

## 6. 路面段差等の道路交通振動要因と振動レベルの関係分析

### Relation Analysis of Road Traffic Vibration Factor such as Road Surface Level Difference and Vibration Level

技術支援課 ○橋本喜正、狭間 博

#### 1. はじめに

東京都では、舗装による道路交通振動低減に関する検討を昭和40年代から取り組んでいる。東京都道の特徴として、大型車両が多いこと、交通量に比べ幅員が狭い道路が比較的多いことなどがあげられ、道路交通振動が生じやすい環境であるといえる。

道路交通振動の発生要因として、路面性状（特にラフネス）、舗装構造の強度、地盤の振動特性、交通の質と量などが主にあげられる。道路交通振動は、このうち路面のラフネスに支配される度合いが非常に高いという報告がある<sup>1)</sup>。

そこで、本稿では振動レベルに影響すると考えられる、路面性状（ラフネス）、舗装強度、路床強度、地盤強度、大型車両の速度等との関連性を調べ、各要因の寄与率を把握した。また、大きな要因と言われているラフネスについては、「段差量」という指標を用い、関係を把握した結果を報告する。

#### 2. 調査概要

##### (1) 振動レベルに影響する要因

振動レベルの度合いに影響する要因としては、一般的に関連があると言われている車両の通過速度と路面性状、またこれに加えて舗装や地盤の力学特性と想定し、表-1に示す項目を選定した。

##### (2) 調査区間

調査は、H23年度～H29年度の7年間にて27路線、72試験区間で実施した。調査を実施した調査区間No.、調査年度（H23～H29年度、路線（通称名）調査個所の区市を表-2に示す。

表-1 振動レベルに影響する要因

影響する要因		影響する要因	
大型車両通過速度		舗装構造	アスファルト厚さ
路面性状	段差量		路盤厚さ
	平坦性		舗装厚さ
	IRI	地盤特性	N値（地盤の硬さ）
力学特性	si（舗装強度指数）	地盤卓越振動数	
	esg（路床の弾性係数）		

表-2 調査箇所

測定箇所	測定年度	測定路線	地区
No.1～	H23	主7 杉並あきるの線（五日市街道）	杉並区
No.2～4	H23	主45 奥多摩青梅線（吉野街道）	青梅市
No.5～6	H24	特427 上馬奥沢線（自由通り）	目黒区
No.7	H24	特445 常盤台赤羽線	板橋区
No.8	H24	主307王子赤羽川口線（柴又街道）	葛飾区
No.9	H24	主7 杉並あきる野線（五日市街道）	立川市
No.10～12	H25	主306 王子千住夢の島線（明治通り）	江東区
No.13～14	H25	主8千代田練馬田無線（目白通り）	練馬区
No.15～18	H25	特416古川橋二子玉川線（駒沢通り）	目黒区 世田谷区
No.19～21	H25	主17所沢府中線（府中街道）	府中市 国分寺市
No.22～23	H26	特455本郷赤羽線（本郷通り）	文京区
No.24	H26	特437秋葉原雑司ヶ谷線（不忍通り）	文京区
No.25～27	H26	主318 環状七号線（環七通り）	杉並区
No.25～27	H26	主318 環状七号線（環七通り）	杉並区
No.28～29	H27	一119北浦上石原線（旧甲州街道）	調布市
No.30～32	H27	主7杉並あきる野線（五日市街道）	武蔵野市
No.33～36	H27	主12 調布田無線（武蔵境通り）	調布市
No.37～39	H27	一123境調布線	武蔵野市
No.40	H27	特447赤羽西台線（高島通り）	板橋区
No.41～42	H28	特446長後赤塚線（高島通り）	板橋区
No.43～45	H28	主306王子千住夢の島線（明治通り）	江東区
No.46～48	H28	主16 立川所沢線（府中街道）	小平市
No.49～51	H28	主15 新宿青梅線（青梅街道）	青梅市
No.52～54	H28	主15 新宿青梅線（新青梅街道）	東久留米市
No.55～57	H29	特427瀬田貫井線（中杉通り）	杉並区
No.58～60	H29	主25 飯田橋上石神井新座線（早稲田通り）	杉並区
No.61～63	H29	特440落合井草線（新青梅街道）	中野区
No.64～66	H29	主307王子金町江戸川線（日産通り）	北区
No.67～69	H29	主40さいたま東村山線（新小金井街道）	東村山市
No.70～72	H29	主40さいたま東村山線（志木街道）	東村山市

### (3) 調査内容

(2)に示す調査区間において、振動レベルと表-1に示す振動レベルに関連すると想定した項目の調査を行った。

#### 1) 振動レベル

道路交通振動の測定方法は、JIS Z 8735（振動レベル測定方法）に準じて実施した。

測定機器は、写真-1の振動計を用い、サンプリング間隔は0.1秒以下とした。



写真-1 振動計

#### 2) 大型車両通過速度

車両の速度は、車両に装備されている速度計を用いて所定の値に合わせた。

#### 3) 路面性状

##### ① 段差量

##### i) 路面段差の測定法

路面段差の測定は、写真-2に示す路面段差測定車により行った。この車両は加速度計（上下方向）、路面画像撮影装置およびGPSを搭載しており、路面凹凸に起因する車両の上下振動を捉え、段差量とその発生位置を定量化できるものである。

加速度の測定は、時速20km～60kmの範囲で、左右両後輪のバネ下に設置した加速度計により、車輛走行軌跡上で1/500秒ごとに記録する。路面画像撮影は進行方向5m毎に、路面画像を撮影（140万画素相当）すると同時に位置情報（GPS・距離）を付加し、記録する。

加速度計は、測定車によっては片側車輪にのみ設置しているものもあるが、本測定車は、局部段差を出来るだけ広範に把握するように、両後輪下に設置している。計測値は、左右大きい方の値を採用するものとしている。



写真-2 路面段差測定車

##### ii) 段差量の解析法

段差量の解析は、5m区間ごとの上下振動加速度のピーク値と測定速度を抽出し、あらかじめ所定の段差量と加速度の実測値に基づき作成したキャリブレーションテーブルを利用して加速度を段差量に換算し、5m毎の最大段差量を求めた。

なお、段差量は、キャリブレーションテーブルを用いて、加速度から変換して求めるため、いわゆる段差相当量であるが、本稿ではこの段差相当量を段差量とした。また、測定データには、「凸段差」および「凹段差」それぞれのテーブルを適用し、より大きな段差相当量が得られた値を採用することとした。

段差相当量の算出有効範囲は、0mm～30mmの1mm単位としている。算出の結果、30mm以上となるようなデータは、「30mm以上相当」の段差相当量とした結果を出力することとした。テーブル適用の有効範囲は測定速度20km/h～60km/hの範囲としている。

##### ② 平たん性

平たん性は、舗装調査・試験法便覧<sup>2)</sup>に示す平たん性 $\sigma$ の測定法に準じて実施した。

##### ③ IRI

IRIについても、舗装調査・試験法便覧に示す舗装路面のIRI測定方法におけるCLASS3による方法により算出した。なお、IRIは区間長により評価値が異なるため、区間長を100m、10m、5m、1mの4種類を検討した。

#### 4) 力学特性

##### ① 舗装強度指数 (si)

FWDたわみは現状の舗装等の強度を反映するため、舗装強度にはFWDたわみ量を指標とした。FWDたわみ

からは、舗装強度指数 (si) を計算で求めた。

なお、舗装強度指数 (si) とは、FWDたわみ量から推定した東京都独自の舗装強度指数であり、式1から求められる。

$$s_i = -11.22 \times L_n(D_0 - D_{150}) + 11.09 \quad \dots (式1)$$

si : 舗装強度指数

D0 : 標準状態での最大たわみ量 (mm)

D150 : 標準状態での載荷点から 150 cm 離れた  
たわみ量 (mm)

## ② 路床弾性係数 (esg)

本稿で用いる路床強度には、式2により算出される東京都独自の指標である路床の弾性係数である esg を用いることとした。

$$L_n(esg) = -0.972 \times L_n(D_{150}) + 4.539 \quad \dots (式2)$$

## 5) 舗装構造

舗装構造は舗装の台帳にある舗装厚を調査し、適用した。

## 6) 地盤特性

地盤卓越振動数は、車両走行時の最大ピークを示す周波数帯である。地盤の硬さの指標になり、値が低いほどその地盤は軟らかく、高いほどその地盤は硬いとされている。また、地盤の卓越振動数が大きいほど、距離減衰の程度は大きく、小さいほど距離減衰の程度は小さくなる。このことは、軟弱地盤になるほど卓越振動数は小さく、したがって、振動が遠くまで伝搬しやすいことになる。

本稿で用いる地盤強度には地盤卓越振動数のほか、通常地盤の強さを評価する際に用いられている N 値を選定した。

## (4) 調査の手順

下記に調査の手順を示す。

### ① 試験区間の選定

② 設定した試験区間にて、路面段差を計測可能な測定車 (以下、段差測定車) により段差量を測定

③ 段差量の数値が大きかった箇所と、その近傍で段差量が 0 に近い地点を選定し、この 2 点において官民

境界に振動計のピックアップを設置

④ 試験車 (チャーターバス) 、および一般の大型車両等が通行し、両ピックアップ位置を通過する際に生ずる振動レベル (dB) を測定

なお、1 測定区間につき、20~30 点を測定した。

## (5) 調査対象区間の設定

振動レベルと振動レベルに影響すると考えられる各要因との関係を求めるためには、できるだけ測定箇所の条件を近づける必要がある。しかし、影響要因によっては測定法の関係からある程度の測定延長が必要なものもある (例えば平坦性σ)。そこで、要因ごとに測定対象区間全体 (調査区間と称す) と振動レベル計のピックアップ設置近傍区間 (検討区間と称す) を図-1 のように使い分けた。

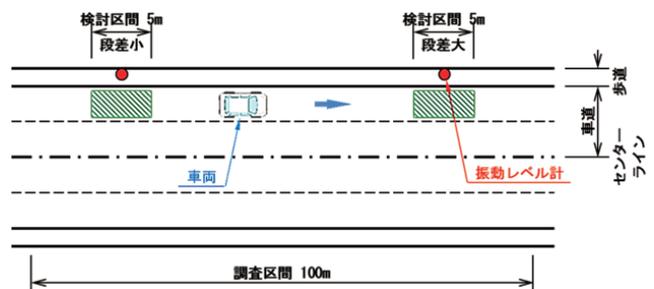


図-1 測定対象の調査区間と検討区間

## 3. 調査結果

### (1) 単回帰分析

表-1 に示すような振動に影響すると考えられる要因と、振動レベルとの単相関により回帰分析を行った結果を表-3 に示す。

表-3 単相関分析結果

項目		決定係数
大型車両通過速度	段差大	0.0554
	段差小	0.0576
路面性状	段差量(mm)	0.1752
	平坦性(100)[mm]	0.0261
	IRI(100)[mm/m]	0.0200
	IRI(10)[mm/m]	0.0670
	IRI(5)[mm/m]	0.0152
力学特性	esg(kgf/cm <sup>2</sup> )【路床の弾性係数】	0.2488
	si【舗装体の強度指数】	0.1744
舗装構造	AS層(cm)	0.0240
	路盤層(cm)	0.0223
	全厚(cm)	0.0014
地盤特性	N値(5mまで)	0.0417
	N値(10mまで)	0.0289
	地盤卓越振動数(Hz)	0.0028

このうち、振動レベルと車両通過速度の単相関分析結果を図-2 に、路面性状の項目の中で振動レベルと最も相関が高かった段差量との単相関分析結果を図-3 に示す。振動レベルと si の単相関分析結果を図-4 に、振動レベルと esg の単相関分析結果を図-5 にそれぞれ代表的な結果として図示する。

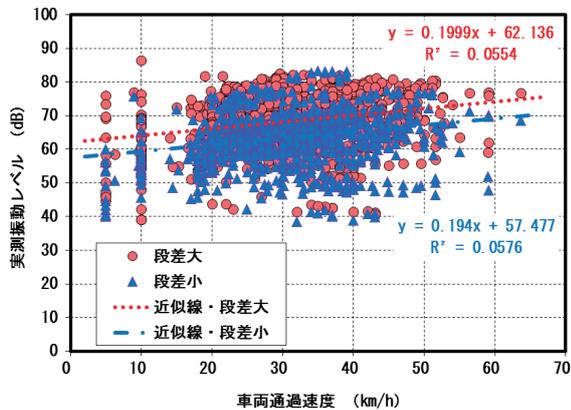


図-2 振動レベルと車両通過速度

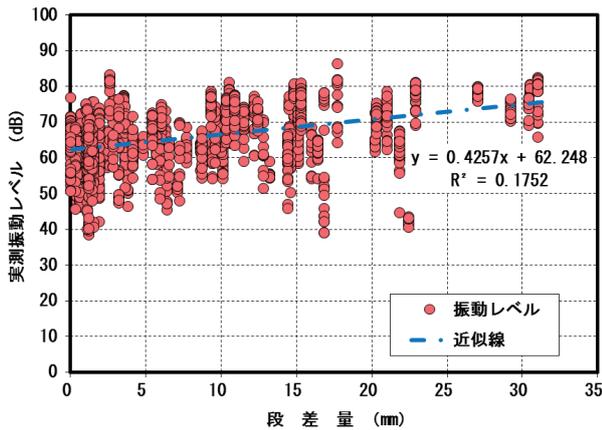


図-3 振動レベルと段差量

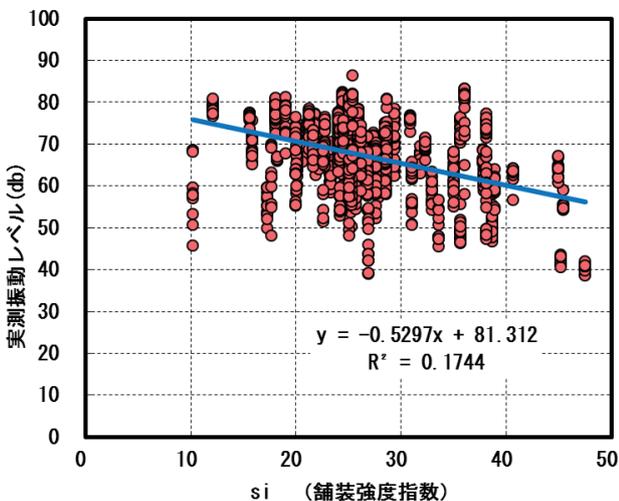


図-4 振動レベルと si

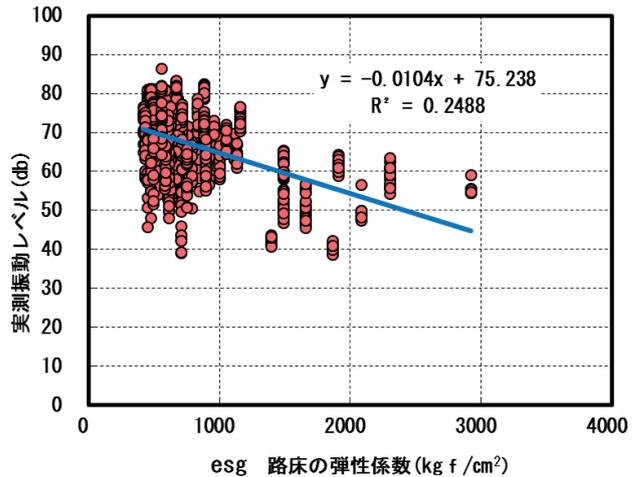


図-5 振動レベルと esg

これらの結果より次のようなことが読み取れた。

① 路面性状（ラフネス）の3項目（段差量・平坦性・IRI）では段差量が最も振動レベルとの相関が高くなった。

② 振動レベルは図-2、3に示すように、車両通過速度及び段差量とそれぞれ比例関係にあり、速度が増すと、また段差量が大きくなると振動レベルも高くなる傾向がある。

③ 単回帰分析であるため図-2では段差量等が、また図-3では車両通過速度等の他の要因がそれぞれ考慮されていないため相関性は低くなっている。

④ 図-4、5では舗装の強さを示す si 及び路床の強さを示す esg との相関性を表しており、それぞれ強さが増すと振動レベルは減少する逆比例の関係がある。

## (2) 重回帰分析による影響要因の検討及び振動レベルの予測

振動レベルに影響する要因は図-2～5に示すように、一つの要因が単独で有意性のある相関を持つものではなく、それぞれが相互に影響していることが確認できた。そこで、ここでは振動レベルを目的変数とし、一般的に振動レベルと相関性があるといわれている車両通過速度と、単回帰分析において他の項目より比較的高い相関が認められた段差量、si 及び esg を説明変数に選定して重回帰分析を行った。その結果を式3に示す。

$$\text{(振動レベル)} = 0.269 \times \text{(車両通過速度)} + 0.378 \times \text{(段差量)} - 0.126 \times \text{(si)} - 0.010 \times \text{(esg)} \quad \cdots \text{(式3)}$$

このときの決定係数は約 48%と低いものの、重回帰式は 1%水準で、またそれぞれの説明変数も 1%水準で有意であった。この重回帰式を予測式として、これから求まる予測振動レベルと実測振動レベルとの関係は図-6 に示すとおりである。この予測式によると、振動レベルが低い場合にはやや高めの推定になっている。

なお、説明変数として二つと三つのケースについても分析を行ったが、ここで示した四つの変数のケースが最も相関性が高かった。

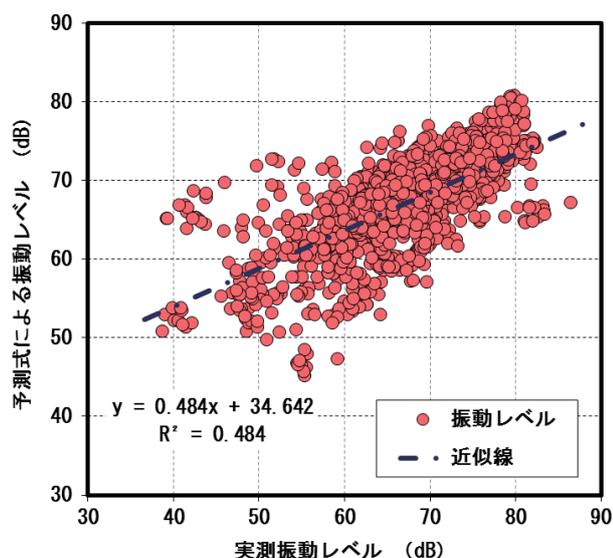


図-6 実測と予測の振動レベル

### (3) データ分析結果の考察

今回の検討では以下のようなことが確認できた。

① 振動レベルに対しては一つの要因ではなく複数の要因が相互に影響していることが確認できた。このうち、車両通過速度、段差量、舗装の強さを示す舗装強度指数  $s_i$ 、路床の強さを示す路床の弾性係数  $esg$  との関連性が高い。また、これらからの振動レベルの予測式も確認できた。

② 上記の四つの要因のうちでも段差量との相関性が最も高く、段差量を制御することで振動レベルの低減が図れる。なお、一般的に言われているように車両通過速度も比較的高い相関性を有することが確認できた。

## 4. おわりに

道路交通振動に影響すると考えられる要因のうち、従来言われている通り、路面のラフネスを改善することである程度の振動を抑制できることが分かった。

特に、路面のラフネスの測定方法でも、路面の段差量の測定が比較的有効であろうという結果が得られた。

今後はこの測定方法等についても検討を重ね、道路舗装の維持管理に反映させて、都道沿道に対する振動等の環境負荷の低減につなげていきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 道路交通振動防止対策についての報告 昭和 52.6 道路交通振動防止対策委員会
- 2) 舗装調査・試験法便覧 (平成 31 年版) 平成 31.3 公益社団法人日本道路協会