

送着電施設を必要としない短絡形列車防護スイッチの実現

鉄道技術センター
 電気部信号通信課 信号グループ 牧戸 啓悟

1. はじめに

新幹線では駅ホームや駅間の線路脇に「列車防護スイッチ」（以下、「列防 SW」と称する）が設置されている。これはいわゆる非常停止ボタンで、押すと直ちに列車を停止させることができる。列防 SWの「列車防護」とは、事故や災害などで列車の走行する線路上に障害が生じた緊急時に、そこに接近する列車を停止させる措置である。多くの在来線では、携帯用信号炎管の使用や軌道短絡器と呼ばれる器具をレールに設置して信号機を停止現示にすることなどで運転士に危険を知らせ、運転士のブレーキ操作により列車を停止させる方法で列車防護を行う。しかし列車が高速走行している新幹線においてはこのような方法では危険箇所までの列車停止が間に合わないため、在来線の軌道短絡器の代替として列防 SWが考案され、沿線に設置された列防 SWを押すことで、ATC（自動列車制御装置）により自動的にブレーキ操作が行われるようにシステムが構成された。（図-1）



図-1 列車防護方法の違い

列防 SWはスイッチ本体とレールをリード線により接続する構成となっており（図-2）、リード線は左右のレールに「送着ボンド」と呼ばれる部品により取付けられているため、列車走行の影響を大きく受ける。北陸新幹線（長野・金沢間）では、走行する列車から落下した

氷塊が衝突したり、列車振動にさらされたりして、送着ボンドが断線あるいは脱落する事象が生じており（図-3）、安定輸送に対する弱点箇所となっていた。このような事情から、この弱点箇所の改善を図った新方式の列防 SWの開発を進めることとなった。



図-2 短絡形列防 SWと送着ボンド

2. 目的・課題

開発の目的は「安定輸送への貢献」である。この目的達成のため、豪雪地帯に適用できるように「雪害対策の強化」と列車通過時に破損しない「振動対策の強化」を主軸に置き、これらに保守や更新もしやすい装置となるように、既設の開業区間と同じシステムを活用できる「互換性」と、機器更新時に従来方式から順次移行していくける「順次移行可能性」も加えた四つを新方式のスイッチのコンセプトとしたうえで、「送着電施設を必要としない短絡形列防 SWの実現」を課題として定め、開発検討を進めることとした。

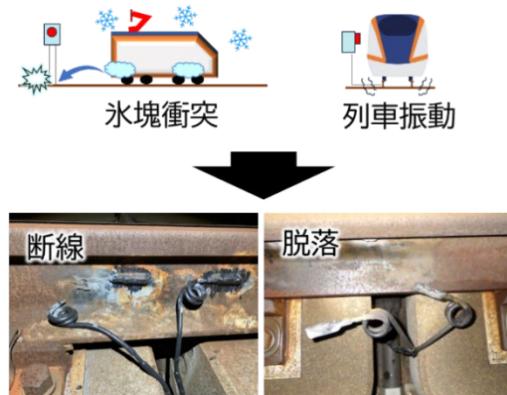


図-3 送着ボンドの断線・脱落事象

3. 列防 SW の動作概要

3-1 軌道回路の短絡

在来線の軌道短絡器とその代替として考案された列防 SW には、列車防護を行うために軌道回路の短絡を伴うという共通点がある。軌道回路とは、左右のレールを電気回路の一部に用いて列車を検知する装置であり、回路の一端から電気信号を送信し、その信号の他端での受信状態により列車在線の有無を判別できるしくみとなっている。

列車が在線すると、列車の車軸により軌道回路が短絡されることで、受信器に届く列車検知信号の受信レベルは列車が在線していない場合に比べ微小となるため、短絡ありの場合は「在線あり」、短絡なしの場合は「在線なし」というように列車の在線状態が判定できる。軌道短絡器の代替である列防 SW は、この列車の車軸による軌道回路の短絡を疑似的に発生させることができ、軌道回路を短絡させてるので、より正確には短絡形列防 SW と呼ばれる。

軌道回路の送信器、受信器は信号通信機器室内の ATC 装置の中に組み込まれている。また、線路脇の軌道回路の端部となる箇所には、保安器箱と呼ばれる箱が設置され、ATC 装置との間はアプローチケーブルで接続されている。

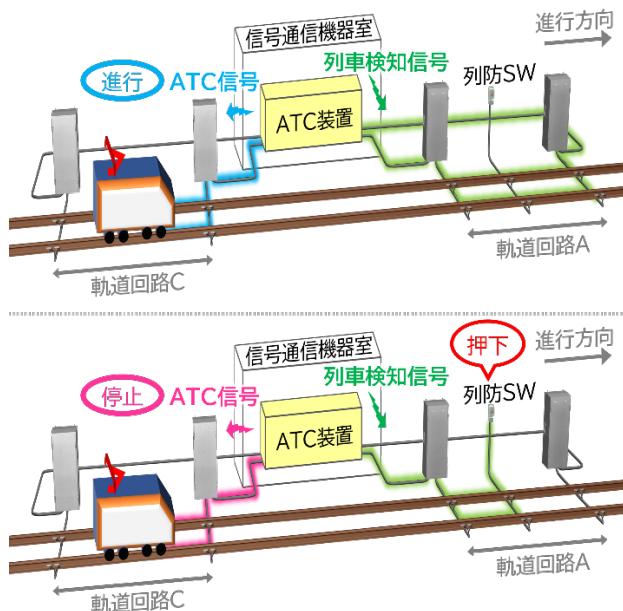


図-4 ATCによる停止制御

3-2 ATCによる停止制御

ATC 装置は各軌道回路の在線状態の情報を列車制御に用いている。図-4 のようにある軌道回路 A に列車が在線しておらず、かつ列防 SW

も押されていない場合、ATC 装置は軌道回路 A に「在線なし」と判定し、後方の軌道回路 C を走行する列車に対して「進行」の ATC 信号を送信する。一方で軌道回路 A に列車が在線している場合あるいは列防 SW が押された場合、ATC 装置は軌道回路 A に「在線あり」と判定し、後方の軌道回路 C を走行する列車に対して、「停止」を示す ATC 信号を送信するため、後方の列車には停止制御がかかることになる。このような仕組みとなっているため、列防 SW を押した際には列車在線時と同様で確実に ATC 装置に「在線あり」と判定される必要がある。

従来方式



新方式(箱短絡)

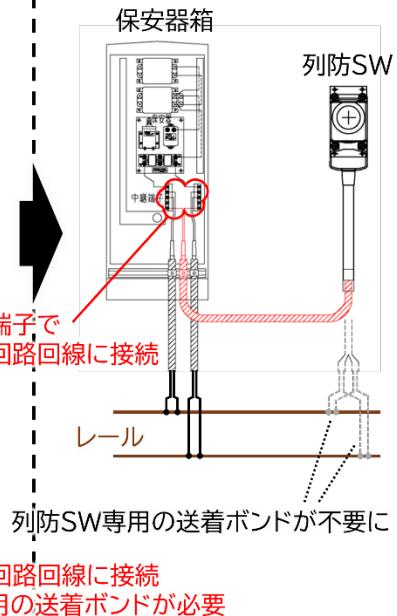


図-5 新方式短絡形列防 SW の構成の検討

4. 検討

4-1 新方式の構想

従来方式において列防 SW のリード線は、送着ボンドによってレールに直接取り付けられており、列車走行の影響を大きく受ける箇所となっていた。そこで新方式の検討にあたってはこの送着ボンドに着目し、スイッチによる軌道回路の短絡を、レールに直接ではなく、軌道回路端部に設けられる保安器箱経由に変更する「箱短絡化」を行うことで、列防 SW から送着ボンドまでの「送着電施設」を削減し設備のスリム化を図ることにした。(図-5) この方式は列防 SW と軌道回路の接続方法を変更するのみで既存のシステムを変更する必要がないため、既

存システムと互換性を有した状態で、従来方式から新方式へ順次移行も可能である。

箱短絡化を行うには、列防 SW を保安器箱の近傍に設置する必要があるが、列防 SW は 500m 間隔、保安器箱は 1,000m 間隔が整備新幹線における標準配置となっており全ての列防 SW が保安器箱に近接しているわけではないため、保安器箱に近接しない列防 SW については計画段階で箱短絡化の対象から外し、保安器箱の近くに設置されるスイッチのみを箱短絡化の検討対象とした。(図-6)

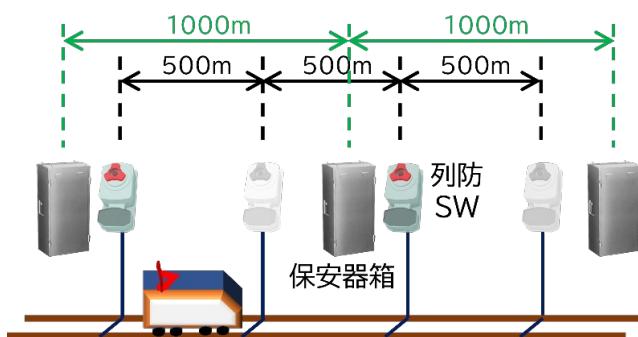


図-6 列防 SW と保安器箱の標準配置

4-2 シミュレーションによる検証

4-2-1 着目条件

新方式ではリード線をレールに直接接続せず保安器箱を経由する回路構成となるが、この構成でスイッチを押した際に確実に「在線あり」と判定されるかの検証を回路シミュレーションにより実施した。

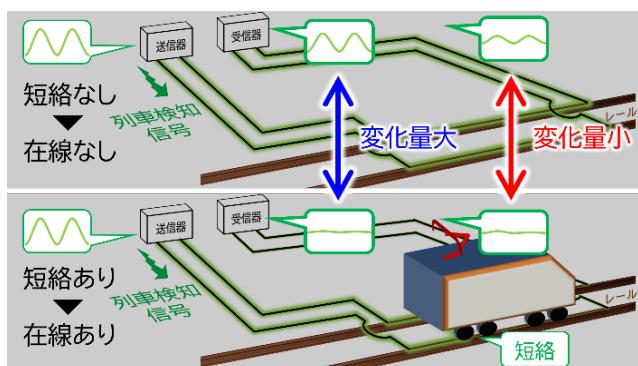


図-7 受信信号レベル変化量のイメージ

列車の在線状態は、軌道回路の短絡に伴う受信器における受信信号レベルの変化により判定されるが、在線あり時、在線なし時における受信信号レベルの変化量(図-7)が小さいと、列防 SW を押しても「在線あり」と判定されず、スイッチが正常動作しなくなるおそれがある。シミュレーションでは、この受信信号レベ

ルの変化量に影響すると考えられる条件として次の(1)から(4)の条件に着目し、これらを変化させた際に列防 SW が正常動作するか検証した。

(1) 列車検知信号の周波数

列車検知信号には数種類の周波数があり、軌道回路ごとに異なる。軌道回路は信号周波数が高くなると電気抵抗が大きくなる性質があり、特に在線なし時の信号レベルが低下するため、在線あり時との受信信号レベルの変化量が小さくなり、列防 SW が正常動作しにくくなる傾向が予見された。

(2) 軌道回路長

軌道回路長が短い場合、送信器からの距離が近くなる関係で、在線あり時の受信信号レベルが微小ではなくなるため、送信する信号レベルを小さく抑える必要がある。この送信信号レベルの抑制により受信信号レベルの変化量が小さくなり、列防 SW が正常動作しにくくなる傾向が予見された。

(3) アプローチケーブル長

信号通信機器室から軌道回路までの間の信号の経路であり、信号通信機器室から遠くなるほど長くなる。アプローチケーブル長にはその長短により列防 SW が正常動作しにくくなる明確な傾向の予見はなかった。

(4) リード線長

リード線長は長いほど、電気抵抗が大きくなる性質があり、特に在線なし時の信号レベルが低下するため、周波数と同様に受信信号レベルの変化量が小さくなり、列防 SW が正常動作しにくくなる傾向が予見された。リード線長は従来方式ではスイッチが正常動作するように 15m を上限とする施工条件を設けていた。

4-2-2 シミュレーション結果

先述の 4 条件のうち、リード線長は 15m とし、信号周波数と軌道回路長、アプローチケーブル長の 3 条件を、標準的な範囲で変化させた際に列防 SW が正常動作するかを検証するとともに、正常動作が最も厳しくなる条件の組合せをまず調査した。

予見した傾向に対して、信号周波数が高い側、軌道回路長が短い側、アプローチケーブル長が短い側の組合せで列防 SW は正常動作が最も厳しくなる一方で、これらとは対極となる条件の組合せになるほど正常動作する傾向が得られた。これらにより、新方式の列防 SW は

標準的なほぼ全ての条件下で正常動作する結果が得られた。(表-1)

次に正常動作が最も厳しくなる条件の組合せの下でリード線長を15mと15mを超える長さに変化させて検証したところ、15mでは正常動作する結果となった一方で、15mを超える長さでは正常動作しにくくなるおそれがある結果となった。よって、新方式の列防SWにおいてもリード線長の施工条件は緩和せず、従来方式と同様に15mを上限とすることとした。

以上により、標準的な条件下でリード線長を従来方式と同様15m以内とすれば、新方式の列防SWは押下時に確実に「在線あり」と判定され、正常動作することが明らかとなった。

表-1 シミュレーション結果

シミュレーション条件		アプローチケーブル長	
信号周波数	軌道回路長	長	短
低	長	◎	○
低	短	○	○
高	長	○	○
高	短	○	一部を除き○

4-3 現地実装による検証

シミュレーションにより新方式の構想が実現可能か検証できたので、現地の実設備を用いた新方式の実証実験を当時既に営業を行っていた、北陸新幹線（上越妙高・糸魚川間）にてJR西日本殿の協力のもと実施した。実証実験は、保安器箱内の端子と短絡形列防SWを15mのリード線で接続し（図-8）、押下した際に正常動作するかを確認するというもので、実験箇所としてはシミュレーション結果を参考にして列防SWが正常動作しにくい条件が揃っている2箇所を選定した。いずれも信号周波数の高い箇所で、一方はアプローチケーブルが長い箇所、他方は短い箇所であったが、実験の結果どちらの箇所でも正常動作する判定となり、新方式の列防SWは、実設備においてもシミュレーション結果と同様に正常動作することが実証できた。

実証実験でも正常動作が確認できたため、当時建設中であった北陸新幹線（金沢・敦賀間）

において新方式の列防SWを全62箇所に施工した。動作試験の結果、施工した全箇所で正常動作することが確認され、送着電施設を必要としない新方式の短絡形列防SWが実現した。

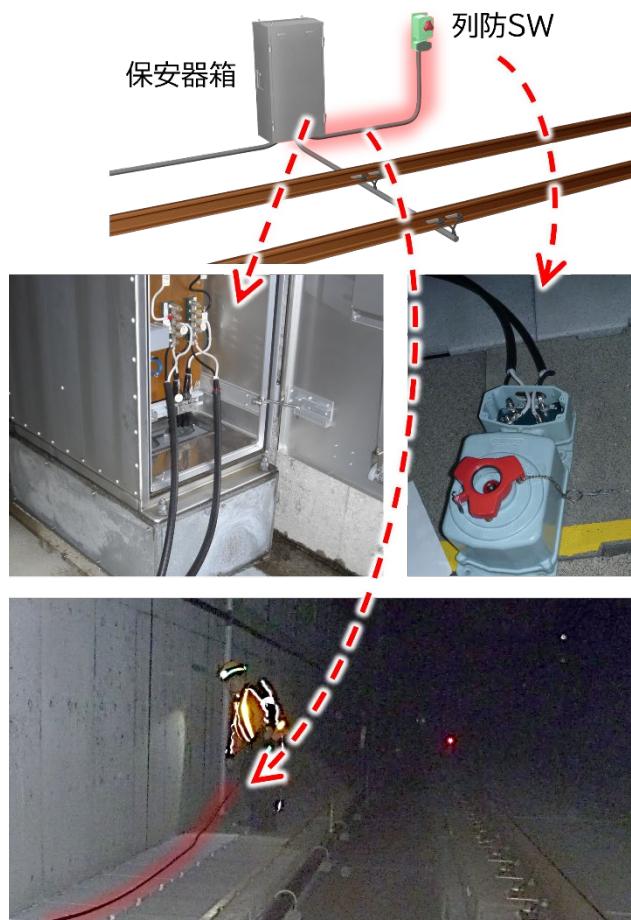


図-8 実証実験の様子

5. まとめ

「安定輸送への貢献」を目的とした、「送着電施設を必要としない短絡形列車防護スイッチの実現」という課題に対して取り組んだ、新方式の開発検討の過程を述べた。

北陸新幹線（金沢・敦賀間）で、リード線の長さを基準に「箱短絡化」箇所を選定したところ、延べ62箇所が対象となり、保安器箱に近接しているもののみを分母とした割合で、54%に箱短絡方式を導入することでき、短絡形列防SWの雪害・振動対策の強化を、既存システムと互換性を有し、順次移行可能なかたちで実現できた。今後建設する新幹線では、保安器箱に近接する全ての短絡形列防SWが保安器箱から15m以内となるように位置調整して設計を進め、箱短絡方式の導入率を高めていきたい。