

8. 段差測定車による段差量と振動との関連把握

Relation between Faulting of Pavement Surface and Vibration by Road Traffic

技術支援課 峰岸順一、上野慎一郎

1. はじめに

道路に関わる社会的課題として、橋梁伸縮装置、マンホール、施工継ぎ目、占用企業者工事跡などに起因する局所的な路面段差が、特に大型車通行時に衝撃的な振動を発生させている場合が多く、沿道環境へ影響を及ぼしている。東京都の維持補修計画支援システム（案）では、路面の評価は、わだち掘れ、ひびわれ、平坦性の3項目でMNIを算出して行っている。しかし、この3項目では、局所的な段差を定量的に評価出来ないことから、段差測定車両の段差と振動の関係について昨年度から検討を進めてきた。ここでは、段差と振動の関係を把握するために、たわみ量による舗装構造及び地盤特性調査を行った結果を報告する。

2. 調査内容

段差と振動の関連を把握するために、都内5路線で段差及び振動の測定を行った。また、舗装構造との関連を把握するためにFWDによるたわみ量の測定を行った。調査内容は、以下に示すとおりである。

(1) 測定路線

測定路線は、区部4路線（①～④）と多摩部1路線（⑤）の5路線を対象とした。

(2) 測定延長

測定は、各路線上下各1車線、各5km、計10km（合計50km）とした。ただし、交差点など停止区間や時速20km以下の区間は、測定延長から除いた。

(3) 段差測定

1) 段差測定

測定は、加速度計（鉛直方向）、路面画像撮影およびGPSを搭載した測定車により、路面凹凸に起因する車

両の鉛直振動を捉え、段差量とその発生位置を定量化した。段差測定は、時速20km～60kmの範囲で測定した加速度を、左右両後輪のバネ下に設置した加速度計により、車輛走行軌跡上の加速度を1/500秒ごとに記録した¹⁾。

2) 路面の画像撮影

路面の画像撮影は、時速20km～60kmで進行方向5mピッチに、路面の画像を撮影（140万画素相当）すると同時に位置情報を付加し、記録した。

3) 段差量の解析

段差量の解析は、5m区間ごと上下振動加速度データのピーク値と、その測定速度を抽出し、あらかじめ所定の段差量と加速度値に基づき作成したキャリブレーションテーブルを引用し、段差量を換算し、5m毎の最大段差量を求めた。

4) キャリブレーションの実施

段差量の解析で用いるキャリブレーションテーブルは、構内の段差試験走行路において、昇降機能付きアルミ製段差板を上下することにより、直角段差を作成し、通過時における加速度より段差量を求めて作成した。

(4) 振動測定

1) 振動測定

振動測定は、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、1/3オクターブバンド分析ソフトを用いて、周波数分析を行った。サンプリング間隔は0.1秒

とした。

また、同様に振動測定箇所（地盤卓越振動数（荷重車、大型車（路線バス、ダンプトラック等））について、それぞれの単独走行を対象に10回測定し、振動測定箇所の地盤卓越振動数を算出した。今回の測定で使用した荷重車の重量は、車両総重量（積載）19,780kg、前輪荷重4,540kg（1軸）、後輪荷重15,250kg（2軸）であった。

2) 測定箇所

段差測定の測定結果より、段差量が20mm以上の箇所から周辺環境などを考慮して振動測定を行う4箇所を抽出した。また、それらの箇所から20m程度離れた平坦な箇所（段差量4mm以下）にも振動計を設置し、測定を行った。測定時間は、昼間3時間とした。

3) 通過車両の記録

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た。なお、車種別交通量、車両速度等を確認できる様に記録した。

(5) たわみ量の測定

振動測定の調査対象箇所を中心として、前後50m、区間延長を100mについて、たわみ量を測定した。測定点は、車線の外側車輪通過位置を対象とし、10mに1測点の間隔で行った。測定回数は、1測点に対し4回測定した。FWDの載荷重は49kN（5tf）とした。たわみ量は、載荷点から1,500mm以上離れた点まで9点とした。

たわみ量による舗装の構造評価は、現地調査により測定したたわみ量を標準状態（荷重：49kN（5tf）、表面温度20℃）に補正し、「舗装管理マニュアル（案）」に示す一次評価の特性値を算定した。特性値は、esg（路床の支持力）、si（残存強度）、ta（目標等値換算厚）、TA'（現況舗装の等値換算厚）、 d_0 （最大たわみ量）とした。

3. 調査結果

(1) 段差測定結果

全路線上下車線加速度計の左右別の段差量ランク別度数分布は、図-1に示すとおりである。図中の凡例「0~10」は0mm以上10mm未満である。どの車線も同様な傾向であり、段差量0~10mmが約80~90%であることを把握した。また、20mm以上の段差は、1~2%と

少ないことを把握した。この傾向は、昨年度測定した2路線と同様であった。

(2) 段差の原因

段差が10mm以上の箇所について路面画像を解析して段差の原因を分析した結果は、図-2に示すとおりである。全路線共通に振動の主な原因は、施工継ぎ目とマンホールであることがわかった。両原因で約40%を占めていた。また、路線特性はあるものの、塑性変形、局部的沈下、占用工事跡、交差点内わだち掘れも段差の原因として多いことがわかった。

(3) 振動測定結果

振動計の設置は、段差ありと、その振動計から20m程度離れた平坦な段差通過車両の振動が影響しない段差の無い箇所とした。また、車両速度を測定するためのビデオ撮影は、振動測定箇所に近接し、かつ、路面に目印となるひび割れや白線等がビデオの視界内に入る場所を選定した。測定結果は、表-1に示すとおりである。測定結果は、各振動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10データに着目し、段差ありと段差なしの振動ピーク値の平均、通過車種、車両速度の平均を示した。また、荷重車においても、10回の通過時振動データの平均を示した。

測点①-1は、段差なしのデータである。測点②-1は、占用復旧による横断方向に渡る段差と街渠ますのガタツキにより段差が発生している。測点③-1、④-1は、施工継ぎ目による横断方向の割れが段差発生原因である。

測点②は、段差の有無による振動の差が、一般大型車12.0dB、荷重車13.9dBであった。測点③は、段差の有無による振動の差が、一般大型車5.7dB、荷重車3.7dBであった。測点④は、段差の有無による振動の差が、一般大型車10.7dB、荷重車10.0dBであった。

(4) たわみ量測定結果

たわみ量測定結果を表-2に示す。調査対象箇所は、段差測定箇所の前後50m、区間延長を100mとした。測定点は、基本10mに1測点の間隔で行った。ただし、舗装表面の状態から舗装の構成が異なると思われる場合は、同一区間内で10点のデータを取得することとした。また、良好な舗装状態の基準値（舗装管理マニュアル（案））を用い、良好か否かを判定した。

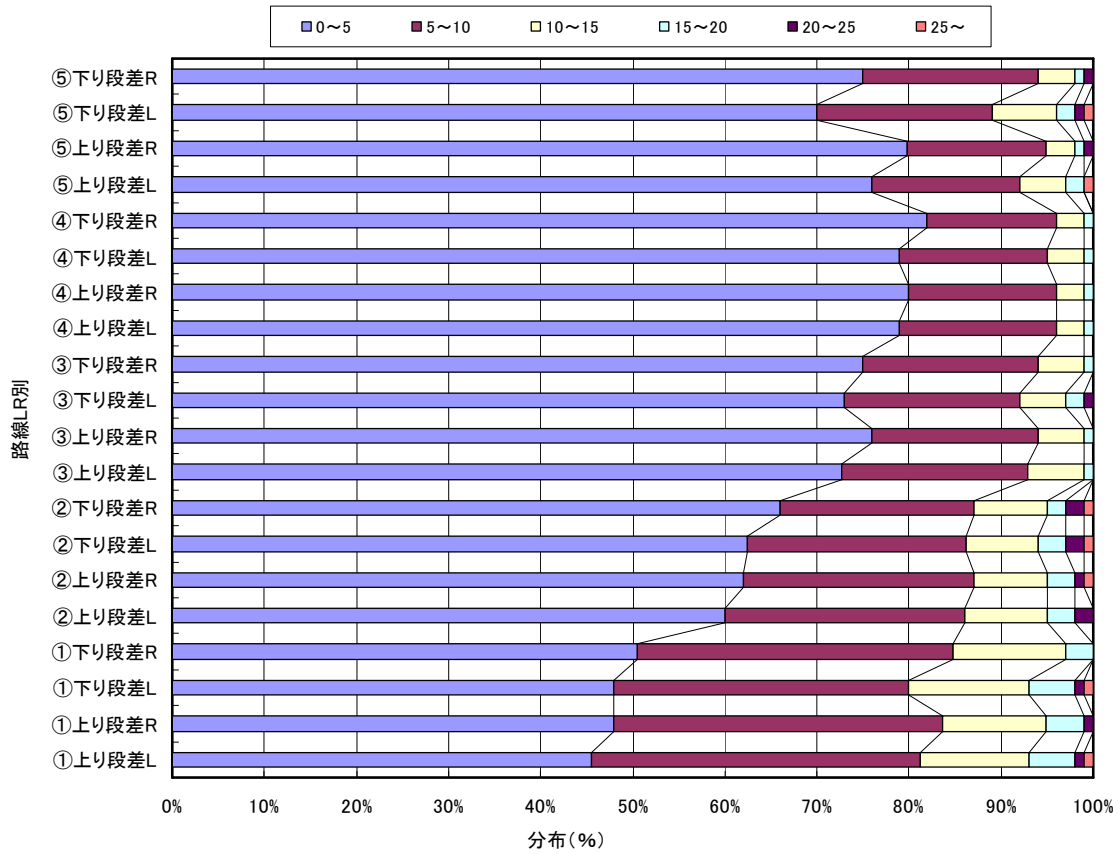


図-1 段差量ランク別度数分布

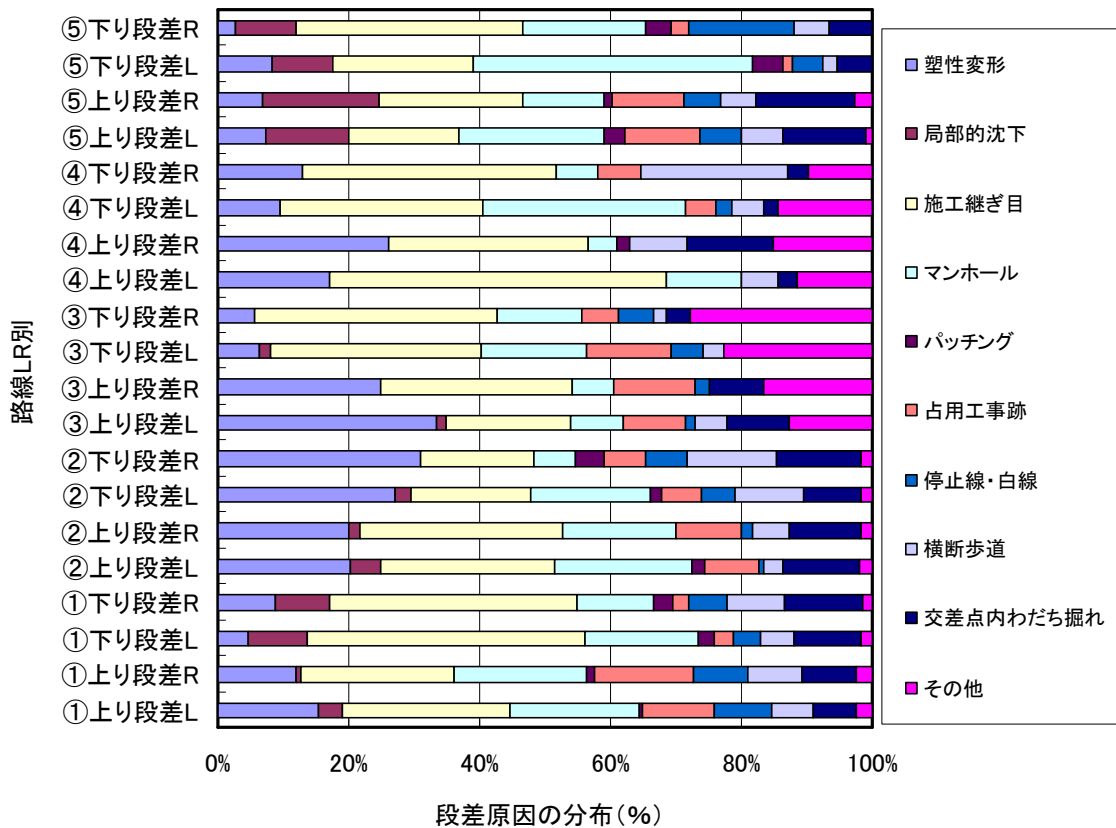


図-2 段差原因の分布

表-1 振動測定結果

測点	段差量 L(mm)	段差量 R(mm)	交通量 区分	舗装構成(cm)			振動測定結果(dB)		地盤卓越振動数(Hz)		N値	
				アスファルト 混合物	粒度調 整碎石	クラッ シヤラン	一般大型車 (\circ)内速度 km/h)	荷重車 (\bullet)内速度 km/h)	一般大型 車	荷重車	5mまで 平均	10mま で平均
①-1	3	0	N ₅	18	13	10	68.1 (-)	66.6 (30)	13.3	6.5	1.3	17.6
①-2	0	0		18	12	25	70.5 (34)	65.0 (30)	53.6	31.5		
②-1	17	31以上	N ₆	27	13	25	80.0 (30)	80.9 (30)	15.6	16.2	3.8	4.8
②-2	0	0					68.0 (30)	67.0 (30)				
③-1	21	11	N ₆	28	32	20	76.2 (40)	72.3 (30)	22.0	24.5	11.8	17.5
③-2	0	0					70.5 (40)	68.6 (30)				
④-1	27	13	N ₅	28	12	20	79.6 (32)	77.3 (30)	19.4	20.8	2.4	8.9
④-2	0	0					68.0 (32)	67.3 (30)				

表-2 たわみ量測定結果

測点	たわみ量調査結果(μ m)		弾性係数(N/mm ²)			設計 CBR(%)	目標ta (cm)	残存強度si (cm)	TA'(cm)
	D ₀	D ₁₅₀	アスファルト 混合物	路床 esg	設計路床 esg'				
①-1	865 (600)	178	931 (6000)	454	457	5	24	12.4	21.4
①-2	541 (600)	122	4224 (6000)	633	642	6	21	18.4	21.2
②	412 (400)	133	5754 (6000)	485	491	5	30	22.8	28.0
③	351 (400)	110	5972 (6000)	696	699	7	28	24.5	32.8
④	466 (600)	152	5753 (6000)	498	502	5	22	21.5	27.4

1) 測点①-1

D₀たわみの平均は、基準値 600 μ m を超えていた。si (残存強度) が目標 ta (24cm) の半分程度 (12.4cm) となっていた。試掘結果から TA' も 21.4cm と目標 ta に達していなかった。特にひび割れが周辺に見られないため、舗装体全体の劣化と考えられた。

2) 測点①-2

D₀たわみの平均は、基準値 600 μ m 以下であった。個々の値では、一点のみ基準値を超えていたが、678 μ m と大きな超過ではなかった。

3) 測点②

D₀たわみの平均は、基準値 400 μ m を超えていた。個々の値では、基準値を超過する区間が、段差箇所から前方にかけて発生しており、占用復旧による横断方向に渡る段差と、街渠ますがガタツキにより、周辺にひび割れなどの舗装の劣化が起こっていることがわかった。

5) 測点③

D₀たわみの平均は、基準値 400 μ m 以下であった。個々の値では、基準値を超過する区間が、段差箇所周辺に発生していることがわかった。

6) 測点④

D₀たわみの平均は、基準値 600 μ m 以下であった。個々の値では、基準値を超過する区間が、段差箇所周辺に

発生していることがわかった。

4. 考察

(1) 車種と振動レベルの関係

一般大型車 (荷重車以外の路線バス、ダンプ、貨物車両など、速度は 30~50km/h 程度) と荷重車 (総重量 19.78 t、速度 30km/h 一定で測定) の振動レベルの関係は、図-3 に示すとおりである。一般大型車の振動レベルが荷重車よりもやや大きい傾向であり、高い相関が見られた。このことから、荷重車で同一の測定条件を設定しなくても、一般大型車両で振動レベルを比較することが可能である。

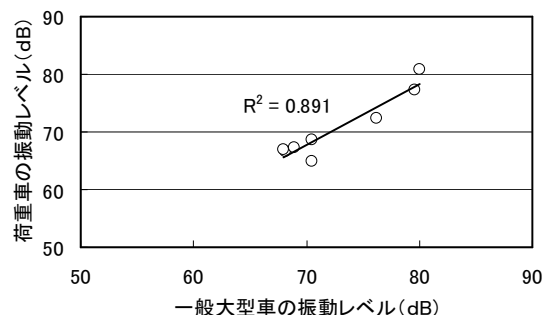


図-3 車種と振動レベルの関係

(2) 段差と振動の関係

荷重車により、通過車両の重量 (総重量 19.78 t) と速度 (30km/h) を一定とし、各測点での振動を測定し

た値を平均した結果が図-4である。段差なしでは、全地点でほぼ70dB未満の振動となり、大きな差違が見られなかった。段差ありでは、振動の大きさが異なり、72.3~80.9dBの値であり、段差量や舗装の強度に影響を受けると考えられた。

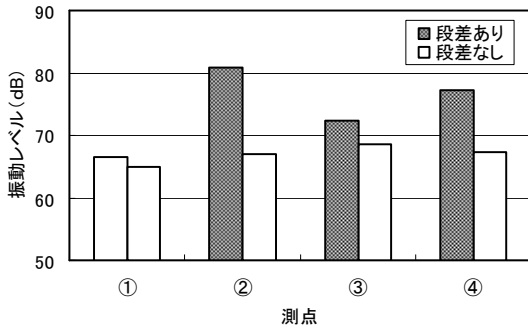


図-4 測点毎の振動レベル

(3) 段差量と振動レベルの関係

段差量と振動レベル（荷重車で測定）の関係は、図-5に示すように高い相関が見られ、段差量 30mm 程度（測定限界が 31mm）で振動レベル 80dB 程度であることがわかった。ただし、今回使用した段差測定車両は、31mm 以上が計測できていないので今後の検討を要する。

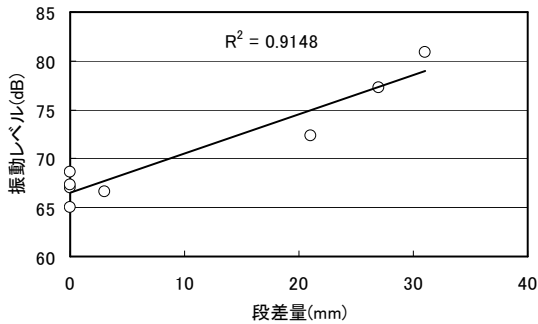


図-5 段差量と振動レベルの関係

(4) 地盤卓越振動数と振動レベルの関係

荷重車による測定での地盤卓越振動数と振動レベルの関係を図-6、図-7に示す。段差なしの場合は、地盤卓越振動数の影響を受けずに 65~69dB 程度のほぼ一定の値を示した。段差ありの場合は、地盤卓越振動数が高いほど振動レベルが低くなる傾向であった。

(5) たわみ量調査と振動レベルの関係

D_0 たわみ量及び残存強度 s_i と振動レベルの関係は、図-8、図-9に示すとおりである。 D_0 たわみ量及び残存強度 s_i と振動レベルの明確な関連は、不明であった。

今後のデータの蓄積によって明らかにしていく必要がある。

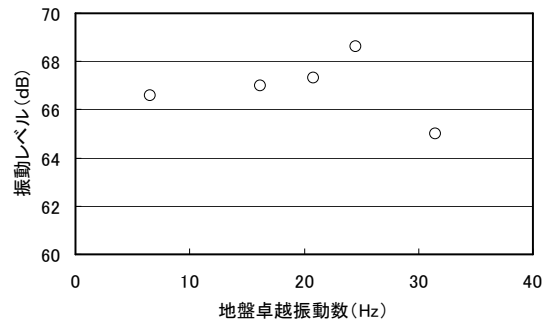


図-6 地盤卓越振動数と振動レベル（段差なし）

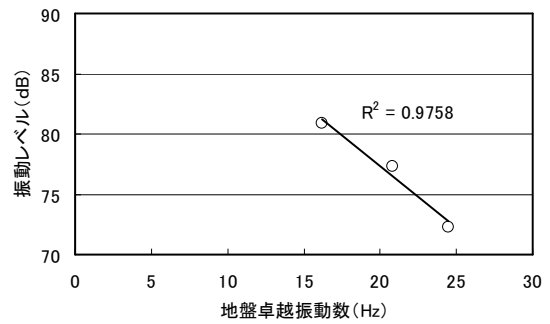


図-7 地盤卓越振動数と振動レベル（段差あり）

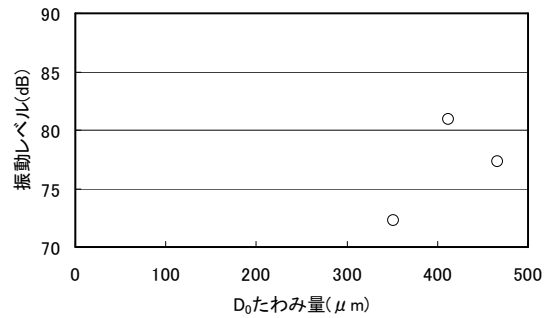


図-8 D_0 たわみ量と振動レベル

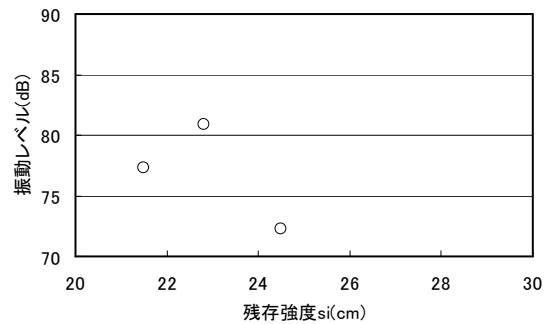


図-9 残存強度 s_i と振動レベル

5. まとめ

本調査結果をまとめると以下のとおりである。

- ①全路線上下車線加速度計の左右別の段差量ランク別度数分布は、どの車線も同様な傾向であり、段差量が0～9mmが約80～90%であることを把握した。また、20mmを超える段差は、1～2%と少ないことを把握した。この傾向は、昨年度測定した2路線と同様であった。
- ②段差が9mm以上の箇所について路面画像を解析して段差の原因を分析した結果は、全路線共通に振動の主な原因は、施工継ぎ目とマンホールであることがわかった。両原因で約40%を占めていた。また、路線特性はあるものの、塑性変形、局部的沈下、占用工事跡、交差点内わだち掘れも段差の原因として多いことがわかった。
- ③段差が大きくなるに従い、振動レベルが大きくなる傾向を確認した（再確認）。
- ④荷重車を使用して振動計測することにより、段差なしのところでは、振動は地盤卓越振動数の状況にかかわらず、ほぼ同じであることを確認した。
- ⑤荷重車よりも一般大型車の方が、振動レベルがやや

高いことを確認した。

- ⑥段差発生箇所は、たわみ量測定の結果も基準を超えて悪くなっていることを確認した。
- ⑦地盤卓越振動数と振動レベルの関係は、段差量により振動レベルが変化することが考えられるため、同一段差量での振動データ収集が必要である。段差なしの箇所では、舗装の支持力の影響が大きいことが考えられ、たわみ量測定による結果を確認したが、 s_i （残存強度）が低い地点（ $s_i=12.4$ ）でも振動レベルに変わりが無かった。段差ありの箇所では、地盤卓越振動数の影響が考えられたが、今回の測定では調査箇所の値が近く（16.2～24.5Hzの範囲）、広い範囲の地盤卓越振動数をより多くデータ収集することにより振動との関連性が明確になると考えられる。

6. あとがき

今回は、舗装構造と振動との関係を明確に把握することが出来なかった。今後、たわみ量調査と振動調査のデータを蓄積して関係を把握していく必要がある。

参考文献

- 1) 峰岸順一、上野慎一郎、橋本善正(2012)、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、平24、都土木技術支援・人材育成センター年報、65-71