

# 地上コイルの表面を保護する

高橋 紀之

浮上式鉄道技術研究部（電磁路技術研究室 主任研究員）



たかはし のりゆき

## はじめに

超電導浮上式鉄道の地上コイルは、全線にわたって屋外へ敷設され、直近を車両が超高速で繰り返し通過します。その際、地上コイルは車両からの反力や風圧を受けるとともに、場合によっては飛散物や落下物などが地上コイルに当たり、破損する場合も考えられます。このような環境下で、地上コイルが長期にわたり機能を維持することは、コスト低減の観点からも有効です。

ここでは、地上コイルを外的衝撃から守る手法と検証方法について紹介します。

## 表面保護の必要性

地上コイルの表面保護の必要性は、以下の二点にあります。

一つは、コイル本体の保護です。地上コイルの外観を図1に示します。高さ・幅とも概ね1mほどの正方形状で、



図1 地上コイル

厚みが100mm程度あります。内部に導体が8の字状に巻かれており、全体がモールド樹脂（一般的にはエポキシ樹脂）で成型されています。この地上コイルは図2に示すように、ガイドウェイ上の側壁と呼ばれる壁の内側に取り付けられます。そしてこの地上コイルの直近を500km/hという超高速で超電導磁石が繰り返し通過します。このため、ガイドウェイ内にある微小ゴミや落下物の巻き上げなど、外的な衝撃により地上コイル表面が損傷を受ける可能性は極めて高いと言えます。特に車両側に面した部分では、地上コイルの成形樹脂にクラックが入ったり、絶縁性能の低下により絶縁破壊や地絡事故を引き起こす可能性もあります。エポキシ樹脂は高い絶縁性能を有し、強度もありますが、ガラスのように粘りが無いため、一度強い力が加わった場合、クラックが生じて割れてしまう可能性があります。

もう一つはガイドウェイ内での感電に対する安全確保です。地上コイルはケーブルで電力変換所とつながっており、電力供給時には十数kVという高い電圧がかかります。すなわち、高電圧が加わった電気部品が表面に露出した形でガイドウェイ上に取り付けられていることとなりますので、万が一の地絡時の感電防止のため、高電圧を内部で遮蔽す



図2 ガイドウェイへの地上コイル敷設状況

する必要があります。遮蔽する方法として、コイル表面の内側にゼロ電位の保護層を設けることが考えられます。地絡した電流を保護層を介して接地することにより、ガイドウェイ内での保守・点検作業員の安全が確保できます。

### 保護層付き地上コイルの開発

地上コイルの表面を保護する方法としては、衝撃に強く絶縁性能の高い素材（樹脂）を用いるのはもちろんのこと、地上コイルの手前に保護カバーを設ける方法や、衝撃を吸収するシール材のようなものを地上コイル表面に貼付する方法などが考えられますが、この方法では施工コストが増大するほか、部品点数も増えるため、保守に要するコストも増えてしまいますし、信頼性の面でも課題が残ります。そこでコイルに保護層と呼ばれる部材を地上コイル製作時に一体で成型する方法を開発しました。

図3 (A) に示すように車両側のモールド樹脂の中にFRP製の樹脂板とガラスクロスシートを埋め込みました。樹脂板には導電性塗料を塗布し、万が一の地絡発生時でも安全に電気を逃すよう機能を付加しました。これにより、地上コイル表面を機械的に保護するとともに、内部の高電圧部位と車両側保護層とを電氣的に絶縁させる機能も持たせることができました。実際の地上コイル成型時の樹脂板をセットした状態を図4に示します。

### 衝撃に対する検証方法

このように、保護層を組み込んだ地上コイルについて、その効果を検証する必要があります。もっとも現実的な方法として、地上コイルに実際に衝突物を当てて、地上コイル表面の機械的な保護機能を確認することが考えられます。

その方法として、当初は図5に示すような、筒の中に錘をセットし、自由落下による衝撃試験を行いました。しかし、この試験では落下させる質量と高さに限界があり、衝撃エネルギーに制約があることと、実際の衝突速度とはかけ離れていることから、別の方法を検討しました。

### 空気砲による衝撃試験<sup>1)</sup>

そこで、実際の衝突速度により近い、高速で衝突させることが可能な衝撃試験を検討しました。その結果、空気砲と呼ばれる装置を利用することにしました。この装置は、在来鉄道において、床下機器などに付着した氷塊がバラストなどを巻き上げた場合の衝撃強度を評価するため、氷塊

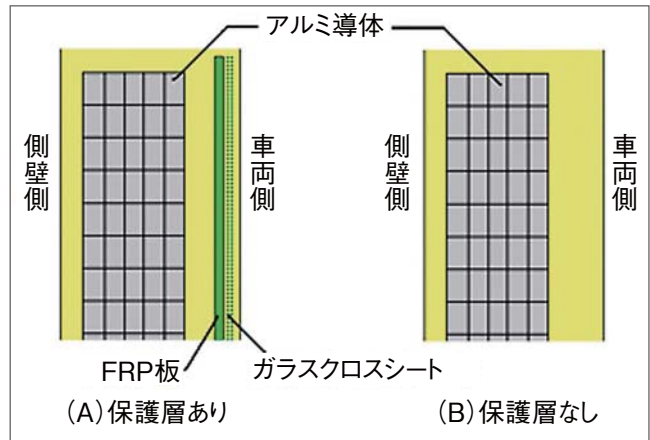


図3 地上コイルの断面

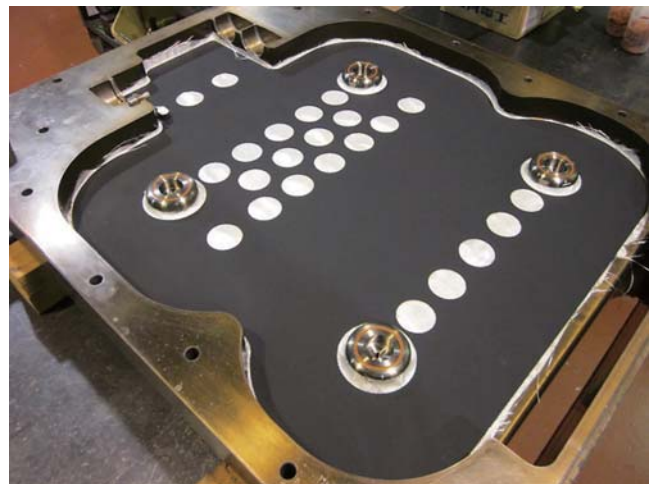


図4 FRP製保護板をセットした様子

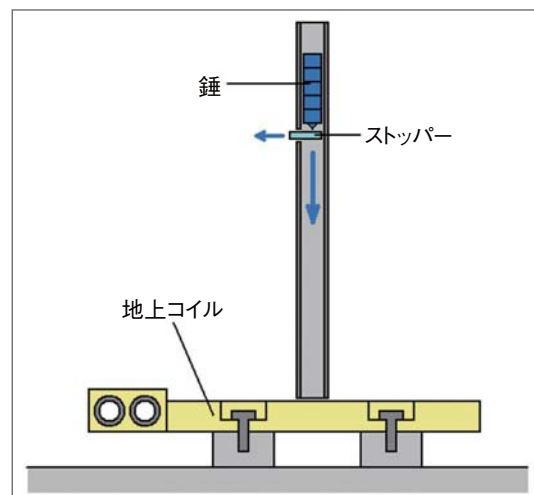


図5 自由落下による衝撃試験

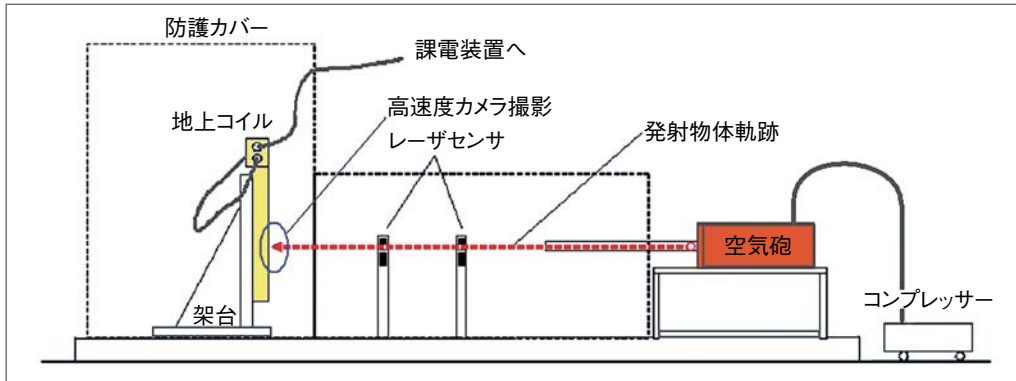


図6 空気砲試験装置の構成

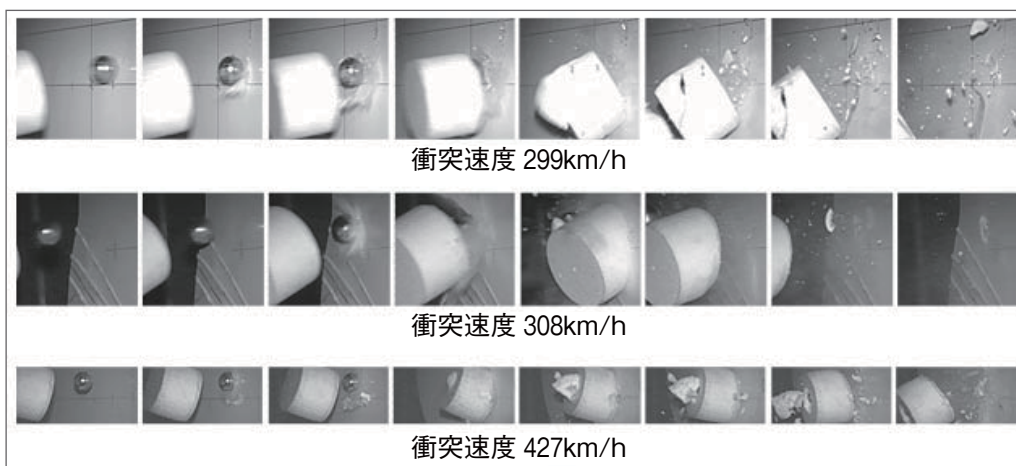


図7 高速度カメラによる撮影結果

を実際にバラストに当てて使っているものです<sup>2)</sup>。装置の構成を図6に示します。原理は、空気砲本体（タンク内）に圧縮空気を送り込み、ある一定圧力以上になると内部の膜が破れて発射物を瞬間的に押し出します。砲筒通過時に物体は加速され、これにより、発射物の重さにもよりますが、400km/h以上の衝突速度まで試験を行うことができます。

発射物については、衝突時の影響にばらつきが生じないように球形とし、飛散物が当たる場合を想定して直径約22mm、重さ44.6gのベアリング鋼球を使用しました。これを発泡スチロールとともに砲筒内にセットします。発泡スチロールは砲筒内から飛び出した直後に失速しますので、鋼球のみが先行して地上コイル表面に衝突します。衝突の様子を図7に示します。衝突の瞬間、表面の樹脂が四方に激しく飛び散る様子が分かります。

僅か44.6gという重さの鋼球とはいえ、その衝撃力は大きく、地上コイルの破損に伴う飛散や鋼球の跳ね返りによ

る事故を防止するため、図8に示すような防護カバーと呼ばれる専用のブースを製作しました。鋼製で内部にゴムを敷き詰め、隙間の無いようにしています。また、地上コイルの固定についても専用の架台を製作し、衝突の衝撃で倒れない強度を有しています。衝突は実際には斜めに当たることが考えられますので、地上コイルを固定する架台は回転が可能な構造となっています。衝突の様子は、高速度カ

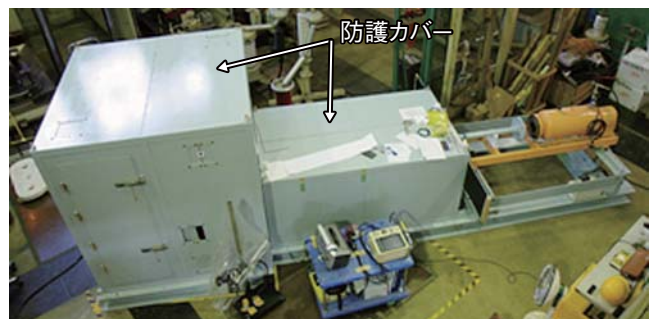


図8 空気砲試験装置の外観

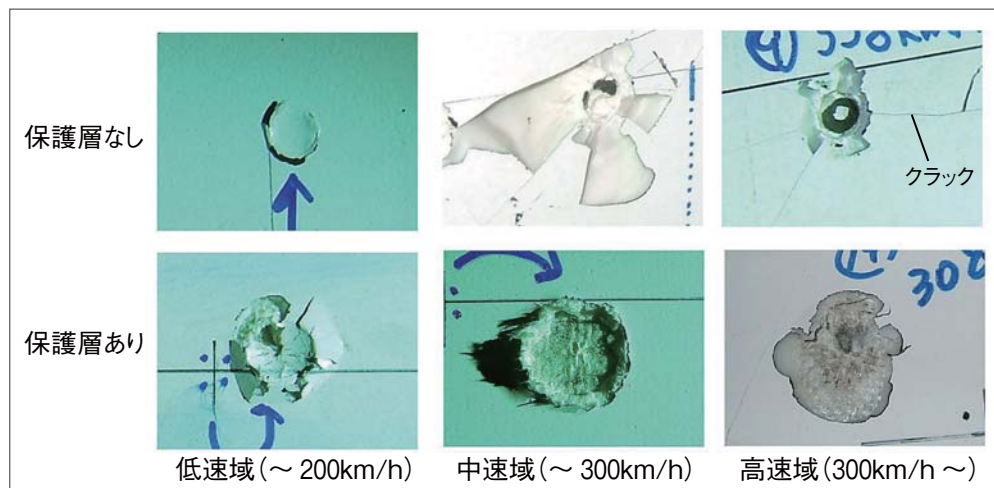


図9 コイル表面の破損状況

メラで撮影しましたが、設置にあたっては、ブース側面に僅かな隙間を設けてカメラのレンズ先端部のみブース内に取り付けました。衝突速度の検出は、銅球が通過する前後2箇所にレーザーセンサを取り付け、その通過時間差から速度を算定しました。

### 保護層の効果

試験は保護層を組み込んだ地上コイルと、組み込まない地上コイルの2種類について行いました。保護層の有無以外、形状や構成などはほぼ同一です。

コイル表面の破損状況を図9に示します。保護層あり、なしコイル共に、概ね衝突速度が速くなるとその損傷部位の面積が大きくなり、かつ損傷深さも深くなる傾向があります。さらに、衝突点を起点としたクラックが長くなる傾向にあります。しかし保護層ありの地上コイルについては、FRP板の前に設置されているガラスクロスシートが大きな損傷を防ぐとともに、衝撃エネルギーを吸収しているものと考えられ、クラックの発生が認められませんでした。

電気的な強度については、衝突速度を上げる毎に交流33kVの電圧を印加し、絶縁破壊の有無を確認しました。その結果を表1に示します。保護層なしの地上コイルに比べ、保護層ありのコイルのほうが、いずれのコイルも衝突速度で上回っており、優位性が認められました。衝撃強度に換算すると、おおよそ2倍の強度を有していることになります。

ちなみに、部材などで多用されるM10と呼ばれるナットが仮に車両通過時の巻き上げなどで地上コイルに衝突した場合を想定すると、そのエネルギーは速度500km/hの

表1 電気的な強度試験結果

コイル番号	No.1	No.2	No.3	No.4
保護層の有無	なし	あり		
絶縁破壊発生直前の速度 (km/h)	227	332	312	298
衝撃エネルギー (J)	88.8	189.9	167.7	153.0

場合で109.3Jとなります。本試験では、保護層ありの地上コイルの衝撃エネルギーは最低でも153.0Jであり、実用上においてもその効果が期待できます。

### おわりに

超電導浮上式鉄道の地上コイルに対する表面保護の検討、ならびに検証方法について紹介しました。この方法により、保護層を付加した地上コイルの方が損傷を防ぐ上で優位性があることが確認できました。また、これまであまり検討されなかった地上コイルの機械的な損傷の評価に、ある程度の道筋が見出せたものと考えています。

地上コイルに要求される性能は多種多様であり、今後も引き続き各種性能の向上へ向けての検討、開発を進めていく予定です。

本研究開発は国土交通省の補助金を受けて実施しました。

RRR

### 文献

- 1) 高橋紀之 他：推進浮上案内兼用コイル保護層の耐衝撃強度評価，鉄道総研報告，Vol24，No1，2010
- 2) 河島克久 他：列車からの落氷雪によるパラスト飛散現象に関する実験的研究，鉄道総研報告，Vol17，No8，2003