

「防振堤（質量体）」による土間コンクリート床における振動低減効果の検証

Verification of the Vibration Reduction Effect of the Vibration Control Device “Mass-Object” (a Type of Anti-Vibration Embankment) on Concrete Slab Floor

山下 祐^{※1}
Yu Yamashita

小林 真人^{※2}
Masahito Kobayashi

松本 泰尚^{※3}
Yasunao Matsumoto

【要旨】

振動制御装置「防振堤」の一つである質量体は、粘性土や砂質土などのせん断波速度が遅い地盤上での実験により振動低減効果が確認されてきた。しかし、硬い地盤条件や土間コンクリート床では波動の伝播速度が速く、同じ周波数でも波長が長くなるため、同様の効果が得られにくいと想定されていた。そこで、波動の伝播速度が速い条件における質量体の性能を実際に確認するため、厚さ 200 mm の土間コンクリート床上で実大規模の検証実験を実施した。質量体背面における計測点の振動加速度レベルを質量体の設置前後で比較した結果、低減効果が確認され、波動の伝播速度が速い条件下でも質量体が有効に作用することが実証された。

【キーワード】 建設振動 伝播経路対策 防振堤 質量体 実大実験

1. はじめに

近年、建設作業に伴う振動が近隣住民からの苦情やトラブルの原因として問題視されることが増えており、振動規制法施行状況調査¹⁾によると、令和 4 年度の振動に係る苦情のうち 71.4 % が建設作業に起因するものであった。このような状況から、建設振動の適切な管理と制御は喫緊の社会的課題といえる。建設振動の対策は、実施位置に応じて「発生源対策」「伝播経路対策」「受振部対策」の 3 つに分類されるが、発生源側での対応が困難な場合や十分な効果が得られない場合には、発生源と受振部の間に設置して振動を低減させる「伝播経路対策」が有効な手段となる。

著者らはこの伝播経路対策に着目し、地表面に設置することで振動を低減する振動制御装置「防振堤」²⁾の開発に取り組んできた。防振堤には 2 つの種類があり、1 つは「質量体」、もう 1 つはばねとおもりを組み合わせた「振動系」である。施工時の条件や対象とする周波数に応じて使い分けるが、本報では質量体に主眼を置く。

既報²⁾では、せん断波速度が 140 m/s 程度の柔らかい地盤を対象とした実大実験により、質量体が 16 Hz 帯域以上の周波数成分に対して有効に機能することを確認した。この周波数帯域では、表面波の波長が短く、質量体の寸法との関係から振動低減効果が得られやすかったためと考えられる。一方で、硬い地盤では伝播速度が速くなり、波長が長くなるため、同様の効果が得られにくい可能性

があった。そこで本研究では、厚さ 200 mm の土間コンクリート床上において実大実験を実施し、地盤が硬い条件下での質量体の適用性について検討を行った。

本報では、まず質量体の概要と従来の適用事例を紹介し、次いで土間コンクリート床上での計測結果に基づく振動低減効果について、周波数特性や地表面分布の分析結果を報告する。一部の周波数で生じた増幅現象について考察を加え、今後の適用検討に資する知見を提示する。

2. 質量体の概要と従来の適用事例

2.1 質量体の概要

質量体の外観を図-1 に示す。質量体は、地盤表面を伝播する波の一部を反射・散乱させることによって、背面側への振動伝播を低減する。地表面に直接設置するた

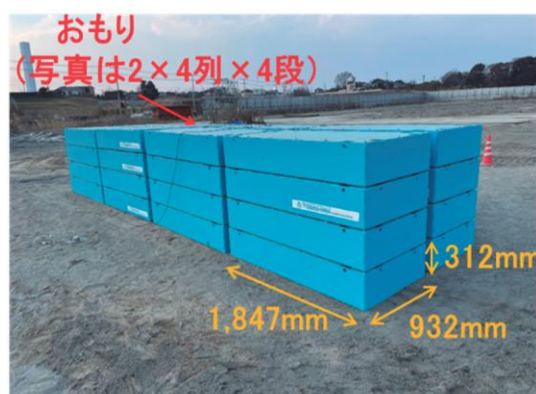
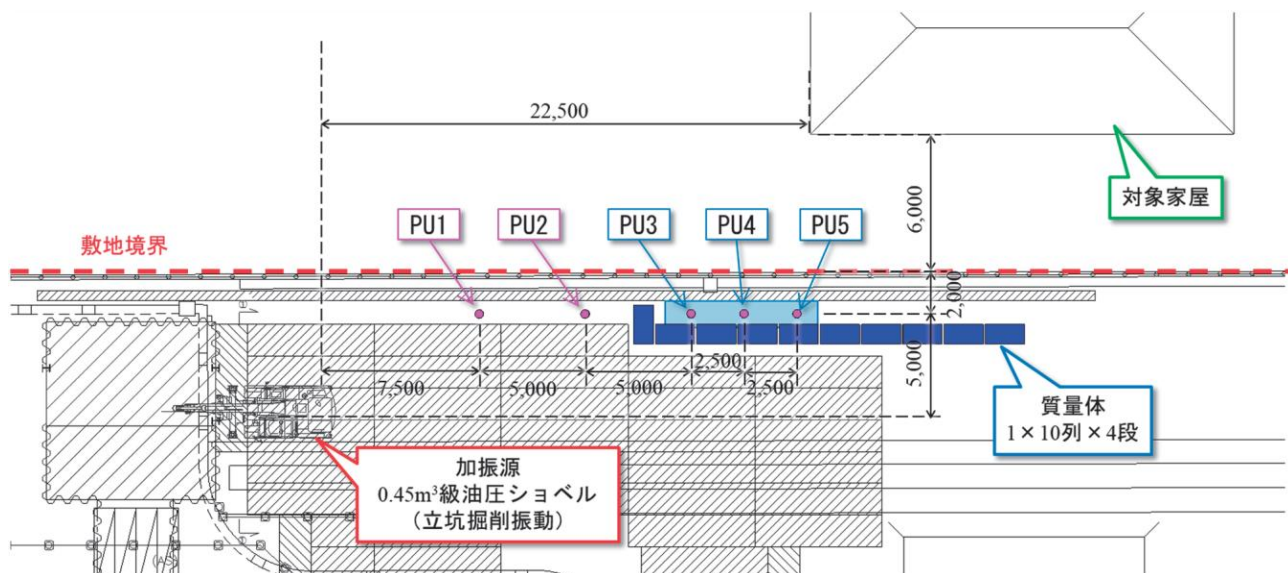


図-1 質量体の外観



図ー２ 現場適用時の質量体および計測点の配置図³⁾

め施工性に優れ、発生源と受振部の間に設置することで、伝播経路上での低減効果が期待できる。質量体は鋼製の枠に再生骨材を充填したユニットを複数組み合わせることで構成される。各ユニットの寸法は $t=312\text{ mm} \times w=932\text{ mm} \times l=1,847\text{ mm}$ 、質量は約950 kgであり、高さ方向に積層する際には5 mm厚のゴムシートを挟むことで接地性を確保している。既往の解析的検討⁴⁾において、質量体による低減効果の発現は、質量体の伝播方向長さ L と入射波の波長 λ との比 (L/λ) に影響される傾向が示されている。この比が大きい場合に効果が期待できる。

2.2 従来の適用事例

これまでに実施した現場適用事例³⁾では、質量体を敷地境界に沿って20 m (1×10列×4段) にわたり設置し、質量体の手前および背面に計測点 (PU1～PU5) を設けて振動レベルの差を検証した。図ー2に質量体と計測点の配置図を示す。また、図ー3に質量体の現場適用状況を示す。振動は油圧ショベル (0.45 m³級) による掘削時のもので複数回の計測を行い、作業ばらつきを考慮して平均値を算出した。

加振力が異なる条件での計測結果を基準化するために、PU2～PU5についてPU1との振動レベル差を質量体の設置前後で算出しており、その結果を図ー4に示す。低減効果が期待できる質量体背面に設置したPU3～PU5の位置で、振動レベルが3 dB程度低減していた。周波数帯域別に見ると、16 Hz～25 Hzの周波数帯域において、5 dB～9 dB程度の振動低減が確認できた。

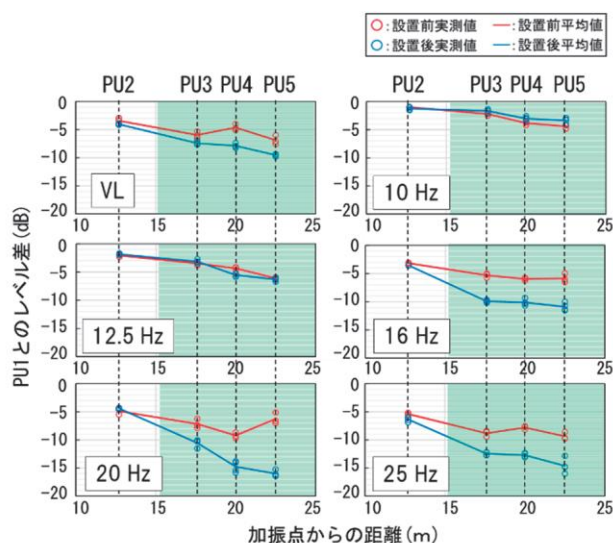
3. 土間コンクリート床上の検証実験

3.1 実験概要

本研究では、硬い地盤条件における質量体の適用性を



図ー３ 質量体の現場適用状況³⁾



※PU1とのレベル差は、VLは振動レベル差、その他は振動加速度の補正済1/3オクターブバンドレベル差 (10 Hz帯域から25 Hz帯域まで) を示す

図ー４ PU1との振動レベル差³⁾

計測した加速度時刻歴データから振動加速度レベルを算出した。これをもとに、質量体の設置有無を比較条件とし、基準点に対する評価範囲内の各計測点の応答を整理した。さらに、1/3オクターブバンド中心周波数ごとに低減量を算出し、両条件における差異を評価した。

質量体の低減効果が発揮される周波数は、入射波の波長に影響される⁴⁾。波長は伝播速度と周波数の関係で決まるため、本研究では土間コンクリート床における伝播速度を求め、各周波数帯域での波長を推定した。伝播速度は、質量体無における計測ケース①を対象とし、ch1（基準点）とch5の加速度波形の位相差から時間差 Δt を求め、2点間の距離 $L = 4.8 \text{ m}$ を Δt で除すことで算出した。 Δt は、1/3オクターブバンド中心周波数の下限周波数 f_1 から上限周波数 f_2 にかけての2点間の伝達関数の位相差の傾きをもとに各帯域で求め、その結果から得られた伝播速度を下限周波数で除すことにより、各帯域における波長 λ を算出した。結果を表-1に示す。



周波数 帯域 [Hz]	下限 周波数 f1 [Hz]	上限 周波数 f2 [Hz]	時間差 Δt [ms]	伝播速度 [m/s]	波長 λ [m]
16	14.3	18.0	68.6	70.0	4.9
20	17.8	22.4	18.6	257.8	14.5
25	22.3	28.1	22.0	217.8	9.8
31.5	28.1	35.4	24.9	193.0	6.9
40	35.6	44.9	11.8	407.8	11.4
50	44.5	56.1	11.5	417.0	9.4
63	56.1	70.7	14.4	334.0	6.0
80	71.3	89.8	9.6	497.9	7.0

4. 実験結果

4.1 評価範囲の設定

質量体背面における振動低減効果を面的に把握するため、図-6に示す3 m×3 mの領域を評価範囲とし、計測ケース①の測線を基準として座標系を設定した。測線に直交する方向をX方向 (X=0~3 m)、平行する方向をY方向 (Y=0~3 m) とし、計測ケース①における ch2 の位置を原点 (X=0, Y=0) とした。また、評価範囲のうち、加振点からの伝播経路が質量体直下を通らない部分を「質量体未通過域」として定義した。図-7に質量体未通過域を示す。表-2には、計測点 (28 点) ごとの基準点からの低減量を示す。横軸に 1/3 オクターブバンド中心周波数 (16 Hz~80 Hz)、縦軸に基準点 (ch1) からの低減量を取り、質量体有 (実線) と質量体無 (点線) の結果を重ねて示した。これにより、質量体設置の有無による低減効果を、28 点の計測位置それぞれで直接比較できるように整理した。

4.2 周波数帯域ごとの低減量

表-2より、実線 (質量体有) が点線 (質量体無) よりも大きい値で推移しているグラフが多数を占めており、傾向としては質量体有の方が質量体無に比べ基準点からの低減量が多いことが確認できる。一方で、一部の計測点では質量体無の条件で顕著な低減ピークが観測され、それが質量体有により消失する結果、逆に増幅が生じる周波数帯も確認された。例えば、計測ケース⑤における ch4 の 50 Hz 帯域では、質量体無の場合に顕著なピークが見られたが、質量体を設置したことでこのピークがなくなり、レベルが増加する現象が確認された。この逆転現象の要因としては、土間コンクリート床が板状構造として固有モードを有していたことが考えられる。拘束条件は明確ではないが、質量体無の状態では計測点が節に近い位置にあったため局所的に振動が小さかった可能性がある。質量体を設置することで、その部分が拘束条件に影響を及ぼし、板のモード形状が変化して節位置が移動あるいは消失した可能性があるかと推察される。

また、表-2の赤線で囲まれた部分は、質量体未通過域上に配置された計測点の結果を示している。これらの点においても、他の計測点と同程度の低減効果が確認されたことから、質量体は直下の伝播経路に限定されず、周辺領域に対しても効果を及ぼすことが明らかとなった。

4.3 コンター表示による地表面分布の特徴

基準点からの低減量について、質量体の有無による差異を周波数帯域ごと (20~80 Hz の 8 帯域) に整理した。表-3に 28 点間を補間した評価範囲の質量体の有無による低減効果の差異を表すコンター図を示す。同図より、次に示す①から⑤の特徴が見て取れた。

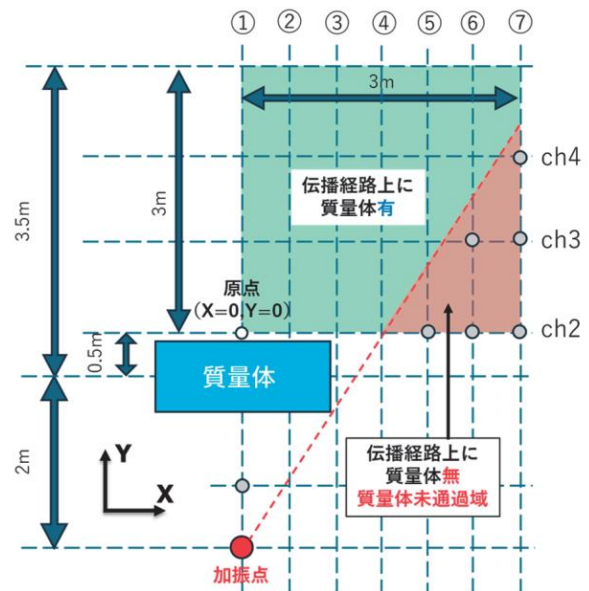


図-7 質量体未通過域

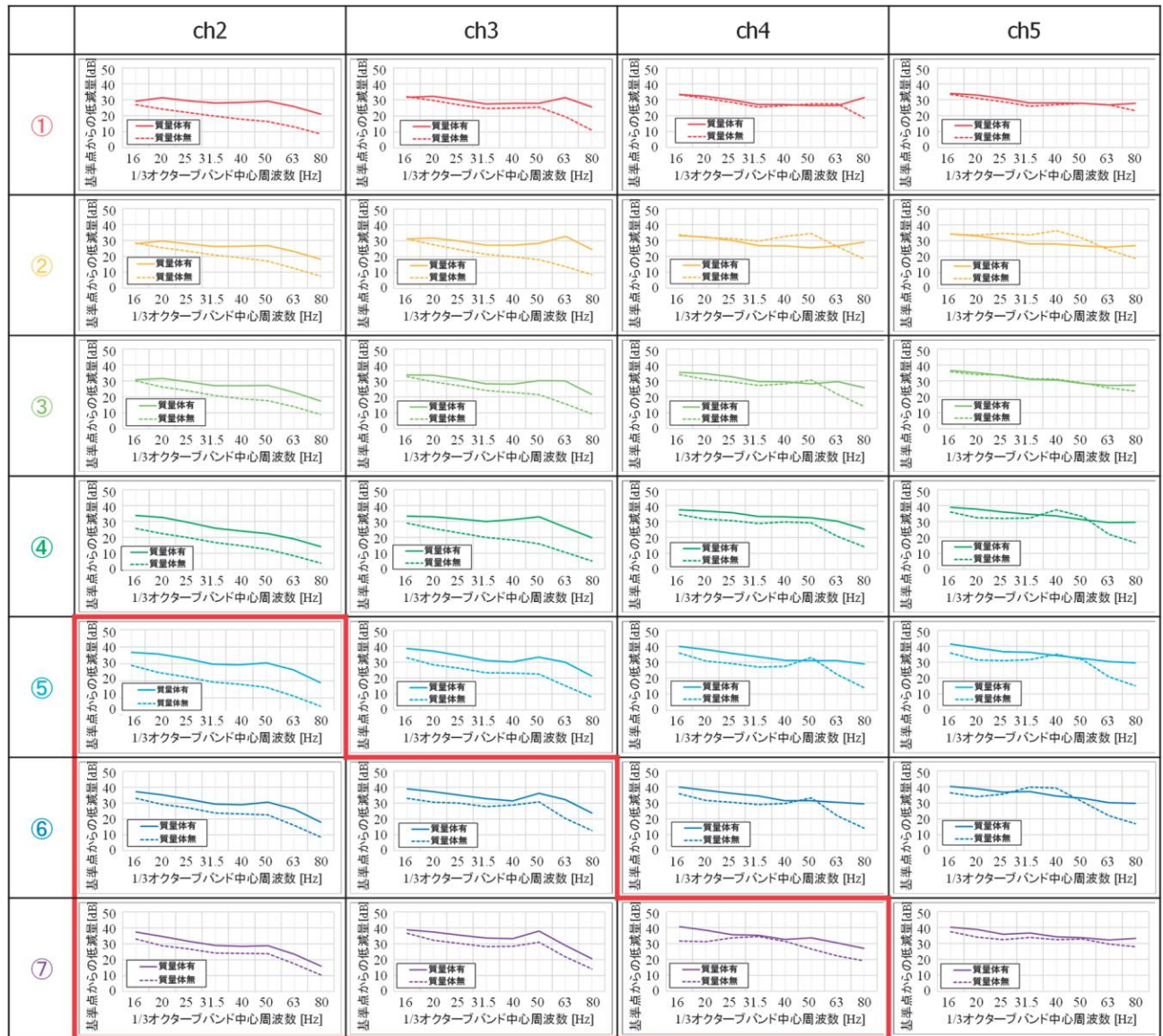
- ① 16 Hz 帯域：質量体背後 (X=0~1 m) での低減量はほぼ 0 だが、質量体背後より外側 (X=1~3 m) では 1~8 dB の低減が確認された。
- ② 20 Hz 帯域以上：質量体背後 (X=0~1 m) にも低減効果が現れるが、16 Hz と同様に質量体背後より外側 (X=1~3 m) でも低減効果が見られた。
- ③ 63 Hz 帯域以上：質量体背後 (X=0~1 m) での低減効果が顕著であった。
- ④ 25 Hz~50 Hz 帯域の特定位置 (X=0.5 m, Y=2~3 m) では、最大 9 dB の増幅が観測された (表-3 では 5 dB 以下は同色で表示) が、前述の固有モードの影響と考えられる。
- ⑤ 16 Hz~80 Hz の全ての帯域において、質量体未通過域での低減効果が確認された。

4.4 結果の考察

本報で示した実大実験により、土間コンクリート床においても質量体による振動低減効果が確認された。一方で、一部の周波数帯域では質量体の設置によって局所的に増幅が生じる逆転現象も見られ、土間コンクリート床が板状構造として有する固有モードの影響が示唆された。しかし全体としては低減効果が優勢であり、基本的には質量体の有効性が裏付けられたといえる。

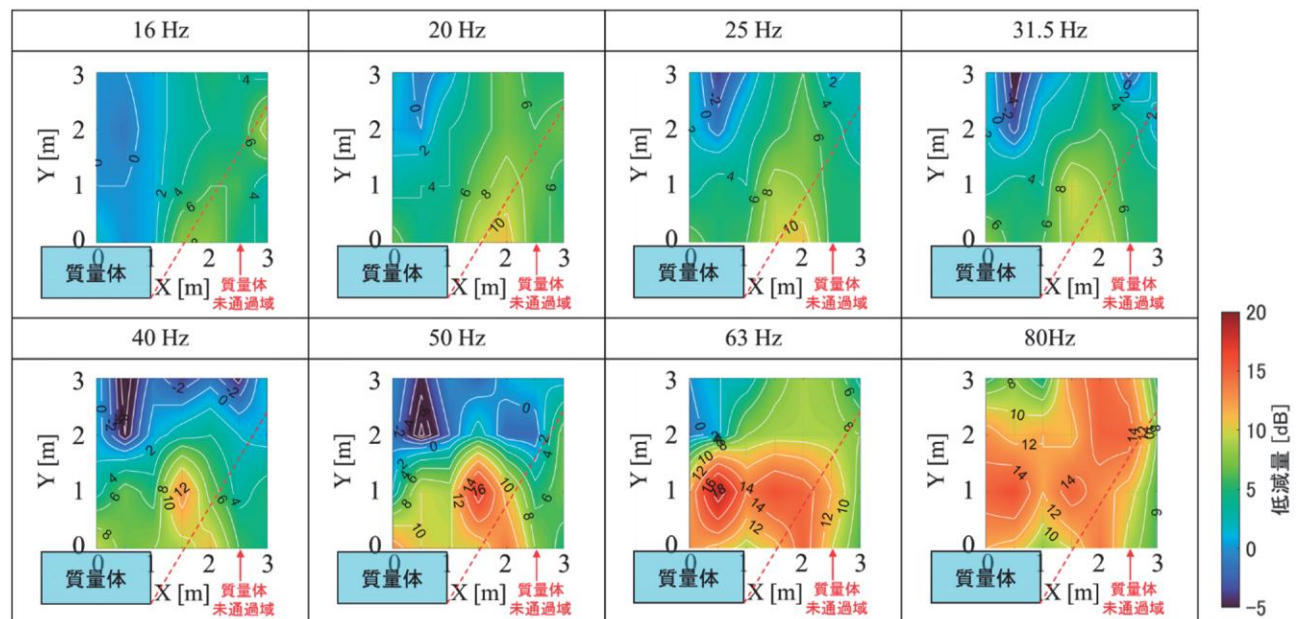
また、質量体未通過域においても低減効果が見られ、質量体が直接伝播経路を遮っていない範囲への有効性も確認された。従来は、入射波の一部が質量体で反射・散乱されることが低減効果の主な要因とされてきたが、本結果により、質量体設置による地表面上のモード形状の変化や質量体の慣性力が周辺に及ぼす作用が低減効果に寄与している可能性が示唆された。

表-2 計測点（28点）ごとの基準点からの低減量



質量体未通過域の計測点

表-3 質量体の有無による低減量の差異



5. おわりに

本稿では、硬い地盤条件における質量体の適用性を検証するため、土間コンクリート床上での実験結果を報告した。従来は粘性土や砂質土などのせん断波速度が遅い柔らかい地盤における適用事例が中心であったが、本研究により、硬い地盤条件においても一定の低減効果が確認されたことは、質量体の適用範囲を広げる上で重要な知見と言える。

今後は、異なる地盤条件や施工条件でのデータをさらに蓄積し、得られた成果を低減効果の事前予測や設計指標の高度化に活用していく予定である。また、現場適用に向けては、本報で示した土間コンクリート床における知見を反映させ、設置条件や効果範囲をより明確化することで、信頼性の高い振動対策技術として実用展開を図っていきたい。

謝辞：本実験の実施に際し、フィールドを提供いただいた(株) 藤崎商会様の皆様に多大なご協力を頂きました。この場を借りて深くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 環境省：令和4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/000203253.pdf>，（2024. 8. 4）。
- 2) 岩根康之，小林真人，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 ―実大実験による低減効果の検証―，とびしま技報，No. 71, pp. 30-34, 2023.
- 3) 山下祐，岩根康之，小林真人，新井颯泰，松本泰尚：質量体と振動系による地盤振動の低減効果に関する実験的検討，公益社団法人 日本騒音制御工学会 2024年秋季研究発表会講演論文集，2-5-11，2024.
- 4) 山下祐，小林真人，岩根康之，林敬祐，松本泰尚：振動制御装置を用いた環境振動の伝播経路対策 ―有限要素解析による質量体の振動低減効果の検討―，土木学会年次学術講演会講演概要集，VII-25, 2024.

Summary The vibration reduction effect of mass-object has been confirmed through experiments on soft ground. However, under rigid ground conditions, the propagation velocity is higher, and the wavelength becomes longer at the same frequency, which has raised concerns that the effect may be less pronounced. In this study, a verification experiment was conducted on a 200 mm-thick concrete slab to evaluate the vibration reduction performance of mass-object. By comparing the vibration acceleration levels at measurement points behind the mass-object before and after its installation, a certain level of reduction effect was confirmed. These results provide fundamental knowledge regarding the applicability of mass-object on rigid ground conditions.

Key Words : *Vibration, Countermeasure in Propagation Paths, Anti-Vibration Embankment, Mass-Object, Full-scale experiment*