

◆ 報 文 ◆

工事騒音の予測手法

吉永弘志* 林 輝** 吉田 正***

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^{※1}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。工事騒音予測の基本的な考え方は音のエネルギーが地表面上で半円球状に拡散し、距離の2乗に反比例して減衰することを仮定しており、交通騒音等の他の騒音と同様である。しかし、工事騒音は多岐にわたる工事の種類に応じた予測評価が必要となる点が他の騒音予測と異なる。

土木研究所は工事騒音を含む環境影響評価全般に必要な調査・予測・評価の技術手法を平成12年度にとりまとめているが、工事騒音については平成11年度から(社)日本音響学会に委託し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、以下「委員会」という)において予測計算方法の検討を継続している。

検討結果は平成12年度および平成15年度にとりまとめた^{1) 2)}。また委員会は工事騒音の予測モデル“ASJ CN-Model 2002”³⁾を公表している。こ

れらの成果は「ダム事業における環境影響評価の考え方」⁴⁾および「道路環境影響評価の技術手法」^{5) 6)}に反映され環境影響評価の実務で活用されている。

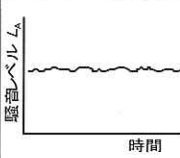
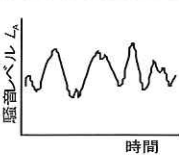
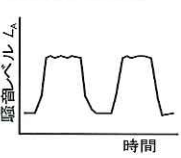
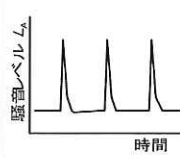
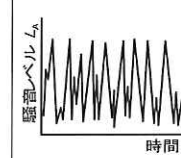
2. 工事騒音の予測手法の作成と見直し

工事騒音の予測手法についての平成11年度から平成15年度までの検討結果の概要は以下のとおりである。

2.1 騒音規制法の評価量への換算方法^{1), 7)}

工事騒音は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に応じて評価量を設定している。表-1は工事騒音の種類と騒音規制法の評価方法に準じた工事騒音の評価方法をまとめたものである。例えば発動発電機の騒音は一定のレベルで継続しているので騒音計の指示値で評価できるが、バックホウの騒音は時間的に変動するために測定値の90%レンジの上端の数値^{※2}で評価するとされている。これらの評価量は統計値であるため音源が複数ある場合や面音源の場合には加算ができなかった。このため加算が可能な実効騒音レベル L_{Aeff} ^{※3}をA特性実効音響パワーレ

表-1 工事騒音の種類と評価量

種類	定常騒音	非定常騒音			衝撃騒音	
		変動騒音	間欠騒音	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			

A Construction Noise Prediction Technique

※1: 「ダム事業に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令」、「道路事業に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令」など

※2: 一定時間内の騒音値の頻度分布において中心部の90%の上端値であり、これは上から5%の値 L_5 となる。騒音では人の聴覚補正であるA特性補正をかけるので L_{A5} と表記する。

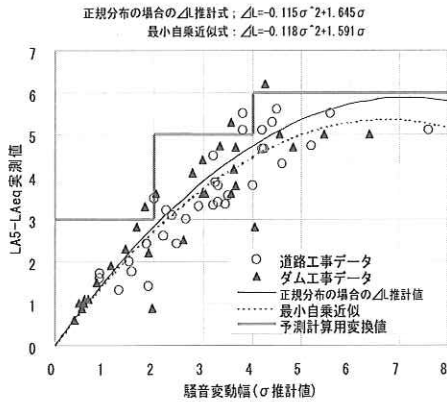


図-1 変動騒音の標準偏差 σ と ΔL

ベル^{※4}から幾何減衰等の減衰量や合成の計算を行うことで計算し、時間変動特性に応じた工事騒音の評価量は式1により換算することとした。

$$L_{A5} \text{ (又は } L_{A,Fmax}, L_{A,Fmax,5}) = L_{Aeff} + \Delta L \quad (1)^{\text{※5}}$$

ここに、 L_{A5} : 5%時間率騒音レベル (dB)、 $L_{A,Fmax}$: 騒音レベルの最大値 (dB)、 $L_{A,Fmax,5}$: 騒音レベルの最大値の5%値: ΔL 補正值 (dB)。

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2となる。

$$\sigma = (L_{A5} - L_{A95}) / 3.29 \quad (2)^{\text{※6}}$$

ここに、 L_{A5} : 5%時間率騒音レベル (dB)、 L_{A95} : 95%時間率騒音レベル (dB)。

各種工事の実測データについて標準偏差 σ の実測値と式2による推計値を比較したものが表-2である。両者の差は小さくよく一致しているので、標準偏差 σ の計算式としての式2の適用性が確認できた。

次に標準偏差 σ と ΔL について調査した。図-1は変動騒音の実測値について式2による σ の推計値と ΔL の実測値の関係および正規分布を仮定した場合の計算値 (式3により計算) を示したものである。

図-1によると実測値は正規分布の場合の σ と ΔL の計算値とよく一致している。そこで ΔL を

表-2 各種工事における騒音レベルの標準偏差 σ の実測値と推計値

工種	音の パターン 分類	騒音レベル		標準偏差 σ	
		L_{A5}	L_{A95}	実測値	推計値
オールケーシング工	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
サンドドレーン工	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 (油圧パイルハンマ)	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-3 変動騒音の標準偏差 σ の範囲と ΔL

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

表-4 衝撃・間欠騒音の標準偏差 σ の範囲と ΔL

σ	ΔL
$0 < \sigma \leq 4$	5 (dB)
$4 < \sigma \leq 8$	8 (dB)
$8 < \sigma$	9 (dB)

σ から簡易に求められるよう ΔL は階段状に表-3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-4のように ΔL の値を与えた。

$$L_{A5} = L_{Aeff} + 1.645\sigma - 0.115\sigma^2 \quad (3)$$

2.2 音源を点音源とみなせる条件^{※7}

工事の騒音予測においては図-2のように工事を行う複数の建設機械の組み合わせを「ユニット」と定義して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を確認し、データ収集および

$$L_{Aeff} = 10 \log_{10} \left(\iint_R \frac{1}{A} \frac{S_0}{2\pi r^2} 10^{(L_{WAeff} + \Delta L + d_{1\alpha})/10} dS \right) \quad (4)$$

※3: 工事騒音のように限られた時間の等価騒音レベル (騒音レベルを真数で時間平均しデシベルに戻したものを) ASJ CN-Model 2002 においては実効騒音レベルと定義し、通常の等価騒音レベルと区別している。

※4: 音源から発生する音のエネルギーが単位面積 $1m^2$ に集中したと仮定した場合の騒音レベル。

なお、文献1)、4) においては「パワーレベル」と記している。

※5: L_{A5} 、 L_{Aeff} の定義は※2および※3による。 $L_{A,Fmax,5}$ の A、F、max および 5 はそれぞれ A 特性、騒音計の動特性が FAST であること、測定時間の最大値および 90% レンジの上端値を示す。 ΔL はこれらの騒音評価量の換算のための補正值を示す。

※6: 正規分布の数値表で片側 50% - 5% = 45% の $Z = x/\sigma = 1.644$ を 2 倍して 3.29 が求められる。

※7: 委員会委員 田近輝俊氏の検討による。

- L_{Aeff} : 予測地点における実効騒音レベル (dB)
- A : 発生源領域 R の面積 (m^2)
- S_0 : 基準とする面積 (m^2)、 $S_0 = 1m^2$
- 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)

予測を行う必要がある。そこで発生源が矩形の面音源の場合について図-3のように点音源と仮定した場合の誤差について試算した。面音源と仮定した場合の一般式は式4となるが、試算においては図-4のように音源を細かく分割し、それぞれの音源からの騒音を合算した。回折効果、地表面効果は近距離のため0とした。

予測地点の位置について様々な条件で試算した結果、計算誤差は短辺 a より長辺 b に支配され、

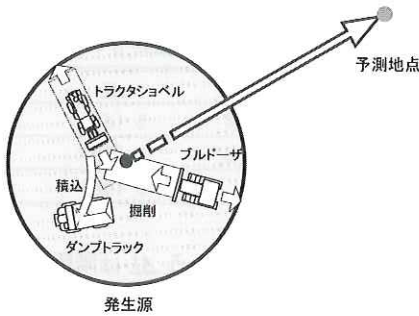


図-2 ユニットの点音源とみなした騒音予測

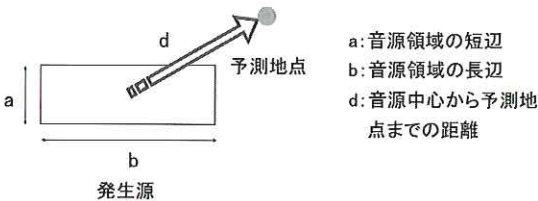


図-3 矩形音源を点音源と仮定した場合 (模式図)

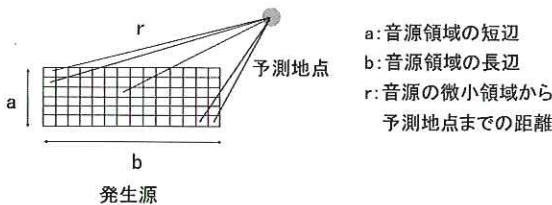


図-4 矩形音源を面音源と仮定した場合 (模式図)

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 以内となった。ユニットが点音源とみなせる条件の目安として誤差が 0.5dB 以内となる式5とした^{※8}。この検討結果は工事騒音予測用データの収集、解析における測定点の扱いの判断で活用されている。また予測において面音源と仮定する場合に音源を分割する目安として活用されている。

$$d/b > 1.5 \tag{5}$$

2.3 工事騒音の代表スペクトルの設定^{3)※9}

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、騒音の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周波数ごとに地表面効果や回折効果を計算してスペクトル全体の減衰量を合算して計算する必要があるが、そうすると環境影響評価の実務への負担が大きい。そこで複数の工事のスペクトルを平均し工事を代表するスペクトルを設定し、代表スペクトルで各周波数ごとの減衰量を計算した結果から代表スペクトル全体の減衰量を与える簡易式を策定することとした。このように代表スペクトルを設定する方法は交通騒音でも採用されている。工事騒音について図-5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、1kHzにおける値を0dBとするA特性重みつき相対スペクトルを式6のように与えた。

$$L_{A,rel}(f) = 10 \log_{10}(f/1,000) \cdot [4.4548 - 0.1443(10 \log_{10} f + 2)] \tag{6}$$

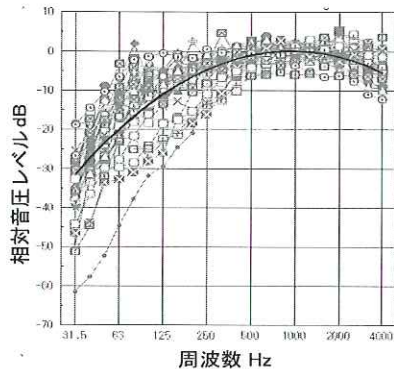


図-5 36種類のユニットのスペクトル特性と代表スペクトル (太線で表示)

※8 : (参考) 1dBの差は同じ条件で音を聞いてかろうじて差がわかる程度である。

※9 : 委員会委員 細岡好人民および西ヶ谷忠明氏の検討による。

ここに、 f :周波数 [Hz]

2.4 地表面の影響による減衰に関する補正量の計算方法^{3) ※10}

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、予測精度を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-6は2,000Hzの純音の場合の干渉音場の計算例である。式6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た。図-7は音源高さを1.5mとし予測地点を1.2mから12mの値とした場合の計算例である。これらの計算結果を式7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 K, r_c は表-5、6、7となる。この計算方法で求めた地表面効果による減衰量の予測精度向上を検証した例を図-8に示す。地表面効果をスペクトルに基づく減衰量を考慮した予測結果が100m当たり2.5dBを見込む従来の方法よりも実測値 (■印) に近いことが確認できる。

$$\Delta L_s = \begin{cases} -K \log_{10} \left(\frac{r}{r_c} \right) & r \geq r_c \\ 0 & r < r_c \end{cases} \quad (7)$$

K, r_c : 係数

r : 発生源から予測地点までの距離 (m)

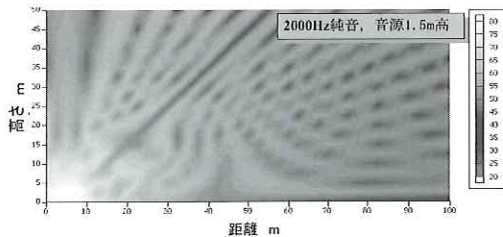


図-6 2,000Hz純音の音圧レベルコンタ例

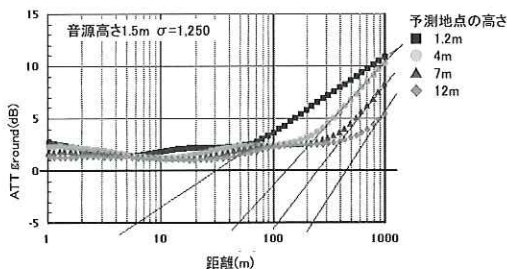


図-7 音源高さ1.5mの地表面効果による減衰量の例

2.5 回折に伴う減衰に関する補正量の計算法^{3) ※10}

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)を考慮した計算方法が必要である。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⁸⁾の簡易式⁹⁾で十分

表-5 工事騒音の地表面効果による減衰に関する係数 K, r_c (地表面が裸地の場合)

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

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

表-6 工事騒音の地表面効果による減衰に関する係数 K, r_c (地表面が草地の場合)

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

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

表-7 工事騒音の地表面効果による減衰に関する係数 K, r_c (地表面が柔らかい畑地の場合)

$(\sigma = 75kPa \cdot s \cdot m^{-2})$

		受信点高さ Hr				
		1.2m	4m	7m	12ms	
音源高さ	5m	K	18.0	18.0	-	-
		r_c	182.0	592.0	-	-
Hs	3m	K	18.0	18.0	18.0	-
		r_c	110.0	359.0	600.0	-
Hs	1.5m	K	17.1	17.6	18.0	18.0
		r_c	52.0	178.0	322.0	535.0
Hs	0m	K	10.8	15.0	16.3	16.8
		r_c	2.6	10.9	21.5	37.7

※10: 委員会委員 山本貢平氏の検討による。

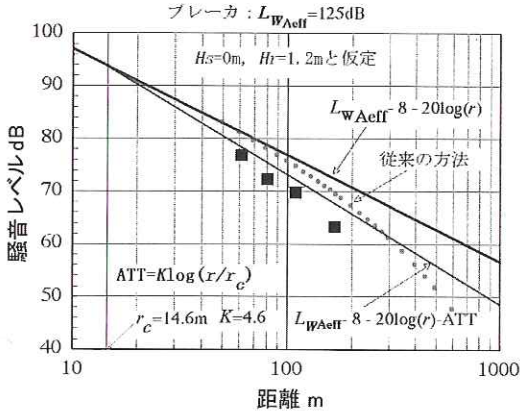


図-8 プレーカ騒音の実測値と計算値

な予測精度が確保できる。これまで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差異が生じていた。図-9はアースオーガ掘削の代表周波数の設定例である。回折効果は周波数に比例して大きくなるので1/2の周波数成分は2倍の重みで評価しなければならため+3dB/Oct.の直線と接する点で代表周波数160Hzを決定する。図-10はこの代表周波数による回折効果の計算値とスペクトル全体を考慮したものを比較したもので両者には3dB程度の差が生じている。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、周波数ごとに計算して合算することが考えられるが、地表面効果の場合と同様に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作成することとした。図-11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を示しており、式8はその近似式である。図-10のアースオーガの回折効果は代表周波数160Hzでの計算値より代表スペクトルでの計算値の方が近いことがわかる。計算も式8に簡素化される。

$$ATT = \begin{cases} 18.4 + 10 \log_{10} \delta & \delta \geq 1 \\ 5 \pm \frac{13.4}{\ln(1 + \sqrt{2})} \sinh^{-1}(|\delta|^{0.42}) - 0.069 \leq \delta < 1 & (8) \\ 0 & \delta < -0.069 \end{cases}$$

ここに、ATT：回折減衰量(dB)、 δ ：行路差(m)

2.6 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-8のとおり整備した。詳

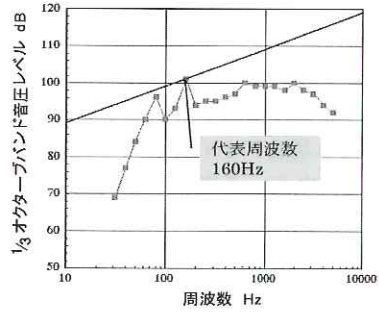


図-9 アースオーガ掘削の代表周波数の設定例

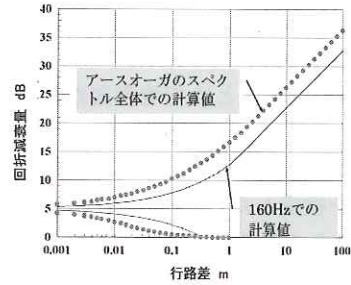


図-10 アースオーガ掘削の回折効果の計算例

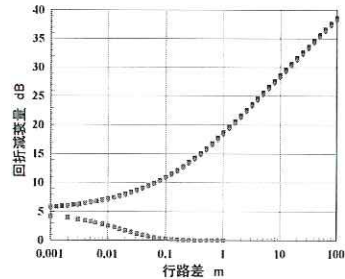


図-11 代表スペクトルから求めた回折減衰量

細は文献^{1), 2), 4)}に記載した。騒音源データには各種の工事騒音のA特性実効音響パワーレベル※4等とその算出根拠となった現場測定データを記載している。

2.7 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-9)。表-9における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-13.0dBは実測値-14.8dBおよび-13.8dBと2dB以内の差となり、地表面の影響を考慮しない場合の減衰量-10.6dBより予測精度が高い。予測値は計算式以外の予測用の騒音源データおよび予測地点の設定の影響を受ける。この事例は予測時に施工位置の

表-8 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・道路共通	44

表-9 予測値と実測値の比較例

	①敷地の境界線			②保全対象の位置			②-①	
	L_{AS}	L_{Aeff}	ΔL	L_{AS}	L_{Aeff}	ΔL	L_{AS}	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

情報まで得られたと仮定したものはあるが、比較的良好な予測結果となり予測計算方法の妥当性が確認された。一方、施工位置の情報が不足している場合の予測値は実測値と大きく異なり、予測計算方法とあわせて発生源の位置の設定が重要であることがわかる。また8時間程度の長時間の等価騒音レベルについては、施工位置の情報がある場合でも保全対象での予測値60.7dBに対し実測値は54.4dBと大きく下まわり、施工位置の情報が不足する場合にはその差が拡大した。予測に使用する工事騒音のデータは騒音規制法に対応して騒音が最も大きくなる時間帯のみを計測した値のため、騒音の継続時間に多くの仮定を含んだことが主な原因であり、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。

3. まとめ

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、標準予測手法をとりまとめ、数例で

はあるが現場測定データによりその妥当性を確認した。今後、検証例を増やすとともに予測誤差の要因を分析し、さらなる予測精度の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、本研究において予測計算法を御検討いただいた委員各位および貴重な測定データを提供して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) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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、2000年3月
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所：「道路環境影響評価の技術手法（その2）」、国土技術政策総合研究所資料No.153、2004年4月
- 6) (財)道路環境研究所：「道路環境影響評価の技術手法 追補版-1」、丸善出版事業部、2003年10月
- 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)
- 8) 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)
- 9) 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)

吉永弘志*



独立行政法人土木研究所技術
推進本部先端技術チーム主任
研究員
Hiroshi YOSHINAGA

林 輝**



独立行政法人土木研究所技術
推進本部先端技術チーム主任
研究員
Akira HAYASHI

吉田 正***



財団法人先端建設技術センター
普及振興部長（前独立行政法
人土木研究所技術推進本部先
端技術チーム主席研究員）
Tadashi YOSHIDA