

# 振動制御装置を用いた建設振動の伝播経路対策技術の開発 —模型実験による振動制御装置の配置方法の検討—

Development of Countermeasure using Vibration Control Device for Control of Construction  
Vibration in Propagation Paths  
(Study on Arrangement of Vibration Control System by Model Experiment)

岩根 康之<sup>\*1</sup>  
Yasuyuki Iwane

小林 真人<sup>\*1</sup>  
Masahito Kobayashi

佐藤 考浩<sup>\*1</sup>  
Takahiro Sato

松本 泰尚<sup>\*2</sup>  
Yasunao Matsumoto

## 【要旨】

建設工事の振動対策として、振動制御装置を用いた伝播経路対策技術を開発している。振動制御装置には質量体と振動系の2種類がある。本稿では、振動制御装置の配置方法と振動低減効果の関係を模型実験により検討した結果を報告する。

質量体は設置位置によって低減効果の周波数特性が変化し、加振点に近いほうが低振動数域での低減効果が大きく、受振点に近いほうが高振動数域の低減効果が大きい傾向を確認した。また、質量体を伝播経路上に2つ並べて設置することで低減効果が向上した。振動系は、設置位置によって低減効果の周波数特性に顕著な変化はないが、加振点に近い位置に設置したほうが低減効果は向上した。さらに、質量体と振動系を組合せて配置することで低減効果は向上し、それぞれの特性を合わせた低減効果を発揮することを確認した。

【キーワード】 建設振動 伝播経路対策 振動制御 模型実験

## 1. はじめに

建設工事の振動対策として、振動制御装置を用いた伝播経路対策技術を開発している<sup>1)</sup>。振動制御装置には、「質量体」と「振動系」の2種類がある。質量体はおもりからなる構造物で、接地面の剛性と質量によって地表の変位を面的に拘束する。質量体を伝播経路上に設置することで、接地面において入力波の散乱と反射が生じ、質量体の背面に透過する波を低減する<sup>2)</sup>。これまでの研究により、質量体の低減効果は質量体の質量と伝播経路方向の長さに依存することが明らかとなっている<sup>3)</sup>。実大実験では、質量体の伝播経路長さを9,200 mm、質量を86.3 tとした場合、およそ10 Hz以上の振動数で低減効果を発揮することを確認した<sup>4)</sup>。一方、振動系は基礎、バネ、おもりから構成される。おもりの固有振動数を低減対象とする振動数となるよう調整し、おもりの振動によって発生する二次的な波が入力波と干渉することで低減効果を発揮する<sup>5)</sup>。質量体に比べて低い振動数から低減効果を発揮しやすいことを模型実験により確認している<sup>1)</sup>。

本稿では、質量体と振動系を1つまたは2つ設置した

場合と、質量体と振動系を組合せて設置した場合について、振動制御装置の配置と振動低減効果の関係を模型実験により検討した結果を報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 相似比

表-1に実験における相似比を示す。地盤振動問題を取り扱ううえで支配的となる物理法則は、式(1)に示すNewtonの慣性の法則である。

$$F = ma = \rho \frac{l^4}{t^2} \quad (1)$$

ここで、 $F$ (N)は力、 $m$ (kg)は質量、 $a$ ( $\text{m/s}^2$ )は加速度、 $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )は密度、 $l$ (m)は長さ、 $t$ (s)は時間でいずれも代表値である。模型実験の縮尺を1/40としたため、長さの相似比は0.025となる。実地盤には密度が約 $1.5 \text{ g/cm}^3$ の粘性土を想定し、模型地盤には密度は $0.98 \text{ g/cm}^3$ のシリコーンゴムを使用したため、密度の相似比は0.667とした。また、重力場の実験となるため、加速度の相似比は1となる。

表-1 相似比

諸元	次元	相似比
長さ	L	0.025
加速度	$LT^{-2}$	1
密度	$ML^{-3}$	0.667
時間	T	0.158
振動数	$T^{-1}$	6.325
速度	$LT^{-1}$	0.158
弾性係数	$ML^{-1}T^{-2}$	0.017

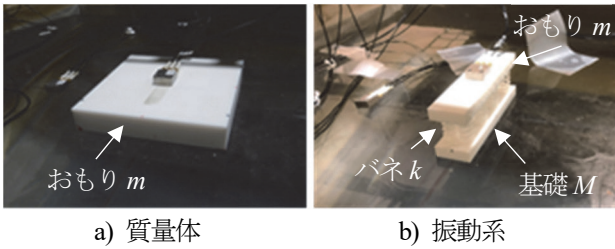


図-1 模型実験に使用した振動制御装置

表-2 振動制御装置の諸元

	模型		実物換算	
	寸法	質量	寸法	質量
質量体	w100 mm × l100 mm × t16 mm	352 g	w4,000 mm × l4,000 mm × t800 mm	33,792 kg
振動系 (基礎、おもり)	w25 mm × l100 mm × t8 mm	42g	w1,000 mm × l4,000 mm × t400 mm	4,032 kg

## 2.2 振動制御装置

図-1に模型実験に使用した振動制御装置を示す。また表-2に振動制御装置の諸元を示す。質量体の素材はテフロン (PTFE) 板とした。テフロンは弾性係数の実物換算値がコンクリートに近く、建設現場に適用可能な範囲を想定して模型寸法を設定した。振動系は基礎とおもりにテフロン板を使用し、ポリカーボネート製のバネを挟んで接着剤で固定した。全体の質量は90gである。おもりの固有振動数が約40Hz (実換算約6.3Hz)となるよう、ばねの種類と数を調整した。

## 2.3 模型地盤と実験配置

図-2に模型地盤と実験配置の例を示す。模型地盤の寸法は、 $W 1200 \text{ mm} \times L 1400 \text{ mm} \times D 570 \text{ mm}$ である。模型地盤の表面の中央を加振点とし、起振器にはピエゾアクチュエータ (PZ-72, 松定プレジジョン) を使用した。20~140 Hz の swept sine 信号を変位振幅が最大振幅  $72 \mu\text{m}$  で一定となるよう入力し、鉛直方向に加振した。起振器は、模型地盤の枠の上に設置した梁で支持し、加振時の水平方向のブレを軽減した。振動制御装置の設置位置は2か所とし、起振器の中心から90 mmをA、起振器の中心から210 mmをBとした。

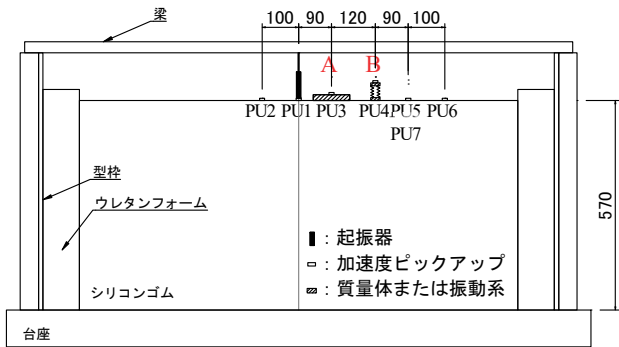
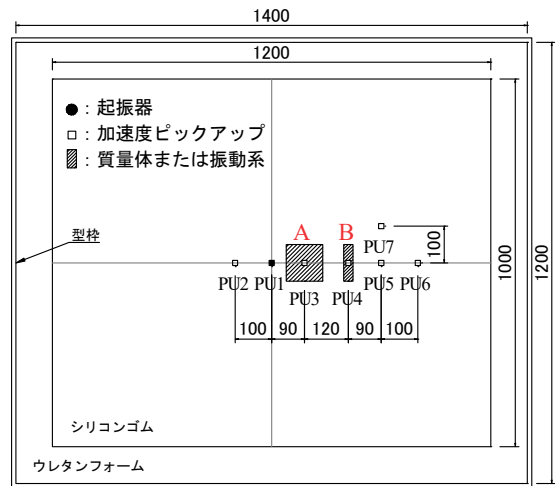


図-2 模型地盤と実験配置の例 (Case 7)

表-3 振動制御装置の配置パターン

Case	A	B
1	質量体	—
2	—	質量体
3	質量体	質量体
4	振動系	—
5	—	振動系
6	振動系	振動系
7	質量体	振動系
8	振動系	質量体
9	—	—

※—は振動制御装置がない状態

表-3に振動制御装置の配置パターンを示す。AとBのいずれかまたは両方に振動制御装置を設置し (Case 1~8)、振動制御装置がない状態 (Case 9) と比較することで低減効果を検証した。

振動の測定には、3方向加速度ピックアップ (PV-97C, RION) (以下, PU) を使用した。測定位置は、起振器の直下 (PU1)、起振器中心から振動制御装置の反対側に100 mm (PU2)、A地点の振動制御装置の上面 (PU3)、B地点の振動制御装置の上面 (PU4)、起振器中心から振動制御装置側に300 mm (PU5) と400 mm (PU6)、PU5の側方に100 mm (PU7) の7か所とした。

## 2.4 評価方法

振動低減効果の評価は以下の方法で行った。まず、加振点の直下 (PU1) とその他の測定点 (PU2~PU7) の加速度の比から伝達関数  $H(f)$  を振動制御装置の有無について式 (2) より求める。

$$H_1(f) = \frac{P_{yx}(f)}{P_{xx}(f)} \quad (2)$$

$P_{yx}(f)$  : 入力信号  $x$  と出力信号  $y$  のクロスパワースペクトル密度

$P_{xx}(f)$  : 入力信号  $x$  のパワースペクトル密度

次に、振動制御装置の有無による伝達関数の比から振動低減量  $RL$  (dB) を式(3)により求める。

$$RL = 20 \log_{10} (H_w / H_{w/o})^{-1} \quad (3)$$

$H_{w/o}$  : 振動制御装置がない場合の伝達関数

$H_w$  : 振動制御装置がある場合の伝達関数

なお本稿では、振動低減対象範囲である PU5, PU6 および PU7 の鉛直方向の測定結果について示す。

## 3. 実験結果

### 3.1 質量体の配置による低減効果の比較 (Case 1~3)

図-3 に質量体の配置による低減効果の比較を示す。質量体を1つ配置した Case 1 と Case 2 を比較すると、PU5 の  $RL$  は約 90 Hz 以下では質量体が加振点に近い Case 1 のほうが大きく、90 Hz 以上では逆に Case 2 のほうが大きい傾向が確認された。PU6 についても、80~90 Hz 付近で  $RL$  の大小が逆転した。これらの結果からみると、波長が長い低振動数域の振動に対しては、質量体を加振点に近い位置に設置したほうが  $RL$  は大きく、高振動数域については受振点に近いほうが大きい傾向があるといえる。この原因として、質量体の設置位置によって振動の回り込みに変化が生じ、 $RL$  の周波数特性が変化したことが考えられる。PU7 では、約 70 Hz 以上で Case 1 が Case 2 を上回った。Case 1 のほうが質量体の設置位置が PU7 の伝播経路の中心に近いこと、Case 2 より低減効果が大きかったと考えられる。質量体を2つ配置した Case 3 では、すべての測定位置で Case 1 と Case 2 より  $RL$  が大きくなった。質量体の設置範囲が広がったことで回り込みの影響が小さくなり、また変位を拘束する面積が広がったため、低減効果が向上したと考えられる。

### 3.2 振動系の配置による低減効果の比較 (Case 4~6)

図-4 に、振動系の配置による低減効果の比較を示す。いずれの測定点でも、振動系の固有振動数である 40 Hz 付近と、その倍の 80 Hz 付近を中心とした  $RL$  のピーク

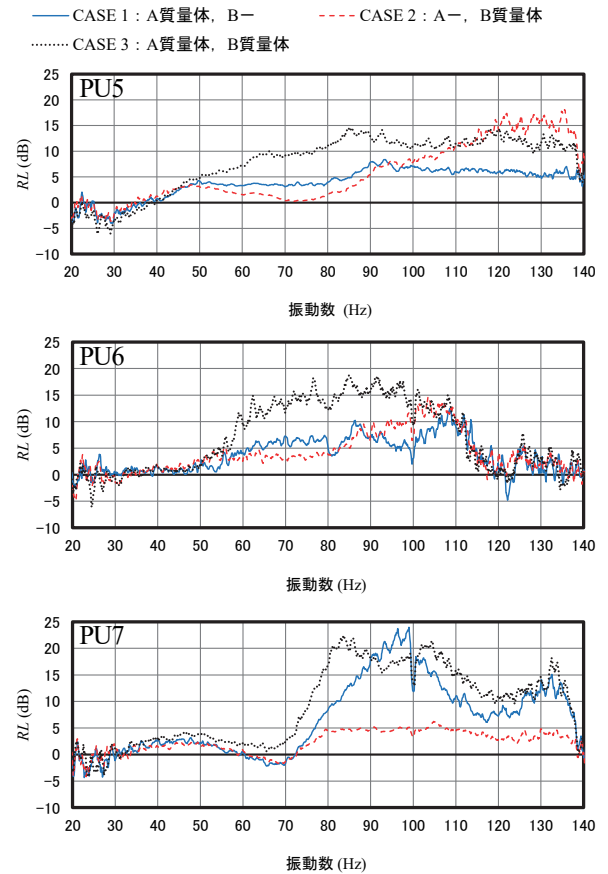


図-3 質量体の配置による低減効果の比較

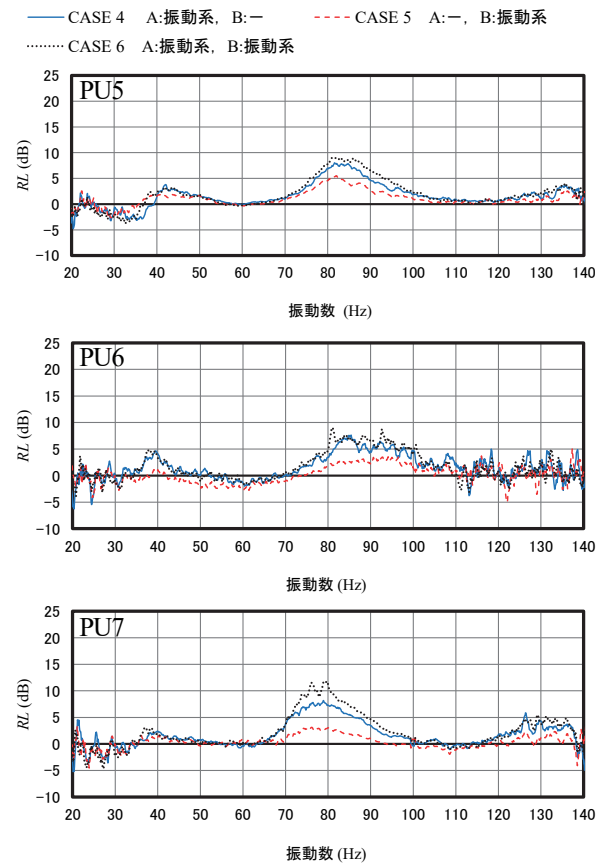


図-4 振動系の配置による低減効果の比較

が確認できる。振動系を1つ配置した Case 4 と Case 5 を比較すると、 $RL$  はすべての測定点で振動系が加振点に近い Case 4 のほうが大きい。また、振動系を2つ配置した Case 6 をみると、 $RL$  は Case 4 と同程度であり、質量体のように2つ配置することで低減効果が顕著に向上することはなかった。これらの結果から、振動低減効果への寄与は加振点に近い A が大きく、受振点に近い B は小さいことが分かる。この原因として、振動系はおもりの  $m$  が振動して発生する二次的な波と入力波の干渉によって振動が低減するため、加振点に近いほうがおもりの振動は大きくなり、低減効果が向上した可能性が考えられる。また、設置位置によって回り込みの影響が変化したことなどが考えられる。

### 3.3 質量体と振動系を組合せた配置による低減効果の比較 (Case 7, Case 8)

図-5 に質量体と振動系を組合せた配置による低減効果の比較を示す。質量体と振動系を組み合わせることで、Case 1, Case 2 や Case 4, Case 5 のように単体で設置した場合に比べて低減効果が向上したことが確認できる。Case 7 と Case 8 を比較すると、振動系の固有振動数である 40 Hz 付近の  $RL$  は、振動系が加振点に近い Case 8 のほうが大きくなった。これは、振動系を1つ配置した Case 4 と Case 5 を比較したときと同様の傾向である。一方 Case 7 の場合、PU5 では約 50~80 Hz の比較的広い振動数領域で Case 8 よりも  $RL$  が大きく、PU7 では 90~100 Hz 付近に顕著なピークが現れた。これらは Case 1 と同様の傾向であり、質量体が加振点に近い影響と考えられる。質量体と振動系を組合せて配置することで、両者の特性を合わせた低減効果が得られることが示唆された。

## 4. おわりに

振動制御装置の配置による低減効果の違いを模型実験により検討した。質量体を1つ設置した場合、設置位置によって低減効果の周波数特性が変化し、回り込みの影響が示唆された。また、振動伝播方向に質量体を2つ並べて配置することで、低減効果が向上することを確認した。一方、振動系の場合、加振点に近い位置に設置したほうが低減効果は大きくなった。また、伝播経路上に2つ設置しても、質量体のように低減効果が顕著に向上することはなかった。質量体と振動系を1つずつ組合せて配置した場合、1つの場合に比べて低減効果は向上し、それぞれの特性を合わせた低減効果が得られることを確認した。今後、模型実験のケースを増やし、測定結果を波長、質量体の寸法、加振点・受振点・質量体相互間の距離などに着目して整理することで、回り込みの影響などの詳細検討を進める。さらに、質量体と振動系を組合

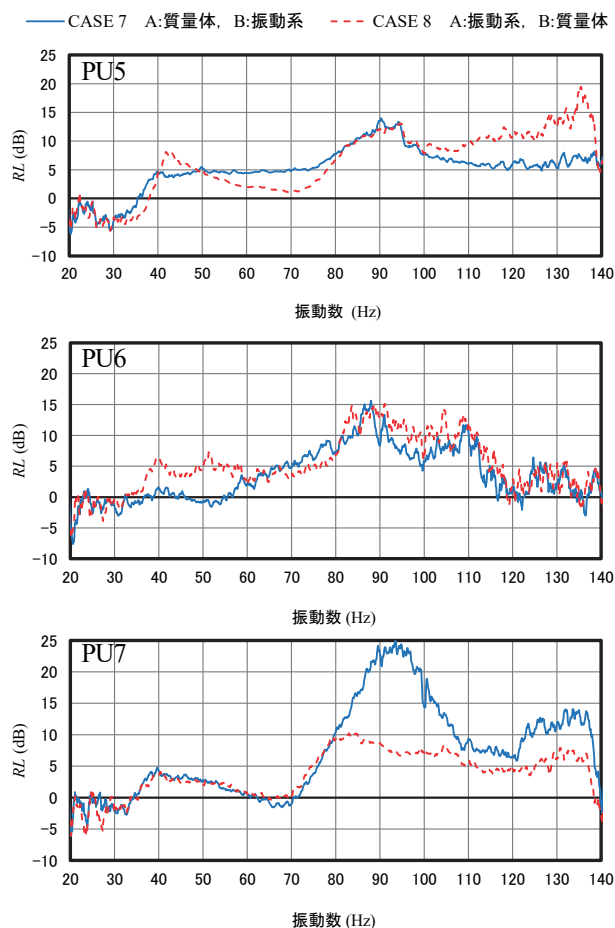


図-5 質量体と振動系を組合せた配置による低減効果の比較

せた場合の低減効果について、実大実験による検討を行う予定である。

### 【参考文献】

- 1) 岩根 康之, 小林 真人, 内田 季延, 三浦 太郎, 千葉 泰河, 松本 泰尚: 振動制御装置を用いた建設振動の伝播経路対策技術の開発 —質量体と振動系の地盤振動低減効果の検討—, とびしま技報 No. 66, pp. 55-60, 2018.
- 2) Mohannad Mhanna, Isam Shaharour, Marwan Sadek, Philippe Dunez :Efficiency of heavy mass technology in traffic vibration reduction: Experimental and numerical investigation, Computers and Gertechinics, 55, pp. 141-149, 2014.
- 3) 岩根 康之, 小林 真人, 内田 季延, 三浦 太郎, 千葉 泰河, 松本 泰尚: 振動制御装置を用いた建設振動の伝播経路対策技術の開発 —模型実験による質量体の地盤振動低減効果の検討—, とびしま技報 No. 67, pp. 29-34, 2019.
- 4) 岩根 康之, 小林 真人, 川澄 卓也, 千葉 泰河, 松本 泰尚: 質量体を用いた建設振動の伝播経路対策

技術の開発 一実大実験による振動低減効果の検討  
一, とびしま技報, No. 68, pp.35-40, 2020.  
5) 長沼 俊介, 松本 泰尚, 小林 真人, 西村 忠典: 建

設作業振動に対する地表面上での制御に関する解析  
的検討, 土木学会第 69 回年次学術講演会論文集, pp.  
69-70, 2014.

**Summary** As a countermeasure against vibration in construction work, we have been developing countermeasure technologies in propagation paths using vibration control system. There are two types of vibration control devices: mass-object and vibration system. This paper reports the results of model experiments performed to examine the relationship between the placement of vibration control devices and the resulting reductions in vibration.

The reduction effect of the mass-object changed the frequency characteristics depending on the installation position, and the effect in the lower frequency range was larger if it was close to the vibration point, and the effect in the higher frequency range was larger when it was close to the receive point. In addition, the reduction effect was improved by installing two mass-objects on the propagation path. The vibration system does not change the frequency characteristics of the reduction effect remarkably depending on the installation position, but the reduction effect was improved when installed at close to the vibration point. Then, by arranging the mass-object and the vibration system in combination, it was confirmed that the reduction effect was improved, and the reduction effect combined with each characteristic.

**Key Words :** *Vibration in construction works, Countermeasure in propagation paths, Vibration control, Model experiments*

