

ウェブ幅方向の厚みムラおよびロール端部からの空気流出を考慮した 巻取りモデルの検討

Examination of Winding Model Considering Air Leakage of the Widthwise Edges of Wound Roll and Thickness Variation in Web Width Direction

東海大・工（学）*美濃 哲 東海大・工（正）砂見 雄太

Satoshi Mino, Yuta Sunami

Tokai University

1. 緒言

近年では、有機 EL ディスプレイなどの高機能フレキシブル製品が多く生産されている。高機能フレキシブル製品は薄く柔軟な連続媒体であり、主な生産方法としてロール・ツー・ロール（以下、R2R と称す）生産方式が挙げられる。R2R 生産方式ではウェブを多数のローラで支持・搬送し、印刷などの二次加工を経て、最終的にロール状に巻取られる。R2R 生産方式では従来の製品に使用されているガラス基板やプラスチック基板などをウェブに変更し、ロール状に巻取することでスペースが削減でき、輸送が容易になるので、大量生産が可能になり、多大な経済効果を生み出すことが可能になる。また R2R 生産方式の巻取り部は製品の品質を左右する重要な工程であるが、巻取り部において製造条件が不適切であると巻ズレやゲージバンドといった巻取り不具合が発生する。巻取り不具合が発生すると製品の性能の低下や外観が著しく悪化するため、製品として使用ができなくなり経済的な損失に繋がる。巻ズレはロール内部応力の大きさによって生じると示唆されており、これらを予測する理論として橋本ら⁽¹⁾⁽²⁾が提案した修正 Hakiel モデルがある。しかしながら、ゲージバンドは修正 Hakiel モデルでの予測が困難であり、発生原因だと考えられている厚みムラは、フィルムが薄膜化・多層化するほど厚みムラは顕著に表れる。高機能フレキシブル製品の多くは多層化されているため、厚みムラの影響の考慮は製品の不具合を解決する上で重要な要素となる。Kevin ら⁽³⁾⁽⁴⁾はウェブ幅方向（ウェブの短手方向をウェブ幅方向とし、ウェブの長手方向をウェブ搬送方向とする）の厚みムラを考慮した理論解析モデルを提案した。また、美濃ら⁽⁵⁾によって巻取り時にゴムロールをニア巻で実験をした場合、ウェブ幅方向の厚みムラを考慮した理論解析モデルでは半径方向応力の予測には有効であるが、ウェブ層間摩擦力予測には有効ではないことが確認された。高機能フレキシブル製品の中には、ニア巻で生産するものもあるため理論解析モデルは今後も需要があると考えられる。

そのため本研究では、ウェブ幅方向の厚みムラおよびウェブ弾性変形量の考慮方法を改良した巻取りモデルに巻取りロール端部からの空気流出を考慮した巻取りモデルの提案を目的に、ウェブ層間の空気層厚さの比較および先行研究での単層フィルムの半径方向応力およびウェブ層間の摩擦力測定結果を用いて、理論解析モデルとの比較を行った。また本研究での解析に使用する膜厚分布は先行研究の結果を使用した。

2. ウェブ幅方向の厚みムラおよびロール端部からの空気流出を考慮した巻取りモデル

本研究での解析モデルは、先行研究のウェブ幅方向の厚みムラを考慮したモデルに半径方向応力によるウェブ弾性変形量考慮方法を改良したモデルを使用した。先行研究でのウェブ弾性変形量の考慮方法は、ヘルツの接触理論を用いて算出を行っているが、実現現象とは異なる弾性変形量を示している。そこで本解析では、圧縮試験機を用いて圧縮応力によるひずみ量を測定し、弾性変形量を算出する方法を使用した。

先行研究の解析モデルでは、ウェブ巻取り時の空気流入量とボイルの法則を適用することで気体の状態方程式を導出し、巻取りロールからの空気流出量を計算している。しかし、時間経過による空気流出が考慮されていないため、先行研究のモデルでは長期輸送による巻取りロール内部応力状態変化も予測することが出来ない。また、ニア巻などの大量に空気を流入する生産条件では、巻取り速度依存の巻取りロール内部応力状態変化を予測しなければ、ウェブ層間の空気膜厚さが実現現象と異なった結果を示す。そこで本解析では、神田ら⁽⁶⁾が提案した平板間のスクイズ膜流れを用いたロール端部からの空気流出量計算を参考に解析モデルの改良を検討した。解析モデルの有効性確認方法として、先行研究の解析モデルと本解析でのウェブ層間の空気膜厚さの比較および先行研究での測定データを用いて半径方向応力分布の比較を行った。また、本解析では先行研究と同一の厚さ 100 μm の PET フィルムの物性データおよび膜厚データを用いて行った。

3. 解析結果と先行研究での実験結果との比較および考察

3.1 ウェブ層間の空気膜厚さの解析結果

Figure 1 にウェブ層間の空気膜厚さの比較結果を示す。グラフの縦軸がウェブ層間の空気膜厚さ、横軸がウェブ幅を示している。左グラフはウェブ層間の空気膜厚さの比較結果を示しており、右グラフは左グラフの縦軸を拡大し、巻取りロール端部からの空気流出考慮した空気膜厚さとウェブ表面の粗さとの関係を示したものである。Figure 1 より巻取

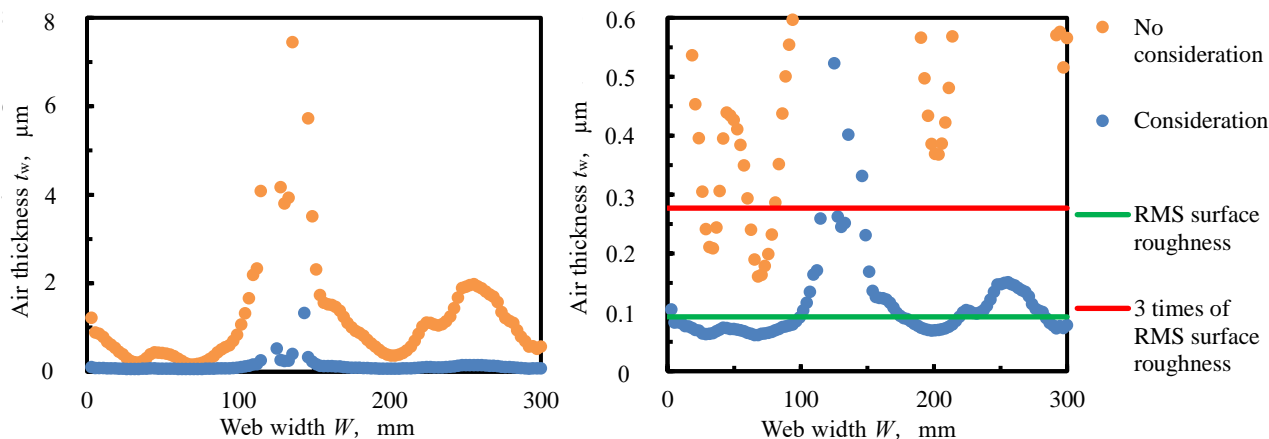


Fig. 1 Air film thickness between web layers

りロール端部からの空気流出考慮したことによって、ウェブ層間の空気膜厚さが薄くなったことが確認できる。また、ウェブ層間の潤滑状態としては、固体潤滑または混合潤滑を示している。この結果から、ウェブ層間には摩擦が生じており、先行研究での層間摩擦測定では摩擦が生じていたため傾向が一致する。しかしながら、解析結果の摩擦力は測定値より低く算出されているため、今後解析モデルの更なる検討が必要である。

3.2 半径方向応力の解析結果および実験値との比較結果

Figure 2 に半径方向応力分布の測定値と解析結果との比較を示す。グラフの縦軸が半径方向応力、横軸がウェブ幅示している。Figure 2 より巻取りロール端部からの空気流出を考慮していない解析結果より応力が高くなっていることが確認できる。これは、ウェブ層間の空気量が減少したことによって、半径方向応力の緩和への影響量が減少したと考えられる。また、ウェブ幅 50 mm 地点では測定値より高く算出されており、200 mm, 300mm 地点では低く算出されている。解析モデルは不具合を予防・予測するために使用するもので、測定値と傾向が近いことは前提に、測定値より低い応力を出す方が問題だと考えられる。そのためウェブ幅方向の厚みムラおよびウェブ弾性変形量の考慮方法を改良した巻取りモデルに巻取りロール端部からの空気流出を考慮した巻取りモデルの有効性が確認できた。

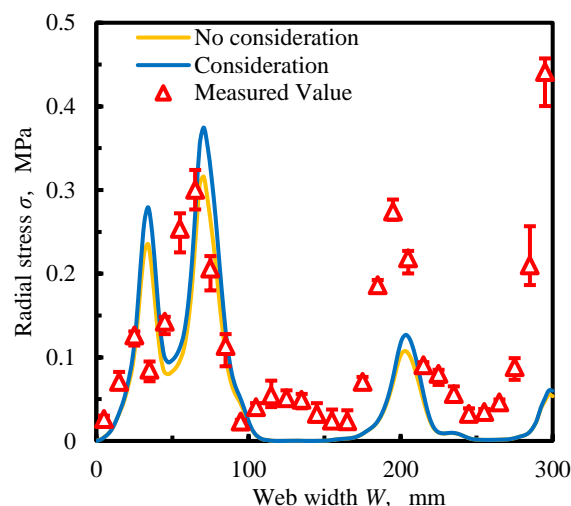


Fig. 2 Comparison of radial stress and theoretical values

4. 結言

ウェブ幅方向の厚みムラおよびウェブ弾性変形量の考慮方法を改良した巻取りモデルに巻取りロール端部からの空気流出を考慮した巻取りモデルの提案を目的に、ウェブ層間の空気膜厚さが薄くなったことが確認でき、潤滑状態から層間摩擦力の予測が可能になった。また、半径方向応力も測定値に近づいたことから本研究での生産条件に本解析モデルは有効であることが確認できた。

謝辞

本研究を進めるにあたり実験機器をご提供していただいた大塚電子株式会社に厚く御礼を申し上げます。

文献

- 1) 橋本巨：しわとスリップの防止を目的とした巻取りウェブにおける張力とニップ荷重の最適化，日本機械学会論文誌，77，774(2011)545-555
- 2) Z. Hakiel：Nonlinear Model for Model for Wound Roll Stress，TAPPI Journal，70，5(1987)113-117
- 3) Kevin A. Cole & Zig. Hakiel：A Nonlinear Wound Roll Model Accounting for Widthwise Web Thickness Nonuniformities，Proceedings of the Web Handling Symposium，ASEM Applied Mechanics Division，149(1992)13-24
- 4) Hakiel, Z：On The Effect of Width Direction Thickness Variations in Wound Rolls，Proceedings of the Second International Conference on Web Handling，(1993)79-98
- 5) 美濃哲・砂見雄太：搬送方向における膜厚の不均一性が巻取りロール内部応力に及ぼす影響，日本機械学会 2023 年度年次大会講演論文集，(2023)
- 6) 神田敏満・朱峰承興・橋本巨：端部からの空気流出を考慮した巻取りロールの内部応力解析，日本機械学会論文誌 C 編，76，772(2010)554-561