

31. 工事の実施による大気環境に係わる環境影響評価に関する研究

独立行政法人 土木研究所：○林 輝、吉永 弘志、山元 弘

1. 目的

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り、土木研究所は調査、予測、評価を行う標準的な技術手法を平成12年度にとりまとめている。技術手法については新たな評価項目について実務者からの意見も得られ、ユニット(組み合わせ機械)を単位として予測する方法に多少の課題が残っている。

本研究は環境影響評価の事例調査、工事大気環境の現場調査および環境影響評価の実務担当者から寄せられた意見・要望に基づき課題として「技術手法の適用範囲の拡大」、「環境保全措置の検討」および「測定方法の検討」をとりあげ、対応策を検討するとともに今後の「予測用データのとりまとめ方針」を検討したものであり、円滑かつ適正な環境影響評価の実施を支援することを目的としている。

2. 技術手法の適用範囲の拡大に関する検討

土木施工の工種は多岐にわたっており、技術の進歩に伴って変化しつつ種類も増大している。予測可能なユニットを増やし適用範囲を拡大するためには実測データの充実とともにより合理的な予測用データの設定が必要である。今回、工事騒音確認するとともに、ユ

ニットの騒音について機械別の測定値による合成とユニットの測定値から機械別騒音を分析する方法の検討を行った。

2. 1 現地測定による予測用データの拡充

国土交通省では北海道開発局事業振興部機械課、各地方整備局道路部機械課、各公団および独立行政法人土木研究所が協力して平成10年度から現場での実測調査を継続している。図-1はデータ収集からとりまとめまでの一連の工程を図示したものであり、データ収集に適した現場を選定し、工事工程に合わせて測定を行う必要がある。工事は現場条件により影響を受ける要因が多いため多難な調査となる。

平成15年9月に騒音の予測用データの一部を改訂したが、今回、例として鋼管井筒基礎工の騒音をとりあげ、予測計算と実測結果を比較し、予測用データの拡充による効果を確認した。平成12年の技術手法(改訂前)に基づく予測においては鋼管井筒基礎工の予測用データが1種類であるが平成15年改訂版の技術手法(改訂後)に基づく予測では、鋼管井筒基礎工の予測用データが「油圧ハンマ」と「中堀工法」として細分された。転石混じりの硬質地盤における中堀工法による施工現場での実測結果と比較した結果、改訂前の予測用データによる予測値は実測値+約12 dBであるが、

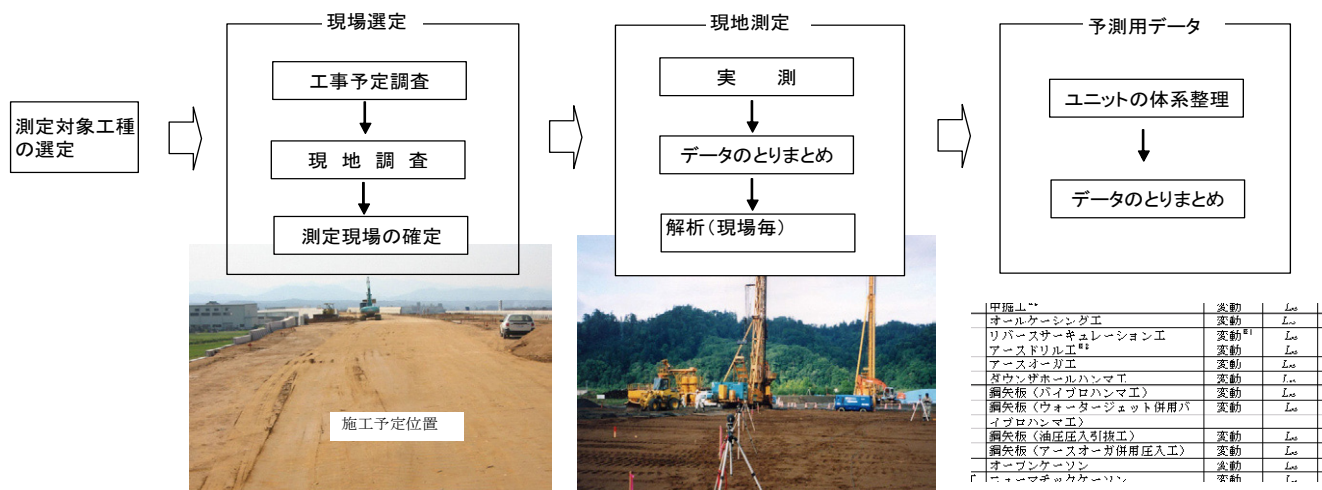


図-1 現地測定による予測用データの収集解析

改訂後のデータでは+約 1 dB となり予測精度の向上が確認できた。今後の予測用データのとりまとめ方針の検討結果については**5. 予測用データのとりまとめ方針**で記述する。

2. 2 ユニットの騒音と機械別の騒音

現行の予測手法においては図-2 のような複数の機械から構成されるユニットを1つの発生源とみなしデータ収集・予測を行っているが、ユニットの騒音を機械別の発生量から合成したり、複数の測定点における測定値から機械別の騒音を分析する手法について検討した。

理想的な条件では図-3 の式によりユニットの騒音を合成したり、ユニット内の機械別の騒音を分析できるが、騒音の伝搬には地表面での反射など複雑な要因が影響することや測定値に誤差が含まれる影響から、分析可能な条件が限定される。

今回、構内において既知の音源を使用して合成・分析の計算値と実測値を比較した。

合成については騒音 (A 特性実効騒音レベル) の計算値はほぼ実測値の±1.5dB の範囲に収まっており、妥当性が確認された。

分析については(1)騒音測定現場が平坦で障害物が少ないこと、(2)音源となる機械がある程度広がりをもって配置されていること、(3)個別機械の近接位置に騒音測定点の配置が可能であること等、条件を限定することで機械別の騒音発生量(A 特性実効音響パワーレベル)の算出ができる可能性が見出された。

3. 環境保全措置の検討

3. 1 環境保全措置の概要

環境影響評価の技術手法において記載されている環境保全措置のうち代表的なものを表-1 にまとめた。環境保全措置の定量評価は、工法変更のように予測用データの拡充によるものと、仮囲いの効果のように計算で行うものに大別できるが、定量評価が困難など不明な点がいくつか残されている。今回、典型的な環境保全措置について検討した。

3. 2 施工方法による対策 (現場内運搬工に関する環境保全措置の検討)

現場内運搬工についてダンプトラックの走行速度の制限による騒音・振動・粉じんの低減効果について

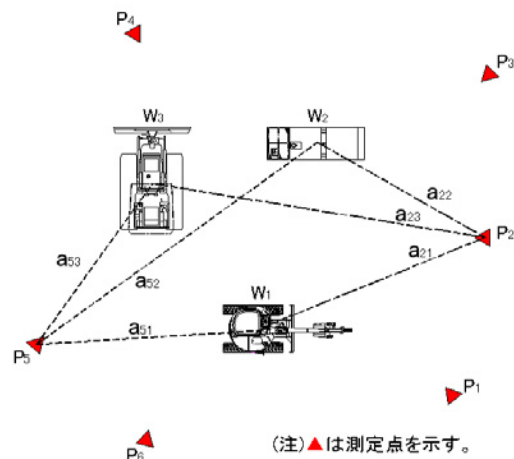


図-2 機械と測定点の配置例

$$\frac{1}{2\pi} \begin{bmatrix} 1/a_{11}^2 & 1/a_{12}^2 & \cdots & 1/a_{1n}^2 \\ 1/a_{21}^2 & 1/a_{22}^2 & \cdots & 1/a_{2n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{m1}^2 & 1/a_{m2}^2 & \cdots & 1/a_{mn}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{bmatrix}$$

音源と受音点の距離の逆数の2乗 音源のパワー 測定点の音の強さ

図-3 機械別の騒音と測定値の関係

表-1 環境保全措置のまとめ

環境保全措置	粉じん等	騒音	振動
環境影響の小さい工法への変更	◎	◎	◎
仮囲い等の設置	○	◎ 3.4	
機械配置の変更	◎	◎	◎
施工方法による対策	○ 3.2	○ 3.2	○ 3.2
散水	◎		
低騒音・低振動型機械の使用		○ 3.3	○

◎、○：環境保全措置。うち◎は現行において定量評価可能
数字は本報告における該当部分

調査した。現場内運搬工の騒音は、エンジン音が卓越しておりエンジン回転速度を低く抑えられる変速段を選択することで騒音が抑制される。構内実験の結果、図-4 のデータが得られた。走行速度 30km/h を 4 速で 15km/h に制限することで騒音発生量(A 特性実効音響パワーレベル)が約 8dB 低減している。振動・粉じんについても同様に調査した結果、走行速度 30km/h と 15km/h では、振動レベルは速度低下により約 6dB 低下し、粉じん濃度は約 1/10 に低減した。

これらの低減効果は舗装路における速度と発生量に

関する文献等から計算した値よりも大きく、現場内運搬工においては速度低下が環境保全措置として有効であることが確認できた。

3.3 発生源対策（低騒音型建設機械の使用）

低騒音・低振動型建設機械については指定基準により機械としての騒音振動の抑制効果は確認されているが、実工事における抑制効果は工事の条件等により異

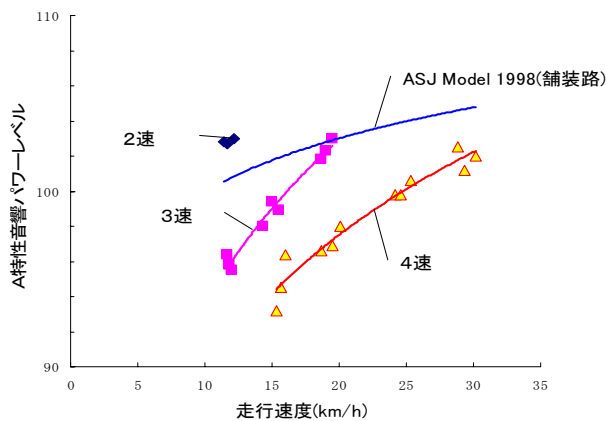


図-4 ダンプトラックの走行速度と騒音

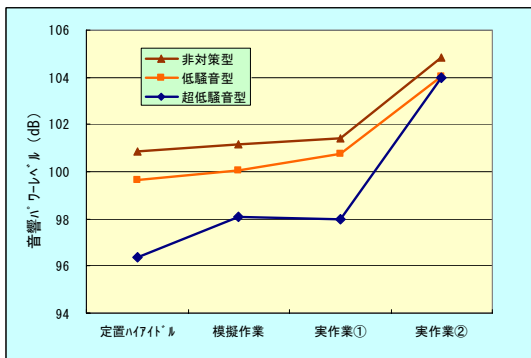


図-5 低騒音型建設機械使用の効果

なるため定量評価が困難である。

そこで、実作業における定量的な騒音対策効果を構内実験で確認した。実験対象機械は山積みバケット容量 0.8m³ のバックホウで非対策型、低騒音型、超低騒音型（騒音レベルが低騒音型の基準値より 6dB を超えて低減しているもの）の 3 種類とした。運転条件は、(1) 定置ハイアイドル、(2) 模擬作業（溝掘削→左旋回→排土→戻り旋回）、(3) 実作業①（通常の実作業）、(4) 実作業②（比較的ハードに運転）の 4 条件とした。騒音発生量（A 特性実効音響パワーレベル）の測定結果を図-5 に示す。実作業②を除いて、低騒音対策型建設

機械の効果が明らかとなった。実作業②はバケットから発生する衝撃音が卓越しており、低騒音型建設機械の効果は作業方法に留意しないと生かされないことがわかった。

3.4 伝搬経路対策

建設工事の騒音の遮音壁による効果は、音源、受音点、遮音壁の位置関係から算出するが計算に必要な音源高さのデータは未整備なため便宜的に 1.5m を仮定している。今回、電動バイブロハンマによる矢板の打ち込み時等の騒音源分布を測定し回折効果の計算値に与える影響について調べた。

図-6 は、電動バイブロハンマによる矢板打ち込み時の騒音レベル分布図である。図において横軸は、矢板の露出長さであり、実験開始が 10m で、終了時には露出長 1m となり矢板は 9m 打ち込まれている。縦軸は、測定点の高さを示したものである。矢板からの音の発生は少なくバイブロハンマが主な音源であり、矢板の打ち込みに従って、音源が下方に移動している。

これらの調査結果から高さ 3m の遮音壁について音源高さを 1.5m で試算すると予測誤差が 10dB 以上となる場合があり、遮音壁の効果の予測においては音源高さのデータが重要であることがわかった。さらに工事の騒音対策においては、遮音壁による伝搬経路対策だけでは効果が得られない場合もあるので代替工法による機械の変更など音源対策を総合的に検討することが必要であることがわかった。

また、防振溝の効果について試算を行い関東ローム（表面波速度がほぼ 90m/s）で 20Hz の振動源の場合、1m の深さの溝で 6dB の振動低減が図れることなどがわかった。

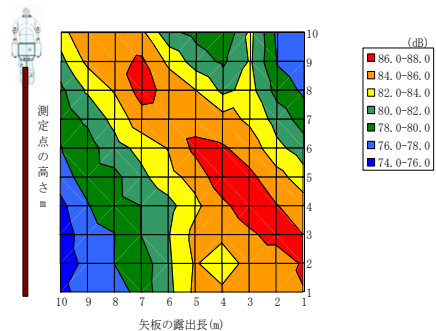


図-6 矢板打ち込み時の騒音発生源

4. 測定方法の改善検討

4. 1 大気質測定方法の改善案

建設工事から発生する粉じん等の測定においては、地形の影響や陸風・海風の関係で早朝と日中では風向が逆転するなど現場特有の風向を把握する必要がある。今回、降下ばいじんの測定について測定時間の短縮によるデータ数の増大と測定位置の適正化による測定精度の向上を目的として過去の測定データの整理、気象データとの比較を行い降下ばいじん測定方法の改善案を検討した。

まず、これまで計測された降下ばいじんの捕捉量の分布(1451 点)と計測器の精度の関係から測定時間は1日単位から半日単位に短縮することが可能であることがわかった。

次に、風向を予測する方法として(1)当日の気象、(2)前日までの気象、によって行う方法を比較した。設定風向と測定中の風向が 90° 以内で一致した確率は、(1)の方法では64.5%、(2)の方法では前日が59.6%、2日前が56%となった。このことから、(1)の方法を基本とするが、(2)を併用し測定前日の風向・風速を観測し、測定開始時刻と終了時の風向の変化など測定時間中の主風向を見極めることで風向を予測することとし、これまでの風向風速の事前調査を3日から1日に短縮することとした。

さらに、地上高さ1.5mと10mの風速(図-7)、風向の関係と風速のべき乗則(風速比が高度比のべき乗に比例)から地上10mでの風向風速測定を他の高さの測定に置き換えることが可能となった。

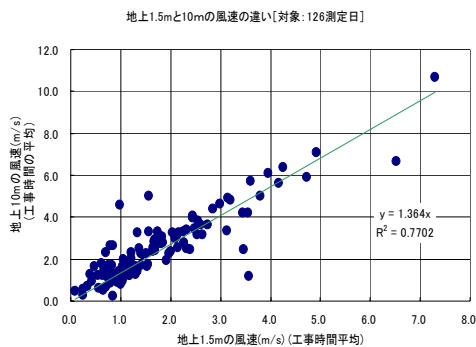


図-7 地上1.5mと10mの風速

4. 2 騒音測定方法の簡素化

騒音源データの収集のための実測調査では、建物あるいは土木構造物などが存在することが多い。今回、橋梁架設工事の現場を例として、複雑な現場条件において測定を簡素化する案について検討した。

まず、実際の橋梁架設現場におけるトラッククレーンの騒音の伝搬についてシミュレーションを行う(図-8)とともに反射音と直接音を比較し反射音が無視できる条件について試算し、実音源からの距離と虚音源からの距離の比が1:2以上のエリアを測定点とすることで反射音の影響度合いを1dB以内とすることができるとわかった。

またクレーン作業については、エンジン音が卓越しているため低騒音型建設機械の指定のための判定基準値が予測用データとして使用できないか検討した。判定基準値と現場での実測データを比較した結果、後者は4dB程度下回っていたが安全側(予測値が大きめ)の予測となるため、指定のための判定基準値を予測に使用することがわかった。

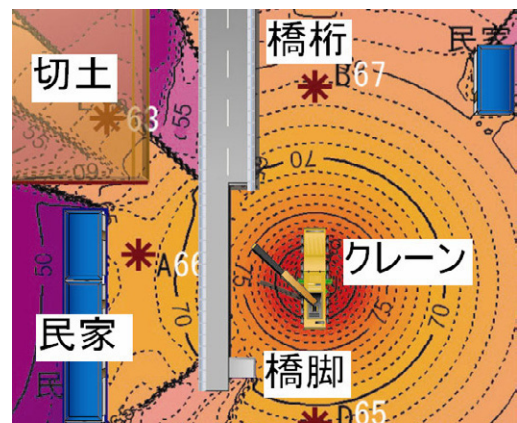


図-8 橋梁架設工事の騒音伝搬計算例

5. 予測用データのとりまとめ方針

予測用データについては追加公表を予定しており、とりまとめ方針について検討した。

5. 1 粉じん

工事の実施に伴う大気質については降下ばいじんを標準項目として予測することとしており、現行の予測手法においては図-9をモデルとした式(1)を基本としている。降下ばいじんの測定値については式(1)をあて

はめ最小2乗近似でパラメータ a , c を算出している。文献¹⁾の記載値においては距離減衰に関するパラメータ c は工事の種類ごとに 1.0～2.8 の間に分布しているが、測定値の近似値のため真の値とは限らない。

表-2 は「粉体噴射攪拌工」について測定回ごとに拡散のパラメータを解析したものである。距離減衰に関するパラメータ c は 1.5～2.1 の間に分布しているが、距離減衰の係数の 0.5 程度の違いは近似結果には影響しないと考えられる。表-2 でパラメータ c を 2.0 に統一して再解析し a の平均値を採用すると式(1)における「粉体噴射攪拌工」の代表値は(a , c)=(3,300, 2.0)となる。

一方、一般的なプルーム式では重力の影響を受ける降下ばいじんは式(2)、式(3)で計算される。拡散幅に Pasquill-Gifford の拡散幅の近似式における大気安定度 D 、落下速度を Stokes の式で比重を 3.0 として降下ばいじん量を試算し、距離減衰を(1)式のべき乗の形と比較した例が図-10 である。距離のマイナス 2 乗でよく

$$C_{d-ground} = \sum_{directions} \iint_R a \cdot u^{-1} \cdot x^{-c} dS \quad (1)$$

$C_{d-ground}$: 工事1日の降下ばいじん量($t \cdot km^2 \cdot 日$), $directions$: 風向頻度, R : 発生源のうち風向により予測地点の降下ばいじん量に影響する領域, a : 工事の種類ごとの定数, u : 風速(m/s), x : 微小領域 dS から測定点(予測地点)までの距離(m), c : 定数とし、測定点(予測地点)に影響する範囲は $\pi/8$ としている。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z - He + V_s \cdot x / u}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$C_{d sec} = C \cdot V_s \quad (3)$$

C : 粉じん濃度(mg/m^3), Q : 発じん量(mg/s), u : 平均風速(m/s), x : 風向に沿った風下距離(m), y : x 軸に直角な水平距離(m), z : x 軸に直角な鉛直距離(m), σ_y , σ_z : 水平(y), 鉛直(z)方向の拡散幅(m), He : 発じん箇所の高さ(m), V_s : 落下速度(m/s), $C_{d sec}$: 降下ばいじん量($mg/m^2 \cdot s$)

表-2 粉体噴射攪拌工の降下ばいじん解析値-測定現場ごとの解析値

	測定 1	測定 2	測定 3	測定 4	測定 5	測定 6	測定 7	平均
発生源の面積 (m^2)	559	48	564	564	567	567	385	465
パラメータ a	2,988	496	1,394	1,704	299	2,724	3,141	
パラメータ c	1.6	1.6	1.8	2	1.5	2.1	1.7	
平均風速 (m/s)	2.4	3.8	1.5	3.1	2.2	3.8	7.9	3.5
平均日射量 (kw/m^2)	—	0.25	0.068	0.2	0.28	0.13	0.41	
大気安定度		C	B	C	C	C	D	

表現できる。他の事例も同様の傾向であった。

以上から、降下ばいじんの距離による減衰は現場測定値および計算値の双方で発生源からの距離を x とすれば x^2 で表現できると言える。予測用データは工種ごとのパラメータ $c=2.0$ を基本とする予定である。

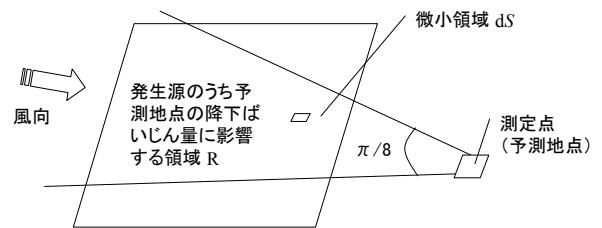


図-9 工事粉じんの予測

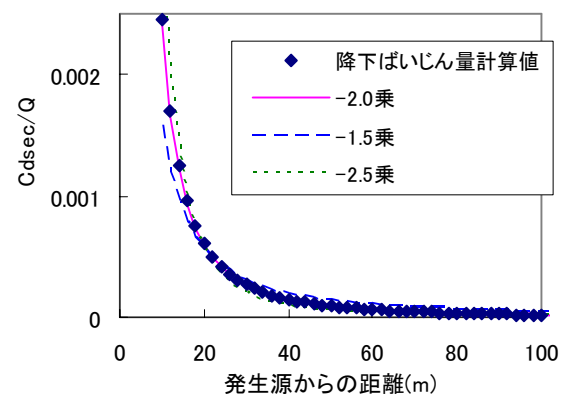


図-10 降下ばいじん計算例($u=3m/s$ $50 \mu m$)

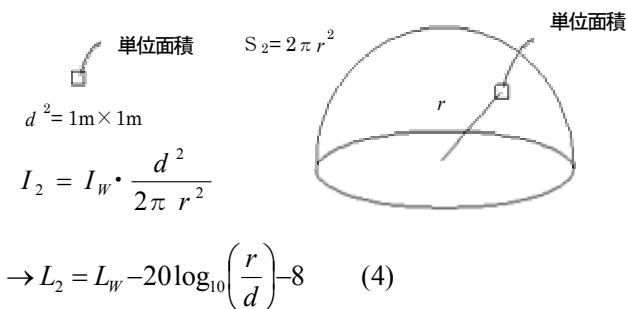


図-11 騒音の距離による減衰の考え方

$$\Delta L_g = \begin{cases} -K \log_{10} \left(\frac{r}{r_c} \right) & r \geq r_c \\ 0 & r < r_c \end{cases} \quad (5)$$

K, r_c : 音源, 予測地点の高さ, 地表面の状態で決定される係数

r : 発生源から予測地点までの距離(m)

5. 2 騒音

騒音予測は騒音のエネルギーが図-11 のように半球に拡散するとの仮定を基本としている。単位面積に音のエネルギーが集中した場合の音の大きさを I_w とすると音源からの距離 r では面積比で r^{-2} に比例してエネルギーが減衰する。騒音はデシベルに変換して表現するので計算式は(4)になる。環境影響評価においてはこれに地表面効果および回折による減衰を加算している。日本音響学会の建設工事騒音予測モデル²⁾によると地表面効果の計算式は(5)となるが予測用データは点音源を仮定できる距離を確保し、地表面の影響が少ない 30m 以下と目安とした位置での測定値から r^{-2} の減衰を仮定してとりまとめる予定である。

5. 3 振動

地盤を伝搬する振動に関しては等方等質の半無限弾性体とみなした波動方程式の解として P 波, S 波, レイリー波が存在することや内部減衰を経験的に取り入れた Bornitz の式で予測できることが知られている。工事振動の予測式は Bornitz の式で振動加速度を予測値

$$L_{va} = L_{va0} - 20n \log_{10}(r/r_0) - 8.68\alpha(r-r_0) \quad (6)$$

L_{va}, L_{va0} : 振動源から距離 $r[m], r_0[m]$ における

振動加速度レベル[dB]

とした式(6)を基本としている。

技術手法³⁾等においては $r_0=5m$ とし他のパラメータは測定値に基づき以下としている。 L_{va0} : 工事の種類ごとの固有値, $\alpha=0.001$ (固結地盤-岩, 玉石), $\alpha=0.019$ (未固結地盤-粘性土, 砂質土), $n=0.75$ (実体波 $n=1$ とレイリー波 $n=0.5$ の中間値)。

式(6)についての測定値は L_{va}, r , パラメータは L_{va0}, n, α である。筆者らは数多くの現場測定値を(6)式にあてはめ重回帰分析を行い幾何減衰係数 n については従来の 0.75 とレイリー波を仮定した 0.5 で予測精度に差がないことおよび未固結地盤では内部減衰係数 α は高周波パイプロ以外の平均値が 0.01 であることを報告しており⁴⁾, $n=0.75, \alpha=0.01$ を基本として予測用データを設定する予定である。

6. おわりに

「工事の実施」による大気環境への影響は、対象となる施工法や建設機械により様々な特徴を示し、非常に複雑である。また、建設技術の進展に伴い新たな工法や建設機械が開発されることにより変化していくことが予想される。このため、現場のデータ収集を基本として今後も継続的な実態の調査と予測方法の研究を続けていくことが必要である。また、これらの継続的な研究に加えて、環境保全措置の具体的な方法、事例について調査検討し、環境対策に直面する現場対応の参考となるようとりまとめて行きたい。

なお、本報告は国土交通省建設施工企画課をはじめとする各地方整備局等の調査結果によるところが大きい。関係者の皆様に深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所:道路環境影響評価の技術手法(その1), 土木研究所資料第 3742 号, 2000.12
- 2) 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
- 3) 建設省土木研究所:道路環境影響評価の技術手法(その2), 土木研究所資料第 3743 号, 2000.12
- 4) 吉永弘志, 吉田 正, 林 輝: 工事振動の発生と伝搬, (社)日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, 2004.9