1214 連続凹凸上走行時におけるクローラ式建設機械のバウンス挙動に及ぼす ボギー機構の形式の影響

Effects of the Type of Bogie Mechanism on the Bouncing Behavior of Crawler-type Construction Machine in Traveling on Continuous Uneven Ground

正 阿部雅二朗 (長岡技科大) 正 中村 晋也 (コマツ)
○ 中村 修 (長岡技科大院)

Masajiro ABE, Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata

Shinya NAKAMURA, Komatsu Ltd., 3-1-1 Ueno, Hirakata, Osaka

Osamu NAKAMURA, Nagaoka University of Technology Graduate School, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata

To evaluate the riding comfortability of crawler-type construction machines with bogie mechanism, a simulation analysis method when the machine travels on continuous uneven firm grounds is established and some simulation results are analyzed. On this kind of grounds, loads acting via running equipment from ground are not so large but fluctuate steadily. The bouncing behavior at the driver seat position is investigated. Then the effects of the type of bogie mechanism called K type and X type on the behavior are clarified and discussed quantitatively. The change of the bogie mechanism effectiveness by the bump height and pitch of uneven grounds is also studied.

Key Words: Construction Machinery, Comfortability in Riding, Crawler, Bogie Mechanism, Simulation, Uneven Ground, Bouncing Behavior

1. 緒言

クローラ式建設機械において、足回りへの衝撃荷重吸収による振動乗り心地向上や足回りの集中荷分散による耐久性向上を主目的に、走行装置にボギー機構等が用いられる。しかし、ボギー機構を有し複雑化した走行装置の挙動や負荷、関連する機械の動特性には不明な点が多くボギー機構の定量的効果も明確ではない。

これまで、著者⁽¹⁾⁽²⁾らはK型およびX型ボギー機構を有するクローラ式建設機械をマルチボディシステムとしてモデル化し、ボギー機構が大きく機能する、単一突起乗越え時を対象にシミュレーション解析した。乗り心地評価上重要な運転席位置における加速度特性等のシミュレーション解析結果を実機実験結果と比較検討して妥当性を確認した。さらにボギー機構の形式の影響を定量的に明らかにした。

本論文ではK型およびX型ボギー機構により実現される軟式サスペンションのほか、硬式サスペンションを有するクローラ式建設機械を対象とし、上記とは異なる作業地盤条件下で理論解析する。乗り心地を評価するためには、足回りからさほど大きくはないが定常的に繰り返し負荷が入る、連続的な凹凸を有する堅固地盤上を走行するシミュレーション解析を行なうことは重要である。シミュレーション解析により、運転席位置のバウンス挙動に及ぼすボギー機構の形式の

影響を定量的に明らかにし考察する。また、凸部高さおよびピッチによるボギー効果の変化についても調べる。

2. シミュレーション解析方法

本論文では、建設機械とその作業地盤を一つのシステムと見なし、その特性を動的に理論解析する方法⁽¹⁾⁽²⁾を用いる。緒言に述べた背景等を考慮し、図1に示すシミュレーションモデルとする。また、運転席の乗り心地を従来⁽¹⁾⁽²⁾より正確に評価できるようにするため、運転台の支持機構を新たに以下のようにモデル化する。

図2に運転台を支持するマウントに使用されるダンパのモデルを示す。ダンパは上下方向、前後方向、回転方向の3方向に対して、バネ-ダッシュポットによりモデル化する。ダンパのバネ定数 k_{cd} および損失係数 $\tan \delta$ には周波数依存性が存在するため、走行時のダンパ変形量の主要変動周波数 f_{cd} に対する値を用いる。ダッシュポットモデルの等価粘性減衰係数 c_{cd} は、 k_{cd} 、 $\tan \delta$ を用いて、次式により求める。

$$c_{cd} = \frac{k_{cd} \tan \delta}{2\pi f_{cd}} \quad (1)$$

以上のモデルを用い、適切な運動学的拘束条件および機体各部作用力を設定し、連立微分代数方程式(DAE)を導き、クローラ式建設機械の動特性について数値解析する。

3. 連続凹凸上走行シミュレーション

連続した凹凸を有する堅固地盤上をクローラ式建設機械

Fig. 1 Simulation models

Fig. 2 Damper model for cab mount

Fig. 3 Wheel interval

が走行するシミュレーションを、前章に示したモデルを用いて行なった。図3に各ボギー機構の車輪間隔、図4に運転席位置と地盤形状、走行条件をそれぞれ示す。ボギー機構の形式は、軟式サスペンションとなるK型、X型のほか、硬式サスペンションとなるK型、X型ボギー機構それぞれを固定したものの四種類とする。以降簡略にKボギー、Xボギー、LKボギーおよびLXボギーと呼ぶ。地盤の凸部の形状は台形とし、凸部上面の幅はクローラベルトが大きく屈曲するように凸部上面に常に一つのグローサしか接触しない300mmとした。凸部高さやピッチは、ボギー機構の効果が顕著に表れやすいと思われる5条件とした。走行時の減速比は、走行抵抗の大きい路盤上走行であることを考慮して一速とし、アクセルはフルスロットル状態とした。

乗り心地評価上重要な運転席位置のバウンス挙動を求め考察する。図5に運転席位置の全体座標系 z 軸方向のバウンス加速度について、時間変化と周波数特性をそれぞれ示す。図5(a)のように周期的に変動するバウンス加速度の周波数特性を示す図5(b)において、主要なピーク振動周波数の発生要因は次の通りである。2~2.8Hz: 凸部上のトラックリンクへの従動輪、下部転輪および駆動輪の接触、2.5~3.7Hz: 駆動スプロケットに巻き取られるトラックリンクのピンとスプロケット歯の接触、4.7~8.0Hz: 1つのボギーに取り付けられた2つの下部転輪のどちらかとトラックリンクの接触、1.6~12.5Hz: 従動輪、下部転輪および駆動輪のいずれかへのトラックリンクの接触。ピーク振動周波数に幅があるのは、これらの周波数は主に走行速度変動のほか、下部転輪間隔とクローラベルトの屈曲状態の変化および凸部ピッチの影響を受けるためである。

図6には連続凹凸上を定常走行中の運転席位置バウンス加速度に対しISO規格⁽³⁾に基づく1/3オクターブ分析を行い求めた加重r.m.s.値を示す。KボギーおよびXボギーの結果に注目して考察する。凸部ピッチがトラックリンクピッチ L_T の2倍となる(図4参照)Case1, 2ではクローラベルト張力やトラックリンクの屈曲角制限のために、クローラベルトは十分には地盤凹部へ落ち込まない。このため凸部高さによる

加重r.m.s.加速度の違いは少なくかつボギー機構の効果は少ないと考えられる。一方、凸部ピッチを $3L_T$ に広げた場合、クローラベルトは十分に地盤凹部に落ち込み屈曲する。Kボギーは、ボギー機構が有効に機能して加重r.m.s.加速度は小さくなる。しかし、Xボギーは凸部高さがCase4, 5のように大きくなると加重r.m.s.加速度は大きくなる。

KボギーおよびXボギーを用いて足回りを軟式化することで、硬式の場合に比べてどの程度バウンス加速度を低減できるかを次式で定義する加重r.m.s.値の低減率 β_a^{rms} で定量的に求めた。

$$\beta_a^{rms} = - \frac{a_{z_{op}}^{LK(LX)} - a_{z_{op}}^{K(X)}}{a_{z_{op}}^{LK(LX)}} \dots \dots \dots (2)$$

ここで添え字LK, LX, K, Xはボギー機構の種別を表す。 $a_{z_{op}}^{rms}$ は連続凹凸上を定常走行中のバウンス加速度の加重r.m.s.値である。

図7に低減率 β_a^{rms} をまとめて示す。Kボギーでは、 β_a^{rms} は全水準で正の値となり、バウンス加速度の加重r.m.s.値の低減に効果的であることがわかる。XボギーはKボギーに対して低減率は小さい。XボギーはKボギーに比べ下部転輪の上下方向ストロークが小さい、ボギーとトラックフレームの接触部にラバーパッドが取り付けられてはいない等が影響しているものと思われる。

4. 結言

ボギー機構を有するクローラ式建設機械が堅固な連続凹凸地盤上を走行する時の運転席位置におけるバウンス挙動について、凸部の高さやピッチを変化させシミュレーション解析し考察した。下部転輪のストローク量が大きくトラックリンクへの追従性が良好なK型ボギー機構は、バウンス加速度低減による乗り心地向上に有効であると考えられる。

文献

- (1) 阿部, 中村, 仲川, 機論 68-675,C(2002),3193-3201.
- (2) 中村, 阿部, 仲川, 機論 69-680,C(2003),923-932.
- (3) ISO2631-1:1997 Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1:General requirements, (1997), 12

Fig. 4 Operating seat position, ground and traveling conditions

(a) Time history of $a_{z_{op}}$
Fig. 5 Bouncing acceleration at the operating seat position(Case 2,4)

Fig. 6 Weighted r.m.s. value of the bouncing acceleration at the operating seat position

Fig. 7 Decrease rate of the weighted r.m.s. value of the bouncing acceleration