

タイミングベルトの設計における機械学習の利用

～ FEM解析に代わる代理モデルの構築～

研究・開発機関 : 三ツ星ベルト株式会社
 利用施設 : 自社内設備 (CPU: intel Xeon 4 コア 8 スレッド, メモリ: 64GB)
 計算規模 : 構造解析 2.0 時間 × 100 ケース
 利用ソフトウェア : Marc (構造解析), ODYSSEE (機械学習)

Before

- タイミングベルトの設計業務において、FEM解析を活用してきました。
- FEM解析は1解析あたり2時間程度を要するため、一般産業用機械における使用方法の多様化による解析数の増加が問題でした。また、同様の理由により試行錯誤による開発が主流となっていました。

After

- 機械学習による代理モデルは比較的良好な精度でFEM解析の結果を瞬時に予測することができました。
- この代理モデルを利用することで、多種多様な条件におけるタイミングベルトのFEM解析結果を短時間で予測することが可能となります。同様に、多くのFEM解析が必要となる最適化設計にも、適用が可能となりました。

背景と目的

タイミングベルトは、エンジンや産業機械の動力を伝達する部品です。駆動プーリが回転し、従動プーリに負荷をかける時、図1のようにベルト上下のスパンはそれぞれ張力の高い「張り側」と張力の低い「ゆるみ側」になります。駆動プーリでは、プーリの入口側から出口側に沿ってベルトの張り側張力からゆるみ側張力へと変化しており、この変化はプーリと噛み合う歯がどの程度荷重を受け持っているかを表します。これはベルト歯の「荷重分担」と呼ばれ、ベルトが適切に噛み合っているか、また特定の位置で過度な負荷がかかっているかなどを判断する重要な指標となります。

FEM (有限要素法) 解析では、この荷重分担を計算することができますが、影響を与えるパラメータが、ベルト種・ベルト長さ・歯形状・走行条件など多数存在するため、都度、値を変えて解析を行う必要があり、時間と手間を要することが問題です。そこで機械学習により、FEM解析結果を短時間で予測できる代理モデルを構築しました。

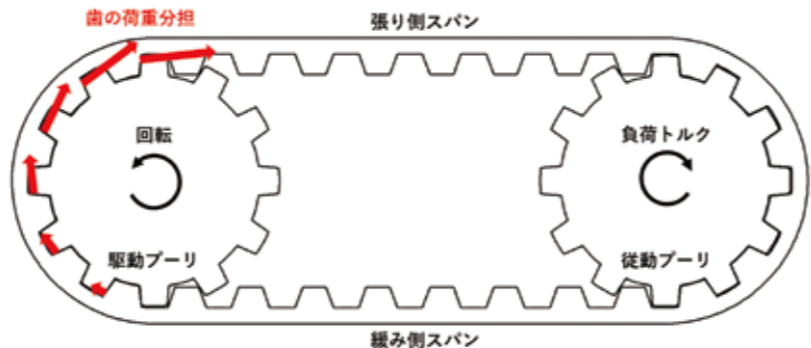


図1 タイミングベルト歯の荷重分担イメージ

利用成果

代理モデルを構築するため、機械学習に用いるデータとして歯形状と走行条件が異なる100通りのFEM解析を実施しました。歯形状としては、①歯底-コード距離 (ベルトには張力をかけても伸びすぎないように燃りコードが使われています)、②歯高さ、③歯幅を (図2)、走行条件としてはベルトを張るときの④初張力、⑤負荷トルクを、合計5種類変量しています。

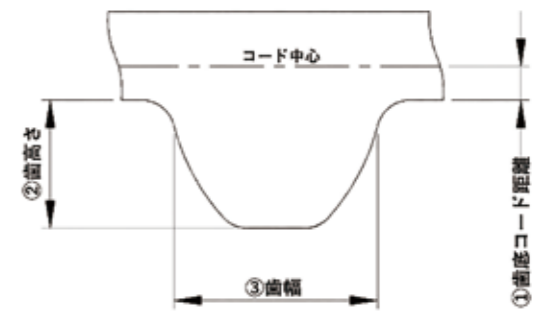


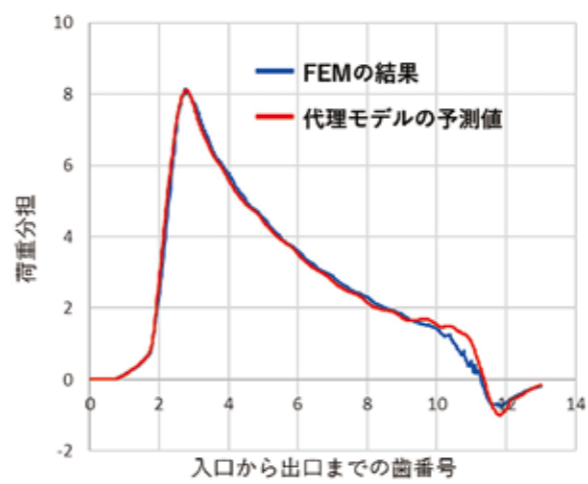
図2 タイミングベルト歯形状



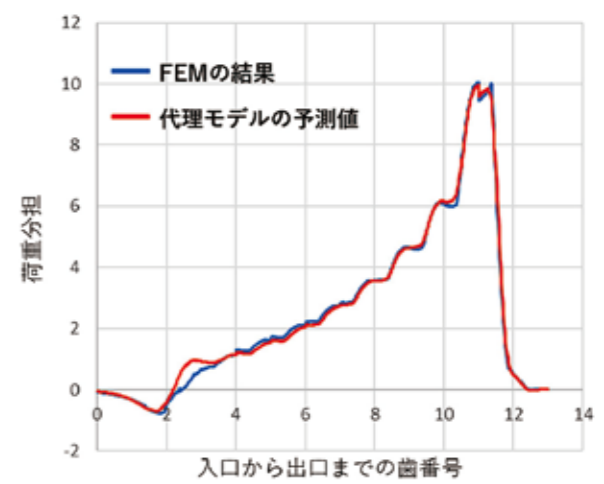
図3 FEM解析イメージ (Marc使用)

100通りのFEM解析の結果のうち、70を用いて学習させ、残り30で検証を行いました。図4は、検証結果の一例となります。グラフ横軸は、プーリ入口側から出口側までのタイミングベルト歯の番号 (図3参照) となっています。この条件では、駆動プーリ上では入口付近で、従動プーリ上では出口付近で最も荷重分担が高くなります。代理モデルは、FEM解析の波形と非常によく合致しており、FEMの荷重分担の分布を精度良く予測できています。

今回構築したFEMの代理モデルでは、①～⑤の歯形状および走行条件パラメータを入力すると瞬時に結果を得ることができます。今後は、この代理モデルの最適化設計への適用を図ります。



(1) 駆動プーリ上の歯の荷重分担



(2) 従動プーリ上の歯の荷重分担

図4 代理モデルの精度検