

新幹線による地盤振動を低減するための振動遮断壁のサイズに関する研究

地盤工学研究室 山村 恭子
指導教員 豊田 浩史

1. はじめに

近年、鉄道の高速度により、鉄道沿線の住民への振動問題が大きな課題となっている。振動に対する対策として、加振力の周波数特性を把握し、卓越する周波数帯で一定の効果が発揮される対策を選定することが効果的である。既往の研究から、列車振動に対し、防振溝・壁による対策に振動低減効果があることは、理論的な考察や FEM などによる解析的な検討から成果が出てきている。しかし、実際の振動伝播機構の解明や、効果の高い防振壁の特定にまでは至っていないのが現状である。そこで、本研究では、新幹線振動の低減を目的とした防振壁を設計する上で必要となる、防振壁に関する詳細なデータを収集する。そこで、防振壁のサイズに着目した模型試験を実施した。防振効果に影響を与える防振壁のパラメータとして、幅、根入れ深さに着目し、1/100 モデルでの模型試験を行い、振動伝播特性を明らかにする。

2. 試験条件

本試験では、作製した模擬地盤中に、起振源として起振器、防振壁として真鍮板を設置することで試験を行った。振動の大きさは、加速度計を用いて測定した。

Table 1 に試験条件をまとめたものを示す。試験ケースは、防振壁の幅、固定、根入れ深さに着目して設定した。ここでいう固定とは、2枚の防振壁を結合して1枚の防振壁として用いるとき、2枚の防振壁の境目を固定することである。

ケース1とケース2では、防振壁の幅以外の条件が揃うよう、おもりを取り付けることで防振壁重さを統一した。

Table 1 試験条件一覧

ケース	幅	根入れ	備考
	mm	mm	
1	430	150	-
2	430	150	おもり (幅考慮)
3	860	150	-
4	860	150	固定なし
5	430	37.5	おもり (根入れ考慮)

3. 使用材料・機器

(1) 使用材料

a. 土試料

試験で用いた土試料は小名浜砂である。小名浜砂の物理特性を Table 2 に、粒径加積曲線を Fig 1 に示す。なお、Fig 1 には豊浦砂も参考値としてプロットしてある。砂試料は、気乾燥状態 $w_i \approx 0\%$ で用いることとした。

Table 2 小名浜砂の物理特性

	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}	塑性指数 I_p (%)
小名浜砂	2.684	0.990	0.590	NP

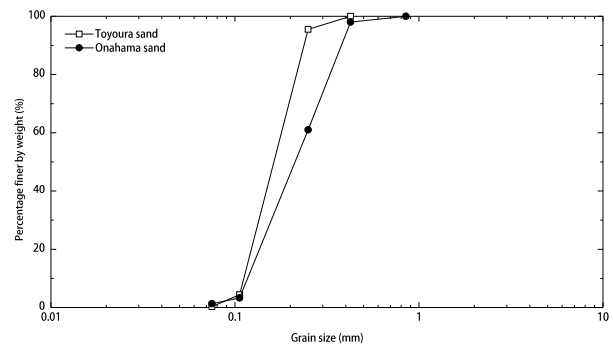


Fig 1 小名浜砂の粒径加積曲線

b. 防振材

防振材は、C2801P 真鍮板を使用した。防振材の大きさは、厚さ 5mm、幅 430mm であり、高さは根入れ深さに応じた 3 種類である。幅 860mm の防振壁は、幅 430mm の防振壁を 2 枚隣合わせて使用した。2枚の防振壁の境目を固定する場合、防振壁の上端はアルミ製のフレーム材をボルトで固定し、下端は鉄製の連結板を取り付けボルトで固定した。また、防振壁の根入れ深さによる影響を調べる試験では、防振壁の質量を統一するために、根入れ深さに応じた重さのおもりを取り付けた。

取り付け方は、Fig 2 に示すように、アルミ製アングルを使って、防振壁の両端に固定する方法である。

防振壁の振幅を測定するため、防振壁の上端にアルミ製のアングルを取り付け、加速度計が設置できるようにしている。



Fig 2 おもりを取り付けた防振壁（上下逆）

(2) 使用機器

起振源には、有限会社旭製作所の「Wave Maker 05」を使用した。起振器のサイズは、幅 116mm、奥行き 116mm、高さ 115mm で、重量は附属品を除いて 4.7 kg である。起振器および振動コンソールの外観を Fig 3 に示す。起振器に附属する振動コンソールによって、周波数と入力加速度を任意に設定することができる。

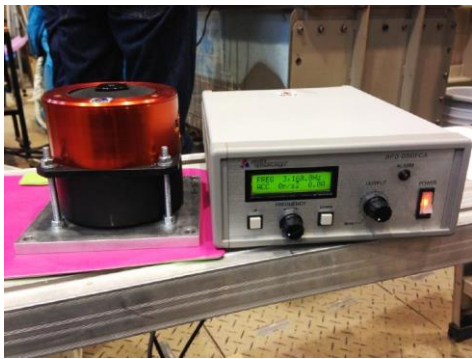


Fig 3 起振器（左：起振器，右：振動コンソール）

基礎模型は、実フィールド実験の現場に構築された東北新幹線大宮ー小山間にある第二上辺見高架橋をサイズダウンしたものである。模型の縮尺は 1/100 である。杭基礎形式は、杭基礎である。杭は、4 本のアルミ製パイプ（ $\phi 18 \times 100\text{mm}$ ）を設置する方式とした。単純化した杭径は、実物の杭断面積の総和に縮尺比を適用して算出している。杭模型には、地盤との摩擦を向上させるために、二液性の接着剤を用いて砂試料を貼り付けた。



Fig 4 基礎模型

模型試験における振動の大きさは、加速度計を用いて測定した。試験では、リオン株式会社製の「一成分型圧電型加速度ピックアップ PV-87」と「三成分型圧電型加速度ピックアップ PV-93」との 2 種類を用いた。

これらのピックアップは、分類上は圧電型に属するもので、圧電素子に機械的な力が加わってひずみが生じると、電荷が発生する圧電効果を利用したセンサーである。

4. 試験方法

(1) 模擬地盤作製方法

模型試験に使用した実験土槽の外観を Fig 5 に示す。土槽内側の寸法は、幅 1.7m、長さ 2.8m、高さ 1.6m である。この土槽は、一般構造用圧延鋼材 SS400 で作製しており、各面版をボルト類で固定する方法で組み立ててある。

模擬地盤は、ふるいを通した空中落下法によって作製した。模擬地盤の初期相対密度 D_{ri} は、地盤作製が比較的容易な値である 60% を目標値とした。



Fig 5 実験土槽の外観

(2) 防振材設置方法

Fig 6 に、使用機器等設置状況を示す。「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について」で規定されている、振動対策に関する測定方法・環境評価方法として、軌道中心より水平距離が

12.5m の地点を振動測定点として測定することが望ましいとされている。そこで、本試験では、防振壁を跨いで、起振器から 125mm 離れた位置にある 2ch の加速度計から得られたデータに着目した。

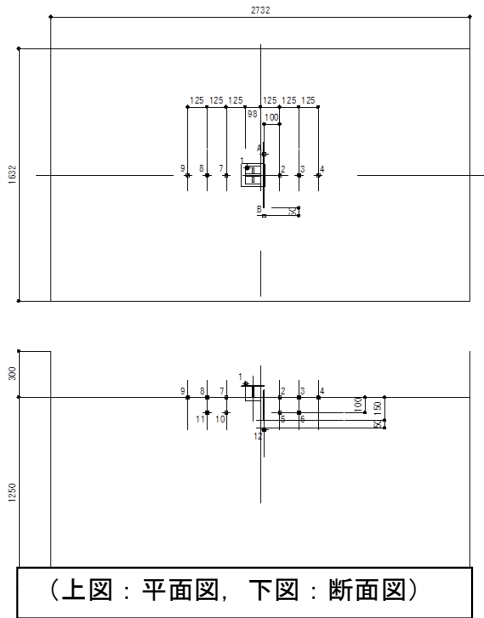


Fig 6 使用機器等設置状況 (単位 mm)

5. 測定条件

試験で用いた起振器の加振条件は、Table 3 に示した通りである。

加振周波数は、模型レベル換算で 32~3,162Hz (実物レベルで 1~100Hz) の領域を対数で取って、ほぼ等間隔となるような 12 段階に設定した。加振周波数は、「砂のせん断剛性 G が、拘束圧の平方根に比例する」という相似則を適用することで算出した。

Table 3 起振器の加振条件

加振波形	Sin 波
加速度 gal	50~1,000
加振方向	鉛直方向
加振周波数 Hz	32~3,162

6. 試験結果

(1) 試験結果の整理方法

試験結果は、振動低減率で評価した。まず、得られたデータから振幅比(Eq. 1)を算出し、次に振幅比から振動低減率(Eq. 2)を算出した。

本研究では、起振器に取り付けた加速度波形データを基準として、地盤に設置した波形データを

正規化した値を、振幅比 N_i として定義する。また、振動低減率は、値が 1 を示す場合模擬地盤内を伝わるせん断波を全て防振壁で遮断したことを意味する。

$$\text{振幅比 } N_i = \frac{A_{i\text{-ground}}}{A_{i\text{-exiter}}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$A_{i\text{-ground}}$: 地盤の加速度振幅(Gal)

$A_{i\text{-exiter}}$: 起振器の加速度振幅(Gal)

$$\text{振動低減率 } R = \left(1 - \frac{N_n}{N_s} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

R : 振動低減率

N_n : 防振壁を設置した場合の振幅比(%)

N_s : 防振壁が無い場合の振幅比(%)

(2) 振動低減効果の検討

Fig 7 は防振壁の幅による影響 (ケース 2, 3 の比較), Fig 8 は防振壁の固定による影響 (ケース 3, 4 の比較), Fig 9 は防振壁の根入れ深さによる影響 (ケース 1, 5 の比較) を示したものである。Fig 7 から、防振壁の幅を大きくすることで、防振効果が増加することが分かる。次に、Fig 8 から、防振壁の結合部分を固定することで、防振効果が増加することが分かる。Fig 9 から、防振壁の根入れ深さを大きくすることで、振動低減効果が大きくなる。しかしながら、8Hz では逆の傾向も見られるため、すべての周波数に対して効果が保証されるわけではない。

これまでに、工事振動低減のための振動対策として、地表におもりを設置する工法が提案されている。この工法では、30Hz 以下の低周波領域では、振動低減効果がみられていない。地中への防振壁の挿入によって物理的に波が壁を通過することにより、振動低減効果を発揮したと考えられる。

Fig 10 は、振動の回り込みによる影響評価を行うために、別途実施した試験の結果である。防振壁端部までの距離 ΔL と振動低減率の関係を示してある。実物距離で $\Delta L 10\text{m}$ 以下では、振動の回り込みの影響が大きいと考えられる。また、 $\Delta L 25\text{m}$ までは、 ΔL の増加に伴い防振効果も増加している。しかし、 $\Delta L 25\text{m}$ 以上にしても防振効果の増加はあまり見られず、 $\Delta L 25\text{m}$ で防振効果が最大となると考えられる。

Fig 11 は、振幅比のコンター図であり、左の図は、防振壁端部から基礎端部までの距離 ΔL が 430mm、中央の図は ΔL が 184mm、右の図は ΔL が 61mm のときのコンター図である。 ΔL が小さ

いほど壁を通過する波が増え、波の回り込みが表れていることが視覚的に分かる。この結果から、防振壁端部から起振源までの距離が短いと、側方から回り込んだ振動の影響が出てきていることが確認できる。

7. 結論

- (1)防振壁の幅を大きくすることで、防振効果が増加した。基礎模型端部から防振壁端部までの距離 ΔL が短いと、防振壁側方から回り込む振動の影響が表れる。 $\Delta L 10\text{m}$ 以下では、振動の回り込みの影響が大きい。また、 $\Delta L 25\text{m}$ までは、 ΔL の増加に伴い防振効果も増加する。しかし、 $\Delta L 25\text{m}$ 以上にしても防振効果の増加はあまり見られず、 $\Delta L 25\text{m}$ で防振効果が最大となる。
- (2)防振壁を小割として並べるより、その結合部分

- を固定することで、防振効果が増加する。
- (3)防振壁の根入れ深さを大きくすることで、振動低減効果が増加する。地中に防振壁を挿入することで、波が壁を通過するときに防振効果が得られると考えられる。根入れゼロでのおもりによる振動低減工法では効果が表れにくい 30Hz 以下の低周波数領域でも、防振効果が期待できる。

参考文献

- 豊田浩史：模型地盤内に設置した遮断壁の振動低減効果確認試験，第7章，平面的な振動伝播特性確認試験，pp129～150，2014。
- 成田修英 他：ローコストな地盤環境振動対策の基礎的研究，戸田建設株式会社 技術研究報告第39号，8-1-8-5，2013。

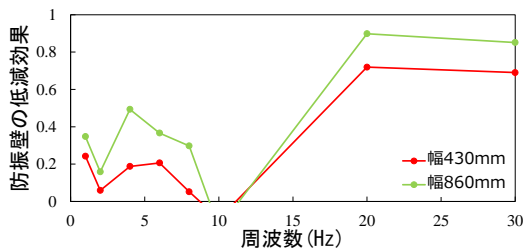


Fig 7 振動低減効果（防振壁の幅による影響）

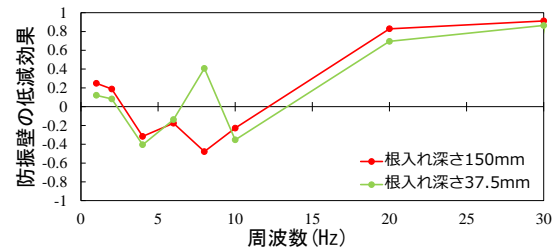


Fig 9 振動低減効果（防振壁の根入れ深さによる影響）

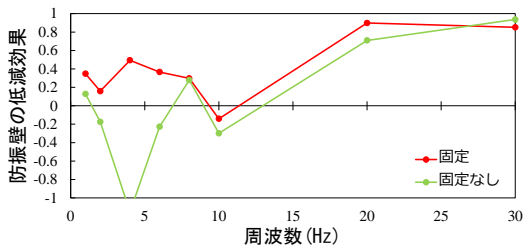


Fig 8 振動低減効果（防振壁の固定による影響）

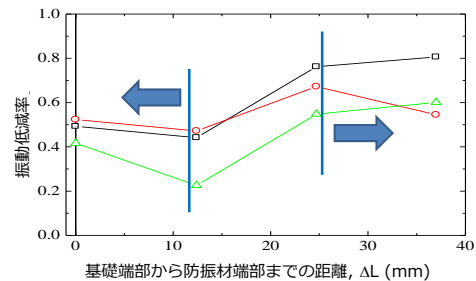


Fig 10 防振壁端部までの距離と振動低減率の関係

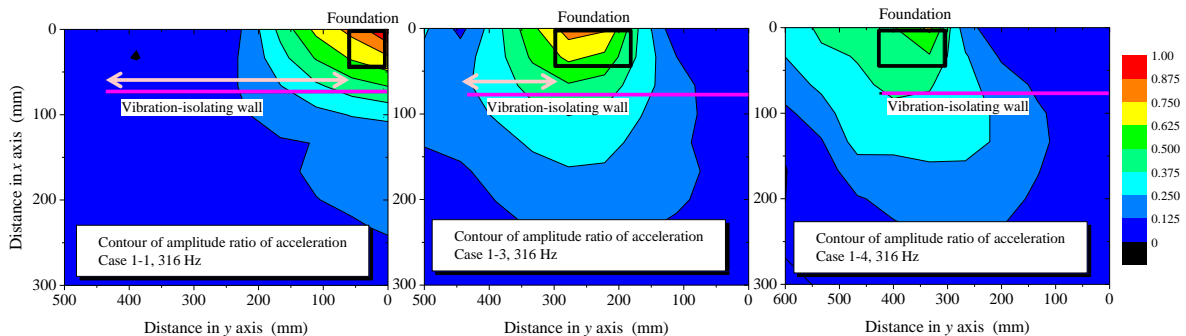


Fig 11 防振壁端部までの距離と振動低減率の関係（コンター図）