

油圧機械式無段変速機的设计手法に関する研究

ヤンマーホールディングス株式会社 技術本部 中央研究所
基盤技術研究センター ダイナミクスグループ

主幹 博士(工学) 大内田 剛史

1. 緒言

近年、農業用トラクタに対する要求性能は、ますます高くなってきている。中でも燃料消費量を削減するための高効率伝達特性と、簡単で精密な作業を可能とする操作性の向上はますます重要となってきた。

一方、産業車両の動力伝達機構において、油圧機械式無段変速機は、油圧による動力伝達と機械による動力伝達の2種類の動力伝達経路をもつことから、高い動力伝達効率をもち、迅速で滑らかな変速ができることが知られている。

しかしながら、油圧機械式無段変速機は、油圧による動力伝達経路を持つことから、純機械式の動力伝達機構、たとえばパワーシフトトランスミッションやデュアルクラッチトランスミッションと比較すると、特有の油圧騒音が問題となる可能性がある¹⁾²⁾。そこで本報では、油圧に起因する騒音の観点からこの油圧機械式無段変速機を設計する手法を説明する。

2. 油圧機械式無段変速機概要

従来のトラクタ用変速機は主に機械式と油圧式の2種類の動力伝達方式に大別できる。第1図に示す本報で対象とする油圧機械式無段変速機は、機械式の高い動力伝達効率と、油圧式の無段変速性能を併せ持つ動力伝達機構である。



第1図 Hydro-mechanical transmission

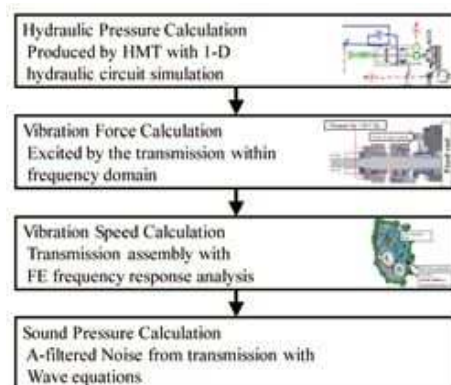
3. 油圧騒音レベル予測手法

3.1 予測手順

本無段変速機の油圧騒音レベルを設計段階で把握するために第2図にフローチャートで示す騒音予測手法を構築した。

まず第1ステップで、1次元(以下、1-Dと表記する)油圧回路シミュレーションにより、動力伝達状態にある

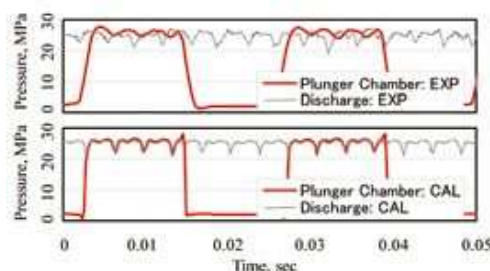
無段変速機内部の各部圧力を計算する。次のステップでは、変速機の3次元有限要素モデルに前ステップで計算した圧力を入力し、変速機が発生する加振力を拘束反力として求める。次に変速機が取り付けられているトランスミッションカバーの有限要素モデルに、この加振力を入力しカバー表面の振動速度および加速度を求める。そして最後に、波動方程式を用いてカバー表面から所定の距離離れた位置での音圧レベルを計算する。



第2図 Flowchart of sound pressure level prediction

3.2 油圧による無段変速機の加振力計算

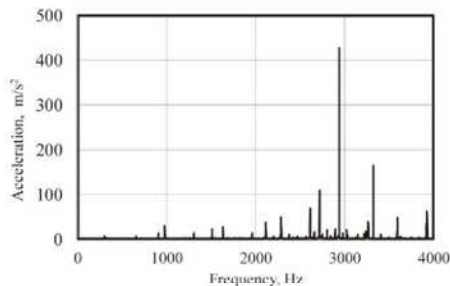
無段変速機内部の作動油圧力を計算することにより、各プランジャの推力および可変斜板の傾転モーメントを予測するため、1-D油圧回路シミュレーションモデルを構築した。計算の一例として、トラクタ実機作業中のエンジン回転数を模擬した入力回転速度および負荷トルク条件でのプランジャチャンバ圧力および高圧側ポート圧力の計算結果を実測結果と比較して第3図に示す。



第3図 Comparison pressure results by 1-D simulation with measurement data

3.3 トランスミッションカバー振動計算

次に前節により計算された油圧機械式無段変速機内部の圧力により発生する加振力から、トランスミッションカバーへの軸方向加振力を計算し、カバー表面の騒音放射部分における面に垂直な方向の振動加速度を求めた。結果の一例を第4図に示す。



第4図 Amplitude spectrum of the vibration acceleration

3.4 音圧計算

以上により計算されたトランスミッションカバー表面の振動加速度を用いて、任意位置での音圧を計算する。本研究においては長方形平板の振動加速度を用いて任意位置における音圧を計算する式(1)を音場理論解析において用いられる波動方程式(2)により導出した。

$$\text{SPL}[w] = 20 \log_{10} \left(\frac{ab\rho}{\sqrt{2\pi r}} \frac{|\dot{V}[w]|}{N} \right) + 100 \text{ [dB]} \quad (1)$$

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (2)$$

以上により、有限要素法による周波数応答解析によって得た振動加速度スペクトルから音圧時系列データ及び騒音レベルを計算する。

5. 油圧騒音レベル予測精度検証

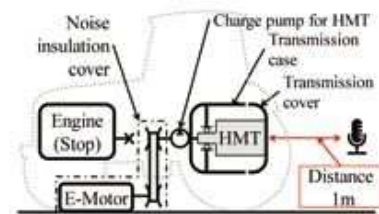
5.1 実機試験条件

これまで述べた予測手法の精度を検証するため、試作実車両において無段変速機の油圧騒音を計測した。騒音計測は第5図に示すとおり、エンジンを停止することによりエンジンからの騒音の影響をなくし、代替の駆動源として遮音を施した電気モータおよびベルト駆動部によりトランスミッションへの入力軸を駆動した。マイクは計算条件と同様、トランスミッションカバーより1m離れた地点に設置した。

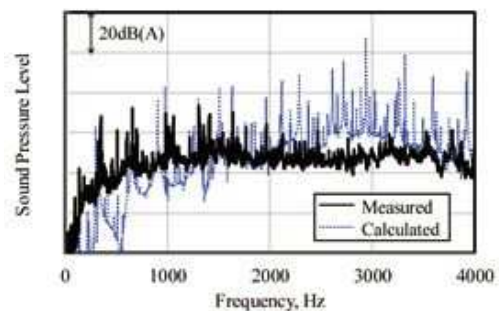
5.2 油圧騒音レベル予測精度検証結果

騒音実測結果を第6図の実線に、騒音予測結果を第6図の点線に示す。この結果より、600~2,000Hzの領域に

おいては騒音レベルのピークが現れる周波数は良好に予測できており、また各ピークの騒音レベルは概ね10dB程度の予測誤差に収まっていることが確認できた。計算値と実測値との差異に関する分析結果は本報では割愛する。



第5図 Measurement condition of sound pressure level



第6図 Measurement result of A-weighted sound pressure level

6. 結 言

農業用トラクタの動力伝達機構において、高い伝達効率を持つことで知られる油圧機械式無段変速機の、油圧脈動および脈動による加振力、さらにその加振力により発生する騒音の音圧レベルを予測する手法を提案するとともに、騒音計測実験を行なうことにより、その予測精度を検証した。本手法を用いることにより、油圧機械式無段変速機から発生する油圧騒音を設計段階で抑制することができると思われる。

参考文献

- 1) Sunghyun A. et al.: Development of an integrated engine-hydro-mechanical transmission control algorithm for a tractor, *Advances in Mechanical Engineering*, 2015, Vol. 7(7) 1-18
- 2) Sunghyun A. et al.: Development of a sub-shift control algorithm for an agricultural tractor with hydro-mechanical transmission, *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, Vol. 8(11) 1-14

(産機 平成6年卒)