

ガイドウェーブを用いた支線用ロッドの 腐食検出方法の研究

大黒 光喜^{*1} 佐藤 秀一^{*2} 菊地 和行^{*3}
Daikoku Kouki *Sato Shuichi* *Kikuchi Kazuyuki*
 佐藤 裕樹^{*3} 大浦 泰^{*4} 藤井 保和^{*4}
Sato Hiroki *Oura Yasushi* *Fujii Yasukazu*

これまで、鉄道用支線ロッドの埋設部の腐食調査では、対地電位と接地抵抗等の測定により腐食状況を調査してきたが、腐食有りと評価していたものが、実際には腐食が無い状態の場合もあり、腐食検出精度に疑問が生じており、これらに代わる腐食検出精度の高い検査手法が求められていた。

本研究では、この問題を解決するために一般的な超音波探傷で使用されるSV波やSH波より減衰が少なく、長距離伝搬が可能なガイドウェーブ（板波）を用いた支線ロッドの腐食検出方法の有効性について研究した。

キーワード：ガイドウェーブ、支線ロッド、埋設部、腐食

1. はじめに

支線は、電車線（架線）、き電線（トロリー線）に電力を供給するために、架線に平行して架設される電力線）等の引止装置を設置する電柱、または曲線引装置（曲線区間に架線を張ったときに、トロリー線が曲線の内側に外れてしまわないように、外側に引っ張る装置）等取付箇所横張力の加わる電柱に取り付けられるワイヤー等の線である。

支線の役割は、架線の張力や横張力によって、電柱が傾いたり、部分的に湾曲しないように常に一定の力によって引張っているもので、架線張力

と支線の引張力のバランスが崩れると、電柱の傾斜等が発生する。電車線設備における電柱の傾斜は、パンタグラフと電線との偏位・高さの異常により、最悪の場合は電柱と車両の衝突につながる恐れがある。また、今回、対象とした支線ロッドは、一方が地中に埋設されており、支線の引張力を受けるものである。この支線ロッドの破断が、架線張力と支線の引張力のバランスを壊す要因の一つであり、過去に支線ロッドがマクロセル腐食により破断するという事例があったことから、支線の管理については、支線ロッドのように土中に埋設され、目に見えない設備の検査を確実に実施することが重要である。

*1：検査事業部 技術部 NDE グループ

*2：株式会社アデルコ（元検査事業部 技術部）

*3：東日本旅客鉄道株式会社

*4：株式会社ジェイアール総研電気システム

本稿では、土中に埋設されている支線ロッドに超音波振動を与えて反射波の状態から支線ロッドの腐食劣化状態を診断する方法について検討、現地試験を行い測定方法の有効性について研究した結果を報告する。なお、本論文は文献1に示す電気学会交通・電気鉄道研究会資料（TER-12-17、2012.5 pp.53-56）を加筆・修正したものである。

2. ガイドウェーブによる腐食検出方法の概要

2.1 腐食検出方法の概要

今回使用した MsS（Magnetostrictive Sensors の略）方式ガイドウェーブ（以下、ガイド波）とは、強磁性体である検査対象物に巻いたコイルに交流

電流を流し、そのコイルから発生する交流磁場により検査対象物に磁気ひずみ現象を生じさせる。その磁気ひずみ現象により検査対象物を振動させ、この振動により音波の一種であるガイド波を発生させる方法である。発生・発振したガイド波は、コイルを巻いた箇所から検査対象物の軸方向に向かって伝播していく。その伝播途中に傷や腐食等による欠損部分があれば断面積変化によってガイド波が反射し、その反射したガイド波から欠損部分を検出するものである。また、ガイド波には振動形態の違いにより数種のモードのガイド波があり、代表的なものとして、Lモード波、Tモード波といったものがある。Lモード波振動形態を図1に、Tモード波の振動形態を図2に、ガイド波装置の外観とLモード波センサー設置状態を図3にそれぞれ示す。

2.2 ガイド波の特徴

ガイド波（板波）は、一般的な超音波（SV波やSH波）より減衰が少なく長距離を伝播する特性を持っている。また、埋設配管や内部流体や外面のコーティングのある配管にも適用可能であるため、粗探傷・スクーリング検査に使用されている。

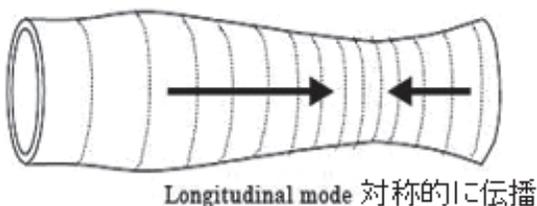


図1 Lモード波の振動形態

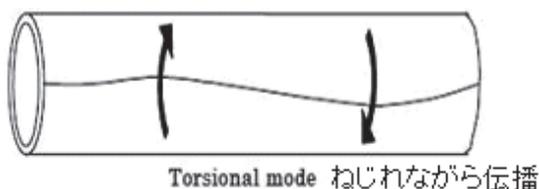


図2 Tモード波の振動形態



図3 ガイド波装置外観・Lモード用センサー設置状態

3. 気中による支線ロッド腐食判定試験

3.1 気中試験概要

本試験では、気中における無負荷での MsS 方式ガイド波の適応性を確認するため、掘り起した支線ロッドサンプル品（新品と最大腐食 40% から 9% 腐食）9 本に対し、試験条件としてガイド波の 1 種である L モード波を使用し、16kHz、32kHz、64kHz の 3 種類の周波数について、計測を実施した。ガイド波の適用概略を図 4 に、サンプル品腐食例を図 5 に示す。



図 4 ガイド波の適用概略

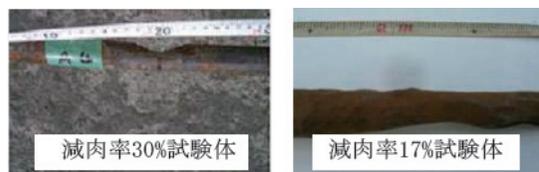


図 5 サンプル腐食例

3.2 気中試験結果

本試験結果として、周波数別検出性結果を表 1 に、周波数別波形データ例を図 6 に示す。図 6 に示す波形データ例から、新品の支線ロッドでは、支線ロッドの全長にガイド波が伝搬していることを示す支線ロッド端部から反射する端部信号のみを検出し、腐食がある支線ロッドでは、腐食から反射する腐食信号と端部信号を検出することができ、この結果から、腐食品と新品の判別が可能であることを確認した。また、どの周波数においてもほぼ全ての腐食が判定可能であり、特に周波数帯の高い 64kHz の検出性が良い結果であった。この気中試験の結果から、腐食評価の可能性を見出すことができた。

表 1 気中での周波数別検出性結果

No	試験体 最大腐食率 (%)	周波数 (kHz)		
		16	32	64
A	30	○	○	○
B	40	○	○	○
C	16	△	△	○
D	24	○	○	○
E	9	×	×	△
F	30	○	○	○
G	27	○	○	○
H	17	△	○	○

○：明らかに健全品と違う波形

△：健全品と比較しノイズが多い

×：健全品と同じ波形（未検出または識別困難）

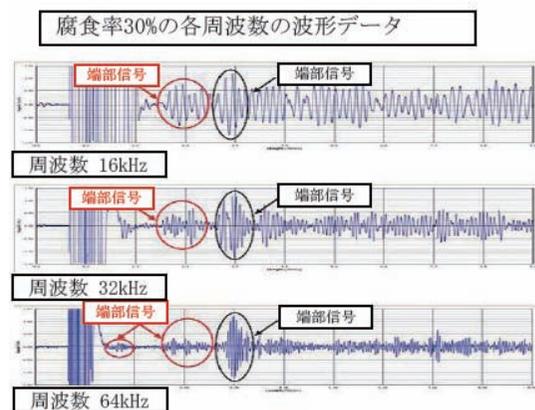
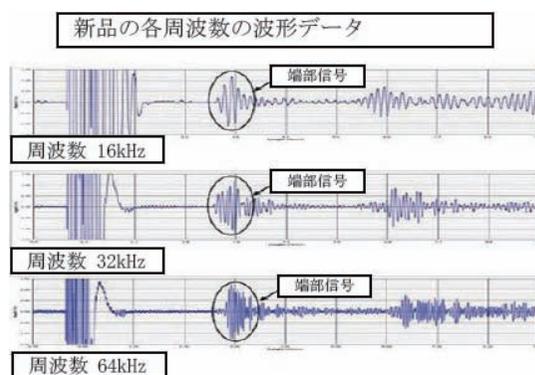


図 6 気中での周波数別波形データ例

4. フィールドでの支線ロッド腐食判定試験

4.1 フィールド試験概要

気中試験では、腐食判定が可能であることが確認されたが、実際は、支線ロッドは埋設状態であり、土圧やテンションがかかっている状態である。また、現場環境は支線ロッド周辺にも高圧線が隣接していたり、気中試験とは環境が異なる。そこで実設備の交流区間である JR 東日本の東北本線に敷設されている支線ロッド 18 本に対して、気中試験と同様に L モード波を使用し、16kHz、32kHz、64kHz の 3 種類の周波数について、計測、腐食判定試験を実施した。試験状況を図 7 に示す。

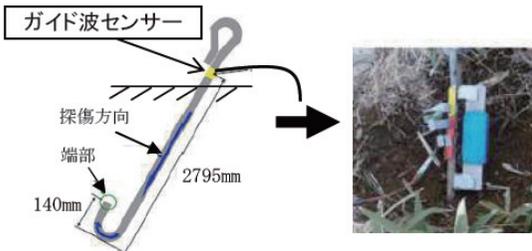


図 7 ガイドウェーブ試験状況

4.2 フィールド試験結果

フィールド試験結果としてフィールド試験での周波数別検出性結果を表 2 に示す。フィールド試験では、気中試験で最適であった周波数 64kHz では減衰が著しく、実設備においては使用が難しいことを確認した。実設備における適応周波数としては 16kHz、32kHz の 2 種類が適応できたが、今回の結果においては、32kHz の検出性が良好であった。また、気中では腐食品および新品のすべての状態で、検出可能であった 3000mm 付近の端部信号が確認困難なものがあり、端部信号が確認できたのは 18 本中 9 本であった。今回のフィールド試験で採取した 18 データは図 8 に示すように 4 種類に分類することができた。

表 2 フィールド試験での周波数別検出性結果

検出位置	周波数 16kHz	周波数 32kHz	周波数 64kHz
3000mm近傍 (端部信号)	3	4	2
1500mm近傍	0	8	2
1500~2000mm間	2	3	2
検出困難	13	3	12

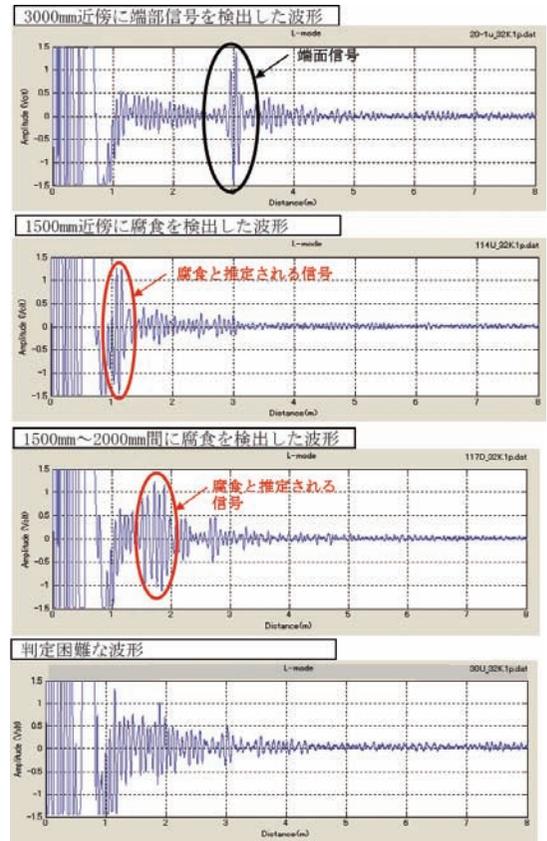


図 8 4 種類に分類される波形データ例

4.3 フィールド試験結果からの課題

ガイド波が支線ロッドの全長を伝搬していることの確認としていた支線ロッドの端部信号は、気中で測定するとすべて検出できるのに対し、実設備の埋設状態においては検出できなかった場合もあった。この主な原因としては下記の項目が考えられた。

- ①埋設による土圧の影響
- ②ガイドウェーブ用磁石付近の鉄製構造物の影響
- ③き電線等による交流磁場の影響

5. ガイドウェーブ改善による課題解消

5.1 改善項目

本研究では、今回明らかになった課題の影響要因が特定できないため、土圧等の影響によるガイド波の影響が大きいと想定し、ガイドウェーブの強度増大を図る改善を実施した。その改善の検討項目を下記に示す。

①磁石アタッチメント改善の検討

図9に示すように支線ロッドを効率良く磁化するため磁石にアタッチメントを試作した。

②コイル巻数改善の検討

効率よくLモード波を発生させるため、図10に示すように巻数を増やし交流磁場増強を図った。

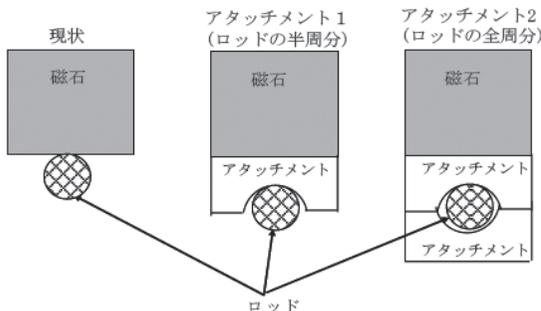


図9 アタッチメント改善略図

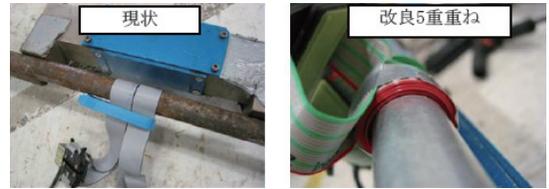


図10 コイル巻数の改善

5.2 改善結果

磁石のアタッチメントの改善では、アタッチメントがない場合との感度差を測定した結果、アタッチメントを装着することにより感度が2dB程度良くなることがわかった。しかし、感度差2dBはばらつきの範囲内でありアタッチメント装着による感度向上効果はあまり無いことが確認された。しかし支線ロッドへの磁石装着の位置決めが容易になり作業性の改善効果が図られた。

コイルの巻数の改善では、コイル重ね数5重以上で感度が15dB良くなることが確認され、最少巻数で最大の効果を得る観点から、コイルの巻数として5重重ねが最適条件と考えられる。

6. ガイドウェーブ改善後のフィールドによる支線ロッド腐食判定試験

6.1 フィールド再試験概要

5項の改善結果の実設備での効果確認および、4.3項の課題に述べた、その他の影響を確認するため、東北本線に敷設された支線ロッド7本に対して、フィールド再試験を実施した。実施・確認項目を以下に示す。

- ①端部信号及び腐食信号の有無・掘削による目視確認
- ②センサー改善の効果確認
- ③埋設状況の確認
- ④センサー設置位置周辺にある強磁性体の影響
- ⑤き電線等による交流磁場の影響

6.2 フィールド再試験結果

①端部信号及び腐食信号の有無・掘削による目視確認

Lモード波で7本中6本の支線ロッド端部信号が有り、かつ腐食信号がなく、腐食無しとのデータが確認された。この内3本を掘削し目視確認を行い、全数判定どおり腐食が無いことを確認した。この結果から腐食の無い支線ロッドでは、端部信号が検出できるものと推定できた。また、端部信号を検出できなかった1本を後日、掘削し目視確認したところ図11に示すように腐食していた。

②センサー改善の効果確認

Lモード波で7本に対して5重コイルを使用して測定した結果、1重のコイルと比較し、感度が全て14dB向上したことが確認された。図12に波形データ例を示す。

③埋設状況の確認

支線ロッド7本を確認したところ、ガイドウェーブが減衰する原因となる防食テープ等の防食施工が特にされていなかった。



図11 腐食のあった掘削跡の支線ロッド

④センサー設置位置周辺にある強磁性体の影響

支線ロッド付近に鉄製構造物が近くにあったものの極端にセンサー（磁石）に近接していなかったため、その影響は確認されなかった。しかし、さらにセンサーに接近した鉄製構造物（強磁性体）がある場合については今後確認が必要と思われる。

⑤き電線による交流磁場の影響

き電線から発生される磁場により、端部信号が確認できないなど可能性があったが、全数端部信号が確認されたことから、き電線の影響が無いものとする。

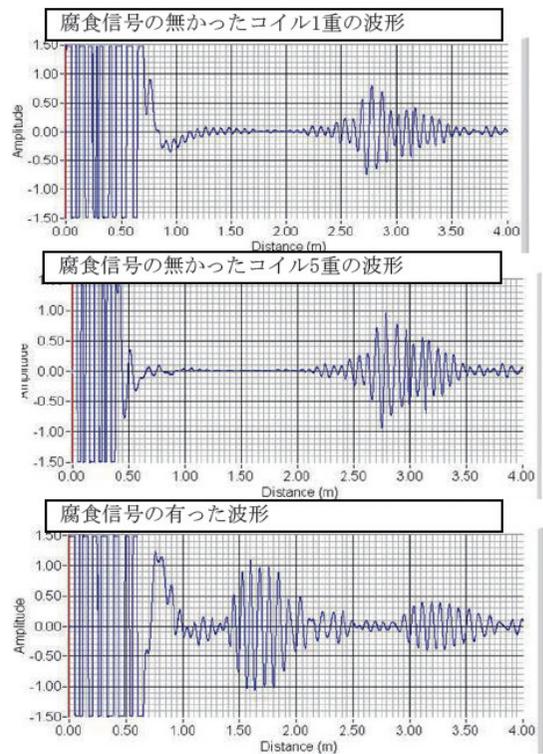


図12 腐食信号があった波型と腐食信号の無かった波型及び5重コイルとの比較

7. まとめ

本研究では、Lモード波を中心に試験を実施し、腐食減肉が無く新品に近い状態の支線ロッドの場合、ほぼ全数ロッド端部信号を検出することができ、腐食信号が無く、支線ロッドの端部信号のみを検出したものに対して、腐食無しと判定できることを確認した。

一方、腐食があると腐食信号は確認できるがロッド端部信号を検出できない場合あり、この結果から、腐食有りと判定できることを確認し、腐食の有無の判定が可能であることを確認した。

腐食量の評価については、検出した腐食信号により腐食量推定の可能性も得られた。

また、本文では述べていないが、Lモード波より識別性の高いガイド波の1種であるTモード波についても試験を実施したが、腐食の無い新品同様の支線ロッドでも端部信号が確認できなかったことから、支線ロッド全長の腐食判定には不適であることを確認した。

今後の課題として、Lモード波を中心に引き続き検出の信頼性向上のために実設備でのフィールド試験を継続して実施し、埋設状態または同等の減衰状態における腐食検出精度の向上ならびに腐食量評価精度の向上を図っていく。

参考文献

- (1) 菊地、佐藤、大浦、藤井、佐藤、大黒：支線用ロッド腐食劣化診断方法についての研究、電気学会交通・電気鉄道研究会資料、TER-12-17、2012.5、pp.53-56

検査事業部
技術部
NDE グループ
大黒 光喜

TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547

東日本旅客鉄道株式会社
菊地 和行

株式会社ジェイアール総研電気システム
大浦 泰

株式会社アデルコ
(元検査事業部 技術部)
佐藤 秀一

東日本旅客鉄道株式会社
佐藤 裕樹

株式会社ジェイアール総研電気システム
藤井 保和