

アルミニウム箔に対する巻取り理論モデルの有効性評価

Evaluation of the Effectiveness of Winding Model for Aluminum Foil

東海大（学）*横塚 大燐 東海大（正）砂見 雄太

Taiyo Yokotsuka*, Yuta Sunami*

*Tokai University

1. 緒言

近年二次電池需要の高まりから、電極材として金属箔の重要性が増している。このような製品における生産方法の一つとして、ロール・ツー・ロール生産方式があり、多数のローラを介して搬送しながら二次加工を加え、最終的にロール状に巻取りを行う。ロール・ツー・ロール生産方式は連続的に生産を行うため、大量生産かつコストの低減が可能である。

しかし、巻取り工程の条件が不適切であった場合、巻取られたロールに巻ずれや巻しわ、ゲージバンドといった欠陥¹⁻³⁾が生じ経済的損失につながる。これら巻取り欠陥発生の顕著な原因の一つとして、巻取りロールの半径方向応力状態がある。例として半径方向応力が低い場合に巻きずれや巻きしわが起こりやすく、逆に圧縮応力が高いとゲージバンドの一因となる。これらを防ぐ適切な巻取条件を予測するための半径方向応力の算出手法として、修正 Hakiel モデル⁴⁻⁵⁾が存在し、高分子フィルムの半径方向応力が実験値と一致することが確認されている。しかしながら、金属箔に対する有効性が確認されておらず、欠陥の予測に用いることができない。

そこで、本研究では金属材料を用いた製品生産における巻取り欠陥発生を予測し抑制することを目的に、金属材料として、軟質アルミニウム箔に対する修正 Hakiel モデルの有効性評価を行った。まず、対象となる軟質アルミニウム箔の物性値から、修正 Hakiel モデルにより巻取りロール内の理論的に予測された半径方向応力状態を算出した。そして、巻取り実験において実際の軟質アルミニウム箔の半径方向応力を測定し、修正 Hakiel モデルによる理論値との差を評価した。

2. 実験装置および方法

Figure 1 に、本実験で巻取り実験に用いた巻取り試験機の概要を示す。試験機はパラメータとして巻取り速度 U_W や巻取り張力 T_W の制御を行うことが可能である。また、巻取り部にはニップローラと呼ばれる押さえのゴムローラがあり、押さえ状態をニップ、押さえていない状態をニアとしている。この時ニップにより圧力状態が、ニアによってニップローラと巻取りロールの軸間距離を制御可能である。これにより、巻取りロールへの空気流入量を制御することができる。

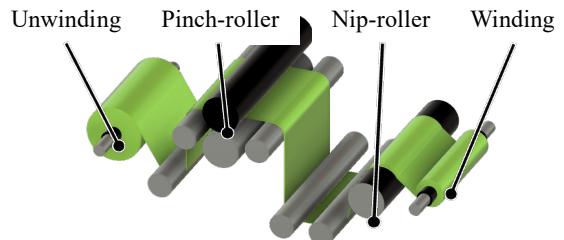


Fig. 1 Winding machine overview

2.1 半径方向応力測定

Table 1 に実験条件を示す。本研究用いた軟質アルミニウム箔は、単層の均質材であるため表裏の定義がない。そのため、巻取った状態で約半年間保管したロールを、巻取り試験機によって再度逆方向に巻き替えた状態を裏巻きとし、さらにそれを巻返した状態を表巻きとして定義し、それぞれの状態での半径方向応力の測定を行った。

巻向きによる半径方向応力の傾向を評価するにあたり、応力の測定には、フィルム状の圧力センサであるニッタ株式会社の FlexiForce を用い、センサに加わる荷重から応力を算出し記録した。測定位置として径方向に対する応力の分布を得るために、巻取り長さ 7.4m, 20m, 27m, 40m, 60m の 5 か所に圧力センサを挿入した。この時、使用する圧力センサの応力集中を防ぐため、カバーフィルムによる保護を行った。その後、実際に得られた半径方向応力の測定値と、修正 Hakiel モデルによる理論値の比較を行った。

Table 1 Experimental conditions radial stress measurement

| Film material | Soft Aluminum foil | |
|------------------|--------------------|-----|
| Film thickness | t [μm] | 50 |
| Film width | W [mm] | 300 |
| Winding length | l [m] | 100 |
| Winding velocity | U_W [m/s] | 1.0 |
| Winding tension | T_W [N/m] | 333 |
| Nipping pressure | L [N/m] | 257 |

2.2 静摩擦測定

本研究ではニップローラを押えているため、フィルムとニップローラの摩擦が半径方向応力に影響する。そのため、修正 Hakiel モデルの入力パラメータとして、静摩擦係数の測定を行った。

Figure 2 に静摩擦試験機の概要図を示す。静摩擦係数の測定には傾斜法を用いた。水平状態の上昇板に平面圧子を設置し、上昇板が傾斜することで平面圧子が滑り始める時の最大静摩擦係数を測定した。上昇板にはニップローラに使用しているゴムのシート取り付けた。また、軟質アルミニウム箔の巻向きによる半径方向応力を測定したため、平面圧子には、軟質アルミニウム箔の表・裏の試験片を取り付けた。なお、測定回数においては、一つの試験片につき 5 回測定し、軟質アルミニウム箔の巻向きそれぞれに三つの試験片による測定を行った。

3. 測定結果および考察

軟質アルミニウム箔の静摩擦測定は、巻向きによって静摩擦係数に差が見られなかった。また、各試験片による測定結果では、静摩擦係数が測定ごとに低下することが確認された。

次に Fig. 3 に軟質アルミニウム箔の半径方向応力分布を示す。図中の青いプロットは表巻きの測定値を、オレンジのプロットは裏巻きの測定値を表しており、それぞれに付与している誤差範囲は、測定結果の最大値と最小値を表す。また、図中の緑線は、表 1 の実験条件から修正 Hakiel モデルによって算出された理論値の曲線である。Figure 3 より、巻向きによる測定値の誤差は大きく、表巻きのバラツキの方が大きくなつた。また、内層から中層にかけては理論値と概ね一致することが確認された。しかし、外層部においては、理論値より応力が高い傾向が得られた。

修正 Hakiel モデルの静摩擦係数は、軟質アルミニウム箔の巻向きによる一回目の測定の平均値を用いた。しかしながら、試験条件より、ニップローラに接触するウェブの接触状態によって静摩擦係数が異なる。そのため、オイラーのベルト理論に基づいた静摩擦測定によって得られる静摩擦係数が必要である。この測定方法では、ローラの抱き角が $90^\circ < \theta < 180^\circ$ の時の測定が困難であるため、実際の静摩擦係数が測定できていない。これによって、外層部において測定値と修正 Hakiel モデルによる理論値が異なる傾向を示したと考える。

4. 結言

軟質アルミニウム箔の巻取りロールに対する修正 Hakiel モデルの有効性評価を目的に、軟質アルミニウム箔の巻向きによる半径方向応力を測定した。軟質アルミニウム箔の実測値において、表巻きと裏巻きの誤差は大きく、表巻きのバラツキの方が大きくなつた。また、内層部および中層部において、Table 1 の実験条件から修正 Hakiel モデルによって算出された理論値と概ね一致した。しかしながら、外層部における理論値の測定値とのズレは静摩擦係数が原因だと考えたため、オイラーのベルト理論に基づいた実験を行う必要がある。

謝辞

文中は供試材料としてご提供いただいた共同研究先であるトヨタ自動車株式会社様に厚く御礼を申し上げます。

文献

- 1) 後藤・松原：巻取り欠陥の発生メカニズムと解析例、精密工学会、78, 5 (2012) 377-380.
- 2) 谷本・河野・山本・渡辺徹：巻取りロールの内部応力予測と巻き固さ、紙パ技協誌、51, 1 (1997) 176-181.
- 3) 矢鍋・永澤：巻取り家庭におけるウェブの横ずれとロール側面形状のシミュレーション（層ずれ、湾弧、テレスコープの発生過程）、日本機械学会論文集、80, 819 (2014)
- 4) 橋本：ウェブハンドリングの基礎理論と応用、加工技術研究会 (2008)
- 5) 橋本：入門ウェブハンドリング、加工技術研究会 (2008)

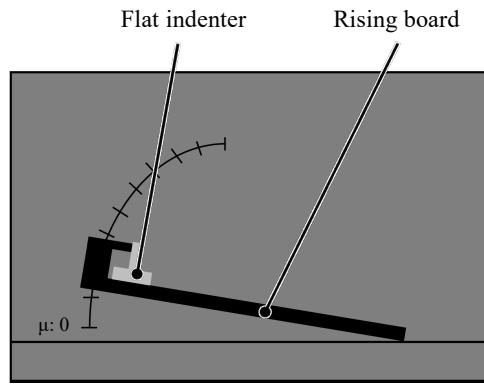


Fig. 2 Static friction tester overview

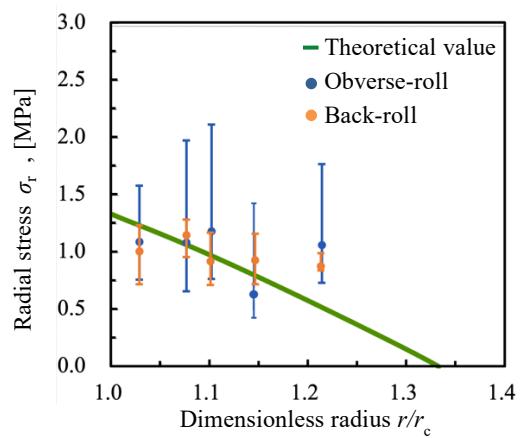


Fig. 3 Radial stress of Soft Aluminum foil