

鉄道振動低減工法のフィールド実験に関する報告

鈴木 一* 川久保政茂** 渋谷 重彦*
野中 隆博* 酒井 邦登***

要約： 列車走行に伴って発生する地盤振動は沿線の環境に影響を与え、環境問題の一つとして注目されている。特に都市部においては、利便性・輸送効率の向上を目的とした鉄道整備が進む一方で、環境振動の低減が重要な課題となっている。これまで伝搬経路対策として防振溝、遮断壁など様々な対策工の研究が進められているが、その効果は必ずしも明確ではなく、未だ研究段階にあり、普及していないのが実状である。当社ではプラスチック製遮断壁と反射体を用いた振動低減工法を開発し、フィールド実験を実施した。実験において、プラスチック製遮断壁と反射体により振動源を囲い込むことによる振動低減効果を確認した。その結果、遮断壁+反射体施工後では、対策前と比較して、遮断壁近傍で約 12dB、遮断壁から 5m 地点で約 9dB、遮断壁から 10m 地点で約 4dB の振動低減効果が測定され、従来の対策技術を大きく上回る振動低減効果が確認されたことから、今後、実プロジェクトへの適用を図り、施工性と振動低減効果の確認を実施する必要がある。

キーワード： 鉄道、地盤振動、振動低減、振動加速度レベル、伝搬経路

目次： 1. はじめに
2. 工法概要
3. 実験概要

1. はじめに

列車走行に伴って発生する地盤振動は沿線の環境に影響を与え、近年では重要な環境問題となっている。とりわけ都市部において、鉄道は交通手段の一つとして重要な役割を担っており、鉄道利用者の増加に伴う輸送力増強のため、列車の高速化、複々線化等が進められ、軌道に近接した住宅等への影響がさらに増大するものと考えられる。これまで対策工として振動源対策（車両軽量化、ロングレール化、フローティング軌道¹⁾）、伝搬経路対策（防振溝、遮断壁^{2), 3)}）、受振側対策（家屋防振工）など様々な研究が進められている⁴⁾。その中でも伝搬経路対策については、実施されているものもあるが、地盤振動は不均一な地盤内を種々の波動が異なる伝わり方をするため⁴⁾、伝搬経路における振動低減対策の効果は必ずしも明確ではなく、未だ研究段階にあり、普及していないのが実状である。

そのような背景の中、プラスチック製遮断壁と反射体を用いた振動低減工法の研究開発を行い、フィールド実験を実施した。実験において、プラスチック製遮断壁と反射体により振動源を囲い込むことによる振動低減効果を確認した。

本報告は、振動低減工法のフィールド実験結果について報告するものである。

2. 工法概要

本工法は、軌道下地盤中に剛性の高い反射体（地盤改良体、コンクリート版）、振動伝搬経路にあたる側部に中空で低剛性のプラスチック製の遮断壁を構築し、振動源を囲い込むことにより外部への振動の伝搬を抑制する工法である。振動源から下方向への振動は、剛性の高い反射体により地盤との波動インピ

4. 計測結果
5. 数値解析（二次元FEM解析）
6. まとめ

ーダンス比を大きくとり振動を反射させる。また、反射体を路床から少し離して配置することにより反射された振動を軌道直下の地盤内で減衰させる。さらに、振動伝搬経路にあたる側部に中空で低剛性のプラスチック製振動遮断壁を配置し、地盤との波動インピーダンス比を大きくとり横方向への振動を反射するとともに、遮断壁による振動減衰効果により横方向への振動伝搬抑制を図る。図1に工法概念図を示す。

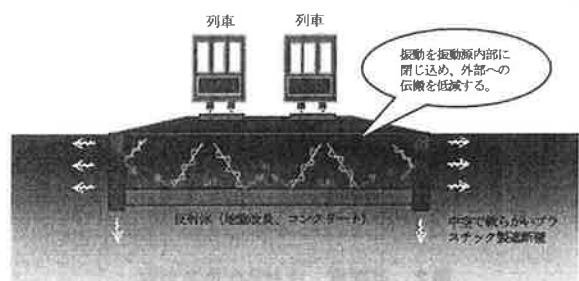


図1 工法概念図

3. 実験概要

3.1 地盤概要

表1に地盤条件を示す。

表1 地盤条件

	層厚	N値
盛土層	2m	2~3
現地盤（土丹）	—	20~25

計測実験においては、軟弱地盤上での振動遮断壁及び反射体による振動低減効果を検証するため、現地盤上部に人工的にN値2~3程度の盛土層を約2m構築した。

盛土の外観図(実験フィールド全景)を写真1に示す。



写真1 盛土の外観(実験フィールド全景)

3.2 振動遮断壁及び反射体の概要

振動遮断壁は、95%の空隙率を有する中空に近いポリプロピレン製組立て式ユニット(B500mm×L500mm×t300mm)を壁状に組立てて使用した。また、反射体は、振動源直下(GL-1m程度)にコンクリート版(無筋、t=200mm)を構築した。

写真2にプラスチック製遮断壁組立て時(正面、断面)の写真を示す。また、図2に振動遮断壁及び反射体の配置断面図を示す。



ポリプロピレン製組立てユニット規格
材質:PP(ポリプロピレン)
寸法:縦0.5m×横0.5m×幅0.3m

写真2 プラスチック製遮断壁組立て時(正面、断面)

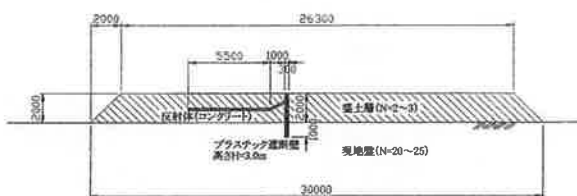


図2 遮断壁、反射体配置断面図

3.3 計測概要

振動計測は、遮断壁及び反射体の施工前後において重錘落下法により振動を発生させ、地盤上の振動性状を把握し、遮断壁及び反射体による振動低減効果を検証した。

3.3.1 加振方法

加振方法は重錘落下(加振エネルギー一定)により地盤に衝撃的な力を加えて加振を行った。本計測実験においては30kg

の鋼球をH=30cmの高さから自由落下させた。(写真3参照)

3.3.2 計測位置及び計測項目

図3に計測位置図を示す。計測位置は、①加振点側(V1)、②遮断壁から0.5m、1.0m、1.5m(V2、V3、V4)、③遮断壁から5.0m、10.0m(V5、V6)の6測点においてX、Y、Z方向の振動加速度レベルの計測を行った。また、表2に計測項目を示す。

現地盤と遮断壁施工後及び遮断壁+反射体施工後における地盤振動の状況を把握し、遮断壁のみの対策及び遮断壁+反射体の対策による振動低減効果を検証した。

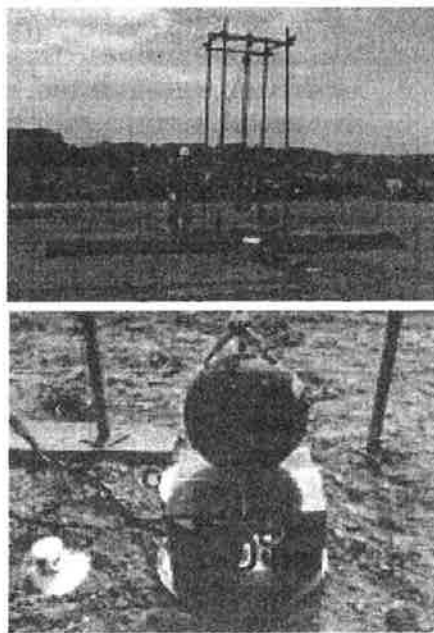


写真3 重錘落下による加振方法

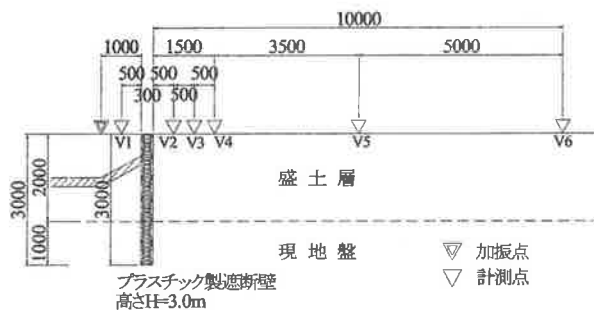


図3 計測位置図

表2 計測項目

計測 Case	対策工	内容
Case1	対策無し	現況地盤
Case2	遮断壁	遮断壁 h=3m 構築後
Case3	遮断壁+反射体	遮断壁 h=3m+反射体構築後

*遮断壁 h=1.0m についても実験を実施しているが同様の傾向であった。

3.3.3 計測方法

計測にあたっては、周波数範囲を広く取れる利点も合わせて幅広い用途に対応できる小型・軽量で機械強度の高い加速度ピックアップを使用した。また、人が感じる振動は各周波数の振動が合成されたものであり、地盤や振動発生源の条件により、振動の周波数成分、感じ方は複雑に異なる。発生している振動の性質を把握するためにその振動の周波数成分を知ることが重要であることから、加速度ピックアップに周波数分析器（1/3オクターブバンド分析器）を接続して周波数分析を実施した。

4. 計測結果

4.1 振動低減効果の確認

対策無し（現地盤）、遮断壁（h=3m）施工後、遮断壁（h=3m）+反射体施工後の各振動計測について鉛直方向成分（Z方向）の振動計測結果（振動加速度レベルのAP）を図4及び表3に示す。

図4及び表3より以下の1)~3)が確認された。

- 1) 遮断壁近傍（V2-Z, V3-Z, V4-Z）では、振動加速度レベルが対策無しに対し、遮断壁 H=3.0m 施工後で約 5dB、遮断壁 H=3.0m+反射体施工後で約 12dB 低減した。
- 2) 遮断壁から 5m 地点（V5-Z）では、振動加速度レベルが対策無しに対し、遮断壁施工後で約 4dB、遮断壁+反射体施工後で約 9dB 低減した。
- 3) 遮断壁から 10m 地点（V6-Z）では、振動加速度レベルは遮断壁近傍と比較して 10~20dB 程度小さくなるものの、対策無しに対し、遮断壁施工後では若干増える傾向であった。

以上の結果より、振動低減対策として、振動源側部に遮断壁を設置することにより、遮断壁近傍では十分な振動低減効果があることが確認された。但し、遮断壁から離れた場所では振動源で発生した振動が遮断壁下端からの回り込み等の影響により有効な振動低減効果は確認されなかった。これに対し、遮断壁と反射体により振動源を囲い込むことにより遮断壁近傍はもとより、遮断壁から離れた場所でも十分な振動低減効果があることが確認された。

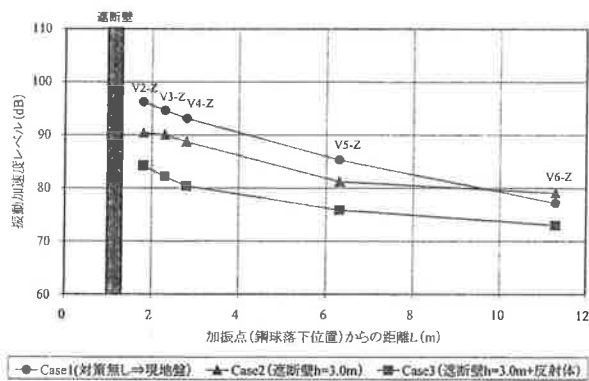


図4 振動計測結果（鉛直 Z 方向）

表3 振動計測結果

加振点からの距離(m)	計測No.	単位	鋼球落下30cm Z方向		
			現地盤	遮断壁(H=3.0m)	遮断壁(H=3.0m)+反射体
1.80	V2-z	(dB)	96.2	90.4	84.2
2.30	V3-z	(dB)	94.6	90.0	82.2
2.80	V4-z	(dB)	93.1	88.7	80.4
6.30	V5-z	(dB)	85.3	81.2	75.9
11.30	V6-z	(dB)	77.2	79.1	73.0

4.2 周波数分析結果

発生振動の周波数成分及び本工法による周波数毎の振動低減効果の把握を目的として、対策無し及び遮断壁 H=3m+反射体の計測ケースについて 1/3 オクターブバンド周波数分析を実施した。遮断壁近傍（V2-Z）、遮断壁から 5m 地点（V5-Z）、遮断壁から 10m 地点（V6-Z）に着目した鉛直方向振動の 1/3 オクターブバンド周波数分析結果をそれぞれ図5、図6及び図7に示す。図5~図7より以下の1), 2), 3)が確認された。

- 1) 発生振動は、周波数が 31.5Hz~125Hz 付近で卓越し、振動加速度レベルで約 70~90dB であった。
- 2) 遮断壁近傍（V2-Z）では、対策無しと比較して遮断壁 H=3m + 反射体施工後の周波数特性は、31.5Hz 付近を境に低周波域では振動加速度レベルは増加し、高周波域では振動加速度レベルの減少傾向であった。
- 3) 遮断壁から 5m 地点（V5-Z）及び遮断壁から 10m 地点（V6-Z）についても遮断壁近傍と同様の傾向を示した。

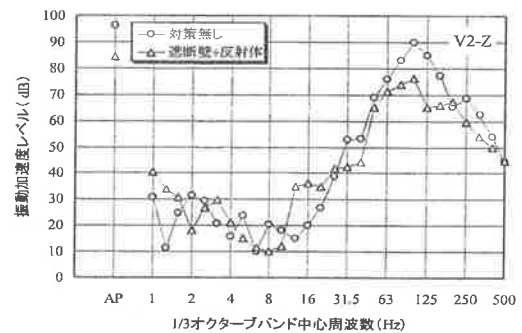


図5 周波数分析結果（V2-Z）

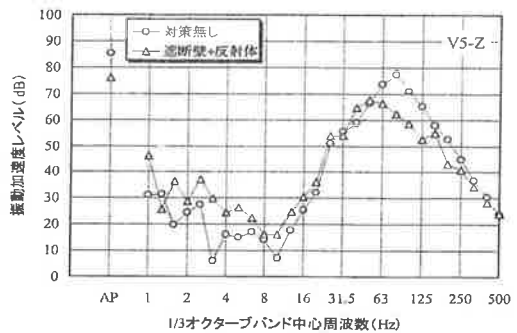


図6 周波数分析結果（V5-Z）

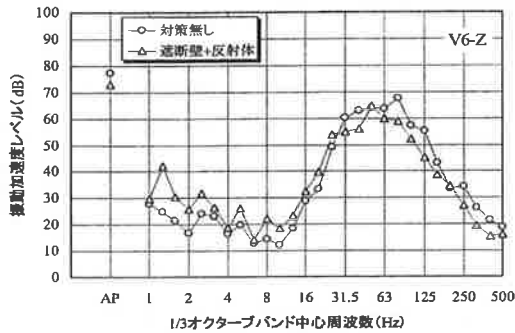


図7 周波数分析結果 (V6-Z)

5. 数値解析 (二次元FEM解析)

フィールド実験を基に本工法の妥当性の検証及び振動特性の把握を目的に計測結果を用いた数値解析 (二次元FEM解析) を実施した。解析にあたっては、鉛直加速度 (最大値) に着目して計測結果を再現し得る遮断壁及び反射体の振動特性 (減衰定数等) を逆解析した。解析結果を図8~図10に示す。

数値解析により計測結果と同様に、対策無しに対して遮断壁及び遮断壁+反射体施工後に受振側での鉛直加速度が減少する傾向を再現することができた。

6. まとめ

フィールド実験により、遮断壁+反射体施工後では、対策前と比較して、遮断壁近傍で約12dB、遮断壁から5m地点で約9

dB、遮断壁から10m地点で約4dBの振動低減効果が測定され、従来の対策技術を大きく上回る振動低減効果が確認された。今後、実プロジェクトへの適用を図り、施工性と振動低減効果の確認を実施する必要がある。都市部においては、鉄道整備に伴い環境振動問題が増加すると考えられる。このような背景の中、本振動低減工法が環境振動対策の一助となれば幸甚である。

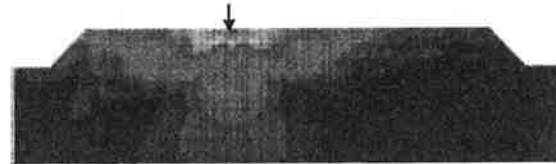


図8 鉛直加速度コンター図 (対策無し)

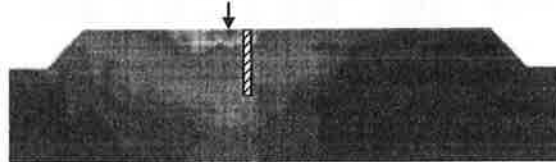


図9 鉛直加速度コンター図 (遮断壁 H=3m)

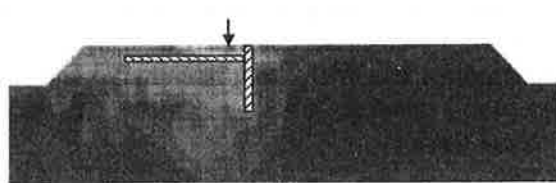


図10 鉛直加速度コンター図 (遮断壁 H=3m+反射体)

謝辞

本鉄道振動低減工法は、技術本部、鉄道本部の共同で開発を進めて参りました。フィールド実験にあたり、東京急行電鉄 (株) には多大なご理解とご協力を頂きました。なお、加振機につきましては東京大学生産技術研究所よりお借りしました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 川久保政茂・林田敏弘・三輪晋也：列車走行に伴う環境振動の特性と振動低減対策，基礎工，Vol.30，No.1，pp.74-76，2002年1月
- 2) 神田政幸・大木基裕・他4名：EPS混合ソイルセメントによる振動低減壁の寸法が地盤振動低減効果に及ぼす影響，土木学会第58回年次学術講演会，pp.1165-1166，2003年9月
- 3) 羽矢洋・室野剛隆・御船直人：廃ゴム材を利用した振動低減対策工の開発，基礎工，Vol.30，No.1，pp.47-50，2002年1月
- 4) 社団法人 日本音響材料協会：騒音・振動対策ハンドブック，pp.455-457，技報堂出版株式会社，1989年

EXPERIMENTAL STUDY OF RAILWAY VIBRATION REDUCTION TECHNOLOGY

H. Suzuki, M. Kawakubo, S. Shibusawa
T. Nonaka, and K. Sakai

The Rail transit produces uncomfortable vibrations to the neighborhood along the railway. Especially in urban areas, while the railway improvement on convenience and transportation efficiency progresses, it is an important subject to reduce environmental vibrations. The vibration reduction technology was developed by using the plastic vibration isolator and the concrete vibration reflector. The experimental studies have been carried out and confirmed that the vibration acceleration level decreased by about 12dB near the isolator after the isolator and reflector construction. Furthermore, it decreased by about 9dB at the point 5m away from the isolator, and decreased by about 4dB at the point 10m away from the isolator.