

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 — 実大実験による低減効果の検証 —

Development of Countermeasure using Vibration Control Device for Control of Construction Vibration in Propagation Paths (Verification of the Reduction Effect by Full-Scale Experiments)

岩根 康之^{*1}
Yasuyuki Iwane

小林 真人^{*1}
Masahito Kobayashi

松本 泰尚^{*2}
Yasunao Matsumoto

【要旨】

建設振動の伝播経路対策として、地表面に設置するだけで振動を抑制できる振動制御装置を開発している。振動制御装置には質量体と振動系があり、これらの低減効果を実大実験により検証した結果について報告する。

せん断波速度が約 140 m/s の地盤において、質量体はおよそ 16 Hz 以上の振動数で低減効果を発揮した。また、質量体の面密度が大きく、伝播方向長さが長いほど低減量は大きくなるが、各要素の影響が顕著に現れる振動数は異なる傾向を確認した。振動系は 4.7 Hz の正弦波加振に対して低減効果を発揮し、振動系を 1 基から 2 基に増やすことで低減量が増加したことを確認した。

振動制御装置の影響範囲について、質量体の低減効果は質量体の端部から約 5 m の範囲内でおおむね同程度であったのに対し、振動系の低減効果は振動系から離れるほど小さくなる傾向を確認した。

【キーワード】 建設振動 伝播経路対策 振動制御装置 質量体 振動系 実大実験

1. はじめに

振動規制法施行状況調査¹⁾によると、令和 3 年度の振動に係る苦情の件数は 4,207 件であった。42 年ぶりに 4,000 件を上回った令和 2 年度より 146 件増加しており、苦情件数は近年増加傾向にあるといえる。また、苦情の内訳をみると建設作業が 2,902 件で最も多く、全体の 69.0% を占めた。このように、建設作業が苦情原因の約 7 割を占める状況は長年続いており、建設振動の対策技術の充実は社会的な課題といえる。建設作業振動への対策は、加振力が小さい工法や機械を選定したり、加振力の地盤への伝達を小さくする発生源対策が基本となるが、現場状況によって発生源対策の実施が困難な場合や、対策効果が十分でない場合は、伝播経路対策を検討する。しかし、代表的な伝播経路対策とされる空溝や防振壁などは対策が大規模化しやすく、費用対効果や安全性などの問題から採用に至らない場合が多い。このような状況を受け、筆者らは地表面に設置するだけで振動を低減できる振動制御装置の開発を行っている²⁻⁶⁾。振動制御装置には「質量体」と「振動系」の 2 種類があり、振動の発生状況や現場条件によって使い分ける。本報告では振動制御装置の概要と実大実験による低減効果の検証結果について報告する。

2. 振動制御装置の概要

図-1 に質量体と振動系の設置状況を示す。開発当初の質量体は鋼板の上に大型土のうを設置して構成した²⁾。この質量体は建設現場で広く使われる資材を用いて製作可能であることを特徴としたが、現場での大型土のうの製作が必要であることや、長期耐久性に課題があったため、構成の改良を行った。改良版の質量体は $t312\text{mm} \times w932\text{mm} \times l1,847\text{mm}$ の鋼製の枠に再生骨材を充填して 1 基当たりの質量を 950 kg としたものを複数積層して構成する。製作は工場で行うため、現場に搬入してそのまま設置が可能であり、長期耐久性にも優れるので複数現場での転用も可能となっている。質量と剛性により接地面の変位を拘束することで振動を低減し、低減効果は地盤条件に依存するものの、およそ 15 Hz 以上の幅広い振動数への適用が可能である。

振動系は $t22\text{mm}$ の鋼板を基礎として、その上にはばねを設置し、 $t155\text{mm} \times w932\text{mm} \times l1,847\text{mm}$ 、質量が 600 kg の架台を介しておもりを積載する。おもりは前述の質量体を使用して最大 4 基まで積層できる。入力波によって振動系が共振することで二次波が発生し、この二次波が入力波に干渉することで低減効果を発揮する。振動系の低減効果は固有振動数で現れるため、15 Hz 以下の振動数

1. 技術研究所 研究開発 G 第一研究室 2. 埼玉大学 工学部

にも適用可能である。

図-2に振動制御装置の適用イメージを示す。質量体は受振部となる住居等の敷地境界に沿う形で設置し、一定以上の振動数領域が対象となるが、様々な発生源に対して低減効果が期待できる。一方、振動系は固有振動数に一致した振動に対して低減効果を発揮するため、図-2のように低減対象とする振動発生源の近傍に設置するか、あるいは住宅など受振部の振動特性に合わせて固有振動数を調整し、敷地境界近傍に設置する方法が考えられる。

3. 実験概要

振動制御装置の低減効果を実大実験により検証した。

図-3に実験配置平面図を示す。振動制御装置はその中心が起振器の中心から4mの位置に来るよう配置した。測定点は起振器と振動制御装置の中心を結ぶ経路上にPU（ピックアップ）1からPU5を2m間隔で配置し、その経路と直交方向にPU4を起点として2m間隔でPU6とPU7を配置した。



図-1 振動制御装置の設置状況
(上段：質量体2列4段，下段：振動系3段1基)

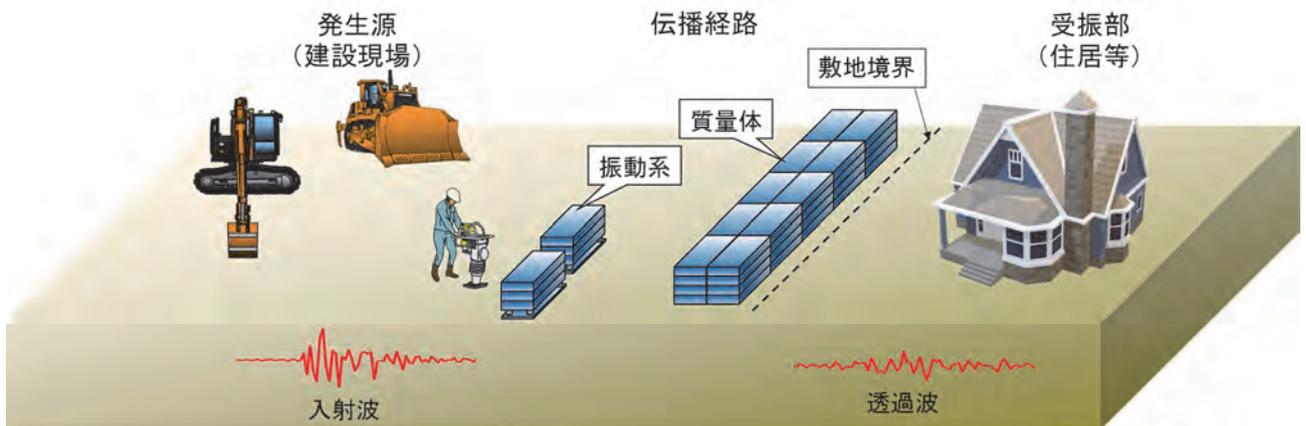


図-2 振動制御装置の適用イメージ

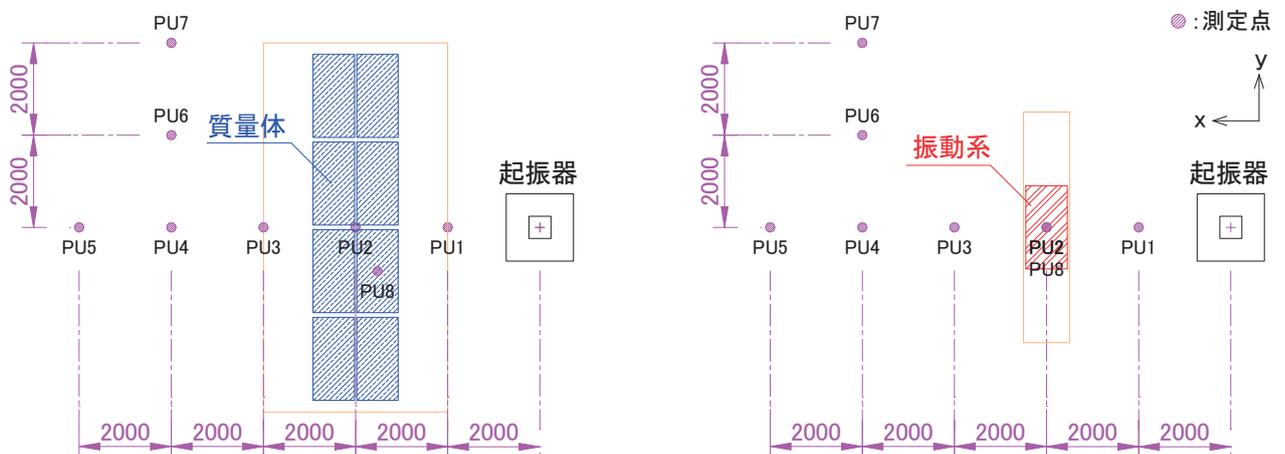


図-3 実験配置平面図 (左：質量体2列，右：振動系1基)

表－1 質量体の試験ケース

試験ケース	配置名称	設置数	面密度 (kg/m ²)	総質量 (kg)	設置範囲	
					伝播方向 (x方向) (mm)	伝播直交方向 (y方向) (mm)
1	未設置	-	-	-	-	-
2	1列2段	8	1104	7600	932	7388
3	1列4段	16	2208	15200	932	7388
4	2列1段	8	552	7600	1864	7388
5	2列2段	16	1104	15200	1864	7388
6	2列3段	24	1656	22800	1864	7388
7	2列4段	32	2208	30400	1864	7388
8	4列1段	16	552	15200	3728	7388
9	4列2段	32	1104	30400	3728	7388

※面密度と総質量はゴムシート分を除く。

表－2 振動系の試験ケース

試験ケース	配置名称	固有振動数 (Hz)	1基当たりのおもりの質量 (kg)	設置範囲	
				伝播方向 (x方向) (mm)	伝播直交方向 (y方向) (mm)
1	未設置	-	-	-	-
2	3段1基	4.7	3450	932	1847
3	3段2基	4.7	3450	932	4194

※おもりの質量はゴムシート分を除く。

加振には起振器 (SSV-850E、サンエス) を使用した。可動部の質量は1,250kg、最大加速度が約5.4 m/s²で一定とし、定格起振力で出力が最大となるよう制御した。質量体に対しては2~30 Hzの掃引加振を行い、3分間で30 Hzに到達する掃引速度とした。振動系に対しては振動系の固有振動数と一致する4.7 Hzの振動数の正弦波加振を1分間行った。なお、振動系の固有振動数は事前に掃引加振を実施して0.1 Hz刻みで卓越振動数を確認して設定した。

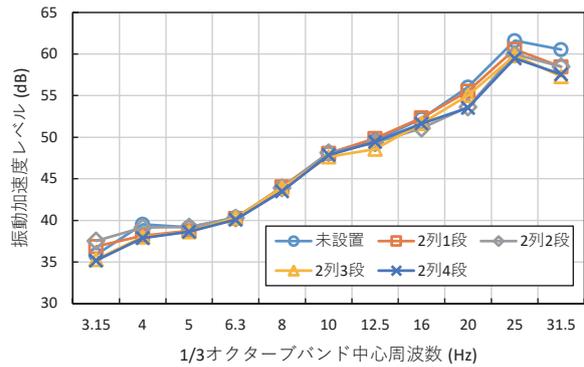
実験を行った地盤条件について、測定点間の加速度の位相差から推定した表層地盤のせん断波速度 v_s は約140 m/sであった。表層地盤はおもにN値が0のシルトまたは砂質シルトで構成され、微動のH/Vスペクトルから推定した表層厚は約22 mであった。

表－1と表－2に質量体と振動系の実験ケースを示す。質量体は面密度と伝播方向長さを変えた配置とし、これらが低減効果に与える影響を検討した。振動系は設置数を1基および2基として低減量を比較した。2基の場合は振動系を伝播直交方向に並べて設置し、設置間隔は500mmとした。

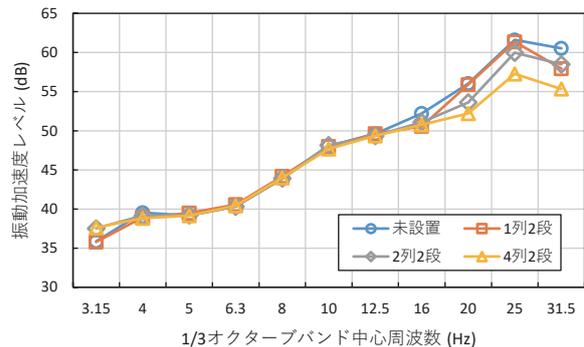
4. 実験結果

4.1 質量体の低減効果

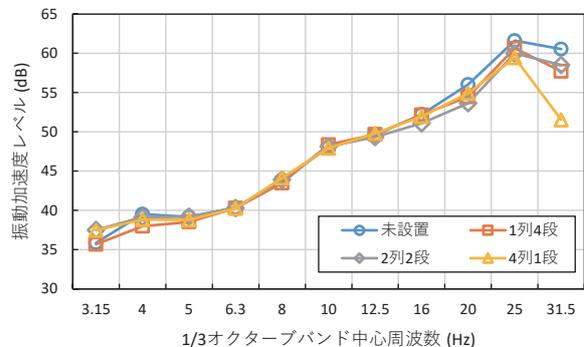
図－4から図－6にPU4で測定した振動加速度レベルを示す。なお、ここで示す振動加速度レベルは加振を行った3分間のエネルギー平均である。配置によってばらつきはあるが、およそ16Hz以上の帯域で質量体による低減効果が得られたことがわかる。図－4の面密度による比



図－4 振動加速度レベル測定結果 (面密度による比較)



図－5 振動加速度レベル測定結果 (伝播方向長さによる比較)



図－6 振動加速度レベル測定結果 (設置数が同じ場合の比較)

較をみると、質量体の面密度が大きいほど低減効果は大きく、特に20 Hz以上の帯域で面密度によって低減量が増加する傾向が確認できる。また、図－5の質量体の伝播方向長さによる比較をみると、伝播方向長さが長いほど低減量が大きく、これについても20 Hz以上の帯域で伝播方向長さによる低減量の違いが顕著に現れたことが確認できる。図－6の設置数が同じ場合の比較をみると、今回の結果では1列4段の場合全体的に低減量が小さいが、16 Hzと20 Hz帯域では2列2段が最大であるのに対し、25 Hzと31.5 Hz帯域では4列1段が最大となり、面密度と伝播方向長さでは低減効果への影響が顕著に現れる振動数帯

域が異なることが示唆された。このような傾向は加振力を重機の走行とした場合の実験でも確認されており、求められる低減効果によって質量体を最適に配置することが振動対策に効果的であるといえる。

4.2 振動系の低減効果

図一七にPU3で測定した振動加速度の時刻歴波形を示す。振動系を1基設置することで加速度振幅が低減し、2基設置することで低減量が大きくなったことが確認できる。10秒間の実効値で比較すると、未設置の 0.0027 m/s^2 に対して1基では 0.0021 m/s^2 で約2 dB低減し、2基では 0.0017 cm/s^2 となり約4 dB低減した。質量体ではほとんど変化がなかった低振動数域で低減効果を発揮し、また振動系を複数設置することで低減量が増加することを確認した。

4.3 振動制御装置の影響範囲

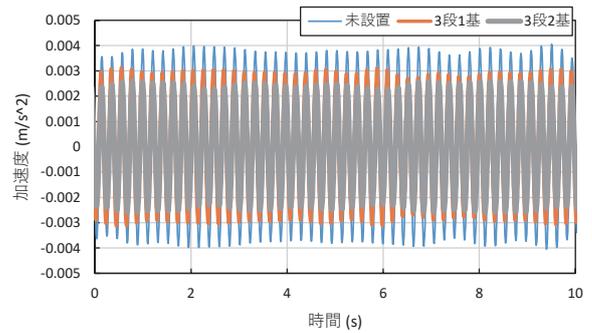
図一八に質量体設置時の振動加速度レベルを測定点ごとに示す。ここでは、図一四に示した2列配置に着目し、質量体の低減効果が明確に確認できた20 Hz帯域の結果を示している。PU1の振動加速度レベルは同程度であるのに対し、質量体設置範囲の中心であるPU2では振動加速度のばらつきが大きく、質量体自身の振動が影響したと考えられる。質量体の背面に位置するPU3からPU7では、PU3の2列4段の低減量が顕著に大きい。そのほかの測定結果では質量体の配置が同じであれば位置による低減量の差は1.2 dB以内となっており、質量体の端部から約5 mの範囲で安定して低減効果を発揮したことがわかる。

また図一九に振動系の振動加速度レベルを測定点ごとに示す。振動加速度レベルの低減量は振動系の基礎であるPU2で最も大きく、背面のPU3からPU7でも低減効果が得られたことを確認した。しかし、振動系から距離が離れるにつれて低減量が小さくなる傾向がみられた。この原因として、伝播経路直交方向の設置範囲が狭いため、側方からの回り込みの影響が考えられる。また、振動系は入力波と二次波の干渉によって振動を低減することから、加振点、受振点および振動系の位置関係によっては低減効果が小さくなることや、振動が増幅することが考えられるため、設置方法には注意が必要である。

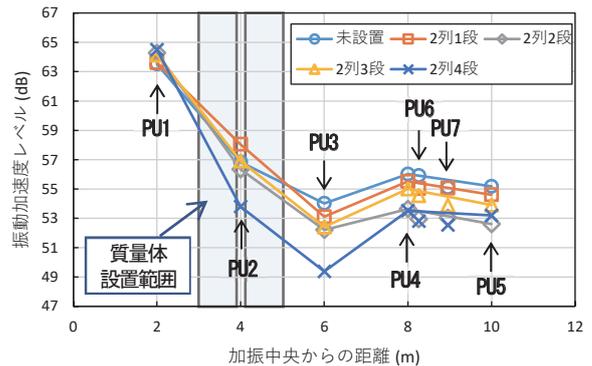
5. まとめ

振動制御装置として開発している質量体と振動系の低減効果を実大実験により検証し、以下の知見を得た。

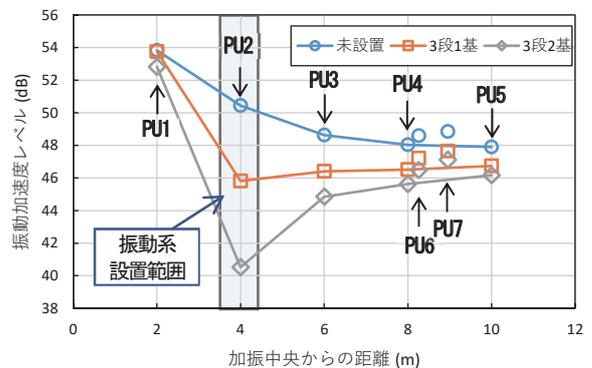
- せん断波速が約140 m/sの地盤において、おおむね16 Hz以上の振動数帯域で質量体の低減効果を確認した。
- 質量体の面密度が大きいほど質量体の低減効果は大きい傾向を確認した。
- 質量体の伝播方向長さが長いほど質量体の低減効果は



図一七 振動加速度の時刻歴波形



図一八 質量体設置時の測定点ごとの振動加速度レベル (20 Hz 帯域, 2 列配置)



図一九 振動系設置時の測定点ごとの振動加速度レベル

大きい傾向を確認した。

- 質量体の設置数と同じ場合、面密度を大きく配置した場合と伝播方向長さを長く配置した場合で低減量が増加する振動数帯域が異なることが示唆された。
- 4.7 Hz の正弦波に対して振動系を適用し、振動系設置位置から2 mの地点において1基で約2 dB、2基で約4 dBの低減効果を確認した。
- 現場でのハンドリングを考慮すると振動系の大きさは汎用の重機で移動や設置ができる規模であることが望ましいが、1基の振動系で十分な低減効果が得られない場合は複数の振動系を設置することで低減効果を向上させることが可能であることを確認した。

- ・質量体の影響範囲について、質量体の端部から約 5 m の範囲で得られた低減量はおおむね同程度であった。
- ・振動系の影響範囲について、振動系に近いほど低減量が大きい傾向を確認した。

謝辞：本実験の実施にご協力いただいた埼玉大学の加藤大聖氏と牧野翔太氏，またフィールドを提供いただいた北千葉シールド作業所の皆様に，この場を借りて深く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 環境省：令和 2 年度振動規制法施行状況調査について（概要），
<https://www.env.go.jp/content/000113977.pdf>，2023. 8.
- 2) 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. 69-70，2014.9.
- 3) 岩根康之，小林真人，千葉泰河，松本泰尚：質量体と振動系の振動低減効果に関する研究 —数値解析による検討—，土木学会第 73 回年次学術講演会論文集，pp. 37-38，2018. 8.
- 4) 小林真人，岩根康之，千葉泰河，松本泰尚：質量体と振動系の振動低減効果に関する研究 —模型実験による検討—，土木学会第 73 回年次学術講演会論文集，pp. 39-40，2018. 8.
- 5) 岩根康之，小林真人，千葉泰河，松本泰尚：質量体を用いた環境振動の伝播経路対策 —実大実験による振動低減効果の検討—，土木学会第 75 回年次学術講演会論文集，VII-108，2020. 9.
- 6) 千葉泰河，岩根康之，小林真人，松本泰尚：質量体を用いた環境振動の伝播経路対策 —数値解析による振動低減メカニズムの検討—，土木学会第 75 回年次学術講演会論文集，VII-108，2020. 9.

Summary We are developing a vibration control device that can reduce vibrations simply by being installed on the ground surface as a countermeasure for construction vibrations in propagation paths. The vibration control device consists of a mass-object and a vibration system, and we report the results of verifying their reduction effects through full-scale experiments.

In the ground with a shear wave velocity of about 140 m/s, the mass-objects exhibited reduction effects at vibration frequencies of approximately 16 Hz and above. Additionally, we observed that as the areal density of the mass-object increased and the propagation direction lengthened, the reduction effect became greater. However, we noticed different trends in the frequencies at which the significant influence of each element became apparent. We also recognized that the vibration system demonstrated reduction effects in response to a sinusoidal excitation at a frequency of 4.7 Hz, and increasing the number of vibration systems from one to two units increased the reduction amount.

Regarding the effective range of the vibration control device, the reduction effect of the mass-object was generally consistent within a range of about 5 meters from the edge. On the other hand, the reduction effect of the vibration system decreased as the position becomes farther.

Key Words : *Construction Vibration, Countermeasure in Propagation Paths, Vibration Control Device, Mass-Object, Vibration System, Full Scale Experiment*