

巻線コイルに圧縮成形を適用した低渦電流損失地上コイルの開発

正 [電] ○鈴木 正夫 正 [電] 饗庭 雅之 (鉄道総研)
 正 [土] 高橋 紀之 正 [電] 太田 聡 (鉄道総研)

Development of Low Eddy Current Loss Ground Coil Which Applied Compression Molding to Winding Coils

Masao SUZUKI, Masayuki AIBA, Noriyuki TAKAHASHI, Satoru OTA, (Railway Technical Research Institute)

In magnetically levitated transportation (MAGLEV) system, a huge number of ground coils will be required for outdoor use over an extended period. Therefore, cost reduction is an important issue in addition to securing stable performance in development of ground coils. In the study presented in this paper, we examined a low eddy current loss ground coil using the round stranded wire intended to reduce the running costs of the system. As a result, we confirmed that it was able to improve the size accuracy of the winding coil and uneven thickness of molded resin by applying a compression molding after winding.

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

1. はじめに

磁気浮上式鉄道において、軌道の全線に亘って必要となる地上コイルは、膨大な数が対象となる。従って、地上コイルの開発においては、安定した性能に加えコスト低減が不可欠な課題となっている。本開発では、車両通過時の渦電流損失抑制によるシステムのランニングコスト低減を目的とし、円形撚り線を用いた低渦電流損失地上コイルを試作した。その結果、渦電流損失を低減させた巻線コイルに圧縮成形を適用することにより、巻線コイルやモールド偏肉の寸法精度を大幅に改善できる見通しを得た。以下に、各種線材の損失比較並びに地上コイルの試作結果について報告する。

2. 渦電流損失の定量比較

巻線コイルに生ずる渦電流損失を抑制するためには、素線を細分割かつ転位させる必要がある。線材の選定に際し、等価断面積を有する 3 種類 (平角線 : 3 パラ, 転位電線 : 15 パラ, 円形撚り線 : 19 パラ) の素線サンプル (図 1) を準備し、渦電流損失の定量比較を行った。サンプルを固定した円板を高速回転させ、円板に鎖交する直流磁場発生装置の励磁の有無による回転トルクの差分から渦電流抗力を抽出し、低減効果を確認した。試験結果から、円形撚り線では従来の 3 パラ平角線の約 1/5 程度に低減できる見通しが得られた。



図 1 渦電流損失定量比較用素線サンプル

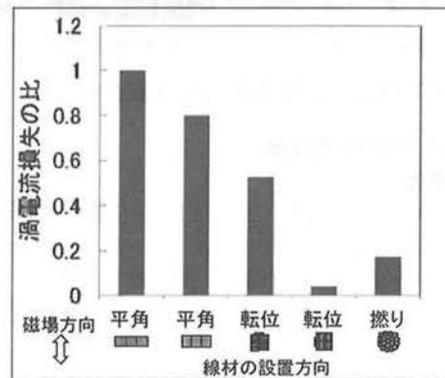


図 2 渦電流損失の定量比較による低減効果

3. 巻線コイルへの圧縮成形の適用

3.1 圧縮成形の概念

圧縮成形の概念 (断面) を図 3 に示す。巻線後の巻棒を外さず、そのまま圧縮成形用治具として流用し、油圧プレスにて所定の形状に圧縮成形することにより、占積率の向上と寸法精度の改善を狙った¹⁾。

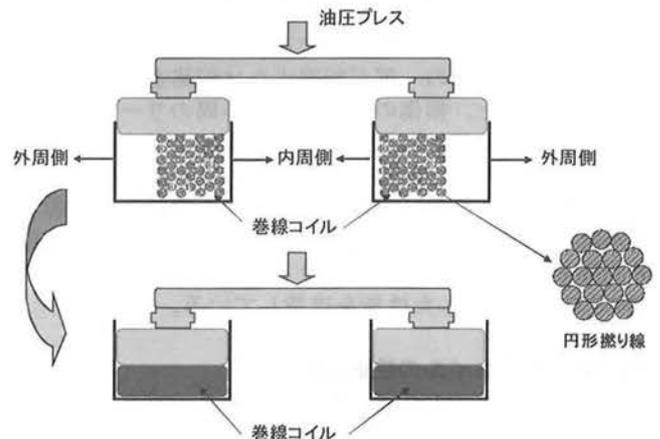


図 3 巻線コイルへの圧縮成形の適用概念

3.2 巻線・圧縮成形条件

PLGと呼ばれる推進・浮上・案内兼用コイルへの適用を前提に、円形撚り線(直径2.5mm×19本)を用い、圧縮成形後の巻線コイルが所定の寸法となるよう事前検討を行った。圧縮荷重については、上単位コイル1000tf、下単位コイル1200tfを標準とし、複数コイルの試作により仕上がり寸法と再現性を確認した。図4に一連の作業状況を示す。

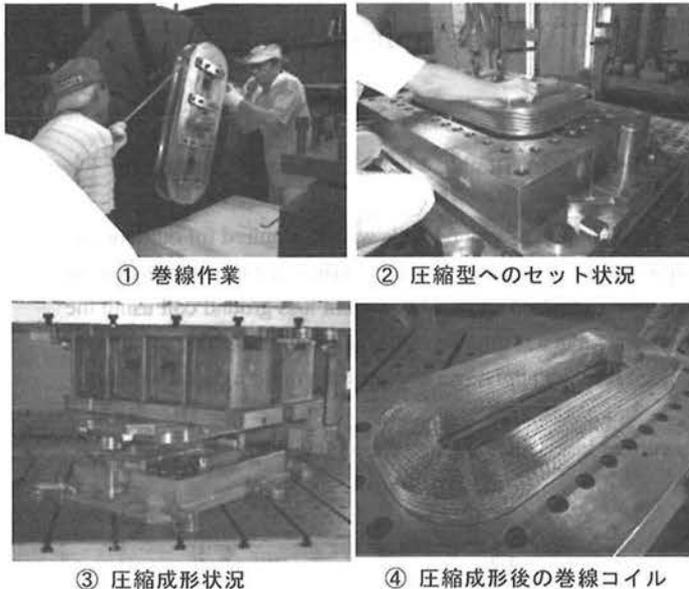


図4 巻線・圧縮成形コイル試作状況

4. 巻線コイルの性能評価

4.1 寸法精度

圧縮後の巻線コイルは、圧縮成形時の塑性変形により圧縮金型に依存した仕上がり寸法となり、圧縮を前提としない通常の巻線コイルが設計値に対し±2mm程度が限界であるのに対し、±0.5mm程度まで寸法精度が改善された。但し、厚さ寸法に関しては、圧縮荷重による空間内の素線密度に依存し、コイルの占積率を左右する指標となった。因みに、本圧縮成形コイルの試作により、当初目標としたコイル導体の占積率80%を概ね達成することができた。

4.2 素線の健全性

圧縮成形による巻線コイルへのダメージを確認するため、圧縮成形前後の巻線コイルを対象に素線間の健全性調査を行った。調査は、コイル両端の撚り線(19本)の絶縁被覆を剥ぎ取り、撚り線相互間および巻線間(層間)の電気的導通を確認し、断線や短絡の有無を抽出した。

その結果、圧縮条件を決定する初期段階の圧縮成形コイルにて、撚り線の一部が断線または短絡を生じた以外は健全であった。損傷の原因は、最外周のリード部がコイルの巻枠を兼用した圧縮板の外周溝加工部のエッジにて強圧されたためと断定できた。その後、圧縮板のエッジ部にR加工を施し、同様な圧縮成形を継続した巻線コイルにおいては、短絡や断線が回避できた。因みに、圧縮成形前後の巻線コイルにおける電気抵抗の変化は、約5%であり、安定した性能を維持している。

5. モールドコイルの性能評価

モールドコイルの性能として最も着目すべき点は前項と同様、推進系地上コイルとしての層間絶縁の健全性である。本評価では、モールドコイルの端子間に衝撃電圧

を印加し、層間絶縁破壊強度を測定した後、切断による断面調査を行った。

5.1 層間絶縁破壊強度

試験回路(図5)に示すように、一端接地でコイル端子間に雷インパルス電圧(負極性)を波高値20kVから50kVまでは5kV刻み、波高値50kV以上は10kV刻みで各3回印加し、絶縁破壊値を測定した。供試コイル2体を対象とした試験の結果、耐電圧基準値(35kV)の2倍以上の破壊値(80kV, 90kV)を有し、層間絶縁耐力に問題のないことを確認した。健全波形例を図6に示す。

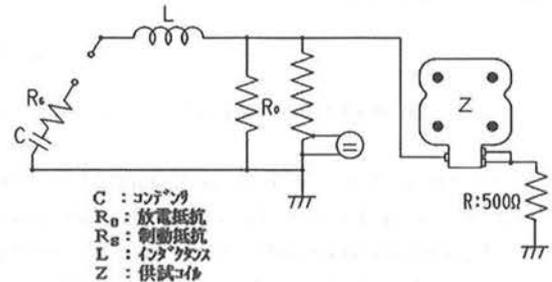


図5 層間絶縁耐力試験回路

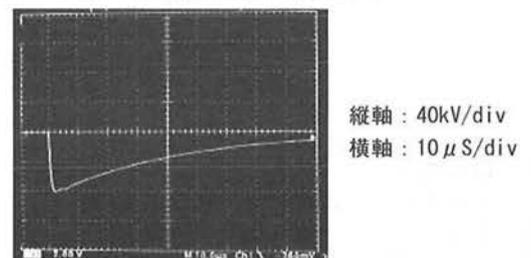


図6 衝撃電圧印加時の健全波形例(80kV)

5.2 切断面調査結果

一連の評価試験終了後、供試コイルを解体し、導体部の断面観察を行った。圧縮状況については、巻線コイルの外周と内周に若干の粗密が見られ、圧縮荷重の増大による占積率の向上への可能性が見出された。また、モールド樹脂の肉厚については、圧縮成形コイルの寸法精度が功を奏し、偏肉の小さい良好な成形状況であった。図7に上単位コイル切断面の状況を示す。

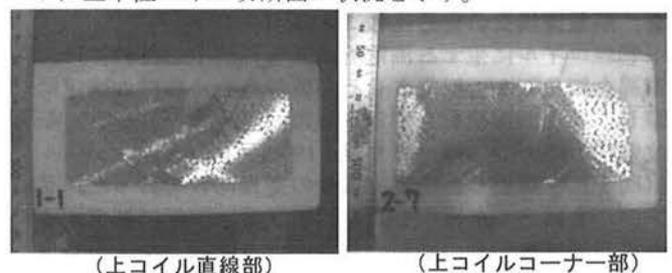


図7 コイル導体部切断面外観

6. まとめ

素線レベルの定量損失比較を踏まえ、巻線コイルに圧縮成形を適用した低渦電流損失地上コイルを試作した。その結果、圧縮による層間絶縁への影響が実用上問題なく、巻線コイルやモールド偏肉において寸法精度を大幅に改善できる見通しが得られた。なお、本研究は国土交通省からの国庫補助を受け実施した。

参考文献

- 1) 饗庭雅之, 鈴木正夫: 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, 第16回鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail'2009) 講演論文集 pp.357-358