

都内の建設工事および道路交通に伴う地盤振動の傾向

Ground Vibrations due to Urban Construction Works and Traffics

鈴木 清美 (すずき きよみ)

東京都土木技術研究所 技術部道路研究

杉本 隆男 (すぎもと たかお)

東京都土木技術研究所 地象部施工管理研究

1. まえがき

地盤のゆれは古くから地震に伴う震動として多くの研究が実施されている。一方、環境評価の一つに振動がある。この振動は、人為的な原因により地盤に励起された動きを対象としている。また地震等の自然災害と比較するとそのエネルギーは大変小さいものである。しかし、その頻度は多く、都市生活の中では苦情の一つとなっている。このような振動についての検討は、地震等と比較すると最近のことである。特に生活している人が感知する振動については、その評価の面から検討され、昭和48年にその単位(振動レベル, dB)、測定方法および計測器の規格化等が行われた^{1)~3)}。この規格では、振動の種類をその発生源によって分類し、その対応を示している。

ここでは、このような振動を対象とした東京都内における工事に伴う振動と道路交通振動の測定結果について述べる。

振動の測定方法は、JIS Z 8735(振動レベル測定方法)に準拠し、その上、記録計を用いて結果の記録を行っている。

2. 工事に伴う地盤振動

2.1 振動の大きさと減衰

工事に伴う振動の大きさは、振動レベルで表示され、その単位はdBである。地震と異なる理由は、主に評価対象を人の感覚量としているためである。参考に振動レベルで表示した振動のめやすを表-1に示す⁴⁾。

表-1 振動のめやす

振動の大きさ (dB)	めやす	気象庁震度階	
85~90	家屋が激しく揺れ、すわりの悪いものが倒れる。	IV	中震
75~85	家屋が揺れ、戸、障子がガタガタと音を立てる。	III	弱震
65~75	大勢の人に感ずる程度のもので、戸、障子がわずかに動く。	II	軽震
55~65	静止している人だけに感ずる。	I	微震
55以下	人体に感じない程度。	0	無感

工事に伴う振動は地盤を媒体として周辺に伝播する。そして、振動の大きさは、伝播に伴い小さくなる。この状態の一例を示すと、図-1のとおりである。

この図はジャイアントブレイカーと振動ローラーの稼

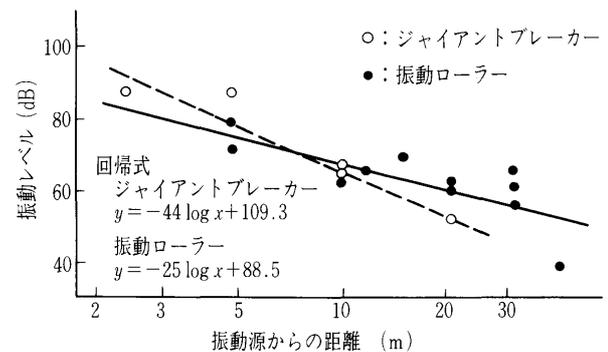


図-1 振動の距離による減衰

動中の振動測定結果である。縦軸は振動の大きさを振動レベルで表示し、横軸は振動源の位置から測定点までの距離である。

図中の点が測定値の散布状況であり、一般に右下がりの傾向を示すことが多い。この下がり程度の程度が振動の距離による減衰の状態(距離減衰)を表示しており、地盤および振動源の特性によって変化する。

この減衰特性の一般的な傾向は、次式に示される回帰式から求めることも可能である。

$$Y = A \log(X) + B \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Y : 振動源から X m 離れた地点の振動レベル

X : 振動源からの距離

式中の A が振動の減衰の程度を示している。

振動レベルの距離減衰を示す時には、 A のほかに、(2)式で表示されるような、振動源からの距離が2倍になったときの減衰量で示すことが多い。ここでは、特にこれを減衰係数と呼びその単位を dB/D.D と記述する。

$$\text{振動の減衰係数} = A \log(2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

図-1のジャイアントブレイカーの例における A は-44.0であり、振動の減衰係数は、-13.2dB/D.Dである。

一方、式(1)の B は振動源から 1 m 離れた地点における振動の大きさを表示している。

工事に伴う振動の大きさを比較、検討する場合は、この B を用いることもあるが、工事に伴う振動の振動源は、ある面的な大きさを持つために、実用面を考慮し、振動源から10m離れた地点の振動の大きさを示す数値が用いられることも多い。ここでは特に、この振動源から10m離れた地点における振動レベルの大きさをパワーレベルと呼ぶこととする。

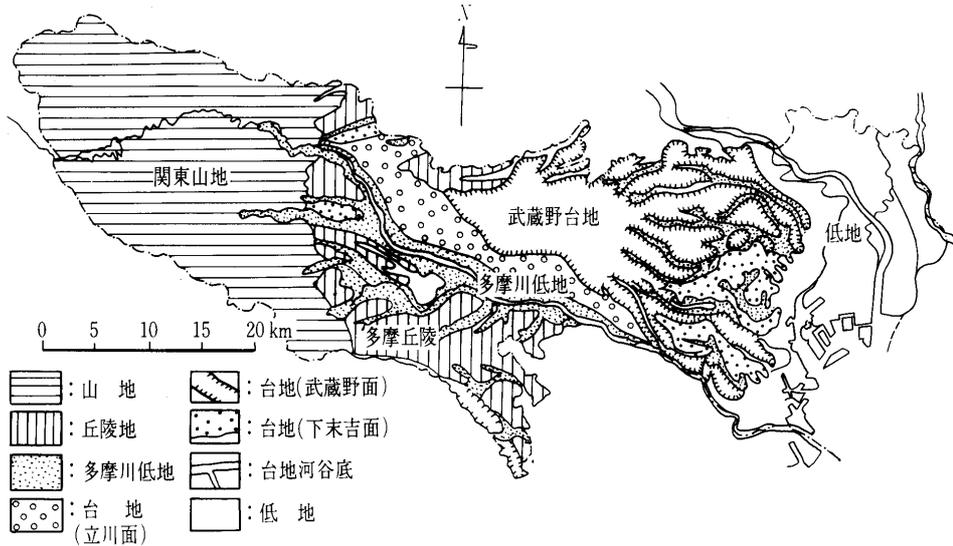


図-2 都内の地形区分

2.2 調査データと地形区分

東京都建設局では「工事に伴う環境調査要領」に従い、各工事に併行して騒音、振動、地盤変形、地下水変化、家屋等の調査を実施し、工事に伴う周辺環境の変化を予防するとともに、工事の施工管理に必要な安全管理を行っている。ここでは、この「調査要領」に基づいて実施された振動測定結果を用いて検討したものである。

東京都全域を国土地理院の地形図をもとに区分すると、図-2に示すように山地、丘陵地、多摩川低地、台地(立川面、武蔵野面、下末吉面)、台地河谷底、低地の8種類に区分される⁵⁾。

地盤の振動はこれらの地形を構成する表層地質により、その特性が異なると考えられる。台地の表層面は関東ローム層であり、 N 値は2~6、弾性波速度 $V_s = 300$ m/s、低地の沖積層では N 値は0~4、弾性波速度 $V_s = 150$ m/s と言われている⁶⁾。

ここでは、台地と低地(河谷底を含む)の調査データについてまとめた。

2.3 バイブロハンマーの振動特性

振動測定の対象となる施工は、その大部分がバイブロハンマーによる杭打ち作業である。そこで、バイブロハンマーの施工に伴う振動特性について、地形区分(台地と低地)と作業形態(杭の打込みおよび引抜き)別に検討した。

図-3は、台地におけるバイブロハンマーを用いた杭

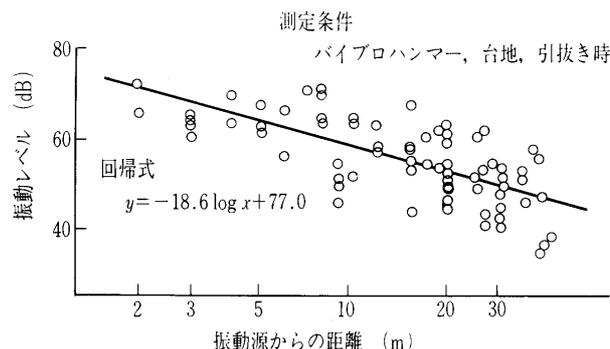


図-3 バイブロハンマーによる振動の減衰特性

引抜き作業に伴う測定値の散布状況とこれらデータの回帰式を示したものである⁷⁾。

減衰係数は、 -5.6 dB/D.D であり、一般的な点振源の場合の -6 dB/D.D と同程度であり、バイブロハンマーの振動は施工箇所1点から四方伝播していることを示している。また、振動源から10m離れた地点のバイブロハンマーに伴う振動の大きさ(振動レベル)は、 58.4 dB、20mでは 52.8 dBと推定される。

このような回帰式等の計算処理を、バイブロハンマーについて、地形と作業形態別に行った結果が

表-2 バイブロハンマーによる振動特性

地形	作業形態	減衰係数	パワーレベル	相関係数
台地	打ち	-5.3	66.2	0.67
	抜き	-5.6	58.5	0.7
	打抜き	-5.3	63.2	0.62
低地	打ち	-4.2	62.7	0.45
	抜き	-4.3	61.4	0.53
	打抜き	-4.2	62.2	0.48

表-2である。

これによれば、台地におけるバイブロハンマー施工に伴う振動の減衰係数は、 -5.5 dB/D.D に近い値を示している。そして、その大きさは作業形態による差はほとんど認められない。パワーレベルは打込み時 66.2 dB、また引抜き時 58.5 dB程度である。

一方、低地では、その作業形態によらず、減衰係数 -4.2 dB/D.D およびパワーレベル 62.0 dB程度である。

このような結果から、バイブロハンマーの施工に伴う振動には、次のような傾向が認められる。低地におけるその振動は、台地に比較して減衰が小さく、遠方まで伝播する。パワーレベルは、台地における打込み時、低地の打込み引抜き時および台地の引抜き時の順で小さくなっている。

このことは振動特性には関東ローム層および沖積層の密度や粘性が大きく影響していると思われる。

2.4 バイブロハンマーの機種別減衰係数とパワーレベル

前項のバイブロハンマーの振動特性は、その仕様を考慮せずに検討した。そこでバイブロハンマーに伴う振動特性について、その機種の仕様が明示されているものを抽出して、機種別に検討した。

データの整理方法は前述のとおりである。

図-4は台地におけるバイブロハンマー機種A-40とA-80の測定値の散布状況と回帰式である。これから求めた減衰係数はA-40が -4.5 dB/D.D であり、A-80は -6.0 dB/D.D である。また、パワーレベルは 62.0 dB、

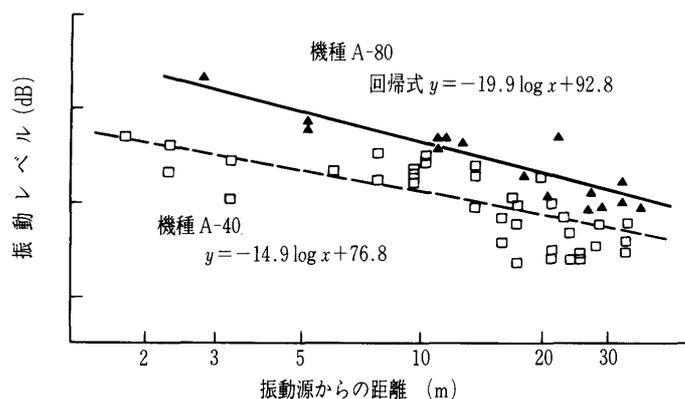


図-4 機種別バイブロハンマーによる振動の減衰特性
72.9dBであった。

同様に処理をしたバイブロハンマーの機種別減衰係数とパワーレベルをまとめると表-3のようになる。

表-3 機種別バイブロハンマーによる振動特性

機種	地形	減衰係数	パワーレベル	相関係数
D	台地	-6.1	57.8	0.78
C	台地	-2.7	65.9	0.88
A-40	台地	-4.5	62.0	0.78
	低地	-4.2	54.2	0.56
A-60	台地	-5.7	62.1	0.54
	低地	-4.8	60.7	0.57
A-80	台地	-6.0	72.9	0.89
	低地	-3.5	62.6	0.44
B-40	台地	-6.5	71.6	0.63
B-80	台地	-12.8	72.0	0.96

これによれば、台地でのバイブロハンマーによる振動の減衰係数とパワーレベルは、施工機械の容量が大きくなると減衰係数およびパワーレベルの値も大となる。また、同一機種では、低地より台地の方がそのパワーレベルは大きい。すなわち減衰係数およびパワーレベルは、施工機械の容量に比例しているようである。

表-4 施工機械別振動の伝播特性

施工機械	地形	台地		低地	
	種類	減衰係数	パワーレベル	減衰係数	パワーレベル
バイブロハンマー	未分類	-5.3	63.2	-4.2	62.2
アースオーガー	不明	-6.7	46.7	-	-
ベント	20-THC	-2.3	68.6	-	-
大型ブレイカー	不明	-11.2	65.2	-	-
ジャイアントブレイカー	未分類	-7.5	63.5	-7.8	67.2
ブレイカー	IS-018S	-	-	-5.0	58.9
バックホー	不明	-9.0	59.8	-6.5	68.6
タイヤローラー	不明	-	-	-4.8	50.1
マカダムローラー	不明	-	-	-6.2	50.2
振動ローラー	SG25	-	-	-13.2	65.3
ニブラー	HD-770E	-4.9	65.8	-	-
パクラ	SPAC-07	-5.9	56.1	-	-
油圧式圧砕機	不明	-	-	-7.2	69.0
コンクリートミキサー	不明	-7.2	42.7	-	-
トラック	未分類	-3.0	47.0	-	-
ダンプカー	不明	-6.7	47.6	-5.6	46.0
トラッククレーン	不明	-6.3	45.0	-	-
ブルドーザー	不明	-10.0	70.0	-	-
超重量物運搬車	不明	-4.5	38.5	-	-

2.5 その他の施工機械による振動の減衰係数とパワーレベル

バイブロハンマーに伴う各数値は前述のとおりであるが、そのほかの施工機械による各数値についても同様な計算を行った。前出の図-1はジャイアントブレイカーと振動ローラーの施工に伴う例であるが、振動源からの距離によりその大きさは変化しており、施工機械により振動特性が異なっている。

前出のバイブロハンマー以外にも、その測定件数は少ないが各種施工機械による振動測定の結果が報告されている。そこでそのほかの施工機械による振動の減衰係数とパワーレベルの結果を示すと表-4のとおりである。なお、表の値については、データ数の少ないものも含まれており、実測例ではあるが一般的な傾向を示しているとは限らない。

3. 道路交通振動

3.1 地盤の卓越振動数

地盤固有の振動特性は、その地盤の卓越振動数によってよく表されるので、性状の異なる沖積の軟弱粘性土層、洪積の関東ローム層および砂礫層の三つの地盤を選び、それぞれ江戸川区長島町（都道318号線）、調布市深大寺町（都道246号線）、昭島市田中町（都道29号線）において調査した。

地盤の卓越振動数の把握には、起振機を用いた振動レベル計による振動測定および高感度振動レベル計による常時微動測定を行った。

その結果、各地盤の卓越振動数は、軟弱粘性土層（江戸川）では2~3 Hz、関東ローム層（調布地区）では10 Hz 付近、砂礫層（昭島地区）では20 Hz 付近であり、その地盤特性の差がみられた⁸⁾。

3.2 地盤の相違と道路交通振動の関係

大型積載車を40 km/hの速度で高さ30 mmの段差上を走行させたときに発生した、3地区における加速度レベルの振動数分布は図-5のとおりである。江戸川地区では3 Hz 付近に、調布地区では10 Hz 付近に、また昭島地区では20 Hz

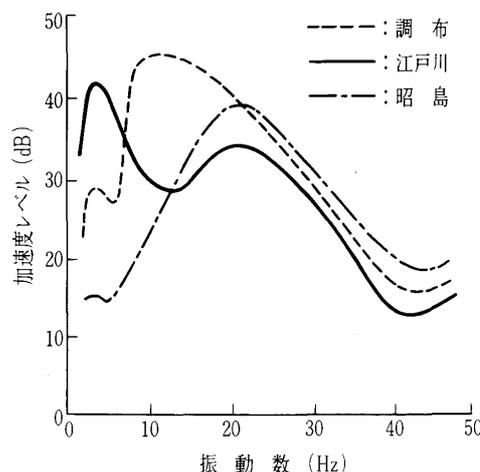


図-5 道路交通振動の振動数分布

付近にピークをもっている。これらの振動数はそれぞれの地盤の卓越振動数とよく一致している。

このことは、道路を大型積載車が走行する場合、地盤の卓越振動が発生し、増幅することを示しており、道路交通振動が基礎地盤の振動特性に密接に関係していると考えられる。

3.3 道路交通振動の大きさ

地区別の道路交通振動の大きさについてみると、表-5のとおりであり、調布地区（関東ローム層）が最も大きく、ついで江戸川地区（軟弱粘性土層）、昭島地区（砂礫層）の順になっている。この振動の大きさは、平坦な路面を走行する自動車の走行に伴う振動である。一方、路面に三角段差を設置し、その上を走行する場合の振動測定も行っている。この場合も、各地区いずれもその大きさは増加し、特に10~12 Hzにおける増加量が著しく、その増加分は20~26 dB（加速レベル）にも達した。

表-5 道路交通振動の大きさ

地区名	単位 (dB)				
	走行車線からの距離 3 m	5 m	10m	20m	30m
江戸川	68	65	61	59	59
調布	74	71	71	65	60
昭島	60	57	53	45	44

このことは、地盤に作用した衝撃的な力が、車体のばね下固有振動数（約11 Hz）により、10~12 Hz 付近で特に大きな加速度レベルの増加が生じていることを示している。

すなわち、道路交通振動の大きさは、路面の状況および自動車の車体振動数にも影響を受けている。

3.4 道路交通振動の距離減衰

振動の距離減衰は、地盤の特性による減衰と距離が遠くなることによる幾何減衰の二つで表現されるが、これをレベルに変換した次の近似式で距離減衰を表示することを試みた。

$$Y = A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \log X \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 Y ：振動源からの距離 X における振動レベル

X ：振動源からの距離

A_0 ：各地区の基準レベル

A_1 ：地盤の特性を表す係数

A_2 ：振動の幾何減衰を表す係数

走行速度20~40 km の大型積載車による測定結果から近似式による係数を求めた。これによれば、道路路線直角方向3~30mの距離減衰の平均値は、下記のとおり

であり、地盤の卓越振動数が低い江戸川地区の減衰が一番小さく、卓越振動数の高い昭島地区の減衰が一番大きい。

$$\text{江戸川地区 } Y = A_0 + 0.06 \cdot X - 10.5 \log X$$

$$\text{調布地区 } Y = A_0 + 0.14 \cdot X - 9.7 \log X$$

$$\text{昭島地区 } Y = A_0 + 0.26 \cdot X - 10.2 \log X$$

なお、道路交通振動の距離減衰は、伝播する舗装構造、地盤および地形などによっても複雑に変化するので、それぞれ個々の地点に応じて、この関係式を考慮する必要がある。

4. あとがき

都内における工事および道路交通に伴う振動測定結果を用いて、その特性について述べた。振動特性に影響する要因は、振動の発生状況、伝播状況、受振状況それぞれに数多くあり、一般的な傾向を把握することは簡単ではない。工事に伴う振動では、施工機械によって発生する振動の特性が異なる。また道路交通振動では、路面状況のみでなく、地盤、車体構造にも影響を受けている。

そのため、振動問題の解決には、まず現地の測定を行い、その場所の特性を把握することも各種対策等を検討する上には重要なことである。

最後にこのような振動に対する一般的な対策として、工事振動については低振動型施工機械の採用、または施工方法の変更を伴うが、無振動無騒音工法の採用がある。一方、道路交通振動では、振動遮断溝等も考えられるが、その実用性を考慮すると、舗装路面の平坦性の確保および舗装厚の増加等の対策がある。

参 考 文 献

- 1) 計量法（法律第207号）：計量単位，1951.
- 2) 日本工業規格：振動レベル計（JIS C 1510），1976.
- 3) 日本工業規格：振動レベル測定方法（JIS Z 8735），1981.
- 4) 東京都環境保全局：環境保全のあらまし，1988.
- 5) 佐々木俊平・杉本隆男：都市土木工事に伴う周辺環境変化の傾向，昭和62年度東京都土木技術研究所年報，pp. 263~279，1987.
- 6) 東京都土木技術研究所：東京都総合地盤図（I），1977.
- 7) 鈴木清美：工事に伴う振動の特性，平成4年度東京都土木技術研究所年報，pp. 97~102，1992.
- 8) 道路交通振動防止対策委員会：道路交通振動防止対策についての報告（昭和52年），1977.

（原稿受理 1996.5.2）