

1610 圧縮成形による浮上式鉄道用地上コイル巻線の低渦電流損失化

正 [電] ○饗庭 雅之

正 [電] 鈴木 正夫 (鉄道総合技術研究所)

Reduction of Eddy Current Loss of Ground Coil Winding for the Maglev System by Compression Molding

Masayuki AIBA, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City

Masao SUZUKI, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City

Eddy current is generated by variation of magnetic field when the vehicle in the superconducting maglev system passes by the ground coil conductor, and it causes a loss. Therefore it is important to attempt reduction of the eddy current loss. Then, we examined a method of performing the ground coil winding by compression molding after winding with the round stranded wire in order to reduce the eddy current loss, to hold down the wire cost and to improve the size accuracy of the winding. As a result of an experimental examination with the model coil, we obtained the good prospects that this method can be applied as a practical manufacturing method.

Keywords: superconducting maglev system, ground coil, eddy current loss, winding, compression molding

1. はじめに

超電導磁気浮上式鉄道の車両通過の際の磁場変動により、地上コイル導体には渦電流が生じ損失となる。これは車両走行に対する磁気抵抗となるばかりでなく、地上コイル自体の温度上昇にも繋がるため、渦電流損失の低減化を図ることは重要である。

これまでに渦電流損失低減対策として、導体素線をできるだけ細分化して断面積を小さくする方法が検討され、並列導体数を増やした地上コイルや、転位電線、平角成形撚り線を線材に使用した地上コイルなどが検討された¹⁾²⁾。

今回、渦電流損失を低減すると共に、線材コストを極力抑制し、巻線コイルの寸法精度を向上させる方法として、細線化した円形撚り線によって巻線を行った後に圧縮成形を施し所定の寸法にする方法を検討した。そして、巻線モデルコイルによる試作試験を実施し、本方法による巻線が製法として成り立つかどうかの見極めを行った。その結果について以下に述べる。

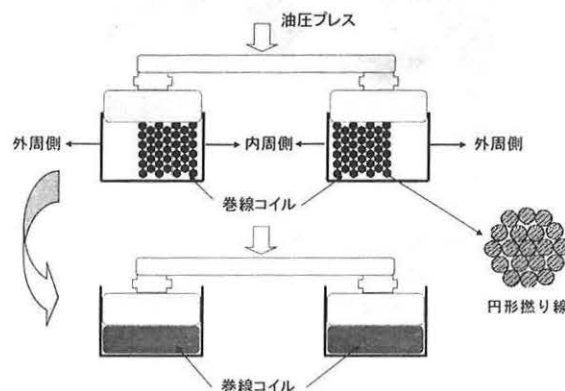


Fig.1 Concept of Compression Molding

2. 巻線コイルモデルの試作

2.1 圧縮成形の概念

圧縮成形の概念(断面)を図1に示す。仮の巻線コイルを、圧縮治具を使用して油圧プレスにて成形し、所定の寸法にする。

2.2 巻線コイルモデルの巻線および圧縮成形条件

円形撚り線(アルミニウムリッツ線、直径0.8mm×23本)を用いて、圧縮成形後の巻線コイルモデルの大きさが、実機地上コイル(推進・浮上・案内兼用地上コイル³⁾)の下単位巻線コイルの導体中心間長さ、導体幅および厚さのそれぞれ2分の1となるような寸法にて、複数個のコイルの巻線を行い、最大200tfの荷重にて圧縮成形を行った。

2.3 巻線および圧縮成形作業

巻線および圧縮成形の作業状況を図2～図5に示す。

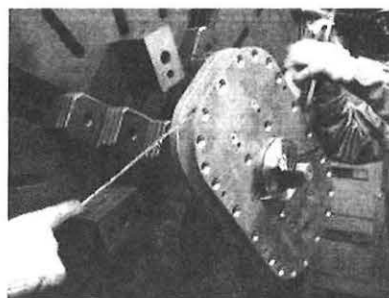


Fig.2 Winding Work

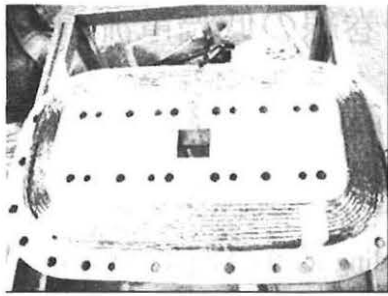


Fig.3 After Winding

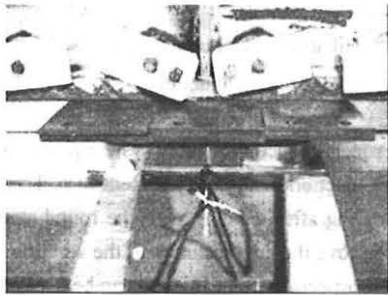


Fig.4 Compression Molding Work

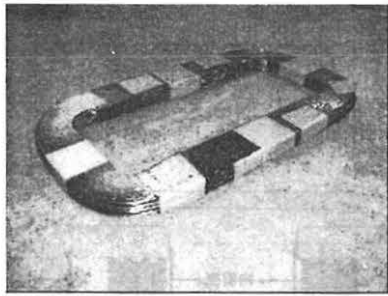


Fig.5 After Compression Molding

3. 圧縮成形前後の測定・調査

3.1 測定・調査内容

巻線コイルの圧縮成形前後に行った測定および調査を表1に示す。

Table 1 Contents of Measurement and Survey

項目	内容
寸法測定	圧縮前後に外形寸法を測定
素線導通測定	圧縮後に導体素線 23 本相互間の導通の有無を確認
直流抵抗測定	圧縮前後に直流抵抗を測定
インダクタンス測定	圧縮前後にインダクタンスを測定
インパルス電圧波形測定	圧縮後にインパルス電圧波形を測定
切断調査	各種測定後に直線部および角曲線部を切断して断面の圧縮状況を調査

3.2 測定・調査結果

(1) 寸法測定結果

圧縮荷重と圧縮前後の寸法の比を図6に示す。圧縮荷重が 200tf の場合は、コイル外側が寸法制限のための外枠まで概ね到達した。

(2) 導体素線導通測定結果

初期の試作において、圧縮時に巻線コイル内周側の曲

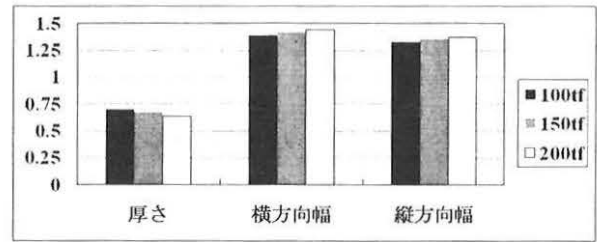


Fig.6 Relationship between Press Load and Size Ratio

線部と直線部の境界付近において断線が発生したため、導通の無い導体素線があったが、ゴムを使用して断線防止を図り、最終的には断線無くすることができた。

(3) 直流抵抗測定結果

圧縮成形前後の値の比は、圧縮成形前後の巻線中心周長の比の二乗にほぼ一致した。これは、周長が伸びた割合と同じ割合で断面積が小さくなったためと考えられる。

(4) インダクタンス測定結果

圧縮後の値は圧縮荷重に拘わらずほぼ同じであった。これは、それぞれの巻数が同じで平面形状に大きな差異がなかったためと考えられる。

(5) インパルス電圧波形測定結果

エポキシ系樹脂で含浸した後の測定において、全てのコイルが試験機の最大電圧である 5.0kV でもインパルス電圧波形の乱れはなく、素線間絶縁に問題はなかった。

(6) 切断調査結果

切断面の一例を図7に示す。測定の結果、曲線部の幅が直線部に対して、5~10mm 狭くなっていたが、巻線時に曲線部で導体が内周側に押さえ付けられたためである。また、圧縮荷重が 100tf または 150tf の場合は、巻線の外周側で圧縮が充分でなく素線間の隙間が目立つ様子が観察された。

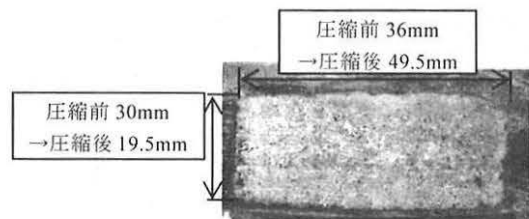


Fig.7 Cutting Surface of Coil Winding

4. まとめ

試作試験の結果、本方法による巻線が製法として成り立つ見通しを得た。今後は、実機コイル規模での試作試験を行う予定である。

なお、本研究開発は国庫補助金を受けて実施した。

参考文献

- 1) 澤田一夫, 藤原俊輔, 梅木健, 夏原博隆: 超電導リニアモーターカー用地上コイル, 特開平 11-262107, 1999
- 2) 小村昭義, 古川陽子, 福本英士, 服部憲一, 辻本静夫, 鶴賀仁史, 寺井元昭, 梅木健: ストランド線を用いた低損失型浮上コイルの開発と損失評価, 電気学会リニアドライブ研究会資料, LD-98-82, pp.25-30, 1998.
- 3) 饗庭雅之, 鈴木正夫, 田中実, 岡田重紀: 表面保護層付き浮上式鉄道用推進・浮上・案内兼用地上コイルの開発, 第 14 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2007) 講演論文集, S1-2-6, pp.319-320, 2007.