

CVTプーリ剛性を考慮した 金属ベルト応力シミュレーションの適用

Application of Metal Pushing V-Belt Stress Simulation with CVT pulley stiffness

斎藤 俊博*
Toshihiro SAITO

岡野 武政*
Takemasa OKANO

要 旨

CVTの骨格部品である金属ベルトの耐久性を予測するためベルト挙動とベルト応力を同時に解くシミュレーション手法を開発した。本手法ではCVTの高速運転領域を再現させるため衝突解析に用いられる有限要素法を採用した。本稿ではプーリ挙動に着目し、新たにその剛性をシミュレーションに反映できるよう改良を加えた。プーリ剛性値は3次元の FEM モデルに静荷重を与えることで求めた。その結果、たおれ剛性がプーリ入り口でのリング衝撃応力に影響を及ぼしていることを明らかにした。更に、プーリのたおれ挙動によりリングのミスアライメントが変化するため、その端部がプーリもしくはエレメントに接触するケースも明らかにした。これらのことから、ベルト耐久性を考慮したプーリ剛性の設計指針が初めて得られた。

ABSTRACT

A simulation method was developed allowing simultaneous evaluation of dynamic behavior and ring stress for estimation of durability of metal pushing V-belts for CVT. The high rotational speed range of the CVT is simulated utilizing the finite element method used in crash analysis. This paper focuses on dynamic behavior of the pulley behavior, and the simulation method is newly improved to allow the pulley stiffness to be reflected. The pulley stiffness values are found by applying static loading to the three-dimensional FEM model. As a result, it is found that the flexional stiffness affects the ring impact stress at the pulley entrance and exit. Furthermore, the mechanism of contact between the ring edge and pulley surface or the element due to the ring misalignment caused by the pulley flexion is clarified. For the first time, these results make it possible to obtain design guideline for the pulley stiffness that includes consideration of belt durability.

1. まえがき

近年、自動車のさらなる環境対応の要求が高まる中で CVT は走りと低燃費を両立できるトランスミッションとして各社が注目する技術である。その走りにおいてはシフトショックのないスムーズな加速と静粛性を特徴とし、燃費においてはエンジンとの統合制御により燃焼効率の高い回転数を維持することでATをしのぐ低燃費を実現している。そのため、今後ますます CVT の伝達容量を拡大していくニーズが高まる一方で、CVTの軽量化という相反する命題を両立させていくことが不可欠となってきている。なかでもベルト・プーリ系の CVT 重量に占める割合が高いことから、これらをいかに耐久性を確保しながら軽量化していくかが課題である。そこで、本稿では既報で開発した金属ベ

ルト挙動・応力シミュレーション技術⁽¹⁾にプーリたおれ剛性を考慮できるよう改良を加えた。その結果、プーリ剛性がベルト強度に及ぼす影響を初めて明らかにしたので報告する。

2. 開発のねらい

今回用いた CVT の主断面を Fig. 1 に示す。駆動トルクは金属ベルトによりドライブプーリからドリブンプーリに変速し伝達される^{(2), (3)}。

このとき、ドライブプーリとドリブンプーリに巻き付く金属ベルトの中心は1平面内だけで運動するのではなく、わずかながら面外の挙動も起こす。この面外の金属ベルト変位をミスアライメントと呼んでいる。ミスアライメントが大きくなると金属ベルト寿命が低下することが耐久試験

*栃木研究所

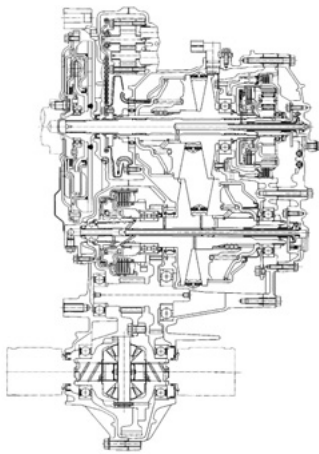


Fig. 1 CVT main section

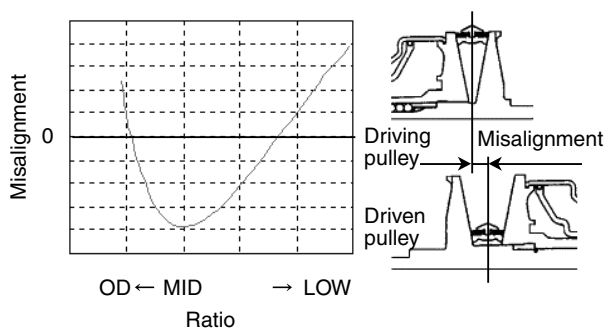


Fig. 2 Belt misalignment variation by ratio

などから知られている。このミスアライメントはプーリを剛体と仮定してもゼロにはならず(Fig. 2), その大きさはプーリ軸間距離とレシオによって決定される。

更に実際のプーリは有限な剛性値を持つことから、その変形量をミスアライメントに考慮することが重要⁽⁴⁾となる。しかしながら、現状ではCVT運転中のミスアライメント量と金属ベルト強度との関係が十分に明らかにされているとはいえない。

以上のことから本研究のねらいとして、

- (1) CVT 運転中のミスアライメントの解明
- (2) プーリ剛性のベルト強度への影響を定めた。

3. ミスアライメント

3.1. 運転中のミスアライメント

運転中のベルトアライメントを計測することは困難であることから、まず既報⁽¹⁾で述べたシミュレーション手法を用いてこの挙動を調べた。Fig. 3にシミュレーションに用いた解析モデルを示す。ここではプーリ剛性の影響を知ることが目的であることからエレメント個数は280個に、またリング枚数は各層3枚ずつに減じた簡易モデルとし、計算時間の短縮を図っている。

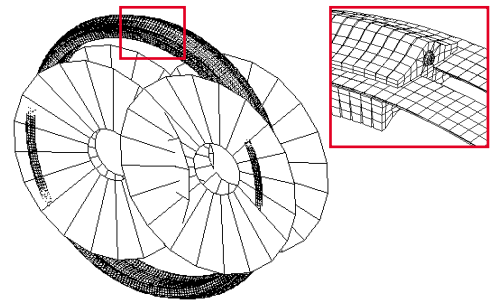


Fig. 3 Metal pushing V-belt Model

このときプーリはドライブ側、ドリブン側ともに剛体として定義されており、プーリのたおれは考慮されていない。ここでは所定のミスアライメント量のみが初期条件として設定されている。Fig. 4 中の a, b, c, d はベルト軌道上の境界点を表し、DRはドライブプーリに巻き付いている区間 b-c, DN はドリブンプーリに巻き付いている区間 d-a を表す。ここから、あるエレメントのミスアライメントはドライブプーリ及びドリブンプーリに巻き付いている区間では一定値を示しており、ドライブプーリ入り口直前で急激な挙動変化を起こしている。尚アライメントの基準0はドリブン側の対向するプーリ間中心を示す。

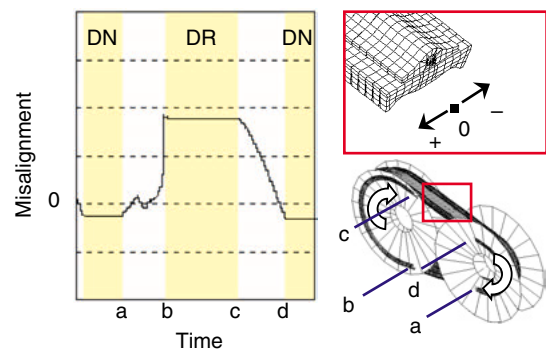


Fig. 4 Misalignment of element

一方、Fig. 5 に示すように左右リングのミスアライメントはエレメントのそれとは異なり、エレメントのサドル面上を相対速度差を持ちながらめらかに運動している。

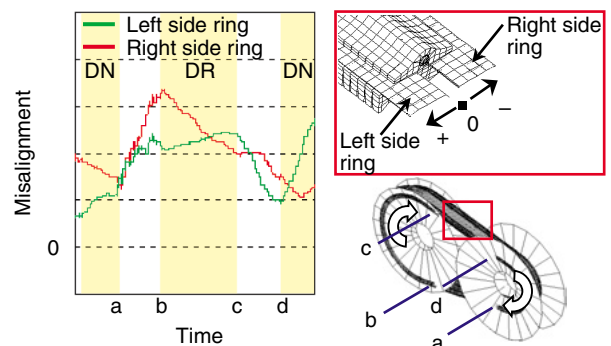


Fig. 5 Misalignment of rings

3.2. リング応力への影響

このときの左右のリング端部に発生する応力波形を Fig. 6 に示す。リングはエレメントのミスアライメントの影響を受け左右リングでそれぞれ異なる応力状態となっており、更にリング端部では応力が高くなることが分かる。

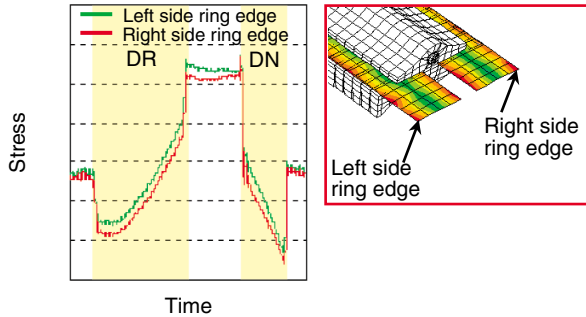


Fig. 6 Ring stress distribution

4. プーリたおれ剛性

4.1. プーリ剛性とミスアライメント

次にプーリ剛性の影響を調べるため既報⁽¹⁾のシミュレーションモデルにプーリたおれ剛性を表わす回転ばね (Fig. 7) を新たに追加した。たおれ剛性の値はプーリの3次元FEMモデルを作成しベルト荷重を静的に加えることで算出した。プーリはその剛性に応じて半径方向や円周方向にも変形を見せるが、それらの中で軸方向へのたおれ変形が最大であることから、ここではプーリたおれのみに着目した。

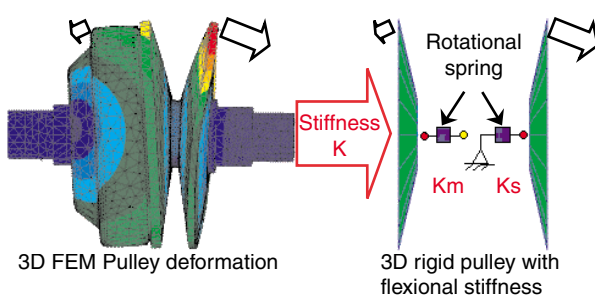


Fig. 7 Analysis model

Fig. 8 にたおれ剛性を考慮したときのエレメントのミスアライメントを示す。プーリ剛性はたおれ量の大きいドライブ側だけを考慮しており、左右プーリでそれぞれ異なる値が設定されている。これはプーリ断面形状が通常左右で異なるためである。その結果、ドライブプーリ巻き付き時のアライメント量が先の剛体プーリのそれと比較して増加していることが分かる。

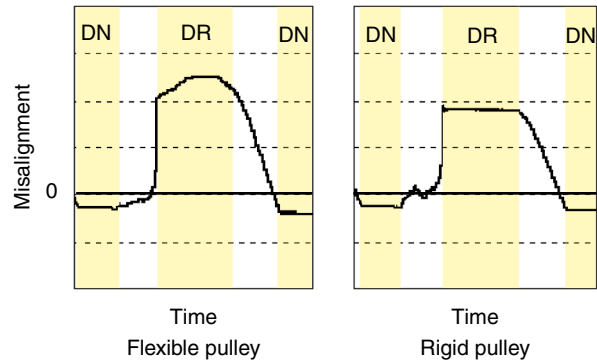


Fig. 8 Influence of flexibility on misalignment

4.2. プーリ剛性のパラメータスタディ

そこで次に、プーリ剛性によってリング応力がどのように変化するかを調べる。Fig. 9 にパラメータスタディに用いた左右プーリ剛性値の組み合わせを①から⑥に示す。

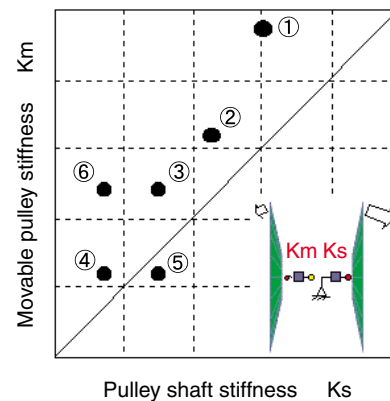


Fig. 9 Pulley stiffness used in parameter study

4.2.1. プーリ剛性の絶対値

左右プーリの剛性比はそのままにその絶対値のみを変化させた場合、高剛性にするほどリングに発生する応力振幅は増加する。Fig. 10 の中の A, B, C, D はリング幅方向の位置を表し、応力値は周方向で最大となる値をプロットした。

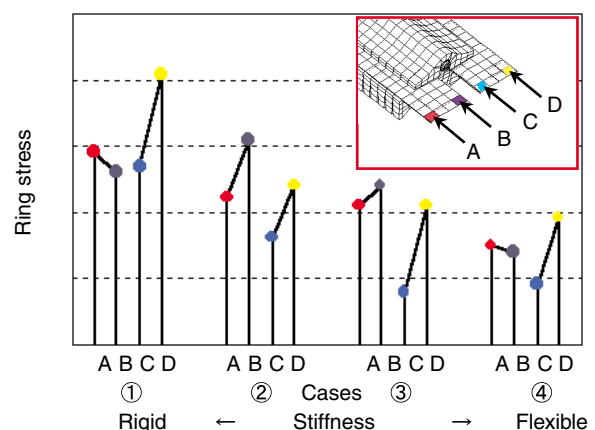


Fig. 10 Ring stress distribution by absolute values for stiffness

Fig. 11に剛性値の組み合わせ①と④のリングの応力波形を示す。④に比べ剛性を高くした①では、プーリ出入口の応力振幅が増加していることが分かる。

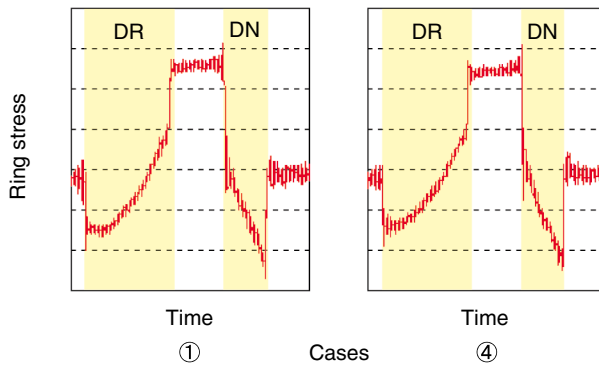


Fig. 11 Ring stresses difference

これはたおれ剛性が高いとプーリ入り口でエレメントV面に発生する衝撃荷重が増加し、これによりリングの応力が助長されるためと考えられる。(Fig. 12)

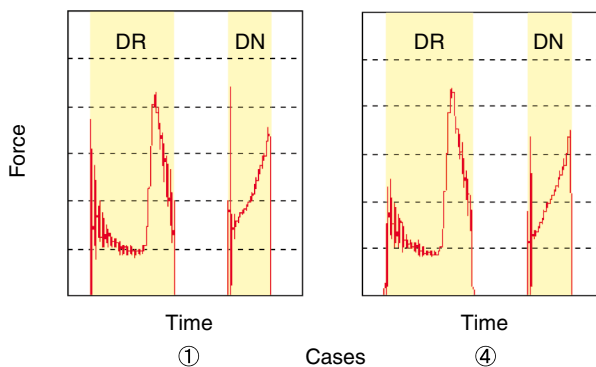


Fig. 12 Element normal force on V-surface

4.2.2. プーリ剛性比

次に左右プーリの剛性比を変化させた際のリングに発生する応力振幅を Fig. 13 に示す。

応力振幅に若干の変化が見られるものの、その影響の度合いは小さいことが分かる。

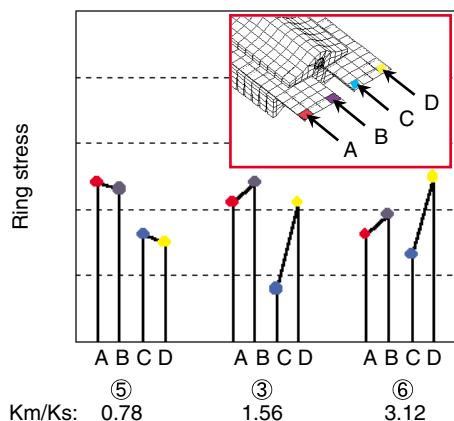


Fig. 13 Ring stress distribution by stiffness

しかしながら、プーリ剛性比はエレメントとリングの相対的なアライメント位置に対して直接影響を及ぼしている。プーリ剛性⑤を例にベルト1サイクル中におけるエレメントとリング端部間のクリアランス変化を Fig. 14 に示す。

ドライブプーリ内ではエレメントとリング間の相対的なクリアランスは減少しており、端部接触が懸念される。

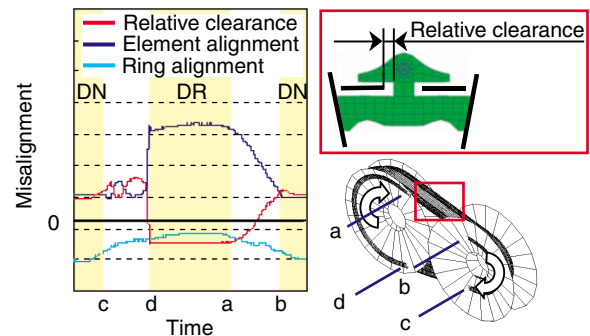


Fig. 14 Relative clearance between element and ring

同様に左右プーリの剛性比を変化させた際のリング端部のクリアランスを Fig. 15 に示す。EとHは左右のリング端部とプーリ間、FとGは左右のリング端部とエレメントネック部間のクリアランスを表す。

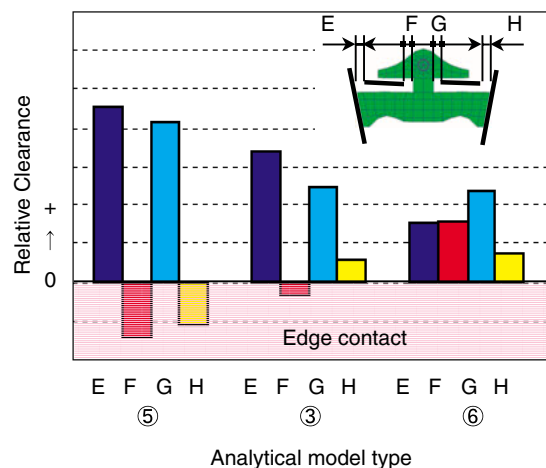


Fig. 15 Ring edge contact by stiffness

すなわち、剛性比によってはリング端部とプーリもしくはエレメントネック部とのクリアランスが減少するため、CVT運転中にリング端部が接触する頻度が増加する。更に、この接触を起こす際にリングはプーリ及び、エレメントと相対速度差を有していることからリング端部摩耗等のダメージも懸念される。このため、プーリ剛性比はリングのミスアライメント量に注意して決定することが重要である。

5. まとめ

プーリ剛性がベルトのミスアライメント及びそのときのリング応力に及ぼす影響を解析することで以下の知見を得た。

- (1) プーリたおれ剛性を高くするとプーリ出入口でのリング衝撃応力が助長されるため、応力振幅が増加する。
- (2) 左右プーリの剛性比はリング応力振幅に与える影響はわずかである。ただし、剛性比によってはミスアライメントの変化によるリング端部接触が発生するケースがある。
- (3) 上記のことから、ベルト耐久性を考慮したプーリ仕様を決定するにはリングの衝撃応力と端部接触に注意する必要がある。

6. あとがき

CVT 構成部品の中でベルト・プーリ系の重量に占める割合が高いことから、軽量化が常に求められる。そのなかで動力伝達に必要なプーリ剛性をベルト耐久性の観点から明らかにすることはCVT基本骨格を決定する上で重要な意味をもつ。

最後に本シミュレーションを開発するにあたり、ソルバーの改良で多大なる御協力を頂いた Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. の関係者の方々に感謝の意を表します。

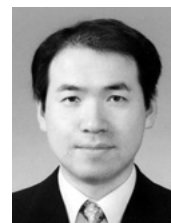
7. 参考文献

- (1) 斎藤 俊博ほか: CVT 金属ベルト応力シミュレーション技術の開発, HONDA R & D Technical Review, Vol.13, No.1, p.125-130 (2001)
- (2) 金原 茂ほか: 押しブロック式金属ベルトの伝達機構に関する研究, Honda R & D Technical Review, Vol.7, p.49-67 (1995)
- (3) 浅山 弘樹ほか: 金属製圧縮タイプベルトの駆動メカニズム, 自動車技術, Vol.26, No.2, p.78-81 (1972)
- (4) Sauer, G.: Grundlagen und Betriebsverhalten eines Zugketten Umschlingungsgetriebes, Nr.293, Dusseldorf: VDI-Verlag 1996.

■著 者■



斎藤 俊博



岡野 武政