

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：55501
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560236
 研究課題名（和文）ラグに起因する起振力同定による農耕車両の振動発生メカニズムの解明
 研究課題名（英文）Clarification of vibration generation mechanism of agricultural machinery by identification of lug excitation force
 研究代表者
 藤田 活秀（FUJITA KATSUhide）
 宇部工業高等専門学校・機械工学科・教授
 研究者番号：50390498

研究成果の概要（和文）：ラグを有する農用タイヤの回転時におけるタイヤ挙動を上下方向と前後方向について計測するための実験装置を製作し、タイヤ回転速度を変化させたときの動的特性を調べた。次に、タイヤ単体の振動特性として固有振動数と固有振動モードを非回転・接地の状態で行った実験モード解析により調べた。得られた結果から、タイヤ単体の振動特性が回転時の挙動に及ぼす影響について検討を行った。

研究成果の概要（英文）：A test equipment is manufactured to determine the motion of a rolling agricultural tire with ground contact in respect to vertical or longitudinal direction. The dynamic characteristics are investigated by changing the number of revolutions of the tire. Next, the vibration characteristics of the agricultural tire are investigated in a state of static and with ground contact by experimental modal analysis. By using obtained results, the influences of vibration characteristics on the dynamic behavior of rolling tire are investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械力学・制御

キーワード：動的設計

1. 研究開始当初の背景

農耕車両には軟弱土壌での耕耘作業のため、トレッド部にラグと呼ばれるゴム製の大きな突起が千鳥状に配置されたタイヤが用いられている。従って、舗装路面走行時の農耕車両の振動は、このラグに起因する起振力の影響を強く受けると考えられるが、その振動発生メカニズムは十分解明されていない。

近年、農耕車両の作業速度・移動速度の高速化への要望が強まっており、海外では既に

50km/h での走行が行われている。現状国内では小型特殊自動車としての規格から 35km/h 未満の走行が主となっており、舗装路面走行時の農耕車両の振動はあまり重視されていなかった。しかし、市場のグローバル化・規制緩和の流れから、国内においても高速化が進むと考えられる。高速化は走行振動の増大を招き乗り心地を低下させるため、今後は農耕車両に対する振動低減が強く望まれてくると思われる。

2. 研究の目的

農耕車両の振動特性を把握する上で寄与の高いと考えられるラグ付きタイヤ単体の振動特性を明らかにすると共に、舗装路面走行時に発生する農耕車両の振動との関連について検討することで、農耕車両のタイヤに起因する振動の発生メカニズムを解明することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 転動実験

① 実験装置

実験にはラグを有する芝刈り機用の小径バイアスタイヤを用いた。タイヤの主仕様を表1に示す。また、実験装置の概略を図1に示す。タイヤは軸受により片持ち支持された車軸に固定され、軸受を下方向に押付けることによりタイヤはドラムに押付けられる。その状態でドラムを駆動モータにより回転させることにより、タイヤは従動的に回転する構造となっている。

タイヤの車軸に90度毎に4枚歪ゲージを貼り付け、スリップリングを介してブリッジボックスでブリッジ回路を組み、2ゲージ法により曲げ歪を測定することで、タイヤの上下及び前後方向の挙動を計測した。

表1 タイヤの主仕様

Characteristics	Dimension
Tire size	3.50-5
Ply rating	2
Outer diameter	308mm
Width	93mm
Number of lugs	10
Lug height	12mm
Weight	3.7kg

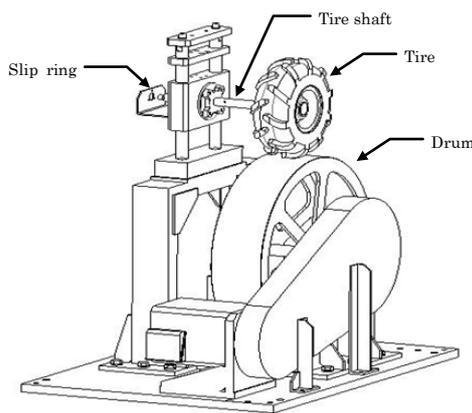


図1 転動実験装置の概要

② 実験方法

タイヤの空気圧は標準空気圧の100kPaに設定し、タイヤのドラムへの押付け荷重は300N一定とした。駆動モータの回転数を100

～1000rpmまで20rpm刻みで変化させて実験を行った。なお、その時のタイヤの回転数は50～500rpm（10rpm刻み）である。

車軸の曲げ歪からタイヤの挙動を計測する方法としては、図2に示すようにタイヤと車軸を片持ち梁とみなすと、式(1)を用いて上下方向歪 ε_x からタイヤの上下方向変位 x を算出できる。ここで、 E は車軸のヤング率、 Z は車軸の断面係数、 I は車軸の断面モーメント、 x_e は歪ゲージからタイヤ中心までの距離、 l は車軸の長さを表している。

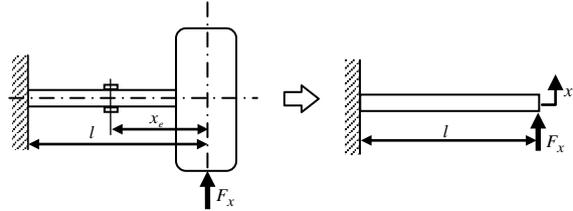


図2 片持ち梁モデル

$$F_x = \frac{\varepsilon_x E Z}{x_e}, \quad x = \frac{F_x l^3}{3EI} \quad (1)$$

(2) 加振実験

① 実験装置

転動実験で用いたラグ付きタイヤを、転動実験と同じ300Nでドラムに押付け接地状態とし、タイヤの空気圧は100kPaに設定して非回転の状態インパルスハンマによる打撃試験を行った。実験装置の概略を図3に示す。

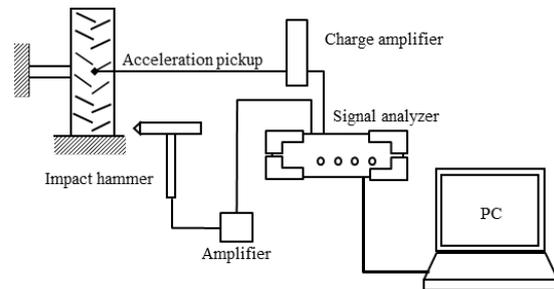


図3 加振実験装置の概要

② 実験方法

打撃試験は打撃位置を固定し応答位置を変えていく単点加振多点応答法により実施した。応答点はラグ数に相当する18か所（接地したラグを除く）でラグ中心部の半径方向及び周方向の振動加速度を同時に計測した。なお、データの精緻化のため打撃試験は8回の平均で行った。

インパルスハンマによる加振力とそれによる応答加速度は分析器に取り込み、アクセラランスを求めることにより固有振動数及び固有振動モードを調べた。

4. 研究成果

(1) 転動実験結果

図4にタイヤ回転数200rpmのときのタイヤの上下方向変位と前後方向変位の時間波形を示す。時間波形から、上下方向及び前後方向の変位の最大値を求めた。図5にタイヤ回転数と変位の最大値の関係を示す。図5より、上下方向、前後方向共にある特定の回転数でピークを有する共振的な現象が発生し、その回転数は上下方向と前後方向では異なっていることが確認できる。

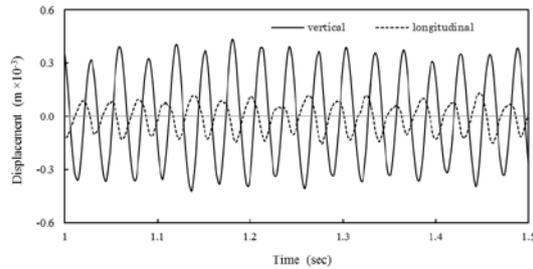


図4 時間波形 (タイヤ回転数 200rpm)

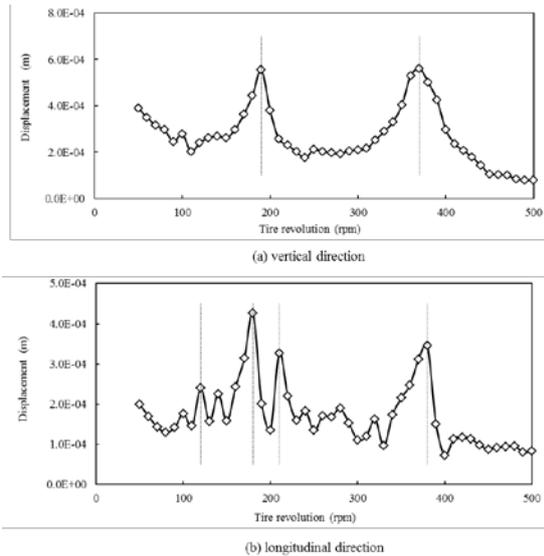


図5 転動時の動的特性

次に各方向の変位のスペクトルマップを図6に示す。奥行方向がタイヤ回転数、横軸が周波数、縦軸が変位となる。タイヤラグに起因する振動では対向するラグの組数 L とタイヤの回転数 N (rpm)から定まる起振周波数が支配的となり、ラグの1次の起振周波数 f_e (Hz)は式(2)で求められる。図6にはラグの1次と2次の起振周波数を破線で示している。ここで2次の起振周波数とは一つ一つのラグの数から決まる周波数で1組のラグの数から決まる1次の起振周波数 f_e の2倍となる。

$$f_e = \frac{N}{60} L \quad (2)$$

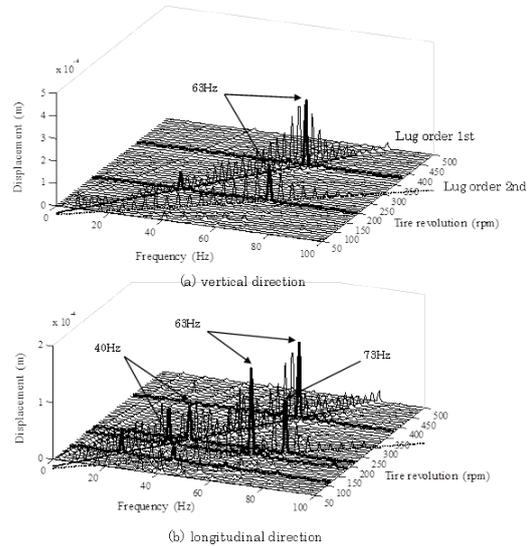


図6 スペクトルマップ

図6より転動実験で共振的な現象が発生した回転数(図中太線で表示)での支配的な周波数を調べた。上下方向に関しては、2つの回転数で共振的な現象が確認されていたが、タイヤ回転数190rpmではラグの2次の起振周波数と、タイヤ回転数370rpmではラグの1次の起振周波数と一致しており、周波数はいずれの場合も63Hzであることが判明した。一方前後方向に関しては、4つの回転数で共振的な回転数が確認されており、支配的な周波数はラグの起振周波数と一致していることが確認できた。また、支配的な周波数は63Hzに加えて、40Hzと73Hzが確認された。

(2) 加振実験結果

打撃試験では応答点が18か所あるため、各応答点で得られた18個のアクセランスを重ね合わせて固有振動数を調べた。図7に重ね合わせたアクセランスを示す。アクセランスの共振峰から、4つの固有振動数を特定することができた。それぞれの固有振動数について固有振動モードを調べたところ、84Hzの振動モードは面外に振動するモードであったため考慮しないこととし、それ以外の固有振動モードを表2に示す。

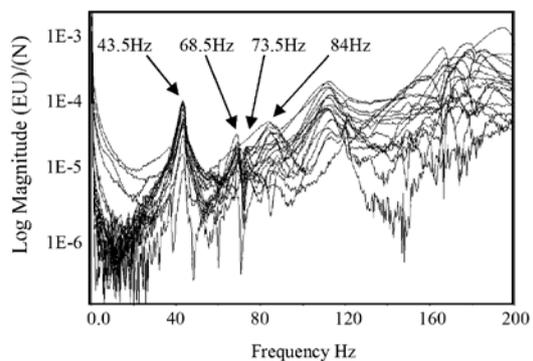


図7 アクセランス

表 2 固有振動数と固有振動モード

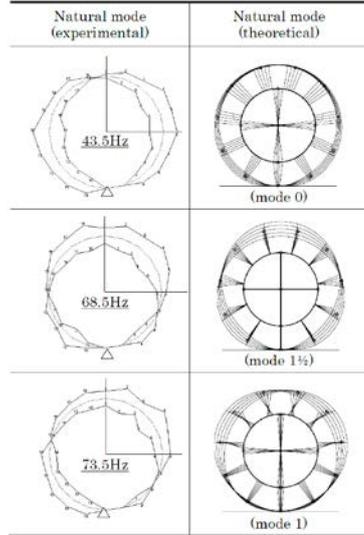


表 2 においては、自動車用タイヤの面内振動を円環モデルで解析的に調べ、モード解析により得られたと報告されている振動モード形状を理論的なモード形状として示している。そのモード形状と比較すると、43.5Hz が剛体的に回転する 0 次のモード、68.5Hz が剛体的に上下方向に振動する 1.5 次のモード、73.5Hz が剛体的に前後方向に振動する 1 次のモードであると考えられる。

(3)まとめ

転動実験で得られた共振振動数と加振実験で得られた固有振動数を比較したものを表 3 に示す。

表 3 共振振動数と固有振動数の比較

Rolling test		Excitation test	
Resonance freq.	Direction	Natural freq.	Natural mode
40Hz	longitudinal	43.5Hz (mode 0)	
63Hz	vertical	68.5Hz (mode 1.5)	
	longitudinal		
73Hz	longitudinal	73.5Hz (mode 1)	

表 3 より、明らかに転動実験での共振周波数にタイヤの振動特性が影響を及ぼしていることが確認できる。即ち、固有振動モードで上下方向に振動する振幅を有するモードに対する固有振動数 (68.5Hz) が、転動実験での上下方向の共振周波数 (63Hz) と、また前後方向に振動する振幅を有するモードに対する固有振動数 (43.5Hz, 68.5Hz, 73.5Hz) が、転動実験での前後方向の共振周波数 (40Hz, 63Hz, 73Hz) に対応していると考え

られる。また、固有振動数より共振周波数の方が何れの場合についても値が小さくなっているが、これはタイヤの固有振動数は回転の影響を受けて非回転時よりも小さくなるということが報告されており、そのことが原因の一つであると考えられる。

ラグ付きタイヤの振動特性と転動時の動的特性を調べた結果、タイヤ単体の振動特性が回転時の挙動に及ぼす影響について明らかにした。

今後は、回転時の動的特性を評価できる数学モデルを構築し、転動実験結果を基にラグによる起振力を同定することで、農耕車両のラグに起因する振動発生メカニズムを解明していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

- ① Katsuhide Fujita, Takashi Saito, Toru Yamazaki, Experimental Study on Dynamic Behavior of a Rolling Agricultural Tire, Proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition 2012, 査読有 CD-ROM, 2012
- ② Katsuhide Fujita, Takashi Saito, Mitsugu Kaneko, Influence of Vibration Characteristics on Dynamic Behavior of Rolling Agricultural Tires, Proceedings of The 14th Asia-Pacific Vibration Conference, 査読無, Vol.4, 2011, pp.1945-1953
- ③ 藤田活秀, 齊藤俊, 金子貢, 農業用タイヤの振動特性が回転時の挙動に及ぼす影響, 農業機械学会誌, 査読有, 73 巻, 2011, pp.45-50

〔学会発表〕 (計 7 件)

- ① 岡田康弘, 藤田活秀, 齊藤俊, 金子貢, 農用タイヤの転動時の動的特性に関する研究 (支持系の影響), 日本機械学会中国四国学生会第 43 回学生員卒業研究発表講演会, 2013 年 3 月 7 日, 高知工科大学
- ② 藤田活秀, 齊藤俊, 金子貢, 農用タイヤの転動時の動的応答に関する研究, 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012 年 9 月 10 日, 金沢大学
- ③ 森重創太, 藤田活秀, 齊藤俊, 金子貢, 農業用タイヤの転動時の動的応答に関する研究, 日本機械学会中国四国学生会第 42 回学生員卒業研究発表講演会, 2012 年 3 月 7 日, 広島大学
- ④ 藤田活秀, 齊藤俊, 山崎徹, 小型マイクによる農業用タイヤの回転時の振動モード計測, Dynamics and Design Conference 2011, 2011 年 9 月 7 日, 高

- 知工科大学
- ⑤ 福田祐也, 齊藤俊, 藤田活秀, 金子貢, 薄肉円筒シェル理論に基づく農耕車両用ラグタイヤの動的応答に関する研究, 日本機械学会中国四国支部学術講演会, 2011年3月5日, 岡山理科大学
 - ⑥ 村井勇太, 藤田活秀, 齊藤俊, 山崎徹, 小型マイクによる農業用タイヤの回転時の振動モード計測, 日本機械学会中国四国学生会第41回学生員卒業研究発表講演会, 2011年3月4日, 岡山理科大学
 - ⑦ 藤田活秀, 齊藤俊, 金子貢, 農業用タイヤの振動特性が回転時の挙動に及ぼす影響, Dynamics and Design Conference 2010, 2010年9月15日, 同志社大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤田 活秀 (FUJITA KATSUHIDE)
宇部工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号: 50390498

(2)研究分担者

齊藤 俊 (SAITO TAKASHI)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 10162207

(3)連携研究者