防振マットによる鉄軌道の地盤振動低減効果とその評価

(Ground Vibration Reduction due to Vibration) Proof Mats in Railroad and Its Evaluation

早 川 清¹⁾ (Kiyoshi Hayakawa)
竹 下 貞 雄¹¹⁾ (Sadao Takeshita)
松 井 保¹¹¹⁾ (Tamotsu Matsui)

キーワード：減衰／地盤／振動／測定／鉄道／動的
／波動／野外試験 (IGC : E 8/B 12)

1. はじめに

最近、都市域の民間鉄道において、新路線の計画や在来線の増設計画、さらには都市交通の円滑化のために、道路と鉄道の連続立体交差化工事（特に鉄道の高架化工事）の機会が増加している。このような場合、鉄道営業を継続しながら工事を進めるため、やむをえず仮線を民家側に近づけて敷設することも多くあり、仮線の列車走行による地盤振動対策が極めて重要な問題になっている。

しかしながら、列車の走行により誘起される振動は、沿道地盤に伝達される過程において、発生源では、車両の種類、列車編成、列車速度、軌道構造等の影響因子により複雑な様相を呈し、伝播経路では、線路構造物や基礎構造の相違によっても多様な特性を示す。これらに加えて、沿道への振動の伝播媒体である地盤の性質が多様であるので、決定的な地盤振動の対策法が開発されていない現状にある。

そこで著者等は、防振マット（バラストマット）を軌道下に敷設して、地盤振動を発生源で軽減する対策法の有効性を検討するため、3箇所の素地区間において現地振動調査^{1~4)}を行ってきた。バラストマットは、わが国での高架橋や地下鉄、西ドイツやフランスの地下鉄に採用されており、騒音対策を含めてかなりの効果が得られた事例^{5~8)}も報告されている。しかし、本研究で対象としているような素地区間にバラストマットを敷設して地盤振動の低減効果を調査した事例はないと思われる。

本論文では、バラストマットによる地盤振動の対策法

が素地区間でも有効であることを、現地測定結果に基づいて示すとともに、その振動低減効果の評価法について検討している。

2. 測定概要

(1) 測定場所および軌道構造：測定場所はいずれも関西の私鉄の素地区間であるが、実験Ⅰでは、特に発生振動レベルが大きいと予想される定尺レール継目区間（ケースⅠA-VIAⅢ マット、ケースⅠB-JRS マット、ケースⅠE-マット無）、ロングレール溶接区間（ケースⅠC-VIAⅢ マット、ケースⅠD-JRS マット、ケースⅠF-マット無）に6箇所の測線を設定した。実験Ⅱでは、連続立体交差化工事のために敷設した仮線を対象として2種類のマット（ケースⅡA・ⅡB-溝付ゴムマット、ケースⅡC-ポリマット）を敷設し、マット無区間（ケースⅡD）と比較した。ここで、ケースⅡC'は、ケースⅡCのポリマットの敷設位置から1m横に外して設定した測定ラインである。軌道構造は碎石軌道、木枕木、レールは実験区間に関しては50Nレールを溶接している。ただし、測定場所は非溶接部である。実験Ⅲでは、ロングレール溶接区間を対象とし、道床改良前後（バラストマット敷設前後）の測定値を比較した。

実験名、測定ケース及び使用したマットの仕様を表-1に示した。ケースⅡCのマット以外は、いずれもSBR系のゴムマットを使用している。ケースⅡCのマットは、このような目的のためにはわが国で初めて使用された二層構造の特殊発泡ポリウレタン（ポリマットと呼称している）であり、ゴムマットと比較してばね定数の相違がかなり大きい。なお、いずれのゴムマットについても、厚さは25mm、敷設幅は3mである。

(2) 測定項目：各実験に共通な測定項目は、レール・枕木の上下振動加速度、沿道地盤の5~6地点での上下振動変位・加速度および振動レベルである。この他に、実験Ⅰ・Ⅱでは、枕木変位（地盤に対する上下方向の相対変位）、マット面上の圧力測定を実施しており、また地中（-1.0~-1.5m）の振動加速度も測定してい

- i) 立命館大学理工学部土木工学科 助手（京都市北区等持院北町 56-1）
- ii) 立命館大学理工学部土木工学科 教授
- iii) 大阪大学工学部土木工学科 教授
(1991.2.7 原稿受付・討議期限 1992.10.1, 要請があれば1か月の期限延長可能)

表-1 実験名・測定ケースおよび使用したマットの仕様

諸元 実験名	測定ケース	マットの種類	ばね定数 (kgf/cm)		敷設長 (m)	レールの状況
			静 的	動 的		
実験 I	ケース I A	VIAⅢ マット	1,100	1,650	20	定尺レール区間
	ケース I B	JRS マット	4,500	6,930		
	ケース I C	VIAⅢ マット	1,100	1,650	20	ロングレール区間
	ケース I D	JRS マット	4,500	6,930		
実験 II	ケース II A	溝付マット	610	1,340	33	ロングレール区間
	ケース II B	溝付マット	610	1,340	60	
	ケース II C	ポリマット	100	500	40	
実験 III	ケース III A	PS-5025 マット	3,600	5,110	50	ロングレール区間

注1：マットの厚さは 25 mm（ケース II Cは 5 mm+20 mm の 2 層構造である） 2：マットの敷設幅は 3m。

図-1 測定計器の設置位置

図-2 ボーリング柱状図

る。さらに、実験 I ではバラスト中の上下振動加速度を、実験 II ではマット面上の上下振動加速度を測定している。これらの測定位置を実験ケース II A を代表例として図-1 に示した。各実験ケースについて、レールと枕木での測定は、継目部分（ロングレール区間は溶接部分）を中心としてその前後で行い、測定側のレール中心より 3～5m の距離の測定点を代表点として、地表および地中の上下方向（Z）と水平方向（軌道に平行（Y）および直角方向（X））の 3 方向同時測定も実施した。バラスト中での測定については、枕木直下のバラスト中に木片でカバーした加速度ピックアップを埋め込み、その後、に充分な突き固めを行って測定した。また、実験 II ではマット面上に加速度計と圧力計をはめ込んで、マットの上面における上下方向振動加速度と動的圧力を測定している。

以下、本論文では、これらの測定項目の内、地盤の振動加速度の測定結果を中心として考察した。

（3）測定期日：実測はいずれも営業列車を対象としている。（実験 I）マット敷設後、約 2 か月を経た昭和 63 年 5 月 17～19 日に実施。（実験 II）マット敷設後、約 2 か月を経た昭和 63 年 10 月 18～19 日に実施。

（実験 III）道床改良前の測定を平成元年 3 月 18 日、約 4 か月を経た同 7 月 7 日に道床改良後の測定を実施。

（4）土質状況：調査地域周辺の土質は、図-2 のボーリング柱状図に示すように、実験 I では、上位より沖積層、洪積層に分類され、両層とも砂、砂礫、シルトおよび粘土の互層をなしている。実験 II では、層厚 7m の上部沖積砂層に続き、層厚 5m の砂質シルトが堆積し、両層の N 値は 10 以下である。これより深さ 40m までは N 値 10～60 の砂および砂質シルトが互層をなしている。実験 III では、N 値 5 以下の粘性土を主体とした低盛土下に N 値 50 以上の砂礫層と N 値 5 以下の粘土層が続き、これより以深は砂、砂礫、シルトおよび粘土の互層をなしている。

3. 測定結果および考察

実測した列車速度の変動幅は各実験ケースともに 50～70 km/h と小さく、同一車種ごとの実測値の変動は 1～2 dB である。従って、振動値に及ぼす車速の影響はごくわずかであると考えられるため、以下の考察では、各ケース毎に同一車種に対する測定データの平均値を対象とすることにした。ただし、発生振動レベルには列車

速度のみでなく、車種、列車編成等の影響も考えられるので、以下の振動低減効果に関する検討では、同一車種および列車編成のデータを基にして考察している。なお、以後の各図における横軸の長さは、測定側のレール中心よりの距離で示している。

3.1 地表面上での距離減衰

図-3 は、軌道から直角方向に設定した地表面上の各測定点における、地盤の振動加速度波形を一例として示している。これらの振動加速度波形から、車輪が測線近傍を通過する時に発生するパルス波形の最大値を読み取って整理し、考察を加えた。

図-4-1～2 は、上下振動加速度の最大値に関する距離減衰を示したものである。各ケースに共通して、距離減衰の全体的な傾向はほぼ $-12 \text{ dB}/2 \text{ d}$ (d : 測定側レール中心よりの距離) の直線で近似され、無限地盤上を伝

播する点振源による実体波の減衰特性を示す。すなわち、この意味を物理量で述べると、振動加速度が振動源からの距離が2倍になるごとに、 $1/4$ に減衰することに相当する。ただし、II C、II C' の距離減衰の傾向は、 $-12 \text{ dB}/2 \text{ d}$ の直線より小さい。この原因は、これらの測定ラインが畑地にあり、他の測定ラインとは地盤状態が相違していることが考えられる。

3.2 地盤振動の低減量

(1) 地表面上での振動低減量：地表面上での対策前後の加速度比を dB 換算し、振動低減量として表-2-1～表-2-2 および表-3-1 に示した。なお、本論で述べている振動低減量は、振動低減量 (dB) $= 20 \log_{10}$ (対策後の振動加速度値)/(対策前の振動加速度値) として定義している。以下の考察は図-4-1～2 の振動加速度の距離減衰図から、距離 1m ごとにサンプリングしたデータに関

図-3 地盤振動の測定波形（加速度波形）—ケース I B—

表-2-1 対策前後の加速度値の比較（定尺レール区間）—実験 I—

比較ケース	データの区別	測定側のレール中心よりの距離 (m)				
		3	4~4.7	6.3~7	9~10	16~17
I A/I E	加速度比	0.222	0.290	0.684	0.558	0.645
	低減量 (dB)	-13.1	-10.8	-3.30	-5.07	-3.81
I B/I E	加速度比	0.450	0.516	1.171	1.093	1.226
	低減量 (dB)	-6.94	-5.75	+1.73	+0.77	+1.77

表-2-2 対策前後の加速度値の比較（ロングレール区間）—実験 I—

比較ケース	データの区別	測定側のレール中心よりの距離 (m)				
		3	5	7	11	17
I C/I F	加速度比	0.432	0.855	0.536	0.756	0.773
	低減量 (dB)	-7.29	-1.36	-5.42	-2.43	-2.24
I D/I F	加速度比	0.394	1.115	0.670	1.578	1.363
	低減量 (dB)	-8.09	+0.95	-3.48	+3.96	+4.28

して、無対策区間とバラストマット敷設区間の値を比較することにより行っている。図-4-1より、ケースⅠA・ⅠCの低ばねマットの敷設区間では、無対策のケースⅠE・ⅠFに比較して、距離10m地点までの平均振動低減量がケースⅠA-5.9dB、ケースⅠC-4.1dBになる。またケースⅠB・ⅠDでは低減効果のある距離は6m地点までであり、平均振動低減量はケースⅠB-3.1dB、ケ

R: レール S: 枕木

図-4-1 振動加速度の距離減衰 (実験Ⅰ)

(実験Ⅱ)

R: レール S: 枕木 UG: 地中

測定側のレール中心よりの距離(m)

特急 急行 普通
改良前 ●—● ▲—▲ ■—■
改良後 ○—○ △—△ □—□

(実験Ⅲ)

図-4-2 振動加速度の距離減衰 (実験Ⅱ・Ⅲ)

表-3-1 対策前後の加速度値の比較（地表）—実験Ⅱ—

比較ケース	加速度比と 低減量(dB)	測定側のレール中心よりの距離(m)			
		4	5	7	12
ⅡA/ⅡD	加速度比 低減量	0.568 -4.91	0.728 -2.76	0.727 -2.77	0.477 -6.43
ⅡB/ⅡD	加速度比 低減量	1.296 +2.25	1.108 +0.89	0.860 -1.31	0.977 -0.20
ⅡC/ⅡD	加速度比 低減量	0.570 -4.88	0.516 -5.75	0.879 -1.12	1.391 +2.87
ⅡC'/ⅡD	加速度比 低減量	0.906 -0.86	1.436 +3.14	1.284 +2.17	2.045 +6.21
ⅡC/ⅡC'	加速度比 低減量	0.630 -4.01	0.359 -8.90	0.685 -3.29	0.680 -3.35

表-3-2 対策前後の加速度値の比較（地中）—実験Ⅱ—

比較ケース	加速度比と 低減量(dB)	測定成分		
		4m (V)	4m (H _x)	4m (H _y)
ⅡA/ⅡD	加速度比 低減量	0.453 -6.88	0.556 -5.10	0.393 -8.11
ⅡB/ⅡD	加速度比 低減量	0.275 -11.2	0.577 -4.78	0.289 -10.8
ⅡC/ⅡD	加速度比 低減量	0.137 -17.3	0.188 -14.5	0.171 -15.3

ースⅠD-3.4 dBである。図-4-2 に示す実験Ⅱでは、無対策のケースⅡDに比べて、距離 10m までの平均値はケースⅡA・ⅡCでは共に 4.9 dB 低減しているが、ケースⅡBでは逆に 2.2 dB 増大している。一方、ケースⅡCとケースⅡC'を比較すると 16.0 dB と非常に大きな振動低減量が得られている。図-4-2 から知られるように、この傾向は距離 15m まで継続している。同様に実験Ⅲについては、図-4-2 から分かるように道床改良前後の振動低減量が 8.4~9.9 dB である。これより、図-4-1 および図-4-2 より知られる傾向をまとめると、バラストマットによって振動低減効果が生ずる限界距離は、測定側のレール中心から 15m 程度と推測される。

(2) 地中での振動低減量：実験Ⅱに関して、振動加速度の上下方向と水平2方向の深さ方向分布を示したものが図-5 である。また地表の結果と同様に、振動加速度の低減量を dB 換算して表-3-2 に示した。これらの図および表から分かる特徴としては、①地中の振動加速度が地表の振動加速度よりも大きいこと、②地表の振動加速度の差異が地中のものに比べて小さいことが挙げられる。①の理由は、3.5 で述べているように、地中での卓越振動数が地表のものより大きいことが主因と考えられる。また、②の現象は、バラストマットの影響によるものと考えられる。これらから、地中のいずれの方向の振

図-5 振動加速度の深さ方向分布（実験Ⅱ）

図-6 地表と地中の振動加速度の関係（実験Ⅱ）

動加速度も無対策のケースⅡDが最も大きく、これより順に、溝付きゴムマットのケースⅡA、ケースⅡB、ポリマットのケースⅡCとなり、マットによる振動低減効果が明瞭に現れている。振動低減量を測定3方向の平均で示すと、ケースⅡA 7.6 dB、ケースⅡB 8.9 dB、ケースⅡC 15.7 dB となる。また実験Ⅲに関しては、上

下方向のみについて 8.3~9.8 dB の振動低減量が得られている。

3.3 地表と地中の振動加速度の関係：図-6 は、実験Ⅱの全測定データについて、地表と地中の振動加速度の関係を示したものである。図中の黒塗りのデータは特急列車、白抜きのデータはその他の列車によるものである。両者の関係は、データの変動幅が小さく、両者の加速度値の対応傾向が判定しにくいケースⅡAを除くと、勾配の大きいケースⅡB・ⅡCと勾配の小さいケースⅡDに区別される。このことより、地表からマットを介して波動が地中に伝達される過程において、バラストマットのあるケースはバラストマットの無いケースⅡDに比べて振動がより大きく減衰されることを示している。この理由は、レール・枕木から道床を介して伝達される振動エネルギーが、バラストマットによって遮断されるためと推定される。

3.4 質点の運動軌跡

図-7 は、実験Ⅲの距離 6.25m 地点における地中および地表での3方向（上下方向と水平2方向）測定の結果より、上下方向と波動の進行方向における断面を代表例として、地表と地中の質点の運動軌跡を示したものである。軌道から道床を介して伝播される波動の特性は、軌道近辺では実体波が優勢である。しかし、沿道地盤に伝播される過程においては、波動の性質は実体波から表面波に移行するものと思われる。ここで、質点の運動軌跡を求めた理由は、このような測定距離での波動の性質を明らかにするためである。水平方向が上下方向に比較し

てやや大きい傾向にあるが、運動軌跡にはレイリー波の特徴である回転方向が逆転する現象が生じている。また、地表面より地中の振幅分布が大きくなるレイリー波の特性にも一致している⁹⁾。従って、この程度の距離は、波動の特性が実体波から表面波へと変化する遷移領域にあるものと推定される。

3.5 振動加速度のスペクトル特性

(1) 地表と地中のスペクトル特性：FFT アナライザおよび1/3オクターブ振動数分析器によって求めた地盤の振動加速度のスペクトルを図-8-1~図-8-3に示した。実験Ⅰ(距離3m)の地表のスペクトルの卓越振動数は、16 Hzおよび50~100 Hzに生じている。80~100 Hzの振動数領域はレールおよび枕木でも卓越する。一般に、車両の質量はばね上質量とばね下質量に区分して

図-8-2 地盤振動のスペクトル (実験Ⅱ—距離: 4m—)

図-8-3 地盤振動のスペクトル (実験Ⅲ—距離: 3m—)

考えられている¹⁰⁾。80~100 Hz の卓越振動数は、ばね下質量・レール支持ばねの影響によるものと考えられる。また 16 Hz の卓越振動数は、ばね下質量の影響によるものと考えられる。ロングレール区間では、定尺レール区間に比較して、全体的にスペクトルが平滑化される傾向にある。実験Ⅱ (距離 4m) のデータでは、地表、地中ともにスペクトルの卓越振動数は 31.5~63 Hz にある。これらの卓越振動数領域における振動加速度レベルは、波動が地中から地表に伝播される過程で 10 dB 程度低減していることと、ケースⅡCの特に 40~100 Hz

図-9 軌道から地盤までの振動加速度スペクトルの変化 (実験Ⅱ)

図-10 マット面上を基準とした振動加速度レベル差の変化 (実験Ⅱ)

の振動数領域でのレベル低下が著しく大きいことが特徴的である。実験Ⅲ (距離 3m) における道床改良前後の地表のスペクトルでは、40 Hz 以上の振動数領域でのレベル差が大きくなる特徴がある。

(2) 軌道から地盤までの振動加速度に関するスペクトル特性の変化: ケースⅡCに関して、レール・枕木・マット面上-地中-地盤までの波動の伝達過程におけるスペクトル特性の変化を図-9 に示す。レール・枕木に生じている 500 Hz~2 kHz の高域の振動数成分は、マット面上では急速に減衰し、150 Hz 付近の振動数が卓越している。この振動数も地中までの伝播中には減衰し、地中では 63 Hz 付近の振動数が、さらに地表では 31.5 Hz の

振動数が卓越する。これより、軌道から地盤までの伝達過程において、波動スペクトルの高域の振動数成分が低域の振動数成分に順次移行するメカニズムが明瞭に理解される。

(3) マット面上を基準とした振動加速度レベル差の変化：ケースⅡCに関して、1/3 オクターブバンド中心振動数ごとに、マット面上を基準として地中および地表との振動加速度レベル差の変化を図-10 に示す。これより、マット面上に比較して地表では 31.5 Hz 以上の振動数で、また地中では 63 Hz 以上の振動数で振動加速度レベル差が激増する傾向が分かる。

3.6 バラストマットによる振動低減量とマットの静的ばね定数との関係

実験Ⅰ～Ⅲについて、軌道から 3～5m までの範囲の測定データから、地中および地表におけるバラストマットによる振動低減量 (T_{ug}) および (T_{gs}) とマットの静的ばね定数 (k) との関係を求めて図-11 に示した。地中および地表について、それぞれ両者の回帰式を求めると、以下ようになる。

$$\text{地中: } T_{ug} = 28.91 - 6.027 \log k \quad r = -0.985 \quad (1-1)$$

$$\text{地表: } T_{gs} = 20.82 - 6.115 \log k \quad r = -0.989 \quad (1-2)$$

ここに、 r は相関係数であり、振動低減量と静的ばね定数の単位はそれぞれ dB と kgf/cm である。両者ともに相関係数がほぼ -1 に近く、マットの静的ばね定数が小さくなるに伴って、振動低減量が増加する。従って、素地区間の測定側の軌道から 5m 付近の範囲においては、マットの静的ばね定数を与えれば、マットの厚さ 25 mm、列車速度 50～70 km/h の適用条件の範囲で、振動低減量の推定が可能である。ここでは、静的ばね定

図-11 バラストマットによる振動低減量とマットの静的ばね定数との関係

数との対応を検討したが、動的ばね定数を採用しても同様の結果となる。ただし、軌道の供用年数が累加したケースでは、溶接継目における状態変化の影響を考慮する必要がある。

4. インサージョンロス理論による振動低減量の評価

バラストマットの敷設時と無敷設時のレベル差は、インサージョンロス（挿入損失）として定義されている。鉄軌道に対して、図-12 に示すような 2 自由度系の解析モデルに関して、インサージョンロスは次式¹¹⁾で表現される。

$$L_e = 20 \log |1 + (S_s/S_m) / [1 - (\omega_0/\omega)]| \text{ (dB)} \quad (2)$$

ここに、 L_e ：インサージョンロス、 S_s ：バラストのばね定数、 S_m ：バラストマットのばね定数、 ω_0 ：固有円振動数。

図-13-1～図-13-3 は、インサージョンロスと振動数の関係を検討するために、上式による理論値と実測値を比較したものである。図-13-1 はバラストマットのばね定数が最も小さいケースⅡC（ポリマット）を、図-13-2 は最も大きいケースⅢA を代表例として、軌道近傍の位置（測定側のレール中心からの距離 3～5m）と軌道から離れた位置（距離 6.5m 以上）に関するデータを示したものである。一方、図-13-3 は軌道近傍の位置でのその他の測定ケースのデータを示したものである。本理論式では距離による振動の減衰効果は加味されていない。従って、本論文では軌道近傍に限定して、理論値と実測値の対応を検討している。以上の図から分かるように、いずれのケースにおいても、測定側のレール中心からの距離が 10m 以内の位置では、理論値と実測値は非

図-12 バラストマットによる振動遮断システムに関する解析モデル

常に良く一致していることが理解される。

バラストマットを敷設したことによる軌道系の共振振動数 (f_0) は、それぞれケースⅠA-25 Hz 付近、ケースⅠB-50 Hz 付近、ケースⅡB-32 Hz 付近、ケースⅡC-20 Hz 付近、ケースⅢA-40 Hz 付近にあると考えられる。従って、これらの共振振動数付近では振動が増幅されることになる。

しかしながら、3.5 で述べたように、素地区間の列車走行時の地盤振動では、特に 63 Hz 付近の振動数における値が卓越し、かつ発生レベルも大きいので、環境保全上、特に問題視されている。そこで、この振動数におけるインサージョンロスの変化を実測値に関して示したものが、図-14 である。バラストマットのばね定数が 1,000 kgf/cm 以下のケースでは、インサージョンロスと距離との関係は、-12 dB/2 d の傾向にあり、1,000 kgf/cm 以上のケースでは、-6 dB/2 d の傾向にあると言える。これらより、63 Hz 付近の振動数における振動低減量の評価も、上記のインサージョンロス理論

によって十分に行うことができると言えよう。

図-15 は、3.6 で述べたと同様に、バラストマットによるインサージョンロスとマットの静的ばね定数との関係を、軌道からの距離ごとに示したものである。バラストマットによるインサージョンロス (IL) とマットの静的ばね定数 (k) との関係は、以下の回帰式のようにになる。

$$5\text{ m 以内} \quad IL = 75.38 - 17.92 \log k \quad r = -0.973 \quad (3-1)$$

$$5 \sim 10\text{ m} \quad IL = 48.62 - 17.59 \log k \quad r = -0.999 \quad (3-2)$$

$$10\text{ m 以遠} \quad IL = 16.20 - 3.48 \log k \quad r = -0.900 \quad (3-3)$$

いずれも相関係数がほぼ -1 に近く、バラストマットの静的ばね定数が大きくなると、インサージョンロスが小さくなることが理解される。

本理論式は、もともとトンネル軌道でのインバート部分への適用を考慮したものであり、この場合はマットと

図-13-1 バラストマットによるインサージョンロス (実験Ⅱ)

図-13-2 バラストマットによるインサージョンロス (実験Ⅲ)

図-13-3 バラストマットによるインサージョンロス (実験 I・II)

図-14 インサージョンロスの距離による変化 (63 Hz における)

道床下のインピーダンスの相違が大きいことから、道床下での減衰が省略されている。しかしながら、素地区間においてもインサージョンロスによる理論値と実測値との適合性が十分に良いことが確認された。

5. 結 論

鉄軌道によって生じる地盤振動の発生源での対策法として、防振マット (バラストマット) の適用性を検討した。すなわち、わが国の現状では使用事例がないと思わ

図-15 インサージョンロスとマットの静的ばね定数との関係

れる素地区間を対象として、ばね定数の相違する5種類のバラストマットを敷設し、現地振動調査を行った。その結果に基づいて、バラストマットの防振対策法としての有効性を確認するとともに、バラストマットによる振動低減量の評価法をインサージョンロス理論によって検討した。主な結論を要約すれば、以下の通りである。

- (1) 振動加速度の距離減衰は $-12\text{dB}/2d$ の直線で近似される。これは無限地盤を伝播する実体波の点振源モデルで説明される。
- (2) 地表と地中の振動加速度の関係より、バラストマット敷設ラインは無対策ラインよりも地表と地中の振動加速度の関係勾配が大きくなる。このことは、バラストマットは地中の振動低減により大きく寄与することを

意味している。

(3) レール・枕木に生じる 500 Hz~2 kHz の高域の振動数成分は、マット面上では大きく減衰し、マット面上・地中・地表ではそれぞれ 150 Hz 付近、63 Hz 付近、31.5 Hz 付近の卓越振動数となる。またロングレール区間では、定尺レール区間に比較して、全体的にスペクトルが平滑化される傾向にある。バラストマットの敷設による防振効果は、特に 31.5 Hz 付近以上の振動数で期待できる。

(4) 地表でのバラストマットによる振動低減量は、定尺レール継目部で 3~6 dB 程度、ロングレール溶接部で 2~16 dB 程度、地中で 8~16 程度である。

(5) バラストマットの静的ばね定数の対数値と地盤の振動低減量およびインサージョンロスには極めて良好な相関性があり、両者の関係式によって軌道付近での地盤の振動低減量の推定が可能である。

(6) インサージョンロスと距離との関係は、バラストマットのばね定数が 1,000 kgf/cm 以下のケースでは、-12 dB/2 d の傾向にあり、1,000 kgf/cm 以上のケースでは、-6 dB/2 d の傾向にある。

(7) バラストマットによる振動低減量の評価は、インサージョンロス理論によって十分に行うことができる。

参 考 文 献

1) 早川 清・竹下貞雄・村田裕計・仲尾 浩・磯部利行

- (1989): 防振マットによる鉄軌道振動の低減対策に関する研究(第一報),「第24回土質工学研究発表会」.
- 2) 村田裕計・早川 清・仲尾 浩(1989): 防振マットによる鉄軌道振動の低減対策に関する研究(第二報その1),「土木学会第44回年次学術講演会」.
- 3) 早川 清・村田裕計・仲尾 浩(1989): 防振マットによる鉄軌道振動の低減対策に関する研究(第二報その2),「土木学会第44回年次学術講演会」.
- 4) 早川 清・天野 勲・松井 保・磯部利行(1990): 防振マットによる鉄軌道振動の低減対策に関する研究(第三報),「土木学会関西支部平成二年度年次学術講演会」.
- 5) Urban Mass Transportation Administration Transportation Systems Center: Prediction and Control of Rail Transit Noise and Vibration-A State-of-the-Art, Assessment, pp.111-157, 1974.4.
- 6) James, T. Nelson and Hugh J. Saurenman (1983): State-of-the-Art Review Prediction and Control of Groundborne Noise and Vibration from Rail Transit Trains, U.S. Department of Transportation Urban Mass Transportation Administration, pp.5-1-5-53.
- 7) R. Wettshureck und D. Doberauer Müller-BBM GmbH, Planegg (1985): Unterschottermatten im Munchner S-Bahntunnel, Kurzfassung, DAGA.
- 8) 江島 淳:「地盤振動と対策(基礎・法令から交通・建設振動まで)」, 集文社, pp.169~187, 1979.6.
- 9) H. J. Dolling (1970): Die Abschirmung von Erschütterungen durch Bodenschlitze, Die Bautechnik, Vol. 5, pp.151-158.
- 10) 宮本俊光・渡辺偕年(1980):「線路-軌道の設計・管理一」, 山海堂, pp.11~28.
- 11) R. Wettshureck und D. Doberauer Müller-BBM GmbH, Planegg: Einfügungsdammaß von Unterschottermatten, Acustica Vol.58, pp.177-182, 1985.