

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560246

研究課題名（和文） 農業用タイヤのラグ形状が農耕車両の振動特性に与える影響

研究課題名（英文） Influence of agricultural tire lug-form on vibration characteristics of agricultural machinery

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・准教授

研究者番号：50390498

研究成果の概要：ラグを有する農業用タイヤ単体の振動特性について、実験モード解析手法により半径方向及び車軸方向の固有振動数と固有振動モードを非接地時と接地時の双方について調べた。次にラグタイヤを複数のばねで支持された円環リングモデルと薄肉円筒シェルモデルによりモデル化し、それぞれについて固有振動数を求める為の振動数方程式を導出した。加振実験で得られた固有振動数からパラメータ同定を行い、タイヤ剛性のパラメータを算出し、ラグタイヤモデルについての検討を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 機械力学・制御

キーワード：振動解析・試験

## 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為、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。舗装路面走行時の農耕車両の振動は、このラグ形状に起因した振動が発生するが、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為、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、農耕車両を対象とした振動モデルを構築し、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) 加振実験

##### ① 非接地加振実験

治具によりホイールを固定して非接地状態とし、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1に示す。

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。半径方向に加振する場合は、ラグの中心部を半径方向に加振し、軸方向に加振する場合はラグの中心位置に対応する側面部を軸方向に加振した。応答点は、ラグ数に相当する34か所で、ラグ中心部の半径方向と車軸方向の振動加速度を計測した。インパルスハンマによる加振力とそれによる加速度応答をA/D変換器を介してパソコンに取り込みMATLABにより伝達関数を求めることにより固有振動特性を調べた。

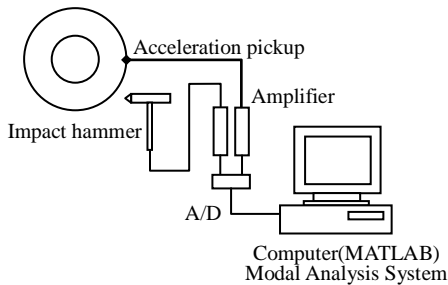


図1 非接地加振実験

##### ② 接地加振実験

治具を用いてタイヤを加振機の振動台面に片持ちの状態でも垂直に接地させた。実験装置の概略を図2に示す。

正弦波スイープ加振実験により振動台を半径方向（上下方向）及び軸方向（水平方向）に加振させ、振動台の入力加速度に対するラグ中心部の半径方向及び軸方向の加速度応答を計測し、その加速度の比から伝達関数を求めることにより固有振動特性を調べた。

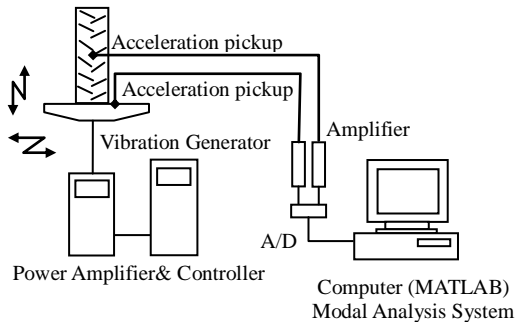


図2 接地加振実験

#### (2) パラメータ同定

##### ① 円環モデル

ラグ特性を考慮する為、タイヤを図3に示すように均一な弾性リングがラグ数に等しい複数のばねで支えられた円環モデルでモデル化し、レゼプタンス法を用いてこの円環モデルの振動数方程式を導出した。その解が固有振動数となるので、パラメータを定めることにより固有振動数を計算することができる。従って、加振実験で得られた半径方向の固有振動数と円環モデルで解析的に定まる固有振動数の誤差が最少となるようにパラメータを同定した。

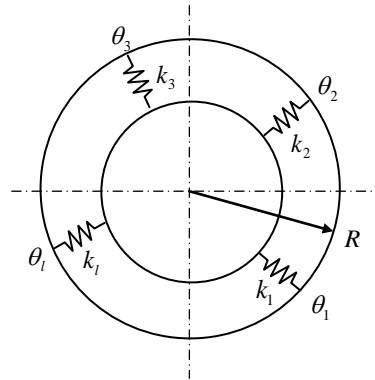


図3 円環モデル

##### ② 薄肉円筒シェルモデル

軸方向振動を含むラグタイヤの3次元的な振動特性を評価する為、タイヤを図4に示すような等方性薄肉円筒シェルモデルでモデル化した。境界条件に関しては、円筒シェル両端において、軸方向、円周方向、半径方向及び円周方向軸周りにばね支持されているモデルを考えた。フリーゲ型薄肉円筒シェルに対する運動方程式から振動数方程式を導出し、円環モデル同様に加振実験で得られた軸方向の固有振動数を用いてパラメータを同定した。

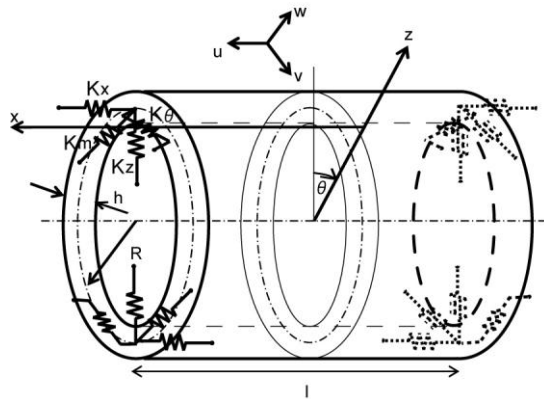


図4 薄肉円筒シェルモデル

#### 4. 研究成果

##### (1) 加振実験結果

##### ① 半径方向

図5及び図6に非接地時と接地時の半径方向の伝達関数と伝達関数から得られた固有振動数及び固有モードをそれぞれ示す。モード形状より非接地時は1次から6次、接地時は1.5次から6.5次のモードに対応しているものと考えられる。

また、半径方向に関しては接地することにより固有振動数が低減することが確認された。これは、接地によりベルトの張力が作用しにくくなることが原因と考えられる。

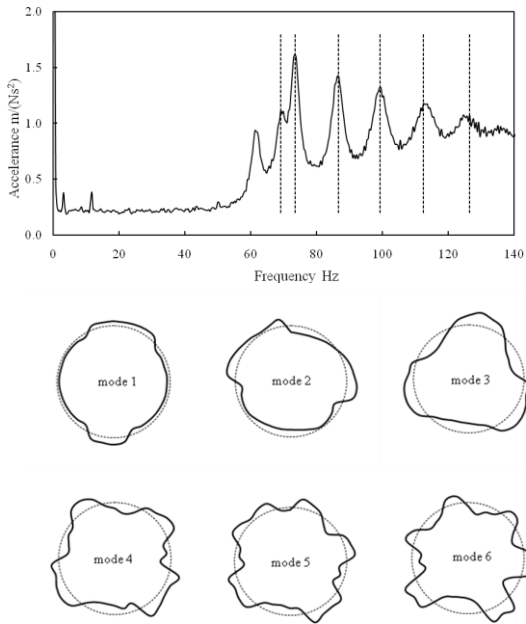


図5 非接地時の固有振動数と固有モード

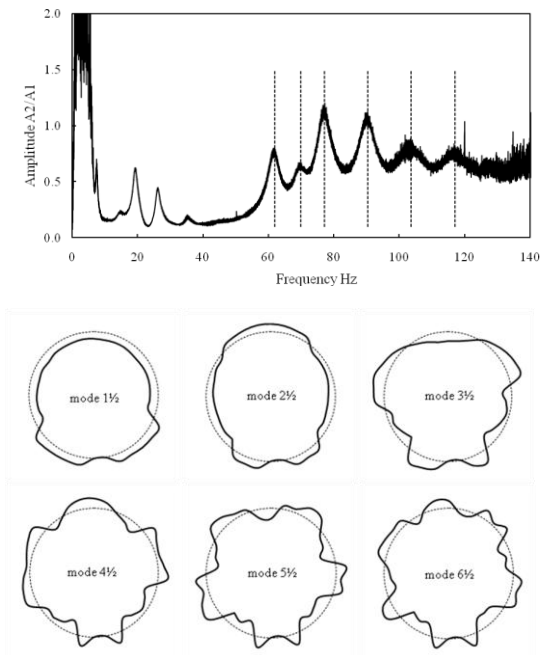


図6 接地時の固有振動数と固有モード

より固有振動数が低減することが確認された。これは、接地によりベルトの張力が作用しにくくなることが原因と考えられる。

##### ② 軸方向

図7及び図8に非接地時と接地時の軸方向の伝達関数と伝達関数から得られた固有振動数及び固有振動モードをそれぞれ示す。モード形状より非接地時は0次から3次、接地時は0.5次から3.5次のモードに対応しているものと考えられる。

軸方向に関しては、接地することにより固有振動数が増大することが確認された。これは、軸方向はベルト張力の影響を受けず、接地による拘束の増大により固有振動数が増大したものと考えられる。

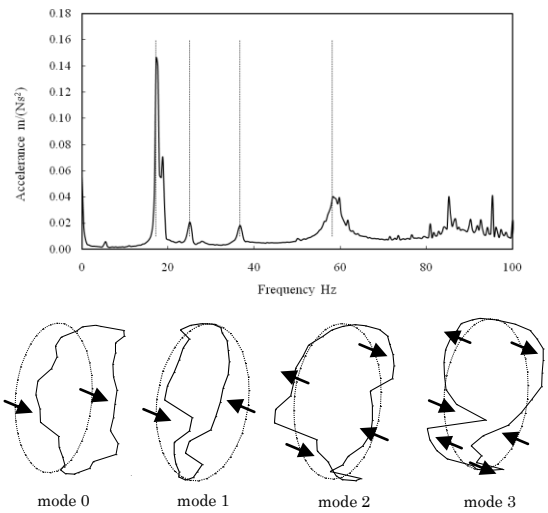


図7 非接地時の固有振動数と固有モード

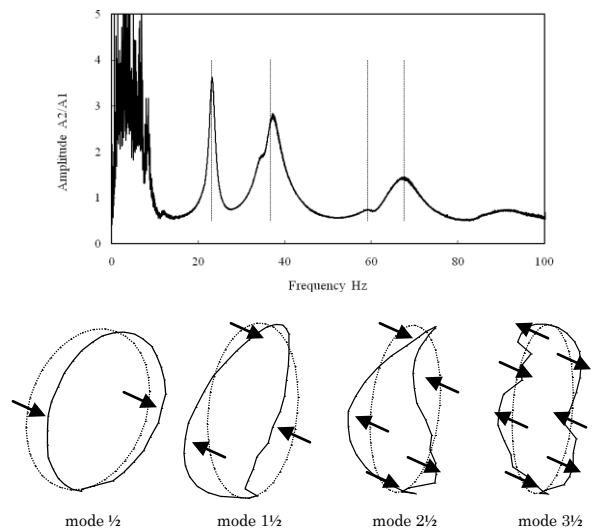


図8 接地時の固有振動数と固有モード

(2)パラメータ同定結果

①半径方向

円環モデルを用いて加振実験で得られた半径方向の固有振動数からパラメータを同定した。非接地時と接地時の同定結果を表 1 に示す。

表 1 同定結果

		非接地時	接地時
$EI$	$Nm^2$	244	170
$EA$	$MN$	101	100
$k_{Ave}$	$MN/m^2$	0.578	0.499

表 1 より非接地から接地と境界条件が変わると引張剛性は殆ど変化していないのに対して曲げ剛性とばね定数が減少していることがわかる。これは接地することによりベルトの張力が作用しにくくなったことに起因していると考えられる。また、同定された 17 本のばね定数のバラツキを非接地時と接地時で比較したものを図 9 に示す。接地することによりばね定数のバラツキが低減していることが確認された。

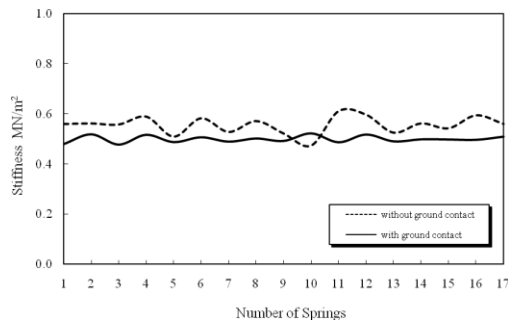


図 9 ばね定数分布の比較

次に同定されたパラメータを用い計算により求まる固有振動数と実験で得られた固有振動数を比較したものを非接地時と接地時でそれぞれ表 2、表 3 に示す。非接地時、接地時共に計算値と実験値はおおむね良く一致していることが確認できる。

更に、計算で得られた固有振動数を用いて各固有振動数に対する固有振動モードを調べた。非接地時と接地時の固有モードをそれぞれ図 10、図 11 に示す。モード形状も実験結果と良く一致していることが確認できる。

表 2 非接地時の固有振動数比較 (Hz)

	1次	2次	3次	4次	5次	6次
Exp	69.1	73.4	86.7	99.2	112.5	126.6
Cal	63.1	78.2	85.4	92.6	104.1	120.5

表 3 接地時の固有振動数比較 (Hz)

	1.5次	2.5次	3.5次	4.5次	5.5次	6.5次
Exp	62.0	69.9	77.2	90.3	103.6	117.1
Cal	61.1	75.8	81.9	89.4	100.6	117.2

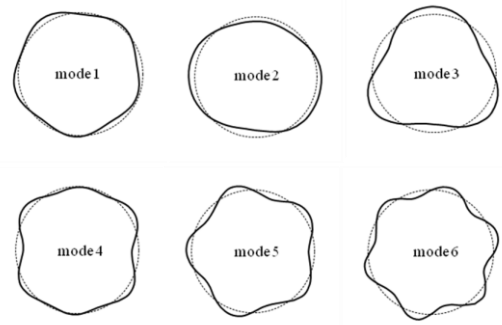


図 10 非接地時の固有モード

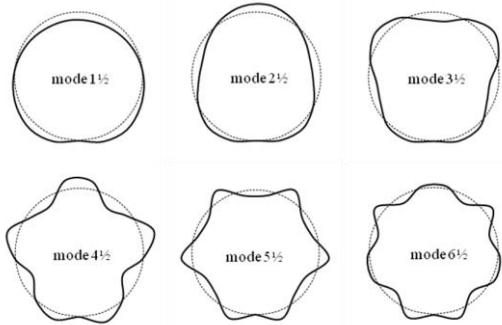


図 11 接地時の固有モード

②軸方向

薄肉円筒シェルモデルを用いて加振実験で得られた軸方向の非接地時の固有振動数からパラメータを同定した。同定結果を表 4 に示す。

表 4 同定結果

	MPa	
$E$		46.84
$\nu$	—	0.42
$k_x$	$MN/m^2$	0.012
$k_\theta$	$MN/m^2$	0.00017
$k_z$	$MN/m^2$	0.093
$k_m$	$MN/m^2$	0.0011

表 4 より支持ばね定数に関しては、半径方向のばね定数  $k_z$  が他のばねに対して高い値を示し、軸方向のばね定数  $k_x$  は半径方向のばね定数の約十分の一の値となることが確認された。また、ポアソン比は通常のゴム材料に近い値として得られた。

次に同定されたパラメータを用い計算により定められた固有振動数と実験結果との比較を表 5 に示す。また計算により求められた固有モードを図 12 に示す。

表 5 非接地時の固有振動数比較 (Hz)

	0次	1次	2次	3次
Exp	17.2	25.0	36.7	58.2
Cal	17.7	23.1	38.5	57.8

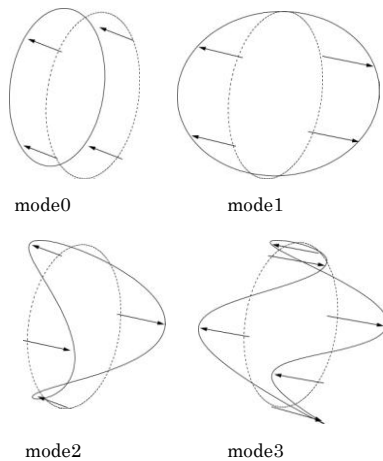


図 12 非接地時の固有モード

固有振動数，固有モード共に計算結果と実験結果が良く一致していることが確認できる。

### (3) まとめ

農業用タイヤの振動特性について，固有振動数や固有振動モードを実験的に調べ，接地や非接地といった境界条件が振動特性に及ぼす影響について明らかにした。

更にラグ特性を考慮できるモデルを円環リングモデル及び薄肉円筒シェルモデルにより構築し，解析的に固有振動数を算出する方法を確立した。またパラメータ同定によりモデルパラメータを同定し，同定結果の妥当性を確認し，本解析手法の有効性を示した。

今後は，回転時の動的特性を評価できるモデルを構築し，動的特性やラグによって発生する起振力を明らかにしていくことで，農耕車両のラグに起因する振動の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

(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 Katsuhide Fujita, Takashi Saito, Mitsugu Kaneko, Influence of Patch Boundary Conditions on the Vibration Characteristics of an Agricultural Tire, Proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, CD-ROM, 2008, 査読有
- ② 藤田活秀, 齊藤俊, 金子貢, タイヤラグ特性を考慮した農業用タイヤのパラメータ同定, 日本機械学会論文集(C編), Vol.73, 2479-2484, 2007, 査読有

[学会発表] (計 7 件)

- ① 福田祐也, 齊藤俊, 藤田活秀, 薄肉円筒シェル理論に基づくラグタイヤの振動特性,

日本機械学会中国四国学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会, 2009 年 3 月 5 日, 山口大学

- ② 徳浦有希, 藤田明司, 藤田活秀, 福田祐也, 齊藤俊, 農業用タイヤの車軸方向の振動特性に関する研究, 日本機械学会中国四国学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会, 2009 年 3 月 5 日, 山口大学
- ③ 谷岡美樹, 中村亮太, 藤田活秀, 齊藤俊, 農業用タイヤのラグによる起振力に関する研究, 日本機械学会中国四国学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会, 2009 年 3 月 5 日, 山口大学
- ④ 松岡潤, 藤田活秀, 齊藤俊, 早川裕紀, 農業用タイヤの回転時の動的特性に関する研究, Dynamics and Design Conference 2008, 2008 年 9 月 3 日, 慶應義塾大学
- ⑤ Katsuhide Fujita, Shunsuke Miyoshi, Takashi Saito, Mitsugu Kaneko, Parameter Identification of an Agricultural Tire Considering Tire Lugs, 15-th International Congress on Sound and Vibration, 2008 年 7 月 9 日, Korea Daejeon Convention Center
- ⑥ 早川裕紀, 齊藤俊, 藤田活秀, サスペンション機構を用いた農耕車両の振動低減に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第 46 期総会・講演会, 2008 年 3 月 7 日, 近畿大学
- ⑦ 藤田活秀, 齊藤俊, 金子貢, 農業用タイヤの接地時の振動特性に及ぼす各種因子の影響, Dynamics and Design Conference 2007, 2007 年 9 月 27 日, 広島大学

[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・准教授  
研究者番号：50390498
- (2) 研究分担者  
齊藤 俊 (SAITO TAKASHI)  
山口大学・大学院医学系研究科・教授  
研究者番号：10162207
- (3) 連携研究者