

CAE 解析事例紹介～動吸振器による振動低減・農薬散布機姿勢制御～

所属 ○道工試 中西 洋介, 北大工 星野洋平, 北大工 小林幸徳

要 旨

本稿では, Solidworks Premium の機構解析機能(Motion)の解析事例として, 設置型のパッシブ動吸振器による片持梁の振動低減シミュレーションと農薬散布機作業アームのロール方向姿勢制御シミュレーションについて紹介する. また, 後者においてシミュレーションで得られた知見をもとに, 長さ 8m の作業アームを有する農薬散布機試作機を制作し, 実証試験を行ったので併せて報告する.

1. はじめに

当场では, 平成 21 年度に道内企業の設計技術力を強化することを目的に, CAE 解析ソフトウェアとして Solidworks Premium を導入し, 設備使用機器として道内企業等に開放している. 同解析ソフトウェアは線形静解析を始めとする有限要素法解析機能の他, 設計機構に対して動特性を考慮したダイナミクス運動解析を施すことができるモーシオン解析機能を有している. 本稿では, Solidworks Premium のモーシオン解析機能を用いて, 動吸振器による片持梁の過渡応答および定常応答解析, さらに農薬散布作業アームのロール方向の挙動解析を行ったので紹介する.

2. 動吸振器による振動低減シミュレーション

2・1 モデリング

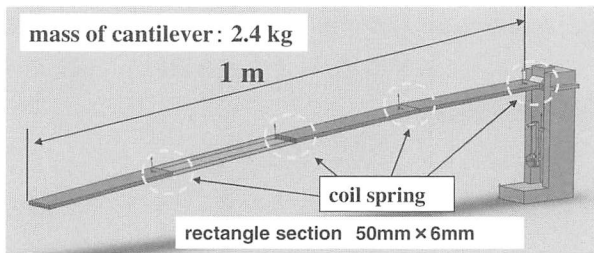


Fig.1 simulation model of cantilever

本稿では, 長さ 1m, 幅 50mm×板厚 6mm の長方形一様断面を有する鋼製片持梁を対象とし, パッシブ動吸振器を設置することで, どの程度弾性たわみ振動が低減可能かをシミュレーションした. なお, Solidworks モーシオン解析は剛体のみ解析可能であり, 弾性体を取り扱うことができない. したがって, ここでは図 1 に示すように, 片持梁を剛体要素として 4 等分に分割し, 各々をコイルバネで連結して片持梁の弾性たわみ振動を模擬した. その際, 4つのコイルバネのバネ定数は全て等しいものし, 4分割モデルの 1次と 2次の固有振動数が, 弾性体として計算した片持梁の 1次と 2次の曲げ固有振動数と等しくなるようにコイルバネのバネ定数(1,120Nm/rad)を決定した. 表 1 に弾性体および 4 分割モデルの固有振動数を示す.

周知のようにパッシブ動吸振器はバネ・マス・ダン

table.1 natural frequencies of cantilever (Hz)

	elastic model	4 divided rigid model
1st	4.96	4.92
2nd	31.1	34.1

パからなる設置型の振動低減装置であり, 制振対象の等価質量に対する動吸振器の質量比  $\mu$  を設計パラメータとして, (1)~(3)式で動吸振器の質量  $m$  [kg], バネ定数  $k$  [N/m], 減衰係数  $c$  [Ns/m] を算出することができる.

$$m = \mu M \tag{1}$$

$$k = m \frac{K}{M} \left( \frac{1}{1+\mu} \right)^2 \tag{2}$$

$$c = 2m \sqrt{\frac{K}{M}} \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)^3}} \tag{3}$$

ここで,  $M, K$  は各々制振対象の等価質量, 等価バネ定数である.

動吸振器を設計するにあたり, 1次振動抑制用の動吸振器は固定端より 760mm の位置に, 2次用については固定端より 510mm の位置に設置するものとし, 質量比  $\mu$  は 0.1 とした.

2・2 シミュレーション結果

動吸振器の設置の有無で, 梁の振動状態がどのように変化するかシミュレーションした結果を図 2 に示す. 横軸は時間, 縦軸は梁の先端変位である. また, (a)は過

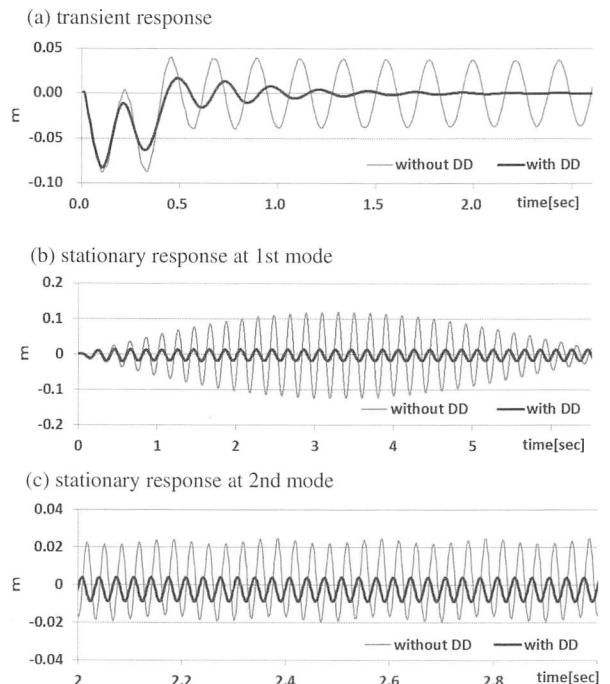


Fig.2 displacement at the end of cantilever: (a)transient, (b)stationary response, with & without Dynamic Damper(DD)

渡応答, (b)は梁の根元に 5Hz (1 次共振) で±5mm の強制変位を与えた時の定常応答, (c)は 30Hz (2 次共振) で±5mm の強制変位を与えた時の定常応答である。図より動吸振器を設置することで、梁の振動が効率良く低減できていることが確認できる

### 3. 農薬散布作業アーム姿勢制御シミュレーション

農薬散布機は農薬散布用作業アームが長い為、アームが車体に固定されている場合、数 cm 程度の地面の凹凸による車体のロール方向傾斜で作業アーム先端が上下方向に大きく振動する。したがって、ここでは、アームを重心位置近辺で車体に一点で回転支持する機構を検討した。この場合、アームに対するロール方向外乱モーメントが作用しない限り、車体が傾斜してもアームは常に一定姿勢を保持することが期待できる。さらに、アームが傾斜した場合でも、支持位置を重心に設けることで、アームを初期位置に復帰させるために使用するアクチュエータの駆動トルクを極力小さくすることができる。

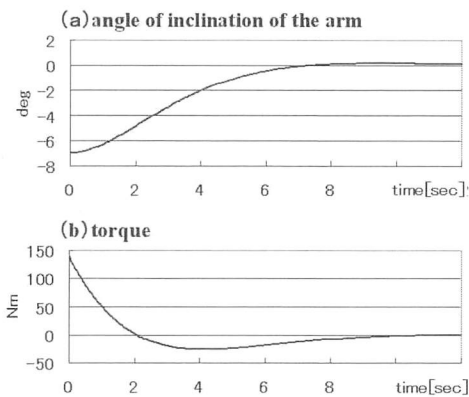


Fig.3 Initial response of the arm and the torque needed

図 3 に、重心位置で点支持された作業アームについて、7度傾斜した状態から水平状態（初期位置）に復帰させた時の初期値応答シミュレーションを示す。(a)は傾斜角, (b)は駆動トルクである。なお、アームは実機を想定し、全長 21 m (片腕 10m)、全質量 269 kg としている。(b)より、約 140 Nm の駆動トルクが必要となることから分かる。DC24V 400W のモータにて、減速比を 400 とした場合、ギヤの機械効率を 0.5 と見積もっても 382Nm のトルクが出力可能である。したがって、ここでは制御の利便性を考慮し、アーム駆動用に DC400W モータを使用することを前提に開発を進めた。

#### 3・1 走行シミュレーションおよび試験車両

以上の議論より、ここではアームを重心位置近辺で点支持することで姿勢を保持し、アーム傾斜角が大きくなった場合、適宜、電気モータで初期位置に復帰させるものとした。具体的には、モータとアーム支持軸の間にクラッチを設け、通常走行時はクラッチを開放してアームの自己慣性で姿勢を保持し、アーム傾斜角が一定値を超過した場合、クラッチを連結してモータ駆動でアームを初期位置に復帰させるものとした。

図 4 に Solidworks モーション解析機能による農薬散布機走行時のシミュレーション結果を示す。(a)は高さ 6cm の連続凸部を有した路面走行時のアームの挙動解析, (b)は傾斜角が 0 度から 6 度に変化する路面走行時のアームの挙動解析結果である。車体に対するアーム傾斜角が 1 度を超過した場合、所定のトルクでアームを駆動している（アーム傾斜角が 1 度以下に復帰した場

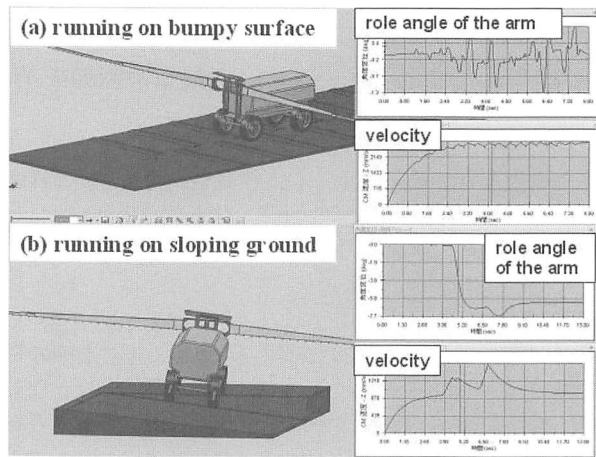


Fig.4 Dynamic behavior of the arm of boom sprayer

合、駆動トルクの付加を停止)。シミュレーションを行うことで、アームが地面の傾斜角変化に追従し、傾斜地に対して平行姿勢を保持することを確認した。以上のように、試作機製作前に CAE 走行シミュレーションを行うことで、制御方法を含めた本機構の妥当性を確認することができ、試作機製作後の各種パラメータ調整時間の短縮が可能となった



Fig.5 Test model of boom sprayer : arm length = 4 meter

図 5 にシミュレーションで得られた知見を元に製作した試作機を示す。4m の作業アームを左右に搭載し、アーム全体を重心位置近辺で作業機本体に一点で回転支持している。アームはクラッチと減速機を介して 400W DC モータで駆動可能である。図 6 に時速 8km で凹凸の激しい芝生上を約 50m 走行した時の既存機構（アーム固定型）と提案機構のアーム傾斜角（ジャイロセンサ積分値）を示す。提案機構ではアームはほとんど振動していないことが分かる。

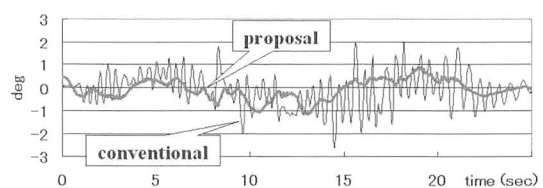


Fig.6 Role angle of the arm, when running at 8km/h

## 4. まとめ

Solidworks モーション解析機能は、様々な機械装置のダイナミクス解析が可能であり、設備使用として開放させて頂いている（ご興味のある方はご連絡ください）。