総 説

振動の予測・評価の動向

早 川 清*・藤 森 茂 之**

はじめに

わが国に環境アセスメントが導入されて25年余経過し、この間、閣議決定要綱、地方公共団体の条例・要綱等に基づいて、多くの環境アセスメントが実施され、環境への悪影響を未然に防止するうえで重要な役割を果たしてきた。しかし、環境アセスメントの推進を位置づけた環境基本法の制定や環境問題に関する住民意識の向上、都市生活型公害の顕在化等の環境問題の変化などにより、現行環境アセスメントの問題点も指摘され、計画段階での環境アセスメントの導入、予測・評価の技術的向上等、より実効性のある環境アセスメントに改善・強化されつつある。

また、平成9年6月には環境影響評価法が制定され、平成11年6月から全面施行されることになっている。これまでの閣議決定要綱の環境アセスメントとは全く異なる環境アセスメントが行われることになるが、これに併せて地方公共団体の環境影響評価条例や要綱の見直しが進められている。

ここでは、以上のような背景を踏まえて、①振動の環境影響評価の実施事例の問題点と課題、②環境影響評価法技術指針に基づく振動の調査・予測・評価、③振動の予測手法の課題、④予測・評価の検討事例について若干言及することとした。

1. 振動の環境影響評価実施事例の問題点と課題^{1~4)}

都市環境問題の解決と持続可能な都市の実現に向けて、従来の閣議決定要綱等による振動の環境影響評価について留意する必要がある項目は以下のとお

りである。

- ① 現況調査については概ね適正に行われているものの、予測手法、評価手法が必ずしも確立されていないため、これらについてさらに研究が進められ、実用レベルまでブレイクダウンされることが望まれる。
- ② 予測については、予測モデルの精度・適用範囲・構築に関する問題、予測手法が確立していない問題、予測条件が不明確な問題、原単位のデータが不十分な問題、予測の不確実性の取扱いの問題等に分類される。特に、道路交通振動、地下鉄振動も含めて必ずしも確立された予測手法がなく、騒音に比べて予測精度が低い。また、振動の原単位の充実や予測結果の検証を踏まえた予測モデルの精度の向上に努める必要がある。
- ③ 道路交通振動については、予測手法が提案されているものの、1デシベルを議論できるような精度ではない。新設道路の予測によく用いられている建設省土木研究所の予測式については、全国の地盤を対象としていること、道路構造別の補正值があること等、汎用性があるものの、表1に示すとおり予測値が実測値に比較してかなり大きくなる場合のあることが指摘されている^{1,2)}。このため、表1の予測値とともに、予測対象地域での現地調査結果から求めた回帰式による予測を行う等、予測モデルについても検討することが望ましい。
- ④ 鉄軌道振動については、新たな振動の予測・評価手法を検討する必要がある。都市内の環境問題の解決のためには、新幹線だけでなく在来線についても環境保全対策の推進が必要である。鉄道の連続立体交差事業の推進および沿線土地利用の適正化など、都市側を含めた環境保全対策の検討が

* 立命館大学理工学部 Kiyoshi HAYAKAWA

** 中央復建コンサルタンツ(株) Shigeyuki FUJIMORI

表 1 大阪府下の幹線道路における予測事例

対象道路	道路構造	時間交通量 (台/時)	走行速度 (km/h)	地盤卓越 振動数 (Hz)	振動レベルの80%レンジ上端値 (L_{10}) (デシベル)		
					①実測値	②予測値	②-①
A (4車線)	平面	90~1,776	43~56	16	31~44	40~55 32~47	1~15 - 7~ 6
B (2車線)	平面	102~ 870	66~93	22	36~46	40~52 32~44	1~13 - 7~ 5
C (4車線)	平面	366~ 600	31~46	17	33~40	31~45 33~37	- 1~ 7 - 7~- 1
D (2車線)	平面	186~1,296	35~59	23	31~36	46~53 37~45	15~19 6~10
E (2車線)	平面	120~1,698	34~59	15	32~44	45~62 35~52	7~24 - 2~14
F (2車線)	平面	102~1,944	31~83	16	31~49	41~61 32~51	9~21 0~11

(注) 1. 予測値の上段は $\sigma=4.0$ mm, 下段は $\sigma=1.0$ mm と想定した場合 (σ は路面の平坦性の標準偏差値)

2. 予測値は, 建設省土木研究所の予測式を用いて求めているが, 大型車の換算台数は12台としている。

必要である。

- ⑤ 工場・事業場振動についても, 適切な予測手法について検討する必要があるが, 土地利用の適正化が最も重要な対策であると考えられる。
- ⑥ 建設作業振動については, 工事中の一過性のものであるが, その発生レベルは比較的大きく, 予測手法について検討するとともに, 周辺環境に十分配慮した工事計画の策定が必要である。

環境影響評価の実施事例からみた道路交通振動, 鉄軌道振動, 工場・事業場振動, 建設作業振動の振動発生源ごとの現況調査, 予測等の問題点および課

題は, 表2~4に示すとおりである。

2. 環境影響評価法技術指針に基づく振動の調査, 予測, 評価^{5~7)}

2.1 スコーピング

環境影響評価法は, 環境基本法対応の手続の工夫としてスコーピングを導入している。スコーピングとは, 環境アセスメントの調査, 予測, 評価の検討を事業者が行う前に, 環境アセスメントの項目や手法についてあらかじめ情報を公開して, 住民や専門家あるいは行政の意見を求める仕組みであり, その

表 2 現況調査の問題点と課題

項 目	問 題 点	今後の課題
道路交通振動	①振動レベル, 交通量, 走行速度, 大型車通過時の地盤卓越振動数の測定が行われるが, 予測値と実測値の比較検討のためには, 路面凹凸の標準偏差値を測定することも必要である。 ②現況調査内容が予測における地点, 時間帯, 範囲と対応していない場合があり, 現況調査結果と予測結果とが適正に比較検討できない。	・現況調査の一環として, 路面の平坦性(路面凹凸の標準偏差値)の測定が必要である。 ・現況調査を行う場合には, 予測・評価の内容を十分検討したうえで, 調査地点, 時期, 時間帯, 範囲を設定する必要がある。
鉄軌道振動	③線路から6.25m, 12.5m, 25m地点の振動を測定することが多いが, 都市内においては25m地点の振動測定は, その他の振動源によって影響を受けることが多い。	・適切な現況調査方法を選定する必要がある。
建設作業振動	④大規模な建設機械の稼働現場では, 個々の建設機械の稼働状況と振動レベルの関係が把握にくい。 ⑤調査地点は計画区域の敷地境界や周辺の住宅地等を選定しているが, 地形・地質の観点から選定されることが少ない。	・建設機械の稼働状況の設定方法について検討する必要がある。 ・地盤の状況に応じた調査地点の設定が必要である。

表3 予測の問題点と課題

項 目	問 題 点	今後の課題
道路交通振動	①建設省土木研究所の予測式は、適用範囲外の道路でもよく用いられている。現地調査結果から求めた回帰式による予測を行う方が適切な場合もある。 ②建設省土木研究所の予測式を用いた予測値と実測値との検証例が少ないこと、地盤振動は振動源から一様な距離減衰を示さないこともあるので、事後調査等によりデータ蓄積を図り、予測結果の検証に努める必要がある。 ③都市内において、今後半地下構造の幹線道路や立体交差においてアンダーパスの建設が見込まれるため、これらの道路構造に対する補正值が必要である。 ④閣議決定要綱による環境アセスメントの場合、地盤卓越振動数が15Hz以下であるものを軟弱地盤と呼んでいる。予測及び評価を行う環境要素の設定基準は「軟弱地盤地帯を通る区間で、計画路線周辺に住居等がある場合」となっている。	・予測モデルの選定に十分留意する必要がある。 ・予測結果の検証を行い、予測モデルの精度の向上に努める必要がある。 ・半地下構造等の予測が可能なように検討する必要がある。 ・地盤卓越振動数が15Hzを超える場合でも地域の実状に応じて予測を行う必要がある。
鉄軌道振動	⑤列車振動は、その発生・伝搬機構が複雑であり、予測手法は確立されていない。列車振動の予測は、実測結果をもとに、類推することが多い。 ⑥地下鉄の振動予測には、軌道条件、構築重量等を考慮した予測モデルが用いられているが、予測対象地域での補正を行いつつ適用している。	・新たな予測手法を検討する必要がある。
工場・事業場振動	⑦業種別の工場振動のデータや稼働率など、原単位が十分ではない。 ⑧振動源データが未整備であるため、定量的な予測が困難な機器がある。 ⑨適切に予測できる手法が確立されていない。	・原単位の充実を図る必要がある。 ・予測手法の検討が必要である。
建設作業振動	⑩予測手法が確立されていない。地盤に応じた距離減衰等の把握ができていない。 ⑪建設機械の稼働別振動レベルなど、振動の原単位が十分ではない。	・予測手法の検討、振動の原単位の充実が必要である。

表4 環境保全対策の問題点と課題

項 目	問 題 点	今後の課題
道路交通振動	①高架道路から発生する振動は、平面道路の場合と異なり、高架橋上部構造の固有一次振動数、走行車両のバネ上振動数とほぼ一致するような3～6 Hz付近の周波数成分及び伸縮装置付近で発生する10数 Hz 付近の周波数成分が卓越するのが一般的傾向であるといわれている。これらのうち、前者については上部構造の振動に対する剛性不足が主な要因と考えられ、既設道路の場合にはその対策は容易ではない。新設道路の場合には、発生源に近い伝搬位置に主桁を配置する等、上部構造の剛性(重量)を少しでも上げるよう工夫する必要がある。また、後者は車両が伸縮装置付近の段差と準応して発生するもので、対策としては路面の補修、伸縮装置の段差解消による平坦性の確保、床版端部部材の補強が有効な手段と考えられる。	・既設高架道路の環境保全対策について検討する必要がある。
鉄軌道振動	②既設の鉄軌道振動の苦情が多数発生しているが、抜本的対策が困難である。	・既設の在来線区間の実現可能な対策について検討する必要がある。
工場・事業場振動	③機器の防振対策や伝搬経路上の防振対策が示されるが、その具体的な効果が不明確である。	・環境保全対策を講じた場合の具体的な効果について、文献等を収集整理する必要がある。
建設作業振動	④低振動工法の採用などが主となっているが、実際に可能で適切な工法かどうかの説明が不十分である。	・個々の環境保全対策の効果を踏まえたうえで、工事内容や周辺の状況に応じた適切な対策を検討する必要がある。

目的は事業計画や地域の状況に応じて適切な項目・手法の選定を個別に行い、効率的でメリハリの効いた環境アセスメントを実施するためのものである。

従来の環境アセスメントについては、主務官庁や地方自治体から「技術指針」という環境アセスメン

トの実施方法のガイドラインやそれを補足するマニュアル、通達類がかなり詳細に示されており、それらに忠実に従って実施されてきたといえる。その結果、全国どこでも同じような項目・手法が採用されてきたが、合理的でない面があったことは否めない。

対象事業を実施しようとする者（事業者）は、環境影響評価の項目および調査等の手法の案を方法書にまとめ、都道府県知事・市町村長・住民等の意見を聴き、具体的な環境影響評価の方法を検討することになる。なお、住民等には地域的な限定はなく、環境の保全上の意見であれば誰でも提出が可能となっている。

2.2 調査手法・予測手法の基本的考え方

振動を含む「環境の自然的構成要素の良好な状態の保持」に関する項目の手法として備えるべき基本的考え方は、表5に示すとおりである。

調査・予測にあたっては、以下の点に十分留意することが重要である。

- ① 項目の特性、事業特性、地域特性を踏まえて、調査手法（調査すべき情報の種類、調査の基本的な手法、調査地域、調査地点、調査期間・時期・時間帯）、予測手法（予測の基本的な手法、予測地域、予測地点、予測時期・期間・時間帯）を選定する。
- ② 調査手法の留意事項としては、情報の出自・妥当性の検討、環境影響の少ない手法の選択等が挙げられる。

げられる。

- ③ 予測手法の留意事項としては、予測の前提条件等の整理、将来の環境の状況の検討、予測の不確実性の整理等が挙げられる。

2.3 評価の考え方

- ① 絶対評価型（環境保全目標の達成）から相対評価型（環境影響の回避低減）へ。
- ② 国等により環境保全の目標（たとえば環境基準）が示されている場合には、これとの整合性も検討。
- ③ 予測の結果、環境影響を及ぼすおそれがある場合、環境保全措置を検討。
- ④ 評価手法は、複数案の比較検討、実行可能なより良い技術の導入の検討等により行う。

2.4 環境保全措置の検討

- ① ミティゲーションの発想の導入（表6参照）。
- ② 環境影響の回避・低減、国等の環境保全の目標の達成に努めることが目的。
- ③ 回避、低減を優先し、必要に応じて代償措置を検討。
- ④ 環境保全措置の効果、残る影響、他の環境要素への影響などを整理。

表5 環境要素の区分ごとの調査・予測・評価の基本的考え方⁵⁾

環境の自然的構成要素の良好な状態の保持	環境基本法第14条第1号に掲げる事項の確保を旨として、当該選定項目に係る環境要素に含まれる汚染物質の濃度その他の指標により測られる当該環境要素の汚染の程度及び広がり又は当該環境要素の状態の変化（構成要素そのものの量的な変化を含む。）の程度及び広がりについて、これらが人の健康、生活環境及び自然環境に及ぼす影響を把握。
〈大気環境〉 ・大気質 ・騒音 ・振動 ・悪臭	・地下水 〈土壤環境・その他の環境〉 ・地形・地質 ・地盤
〈水環境〉 ・水質 ・底質	・土壌 ・その他

表6 アメリカ国家環境政策法（NEPA）における環境保全対策の分類⁵⁾

行 為	定 義
回 避 (Avoidance)	行為の全体または一部を実行しないことによって影響を回避すること
最小化 (Minimization)	行為の実施の程度または規模を制限することにより影響を最小化すること
修 正 (Rectifying)	影響を受けた環境そのものを修復、再生または回復（復元）することにより影響を修正すること
軽減／消失 (Reduction／Elimination)	行為期間中、環境を保護及び維持管理により、時間を経過して生じる影響を軽減または消失すること
代 償 (Compensation)	代替の資源や環境を置換または提供することにより影響を代償すること

- ⑤ 代償措置を検討する場合には、回避・低減が困難であること、代償する環境要素の種類・内容(位置を含む)を整理。

2.5 事後調査

- ① 予測の不確実性、環境影響の重大性に応じ、工事中および供用開始後の環境の状態等の把握のための調査(事後調査)の実施を検討。
- ② 事後調査の項目・手法、公表の方法、調査結果により環境影響の程度が著しいことが明らかとなった場合の対応の方針等を整理。

2.6 環境影響評価法に基づく建設省所管事業に係る主務省令による環境影響評価項目等選定指針⁶⁾

① 位置づけ

- ・法第11条第3項の規定によ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に係る主務省令。
- ・基本的事項(平成9年12月12日環境庁長官公表)を踏まえ環境庁長官協議を経て制定。
- ・事業者が、事業特性と地域特性、方法書に対する知事・住民意見を踏まえ、当該事業における環境影響評価の対象とする項目と調査、予測、評価手法を選定するための指針である。

② 事業特性及び地域特性に応じた環境影響評価の項目及び手法の選定

- ・事業者は、事業特性と地域特性、方法書の知事・住民意見を踏まえ、環境影響評価を行う項目、調査手法、予測手法、評価手法を選定しなければならない。
- ・環境影響評価の項目の選定については、主務省令で示す標準項目に必要に応じ追加、削除を行うことにより行う。また、調査・予測手法の選定については、省令で示す標準手法に必要に応じ重点化(標準手法より詳細な手法)、簡略化(標準手法より簡略化された手法)することにより行う。

③ 評価の手法

- ・現行の閣議決定要綱による環境アセスメントではあらかじめ設定した環境保全目標に照ら

し評価を行っていたが、環境影響評価法によるアセスメントでは、環境影響が事業者により実行可能な範囲内でできる限り回避され、又は低減されているか等及び環境基準等と調査・予測結果との間に整合が図られているかの観点からの評価を行う。

2.7 道路事業に係る環境影響評価の技術指針⁷⁾

道路事業に係る環境影響評価の技術指針に関する省令によると、振動は標準項目として挙げられており、その調査の手法、予測の手法の標準手法については表7、8(次ページ)のとおり記述されている。

3. 振動の予測手法の課題^{8~12)}

振動の予測手法は、必ずしも確立されているとは言えない。振動発生源に関する問題点、伝搬経路に関する問題点および受振点に関する問題点を含み、多くの課題が未解決の現状にあると言えよう。振動発生源別の特徴および振動の予測手法については、既存の文献に詳しくまとめられているので、それらを参照されたい^{10,12)}。本項では、振動の予測手法の課題について、既存の文献等を参考に、主として実務的立場からの解説を加えることとした。

3.1 新たな技術指針等への期待

閣議決定要綱では、技術指針において詳細に決め過ぎていたために、新しい技術の開発や適用を遅らせていたことも考えられる。予測の前提条件等を詳細に記載することにより、新しい技術の適用も可能な技術指針とし、予測の不確実性については事後調査による確認・検証を行うことが重要である。

技術指針のマニュアルは、新しい技術の情報提供や技術の定期的な見直しを行うとともに、工場・事業場の各種機械や建設機械の振動レベル等の原単位を記載することにより、建設機械等の振動対策や技術開発に貢献するものと期待される。

また、技術指針のマニュアルには、標準手法としての予測式、適用方法等の具体的な解説と予測式の感度分析についても記載することが重要と考える。

3.2 振動の予測手法の課題

振動の予測は、予測対象範囲が限定されているものが多く、一般化されにくい。このため、参照とすべき信頼性の高い手法が確立されていないこともあり、他の予測手法との比較による相互チェック等が欠如している面がある。

表 7 標準手法

(標準手法)

- 第八条 事業者は、対象道路事業に係る環境影響評価の調査及び予測の手法（標準項目に係るものに限る。）を選定するに当たっては、各標準項目ごとに別表第二に掲げる標準的な調査及び予測の手法（以下この項及び別表第二において「標準手法」という。）を基準として選定しなければならない。この場合において、事業者は、次項に定めるところにより必要に応じ標準手法より簡略化された調査若しくは予測の手法（同項において「簡略化手法」という。）を選定し、又は第三項に定めるところにより必要に応じ標準手法より詳細な調査若しくは予測の手法（同項において「重点化手法」という。）を選定するものとする。
- 2 簡略化手法は、次の各号のいずれかに該当すると認められる場合に選定するものとする。
- 一 当該標準項目に関する環境影響の程度が小さいことが明らかであること。
 - 二 対象道路事業実施区域又はその周囲に、当該標準項目に関する環境影響を受ける地域その他の対象が相当期間存在しないことが想定されること。
 - 三 類似の事例により当該標準項目に関する環境影響の程度が明らかであること。
 - 四 当該標準項目に係る予測及び評価において必要とされる情報が、標準的な調査の手法より簡易な方法で収集できることが明らかであること。
- 3 重点化手法は、次の各号のいずれかに該当すると認められる場合に選定するものとする。
- 一 事業特性により、当該標準項目に関する環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあること。
 - 二 対象道路事業実施区域又はその周囲に、次に掲げる地域その他の対象が存在し、かつ、事業特性が次のイ、ロ又はハに規定する標準項目に関する環境要素に係る相当程度の環境影響を及ぼすおそれがあるものであること。
 - イ 当該標準項目に関する環境要素に係る環境影響を受けやすい地域その他の対象
 - ロ 当該標準項目に関する環境要素に係る環境の保全を目的として法令等により指定された地域その他の対象
 - ハ 当該標準項目に関する環境要素に係る環境が既に著しく悪化し、又は著しく悪化するおそれがある地域

表 8 別表第二 標準手法（第八条関係）⁷⁾

標準項目		標準手法	
環境要素の区分	影響要因の区分	調査の手法	予測の手法
振 動	建設機械の稼働	一 調査すべき情報 地盤の状況 二 調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析 三 調査地域 振動の伝搬の特性を踏まえて振動に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域 四 調査地点 振動の伝搬の特性を踏まえて調査地域における振動に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる地点 五 調査期間等 振動の伝搬の特性を踏まえて調査地域における振動に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる期間及び時期	一 予測の基本的な手法 事例の引用又は解析 二 予測地域 調査地域のうち、振動の伝搬の特性を踏まえて振動に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域 三 予測地点 振動の伝搬の特性を踏まえて予測地域における振動に係る環境影響を的確に把握できる地点 四 予測対象時期等 建設機械の稼働による振動に係る環境影響が最大となる時期
	資材及び機械の運搬に用いる車両の運行	一 調査すべき情報 イ 振動の状況 ロ 地盤の状況 二 調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報（振動の状況については、振動規制法施行規則（昭和五十一年総理府令第五十八号）別表第二備考 4 及び 7 に規定する振動の測定の方法を用いられたものとする。）の収集並びに当該情報の整理及び解析 三 調査地域 振動の伝搬の特性を踏まえて振動に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域	一 予測の基本的な手法 振動レベルの八十パーセントレンジの上端値を予測するための式を用いた計算 二 予測地域 調査地域のうち、振動の伝搬の特性を踏まえて振動に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域 三 予測地点 振動の伝搬の特性を踏まえ

	<p>四 調査地点 振動の伝搬の特性を踏まえて調査地域における振動に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる地点</p> <p>五 調査期間等 振動の伝搬の特性を踏まえて調査地域における振動に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる期間、時期及び時間帯</p>	<p>て予測地域における振動に係る環境影響を的確に把握できる地点</p> <p>四 予測対象時期等 資材及び機械の運搬に用いる車両の運行による振動に係る環境影響が最大となる時期</p>
自動車の走行	<p>一 調査すべき情報 イ 振動の状況 ロ 地盤の状況</p> <p>二 調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報（振動の状況については、振動規制法施行規則別表第二備考4及び7に規定する振動の測定の方法を用いられたものとする。）の収集並びに当該情報の整理及び解析</p> <p>三 調査地域 振動の伝搬の特性を踏まえて振動に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域</p> <p>四 調査地点 振動の伝搬の特性を踏まえて調査地域における振動に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる地点</p> <p>五 調査期間等 振動の伝搬の特性を踏まえて調査地域における振動に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる期間、時期及び時間帯</p>	<p>一 予測の基本的な手法 振動レベルの八十パーセントレンジの上端値を予測するための式を用いた計算</p> <p>二 予測地域 調査地域のうち、振動の伝搬の特性を踏まえて振動に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域</p> <p>三 予測地点 振動の伝搬の特性を踏まえて予測地域における振動に係る環境影響を的確に把握できる地点</p> <p>四 予測対象時期等 計画交通量の発生が見込まれる時期</p>

表9 振動の予測・評価手法における問題点と課題⁹⁾

項 目	問 題 点	今後の課題
発 生 源	<ul style="list-style-type: none"> 振動源の原単位(振動レベル、周波数特性、地盤特性、加振力、波動、振動パワー等)が体系的に整備されていない。 振動源の形状設定が一般化されていない。 振動源(交通量、走行速度、機種、機器)の条件が不備である。 	<ul style="list-style-type: none"> 振動源ごとの原単位に材料等(ダンピング特性、土質定数、波動係数等)も含めて体系的にデータベース化を図る。 振動発生要因の明確化と適用範囲の適正化を図る。
伝 搬 経 路	<ul style="list-style-type: none"> 波動の設定(縦波、横波、表面波)が適切でない場合がある。 地盤の地層構成(入射、反射、屈折、共振等)が適切に考慮されていない。 土質の内部減衰(粘性、履歴、摩擦、逸散)が考慮されていない。 媒質の構造的変化(埋設物、井戸、断層、河川、暗渠等)が考慮されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 防振溝・防振壁の回折・反射の実用的減衰量を提示する。 内部減衰の適用範囲の適正化を図る。 媒質の構造的変化による影響を体系的に定量化する。 屋内振動場に対する振動源の影響を考慮する。
受 振 点	<ul style="list-style-type: none"> 地表面(アスファルト、地面、コンクリート、砂地、草地、土間)による違いの体系化が行われていない。 木造家屋(基礎、板間、畳、タイル、フローリング)による違いの体系化が行われていない。 階数による違い。 	<ul style="list-style-type: none"> 予測範囲拡大での波動伝搬を把握する。 代表点、特定点でのメッシュユニットのズーム化を図る。 深さ方向の振動性状を把握する。 住宅構造別の振動増幅の体系化を図る。 住宅基礎条件による振動の影響を考慮する。
評 価	<ul style="list-style-type: none"> 発生源ごとに振動の大きさの決定方法が異なっている。 発生源ごとに評価値が異なっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 総合評価システムの確立と事後の適正な運用・指針の明確化を図る。 対象振動に対する「振動の大きさの決定」の再検討が必要である。

振動の予測・評価手法における問題点と課題は表9（前ページ）に示すとおりであり、今後、振動を予測するために取り組むべき課題について以下に列挙する。

(1) 振動源の特性把握

振動の予測にあたっては、発生源の振動特性を十分把握することが重要であるが、振動発生源の原単位が、騒音ほど整備されていないため、発生源別に使用できるデータは存在していない。発生源の特性の調査手法を確立することにより、測定データのデータベース化を図る必要がある。

(2) 振動の距離減衰の特性把握

振動の距離による減衰特性は、波動の種類および伝搬媒体の減衰特性に依存している。各種振動源からの振動は発生振動の波動の種類、周波数特性が異なっているものと考えられる。伝搬経路としての地盤表面を伝搬する波動には、縦波、横波、実体波、表面波、複合波（縦波、横波、表面波の複合）がある。また、振動源位置と予測地点までの幾何的な形状も伝搬に影響を及ぼしている。土質の内部減衰や障害物による変化が考慮された振動源別の減衰特性が明らかにされていく必要がある。

(3) 地盤特性と発生振動量

振動の発生源特性、伝搬特性は、地盤特性との関係が強く、地盤特性の指標としては、N値や弾性波速度を用いる試みが行われている。どの指標が振動との関係を適切に表すかは、共通した認識ができていないため、地盤特性の指標と発生源特性、伝搬特性を整理する必要がある。

(4) 振動影響の予測・評価

振動は、物的な影響、人体への生理影響、心理影響を及ぼすものであり、これらの影響を予測するためには、地表から家屋内部への振動伝搬、家屋内部での振動測定・評価手法を確立する必要がある。受振点は、敷地境界線、建築物内部、人体等であるが、建物の振動増幅の定量化に関して、その増幅量の違いを構

造別に体系化し、その構造物と基礎地盤の相互作用についても体系化する必要がある。振動の場合、特に、家屋内部での振動の感覚閾値について明らかにする必要があり、予測される振動がどのような影響をもたらすかを評価することが重要と考える。

(5) 予測手法の信頼性の向上

環境アセスメントにおける振動は、近距離の地盤振動であり、それは、振動発生源→伝搬経路→受振点のプロセスの中で取り扱われる。振動発生源ごとに、多くの予測手法が提案され、利用されているが、まだ信頼性を向上するまでには至っていない。理論的な裏付けとともに、多くの経験から明確にすべき項目は、表10に示すとおりである。

予測結果については、環境部局等によって検証できることが必要であり、特に、解析的な手法を用いる場合には、その手法と解析条件を明確にしておく必要がある。また、既存の手法との結果を比較することで、予測手法相互の関係を明らかにしていくことが重要である。

4. 予測・評価の検討事例^{13~15)}

4.1 道路交通振動予測式の適合性に関する検討事例¹³⁾

1で述べたように、 L_{10} の実測値と建設省土木研究

表10 振動の予測に当たって明確にすべき項目と課題¹⁰⁾

項 目	内 容	課 題
①波動の種類	縦波、横波、実体波、表面波、複合波	①既存の予測手法と数値解析的な方法をハイブリット的に組み合わせる
②振動源の形状	点振源、線振源、面振源等	②ISO、JISなどの方法による振動発生源データの蓄積によるデータベース化
③物理係数	伝搬速度、減衰定数、損失係数、ポアソン比、N値	③GISによる地盤情報の制度化
④土質の種類	シルト、ローム、砂礫、腐植土、粘性土、沖積土、洪積土	④合理的な予測範囲の適正化
⑤減 衰	幾何、内部（粘性、摩擦）	⑤予測モデルの適正化
⑥障害物	埋設物、側溝、構造物基礎、トンネル、地下構造物等	⑥予測方法の設定条件（予測に当たっての基本的な方針、利用するデータ及び利用する予測式の複数化）
⑦受振点	人間、動植物、構造物、敷地境界線、実験施設等	⑦予測精度の検証（モニタリングシステムの構築）
⑧レベル表示	振動加速度レベル、1/3オクターブバンドレベル	
⑨構造物	木造系、軽量鉄骨系等	
⑩評 価	人体反応、規制基準値、日常生活に支障がないこと等

図一 1 L_{10} と路面凹凸

所の予測式（以下「土研式」という）による予測値との適合性を検討した結果、予測値が実測値よりかなり大きい結果となっている。そこで、予測精度の向上のための一試案として、土研式の等価交通量以外の補正項を固定して、等価交通量 Q と L_{10} との関係式の修正を試みた。

土木研究所によると、平面道路の予測基準点における道路交通振動の振動レベル L_{10} の予測式は、以下のとおりである（ただし、 $\sigma \geq 1.0$ mm, アスファルト舗装, $f \geq 8$ Hz の条件とする）。

$$L_{10} = 65 \log(\log Q) + 6 \log V + 4 \log M + 14 \log \sigma - 20 \log f + 35$$

ここに、 Q ：等価交通量（台／500秒）、 V ：車速（km／h）、 M ：車線数、 σ ：路面凹凸の標準偏差（mm）、 f ：地盤の卓越振動数（Hz）である。

簡単のために検討位置を予測基準点に限定し、車速 40 km／h、車線数 4、 $\sigma = 1.0$ mm、アスファルト舗装、地盤の卓越振動数 16 Hz の基準条件を想定した。補正項のうち、特に σ の寄与する影響が大きい。そこで、プロフィール・メータによる σ 値が実測されている大阪市内のデータを用い、 σ 値と L_{10} との相関を調べたものが図一 1 である。データのばらつきが大きく、相関係数 $r = 0.50$ とそれほど対応性は良く

図一 2 平坦性によるレベル補正值

ない。しかし、 σ にかかる係数は 12 となるので、土研式中の係数 14 とほぼ同様と考えられる。

次に、京都市内の結果との照合を可能とすために、車載振動計による凹凸指標 σ' を σ に対応づけることを考えた。図一 2 は、車載振動計による凹凸指標 σ' と相対レベルの関係を既往のプロフィール・メータによる σ 値との関係に対応させたものである。 $\sigma = 1.5 \sim 3.5$ mm の範囲では、土研式による補正量との差は 2 デシベル以下であるので、 σ' を σ の代用値として適用した。

以上の検討結果から、等価交通量 Q と L_{10} との関係は図一 3（次ページ）に示すとおりである。大阪府内のデータについては、調査年度で内容に相違があるので区別して示している。これらより、修正式と相関係数（ r ）は、以下のように求められる。

大阪府（昭和 52 年のデータ）

$$L_{10} = 47 \log(\log Q) + 23 \quad (r = 0.715)$$

大阪府・市（昭和 60, 61 年のデータ）

$$L_{10} = 47 \log(\log Q) + 26 \quad (r = 0.658)$$

京都市

$$L_{10} = 65 \log(\log Q) + 5 \quad (r = 0.685)$$

大阪府・市のデータでは、 Q の係数がいずれも 47 となり、京都市のデータでは土研式と同様の係数 65 が得られた。次にこの修正式を用いて、実測データに各補正項を加味して求めた実測値と予測値との関係は、図一 4（次ページ）に示すとおりである。予測値は実測値より 2 デシベル程度大きくなる傾向が

図ー3 等価交通量と L_{10} の関係

図ー4 実測値と予測値の関係

図ー5 予測誤差の度数分布

みられ、適合度が改善されている。一方、大阪府・市内の全データについての土研式と修正式による予測誤差の分布は図ー5に示すとおりである。いずれの式によっても誤差の分布は-10~-20デシベルとなり、かなり広範囲に渡っている。しかし、平均誤差は土研式によると4.4デシベル、修正式では-0.1

デシベルとなり、予測精度の向上がみられる。

4.2 振動感覚の評価に関する最近の検討事例

関西地域では、平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災以降、高速道路、新幹線のいずれについても振動に対する苦情が急増している。これらを勘案して、阪神高速道路公団および兵庫県によって、震災後には振動感覚に関する調査・検討が進められてきている。これらの内容は、環境影響評価にとっても貴重な事例であるので、ここでそれらの概要を紹介する。

表11 振動評価指標 (案)

「家屋内におけるXYZ振動 (V Lピーク) の最大値」: 家屋内V L (xyz: max)
ただし、
測定位置: 家屋内部屋中央
測定時間及び時間帯: AM5:00~6:00の60分間 (10分ごとの最大値の算術平均値)
体感補正: xyzの全方向でJIS C1510の鉛直補正と水平補正値を算出し、大きい方を採用する

(1) 阪神高速道路公団による検討事例¹⁴⁾

阪神高速道路公団では、平成7年から道路交通振動対策検討会を設置して、道路交通振動対策技術の現状と問題点を把握するとともに、種々の観点から検討を行っている。現状での道路交通振動の評価値である L_{10} 値と住民の苦情との対応が良くないことを吟味するために、アンケート調査結果を用いて振動感覚と振動量との関係を判別分類している。これらの検討結果より、表11の振動評価指標 (案) を提案している。

(2) 兵庫県による検討事例¹⁵⁾

山陽新幹線の全面復旧後、被災地域の沿線住民から、新幹線による振動に対する苦情が急増したことから、兵庫県保健環境部環境局大気課・公害研究所は、緊急調査を実施している。主な調査項目は、地盤および家屋での振動調査とアンケートによる住民の意識調査である。これより、主要な結果のみを述べると、以下のようになる。

- ① 被災地域の沿線住民は、震災後の新幹線による振動を大きく感じている。しかし、調査結果からは震災前後の振動値はほぼ同様であった。
- ② カテゴリー判断法による検討から、居住者の50%が苦情を申し出る振動値は、およそ54デシベルから50デシベルであった。

おわりに

振動の発生源ごとの予測手法が、多くの研究成果により提案され、日常的に利用されている。今後とも、国際的な動向についても情報収集を行いつつ、新たな科学的知見を導入した予測手法の研究が盛ん

になり、汎用性があり、確実な精度を持つ振動予測手法が提案されることが重要である。予測・評価の課題は、振動によって生活環境がどのような影響を受けるかであり、環境影響評価としては、その影響を回避・低減するため、実行可能な最善の技術あるいは過大なコスト負担のない利用可能な最善技術が環境保全対策として採用されたかを見極めることと考える。振動の予測・評価とその影響に関する研究がさらに推進されることが期待される。

参考文献・引用文献

- 1) 早川清, 藤森茂之: 道路交通振動の予測・評価の現状と課題, 道路交通から発生する騒音振動の予測及び評価に関する研究報告書 (土木学会関西支部共同研究グループ「道路交通騒音振動研究会」) (1995), pp.33~46.
- 2) 早川清: 交通振動の予測, 環境技術, 25(9), (1996), pp.522~525.
- 3) 塩田正純: 環境アセスメントに係わる騒音・振動の全般的な問題点, 日本音響学会平成9年度春季研究発表会講演論文集 (1997), pp.713~716.
- 4) 藤森茂之: 環境アセスメント実施事例からみた騒音・振動の調査, 予測, 評価の問題点, 日本音響学会平成9年度春季研究発表会講演論文集 (1997), pp.729~732.
- 5) 環境庁企画調整局環境影響評価課: 環境影響評価法について (1998).
- 6) 建設省大臣官房技術調査室: 環境影響評価法に基づく主務省令等の概要 (1998).
- 7) 建設省: 道路事業に係る環境影響評価の技術指針について (1998).
- 8) 西村正直: 技術指針に望むもの, 騒音制御, 22(2) (1998), pp.85~88.
- 9) 塩田正純: 騒音・振動の予測手法の現状と課題, 騒音制御, 22(2) (1998), pp.89~96.
- 10) 塩田正純: 環境振動予測手法の現状, 環境振動予測手法の現状と適用事例 (技術レポート第20号) (1997), pp.11~15.
- 11) 横田明則: 環境振動予測手法の課題と動向, 環境振動予測手法の現状と適用事例 (技術レポート第20号) (1997), pp.51~56.
- 12) 高木興一, 塩田正純: 環境アセスメント, 騒音制御, 20(4) (1996), pp.64~75.
- 13) 早川清: 交通機関を発生源とする地盤振動の軽減対策に関する研究, 大阪大学学位論文 (1993).
- 14) 阪神高速道路公団・(財)阪神高速道路管理技術センター: 平成8年度道路交通振動対策委員会報告書 (1997).
- 15) 兵庫県保健環境部環境局大気課・公害研究所: 山陽新幹線復旧後の振動に関する緊急調査結果報告書 (1996).