

新幹線による地盤振動を低減するための対策工法に関する研究

地盤工学研究室 塚本尚規
指導教員 豊田浩史

1. はじめに

近年、鉄道の高速度化により、鉄道沿線の振動問題が大きな課題となっている。振動への対策としては、加振力の周波数特性を把握し、卓越する周波数帯で、振動低減効果が発揮される対策を選定することが効果的である。しかし、実際の振動伝播機構の解明や、防振効果の高い施工法の特定にまでは至っていない。

そのため、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基礎データを収集するために、1/100 スケールでの模型試験を実施し、新幹線通過時に発生する振動の広がりに着目して地盤伝播特性の把握と、振動を効果的に抑制する対策工法について検討を実施した。

2. 試験条件

本研究では、防振壁を模擬した防振材を地盤に挿入し試験を行った。Table 2.1 に試験条件をまとめたものを示す。主に防振壁のサイズ、質量、剛性に着目した試験を実施した。試験条件は、防振壁を設置しないケースと設置するケースの計 17 ケースである。この試験は、実験土槽内に作製した模擬地盤上で行った。本試験に用いた模型地盤は、模型縮尺

1/100、相対密度 $Dr60\%$ で、小名浜砂を用いて作製した。適用した相似則は、実物の長さ lp と模型の長さ lm の比を相似比 $\lambda=lp/lm$ と定義し、砂の振動実験でよく用いられる、砂のせん断剛性 G が拘束圧の平方根に比例するという実験結果によるものを利用した。

3. 使用機器

3.1 使用機器

本試験では振動源として、小型起振器を用いた。用いた起振器は、幅=41(mm)、奥行=41(mm)、高さ=56(mm)、重さ 0.4kg、加振力 : 9.8N、最大加速度 : 無負荷時 $326m/s^2$ の性能を持つ。また試験で用いた基礎模型のベースとして直径 120mm のペDESTAL を起振器土台として使用した。土槽は、幅=1.7(m)、長さ=2.8(m)、高さ=1.6(m)である。

土槽は一般構造用圧延鋼材 SS400 によって作製されており、また、土槽の構造、大きさによって、外来ノイズや壁面反射波の干渉が問題視されているため、影響を軽減させるために、土槽内壁に緩衝材を設けた。緩衝材の材料として、押出式ポリスチレンフォーム保温版 1B(スタイロフォーム)を使用した。

Table 2.1 試験条件一覧

実験名	Case名	防振材							
		厚さ	幅	高さ	根入れ深さ	防振壁の枚数	材質	備考	
無対策	Case0	—	—	—	—	—	—	備考 対策なし	
実験名	Case名	防振材							
		厚さ	幅	高さ	根入れ深さ	防振壁の枚数	材質	備考	
防振壁実験	Case1-1	5mm	860mm	200mm	150mm	2	真鍮	防振壁連結あり	
	Case1-2	5mm	860mm	200mm	150mm	2	アクリル	防振壁連結あり	
	Case1-3	5mm	430mm	200mm	150mm	1	真鍮	起振器に対し真ん中に設置	
	Case1-4	5mm	400mm	430mm	370mm	2	真鍮	長軸と短軸を90度回転して設置	
	Case1-5	1mm	860mm	200mm	150mm	1	真鍮	860mmの防振壁を1枚	
	Case1-6	5mm	344mm	200mm	150mm	2	真鍮	172mmの防振壁を2枚	
	Case1-7	5mm	172mm	200mm	150mm	1	真鍮	172mmの防振壁を1枚	
	Case1-8	5mm	430mm	125mm	75mm	1	真鍮	起振器に対し真ん中に設置	
	Case1-9	5mm	430mm	87mm	37mm	1	真鍮	起振器に対し真ん中に設置	
実験名	Case名	防振材							
		厚さ	外径	内径	高さ	根入れ深さ	材質	備考	
筒型実験	Case2-1	5mm	200m	190mm	200mm	150mm	真鍮	起振器を中心に囲み設置	
	Case2-2	5mm	200m	190mm	200mm	150mm	真鍮	加速度計を囲み設置	
実験名	Case名	防振材							
		厚さ	幅	高さ	根入れ深さ	防振壁の枚数	材質	備考	
反射振動実験	Case3-1	5mm	430mm	200mm	150mm	2	真鍮	430mmの防振壁を2枚	
	Case3-2	5mm	430mm	200mm	150mm	1	真鍮	430mmの防振壁を1枚	
実験名	Case名	防振材					使用個数		備考
		厚さ	幅	材質	使用個数	備考			
質量体実験	Case4-1	30mm×30mm	860mm	鉛	25	起振器に対し壁状に1列に並べて設置			
	Case4-2	30mm×30mm	380mm、380mm	鉛	44(左:22、右:22)	起振器に対し左右に2列に並べて設置			
	Case4-3	30mm×30mm	430mm	鉛	11	起振器に対し壁状に1列に並べて設置			

3. 2 防振材

防振壁実験では、C2801P 真鍮板とアクリル板を使用した。防振材の大きさは、厚さ 5mm、幅 430mm、高さ 200mm であり、これを 1 枚とする。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。アクリル板では、防振壁の上端はアルミ製の連結板を取り付けボルトで固定し、下端はアクリル製のプレートを取り付け樹脂製ボルトで固定した。

筒型実験では、防振壁実験と同じ真鍮板を使用した。防振材の大きさは、厚さ 5mm、高さ 200mm、外径 200mm、内径 190mm のパイプ型である。実験では、振動伝播の影響を調べるため、起振器または加速度計の周りに設置して行った。

反射振動実験では、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、高さは 200mm であり、これを 1 枚とする。実験では、加速度計の両サイドに設置して行った。

質量体実験では、重量物として 30mm×30mm のパックに鉛玉を入れ起振器周辺の地表面に設置して行った。

3. 3 使用機器等の設置方法

Fig. 3.1～Fig. 3.4 は使用機器等の設置位置を示す。図中の六角形のは PV-87、四角形のは PV-93 を示している。設置した加速度計は、土台に 3 箇所（計測は 1 箇所のみ、他 2 箇所は土台のバランスをとるために設置）、防振壁上に 3 箇所、地表面に 18 箇所（PV-87 が 12 箇所、PV-93 が 6 箇所）、起振器の制御用に 1 箇所と制御値のモニター用が 1 箇所と制御値のモニター用が 1 箇所である。土槽の軸は、土槽の短軸方向を X 軸、長軸方向を Y 軸と設定した。

4. 測定条件

本試験の加振条件は、Table 4.1 に示した通りである。これまでの様々な研究より、地盤を伝播する振動の卓越周波数は、概ね 1~100 Hz（実物換算周波数）であるということが報告されている。これを受けて、加振周波数は、模型レベル換算で 5~3,000Hz

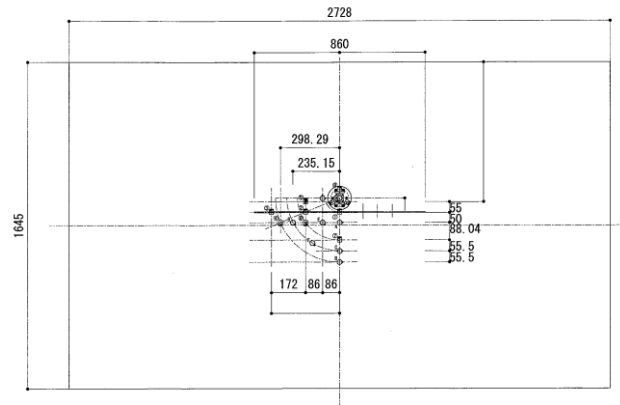


Fig. 3.1 防振壁実験での設置位置

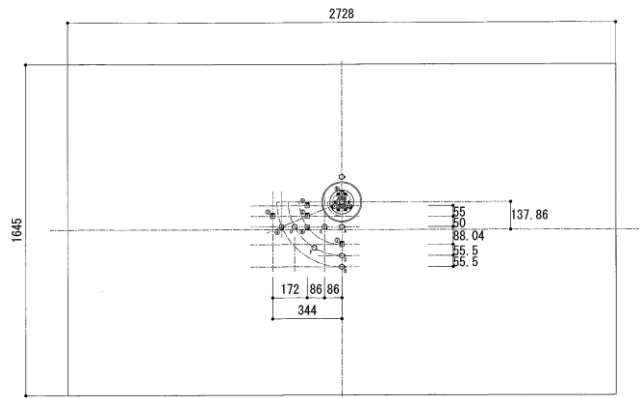


Fig. 3.2 筒型実験での設置位置

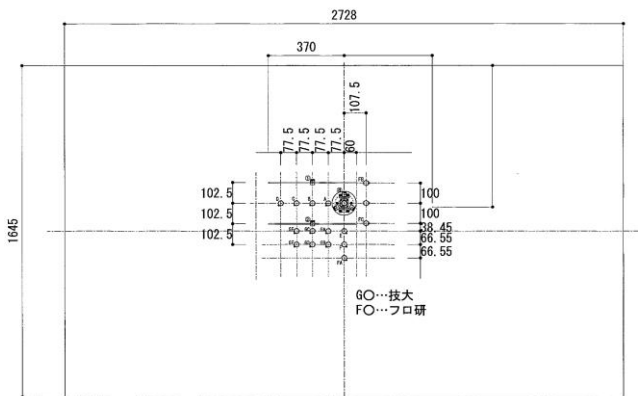


Fig. 3.3 反射振動実験での設置位置

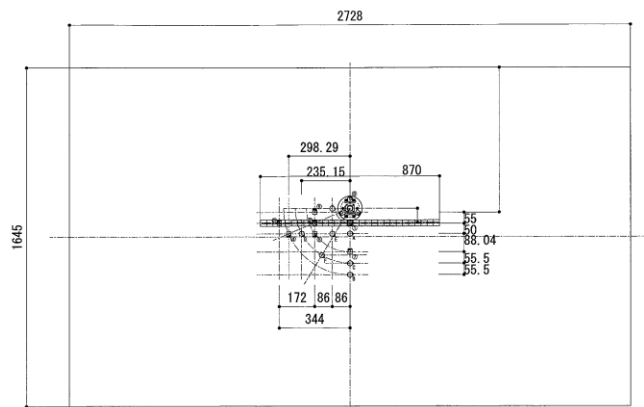


Fig. 3.4 質量体実験での設置位置

の領域に設定した。また、サンプリングインターバルについては、Table 4.2 に示す。

Table 4.1 起振器の加振条件

加振波形	Sin波
加速度 Gal	1,000
加振周波数 (Hz)	5~3,000

Table 4.2 加速度波形測定条件

加振周波数 (Hz)	サンプリングインターバル (μ sec)	サンプリング時間 (sec)	サンプル数
5~3,000	100	40	400,000

5. 試験結果

5.1 試験結果の整理方法

得られたデータから振幅比 N を算出した。振幅比 N は測定データを比較検討するために、

$$\text{Amplitude rate, } N = \frac{A_{\text{ground}}}{A_{\text{exciter}}}$$

ここで、 A_{ground} は、地盤の加速度振幅(m/s^2)、 A_{exciter} は、起振機の加速度振幅(m/s^2)とした。

本研究では、模型実験で測定した周波数を実物周波数に変換し、低周波数(95Hz~160Hz)、中周波数(160Hz~316Hz)、高周波数(316Hz~632Hz)の3つ周波数領域を区分して比較する(Table 5.1)。本報告では、環境基準に規定されている距離 12.5m (試験では起振器に最も近い加速度計) の地点を測定した。

Table 5.1 周波数変換一覧

	実物レベル($\lambda = 1$)	模型レベル($\lambda = 20$)
低周波数	3~5Hz	95Hz~160Hz
中周波数	5~10Hz	160z~316Hz
高周波数	10~20Hz	316Hz~632Hz

5.2 振幅比の比較結果

Table 5.2 は本研究において、効果的に抑制する対策工法を検討するための比較項目である。

Table 5.2 各実験における比較一覧

比較No.	比較対象ケース					比較項目
1	Case1-1	Case1-2	Case0			防振壁の剛性
2	Case1-1	Case1-5	Case0			防振壁の厚さ
3	Case1-1	Case1-3	Case1-6	Case1-7	Case0	防振壁の幅
4	Case1-3	Case1-4	Case0			根入れ深さ①
5	Case1-3	Case1-8	Case1-9	Case0		根入れ深さ②
6	Case1-1	Case4-1	Case0			振動対策工法の比較
7	Case2-1	Case2-2	Case1-1	Case0		振動対策箇所比較

(1) 防振壁の剛性

Fig 5.1 より、無対策に対し、真鍮板・亚克力板ともに振動低減効果が発揮されていることがわかる。さらに真鍮板と亚克力板を比較すると真鍮板がより効果的である。これは剛性の高い真鍮板が振動対策工法に効果的であるといえる。

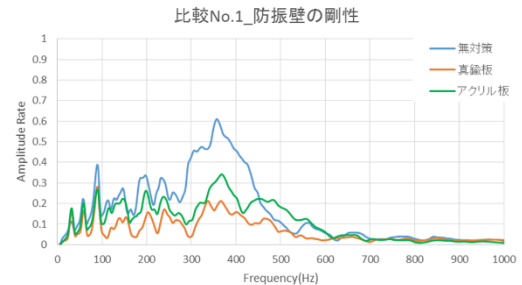


Fig 5.1 防振壁の剛性の比較結果

(2) 防振壁の厚さ

Fig 5.2 より、5mm 板と 1mm 板を比較すると同じ挙動を示していることがわかる。振動低減対策において防振壁の厚さは影響が小さいと推測される。つまり、防振壁の厚さが薄くても振動低減効果は発揮されるといえる。

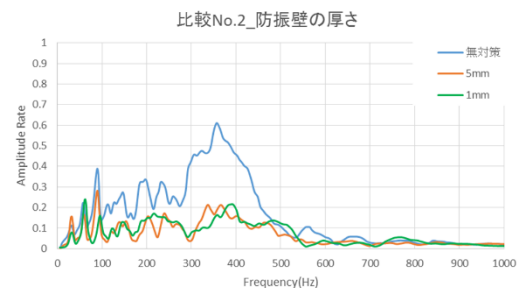


Fig 5.2 防振壁の厚さの比較結果

(3) 防振壁の幅

Fig 5.3 より、防振壁の幅が長いほど低減効果がより発揮されることがわかる。周波数領域で比較すると、高周波数域 (316Hz~632Hz) において 344mm・430mm と 860mm グラフが逆転している。これにより振動低減対策に効果的である周波数領域は区分されると考えられる。

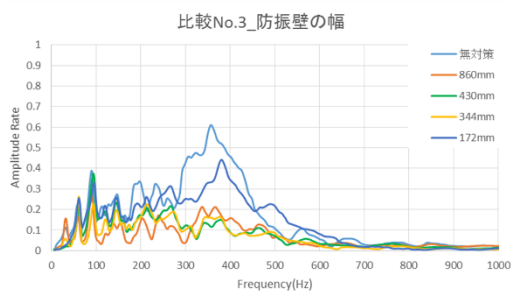


Fig 5.3 防振壁の幅の比較結果

(4) 根入れ深さ①

Fig5.4に、防振壁による根入れ深さの影響①を示す。根入れを比較すると根入れを深くすると、低周波数領域でも低減効果を発揮していることがわかる

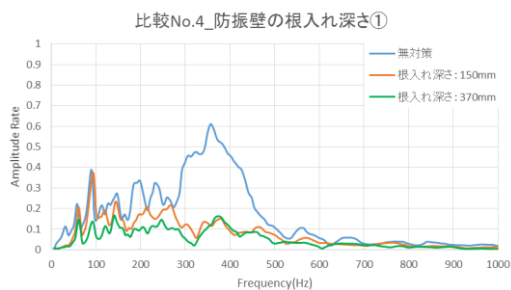


Fig 5.4 防振壁の根入れ深さ①の比較結果

(5) 根入れ深さ②

Fig5.5に、防振壁による根入れ深さの影響②を示す。根入れ深さを比較すると、根入れが浅い37mmでも低減効果が発揮していることがわかる。参考に質量体実験でも比較すると、無対策と比較した場合、低減効果を示しているが、防振壁ほど効果的な結果ではないことがわかった。以上のことから、低減効果には根入れがある対策が効果的であり、根入れがある程度浅くても効果的であることがわかる。

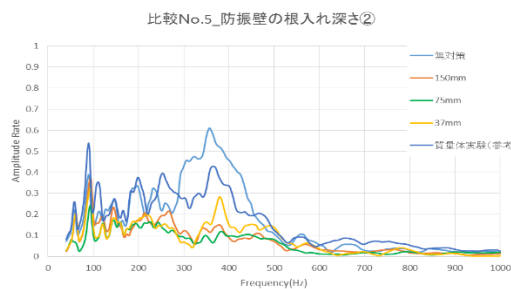


Fig 5.5 防振壁の根入れ深さ②の比較結果

(6) 振動対策工法の比較

Fig5.6に、対策工法による振動低減効果を示す。質量体実験と防振壁実験のグラフを比較すると、防振壁実験が振動低減において効果的であることがわかる。

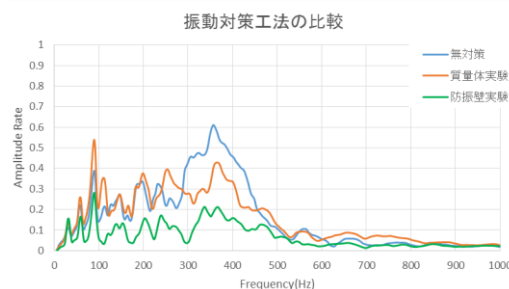


Fig 5.6 振動対策工法の比較結果

(7) 振動対策箇所の比較

Fig5.7より、無対策に対し起振器周りに設置した筒型実験はほぼ同じ振幅比を示し、防振壁実験と加速度計周りに設置した筒型実験がほぼ同じ振幅比を示している。これにより、振動低減対策において、振動源付近に設置する対策工法よりも、振動を受ける構造物付近に設置する対策工法の方が効果的であると考えられる。

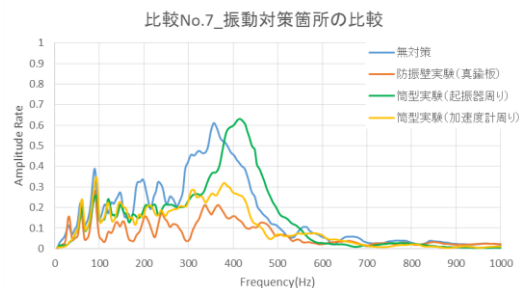


Fig 5.7 振動対策箇所の比較結果

(8) 防振壁の幅と周波数の関係

Fig5.8~Fig5.10に周波数別で整理した防振壁幅の影響を示す。防振壁幅の低減効果について、各図より344mmまで振動低減効果が增大していることがわかる。

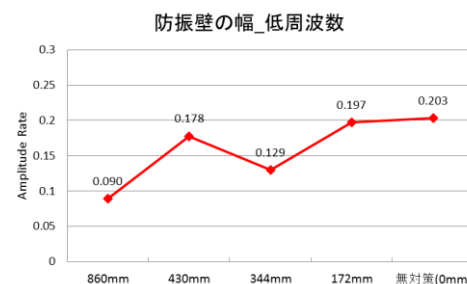


Fig 5.8 防振壁の幅（低周波数領域）

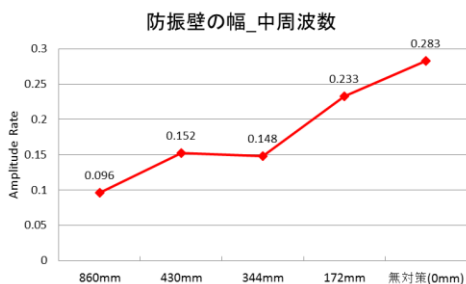


Fig 5.9 防振壁の幅（中周波数領域）

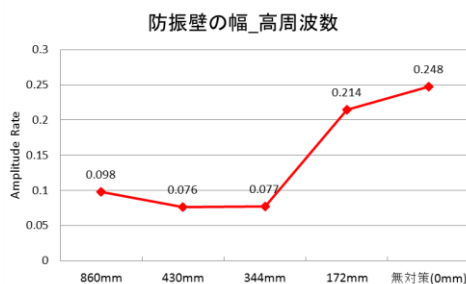


Fig 5.10 防振壁の幅（高周波数領域）

6. まとめ

・ 振動を効果的に抑制する対策工法について

防振材を比較した結果、防振壁の剛性が大きい真鍮板がアクリル板より振動低減効果を発揮した。防振材の厚さを比較した結果、振動低減対策において厚さに大きな影響はない。したがって、厚さが薄くても振動低減効果が発揮されることがわかった。

防振壁の幅に関しては、幅を長くするほど振動低減効果が発揮されることがわかった。周波数領域と防振壁幅の関係性を見ると、低周波領域は明確でないものの、中周波数領域以上は幅 344mm までは、振動低減効果が増大し、それ以上は効果が小さいことがわかった。

7. 結論

本研究を行った範囲内で、環境基準に規定されている距離 12.5m（試験では起振器に最も近い加速度計）の地点の振動対策として、防振壁は効果的である。フーチング基礎模型の直径を d とした時、防振壁の仕様は以下のようなものが好ましい。

1. 地盤とのインピーダンス比が大きい防振材を用いる
2. 防振壁幅は約 $3d$ 以上とする
3. 防振壁厚さは 10cm あればよい

4. 防振壁根入れ深さは 3.7m あればよい

—参考文献—

- 1) 香川崇章：土構造物の模型振動実験における相似則，土木学会論文集, No. 275, pp. 69-77, 1978.
- 2) 豊田浩史：模型地盤内に設置した遮断壁の地盤振動低減効果確認試験-報告書-, 2014.12
- 3) 野本将太，豊田浩史：模型実験による振動遮断壁を用いた地盤振動低減効果の検証，長岡技術科学大学修士論文，2014.3
- 4) 山村恭子，豊田浩史：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，長岡技術科学大学修士論文，2016.3
- 5) 安藤正樹，豊田浩史：新幹線による地盤振動を効果的に低減するための振動遮断壁，長岡技術科学大学修士論文，2017.3