

## 6. 車軸の加速度測定による舗装路面の段差評価と振動の関係

### Relation between the Level Difference Evaluation of a Pavement Road Surface by Acceleration Measurement of an Axle and Vibration

技術支援課 峰岸順一、上野慎一郎、橋本喜正

#### 1. まえがき

交通量の増加や車両の大型化に伴い、舗装の劣化は進み、舗装の維持管理の重要性は今後さらに増大するものと考えられる。道路管理者には、限られた道路維持管理に係わる予算の中で、効率的に舗装を管理し、道路利用者および沿道住民に安全かつ快適なサービスを提供することが求められている。道路における舗装の役割の一つとして、路面の平坦性を確保することにより、人やものを安全かつ快適に移動させることがあげられる。

大型車が局所的な路面凹凸（以下段差という）を通行する際に衝撃的な騒音や振動を発生させている場合が多く、沿道住民からは道路交通騒音や振動に対する改善要望が多く寄せられ早急な対策が求められている。道路利用者に快適なサービスを提供するためには、舗装の維持管理において乗り心地や荷傷みに影響を与える、マンホールや施工ジョイント、橋梁伸縮装置等に起因する局所的な段差の程度を把握する必要がある。さらに、道路橋鉄筋コンクリート床版（RC床版）のひび割れ損傷は、伸縮継手や橋面舗装路面の段差により発生する大型車の動的影響が要因の一つと考えられ、橋梁保全の観点からも橋面舗装の段差の程度を定量的に把握する必要がある。

道路利用者への快適なサービス、および沿道住民への良好な道路環境を提供するためには、局所的な段差を定量的に評価する必要がある。一方、現在東京都で舗装の維持管理に用いている路面性状の評価

は、ひび割れ率（%）、わだち掘れ量（mm）、平坦性（mm）の3つの要素により算出される指標 MNI を用いている。しかし、これら3要素から局所的な段差を評価することは困難である。従って、わだち掘れ量やひび割れ率を主眼においた現在の路面性状評価に加え、舗装の快適性や安全性を考慮した新たな維持管理指標として「段差量」が必要であると考えている。

そこで本文では、局所的な「段差量」に注目し、走行車両の車軸の加速度の測定から評価する「段差量」と道路交通振動との関係について検討した結果を報告する。

#### 2. 段差測定車両について

##### (1) 計測車両

段差を評価するために、走行車両が段差部を通過する際に受けるタイヤサスペンション部の上下振動を測定し、その大きさから路面段差量の推定を行った。路面段差測定車は、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、段差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することができる車両である。段差測定車両の仕様は、表-1のとおりである。

加速度の測定は、時速20～60kmの範囲で左右両後輪のバネ下に設置した加速度計（写真-1参照）により、車輛走行軌跡上（写真-2参照）で1/500秒ごとに記録した。路面画像撮影は、時速20～60kmで進行

表-1 段差測定車両の仕様

車両総重量(測定者含む)kg	1800
車両本体重量kg	1600
計測機器重量kg	200
ホイールベース長mm	2825
リヤトレッドmm	1475
駆動輪	2WD(FF)
タイヤ種別	205/60R16
タイヤ空気圧kPa	240
測定速度範囲	20~60km/h
加速度計設置位置	左右両後輪のばね下
加速度記録間隔 (サンプリング周波数)	1/500s(500Hz)
測定可能加速度範囲 $m/s^2$	$\pm 316$
加速度から段差の変換方法	実験で作成したキャリブレーションテーブルより車両速度と鉛直加速度から段差を換算



写真-1 加速度計の設置位置



写真-2 車両走行の跡

方向 5m ピッチに、路面画像を撮影(140 万画素相当)すると同時に距離情報を付加して記録した。

## (2) 段差量の解析

段差量の解析は、5m 区間ごとの加速度データのピ

ーク値と、その測定速度を抽出し、あらかじめ所定の土の段差量と加速度の関係を速度毎に求めて作成したキャリブレーションテーブル(図-1)を用い、車両速度と加速度から段差量に換算し、左右の加速度の大きい方を 5m 毎の最大段差量とした。

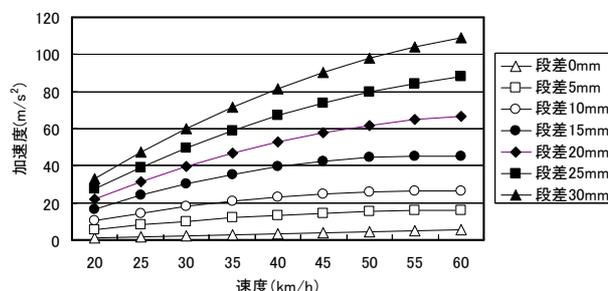


図-1 キャリブレーションテーブル

## 3. 調査内容

### (1) 段差の測定

都内 2 路線(区部 A 路線約 6km の上下線、多摩部 B 路線約 8km の上下線)において、段差測定車両により加速度を測定し、段差量に換算した。測定は交通量の少ない夜間に実施し、各路線上下線を各 2 回走行した。また、両路線から段差量の大きい箇所(20mm 以上)を抽出し、その中から段差形状等を考慮して 4 地点を選定して振動測定を行い、段差量と振動の関係を把握した。

選択した 4 地点の設計条件、舗装構造、最新の路面性状調査結果(振動計設置地点を含む 100m 区間のデータ)、N 値は、表-2 に示すとおりである。

### (2) 振動の測定

振動の測定は、JIS-Z-8735「振動レベル測定方法」および「振動規制法施行規則別表第 2 備考」(昭和 51 年 11 月 10 日、総理府令第 58 号)に従って行い、デジタル型振動レベル計により Z(鉛直)方向について振動加速度を測定した。データレコーダに WAVE ファイルとして収録し、JIS-C-1531 に定められた 1/3 オクターブバンド周波数分析器を用いて、周波数分析を行った。サンプリング間隔は 0.1 秒とした。

測定時間は、昼間の 8 時間(午前 7 時から午後 5 時までの間)とした。通過車両の記録は、振動測定時間中に測定箇所を通過する車両をビデオ撮影し、車種判別と車両速度を確認した。振動計は、測定対

表-2 測定地点概要

地点	設計条件		舗装構造		路面性状					5mまでのN値平均(直近データ)
	交通量区分	設計CBR	舗装構造(既知なもののみ)	最終補修年	最新路面性状測定年	ひびわれ率(%)	わだち掘れ(最大)(mm)	平坦性(mm)	MNI <sub>max</sub>	
地点1	N <sub>5</sub>	3	密粒度13改質II 5cm 再生粗粒度20cm	H8	H21	3.2	8.8	3.30	1.0	6.5
地点2	N <sub>5</sub>	3	再生密粒度13 5cm 再生粗粒度20cm 碎石層35cm	H6	H23	1.1	8.9	2.04	0.3	24.8
地点3	N <sub>5</sub>	3	密粒度13改質II 5cm	H9	H23	6.8	12.4	3.51	2.0	24.8
地点4	N <sub>5</sub>	3	密粒度13改質II 5cm 粗粒度20cm 碎石層40cm	H8	H23	22.4	9.9	3.55	7.1	15.3

象箇所および 20m程度離れた平坦な箇所の 2 箇所に設置し、測定を行い、段差の有無による振動の比較を行った。

(3) 地盤卓越振動数の測定

振動測定箇所における段差なしの箇所で地盤卓越振動数を測定した。大型車の単独走行を対象として最大振動を示した周波数を求め、10 台分の平均値を地盤卓越振動数とした。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判断する。道路環境整備マニュアル(日本道路協会 平成元年 1 月)では、地盤卓越振動数が 15Hz 以下であるものを軟弱地盤としている。

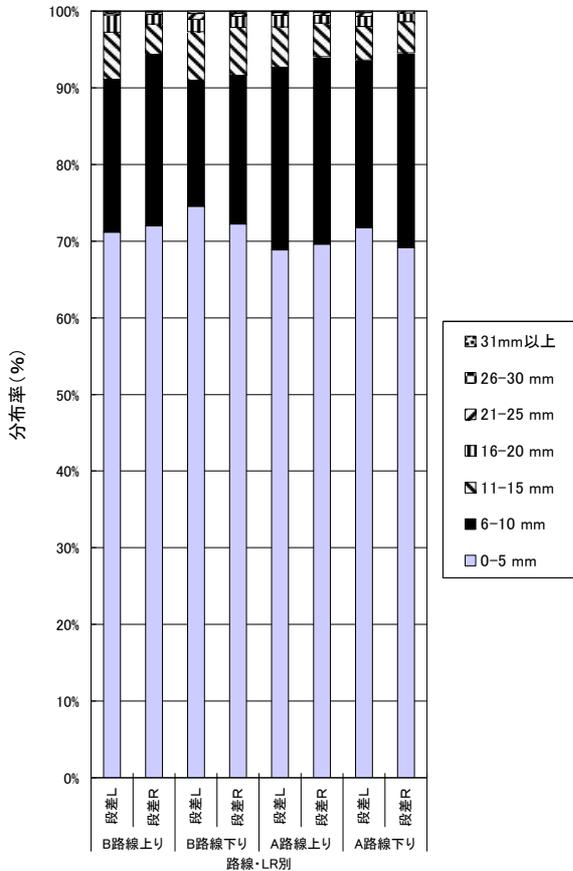


図-2 段差量ランク別度数分布

4. 調査結果

(1) 段差測定結果

AB路線上下線計4車線の段差量ランク別度数分布は、図-2に示すとおりである。どの車線も同様な傾向であり、段差量が0~5mmが約70%、6~10mmが約20%で、両ランクをあわせた0~10mmの段差量が約90%を占めていることを把握した。21mm以上の段差量は、1%未満と少ないことがわかった。

(2) 段差の測定事例

図-3に示すものは、左輪がマンホールを通過するときの加速度波形である。加速度L(左輪の加速度)はマンホールを通過する際に最大で67m/s<sup>2</sup>を示しているが、加速度R(右輪の加速度)は±10m/s<sup>2</sup>以下の値しか示していない。また、図-4に示すものは、

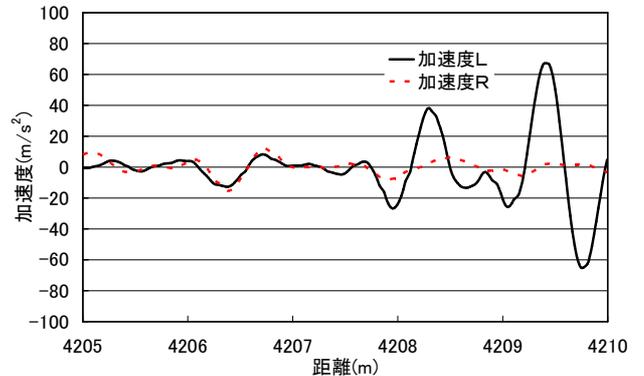


図-3 左輪マンホール通過時加速度波形

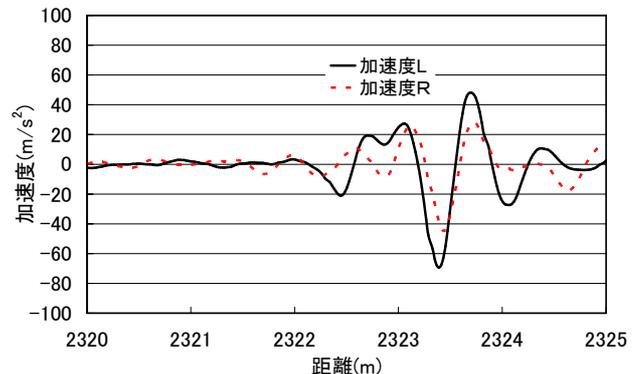


図-4 橋梁ジョイント通過時加速度波形

表-3 測定結果一覧（全車両対象）

地点	段差量 (測定値)	段差の状況	上位20データの 段差ありの振動 の平均値 (dB)	上位20データの 段差なしの振動 の平均値 (dB)	段差の有無 の振動の差 (dB)	上位20データ の平均速度 (km/h)	上位20データ のバス混入 率(%)	地盤卓越 振動数 (Hz)
1	L=31mm以上 R=20mm	横断クラック	79.1	64.7	14.4	42	70	14.3
2	L=12mm R=24mm	施工継ぎ目	72.1	52.0	20.2	49	0	39.2
3	L=15mm R=20mm	占用企業者工事 横断方向段差	73.3	67.3	5.9	40	10	44.7
4	L=27mm R=7mm	左側マンホール	75.5	62.2	13.3	48	0	30.6

橋梁ジョイントを通過するときの加速度波形である。左右輪の加速度が同程度の値を示し、横断全体の段差と判断できる。

このように、左右の加速度計を有しているので、マンホールのような局部的な段差か、橋梁ジョイントや施工継ぎ目など横断全体の段差なのか判別することができる。

(3) 振動測定結果（全車両対象）

段差測定箇所から左又は右の段差量が 20mm 以上となった地点を抽出し、4 地点で振動を計測した結果は、以下のとおりであった。各測定地点について段差ありの振動加速度レベルの大きい上位 20 データに着目し、段差の有無による振動の最大値、通過車種、車両速度等を検討した。測定結果一覧は、表

-3 に示すとおりである。

1) 車両速度と振動の関係

各地点の車両速度と振動の関係は、図-5～図-8 に示すとおりである。振動は、約 30～60km の速度域で、段差の有無に係わらず、ほぼ一定の値であった。

2) 段差の有無による振動の差

段差の有無による振動の差は、表-3、図-9 に示すように、地点により異なり、5.9～20.2dB の差であった。図-9 より段差ありの振動は、ばらつきが少なく、段差なしの振動のばらつきが大きいことがわかった。

3) 段差と振動の関係

段差量と振動の最大値の関係は、図-10 に示すとおりである。段差量が大きくなると振動も大きくな

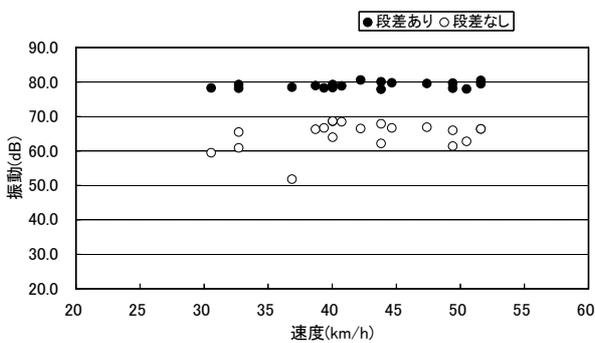


図-5 車両速度と振動の関係（地点1）

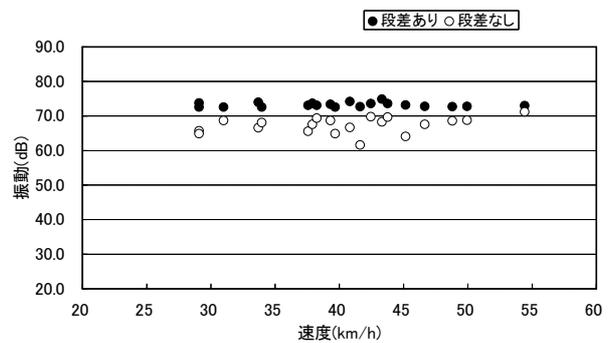


図-7 車両速度と振動の関係（地点3）

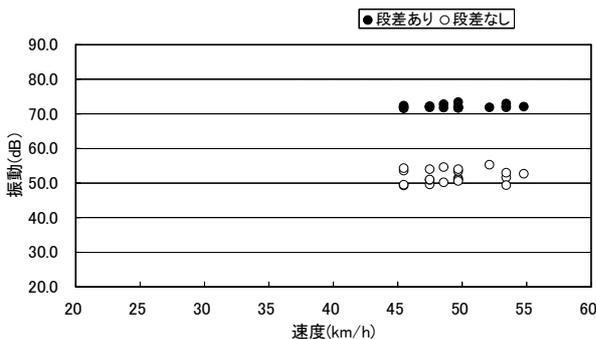


図-6 車両速度と振動の関係（地点2）

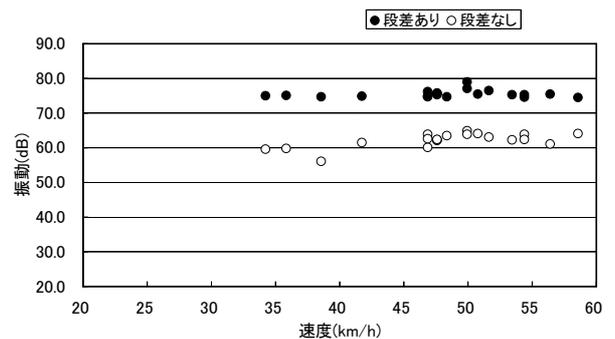


図-8 車両速度と振動の関係（地点4）

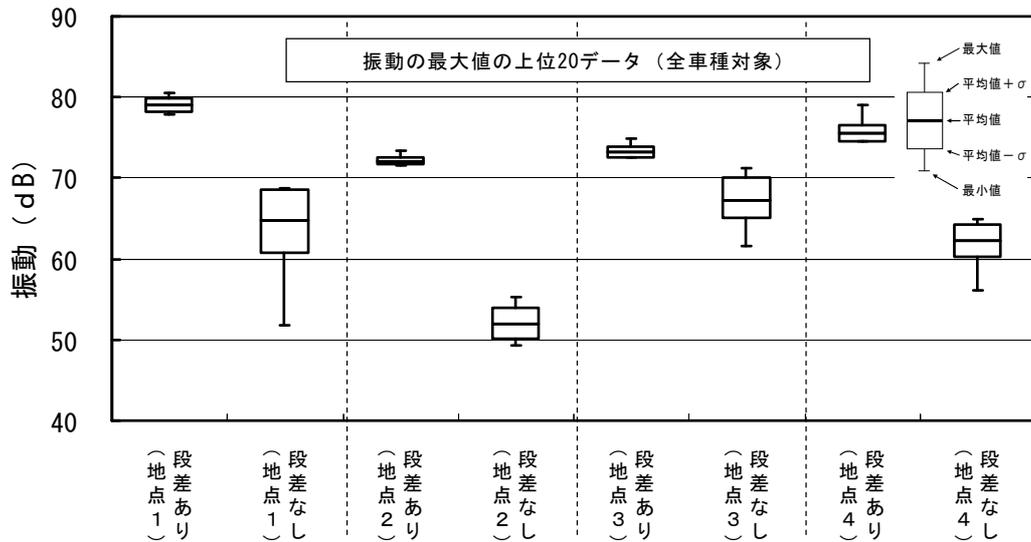


図-9 段差の有無による振動の差

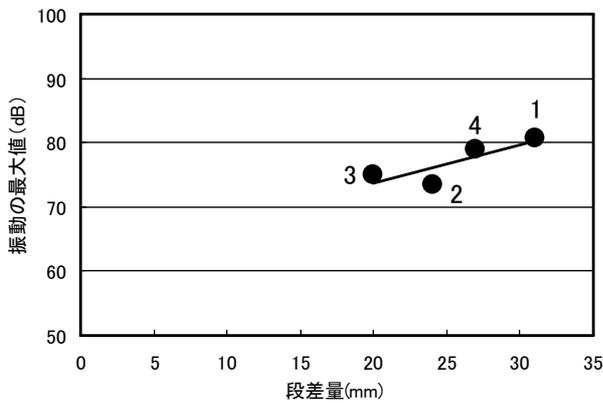


図-10 段差量と振動の最大値の関係

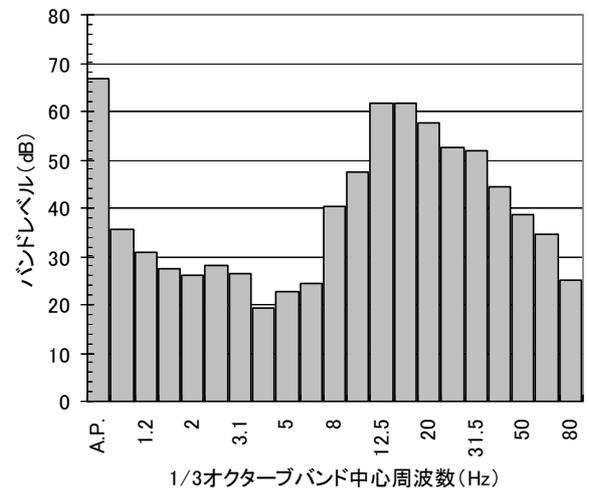


図-11 地盤卓越振動数の測定事例（地点1）

る傾向であった。

#### 4) 地盤卓越振動数と振動の関係

地点1の地盤卓越振動数の測定事例を図-11に示す。この時の地盤卓越振動数は、16.0Hzの事例である。地点1の地盤卓越振動数は、14.3Hzであり、軟弱地盤と想定された。他の地点の地盤卓越振動数の結果は、表-3に示すように30~45Hzであった。

地盤卓越振動数と振動の関係は、図-12に示すように、地盤卓越振動数が高いほど振動が小さくなる傾向であった。

#### (4) 振動測定結果（バス対象）

(3)では、全車両を対象としたが、表-3に示すように、地点1はバス路線であり、地点2、3、4については、トラックが主な路線である。トラックについては、車両重量が明確でないことから、ほぼ車両重量が一定と考えられる路線バスにデータを限定

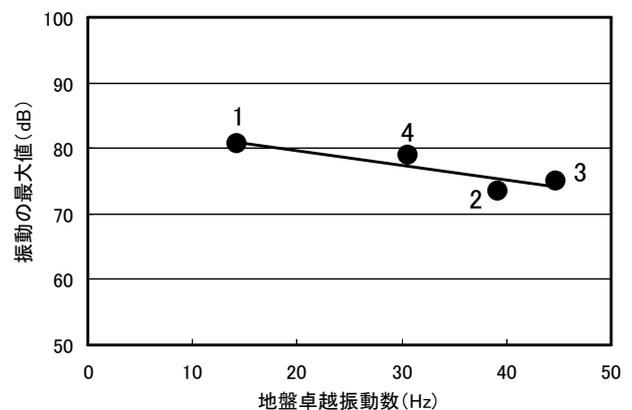


図-12 地盤卓越振動数と振動の関係

して荷重条件を同一にして検討した。測定結果一覧は、表-4に示すとおりである。なお、以下では、測定時間中に走行した全バスを対象として解析した。

表-4 測定結果一覧（バス対象）

地点	段差量 (測定値)	段差の状況	段差ありの振動の 平均値 (dB)	段差なしの振動の 平均値 (dB)	段差の有無の 振動の差 (dB)	平均速度 (km/h)	地盤卓越 振動数 (Hz)
1	L=31mm以上 R=20mm	横断クラック	77.6	63.6	14.0	37	14.3
2	L=12mm R=24mm	施工継ぎ目	66.5	50.8	15.7	39	39.2
3	L=15mm R=20mm	占用企業者工事横 断方向段差	68.7	63.3	5.4	30	44.7
4	L=27mm R=7mm	左側マンホール	67.0	57.7	9.3	38	30.6

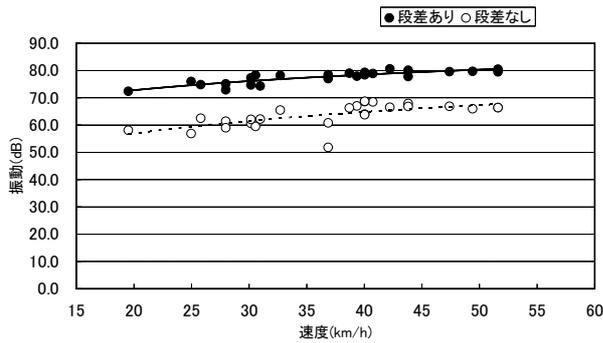


図-13 車両速度と振動の関係（地点1）

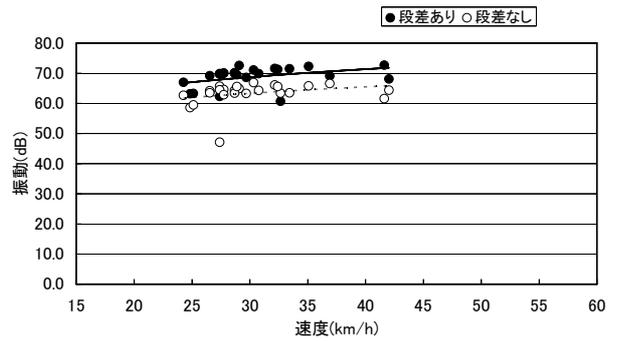


図-15 車両速度と振動の関係（地点3）

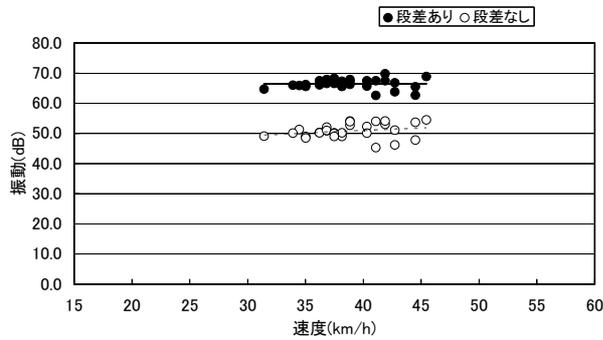


図-14 車両速度と振動の関係（地点2）

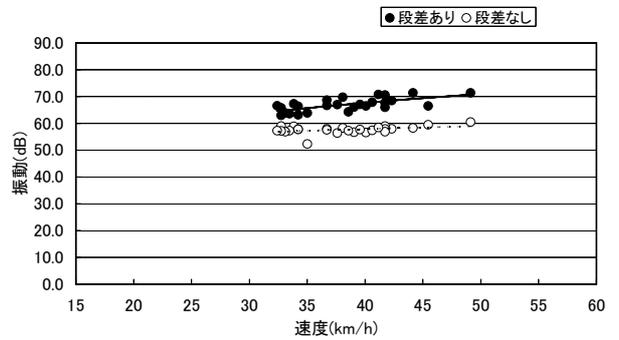


図-16 車両速度と振動の関係（地点4）

### 1) 車両速度と振動の関係

車両速度と振動の関係は、図-13～図-16に示すとおりである。全車両を対象とした場合より振動は、やや小さいが、約20～50kmの速度域で、段差の有無に係わらず、速度が高くなると振動が大きくなる傾向が把握できた。

### 2) 段差の有無による振動の差

荷重条件をほぼ同一とした場合の各地点での段差量と段差有無の振動の差は、図-17に示すように、明確な関係ではないものの段差が大きいと段差の有無による振動の差が大きくなる傾向であった。20～

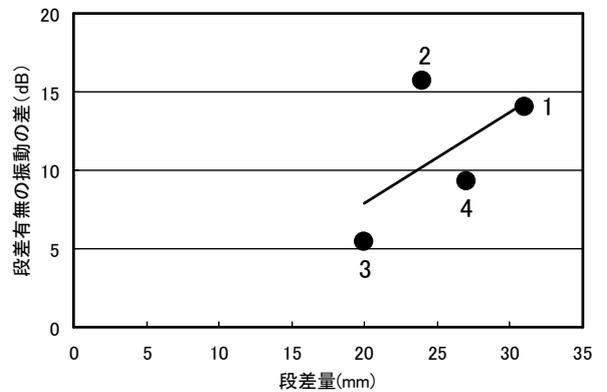


図-17 段差量と段差有無の振動の差

30mmの段差が生じると5～15dBの振動の増加が起こることが把握できた。段差と振動の発生量については、今後データを蓄積していく必要がある。

### 3) 段差と振動の関係

段差量と振動の関係は、図-18 に示すとおりである。段差量が大きくなると振動も大きくなる傾向であった。

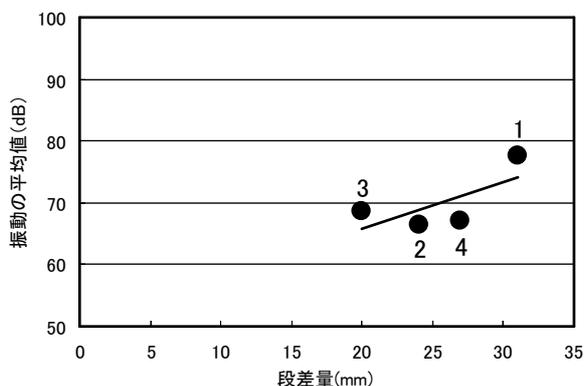


図-18 段差量と振動の関係

### 4) 地盤卓越振動数と振動の関係

地盤卓越振動数と振動の関係は、図-19 に示すように、地盤卓越振動数が大きいほど振動が小さくなる傾向であった。

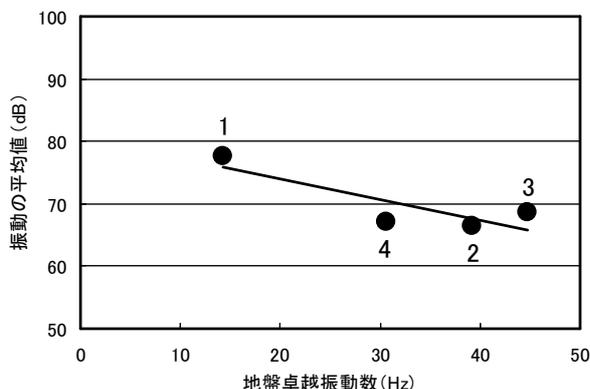


図-19 地盤卓越振動数と振動の関係

## 5. まとめ

本検討で得られた主な知見をまとめると次のとおりである。

①加速度計を用いた段差測定により、段差量を計測することができ、振動発生箇所の特特定が可能である。

②左右の加速度センサにより、マンホールなど局部的な段差か、橋梁伸縮装置や施工継ぎ目などの横断全体に及ぶ段差かを判別できた。

③今回の2路線上下線計4車線の測定の結果、段差量が0～5mmが約70%、6～10mmが約20%で、両ランクをあわせた0～10mmの段差量が約90%を占めていることを把握した。21mm以上の段差量は、1%未満と少ないことを把握した。

④荷重条件をほぼ一定とした検討には、路線バスを利用することが有効であることを確認した。

⑤車両重量をほぼ一定とすると、約20～50kmの速度域で、車両速度が高いほど振動が大きくなることを把握した。

⑥車両重量をほぼ一定とすると、段差が大きいと段差の有無による振動の差が大きくなる傾向であった。20～30mmの段差が生じると5～15dBの振動の増加が起こることが把握できた。段差と振動の発生量については、今後データを蓄積していく必要がある。

⑦段差量が大きくなると振動も大きくなる傾向であった。

⑧地盤卓越振動数が大きいほど振動が小さくなる傾向であった。

## 6. あとがき

段差と振動の発生については、今後データをさらに蓄積して検討を進める所存である。今回の検討では、軸重測定による車両重量、FWD測定による舗装支持力、地盤支持力などのデータ収集を行っていないので、今後これらのデータとの関連を把握する必要がある。また、これらの基礎検討を路面の段差に起因する振動発生源の評価および橋梁伸縮装置付近の橋面舗装の段差評価へ進めていく予定である。