

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：92503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06281

研究課題名(和文) 振動系制御装置を利用した建設重機振動低減技術の適用拡大に関する研究

研究課題名(英文) Study on expansion of application of construction heavy machine vibration reduction technology using vibration control system

研究代表者

小林 真人 (Kobayashi, Masahito)

飛鳥建設株式会社技術研究所・・・・室長

研究者番号：60443652

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、振動系や質量体を用いて建設作業振動の低減を可能にすることを目的とした基礎的な検討を行った。検討の方法は模型地盤による実験と3次元地盤モデルによる解析である。検討の結果、振動系は低い振動数から効果を得ることを確認した。質量体は振動系より高い振動数で効果を得ることを確認した。また、いずれの場合でも装置の裏側で低減効果が最大になることを確認した。これらの装置は従来の対策工法に比べて小規模である。そのため、工事境界に住宅が近接する場合などピンポイントな対策に有効である。

研究成果の概要(英文)：In this study, it fundamental investigation aimed at enabling a reduction in the construction work vibration using a vibrating system or mass. The effects of the equipment were verified by model experiments and analysis by three-dimensional ground model. It was confirmed that the vibration system obtained effects from a low vibration frequency. It was confirmed that the mass body obtained the effect with higher frequency than the vibration system. In any case, it was confirmed that the reduction effect was maximized on the back side of the device. These devices are smaller than conventional countermeasure techniques. Therefore, it is effective for pinpoint measures, such as when houses get close to construction boundaries.

研究分野：騒音振動制御, 影響評価

キーワード：建設工事振動 伝搬経路対策 薄層要素法 模型実験 加振力 共振系制御 質量体制御

1. 研究開始当初の背景

振動規制法施行状況調査によると振動に係る苦情原因の60%が建設作業であることが示されている。建設作業による振動は4Hzから10Hzに主要な成分を持つことが多く、人体の振動感覚が最も優れている振動数域と合致することや、これらの振動数域で実用的な低減対策が無いことが原因である。このような背景のもと、地盤上に振動系や質量体からなる振動制御装置を設置することによる振動低減対策を着想した。

2. 研究の目的

上記の背景に基づき、本研究では建設作業振動を対象に振動系や質量体での制御を可能とすることを目的として、建設機械の加振力特性を明らかにしたうえで、模型実験によって振動系や質量体による振動低減効果を検討した。

3. 研究の方法

①建設機械の加振力特性調査

建設機械の加振力特性を直接的に求めることは困難である。そこで、機械稼働時の地表面での振動加速度実測値と、加速度を実測した地盤の3次元モデルによる伝達関数(振動源位置から受振点間)の解析値を得て、加振力を逆算した。

1)調査対象

調査とした機械は、建設工事において使用頻度が高く、発生振動も大きいバックホウとブルドーザとした。これらについて、移動しない場合の作業(アイドリング、ブームあおり、バケットあおり、バケットによる地面たたきの動作)、走行する場合を対象とした。表1に振動源の諸元を示す。図1に加速度の計測位置を示す。

表1 振動源の諸元

	バックホウ		ブルドーザ
	0.45m ³ 級	0.8m ³ 級	
機体重量 (kg)	13,500	20,300	15,990
シュー枚数 (枚)	43	44	49
履帯の回転数 (回/min)	Low	3.8	2.6
	High	10.9	10.1
走行速度 (m/s)	Low	0.5	0.4
	High	1.4	1.7

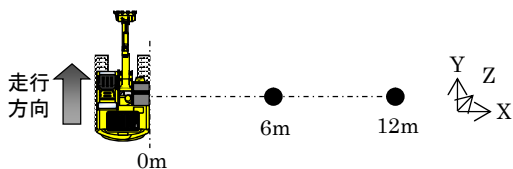


図1 加速度の計測位置

2)加振力の逆算

図2に示した概念に基づき以下の手順で加振力を逆算した。

・加速度を実測した地盤を3次元薄層要素法で成層地盤としてモデル化する。G.L-19.8mまでは現地のボーリングデータを参照し、

G.L-19.8m以深は層厚210mの支持層とした。表2に地盤モデルの物性値を示す。

- ・振動源位置を加振点とした点加振解析を実施し、受振点における伝達関数を取得する。
- ・伝達関数と入力規定点におけるX, Y, Z方向の加振力を計算する。

走行する場合には、重機の移動範囲を問う分割し、分割した時間幅の中心を代表点とした応答解析を行い、最終的に全応答を足し合わせることで走行する振動源の応答とみなした。加振力は分割した時間幅のみ抜き出した。

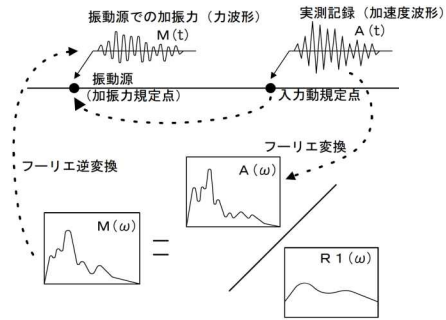


図2 加振力逆算の概念

表2 地盤モデルの物性値

深度 G.L. (-m)	土質	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (tf/m ³)	せん断弾性係数 G (tf/m ²)	減衰定数 h (%)
0.0~6.8	盛土	0.45	1.68	4007.76	1.00
6.8~10.3	礫混じり砂質シルト	0.45	1.81	4056.07	1.00
10.3~15.5	有機質粘土	0.45	1.19	3253.93	1.00
15.5~17.8	有機質粘土混じり細砂	0.45	1.79	3862.44	1.00
17.8~18.8	中砂	0.45	1.97	8253.89	1.00
18.8~19.8	中砂	0.45	1.97	11223.08	1.00
19.8~229.8	-	0.45	1.97	28060.51	1.00

②模型実験による振動系や質量体による振動低減効果の検証

1) 振動系と質量体

本研究では建設機械による地盤振動対策として、地盤上に質量体と振動系を設置する方法を検討する。質量体は質量付加による地盤変位の拘束、振動系は入射波と振動系の運動により生じる波の干渉で振動を低減する。

検討手法として模型地盤を対象とした実験、3次元地盤モデルにおける解析を採用したが、ここでは模型実験を中心に示す。

2)模型実験の概要

図3に実験模型の平面図を示す。模型地盤の形状は1,200mm×1,000mmの長方形、厚さは570mmとした。ここで、長さに関する相似比は1/40とした。重力場での実験なので加速度の相似比は1である。これら以外の相似比は表3に示すとおりである。模型地盤の材料にシリコン(比重0.98)を使用し、実地盤に粘性土(比重1.5)を想定したので、密度の相似比は2/3となった。表4に実験時の加振振動数と実換算振動数を示す。ここで、加振振動数は実換算振動数が4Hz~20Hzの1/3オクターブバンド中心周波数に相当するよ

う設定した。加振点は模型地盤の中央とし、質量体または振動系の中心が加振点から 150 mm (実換算 6.0m) となるように配置した。加速度ピックアップ (RION PV-97C, 以降 PU) は、地盤表面の 7 か所に設置した。鉄球落下時の PU2 と PU4 の応答波形の時間差から表面波の伝搬速度を求めた。

図 4 に実験状況を示す。加振器には 68g の重りを付加したピエゾアクチュエータ (松定プレジジョン PZ12-72) を使用し、鉛直方向の正弦波加振を行った。質量体および振動系のおもりと基礎には、相似の弾性定数が鉄筋コンクリートに近いテフロン板を用いた。板の平面寸法は 25 mm×100 mm とした。質量体は厚さを変えて重量が 22g, 38g, 82g の 3 種類用意した。振動系のおもりと基礎の厚さは 7 mm (38g) とした。

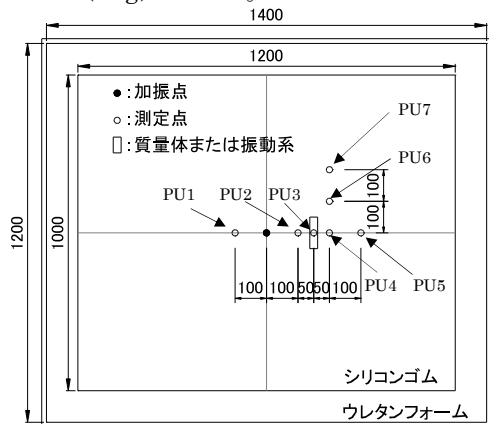


図 3 実験模型の平面 (加振器などの配置)

表 3 相似の設定

諸元	次元	相似比
長さ	L	1/40
加速度	LT^{-2}	1
密度	ML^{-3}	2/3
時間	T	0.158
振動数	T^{-1}	6.325
速度	LT^{-1}	0.158
弾性定数	$ML^{-1}T^{-2}$	0.017

表 4 実験対象の振動数

		振動数 (Hz)							
		25	31.5	40	50	63	80	100	125
模型									
実大		4.0	5.0	6.3	7.9	10.0	12.6	15.8	19.8

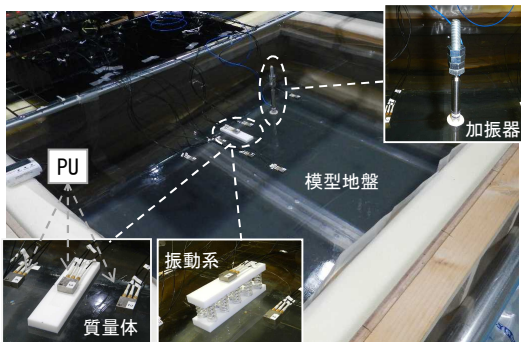


図 4 実験状況

4. 研究成果

①建設機械の加振力特性調査結果

1) 移動しない場合の作業について

図 5 に加振力の 1/3 オクターブバンド周波数分析結果をバックホウのバケット容量と振動の方向別に示す。

バックホウの動作で加振力特性を比較すると、バケットの容量や振動の方向によらず、地面の“たたき”と“あおり”が他の動作に比べて大きくなるのがわかる。地面へ力を直接加える“たたき”が大きくなることは容易に予想される。“あおり”動作については、ベースマシンから離れたところで重量のあるバケットが動くので、加振力が大きくなるのが予測される。

バケット容量で比較すると、“たたき”では 0.45m³ と 0.8m³ で加振力特性に大きな違いはない。アイドリングにおいてもエンジンの卓越振動数に起因すると思われる 20Hz 付近の卓越振動数に差異があるものの、0.8m³ 級の Y 方向が 0.45m³ に比べて 20dB ほど小さいことを除けば、ほぼ同等のレベルになっている。バケットとブームの“あおり”については、全ての方向で 0.8m³ の加振力が 0.45m³ に比べて小さいことがわかる。これは、キャタピラの設置長さが 0.8m³ で 3.3m, 0.45m³ で 2.8m であること、機体重量が 20.3ton と 13.5ton であるため、0.8m³ ではブームの動きに対してベースマシンの動きが小さくなり、0.45m³ に比べ地面へ入力される力も小さくなったと考えられる。

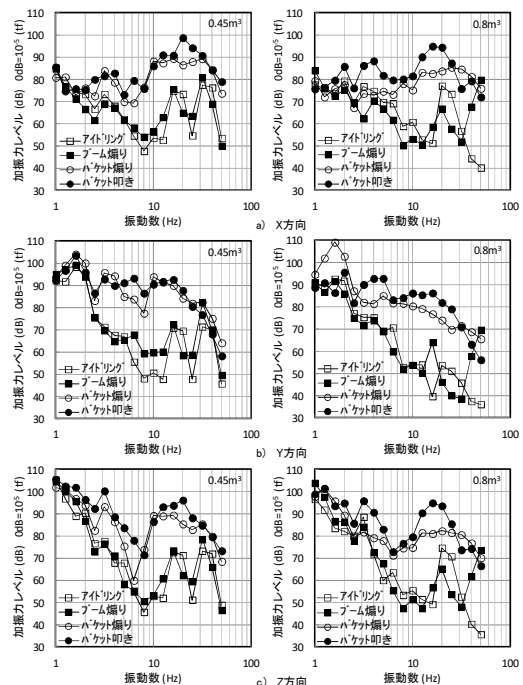


図 5 加振力レベルの推定結果 (移動しない場合)

2) 移動する場合について

図 6 に加振力の 1/3 オクターブバンド周波数分析結果を走行速度の Low, High と機械の種類別に示す。

全ての機械について加振力レベルを比較

すると、High 走行時のレベルが相対的に大きく、特定の振動数でピークになることがわかる。シュープレートが地面に接することで入力が生じると考えられるので、シュープレートの接触による High 走行時の振動数は、表 1 に示した履帯の回転数とシュー枚数から、 0.45m^3 では 7.8Hz ($=10.9 \times 43/60$) となる。同様に 0.8m^3 で 7.4Hz 、ブルドーザでは 11.8Hz である。図 6 a) バックホウ 0.45m^3 の High では 8Hz 帯域とその倍の 16Hz 帯域にピークがあり、同 c)ブルドーザ High では 10Hz 帯域から 12Hz 帯域にピークがあることから、シュープレートの地面への接触が加振力に寄与することが示唆される。 0.8m^3 については 7.4Hz よりやや低い 6.3Hz 帯域にピークを生じているので、シュープレートの接触以外に 0.45m^3 より大型のバケットやブームの揺れが 2 次的な振動源となった可能性がある。

High 走行について振動方向で比較すると Y 方向の加振力が大きくなることがわかる。Y 方向は重機の走行方向と一致することが原因と考えられる。重機走行時には水平方向振動にも注意が必要である。

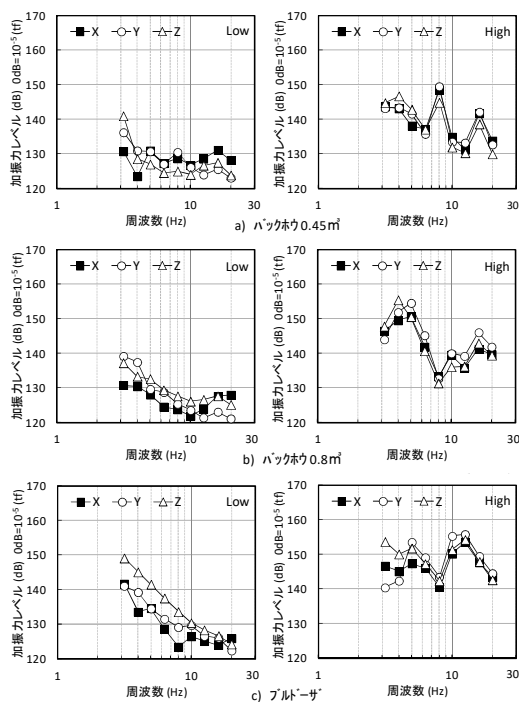


図 6 加振力レベルの推定結果 (走行時)

② 模型実験による振動系や質量体による振動低減効果の検証結果

図 7 に質量体と振動系の振動数ごとの振動低減効果を測点別に示す。振動系の効果は質量体より低い振動数から大きく現れることがわかる。PU4 と PU6 を比較すると制御装置に近いほど効果を得ていることがわかる。装置から離れれば波動の回りこみによる影響を受けるためである。

図 8 に質量体の質量と低減効果の関係を示す。質量が大きいくほど低減量が大きくなる傾向が確認できる。

以上のことから、振動系については機構が複雑ではあるが、単一の低い振動数から効果を発揮する可能性があり、質量体については、設置は容易であるが比較的高い振動数に対して効果的であることを確認した。また、いずれの場合においても装置の裏側で効果を得ているので、工事境界に住宅が近接する場合などのピンポイントな対策に有効であることが示唆された。

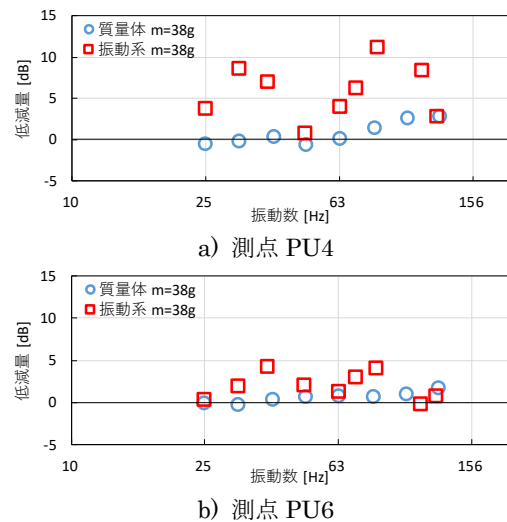


図 7 質量体と振動系の振動数別の低減効果

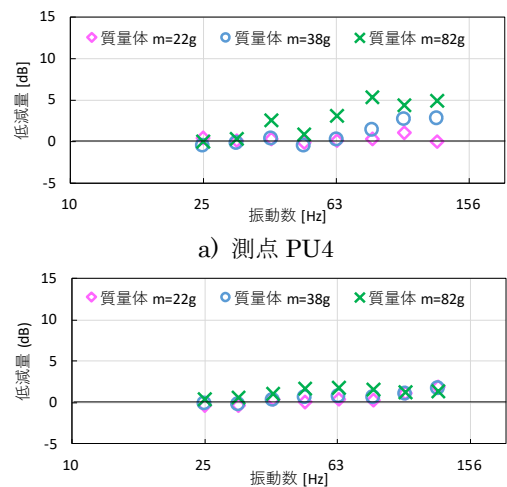


図 8 質量体の質量と振動数別の低減効果

③ まとめ

建設機械で主要なバックホウとブルドーザの加振力を推定した。その結果、機械の動作や走行状態に応じた加振力特性を得ることができた。

模型実験により質量体と振動系の低減効果を検討し、実機に適用可能であることを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① 小林真人, 岩根康之, 松本泰尚, 3次元地盤モデル解析による建設重機の加振力推

定、とびしま技報No.65, 査読無, 2017

- ② 小林真人, 内田季延, 三浦太郎, 松本泰尚, 千葉泰河, 建設振動の伝搬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, 査読無, 2018

[学会発表] (計 4 件)

- ① 小林真人, 岩根康之, 若林幹太, 松本泰尚, 3次元地盤モデルを用いた解析による建設重機加振力の推定, 土木学会 71 回年次学術講演会, 2016, 東北大学 (宮城県・仙台市)
- ② 小林真人, 岩根康之, 佐藤和熙, 松本泰尚, 3次元地盤モデル解析による建設重機走行時の加振力推定, 土木学会 72 回年次学術講演会, 2017, 九州大学 (福岡県・福岡市)
- ③ 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検討—模型実験による検討—, 土木学会 73 回年次学術講演会, 2018, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ④ 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検討—数値解析による検討—, 土木学会 73 回年次学術講演会, 2018, 北海道大学 (北海道・札幌市)

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 地盤振動低減工法

発明者: 小林真人, 松本泰尚

権利者: 飛島建設株式会社, 国立大学法人埼玉大学

種類: 特許

番号: 特許第 6240842

取得年月日: 平成 29 年 11 月 17 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 真人 (KOBAYASHI, Masahito)

飛島建設株式会社・一・室長

研究者番号: 6 0 4 4 3 6 5 2

(2) 研究分担者

松本 泰尚 (MATSUMOTO, Yasunao)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 9 0 3 2 2 0 2 3

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

岩根 康之 (IWANE, Yasuyuki)