

在来線鉄道振動の測定結果について

— 鉄道振動の予測と影響に関する研究 — 第2報 —

青木 一郎

1 はじめに

鉄道は大量輸送機関として、都市機能の面から重要な役割を果たしているが、一方、鉄道車輛の走行に伴って発生する振動によって沿線住民は日常生活に多大な影響を受けている。

しかしながら、鉄道振動については発生源となる鉄道車両や軌道敷あるいは走行状況が様々であることや、伝搬経路である地盤、地質が種々に異なること等発生要因が多様に及ぶにも拘らず、それらの関係を考慮しつつ鉄

2 実測調査の概要

表1に実測調査を行った調査箇所概要を示した。

調査箇所を線路構造別にみると、平坦構造8箇所、高架構造3箇所、切取構造1箇所の計12箇所である。

平坦構造と高架構造では、ピックアップの接地面として在来地表面と舗装面を選定したが、切取構造では舗装面のみで測定を行った。

それぞれの調査箇所では、最寄りの線路中心を起点として距離別の3地点(例えば、10m、20m、30m)に測

表1 調査箇所の概要

No.	路線名	区間	線路構造	振動ピックアップ 接地面	測定日時
No. 1	西武新宿線	田無—花小金井	平坦	在来地表面	60. 10. 9
No. 2	京王帝都京王線	調布—西調布	"	"	60. 10. 16
No. 3	東武東上線	東武練馬—下赤塚	"	"	60. 11. 20
No. 4	西武池袋線	石神井公園—大泉学園	"	"	60. 12. 16
No. 5	京王帝都京王線	飛田給—武蔵野台	"	"	61. 2. 6
No. 6	西武池袋線	保谷—ひばりが丘	"	"	60. 11. 8
No. 7	京王帝都京王線	飛田給—武蔵野台	"	舗装面	61. 2. 6
No. 8	西武池袋線	保谷—ひばりが丘	"	"	60. 11. 8
No. 9	京成成田線	お花茶屋—青砥	高架	在来地表面	60. 10. 2
No. 10	東急東横線	学芸大学—都立大学	"	舗装面	60. 9. 25
No. 11	東武伊勢崎線	竹ノ塚—谷塚	"	"	60. 11. 13
No. 12	西武新宿線	武蔵関—東伏見	切取	舗装面	60. 10. 23

道振動の実情を明らかにした調査結果は多くない。

本研究では、これらの関係を明らかにすべく、昭和59年度から調査を行い、前報¹⁾に調査結果の第1報を報告したところであるが、本報では昭和60年度に実施した調査結果とそれに関連して解析検討を行った事項について報告する。

定地点を設置し、列車通過ごとのX方向、Y方向およびZ方向の振動レベルの最大値を測定した。ここでX方向とY方向とは水平方向の振動で、X方向は線路と直交の方向、Y方向とは線路と平行する方向であり、Z方向は鉛直方向の振動である。

3 測定方法および測定機器

測定方法は前年と同一の方法で行い、測定機器も同一の測定機器を用いたが、新たに分析機器としてF.F.Tを加えたので、これにより周波数分析を行った。

測定機器

3チャンネル振動レベル計	リオン製	VM-13	1台
"	"	VM-13A	2台
データレコーダ	SONY製	FR-3515R	3台
分析機器			
データレコーダ	SONY製	DFR-3415W	1台
レベルレコーダ	リオン製	LR-04	3台

在来地表面と舗装面の両面で行ったが、解析検討を行うため、結果を別々に集計した。

まず、線路構造別の振動レベルを振動の方向別にみると、平坦、高架、切取のいずれの構造においてもZ方向の振動レベルが、X・Yの水平方向の振動レベルより大きく、各測定箇所、測定地点、ピックアップ接地面等により若干の数値に差は認められるが、傾向はほぼ同様である。このようなことから、本研究の当面の解析にあたり、Z方向の振動レベルを代表として検討を加えてゆくことにした。

10 m地点(いずれの路線でも測定を行っている)の

表2 地面振動測定結果

(dB)

No	路線別		X						Y					Z						
	線路構造	ピックアップ接地面	5m	10m	15m	20m	25m	30m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	5m	10m	15m	20m	25m	30m
No 1	平坦	在来地表面		61		53		50		59		53		51		67		56		53
No 2	"	"		58		56		53		57		54		51		66		61		58
No 3	"	"		64		57		53		62		57		53		64		60		57
No 4	"	"		64		55		52		62		56		51		67		62		56
No 5	"	"		63		57		51		64		56		49		68		60		53
No 6	"	"		57		53		50		54		51		47		64		60		53
		平均		61		55		51		59		54		50		66		59		55
No 7	平坦	舗装面		51		46		43		52		49		43		64		56		52
No 8	"	"		56		52		49		53		49		47		62		60		58
		平均		53		49		46		52		49		45		63		58		54
		平坦平均		59		53		50		58		53		49		65		59		55
No 9	高架	在来地表面	54	44	43					49	46	40				59	56	55		
No 10	高架	舗装面	42	41	41					45	43	41				61	58	57		
No 11	"	"													51	48	51			
		平均		38	37	36				38	37	36				56	53	54		
		高架平均		43	39	38				42	40	37				57	54	54		
No 12	切取	舗装面		46		41		37		47		42		39		56		51		46

F.F.T分析器 タケダ理研製 TR-9405A 1台

4 測定結果

(1) 線路構造別

表2に示した地面振動の測定結果は、各調査箇所(以下、路線という。)の3測定地点における各列車毎に計測した振動レベルを、振動の方向(X, Y, Z)別に、測定した25~40本の列車について算術平均を行い求めたものである。測定地点は、平坦構造(以下、構造は略す)と切取は10m, 20m, 30mの3地点で、高架は、5m, 10m, 15mの3地点とした。

また、平坦と高架ではピックアップの接地面として、

線路構造別にZ方向の振動レベルについて検討すると、それぞれの平均値は、平坦65 dB, 切取56 dB, 高架53 dBとなり、平坦が最も大きく、切取、高架は振動のいき値55 dB付近となっている。

これを前年度と比較してみると、平坦はほぼ同等であるが、切取は-9 dB, 高架は-4 dB今年度のレベル値が低くなっているが、これらの相違は測定場所や通過列車の走行条件が異なった結果と考えられる。

さらに、線路構造別にピックアップの接地面に分けて解析してみると、平坦では、在来地表面は66 dBであるのに対し、舗装面は63 dBとなり在来地表面の方が3 dB大きい。また、高架でも在来地表面が56 dBを示してい

るのに対し、舗装面は53dBとなっており、ここでも在来地表面の方が3 dB大きな値を示している。

平坦のNo.5とNo.7、同じくNo.6とNo.8は同一路線の同一測定箇所にて1 m以内の非常に近接した場所にて得られた在来地表面と舗装面両者の測定データである。10 m地点では2~4 dB 舗装面より在来地表面のレベルが大きくなっている。しかし、20 m地点では0~4 dB 差となり、30 m地点では1~5 dB 差となっており、30 m地点では舗装面のレベルの方が大きいことを示している。

このようなことから、在来地表面のレベルは線路から近い所では舗装面より3 dB 前後大きい値を示す場合が多いようであるが、距離が遠くなるとこの傾向は認めら

とその標準偏差を示している。

振動レベルは、各路線別の10 m地点におけるZ方向の振動レベルの平均値とその標準偏差を示している。

また、列車速度と振動レベルの回帰式は、各通過列車毎の速度と振動レベルをもとに最小自乗法により求めたもので、回帰式は、 $L = aV + b$ で示してある。

ここで

L ; 振動レベル

V ; 列車速度

であり、相関係数は上記計算より得たものを示した。

列車速度は、最も速い路線で81 km/h、最も遅い路線で63 km/hで、平均は70 km/hとなり、標準偏差から求

表 3 速度と振動レベルの関係

路線	列車速度		振動レベル		速度と振動レベルの回帰式	
	速度	標準偏差	振動レベル	標準偏差	回帰式	相関係数
No. 1	74.0 km	5.49	67 dB	2.05	$L = 0.11 V + 58.9$	0.29
No. 2	81.2	12.09	66	4.00	$L = 0.22 V + 48.5$	0.65
No. 3	69.6	10.39	64	2.99	$L = 0.15 V + 54.1$	0.36
No. 4	75.0	5.95	67	2.60	$L = 0.27 V + 47.3$	0.62
No. 5	76.3	9.22	68	1.93	$L = 0.06 V + 64.2$	0.30
No. 6	70.0	3.22	64	1.06	$L = -0.07 V + 69.0$	-0.21
No. 7	74.7	7.94	64	2.11	$L = 0.14 V + 53.5$	0.54
No. 8	70.2	4.88	62	0.95	$L = -0.01 V + 63.6$	-0.05
No. 9	65.8	10.63	56	1.70	$L = 0.05 V + 56.4$	0.33
No. 10	63.6	9.88	58	1.89	$L = -0.01 V + 61.4$	-0.03
No. 11	73.7	11.36	48	3.15	$L = 0.14 V + 41.4$	0.49
No. 12	63.2	5.74	56	2.17	$L = 0.25 V + 41.3$	0.65

れない場合もあり、在来地表面と舗装面のレベルの出現と減衰等については、今後なお充分なデータの集積と解析検討の必要があると思われる。

路線別にZ方向10 m地点の振動レベルをみると、No.11を除く他のすべての路線で55 dB以上のレベルを示している。20 m地点をみると、平坦は55 dB以上であるが、切取は55 dB以下であり、高架も55 dB以下となるものと考えられる。

(2) 列車速度と振動レベル

表 3は、路線別にみた列車速度、振動レベルおよび列車速度と振動レベルの回帰式である。

列車速度は、路線別に測定した全列車の速度の平均値

めると、ほぼ60 km/hから90 km/hの30 km/h 差の速度差内にある。

振動レベルは、No.11がやや低い他は56 dBから68 dBの範囲内にあり、標準偏差も平均は2.0 付近にあって、各路線共出現する振動レベルのバラつきは小さい。振動レベルの標準偏差を在来地表面と舗装面間で比較してみると、舗装面の標準偏差の方が在来地表面よりやや小さいようである。

列車速度と振動レベルの回帰式をみると、No.6, No.8, No.10で速度に係る係数が- (マイナス) となっているが、他の9路線は+ (プラス) の回帰式となっている。

速度Vに係る係数をみると、No.4の0.27が最大、No.9の0.05が最少で、平均は0.15となる。これからみると

速度 10 km/h の増加で振動レベルは 1.5 dB の増となり、速度の増加がレベルの増加に寄与するところは小さいと言えよう。また、相関係数についてみると、全体に係数値が低く、列車速度と振動レベルの相関は高くない。前記-（マイナス）を示した 3 路線については相関係数も-（マイナス）を示している。

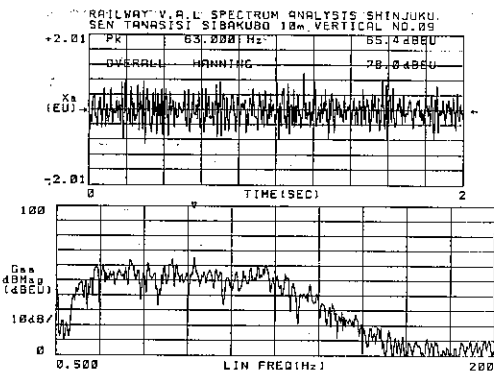
このように、本調査時におけるような速度範囲、振動レベルの出現状況の場合には、列車速度の振動レベルへの寄与するところは大きくなく、後述する距離による減衰の影響の方が大きいものと考えられる。

(3) スペクトル分析

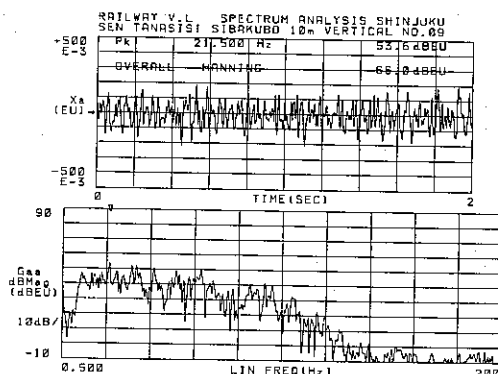
図 1~5 に、F.F.T. によるスペクトル分析の結果を示した。

測定現場では、振動計の Function を加速度レベル（以下、VAL とする。）としてデータレコーダに録音したものを持ち帰り、研究室でデータレコーダから振動計を介して F.F.T. で分析している。分析の際に用いた振動計の Function は VAL と振動レベル（以下、VL とする。）とで行った。分析は、同一列車のピーク値について行い、VAL で分析した結果を(1)に、VL で分析した結果を(2)に図示している。

上段の図は通過時 2 秒間の波形であり、下段の図は 0.5 から 200 Hz までの周波数についての分析図である。図 1 は、平坦、在来地表面のスペクトルであるが、VAL のピーク周波数は 63 Hz を中心にいくつかのピークが高原状に存在しているが、VL のピーク周波数は 21.5

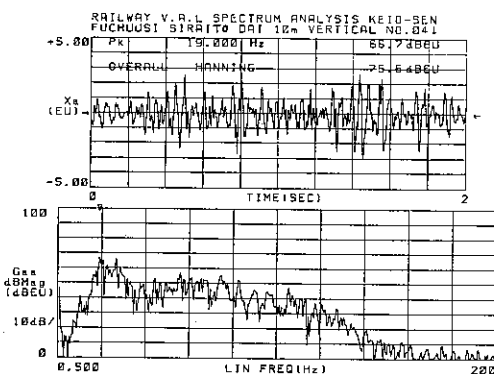


(1)

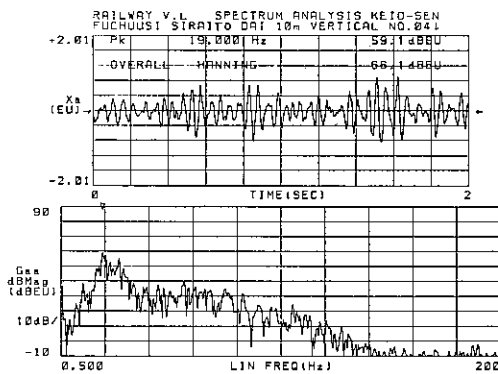


(2)

図 1 平坦在来地表面のスペクトル



(1)



(2)

図 2 平坦舗装面のスペクトル

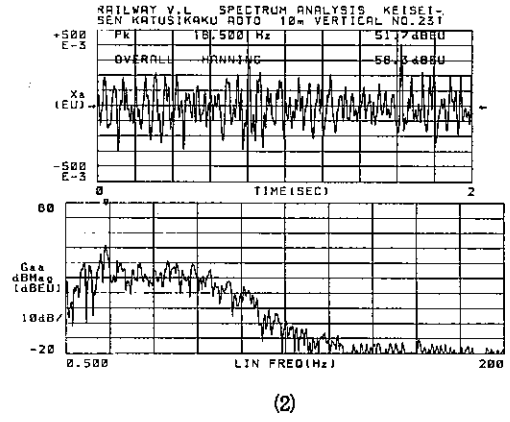
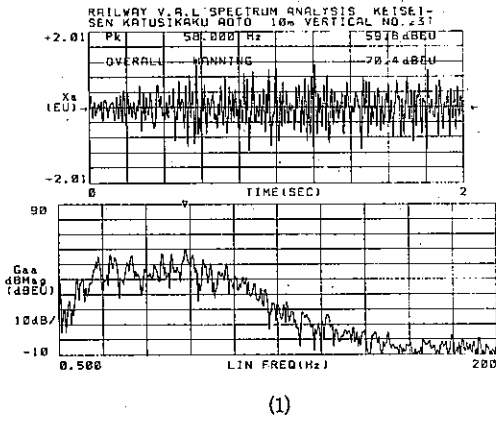


図3 高架在来地表面のスペクトル

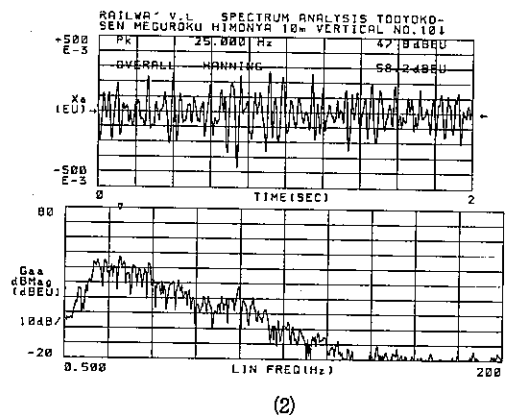
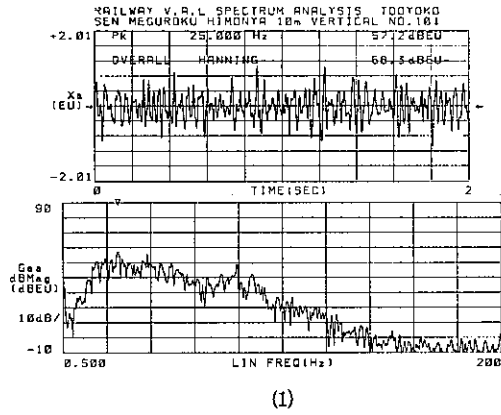


図4 高架舗装面のスペクトル

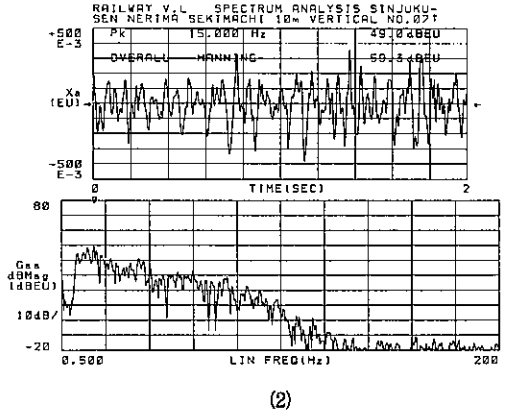
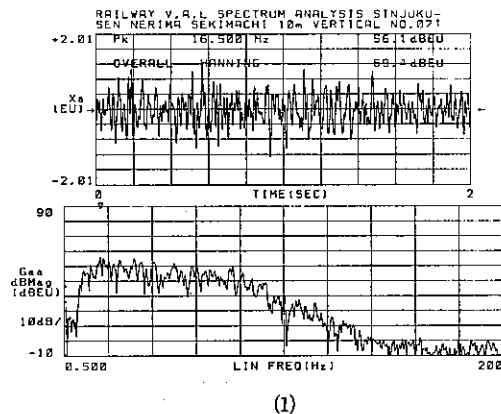


図5 切取舗装面のスペクトル

Hzにあって、周波数が高くなるに従いVALに比し急な下降状態を示している。

図2は、平坦、舗装面の分析結果であるが、VAL、VL共ピーク周波数は19Hz、19.5Hzにありほぼ同形である。

図3は、高架、在来地表面の分析結果であるが、VALは20Hzから60Hzの間いくつかのピークが高原状に存在し、58Hzにピーク周波数が出てくるのに対し、VLではピーク周波数が18.5Hzにあって、他のピークは10dB以上低い波形となっている。

図4は、高架、舗装面の分析結果であるが、ピーク周波数は、VAL、VL共25Hzにあって、VALはややなだらかな下降現象に対し、VLは急な下降現象を示している。

図5は、切取、舗装面の分析結果であるが、VALはピーク周波数が16.5Hzにあって80Hz付近までかなりゆるやかな下降であるが、VLは、ピーク周波数が15Hzにあり20Hz以上は急な下降を示している。

これらの分析結果をみると、平坦、高架の在来地表面におけるVALのピーク周波数は60Hz前後にあり、20Hzから60Hz周辺にいくつかのピークが高原状に存在しているが、平坦、高架、切取の舗装面のVALのピーク周波数はいずれも20Hz周辺にあり、周波数の高くなる方向に対し比較的なだらかな下降現象を示している。一方、図1から5の(2)のVLは、いずれの場合も20Hz周辺にピーク周波数があり、周波数の高くなる方向に急激な下降現象がみられる。このように、VLの周波数分析のみでは明らかとならない。在来地表面と舗装面等地面の相違による特質が、VALによる分析を行うことによって明らかとされるようである。

上段の時間表示による波形分析でみると、在来地表面の波形は舗装面の波形に比して非常に細い波形が多く、高い周波数成分が多く存在しているようである。

(4) 距離減衰

図6~8に、線路構造別に距離と振動レベルの関係を表す図を示した。横軸側の(a)はX方向、(b)はY方向、(c)

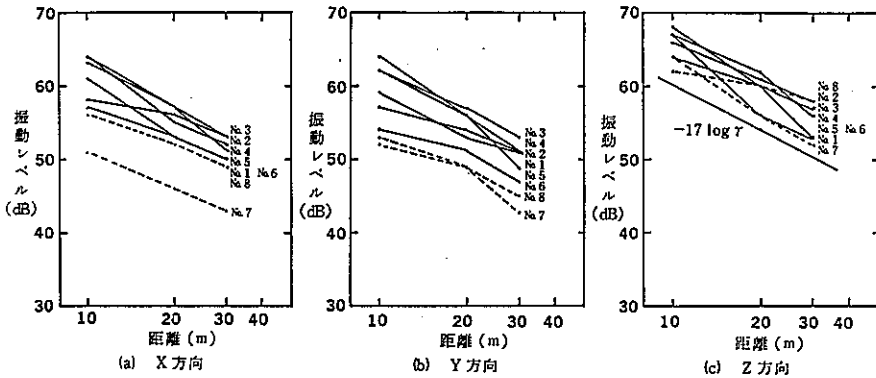


図6 距離と振動レベル（平坦構造）

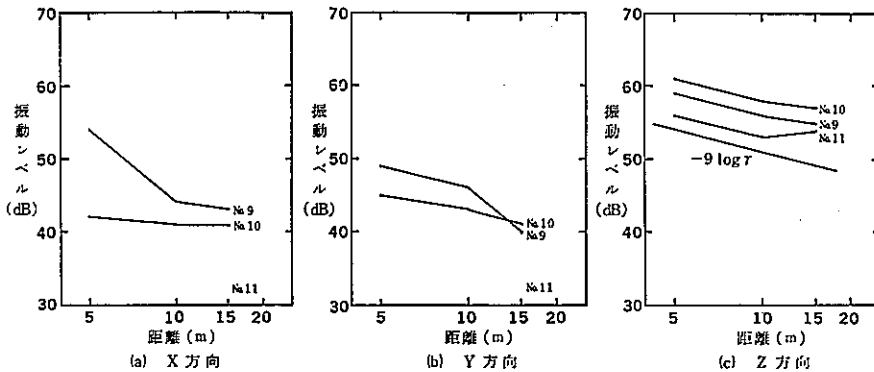


図7 距離と振動レベル（高架構造）

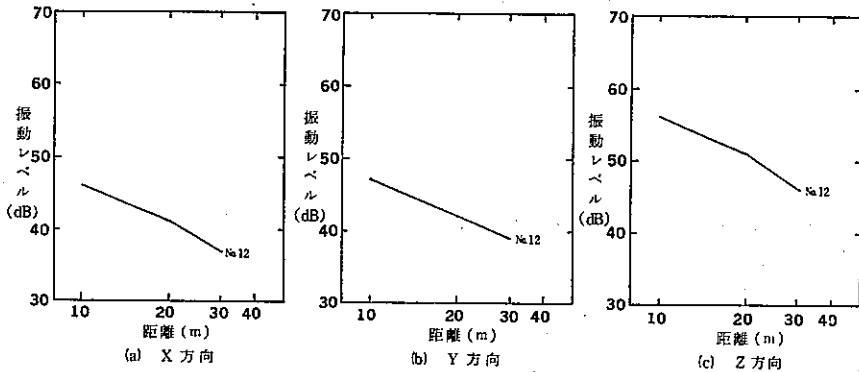


図8 距離と振動レベル(切取構造)

はZ方向の振動についての図で、縦軸は振動レベル(dB)で示してある。

図6は、平坦構造の距離減衰を表す図で、(a)(b)は各路線の測定した振動レベル値に大小の差があり開きは認められるが減衰の傾向は、(c)の場合とほぼ同等であり、10m地点を0として算出した相対レベルによる減衰をみると $-17 \log r$ を示しており、倍距離約5dB程度の減衰が認められる。

図7は、高架構造の場合の距離減衰図であるが、水平振動のレベルは最大と最少の間に15~20dBの差があって、距離による減衰傾向は認められるが、数値を明らかにするのは難しい。(c)のZ方向の振動レベルは、3路線とも相似た傾向を示しており、相対レベルの減衰をみると、 $-9 \log r$ となり、倍距離3dB弱となる。

図8の切取構造は、図6の平坦構造の場合と非常に似た減衰傾向を示しているものと考えられる。

図6において、実線は在来地表面の路線を、点線は舗装面の減衰を示したが、減衰傾向としては両者の間に顕著な差異は認められなかった。

5 まとめ

本報は前報に引きつづき第2年度の調査結果をとりまとめ報告したものである。

- ① 調査箇所は12箇所で行い、平坦8箇所のうち2箇所は近接地点で在来地表面と舗装面で測定を行った。10m地点のZ方向のVLで比較すると、在来地表面の方が舗装面より約3dB大きな値を示すが、30

m地点では舗装面の方が大きい場合もあり、今後の検討が必要である。

- ② 測定した都内の鉄道の場合、列車速度は60~90 km/hの比較的せまい速度差内にあり、測定した振動レベルも標準偏差が2dB以内と小さいレベル巾にある場合は、列車速度による振動レベルの増加は少ない。
- ③ F.F.Tによるスペクトル分析をみると、VALでは在来地表面は20Hzから60Hz付近に高原状のピークがあり60Hz付近にピーク周波数が表われるが、舗装面では20Hz付近にピーク周波数がありなだらかな下降現象がみられる。これがVLでは、いずれの場合も20Hz付近のピーク周波数にまらめられる傾向にある。
- ④ 距離による減衰をみると、平坦は、倍距離5dB程度の減衰を示すのに対し、高架の場合は3dB程度の減衰を示している。
次年度については、上記に関連する課題の他、未解明な点について調査検討を進めて行く所存である。

参考文献

- 1) 青木一郎他：在来線鉄道振動の測定結果について、東京都環境科学研究所年報(1986)