

# 地中防振壁の根入れ深さに関する研究

地盤工学研究室 高杉凌平  
指導教員 豊田浩史

## 1. はじめに

近年、鉄道的高速化により、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た振動伝播特性の把握と、防振効果が期待される防振壁の根入れ深さに関する研究を実施した。

## 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を用いて行った。本試験に用いた模型地盤は、模型縮尺1/100、相対密度 $Dr60\%$ 、小名浜砂を用いて作製した。Table 2.2 に適用した相似則を示す。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<sup>1)</sup>。

Table 2.2 相似則

	地盤の動的問題に特化した相似則
波長 $L$	$\lambda^{-1}$
応力 $\sigma$	$\lambda^{-1}$ (材料密度による)
せん断速度 $V_s$	$\lambda^{-1/4}$
角振動数 $\omega$	$\lambda^{3/4}$
加速度 $a$	$\lambda^{1/2}$ (長さ $\lambda$ と速度 $\lambda$ を合わせた場合)

## 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<sup>2</sup>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のペダスタル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 (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	根入れ (mm)	防振材の 個数	材質	備考
無対策	Case0	—	—	—	—	—	—	対策なし
根入れ実験	Case1-1	5	860	200	150	2	真鍮	防振壁連結あり
	Case1-2	5	860	87.5	37.5	2	真鍮	防振壁連結あり
	Case1-3	30	860	25	0	1	真鍮	壁状に設置
施工性を 考慮した実験	Case2-1	5	860	200	150	5	真鍮	防振壁連結なし
	Case2-2	30×30	860	15	0	59	鉛パック	壁状に1列・2段に設置

### 3. 2 防振材

根入れ実験の防振材は、C2801P 真鍮板を使用した。防振材の大きさは、幅 430mm、高さ 200mm、厚さ 5mm のものと、幅 430mm、高さ 87.5mm、厚さ 5mm のものと、厚さ 30mm、幅 860mm、高さ 25mm の 1 枚の板となる。厚さ 5mm の防振壁は、幅 430mm の防振壁を 2 枚隣合わせて、2 枚の防振壁の境目を固定した。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。防振材の根入れ深さは、Case1-1 が 150mm、Case1-2 が 37.5mm、Case1-3 が 0mm となるように設置を行った。

施工性を考慮した防振材では、C2801P 真鍮板と重量物として 30mm×30mm のバッグに鉛玉を入れたものを使用した。真鍮板の大きさは、厚さ 5mm、幅 172mm、高さ 200mm である。施工性を考慮し、5 枚の分割壁の状態で根入れ深さ 150mm となるように設置した。鉛バッグは、59 個を二列二段となるように設置した。

### 3. 3 使用機器等の設置方法

Fig. 3.1~Fig. 3.3 に、使用機器等の設置位置を示す。設置した加速度計は、起振器の制御用に 1 箇所と制御値のモニター用が 1 箇所その他、無対策では、地表面に 12 箇所設置する。その他の実験では防振壁上に 3 箇所、地表面に 10 箇所設置する。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 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。

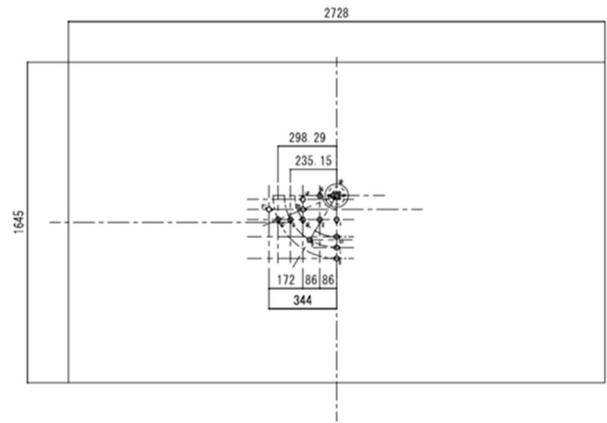


Fig 3.1 Case0

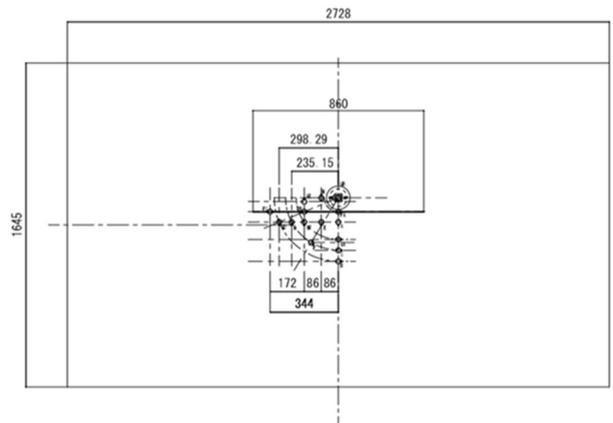


Fig 3.2 Case1-1, Case1-2, Case2-1

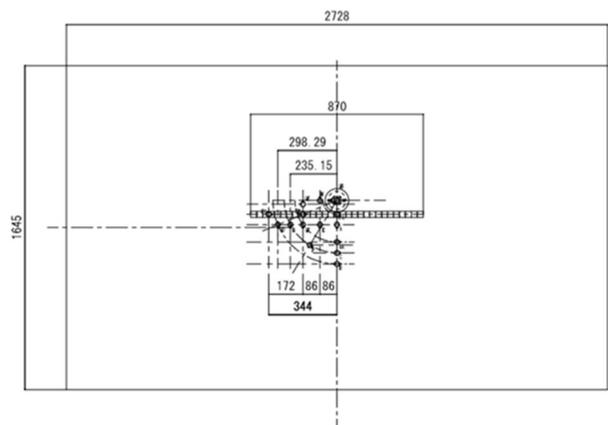


Fig 3.3 Case1-3, Case2-2

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加速度振幅スペクトル比  $N$  を算出した。

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

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

さらに、無対策の Case0 を基準として、各実験で算出された振幅比から振動低減率を算出した。

$$\text{Reduction rate}(\%) = \left(1 - \frac{N_i}{N_0}\right) \times 100$$

ここで、 $N_i$  を各ケースの加速度振幅スペクトル比、 $N_0$  を Case0 の加速度振幅スペクトル比とする。

この振動低減率から振動伝播特性や様々な振動対策工法による振動低減効果について考える。

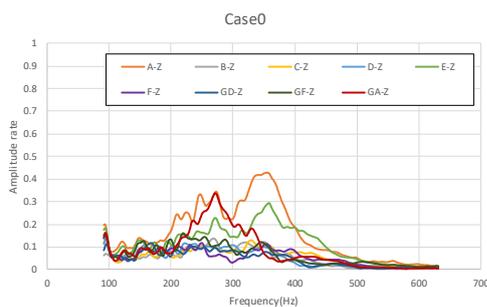
Table5.1 に模型実験で測定した周波数を実物周波数に変換したものを示す。低周波数(95Hz~160Hz)、中周波数(160Hz~316Hz)、高周波数(316Hz~632Hz)の3つの周波数領域に区分して比較する。本報告では、実地盤の卓越周波数である中周波数帯に着目し考察を進めていく。

Table 5.1 周波数変換一覧

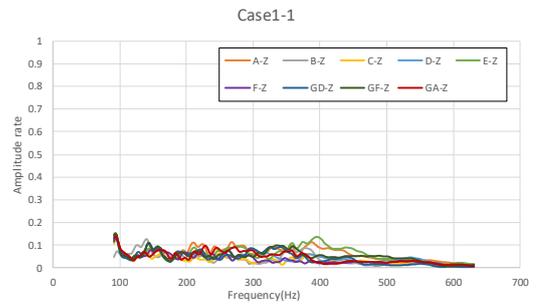
	実物レベル( $\lambda=1$ )	模型レベル( $\lambda=20$ )
低周波数	3~5Hz	95Hz~160Hz
中周波数	5~10Hz	160z~316Hz
高周波数	10~20Hz	316Hz~632Hz

### 5. 1 振幅比の結果

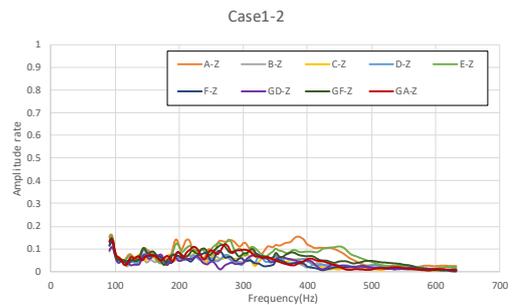
Fig 5.1 に各ケースの振幅比の結果を示す。全ケースとも振幅比の距離減衰が見られた。根入れ実験の3ケース(Fig 5.1(b) (c) (d))では、防振壁による振動低減効果が確認された。施工性を考慮した実験の2ケース(Fig 5.1(e) (f))では、振幅比を増大させるなど、低減効果が発揮されていなかった。



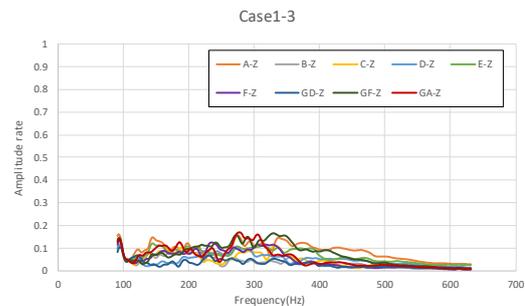
(a) Case0



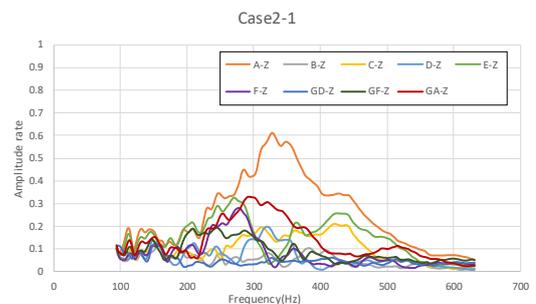
(b) Case1-1



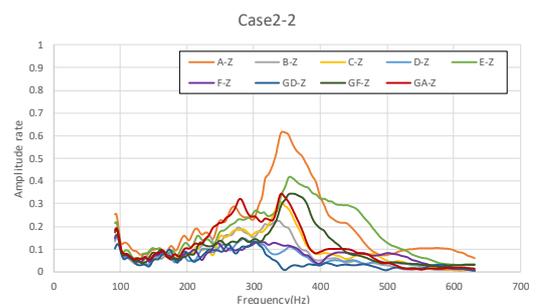
(c) Case1-2



(d) Case1-3



(e) Case2-1

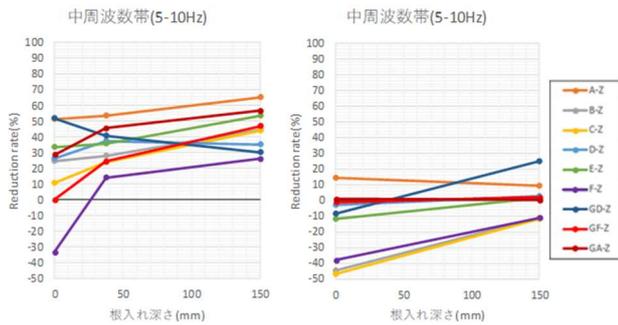


(f) Case2-2

Fig 5.1 各ケースの加速度振幅スペクトル比

## 5. 2 低減率の結果

Fig 5.2 に、中周波数帯における各ケースの根入れ深さと低減率のグラフを示す。

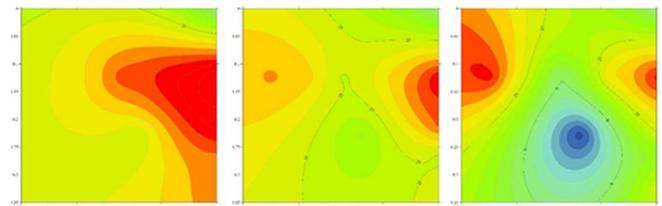


(a) 根入れ実験 (b) 施工性を考慮した実験

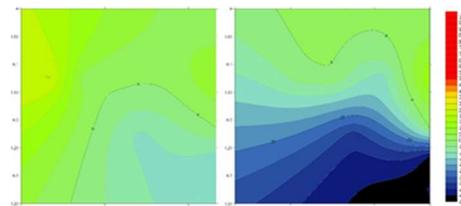
Fig 5.2 中周波数帯の低減率

根入れ実験の3ケースでは、根入れが深くなるほど振動低減効果の増大が見られた。しかしながら、根入れ深さゼロでも、かなりの振動低減効果が読みとれる。それに比べ、施工性を考慮した2ケースは低減効果が低いことが読み取れる。これより、対策工法を小型分割化して、施工しやすくすると、劇的に振動低減効果が落ちるため、大型一体型の対策工法が望ましい。

Fig 5.3 に中周波数帯における各ケースの低減率のコンター図を示す。試験結果によると、Case1-1は広範囲に低減効果が見られる。Case1-2, Case1-3と根入れが浅くなるにつれ、防振材近傍に顕著な低減効果が見られる。そこで実地盤での施工性を考慮し、根入れなしの対策工として、真鍮分割壁と鉛バッグ質量体による防振壁実験を考案し、防振壁としての振動低減効果を検証した結果が、Case2-1, Case2-2である。A点のみならず、他の測定点においても振動低減効果は表れていない。既往の研究においても、分割壁と一体壁の低減効果の違いには、同じ傾向が見られた<sup>2)</sup>。大型一体型の対策工法が望ましい結果であるが、どの程度の大きさが必要かについては、既往の研究で防振壁は430mm以上の幅が必要との成果が出ている<sup>3)</sup>。



(a) Case1-1 (b) Case1-2 (c) Case1-3



(d) Case2-1 (e) Case2-2

Fig 5.3 低減率のコンター図 (中周波数帯)

## 6. 結論

地盤振動を効果的に低減する防振壁の根入れ深さに関する本研究により得られた知見をまとめると以下ようになる。

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)地点では、一体構造の防振材を地表面に設置したところ、根入れなしにおいても高い振動低減効果を発揮した。しかしながら、対策工法を小型分割化すると、振動低減効果が劇的に減少した。以上より、振動低減効果と施工性を考えると、地表面に、幅43m程度の剛な一体型質量体を配置する手法が推奨される。

—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) 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
- 3) 塚本尚規，豊田浩史：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，長岡技術科学大学修士論文，2018.3