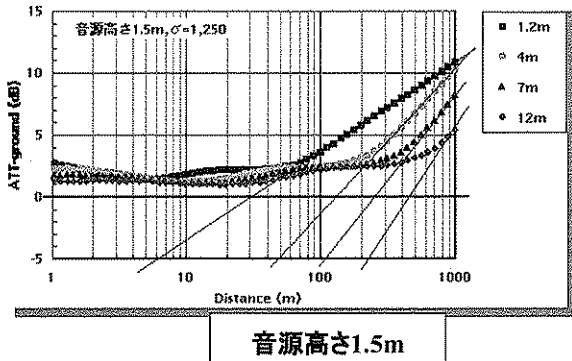


図-5 音源高さ1.5mの地表面効果による減衰量の例

これらの計算結果を(式-4)の近似式でまとめて地表面効果の簡易計算式とした。係数は表-2、3、4となる。

$$\Delta L_g = \begin{cases} -K \log_{10} \left(\frac{r}{r_c} \right) & r \geq r_c \\ 0 & r < r_c \end{cases} \quad (\text{式-4})$$

K, r_c : 係数

r : 発生源から予測地点までの距離(m)

この計算方法による地表面効果による減衰量の予測精度向上を検証した例が図-6である。従来の方法よりも今回の地表面効果の計算値 ATT(attenuation)を考慮した予測結果が実測値 ■ に近いことが確認できる。他の現場でも今回の計算方法の精度が高いことを確認した。

表-2 建設工事騒音の係数 K, r_c

(裸地: $\sigma = 1,250 \text{ kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$)

		H_s				
		1.2m	4m	7m	12m	
H_s	5m	K	12.0	13.6	-	-
		r_c	137.0	465.0	-	-
	3m	K	9.6	11.9	13.0	-
		r_c	70.6	261.0	486.0	-
	1.5m	K	7.2	11.5	13.8	16.6
		r_c	30.9	128.0	259.0	458.0
0m	K	4.6	8.3	10.3	11.2	
	r_c	14.6	37.6	71.4	126.0	

表-3 建設工事騒音の係数 K, r_c

(草地: $\sigma = 300 \text{ kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$)

		H_s				
		1.2m	4m	7m	12m	
H_s	5m	K	16.7	18.0	-	-
		r_c	166.0	582.0	-	-
	3m	K	15.4	16.7	17.8	-
		r_c	94.2	337.0	569.0	-
	1.5m	K	13.7	16.6	17.5	17.7
		r_c	43.6	169.0	309.0	525.0
0m	K	7.1	11.8	14.4	15.4	
	r_c	4.7	19.2	39.4	71.0	

表-4 建設工事騒音の係数 K, r_c

(柔らかい畑地: $\sigma = 75 \text{ kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$)

		H_s				
		1.2m	4m	7m	12m	
H_s	5m	K	18.0	18.0	-	-
		r_c	182.0	592.0	-	-
	3m	K	18.0	18.0	18.0	-
		r_c	110.0	359.0	600.0	-
	1.5m	K	17.1	17.6	18.0	18.0
		r_c	52.0	178.0	322.0	535.0
0m	K	10.8	15.0	16.3	16.8	
	r_c	2.6	10.9	21.5	37.7	

3-4 回折に伴う減衰に関する補正量の計算方法

建設工事からの騒音伝搬を予測する際、騒音源と予測点の間に仮囲い等を設置する場合には遮蔽効果(回折効果)を考慮する必要がある。回折効果の計算には波動理論によって計算する方法もあるが、前川チャート⁵⁾の簡易式⁶⁾で十分な予測精度が確保できる。これまで建設工事騒音については工事の種類

ごとに代表周波数を設定しこれを前川チャートにあてはめて回折効果を計算していたが代表周波数での計算結果はスペクトル全体での計算結果と異なるため誤差が生じていた。

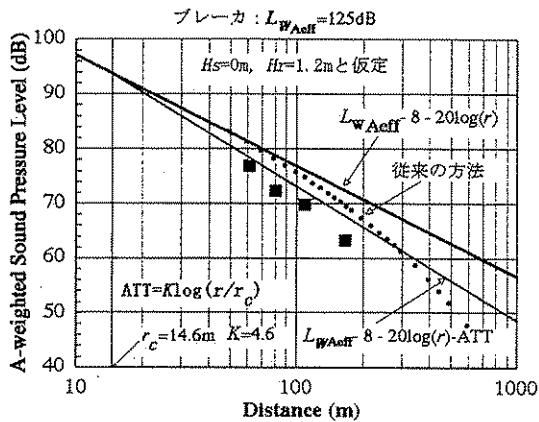


図-6 ブレーカ騒音の実測値と計算値

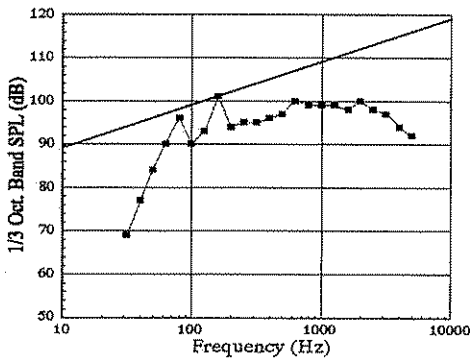


図-7 アースオーガ掘削の代表周波数の設定例

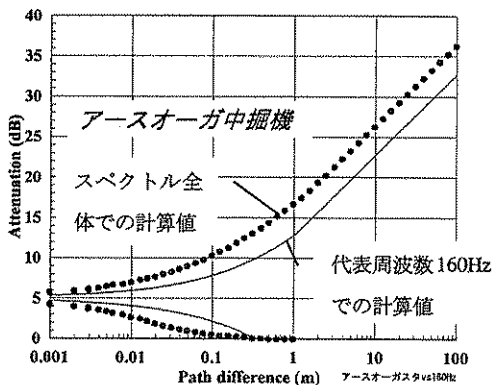


図-8 アースオーガ掘削の回折効果の計算例

図-7 はアースオーガ掘削の代表周波数の設定例である。回折効果は真数では周波数に比例して大きくなるので+3dB/Oct.の直線と接する点で代表周波数160Hzを決定する。図-8はこの代表周波数による回折効果の計算値をスペクトル全体を考慮したもの

と比較したもので3dB程度の誤差が生じている。予測精度を向上させるためには工事の種類ごとにスペクトルを設定して計算することが考えられるが、実務担当者がこれを行うことは困難である。そこで地表

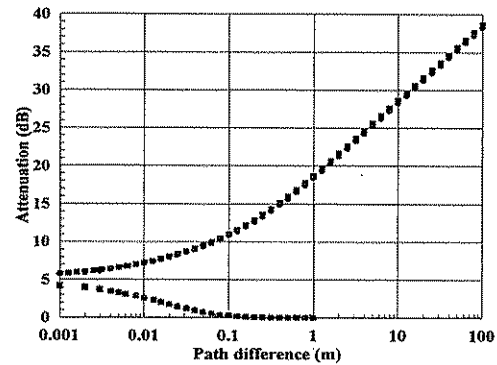


図-9 代表スペクトルから求めた回折減衰量

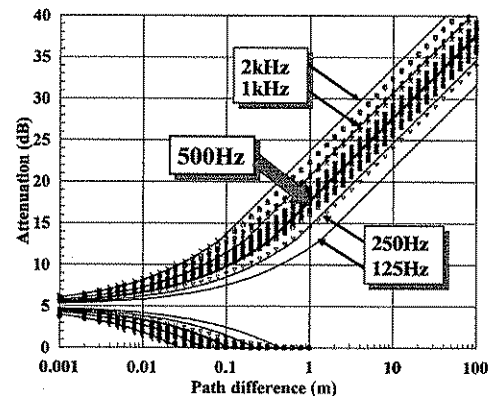


図-10 回折効果の計算方法の比較

$$ATT = \begin{cases} 18.4 + 10 \log_{10} \delta & \delta \geq 1 \\ 5 \pm \frac{13.4}{\ln(1 + \sqrt{2})} \sinh^{-1}(|\delta|^{0.42}) & -0.069 \leq \delta < 1 \\ 0 & \delta < -0.069 \end{cases} \quad (式-5)$$

ここに、 σ : 行路差(m)

面効果と同様に建設工事騒音の代表スペクトルで計算した結果を近似する簡易式を策定することとした。図-9 は代表スペクトルで計算した回折に伴う減衰に関する補正量で(式-5)は近似式である。図-10 は回折効果の計算結果を比較したもので点線が工事の種類ごとにスペクトルで計算した値で最も精度高く、実線が代表周波数で計算した値である。図-9の代表スペクトルの計算値は図-10の代表周波数での計算と比較して予測値のぶれが小さくなっている。

3-5 騒音規制法の評価量への換算の検討

建設工事騒音は表-5 に示すように騒音源により時間変動特性が異なり、騒音規制法では時間変動特性ごとに評価量を設定している。これらの評価量は統計的な代表値のため音源が複数想定される場合や面音源の場合の加算ができなかった。このため予測では加算が可能な L_{Aeff} 実効騒音レベルをベースとし、音響パワーレベルから幾何減衰等の減衰量や合成の計算を行うこととし、時間変動ごとの評価量は(式-6)により換算することとした⁷⁾。

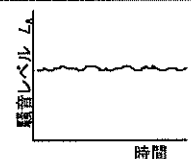
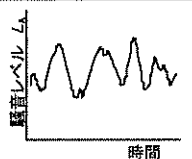
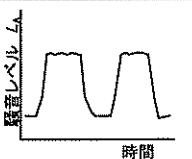
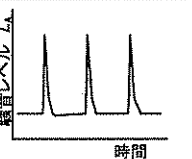
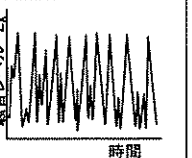
$$LA5(\text{又は } L_{A,Fmax}, L_{A,Fmax,5}) = L_{Aeff} + \Delta L \quad (\text{式-6})$$

騒音の時間変動の分布が正規分布すると仮定すると各種評価量と標準偏差 σ の関係は(式-7)となる。

$$\sigma = (LA5 - LA95) / 3.29 \quad (\text{式-7})$$

各種工事の実測データについて標準偏差 σ の分析値と(式-7)による推計値を比較したものが表-6 である。(式-6)で標準偏差 σ が計算できることがわかった。次に標準偏差と ΔL の関係について調査した。図-11 は変動騒音の標準偏差 σ と $\Delta L = LA5 - LA95$ について実測値、実測値の近似式、正規分布を仮定した場合の計算値(式-8)を示したものである。実測値は計算値とよく一致している。 ΔL を σ から簡易に求められるよう ΔL は階段上に表-7 の値とした。同様に間欠騒音・衝撃騒音についても計算値と実測値を比較して表-8 の値とした。

表-5 騒音の種類と評価量

種類	定常騒音	非定常騒音			
		変動騒音	間欠騒音	衝撃騒音	
				分離衝撃騒音	準定常衝撃騒音
時間変動特性の例					
騒音源の例	発動発電機	バックホウ	クレーン作業	油圧ハンマ	ブレーカ
騒音評価量	騒音計の指示値又はその平均値	測定値の 90%レンジの上端の数値	指示値の最大値が一定の場合は指示値、一定でない場合は最大値の 90%レンジの上端の数値		

3-6 騒音源データの整備

以上の騒音予測法に対応して各種工種の予測に用いる騒音源データを表-9 のとおり整備した。詳細は文献^{1) 3)}に記載した。

3-7 予測手法の評価

今回とりまとめた予測手法に基づいてパイプロハンマを使用した矢板工について予測値と実測値を比較した(表-10)。②-①は敷地の境界線から予測地点までの幾何減衰および地表面の影響による減衰量の和となる。予測値は実測値と 2dB 以内の差となり、

表-6 騒音レベルの標準偏差 σ の実測値と推計値

工種	音のパタ	騒音レベル		標準偏差 σ	
		$LA5$	$LA95$	分析値	推計値
ウォークング工	変動音	83.0	70.0	4.11	3.95
法面整形工(掘削法面)	変動音	83.0	65.2	5.38	5.41
サトドレン工	変動音	76.1	65.1	3.56	3.34
路床安定処理工	変動音	74.6	70.2	1.42	1.34
運搬工(ダンプトラック)	間欠音	82.5	58.5	7.10	6.87
既成杭工(油圧ハンマ)	衝撃音	100.9	74.3	8.50	8.09
旧橋撤去工	衝撃音	86.5	67.5	5.73	5.78

表-7 変動騒音の標準偏差 σ の範囲と ΔL

σ (変動騒音)	ΔL
$0 < \sigma \leq 2$	3(dB)
$2 < \sigma \leq 4$	5(dB)
$4 < \sigma$	6(dB)

表-8 衝撃・間欠騒音の標準偏差σの範囲とΔL

σ (衝撃騒音)	ΔL
0 < σ ≤ 4	5(dB)
4 < σ ≤ 8	8(dB)
8 < σ	9(dB)

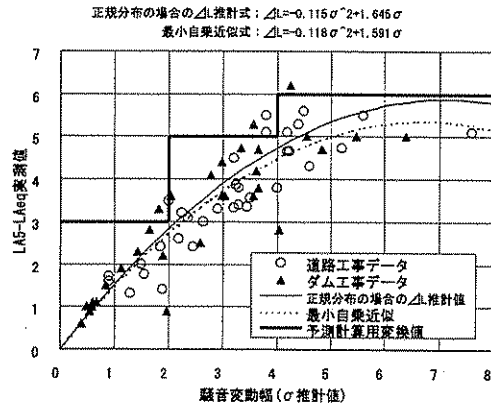


図-11 変動騒音の標準偏差とΔL

$$L_{A5} = L_{Aeff} + 1.645\sigma - 0.115\sigma^2 \quad (式-8)$$

表-9 建設工事騒音の騒音源データ

工事の区分	工種数
ダム専用	18
ダム本體工	8
原石採取	1
施工設備	8
現場内運搬	1
共通	44
土工	6
基礎工	16
道路工事	8
構造物取壊し	3
地盤改良	6
法面	3
その他	2

表-10 予測値と実測値の比較事例

	①敷地の境界線			②保全対象			② - ①	
	L _{A5}	L _{Aeff}	ΔL	L _{A5}	L _{Aeff}	ΔL	L _{A5}	L _{Aeff}
予測	81.4	75.4	6.0	68.4	62.4	6.0	-13.0	
実測	79.5	72.1	7.4	64.7	58.5	6.2	-14.8	-13.8

地表面の影響を考慮しない場合より予測精度が高い。予測値は予測用の騒音源データおよび予測値の位置の仮定の影響を受ける。この事例は予測時に施工位置の情報まで得られたと仮定したものではあるが比較的良好的な予測結果となり予測計算方法の妥当性が

確認された。参考までに施工位置の情報が不足している場合の予測値は大きく異なり、予測計算方法とあわせて発生源の位置の仮定が重要であることがわかった。また8時間程度の長時間の等価騒音レベルについては実測値が予測値を大きく下まわった。データが不十分なため多くの仮定を含めたためであり、建設工事騒音の評価方法を交通騒音のような長時間の等価騒音レベルに変える場合には改めて騒音源データの収集が必要となることがわかった。

4. まとめ

建設工事騒音の予測精度向上を目的として騒音の発生、伝搬、評価量の計算方法を実測データに基づいて検討し標準予測手法としてとりまとめ、数例ではあるが現場測定データにより妥当性について確認した。今後、検証事例を増やすとともに予測誤差に与える要因を分析し、さらなる予測精度向上を図る予定である。また、今回の検討では標準手法としてとりまとめるに至らなかった発破騒音の予測手法についても取り組む予定である。

なお、本研究を御指導いただいた委員各位および貴重な測定データを提供いただいた国土交通省関係の皆様へ感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 河川事業環境影響評価検討委員会：「ダム事業における環境影響評価の考え方」，(財)ダム水源地環境整備センター，2003年3月
- 2) 村松敏光 他：「建設工事騒音・振動・大気質の予測に関する研究(第1報)」，土木研究所資料第3681号，2000年3月
- 3) 吉田 正 他：「建設工事騒音・振動・大気質の予測に関する研究(第2報)」，土木研究所資料第3901号，2003年9月
- 4) 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 2002”」，日本音響学会誌58巻11号，2002年11月
- 5) 前川純一：「障壁(塀)の遮音設計に関する実験的研究」，音響学会誌，18，187-196(1962)
- 6) 山本貢平、高木興一：「前川チャートの数式表示について」，騒音制御，15(4)，40-43(1991)
- 7) 新田恭士，村松敏光，三宅龍雄：「建設工事騒音予測における等価騒音レベルの導入」，日本音響学会 講演論文集秋季，745-746(1999)