

◆ 環境影響評価特集 ◆

工事中に発生する振動の予測手法

持丸修一* 村松敏光**

1. はじめに

振動は、機械から発生した振動が、地盤や空気を伝わって、建物を揺らしたり、人に感じられるが、その程度が大きいと公害を引き起す。環境基本法において、いわゆる「典型7公害(大気の汚染、水質の汚濁、土壤の汚染、騒音、振動、地盤の沈下及び悪臭)」について規制することが定められており、振動については、振動の発生に関し、事業者等の遵守すべき基準を定めることとされている。

地盤を伝わる振動については、振動規制法が制定されており、一般に発生源から離れるほど振動が減衰することから、敷地境界における振動レベルを規制することによって、環境の保全を図るようになっている。

工事中の振動を対象とした環境アセスメントについては、一部の地方公共団体で条例に基づいて実施されてきたが、基準となる振動レベルや距離減衰の中で無視できない地盤の内部減衰などが体系化されていなかったため、同類の工事に使用される機械の近傍(機械からの距離は統一されていない)における振動レベルの測定事例をもって予測値とする方法が取られてきた。

そこで、筆者らは、建設工事を工種単位で捉え、基準となる距離(基準点距離)を設定することによって、工種による違いを明確にした。この基準点距離による振動レベルを、積算体系での分類など、アセスメント実施時の工事計画に対応できる形で整理した。さらに、一般的の車両に工事用車両が混入する際の予測方法を整理した。

なお、低周波空気振動については、振動規制法の制定時に、早急な法制化等に努めることが付帯決議されている。しかし、筆者らが公表されている評価方法について比較したところ、単一の尺度では評価が困難で、その影響についても不明な点が多いなどから具体的な規制には至っていないと考えられる。

Method for Predicting Vibration from Construction Site

2. 建設工事による地盤振動

2.1 現状と課題

工事振動については、工事中に発生する建設機械の走行や作業で発生する振動が地盤に伝達されたり、杭打ちや掘削などのように作業部分が地盤に作用して振動を発生し、伝播していくことが知られている。しかし、物体の振動が空気の振動(音)に変換される過程については、放射インピーダンスとして物理的な研究がなされているが、振動の発生から地盤に至る伝達の過程は複雑で、解説されていない。振動の発生過程を単純化した重錐落下による特性把握の試みがなされているが、再現性のあるデータは得られていない。

地盤振動の発生から伝播に至る過程を模式的に示したものが図-1である。振動発生のエネルギーをパワーレベルとすれば、地盤へ伝わるところでインピーダンスが働く。更に、発生源近傍では、減衰が大きく、計測値が不安定であることから、大きな振幅になっていることにより、非線形の大きな減衰が発生していると推定される。その後の伝播過程は線形化が可能な比較的安定したものになっている。

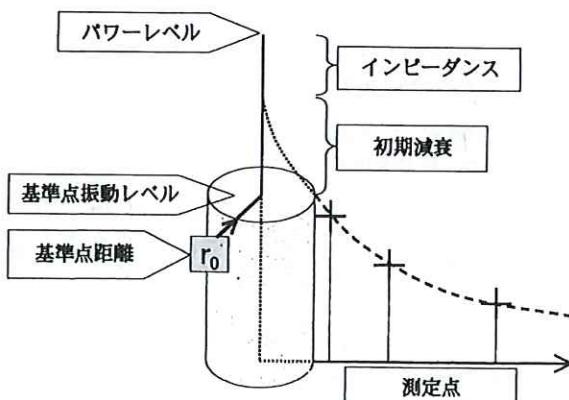


図-1 基準点振動レベルの概念

また、機械の近傍は危険を伴うこともあり、機械から一定の距離(基準点距離)をおいた地点の値を持って振動の発生レベルとして処理してきた。この基準点距離について、土木研究所においては、

7mを標準としてきたが¹⁾、現場条件によって異なったり、距離の基点を機側に置く場合や、杭中心などの発生源の中心に置く場合など、多種多様なデータが混在する事例も少なくない。

2.2 基準点距離

基準点距離は、各工種に共通して用いるものであり、ここでの値が工事を代表する必要がある。さらに、工事ヤードが敷地境界に接する場合に、基準点距離における振動レベルの値をもって予測値とすれば、予測に伴なう作業が容易になると考えた。

組み合わせ機械や、単独機械の最小作業半径(図-2(a))よりも振動源となる機械が敷地境界に近づくことはないと想定される。また、1日で移動する作業は振動規制法の対象とならないことから、1日の作業を対象とした振動レベル L_{10} は、1日の作業範囲を均等に作業し、発生する振動レベル、距離減衰が一定と仮定すると、1日の作業面積の10%に相当する範囲の周辺における作業による振動レベルに対応させることができる(図-2(b))。なお、振動規制法施行規則では、「測定器の指示値が不規則かつ大幅に変動する場合は、五秒間隔、百個又はこれに準ずる間隔、個数の測定値の八十分率レンジの上端の数値とする」と規定されている。これらの分類方法については、本誌の工事中に発生する騒音の予測手法の表-1を参照されたい。

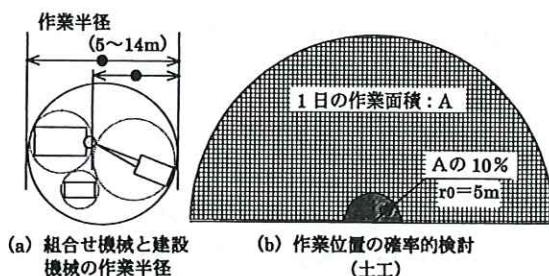


図-2 基準点距離導出の考え方

表-1 構造区分毎の工種の設定例

構造区分	土工	橋梁・高架	トンネル
工種	道路土工	橋台・橋脚工	掘削・支保覆工
	地盤改良工	橋梁架設工	舗装工
	法面工	舗装工	
	擁壁・カルバート工	構造物撤去工	
	舗装工		
	構造物撤去工		

図-2の考え方について、いくつかの工法を検討したところ、組み合わせ機械または単独機械による作業半径については5~14mとなった。1日の作業面積を想定した時の L_{10} に対応する面積の半径については、土工の掘削を想定して検討したところ、図-2(b)に示すように、 $r_0 = 5m$ となった。また、既存のアセスメント事例において、建設機械の最近接点の位置が敷地境界から5mになっていることも勘案し、基準点距離を5mとした。

2.3 発生原単位

振動のような波動現象においては、エネルギーで評価されたものについては複数の発生源からのものを足し合わせができるが、確率的な評価をされたものについての足し合わせは物理的に不可能である。地盤振動については、 L_{10} で評価されているため、複数の機械からの振動を予測地点で合成することはできない。一方、ほとんどの建設工事が複数の機械の組み合わせで行われており、アセスメント時点では、表-1に示すように、構造の区分に対応する標準的な工法とそれに対応する標準的な機械の組み合わせを想定するのが限界である。このため、標準的な組み合わせ機械による作業時の振動を、振動発生の原単位にすることとした。

実際の工事における振動レベルの測定は、組合せ機械の中で最も大きな振動を発生するものを中心とし、関連する機械を含めた作業範囲の周囲に4点、このうちの1点の方向に、倍距離ごとにこれを含めた3点の6点で計測を行った(図-3)。

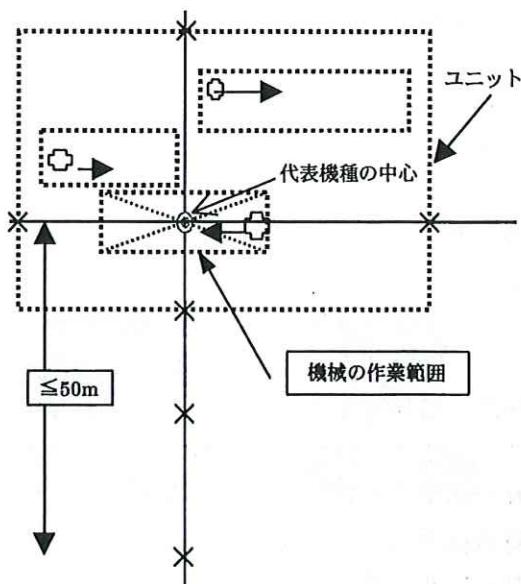


図-3 計測位置の概要

この実測において、異なる計測条件の下で得られたデータから標準的な値を導出するため、次の2方法を検討した。

- ①最近接点(最も大きな振動を発生する機械に一番近い測定点)までの内部減衰を無視して、最近接点のデータから基準点振動レベルを導出
- ②平均的な内部減衰を適用して、各測定点のデータから導出した基準点振動レベルの平均値

①については、最近接点のデータが正しく、全体を代表できることが前提となるが、最近接点が必ずしも標準的な値になっているわけではなかったことから、②の方式とした。

ここで、ある測定点における振動レベルを予測する式を以下に示す。

$$L_r = L_{r0} - 20 \log(r/r_0)^n - 8.68\alpha(r - r_0) \quad (1)$$

ここに、

L_r : 測定点における振動レベル (dB)

L_{r0} : 基準点振動レベル (dB)

r : 最も大きな振動を発生する機械から測定点までの距離 (m)

r_0 : 基準点距離 (5m)

n : 距離減衰係数

α : 内部減衰係数

この式では、レイリー波(地表面を伝わる振動の波)の場合は $n = 0.5$ となり、実体波(地中を伝わる振動の波)の場合は $n = 1$ になる。建設工事による振動においては、発生源が地表面または地表面の近傍であることや、発生源と振動を受ける地点の距離があまり遠くないことから、中間的な性質が見られる²⁾ため、 $n = 0.75$ とした。

なお、地震では、地中を伝わる横波である S 波と縦波である P 波があり、距離が離れている時には P 波の方が S 波より早く到達し、減衰の大きい P 波より S 波が問題となる。レイリー波は、S 波よりもわずかに遅い伝播速度になることが知られている。しかし、発生源からの距離が小さい公害振動では、これらの波がほぼ同時に伝達するため、中間的な特性を示すことになると考えられる。

式(1)により、基準点振動レベルの算出と算出された基準点振動レベルから α の平均値を求める計算を繰り返して、収束した α を用いて、基準点振動レベルを導出した事例を、図-4 に示す。

さらに、ここで得られた結果について、既存の

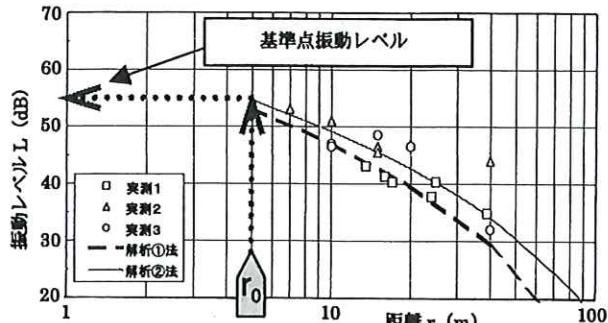


図-4 土砂掘削実測データ解析結果

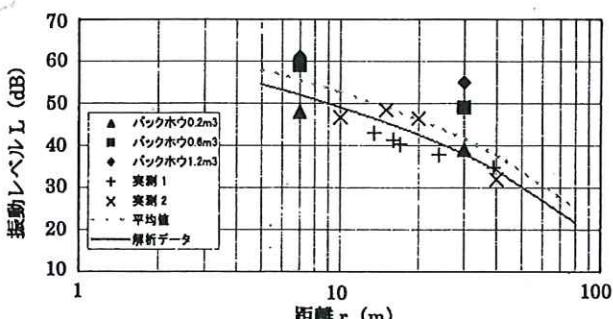


図-5 既存データとの比較(土砂掘削)

機械単体での振動のデータ³⁾と比較した。その一例は図-5 に示す。この事例では、解析結果の値は既存の機械単体での振動レベルより若干低めであるが、移動している主たる振動発生源を含む組合せ作業振動としては、妥当な値が得られている。

2.4 内部減衰係数の設定

内部減衰係数は、上記のように基準点振動レベルの設定に合わせて導出した。具体的には、基準点振動レベル(平均値)と各測定点の振動レベルから算出される値の平均値を基準点振動レベルの算出に適用し、これを繰り返し計算した結果の収束値を用いた。

なお、固結地盤(岩)と未固結地盤の砂質土、粘性土等の土質に分類して、2.3 で述べた方法により内部減衰係数を試算したが、未固結地盤については、軟弱な地盤ほど減衰しにくいなどの既知の傾向が反映されなかったこと、土質による差が小さかったことから、固結地盤と未固結地盤の 2 分類とした。それぞれの値は、0.001 及び 0.019 になった。

3. 資機材の運搬による地盤振動

一般の道路交通に工事用車両が混入することによって、道路交通振動のレベルを押し上げる場合

は、増加する車両を現在の交通量に加えることによって、道路交通振動のレベルを予測することができる。しかし、このような方法をとると、道路の状況等によっては、現状の交通による実際の振動レベルより小さい値や、極端に大きい値を示すこともあり得る。

このため、現況の道路交通振動のレベルに、工事用車両による寄与分を加える方法をとることとした。すなわち、図-6に示すように、現況の道路交通量から算出される振動レベルと、工事用車両が混入した交通量から算出される振動レベルの差を、現況の振動レベルに加えることによって、工事用車両混入時の道路交通の振動レベルとする。ただし、現況交通量が予測式の適用範囲の下限以下のときは、工事用車両混入時の予測値を持って評価することになる。

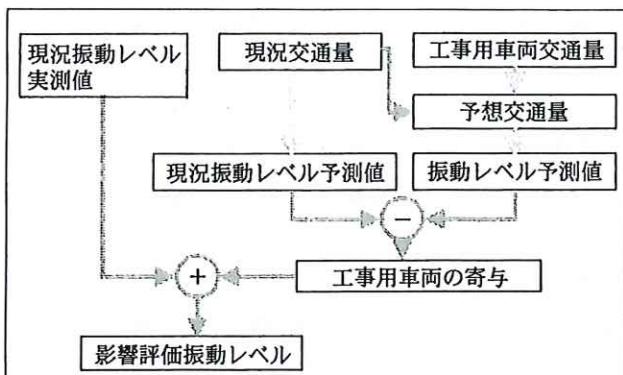


図-6 工事用車両混入時の道路交通振動の予測

この方法では、工事用道路から既供用の道路に混入した後に、2方向に分かれる場合であっても、合流地点については全ての工事用車両が通過する実態に合い、ここから離れたところについては安全側の予測になる。したがって、ルートと台数を設定できる場合は、設定された計画に従って予測することになる。

なお、工事用道路の合流個所は、事業着手後に地域の状況を十分把握したうえで決定されるのが一般的で、アセス実施時に合流個所を特定することは困難である。そこで、合流を予定している区間の標準的な断面で予測することになる。

4. まとめ

今回提案した方法によって、異なる測定条件のデータから、内部減衰を考慮して、基準点振動レベルが求められ、内部減衰係数の設定も可能になった。今後実測データを充実し、基準点振動レ

ベルデータの補充、内部減衰係数の統計解析を進めていくこととしている。また、実工事における予測精度の向上を図るとともに、振動レベルの合成手法についても検討を進めていきたい。

おわりに、終始的確な御助言をいただいた時田保夫先生((財)空港環境整備協会、航空環境研究センター、所長)をはじめとした道路環境アセスメントマニュアル振動検討委員会の皆様、そして、本調査にご協力いただいた地方建設局、日本道路公団、首都高速道路公団、名古屋高速道路公社及び工事関係者の皆様に厚くお礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：建設騒音及び振動の防止並びに排除に関する調査試験報告書、土木研究所資料、第1523号、昭和54年10月
- 2) 塩田正純：公害振動の予測手法、井上書院、1986.
- 3) (社)日本建設機械化協会、「建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック」など

持丸修一*



建設省土木研究所
材料施工部機械研究室
主任研究員
Shuichi MOCHIMARU

村松敏光**



同 機械研究室長
Toshimitsu MURAMATSU