

フォークリフト走行時加振力の直接計測と間接法による評価

大塚 友理 中村 佳也
櫻井 郁斗

概 要

物流倉庫など、フォークリフトの建物内走行による振動を懸念する案件が増えている。振動やその対策を検討する際に、時刻歴加振力が必要となるが、フォークリフト走行による加振力は、間接法で推定されたものはあるが¹⁾²⁾³⁾、直接計測された報告はない。また、過去の報告は単純な走行のみを対象としたものであり、より振動の原因となるような段差の影響や、走行速度の加振力への影響は報告されていない。

そこで本報告では、フォークリフト走行時の加振力を直接計測する実験を行った。実験パラメータとして、フォークリフト種類、走行速度、段差、積載荷重の影響を調べた。また、ほぼ同条件で間接法を用いた加振力の推定を行い、直接計測で得られた加振力との比較を行った。その結果、段差や走行速度が大きくなると加振力は大きくなることが確認できた。直接計測と間接法による加振力は概ね一致することが確認できた。

Direct and indirect measurement of dynamic load caused by running forklift truck

Abstract

An increasing number of projects are concerned about vibrations caused by forklift trucks running inside buildings such as distribution warehouses. Time-history excitation force is necessary in order to evaluate vibration and appropriate countermeasures. Although the excitation force due to a forklift truck's running has been estimated by indirect methods (impact hammer method), it has not been measured directly. Also, past reports focused on only excitation due to simple running on a flat floor.

Therefore, in this report, an experiment was conducted in order to directly measure excitation force during forklift truck running by using a large force balance. The effects of bumps, running speed, and types of forklift trucks were investigated. Also, excitation force was estimated through indirect methods under almost the same conditions. Compared were excitation forces obtained by the direct and indirect method. From the experimental results, it was confirmed that excitation force increased as bumps and running speed increased. It was confirmed that excitation force obtained by direct and indirect measurement methods are almost the same.

キーワード: 環境振動、時刻歴加振力、
フォークリフト、振動実験

§1. はじめに

1.1 背景

物流倉庫など、フォークリフトの建物内走行による振動を懸念する案件が増えている。フォークリフト走行に関する加振力は、間接法で推定されたものはあるが¹⁾²⁾³⁾、直接計測された報告はない。また、過去の報告は単純な走行のみを対象としたものであり、より振動の原因となるような段差の影響、走行速度の加振力への影響は報告されていない。

1.2 目的

本報告の実験は、フォークリフト走行による振動を検討する際に用いる加振力を得ることを目的としている。まず直接計測実験を行った。その際、車両種類、走行速度、段差、及び積載荷重をパラメータとし、それらによる影響を検討した。次に伝達関数、フォークリフト走行時加速度からフォークリフト加振力を推定(間接法)し、直接計測で得られた加振力と比較した。

§2. 実験概要

2.1 直接計測概要

図1に直接計測のための試験装置を示す。計測床の4点にロードセルを設け、フォークリフト走行が床に与える力を直接計測できるようにした。助走床で加速、減速を行い、計測床では一定の速度でフォークリフトが走行できる。計測床には板を敷き、床の凹凸を減らした。段差を設ける際

は、幅300mm、高さ12mmまたは24mmの木板を、前進時にフォークリフト全体が計測床上に載った状態で段差を越えられるように、計測床中央から0.6mの位置に設置した。計測床の固有振動数は31Hz、減衰は2%程度であった。

2.2 間接法概要

図2に間接法のための計測時の配置を示す。写真1に路面状況を示す。実際の路面にフォークリフトを走行させる。走行した路面は比較的目の細かい砕石が露出したアスファルト面である。まずインパクトハンマーで走行路上の1点をたたいた時の力と、その際の加速度の計測を行い、路面の伝達関数を計算した。次にフォークリフトが走行した際の加速度を計測した。最後に得られた加速度と伝達関数からフォークリフトの加振力を推定した。走行路は計測床と同等の14m以上を確保し、中央で十分な速度を保持するようにした。間接法のための計測時の段差は、直接計測と同じ木板を走行路中央に設置した。

2.3 実験パラメータ

走行に使用したフォークリフトは、カウンターバランスタイプを3種類(定格荷重3tonエンジン式、1.5tonエンジン式、1.5tonバッテリー式)、物流施設などでよく使われているリーチタイプを1種類(1.5tonバッテリー式)の計4種類を用いた。それぞれを以下3tonエンジン、1.5tonエンジン、1.5tonバッテリー、1.5tonリーチと呼ぶこととする。なお、フォークリフト車体重量は3tonエンジンが3.91 ton、1.5tonエンジンが2.91ton、1.5tonバッテリーが3.01ton、1.5tonリーチが2.07tonであった。計測は前進、後進を3往復行い、検

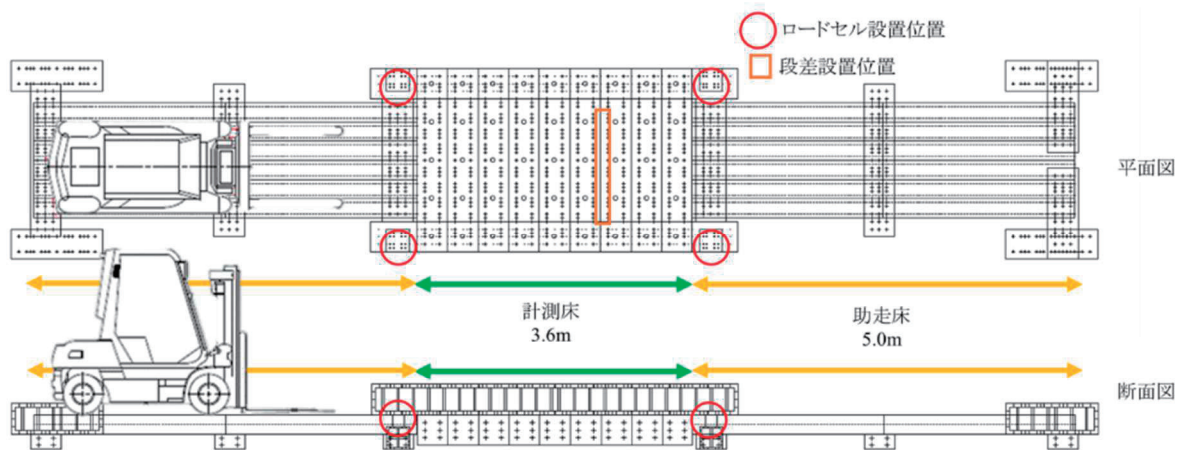


図1 直接計測試験装置

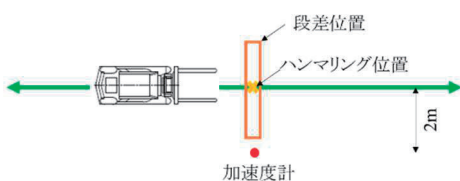


図2 間接法のための計測時配置

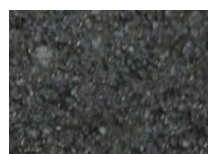


写真1 路面状況

表1 実験パラメータ

フォークリフト種類	3tonエンジン	1.5tonエンジン	1.5tonバッテリー	1.5tonリーチ
走行速度	低速	中速	高速	
積載荷重	なし	定格荷重の50%	定格荷重の70%	
段差	なし	12mm	24mm	

討には前進時のみを用いることとした。実験パラメータは直接計測、間接法のための計測共通とし、フォークリフト4種類、走行速度3種類(低速、中速、高速)、積載荷重3種類(なし、定格荷重の50%、70%)、段差3種類(なし、12mm、24mm)とした。表1に実験パラメータを示す。安全上等の理由によりいくつか実施していない組み合わせがある(積載がある場合の計測床上での高速走行等)。

§3. 実験結果

3.1 直接計測結果

図3に積載無し、段差無しの場合の計測した加振力を示す。4点のロードセルで計測した荷重を合計し、その荷重からフォークリフト自重(車体重量+積載重量)を差し引いたものを加振力とした。時刻歴波形には0.03秒の移動平均をかけた。この後に示す時刻歴加振力は特に記載のない場合すべて同様の処理を行った値とする。走行速度は低速: 1.5~2.4km/h、中速: 3.0~5.7km/h、高速: 5.4~

8.7km/hであった。(c-3)の1.5tonバッテリー、高速では、計測床突入時の段差でフォークリフトが振動し、加振力が本来より大きくなってしまっていると思われる。

図4に積載無し、段差無しの場合の時刻歴加振力の最大値を自重で割った値を、速度ごとに示す。なお、数値は前進3回の計測の平均値である。自重と加振力最大値の比率は速度が上がるにつれて大きくなる傾向が見られた。速度ごとに比率を見ると、低速時0.017~0.032、中速時0.021~0.039、高速時0.039~0.098であった。図3で示したように、(c)1.5tonバッテリーの高速では計測床突入時の段差が最大値に影響している。間接法で計測された既往の結果においては、自重と加振力最大値の比率は0.1~0.3倍程度であり、今回の結果のほうが小さい。これは走行時の路面の差や、既往の結果から時間がたっていることにより、低振動型のフォークリフトが開発されていることによると考えられる。速度が大きくなるにつれて加振力が大きくなった原因としては、計測床面の微小な凹凸により生じるフォークリフトの振動が、速度により増幅されたためと

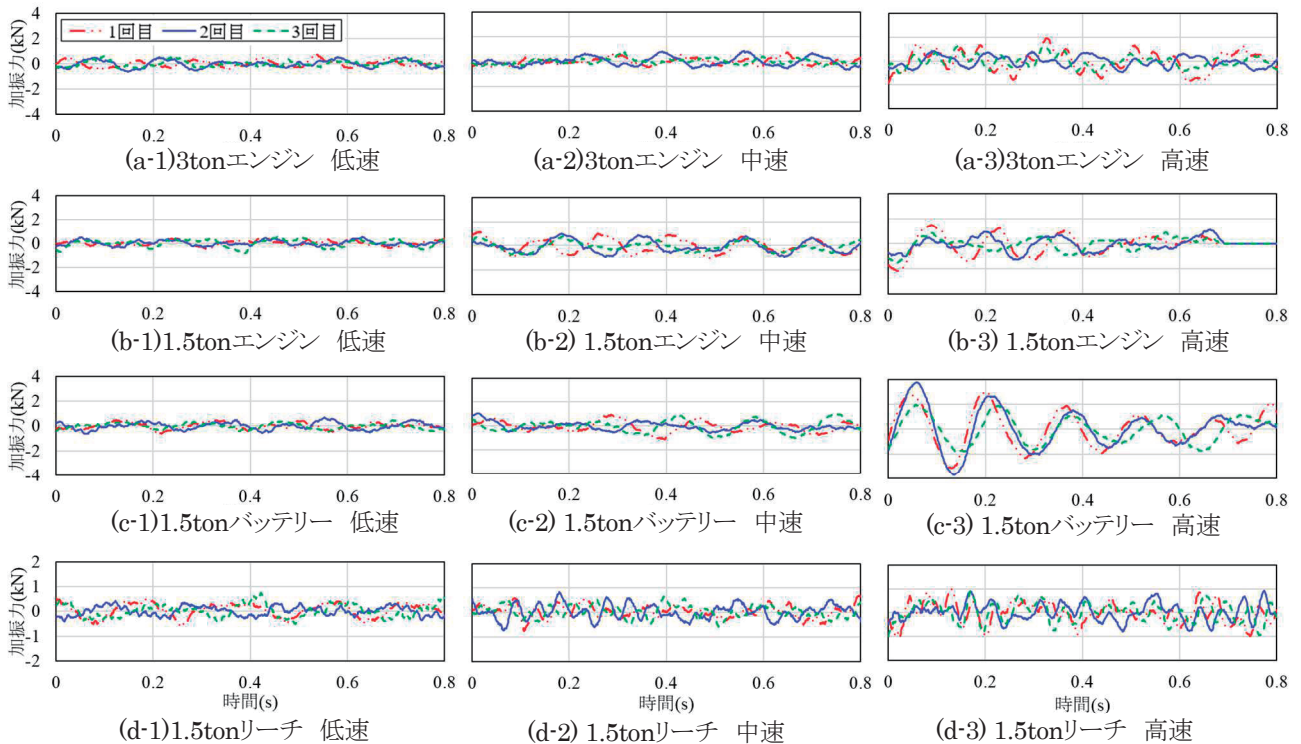


図3 計測された時刻歴加振力(積載なし 段差なし 直接計測)

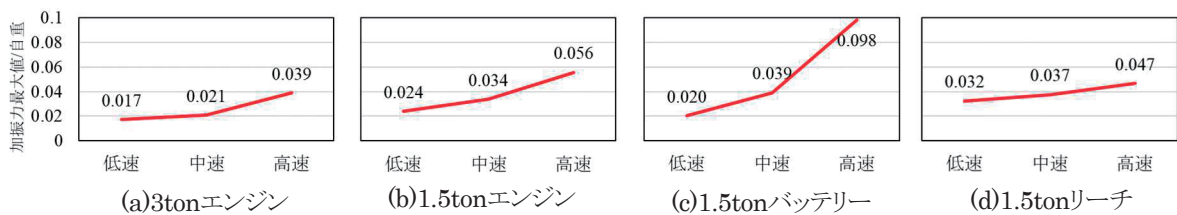


図4 時刻歴加振力最大値の比較(積載なし 段差なし 直接計測)

思われる。

図5に1.5tonエンジン、図6に1.5tonバッテリーの積載なし、段差12mm・24mmの時刻歴加振力、自重と加振力最大値の比率を示す。段差がある場合、前輪・後輪が段差を越える際に2回衝撃が発生する。加振力最大値は速度による影響が大きく、最大で自重の1.3倍となった。他のフォークリフトでも段差24mmで高速の場合、加振力最大値は自重の1倍前後となった。

図7に積載50%、70%、段差無しの場合の3tonエンジン

の時刻歴加振力、自重と加振力最大値の比率を示す。(a-2)の中速では、加振力に計測床突入時の段差の影響が生じている。積載荷重が大きくなっても、自重と加振力最大値の比率はほぼ変わらない結果となった。他のフォークリフトでも同様の結果となった。

3.2 間接法による加振力

図8に1.5tonエンジン、積載なし、(a)段差なし、(b)段差12mmの時の間接法によって得られた時刻歴加振力、自重と加振力最大値の比率を示す。また、図3や図5で示した

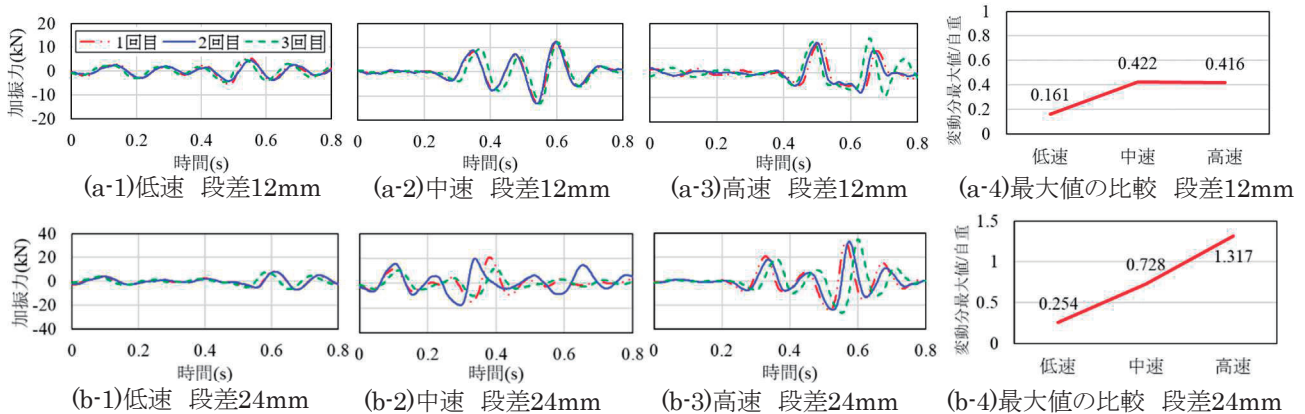


図5 段差ありの時の時刻歴加振力と最大値の比較(1.5tonエンジン 積載なし 直接計測)

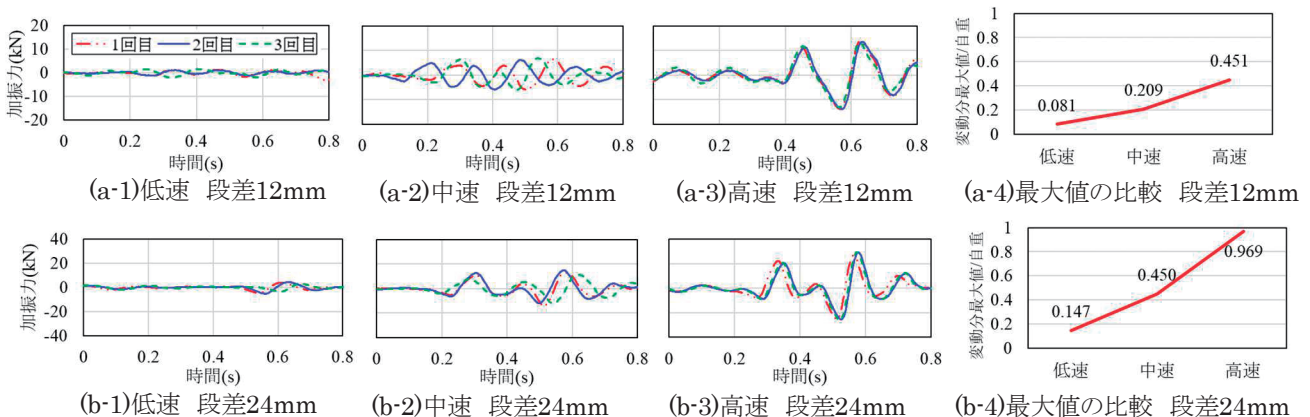


図6 段差ありの時の時刻歴加振力と最大値の比較(1.5tonバッテリー 積載なし 直接計測)

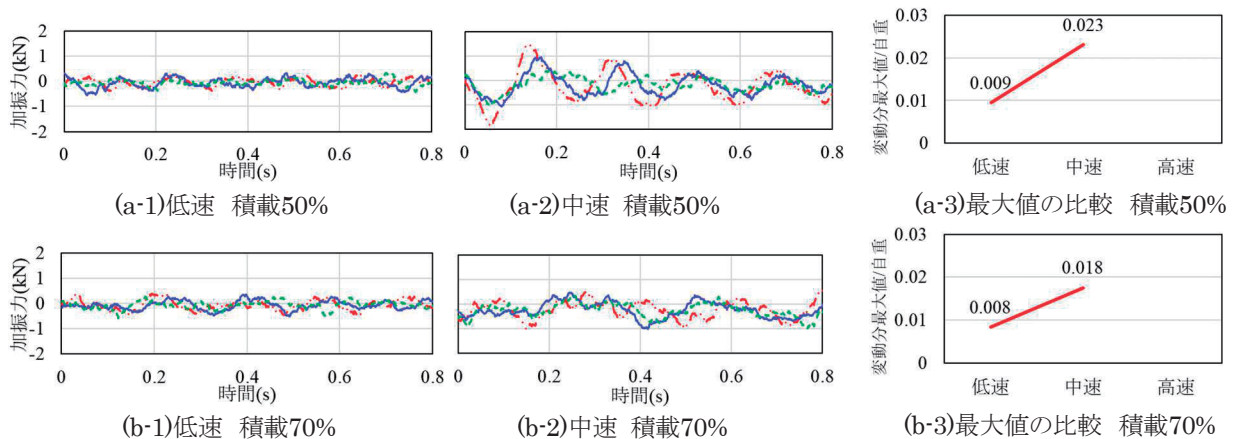


図7 積載ありの時の時刻歴加振力と最大値の比較(3tonエンジン 段差なし 直接計測)

直接計測による加振力を重ねて再度示す。直接計測と比較して、間接法による加振力が大きめとなったが、概ね似た印象の時刻歴加振力が得られている。最大値の比較においては、速度が大きい場合ほど差が大きくなり、間接法による加振力は直接計測による加振力の最大で1.5倍程度となった。

§4. 直接計測と間接法の周波数領域での比較

図9に1.5tonエンジンの直接計測と間接法から求めた加振力一周波数関係の比較を示す。数値は3回の計測の平

均值である。直接計測の計測床の固有振動数が31Hzであったため、30Hzまでを示している。人が振動を感じやすい3~10Hz程度の範囲では、直接計測と間接法の加振力は同等か直接計測によるものが小さかった。他の種類のフォークリフトも含めた傾向として、周波数領域で比較した場合、速度が速い場合や段差がある場合ほど、直接計測と間接法による加振力の一致が見られた。速度や段差によって、フォークリフトの固有振動数による影響が大きくなり、路面の細かい段差や計測床突入時の振動の影響が相対的に小さくなるためと考えられる。

通常間接法で加振力を算出することが多い。今回の計測

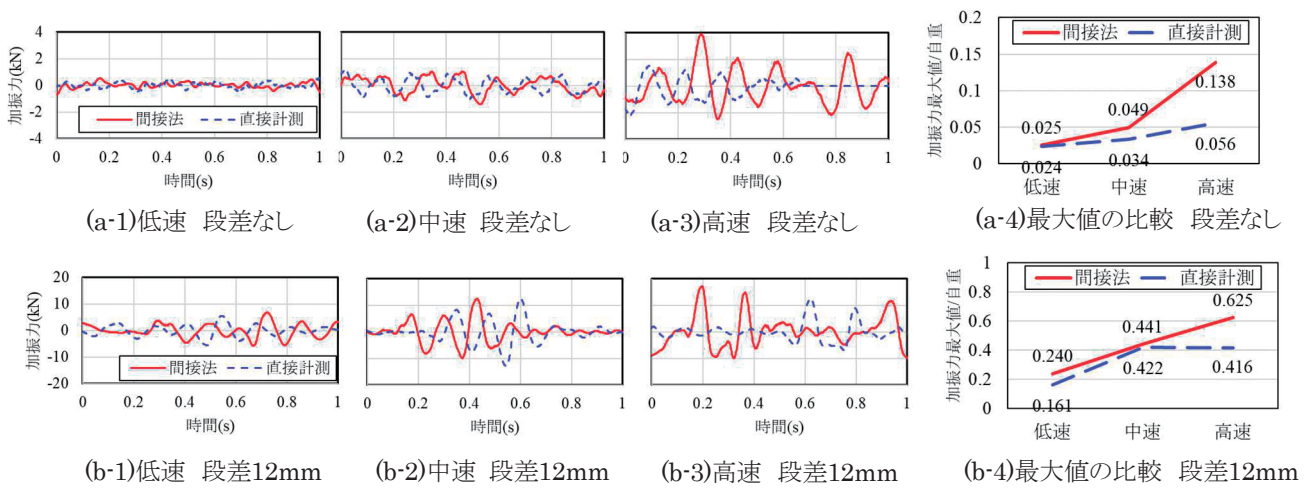


図8 間接法と直接計測によって得られた加振力(1.5tonエンジン、積載なし)

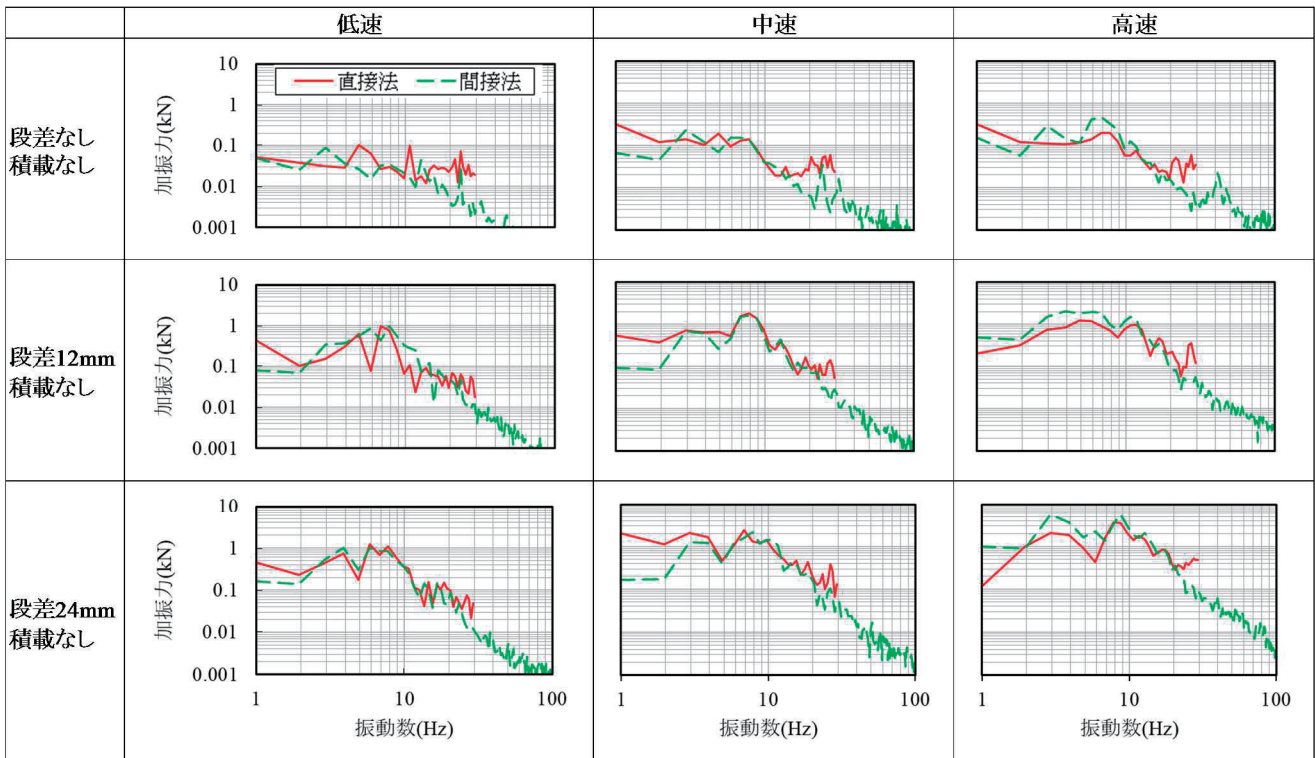


図9 直接計測と間接法による加振力一周波数関係の比較(1.5tonエンジン)

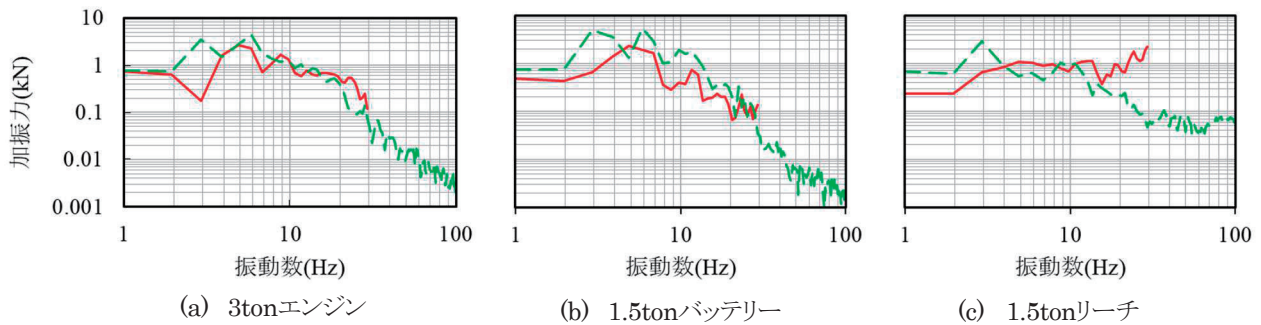


図10 直接計測と間接法による加振力一周波数関係の比較(段差12mm 積載なし 高速)

結果では間接法の結果のほうが大きくなっているため安全側となる。

図10に高速、段差12mm時の直接計測と間接法から求めた加振力一周波数関係の比較を示す。数値は3回の計測の平均値である。3～10Hz程度の範囲では直接計測と間接法による加振力は概ね一致し、図9に示した1.5tonエンジンと同様の傾向を示した。

ひとこと

環境振動に関する関心が高まっている。今後も様々な環境振動加振力のデータを収集していきたい。



大塚 友理

§5. まとめ

フォークリフト走行による振動を検討する際の時刻歴加振力を得るためにフォークリフト加振力の直接計測実験を行った。また、間接法による推定を行った。結果を以下に示す。

- ・段差や走行速度が大きくなると、加振力は大きくなる傾向がみられた。
- ・人が振動を感じやすい3～10Hz程度の範囲では、直接計測と間接法の加振力は概ね一致した。
- ・直接計測による加振力は、計測床突入時の段差の影響や、計測床の固有振動数などの影響により、精度が悪くなる可能性がある。

今後はこの結果を用いて汎用性のあるフォークリフト加振力の作成を行う。

謝辞 本検討にあたり、小山高専名誉教授中山先生には貴重なご意見とご指導を賜りました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 渡辺 弘之、塩谷 清人:フォークリフト走行時の動荷重の推定、日本建築学会学術講演梗概集pp.965-966、1983.9
- 2) 榎田 裕、広松 猛、阿部 隆之、橋本 嘉之:環境振動の予測と評価に関する研究(その2)フォークリフト動荷重の推定、日本建築学会学術講演梗概集pp.151-152、1984.10
- 3) 中山 昌尚、藏 正幸、鈴木 敏夫、増田 圭司:フォークリフト走行に伴う動的荷重の実測、日本建築学会学術講演梗概集pp.301-302、1998.9