

トピック

農用トラクタの共振ジャンプ現象とカオス

東京農工大学 農学部 生産環境工学講座

我が国の農業用トラクタによる死亡事故は平成9年度150名を超え過去最悪となった。農作業中の事故による死者数は400名程度であるが、我が国の農業労働が大半が第2種兼業であることを考慮すれば、実質労働時間当たりの労働災害による死亡事故発生率は極めて高いことが容易に推察できる。しかし、事故原因については何らかの例外的・突発的な事態が発生したと推定されているのみで、そのメカニズムについての明確な理解は未だ得られていない。東京農工大学 農学部 生産環境工学講座では、路面の凹凸によって発生する大きなバウシングが、トラクタ道路単独走行時の転倒事故の遠因ではないかとの問題意識から、非線形力学・カオス解析を駆使して、道路走行中のトラクタの異常振動を実験・理論両面から明らかにしようとしている。

実験装置・方法

供試トラクタは18.2馬力の水田用小型トラクタであり、質量988 kg、タイヤ空気圧196kPa(前輪)、157kPa(後輪)、軸距1.375 m、輪距0.96m(前輪)、0.885m(後輪)である。座席直下振動加速度は、三軸方向ひずみゲージ式加速度変換器を座席直下の車軸上に接着で設置し、進行前後(X軸)、進行左右(Y軸)方向、進行垂直(Z軸)方向について測定した。データレコーダと動ひずみ測定器を搭載してデータを収録した。また、前輪車軸ケーシングにひずみゲージ(KFG-10-120-C1 11、共和電業)を貼付し、右前輪車軸反力を推定した。振動加速度および荷重測定のための動ひずみ測定器(DPH-6H、共和電業)およびカセット式データレコーダをトラクタのボンネット上に搭載した。データレコーダに記録されたデータは、エンジン信号除去のため20 Hzのローパスフィルタを介した後、サンプリング周波数200 HzでA-D変換し、パソコンにデジタルデータとして保存した。



図1 農用トラクタの共振時ジャンプ

人工凹凸路面は市販のプラスチック製ステップ(高さ5 cm、底辺15 cmの直角三角形断面)を12枚、レール状に敷かれたL型フレームにボルト締めして構成した(写真参照)。

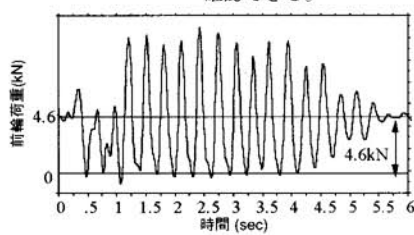
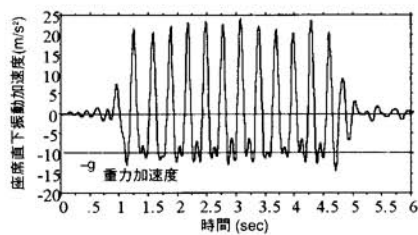


図2 ジャンプ時の上下加速度と前輪荷重

走行速度は、エンジン回転数を1500、2000、2500 rpm、走行ギヤシフトを1速、2速、3速とし計9速度を設定し、10 mの走行区間をストップウォッチで計時した。

実験結果および考察

ジャンプ現象：図1にトラクタのジャンプ現象を示す。図2に走行速度2.07 m/sにおける座席直下上下方向加速度と前輪荷重の計測例を示す。加速度波形からは、重力加速度-gに相当する信号が明瞭に観察され、ジャンプ・自由落下・路面への衝突・ジャンプという現象が確認できる。前輪荷重はケーシングにひずみゲージを貼付しただけの簡易なシステムではあるが、明瞭に接地荷重の喪失の状況が観測できている。

周波数応答試験：試作した人工路面において、走行速度を1.0 m/sから3.0 m/sまで、9段階に変化させ走行実験を行った。得られた座席直下の上下方向加速度ピークツーピーク時系列データを図3に示した。走行速度が1.4 m/s (5.0 km/h) から1.7 m/s (6.1 km/h) と18%増加しただけで、上下方向のピークツーピーク加速度は2.3倍となった。また、タイヤ空気圧の影響も有意であり、規定のタイヤ空気圧で走行するとピークツーピークで5 gを超える座席直下振動が観測された。実際の道路走行でこのような現象が起これば、オペレータは全くの不意をつかれてパニックに陥る危険性も指摘できる。

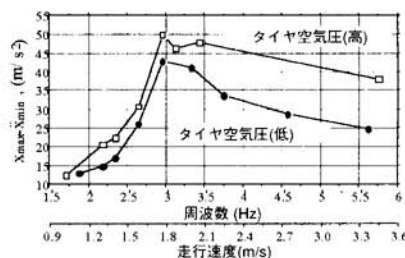


図3 実験的に求めた周波数応答

分岐構造：走行速度を制御パラメータとする分岐構造について実機実験とモデルによる数値実験により調べた。時系列波形、フーリエスペクトル、相軌道を各走行速度について検討した。相軌道は、入力周波数の1/4をタイムラグとする、delayed coordinate による埋め込みによった。別途開発したトラクタ非線形振動モデルにより、走行速度を変化させ、図4のように分岐図を描いた。路面入力は正弦波とした。強制人力の周期で、座席上下変位の時系列を切断し、分岐図を構成した。周期倍分岐、準周期、カオスが確認できる。

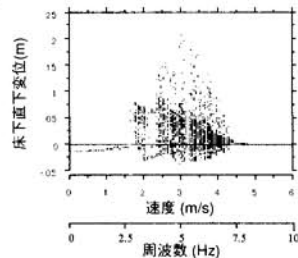


図4 数値実験による分岐図