

表面衝撃強度を向上した地上コイルの開発

浮上式鉄道技術研究部 電磁路技術研究室
主任研究員 高橋 紀之

1. はじめに

軌道の全線に亘り敷設される地上コイルは、長期間の屋外での使用が前提となるばかりではなく、膨大な数が対象となる。したがって地上コイルの開発においては、コスト低減に加えて安定した性能と高い信頼性の確保が重要であり、材料レベルから実機に至るまで、現地使用を想定した試験によりこれらの信頼性を検証する必要がある¹⁾。地上コイルは、直近を車両が高速で通過するため、場合によっては車両が巻き上げた異物や車両からの落下物などが高速で衝突する可能性がある。このため、何らかの保護対策を講じることは、地上コイルの信頼性・耐久性向上の面からも非常に有用である。

本発表では、保護層付き地上コイルの開発経緯、ならびに耐衝撃強度評価について紹介する。

2. 保護層付き地上コイルの開発

2.1 開発の背景

地上コイルの表面保護の必要性は、以下の理由による。

ガイドウェイに設置された地上コイルは、500km/hの超高速列車の繰り返し走行により、走行側表面は絶えず飛来物による危険に曝されている。そのため、ガイドウェイ内の微小ゴミの巻き上げや、車両からの微小部品落下などにより、コイル表面が損傷を受ける可能性は極めて高い。特に車両側に露出した部分では、その成型樹脂（一般的にはエポキシ樹脂モールド）に亀裂発生や絶縁破壊を引き起こす可能性がある。

このほか、推進用地上コイルは、公称電圧22～33kVの特別高圧機器であり、電力変換所からの電力供給時には高電圧が印加される。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ため、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る必要がある。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、地絡した電流を保護層を介して接地することでガイドウェイ内での安全が確保できる。

2.2 保護層付き地上コイルの製作

表面保護の方法としては、厚さ5～7mmの保護板を準備し、後付により地上コイル表面に接着あるいはボルト締結する方法がまず考えられる。しかしこの方法では保守を含めた施工コストが増大するばかりでなく、信頼性においても課題が残る。そこで、本開発においては保護層を地上コイル成型時に一体化させることとした。

その構成図を図1に示す。車両側表面の接地層～FRP板までが保護層となる。導電性塗装を施したFRP板と衝撃緩衝材として車両面側に配置するガラスクロスシートとを組み合わせ、地上コイル成型時に一体化させた。また、FRP板の両面に接地層を設けた。これによりコイル表面を機械的に保護することはもちろんのこと、内部の高電圧充電部と車両側保護層とを電気的に絶縁させ、保守作業時に作業員が直接地上コイルに触っても感電を防ぐ機能も持たせて

いる。

製作に関しては、FRP板ならびにガラスクロスシートを挿入する工程が追加され、それに伴い、コイル厚さが5mmほど増加しているが、外観形状は保護層なしの地上コイルと厚み以外は同じである。

保護層付き地上コイルの外形図を図2に示す。

3. 検証内容

3.1 基本性能内容の確認

製作した保護層付き地上コイルについて、以下に示すような試験を行い、基本的性能内容の確認を行った。

(1)電気的特性の確認：商用周波耐電圧試験・雷インパルス耐電圧試験・部分放電特性について試験を行い、これまでの保護層なしの地上コイルと同等の性能を有していることを確認した。

(2)FRP保護板位置測定：非破壊の偏肉測定で表面からのアルミ導体部・FRP製保護板の位置を測定し、適正位置にあることを確認した。

(3)耐熱衝撃試験：液相ヒートショック試験と冷凍負荷試験を行い、外観に異状が生じず、部分放電特性・商用周波耐電圧試験においても問題がないことを確認した。

(4)温度上昇特性試験：保護層の有無による温度上昇特性への影響を確認するため、通電試験による温度上昇を測定し、顕著な差異が生じていないことを確認した。

3.2 衝撃試験の検討

保護層付き地上コイルについて、実際に異物をコイル表面に衝突させ、検証を行った。

衝撃強度に関しては、自動車部品に用いられるプラスチック製品の耐衝撃性を検証する試験方法である日本自動車規格のJASO-M312-85：落錘衝撃試験がある。しかし、この試験方法では実際の衝突を模擬出来ず、開発した地上コイルの限界強度特定までには至らない可能性があるため、さらに高速で衝突可能な試験を検討した。

実負荷との等価性や衝撃エネルギーの強化を考慮した結果、空気砲²⁾を使用した衝撃試験を行った。試験装置の構成を図3に示す。この装置は、発射物を所定速度で発射させるための空気砲本体、地上コイルを固定するための架台、ならびに発射物・衝突時の破片飛散防止のための防護カバーから構成されている。空気砲本体は、コンプレッサーを介して圧込めを行い、所定圧力に達すると、空気砲内の針が動作し圧力保持膜を突き破り、砲筒内にセットされた発射物が瞬間的に押し出される。これにより、400km/h超の発射速度まで試験を行うことができる。

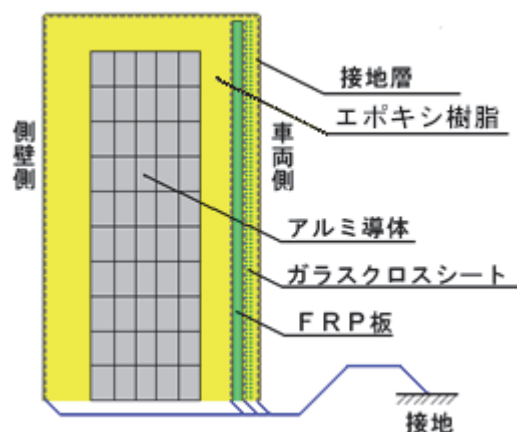


図1 保護層の構成



図2 保護層付き地上コイル外形

発射物の選定にあたっては、衝突時の接触条件を統一するために球形とし、試験装置の設定最高速度を基に、直径 22.2mm、質量 44.66g のベアリング鋼球として、試験・評価を行った。

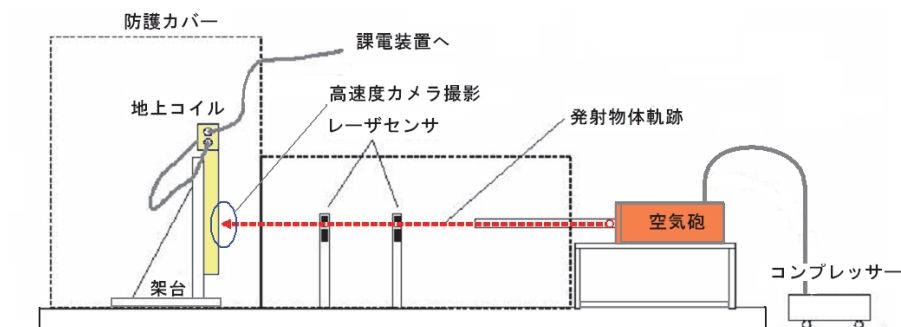


図3 衝撃試験装置の構成

3.3 測定内容

今回の試験では、保護層ありのコイルと保護層なしのコイルを供試体として選定した。

試験機本体の一部に確認窓を設け、その箇所に高速カメラをセットし、鋼球が地上コイルに衝突する際の状況を動画で記録できるようにした。

なお、衝撃負荷に対するコイルの健全性を判定するため、衝撃試験毎に、アルミ導体～アース間に AC33kV / 1分間を印加し、絶縁破壊の有無を確認した。これら主要な試験条件を表 1 に示す。

表 1 試験条件表

発射物	ベアリング鋼球 質量 44.66g 直径 22.2mm
	高密度発泡スチロール 長さ 50mm 直径 65mm
発射目標速度	100～450km/h (約 50km/h 刻み)
対象物	保護層付き地上コイル
	保護層なし地上コイル

3.4 測定結果

3.4.1 コイル表面の破壊状況

コイル表面の破壊状況は、図 4 に示すとおりである。保護層あり、なしコイル共に、概ね速度が高くなるとともに、破壊の度合いも大きくなっている。

保護層なしコイルは、速度が高くなると、その損傷部位の面積が大きくなり、かつ損傷深さも大きくなる傾向がある。また、衝突点を起点に、クラック（ひび割れ）が長く進展する傾向が認められる。保護層ありのコイルについては、FRP板の手前に設置されているガラスクロスシートが、大きな損傷を防いでいるとともに、衝撃エネルギーを吸収するものと考えられ、クラックの発生が認められなかった。

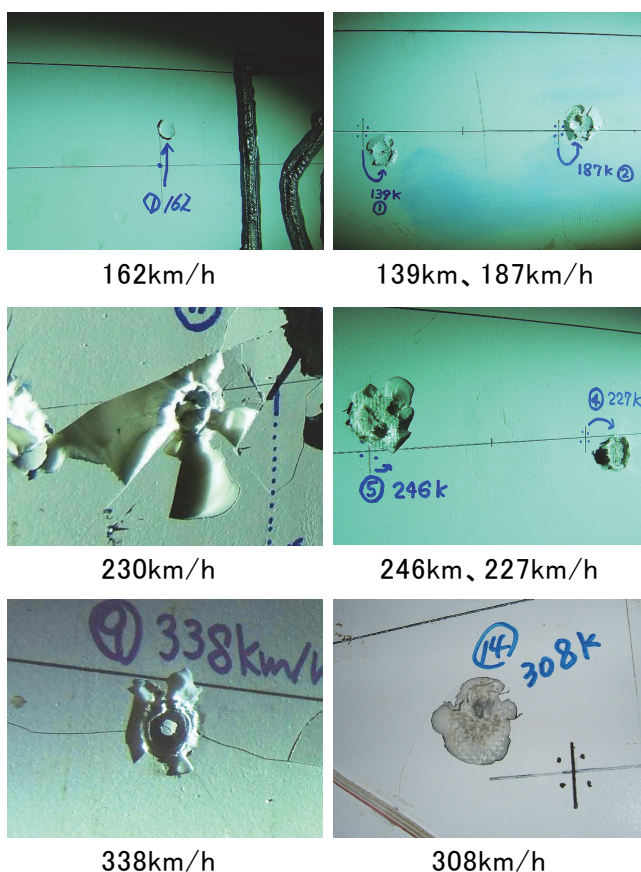
3.4.2 限界強度試験結果

限界強度試験については、保護層の有無合わせて 4 コイルについて行った。その結果は表 2 のとおりである。保護層なしのコイルは 227km/h で絶縁破壊しているが、保護層ありのコイルについては、概ね 300km/h 前後で絶縁破壊しており、明らかな優位性

が認められた。衝撃エネルギーに換算すると、おおよそ2倍の耐衝撃強度を有する結果となった。

取付部材等で多用される M10 サイズのナットが、仮に車両通過時の巻上げなどで地上コイルに衝突した場合を想定すると、その衝撃エネルギーは速度 500km/h の場合で 109.3J となる。本結果はその衝撃エネルギーを 1.39 倍以上上回っており、実使用上においてもその効果が期待できる。

今回使用した鋼球と表 2 に示す衝撃エネルギーの結果によって、想定される飛来物の影響を概ね予測できるようになったと考える。



(a)保護層なしコイル (b)保護層ありコイル

図 4 コイル表面の破壊状況

4. まとめ

地上コイルに表面保護層を一体成型し、表面衝撃強度を向上した地上コイルを製作し、表面保護層の表面衝撃強度を評価するための耐衝撃強度試験を行った。その結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 表面保護層を組み込んだ地上コイルは、電気試験等の基本的なスペックはこれまでのコイルと同等の性能を有していることを確認した。
- (2) 衝撃試験により、およそ 400km/h までの衝撃エネルギーによる測定を行い、保護層付地上コイルの衝撃負荷に対する限界強度を把握することができた。
- (3) 保護層の有無により、破壊の形状に違いが認められた。
- (4) 保護層ありの地上コイルは、保護層なしの地上コイルに比べ、概ね 2 倍以上の耐衝撃強度を有し、表面保護層の衝撃緩衝効果が確認できた。

表 2 限界強度試験結果

コイル番号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
保護層の有無	なし	付き		
最終速度(km/h)	227	332	312	298
衝撃エネルギー	88.8J	189.9J	167.7J	153.0J

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)鈴木正夫：地上コイルモールド樹脂の環境劣化特性、鉄道総研報告、Vol20、No.8、2006.8
- 2)飯倉茂弘ほか：列車からの落冰雪によるバラスト飛散現象の解明、R R R、Vol62、No.2、2005.2